

# アメリカ合衆国における 下水処理水再利用の現状

土木研究所資料第1161号

昭和51年8月

建設省土木研究所  
下水道部

## ま え が き

本報告書は、アメリカ合衆国の環境保護庁（U. S. Environmental Protection Agency）研究開発局、国立環境研究センター（National Environmental Research Center, Office of Research and Development）が、コンサルタント会社（SCS Engineers, Long Beach, California）に委託して、国内の下水処理水再利用の実情を、現地調査、アンケート調査、既往文献調査によって調べ、その結果を再利用目的別に、水質のクライテリア、現状分析、経済分析したものである。

原報告書の題名は「Demonstrated Technology and Research Needs for Reuse of Municipal Wastewater（都市下水の再利用のための実施技術と研究の必要性）」となっているが、訳者が内容を通読してみて、わが国の読者に受入れやすいように、「アメリカ合衆国における下水処理水再利用の現状」と題名を変更させていただいた。しかし、その内容は、アメリカ合衆国での再利用の現状以外に、南アフリカ連邦およびイスラエルにおける再利用の現状についても1部紹介されている。コンサルタント会社が行なった再利用に関するアンケート調査は、わが国の下水処理水再利用実施都市にも送られたようであるが、わが国の各都市からの詳細な報告はなされなかったようである。

最近、わが国でも将来の水資源の不足が予測されており、下水処理水再利用に対する関心が深まり、下水処理水の水資源としての位置付け、再利用に関する市広い調査研究が実施されてきている。この機会にアメリカ合衆国の下水処理水再利用の現状ならびに過去の多くの経験を知っておくことは、わが国の下水処理水再利用を推進するうえで、調査研究面のみならず、行政上あるいは財政上からも極めて意義あることと考える。このようなことから、原報告書を翻訳するに当っては、下水道技術について余り専門的な知識を持ち合わせていない方々にも読んでいただくべく、できるだけ平易に表現するよう配慮したつもりである。

原報告書の翻訳に当って心よく御許可された F. M. ミドルトン氏（日米下水処理技術委員会、米国側議長）および I. R. クーリエルマン博士（本調査研究の担当官）に感謝の意を表するものである。

下水道部長・翻訳者

柏 谷 衛

EPA-670/2-75-038  
May 1975

DEMONSTRATED TECHNOLOGY AND RESEARCH  
NEEDS FOR REUSE OF MUNICIPAL WASTEWATER

By

Curtis J. Schmidt  
Ernest V. Clements, III  
SCS Engineers  
Long Beach, California 90807

Contract No. 68-03-0148  
Program Element No. 1BB043

Project Officer

Irwin J. Kugelman  
Advanced Waste Treatment Research Laboratory  
National Environmental Research Center  
Cincinnati, Ohio 45268

NATIONAL ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTER  
OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT  
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY  
CINCINNATI, OHIO 45268

# 目 次

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 範囲, 目的およびアプローチ .....       | 1  |
| 1. 範 囲 .....                     | 1  |
| 2. 目 的 .....                     | 1  |
| 3. アプローチ .....                   | 2  |
| 第 2 章 灌漑による再利用 .....             | 4  |
| 1. 序 論 .....                     | 4  |
| 2. 要求されている水質のクライテリア .....        | 4  |
| 2.1 一 般 .....                    | 4  |
| 2.2 農作物と牧草地のための灌漑用水としての再利用 ..... | 5  |
| 2.3 芝生と造園のための灌漑用水としての再利用 .....   | 10 |
| 2.4 家畜の飲料水としての再利用 .....          | 11 |
| 3. 灌漑用水としての再利用の現状分析 .....        | 12 |
| 4. 灌漑用水としての再利用の経済性の現状分析 .....    | 21 |
| 第 2 章の参考文献 .....                 | 29 |
| 第 3 章 工業による再利用 .....             | 30 |
| 1. 序 論 .....                     | 30 |
| 2. 要求されている水質のクライテリア .....        | 30 |
| 2.1 一 般 .....                    | 30 |
| 2.2 冷却用水 .....                   | 31 |
| 2.3 ボイラー用水 .....                 | 31 |
| 3. 工業用水としての再利用の現状分析 .....        | 32 |
| 3.1 冷却用水 .....                   | 40 |
| 3.2 ボイラー補給用水 .....               | 40 |
| 3.3 プロセス用水 .....                 | 43 |
| 4. 工業用水としての再利用の経済性の現状分析 .....    | 46 |
| 第 3 章の参考文献 .....                 | 53 |
| 第 4 章 リクリエーションによる再利用 .....       | 54 |
| 1. 序 論 .....                     | 54 |
| 2. 要求されている水質のクライテリア .....        | 54 |
| 3. 操業の現況 .....                   | 56 |
| 3.1 ロスアンゼルス郡衛生組合 .....           | 56 |
| 3.2 南タホ公益事業組合 .....              | 58 |
| 3.3 サンテイ郡用水組合 .....              | 61 |
| 4. 処理施設の運転状況 .....               | 63 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 5. 非公式なリクリエーションへの利用 .....                | 64  |
| 6. リクリエーション用水としての再利用の経済性の現状分析 .....      | 65  |
| 第4章の参考文献 .....                           | 67  |
| 第5章 生活用水としての再利用 .....                    | 68  |
| 1. 序 論 .....                             | 68  |
| 2. 生活用水として再利用する水質のクライテリア .....           | 69  |
| 3. 実用化プロセスの現状分析 .....                    | 70  |
| 3.1 南アフリカ連邦 .....                        | 70  |
| 3.2 アリゾナ州グランドキャニオン村 .....                | 73  |
| 3.3 バイクス・ビーク .....                       | 73  |
| 4. 生活用水としての再利用の経済性の現状分析 .....            | 74  |
| 第5章の参考文献 .....                           | 76  |
| 第6章 魚類の増殖と飼育 .....                       | 77  |
| 1. 序 論 .....                             | 77  |
| 2. 要求されている水質のクライテリア .....                | 77  |
| 3. 魚類の増殖および飼育についての現状分析 .....             | 81  |
| 4. 魚類の増殖および飼育に関する再利用の経済性の現状分析 .....      | 84  |
| 第6章の参考文献 .....                           | 86  |
| 第7章 総 括 .....                            | 87  |
| 1. 総 括 .....                             | 87  |
| 2. 下水の再利用の経済面での実行の可能性 .....              | 93  |
| 第8章 結 論 .....                            | 101 |
| 第9章 追加すべき研究に対する勧告 .....                  | 103 |
| 第10章 一般的な参考文献のリスト .....                  | 105 |
| 謝 辞 .....                                | 122 |
| 付録 A 野外調査の報告 .....                       | 127 |
| 付録 B アンケート調査の報告 .....                    | 219 |
| 付録 C 下水処理水を小規模に灌漑用として再利用している都市のリスト ..... | 247 |
| 付録 D 諸外国における下水処理水の再利用の実例 .....           | 253 |
| 付録 E 処理コスト算出のための手法 .....                 | 259 |

## 第1章 範囲、目的およびアプローチ

### 1. 範囲

この調査は都市下水の処理場から放流される下水の直接の再利用について限定して実施したものである。地下圧入や浸透の後に利用される間接再利用については、地下水による希釈が僅かな場合を除いて、この報告書中には含まれていない。同様に、放流後の下水が表流水に含まれ、下流部において取水される場合においても、その希釈の程度が極く僅かな場合を除いて、本報告書には記載されていない。

工業用水としての再利用についても工場内の排水再利用については含めないこととした。

この調査にカバーされている再利用のタイプは次の通りである。

- ・灌漑と他の農業利用
- ・冷却用水
- ・工業用プロセス用水
- ・ボイラー用水
- ・養魚
- ・飲料を除く生活用水

### 2. 目的

この調査の初期の目的は簡略化した手法で既存の再利用状況についての情報をうるための技術的な調査を行なうことであった。これらの情報は、新たに再利用システムを設計する技術者と、その計画を策定する公的機関の意志決定者に対して、どのようなシステムが適切であるかを判断するために提供されるものである。この報告書は、さらに、過去にその経験を有する既存再利用施設の運転管理に当る責任者や技術者のためにも役立つものである。第2の目的は利用される再利用の情報がすでに現存しており、これらのうちの欠除している部分を克服するための研究が必要であることについて、その焦点をしばることにある。

個々の調査の目的は次のとおりである。

- ・ 既存の文献によりデータを収集する文献調査を行なうこと、および種々の再利用方式についての水質基準を設定するための文献調査を行なうこと。
- ・ 未公表の都市下水再利用計画について、記録されている情報を収集すること、および公表されてきた再利用計画について現状における情報を収集すること。
- ・ 比較的良好に知られていない重要な都市下水再利用施設の運転について実際施設での調査を行なうこと。過去において数多く公表されてきた施設としては、例えば、カリフォルニア州サンディ、カリフォルニア州タホ湖、などがあるが、まだこの種の調査が行なわれてきていない。
- ・ 各再利用施設について、規模、設計、運転状況、コスト、再利用方式、問題点などの技術的、経済的な情報を収集すること。
- ・ 最適処理システムに到達するための企画、および種々の再利用方式について推奨しうる設計

条件をうるためのデータの組立てとその解析。

### 3. アプローチ

この研究が完成するまでの間、SCSエンジニアーズ会社の技術者のプロジェクトチームは次のような業務を行ってきた。

- 包括的な文献調査は、国会図書館、数ヶ所の大学図書館、都市下水の再利用に関するEPA内部の資料などについて行なってきた。数多くの資料については概要を示し(第8章 参考文献を参照のこと)、その情報を挿出した。高度な出版物に公表されてきた再利用計画を除いては、公表済の数多くの調査報告はすでに時代おくれとなっており、また不完全であった。
- 各都市の再利用施設についての質問状をそえた手紙を下記の団体に送付した。
  - 全50州の水質汚濁防止基準設定機関
  - 水質汚濁防止連盟(WPCF)のメンバーとなっている59の協会
  - 51の州立水資源研究機関
  - 各種の連邦政府の機関、開拓局、水資源研究機関、環境保護庁(EPA)のいくつかの部局を含む。
  - 汚濁防止施設の設計を実施している著名なコンサルタント会社。水質汚濁防止協会(WPCA)雑誌に加入しているものすべてを含む。
  - 下水の再利用に関する報告を公表している大学関係者
  - 汚濁防止に責任をもつヨーロッパ各国、ソ連、日本、イスラエル、カナダ、メキシコおよびオーストラリアの国立機関。

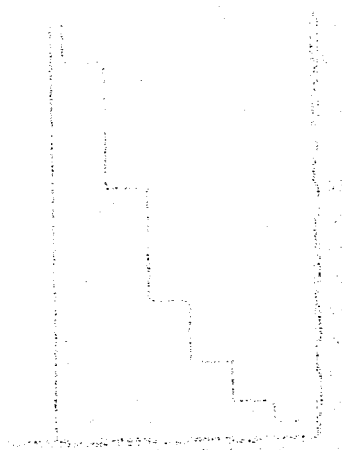
州の機関から十分な回答が得られるまで、手紙と電話による追跡調査を行なった。アメリカ合衆国内358ヶ所および諸外国55ヶ所の再利用実施地区が概略判明した。国内358ヶ所の地区のうち、205ヶ所は、極めて小規模な灌漑処分であると判断された。詳細事項にわたる111ページの質問書が用意され、国内の153ヶ所および外国55ヶ所に発送された。国内で回答が得られたのは145ヶ所であった。外国から得られた回答は極く僅かであり、最終的に得られた回答は6ヶ所であった。

EPA係官の協力のもとに、最もユニークな施設とみられる18ヶ所について、再利用施設の現状が余りよく知られていないものを選定して、実際施設の調査を行ない、ケーススタディを行なった(付録A参照)。このケーススタディには、人の食料となる作物の灌漑、人間以外の食料となる作物の灌漑、工業用としての再利用、リクリエーション湖、飲料以外の生活用(たとえば、便所の水洗用水)などの例が含まれている。

総括的な一覧表がアメリカ国内に対する質問状の回答により得られたデータを用いて作成された(付録B参照)。それらの一覧表には、位置、処理能力、処理水水質、コスト、処理システムの信頼性、処理施設の設計、再利用の目的、利用者によってさらに付加されている処理などのデータを簡略に、要領よく表わした。

別の章では、例えば、灌漑用、工業用、リクリエーション用、養魚用、生活用など、再利用のカテゴリーによる研究結果について記載してある。各章には、種々の再利用のための水質のクライテ

リフ、種々の再利用について処理水を供給している既存施設の運転結果の分析、経済的な分析結果などを網羅して記載してある。



この図は、処理水の供給状況を示している。縦軸は処理水の供給量（またはコスト）を示し、横軸は時間または処理水の供給回数を示す。図は、処理水の供給量が段階的に減少していく様子を示している。

この図は、処理水の供給状況を示している。縦軸は処理水の供給量（またはコスト）を示し、横軸は時間または処理水の供給回数を示す。図は、処理水の供給量が段階的に減少していく様子を示している。

図 1 処理水の供給状況

この図は、処理水の供給状況を示している。

図 2 処理水の供給状況

この図は、処理水の供給状況を示している。

図 3 処理水の供給状況

図 4 処理水の供給状況

図 5 処理水の供給状況

図 6 処理水の供給状況

## 第2章 灌漑による再利用

### 1. 序 論

この調査に対して得られた回答では、アメリカ国内で灌漑に再利用されている水量は1971年には $133 \times 10^9$  ガロン ( $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) に達していた。このうちの $77 \times 10^9$  ガロン ( $290 \times 10^6 \text{ m}^3$ )、すなわち58%は農業用に利用されている。質問状に対して回答を寄せてくれた132の処理施設では、その放流水を灌漑用に再利用していた。それに加える205ヶ所のテキサス州、カリフォルニア州、アリゾナ州の処理施設でも灌漑用に再利用していたが、これらは極めて小規模なものである。これら小規模処理施設の位置や再利用水量などに関する一覧表は付録Cに示してあるが、これらのデータは本章には使用されていない。

図-1は、アメリカ国内における1900年以降の都市下水の灌漑用に再利用している処理施設数の増加状況を示したものである。

この章では次のような3つの小節に分けられている。

- ・要求されている水質、それは既存の文献から引用した。
- ・灌漑用に再利用されている現状分析、それはこの研究の間に得られたデータによって行なった。
- ・灌漑用に再利用されている経済分析、それはこの研究の間に得られたデータによって行なった。

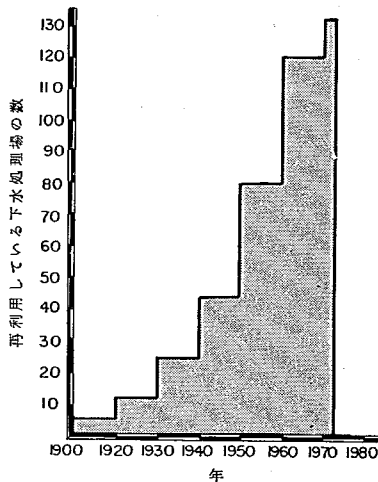


図-1 灌漑用に利用している下水処理場の個数増加状況

### 2. 要求されている水質のクライテリア

#### 2.1 一般

灌漑用水は、次のような主たる利用目的によって分けることができる。

- ・農作物用
- ・牧草地用
- ・芝生と造園用
- ・家畜用

## 2.2 農作物と牧草地のための灌漑用水としての再利用

灌漑のための水質は、作物の品質に与える短期的影響、土壌の性質に与える長期的影響、収穫物利用上の潜在的影響などを含めた数多くの因子によって定められる。表-1は環境保護庁（EPA）によって提案された灌漑用水質の一般的な制限値である。

表-1 EPAによって提案された灌漑用水の汚濁物の制限値（11）

| 成 分 名         | すべての土壌に連続的に使用される用水の場合（mg/l） | 細組成の中性土とアルカリ土に対して短期間 <sup>※*</sup> 使用される用水の場合（mg/l） |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>重金属類成分</b> |                             |                                                     |
| アルミニウム        | 5.0                         | 20.0                                                |
| 砒 素           | 2.0                         | 10.0                                                |
| ベリリウム         | 0.1                         | 0.5                                                 |
| 銅 素           | 0.75                        | 2.0                                                 |
| カドミウム         | 0.01                        | 0.05                                                |
| クロム           | 0.1                         | 1.0                                                 |
| コバルト          | 0.05                        | 5.0                                                 |
| 銅             | 0.2                         | 5.0                                                 |
| 弗 素           | 2.0                         | 15.0                                                |
| 鉄             | 5.0                         | 20.0                                                |
| 鉛             | 5.0                         | 10.0                                                |
| リチウム          | 2.5                         | —                                                   |
| マンガン          | 0.2                         | 10.0                                                |
| モリブデン         | 0.01                        | 0.05                                                |
| ニッケル          | 0.2                         | 2.0                                                 |
| セレン           | 0.02                        | —                                                   |
| <b>細菌類</b>    |                             |                                                     |
| 大腸菌群数         | 1,000/100ml                 |                                                     |
| <b>化学的成分</b>  |                             |                                                     |
| pH            | 4.5-9.0                     |                                                     |
| 全溶解性物質〔TDS〕   | 5,000                       |                                                     |
| <b>除草剤成分</b>  |                             |                                                     |
| Dalapon       | 0.2 μg/l                    |                                                     |
| TCA           | 0.2 μg/l                    |                                                     |
| 2,4-D         | 0.1 μg/l                    |                                                     |

（註）  
 ※\* 「短期間の使用」とは20年程度の期間使用することを意味する。

しかしながら、灌漑用水質はその水が利用されるべき種々の条件下においてのみ評価されている。完全な灌漑用水は次の理由によって固定することが困難である。

- (1) 土中の水溶液は通常、表土からの水の蒸発、植物の葉面蒸発、植物による鉱物質の選択的吸収のために、3-8倍に濃縮されることになる。
- (2) 植物の塩分、ならびに各塩化合物に対する毒性は植物の種類によって大巾に異なる。
- (3) 土壌の種類、気候条件、灌漑方法、排水方法などのすべては、灌漑用水水質に対する植物の反応に影響を与える。与えられた灌漑用水の適応性は作物と土壌の性質による偶然性による問題である。(4)。

例えば、灌漑用水中の重金属類含有量の制限値の設定は、それら重金属類を固定するか吸収するとかという土壌の能力、土壌条件によって複雑なものとなる。鉱物質および(または)高い粘土含有量を有する鉱物質が高い比率で含まれている土壌(細組成土)は砂性土よりも金属イオンを含有する大きな親和力を有する。各々の土壌のタイプは、pH 7.0よりも高いレベル(アルカリ条件)において、重金属類を保有する能力が増加することになる(6)。

最近の研究(13)は、選ばれた土壌について、灌漑用水として、下水処理水と井戸水とを用いて14年間に上連続的に使用して、その効果を比較した。その結果をまとめたものが表-2である。

表-2 グラブシルト・ローム土壌で行なった土壌テストの結果(13)

| 灌漑用水の種類 | 土壌の層 | 溶解性塩類 (EC $\times 10^3$ ) | 硝酸塩 (mg/l) | リン酸塩 (mg/l) | 裂開率 (g) | 浸透係数 (cm/時) |
|---------|------|---------------------------|------------|-------------|---------|-------------|
| 処理水     | Ap   | 1.77                      | 132        | 37          | 223     | 1.52        |
|         | C    | 0.80                      | 38         | 16          | 168     |             |
| 井戸水     | Ap   | 0.88                      | 65         | 17          | 137     | 1.91        |
|         | C    | 0.43                      | 12         | 8           | 153     |             |

(註)

Ap層: 細り起し深さ 0~25 cm EC: 電気伝導度

C 層: 下位の土壌 38~51 cm

これからわかるように、下水処理水で灌漑されている土壌は、井戸水を灌漑用水として使用した場合に比べて、低い浸透率、高い裂開率、高い溶存塩類、硝酸塩およびリン酸塩濃度を有する。このように、灌漑用水が不適切に管理されている場合(特に再利用水の使用)には、表土構造の欠陥、耕作に対する動力費の増加、土壌中への塩類の濃縮によって作物生長への不利な影響が生じてくるかも知れない。しかしながら、この研究(13)では14年間にわたる下水再利用水を用いた灌漑の場合でも作物収量には不利な効果は得られなかったと指摘している。

表-3は灌漑用水の水質について、ナトリウム〔Na〕含有率（％），全溶解性物質（TDS），硼素，塩化物，硫酸塩の基本的5成分の基準値を示したものである。灌漑用水中の過剰なTDSは作物の水分摂取を制限したり，阻害したりする浸透性に影響を与えることになる。塩分は植物の同化作用に毒性を与え，そして植物の成長に不利となる土壌構造，浸透性，酸素の透過を変える作用をなす(7)。

表-3 灌漑用水の分類のための標準値(4)

| 成分名         | 分類* |     |     |       |       |
|-------------|-----|-----|-----|-------|-------|
|             | 適当  |     | 限界  |       | 不适当   |
|             | 低   | 高   | 低   | 高     |       |
| ナトリウム (‰)** | 0   | 60  | 60  | 75    | 75    |
| TDS (mg/l)  | 0   | 700 | 700 | 2,100 | 2,100 |
| 硼素 (mg/l)   | 0   | 0.5 | 0.5 | 2.0   | 2.0   |
| 〔半耐性植物〕     |     |     |     |       |       |
| 塩化物 (mg/l)  | 0   | 177 | 177 | 355   | 355   |
| 硫酸塩 (mg/l)  | 0   | 960 | 960 | 1,920 | 1,920 |

(註)

\* 分類は土壌，気候，灌漑方法など多くの条件での多くの植物に適用される。

\*\* 次式により計算される。

$$\frac{(\text{Na})}{(\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K})} \times 100$$

カルシウム，ナトリウム，カリウムなどのカチオン，および炭酸塩，重炭酸塩，硫酸塩，塩化物，硝酸塩，リン酸塩などのアニオンは植物の生長に不可欠のものであるが，或る濃度を越えて存在するときには毒性を与えることとなり，土壌の性質によっては，その影響は極めて大きなものとなる。

ナトリウムは有害なレベルにまで土壌のアルカリ度を増加させることによって植物の生長を制限することから，これらのイオン中で最も危険なものの一つである。高濃度のナトリウムは土壌中のカルシウムやマグネシウムと置換され，耕土を浅くし，土壌の透水性を低下させる。

表-3に示した基準は受入れ可能な濃度の範囲を示したものである。植物の種類によって耐性となる塩類濃度は変わるものであることを認識しておく必要がある。表-4は各種の作物の相対的な塩類耐性に関する情報をまとめたものである。土壌中の塩分濃度は常に灌漑用水よりも濃縮されたものとなるから，イオン濃度についての基準値は灌漑用水中の濃度よりはむしろ土壌中のイオン濃度について，より大きな制限値を与えることになる(4)。それに加えて，農作物はその感受性が上記のような種々の成分によって変化する。

表-4 塩類濃度に対する作物の相対的耐性(7)

| 作物の区分   | 低位塩類耐性                                                                                               | 中位塩類耐性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 高位塩類耐性                                                                                                                                                                           |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 果 物     | $EC \times 10^3 \leq 2$<br>アバカド プラム<br>レモン プルーン<br>いちじ グレープフルーツ<br>桃 オレンジ<br>アプリコット りんご<br>アーモンド 西洋梨 | カンタロープ (メロンの一種)<br>ぶどう<br>オリーブ<br>いちじく<br>さくら                                                                                                                                                                                                                                                                         | なつめやし                                                                                                                                                                            |
| 野 菜     | $EC \times 10^3 = 3$<br>さやえんどう<br>セロリ<br>大 根<br><br>$EC \times 10^3 = 4$                             | $EC \times 10^3 = 4$<br>きゅうり レタス<br>とうなす カリフラワー<br>豆 類 ペル・ベソパー<br>たまねぎ キャベツ<br>人 参 ブロッコリー<br>ジャガイモ トマト<br>スイートコン<br><br>$EC \times 10^3 = 10$                                                                                                                                                                         | $EC \times 10^3 = 10$<br>ほうれん草<br>アス巴拉ガス<br>カリフラワー<br>ガーデンビート<br><br>$EC \times 10^3 = 12$                                                                                       |
| 糧 秣     | $EC \times 10^3 = 2$<br>われもこう<br>ラジノクローバー<br>赤クローバー<br>アルシキクローバー<br>メドフオックスティール<br>白ダッチクローバー<br>燕 麦  | $EC \times 10^3 = 4$<br>シックスミルキピッチ スムースブROOM<br>サワークローバー ビッグトリフオイル<br>シーサーミルキピッチ リードキヤナリー<br>テールメドール メドフエスキュ<br>オートグラス ブルーグラス<br>オーチャードグラス ダリスグラス<br>燕麦 (乾草用) ストロベリークローバー<br>小麦 (乾草用) マウンテンブROOM<br>ライ麦 (乾草用) ライグラス<br>テールフエスキュ 黄スイードクローバー<br>アルフアルフ 白スイードクローバー<br>ヒューバンクローバー<br>スーダングラス<br><br>$EC \times 10^3 = 12$ | $EC \times 10^3 = 12$<br>パーズフットリフオイル<br>大麦 (乾草用)<br>ウェスタンホイトグラス<br>カナダワイルドライ<br>レスキュグラス<br>ローデスグラス<br>バミューダグラス<br>ストオルアルカリグラス<br>ソルトグラス<br>アルカリサカトン<br><br>$EC \times 10^3 = 18$ |
| 田 畑 作 物 | $EC \times 10^3 = 4$<br>ファイルドビーム                                                                     | $EC \times 10^3 = 6$<br>キヤストルビーム 稲<br>サンフラワー 燕麦 (穀物)<br>亜 麻 小麦 (穀物用)<br>とうもろこし ライ麦 (穀物用)<br>もろこし<br><br>$EC \times 10^3 = 10$                                                                                                                                                                                         | $EC \times 10^3 = 10$<br>綿 花<br>菜種菜<br>シュガービート<br>大麦 (穀物用)<br><br>$EC \times 10^3 = 16$                                                                                          |

(註)

電気伝導度 (EC) は比較可能な生長条件下で、無塩土においての生産量と比較して 50 % の減産が生ずる塩分レベルを表わす。

表-5は各種の作物の耐性と土壌中の水分の塩類濃度との関係を示すデータである。

表-5 各種の作物における土壌中の水分の最大許容塩分濃度(1)

| 作物    | 根茎または変種              | 土壌中の水分の塩分耐性の制限値<br>(meq/l) |
|-------|----------------------|----------------------------|
| 柑橘類   | ランバライム, クレオバトラマンダリン  | 50                         |
|       | ラフレモン, タングロ, サワーオレンジ | 30                         |
|       | スウィートオレンジ, シトレンジ     | 20                         |
|       |                      |                            |
| 核果類   | マリナナ                 | 50                         |
|       | ローベル, シヤリル           | 20                         |
|       | ユーナン                 | 14                         |
| アボカド類 | ウエストインデアン            | 16                         |
|       | メキシカン                | 10                         |
| ぶどう類  | 各種                   |                            |
|       | トンブソン種なし, パーレット      | 50                         |
|       | カージナル, ブラックローズ       | 20                         |
| 漿果類   | ボーイセンベリー             | 20                         |
|       | オライリーブラックベリー         | 20                         |
|       | インデアンサマラズベリー         | 10                         |
|       |                      |                            |
| いちご類  | ラッセン                 | 16                         |
|       | シヤスタ                 | 10                         |

細部にわたる研究では灌漑用水中の要素—— 硼素に関する広範囲のデータを取りまとめた。表-6はその制限値に耐性となることができる作物の種類を示した。

表-6 灌漑用水中の硼素の制限値(8)

A 許容制限値 (mg/l)

| 灌漑用水のクラス | 作物のグループ   |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|
|          | 過 敏 性     | 半 耐 性     | 耐 性       |
| 卓 越      | <0.33     | <0.67     | <1.00     |
| 良 好      | 0.33-0.67 | 0.67-1.33 | 1.00-2.00 |
| 許 容 可 能  | 0.67-1.00 | 1.33-2.00 | 2.00-3.00 |
| 疑 わ し い  | 1.00-1.25 | 2.00-2.50 | 3.00-3.75 |
| 不 適 当    | >1.25     | >2.50     | >3.75     |

B 礫素耐性の作物グループ\*

| 過 敏 性           | 半 耐 性      | 耐 性       |
|-----------------|------------|-----------|
| ピーカン            | サンフラワー     | エイセル      |
| ウォールナツ          | ジャがいも      | アスバラカス    |
| ジュアルサレムアーティチョーク | 綿花         | ブラム       |
| ネービービーン         | トマト        | デートブラム    |
| アメリカンエルム        | スイートピー     | シュガービート   |
| ブラム             | 大根         | マンゲル      |
| 梨               | フィールドビー    | ガーデンビート   |
| りんご             | ラーグドロビンローズ | むらさきうまごやし |
| ぶどう             | オリーブ       | グラジオラス    |
| カドタいちじく         | 大麦         | ブロードビー    |
| かき              | 小麦         | たまねぎ      |
| さくらんぼ           | とうもろこし     | かぶら       |
| 桃               | ミロ         | キャベツ      |
| アプリコット          | 燕麦         | レタス       |
| スロンレス ブラックベリィ   | 百日草        | 人参        |
| オレンジ            | かぼちゃ       |           |
| アバカド            | ベルベッパー     |           |
| グレープフルーツ        | さつまいも      |           |
| レモン             | リマビーン      |           |

(註)

\* 各グループについて、最初の方はより耐性であり、最後の方はより過敏性であると考えられている。

灌漑用水の許容細菌数はこの章の次の節で記述してあるように作物の種類と各州の基準設定機関での数値が異なっている。1968年に内務省水質汚濁防止局(FWPCA)は灌漑用水中の細菌数について次のようなガイドラインを提案した。この基準は直接に人または動物によって消費される作物について特に適用されるものである。

「細菌中の大腸菌群数の月間算術平均値は100ml 当り5,000を越えず、糞便性大腸菌群数は100ml 当り1,000を越えてはならない。これらの基準値のいずれもが、灌漑期間の月間少なくとも2回の連続した試料の平均値である。或る月について試験された1試料の大腸菌群数は100ml 当り20,000を越えてはならない」

### 2.3 芝生と造園のための灌漑用水としての再利用

一般に、ゴルフコースの芝生と叢林地や森林のような耐寒性植物は、処理水中に含まれる有害な成分に対して農業用植物よりもより耐性である。(ゴルフコースと高速道路の植樹の灌漑はカリフォルニア州サンベルナルディノの付録Aに示した野外調査結果に記載されている)。

50ないし75%の範囲にあるナトリウム含有百分率は土壌を閉塞し、透水率を減少し、根の生長を妨害する原因となる高い比率のナトリウム含有水として有害である。TDSは2,500-3,000 mg/l を越えてはならない。下水処理水をゴルフコースの灌漑用に利用した結果として、病気の媒

介についての報告はされていないが、カリフォルニア州の基準では、大腸菌群数はM.P.N中間値として100m<sup>1</sup>:当り23まで低下させるよう塩素滅菌することが要求されている。グリーンやフエアウェイについて不利となるような影響は、過剰に高い塩素注入が適切な接触時間を与える代りとして行なわれた場合を除いては報告されていない。過剰な塩素処理を行なうと漂白されて、芝生は黄色の縞模様となるであろう。

#### 2.4 家畜の飲料水としての再利用

多くの研究データが実験動物による水中の成分の影響を表わすものとしてアメリカ国内に蓄積されてはきたが、この目的の家畜類のために利用できるものとしての情報は比較的少ない(4)。

動物によって日間に消費される

表-7 各種家畜の平均水消費量(2)

水量(表-7参照)は、摂取された物質の総量と動物の代謝の限界値から決定される。しかし、日間の水分必要量は気候、消費された飼料の水分含有量、運動の度合、摂取した水中の塩分含有量によって変化する(2)。

動物の飲料水中の塩分の耐性は、種属、年齢、心理状態、季節、消

費した食物中の塩分含有量を含めたいくつかの独立した因子によって定まる。水に高濃度の塩類が含まれる場合には、ガストロエンテリティス、消耗病や死の原因になるかも知れない(4)。

乳汁分泌や生殖は通常、不適当な鉱物質濃度によって影響を受ける最初の動物反応である。ミルクや卵の生産の減少や終止も観測されている。動物は人間よりも高い塩分についての耐性を有するが、高い生産力を上げるためには、人間が消費する以上に良い品質の飲料水を供給すべきことが推奨されている(8)。

西部オーストラリア州の農業省は動物が有害である徴候を示し始める塩分の閾値濃度を公表している。表-8は州政府の決定を一覧表にしたものである。

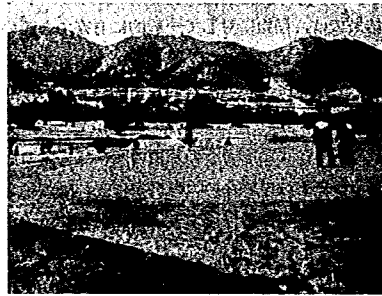


図-2 下水処理水をゴルフコースの灌漑している状況

| 家畜の種類 | 水 消 費 量                       |
|-------|-------------------------------|
| 肉 牛   | 1頭当り 7-12 gpd (26.5-45.4 l/日) |
| 乳 牛   | " 10-16 " (37.9-60.6 " )      |
| 馬     | " 8-12 " (30.3-45.4 " )       |
| 豚     | " 3- 5 " (11.4-18.9 " )       |
| 羊と山羊  | " 1- 4 " ( 3.8-15.4 " )       |
| 鶏     | 100羽当り 8-10 " (30.3-37.9 " )  |
| 七面鳥   | " 10-15 " (37.9-56.8 " )      |

表-8 各種家畜の塩分耐性(4)

| 家畜の種類 | 塩分閾値濃度 (mg/l) |
|-------|---------------|
| 肉 牛   | 10,000        |
| 乳 牛   | 7,150         |
| 馬     | 6,435         |
| 豚     | 4,290         |
| 成 羊   | 12,900        |
| 鶏     | 2,860         |

表-9は家畜の飲料水の種々のパラメータについて閾値と制限値の濃度を一覧表にしたものである。水のイオン組成は、高濃度で存在したときに浸透効果を生ずることを表わしている。テストの結果では、動物に対して一般的に有害であるいずれか一つの要素の毒性よりは、むしろこの浸透による影響によるものであることが示されている。しかしながら、それが微量な濃度でも有害であることも示されている。これらの成分のうち最も厳しいものとしては硝酸塩、弗素、セレン、モリブデンがある(4)。

汚濁水による家畜への細菌の伝染は人間の病原性微生物が飲料水の中に見いだされたときでさえ明らかにされていない。専門家によれば、研究や解析が行なわれている最中ではあるが、下水の処理水は家畜の飲料に供する以前に十分な殺菌を行なうべきであると提案されている(4)。

表-9 家畜に対する水質成分制限値(4)

| 水 質 成 分 名         | 閾 値 濃 度 * | 制 限 濃 度 ** | EPA許容濃度(1) |
|-------------------|-----------|------------|------------|
| 全溶解性物質(TDS)(mg/l) | 2,500     | 5,000      |            |
| カドミウム (mg/l)      | 5         |            | 5.0        |
| カルシウム (mg/l)      | 500       | 1,000      |            |
| マグネシウム (mg/l)     | 250       | 500*       |            |
| ナトリウム (mg/l)      | 1,000     | 2,000*     |            |
| 砒 素 (mg/l)        | 1         |            | 0.7        |
| 重炭酸塩 (mg/l)       | 500       | 500        |            |
| 塩化物 (mg/l)        | 1,500     | 3,000      |            |
| 弗 素 (mg/l)        | 1         | 6          | 2          |
| 硝酸塩 (mg/l)        | 200       | 400        | 100        |
| 亜硝酸塩 (mg/l)       | None      | None       |            |
| 硫酸塩 (mg/l)        | 500       | 1,000*     |            |
| pHの範囲 (mg/l)      | 6.0-8.5   | 5.6-9.0    |            |

(註)

\* 閾値はこのような水を長期間使用したとき僅かな影響が生ずる種または感受性の高い動物での濃度を示したものである。

\*\* 制限濃度は南アフリカ連邦の国内基準濃度を基礎としたものである。乳汁分泌または出産中の動物は明らかなる逆作用を示すかも知れない。

\* 全マグネシウム化合物プラス硫酸ナトリウムは全溶解性物質(TDS)の500を越えてはならない。

### 3. 灌漑用水としての再利用の現状分析

表-10は各種の灌漑のための再利用による処理施設のカテゴリーの目録を示したものである。この表は都市下水を特別な作物の灌漑用として用いるときの適切なデータをうるために、付録Bと関連させて使用することができる。たとえば、唯一の施設からの放流水はアスベラガスの灌漑用水(すなわち、GA-31)として記載されている。それは、付録B中で、カリフォルニア州イルビ

ンのイルビン・ランチ広域水道組合として見付けだすことができる。付録Bはイルビンの再利用施設における水質、処理法、料金などの現在の情報を要領よく示してある。

表-10 各灌漑用の使用に分類される処理施設の目録

| 再利用のタイプ          | 施設のコード番号* |       |       |       |
|------------------|-----------|-------|-------|-------|
| <u>リクリエーション用</u> |           |       |       |       |
| 競技場              | AZ- 6     | CA-63 | CO- 2 | FL- 1 |
| アヒル池             | CA-76     |       |       |       |
| ゲーム場の安全地帯        | AZ-12     |       |       |       |
| ゴルフコース           | AZ- 3     | AZ- 5 | AZ- 8 | AZ-13 |
|                  | AZ-16     | AZ-17 | CA-13 | CA-25 |
|                  | CA-34     | CA-35 | CA-36 | CA-38 |
|                  | CA-50     | CA-55 | CA-56 | CA-62 |
|                  | CA-63     | CA-70 | CA-74 | CO- 1 |
|                  | CO- 5     | CO- 6 | ID- 1 | MO- 2 |
|                  | NM- 5     | NM- 7 | NV- 2 | NV- 3 |
|                  | TX- 7     | TX-10 |       |       |
| 公園               | CA-60     | CO- 2 |       |       |
| バレードグラウンド        | AZ- 5     |       |       |       |
| <u>作物用</u>       |           |       |       |       |
| むらさきうまごやし        | AZ- 4     | AZ-14 | CA- 1 | CA- 2 |
|                  | CA- 4     | CA- 5 | CA- 9 | CA-14 |
|                  | CA-19     | CA-23 | CA-24 | CA-33 |
|                  | CA-36     | CA-40 | CA-41 | CA-46 |
|                  | CA-64     | CA-67 | CA-68 | CA-71 |
|                  | CA-76     | ND- 1 | NM- 1 | NM- 8 |
|                  | NV- 1     | NV- 2 | NV- 3 | NV- 4 |
|                  | TX- 2     | TX- 6 | TX-11 | UT- 1 |
| アスパラガス           | CA-31     |       |       |       |
| わになし             | CA-22     |       |       |       |
| 大麦               | CA- 3     | CA- 4 | CA- 5 | CA-28 |
|                  | CA-45     | CA-47 | CA-75 | CA-76 |
|                  | NV- 2     | WA- 2 |       |       |
| 豆類               | CA-12     | WA- 2 |       |       |
| 人参               | WA- 1     |       |       |       |
| 柑橘類              | CA-21     | CA-22 | CA-31 | CA-41 |
|                  | CA-66     |       |       |       |
| とうもろこし           | CA- 4     | CA- 5 | CA-14 | CA-23 |
|                  | CA-24     | CA-28 | CA-31 | CA-45 |
|                  | CA-64     | FL- 2 | NE- 1 |       |
| 綿花               | AZ- 4     | AZ-15 | CA- 1 | CA- 2 |
|                  | CA- 3     | CA- 4 | CA- 5 | CA- 7 |
|                  | CA-18     | CA-19 | CA-20 | CA-21 |
|                  | CA-23     | CA-24 | CA-28 | CA-30 |
|                  | CA-33     | CA-46 | CA-64 | CA-71 |
|                  | CA-75     | CA-76 | NM- 1 | NM- 8 |
|                  | TX- 6     |       |       |       |
| きゅうり             | CA-36     |       |       |       |

表-10 続き

| 再利用のタイプ | 施設のコード番号* |       |       |       |
|---------|-----------|-------|-------|-------|
| 飼料(まぐさ) | AZ-12     | CA-6  | CA-22 | CA-29 |
|         | CA-48     | CA-71 |       |       |
| 森林      | MO-1      |       |       |       |
| 穀物      | AZ-4      | CA-15 | CA-20 | CA-46 |
|         | NM-2      | NM-3  | NM-6  |       |
| ぶどう     | CA-2      | CA-18 | CA-23 | CA-24 |
|         | OR-1      | TX-2  |       |       |
| 草地      | AZ-6      | AZ-9  | CA-54 | CA-63 |
|         | CO-3      | FL-2  | MI-1  | OK-2  |
|         | TX-11     | UT-1  |       |       |
| 乾草用牧草   | CA-19     | CA-53 | CA-68 | NM-9  |
|         | NV-1      | TX-2  |       |       |
| 造園      | AZ-6      | AZ-14 | CA-39 | CA-41 |
|         | CA-55     | CA-72 | CO-3  | FL-1  |
| ミロメイズ   | CA-19     | CA-45 | CA-64 | NE-1  |
|         | TX-11     |       |       |       |
| 燕麦      | CA-45     | TX-2  | TX-11 |       |
| オリーブ    | CA-17     |       |       |       |
| たまねぎ    | WA-1      |       |       |       |
| 放牧場     | AZ-7      | AZ-15 | AZ-17 | CA-4  |
|         | CA-5      | CA-6  | CA-9  | CA-15 |
|         | CA-16     | CA-18 | CA-26 | CA-27 |
|         | CA-29     | CA-30 | CA-32 | CA-37 |
|         | CA-41     | CA-47 | CA-48 | CA-49 |
|         | CA-51     | CA-52 | CA-59 | CA-61 |
|         | CA-66     | CA-73 | CA-77 | CA-78 |
|         | NW-10     | NV-2  | NV-4  | TX-5  |
|         | TX-6      | TX-12 | WA-1  |       |
| ジャガイモ   | WA-2      |       |       |       |
| ライ麦     | CA-47     |       |       |       |
| 種子類     | CA-7      | CA-44 |       |       |
| もろこし    | AZ-9      | CA-17 | CA-54 | FL-2  |
|         | NV-2      | TX-6  |       |       |
| ほうれん草   | WA-1      |       |       |       |
| 南瓜      | CA-36     |       |       |       |
| スーダングラス | CA-48     | CA-54 |       |       |
| シヨガービート | CA-12     | CA-36 | WA-2  |       |
| トマト     | CA-31     |       |       |       |
| 樹木      | AZ-6      | CA-39 | CA-41 | CA-63 |
|         | CO-3      | FL-1  |       |       |
| 小麦      | CA-2      | CA-4  | CA-5  | CA-45 |
|         | NM-2      | NM-6  | TX-2  | WA-2  |

(註)

\* 施設名およびその各種データについては付録B参照のこと。

表-11には、灌漑用として再利用している下水処理場について、流入水中に占める工場排水の比率について示した。主たる工場排水の種類についての報告は表-12に示すとおりである。

表-11 灌漑用として再利用している場合の流入下水中に含まれる工場排水の割合

| 全流入量中に占める工場排水の割合(%) | 処 理 場 数 | 処 理 場 の 比 率<br>(%) |
|---------------------|---------|--------------------|
| 0                   | 58      | 46                 |
| 1 - 10              | 38      | 30                 |
| 11 - 20             | 17      | 14                 |
| 21 - 30             | 6       | 5                  |
| 30.以上               | 6       | 5                  |

表-12 灌漑として再利用している下水処理場の流入下水中の工場排水の主たる業種

| 汚 濁 源     | 処 理 場 数 * | 処 理 場 の 割 合<br>(%) |
|-----------|-----------|--------------------|
| 工業プロセス    |           |                    |
| 製紙および紡績   | 1         | 1                  |
| 洗濯        | 6         | 5                  |
| 不特定       | 4         | 3                  |
| 化学プロセス    |           |                    |
| 金属加工      | 10        | 8                  |
| 写真        | 1         | 1                  |
| 不特定       | 3         | 3                  |
| 食品プロセス    |           |                    |
| 食肉加工      | 10        | 8                  |
| 果実および野菜加工 | 5         | 4                  |
| 乳製品       | 7         | 6                  |
| 不特定       | 6         | 5                  |
| 工場排水含まず   | 71        | 56                 |

(註)

\* 或る処理場では1種以上の工場排水の影響を受けている。

標準型の一次処理および二次処理では、例えば珪素のような工場排水含有物質を除去するのに効果的ではない。三次処理は灌漑による再利用を目的とした場合には一般的には不経済であるが、工

場排水の流入源とその業種を知っておくことは重要なことである。このような予備知識は作物の種類を定めたり、また或る種の工場排水の流入を制限するために必要である。

表-13は主たる8種類の作物と灌漑のための処理の程度について表わしたものである。おおよそ3/4の処理水は二次処理までを行なっている。

表-13 各種の作物に処理水を灌漑用として  
供給している都市下水処理施設

| 作物の種類   | 処理施設の数* | 処理のレベル(施設数の多) |      |      |
|---------|---------|---------------|------|------|
|         |         | 一次処理          | 二次処理 | 三次処理 |
| 穀物類     | 17      | 23            | 77   | 0    |
| とうもろこし類 | 11      | 36            | 64   | 0    |
| 野菜類     | 6       | 14            | 86   | 0    |
| 果実類     | 12      | 18            | 82   | 0    |
| 綿花類     | 26      | 29            | 71   | 0    |
| 飼料類     | 51      | 24            | 73   | 3    |
| 牧草類     | 34      | 20            | 71   | 9    |
| 芝生と造園   | 47      | 9             | 70   | 21   |

しかしながら、一次処理のみを行なった処理水がいずれの範疇に属する作物の灌漑のためにも用いられてきていることは驚くべきことである。一次処理水を主として再利用しているものには、とうもろこし、綿花および畜牛用牧草がある。このうち、とうもろこしは畜牛飼料として用いられているものである。一次処理水を再利用している例は付録Aの野外調査報告にその詳細を示したカリフォルニア州ペーカーフィールド(CA-4)に見ることができる。野菜および果実の作付に一次処理水を灌漑用水として使用しているものとして、ぶどう園とオリーブ園がある。

15ヶ所では三次処理水を灌漑用水として使用している。このような三次処理水を灌漑用水を用いたユニークな例としてコロラド州フォートカーソンがあり、ここではネプチューン・マイクロフロック社の汚過池が用いられている(詳細な事項については付録A参照のこと)。しかしながら、多くの場合、リクリエーション用(CA-65)または工業用に使用されているような高度な処理水質が要求される直接再利用は、灌漑用としては補助的に使用されるにとどまっている。

表-13に分類された作物は、農業用に再利用されている水質面からみて、再度、表-14にまとめて表にしたものである。表-14は、最も一



図-3 ネバダ州ラスベガスにおける  
作物用およびゴルフコース用  
に分離される下水処理水

表-1.4 作物類の灌漑に使用されている処理水の水質

| 作物の種類   | 処理施設<br>の数* | BOD (mg/l) |       |     | SS (mg/l) |     |    | TDS (mg/l) |       |     | Na (mg/l) |     |     | Cl (mg/l) |     |     | pH  |     |     |
|---------|-------------|------------|-------|-----|-----------|-----|----|------------|-------|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         |             | 低          | 高     | 平均  | 低         | 高   | 平均 | 低          | 高     | 平均  | 低         | 高   | 平均  | 低         | 高   | 平均  | 低   | 高   | 平均  |
| 穀物類     | 17          | 10         | 1,100 | 180 | 10        | 173 | 71 | 324        | 1,400 | 837 | 87        | 300 | 204 | 10        | 300 | 130 | 6.8 | 9.9 | 7.7 |
| とうもろこし類 | 11          | 10         | 370   | 76  | 10        | 135 | 69 | 8          | 1,114 | 601 | 56        | 220 | 137 | 49        | 200 | 105 | 6.8 | 8.7 | 7.6 |
| 野菜類     | 6           | 6          | 1,100 | 193 | 6         | 127 | 31 | 5          | 1,114 | 700 | 0         | 351 | 163 | 160       | 283 | 212 | 6.5 | 9.9 | 7.5 |
| 果実類     | 12          | 10         | 160   | 32  | 9         | 135 | 58 | 14         | 1,400 | 798 | 100       | 300 | 176 | 115       | 300 | 176 | 7.0 | 8.4 | 7.6 |
| 綿花類     | 26          | 15         | 370   | 84  | 12        | 259 | 94 | 324        | 2,250 | 854 | 87        | 450 | 211 | 0         | 460 | 163 | 6.7 | 8.7 | 7.4 |
| 飼料類     | 51          | 1          | 370   | 54  | 0         | 259 | 66 | 8          | 1,450 | 641 | 2         | 300 | 167 | 0         | 380 | 154 | 6.7 | 8.7 | 7.2 |
| 牧草類     | 34          | 7          | 370   | 50  | 2         | 118 | 40 | 6          | 2,250 | 839 | 10        | 450 | 193 | 2         | 460 | 149 | 6.5 | 9.2 | 7.6 |
| 芝生と造園   | 47          | 1          | 80    | 19  | 0         | 200 | 26 | 43         | 2,000 | 658 | 5         | 400 | 140 | 0         | 400 | 109 | 6.7 | 9.5 | 7.4 |

(註)

\* いくつかの処理施設では1種以上の作物に灌漑を行なっている。

般的な期間の水質について表わしたものであり、処理のレベルによるパラメータは平均化されている。そのうえ、一範疇（たとえば野菜）に属する各種の作物の異なる耐性は、いくつかの処理施設での平均値によってその処理水の適否を判断するのを妨げている。処理の適否は予想される作物の種類との関連を基礎として、個々の処理施設ごとに解析すべきであると提案することができよう。

処理水の現在の利用者の多くは、その供給されている水が、淡水源の基準以下であると考えている。都市下水はすべての作物に要求される肥料の要素を実質的価値として所有している。表-15はWilliamsら<sup>10</sup>によってまとめられた数人の研究者による研究結果を寄せ集めたものである。

表-15 都市下水の2次処理水に含まれる栄養塩類の含有量<sup>10</sup>

| 研究者名                 | 窒素                                          | リン                                           | カリウム                                         |
|----------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Hershkovitz          | 5.5-6.6 (lbs/cap./yr)<br>[25-30kg/人・年]      | 1.7-2.2 (lbs/cap./yr)<br>[0.8-1.0kg/人・年]     | 2.9-3.5 (lbs/cap./yr)<br>[1.3-1.6kg/人・年]     |
| Fair, Geyer and Okun | 6-7 (lbs/cap./yr)<br>[2.7-3.1kg/人・年]        | 1.2 (lbs/cap./yr)<br>[0.5kg/人・年]             | 2 (lbs/cap./yr)<br>[0.9kg/人・年]               |
| Day and Tucker       | 65 (lbs/acre-ft)<br>[239kg/m <sup>3</sup> ] | 50 (lbs/acre-ft)<br>[18.4kg/m <sup>3</sup> ] | 32 (lbs/acre-ft)<br>[11.8kg/m <sup>3</sup> ] |

これらの権威者の見積りでは処理された都市下水の1エーカー・フィート(1,234m<sup>3</sup>)には市販の肥料価値に換算して約17-1.8ドル以上が含まれている。そのうえ、いくつかの研究によれば、ほとんど大部分の作物の肥料成分要求量は都市下水のみによって補うことができると楽観的な指摘がなされている<sup>10</sup>。

将来の処理方法として作物による灌漑法を行なうこととすると、表-15に示した栄養塩類が抽出されることになり、表流水および地下水源の保護に役立つこととなる。表-16は種々の作物灌漑による栄養塩類除去の効果を示したものである。

表-16 種々のレベルの処理水を灌漑用水として用いて収穫した作物によって除去された栄養塩類の量<sup>5</sup> (1963年の実験)

| 栄養塩名 | 赤クローバー<br>(インチ(25.4cm)当り) |                  | むらさきまごやし<br>(インチ(25.4cm)当り) |                  | とうもろこし*<br>(インチ(25.4cm)当り) |                | 小 麦*<br>(インチ(25.4cm)当り) |                |
|------|---------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
|      | 1                         | 2                | 1                           | 2                | 1                          | 2              | 1                       | 2              |
|      | 単位:ポンド                    |                  |                             |                  |                            |                |                         |                |
| N    | 216.8<br>(97.6)           | 210.7<br>(94.8)  | 143.2<br>(64.4)             | 191.7<br>(86.3)  | 88.3<br>(39.7)             | 90.2<br>(40.6) | 63.8<br>(28.7)          | 82.7<br>(37.2) |
| P    | 26.0<br>(11.7)            | 24.4<br>(11.0)   | 23.0<br>(10.4)              | 32.0<br>(14.4)   | 19.9<br>(9.0)              | 23.7<br>(10.7) | 16.1<br>(7.3)           | 20.4<br>(9.2)  |
| K    | 264.1<br>(118.9)          | 243.5<br>(109.6) | 167.9<br>(75.7)             | 234.0<br>(105.3) | 16.8<br>(7.6)              | 24.8<br>(11.2) | 11.7<br>(5.3)           | 11.9<br>(5.4)  |
| Ca   | 127.0<br>(57.2)           | 119.2<br>(53.6)  | 50.0<br>(22.5)              | 45.3<br>(20.4)   | 0.26<br>(0.12)             | 0.27<br>(0.12) | 1.3<br>(0.6)            | 1.8<br>(0.8)   |
| Mg   | 22.3<br>(10.0)            | 21.7<br>(9.8)    | 11.4<br>(5.1)               | 14.5<br>(6.5)    | 5.6<br>(2.5)               | 6.9<br>(3.1)   | 4.0<br>(1.8)            | 5.3<br>(2.4)   |

(註) \* 穀粒のみ ( )内はkgを示す。

灌漑のために処理水を供給している都市下水処理施設は、一般的にのみで処理水質を監視するための設備を弄しうような測定機器を設置していない。田舎の下水処理施設では資金的にみて、州の公衆衛生局や関係機関による定期的な水質試験をあてにしていかなければならない。

調査が行なわれた処理施設の60%は灌漑による再利用のために数多くの水質基準を設けていることが報告されてきているのは興味深い(付録BのカラムF7)。運転されている2/3の処理施設は水質基準の要求を満たしてはなくて灌漑用水としての使用がなされてきているのは不合理である。推測するに、多くの回答者は公衆衛生上の要求量を満たすのではなく、灌漑用水利用者の拒否の如何をその回答の基礎としている。回答者の1/2は、その時点において処理水は100%灌漑用水利用者に受け入れられていると述べている。

1/2を僅かに越える灌漑用水供給者は、その処理水を処分すべき他の手段を持ち合わせていない。しかし、44%の灌漑用水供給者は、その供給灌漑用水は処理水の全量ではないと述べている。

その処理水の全量を再利用する能力がない要素としては、次のことが含まれている。

- ・灌漑のため必要とする処理水の有効利用をはかるための貯水池の容量が不足していること。
- ・処理施設と潜在的利用可能者との間の距離が遠くて不経済なこと。
- ・不十分な土地の有効利用
- ・処理水供給者と潜在的利用者のこの問題に対する興味の欠如

季節的条件が処理水の利用を制約している

ことは驚くべきことではない。このようなケースにおいてとられている一般的な手段は、作物の生育していない期間には処理水を河川に放流することである。逆に、灌漑用水を必要としている季節にはその要求量を十分に満たすことができない状態にある。

これらの変動を救済するために、多くの処理施設では図-4に示すような貯水施設を所有している。

潜在的利用可能用地に処理水を輸送する距離は重要な経済的な要素である。1、2を除いて、輸送施設は工学的要素を取り入れたパイプラインか、水路に限定される。既存の河床を用いて処理水を放流し、それを下流の灌漑用水利用者が引水して使用している例はない。図-5には、現在の灌漑用再利用者によって報告されている再利用水の輸送距離の範囲を示してある。この図では、全灌漑用再利用者の20%は処理施設のごく近傍にて使用しており、6%未満の利用者は4マイル

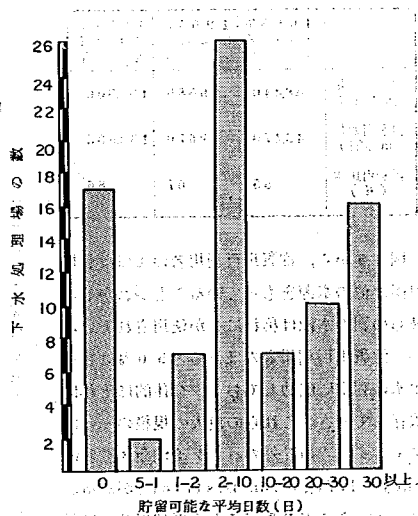


図-4 灌漑用に下水処理水を供給している施設の貯水容量

(6.4 km)以上離れた場所で使用している。これらのデータでは、灌漑用再利用者の多くは処理施設から2マイル(3.2 km)未満の場所で使用している。

イスラエルで得られたデータ(12)によれば、地方にある約40の処理施設は都市下水の処理水を灌漑用水として使用しており、34の処理施設の処理水は地下水の涵養に使用している。表-17には、1963年ないし1971年におけるイスラエルの都市下水の再利用の増加状況を示した。おおまかにみて、地方の下水処理水は1971年には86%までが再利用されている(62%は灌漑用、24%は地下水涵養用)。

表-17 イスラエルにおける都市下水の再利用水量の推移

|                      | 1963年<br>における<br>総量 | 1967年<br>における<br>総量 | 1971年<br>における<br>総量 |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 処理水量<br>( $m^3$ /日)  | 88,440              | 119,080             | 155,300             |
| 再利用水量<br>( $m^3$ /日) | 48,470              | 79,670              | 133,535             |
| 再利用比率<br>(%)         | 55                  | 67                  | 86                  |

図-6から、灌漑用再利用者の1/2は利用可能な他の水源をもっていることがわかる。彼らの別の水源は稀れにしか使用されていない。灌漑用再利用者のほとんど50%は再利用水の利用に成功しており、全体的にそれに依存している。これらの最大の規模の一つにフェニックス市近郊のバックイ灌漑区(Buckeye Irrigation District)がある。フェニックス市の灌漑による再利用計画は付録Aに記載してある。

イスラエルにおける主たる下水処理の方式は嫌気性および好気性ラグーンである。少数のものは、この基本的なシステムにインホフ

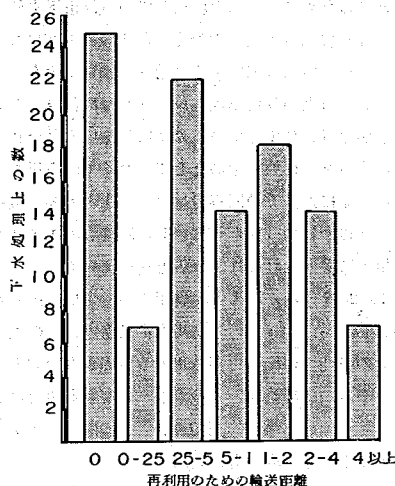


図-5 灌漑用に利用している下水処理水の処理場からの輸送距離

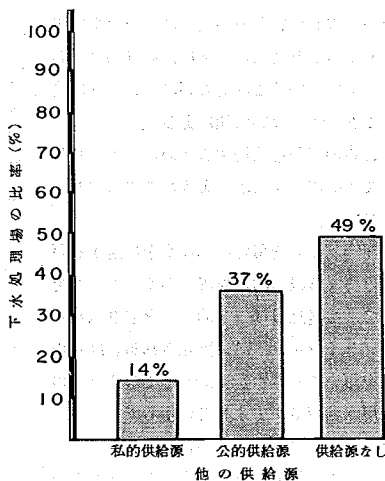


図-6 灌漑用に再利用している下水処理水に置換えうる他の供給源の可能性

タンク、沈殿池、散水汙床を加えることによって、浄化効率を増加させている。

表-18はイスラエルにおける作物による都市下水再利用の状況をまとめたものである。これよりわかる通り、耕作用作物では再利用水が主として用いられている。また、かなり高い比率（21%）で、再利用水が柑橘類果実樹の灌漑用にも使用されている。

表-18 イスラエルにおける作物による  
都市下水の再利用状況

| 作物の種類         | 灌漑面積    |       | 再利用水の水量           |       |
|---------------|---------|-------|-------------------|-------|
|               | ha      | %     | m <sup>3</sup> /日 | %     |
| 耕作用作物         | 1,533.0 | 61.5  | 45,680            | 47.7  |
| 果実園およびビニールハウス | 140.0   | 5.6   | 4,900             | 5.2   |
| 柑橘類樹木         | 431.5   | 17.2  | 19,500            | 20.6  |
| 他の作物          | 152.0   | 6.1   | 5,150             | 5.5   |
| 牧草類           | 133.0   | 5.3   | 10,075            | 10.0  |
| 飼料用作物         | 107.0   | 4.3   | 9,130             | 9.7   |
| 魚池            | —       | —     | 1,250             | 1.3   |
| 総計            | 2,492.5 | 100.0 | 95,685            | 100.0 |

#### 4. 灌漑用水としての再利用の経済性の現状分析

数多くの処理施設からのデータが使用されている一報告書では、各種の再利用には無意味に広範囲の結論を導きだすため、データ過剰利用の危険性が認められている。これは、とくにこの研究の完全な範囲外にある多くの要素が主題となっている下水処理と再利用の経済性の精度についてである。その読者はこの報告書の中に発表されている条件が表面的にのみ類似している別の地区での経済性に関するデータを使用する以前に、詳細な内部検討を行なうことが必要になっている。

表-19は1971年のアメリカ国内における灌漑用に処理水を再利用している都市下水の処理施設の処理費について表わしたものである。処理下水の1MGD（3,785m<sup>3</sup>）当りのコストは、建設費の償却を含む場合および含まない場合の双方について記載している。建設費の償却を除外したコストとは労賃、材料費、電力費、支給品費およびその他の年間の処理に使用した経費を年間の処理水量（100万ガロン）で割ったものである。償却費を含むコストは付録Eに示したように、5.5%の利子、25年間の耐用年数で計算したものであり、最初の建設費は1972年1月の価格に換算してある。

表-19 灌漑による再利用の場合の処理のコスト

| 処理場の<br>コード番号 | 建設費償却を含む<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) | 建設費償却を含まな<br>い処理コスト<br>(1MG当りドル) | 処理場の<br>コード番号 | 建設費償却を含む<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) | 建設費償却を含まな<br>い処理コスト<br>(1MG当りドル) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|
| AZ-2          | -                              | -                                | CA-32         | 503[ 39,868]                   | 259[ 20,528]                     |
| AZ-3          | 145[ 11,492]                   | 54[ 4,280]                       | CA-33         | -                              | 92[ 7,292]                       |
| AZ-4          | 57[ 4,518]                     | 22[ 1,744]                       | CA-34         | 330[ 26,156]                   | 123[ 9,749]                      |
| AZ-5          | -                              | -                                | CA-35         | 441[ 35,954]                   | 208[ 16,486]                     |
| AZ-6          | 2,580[ 204,449]                | 604[ 47,873]                     | CA-36         | 1,411[ 111,836]                | 176[ 13,950]                     |
| AZ-7          | -                              | -                                | CA-37         | 292[ 23,144]                   | 93[ 7,371]                       |
| AZ-8          | 244[ 19,339]                   | 76[ 6,023]                       | CA-38         | 884[ 70,066]                   | 545[ 43,197]                     |
| AZ-9          | 117[ 9,273]                    | 60[ 4,756]                       | CA-39         | 130[ 10,304]                   | 44[ 3,487]                       |
| AZ-11         | -                              | -                                | CA-40         | 298[ 23,619]                   | 83[ 6,579]                       |
| AZ-12         | 72[ 5,707]                     | 32[ 2,536]                       | CA-41         | 141[ 11,176]                   | 50[ 3,963]                       |
| AZ-13         | -                              | 4[ 317]                          | CA-44         | 251[ 19,894]                   | 104[ 8,243]                      |
| AZ-14         | 34[ 2,695]                     | 18[ 1,427]                       | CA-45         | 251[ 19,894]                   | 104[ 8,243]                      |
| AZ-15         | 698[ 55,323]                   | 215[ 17,041]                     | CA-46         | 472[ 37,411]                   | 77[ 6,103]                       |
| AZ-16         | -                              | -                                | CA-47         | 36[ 2,853]                     | 14[ 1,110]                       |
| AZ-17         | -                              | 62[ 4,914]                       | CA-48         | 253[ 20,053]                   | 127[ 10,066]                     |
| CA-1          | -                              | 151[ 11,968]                     | CA-49         | 359[ 28,454]                   | 23[ 1,823]                       |
| CA-2          | 485[ 38,441]                   | 254[ 20,132]                     | CA-50         | 523[ 41,453]                   | 353[ 27,979]                     |
| CA-3          | -                              | -                                | CA-51         | -                              | 3,209[ 254,345]                  |
| CA-4          | 113[ 8,956]                    | 58[ 4,597]                       | CA-52         | -                              | -                                |
| CA-5          | 92[ 7,292]                     | 38[ 3,012]                       | CA-53         | 476[ 37,728]                   | 229[ 18,150]                     |
| CA-6          | 144[ 11,413]                   | 80[ 6,341]                       | CA-54         | 1,416[ 112,232]                | 472[ 37,411]                     |
| CA-7          | 245[ 20,132]                   | 185[ 14,663]                     | CA-55         | 355[ 28,137]                   | 100[ 7,926]                      |
| CA-9          | 348[ 27,582]                   | 244[ 19,339]                     | CA-56         | -                              | -                                |
| CA-11         | 519[ 41,136]                   | 322[ 25,522]                     | CA-57         | 394[ 31,228]                   | -                                |
| CA-12         | -                              | 272[ 21,559]                     | CA-59         | 483[ 38,283]                   | 348[ 27,582]                     |
| CA-13         | -                              | 144[ 11,413]                     | CA-60         | 311[ 24,650]                   | 207[ 16,407]                     |
| CA-14         | -                              | -                                | CA-61         | 405[ 32,100]                   | 290[ 22,985]                     |
| CA-15         | -                              | 56[ 4,439]                       | CA-62         | 1,399[ 110,885]                | 448[ 35,508]                     |
| CA-16         | 143[ 11,334]                   | 143[ 11,334]                     | CA-63         | 520[ 41,215]                   | 268[ 21,242]                     |
| CA-17         | 902[ 71,493]                   | 49[ 3,884]                       | CA-64         | 253[ 20,053]                   | 93[ 7,371]                       |
| CA-18         | 171[ 13,553]                   | 30[ 2,378]                       | CA-65         | 1,747[ 138,467]                | 1,086[ 86,076]                   |
| CA-19         | 88[ 6,975]                     | 41[ 3,250]                       | CA-66         | 223[ 17,575]                   | 41[ 3,250]                       |
| CA-20         | 61[ 4,835]                     | 26[ 2,061]                       | CA-67         | 1,258[ 99,709]                 | 794[ 62,932]                     |
| CA-21         | 57[ 4,518]                     | 18[ 1,427]                       | CA-68         | -                              | 142[ 11,255]                     |
| CA-22         | 289[ 22,906]                   | 166[ 13,157]                     | CA-69         | 174[ 13,791]                   | 30[ 2,378]                       |
| CA-23         | 79[ 6,262]                     | 42[ 3,329]                       | CA-70         | 2,703[ 214,240]                | 1,005[ 79,656]                   |
| CA-24         | 79[ 6,262]                     | 42[ 3,329]                       | CA-71         | 47[ 3,725]                     | 22[ 1,744]                       |
| CA-25         | 936[ 74,187]                   | 395[ 31,307]                     | CA-72         | 580[ 45,971]                   | 112[ 8,877]                      |
| CA-26         | 276[ 21,876]                   | 128[ 10,145]                     | CA-73         | 6,363[ 504,331]                | 1,411[ 111,836]                  |
| CA-27         | -                              | 12[ 951]                         | CA-74         | 6,566[ 520,421]                | 5,606[ 444,332]                  |
| CA-28         | 206[ 16,328]                   | 123[ 9,749]                      | CA-75         | 1,231[ 97,569]                 | 476[ 37,728]                     |
| CA-29         | 498[ 32,338]                   | 127[ 10,066]                     | CA-76         | -                              | -                                |
| CA-30         | 285[ 22,589]                   | 190[ 15,059]                     | CA-77         | -                              | 25[ 1,981]                       |
| CA-31         | 262[ 20,766]                   | 123[ 9,749]                      | CA-78         | -                              | 36[ 2,853]                       |

表-19 続き

| 処理場の<br>コード番号 | 建設費償却を含む<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) | 建設費償却を含まない<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) | 処理場の<br>コード番号 | 建設費償却を含む<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) | 建設費償却を含まない<br>処理コスト<br>(1MG当りドル) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|
| CO-1          | 322[ 25,522]                   | 152[ 12,048]                     | NM-5          | -                              | -                                |
| CO-2          | 28[ 2,219]                     | 15[ 1,189]                       | NM-6          | -                              | -                                |
| CO-3          | 498[ 39,471]                   | 125[ 9,908]                      | NM-7          | 506[ 40,106]                   | 95[ 7,530]                       |
| CO-5          | -                              | -                                | NM-8          | 190[ 15,059]                   | 68[ 5,390]                       |
| CO-6          | 363[ 28,771]                   | 137[ 10,859]                     | NM-9          | 429[ 34,003]                   | 119[ 9,432]                      |
| FL-1          | 522[ 41,374]                   | 161[ 12,761]                     | NM-10         | -                              | -                                |
| FL-2          | 174[ 13,791]                   | 163[ 12,919]                     | ND-1          | 115[ 9,115]                    | 18[ 1,427]                       |
| ID-1          | 310[ 24,571]                   | 193[ 15,297]                     | OK-1          | 2806[222,404]                  | 415[ 32,893]                     |
| MI-1          | -                              | -                                | OR-1          | 1,273[100,898]                 | 823[ 65,231]                     |
| MO-1          | -                              | -                                | TX-1          | -                              | -                                |
| MO-2          | 1,381[109,458]                 | 429[ 34,003]                     | TX-2          | 219[ 17,358]                   | 73[ 5,786]                       |
| NE-1          | 128[ 10,145]                   | 29[ 2,299]                       | TX-5          | 144[ 11,434]                   | 42[ 3,329]                       |
| NV-1          | 29[ 2,299]                     | 4[ 317]                          | TX-6          | 114[ 9,036]                    | 54[ 4,280]                       |
| NV-2          | 66[ 5,231]                     | 44[ 3,487]                       | TX-7          | -                              | -                                |
| NV-3          | 288[ 22,827]                   | 193[ 15,297]                     | TX-8          | 134[ 10,621]                   | 80[ 6,341]                       |
| NV-4          | 352[ 27,900]                   | 193[ 15,297]                     | TX-10         | 495[ 39,234]                   | 338[ 26,790]                     |
| NM-1          | 47[ 3,725]                     | -                                | TX-11         | 82[ 6,499]                     | 22[ 1,744]                       |
| NM-2          | -                              | -                                | TX-12         | -                              | -                                |
| NM-3          | -                              | -                                | UT-1          | 720[ 5,707]                    | 83[ 6,579]                       |
| NM-4          | -                              | -                                | WA-1          | 93[ 7,371]                     | 39[ 3,091]                       |
|               |                                |                                  | WA-2          | 109[ 8,639]                    | 59[ 4,676]                       |

(註)

計算方法については付録Eを参照のこと。

表中の[ ]内は1,000m<sup>3</sup>当り円(1ドル300円で換算)を示す。

図-8および図-9は、表-19の情報を基に日間平均処理水量の関数として最適化曲線を示したものである。図-8および図-9の曲線は一次処理から三次処理に至るすべての処理施設についての平均値について表わしている。

図-7は灌漑による再利用について現在のコストとそれによる歳入との間の相違について示している。現在のコストは灌漑用のすべての下水処理水供給者についての総和である。僅かに2.5%の供給者がその下水処理水を販売しているに過ぎない。数多くの都市では、下水処理水の処分法として灌漑用に送水しており、さもなくば、水域に放流してしまう処理水に対して料金の支払いを要求する傾向は認められない。いくつかのケースにおいては(例えば、CA-4)、それらの都市では下水を灌漑用に再利用することで下水の一次処理のみを行なうことが許可されている。もしそれらの都市の下水が水域に放流されているならば、処理水の水質は二次処理によるより高度な水質が要

求されることとなった。図-7に示したコストと歳入との間の相違は、明らかにその中に示されている全部の都市がその処理水を灌漑用として供給することによって十分な収益を要求するつもりがないことを暗示している。しかしながら、多くの場合、その歳入は都市が他の方法で下水を処分することによって得られるものよりも多い。

表-20は現在、処理水の供給に対して料金制をとっている25の供給者の料金の範囲

表-20 灌漑による再利用の場合の処理水の使用料金の範囲

| 処理水の使用料金の範囲<br>(1MG当りドル) | 供給者の数 |
|--------------------------|-------|
| 1-150[79-11,889]         | 17    |
| 151-300[11,968-23,778]   | 5     |
| 301-900[23,857-71,334]   | 0     |
| 901-1,000[71,413-79,260] | 3     |

(註)

表中[ ]内は1,000m<sup>3</sup>当り円(1ドル300円で換算)を示す。

を示したものである。これらの料金の大部分は1MG(3,785m<sup>3</sup>)当り150ドル(m<sup>3</sup>当り11.89円)よりも少い。表-20では供給されている処理水の処理レベル間の区別はない。このように、使用料金が正当であるかどうかを決定するためには、個々の根拠に基づき施設の調査を行なうべきである。

図-10では処理のレベルが灌漑用水供給の使用料金に影響していることを示している。期待されたように、この結果はより良い処理を行なうことにより処理水の料金はより高く許可されている。

三次処理水の高い平均料金は主としてアリゾナ州のグランド・キャニオンの処理施設についてのものであり、ここの料金は1MG当り1,000ドル(m<sup>3</sup>当り79.26円)である。加重平均によって求めた場合、図-10に示した三次処理水の料金は、グランド・キャニオンの処理水量が僅かに0.03MGD(113.6m<sup>3</sup>/日)であるがために1MG当り337ドルから76ドル(m<sup>3</sup>当り26.71円から6.02円)に減少する。

数ヶ所の供給者は間接料金制か、均一料金制のいずれかを採用している。一般的な間接料金制(例えば、GA-2, GA-3, GA-18)は、彼らの農業収入の比率と引替にすべての水と土地を耕作者に渡すものである。この比率は20から25%の範囲である。

均一料金制は二つの範囲、すなわち名目料金と代償料金による処理水の料金制である。名目料金

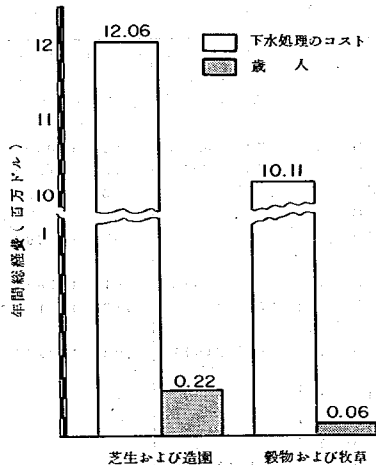


図-7 灌漑用に再利用している下水処理場の処理コストと灌漑用に供給することによる歳入

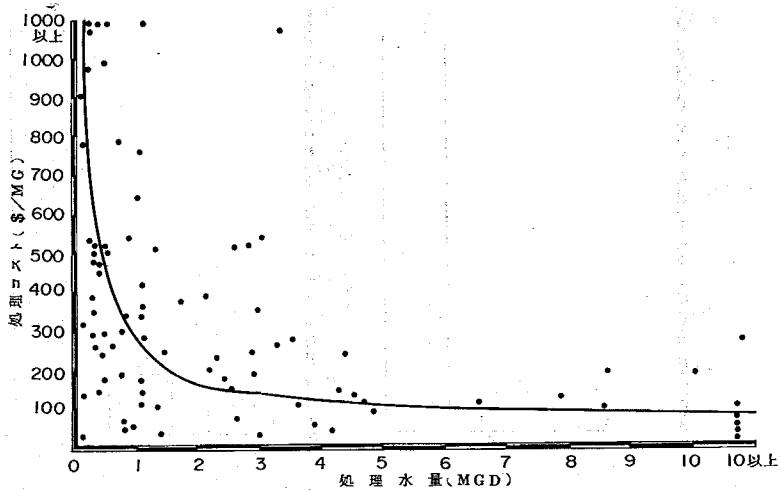


図-8 灌漑用に再利用している下水処理場の処理コストと処理水量との関係（建設費の償却を含む）

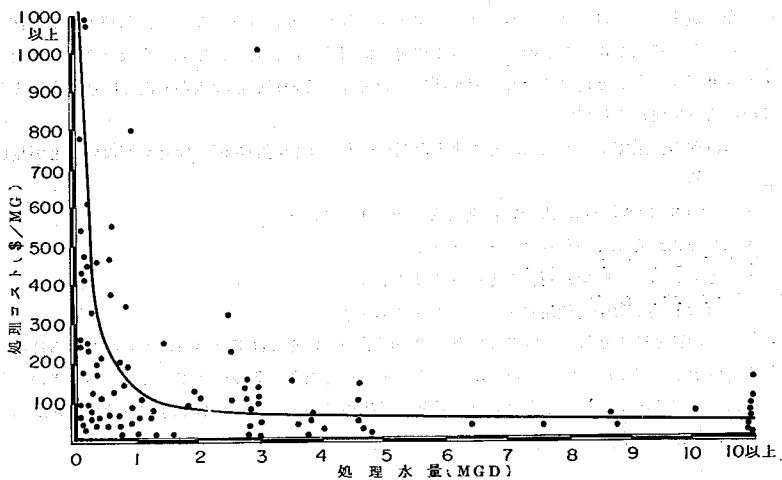


図-9 灌漑用に再利用している下水処理場の処理コストと処理水量との関係（建設費の償却は含まず）

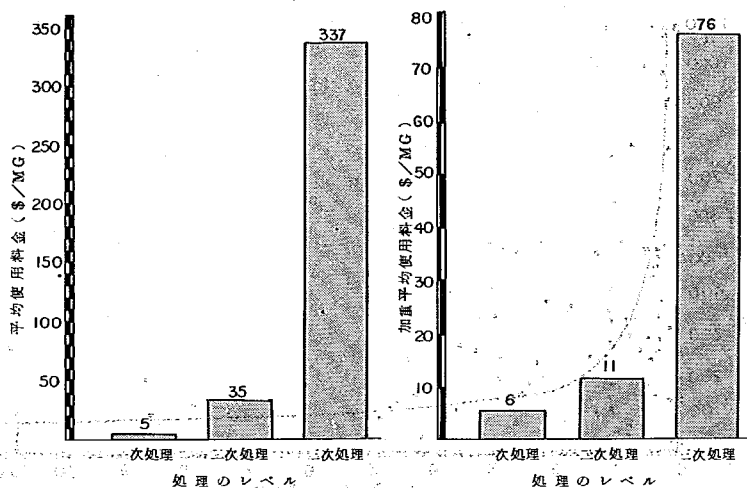


図-10 下水処理水の灌漑用再利用における処理のレベルと使用料金との関係

(例えば, GA-44, GA-45, GA-47)は法的責任を履行し, 水の権利を保護するために賦課するものである。3ヶ所の処理施設では利用者のために年間1ドルの料金を課している。代償料金(例えば, NM-2, NM-3, NM-4, NM-5, NM-9)は, 処理コストを部分的に支払うために立案されたものである。この研究に対する回答者は, 年間料金は200ドルないし1,000ドルであると述べている。数ヶ所においては, その料金は幾人かの潜在的利用者による入札値によって決められている。

この研究の結果では, 下記に示したような関係のうちで経済的相関はほとんどないことが見いだされている。

- ・ TDS濃度対全処理水売却料金収入(図-11に示す)
- ・ 処理水量対平均使用料金(図-12に示す)
- ・ TDS濃度対平均使用料金(図-13に示す)
- ・ BOD濃度対平均使用料金(図-14に示す)

処理水の料金は主として処理水質以外の他の因子の影響を受けて決められているとみられる。これらの因子としては, その地域の淡水のコストと利用可能性, その地域での古くからの水の権利, それに捨て去るよりはむしろ価値ある商品として認めていくことに対して地方自治体のおかした失敗などが挙げられる。

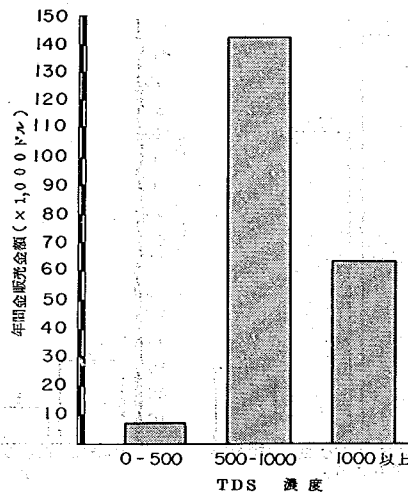


図-11 TDS濃度の関数としての灌漑用に販売した価格

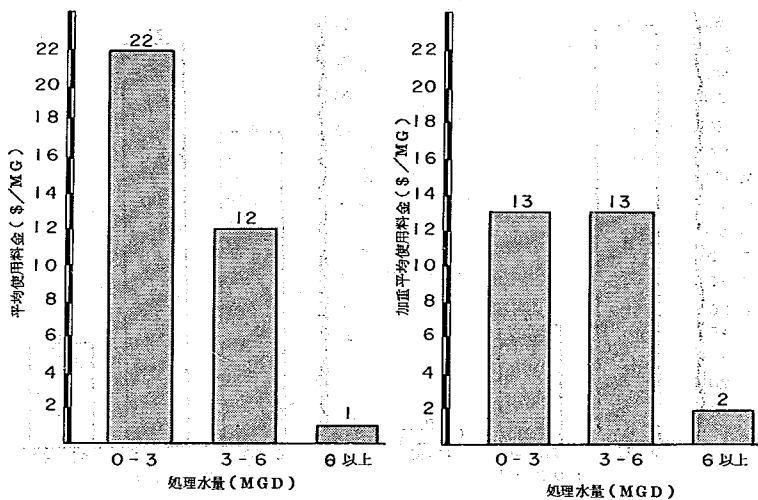


図-12 灌漑用に再利用している場合の下水処理水量の影響

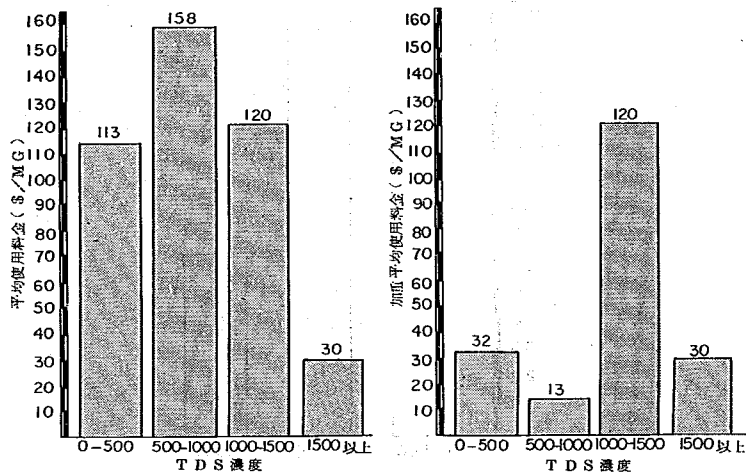


図-13 TDS濃度と灌漑用使用料金との関係

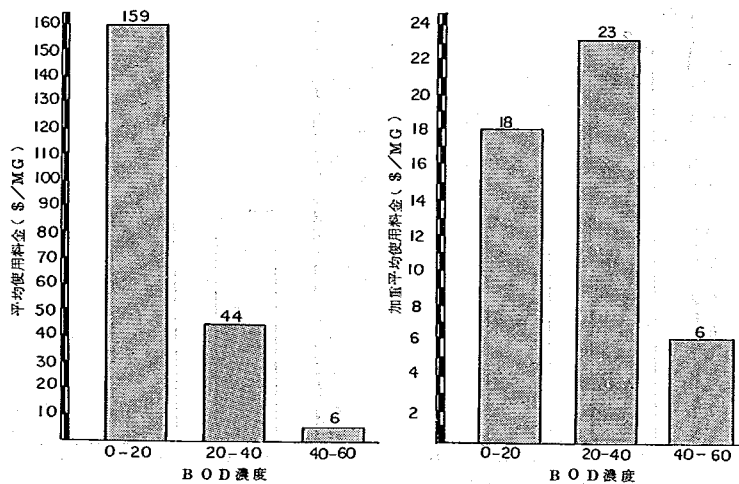


図-14 BOD濃度と灌漑用使用料金との関係

## 第 2 章 の 参 考 文 献

1. Bernstein, Leon, "Quantitative Assessment of Irrigation Water Quality, "Water Quality Criteria, American Society for Testing and Materials, First National Meeting on Water Quality Criteria, Philadelphia (1966).
2. Camp, Thomas R., Water and Its Impurities, Reinhold Book Corporation (1963)
3. Federal Water Pollution Control Agency, Water Quality Criteria, Washington, D.C. (1968)
4. Mckee, J. E., and Wolf, H. W. (ed), Water Quality Criteria, Publication No. 3-A, California State Water Resources Control Board (1971).
5. Parizek, R. R., L. T. Kardos, W. E. Sopper, E. A. Myers, D. E. Davis, M. A. Farrell, and J. B. Nesbitt, Penn. State Studies Wastewater Renovation and Conservation, Pennsylvania State University Studies No. 23, University Park, Pennsylvania (1967).
6. Stone, Ralph and Merrell, John C., Jr. "Significance of Minerals in Wastewater," Sewage and Industrial Wastes, 30, No. 7 (1958).
7. Todd, D. K., Groundwater Hydrology, Wiley & Sons (1959).
8. Todd, D. K. (ed.), The Water Encyclopedia, Water Information Center, Port Washington, N. Y. (1970).
9. Wilcox, Lloyd V., Water Quality from the Standpoint of Irrigation, Journal American Water Works Association, Vol. 50: 650-654 (1958).
10. Williams, Roy E., Eier, Douglas D., and Wallace, Alfred T., Feasibility of Reuse of Treated Wastewater for Irrigation, Fertilization and Groundwater Recharge in Idaho, Idaho Bureau of Mines and Geology, Moscow (1969).
11. Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria, Draft Report, Washington, D.C. (1973).
12. Ministry of Agriculture, Water Commissioners Office, Department for Water in Agriculture and Sewage, Jerusalem, "A Review of the Collection, Treatment, and Reuse of Sewage Water in Israel, 1971", (prepared by E.E.T. Ltd), October 1972
13. Day, A. D., Tucker, T. C., Strohlein, J. L., "Effects of Treatment Plant Effluent on Soil Properties, "JWPCF, 44, 373. (1972).

