

ISSN 0386-5878
土研資料第1403号
マイクロフィルム第 号

土 木 研 究 所 資 料

水使用合理化技術に関する調査報告書

昭和53年10月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

は　じ　め　に

水需給の逼迫は次第に厳しくなつて来ており、その対策としては水資源開発等水供給の面からの施策が重要であることは当然であるが、これと併行して水需要面での種々の対策も今後は検討されなければならない。

とくに地盤沈下地帯における地下水揚水量の削減は急を要するが水需給の逼迫のためなかなか実現していない。

代替水がない場合でも地下水揚水量の削減を行うためには水使用の合理化が考えられる。東京都においては地下水大量使用事業所を対象に、水使用合理化によって地下水揚水量を削減する行政を展開しており、現実には大きな成果を収めている。

本研究は、直接の動機は地下水揚水量削減のための技術マニュアルの作成にあったが、対象をとくに地下水使用に限定する必要はないので、河川水も含めて淡水一般の使用合理化を念頭において実施した。

東京都は上記行政を実施するにあたって貴重な経験と知識を集積しているので、まずこれらを公開して頂くと共にその内容を専門家によって検討して頂いた。

更にし尿処理場の水使用合理化等、これまでに検討されていない分野についても合理化技術の研究を実施した。

本書は以上の成果を素材として、主として水使用合理化を担当する方々のための手引としてまとめたものである。

本書によって明らかにされているように水使用合理化の効果は非常に大きなものがあり、今後は水資源対策の柱の一つとして位置づけられるものと思われる。

本書の内容が関係者の間で理解され、現実の行政に生かされることを念じている。

昭和53年8月

建設省土木研究所

河川部長　土　屋　昭　彦

水文研究室長　石　崎　勝　義

本報告書が出来るまでの経緯

今後さらに厳しくなると予想される水需給逼迫に対する諸対策の中で、水需要者段階における水使用合理化の重要性が高まりつつある。

本報告書は、工業用水、生活用水の末端需要者段階における水使用の合理化に関する手引書であり、水資源対策、地盤沈下対策、水質保全対策にたずさわっている行政の担当者に利用していただくことを目的として編集したものである。

調査は、建設省土木研究所において昭和50年度から52年度まで3ケ年にわたって行なわれた。調査の基本方針を定め、成果の検討、評価を行うために、東京大学工学部高橋裕教授を委員長とし、次頁に示す委員からなる水使用合理化技術調査委員会を組織し、その指導を受けた。

委員会は4回開催されたが、その中間において荏原インフィルコ株式会社中央研究所長井出哲夫先生を委員長とし、上記委員会の一部メンバーからなる小委員会を開催し、既に東京都が地盤沈下防止のため、地下水使用工場を指導する手引書として作成した「地下水使用合理化指導書」について、水処理機器メーカー、水使用工場の専門技術者の方々からの詳細なヒヤリングを含めて検討を行なった。その結果、「地下水使用合理化指導書」は基本的には妥当であるとの結論に達した。本報告書は、その成果に負うところが大きい。

なお、調査作業及び報告書のとりまとめには財団法人都市調査会の協力を得た。

水使用合理化技術調査委員会委員名簿

氏 名	役 職 名	備 考
高 橋 裕	東京大学 教授	委 員 長
井 出 哲 夫	住原インフィルコ(株) 中央研究所長	小委員会委員長
山 本 莊 毅	筑波大学 教授	
市 川 邦 介	大阪大学 教授	
橋 本 奨	大阪大学 教授	
飯 島 孝	日揮(株) 企画開発室開発グループ	
藤 原 宣 昭	(株)地域計画建築研究所	
飛 舗 省 三	(株)奥村機械製作所 常任顧問	
笠 原 重 剛	三菱地所(株) 建築業務部副長	
岩 佐 義 朗	京都大学 教授	
華 山 謙	東京工業大学 助教授	
藤 野 良 幸	(財)都市調査会 専務理事	
川 合 恒 孝	建設省河川局河川計画課水理調査官	51年
仲 西 茂 夫	全 上	52年
三 橋 莊 吉	建設省河川局水政課水利調整室長	51年
安 達 五 郎	全 上	52年
西 原 巧	国土庁水資源局水資源調査室長	51年
岡 田 朋	全 上	52年
植 原 茂 次	国立防災科学技術センター 企画課長	
遠 藤 弘 一	東京都公害局 特殊公害課長	51年
北 里 典 昭	全 上	52年
島 津 暉 之	東京都公害局 特殊公害課	
野 津 幹 男	東京都水道局 計画部計画課長	51年
遠 藤 士 朗	全 上	52年
宇賀田 浩	東京都都市計画局 企画部副参事	
首 藤 和 正	宅地開発公団 大阪事務所々長	
日 野 峻 栄	建設省河川局河川計画課々長補佐	
榎 本 真	建設省河川局河川計画課々長補佐	
土 屋 昭 彦	建設省土木研究所 河川部長	
裏 戸 勉	建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室長	
石 崎 勝 義	建設省土木研究所 水文研究室長	
北 川 明	建設省土木研究所 水文研究室研究員	

目 次

はじめに

第1章 水使用合理化の基礎知識	1
1. 水使用合理化についての誤解	1
2. 総合排水再利用（三次処理）の限界	2
3. 水使用合理化の四原則	5
第2章 水使用合理化の効果と役割	9
1. 水使用合理化の実例と調査結果	9
2. 水使用合理化の役割	12
(1) 地盤沈下対策としての役割	12
(2) 水不足対策としての役割	15
(3) 水質汚染対策としての役割	18
第3章 水使用合理化の技術	25
1. 工業用水	25
(1) 冷却水	25
(2) びん洗浄水	32
(3) 間欠洗浄水	35
(4) メッキ等の表面処理洗浄水	38
(5) 自動現像処理洗浄水	47
(6) 自動車製造工場の塗装関係洗浄水	50
(7) 排気洗浄水	54
(8) 染色用水	56
(9) 製紙用水	63
(10) ボイラー用水	71
(11) その他の用途	73
2. 都市活動用水	81
(1) 便所用水	82
(2) 洗面手洗および食堂用水	86
(3) 研究実験用水	88
(4) 池維持用水	89
(5) プール用水	92
(6) し尿処理希釈水	94

3. 家庭用水	99
第4章 水使用合理化の行政手段	104
1. 工場等の事業所に対する行政手段	104
(1) プライスメカニズム方式の現実性	104
(2) 次善の行政手段の問題点	109
(3) 技術基準方式	110
2. 一般家庭に対する行政手段	113
第5章 水使用合理化の指導の進め方	116
1. 指導の手順	116
2. 水使用合理化のケーススタディ	127
3. 水使用合理化への疑問に対する解答	132
補1：コンビナートにおける水使用の合理化	137
補2：水需要の動向	155
補3：水使用合理化の重要性	173

第1章 水使用合理化の基礎知識

1. 水使用合理化についての誤解

ここで取り上げる水使用合理化とは水の末端需要者段階における使用水量の削減である。したがって、下水処理水の再利用などの造水技術は含まれていない。この水使用合理化を推進すべき主たる対象は工場であるが、この工場の水使用合理化について一般の人はどのようなものを連想するであろうか。よく連想されるものは次の三つである。

- ① 精神的節水
- ② 循環利用の促進による回収率の上昇（使用回数の増大）
- ③ 三次処理による工場排水の循環利用

しかし、以上の三つはいずれも水使用合理化の内容を正しく表わしていない。水使用合理化の内容を正しく理解してもらうために、以上の三つの考え方と本当の水使用合理化との相違点を説明することにしよう。

(1) 精神的節水について

節水という言葉は水を使う人がバルブの開け閉めをきちんと行って、蛇口から水を出し放しにすることがないよう注意するという意味にとられやすいが、この意味の節水は削減率として高々1～2割しか期待できない。そのため、水使用合理化をこの「節水」という意味にとると、水使用合理化とは随分みみっちい方法であり、根本的な対策ではなく、一時的な緩和策であると考えられてしまう。

しかし、本当の水使用合理化は3章で詳述するようにこのような意味での節水ではなく、ほとんどの場合、設備の改善を伴うものであり、設備的に水をなるべく使わない方式に改めることを意味している（もちろん、精神的な節水が伴うことも必要である）。したがって、その効果は上記の1～2割というわずかな削減率ではなく、多くの場合、使用水量を現状の3～4分の1以下まで減少することが可能となる。そのように水使用合理化は削減率が非常に大きいので、決して一時的緩和策にとどまるものではない。現在の種々の水問題を根本から解決していく際の基本になるものである。

(2) 回収率について

回収率（％）とは回収水量（工程内の全使用水量－新水使用量）を全使用水量で除した値を百分率で表わしたものであるが、同様な指標として循環回数が用いられることもある。循環回数とは全使用水量を新水使用量で除したものである（循環回数＝ $100 / [100 - \text{回収率}]$ ）。企業側が回収率又は循環回数という指標を用いて自分の工場の水管理が進んでいることを宣伝することが多い。たとえば、「当工場は回収率が90数％まで達しているから、水節約の限界まできており、これ以上の水量減少は困難である」という話である。そして、回収率は企業側だけでなく、官公庁においても、工場の水節約程度を最も端的に示す指標としてよく使われる。大抵の水需要の調査報告書や水需給の計画書には工場の回収率がたとえば70％まで上ってきたから、水節約は相当進んできているというようなことが述べられている。

確かに、冷却水等の循環利用は3で述べるように、水使用合理化の有力な方法であり、（ただし、循環利用は水使用合理化の一つの方法にすぎず、それ以外に有効な方法がいくつかある）、回収率の高い方が水節約が進んでいると考えるのはもっともなことであろう。しかし、回収率の定義で明らかのように、新

水使用量が変わらなくても、工程内の全使用水量をふやせば、自動的に回収率は上昇する。すなわち、新水の使用量を減らさなくても、冷却塔等によって工場内を循環している水（これは一定水量以上あれば、多い分には工程に影響はない）をただふやしているだけで回収率は上る。

たとえば、新しい製鉄所と古い製鉄所の比較において、回収率の大きな差（例えば95%と75%）から、新しい製鉄所は古い製鉄所より水節約がはるかに進んでいるという評価が行われている。しかし、新しい製鉄所の高い回収率は工場内の循環水量が古い製鉄所より格段に大きくなったため、回収率が見かけ上、非常に高くなっているにすぎない。実際には新しい製鉄所の単位生産量あたり新水使用量は古い製鉄所に比べて2～3割程度しか小さくなっていないものである。

そして、回収率95%程度を水節約の限界とすることも間違いである。3章で詳述するように、冷却水の場合、出入口温度差の大きさによっては99%以上に回収率を高めることが可能であり、回収率によって水節約の限界をきめることはできない。回収率95%を誇る新鋭製鉄所を調べたところ、実際には更に現状の3～4分の1まで使用水量を減少できることが明らかになったことがある。すなわち、回収率はあくまで相対的な指標にしかかなりえないものであって、回収率の高さで水節約の程度を知ることはできない。

(3) 三次処理（総合排水の再利用）について

最近、工場排水や下水を高度に処理する三次処理技術の発達が著しい。そこで、三次処理装置さえ設置すれば、工場排水を循環利用する方式に切り替えられると考えられることが多い。この方式はイメージとして浮びやすいため、水使用合理化についてもこの方式が連想されることが最も多いようである。しかし、この方式は一般に考えられているほど、有効なものではない。その根本的理由はこの方式が専ら処理技術のみに頼り、生産工程内の水利用のあり方に全くふれないことにある。

如何に三次処理技術が進歩しようとも、工場の各工程からでてきた種々の排水をどたまぜにした総合排水を飲料水並みまで浄化することは簡単ではない。公害対策の基本は発生源対策であるが、それは生産工程内の汚染物質の各種発生源に対してそれぞれ適切な処置を講ずることを意味している。水を減らす場合も同様であって、生産工程内部に立入り、水を使用する箇所それぞれをなるべく水を使わない方式に改善することを行わなければ、大幅に使用水量を減らすことは困難である。

このように、生産工程内部に立入ることが本章で解説する水使用合理化の基本であり、この点で、水使用合理化と「三次処理による総合排水の循環利用」とは全く異質のものであるといえる。それでは具体的に、三次処理による総合排水の循環利用はどのような問題と限界があるのか、また、生産工程内部の改善を基本とする水使用合理化とはどのような方法を用いるものなのだろうか、これらについて次の2.3で説明することにする。

2. 総合排水再利用（三次処理）の限界

三次処理による総合排水の再利用を考える場合は次に述べる5項目を十分に検討することが必要である。ほとんどの場合はこの検討により、総合排水の再利用を行ってもあまり水量が減らないばかりか、むしろ種々の問題を派生することが明らかになるであろう。

1. 三次処理技術は現状ではどこまで確立した技術となっているか。

二次処理後の排水を飲水程度まで浄化するためのオーソドックスな方法は凝集沈殿→砂ろ過→活性炭吸着→脱塩（逆浸透又は電気透析）の4段階の処理方式である。結論から言えば、凝集沈殿、砂ろ過、活性

炭吸着の三つはすでに処理技術として確立している。しかし、脱塩に関しては膜（逆浸透の半透膜又は電気透析のイオン交換膜）の耐久性については疑問が多い。逆浸透については単位空間あたり膜面積を大きくするため、中空糸型やスパイラル型の半透膜が用いられるが、これらの半透膜を三次処理に用いると、膜の劣化のため、生産水量が運転開始後半年程度で当初の60～70%まで低下することが少なくない。この場合は半年～1年程度で膜を交換しなければならないので、処理費用はきわめて高いものとなる。したがって、通常は三次処理といっても脱塩は行わず、活性炭吸着までにとどまることがほとんどである。

Ⅱ 二次処理がきちんと行われているか。

三次処理は比較的良好な水質の水を更に浄化するのに有効であるが、あまり水質の良くない水を浄化するには不向きなものである。三次処理後の除去対象成分の濃度は正比例はしなくても三次処理前（二次処理後）の濃度の動きに対して変動する。たとえば、三次処理前のCOD_{Mn}が20ppmの場合は凝沈沈過後は12～13ppm、活性炭吸着後は5～6ppm、三次処理前が35ppmになると、各々24～25ppm、10ppm以上になるという具合である。したがって、二次処理によってBODやCOD_{Mn}が20ppm以下に落ちていないと、5ppm程度の活性炭処理水を得ることはむずかしい。

更に、三次処理前の濃度が高すぎると、三次処理にかかる除去負荷が大きくなって、維持管理費がはね上がることになる。某事業所では二次処理の調子が悪いため、その埋め合わせに排水対策として三次処理を導入したが、結果は二次処理後のBODの濃度が高すぎるため、活性炭の取り換え間隔が大変短くなり、活性炭吸着塔の使用を度々中断する状態になっている。要するに、二次処理がきちんと行われてこそ、三次処理は有効に働くのであって、二次処理の一部を三次処理で補うことは無理である。

Ⅲ 三次処理水の水質で差し支えないのはどの用途か。そして、それらの用途への使用に伴って二次公害や誤飲誤用が生じる恐れはないか。それらの問題のある用途を除くと、再利用可能用途は工場全体の使用量の何%を占めるか。

Ⅰで述べたように、通常は三次処理といっても活性炭吸着どまりであるが、その場合は塩類やアンモニア等が除去されず、処理水の再利用用途は一部に限られる。衛生的であることを要する食品工場の内部洗浄水や塩類濃度の低い水を必要とする表面処理洗浄水等には使うことができない。使えるのは水洗便所、外回りの洗浄、粗製品の洗浄、排気洗浄等の用途だけである。

冷却水には一見見えそうであるが、冷却塔で循環利用している場合は、冷却塔から処理水中の物質（アンモニアやウイルス等）が大気中に飛散放散して、二次公害を生じる恐れがあるので好ましくない。更に、三次処理水は（アンモニアや塩類の濃度が高いため）腐食性が強いので、クロムや亜鉛を含んだ防食剤を冷却塔の循環水に投入することが多いが、この場合は重金属が大気中に飛散したり、排水に流出することになる。

また、床等の洗浄には処理水を使用できるが、慣れない人が処理水専用のホースを誤飲又は誤用する恐れがあるので、本来、処理水の再利用先は水洗便所など、処理水の供給が特定用途に固定されるものに限るべきであろう。処理水の利用に伴うこのような問題を考慮すると、処理水の再利用先は随分限られる。5章で紹介する工場例、A牛乳工場の場合は、処理水の利用可能用途は水洗便所、洗箱機であり、この他に床、機械の外回りの洗浄水を含めても計約300m³/日にしかならず、三次処理装置を導入しても全使用水量約4,800m³/日の6%、使い捨て冷却水を除く使用水量約1,600m³/日の20%しか節約することができない。三次処理といってもそのような効果しか得られないことが多いのである。

なお、脱塩まで行っただとしても飲料水並みの使用には注意を要する。特に電気透析の場合は一種の電気

分解により処理水中のイオンを一定割合で除去しただけで、その脱塩水には各種イオンが一定割合で残り、非イオン性の物質がそのまま残留するので、飲料水並みの使用はできない。メッキ洗浄水など、塩類低濃度水を必要とする用途に使えるだけである。一方、逆浸透の脱塩水は分子単位の物質を濾過する膜を通過した水であるから、電気透析の場合に比べてはるかに良質であり、飲料水並みの使用に耐えられる可能性があるが、それでもウィルスをどの程度除去できるかの実験データはほとんどない。

Ⅳ. 三次処理によって除去された物質はどうなるのか。それによって二次公害を生ずることはないか。

三次処理により排水を循環利用すれば、工場をクローズドシステムにすることができると考えられることがあるが、これは基本的に誤っている。たとえ、費用を惜みず、脱塩まで行って全量循環を計画しても、三次処理の過程で生ずる濃縮液や汚泥等の処分に悩まされるからである。

すなわち、凝集沈殿からは沈殿池の排泥水、砂濾過からは濾材の閉塞物質（被捕捉物）を洗い出した逆洗排水、活性炭吸着から被吸着物質で飽和した廃活性炭、脱塩からは塩類を多量に含む濃縮水が生じる。まず、通常、排泥水は二次処理の汚泥濃縮槽に送られ、また、逆洗排水は三次処理前の貯留槽に戻される（したがって、逆洗排水中の浮遊物質の大半は凝沈で落ちることになる）から、凝沈濾過で除去された物質は結局、二次処理の汚泥と一緒に処理されることになる。それゆえ、凝沈濾過に関しては二次処理汚泥の処理処分がきちんと行われていれば、汚泥量の増加という問題を除くと、特に致命的な問題が生ずることとはない。しかし、活性炭吸着と脱塩に関しては除去物質の行方の問題がもっと深刻である。

被吸着物質で飽和した廃活性炭は自家再生又は委託再生が行われる。再生とは最高950℃の温度で水蒸気を吹き込んで被吸着物質を脱着することをいう。脱着された有機物質は再生炉に付属しているアフターバーナーで燃焼されるが、被吸着物質は有機物質だけではない。重金属が処理水中では低濃度であっても部分的に活性炭に吸着される。吸着された重金属のうち、水銀、カドミウム、亜鉛、鉛、クロム等は再生時に脱着する。これらの重金属はアフターバーナーでは除去されないで、そのまま大気中にばらまかれる。排ガスワッシャーで除去する方法もあるが、通常のワッシャーでは捕捉率は6～7割にとどまるであろう。このように、再生時の二次公害を考慮すると、重金属を低濃度でも含む排水を活性炭処理することは問題である。具体的にはメッキ排水を含む電気機械工場や自動車製造工場などの排水は活性炭処理を行うべきではない。

そして、脱塩に関しては処理水のうち、通常2分の1から10分の1が濃縮水となる。脱塩水から除去された物質はこの濃縮水に移行している（逆浸透の場合は各種物質、電気透析の場合はイオン類のみが濃縮される）。濃縮水中の各種物質の濃度は条件によって異なるが、BODや重金属の濃度が排水基準を超えることもある。その場合はそれぞれについて通常の処理をすればよいが、河川の上流域では濃縮水に高濃度に含まれるアンモニアや中性塩類の排出が問題となることがある。その場合は蒸発法等により濃縮水を更に濃縮して少量の濃厚液又は汚泥にして、それを何らかの方法で処分（永久保存、セメント固化埋立等）する必要がある。しかし、このような濃縮法を用いると、燃料費がきわめて高くついてしまう。

Ⅴ. 三次処理に伴う種々の要素を考慮した場合、処理装置の建設にどれ位の投資を必要とし、維持管理費も含めて1㎡あたりどれ位の費用がかかるか。

一般に凝沈から活性炭までの処理費用は1㎡あたり20～40円、凝沈から脱塩までの処理費用は1㎡あたり50～100円といわれているが、実際にはそんなに安く済まない。機械本体だけでなく、各種付帯工事費も含めて計算すると、意外と高くなる。二つの工場について処理装置メーカーに試算してもらった

結果によると、活性炭処理までの場合は3,000 m³/日の規模で初期投資額が4億円、減価償却費、利子、維持管理費を合計した総合経費は110円/m³(そのうち4分の1が維持管理費)、脱塩までの場合は4,000 m³/日の規模で初期投資額が9億円、総合経費が180円/m³(4分の1が維持管理費)であった。

しかし、この費用の試算ではⅢ、Ⅳで考察してきた各種要素、すなわち、脱塩まで行わない場合に必要の処理水専用配管の設置(二重配管)、凝沈・濾過に伴う汚泥の処理処分、脱塩に伴う(膜の急速な劣化による)膜の頻繁な交換、濃縮水の処理等の費用は含まれていない。

まず、二重配管の費用はケースバイケースであり、平均的な値を求めることは困難であるが、かなり高くつく場合でも処理装置の建設費の2割には達しないであろう。三次処理汚泥の処理処分費は二次処理の汚泥処理装置の能力に余裕があるかどうかによって異なるが、余裕がある場合は汚泥凝集のための薬品費、脱水汚泥の処分費(又は焼却費)等の維持管理費は処理水1 m³あたり10円以下で済むであろう。このように活性炭処理までの場合はこれらの要素による費用を加算しても支出可能な範囲にとどまることが多い。

しかし、脱塩に関してはそうではない。上述の脱塩までの費用は膜の交換率を年10%とした場合の値である。膜の急速な劣化により、膜を半年～1年で全面交換しなければならない場合は上述の費用に200～300円/m³の費用が加わる。更に河川の上流域などで濃縮水の処理も必要な場合は蒸発濃縮のための燃料費だけで脱塩水1 m³あたり500円前後の費用が加算される。したがって、これらの要素をすべて考慮しなければならない場合は脱塩までの総合経費は1 m³あたり1,000円近くになり、通常の工場の支出可能範囲を超えてしまう。

3. 水使用合理化の四原則

以上のように、三次処理による総合排水の再利用は一般に言われているほど簡単なものではなく、多くの工場では実施することが困難であろう。三次処理という処理技術だけに頼る総合排水の再利用は考え方が安易なだけにそれだけ多くの問題点を含むといえる。それに比べて、水使用合理化は生産工程内部に立入って、水利用箇所ごとに水利用方式の改善を行うものであるので、水量減少の考え方としてははるかに複雑である。そして、水使用合理化の方法も3章で解説するように生産工程、用途ごとに異なるため、各工場の水使用合理化の指導を進めるには多少の知識を必要とする。しかし、各工場の生産工程を熟知し、多くの経験を積まなければ、この指導ができないということではない。水使用合理化の原理的なことをよく頭に入れた上で、各工程の水利用の現場を丹念に観察すれば、各用途の水使用合理化方法を理解することは比較的簡単である。すなわち、水使用合理化の方法は工程、用途ごとにまちまちであるけれども、それらの方法は共通の原則に基づいており、その原則さえ理解しておけば、生産工程が異なっても水使用合理化の方法を見出すことは割合に容易である。この水使用合理化の原則は次の四つに整理することができる。

- I 洗浄対象物の減少
- II 不要水のカット
- III 向流多段洗浄
- IV 単一用途の循環利用

この他に準原則としてカスケード方式(工程間又は用途間再利用)がある。以上の水使用合理化の原則は工場以外の事業所でも同様である。工場等の事業所では上記の四原則はⅡのみ、ⅠとⅡ、ⅡとⅢ、Ⅰと

ⅡとⅢ、ⅡとⅣの5種類の組み合わせで用いられ、まれにカスケード方式がⅣを除く組み合わせに併用される。なお、家庭用水の場合は主にⅡの原則が用いられ、例外的に洗濯用水についてはⅠの原則とカスケード方式が併用される。次に、この四原則と準原則の各々についてその内容を説明する。

(1) 原則Ⅰ〔洗浄対象物の減少〕について

この原則は洗浄水のみに適用されるものであるが、洗浄の目的は何らかの物質を洗い落とすことにある。それゆえ、その洗浄対象物そのものを減少すれば、それだけ洗浄水量を減らすことができる。

たとえば、メッキ洗浄水の役目は図1-1に示すように、メッキ槽から出てきた品物の表面に付いている薬品を洗い落すことであるが、この場合、洗い落とすといっても完全に薬品を除去するのではなく、差し支えない濃度（許容濃度）まで希釈するだけである。それゆえ、水洗槽内の濃度を許容濃度に維持できる給水量が水洗槽の必要給水量となる。この必要給水量は水洗槽に持ち込まれる薬品量（品物に付着する薬品量）に比例するので、メッキ槽上での放置時間を長くするなどの方法により液切りを十分に行うほど、水洗槽への給水量を減少することができる。

同時にこの液切りはメッキ液成分の回収にもなっているわけであるから、洗浄水に関しては汚染物質の流出量そのものを減らすためにも洗浄対象物の減少をまず第一に考える必要がある。ただし、洗浄対象物にはメッキ薬品のように原材料や製品の一部分が流出したもので本来有用なものと、びんの汚れなど、不要で廃棄すべきものの二種類があるが、洗浄対象物減少の原則が適用されるのは主として前者である。

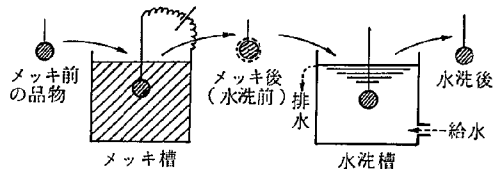


図1-1 メッキ洗浄水の役目

(2) 原則Ⅱ〔不要水のカット〕について

不要水のカットとは文字通り給水を必要な時だけ、そして必要な水量だけに限るという意味で、どの水利用用途にも適用されるが、その適用の仕方は各用途ごとに工夫を必要とする。最も簡単なのはホースを用いる床・壁・機械等の洗浄水である。このホース洗浄の作業を観察していると、ホースの先端からバルブのところまでかなり距離があるため、洗浄していない時にもホースから水を出し放しにしていることが多い。特に機械を解体しながら、部品の洗浄を行う作業の場合はこの傾向が著しい。そこで、この洗浄ホースについてはその先端に手元制御弁（ハンドバルブ）を取り付ければ、この不要な給水をカットすることができる。この他に水压を落して流量を小さくすることも必要である。

メッキ等の表面処理洗浄水の場合はこの原則の適用の仕方が少し複雑である。表面処理後の水洗槽内の成分濃度は図1-2の上に示すように、品物がきた時に急激に

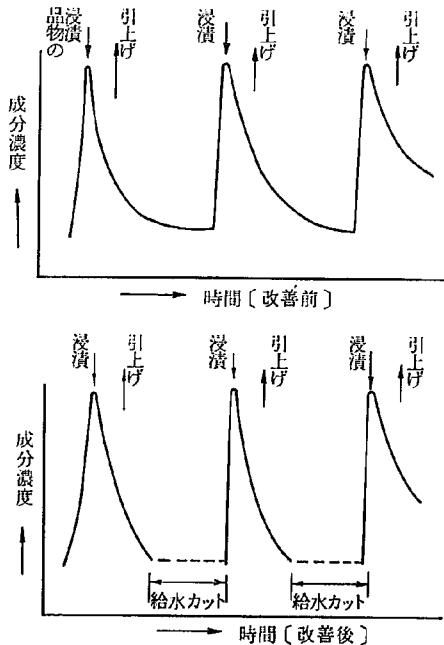


図1-2 メッキ洗浄水における不要水のカット

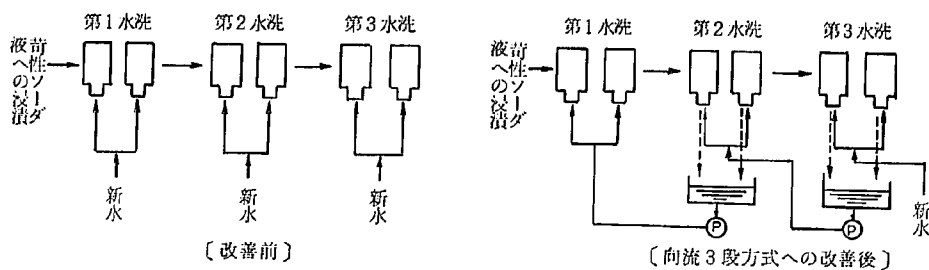


図1-3 洗びん機における向流多段洗浄

上り、その後は次の品物がくるまで次第に低下していく。実際にこの図のように、水洗槽内の濃度が十分に下がっているにもかかわらず、次の品物がくるまで給水が続けられることが多い。そこで、この場合は図1-2の下に示すようにこの濃度の低下を電気伝導度計で間接的にキャッチして、或る伝導度

(濃度) 以下になると、自動的に給水をとめる装置を設置すれば、この不要水をカットすることができる。

(3) 原則Ⅲ〔向流多段洗浄〕について

向流多段洗浄とは品物の流れと逆方向に水を反復利用して複数回洗浄を行うことをいう。この適用対象用途には二つの種類がある。一つは水洗を何回も行う多段洗浄方式の洗浄機であり、もう一つはメッキ洗浄水のように希釈を洗浄の目的とする洗浄水である。

前者の代表例が洗びん機である。洗びん機は模式的には図1-3のように苛性ソーダ液に浸漬した後のびんを5～6回の水噴射で洗浄するものであるが、旧式の洗びん機は図1-3の左に示すようにこの水噴射にすべて新水を使用している。しかし、最終部の水噴射の排水は新水とほぼ同じ位に清浄である。そこで、図1-3の右のように、新水の使用を第3水洗のみに限り、その排水を第2水洗へ、更に第2水洗の排水を第1水洗に反復利用しても洗浄効果は変わらない。このように、洗びん機などの多段洗浄方式の洗浄機は向流式の多段洗浄に切り替えることができる。

メッキ洗浄水の場合は向流多段方式の適用の意味が異なってくる。図1-4の左は1段水洗の場合であるが、この1段水洗では或る給水量で品物表面の薬品濃度が100分の1に希釈されると仮定する。図1-4の右は水槽を一つふやして向流2段水洗にした場合である。この向流2段水洗によって同じく100分の1の希釈率を得るためには第1水洗で10分の1、第2水洗で10分の1の希釈率が得られればよい。その理由は第1水洗で10分の1に希釈されたものが第2水洗で更に10分の1に希釈されるため、総合希釈率が $1/10 \times 1/10 = 1/100$ になるからである。したがって、1段水洗の場合に比べて $\sqrt{100}/100 = 1/10$ の給水量でよいことになる。向流3段水洗にすれば、給水量は $\sqrt[3]{100}/100 = 1/22$ まで減少することができる。このように、希釈を洗浄の目的とする洗浄水への向流洗浄方式導入の目的は洗びん機などの場合と異なって、洗浄回数(水洗槽)をふやすことによって得られる希釈効果の増大の分だけ水量の減少をはかることにある。そして、この場合の水量の減少率は洗びん機などの場合に比べてはるかに大きい。

(4) 原則Ⅳ〔単一用途の排水の循環利用〕について

2で述べたように、三次処理による総合排水の循環利用はきわめてむずかしい。しかし、種々の排水を

ごたまぜにした総合排水ではなく、単一用途の排水ならば、循環利用が可能となることがしばしばある。単一用途の排水の循環利用が可能となるケースは次の三つがある。

ケース 1：排水が清浄なため、そのまま再利用できる場合。

ケース 2：排水に含まれる物質の種類が限られているため、その分離が容易な場合。

ケース 3：その用途自体が清浄な水を必要としない場合（このケースの用途は三次処理水の再利用対象にもなる）

ケース 1 にあてはまる例は冷却水である。冷却塔で水温さえ下げれば、再使用することができる。ケース 2 の例は自動車製造工場の電着塗装洗浄水と水研ぎ用水である。電着塗装洗浄水に含まれるのは主に塗料成分だけであるから、限外濾過（ウルトラフィルトレーション）装置によって塗料成分を分離すれば、水と塗料成分の再使用が可能となる。また、水研ぎ排水に含まれるのはほとんど浮遊物質だけであるので、濾過や沈殿により浮遊物質を除去すれば、循環使用することができる。ケース 3 の例は排気洗浄水である。この用途は一定濃度以下ならば、多少汚れた水でも用いることができる。以上の三つのケースのいずれかに該当する用途はその用途だけで単独に循環利用することが可能である。

(5) 準原則〔カスケード方式〕について

カスケード方式（工程間又は用途間再利用）とは或る工程又は或る用途の排水を、あまり高度な水質を必要としない別の工程又は用途に再利用する方式のことである。かつて新聞で某新製鉄所では各工程の冷却水を循環しつつ、更にこのカスケード方式を使って冷間圧延工程→熱間圧延工程→分塊工程の順序に冷却水の再利用を行い、最後にコークスの消火や高炉滓の冷却に用いて蒸発させ、その水を消滅していると報じられていた。

カスケード方式を使えば、或る程度水量が減少することは事実である。しかし、注意を要するのはカスケード方式に組み込まれる工程や用途のうち、無駄な水利用を行っているところが一つでもあれば、そこで、新水使用量の下限がおさえられ、それ以上の水量の減少を期待できないことである。この新製鉄所の場合も実際には冷却水がコークス消火や高炉滓の冷却で消滅するほど小さな水量ではなく、製鉄所全体の新水使用量はカスケード方式導入という触れ込みにもかかわらず、他の製鉄所より若干少ないだけである。

したがって、カスケード方式を利用するのは、あくまで各工程、各用途への上記四原則の適用を徹底して各工程、各用途の使用水量を最小限におさえてからでなければならない。そして、その場合でも、各工程、各用途の排水中の物質がまざることによって成分回収や適切な排水処理が困難となる場合はこの方式は適用すべきではない。このようにカスケード方式は適用の条件が限られるため、水使用合理化の原則には含まれていない。ただし、3章で述べる水使用合理化の方法のうち、一部の用途については例外的にカスケード方式を用いている。

第2章 水使用合理化の効果と役割

1. 水使用合理化の実例と調査結果

まず、今まで進められてきた水使用合理化の指導の実績と調査結果を紹介することにしよう。

(1) 東京都における実例

東京都では昭和50年度に水使用合理化の技術基準を設定し、その基準に基づいて地下水揚水量1,000 m^3 /日以上、の事業所から水使用合理化の指導を進めてきている。ここでは指導対象事業所のうち、比較的早く事業所側と話がまとまった東京都区部の揚水量1,000 m^3 /日以上の18工場に対する指導結果を紹介しよう。

Ⅰ 対象工場の業種：18工場の業種は次の通りで、都市型工業の業種の多くが含まれている。市乳工場1、ビール工場1、パン菓子工場2、印刷工場3、製薬工場4、感光紙工場1、超硬工具工場1、ネームプレート工場（金属表面処理工場）1、電気機械工場1、自動車及び部品工場3

Ⅱ 用途別使用水量：この18工場では合計31,000 m^3 /日の地下水が使用されていた。その用途別内訳は表2-1の左欄に示す通りで、冷却水が16,000 m^3 /日、洗浄水が7,000 m^3 /日、その他の用途が8,000 m^3 /日であった。

Ⅲ 水使用合理化の方法：3章で示した方法による（ただし、冷却水の濃縮倍数は4倍を採用）。

Ⅳ 改善後の使用水量：18工場に対する指導の結果、工場側から出された改善計画書の合計が表2-1の右欄の数字である。この計画書に沿って改善工事が進められており、52年度末までにはそのほとんどが完了している。この改善計画書における改善後の合計使用水量は7,000 m^3 /日で、改善前の1/5～1/4の水量になっている。内訳を示すと、冷却水の改善後の使用水量は1,500 m^3 /日で改善前の1/10、洗浄水は2,100 m^3 /日で改善前の3/10、その他の用途は3,200 m^3 /日で改善前の4/10である。（なお、表2-1において上水道への転換や設備の移設により減少するものは改善前後とも除かれている。）

表2-1 東京都区部18工場の改善計画書の合計値

	改善前(m^3 /日)	改善後(m^3 /日)	削減率(%)
冷却水	[15,990]	[1,470]	[91]
間接冷却水	14,420	1,250	91
直接冷却水	1,570	220	87
洗浄水	[6,730]	[2,080]	[69]
びん洗浄水	510	330	35
間欠洗浄水	890	480	46
表面処理洗浄水	1,960	270	86
印刷関係洗浄水	1,810	620	66
排気洗浄水	370	20	95
その他の洗浄水	1,190	360	70
その他の用途	[8,170]	[3,210]	[61]
便所用水	1,940	650	67
ボイラー用水	280	110	61
ろ過器等の洗浄水	1,220	340	72
その他	4,730	2,110	55
合計	[30,890]	[6,760]	[78]

(2) 調査結果の例

1) 千葉県市原市石油化学コンビナート

千葉県市原市には石油精製60万バレル/日、エチレン72万トン/年の大石油化学コンビナート（丸善、三井、住友、出光の四グループのコンビナート群）がある。47年にこのコンビナートとその周辺にある28工場を調査した結果を紹介する。ただし、この調査は調査期間が比較的短かったため、化学工場のプロセス用水については検討が行われていない。

ⅰ 対象工場の業種：28工場の業種は次のとおりである。石油精製工場3，石油化学工場12（エチレンを製造する基幹工場3，合成工場9），アンモニア工場1，無機顔料工場1，発電所2，植物油工場1，ちり紙工場1，板硝子工場1，鉄鋼工場（電気炉メーカー）1，アルミ精練工場1，電線工場1，サッシュ工場1，アルマイト処理工場1，造船工場1

ⅱ 用途別使用水量：この28工場は調査当時、地下水を9万 m^3 /日、工業用水道を34万 m^3 /日使用していた。その用途別内訳は表2-2の左欄に示す通りで、冷却水が28万 m^3 /日、製品処理及び洗浄水が6万 m^3 /日、ボイラー用水が4万 m^3 /日、その他の用途が5万 m^3 /日である。

ⅲ 必要水量の求め方：〔冷却水〕3章の計算式によるが、濃縮倍数は10倍を採用。ただし、ポンプシール水などの未検討の冷却水は現状のまま。〔排気洗浄水、ボイラー用水、表面処理洗浄水、抄紙用水〕3章の計算式による。〔化学工場のプロセス用水〕未検討なので、現状のまま。〔従業員の雑用水〕1人当たり200 l /人・日。〔用水処理装置の再生逆洗水〕凝沈の排泥水と濾過の逆洗水は処理水の1%，イオン交換樹脂の再生水は10%，〔工業用水道受水槽のオーバーフロー〕ゼロ。

ⅳ 必要水量の計算結果：必要水量を計算した結果を表2-2の右側に示す。製品処理及び洗浄水のうちの大半を占める化学工場のプロセス用水が未検討であるため、節約可能率は東京都の実例ほど大きくないが、それでも全使用水量の63%を削減することは可能であり、節約後は16万 m^3 /日に減少する。なお、千葉県は全国で工業用水の回収率が最も高いので、水使用合理化が一番進んでいると評価されているが、この千葉県の石油化学コンビナートにおいてもこのように大幅な水量削減を行うことができるのである。

表2-2 市原市石油化学コンビナートの調査結果

	現 状 (m^3 /日)	節約後 (m^3 /日)	削減率 (%)
冷 却 水	[285,000]	[69,500]	[76]
製品処理及び洗浄水	[55,300]	[45,600]	[18]
化学工場のプロセス用水	38,700	38,700	—
抄 紙 用 水	2,900	1,600	45
表 面 処 理 洗 浄 水	2,800	1,000	64
排 気 洗 浄 水	9,200	3,600	61
その他の製品処理洗浄水	1,700	700	59
そ の 他 の 用 途	[88,500]	[45,400]	[49]
従 業 員 の 雑 用 水	15,800	6,600	58
ボ イ ラ ー 用 水	39,900	26,800	33
用 水 処 理 用 水	11,400	6,800	40
受水槽のオーバーフロー	16,200	0	100
そ の 他	5,200	5,200	0
合 計	[428,800]	[160,500]	[63]

3) 関東地域の鉄鋼業

次に紹介するのは昭和45年に関東地域の鉄鋼一貫工場(当時は3工場)と東京都内の各種鉄鋼工場を実態調査した結果から、関東地域全体の鉄鋼業の節約可能水量を試算したものである。節約可能水量の試算は使用水量の大部分を占める冷却水と酸洗洗浄水の2用途について行われた。

i 業種：各種の鉄鋼業が含まれているが、必要水量の試算対象業種は冷却水については鉄鋼一貫メーカー、製鋼業(電気炉メーカー、平炉メーカー)、熱間圧延業(単圧メーカー、伸鉄メーカー等)であり、酸洗洗浄水については鉄鋼一貫メーカー、冷間圧延加工業(冷間圧延メーカー、伸線業等)、亜鉛メッキ業である。

ii 用途別使用水量：関東地域の鉄鋼業では河川水(工業用水道又は直接取水)や地下水の淡水を74万 m^3 /日、海水を370万 m^3 /日使用している。その用途別内訳を推計したのが表2-3の左欄である。淡水については鉄鋼主要四工程の冷却水が41万 m^3 /日(その他の工程の冷却水は14万 m^3 /日)、酸洗洗浄水が7万 m^3 /日である。海水はほとんど冷却に使われているが、その内、四工程の使用水量は111万 m^3 /日である。

iii 必要水量の求め方：〔冷却水〕製鉄・製鋼・分塊・熱延の四工程の熱収支を調べて、冷却水に与えられる熱量(冷却負荷)を求め、その冷却負荷から冷却塔で循環した場合の必要補給水量を計算した。濃縮倍数は10倍を採用。〔酸洗洗浄水〕向流3段水洗への改善を前提として、品物の付着液量と水洗後の許容薬品濃度から理論計算して3倍の余裕をみた。

iv 必要水量の計算結果：主要四工程の冷却水と酸洗洗浄水の必要水量を理論計算した結果を表2-3の右欄に示す。まず、冷却水については現在、海水を使用しているものも熱汚染や排水の希釈を防ぐため、冷却塔で循環して淡水を補給する方式に改めるという前提で、現在の海水使用量の分も含めて計算した結果、必要水量は7.6万 m^3 /日になった。現在の淡水使用量の1/5以下である。また、酸洗洗浄水の必要水量は試算の結果1.4万 m^3 /日で、現状の1/5である。

表2-3 関東地域鉄鋼業の節約可能水量の試算

	現 状 (千 m^3 /日)		節約後(千 m^3 /日) (淡水)	削減率(%)
	淡 水	海 水		
4工程冷却水	[407]	[1,113]	[76]	[81]
製鉄工程	71	940	26	63
製鋼工程	79	116	11	86
分塊・連鋸工程	57	1	14	75
熱間圧延工程	200	56	25	87
酸洗洗浄水	[70]	[0]	[14]	[80]
小 計	[477]	[1,113]	[90]	[81]
その他の用途 (他の工程の冷却水を含む)	[263]	[2,587]	—	—
計	[740]	[3,700]	—	—

以上の実例と調査結果の要約として、次の三点を指摘することができる。

i 都市型工場のみならず、石油化学コンビナートや鉄鋼一貫工場の臨海型工場においても必要水量に程遠い過大な水利用が行われている。

ii この過大な水利用の傾向は地下水使用工場だけでなく、料金を支払う工業用水道使用工場においても同様にみることができる。

iii 水使用合理化を徹底すると、工場群の使用水量を現状の $1/3 \sim 1/5$ まで減らすことができる。したがって、いずれの工場群についても $2/3$ 以上の水量削減を期待することができる。

なお、以上は工場についての水使用合理化の実例と調査結果であるが、工場以外の事業所についてはこのように整理された調査結果がない。しかし、大体の傾向として、地下水を使用する一般事業所（ビル、学校、研究所等）は水使用合理化によって全体として現状の $1/2$ 以下まで、し尿処理場や遊園地は現状の $1/3 \sim 1/4$ まで揚水量を減らすことができると考えてよい。料金の高い上水道を使用する事業所の場合は多少は水使用合理化が進んでいるが、次に述べる家庭用水と同程度のより細かな水使用合理化まで行えば $1/3$ 以上の水量削減を進めることは可能である。

家庭用水については埼玉県所沢市の 20 家庭の調査結果（昭和 51 年度）を紹介しておく。

調査対象 20 家庭の 1 人 1 日平均使用水量

	現 状	改善後
炊 事 用 水	50ℓ/人・日	26ℓ/人・日
洗 濯 用 水	64ℓ/人・日	33ℓ/人・日
便 所 用 水	40ℓ/人・日	27ℓ/人・日
風 呂 用 水	49ℓ/人・日	49ℓ/人・日
洗面手洗・雑用水	25ℓ/人・日	11ℓ/人・日
計	228ℓ/人・日	146ℓ/人・日

このように、行政的な実績はまだないが、家庭用水についても細かな水使用合理化を進めれば、使用水量の $1/3$ 以上も削減することができる。

2. 水使用合理化の役割

水使用合理化は水利用が関係する三つの行政課題、地盤沈下、水不足、水質汚染問題を解決していく上重要な役割を果たす。具体的にどのような役割を果たすかを各問題についてみることにしよう。

(1) 地盤沈下対策としての役割

(1) 従来の地盤沈下対策

地盤沈下は地下水の汲み上げによって引き起こされる地層の収縮現象であるので、地盤沈下を抑止するためには地下水の汲み上げ量を大幅に減らすことが必要である。この地下水汲み上げの削減策として従来から採られてきた方法は水源転換であった。すなわち、地下水の代りとなる水源を確保して、地下水から代替水源への転換をはかることであるが、具体的には工場に関しては工業用水法に基づいて工業用水道への転換、ビルに関しては略称ビル用水法（建築用地下水の採取の規制に関する法律）に基づいて上水道への転換が行われてきた。とりわけ、従来はいずれの地域においても工場が地下水利用の大半を占めていたため、工業用水道を布設して地下水からの転換をはかることが地盤沈下対策のきめ手であると考えられてきた。

工場で利用されている地下水はその生産活動に必要不可欠な水であり、地盤沈下の防止のためとはいえ、地下水の汲み上げを中止または減少させることは、その地域における工業生産をストップまたは縮小させ

ることになるという考えで、地下水利用を規制するための前提として（上水道よりはるかに低廉な水を供給する）工業用水道の普及を規制する側に義務づけているのが工業用水法であるが、この法律に基づいて昭和31年以来、尼崎、川崎、大阪、東京、西宮等の各都市に工業用水道が布設されてきている。そして、さらに今後、残された沈下地区にも工業用水道事業の計画が進められている。この工業用水道の普及によって東京、大阪の一部地区や尼崎等のように、地盤沈下がほとんど停止状態を示しているところも多く、そのような実績をみると、工業用水道の建設促進こそが地盤沈下対策の最も重要な課題であると、だれもが考えがちであろう。

けれども、現在から振り返ってみて、工業用水道の布設だけが工業用地下水の利用を減少または停止させる、ただ一つの手段であったかどうか、そして、それが最も迅速で、最も望ましい対策であったかどうかは、これらの実績とは別である。工業用水道事業が果たしてきた役割を具体的に分析すると、2) 以下で述べるように、むしろ、この事業は大変緩慢な地盤沈下対策で、逆にゼロメートル地帯の拡大に寄与したことで、そして水質汚染問題との関連を追求しない部分的な対策であったことが明らかとなる。その根本的な原因はこの事業が工場における水の浪費を是認していることにある。すなわち、地下水を使用している工場の多くは必要最小限に程遠い過大な水利用を行っており、水の節約を進めれば、その使用水量を大幅に、何分の一かに減少させることが可能であるにもかかわらず、そのような放つた水利用をそのまま放任して、大量の利用地下水を全量、河川水等の他水源に切り替えようとするため、多くの問題が生じてくる。この点について詳しく述べよう。

2) 工業用水道事業の問題点

現在はいずれの都市も慢性的な水不足状態にある。この水不足状態において大量の地下水の代替水を河川水の方で確保することは容易ではなく、そのため、工業用水道を布設して地下水からの転換を完了させるまで長い年月が必要である。それまで、既存の地下水利用はまったく放置されるので、その間に地盤沈下の方はどんどん進行していってしまう。具体的な事例について検討してみよう。なお、東京江東地区等、一部の工業用水道は河川水ではなく、下水処理水を水源としているが、三次処理による排水の循環利用と同様（第1章の2参照）、下水処理水を使用することは一般にむずかしく、今までの工業用水道はほとんど河川水を水源としてきている。