### 第3章 工業による再利用

#### 1. 序 論

この調査に対する回答では、都市下水処理水を工業用に再利用しているのは、1971年には $535 \times 10^3$ ガロン ( $2025 \times 10^3 \text{ m}^3$ ) であり、アメリカ国内での下水の再利用水の40%を占めていた。工業用に再利用している水量の大部分は一使用者によって使われている。これは、メリーランド州ボルチモア市のベツレヘム製鉄所であり、年間、 $44 \times 10^3$ ガロン ( $166.5 \times 10^3 \text{ m}^3$ ) が利用されている。

図-15は1930年から以後の工業による再利用の伸びを示したものである。この年は調査を行なった処理施設が工業用として処理水を再利用し始めた年である。現在、アメリカ国内の僅かに15ヶ所の工場が都市下水を再利用している。これら15ヶ所の工場の中には、3ヶ所の市営の火力発電所が含まれており、全国内を通して私企業は僅かに12ヶ所である。明らかに、数多くの潜在的再利用の機会が認められぬままに残されている。

この調査の間に、工業用に再利用している下水処理場9ヶ所を訪問し、その運転状況についての詳細な記録を行なった。この工業用ケーススタディは付録Aに含まれている。

この章は下記の3つの節に分けられている。

- ・ 要求されている水質、これは既存の文献とこの調査から誘導した。
- ・ 工業用に再利用されている現状分析、これはこの研究の間に得られたデータから主として誘導した。
- ・ 経済性に関する現状分析、これはこの研究の間に得られたデータから主として誘導した。

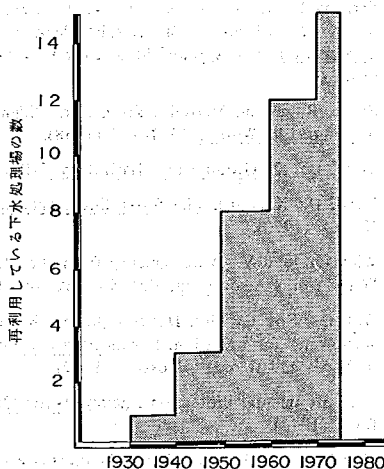


図-15 工業用に利用している下水処理場の個所数増加状況

#### 2. 要求されている水質のクライテリア

##### 2.1 一般

水質要求度は業種によっても、また同一業種でも異なる工場間で、あるいは同一工場内でも異なるプロセス間で大巾に変化する。

そのために、すべての工業分野について水質のクライテリアを示すことは不可能である。この章の末尾の参考文献の1, 2, 3および4では、主たる用水型工業による水質要求度の一般的な情報を要領よく示している。工業用水の大部分は冷却用、ボイラー用、洗浄用、原料の輸送用および生

産工程内の物質の輸送媒体として用いられている。これらの水利用のうちで、冷却用水は都市下水の再利用目的として顕著なものであり、その量は工業による再利用率147MGD (556400m<sup>3</sup>/日)の中で、約145MGD (549,000m<sup>3</sup>/日)を占めている。

## 2.2 冷却用水

冷却用水システムは、「一過型」(例えば、MD-1)と「循環型」(例えば、CA-8, NV-2, N V-3)のいずれかに分類される。

一過型のシステムは、取水された水が唯一回の冷却サイクルで使用した後、排出するものである。取水した水は高度な水質を必要としない。通常、荒目スクリーンと定時間間隔による塩素処理などの最小限度の処理をほどこした海水や汚濁した河川水が用いられている。ベツレヘム製鉄所の冷却用水システムはメリーランド州ボルチモア市の都市下水処理水を用いた一過型システムである。この処理水は比較的水質の良くない二次処理水であるが、ベツレヘム製鉄所では20年間以上にわたって効果的に使用してきた。この使用についての詳細な内容は付録Aに示してある。

循環型のシステムは、同一の冷却用水を数多くのサイクルで循環使用するものであり、各熱交換サイクルの後にクーリングタワーやスプレイポンドを用いて用水を冷却する。不純な成分の蓄積を防ぐために循環水はその一部を連続的に排出する。この排出はブローダウン(Blowdown)と呼ばれており、循環水の水質を表示している。ブローダウンによる損失量を補うために、循環クーリングシステム内に補給水を加える。補給水に含まれる不純物はクーリングサイクルの間に数倍に濃縮される。その中の有機物や栄養塩類は微生物類の餌料として供給されることになる。このため、補給水の水質は高度なものとすることが重要である。高度な水質にまで処理されている下水の処理水は、この章の後半に記載されているように、冷却用補給水として効果的に利用されている。

冷却水としての基本的に要求される事項は次のとおりである。

- 熱交換器の表面にスケールを形成させない。
- クーリングシステム中の金属類に腐蝕を生じさせない。
- スライム形成微生物の生長を増長させる栄養塩類を供給しない。
- 過剰な泡を形成させない。
- クーリングタワーの木質を腐蝕させない。

文献に示されている冷却用水の水質についてのリストをまとめたものが表-21である。この章の後半で述べているように、下水の処理水は提案されたものよりも高いTDSを含んでいるが効果的に使用されている。しかし、下水の処理水の利用を効果的に行なっている利用者は、その中に含まれている有機物と栄養塩類を極めて低い濃度にまで減少させたうえで使用している。

## 2.3 ボイラー用水

ボイラー補給水の水質要求度は、運転中のボイラーの圧力によって定まる。高圧のボイラーほど、良質の水が必要になる。非常に高い圧力で運転するボイラーでは、その補給水は蒸留水か、それよりも良質のものが必要である。表-22にはいくつかの公的機関によって提案されているその水質の恕限度を示してある。この章の以後の節で記載しているように、ボイラーの補給水に下水の処理水を用いている使用者は3ヶ所であり、その総使用量は約1MGD (3800m<sup>3</sup>)である。全使用者はボイラー補給水の硬度を零になるまで減らしている。例えば、200psig (14kg/cm<sup>2</sup>)の低圧ボイラ

表-21 循環型冷却システムの補給水の水質要求度

| パラメータ                            | 参考文献<br>(2) | 参考文献<br>(3) | この研究を基礎としたSCS<br>エンジニアーズ会社のコメント |
|----------------------------------|-------------|-------------|---------------------------------|
| 塩素イオン(mg/l)                      | 500         |             | 460に至るまで効果的に使用                  |
| 全溶解性物質(TDS)(mg/l)                | 500         | -           | 1,650に至るまで効果的に使用                |
| 硬度(CaCO <sub>3</sub> としてmg/l)    | 130         | 50          | -                               |
| アルカリ度(CaCO <sub>3</sub> としてmg/l) | 20          | -           | -                               |
| pH                               | a a r       | 6.9-9.0     | 望ましくは6.8-7.2                    |
| COD(mg/l)                        | 75          | -           | 望ましくは10以下                       |
| 全浮遊物(TSS)(mg/l)                  | 100         | 25          | 望ましくは10以下                       |
| 濁度(mg/l)                         | -           | 50          | 望ましくは10以下                       |
| BOD(mg/l)                        | -           | 25          | 望ましくは5以下                        |
| メチレンブルー-活性物質<br>[MBAS](mg/l)     | -           | 2           | 2が良い                            |
| アンモニア(mg/l)                      | -           | 4           | 望ましくは1以下                        |
| リン酸塩(mg/l)                       | -           | 1           | 1以下が良い                          |
| 硫酸塩(mg/l)                        | 50          | -           | -                               |
| アルミニウム(mg/l)                     | 0.1         | -           | -                               |
| 鉄(mg/l)                          | 0.5         | 0.5         | -                               |
| マンガン(mg/l)                       | 0.5         | -           | -                               |
| カルシウム(mg/l)                      | 50          | -           | -                               |
| マグネシウム(mg/l)                     | a a r       | 0.5         | -                               |
| 重碳酸塩(mg/l)                       | 24          | -           | -                               |
| 硫酸塩(mg/l)                        | 200         | -           | -                               |

(備考) a a r: 供給されたものを受け入れる (accepted as recieved)

一では、TDS濃度は1,000mg/l程度の処理水を使用していることが報告されている。

例えば、650-1,500 psig (45.5-105 kg/cm<sup>2</sup>) の高圧ボイラーでは、TDS濃度を2 mg/l以下にした処理水を使用していることも報告されている。

シリカ及びアルミニウムは、熱交換器の表面に硬いスケールを形成させることから望ましいものではない。カリウムおよびナトリウム濃度が高い場合には、ボイラー用水の過剰な発泡の原因になる。

### 3. 工業用水としての再利用の現状分析

表-23に示したように、アメリカ国内では僅かに15ヶ所の工場が1972年に都市下水の処理水を再利用していた。その位置は図-16に示すとおりである。諸外国における工業用に再利用している施設は表-24にそのリストを示してある。いくつかの例外を除いて、諸外国の工業用の再利用者については、そのコストと技術情報は得られていない。表-24は技術文献から主として得られたものである。

アメリカ国内の各工業用の再利用水使用者の詳細な技術情報は表-25にまとめてある。都市下水を用いた主たる工業の分類ならびに各工場が用いている全水量に対する比率は表-26に示す。

表-22 工業用ボイラー供給水の水质の限度

| 水质のパラメータ                      | アメリカボイラー製造協会 (ABMA) <sup>1</sup> |                      |                      |                      |                      |                       |                         | ニューイングランド水道協会 (NEWWA) <sup>2</sup> |                      |                      |                  | 連邦水质汚濁防止局 (FWPCA) <sup>3</sup> |                      |                        |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|
|                               | 圧力の範囲 (psig) ※※                  |                      |                      |                      |                      |                       |                         | 圧力の範囲 (psig)                       |                      |                      |                  | 圧力の範囲 (psig)                   |                      |                        |
|                               | 0-300<br>(0-21.1)                | 301-450<br>(212-316) | 451-600<br>(317-422) | 601-750<br>(423-527) | 751-900<br>(528-633) | 901-1000<br>(633-703) | 1001-1500<br>(704-1055) | 0-150<br>(0-106)                   | 150-250<br>(106-176) | 250-400<br>(176-281) | 400以上<br>(281以上) | 0-150<br>(0-106)               | 150-700<br>(106-492) | 700-1500<br>(492-1055) |
| 全溶解性物質 (TDS) ※                | 3,500                            | 3,000                | 2,500                | 2,000                | 1,500                | 1,250                 | 1,000                   | 3,000-500 ※※                       | 2,500-500            | 1,500-100            | 50               | 700                            | 500                  | 200                    |
| 浮遊物 (SS) ※                    | 300                              | 250                  | 150                  | 100                  | 60                   | 40                    | 20                      | N.S.                               | N.S.                 | N.S.                 | N.S.             | 10                             | 5                    | 0.0                    |
| 硫酸塩 ※                         | N.S. <sup>+</sup>                | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 40                                 | 20                   | 5                    | 0.0              | 30                             | 10                   | 0.7                    |
| 硬 度 (CaCO <sub>3</sub> として) ※ | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 80                                 | 40                   | 10                   | 2                | 20                             | 0.0                  | 0.0                    |
| アルカリ度 ※                       | 700                              | 600                  | 500                  | 400                  | 300                  | 250                   | 200                     | N.S.                               | N.S.                 |                      |                  | 140                            | 100                  | 40                     |
| pH                            | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 8.0                                | 8.4                  | 9.0                  | 9.6              | 8.0-10.0                       | 8.0-10.0             | 8.2-9.0                |
| 溶存酸素 ※                        | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 1.5                                | 0.10                 | 0.0                  | 0.0              | 2.5                            | 0.007                | 0.007                  |
| 鉄 ※                           | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | N.S.                               | N.S.                 | N.S.                 | N.S.             | 1.0                            | 0.30                 | 0.05                   |
| マンガン ※                        | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | N.S.                               | N.S.                 | N.S.                 | N.S.             | 0.3                            | 0.10                 | 0.01                   |
| アルミニウム ※                      | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 5                                  | 0.5                  | 0.05                 | 0.01             | 5                              | 0.10                 | 0.01                   |
| 重炭酸塩 ※                        | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | 50                                 | 5                    | 5                    | 0.0              | 170                            | 120                  | 0.01                   |
| 塩化物 ※                         | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | N.S.                               | N.S.                 | N.S.                 | N.S.             | NP*                            | NP*                  | NP                     |
| 硫酸塩 ※                         | N.S.                             | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                 | N.S.                  | N.S.                    | N.S.                               | N.S.                 | N.S.                 | N.S.             | NP                             | NP                   | NP                     |

(備考)

※ 出典 1. 参考文献 (2)

※※※ ボイラーの設計によって変化する。

2. 参考文献 (3)

+ N.S. : 特定されていない

3. 参考文献 (4)

\* NP : 通常のレベルでは問題がない

※ 単位は mg/l

※※ [ ] 内は kg/cm<sup>2</sup> を示す。

表-23 アメリカ国内の工業用再利用施設の目録

| 位 置            | 供 給 者       | 使 用 者           | 目 的        |
|----------------|-------------|-----------------|------------|
| アリゾナ州バグダード     | バグダード銅会社    | 同 じ             | プロセス用      |
| アリゾナ州モレンシー     | フィリプス・ダージ会社 | 同 じ             | 〃          |
| カリフォルニア州バアバンク  | バアバンク市      | 市火力発電所          | 冷却用        |
| コロラド州コロラドスプリング | コロラド・スプリング市 | 市電気部マルティンダーク発電所 | 〃          |
| メリーランド州ボルチモア   | ボルチモア市      | ベツレヘム製鉄会社       | 冷却およびプロセス用 |
| ミシガン州ミッドランド    | ミッドランド市     | ダウ化学会社          | 冷却用        |
| ネバダ州ラスベガス      | ラスベガス市      | ネバダ電力会社         | 〃          |
| 同 上            | クラーク郡衛生組合   | 同 上             | 〃          |
| オクラホマ州エニッド     | エニッド市       | ジャンプリン製油所       | 〃          |
| テキサス州アマリロ      | アマリロ市       | 南西部公共サービス会社     | 〃          |
|                |             | テキサコ株式会社        |            |
| テキサス州ビッグスプリング  | ビッグスプリング市   | コスデン石油・化学会社     | ボイラー用      |
| テキサス州デントン      | デントン市       | 市営火力発電所         | 冷却用        |
| テキサス州ルボック      | ルボック市       | 南西部公共サービス会社     | ボイラーおよび冷却用 |
| テキサス州オデッサ      | オデッサ市       | エルバス物産会社        | 〃          |

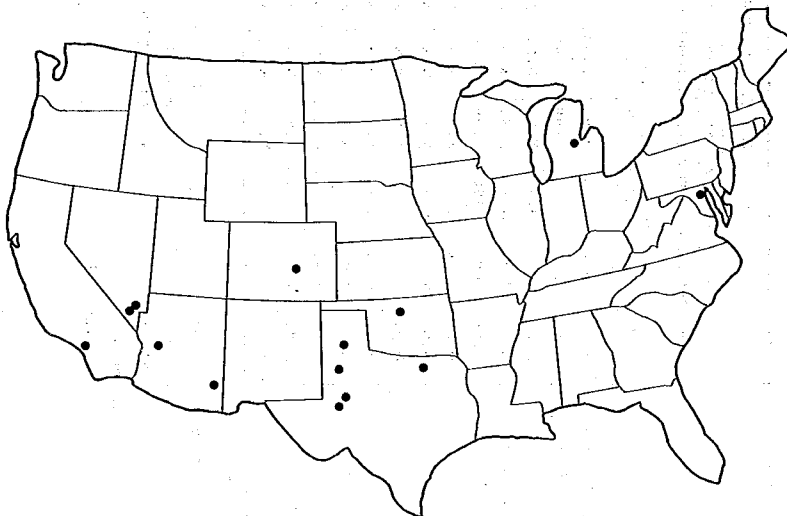


図-16 都市下水の工業用再利用者の地区的分布図

表-24 諸外国の工業用再利用施設の目録

| 位 置            | 供 給 者        | 使 用 者                    | 目 的                  |
|----------------|--------------|--------------------------|----------------------|
| 西オーストラリア、ベルモント | ベルモント市       | 西部鉱山会社                   | プロセス用                |
| 〃 パース          | パース市         | ダンビラー・鉛山会社               | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | ハマスリー製鉄会社                | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | マウント・ニューマン鉱山会社           | 〃                    |
| イングランド、ブリストル   | ブリストル市       | ブリストル会社および<br>インベリアル製錬会社 | 〃                    |
| 〃 ダービー・カウンティ   | ダービー・カウンティ区  | ゴミ焼却炉                    | 冷 却 用                |
| 〃 ダンスタブル       | ダンスタブル区      | セメント工場                   | 〃                    |
| 〃 ノッテingham    | ノッテingham市   | 皮革および臓物処理                | 〃                    |
| 〃 スンメアトン       | スンメアトン区      | 臓物解体者                    | 〃                    |
| 〃 オールハム・カウンティ  | オールハム・カウンティ区 | 火力発電所                    | 〃                    |
| 〃 スカウンスロープ     | スカウンスロープ区    | 製 鉄 所                    | 〃                    |
| 〃 シューフィールド市    | シューフィールド市    | 〃                        | 〃                    |
| 〃 ストークオントレント   | ストークオントレント市  | 〃                        | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | ガス会社                     | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | タイヤ製造会社                  | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | 火力発電所                    | 〃                    |
| イスラエル、ハイファ     | 大ハイファ地区下水道組合 | 製 油 所                    | 〃                    |
| 日 本、川 崎        | 入江崎下水処理場     | 新東洋ガラス会社                 | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | 日本鋼管入江製鉄所                | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | 東亜製油会社                   | 〃                    |
| 〃 名古屋          | タツミ工業用水場     | 住友金属会社                   | 〃                    |
| 〃 大 阪          | 津守下水処理場      | 大和製鋼所                    | 〃                    |
| 〃 東 京          | 三河島下水処理場     | 千住製紙会社                   | 冷却用およびプロ<br>セス用      |
| 〃 〃            | 南千住工業用浄水場    | 180工場                    | 〃                    |
| 〃 〃            | 南砂町工業用浄水場    | 150工場                    | 〃                    |
| メキシコ、メキシコシティ   | メキシコシティ市     | 連邦電力委員会                  | 冷 却 用                |
| 〃 モンテレイ        | モンテレイ市       | セルロソY・デリバトス、S.A.         | 冷却用、ボイラー<br>用及びプロセス用 |
| 〃 〃            | 〃            | アセロス・フランソ、S.A.           | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | パペレラ・マルドナード              | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | アグア工業会社モンテレイ工場           | 〃                    |
| 〃 〃            | 〃            | 連邦電力委員会                  | 〃                    |
| 南アフリカ、ベトリア     | ベトリア市        | ローイワル火力発電所               | 冷 却 用                |

表-25 工業によ

|            |                        | 供 給 者 か ら の                |                         |                                |                         |                                      |                     |                                        |                              |                                   |                              |                                   |     |                                |                  |
|------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----|--------------------------------|------------------|
|            |                        | 流 入 下 水                    |                         |                                |                         | 再利用している処理水の平均的な性質                    |                     |                                        |                              |                                   |                              |                                   |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 → |                        | A5                         | B1a                     | B2b                            | B3                      | C1a                                  | C1c                 | C2a                                    | C2b                          | C2c                               | C2d                          | C2e                               | C2f | C2g                            | C2h              |
| コード<br>番号  | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置 | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平均<br>流入<br>水量<br>(MGD) | 工場<br>排水<br>進<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>た<br>る<br>工場<br>排水 | 平均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最大<br>使用<br>の<br>季節 | B<br>O<br>D<br>S<br>( $\frac{mg}{l}$ ) | S<br>S<br>( $\frac{mg}{l}$ ) | T<br>D<br>S<br>( $\frac{mg}{l}$ ) | N<br>a<br>( $\frac{mg}{l}$ ) | 塩<br>化<br>物<br>( $\frac{mg}{l}$ ) | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| A3-136     | バクダッド, アリゾナ            | 1967                       | 0.2<br>[076]            | 0                              | なし                      | 0.2<br>[076]                         | なし                  | 14                                     | 100                          | 100                               | 18                           | 12                                | 6.8 | —                              | なし               |
| A3-515     | モレンシー, "               | 1957                       | 0.6<br>[227]            | 0                              | なし                      | 0.6<br>[227]                         | なし                  | —                                      | —                            | —                                 | —                            | —                                 | —   | —                              | —                |
| C1-150     | バアバンク, カリフォルニア         | 1957                       | 5.2<br>[197]            | 25                             | 航空機工業                   | 2.0<br>[76]                          | 夏                   | 2                                      | 2                            | 500                               | 88                           | 82                                | 7.2 | 0-20                           | 微量               |
| C2-186     | コロラドスプリングス, コロラド       | 1971                       | 21<br>[794]             | 10                             | メッキ<br>電気工業             | 20<br>[76]                           | 冬                   | 3                                      | 2                            | 650                               | 50                           | 20                                | 6.9 | 225                            | —                |
| M2-130     | ボルチモア, メリーランド          | 1942                       | 170<br>[643]            | 4                              | —                       | 120<br>[454]                         | —                   | 46                                     | 44                           | 450                               | 75                           | 100                               | 7.0 | 5×10 <sup>6</sup>              | 微量               |
| M4-510     | ミッドランド, ミネソタ           | 1963                       | 6<br>[227]              | 10                             | なし                      | 60<br>[227]                          | 夏                   | 25                                     | 25                           | 450                               | —                            | 250                               | 7.6 | 1000                           | なし               |
| N2-471     | ラスベガス, ネバダ             | 1958                       | 27<br>[102]             | 0                              | なし                      | 38<br>[144]                          | 春夏                  | 21                                     | 18                           | 985                               | —                            | —                                 | 7.6 | —                              | —                |
| N2-470     | ラスベガス, "<br>クラーク区衛生組合  | 1962                       | 125<br>[423]            | 0                              | なし                      | 43<br>[163]                          | 春夏                  | 19                                     | 22                           | 1550                              | —                            | 330                               | 7.6 | —                              | —                |
| O2-250     | エニッド, オクラホマ            | 1954                       | 5<br>[189]              | 23                             | —                       | 20<br>[76]                           | —                   | 31                                     | 32                           | 600                               | —                            | —                                 | 7.4 | —                              | —                |
| T2-115     | アマリロ, テキサス             | 1954                       | 10<br>[319]             | 7                              | 肉加工<br>洗濯<br>食品工業       | 45<br>[170]                          | —                   | 10                                     | 15                           | 1400                              | 300                          | 300                               | 7.7 | 0                              | なし               |
| T2-140     | ビッグスプリング, "            | 1943                       | 0.5<br>[189]            | 0                              | なし                      | 0.5<br>[189]                         | —                   | 35                                     | 30                           | 960                               | —                            | —                                 | 7.0 | —                              | —                |
| T2-202     | デントン, "                | 1972                       | 6<br>[227]              | 1                              | 金属工業<br>肉加工             | 15<br>[568]                          | —                   | 30                                     | 33                           | 127                               | —                            | 70                                | 7.2 | 16000                          | Cr<br>Zn         |

る再利用の総括表

| 情報                       |                | 使用者からの情報      |                          |          |            |                          |       |            |           | 都市下水の処理場の設計に関する情報 |                                        |             |               |            | ← 質問状の回答番号                                             |        |
|--------------------------|----------------|---------------|--------------------------|----------|------------|--------------------------|-------|------------|-----------|-------------------|----------------------------------------|-------------|---------------|------------|--------------------------------------------------------|--------|
| 投入(付録のコストデータ)            |                | 処理システムの信頼性    |                          |          | F6         | F7                       | F9    | F10        | F8        | G5                | G6-7                                   | G8b         | G9            | G10        | コメント                                                   | コード番号  |
| D7                       | D8             | E1            | E2                       | E3       | 再利用目的      | 最終利用先の標準                 | 水質の保護 | 付加的処理      | その他の水源    | 設計容量(MGD)         | 処理プロセス                                 | 処理水貯水池(MG)  | 処理水輸送距離(Mile) | 再利用水以外分注の法 |                                                        |        |
| 処理水の単価(\$/MG)            | 一畝九七一年の収入の100% | 基準処理水の比率の率(%) | 水質のモニタリング位置              | 協賛物に対する限 |            |                          |       |            |           |                   |                                        |             |               |            |                                                        |        |
| —                        | —              | —             | —                        | あり       | IND        | —                        | なし    | —          | なし        | 4<br>[151]        | PCL AS                                 | 無限          | 1<br>[16]     | あり         |                                                        | A3-130 |
| —                        | —              | 0             | なし                       | あり       | IND        | なし                       | なし    | なし         | なし        | 15<br>[568]       | PCL TF                                 | なし          | 25<br>[40]    | なし         |                                                        | A3-513 |
| 43<br>[340]              | 31<br>[93]     | 05            | pH                       | あり       | IND        | SS<br>BOD<br>TDS         | あり    | LAB<br>PPC | PS        | 6<br>[227]        | PCL AS                                 | なし          | 1<br>[16]     | あり         | 利用者の処理:<br>ショック塩素処理<br>pH制御, 防蝕剤注入                     | CI-160 |
| 300<br>[237]             | 38<br>[114]    | 2             | TURE<br>pH<br>LAB        | あり       | IRR<br>IND | BOD<br>SS<br>PO4<br>MBAS | あり    | LAB        | PS        | 2<br>[76]         | PCL, TF,<br>CCOAG,<br>PH, CADS,<br>MMF | 3<br>[114]  | 3<br>[48]     | なし         | 利用者の処理:<br>冷石灰処理, 尹過<br>活性炭吸着                          | C2-186 |
| 133<br>[011]             | —              | 0             | —                        | あり       | IND        | —                        | あり    | なし         | PS        | —                 | PCL<br>TF(88%),<br>AS(12%)             | 75<br>[284] | 5<br>[81]     | あり         | 利用者の処理:<br>沈殿, 塩素処理<br>スクリーンニング                        | M2-130 |
| 333<br>[026]             | 0<br>[0]       | —             | なし                       | あり       | IND        | —                        | —     | —          | PS        | —                 | —                                      | —           | —             | —          |                                                        | M4-510 |
| 20<br>[158]              | 425<br>[128]   | 0             | LAB<br>CL2               | なし       | IND        | BOD<br>IRR<br>SS         | あり    | LAB        | PS        | 30<br>[114]       | PCL, TF                                | なし          | 1<br>[16]     | あり         | 利用者の処理:<br>冷石灰処理                                       | N2-471 |
| 30<br>[237]              | 64<br>[192]    | 0             | なし                       | あり       | IND        | BOD<br>IRR<br>SS         | あり    | LAB        | PS        | 12<br>[454]       | PCL, TF                                | 6<br>[227]  | 15<br>[24]    | あり         | 利用者の処理:<br>冷石灰処理                                       | N2-470 |
| 7<br>[055]               | 5<br>[15]      | —             | —                        | —        | IND        | —                        | あり    | LAB        | PS        | 85<br>[322]       | PCL, AS                                | なし          | 2<br>[32]     | あり         | 利用者の処理:<br>凝集沈殿                                        | O2-250 |
| 80<br>90<br>632<br>[211] | 145<br>[435]   | 0             | TURE<br>CON<br>pH<br>CL2 | あり       | IND        | BOD<br>IRR<br>SS         | あり    | LAB        | PS<br>PrW | 15<br>[568]       | PCL, AS                                | 18<br>[681] | 10<br>[161]   | あり         | 多数の利用者:<br>等級付料金制<br>利用者の処理:<br>冷石灰処理, アラム<br>凝集沈殿軟化   | T2-115 |
| 79<br>[624]              | 144<br>[43]    | 1             | なし                       | あり       | IND        | TDS<br>PO4<br>硬度         | あり    | LAB        | PS        | 14<br>[53]        | PCL, AER                               | 1<br>[319]  | 2<br>[32]     | あり         | 利用者の処理:<br>熱石灰処理, 熱ゼ<br>オライト処理, 脱酸<br>素, アンスラサイト<br>尹過 | T2-140 |
| 80<br>[632]              | 108<br>[32]    | 67            | —                        | あり       | IND        | SS<br>TDS                | —     | LAB        | PS        | —                 | PCL, AS                                | 10<br>[319] | 2<br>[32]     | あり         | 利用者の処理:<br>ショック塩素処理<br>pH制御                            | T2-202 |

|                       |                        | 供 給 者 か ら の            |                         |                            |                             |                          |                 |             |     |             |     |             |     |                                |                  |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|--------------------------------|------------------|
|                       |                        | 流 入 下 水                |                         |                            | 再利用している処理水の平均的な性質           |                          |                 |             |     |             |     |             |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 →            |                        | A5                     | B1a                     | B2b                        | B3                          | C1a                      | C1c             | C2a         | C2b | C2c         | C2d | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |
| コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置 | 再利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平均<br>流入<br>水量<br>(MGD) | 工場<br>排水<br>混入<br>率<br>(%) | 主たる<br>工場<br>排水<br>の<br>タイプ | 平均<br>再利用<br>水量<br>(MGD) | 最大<br>使用の<br>季節 | B<br>O<br>D | S   | T<br>D<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| T2-497                | ルボック, テキサス             | 1933                   | 6.5<br>[246]            | 20                         | 乳製品<br>ジャッキ工<br>業           | 28<br>[105]              | —               | 18          | 20  | 1650        | 450 | 450         | 7.8 | —                              | —                |
| T2-575                | オデッサ, "                | 1956                   | 6.5<br>[246]            | 1                          | クロム工<br>業                   | 55<br>[208]              | 夏               | 10          | 13  | 1300        | —   | 250         | 7.4 | 6x10 <sup>5</sup>              | —                |

(注)

記 号

#### 水質モニター装置

CL<sub>2</sub> : 残留塩素分析計

CON : 電気伝導度計

LAB : 実験室における分析

PH : pHメータ

TURB : 濁度計

#### 再利用の目的

IND : 工業用

IRR : 灌漑用

#### 最終利用先の水質標準

BOD : 低濃度BODの要求

CL : 低濃度塩素イオンの要求

SS : 低濃度SSの要求

TDS : 低濃度TDSの要求

pH : pH調整の要求

#### その他の水源

PS : 公共機関による水道

PrS : 私設水道

#### 水質の保護

PPC : 前および後塩素処理

LAB : 定期的水質試験

#### 処理プロセス

##### 1次処理

PCL : 最初沈殿池

##### 2次処理

AS : 活性汚泥処理

TF : 散水汙床処理

AER : エアレーションのみ

##### 3次処理

CCOAG : 凝集沈殿

PH : pH制御

CADS : 活性炭吸着

MMF : ミックスドメディア汚材による汚過

#### [ ] の説明

平均流入水量 : MGDを(×1,000) m<sup>3</sup>/日に換算

平均再利用水量 : MGDを(×1,000) m<sup>3</sup>/日に換算

処理水の単価 : \$/MGを1,000 m<sup>3</sup> 当りの円に換算

(1ドル当り300円)

1971年の販売収入 : (×1,000)ドルを(×1,000,000)円  
に換算

| 情 報               |               |                  |     |    | 使用者からの情報      |                                              |                            |                       |                            |                           |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報                  |                                           |                                      |                                                              |                       |  |
|-------------------|---------------|------------------|-----|----|---------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|--|
| 収入(付録の<br>コストデータ) |               | 処理システムの<br>信 頼 性 |     |    | F6            | F7                                           | F9                         | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                       | G8b                                | G9                                        | G10                                  | ← 質問状の回答番号                                                   |                       |  |
| D7                | D8            | E1               | E2  | E3 | 再利<br>用目<br>的 | 最<br>終<br>利<br>用<br>先<br>の<br>準<br>則         | 付<br>加<br>的<br>の<br>保<br>護 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>距<br>離<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                             | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |  |
| 119<br>[3.40]     | 427<br>[12.8] | 1                | CL2 | あり | IND<br>IRR    | BOD<br>SS<br>CL<br>PH<br>PO <sub>4</sub>     | あり                         | LAB                   | PS                         | 12<br>[45.4]              | PCL, AS                    | なし                                 | 1-3<br>[16-<br>48]                        | あり                                   | 利用者の処理:<br>冷石灰処理, pH制<br>御, アンモニアサイト<br>通過, 逆浸透, セオ<br>ライト処理 | T2-497                |  |
| 125<br>[3.88]     | 250<br>[7.5]  | 0                | LAB | あり | IND           | アルカリ<br>度<br>硬度<br>Ca, Mg<br>PO <sub>4</sub> | あり                         | LAB                   | PrW                        | 8<br>[30.3]               | PCL, AS                    | 15<br>[56.8]                       | 05<br>[0.8]                               | あり                                   | 利用者の処理:<br>石灰処理, 再炭酸塩<br>化, セオライト処理                          | T2-575                |  |

設計容量: MGDを(×1,000) m<sup>3</sup>/日に換算

処理水貯水池: MGを(×1,000) m<sup>3</sup>に換算

処理水輸送距離: Mileをkmに換算

表-26 都市下水を用いている主たる工業の分類

| 工 業 の 種 類 | 工 場 数 | 全使用水量に対する比率 |
|-----------|-------|-------------|
| 基盤となる金属工業 | 1     | 7.4 (%)     |
| 火力発電所     | 7     | 2.0         |
| 石油化学工業    | 5     | 5           |
| 鉱山および選鉱業  | 2     | 1           |

基盤となる金属工業は都市下水の工業用再利用水の全水量の7.4%を使用しており、それに続く火力発電所は2.0%, 石油化学工業は5%, 鉱山選鉱は1%を現在使用している。大量の下水処理水はメリーランド州ボルチモアのベツレヘム製鉄所が一過型の冷却水を使用しており、これによって相対的使用水量がゆがめられた結果となっている。

工業用に使用ということで大部分の下水処理水が冷却用水として使用されており、少量がボイラー補給水および製造用プロセス用水として使用されていることが図-27に示されている。

表-27 アメリカ国内における工業による再利用のタイプ

| 使用のタイプ  | 工場数(1) | 同比率% | 使用量 (MGD) (2) |
|---------|--------|------|---------------|
| ボイラー補給水 | 3      | 17   | 1 (3,790)     |
| プロセス用水  | 3      | 17   | 1 (3,790)     |
| 冷却用水    | 12     | 66   | 154 (582,900) |

(注)

(1) 工場数は15よりも多くなっている。これは一工場で複数の使用のタイプがあるためである。

(2) ( )内は $m^3/日$ を表わす。

### 3.1 冷却用水

都市下水の処理水を冷却用水として使用している15の使用者のうち、12の使用者について報告が行なわれている。冷却用水技術は複雑であり、そして処理水の使用は管理責任者に対して処理と制御に関する特別な問題を提供している。処理水と淡水との相違は認識されたうえで計画が樹立されなければならない。深刻な問題は熱交換器と冷却システムで生ずる。たとえば、テキサス州のデントン市では1972年の頭初に、都市下水の処理水を火力発電所の冷却用補給水として使用を開始した。そして早い時期にコンデンサーチューブの大きな閉塞とそのほかの問題を経験している。デントン市の下水処理場の処理水の平均値は表-28に示すとおりであるが、これは平均値であり、処理施設が過負荷運転に近い状態にあるため、水質は大きく変動している。デントンの火力発電所は処理水から浮遊物、有機物や栄養塩類を除去する処理施設を所有していない。デントンで起ったことは不可避の問題であった。デントンにおける困難な問題は、デントンの下水処理場の大巾な改良を行なうか、または火力発電所に浮遊物や有機物を除去する処理設備を設けることにより解決できることが、他の利用者の経験から知ることができた。付録Aにはデントンにおける下水処理と再利用問題についてのケーススタディによる討議の内容を示している。

表-29には下水処理場の平均水質(BOD、浮遊物として測定されている)とクーリングタワー補給水として工場で行なわれている処理方法との関係を示した。この表では、例えば、カリフォルニア州バークバンクのように、極めて優れた処理水の場合には、塩素と酸と腐蝕防止剤を加えるのみで、淡水とほとんど同じ品質の冷却用水が得られ、効果的に利用できることが表わされている。

### 3.2 ボイラー補給用水

ボイラーの補給用水として3ヶ所の工場が下水処理水を利用している。すなわち

- ・ テキサス州 ビッグスプリングのコスデン石油および化学会社
- ・ テキサス州 オデッサのエルバソ物産会社
- ・ テキサス州 ルボックの南西部公共サービス会社

各利用者は、ボイラーの種類によって補給水が必要とする水質とするために、本格的な処理を付加している。低圧ボイラー用としては沈殿、軟化およびリン酸塩除去を行なうことにより、下水の処理水を効果的に利用している。高圧ボイラー用は、溶解性物質の除去または脱イオンのための付加的処理を段階的に行なって補給水を得ている。表-30には各利用者の処理方式と平均的な結果を表として示している。南西部公共サービス会社とエルバソ物産会社は高圧ボイラーを使用してい

表-28 アメリカ国内において工業による再利用  
を行なっている都市下水の処理水の水質

| パラメータ                  | 工業用水利用者とその使用目的                  |                                |                             |                          |                                       |                                    |                                                 |                                  |                                                   |                |                                       |                                                 |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                        | バグダード<br>銅会社、<br>アリゾナ州<br>バグダード | エルバソ物<br>産会社、<br>テキサス州<br>オデッサ | バアバンク<br>市、<br>カリフォル<br>ニア州 | コロラドス<br>プリング市、<br>コロラド州 | ベツレヘム<br>製鉄所、<br>メリーラン<br>ド州ボルチ<br>モア | ダウ化学会<br>社、<br>ミシガン州<br>ミッドラン<br>ド | ネバダ電力<br>会社サンラ<br>イス火力発<br>電所、<br>ネバダ州ラ<br>スベガス | シャンブリ<br>ン精油所、<br>オクラホマ<br>州エニッド | 西南部公共<br>サービス会<br>社およびテ<br>キサコ会社<br>テキサス州<br>アマリロ | デントン市<br>テキサス州 | 西南部公共<br>サービス会<br>社、<br>テキサス州<br>ルボック | コスデン石<br>油および化<br>学会社、<br>テキサス州<br>ビッグスブ<br>リング |
|                        | プロセス用                           | 冷 却 用<br>ボイラー用                 | 冷 却 用                       | 冷 却 用                    | 冷 却 用<br>プロセス用                        | 冷 却 用                              | 冷 却 用                                           | 冷 却 用                            | 冷 却 用                                             | 冷 却 用          | 冷 却 用<br>ボイラー用                        | ボイラー用                                           |
| BOD (mg/l)             | 14                              | 10                             | 2                           | 8                        | 46                                    | 20-30                              | 21                                              | 31                               | 10                                                | 10             | 18                                    | 35                                              |
| SS (mg/l)              | 100                             | 10-15                          | 2                           | 2                        | 44                                    | 20-30                              | 18                                              | 32                               | 15                                                | 38             | 20                                    | 10                                              |
| TDS (mg/l)             | 100                             | 1300                           | 500                         | 650                      | 450                                   | 400-500                            | 980-990                                         | 600                              | 1400                                              | 127            | 1650                                  | 960                                             |
| ナトリウム (mg/l)           | 18                              | -                              | 88                          | 50                       | 75                                    | -                                  | -                                               | -                                | 300                                               | -              | 450                                   | -                                               |
| 塩化物 (mg/l)             | 12                              | 250                            | 82                          | 20                       | 100                                   | 200-300                            | -                                               | -                                | 300                                               | 70             | 460                                   | -                                               |
| PH                     | 6.8                             | 7.4                            | 7.2                         | 6.9                      | 7.0                                   | 7.6                                | 7.6                                             | 7.4                              | 7.7                                               | 7.2            | 7.8                                   | 7.0                                             |
| 大腸菌群数(100ml 当り)        | -                               | 6×10 <sup>5</sup>              | 0-20                        | 225                      | 5×10 <sup>6</sup>                     | <1,000                             | -                                               | -                                | 無                                                 | 16,000         | -                                     | -                                               |
| 総硬度 (mg/l)             | -                               | 240                            | 160                         | 240                      | -                                     | -                                  | -                                               | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |
| PO <sub>4</sub> (mg/l) | -                               | 44                             | 20                          | 1                        | 12                                    | -                                  | 15-20                                           | -                                | -                                                 | -              | 30-40                                 | -                                               |
| 有機炭素 (mg/l)            | -                               | -                              | 39                          | 1-5                      | -                                     | -                                  | -                                               | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |
| 重金属類 (mg/l)            | -                               | -                              | tr                          | tr                       | tr                                    | 無                                  | -                                               | -                                | -                                                 | tr             | -                                     | -                                               |
| 色度 (ユニット)              | -                               | -                              | -                           | 5                        | -                                     | -                                  | -                                               | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |
| MBAS (mg/l)            | -                               | -                              | -                           | 0.15                     | -                                     | -                                  | -                                               | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |
| アンモニウムイオン (mg/l)       | -                               | -                              | -                           | 2.7                      | -                                     | -                                  | -                                               | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |
| 硝酸イオン (mg/l)           | -                               | 18                             | -                           | 0.5                      | 4                                     | -                                  | 1.0-3.4                                         | -                                | -                                                 | -              | -                                     | -                                               |

表-29 クーリングタワー補給水に必要な水質と利用者側で行なわれている処理法

| 利 用 者 名                   | 水 質 (mg/l) |    |             | 利用者が行なっている処理法                               |
|---------------------------|------------|----|-------------|---------------------------------------------|
|                           | BOD        | SS | TDS         |                                             |
| バアバンク市, カリフォルニア           | 2          | 2  | 500         | ショック塩素処理, pH制御, 防蝕剤注入                       |
| ネバダ電力会社<br>ラスベガス, ネバダ     | 20         | 20 | 1,000-1,500 | ショック塩素処理, 石灰凝集沈殿, pH制御, 防蝕剤注入               |
| 南西部公共サービス会社<br>アマリロ, テキサス | 10         | 15 | 1,400       | 石灰凝集沈殿, pH制御, ショック塩素処理, 防蝕剤注入               |
| デントン市, テキサス               | 30         | 30 | 130         | ショック塩素処理, pH制御, 防蝕剤注入<br>(この処理水質に対しては処理不十分) |
| エルパソ物産会社<br>オデッサ, テキサス    | 10         | 13 | 1,300       | 石灰凝集沈殿, pH制御, 逆浸透                           |

表-30 ボイラー補給用水を都市下水の処理水から生産するために利用されている処理法の比較

| 会社名およびボイラー圧力                                                               | 処 理 プ ロ セ ス                                                      | 再生された水質<br>(CaCO <sub>3</sub> としてmg/l) |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| コスデン石油および化学会社<br>ビッグスプリング, テキサス<br>(175psig(123 kg/cm <sup>2</sup> ) ボイラー) | 熱石灰凝集沈殿処理, アンスラサイトによる<br>逆浸透, 熱ゼオライト軟化処理, 脱酸素処理                  | TDS: 443<br>硬 度: 0-2                   |
| エルパソ物産会社<br>オデッサ, テキサス<br>(200psig(141 kg/cm <sup>2</sup> ) ボイラー)          | 冷石灰凝集沈殿処理, 再炭酸塩化, アンスラ<br>サイトによる逆浸透, ゼオライト軟化処理, 脱<br>酸素処理        | TDS: 1,000<br>硬 度: 0-2                 |
| エルパソ物産会社<br>オデッサ, テキサス<br>(650psig(457 kg/cm <sup>2</sup> ) ボイラー)          | 低圧ボイラーのための上記の全処理のほか,<br>カチオンおよびアニオン交換樹脂による無機<br>物除去              | TDS: 0-2<br>硬 度: 0-2                   |
| 南西部公共サービス会社<br>ルボック, テキサス<br>(1500 psig(1055 kg/cm <sup>2</sup> ) ボイラー)    | 冷石灰凝集沈殿, pH制御, 逆浸透, 最後に<br>混合床によるカチオンおよびアニオン系イオ<br>ン交換樹脂による無機物除去 | TDS: 0-1<br>硬 度: 0                     |

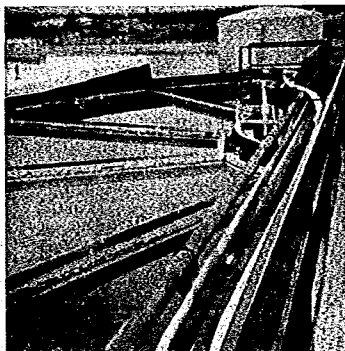


図-17 ネバダ州ラスベガスのネバダ電力会社における下水処理水を冷却用水に使用するための冷石灰凝集沈殿池

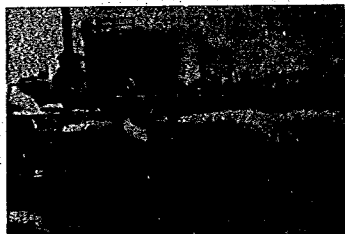


図-18 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社における下水処理水を冷却用水および59ボイラー用水として使用するための冷石灰凝集沈殿池(背後)とゼオライトによる軟化装置

るため、TDSが $2\text{mg/l}$ 以下となる水を生産している。コスデン石油および化学会社とエルパソ物産会社の低圧ボイラー用水は使用以前に下水処理水中のTDSの除去を行なっていない。

これら3ヶ所の多量の薬品を加えた処理による工業用の再利用に関する討議は付録Aに記載してある。

### 3.3 プロセス用水

3ヶ所の工場が下水の処理水を製造工程用に使っていると報告されている。この業種は、すべて鉱山と製鉄工業である。すなわち

- アリゾナ州 バグダッドのバグダッド銅会社

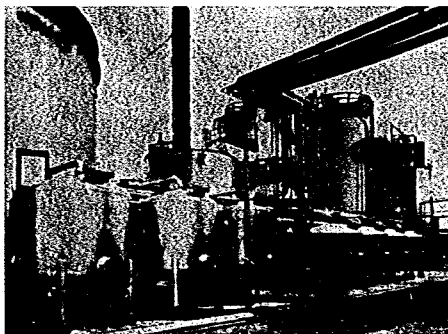


図-19 テキサス州ビッグスプリングのコスデン石油および化学会社におけるボイラー用水として下水処理水を使用するための熱石灰凝集沈殿池（背後）とゼオライトによる軟化装置（前面）

- ・ アリゾナ州 モレンシーのフィリップス・ダージ会社
- ・ メリーランド州 ボルチモアのベツレヘム製鉄会社

アリゾナ州の2工場は銅の精錬に下水処理水を利用している。

バグダード銅会社は淡水と銅精錬に使用した水が20:1の割合で混入している貯水池の末端に二次処理水を平均0.2MGD (757m<sup>3</sup>/日) 揚水している。大部分の国産銅鉱石は低品質の硫化銅であり、それを浮上分離によって濃縮している。この目的に使用する水は無機物を多量に含んでもよいが、酸、泥分、スライムおよび特別な石油製品が含まれてはならない。それは鉱石に付着して、その比重をかけるからである。このプロセスの後で、水はpHを下げ、アルカリ度を増加させるための石灰処理が必要となる。

モレンシーのフィリップス・ダージ会社はモレンシーの町の一次処理水0.6MGD (2270m<sup>3</sup>/日) を使用している。下水処理水は銅成分を集める9個の石灰堆積場に入れて石灰化する。莫大な石灰液は銅を除去するために回収されたブリキ缶と反応させる凝集処理装置にポンプで送水されている。

ベツレヘム製鉄所は170MGD (643,500m<sup>3</sup>/日) もの莫大なる下水の処理水を冷却用水とするために使用している。そのうちの少量は極度に総合化された製鉄、製鋼部門のプロセス内で用いられている。使用箇所としては、ガス洗浄、溶鉱炉から取り出した鋼鉄の冷却、機械回転部分の冷却、ベアリングの冷却、装置の温度制御、原料用水、スケール除去システム、工場内の水力輸送システム、防火、空調および路上輸送機械の洗浄などがある。

これら3工場において利用されている下水処理水に関する詳細な報告は、表-25ないし表-28にまとめて記載してある。

下水処理水の工業用の再利用に関するそのほかの利用先については記述しておくことにする。3ヶ所の石油化学工場での下水処理水の再利用については前節で述べてきたように、ボイラー補給水

として使用している。これらのボイラーからの蒸気は、工場のプロセスの各部で使用されている。  
下水処理水の輸送距離は再利用についての可能性を決める際に考慮すべき重要な問題である。図

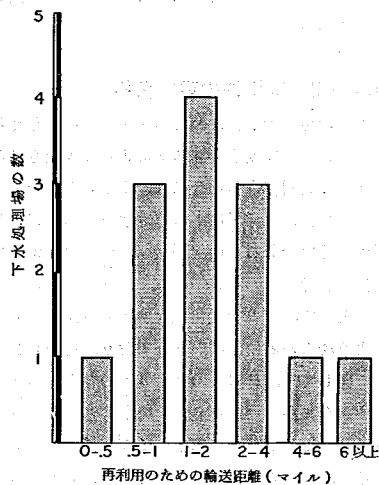


図-20 工業用に利用している処理水の下水処理場からの輸送距離

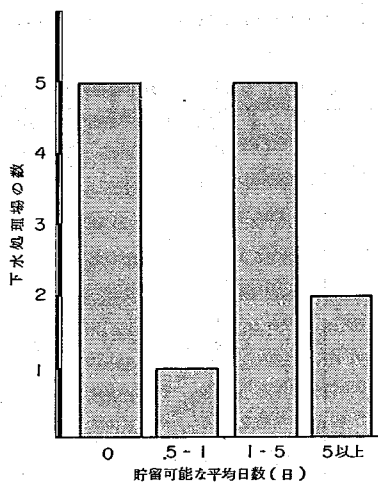


図-21 工業用に下水処理水を供給している施設の貯水容量

ー 20 は各都市の供給者から種々の工業用の再利用者までの距離を示す。この報告が行なわれている各工場の場合には、利用者が下水処理水の輸送施設の財政上の責任をもっている。

下水処理水の貯留設備は 8 ケ所の工業用に再利用している利用者が設置している。図-21 には貯留池の規模について図示してある。

#### 4. 工業用水としての再利用の経済性の現状分析

経済性は工業用に下水処理水の再利用が行なわれる第 1 の動機を与える。下水処理水の再利用は、それに換りうる水源の取得とその処理に要するコストによって支配される。良質で大量の公共機関による水道があり、安いコストで利用できる場合には、下水処理水を工業用水に転換するための処理と再利用は経済的ではない。現在、工業用に下水処理水を使用している工場は、用水コストと TDS や硬度が比較的高い半乾燥地域である南西部の諸州に多いのは驚くには当たらない。

この地域の工場は適当な他の水源をもつことができず、下水処理水の供給に強く依存している。このような状況下にある 1 例として、テキサス州アマリロの南西部公共サービス会社の火力発電所があげられる。公共機関による淡水の供給は制限されており、その冷却用水の 100 % を下水処理水に依存している。このことに関しては、付録 A のアマリロの項を参照されたい。しかし、大部分の工場の場合には、彼らの必要量をまかないうる最も安い水源として、下水処理水が選ばれてきた。

再利用される水のコストは二つに分かれる。第 1 には再利用する水を得るためのコストである。これには地方自治体への支払い、処理水輸送施設を建設するためのコスト、そのほか、工場の位置まで処理水を選び入れるためのすべてのコストが含まれる。

第 2 には、下水処理水をその使用目的に見合うように処理するためのコストである。

下水処理水と淡水とを比較すると、下水処理水は取得するコストは常に淡水よりも少ない。しかし、使用目的に見合うよう処理するコストは通常高くなる。表-31 は工場における下水処理水取

表-31 下水処理水を使用することによる利用者の負担となる全体のコスト

| 利 用 者                       | 処理水入手する価格<br>(\$/MG) | 利用者の処理コスト<br>(\$/MG) | 全体のコスト<br>(\$/MG) |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| バグダード銅会社<br>バグダード, アリゾナ     | 0                    | 0                    | 0                 |
| フィリップス・ダージ会社<br>モレンシー, アリゾナ | 0                    | 0                    | 0                 |
| バアバンク市, カリフォルニア             | 43<br>(4,308)        | 100<br>(7,926)       | 143<br>(11,334)   |
| コロラド・スプリングス市,<br>コロラド       | 320<br>(25,363)      | —                    | —                 |
| ベツレヘム製鉄所<br>ボルチモア, メリーランド   | 平均 1.33<br>(105)     | N/A                  | N/A               |

| 利 用 者                           | 処理水入手する価格<br>(\$/MG) | 利用者の処理コスト<br>(\$/MG) | 全体のコスト<br>(\$/MG) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| ダウ化学会社<br>ミッドランド, ミシガン          | 平均 3.33<br>(264)     | N/A                  | N/A               |
| ネバダ電力会社<br>ラスベガス, ネバダ           | 25<br>(1,982)        | 193<br>(15,297)      | 225<br>(17,279)   |
| シャンプリン精油所<br>エニッド, オクラホマ        | 7<br>(555)           | N/A                  | N/A               |
| 南西部公共サービス会社<br>アマリロ, テキサス       | 80<br>(6,341)        | 160<br>(12,682)      | 240<br>(4,1532)   |
| テキサコ会社<br>アマリロ, テキサス            | 90<br>(7,133)        | 194<br>(15,376)      | 284<br>(22,509)   |
| コスデン石油および化学会社<br>ビッグスプリング, テキサス | 平均 79<br>(6,262)     | 742<br>(58,811)      | 821<br>(65,073)   |
| デントン市, テキサス                     | 80<br>(6,341)        | 100<br>(7,926)       | 180<br>(14,267)   |
| 南西部公共サービス会社<br>ルボック, テキサス       | 144<br>(11,413)      | 160<br>(12,682)      | 304<br>(24,095)   |
| エルパソ物産会社<br>オデッサ, テキサス          | 125<br>(9,908)       | 550<br>(43,593)      | 675<br>(53,501)   |

(注)

( )内は1,000m<sup>3</sup>当り円のコストを表わす(1ドル300円で換算)

得のためのコストと利用者による処理コストを示したものである(いくつかのケースについては、その会社の方針としてコストに関する情報の公表を禁じているがために、利用者の処理コストについての情報をうることは不可能であった)。

工場での下水処理水取得のためのコストと付加的処理を行なうためのコストはMG当り0から821ドル(m<sup>3</sup>当り0から6507円)まで変化している。

都市下水の処理水の購入価格は、時には都市下水の処理量と見合ったものとなっている。工場における付加的な処理のコストはその使用形態によって要求される水質、下水処理水、水質の要求されている処理の階級、下水処理水の量、その他の因子によって異なるものとなる。循環システムによる冷却用水の場合に報告されてきた工場内での処理に要するコストはMG当り100ドルから550ドル(m<sup>3</sup>当り793円から4359円)まで変化している。最低のコストは、カリフォルニア州バアバンクにおける例外的に良効な処理水の場合であり、高いコストは、テキサス州オデッサにおける極めて多くの薬品を使用している処理システムの場合である。

バアバンクの例外的な二次処理およびオデッサにおける広範囲な三次処理を行なった双方の場合については、付録Aで野外調査の結果が討議されている。

ボイラー補給水としての再利用の場合のコスデン石油および化学会社の処理コストはMG当り742ドル( $\text{m}^3$ 当り5881円)であった。ボイラー補給水を得るために下水処理水を工場内で処理しているほかの工場からSCSエンジニアーズ会社が知り得た処理に要するコストは、MG当り500ドルないし1,000ドル( $\text{m}^3$ 当り39.63円ないし79.26円)であった。

この経済分析に関する節で、第1に重点としたいことは利用者のためにそのコストを明らかにすることである。地方自治体が供給している下水処理水に対して支払われる処理コストを種々の見地からとりまとめた。河川に放流するに必要とする以上の処理を行なって、下水処理水を供給している地方公共団体は全くない。わずかに15工場から得られたデータであるがために、結果をとりまとめた下記に説明する図表は統計的には限定されたものである。

- ・ 工業用に再利用している都市下水の処理コストと歳入を図-22に示す。
- ・ 工業用に再利用している都市下水の処理コストに対する処理水量の影響を図-23、図-24に示す。
- ・ 工業用水利用者料金に対する処理水量の影響を図-25に示す。
- ・ 処理レベルに対する工業用再利用者の利用者料金の関係を図-26に示す。
- ・ 下水処理水のTDS、BODに対する工業用再利用の利用者料金の関係を図-27、図-28に示す。

灌漑用の再利用の場合と同じように、地方公共団体が得られる歳入は、その下水処理に要するコストよりも少ない。しかしながら、地方公共団体のすべてについていえることは、河川に放流する

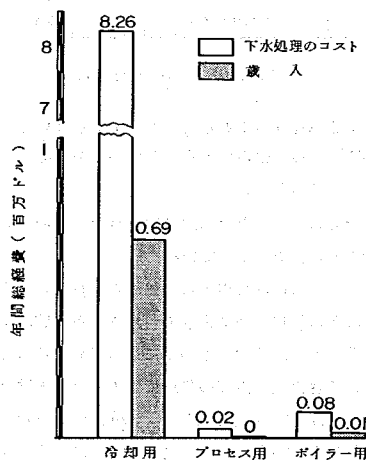


図-22 工業用に再利用している下水処理場の処理コストと工業用に供給することによる歳入

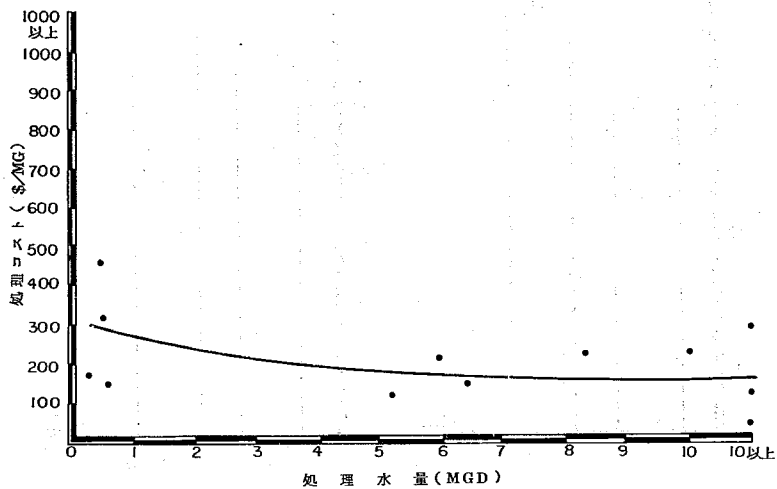


図-23 工業用に再利用している下水処理場の処理コストと処理水量との関係  
(建設費の償却を含む)

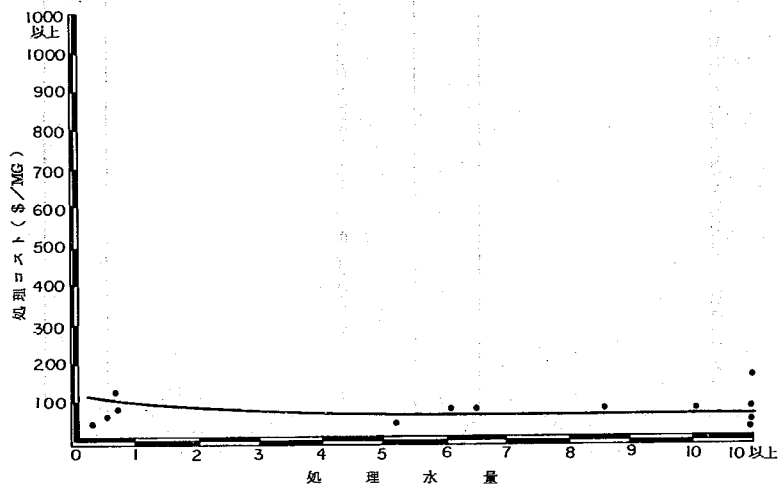


図-24 工業用に再利用している下水処理場の処理コストと処理水量との関係  
(建設費の償却を含まず)

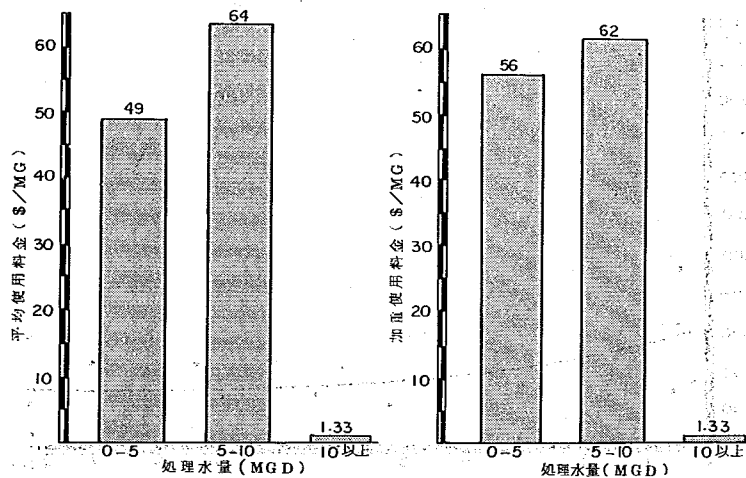


図-25 下水処理水の工業用再利用における処理レベルと処理水量との関係

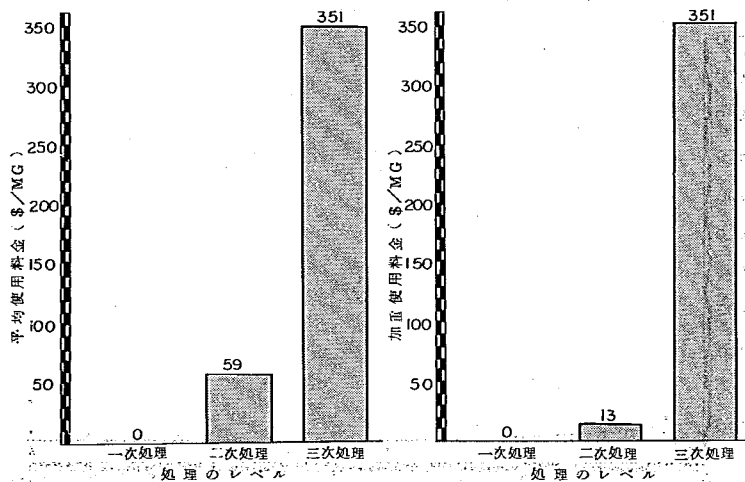


図-26 下水処理水の工業用再利用における処理レベルと使用料金との関係

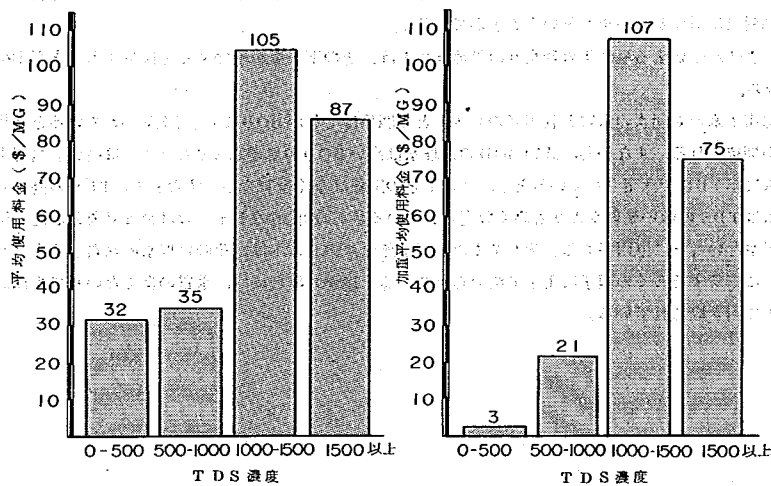


図-27 TDS濃度と工業用使用料金との関係

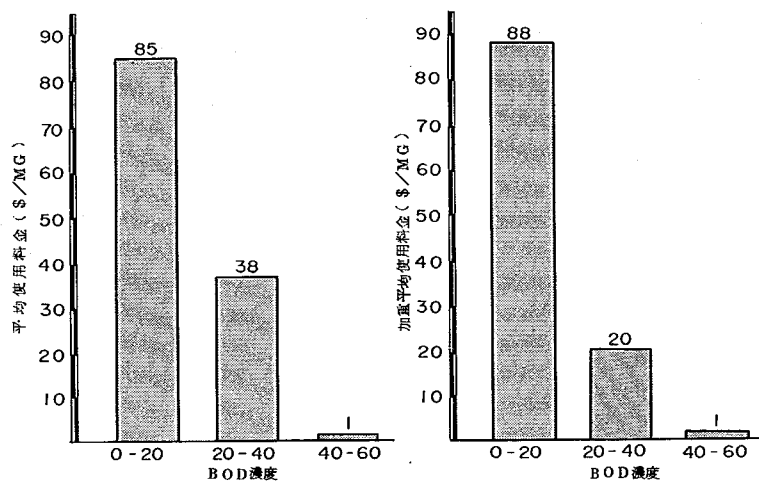


図-28 BOD濃度と工業用使用料金との関係

場合と同等の下水処理を行なっていることからみて、下水処理水の販売による歳入は、地方自治体の納税者に対するボーナスということができる。

下水処理に要する単位下水量当りの処理コストは、その下水量が増加すると減少することが期待できる。

都市下水の処理水の水質と利用者のコストとの関係はそれがBODによって測定されているとき相関が期待される。すなわち、低いBODの処理水は高いBODの処理水よりもコストは高い。処理水の水質がTDSで測定されているとき、コストとの関係は全く逆になる。すなわち、TDSの高い処理水はTDSの低い処理水よりも高く販売されている。この明らかなる不一致は調査対象とした工場数が少ないことに原因がある。そしてまた、下水処理水のコストは、その処理水の水質よりも、コストに影響する多くの因子によって決められている。砂漠の場合には、水質の良くない水でも額面以上で引き取られている。

### 第 3 章 の 参 考 文 献

1. McKee, J.E. and Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Pub. No. 3A, California State Water Quality Control Board, 1963.
2. FWPCA, Water Quality Criteria, April 1968.
3. Petrasek, Albert C., Esmond, Steven E. and Wolf, Harold W., Municipal Wastewater Qualities and Industrial Requirements, Paper presented at ASCE meeting, Washington, D.C., April 1973.
4. Schmidt, Curtis J., The Role of Desalting in Providing High Quality Water for Industrial Use, Office of Saline Water Contract Report No. 14-30-2776, Oct. 1972.

## 第4章 リクリエーションによる再利用

### 1. 序 論

下水の処理水をリクリエーション用として再利用することには、次のようなことが含まれる。

- ・ ボート遊び、魚釣り、水遊びが許可されていないリクリエーション湖、しかし、公衆が不注意にも水と接触する可能性は存在する。例えば、水辺にあるピクニック区域のようなところ、公衆が水を口に入れる危険は少ないと仮定したもの
- ・ ボート遊び、魚釣りが許可されているリクリエーション湖、ただし、水泳は行なわない。公衆が水を口にする危険性があり、釣られた魚は捕獲者によって食べられると仮定したもの
- ・ 水泳が行なわれるリクリエーション湖、全身が湖内に浸されると考えられるもの
- ・ 時々、予期せずに魚釣りが行なわれる下水処理水を貯留した湖
- ・ リクリエーション地区にある造園植物の灌漑用

下水処理水を貯留した湖で魚釣りが予期せずに行なわれることは、第6章に記載している。リクリエーション施設（たとえば、ゴルフコース）の灌漑のための下水処理水の再利用は、第2章に含めて記載してある。この章では、表-32に示したような、下水処理水を用いたリクリエーション湖で、将来の発展に大きく貢献される3つのプロジェクトについて討議することとしたい。

タホおよびサンティのプロジェクトはよく知られており、この研究の1部として調査すべき分野ではない。この2つのプロジェクトの運営の情報は、質問書に対する回答、および技術的な文献を基礎としている。カリフォルニア州ランカスターの再利用計画は付録Aで十分討論されている。

表-32 リクリエーションによる再利用の状況

| 下水処理場の位置                                            | 再利用水量<br>(MGD)  | 処理レベル |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-------|
| カリフォルニア州ロスアンゼルス<br>(ロスアンゼルス郡広域下水道組合)<br>ランカスター下水処理場 | 0.5<br>[1,890]  | 三次処理  |
| カリフォルニア州サンティ<br>(サンティ郡水道組合)                         | 1.0<br>[3,790]  | 三次処理  |
| カリフォルニア州タホ湖<br>(南タホ公益事業組合)                          | 2.7<br>[10,220] | 三次処理  |

(註) [ ]内は $m^3$ /日を示す

### 2. 要求されている水質のクライテリア

リクリエーションのための一般的な水の特性としては次のようなことが含まれる。

- ・ 溶存酸素濃度は常に魚類が必要とするレベル以上に維持されなければならない。それ故、有機物強度、すなわち下水処理水のBODは、溶存酸素レベルが許容できる範囲内にとどまる酸素要求量でなければならない。これに加えて、溶存酸素レベルは、藻類の過剰な発生、または水面の氷結によって、大きな影響を受ける。

- ・ 栄養塩類、例えば窒素やリン化合物は、美観をそこねる藻類の生長を刺激し、富栄養化を促進する。
- ・ アンモニアは低濃度でも魚類に対して毒性が非常に強い。毒性のレベルは水のその他の性質、例えば pH、溶存酸素、炭酸ガス濃度などによって異なる。
- ・ 大腸菌群は水と接触して来た人達の病気の原因となる病原菌やウイルスの存在のインジケータである。
- ・ 毒性物質、例えば、重金属類や塩素化炭化水素がもし水中、または底泥中に存在すれば、水生生物の食物連鎖によって極めて高いレベルまでに濃縮される。

リクリエーション湖に都市下水の処理水を供給するための水質のクライテリアは、上記のリストに示した組成の物質について有害となる量が流入しないように、一般的には定められている。表-33に示した基準は、カリフォルニア州タホ湖およびランカスターのプロジェクトについてのものである。表-33に示した処理水質の基準の厳格さで強調したいことは、カリフォルニア州の水質

表-33 南タホおよびランカスターにおける水質要求度

| 成 分 名                  | 南タホおよび<br>ランカスター    | 南 タ ホ      |                  |
|------------------------|---------------------|------------|------------------|
|                        | ラホントン地区<br>水質汚濁防止部* | プルビン・カウンティ | 連邦公衆衛生局<br>飲料水基準 |
| 濁度 (JTU)               | 3-10                | 5          | 5                |
| PO <sub>4</sub> (mg/l) | 0.1-0.5             | 要 求 セ ズ    | —                |
| pH                     | 6.5-7.0             | 6.5-8.5    | 6.0-8.5          |
| BOD (mg/l)             | 5-10                | < 5        | —                |
| COD (mg/l)             | 45-75               | < 30       | —                |
| DO (mg/l)              | 7-15                | —          | 4-7.5            |
| 藻 類 (ml当りの数)           | 0-10,000            | —          | —                |
| 大腸菌群数 (100ml当り MPN)    | 0-22                | 適切な消毒      | 1                |
| 温度 (°C)                | 10-30               | —          | —                |
| SS (mg/l)              | 10                  | < 2        | —                |
| TDS (mg/l)             | 500-650             | —          | 500              |
| アンモニア性窒素 (mg/l)        | 0.1-15.0            | —          | —                |
| 有機性窒素 (mg/l)           | 1.0-3.0             | —          | —                |
| 硝酸性窒素 (mg/l)           | 1.0-4.0             | —          | 4.5              |
| 全窒素 (mg/l)             | 3-20                | —          | —                |
| 全アルカリ度 (mg/l)          | 74-140              | —          | —                |
| 硬 度 (mg/l)             | 85-110              | —          | —                |
| MBAS (mg/l)            | 2-4                 | < 0.5      | —                |
| 硼 素 (mg/l)             | 0.8-1.4             | —          | —                |
| SAR                    | 5-7                 | —          | —                |
| 残留塩素 (mg/l)            | 0.5-2.5             | —          | —                |
| CO <sub>2</sub> (mg/l) | 1                   | —          | —                |
| ABS (mg/l)             | 7-15                | —          | 0.5              |

(註) \*カリフォルニア州ではリクリエーション湖に供給する下水処理水の水質基準は地区の水質汚濁防止部によって定められる。

汚濁防止局がリクリエーション地区のために定めた水質基準たる表-34との比較である。ここでは再生下水は使用されていない。再生下水のリクリエーション用水としての水質基準は、通常のリクリエ

ーション用水のための水質基準よりも明らかに厳格なものとなっている。

表-34 リクリエーション用に推奨されている水質(1)

| 成 分 名                    | 水と接触する場合     |          | ボート遊びおよび<br>美 観 |          |
|--------------------------|--------------|----------|-----------------|----------|
|                          | 注意すべき<br>閾 値 | 制 限 閾 値  | 注意すべき<br>閾 値    | 制 限 閾 値  |
| 大腸菌群 (100ml当りMPN)        | 1,000*       | ±        |                 |          |
| 下水源とみられる肉眼で見える物質         | 無            | 無        | 無               | 無        |
| ABS (洗剤) (mg/l)          | 1*           | 2        | 1*              | 5        |
| SS (mg/l)                | 20*          | 100      | 20*             | 100      |
| 浮上油およびグリース (mg/l)        | 0            | 5        | 0               | 10       |
| エマルジョン化した油およびグリース (mg/l) | 10*          | 20       | 20*             | 50       |
| 濁 度 (シリカスケール・ユニット)       | 10*          | 50       | 20*             | +        |
| 色 度 (標準コバルトスケール・ユニット)    | 15*          | 100      | 15*             | 100      |
| 臭 気 閾 値                  | 32*          | 256      | 32*             | 256      |
| pHの範囲                    | 6.5-9.0      | 6.0-10.0 | 6.5-9.0         | 6.0-10.0 |
| 温 度 (最大℃)                | 30           | 50       | 30              | 50       |
| 透明度 (セッチ デスク、フィート)       | —            | —        | 20*             | +        |

(註)

\* この値は一連の20サンプルのうちの20%を越えないか、連続した3サンプルが越えることのないもの。

排泄物による汚染は明らかであるが、伝染病的な証拠を基にして定めた制限値はない。(注意すべき値とは人々が注意し始め、多分不満を言うレベルである。制限閾値は表流水がリクリエーション用として使用するのを防げられるレベルである)

+ 表流水が使用を妨げられるような濃度はない。

### 3. 操業の現況

カリフォルニア州サンティ、タホ湖、およびランカスターの施設について、次に簡単に記述する。いくつかの都市では人体と接触をもつようなリクリエーション湖に、下水処理水を再利用することを真剣に考慮している。これらについての完全な情報をうるためには、リクリエーション湖を運営している役所と接触を行なうのがよい。

#### 3.1 ロスアンゼルス郡衛生組合

極めて興味深いリクリエーション湖のプロジェクトがロスアンゼルス郡衛生組合ランカスターのオキシディションボンド流出水の水質改善施設を用いて始められた。そのプロジェクトの詳細は付録Aに記載してある。4年を越える研究とパイロットプラント実験が最適の三次処理施設設計因子と水質基準に見合うオキシディションボンド流出水の経済的な水質改善策を見いだすために行なわれた。この研究開発はEPAの補助金によって行なわれ、EPAの報告書にその詳細が記載されている(2)。処理された水は、ロスアンゼルス郡がアポロ・カウンティパークのために購入しており、ボート遊びと釣り用の水のリクリエーション公園を運営している(3)。

ランカスターの三次処理プロセスは、図-29に示してあるように前塩素処理、アラムによるフロキュレーション、沈殿、珪過および消毒となっている。この処理された水の水質の目標は下記の標準値に含まれる。

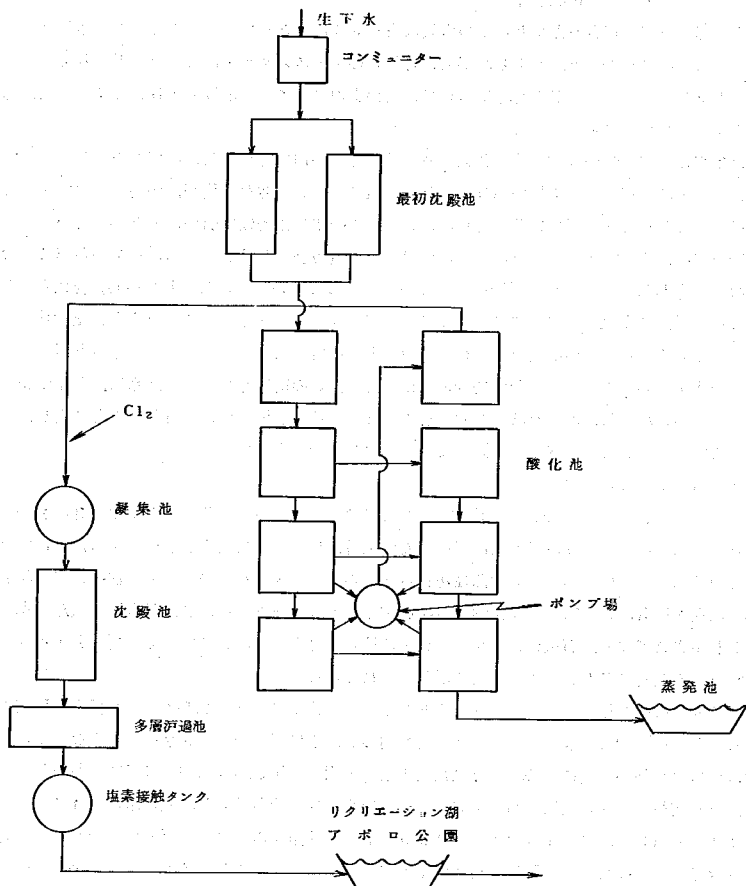


図-29 ロスアンゼルス郡衛生組合のNo 14下水処理場（ランカスター）  
のフローダイヤグラム

- 濁度 - 5.0 JTU
- 大腸菌群数 - 100ml 当り 2.2
- 全リン - 0.5mg/l
- アンモニア - 1.0mg/l

三次処理施設で処理された水と湖水の水質は表-35にまとめて載せてある。処理された水の水質の目標は達成されている。しかしながら、付録Aのケーススタディに詳細が記載されているように、オキシディションポンドの管理について、流出水のアンモニア濃度とTDSの季節変化に起因して、注意深さが要求されている。

低いTDS, 低いアンモニアの流出水は秋の間に下水処理場内に貯留され、冬期の不満足な流出水が得られる時期に希釈水として用いられている。灌漑に関する大きな問題が、湖内において水の移動を維持することから発生している。それがために、この水の溶解性物質の増加を抑えている。

冬期の間に、オキシディションポンド内の緑藻類が優占種となる。これらの藻類の種属は三次処理施設で行なわれている凝集と浮過によって問題を生じてはいない。しかしながら、気温が上昇してくるにつけ、らん藻類(アナクリステックおよびオンナトリヤ)が優占種となり、その除去が困難となってくる。らん藻類は凝集せず、緑藻類のように容易に沈殿せず、その大きさや形状から、二層浮過池を通過してしまい、濁度増加の原因となる。この問題を解決するために、凝集に先立ち前塩素処理が行なわれ、問題点は実質的に解消されている。前塩素処理を行なうことにより、微生物は凝集されて良好にかつ直ちに沈殿して、ガスの発生を起さない。

### 3.2 南タホ公益事業組合

この国の三次処理プロセスについての最も優れた文献はカリフォルニア州南タホ衛生組合において発表されている。ここでは5段階の三次処理施設が例外的に良質の放流水質を供給するために組合わされている(4), (5), (6)。図-30は活性汚泥処理水のリン除去のための薬品凝集沈殿、窒素除去、浮過、活性炭吸着、および塩素処理が図示されている。この下水処理場は、また最も進歩した汚泥処理技術が利用されており、石灰汚泥の再石灰化と活性炭の再生が行なわれている。研究とデモンストラーションの業務はEPAによって資金が援助されている。

1950年の少し以前に、ネバダ州とカリフォルニア州タホ湖の水質保護に責任ある取締り機関が合意し、例外的な事故を除いてタホ湖流域内の表流水に下水を流させないこととなった。この政策は流域の発展が急速に進められた全期間を通して固執されてきた。1968年に、郡は三次処理施設の運転を開始し、タホ湖からアルビン区へ処理水の送水を開始した。処理水は1470フィート(445.4m)の高さ、14マイル(22.5km)の距離をポンプアップして、それから、さらに13マイル(20.9km)の距離を自然流下のパイプラインで送水してインデアンクリーク貯水池へ送水した。インデアンクリーク貯水池の容量は3,200エーカー・フィート(3,937×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>)である。この貯水池の水は人体と接するスポーツ(水泳)が許可されており、すぐれた鮭の釣り場としての誇りをもつことが報告されている。(7)表-35には、南タホ下水処理場の一般的な処理水質を示してある。

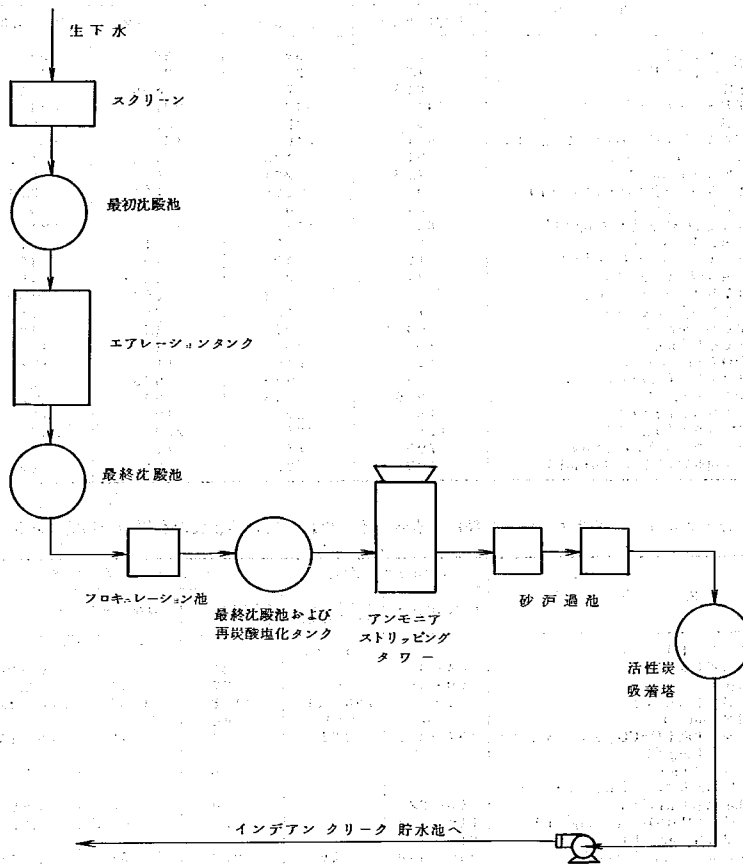


図-30 カリフォルニア州南タホ湖下水処理施設のフローダイヤグラム

表-35A リクリエーション湖に下水処理水を供給している施設の水質の一般的な状況

| 成 分 名                             | ランカスター下水処理場 |        |        |        |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
|                                   | 処理場放流水      | 湖 No.1 | 湖 No.2 | 湖 No.3 |
| 水 温 (°F)                          | 38          | 36     | 36     | 35     |
| 濁 度 (JTU)                         | 1.5         | 23     | 22     | 25     |
| pH                                | 61.5        | 7.70   | 8.59   | 8.62   |
| TDS (mg/l)                        | 544         | 843    | 932    | 851    |
| SS                                | 5           | 28     | 32     | 32     |
| アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> としてmg/l) | 65.1        | 148    | 167    | 150    |
| 硝 素 (mg/l)                        | 0.74        | 1.33   | 1.52   | 1.29   |
| 炭酸ガス (mg/l)                       | 67.58       | 26.4   | 0      | 0      |
| 1時間当りの塩素要求量 (mg/l)                | 0           | 0.99   | 1.01   | 0.96   |
| 残留塩素 (mg/l)                       | 3.4         | 0      | 0      | 0      |
| 全硬度 (CaCO <sub>3</sub> としてmg/l)   | 68          | 117    | 128    | 121    |
| MBAS (mg/l)                       | 0           | 0.1    | 0.1    | 0.1    |
| アンモニア性窒素 (mg/l)                   | 1.0         | 1.0    | 1.2    | 1.2    |
| 有機性窒素 (mg/l)                      | 1.7         | 2.0    | 2.0    | 1.9    |
| 亜硝酸性窒素 (mg/l)                     | 0           | 0.02   | 0.03   | 0.03   |
| 硝酸性窒素 (mg/l)                      | 1.9         | 1.2    | 0.8    | 1.1    |
| BOD (mg/l)                        | 0.4         | 2.2    | 1.4    | 1.9    |
| 全COD (mg/l)                       | 35          | 45     | 51     | 49     |
| DO (mg/l)                         | 12.4        | 10.5   | 11.5   | 12.1   |
| オルトリン (mg/l)                      | 0.21        | 0.26   | 0.25   | 0.21   |
| 全リン (mg/l)                        | 0.29        | 0.38   | 0.43   | 0.40   |
| カリウム (mg/l)                       | 16          | 20     | 19     | 18     |
| ナトリウム (mg/l)                      | 158         | 238    | 239    | 237    |
| ナトリウム等価比 (‰Na)                    | 79.5        | 78.6   | 77.3   | 78.2   |
| 大腸菌群数 (MPN/100ml)                 | <22         | <22    | <22    | <22    |

表-35B リクリエーション湖に下水処理水を供給している施設の水質の一般的な状況

| 成 分 名                             | 南タホ公益事業組合 |                  | サンティ郡用水組合          |        |             |
|-----------------------------------|-----------|------------------|--------------------|--------|-------------|
|                                   | 処理場放流水    | インデアンク<br>リック貯水池 | オキンディシン<br>ポイント流出水 | 浸透池流出水 | 湖 内 水       |
| 水 温 (°F)                          |           | 4-22             |                    |        |             |
| 濁 度 (JTU)                         | 0.3-0.5   |                  | 30                 | 5      | 0-20        |
| pH                                | 6.9-8.6   | 8.4              | 7.7                | 7.7    | 8.8         |
| TDS (mg/l)                        | 250       | 120-416          | 1,168              | 1,150  | 1,150-1,600 |
| SS (mg/l)                         | 0         | 3.4              | 8.6                | 5-10   |             |
| アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> としてmg/l) | 187-308   | 125              | 250                | 240    | 50-170      |
| 硝 素 (mg/l)                        |           |                  |                    |        |             |
| 炭酸ガス (mg/l)                       |           |                  | 5.6                | 2.4    | 0           |
| 1時間当りの塩素要求量 (mg/l)                |           |                  |                    |        |             |
| 残留塩素 (mg/l)                       | 0.6-2.2   |                  | 0                  | 0      | 0.01        |
| 全硬度 (CaCO <sub>3</sub> としてmg/l)   | 110-164   |                  | 380                | 400    | 210         |
| MBAS (mg/l)                       | 0.19-0.45 |                  |                    |        |             |
| アンモニア性窒素 (mg/l)                   | 23.0-35.0 | 3.6              | 2.23               | 0.36   | 0.1-1.0     |
| 有機性窒素 (mg/l)                      |           | 0.9              |                    |        |             |
| 亜硝酸性窒素 (mg/l)                     | 0.01-0.27 | 0.2              | 0.02               | 0.01   | 0.01        |
| 硝酸性窒素 (mg/l)                      | 0.1-0.9   | 2.8              | 1.0                | 1.0    | 1.0         |
| BOD (mg/l)                        | 0.7-3.2   | 6.6              | 5.0                | 3.5    |             |
| 全COD (mg/l)                       | 12.0-28.7 | 22               |                    | 41     |             |
| DO (mg/l)                         |           | 9.8              |                    |        | 6.0         |
| オルトリン (mg/l)                      |           | 0.05             |                    |        |             |
| 全リン (mg/l)                        | 0.17-0.41 | 0.09             | 8.0                | 3.6    | 0.1-4.2     |
| カリウム (mg/l)                       |           |                  |                    |        |             |
| ナトリウム (mg/l)                      | <5        |                  |                    | 207    |             |
| ナトリウム等価比 (‰Na)                    |           |                  |                    |        |             |
| 大腸菌群数 (MPN/100ml)                 | <2        |                  |                    | <2     | <2.2        |
| アンモニウムおよびアンモニア性窒素                 | 0.1-1.2   | 33-40            |                    |        |             |
| 塩化物 (mg/l)                        | 30        | 218              | 230                | 250    | 270-480     |
| 硫酸塩 (mg/l)                        | 15-36     |                  | 450                | 340    | 380-575     |

### 3.3 サンティ郡用水組合

このプロジェクトは公平にみて、リクリエーション湖のために家庭下水の処理水を利用するパイオニアとして有名である。1961年以来、サンティでは処理した下水をリクリエーション湖に流入にして公衆に利用させるため、潜在的な健康障害に関する質問に回答できる数多くの研究開発のデータが集積された。サンティ湖は実験室での結果のように人体に接触する回数を増加していくことを含み、リクリエーション活動が果敢的にすすめられていった。そして、伝染病に関する情報は、このような活動に際しても健康に対しての障害を生じないことを実証した。この湖は岸辺に沿って行なわれるボート遊びと釣りのために現在用いられているが、全身を浸水させるスポーツには開放されていない。1965年に、湖の1つの近隣の土地に、湖水とは分離された流れる水による水泳プールが設けられた。このプールに使用する水は下水処理水をさらに凝集、ろ過および塩素によって処理したものである。(図-31)

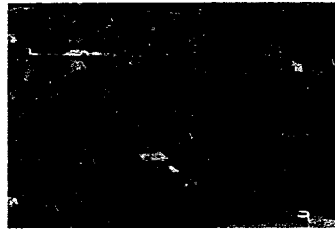
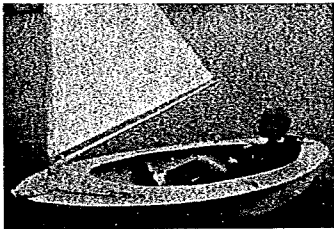


図-31 カリフォルニア州サンティの下水処理水利用のリクリエーション湖

サンティプロジェクトによって発展した最も有意義なデータはビールス残存量に関する研究である。このビールスに関する研究(8)によると、オキシディンボンドの地下浸透帯通過による処理は、バクテリアとビールスの除去に効果的であると結論づけている。病気を伝染させる証拠は見いだされていない。

図-32および図-33に示したように、サンティ下水処理場の活性汚泥処理施設からの流出水は、容量30MG(11,360m<sup>3</sup>)のオキシディンボンドに流入される。オキシディンボンドの流出水は0.5マイル(800m)離れたところのリクリエーション湖上流にある3エーカー(1.2ha)の地下浸透床にポンプで送水される。浸透床を下方に通過した水は、地下において400フィートないし1,500フィート(122mないし456m)の水平距離の自然砂および砂利層を浸透していく。浸透床の厚さは約15フィート(4.6m)である。地下における水流は大きな集水溝に集められる。大きな降雨の期間を除いて集められた水の95%は処理された下水である。集められた水は4池のリクリエーション湖の最上流部に流入する前、またはすでに記述した水泳プールに流入させるための三次処理を行なう前に接触タンクで塩素消毒される。4池の湖は連続しており、個々の湖の容積は12ないし18MG(45,400~68,100m<sup>3</sup>)、水面積は6ないし10エーカー(2.43~4.05ha)である。

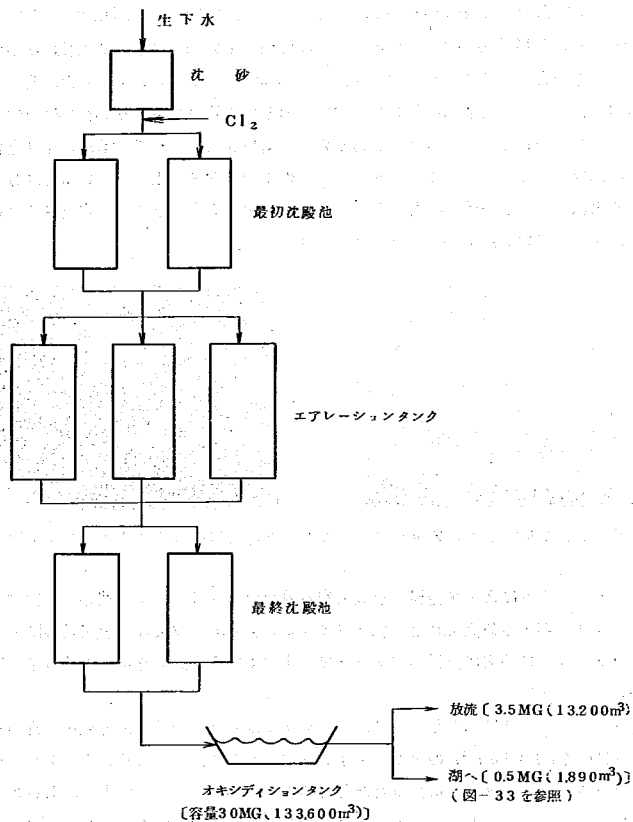


図-32 カリフォルニア州サンディ下水処理場

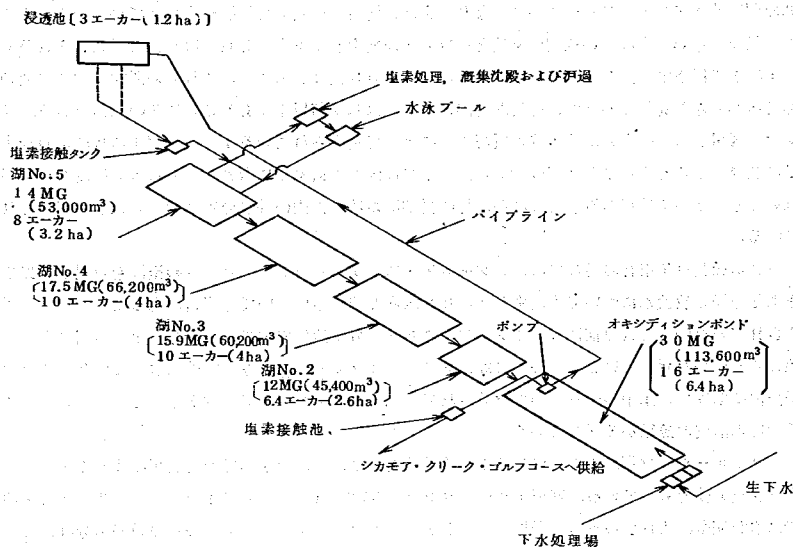


図-3-3 カルフォルニア州サンティの湖システム容積比によるスケッチ

#### 4. 処理施設の運転状況

リクリエーション湖に処理水を供給している3箇所の下水処理場の一般的な処理水の水質は表-3-5および表-3-6に示すとおりである。各処理場では、その運転期間の大部分はその目的とする

表-3-6 レクリエーション湖で用いられている下水処理水中の重金属類濃度

(mg/l)

| 成 分 名    | 南タホ公益事業<br>組合下水処理場 | ランカスター<br>下水処理場 | サンティ郡用水<br>組合下水処理場 | U. S. PHIS 飲料<br>水基準 (最大値) |
|----------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| 砒 素      | <0.005             | 0               | 0                  | 0.05                       |
| クロム (6価) | <0.0005            | 0               | 0                  | 0.05                       |
| 銅        | 0.0116             | 0.04            | 0                  | 1.0                        |
| 鉄        | <0.0003            | 0.22            | 0                  | 0.3                        |
| マグネシウム   | 0.002              | 0.03            | —                  | 0.05                       |
| セレンウム    | <0.0005            | 0               | —                  | 0.01                       |
| 銀        | 0.0004             | —               | —                  | 0.05                       |
| 亜鉛       | <0.005             | 0.24            | 0                  | 5.0                        |
| ブロム      | 0.065              | —               | —                  | —                          |
| ウラン      | 0.0015             | —               | —                  | —                          |
| コバルト     | 0.00022            | —               | —                  | —                          |
| セレン      | 0.000006           | —               | —                  | —                          |
| 水銀       | <0.0005            | —               | —                  | —                          |
| ルビジウム    | 0.010              | —               | —                  | —                          |
| スカンジウム   | 0.000001           | —               | —                  | —                          |
| アンチモン    | 0.00044            | —               | —                  | —                          |

水質に見合う処理水質を得ているが、特別な問題が生じてきている。ランカスターの場合には、冬期の間に時々アンモニアレベルが高くなり、また、濁度は一貫して制限値を越えている。ランカスター処理場の処理水は高い残留塩素量と炭酸ガス濃度を有するが、これらは湖内に受入れられるレベルにまで低下する。しかし、湖水は高い濁度とTDS濃度を有する。これらの問題はすでに他の節で述べてきた通りであるが、総処理時間の15%は基準値以下であることにその原因がある。サンティ区用水組合の場合には地域水質汚濁部によって定められているTDSに関する放流水質要求量に見合う水質をうることは困難であった。その地区の水道水中に含まれている塩分濃度レベルが高いことにその原因がある。そのほか、特に夏期における湖内の藻類発生量の多いことも記録されている。

南タホ公益事業組合の場合には、アンモニア・ストリッピング・プロセスの施設を設置して以来、下水処理場の放流水についても、またアルビン区内の貯水池についても障害のあるようなことは報告されていない。これ以前には、インデアンクリーク貯水池において、1971年の冬期に主要な魚種の一つが斃死している。この時には、8インチ(20 cm)の厚さで貯水池内に張りつめた水が急激に融けて、水中の栄養塩類が解放されて、湖水中のアンモニア濃度が増加して、大略5~10%の貯水池内の魚類が斃死している。

リクリエーション湖内での水の滞留に続く最終処分は、下水のすべての再利用にうちで最も考慮すべき重要性をもっている。容積10億ガロン(約 $3.79 \times 10^6 \text{ m}^3$ )のインデアンクリーク貯水池では水が完全に入れかわるのに平均7ヶ月かかる。インデアンクリークでの水の最終処分は、農民が灌漑用のために湖内の1ヶ所から用水を取水している。サンティのリクリエーション湖は16日間の滞留日数を持ち、その最終処分は芝生の灌漑とサンディゴ川への放流である。ランカスターの下水処理場は放流先河川をもっておらず、したがって貯水した処理水を消化するためには灌漑を行っていかねばならない。

この3ヶ所の下水処理場においては、処理の状況を監視するために必要となるテストを行なうために優れた実験室が整備されている。化学の専門家は、この章ですでに記載してある化学成分のすべてについての試験を定期的に採取した試料によって行なっている。ランカスター下水処理場の運転に例示したように、試料の採取は、下水処理場の放流水と貯水池内の水について、双方ともに必要である。

## 5. 非公式なリクリエーションへの利用

この章に記載してある操業は、リクリエーションの目的に公式に処理水を供給している下水処理場の場合についてである。数はよく知られていないが、高度の処理水質を得ている下水処理場では、非公式に、略式に、あるいは非合法ではあるがリクリエーション目的のために処理水を供給しているものがある。図-34に示したものは、ロスアンゼルス郡のウィッターナローズの下水処理場からの処理水の例であるが、ここでは子供が処理水中で遊ぶために柵をよじ登って場内に入ってきている。

下水用ボンドの主要な利用先は、かも類や他の猟鳥の遊泳場にあることが報告されている。これらのボンドは野生生物の保存やアメリカでの戸外リクリエーションに貢献している。これらの鳥類

のうちの幾千もがハンターによって年間に殺りく  
されており、死滅している。公衆衛生に関係する  
問題として、羽の鉛の銃弾跡からバクテリアが  
かも類の体内に浸入していくことがある。もしも、  
このような有害な化合物が、かも類が住み家とし  
ている下水用ボンドに明らかに存在しておれば、  
かも類は毒性成分および有機化合物を高濃度にま  
で蓄積していくかも知れない。これらの潜在的健  
康障害についての研究は行なわれてきていないと  
の報告がある(9)。



図-34 下水処理水にたわむれる子供達

## 6. リクリエーション用水としての再利用の経済性の現状分析

表-37には、リクリエーション湖に下水処理水を供給しているこれら三箇所の下水処理場の処理費についてまとめて記載してある。表-37について興味のあることは、下欄についてであり、ここでみられるのは、ランカスター下水処理場の処理費が南タホおよびサンティの下水処理場の詭弁的な運転に比べて極めて安いことである。ランカスター下水処理場では単純な化学凝集沈殿と汚過をオキシデーションボンド流出水について行っており、その処理費は償却費を含めてMG当り150ドル( $\text{m}^3$ 当り11.89円)である。運転経費自身も、ランカスターでは南タホおよびサンティに比べて極めて安価になっている。

南タホ公共事業組合での処理費が高くなっている主たる理由は、下水処理場の設計容量が7.5MGD( $28400\text{m}^3/\text{日}$ )であるのに対して、現在の流入量が2.7MGD( $10200\text{m}^3/\text{日}$ )であることによる。同組合では、下水処理場流入水が設計容量に達した際にはMG当り320ドル( $\text{m}^3$ 当り25.36円)まで減少すると確信している。

表-37 リクリエーション湖に処理水を供給している下水処理場  
三次処理施設の報告による処理コスト

| パラメータ                                     | 南タホ公益事業組合<br>下水処理場 |                          |         | ランカスター下水処理場              |       |       |        | サンティ郡<br>用水組合<br>下水処理場       |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------|--------------------------|-------|-------|--------|------------------------------|
| 建設年                                       | 1959               | 1965                     | 1967    | 1958                     | 1959  | 1960  | 1969   | 1967                         |
| 当初のコスト<br>(10 <sup>6</sup> \$)            | 2.0                | 1.0                      | 2.5     | 0.687                    | 0.063 | 0.069 | 0.248  | 2.0                          |
| 下水道の建設コストの<br>値上り指数<br>(1972年を<br>基準年とする) | 166                | 154                      | 144     | 169                      | 166   | 164   | 130    | 144                          |
| 1972年1月基準年<br>に対するコスト                     | 3.32               | 1.54                     | 3.60    | 1.16                     | 0.10  | 0.11  | 0.32   | 2.88                         |
| 年間の資本償却費<br>(5.5%, 25年償還)                 | 247,506            | 114,807                  | 268,380 | 86,478                   | 7,455 | 8,200 | 23,856 | 214,704                      |
| 1971年の年間運転<br>費(\$)                       |                    |                          |         |                          |       |       |        |                              |
| ・労務費                                      |                    | —                        |         | 30,503                   |       |       |        | 78,040                       |
| 物品供給費                                     |                    | —                        |         | 8,883                    |       |       |        | 30,141                       |
| 施設利用のための<br>経費                            |                    | —                        |         | 12,634                   |       |       |        | 43,175                       |
| ・その他の経費                                   |                    | —                        |         | 12,217                   |       |       |        | 17,127                       |
| ・総経費                                      |                    | 238,600                  |         | 64,237 (二次処理費)           |       |       |        | 323,083                      |
| 償却費を含めた年間経<br>費(\$)                       |                    | 869,293                  |         | 282,73 (三次処理費)           |       |       |        | 537,787                      |
| 年間処理水量 (MG)                               |                    | 986                      |         | 1,460                    |       |       |        | 1,205                        |
| " (m <sup>3</sup> )                       |                    | [3.732×10 <sup>3</sup> ] |         | [55.26×10 <sup>6</sup> ] |       |       |        | [4.561×<br>10 <sup>9</sup> ] |
| 処理コスト                                     |                    |                          |         |                          |       |       |        |                              |
| ・償却費を含む<br>(\$/MG)                        |                    | 882                      |         | 150                      |       |       |        | 446                          |
| (円/m <sup>3</sup> )                       |                    | [699.1]                  |         | [11.89]                  |       |       |        | [35.35]                      |
| ・償却費を含まず<br>(\$/MG)                       |                    | 242                      |         | 63                       |       |       |        | 268                          |
| (円/m <sup>3</sup> )                       |                    | [191.8]                  |         | [4.99]                   |       |       |        | [21.24]                      |

#### 第 4 章 の 参 考 文 献

1. Mckee, J.E., and Wolf, H.W. (ed.), "Water Quality Criteria" Publication No. 3-A, California State Water Resources Control Board (1971).
2. Dryden, F.D., and Stern, G., "Renovated Water Creates Recreational Lakes," "Environmental Science and Technology", 2, 268, 1968.
3. Los Angeles County Engineers Office, "Summary Report on Apollo County Park, Waste-water Reclamation Project for Antelope Valley Area." October 1971.
4. Culp, Gordon, and Selechta, Alfred, "Tertiary Treatment Lake Tahoe," Bulletin of the California Water Pollution Control Association, January 1967.
5. Leggett, J.T. and McLaren, F.R., "The Lake Tahoe Water Quality Problem History and Prospectus," Bulletin of the California Water Pollution Control Association, October 1969.
6. Leggett, J.T. and McLaren, F.R., "Lake Tahoe Revisited," Bulletin of the California Water Pollution Control Association, January 1971.
7. Tharrett, Robert, California Department of Fish and Game, Informal report to South Tahoe P.U.D. (May 5, 1970).
8. Merrell, John C. Jr., and Ward, Paul C., "Virus Control at the Santee, California Project," Jour. AWWA, February 1968.
9. Dornbush, James N. and Anderson, John R., "Ducks on the Wastewater Pond," Water and Sewage Works, Volume 3, No. 6, June 1964.

## 第5章 生活用水としての再利用

### 1. 序 論

下水処理水を飲料を目的とした生活用水として再利用することについての大きな議論が巻き起っている。カリフォルニア州における最近の研究は(6)、下水処理水の種々の利用に対する公衆の態度についてまとめている。下水処理水を使用することについての反対は、一般的にみて、個人的な接触の見込みまたは範囲に依存している面が大きいために、見出し出されている。飲料以外の生活用水としての再利用、たとえば、芝生の灌漑や水洗便所での利用は回答者の4%以下、家庭での洗濯は回答者の20%が反対しており、飲料としての再利用は回答者の55%が反対している。

下水処理水を生活用水として再利用することの技術的可能性、健康障害、または公共の受容性を越えて議論に入ることは、この研究の範囲内ではない。この章では、主としてよく知られている南アフリカ連邦のウィンドフォークの下水処理場の運転について記載してある。それは都市下水を直接に飲料水としている唯一の例である。それに加えて、グランドキャニオンにおいて国立公園サービスが行っている飲料以外の生活用水としての再利用が議論されている。グランドキャニオンでの下水処理場の運転は付録Aの野外調査報告に詳細が記載されている。

表-38は生活用水としての再利用についての処理と再利用水量をまとめている。

表-38 生活用水としての再利用のための下水処理場運転の目録

| 下水処理場の位置                      | 再利用水量<br>(MGD) | 都市下水処理の<br>レベル |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| 南アフリカ連邦ウィンドフォーク               | 0.59[2233]     | 三次処理           |
| アリゾナ州グランドキャニオン<br>(国立公園サービス部) | 0.03[114]      | 三次処理           |

[註] [ ]内は $m^3$ /日を示す

もう一つほかの実例は極めて短い期間ではあったが、カンサス州チャヌートにあった(5)。1952年から1957年にかけての厳しい旱ばつで、この町の12,000人の住民は5ヶ月間にわたって、下水処理場からの放流水をほぼ直接に飲料用に利用してきた。通常用いてきた水源のネオショウ河は1956年の夏には干上ったために、二次処理施設からの塩素滅菌された放流水は河床のダムの後方に集められた。この貯水池の滞留日数はおおよそ17日間であった。その水は浄水場において、凝集、沈殿、ろ過および塩素滅菌が行われ、各部落へ飲料水として供給した。

この水道水は飲料水基準に適合しないものではなかった。しかしながら、青白い黄色を帯び、不快な臭いを有し、コップの中に入れたときに泡を生じた。また、水道水は高い塩化物、ナトリウム、蒸発残留物および有機物含有量をもっていた。大腸菌は異なる3日間見いだされたが、MPNレベルでは基準値の範囲内であった。

藻類は1ml当り2,000ないし45,000個が見い出された。そのうち、少量は生存しており、識別できないamabaeと小さな非病原性の虫(Worm)が生きていた。ビールス類は検出されなかった。

公的な他の水供給源は貧弱であり、ビン詰めの水の販売が盛んに行なわれた。70ヶ所の井戸が掘られたが、多くの井戸からの水は無機物含有量が非常に高いものであった。

1年後、地方と連邦の衛生部局は、地方の医師会と会合をもった。そして、たとえ患者がそのかかった病気について、その水を非難しても、水道水によるものではないことについての合意を得た。

その10年後、浄水場の監督者であるCarl E. Workman氏は電話によるインタビューに答えて、5ヶ月にわたる水の危機の間に、下水処理水を飲料用にしたことによって慢性病の発生がなかったことは明らかであると述べている。

## 2. 生活用水として再利用する水質のクリテリア

都市下水を生活用水として再利用するための水質のクリテリアは、監督官片側のデータ不足が認められている。公衆衛生局（USPHS）の飲料水基準は、処理した下水の組成を定める制限値としては適当ではない。事実、その基準は「定義」によって下水を除外している。

南アフリカ連邦のウィンドフォークでの操業は、現在における唯一の公式に承認されたものであり、実用規模の飲料水として再利用する施設である。そのウィンドフォークでさえも、それが都市に上水道用水として給水する前に、7.5:1の割合で下水処理水を希釈している。

世界保健機構（WHO）は、ウィンドフォークの上水道のために水質基準を設けている。WHOの基準とUSPHSの基準との位置付けは、表-39に示すとおりである。

表-39 WHOとUSPHSの飲料水基準

| 成 分 名<br>(mg/l) | 基 準 設 定 機 関 |         |         |
|-----------------|-------------|---------|---------|
|                 | WHO         |         | USPHS   |
|                 | 「望ましい」      | 「承認しうる」 |         |
| pH              | 7.0-8.5     | 6.5-9.2 | 6.0-8.5 |
| 色 度             | 5           | 50      | 15      |
| 濁 度             | 5           | 25      | 5       |
| TDS             | 500         | 1500    | 500     |
| 硫酸イオン           | 200         | 400     | 250     |
| 塩化物             | 200         | 600     | 250     |
| 硝酸イオン           | —           | 45      | 45      |
| アンモニア性窒素        | 0.5         | —       | —       |
| ケルダール窒素         | 1.0         | —       | —       |
| COD             | 10          | —       | —       |
| BOD             | 6           | —       | —       |
| DO              | —           | —       | 4-7.5   |
| ABS             | 0.5         | 1.0     | 0.5     |
| 大腸菌群数           | —           | —       | 1       |

環境保護庁（EPA）の「水の再利用に関する政策の声明、（1972年7月7日）」は再利用水を飲料用として用いることに関して、次のように述べている。

「われわれは、現時点において、下水処理場と上水道とを直接に接合させることを支持するための知識を有していない。貯水池内において、下水処理水と他の承認しうる供給源からの水を混ぜ合わせて飲料水として使用することは、下記の条件のすべてに適合することが示されたかつての研究開発の成果が利用できるかも知れない。

- a. 健康障害に対する保護、
- b. 利用可能な通常の水源よりもさらに高度な水質の提供、
- c. 交換しうる通常の水源よりも、生態学的なインパクトによる不利益が少ないという成果、
- d. 化学的および生物学的制御技術に完全に依存して試験され、そして供給されていること、
- e. 通常の水源よりもより経済的であること、
- f. 認知された保健当局によって承認されていること、

アメリカ水道協会 (AWWA) と水質汚濁防止連盟 (WPOF) の下水処理水の生活用水としての再利用に関する共同声明は、EPAの声明とは幾分異なっており、次のように読まれている。

「事実からみると、処理された下水の常に多くの水量が、国内の公共用水域に放流されており、多数の既存の水道用水に対する混合比率は増加の一途をたどっている。

事実からみると、生活用水道システムの種々の要素の中に処理した下水を直接に導入しようという数多くの提案が行われてきた。

事実からみると、われわれの利用可能なすべての水源の健全な管理は、飲料水供給の1部として、適切に処理された下水の潜在的な利用を考慮することが含まれなければならない。

事実からみると、下水のこのような利用の結果として、人の健康の急性および長期間の影響に関する科学的情報が不十分である。

事実からみると、下水からすべての潜在的有害物質の除去を保証するための弱体化 - 安全技術は利用できない。

それゆえ、いま、それを解決するには、AWWAとWPOFは、ここで、公衆衛生上の完全な保護を保証するために、下水処理水を飲料水とするに関係のある科学的知識と技術を提供する直接的、多偏正的な国家的努力に対して援助することを連邦政府に対して勧告する。」

このことは、飲料用および非飲料用として下水が家庭で再利用されるためのより決定的な水質基準の作成が行なわれることを期待したものである。

### 3. 実用化プロセスの現状分析

#### 3.1 南アフリカ連邦

南アフリカ連邦においては、追加的な水道水供給の必要から、下水からの再生水をうるための本格的な研究が行なわれてきた。1960年代の後半に、南アフリカ連邦のウィンドフォークでは、直接に飲料水に供するための恒久的なベースでの下水処理場の唯一の運転が行なわれてきた。ウィンドフォークの下水処理場の設計下水量は1.17MGD (4,430 m<sup>3</sup>/日)で、最初の2年間の運転において、この下水処理場は、上水道給水量の平均13.4%を分担してきた。

図-35はこの下水処理場のフローダイアグラムを明示したものである。散水汙床による二次処理と熟成池 (オキシデーションポンド) による処理の後、下水は下記のユニットプロセスから成る三次処理施設に送られる。

- 炭酸ガスによるpH調整
- 藻類の浮上分離 (硫酸アルミニウムを凝集剤として加える)
- 泡末分離

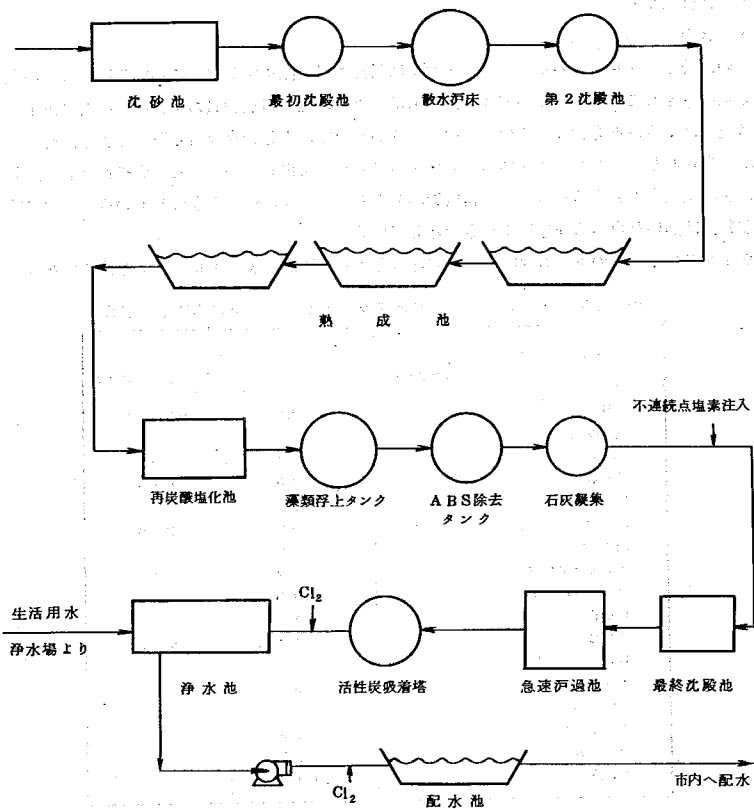


図-3 5 南アフリカ連邦ウィンドフォークのガンマムス  
下水処理場のフローダイヤグラム

- ・ 石灰凝集
- ・ 不連続点塩素処理
- ・ 沈殿
- ・ 急速砂戸過
- ・ 活性炭吸着
- ・ 後塩素処理

この連続したプロセスのキー・エレメントは栄養塩類を除去するために熟成池によって藻類の生長を刺激させることである。熟成池の流出水は、藻類、沈殿可能物質および浮遊物を除去するために多岐にわたる処理を行なっている。図-35からみて、不連続点塩素処理は砂戸過池を通して残留塩素を供給し、アンモニア性窒素を酸化することを実用化している。活性炭吸着と後塩素処理は処理を完全なものとするために、残留塩素濃度を0.5 mg/lに保つようにしている。2台の警報器付記録計は適切な塩素処理を確実なものとしている。

ウィンドフォークの下水処理場の一般的な処理水の水質は、表-40に示すとおりである。先き

表-40 ウィンドフォークとグランドキャニオンの処理水の水質

| 成 分 名<br>(mg/l) | 施 設      |           |
|-----------------|----------|-----------|
|                 | ウィンドフォーク | グランドキャニオン |
| pH              | 7.8      | 6.9-7.2   |
| 色 度             | 8        | —         |
| 濁 度             | 4        | —         |
| TDS             | 540      | 616       |
| 硫酸イオン           | 125      | —         |
| 塩化物             | 62       | 200       |
| 硝酸性窒素           | 9        | —         |
| アンモニア性窒素        | 0.2      | —         |
| ケルダール窒素         | 0.5      | —         |
| COD             | 14       | —         |
| BOD             | 0.3      | 5-10      |
| DO              | —        | —         |
| ABS             | 0.7      | —         |
| 大腸菌群数           | 0        | 0         |
| ナトリウム           | 76       | —         |
| カリウム            | 19       | —         |
| リン酸             | 0.016    | —         |

に表-39に示したWHOの制限値と比較してみると、ウィンドフォークの処理水は、色度、TDS、CODおよびABSで「望ましい」基準を越えているが、「承認しうる」基準の範囲内にある。オレアンガバダムからの通常の飲料水とのもとの後の混ぜ合せにより、混合水の水質はすべての成分について、WHOが定める「望ましい」基準の範囲まで改善される。混合水の中の再生水の平均百分率は13%であり、0から28%の範囲にあると報告されている。

ウィンドフォークの下水処理場で経験された問題には、次のような事柄が含まれる。

- ・ 藻類の浮上分離と泡沫分離装置の機械的なミス（現在改良中）

- ・ 活性炭の再生時の三次処理施設の運転中止
- ・ 冬期間における熟成池のアンモニアレベルの増加、この場合、再利用レベルの処理水質をうるのに不経済なものとなる

これらの問題から、この処理施設の運転は設計値の50%で行なわれている。

この処理施設は、藻類の浮上分離、泡末分離、砂汚過池の逆洗浄、および活性炭吸着塔の逆洗浄について、本質的な水量損失を経験している。これらの損失量は処理施設流入量の10%を越えている。

ウィンドフォークの再利用処理施設は、1968年10月から1970年末まで運転された。1971年の初頭に、既存の下水処理施設への流入負荷量が処理区域の拡大によって増加し、熟成池の流出水の水質が再利用処理施設流入水の水質の仕様を満足しなくなった。処理水の再生は、既存の下水処理施設の改善が行なわれるまで、一時的に操業を停止することとなった。それに加えて、この地域での降雨量が増加し、緊急に再利用を行なう必要性がなくなった。再生処理施設は、既存の下水処理施設 拡張されてから、再び運転が行なわれることになるであろう。

以上述べてきたウィンドフォークの処理施設に関するすべての情報は既発行の技術文献から引用した(2, 3, 7, 8, 9)。

### 3.2 アリゾナ州グランドキャニオン村

アリゾナ州グランドキャニオンの下水処理施設は国立公園サービスによって運転されており、非飲料用として直接に供給されている(野外調査結果は本報告書の付録Aに記載してある)。5月から9月までの水利用の多い季節は下水処理水を平均30,000GPD(113.6m<sup>3</sup>/日)[この期間の全水使用量のおおよそ7%に相当]を、水洗便所、洗車、灌漑、建設および備蓄用として使用している。使用水量は冬期には著しく減少する。

処理水の単一目的による最大使用は、村内にある古いロッジ、モーター、寮、キャプテリヤの水水洗便所である。他の主たる利用先は高等学校のフットボール用運動場と造園であり、少量が洗車と道路建設に使用されている。

標準活性汚泥法による処理に続いて、アンスラサイトによる汚過と塩素処理が行なわれており、残留塩素濃度は5mg/lとなっている。一般的な処理水の水質は表-40に示してある。

グランドキャニオンの下水処理場は自動化されていない。残留塩素濃度は安全を確保するためのパラメータと考えられており、処理場の職員によって24時間にわたって監視されている。処理水の水質の制限値は次のとおりである。

BOD 10 mg/l

SS 10 mg/l

大腸菌数 100 ml 当り 200 (MPN)

処理水は全運転時間の約2%がこの制限値を越えていることが報告されている。

### 3.3 バイクス・ピーク

コロラド州バイクス・ピークでは、生活用水としての潜在的な再利用システムが部分的に評価されてきた。このリクリエーション区域で発生する水洗便所と台所の排水が、水洗便所で利用できるよう処理が行なわれてきた。今日までに処理システムのみが評価されてきている。処理水が生活用水として承認しうるものであるは、アメリカ林野庁(U.S. Forest Service)が頂上の施設のために定まった土

地を選定するまでは、全面的な評価を行なうことはできない。処理はコンパクト化した活性汚泥－ウルトラフィルトレーション装置によって行なわれている。ウルトラフィルトレーション装置はシステム外への活性汚泥微生物の移動を阻止するための確実な防護柵の役目を果たしている。このシステムは、極めて長いSRTで運転されており、高度な処理効率を得ている。それに加え、ウルトラフィルトレーションのメンブレンは、高分子の有機物とコロイド性の物質の流出を防止している。バイクス・ピークの下水処理場では15,000 GPD (56.8 m<sup>3</sup>/日)の処理水を得ている。1970年の8月ないし9月に報告されている一般的な水質のデータを取りまとめたものは、表－41に示すとおりである。

表－41 1970年8月～9月におけるバイクスピークのドルオリバー社製  
活性汚泥－ウルトラ・フィルトレーション処理施設の運転成績

| パラメータ              | 流入水<br>(mg/l) | 処理水<br>(mg/l) | 除去率<br>(%) |
|--------------------|---------------|---------------|------------|
| BOD                | 285           | 1             | 99         |
| COD                | 547           | 32            | 94         |
| TOC                | 136           | 6.6           | 95         |
| 濁度(JTU)            | 47            | 0.33          | —          |
| 色度(units)          | 320           | 40            | —          |
| TSS                | 129           | —             | 100        |
| MLSS               | 3,954         | —             | —          |
| 大腸菌群数(100ml当り)     | —             | —             | 100        |
| PO <sub>4</sub> -P | 9.1           | 11.1          | —          |
| pH                 | 7.9           | 5.9           | —          |
| 臭気閾値               | —             | 6             | —          |

平均戸過水量 110 GFP=21,000 GPD [79.5 m<sup>3</sup>/日]

#### 4. 生活用水としての再利用の経済性の現状分析

ウィンドフォークでの処理費は建設費の償却を含めて、MG当り577ドル (m<sup>3</sup>当り4573円)である。表－42には最初の2年間の三次処理による運転コストを示している。

表－42 南アフリカ連邦ウィンドフォークの三次処理  
のコスト (1968-1970) (9)

| 費 目    | \$ / MG     |
|--------|-------------|
| 建設費    | 194 [15.38] |
| 労力費    | 44 [3.49]   |
| 化学薬品費  | 144 [11.41] |
| 活性炭費   | 120 [9.51]  |
| その他の費用 | 75 [5.94]   |
| 総 額    | 577 [45.73] |

(註) [ ]内はm<sup>3</sup>当りのコスト(円)を示す  
(ただし、1ドル=300円で計算)

これらのコストでは、既存の下水処理費は含まれておらず、また、設計流入量に対して概略50%の流入が行なわれたものとして計算している。設計流入量に対して、最大80%の利用が行なわれた場合には、運転コストはMG当り495ドル( $\text{m}^3$ 当り39.23円)まで低下させることができるであろう。この数値は、ウィンドフォークにおける浄水処理費たるMG当り530ドル( $\text{m}^3$ 当り42.01円)と比較して有利なものである。

ウィンドフォークにおける三次処理のユニットプロセスの組合せは、再生水を生産するために経済的なシステムであることが証明された。三次処理プロセスによる下水の再生のためには下水処理施設から常に適切な水質の処理水の供給を要するが、その下水処理施設の能力不足についてはすでに述べてきた。このことが経済性の評価に拘束力を与えている。

グランドキャニオンにおける処理のコストは、建設費の償却をまずに、MG当り604ドル( $\text{m}^3$ 当り47.87円)、建設費の償却を加えるとMG当り2,580ドル( $\text{m}^3$ 当り204.49円)と見積られている。グランドキャニオンの処理水の価格の高いことは、その処理水量が少ないためであり、非飲料用の生活用水として「正常」でないことを示している。

ウィンドフォーク市が再生水の生産について受取っている歳入については不明である。しかし、グランドキャニオンでは、その水について特別の料金制度をもっている。その料金は新鮮な飲料水が得られているところを除いて、再生水についてはMG当り1,750ドル( $\text{m}^3$ 当り138.71円)である。新鮮な飲料水が得られるところではその飲料水の価格がMG当り2,450ドル( $\text{m}^3$ 当り194.19円)であるから、再生水の供給を強力に奨励するために、再生水の価格をMG当り1,000ドル( $\text{m}^3$ 当り79.26円)に割引いている。再生水供給の重要性は淡水の輸送問題から力説されてきた。この水はグランドキャニオンを横断して、パイプで15マイル(24.15km)、高さで3,400フィート(194.19m)もポンプアップして送られてきている。国立公園サービスは再生水を販売することにより、1971年には11,000ドルの収入を得ている。

## 第 5 章 の 参 考 文 献

1. Wolf, Harold W., and Esmond, Steven E., "Water Quality for Potable Reuse of Wastewater."
2. Stander, G.J. and J.W. Funke, "Direct Cycle Water Reuse Provides Drinking Water Supply in South Africa," Water and Wastes Engineering, May 1969.
3. Clayton, A.J. and P.J. Pybus, "Windhoek Reclaiming Sewage for Drinking Water," Civil Engineering, September 1972.
4. "Water Re-Used on Pike's Peak," Public Works, November 1970.
5. American Institute of Chemical Engineers, Water Reuse, Symposium Series 78, Vol. 63, 1967.
6. Bruvold, W.H., and Ward, P.E., "Using Reclaimed Wastewater - Public Opinion," JWPCF 44, 1690, 1972.
7. Stander, G.J., "Reuse of Wastewater for Industrial and Household Purposes," Paper presented at the International Water Supply Congress, September 1972.
8. Hart, O.O. and Stander, G.J., "The Effective Utilization of Physical-Chemically Treated Effluents," Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, Edited by Wesley W. Eckenfelder, Pergammon Press, September 1972.
9. Van Vuuren, L.R.S. and Henzen, M.R., "Process Selection and Cost of Advanced Wastewater Treatment in Relation to the Quality of Secondary Effluent and Quality Requirements for Various Uses," Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, Edited by Wesley W. Eckenfelder, Pergammon Press, September 1972.

## 第6章 魚類の増殖と飼育

### 1. 序 論

処理下水のラグーンによる魚類の増殖を含めて、この方式による下水の再利用は可能性が大きいものであるから、これを奨励することである。これには二つの可能性に富む応用がある。その1はリクリエーションのための魚釣りであり、その2は営業用としての魚類の飼育である。

多種の魚類がいろいろの都市下水処理用ラグーンの中で棲息しているが、リクリエーション用魚釣りに利用できる処理水湖とボンドは、国内の比較的数少ない地域でのみ確保されてきた。処理プロセスが進歩し、かつ処理水質が改善されてきたので、リクリエーション用の魚類を養殖する処理水湖とボンドの利用は一般的なものとなるかも知れない。

アメリカ合衆国では、下水処理水を利用して営業用の魚類を飼育している例をみいだすことはできない。いくつかの諸外国、とりわけ、イスラエル、アジアおよびヨーロッパの数ヶ国では下水処理用ラグーンでの養魚法が実用化されてきた。この章で参考にした研究とパイロット実験は下水中の魚類の飼育の可能性に対して、用心深い楽観主義を指摘している。

### 2. 要求されている水質のクリテリア

魚類の飼育について最も重要なことは、魚類の生存を保証するための十分な濃度の溶存酸素が存在することである。

下水が環境中に存在するとき、その中に含まれているBOD濃度は、その水中の溶存酸素レベルを減少し、あるいは全体として低下させることになるので、特に危険なものである(1)。

下水中に含まれているアンモニアは有害成分である。これは非常に低い濃度においてさえも、著しく魚を斃死させる結果をもたらす。魚類に対するアンモニアとアンモニア塩の毒性は、水中の解離しない水酸化アンモニウムが直接に関係する。これは次に示す平衡式によりpHの関数として表わされる(2)。

$$\frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3, \text{OH}]} = 1.8 \times 10^5$$

そのpHは非イオンのアンモニア濃度の増加によって上昇し、毒性は増加する。1研究者は魚類に対するアンモニア化合物の与えられた濃度についての毒性は、pH 7.4と8.0の間で200%増加することを見だしている(3)。

文献(2)に書かれている他の出典では、魚類に対するアンモニアの毒性は溶存酸素濃度が低い場合に著しく増加することを示している。一理論では、低い溶存酸素レベルにおいて、魚が排泄した炭酸ガス濃度が減少し、鰓(エラ)表面と接触している水のpH値が上昇し、すでに説明したように、水酸化アンモニウムの毒性が増加する方向に導かれると説明している。

水質と同等に重要なことは、病原性バクテリアとビールス、或る種の重金属(たとえば、水銀)および殺虫剤と除草剤である。

下水処理水中におけるこれらの存在は魚類と魚を食べる個人のいずれに対しても有害である(4)。

表-43および表-44には、いくつかの水質のパラメータについての一般的な制限濃度を示してある。

表-43 魚類の生存のために必要な水質の暫定的な基準値(1)

| 成 分 名                            | 閾 値 濃 度* |
|----------------------------------|----------|
|                                  | 淡 水      |
| TDS (mg/l)                       | 2,000 #  |
| 電気伝導度 $\mu\text{mhos/cm}$ @ 25°C | 3,000 #  |
| 最大水温 (°C)                        | 34       |
| 鮭科の魚類に対する最大水温 (°C)               | 23       |
| pHの範囲                            | 6.5-8.5  |
| 最小DO (mg/l)                      | 5.0 +    |
| 浮上性油脂 (mg/l)                     | 0        |
| エマルジョン化した油脂 (mg/l)               | 10 #     |
| 洗剤 (ABS) (mg/l)                  | 2.0      |
| 遊離・アンモニア (mg/l)                  | 0.5 #    |
| 砒 素 (mg/l)                       | 1.0 #    |
| バリウム (mg/l)                      | 5.0 #    |
| カドミウム (mg/l)                     | 0.01 #   |
| 遊離・炭酸ガス (mg/l)                   | 1.0      |
| 遊離塩素 (mg/l)                      | 0.02     |
| 6価クロム (mg/l)                     | 0.05     |
| 銅 (mg/l)                         | 0.02 #   |
| シアン (mg/l)                       | 0.02 #   |
| 沃 素 (mg/l)                       | 1.5 #    |
| 鉛 (mg/l)                         | 0.1 #    |
| 水 銀 (mg/l)                       | 0.01     |
| ニッケル (mg/l)                      | 0.05 #   |
| フェノール化合物(フェノールとして) (mg/l)        | 1.0      |
| 銀 (mg/l)                         | 0.01     |
| 溶存硫化物 (mg/l)                     | 0.5 #    |
| 亜 鉛 (mg/l)                       | 0.1      |

(註)

\* 閾値濃度は魚類の生存に有害でない正常な値である。これらの数値を越えない水は動物系および植物系のいずれにも適切な棲息地である。

# 数値は如何なる20個の連続した試料のうちの20%を越えないか、如何なる3個の連続した試料が越えてはならないものである。他の数値は決して越えてはならないものである。サンプリングの頻度は明記されるべきである。

+ 溶存酸素濃度はすべての期間のうちに2.0または5.0 mg/l以下とならないようにすべきである。2.0 mg/lを下廻ってはならない。

〔備考〕：最近のデータによれば、酸素圧力の変化率が重要な因子であり、下水によって汚染された水が毎日生ずるDOの変化は疑わしき基準値に5.0 mg/lを与えている〕

表-44 魚類の生存と関係のある化学薬品類の概略致死濃度(1)\*

| 化 学 薬 品          | テ ス ト に 使 用 し た 生 物         | 致 死 濃 度<br>(mg/l)     |
|------------------|-----------------------------|-----------------------|
| ABS (100多)       | フアセッド・ミンノー(コイ科の小魚)          | 3.5-4.5               |
| ABS (100多)       | ブルーギル(まんぼう類サンフィッシュ科)        | 4.2-4.4               |
| 家庭用洗剤            | フアセッド・ミンノー                  | 3.9-6.1               |
| アルキル硫酸塩          | フアセッド・ミンノー                  | 5.1-5.9               |
| LAS (C12)        | ブルーギル・フィンガーリング              | 3                     |
| LAS (C14)        | ブルーギル・フィンガーリング              | 0.6                   |
| 醋 酸              | 金 魚                         | 4.23                  |
| アラム              | 金 魚                         | 1.00                  |
| アンモニア            | 金 魚                         | 2-2.5 NH <sub>3</sub> |
| アンモニア            | スズキ、ウグイ、虹鱒                  | 3 N                   |
| 亜硫酸ナトリウム         | ミンノー(コイ科の小魚)                | 17.8 As               |
| 亜硫酸ナトリウム         | ミンノー                        | 23.4 As               |
| 塩化バリウム           | 金 魚                         | 5,000                 |
| 塩化バリウム           | 鮭                           | 1.58                  |
| 塩化カドミウム          | 金 魚                         | 0.017                 |
| 硝酸カドミウム          | 金 魚                         | 0.3 Cd                |
| CO <sub>2</sub>  | 種々の種属                       | 100-200               |
| CO               | 種々の種属                       | 1.5                   |
| クロラミン            | ブラウン・トロウト・フライ(コイ科の小魚)       | 0.06                  |
| 塩 素              | 虹 鱒                         | 0.03-0.08             |
| クロム酸             | 金 魚                         | 200                   |
| 硫酸銅              | ステックル・ブラック(トゲウオ)            | 0.03 Cu               |
| 硝酸銅              | ステックル・ブラック                  | 0.02 Cu               |
| シアン化塩素           | 金 魚                         | 1                     |
| H <sub>2</sub> S | 金 魚                         | 1.0                   |
| HCl              | ステックル・ブラック                  | pH 4.8                |
| HCl              | 金 魚                         | pH 4.0                |
| 硝酸鉛              | ミンノー, ステックル・ブラック, ブラウン・トロウト | 0.33 Pb               |
| 塩化水銀             | ステックル・ブラック                  | 0.01 Hg               |
| 硝酸ニッケル           | ステックル・ブラック                  | 1 Ni                  |
| ニトロ酸             | ミンノー                        | pH 5.0                |
| 酸 素              | 虹 鱒                         | 3 cc/l                |
| フェノール            | 虹 鱒                         | 6                     |
| フェノール            | パーチ(ウグイ類)                   | 9                     |
| クロム酸カリウム         | 虹 鱒                         | 7.5                   |
| シアン化カリウム         | 虹 鱒                         | 0.13 CN               |
| シアン化ナトリウム        | ステックル・ブラック                  | 1.0                   |
| 硝酸銀              | ステックル・ブラック                  | 70 K                  |
| ヨウ化ナトリウム         | 金 魚                         | 1,000                 |
| 硫化ナトリウム          | ブラウン・トロウト(褐色鱒)              | 1.5                   |
| 硫酸亜鉛             | ステックル・ブラック                  | 0.3 Zn                |
| 硫酸亜鉛             | 金 魚                         | 0.5                   |
| 殺虫剤類             |                             |                       |
| 1. 塩素化炭化水素       |                             |                       |
| アルドリッ            | 金 魚                         | 0.028                 |
| DDT              | 金 魚                         | 0.028                 |
| DDT              | 虹 鱒                         | 0.5-0.32              |
| DDT              | 鮭                           | 0.08                  |
| DDT              | ブラウン・トロウト(褐色鱒)              | 0.032                 |
| DDT              | ミンノー, グッピー                  | 0.75 ppb              |
| DDT              | ストーン・フライス(かわげら類)            | 0.32-1.8              |

| 化 学 薬 品        | テ ス ト に 使 用 し た 生 物      | 致 死 濃 度<br>(mg/l) |
|----------------|--------------------------|-------------------|
| BHC            | 金 魚                      | 2.3               |
| BHC            | 虹 鱈                      | 3                 |
| クロールダン         | 金 魚                      | 0.082             |
| クロールダン         | 虹 鱈                      | 0.5               |
| ディールドリン        | 金 魚                      | 0.037             |
| ディールドリン        | ブルーギル                    | 0.008             |
| ディールドリン        | 虹 鱈                      | 0.05              |
| エンドリン          | 金 魚                      | 0.0019            |
| エンドリン          | 鯉                        | 0.14              |
| エンドリン          | フアセッド・ミンノー               | 0.001             |
| エンドリン          | 種々の種属                    | 0.03-0.05ppb      |
| エンドリン          | ストーン・フライス                | 0.32-24ppb        |
| ヘプタクロール        | 虹 鱈                      | 0.25              |
| ヘプタクロール        | 金 魚                      | 0.23              |
| ヘプタクロール        | ブルーギル                    | 0.019             |
| ヘプタクロール        | レイテアード・サンフィッシュ(サンフィッシュ科) | 0.017             |
| メチオキシクロール      | 虹 鱈                      | 0.05              |
| メチオキシクロール      | 金 魚                      | 0.056             |
| トクサフエン         | 虹 鱈                      | 0.05              |
| トクサフエン         | 金 魚                      | 0.0056            |
| トクサフエン         | 鯉                        | 0.1               |
| トクサフエン         | 金 魚                      | 0.2               |
| トクサフエン         | 金 魚                      | 0.04              |
| トクサフエン         | ミンノー                     | 0.2               |
| 2. 有機リン        |                          |                   |
| クロロチオン         | フアセッド・ミンノー               | 3.2               |
| デブテレックス        | フアセッド・ミンノー               | 180               |
| EPN            | フアセッド・ミンノー               | 0.2               |
| グチオン           | フアセッド・ミンノー               | 0.093             |
| グチオン           | ブルーギル                    | 0.005             |
| 馬拉チオン          | フアセッド・ミンノー               | 12.5              |
| パラチオン          | フアセッド・ミンノー               | 1.4-2.7           |
| TEPP           | フアセッド・ミンノー               | 1.7               |
| 3. 除 草 剤       |                          |                   |
| ウィーデックス        | ヤングリーチとトレンチ (ウグイとスズキの幼魚) | 40-80             |
| ウィーダ・ゾル        | ヤングリーチとトレンチ              | 15-30             |
| ウィーダ・ゾル T. L.  | ヤングリーチとトレンチ              | 20-40             |
| シマジシ(工場存在せず)   | ミンノー                     | 0.5               |
| アトラジン(A361)    | ミンノー                     | 5.0               |
| アトラジン・イン・ゲサブリン | ミンノー                     | 3.75              |
| 4. 殺細菌剤        |                          |                   |
| アルジビオール        |                          |                   |
| ソリサイド          | ミンノー                     | 20                |
| テトラミノール        | ミンノー                     | 8                 |

(註) \* この表は参考文献(1)に特に記載されているように、種々の出典から引用したものである。

### 3. 魚類の増殖および飼育についての現状分析

下水用ラグーンで魚類を養殖することについての合衆国内の現在の実例は、表-45および表-46にまとめられているように、リクリエーション用に限られている。処理した下水中での魚類の飼育についてのパイロット実験はミシガン州内とカリフォルニア州ラスバージェンスで行なわれてきた。付録Aには、ラスバージェンスの野外実験について、その魚類飼育実験の魚類の種属を含めて記載している。外国では、イスラエルでの魚類飼育の成功例が報告されている。

表-45 合衆国内のリクリエーション用魚類飼育のための下水再利用の目録

| 都市下水処理場の位置                                         | 飼育の魚類の種属                                                                              | 再利用水量<br>(MGD) | 都市下水処理<br>のレベル |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| カリフォルニア州ロスアンゼルス<br>(ロスアンゼルス広域下水道<br>組合ランカスター下水処理場) | バス(スズキ科)<br>チャネル・キャツフィッシュ<br>ガンブシヤ(カダヤシ属)<br>レイデアード・サンフィッシュ<br>鰻                      | 0.5 [ 1,890 ]  | 三 次 処 理        |
| カリフォルニア州サンティ                                       | ブルーギル<br>チャネル・キャツフィッシュ<br>ガンブシヤ、大口バス<br>虹鰻, レデアード・サンフィッシュ<br>スレディフィン・ソッド(コノシロ類)<br>虹鰻 | 1.0 [ 3,790 ]  | 二 次 処 理        |
| カリフォルニア州タホ湖<br>(南タホ公益事業組合)                         | 虹鰻                                                                                    | 2.7 [ 10,220 ] | 三 次 処 理        |
| コロラド州コロラド・スプリングス<br>(空軍大学)                         | 小口バス<br>鰻                                                                             | 1.4 [ 5,300 ]  | 三 次 処 理        |
| ケンタッキー州オコロナ<br>(オコロナ下水道建設組合)                       | ブルーギル<br>大口バス<br>ミンノー                                                                 | 1.0 [ 3,790 ]  | 二 次 処 理        |

(註) [ ]内はm<sup>3</sup>/日を示す

表-46 合衆国内の魚類養殖のパイロット研究の目録

| 都市下水処理場の位置                                                 | 飼育の魚類の種属                                                                                                                                               | 都市下水処理のレベル                                                                |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ミシガン州バンゴール<br>ミシガン州ペンデング<br>ミシガン州カアルソン・シティ                 | フアセッド・ミンノー<br>フアセッド・ミンノー<br>ゴールデン・ツナズ(コイ科)<br>マスkees(かもぐち類)                                                                                            | オキシディションボンド<br>オキシディションボンド<br>オキシディションボンド                                 |
| ミシガン州クーバースビル                                               | 底 泥                                                                                                                                                    | オキシディションボンド                                                               |
| ミシガン州エオ・クラレ<br>ミシガン州ガノボリス<br>ミシガン州ロートン<br>カリフォルニア州ラスバージェンス | フアセッド・ミンノー<br>ゴールデン・ツナズ<br>タイガー・マスkees<br>フアセッド・ミンノー<br>フアセッド・ミンノー<br>フアセッド・ミンノー<br>フアセッド・ミンノー<br>ガンブシヤ<br>バス<br>キャツフィッシュ(なまず)<br>クラビー(クロマス科)<br>ブルーギル | オキシディションボンド<br>オキシディションボンド<br>オキシディションボンド<br>オキシディションボンド<br>活性汚泥(高度の処理水質) |

処理水の水質は、健康な魚類の数を維持するために最も重要なことである。標準的な二次処理は魚類の生存に毒性のある汚濁物質を除去するのに十分ではない。例えば殺虫剤と殺菌剤、重金属、工場排水の或る種の成分は十分に除去できない。表-47には、魚類を養殖するのに処理下水を供給している流入水中に含まれている工場排水の比率は低いものであることを示してある。

表-48には、魚類を飼育している貯水池の水質の特性をまとめてある。ランカスター、サンティ、およびインディアン・クリークの貯水池は、三次処理水が供給されているリクリエーション湖である。ケンタッキー州のオコロナではエアレテッドラグーン内で、また、ミシガン州では下水処理場のオキシディションポンド内で魚類を飼育している。

表-47 都市下水処理場流入水への工場排水の存在比率

| 下水処理場               | 平均流入量<br>(MG) | 流入下水中の工場<br>排水の混入比率(%) |
|---------------------|---------------|------------------------|
| カリフォルニア州ランカスター      | 4.0 [ 15.1 ]  | 5                      |
| カリフォルニア州サンティ        | 3.3 [ 12.5 ]  | 1                      |
| ケンタッキー州オコロナ         | 1.0 [ 3.8 ]   | 0.1                    |
| コロラド州コロラド・スプリングス    | 1.5 [ 5.7 ]   | 0                      |
| カリフォルニア州インディアン・クリーク | 2.7 [ 10.2 ]  | 0                      |
| ミシガン州 (計7処理場)       | 10.0 [ 37.9 ] | 5                      |

表-48 魚類の増殖を行なっている下水処理水用貯水池の基本的な水質の特性(2)

| 貯水池                 | BOD<br>(mg/l) | SS<br>(mg/l) | pH      | 塩素イオン<br>(mg/l) | 大腸菌群数<br>(MPN) | TDS<br>(mg/l) |
|---------------------|---------------|--------------|---------|-----------------|----------------|---------------|
| カリフォルニア州ランカスター      | 1.4-2.2       | 28-32        | 7.7-8.6 | —               | 2.2            | 843-942       |
| カリフォルニア州サンティ        | —             | —            | 8.8     | 270-480         | <2.2           | 1,150-1,600   |
| カリフォルニア州インディアン・クリーク | 6.6           | 3.4          | 8.3-8.4 | 2.2             | —              | 120-416       |
| ミシガン州オコロナ           | —             | —            | 不       | 明               | —              | —             |
| ミシガン州ペンディング (1)     | 2-10          | 5-10         | 7.3-7.6 | 100-150         | —              | —             |

魚類の棲息地は最適な下水用ラグーンとするに必要な処理の程度に関する論争が行なわれてきた。下水の水質と食物連鎖のために利用可能な自然餌料量との間には明白なる売り買い関係がある。一次処理では沈殿可能物質の大半を除去するが、水生食物連鎖のために餌料を供給することになる栄養塩類やBODはほとんど大部分が残留している。しかし、その水質は常に不良であり、DOレベルは魚類の生存限界の閾値に達することがしばしば生ずる。魚類飼育用ラグーンに給水する以前に二次処理を行なうことは水質の改良（高いDO濃度、低いBOD、COD、SS濃度とする）には利点となるが、水生植物の生長を刺激する栄養塩類の相当量を除去してしまうことになる。三次処理は極めて高度な水質をうることができるが、栄養塩類のほとんど大部分を除去してしまうことになる。

今までの標準測定法は、魚類に影響する重要な水の特性については示しては来なかった。多くの研究は汚染物質の種々の濃度についての致死値や顕著な有害性について行なわれてきているが、魚

類の肉を腐らすとか、味や臭いに対するインパクトなど水の特性に関する研究は非常に少ないものであった。合衆国において、下水処理水による営業用魚類飼育を成功させるためには、これらについての考慮が重要なものとなる。

付録Bに示した既存施設の目録からみて、5ヶ所のリクリエーション用魚類飼育水供給施設の中から4ヶ所はなんらかのタイプの三次処理水を供給していると考えられる。空軍士官学校（コロラド州コロラド・スプリングス）の処理施設では、魚池に流入させる前に、散水汙床とそれに続く二つのオキシディションpondをもっている。カリフォルニア州サンティでは三次処理のために自然の砂層のもつ利点を利用している。二次処理の後で、下水は各  $1/2$  エーカー（0.2 ha）の6池より成る広大な砂と土より成る深さ15フィート（5 m）の層で汙過される。砂と土の層を通過した水は、おおよそ400—1,500フィート（120—460 m）を水平に流れた後、一連のリクリエーション湖の最初の湖に入る。

カリフォルニア州ランカスターでは、二次処理用オキシディションpondの次に、三次処理システムを有している。そのシステムは、薬品凝集、沈殿、多層汙材による汙過（アンストラサイト、砂および砂利）と塩素処理より成る。インデアックリーク貯水池に供給されている水は、よく出版物に紹介されているタホ湖の三次処理施設からのものである。三次処理施設は、薬品凝集、沈殿、アンモニアストリッピング、2段の再炭酸塩化、混合汙材による汙過、粒状活性炭吸着、および塩素処理より成っている。残りのリクリエーション施設 — ケンタッキー州オコロナでは、将来はエアレテッドラグーンによる高度処理の拡張計画をもっているが、現在は、連続した2池のラグーンを有するのみであり、第2池はヒンディンシステムによってエアレーションされており、その中に魚が飼育されている。

ミシガン州天然資源局、魚業部のパイロット魚類飼育研究は、下水をラグーンに流入させる以前に沈殿のみを行なっている下水処理場において行なわれてきた。このミシガン州とケンタッキー州オコロナにおける問題点は、水質と魚類集団の影響に関する広範囲なモニターが行なわれなかったことである。

生来、下水中の湖およびラグーンに最も適している魚類の種属は直接水質に依存している。通常の汚染物質に耐性のある種属には、ミノー、ガンブシャ、キャツフィッシュ（なまず）、鯉、マスキー（かもぐち類）、ブルーギル（まんぼう類）、小ロバス（すずき類）が含まれており、これらは一次処理水で生存することができる。二次処理および三次処理を行なうことにより、水質が改善され、安定することにより汚染に耐性の低い褐色および虹鱈のような高級魚が問題なく生存できるようになる。

多くの下水処理場の運転は、時々問題が生じ、処理水質が悪化する。下水処理水を受入れて魚類を飼育しているラグーンや湖では、危険な状態になるかも知れない。特別な問題点は本章内に示した6例のうちの5例で記載した（ケンタッキー州オコロナでは問題点は報告されていない）。

コロラドスプリングスの空軍士官学校では、上流のオキシディションpondからの低DO水の移動がリクリエーション湖の一つで魚類を斃死させた。また、今は行なっていないが、硫酸銅除藻剤の利用によって、底泥中の銅濃度が上昇し、これが水に再溶解して水生生物食物連鎖を形成したことが指摘されている。これは綿密にモニターされている。空軍士官学校におけるリクリエーション

用魚類の問題、下水処理および水質の詳細は付録Aにケース・スタディとして報告されている。

カリフォルニア州ランカスターでは、冬期間のアモンニア・レベルが高くなり、アモンニアの魚類に対する強い毒性で危険な状態が生じたことが報告されている。ランカスターにおける魚類集団の重金属類の蓄積はモニターされており、EPAによってその報告書が準備されている。付録Aにはランカスターの下水再利用システムの詳細な討議内容が収録されている。

カリフォルニア州サンティの大きな関心事は地区水質汚濁防止局によって制定された厳格な放流水中のTDS要求量に適合させる問題である(上水道用水中のTDS濃度よりも400mg/l増加以内にとどめる)。サンティは偶然に魚類が斃死したという経験をもっており、これは藻類(Staphylococci)の異状発生によるものと信じられてきた。いくつかの同じようなケースは、「赤潮」としてフロリダ州の東海岸とカリフォルニア州で報告されている。

インデアッククリーク貯水池で経験した唯一の水質問題は、タホ湖の下水処理場でアモンニア・ストリップングを行なう前の1971年の冬期間に起っている。貯水池に張りつめた8インチ(20cm)の水が急にとけて、大量の栄養塩類とアモンニアが水中に加わった。同時に融水によって湖水中の炭酸ガスが失われ、それによってpHが上昇し、アモンニア濃度の毒性が増加することになった。貯水池内のおおよそ5%ないし10%の魚類が、この事件によって斃死した。しかし、それ以来、類似の問題が発生したことは報告されていない。下水処理場ではいま、アモンニアストリップング装置が運転しており、将来この種の事故の起るのを防止している。

ミシガン州の魚類飼育場では、冬期にラグーン内の魚がほとんど全部斃死した経験をもっている(4)。結氷によって日光がさえざられ、表面からのエアレーションが行われなくなり、植物の呼吸と有機物の腐敗が続き、これによって水中のDO濃度は大巾に減少し、魚類が斃死した。ミシガン州の研究でわかったことはこのほかに下水処理場に流入する毒性の強い工場排水を分離することができなかったために、2池のボンドのうちの1池の中に飼育している魚類に水銀が蓄積した。ミシガン州の研究で指摘されている最も危険な問題は、下水処理水から魚類に、さらに人間に戻るようになる病原菌の移転にともなう潜在的健康障害に関するものであった(4)。決定的な情報が得られるまでは、健康問題に対して解答を下さないことが、この魚類飼育実験の終了を決定するための根拠であった。

#### 4. 魚類の増殖および飼育に関する再利用の経済性の現状分析

処理下水のラグーンおよび湖によるリクリエーションのための魚類の飼育に関する現状の経済性は分析を行なうのが困難である。処理施設の運転についてのコストは表-49に示すとおりである。

表-49 リクリエーション用魚類の飼育に利用している下水再利用水の処理コスト

| 都市下水処理場コード番号 | 建設費償却を含めた処理のコスト*<br>(\$/MG) | 建設費償却を含めない処理のコスト*<br>(\$/MG) |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| CA - 39      | 130 [ 10.30 ]               | 44 [ 3.49 ]                  |
| CA - 63      | 520 [ 41.21 ]               | 268 [ 21.24 ]                |
| CA - 65      | 1,747 [ 138.47 ]            | 1,068 [ 84.65 ]              |
| CO - 3       | 498 [ 39.47 ]               | 126 [ 9.99 ]                 |
| KY - 1       | 221 [ 17.52 ]               | 134 [ 10.62 ]                |

(註) [ ]内は1m<sup>3</sup>当りのコスト(円)を示す。ただし、1ドル300円にて計算

\* 計算方法は付録Eを参照のこと。

このような下水処理場放流水による魚類の飼育では、魚類は単なる付加的利益であり、リクリエーションのための魚釣りは、処理の方式またはコストを定めるための決定的な因子ではない。リクリエーションの利益は公衆のためのものであることは事実であるが、それを評価することはこの研究の範囲を越えている。一般的なリクリエーションの利益とコストとの分析の一例は、ケーススタディとしてカリフォルニア州ランカスターの場合が付録Aに記載してある。

これらの下水再利用リクリエーション池の操業を小規模な営業用釣り堀と比較するならば、各釣り人は施設の利用について1日1ドルの料金が徴集されると仮定することができる。現在、営業用釣り堀で魚釣りをする利用者に料金を課することには全く問題がない。ランカスターの管理事務所は広い範囲のリクリエーション施設維持のために、その財政援助を目的として、釣り人に対して1日当り1ドルで魚釣り許可を与えることを予定している。

下水処理場の放流水を用いた営業用の魚類の飼育は経済性に支配される。ミシガン州天然資源局による魚類飼育のパイロットファームの操業では、魚類の或る種の種属は一次処理水でも問題な生長し、増殖することが見いだされている。そして、経済上の利益をうる可能性も実現されるかも知れない。ミシガン州ベンディング下水処理場では、1971年にファセッド・ミンノーを1エーカー当り約400-800ポンド(1ha当り440-880kg)養殖した。このファセッド・ミンノーは捕獲され、近隣の州の孵卵場へ1ポンド当り0.15ドル(kg当り100円)で輸送された。営業用孵卵場からのフォリジ・ミンノーのためにその州によって支払われた金額は1ポンド当り0.5ドル(kg当り330円)であった。下水処理水を使用することによる通常の孵卵場の操業の範囲を逸脱して費用を節約するための基本的分野は次のようなものである。

- 1) 人工餌料の減少(より高度の処理ほど多量の自然餌料の除去をとまうので、処理の程度によって異なる)
- 2) より少ない用水コスト

## 第 6 章 の 参 考 文 献

1. McGauhey, P.H., Engineering Management of Water Quality, McGraw-Hill, New York, 1968.
2. McKee, J.E., and Wolf, H.W., Water Quality Criteria, California State Water Resources Control Board, Publication No. 3-A, 1963.
3. Personal communication, February 27, 1973, Robert C. Summerfelt, PhD., Oklahoma State University, Department of Zoology.
4. Personal communication, January 31, 1973, John D. Schrouder, State of Michigan, Department of Natural Resources, Fisheries Division.

## 第7章 総 括

### 1. 総 括

この報告書は、オハイオ州シンシナティの環境保護庁国立環境研究センターとの契約（契約番号 68-03-0148）で、SCS エンジニアーズ会社が行なった業務の結果をまとめたものである。この業務は現在の都市下水再利用の状況をまとめて編集し、そして、現在の処理および再利用の実施状況を記述するための情報をうるために、質問状を送付し、野外調査を行なうことであった。種々の形態の下水の再利用を考慮している地方自治体が、同じように再利用法を考えただこほかの既設の下水処理場と同じと認められる再利用を行なっていることがこの報告書内に見いだすことができる。

多くの再利用のための運転において（非常に小規模な灌漑のための再利用は除外した）、水量、水質、都市下水処理、利用者側における処理、コスト、特定の再利用、水質保護およびその他の情報に関するデータが提供された。報告書のデータは英国単位（フィート、ポンド単位）で記載されている。

この調査で包括されている再利用の形式は次のようなものである

- ・ 灌漑およびその他の農業利用
- ・ 冷却用水
- ・ 工業プロセス用水
- ・ ボイラー供給水
- ・ リクリエーション用湖
- ・ 魚類の飼育
- ・ 非飲料生活用水

再利用のカテゴリー別による調査結果は、それぞれ別々の章に分けて記載してある。すなわち、灌漑用、工業用、リクリエーション用、魚類飼育用および生活用である。それぞれの章には、特定の再利用のための水質のクライテリアを網羅した節、特定の再利用のために下水を供給している既存の下水処理場のリストとその現状分析、ならびに経済分析の節が含まれている。

図-36 に示したように、上記の再利用を行なっている下水処理場のうち、最大の数を占めているのが、灌漑による再利用である。再利用量からみて、灌漑による再利用は報告されているすべての再利用量のうちの1/2をわずかに越えており、第2位は工業による再利用である。図-37 には、再利用量の再利用目的別による比較を示している。工業用に再利用している最大の会社は、メリーランド州ボルチモアのベツレヘム製鉄所〔170MGD(643,500m<sup>3</sup>/日)〕であり、これが水量別の比較に大きな影響を与えている。

地理的にみて、下水の再利用は、半乾燥地帯である南西部に集中している。表-50 に示したように、テキサス州では149の下水処理場、カリフォルニア州では138の下水処理場が下水処理水の再利用を行なっており、他の各州に比べて圧倒的に多い。

#### 灌漑による再利用

灌漑による再利用の章には、作物の灌漑に処理水を供給している都市の作物別のすぐれた表（表

ー10)を示してある。灌漑による再利用の39のタイプが表示されており、ゴルフコース(30ヶ所)から砂糖用ビート(3ヶ所)などに分けられている。その後の表(表-14)では種々の作物に適用されている処理水の水質をまとめている。水質の広い濃度範囲での利用が行なわれている。

例えば、綿花の灌漑の場合には、BODで15-370 mg/lの範囲で再利用が行なわれており、処理水の水質範囲は無処理に近い一次処理水から極めて優れた二次処理水までが含まれている。

特別の興味はTDSおよびナトリウム濃度に関するものであり、800 mg/l以上の平均TDS、300 mg/l以上の平均ナトリウム濃度の再利用水が灌漑用として使用されている。これらの平均値は、溶存塩類として比較的含有量の多い水でも、適切な灌漑管理を行なうことによって広い範囲の農作物に十分用いることができることを示している。

都市下水処理水の供給者と灌漑用水使用者との間の一般的な関係は、その水質に適切な農作物を選ぶことである。標準的な下水処理によって除去できない含有成分 — 例えば、TDS、硼素が存在するならば、農作物はこれらの含有成分に耐性のあるものが選定される。多くの場合に、灌漑のための再利用は、他の淡水供給と交換しようというよりは、処理水の処分方法の一つという意味が強いものである。

質問に対して回答を得た下水処理場のうち、灌漑用水として処理水を供給している約25%の処理場は、一次処理水と同等程度のものを供給している(表-13参照)。これらの下水処理場は小規模なものであり、小面積の牧草畑、造園、または家畜飼料用作物の灌漑を行なっている。

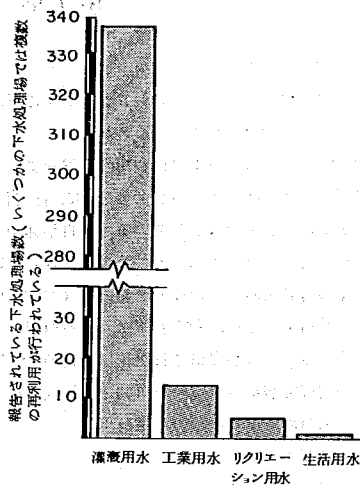


図-36 下水再利用水の利用先

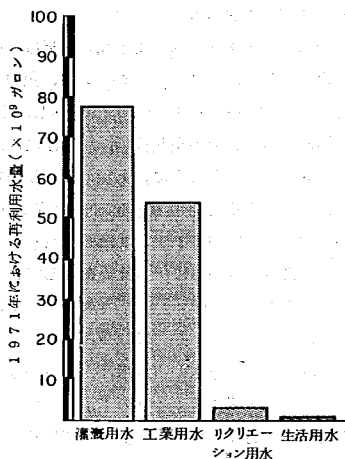


図-37 再利用水の目的別水量

表-50 報告されてきた都市下水の再利用に関する地理的な分布状況

| 州        | 都市下水を再利用している数 |       |           |       |     |
|----------|---------------|-------|-----------|-------|-----|
|          | 灌 溉 用         | 工 業 用 | リクリエーション用 | 生 活 用 | 計   |
| テキサス     | 144*          | 5     | 0         | 0     | 149 |
| カリフォルニア  | 134**         | 1     | 3         | 0     | 138 |
| アリゾナ     | 28***         | 2     | 0         | 1     | 31  |
| ニュー・メキシコ | 10            | 0     | 0         | 0     | 10  |
| コロラド     | 5             | 1     | 1         | 0     | 7   |
| ネバダ      | 4             | 2     | 0         | 0     | 6   |
| ミシガン     | 1             | 1     | 0         | 0     | 2   |
| フロリダ     | 2             | 0     | 0         | 0     | 2   |
| オクラホマ    | 1             | 1     | 0         | 0     | 2   |
| ワシントン    | 2             | 0     | 0         | 0     | 2   |
| ミズウリー    | 2             | 0     | 0         | 0     | 2   |
| メリーランド   | 0             | 1     | 0         | 0     | 1   |
| ケンタッキー   | 0             | 0     | 1         | 0     | 1   |
| ノース・ダコタ  | 1             | 0     | 0         | 0     | 1   |
| インディアナ   | 1             | 0     | 0         | 0     | 1   |
| ネブラスカ    | 1             | 0     | 0         | 0     | 1   |
| オレゴン     | 1             | 0     | 0         | 0     | 1   |
| ウタ       | 1             | 0     | 0         | 0     | 1   |
| 計        | 338           | 14    | 5         | 1     | 358 |

(註) \* 135ヶ所の小規模な灌漑下水処分がこの中に含まれている。

しかし、それは付録Bには包括的なデータとして含めていない。

\*\* 61ヶ所の小規模な灌漑下水処分がこの中に含まれている。

しかし、それは付録Bには包括的なデータとして含めていない。

\*\*\* 13ヶ所の小規模な灌漑下水処分がこの中に含まれている。

しかし、それは付録Bには包括的なデータとして含めていない。

一次処理水の灌漑利用の大口使用者の一つは、カリフォルニア州ベーカーズフィールドにあり、野外調査結果は付録Aに記載してある。一次処理水の利用による地下水と土壌に対する長期間の潜在的な損害を無視して行われてきた結果として、監督官公庁はベーカーズフィールドおよびそのほかの地区に対して灌漑のためには二次処理水を使用することを要求することになろう。

再利用水を人間が消費する作物の灌漑に用いている例は少ない。人間が消費する作物の多くは、処理水に接触しない種類の作物 — すなわち、ブドウ、柑橘類およびその他の果樹作物である。アスパラガス、豆類、きゅうり、玉ねぎ、ほうれん草、トマトのような市場向きの野菜は少なくともカリフォルニア州で3ヶ所 — カマリロ、イルビン、リバーモア地区、ワシントン州で2ヶ所 — ワラワラ、ワーデン地区で部分的に再利用水が使用されている程度である。ワラワラでの再利用は、付録Aの野外調査で記載してある。

灌漑による再利用のうちで18ヶ所のみが処理水貯水池をもたないものであり、多くは2日間またはそれ以上の容量の貯水池を有していると報告されている。下水処理場の操作員、灌漑利用者および監督官公庁から得られたコメントでは処理水の本格的な貯水設備は灌漑用水必要量のバランスをとるための水量調整、雨期における土壌中の水分の飽和とその間の流出を防ぐために重要であ

ることが強調されている。およそ半数の灌漑用の再利用では、都市下水処理水に加えて、他の灌漑用水源を有することが報告されている。

この調査では、灌漑用および他の手段による再利用の経済性に関する多くの情報が得られた。これは、各章毎にまとめて記載してある。多くの下水処理場からのデータが含まれている報告書中で、各種の再利用について無意味な巾の広い結論を導き出すために取得したデータを過剰に利用する危険性がある。とくに下水処理の経済性と、この調査の完全な目的外の多くの因子が加わった再利用に関しては、それが事実となる。それゆえ、この報告書の読者は条件が表面的のみ類似している別の地区について示されている経済性に関するデータを利用する前に詳細な調査を行なうことが必要となる。

25ヶ所の下水処理場のみが灌漑用にその処理水を販売している。多くの都市では灌漑に対する給水は第1義的には処理水の処分であり、その都市が排出すべき処理水に対して、使用料金を要求することをやりたがらない。いくつかの下水処理場の場合には下水は一次処理のみで灌漑用として送水されており、もしその都市が公共用水域に処理水を放流する場合には高度な処理水質が得られる二次処理を実施することが必要となる。灌漑用に販売している都市の料金収入は、その都市が支出している処理費の1割よりも少ないと見積られている。全体からみてその処理水の灌漑による再利用を行なっている都市は、明らかに十分なる料金収入を要求してはいない。

処理水により料金収入を得ている都市では、処理水の料金は水質よりもその他の因子に影響されている面がでている。これらの因子としては淡水のコスト、その地区内での水の取得の可能性、その地区内での水取得の優占権、およびその処理水を捨てるより価値ある商品として認識することについての都市の失敗などである。

#### 工業による再利用

合衆国には、僅か15ヶ所の下水処理場が市営の火力発電所を含めて工業用水として現在再利用しており、私企業はわずかに12ヶ所に過ぎない。明らかに種々の潜在的再利用の機会が認識されないままに残されている。

冷却用〔154MGD (582,900 m<sup>3</sup>/日)〕、ボイラー用〔1MGD (3,790 m<sup>3</sup>/日)〕、銅の精錬〔1MGD (3,790 m<sup>3</sup>/日)〕が処理した下水を用いたすでに報告済みの利用先である。明らかに、冷却用として大量の下水再利用水が使用されており、すぐれた再利用の実例は、付録Aに示しているカリフォルニア州バババンク、ネバダ州ラスベガス、メリーランド州ボルチモア、およびテキサス州の5ヶ所にみられる。

冷却水技術は複雑であり、処理下水の利用は責任ある操作職員のために処理と制御の特別な問題を提供している。下水処理水と淡水との相違はよく認識されて計画されなければならない。さもないと、重大なる障害が熱交換と冷却システムの内部で発生することになるであろう。

メリーランド州ボルチモアの下水処理水を用いているベッレーム製鉄所の冷却システムは一過型であり、比較的水質のよくない二次処理水を効果的に使用している。その他の工業用の利用者は、下水処理水を循環型冷却システムで使用しており、そのため、高度の処理水質が要求されている。第3章の「工業による再利用」では水質に関して詳細に示した表(表-21および表-29)を記載したほか、野外調査結果(付録A参照)として、テキサス州ルボック(表-A29)、テキサ

ス州オデッサ(表-A31)における水質のクライテリアを示してある。一般に、工業用の利用者は下水処理水を使用する以前に、石灰凝集沈殿によってリン酸塩、有機物および浮遊物を除去している。石灰処理の後、下水処理水は淡水の処理の慣習以上に綿密な塩素処理と酸処理が行なわれている。カリフォルニア州バババントは異例であり、ここでは火力発電所で使用する以前に石灰処理の必要性を見だしてはいない。バババントの下水処理場では、特筆すべき良好な処理水質(一般的にBOD  $2\text{ mg/l}$ , SS  $2\text{ mg/l}$ )を得ている。処理水は綿密に塩素処理され、pH調整され、そして腐蝕防止剤が添加されている。

ボイラー供給水として処理下水を用いているところはテキサス州に3ヶ所ある。すなわち、ビッグスプリング、ルボック、およびオデッサであり、野外調査結果は付録Aに示してある。ボイラー供給水のための水質のクライテリアは非常に高い値なので、処理水は使用前に利用者によって広範囲にわたる処理が行なわれなければならない。テキサス州ルボックの南西部公共サービス会社の例では、pH調整と逆浸透によってTDSと硬度が $1\text{ mg/l}$ 以下まで除去され、次いで、カチオンおよびアニオン交換、最後に混合イオン交換床を通過させることによって、無機物が除去されている。低圧ボイラーの場合には、凝集、ろ過および軟化が一般的な処理であり、無機物の除去は行なわれていない。

下水処理水をプロセス用水として使用しているのは金属精錬と製鋼工業の3工場である。アリゾナ州の2ヶ所では、銅の精錬に下水処理水を利用している。ベツレヘム製鉄所ではメリーランド州ボルチモアの製鉄と製鋼の総合化された工場内で各種の少量のプロセス用水を用いている。その利用先としてはガス洗浄、熔鉱炉からの鋼鉄の冷却、機械部分の冷却、ベアリング冷却、装置内の温度制御、原料用水、スケール除去システム、工場内水力輸送システム、防火用水、空調および路上輸送機械の洗浄などである。

処理した下水を最も多く用いているのは半乾燥の南西部の諸州であり、これらの州では淡水のコストが一般に高く、淡水の水質もTDS、硬度の含有量が多いものである。テキサス州内のいくつかの工場では下水処理水に代りうる他の適当な水源がなく、全体として下水処理水の供給に依存している。しかしながら、ほかの各州の場合には、彼らの必要性を満たす最も安価な水源として下水処理水の使用を選定している。

再利用水のコストは2つに分けられる。その第1は再利用水をうるためのコストであり、それには都市への料金等の支払い、処理水輸送施設の建設費、その他、工場まで処理水を持ち込むためのすべての費用が含まれる。第2は、使用目的に応じて工場内で適応する水質にまで処理するための費用である。

この付加的な処理費が一般的にみて工場内で下水処理水を再利用するための費用の大きな部分を占めている。その処理費は最終利用の要求水質、下水処理水の水質、処理する水量、その他の因子によって変化する。循環システムによる冷却用水の場合には工場における処理費はMG当り100ドルないし500ドル( $1\text{ m}^3$ 当り7.93円ないし39.63円)の範囲にある。

#### リクリエーションのための再利用

第4章の「リクリエーションのための再利用」では、アメリカ合衆国内の3ヶ所の主なリクリエーション湖での再利用計画—すなわち、カリフォルニア州サンティ、タホ、およびランカスター

について記載した。再利用水湖に付随した魚類の飼育については第6章に記載してある。

記載されている各リクリエーション湖の計画は、そのパイオニア的な仕事として最も有名なものである。1961年以来、サンティ湖は、健康に対する障害を起さずに、人と再利用水との接触を増加させる活動を実験室での成果と伝染病に対する情報をもとに、漸次すすめてきた。この湖は、現在岸边に沿ってのボート遊びと釣りによる活動のために用いられているが、全身を水に浸すスポーツのためには開放されてはいない。1965年に湖の一つに接した土地に再利用水を凝集、ろ過、および塩素消毒による付加的処理したうえで用いている、流水通過型の水泳プールが設置された。

合衆国で最も多く公表されてきた三次処理プロセスはカリフォルニア州タホ湖に見いだされる。ここでは、5段階の三次処理が組合されており、例外的に高度な処理水質が得られている。活性汚泥処理水はリン除去のための化学処理、窒素除去、ろ過、活性炭吸着、および塩素消毒されている。この下水処理場は石灰の再生、活性炭の再生という高度な汚泥処理技術を使用している。

この処理水は、延長14マイル(22.4km)、高さ1,470フィート(448.4m)までポンプアップされ、次いで自然流下のパイプラインで13マイル(20.8km)先のインデアンクリーク貯水池に送られている。インデアンクリーク貯水池の容量は3,200エーカー・フィート(3,947,000 m<sup>3</sup>)である。この貯水池では身体を水に浸すスポーツ(水泳)が許可されており、すぐれた釣り師が自慢であると報告されている。

興味のある新しい計画はカリフォルニア州ランカスターにあり、ここでは1971年以来、ロスアンゼルス郡広域下水道組合がロスアンゼルス郡に対して三連のリクリエーション湖用の水として販売している。この湖は容積80MG(302,800 m<sup>3</sup>)で、面積56エーカー(2.27 km<sup>2</sup>)の郡立アポロパークの中心となっている。この公園はカリフォルニア州ランカスターの近郊にあり、1973年以降、特色ある釣り、ボート遊び、ピクニック地区をもつ公共施設として開園している。

1973年には、アポロパーク内の湖には0.5MGD(1,890 m<sup>3</sup>/日)の再利用水がカリフォルニア州ランカスター附近のロスアンゼルス郡広域下水道組合の第14下水処理場から送水されている。ランカスターにおける処理は、一連の8池から成るオキシデーションpondと、その後のリン、浮遊物および藻類除去のための凝集と沈殿、さらに仕上げとしてろ過、および塩素消毒が行なわれている。

3ヶ所のリクリエーションのための計画は、上記のようにユニークなものであり、これらは共通した利点を多くもっている。すべての再利用水の水質は、飲料水の大腸菌群数の基準に常時見合うものであり、技術的に実行可能なことが見いだされている。すべての施設は藻類制御のためのリン酸塩除去と濁度除去のためのろ過を行なっている。鱒を含めて多数の魚類の種属が問題なく生長している。

#### 生活用水としての再利用

再利用水を飲料水として用いることについて大きな議論が巻き起っている。多くの人々は非飲料の生活用水—たとえば水洗便所の利用について反対はしていない。この議論の中に入り込むことは、この調査の範囲外の問題である。この報告書では、よく知られている南アフリカ連邦のウィンドフォークにおける運転の状況を記載した。この処理場は都市下水を直接に飲料として再利用し

ている現在の唯一の実例である。それに加えてグランドキャニオン国立公園における国立公園サービスが管理している非飲料の生活用水再利用計画について記載した。その詳細は付録Aの野外調査結果に含まれている。

グランドキャニオンの生活用水としての再利用では平均30,000 GPD ( $113.6\text{ m}^3/\text{日}$ )の処理水が別系統で供給されており、水洗便所、洗車、灌漑、建設および自動車の給水に使用されている。活性汚泥処理水はアンスラサイトによる汚過と綿密な塩素消毒による三次処理が行なわれている。再利用水の使用料金はMG当り1,000ドルないし1,750ドル ( $\text{m}^3$ 当り79.26円ないし138.71円)である。この高い料金は、上水道の使用料金がMG当り2,450ドル ( $\text{m}^3$ 当り194.19円)であることに由来している。

#### 魚類の増殖と飼育

この調査は合衆国内における再生水を用いての営業上の魚類飼育に関する冒険的事業を行なっている場所を探したのではない。

種々の種属の魚類が下水処理用ラグーンに飼われているが、公営のリクリエーション用魚釣りのための再利用水湖およびボンドの数は合衆国ではわずかに11ヶ所のみが報告されている。魚類の種属の範囲もミシガン州のオキシディションボンド内で飼育されているフセッド・ミンノーからタホ湖の下水処理水が供給されているインデアンクリーク貯水池内の虹鱒まで分布している。

魚類の斃死は溶存酸素の減少か、アンモニアの存在によるものである。その他の潜在的な問題は病原性バクテリア、重金属類、および農薬の含有によるものである。第6章には、各種の成分の魚類の致死濃度の詳細な表を示してある。

## 2. 下水の再利用の経済面での実行の可能性

都市下水の再利用に関するコストと利益についての分析は、一地区として、地域として、そして国のベースで考察されるかも知れない。下水再利用の経済面での実行の可能性の広範囲な評価は、水供給面での管理システムと下水処理面での管理システムの双方から考慮することが要求される。

国のベースとして、EPAおよびその他の役所と機関は、水源管理の主たる要素の一つとして、一連の下水の処理、再利用、循環およびリチャージに関する長期間にわたる開発と実行を支持しており、処理システムは健康上の障害または環境に対する損傷を与えないように設計され、運転されている。水質汚濁防止法1972年修正法では、過去において行なわれてきた以上に、下水処理の管理計画の発達と実施の中で下水の再利用に関してより市の広い考慮を強調している。EPAは都市下水システムの中に下水の再利用施設を統合設置することを奨励している。これは下記の理由による。

- (a) 費用効果が優れていること。
- (b) 下水の再利用が行なわれない場合よりも、公共用水域に対する水質汚濁に対する影響を軽減できること。

この調査の結果から得られたように、合衆国では現在、極く僅かの比率の下水しか再利用されていない。国家的見地からたてば、上記の技術的および経済的な拘束の範囲内で、できる限り再利用をすすめることが有利となる。

地域のおよび地区的見地に立脚した都市下水再利用の費用効果分析は複雑であり、下水再利用の経済的評価の詳細なる手順と方法論を発展させる必要がある。再利用を行なうそれぞれの場所、それぞれの地区は他に類似性のない独特の特徴を有する。この研究の基本とした予備的なガイドラインは下記にリストアップした事項について定めたものであり、それは再利用の経済的実行の可能性の分析に対しても主たる考慮をはらってきた。

完全な経済性の分析の本質的な構成に関するアウトラインは下記のとおりである。このアウトラインに続いて主な構成成分について簡略な討議が加えられており、適用可能な状況を解説するために実例が付け加えられている。

「都市下水再利用の経済性の分析のために必要な考え方についてのアウトライン」

A 現在および将来の淡水についての考え方

1. 要求量：水質、水量、信頼性について

- a. 生活用水
- b. 工業用水
- c. 灌漑用水
- d. リクリエーション用水
- e. その他の目的のための用水

2. 供給：上記1.のaからe.の予想される要求量に見合う水質、水量、影響力、信頼性とそれに関係するコスト

3. 法律上または契約上の制限：例えば、既存の水供給プロジェクトから淡水の最少量を購入するための拘束性のある契約

B 現在および将来の都市下水処理についての考え方

1. 生下水の水量と水質

2. 再利用に対して潜在的に障害となる成分を与えることになる工業排水源の制御

3. 公共用水域、土地、または種々の潜在的再利用先に送水するため必要となる処理施設および処理水輸送施設の相違

- a. 連邦政府および州政府建設補助金の効果を含めての施設の改良費
- b. 維持管理費
- c. 環境上の配慮

4. 法律上あるいは契約上の拘束：例えば、水路へ処理水の一定量を戻すことが要求される水に対する権利

C 現在および将来の再利用水の需要についての考え方

1. 公共または私企業の灌漑用水、工業用水、リクリエーション用水の潜在的顧客

2. 潜在的再利用水使用者の水量、水質および信頼性の要求度

3. 処理水の輸送および要求される処理水貯水施設

4. 付加的な処理および（または）水量 — 再利用水利用者が淡水のために必要とする以上のその要求度がある場合

a. 施設の改良費

b. 維持管理費

5. 付加的処理 淡水供給を受けている場合、その必要以上に、その下水を放流する以前に再利用者によって要求されるもの。

D 施設の投下資本、施設の耐用年数、水要求量の将来の変革、下水処理の要求度などについての合理的な仮定を行なうことによる都市下水再利用と実行可能性に関する経済分析を完成させるための解析的フレームワークの発展

#### A 淡水についての考え方

各種の利用目的のための淡水の現在の水量的な需要量は多くの分野についてすでに多くの情報が利用できるまでに至っている。将来の水需要の予測は水道関係の担当官公庁によって通常実施されてきている。もしくは既存の計画に使用されているデータから容易に求めることができる。20年ないし30年の期間を越える水需要の予測を行なうことが望ましいものであり、その中の何パーセントが灌漑用（私的な家庭園芸を除く他のもの）、工業用（特に各業種の工業用に使用される大量の用水）、発電用およびリクリエーション用（とくに乾燥地帯）に帰属するものであるかを推算することは重要なことである。

既存および計画中の交換可能な水供給によるその水質は、下水の再利用の経済性を考えるうえで、しばしば重要な位置を占める。交換可能な水供給の間でいずれを選定するかを決める潜在的利用者は淡水と再利用水との間の水質の相違のためにその利用者が行なわなければならない付加的な処理とその維持管理費に関心を示すことになる。たとえば、この調査報告書に記載した冷却塔補給用水に再利用水を用いる場合には淡水を用いる場合に必要となる以上の付加的処理と薬品とが利用者に対して課されることになる。多くの灌漑利用の場合には水質の相違は余り重要ではない。

淡水供給の量的信頼性は再利用水のそれに比べて劣ることになる。水不足を経験している地域では生活用水の供給が通常は第1の問題であり、農業用水および工業用水のプライオリティは低くなる。テキサス州オデッサのエルバソ物産会社は公的および私的な淡水供給よりも信頼性のある水源として都市下水処理水を選定しており、再利用水を冷却用水およびボイラー補給水のために購入している。同じような状況はテキサス州南西部の他の諸都市も見受けられる。

淡水の現在および将来の購入価格は下水処理水の経済分析を行なううえで、最上の因子の一つである。淡水が安く、かつ豊富に得られる地域では都市下水の再利用に対する魅力は少ない。それとは反対に、淡水が高価である地域では再利用への誘因は強いものとなる。極端なる例として、アリゾナ州グランドキャニオン村では、淡水の購入価格はMG当り2,450ドル（ $m^3$ 当り194.19円）であり、再利用水は水洗便所を含めて多目的に使用されている。いくつかの例では再利用計画が淡水の将来価格の上昇予想を基として正当化されてきた。サンフランシスコ郊外のコントラコスタ郡の広域水道組合では、1973年の淡水価格は下水再利用水の価格よりも安いにもかかわらず、都市下水の工業用再利用についての広範囲な計画が策定されてきた。この地区では再利用水の価格が数年後は全体の水管理費よりも安くなることを見込めて、この計画を策定し、決定している。

上水道の改良または他地区から輸送して来た水の最小量を購入することに対して支払われる法的あるいは契約上の要求が、或る種のコミュニティの場合にはその考え方に影響されることになる

かも知れない。例えばカリフォルニア州の多くの地区では他の地域から多量の水を輸送しているプロジェクトの水の最少量を年間にわたって購入することが義務付けられている。この種のコミュニティが淡水を購入することに対しての契約上の修正が行われなければ大規模な再利用計画は実行し得ないものである。

#### B 都市下水処理についての考え方

或る拡大された地区で発生する下水の量とその水質は如何なるタイプの下水の再利用が実用上可能であるかを定める。それに加えて「規模の経済性」の理由から処理費に影響を与える。一般に各コミュニティでは処理プロセスを通過して残存し、再利用に対して障害となる成分の下水管きよシステムへの過剰な流入を防ぐようにしなければならない。たとえば灌漑のために都市下水を用いている多くのコミュニティの場合には、下水管きよに家庭用の水軟化用塩類の放流を防止するための条例を設けている。流入下水に対する制限は重金属類に対して一般的である。テキサス州ビッグスプリングのような地区では下水幹線管きよの埋設深度が大きく、このため高TDSの地下水が管きよ内に過剰に浸透流入し、都市下水処理水を灌漑用水または工業用水として使用することが年間の大部分の期間について不適当であるとの報告がある。

再利用を評価するのに重要なコストに関する因子は放流先が公共用水域であるか、土地であるか、あるいは種々の潜在的再利用を考えるかによって必要となる処理施設が変ってくる。しかし、この調査の結果では下水処理場からの処理水を再利用している場合に、その処理水を公共用水域に放流するのに比べて必要とする処理施設よりも処理の程度を向上させている例は極く僅かであった。灌漑用水および工業用水として供給している下水処理水では例えば、カリフォルニア州ベーカーズフィールド、テキサス州ビッグスプリングのように、州の取締り機関が定める公共用水域への放流水質基準よりも相当に下廻ったものであった。これらの都市では、処理水を再利用することによって処理費を軽減させることを実行していた。

処理水を再利用者に輸送するためには、高価な施設が必要となるかも知れない。処理施設は通常、その処理区域の中で最も低い位置に設置されており、それは河川などには近距離の位置にある。このため、処理水を再利用者に輸送するためには、ポンプ場、処理水貯水設備が必要となる場合が多い。

再利用水を必要とするのが期間的であり、あるいは季節的である場合には、巨大な処理水貯水池が必要となるかも知れない。時には貯水池はその水質を良好に維持するためにエアレーションを行わなければならない。

われわれの質問状に対する回答では既存の主たる再利用者は処理水の輸送と貯水施設のために自己資金を投入していた。この傾向は近年は逆になってきている。これは連邦および州の建設補助金が活用できるためである。

法的または契約上の制限はある地区では重要な問題である。処理水を公共用水域に放流することに対して水の再利用は下流の水利用者の水の権利によって複雑なものとなる。水の権利に関する法律は優占権のシステムを採用しており、河川水は専用できることを認めている。再利用計画の開始の以前に、このような拘束性のある問題を調査し、解決しておかなければならない。例えば、コロラド州デンバー市では、主たる下水処理場を用いて再利用計画を樹立したが、水の権利

問題を解決するのに訴訟をおこすことになった。アリゾナ州フェニックス市では処理水輸送用運河を建設したが、先きに決定されていた水の権利のもとで、下流の大ぜいの農業用水利用者に対して、処理水の一定量の供給を保証することになった。法的または契約上の制限は、処理水の再利用の実行可能性と経済性に影響を与えるかも知れないが、通常、これらの問題は解決できる。