① 尼崎市、大阪市の例：尼崎市は現在、合計給水能力47万 m^3 /日の工業用水道を保有しており、この工業用水道への転換によって、ほんの一部の地区を除いて市内の沈下はほとんど停止状態にある。戦後、工場のめざましい復興とともに、再び激しい地盤沈下に見舞われるようになった同市では昭和29年に地盤沈下対策部を設置し、31年から工業用水道の建設をはじめた。この建設によって第一期工業用水道（給水能力6万 m^3 /日）は33年に、二期（31万 m^3 /日）は39年、三期（10万 m^3 /日）は42年に完成した。しかし、これをみてわかるように、工業用水道の布設が完了するまで12～13年の年月が費されている。その間に地盤沈下の方は、多くの地区で40年頃まで年間10 cm 位の沈下が続き、40年を過ぎてからようやく一部地区のみが年間2 cm 程度の沈下を示すだけで、ほとんどの地区が沈下を停止するようになった。それゆえ、地下水から工業用水道への転換計画がたてられてから、工業用水道布設が完了するまで、市の多くの地区は約1 m 近くも沈んだことになる。大阪市の場合も同様、戦後、地盤沈下が急激に進行したため、昭和26年から工業用水道の建設、拡張が進められた。しかし、第一期から五期まで合計約57万 m^3 /日の給水能力を持つ工業用水道の普及が完了したのは42年になってからである。42年以降は地盤沈下はかなり鈍化した、そ

れまでは年間5～10cmの沈下を示す地区が多く、それらの地区は工業用水道の計画時から完成時まで0.5～1m以上も沈んでいる。

② 東京都城北地区の例：東京の城北地区の場合、工業用水道の計画が進められたのは昭和36～37年頃であるにもかかわらず、給水開始はかなり遅れてようやく46年に入ってからである。そして、全給水能力40万 m^3 /日の給水体制が整って、地下水からの全面転換が完了したのは52年4月であるから、計画時から全面転換まで15年以上の歳月が過ぎている。一方、城北地区の地盤沈下は昭和30年代から46年まで毎年10～15cmの速度で進んできたが、47年になってから鈍化の傾向がみられるようになった。したがって、工業用水道の布設の遅れは1～1.5m以上の地盤沈下を引き起こしたことになる。この地盤沈下の進行によって城北地区の4割近くがA.P. 2m（満潮面）以下のゼロメートル地帯になっている。

以上のように、工業用水道は非常に緩慢な地盤沈下対策であり、工業用水道の布設を待っていると、10年以上の年月が費され、その間に地盤沈下が0.5～1.5mも進行してしまう。

3) 望ましい地盤沈下対策

ゼロメートル地帯を拡大させてしまう工業用水道事業のそもそもの間違いは地下水利用時の放らつな水利用をそのまま認めて、その大量の地下水を全量、河川水に切り替えようとするにある。工場に最小限の水利用を行なわせる対策を早期に講じておいたならば、累積沈下量をずっと小さなものにとどめることができたことであろう。すなわち、工場に水の節約を徹底させれば、地下水の汲み上げ量が激減し、その節約自体が迅速で有効な地盤沈下対策となっただけでなく、さらにそれによって、河川水の方で確保すべき代替水の必要量が大幅に減少して、より完全な地盤沈下、つまり汲み上げ量をゼロにすることが以前に比べてはるかに容易になっていたと考えられる。

そして、そのように代替水必要量が大幅に減少すれば、わざわざ工業用水道を新たに布設する必要はない。ほとんどの地下水規制地区は上水道がすでに普及しているから、上水道の給水能力と給水体制を手直しすれば、工場についても地下水から上水道への転換を進めることは可能である。また、工場側にとっても使用水量が十分に減少しているので、料金の高い上水道を使うことは大して費用の負担増にはならない。

このように、水使用合理化を中心にすえた揚水削減策が最も望ましい地盤沈下対策である。そして、それは工業用水道事業に比べてはるかに迅速な対策となるだけでなく、水質汚染対策も同時に進める総合的な対策にもなる。水使用合理化が水質汚染対策としてどのような役割を果たし得るか(3)で詳述するが、要するに工業用水道事業は、工場が水源転換後も地下水利用時の大量の排水と大量の汚染物質を流し続けられるように低廉な水を供給するためのものであり、水の利用と水質汚染との関係を考慮しない部分的な対策である。過去の工業用水道事業は地盤沈下対策と水質汚染対策を同時に進めるせっかくの契機を失わせてしまっている。

以上のように、今後の地盤沈下対策は新しい観点にたって、水使用合理化を中心にすえた対策を進めていかなければならない。愛知県や三重県など、工場の地下水汲み上げが全揚水量の大半を占める地域においてはこの新しい対策が効果を発揮するであろう。ただし、現在の東京都や埼玉県など、上水道水源の地下水が全揚水量の半分以上を占める地域については水使用合理化だけでは十分な地盤沈下対策にならないと考える人が多い。確かにこのような地域では工場等の事業所の水使用合理化によって全揚水量を数十%削減できるけれども、さらに半分以下まで落すためには上水道の水源を地下水から河川水に転換することが必要である(上水道の大半を占める生活用水も水使用合理化によって大幅な水量削減が可能であるが、

行政的な実績がまだないので、ここではそれについて言及しないことにする）。しかし、問題はこの上水道用地下水の代替水をどうやって生み出すかである。水不足が慢性化している現状においては、この代替水を新規の水資源開発から得る可能性はきわめて少ない。河川水使用工場の水使用合理化の推進によってしか代替水を生み出すことができないのが現実のようである。この点で、やはり今後の地盤沈下対策は水使用合理化が中心にならざるをえないのである。具体的にどの程度の代替水を生み出せるかについては次の(2)で検討することにする。

(2) 水不足対策としての役割

現在慢性化している水不足問題を解決していく上で水使用合理化がどの程度の役割を果たし得るかは水使用合理化によって得られる余剰水量の大きさをみれば一目瞭然である。ここでは関東地域と近畿地域を例にとって水使用合理化によって得られる余剰水量を試算することにする。ただし、この試算の削減率は1で紹介した実例と調査結果による値を少し控え目にして用いることにする。

1) 関 東 地 域

表2-4は関東地域における各都県の工場及び上水道の水源別使用水量である（昭和50年の値）。この表の数値を使って節約可能水量の試算を行う。

① 工場の水使用合理化のみを進めた場合

試算の前提となる考え方は次のとおりである。

a 工場の水使用合理化を推進することによって、次の水量削減が行えるものとする。

a-1 工業用水道、河川水、地下水の使用量は現状の1/3まで減少する。

a-2 上水道は料金が高いので、上水道を使用する工場は他の水源を使用する場合に比べて水使用合理化が進んでいる。そこで、その水量削減率を20%とする。

b ほとんどの工業用水道は売行きが悪く、余剰の給水能力を抱えている。そこで、次の式に示すように、ピーク時のための給水能力の余裕分を給水能力の2割として、この余剰給水能力を求める。

$$\text{工業用水道の余剰給水能力} = \text{給水能力} \times 0.8 - \text{平均給水量}$$

表2-4 関東地域の工場と上水道の水源別使用水量（昭和50年）

（工業用水道の（ ）内は給水能力を示す）

	工 場 (千 m^3 /日)					上 水 道 (千 m^3 /日)			合 計
	工業用水道	上水道	河川水	地下水	計	河川水	地下水	計	
茨 城 県	413(662)	36	137	287	873	198	76	274	1,147
栃 木 県	21(36)	24	149	319	513	171	152	323	836
群 馬 県	108(183)	56	64	247	475	234	230	464	939
埼 玉 県	179(360)	99	66	413	757	690	580	1,270	2,027
千 葉 県	654(911)	92	73	388	1,207	538	326	864	2,071
東 京 都	166(280)	252	131	257	806	4,499	431	4,930	5,736
神 奈 川 県	631(963)	394	278	480	1,783	2,298	120	2,418	4,201
計	2,172(3,395)	953	898	2,391	6,414	8,628	1,915	10,543	16,957

- 注 1. 重複をさけるため、工場の上水道使用量は右の上水道の水源別使用量から除かれている。
 2. 工場の工業用水道使用量のうち、下水処理水源の工業用水道の分（東京都84千 m^3 /日、神奈川県11千 m^3 /日）は除かれている。また、地下水水源の工業用水道の分（千葉県19千 m^3 /日）は地下水使用量の方に含まれている。したがって、左端の工業用水道の水源はすべて河川水である。

c. 地盤沈下対策の必要上、関東地域全体の地下水使用量を現状の1/2に落さなければならないとする。

試算結果を次に示す。

① 工場の水使用合理化による余剰水量(万 m^3 /日)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	余 剰 水 量
工業用水道, 河川水	307	102	205
上 水 道	95	76	19
			224 (A)

② 工業用水道の余剰給水能力(万 m^3 /日)

給 水 能 力	ピーク時の余裕分を除く給水能力	現在の給水量	余剰給水能力
340	272	217	55 (B)

③ 地盤沈下対策としての転換必要水量(万 m^3 /日)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	転換必要水量
工業用地下水	239	$\times 1/3 \rightarrow 80$	
水道用地下水	192	現状のままとする $\rightarrow 192$	
	431		
許 容 揚 水 量	215	$\rightarrow 272$	57 (C)

したがって、関東地域全体の余剰水量は

$$A + B - C = 224 + 55 - 57 = 222 \text{ 万}m^3/\text{日} \text{ となる。}$$

$$(26m^3/\text{sec})$$

② 家庭等の水使用合理化も進めた場合

以上の試算は行政的な実績のある工場の水使用合理化のみを考えたものであるが、上水道すなわち家庭用水と工場以外の事業所用水(都市活動用水)も1で述べたように水使用合理化の推進によって1/3以上の水量削減が可能である。

そこで、この家庭用水と都市活動用水についても30%の水量削減が可能として、上記と同様の試算を行ってみる。

④ 家庭用水, 都市活動用水の水使用合理化による余剰水量(万 m^3 /日)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	余 剰 水 量
河川水水源の上水道	863	604	259 (D)

③' 地盤沈下対策としての転換必要水量(万 m^3 /日)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	転換必要水量
工業用地下水	239	$\times 1/3 \rightarrow 80$	
水道用地下水	192	$\times 0.7 \rightarrow 134$	
	431		
許 容 揚 水 量	215	$\rightarrow 214$	0 (C)'

以上の考え方による関東地域全体の余剰水量は

$$A + B - C + D = 224 + 55 - 0 + 259 = 538 \text{ 万} \text{ m}^3/\text{日} \text{ となる。}$$

$$(62 \text{ m}^3/\text{sec})$$

2) 近 畿 地 域

表 2-5 は近畿地域における各府県の工場及び上水道の水源別使用水量であるが、この表の数値を使って試算を行う。試算の前提となる考え方は 1) と同じである。

表 2-5 近畿地域の工場と上水道の水源別使用水量 (昭和 50 年)

(工業用水道の()内は給水能力を示す)

	工 場 (千 $\text{m}^3/\text{日}$)					上 水 道 (千 $\text{m}^3/\text{日}$)			合 計
	工業用水道	上水道	河川水	地下水	計	河川水	地下水	計	
滋賀県	64(86)	35	136	355	590	159	82	241	831
京都府	1(20)	63	253	289	606	776	87	863	1,469
大阪府	921(1831)	327	166	335	1,749	3,075	297	3,372	5,121
兵庫県	1,080(1,497)	194	294	372	1,940	1,269	242	1,511	3,451
奈良県	0(0)	17	3	41	61	225	93	318	379
和歌山県	621(692)	17	99	121	858	248	104	352	1,210
計	2,687(4,126)	653	951	1,513	5,804	5,752	905	6,657	12,461

(注) 重複をさけるため、工場の上水道使用量は右の上水道の水源別使用水量から除かれている。

Ⅰ 工場の水使用合理化のみを進めた場合

① 工場の水使用合理化による余剰水量 (万 $\text{m}^3/\text{日}$)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	余 剰 水 量
工業用水道、河川水	364	121	243
上 水 道	65	52	13
			256
			(A)

② 工業用水道の余剰給水能力 (万 $\text{m}^3/\text{日}$)

給 水 能 力	ピーク時の余裕分を除く給水能力	現在の給水量	余剰給水能力
413	330	269	61 (B)

③ 地盤沈下対策としての転換必要水量

	現在の使用水量	改善後の使用水量	転換必要水量
工業用地下水	151	$\times 1/3 \rightarrow 50$	
水道用地下水	91	現状のままとする $\rightarrow 91$	
	242	$\rightarrow 141$	20 (C)
許 容 揚 水 量	121		

近畿地域全体の余剰水量

$$A + B - C = 256 + 61 - 20 = 297 \text{ 万} \text{ m}^3/\text{日} (34 \text{ m}^3/\text{sec})$$

Ⅱ 家庭等の水使用合理化も進めた場合

④ 家庭用水、都市活動用水の水使用合理化による余剰水量 (万 $\text{m}^3/\text{日}$)

	現在の使用水量	改善後の使用水量	余 剰 水 量
河川水水源の上水道	575	403	172 (D)

③' 地盤沈下対策としての転換必要水量

	現在の使用水量	改善後の使用水量	転換必要水量
工業用地下水	151	$\times 1/3 \rightarrow 50$	
水道用地下水	91	$\times 0.7 \rightarrow 64$	
	242		
	↓		
許容揚水量	121	114	0 (C)

近畿地域全体の余剰水量

$$A + B - C' + D = 256 + 61 - 0 + 172 = 489 \text{ 万 } m^3/\text{日}$$

$$(57 \text{ } m^3/\text{sec})$$

なお、以上の試算のような水使用合理化を進めるためには第5章で述べる水使用合理化の行政手段が各自治体に普及して、自治体の担当職員が水使用合理化の指導の行政技術を身につける必要がある。

(3) 水質汚染対策としての役割

水質汚染対策としての水使用合理化の役割は二つある。一つは排水規制の立場からの役割であり、もう一つは排水処理技術としての役割である。

まず、前者から説明しよう。

1) 総量規制の一環としての水使用合理化

① 現在行われている総量規制の内容

濃度のみを規制する従来の規制方式では汚染物質の排出を有効に制御できないという反省から、随分前から総量規制の必要性が主張されてきている。そして、現在すでに一部の自治体では総量規制という名の規制方式が採用されている。しかし、総量規制と一口に言ってもその内容は一義的なものではなく、自治体によっていろいろと差があるようである。まず、現行の総量規制の内容をみることにしよう。現行の総量規制は方式としては次の三つのタイプに分けることができる。

Ⅰ 排水量別排水基準方式（実施している府県：大阪府、兵庫県、愛知県、大分県……）

Ⅰは排水量が多い工場ほどCODやBODの濃度基準値をきびしくする方式である。例えば、大阪府では全COD排出負荷量を47年当時の約1/2に削減するために、49年から次の総量規制を実施した。

B地域（淀川水域、寝屋川水域等）の化学工場の場合

排水量	30～	50～	200～	1,000～	5,000 m^3 /日
	50 m^3 /日	200 m^3 /日	1,000 m^3 /日	5,000 m^3 /日	以上
COD及びBOD (日間平均)	120 mg/l 以下	80 mg/l 以下	60 mg/l 以下	40 mg/l 以下	30 mg/l 以下

Ⅱ 排水量の関数で負荷量を表わす方式（実施している県：山口県、神奈川県……）

ⅡはCODやBODの排出許容負荷量を排水量の関数で表わす方式である。例えば、山口県では全COD排出負荷量を47年当時の36%に削減するために、48年から次の総量規制を実施した。

$$\text{COD又はBODの排出許容負荷量の算出式} \quad q = k \cdot f \cdot C (Q \times 10^{-3})^{0.9} \times 10^{-3} + S Q \times 10^{-6}$$

（海域、湖沼はCOD、その他はBOD）

q : 負 荷 量 (t/日)

k : 地域によって異なる係数 (岩国水域 1.76, 小野田水域 1.10 ……)

f : 1.0 (50年7月18日までは一部の業種について 1.2~1.7)

Q : 排 水 量 (m³/日)

SQ : 原水 (海水, 工業用水道) のバックグラウンド負荷 (t/日) (S=1mg/l)

C : 排 水 基 準

例

{ 化学工業	染料, 顔料	40 mg/l 以下
	化学繊維	50 mg/l 以下
	医薬品	50 mg/l 以下
	農 薬	20 mg/l 以下
		
{ 食料品工業		100 mg/l 以下

iii 冷却水分離方式 (実施している県: 三重県………)

iii は冷却排水による希釈を防ぐため, 洗浄排水と冷却排水の各々に別々の濃度基準をかけて, 排出許容負荷量を求める方式である。例えば, 三重県は四日市港域の全 COD 負荷量を 3/4 に削減するために, 次の総量規制を実施した。

$$\text{CODの排出許容負荷量の算出式} \quad O = \frac{U \times G}{1,000} + \frac{3 \times V}{1,000}$$

O : 負 荷 量 (kg/日)		
U : 洗浄排水量 (m ³ /日)	G : 洗浄排水の	U < 1,000 m ³ /日 80 mg/l 以下
V : 冷却排水量 (m ³ /日)	許容濃度	1,000 ~ 5,000 m ³ /日 70 mg/l 以下
		5,000 ~ 10,000 m ³ /日 65 mg/l 以下
		10,000 m ³ /日以上 60 mg/l 以下

② 本来の総量規制が目指していたこと

以上の現行の総量規制は濃度規制に比べれば形式が少し複雑であるので, 新しい方式の規制が行われているような感じを受ける。しかし, 後で述べるようにその内容は濃度規制と基本的には変わっていない。その内容の検討に入る前に, 本来の総量規制が目指していたことを確認しておこう。本来の総量規制が意図していることは言うまでもなく, 従来の濃度規制の問題点を克服することであるが, その問題点は次の三つに絞ることができる。

a 濃度規制値と水域全体の許容負荷量とのつながりが明確でないため, 規制を進めても水域はいつまでもきれいにならない。

b 濃度規制値を希釈によってパスして, 大量の汚染物質を排出している事業所が少なくない。

c 工業用水道や上水道の供給水量の増大, すなわち使用水量の増大によって濃度規制値が守られていても水域への全排出負荷量が次第に増加していく。

本来の総量規制が目指していることはこの三つの問題点を克服することであるから, 裏返しの形で次のように言うことができる。

a' 水域全体の許容負荷量を定め, その許容負荷量を割り振る形で各事業所の排出負荷量を規制する。

b' 希釈によって規制値をパスすることがないように、希釈を困難か又は無意味にさせる。

c' 供給水量（使用水量）の増大による排出負荷量の比例的増加に歯止めをかける。

次に、この三点の内容を現行の総量規制がどの程度満たしているかを検討することにしてしよう。

③ 現行の総量規制の検討

a 許容負荷量について

総量規制は従来の濃度規制のように主として技術的・経済的側面からではなく、環境の面から規制値をきめるものである。このように環境の面から規制値をきめることは本来は正しい考え方であるが、しかし、その具体的な内容は環境をどこまできれいにするかの目標の設定如何によってどのようにでも変わる。次に示す図は①で紹介した三つのタイプの総量規制による排水量と排出許容負荷量との関係である。比較のため、BOD（又はCOD）20ppm以下の濃度規制方式をとった場合（㊸）と、20ppmの濃度規制の他に水使用合理化を推進した場合（㊹）における両者の関係も示しておく。BOD（又はCOD）20ppmという濃度基準は現在の二次処理技術によって十分に達成できる値である。ただし、生物に分解されにくい有機物を多く含む排水の場合は二次処理装置を完備するだけでなく、2）で述べるような難分解性有機物含有廃液の回収処理を伴わないと、COD 20ppm以下という水質は維持できない。また、水使用合理化を推進した場合は

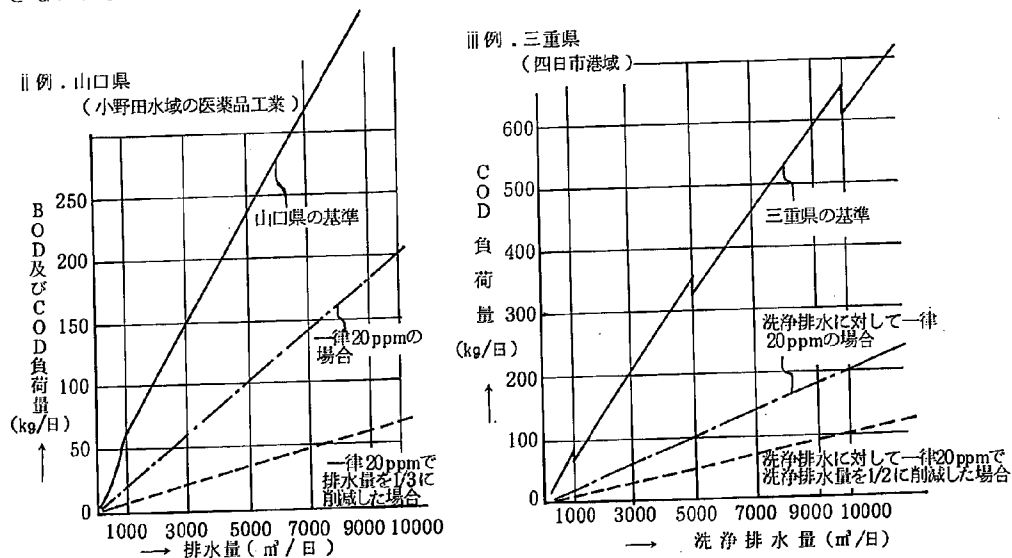


図2-1 現行の総量規制における排水量と排出許容負荷量の関係

排水量が一律に1/3に減少するとした(ただし、洗浄排水は1/2に減少)。図2-1をみると、各府県で実施されている総量規制は排出許容負荷量が意外と大きいことがわかる。Ⅰの総量規制方式の例では20ppm一律基準方式(㊦)に比べて1.5～2倍、20ppm一律基準プラス水使用合理化推進方式(㊧)に比べて4～6倍であり、Ⅱの方式の例では㊦、㊧方式に対してそれぞれ2～2.5倍、6～7倍である。そしてⅢの方式の例では㊦の3～4倍、㊧の6～8倍である。このように、現行の総量規制は現在の二次処理技術で達成できる排出負荷量の1.5～2倍以上、更に水使用合理化の推進によって得られる排出負荷量の4～6倍以上の排出を認めてしまっていることが多い。すなわち、環境の面から排出許容負荷量をきめるという立場がむしろマイナスとなって、処理技術の徹底した適用を遅らす結果を生んでいる。すなわち、まだあまり汚染されていない水域については汚染物質が多少流入しても大して影響を受けないという考えで大き目の許容負荷量が設定され、そして、すでにひどく汚染されている水域については直ちにきれいにするのは困難という考えで中途半端な許容負荷量が設定されている。このように現在の総量規制には、まだひどく汚染されていない水域を自然の状態に戻し、すでにかなり汚染されている水域を抜本的に浄化しようという意図がみられない。すでに技術的には十分確立されている二次処理技術の徹底した適用さえ考慮していないのであるから。

b 希釈について

現行の総量規制のうち、Ⅰの方式は排水量別の濃度基準を設け、Ⅱの方式は排水量と比例しない負荷量関数を定めて、希釈による逃げ道を多少は防ごうとしているが、しかし、これらの方式でも希釈を行う工場の方がはるかに有利である。一例として、3,000 m^3 /日の汚染排水のみを排出するA工場と3,000 m^3 /日の汚染排水の他に6,000 m^3 /日の非汚染排水も排出するB工場について考えてみよう。

前図Ⅰの例ではA工場のBOD(COD)排出負荷量の上限は120kg/日、B工場の上限は270kg/日である。一律濃度基準の場合、B工場がA工場の3倍になるべきものが、高々2.3倍に押えられているにすぎず、希釈を行うB工場はA工場よりはるかに有利な立場にある。次に、前図Ⅱの例ではA工場のBOD(COD)排出負荷量の上限が150kg/日であるのに対して、B工場のそれは400kg/日で、A工場の2.7倍であり、Ⅰの例よりB工場は有利となる。

この点、Ⅲの例は冷却水分離方式をとっているため、希釈による逃げ道を防ぐ点で一歩進んでいる。しかし、この方式にも二つの問題がある。一つは希釈が常に冷却水で行われるとは限らず、汚染物質をあまり含まない洗浄排水(例えば使い捨ての排ガス洗浄水)等が希釈に使われることが少なくないことである。Ⅲの方式ではこのような希釈に歯止めをかけることができない。もう一つは希釈に用いる冷却水を見かけ上小さくするため、必要がなくても大量の冷却水を洗浄水に再利用したり、冷却水量の届け値を実際より小さくしたりする逃げ道を防げないことである。

それでは希釈による逃げ道を防ぐためにはどのような規制方式をとればよいのだろうか。それは水使用合理化を徹底させて希釈に用いる大量の冷却水と洗浄水等をなくしてしまうことである。冷却水は冷却塔による循環利用を徹底すれば、排水(ブロー水)はゼロか又はきわめてわずかな量となるし、洗浄水も水使用合理化が十分に進められれば、希釈に用いられるほど大量の排水はでてこない(なお、海水の使用は間接冷却に限り、排出先を通常の排水と別にして使用後の水質が使用前と変わらない場合にのみ認められるべきである)。水使用合理化の徹底以外に希釈による逃げ道を防ぐ方法はないのである。

c 使用水量の増大に伴う排出負荷量の増加について

現行の総量規制はⅠ、Ⅱ、Ⅲの方式とも負荷量の固定化について何もふれていない。したがって、今後の工業用水道、上水道の給水量の増加（使用水量の増加）に伴って排出負荷量が増大していくことは当然予想される（行政指導によって負荷量の増加をおさえようと努力している府県はあるが）。そのように水資源行政と全く無関係に進められているのが現行の総量規制の実態である。使用水量の増大に伴う排出負荷量の増加をおさえるためには次の対策を講ずることが必要である。第一に、水使用合理化を徹底して現在の排水量を激減させるとともに、今後の排水量の増加を最小限におさえる。第二に、排出負荷量を固定化し、排水量の増加と反比例的に濃度規制値を切り下げていく。

以上、従来の濃度規制の三つの問題点を現行の総量規制がどの程度克服しているかを検討した。その検討の結果、現行の総量規制は濃度規制の問題点を基本的に克服したものではないことがわかった。その点で、現行の総量規制は濃度規制の延長上にあるものであるが、その濃度規制を徹底して適用したもの（BOD又はCOD20 ppm以下）でもなく、いわば中途半端な濃度規制の一種でしかない。以上の検討によって、本来の総量規制とはどのようなものであるべきかが逆に明らかとなった。その内容を記すと、まず第一段階の総量規制として

- a 水使用合理化を徹底させて、使用水量（排水量）を必要最小限におさえる。
- b BOD（又はCOD）の濃度基準を20 ppm以下とする。
- c 各事業所の最小必要排水量×20 ppmを排出負荷量の上限とし、この上限値を固定する。
- d 事業所の排水量が将来増える場合はその増加量に反比例して濃度基準を切り下げていく。

第一段階の総量規制の実施によって水域が十分にきれいにならない場合は第二段階の規制として、水域がきれいになるまで濃度基準の上限を20 ppmより小さな値に徐々に切り下げていく。以上が本来の総量規制の内容である。水使用合理化の推進はこの本来の総量規制において中心的な役割を担っている。

2) 排水処理と水使用合理化

1)で述べたのは排水規制の立場からみた水使用合理化の役割であるが、水使用合理化は一方で排水処理の面でも重要な役割を果たす。その役割は次の二つに分けることができる。

- ① 排水処理の効率の上昇
- ② 流出成分の回収

まず、①については水使用合理化により排水量が減少して排水濃度が高まると逆に排水処理の効率が低下すると考える人達が多いが、それは全くの誤解である。一定の範囲内ならば排水濃度が高まっても排水量をできるだけしぼることが排水処理を効率的に進めていくための必須の条件であり、それが排水処理の現場担当者の常識である。この①については5章の3で解説してあるので、ここでは②について述べよう。水使用合理化による第一段階の流出成分回収は1章の3で述べた原則Ⅰの「洗浄対象物の減少」である。この洗浄対象物の減少は水の減少と同時に流出成分の回収にもなっている。第二段階の流出成分回収は、洗浄排水に一度流出した成分を濃縮技術等を用いて回収する方法である。この第二段階の成分回収技術が用いられれば、成分の流出がきわめてわずかになるだけでなく、通常の排水処理のように大量の汚泥の始末に悩まされることがない。ここではこの第二段階の成分回収技術を紹介しよう。成分回収技術の適用例としては次のようなものがあるが、ここではⅠとⅤの適用例について述べる（なお、ⅡとⅢは考え方がⅠとほぼ同じであり、また、Ⅳについては3章の1(6)を参照されたい）。Ⅰメッキ等の表面処理洗浄水、Ⅱ自

自動車工場の塗装前処理洗浄水、Ⅲメッキ等の排気洗浄水、Ⅳ電着塗装洗浄水、Ⅴイースト等の有機性洗浄水。

a メッキ等の表面処理洗浄水

この種の洗浄排水中の成分を回収するためには洗浄排水を真空蒸発（真空ポンプで減圧して成分が分解しないよう 50～60℃以下で蒸発させる方法）や大気蒸発（大気と十分に接触させて 40～60℃の温度で蒸発させる方法）等で濃縮することが必要であるが、濃縮法の最大の欠点は蒸発に大量のエネルギーを消費することである。このエネルギー消費量は洗浄排水の量にほぼ比例するので、水使用合理化の徹底によって洗浄排水をできるだけ少なくし、その成分濃度を高めておくことが濃縮法導入の必須の前提である。図 2-2 に示すのはクロムメッキの洗浄排水を向流 4 段洗浄でわずかな量にした上で真空蒸発によって濃縮し、メッキ液槽に回収している例である。蒸発濃縮による成分回収を続けると、不純物が蓄積してくるので、この例では鉄イオン等の陽イオンと硫酸根を除去する設備が備えられている。

b イースト等の有機性排水

有機性排水は活性汚泥処理等の生物学的処理を行うのが常識である。しかし、生物学的処理によって処理できるのは生物によって分解されやすい有機物だけであり、生物難分解性の有機物は処理できない。そのため、そのような有機物を多量に含む排水を生物学的処理にかけると、BODは落ちるが、CODやTOCが十分に落ちないという現象が生じる。化学工場の排水はこの種のものが多く、水域に多量の生物難分解性の有機物が放流されているのが現状である。このような有機性排水は生物学的処理によらない方法で処理する必要があるが、もっとも根本的な方法は水使用合理化によって排水量を激減した上で、濃縮法や燃焼法等を用いて成分回収を進めることである。図 2-3 はイースト洗浄に向流 7 段水洗を適用し、

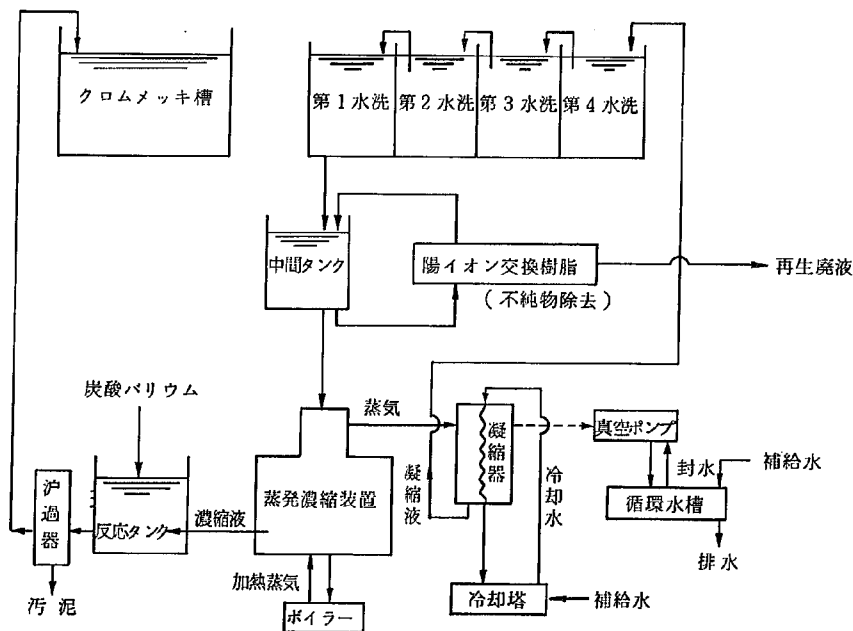


図 2-2 真空蒸発によるクロムメッキ成分回収のフローシート

水量を大幅に減少した上で、濃縮法と液中燃焼法を組み合わせることで排水中の成分を肥料として回収する例がある。イーストはパンの製造に使用する酵母で、糖蜜の液の中で培養した後、水で洗浄する。この培養廃液と洗浄排水を生物学的処理にかけてもCODerは40~50%しか落ちないが、図2-3の方法を用いれば流出するCODerをゼロに近づけられるだけでなく、成分の一部(カリ)を肥料として有効利用することが可能となる。生物難分解性の有機性排水に対してはこのような方法で処理することが望ましい。

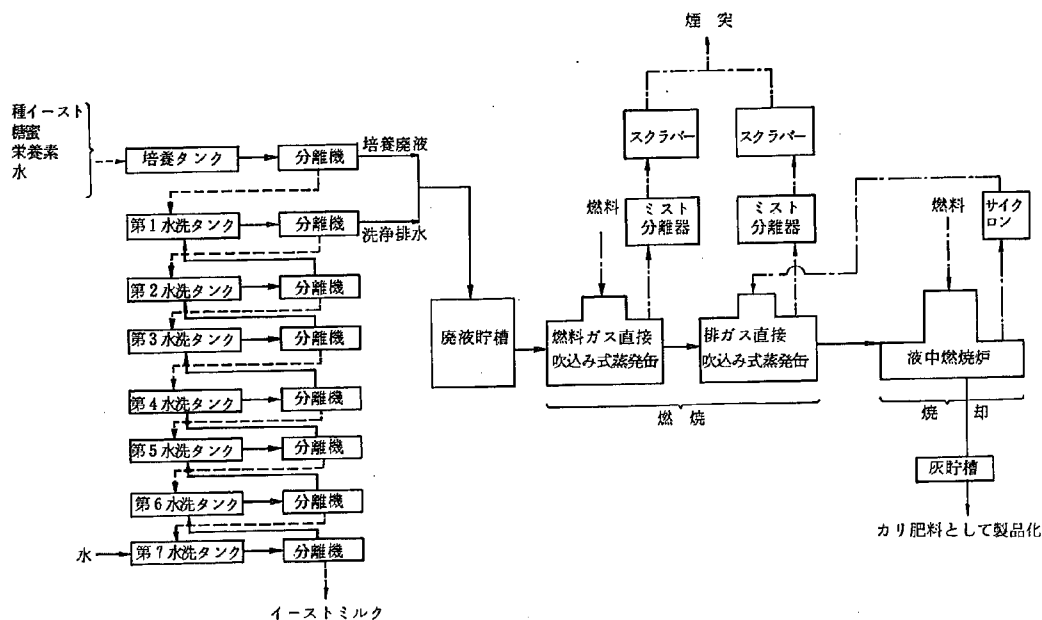


図2-3 イースト排水から肥料成分を回収するフローシートの一例

第 3 章 水 使 用 合 理 化 の 技 術

本章では工業用水、都市活動用水、家庭用水の各種水利用途について水使用合理化技術を解説する。各用途について解説する項目は次のとおりである（ただし、家庭用水についてはⅡ、Ⅲの解説はない）。

- Ⅰ 標準的な方法（通常適用される方法）
- Ⅱ 特殊な条件の場合（標準的な方法を全くか又は部分的にしか適用できない場合）
- Ⅲ 同等以上の方法（標準的な方法と同等以上の効果ある方法）
- Ⅳ 必要水量の求め方（標準的な方法か又は同等以上の方法を適用した場合の必要水量の求め方）
- Ⅴ 改善費用（標準的な方法を適用して改善するための費用）

また、本章で解説する水利用途は次に示すとおりで、ほとんどの用途が網羅されている。

工業用水：冷却水、びん洗浄水、間欠洗浄水、メッキ等の表面処理洗浄水、自動現像処理洗浄水、自動車工場の塗装関係洗浄水、排気洗浄水、染色用水、製紙用水、ボイラー用水、その他の用途
都市活動用水：便所用水、洗面手洗および食堂用水、研究実験用水、池維持用水、プール用水、し尿処理希釈水

家庭用水：炊事および洗面手洗用水、洗濯用水、便所用水、その他の用途

なお、この章では水利用途を便宜上、工業用水（工場）と都市活動用水（工場以外の事業所）に分けているが、工場以外の事業所の水利用途のうち、プール用水とし尿処理希釈水以外のものは工場にも共通しているし、また逆に工場の水利用用途のうち、冷却水、ボイラー用水等は工場以外の事業所にも共通していることが多いので、次の技術解説では必要に応じて両方の節を見ていただきたい。

1. 工 業 用 水

(1) 冷 却 水〔一般工場、一般事業所〕

1) 標準的な方法

- ① 冷却塔による全量循環：冷却塔を設置して冷却水の全量を循環利用し、更に②の方法を用いる。
- ② ブロー水のカット又は塩類濃度の調節：ボールタップにより常時の排水（ブロー）をなくすか、又は塩類濃度自動制御装置を設置して循環水の塩類濃度を新水の4倍以上に保つように排水量（ブロー水量）を調節する。

〔 解 説 〕

① 〔冷却塔による循環〕について

図3-1-1に示すように、冷却水の全量を冷却塔で循環利用する。実際の工場では冷却塔による循環を進めていても、図3-1-2に示すように冷却水の一部に新水を用いたり、冷却排水の一部を循環系統に入れずに排出していることが多いが、そのような場合は「全量循環」方式に改める必要がある。

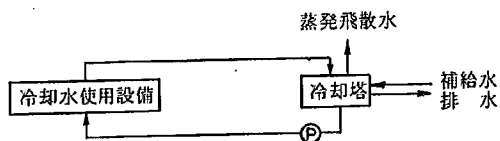


図3-1-1 全量循環方式

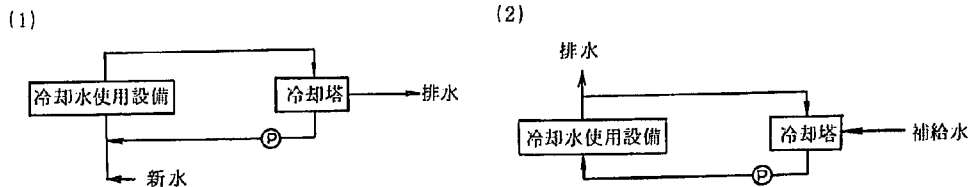


図3-1-2 全量循環ではない循環方式

② 〔ブロー水のカット又は調節〕について

ボールタップによるブロー水のカット：冷却塔では水の蒸発と飛散により循環水の一部がたえず失なわれるが、補給水をこの蒸発と飛散による損失水のみとするのがボールタップによるブローカット方式である。ボールタップは通常の冷却塔には取り付けられているが、実際にはボールタップ以外の給水口からも給水されていたり又はボールタップの故障や取り付け位置の不備によりボールタップから余分な水が給水されて、常時排水が行われていることが多い。そこで、図3-1-3に示すように、ボールタップによる水位制御の位置を排水口より低くし、更に他の給水口を止めて常時排水をなくす。

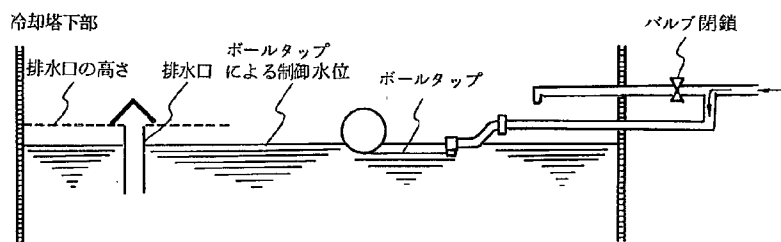


図3-1-3 ボールタップによるブローカット

塩類濃度の調節：冷却塔から循環水の一部が蒸発していくと、循環水の塩類濃度が上昇していく。飛散水（通常は循環水の0.2%以下）によっても塩類の排出が行われるので、蒸発水量（循環水の出入口温度差に比例）が小さい場合は常時排水がなくても塩類濃度はあまり高くない（温度差が5℃の場合は補給水の塩類濃度の4～5倍程度）。しかし、蒸発水量が大きい場合は塩類濃度が高くなってスケール発生

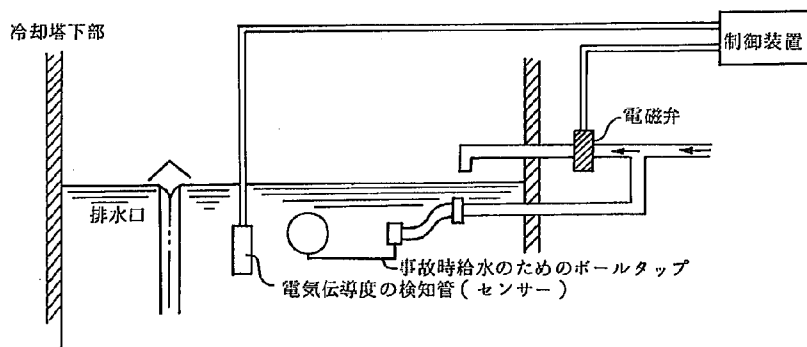


図3-1-4 塩類濃度自動制御装置

や腐食等の障害を起こしやすくなるので、常時排水を行って塩類濃度の上昇を抑える必要がある。塩類濃度自動制御装置とは循環水の塩類濃度を電気伝導度で検知し、その値によって電磁弁を開閉して常時排水量を適正なものに調節する装置である。通常の地下水や河川水の水質の場合は補給水の純水化等の技術的手段を用いなくても循環水の塩類濃度を補給水の4倍以上に保つことは可能である。ただし、石油化学コンビナートや製鉄所などでは大口の冷却水がまとまっていて、補給水の純水化等の技術的手段を用いることが容易であるので、循環水の塩類濃度を補給水の10倍以上に高めるべきである。

2) 特殊な条件の場合

- ① 水温の上昇が問題となる場合：冷却塔の他に、冷凍機を設置して冷凍機と冷却塔による循環利用を行う。
- ② 直接冷却水（水質変化のある冷却水）の場合
 - ・混入物質の除去が困難な場合（食品冷却水、真空ポンプ・バロメトリックコンデンサー・水エジェクターの冷却水、ポンプのシール冷却水（大口のみ循環））：循環利用を繰り返すと、混入物質が蓄積してくるので、混入物質の濃度があまり高くないよう、循環水を適宜更新する。
 - ・混入物質の除去が容易な場合（鉄鋼工場における圧延工程のロール冷却水や製鋼工程の鋼塊冷却水等の金属製品冷却水）：冷却塔の他に、滷過塔や凝集沈澱池を設置して、循環水に混入する酸化鉄等の浮遊物質を除去する。

〔解説〕

① 〔冷凍機の併用〕について：

冷却塔による循環水の温度は大気湿球温度プラス数度以下には下がらないため、真夏には 31°C 以上に上昇する。一方、地下水の温度は一年中 $16\sim 19^{\circ}\text{C}$ 、河川水の真夏の温度は $27\sim 28^{\circ}\text{C}$ である。したがって、河川水の一過式利用から冷却塔による循環方式に切り替える場合は水温上昇がほとんど問題にならないが、地下水の一過式利用から循環方式に改める場合、冷却水使用設備の種類によっては水温上昇により設備の機能に支障がでてくることがある。この場合は冷却塔以外に冷凍機も設置して図3-1-5に示す循環利用を行う必要がある。すなわち、冷却水使用設備には冷凍機で製造した冷水を送って循環利用し、一方、冷凍機の凝縮器の冷却水を冷却塔で循環する。ただし、水温上昇が問題になっても冷却水使用設備の改良（例えば、冷却個所の伝熱壁を薄くする）によって水温上昇に対応できる場合も少なくないので、冷凍機を使わなくても済む方法をまず工夫する必要がある。

② 〔直接冷却水〕について

混入物質の除去が困難な直接冷却水：食品冷却水の場合は食品の一部、真空ポンプ、バロメトリックコンデンサー、水エジェクターの場合は吸引蒸気に含まれる物質、ポンプのシール冷却水の場合は輸送液の一部が冷却水に混

入する。これらの混入物質は溶解性のものが多く、滷過器等の簡単な水処理装置では除去

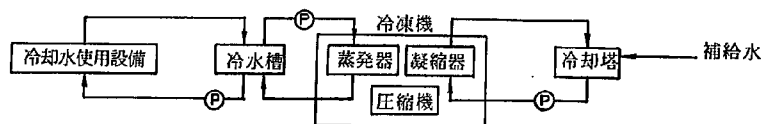


図3-1-5 冷凍機と冷却塔による循環

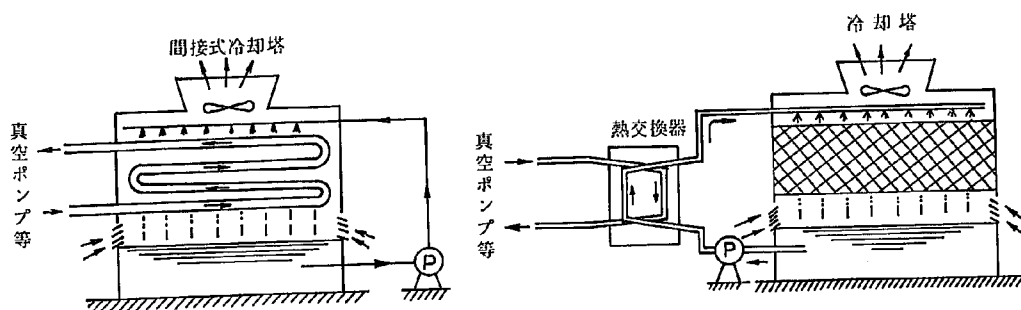


図3-1-6 真空ポンプ等の冷却水の間接循環方式

することが困難である。これらの混入物質が循環水中に蓄積してくると、食品冷却水の場合は混入物質の変質、分解による衛生上の問題、真空ポンプ等の冷却水の場合はスライム（微生物の固まり）の発生によって配管のつまりなどを

引き起こす。そこで、これらの混入物質の蓄積濃度があまり高くないうちに、循環水を更新してこれらの問題が生じないようにする必要がある。なお、これらの混入物質が有害性を持つ恐れがある場合は冷却塔から大気中にばらまかれて二次公害を引き起こす危険性があるので、図3-1-6に示すように、間接式冷却塔を用いたり、熱交換器を中間に設けるなどの対策を講じる必要がある。

混入物質の除去が容易な直接冷却水：鉄鋼工場における圧延工程のロール冷却水や製鋼工場の鋼塊冷却水等の金属製品冷却水には酸化鉄等の浮遊物質が混入するが、この浮遊物質はろ過等により比較的容易に除去することができるので、図3-1-7に示すように、冷却塔の他に、沈澱池やろ過塔（又は凝集沈澱池）を設置して混入物質の除去を行いながら、冷却塔で循環利用する。

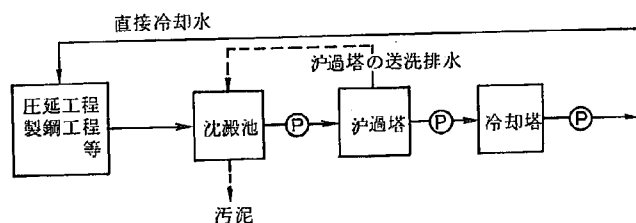


図3-1-7 金属製品冷却水の循環利用

3) 同等以上の方法

- ①空冷：小容量の冷凍機や、石油化学工場等において高温のプロセス側流体を直接冷やす空冷式熱交換器に用いられる。
- ②蒸発冷却：溶鉱炉など、冷却対象が非常に高温の場合に限定される。
- ③蒸発式凝縮器：レシプロ型の冷凍機に用いられる。
- ④冷却排水の他用途への再利用：再利用されないまま、捨てられる冷却排水がゼロの場合にのみ用いべきである。

【解説】

①〔空冷〕について：空冷は水冷に比べて冷却効率がきわめて悪いので、空冷が用いられるのは特殊な場合に限られる。一つは実験機器の冷却水のように室内に小口の冷却水が散在している場合である。この場合は冷却塔との配管工事が大変なため、空冷式冷凍機を水利用機器の近くに設置して、空冷式冷凍機で

製造した冷水を循環利用する。もう一つは石油化学工場において高温のプロセス側流体を水冷式熱交換器で冷却して更にその冷却水を冷却塔で冷やすよりも、空冷式熱交換器（図3-1-8）で直接冷やした方が経済的な場合である。

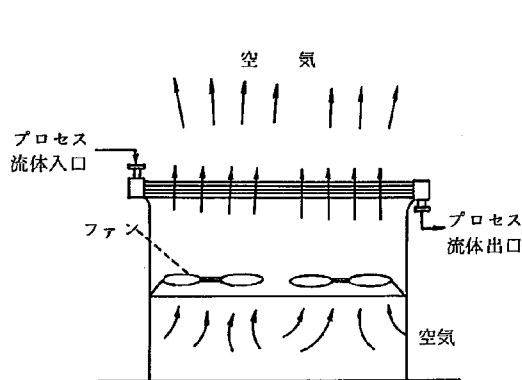


図3-1-8 空冷式熱交換器

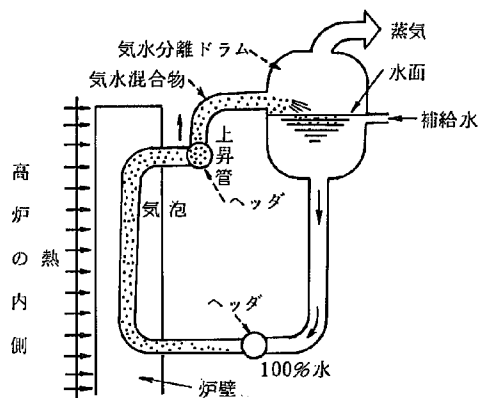


図3-1-9 蒸発冷却

② 〔蒸発冷却〕について：蒸発冷却とは沸騰点にある水を冷却対象に送り込み、そこで、水を気化させて、その時の蒸発潜熱の奪取によって冷却を行う方法（図3-1-9）であるが、その冷却のメカニズムからして、適用の対象は銑鋼一貫工場の溶鉱炉など、冷却の対象が非常に高温の場合に限られる。

③ 〔蒸発式凝縮器（エバコン：エバポレートコンデンサー）〕について：冷凍機の凝縮器と冷却塔を一緒にしたもの（図3-1-10）で、レシプロ型の冷凍機に用いられる。冷却塔の一種ともいえる。

④ 〔冷却排水の他用途への再利用〕について：冷却排水を循環利用せずに、洗浄水等の他用途へ再利用する方法であるが、この方法は再利用されぬまま、捨てられる冷却排水が大量に生じることが多いので、次の二点を検討して捨てられる冷却排水がゼロとなることが確認された場合にのみ用いるべきである。

Ⅰ. 再利用先の用途について水使用合理化を十分に進めた後の使用水量を計算して、その水量が冷却排水の量を上回っているかどうかを検討する。

Ⅱ. Ⅰの検討の結果、水量の面ではバランスがとれても、冷却水使用設備と再利用先の設備の間に稼働時間や稼働日のずれがないかどうかを検討し、もしずれがある場合は回収水槽にそのずれを埋めるだけの容量があるかどうかをチェックする。

なお、原水槽に冷却排水を戻す場合も原水槽の水温があまり上がらぬよう、原水槽の水を一部、排出する必要があるため、この必要排水についてⅠ、Ⅱの検討を行う。

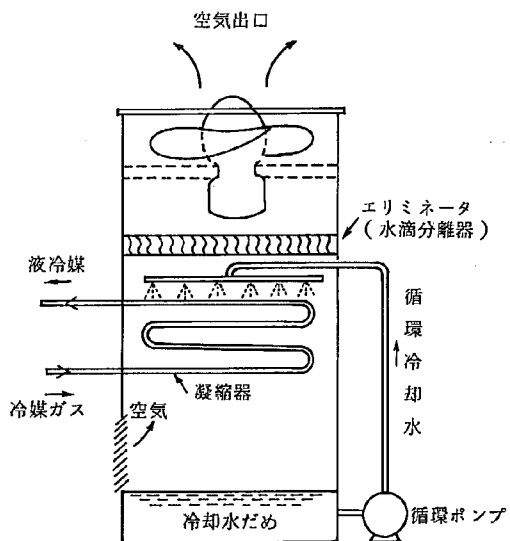


図3-1-10 蒸発式凝縮器

4) 必要水量の求め方

次式より冷却塔の必要補給水量を計算する。

$$\frac{n}{n-1} \times [\text{冷却水の現在の使用水量 (ml/日)}] \times [\text{出入口温度差 (℃)}] \times 1/600 (10^3 \text{Kcal/ml})$$

n : 塩類濃縮度

注(1) 冷却塔の他に冷凍機も用いる場合(特殊な条件の場合の④)は上式の計算値に 1.25 を乗じる(25%は冷凍機の消費電力の熱量)。

注(2) 直接冷却水のうち、混入物質の除去が困難な冷却水(食品冷却水、真空ポンプ・バロメトリックコンデンサー・水エジェクターの冷却水、ポンプのシール冷却水)の場合は更新の際に失なわれる水量として循環水の保有水量(ml)×1回/日、金属製品冷却水の場合は冷却工程で失なわれる水量として循環水量×0.003を上式の計算値に加える。

注(3) 同等以上の方法を用いる場合の必要水量は次のとおりとする。空冷、冷却排水の他用途への再利用：ゼロ。蒸発式凝縮器：上式と同じ。蒸発冷却：上式のうち $\frac{n}{n-1}$ を除いた式で求める。

〔解 説〕

上記の計算式について：補給水量は塩類の収支から次のように求められる(図3-1-11参照)。補給水の塩類濃度を p(ppm)、塩類の濃縮度を n とおくと、

$$\text{塩類の流入量} = \text{補給水量} \times p \quad \text{塩類の排出量} = (\text{飛散水量} + \text{ブロー水量}) \times np$$

$$\text{塩類の流入量と排出量は等しいから、補給水量} = (\text{飛散水量} + \text{ブロー水量}) \times n$$

$$\text{飛散水量} + \text{ブロー水量} = \text{補給水量} - \text{蒸発水量} \text{を代入すると、補給水量} = \frac{n}{n-1} \times \text{蒸発水量} \text{が得られる。}$$

一方、蒸発水量は冷却負荷(10³kcal/日)/600(10³kcal/ml)で求められる。ここで、冷却負荷とは冷却塔から放出すべき熱量で、[冷却水の現在の使用水量(ml/日)]×[出入口温度差(℃)]で計算される。そして、600(10³kcal/ml)は1mlの水が蒸発するのに必要な熱量の近似値である。

必要補給水量と塩類濃縮度の関係は図3-1-12のとおりである。濃縮度が4の場合の必要補給水量は蒸発水量の1.33倍である。

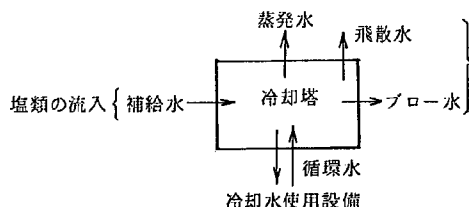


図3-1-11 冷却塔における塩類のバランス

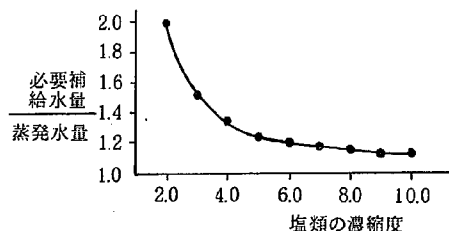


図3-1-12 塩類の濃縮度と必要補給水量の関係

ブロー水をカットした場合の必要補給水量は蒸発水と飛散水の分のみとなるが、ブローカット運転を行えるのは出入口温度差が4~5℃位の場合であり、この場合はn=4~5となるので、上式にn=4を代入した値で近似することができる。

注(1)について：冷却塔の他に冷凍機も用いる場合は冷凍機の消費電力も熱量として冷却塔の冷却負荷に

加わるので、蒸発水量が増加する。冷凍機の消費電力は冷凍負荷の25%前後である（蒸発温度0℃程度の圧縮式冷凍機の場合）。

注(2)について：混入物質の除去が容易でないため、循環水の更新によって混入物質の蓄積を防ぐ必要のある直接冷却水、すなわち、食品冷却水、真空ポンプ・バロメトリックコンデンサー・水エジェクターの冷却水、ポンプのシール冷却水の場合は更新によって失われる水量を上式の計算値に加える必要がある。この更新の必要頻度は各直接冷却水の条件によって異なるが、1日1回程度であることが多い。金属製品冷却水はロールや鍋塊などに水を直接かけるとき、水の飛散によって循環水の一部が失われる。通常、この損失水は循環水の0.3%以下（冷却塔からの飛散水も含めると、0.5%以下）である。

注(3)について：同等以上の方法のうち、水を消費しない空冷や冷却排水の他用途への再利用は当然のことながら必要水量がゼロである。冷却塔の一種ともいえる蒸発式凝縮器の必要水量は上式の計算値に等しい。また、蒸発冷却の消費水量は文字通り蒸発水量だけである。

5) 改善費用

冷却塔による循環方式に切替えるための費用

〔冷却塔の価格：図3-1-13（本体のみの価格）〕

〔配管工事費：図3-1-14〕

塩類濃度自動制御装置：1台8～18万円（工事費別）

冷凍機の価格：図3-1-15（本体のみの価格）

（水温上昇が問題になる場合にも必要）

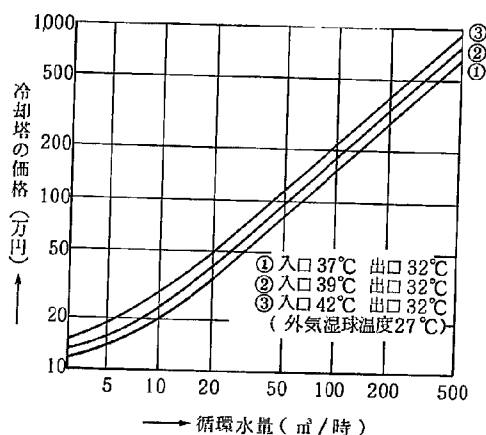


図3-1-13 冷却塔の価格（本体のみ）
（昭和50年7月価格）

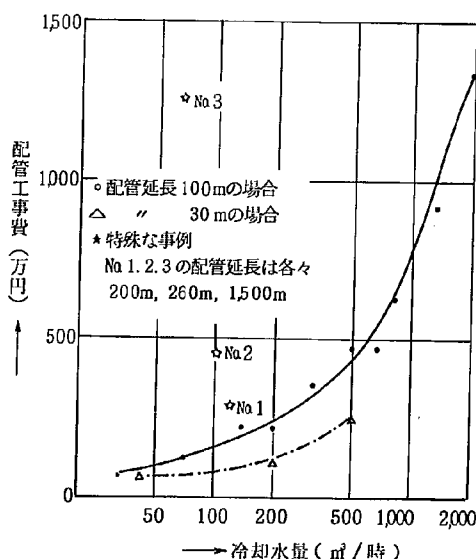


図3-1-14 冷却水循環のための配管工事費
（昭和49年4月価格）

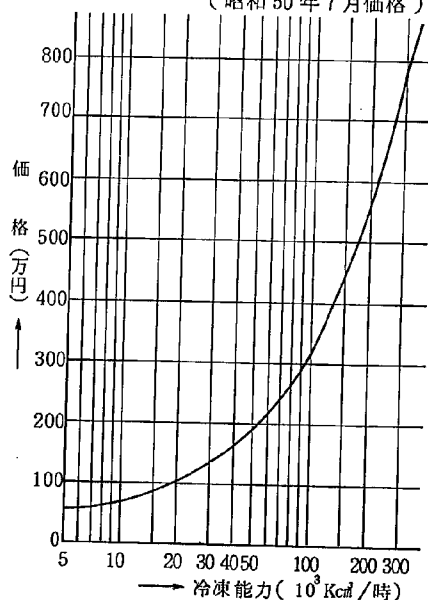


図3-1-15 圧縮式冷凍機の価格（本体のみ、空調用）
（昭和50年7月価格）

(2) びん洗浄水〔飲料工場等〕

1) 標準的な方法

- ① 向流洗浄方式：向流洗浄方式の導入，強化により新水の使用箇所を内洗は最終の二列以内，外洗は最終の一例とし，更に②の方法を用いる。
- ② 適正水量への調節：洗びん機の駆動モーターと給水バルブの連動，間欠噴射方式の導入等により，洗びん機への給水量を適正水量(4)参照)以下に調節する。

〔解 説〕

① (向流洗浄方式)について

洗びん機とは図3-2-1~4に示すように，びんを数槽以上の苛性ソーダの液槽に漬けた後，びんの内外に付いている液を何回も水で洗い落すものであるが，この苛性ソーダ液浸漬後の水洗を向流方式にして新水の使用箇所を減らすことが洗びん機の水節約を進める上で第一に必要である。最終水洗の排水は新水と同程度に清浄であるので，この水をびんの流れと逆方向に反覆利用して(向流方式にして)新水の使用箇所を内洗は最終の二列以内，外洗は最終一列に限ってもびんの洗浄効果はほとんど低下しない。この方法はあくまで向流方式の導入，強化を前提とした新水使用箇所の減少であって，よく誤解されるように洗びん機の水使用箇所そのものを少なくするものではない。

図3-2-1~3は清涼飲料，ビールの洗びん機にこの方法を適用した場合の水の流れを示したもので，図3-2-1はbb型洗びん機(内外洗ともブラシ使用)，図3-2-2はbj型洗びん機(内洗ブラシ，外洗ジェット噴射)，図3-2-3はjj型洗びん機(内外洗ともジェット噴射)への適用例である。なお，bb型とbj型洗びん機の場合はこの方式をとると，ブラシの軸受に使用される油が反覆利用水に混入してびんを汚す恐れがあるので，油を使用しないプラスチック製軸受に取り換える必要がある。

図3-2-4は牛乳の洗びん機への適用例である。牛乳の場合は最終水洗の後，更に殺菌のため，塩素水をびん内部に噴射するが，この塩素水噴射の新水使用箇所は二列以内にとどめる必要がある。したがって，牛乳洗びん機の場合，内洗の新水使用箇所は合計4列までとなる。

② (適正水量への調節)について

- ①の方式を導入しても最終の新水使用箇所の使用水量を増加させることがあっては水節約にならないの

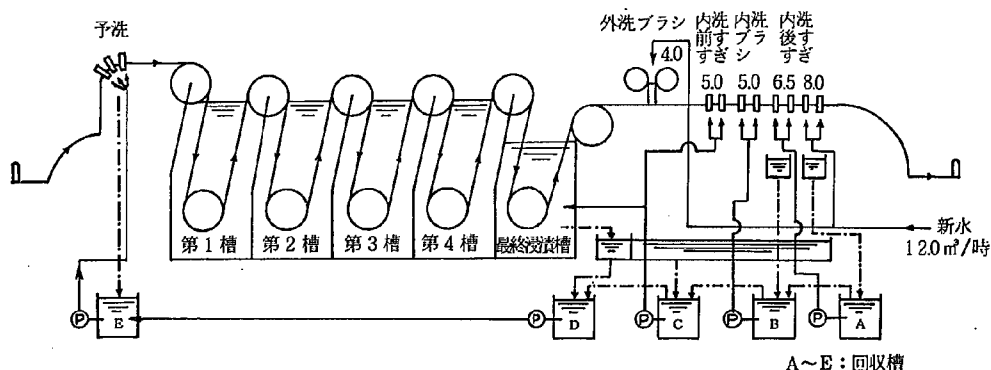


図3-2-1 清涼飲料，ビールのbb型洗びん機への適用例(能力2.4万本/時)

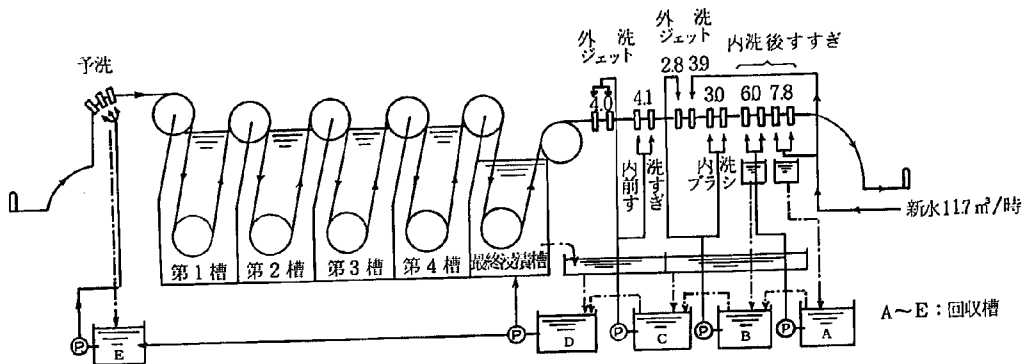


図3-2-2 清涼飲料のbj型洗びん機への適用例（能力2.4万本/時）

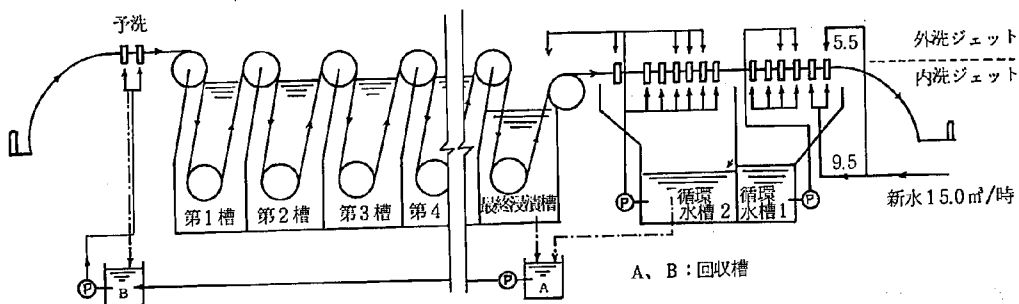


図3-2-3 清涼飲料，ビールのjj型洗びん機への適用例（能力3.6万本/時）

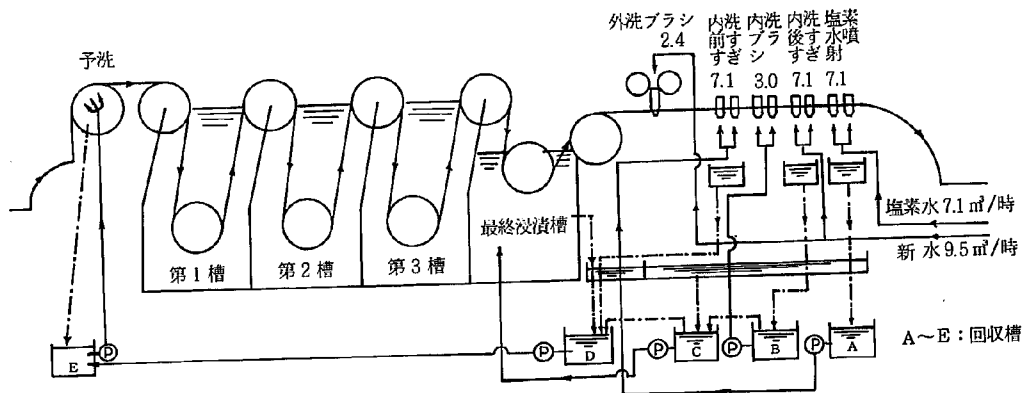


図3-2-4 牛乳の洗びん機への適用例（能力3.6万本/時）

で、その使用水量を適正水量(4)参照)に調節することが必要となる。適正水量に調節するためには給水バルブを調節する以外に次の方法も講じる必要がある。

㊦ 洗びん機の駆動モーターと給水バルブを連動させて、洗びん機停止時の給水を止める。これによって給水量を約10%カットできる。

㊧ 間欠噴射方式を導入してびんが洗びん機の水噴射箇所の間を移動している時の給水を停止する。こ

の方式によって給水量を25～45%カットできる。

2) 特殊な条件の場合

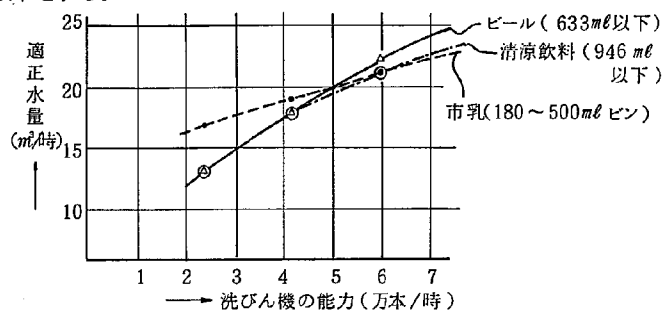
1) の標準的方法が適用できない特殊な条件の場合はない。

3) 同等以上の方法

1) の標準的な方法に代り得る他の方法はない。工場によっては向流洗浄方式を強化しないで、ただ水量を絞るだけで適正水量を満たそうとすることがあるが、その場合は当然のことながら、洗浄効果を低下させるので、洗浄不良びんの発生率を増加させることになる。1) の方法を用いずに、洗浄効果を低下させないまま給水量を大幅に減少させることは困難である。

4) 必要水量の求め方

必要水量を次の図の適正水量以下とする。



〔解説〕

上図は東京都内の飲料工場に対する指導結果に基づいて、1) の標準的な方法を適用した場合の適正水量の上限を描いたものである。上図で明らかなように、この適正水量はびんの種類（市乳びん、清涼飲料びん、ビールびん）によって少し異なる。また、実際の工場のデータから適正水量を求めたため、洗びん機の能力が小さくなるほど、びん一本当りの水量が大きくなっているが、本来、適正水量は洗びん機の能力と比例すべきものである。その点、今後、更に検討を加えることによって能力の小さい洗びん機の適正水量をもっと小さくできる可能性がある。

5) 改善費用

- ① 向流洗浄方式を導入又は強化するための工事費……200～300万円/台以下^(注)
- ② 洗びん機の駆動モーターと給水バルブ（電磁弁）を連動させる費用……10～15万円/台（口径50～75mmの電磁弁の費用を含む）
- ③ 間欠噴射方式に改造するための費用……40～50万円/台

(注) 向流洗浄方式の導入に伴って内洗、外洗ブラシをプラスチック製のものに取り換える必要がある場合（bb型、bj型洗びん機）は、その材料工事費として①に約100万円/台プラスされる。なお、洗びん機1台の新規購入価格は6万本/時の能力で7～8千万円である。

(3) 間欠洗浄水（タンク、パイプ等の洗浄水及び床、壁等の洗浄水）〔食品工場、化学工場等〕

1) 標準的な方法

i タンク、パイプ、プレート殺菌機等の洗浄水

- ① CIPの向流洗浄方式：CIP（定置洗浄）装置を用いる場合は向流洗浄方式にして新水の使用を最終水洗側に限るとともに、新水の使用量を適正水量（4）参照）以下に調節する。
- ② ホースの手元制御弁：CIPを用いず、ホースを使用する場合はホースの先端に手元制御弁（ハンドバルブ）を取り付けるとともに、ホースへの給水量を適正水量（4）参照）以下に押える。

ii 床、壁、各種機器の洗浄水

- ① 高圧洗浄機：できる限り、高圧洗浄機を用いる。高圧洗浄機使用の場合は高圧洗浄機への送水タンクの給水口にボールタップをつけて高圧洗浄機停止時の給水を止める。
- ② ホースの手元制御弁：ホース使用の場合はiの②と同様、手元制御弁を取り付けて、給水量を適正水量以下にする。

〔解説〕

iの①（CIPの向流洗浄方式）について

CIP（定置洗浄）とは図3-3-1に示すようにタンクに人が入ることなく、また、パイプを取り外すこともなく、水や洗剤、熱湯等をタンクやパイプ等へ送り込んで自動的に、タンク、パイプ等を洗浄する方法であるが、ここではコントロールパネルの自動プログラムによって洗浄を行う本来のCIPだけでなく、バルブの切り替えだけでパイプやプレート殺菌機（牛乳の殺菌機）に水や洗剤を送り込んで洗浄する簡易CIPもCIPに含めている。

このCIPの洗浄プログラムのうちで最もよく使われるのは予洗→洗剤（回収）→最終水洗という形であるが、上記の標準的な方法は新水の使用をこの最終水洗だけに限って、その排水を回収し、次の洗浄の予洗に再使用することを求めている。この向流洗浄方式の導入によって新水使用量を半分近くまで減らすことができる。もう少し複雑な洗浄プログラムの場合も同様に、最終水洗側の排水をできるだけ回収して向流洗浄を行う。例えば、予洗（5分）→洗剤（循環）→最終水洗（10分）→塩素水による滅菌（5分）というプログラムの場合は予洗（5分）→洗剤（循環）→最終水洗（5分+5分）→塩素水による滅菌（5分）という方式に改善する（・：回収水、○：新水使用で使用後、回収タンクへ回収）。

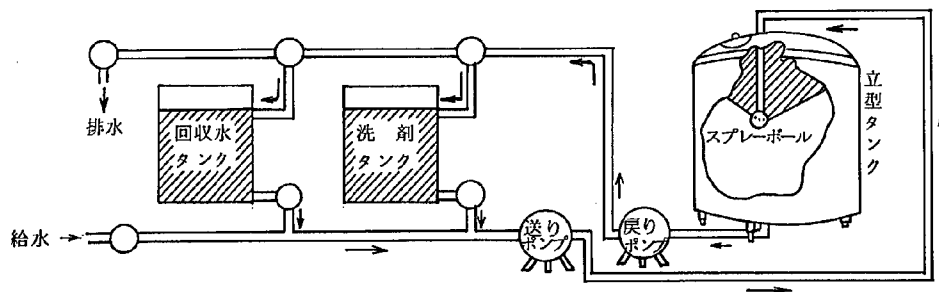


図 3-3-1 CIP（定置洗浄）

更に、この向流方式の導入とともに、最終水洗側の新水使用時間を調節して、新水の使用量を適正水量（4）参照）以下に落す必要がある。

Ⅰの②（手元制御弁）について

手元制御弁（ハンドバルブ）とは手で握ると水が出て、手を放すと、バネで自動的に水が止まるものをいう（手元制御弁の一例：図3-3-2参照）。この手元制御弁が取り付けられていない場合はホースの先端と給水バルブに少し距離があるため、こまめにバルブを閉めることが面倒で、不要時にもホースから水が出っ放しになっていることが多いが、ホース先端に手元制御弁を取り付けると、不要時の給水を完全にカットすることができる。

なお、ホースの根元に汽水混合器（サイレンサー）がある場合（図3-3-3参照）、つまり、給水パイプの先端で水と蒸気を混合して湯をつくっている場合は手元制御弁が閉じた時に蒸気が給水管の方へ逆流するので（蒸気の方が水より圧力が高い）、手元制御弁の取り付けに伴って蒸気逆流防止弁付きの汽水混合器に取り換えるか、又は汽水混合器を撤去し湯を集中的につくって直接給湯する方式に改めなければならない。

更に、この手元制御弁の取り付けとともに、ホースへの給水量を適正水量（4）参照）以下に調節する必要がある。実際の工場では水圧がむやみに高くて、ホースの時間当たり給水量が過大になっていることが少なくないが、このような場合は水圧調節用バルブを給水管に新たに取り付けるなどの対策が必要であろう。

Ⅱの①（高圧洗浄機）について

高圧洗浄機とは $30 \sim 70 \text{ kg/cm}^2$ の圧力で水を噴射するものをいうが、この高圧洗浄機を使用すると、水圧による洗浄効果が加わるため、常圧のホースに比べて $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ の水量で済ますことができる。この高圧洗浄機の洗浄対象物としては床、壁の他に、タンクや各種機器の外回り、フィルタープレスの戸枠や戸布などがある。ただし、開放型の調合タンクがある乳飲料調合室のように、噴射水が床、壁等からはね返ってタンク内部に入り、生産物を汚す恐れがある場合は高圧洗浄機は適さない。

高圧洗浄機の洗浄ホースの先端には手元制御弁が取り付けられ、不使用時の給水をカットするようになっているが、逆に高圧洗浄機への給水の方は高圧洗浄機の停止時に受水タンクから水が溢れていることがある。そこで、図3-3-4に示すように、この受水タンクへの給水口に必ずボールタップを取り付けて、高圧洗浄機停止時の給水を止めるようにする。

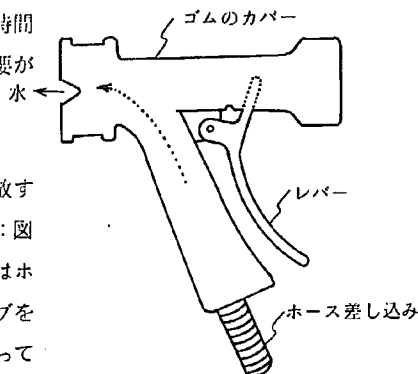


図3-3-2 手元制御弁の一例

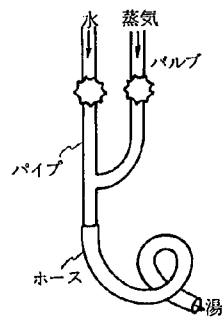


図3-3-3 汽水混合器（サイレンサー）

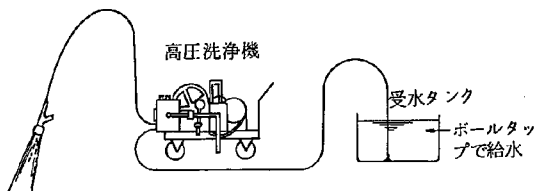


図3-3-4 高圧洗浄機

Ⅱの②（手元制御弁）について

床、壁、各種機器の洗浄で高圧洗浄機が適さない場合は通常のホースの先端に手元制御弁を取り付ける（解説はⅠの②と同じ）。

2) 特殊な条件の場合

1)の標準的な方法を適用できない特殊な条件の場合はⅠの②について少しあるだけである。それはホースが原料用水の供給も兼ねる場合である。この場合は原料用水供給のため、タンクにホースを入れ放しにしたり、パイプにホースをつないだりするため、手元制御弁の取り付けがむずかしい。この条件の場合を除けば、1)の標準的な方法の例外はない。

3) 同等以上の方法

1)の標準的な方法に代り得る方法は、Ⅱについて排水の再利用があるだけである。総合排水を三次処理したものや洗びん機の最終水洗排水等、比較的清浄な排水を再利用するケースであるが、これらの水は衛生上の問題を残すため、当然、Ⅰの用途には使えない。使えるのはⅡの用途のうち、半分以上を占める外回りの洗浄だけである。そして、生産現場の各所に外回り洗浄用の給水管を新水給水管とは別に配管すること（二重配管）は大変な工事を伴うので、通常、排水の再利用が行われるのは二重配管が容易な一部の場所だけに限られる。

4) 必要水量の求め方

① CIPを用いる場合

必要水量を次の図の適正水量以下とする。

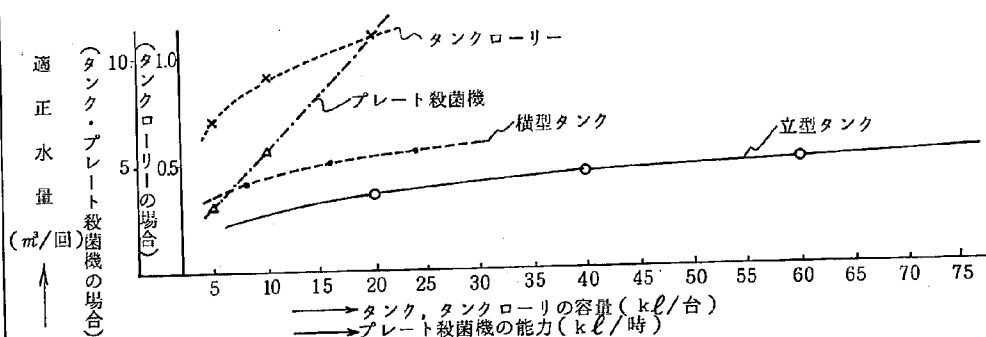


図 3-3-5 CIPの適正水量

② ホース又は高圧洗浄機を用いる場合

次式から必要水量を求める。

$$p \times k \times [\text{現在のホース延使用時間 (分/日)}] \times [\text{ホースの時間当り適正水量 (ℓ/分)}]$$

p: 高圧洗浄機の場合は $\frac{1}{2}$, ホースの場合は 1 とする。

k: $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ の範囲内で、ホースの利用状況により仮定する。

ホースの時間当り適正水量:

ホースの口径	13mm	16mm	19mm	25mm
適正水量	15ℓ/分	22ℓ/分	30ℓ/分	55ℓ/分

次の値以下とする。

① (CIPの場合)について

CIPの適正水量を示した図3-3-5は洗びん機と同様、東京都内の工場に対する指導結果に基づいて、1)の方法を適用した場合の適正水量の上限を描いたものである。この図をみると、タンクの場合は立型か横型かで適正水量がかなり違っている。その理由はタンクを洗うスプレーボールへの必要給水量はタンクの容量ではなく、タンクの内周の大きさによってきまるからである。また、上図には洗浄対象物がパイプの場合の適正水量が示されていないが、それはパイプの長さ、用途によってまちまちの値になるからである。したがって、パイプについては向流洗浄方式の導入による水量の減少のみを考えればよい。

② (ホース又は高圧洗浄機の場合)について

高圧洗浄機使用の場合、pの値を $\frac{1}{2}$ としたのは水圧による洗浄効果の増加率を2倍と仮定したからであるが、この2倍という値は実際には控え目の値である。kは手元制御弁(高圧洗浄機の洗浄ホースの先端にもついている)による不要水の削減割合を示す。このkは手元制御弁取り付け以前の時点でバルブをどの程度こまめに閉めているかによって異なるので、取り付け前のバルブの開閉状況を観察した上できめる。通常は $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ の範囲内にある。ホースの時間当たり適正水量の値は流速を約 $2m/sec$ と仮定した場合の値である。

5) 改善費用

- ① CIPに向流洗浄方式を導入する費用(回収タンクの設置費用): 1基あたり 30～100万円^(注)
- ② 手元制御弁:
- 外国製 — 20,000～30,000円/個
(蒸気の逆流防止弁付き汽水混合器も含めると、15～19万円)
 - 国産 — 6,000～8,000円/個
- ③ 高圧洗浄機: 図3-3-6参照

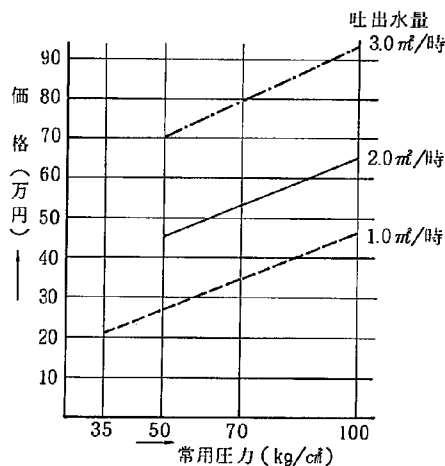


図3-3-6 高圧洗浄機の価格

(注) CIP本体の価格とCIPを導入するための改善費用は次の通りである。

CIP本体: 700～2,000万円/基

CIP導入のための改造工事費(タンクへのスプレーボールの取り付け、CIPとタンク等との間の往復配管、エア作動弁取り付け等の工事費): 1,000～10,000万円/式

(4) メッキ等の表面処理洗浄水(表面処理工場、電気機械工場、一般機械工場等)

1) 標準的な方法

次の三つの手段を併用する。

① 薬品の回収(液切り)

1. 自動のひっかけラインの場合: 薬液槽の槽上での液切り時間がおおむね10秒以上となるように自動プログラムを設定するか、又は槽上で薬液の蒸発量に見合う水量のスプレー(回収スプレー)

を行う。

- ⅱ 手動のひっかけラインの場合：薬液槽の槽上に吊し棒を設置して液槽から取り出した品物をその吊し棒に少しの間引っ掛けるか、又は回収槽（生回収槽又は回収水槽）を設置して液の回収を行う。
- ⅲ 手動のバレルメッキラインの場合：水洗前にバレルからかごへ品物を移してバレルに付着している液を回収する。
- Ⅳ 自動のバレルメッキラインの場合：通常のグリット状バレルから液切りのよいスリット状バレルに切り替えるとともに、薬液槽の槽上での液切り時間をおおむね10秒以上とする。

② 向流多段洗浄

- ⅰ 手動ラインの場合：現状が1段の場合は2段以上に、現状が2段の場合は3段以上に水洗槽を増設して向流洗浄方式とする。そして、現状が3段以上の場合は向流洗浄方式のみを導入する。
- ⅱ 自動ラインの場合：現状が2段以下の場合は手動ラインと同様、水洗槽の増設を行うべきであるが、液槽、水洗槽が一つの設備に組み込まれていて水洗槽の増設がむずかしい場合は水洗槽の上部に槽上スプレーノズルを取り付けて、品物を水洗槽から引き上げる時のみ、スプレーを行い、そのスプレー水のみを水洗槽への補給水とする。そして、現状が3段以上の場合は向流洗浄方式のみを導入する。

③ 給水量の制御

- ⅰ 手動ラインの場合及び自動ラインで槽上スプレーを行わない場合：電気伝導度計と電磁弁を組み合わせた給水量自動制御装置を取り付ける。この制御装置の電磁弁開閉伝導度はまず、水洗槽増設後の最終水洗槽の品物引き上げ時伝導度を増設前と同じ値に保つように設定する。次に、品物の仕上がり差に差し支えないところまで試行錯誤で開閉伝導度を引き上げる（水洗槽の増設のない場合はこの効果のみとなる）。
- ⅱ 自動ラインで槽上スプレーを行う場合：まず、槽上スプレー導入後も導入前と同じ洗浄効果が得られるように、スプレー水量を調節し、次に、品物の仕上がり差に差し支えないところまで、試行錯誤でスプレー水量を減少する。

〔 解 説 〕

① （薬液の回収）について

表面処理の水洗槽の役目はメッキ等の薬品槽から出てきた品物の表面についている薬品を洗い落とすことであるが、この場合、洗い落とすといっても完全に薬品を除去するのではなく、差し支えない濃度（許容濃度）まで希釈するだけである。したがって、品物に付着する薬品、つまり水洗槽に持ち込む薬品の量を少なくするほど、水洗槽に給水すべき水量を小さくすることができる。この点で、表面処理洗浄水を減らすためにはまず第一に薬液の回収を可能な限り進める必要がある。

この薬液の回収方法はいくつかあるが、次に述べるように表面処理の形態によって方法が使い分けられる。

- Ⅰ. 自動のひっかけライン^(註)の場合（^(註) ひっかけラインとは枝のある棒に品物をひっかけて表面処理を行うなど、バレルを用いないものをいう。）

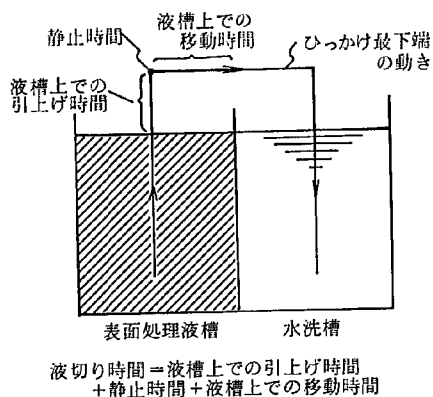


図3-4-1 液切りの時間

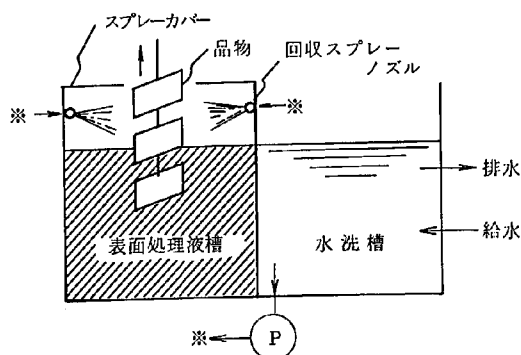


図3-4-2 回収スプレー

a. 液切り時間の延長：薬液槽から出た品物を液槽の上で少し長く放置して液切りを十分に行えば、品物に付着する薬液は大幅に減少する。通常は液切り時間10秒位で、付着液量の大半が落下するので、自動ラインにおいては液切り時間（図3-4-1に示すようにひっかけの最下端が薬液槽の液面に達してから槽の外側に出るまでの時間）がおおむね10秒以上となるように、自動プログラムを変更する（か又はbの方法を用いる）。

b. 回収スプレー：薬液槽からの蒸発量が割合に多い場合（液温が高い場合）は品物を薬液槽から引き上げる時に、この蒸発量に見合う軽いスプレーをかけることによって、品物に付着する薬液の大部分を薬液槽に回収することができる（図3-4-2）。そこで、蒸発量が多い場合はaより効果の優れた回収スプレー方式を採用する。

ii. 手動のひっかけラインの場合

a. 吊し棒の採用：手動の場合は上記iのaやbの方法を採用することがむずかしい。というのは液槽の上で、手で品物を10秒間持ち続けるのは作業上困難であるし、また、手で引き上げる品物に微量な回収スプレーを効果的にかけるのもむずかしいからである。そこで、手動の場合は別の方法を採用する。その一つが図3-4-3に示す吊し棒の設置である。薬液槽から引き出した品物をすぐに水洗槽へ持ち込まずに、薬液槽の上の吊し棒に少しの間かけて液切りを行う方法である。

この方法は、薬液槽からひっかけを一回に数本以上続けて引き出して水洗する作業を行っている場合に適用しやすい。というのは、最初に一回に引き出すひっかけを全部、順々に吊し棒にかけて、次に吊し棒から水洗槽へひっかけを同じ順序で移していくと、作業に遅滞なく、各ひっかけを吊し棒に多少の時間、放置することができるからである。逆にそうでない作業の場合、つまりメッキの後処理などで、一つか二つのひっかけをいくつかの槽に次から次へと移していく作業の場合は吊し棒の利用が作業の速度を遅らせるので、導入することがむずかしい。

b. 回収槽の設置：もう一つは薬液槽と水洗槽の間に回収槽を設置する方法である。回収槽には生回収槽と回収水槽の二種類がある（図3-4

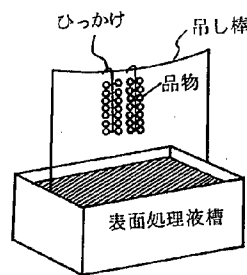


図3-4-3 吊し棒

- 4)。生回収槽は空のタンクで、その空タンクの中に少しの間、品物を放置して液切りを行い、生回収槽の底にたまった薬液を時々、薬液槽に戻す。生回収槽で少しの間、品物を滞留させる必要がある

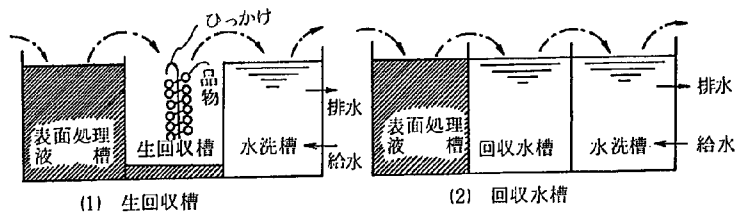


図3-4-4 回収槽

ので、吊し棒と同様、aで述べた作業形態の場合に適用しやすい。一方、回収水槽は品物を浸漬して付着薬液を薄めるのに用いられる。この浸漬を繰り返していくと、回収水槽の薬品濃度が次第に濃くなっていくので、回収水槽の水の一部を薬液槽に戻し、減った分を新水で補う。したがって、回収水槽は回収スプレーと同様、薬液槽の蒸発が割合に盛んな場合に用いられる。

iii. 手動のバレルメッキラインの場合

水洗前にバレルから品物を出す方法：バレルとはひっかけに掛けにくい小さな品物をメッキするために入れる円筒のことで、通常はグリッド状になっていて、穴から液が出入りしている（図3-4-6の左）。しかし、穴が小さいので、液がなかなか抜けず、品物自体よりもバレルに付着している薬液がはるかに多い。そこで、薬液槽から引き上げたバレルをそのまま水洗せず、バレルからかごに品物を移してから水洗するように改善する（図3-4-5）。かごへ移す際に分離できた薬液は箱に受けて薬液槽に戻す。なお、手動のバレルメッキラインの前処理、後処理ではバレルではなく、かごが用いられることが多いが、この場合は薬液槽の上でかごをよく振って液切りを十分に行うようにする。

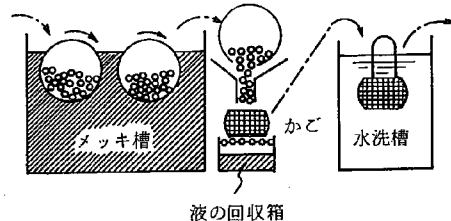


図3-4-5 バレルからかごへの移し替え

IV. 自動のバレルメッキラインの場合

スリット状バレルの採用と液切り時間の延長：自動のバレルメッキラインの場合はバレルのまま水洗槽へ移動するので、iiiの方法を採用できない。そこで、液切りの悪い通常のグリッド状バレルをやめて液切りのよいスリット状バレル（図3-4-6の右）に切り換え、更に液槽の上でバレルをおおむね10秒間以上回転して液切りを十分に行うようにする。

②（向流多段洗浄）について

i. 手動ラインの場合：水洗槽の役目は品物に付着する薬液を希釈することにあるが、1段水洗の場合、一回の希釈だけであるのに対して、水洗槽の数をふやしてい

くと、各水洗槽での希釈が掛け算で効いてくるので、希釈倍率が飛躍的に上昇していく。しかし、希釈倍率は改善前と同程度に維持すればよいのであるから、逆に各水洗槽への給水量を大幅に減らすことができる。

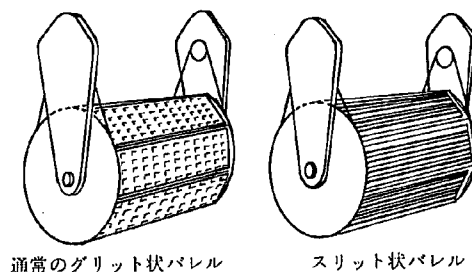


図3-4-6 スリット状バレルの利用

そして、水洗槽間の薬品濃度の差が非常に大きいので、例えば3段水洗に改造にした場合、新水の代りに第一槽には第二槽の排水、第二槽には第三槽の排水を給水し、第三槽にのみ新水を給水する向流洗浄方式(図3-4-7)を採用しても、希釈倍率は全水洗槽に新水を給水する場合とほとんど変わらない。したがって、水洗槽をふやして向流洗浄方式をとれば、必要水量は大幅に減少する。例えば、1段水洗で1/1,000倍の希釈倍率が得られている場合、向流2段に改善すると、必要水量は $\sqrt{1,000/1,000} = 1/32$ に、向流3段に改造すると、 $\sqrt[3]{1,000/1,000} = 1/100$ に減らすことができる。

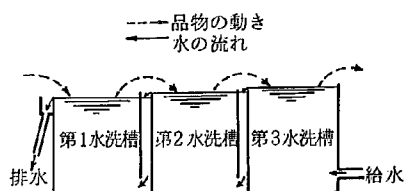


図3-4-7 向流3段洗浄

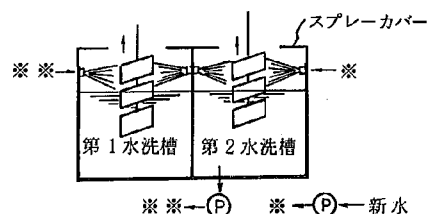


図3-4-8 槽上スプレー

作業や場所の面で水洗槽をむやみにふやすことはできない。通常は3段が適正段数である。ただし、現状が1段水洗の場合は3段までふやさなくても、向流2段に改善するだけで必要水量は大幅に減少する。そこで、②のⅠでは現状が1段の場合は2段以上に、現状が2段の場合は3段以上に改善して向流洗浄方式を導入し、現状が3段以上の場合は向流洗浄方式のみを導入することを求めている。なお、水洗槽を増設して向流洗浄方式を導入しても、改善前と同じ洗浄効果が得られる程度に給水量を減少しなければ意味がないが、この給水量の適正な制御はⅢの①(給水量自動制御装置の導入)で可能となる。

Ⅱ. 自動ラインの場合：自動ラインにおいても手動ラインと同様に、水洗槽の増設を可能な限り進めるべきである。しかし、自動ラインの中には水洗槽や液槽が一つの設備に組み込まれているため、水洗槽の増設が困難な場合がある。この場合は図3-4-8に示すように、品物を水洗槽から引き上げる時に、その槽上でスプレーを行い、同時にこの槽上スプレー水だけを水洗槽の補給水とする槽上スプレー方式を導入する。

この槽上スプレーは0.5段水洗位の水洗効果があるので、現状が2段水洗の場合、二つの水洗槽の上で槽上スプレーを行うと、3段水洗に改善した場合と同程度の水洗効果が得られる。

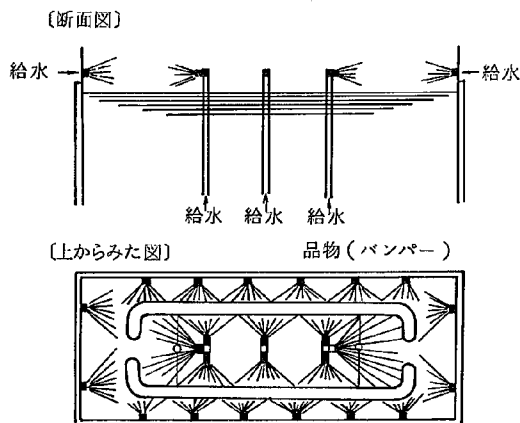


図3-4-9 品物の内側からの槽上スプレー

ただし、槽上スプレーは品物のほぼ全面に当らなければ、水洗効果が半減するので、図3-4-9の例（自動車のバンパー）に示すように、品物のほぼ全面にスプレーが当るようにスプレーノズルの数、位置、角度を工夫する必要がある。また、スプレーがまわりに飛散しないよう、スプレーの角度をやや下向にした上で更に、スプレーカバーを取り付けることも必要である（図3-4-8参照。回収スプレーの場合も同様）。