#### ○ 再利用水の需要についての考え方

都市再利用システムを成功させるためには、その利用者を求めなければならないことは明らかである。一般的にみて、都市は潜在的再利用水使用者——とくに私的工場経営者の中に——を見い出していく努力をしていないことは本調査の結果から明らかになっている。極く僅かな都市では、処理水は排出すべき不浄なものというよりは、むしろ売るべき商品と考えている。再利用された水は、各地域と国の水源を増加させる巨大な潜在力をまだ所有している。処理水が生活用水以外の実行可能な目的に利用できる要求量を満足するだけ使用されるならば節約された淡水は将来の一般的な水供給の需要量の増加に寄与することができるであろう。

都市にとって最初に利用すべき個所の一つは、市営の施設である。市営の火力発電所、ゴルフコース、学校のグラウンド、農場およびリクリエーション湖は、その供給水として、下水処理水を用いることにより、すべて成功に導くことができる。例えば、郡、州、連邦などの他の官公庁の施設も再利用水を購入するすぐれた顧客になりうる。

私的経営者のために灌漑用水としての販売することは、多くの地区で一般化されている。私的経営の農場、果樹園、ゴルフコースはこの報告書にリストアップされている既存の再利用者の中で、広く分布されている。都市と灌漑用水利用者の間に影響をもたらす財政的な取り決めは、年間契約による水量を基準として均一料金制に基づいている。既存の灌漑用水利用者は、下水処理場の近傍に位置している。下水処理場から遠く離れた大量の灌漑用水利用者に対しても処理水を販売していくことを強調すべきであろう。

合衆国には、僅かに1・2ヶ所の私的経営の工場で都市下水処理水を再利用している。このうちの2ヶ所は大きな銅鉱山町である。疑いもなく、多くの都市では下水処理水の工業用水としての再利用——とくに冷却用水としての再利用——が無視されてきた。

この調査結果からみて、都市下水の処理水は冷却システムの一過性利用と循環利用のいずれにいても十分に成功に導いていくことができる。淡水の利用の場合に比べて、都市下水の再利用では、工業用水とするための処理と薬品のために余分な費用がかかる。しかしながら、多くの場合には再利用水のコストが安いために、この工場内での処理に要する余分な費用は相殺されることになる。潜在的需要者は再利用水の使用をためらっている。電力事業のみでも、冷却用水を一日当り  $7.5 \times 10^9$  ガロン ( $283 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) 使用している。

再利用水使用者の立場から再利用水の需要についてみていくと、一般的に再利用水使用者は淡水に比べて再利用水を利用した場合にどれぐらいの総経費がかかるかということに深い関心をもっている。再利用水使用者は、その使用について付加的に生ずる問題に匹敵するだけの費用節減ができるならば、再利用水の使用を考慮する意向を示すことになる。この問題となる潜在的に余分な費用としては、次のようなものが含まれる。

- ・ 処理水は、時にはその量が不足するかも知れない。例えば、非常に暑い夏の仕事の間に、処

理水は適切な灌漑、または冷却用補給水として不十分の供給しか受けられないかも知れない。パアベンク市では、冷却用水として火力発電所に供給している。ところが、夏期の夜には火力発電所が必要とする水量を下廻る供給量しか受けることができない。適当な貯水設備を設けて供給—需要との関係を調節する必要がある。すでに指摘したように、水の不足している地域では、再利用水の方がより信頼度が高いということもある。

- 処理水は淡水よりも水質の程度が低く、時には下水処理場の運転管理の不手際によって水質が大きく変化する。冷却用水として再利用している工場側では、この低い品質の水を用いるために、冷却用水として必要とする水質までに大量の水を処理しなければならず、このために余分の費用が必要となる。再利用水では淡水に比べてTDSが高いので、冷却システム内での循環回数を減らさざるを得なくなり、このために大量の再利用水が必要となるかもしれない。時々水質が変化するために、工業用再利用者を保護するための人力による警戒と、機械装置による水質監視という余分な安全管理が必要となるかも知れない。

灌漑用水としての再利用者は、健康障害を除いて、一般的には水質変化に対しての関心が低い。彼らが支出する唯一の余分の費用は、植物の根が張りめぐらされる深さまでの土中のTDS、ナトリウム、塩化物などの蓄積を防ぐために、その水量を増加させてやらなければならないことにある。これを相殺して、処理水中に含まれる肥料的価値は本報告書の灌漑用再利用の章に記載したように、MG当り18ドル( $m^3$ 当り1.43円)と見積られている。

- 処理水の輸送と貯水設備は、多くの場合、再利用者にとって単一では最も大きい余分の費用となる。その費用の規模は、距離、高低差、貯水水量、パイプロ径などの多くの因子により影響を受ける。それと同等の施設は淡水の供給を受ける場合にもかかることになるので、再利用水の場合のみ余分の経費がかかるというものではない。
- 再利用者が要求している問題の一つに、彼らの排水を放流することがある。再利用者は低品質の水を使用しているので、彼らがその排水を放流する際には、取締り官公庁の水質基準に合致させることは困難である。この状態におかれている通常の一例は、冷却塔からの排出水であり、TDS、重金属類、塩化物などの濃縮された成分が冷却補給水のレベルを常に越えている。この問題は、本調査の中で回答者によっていくつかの解決すべき方法が取り上げられてきた。或る種の工場ではこの種の排水は工場外には排出せず、その最終処分は蒸発か地下深層への圧入によって行なわれている。1火力発電所では下水処理水を再利用することが環境に対する有害成分総排出負荷量を低下させることを、その取締り官庁に対して立証している。火力発電所からの排出物は濃縮されているけれども、近隣の下水処理場からの排出負荷量はこの再利用によって全く無視できるまで減少していることになる。
- 処理水の販売による収入は、下水処理水再利用計画の経済性の評価のうえで重要な因子である。この調査の結果では、大部分の工業用再利用者は一般的にみて水量を基準とした料金を支払っており、そして、大部分の灌漑用再利用者は処理水を無料か、または最小の金額で取得していることを示していた。価格は相対的な因子である。下水処理水の価格は、その利用者の必要性に見合う他の供給水の価格と比較されなければならないし、また、その利用者が求められている価格を支払うことができる余裕があるかどうか、そして、その利用者の製品が依然とし

て市場で競争していけるかどうかからも検討されなければならない。

その利用者がとくに必要とする付加的处理、輸送および貯水のための経費は、価格設定になお一層の拘束力を与えることになる。あるコミュニティでその下水を処理してから処分するに要する純経費が条例によって要求されている同程度の処分法を採用した場合よりも高価なものであるときには、たとえそのコミュニティが再利用者の保護に気を配ったとしても、下水処理水の再利用は厳しく制限されることになるであろう。

#### D 経済分析を完成させるための解析的フレームワークの発展

経済分析を完成させるための解析上のフレームワークの発展はすでに記載してきた種々の考え方を結びつけ、そして下水の再利用の実行可能性に対する合理的な解答を導びくために必要である。

これを完成させるためには詳細なる手順と方法論を発展させることが必要となる。下水の再利用は下記の1ないし数項の条件に見合うときはいつでも真剣に調査する価値をもつことになる。

- ・ 既存の淡水供給が制限されており、そして実質的な将来需要量によって付加的水供給の発展が予期される場合。
- ・ 既存の淡水供給が比較的高価な場合。
- ・ 水を大量に必要とする私企業または公営企業がその地区に存在する場合
- ・ 現在行なっている下水処理によって非常に清浄な処理水が得られており、それが現在公共用水域に放流されている場合。
- ・ 取締り官公庁が公共用水域に処理水を放流するために、例えば栄養塩類除去というような高度な処理の要求を計画している場合。

単純化された根拠に基づいて、下水の再利用の経済的な実行の可能性は、都市と潜在的再利用者の双方の立場から一連のプラス面とマイナス面について考察することができる。好ましい状況は、都市および潜在的再利用者の双方について、ともにプラスであることである。

都市のためのバランスシートには次のことが含まれる。

#### プラスの事項

- 1) 再利用を行なうことが淡水源の要求量を少なくするために、建設されるべき淡水供給施設が不要となり、資金が節約できる場合。
- 2) 公共用水域に放流するのに対し、再利用を行なうことができるならば、下水の処理・処分の費用が節約できる。
- 3) 再利用を行なうことにより、下水集水システムの上流側の位置に下水処理施設が建設されることになり、下水幹線管きよの建設費が節約できる。
- 4) 下水処理水の販売によって収入が得られる。
- 5) 環境面での利益、すなわち、栄養塩類を公共用水域に排出せずに、土中に排出するため。
- 6) 広報活動上の利益

#### マイナスの事項

- 1) 下水処理水を公共用水域に放流するのに対して、再利用することにより、下水処理、処理水輸送および貯水に余分な費用がかかる場合。
- 2) 例えば、請求書の発行、下水処理場の運転に対する苦情などによる再利用計画の行政上の問

題の解決のため、余分な費用がかかる場合。

- 3) 例えば、先行水利権など法的な制約がある場合。
  - 4) 特に、灌漑による再利用の場合など、下水の循環使用によって流域内に塩分、硝酸塩、その他の成分が蓄積していく場合。
- 再利用者のためのバランスシートには次のことが含まれる。

#### プラスの事項

- 1) 供給される水が低コストである。
- 2) 灌漑用水利用者の場合には、下水処理水中に肥料成分が多量に含まれている。
- 3) 或る種のケースでは、信頼すべき水の供給源である。
- 4) 広報活動上の利益

#### マイナスの事項

- 1) 淡水の供給の場合に必要な以上の処理費、輸送費、貯水費がかかる場合。
- 2) 同じ目的を達成するために、淡水の供給の場合以上に余分な水量を必要とする場合。
- 3) 淡水を利用する場合に比べて、再利用水を利用する方がその排水を外部に放流するために余分な費用がかかる場合。

都市および潜在的再利用者の双方は、既存の条件と同様に将来に立脚した再利用の解析をも行なうべきである。近い将来における淡水コストの上昇と下水の河川への放流に対する厳しい要求は、いま、実用上の解決策を下水の再利用に求めていくことになるかも知れない。

## 第8章 結 論

1. 都市下水の再利用は、合衆国の358地区において、永続的に実用化されている。これらの再利用の約95%までが、テキサス州、カリフォルニア州、アリゾナ州、ニューメキシコ州、コロラド州およびネバダ州という半乾燥の南西の諸州に位置している。再利用の総水量は、年間当りおよそ $133 \times 10^9$  ガロン(約 $503.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ )である。この水量は、本調査の目的には含まれない地下への補給水を除外したものである。
2. 処理された都市下水は、農作物と造園、工業用冷却水とプロセス用水、リクリエーション湖、および魚類の飼育に、好成績で利用されている。合衆国では1ヶ所が、非飲料の生活用水(たとえば、水洗便所)に下水処理水が使用されている。
3. 都市下水による灌漑は、およそ338ヶ所で行なわれており、年間 $77 \times 10^9$  ガロン(約 $291.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ )の下水が利用されている。作物の主たるものは、人間によって直接に消費されるものではない。しかしながら、人間によって消費される作物の灌漑や、人間と接触する造園(たとえば、ゴルフコース)も、その実例が記録されている。
4. 1972年に、灌漑のために処理水を供給している下水処理場の1/4は、一次処理のみしか行っていない。残りは二次処理であり、極く少数の下水処理場が三次処理を行っていた。灌漑用に供給されている処理水に含まれている有機物と無機物の含有量は広い範囲にばらついていた。適切な作物の選定と灌漑用水管理を十分に行なえば、極めて悪い水質の処理水でも上首尾で使用することができる。
5. 下水処理水による灌漑問題を成功に導く重要な要素には、適切な貯水、技術上のよき考慮を払った流出量の制御、臭気と害虫公害防除、下水処理水の危険な露出に対する公衆の保護、都市側の供給者と灌漑用再利用者との間の連絡の緊密さなどが含まれる。多くの既存の計画は、これらの保護に関する一項ないし数項が欠けており、適切な設計と管理のためのガイドラインが責任ある取締り官公庁によって採用され、実施されるべきである。
6. 多くの灌漑に対する利用は、第一義的には、下水の処分法であることを志向している。灌漑地区より表流水への流出がなければ、取締り官公庁は灌漑用に使用する処理水の水質には余り注意を払っていない。しかしながら、近年、下水処理水を灌漑用に使用した際、その中に含まれる汚濁物質の地下水への浸入によって、その水質の許容範囲を越えることに関心が向けられてきた。将来は、灌漑用再利用についてより厳格な水質基準が制定されることになろう。
7. 都市が灌漑用に下水処理水を販売することにより収入を得ているケースは、およそ20%である。これらの都市での加重平均による使用者料金は、一次処理水についてはMG当り6ドル( $\text{m}^3$ 当り0.48円)、二次処理水についてはMG当り11ドル( $\text{m}^3$ 当り0.87円)、三次処理水についてはMG当り76ドル( $\text{m}^3$ 当り6.02円)である。全体として、都市は下水処理水の販売について十分な料金を得ていないことは明らかである。しかしながら、下水処理水が単に排出するため放流される場合よりは収入を得ていることになる。
8. 現在、合衆国で下水処理水を再利用している工場は僅かに15ヶ所である。これら15ヶ所の

工場には、3ヶ所の火力発電所が含まれており、私企業は僅かに12ヶ所である。明らかに、種々の潜在的工業用再利用の機会が認識されぬまで残されている。

9. 下水処理水のおおよそ  $55.3 \times 10^9$  ガロン ( $209.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) が、年間に工業用水として使用されている。このうち、冷却用水は全体の98.5%を占めており、少量がボイラー補給水、銅精錬所のプロセス用水および他のプロセス用に使用されている。

10. 合衆国内では、12ヶ所の工場で下水処理水が冷却用水として上首尾に使用されている。冷却用水の管理技術は複雑であり、下水処理水の使用は、工場内の操作員に対して工場内処理に関する特別な問題を提供している。下水処理水の水質が例外的に優れたものでない限り、冷却塔に供給する以前に化学処理がリンの除去、有機物の除去、浮遊物の除去のために必要となる。都市と工場が、ともに利益となる下水処理水の再利用計画をすすめるために協力する能力を発揮してきた。おそらく、単独では最も大きな未開発の潜在的再利用の分野が、工業用冷却システムでの使用量の増加である。

11. 一般的に、工業の立場からみて都市下水は淡水との直接の競争分野である。再利用が魅力あるものとするためには、その購入費、輸送費、工場内処理費を含めた総経費が淡水の場合の同様の経費の総額よりも安くならなければならないか、または、下水処理水が淡水供給システムよりも信頼性のあるものでなければならない。総経費が決められている7ヶ所について、下水の再利用のための総経費は、MG当り143ドルから675ドル ( $\text{m}^3$  当り11.33円から53.50円)、平均240ドル ( $\text{m}^3$  当り19.02円) である。

12. 合衆国には、処理水をリクリエーション湖に供給している3ヶ所の下水処理場がある。これは、カリフォルニア州タホ湖、サンティ、およびランカスターである。3ヶ所ともに三次処理水が供給されている。各プロジェクトでは、湖の公共利用に障害のない優れた水質の処理水を一貫して供給しており、その目的を果たして成功している。

13. リクリエーション湖への三次処理水の供給のための処理費は、建設費の償却をも含めて、ランカスターのMG当り150ドル ( $\text{m}^3$  当り11.89円) からタホ湖のMG当り882ドル ( $\text{m}^3$  当り69.91円) の範囲にある。タホ湖のコストが高いのは、設計下水量の1/2以下で運転しているためである。

14. 下水処理水を用いて魚類の飼育に成功している例は、上記3ヶ所のリクリエーション湖に加えて、数ヶ所あることが報告されてきた。下水処理水によって飼育した魚類が、人間の食用に適合しているか否かに関する情報は皆無か、極く僅かである。

15. 合衆国で生活用水として下水処理水を使用しているのは、アリゾナ州のグランドキャニオン村のみであり、ここでは、約30,000 GPD ( $113.6 \text{ m}^3/\text{日}$ ) の下水処理水が、水洗便所、洗車、その他の非飲料の生活用水として使用されている。

16. 合衆国では、ごく僅かの比率の下水処理水のみが現在再利用されている。国の淡水源を保存するためには、政府および公共サイドが、都市下水の再利用の広範囲な実用化と、永続的な発展を強力に支持することが賢明である。

## 第9章 追加すべき研究に対する勧告

1. 本報告書に補足すべき必要な主たる技術分野は、水道使用量の増大、塩水浸入防止、石油採鉱時の土壌汚染防止に対処するための、下水処理水を用いての「地下水補給」についてである。  
これらの調査のためのアプローチは、本調査と同様であろう。
2. ラグーンの効率アップ、窒素の硝化、脱窒素施設などと同様に下水の再利用に関するEPAの技術移転のためのセミナー出版物の準備を始めるべきである。このような出版物は広く配付されることになり、下水の再利用に関する興味を多くの人にもたらすことになる。
3. 既存の再利用施設の運営に関して、一連の包括的、部分的な評価を行なうことは、非常に大きな価値がある。本報告書は問題を広い範囲にとらえており、既存の再利用施設の運営で得られたデータからの情報に全く依存して作成されている。代表的な再利用施設運営を種々の面からとらえた広範囲な現場データの解析を含む詳細な技術的および経済的分野の調査は、何が必要であるかを求めるのに役立つものである。これらの利用目的は、灌漑用、工業用、地下水補給、リクリエーション湖などに代表される。
4. 都市下水の再利用計画の経済的評価の詳細な方法論と手順を示す研究を行なうべきである。
5. 下水の再利用を奨励する連邦レベル、州レベル、地区レベルの役割を研究すべきである。再利用を行なうことから生ずる地区の利益の多くは、地域レベル、または国レベルの利益に通ずるものであり、それに応じて、地区の再利用施設の運営は補償されるべきであろう。同様に、下水の再利用者はそのコミュニティに対して利益をもたらしており、例えば、工場排水排出の超過料金を安くするなどの方法によって報いられるべきであろう。これに関する仕事の一部として、下水処理場建設補助金と潜在的再利用計画との関係の検討が行なわれるべきであろう。この際、連邦および州の建設補助金には、不注意からくる不十分な再利用施設の建設が含まれる危険性がある。どうしても、上記4の勧告が取り上げられるべきである。
6. 下水処理水を直接に飲料水とする再利用、全身を再利用水に接触させる再利用（水泳など）、食用に供する魚類の飼育のための再利用、人間の消費する作物への灌漑のための再利用における潜在的健康阻害に関する永続的な研究が必要である。これに関する特別の関心は再利用の際の分解し難い有機物、重金属類、病原性微生物の挙動である。強化対策があるか？健康障害があるか？如何なる濃度か？……などに対する関心である。
7. 冷却用水としての再利用は、工業用における最も優れた下水処理水の利用であるから、現在および将来について、処理水の水質、必要とする利用者サイドの処理、冷却システムの運転方法（たとえば、循環回数、腐蝕の制御など）に関する技術とコストを最適化するための研究が行なわれるべきである。
8. 下水の再利用に障害となる成分を除去する高度処理の分野の永続的な基礎的研究が必要である。もし可能ならば、処理水中の無機物の部分的な除去をより少ないコストで行なう処理法の開発が行なわれなければならない。汚過と併用、あるいは汚過を行なわずにする消毒の効力は種々のレベルの処理水の消毒について定められるべきであろう。いくつかの都市では、塩素消毒のみが適切

な殺菌法であるために、 $\gamma$ 過水のみが再利用できると考えている。

9. 飲料用水および非飲料用水の二系統により給水する（二元給水）技術とその経済性は興味のある問題である。とくに、二元給水の実行可能性に関する諸因子、および公衆衛生上の設計クライテリアの必要性がこれに相当する。

10. 再利用水に含まれているバクテリア、化学成分、有毒物質の測定および監視のための簡単で、敏速な手法を有し、かつ信頼できる測定機器の開発に関する基礎的研究を継続すべきである。

間欠的な残留塩素記録計、濁度計を除いては、再利用水の水質を監視できる測定機器は非常に少ないことが本調査により判明した。サンプリングとその結果が得られるまでの時間の遅れがより短縮される細菌試験法の開発は価値あるものである。

## 第10章 一般的な参考文献のリスト

### 第1部 著者不明の文献

- "All Round Re-Use of Effluent at Bristol," Water and Waste Treatment Journal, 14, No. 9, p 10 (1971).
- An Expanding Lubbock . . . Reclaimed Water for a Growing City, Lubbock, Texas, City Planning Dept. (1969).
- "California Endorses Wastewater Reuse," Engineering News-Record, 179, No. 10, p 21 (1967).
- "Can we Use Treated Sewage in Our Boilers?," Power, 111, pp 170-171 (1967).
- "Central Contra Costa Water Renovation Project," Bulletin, California Water Pollution Control Association, 8, No. 2, p 22 (1971).
- "Chemical Process Purifies Waste-Water, Makes it Drinkable," Product Engineering, 40, p 15 (1965).
- Chlorinated Municipal Waste Toxicities to Rainbow Trout and Fathead Minnows, Michigan Department of Natural Resources, Lansing, Michigan (1971).
- "Conservation and Re-Use of Used water," Effluent and Water Treatment Journal, 4, pp 442-443 (1964).
- "Cost Factors for Water Supply and Effluents Disposal," Chemistry and Industry, pp 667-683 (1970).
- "Effluent Re-Use Investigated," Water Works and Wastes Engineering, 1, p 94 (1964).
- "Effluent Re-Use Study at Pudsey," Water and Waste Treatment Journal, 14, No. 6, p 4 (1971).
- Engineering Feasibility Demonstration Study for Muskegon County, Michigan Wastewater Treatment-Irrigation System, Muskegon County Board and Dept. of Public Works, Muskegon, Michigan (1970).
- "Field Investigation of Waste Water Reclamation in Relation to Ground Water Pollution," Publication No. 6, California State Water Pollution Control Board, (1953).
- "Fish Raised in Wastewater Lagoons," American City, p 148 (June 1972).
- "Improved Sewage By-Product Reclamation," Fluid Handling, No. 88, p 150 (1957).
- "Industry Utilizes Sewage and Wastes Effluents for Processing Operations," Wastes Engineering, 28, No. 9, pp 444-448, 467 (1957).
- "Irrigate with the Wastewater," American City, p 24 (March 1972).
- "Israel's Wastewater Reclamation Scheme," World Construction, 22, No. 8, pp 37-39 (1969).
- "Israel Turns to Sewage for Water," Engineering News-Record, p 42 (Nov. 1969).
- "Methodology for Economic Evaluation of Municipal Water Supply-Wastewater Disposal Including Considerations of Seawater Distillation and Wastewater Renovation," a final report for Office of Saline Water and Federal Water Quality Administration (August 1970).

"Nassau Activates Recharge plant," Water in the News, 7 (1967).

"New Process Promises Clean Water at Low Cost," Machine Design, 41, pp 14-15 (1969).

"New Sewage Treatment Works for Exeter England," Local Government Technology, 137, No. 4118, pp 30-33 (1971).

New Technology for Treatment of Wastewater by Reverse Osmosis, Environmental Protection Agency (1970).

"On the Use of Reclaimed Wastewaters as a Public Water Supply Source," Journal, American Water Works Association, 63, p 490 (1971).

"Power Plant to Run On Treated Sewage," Power Engineering, 75, p 54 (1971).

"Purified Sewage Will Provide Water Supply at the Jurong Industrial Estate, Singapore," Water and Water Engineering, 69, pp 208-209 (1965).

"Reclaimed Wastewater May Fill a Salt Free Aquifer," Engineering News-Record, 179, No. 6, p 38 (1967).

"Reclaimed Water Solves International Problem," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 89, No. SA 3, pp 12-13 (1963).

"Renovated Waste Water for Industry?," American City, 86, No. 6, p 118 (1971).

"RE-Use of Sewage Plant Effluent," Industrial Water Engineering, 5, No. 8, p 32 (1968).

"Reverse Osmosis for Wastewater Treatment," Gulf General Atomic, Inc., San Diego, California, GA-8020 (1967).

Reverse Osmosis Renovation of Municipal Wastewater, Federal Water Quality Administration (1969).

"Sowing with Sewage," Mechanical Engineering, 92, No. 7, p 48 (1970).

"Steel Mill's Use of Clarified Water Cuts Stream Pollution," Water and Sewage Works, 115, p 489 (1968).

"Symposium on Waste Water Treatment and Re-Use," Effluent and Water Treatment Journal, p 94 (Feb. 1969).

"The Re-Use of Water," West Texas Today, 45, No. 9, p 12, 22-23 (1964).

"The Reverse Osmosis Process and Its Potential for Application in Water and Waste Treatment," Internal Project Report No. OP-4 (J-20, 904)-1, Rex Chainbelt Inc. (Nov. 1968).

"Use of Ozone in Reclamation of Water from Sewage Effluent," Surveyor and Municipal Engineer 131, No. 3947, pp 21-22 (1968).

"Using Effluents as Coolants," Compost Science, 5, p 31 (Spring 1964).

"Water from Raw Sewage," Chemistry and Engineering News, 49, p 11 (May 1971).

Water Quality Criteria: Report of the National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior, Federal Water Quality Administration (1968).

"Water Requirements of the Petroleum Refinery Industry," U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1330-G (1963).

"Water Reused on Pike's Peak," Public Works, 83, No. 11, p 114 (1970).

"Water Reuse in Industry," Journal, Water Pollution Control Federation, 42, p 237 (1970).

"When Waste Disposal Taxes Water Supply, Reclamation is Key to Treatment," Engineering News, 173, p 41-42 (1964).

## 第 2 部 著者明記の参考文献

Abelson, P.H., "An Overall Look at Water Resources," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, p 96 (1967).

Aitken, I.M.E., "Solute Control in Water Reuse," Effluent and Water Treatment Journal, p 34 (1968).

Amramy, A., "Re-Use of Municipal Waste Water," Civil Engineering, 38, No. 5, pp 58-61 (1968).

Anderson, C.M., Crits, G.N., and Pratt, J.B., "A New Wastewater Renovation System" Water Works & Wastes Engineering, pp 28-31 (July 1965).

Arnold, J.L., "Basic Thinking in Water Pollution Control," Water Pollution Control, pp 601-610 (1971).

Baffa, J.J. and Bartilucci, N.J., "Wastewater Reclamation By Groundwater Recharge on Long Island," Journal, Water Pollution Control Federation, 39, No. 3, pp 431-438 (1967).

Baffa, J.J., et al., "Development in Artificial Ground Water Recharge," Willing Water, (Nov. 1968).

Banks, H.O., et al., Economic & Industrial Analysis of Wastewater Reclamation and Reuse Projects, Leeds, Hill & Jewett, San Francisco (1971).

Bargman, R.D., Adrian, G.W., and Garber, W.F., "Urban Wastewater Recovery: City of Los Angeles," Chemical Engineering Progress Symposium Series No. 90, 64, No. 216 (1968).

Barker, J.E. and Pettit, G.A., "Water Reuse," Industrial Water Engineering, 5, No. 1, p 36 (1968).

Bauer, J.H., "Air Force Academy Sewage Treatment Plant Designed for Effluent Re-Use," Public Works, 92, No. 6, pp 120-122 (1961).

Berger, B.B., "The Natural Cycle of Water Reuse," Water and Wastes Engineering, 5, No. 8, p 34 (1968).

Berger, H.F., "Evaluating Water Reclamation Against Rising Costs of Water and Effluent Treatment," Louisiana State University, Division of Engineering Research Bulletin, 89, pp 155-168 (1967).

Bernstein, Leon, "Quantitative Assessment of Irrigation Water Quality," Water Quality Criteria, American Society for Testing and Materials, First National Meeting on Water Quality Criteria, Philadelphia (1966).

Bernstein, M., "Water Renovation and the Reuse of Water," The Civil Engineer in South America, 10, No. 8, p 168 (1968).

Besik, F., "Reclamation of Potable Water from Domestic Sewage," Water Pollution Control (Canada), 109, No. 4, p 35; No. 4, p 46; No. 6, p 38 (1971).

Besik, F., "Wastewater Reclamation in a Closed System," Water and Sewage Works, pp 213-219 (1971).

- Bishop, Bruce A. and Hendricks, David W., "Water Reuse Systems Analysis," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 97, No. SA 1, pp 41-57 (1971).
- Bloodgood, D.E., "Utilization of Wastewaters," Water and Wastes Engineering, 7, pp E 2-4 (1970).
- Boen, D.F., Bunts, J.H., Jr., and Currie, R.J., Study of Reutilization of Wastewater Recycled Through Groundwater, Vol. I and II, Eastern Municipal Water District, Hemet, California (1971).
- Borneff, J., "Die Wiederverwendung von Abwasser," Archiv fur Hygiene und Bakteriologie, 153, No. 4, pp 289-297 (1969).
- Borneff, J., "Die Wiederverwendung von Abwasser," Zentralblatt fur Bakteriologie, Paristienkunde . . . Abt. Orig. 212, p 334.
- Bouwer, Herman, Rice, R.C., and Escarcega, E.D., Renovating Secondary Sewage By Ground Water Recharge with Infiltration Basins, Environmental Protection Agency (1972).
- Bouwer, Herman, "Ground Water Recharge Design for Renovating Waste Water," Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, 96, No. SA 1, pp 59-74 (1970).
- Bowen, D.H.M., "Effluents are Tasting Better and Better," Environmental Science and Technology, 5, No. 2 (1971).
- Bradakis, H.L., "Joint Municipal-Industry Spray Irrigation Project," Industrial Water & Wastes, 6, No. 4, pp 117-120 (1961).
- Bramer, H.C., and Hoak, R.D., "Water Reclamation," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 92-95 (1967).
- Bray, D.T., Merten, U., and Augustus, M., "Reverse Osmosis for Water Reclamation," Bulletin, California Water Pollution Control Association, 2, No. 2, p 11.
- Bringmann, G., Gesundheitsingenieur, 80, p 140 (1960).
- Brungs, William A., "Chronic Effects of Constant Elevated Temperature on the Fathead Minnow," Transactions, American Fish Society, 100, No. 4, pp 659-664 (1971).
- Brunner, C.A., "Pilot-Plant Experiences in Demineralization of Secondary Effluent Using Electrodialysis," Journal, Water Pollution Control Federation, 39, p R1 (1967).
- Bruvold, W.H., and Ward, F.C., "Public Attitudes Toward Uses of Reclaimed Wastewater," Water & Sewage Works, 117, pp 120-122 (1970).
- Bunch, R.L., Chambers, C.W., and Cook, W.B., "Disinfection of Renovated Wastewater," Federal Water Quality Administration (1971).
- Burns & Roe, Inc., "Disposal of Brines Produced in Renovation of Municipal Wastewater," Federal Water Quality Administration, Contract No. 14-12-492 (May 1970).
- Butler, C.E., "Survival and Recovery of Salmonella in Tucson's Wastewater Reclamation Program," Journal, Water Pollution Control Federation, 41, No. 5, Pt. 1, pp 738-744 (1969).
- Caspi, B., Zohar, Y., and Saliternik, C., "Water Reuse in Israel," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 54-65 (1967).
- Cecil, L.K., "Complete Water Reuse," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78 pp 258-261 (1967).
- Cecil, L.K., "How Usable is Present Technology for Removing Nutrients from Wastewater," Progress In Water Technology, Vol. I, Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, Pergamon Press, New York (1972).

- Cecil, L.K., "Problems and Practice of Phosphate Removal in Water Reuse," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 159-163 (1967).
- Cecil, L.K., "Sewage Treatment Plant Effluent for Water Re-Use," Water & Sewage Works, 111, pp 421-423.
- Chaiken, Eugene I., Poloncsik, Stephen, and Wilson, Carl D., "Muskegon Sprays Sewage Effluents On Land," Civil Engineering-ASCE, 43, No. 5, pp 49-53 (1973).
- Channabasappa, K.C., "Reverse Osmosis Process for Water Reuse Application," Chemical Engineering Progress Symposium Series No. 97, 65 No. 140 (1969).
- Chaty, N.B., "Carbon Systems Play Key Role in Advanced Wastewater Treatment," The Flowsheet, No. 5, pp 4-8 (1972).
- Clayton, A.J., & Pybus, P.J., "Windhoek Reclaiming Sewage for Drinking Water," Civil Engineering-ASCE, pp 103-106 (Sept. 1972).
- Clouse, J.L., "Need for Water Reuse," Tappi, 47, Sup. 182A-183A (1964).
- Connell, C.H., "Utilization of Wastewater to Meet a Shortage of First Water," Industrial Wastes, pp 148-151 (1957).
- Connell, C.H., and Berg, E.J.M., "Industrial Utilization of Municipal Waste Water," Sewage and Industrial Wastes, 31, pp 212-220 (1959).
- Connell, C.H., and Berg, E.J.M., "Practice and Potentials in Industrial Utilization of Municipal Wastewater," Proceedings of the 13th Industrial Waste Conference at Purdue University, pp 227-242 (1958).
- Connell, C.H., and Berg, E.J.M., "Reclaiming Municipal Waste Water for Industrial and Domestic Re-Use," Southwest Water Works Journal, 41, pp 17-19 (1960).
- Connell, C.H., and Forbes, M.C., "City Sewage-Plant Effluent is Worth Your Study," Oil and Gas Journal, 59, pp 94-96 (1961).
- Connell, C.H., and Forbes, M.C., "Once-Used Municipal Water as Industrial Supply," Water & Sewage Treatment, 3, No. 9, pp 397-400 (1964).
- Cooper, J.C., and Hager, D.G., "Water Reclamation with Granular Activated Carbon," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 185-192 (1967).
- Culp, R.L., "Wastewater Reclamation by Tertiary Treatment," Journal, Water Pollution Control Federation, p 799 (June 1967).
- Culp, R.L., and Moyer, H.E., "Wastewater Reclamation and Export at South Tahoe," Civil Engineer (New York) 39, No. 6, pp 38-42 (1969).
- Culp, R.L., Wilson, Jerry C., and Evans, David R., "Advanced Wastewater Treatment As Practiced At South Tahoe, EPA Water Quality Office (1971).
- Day, A.D., "City Sewage for Irrigation and Plant Nutrients," Crops and Soils, pp 7-9, (1962).
- Day, A.D., et al, "Effects of Treatment Plant Effluent on Soil Properties," Journal, Water Pollution Control Federation, p 372 (March 1972).
- Dea, S.J., "Total System Concept of Water Pollution Control," Water and Wastes Engineering, 6, pp 36-39 (1969).
- Deaner, D.G., California Water Reclamation Sites, 1971, California State Dept. of Public Health, Bureau of Sanitary Engineering.

- Deaner, D.G., Directory of Wastewater Reclamation Operations in California, 1969, California State Dept. of Public Health, Bureau of Sanitary Engineering.
- Deaner, D.G., "Public Health and Water Reclamation," Water & Sewage Works, 117, pp 7-13 (1970).
- De Leeuw, A., "Waste Water Utilization in the Dan Region," Bulletin of Hydraulic Research, IAHR, 18, p 174 (1964).
- Diekman, S., "Water for Bielefeld," Veroffentlichungen Instituts fur Siedlungswasserwirtschaft, No. 9, p 5 (1962).
- Dobie, J., Meeheon, O.L., Snieszko, S.F., and Washburn, G.N., Circular No. 35, U.S. Fish and Wildlife Service (1956).
- Dodson, R.E., "San Diego Takes Another Bold Step to Obtain Pure Water from Sewage," American City, 86, No. 2, p 43 (1971).
- Dominy, Floyd E., Aquisition of Water from Federal Reclamation Projects for Industrial and Community Development, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation (1969).
- Dornbush, J.N. and Andersen, J.R., "Ducks on the Wastewater Pond," Water and Sewage Works, 3, No. 6, pp 271-276 (1964).
- Dryden, F.D., "Mineral Removal by Ion Exchange, Reverse Osmosis, and Electrodialysis," Paper Presented at the Workshop on Wastewater and Reuse, South Lake Tahoe, California (June 1970).
- Dunlop, S.G., and Wang, W-L. L., "Studies on the Use of Sewage Effluent for Irrigation of Truck Crops," Journal of Milk and Food Technology, 24, pp 44-47 (1961).
- Dye, E.O., "Wastewater Reclamation Project," Water & Sewage Works, 115 p 139 (1968).
- Eastman, P.W., "Municipal Wastewater Reuse for Irrigation," Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 93, IR 3, pp 25-31; IR 1, pp 167-168 (1968).
- Eckenfelder, W. Wesley, Jr. & Ford, Davis L., "Economics of Wastewater Treatment" Chemical Engineering, p 109 (Aug 1969).
- Eden, G.E., et al., "Water from Sewage Effluents," Proceedings and Journal, Institute for Sewage Purification (Brit.) Pt. 5, p 407 (1966).
- Eilers, Richard G., and Smith, Robert, Wastewater Treatment Plant Cost Estimating Program, Environmental Protection Agency (1971).
- Eliassen, R., Wyckoff, B.M., and Tonkin, C.D., "Ion Exchange for Reclamation of Reusable Supplies," Journal, American Water Works Association, 67, p 113 (1965).
- Eller, J., et al., "Water Reuse and Recycling in Industry," Journal, American Water Works Association, 62, p 149 (1970).
- Elliott, J.F., and Duff, J.H., "Municipal Supply Augmented by Treated Sewage," Journal, American Water Works Association, pp 647-650 (1971).
- Eynon, D., "Wastewater Treatment and Reuse of Treated Sewage as an Industrial Water Supply," The Chemical Engineer, p 6, (1970).
- Fair, G.M., and Geyer, J.C., Water Supply and Waste Water Disposal, John Wiley and Sons, New York (1969).
- Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okum, A.D., Water and Wastewater Engineering, Vol. 2, John Wiley and Sons, New York (1968).

- Feinmesser, A., Survey of Wastewater Utilization, Dept. of Supervision over Agricultural Water, National Water Commission (1963).
- Fish, H., "Effluent Standards and Water Reuse," Water Pollution Control (London), 68, p 307 (1969).
- Flack, J.E., "Urban Water : Multiple Use Concepts," Journal, American Water Works Association, 63, p 644 (1971).
- Flaherty, W.F., "Effect of Water Reuse on Stream Quality," Water & Sewage Works, 115, pp 354-357 (1968).
- Fleming, R.G., "Water Re-Use by Design," American City, 78, pp 106-108 (1963).
- Fleming, R.G., and Jobes, H.D., "Water Reuse: A Texas Necessity," Journal, Water Pollution Control Federation, 41, pp 1564-1569 (1969).
- Flower, W.A., et al., Optimization of Combined Industrial-Municipal Waste Treatment Through Automation and Reuse, Environmental Protection Agency (1972).
- Foster, Herbert B., Jr. and Jopling, William F., "Rationale of Standards for Use of Reclaimed Water," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 95, No. SA 3, p. 503 (1969).
- Fuhrman, R.E., "Adaptation of Known Principles and Techniques of Waste Water Management to Specific Environmental Situations and Geographical Conditions," Water Pollution Control (London), 68, p 619 (1969).
- Funke, J.W., "A guide to Water Conservation and Water Reclamation in Industry," CSIR Gide K9, National Institute for Water Research, Pretoria, South Africa.
- Gallagher, E., "Water Reuse as a Method of Water Supply and Pollution Reduction," Water & Sewage Works, 115, pp 356-360 (1968).
- Garland, C.F., "Waste Water Reuse in Industry," Water & Sewage Works, 114, p R-204 (1967).
- Garthe, E.C., and Gilbert, W.C., "Water Reuse at Grand Canyon," Journal, Water Pollution Control Federation, 40, No. 9, pp 1582-1585 (1968).
- Gavis, Jerome, Wastewater Reuse, National Water Commission, Arlington, Virginia (1971).
- Gloyna, E.F., et al., "Water Resources Activities in the United States: A Report upon Present and Prospective Means for Improved Re-Use of Water," 86th Congress, 2d Session, Committee Print No. 30.
- Gloyna, E.F., et al., "Water Reuse in Industry," Journal, Water Pollution Control Federation, p 237 (1970).
- Gloyna, E.F., Drynana, W.R., and Hermann, E.R., "Water Reuse in Texas," Journal, American Water Works Association, 51, No. 6, pp 768-780 (1959).
- Gomez, H.J., "Water Reuse at the Celulosa y Derivados, S.A. Plants," Proceedings, 23d Industrial Waste Conference, Purdue University Extension Series, 53, p 165 (1969).
- Gould, B.W., "Wastewater Reclamation Using Groundwater Recharge," Effluent & Water Treatment Journal, 11, No. 2, pp 88-90, 94-95; No. 3, pp 139-143 (1971).
- Graesser, H.J., "Dallas-Wastewater Reclamation Studies," Journal, American Water Works Association, 63, No. 10, pp 634-640 (1971).
- Graesser, H.J., "The Dallas Philosophy-An Approach to Wastewater Reclamation," Water and Wastes Engineering, 6, No. 9, p 58.

- Grasesser, H.J., and Haney, P.D., "Dallas Builds Center to Study Wastewater Reclamation," Water and Wastes Engineering, 5, No. 12, p 34 (1968).
- Gram, A.L., and Isenberg, D.L., "Waste Water Treatment," Science Journal, p 77 (1969).
- Grant, Robert J., "Wastewater Treatment In Great Britain," Water & Sewage Works, 117, No. 8.
- Gray, J.F., "Irrigation Processes Using Reclaimed Water of Effluent Described," West Texas Today, 45, pp 18-19, 23 (1965).
- Griffith, C.O., "Conservation of Water by Reuse in Mexico," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 37-40 (1957).
- Gruenwald, A., "Drinking Water from Sewage?" American City, 82, p 3 (1967).
- Guiver, K., and Huntingdon, R., "A Scheme for Providing Industrial Water Supplies by the Re-Use of Sewage Effluent," Water Pollution Control (London), 70, p 75 (1971).
- Guymon, B.E., "Sewage Salinity Prevents Use of Effluent for Golf Course Irrigation," Wastes Engineering, 28, No. 2, pp 80-83 (1957).
- Haack, J.E., "Treatment of Sewage for Industrial Utilization at Moose Jaw," Municipal Utilities, 90, No. 10, p 20, 36-41.
- Hallock, R.J., and Ziebell, C.D., "Feasibility of a Sport Fishery in Tertiary Treated Wastewater," Journal, Water Pollution Control Federation, 42, pp 1656-1665 (1970).
- Haney, P.D., "Water Reuse for Public Supply," Journal, American Water Works Association, 61, No. 2 pp 73-78 (1969).
- Hansen, William F., "Some Research Findings on the Bennett Springs Sewage Irrigation Project," Unpublished Data, University of Missouri (1972).
- Hauser, Frank R., "Expansion of Industrial Water Facilities at Sparrows Point," Iron & Steel Engineer, (Sept. 1956).
- Hennessy, P.V., Williams, L.R., and Lin, Y.S., "Tertiary Treatment of Trickling Filter Effluent in Orange Country, California," Journal, Water Pollution Control Federation, 39, No. 11, pp 1819-1933 (1967).
- Heukelekian, H., "Utilization of Sewage for Crop Irrigation in Israel," Sewage and Industrial Wastes, 29, pp 868-874 (1957).
- Hill, William p., "Industry Converts Sewage Works Effluent into Water Supply," Water Works & Sewage, (Dec. 1945).
- Hillinger, Charles, "Farmer Finds Boon in Drip Irrigation," L.A. Times 11/11/72.
- Hindin, E., and Bennett, P.J., "Water Reclamation by Reverse Osmosis," Water and Sewage Works, 66 (1969).
- Hirsch, L., "Wastewater Reclamation for Water Deficient Lands-Experiences in Southern California," International Conference on Water for Peace, Washington, D.C., Paper No. 418 (1967).
- Houser, E.W., "Santee Project Continues to Show the Way," Water and Wastes Engineering, 7, No. 5, pp 40-44 (1970).
- Huggins, T.G., "Production of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) in Tertiary Treatment Ponds," Unpublished M.S. Thesis, Iowa State University (1969).

- Humphrey, F.C., "Sewage Effluent in Use as Power Plant Circulating Water," Proceedings of 14th Industrial Waste Conference at Purdue University, pp 732-742 (1959).
- Hyde, C.G., "The Beautification and Irrigation of Golden Gate Park with Activated Sludge Effluent," Sewage Works Journal, 9, pp 929-941 (1937).
- Ide, T., Matsumoto, N., and Arimitsu, H., "Utilization of Municipal Wastewater in Japan," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 46-53 (1967).
- Ikonnikova, S., "Purification of Municipal Water Supplies in the U.S.S.R.," Water and Waste Treatment, p 535 (1964).
- Ingraham, H.S., "Regional Planning for Water Supply and Sewage Treatment," Archives of Environmental Health, 16 (1968).
- Irvine, R.L., and Davis, W.B., "Water Conservation and Reuse by Industry," Water and Wastes Engineering, p a 17 (1970).
- Israel, Ministry of Health, Special Conditions for Use of Wastewater in Agriculture, (1965).
- Janacek, K.F., "Treated Sewage as Boiler Make-Up," Industrial Water Engineering, 2, No. 12 (1966).
- Jenkins, S.H., "Composition of Sewage and its Potential Use as a Source of Industrial Water," Chemistry and Industry, pp 2072-2079 (1962).
- Jensen, L.C., and Renn, C.F., "Use of a Tertiary Treated Sewage as Industrial Process Waters," Water and Sewage Works, 115, p 184 (1968).
- Johnson, J.F., Renovated Waste Water: An Alternative Source of Municipal Water Supply in the United States, University of Chicago, Dept. of Geography, Chicago (1971).
- Johnson, W.H., "Treatment of Sewage Plant Effluent for Industrial Reuse," International Water Conference (1964).
- Johnson, W.H., "Water Treatment and Reclamation in Steel Plants," Iron and Steel Engineering, 40, pp 142-147 (1963).
- Karassik, I.J., and Sebald, J.F., "Pasteurized Water: Potable Supplies from Waste Water Effluents," Public Works, 94, pp 131-133 (1963).
- Kardas, L.T., "A New Prospect," Environment, 12, No. 2, p 10 (1970).
- Keating, R.J., and Calise, V.J., "Treatment of Sewage Effluent for Industrial Re-Use," Sewage and Industrial Wastes, 27, No. 7, pp 763-782 (1955).
- Keefer, C.E., "No Crash Timetable Involved in Baltimore's \$68-million Plan," Wastes Engineering (Nov. 1960).
- Keefer, C.E., "Tertiary Sewage Treatment," Public Works, 93, No. 11, pp 109-112; No. 12, pp 81-83 (1962).
- Kirkpatrick, F.W., Jr., and Smythe, E.F., "History and Possible Future of Multiple Reuse of Sewage Effluent at Odessa, Texas Industrial Complex," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 201-209 (1967).
- Kluth, H.W., "Evolution of a Steel Plant Water Supply," Bethlehem Steel Corp. (June 1966).
- Koebig & Koebig, Inc., Wastewater Reclamation in Southern California Coastal Area (1972).
- Koenig, L., and Ford, D., "Reuse can be Cheaper than Disposal," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 143-147 (1967).

- Konefes, J.L., and Bachmann, Roger W., "Growth of Fathead Minnow (*Pimephales promelas*) in Tertiary Treatment Ponds," Iowa Academy of Science, 77, pp 104-111 (1970).
- Krone, R.B., McGauhey, P.H., and Gotaas, H.B., "Direct Recharge of Ground Water with Sewage Effluents," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 83, No. SA 4, (1957).
- Krueze, C.A., "Hygienic Evaluation of the Agricultural Utilization of Sewage," Gesundheitsingenieur, 76, pp 206-211 (1955).
- Ladd, Kenneth, and Terry, S.L., City Waste Water Reused for Power Plant Cooling and Boiler Makeup, Southwestern Public Service Co., Amarillo and Lubbock, Texas.
- Law, J.P., Jr., et al., Water Quality Management Problems In Arid Regions, U.S. Dept. of the Interior, Federal Water Quality Administration (1970).
- Leclerc, E.H.T.H., "Considerations on Reuse of Water in Certain Industries," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 66-73 (1967).
- Levy, D., and Calise, V.J., "Fresh Water From Sewage," Consulting Engineer, 12, No. 1, pp 100-105 (1959).
- Libya, Ministry of Agriculture, "Water Resources in Libya, Their Investigation, Development and Improvement," International Conference on Water for Peace, Washington, D.C., Paper No. 614 (1967).
- Linstedt, D., Evaluation of Treatment for Urban Wastewater Reuse, Environmental Protection Agency (1973).
- Linstedt, H.D., et al., "Metropolitan Successive Use of Available Water," Journal, American Water Works Association, 63, p 610 (1971).
- Linstedt, H.D., "Quality Considerations in Successive Water Use," Journal, Water Pollution Control Federation, 43, pp 1681-1694 (1971).
- Lubzens, Michael, "Wastewater Treatment Plant Operational Problems at Haifa, Israel," Journal, Water Pollution Control Federation, 41, No. 3, Part 1, pp 413-417 (1969).
- McCormick, E.B., and Wetzel, O.E., Jr., "Water Supply from Sewage Effluent," Petroleum Refiner, 33, No. 11, pp 165-167 (1954).
- McCoy, J.W., Chemical Analysis of Industrial Water, Chemical Publishing Company, New York (1969).
- McGauhey, P.H., Engineering Management of Water Quality, New York, McGraw-Hill (1968).
- McGauhey, P.H., "The Why and How of Sewage Effluent Reclamation," Water and Sewage Works, 104, pp 265-270 (1957).
- McGauhey, P.H., and Middlebrooks, J.E., "Wastewater Management," Water and Sewage Works, 119, No. 7, pp 49-53 (1972).
- McIlhenny, W.F., "Recovery of Additional Water from Industrial Wastewaters," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 36, p 76 (1967).
- McKee, J.E., "Potential for Reuse of Wastewater in North Central Texas," Water Resources Bulletin, 7, No. 4, pp 740-749 (1969).
- McKee, J.E., and Wolf, H.W. (ed.), Water Quality Criteria, Publication No. 3-A, California State Water Resources Control Board (1971).
- McQueen, F., "Sewage Treatment for Obtaining Park Irrigating Water," Public Works, 64, pp 16-17 (1933).

- Marks, R.H., "Waste Water Reclamation: A Practical Approach for Many Water Short Areas," Power, 107, No. 11, pp 47-50 (1963).
- Mayes, W.W., and Gibson, W.E., "Successes and Failures in Water Reuse at Cosden Oil & Chemical Co., Big Spring, Texas," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 167-200 (1967).
- Mendia, L., "Municipal Sewage Reuse for Industrial Purposes," International Conference on Water for Peace, Washington, D.C., (1967).
- Merten, U., and Bray, D.T., "Reverse Osmosis for Water Reclamation," International Conference on Water Pollution Research, Munich, Germany (1966).
- Merz, R.C., "Direct Utilization of Waste Waters," Water and Sewage Works, 103, pp 417-423 (1956).
- Merz, R.C., "Waste Water Reclamation for Golf Course Irrigation," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 85, No. SA 6, pp 79-85 (1959).
- Metzler, D.F., et al., "Emergency Use of Reclaimed Water for Potable Supply at Chanute, Kansas," Journal, American Water Works Association, 50, No. 8, pp 1021 (1958).
- Metzler, D.F., "The Reuse of Treated Wastewater for Domestic Purposes," Public Works, p 117 (1958).
- Middleton, F.M., "Advanced Treatment of Waste Waters for Reuse," Water and Sewage Works, 3, No. 9, pp 401-410 (1964).
- Middleton, F.M., "Concepts of Wastewater Reuse," Water and Sewage Works, 118, pp 59-62 (1971).
- Middleton, F.M., "Wastewater Treatment for Return to Natural Cycle Reuse," Water and Wastes Engineering, 5, pp 61-64 (1968).
- Miller, D.G., and Newsome, D.H., "Conservation of Water by Reuse in the United Kingdom," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 13-31 (1967).
- Miyahara, Shoza and Ando, Tokiya, "Tertiary Treatment of Sewage Water," Sangyo Kogai, 6, No. 8, p 454 (1970).
- Moyer, H.E., "South Lake Tahoe Water Reclamation Project," Public Works, 99, No. 12, pp 87-94 (1968).
- National Industrial Pollution Control Council, Wastewater Reclamation, NIPCC Subcouncil Report (March 1971).
- National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior, Water Quality Criteria, Federal Water Pollution Control Agency, Washington, D.C. (1968).
- Neale, J.H., "Washing Water," Science and Technology, pp 52-57 (June 1969).
- Neveux, M.M., Jaag, O., and Kieling, J., "Agricultural Utilization of Sewage Effluent," Techniques et Sciences Municipales, 54, pp 425-432 (1959).
- Nichols, M.C., "Industrial Use of Reclaimed SEWage Water at Amarillo," Journal, American Water Works Association, 47, No. 1, pp 29-33 (1955).
- Nierstrasz, H., "Cyclic Waste Recovery Systems," Water Pollution Control (Canada), 109, No. 11, p 33 (1971).

Nupen, E.M., "Virus Studies on the Windhoek Wastewater Reclamation Plant South-West Africa," Water Research, 4, No. 10 (1970).

O'Farrell, T.P., Bishop, D.F., and Bennett, S.M., "Advanced Waste Treatment at Washington, D.C.," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 65, No. 97, p 251 (1969).

Okun, D.A., "New Directions for Wastewater Collection and Disposal," Journal, Water Pollution Control Federation, 43, No. 11, pp 2171-2180 (1971).

Orcutt, R.D., "An Engineering-Economic Analysis of Systems Utilizing Aquifer Storage for the Irrigation of Parks and Golf Courses with Reclaimed Wastewater," University of Nevada Desert Research Institute, Center for Water Resources Research, Technical Report Series II-W, Publication No. 5 (1967).

Osborn, D.W., "Factors Affecting the Use of Purified Sewage Effluents for Cooling Purposes, Johannesburg Municipality (South Africa)," Water Pollution Control, 69, No. 4, p 456.

Ottoboni, A., and Greenberg, A.E., "Toxicological Aspects of Wastewater Reclamation," Journal, Water Pollution Control Federation, 42, pp 493-499 (1970).

Owen, L.W., "Ground Water Management and Reclaimed Water," Journal, American Water Works Association, 60, No. 2, pp 135-144 (1968).

Parizek, R.R., "Wastewater Renovation and Conservation," Public Works, 99, p 130 (1968).

Parkhurst, J.D., "Practical Application for Reuse of Wastewater," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 64, No. 90, pp 225-231 (1968).

Parkhurst, J.D., "Reclaiming Used Water," American City, 78, pp 83-85 (1963).

Parkhurst, J.D., "Waste Water Reuse-A Supplemental Supply," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 96, No. SA 3 (Jan. 1970).

Parkhurst, J.D., "Water Utility Concept Applied in Water Reuse," Public Works, 98, No. 10, pp 110-112, 200, 202 (1967).

Parkhurst, J.D., Carry, C.W., Masse, A.N., and English, J.N., "Practical Applications for Reuse of Wastewater," Chemical Engineering Progress Symposium Series No. 90, 64, No. 225 (1968).

Parkhurst, J.D., Chen, C.L., Carry, C.W., and Masse, A.N., "Demineralization of Wastewater by Ion Exchange," Paper presented at the 5th International Conference on Water Pollution Research, San Francisco, California (August 1970).

Patterson, W.L., and Banker, R.F., Estimating Costs and Manpower Requirements for Conventional Wastewater Treatment Facilities, Environmental Protection Agency (Oct. 1971).

Pennypacker, S.P., Sopper, W.E., and Kardos, L.T., "Renovation of Wastewater Effluent by Irrigation of Forest Land," Journal, Water Pollution Control Federation, 39, No. 2, p 285 (1967).

Peter, I.Y., "Sewage Effluent into Sand Dunes," Water and Sewage Works, 105, p 493 (1958).

Peters, J.H., and Cuming, D., "Water Conservation by Barrier Injection," Water and Sewage Works, 114, No. 2, p 63 (1967).

Peters, J.H., and Rose, J.L., "Water Conservation by Reclamation and Recharge," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 94, No. SA 4, pp 625-639 (1968).

Petrasek, A.C., Jr., Esmond, S.E., and Wolf, H.W., "Municipal Wastewater Qualities and Industrial Requirements," Paper Presented at Complete Water Reuse Meeting, American Institute of Chemical Engineers, Washington, D.C. (April 1973).

- Phillips, J.D., and Shell, G.L., "Pilot Plant Studies of Effluent Reclamation," Water and Wastes Engineering, 6, pp 38-41 (1968).
- Pollio, F.X., and Kunin, R., "Tertiary Treatment of Municipal Sewage Effluents," Environmental Science and Technology, 2, p 54 (1968).
- Porter, J.W., "Planning of Municipal Wastewater Renovation Projects," Journal, American Water Works Association, 62, pp 543-548 (1970).
- Porter, J.W., Hopkins, A.N., and Fisher, W.L., "An Economic and Engineering Analysis of Municipal Wastewater Renovation," Chemical Engineering Progress Symposium Series No. 90, 64, No. 246 (1968).
- Powell, S.T., "Adaptation of Treated Sewage for Industrial Use," Paper presented at the Meeting of American Chemical Society, April 9, 1956.
- Powell, S.T., "Some Aspects of Requirements for the Quality of Water for Industrial Uses," Sewage Works Journal, 20, No. 36 (1948).
- Ranganathan, G.S., "The Use and Disposal of Water in India," Effluent and Water Treatment Journal, No. 10, p 517 (1968).
- Rawn, A.M., et al., "Integrating Reclamation and Disposal of Waste Water," Journal, American Water Works Association, 45, No. 5, (1963).
- Rickles, R.N., "Conservation of Water by Reuse in the United States," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 74-87 (1967).
- Rose, John L., "Injection of Treated Wastewater into Aquifers," Water & Wastes Engineering, p 40 (Oct. 1968).
- Scherer, C.H., "Effluent Reuse in Amarillo," Paper presented at Complete Water Reuse Meeting, American Institute of Chemical Engineers, Washington, D.C. (April 1973).
- Scherer, C.H., "Fifteen Years Experience with the Reclamation and Industrial Reuse of Amarillo's City Wastewater," American Water Works Association Annual Conference (1970).
- Scherer, C.H., "Industrial Reuse of Sewage Plant Effluent," State of Texas Manual for Sewage Plant Operators, 3rd ed, Chapter 23 (1964).
- Scherer, C.H., "Sewage Plant Effluent is Cheaper than City Water," Wastes Engineering, pp 124-127 (1959).
- Scherer, C.H., and Terry, S.L., "Reclamation and Industrial Reuse of Amarillo's Wastewater," Journal, American Water Works Association, 63, No. 3, pp 159-164 (1971).
- Schouten, Maria, "Land Disposal of Municipal Waste Stabilization Pond Effluent," Unpublished Data, Ministry of the Environment, Ontario, Canada (1971).
- Schouten, Maria, "Smithville Spray Irrigation Study Progress Report," Unpublished Data, Ministry of the Environment, Ontario, Canada (1972).
- SCS Engineers, The Role of Desalting in Providing High Quality Water for Industrial Use, Office of Saline Water (1972).
- Sebastian, F.P., "Wastewater Reclamation and Reuse," Water and Wastes Engineering, 7, No. 7, (1970).
- Sepp, Endel, "Disposal of Domestic Wastewater by Hillside Sprays," Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 99, EE 2, pp 109-121 (1973).

Shannon, E.S., and Maass, A., "Michigan--Industry Reuse of Treated Waste," Journal, American Water Works Association, 63, No. 3, p 154 (1971).

Shuvel, H.I., Proceedings of the Jerusalem International Conference on Water Quality and Pollution Research, Humphrey Science Publishers, Ann Arbor (1970).

Shuvel, H.I., "Water Pollution Control in Semi-Arid and Arid zones," Water Research, 1, No. 4, p 297 (1967).

Simins, H.J., Advanced Waste Treatment for Water Reclamation and Reuse by Injection, Nassau Co., Dept of Public Works, Mineola, N.Y.

Skulte, B.P., "Irrigation with Sewage Effluents," Sewage and Industrial Wastes, 28, pp 36-43 (1956).

Slack, J.G., "Sewage Effluent Treatment for Water Recovery," Effluent and Water Treatment Journal, 9, p 257 (1969).

Sloan, G., "Waste Water Reclamation for Golf Course Irrigation," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 86, No. SA 3, p 167 (1960).

Smith, J.M., Masse, A.N., and Miele, R.P., Renovation of Municipal Wastewater by Reverse Osmosis, Environmental Protection Agency (1970).

Smith, Robert, A Compilation of Cost Information for Conventional and Advanced Wastewater Treatment Plant and Processes, Federal Water Quality Administration (Oct. 1967).

Smith, Robert, Costs of Wastewater Renovation, Environmental Protection Agency (1971).

Smith, Robert and Eilers, Richard G., "Cost to the Consumer for Collection and Treatment of Wastewater," Environmental Protection Agency (July 1970).

Sontheimer, H., "Die Wiederverwendung von Abwasser," Umschau in Wissenschaft und Technik, No. 7, pp 195-200 (1968).

Sopper, W.E., Effects of Irrigation of Municipal Sewage Effluent on Spoil Banks, Pennsylvania State University (Dec. 1971).

Sopper, W.E., "Renovation of Municipal Sewage Effluent for Groundwater Recharge Through Forest Irrigation," International Conference on Water for Peace, Washington, D.C., Paper No. 571 (1967).

Sopper, W.E., "Waste Water Renovation for Reuse; Key to Optimum Use of Water Resources," Water Research, 2, p 471 (1968).

Sopper, W.E. and Kardos, L.T., "Sewage Effluent and Sludge Successfully Revegetate Strip Mine Spoil Banks," Science in Agriculture, 18, No. 3, pp 10-11 (1971).

Sosewitz, B., and Bacon, V.W., "Chicago's First Tertiary Treatment Plant," Water and Wastes Engineering, 5, No. 9, p 52 (1968).

Sparks, J.T., "Sewage Irrigation in the Mitchell Lake Area, Texas," Sewage and Industrial Wastes, 25, pp 233-234 (1953).

Spro., Tom M. and Hopkins, Robert M., "Tertiary Wastewater Treatment Made Practical," The American City, p 65 (April 1972).

Stanbridge, H.H., "From Pollution Prevention to Effluent Re-Use," Water and Sewage Works, 111, pp 446-452, 494-499 (1964).

Stander, G.J., "Reclamation of Potable Water from Sewage," Water Pollution Control (London), 68, pp 5513-5522 (1969).

Stander, G.J., "Tertiary Treatment—The Corner Stone of Water Quality Protection and Water Resources Optimisation," Progress In Water Technology, Vol. I, Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, Pergamon Press, New York (1972).

Stander, G.J., et al., "Current Status of Research on Waste Water Reclamation in South Africa," Water Reclamation in South Africa, Water Pollution Control (London), 70, No. 2, pp 213–222 (1971).

Stander, G.J., and Clayton, A.J., "Planning and Construction of Waste Water Reclamation Schemes as an Integral Part of Water Supply," Water Pollution Control (London), 70, p 228 (1971).

Stander, G.J., and Funke, J.W., "Conservation of Water by Reuse in South Africa," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 1–2 (1967).

Stander, G.J., and Funke, J.W., "Direct Cycle Water Reuse Provides Drinking Water Supply in South Africa," Water and Wastes Engineering, 6, No. 5, p 66 (1969).

Stander, G.J., and Funke, J.W., "South Africa Reclaims Effluents As Industrial Water Supply," Water and Wastes Engineering, 6, p 20 (1969).

Stander, G.J., and Van Vuuren, L.R.J., "The Reclamation of Potable Water from Wastewater," Journal, Water Pollution Control Federation, p 355 (March 1969).

Stenborg, R.L., et al., "New Approaches to Wastewater Treatment," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 94, pp 1121–1136 (1968); 95, pp 978–982 (1969); 96, pp 613–615 (1970).

Stephan, D.G., "Renovation of Municipal Wastewater for Reuse," American Institute of Chemical Engineers Symposium Series, 9, (1965).

Stephan, D.G., "Water Renovation—Advanced Treatment Processes," Civil Engineer, 35, p 46 (1965).

Stephan, D.G., and Schaffer, R.B., "Wastewater Treatment and Renovation Status of Process Development," Journal, Water Pollution Control Federation, 42, pp 399–410 (1970).

Stephan, D.G., and Weinberger, L.W., "Wastewater Reuse—Has it 'Arrived'?" Journal, Water Pollution Control Federation, 40, No. 4, pp 529–539 (1968).

Stevens, J.I., "Present and Future Disposal of Sludges from Water Reuse," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, p 250 (1967).

Stone, R.V., Gotaas, H.B., and Bacon, V.W., "Economic and Technical Status of Water Reclamation from Sewage and Industrial Wastes," Journal, American Water Works Association, 44, pp 503–517 (1952).

Storm, D.R., "Land Disposal, One Answer," Water and Wastes Engineering, 8, pp 46–47 (1971).

Suhr, L.G., "Some Notes on Reuse," Journal, American Water Works Association, 63, p 630 (1971).

Sullivan, T.F., "Sewage Effluent Used for Industrial Water," Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, SA 3, (1958).

Symons, G.E., "2020 Vision; a Look at Wastewater Disposal 50 Years Hence," Water and Wastes Engineering, 7, pp 66–68 (1970).

Taras, M.J., "Water Guide to Europe," Water and Sewage Works (Jan. 1969).

Telfer, J.G., "The Medical Professions' Attitude Toward Water Reuse," Chemical Engineering Progress Symposium Series 63, No. 78, p 101 (1967).

- Tischler, L.F., and Burnitt, S.C., Wastewater Reclamation and Reuse, Texas State Water Development Board, Austin (1971).
- Todd, D.K., Groundwater Hydrology, Wiley & Sons (1959).
- Todd, D.K. (ed.), The Water Encyclopedia, Water Information Center, Port Washington, N.Y. (1970).
- Truesdale, G.A., "Water Pollution Control: Need and Trends," Water Pollution Control, pp 644-649 (1971).
- Unger, J., "Chinese Turning Old Waste Material to New Uses," Christian Science Monitor, p 15 (March 22, 1972).
- U.S. Environmental Protection Agency, 1968 Inventory, Municipal Waste Facilities, Publication No. OWF-1, Washington, D.C. (1971).
- Van Der Goot, H.A., "Water Reclamation Experiments at Hyperion," Sewage and Industrial Wastes, 29, No. 10, pp 1139-1144 (1957).
- Vandertulip, J.J., "Return Flows: A Reusable Water Resource," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, p 106 (1967).
- Van Vuuren, L.R.J. and Henzen, M.R., "Process Selection and Cost of Advanced Wastewater Treatment in Relation to the Quality of Secondary Effluents and Quality Requirements for Various Uses," Progress in Water Technology, Vol. I, Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, Pergamon Press, New York (1972).
- Veatch, N.T., "Industrial Uses for Reclaimed Sewage Effluents," Sewage Works Journal, 20, No. 3 (1948).
- Viessman, W., Jr., "Developments in Waste Water Re-Use," Public Works, 96, No. 4, pp 138-140 (1965).
- Viessman, W., Jr., "Viewing Water Renovation and Reuse in Regional Water Resources Systems," Water Resources Research, 3, No. 1 (1967).
- Viraraghavan, T., "Sewage Treatment with Special Reference to Use on Land for Irrigation," Institution of Engineers (India), 50, No. 2, PH I, pp 25-28 (1969).
- Wakeman, B., "New Lake at South Lake Tahoe, California," Water and Sewage Works, 115 pp 348-349 (1968).
- Watson, J.L.A., "Oxidation Ponds and Use of Effluent in Israel," Effluent and Water Treatment Journal, 3, pp 150-153 (1963).
- Weber, W.J., Jr., and Di Giano, F.A., "Reclamation of Water for Reuse as a Water Resource," International Conference On Water For Peace, Washington, D.C., Paper 393 (1967).
- Weddle, C.L., and Masr, H.N., "Industrial Use of Renovated Municipal Wastewater," Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry, Paper No. 72-PID-6.
- Weinstein, R.H., "Water Recycling for Domestic Use," Astronautics and Aeronautics, p 44 (March, 1972).
- Weir, E. McG., "Notes on Water Pollution Control," Water Pollution Control, pp 212-216 (1969).
- Weismantel, G.E., "Denver Aims at Total Reuse," Chemical Engineer, 78, pp 82 (1971).
- Wells, W.N., "Irrigation as a Sewage Re-Use Application," Public Works, 92, p 116 (1961).

- Wells, W.N., "Sewage Plant Effluent for Irrigation," Compost Science, 4, p 19 (1963).
- Wesner, G.M., and Baier, D.C., "Injection of Reclaimed Wastewater into Confined Aquifer," Journal, American Water Works Association, 62, pp 203-210 (1970).
- Wesner, G.M., and Culp, R.L., "Wastewater Reclamation and Seawater Desalination," Journal, Water Pollution Control Federation, p 1932 (Oct. 1972).
- Whetstone, G.A., "Potential Reuse of Effluent as Factor in Sewage Design," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 255-257 (1967).
- Whetstone, G.A., "Re-Use of Effluent in the Future," Texas Water Development Board, Austin (1965).
- Wierzbicki, J., "Augmenting Water Supply Through Agricultural Utilization of Municipal Sewage," Gaz, Wod i Technika Sanitarna, 31, 17 (1957).
- Wissman, W., Jr., "Developments in Waste Water Re-Use," Public Works, 96, pp 138-140 (1965).
- Williams, Roy E., and Eier, Douglas D., The Feasibility of Reuse of Chlorinated Sewage Effluent for Fertilization and Irrigation in Idaho, University of Idaho Graduate School, Moscow (1971).
- Williams, Roy E., Eier, Douglas D., and Wallace, Alfred T., Feasibility of Re-Use of Treated Wastewater for Irrigation, Fertilization and Ground-water Recharge in Idaho, Idaho Bureau of Mines and Geology, Moscow (1969).
- Williamson, J.S., and Hirsch, L., "Treatment and Reuse of Industrial Wastewater," Water and Sewage Works, 116, IW 24-26 (1969).
- Wilson, C.W., and Cantrell, R.P., "A Study of the Technical and Economic Feasibility of Using Sewage Effluent for Irrigation in Lincoln Parish, La. (1969).
- Wolf, H.W. and Esmond, S.E., "Water Quality for Potable Reuse of Wastewater," Unpublished data, Dallas, Texas (1972).
- Wolman, A., "Industrial Water Supply from Processed Sewage Treatment Plant Effluent at Baltimore, Md." Sewage Works Journal, 20, p 15 (1948).
- Wolters, N., "Water Reuse in West German Industry," Chemical Engineering Progress Symposium Series, 63, No. 78, pp 41-45 (1967).
- Woodruff, E., and Lammers, H.B., Steam Plant Operation, McGraw-Hill, New York (1967).
- Zanker, A., "Utilization of Treated Wastewater as Cooling Water," Water and Sewage Works, 118, pp 188-189 (1971).
- Zillman, "Organization of the Application of Sewage as Artificial Rain in Wolfsburg," Stadtthygiene, 7, p 53 (1956).
- Zuckerman, M.M., and Molof, A.H., "High Quality Reuse Water by Chemical-Physical Wastewater Treatment," Journal, Water Pollution Control Federation, 42, pp 437-456 (1970).

## 謝 辞

われわれは、下記に記載する方々の協力と援助を受けた。

この方々の援助なしでは、この報告書を完成することはできなかった。

Richard Aldrich  
Superintendent  
Water and Sewer Department  
Oceanside, CA

Earl W. Anderson  
S.T.P. Supervisor  
Walla Walla, Washington

J.E. Anderson  
Consulting City Engineer  
Corning, CA

M.E. Angermiller  
Sewer Superintendent  
Uvalde, TX

Louis A. Anton  
Superintendent of Sanitation  
Las Vegas, NV

Robert L. Aslesen  
Utilities Superintendent  
Hanford, CA

Leslie F. Backer  
Chief, Sanitation Branch  
Fort Carson, CO

Earl T. Balkum, P.E.  
Domestic Waste Consultant  
Colorado Dept. of Health  
Denver, Colorado

Melvin G. Basgall  
Engineer  
Winslow, Arizona

H.L. Beaney  
Director/Engineer in Chief  
Engineering and Water Supply Department  
Adelaide, Australia

Earl R. Bennett  
Manager-Engineer  
Camarillo Sanitary District  
Camarillo, CA

E.F. Bishop  
Navajo Area Sanitary Engr.  
Shonto, AR

Otto H.W. Blume  
Director of Utilities  
Thousand Oaks, CA

Cyril L. Blythe  
Superintendent  
Cutter Public Utility Dist.  
Cuttler, CA

L.F. Bombardieri  
Director, Public Works  
Prescott, AR

Eugene Borawski  
Water Superintendent  
San Clemente, CA

E.H. Braatelian, Jr.  
Art F. Vondrick  
Jim Ash  
Water and Sewers Department  
Phoenix, AR

John Brennan  
San Francisco County Jail #2  
San Francisco, CA

Phillip G. Brewer  
Superintendent  
City of Fresno Water Pollution Control District  
Fresno, CA

James P. Brown  
Civil Engineer I  
Tulare, CA

John Brown  
Agricultural Engineer and Administrator  
Kerman, CA

Kermit M. Bunn  
Sanitation Superintendent  
Reese AFB, TX

Lewis E. Carroll  
Director of Public Works  
Shafter, CA

Lawrence K. Cecil, P.E.  
Consulting Chemical Eng.  
Tuscon, AR

Nicholas W. Classen, P.E.  
Municipal Services  
Texas Water Quality Board  
Austin, TX

Douglas M. Clements  
Base Civil Engineer  
George Air Force Base, CA

L.D. Cleveland  
General Manager  
Mojave Public Utility Dist.  
Mojave, CA

Lawrence Cook  
City Administrator  
Tehachapi, CA

Don F. Cuskeilly  
City Engineer  
Dickinson, North Dakota

Roy E. Dodson  
Water Utilities Director  
San Diego, CA

Jack K. Dudley  
Treatment Supervisor  
Thousand Oaks, CA

T.J. DuMont  
Facilities Maintenance Officer  
Twentynine Palms, CA

Paul E. Duvel  
District Superintendent  
Leucadia County Water Dist.

Maurice Fantino  
Plant Operator  
Guadalupe, CA

Elmer R. Faseler  
Sewer Superintendent  
Hondo, TX

Kent D. Faulkner  
Right of Way Engineer  
Clark County Sanitation District No. 1  
Las Vegas, NV

Albert D. Flandi  
Chief of Plant Operations  
Camarillo State Hospital  
Camarillo, CA

Carl Fossette  
General Manager  
Sanitation Districts of L.A. County  
San Jose Creek, CA

W.K. Freeman  
Physical Plant Director  
Arizona State Prison  
Florence, AR

Gerald Gaglione  
Treatment Plant Superintendent  
Burbank, CA

Jonathan Gibbs  
President  
Boise City, Idaho

Bob Gibson  
Treatment Plant Manager  
Bakersfield, CA

W.E. Gibson, Jr.  
Coordinator, Air and Water Conservation  
Big Springs, TX

Engel Gideon  
Environmental Engineer  
Haifa, Israel

Claire Gillette  
Estern Municipal Water Dist.  
Hemet, CA

R.F. Goldfinch  
Honorable Sec./Treasurer  
Australian Water and Wastewater Assn.  
Canberry City, Australia

Robert S. Gomes  
Asst. Civil Engineer  
Pleasanton, CA

Hector J. Gomez  
Chemist Engineer  
Copropiedad Grupo Quimico Cydsa  
Monterrey, N.L. Mexico

George P. Gribkoff, P.E.  
Principal  
Susanville, CA

Daryl Gruenwald  
Chief Chemist  
Colorado Springs, CO

Garry Harrington  
Superintendent  
Sanitation Districts of L.A. County  
La Canada, CA

Frank R. Hauser  
General Foreman,  
Water Stations  
Baltimore, MD

John L. Hellman  
Asst. to the Fuel Engineer  
Bethlehem Steel Corp.  
Sparrows Point, MD

A.L. Hiatt  
Director of Public Works  
Woodland, CA

Michael P. Hopkins  
Waste Water Treatment Supt.  
Bakersfield, CA

B.J. Hord  
Engineer  
Taft, CA

Ted H. Iles  
Director  
Strathmore, CA

Charles Johnson  
City Engineer  
Coachella Sanitary District  
Coachella, CA

E.E. Jones  
Water and Sewer Superintendent  
Denton, TX

Ernest Kartinen  
City Engineer  
McFarland, CA

G.H. Keating  
Plant Manager  
Texaco Inc.  
Amarillo, TX

Dennis Keller  
Engineer  
Visalia, CA

Carl J. Kymla  
General Manager  
Moulton-Niguel Water Dist.  
Laguna Niguel, CA

Kenneth Ladd  
Staff Chemist  
Southwestern Public Service Company  
Amarillo, TX

W.E. Loftin  
Superintendent Water Reclamation Plant  
Livermore, CA

Arthur Maass  
Superintendent,  
Wastewater Department  
Midland, Michigan

W.J. Mackay  
Engineer  
Victoria, Australia

George J. Mallick  
Superintendent  
San Francisco, CA

Philip E. Marcellin  
Director of Public Works  
Delano, CA

William N. Matteson  
Engineer  
Grand Canyon National Park  
Grand Canyon, AR

R.H. McGhee  
Chief of Plant Operations III  
Chino, CA

Robert McIntyre  
Base Civil Engineer  
March Air Force Base, CA

William McLennan  
Town Administrator  
Department of Public Works  
Warden, WA

Claudia Miller  
Arizona State Department of Health  
Phoenix, AR

Perry E. Miller  
Technical Secretary  
Stream Pol. Control Board  
Indianapolis, IN

L. Dale Mills  
General Manager  
Mt. Vernon County Sanitation District  
Bakersfield, CA

George Moiseve  
Treatment Plant Operator  
Sanitation Districts of  
L.A. County  
Palmdale, CA

Michael T. Morgan  
Assistant Manager  
Denver, CO

J.L. Muir  
Superintendent  
Wastewater Treatment Plant  
Tolleson, AR

Tom L. Nance  
Water and Sewer Supervisor  
Lodi, CA

Charles D. Newton  
Director  
Water Quality Control Dist.  
Oklahoma Dept. of Health  
Oklahoma City, OK

Eugene Nicholas  
Manager  
Louisville, KY

N. Nicolle  
Chief Chemist  
Pretoria

John E. O'Neill  
Manager  
Phelps Dodge Corp.  
Morenci, AR

Clarence Ortman  
Superintendent, Sewer Plants  
Hillsboro, Oregon

D.A. Park  
Engineer  
Nhill Sewerage Authority  
Victoria, Australia

Edwin M. Peterson  
City Manager  
Gustine City, CA

J.A. Petric  
City Manager  
Mesa, AR

James Rawlinson  
Director of Utilities  
Flagstaff, AR

Bill Ribbens  
Laboratory Technician  
Belding, MI

Broydon J. Riha  
Public Works Director  
Santa Rose, CA

George E. Robison  
Director/Public Works  
Patterson, CA

N. Rosen  
Authority Engineer  
Greater Haifa Regional Sewerage Authority  
Israel

Don Ross  
General Manager  
Sunnyside, Utah

Charles C. Royall  
General Manager  
Lake Havasu Waste Treatment Plant  
Lake Havasu City, AR

G.R. Salmon  
Water and Sewerage Eng.  
Windhoek, South West Africa

C.H. Scherer  
Water Reclamation Supt.  
Amarillo, TX

John D. Schreuder  
Inland Fisheries Specialist  
Fisheries Division  
Dept. of Natural Resources  
Lansing, MI

Wayne Shorter, Jr.  
Superintendent of City Utilities  
Lockwood, Missouri

Clark B. Smith  
Director  
Cocoa Beach, FL

H.W. Smith  
Chief Engineer  
Bagdad Copper Corp.  
Bagdad, AR

Tom Smith  
Sanitary Engineer  
Tallahassee, FL

Frank Smythe  
Head, Water Department  
Odessa, TX

Oliver W. Solus  
Director of Public Works  
Weed, CA

R.T. Souders  
Greens Superintendent  
Los Alamos, NM

Edward Starkovich  
Superintendent  
Raton, NM

Leonard H. Stroud  
Superintendent  
Aurora, CO

W.H. Sturman  
Public Works Officer  
China Lake, CA

Emilio Sutti  
Manager  
Laguna County Sanitation District  
Santa Maria, CA

Kenneth L. Taplin  
Director of Public Works  
Calistage, CA

Alan I. Taylor  
Street Foreman  
Winnemucca, NV

Max C. Taylor  
General Manager  
Pomerado County Water District  
Poway, CA

Richard E. Thomas  
Research Soil Scientist  
National Water Quality Research Program, EPA  
Ada, Oklahoma

Glen D. Thornburgh  
Plant Superintendent  
Valley Sanitary District  
Indio, CA

Harold A. Tomlinson  
General Manager  
Fallbrook Sanitary District  
Fallbrook, CA

J.E. Williams  
Director of Public Works  
San Angelo Wastewater Department  
San Angelo, TX

Gordon W. Willis  
Water Treatment Supt.  
Lubbock, TX

Willis H. Wills  
Village Clerk  
Shelby, Nebraska

Dalton R. Winkler  
Superintendent of WCPC  
Midland, TX

Harold W. Wolf, Director  
Dallas Water Reclamation Center  
Dallas Water Utilities  
Dallas, TX

Thomas C. Wolfington  
Asst. Sanitation Supt.  
Ventura, CA

John R. Wright  
Special Projects Assistant  
Chino, CA

Karl Zollner, Jr., P.E.  
Asst. Regional Engineer  
Water Resources Commission  
Department of Natural Resources  
Lansing, Michigan

付 録 A

野外調査報告

## 目 次

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 1. アリゾナ州グランドキャニオン村 .....                 | 131 |
| 2. アリゾナ州フェニックス .....                     | 136 |
| 3. カリフォルニア州ペーカーズフィールド .....              | 140 |
| 4. カリフォルニア州バーバンク .....                   | 143 |
| 5. カリフォルニア州カラバサス（ラスベジエンス都市用水組合）.....     | 147 |
| 6. カリフォルニア州ロスアンゼルス郡広域下水道組合（ランカスター） ..... | 151 |
| 7. カリフォルニア州サンバアナルデノ .....                | 157 |
| 8. コロラド州コロラドスプリングス .....                 | 160 |
| 9. コロラド州フォートカーソン .....                   | 166 |
| 10. コロラド州コロラドスプリングス（合衆国空軍士官学校） .....     | 169 |
| 11. メリーランド州ボルチモア .....                   | 174 |
| 12. ネバタ州ラスベガス .....                      | 179 |
| 13. テキサス州アマリロ .....                      | 184 |
| 14. テキサス州ビッグスプリング .....                  | 192 |
| 15. テキサス州デントン .....                      | 198 |
| 16. テキサス州ルボック .....                      | 201 |
| 17. テキサス州オデッサ .....                      | 207 |
| 18. ワシントン州ワラワラ .....                     | 214 |

## 1. アリゾナ州グランドキャニオン村

### 1.1 序 論

グランドキャニオンの南側の外輪にあるグランドキャニオン村は下水処理水を非飲料の生活用水として再利用している。合衆国で報告されてきた唯一の事例である。水道使用量のおおよそ7%に相当する平均30,000 GPD (113.6 m<sup>3</sup>/日) の下水処理水が、水使用量の多い5月より9月までの期間に、水洗便所、洗車、灌漑用、建設用、家畜用に使用されている。

### 1.2 都市下水の処理

下水処理水は、村の下水三次処理施設から村内に供給されている。この処理施設は1972年3月に建設され、観光シーズンの間、平均して0.22MGD (833 m<sup>3</sup>/日) の下水が処理されており、その中の約14%の処理水が非飲料の生活用水に供給されている。大規模な洗濯業者からの工場排水が流入下水中に僅かの比率で含まれているが、これは処理プロセスに顕著な影響をもたらすものではない。

図-A.1は主たる処理プロセスを図示したものである。一次処理は、スクリーンとコミュニティから成っている。生下水は3池の活性汚泥エアレーションタンクの1池に直接に流入する。このエアレーションタンクは滞留時間5時間で、MLSSは2,000ないし3,000 mg/l、汚泥返送比60%で運転されている。重力式の円形最終沈殿池は水面積負荷600 gpd/sq. ft (24.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日) で運転されている。汚泥は好気性消化された後、汚泥乾燥床で乾燥されている。

アンスラサイト炭床 (深さ2.5ないし3.5フィート (76.3 cmないし106.8 cm) の種々の粒径のの岩塊のうえにアンスラサイト炭を厚さ18インチ (45.7 cm) に覆ったもの) による汚過、および残留塩素が5 mg/l となる塩素処理より成る三次処理施設は1926年に建設されている。カバー付のコンクリート貯水槽は0.3 MG (1,136 m<sup>3</sup>) の容量を有し、この村の所要量の変動に見合うものである。下水処理水は、村の配水システムに直接ポンプ圧送され、そこに設けられている容量0.1 MG (379 m<sup>3</sup>) の鋼板製貯水槽に入り、ここで一定水圧が与えられる。

一般的な最終処理水の水質は表-A.1に示すとおりである。報告されている処理水の臭気は、高濃度の残留塩素による顕著な塩素臭のみである。それは、人々のこの水の使用についての注意をうながしている。

非飲料用配水システムに運された以外の二次処理水は、容量6 MG (22,710 m<sup>3</sup>) の蒸発用ラグーンに貯水されている。

### 1.3 再利用方法

処理水の単一最大使用量は、村内の古いロッジ、モーター、寄宿舎、キャフテリアの公衆用水洗便所である。

高等学校のフットボール場と造園のための灌漑用は、再利用水の他の主たる用途であり、それに続いて、自動車の洗車、時には道路および飛行場滑走路の建設に用いられている。表-A.2には、主たる用途の最大および最小使用水量を示してある。観光客が減少する冬期には、使用水量は大巾

表-A.1 アリゾナ州グランドキャニオン村の処理水の水質の平均値

| 成 分 名 | 濃度 (mg/l) |
|-------|-----------|
| B O D | 10        |
| S S   | 10        |
| T D S | 616       |
| Cl    | 200       |
| M P N | 0         |
| pH    | 6.9 - 7.2 |

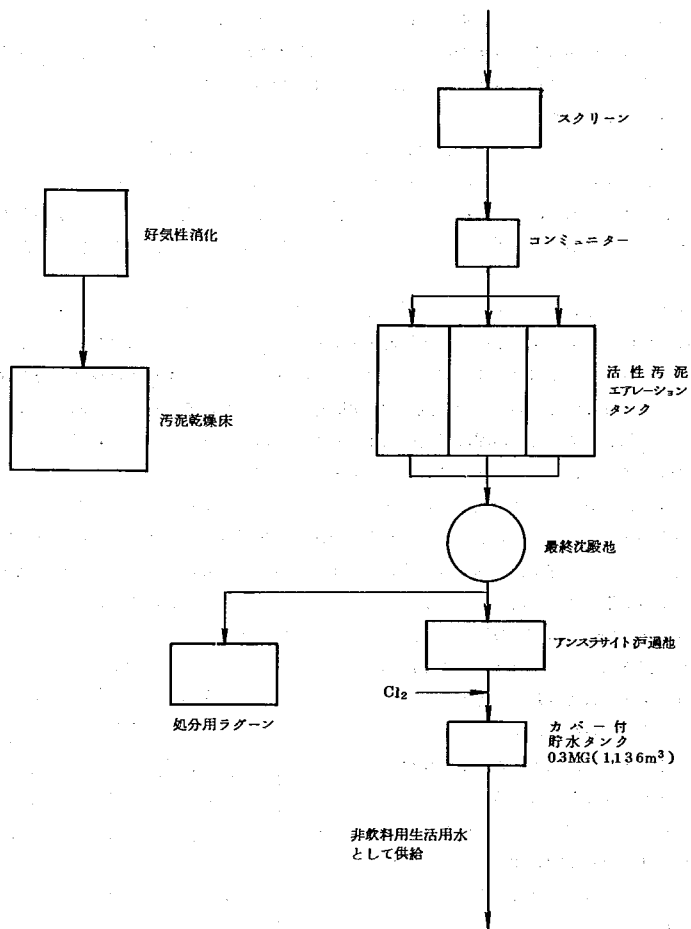


図-A.1 アリゾナ州グランドキャニオン村の下水処理施設

表一A.2 アリゾナ州グランドキャニオン村の処理水の水質の平均値

| 再 利 用 目 的 | 水量(ガロン/月)           |                   |
|-----------|---------------------|-------------------|
|           | 高                   | 低                 |
| 公衆用水洗便所   | 1,050,000 [ 3,794 ] | 321,000 [ 1,215 ] |
| 灌漑用       | 515,000 [ 1,949 ]   | 190,000 [ 72 ]    |
| 自動車の洗車用   | 26,000 [ 98 ]       | 3,200 [ 12 ]      |

(註) [ ]内は $m^3$ を示す

に減少する。

下水の再利用について報告されてきた主たる問題点は、配水系統にある。再利用水の配水系統は古く、ポンプは腐蝕している。既存の配水系統はこの地区内ですでに限界に達しており、古いポンプも能力低下が著しく廃棄されている。

要求中の予算が入手できれば、公園技術者は再利用水の配水系統を修理し、拡張し、三次処理施設も修理する計画である。そうすれば、公衆用および私用の水洗便所のすべてに再利用水を配水し、経済効果を上げることができる。再利用水の潜在的利用量は、観光シーズンには月当り6MG ( $24,400m^3$ )に達する。図一A.2は、この村の既存および将来の配水計画を描写したものである。