③（給水量の制御）について

Ⅰ．手動ラインの場合及び自動ラインで槽上スプレーを用いない場合：水洗槽内の薬品濃度は品物が持ち込まれた時、急激に上昇するが、その後は給水が続けられるので次第に低下していく。多くの水洗槽ではこの薬品濃度が必要以上に下がってからも、次の品物がくるまで給水が続けられている。しかし、この水洗槽の濃度変化を間接的に測定して、濃度が許容値以下になると自動的に給水を止める装置を設置すれば、この不要な給水をカットすることができる。③

のⅠで求めているのはこのような給水量自動制御装置の設置であって、この装置は具体的には図3-4-10に示すように、電気伝導度計と電磁弁の組み合わせから成っている。

この装置を有効に用いるためには電磁弁の開閉伝導度を適正な値にセットする必要があるが、この開閉伝導度の適正值は薬液の種類や品物の種類、材質等の各種条件によって左右されるため、一般値をきめることが困難である。そこで、各水洗槽の電磁弁開閉伝導度の値を次のように求める。

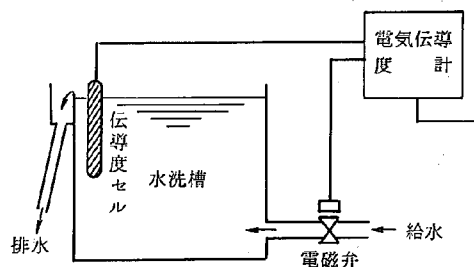


図3-4-10 給水量自動制御装置

ア．水洗槽の増設を行う場合は増設後の最終水洗槽の伝導度（品物引き上げ時）が増設前の最終水洗槽の伝導度と同じ値となるように、電磁弁開閉伝導度を設定する。

イ．次に、品物の表面処理の仕上がりに支障のないところまで設定伝導度を試行錯誤で引き上げていって設定伝導度の上限値を求め、その値に固定する。したがって、水洗槽の増設がない場合はこのイだけが給水量自動制御装置の効果となる。

なお、最終水洗槽の薬品濃度を非常に低く保たなければならない場合は新水も多少の固有伝導度を持っているため、固有伝導度のわずかな変化に左右されて正確な制御がむずかしい。そこで、その場合は最終水洗槽より一つ前の水洗槽に伝導度セルを入れて、そこでの伝導度の変化を最終水洗槽のものに読み替えて制御する必要がある。

Ⅱ．自動ラインで槽上スプレーを行う場合：この場合は槽上スプレーのみが水洗槽への給水となるので、上記の給水量自動制御装置を取り付けることはできない。しかし、このスプレー水量の適正化は同様に必要である。適正水量はⅠと同様、まず改善前と同じ洗浄効果が得られる程度にスプレー水量を制御し、次に品物の仕上がりを見て支障のないところまでスプレー水量を絞っていくことによって求める（スプレー後の品物の洗浄効果を知るためにはその品物を新水の水槽に漬けて槽内の電気伝導度の上昇値をはかればよい）。

2) 特殊な条件の場合

上述のように、表面処理洗浄水については表面処理の形態に応じて種々の水使用合理化方法が使い分け

られるが、そのうち、一部の方法には次に述べるように適用できない特殊な条件の場合がある。

① 薬液の回収

i. 自動のひっかけライン（液切り時間の延長又は回収スプレー）：回収スプレーは前述の如く薬液槽の蒸発が割合に多い場合にだけ用いられる方法であるが、少なくとも液切り時間の延長はどの場合にも可能である。それゆえ、①のiについては例外がない。

ii. 手動のひっかけライン（吊し棒、又は生回収槽、回収水槽）：吊し棒や生回収槽を回する方法は前述の作業形態（1）の①i参照）の場合は導入しやすいが、そうでない作業の場合は作業の速度を遅らせるので導入がむずかしい。また、回収水槽は薬液槽の蒸発が割合に盛んな場合にのみ用いられる。そして、生回収槽や回収水槽の設置は②の向流多段洗浄導入のための水洗槽増設と場所の面で競合する。したがって、これらの条件が満たされない場合は①の方法が適用できない例外となる。

iii. 手動のバレルメッキライン（水洗前にかごに移す方法）：どの手動バレルメッキラインにも適用可能である。

iv. 自動のバレルメッキライン（スリット状バレルの採用及び液切り時間の延長）：スリット状バレルは板状の品物など、スリットから抜け落ちる心配のある品物には適用できない。その場合は液切り時間の延長のみを適用する。

② 向流多段洗浄

i. 手動ラインの場合（水洗槽の増設と向流洗浄方式の採用）：水洗槽の増設で問題となることが比較的多いのはスペースの問題である。しかし、通常は次のa, b, cの検討を行えば、水洗槽を増設する位のスペースの余裕を生み出すことが可能となるので、スペースの問題は水洗槽を増設できない理由にはならない。

a. 使用していない設備を撤去し、設備の配置を変える。

b. 同じラインにおける水洗槽や湯洗槽の大きさを比較して、最小のものに水洗槽や湯洗槽の大きさを統一する。

c. ひっかけやハンガーの最大外径寸法を少し上回る程度まで水洗槽、湯洗槽を小さくする。

ii. 自動ラインの場合（水洗槽の増設又は槽上スプレーの導入）：自動表面処理設備の種類によっては水洗槽の増設が困難なことがあるが、槽上スプレーはどの場合にも適用することができる。品物の形状によって槽上スプレーの効果が疑問視されることがあるが、その場合は逆に図3-4-9に示したようにスプレーノズルの位置等を工夫することによって十分な洗浄効果が得られるようにすべきである。

③ 給水量の制御

i. 手動ライン及び自動ラインで槽上スプレーを用いない場合（給水量自動制御装置の設置）：表面処理に用いる大抵の薬品は水槽の中でイオン化するので、濃度の変化が電気伝導度の変化となって表われるが、まれに濃度の変化を伝導度で十分に捉えられない薬品がある。このような薬品の場合は前述の給水量制御装置を採用せず、給水量をバルブ操作で適正化するだけとなる。

ii. 自動ラインで槽上スプレーを用いる場合（スプレー水量の適正化）：単に槽上スプレーの水量をバルブ操作で適正化するだけであるから、例外はない。

3) 同等以上の方法

- ① イオン交換樹脂による表面処理洗浄排水の循環利用：排水の濃度が低い場合にのみ使用される。
② 用途間再利用（カスケード方式）：標準的な方法と併用する場合にのみ用いられる。

〔解説〕

① （イオン交換樹脂）について

最近、イオン交換樹脂によってメッキ洗浄排水をまとめて循環使用する考え方が流行している。しかし、この方式はメッキの各種洗浄排水をぐたませにして、各排水の成分を回収する道を閉ざしてしまうため、原理的に好ましい方法ではない。しかも、排水濃度が高い場合は水量削減の面でも十分な効果がでない。というのは濃度が高ければ、イオン交換樹脂が短期間のうちに飽和して、樹脂の再生を頻繁に行わなければならない、その再生に多量の水が消費されるからである。その点でイオン交換樹脂による排水の循環利用は排水濃度が低い場合にしか用いることができない。

② （カスケード方式）について

カスケード方式とは例えば、亜鉛メッキ後の水洗排水を電解脱脂後の水洗に再利用するなどの用途間再利用を行うことをいう。この方法だけを用いると、排水を再利用する側の新水使用量はゼロとなるが、新水を使用する側はそのままとなるので、全体の新水使用量は約半分にしかならない。したがって、カスケード方式を用いる時は少なくとも新水を使用する側（上記の例では亜鉛メッキ後の水洗）に標準的方法を適用することが必要である。

4) 必要水量の求め方

次式から必要水量を計算する。

$$k \times n \sqrt[n]{D^{n-m} (pQ_0)^m}$$

m：改善前の段数

n：改善後の段数

D：品物の付着水量（ml/日）。この値は品物の単位表面積あたり付着水量を 0.0002～0.01 l/dm² の範囲内で、品物の形状による液切りの難易度を考慮して仮定し、それを品物の 1 日延表面積に乘じて求める。

Q₀：改善前の使用水量（ml/日）

p：薬液の回収（液切り）による薬品残留率。次のような仮定値を用いる。

・液切り時間の延長 2 秒から 10 秒へ：1/3、5 秒から 10 秒へ：7/10

・回収スプレーの採用：1/4、・吊 L 棒又は回収槽の設置：1/3

・バレルからかごへの移し替え：1/5、・グリット状バレルからスリット状バレルへ：1/4

k：給水量自動制御装置の電磁弁開閉伝導度を上昇させることによる水節約効果。1/4～2/3 の範囲内で品物の持ち込み頻度により仮定する。

なお、槽上スプレーを用いる場合も一つの槽上スプレーを 0.5 段と仮定して上式により必要水量を計算する。

〔解 説〕

- ① 計算式 $\sqrt[n]{D^{n-m}Q_0^m}$ の意味について：上記の計算式において k と p を各々 1 とした $\sqrt[n]{D^{n-m}Q_0^m}$ は次のように求められる。水洗槽が一つの場合、給水量 Q の水洗槽への浸漬によって品物表面の薬品濃度は $C_0 \cdot D / (Q + D)$ まで希釈される (C_0 は浸漬前の品物表面の薬品濃度)。通常、 D (品物の付着水量) は Q に比べて十分に小さいので、この式は $C_0 \cdot D / Q$ で近似できる。向流 m 段洗浄の場合、この浸漬を m 回繰り返すわけであるから、水洗後の品物表面の薬品濃度は $C_0 (D/Q)^m$ で近似される。向流 m 段洗浄から向流 n 段洗浄に改善する場合、改善後も改善前と同じ洗浄効果を得るためには次式が成立する必要がある。 $C_0 (D/Q_0)^m = C_0 (D/Q)^n$ (Q_0 と Q は各々、改善前と改善後の使用水量で、薬液の回収を考慮に入れると右辺は $pC_0 (D/Q)^n$ となる) この式から Q を求めると、 $\sqrt[n]{D^{n-m}Q_0^m}$ が得られる。
- ② p と k の値について： p (薬液の回収による薬品残留率) の値は品物の種類、形状等によって変わってくるが、上述の仮定値は多くの品物について期待できる安全側の数字を示している。 k (給水量自動制御装置の水節約効果) の値は品物の表面処理の仕上がり状況をみながら試行錯誤できめるべきものであるが、少なくとも $3/4$ 以下の値は期待できる。
- ③ 槽上スプレーの場合の計算式について：槽上スプレーについても適切なスプレー水量を既存の実験データから推定する計算式があるが、計算の過程が複雑であるので、一つの槽上スプレーを 0.5 段と数えて、上記の計算式を準用する。そして、 k はスプレー水量の適正化による水節約効果に読み替えて上記と同様な値を用いる。

5) 改善費用

① 薬液の回収

i 液切り時間の延長、吊し棒の利用、バレルからかごへの移し替え：主として、自動プログラムや作業方法の改善によるものであるので、ゼロに近い。

ii 生回収槽、回収水槽：②の i と同じ。

iii スリット状バレル：通常のグリット状バレルの約 4 割高

② 向流多段洗浄

i 水洗槽の増設：水洗槽の大きさ、材質によってまちまちであるが、ここでは一例のみを示す。

400 ℓ の水洗槽 (鉄板内面 PVC ライニング) …… 8 万円/槽

ii 槽上スプレーの導入

スプレーポンプ	0.4~1.5 kW (50~200 ℓ/分) :	8 ~ 12 万円/基
スプレーノズル	ステンレス製 (0.5 ℓ/分) :	5,000 円/個
	PVC 製 (2 ℓ/分) :	400 円/個
スプレーカバー、電磁弁、配管の費用及び工事費：1 水槽につき		
3~10 万円		

③ 給水量の制御

給水量自動制御装置	伝導度の指示板のあるもの :	12~15 万円/基
	指示板のないもの :	8 万円/基

(5) 自動現像処理洗浄水（現像所、フィルム製造工場、印刷工場等）

1) 標準的方法

自現機の種類により次のように方法を使い分ける。			
種類	①液の回収	②向流多段洗浄	③給水量の制御
Ⅰ ハンガー式自現機	液切り時間をおおむね10秒以上とする。	現状が1段の場合は2段以上に、現状が2段の場合は3段以上に水洗槽を増設して向流洗浄方式とするか、又は現状1,2段の場合とも槽上スプレーノズルを水洗槽に設置する。そして、現状が3段以上の場合は向流洗浄方式のみを導入する。	浮子式流量計を設置して給水量を適正化する。
Ⅱ ロール状フィルムのロール式自現機	液切り効果のよいスプリングワイパーを液槽の出口に取り付ける。	現状が1,2段の場合は上記二つの方法のいずれかか、又はスプリングワイパーを水洗槽の出口に取り付ける。そして現状が3段以上の場合は向流洗浄方式のみを導入する。	同 上
Ⅲ シート状フィルムのロール式自現機			フィルムの通過時のみ給水する自動給水装置を取り付ける。

〔解 説〕

自動現像処理洗浄水の水使用合理化方法はメッキ等の表面処理洗浄水ときわめてよく似ているが、自現機の種類によって具体的な方法が異なってくる。自現機にはハンガー式、ロール状フィルムのロール式、シート状フィルムのロール式の三つのタイプがある。ハンガー式自現機は一般カメラのフィルムをハンガーに吊して、メッキと同様、液槽、水槽への浸漬を行うものであり（図3-5-1）、ロール状フィルムのロール式自現機は映画、テレビ用や8ミリ等の長いフィルムを現像するもので、長いフィルムが液槽、水槽の中を順々にロールで送られていく（図3-5-3）。シート状フィルムのロール式自現機は印刷用やX線用の大版フィルムを現像するもので、手でフィルムを差し込むと、数分後に現像後のフィルムが反対側から送り出されてくる（図3-5-4）。
Ⅰ. ハンガー式自現機：①の液の回収と②の向流多段洗浄はメッキの場合と方法が全く同じである（図3-5-1は向流3段水洗に改善した場合を示す）。

ただし、給水量の制御についてはフィルムが絶え間なく、水洗槽に持ち込まれるので、濃度変化が小さい。そ

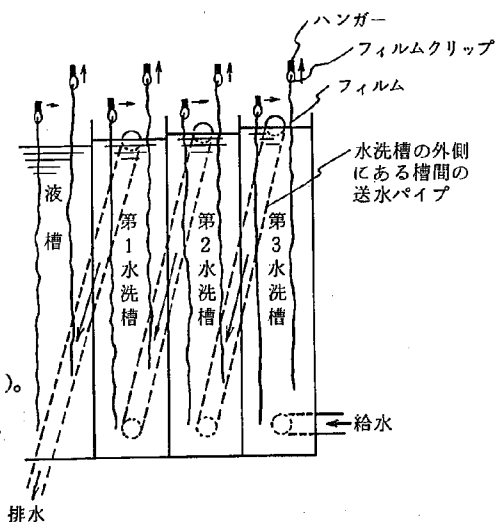


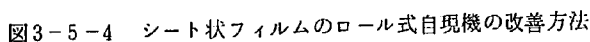
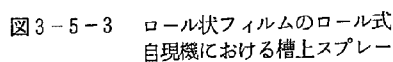
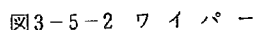
図3-5-1 ハンガー式自現機の向流3段水洗への改善

Ⅲ. シート状フィルムのロール式自現機：この自現機はスクイズロールで液切りが行われているので、①の方法はすでに適用済みである。また、自現機が一つの設備に組み込まれているので、②の方法は適用が困難である。したがって、③だけが水使用合理化方法となる。この自現機ではフィルムが不規則に間欠的に送り込まれるが、給水の方は連続的に行われている。そこで、フィルムの通過を感知する機器（マイクロスイッチ）と電磁弁を取り付ければ、給水をフィルム通過時のみに限ることができる。

1) の標準的な方法を適用できない例外は次の一つを除いてない。唯一の例外はロール状フィルムのロール式自現機の先頭部にあるバックング水洗である。バックング水洗は水をかけながら円いスポンジ等でフィルムの裏をこすってカーボンを取り除くものであるので、1) の方法は適用できない。

用途間再利用（カスケード方式）：
標準的な方法と併用する場合のみ用
いられる。

カスケード方式とは図3-5-5に示すように、例えば定着後の水洗排水を現像後の水洗に再利用するなど、用途間の再利用を行うものであるが、この方式だけを単独に用いると、排水を再



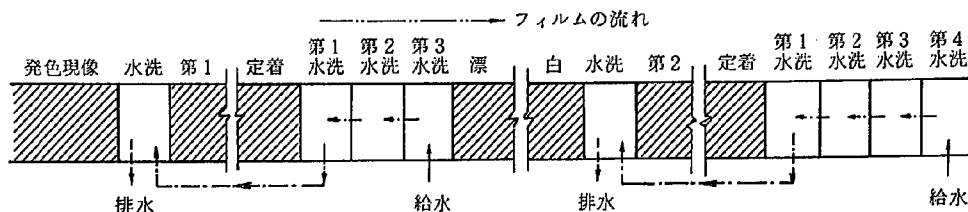


図3-5-5 自現機の用途間再利用

利用する側は新水使用量がゼロとなるが、新水を使用する側は水量削減ができない。それゆえ、新水使用側（図3-5-5の例では定着後の水洗）には標準的な方法を適用してカスケード方式と併用する必要がある。

また、表面処理洗浄水と同様、イオン交換樹脂による循環利用も同等以上の方法として考えられるが、今のところ、その実例はない。

4) 必要水量の求め方

① ハンガー式自現機及びロール状フィルムのロール式自現機

メッキ等の表面処理洗浄水と同じ計算式による。ただし、計算を簡単にするため、 D （フィルムの付着液量）は 0.05 l/m^2 、 k は 1 とし、 p を次のように仮定する。

p （液切りによる薬品残留率）
 液切り時間の延長：メッキの場合と全く同じ仮定値
 スプリングワイパーの取り付け $\begin{cases} \text{改善前がワイパーなし} & 1/5 \\ \text{改善前が通常のワイパー} & 1/2 \end{cases}$

② シート状フィルムのロール式自現機

次式から求める。 $k \times [\text{現在の使用水量} (\text{m}^3/\text{日})]$

k は $1/4 \sim 3/5$ の範囲内で、フィルムの通過状況を考慮して仮定する。

5) 改善費用

	①液の回収	②向流多段洗浄	③給水量の制御
i ハンガー式自現機	液切り時間の延長 ほぼゼロ	- 水洗槽の増設 15～16万円/槽 - 槽上スプレー 表面処理洗浄水と同じ - スプリングワイパー 同左	浮子式流量計 3万円/台 (工事費別)
ii ロール状フィルムのロール式自現機	スプリングワイパー 1カ所あたり 約1,000円		
iii シート状フィルムのロール式自現機			自動給水装置 8万円/台 (工事費込)

(6) 自動車製造工場の塗装関係洗浄水

1) 標準的な方法

Ⅰ. 塗装前処理洗浄水

次の①、②の方法のいずれかを用いて新水の給水量を適正水量（４）参照）以下とする。

① 水洗段数の増加：循環水洗スプレーの段数をふやして脱脂後については３段以上，化成処理後については４段以上とし，向流洗浄方式とする。

② 回収スプレーと槽間スプレー：薬液による循環スプレーの後に回収水洗スプレー，各循環水洗スプレーの後に槽間水洗スプレーを入れて，水洗スプレーをすべて向流洗浄方式にする。

Ⅱ. 電着塗装洗浄水

限外汙過による循環利用：限外汙過（ウルトラフィルトレーション）装置を設置して排水の全量を循環利用する。ただし，ボディやキャブのラインで，限外汙過の汙液による水洗後，更に新水洗を行う必要がある場合は新水洗の使用水量を適正水量（４）参照）以下とする。

Ⅲ. 水研ぎ用水（ボディラインの場合にのみ適用する）

汙過又は沈殿による循環利用：汙過又は沈殿により排水を処理して循環利用し，循環水洗後の新水スプレーの使用量を適正水量（４）参照）以下とする。

〔解 説〕

Ⅰ. 塗装前処理洗浄水

① （水洗段数の増加）について：自動車工場の塗装前処理は塗装の前に脱脂と化成処理（防錆のため，りん酸塩皮膜をつける処理）を行うもので，表面処理の一種である。通常の表面処理と異なっており品物がボディ，キャブ（トラック運転台）などといった非常に大きなものであるので，水槽，液槽に浸漬することがむずかしく，そのため，循環スプレー式の設備が用いられている。ボディ等がトンネルの中を真直ぐに通過している間に薬液や水の循環スプレーが注がれる。（図３－６－１）。この塗装前処理における循環スプレー水洗の段数は通常，脱脂後は２段，化成処理後は２～３段であり，また向流洗浄方式が採用されていることは少ない。そこで，図３－６－１に示すように脱脂後の循環スプレーを３段，化成処理後の循環スプレーを４段として，向流洗浄方式を導入する。

既設の設備において段数をふやすために設備の全長を伸ばすことは困難であるので，各循環スプレーの

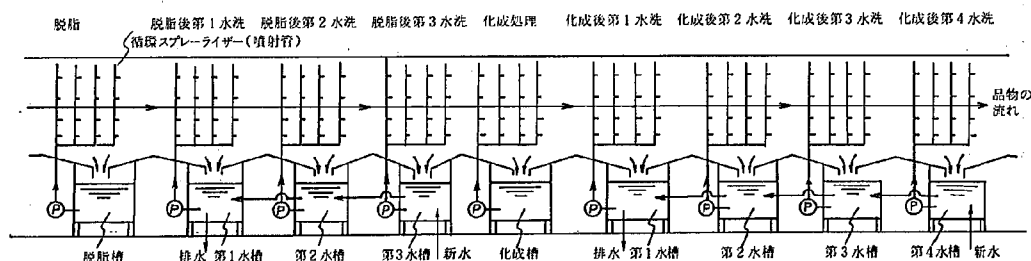


図3-6-1 塗装前処理の水洗段数の増加

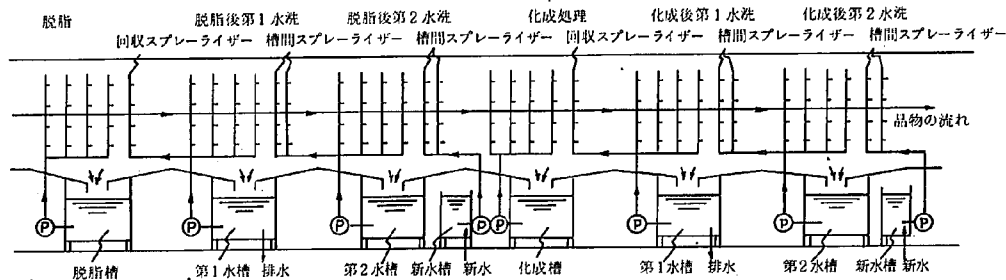


図3-6-2 塗装前処理の回収スプレーと槽間スプレー

位置を少しずつずらして、水洗工程を新たに入れる区間を捻出する。このため、各循環スプレーの間隔が少し短くなって、多少液切りが悪くなるが、水洗段数をふやすことの効果に比べれば、その影響ははるかに小さい。

② (回収スプレー、槽間スプレーの導入)について：もう一つの方法は図3-6-2に示すように回収スプレーと槽間スプレーを用いて循環方式にする方法である。回収スプレーとは脱脂や化成処理の薬液による循環スプレーの後、薬液槽の損失水量(蒸発水量と持ち出し水量)に見合う水量のスプレーを行い、その排水を薬液槽に回収するものである。この回収スプレーには第1水槽の水を用いる。槽間スプレーは循環水洗スプレーの直後、次の水槽の水(最終循環水洗スプレーの場合は新水)を用いてスプレーするものである。この槽間スプレーによって後段の水槽の水が前段の水槽に送られる。

このように、回収スプレーと槽間スプレーを用いて水を順送りに前段へ送る向流洗浄方式が②で求める方法である。回収スプレーや槽間スプレーの役目は品物表面の薬品濃度を希釈して、次の循環水洗スプレー

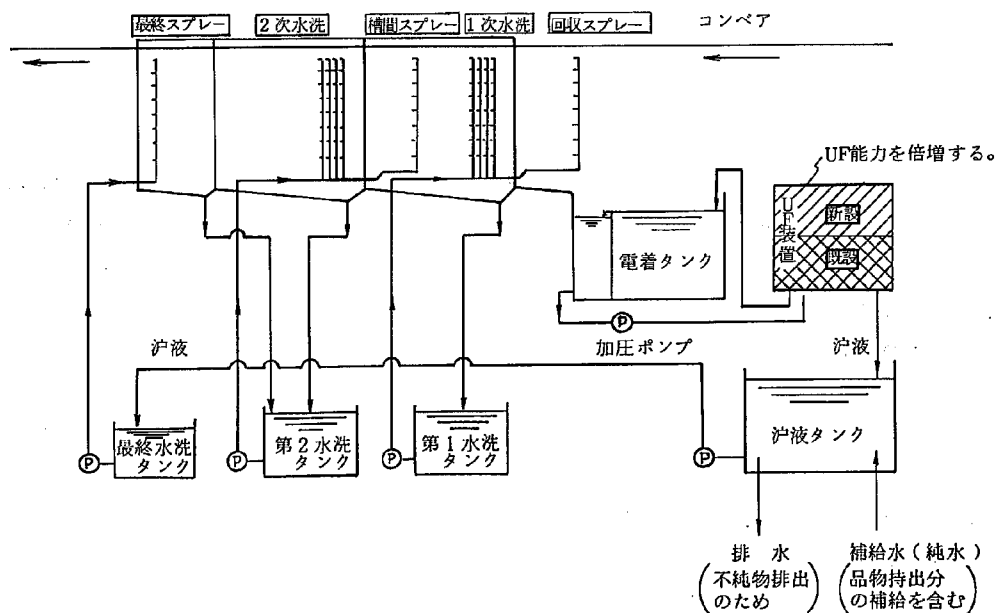


図3-6-3 限外汚過による電着塗装洗浄水の循環利用

ーに持ち込む薬品量を減少することにある。②の方法は各循環スプレーノズルの後に回収スプレーノズルと槽間スプレーノズルを取り付けて配管やポンプを設置すればよいのであるから、①の方法と比べて改善は容易である。しかし、改善後の使用水量は①の方が小さくなる。

Ⅱ．電着塗装洗浄水

電着塗装はメッキと同じように、品物を水溶性の塗料液につけて電氣的に塗料を塗着させるもので、下塗りに使われる。限外滲過（UF）とは分子量約 500 以上の分子を除去する膜を用いるもので、逆浸透と同質の膜を使用するが、後者が食塩のような低分子のものも除去できる点が違う。電着塗装洗浄水をこの UF 装置にかけると、溶媒（水と溶剤）と塗料成分（顔料と樹脂）に分離できるので、水の回収と塗料成分の回収が同時に行われる（図 3-6-3）。

この UF 装置は自動車工場での電着塗装にかなり普及しているが、UF の能力が不十分なことが多い。この場合は滲液だけでは洗浄不足を引き起こすため、最終水洗に多量の新水が使用されている。このような工場については UF の能力を増強して（UF の滲液量がボディやキャブ 1 台あたり 100 ℓ 以上まで）、最終の新水洗をゼロにするか、又は少なくとも適正水量（4 参照）以下に押える必要がある。

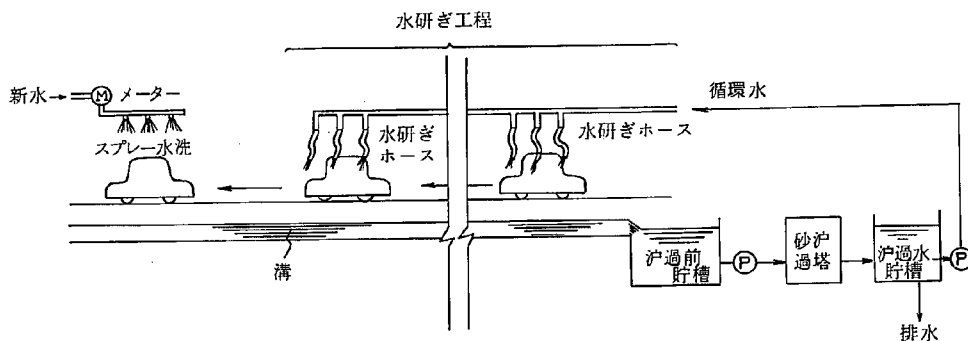


図 3-6-4 水研ぎ用水の循環利用

Ⅲ．水研ぎ用水

水研ぎとは水をかけながら下塗りや中塗り後のボディ表面を研磨紙で磨くものである。この水研ぎ排水に含まれているのは焼付後の塗料カスであり、溶解性の不純物はきわめて少ない。したがって、水研ぎ排水をろ過するか又は沈澱槽に通して、塗料カスを分離すれば、循環使用が可能である。この水研ぎの後、最終スプレー水洗が行われるが、このスプレー水量を適正水量（4 参照）以下にして、その排水を循環水の補給水にする必要がある（図 3-6-4）。

2) 特殊な条件の場合

Ⅰ．塗装前処理洗浄水

自動車工場において循環スプレー方式でボディ、キャブ、自動車部品を塗装前処理している場合はすべて 1) の標準的方法が適用される。自動車部品の塗装前処理をメッキと同様な浸漬方式で行っている場合は表面処理洗浄水の標準的方法が適用される。

Ⅱ．電着塗装洗浄水、Ⅲ 水研ぎ用水

標準的方法を適用できない例外はない。

3) 同等以上の方法

塗装前処理洗浄水、電着塗装洗浄水、水研ぎ用水とも1)と同等以上の方法はない。

4) 必要水量の求め方

i. 塗装前処理洗浄水

a. ボディやキャブの前処理：適正水量を次式から求める。

① 水洗段数を増加して脱脂後を向流3段水洗，化成処理後を向流4段水洗に改造した場合

$$0.1 (\text{m}^3/\text{台}) \times \text{通過台数} (\text{台}/\text{日})$$

② 回収スプレーと槽間スプレーを導入した場合

$$0.2 (\text{m}^3/\text{台}) \times \text{通過台数} (\text{台}/\text{日})$$

b. 自動車部品の前処理：aの①又は②の式に次の値をかけて，通過台数（台/日）を通過個数（個/日）と読み替える。

$$\frac{\text{品物の延表面積} (\text{m}^2/\text{個})}{50 (\text{m}^2/\text{台})}$$

なお，50（ $\text{m}^2/\text{台}$ ）はボディ，キャブ1台のおおよその延表面積である。

ii. 電着塗装洗浄水

a. ボディやキャブの電着塗装：適正水量を次式から求める。 $0.01 (\text{m}^3/\text{台}) \times \text{通過台数} (\text{台}/\text{日})$

最終の新水洗を行う必要がある場合は上式の計算値を10倍する。

b. 自動車部品の電着塗装：上記の式にiのbと同じ値をかけて通過台数（台/日）を通過個数（個/日）と読み替える。

iii. 水研ぎ用水（ボディラインのみ）

適正水量を次式から求める。 $0.1 \text{m}^3/\text{台} \times \text{通過台数} (\text{台}/\text{日})$

5) 改善費用

i. 塗装前処理洗浄水

① 水洗段数の増加：一例，ボディやキャブのラインで，脱脂後と化成処理後の水洗を各々一段ずつ増設して3段と4段にする場合 約1,500～2,500万円

② 回収スプレーと槽間スプレーの導入：一例，脱脂後2段，化成処理後3段のボディやキャブラインに回収スプレーと槽間スプレーを導入する場合 約300万円

ii. 電着塗装洗浄水

UF（ウルトラフィルトレーション）装置の価格	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{ろ液量} & 14 \text{L}/\text{分} & 18 \text{L}/\text{分} \\ \text{価格} & \text{約} 1,600 \text{万円}/\text{基} & \text{約} 1,900 \text{万円}/\text{基} \end{array} \right.$
（本体のみ）	

iii. 水研ぎ用水

排水循環のためのろ過装置の価格（本体のみ）	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{ろ液量} & 10 \text{m}^3/\text{時} & 30 \text{m}^3/\text{時} \\ \text{価格} & \text{約} 250 \text{万円}/\text{基} & \text{約} 500 \text{万円}/\text{基} \end{array} \right.$

(7) 排気洗浄水（自動車工場、電気機械工場、表面処理工場等）

1) 標準的な方法

排水を全量、循環利用し、常時の排水をなくす。

〔解説〕

排気洗浄塔には塗装ブース、メッキ排気洗浄塔、湿式集塵塔などがあるが、これらの排気洗浄水は良質な水を必要としないので、排水の循環利用が行われているのが普通である。しかし、循環利用はしていても循環水の一部を排出していることが少なくないので、排水がゼロとなるように改善する。補給水は循環水と排気の接触の際に失なわれるわずかな水量（蒸発水等）だけとなる。ただし、この改善に伴って、それぞれ次の対策を講ずる必要がある。

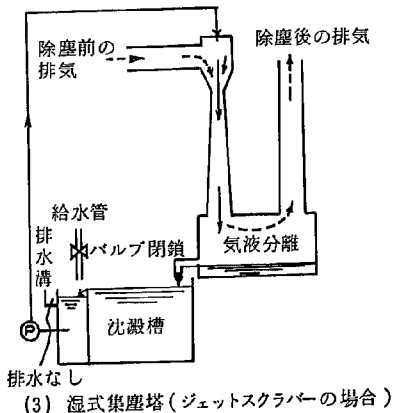
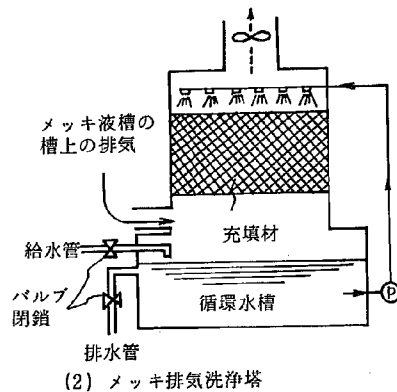
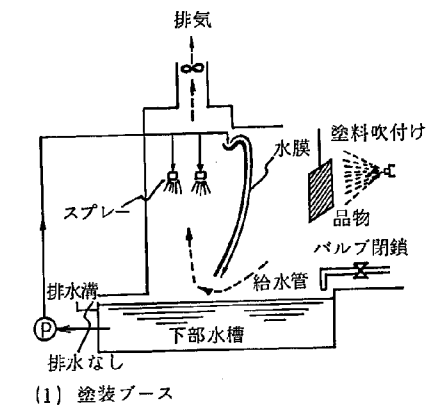


図3-7-1 排気洗浄水の改善

1. 塗装ブース：塗装ブースでは塗料を吹き付ける際、塗料の一部（塗料使用量の20～80%）が被塗装物に当たらず、排気に混入するが、排気の洗浄によって塗料カスは排気洗浄水に移行する（図3-7-1(1)）。排水をゼロにすると、排水とともに流出していた塗料カスがたまっていくので、塗料カスの除去が

必要となる。除去の方法としては塗装ブースを度々掃除して取り除く人為的な方法の他に、a. 水中の塗料カスを沈降又は浮上させる薬品を投入する、b. 塗装ブースの下部水槽に塗料カス自動掻き出し装置を取り付ける、c. 循環水を金網の汙過器に通すなどの方法がある。更に循環水の腐敗をさけるため、3週間以上の周期で循環水を更新することも必要である。

ii. メッキ排気洗浄塔：メッキ等の表面処理液槽の表面から立ち昇るミストや蒸気をダストで導いて洗い落すのがメッキ排気洗浄塔の役目である（図3-7-1(2)）。混入物質は溶解性のもので、循環水から分離することは困難であるが、溶解度が高いので循環水中の濃度が多少高くなっても、洗浄効果が低下することはない。しかし、排気洗浄塔から微量でも二次ミストが生じる場合を考慮すると、循環水を1日以上の周期で更新して、循環水中の濃度の上昇を抑える必要がある。

iii. 湿式集塵塔：メッキ前のバフ研磨や砂の鑄型製造等から生じる粉塵を洗い落とすものであるが（図3-7-1(3)）、iiと同様、循環水中の混入物質の濃度上昇を抑えるために、1日以上の周期で循環水を更新するとともに、沈澱槽の底にたまった浮遊物質を時々掻き出す必要がある。

2) 特殊な条件の場合

排気洗浄塔のうち、排煙脱硫塔の一部（ウェルマン・ロード法）は循環水（吸収液）に蓄積する芒硝（ Na_2SO_4 ）を排出するため、循環水の一部排出が必要であるが、この他に標準的な方法を適用できない例外はない。

3) 同等以上の方法

- ① 総合排水の再利用：排気洗浄塔が排水処理場に近い場合にのみ用いられる。

② 乾式の排気洗浄塔への切り替え：小規模の塗装ブースの場合にのみ用いられる。

〔解説〕

- ①（総合排水の再利用）について：排気洗浄水は良質な水を必要としないため、総合排水の処理水を用いることもできる。しかし、排気洗浄塔が排水処理場から遠く離れている場合は配管工事が大変である。
- ②（乾式の排気洗浄塔）について：塗装ブースには塗料カスの捕集板を並べた乾式のものがあるが、この乾式ブースに切り替えと、使用水量がゼロになる。しかし、捕集板の度々の更新にかなりの費用がかかるので、小規模の塗装ブースの場合にのみ用いられる。

4) 必要水量の求め方

次式から求める。

$$\frac{\text{循環水槽の保有水量 (ml)}}{\text{循環水の更新周期 (日)}}$$

ただし、循環水の更新周期は塗装ブースの場合は3週間、メッキ排気洗浄塔や湿式集塵塔その他の場合は1日と仮定する。

5) 改善費用

i. 塗装ブース：塗料カスの除去費用

- a. 塗料カスの分離薬品を用いる場合 1,000～2,000 円/ml（水槽の更新時 1 ml あたり）

b. 塗料カス自動掻き出し装置を用いる場合 170 万円/台（本体のみ）

ii. メッキ排気洗浄塔、湿式集塵塔：ほぼゼロ

(8) 染色用水(染色工場)

1) 標準的方法

① 染色機の適正浴比(水量/繊維重量)を機種ごとに次の値以下とする。

後染め染色機

i. ウィンス 1 : 12 ii. 液流染色機 1 : 20 iii. 高圧液流染色機 1 : 20 (ラピッド染色機の場合は 1 : 13)

先染め染色機

iv. チーズ染色機 1 : 15 v. 噴射式総染機 1 : 12 vi. 回転バック(羊毛糸, ノンバルキーアクリル糸) 1 : 35, [ハイバルキーアクリル糸] 1 : 45

② ①の適正浴比は染色工程のみならず、精練、漂白、水洗、湯洗、柔軟処理等の各工程においても同様とし、この浴比の制御を水位自動制御器で行う。

[解説]

① 染色機の種類と染色用水の特殊性

染色機には連続式とバッチ式(回分式)があるが、通常の染色工場にあるのはバッチ式の染色機である。このバッチ式の染色機には図3-8-1に示すように多くの種類があり、その多くは晒専用にも用いられることがある。染色は大きく分けて織物にする前の先染めと織物にした後の後染めがある。例えば羊毛は先染めが多いが、綿は後染めが多い。先染めの染色機としてはチーズ染色機、噴射式総染機、回転バック、オーバーマイヤーなどがあって、前三者は糸の染色に、オーバーマイヤーは糸を紡ぐ前のバラ毛の染色等に用いられる。後染めの染色機としてはウィンス、液流染色機、高圧液流染色機、パドル染色機、ドラム染色機などがあるが、前三者は布の染色に、パドルとドラム染色機はセーターや靴下等の成形品の染色に用いられる。それぞれの染色機の特徴、用途は図3-8-1の解説のとおりで、染色機は大変バラエティに富んでいるが、基本的には染色機とは液を貯めておいて、繊維と液を十分に接触させるよう、繊維を動かしたり(ウィンス)、液を動かしたり(チーズ、回転バック、オーバーマイヤー)、或いは繊維と液の両方を動かす(液流染色機、噴射式総染機)装置である。

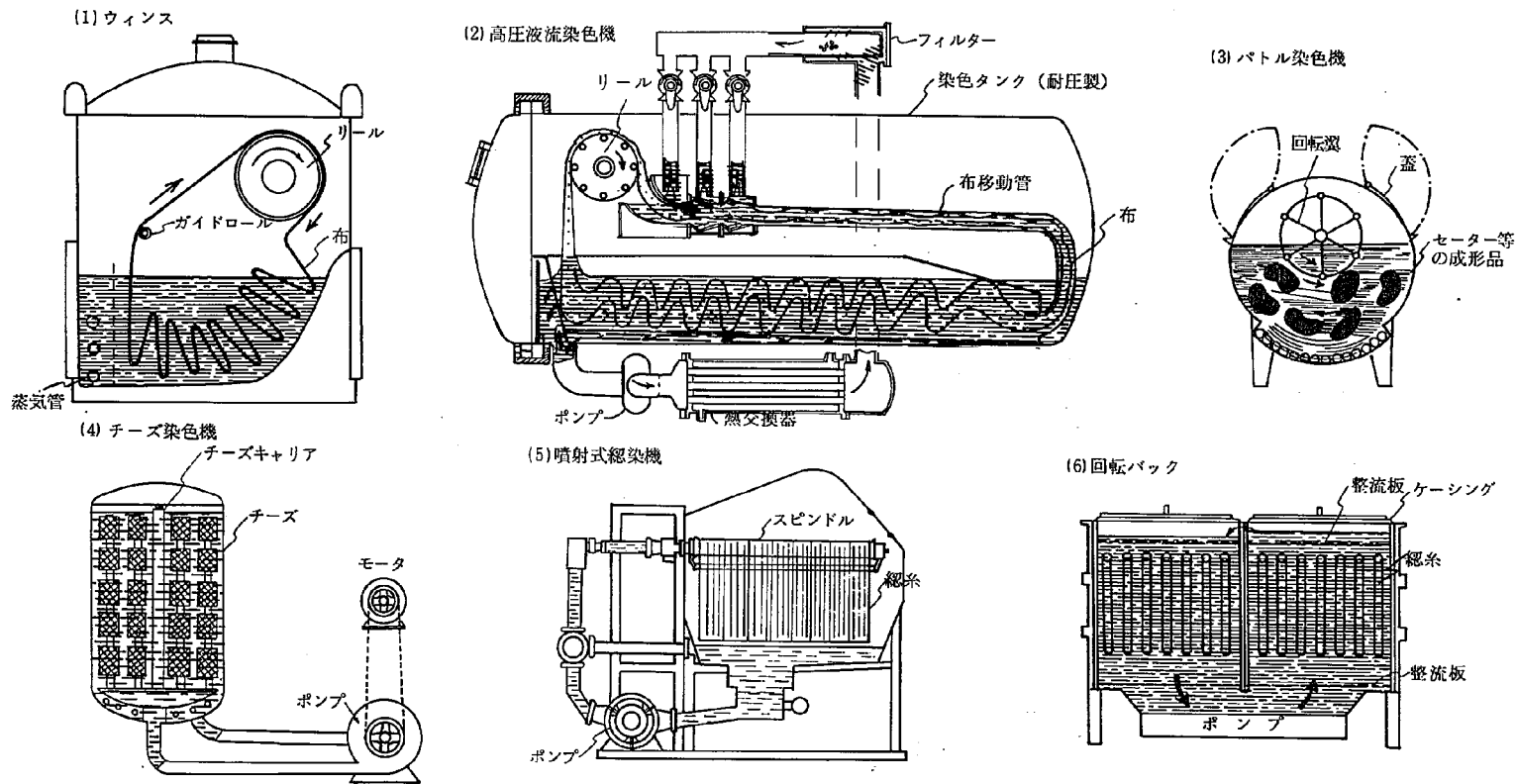
染色の工程は繊維、色、染料の種類によって異なるが、例えば反応性染料を使って綿の布をウィンスで濃色に染める時は次の例に示すように10回前後の工程を必要とする。

精練晒→水洗→染色→水洗→中和→ソーピング→湯洗→水洗→色止め処理→柔軟処理

(⑥ソーピング:未反応の染料を洗剤で繊維から洗い出す工程)

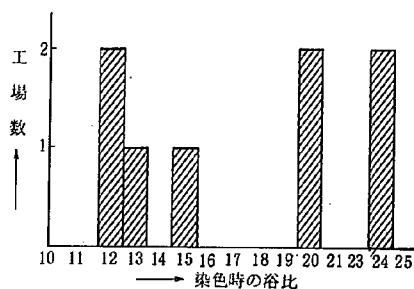
この各工程ごとに水を貯めて排出することが繰り返される。例えば、100 kgの布を浴比1 : 20で染色し、各工程とも浴比どおりの水量を使うとすれば、この一連の工程で $100 \text{ kg} \times 20 \text{ 倍} \times 10 \text{ 回} = 20 \text{ m}^3$ の水が消費される。

染色用水とはこのようにバッチ式に水を使用するものである。その点で、他の用途に比べて水使用合理化を進めにくく、水使用合理化の四原則のうち、主に適用できるのは原則Ⅱの「不要水のカット」だけである(ただし、チーズ染色機は原則Ⅰも適用できる)。染色用水の不要水のカットは浴比を下げるか、工程を省略するか二つしかない。後者は繊維や色等の種類によって変化があるため、標準的な工程をきめるのがむずかしいので、ここでは浴比の標準値のみを示している。



- (1) ウィンス：綿やT C混（テトロンと綿の混紡）などの反物を染色する機械で、静止した液に布の下部を漬けて布を回転する。メリヤス工場でもっともよく使われる染色機である。
- (2) 液流染色機、高圧液流染色機：ウィンスより高級な染色機で、布の風合をよくするため、布に力がかからないよう、布とともに液を循環させる。液流染色機と高圧液流染色機は構造がほとんど同じであるが、後者はテトロンの高温染色ができるよう4kg/cm²の耐圧製になっている。
- (3) バドル染色機、ドラム染色機：セーター、靴下等の羊毛の成形品などを染色する機械で、液に成形品を浮べて液を回転翼で回転させる。パドル染色機は回転翼を液の上部にだけ沈めて液流を起こさせるが、ドラム染色機は回転翼を液の底まで沈めて液を押し出すような形で回転させる。
- (4) チーズ染色機、オーバーマイヤー：チーズ染色機はテトロン等のチーズ（糸をコーン状にまいたもの）を液に沈め、チーズの外側と内側の間で液を流動させる。オーバーマイヤーも同じパッケージ式の染色機で、機械の外形はチーズ染色機と同じであるが、アクリルなどの総糸やバラ毛を直接、染色機に詰め込んで染色を行う。
- (5) 噴射式総染機：アクリルなどの総糸をスピンドルにかけて回転させるとともに、スピンドルの穴から液を噴射して染色する。回転バックの一部分がこの噴射式総染機に取り替えられてきている。
- (6) 回転バック：アクリル、羊毛などの総糸を液に沈め、液を循環させて染色する機械である。ハイパルキーの（ふんわりした感じのある）アクリル糸の染色漂白にはこの染色機が必ず用いられる。

図3-8-1 各種染色機の構造と特徴



(ウインスの改善)

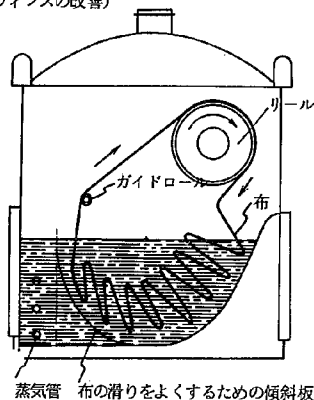


図 3-8-2 ウインスの浴比の調査結果
(東京都の 8 工場)

② 各種染色機の適正浴比を維持する方法

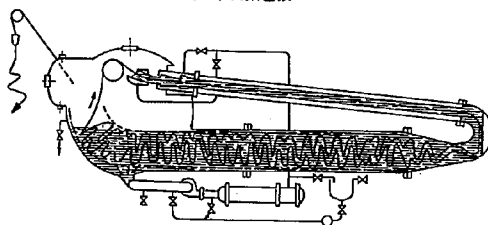
Ⅰ. ウインス：図 3-8-2 はウインスを用いる東京 8 工場の平均浴比（染色工程のみ）の分布を調べたものである。最大 1：24、最小 1：12 で 2 倍の開きがある。しかし、使用しているウインスの構造はどの工場もほと

んど変わらない。ウインスは染色機の中で、最も構造が簡単なものの一つで、改良の余地があまりなく、せいぜい同図下段に示すように、側面に傾斜をつけて布の滑りをよくする程度である（1：12 の浴比の維持はこの改造がなくても可能なことが多い）。したがって、多くの場合、液面を下げることで浴比を下げる手段となる。液面をあまり下げると、布の回転が悪くなるので、浴比の低下には限度がある。既存の実例からいって 1：12 が適正な浴比である。

Ⅱ. 液流染色機：ウインスと同様、染色機の構造を改造できる余地が少ない。高圧液流染色機と同様デットスペースを少なくする改造方法も考えられるが、それによる浴比の減少幅は小さく、その程度の減少ならば液面を更に下げても支障がないことが多い。したがって、液流染色機も多くの場合、液面を下げることで浴比の減少方法であり、その適正浴比は実例からいって 1：20 である。

Ⅲ. 高圧液流染色機：この高圧液流染色機については染色機メーカーが新しいタイプ、すなわちラピッド

(1) ラピッド型の高圧液流染色機



(2) デットスペースの縮小

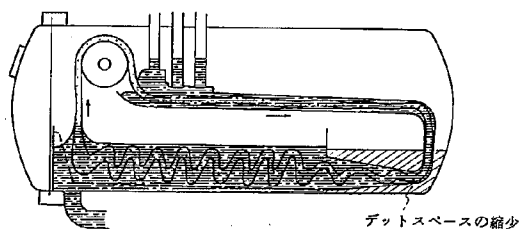


図 3-8-3 高圧液流染色機の改善

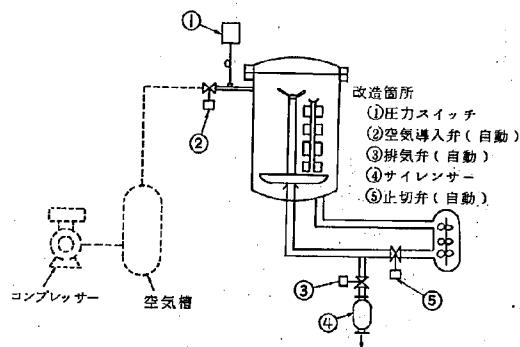


図 3-8-4 チーズ染色機への圧力脱水方式の導入

型の機種を製作している。ラピッド型とは従来の機種に比べて2～3倍の速度で染色できる新機種で、生産性の向上を目指したものであるが、同時に浴比の低減も進めており、浴比を1:13以下まで下げている。ラピッド型染色機の構造の一例を図3-8-3(1)に示す。それゆえ、高圧液流染色機についてはラピッド型のものに取り替えることが望ましいが、ラピッド型の価格は安いものではないので、既設の高圧液流染色機をすべてラピッド型に取り替えるのはむずかしい。既設の高圧液流染色機を使用する場合は図3-8-3(2)に示すように、デッドスペースを少なくするよう改造するか又はただ液面を下げることによって浴比を落すべきである。この場合の適正浴比はⅡと同様、1:20である。

Ⅳ．チーズ染色機：チーズ染色機の場合、糸をむらなく染めるために糸を全部液面の下に沈める必要がある。液面低下による浴比の減少は進められない。それゆえ、通常の浴比は1:13～15であるから、その値がそのまま適正浴比となる。このように、染色、漂白等の工程は従来と変わらないが、水洗工程については改善の余地が大きい。というのはチーズ染色機の場合、水洗を流しすぎで行って水を浪費することが多く、この流しすぎをやめてバッチ水洗に改める必要があるが、このバッチ水洗の回数を水使用合理化の原則Ⅰの適用で減らす方法があるからである。それは圧力脱水方式の導入である。図3-8-4に示すように、チーズ染色機ではチーズ（糸をコーン状にまいたもの）の内側と外側の間を液が流動しているので、液を排出した後、圧力空気を外側に詰めて急に内側の弁を開くと、糸に付着している液が内側に排出される。この圧力脱水方式を導入すれば、同図下段に示すように通常のバッチ水洗2回を1回で、3回を2回ですますことができる。

Ⅴ．噴射式総染機：噴射式総染機は糸が液面より上にあるので、もともと浴比の小さい染色機であり、浴比を低減できる余地はほとんどない。通常の浴比は1:10～12であるが、それがそのまま適正浴比となる。ただし、この噴射式総染機も水洗を流しすぎで行うことが多いので、バッチ水洗に改める必要がある。

Ⅵ．回転バック：回転バックもチーズと同様、糸を液面下に沈めるので、浴比の低減はむずかしいように思われている。しかし、回転バックの構造をよくみると、デッドスペースがあるので、そのデッドスペースをなくすことによって従来の浴比1:55（ハイバルキーのアクリル糸の場合）を1:45に落すことができる。デッドスペースは図3-8-1(6)で明らかなように総糸の下端の下である。このデッドスペースをなくするためには総糸の下端の位置を染色機の底の近くに固定し、総糸の上端の位置に合わせて整流板の位置と液面を動かせるように改良すればよい。これは総糸を吊して回転バックに沈める箱（ケーシング）を少し改造するだけで行えることである。なお、回転バックの場合、ハイバルキーアクリル糸とノンバルキーアクリル糸、羊毛糸で適正浴比が違っているのは同じ嵩でも前者は後者の2/3位の重量しかないからである。

Ⅶ．その他の染色機：上記の適正浴比は主要な染色機についてのみで、その他の染色機については示していないが、その他の染色機の場合は通常の浴比がそのまま適正浴比になると考えてよい。例えば、オーバーマイヤーはチーズ染色機と同様、糸やバラ毛を液面下に沈めるので、液面低下による浴比の減少は期待できない（オーバーマイヤーの通常の浴比は1:8～10）。そして、オーバーマイヤーやチーズ染色機の場合は染色機の中に常に100%近くの品物を入れるので、浴比はほぼ一定しているが、パドル染色機やドラム染色機の場合は品物（靴下等の成形品）の注文が小粒なため、品物の投入量が30～100%の間を変化し、一方、液の方はほぼ一定量必要なので、浴比は大きく変化せざるをえない（1:30～100）。

③ 水位制御器

上記の適正浴比は染色工程のみならず、精練、晒、水洗、湯洗、ソーピング、色止め処理、柔軟処理等の各工程においても維持することが必要である。図3-8-5は東京の某工場における工程別浴比の分布であるが、この例のように水洗工程だけ浴比が大きくなっている工場が少なくないので、適正浴比はどの工程においても維持することが必要である。そして、全工程のうち、水洗の回数が約半分を占めているので、この水洗工程における適正浴比の維持は水節約を進める上で非常に重要である。このような各工程での適正浴比の維持は水位制御器の設置によって簡単にすることができる。水位制御器とは必要とする水位までの給水を自動的に行う装置である。この制御器の機構としてはいろいろなものが考えられるが、図3-8-6に示すのはエアポンプで少量のエアをパイプから染色機の中に送り込んで水位の高さをエア圧で感知し、設定水位に達したら、電磁弁で給水を停止する装置である。

この水位制御器を用いると布や糸を染色機に入れる前に水位設定ダイヤルを適正な浴比のところにセットしておくだけで、後は給水を必要とする度に給水ボタンを押すだけでよい。染色工場では一人の作業者が3~4台の染色機を受け持っているが、一つの染色機への給水を行っている間、他の染色機での作業をしているので、過剰水位まで給水してしまいがちであるし、また給水中の染色機の水位に度々注意を払わなければならないため、他の作業が中断されやすい。この点で水位制御器の取り付けは各工程の水量を適正浴比に保つとともに、作業者の労働を軽減する利点を持っている。なお、チーズ染色機、オーバーマイヤー、パドル染色機、ドラム染色機は必要とする水位が一定（満杯）で、設定水位を変化させる必要がないので、もう少し簡単な水位制御器、例えば、風呂の水位報知器と電磁弁を組み合わせたようなものでも十分である。

④ 浴比低減の副次的効果

浴比を落すことは水量の減少だけでなく、染料、助剤、エネルギー（蒸気）を節約する効果も持っている。まず、染料については酸性染料（主に羊毛）やカチオン染料（主にアクリル）は繊維の吸収率がもとと高いため、浴比を落して染料濃度を上昇させてもメリットが少ないが、反応性染料、直接染料（主に綿）や分散染料（主にテトロン）は染料濃度が上昇するほど、繊維の吸収率が高くなるので、浴比を落すほど染料の使用量が少なく済む。染色工程の助剤（芒硝や炭酸ナトリウム等）は浴比の低減とほぼ比例し

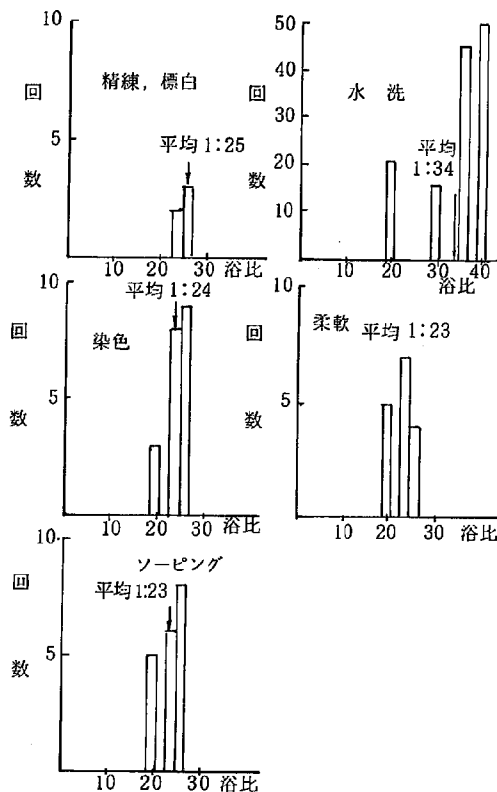


図3-8-5 東京の某工場における
ウインスの工程別浴比の分布

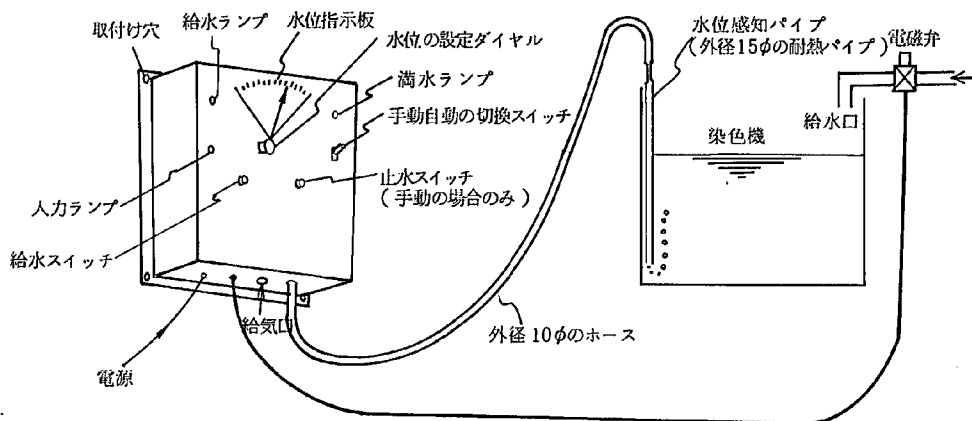


図3-8-6 水位自動制御器

て使用量が減少する。そして、染色、精練、ソーピング、湯洗などの工程では蒸気による液の加温が行われるが、液量が少なければ当然、蒸気（エネルギー）の消費量も減少する。

⑤ 工程の省略

染色用水を減らす方法としては今まで述べてきた浴比の低減の他に工程を一部省略することが考えられる。例えば、次に示すのはウインズで綿を濃紺に染める場合の工程をA工場とB工場について比較したものである。

- A工場 晒→湯洗→水洗→染色→水洗→中和→ソーピング→湯洗→水洗→色止め処理→柔軟処理
 B工場 晒→湯洗→湯洗→水洗→染色→水洗→湯洗→ソーピング→湯洗→水洗→色止め処理→水洗
 →柔軟処理→釜洗

A工場の工程の回数が延11回であるのに対して、B工場は14回であり、3回も多い。A工場がB工場と違うのは晒後の湯水洗が1回少ないこと、色止め処理後の水洗を省略していること、最後の釜洗がないことの三点である。A工場は水節約に比較的热心な工場で、前の二点はテストを繰り返した結果、踏み切った方法である。最後の釜洗はA工場のみならず他の工場でも常時は行っていない工程であるが、B工場では悪しき慣例で毎回行っている。

このように、工程は絶対的なものではなく、改善の余地があるので、他の工場を参考にしてできるだけ少ない工程で染色を行う方法を検討すべきである。

2) 特殊な条件の場合

上記の標準的方法を適用できない例外としては、薄物の反物で嵩張るために適正浴比を維持できない場合がまれにあるだけである。

3) 同等以上の方法

染色排水を再利用することは現実にまず無理であり、1) と同等以上の方法はないと考えてよい。というのは第一に染色の工程では染料の吸収率を増大するため、芒硝等の中性塩が大量に（何袋も）投入されて、染色排水の塩類濃度がきわめて高くなっているからであり、第二に、分離にきわめて高額の費用がか

かるこの塩類の問題を別にしても染色排水中の色素、酢酸、洗剤などを除去して染色用水の要求水質まで浄化するためにはかなり高度な排水処理設備（例えば、活性汚泥処理＋凝集沈殿＋活性炭吸着＋ α ）を必要とするからである。実際に多くの染色工場に取り付けられている排水処理設備は加圧浮上分離装置程度である。

4) 必要水量の求め方

次式から求める。

$$\text{必要水量 (ml/日)} = \text{適正浴比} \times \text{加工量 (kg/日)} \times \text{平均工程回数} \times 10^{-3}$$

5) 改善費用

水位制御器：100,000 円／台前後（口径 50 mm の電磁弁を 1 個含む）

〔 解 説 〕

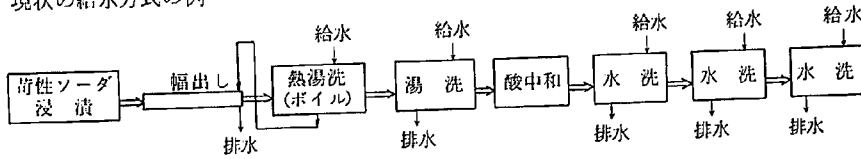
染色用水の水使用合理化は主に維持管理によるものである。設備の面で常に必要なのは水位制御器だけである。その他にチーズ染色機については圧力脱水方式への改造、回転バックについてはケーシングの改造を必要とする。前者は 100 ～ 200 万円（チーズ染色機そのものの価格は 700 ～ 3,000 万円）かかるが、後者はケーシングの上部整流板に可動性をもたせるだけであるから、わずかな費用で済む。また、ウィンス、液流染色機、高圧液流染色機についてはデッドスペースを少なくしたり、布の回転の滑りをよくするための改造を行うこともあるが、この改造の中身はステンレス鋼板を染色機の中に張り付けるだけであるから大した費用にはならない（ただし、高圧液流染色機についてはデッドスペースの縮小とともにポンプ能力の増強などを行ってセミラピッド化する方法があるが、この改造をすると、約 300 万円の費用がかかる。なお、ラピッド型高圧液流染色機のコストは 2,000 万円強である）。

〔 補 足 〕

連続式染色仕上機械の水使用合理化について

本項ではバッチ式染色機の水使用合理化方法についてのみ説明したが、染色工場に連続式の染色仕上機械があることもあるので、その水使用合理化方法についてもふれておくことにする。染色工場に比較적으로あるのは連続式の漂白機（漂白部の形状で J ボックス、L ボックスの名称がある）と連続式のシルケット加工機（綿布の艶出し機）である。例えば、シルケット加工機は図 3-8-7 の左に示すようなフローシートになっているが、給水箇所が 4 ～ 5 カ所あることが少なくない。このような連続式染色仕上機の使用水量を削減するためにはまず第一に向流洗浄方式を採用し、第二にカスケード方式を導入することが必要である。すなわち、上述のシルケット加工機を例にとれば、同図の右に示すように苛性ソーダ浸漬・幅出し後の湯洗と酸中和後の水洗をそれぞれ向流洗浄方式にするとともに、酸中和後の洗浄排水を中和前の湯洗に反覆利用するカスケード方式に改造すべきである。この例ではこの改造によって使用水量が $1/3 \sim 1/4$ に減少する。この他に、最近の水が布を十分によく貫通するよう水洗部の構造を改造したものも製作されており、水洗部をそのようなものに取り替えれば、使用水量は $1/2$ に減少する。このように連続式の染色仕上機械については向流洗浄方式、カスケード方式、水洗部の改善を進めるべきである。

(1) 現状の給水方式の例



(2) 改善後

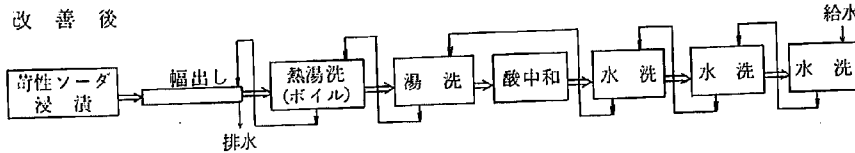


図3-8-7 連続式のシルケット加工機の改善

(9) 製紙用水(製紙工場)

1) 標準的方法

- ① パルパー、マシンチェスト等における紙料の希釈水はすべて白水を使用する。
- ② 抄紙機のワイヤーパート、プレスパートおよびその他の各シャワー水は次の表に示すように処理白水を使用するか(a), 又は摺動式の高圧ニードルノズル(b)か適正なファンノズル(c)を用いて適正水量(4)参照)以下とする。

	a. 処理白水を使用すべきシャワー水	b. 摺動式の高圧(15~50 kg/cm ²)ニードルノズルを使用すべきシャワー水	c. 3~4kg/cm ² の水圧で適正なファンノズルを使用すべきシャワー水等
Ⅰ 円網抄紙機	- 抄箱の泡消シャワー水 - トップフェルトおよびボトムフェルトの低圧外側シャワー水	- シリンダーシャワー水 - トップフェルトおよびボトムフェルトの高圧シャワー水	- 耳切りシャワー水 - トップフェルトおよびボトムフェルトの低圧内側シャワー水等
Ⅱ 長網抄紙機	- フローボックス泡消シャワー水 - プレストロールシャワー水 - 耳落しシャワー水 - ワイヤーリターンロールシャワー水 - フェルトの低圧外側シャワー水 - スキャベジングシャワー水	- ワイヤークリーニングシャワー水 - フェルトの高圧シャワー水	フェルトの低圧内側シャワー水等
Ⅲ その他	- セーバー等の原料回収装置のシャワー水 - シクナーのシャワー水 - スクリーンのシャワー水		

〔解説〕

① 製紙の工程と用途別使用水量

製紙の工程は図3-9-1の例に示すように、パルプや故紙を水に溶かして紙料液をつくり、紙料液中のゴ

ミを除いたり、繊維を適正な長さにそろえた後、更に希釈し、その紙料液を網で抄いてから毛布にのせて脱水し、最後にドライヤーで乾燥させる工程である。紙には大きく分けて洋紙（印刷用紙、新聞用紙等）と板紙（段ボール原紙、ボール紙等）の二種類があるが、原則として洋紙は晒パルプを原料として長網抄紙機で、板紙は故紙を原料として円網抄紙機でつくられる。ただし、板紙のうち、高級品（例えば、段ボールの外側に用いるライナー）は表側だけ、未晒パルプを使うし、また、工場によっては板紙（例えば段ボールの中芯原紙）を長網抄紙機でつくこともある。

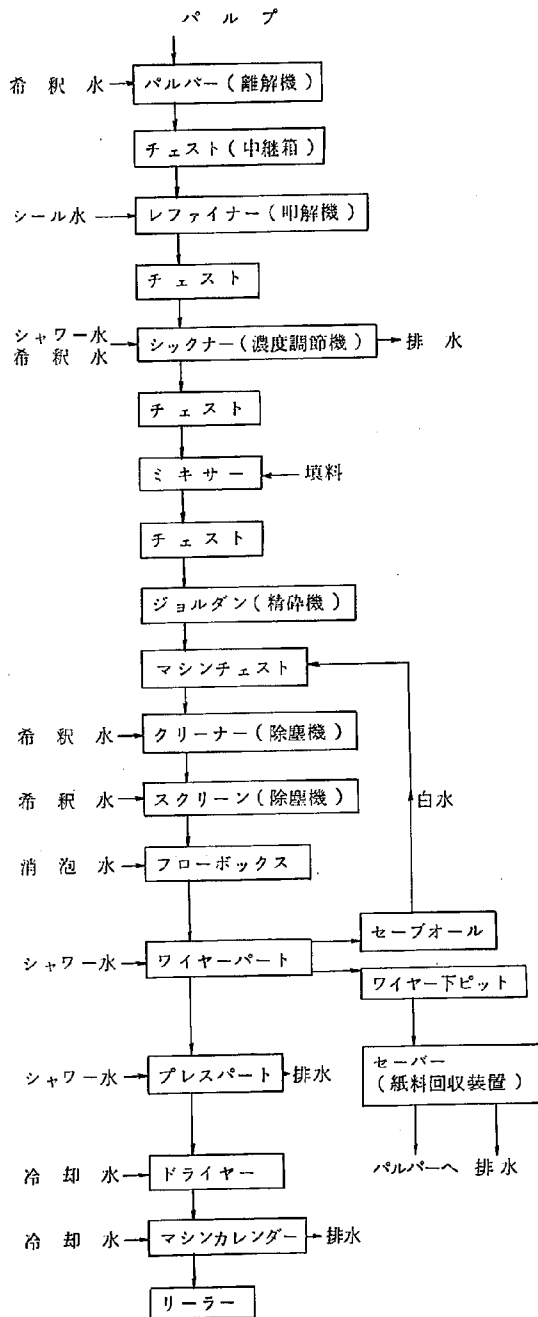
長網抄紙機は図3-9-2(1)に示すように幅1～3mの長いワイヤーに紙料液をのせて水分を抄き取っていく抄紙機であり、また、円網抄紙機は幅1～6mの円筒状の円網を数台以上並べて円網で抄き取った紙料を次々と重ね合せていくものである。それゆえ、分厚い紙を抄くには円網抄紙機が適している。しかし、円網抄紙機は機構上、抄紙速度をあまりはやくできないので、最近では長網の利点も取り入れたウルトラ円網や短網抄紙機が製作されている。

さて、製紙の工程では図3-9-1.2で明らかのように様々な用途に水が使用されるが、主な用途は紙料の希釈と各種のシャワーである。表3-9-1は東京都内9製紙工場の用途別使用水量の調査結果であるが、9製紙工場の全使用水量のうち、紙料希釈水が12%、各種シャワー水が67%（そのうち、ワイヤー、プレスパートのシャワー水が56%）を占めており、両方で8割近くになる。したがって、製紙工場の水量削減は紙料希釈水とシャワー水とりわけワイヤーおよびプレスパートのシャワー水を如何に減らすかにかかっている。これらの用途の水使用合理化を進める上において重要なことは製紙工場の特徴として大量の白水が発生し、その白水を再利用できる可能性が強いことである。白水とは抄紙機で紙料液を抄いた際、取り出された水のこと、主に含むのは繊維分だけである。もちろん、一部のシャワー水は白水の再利用では支障がでてくることが考えられる。それゆえ、製紙用水の水使用合理化方法は二つに分けることができる。一つは白水をできる限り再利用することであり、もう一つは新水を使用しなければならない箇所において新水を効率よく使う方法を導入することである。まず、前者から検討していくことにしよう。

② 白水の回収

a. 白水の循環系統：白水の循環系統は図3-9-3の左に示すように三系統考えられる。第一循環系は抄紙機からでてきた白水をそのまま抄紙機の直前に戻す系統であり、図3-9-1.2に示したワイヤパートからマシンチェストやヘッドタンクへの循環である。この循環はどの製紙工場でも行っていることである。その理由は図3-9-3の右に示すようにこの白水は多量の繊維を含んでいるので、この循環を行わなければ原料の大幅な損失になってしまうからである。第二循環系は同じワイヤパートからの白水（第一循環系より濃度の薄い白水）を原料回収装置（例・図3-9-2上段のコニカルセーバー）で沈降させて、沈降物すなわち回収原料をパルパーに戻し、処理白水を何らかの用途に再使用する系統である。この循環系のうち、原料の回収だけは洋紙工場ではどこでも行っているが、処理白水はほとんど再利用していないところが多い。板紙工場の場合はこの循環系では白水を直接パルパーに戻しているだけで、原料回収装置がない。代わりに一部の板紙工場で発達しているのが第3循環系である。これは種々の排水も一緒に白水を浮上分離や凝集沈殿の排水処理装置で処理して、その処理水を種々の用途に再使用方法である。板紙工場の場合は原料自体が段ボール、新聞、雑誌等の故紙で、この排水処理装置で分離された汚泥も原料として再使用することが可能であるので、第3循環系が洋紙工場の第2循環系のような役割を果たしている。しかし、洋紙工場の場合は原料が主として晒パルプだけであるので、排水処理汚泥を原料として再利用することが困

(洋紙の場合)



(板紙の場合)

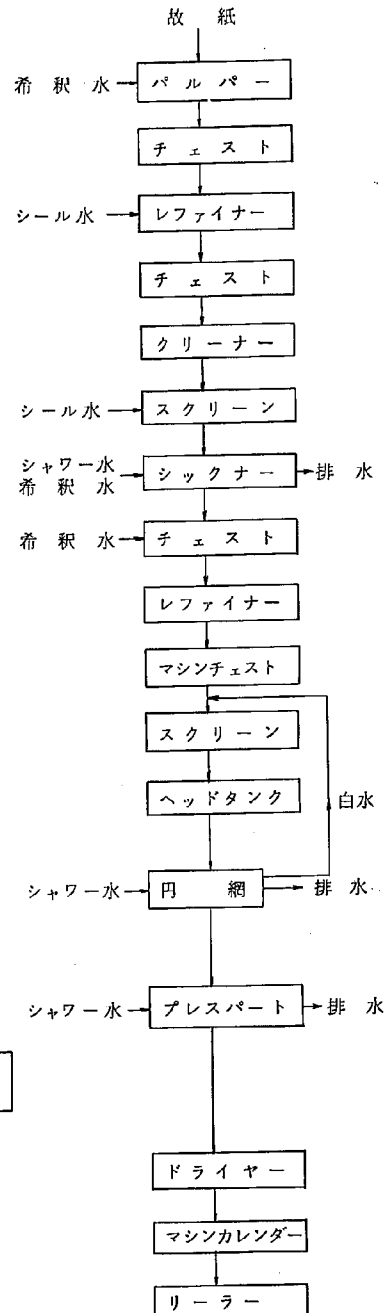
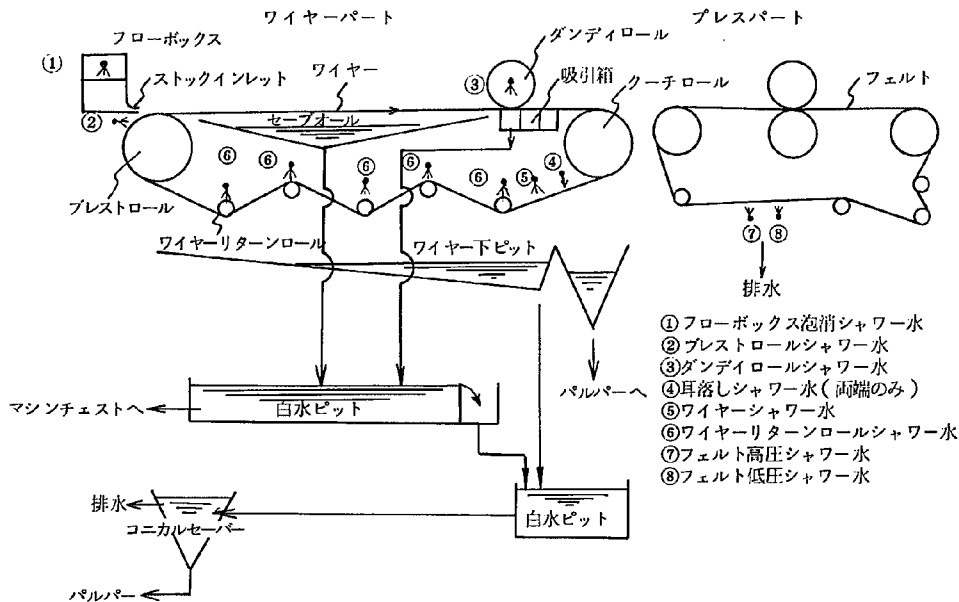
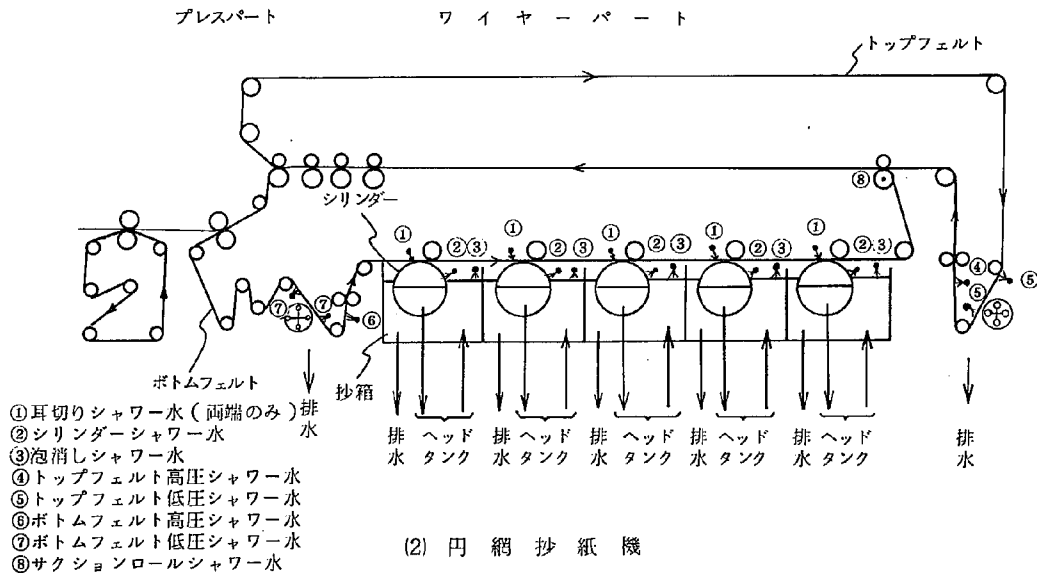


図3-9-1 製紙の工程と水使用箇所の例



(1) 長網抄紙機



(2) 円網抄紙機

図3-9-2 抄紙機の模式図

難である。そのため、第2循環系からの原料の回収量を最大にすることが洋紙工場にとって重要な課題となっている。そして、洋紙工場の場合は利用する白水についても他の工程からの不純物がまじらない第2循環系のものが望ましい。したがって、更に白水を再使用方法としては洋紙工場の場合は第2循環系の原料回収装置の処理白水を、板紙工場の場合は第3循環系の排水処理水を利用することになる。

b. 紙料希釈水：製紙の工程では図3-9-1の例に示したように各箇所希釈が行われる。しかし、い

表 3-9-1 製紙工場の用途別使用水量

(東京都内の製紙工場の調査結果)

1. 製紙工場の用途別使用水量 (9工場) (m³/日)

紙料 希釈水	洗 浄 水			パルプ 製造用水	冷却水	シール水	ボイラー 用水	雑用水	用排水 処理用水 その他	計
	ワイヤー 関係	フェルト 関係	その他							
21,400 (12%)	63,600 (37%)	32,200 (19%)	19,200 (11%)	5,500 (3%)	6,100 (4%)	10,300 (6%)	2,600 (2%)	1,200 (1%)	9,400 (5%)	171,500 (100%)

2. 長網抄紙機の箇所別シャワー水量 (5工場) (m³/日)

フロー ボックス	プレスト ロール	耳 落 し	ワイヤー クリー ニング	ワイヤー リター ンロール	ワイヤー パートの その他	フェルト 洗 浄	プレス パートの その他	計
1,500 (4%)	1,100 (3%)	900 (3%)	7,600 (21%)	15,000 (42%)	3,300 (9%)	5,500 (15%)	1,200 (3%)	36,100 (100%)

3. 円網抄紙機の箇所別シャワー水量 (6工場) (m³/日)

シリンダー	砂箱消泡	耳 切 り	フェルト	プレス パートの その他	計
19,000 (41%)	3,800 (8%)	5,200 (11%)	17,200 (37%)	1,300 (3%)	46,500 (100%)

ずれも、紙料液をただ希釈するだけであるから、新水を必ずしも必要としない。白水を使用しても支障はない(2)で述べる例外を除く)。実際の工場では新水がふんだんにあるため(特に河川の水利権を持つ工場)、パルパーやマシンチェスト以外での希釈水に新水を使っているところが多いが、すべて白水に切り替えるべきである。

c. シャワー水：シャワー水についてもかなりの部分を白水で賄うことができる。ただし、シャワー

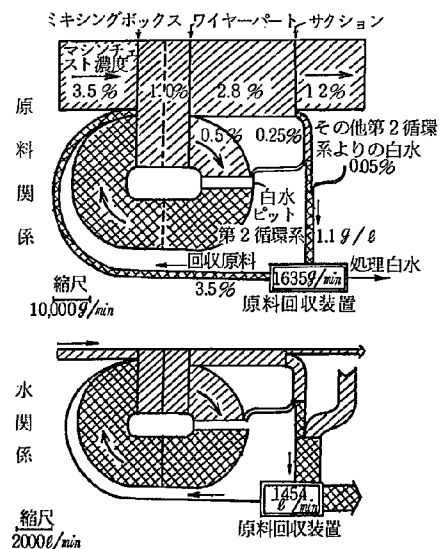
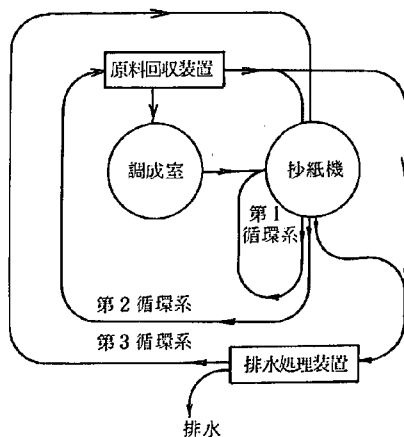


図 3-9-3 白水の循環〔「抄紙機の理論と実際」より〕

はノズルを使用するので、ノズルが詰らないよう、使用する白水中の浮遊物質濃度がある程度低くなければならない。ノズルメーカーの話によると、シャワーの使用箇所によって異なるが、ファンノズルに白水を使用する場合、浮遊物質が大体 30 ppm 以下であることが望ましい。したがって、白水をシャワー水に使用するためには白水（洋紙工場の場合は原料回収装置の処理白水、板紙工場の場合は排水処理水）を更に浄化しておく方が無難である（もちろん、これらの白水をそのままシャワー水に再使用している例もあるが）。この白水の標準的な処理方法は濾過であるが、濾過器としては通常の水処理に用いる砂濾過器と最近、主に白水処理に売り出されている円筒状のフィルター（ステンレス鋼製の金網とポリプロピレン製の繊維を用いたもの）がある。このような砂濾過器やフィルターで処理した白水を再利用できるシャワーは今までの実例からいって次に示す箇所である。

円網抄紙機：抄箱の泡消シャワー水、
トップフェルトおよびボトムフェルトの
低圧外側シャワー水

長網抄紙機：フローボックス泡消シャ
ワー水、プレストロールシャワー水、耳
落しシャワー水、ワイヤーリターンロー
ルシャワー水、フェルトの低圧外側シャ
ワー水、スキャベジングシャワー水（プ
レスパートの溝付きロールの溝洗浄水。
このシャワー水がない抄紙機も多い）

その他：セーバー等の原料回収装置の
泡消しシャワー水、シクナーのシャワ
ー水、スクリーンのシャワー水

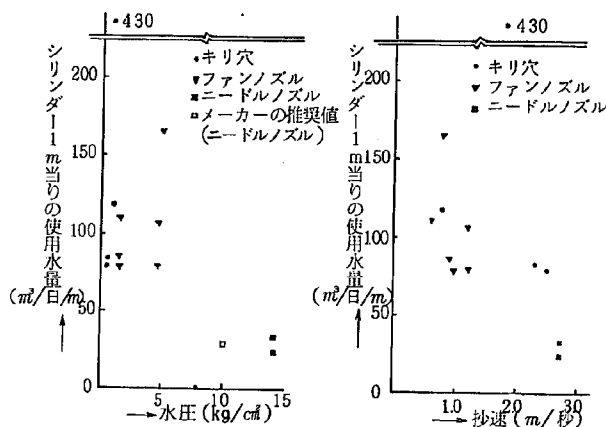


図 3-9-4 円網抄紙機のシリンダーシャワー水の調査結果（東京都内の 5 工場）

d. 白水循環による溶解物質濃縮の問題について：白水の循環利用を強化した場合によく出される問題として、溶解物質濃縮の問題がある。砂濾過器やフィルターで除去できるのは浮遊物質だけであるので、白水の循環率を高めれば、溶解物質の濃度が上昇することは避けられない。溶解物質濃度があまり高まると、スライム（微生物の固まり）などが発生しやすくなって、製品の仕上りに支障がでてくることもある。そこで、白水の循環率を高めた場合、溶解物質の濃度上昇がどの程度問題になるかを考えてみよう。今、原料から持ち込まれる A という溶解物質の量を P、新水の使用量を Q とすれば、白水中の A の濃度は P/Q で表わされる。P は一定であるから白水中の A の濃度は Q に反比例することになる。この濃度上昇がどの範囲までゆるされるかは生産量と水量との関係について実例で判断するのが簡明である。板紙工場については東京都内に全使用水量/生産量が 10 ml/t 強の工場がある。この工場は板紙の高級品（ライナー）を製造しているが、下水道料金の値上げによってここまで原単位を落している。したがって、板紙工場については 10 ml/t 位まで水を絞っても溶解物質濃縮の問題は避けられると考えてよい。一方、洋紙工場についてはこのような良い例が東京都内にないが、西ドイツでの試験結果によれば、限界原単位は新聞用紙で 10 ml/t 、グラビア用紙で 30 ml/t ということである。

③ 摺動式高圧ニードルノズルとファンノズルの適正化

図3-9-4の左は円網抄紙機のシリンダーシャワーについて水圧、ノズルの形状と使用水量の関係を調べたものであるが、同図をみてわかるように高水圧でニードルノズルを用いたものは低水圧でキリ穴又はファンノズルを使用したものに比べて著しく水量が少なく済んでいる。このニードルノズルとは図3-9-5に示すように針のように水を噴出するノズルのことであるが、このニードルノズルと15kg/cm²近くの高水圧、更に図3-9-6に示す摺動パイプを用いると、他の水洗方法に比べて1/5～1/3の水量で済ませることができる。特に洗浄効果を必要とするところはこの三つの組み合わせを採用して使用水量を大幅に削減すべきである。ニードルノズル・高水圧摺動式の組み合わせを使用すべき箇所として円網のシリンダーシャワー水、長網のワイヤークリーニングシャワー水、フェルトのシャワー水がある。ただし、フェルトのシャワー水については高圧シャワーを単独に用いると線状の跡がつくので、低圧シャワー水と併用すべきである。なお、ニードルノズルを用いた場合、

白水の使用は余程清浄な水質でないと困難である。

白水を使用できず、ニードルノズル等の組み合わせも用いられないシャワー水については適切なファンノズルを選んで適正な水量に調節することだけが水の節約となる。この場合は1kg/cm²位よりも3～4kg/cm²の水圧があった方が洗浄効果が高い。このようなシャワー水としては円網の耳切りシャワー水、フェルトの低圧部内側のシャワー水などがある。なお、ファンノズルは各シャワーの目的に適した形状のものが製作されているので、白水を使用するところもなるべく少ない水量で必要な洗浄効果を得られるよう、最適のファンノズルを選択すべきである。

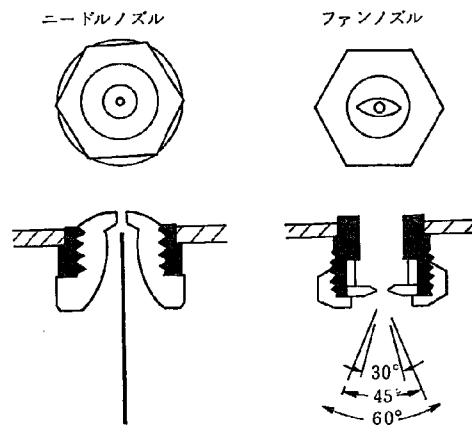


図3-9-5 ノズルの形状

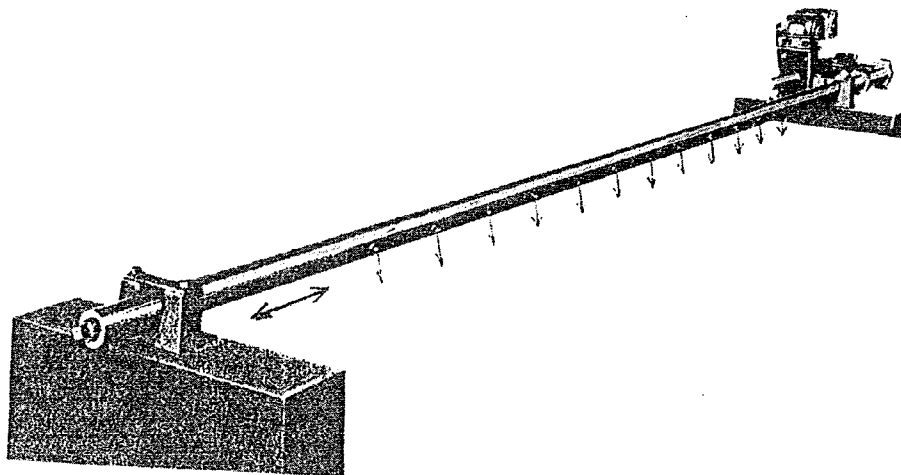


図3-9-6 摺動式シャワー

実際の工場ではパイプにキリで穴をあけたものを用いているところも少なくないが、キリ穴は洗浄効果が最も小さいので、ファンノズルに取り替えるべきである。

2) 特殊な条件の場合

希釈水への白水利用に関して次の二つの例外があるだけで、この他には標準的方法を適用できない例外はない。①板紙工場において板紙の表だけ、パルプを原料とする場合はパルパーでの溶解に故紙を含んだ白水は不適當で、新水を用いなければならない。②きわめて多品種小生産の製紙工場で抄紙機を通す紙の種類、色等が1日何回か変わる場合はパルパー等での希釈に色等の違う白水を用いることができない。

3) 同等以上の方法

標準的方法は排水の循環利用も組み入れたものであるので、他に同等以上の方法はない。

4) 必要水量の求め方

① 希釈水およびシャワー水のうち白水を使用する箇所：ゼロ

② 新水を用いる必要のある箇所の適正水量 ($m^3/日/m$ は抄幅 $1m$ あたりの水量を示す)

円網抄紙機：シリンダーシャワー水 $40m^3/日/m$ 以下、耳切りシャワー水 $30m^3/日/シリンダー$ 以下

長網抄紙機：ワイヤークリーニングシャワー水 $100m^3/日/m$ 以下

プレスパート：フェルトの高圧シャワー水 $40m^3/日/m$ 以下

フェルトの低圧内側シャワー水 $60m^3/日/m$ 以下

〔解説〕

新水を使用する必要のある箇所の上記の適正水量は東京都内の製紙工場の調査結果と抄紙機メーカーの標準水量から求めたものである。この適正水量は図3-9-4の右の図から明らかに抄速には関係しない。なお、白水を使用すべき箇所も白水の処理装置の能力を軽減する意味でむやみに使用水量を大きくすべきではないので、その適正水量を示しておく。

円網抄紙機：抄箱の泡消しシャワー水 $40m^3/日/m$ 以下

長網抄紙機：フローボックス泡消しシャワー水 $30m^3/日/m$ 以下、プレストロールシャワー水 $40m^3/日/m$ 以下、耳落しシャワー水 $100m^3/日$ 以下、ワイヤーリターンロールシャワー水 $50m^3/日/m$ 以下

プレスパート：フェルトの低圧外側シャワー水 $60m^3/日/m$ 以下、スキヤベジングシャワー水 $50m^3/日/m$ 以下

また、抄紙機には上記のシャワー使用箇所の他に、長網抄紙機のワイヤーパート上部の両端シャワー水、ダンディロールシャワー水、プレスロールの内部シャワー水などが使用されることがあるが、これらのシャワー水は通常は全使用水量に占める割合が小さいので特に過剰な使用をしない限り、現状のままとする。

5) 改善費用

① シャワーパイプの交換費用（適正なノズルを持つシャワーパイプを取り付ける費用）

長網抄紙機：ニードルノズル摺動式、高水圧のシャワーパイプ 70～110万円/本

ファンノズルのシャワーパイプ 20～30万円/本

円網抄紙機：ニードルノズル摺動式、高水圧のシャワーパイプ 40～70万円/本

ファンノズルのシャワーパイプ 20～30万円/本

- パイプ交換の工事費：5～10本で20～30万円
- (2) 高圧ポンプ：常用圧力15 kg/cm²，吐出量100～200 l/分で150～200万円/基
- (3) 白水処理装置（フィルターの場合）：処理水量1,000 m³/日で300～350万円

(10) ボイラー用水

1) 標準的な方法

間接加温に用いた蒸気のドレン（凝縮水）を全面回収する。ただし、新たにドレンを回収する箇所が非常に多い場合はドレン回収管の設置にかなりの期間を要するので、改善完了が他の用途より1～2年遅れることがあってもやむを得ない。

〔解説〕

ボイラーから発生した蒸気は各種用途に使われるが、大きくは間接利用と直接利用に分けられる。間接利用とは鉄や銅等のパイプを通して間接的に加温するもの、直接利用とは高温の薬液や熱湯等をつくるために生蒸気を薬液や水等に吹き込むものや、パンの蒸し機、空調の湿度調節器において空気中に蒸気を噴射するものをいう。一般には間接利用の方が直接利用より蒸気消費量が多い。この間接利用の使用後の蒸気は凝縮してドレン（凝縮水）となる。このドレンはいわば蒸留水のようなもので、きわめて清浄であるから、ボイラー用水として再使用することは容易である。

ボイラーへの補給水は純水処理が行われ、その処理にかなりの費用（70～100円/m³以上）がかけられている（小型ボイラーの場合は軟化処理だけなので30～40円/m³）。したがって、真水に近いドレンを回収利用することは補給水の純水処理費用の節減につながる。更に、ドレンは新水に比べてはるかに温度が高いから、ドレンの回収はボイラーの燃料費の節約にもなる。

このように、ドレンの回収はボイラー補給水の純水処理費用とボイラー燃料費を節約する効果があるので、この回収利用を多少なりとも進めているのが普通である。しかし、そのほとんどは不十分な回収にとどまっている。ドレンの回収利用を更に進めない理由としては次の三つがあるが、それぞれ、以下に述べるように技術的には解決が可能である。

- ① ドレン回収管の配管工事が面倒である。
- ② 蒸気管の錆（鉄や銅等）がドレンに混入する。
- ③ 腐食で蒸気管に穴があいて被加温流体が混入する恐れがある。

①について：以上の三つの理由のうち、既存の工場でいつも問題となるのは①である。蒸気の使用先が細かく分かれていて、1カ所1カ所の蒸気消費量が割合に小さい場合が普通であるので、既存の工場ではドレン回収を新たに進めることは冷却水の循環使用よりも配管工事が面倒なことが多い。しかし、この問題はドレン回収管の工事期間を長くして、配管工事を少しずつ進めていけば、解決できることである。

②について：高圧ボイラーを除けば、蒸気管の錆の混入がドレン回収で問題となることは少ないが、問題となる場合はろ過器を設置してドレン中の浮遊物質を除去すればよい。発電用ボイラーではセルロースのろ過助剤を使用するプレコート式ろ過器がドレン（復水）の処理に使われるが、通常のボイラーの場合

は綿糸を用いたカートリッジ型の濾過器の方が取扱いが便利である。

③について：腐食で蒸気管に穴があいて被加熱流体がドレンに混入することがある。例えば、染色機の加熱に用いた蒸気に染色液が混入したり、発電所の復水器から海水が侵入する場合である。発電所ではこの対策としてドレンをイオン交換塔に通しているが、通常の工場ではそこまで行う必要はない。ドレン回収管に塩分混入の自動警報装置（電気伝導度計とブザーの組み合わせた装置）を取り付けて、被加熱流体混入時にはドレンの回収を中断すればよい。

以上のように、①、②、

③ともドレン回収の障害にはならないので、間接使用蒸気のドレンを全量、ボイラーに回収することが必要である。このドレン回収の模式図を図3-10-1に示す。なお、新たな回収箇所が非常に沢山あるために回収管の配管工事にかなりの期間を要する場合は改善の完了が他の用途より1～2年遅れることがあってもやむをえない。