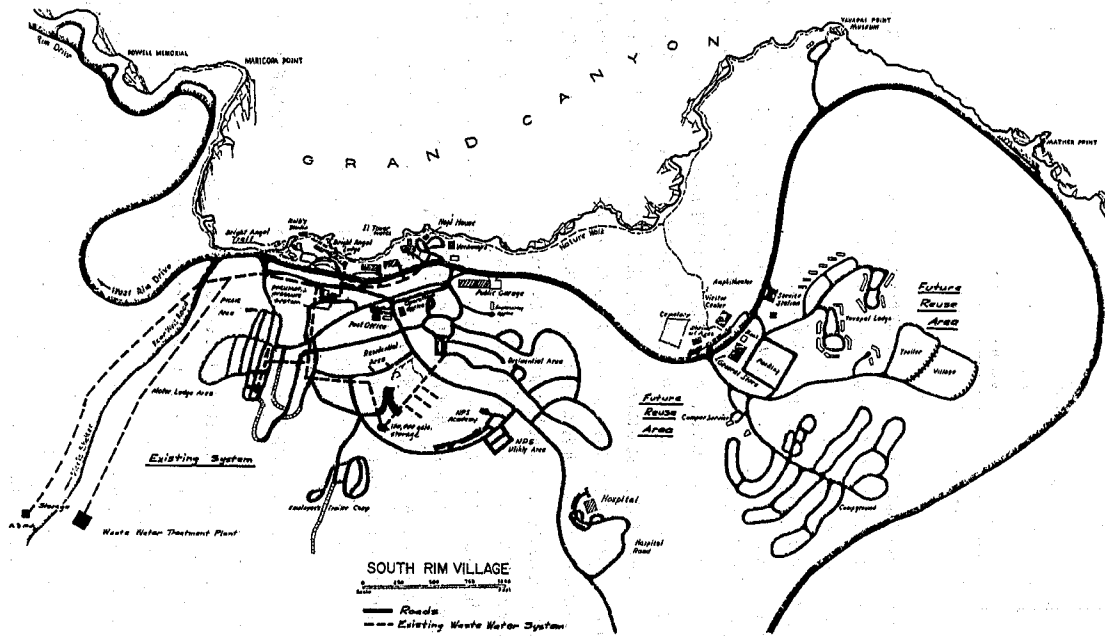
配水の問題に加えて、そのほかの困難な問題は、最終沈殿池の活性汚泥のバルキングと沈降不良が生ずることである。不十分な高さに設置された再利用水貯水タンクによる水圧低下の問題は、最近、水圧のより高い位置で作動するニューマック圧力装置を取付けることにより改善された。一般的にみて、現在のシステムは、非常に成功していると考えられている。再利用水の使用についての健康上、または美的感覚に関する問題は報告されていない。

下水処理および配水システムの改良および拡張計画は、グランドキャニオン村の貴重な淡水供給に対して、増加する要求量を満たすため必要であろう。この計画の成功によって、淡水の供給に心配のある他のコミュニティでは、生活用水として再利用およびその再利用システムによる利益の評価に興味を示すであろう。非飲料の二元配水システムのコストが甚だしく高価にはないところでは、将来の発展のために、それは真実であろう。グランドキャニオンでは、再利用水の配水パイプは下水管と同じ溝に入れてある。すべての溝は、完全な岩石の中に掘られている。

#### 1.4 経 済 性

グランドキャニオンにおける経済性は、淡水をうるための地理的、気候的な拘束力が厳しすぎるために、特に重要な問題である。

グランドキャニオン村の周囲の土地は乾燥している。飲料水はロオリング・スプリングよりグランドキャニオンを越えて距離15マイル(24km)をパイプで輸送され、高さ3,400フィート(1,037m)をポンプ揚水されている。この結果として、淡水のコストは1000ガロン当り245ドル( $m^3$ 当り194.19円)である。それに加え、狭谷の岩壁に設置したパイプが落石による損傷を受けるのが通例である。年間約6%という村の急速な人口増加は、水の供給問題の危機を増加させている。再利用水を最大限利用することは、経済的にも実行可能である。再利用の料金は、飲料水が配管されているところでは、1,000ガロン当り100ドル( $m^3$ 当り79.26円)であり、その他の地区では1,000ガロン当り17.5ドル( $m^3$ 当り13.871円)である。低い料金は再利用水の使用を



図一 A.2 アリゾナ州グランドキャニオン村の現在および将来の下水再利用計画

・ 刺激するために採用している。再利用水の販売による歳入は1971年には11,000ドル(3,300千円)であった。

・ SCSエンジニアーズ会社では、下水の処理費は1,000ガロン当り2.58ドル( $m^3$ 当り204.49円)と見積っている。処理水の販売によって、村の下水処理のコストの約5%を減少させている。残りの処理コストは連邦政府による特定基金から支払われている。

## 2. アリゾナ州フェニックス

### 2.1 序 論

アリゾナ州フェニックス市は、合衆国で最大の下水再利用と灌漑計画をもつものの一つである。およそ35MGD(132,480m<sup>3</sup>/日)の二次処理水が、農作物の灌漑、70エーカー(28ha)の魚類および鳥類のための沼池に供給され、さらに実験的な再利用目的に供給されており、これらの業務が契約によって市に委任されている。

### 2.2 都市下水処理

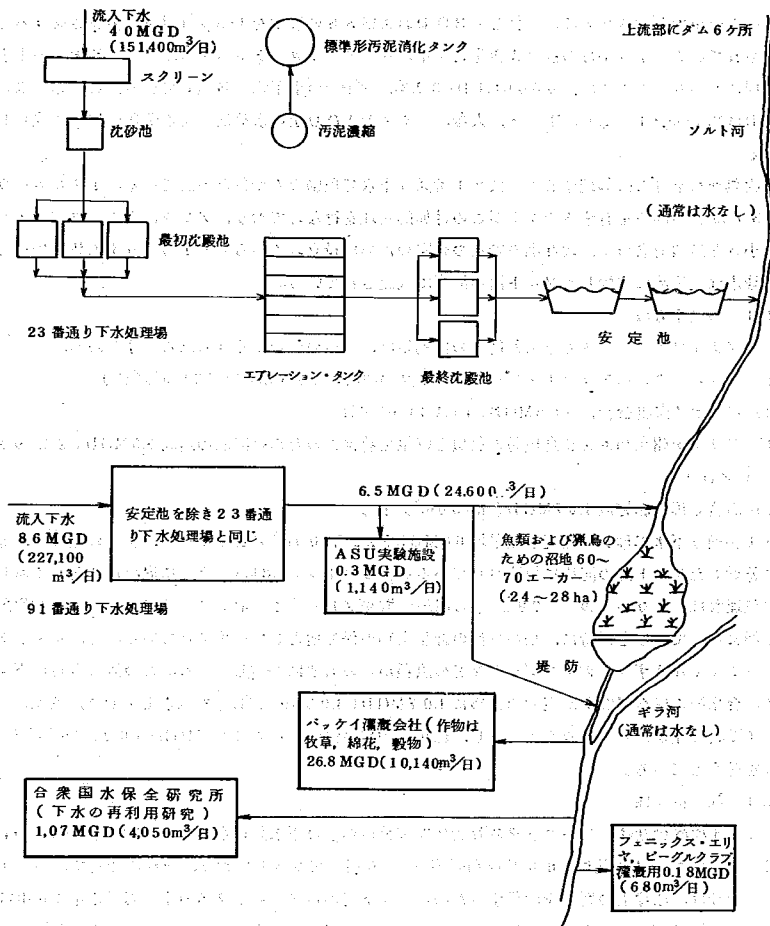
アリゾナ州フェニックスには、活性汚泥処理を行なっている2ヶ所の下水処理場がある。23番通りの下水処理場は市内の一部の下水の処理を受けもち、91番通りの下水処理場はフェニックス市とその周辺都市たるグレンデール、テンプ、スコッツデール、メサ、ヤングタウン、サンシティ、およびベオリヤの都市下水の処理を受けもっている。下水処理場に流入する工場排水量の割合は全量の約7%であり、特に多いのはメッキ工場からの排水である。すべての工場排水は、污水管きよに流入される以前に、工場排水排出基準に基づく前処理が要求されており、処理施設はこれによって保護され、再利用に適切な処理水質が確保されている。2ヶ所の下水処理場に行なわれている処理は、ほとんど同一なものであり、91番通りの下水処理場についてのみ、詳細に論ずることにする。

図-A3は、処理および再利用の運転を図解して示してある。91番通りの下水処理場は、61MGD(230,900m<sup>3</sup>/日)の生下水を処理している。一次処理は、スクリーン、沈砂池および4池の最初沈殿池より成る。それから下水は4池の活性汚泥エアレーションタンクに流入されるが、処理方式はステップエアレーションであり、標準タイプのスパイラル型のエアレーションが行なわれており、滞留時間は5時間、MLSS濃度は2,100mg/lである。空気量はBOD1ポンド当り1,300立方フィート(BOD1kg当り81.8m<sup>3</sup>)供給されている。24池の重力型の最終沈殿池を有し、その水面積負荷は530gpd/sq.ft(24.9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.日)である。

91番通り下水処理場の二次処理水の水質は表-A.3に表わしている。

表-A.3 アリゾナ州フェニックス市91番通り下水処理場の一般的な下水処理水の水質

| 成 分 名    | 濃度 (mg/l) | 成 分 名      | 濃度 (mg/l)           |
|----------|-----------|------------|---------------------|
| SS       | 25        | カルシウム      | 64                  |
| BOD      | 13        | マグネシウム     | 26                  |
| TDS      | 1,000     | 鉄          | 0                   |
| 全窒素      | 32        | ナトリウム      | 125                 |
| 硝酸イオン    | 2         | COD        | 50                  |
| 亜硝酸イオン   | 1         | 硬度         | 268                 |
| アンモニアイオン | 20        | アルカリ度      | 316                 |
| リン酸塩     | 33        | pH         | 7.4                 |
| 硫酸塩      | 100       | 大腸菌群数(MPN) | 3.5×10 <sup>6</sup> |
| 塩化物      | 275       |            |                     |



図一 A.3 アリゾナ州フェニックスの下水処理および灌漑用の再利用システム

最近、高度な三次処理のパイロットプラントが、アリゾナ州立大学の協力のもとに91番通りの下水処理場に設置された。このパイロットプラントは、およそ0.3MGD( $1,135\text{m}^3/\text{日}$ )の二次処理水を処理する能力がある。この三次処理では、二基連続の浸水式微生物フィルターが含まれている。この単純なシステムは、一貫してBODおよびSSの濃度を $1\text{mg}/\text{l}$ 以下に減少させると報告されている。より小形の浸水式微生物フィルターのパイロットシステムは、23番通りの下水処理場にもあり、ここでは、8,000GPD( $30.3\text{m}^3/\text{日}$ )の地下水を処理している。この処理水のBODは約 $1\text{mg}/\text{l}$ であり、トマト、人参、レタスおよび豆類の水耕法による灌漑に用いて成功している。

二次処理水をさらに処理することは21番通り下水処理場のみで行なわれている。120エーカー( $30\text{ha}$ )の面積を有するボンドがこの付加的処理を行っており、アヒル、ガチョウ、アオサギや小さな鳥類を含めて、数百羽の野鳥の楽園のために役立っている。91番通り下水処理場からの処理水は、直接に乾燥したソルト河の河床に放流されている。

### 2.3 再利用方法

アリゾナ州フェニックスの下水処理水の再利用は、4つの分野に分けられる。すなわち、

- 1) フェニックスのアリゾナ・ビーグルクラブの灌漑、0.18MGD( $680\text{m}^3/\text{日}$ )
- 2) バックレイ灌漑会社、26.8MGD( $10,140\text{m}^3/\text{日}$ )
- 3) アリゾナ州魚類および鳥類局の魚類と野生生物保護のための沼池の造成6.5MGD( $2,460\text{m}^3/\text{日}$ )
- 4) 高度処理実験施設1.07MGD( $4,050\text{m}^3/\text{日}$ )

91番通り下水処理場の処理水は平均60MGD( $22,710\text{m}^3/\text{日}$ )であり、土造の開渠で、通常は乾燥したソルト河の河床に放流されている。約3マイル( $4.8\text{km}$ )下流に堤防が作られており、下水処理水は、70エーカー( $28\text{ha}$ )の沼地に貯留される。この沼地は、リクレーション用釣り場になっていると同時に、鳥類や他の野生生物の保護地として使用されている。鯉、キャットフィッシュ(なまず)、ガアンブシヤなどの魚種がこの沼地に棲息している。この河のさらに下流には、合衆国水保全研究所が実験のために1.07MGD( $4,050\text{m}^3/\text{日}$ )を揚水しており、また、バックレイ灌漑会社が、むらさきうまごやし、綿花、穀類の灌漑のために2.7MGD( $10,220\text{m}^3/\text{日}$ )の水を分水している。

### 2.4 経 済 性

バックレイ灌漑会社は、フェニックスおよび周辺都市からの下水処理水約25.2MGD( $95,380\text{m}^3/\text{日}$ )について、MG当り4.60ドル( $\text{m}^3$ 当り0.36円)で購入しており、それに加えて、バックレイ灌漑会社は、法律上の誓約を満足するためにソルト河からフェニックスの下水処理水を1.6MGD( $6,060\text{m}^3/\text{日}$ )を分水している。フェニックスおよび周辺都市の総収入は、1972年には、42,300ドル( $126.9$ 百万円)であった。原子力発電所の冷却用水として再利用する計画が準備されており、第1号機は1981年に完成する予定である。アリゾナ原子力発電計画では、下水処理水を最終的には、年間140,000エーカー・フィート( $172,690,000\text{m}^3/\text{日}$ )購入することを約束している。

最近、フェニックス市では、23番通り下水処理場の処理水約15MGD( $56,800\text{m}^3/\text{日}$ )を土

・ 壤汚過システムにより処理する施設を建設するために、EPAの研究補助金を申し込んだ。このデ  
モストレーション・システムは、合衆国水保全研究所が91番通り下水処理場の下流で、1MGD  
・ (3,790m<sup>3</sup>/日)の研究施設を稼働させている。その処理水は、無制限な農業利用を行ないうるもの  
である。この施設は1974年7月から運転が開始され、ルーズベルト灌漑組合に販売されること  
になろう。

### 3. カリフォルニア州ベーカーズフィールド

#### 3.1 序 論

カリフォルニア州ベーカーズフィールド市では、1912年以来、最初沈殿池処理水を灌漑用として使用してきた。1972年には、2ヶ所の下水処理場附近のどうもろこし、大麦、小麦、むらさきうまごやし、綿花、および連作の牧草畑2,400エーカー(960ha)に対して、全く均一の量の処理水12MGD(45,420m<sup>3</sup>/日)を用いて灌漑を行ってきた。この計画は、水質的に劣る下水処理水が農業用として利用可能であり、かつ経済的に魅力のあるものであることを威示することにあった。農民は水を購入する費用が本当に節約できることを悟り、都市は下水処理費を安価にする利益を得ることができる。

この地区は淡水が不足しており、淡水を保存することが最も重要なことである。しかしながら、地下水の水質に対する長期間の影響は、未だ十分には調査されていない。

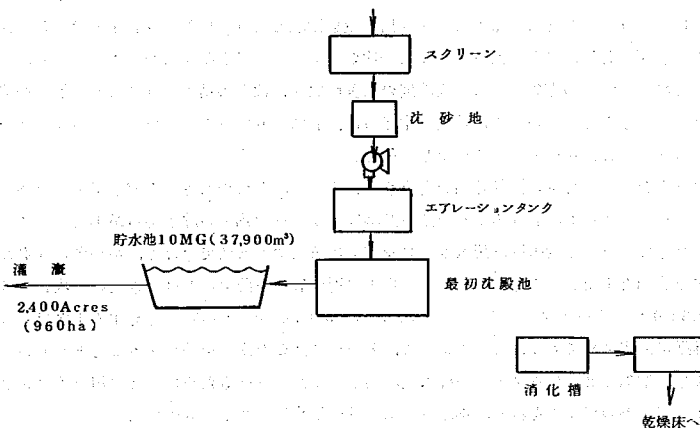
この計画を成功させるためには、農作物の管理に関する知識とよくバランスのとれた灌漑計画が必要である。十分な容量を有する貯水施設は、最適な結果をうるための用水需要量の変化に対応できるよう利用するにすべきである。汚濁した灌漑用水の流出を防ぐためには、余水を集めて循環使用するシステムが必要である。

#### 3.2 都市下水の処理

2ヶ所の一次処理のみを有する下水処理場は、面積2,400エーカー(960ha)の灌漑畑地の中に存在する。ここから最も近い住宅地まで2マイル(3.2km)の距離がある。2ヶ所の下水処理場は非常に類似の施設を有し、スクリーン、沈砂池、重力式の最初沈殿池、それに続く貯水池より成立っている。汚泥は標準型の嫌気性消化が行なわれている。乾燥した汚泥は、集められた葉類と共に堆肥化され、市内の公園に散布されている。2ヶ所の下水処理場の唯一の違いは、第2下水処理場において、沈殿が行なわれる以前に前エアレーションが加えられていることである。第2下水処理場のフローシートは、図-A.4に示すとおりであり、2ヶ所の下水処理場の処理水の水質は、表-A.4に示すとおりである。第1下水処理場の水質が不良なのは、牛乳および鶏肉加工工場からの排水のBODが高いことによるものである。

表-A.4 カリフォルニア州ベーカーズフィールドの下水処理場  
からの一次処理水の平均的な水質

| 成分名(mg/l) | 第1下水処理場<br>(3.6MGD(13,600<br>m <sup>3</sup> /日)) | 第2下水処理場<br>(8.6MGD(32,600<br>m <sup>3</sup> /日)) |
|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| BOD       | 370                                              | 85                                               |
| SS        | 118                                              | 26                                               |
| TDS       | 630                                              | 324                                              |
| ナトリウム     | 181                                              | 87                                               |
| 塩化物       | 96                                               | 50                                               |
| pH        | 7.0                                              | 7.4                                              |
| リン酸塩      | 16                                               | 20                                               |
| アンモニア性窒素  | 29                                               | 23                                               |



図一A.4 カリフォルニア州ベーカーズフィールドの第2下水処理場

### 3.3 再利用方法

下水処理場を囲んでいる灌漑用畑地は、下水処理場からの処理水のすべてを利用している。ここでは、畝溝式の灌漑が行なわれている。2,400 エーカー（960 ha）の畑地からの下水の流出は許されていない。余水の管理（畑地からの流出）は、容量20MG（75,700m³）の余水用ボンドに貯水されており、この余水は灌漑系統にポンプにより再度送水されている。この効果は、灌漑を行なうに先立つ貯水容量の増加を大きく削減することができる。

一般に、畑地からの臭気は激しくはない。しかし、蚊は灌漑畑地のいずれの個所にも存在しており、冬期に過剰な処理水を貯水することによって永続して存在するという重大な問題をかかえている。蚊を減少させるためのスプレーリングは、ここで実施されている唯一の昆虫駆除の方法である。

この畑地は他の農地に囲まれており、ベーカーズフィールド市の南東部に位置している。最も近い住宅地は約2マイル（3.4 km）離れている。このような住宅地からの分離は、地方住民を動揺させる悪臭問題、害虫問題を防止するのに十分である。

綿花は唯一の換金可能作物である。とうもろこし、大麦、むらさきうまごやし、小麦と連作の牧草は、この土地で飼育されている家畜の飼料として用いられている。一次処理水による灌漑は、カリフォルニア州の公衆衛生局によって、人間の消費する作物の灌漑用としては制限を受けている。下水処理水の供給は、6月から8月までの間増加させなければならないので、夏期には全供給量の33%は井戸水によって補われている。

ベーカーズフィールドの経験から、一次処理水を灌漑用として用いる効果は作物により変化することが知られている。トウモロコシと連作の牧草は、淡水を灌漑用として用いた場合と一次処理水を用いた場合とでは同様の成長が期待されることが報告されている。むらさきうまごやし、大麦、小麦、

のような穀類の作物では淡水を灌漑用として使用した場合に比べて、その生長と結実とが異なる結果が得られている。ペーカーズフィールドの報告によれば、下水処理水中の高い窒素濃度は穀類性作物の結実に害を与えることになるので、灌漑用水量を制限したり、植物が同化する窒素量を制限したりする注意深い管理が必要である。綿花は一次処理水を用いて灌漑を行なうことにより、障害を与えることになる唯一の作物である。高濃度の栄養塩類は、綿花の結実よりはむしろ植物の成長に直接的な影響を与える。このため、綿花の生産量は淡水により灌漑を行ない、かつバランスのとれた施肥を行なう場合に比べて25%減少している。

下水処理水を用いて最適の灌漑計画を樹立するためには、余裕のある貯水容量が重要な要素となる。ペーカーズフィールドにおける現状の灌漑計画は、ラグーン内での貯水容量が不適當であることが障害となっており、夏期の灌漑用水要求量を完全に満たすことはできなく、かつ冬の降水期には畑地の水分飽和と水たまりの発生などの灌漑用水の過剰散布を防ぐことはできない。現在、800ないし1,500エーカー・フィート(986,800—1,850,300m<sup>3</sup>)の容量を有する下水処理用水貯水池の計画が策定されており、これによって、各季節に必要な水量を調節することとしている。また、浸透量を増加させ、余水量とその貯水量、揚水量を減少させるために、灌漑用パイプを用いた土造のオープン形のデッチを掘り、畑地内の水の貯留量を増加させる計画である。

ペーカーズフィールド市は一次処理水を灌漑用水として使用したときの地下水汚染の問題を認識している。その主たる関心は、地下水および井戸水中の硝酸塩濃度が増加することである。このため、この地区の地下水について、下水処理水使用の影響を知るための研究を現在実施している。予備的な調査では、下水処理水を50年間にわたって灌漑用に使って来ても、井戸水中の硝酸塩の増加は認められていない。

### 3.4 経済性

ペーカーズフィールド市は、一次処理水を灌漑用水として使用することにより、公共用水域に下水を放流する場合には二次処理が必要となることから、実質的に経済的であることの実感をもっている。1972年における一次処理のコストは、第1下水処理場ではMG当り113ドル(m<sup>3</sup>当り8.96円)、第2下水処理場ではMG当り92ドル(m<sup>3</sup>当り7.29円)であった。市では、二次処理を行なった場合の処理コストは、MG当り175ドル(m<sup>3</sup>当り13.87円)と推定している(このコストは建設費の償却を含むものである)。

下水処理水を再利用する財政的な節約は、畑地灌漑および家畜用水とすることにより顕著なものとなる。再利用についての正確なコスト計算は行なわれていないが、畑地の灌漑担当者は用水コストの節約は、年間につき、エーカー当り5ドル(ha当り3,750円)となると考えている。もし、処理水が季節的な要求を満たしうよう適切なバランスが保たれることとなれば、さらに大きな節約が可能となる。下水処理水を夏期に多量に供給するためには、深い井戸の建設が必要となる。蚊の駆除のための年間の経費である9,000ドル(2,700,000円)は、貯水量を適切に保ち、畑地での余水量および滯水量をバランスを保ちつつ減少させるようにすれば、節約することができる。

#### 4. カリフォルニア州バーバンク

##### 4.1 序 論

バーバンクの下水処理場は、ダウントウンの心臓部に位置しており、通常の標準型二次処理システムよりも、極めて高度な処理水質を得ている。1967年以来、市営の火力発電所はこの処理水を冷却用補給水としてその利用に成功している。処理水再利用の最初の問題点は、下水処理場従事職員と火力発電所従事職員との十分なる協力のもとに解決された。この協力は日々続けられており、最適の運転を確保している。SOSエンジニアーズ会社の意見としては、バーバンクの下水処理水再利用は、現在の合衆国における冷却用補給水としての再利用の最も優れた実例である。

##### 4.2 都市下水の処理

バーバンク市は、流入下水量が2-9MGD(7,570-34,070m<sup>3</sup>/日)の範囲にある。平均流入量5.2MGD(19,680m<sup>3</sup>/日)の下水を処理している。流入下水には約25%の工場排水が含まれている。主要な業種は航空機製造工場であり、6価クロム、シアン化物および重金属類がその排水中に含まれている。このような好ましくない成分の下水道への流入については、厳格なる工場排水受入れ条例と頻繁なる立入検査によって防がれている。

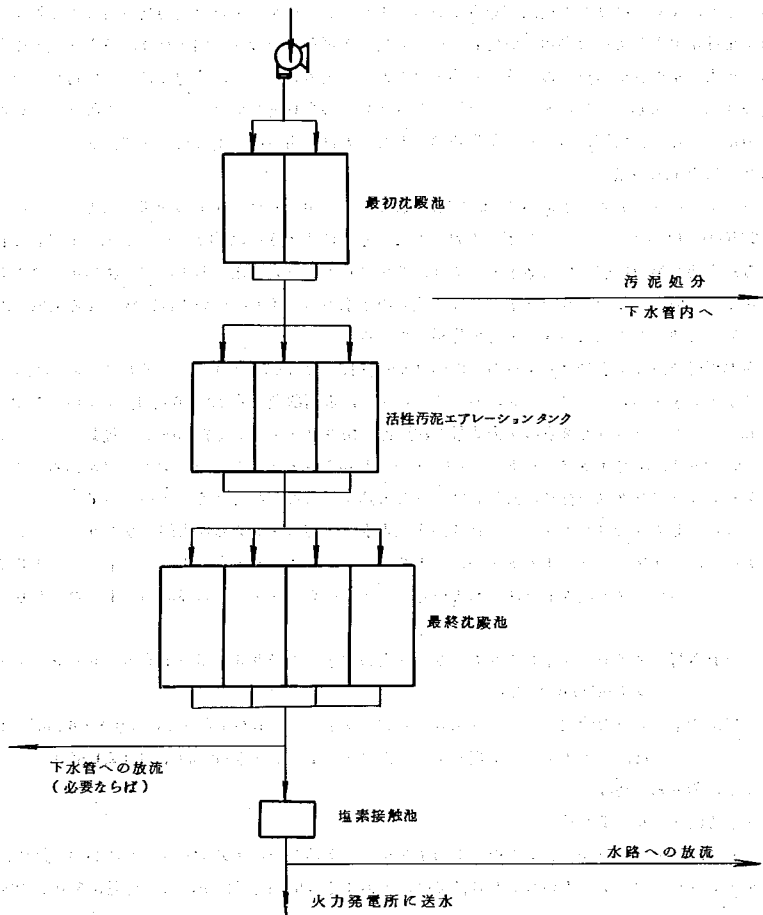
下水処理場の設計下水量は6MGD(22,710m<sup>3</sup>/日)であり、そのフローダイアグラムは図-A.5に示す。すなわち、スクリーン、パーミュニター、水面積負荷率1.250gpd/sq.ft(51.25m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.日)で設計された2池の重力式最初沈殿池、巾30フィート(9.15m)、延長210フィート(64.1m)、深さ15フィート(4.58m)の3池から成るエアレーションタンクがある。このエアレーションタンクは併行に、あるいは連続して運転することができる。現在、エアレーションタンクは連続して運転されており、最初沈殿池流入水は最初のタンクの流入端より10フィート(3.1m)、60フィート(18.3m)、110フィート(33.6m)、160フィート(48.8m)の位置にステップで流入水を注入している。エアレーションタンクの設計値は下記のとおりである。

- ・BOD負荷-エアレーションタンク1,000立方フィート当り31ポンド(エアレーションタンクm<sup>3</sup>当り0.5kg)
- ・空気供給量-BOD除去ポンド当り1,300立方フィート(BOD除去kg当り81.67m<sup>3</sup>)または、流入水ガロン当り1.9立方フィート(流入水m<sup>3</sup>当り、14.21m<sup>3</sup>)
- ・滞留時間-8.4時間
- ・返送汚泥-30~70%

現在では、エアレーションタンクのうちの1池が、返送汚泥の再エアレーションに利用されており、エアレーションタンク内のMLSS濃度は、およそ900mg/lが、返送汚泥比30%で維持されている。

最終沈殿池は、水面積負荷率935gpd/sq.ft(38.34m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.日)の4池の矩形的沈殿池である。

最終処理は、約7mg/lの塩素注入で45分間滞留の塩素滅菌である。残留塩素濃度は2~3mg/lである。一般的な処理水の水質は表-A.5に示すとおりである。バーバンク市の下水処理場では、他の下水処理場と異なる特徴を有し、その下水汚泥を附近の遮集管を通じて、ロサンゼルス市へ送って処分してもらっている。



図一A.5 カリフォルニア州バーバンクの下水処理場

処分すべき汚泥および脱離液がないことは、例外的に良好な処理水を得るための大きな手助けになっている。緊急の際には、生水または水質の不良な処理水をロスアンゼルス市の遮集管に放流して、そちらで処理してもらうこともできる。

表-A.5 バーバンクの下水処理水の平均的な水質

| 成分名         | 濃度 (mg/l) | 成分名   | 濃度 (mg/l) |
|-------------|-----------|-------|-----------|
| BOD         | 0.66      | 有機性窒素 | 3.9       |
| SS          | 4.5       | 鉛     | 0.01      |
| TDS         | 500       | 亜鉛    | 0.02      |
| ナトリウム       | 88        | ニッケル  | 0.32      |
| 塩化物         | 82        | 銅     | 0.03      |
| pH          | 7.2       | 珪素    | 0.9       |
| 大腸菌群数 (MPN) | 0-20      | 水銀    | 0.002     |
| 全硬度         | 160       | クロム   | 0.02      |
| 全リン酸塩       | 2.0       | カドミウム | 0.002     |

火力発電所の冷却用補給水として用いられない処理水はロスアンゼルス河に放流され、最終的には広大な土地に散布されて地下水涵養のために用いられている。

火力発電所に供給される下水処理水の水質には、溶存物質、浮遊物、リン酸塩および有機物に関する特別な制限値は設けられていない。火力発電所はTDSとして750mg/lを超える排水を放流することはできない。このために、冷却系統から排出する水について水の循環回数の厳格なる制限がある。

下水処理場職員と火力発電所職員との間の連絡は、バーバンクの下水処理水再利用を成功に導くために重要なことである。下水処理水の水質、冷却塔内の再利用水の状態は直接に報告され、討議されている。

#### 4.3 再利用方法

バーバンク市の170MWの火力発電所は、その機械的通風機を有する冷却塔に、おおよそ2MGD (7,570m<sup>3</sup>/日)の下水処理水を使用している。この水量は1.5MGDないし2.5MGD (5,680m<sup>3</sup>/日)ないし9,460m<sup>3</sup>/日の範囲で変化し、夏期には25%の水が余計に使用されている。

冬期には1日1回、夏期には1日2回のショック的塩素処理を含む利用者側の処理によって、残留塩素濃度は1mg/lが維持されている。pHは6.6ないし6.8の範囲で硫酸によるpH制御が行なわれている。腐蝕防止とスケール発生防止のためにポリマーが添加されている。すべての薬品添加は、循環中の冷却水に直接に行なわれている。

上水道源からの水の代替供給は、必要に応じて行なわれるようになっている。下水処理水再利用を行なう以前は、上水道水が唯一の冷却用補給水の供給源であった。火力発電所は下水処理水を再処理して使用する場合に比べて、上水道水では非常に良好なデータを得ていた。一般的に、下水処理水の利用では、次のような不利益があると報告されている。

- 1) 栄養塩類の含有に起因する微生物の生長を抑制するために、多量の塩素注入が必要となる。

- 2) 大きな緩衝作用により、pH制御のための硫酸所要量が多くなる。
- 3) より多くのポリマー注入量が必要となる。
- 4) 下水処理水中のTDS含有量が高いために、上水道水に比べて循環回数を減らさざるを得なくなり、多くの水量が必要となる。

#### 4.4 経 済 性

都市下水処理のコストは、労務費74,000ドル(22,200千円)、供給品費13,000ドル(3,900千円)、施設利用費27,000ドル(8,100千円)、他の経費4,000ドル(1,200千円)を基礎として計算し、MG当り62ドル( $\text{m}^3$ 当り4.91円)と見積られている。下水処理施設の建設費は1966年には1,100,000ドル(330百万円)であり、これを1972年の価格に換算するためにFWPCA(内務省水質汚濁防止局)の下水処理場建設費補正指数( $1972/1966=1.48$ )を用いると、1,626,000ドル(487.8百万円)となる。それゆえ、年間すると、121,367ドル(36,410千円)となる。この償却費を運転費に加えると、年間の処理費は、下水処理費1,898MGD( $7,183,930\text{m}^3$ )に対して、239,367ドル(71,810千円)または、MG当り126円( $\text{m}^3$ 当り9.99円)となる。下水処理水の販売は、単に市役所内部の問題であるが、1972年には、年間31,000ドル(9,300千円)、MG当り43ドル( $\text{m}^3$ 当り3.41円)の収入を得ている。

SGOエンジニアーズ会社の推定によると、火力発電所は利用者側の処理のために、先に述べた薬品類を使用しており、その価格は、おおよそMG当り100ドル( $\text{m}^3$ 当り7.93円)である。下水処理費と利用者側の処理費との合計額、MG当り226ドル( $\text{m}^3$ 当り17.91円)は、他の都市の場合に比べて非常に好ましい価格であり、バーバンクの再利用計画のすぐれた効果を立証している。

## 5. カリフォルニア州カラバサス（ラスバジェンス都市用水組合）

### 5.1 序 論

ラスバジェンス都市用水組合は、1965年以来、下水処理水を再利用してきている。現在、それは、農作物および牧草の灌漑に用いられている。しかし、1976年に3,500,000ドル（1050百万円）の規模の再利用計画が暫定的に策定されており、これには、灌漑計画の拡大とリクリエーション湖の造成が含まれている。再利用を行なう下水処理場として、ロスアンゼルス流域の下水処理場が選定された。ここには、良好に設計され、維持管理されている活性汚泥方式の下水処理場の事例がある。

### 5.2 都市下水の処理

ラスバジェンスのタピア下水処理場は、平均下水量3MGD（11,360m<sup>3</sup>/日）の活性汚泥方式の処理場であり、流入下水量の10%の工場排水が含まれている。しかし、すべての工場は、家庭下水の濃度までに前処理することが要求されており、重金属類についてはUSPHS（連邦公衆衛生局）の飲料水基準までに取除くことが要求されている。これらの排水基準によって、工場排水の下水処理場受入れに対するトラブルは経験していない。

図-A.6は処理プロセスのフローダイアグラムを示したものである。一次処理はコミュニティーとそれに続く矩形沈殿池2池より成っており、その規模は125フィート×20フィート×12フィート（38.1m×6.1m×3.7m）であり、設計下水量8MGD（30,280m<sup>3</sup>/日）に対し水面積1,600gpd/sq. ft（65.6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>日）、滞留時間1.1時間で設計されている。

下水はそれから3池の矩形の活性汚泥エアレーションタンクに入る。このタンクの規模は160フィート×30フィート×15フィート（48.8m×9.2m×4.6m）である。活性汚泥処理はステップエアレーションで行なわれており、滞留3.6時間、汚泥返送比33%で運転されている。空気は生下水1ガロン当り1立方フィート（m<sup>3</sup>当り7.48m<sup>3</sup>）、BOD除去ポンド当り約1,000立方フィート（kg当り16.0m<sup>3</sup>）の割合で供給されている。MLSS濃度は季節的温度変化によって変えており、その生物活性の点から夏期には1,600mg/l、冬期には2,600mg/lとして運転している。活性汚泥プロセスは綿密に監視されており、下水中の窒素が完全に硝化するように制御されている。硝酸性窒素（NO<sub>3</sub>）の濃度はエアレーションタンク内で定間隔で監視され、鋭敏な硝化バクテリア（ニトロソモナスおよびニトロバクター）の適切な濃度と活性を維持するための運転の修正と改善が行なわれている。

エアレーションの後、活性汚泥混合液は5池の最終沈殿池で沈殿される。この沈殿池の規模は150フィート×20フィート×10フィート（45.8m×6.1m×3.1m）であり、設計下水量に対して、水面負荷600gpd/sq. ft（24.6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>日）、滞留時間2.5時間である。最終沈殿池のうち1池は、古い塩素混和池の容量不足を補うものとして、塩素接触池として利用されており、この滞留時間は1.1時間である。塩素注入量は8mg/lであり、残留塩素濃度は1mg/lとなっている。

返送汚泥はエアレーションタンクに送られる以前に再エアレーションが行なわれている。沈殿後の余剰汚泥と最初沈殿汚泥は、その規模120フィート×30フィート×15フィート（36.6m×9.2m×4.6m）の2池の好気性消化タンクに送られる。この好気性消化タンクは設計下水量4MGD（15.140m<sup>3</sup>/日）に対して20日間の滞留日数を有する。消化汚泥は3台のジュアルセル型重力

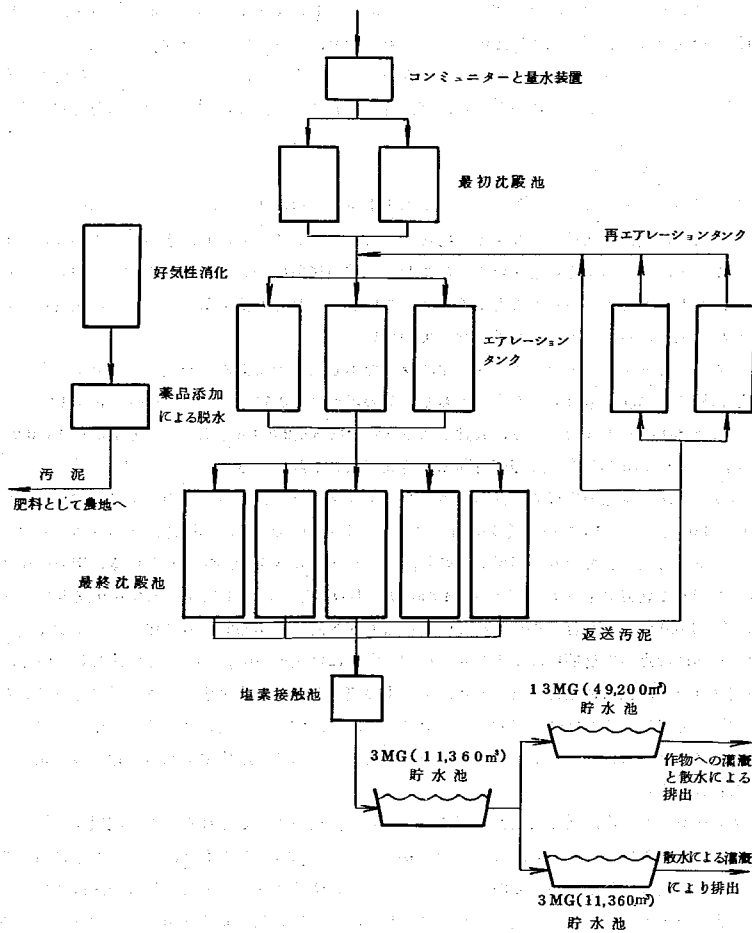


図-A.6 カリフォルニア州ラスベジエンスのタバピア下水処理場

装置によって脱水され、トラックで農地に送られて、土壌に散布されている。

塩素処理後の処理水は、3MGD(11,360m<sup>3</sup>)のアスファルト張り貯水池に送られる。ここから、下水処理水は二池の素堀りの安定池兼貯水池に送水される。第1の貯水池は3MGD(11,360m<sup>3</sup>)の処理水を貯し、ここには、農作物の生産が行なわれていない土地に散水処分する余分の下水のみが滞留されている。タビア下水処理場の処理水は、天候の陰悪な期間を除いて河川放流が許可されていないことから冬期の間、処理水はこのような方法により処分されている。第2の貯水池は13MGD(49,200m<sup>3</sup>)の容積を有し、農作物と連作の牧草畑の灌漑に使用されている。農地への灌漑と処理水の処分は、貯水池より自然流下で行なわれている。

表-A.6にまとめられた一覧表は、飲料水の水質に近づくまで処理されているタビア下水処理場の水質を示したものである。BOD、SS、重金属類含有量、大腸菌群数は非常に低い。重金属類濃度が低いのは、下水道への厳格な工場排水放流基準のためである。

表-A.6 ラスバジンスにおける平均的な処理水の水質

| 成分名   | 濃度 (mg/l) | 成分名        | 濃度 (mg/l) |
|-------|-----------|------------|-----------|
| 鉛     | 0.022     | 硝素         | 0.77      |
| カドミウム | 0.003     | 硝酸性窒素      | 13.2      |
| 銅     | 0.014     | 亜硝酸性窒素     | 0.07      |
| ニッケル  | 0.031     | アンモニア性窒素   | 0.0       |
| 亜鉛    | 0.056     | 塩化物        | 112       |
| MBAS  | 0.34      | TDS        | 870       |
| CRTG  | 0.0       | 硫酸塩        | 267       |
| フェノール | 0.034     | リン酸塩       | 32.8      |
| 有機性窒素 | 2.2       | BOD        | 3         |
| フッ素   | 0.36      | SS         | 1         |
| pH    | 7.8       | 大腸菌群数(MPN) | 2.2       |

### 5.3 再利用方法

下水処理水は、近くの農地で現在、灌漑に用いられている。灌漑に関する問題は、季節的に非常に多量の用水を必要とすることであり、3月から10月にかけて、総処理水量の約60%が利用されており、その間に残る水量はほとんど無い。次のような農作物とその灌漑面積に対して、下水処理水が利用されている。

- ・ ひらさきうまごやし……225エーカー (92.3 ha)
- ・ 連作の牧草 …………… 30エーカー (12.3 ha)
- ・ スーダン草 …………… 5エーカー (2.1 ha)

それに加えて、地区立の学校とベッパードイン大学(マリブ)のキャンパスは、夏期の間、灌漑が行なわれている。この灌漑システムは、来年度、ゴルフコースとカラバサスの街のグリーンベルト地帯を含めて、拡張されることになっている。この追加の下水処理水所要量は、年間300—500エーカー・フィート(370,050—616,750m<sup>3</sup>)になるであろう。

農業関係者は、下水処理水を用いることにより優れた結果が得られたことに満足していると報告

されている。むらさきうまごやしの生産量は、井戸水を用いた前年よりも増加した。このむらさきうまごやしの収獲物のうちのいくらかの部分は「むらさきうまごやし濃縮ジュース」として、人間の消費する健康補強食品に用いられている。脱水したむらさきうまごやし・ジュースの最終生産物は、FDA（連邦食品薬品局）のすべての基準をパスしており、市内のマーケットで販売されている。スーダン草の生長は下水処理水の灌漑によって、商品的な刺激を受けた。この草は牛の飼料として用いられている。井戸水を用いた最上の生産品は、収獲の後もう1作しかできなかった。再利用水を用いた現在では、各季節毎に1作ずつの3作ができ、かつ、その生産量も約2倍に増加した。

処理された下水は、すでに述べてきたように良質のものであり、灌漑に関しての問題点は報告されていない。土壌に損傷を与える成分が含まれている証拠もなく、浮遊物濃度が低いために、スプレインゾルが閉塞したということも発生していない。

用水組合は、1976年に、35百万ドル（105百万円）を投じての下水処理水再利用システムの拡張を計画した。灌漑面積の拡大に加えて、公衆のための釣りりとピクニックのためのいくつかのリクリエーション湖を建設することであった。

急性および長期間にわたる処理水の毒性の影響を調べるために、ミンノーの1種とガンブシア（モスキート・フィッシュ）を用いたバイオアッセイ試験を下水処理場の水質試験室で行なっている。実験の目的は2つある。その1は、計画されているリクリエーション湖内での魚類の健康、再生産および生長についての成功を保証すること。その2は、この下水処理場からの放流水が魚類の生存に損傷を与えることがないことを証明し、河川に放流する許可を法律上有効なものとするためである。

予備的な結果から、実験室の養魚鉢の中でも、また2ヶ所の下水処理場のエアレーションタンクの中の魚類飼育水槽の中でも、魚類の生存に毒性作用がないことから、担当者は勇気づけられている。魚類の再生産と活動力は平常なものであった。

魚類は、既存の再利用水貯水池にも放流されている。バス、ブルーギル、クラッピーおよびキャツフィッシュ（なまず）は、高い生長率を示した。〔バスの場合には15ヶ月間に4インチ（10cm）から16インチ（40.6cm）までに生長した。〕そして、自然の表流水中に生存している同一魚種とはほぼ同じ再生産量を示した。

#### 5.4 経 済 性

ラスバジェンス都市用水組合は、農民に対して下水処理水をエーカー・フィート当たり15ドル（ $\text{m}^3$ 当たり3.65円）で販売している。この価格は、その地方の井戸水の価格と釣合いのとれたものとして定められている。この井戸水の水質は余り良好ではなく、TDS濃度が1,300～1,500mg/l含まれている。再利用水には栄養塩類が含まれており、その水質が非常に良好なことから、農民は100ポンド再利用に切り替えており、井戸水は緊急用としてのみ用いられている。

このエーカー・フィート当たり15ドル（ $\text{m}^3$ 当たり3.65円）の価格の中には、再利用水輸送管の費用の償却費が含まれている。都市用水組合は、推定される処理費たるMG当たり348ドル（ $\text{m}^3$ 当たり27.58円）のうちの僅かな部分の費用を、農民が水質の悪い井戸水を使用する場合の釣合いのとれたコストとして補償してもらっているだけである。

## 6. カリフォルニア州ロスアンゼルス郡広域下水道組合（ランカスター）

### 6.1 序 論

1971年以来、ロスアンゼルス郡広域下水道組合では、3池から成る一連のリクリエーション湖の用水として、ロスアンゼルス郡に下水処理水を販売してきた。この湖の容量は80MG(302,800 m<sup>3</sup>)であり、56エーカー(22.4 ha)の郡立アボロ公園のシンボルとして役立っている。この公園はカリフォルニア州ランカスターの近くにあり、1973年から公衆に開放されており、魚釣り、ボート遊び、ピクニック地区、遊園地、ハイキングおよびキャンプのできる公園である。最終テスト結果が判明しないため、釣られた魚は食用には供せられていない。この地区は、一般的な南西部砂漠地帯の気候を有する。

1973年に、カリフォルニア州ランカスター近くの第14下水処理場から、アボロ公園の湖に、平均0.5MGD(1,890 m<sup>3</sup>/日)の処理水が給水された。この下水処理場での処理は、この計画のための設計標準を設定するために広域下水道組合と連邦政府の環境保護庁により、研究とパイロット実験が行なわれてきたもので、単純かつ安価な方法で行なわれている。この背景となるデータと運転経験は、今なお発展し続けており、将来の同じようなリクリエーション湖計画の発展に寄与することになる。

### 6.2 都市下水の処理

広域下水道組合の第14下水処理場はランカスターの近くにあり、オキシデーションpondを用いた処理により、平均4MGD(15,140 m<sup>3</sup>/日)の下水を処理している。pond流出水のうちの平均0.5MGD(1,890 m<sup>3</sup>/日)は、リクリエーション湖にpond輸送される以前に、汚過され、塩素処理が行なわれている。図-A.7には、この処理場のフローダイヤグラムが示されている。

生下水は、コンミュニターを通過した後、2池の最初沈殿池に流入される。生下水のうち僅かに5%が工場排水であり、この下水処理場の運転に障害を与えた事例は報告されていない。

二次処理は8池のオキシデーションpondにより行なわれており、それは全体で240エーカー(96 ha)の表面積を有する。平均下水流量に対する滞留日数は60日間であり、BOD負荷は、1日・1エーカー当り1,000ポンド(1日・1 ha当り1.13 kg)である。オキシデーションpond流出水の平均3.5MGD(13,250 m<sup>3</sup>/日)は、蒸発によって処理するために、堤防の背後地に貯水されている。残りの0.5MGD(1,890 m<sup>3</sup>/日)は、下記のような三次処理が行なわれている。

- ・ フロキュレーション
- ・ 沈 殿
- ・ 汚 過
- ・ 塩素処理

これらの処理によって、リン酸塩、浮遊物、藻類およびバクテリアが除去されている。効果的なフロキュレーションは、アラムを平均して300mg/l 添加したときに行なわれている。フロキュレーション池は380 gpm(1.44 m<sup>3</sup>/分)で設計されており、池の規模は16フィート×8フィート×8フィート(4.9m×2.4m×2.4m)であり、滞留は20分間である。沈殿は、その規模16フィート×68フィート×7フィート(4.9m×20.7m×2.1m)のカバー付タンクで行なわれる。沈殿時間は2.5時間、水面積負荷率は500 gpd/sq. ft(20.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。

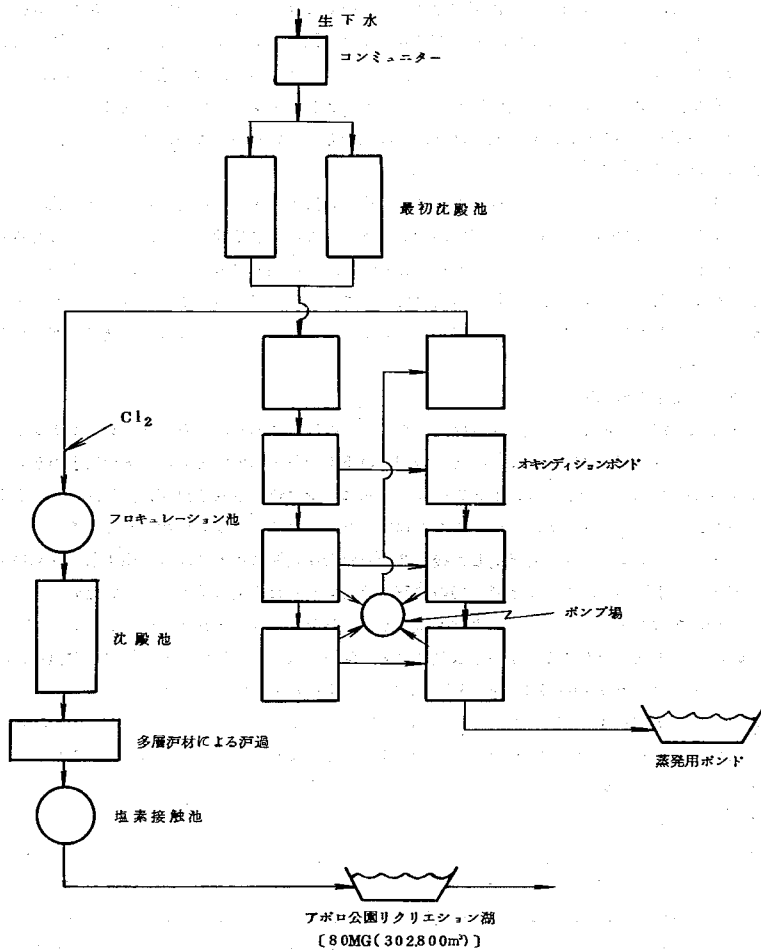


図-A.7 ロスアンゼルス郡広域下水道組合第14  
下水処理場（ランカスター）

・ 沈殿に続いて、多層戸過が浮遊物除去のために行なわれている。この装置の様様は下記のとおりである。

- ・ 戸 材 …… 18 インチ (45.7 cm) アンスラサイト層  
9 インチ (22.9 cm) 砂層  
15 インチ (38.1 cm) 砂利層
- ・ 設計流量 …… 360 gpm ( $1.36 \text{ m}^3/\text{日}$ )
- ・ 戸過面積 …… 180 平方フィート ( $16.7 \text{ m}^2$ )
- ・ 戸過速度 ……  $2 \text{ gpd}/\text{sq. ft}$  ( $118 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )
- ・ 最終損失水頭 …… 7 フィート (2.1 m)
- ・ 最大逆洗速度 ……  $18 \text{ gpm}/\text{sq. ft}$  (73.8 cm/分)
- ・ 表面洗浄 …… 圧力 50 psi ( $3.52 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ) において  $2.0 \text{ gpm}/\text{sq. ft}$  ( $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{分}$ )
- ・ 逆洗時の膨張比 …… 50 %

戸過に続く塩素処理では、接触タンクの容積  $44,000$  立方フィート ( $13420 \text{ m}^3$ )、滞留 8 時間である。塩素供給量は、リクリエーション湖供給水中の残留塩素濃度を  $3.4 \text{ mg}/\text{l}$  に維持するために、 $15 \text{ mg}/\text{l}$  以上が注入されている。

経験より得られた問題点は、冬期間のうちは低温のためにオキシディションボンドの微生物の活動が低下し、このために濁度が増加し、アンモニア濃度が上昇することである。完全な硝化を行ない、アンモニア濃度を低下させるために、長期間の滞留日数(夏期に 60 日間、冬期にはさらに長く)を有するオキシディションボンドが用いられている。望ましくない側の影響として、ボンド貯留水の TDS 濃度が、蒸発損失によって時間と共に増加することである。この三次処理では溶存物質の除去に関して顕著な効果はない。かくして、高濃度の TDS の処理水がリクリエーション湖へ流入される。リクリエーション湖での蒸発によって、TDS 濃度はさらに高くなり、時には  $1,200 \text{ mg}/\text{l}$  のレベルに達する。

この状況を緩和するために、低アンモニア濃度の処理水が秋の間にオキシディションボンドの 1 池に貯水され、冬期間に処理水の高濃度のアンモニアを必要に応じて希釈するために用いている。それに加え、湖水を用いている灌漑が湖を通り抜ける水量を維持し、TDS 濃度の増加を抑えることを助長した。

表-A.7 には、オキシディションボンドおよび三次処理施設からの処理水の水質を示してある。さらに、三次処理水の水質要求量も同表に示してある。リクリエーション湖に利用する下水処理水の一般的要求量は、州によって次のように定められている。

「下水処理水は良好な水質を維持し、溶存塩類と栄養塩類濃度が低く、全面的に酸化されているのが望ましい。その水は、公衆に十分受入れられるように清澄なものであり、かつ無臭であって美的にも喜ばれるものでなければならない。そして、魚類の生命を維持し、勿論病理学的にも受入れられるものでなければならない。」

### 6.3 再利用方法

ランカスターにおける三次処理水は、ボート遊びと魚釣りの人達に用いられる 3 池のリクリエーション湖補給水の唯一の水源である。湖からの流出水は公園内の造園の灌漑と、その近くのアルカリ

土壌を再生する汚水として用いられている。水が表-A.7に示した水質基準のすべてに適合しない場合には、この水中公園には供給されない。この承認をうるために、濁度、リン酸塩、残留塩素およびアンモニアは毎日テストされている。アルカリ度と浮遊物のテストは毎週行なわれる。その他の全成分のテストは隔週毎に行なわれている。

リクリエーション湖水の水質の特徴をまとめたのが表-A.8である。

表-A.7 カリフォルニア州ランカスター第14下水処理場の処理水の水質とその要求量

| 成 分 名           | オキシディショ<br>ンボンド流出水<br>(1971年12月) | 三次処理水<br>(1971年12月) | 湖内供給水<br>水質要求量 |
|-----------------|----------------------------------|---------------------|----------------|
| 濁度 (JTU)        | 23.0                             | 1.5                 | 3-10           |
| リン酸イオン (mg/l)   | 29.0                             | 0.25                | 0.1-0.5        |
| pH (mg/l)       | 9.15                             | 6.15                | 6.5-7.0        |
| BOD (mg/l)      | 5.8                              | 0.4                 | 5-10           |
| COD (mg/l)      | 149.0                            | 35.0                | 45-75          |
| DO              | 12.4                             | 12.4                | 7-15           |
| 藻類の個体数          | 200,000                          | —                   | —              |
| 大腸菌群数 (MPN)     | 150,000                          | —                   | 0-22           |
| 温度 (°C)         | 34.0                             | 38.0                | 10-30          |
| SS (mg/l)       | 25.0                             | 5.0                 | 10             |
| TDS (mg/l)      | 560.0                            | 544.0               | 500-650        |
| アンモニア性窒素 (mg/l) | 1.1                              | 1.0                 | 0.1-1.50       |
| 有機性窒素 (mg/l)    | 8.6                              | 1.7                 | 1.0-3.0        |
| 硝酸性窒素 (mg/l)    | 1.8                              | 1.9                 | 1.0-4.0        |
| 全窒素 (mg/l)      | —                                | —                   | 3-20           |
| 全アルカリ度 (mg/l)   | 227.0                            | 65.0                | 74-140         |
| 硬度 (mg/l)       | 69.0                             | 68.0                | 85-110         |
| 硼素 (mg/l)       | 1.06                             | 0.74                | 0.8-1.4        |
| ナトリウム (mg/l)    | —                                | 153.0               | —              |
| 残留塩素 (mg/l)     | —                                | 3.4                 | 0.5-2.5        |
| 炭酸ガス (mg/l)     | —                                | 68.0                | 1              |
| ABS (mg/l)      | 0.1                              | 0.0                 | 7-15           |
| フッ素 (mg/l)      | —                                | 1.7                 | —              |
| カルシウム (mg/l)    | —                                | 61.0                | —              |
| 塩素イオン (mg/l)    | —                                | 85.0                | —              |
| 硫酸イオン (mg/l)    | —                                | 65.9                | —              |
| 全重金属類 (mg/l)    | —                                | 0.53                | —              |

表-A.8 アンテローフ・バーレイ 下水再利用計画  
のリクリエーション湖の水質

| 成 分 名                          | 湖底1  | 湖底2  | 湖底3  |
|--------------------------------|------|------|------|
| 温度 (°F)                        | 35   | 37   | 36   |
| 濁度 (JTU)                       | 21   | 20   | 25   |
| pH                             | 7.6  | 8.58 | 8.62 |
| TDS (mg/l)                     | 833  | 932  | 853  |
| SS (mg/l)                      | 26   | 32   | 9    |
| アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> mg/l) | 143  | 168  | 151  |
| 硼素 (mg/l)                      | 1.27 | 1.48 | 1.26 |
| 炭酸ガス (mg/l)                    | 3.17 | 0    | 0    |
| 塩素要求量 (mg/l)                   | 0.89 | 0.94 | 1.09 |
| 残留塩素 (mg/l)                    | 0    | 0    | 0    |
| 全硬度 (CaCO <sub>3</sub> mg/l)   | 116  | 128  | 120  |
| MBS (ABS mg/l)                 | 0.1  | 0.1  | 0.1  |
| アンモニア性窒素 (mg/l)                | 1.0  | 1.3  | 1.4  |
| 有機性窒素 (mg/l)                   | 2.2  | 2.1  | 1.8  |
| 亜硝酸性窒素 (mg/l)                  | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 硝酸性窒素 (mg/l)                   | 1.3  | 0.06 | 1.2  |
| BOD (mg/l)                     | 0.9  | 1.2  | 1.7  |
| 全COD (mg/l)                    | 44   | 51   | 47   |
| 溶存酸素 (mg/l)                    | 10.7 | 11.8 | 12.2 |
| オルトリン酸塩 (PO <sub>4</sub> mg/l) | 0.26 | 0.26 | 0.20 |
| 全リン酸 (PO <sub>4</sub> mg/l)    | 0.37 | 0.41 | 0.39 |
| カリウム (mg/l)                    | 19   | 19   | 18   |
| ナトリウム (mg/l)                   | 235  | 268  | 235  |
| ナトリウム等価比 (%Na)                 | 78.5 | 79.3 | 78.2 |

表-A.9 アホロ公園魚類維持計画

| 年 月      | 魚 種            | 数      | 大 き さ         |
|----------|----------------|--------|---------------|
| 1971年12月 | にじます           | 100    | 4-6インチ(10-15) |
| 1971年 3月 | 大口バス           | 100    | 成 魚           |
|          | レイデア・サンフィッシュ   | 50     | 成 魚           |
|          | チャンネル・キャツフィッシュ | 20     | 成 魚           |
|          | ガンブシヤ          | 1,000  | 成 魚           |
| 1973年 3月 | チャンネル・キャツフィッシュ | 5,200  | 4-6インチ(10-15) |
| 将来年間計画   | 虹鱒             | 40,000 | ギボンド(225)     |
|          | チャンネル・キャツフィッシュ | 10,000 | ギボンド(225)     |

註 ( )内はCGS換算値を示す。すなわちインチに対しては cm, ポンドに対してはグラムを表わす。

先きに述べたように、TDS濃度は非常に高い。しかし、湖水の他の水質は、すべて良好である。魚類飼育の計画は、1971年春から開始された。表-A.9には魚類飼育についての過去の状況と将来の計画をまとめてある。

リクリエーション湖内の魚類の生長は、現在では極めて良好であり、毎月平均して1インチ(2.5 cm)ずつ生長している。1971年12月に湖内に入れた鱒は、その2年後に捕獲したときには18~24インチ(45.7~61 cm)に生長していた。すべての魚類は代謝と再生産が正常に行なわれていることが観察されており、実験室での細菌学的ならびにウイルス学的疾病を見いだすことができなかった。

この湖は、魚類の伝染病的性質の最終的な立証を行わずに、1974年には公衆に対して魚釣り場として開放することになると予想されている。

#### 6.4 経 済 性

ロスアンゼルス郡は、ロスアンゼルス郡広域下水道組合に対して、リクリエーション湖に用いる下水処理水のために、年間約30,000ドル(9百万円)を支払っている。この金額は、下水処理場の三次処理施設の運転と維持管理費を広域下水道組合に対して補償するものである。

アボロ公園計画の総経費(現在の価格)は5,777,050ドル(1,733,115千円)であり、これには2,415,150ドル(724,545千円)の建設費、それに現在の価格にして3,361,900ドル(1,008,500千円)の運営費、維持管理費および部分的な改良費が含まれている。(50年間に4%現価計上)。

リクリエーションの利益は、州水資源局により発行された「リクリエーションおよび釣りおよび野外生活の高揚」によって、1日1入場者当り1.60ドル(480円)と推定されている。リクリエーションの全利益は、現在の価格に換算して、利益-コスト比を2.8:1とすると、1,643,1600ドル(4,929,480千円)と計算される。

魚釣りのリクリエーション計画を維持するコストは、未だ明らかではない。しかし、将来、釣り人1日当り1.00ドル(300円)の施設利用料金を徴収し、魚類保存計画の財政援助を行なうことが予定されている。この湖と魚類の数は、年間20,000人を収容しても十分な大きさである。この料金徴収計画は、年間当り20,000ドル(6,000千円)の歳入をもたらすことになる。

## 7. カリフォルニア州サンバアナルデノ

### 7.1 序 論

カリフォルニア州サンバアナルデノ市は、1960年以来、下水処理水を州道路局に対して、高速道路造園用灌漑用水として供給してきた。繁茂した造園のおおよそ80エーカー(32ha)がこの水によって灌漑されており、8レーンの高速道路3マイル(4.8km)は、樹木、灌木および草類とバラエティに富んだものとなっている。

石灰処理、重力式砂り過および塩素処理を含む三次処理水が再利用のために供給されている。これは合衆国における高速道路の造園に対する唯一の実例であり、同じような利用を考えている人達に、貴重な情報を提供している。

### 7.2 都市下水の処理

下水処理場の規模は16MGD( $65,560\text{m}^3/\text{日}$ )であり、このうち、3MGD( $11,360\text{m}^3/\text{日}$ )が三次処理されている。生下水は約15%の工場排水を含んでいるが、下水処理場流入水質に対して顕著な影響を与えていない。この報告書が準備されているときに、下水処理場は拡張を行なっていたので、ここでは処理プロセスについて簡略に記載する。

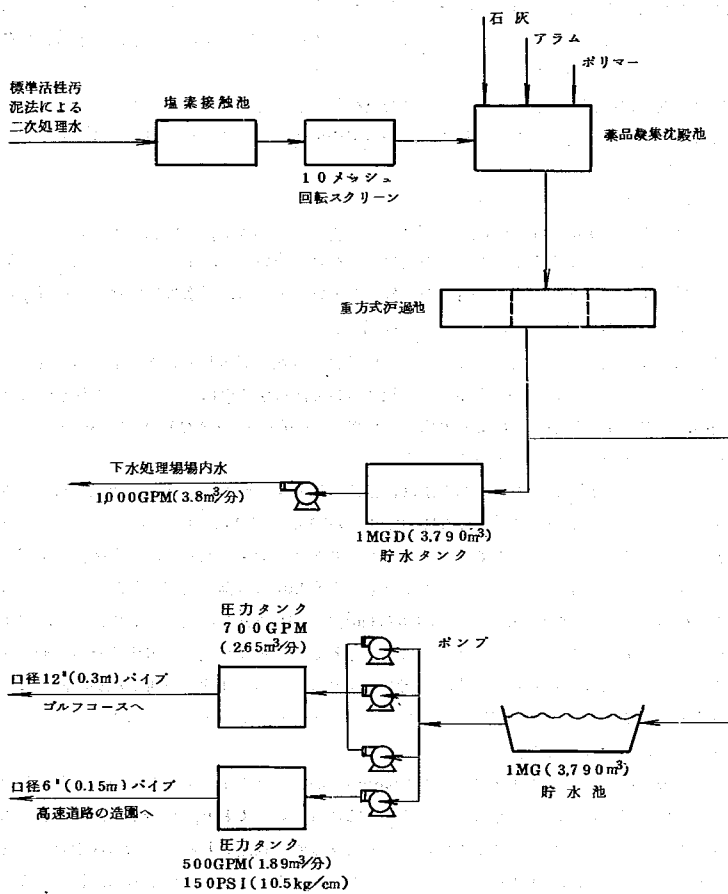
二次処理は標準活性汚泥法を行なっており、続いて塩素処理を実施している。下水処理場は拡張の際中であつたので、設計の詳細とその運転状況について記載するのは、今のところ無意味である。汚泥は濃縮、加温消化、遠心分離により脱水された後、 $400^\circ\text{F}$  ( $184^\circ\text{C}$ )、圧力300psi ( $2.1\text{kg}/\text{cm}^2$ )の流動床炉で焼却されている。

13MGD( $49,200\text{m}^3/\text{日}$ )の二次処理水は、三次処理せずにサンタアナ河に放流されている。図-A.8に示してある三次処理は残りの3MGD( $11,360\text{m}^3/\text{日}$ )について行なっており、これが灌漑用として再利用されている。10メッシュの回転スクリーンを通過して、塩素接触池を出た二次処理水は径60フィート(18.3m)深さ16フィート(4.9m)の薬品凝集沈殿池に入る。この沈殿池の水面積負荷率は $2,100\text{gpm}/\text{sq. ft}$  ( $86.1\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ )であり、薬品として、石灰、アラムおよびポリマーが効果的な凝集を行なうために加えられる。さらに臭気を除去するために過マンガン酸カリウムが加えられる。灌漑、凝集、内部フロートの循環および沈殿が凝集沈殿池内で起こる。凝集沈殿池内への薬品の供給は、石灰ドライファイダー、液体バンド注入ポンプおよび液体ポリマー注入ポンプによって行なわれる。

凝集沈殿池の流出水は、直径32フィート(9.8m)、高さ10フィート(3.1m)、円形3室の重力式砂り過池でり過される。り過池の逆洗浄は自動的に行なわれており、洗浄水は、り過水があらかじめ貯留されている。洗浄排水は下水処理場の最初沈殿池に返送される。り過水は十分な塩素を加えて処理された後、1MGD( $3,790\text{m}^3$ )のアスファルトライニングの貯水池に貯留される。ラダーンからの揚水ポンプは2台の圧力タンクに送水する。

容量700gpm ( $2.65\text{m}^3/\text{分}$ )の圧力タンク1台はゴルフコースに送水し、容量500gpm ( $1.89\text{m}^3/\text{分}$ )の別の圧力タンクは、圧力150psi ( $10.5\text{kg}/\text{cm}^2$ )で高速道路の造園用として、3マイルの距離を輸送されている。

表-A.10には、三次処理後の一般的な水質を示してある。



図—A.8 カリフォルニア州サンバernalデノ市の下水処理場  
三次処理システム

表-A.10 カリフォルニア州サンバアルデノ  
の平均的な三次処理水の水質

| 成 分 名       | 濃度 (mg/l) |
|-------------|-----------|
| BOD         | 13        |
| SS          | —         |
| TDS         | 553       |
| ナトリウム       | 85        |
| 塩素イオン       | 83        |
| pH          | 7.4       |
| 大腸菌群数 (MPN) | 2         |

### 7.3 再利用方法

この三次処理水は、1972年にオレンジショウ・ゴルフコースのフェアウェイとグリーンのならびにサンバアルデノを通る国道の3マイル(4.6km)の造園に用いられた。ゴルフコースでは、乾燥した夏期に1MGD(3,790m<sup>3</sup>/日)、冬期には0.5MGD(1,890m<sup>3</sup>/日)の三次処理水が使用されている。おおよそ2MGD(7,570m<sup>3</sup>/日)の三次処理水が高速道路の造園に用いられている。非常にバラエティに富んだ植物が高速道路に沿って繁茂しており、道路局は下水処理水の使用について何んら障害がないと報告している。

繁茂している植物のタイプは次のとおりである。

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Nerium oleander             | Common Oleander        |
| Parthenocissus tricuspidata | Boston Ivy             |
| Pyracantha Santa Cruz       | Fire-Thorn             |
| Lagerstroemia indica        | Crape Myrthe           |
| Platanus racemosa           | California Sycamore    |
| Schinus molle               | California Pepper Tree |
| Photina arbutifolia         | Toyon                  |
| Punica granatus             | Pomegranate            |
| Washingtonia robusta        | Mexican Fan Palm       |
| Baccharis pilularis         | Dwarf Coyote Brush     |

### 7.4 経 済 性

サンバアルデノ市は、オレンジショウゴルフコースに三次処理水を、MG当り1543ドル(m<sup>3</sup>当り122円)で販売して、3500ドル(1,050千円)の歳入を得ている。道路局の高速道路造園用としては無料で提供しており、これからの歳入は全くない。

SOSエンジニアーズ会社の推算による処理コストは、建設費償却を含めた場合に、MG当り355ドル(m<sup>3</sup>当り2814円)、建設費償却を含めない場合にMG当り100ドル(m<sup>3</sup>当り792円)である。

## 8. コロラド州コロラドスプリングス

### 8.1 序 論

コロラドスプリングス市は、現在、二次処理水の1部を三次処理して、灌漑用および冷却塔補給水として再利用している。同市の経験は、比較的水質の悪い二次処理水を、薬品凝集沈殿、二層ろ過、活性炭吸着を含む、三次処理を行なっていることから、再利用に関心を有する人達の大きな興味をひくことであろう。下水処理場では20MGD(75,700m<sup>3</sup>/日)の下水が二次処理されており、そのうちの約5MGD(18,930m<sup>3</sup>/日)が三次処理としてのろ過池を通過した後、非飲料系の配水管によって、市営の施設の灌漑に使用されている。それに加えて、二次処理水のうちの2MGD(7,570m<sup>3</sup>/日)は、薬品凝集沈殿、活性炭吸着による三次処理が行なわれ、市営火力発電所の冷却用補給水として供給されている。1973年の中期には、30MGD(113,550m<sup>3</sup>/日)の新しい活性汚泥処理施設が完成し、既存の散水ろ床処理施設に代って運転されることになっている。

### 8.2 都市下水の処理

下水処理場は、冬期には平均して19MGD(71,900m<sup>3</sup>/日)、夏期には23MGD(87,100m<sup>3</sup>/日)の下水を処理している。流入下水は約10%の工場排水を含んでいる。この工場排水は主としてエレクトロニクス工場と金属加工工場からのものである。生下水中の主たる重金属類は、銅(1-1.5mg/l)、6価クロム(0.3mg/l)、亜鉛(1.0mg/l)である。

図-A.9は、既存の下水処理場のユニットプロセスを図示してある。生下水は、沈砂後、粉碎機と計量装置を通過する。分水槽によって下水は3分割され、3池から成る直径115ft(35.1m)の最初の沈殿池に流入する。この最初沈殿池は、散水ろ床の循環水を含めて、最大下水量に対して2時間の沈殿時間を有する。一次処理水は、散水ろ床に一定量で散水するために、容積122,500ガロン(464m<sup>3</sup>)の貯水槽を有する。貯水槽内の水はポンプで、散水ろ床散水機の安定した水頭を維持するための配水タンクに送られる。直径170フィート(51.9m)、深さ5½フィート(1.68m)の3池から成る散水ろ床が設けられている。散水ろ床のうち、古い2池の材は、アメリカ杉の板を使用しており、他の1池は碎石を使用している。全散水ろ床はカバーが取り付けられており、18,000cfm(510m<sup>3</sup>/分)の空気を循環する換気装置を有し、臭気は過マンガン酸カリウムの噴霧液で洗浄することによって除去している。

散水ろ床の平均循環比は1.6:1であり、アメリカ杉材を使用したろ床のBOD負荷は、1,000立方フィート当り200ポンド(ろ材1m<sup>3</sup>当り0.32kg)、碎石を使用したろ床のBOD負荷は、ろ材1,000立方フィート当り4.5ポンド(ろ材1m<sup>3</sup>当り0.072Kg)である。

散水ろ床の次に、直径120フィート(36.6m)の3池から成る最終沈殿池が設けられており、その水面積負荷率は680gpd/sq.ft(27.9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。これらの沈殿池からの汚泥は最初沈殿池流入水に返送されている。二次処理水は、滞留時間30分間の塩素接触池で塩素処理されている。すべての汚泥は、ボーガス熱処理プロセスにより処理される。この装置の運転は、粉砕、圧力150-180psi(10.5-12.6Kg/cm<sup>2</sup>)、温度360°F(172°C)の蒸気による加熱、冷却、移送、濃縮、真空ろ過脱水より成っている。

表-A.11の最初のカラムよりわかるように、二次処理水の水質は不良である。図-A

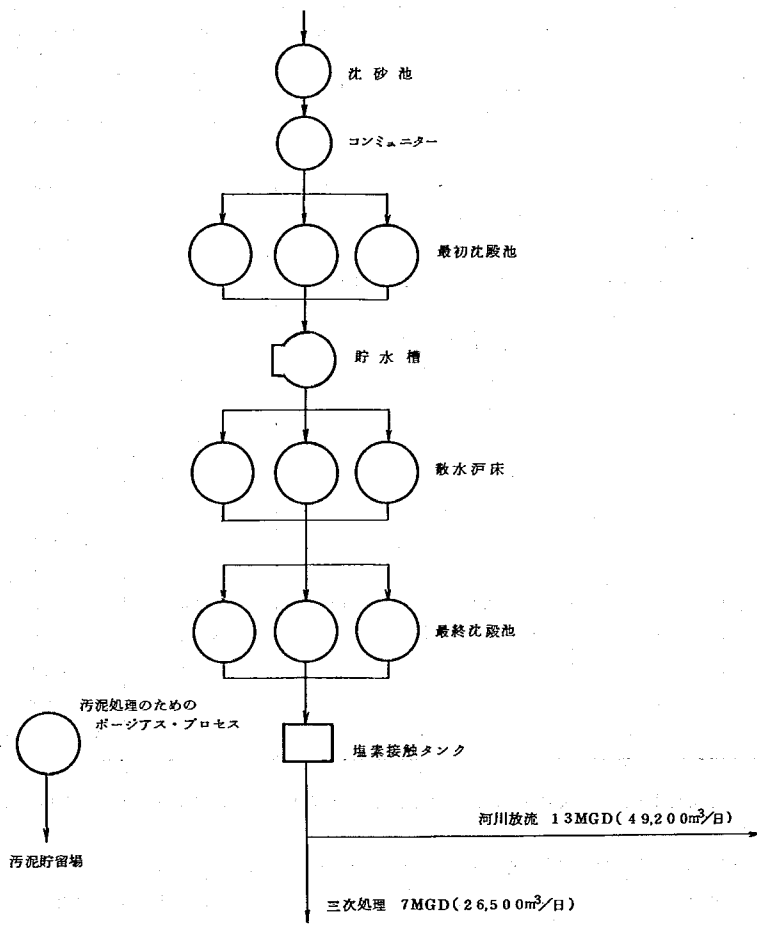


図-A.9 コロラド州コロラドスプリングス下水処理施設

表 A.1 1 コロラド州コロラドスプリングスにおける  
工業用再利用水の1972年の平均的水質

| 成分名<br>(mg/l)            | 三次処理の段階 |                |                   |                   |
|--------------------------|---------|----------------|-------------------|-------------------|
|                          | 二次処理水   | 薬品凝集沈<br>殿池流出水 | 1 段目活性炭<br>吸着塔流出水 | 2 段目活性炭<br>吸着塔流出水 |
| BOD                      | 75-115  | 47             | 28.8              | 22.1              |
| COD                      | 325     | 145            | 59.4              | 43.5              |
| TSS                      | 85      | 5              | 2.7               | 2.7               |
| 濁度(JTU)                  | 56      | 6              | 4.5               | 3.3               |
| 有機性窒素                    | 12-15   | —              | 2.4               | 1.8               |
| ナトリウム                    | —       | —              | —                 | 50                |
| 硬度(CaCO <sub>3</sub> 換算) | 200     | 240            | 220               | 253               |
| カルシウムイオン                 | —       | —              | 100               | 92                |
| 色度                       | 150     | 35             | 21.9              | 11.8              |
| リン酸イオン                   | 30      | 1.0            | 1.55              | 1.53              |
| MBA S                    | 4.6     | 3.0            | 1.07              | 0.43              |
| アンモニア性窒素                 | —       | —              | 24.5              | 15.6              |
| 硝酸性窒素                    | —       | —              | 0.5               | 0.4               |
| 銅                        | —       | —              | —                 | 1-1.5             |
| クロム                      | —       | —              | —                 | 0.3               |
| 鉄                        | —       | —              | —                 | 1-2               |
| pH                       | 7.3     | 11.2           | 7.0               | 7.1               |
| TOC                      | 96      | 46             | 25.3              | 20.4              |
| TDS                      | —       | —              | 659               | 661               |
| 塩化物                      | —       | —              | —                 | 20                |
| 全ふん便性大腸菌                 | —       | —              | —                 | 700/100ml         |

10に示したように、三次処理は、灌漑用と工業用に分かれており、異なるプロセスが使用されている。

灌漑用の三次処理は、浮遊物を除去するための3台の二層濾材による圧力濾過機による濾過と塩素処理が行なわれている。濾材は、厚さ3フィート(0.92m)の粒径1.5mmの珪砂と厚さ5フィート(1.53m)の粒径2.8mmアンスラサイト炭より構成されている。濾過面積は113平方フィート(10.5m<sup>2</sup>)、濾過速度は15 gpm/sq. ft(886m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)であり、7.3MGD(27,630 m<sup>3</sup>/日)である。濾過池は各8時間毎に、300 cfm/sq. ft(91.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・分)の空気、20 gpm/sq. ft(0.82m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・分)のいずれか一方、または双方で逆洗浄される。濾過後、水は再び塩素処理が行なわれた後、総容量2.5 MG(9.460m<sup>3</sup>)の貯水池に貯められ、市内の到るところにあ

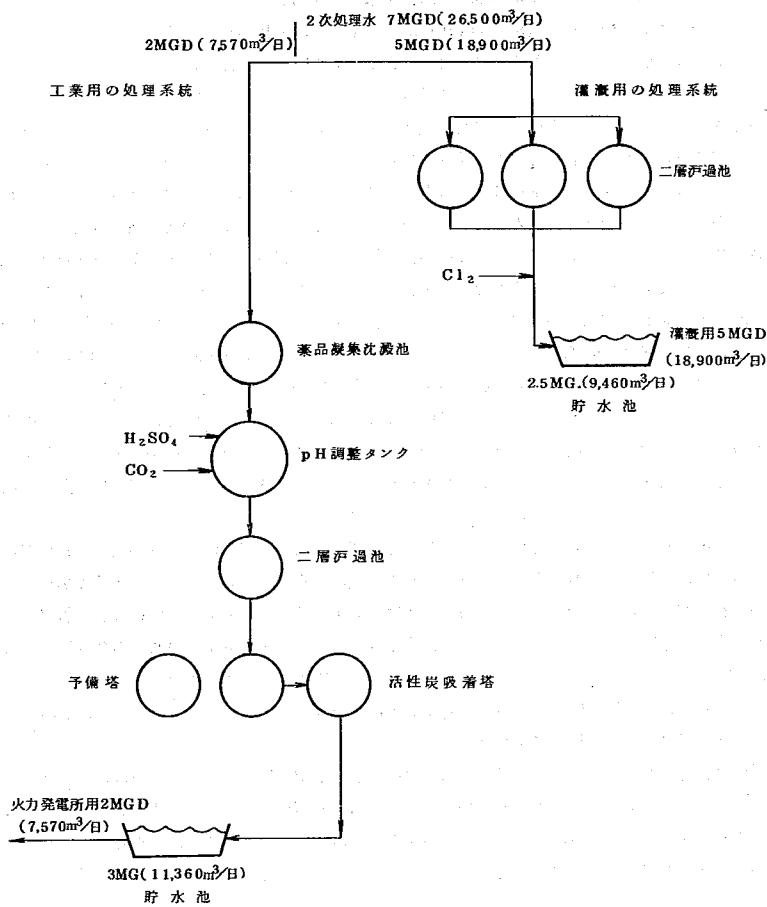


図-A.10 コロラド州コロラドスプリングス三次処理施設

る灌漑用再利用者の要求に合わせてポンプで送水される。

工業用に再利用している2MGD(7,570 m<sup>3</sup>/日)の処理水は、灌漑用の再利用水よりも高い処理の程度を有する。塩素処理後の二次処理水は、凝集沈殿池にポンプ送水され、石灰300-350 mg/l が加えられて、凝集と沈殿を促進する。この凝集沈殿池の直径は48フィート(14.6 m)、容積168,000ガロン(636 m<sup>3</sup>)で、流入水量2MGD(7,570 m<sup>3</sup>/日)のときに2時間の滞留時間を有する。凝集沈殿池からのpH11.5の流出水は、石灰再生炉からの炭酸ガスによる再炭酸塩化と、補足的に硫酸を添加することにより、pH 7.0に調整される。

再炭酸塩化タンクは、直径14フィート(4.3 m)、容量16,000ガロン(60.6 m<sup>3</sup>)で、滞留時間は12分である。流出水は、灌漑用再利用水と同一の二層濾材による圧力濾過機を通過する。この濾過機は、活性炭吸着塔での処理を安全に行なうためのものである。石灰凝集沈殿の機能が低下し、スラッジ・ブランケットが破壊された場合に、二層濾過機は浮遊物の大部分を除去し、活性炭吸着塔への浮遊物の多量な流入を防止する役割を果たしている。2基の活性炭吸着塔は直列に運転されており、残り1基が予備になっている。活性炭吸着塔は直径20フィート(6.1 m)、深さ10フィート(3.1 m)の下向流型で、一塔当たり、8×30メッシュの粒状活性炭94,000ポンド(42.3トン)を充填しており、活性炭と水との接触時間は34分である。活性炭吸着塔と濾過機は、1,000 cfm/sq.ft(30.48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・分)の空気、10 gpm/sq.ft(0.41 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・分)の水のいずれか一方、または双方で約30分間の逆洗浄で毎日行なっている。活性炭吸着後の水は、残留塩素が0.5 mg/l となるよう塩素処理され、3MG(11,360 m<sup>3</sup>)の貯水槽に貯留される。この貯水槽の水は、現在、濾過機の逆洗浄用と灌漑用のいずれか一方に用いられているが、1973年6月からは、その2MGD(7,570 m<sup>3</sup>/日)が2マイル(3.2 km)離れた市営火力発電所の冷却塔補給水として使用されることになっている。

工業用に再利用するための処理の補助的装置として、石灰および活性炭再生装置が含まれている。石灰再生では、使用済の石灰汚泥は、凝集沈殿池の底部から、固形物の濃度7-8%で引抜かれ、使用済石灰貯槽にポンプで送られる。石灰汚泥は18インチ(45.7 cm)の遠心脱水機で含水率50%までに脱水される。この脱水ケーキは、直径6フィート(1.83 m)の6段の多段炉で1,650°F(879°C)で焼却される。炭酸カルシウム、重炭酸カルシウムおよびリン酸カルシウムは生石灰に変わり、新石灰貯槽に風送される。生石灰は、石灰スレーカーで水と混合され、水酸化カルシウムとして再び凝集沈殿池に送られる。

活性炭再生システムにおいて、使用済活性炭は貯槽に水で輸送される。活性炭は、ロータリー比例バルブを経て、脱用水スクリュウで脱水され、それから直径3フィート(1.5 m)の6段の多段炉で1,650°Cで賦活される。再生後の活性炭は冷却され、活性炭吸着塔へ水と共に輸送される。この炉の賦活能力は75ポンド/時(33.8 kg/時)であり、再生時の活性炭の損失は6.5%である。

報告された主たる問題点は、散水汙床の過負荷運転であり(これは新しい活性汚泥施設の運転によって解消される)、それと、石灰再生炉の維持管理費が非常に高くつくことである。

### 8.3 再利用方法

1960年に、コロラドスプリングス市は、現在の灌漑用再利用システムを完成した。先きに記

載した下水の2次処理および二層汚材による汚過を行なった後、塩素処理が行なわれ、一連の貯水池に貯えられる。その水はここから約1.2マイル(1.9.2km)離れた市営公園、27ホールのゴルフコース、コロラド大学の運動場、工場地帯の造園および墓地にパイプで輸送される。すべての給水栓には「非飲料」のマークが取付けられているが、偶発的に飲料用に用いられることがある。しかし、この水には常に残留塩素0.5mg/lが含まれており、このため、病気の流行は妨がれている。

工業用の再利用は1973年の夏に開始されるであろう。2MGD(7,570m<sup>3</sup>/日)の工業のための三次処理水は、250MWの市営火力発電所に冷却塔補給水として供給されるであろう。この火力発電所は約2マイル(3.2Km)の距離にあり、現在は、煙道ガス中の微粒子を除去するスクラバー用水として少量が用いられている。冷却用として用いる再利用水は、その冷却塔補給水要求量の95%を満たすことになろう。残り5%は上水道から補給されることになろう。

三次処理水の水質が高度なものであることにより、火力発電所における付加的処理は最小限度のものとなることが予想されている。クロム酸亜鉛の生物抑制剤またはその同等品が、微生物の生長を押えるために、冷却塔に注水される以前に添加される。コンデンサーチューブ内のリン酸カルシウムと硫酸カルシウムのスケール発生の問題は起る可能性があるが、あらかじめの対策は講じられていない。火力発電所におけるステンレス製パイプの使用は、処理水中のアンモニアが27mg/lに達すると発生するパイプ腐蝕の問題を最小限度にとどめるためのものである。綿密な水質監視と付加的処理を定めるための検討は、再利用計画が開始された後に行なわれることになっている。使用薬品量とそのコストは、再利用が開始されるまで決定することはできない。

#### 8.4 経 済 性

SCSエンジニアーズ社は、一次処理および二次処理のコストを、建設費の償却を含めて、MG当り60ドル(m<sup>3</sup>当り4.76円)と推定している。三次処理施設はそれに加えて2MG当り260ドル(m<sup>3</sup>当り20.61円)である。総計MG当り320ドル(m<sup>3</sup>当り25.37円)が再利用のためのコストであると推算されている。工業用再利用水の処理コストは、灌漑用再利用水の処理コストよりも相当に高いということを認識されるに違いない。MG当り320ドル(m<sup>3</sup>当り25.37円)は、双方の再利用のために必然的に適用されるものではない。

灌漑用の再利用のためには、100立方フィート当り7セント又はMG当り94ドル(m<sup>3</sup>当り7.45円)で販売しており、1971年には37,955ドル(1,138.7千円)の収入を得ている。火力発電所で冷却用として用いる水の販売価格はまだ定められていない。このケースにおける再利用は、淡水の保存をその方針としているものである。

三次処理施設で使用する薬品のコストは表-A.12に示す。

表-A.12 コロラドスプリングス三次処理施設の使用薬品のコスト\*

| 材 料 名      | コスト (ドル)           |
|------------|--------------------|
| 石 灰        | 28,163 [8,448,900] |
| 硫 酸        | 26,888 [8,066,400] |
| 活 性 炭      | 12,054 [3,616,200] |
| 再生のための天然ガス | 14,207 [4,262,100] |

(注) \* 1972年の588MG(2,225,800m<sup>3</sup>)処理のコスト  
( )内は円換算(1ドル300円として計算)

## 9. コロラド州フォートカーソン

### 9.1 序 論

コロラド州フォートカーソンの陸軍基地では、1971年以来、下水処理水の再利用が行なわれてきた。二次処理水は、基地の18ホールのゴルフコースのスプレイ灌漑のために三次処理される。三次処理には、ネプチュンマイクロフロック社の薬品混和と混合汙床による圧力式汙過器が含まれている。

### 9.2 都市下水の処理

軍事施設としてのフォートカーソンの人口はかなり変化する。しかし、平均して20,000人の軍関係者および2,000人の民間人(1日8時間をベースとして)が約1.7MGD(6,430 $\text{m}^3$ /日)の生下水を排出している。この量の約5%は工場排水であり、主として、洗濯業と機器洗浄業からの油脂が含まれている。これらの工場排水は、下水処理場の運転に損傷を与えてはいない。

平均1.7MGD(6,430 $\text{m}^3$ /日)の下水の処理方式は図-A.1.1に示すとおりであり、沈砂池、スクリーン、コミュニティから始まり、続いて、3池の最初沈殿池がある。この沈殿池からの汚泥は、標準型の2段嫌気性消化タンクに入る。二次処理施設として4池の高速散水汙床があり、これは直径73フィート(22.3m)、深さ8フィート(2.44m)で、汙材として碎石を使用している。BOD負荷は、1日、1,000立方フィート当り25ポンド(0.4 $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ )である。次いで、3池の最終沈殿池があるが、その直径55フィート(16.8m)、側壁部の深さ9.5フィート(2.9m)、水面積負荷率87.0 $\text{gpd}/\text{sq.ft}$ (35.7 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )、沈殿時間は2時間である。(通常は2池が使用されている)。

最終沈殿池からの汚泥は最初沈殿池に返送される。処理水循環のための新しい制御装置が、散水汙床への水量負荷を常に一定に保つために設置されている。二次処理水は、次いで注入塩素量5 $\text{mg}/\text{l}$ で塩素処理され、0.7MG(2,650 $\text{m}^3$ )の貯水池に流入する。灌漑のために再利用される0.3MGD(1,140 $\text{m}^3$ /日)の水は、この貯水池からポンプアップされて、ネプチュン・マイクロフロック社の薬品凝集と混合汙床による汙過池で処理され、残りの水は河川に放流される。この汙過機は圧力式で、直径8フィート(2.44m)であり、その汙過速度は10 $\text{gpm}/\text{sq.ft}$ (590 $\text{m}^3/\text{日}$ )、汙過水量は1,000 $\text{gpm}$ (379 $\text{m}^3/\text{分}$ )である。汙過池の汙床は、表層部から下層部にかけて、下記のような汙床厚を有する。

| 汙材の種類    | 厚       | さ         |
|----------|---------|-----------|
| アンスラサイト炭 | 13.5インチ | (34.3 cm) |
| 珪 砂      | 9.0インチ  | (22.9 cm) |
| ガーネット砂   | 7.5インチ  | (19.1 cm) |
| 砂 利      | 14.0インチ | (35.6 cm) |

汙過池の逆流洗浄は、平均して8時間に1回行なわれ、洗浄時間は1/2時間である。各1池の汙過された水は、貯水池へのパイプ内貯留水と共に、他池の逆流洗浄のために用いられる。逆流洗浄速度は15 $\text{gpm}/\text{sq.ft}$ (0.62 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{分}$ )であり、洗浄水量は1,500 $\text{gpm}$ (568 $\text{m}^3/\text{分}$ )である。表面洗浄には41 $\text{gpm}$ (155 $\text{l}/\text{分}$ )の水が、汙過池表面の浮遊物を除去するために使用されている。