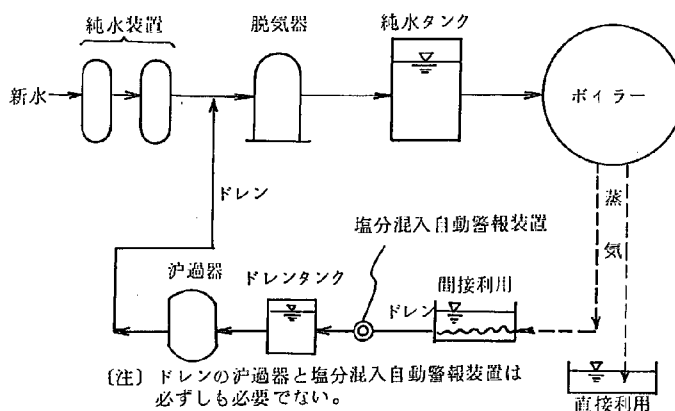


図3-10-1 ドレンの回収

2) 特殊な条件の場合

1) で述べたように、ドレン回収に伴う種々の問題は技術的解決が可能であるので、1) の標準的な方法を適用できない例外はない。

3) 同等以上の方法

同等以上の方法として考えられるのは間接使用蒸気のドレンを他用途に再利用する方法である。しかし、この方法の採用が認められるのはドレンの再利用先の用途で十分な水使用合理化が行われていて、その使用水量がドレンの発生量を上回っている場合だけである。というのは次のような例があるからである。某工場ではドレンを冷却塔の補給水に再利用しているが、ドレンの発生量が大いため、冷却塔では不十分な循環しか行われず、冷却塔から大量の水が排出されている。このような場合はドレンの冷却塔補給水への再利用を同等以上の方法とは認められない。ドレンをボイラーに回収することが必要である。

4) 必要水量の求め方

$$〔ボイラーへの必要給水量〕 = 〔蒸気直接使用箇所の蒸気消費量〕$$

5) 改善費用

① ドレン回収管の配管工事：全くケースバイケースであるが、一例だけを示しておく。例、約10

カ所のドレン合計 35 m^3 /日の回収で約 200 万円

② 塩分混入の自動警報装置：約 10 万円

③ カートリッジ型のドレン濾過器：4 m^3 /時で約 100 万円

(11) その他の用途（各種工場）

工場では以上述べた主要用途の他に、種々の用途にも水を使用している。それらの用途も合計すると、結構大きな水量になるので、それらの水使用合理化方法を整理しておくことにする。

なお、工場でも使用されているが、むしろ工場以外の事業所でウエイトの高い使所用水、研究実験用水等については次節で解説する。

1) 標準的な方法

Ⅰ. 生産用流しの洗浄水

不使用時の給水をカットするため、次の四つの方法のうち、流しの利用状況と作業の内容に適したものを選ぶ。

- ① ペダル式給水弁を取り付けて、ペダルを踏んだ時のみの給水とする（印刷工場の流し、水洗テーブル、表面処理工程の流し等）。
- ② マットスイッチと電磁弁を取り付けて、作業者が流しの前に立った時のみ給水する（表面処理工程の流し等）。
- ③ タイマーと電磁弁を取り付けて、給水を一定時間に限る（印刷工場、フィルム製造工場等の現像用流し）。
- ④ ワンタッチコックを取り付けて、コックの開閉をこまめに行えるようにする（食品工場の流し等）。

Ⅱ. 連続洗浄機における洗浄水

次の三つの方法のうち、適用可能なものを併用するか又は単独に用いる。

- ① 品物の通過を感知する自動感知器（マイクロスイッチ等）を取り付けて、給水を品物の通過時のみに限る。
- ② 水洗箇所を 2～3 段に分けて向流 2 段又は 3 段洗浄とする。
- ③ 手近に比較的清浄な排水を排出する装置があれば、その排水を新水の代りに使用する（カスケード方式）。

適用例 ①と②の併用：印刷工場の印刷用原版剥膜機、原版整面機、表面処理工場のネームプレート板印刷前処理機

②と③の併用：飲料工場の洗箱機（洗びん機排水の再利用）

③の単独使用：市乳工場のびん前洗機（洗びん機排水の再利用）

Ⅲ. 加温水

次の二つの方法のうち、いずれかを採用する。

- ① 排水を蒸気で加温して循環使用する。100%の循環使用を原則とするが、循環使用により汚れが蓄積して支障がでてくる場合は循環水の一部を排出する。

(2) 手近に比較的清浄な排水を排出する装置があれば、その排水を新水の代りに用いる。

- 適用例
- ①の方法 { 100%循環：ヒートポンプ（冷暖房兼用冷凍機）の暖房時の使用水
循環水の一部を排出：デフロスト用水（冷蔵庫蒸発器の霜取り用水）、冷凍肉等の解凍用水
 - ②の方法 { 洗びん機排水の再利用：びんのウォーマー、パストライザー
缶洗浄機排水の再利用：缶のウォーマー

IV．用排水処理装置（砂ろ過塔、活性炭吸着塔、イオン交換塔）の逆洗再生水

次の二つの方法を併用する。

- ① 逆洗再生排水の濃度変化を調べて、逆洗再生時間を排水が清浄になるまでの時間に限る。
- ② 逆洗再生排水のうち、多量の浮遊物質や再生薬品を含む最初の部分を排出して、残りの排水を水槽に回収して再使用するか又は原水槽に戻す。

V．その他の用途

水使用合理化の四原則のうち、洗浄水はⅠとⅡとⅢの併用又はⅣの単独使用、洗浄水以外はⅡ又はⅣの単独使用を可能な限り進めるが、少なくとも次の例のように、Ⅱの原則を適用する方法を考える。

例1. ポンプのシール水（小口の場合）：電磁弁をシール水の給水管に取り付けて、ポンプの稼動と連動させ、ポンプ停止時の給水を止める。

例2. タンク屋根散水（危険物を貯蔵するタンクや倉庫等の夏場散水）：雨天時や夜間の散水を自動的にカットできるよう、タンク等の表面に電気温度計を取り付けて一定温度以上になった場合にのみ電磁弁で自動的に散水する。

〔 解 説 〕

Ⅰ．生産用流しの洗浄水について

上記①～④の四つの方法は次のように流しの利用状況と作業の内容によって選択される。

a. 作業者が流しの前で作業している時以外は給水が必要でない場合

- a-1. 作業の姿勢として、ペダルの足踏みを続けることが可能な場合 → ①. ペダル式給水弁
- a-2. その他の場合 → ②. マットスイッチと電磁弁

b. 作業者が流しの前で作業している時以外も給水が必要なことがある場合

- b-1. 1回の使用の必要給水時間がきまっている場合（現像等） → ③. タイマーと電磁弁
- b-2. その他の場合 → ④. ワンタッチコック

各方法の具体的な内容を次に示す。

① ペダル式給水弁方式：図3-11-1(1)に示すように作業者がペダルを踏んでいる時のみ給水が行われるようにする。このためには給水弁そのものがペダル式になっているものか、又はペダル式スイッチと電磁弁を組み合わせたものを用いることが必要である。前者の方が電気の配線が不要なため、取り付け工事は簡単であるが、耐久性は後者の方がよいようである。この方法は印刷工場の流し、水洗テーブル、表面処理工程の流し等に利用される。

② マットスイッチと電磁弁方式：流しの前にマットを敷き、マットの上に作業者が乗ると電磁弁が開

き、作業者が流しから離れると電磁弁が閉じる方法である(図3-11-1(2))。使用水量の削減率は①の方が優れているので、作業の姿勢上、ペダルを踏み続けることが無理な場合のみ利用される。この方法は主に表面処理工程の流しに用いられる。

③ タイマーと電磁弁方式：現像用流しのように一回の使用に必要な給水時間(現像用流しの場合はフィルムや印画紙の水洗必要時間)がきまっている場合はタイマーと電磁弁を取り付けて一回の給水時間を限定する(図3-11-1(3))

④ ワンタッチコック方式：通常のバルブはバルブ位置が蛇口から少し離れていることと、開閉に多少の回転を要するため、必要に応じてこまめに閉めるのが面倒である。そこで、蛇口を少し上下又は横振りするだけで簡単に開閉できるワンタッチコック(図3-11-1(4))を取り付けてバルブの開閉がスムーズに行われるようにする。これによって、必要時のみ給水することが容易となる。

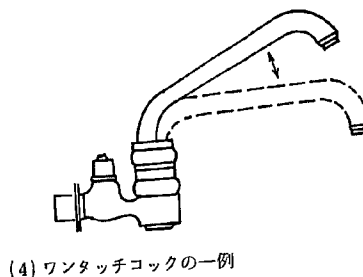
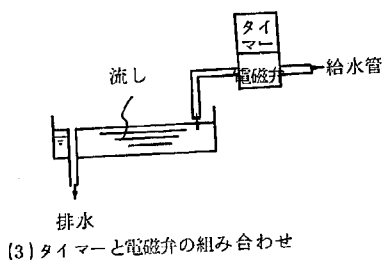
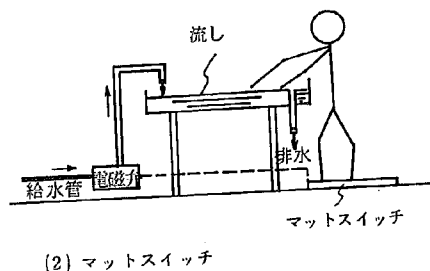
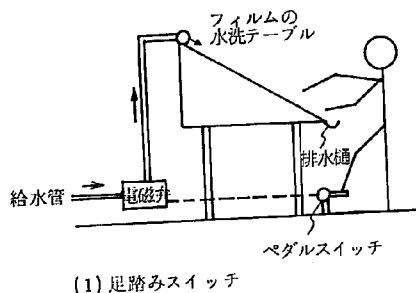


図3-11-1 流し及び流しに類似するものの改善方法

ii. 連続洗浄機における洗浄水について

次に示す例のように上記①、②、③の三つの方法を各連続洗浄機に適用することが可能かどうかを検討して、適用可能なものをできるだけ多く選択する。

例1. 印刷工場の印刷用原版の剥膜機、整面機、表面処理工場のネームプレート板印刷前処理機：これらの連続洗浄機は図3-11-2(1)に示すような構造になっている。まず、①の方法(不要水のカット)については品物がコンベアに載って洗浄機を通過する間隔が比較的に長いので、適用は可能である。次に②の方法(向流多段洗浄)についてはBタイプの場合、水洗箇所がもと二つ以上に分かれているし、Aタイプの場合もいくつかあるスプレーノズルを二つ以上に分けることは可能であるので、この方法も適用することができる。最後に③の方法(カスケード方式)は手近に比較的清浄な排水がないので、適用は無理で

ある。以上の検討によって①と②の方法を適用して改造した例が図3-11-2(2)である。

例2 飲料工場の洗箱機(びん等の箱を洗うもので、予備水洗→洗剤洗浄→最終水洗の順序になっている)とびん前洗機(洗びん機にかける前に、牛乳びん内部のゴミを取り除くためのもので、高圧洗浄部と低圧洗浄部から成っている)：まず、①の方法(不要水のカット)は洗箱機の場合、各水洗が循環方式になっていて、その補給に新水が使用されているので、適用してもあまり意味がない。そして、びん前洗機についてはすでに①の方法が導入されているのが普通である。次に②の方法については洗箱機の場合は予備水洗と最終水洗の二つに分けることができるので、適用可能であるが、びん前洗機の場合は前段の高圧洗浄部が比較的清浄な水を必要とするので、後段の低圧洗浄部の排水は使えない。③の方法についてはすぐ近くの洗びん機から比較的清浄な排水が排出されているので、洗箱機、びん前洗機ともその排水の再利用が可能である。ただし、びん前洗機は使用水量が割合に大きいので、余った洗びん排水で使用水量の半分位しか賄えないこともある。以上の検討によって洗箱機に②と③、びん前洗機に③の方法を適用したのが図3-11-3である。

Ⅲ. 加温水について

加温水には地下水の恒温性(年中16～18℃)を利用してそのまま用いる場合と蒸気で地下水を30～40℃以上に加温して用いる場合の二通りがある。前者の例がヒートポンプ(冷暖房兼用冷凍機)の暖房時の使用水、デフロスト用水(大型冷凍機の蒸発器の霜取り用水)、冷凍肉等の解凍用水であり(図3-11-4(1),(2),(3)の左側参照)、後者の例がビールのパストライザー(ビールをびんに充填後、殺菌する装置で加温部と冷却部がある)の加温部や缶、びんのウォーマー(冷たいビールや清涼飲料を充填した缶やびんの外側に水滴がつかないように加温する装置)である。前者の場合は地下水を一度使用すると、水温が下がるため、そのまま捨てるのが普通である。一方、後者の場合は加温に蒸気を使用するので、エネルギー節約のため、排水の循環利用が行われているが、完全循環でないことが多い。

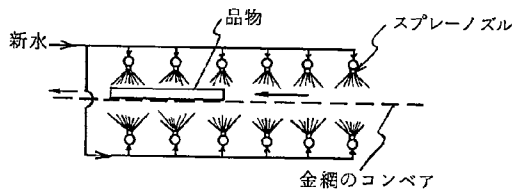
a. 地下水の恒温性を利用している場合(ヒートポンプの暖房時使用水、デフロスト用水、解凍用水)：この加温水を循環使用するためには蒸気による加温が必要である。そこで、排水を水槽に回収して蒸気で加温した上で循環使用する。ヒートポンプの暖房時使用水は排水への混入物質がないので、ほぼ100%の循環使用が可能であるが、デフロスト用水や冷凍肉等の解凍用水の場合は混入物質によって循環水が次第に汚れてくるので、循環水の一部を排出することが必要である(図3-1-4(1),(2),(3)の右側参照)。

b. 蒸気で加温している場合(パストライザーの加温部、ウォーマー)：この場合はすでに循環使用しているので、100%循環に近づけることが第一段階の方法として必要である。びん充填後のビールのパストライザー(加温部)やウォーマーについては排水をほぼゼロにしている実例がある(洗びん機の排水を再利用している例もあるが、図3-11-5は前者の例を示す)。ビールや清涼飲料の缶のウォーマーの場合は缶に口が直接触れるので、循環水に汚染物質が蓄積しないよう、循環水の一部を多少排出せざるをえない。しかし、手近に、比較的清浄な、缶洗浄機の排水が得られるので、第2段階の方法として、その排水を循環水の補給水に用いる。したがって、この場合はいずれにせよ、使用水量がほぼゼロに近づく。

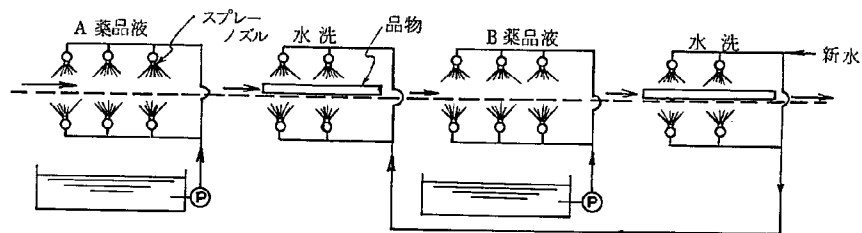
Ⅳ. 用排水処理装置の逆洗再生水について

砂ろ過塔はろ過を継続していくと、捕捉された浮遊物質がろ層内にたまって閉塞を起すので、時折、逆洗を行ってろ層内の浮遊物質を洗い出す。活性炭吸着塔は有機物質や残留塩素等を吸着するためのものであるが、同時に浮遊物質も捕捉してしまうので、砂ろ過塔と同様に逆洗を行う。ただし、砂ろ過塔に比べ

A タイプ

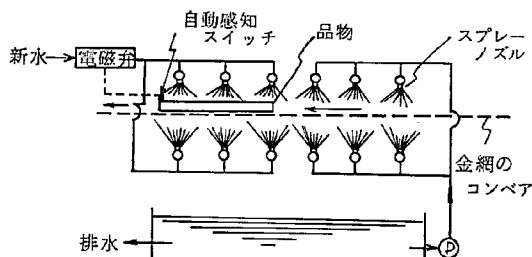


B タイプ



A タイプ

(1) 改善 前



B タイプ

(2) 改善 後

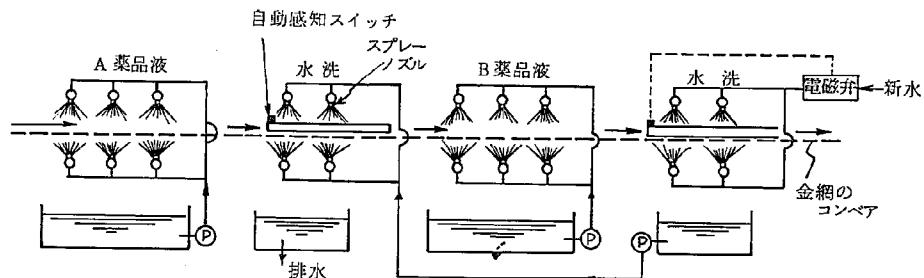
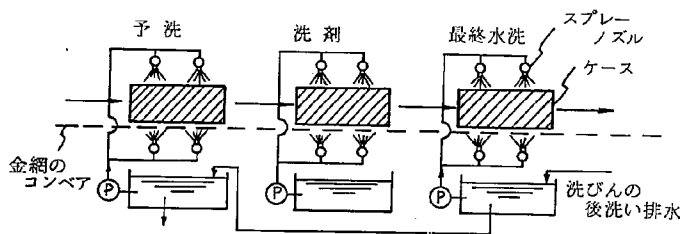
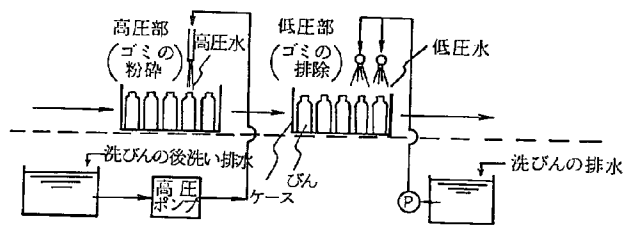


図 3-11-2 連続洗浄機（表面処理工場のネームプレート板印刷前処理機等）の改善方法



(1) 洗箱機



(2) びん前洗い機

図 3-11-3 洗箱機とびん前洗機の改善方法

て逆洗頻度は少ない。そして、イオン交換塔は吸着したイオンで飽和すると、再生剤（塩酸、苛性ソーダ、食塩等）を用いて吸着イオンを追い出すが、この後、再生剤を洗い出すために多量の水を用いる。このような砂濾過塔、活性炭吸着塔、イオン交換塔の再生逆洗水を節減するためには次の二つの方法を用いることが必要である。

①の方法（逆洗再生時間の適正化）：逆洗再生排水の濃度変化を調べると、排水の最初の部分は浮遊物質や再生剤の濃度が高いが、時間とともに、濃度は次第に低下していく。実際の工場ではこの

濃度が十分に低下して排水が清浄になった後もしばらく排水が続けていることが多い。そこで、この排水の濃度変化を調べて、清浄になるまでの時間に逆洗再生時間を限るようにする。

②の方法（逆洗再生排水の回収）：砂濾過塔や活性炭吸着塔の逆洗排水には浮遊物質しか含まれていないから、浮遊物質さえ取り除けば再使用が可能である。濾過塔や吸着塔の前に沈澱槽がある場合は逆洗排水中の浮遊物質をその沈澱槽で落せるので、沈澱槽の前にある貯留槽に逆洗排水を戻す（沈澱槽に直接戻さないのは逆洗時に沈澱槽に対して衝撃負荷を与えないためである）。ただし、用水処理に砂濾過塔や活性炭吸着塔を用いている場合は原水槽に多くの浮遊物質を持ち込まない方がよいので、逆洗排水の最初の濃厚な部分は捨てる必要がある。そして、イオン交換塔の場合は再生剤を多く含む再生排水の前半部を捨てて、後半部をタンクに回収すれば、その回収水を次回の再生の前半部に用いることができる。

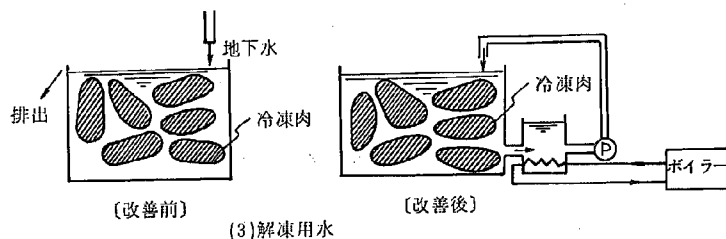
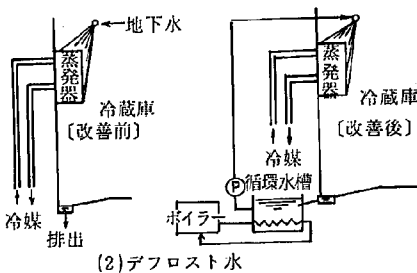
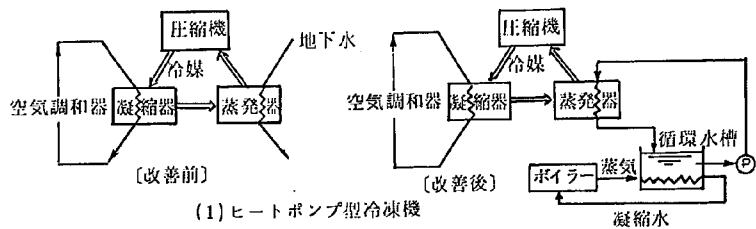
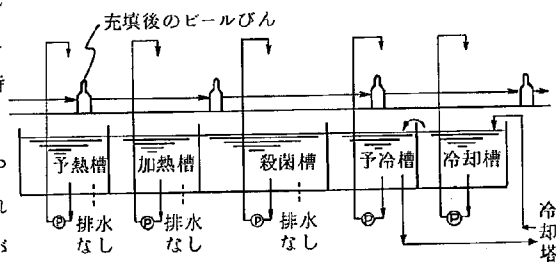


図 3-11-4 加温水の改善方法



V. その他の用途

以上説明してきた用途で工場における水利用用途のほとんどをカバーできると考えられるが、一部の工場ではそれ以外の用途にもかなりの水を使用していることがある。それらの用途についても以上説明してきた具体的な水使用合理化方法を参考にして、適当な方法を考え出すことが必要である。すなわち水使用合理化の4原則の適用を考えることになるが、もう少し詳しく述べれば、洗浄水に対しては原則Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの併用かⅣの単独使用、洗浄水以外の用途に対してはⅡ又はⅣの単独使用を検討することが必要である。

そして、この検討によって、各原則の適用がむずかしいと考えられる場合でも少なくともⅡの原則は適用すべきである。Ⅱの原則を適用するためには、次の二つの例に示すように「対象用途に水が必要となるのはどういう条件のときか」をよく見きわめて、必要となる時を自動的に感知してその時だけ給水する方式を考えだすことが必要である。

例1. ポンプのシール水(封水)：シール水はポンプが稼動している時のみ必要である。そこで、小口のポンプシール水(2～3 m^3 /日以下のもの)についてはシール水の給水管に電磁弁を取り付けて、ポンプの稼動と連動して弁が開くようにする(なお、大口のポンプシール水は冷却塔で循環使用する。(1)の2)参照)。

例2. タンク、屋根散水：危険物を貯蔵するタンクや倉庫は夏場、日射によって温度が上りすぎるのを防ぐため、タンクや倉庫の屋根に散水することがある。しかし、この散水は日射による温度上昇を防ぐためのものであるから、夜間や雨天時など、温度が低い時は不要である。そこで、タンクや屋根の表面に電気温度計を取り付けて一定温度以上になった場合にのみ、電磁弁で自動的に給水する方式を採用する。

2) 必要水量の計算方法

必要水量を次のように求める。

i. 生産用流しの洗浄水

$k \times [\text{現在の使用水量}(\text{m}^3/\text{日})]$ k は $1/3 \sim 3/4$ の範囲内で水使用状況により仮定する。

ii. 連続洗浄機における洗浄水

・一般の連続洗浄機(①と②の方法を適用)： $k \times \frac{1}{n} \times [\text{現在の使用水量}(\text{m}^3/\text{日})]$

k は $1/3 \sim 3/4$ の範囲内で水使用状況により仮定し、 n は向流2段に改造する場合は2、3段に改造する場合は3とする。

・飲料工場の洗箱機(②と③の方法を適用)：ゼロ

・市乳工場のびん前洗機(③の方法を適用して洗びん排水を前段、後段の両方か又はどちらかに用いる)：ゼロ又は $1/2 \times [\text{現在の使用水量}(\text{m}^3/\text{日})]$

iii. 加温水

・ヒートポンプの暖房時使用水(①の方法を適用)：ゼロ

・デフロスト用水、解凍用水(同上)： $1/10 \times [\text{現在の使用水量}(\text{m}^3/\text{日})]$

・缶、びんのウォーマー、パストライザー加温部(①又は②の方法を適用)：ゼロ

iv. 用排水処理装置の逆洗再生水

$k \times p \times [\text{現在の使用水量}(\text{m}^3/\text{日})]$ k は余分な逆洗再生時間の短縮の割合を示すもので、逆洗再生排水の濃度変化の調査結果によってきめる。ただし、通常は $0.4 \sim 0.9$ の範囲にある。 p は回収利用の可能割合を示すもので、装置の種類によって次の値を用いる。

用水処理の砂濾過塔、活性炭吸着塔：1/5，排水処理の砂濾過塔、活性炭吸着塔：0，イオン交換塔：1/2

V. その他の用途

ポンプシール水（小口），タンク屋根散水もⅰと同じ式より求めるが，kはシール水の場合1/5～1/3，散水の場合は1/4程度の値を用いる。

3) 改善費用

ⅰ～Ⅴの用途の改善費用のうち，ⅱ・ⅲ・Ⅳの改善の大半を占める工事費は各装置の条件によってケースバイケースであって一般的な数字を示すことが困難であるので，ⅰ，Ⅴおよびⅱの一部で用いる水節約関係機器のコストだけを示しておく。

- ・足踏み給水弁：7,000～15,000円／個
- ・足踏みスイッチ：7,000円／個
- ・マットスイッチ：6,000円／個
- ・タイマー：5,000～6,000円／個
- ・電磁弁：

口徑	13 mm	19 mm	25 mm
価格	13,000円／個	18,000円／個	23,000円／個
- ・マイクロスイッチ：300～500円／個
- ・電気温度計：5～6万円／個

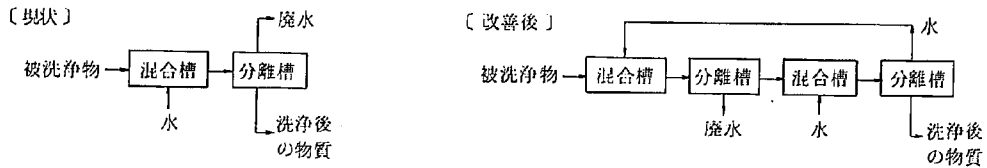
〔補 足〕

化学工場のプロセス用水の水使用合理化について

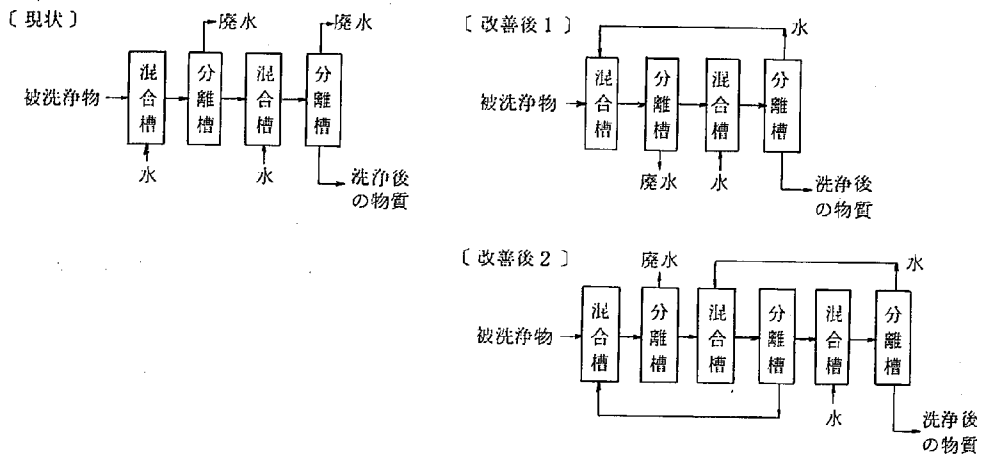
今まで述べてきた工業用水の水使用合理化方法の中には石油化学工場や石油精製工場等のプロセス用水が含まれていない。プロセス用水は各工程ごとにバラエィティがあるため，標準的な方法を見つけ出すことがむずかしいからである。しかし，プロセス用水のうち，液状又は粒状物質の洗浄水については水使用合理化の原則Ⅲ（向流多段洗浄の導入）を適用できることが少なくないので，プロセス用水といえども原則Ⅲの適用を第一に検討してみる必要がある。図3-11-6の(1)は現状が1段洗浄のものを向流2段洗浄へ改善する例であり，同図(2)は現状が並列の2段洗浄のものをまず第1段階として向流2段洗浄に改善し，次に第2段階として向流3段洗浄に改善する例である。これらの改善による水量の削減はメッキ洗浄水と同様の式が適用できると考えてよい。すなわち，改善後の必要水量は近似的には1段を向流2段に改善した場合は $\sqrt{(Q_0+D)D}-D$ （ Q_0 ：改善前の洗浄水量， D ：被洗浄物の量， $D \ll Q_0$ の場合は改善後の必要水量は $\sqrt{Q_0 \cdot D}$ で示される），並列2段を向流2段に改善した場合は $1/2 Q_0$ ，更に向流3段に改善した場合は $\sqrt[3]{(Q_0+D)^2 D}-D$ で表わされるので，この改善による水量削減の効果は大きい。以上は回分式の洗浄装置の場合であるが，同図(3)に示す連続洗浄塔の場合も同様であって，改善の方法は塔頂を長くすることによって理論段数を増加することである。このような向流多段洗浄の導入によってプロセス用水の水量を大幅に削減できれば，排水処理対策としてその意味するところは大きい。多くの化学工場ではプロセス排水を活性汚泥処理装置で集中処理しているが，この場合，プロセス排水の中で生物の食餌になりにくい有機物質がほとんどそのまま流出してしまうことが多い。しかし，上記の方法でプロセス排水の水量が大幅に減少すれば，図2-3のイースト排水の例で示したように生物学的処理に頼らない根本的な処理方法を導入する

道が開ける。その点でもプロセス用水については上記の方法の適用の可能性を十分に検討する必要がある。

(1) 現状が1段洗浄の場合（向流2段洗浄への改善）



(2) 現状が並列2段洗浄の場合（第1段階：向流方式の導入：第2段階：段数の増加）



(3) 現状が連続洗浄塔の場合（理論段数の増加）

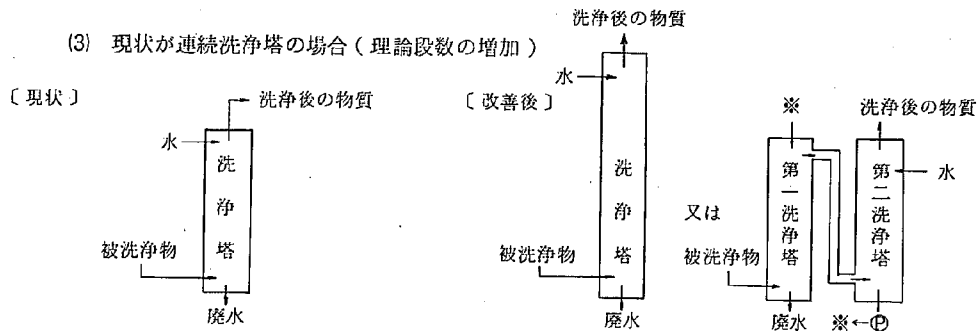


図3-11-6 液状、粒状物質洗浄水への向流多段洗浄の導入

2. 都市活動用水

工場以外の事業所でも工場と共通の用途に水を利用していることが少なくない。特に多いのが冷却水で、大半の事業所は冷房や各種機器の冷却に水を使用している。このような工場との共通用途については重複を避けるため、ここでは解説を省略して、それ以外の水利用用途について解説することにする。

(1) 便所用水

1) 標準的な方法

高置水槽式男子便所用水

次の①～⑥のいずれかの方法を採用する。ただし、③～⑥が望ましい。

- ① 電磁弁とタイムスイッチを取り付けて夜間の放流をなくす。
- ② 電磁弁を取り付けて、電灯スイッチと連動させ、夜間の放流をなくす。
- ③ 洗浄弁（フラッシュ弁）を各小便器に取り付けて使用毎の給水に限る。
- ④ 使用者をカウントして、一定人数になれば、便器に水を流す装置を取り付ける。
- ⑤ 便器の使用を自動的に感知して使用毎に便器に水を流す装置を取り付ける。
- ⑥ 各便所を中央制御にして①の1日タイムスイッチ以外に、洗浄間隔タイマーなど、いくつかのタイマーを取り付けて、給水時間だけでなく、高置水槽から便器への落下間隔や休日の給水カットなど、細かい制御を行う。

〔解説〕

高置水槽式男子便所用水を削減する方法として①～⑥の六種類の方法がある。各方法の内容を図解したのが図3-12-1である。①と②の方法は水量の削減効果が他の方法よりも通常劣るので、なるべく③～⑥の方法を採用することが望ましい。①と②については給水時間をタイムスイッチ等で限るだけでなく、給水量を適正に（高置水槽から便器への落下間隔を15分以上に）保つことが必要である。

2) 特殊な条件の場合

標準的な方法を適用できない例外はない。

3) 同等以上の方法

総合排水の再利用：すでに排水処理設備が完備している事業所においてその処理設備に比較的近い便所のみ処理水を再利用することができる。

〔解説〕

高置水槽式男子便所用水などの便所用水に総合排水を再利用するためには活性汚泥処理などの二次処理設備に凝集沈澱、砂り過の三次処理設備を追加することと、処理水専用の給水管を各便所に配管することが必要である。この点で、二次処理設備さえ設置されていない一般ビルで排水の再利用を行うのはまず困難である。独自の排水処理設備を持つ郊外の研究所、大学、病院（工場）などの事業所に限られるであろう。しかし、これらの事業所に三次処理設備を導入して処理水の再利用を行おうとしても処理水専用の給水管を事業所の中に張り巡らさなければならない。実際に既設の事業所でこの二重配管を行うのは大変な工事が必要であるので、通常、処理水の再利用先は排水処理設備に比較的近い便所のみに限られてしまう。

4) 必要水量の求め方

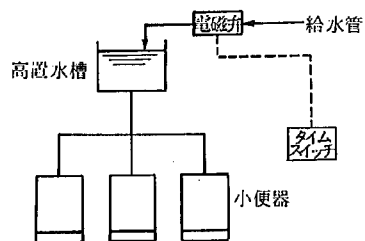
次式から求める。

①，②の場合（タイムスイッチや電灯スイッチ連動による給水時間の制御）：

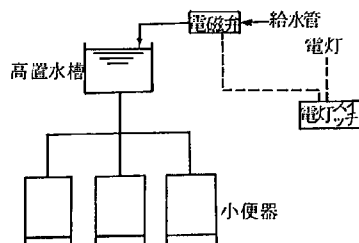
$$\frac{\text{高置水槽の合計容積(L)}}{0.25 \text{ (時間)}} \times 1 \text{ 日給水時間 (時間/日)}$$

③～⑥の場合（洗浄弁式，使用者カウント式，自動洗浄式，集中制御式）：

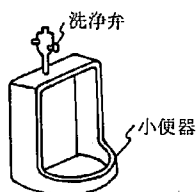
15 ℓ/人・日×男子従業員数（人）



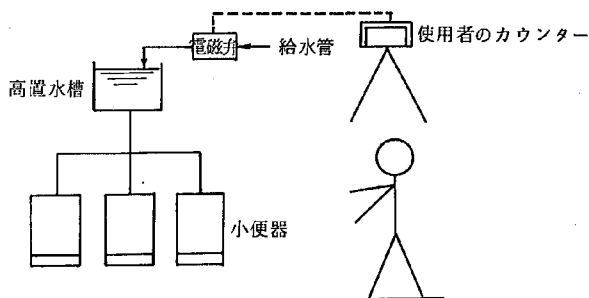
(1) 電磁弁とタイムスイッチの取り付け



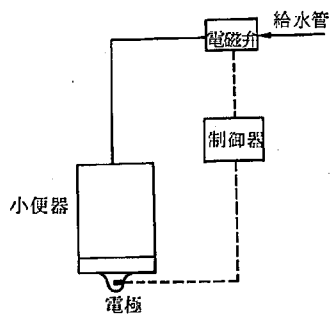
(2) 電灯スイッチと電磁弁の連動



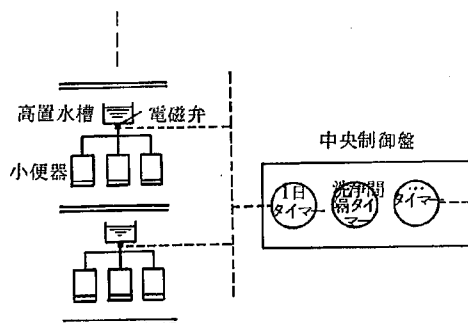
(3) 洗浄弁（フラッシュ弁）



(4) 使用者カウント方式



(5) 自動洗浄方式



(6) 集中制御方式

図 3-12-1 高置水槽式男子便所用水の改善方法

5) 改善費用

①、② 電磁弁とタイムスイッチ

電磁弁	口径	13 mm	19 mm	25 mm
	価格	13,000円/個	18,000円/個	23,000円/個
タイム スイッ チ	停電補償なし 1日周期	停電補償付き 1日周期		停電補償付き 1週間周期
		3,000～5,000円/個	20,000円/個	50,000円/個

③ 小便器洗浄弁：5,000円/個（工事費別）

④ 使用者カウント方式：1カ所（高置水槽1個）に付き、約14万円（工事費別）

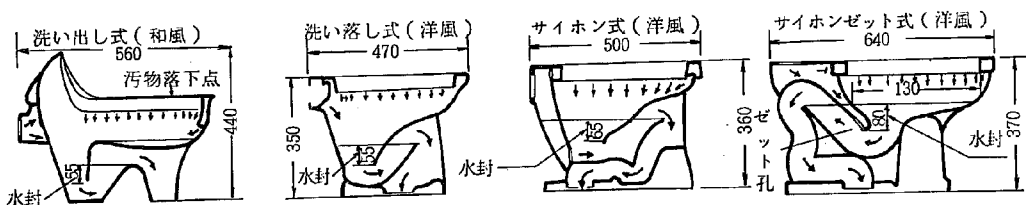
⑤ 自動洗浄式（尿感知式又は赤外線感知式）：1便器に付き 約5万円（工事費別）

⑥ 集中制御方式：1カ所に付き13～15万円（工事費込み、10カ所程度ある場合）

〔補 足〕

その他の便所用水の水使用合理化について

この項では高置水槽式男子便所用水の水使用合理化についてしか解説していないが、その他の便所用水すなわち大便器を使用する便所用水も水使用合理化を進めることは可能である。まず、便器の種類と給水方式について説明しておく。便器の種類は図3-12-2に示すように四つの種類がある。洗い出し式、洗い落し式、サイホン式、サイホンゼット式であって、洗い出し式は和風便器用、その他は洋風便器用である。洋風便器については一般住宅の80%が洗い落し式であるが、ビルの場合はサイホン式やサイホンゼット式もよく用いられる。水洗効果や臭気の面ではサイホンゼット式が最も優れ、次いでサイホン式、洗い落し式、洗い出し式の順序となる。給水方式はタンク式とフラッシュバルブ式がある。タンク式にはロータンク式とハイタンク式があるが、いずれにせよ、タンクに貯めた水を洗浄時に排出する方式である。フラッシュバルブ式は給水パイプから直接、洗浄時に大量の水を給水する方式であるので、大口径の給水



洗浄水の水勢のみで留水面を押し流し、トラップ内に汚物を排出する方式で留水面が極端に浅く（狭く）汚物が空中に露出するため、使用中に臭気が発散しました、同時に乾燥面が広く、汚れが付着し易い等、衛生上感心しないが、一般の和風便器に最も多いタイプである。

洗浄水の水勢のみで流すタイプだが、汚物は水中に落下、水没するので、洗い出し式に比べ、臭気が少なくなる。しかし、留水面が狭く、乾燥面に汚れが付着し易いが、最近デザイン変更を行ない、その欠点を形状でカバーしている。

洗落し式より留水面および水封深が大きく、リム回りから出る洗浄水と噴水孔により排水路内を満水させてサイホン作用を起させ、迅速に汚物を吸引・排出する。

ゼット孔から噴出する水によって排水路は強制的に早く満水されて、サイホンが起り、吸引、排出を行なうタイプである。これは全く落差を利用しないため、留水面は殆んど便鉢をおおうようにすることができる。したがって汚物が完全に水没し、使用位置と水面までの距離が近いこともあって、臭気のはらぎは殆どなく、しかも、汚物落下地点は浅く設計されているので「おつり」も殆どなく極めてすぐれた便器といえる。

図3-12-2 便器の種類（Iメーカーの資料による）

管 (25 mm) と比較的高い水压を必要とする。

この使所用水を減らす方法としては次の三つが考えられる。

- ① フラッシュバルブ式のものとは連続使用して水を浪費することが多いのでタンク式のものに取り替える。
- ② 最近売り出されている節水型便器に取り替えて 1 回の洗浄水量を減少する (ロータンク型のもののみ可能)。そして、便器を新たに取り替えることが困難な場合はタンクの中に充填物を入れて洗浄水量を少し減少する。
- ③ 女性が小の使用の場合の洗浄水量を少なくするよう、大小切替方式にする (洗い出し式と洗い落し式の場合にのみ可能)。

それぞれの方法について少し説明しよう。

① フラッシュバルブ式の取り替え：フラッシュバルブ式は使用者の恣意的なハンドル操作、すなわち過長時間操作と操作回数過多により、過剰な洗浄水量を放流してしまうことが少なくない。また、一旦故障が発生して水が放出し状態になると、短時間内に大量の無駄水を放流する結果ともなる。その点で水を浪費しやすいフラッシュバルブ式をタンク式に切替えるべきである。ロータンク一基は 6,000～9,000 円の値段段であるが、この他に給水管工事が必要である。

② 節水型便器：最近、各衛生陶器メーカーから節水型便器が売り出されている (ロータンク型のみ)。便器の形状や給水方法等を改善したもので、表 3-12-1 に示すように在来型と比較して洗浄水量がかなり減少する。特に I メーカーのものは洗落し式の洗浄水量を在来型の 12 ℓ から 5 ℓ まで減らすことができる

(構造は図 3-12-3

表 3-12-1 節水型便器の洗浄水量

		洗 落 し 式		サイホン式 (Tメーカー)	サイホン ゼット式 (Tメーカー)
		Tメーカー	Iメーカー		
タンク容量	在 来 型	11	11	13	15
	節 水 型	8		9	9
1 回あたりの 洗浄水量	在 来 型	12	12	16	20
	節 水 型	8	5	12	13
節 水 率		33%	58%	25%	35%

(注) タンク容量より 1 回あたりの洗浄水量が多いのはタンクが空にならないうちに給水が始まることと、サイホン式とサイホンゼット式の場合、サイホン現象を起すのに別に水が消費されるからである。ただし、I メーカーの節水型はタンク容量の約半分が洗浄水量となる。

すなわち、節水型は少ない洗浄水量で便器から汚物を流し去ることができるが、水量の減少はその後の排水管の詰まりを起すのではないかと心配である。この点については、節水型の機種によっては汚物の排出時期を在来型より早めて搬送能力を高めているものもあるので、そのような機種を導入すれば、搬送能力の低下はそれほど問題にならないと考えられる。

この節水型への転換は便器そのものを全部取り換えなければならないので、短期間のうちに進めることはできない。そこで、とりあえず簡単にできる方法として (洗落し、洗い出しの場合に限るが) タンクの中に充填物 (例えば水を入れたポリタンク) を入れて 1 回の洗浄水量を在来の 12 ℓ から 9～10 ℓ に減らすことを勧めたい。現行の 12 ℓ は洗浄効果、搬送能力の面で余裕をみた水量であり、多少水量を落してもこれらの機能に問題が出ることはほとんどないと考えられる。

- ③ 大小切替式：洗落し式や洗い出し式便器は住宅の場合、大小切替式になっているものが少なくないが、ビルの女性用便所の場合、大小切替式のものはいまだである。女性は小の使用でも紙を使うので大の方の水量

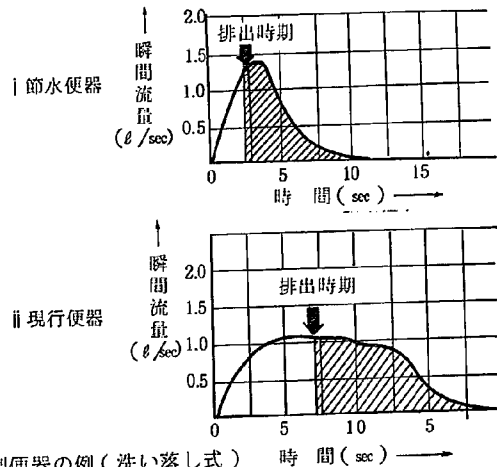
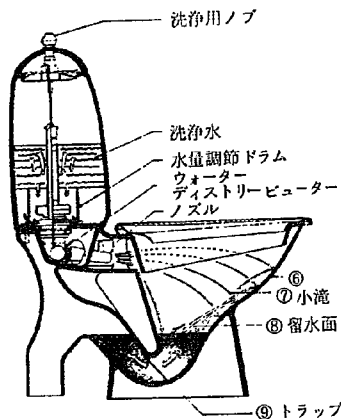


図 3-12-3 節水型便器の例(洗い落し式)

を流すことがメーカーから勧められている。しかし、埼玉県所沢市の20家庭を調査した結果では大小切替式便器の所有家庭において女性の60%が大小切替を行っている、洗浄効果や排水管の問題を生じていなかった。この調査結果から考えて、女性の小の使用は大小切替の小の水量(通常は5ℓ/回以下)で十分である。したがって、ビルの女性用便所も大小切替式にして、小の使用の際は小の水量を流すようにすべきである。ただし、大小切替式はサイホン式、サイホンゼット式便器に用いられず、洗落し式や洗出し式の便器でロータंकの場合に限られる。その理由はサイホン式、サイホンゼット式の場合、サイホン現象で水を流すため、タンク内の水の一部だけを排出することができないからである(洗落し式および洗出し式の場合は小の洗浄の際、レバーを傾けている間だけタンク内の水が流出する)。大専用のロータंकを大小切替式に改造するのは簡単で、約1,000円の費用で行える。

以上の三つの方法をそれぞれ適用可能な範囲で用いれば、その他の便所用水は随分減少するはずである。しかし、これらの方法の適用を行政的に指導した実績がないので、家庭用水の節約と同様、第二段階の水使用合理化と考えるべきであろう。

(2) 洗面手洗および食堂用水(一般事業所)

1) 標準的な方法

- i. 洗面手洗用水および食堂用水のうちの給水栓を用いるもの：各水栓又は給水管に定流量器を挿入して水圧にかかわらず給水量を10ℓ/分以下とする。
- ii. 食堂用水のうちの食器洗浄水(大量の食器を洗浄する場合)：予備洗浄機付きの食器洗浄機を使用し、向流方式にする。

〔解説〕

i. 洗面手洗用水および食堂用水のうちの給水栓を用いるもの

ビルでは屋上の高置水槽から各階への給水が行われるが(超高層ビルの場合は15~20階おきに高置水槽が設けられる)、高置水槽から各階への給水圧力は下部へ行くほど大きくなる。高置水槽から1階下は給

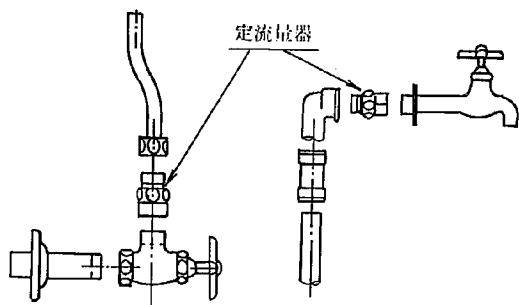


図3-13-1 定流量器の挿入例

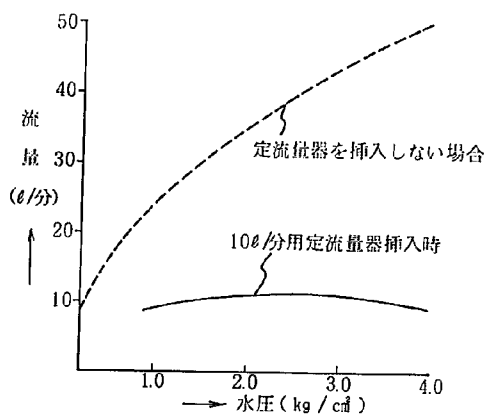


図3-13-2 定流量器の効果(口径13mm)

水圧が約 0.3 kg/cm^2 であるが、10階下は約 3 kg/cm^2 、15階下は約 4.5 kg/cm^2 にもある。流量は水圧の平方根に比例するため、1階下が 10 ℓ/分 の場合は10階下は約 30 ℓ/分 、15階下は 40 ℓ/分 近くにもなる。このような過剰水圧による余分な給水を制御するのが図3-13-1の例に示す定流量器である。定流量器は各水栓に取り付けるものと給水管の途中に取り付けるものの二種類がある。定流量器を用いると、図3-13-2に示すように給水圧にかかわらず給水量を 10 ℓ/分 前後に調節することができる。この定流量器は最近になって開発されたもので、使用例はまだ少ないが、取り付けが簡単であるので、今後急速に普及していくものと思われる。

ii. 食堂用水のうちの食器洗浄水(大量の食器を洗浄する場合)

使用後の食器を大量に洗浄する場合は手洗いで行うよりも食器洗浄機を用いた方が使用水量ははるかに少なくすむ。特に予備洗浄機付きの食器洗浄機を用いると、水量が少なく済む。図3-13-3に手洗の場合、予備なしの洗浄機、予備洗付きの洗浄機の各々のフローシート、表3-13-1に各々のおおよその消費水量を示す。この表をみてわかるように、食器洗浄機を用いると、皿1枚の消費水量が手洗の場合に比べて1桁以上小さくなる。更に予備洗浄機付きの食器洗浄機を用いると、予備なしの洗浄機に比べて水量が半分以下となる。このように予備洗浄機付きの食器洗浄機は食器洗浄水を減少する上できわめて有効である。なお、食器洗浄機のうち、予備洗浄機付きのものはまだ5~10%位しか普及していない。

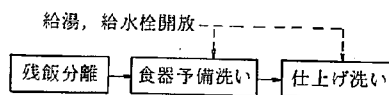
2) 特殊な条件の場合

標準的な方法を適用できない例外はない。

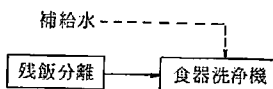
3) 同等以上の方法

洗面手洗用水や食堂の水栓用水を更に減らす方法として家庭用水の節で述べるワンタッチコックの取り付けがある。このワンタッチコックを取り付けると、元

① 手洗の場合



② 予備洗浄機なしの食器洗浄機



③ 予備洗浄機付きの食器洗浄機

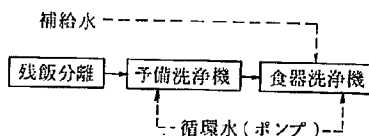


図3-13-3 食器洗浄の三つのタイプ

バルブで最大給水量を固定化できるだけでなく、給水止水をスムーズに行うことによって不要な給水もカットすることができるが、洗面用蛇口等に適した形状のワンタッチコックがまだ製作されていないので、このワンタッチコックの普及は今後の課題としておきたい。

食堂用水のうち

の食器洗浄水（大量の食器を洗浄する場合）については標準的な方法と同等以上の方法はない。

表 3-13-1 食器洗浄の消費水量

	洗 浄 皿 枚 数 (枚/時)	消 費 水 量 (ℓ/時)	1 枚あたりの 消費水量(ℓ/枚)
①手 洗 の 場 合	180 ~ 240	1,200 ~ 2,400	7 ~ 10
②予備洗浄機なし の食器洗浄機	5,000 ~ 6,000	2,000 ~ 2,500	0.4 ~ 0.5
③予備洗浄機付き の食器洗浄機	300 5,000 ~ 6,000	140 1,000	0.45 0.2

4) 必要水量

- i. 洗面手洗用水および食堂用水のうち給水栓を用いるもの：1 給水栓につき 10 ℓ/分以下
- ii. 食堂用水のうちの食器洗浄水（大量の食器を洗浄する場合）：1 皿あたり 0.2 ~ 0.5 ℓ以下

5) 改善費用

i. 定流量器の材料費+取付け工事費	口径 15 mm	200 mm
	600 円	6,500 円
ii. 食器洗浄機	予備洗浄機付き	予備洗浄機なし
(能力 5,000 ~ 6,000 枚/時)	360 万円	230 万円

(3) 研究実験用水（研究所、大学等）

1) 標準的な方法

- i. アスピレーター：循環式のアスピレーターに取り替えて、1 日に 1 回程度循環水を更新する。
- ii. ピペット洗浄器：タイマーと電磁弁を組み合わせた機器を取り付けて、洗浄器への給水を 1 時間以内に限る。

〔解 説〕

i. アスピレーターについて

アスピレーターとは蛇口から出る水の流速を利用したガラス製の真空発生装置であるが（図 3-14-1 の左）、この水の流速をポンプで与えて真空を発生するのが循環式アスピレーターである（図 3-14-1 の右）。ただし、循環を繰り返すと、吸引物質が蓄積してくるので、1 日 1 回程度の周期で循環水槽の水を更新する。

ii. ピペット洗浄器について

ピペット洗浄器とはピペット等の細いガラス管を水洗するためのポリ容器であるが、給水が行われるとサイホン現象で容器内の水位が上下するようになっている。実験室ではこのピペット洗浄器にピペットを放り込んだまま、次の日まで水を流し放しにしていることが多い。そこで、電磁弁とタイマーを取り付け

て、一回の給水時間を1時間以内に限るようにする(図3-14-2)。

なお、以上の標準的な方法を適用できない特殊な条件の場合やそれに代る同等以上の方法はアスピレーターやピペット洗浄器についてはない。

2) 必要水量の求め方

i. アスピレーター：ほぼゼロ

ii. ピペット洗浄器：次式から求める。 $k \times [\text{現在の使用水量}(m^3/\text{日})]$ k は $1/3 \sim 1/2$ の範囲内で水使用状況により仮定する。

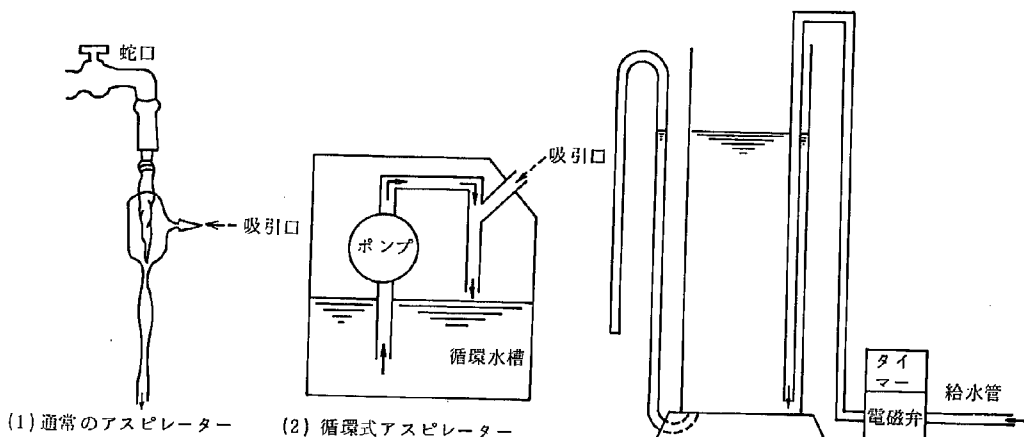


図3-14-1 アスピレーターの改善

図3-14-2 ピペット洗浄器の自動給水停止装置

3) 改善費用

i. 循環式アスピレーター(吸引口2カ所)：7～9万円/台

ii. ピペット洗浄器の給水制御器(電磁弁とタイマーの組み合わせ)：2万円/台

(4) 池維持用水(娯楽施設、釣堀等)

1) 標準的な方法

i. 鑑賞池及び魚の密度が $0.5 \text{ kg}/m^3$ 以下の釣堀池の場合：常時の補給水をゼロとする。

ii. 魚の密度が $0.5 \text{ kg}/m^3$ を超える釣堀池の場合： $0.5 \text{ kg}/m^3$ を超える魚の密度 $1 \text{ kg}/m^3$ あたり、池水の1日置換率(1日 常時補給水量/容水量)を 0.1 (1/日)以下とする。

〔解説〕

① 鑑賞池と釣堀池：鑑賞池は遊楽地、公園等にある池で、あくまで鑑賞が目的であり、魚の飼育は目的ではない。しかし、魚の飼育に差し支えない程度に池の清浄さが保たれれば、鑑賞上も問題はない。そこで、鑑賞池についても魚の飼育の面から適正補給水量を考えることにする。鑑賞池の場合、魚の密度

(魚の総体重/池の容水量)は通常 $0.05 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$ である(ここでいう魚はコイ、フナ、金魚、雑魚のこと、ニジマスは含まれていない。ニジマスについては2)参照)。一方、釣り池の魚の密度は $0.1 \sim 10 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあるが、 $1 \sim 2 \text{ kg/m}^3$ 程度のものが多い。魚の密度が低いと、補給水がなくても、魚が生存できるが、魚の密度が高くなれば、それに応じて補給水を多くして池の水を置換しなければならない。このことから魚の密度と必要補給水量の関係は次の式で表わすことができる。 $Y = a(X - b) [Y(1/\text{日})]$: 池水の1日置換率 = 必要補給水量 ($\text{m}^3/\text{日}$) / 池の容水量 (m^3)、 X : 魚の密度 (kg/m^3)、 a, b : 係数、ただし $X < b$ のとき $Y = 0$] 一般に b (補給水がなくても魚が生存できる密度) は $1 (\text{kg/m}^3)$ 前後といわれているが、安全側をみて、 0.5 kg/m^3 として、東京都内の約20池の調査結果から $a = 0.1 (1/\text{日}/\text{kg/m}^3)$ を求めたのが、上記Ⅰ・Ⅱの $Y = 0.1(X - 0.5)$ という関係式である。なお、この関係式で求めるのは常時補給水だけであって、池の漏水や蒸発によって失われる水に対する間欠補給は別扱いである。ただし、池の漏水対策(池底のコンクリートの割れ目を修理したり、池底が泥の場合は粘土で締め固めるなどの対策)が十分に行われていれば、この間欠補給による1日置換率は $0.01 \sim 0.02$ 程度である(池の水深 $1 \sim 3 \text{ m}$ の場合)。

② 新水補給の目的: 魚の密度が高くなった場合、池に常時、水を補給しなければならないが、その理由は必ずしも明確ではない。一般には次の三つが考えられている。④魚の密度が高くなると、魚の酸素消費量が多くなるので、酸素補給のため、水の補給が必要となる。⑤魚の密度が高くなると、魚から排泄されるアンモニアが池水に蓄積して魚に悪影響を与えるので、このアンモニア等の窒素の排出のため、水の補給が必要である。⑥魚から排泄される有機物が蓄積すると、その分解に池の酸素が消費されるので、有機物の排除のため、水の補給が必要である。以上の④、⑤、⑥のそれぞれについて検討してみる。まず、④については魚の酸素消費量は $2 \sim 4 \text{ g/kg} \cdot \text{日}$ であるから、魚の密度が 1 kg/m^3 の場合、池水 1 m^3 あたりの魚の酸素消費量は $2 \sim 4 \text{ g/m}^3 \cdot \text{日}$ である。一方、新水の補給による酸素供給量は1日置換率を平均的な値として $0.1 (1/\text{日})$ としても、高々 $0.5 \text{ g/m}^3 \cdot \text{日}$ であるから、魚の消費酸素量の一部しか補えない。実際には藻類の光合成や池表面からの空気の溶解によるもの(とりわけ前者)が池への酸素供給の大半を占めており(人工的な曝気をしない場合)、④は新水補給の理由にはならない。次に⑤については魚のアンモニア排泄量は $0.3 \text{ g/kg} \cdot \text{日}$ 前後であるから、魚の密度が 1 kg/m^3 の場合、池のアンモニア濃度は毎日 0.3 ppm 付加されることになる。しかし、都内の池の水質分析を行った結果では大半の池はアンモニア濃度が $0.02 \sim 0.2 \text{ ppm}$ であり、池水の1日置換率が $0.1 (1/\text{日})$ の場合は排水によるアンモニアの減少濃度は $0.002 \sim 0.02 \text{ ppm/日}$ しかならず、⑤も新水補給の理由にはならない。魚から排泄されたアンモニアのほとんどは藻類に取り込まれるか又は一度硝化されてから還元されて窒素ガスとして大気中に放出されているようである。⑥については魚の排泄有機物(BOD)は $1 \text{ g/kg} \cdot \text{日}$ 前後であり、魚の密度を 1 kg/m^3 とすると、池のBOD付加濃度は 1 ppm/日 となる。一方、池の水質分析の結果では大半の池はBODが $3 \sim 8 \text{ ppm}$ であるから、池水の1日置換率が $0.1 (1/\text{日})$ の場合は排水によるBODの減少濃度は $0.3 \sim 0.8 \text{ ppm/日}$ となり、池に付加されたBODは約半分が池中で分解され、残り半分が排出されることになる。以上の検討から考えて、魚の密度が低い時は魚の排泄有機物の全部が池中で分解されるが、密度が高くなると、池中での分解だけでは間に合わず、新水の補給による有機物の排出が必要になると推定される。

③ 新水必要量の計算式の根拠: 以上のように、有機物の収支の面から池の新水補給量がきまると推定されるが、有機物の収支を理論的に考察して新水補給量をきめることは困難であるので、ここでは前述の計

算式 $Y = 0.1(X - 0.5)$ を次のように求めた。右図は東京郡内の釣堀池、鑑賞池の調査結果であるが、魚の密度と池水の1日置換率の関係はかなりばらついている。このうち、1日置換率が比較的小さい池を5～6池とりあげて（この5～6池の水質が他の池に比べて悪いという傾向はない）、 $Y = a(X - b)$ の b を $0.5 (\text{kg}/\text{m}^3)$ として、 a を求めた結果、 a は $0.1 (1/\text{日}/\text{kg}/\text{m}^3)$ という値が得られた。 b を $0.5 (\text{kg}/\text{m}^3)$ としたのは①で述べた理由による。このように、 $Y = 0.1(X - 0.5)$ は実際の池の値から求めた関係式であるので、この関係式で求められる水量まで新水補給量を減らしても④で述べる条件が満たされていれば、支障が生じることはないと考えられる。

④ その他の必要条件：上記の関係式による計算値まで新水補給量を落すためには次の四つの対策を怠らないようにしなければならない。

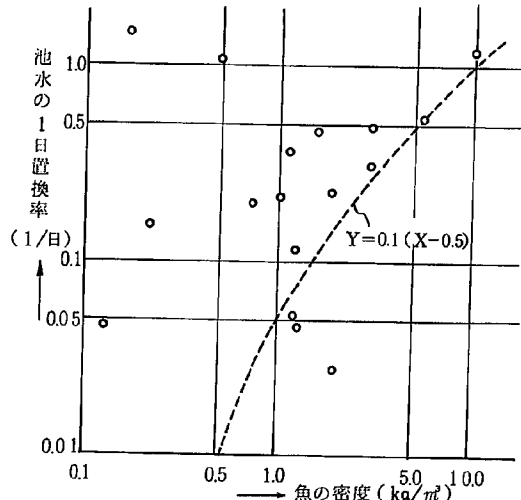


図3-15-1 東京都内の釣堀池、鑑賞池の調査結果

② 魚の密度が高い時は曝気装置をつけること——魚の密度が低い時は藻類の光合成等による酸素供給で間に合うが、密度が高い時は曝気装置で酸素を人工的に供給することが必要である。曝気装置としてはエアブローヤーによるものよりも水中ポンプで池水を噴水のように循環するものが効果的である。

③ 汚水の流入をなくすこと——鑑賞池の場合、料理場や一般家庭等の汚水が流入して、そのために、池の水質が悪化して大量の新水補給が必要になっていることがあるので、汚水が流入していないかどうかをよく確かめて、その流入を遮断する必要がある。

④ 餌のやりすぎに注意すること——過剰に餌をやると、余った餌は有機汚濁源として池の水質を悪化させる。鑑賞池の場合、一般の人がパンクスなどをやりすぎて、水質が悪化していることが多いので、投餌量が適正值（魚 1 kg あたり $1 \sim 2 \text{ g}/\text{日}$ ）以下になるよう、管理する必要がある。

⑤ 池の掃除を頻繁に行うこと——秋に落葉が多くなると、落葉も徐々に分解して池の有機汚濁源となるので、秋には池の表面を度々掃除して落葉をかき集めることが必要である。また、池底には有機性の泥が少しずつ堆積して池の酸素を消費するので、1～2年に1度池底の泥をかき出すことも必要である。

2) 特殊な条件の場合

1) の適正補給水量計算式は魚がコイ、フナ、金魚、雑魚の場合であり、ニジマスの場合は条件が異なる。ニジマス进行飼育するためには水の溶存酸素が 7 ppm 前後（最低 5 ppm 以上）、アンモニア性窒素が 0.1 ppm 以下（ 0.3 ppm が致死濃度）、水温が 20°C でなければならず、他の魚に比べて水質良好で、低温の水を必要とする。ニジマス池ではこの三条件をみたすため、地下水や湧水を大量に補給している。この三つの条件を人工的な設備で満たす方法（曝気を強化してろ過器と冷凍機を設置する）も考えられないわけではないが、まだ実例がないので、現段階ではニジマスについては標準的な方法の適用対象外にせざるをえない。ただし、東京都にあるニジマス池については地下水と湧水の併用補給であるので、季節的な変動のある湧水が減少した時のみ、自動的に地下水を補給して、地下水揚水量を最小限にするよう、指導が

進められようとしている。

3) 同等以上の方法

1) の標準的な方法はただ常時の補給水量を絞るだけであるが、もっと積極的に水質浄化対策を講じて常時補給水をなくす方法がある。それはプールのように、循環ろ過装置を設置して池水を浄化する方法である。ろ過装置を設けると、 $4 \sim 8 \text{ kg/ml}$ の密度まで常時補給水が必要でない。ただし、一般の釣堀池の場合、循環ろ過装置を設置することは経済的に困難なことが多い。

4) 必要水量の求め方

必要補給水量 (ml/日) は 1) の常時補給の式に間欠補給分として〔池の容積〕 $\times 0.01$ を加えたものとなる。

必要補給水量 (ml/日) = 池の容積 (ml) $\times 0.1 (1/\text{日/kg/ml}) \times (\text{魚の密度} (\text{kg/ml}) - 0.4 (\text{kg/ml}))$

ただし、魚の密度が $0.5 (\text{kg/ml})$ 以下の場合は必要補給水量を〔池の容積〕 $\times 0.01$ とする。

5) 改善費用

1) の標準的な方法は維持管理の改善によるものであるもので、改善費用はほとんどゼロである。なお、噴水式水中ポンプの価格は 1 基あたり 10 万円前後である。(ろ過装置のコストは 5) の 5) 参照)

(5) プール用水 (ホテル、娯楽施設等)

1) 標準的な方法

プールからの常時の排水をなくして、プールの利用やろ過器の逆洗によって減少した水量のみを 1 日 1 ～ 2 回補給する。

① プールの浄化方式と補給の目的：プールの浄化方式は一般に、常時給水を行なう方式、水の入替えを行なう方式、循環浄化方式の三通りがあると言われているが、実際には循環浄化方式がほとんどで、その他は小さい子供プールに水の入替えを行なう方式が少しあるだけである。常時給水を行なってろ過器なしでプールを浄化するためには大量の水をプールに供給しなければならないので、水源が上水道の場合は水道料金が膨大になってしまうし、地下水が水源の場合は地下水の水温が低すぎて遊泳に支障をきたす。このため、常時給水による浄化方式をとっているプールは非常にまれである。したがって、循環浄化方式を前提として、プールへの補給の目的を考えてみる。循環浄化方式の場合、④「プールの利用やろ過器の逆洗 (逆洗にはプール水を用いる) によって減少した水量を補給する」⑤「ろ過器では除去できない汚染物質の蓄積を防ぐため、常時の排水を行う」の二つがプールへの補給の目的と考えられているが、後者の⑤がどの程度の妥当性をもっているかを考えてみよう。ろ過器で除去されるのは主に浮遊物質 (濁度) であって、溶解性の物質はあまり除去されない。人体の汗や尿 (幼児) に含まれている溶解性物質は塩素イオンやアンモニアなどであるが、アンモニアは大半が塩素消毒によって一度クロロミンになってから窒素ガスに分解してしまうため、プール水に高濃度に蓄積することはない。そこで、ここでは塩素イオンを汚染の指標として、水の補給が汚染物質の排出にどの程度役立っているかを実際のプールのデータで検討してみる。ただし、塩素イオンは人体からのものよりも消毒剤の使用によるものが多く、塩素イオンそのものは濃度が多少高まっても人体に影響はない。図 3-16-1 は東京都内の地下水使用の 24 プールを調査した結果である。この調査結果をみると同じ「プール平均利用者数/プール容積」でもプール水の交換率 (補給水量/容水量) ④ この補給水量は常時補給水の他にろ過器逆洗直後の間欠補給水やプールの更新水も

含む)には大きなバラツキがあって、最大と最小は5～10倍の開きがある。しかし、大半のプールでは0.05～0.3(1/日)である。利用者の汗や尿による塩素イオンは或る試算によれば、利用者1人あたり0.6～2.4g(ほとんどが汗に由来)ということであるから、利用者が1(人/日・㎡)の場合は増加塩素イオン濃度が0.6～2.4ppm/日となる。そして、消毒に用いる塩素剤は通常、塩素イオン換算で2～3ppm/日であり、両者を合計すると、増加塩素イオン濃度は3～5ppm/日になる。一方、水の補給による減少塩素イオン濃度はプールの塩素イオン濃度が100ppm(都内の24プールは50～150ppm)の場合はプールの交換率1(1/日)で10ppm/日、0.5(1/日)で5ppmであり、交換率が0.05(1/日)もあれば、プールの塩素イオンを100ppm程度に維持できるわけである。この点で、汚染物質排出の役目として交換率0.05(1/日)程度の補給は必要であるが、それ以上に交換率を高める必要はない。

② 常時排水をなくす方式：プール水の交換率0.05(1/日)前後の値は常時排水をなくして、1日の水位低下分のみを補給する上記の標準的方法を採用した場合に得られる数字である。常時排水をなくして

もプールの利用によってプールが波立ってオーバーフローがたえず行われ、また循環ろ過器の逆洗にプール水が使用されるので、最低0.05(1/日)程度の水は毎日失なわれていく。この損失水量はプールの利用者数が多いほど大きくなるので、水位低下分の補給水量はプール利用者数と正の相関を示すことになり、この補給方式は汚染物質の排出の面で合理的である。実際に過半数のプールで常時の補給を行なって交換率を0.05(1/日)よりずっと大きくとっているのは全くの習慣による場合が多く、補給水量を減らした場合の影響をきちんと検討したものではない。一部のプールで水位低下分のみを補給する方式を採用して水質上の問題を全く生じていないことから考えて、その方式をすべてのプール(ただし、循環浄化式のプール)に適用することは可能である。ただし、十分な能力の循環ろ過器を設置して24時間運転することが必要条件である(ろ過器の1日循環水量/プール容積を3～5以上に保つことが必要)。東京都内の某プールではろ過器の建屋の防音が不十分のため、ろ過器を夜間運転できず、その穴埋めにプール終了時に大量の水を補給してプール表面のゴミを洗い流していたが、ろ過器の完備と24時間運転が常時排水をなくすための必須条件である。

2) 特殊な条件の場合

上記の標準的な方法は循環浄化式プールの場合であり、入替式プールの場合は3～10日に1度位の頻度で水を取り換える必要があるため、交換率が大きくなる。しかし、入替式プールは小さい子供プール(50㎡以下)の場合にのみ認められるべきであり、中規模以上のプールでもし入替式のものがあれば、循環浄化式(図3-16-2参照)に改善すべきである。

3) 同等以上の方法

標準的な方法より更に補給水量を減らす方法として、プールのオーバーフロー水を回収する方法がある。

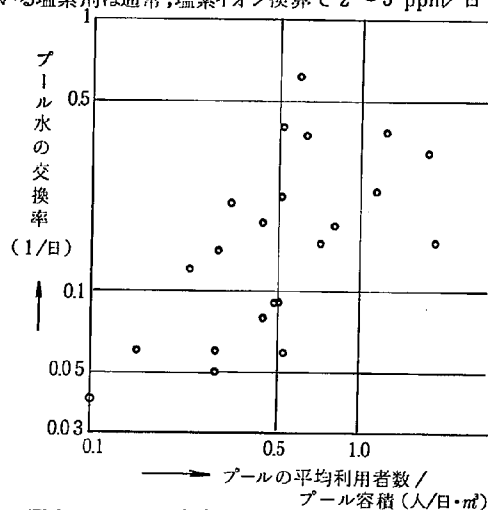


図3-16-1 東京都内のプールの調査結果

最新鋭のプールには導入されている方法で、プールの周りのオーバーフロー排出溝を汙過器に導き、オーバーフロー水を循環水と一緒に浄化してプールに戻す。この方法を用いると、汙過器の逆洗水のみだけを補給すればよいことになるが、実際には塩素イオン排出のため、それ以外に多少の補給が必要なのである。

4) 必要水量の求め方

プールの1日平均補給水量 (m^3 /日) を次式から求める。

$$\text{プールの面積 (} m^2 \text{)} \times 0.1 \text{ (} m \text{/日)}$$

〔解説〕

プールの利用や汙過器逆洗によるプールの水位低下量はプールの利用者数の大小によって変わるが、閑散期も含めてプールの利用期間中の平均をとると、1日水位低下量が10cm以下であることが多いので、プール面積に10cmを乗じて1日平均補給水量を求めることにする。

5) 改善費用

1) の標準的な方法はプールの維持管理の改善のみで達成できるので、改善費用はゼロである。なお、汙過装置のコストは40 m^3 /時で250万円程度である。

(6) し尿処理希釈水(し尿処理場)

1) 標準的な方法

生物学的脱窒法を導入して、希釈水量(消泡水を含む)をし尿投入量の4倍以下とする。

〔解説〕

① し尿処理場の役目と従来の処理方式

し尿処理場とは汲取り式便所からバキュームカーで収集したし尿を処理するところである。最近では汲取り式便所以外に浄化槽汚泥(浄化槽式便所やコミュニティプラント〔団地の下水処理場〕の余剰汚泥でし尿と同様バキュームカーで収集)も一緒に処理している処理場が多く、大都市のし尿処理場ではこの浄化槽汚泥の占める割合が50%を越えているところもある。例えば、東京都多摩地区の12処理場の平均ではこの浄化槽汚泥の受入量が約20%を占めている。この浄化槽汚泥はし尿に比べて有機物が少ないため、その混入率の変動が投入負荷の変動を引き起こして処理を不安定にさせることが多い。

さて、投入されたし尿は処理場で一次、二次の二段階の処理が行われる。二次処理はすべて活性汚泥処理方式が用いられているが、一次処理には消化処理方式、酸化処理方式、化学処理方式の三種類がある。各々の処理方式のフローシートを図3-17-1に示す。酸化処理方式にはいくつかのタイプがあるが、ここでは単純曝気方式と一段活性汚泥方式(一次、二次処理の二段階がない方式)の二つを示す。各処理方式を数種の項目について比較した表を次に示す。各方式それぞれ長所、短所があるが、化学処理方式は汚泥の発生量が膨大なため、新しい処理場では用いられていない。最近多いのは酸化処理方式で全国的には新規処理場の半分以上を占めている。例えば、東京都多摩地区の12処理場には合計27施設があるが、その

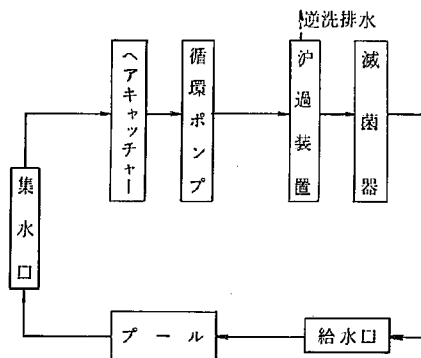


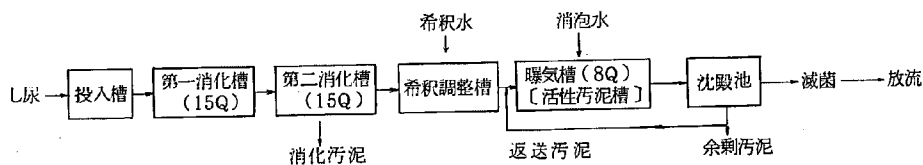
図3-16-2 循環浄化式のプール

うち、消化処理方式が13、酸化処理方式が11、化学処理方式が3である。

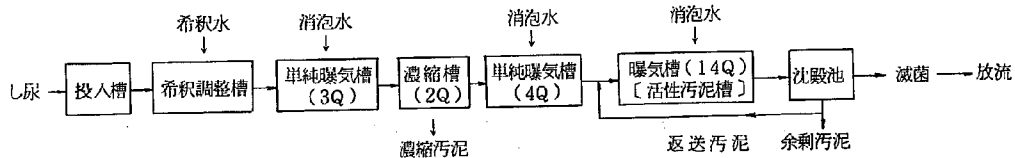
	建設費の 順 序	必要敷地 面積の順序	維持管理費 (円/日)	処理水質が良好な順序	希釈倍率	汚泥の発生量 (汚泥固形物量 /し尿投入量)	そ の 他
消化処理方式	1	1	350~500	3	20倍程度	0.5~0.8%	——
酸化処理方式	2	2	700~1,300	2	20倍程度	0.6~1.3%	——
化学処理方式	3	3	1,100	1(ただし、鉄分の ため、赤っぽい)	10倍前後	5.4%	臭気の問題が 特にあり

② 希釈倍率を落した場合の影響

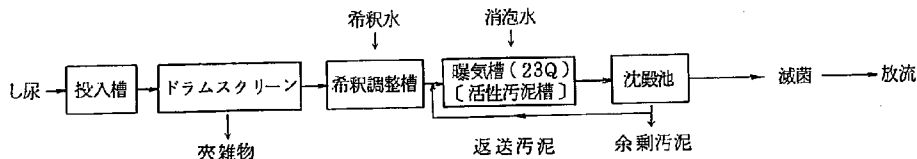
図3-17-1のフローシートにおいてし尿は水で希釈されて処理されている。消化処理や酸化処理方式の場合はこのし尿の希釈にし尿投入量の約20倍の水が使用されている(消泡水等を含む)。化学処理の場合は10倍前後である。通常、約20倍の希釈が行われているのは実際に20倍より希釈倍率を落していくと、処理水質が悪化することが多いという長年の経験に基づいている。活性汚泥槽に入る希釈後の一次処理液のBODは現状で消化処理方式の場合100ppm以下、酸化処理方式の場合150~400ppmであるから、仮



酸化処理方式(1)



酸化処理方式(2)



化学処理方式

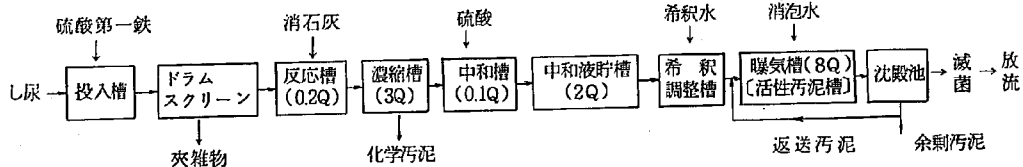


図3-17-1 各処理方式のフローシート

〔 () 内は槽の標準的な容積を示す。Qはし尿投入量(k_ℓ/日) 〕

に希釈倍率を 10 倍に落してもそれぞれ 200ppm 以下、300～800 ppm 位になるだけであるが、実際に 10 倍まで落すと、処理水質は BOD 20ppm 前後を保てず、30～40 ppm 以上まで上昇することが多い。一般に活性汚泥処理において流入水の BOD が 1500ppm 以下の場合は曝気時間さえ十分であれば、20ppm 位まで処理できるのが普通であるから、これは不可解な現象である。

その原因として亜硝酸の蓄積とその毒性の問題を考えざるをえない。し尿には 2000～4000 ppm のアンモニア性窒素が含まれている。通常の 20 倍希釈では曝気時間がそれほど長くないので、アンモニアが酸化されて亜硝酸になることは非常に少ないが、10 倍まで希釈倍率を落して曝気時間が 2 倍になると、アンモニアの亜硝酸への移行率が大きくなる。希釈倍率 10 倍の場合は活性汚泥槽の流入水のアンモニア濃度も 2 倍になっているので、活性汚泥槽中の亜硝酸濃度は急激に高くなる。例えば、し尿中のアンモニア性窒素を 3,000ppm として、10 倍希釈で亜硝酸への移行率が 30% とすると、活性汚泥槽中の亜硝酸性窒素は 100 ppm 近くになる。亜硝酸がこれ位の濃度になると、細胞毒として BOD 酸化菌の機能を阻害して処理水質を悪化させる。このように現行の処理方式のままで単に希釈倍率を落すだけでは亜硝酸が生成されて、その毒性によって処理水質が悪化してしまう。なお、化学処理方式の場合は希釈倍率が小さくても（活性汚泥槽に蓄積する石こうや炭酸カルシウムの微粉に亜硝酸化菌が吸着されてしまうためか）亜硝酸がほとんど生成されないで、処理水質悪化の問題はない。

③ 希釈倍率を減らす方法（生物学的脱窒法）

し尿処理場の希釈水を減らす方法としてよく考えられるのはし尿処理水を次の図に示すように三次処理して希釈水として一部循環使用する方法である。しかし、この方法では処理水質の悪化を引き起こすことになるのは②の考察から明らかである。なぜなら、凝集沈殿、砂ろ過、活性炭吸着処理では窒素類はほとんど除去されないから、三次処理水を希釈水に用いると希釈後の流入水のアンモニア濃度が高くなり、その結果、活性汚泥槽に亜硝酸が次第に蓄積するようになるからである。

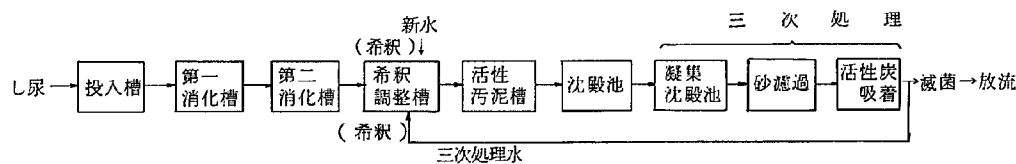


図 3-17-2 処理水の悪化を引き起こす循環方式

希釈倍率を落して、処理水質を悪化させないためには亜硝酸が蓄積しないようにしなければならない。アンモニアを長時間曝気すれば、亜硝酸が高濃度で生成されることは防ぎようのないことであるから（曝気量を落したり曝気時間を短くして亜硝酸の生成を抑えようとすれば、逆に BOD の酸化が十分に行われなくなる）、亜硝酸を更に硝酸（亜硝酸のような毒性はない）まで酸化する以外に亜硝酸の蓄積を防ぐ方法はない。アンモニアのはば全量を硝酸まで酸化するのに必要な曝気槽の条件は pH 6.8～7.2、曝気槽容積が〔余剰汚泥の固形物量 (kg/日) / (MLSS (kg/ml) × 0.15 (1/日))〕以上（0.15 (1/日) は硝化菌の増殖速度）、溶存酸素 2.5 ppm 以上である。曝気槽の計算式の意味は汚泥とともに逃げていく硝化菌の減少量以上に増殖量が大きくなるように硝化菌の滞留時間を長くするということである。pH の条件は硝酸化菌が有効に働く最適 pH を保つという意味であるが、亜硝酸、硝酸が生成されると、pH が次第に下っていて、アンモニアの酸化が中途半端にとどまる（大半が亜硝酸として）ので、苛性ソーダを注入しなければならない。

い。

アンモニアを硝酸まで酸化させてしまう処理方式は新規のし尿処理場で導入されはじめている生物学的脱窒法と同様のものである。生物学的脱窒法の最も単純な方式は次のフローシートに示すように硝酸化槽と脱窒槽、再曝気槽、沈殿池から構成されている。この方式ではまず硝酸化槽でBODの酸化を行うとともにアンモニアを硝酸まで酸化する。次に脱窒槽で空気を遮断してメタノールを添加すると、脱窒菌がメタノールの酸化を行うために硝酸中の酸素を取り込むので、硝酸が窒素ガスに還元される。再曝気槽では残存するメタノールの酸化を行う。

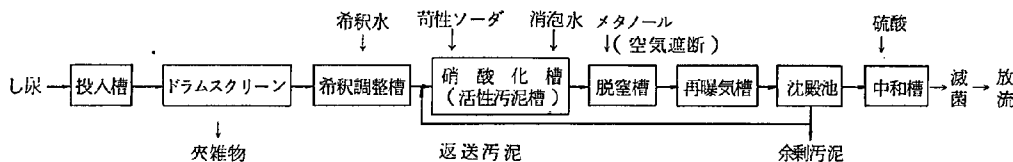


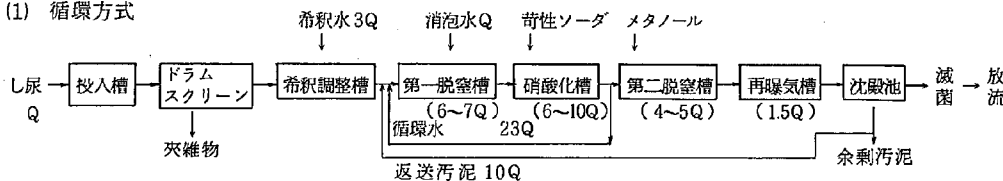
図 3-17-3 最も単純な生物学的脱窒法

このように、希釈倍率を落すためにはこの生物学的脱窒法を導入することが必要である。この方式を用いれば、希釈倍率を2～3倍に落しても処理水のBODを20 ppm以下に保つことができるが、発泡現象が生じたり、し尿の色が処理水に残るなどの問題があるため、希釈倍率として5倍程度は必要である。

② 生物学的脱窒法の望ましい方式

上記の単純な生物学的脱窒法を用いると、硝酸化槽に苛性ソーダ（アルカリ剤）、脱窒槽にメタノール（脱窒菌の栄養源）、沈殿池の後で硫酸（中和剤）を大量に注入しなければならず、これらの薬品にかなりの費用がかかってしまう（し尿1ℓあたり600～800円位）。これらの薬品費を節約するために考え出されたのが次に示すような方法である。

(1) 循環方式



(2) ステップ方式

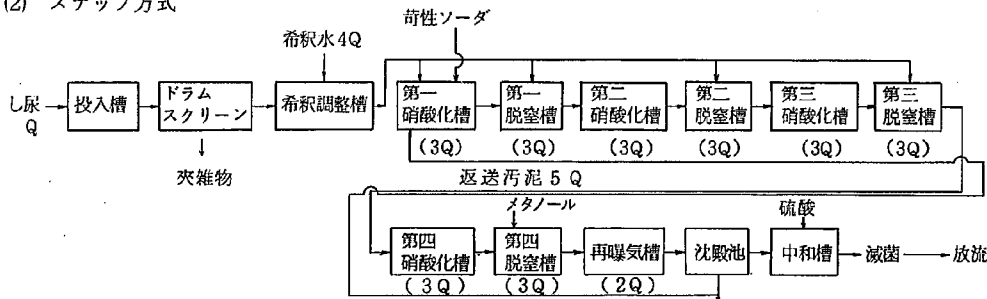


図 3-17-4 生物学的脱窒法の望ましい方式

この二つの方式で共通しているのはメタノールの代りにし尿中の有機物をできるだけ脱窒菌の栄養源に用いていることと、循環水量や返送汚泥量を多くしてアルカリ剤の循環使用を進め、アルカリ剤や中和剤を節約していることである。これらの方式を用いると、薬品費は循環方式の場合 200円/㎥ 以下、ステップ方式の場合 300円/㎥ 以下となる。

⑤ 既設のし尿処理場の改造方法

上記の生物学的脱窒法を既設のし尿処理場に導入することは処理施設を根本からつくり直すことを意味するわけではない。比較的簡単な改善で既設の処理施設を上記の生物学的脱窒法に変えることができる。次に示す表は図3-17-1の既設の各種処理方式を上述の循環方式に改善する場合に既設の槽をどの程度転用できるかを示したものである。この表をみると、化学処理方式の場合を除いて、ほとんど既設の槽で間に合うことがわかる。既設の槽が使えれば、改善は配管の変更、ポンプ、ブローワーの新增設、散気管の取り替え、脱臭塔の増設などで済むから、それほど高額な費用は必要でない。そして、最近、大都市のし尿処理場は下水道の部分的な普及によってし尿投入量が設備能力より減少しているところが多いから、既設の槽の転用にもっと余裕ができて、再曝気槽も既設の設備で賄えることは無論のこと、既設が消化処理方式の場合、第二脱窒槽に汚泥の内生呼吸だけで（メタノールなしで）脱窒を行える容量（17～20Q）を確保できるようになる（この場合、薬品費は50円/㎥以下となる）。このように、既設のし尿処理場を低希釈倍率の生物学的脱窒法に改造することは比較的容易である。最近、大都市では下水道が普及してし尿処理場のし尿取扱量が徐々に減少してきていることから、下水道の全面普及を待てばよいという考え方でし尿処理場への設備投資をなるべく控えようという動きがある。しかし、下水道が普及するといってもせい

循環方式の 処理設備 既設の処理方式	第一脱窒槽 (6～7Q)	硝酸化槽 (6～10Q)	第二脱窒槽 (4～5Q)	再曝気槽 (1.5Q)	沈殿池
消化処理方式	既設の第一消化槽 (15Q)	既設の活性汚泥槽 (8Q)	既設の第二消化槽 (15Q)	新設又は 既設の活性汚泥槽の一部	既設の 沈殿池
酸化処理方式(1)	既設の活性汚泥槽の半分 (14Q)	既設の単純曝気槽と濃縮 槽 (7Q)	既設の活性汚泥槽の半分 (14Q)	新設又は 既設の活性汚泥槽の一部	既設の 沈殿池
酸化処理方式(2)	既設の活性汚泥槽の一部 (23Q)	既設の活性汚泥槽の一部 (23Q)	既設の活性汚泥槽の一部 (23Q)	新設又は 既設の活性汚泥槽の一部	既設の 沈殿池
化学処理方式	新設	既設の活性汚泥槽 (8Q)	新設	既設の中和液貯槽	既設の 沈殿池

ぜい年間数%ずつの普及であり、全面普及するには今後20年位の年月を必要とするところが多く、し尿処理場の役目はし尿取扱量の多少の減少はあっても今後10年以上は変わらないであろう。その点で、下水道の普及に比べて非常にわずかな金額で済み、また、一石三鳥の効果（使用水量の大幅削減、窒素の除去、処理水質の安定化）のあるこの生物学的脱窒法の導入を是非とも進めていくべきである。

2) 特殊な条件の場合

標準的方法を適用しないただ一つの例外は一次処理のみを行ってその処理液を隣接する下水処理場へ放流しているし尿処理場である。このようなし尿処理場は二次処理を行わないから、希釈水はほとんど不要

である。ただし、一次汚泥の脱水機の洗浄等に多少の水を使用するので、処理場の必要水量を1Q（Qはし尿投入量（ kl /日））以下とすべきであろう。

3) 同等以上の方法

1) 解説したように、希釈倍率を落とすための方法として生物学的脱窒法の導入が必要であることは原理的な考察から導き出されたものであるから、希釈倍率を同程度に落して良好な処理水質が得られる方法は他にはまずないと考えられる。活性炭吸着等の三次処理を導入して処理水の循環利用を進めようとしても良好な処理水質が得られないことは1)で述べたとおりである。

4) 必要水量の求め方

次式から求める。

$$\text{し尿処理場の必要水量 (ml/日)} = 4 \times \text{し尿投入量 (kl/日)}$$

5) 改善費用

改善費用はし尿処理場の規模や各種条件によって異なるが、概ね次に示す程度の費用がかかる。

生物学的脱窒法への改造費用（一処理場あたり）

消化処理方式の場合	2 ～ 3 億円
酸化処理方式の場合	2 ～ 3 億円
化学処理方式の場合	4 ～ 5 億円

(注) 希釈倍率を5倍に落とすと、処理水はBOD 20 ppm以下でも20倍希釈時に比べてし尿の色が若干残る。この色度対策として、凝集沈殿池と砂濾過塔を設置した場合は上記の費用に3～4千万円の費用がプラスされる。

3 家庭用水

家庭用水は生活必需品という要素があるため、水量の削減はほとんど困難で、風呂に入る回数を減らしたり、洗濯の頻度を少なくするなどの生活の部分的犠牲を伴わなければ家庭用水を減少できないと考える人が意外と多い。しかし、この考え方は全くの誤解であって、工場と同様に水の利用方式を改善すれば生活の部分的な犠牲を伴わずに家庭用水を削減することは可能である。本節では家庭用水の削減方法と改善後の必要水量、おおよその改善費用について説明しておくことにする。

(1) 水使用合理化の方法

- i. 炊事用水および洗面手洗用水：給水（湯）栓にワンタッチコックを取り付けて給水止水をこまめに操作できるようにするとともに、ワンタッチコックの元バルブで最大給水量を7～8.ℓ/分に固定する。
- ii. 洗濯用水：次の四つの方法を用いる。a. 後すすぎは流しすすぎをやめて、貯めすすぎを3回程度繰り返す。b. 洗濯や貯めすすぎの直後に必ず脱水を行って、次の貯めすすぎに持ち込む洗剤の量を最小にする。c. 風呂の残り湯がある時は洗濯や1,2回目の貯めすすぎに残り湯を利用する。d. 洗濯液の繰り返し利用を行う。
- iii. 便所用水：水洗タンクを大小切替タンクにして大小切替を徹底するとともに、タンクの中に充填物を入れてタンクの容積を2割程度減少する。

iv. 掃除用水, 撒水用水, 洗車用水: 掃除用水は風呂の残り湯を利用し, 撒水用水はホースの先端にハンドバルブ(手元制御弁)を取り付けて給水止水をこまめに行う。そして, 洗車用水はホースの使用をやめてバケツを用いる。

〔解 説〕

i. 炊事用水, 洗面水・洗用水

① ワンタッチコックの取り付け: 現在のバルブはどうも開け閉めが面倒である。例えば, 茶わんや皿を洗っているとき, 一つの茶わんの洗浄が終わって, その茶わんをかごに入れ, 次の茶わんを蛇口の下に持ってくるまでの間, いちいちバルブを閉めるのは大変億劫である。その面倒臭さはバルブの位置が蛇口から少し離れていることとバルブの開閉に回転を必要とすることが原因しているのであろう。バルブの開閉をもっとスムーズに行えるようにするためには現在のバルブを別の形のものに改める必要がある。それがワンタッチコックの取り付けである。ワンタッチコックとは図3-18-1の例に示すように, 首ふりの蛇口(自在水栓)を少し上下するか又は横に回すだけで給水止水が行えるもので, 手に物をもっていても簡単に操作することができる。このようなワンタッチコックを取り付ければ, 給水止水がスムーズに行われて, 不要な給水をカットすることが可能となる。

なお, 現在市販されているワンタッチコックは洗面器の給水栓には取り付けられない構造になっているので, 洗面器の給水栓用のワンタッチコックが新たに製作される必要がある。また給水バルブを内蔵している小型湯沸器にワンタッチコックを取り付けるためには給湯栓を新たに設置する工事が必要である。

② 最大給水量の固定: 炊事や洗面手洗は通常5ℓ/分程度の給水があれば, 使用に支障はない。実際の給水量は平均10ℓ/分前後もあるから, 5ℓ/分程度まで給水を絞れば大幅な水量削減となる。このような給水量の減少にはよく節水コマが用いられる。節水コマとは給水栓の

パッキンの形状を工夫したもので, バルブの開度が小さい間は給水量が通常のパッキンに比べて1/2以下となる。ワンタッチコックを取り付けた場合はこの節水コマを用いることができないが, しかし, ワンタッチコックには別に元バルブがついているので, 節水コマを用いなくてもその元バルブで給水量を調節しておくことが可能である。すなわち, 元バルブで最大給水量を7~8ℓ/分に固定しておけば, ワンタッチコックの通常の傾き角度での給水量を5ℓ/分程度に調節することができる。なお, この場合, 最大給水量として7~8ℓ/分程度の給水は必要である。それは, やかん等に水を貯めるとき, 最大給水量が小さすぎると, 水を貯めるのには時間がかかって辛気臭い感じを覚えるからである。このようにワンタッチコックを取り付けると, 給水止水をスムーズに行えるようになるとともに, 給水量の調節も行うことができる。

ii. 洗濯用水

① 節水プログラムの導入: 洗濯後の後すすぎは流しすぎよりも貯めすぎを採用し, 脱水工程を多

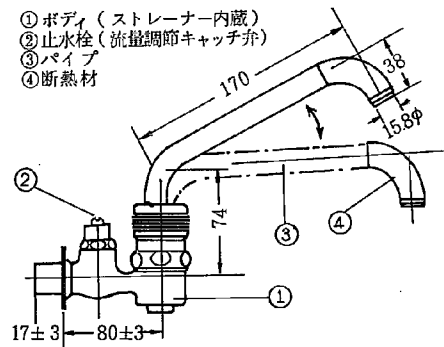


図3-18-1 ワンタッチコックの例

く入れた方が消費水量が小さくなる。「暮らしの手帖」(29号, 1974)の実験データ(表3-18-1)によれば, ㉑洗濯後の排水も行わずに流しすぎに入る場合, ㉒排水だけで流しすぎに入る場合, ㉓脱水を行ってから流しすぎに入る場合, ㉔脱水を行って貯めすぎを2回(間に脱水を入れる)行う場合を比較すると, 同じすすぎ効果を得るのに必要な水量は5:4:2.5:1の比率で減少していく, ㉔の方法, すなわち, 貯めすぎを用いて毎回脱水工程を入れる方法の使用水量が著しく小さい。暮らしの手帖ではすすぎ後の洗剤濃度が3ppm位になるまですすげば十分としているが, 主婦の感覚によってはもう1回位貯めすぎをふやした方がよいようである。したがって, 十分な洗浄効果が得られて最も水量が少ない洗濯プログラムは次のようなものである。