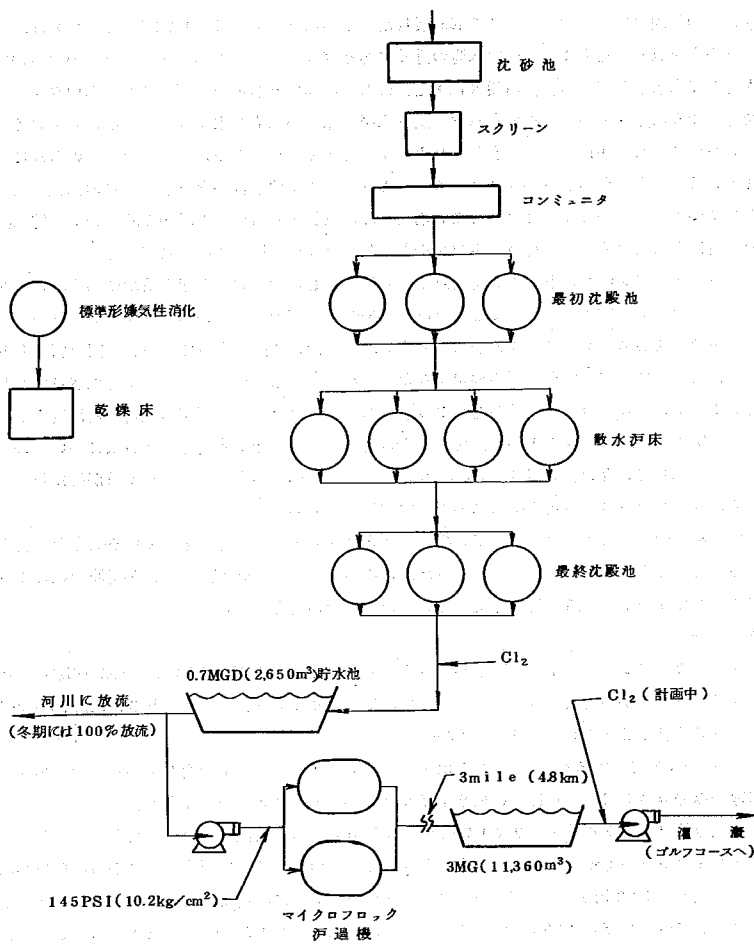


図-A.11 コロラド州フォートカーソンの下水処理施設

最終的に再利用されている処理水の一般的な水質は次のとおりである。

BOD-12mg/l, SS-17mg/l, 大腸菌群数0-100,000/ml, pH-7.5

### 9.3 再利用方法

汚過後の処理水は、3マイル(4.8 Km)離れたところにある3MG(1,140,000<sup>m</sup>³)の貯水池にポンプ送水される。そして、この貯水池の近くにあるゴルフコースの灌漑と、クラブハウスの防火用水として導水されている。灌漑用水はまた、貯水池に達する前のパイプラインから取水することができるようになっており、必要ならば、飲料水配水系統からも取水できるようになっている。平均0.3MGD(1,140<sup>m</sup>³/日)の水が5月より10月までの灌漑期間にゴルフコースの散水に用いられている。下水処理場構内の40エーカー(16 ha)の土地を含めた下水処理水の灌漑計画が樹立されている。冬期の灌漑の行なわれない期間には、総計10MG(3,790,000<sup>m</sup>³)の水が貯水池内での浸透による減少分を補うためにポンプ送水され、後は河川に放流されている。

フォートカーソンにおける主たる問題点は、処理よりもポンプおよび配水系統にある。ポンプおよびパイプラインの種々の原因による故障は、効果的な運転を妨げている。スプリンクラーのヘッドは、藻類によるスプレーノズルの閉塞の原因を排除するために改良されている。健康障害を取り除くため、ならびに陸軍医学研究所の要求を満たすために、新しい塩素処理装置が計画されており、これによって、ゴルフコースの灌漑を行なう前のスプリンクラーヘッドでの残留塩素濃度を2mg/lに保つ予定である。図-A.1.1から、現在、汚過池または最終貯水池を通過する水についての塩素処理は行なわれていない。3MG(1,140,000<sup>m</sup>³)の貯水池内での大腸菌群の再増殖が行なわれ、このため、ゴルフコース灌漑用水中の高い大腸菌群数が認められる。

最大の維持管理上のトラブルは、処理場のマイクロフロック汚過池に生じていることが報告されている。最初に全自動制御装置が設けられたが、この装置は機能せず、ために汚過池運転の16時間に平均して4-6人・時(特に逆流洗浄時)の人員を必要としている。

### 9.4 経 済 性

フォートカーソンでは、下水処理水が灌漑用に役立っていると信じられている。上水道用水はコロラドスプリングス市から購入されており、その価格はMG当り409ドル(<sup>m</sup>³当り324.2円)である。

全施設の建設費償却を含む1MG(3,790<sup>m</sup>³)の下水の処理するためのコストは約363ドル(<sup>m</sup>³当り28.77円)である。このコストはすべての下水処理のコストを含んでいるものであり、三次処理のみのコストは、僅かにMG当り105ドル(<sup>m</sup>³当り8.32円)である。

MG当り約258ドル(<sup>m</sup>³当り204.5円)は河川に下水を放流するための処理費である。このMG当り105ドル(<sup>m</sup>³当り8.32円)と上水道より供給を受けるに要するコストのMG当り409ドル(<sup>m</sup>³当り324.2円)を比較すると、フォートカーソンでは再利用によってMG当り304ドル(<sup>m</sup>³当り241.0円)が節約されたことになり、この金額は年間15,000ドル(4,500,000円)に達する。

## 10. コロラド州コロラドスプリングス(合衆国空軍士官学校)

### 10.1 序 論

合衆国空軍士官学校は非飲料用の一連の貯水池に貯留した下水処理水を士官学校生徒のリクリエーションのための魚釣りや大学構内の灌漑用に利用している。この利用計画は1957年の士官学校の開設ならびに下水処理場の建設時より実施されてきた。

### 10.2 処理プロセス

この下水処理場は4,400人の士官学校生徒を含む16,000人分の下水1.2MGD(4540m<sup>3</sup>/日)の二次処理を行なっている。

下水中には極く僅かな工場排水が含まれているが、それ以外に食堂からの油脂を多量に含む排水が含まれている。図-A.12は処理プロセスを示したものである。

下水は機械式バースクリーン、コンミニューターから始まり、沈砂および油脂分離池を通過する。油脂の除去が不良なるため、散水汙床の散水機ノズルが油脂により時々閉塞している。3池の円形沈殿池が浮遊物を除去し、その汚泥を標準形嫌気性消化タンクに送っている。最初沈殿池流出水は碎石を汙材とした3基の散水汙床に送られている。散水汙床の径は60フィート(18.3m)、BOD負荷は、1日、1,000立方フィート当り50ポンド(0.8Kg・BOD/m<sup>3</sup>・日)である。中間沈殿池が第1散水汙床に続いて設置されている。その流出水は、第1散水汙床の同一の形状を有する標準散水汙床(第2散水汙床)で処理される。散水汙床流出水は活性汚泥処理を行なうエアレーションタンクに流入する。このエアレーションタンクは深さ10.5フィート(3.2m)で滞留4時間、MLSS濃度400mg/lで運転されている。活性汚泥は最終沈殿池との間で循環されており、エアレーションはブラスンタイプのエアレータで行なわれている。4池の直径30フィート(9.15m)の最終沈殿池があり、その堰越流負荷は散水汙床への循環を行なわない状態で1日、堰長1フィート当り7,800ガロン(96.88m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。この堰越流負荷は、低流量時に散水汙床への循環水を送る際には増加する。最終沈殿池流出水は約20分にわたり塩素処理が行なわれ、河川放流または非飲料用貯水池に送られる前に残留塩素0.5mg/lが維持されるよう塩素処理が行なわれる。

表-A.13 コロラド州コロラドスプリングス市の合衆国  
空軍士官学校下水処理施設の処理水平均水質

| 成 分 名     | 濃 度 (mg/l) |
|-----------|------------|
| BOD       | 20         |
| SS        | 30         |
| リン酸塩      | 12         |
| 硝酸イオン     | 35-40      |
| アンモニウムイオン | 5          |
| pH        | 7.1        |

処理水水質の平均値は表-A.13に示すとおりである。広範囲にわたる二次処理が行なわれているにもかかわらず、その水質は良好でないのに驚かされた。この下水処理場の監督者は、その水理学的設計が適切でないこと、活性汚泥処理装置内の活性汚泥フロックを良好に維持できないためにBOD除去が不良であることをその理由として挙げている。

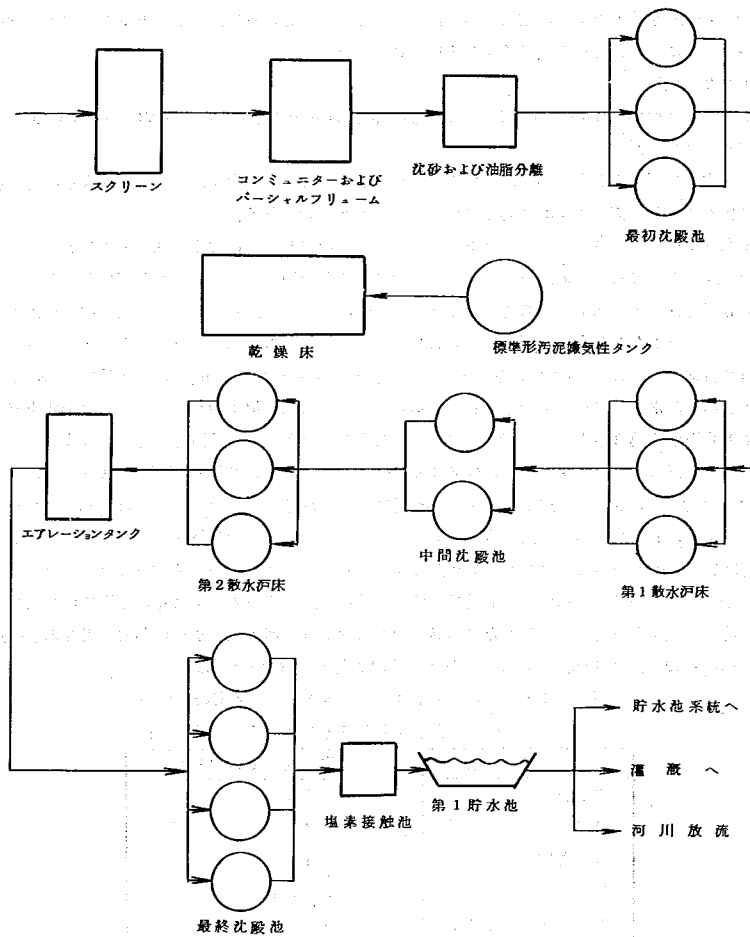


図-A.12 コロラド州コロラドスプリングスの合衆国空軍士官学校下水処理施設

付加的处理が、リクリエーションのための魚釣り用と灌漑用水を得るために行なわれている。それは、4池の貯水池内での長期間にわたる貯留（最大85日間）である。

現在、第2貯水池のみがエアレーションされている。30馬力のコンプレッサーとヘリクサー型表面攪拌式エアレータ3台によって、24時間に約135ポンド（60.8Kg）の酸素を池内に拡散している。このエアレーションの第1の目的は池内水に循環を起させ池内水を上下に回転させて大気と池水と接触させることにある。

資金が得られるようになったとき、第1および第3貯水池にもエアレーション装置を設置する予定である。

### 10.3 再利用方法

空軍士官学校における再利用は季節的なものである。5月から10月にかけて、すべての流出水1.2MGD（4,540m<sup>3</sup>/日）が非飲料貯水池システムに流入される。晩秋から冬にかけて灌漑や魚釣りは行なわれなく、処理水は河川に放流されている。河川に放流する処理水の水質を改善するために、全処理水は第1非飲料用貯水池を通して放流される。

貯水池システムは、3池のソイルセメント・ライニングの貯水池と1池のクレイ・ライニングの貯水池が連続しており、その総貯水容量は14.9MG（563,970m<sup>3</sup>）である。下水処理水1.2MGD（4,540m<sup>3</sup>/日）に加えて、8ヶ所の非飲料用井戸から2.9MGD（10,980m<sup>3</sup>/日）の水が4池の貯水池に供給されている。

4貯水池の水のすべては灌漑用として使用されている。灌漑期間、貯水池の深さ約3フィート（0.92m）の水が、士官学校運動場、基地、バレード用グラウンド、高速道路中間帯、ゴルフコースおよびスタジアムを含めて347エーカー（138.8ha）の学校構内に供給されている。臭気発生の問題が第1の貯水池からの水を灌漑用に使用する際に生じている。これは特に配水系統に長時間貯留された水を使用する際に問題がある。灌漑用ノズルの藻類および灰雑物による閉塞が時々生じている。この問題を解決するため、最終処理水を1/4インチ（6.4mm）のスクリーンで濾過することを考えている。藻類の異常発生は昨年の夏に全貯水池で経験している。貯水池の中で高い塩養塩類負荷が藻類の発生を刺激している。空軍士官学校の技術スタッフは、栄養塩類の制限因子はリン酸塩よりも炭酸ガスであること、池水の上下への交換は炭酸ガスを放出する底性生物を減少させ、これによって炭酸ガスを減少させる働きがあり、藻類の発生を減少させているという意見をもっている。低濃度の硫酸銅除藻剤の使用は、過去において藻類生長を阻止した経験をもっている。表-A.14には貯水池内の水質を列記してある。

数年間にわたって、第2および第3貯水池に魚類を飼育する研究が行なわれてきた。リクリエーションのための魚釣りは、第4貯水池のみで行なわれている。この第4貯水池は、深度約40フィート（12.2m）、容量20MGD（75,700m<sup>3</sup>）である。この貯水池は、一連の貯水池群の最終の池であり、自然の排水貯水池ともなっており、その水質も、表-A.14に示したように最も優れたものである。DO濃度は池面附近では5mg/lを越えているが、深い位置でのDO濃度は急速に減少している。

水生植物と水生動物の生存可能なことは明らかである。この貯水池には、定期的に長さ6-8インチ（15-20cm）の鱒、大ロバス、ブルーギル、チャンネル・キャッフィッシュなどが魚類

表-A.14 コロラド州コロラドスプリングス市の合衆国  
空軍士官学校下水処理水貯水池の平均水質

| 成分名          | 貯水池  |         |      |      |
|--------------|------|---------|------|------|
|              | 第1*  | 第2*     | 第3** | 第4** |
| 水温(°C)       | 12.2 | 10.0    | 10.5 | 10.0 |
| 溶存酸素(mg/l)   | 2.8  | 13.9*** | 4.5  | 6.1  |
| リン酸イオン(mg/l) | 22.0 | 26.4    | 3.0  | 3.0  |
| PH           | —    | 8.2     | 7.5  | 7.5  |
| 全アルカリ度(mg/l) | —    | —       | 98.0 | 77.0 |
| 濁度(JTU)      | —    | 5.0     | —    | —    |
| COD(mg/l)    | 60.5 | —       | —    | —    |
| BOD(mg/l)    | 5.0  | —       | —    | —    |
| SS(mg/l)     | 20.0 | —       | —    | —    |
| 炭酸ガス(mg/l)   | —    | —       | 8.6  | 5.7  |

(註) \* 1971年4月に得られたデータ

\*\* 1961年4月17日より5月5日までの期間表層部附近で得られたデータ

\*\*\* 藻類の活動によって過飽和、一般的ではない

が放流されてきた。

第4貯水池の水温が低いことは(昨年は時々70°F(21°C)まで上昇したが…)、バス、ブルーギル、キャツフィッシュというような温暖性魚種の飼育よりも鱒類の飼育に適している。しかし、虹鱒は溶存酸素濃度に敏感であり、低いDO濃度の場合に鱒は病気が発生して斃死したことが時々あった。

魚類の孵化は余りよく行なわれない。これは池が浅くはなく、孵化に好ましい砂質の池底ではないためである。鱒は春に放流されて、夏期に漁業者によって捕獲されている。

これらの貯水池について研究すべきことは多く残っているが、いくつかの結論が空軍大学により報告されている。同じ鱒の2年以上にわたる飼育は、第4貯水池での長期間にわたる飼育の困難性からみて、その可能性には限界がある。ここでは過去10年にわたって魚類を斃死させてきた経験があり、これは、一連の貯水池の中で最も水質の良い第4貯水池で生じている。鱒を飼育する潜在力は、より栄養価の高い第2、第3池の水を利用して冬期にその一群を生長させる場合にも存在する。第2貯水池で行なっているエアレーションは、鱒の一群に必要な酸素量を供給する能力がある。この計画は研究中である。それ以後の貯水池での疑いなき2年以上にわたる魚類の飼育の可能性は、第4貯水池での経験的に得られたように、より耐久力のある温暖性魚類の飼育方法の如何にかかっている。ブルーギルの幼魚を定期的(3-4年間隔)に放流すると、キングサイズの見本(1ポンド(450g)程度)の成魚となる。チャンネル・キャツフィッシュはさらによく育つ。このような魚釣りの機会は理想的と見なさざるを得ないが、それでもなお、水資源の賢明な利用法、ならびに総合計画に多様性を与えることとなっている。

#### 10.4 経済性

下水処理水による灌漑計画では、年間、約 1,000 エーカー・フィートまたは 336 MG (1,272,000 m<sup>3</sup>) の水を消費している。上水道用水はコロラドスプリング市から購入されており、そのコストは MG 当り 409 ドル (m<sup>3</sup> 当り 32.42 円) である。それゆえ、空軍士官学校は、およそ 137,000 ドル (41.1 百万円) を節約したことになる。

下水処理による 347 エーカー (138.8 ha) の灌漑に加えて、さらに 485 エーカー (194 ha) が市営飲料水道水によって灌漑されている。不幸にも、この土地を含めた既存の非飲料用下水処理水による灌漑計画拡張のための費用は、甚だ高価なものと見積られている。

リクリエーションによる魚釣りの確実なる経済効果は、士官学校生徒およびその学校職員の貯水池利用の料金が無料なるために、全くないのが現状である。しかし鮎およびバスの放流計画に要する経費は僅かなものである。

## 11. メリーランド州ボルチモア

### 11.1 序 論

ボルチモア市では、バックリバー下水処理場を通して、その処理水を、ベツレヘム製鉄会社のスパーズポイント製鉄所に平均120MGD(454,200m<sup>3</sup>/日)供給している。量的にみて、この国、ないしは世界で最大の再利用の運転である。1942年以来的の運転において、再利用プログラムは技術的にも、経済的にも成功してきた。それから30年の間、アメリカでは同じような取決めが他の都市と大規模基礎金属企業との間で行なわれてこなかったのは明らかである。

### 11.2 都市下水の処理

図-A.13は、下水処理場の主たる処理プロセス、ならびに製鉄所までの下水処理水の輸送方法について図示したものである。

スクリーン、沈砂池、最初沈殿池での処理後、平均180MGD(681,300m<sup>3</sup>/日)の一次処理水は、平行に設置された二次処理プロセスに送られる。

平均160MGD(605,600m<sup>3</sup>/日)の一次処理水は標準散水汙床法で処理される。この散水汙床の全表面積は30エーカー(12ha)、深さ8.5フィート(2.6m)である。最終沈殿池は5池で、沈殿時間1.5時間、水面積負荷900gpd/sq·ft(36.9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·日)である。汚泥は最初沈殿池での浮遊物除去率増加を期待して沈砂池へ送られている。

別の二次処理プロセスにおいては、約20MGD(75,700m<sup>3</sup>/日)の一次処理水が、規模60フィート×376フィート×15フィート(18.3m×114.7m×4.6m)の活性汚泥エアレーションタンクで処理される。返送汚泥比は通常20%であり、空気供給量は1cu·ft/gal(7.5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)である。活性汚泥用最終沈殿池は直径126フィート(38.4m)、深さ16フィート(4.9m)であり、余剰汚泥は沈砂池へ返送される。

再び図-A.13を参照して、下水処理場から排出されている60MGD(227,100m<sup>3</sup>/日)の処理水は、約10mg/lの塩素を注入して処理されている。残りの120MGD(454,200m<sup>3</sup>/日)は、直接にベツレヘム製鉄会社の処理施設に送られている。このベツレヘム製鉄会社に送られている処理水の水質は、表-A.15に示すとおりである。

表-A.15 メリーランド州ボルチモア市バックリバー下水処理場の平均処理水質(塩素処理なし)

| 成分名   | 濃度(mg/l) | 成分名        | 濃度(mg/l)            |
|-------|----------|------------|---------------------|
| BOD   | 46       | 大腸菌群数(MPN) | 5 × 10 <sup>6</sup> |
| SS    | 44       | 亜鉛         | 1.0                 |
| TDS   | 450      | 鉄          | 0.5                 |
| ナトリウム | 75       | リン酸塩       | 12.0                |
| pH    | 7.0      | 硝酸イオン      | 4.0                 |

表-A.15に示した処理水質は、ベツレヘム製鉄会社の一過性冷却用水の使用に適している。すなわち、多目的使用の冷却について循環を行っていない。他の冷却用水利用についてはこの報告書に記載している。例えば、カルフォルニア州バーバンクとテキサス州オデッサでは循環式の冷却

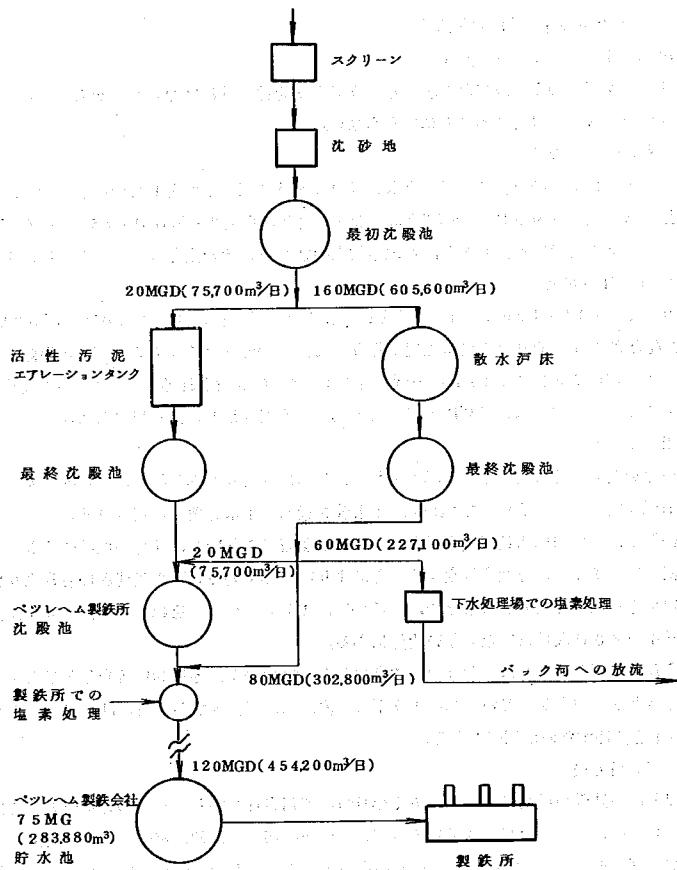


図-A.13 メリーランド州ボルチモアのバックリバー下水処理場

系を採用しており、効果的な運転のために、より高度の水質の処理水を供給している。

ボルチモア市とベツレヘム製鉄会社との間で同意されている特定の水質の成分項目がある。次のような月間平均制限値がその条件として要求されている。

- pH 6.5 - 7.8
- SS 25 mg/l (活性汚泥)
- 50 mg/l (散水汚床)
- 塩素イオン 175 mg/l

市はメリーランド州のより厳格な要求に見合う処理水を得なければならないから、これらの契約による制限値を一般的には越えることにはならない。

#### 1.1.3 利用者側での処理

ベツレヘム製鉄は市営のバックリバー下水処理場の附近に三次処理としての沈殿施設を設けている。この施設は容量15MGD(56,780m<sup>3</sup>/日)2池と、容量20MGD(75,700m<sup>3</sup>/日)のバツケージタイプ1池である。しかし、水理学的な問題から、その全処理能力は僅かに、40MGD(151,400m<sup>3</sup>/日)である。

この40MGD(151,400m<sup>3</sup>/日)の三次処理水は、沈殿処理していない80MGD(302,800m<sup>3</sup>/日)と混合される。それから塩素処理が行われ、ついで5マイル(8km)の距離をポンプ揚水され、工場内の75MG(283,880m<sup>3</sup>/日)の貯水池に貯留される。ベツレヘム製鉄会社のスパローズポイント製鉄所は、必要に応じてこの処理水を引き出し、冷却用水およびプロセス用水として使用している。

この平均化のための貯水池には、汚泥が堆積し、その厚さは0から取除かなければ14インチ(35.6cm)にも達する。浮上した汚泥は、下水管を通じて下水処理場に戻される。

水質の保証は、連続的に人員配置を行なった三次処理施設において、4時間間隔に採水して、その残留塩素、塩素イオン、濁度を測定することにより維持している。下水処理水は毎月約12時間、許容できかねる濁度分を含むため、あるいは、175mg/lを越える塩素イオンが流入するため、バイパスされなければならない状態にある。

このような状態が生ずるのは、そう頻度の高いことではないが、冬期間に散布した融雪用の塩が流出してくるとき、およびひどい大潮により下水管内に海水が流入するときには、塩素イオン濃度175mg/lを維持するのが困難となる。

#### 1.1.4 再利用方法

下水処理水は製鉄所の操業において、多くの目的に使用されている。特定の利用先としては、炉の冷却、ガス洗浄、鉄鉄の冷却、スプレイ冷却、機械回転部分の冷却、密閉した熱交換器、ペアリングの冷却、プロセスの温度制御、スケール除去系統、水輸送系統、防火設備、空調設備、および道路輸送車輛の洗浄である。図-A.1.4には、この製鉄所の水利用を系統的に示してある。

製鉄所では市営上水道からの水の供給を受けているので、短時間ならば、再利用を中止することができる。12時間後には、バック河の塩分混入水か、他の水源の水を利用しなければならない。24時間後には製鉄所の運転を停止しなければならないが、このようなことは決して起らないであろう。

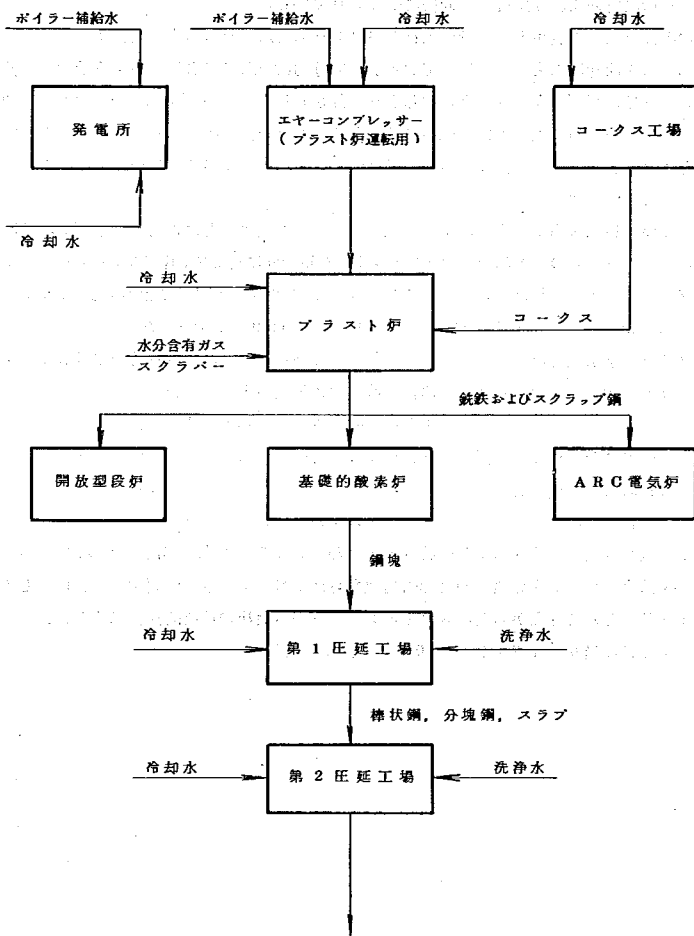


図-A.14 近代的製鉄所での一般的な水利用

ベツレヘム製鉄会社は下水処理場から最低100MGD(378,500m<sup>3</sup>/日)の処理水を受入れることを契約によって要求されている。

この都市下水の処理水に加えて、この工場は、550MGD(2,081,750m<sup>3</sup>/日)の海水混入の水を、他の飲料および非飲料水を同様に受け入れている。

将来の改良計画と再利用水の増量受入れをベツレヘム製鉄会社は考慮中である。プラスト炉は現在海水混入水を冷却用水として使用しているが、部分的に下水処理水に転換する予定である。新設のプラスト炉は、再利用水のみで冷却するよう設計されることになろう。会社は、処理水の再利用において、排出する以前に工場内で大規模に循環させることを計画中である。工場全体の排水は、衛生排水と工場排水に分離され、排出される以前にそれぞれの処理施設で処理されている。

### 1.1.5 経 済 性

下水処理場の運転規模からみて、ボルチモアにおける再利用のための処理の単価は非常に低い。製鉄会社は12.5MGD(47,310m<sup>3</sup>/日)の日平均増量分に対して、月当り500ドル(150,000円)を支払っている。これはMG当り1.33ドル(m<sup>3</sup>当り0.11円)に相当する。1972年における処理水販売による総収入は60,000ドル(18,000,000円)であった。

バックリバー下水処理場の1971-72年における運転ならびに維持管理費は $2.4 \times 10^6$ ドル( $720 \times 10^6$ 円)であった。この内訳はおおよそ次のとおりである。

- |               |                           |                           |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| ・ 労 務 費       | 1.7 × 10 <sup>6</sup> ドル  | (510 × 10 <sup>6</sup> 円) |
| ・ 契約業務のための支払費 | 0.25 × 10 <sup>6</sup> ドル | (75 × 10 <sup>6</sup> 円)  |
| ・ 材料および供給品費   | 0.33 × 10 <sup>6</sup> ドル | (99 × 10 <sup>6</sup> 円)  |
| ・ 機械器具交換費     | 0.15 × 10 <sup>6</sup> ドル | (45 × 10 <sup>6</sup> 円)  |

下水処理量MG当りの運転および維持管理費はわずか37ドル(m<sup>3</sup>当り2.93円)である。ベツレヘム製鉄会社が、下水処理水の付加的処理ならびに処理水の輸送に要する経費についてのデータを入手することはできなかった。SCSエンジニアーズ会社の技術的推測によると、それは内輪に見積って、MG当り11ドル(m<sup>3</sup>当り0.87円)である。

## 12. ネバタ州ラスベガス

### 12.1 序 論

ラスベガス市とクラーク郡広域下水道組合は、それぞれネバタ州ラスベガスの都市下水のための二次処理施設を運転している。各下水処理場の処理水は、冷却塔補給水、および農地とゴルフコースの灌漑に再利用している。

処理水は高濃度のTDSを含有しているほかは、平均的な水質を有する。ネバタ発電会社はその火力発電所の2ヶ所について、冷却塔での再利用を行う前に三次処理を行なっている。

### 12.2 都市下水の処理

ラスベガス市の都市下水処理場のフローダイアグラムは図-A.15に示すとおりである。平均27MGD(102,200m<sup>3</sup>/日)の生下水は、最初沈殿池に流入する以前に、スクリーンと沈砂池を通る。二次処理施設は、直径180フィート(54.9m)の散水汙床3池から成り、汙材の厚さは4フィート(1.2m)である。最終沈殿は長方形で、その規模は184フィート×34フィート×8フィート(66.1m×10.4×2.4m)である。最終沈殿池は散水汙床に対して循環比2:1で処理水を供給しており、その水面積負荷は800gpd/sq.ft(32.8m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。

40分間の塩素処理後、処理水はネバタ発電会社サンライズ発電所の冷却水用貯水池とラスベガス沼沢地へ送水される。下水処理水を利用している3ヶ所の農地へは、塩素接触タンクから直接に送水されている。年間平均して23MGD(87,060m<sup>3</sup>/日)はこの沼沢地に排出されており、3MGD(11,360m<sup>3</sup>/日)は農地で用いられ、1MGD(3,790m<sup>3</sup>/日)が火力発電所で用いられている。表-A.16はラスベガス狭谷で再利用されている下水処理水の水質を示したものである。

表-A.16 ラスベガス狭谷での平均下水処理水質

| 成 分 名 | 濃 度 (mg/l)  |            |
|-------|-------------|------------|
|       | ラスベガス市下水処理場 | クラーク郡下水処理場 |
| BOD   | 21          | 19         |
| SS    | 18          | 22         |
| 塩素イオン | 295         | 330        |
| TDS   | 985         | 1,550      |
| PH    | 7.6         | 7.6        |

クラーク郡の下水処理施設は、図-A.16に示してあるようにラスベガス市の下水処理施設と非常に類似している。平均12.5MGD(47,310m<sup>3</sup>/日)の流入下水が、スクリーンを通過後に、4池からなる最初沈殿池に流入する。この最初沈殿池1池の規模は220フィート×18フィート×8.5フィート(67.1m×5.5m×2.6m)であり、沈殿時間は2時間、水面積負荷は950gpd/sq.ft(38.95m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。2池の高速散水汙床は直径175フィート(53.4m)汙材の深度は4フィート(1.2m)である。返送水比は1.5:1でBOD負荷は100立方フィート当たり60ポンド(9.6Kg/m<sup>3</sup>)である。2池から成る最終沈殿池は散水汙床流出水を2時間にわたって沈殿させ、その水面積負荷は760gpd/sq.ft(31.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日)である。

最終処理施設は20分間滞留の塩素接触地であり、その流出水は再利用のための容量5MG

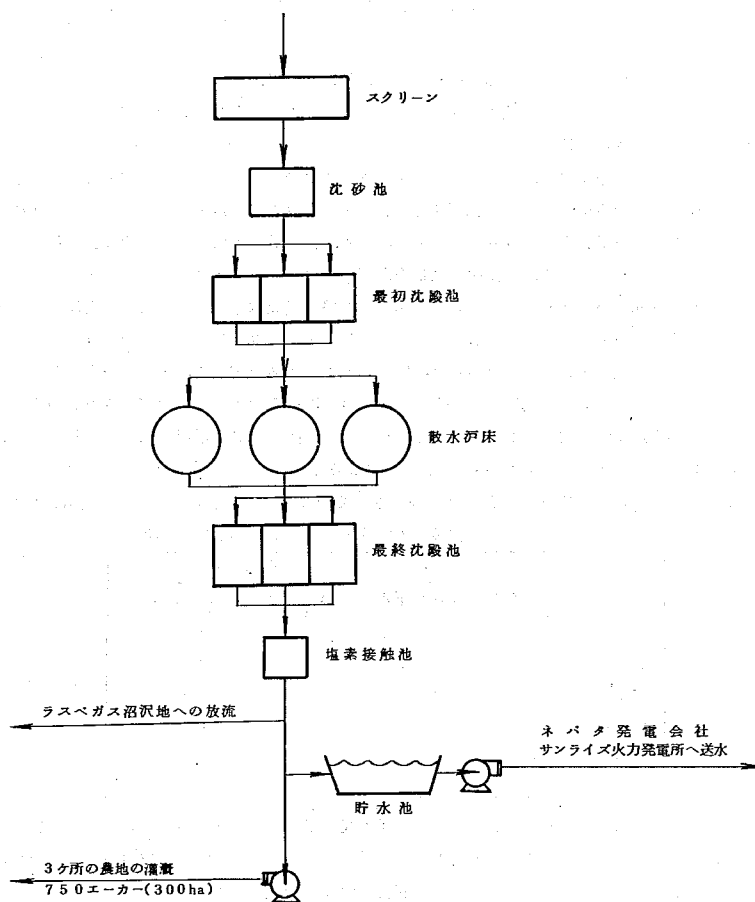


図-A.15 ネバダ州ラスベガスの都市下水処理施設

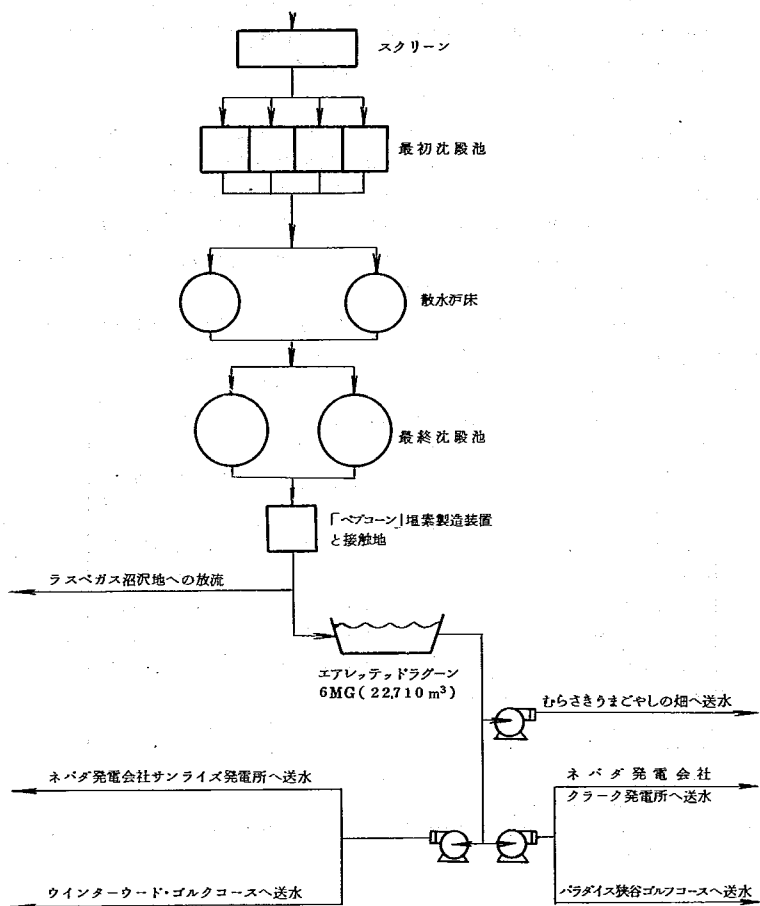


図-A.16 ネバダ州ラスベガスのクラーク郡下水処理施設

(22,710 $\text{m}^3$ )のアスファルト舗装の貯水池に流入する。その流出水は、ネバタ発電会社のサンライズおよびクラーク火力発電所、2ヶ所のゴルフコースおよびむらさきうまごやしの畑にポンプ送水されている。これらの利用者への最大輸送距離は1.5マイル(2.4km)である。平均的な処理水の水質は表-A.16に示すとおりであり、この処理水のうちの8.3MGD(31,420 $\text{m}^3$ /日)がラスベガス沼沢地へ放流され、3MGD(11,360 $\text{m}^3$ /日)が灌漑用に利用され、1MGD(3,790 $\text{m}^3$ /日)が火力発電所の冷却塔補給水として使用されている。

### 1 2.3 再利用方法

ラスベガス市およびクラーク郡広域下水道組合の双方の下水処理水は、ネバタ発電会社の火力発電所の冷却用補給水の35%をまかなっている。火力発電所における三次処理は、塩素処理、冷石灰処理およびラグーンによる処理より成っている。火力発電所の報告による問題点は、郡の所有するエアレットド・ラグーン内での時々生ずる藻類の異状発生と火力発電所に到着した処理水が嫌気性状態になることである。浮上型エアレータをクラーク郡下水処理施設に続くラグーン内に設置して、最終処理水中の溶存酸素レベルをより高く保つことにより解決することとした。

2ヶ所のゴルフコースの灌漑による再利用では、臭気の発生、処理水中のTDS濃度が高いことによる土壌中の塩類蓄積などの問題が生じている。表-A.17はラスベガス地区の都市下水再利用の状況をまとめたものである。

表-A.17 ラスベガス狭谷での再利用水量のまとめ

| 事 項                | 再利用水量(MGD)    |               |
|--------------------|---------------|---------------|
|                    | ラスベガス市下水処理場   | クラーク郡下水処理場    |
| 総処理水量の平均           | 27.0 [10,220] | 12.5 [47,310] |
| 再利用水量の平均           | 3.8 [14,380]  | 4.3 [16,280]  |
| 再利用水量の最大           | 6.5 [24,600]  | 5.0 [18,930]  |
| 再利用水量の最小           | 1.0 [3,790]   | 1.3 [4,920]   |
| 火力発電所での再利用水量の平均    | 1.0 [3,790]   | 1.3 [4,920]   |
| 農地での再利用水量の平均*      | 2.8 [10,600]  | 1.0 [3,790]   |
| ゴルフコースでの再利用水量の平均** | -             | 2.0 [7,570]   |
| 表流水への流出量の平均        | 23.2 [87,810] | 8.2 [31,040]  |

(注)

( )内は $\text{m}^3$ /日を示す。

\* 夏期には8MGD(30,280 $\text{m}^3$ /日)、冬期には1MGD(3,790 $\text{m}^3$ /日)の範囲にある。

\*\* 推定量。夏期使用量は冬期使用量のおよそ2倍である。

### 1 2.4 経 済 性

表-A.18には、ネバタ発電会社の下水処理水再利用に関するデータをまとめている。ネバタ発電会社への処理水のコストは、MG当たり15ドル( $\text{m}^3$ 当たり1.89円)と、それに加えてポンプおよび輸送管建設の償却のコストである。後記の分のコストは、それぞれMG当たり20ドル( $\text{m}^3$ 当たり1.58円)および、MG当たり30ドル( $\text{m}^3$ 当たり2.38円)であり、処理水を火力発電所まで輸送するために、処理水のコストは上昇する。

輸送された処理水は、さらに冷却塔補給水とする以前に付加的な処理として、沈殿と栄養塩類除去が行われている。火力発電所での三次処理は、その施設の償却も含めて、MG 当り約 200 ドル (m<sup>3</sup> 当り約 15.85 円) であると見積られている。

表-A.18 ネバタ州ラスベガス発電会社での下水処理水再利用のまとめ

| 事 項                  | 火 力 発 電 所                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                      | クラーク発電所                        | サンライズ発電所                       |
| 現有発電能力 (Kw)          | 130,000                        | 85,000                         |
| 再 利 用 目 的            | 冷 却 塔                          | 冷 却 塔                          |
| 処理水の取得先              | クラーク郡下水処理場                     | ラスベガス市下水処理場                    |
| 補完しうる他の水源            | な し                            | クラーク郡下水処理場                     |
| 平均使用水量 (MGD)         | 1.3 (4.920) <sup>+</sup>       | 1.0 (3.790) <sup>+</sup>       |
| 処理水のコスト (\$/MG) *    | 30 (2.37) <sup>++</sup>        | 20 (1.58) <sup>++</sup>        |
| 火力発電所の処理施設の建設費(\$)** | 400,000 (120×10 <sup>6</sup> ) | 400,000 (120×10 <sup>6</sup> ) |
| 化学薬品費 (\$/day) ***   | 75 (22.5×10 <sup>3</sup> )     | 50 (15.0×10 <sup>3</sup> )     |
| 労務費 (\$/day)         | 48 (14.4×10 <sup>3</sup> )     | 48 (14.4×10 <sup>3</sup> )     |
| 他の費用 (\$/day)        | 5 (1.5×10 <sup>3</sup> )       | 5 (1.5×10 <sup>3</sup> )       |
| 全費用 (\$/day) ****    | 223 (66.9×10 <sup>3</sup> )    | 195 (58.5×10 <sup>3</sup> )    |

(註)

\* 貯水池および下水処理場 — 火力発電所間の輸送施設の建設費の償却を含む。建設費償却の少ない処理水の料金は、両発電所ともに MG 当り 15 ドル (m<sup>3</sup> 当り 1.19 円) である。

\*\* SCS エンジニアーズ会社の推定。

\*\*\* サンライズ火力発電所の方は処理水質がより清浄なために少なくてすんでいる。

\*\*\*\* 処理施設の償却 (5.5% の利子, 25 年の耐用年数を平均使用水量 × 365 日で割ったもの) を含む。

( ) 内の説明

+ は MGD の m<sup>3</sup> / 日換算値を示す。

++ は \$/MG の円/m<sup>3</sup> 換算値

その他 は \$/day の円/日換算値

(ただし, 1 ドル 300 円で計算)

### 13. テキサス州アマリコ

#### 13.1 序 論

テキサス州アマリコ市では、都市下水を処理して、その処理水を南西部公共サービス会社とテキサコ石油会社に冷却用補給水として供給している。同市では、処理水をこのほかに、約2,300 エーカー（920 ha）の作物用農場に供給している。そのリバーロード下水処理場は、その全量を工業用として再利用している本章では唯一の下水処理場である。灌漑用の再利用は、同じアマリコ市のハリウッドロード下水処理場の処理水について行なっている。

下水処理水の利用は、テキサコ石油会社および南西部公共サービス社の双方にとって、工場操業の核心となるべき部分である。

都市側および工場側ともに経済的な節約につながることは別としても、下水処理水再利用を中断することは南西部公共サービス会社の火力発電所の運転を完全に停止させることになってしまう。作物用農場2,500 エーカー（1,000 ha）に対する灌漑が均衡のとれたものとなったとき、処理水の再利用はコミュニティにとって明らかにその活力の根源となる。

#### 13.2 都市下水の処理

リバーロード下水処理場の活性汚泥処理施設は、流入下水量が10MGD（37,850 m<sup>3</sup>/日）で運転されている。この流入下水量のうちの7%は、食肉加工業、洗濯業、食品業からの工場排水である。下水処理場の流入下水中のBOD負荷の29%はこれら工業排水によって占められているが、下水処理場の運転あるいはその浄化効率に対して、何んら障害となる影響は生じていない。

一次処理はスクリーン、沈砂池、重力式の最初沈殿池と、それに続くエアレーションタンクへの流入下水量を安定化する3.7MG（14,000 m<sup>3</sup>）の平均化用ラグーンから成る。二次処理は滞留時間4時間のスパイラルフロー型標準活性汚泥法のエアレーションタンクで、MLSS濃度2,000 mg/l、汚泥返送化40%、空気供給量1.8 cu·ft/gal（13.5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>）である。最終沈殿池は水面積負荷600 gpd/sq·ft（24.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>）である。処理水は塩素処理された後、1.8MG（68,130 m<sup>3</sup>）の貯水池に入る。

汚泥処理は汚泥濃縮タンクと標準形嫌気性消化タンクから成る。

図-A.17 は処理施設のフローダイアグラムを示したものである。

リバーロード下水処理場の一般的な処理水の水質を、市営の井戸水の水質、湖水の水質と比較して示したのが表-A.19である。下水処理水の水質は再利用している工場との契約の水質の範囲内にあり、これも表-A.19に示してある。

活性汚泥処理の問題点は、糸状菌の発生と生下水中に含有する高い油脂含有量にあったが、工場排水の下水道への流入について厳格な規則を設けたことにより、かなり改善された。冬期において、スラッジ・バルキングが長時間継続された問題は、特別の生物抑制剤として、濃縮した過酸化水素水を最終沈殿池に投入することにより解決されてきた。現在、凝集と沈殿効果を高めるために、アラムを注入することを考慮している。

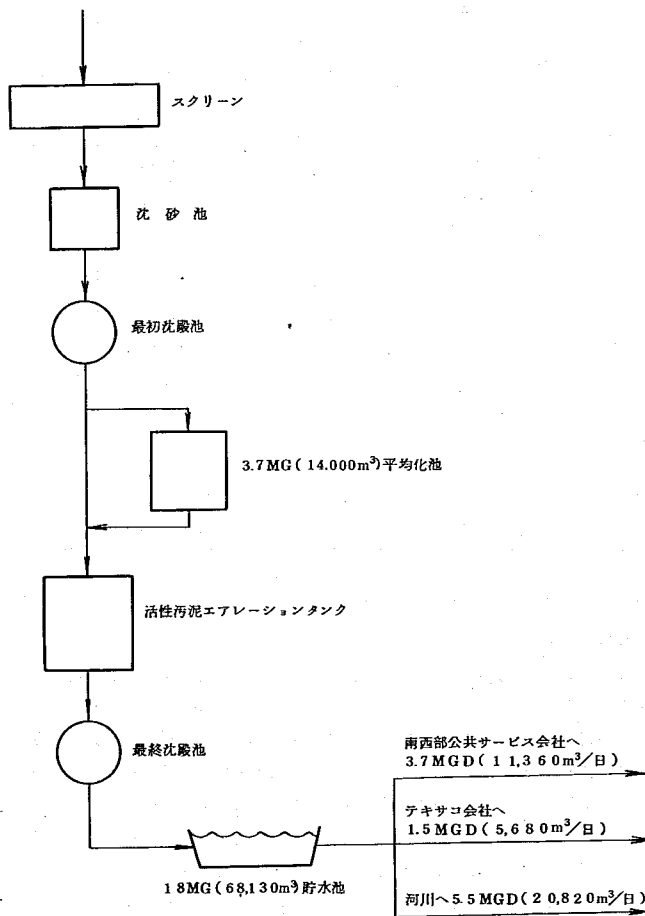


図-A.17 テキサス州アマリロのリバーロード下水処理場

表 - A.19 テキサス州アマリロの各種平均水質の比較

| 成 分 名<br>(mg/l) | 水 源   |      |                    |                    |
|-----------------|-------|------|--------------------|--------------------|
|                 | 井 戸 水 | 湖 水  | 都 市 下 水 の<br>処 理 水 | 工場との契約に<br>よる 制限 値 |
| カルシウム           | 40    | 58   | 61                 |                    |
| マグネシウム          | 26    | 23   | 24                 |                    |
| ナトリウム           | 34    | 210  | 300                |                    |
| 鉄               | 0     | 0    |                    |                    |
| 全アルカリ度          | 230   | 162  | 287                |                    |
| 硬 度             | 210   | 240  | 253                |                    |
| 硅 酸             | 56    | 3    | 10                 |                    |
| アンモニア性窒素        | 0     | 0.43 | 24                 |                    |
| 硝酸性窒素           | 1     | 0.6  | 4                  |                    |
| リン酸塩            | 0     | 0.02 | 20                 |                    |
| 塩 化 物           | 11    | 225  | 300                |                    |
| 硫 酸 塩           | 28    | 225  | 280                |                    |
| TDS             | 360   | 950  | 1,400              | 1,400              |
| SS              | 0     | 0    | 15                 | 25                 |
| BOD             | 0     | 0    | 15                 | 25                 |
| COD             | 0     | 0    |                    |                    |
| 残留塩素            | 0.2   | 0.6  | 0.6                | 0.1                |
| pH              | 7.0   | 7.8  | 7.7                | 6.8-9.0            |

(註)

pHを除く全分析データはイオンとして表わされている。

## 1 3.3 利用者側での処理

電力供給者である南西部公共サービス会社は、アマリロにあるニコルス発電所において1961年以来、下水処理水を受入れて処理し、使用してきた。処理水の所要量は1.5ないし5MGD(5,580ないし18,930m<sup>3</sup>/日)の間で変化する。これで485Kwの火力発電所の処理施設の最大処理能力は13.7MGD(51,850m<sup>3</sup>/日)で、冷却塔補給水として使用する以前に、冷石灰処理、pH調整、貯留、塩素処理を行ってきた。図-A.18には、この処理施設のフローダイアグラムを図示してある。4池の石灰処理池のうちの2池が、現在用いられており、その使用薬品量は1,000ガロン(3.79m<sup>3</sup>)の処理に対して、石灰2.5-3.0ポンド(1.13-1.35Kg)とアラム0.25ポンド(0.11Kg)である。これによって、リン酸塩は2.0mg/l以下までに除去され、シリカも本格的な除去が得られ、オルトリン酸塩と硅酸塩のスケール発生も防止されている。冷水石灰軟化装置からの処理水は、pH10.0-10.5、水酸基によるアルカリ度は50-100mg/lで、非常に不安定である。この状態では、その処理水は炭酸カルシウムのスケールを急速に生長させることになる。このためpH9.2以下にするために酸が加えられ、後凝集とスケール防止が行なわれている。貯水池は3MG(11,360m<sup>3</sup>)の2池から成るラグーンである。

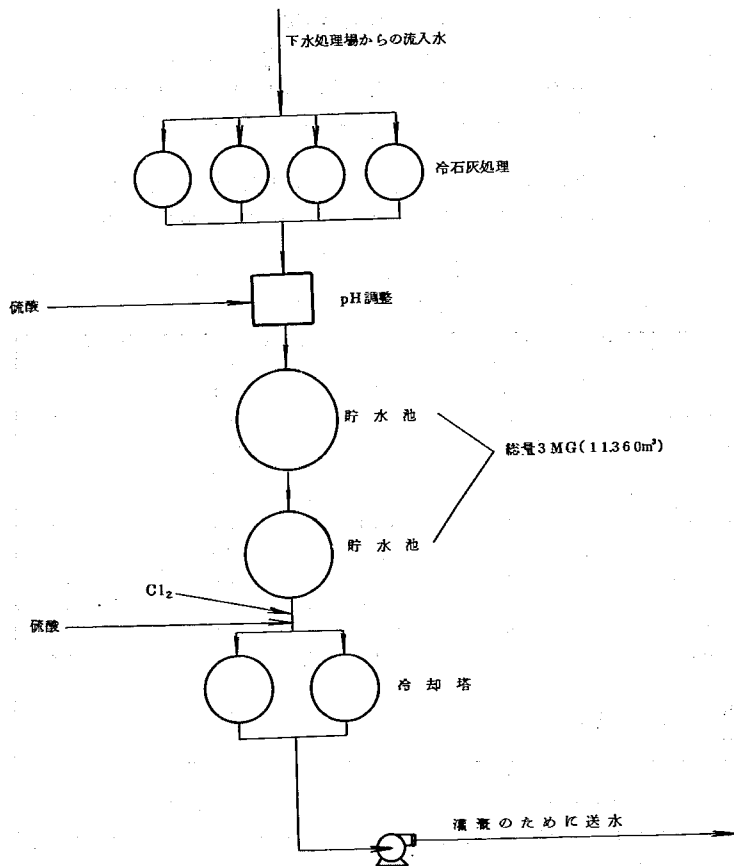


図-A.18 テキサス州アマリの南西部公共サービス会社再利用処理施設

熱交換器とパイプの微生物の付着によるよごれとスケール発生の問題は、多量の塩素添加と pH 7.0 までの調整によってその影響を最小限にとどめている。塩素処理は、コンデンサーチューブに穴をあけるというような冷却システム内での腐蝕を生ずる。また塩素処理を行なっている間の pH 制御に困難をきたすことになる。高濃度の塩素処理を行なっても、コンデンサーチューブの内部でスライムの発生が認められている。このため、コンデンサーチューブ内にスポンジゴムボールを循環させる「アマータップ・システム」が、ニコルス火力発電所の3台のコンデンサーのうちの1台に取付けられ、これによって清浄係数は85-95%に維持されている。この「アマータップ・システム」の設置は、塩素処理の必要性を取り除くことが期待されている。冷却塔からの排水は、むらさきうまごやし、小麦、とうもろこしおよび高い塩類濃度耐性草類の灌漑用として使用されている。

南西部公共サービス会社の処理施設によって得られている一般的な処理水質を示したのが表-A.20 であり、この表には、アマリロの淡水水質、下水処理水質、冷却塔内の水質についても合せて記載してある。

表-A.20 テキサス州アマリロの南西部公共サービス  
会社での再利用水の平均水質

| 成分名<br>(mg/l) | アマリロの<br>淡水水源 | 都市下水の<br>処理水 | 冷却<br>補給<br>塔水 | 冷却<br>内の<br>塔水 |
|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| カルシウム         | 68            | 74           | 72             | 376            |
| マグネシウム        | 29            | 36           | 10             | 51             |
| ナトリウム         | 111           | 134          | 134            | 689            |
| カリウム          | 3             | 8            | 8              | 39             |
| アンモニウムイオン     | 0             | 12           | 12             | 1              |
| 重炭酸イオン        | 104           | 134          | 24             | 20             |
| 炭酸イオン         | 0             | 0            | 36             | 0              |
| 硫酸イオン         | 254           | 281          | 336            | 1,728          |
| 塩素イオン         | 60            | 78           | 78             | 388            |
| 硝酸イオン         | 0             | 3            | 2              | 90             |
| リン酸イオン        | 0             | 48           | 2              | 10             |
| 珪酸イオン         | 5             | 17           | 6              | 30             |
| pH            | 8.1           | 7.3          | 9.2            | 7.0            |
| BOD           | 0             | 15           | 2              | 6              |

(註) 分析結果はカチオンおよびアニオンのバランスの計算結果を用いて補正した。

テキサコ会社における再利用水の処理は、リン酸塩および珪酸塩除去のための冷石灰処理および軟化と浮遊物除去より成る。再利用水は冷石灰処理され、その後、微生物による障害防止のために、冷却塔循環水に塩素処理を行なった後、直接、冷却塔に補給される。貯水池は、合せて6.5 MG (24,600m<sup>3</sup>) であり、これは緊急用のみに用いられており、処理施設への通常の流入は、この貯水池を通らずに行なわれている。

テキサコ会社の処理施設のフローダイアグラムを図-A.19に示す。この処理施設によって処理された再利用水の一般的な水質は表-A.21に示すとおりである。

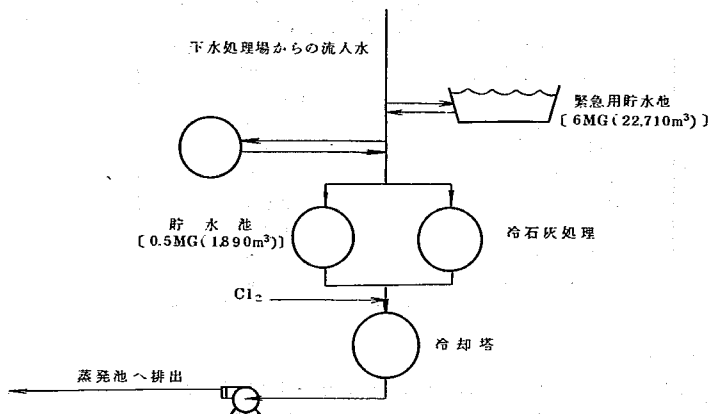


図-A.19 テキサス州アマリオのテキサコ石油精製会社再利用処理施設

#### 1.3.4 再利用方法

リバーロード下水処理場で処理された10MGD(37,850m³)の下水のうち、平均3MGD(11,350m³/日)は南西部公共サービス会社で、また1.5MGD(5,680m³/日)はテキサコ会社で購入されている。残りの5.5MGD(20,820m³/日)は河川に放流されているが、この処理水は、テキサス州が定めている排水基準 BOD 20 mg/l, SS 20 mg/l に適合しなければならない。1975年には、南西部公共サービス会社が火力発電所の拡張を計画しており、再利用水の使用量が増加することから、リバーロード下水処理場の全処理水は実質的に工業用として再利用されることが期待されている。

アマリオのテキサコ石油精製工場もまた、リバーロード下水処理場の処理水を冷却用水として再利用している。この1日20,000バレルの石油精製工場は、下水処理水1.5MGD(5,680m³/日)を処理したうえで、再利用しており、この量は冷却用水の全要求量を満足している。最近、再利用水は低圧ボイラー用水としては用いられていない。以前は、井戸水の供給量が不十分であったために、ボイラー補給水として再利用水が100多回用いられていた。

テキサコ会社の石油精製工場が下水処理水を再利用する際に直面している主たる問題は以下のとおりである。

ⅰ) 下水処理水に含有する栄養塩類による細菌類および藻類の生長を抑制するための殺菌剤および殺藻剤使用量の増加

ⅱ) 熱交換器の軟質の沈殿物が発生し、それが沈積する傾向のあること。

再利用水をボイラー補給水として用いたときに生ずる他の問題は、有機物の分解によってアンモニアの発生によって銅の部分が腐蝕されることである。高いTDS濃度(1,300mg/l)、発泡、およびスケール発生の問題は、工場内でさらに処理した下水処理水のボイラー内での使用を思いとどめさせる結果となっている。

表-A.21 テキサス州アマリロのテキサコ石油製精  
工場での再利用水の平均水質

| 成 分 名   | 濃 度 (mg/l) |
|---------|------------|
| TDS     | 1,100      |
| リン酸イオン  | 5          |
| 珪酸イオン   | 34         |
| 硫酸イオン   | 220        |
| 塩素イオン   | 207        |
| 一時硬度    | 130        |
| 全硬度     | 225        |
| M-アルカリ度 | 270        |

### 1.3.5 経 済 性

南西部公共サービス会社のケースでは、下水処理水を再利用する経済的決定因子は、それが直接的に低いコストであるというよりは、長期間の有益性、長期間のコスト、全施設の投下資本を基礎としている。

下水処理水の再利用を考慮する主たる理由の1つは、その利用価値にある。発電量を増加させるために、下水処理水の再利用必要量も増加させる必要がある。その必要性から追加される発電能力と、冷却水の所要量とは当然のことながら平衡関係が保たれている。

工業用冷却用水に使用する下水処理水の長期間のコストは、より価値のある淡水のコストに近ずいていく。工場内でさらに処理した下水処理水を使用することは、良好な水質の淡水を保存することに役立つことになる。

現在の市営上水道のコストは、およそ1,000ガロン当り19セント(㎡当り15.06円)である。しかし、このコストは、テキサコ会社と南西部公共サービス社が、市営上水道の使用を好み、下水処理水の再利用を放棄するならば、たちまちに上昇することになるであろう。それは、工業用水所要ピーク流量7.8MGD(29,520㎡/日)が上水道の給水量に加えられることによって市は無理に井戸の位置を探し、新しい井戸掘りを行わなければならないからである。

アマリロにおける2工場の工業用再利用のコストのデータは表-A.22に示すとおりである。

表-A.22 テキサス州アマリロの下水処理水再利用  
についての報告されているコスト

| 項 目                        | コ ス ト ( \$ / M G )         |                              |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                            | 南 西 部 公 共<br>サービ ス 会 社     | テ キ サ コ 会 社                  |
| 下水処理水の入手コスト <sup>(1)</sup> | 80 [ 6.34 ]                | 90 [ 7.13 ]                  |
| 工場内処理施設運営費                 |                            |                              |
| 一 労務費                      | 20 [ 1.59 ]                | 8 [ 0.63 ]                   |
| 一 運転費                      | ( 労務費に含まれる )               | 12 [ 0.95 ]                  |
| 一 供給品費                     | 59 [ 4.68 ]                | 25 [ 1.98 ]                  |
| 維持管理費                      | 13 [ 1.03 ]                | 12 [ 0.95 ]                  |
| 建設費の償却費                    | 68 <sup>(2)</sup> [ 5.39 ] | 137 <sup>(3)</sup> [ 10.86 ] |
| 計                          | 240 [ 19.02 ]              | 284 [ 22.51 ]                |

(註)

(1) 2工場間のコストの相違は、供給水量によって単価が異なるためである。

(2) SCSエンジニアーズ会社の推算。

(3) テキサコ会社の建設費償却は下記を基礎とした。

工場内処理施設 \$ 1 3 2,4 0 0 ( 3 9,7 2 0,0 0 0 円 ) 償却年数 20 年

利率 6 % = \$ 4 0 / M G / y r . ( 3.1 7 円 / m<sup>3</sup>・年 ) および市営下水処理場建設に

対する寄附と下水処理水輸送費 \$ 9 6 4,0 0 0 ( 2 8 9,2 0 0,0 0 0 円 ) , 償却年数

30 年, 利率 3 1/2 % = \$ 9 7 / M G / 年 ( 7.6 9 円 / m<sup>3</sup>・年 )

( ) 内は m<sup>3</sup> 当り円を表わす。ただし, 1 ドル 3 0 0 円の計算。

## 14. テキサス州ビッグスプリング

### 14.1 序 論

テキサス州ビッグスプリングのコスデン石油および化学会社は、1943年以来、ビッグスプリング下水処理場の処理水を再利用してきた。現在、コスデン社は、下水処理水をさらに工場内で処理することにより、それを低圧ボイラーの補給水として使用している。この大規模石油化学会社は、このボイラーから発生した蒸気を、非常に多種の目的に使用している。

### 14.2 都市下水の処理

図-A.20には、処理能力0.5MGD(1890m<sup>3</sup>/日)のビッグスプリング下水処理場のフローダイヤグラムを示す。生下水には工場排水は含まれていない。この下水処理場は1943年に建設されたもので、活性汚泥の返送なしに2段のエアレーションを行なう時代おくれのヘイズ・エアレーション法を採用している。

ヘイズ・エアレーション法による施設には、スクリーン、最初沈殿池、中間沈殿池、第一段および第二段のエアレーションタンク、最終沈殿池、嫌気性汚泥消化タンク、1MG(379m<sup>3</sup>)の容積の貯水池などが含まれている。一般的な処理水質は、BOD-35mg/l、SS-10mg/l、TDS-960mg/l、pH-7.0および硬度250mg/lである。

図-A.20に示したヘイズ・エアレーション法による施設の近くに、市は処理能力2.3MGD(8710m<sup>3</sup>/日)の散水汙床による処理場を運転している。この下水処理場はビッグスプリング市の別の地区の生下水を受入れている。下水管への地下水の浸透により、この生下水には塩化物が1000mg/l以上含まれており、このため、その処理水はコスデン会社での再利用に不適当なものとなっている。

現在の下水管系統の改良は、下水管への浸透量を大巾に減らすべく工事が実施されている。もし、この生下水中の塩化物の大巾な減少に成功すれば、市営の散水汙床による処理場の処理水質が改良され、コスデン会社で再利用される可能性がでてくる。しかしながら、コスデン会社の技術者の言によれば、この処理水は残留有機物による腐蝕性が強く、殺藻剤や腐蝕防止剤のコストが高つくため、冷却用水として将来使用できる可能性は疑わしいとのことである。

### 14.3 利用者側での処理

コスデン石油および化学会社における処理は、175psig(12.3kg/cm<sup>2</sup>)のボイラーに使用するために、熱石灰軟化処理、アンスサイトによるろ過、熱ゼオライト軟化処理および脱酸素処理が含まれている。図-A.21には、コスデン会社の処理施設のフローダイヤグラムを示してある。表-A.23には、下水処理場からの処理水、熱石灰軟化およびゼオライトによる軟化処理後の一般的な水質を示してある。

### 14.4 再利用方法

コスデン石油および化学会社は、年間12×10<sup>6</sup>バレルの原油を処理している。ビッグスプリング市の下水処理水の0.5MGD(1890m<sup>3</sup>/日)の供給水量は、コスデンの全水使用量の25%に相当する。残りはトーマス湖から送られてきており、これは主として冷却用水として使用されている。表-A.24には、コスデン石油および化学会社における長年月にわたる下水処理水から発生した蒸気の種々の用途について示してある。

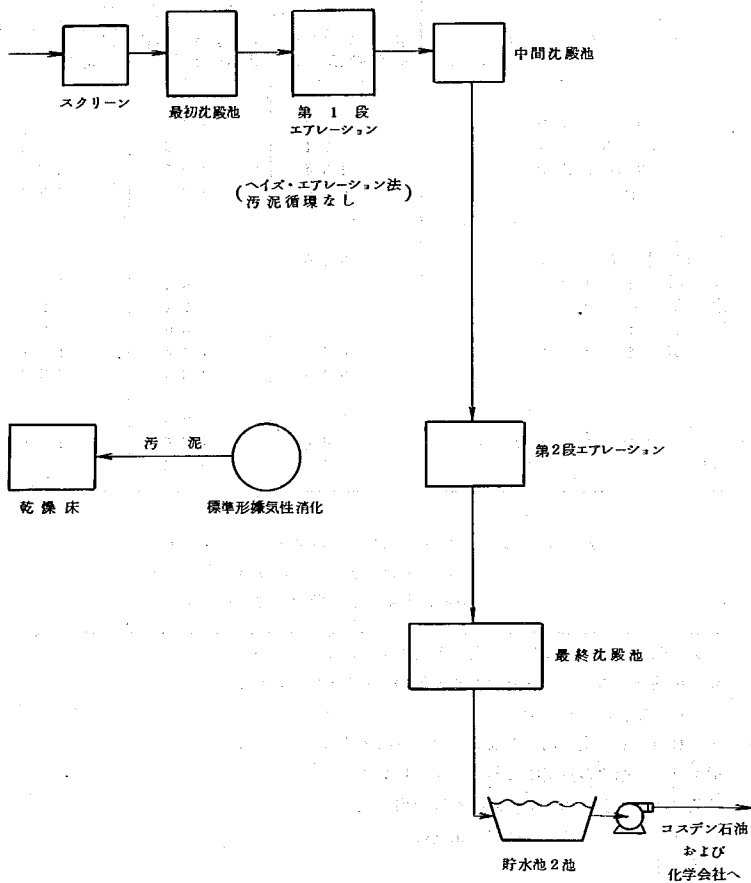


図-A.20 テキサス州ビックスプリングの都市下水処理施設

表-A.23 テキサス州ビッグスプリングのコスデン  
石油および化学会社の再利用のための工  
場内処理各段階での処理水の平均水質

| 成 分 名<br>(mg/l) | 処 理 の 段 階           |                        |                   |
|-----------------|---------------------|------------------------|-------------------|
|                 | 下 水 処 理 場<br>からの処理水 | 熱 石 灰 軟 化<br>装 置 処 理 水 | 熱ゼオライト<br>軟化装置処理水 |
| カチオン            |                     |                        |                   |
| カルシウムイオン        | 50                  | 20                     | 0-1               |
| マグネシウムイオン       | 84                  | 8                      | 0-1               |
| ナトリウムイオン        | 494                 | 405                    | 431               |
| 計               | 636                 | 433                    | 433               |
| アニオン            |                     |                        |                   |
| 重炭酸イオン          | 386                 | -                      | -                 |
| 炭酸イオン           | -                   | 164                    | 164               |
| 水酸イオン           | -                   | 22                     | 22                |
| 硫酸イオン           | 70                  | 100                    | 100               |
| 塩素イオン           | 180                 | 147                    | 147               |
| 計               | 636                 | 433                    | 433               |
| 総硬度             | 142                 | 28                     | 0-2               |
| メチルオレンジアルカリ度    | 386                 | 186                    | 186               |
| pH              | 7.3                 | 9.95                   | -                 |

表-A.24 テキサス州ビッグスプリングのコスデン  
石油および化学会社における下水処理水  
から発生した蒸気の一般的な利用先

- ・ 大気圧原油蒸留における途中引抜き流の蒸気によるストリップング
- ・ ガス状油とアスファルトとの瞬間分離のための真空射出の必要性
- ・ FCC分留側の流れの蒸気によるストリップング
- ・ FCC触媒（発生と消費の双方）の蒸気によるストリップング
- ・ ボイラー供給水の蒸気によるストリップング
- ・ 触媒の蒸気-空気による粘着物の流れ出し
  - コバルト・モリブデン型水素化反応
  - 活性炭
  - パラジウム
- ・ 炉内チューブの蒸気-空気による粘着物の流れ出し
- ・ 燃料油の原子化
- ・ エチルベンゼン脱水化反応における希釈
- ・ スチレンモノマー蒸留における真空を作り出すために必要な蒸気
- ・ 管状熱交換器の加熱工程における蒸気流

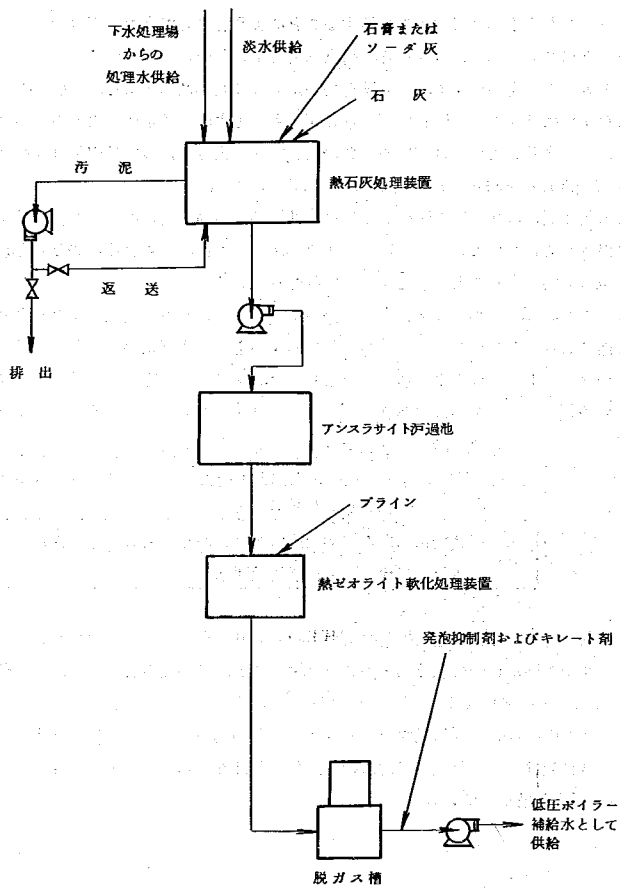


図-A.21 テキサス州ビッグスプリングのコステン石油および化学会社の再利用処理施設

現在、下水処理水は175 psig(12.3Kg/cm<sup>2</sup>)のボイラーのみに用いられている。これらのボイラーからの凝縮水は、600 psig(42Kg/cm<sup>2</sup>)の高圧ボイラーのために、高度の水質の補給水として供給している。

いろいろな処理を行なって使用する際のアミン、水酸化物、およびアンモニアの溶解に関しては、多年月にわたり水蒸気凝縮水を補給することにより解決してきた。下水処理水を用いて蒸気を発生することに関しては、注目すべき問題は生じていない。

ポリガソリンを生産する際の触媒を用いた重合装置へ供給するC<sub>3</sub>およびC<sub>4</sub>オレフィンには、触媒の寿命またはガソリンの性質に何んらの変化も与えずに、下水処理水から発生させた蒸気凝縮水によつて飽和にすることができている。この工程は固定化され、多床性固体リン酸型(Multibed solid phosphoric acid type)と呼ばれている。

この数年間、塩化物は水性硫黄化装置の供給処理水熱交換器から、蒸気凝縮水を用いて連続的に洗い出されてきた。この蒸気凝縮水による洗浄がなければ、熱交換器の下水処理水供給側のチューブは急速に閉塞されてしまうことが見いだされている。

表-A.25は、工程内で使用されている下水処理水の利用先を表にまとめたものである。塩洞貯蔵室内におけるLPG製造の底部開孔部分の圧力を維持するために、藻類の繁殖による問題は生じていない。下水処理水中に硝酸性窒素およびアンモニアの存在する結果として、LPG製造工程において銅ストリップ腐蝕テストをパスさせなければならないという問題はある。

表-A.25 テキサス州ビッグスプリングのコスデン石油および  
化学会社の下水処理水を再処理してのプロセス用水  
としての再利用先

- |                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・ 軽質炭化水素の塩洞貯蔵室のための底部開孔部分の維持</li><li>・ 原油脱塩処理のために必要な用水</li></ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|

下水処理水は、原油の電気的脱塩処理に用いられてきた。しかしながら、処理水を用いると、原油の予熱交換器が極めて急速によごれるということが見いだされている。この問題は200-250 °F(73.3-101.1 °C)に水を加熱することにより解決された。

表-A.26には、下水処理水とトーマス湖水との処理コストを比較したものである。SCSエンヤーズ会社は、下水処理場処理水の工場側における処理コストを、MG当り343ドル(m<sup>3</sup>当り27.19円)と推算している。

表-A.26 テキサス州ビッグスプリングのコスデン石油および  
化学会社のボイラー補給水の1967年のコスト

| 事 項                                                                           | 水 源                             |                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                                                               | 下 水 処 理 水                       | 湖よりの原水                          |
| 建 設 費                                                                         | \$300,000(90×10 <sup>6</sup> 円) | \$300,000(90×10 <sup>6</sup> 円) |
| 処 理 能 力                                                                       | 825 gpm (3.12m <sup>3</sup> /分) | 825 gpm (3.12m <sup>3</sup> /分) |
|                                                                               | \$/MG (円/1,000m <sup>3</sup> )  | \$/MG (円/1,000m <sup>3</sup> )  |
| 水の取得のためのコスト                                                                   | 0.045 ( 3.57 )                  | 0.185 ( 14.66 )                 |
| 薬 品 費 :                                                                       |                                 |                                 |
| 酸素除去剤 @\$ 100/ton ( 33,080円/トン)                                               | 0.0023 ( 0.22 )                 | 0.0029 ( 0.23 )                 |
| 石 灰 @\$ 20/ton ( 6,620円/トン)                                                   | 0.0444 ( 3.52 )                 | 0.0157 ( 1.24 )                 |
| 岩 塩 @\$ 8/ton ( 2,650円/トン)                                                    | 0.0040 ( 0.32 )                 | 0.0040 ( 0.32 )                 |
| 石 膏 @\$ 18/ton ( 5,950円/トン)                                                   | 0.0184 ( 1.46 )                 | -                               |
| 汚泥調整助剤@\$ 560/ton (185,230円/トン)                                               | 0.0785 ( 6.22 )                 | 0.0457 ( 3.62 )                 |
| アミン薄膜                                                                         | -                               | 0.0345 ( 2.73 )                 |
| 運 転 費 :                                                                       |                                 |                                 |
| 蒸 気 @\$ 030/1000 BTU(15psig)*<br>( 85.31円/1,000 JK(1.05Kg/cm <sup>2</sup> ) ) | 0.4000 ( 31.70 )                | 0.4000 ( 31.70 )                |
| 電 力 料                                                                         | 0.0005 ( 0.04 )                 | 0.0005 ( 0.04 )                 |
| 労 務 費                                                                         | 0.0671 ( 5.32 )                 | 0.0671 ( 5.32 )                 |
| 供 給 品 費                                                                       | 0.0134 ( 1.06 )                 | 0.0134 ( 1.06 )                 |
| 維持管理費                                                                         | 0.0150 ( 1.19 )                 | 0.0150 ( 1.19 )                 |
| 償 却 費**                                                                       | 0.0921 ( 7.30 )                 | 0.0921 ( 7.30 )                 |
| 設計水量に対する総コスト                                                                  | 0.7870 ( 62.38 )                | 0.8797 ( 69.73 )                |

(註)

\* この熱はボイラーの予熱として実際に利用されている。

\*\* 10年以上、年利6%として計算。

## 15. テキサス州デントン

### 15.1 序 言

デントン市では、1972年以来、下水処理場の放流水を市営火力発電所の冷却塔補給水として再利用してきた。その処理水は水質が大巾に変化する。その結果、1972年の夏には、火力発電所は大きな困難な問題に直面した。市の報告によれば、1973年春には、下水処理場の運転は大きく改善された。現在、処理水を冷却塔補給水として再利用することを考慮している他の都市は、このデントンの最初の経験から大きな利益を得ている。本報告書の読者は、「第3章 工業による再利用」の項から、下水処理場の処理水は、例えばBODおよびSSが $5-10\text{ mg/l}$ 以下、さらに、有機物、栄養塩類、浮遊物を冷却塔補給水として使用する以前に十分に除去するというような付加的な処理を行う必要があることに注目したと考える。

デントン市は、当初、過負荷運転されている下水処理場の二次処理水を用いて、付加的な処理を行わずに、冷却塔補給水とすることを計画した。しかしそれは成功しなかった。細菌の発生による熱交換器系統のひどい汚れが生じ、このため、発電効率が大巾に低下し、維持管理費が増加した。

### 15.2 都市下水の処理

同市の下水処理場は計画下水流量 $6\text{ MGD}$  ( $22,710\text{ m}^3/\text{日}$ )で設計されているが、最大流入量は $10\text{ MGD}$  ( $37,850\text{ m}^3/\text{日}$ )を越えている。既存処理施設は過負荷への限界にあることから、処理施設の増設を計画してきた。生下水には、わずかに1%の工場排水が含まれているのみであり、この排水の種類は缶詰工場から血液含有排水と鍍金工場からの重金属類含有排水である。

図-A22は、下水処理場と火力発電所の処理プロセスを図示したものである。流入生下水は、スクリーン、沈砂池および5池から成る直径58フィート ( $17.7\text{ m}$ )、深さ7フィート ( $2.1\text{ m}$ )の最初沈殿池を通過する。一次処理水は5池から成るエアレーションタンクに流入させるが、これらのエアレーションタンクは標準活性汚泥法、ステップエアレーション、またはそれに加えて活性汚泥の再エアレーションにも使用できるように設計されている。一池のエアレーションタンクの規模は、29フィート $\times$ 150フィート $\times$ 15フィート ( $8.8\text{ m}\times 45.8\text{ m}\times 4.6\text{ m}$ )であり、運転上のパラメータは次のとおりとなっている。

- ・ 滞留時間 4時間
- ・ MLSS  $2,500-3,000\text{ mg/l}$
- ・ 汚泥返送比 40-45%

3池より成る最終沈殿池は直径70フィート ( $21.4\text{ m}$ )深さ12フィート ( $3.7\text{ m}$ )で、水面積負荷 $520\text{ gpd/sg.ft}$  ( $20.8\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ )で設計されている。塩素接触池は、設計流量 $6\text{ MGD}$  ( $22,710\text{ m}^3/\text{日}$ )に対して、滞留時間20分である。

汚泥は嫌気性消化とジンプロにより処理されている。

最終沈殿池流出水のうちの $4.5\text{ MGD}$  ( $17,030\text{ m}^3/\text{日}$ )は、塩素接触池から、自然流下で附近の河川に放流されている。残りの $1.5\text{ MGD}$  ( $5,680\text{ m}^3/\text{日}$ )は径18インチ ( $45.7\text{ cm}$ )の鋼管で2マイル ( $3.2\text{ km}$ )をポンプ圧送され、火力発電所の近くにある容量 $10\text{ MG}$  ( $37,850\text{ m}^3$ )の素堀りの貯水池に流入される。

最終沈殿池の処理水質は、表-A27に示すとおりである。

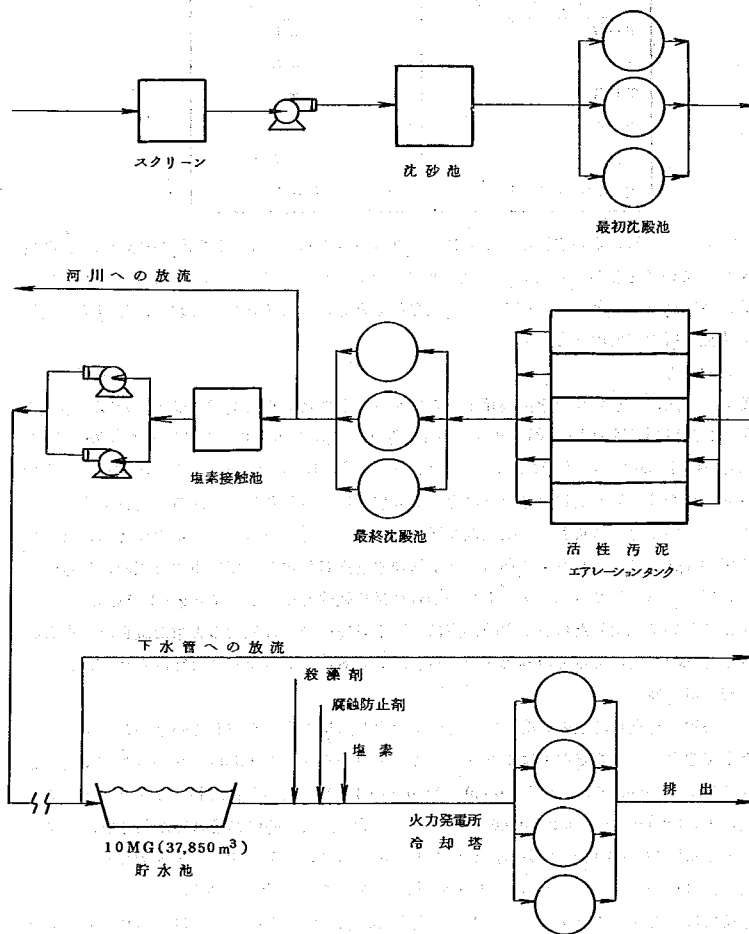


図 - A.2.2 テキサス州デントンの都市下水処理施設および火力発電所  
における再利用

表-A.27 テキサス州デントンの都市下水  
処理水水質の平均値

| 成 分 名       | 濃 度 (mg/l) |
|-------------|------------|
| BOD         | 30         |
| SS          | 38         |
| TDS         | 127        |
| 塩化物         | 70         |
| pH          | 7.2        |
| 大腸菌群数 (MPN) | 16,000     |

表-A.27に示した処理水の水質は、10MG(37,850m<sup>3</sup>)の貯水池内に貯留した下水処理水よりも優れていると報告されている。明らかに、その処理水は、貯水池への2マイル(3.2km)の輸送の間に時には嫌気性となり、貯水池に流入されるとき、暗灰色となっており、臭気を発生していると火力発電所の職員は報告している。

#### 15.3 再利用方法

おおよそ3ヶ月間、下水処理水を再利用することを計画した市営火力発電所は110MWの規模のものである。火力発電所では10MG(37,850m<sup>3</sup>)の貯水池から下水処理水をポンプで直接に冷却塔に送水している。冷却塔循環水に対して塩素、殺藻剤、スケール防止剤を添加している。下水処理水が使用されている間、これらの薬剤は、淡水使用の際の2倍ないし4倍に増量されることになる。それでも、コンデンサーチューブの急速な汚れという困難な問題を経験してきた。下水処理水中の浮遊物、有機物および栄養塩類は非常に高いレベルにある。下水処理水を冷却用水として使用する際の、その他の好ましくない成分であるTDSは、デントンの場合には比較的低く、127mg/lである。

デントン市において直面した再利用の問題点は、下水処理場の処理施設の大巾な改良か、火力発電所における付加的処理によってのみ解決できると、SCSエンジニアーズ会社は考えている。

#### 15.4 経済性

デントンにおける再利用計画の経済性は、その処理水が適切な水質を有していないことから、解明することができない。下水処理場は1964年に500,000ドル(150,000,000円)で建設され、1968年に1,200,000ドル(360,000,000円)で拡張工事が行われてきた。1971年の運転費は174,000ドル(52,200,000円)であった。建設費の償却を含めた処理費は、MG当り80ドル(m<sup>3</sup>当り6.34円)である。2マイル(3.2km)の距離をポンプで火力発電所まで輸送する費用は、MG当り20ドル(m<sup>3</sup>当り1.59円)かかっていると推定された。

火力発電所では、冷却用水とするための薬品費として、淡水使用の場合にはMG当り40-50ドル(m<sup>3</sup>当り3.17-3.96円)、彼らが1972年に下水処理水を再利用したときには、MG当り80-100ドル(m<sup>3</sup>当り6.34-7.93円)であった。これらの経費には、塩素、酸、殺藻剤、腐蝕防止剤などの購入費が含まれている。

## 16. テキサス州ルボック

### 16.1 序 論

テキサス州ルボック市は、下水処理水を工業用および灌漑用として供給している。下水は平均して、14MGD(52,990m<sup>3</sup>/日)処理されており、その中の約20%は南西部公共サービス会社へ冷却用およびボイラー用補給水として販売されており、残りの80%は灌漑用として農耕者が使用している。

テキサス州ルボックにおける下水処理水の再利用は、都市にとっても、工場側にとっても大きな利益が得られている。南西部公共サービス会社は、その水量が常に工場側の要求量に見合うものであることから、工業用水として下水処理水に依存している面が極めて大きい。経済的な利益は、南西部公共サービス会社にとっては、低価格で工業用水が得られること、都市にとっては下水処理水が販売されて大きな収入が得られることである。

### 16.2 都市下水の処理

ルボックにおける都市下水の処理システムは、市の南東の1地区に存在する3ヶ所の相互に連絡されている下水処理場群と、北西に位置する1ヶ所の下水処理場より成り立っている。南東地区の下水処理場のうち2ヶ所は散水汚床法を採用しており、その処理水量は合わせて約14MGD(52,990m<sup>3</sup>/日)である。残りの1ヶ所は活性汚泥法を採用しており、処理水量は12MGD(45,420m<sup>3</sup>/日)である。活性汚泥法を採用している下水処理施設の処理水のみが工業用水として再利用されており、散水汚床法を採用している処理施設の処理水は、単に灌漑用に使用されている。北西部の下水処理場は、コンタクト・スタビリゼーション法を採用しており、その処理能力は0.75MGD(2,840m<sup>3</sup>/日)である。塩素処理後の処理水はテキサス技術大学の農場に灌漑用としてポンプ送水されている。この報告書の内容は主として、活性汚泥処理施設と、南西部公共サービス会社の下水処理水の再利用のための処理システムについて述べてある。

活性汚泥処理施設は、6-7MGD(22,710-26,500m<sup>3</sup>/日)の工場排水を処理しており、それは工場排水量の約20%に相当する。4種類の主要な工業排水の業種は、綿種子油と穀、食肉加工工場からの重金属類である。これらの工業排水は、過去において下水処理施設に対して次のような影響を与えている。

- ・油脂はパイプと機械を閉らせ、沈殿に障害となる。
- ・血液と乳漿は極端に高いBOD(それぞれ100,000mg/lと42,000mg/l)の波動的な流入によって、流入水のBODも波動的に大きく変化する。
- ・クロム、砒素、その他の重金属類は低濃度においてさえも、活性汚泥細菌に毒性を有し、プロセスの処理機能に障害を与える。

図-A-23は、活性汚泥処理施設のフローダイアグラムを図示したものである。活性汚泥処理施設の一次処理は、スクリーン、沈砂池と重力式の最初沈殿池より成る。二次処理はスパイラルフロー型のエアレーションタンクを有する標準活性汚泥法で、設計下水流量12MGD(45,420m<sup>3</sup>/日)において、滞留時間6時間、MLSS 2,000mg/lで運転されている。循環される活性汚泥(汚泥返送比30-50%)は、活性汚泥のバルキングを制御するために、3-5mg/lの塩素で処理されている。エアレーションタンクでは、BODポンド当り空気量1,680立方フィート(BOD1kg

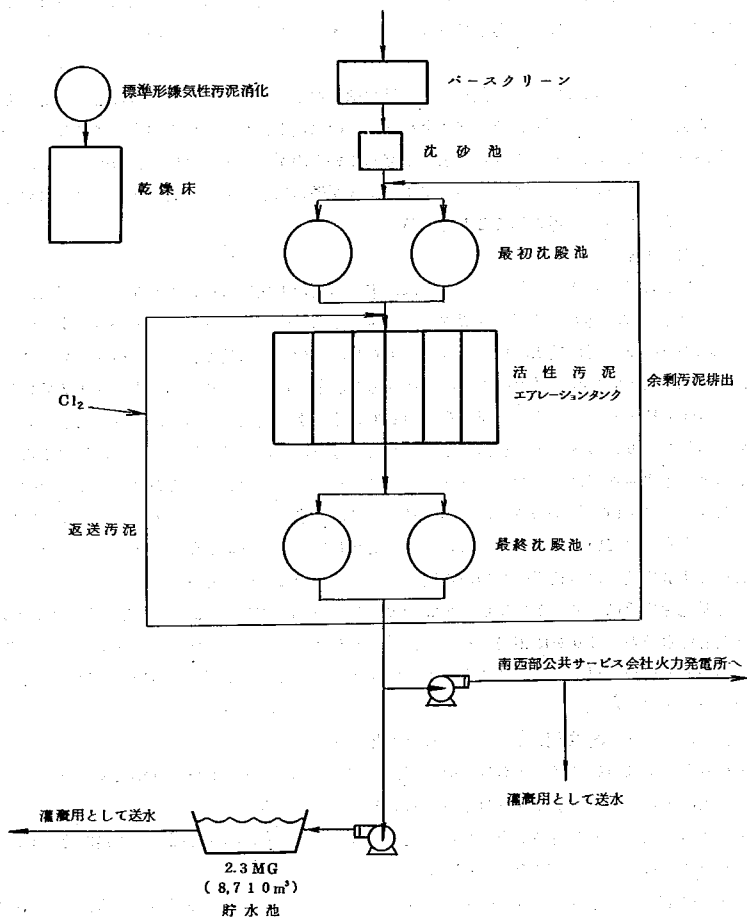


図-A.23 テキサス州ルボックの都市下水処理施設

当り空気量  $105.7\text{ m}^3$  ) が吹込まれている。2池の重力式最終沈殿池は、表面積負荷  $580\text{ gpd/sq. ft}$  ( $27.8\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ) で設計されている。南西部公共サービス会社へ3マイル (4.8 km) の距離を送水される下水処理水は、あらかじめ、塩素  $4 - 10\text{ mg/l}$  で塩素処理されている。

灌漑用に再利用される下水処理水は、総容量  $30\text{ MG}$  ( $11,355,000\text{ m}^3$ ) の3池のラグーンに貯留されている。汚泥は標準形の嫌気性消化が行なわれ、抽出汚泥は乾燥床で脱水・乾燥されている。

活性汚泥処理施設における運転の問題点は、工業排水のところですでに述べたとおりである。このほか、嫌気性消化槽の過負荷運転によって、その上澄水の水質が非常に悪化しており、この上澄水は旧式の散水汙床処理施設に流入されている。またエアレーションタンク内で多繁殖の藻類の生長が著しく、このため、沈殿が障害を受けている。活性汚泥処理施設の処理水の水質は表-A.28に示すとおりである。

表-A.28 テキサス州ルボックの活性汚泥処理施設  
からの処理水質の平均値

| 成 分 名   | 濃 度(mg/l) | 成 分 名 | 濃 度(mg/l) |
|---------|-----------|-------|-----------|
| BOD     | 18        | 総硬度   | 240       |
| SS      | 20        | カルシウム | 145       |
| TDS     | 1,650     | 珪酸塩   | 11.5      |
| ナトリウム   | 450       | リン酸塩  | 3.5       |
| 塩化物     | 460       | 硫酸塩   | 250       |
| P-アルカリ度 | 0         | 残留塩素  | 2         |
| M-アルカリ度 | 250       | pH    | 7.8       |

### 1.6.3 利用者側での処理

南西部公共サービス会社では、下水処理水を受入れて、再利用する前に、図-A.24に示す処理を行なっている。下水処理水はまず、浮遊物とリン酸塩を除去するための冷石灰凝集沈殿池に流入する。凝集剤として、下水処理水  $1,000$  ガロン当り、石灰3ポンド ( $\text{m}^3$  当り  $357$  グラム)、アラム  $0.2$  ポンド ( $\text{m}^3$  当り  $24$  グラム) が添加される。その後、pH調整のために硫酸が添加される。次に、この水は冷却塔に供給する前に  $6\text{ MG}$  ( $22,710\text{ m}^3$ ) のコンクリート張りのラグーンに貯留される。このラグーン内の水は不規則な使用水量増加に見合うためと、緊急用として役立てるためのものである。

ボイラー補給水  $30,000\text{ gpd}$  ( $114\text{ m}^3/\text{日}$ ) のためには、さらに処理が行なわれる。冷石灰処理およびpH制御された水は逆浸透装置に送られて、TDSの85%が除去され、供給水量の30%は濃縮されたブラインを含むために排出される。逆浸透装置は1年間以上の運転を経て、完全なものとなった。しかし、南西部公共サービス会社は、逆浸透装置のセルローズ・アセテート・メンブレンの正確なる評価を行なうのは早すぎると考えている。逆浸透装置に続いて、カチオン交換装置、弱塩基型アニオン交換装置、強塩基型アニオン交換装置、最後に混合床を用いたポリッシング装置によって、全無機物除去のための処理が行なわれている。逆浸透装置による無機物除去によって、こ

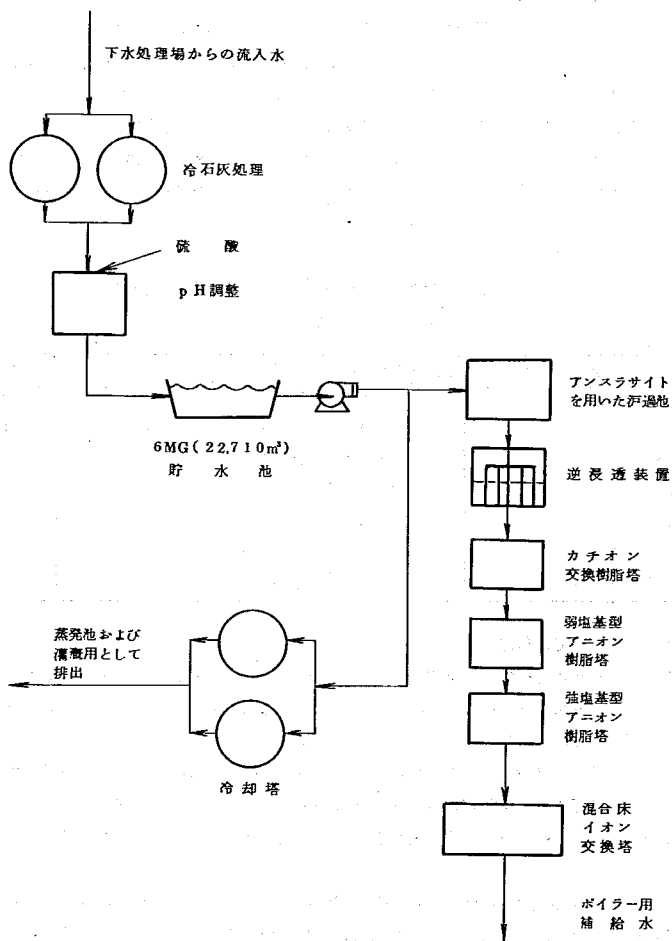


図-A.2.4 テキサス州ルボックの南西部公共サービス会社における  
下水再利用のための処理施設

これらの一連のイオン交換装置は、樹脂再生までに、6ヶ月以上の運転が行なわれている。この処理システムよりの処理水は、ボイラーでの直接使用のために蒸留水よりも優れた水質となっている。

表-A.29は、工場内での処理の各段階の水質の一般的性状を示している。

表-A.29 テキサス州ルボックの南西部公共サービス会社  
での再利用のための処理各段階の水質平均値

| 成分名<br>(mg/l)   | 再利用のための処理段階           |                       |                       |                     |                |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|
|                 | 火力発電所<br>への流入水<br>の水質 | 冷石灰処理<br>装置処理水<br>の水質 | 逆浸透装置<br>への流入水<br>の水質 | 逆浸透装置<br>処理水の水<br>質 | ボイラー補<br>給水の水質 |
| P-アルカリ度         | 0                     | 158                   | -                     | -                   | 0              |
| M-アルカリ度         | 250                   | 220                   | -                     | 8                   | 0              |
| 水酸基             | -                     | 96                    | -                     | -                   | 0              |
| 総硬度             | 240                   | 240                   | 234                   | 8                   | 0              |
| カルシウム           | 145                   | 214                   | 180                   | 6                   | 0.02           |
| 珪酸塩             | 11.5                  | 1.5                   | 1.5                   | 0.6                 | 0              |
| リン酸塩            | 3.5                   | 1.5                   | 1.5                   | 0.5                 | 0              |
| 硫酸塩             | 250                   | 250                   | 380                   | 10                  | 0              |
| 塩化物             | 358                   | 358                   | 354                   | 62                  | 0              |
| pH              | 7.8                   | 10.6                  | 5.6                   | 5.5                 | 7.0            |
| 残留塩素            | 2                     | 0                     | 0                     | 0                   | 0              |
| 電気伝導度<br>(Mmho) | -                     | 0                     | 1,760                 | 180                 | 0              |
| TDS             | -                     | -                     | 1,130                 | 115                 | 0              |

#### 1.6.4 再利用方法

平均的にみて、2-3.5MGD(7,570-13,250m<sup>3</sup>/日)の下水処理水は、南西部公共サービス会社の250MWの火力発電所で冷却用水およびボイラー補給水としての要求を完全に満足している。淡水は、下水処理水再利用システムがその機能を発揮できない事態に市より供給されることになっている。しかし、この市からの淡水の供給可能量は0.7MGD(2,650m<sup>3</sup>/日)であり、この量は、火力発電所の運転に不十分なものである。

250MWの火力発電所の冷却用およびボイラー補給水としての下水処理水の再利用はすべて成功した。下水処理水の再利用についてのこの会社の自信は、発電量を250MWより500MWに増加させるべく、現在、新しいボイラー設備を建設中である。これによって、下水処理水必要量は発電量に比例して増加する。いくつかの小さな問題点が、都市下水の処理と再利用について報告されている。冷石灰処理に続く6MG(22,710m<sup>3</sup>)貯水用ラグーン内の多産のバクテリアの生長は、生物学的な活動と有機物の減少にともなって、酸を生成する。この酸は冷却塔内のpH平衡をくつがえし、微生物を殺菌するための塩素処理を強力なものとするかも知れない。逆浸透装置では、淡水を使用する場合よりも、下水処理水を使用する場合の方が、TDS濃度が高いために、より頻

繁なメンブレンの洗浄を必要とする。溶存、塩類を多量に含む冷却塔排水の処分の問題は、排水を素堀の池に貯留し、蒸発することにより解決された。また、この素堀の池は、農耕者による季節的な灌漑用水貯留地としても設立つものである。

#### 16.5 経 済 性

ルボック市と南西部公共サービス会社の双方は、生下水の処理とその再利用によって利益を得ている。同社は下水処理水の再利用のために、合計して1,000ガロン当り14.4セント( $\text{m}^3$ 当り14.41円)を支払っている。この合計額のうち、ルボック市に支払われるものが、11.9セント( $\text{m}^3$ 当り9.43円)であり、これは12MGD(45,420 $\text{m}^3$ /日)の活性汚泥処理施設の運転費のうちの同社の再利用水量の割合に応じた金額である。残りの2.5セント( $\text{m}^3$ 当り1.95円)は、その水に対する法的権利を有する大規模灌漑用水利用者に対して、その灌漑計画の補償として、1990年までの間支払われることになっている。大規模灌漑用水利用者は、表流水へ放流することを許可されていないその処理水のすべてを、彼らの農地に排出させる代償として、排水料金を受け取っている。

南西部公共サービス会社が下水処理水の購入とその処理に要するすべての経費は表-A.30に示してある。

同社は排水を放流する許可を得ていないが、現在では、冷却塔排水は、農耕者により1,000ガロン当り1セント( $\text{m}^3$ 当り0.79円)で灌漑用水として売られている。蒸発池は、農耕者がその水を全く利用しないときの最終処分池として用いられている。

表-A.30 テキサス州ルボックの南西部公共サービス会社の再利用のための水のコスト

| 事 項                        | コスト(1,000ガロン当りセント) |
|----------------------------|--------------------|
| ルボック市への支払い                 | 11.9 [ 9.43 ]      |
| 他の権利者への支払い                 | 2.5 [ 1.98 ]       |
| 三次処理施設の運転費<br>(建設費の償還分を含む) | 16.0 [ 12.68 ]     |
| 全再利用コスト                    | 30.4 [ 24.10 ]     |

(註)

[ ]内は $\text{m}^3$ 当り円を示す。ただし1セントは3円。

## 17. テキサス州オデッサ

### 17.1 序 論

テキサス州オデッサのエルバソ物産会社は、現在、オデッサ市の下水処理場の処理水を冷却用および低圧ボイラー用補給水として再利用している。この下水の処理と再利用は市側および工場側の双方に経済的価値がある。エルバソ物産会社は、価格が安く、信頼性があり、かつ連続的に取得できる水資源を得ており、オデッサ市は下水処理場の運転に十分な歳入を得ており、そのほか処理場の拡張と改良のための1部の資金をも合せ得ている。

### 17.2 都市下水の処理

オデッサの下水処理場は、平均下水量 6.5 MGD (24,600 m<sup>3</sup>/日) の二次処理施設を有する。流入下水量の99%は家庭下水であり、1%は主として金属加工からの工場排水である。一次処理施設は、スクリーン、沈砂池、油脂除去施設および最初沈殿池である。

一次処理水は、エアレーションタンクへ安定した水量を送るため 1 MG (3,790 m<sup>3</sup>) の容量を有するエアレーション付平均化池に貯留される。

二次処理は活性汚泥法により行なわれており、エアレーションタンクは3池で、標準タイプのスバイラルフロー型で、MLSS濃度 1,100-1,400 mg/l、滞留時間 3.5 時間である。最終沈殿池は3池で、その中の2池は直径 70 フィート (21.4 m)、深さ 13 フィート (3.4 m)、他の1池は直径 90 フィート (27.5 m)、深さ 13 フィート (4.0 m) である。塩素接触池は30分間の滞留時間を有する。下水処理水のポンプによる輸送は、エルバソ物産会社の 15 MG (56,780 m<sup>3</sup>) のラグーンか、灌漑用の貯水池のいずれかで行なわれる。図-A.25 は下水処理場のフローダイアグラムを示す。

下水処理水の水質は次のようなものであると報告されている。

|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| ・ BOD   | 10 mg/l                          |
| ・ SS    | 13 mg/l                          |
| ・ TDS   | 1,300 mg/l                       |
| ・ 塩化物   | 250 mg/l                         |
| ・ 大腸菌群数 | $6 \times 10^5 / 100 \text{ ml}$ |
| ・ pH    | 7.4                              |
| ・ 硬 度   | 240 mg/l                         |
| ・ 全 リ ン | 44 mg/l                          |
| ・ 全 窒 素 | 18 mg/l                          |

時々、金属加工工場からの高濃度のクロム酸が流入して、灌漑用排水池をバイパスして放流しなければならないことがある。

### 17.3 利用者側での処理

テキサス州オデッサのエルバソ物産会社は、工業用水使用量 7 MGD (26,500 m<sup>3</sup>/日) の大規模化学会社である。約 5.5 MGD (20,820 m<sup>3</sup>/日) の水は下水処理水に頼っており、残りは会社が所有する井戸より取水している。

図-A.26 に示したように、エルバソ物産会社は下水処理水と井戸水をさらに処理するための技

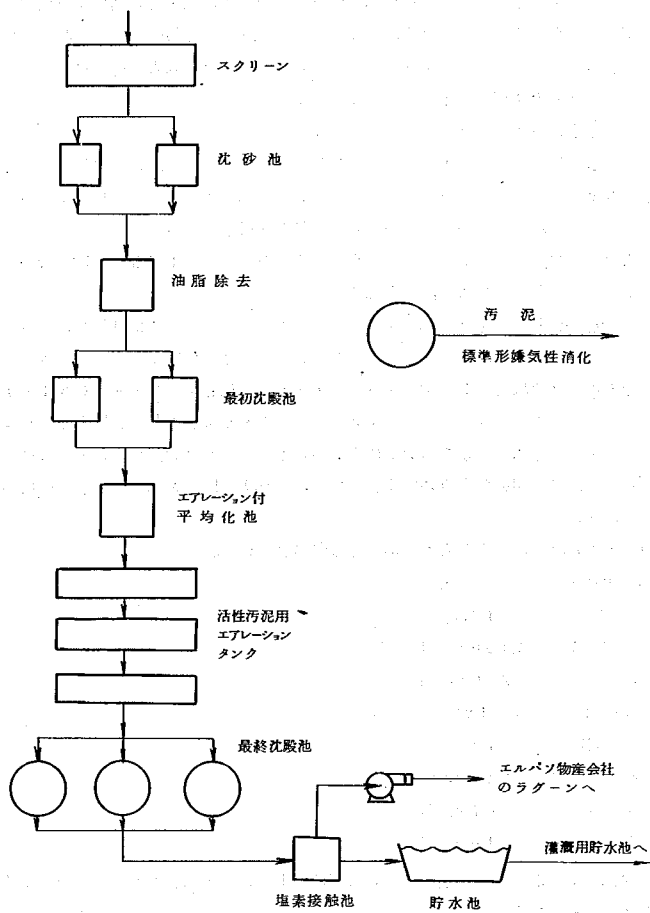


図-A.25 テキサス州オデッサの都市下水処理施設

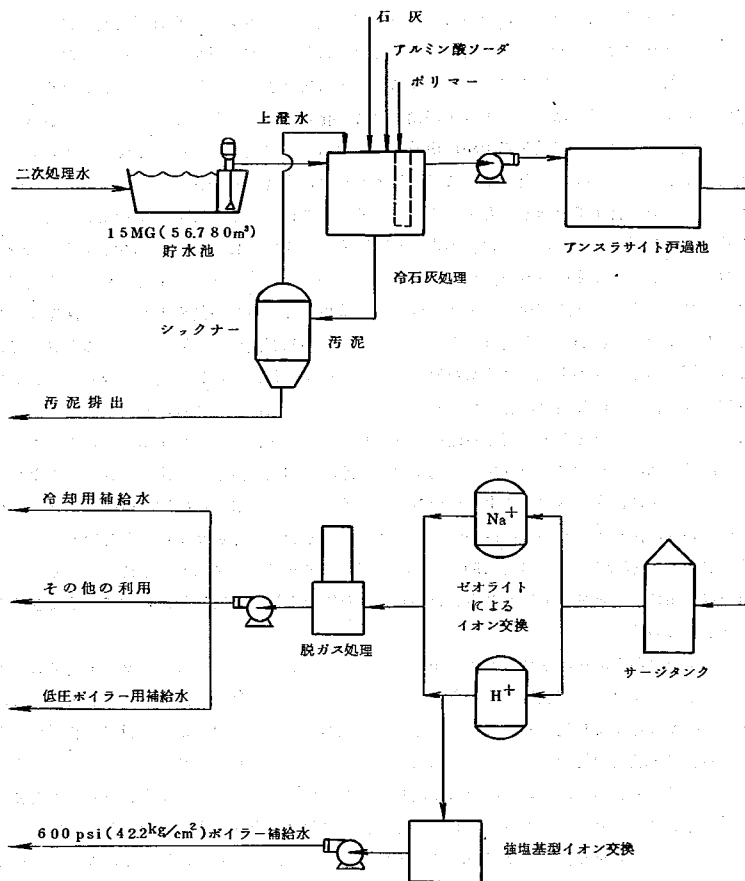


図 - A.26 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社  
再利用のための処理施設

巧をこらした水処理システムを運転している。

エルパソ社の貯水池は、容量15MG(56,780m<sup>3</sup>)の素掘りの池で、水量変動の調整、防火用水および雑用水の貯水のために用いられている。貯水池の水はポンプで冷石灰処理装置に送られ、この装置で本格的なリン酸塩と浮遊物の除去が行なわれる。この装置では、いくつかのシリカと硬度も除去されるが、その量はこの冷石灰処理装置によって除去される理論量よりかなり少ない。この除去効率の低い理由は、アンモニアが硝酸塩に酸化されるためと考えられている。この反応によって硝酸カルシウムと二酸化炭素が重炭酸カルシウムと共に生成される。これらのプロセスでは、石灰処理によって除去することができる重炭酸カルシウム硬度の量が減少する。冷石灰処理装置内での処理は、石灰乳150mg/lとカチオン系ポリマー2mg/lが加えられて行なわれる。

冷石灰処理装置の処理水は、その後の水調整装置内で再炭酸塩化が行なわれ、炭酸塩と水酸化イオンは溶解性重炭酸塩に変換される。再炭酸塩化はエルパソ社のアンモニア工場から生ずる炭酸ガスにより行なわれる。再炭酸塩化のシステムは、緊急時用としてポンプ詰めのガスと不活性ガス発生器を所有している。冷石灰処理装置からの汚泥は、旧式の熱石灰処理装置を用いて濃縮されている。

この汚泥濃縮槽よりの上澄水は冷水石灰処理装置に返送され、沈殿物は廃棄物埋立地に送られる。

再炭酸塩化後の水は浮遊物が含まれており、使用される以前に汚過が行なわれる。この汚過池は圧力式のもので、汚材として適切な粒径に篩分けられたアンスラサイト炭が用いられる。汚過池からの逆洗浄排水は、一次サージタンク、沈殿池、2池の圧力式汚過池、二次サージタンクより成るクローズド型逆洗浄水システムにより処理されている。逆洗浄排水は連続的に逆洗浄水として再利用されており、沈殿池よりの汚泥排出によって減少する分を淡水を加えて補充している。

汚過水は、50,000バレル(5,960m<sup>3</sup>)の容量のサージタンクに貯水される。このタンクは工場の水使用量が昼と夜とでは異なることから、冷石灰処理装置を安定した状態で運転できるようにするものである。

サージタンクから取り出された水は二分されて、一方はナトリウム型ゼオライト交換装置へ、他方は水素型ゼオライト交換装置へ送られる。軟化処理の後、二分された水は混合され、双方の水が混合されることにより発生した炭酸ガスを空気吹込みにより追い出すための脱ガス装置に送られる。この脱ガス装置の処理池にはレベル制御装置が取り付けられており、これは二分された水のうち、水素型ゼオライト交換装置処理水の量に比例してナトリウム型ゼオライト交換装置処理水を加えることができるよう、ナトリウム型ゼオライト交換装置処理水量を調整するものである。操作員は混合水の全アルカリ度を分析により求め、これより両者の混合比を定めて、比率設定器にこの比率をセットする。

交換装置内のゼオライトの再生はナトリウム型の場合には食塩によって行なわれ、また水素型の場合には塩酸によって行なわれる。イオン交換装置の逆洗浄は、すでに記載したクローズド型逆洗浄水システムからの水を用いて行なわれ、逆洗浄排水は再び同システムに戻される。ナトリウム型ゼオライト交換装置のゼオライト再生後の洗浄排水は工場内の下水管に排出され、水素型ゼオライト交換装置の再生後の洗浄排水は、排水処分池内の酸排水用サージタンクに送られる。現在、エルパソ物産会社はナトリウム型、水素型ゼオライト交換装置の最後に当る第3番目の洗浄排水を再生し、工場内で再利用する別の計画を具体化している。この計画では、再生後の洗浄排水は、

50,000 バレル (5,960 m<sup>3</sup>) の容量のサージタンクに戻されることになる。

表-A.3.1 および表-A.3.2 は、同社の再利用のための処理プロセス各段階での一般的な水質、ならびに種々の再利用システムでの代表的なパラメータを示したものである。

表-A.3.1 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社での再利用のための処理における各段階の平均的水質

| 成 分 名<br>(mg/l) | 三 次 処 理 の 各 段 階 |                   |                 |                   |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                 | 下 水 処 理 水       | 冷石灰処理装置<br>からの処理水 | 再炭酸塩化池<br>処 理 水 | 強塩基イオン交<br>換装置流出水 |
| P - アルカリ度       | 0               | 85                | 0               | 0                 |
| M - アルカリ度       | 137             | 159               | 159             | 64                |
| 総 硬 度           | 240             | 158               | 163             | 0                 |
| カルシウム           | 51              | 47                | 48              | 0                 |
| マグネシウム          | 10              | 10                | 10              | 0                 |
| 塩 化 物           | 250             | 146               | 151             | 156               |
| 硫 酸 塩           | 101             | 97                | 101             | 97                |
| ナトリウム           | 92              | 78                | 92              | 117               |
| 硅 酸 塩           | 19              | 19                | 19              | 19                |
| リン酸塩            | 40              | 4                 | -               | -                 |
| 電気伝導度 (Mmho)    | 1,012           | 935               | 1,020           | 925               |
| p H             | 7.4             | 10.2              | 7.9             | 7.1               |

表-A.3.2 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社三次処理および再利用施設での一般的な水質

| 装 置 と そ の 内 容                                                                                                                                           | 濃 度                                                        | 装 置 と そ の 内 容                                                                                                                                                                  | 濃 度                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 石灰処理装置<br>石灰 (2 P-M)* (mg/l)<br>汚泥容量 (15 分間沈殿による容積)(%)<br>藻類発生制御                                                                                        | 20-50<br>20<br>要求されている                                     | 蒸気と凝縮物<br>pH                                                                                                                                                                   | 7.5-8.0                                                     |
| 再炭酸塩化池<br>P-アルカリ度 (炭酸ガスによる制御)                                                                                                                           | 0                                                          | 冷却塔<br>M-アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)<br>P-アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)<br>電気伝導度 (Mmho)<br>オルトリン酸塩 (mg/l)<br>クロム酸塩 (mg/l)<br>汚濁可能物質 (mg/l)<br>分散剤 (gpd)<br>" [l/日] | 8.0-100<br>0<br>7,000±250<br>20<br>12-15<br>20<br>1<br>3.79 |
| ナトリウム装置<br>硬度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)                                                                                                              | 最大 5                                                       | pH<br>無水硅酸<br>一般細菌数 (ml 当り個)<br>腐蝕調査 (MPN)                                                                                                                                     | 6.4-6.8<br>150<br>30×10 <sup>6</sup><br>2.0                 |
| 水素装置<br>遊離塩酸酸度 (mg/l)<br>硬度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)                                                                                                | 200-375<br>0                                               | 殺菌剤<br>4 要素アンモニウム化合物<br>窒素ベース化合物<br>ベンタクロロフェネート,<br>トリクロロフェネート<br>ペラセチック酸<br>塩素                                                                                                |                                                             |
| 分離液のブレンド<br>M-アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)<br>硬度 (CaCO <sub>3</sub> として mg/l)                                                                     | 40-60<br>0-tr                                              |                                                                                                                                                                                |                                                             |
| 600Psi (422 kg/cm <sup>2</sup> ) ボイラー<br>溶解性物質 (電気伝導度として Mmho)<br>リン酸塩 (mg/l)<br>亜硫酸ソーダ (mg/l)<br>脱泡剤<br>負硬度 (mg/l)<br>苛 性 (OH として mg/l)<br>無水硅酸 (mg/l) | 1,000<br>40-60<br>25-35<br>要求されている<br>-2-5<br>50-100<br>50 |                                                                                                                                                                                |                                                             |

#### 1 7.4 再利用方法

二分されてゼオライト交換装置を通過した水は、冷却用補給水と、175 psi から250 psi (12.3 - 17.6 kg/cm<sup>2</sup>) の低圧ボイラー補給水として用いられている。水素型ゼオライト交換装置処理水の1部は、強塩基型アニオン交換装置で無機物が除去されて、600 psi (42.2 kg/cm<sup>2</sup>) の高圧ボイラー補給水として使用されている。

冷却塔は循環式の対向流型冷却塔であり、腐蝕抑制剤として高濃度の亜鉛とクロム酸溶液が使用されている。この主成分は亜鉛化合物である。この腐蝕抑制剤は真の二陰極的な成極作用をなす。この水の中には、バクテリアの生成のための栄養塩として役立つ有機物やリン酸塩は含まれていない。

#### 1 7.5 経 済 性

オデッサの下水処理場から処理水をうる交換条件として、エルパソ会社は、下水処理場の実質的な運転費の全部を支払っている。

昨年度、このための同社の支出金は約250,000ドル(75,000,000円)、処理水1,000ガロンを取得するに対して12.5セント(処理水1 m<sup>3</sup>を取得するに対して9.91円)であった。この比較として、市営上水道からの水を取得する費用は、1,000ガロン当り50セント(1 m<sup>3</sup>当り39.63円)であり、この水の場合にもゼオライトによる軟化処理と脱ガス処理は必要である。下水処理場の運転費に加えて、エルパソ物産会社はオデッサ市の最初の二次処理施設の建設コスト1,000,000ドル(300,000,000円)を負担している。

またさらに、1965年には第3の沈殿池、ブローアおよびスパージャーの建設費として約100,000ドル(30,000,000円)を支払っている。

表-A.33は、エルパソ物産会社の現時点における代表的な工業用水取得経費として、1970年1月より9月までの水処理コストを分類したものである。

表-A.33 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社における再利用のための平均処理費

| 事 項                                 | 処 理 費   |               |
|-------------------------------------|---------|---------------|
|                                     | ド ル     | cent/1000gal* |
| 原水                                  | 17,746  | 12.55 [9.95]  |
| 下水処理水                               | 140,111 |               |
| 井戸水                                 | 31,635  |               |
| 化学薬品                                |         | 18.72 [14.84] |
| 石灰(150 mg/l)                        | 25,128  | 1.84 [1.46]   |
| 凝集剤(アルミ酸ソーダ15 mg/l)<br>(ポリマー2 mg/l) | 14,786  | 1.08 [0.86]   |
| 殺菌剤                                 | 6,031   | 0.44 [0.35]   |
| 酸                                   | 160,568 | 11.73 [9.30]  |
| ブライン                                | 38,305  | 2.80 [2.22]   |
| ナトリウム軟化剤による洗浄,                      | 2,888   | 0.21 [0.17]   |
| 樹脂, 汚過材                             | 8,476   | 0.62 [0.49]   |

| 事 項          | 処 理 費   |                 |
|--------------|---------|-----------------|
|              | ド ル     | cent/1000gal    |
| <u>動力費等</u>  |         | 14.94 ( 11.84 ) |
| 電 力 料        | 4 3,081 | 3.15 ( 2.50 )   |
| 排水処分費        | 161,407 | 11.79 ( 9.34 )  |
| <u>運 転 費</u> |         | 11.66 ( 9.24 )  |
| 労 務 費        | 103,942 | 7.59 ( 6.02 )   |
| 監督および技術経費    | 7,308   | 0.53 ( 0.42 )   |
| 雑 品 費        | 28,879  | 2.11 ( 1.67 )   |
| 管理業務経費       | 19,612  | 1.43 ( 1.13 )   |
| <u>維持管理費</u> | 133,900 | 9.88 ( 7.75 )   |
| <u>計</u>     |         | 67.65 ( 53.62 ) |

(註)

\* 総流入量は 1,368.6MG (  $5,180 \times 10^3 \text{m}^3$  ) を基礎としている。

[ 下水処理水 1,203.5MG (  $4,555 \times 10^3 \text{m}^3$  ) および井戸水 165.1MG (  $625 \times 10^3 \text{m}^3$  ) ]

1000gal 当り処理費のうち ( ) 内は  $\text{m}^3$  当り円の換算値を示す。

## 18. ワントン州ワラワラ

### 18.1 序 論

ワラワラの農耕者は、1927年に最初の下水処理場が建設されて以来、下水処理水を灌漑用として使用してきた。下水処理水により灌漑されてきた多くの種類の作物は、下水処理場附近の市所有の土地700エーカー(280ha)を含めて、1,650エーカー(660ha)で栽培されている。

ワラワラにおける下水の再利用計画は、いくつかのユニークな面をもっている。人間の消費する市場向けの作物は、公衆衛生当局の承認を得て、長年月にわたって下水処理水を用いての灌漑が行われてきた。夏期の間は、下水処理場流入水量の1/2以上が工場排水である。最終的には、広域的なスプレー灌漑システムが下水処理水を散水するために建設されてきた。

### 18.2 都市下水の処理

ワラワラの下水処理施設は、図-A.27に図示されたフローダイアグラムを有する。4月中旬より11月にかけて食品缶詰工場から発生する多量の工場排水量を受入れているため、その処理は複雑である。この4月中旬より11月にかけては、家庭下水のみが流入する冬期間とは異なる下水処理および処分法が採用されている。

家庭下水用のシステム(工場排水用のシステムと対照されるものとして)は設計下水量が約7.5MGD(28,390m<sup>3</sup>/日)であり、沈砂池、最初沈殿池、それに直径145フィート(44.2m)、深さ4フィート(1.2m)の3池から成る高速散水汚床が続いている。この高速散水汚床の返送比2:1で運転されている。汚床流出水は3池の中間沈殿池に流入する。この中間沈殿池のうち2池は円形沈殿池で直径60フィート(18.3m)、1池は長方形沈殿池で大きさは45フィート×90フィート(13.7m×27.5m)である。次に、1池の標準散水汚床があり、この汚床は固定ノズルを有する正方形で、1辺の長さが220フィート(67.1m)、深さ7フィート(2.1m)で汚材として碎石を使用している。続いて塩素添加が行なわれ、この残留塩素濃度は、最終沈殿池内で、0.5mg/lに維持されている。最後沈殿池は2池、共に長方形で、その規模は35フィート×140フィート(10.7m×42.7m)および35フィート×80フィート(10.7m×24.4m)である。処理水は容量7.5MGD(28,390m<sup>3</sup>/日)のサージ・ラグーンに貯水され、ここから、ブロックおよびゴーズ灌漑区に自然流下で送水されている。ラグーンのそばにはポンプ場1ヶ所があり、下水処理水の上記両灌漑区への送水量が必要量以上となったときに、過剰な水量を工場排水用処理システムに戻しうようポンプが設備されている。

4月より11月にかけて、缶詰工場が操業を行ない、缶詰工場排水0.0ないし3.0MGD(0.0-11,360m<sup>3</sup>/日)が家庭下水に混入して流入される。この流入下水のうちのブロックおよびゴーズ灌漑区で灌漑用水として必要な7.5MGD(28,390m<sup>3</sup>/日)が処理される。残り5.0ないし5.5MGD(18,930ないし20,820m<sup>3</sup>/日)の缶詰工場排水は、1時的にエアレーション池に貯水され、苛性ソーダによりpH調整された後、むらさきうまごやしを栽培している市所有の700エーカー(280ha)の農地に、直接ポンプ揚水されている。これとは別のパイプ系統が処理施設に接合されており、相当量の工場排水が一次処理をバイパスして、直接に中間処理施設に送水され、二次処理が行なわれている。缶詰工場排水は一般に酸性であり、このため、市所有の農地にポンプ揚水される以前に、エアレーション池内でpH制御が行なわれている。

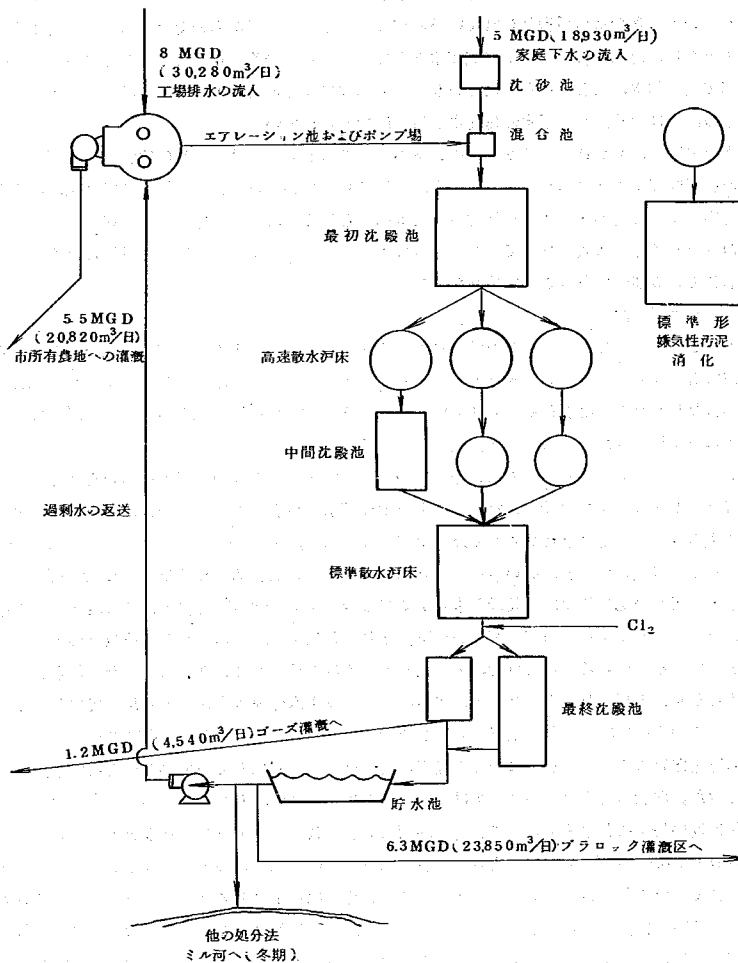


図 - A. 27 ワシントン州ワラワラの都市下水処理施設

処理システムは、全灌漑要求量を満足するために十分にフレキシブルに作られている。それにもかかわらず、可能な限り最大下水量の二次処理が行なわれている。作物栽培が行なわれない期間には、缶詰工場の操業は行なわれていない、家庭下水は、附近の河川に放流する以前に、二次処理が行なわれている。作物栽培が行なわれている期間には、下水処理場からの全処理水は、家庭下水、工場排水ともに、河川に放流せずに灌漑用水として使用されている。年間のこの時期には、ミル河は上流部で灌漑用水の取水が行なわれており、下水処理場近くの河床には水が全くない。冬期の間、工場排水の流入はなく、家庭下水の処理水が河川に放流されている。

処理水の水質は、 $BOD_5 - 50 \text{ mg/l}$ 、 $SS - 23 \text{ mg/l}$  および  $pH 6.5$  である。濃度の低い水質の範囲は家庭下水のみが流入している時期にあり、高い水質の範囲は缶詰工場排水が流入下水中に含まれている時期である。季節的再利用計画からみると、高度な処理水質が得られているのは冬期の河川への処理水放流期間であり、不良な処理水質となっているのは作物栽培のために灌漑が行なわれている期間であることは明らかである。

### 18.3 再利用方法

図-A.27からみて、ワラワラの灌漑計画は2地区の灌漑システムから成立していると考えられる。市所有700エーカー(280ha)のむらさきうまごやし畑は、エアレーションとpH調整のみが行なわれた工場排水が用いられている。しかるに、ブラロックおよびゴーズ灌漑区には、完全な二次処理を行なった処理水のみが供給されている。

ブラロックおよびゴーズ灌漑区では、今世紀の初頭には生下水混入の河川水が用いられてきた。下水処理場が1926年に建設されたとき、市と灌漑用水利用者の同意ができ、ブラロックおよびゴーズ灌漑区には、それぞれ9.48 cfs (0.268 m<sup>3</sup>/秒)、1.77 cfs (0.05 m<sup>3</sup>/秒)の処理した下水、または未処理の下水が供給されることになった。この量は7.3 MGD (27,630 m<sup>3</sup>/日)に相当する。新しい処理施設は、設計下水量7.5 MGD (28,390 m<sup>3</sup>/日)で、この地区のために計画された。ブラロックおよびゴーズ灌漑区は、それぞれ数エーカーのみから成る数百の小ブロックに分かれている。農耕者は彼ら自身の灌漑用パイプ系統を所有しており、人参、たまねぎ、レダス、ほうれん草、大根、かぶら、ビート、アスパラガスを下処理水を用いて栽培している。これらの農地からの生産物は、毎年、生野菜および缶詰用として出荷してきた。州の生態系関係部局からこれらの野菜作物の人間の消費についての健康障害に関する質問はして来っていないと研究者達は知らされてきた。作物の市場性について欠けているものは何もない。しかし知識ある地方官公庁は、この結果は近い将来に公衆衛生部局によって綿密に試験されて判明するであろうと考えている。

7.5 MGD (28,390 m<sup>3</sup>/日)の二次処理施設完成以前には、未処理の工場排水がこの地区の灌漑に使用されてきたことは興味ある事実である。このときにはパイプとスプリンクラーのスライムと浮遊物による閉塞は、継続して生じた問題点であったと報告されている。工場排水中に含まれている汚泥は土壌の表面を覆い、土壌の透水率を大巾に減少させた。続いて、汚泥は鋤きあとから人力によって取り除かれた。えんどう豆加工の缶詰排水からの高濃度の塩化物含有量は、或る種の作物を黄色に変えてしまった。高い塩分含有量農地の土壌の地味を低下させ、悪臭の発生がひどいものであった。

1972年に、市は $1.6 \times 10^6$ ドル( $480 \times 10^6$ 円)の費用でポンプ場と市所有のむらさきうまご

やし畑灌漑のためのスプリンクラー灌漑システムを完成させた。この新しい灌漑システムは6週間にわたって淡水を用いて水理学的なテストのみが行なわれた後に使用されたが、時々工場排水によるトラブルが発生した。実用規模の施設による運転は、1973年に計画された。水は容量325,000ガロン(1,230m<sup>3</sup>)のエアレーション池より、3台の送水能力3,800 gpm(14.4m<sup>3</sup>/分)のポンプ(うち1台は予備)で畑にポンプ圧送された。2条の下水処理場からの送水管と、 $\frac{1}{4}$ マイル(400m)離れた二条の配水本管から分かれるそれぞれの配水管の管網を通過する排水量は自動制御されている。横方向の配水管は80フィート(24.4m)の間隔で配水本管より分岐しており、スプリンクラーは60フィート(18.3m)の間隔で取付けられている。1973年6月より、6MGD(22,710m<sup>3</sup>/日)以上の工場排水がこの灌漑システムを通してポンプで送水されることになっている。浮遊物、バクテリアおよび藻類の生長による閉塞の問題点は、スプリンクラーヘッドのテスト運転期間に減らすことができた。このシステムは、本質的には、異例の工場排水の土壤処分法であり、ラインバードタイプのスプリンクラーが用いられ、運転は市によって行なわれている。

下水処理と灌漑のための再利用のシステムは、市と農耕者の双方に利益をもたらした。農耕者は無料で多量の灌漑用水を得ており、しかも、彼らの農作物の大きな減収はない。他方、市は工場排水を河川の排水基準に見合うよう処理するという問題と、そのための経費支出を免れることができた。

#### 18.4 経済性

7.25MGD(27,440m<sup>3</sup>/日)の下水処理水は、あらかじめ同意された水利権に基づき、無料でブラロックおよびゴーズ灌漑区に供給されている。むらさきうまごやし畑は主として工場排水の処分のためにあることから、むらさきうまごやし畑への散水と下水処理場運転のための市役所内部での経費の移し換えは行なわれていない。

処理・処分のためのMG当りのコストの解析は下記のとおりである。

| 建設年                             | 1953          | 1962              | 1972           |
|---------------------------------|---------------|-------------------|----------------|
| 建設費(×10 <sup>6</sup> ドル)        | 0.173         | 0.435             | 1.600          |
| (×10 <sup>6</sup> 円)            | [ 51.9 ]      | [ 130.5 ]         | [ 480.0 ]      |
| 建設費換算係数                         | 2.09          | 1.61              | 1.00           |
| 1972年換算建設費(×10 <sup>6</sup> ドル) | 0.362         | 0.700             | 1.600          |
| (×10 <sup>6</sup> 円)            | [ 108.6 ]     | [ 210.0 ]         | [ 480.0 ]      |
| 年間コスト係数 (ドル)                    | 2,6987        | 52,185            | 119,280        |
| (25年償却5.5%利子) (円)               | [ 8,096,100 ] | [ 15,655,500 ]    | [ 35,784,000 ] |
| 全年間コスト係数(ドル)                    | 198,452       | [ 59,355,600(円) ] |                |
| 全運転コスト(ドル)                      | 90,367        | [ 27,110,100(円) ] |                |
| 全償却および運転コスト(ドル)                 | 288,819       | [ 86,645,700(円) ] |                |
| 年間処理水量(MG)                      | 2,300         |                   |                |
| (m <sup>3</sup> )               | [ 8,705,500 ] |                   |                |

全コスト (円/MG) 126  
(円/m<sup>3</sup>) [9.99]

運転コストのみ (円/MG) 39  
(円/m<sup>3</sup>) [3.09]

MG当りの運転のみのコスト39ドル (m<sup>3</sup>当り3.09円)と、建設費償却と運転コスト126ドル (m<sup>3</sup>当り9.99円)は比較的少ない。市が標準的な手法により夏期の高濃度の排水を処理し、表流水に直接に放流すれば、処理と処分のためのユニットコストは、例えば、カリフォルニア州モデストのように、缶詰工場の排水が大きな比率を示めている他の都市の経験を基にすると、より高いものとなるであろう。

付 録 B

アンケート調査の報告

## 付 録 B の 凡 例

### 水質監視機器

CL<sub>2</sub> : 残留塩素分析計  
 CON : 電気伝導度計  
 LAB : 実験室における分析  
 pH : pHメータ  
 TURB : 濁度計

### 再利用目的

DOM : 生活用  
 FISH : 魚類飼育用  
 IND : 工業用  
 IRR : 灌漑用  
 GRD : 地下水補給  
 REC : リクリエーション用

### 最終使用水質クライテリヤ

BOD : 低BOD濃度の要求  
 B : 低硼素濃度の要求  
 CL : 低塩素イオン濃度の要求  
 DIS : 塩素消毒の要求  
 DWQ : 飲料水水質  
 FD : 夾雑物を含まず  
 PO<sub>4</sub> : リン酸塩の除去  
 NH<sub>3</sub> : 低アンモニア濃度の要求  
 OR : 臭気の除去  
 pH : pH制御の要求  
 SHD : 州政府公衆衛生局水質基準  
 SS : 低SS濃度の要求  
 TDS : 低TDS濃度の要求  
 USPHS : 連邦政府公衆衛生局水質基準

### 補足的な水供給

PrS : 私設水道  
 PS : 公共機関による水道

### 水質の保護

AUTO : 自動分析  
 PPC : 前および後塩素処理  
 LAB : 定期的水質分析  
 ST : 州政府の水質分析のみ

### 処理プロセス

#### 一次処理

PCL : 最初沈殿池  
 RSL : 生下水ラグーン

#### 二次処理

AS : 活性汚泥  
 AER : エアレーションのみ  
 TF : 散水汙床  
 CCOAG : 薬品凝集沈殿  
 DXPD : オキソディン・ボンド

#### 三次処理

ANTH : アンスラサイトによる汙過  
 MMF : ミックスド・メディアによる汙過  
 SF : 砂汙過  
 CADS : 活性炭吸着  
 CCOAG : 薬品凝集沈殿  
 DAER : 脱エアレーション  
 IE : イオン交換  
 LCOAG : 石灰凝集沈殿  
 pH : pH調整  
 POL : ポリッシング・ボンド  
 RO : 逆浸透

### ( ) 内の説明

平均流入水量 : MGDを( $\times 10^3$ )m<sup>3</sup>/日に換算  
 平均再利用水量 : MGDを( $\times 10^3$ )m<sup>3</sup>/日に換算  
 処理水単価 : \$/MGをm<sup>3</sup>当り円に換算(1ドル300円)  
 1971年の販売収入 :  $\times 1,000$ ドルを $\times 10^6$ 円に換算  
 設計容量 : MGDを( $\times 10^3$ )m<sup>3</sup>/日に換算  
 処理水貯水池 : MGを( $\times 10^3$ )m<sup>3</sup>に換算  
 処理水輸送距離 : Mileをkmに換算

|            |                                                             | 供給者からの |                 |                |                     |                  |         |               |              |               |              |               |     |                |                      |
|------------|-------------------------------------------------------------|--------|-----------------|----------------|---------------------|------------------|---------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|-----|----------------|----------------------|
|            |                                                             | 流入下水   |                 |                | 再利用している処理水の平均的な性質   |                  |         |               |              |               |              |               |     |                |                      |
| 質問状の回答番号 → |                                                             | A5     | B1a             | B2b            | B3                  | C1a              | C1c     | C2a           | C2b          | C2c           | C2d          | C2e           | C2f | C2g            | C2h                  |
| コード番号      | 都市下水処理場の位置                                                  | 再利用開始年 | 平均流入水量<br>(MGD) | 工場排水混入率<br>(%) | 主たる工業排水             | 平均再利用水量<br>(MGD) | 最大使用の季節 | BOD<br>(mg/l) | SS<br>(mg/l) | TDS<br>(mg/l) | Na<br>(mg/l) | 塩化物<br>(mg/l) | pH  | 大腸菌群数<br>(MPN) | 重金属類                 |
| AU-1       | IRYMPLE, AUSTRALIA<br>(Red Cliffs Sewer Au.)                | 1964   | —               | —              | —                   | —                | —       | —             | —            | —             | —            | —             | —   | —              | —                    |
| AU-2       | MARYBOROUGH, VICTORIA, AUSTRALIA<br>(Maryborough Sewer Au.) | 1956   | 04<br>[151]     | 10             | 皮なめし                | 01<br>[038]      | 夏       | 35            | 30           | —             | —            | 10            | 26  | —              | —                    |
| AU-3       | NHILL, VICTORIA AUSTRALIA                                   | 1940   | 01<br>[038]     | 0              | なし                  | 01<br>[038]      | なし      | 9             | 26           | —             | 350          | —             | 23  | —              | —                    |
| AF-1       | BULAWAYO, RHODESIA, AFRICA                                  | 1961   | 16<br>[606]     | —              | —                   | 12<br>[454]      | —       | —             | —            | —             | —            | —             | —   | —              | —                    |
| AF-2       | PRETORIA, SOUTH AFRICA                                      | 1953   | 20<br>[757]     | 10             | ビール<br>牛乳加工<br>金属加工 | 90<br>[341]      | —       | 14            | 12           | 460           | —            | 60            | 25  | 0              | —                    |
| AF-3       | WINHOEK, SOUTH WEST AFRICA                                  | 1968   | 225<br>[852]    | 10             | ビール<br>牛乳加工<br>食肉   | 07<br>[265]      | 春夏      | 05            | 0            | 650           | 110          | 91            | 28  | 0              | —                    |
| EN-1       | BRISTOL, ENGLAND                                            | 1965   | 35<br>[132]     | —              | —                   | 35<br>[132]      | —       | 7             | 7            | 700           | —            | 100           | 25  | —              | Fe<br>Ni<br>Zn<br>Pb |
| IS-1       | HAIFA, ISRAEL                                               | 1964   | 140<br>[530]    | 10             | なし                  | 25<br>[946]      | 夏       | 70            | 75           | 1100          | 250          | 400           | 70  | —              | なし                   |
| MX-1       | MONTERREY, MEXICO                                           | 1955   | 33<br>[125]     | 1              | 油脂<br>クロム酸          | 27<br>[102]      | —       | 17            | 10           | 510           | —            | 26            | 71  | —              | なし                   |

| 情 報            |                  |              |          |          | 使用者からの情報 |              |       |       |        | 都市下水の処理場の設計に関する情報 |                                        |             |               |             |                                             |       |
|----------------|------------------|--------------|----------|----------|----------|--------------|-------|-------|--------|-------------------|----------------------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------------------------------------|-------|
| 歳入(付録のコストデータ)  |                  | 処理システムの信頼性   |          |          |          |              |       |       |        |                   |                                        |             |               |             | ← 質問状の回答番号                                  |       |
| D7             | D8               | E1           | E2       | E3       | F6       | F7           | F9    | F10   | F8     | G5                | G6-7                                   | G8b         | G9            | G10         | コメント                                        | コード番号 |
| 処理水の単価(MG)     | 一版九元七一年の収入(100%) | 基準処理水の比の率(%) | 装水のモニタ1置 | 妨害物に対する限 | 再利用目的    | 最終利用先の標準     | 付加的処理 | 水質の保護 | その他の水源 | 設計容量(MGD)         | 処理プロセス                                 | 処理水貯水池(MG)  | 処理水輸送距離(Mile) | 再利用用水以外分の方法 |                                             |       |
| —              | —                | —            | —        | —        | IRR      | —            | —     | —     | —      | —                 | PCL, TF, SCL, POL                      | —           | —             | —           |                                             | AU-1  |
| 0              | 0                | 5            | なし       | あり       | IRR      | BOD, SS      | なし    | なし    | なし     | 0.6<br>[227]      | PCL, OXPD                              | 15<br>[568] | 16<br>[26]    | あり          |                                             | AU-2  |
| 0              | 0                | —            | なし       | あり       | IRR      | なし           | なし    | なし    | なし     | 0.2<br>[076]      | PCL, TF                                | 0           | 0             | なし          |                                             | AU-3  |
| —              | —                | —            | —        | —        | IRR      | —            | —     | —     | —      | 16<br>[608]       | PCL, TF, SCL, POL, CCOAG, SF           | —           | *             | —           | *市内全体に管網を設けてある                              | AF-1  |
| 0              | 0                | 0            | LAB      | あり       | IRR      | SS, IND, DOM | あり*   | LAB   | PS     | 180<br>[681]      | PCL, TF, SCL, SF, POL                  | 0           | 50<br>[80]    | あり          | *飲料水生産のための研究開発実施中                           | AF-2  |
| 4060<br>[3207] | 235.2<br>[706]   | 32           | CL2      | あり       | DOM      | —            | なし    | AUJO  | PS     | 1.0<br>[379]      | PCL, TF, SCL, POL, pH, CCOAG, SF, CADS | —           | 80<br>[28]    | あり          | *ブレンドした生活用水のための総経費<br>*付加的処理: 藻類の浮上処理, 泡の分離 | AF-3  |
| —              | —                | —            | —        | —        | IND      | SS, BOD      | あり*   | —     | なし     | 5.0<br>[189]      | —                                      | 5<br>[189]  | —             | —           | *再利用後の処理: 浮遊物除去, 重金属除去                      | EN-1  |
| 32<br>[253]    | 259<br>[78]      | 5            | LAB      | あり       | IND      | PO4, SS, NH3 | あり*   | LAB   | PS     | 80<br>[303]       | PCL, TF, SCL                           | なし          | 08<br>[13]    | あり          | *付加的処理: 冷石灰処理                               | IS-1  |
| 170<br>[13.43] | 850<br>[255]     | 0            | LAB      | なし       | IRR      | BOD, SS      | あり*   | LAB   | PS     | 25<br>[946]       | PS, AS, SCL                            | 20<br>[757] | 05            | なし          | *付加的処理: CCOAG, pH, IE                       | MX-1  |

|            |                                           | 供 給 者 か ら の |              |             |              |                   |         |            |          |          |           |            |     |             |      |
|------------|-------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|---------|------------|----------|----------|-----------|------------|-----|-------------|------|
|            |                                           | 流 入 下 水     |              |             |              | 再利用している処理水の平均的な性質 |         |            |          |          |           |            |     |             |      |
| 質問状の回答番号 → |                                           | A5          | B1a          | B2b         | B3           | C1a               | C1c     | C2a        | C2b      | C2c      | C2d       | C2e        | C2f | C2g         | C2h  |
| コード番号      | 都市下水処理場の位置                                | 再利用開始年      | 平均流入水量 (MGD) | 工場排水混入率 (%) | 主たる工場排水      | 平均再利用水量 (MGD)     | 最大使用の季節 | BOD (mg/l) | S (mg/l) | T (mg/l) | Na (mg/l) | 塩化物 (mg/l) | pH  | 大腸菌群数 (MPN) | 重金属類 |
| AZ-1       | BAGDAD, AZ, (Bagdad Copper Corp.)         | 1961        | 0.2 [076]    | 0           | なし           | 0.2 [076]         | なし      | 14         | 100      | 100      | 18        | 12         | 6.8 | —           | なし   |
| AZ-2       | CASA GRAND, AZ                            | 1959        | 1.0 [379]    | —           | —            | 1.0 [379]         | —       | —          | —        | —        | —         | —          | —   | —           | —    |
| AZ-3       | FLAGSTAFF, AZ                             | 1972        | 1.0 [379]    | 0           | なし           | 1.0 [379]         | 夏       | 17         | 30       | —        | —         | —          | 7.2 | —           | —    |
| AZ-4       | FLORENCE, AZ (Arizona State Prison)       | 1953        | 0.7 [265]    | 0           | なし           | 0.7 [265]         | 春夏      | 55         | 111      | —        | —         | —          | 8.0 | 100000      | なし   |
| AZ-5       | FT. HUACHUCA, AZ (Ft. Huachuca Mil. Res.) | 1941        | 1.5 [568]    | 0           | なし           | 1.0 [379]         | —       | 27         | —        | —        | —         | —          | 7.3 | —           | —    |
| AZ-6       | GRAND CANYON, AZ                          | 1928        | 0.2 [076]    | 7           | 洗剤食塩         | 0.03 [011]        | 春夏      | 10         | 10       | 616      | —         | 200        | 7.0 | 0           | —    |
| AZ-7       | KEARNY, AZ                                | 1958        | 0.6 [227]    | 0           | なし           | 0.5 [189]         | —       | —          | —        | —        | —         | —          | —   | —           | —    |
| AZ-8       | LAKE HAVASU, AZ                           | 1972        | 0.6 [227]    | 0           | なし           | 0.6 [227]         | —       | 5          | 01       | —        | —         | 1          | 7   | —           | —    |
| AZ-9       | MESA, AZ                                  | 1957        | 4.3 [163]    | 10          | なし           | 4.3 [163]         | —       | 45         | 30       | —        | —         | 350        | 7.5 | 50000       | —    |
| AZ-10      | MORENCT, AZ (Phelps Dodge Corp.)          | 1957        | 0.6 [227]    | 0           | なし           | 0.6 [227]         | なし      | —          | —        | —        | —         | —          | —   | —           | —    |
| AZ-11      | PHOENIX, AZ (23rd Avenue Plant)           | 1932        | 400 [151]    | 7           | 金属加工         | 280 [106]         | なし      | 20         | 20       | 800      | —         | 300        | 7.5 | —           | —    |
| AZ-12      | PHOENIX, AZ (91st Avenue Plant)           | 1971        | 600 [227]    | 7           | 金属加工         | 600 [227]         | なし      | 13         | 25       | 1000     | —         | —          | 7.4 | 3500        | —    |
| AZ-13      | PRESCOTT, AZ                              | 1958        | 1.5 [568]    | 0           | なし           | 0.5 [189]         | 春夏      | 70         | 117      | —        | —         | —          | 7.0 | —           | —    |
| AZ-14      | SHONTO, AZ (BIA, Shonto Board School)     | 1965        | 0.1 [038]    | 0           | なし           | 0.1 [038]         | —       | 35         | —        | 350      | —         | —          | 8.7 | 1400        | —    |
| AZ-15      | TOLLESON, AZ                              | 1968        | 1.1 [416]    | 60          | 食肉加工<br>金属加工 | 1.1 [416]         | —       | 23         | 16       | 2250     | —         | —          | 7.0 | —           | —    |

| 情 報                   |                              |                         |                       | 使用者からの情報              |               |                         |               |               |               | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                            |                            |                                           |                                       |                         |                       |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 歳入(付録の<br>コストデータ)     |                              | 処理システムの<br>信 頼 性        |                       | F6                    | F7            | F9                      | F10           | F8            | G5            | G6-7                      | G8b                        | G9                         | G10                                       |                                       |                         |                       |
| D7                    | D8                           | E1                      | E2                    | E3                    | F6            | F7                      | F9            | F10           | F8            | G5                        | G6-7                       | G8b                        | G9                                        | G10                                   | ← 質問状の回答番号              |                       |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一畝九<br>七一年の<br>入(1000<br>ドル) | 基準<br>処理水<br>の比率<br>(%) | 装<br>水のモ<br>ニタ<br>1 置 | 妨害<br>物に<br>対する<br>制限 | 再<br>利用<br>目的 | 最<br>終利<br>用先<br>の準     | 付<br>加的<br>処理 | 水<br>質の<br>保護 | そ<br>他の<br>水源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス | 処<br>理<br>水<br>貯水池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>れ<br>(Mile) | 再<br>処<br>理<br>水<br>以<br>外<br>分<br>の法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト        | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 0                     | 0                            | 0                       | —                     | あり                    | IND           | なし                      | なし            | なし            |               | 40<br>[151]               | PCL, AS,<br>SCL            | 130<br>[62]                | 10<br>[150]                               | あり                                    |                         | AZ-1                  |
| 7<br>(855)            | 25<br>(075)                  | —                       | なし                    | —                     | IRR           | —                       | なし            | なし            | なし            | 83<br>[314]               | RSL                        | 84<br>[318]                | —                                         | —                                     |                         | AZ-2                  |
| 36<br>(284)           | 131                          | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | SHD                     | あり            | LAB           | なし            | —                         | —                          | —                          | —                                         | —                                     |                         | AZ-3                  |
| 0                     | 0                            | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | FD                      | なし            | —             | PS            | 20<br>[157]               | PCL,<br>OXPD               | —                          | 0.3<br>[048]                              | あり                                    |                         | AZ-4                  |
| 0                     | 0                            | —                       | —                     | —                     | IRR           | —                       | あり            | —             | PS            | 40<br>[151]               | PCL, TF,<br>SCL            | 25<br>[946]                | 20                                        | —                                     |                         | AZ-5                  |
| 1000<br>(790)         | 109<br>(393)                 | 2                       | なし                    | あり                    | IRR           | BOD<br>DOM<br>SS<br>DIS | なし            | なし            | PS            | 05<br>[189]               | AS, SCL,<br>ANTH           | 03<br>[114]                | 20<br>[320]                               | あり                                    |                         | AZ-6                  |
| 0                     | 0                            | —                       | なし                    | —                     | IRR           | —                       | なし            | なし            | なし            | 15<br>[568]               | RSL                        | 100<br>[319]               | 0                                         | —                                     |                         | AZ-7                  |
| 0                     | 0                            | 0                       | なし                    | なし                    | IRR           | FD                      | なし            | なし            | なし            | —                         | —                          | —                          | —                                         | —                                     |                         | AZ-8                  |
| 3<br>(024)            | 48<br>(144)                  | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | なし                      | なし            | なし            | なし            | 50<br>[189]               | PCL, TF,<br>SCL            | 20<br>[265]                | 0                                         | あり                                    |                         | AZ-9                  |
| 0                     | 0                            | 0                       | なし                    | あり                    | IND           | なし                      | なし            | なし            | PrS           | 15<br>[568]               | RCL, TF,                   | 0                          | 25<br>[400]                               | なし                                    |                         | AZ-10                 |
| 0                     | 0                            | —                       | —                     | —                     | IRR           | —                       | —             | —             | —             | 30<br>[114]               | PCL, AS,<br>SCL            | —                          | —                                         | あり                                    |                         | AZ-11                 |
| 430<br>(034)          | 141<br>(423)                 | 0                       | pH                    | あり                    | IRR           | SHD                     | なし            | なし            | PS            | 60<br>[227]               | PCL, AS,<br>SCL            | 234<br>[386]               | 20<br>[320]                               | あり                                    |                         | AZ-12                 |
| 0                     | 0                            | 90                      | なし                    | あり                    | IRR           | なし                      | なし            | なし            | PS            | 15<br>[568]               | PCL<br>OXPD, SR            | 06<br>[227]                | 50<br>[800]                               | あり                                    |                         | AZ-13                 |
| 0                     | 0                            | —                       | —                     | —                     | IRR           | —                       | なし            | —             | PS            | 01<br>[033]               | PCL,<br>OXPD               | 100<br>[319]               | 15<br>[240]                               | —                                     |                         | AZ-14                 |
| 0                     | 0                            | 1                       | LAB                   | あり                    | IRR           | *                       | なし            | なし            | PS            | 25<br>[946]               | TF                         | —                          | 40<br>[640]                               | —                                     | *直接人間の消費する作物および乳牛には用いない | AZ-15                 |

|                       |                                                   | 供 給 者 か ら の                |                                     |                                        |                                                          |                                          |                                 |             |        |             |     |             |     |                                |                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------|-------------|-----|-------------|-----|--------------------------------|------------------|
|                       |                                                   | 流 入 下 水                    |                                     |                                        | 再利用している処理水の平均的な性質                                        |                                          |                                 |             |        |             |     |             |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 →            |                                                   | A5                         | B1a                                 | B2b                                    | B3                                                       | C1a                                      | C1c                             | C2a         | C2b    | C2c         | C2d | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |
| コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                            | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平<br>均<br>流<br>入<br>水<br>量<br>(MGD) | 工<br>場<br>排<br>水<br>混<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>た<br>る<br>工<br>場<br>排<br>水<br>プ<br>の<br>タ<br>イ<br>プ | 平<br>均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最<br>大<br>使<br>用<br>の<br>季<br>節 | B<br>O<br>D | S<br>S | T<br>D<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| AZ-16                 | WILCOX, AZ                                        | —                          | 0.2<br>[076]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.2<br>[076]                             | —                               | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| AZ-17                 | WINSLOW, AZ                                       | 1958                       | 0.8<br>[303]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.5<br>[189]                             | —                               | 50          | —      | —           | —   | —           | 8.5 | —                              | —                |
| CA-1                  | ARMONA, CA                                        | 1951                       | 0.3<br>[114]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.3<br>[114]                             | —                               | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| CA-2                  | ARVIN, CA                                         | 1952                       | 0.5<br>[189]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.5<br>[189]                             | —                               | —           | —      | —           | —   | —           | 7.3 | —                              | —                |
| CA-3                  | AVENAL, CA                                        | —                          | 0.5<br>[189]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.5<br>[189]                             | —                               | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| CA-4                  | BAKERSFIELD, CA<br>(Plant#1)                      | 1912                       | 3.6<br>[136]                        | 14                                     | 牛乳加工<br>鶏肉加工                                             | 3.6<br>[136]                             | —                               | 370         | 118    | 630         | 181 | 96          | 7.0 | —                              | —                |
| CA-5                  | BAKERSFIELD, CA<br>(Plant#2)                      | 1912                       | 8.5<br>[322]                        | 0                                      | なし                                                       | 8.5<br>[322]                             | —                               | 85          | 26     | 324         | 874 | 496         | 7.4 | —                              | —                |
| CA-6                  | BAKERSFIELD, CA<br>(Mt. Vernon Co. San.<br>Dist.) | 1949                       | 3.8<br>[149]                        | 1                                      | 綿加工<br>化学工業                                              | 3.8<br>[149]                             | 冬                               | 50          | 50     | 425         | —   | —           | 7.4 | —                              | —                |
| CA-7                  | BAKERSFIELD, CA<br>(No. of River San.<br>Dist#1)  | 1947                       | 2.3<br>[871]                        | 1                                      | —                                                        | 2.3<br>[871]                             | —                               | 50          | 12     | —           | —   | —           | 7.5 | —                              | —                |
| CA-8                  | BURBANK, CA                                       | 1967                       | 5.2<br>[197]                        | 25                                     | 航空機工<br>業                                                | 2.0<br>[757]                             | 夏                               | 2           | 2      | 500         | 88  | 82          | 7.2 | 10                             | 微量               |
| CA-9                  | CALABASAS, CA<br>(Las Virgenes MWD)               | 1965                       | 3.0<br>[114]                        | 10                                     | *                                                        | 3.0<br>[114]                             | —                               | 5           | 2      | 870         | —   | —           | 7.8 | 2.2                            | —                |
| CA-10                 | CALISTOGA CA                                      | 1972                       | 0.2<br>[076]                        | 1                                      | —                                                        | 0.1<br>[638]                             | 夏                               | 13          | 61     | 528         | 122 | 141         | 8.4 | 1200                           | —                |

| 情 報                   |                                               |                    |                         | 使用者からの情報     |           |             |           |            |            | 都市下水の処理場の設計に関する情報 |                     |                    |                       |                   |                                                                                                                          |                       |  |  |  |
|-----------------------|-----------------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------|-----------|-------------|-----------|------------|------------|-------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--|--|--|
| 歳入(付録の<br>コストデータ)     |                                               | 処理システムの信頼性         |                         |              |           |             |           |            |            |                   |                     |                    |                       |                   |                                                                                                                          |                       |  |  |  |
| D7                    | D8                                            | E1                 | E2                      | E3           | F6        | F7          | F9        | F10        | F8         | G5                | G6-7                | G8b                | G9                    | G10               | ← 質問状の回答番号                                                                                                               |                       |  |  |  |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一般九七<br>一<br>年<br>の<br>入<br>入<br>(1000<br>\$) | 基準以下<br>の比率<br>(%) | 装置のモ<br>ニタ1個            | 妨害物に<br>対する限 | 再利用目<br>的 | 最終利用<br>先の準 | 付加的処<br>理 | 水質の保<br>護  | その他の水<br>源 | 設計容<br>量<br>(MGD) | 処理プ<br>ロセス          | 処理水貯<br>水池<br>(MG) | 処理水輸<br>送距離<br>(Mile) | 再利用水<br>以外分<br>の法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                                                                                         | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |  |  |  |
| L40<br>[011]          | 01<br>[003]                                   | -                  | -                       | -            | IRR       | -           | -         | -          | -          | -                 | RSL                 | -                  | -                     | -                 |                                                                                                                          | AZ-16                 |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | -                  | なし                      | あり           | IRR       | なし          | なし        | なし         | なし         | 18<br>[681]       | PCL,<br>OXPD        | 65<br>[246]        | 10<br>[160]           | あり                |                                                                                                                          | AZ-17                 |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | -                  | なし                      | -            | IRR       | なし          | なし        | なし         | PrS        | 03<br>[114]       | PCL                 | -                  | 0                     | -                 |                                                                                                                          | CA-1                  |  |  |  |
| *                     | 11<br>[033]                                   | -                  | -                       | あり           | IRR       | -           | なし        | -          | PrS        | 10<br>[379]       | PCL                 | 10<br>[379]        | 240                   | -                 | *利用者の料金：<br>農地からの収入によ<br>って定まる                                                                                           | CA-2                  |  |  |  |
| *                     | 30<br>[090]                                   | -                  | -                       | -            | IRR       | -           | なし        | -          | なし         | 10<br>[379]       | PCL,<br>OXPD        | -                  | 0                     | -                 | *利用者の料金：<br>農地からの収入によ<br>って定まる                                                                                           | CA-3                  |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | 25                 | -                       | -            | IRR       | *           | -         | -          | PrS        | 55<br>[208]       | PCL                 | -                  | -                     | -                 | *人間の直接消費す<br>る作物の灌漑には使<br>用しない                                                                                           | CA-4                  |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | 25                 | -                       | -            | IRR       | *           | -         | -          | PrS        | 16<br>[605]       | PCL                 | -                  | -                     | -                 | *人間の直接消費す<br>る作物の灌漑には使<br>用しない                                                                                           | CA-5                  |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | 30                 | -                       | -            | IRR       | なし          | なし        | なし         | PrS        | 66<br>[250]       | PCL, TF,<br>SCL     | 0                  | 50<br>[800]           | なし                |                                                                                                                          | CA-6                  |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | -                  | -                       | -            | IRR       | -           | -         | -          | -          | 30<br>[116]       | PCL, TF,<br>SCL     | 400<br>[151]       | 03<br>[048]           | -                 |                                                                                                                          | CA-7                  |  |  |  |
| 43<br>[340]           | 310<br>[930]                                  | 05                 | PH<br>LAB               | あり           | IND       | *           | あり<br>**  | LAB<br>PPC | PS         | 60<br>[227]       | PCL, AS,<br>SCL     | 0                  | 10<br>[160]           | あり                | *最終使用水質：<br>TDS, SS, PO <sub>4</sub> ,<br>NO <sub>3</sub> ,有機物が低濃度<br>であること<br>**利用者の処理：<br>ショック塩素処理,<br>pH調整, 腐蝕防止<br>剤 | CA-8                  |  |  |  |
| 5<br>[040]            | 54<br>[162]                                   | 0                  | CL <sub>2</sub><br>TURB | あり           | IRR       | -           | -         | -          | -          | -                 | AS                  | -                  | 50<br>[800]           | -                 | *工場では下水道に<br>放流する以前に処理<br>を行なう                                                                                           | CA-9                  |  |  |  |
| 0                     | 0                                             | 98                 | なし                      | あり           | GRD       | -           | -         | -          | -          | 04<br>[151]       | PCL, OXPD,<br>CCOAG | 0                  | 05<br>[080]           | あり                |                                                                                                                          | CA-10                 |  |  |  |

|           |                                           | 供 給 者 か ら の                |                         |                            |                       |                                  |                     |             |        |             |     |             |     |                                |                  |  |
|-----------|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|--------|-------------|-----|-------------|-----|--------------------------------|------------------|--|
|           |                                           | 流 入 下 水                    |                         |                            |                       | 再利用している処理水の平均的な性質                |                     |             |        |             |     |             |     |                                |                  |  |
| 質問状の回答番号→ |                                           | A5                         | B1a                     | B2b                        | B3                    | C1a                              | C1c                 | C2a         | C2b    | C2c         | C2d | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |  |
| コード番号     | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                    | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平均<br>流入<br>水量<br>(MGD) | 工場<br>排水<br>混入<br>率<br>(%) | 主たる<br>工場の<br>排水<br>プ | 平均<br>再利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最大<br>使用<br>の<br>季節 | B<br>O<br>D | S<br>S | T<br>D<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |  |
| CA-11     | CAMARILLO, CA                             | 1958                       | 23<br>[871]             | 11                         | 金属加工<br>化学工業          | 23<br>[871]                      | なし                  | 10          | 14     | 900         | 321 | 195         | 7.5 | 22                             | なし               |  |
| CA-12     | CAMARILLO, CA<br>(Camarillo St. Hospital) | 1935                       | 0.2<br>[076]            | 0                          | なし                    | 0.3<br>[114]                     | —                   | 6           | 6      | 01          | 0   | 283         | 7.4 | 22                             | なし               |  |
| CA-13     | CHINO, CA<br>(Naval Weapons<br>Center)    | 1955                       | 1.6<br>[606]            | 20                         | 空調機器                  | 0.7<br>[265]                     | —                   | 7           | —      | 450         | 110 | 100         | 8.4 | 23                             | —                |  |
| CA-14     | CHINO, CA                                 | 1942                       | 2.4<br>[908]            | 5                          | 食肉加工                  | 2.4<br>[908]                     | —                   | 10          | 12     | 8           | 70  | 70          | 7.5 | 2                              | なし               |  |
| CA-15     | CHINO, CA<br>(Calif. Inst. for Men)       | 1941                       | 0.6<br>[227]            | 20                         | 洗濯                    | 0.5<br>[189]                     | なし                  | 15          | 15     | 610         | 62  | 40          | 6.9 | —                              | —                |  |
| CA-16     | COACHELLA, CA<br>(Coachella San-Dist.)    | 1938                       | 1.0<br>[379]            | 5                          | 食品工業                  | 0.2<br>[076]                     | なし                  | 20          | 5      | 475         | —   | 69          | 7.2 | —                              | なし               |  |
| CA-17     | CORNING, CA                               | 1950                       | 0.3<br>[114]            | 10                         | 食品工業                  | 0.2<br>[076]                     | 夏                   | 25          | 49     | 14          | —   | —           | 7.3 | —                              | —                |  |
| CA-18     | CUTLER, CA<br>(Cutler PUD)                | 1960                       | 0.4<br>[151]            | 1                          | なし                    | 0.3<br>[114]                     | —                   | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |  |
| CA-19     | DELANO, CA                                | 1948                       | 2.7<br>[102]            | 5                          | なし                    | 2.7<br>[102]                     | —                   | 70          | 62     | —           | —   | 0           | 7.0 | —                              | —                |  |
| CA-20     | EARLIMART, CA<br>(Earlimart PUD)          | 1960                       | 0.3<br>[114]            | 0                          | なし                    | 0.3<br>[114]                     | —                   | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |  |
| CA-21     | EXETER, CA                                | 1955                       | 0.7<br>[265]            | 10                         | 果実缶詰                  | 0.7<br>[265]                     | —                   | —           | —      | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |  |
| CA-22     | FALLBROOK, CA<br>(Fallbrook San Dist)     | 1954                       | 0.7<br>[265]            | 0                          | なし                    | 0.06<br>[023]                    | 春夏                  | 43          | 47     | 1109        | 175 | 215         | 7.0 | 1.4×10 <sup>6</sup>            | 0                |  |
| CA-23     | FRESNO, CA<br>(Plant#1)                   | 1900                       | 26.0<br>[984]           | 20                         | なし                    | 3.9<br>[148]                     | 春夏                  | 60          | 135    | 700         | 140 | 115         | 8.4 | —                              | —                |  |
| CA-24     | FRESNO, CA<br>(Plant#2)                   | 1900                       | 12.0<br>[454]           | 30                         | ワインの<br>製造            | 1.8<br>[681]                     | 春夏                  | 60          | 135    | 700         | 140 | 115         | 8.4 | —                              | —                |  |
| CA-25     | GEORGE AFB, CA                            | 1963                       | 0.6<br>[227]            | 0                          | なし                    | 0.5<br>[189]                     | 夏                   | 36          | 100    | 150         | —   | —           | 7.6 | —                              | Cr               |  |

| 情 報               |                           |                                                |                                   | 使用者からの情報              |                       |                                 |                       |                       |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                             |                                    |                                           |                                      |                                                     |                       |
|-------------------|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| 歳入(付録の<br>コストデータ) |                           | 処理システムの<br>信 頼 性                               |                                   |                       |                       |                                 |                       |                       |                            |                           |                             |                                    |                                           |                                      |                                                     |                       |
| D7                | D8                        | E1                                             | E2                                | E3                    | F6                    | F7                              | F9                    | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                        | G8b                                | G9                                        | G10                                  | ← 質問状の回答番号                                          |                       |
| 処理水の単価<br>(\$/MG) | 一版九七<br>先収一年の<br>(1000ドル) | 基<br>準<br>水<br>質<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>リ<br>置 | 装<br>置<br>の<br>信<br>頼<br>性<br>(%) | 忍<br>耐<br>性<br>有<br>無 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 水<br>質<br>保<br>護<br>の<br>準<br>拠 | 付<br>加<br>的<br>処<br>理 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス  | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 距<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>れ<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                    | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 0                 | 0                         | 1                                              | —                                 | なし                    | IRR                   | SHD                             | なし                    | LAB                   | PS                         | 48<br>[182]               | PCL, AS,<br>SCL, POL,<br>SF | 120<br>[64]                        | 05<br>[080]                               | あり                                   |                                                     | CA-11                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | なし                                | なし                    | IRR                   | —                               | なし                    | PPC                   | なし                         | —                         | PCL, TF,<br>SCL             | 15<br>[568]                        | 03<br>[048]                               | あり                                   |                                                     | CA-12                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | CL <sub>2</sub>                   | —                     | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | なし                         | 20<br>[757]               | PCL,<br>OXPD                | 300<br>[114]                       | 05<br>[080]                               | —                                    |                                                     | CA-13                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | CL <sub>2</sub><br>CON            | あり                    | IRR                   | SHD<br>TDS                      | なし                    | なし                    | なし                         | 30<br>[114]               | PCL, AS,<br>SCL             | 200<br>[757]                       | 10<br>[160]                               | あり                                   |                                                     | CA-14                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | なし                                | あり                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | 13<br>[492]               | PCL, 1<br>OXPD              | 110<br>[416]                       | 08<br>[128]                               | なし                                   |                                                     | CA-15                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | なし                                | あり                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | 15<br>[568]               | PCL, AS                     | 0                                  | 01<br>[016]                               | あり                                   |                                                     | CA-16                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | なし                                | あり                    | IRR                   | *                               | なし                    | なし                    | —                          | 05<br>[189]               | PCL,<br>OXPD                | 50<br>[189]                        | 01<br>[016]                               | —                                    | *乳牛の牧草地は処<br>理水の処分地とはし<br>ない<br>** 最初に敷地流出<br>水の再利用 | CA-17                 |
| *                 | —                         | 0                                              | なし                                | あり                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | 10<br>[379]               | PCL, TF,<br>OXPD            | 65<br>[246]                        | 10<br>[160]                               | なし                                   | *利用者料金：農業<br>収入の25%                                 | CA-18                 |
| 0                 | 0                         | 30                                             | なし                                | あり                    | IRR                   | *                               | なし                    | なし                    | PS                         | 10<br>[379]               | PCL,<br>OXPD                | 1760<br>[6662]                     | 05<br>[080]                               | あり                                   | *非食用作物の灌漑<br>のみ                                     | CA-19                 |
| 0                 | 0                         | —                                              | —                                 | —                     | IRR                   | GRD                             | —                     | なし                    | —                          | 08<br>[303]               | PCL, TF,<br>OXPD            | —                                  | 0                                         | —                                    |                                                     | CA-20                 |
| 420<br>[033]      | 1<br>[030]                | —                                              | —                                 | —                     | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | なし                         | 08<br>[303]               | PCL,<br>OXPD                | —                                  | 0                                         | —                                    |                                                     | CA-21                 |
| 0                 | 0                         | 30                                             | なし                                | なし                    | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | なし                         | 06<br>[227]               | PCL, TF,<br>AS, SCL         | 0                                  | 1<br>[160]                                | あり                                   |                                                     | CA-22                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | LAB                               | なし                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | PS                         | 37<br>[140]               | PCL                         | —                                  | —                                         | なし                                   |                                                     | CA-23                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | LAB                               | なし                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | PS                         | 8<br>[303]                | TF, SCL                     | —                                  | —                                         | なし                                   |                                                     | CA-24                 |
| 0                 | 0                         | 0                                              | CL <sub>2</sub>                   | あり                    | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | 15<br>[568]               | PCL, TF,<br>SCL             | 102<br>[385]                       | 2<br>[320]                                | なし                                   |                                                     | CA-25                 |

|            |                                                                  | 供 給 者 か ら の                |                                     |                                        |                                                 |                                          |                                 |             |        |             |     |                          |     |                                |                  |
|------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------|-------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------------|------------------|
|            |                                                                  | 流 入 下 水                    |                                     |                                        |                                                 | 再利用している処理水の平均的な性質                        |                                 |             |        |             |     |                          |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 → |                                                                  | A5                         | B1a                                 | B2b                                    | B3                                              | C1a                                      | C1c                             | C2a         | C2b    | C2c         | C2d | C2e                      | C2f | C2g                            | C2h              |
| コード<br>番号  | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                                           | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平<br>均<br>流<br>入<br>水<br>量<br>(MGD) | 工<br>場<br>排<br>水<br>混<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>た<br>る<br>工<br>場<br>排<br>水<br>プ<br>ライ<br>プ | 平<br>均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最<br>大<br>使<br>用<br>の<br>季<br>節 | B<br>O<br>D | S<br>S | T<br>D<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物<br>mg<br>(l) | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| CA-26      | GUADALUPE, CA                                                    | 1952                       | 05<br>[189]                         | 0                                      | なし                                              | 05<br>[189]                              | なし                              | 77          | 72     | 1670        | 198 | 138                      | 7.7 | 42000                          | —                |
| CA-27      | GUSTINE, CA                                                      | —                          | 27<br>[102]                         | 65                                     | なし                                              | 20<br>[157]                              | —                               | 33          | 90     | 1130        | 292 | 191                      | 9.0 | —                              | —                |
| CA-28      | HANFORD, CA                                                      | 1901                       | 20<br>[757]                         | 10                                     | 牛乳加工                                            | 20<br>[757]                              | なし                              | 40          | 124    | —           | —   | 709                      | 8.7 | —                              | —                |
| CA-29      | HEMET, CA                                                        | 1965                       | 28<br>[106]                         | 1                                      | 洗濯業                                             | 10<br>[379]                              | 春夏                              | 30          | 20     | 720         | 145 | 135                      | 7.3 | 1.8×10 <sup>6</sup>            | なし               |
| CA-30      | INDIO, CA<br>(Valley San. Dist.)                                 | 1936                       | 34<br>[129]                         | 10                                     | 果実加工                                            | 03<br>[148]                              | 夏<br>秋                          | 15          | 40     | 452         | —   | 100                      | 7.2 | 2.3                            | —                |
| CA-31      | IRVINE, CA<br>(Irvine Ranch W.D.)                                | 1967                       | 28<br>[106]                         | 0                                      | なし                                              | 28<br>[106]                              | 春夏                              | 13          | 15     | 1110        | 200 | 160                      | 7.5 | 2                              | なし               |
| CA-32      | IVANHOE, CA<br>(Ivanhoe PUD)                                     | 1953                       | 03<br>[148]                         | 0                                      | なし                                              | 03<br>[148]                              | —                               | 200         | —      | —           | —   | —                        | —   | —                              | —                |
| CA-33      | KERMAN, CA                                                       | 1950                       | 03<br>[148]                         | 0                                      | なし                                              | 03<br>[148]                              | —                               | 113         | 88     | 600         | —   | 0                        | 6.9 | —                              | —                |
| CA-34      | LAGUNA NIGUEL, CA<br>(Moulton Niguel W.D.)                       | 1966                       | 04<br>[151]                         | 5                                      | なし                                              | 04<br>[151]                              | —                               | 25          | 30     | 1075        | 235 | 180                      | 7.4 | 2.0                            | なし               |
| CA-35      | LEUCADIA, CA<br>(Leucadia Co. W. D.)                             | 1962                       | 05<br>[189]                         | 0                                      | —                                               | 05<br>[189]                              | —                               | 15          | 18     | —           | —   | 375                      | 7.2 | 2.2                            | —                |
| CA-36      | LIVERMORE, CA                                                    | 1967                       | 42<br>[159]                         | 17                                     | なし                                              | 42<br>[159]                              | —                               | 73          | 13     | 768         | 131 | 159                      | 6.7 | 2.5                            | —                |
| CA-37      | LODI, CA                                                         | 1968                       | 37<br>[140]                         | 11                                     | 缶詰工業<br>金属加工                                    | 37<br>[140]                              | 春夏                              | 13          | 17     | 86          | 10  | 16                       | 7.3 | —                              | —                |
| CA-38      | LOS ANGELES, CA<br>(L.A. County San. Dist.)<br>La Canada, Plant) | 1962                       | 01<br>[038]                         | 0                                      | なし                                              | 01<br>[038]                              | なし                              | 13          | 36     | 1122        | 300 | 196                      | 6.8 | 10                             | Zn<br>Fe         |
| CA-39      | LOS ANGELES, CA<br>(L.A. County San. Dist.<br>Lancaster Plant)   | 1970                       | 40<br>[151]                         | 5                                      | なし                                              | 05<br>[189]                              | 夏                               | 3           | 3      | 550         | 150 | 80                       | 7.6 | —                              | Zn<br>Fe         |
| CA-40      | LOS ANGELES, CA<br>(L.A. County San. Dist.<br>Palmdale Plant)    | 1964                       | 13<br>[492]                         | 8                                      | —                                               | 07<br>[265]                              | 春夏<br>秋                         | 50          | 200    | 500         | 120 | 55                       | 7.8 | —                              | なし               |

| 情 報                   |                                        |                                             |                                           |                                           | 使用者からの情報              |                                 |                       |                            |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                             |                                    |                                           |                                      | ← 質問状の回答番号       |                       |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| 投入(付録の<br>コストデータ)     | 処理システムの<br>信頼性                         |                                             |                                           |                                           |                       |                                 |                       |                            |                            |                           |                             |                                    |                                           |                                      |                  |                       |
| D7                    | D8                                     | E1                                          | E2                                        | E3                                        | F6                    | F7                              | F9                    | F10                        | F8                         | G5                        | G6-7                        | G8b                                | G9                                        | G10                                  | ← 質問状の回答番号       |                       |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一版<br>九七<br>一取<br>年の入<br>(100%)<br>(%) | 基<br>理<br>水<br>の<br>下<br>の<br>比<br>率<br>(%) | 装<br>置<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>リ<br>ン<br>グ | 防<br>腐<br>害<br>物<br>に<br>対<br>す<br>る<br>限 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 最<br>終<br>利<br>用<br>先<br>の<br>準 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | 付<br>加<br>的<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス  | 処<br>理<br>水<br>野<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>れ<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 0                     | 0                                      | 0                                           | LAB                                       | あり                                        | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                         | PrS                        | 05<br>[189]               | RSL                         | 10<br>[319]                        | 03<br>[048]                               | なし                                   |                  | CA-26                 |
| 0                     | 0                                      | -                                           | -                                         | -                                         | IRR                   | -                               | なし                    | -                          | なし                         | -                         | RSL                         | -                                  | 01<br>[016]                               | -                                    |                  | CA-27                 |
| 0                     | 0                                      | 0                                           | なし                                        | -                                         | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                         | なし                         | 23<br>[871]               | PCL, TF,<br>OXPD            | 72<br>[273]                        | 0                                         | あり                                   |                  | CA-28                 |
| 18<br>[143]           | 45<br>[135]                            | 0                                           | CON<br>LAB                                | あり                                        | IRR<br>GRD            | SS                              | なし                    | なし                         | なし                         | 25<br>[946]               | PCL, AS,                    | -                                  | 10<br>[160]                               | あり                                   |                  | CA-29                 |
| 0                     | 0                                      | 10                                          | CL <sub>2</sub>                           | あり                                        | IRR                   | SS                              | なし                    | なし                         | PrS                        | 50<br>[189]               | PCL, AS,<br>SCL             | -                                  | -                                         | -                                    |                  | CA-30                 |
| 120<br>[95]           | *                                      | 0                                           | CON                                       | あり                                        | IRR                   | B.TDS<br>DIS                    | なし                    | LAB                        | FS                         | 50<br>[189]               | PCL, AS,<br>SCL             | 300<br>[1136]                      | 35<br>[560]                               | なし                                   | *間接流入            | CA-31                 |
| 0                     | 0                                      | -                                           | -                                         | -                                         | IRR                   | -                               | なし                    | -                          | PrS                        | -                         | PCL,<br>OXPD                | -                                  | 03<br>[048]                               | -                                    |                  | CA-32                 |
| *                     | *                                      | 0                                           | なし                                        | あり                                        | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                         | PrS                        | 03<br>[114]               | PCL                         | 0                                  | 03<br>[048]                               | -                                    | *間接流入            | CA-33                 |
| -                     | -                                      | 90                                          | TURF<br>LAB                               | あり                                        | IRR                   | -                               | なし                    | なし                         | PS                         | -                         | AS, SCL,<br>SF              | 5<br>[189]                         | 10<br>[160]                               | あり                                   |                  | CA-34                 |
| 0                     | 0                                      | 1                                           | CON<br>CL <sub>2</sub>                    | あり                                        | IRR                   | TDS, D<br>IS, BOD<br>SS         | なし                    | なし                         | PS                         | 08<br>[303]               | PCL, TF,<br>SCL             | 10<br>[379]                        | 13<br>[204]                               | あり                                   |                  | CA-35                 |
| 0                     | 0                                      | 1                                           | なし                                        | なし                                        | IRR                   | DIS, B<br>OD, SS                | なし                    | なし                         | PrS                        | 50<br>[189]               | PCL, TF,<br>AER, SCL        | -                                  | 10<br>[160]                               | あり                                   |                  | CA-36                 |
| 0                     | 0                                      | 0                                           | -                                         | あり                                        | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                         | -                          | 35<br>[132]               | PCL, AS,<br>SCL             | 250<br>[946]                       | 0                                         | あり                                   |                  | CA-37                 |
| 0                     | 0                                      | 0                                           | なし                                        | あり                                        | IRR                   | FD,<br>TDS                      | なし                    | なし                         | PrS                        | 02<br>[076]               | AS, SCL                     | 02<br>[076]                        | 02<br>[032]                               | なし                                   |                  | CA-38                 |
| 0                     | 0                                      | 15                                          | TURF<br>CL <sub>2</sub>                   | あり                                        | IRR                   | near<br>REC IWQ                 | なし                    | AUTO                       | なし                         | 45<br>[170]               | PCL, OXPD,<br>CCOAG,<br>MMF | 0                                  | 40<br>[540]                               | あり                                   |                  | CA-39                 |
| 5<br>[040]            | 09<br>[027]                            | 0                                           | なし                                        | あり                                        | IRR                   | SHD<br>BOD                      | なし                    | なし                         | FS                         | 81<br>[117]               | PCL,<br>OXPD                | 50<br>[189]                        | 20<br>[320]                               | あり                                   |                  | CA-40                 |

|           |                                                                 | 供 給 者 か ら の |             |            |         |                   |         |              |            |              |           |            |     |             |                |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|------------|---------|-------------------|---------|--------------|------------|--------------|-----------|------------|-----|-------------|----------------|
|           |                                                                 | 流 入 下 水     |             |            |         | 再利用している処理水の平均的な性質 |         |              |            |              |           |            |     |             |                |
| 質問状の回答番号→ |                                                                 | A5          | B1a         | B2b        | B3      | C1a               | C1c     | C2a          | C2b        | C2c          | C2d       | C2e        | C2f | C2g         | C2h            |
| コード番号     | 都市下水処理場の位置                                                      | 再利用開始年      | 平均流入水量(MGD) | 工場排水混入率(%) | 主たる工場排水 | 平均再利用水量(MGD)      | 最大使用の季節 | BOD S (mg/l) | S S (mg/l) | T D S (mg/l) | Na (mg/l) | 塩化物 (mg/l) | pH  | 大腸菌群数 (MPN) | 重金属類           |
| CA-41     | LOS ANGELES, CA (L.A. County San. Dist. Pomona Plant)           | 1928        | 27 [291]    | 5          | なし      | 07 [265]          | 夏       | 15           | 9          | 564          | 100       | 148        | 7.7 | 23          | —              |
| CA-42     | LOS ANGELES, CA (L.A. County San. Dist. San Jose Creek Plant)   | 1972        | 305 [115]   | 20         | なし      | 23 [871]          | なし      | 7            | 13         | 687          | 150       | 138        | 8.0 | 20          | Fe<br>Zn<br>Pb |
| CA-43     | LOS ANGELES, CA (L.A. County San. Dist. Whittier Narrows Plant) | 1962        | 121 [647]   | 15         | なし      | 16 [606]          | なし      | 12           | 13         | 605          | 130       | 99         | 7.6 | 240         | Zn<br>Pb       |
| CA-44     | MARCH AFB, CA (March Plant)                                     | 1941        | 0.4 [151]   | 15         | 航空機工業   | 0.4 [151]         | なし      | 15           | 12         | 850          | 175       | 160        | 6.8 | —           | 微量             |
| CA-45     | MARCH AFB, CA (West March Plant)                                | 1941        | 0.3 [148]   | 5          | なし      | 0.3 [148]         | なし      | 15           | 10         | 900          | 220       | 200        | 6.8 | —           | 微量             |
| CA-46     | MCFARLAND, CA                                                   | 1949        | 0.3 [148]   | 5          | 農産物缶詰   | 0.3 [148]         | —       | 64           | 259        | 438          | —         | 78         | 6.8 | —           | —              |
| CA-47     | MOJAVE, CA (Mojave PUD)                                         | 1945        | 0.2 [076]   | 0          | なし      | 0.2 [076]         | —       | —            | —          | —            | 232       | 139        | 8.2 | —           | —              |
| CA-48     | OCEANSIDE, CA                                                   | 1958        | 4.4 [167]   | 1          | 金属加工    | 0.5 [227]         | なし      | 7            | 18         | 1280         | 285       | 303        | 7.7 | 43          | 微量             |
| CA-49     | ORANGE COVE, CA                                                 | 1956        | 0.4 [151]   | 0          | なし      | 0.4 [151]         | —       | —            | —          | —            | —         | —          | —   | —           | —              |
| CA-50     | PALM SPRINGS, CA                                                | 1960        | 27 [102]    | 0          | なし      | 10 [379]          | —       | 12           | —          | 437          | —         | 58         | 7.1 | 2400        | —              |
| CA-51     | PATTERSON, CA                                                   | 1960        | 0.02 [008]  | 0          | なし      | 0.01 [004]        | —       | 33           | 102        | 11           | —         | —          | 8.2 | —           | —              |
| CA-52     | PLEASANTON, CA                                                  | 1910        | 13 [492]    | 5          | —       | 13 [492]          | —       | —            | 40         | —            | —         | —          | 7.4 | —           | —              |
| CA-53     | PORTERVILLE, CA                                                 | 1952        | 13 [492]    | 0          | なし      | 07 [265]          | なし      | —            | —          | —            | —         | —          | —   | —           | —              |
| CA-54     | POWAY, CA (Pomona Co. W.D.)                                     | 1972        | 0.4 [151]   | 0          | なし      | 0.05 [019]        | 夏       | 18           | 23         | 1450         | —         | 380        | 8   | 120         | なし             |

| 情 報                 |                                   |                         |                                |                  | 使用者からの情報      |                     |               |               |                    | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                              |                        |                                |                      |                     |                       |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| 収入(付録の<br>コストデータ)   |                                   | 処理システムの<br>信頼性          |                                |                  |               |                     |               |               |                    |                           |                              |                        |                                |                      | ← 質問状の回答番号          |                       |
| D7                  | D8                                | E1                      | E2                             | E3               | F6            | F7                  | F9            | F10           | F8                 | G5                        | G6-7                         | G8b                    | G9                             | G10                  | コ<br>メ<br>ン<br>ト    | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 処理水の<br>単価<br>(M/G) | 一畝九<br>七一年の<br>収入<br>(1000<br>ドル) | 基準<br>処理水<br>の比率<br>(%) | 表装<br>水のモ<br>ニター<br>1 箇        | 妨害<br>物に対<br>する限 | 再利<br>用目<br>的 | 最終<br>利用<br>先の<br>準 | 水質<br>的保<br>護 | 水質<br>的保<br>護 | その<br>他の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス   | 処理<br>水貯<br>水池<br>(MG) | 処理<br>水貯<br>水池<br>送離<br>(Mile) | 再利<br>用水<br>以外<br>の法 |                     |                       |
| 22<br>[174]         | 39<br>[117]                       | 0                       | CL <sub>2</sub><br>CON<br>TURE | あり               | IRR           | SHD                 | なし            | なし            | なし                 | 96<br>(363)               | PCL, AS,<br>SCL              | 0                      | 20<br>(320)                    | あり                   |                     | CA-41                 |
| 15<br>[119]         | *                                 | -                       | CL <sub>2</sub><br>CON<br>TURE | あり               | GRD           | USPHS<br>SHD        | なし            | CON<br>LAB    | PS                 | 315<br>(142)              | PCL, AS,<br>SCL              | 0                      | 50<br>(800)                    | あり                   | *新規操業               | CA-42                 |
| 68<br>[537]         | 395<br>[119]                      | 0                       | CL <sub>2</sub><br>CON         | あり               | GRD           | USPHS<br>SHD        | なし            | LAB           | PS                 | 120<br>(444)              | PCL, AS,<br>SCL              | 0                      | 30<br>(460)                    | あり                   |                     | CA-43                 |
| *                   | *                                 | 0                       | CL <sub>2</sub><br>pH          | あり               | IRR           | なし                  | -             | -             | -                  | 10<br>(379)               | PCL, TF,<br>SCL              | 24<br>(308)            | 10<br>(160)                    | なし                   | *利用者料金: 年間<br>当り1ドル | CA-44                 |
| *                   | *                                 | 0                       | CL <sub>2</sub><br>pH          | あり               | IRR           | なし                  | -             | -             | -                  | 12<br>(454)               | PCL, TF,<br>SCL              | 21<br>(102)            | 3.0<br>(480)                   | なし                   | *利用者料金: 年間<br>当り1ドル | CA-45                 |
| 0                   | 0                                 | 0                       | なし                             | あり               | IRR           | なし                  | なし            | なし            | PS                 | 03<br>(114)               | PCL, TF,                     | -                      | -                              | -                    |                     | CA-46                 |
| *                   | *                                 | 0                       | -                              | -                | IRR           | -                   | なし            | なし            | なし                 | -                         | RSL                          | -                      | 0                              | なし                   | *利用者料金: 年間<br>当り1ドル | CA-47                 |
| 0                   | 0                                 | -                       | LAB                            | -                | IRR           | SHD<br>GRD DIS      | なし            | -             | なし                 | -                         | PCL, SS,<br>SCL*             | 0                      | 55                             | あり                   | *市内に下水処理場<br>3ヶ所    | CA-48                 |
| 0                   | 0                                 | -                       | -                              | -                | IRR           | SHD                 | なし            | -             | なし                 | 14<br>(530)               | PCL, TF                      | 100<br>(319)           | 0                              | -                    |                     | CA-49                 |
| 0                   | 0                                 | -                       | -                              | -                | IRR           | -                   | なし            | -             | PrS                | 42<br>(159)               | TF,<br>OXPD                  | 95<br>(360)            | 0.5<br>(080)                   | -                    |                     | CA-50                 |
| 0                   | 0                                 | 0                       | なし                             | あり               | IRR           | なし                  | なし            | なし            | なし                 | 0.5<br>(189)              | PCL,<br>OXPD                 | 0                      | 0                              | -                    |                     | CA-51                 |
| 0                   | 0                                 | -                       | -                              | -                | IRR           | -                   | なし            | -             | なし                 | 17<br>(643)               | PCL, TF,<br>AER, SCL,<br>POL | 5<br>(189)             | 0.5<br>(080)                   | -                    |                     | CA-52                 |
| 0                   | 0                                 | -                       | -                              | -                | IRR           | -                   | なし            | -             | なし                 | 20<br>(757)               | PCL, AS,<br>SCL              | 0                      | 0                              | なし                   |                     | CA-53                 |
| 0                   | 0                                 | 0                       | なし                             | あり               | IRR           | SHD                 | なし            | ST            | なし                 | 45<br>(568)               | PCL, TF,<br>SCL, POL         | -                      | 0.3<br>(048)                   | あり                   |                     | CA-54                 |

|           |                                                         | 供給者からの             |                         |                            |                   |                          |                 |             |        |        |     |             |     |                        |                  |
|-----------|---------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|-----|-------------|-----|------------------------|------------------|
|           |                                                         | 流入下水               |                         |                            | 再利用している処理水の平均的な性質 |                          |                 |             |        |        |     |             |     |                        |                  |
| 質問状の回答番号→ |                                                         | A5                 | B1a                     | B2b                        | B3                | C1a                      | C1c             | C2a         | C2b    | C2c    | C2d | C2e         | C2f | C2g                    | C2h              |
| コード<br>番号 | 都市下水処理<br>場の位置                                          | 再<br>利用<br>開始<br>年 | 平均<br>流入<br>水量<br>(MGD) | 工場<br>排水<br>混入<br>率<br>(%) | 主たる<br>工場の<br>排水  | 平均<br>再利用<br>水量<br>(MGD) | 最大<br>使用の<br>季節 | B<br>O<br>D | S<br>S | T<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大腸<br>菌群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| CA-55     | SAN BERNARDINO, CA                                      | 1962               | 16<br>[606]             | 15                         | なし                | 30<br>[114]              | 夏               | 13          | —      | 553    | 85  | 83          | 7.4 | 2                      | なし               |
| CA-56     | SAN BRUNO, CA<br>(San Fran. Co. Jail #2)                | 1932               | 01<br>[038]             | 0                          | なし                | 01<br>[038]              | —               | —           | —      | —      | —   | —           | —   | —                      | —                |
| CA-57     | SAN CLEMENTE, CA                                        | 1957               | 20<br>[157]             | 0                          | なし                | 20<br>[157]              | —               | —           | —      | —      | —   | 02          | 6.9 | 2                      | —                |
| CA-58     | SAN DIEGO, CA                                           | 1971               | 002<br>[008]            | 15                         | 金属加工<br>電気工業      | 0015<br>[006]            | なし              | 7           | 0      | 35     | 7   | 7           | 7   | 0                      | —                |
| CA-59     | SAN DIEGO, CA<br>(Rancho Bernardo<br>Reclamation Plant) | 1960               | 13<br>[492]             | 25                         | 金属加工              | 13<br>[492]              | —               | 15          | 20     | 1000   | —   | —           | 7.5 | 23                     | Cr<br>Zn<br>Cu   |
| CA-60     | SAN FRANCISCO, CA<br>(Mc Queen STP)                     | 1932               | 10<br>[379]             | 0                          | なし                | 09<br>[341]              | なし              | 10          | 10     | —      | —   | —           | 6.9 | 22                     | —                |
| CA-61     | SANTA MARIA, CA<br>(Laguna Co. San. Dist.)              | 1964               | 13<br>[492]             | 2                          | 写真工業              | 13<br>[492]              | 春夏秋冬            | 27          | 23     | 1144   | 270 | 217         | 7.0 | 72000                  | なし               |
| CA-62     | SANTA ROSA, CA                                          | 1967               | 02<br>[076]             | 0                          | なし                | 02<br>[076]              | —               | 10          | —      | —      | —   | —           | 7.1 | 21                     | —                |
| CA-63     | SANTEF, CA                                              | 1961               | 33<br>[125]             | 1                          | なし                | 10<br>[379]              | なし              | 5           | 9      | 1168   | 207 | 245         | 7.2 | 2                      | —                |
| CA-64     | SHAFTER, CA                                             | 1938               | 10<br>[379]             | 05                         | 食品工業<br>食肉加工      | 10<br>[379]              | 春夏              | 54          | 98     | —      | —   | —           | 7.0 | —                      | —                |
| CA-65     | SOUTH LAKE TAHOE, CA                                    | 1966               | 27<br>[102]             | 0                          | なし                | 27<br>[102]              | 春夏              | 1           | 0      | 250    | 5   | 30          | 7.0 | 2                      | なし               |
| CA-66     | STRATHMORE, CA<br>(Strathmore, PUD)                     | 1949               | 02<br>[076]             | 60                         | —                 | 02<br>[076]              | —               | —           | —      | —      | —   | —           | —   | —                      | —                |
| CA-67     | SUSANVILLE, CA<br>(Susanville San.<br>Dist.)            | 1951               | 08<br>[303]             | 0                          | —                 | 02<br>[076]              | 夏               | 40          | 30     | —      | —   | —           | —   | 50                     | —                |
| CA-68     | TAFT, CA                                                | 1951               | 10<br>[379]             | —                          | —                 | 10<br>[379]              | —               | —           | —      | —      | —   | —           | —   | —                      | —                |

| 情 報                  |                                         |                          |                                           | 使用者からの情報                                  |                       |                                 |                            |                       |                            |                           | 都市下水の処理場の設計に関する情報                                      |                                    |                                           |                                      |                         |                       |  |
|----------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| 蔵入(付録の<br>コストデータ)    |                                         | 処理システムの<br>信 頼 性         |                                           |                                           |                       |                                 |                            |                       |                            |                           |                                                        |                                    |                                           |                                      |                         |                       |  |
| D7                   | D8                                      | E1                       | E2                                        | E3                                        | F6                    | F7                              | F9                         | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                                                   | G8b                                | G9                                        | G10                                  | ← 質問状の回答番号              |                       |  |
| 処理水の<br>単価<br>(¥/MG) | 一版先<br>九七<br>七一年<br>の取入<br>(1000<br>トン) | 基処理<br>水以下<br>の比率<br>(%) | 装<br>置<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>リ<br>ン<br>グ | 防<br>腐<br>害<br>物<br>に<br>対<br>す<br>る<br>限 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 最<br>終<br>利<br>用<br>先<br>の<br>準 | 付<br>加<br>的<br>の<br>保<br>護 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス                             | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>れ<br>(Mile) | 再<br>処<br>理<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト        | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |  |
| 15<br>[119]          | 35<br>[105]                             | 0                        | CL <sub>2</sub>                           | あり                                        | IRR                   | OR,<br>BOD<br>DIS               | なし                         | なし                    | PS                         | 16<br>[606]               | PCL, AS,<br>SCL, SF,<br>CCOAG                          | 10<br>[379]                        | —                                         | あり                                   |                         | CA-55                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | PS                         | 01<br>[038]               | PCL, AS,<br>SCL                                        | 10<br>[379]                        | 23<br>[368]                               | —                                    |                         | CA-56                 |  |
| *                    | —                                       | 0                        | LAB                                       | —                                         | IRR<br>GRD            | DWQ                             | なし                         | なし                    | —                          | 40<br>[151]               | PCL, AS,<br>SCL, MMF                                   | 15<br>[563]                        | 35<br>[560]                               | あり                                   | *利用者料金: 飲料<br>用水道料金の1/2 | CA-57                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | あり                                        | R&D<br>*              | TDS                             | —                          | —                     | —                          | 002<br>[008]              | RO                                                     | —                                  | —                                         | あり                                   | *実験的にボイラー<br>補給水として使用   | CA-58                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | なし                         | 13<br>[492]               | AS, SCL                                                | 02<br>[076]                        | 20<br>[320]                               | —                                    |                         | CA-59                 |  |
| 0                    | 0                                       | 2                        | なし                                        | なし                                        | IRR                   | SHD                             | なし                         | なし                    | PS                         | —                         | PCL, AS,<br>SCL                                        | 20<br>[757]                        | 0                                         | あり                                   |                         | CA-60                 |  |
| 0                    | 0                                       | 0                        | —                                         | なし                                        | IRR                   | SHD<br>BOD<br>SS                | なし                         | なし                    | なし                         | 14<br>[530]               | PCL, TF,<br>SCL, RCL                                   | 13<br>[492]                        | —                                         | なし                                   |                         | CA-61                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | なし                         | 07<br>[265]               | AS, SF                                                 | 35<br>[132]                        | 20<br>[320]                               | あり                                   |                         | CA-62                 |  |
| 150<br>[119]         | 006<br>[002]                            | 0                        | LAB                                       | あり                                        | IRR<br>REC            | SHD                             | なし                         | PPC                   | なし                         | 40<br>[151]               | PCL, AS,<br>SCL                                        | 320<br>[121]                       | 05<br>[080]                               | あり                                   |                         | CA-63                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | なし                                        | あり                                        | IRR                   | FD                              | なし                         | なし                    | PS                         | 18<br>[681]               | PCL, TF                                                | 3<br>[114]                         | 0                                         | —                                    |                         | CA-64                 |  |
| 0                    | 0                                       | 0                        | AUTO<br>LAB                               | あり                                        | IRR<br>REC            | DWQ<br>SHD<br>USPHS             | なし                         | なし                    | なし                         | 25<br>[284]               | PCL, AS,<br>SCL, MMR,<br>CADS,<br>Ammonia<br>Stripping | 1000<br>[385]                      | 27<br>[492]                               | あり                                   |                         | CA-65                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | PS                         | 02<br>[076]               | PCL,<br>OXPD                                           | 40<br>[151]                        | 01<br>[016]                               | —                                    |                         | CA-66                 |  |
| 0                    | 0                                       | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | なし                         | 12<br>[454]               | PCL,<br>OXPD                                           | 300<br>[114]                       | 05<br>[080]                               | —                                    |                         | CA-67                 |  |
| *                    | 075<br>[023]                            | —                        | —                                         | —                                         | IRR                   | —                               | なし                         | —                     | PS                         | —                         | PCL, TF                                                | 0                                  | 01<br>[016]                               | あり                                   | *利用者料金: 一率<br>料金制       | CA-68                 |  |

|                       |                                               | 供 給 者 か ら の                |                                     |                                        |                                                          |                                          |                                 |             |     |             |        |             |     |                                |                  |
|-----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------|-----|-------------|--------|-------------|-----|--------------------------------|------------------|
|                       |                                               | 流 入 下 水                    |                                     |                                        |                                                          | 再利用している処理水の平均的な性質                        |                                 |             |     |             |        |             |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 →            |                                               | A5                         | B1a                                 | B2b                                    | B3                                                       | C1a                                      | C1c                             | C2a         | C2b | C2c         | C2d    | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |
| コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                        | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平<br>均<br>流<br>入<br>水<br>量<br>(MGD) | 工<br>場<br>排<br>水<br>混<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>た<br>る<br>工<br>場<br>排<br>水<br>プ<br>の<br>タ<br>イ<br>プ | 平<br>均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最<br>大<br>使<br>用<br>の<br>季<br>節 | B<br>O<br>D | S   | T<br>D<br>S | N<br>a | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| CA-69                 | TEHACHAPI, CA                                 | 1937                       | 0.5<br>[189]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.4<br>[151]                             | —                               | 120         | —   | —           | —      | —           | —   | —                              | —                |
| CA-70                 | THOUSAND OAKS, CA                             | 1968                       | 0.1<br>[038]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.1<br>[038]                             | 春<br>夏<br>秋                     | 1           | 1   | 450         | 124    | 135         | 77  | 21                             | なし               |
| CA-71                 | TULARE, CA                                    | 1926                       | 3.8<br>[144]                        | 82                                     | 牛乳加工                                                     | 3.8<br>[144]                             | なし                              | —           | —   | —           | —      | —           | —   | —                              | —                |
| CA-72                 | TWENTYNINE PALMS,<br>CA<br>(U-S Marine Corps) | 1954                       | 1.2<br>[454]                        | 0                                      | なし                                                       | 0.5<br>[189]                             | —                               | 70          | —   | 460         | 180    | 40          | 74  | 0                              | —                |
| CA-73                 | VALLEY CENTER, CA<br>(Valley Center MWD)      | 1965                       | 0.01<br>[004]                       | 0                                      | なし                                                       | 0.01<br>[004]                            | —                               | 25          | —   | —           | —      | —           | 7.0 | —                              | —                |
| CA-74                 | VENTURA, CA                                   | 1966                       | 5.5<br>[208]                        | 25                                     | 果実加工                                                     | 0.3<br>[114]                             | 春<br>夏                          | 30          | 30  | 2000        | 400    | 400         | 72  | 23                             | —                |
| CA-75                 | VISALIA, CA                                   | 1966                       | 5.1<br>[193]                        | 25                                     | —                                                        | 5.1<br>[193]                             | —                               | 40          | 32  | 600         | —      | 175         | 7.5 | —                              | —                |
| CA-76                 | WASCO, CA                                     | 1937                       | 0.8<br>[303]                        | 20                                     | —                                                        | 0.7<br>[265]                             | —                               | 150         | 173 | —           | —      | —           | 7.0 | —                              | —                |
| CA-77                 | WEED, CA                                      | 1948                       | 0.2<br>[076]                        | 5                                      | なし                                                       | 0.2<br>[076]                             | —                               | 14          | 33  | 6           | —      | —           | —   | —                              | —                |
| CA-78                 | WOODLAND, CA                                  | 1930                       | 4.5<br>[170]                        | 50                                     | 野菜加工                                                     | 6.0<br>[227]                             | 春<br>夏                          | 25          | —   | —           | —      | —           | 9.2 | —                              | —                |
| CO-1                  | AURORA, CO                                    | 1969                       | 1.3<br>[492]                        | 1                                      | 油脂工業                                                     | 0.4<br>[151]                             | 春<br>夏                          | 10          | 20  | 900         | —      | —           | 7.4 | —                              | —                |
| CO-2                  | COLORADO SPRINGS,<br>CO                       | 1971                       | 21.0<br>[795]                       | 10                                     | 金属加工<br>電気工業                                             | 7.0<br>[265]<br>*                        | 冬                               | 8           | 2   | 650         | 50     | 20          | 6.9 | 25                             | Cu<br>Cr<br>Zn   |

| 情 報               |                                |                             |                   |                  | 使用者からの情報              |                                 |                       |                       |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                                                      |                                    |                                           |                                      | ← 質問状の回答番号                                                                                                                                              |                       |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 歳入(付録のコストデータ)     |                                | 処理システムの信頼性                  |                   |                  | F6                    | F7                              | F9                    | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                                                 | G8b                                | G9                                        | G10                                  | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                                                                                                                        | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| D7                | D8                             | E1                          | E2                | E3               | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 最<br>終<br>利<br>用<br>先<br>の<br>準 | 付<br>加<br>的<br>処<br>理 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス                           | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>送<br>(Mile) | 再<br>処<br>理<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 |                                                                                                                                                         |                       |
| 処理水の単価<br>(\$/MG) | 一般九七<br>一収入<br>一年の(1000<br>円%) | 基準<br>処理水の<br>以下の比<br>率の(%) | 装<br>水のモ<br>ニタ1値  | 妨害物<br>に対する<br>限 |                       |                                 |                       |                       |                            |                           |                                                      |                                    |                                           |                                      |                                                                                                                                                         |                       |
| 0                 | 0                              | 0                           | なし                | あり               | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | 05<br>[1.9]               | PCL, TF,<br>OXPD                                     | 100<br>[379]                       | 0                                         | あり                                   |                                                                                                                                                         | CA-69                 |
| 220<br>[174]      | 6.1<br>[183]                   | 0                           | LAB               | あり               | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | PS                         | 15<br>[568]               | AS, SCL                                              | 30<br>[114]                        | 03<br>[128]                               | あり                                   |                                                                                                                                                         | CA-70                 |
| 19<br>[150]       | 255<br>[765]                   | 30                          | LAB               | あり               | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | PrS                        | 3<br>[1136]               | PCL, TF                                              | —                                  | —                                         | —                                    |                                                                                                                                                         | CA-71                 |
| 0                 | 0                              | 10                          | なし                | あり               | IRR                   | DIS                             | なし                    | なし                    | PS                         | 25<br>[946]               | PCL<br>OXPD                                          | 140<br>[530]                       | 0                                         | なし                                   |                                                                                                                                                         | CA-72                 |
| 0                 | 0                              | —                           | —                 | —                | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | 01<br>[038]               | PCL AER                                              | 50<br>[189]                        | 08<br>[128]                               | —                                    |                                                                                                                                                         | CA-73                 |
| 0                 | 0                              | 0                           | LAB               | あり               | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | PS                         | 40<br>[151]               | PCL TF<br>SCL                                        | 0                                  | 0                                         | あり                                   |                                                                                                                                                         | CA-74                 |
| 0                 | 0                              | —                           | —                 | あり               | IRR                   | —                               | なし                    | なし                    | —                          | 62<br>[235]               | PCL TF<br>OXPD                                       | —                                  | —                                         | —                                    |                                                                                                                                                         | CA-75                 |
| 0                 | 0                              | —                           | —                 | —                | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | PS<br>PrS                  | 10<br>[379]               | PCL                                                  | 27<br>[102]                        | 2<br>[320]                                | —                                    |                                                                                                                                                         | CA-76                 |
| 0                 | 0                              | 5                           | なし                | —                | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | —                         | —                                                    | —                                  | —                                         | —                                    |                                                                                                                                                         | CA-77                 |
| 0                 | 0                              | 0                           | なし                | あり               | IRR                   | —                               | あり<br>**              | —                     | PS                         | 10<br>[379]               | RSL                                                  | 48<br>[1612]                       | 35<br>[560]                               | あり                                   |                                                                                                                                                         | CA-78                 |
| 240<br>[180]      | 205<br>[615]                   | 0                           | TURF              | あり               | IRR                   | —                               | あり<br>**              | —                     | PS                         | 10<br>[379]               | AS, SCL,<br>MMF*                                     | 100<br>[379]                       | 37<br>[592]                               | あり                                   | *マイクロ・フロッ<br>ク*<br>*時には藻類制御<br>を行なう                                                                                                                     | CO-1                  |
| 94<br>[243]<br>** | 380<br>[114]                   | 2                           | TURF<br>pH<br>LAB | あり               | IRR<br>IND            | BOD<br>TDS<br>PO4<br>SS         | あり                    | LAB                   | PS                         | 13<br>[492]<br>***        | PS, TF,<br>SCL,<br>LCOAG,<br>MMF, pH,<br>CADS<br>*** | 30<br>[114]                        | 20<br>[320]                               | あり                                   | *灌漑用5MGD<br>(18920m <sup>3</sup> /日)<br>工業用2MGD<br>(1570m <sup>3</sup> /日)<br>技術開発中<br>** 利用者料金、灌<br>漑用のみ<br>*** 拡張工事実施<br>中<br>**** 灌漑用はM<br>MFによる処理のみ | CO-2                  |

|           |                                                     | 供給者からの |              |            |             |                   |         |           |         |           |          |           |     |                   |                |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------|--------------|------------|-------------|-------------------|---------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----|-------------------|----------------|
|           |                                                     | 流入下水   |              |            |             | 再利用している処理水の平均的な性質 |         |           |         |           |          |           |     |                   |                |
| 質問状の回答番号→ |                                                     | A5     | B1a          | B2b        | B3          | C1a               | C1c     | C2a       | C2b     | C2c       | C2d      | C2e       | C2f | C2g               | C2h            |
| コード番号     | 都市下水処理場の位置                                          | 再利用開始年 | 平均流入水量(MGD)  | 工場排水混入率(%) | 主たる工場排水のタイプ | 平均再利用水量(MGD)      | 最大使用の季節 | BOD(mg/l) | S(mg/l) | TDS(mg/l) | Na(mg/l) | 塩化物(mg/l) | pH  | 大腸菌群数(MPN)        | 重金属類           |
| CO-3      | COLORADO SPRINGS CO<br>(U.S. Air Force Academy)     | 1957   | 15<br>[568]  | 0          | なし          | 14<br>[530]       | 春夏      | 20        | 30      | —         | —        | —         | 7.1 | 0.5               | なし             |
| CO-4      | DENVER, CO<br>(Denver Board of Water Commissioners) | 1970   | 150<br>[568] | 20         | 金属加工        | 0.1<br>[038]      | —       | 3         | 0       | 800       | —        | —         | 7.2 | 5                 | Pb<br>Zn<br>Mo |
| CO-5      | DENVER, CO<br>(Fitzsimons Gen. Hosp)                | 1940   | 0.5<br>[189] | 0          | なし          | 0.5<br>[189]      | 春夏      | 25        | 20      | 43        | 100      | 100       | 7.2 | 0                 | —              |
| CO-6      | FT. CARSON, CO                                      | 1971   | 17<br>[643]  | 5          | 洗濯業         | 0.3<br>[114]      | 春夏秋     | 12        | 17      | —         | —        | —         | 7.5 | —                 | —              |
| FL-1      | COCOA BEACH, FL                                     | 1969   | 27<br>[1021] | 0          | なし          | 1.0<br>[379]      | なし      | 1         | 1       | —         | —        | 17        | 7.2 | 25                | なし             |
| FL-2      | TALLAHASSEE, FL                                     | 1966   | 20<br>[757]  | 0          | なし          | 20<br>[757]       | —       | 57        | 16      | 433       | 56       | 65        | 7.4 | —                 | —              |
| ID-1      | BOISE, ID                                           | 1971   | 0.1<br>[038] | 10         | ペイント工業      | 0.1<br>[038]      | 春夏      | 79        | 29      | —         | —        | 65        | 7.3 | —                 | なし             |
| KY-1      | OKOLONA, KY<br>(Okolona Sewer Co. Dist)             | 1971   | 1.0<br>[379] | 0          | なし          | 1.0<br>[379]      | —       | 375       | 120     | —         | —        | —         | 7.2 | —                 | —              |
| MD-1      | BALTIMORE, MD                                       | 1942   | 170<br>[643] | 4          | —           | 120<br>[454]      | —       | 46        | 44      | 450       | 75       | 100       | 7.0 | 5×10 <sup>6</sup> | Zn<br>Fe       |
| MI-1      | BELDING, MI                                         | 1972   | 0.5<br>[189] | 10         | なし          | 0.05<br>[019]     | 春夏      | 6         | 8       | —         | —        | 125       | 7.5 | 0                 | —              |
| MI-2      | MIDLAND, MI                                         | 1968   | 60<br>[227]  | 10         | なし          | 60<br>[227]       | 夏       | 25        | 25      | 450       | —        | 259       | 7.6 | 1000              | なし             |

| 情 報                   |                                                           |                                                |                                      | 使用者からの情報                         |                       |                                 |                            |                       |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                                                    |                                    |                                      |                                      |                                                                                                           |                       |  |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--|
| 歳入(付録の<br>コストデータ)     |                                                           | 処理システム<br>の 信 頼 性                              |                                      | F6                               | F7                    | F9                              | F10                        | F8                    | G5                         | G6-7                      | G8b                                                | G9                                 | G10                                  | ← 質問状の回答番号                           |                                                                                                           |                       |  |
| D7                    | D8                                                        | E1                                             | E2                                   | E3                               | F6                    | F7                              | F9                         | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                                               | G8b                                | G9                                   | G10                                  |                                                                                                           |                       |  |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一<br>般<br>九<br>七<br>一<br>年<br>の<br>入<br>入<br>(1000<br>\$) | 基<br>準<br>水<br>質<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>1<br>置 | 装<br>置<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>1<br>置 | 妨<br>害<br>物<br>に<br>対<br>する<br>限 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 最<br>終<br>利<br>用<br>先<br>の<br>準 | 付<br>加<br>的<br>の<br>保<br>護 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス                         | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MO) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法 | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                                                                          | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | pH                                   | あり                               | IRR<br>REC            | OR<br>DIS<br>SHD                | あり                         | PPC                   | PS                         | 22<br>(333)               | PCL, TF,<br>SCL, AER,<br>AS                        | 128<br>(84)                        | 60<br>(96)                           | あり                                   |                                                                                                           | CO-3                  |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | -                                    | あり                               | R&D                   | DWQ                             | -                          | -                     | -                          | -                         | RO, IE,<br>CADS, SF,<br>CCOAG,<br>Nitrogen<br>Rem. | -                                  | -                                    | -                                    |                                                                                                           | CO-4                  |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | なし                                   | あり                               | IRR                   | なし                              | なし                         | なし                    | なし                         | 09<br>(341)               | PCL, TF,<br>SCL                                    | 23<br>(87)                         | 03<br>(88)                           | あり                                   |                                                                                                           | CO-5                  |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | LAB                                  | あり                               | IRR                   | DIS                             | なし                         | LAB                   | PS                         | 35<br>(132)               | PCL, TF,<br>SCL, MMF,<br>*                         | 30<br>(114)                        | 30<br>(48)                           | あり                                   | *マイクロ・フロッ<br>ク通過                                                                                          | CO-6                  |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | なし                                   | なし                               | IRR                   | SHD                             | なし                         | LAB                   | なし                         | 30<br>(114)               | AER, SCL,<br>OXPD                                  | -                                  | 03<br>(88)                           | あり                                   |                                                                                                           | FL-1                  |  |
| 0                     | 0                                                         | -                                              | -                                    | -                                | IRR                   | -                               | なし                         | -                     | なし                         | 25<br>(946)               | PCL, TF,<br>SCL                                    | 50<br>(189)                        | 0                                    | -                                    |                                                                                                           | FL-2                  |  |
| 0                     | 0                                                         | -                                              | LAB                                  | あり                               | IRR                   | SHD<br>DIS<br>USPHS             | なし                         | なし                    | なし                         | 05<br>(189)               | OXPD,<br>AER,<br>CCOAG,<br>MMF*                    | 04<br>(151)                        | 05<br>(88)                           | あり                                   | *マイクロ・フロッ<br>ク通過                                                                                          | ID-1                  |  |
| 0                     | 0                                                         | -                                              | -                                    | -                                | FISH                  | -                               | -                          | -                     | -                          | 10<br>(379)               | RSL, AER,<br>OXPD                                  | 18<br>(68)                         | -                                    | -                                    |                                                                                                           | KY-1                  |  |
| 133<br>(011)          | 60<br>(18)                                                | 0                                              | -                                    | あり                               | IND                   | -                               | あり<br>*                    | なし                    | PS                         | -                         | PCL, TF,<br>SCL, AS,<br>**                         | 750<br>(284)                       | 50<br>(8)                            | あり                                   | *沈殿, 塩素処理<br>スクリーニング<br>** TF 150MGD<br>(567750m <sup>3</sup> /日)<br>AS 20MGD<br>(75700m <sup>3</sup> /日) | MD-1                  |  |
| 0                     | 0                                                         | 0                                              | LAB                                  | あり                               | IRR                   | DIS                             | なし                         | なし                    | なし                         | -                         | RSL                                                | -                                  | 0                                    | あり                                   |                                                                                                           | MI-1                  |  |
| 333<br>(026)          | 0                                                         | -                                              | なし                                   | あり                               | IND                   | -                               | -                          | -                     | PS                         | -                         | -                                                  | -                                  | -                                    | -                                    |                                                                                                           | MI-2                  |  |

|                       |                                                 | 供 給 者 か ら の                |                                     |                                        |                                                      |                                          |                                 |             |        |        |        |             |     |                                |                  |
|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------|--------|--------|-------------|-----|--------------------------------|------------------|
|                       |                                                 | 流 入 下 水                    |                                     |                                        |                                                      | 再利用している処理水の平均的な性質                        |                                 |             |        |        |        |             |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 →            |                                                 | A5                         | B1a                                 | B2b                                    | B3                                                   | C1a                                      | C1c                             | C2a         | C2b    | C2c    | C2d    | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |
| コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                          | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平<br>均<br>流<br>入<br>水<br>量<br>(MGD) | 工<br>場<br>排<br>水<br>混<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>たる<br>工<br>場<br>排<br>水<br>プ<br>の<br>タ<br>イ<br>プ | 平<br>均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最<br>大<br>使<br>用<br>の<br>季<br>節 | B<br>O<br>D | S<br>S | T<br>S | N<br>a | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| MO-1                  | JEFFERSON CITY, MO<br>(Mo. State Park Board)    | 1972                       | 0.4<br>[151]                        | 0                                      | なし                                                   | 0.04<br>[015]                            | 春夏                              | —           | —      | —      | 11     | —           | 8.7 | —                              | —                |
| MO-2                  | LOCKWOOD, MO                                    | 1971                       | 0.5<br>[189]                        | 0                                      | なし                                                   | 0.5<br>[189]                             | 春夏                              | 15          | —      | —      | 70     | 68          | 8.0 | 200                            | —                |
| NB-1                  | SHELBY, NE                                      | 1961                       | 0.05<br>[019]                       | 0                                      | なし                                                   | *                                        | 夏                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NV-1                  | ELY, NV                                         | 1967                       | 1.5<br>[568]                        | 2                                      | —                                                    | 10<br>[379]                              | —                               | 20          | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NV-2                  | LAS VEGAS, NV                                   | 1958                       | 27.0<br>[102]                       | 0                                      | なし                                                   | 3.8<br>[144]                             | 春夏                              | 21          | 18     | 985    | —      | —           | 7.6 | —                              | —                |
| NV-3                  | LAS VEGAS, NV<br>(Clark Co.-San. Dist.)         | 1962                       | 12.5<br>[473]                       | 0                                      | なし                                                   | 4.3<br>[163]                             | 春夏秋                             | 19          | 22     | 1550   | —      | 330         | 7.6 | —                              | —                |
| NV-4                  | WINNEMUCCA, NV                                  | 1966                       | 0.4<br>[151]                        | 10                                     | なし                                                   | 0.4<br>[151]                             | —                               | 20          | —      | —      | —      | —           | 8.5 | —                              | —                |
| NJ-1                  | VINELAND, NJ<br>(Landis Sewerage<br>Auth.)      | 1965                       | 3.8<br>[144]                        | 66                                     | —                                                    | 3.8<br>[144]                             | —                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NM-1                  | ARTESIA, NM                                     | 1960                       | 0.6<br>[227]                        | 5                                      | —                                                    | 0.6<br>[227]                             | —                               | 25          | —      | —      | —      | —           | 7.4 | —                              | —                |
| NM-2                  | CLOVIS, NM                                      | 1935                       | 4.0<br>[151]                        | 17                                     | 食肉加工<br>牛乳加工                                         | 4.0<br>[151]                             | —                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NM-3                  | DEMING, NM                                      | 1941                       | 1.5<br>[568]                        | 0                                      | なし                                                   | 1.5<br>[568]                             | —                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NM-4                  | DEXTER, NM                                      | —                          | —                                   | —                                      | —                                                    | —                                        | —                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NM-5                  | JAL, NM                                         | 1951                       | 0.3<br>[114]                        | 0                                      | なし                                                   | 0.3<br>[114]                             | —                               | —           | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |
| NM-6                  | LORDSBURG, NM                                   | 1949                       | 0.3<br>[114]                        | 0                                      | なし                                                   | 0.3<br>[114]                             | —                               | 118         | 69     | 1021   | —      | —           | 7.6 | —                              | —                |
| NM-7                  | LOS ALAMOS, NM<br>(Las Alamos Co.<br>Utilities) | 1951                       | 0.4<br>[151]                        | 0                                      | なし                                                   | 0.2<br>[076]                             | 春夏秋                             | 22          | —      | —      | —      | —           | —   | —                              | —                |

| 情 報                |                        |                                   |                      |                                      | 使用者からの情報              |                                 |                       |                       |                            | 都市下水の処理場の設計に関する情報         |                            |                                    |                                           |                                      |                         |                       |
|--------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 搬入(付録の<br>コストデータ)  |                        | 処理システムの<br>信 頼 性                  |                      |                                      |                       |                                 |                       |                       |                            |                           |                            |                                    |                                           |                                      | ← 質問状の回答番号              |                       |
| D7                 | D8                     | E1                                | E2                   | E3                                   | F6                    | F7                              | F9                    | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7                       | G8b                                | G9                                        | G10                                  | コ<br>メ<br>ン<br>ト        | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 処理水の<br>単価<br>(MG) | 一般九七<br>一光収<br>入(100%) | 基<br>準<br>以<br>下<br>の<br>率<br>(%) | 水質の<br>モニタ<br>リ<br>置 | 妨<br>害<br>物<br>に<br>対<br>す<br>る<br>限 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 最<br>終<br>質<br>標<br>準<br>の<br>準 | 付<br>加<br>的<br>処<br>理 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>輸<br>送<br>離<br>離<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>分<br>法 |                         |                       |
| 0                  | 0                      | 0                                 | LAB                  | あり                                   | IRR                   | SS, B                           | なし                    | LAB                   | なし                         | —                         | RSL                        | —                                  | 0                                         | —                                    |                         | MO-1                  |
| 0                  | 0                      | 0                                 | なし                   | あり                                   | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | なし                         | —                         | PCL, TF,<br>OXPD           | 136<br>(515)                       | 05<br>(08)                                | あり                                   |                         | MO-2                  |
| 0                  | 0                      | 0                                 | なし                   | あり                                   | IRR                   | SHD                             | なし                    | ST                    | なし                         | 05<br>(189)               | RSL                        | —                                  | 0                                         | あり                                   | * 滲液は夏期に2回              | NE-1                  |
| 0                  | 0                      | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | なし                         | 30<br>(114)               | RSL, AER,<br>OXPD          | —                                  | 30<br>(48)                                | あり                                   |                         | NV-1                  |
| 20<br>(158)        | 425<br>(128)           | 0                                 | LAB<br>CL2           | なし                                   | IRR<br>IND            | BOD,<br>SS                      | あり<br>*               | LAB<br>PPC            | PS                         | 30<br>(114)               | PCL, TF,<br>SCL            | 0                                  | 10<br>(15)                                | あり                                   | * 火力発電所にて<br>LCOAG 処理   | NV-2                  |
| 30<br>(237)        | 639<br>(192)           | 0                                 | LAB                  | あり                                   | IRR<br>IND            | BOD,<br>SS                      | あり<br>*               | LAB                   | PS                         | 12<br>(454)               | PCL, TF,<br>SCL            | 60<br>(221)                        | 15<br>(24)                                | あり                                   | * 火力発電所にて<br>LCOAG 処理   | NV-3                  |
| 0                  | 0                      | 0                                 | なし                   | あり                                   | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | PS                         | 15<br>(568)               | OXPD,<br>AER               | 330<br>(125)                       | 0                                         | あり                                   |                         | NV-4                  |
| 0                  | 0                      | —                                 | —                    | あり                                   | GRD                   | —                               | なし                    | —                     | なし                         | 50<br>(189)               | —                          | —                                  | —                                         | —                                    |                         | NJ-1                  |
| *                  | 05<br>(015)            | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | 40<br>(151)               | —                          | 0                                  | 15<br>(24)                                | —                                    | * 年間入札値による<br>定率料金制     | NM-1                  |
| *                  | 10<br>(03)             | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | PS                         | —                         | PCL,<br>OXPD               | —                                  | 0                                         | —                                    | * 利用者料金: 年間<br>1,000 ドル | NM-2                  |
| *                  | —                      | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | なし                         | 20<br>(757)               | PCL, TF,<br>OXPD           | 130<br>(492)                       | 03<br>(048)                               | —                                    | * 年間入札価格によ<br>る定率料金制    | NM-3                  |
| —                  | 02<br>(006)            | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | —                         | —                          | —                                  | —                                         | —                                    | * 定率料金制                 | NM-4                  |
| *                  | 05<br>(015)            | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | 03<br>(114)               | PCL,<br>OXPD               | —                                  | 30<br>(48)                                | —                                    | * 月間40ドルの定<br>率料金制      | NM-5                  |
| 0                  | 0                      | —                                 | —                    | —                                    | IRR                   | —                               | なし                    | —                     | なし                         | 08<br>(303)               | OXPD                       | 24<br>(908)                        | 20<br>(32)                                | —                                    |                         | NM-6                  |
| 120<br>(948)       | 34<br>(102)            | 0                                 | LAB                  | なし                                   | IRR                   | —                               | —                     | —                     | —                          | 08<br>(303)               | PCL, TF,<br>SCL            | 65<br>(189)                        | 10<br>(15)                                | —                                    |                         | NM-7                  |

|            |                                                         | 供 給 者 か ら の                |                         |                            |                               |                                      |                     |             |     |             |     |             |     |                                |                  |
|------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|--------------------------------|------------------|
|            |                                                         | 流 入 下 水                    |                         |                            |                               | 再利用している処理水の平均的な性質                    |                     |             |     |             |     |             |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 → |                                                         | A5                         | B1a                     | B2b                        | B3                            | C1a                                  | C1c                 | C2a         | C2b | C2c         | C2d | C2e         | C2f | C2g                            | C2h              |
| コード<br>番号  | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置                                  | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平均<br>流入<br>水量<br>(MGD) | 工場<br>排水<br>流入<br>率<br>(%) | 主<br>たる<br>工場<br>排水<br>種<br>別 | 平均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最大<br>使用<br>の<br>季節 | B<br>O<br>D | S   | T<br>D<br>S | Na  | 塩<br>化<br>物 | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| NM-8       | ROSWELL, NM                                             | 1948                       | 30<br>[114]             | 18                         | 食肉缶詰                          | 30<br>[114]                          | 春夏                  | 55          | 25  | —           | —   | —           | 7.4 | —                              | —                |
| NM-9       | RATON, NM                                               | 1951                       | 05<br>[189]             | 2                          | なし                            | 05<br>[189]                          | 春夏                  | 16          | 100 | —           | —   | —           | 7.2 | —                              | —                |
| NM-10      | TUCUMCARI, NM                                           | 1951                       | 1.0<br>[379]            | 0                          | なし                            | 0.1<br>[038]                         | —                   | —           | —   | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| ND-1       | DICKINSON, ND                                           | 1958                       | 1.0<br>[379]            | 5                          | 牛乳加工                          | 0.1<br>[038]                         | 春夏                  | 42          | —   | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| OK-1       | ENID, OK                                                | 1954                       | 50<br>[189]             | 23                         | —                             | 2.0<br>[757]                         | —                   | 31          | 32  | 600         | —   | —           | 7.4 | —                              | —                |
| OK-2       | FREDERICK, OK                                           | 1919                       | 06<br>[227]             | 17                         | —                             | 0.2<br>[076]                         | —                   | 42          | —   | —           | —   | 148         | 7.2 | —                              | —                |
| OR-1       | HILLSBORO, OR                                           | 1941                       | 1.0<br>[379]            | 30                         | 洗濯業                           | 2.0<br>[757]                         | 冬                   | 50          | 66  | —           | —   | —           | 7.1 | 800                            | —                |
| PA-1       | UNIVERSITY PARK,<br>PA<br>(Penn. State Univer-<br>sity) | 1963                       | 0.5<br>[189]            | —                          | —                             | 0.5<br>[189]                         | —                   | —           | —   | —           | —   | —           | —   | —                              | —                |
| TX-1       | ABILENE, TX                                             | 1958                       | 8.7<br>[329]            | 12                         | —                             | 3.2<br>[121]                         | —                   | 17          | —   | 750         | —   | 168         | 7.1 | —                              | Mg               |
| TX-2       | AMARILLO TX                                             | 1954                       | 100<br>[379]            | 7                          | 食肉加工<br>食品加工<br>洗濯業           | 63<br>[114]<br>*                     | 春夏                  | 10          | 15  | 1400        | 300 | 300         | 7.7 | 0                              | なし               |
| TX-3       | BIG SPRING, TX                                          | 1943                       | 0.5<br>[181]            | 0                          | なし                            | 0.5<br>[189]                         | —                   | 35          | 30  | 960         | —   | —           | 7.0 | —                              | —                |

| 情 報                   |                                           |                            |                                           |                                           | 使用者からの情報              |                                 |                       |                       |                            |                           | 都市下水の処理場の設計に関する情報 |                            |                                    |                                                |                                                                                                                                                         |                  |                       |
|-----------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------|
| 歳入（付録の<br>コストデータ）     |                                           | 処理システムの<br>信頼性             |                                           |                                           |                       |                                 |                       |                       |                            |                           |                   |                            |                                    |                                                |                                                                                                                                                         | ← 質問状の回答番号       |                       |
| D7                    | D8                                        | E1                         | E2                                        | E3                                        | F6                    | F7                              | F9                    | F10                   | F8                         | G5                        | G6-7              | G8b                        | G9                                 | G10                                            |                                                                                                                                                         |                  |                       |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一般<br>九七<br>一取<br>下の<br>入<br>(1000<br>\$) | 基準<br>水質<br>の比<br>率<br>(%) | 装<br>置<br>の<br>モ<br>ニ<br>タ<br>リ<br>ン<br>グ | 防<br>腐<br>害<br>物<br>に<br>対<br>す<br>る<br>限 | 再<br>利<br>用<br>目<br>的 | 水<br>質<br>保<br>護<br>標<br>準      | 付<br>加<br>的<br>保<br>護 | 水<br>質<br>の<br>保<br>護 | そ<br>の<br>他<br>の<br>水<br>源 | 設<br>計<br>容<br>量<br>(MGD) |                   | 処<br>理<br>プ<br>ロ<br>セ<br>ス | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>(MG) | 処<br>理<br>水<br>貯<br>水<br>池<br>送<br>離<br>(Mile) | 再<br>利<br>用<br>水<br>以<br>外<br>の<br>法                                                                                                                    | コ<br>メ<br>ン<br>ト | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 11<br>[087]           | 27<br>[231]                               | -                          | -                                         | -                                         | IRR                   | -                               | なし                    | -                     | PS                         | 50<br>[189]               | PCL, TF,<br>SCL   | 0                          | 30<br>[45]                         | あり                                             |                                                                                                                                                         | NM-8             |                       |
| *                     | 02<br>[006]                               | 2                          | なし                                        | あり                                        | IRR                   | -                               | -                     | -                     | -                          | -                         | -                 | -                          | -                                  | -                                              | ※利用者料金：年間<br>200 ドル                                                                                                                                     | NM-9             |                       |
| 0                     | 0                                         | -                          | -                                         | -                                         | IRR                   | -                               | なし                    | -                     | なし                         | 10<br>[379]               | PCL, TF,<br>SCL   | 0                          | 05<br>[08]                         | あり                                             |                                                                                                                                                         | NM-10            |                       |
| 0                     | 0                                         | -                          | -                                         | あり                                        | IRR                   | なし                              | なし                    | なし                    | PS                         | 08<br>[303]               | RSL               | 0                          | 02<br>[002]                        | なし                                             |                                                                                                                                                         | ND-1             |                       |
| 7<br>[055]            | 50<br>[15]                                | -                          | -                                         | -                                         | IND                   | -                               | *                     | LAB                   | PS                         | 85<br>[322]               | PCL, AS,<br>SCL   | 0                          | 20<br>[32]                         | あり                                             | ※利用者側の処理：<br>薬品添加                                                                                                                                       | OK-1             |                       |
| 0                     | 0                                         | -                          | -                                         | -                                         | IRR                   | SHD                             | なし                    | -                     | -                          | -                         | PCL, AS,<br>SCL   | 0                          | 15<br>[24]                         | あり                                             |                                                                                                                                                         | OK-2             |                       |
| 0                     | 0                                         | 0                          | なし                                        | あり                                        | IRR                   | SHD                             | なし                    | なし                    | PrS<br>*                   | 20<br>[157]               | PCL, AS,<br>SCL   | 37<br>[140]                | 05<br>[08]                         | あり                                             | ※工場排水                                                                                                                                                   | OR-1             |                       |
| 0                     | 0                                         | -                          | -                                         | あり                                        | R&D                   | -                               | -                     | -                     | -                          | 40<br>[151]               | -                 | -                          | -                                  | 50<br>[8]                                      | あり                                                                                                                                                      |                  | PA-1                  |
| 0                     | 0                                         | -                          | -                                         | -                                         | IRR                   | -                               | -                     | -                     | -                          | 12<br>[454]               | PCL, AS,<br>SCL   | 600<br>[227]               | 30<br>[48]                         | -                                              |                                                                                                                                                         | TX-1             |                       |
| **                    | 145<br>[435]                              | 0                          | LAB                                       | あり                                        | IRR<br>IND            | BOD,<br>SS<br>pH                | あり<br>***             | LAB                   | PS<br>PrS                  | 15<br>[568]               | PCL, AS,<br>SCL   | 180<br>[61]                | 10<br>[16]                         | あり                                             | ※工業用：4.5MGD<br>(11030 m <sup>3</sup> /日)<br>※※平均の工業用料<br>金MG当り 80-90 ドル<br>(m <sup>3</sup> 当り 634-713 円)<br>※※※利用者側での<br>処理：LCOAG アラ<br>ム添加凝集沈殿軟化<br>処理 | TX-2             |                       |
| 79<br>[624]<br>*      | 144<br>[423]                              | 1                          | なし                                        | あり                                        | IND                   | TDS,<br>PO <sub>4</sub><br>HARD | あり<br>***             | LAB                   | PS                         | 14<br>[530]               | PCL, AER<br>***   | 10<br>[379]                | 20<br>[32]                         | あり                                             | ※漸増料金制<br>※※利用者側での処<br>理、熱石灰処理、熱<br>ゼオライト処理、<br>DAER, ANTH<br>※※※ヘイズエアレ<br>ーション                                                                         | TX-3             |                       |

|            |                                      | 供 給 者 か ら の                |                                     |                                        |                                      |                                          |                                 |                       |                  |                  |              |                       |     |                                |                  |
|------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------|-----------------------|-----|--------------------------------|------------------|
|            |                                      | 流 入 下 水                    |                                     |                                        |                                      | 再利用している処理水の平均的な性質                        |                                 |                       |                  |                  |              |                       |     |                                |                  |
| 質問状の回答番号 → |                                      | A5                         | B1a                                 | B2b                                    | B3                                   | C1a                                      | C1c                             | C2a                   | C2b              | C2c              | C2d          | C2e                   | C2f | C2g                            | C2h              |
| コード<br>番号  | 都 市 下 水 処 理<br>場 の 位 置               | 再<br>利<br>用<br>開<br>始<br>年 | 平<br>均<br>流<br>入<br>水<br>量<br>(MGD) | 工<br>場<br>排<br>水<br>混<br>入<br>率<br>(%) | 主<br>た<br>る<br>工<br>場<br>排<br>水<br>プ | 平<br>均<br>再<br>利<br>用<br>水<br>量<br>(MGD) | 最<br>大<br>使<br>用<br>の<br>季<br>節 | B<br>O<br>D<br>(mg/l) | S<br>S<br>(mg/l) | T<br>S<br>(mg/l) | Na<br>(mg/l) | 塩<br>化<br>物<br>(mg/l) | pH  | 大<br>腸<br>菌<br>群<br>数<br>(MPN) | 重<br>金<br>属<br>類 |
| TX-4       | DENTON, TX                           | 1972                       | 6.0<br>[227]                        | 1                                      | 金属加工<br>食肉加工                         | 15<br>[568]                              | なし                              | 30                    | 38               | 127              | —            | 70                    | 12  | 16000                          | Cr<br>Zn         |
| TX-5       | HONDO, TX                            | 1968                       | 0.4<br>[151]                        | 0                                      | なし                                   | 0.4<br>[151]                             | —                               | 30                    | 96               | —                | —            | —                     | 8.4 | —                              | —                |
| TX-6       | LUBBOCK, TX                          | 1938                       | 142<br>[537]                        | 20                                     | 缶詰工業<br>牛乳加工<br>金網加工                 | 11.4<br>[431]                            | —                               | 65                    | 86               | —                | —            | —                     | —   | —                              | —                |
|            |                                      | 1938                       | 142<br>[537]                        | 20                                     | 缶詰工業<br>牛乳加工<br>金網加工                 | 28<br>[106]                              | —                               | 18                    | 20               | 1650             | 450          | 460                   | 7.8 | —                              | —                |
| TX-7       | MCKINNEY, TX                         | —                          | 0.2<br>[076]                        | —                                      | —                                    | —                                        | —                               | 11                    | 8                | —                | —            | —                     | —   | —                              | —                |
| TX-8       | MIDLAND, TX                          | —                          | 43<br>[163]                         | 5                                      | 缶詰工業                                 | 43<br>[163]                              | なし                              | 250                   | 20               | 1200             | 235          | 305                   | 6.7 | —                              | —                |
| TX-9       | ODESSA, TX                           | 1956                       | 6.5<br>[246]                        | 1                                      | 金属加工                                 | 5.5<br>[208]                             | 夏                               | 10                    | 13               | 1300             | —            | 250                   | 7.4 | 6×10 <sup>5</sup>              | —                |
| TX-10      | REESE AFB, TX                        | 1943                       | 0.3<br>[114]                        | 0                                      | なし                                   | 0.02<br>[008]                            | 夏                               | 8                     | —                | —                | —            | —                     | —   | —                              | —                |
| TX-11      | SAN ANGELO, TX                       | —                          | 48<br>[182]                         | 19                                     | 缶詰加工<br>牛乳加工                         | 4.8<br>[182]                             | なし                              | 77                    | —                | —                | 324          | 428                   | 8.2 | —                              | なし               |
| TX-12      | UVALDE, TX                           | 1938                       | 0.9<br>[341]                        | 0                                      | なし                                   | 0.9<br>[341]                             | なし                              | 40                    | 60               | —                | —            | —                     | 7.0 | —                              | —                |
| UT-1       | SUNNYSIDE, UT<br>(Kaiser Steel Corp) | 1954                       | 0.1<br>[038]                        | 25                                     | なし                                   | 0.1<br>[038]                             | —                               | 94                    | 15               | —                | —            | —                     | 7.4 | 3.3×<br>10 <sup>5</sup>        | —                |
| WA-1       | WALLA WALLA, WA                      | 1929                       | 63<br>[238]                         | 10                                     | 食品工業                                 | 8.3<br>[314]                             | —                               | 28                    | 14               | —                | —            | —                     | 6.5 | —                              | —                |
| WA-2       | WARDEN, WA                           | 1964                       | 1.3<br>[492]                        | 100                                    | 食品工業                                 | 1.3<br>[492]                             | 春夏秋冬                            | 1100                  | 127              | —                | —            | —                     | 9.5 | なし                             | —                |

| 情 報                   |                                   |                         |                       |                       | 使用者からの情報      |                                      |               |               |                | 都市下水の処理場の設計に関する情報     |                      |                    |                           |                      |                                                                                          |                       |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 歳入(付録の<br>コストデータ)     |                                   | 処理システムの<br>信頼性          |                       |                       |               |                                      |               |               |                |                       |                      |                    |                           |                      | ← 質問状の回答番号                                                                               |                       |
| D7                    | D8                                | E1                      | E2                    | E3                    | F6            | F7                                   | F9            | F10           | F8             | G5                    | G6-7                 | G8b                | G9                        | G10                  | コ<br>メ<br>ン<br>ト                                                                         | コ<br>ー<br>ド<br>番<br>号 |
| 処理水の<br>単価<br>(\$/MG) | 一畝九<br>七一年<br>の収入<br>(1000<br>\$) | 基準<br>処理水<br>の比率<br>(%) | 装<br>置のモ<br>ニタ<br>1 匳 | 妨害<br>物に<br>対する<br>制限 | 再利<br>用目<br>的 | 水質<br>標準<br>優先の<br>準                 | 付加<br>的処<br>理 | 水質<br>の保<br>護 | その<br>他の<br>水源 | 設<br>計容<br>量<br>(MGD) | 処理<br>プロセス           | 処理<br>水貯水<br>池(MG) | 処理<br>水輸<br>送距離<br>(Mile) | 再利<br>用水<br>以外<br>の法 |                                                                                          |                       |
| 80<br>[632]           | 108<br>[324]                      | 61                      | LAB                   | あり                    | IND           | SS<br>PO <sub>4</sub><br>TDS         | あり<br>*       | LAB           | PS             | —                     | PCL, AS,<br>SCL      | 100<br>[319]       | 20<br>[32]                | あり                   | *利用者側の処理:<br>ショック塩素処理<br>pH調整                                                            | TX-4                  |
| 0                     | 0                                 | —                       | なし                    | あり                    | IRR           | なし                                   | なし            | なし            | なし             | 04<br>[151]           | PCL,<br>OXPD         | —                  | —                         | —                    |                                                                                          | TX-5                  |
| 0                     | 0                                 | 1                       | CL <sub>2</sub>       | あり                    | IRR           | なし                                   | あり<br>*       | LAB           | PS             | 12<br>[454]           | PCL, TF,<br>SCL      | 0                  | 30<br>[44]                | あり                   | *利用者側の処理:<br>OXPD                                                                        | TX-6                  |
| 119<br>[340]          | 427<br>[128]                      | 1                       | CL <sub>2</sub>       | あり                    | IND           | BOD<br>SS, pH<br>CL, PO <sub>4</sub> | あり<br>*       | LAB           | PS             | 12<br>[454]           | PCL, AS,<br>SCL      | 0                  | 30<br>[44]                | あり                   | *利用者側の処理:<br>LCOAG, RO, IE,<br>ANTH, pH調整                                                |                       |
| —                     | —                                 | —                       | —                     | —                     | IRR           | —                                    | —             | —             | PS             | —                     | —                    | 20                 | —                         | —                    |                                                                                          | TX-7                  |
| 0                     | 0                                 | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | —                                    | なし            | なし            | なし             | 60<br>[227]           | PCL, TF,<br>OXPD     | —                  | —                         | —                    |                                                                                          | TX-8                  |
| 125<br>[988]          | 250<br>[75]<br>*                  | 0                       | LAB                   | あり                    | IND           | **                                   | あり<br>***     | LAB           | PrS            | 80<br>[303]           | PCL, AS,<br>SCL      | 150<br>[568]       | 05<br>[08]                | あり                   | *利用者の都市下水<br>の処理費を支払って<br>いる<br>**ボイラー補給水<br>のため高度の処理水<br>質<br>*** LCOAG, pH<br>ANTH, IE | TX-9                  |
| 0                     | 0                                 | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | なし                                   | なし            | なし            | なし             | —                     | —                    | —                  | —                         | —                    |                                                                                          | TX-10                 |
| 0                     | 0                                 | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | なし                                   | なし            | なし            | なし             | 50<br>[189]           | PCL,<br>OXPD         | 130<br>[492]       | 0                         | なし                   |                                                                                          | TX-11                 |
| 0                     | 0                                 | 0                       | なし                    | あり                    | IRR           | —                                    | なし            | なし            | なし             | 10<br>[379]           | PCL,<br>OXPD         | 25<br>[384]        | 0                         | なし                   |                                                                                          | TX-12                 |
| 0                     | 0                                 | 10                      | TUR<br>LAB            | あり                    | IRR           | SHD                                  | なし            | ST            | なし             | 03<br>[114]           | PCL, TF,<br>SCL *    | —                  | 05<br>[08]                | あり                   | *コース利用の戸<br>過                                                                            | UT-1                  |
| 0                     | 0                                 | 15                      | CL <sub>2</sub>       | あり                    | IRR           | —                                    | なし            | なし            | PS             | 75<br>[284]           | PCL, TF,<br>SCL      | 0                  | 10<br>[16]                | —                    |                                                                                          | WA-1                  |
| 0                     | 0                                 | 25                      | LAB                   | あり                    | IRR           | なし                                   | なし            | なし            | PS             | 15<br>[568]           | PCL,<br>OXPD,<br>AER | 0                  | 20<br>[32]                | なし                   |                                                                                          | WA-2                  |

## 付 録 C

下水処理水を小規模に灌漑用として  
再利用している都市のリスト

付録Bに記載されていないテキサス州の灌溉用  
に処理水を再利用している都市のリスト

| 都 市 名           | 日平均下水量 |                     | 都 市 名          | 日平均下水量 |                     |
|-----------------|--------|---------------------|----------------|--------|---------------------|
|                 | MGD    | (m <sup>3</sup> /日) |                | MGD    | (m <sup>3</sup> /日) |
| Abernathy       | 0.13   | 492                 | Fort Stockton  | 0.90   | 3,407               |
| Amherst         | 0.08   | 303                 | Fredericksburg | 0.001  | 4                   |
| Anson           | 0.19   | 719                 | Freer          | 0.16   | 606                 |
| Anton           | 0.04   | 151                 | Friona         | 0.25   | 946                 |
| Aspermont       | 0.10   | 379                 | Fritch         | 0.40   | 1,514               |
| Benjamin        | 0.04   | 151                 | Goldthwaite    | 0.06   | 229                 |
| Bexar County    | 0.005  | 19                  | Gorman         | 0.08   | 303                 |
| Big Lake        | 0.15   | 568                 | Graford        | 0.02   | 76                  |
| Blanco          | 0.04   | 151                 | Grand Falls    | 0.04   | 151                 |
| Bonham          | 14     | 5,299               | Granger        | 0.70   | 2,650               |
| Barger          | 0.88   | 3,331               | Hale Center    | 0.13   | 492                 |
| Brady           | 0.50   | 1,893               | Happy          | 0.07   | 265                 |
| Brownfield      | 0.47   | 1,779               | Hart           | 0.18   | 681                 |
| Burkburnet      | 0.65   | 2,460               | Holliday       | 0.13   | 492                 |
| Burnet          | 0.14   | 530                 | Honahans       | 0.90   | 3,407               |
| Castroville     | 0.04   | 151                 | Idalco         | 0.09   | 341                 |
| Coahoma         | 0.05   | 189                 | Ingleside      | 0.001  | 4                   |
| Coleman         | 0.51   | 1,930               | Johnson City   | 0.04   | 151                 |
| Colorado City   | 0.51   | 1,930               | Karnes City    | 0.12   | 454                 |
| Comfort         | 0.002  | 8                   | Kermit         | 0.83   | 3,142               |
| Crane           | 0.31   | 1,173               | Kerrville      | 0.001  | 4                   |
| Crockett County | 0.001  | 4                   | Kilgore        | 0.005  | 15                  |
| Crosbyton       | 0.14   | 530                 | Kingsville     | 0.81   | 3,066               |
| Cross Plains    | 0.06   | 227                 | La Crosse      | 0.04   | 151                 |
| Crystal City    | 1.20   | 4,542               | Lamesa         | 1.13   | 4,277               |
| Dalhart         | 0.60   | 2,271               | Lorenzo        | 0.08   | 303                 |
| Del Rio         | 0.40   | 1,514               | Levelland      | 0.66   | 2,498               |
| Denison         | 0.15   | 568                 | Littlefield    | 0.47   | 1,779               |
| Denver City     | 0.35   | 1,325               | Llano          | 0.28   | 1,060               |
| Devine          | 0.08   | 303                 | Lyford         | 0.27   | 1,022               |
| Dimmitt         | 0.82   | 3,104               | Lockney        | 0.14   | 530                 |
| Dublin          | 1.0    | 3,785               | Mccamey        | 0.23   | 871                 |
| Dumas           | 1.00   | 3,785               | Mckinley       | 15     | 5,678               |
| Earth           | 0.09   | 341                 | McLean         | 0.13   | 492                 |
| El Dorado       | 0.09   | 341                 | Marfa          | 0.23   | 871                 |
| El Paso         | 0.45   | 1,703               | Mason          | 0.14   | 530                 |
| El SA           | 0.002  | 8                   | Meadow         | 0.04   | 151                 |
| Fabens          | 0.001  | 4                   | Miles          | 0.02   | 76                  |
| Falforias       | 0.35   | 133                 | Monahans       | 1.00   | 3,785               |
| Falls City      | 0.02   | 76                  | Merton         | 0.24   | 908                 |
| Farwell         | 0.79   | 2,990               | Muleshoe       | 0.5    | 1,893               |
| Florence        | 0.046  | 174                 | Munday         | 0.21   | 795                 |
| Floydada        | 0.07   | 265                 | Nordheim       | 0.01   | 38                  |

| 都 市 名            | 日平均下水量 |                     | 都 市 名       | 日平均下水量 |                     |
|------------------|--------|---------------------|-------------|--------|---------------------|
|                  | MGD    | [m <sup>3</sup> /日] |             | MGD    | [m <sup>3</sup> /日] |
| O'Donnell        | 0.07   | 265                 | Seminole    | 0.45   | 1,703               |
| Orange Grove     | 0.06   | 227                 | Shallowater | 0.08   | 303                 |
| Paducah          | 0.23   | 871                 | Silverton   | 0.09   | 341                 |
| Pearsall         | 0.23   | 871                 | Slaton      | 0.40   | 151                 |
| Pecos            | 0.33   | 1,249               | Snyder      | 1.50   | 5,678               |
| Perryton         | 1.0    | 3,785               | Sonora      | 0.22   | 833                 |
| Petersburg       | 0.10   | 379                 | Spur        | 0.1    | 379                 |
| Plains           | 0.09   | 341                 | Stanton     | 0.15   | 568                 |
| Poteet           | 0.19   | 719                 | Stockdale   | 0.18   | 681                 |
| Premont          | 0.20   | 757                 | Stratford   | 0.16   | 606                 |
| Quitague         | 0.04   | 151                 | Sudan       | 0.098  | 371                 |
| Ralls            | 0.20   | 757                 | Sundown     | 0.07   | 265                 |
| Rankin           | 0.20   | 757                 | Sunray      | 0.20   | 757                 |
| Raymondville     | 0.002  | 8                   | Sweetwater  | 0.001  | 4                   |
| Richland Springs | 0.025  | 96                  | Tahoka      | 0.18   | 681                 |
| Rio Grande City  | 0.10   | 379                 | Taylor      | 0.20   | 757                 |
| Roby             | 0.06   | 227                 | Uvalde      | 0.002  | 8                   |
| Rochester        | 0.04   | 151                 | Van Horn    | 0.13   | 492                 |
| Ropesville       | 0.03   | 114                 | Wellington  | 0.19   | 719                 |
| Roscoe           | 0.15   | 568                 | Whiteface   | 0.04   | 151                 |
| Rotan            | 0.12   | 454                 | Wilson      | 0.03   | 114                 |
| Sabinal          | 0.08   | 303                 | Winters     | 0.80   | 3,028               |
| San Saba         | 0.17   | 634                 | Yoskum      | 0.42   | 1,590               |
| Santa Anna       | 0.10   | 379                 | Youth City  | 0.004  | 15                  |
| Seagraves        | 0.19   | 719                 |             |        |                     |

付録Bに記載されていないカリフォルニア州の灌漑用  
に下水処理水を再利用している都市のリスト

| 都 市 名                              | 再利用水量 |                     | 灌漑して<br>いる作物           | 都 市 名                          | 再利用水量 |                     | 灌漑して<br>いる作物        |
|------------------------------------|-------|---------------------|------------------------|--------------------------------|-------|---------------------|---------------------|
|                                    | MGD   | (m <sup>3</sup> /日) |                        |                                | MGD   | (m <sup>3</sup> /日) |                     |
| Barstow(USMC)                      | 0.14  | 530                 | G                      | Mount Vernon San.              | 356   | 13,475              | C, F                |
| Brentwood                          | 0.14  | 530                 | P                      | Dist.                          |       |                     |                     |
| Buttonwillow                       | 0.18  | 681                 | P                      | Murphy's San. Dist.            | 0.05  | 189                 | P,                  |
| CA Conservation Center             | 0.04  | 151                 | P                      | North of River San.            | 2.33  | 8,819               | C, F                |
| CA Medical Facility<br>(Vacaville) | 0.36  | 1,363               | P                      | Dist.                          |       |                     |                     |
| Callan                             | 0.27  | 1,022               | L                      | Ontario-Upland                 | 0.96  | 3,633               | G                   |
| Camp Pendleton                     | 0.82  | 3,104               | G                      | Pacific Union                  | 0.13  | 492                 | F                   |
| Carmel San. Dist.                  | 0.14  | 530                 | 朝鮮アザ                   | College                        |       |                     |                     |
| Ohester                            | 0.16  | 606                 | P                      | Palmdale                       | 1.10  | 4,163               | F                   |
| Chowchilla                         | 0.68  | 2,574               | C, F                   | Quincy San. Dist.              | 0.19  | 719                 | P                   |
| Coit Ranch, Inc.                   | 0.03  | 114                 | C, B                   | Rainbow Municipal              | 0.02  | 76                  | G                   |
| Colton                             | 1.23  | 4,656               | P,                     | Water Dist.                    |       |                     |                     |
| Coalinga                           | 0.68  | 2,574               | C, B                   | Rancho Bernardo                | 0.41  | 1,552               | G, L                |
| Corcoran                           | 0.68  | 2,574               | C, P                   | Reedley                        | 0.38  | 1,438               | クレーブ                |
| Devel Vocational<br>Institute      | 0.05  | 189                 | P                      | Ridgecrest Co.                 | 0.58  | 2,195               | F                   |
| Dinuba                             | 2.33  | 8,819               | ブラム,<br>クレーブ           | San. Dist.                     |       |                     |                     |
| Elsinore                           | 0.30  | 114                 | P                      | Riverdale                      | 0.14  | 530                 | P, F                |
| El Toro Marine<br>Base(USMC)       | 0.96  | 3,634               | G                      | Rossmoor Sanitation,<br>Inc.   | 1.10  | 4,163               | G, L                |
| Encinitas San. Dist.               | 0.47  | 1,779               | 花類                     | San Francisco Co. Jail<br>#2   | 0.14  | 530                 | G                   |
| Fowler                             | 0.23  | 871                 | C<br>クレーブ              | San Joaquin General I<br>Hosp. | 0.27  | 1,022               | F                   |
| Golden Gate Park                   | 0.63  | 2,385               | L                      | San Luis Obispo                | 1.10  | 4,163               | P                   |
| Huron                              | 0.27  | 1,022               | C, B                   | San Pesqual Academy            | 0.01  | 38                  | G                   |
| La Canada                          | 0.16  | 606                 | G                      | Sanger                         | 0.93  | 3,520               | ウオルナ<br>ッツ,<br>クレーブ |
| Lakeport                           | 0.26  | 984                 | P, ウォル<br>ナッツ,<br>西洋ナン | Sebastopol                     | 0.14  | 530                 | P                   |
| Lamont                             | 0.08  | 303                 | C                      | Shastina San. Dist.            | 0.14  | 530                 | P                   |
| Lemoore                            | 0.36  | 1,363               | P, F                   | Solvang                        | 0.08  | 303                 | P                   |
| Lindsay                            | 0.30  | 1,136               | C                      | Stratford                      | 0.003 | 11                  | C, B                |
| Log Cabin Ranch<br>School          | 0.01  | 38                  | L                      | Tehachapi State<br>Institute   | 0.18  | 681                 | F                   |
| Loma Linda<br>University           | 0.11  | 416                 | P                      | Terra Bella                    | 0.03  | 114                 | P                   |
| Madera                             | 2.38  | 9,008               | P                      | Valley San. Dist.              | 0.30  | 1,136               | G                   |
| Manteca                            | 1.37  | 5,185               | F, L                   | Warner Springs<br>Resort Co.   | 0.03  | 114                 | G                   |
| Meadowood                          | 0.01  | 38                  | G                      | Winton San. Dist.              | 0.41  | 1,552               | P                   |
| Mendocino State<br>Hospital        | 0.05  | 189                 | F                      | Woodlake                       | 0.16  | 606                 | F                   |

(註)

P : 牧草

C : 綿花

F : 飼料用作物

G : ゴルフコース

L : 造園

B : 大麦

付録Bに記載されていないアリゾナ州の灌漑用に下水  
処理水を再利用している都市のリスト

Arizona City

Avondale

Buckeye

Carefree

Chandler

Coolidge

Douglas

Eloy

Gilbert

Litchfield Park

Mesa

Show Low

Tucson

## 付 録 D

### 諸外国における下水処理水の再利用の実例

| 国名および都市名                   | 再利用目的 | 再 利 用 水 量 |
|----------------------------|-------|-----------|
| <u>アフリカ</u>                |       |           |
| <u>ローデシア</u>               |       |           |
| Salisbury                  | ...   | ...       |
| <u>南アフリカ連邦</u>             |       |           |
| Cape Town                  | ...   | ...       |
| Durban, Natal              | ...   | ...       |
| Krugersdorp, Transvaal     | ...   | ...       |
| Kimberley                  | ...   | ...       |
| Pietermaritzburg, Natal    | ...   | ...       |
| Port Elizabeth             | ...   | ...       |
| Randfontein                | ...   | ...       |
| Springs, Transvaal         | ...   | ...       |
| Vanderbijl Park, Transvaal | ...   | ...       |
| <u>南西アフリカ</u>              |       |           |
| Luderitz                   | ...   | ...       |
| <u>オーストラリア</u>             |       |           |
| <u>ビクトリア州</u>              |       |           |
| Ararat                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Benalla                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Bendigo                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Birchip                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Charlton                   | 灌 溉 用 | ...       |
| Cobram                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Corryong                   | 灌 溉 用 | ...       |
| Dandenong                  | 灌 溉 用 | ...       |
| Dimboola                   | 灌 溉 用 | ...       |
| Donald                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Echuca                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Eildon                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Euroa                      | 灌 溉 用 | ...       |
| Frankston                  | 灌 溉 用 | ...       |
| Horsham                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Jeparit                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Kyabram                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Kyneton                    | 灌 溉 用 | ...       |
| Lang Lang                  | 灌 溉 用 | ...       |
| Maffra                     | 灌 溉 用 | ...       |
| Mansfield                  | 灌 溉 用 | ...       |
| Mooroopna                  | 灌 溉 用 | ...       |
| Morwell                    | 灌 溉 用 | ...       |

| 国名および都市名                                | 再利用目的 | 再 利 用 水 量                          |
|-----------------------------------------|-------|------------------------------------|
| <u>オーストラリア</u>                          |       |                                    |
| <u>ビクトリア州(統き)</u>                       |       |                                    |
| Murtoa                                  | 灌 漑 用 | ...                                |
| Rochester                               | 灌 漑 用 | ...                                |
| St. Arnaud                              | 灌 漑 用 | ...                                |
| Sea Lake                                | 灌 漑 用 | ...                                |
| Seymour                                 | 灌 漑 用 | ...                                |
| Stawell                                 | 灌 漑 用 | ...                                |
| Swan Hill                               | 灌 漑 用 | ...                                |
| Tallangatta                             | 灌 漑 用 | ...                                |
| Tatura                                  | 灌 漑 用 | ...                                |
| Warracknabeal                           | 灌 漑 用 | ...                                |
| Wycheproof                              | 灌 漑 用 | ...                                |
| Yarrawonga                              | 灌 漑 用 | ...                                |
| <u>西部オーストラリア州</u>                       |       |                                    |
| Belmont                                 | 工 業 用 | ...                                |
| (Western Mining Corporation LTD)        |       |                                    |
| Exmouth                                 | 灌 漑 用 | ...                                |
| Kalgoorlie                              | 灌 漑 用 | ...                                |
| Katanning                               | 灌 漑 用 | ...                                |
| Kojonup                                 | 灌 漑 用 | ...                                |
| Merredin                                | 灌 漑 用 | ...                                |
| Narrogin                                | 灌 漑 用 | ...                                |
| Northam                                 | 灌 漑 用 | ...                                |
| Perth                                   | 工 業 用 | ...                                |
| (Dampier Mining Company LTD.)           |       |                                    |
| Perth                                   | 工 業 用 | ...                                |
| (Hamersley Iron Pty. LTD.)              |       |                                    |
| Perth                                   | 工 業 用 | ...                                |
| (Mount Newman Mining Company Pty. LTD.) |       |                                    |
| Port Hedland                            | 灌 漑 用 | ...                                |
| Roebourne                               | 灌 漑 用 | ...                                |
| Wyalkatchem                             | 灌 漑 用 | ...                                |
| <u>南オーストラリア州</u>                        |       |                                    |
| Boliver Sewage Treatment Works          | 灌 漑 用 | 1.0 MGD (3,785m <sup>3</sup> / 日)  |
| Glenelg Sewage Treatment Works          | 灌 漑 用 | 0.5 MGD (1,893m <sup>3</sup> / 日)  |
| <u>カ ナ ダ</u>                            |       |                                    |
| <u>オンタリオ州</u>                           |       |                                    |
| Listowel                                | 灌 漑 用 | 1.0 IMGD (4,546m <sup>3</sup> / 日) |

| 国名および都市名                      | 再利用目的              | 再 利 用 水 量                        |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| <u>イングランド</u>                 |                    |                                  |
| Bristol                       | 工業用(冷却用,<br>プロセス用) | 5.3MGD(20061m <sup>3</sup> /日)   |
| Derby County                  | 工業用(冷却用)           | 0.3MGD( 1136m <sup>3</sup> /日)   |
| Dunstable                     | 工業用(プロセス用)         | 0.3MGD( 1136m <sup>3</sup> /日)   |
| Nottingham                    |                    | 0.8MGD( 3028 m <sup>3</sup> /日)  |
| Nuneaton                      | 工業用(冷却用)           | 0.2+MGD(757+m <sup>3</sup> /日)   |
| Oldham County                 | 工業用(冷却用)           | 1.5MGD( 5678 m <sup>3</sup> /日)  |
| Scunthorpe                    | 工業用(冷却用)           | 0.7MGD( 2650 m <sup>3</sup> /日)  |
| Sheffield                     | 工業用(冷却用)           | 1.0MGD( 3785 m <sup>3</sup> /日)  |
| Stoke-on-Trent                | 工業用(冷却用)           | 3.2MGD(12,112 m <sup>3</sup> /日) |
| <u>イスラエル</u>                  |                    |                                  |
| <u>北部地域</u>                   |                    |                                  |
| Bet Shean                     | 灌 漑 用              | 6 0 0 m <sup>3</sup> /日          |
| Hazor                         | 灌 漑 用              | 6 0 0 m <sup>3</sup> /日          |
| Upper Tiberias                | 灌 漑 用              | 1,3 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Migdal Ha Emek                | 灌 漑 用              | 1,0 7 5 m <sup>3</sup> /日        |
| 'Afula                        | 灌 漑 用              | 2,1 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Qiryat Shemonah               | 灌 漑 用              | 2,2 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| <u>ハイフ地域</u>                  |                    |                                  |
| Or Aqiva                      | 灌 漑 用              | 5 0 0 m <sup>3</sup> /日          |
| Tirat Karmel                  | 灌 漑 用              | 1,8 5 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Karkur                        | 灌 漑 用              | 1,3 5 0 m <sup>3</sup> /日        |
| 'Atlit                        | 魚類飼育用              | 2 5 0 m <sup>3</sup> /日          |
| Pardes Hanna                  | 魚類飼育用              | 1,0 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| <u>中央地域</u>                   |                    |                                  |
| Even Yehuda, Qadima, Tel Mond | 灌 漑 用              | 1 5 0 m <sup>3</sup> /日          |
| Qiryat Ono                    | 灌 漑 用              | 2,0 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Herzliyya                     | 灌 漑 用              | 3,7 5 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Yehud                         | 灌 漑 用              | 1,3 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Hod Ha Sharon                 | 灌 漑 用              | 3,2 3 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Lod                           | 灌 漑 用              | 3,2 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Lnd Airport                   | 灌 漑 用              | 2,5 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Nes Ziyvona                   | 灌 漑 用              | 1,1 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Nahariyya                     | 灌漑用, 魚類飼育用         | 7,0 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Rosh Ha'Ayin                  | 灌 漑 用              | 1,8 8 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Rishon La Zion                | 灌 漑 用              | 4,5 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Rehovot                       | 灌 漑 用              | 5,0 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Ramla                         | 灌 漑 用              | 3,8 0 0 m <sup>3</sup> /日        |
| Ramat Ha Sharon               | 灌 漑 用              | 2,0 0 0 m <sup>3</sup> /日        |

| 国名および都市名                             | 再利用目的           | 再 利 用 水 量                         |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| <u>イスラエル</u>                         |                 |                                   |
| <u>中央地域(続き)</u>                      |                 |                                   |
| Ra'ananna                            | 灌 漑 用           | 2,000 m <sup>3</sup> /日           |
| Be'er Ya'agov-Zrifin                 | 灌 漑 用           | 1,400 m <sup>3</sup> /日           |
| <u>T.A. 地域-ダン地区</u>                  |                 |                                   |
| Bat Yam                              | 灌 漑 用           | 12,500 m <sup>3</sup> /日          |
| Holon                                | 灌 漑 用           | 3,000 m <sup>3</sup> /日           |
| Ramat Gan                            | 灌 漑 用           | 1,000 m <sup>3</sup> /日           |
| <u>イレサレム地域</u>                       |                 |                                   |
| Jerusalem                            | 灌 漑 用           | 13,300 m <sup>3</sup> /日          |
| Bet Shemesh                          | 灌 漑 用           | 1,000 m <sup>3</sup> /日           |
| <u>南部地域</u>                          |                 |                                   |
| Elat                                 | 灌 漑 用           | 3,150 m <sup>3</sup> /日           |
| Ofaqim                               | 灌 漑 用           | 1,050 m <sup>3</sup> /日           |
| Ashdod                               | 灌 漑 用           | 3,600 m <sup>3</sup> /日           |
| Be'er Sheva                          | 灌 漑 用           | 6,000 m <sup>3</sup> /日           |
| Dimona                               | 灌 漑 用           | 2,000 m <sup>3</sup> /日           |
| Yavne                                | 灌 漑 用           | 2,500 m <sup>3</sup> /日           |
| Yeroham                              | 灌 漑 用           | 1,000 m <sup>3</sup> /日           |
| Mizpe Ramon                          | 灌 漑 用           | 150 m <sup>3</sup> /日             |
| Qiryat Gat                           | 灌 漑 用           | 2,000 m <sup>3</sup> /日           |
| <u>日 本</u>                           |                 |                                   |
| 川 崎                                  | 工業用(冷却用)        | ---                               |
| 名古屋                                  | 工業用(冷却用)        | ---                               |
| 大阪                                   | 工業用(冷却用)        | ---                               |
| 東京                                   | 工業用(冷却用, プロセス用) | ---                               |
| <u>メキシコ</u>                          |                 |                                   |
| <u>メキシコ市</u>                         |                 |                                   |
| Chapultepec Park                     | 灌 漑 用           | 3.7MGD(14,005 m <sup>3</sup> /日)  |
| Sports City                          | 灌 漑 用           | 5.3MGD(20,061 m <sup>3</sup> /日)  |
| San Juan de Aragon                   | 灌 漑 用           | 11.4MGD(43,147 m <sup>3</sup> /日) |
| Xochimilco                           | 灌 漑 用           | ---                               |
| (Floating Gardens of Mexico City)    |                 |                                   |
| Federal Commission of Electricity    | 工業用(冷却用)        | 3.4MGD(12,869 m <sup>3</sup> /日)  |
| <u>グアダラハラ地区</u>                      |                 |                                   |
| County Club of Guadalajara           | 灌 漑 用           | 0.7MGD(2,650 m <sup>3</sup> /日)   |
| <u>モンテリー地区</u>                       |                 |                                   |
| Celulosa y Derivados, S.A.           | 工 業 用           | ---                               |
| Aceros Planos, S.A.                  | 工 業 用           | ---                               |
| Papelera Maldonado                   | 工 業 用           | ---                               |
| Agua Industrial de Monterrey S.de U. | 工 業 用           | ---                               |
| Federal Commission of Electricity    | 工 業 用           | ---                               |

付 録 E

処理コスト算出のための手法

### 処理コスト算出のための手法

1. その施設の建設費に対して、1972年に対する補正指数を掛けて、1972年1月の建設費に換算する（表-E.1参照のこと）。
2. 施設の年間償却費を算出するために、25年償還、利率5.5%として、ステップ1.により求めたコストに、0.07455を掛ける。
3. 施設の年間運転費を加算するために、ステップ2.に対して年間の処理施設運転費を加える。
4. 処理施設での年間の処理下水量を求めるために、日間平均流入下水量を365倍する。
5. 償却費を加えた年間平均処理費を求めるために、ステップ3.で得られたコストを、ステップ4.で求めた年間処理下水量で割り、下水量MG（百万ガロン）当りの処理費\$（ドル）を求める。  
 （註） $m^3$ 当りの処理費（円）は、MG（ $3,785 m^3$ ）とドル（単価300円）をそれぞれ換算のうえ算出した。
6. 償却費を除いた年間平均処理費は、年間の処理施設運転費をステップ4.で求めた年間処理下水量で割り、MG（百万ガロン）当りの処理費\$（ドル）を求める。  
 （註） $m^3$ 当りの処理費（円）は、ステップ5.の（註）と同様にして計算した。

表-E.1 下水処理場建設費補正指数  
1972年1月/建設年\*

| 建設年  | 補正係数 |
|------|------|
| 1957 | 1.75 |
| 1958 | 1.69 |
| 1959 | 1.66 |
| 1960 | 1.64 |
| 1961 | 1.63 |
| 1962 | 1.61 |
| 1963 | 1.58 |
| 1964 | 1.56 |
| 1965 | 1.54 |
| 1966 | 1.48 |
| 1967 | 1.44 |
| 1968 | 1.39 |
| 1969 | 1.30 |
| 1970 | 1.20 |
| 1971 | 1.08 |
| 1972 | 1.00 |

（備考）

\* 内務省水質汚濁防止局（FWPCA）、1967年12月およびオハイオ州シンシナティの高度処理研究所の処理最適化研究プログラム、から引用した。