洗剤洗濯→排水・脱水→貯めすぎ1→排水・脱水→貯めすぎ2→排水(脱水)→貯めすぎ3

この節水型の洗濯プログラム

表3-18-1 後すすぎの方法による使用水量の違い

(暮らしの手帖29号(1974)より)

を採用すると, 後すすぎの必要水量は洗濯機の容量の3杯分にとどまる。このプログラムの実施は主婦にとってそれほど大変なことではない。二槽式の場合, 洗濯物を洗濯槽と

洗濯後の排水・脱水	後すすぎの方法	すすぎ後の洗剤濃度	使用水量
㉑ 無 無	流しすぎ 12 分	3 ppm	310 ℓ
㉒ 有 無	流しすぎ 9 分	3 ppm	240 ℓ
㉓ 有 有	流しすぎ 5 分	3 ppm	150 ℓ
㉔ 有 有	貯めすぎ→脱水→貯めすぎ	3 ppm	66 ℓ

脱水槽の間で2~3回往復するだけであり, 作業としてそれほど面倒ではない。ただし, 洗濯中は度々洗濯機のところにこなければならぬので, 他の用事が中断される。全自動の場合, 新型のものは上記に近い節水プログラムが採用されているが, 古い全自動は洗濯→脱水→流しすぎの方式のものが多く, その種の全自動に上記のプログラムを導入するためには洗濯機のプログラムタイマーを取り替えるなければならない。

(2) 残り湯の利用と洗剤の繰り返し利用: 風呂の水を取り換える日に前日の残り湯を利用すれば, その分だけ新水の使用が少なくなる。残り湯は洗剤を解かす目的で洗濯液に用いるだけでなく, 後すすぎ(貯めすぎ)の1, 2回目にも使用すべきである。風呂の残り湯は通常150~180ℓもあり, 一方, 洗濯機の容量は25~40ℓであるので, 残り湯で4~6回分の水量を賄うことができる。なお, 残り湯の利用をバケツで行うのは主婦にとって楽な仕事ではないので, 最近売り出されている家庭用小型水中ポンプを利用することが望ましい。また, 洗剤の繰り返し利用を行うと, 洗濯液の使用水量が $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ に減少する。すなわち, 洗剤の洗浄力は2~3回位まで有効であるので, 一回分の洗濯物の洗剤洗濯が終わった後, 同じ洗濯液で次の洗濯物を洗濯することが可能である。

iii. 便所用水

(1) 大小切替タンクの普及とその切替の徹底: 大の使用の時はその洗浄に水洗タンク一杯分に近い水量を必要とするが, 小の使用の時は3~4ℓの水があれば十分である。このため, 大と小の使用に対して水洗水量を切替えられるようになっている水洗タンクが割合に普及しているが, 住宅公団などの団地では大小切替ができず, 常に水洗タンク一杯分の水量しか流れない水洗タンクが多い。このような水洗タンクを大小切替式に改造することは割合は簡単である。大小切替式の水洗タンクは小の水洗のとき, タンクの出口をふさいでいるボールを少し持ち上げる程度にレバーの傾きを加減して, レバーを傾けている間だけタンクから便器に水を落とす方式である(水洗タンクの構造は図3-18-2参照)。したがって, レバーの傾きを

或る角度でとめるような改造が行われれば、大小切替式の水洗タンクになる。この大小切替タンクが普及しても利用者が大小切替を行わなければ意味がないので、男性も女性も大小切替を徹底するよう、水に対する意識の向上をはかるとともに第4章で述べるような料金体系によって経済的な誘導を行う必要がある。ただし、女性の場合は便器メーカーサイドでは小の使用でも大の水洗を行うことを勧めている。女性の場合は小の使用で紙を使うからである。しかし、実際に試してみればわかるように1枚の紙くらいならば3～4ℓの水で十分にきれいに洗い流すことができるし、また、埼玉県所沢市の調査結果では大小切替タンク所有家庭において60%の女性が大小切替を行っているので、女性の場合も大小切替を徹底することは何ら問題はない。

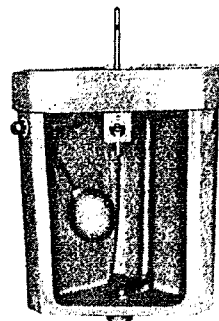


図3-18-2
水洗タンクの構造

② 水洗タンクの容積の減少：2の(1)で述べたように、最近、各衛生陶器メーカーから節水型便器が売り出されている。このような新型便器に切替えれば、大1回あたりの使用水量は12～13ℓから5～8ℓに減少する。しかし、便器一つ取り替えるのは8万円もかかることであるので、各家庭にこの節水型便器を導入することは現実には無理であろう。したがって、既存の便器についてはそのタンクの容量を小さくすることだけが現実的な対策となる。現状の12～13ℓ/回はかなり余裕をみた水量である。7～8ℓ/回まで水量を落しても汚物及び紙を流し去ることはできる。多少余裕をみても9～10ℓ/回位まで、つまり現状の2割位はカットすることは可能である。タンクの容量を小さくする具体的な方法はタンクの中に充填物を入れることである。かつて、ニューヨークではタンクにレンガを入れて節水することがよびかけられていたが、レンガではいさか重すぎる。手頃なのは適当な大きさのポリタンクに水を入れて栓をし、タンク内に沈める方法であろう。

IV. 掃除用水、撒水用水、洗車用水

① 掃除用水：掃除用水はバケツを使用するのが普通であるが、この場合は風呂の残り湯を利用すれば、新水の使用をなくすることができる。そして、風呂の残り湯を有効利用できるよう、風呂の水の取替日に合わせてふき掃除等を行うようにすべきである。また一部の家庭では玄関等の掃除にホースでゴミを洗い流すことがある。これは水を浪費するホースを使うこと自体をやめるべきである。ほうきで掃いてゴミを除いてからバケツで打ち水すべきである。

② 撒水用水：撒水はほとんどの場合、ホースが用いられる。水を浪費するホースは望ましくないが、撒水の場合、バケツに代えるのがむずかしい。そこで、ホースを前提とした水節約方法として、ホース先端へのハンドバルブ（手元制御弁）の取り付けを進める必要がある。ハンドバルブとは1の(3)で述べたように手で握ったときだけ水が出て、手を放すと自動的に水が止まるものである。この取り付けによって使っていないときの不要な給水をカットすることができる。

③ 洗車用水：洗車はホースを用いる場合とバケツを用いる場合の両方があるが、バケツで十分に洗車を行い得るので、水を浪費するホースの使用をやめるべきである。車1台の洗車はバケツ5杯もあれば十分である。

なお、上記の解説には風呂用水が含まれていない。風呂用水を減らす方法としてはタイマーや給水ブザーを用いて風呂の水張りに余分な水を入れたり、必要以上に加温しないようにすることや、入浴者の少な

い（1～3人/日）家庭での風呂の水の取替頻度を2日以上にすることなどが考えられるが、前者は人間の注意力でもかなりカバーできるし、後者は風呂の水の汚れ度に対する個人の感覚にかなり差があって、適正な取替頻度を一律にきめることがむずかしいため、ここでは風呂用水の削減は考えないことにした。

（2）家庭用水の必要水量

埼玉県所沢市の20家庭について家庭用水の必要量（1人1日あたりの必要水量）を試算した結果を紹介する（この調査は冬期のものであるが、ここでは年間平均に補正したものを示す）。

	現在の使用水量	改善後の使用水量	改善後の水量の算出根拠
炊事用水	50ℓ/人・日	26ℓ/人・日	最大給水量の固定化により平均給水量を一律に5ℓ/分とし、給水止水のスムーズ化による各家庭の水量削減率を2家庭の実測結果から推定した。
洗濯用水	64ℓ/人・日	33ℓ/人・日	節水プログラムの採用と残り湯の利用によって洗濯1回の平均消費水量を洗濯機の容積の2.5杯分とする（残り湯を2回に1回、洗濯液と1.2回目の貯めすぎに用いる）。また、洗剤の繰返し利用は計算の複雑さをさけるため、前提から除外する。
便所用水	40ℓ/人・日	27ℓ/人・日	大小切替の徹底とタンク容量の減少により、大の使用水量を1回あたり10ℓ、小の使用水量を5ℓとする。
風呂用水	49ℓ/人・日	49ℓ/人・日	
洗面手洗用水	17ℓ/人・日	7ℓ/人・日	算出の根拠は炊事用水と同じ。
掃除、撤水、 洗車用水等	8ℓ/人・日	4ℓ/人・日	掃除用水は2回に1回残り湯を利用し、撤水用水はハンドバルブによって消費水量を40%削減する。そして、洗車用水はバケツを用いることによって車1台あたりの使用水量を30ℓとする。
計	228ℓ/人・日	146ℓ/人・日	

この試算結果で明らかのように、家庭用水についても水使用合理化を進めれば、現在の使用水量の3/5以上を削減することが可能である。

（3）改善費用

（1）の水使用合理化の方法を導入するのに必要なおおよその費用を示しておく。

① 炊事用水、洗面手洗用水……ワンタッチコックの取付け：蛇口1カ所あたり約3,000円

② 洗濯用水……
 節水プログラムの導入：二槽式の場合は利用方法の改善であるから、改善費用はゼロ、全自動で古いプログラムの場合はプログラムタイマーの取り替えに2,000～3,000円の費用
 残り湯の利用：家庭用小型水中ポンプを用いる場合は1基4,000円

③ 便所用水……
 大小切替方式：既存の水洗タンクが大小切替方式でない場合の改造費用は約1,000円
 水洗タンクの容積減少：充填物の費用は数百円。

④ 掃除・洗車・撤水用水……
 掃除、洗車用水：改善費用はゼロ
 撤水用水：家庭用ハンドバルブで耐久性のあるのは2,000～3,000円

以上の改善費用をみると、家庭用水の水使用合理化を進めるのにそれほど高額な費用がかかるわけではない。安く済む場合（①の費用だけが必要となる場合）は1軒あたり約6,000円、高くつく場合（①～④の費用が全部かかる場合）でも2万円位であり、平均的には1軒あたり1万数千円であろう。そして、ワンタッチコック等の節水機器の量産化が進めば1軒あたり平均1万円程度で済むと思われる。

第4章 水使用合理化の行政手段

本章では、水使用合理化を推進するための行政手段について検討する。この行政手段は、工場等の特定の事業所を対象とする場合と一般の家庭を対象とする場合とで異なってくるので、二つに分けて検討を進めることにする。

1. 工場等の事業所に対する行政手段

(1) プライスメカニズム方式（水コストを上昇させる行政手段）の現実性

工場等の事業所で水が無駄に使われているのは水のコストが安すぎるからである。したがって、水のコストを高める手段を講じれば、水使用合理化がすみやかに進むことは当然考えられる。水コストを上昇させるのが理論的には水使用合理化を推進する最善の行政手段である（これをプライスメカニズム方式という）。このプライスメカニズム方式の現実性については二つの問題を検討しておく必要がある。一つは水使用合理化を徹底するためには水コストをどれ位まで高めなければならないかであり、もう一つは水コストをそこまで高めるためには具体的にどのような行政手段があるかである。前者の問題から検討していこう。

1) 水使用合理化を徹底させるのに必要な水コストレベル

水コストと水使用合理化程度との関係を調べたデータは今までほとんどないので、次の四つの実例から水使用合理化を徹底させるのに必要な水コストレベルを推定してみる。

① 1 m^3 あたり75~80円の水を使用しながら、洗浄水の節約を十分に進めていない工場の実例

実例Ⅰ A自動車工場（神奈川県平塚市）……………昭和49年7月の調査

上水道使用量：7,000 m^3 /日（この他に地下水を冷却用に14,000 m^3 /日使用）、上水道料金：78円/ m^3 、生産品目：中小型自動車、生産額：約800億円/年

A工場では上水道を主に塗装関係の洗浄水に使用しているが、水節約の余地は十分にある。水使用合理化を進めれば、上水道の使用量を少なくとも2,700 m^3 /日まで減少し、上水道料金を年間約8,000万円節約することができる。

実例Ⅱ Bビール工場（東京都墨田区）……………昭和47年2月の調査

上水道使用量：3,300 m^3 /日、上水道料金：75円/ m^3 、下水道料金：10円/ m^3 、生産品目：ビール、生産額：約200億円/年

上水道の利用用途のうち、冷却水は冷却塔による循環をかなり進めているが、大半を占める洗浄水は水節約があまり行われていない。洗浄水の中身はびん洗浄、タンク、パイプ洗浄などであるが、これらの洗浄水の水使用合理化を進めると、上水道使用量とその料金を約半分に、すなわち、それぞれ1,700 m^3 /日、4,000万円/年少なくすることができる。

② 1 m^3 あたり約15円の水を使用して、冷却水の節約を十分に進めていない工場の実例

実例Ⅲ C石鹸工場（東京都墨田区）……………昭和47年2月の調査

工業用水道使用量：2,200 m^3 /日（この他に主に洗浄用に上水道を1,070 m^3 /日、地下水を180 m^3 /日使用）、工業用水道料金：4.5円/ m^3 、下水道料金：10円/ m^3 、生産品目：食油、

石鹼、界面活性剤、生産額：約80億円/年

C工場では冷却水を冷却塔で循環し、その補給に工業用水道を用いるが、この冷却塔による循環はきわめて不徹底である。工業用水道の水源が下水処理水であるため、その水質が良好でないことを考慮しても、循環率を高めれば使用量を現在の約1/10の200 m^3 /日程度まで減少することができる。したがって、工業用水道と下水道の料金支払額を約1,000万円/年少なくすることが可能である。

実例Ⅳ D鉄鋼工場（東京都江東区）……………昭和46年1月の調査

工業用水道使用量：1,500 m^3 /日、工業用水道料金：4.5円/ m^3 、下水道料金：10円/ m^3 、
生産品目：鋼塊、鋳鋼、生産額：約30億円/年

D工場では冷却水は二系統に分かれていて、一系統は冷却塔による循環方式を進めているが、もう一系統は使い捨てになっている。この使い捨て方式を改めて冷却塔による循環方式に切り替えれば、工業用水道使用量を300 m^3 /日位にすることができる。それゆえ、工業用水道および下水道の料金支払額を約600万円/年減らすことが可能である。

以上の四つの実例から、水使用合理化を進めるのに必要な水コストレベルを取り出すことができる。まず、実例Ⅲ、Ⅳから明らかなように、15円/ m^3 程度の水コストレベルでは冷却水の節約は十分には進められない。次に実例Ⅱをみると、85円/ m^3 のレベルで冷却水の節約はかなり進んでいる。それゆえ、冷却水の節約を徹底させるのに必要なレベルは20円/ m^3 ～80円/ m^3 の範囲にあることが分かる。恐らくその中間をとれば、50円/ m^3 以上であることが必要であろう。一方の洗浄水は実例Ⅲ、Ⅳから明らかなように80～85円/ m^3 の料金でも節約が十分に進められない。したがって洗浄水の節約を徹底させるためには、おそらくその2倍の150円/ m^3 以上の水コストレベルが必要であろう。^[注]

以上の実例はいずれも調査時点が49年以前のものであるから、現在の価格水準に直せば、水使用合理化を十分に進めるためには冷却水に関しては70～80円/ m^3 以上、洗浄水に関しては220～230円/ m^3 以上であることが必要である。

ただし、この水コストレベルは都市型工業（食品工場、機械工場等）に適用できる値であって、石油化学工場、鉄鋼一貫工場、パルプ・製紙工場等のように使用水量がきわめて大きい業種についてはもっと小さい水コストレベルでも水使用合理化が十分に進むものと思われる。水コストの負担額とその影響度から推定すると、用水型工業において冷却水のみならず洗浄水の水使用合理化を十分に進めるためには、恐らく、都市型工業の約半額、すなわち、現状の価格水準で120～130円/ m^3 以上の水コストレベルが必要と考えられる。

〔注〕なお、現在の水コストレベルで水使用合理化があまり進まないのは、現在の水コストレベルが水節約の費用を下回っていることを意味しているわけではない。実例Ⅳについていえば、冷却塔を用いた場合の冷却水1 m^3 あたりの費用は当時3～6円/ m^3 であり、14.5円/ m^3 の料金よりはるかに安い。また、実例Ⅰの洗浄水についても節約水量1 m^3 あたりの費用は高くとも40～50円/ m^3 どまりであり、水使用合理化に取り組んだ方が経済的である。このように現在の水コストレベルは水使用合理化の費用より安いわけではない。それにもかかわらず、水使用合理化が十分に進められないのは企業が水を完全な生産財として扱うのに現在の水コストレベルが低すぎるからであると考えられる。実例Ⅰ～Ⅳのおおのの工場について全水コストが生産額に占める割合を求めると、Ⅰが0.2%（この内地下水0.04%）、Ⅱが0.4%、Ⅲが0.4%（この内工業用水道0.1%）、Ⅳが0.3%であり、主に工業用水道に頼るⅢ、Ⅳはともかく、上水道への依存度も大きいⅠ、Ⅱの工場においても全水コストのウェイトはきわめて小さい。

2) 水の社会的費用

まず、1) の望ましい水コストレベルと現在の水コストレベルを比較してみよう。

a. 水使用合理化を十分に進めるのに必要な水コストレベル

都市型工業（食品、機械工場等） 220～230円/㎡以上

用水型工業（石油化学、製紙工場等） 120～130円/㎡以上

b. 現在の水コストレベル

工業用水道料金 5～25円/㎡

地下水のコスト 3～20円/㎡

河川水のコスト 3～10円/㎡

aの望ましい水コストレベルは現在の水コストレベルに比べて一桁以上も高く、両者の差はきわめて大きい。それゆえ、水コストレベルをこの望ましいレベルまで近づけるためには社会的費用の概念を導入しなければならない。現在の水コストレベルはあくまで物理的に水を1㎡得るための費用しか示していないから〔注〕、水を使用することによって生ずる社会的損失（社会的費用）を水使用者に負担させようという考え方である。

〔注〕工業用水道は補助金の投入で利息の負担額が小さくなっており、その料金原価は本来の物理的費用も示していない。しかし、補助金をゼロとした場合の料金原価を計算し直しても、現在の料金レベルより20～30%高くなるだけである。

水使用によって生ずる社会的損失は具体的には水資源開発に関してはダム開発による水没地区住民の生活の根底的な変化と湖沼の水ガメ化による湖沼の自然への影響があるし、地下水に関しては地盤沈下の進行がある。そして、どの水源を利用しようとも使用後の水を排出することによって河川、海域の汚染が引き起こされる。

一般に近代経済学の立場から公害問題について主張されているのはこのような社会的損失を計量化して、原因者にチャージ（賦課）することである。しかし、社会的損失を計量化することは近代経済学者が考えるほど簡単なものではなく、計量化できる社会的損失は社会的損失全体の一部分でしかない。水利用に伴う社会的損失を計量化した例を示そう。

計量化できる水の社会的費用の試算例

① 地盤沈下による社会的損失

高潮、洪水対策費用および建物、地下埋設物の修繕費等 …… 1㎡あたり30円（東京都の場合）

東京都江東デルタ地帯における10年間（昭和36～45年度）の累計被害額の試算結果（約700億円）から東京都全体の1㎡あたり損失額を推定した値である。すなわち東京都全体の地盤沈下による被害額を江東デルタ地帯のその2倍として、その被害額を都全体の10年間の地下水揚水量50億㎡で割って求めた。

② 水質汚染による社会的損失

漁業の被害額 …… $\begin{cases} 1\text{㎡あたり}1.5\text{円（昭和45年の瀬戸内海の場合）} \\ 1\text{㎡あたり}15\text{円（千葉県市原市において漁業が現在まで存続していて} \end{cases}$

壊滅的打撃を受けたと仮定した場合）

〔瀬戸内海については異臭魚の発生量や漁獲量の減少などから推定された45年の漁業被害額54億円を、瀬戸内海沿岸の工場排水総量1,000万 m^3 /日（海水を除く）で除して求めた。また、千葉県市原市については昭和31～36年の漁業権補償額から、水質汚染によって漁業が壊滅した場合の被害額を推定した。すなわち、その全補償額約150億円を現在価格に直すため、2倍して、それを漁業の全被害額とする。そして、その被害額を10年間に分けて支払うものと仮定し、その1年分の支払額を工場排水量約50万 m^3 /日（海水を除く）で割って15円/ m^3 を求めた。〕

③ 水資源開発に伴う社会的損失

水没地区住民の生活再建補償費 …………… 1 m^2 あたり4円（現在のダム水没補償額の3倍を支払った場合）

〔利根川上流渡良瀬川の草木ダムを例にとって、水没の補償総額32億円（46年に補償交渉が妥結）と上水、工業用水の水利権約8 m^3 /秒から求めた。すなわち生活再建まで補償した場合、仮に従来の補償額の3倍かかるとし、そして、この補償額に対する上水道、工業用水道の毎年の負担額をその1割として（洪水、発電、農業用水部門の負担を考えない場合）、それを水利権水量で除して求めた。なお、生活再建補償とは代替農地の提供、職業訓練、就職あっせん、定収入が得られるまでの生活補償金の支払いなどを意味するが、しかし、それは補償の内容の問題であって、このような生活再建補償をこまめに講じても補償総額が必ずしも従来より飛躍的に増大するわけではない。けれども、ここでは一応安全側をとって従来の補償額の3倍を見込んだ。〕

以上の試算結果をみると、計量化できる社会的損失は意外に小さいことがわかる。地盤沈下で30円/ m^2 、水質汚染で1.5～15円/ m^2 、水資源開発で4円/ m^2 であり、これらの社会的費用を水使用者に負担させても水コストレベルは現状の2倍程度（工業用水道10～45円/ m^3 、地下水35～60円/ m^3 、河川水10～30円/ m^3 ）になるだけであり、水使用合理化を徹底させるのに必要なレベルに程遠い。

しかし、上記の計量化された社会的損失は実際に起こっている社会的損失のほんの一部を示しているにすぎない。計量化できない社会的損失、むしろ絶対的損失というべきものが存在しているからである。絶対的損失の例をみると、まず、地盤沈下については洪水、高潮対策として堤防を嵩上げしても強度の地震によって堤防の一部が決壊し、多くの人命と財産が失われる危険性がある。次に、水質汚染については漁業の生産額はもともと工業などに比べて小さく、どんなに壊滅的打撃を受けようともその被害額はあまり大きな値になるものではない。しかし、漁業の被害額は取り返すことのできない水域の自然の破壊の状況を示すバロメーターであって、漁業が満足に営まれなくなった時、水域の自然はすでに根底から破壊されていると考えてよい。そして、水資源開発についてはどのような生活再建措置を講じようとも立退き住民の精神面での打撃を償うことはできない。なぜなら、水没地区住民の大多数を占める農民にとって農地は肥沃化に精魂を傾けてきた日々の営為の代償だからである。

以上のように、現在の水コストは物理的費用しか示していないので、水使用によって生ずる社会的費用を加算し、水使用合理化を徹底させるのに必要なレベルまで水コストを上昇させるべきであるが、計量化できる社会的費用は意外と小さく、計量化できない絶対的損失まで加えなければ必要なレベルまで上昇させることが困難である。それではこのように計量化できる社会的費用は無論のこと、絶対的損失も加算して必要なレベルまで水コストを上昇させる行政手段としてはどのようなものがあるのだろうか。次に水コスト上昇の具体的な行政手段について検討してみよう。

3) 水コスト上昇の行政手段

一般に自治体が工場等の事業所から金銭を徴収する場合、地方税、分担金、使用料、協力金の四つの形態がある。このうち、地方税、分担金、使用料の三つは地方自治法第九章第三節に徴収の根拠と条件が記されているが、協力金は制度的裏付けを持たない。水の社会的費用をこれらの四つの手段で徴収することがどこまで可能かを検討してみる。

① 協力金

神奈川県座間市では水資源利用者協力金という名称で地下水大口使用事業所から、地下水使用量に比例した金額を徴収することを検討中ということである。このような協力金という形態は自治体が行なう公害健康補償でよく用いられる（例えば、川崎市や横浜市が独自に行なう健康被害補償の補償金は各企業からの醸出金で賄われる）。しかし、これらの協力金はいずれも企業の同意を必要とする以上、あまり大きな金額にはなりえない。座間市の計画では地下水最大使用工場のN自動車工場（地下水水量24,000 m^3 /日）で年間の徴収額が800万円であり、水1 m^3 あたり1円程度にしかない。水使用合理化を推進するためには生産額に占める水コストの割合が企業にとって無視できぬ大きさになることが必要であるが、企業の同意を必要とする協力金の形態をとった場合、生産額における水コストの割合がそのように高くなることの同意を企業から得ることは論理的にありうることではない。それゆえ、協力金の水使用合理化推進の有効な手段になることはないと考えてよい。

② 分担金（受益者負担金としての社会的費用の徴収）

分担金とは受益者負担金のこと、徴収の例として簡易水道事業や農業用排水路工事の受益者負担金などがある。水の社会的費用を受益者負担金として徴収することは議論のあるところであろう。しかし、一つの解釈としては事業所は水の使用によって生じる社会的損失を負担せずに利益を享受しているわけであるから、水の社会的費用をその受益者から徴収することも可能ではないかと思われる。けれども、仮に徴収可能だとしても、徴収できる額はあまり大きな金額になることはない。なぜなら、この受益者負担金の範囲はすでに発生した費用だけに限定されるため、前述の計量化できる社会的費用だけになってしまうからである。したがって、この負担金制度を活用できたとしても、水使用者が負担する水コストは現状の2倍程度になるだけであり、水使用合理化を徹底する手段とはならない。

③ 地方税（法定外普通税としての水利用税）

自治体が徴収できる地方税の種類は地方税法によって細かく定められており、新しい税目は起こす場合は法定外普通税の形をとる。しかし、その創設は自治大臣の許可を必要とする。水利用税の形をとれば、②のように計量化できる社会的費用に限定せず、絶対的損失も含めて水使用合理化を徹底するのに必要レベルに相当する金額を徴収することは理論的には可能である。しかし、そのように或る程度高額な水利用税を自治体が法定外普通税として創設することについて自治大臣の許可が得られる可能性はほとんどないであろう。なぜなら、自治大臣の許可条件の中に「国の経済政策に照らして適当であること」という項目があって、この国の経済政策のなかに工業用水道の産業保護政策すなわち多額の補助金を投入して工業用水道料金を低廉な料金に据え置く政策が含まれると考えられるからである。それゆえ、国の工業用水道政策が根本から改められない限り、上記のような水利用税の実現は現段階では不可能に近い。

④ 使用料（工業用水道料金の値上げ）

工業用水道や上水道を利用している場合に限られるが、料金を値上げして事業所の水コストを上昇

させる方法がある。工業用水道事業法や水道法によれば、工業用水道や上水道の料金の決定は本来は水道事業者の自主的判断にまかされており（事業者が自治体の場合）、料金の体系が適正且つ明確である限り、自治体の帳量で料金を妥当な額まで引き上げることは可能である。しかし、これは国の補助金が投入されていない場合の話である。実際に国の補助金が投入されていない上水道の場合は東京都のように大口水使用者から180円/㎥という料金を徴収することも可能であるが、工場が主に依存する工業用水道の場合は国の補助金が建設費の20～30%も投入されているため、工業用水道事業補助金交付規則によって料金の決定は通産大臣の承認が必要である。したがって、③と同様、上述の工業用水道の産業保護政策が続けられる限り、水使用合理化が十分に進むよう工業用水道料金の大幅値上げを実現することは困難である。

以上のように、自治体がとりうる水コスト上昇の行政手段のいずれを用いても、水使用合理化を徹底させるレベルまで水コストを上昇させることは不可能である。水コストを上昇するプライスメカニズム方式は水使用合理化の推進の手段として最善の方法であるが、制度的な裏付けが得られないのである。

(2) 次善の行政手段の問題点

プライスメカニズムに代る水使用合理化の次善の行政手段として一般に考えられるのは一律カット方式と原単位方式である。しかし、実際に前者は効果の面で、後者は現実性の面で問題があり、次善の行政手段としてふさわしいものではない。それはもう少し詳しく述べよう。

1) 一律カット方式

一律カット方式は事業所の使用量を削減する際にもっともよく用いられる方法である。エネルギー危機の時の電力制限も一律カットであった。すなわち、事業所内部に立入って水やエネルギーの利用状況、無駄な利用程度を調べることにし削減量をきめようとすれば、当然、形式的な公平性を保つ上から、一律カットにならざるをえない。しかし、一律カット方式をとると、削減量は自ずと限られてくる。

例えば、ここでA、Bという対照的な工場を考えてみよう。A、Bとも地下水を冷却水だけに使用しているが、Aは冷却水を全くの一通式で使用し、Bはすでに冷却塔で冷却水を循環利用している。Aが冷却水を冷却塔で循環し、塩類濃度の濃縮倍数を4倍に保つ方式に改善すれば、通常は使用水量が現状の1/100～2/100まで減少する。一方、Bの場合は塩類濃度の濃縮倍数を4倍にすることだけが水節約の方法であるが、現状が3倍とすれば、現在の水量の89%までしか削減できない。すなわち、Aの削減可能率は98～99%、Bは11%である。したがって、現在の生産を維持することを前提とすれば、一律カットによる削減率はA、Bとも11%にとどまってしまう。

もちろん、現在の生産そのものを削減することがゆるされるならば、削減率をもっと大きな値に設定することができる。しかし、今までの公害規制は技術的な解決ができる範囲内にとどまっており、生産削減まで行なったものはない。たとえ、水量削減がそれを越えて削減率50%という値をきめたとしてもそのような不公平なものが社会に受け入れられることはまず考えられない。なぜなら、A工場にとっては冷却水の一部循環を行うだけで水量半減をきわめてたやすく達成できるが、B工場にとっては水量半減は生産半減を意味するからである。

このように、一律カット方式をとる場合の削減率はB工場のような進んだ工場によって上限をきめられるため、10～20%の値にとどまることが多い。生産工程内部に立入って水利用の状況、つまり、どのような水の使い方がされているかを把握することなしに、水量削減を行なうとすれば、小さな削減率しか得ることができないのである。

2) 原単位方式

牛乳とか自動車とかの製品の種類ごとに単位生産量あたりの必要水量をきめることができるのではないかという話をよく耳にする。もし、そのような必要水量がきめられるならば、水使用合理化の指導も随分楽な仕事になるであろう。しかし、各業種における生産の実態や水利用の状態を知る者にとってこのような必要水量のきめ方は不可能と考えざるをえない。例えば、牛乳工場を例にとると、多くの牛乳工場はいわゆる市乳だけをつくっているのではない。工場によってはアイスクリームやヨーグルト、生クリーム等の乳製品、ジュース、コーヒー乳等の乳飲料なども製造している。これらの生産品目の製造の有無、ウェイトは工場によってまちまちである。それ故、牛乳製造業という細分類の業種をとっても単位生産量あたりの必要水量をきめることはできない。同じ業種でも生産の中身はまちまちだからである。

それでは、もっと細かく生産品目ごと、例えば、ヨーグルト、コーヒー乳といった品目ごとならば、単位生産量あたりの必要水量をきめることができるのだろうか。もし可能だとしても非常に数多くの製品ごとに必要水量をきめることは大変な作業を要するが、実際にはこの必要水量もきめることができない。

例えば、市乳の製造について考えると、この製造における水利用用途のうち、タンクの洗浄水はタンクの容量、形状によって単位生産量当りの必要水量が変わってくる。又、同じタンクをコーヒー乳等の他の製品の製造にも使用している場合は製品の切替えにより洗浄頻度がふえ、タンク洗浄水の必要量が大きくなる。このようにタンク洗浄水を例にとっても、単位生産量あたりの必要水量をきめることができないことがわかる。業種ごとはもちろんのこと、生産品目ごとに細かく分けても必要水量は各工場の条件によって左右されるため、生産量の関数で表わすことはできない。したがって原単位方式は机上の空論でしかない。

(3) 技術基準方式

1) 効果的且つ現実的行政手段の必要条件

前節での検討によって、プライスメカニズム方式に代る次善の行政手段として一律カット方式と原単位方式はいずれも難点があることがわかった。したがって、次善の行政手段として、別の方法を模索しなければならぬ。前節での検討で次善の行政手段が満たすべき条件が明らかになった。まず第一に一律カット方式の効果が少ないのは各事業所に立入って水の無駄使い程度を把握することを行わずに事業所の外側から削減率をきめようとするからであった。したがって、効果的な行政手段としては各事業所内の水の利用状況を把握するようなものでなければならない。第二に、原単位方式の非現実性は水原単位（単位生産量あたりの必要水量）というものを最小限の水利用を表わす共通の指標として取り出すことができないことにあった。それゆえ、現実的な行政手段となるためには最小限の水利用を表わす共通の指標を示すことができるものでなければならない。

この二つの条件を満たすのが技術基準方式である。技術基準方式とは標準的な水使用合理化技術を基準として、その技術基準に基づいて事業所内の各水利用箇所ごとに改善の必要度と方法を示していく方式である。この方式を用いれば、事業所内の各水利用箇所ごとに水の無駄使い程度がチェックされるので、削減水量がきわめて大きくなる。第2章で紹介した東京都の実績、現状の1/4までの削減はこの方式によって得られたものである。そして、水使用合理化技術は多くの種類があるけれども、第3章の標準的方法として解説したように冷却水、びん洗浄水等の水利用用途ごとには共通しているので、基準化して共通の指標にすることが可能である。東京都では公害防止条例施行規則の中で主な用途の水使用合理化技術を地下水使用合理化基準として示している。

以上のように、プライスメカニズム方式に代る次善の行政手段として最も効果的で現実的なものは技術基準方式である。

2) 技術基準方式への誤解

しかし、この技術基準方式については誤解が意外と多い。技術基準方式への疑問の主なものは次の二つである。

(1) 生産工程内部の問題は本来、工場側だけが知っていることであって、行政側がその工程内部に立入ってこまごまと技術的な改善を要求するのは容易なことではない。余程、生産工程内部に熟達した職員が行政側にいないと、この指導は困難である。そして、本来、工場側が考え出すべき生産工程内部の水利用方式の改善を行政側が指導するのは企業に対して親切すぎるのではないか。

(2) 技術はたえず進歩していくものであって、基準という形で水を減らす技術を固定化してしまうと、最新の技術を導入することや工場側の創意工夫を妨げることになるのではないか。

しかし、これらの疑問は水使用合理化の内容をよく知らないための誤解である。次にそれを説明しよう。

①について：確かに行政側が生産工程内部にまで立入って水使用合理化の方法を指導することは今まで規制業務（例えば、排水規制については排水口での水質チェック）に比べれば、むずかしい仕事であろう。しかし、熟達した専門的な行政官がいなければ、水使用合理化の指導の仕事ができないということはない。むずかしいと思う人は恐らく水利用の現場を十分にみていないだけでなく、水使用合理化の原理的なことをよく認識していない人であろう。水使用合理化の指導を進める際の基本は工場における水利用の状況をよく観察することであるが、1章の水使用合理化の基礎知識を十分に理解した上で、水利用の各現場をみながら、3章の水使用合理化技術の適用を考えていただきたい。そうすれば、水使用合理化の指導は多少の経験を積めば、それほど困難なものではないことがよくわかるであろう。そして、このような指導が企業にとって親切なことであるかという点決してそうではない。今まで、生産工程内部のことは企業にしか分からないということで、その中に入ることはタブーとされ、企業はそれをよいことに無駄な水利用を続けることができた。けれども、この方式はこのタブーを破って生産工程内部のことについて細々と注文をつけるわけであるから、むしろ企業にとってこの方式は非常にきびしいものと受け取られるであろう。

②について：確かに技術の進歩は著しいが、水使用合理化の技術は各用途ごとに原理的にきまってくるものであって、以前からはほとんど変わっていないといつてよい。今まで水使用合理化があまり進まなかったのはその技術が未開発だったからではない。技術はすでに確立していたが、それを導入させる条件がなかったのである。それ故、現在確立されている水使用合理化技術は今後もほとんど変わらないと考えてよい。もちろん、標準的な方法と同等以上の水量削減効果のある方法の採用も認められるから、水使用合理化技術の進歩や工場側の創意工夫を妨げることにはならない。

3) 技術基準方式の実施

以上のように、現段階において技術基準方式は水使用合理化を現実的且つ効果的に推進する唯一の行政手段である。この技術基準方式を実施に移していくためには第一に自治体の条例に水使用合理化を勧告又は命令できる条項が設けられ、第二に専任である必要はないが、水使用合理化の指導を行う行政職員が何人が確保されることが望ましい。ただし、この二つは必須の条件ではなく、あくまで水使用合理化をよりスムーズに進めるための条件である。それぞれについてもう少し詳しく説明しておく。

① 条例の整備

水使用合理化は条例上の根拠なしで全くの行政指導で進めても結構推進されるものである。それは水使用合理化自体、すでに確立された既存の技術を適用するもので、決して無理がないからである。しかし、各事業所の水使用合理化を徹底するためには条例上の根拠があることが望ましい。東京都の公害防止条例では表4-1に示すように、地盤沈下対策の一環として地下水使用事業所に対して水使用合理化のための設備改善と水量削減の勧告が行えるようになっている。東京都の条例では勧告どまりであるが、勧告に十分に従わない事業所に対してはその事業所名を公表することになっており、勧告だけでもかなりの効果が上げられつつある。しかし、徹底した効果を得るためには命令まで行えるようにすべきであろう。

同様な条項を各自自治体の公害防止条例に設けることが望ましい。東京都の場合は地盤沈下対策として、地下水使用事業所のみを対象としているが、排水の総量規制の一環として排水を排出する事業所に対して同様な条項を公害防止条例に設けることは可能である。排水規制の一部として水使用合理化が条例化されれば、地下水に限らず、工業用水道や河川水の使用事業所も水使用合理化の対象にすることができる。工業用水道や河川水を利用する事業所の水使用に対して水資源保全の立場から条例でどのような規制ができるかは、今まで検討した例がないので明らかではないが、少なくとも排水の総量規制の面からこれらの水源を利用する事業所に対しても条例による規制を加えることは可能である。

表4-1 東京都公害防止条例及び同条例施行規則の抜粋

公害防止条例第三十六条（地下水の揚水量の減少勧告、施設等の改善勧告等）

1. 知事は …… 規則で定めるところにより、地下水の揚水量を減少すべきことを勧告することができる。
2. 知事は …… 地下水の使用を合理化 …… することが適当であると認められるものがあるときは …… 施設等を改善 …… すべきことを勧告することができる。

公害防止条例施行規則第二十一条（地下水揚水量の減少勧告）

2. 条例第三十六条第1項に基づく地下水の揚水量の減少勧告は次の各号に掲げる場合に行う。

- 二 揚水施設を設置している者が、必要と見込まれる水量を超えて揚水している場合
3. 前項第二号に定める場合における揚水量を減少すべき量は別表第三の九の上欄に掲げる用途についてそれぞれ同表下欄に掲げる施設等の基準に適合して水利用を行っているときとみなして算出した量とその他の用途について現状で最低必要とする量との合計量を超える量とする。

同条例施行規則第二十二条（施設等の改善勧告等）

1. 条例第三十六条第2項の規定に基づく施設等の改善勧告は、別表第三の九に定める基準により行う。

同条例施行規則別表第三の九 地下水使用合理化基準（第二十一条、第二十二条関係）

水使用の用途	施設等の基準
一. 冷却用水 (以下略)	(一) 冷却塔を設置して、全量を循環利用すること

② 行政職員の確保

第5章で詳述するように、水使用合理化の指導は決してむずかしい仕事ではないが、時間のかかる仕事である。それ故、一人の行政職員が一年に指導できる事業所の数は自ずと限られる。事業所の規模に

よって異なるが、一人あたり大体10～30事業所である。したがって、50事業所以上を1～2年で片付けようとする場合は水使用合理化の指導の仕事に従事する行政職員が何人か確保されるべきである。しかし、その行政職員は水使用合理化の専任である必要はなく、むしろ排水規制などの仕事と兼ねていた方が事業所を総体としてとらえられる点で有利である。

以上の二つのより望ましい条件を満たすかどうかは自治体の水使用合理化の重要性に対する認識如何にかかっているが、これらの条件が満たされた上で第5章で述べる水使用合理化の指導が実施されれば、数年のうちに第2章で試算した大幅な水量削減が実現するであろう。

2. 一般家庭に対する行政手段

以上は東京都ですでに実績のある、事業所に対する行政手段についての検討であった。一方、一般家庭についてはそのような行政的な実績がないので、あくまで試論にとどまるが、一般家庭に対する行政手段についても検討を加えておくことにする。

(1) 水節約機器の設置

前章で述べた生活用水節約の方法は次のように水節約機器の設置によるものと水使用者の意識によるものの二つに分けることができる。

家庭用水の水使用合理化方法

(1) 水節約機器の設置によるもの

- i 使所用水：タンク容積の減少（充填物の挿入）、大小切替方式への改造。
- ii 炊事用水、洗面手洗用水：ワンタッチコックの取り付け
- iii 洗濯用水：全自動のプログラムの改造
- iv 撒水用水：ホース先端へのハンドバルブの取り付け

(2) 水使用者の意識によるもの

- i 使所用水：大小切替の徹底
- ii 炊事用水、洗面手洗用水：ワンタッチコックの最大給水量の適正值維持、ワンタッチコックの適正な使用
- iii 洗濯用水：節水プログラムの実施（手動の場合）、風呂の残り湯の使用、洗剤の繰り返し利用
- iv 掃除用水、洗車用水：バケツの使用、風呂の残り湯の使用

この(1)と(2)を比較すると、(1)の方が行政的に進めやすい。とにかく水節約機器を設置するだけで問題が片づくからである。前述の、事業所に対する技術基準のほとんどは水節約機器の設置の義務づけであるが、一般家庭の場合も同様な方法を用いることが可能であろう。ただし、事業所の場合は水節約機器を設置しないことに対して何らかの制裁手段を採ることが可能であるが、相手が家庭の場合は制裁手段を採ることはむずかしい。

それゆえ、生活用水の場合は水節約機器の設置を家庭に義務づけるのではなく、主として行政側（自治体の水道部又は水道局）が各家庭に水節約機器を設置して回るといった方式をとる必要がある。それはガス会社が天然ガスへの転換に伴ってガス器具の調整に回ると似ている。

ただし、行政側が直接行うのは便所のタンク容積の減少、大小切替方式への改造、蛇口へのワンタッチ

コッチの取り付け、撒水ホース先端へのハンドバルブの取り付けの4点であり、全自動洗濯機のプログラムの改造は家電メーカーに依頼すべきである。

もちろん、新たに建設される住宅、マンション、団地についてはワンタッチコックや大小切替式の節水型便器等が設置されていない限り、給水工事を認めないという方法で水節約機器の普及をはかることができる。そして、新しい洗濯機（全自動）については前章で示した節水プログラムの採用を家電メーカーに義務づけることが必要である（この義務づけが自治体単独でどこまでできるかは検討を要する。）

このような新設の場合は水節約機器の設置の費用を施工者やメーカーに負担させることができる。既設の住宅や洗濯機の場合は原則として行政側が負担すべきであろう。そして、その費用は料金収入で賄うべきである。実際に水節約機器の設置はそれほど高くつくわけではない。恐らく、水節約機器の量産化により一家庭あたり平均1万円位で済むのではないと思われる。最も給水戸数の多い東京都区部を例にとっても、給水家庭件数は約260万件であるから、全体で約300億円の費用である。300億円は大きな金額であるが、しかし、最近では新たな水資源開発で1 m^3 /秒の水を生み出して、浄化し配水するのに150億円近くもかかっているわけであるから、わずか300億円で7~8 m^3 /秒の水を減らす素地がつけられるのはむしろ安いと考えるべきであろう。もちろん、このような水節約機器の設置は費用の面でも人手の面でも短期間のうちに行えることではない。何年かけて進めていくべきことであろう。

(2) 水節約を促す料金体系

水節約機器が設置されただけでは水量削減効果は小さい。個々の水使用者が水を節約する正しい使い方をしてはじめて大きな削減効果が得られる。この水使用者の意識を高めるためにはやはり料金体系をそのように組み立てることが必要であろう。節水キャンペーンを何回も繰り返して各家庭に具体的な水節約方法を周知徹底することは第一に必要であるが、経済的なメリットがなければ、各家庭は水節約方法をなかなか取り入れないものである。もちろん、料金体系を利用する経済的誘導方式にも限度がある。きわめて富裕な家庭は料金支払額が現状の何倍になろうと、経済的な影響をあまり受けないからである。その点で料金方式とは別に、1人当たり使用水量があまりにも過大な（例えば300 L /人・日以上）家庭については呼び出して嚴重に注意するとともに、状況によってはその家庭の元給水バルブの開度を小さ目に固定して封印してしまうことも必要であろう。

それはともかくとして、ここではどのような料金体系が水節約を促す上で有効であるかを考えてみる。まず水節約を促す料金体系は水を多く使えば使うほど、料金単価が高くなる通増制料金でなければならない。最近、多くの都市の料金体系は次の例に示すように通増制に変わりつつある。

水道料金の例（口径20mmの場合、1カ月の料金）

	基本料金	11~20 m^3	21~30 m^3	31~50 m^3	51 m^3 ~				
埼玉県 所沢市	10 m^3 まで 400円	60円/ m^3	80円/ m^3	110円/ m^3	150円/ m^3				
	基本料金	11~20 m^3	21~30 m^3	31~100 m^3	101~200 m^3	201~1,000 m^3	1,001 m^3 ~		
東京都	10 m^3 まで 300円	60円/ m^3	75円/ m^3	90円/ m^3	120円/ m^3	150円/ m^3	180円/ m^3		

しかし、現在の通増料金制は一戸当たり使用水量の段階式料金となっており、小家族はど有利で、大家族はど不利である。したがって、通増制の料金体系は1人当たり使用水量で構成すべきである。この場合、各家族の世帯人員を住民基本台帳で把握しておく必要がある。次に、1人当たり使用水量による通増料金制にした場合、150 L /人・日

位を境目に料金を格段に高める必要がある。150ℓ/人・日は水節約を進めれば、1人の生活用水を賄える水量である。

ここでは以上の考え方を前提として、埼玉県所沢市20家庭について次の条件で、水節約を促すための最低の料金レベルを求めた例を紹介しておく。

- ① 水節約をきちんと行えば、いずれの家庭も料金支払額が現状とはほとんど変わらない。
- ② 水節約を進めない場合は水浪費型の6家庭の2倍を最高に、料金支払額が急増する。

試算結果（水節約を促す料金体系の最低レベル）

0～100ℓ/人・日	60円/㎡
100～150ℓ/人・日	100円/㎡
150ℓ/人・日以上	200円/㎡

実際には、料金体系の傾斜をこの試算結果よりもっときびしくした方が水節約がスムーズに進むであろう。

以上のように、主として行政側（水道局又は水道部）が水節約機器を取り付ける（ただし新設の場合は起工者、メーカーに義務付ける）とともに、1人当たり使用水量150ℓ/人・日を境に格段に料金を高める段階制の料金体系を採用すれば、生活用水の大幅な削減を実現することが可能と考えられる。そして、この生活用水削減の行政的手段のほとんどは各自治体の権限で行えるものである。

第5章 水使用合理化の指導の進め方

1. 指導の手順

(1) 手順の概要

本章では3章で述べた水使用合理化技術を用いて、工場等の事業所の水量削減を進めるための指導の手順について解説する。まだ行政的な指導の実績のない一般家庭についてはここではふれないことにする。さて、事業所に対する水使用合理化の指導をより効果的なものとするためには前章で述べたように地盤沈下対策、水質汚染対策を目的として水量削減や水使用合理化を勧告又は命令できる条項が各自治体の条例に設けられる必要がある。

しかし、自治体の条例に水使用合理化の勧告又は命令の条項が設けられたとしても、その勧告書又は命令書を工場に渡すだけでは水使用合理化は十分に進まない。その理由は行政側が工場内部の水利用の状況についてほとんど知識を持っていないため、工場側の言うままに終わってしまう可能性が強いからである。つまり、水使用合理化の勧告書又は命令書を受け取っても、工場側は行政側が工場内部の水利用状況について無知に等しいのをよいことに、以前から節水に努力していることを強調して改善箇所をほんの一部にとどめてしまうことが多いからである。

その点で、水使用合理化の指導はまず行政側担当者が工場内の水利用の概況を理解することからはじまる。そして、次第に水利用の状況を克明に且つ量的に把握していくことになるが、しかし、工場内の水利用状況に関する詳細な資料が工場側にすでにあることを期待してはならない。工場側も水を大切に使うてこなかったことの当然の結果として、工場内部の水利用状況に関して詳細で量的なデータを持っているとはほとんどない。したがって、ほとんどの工場については工場内の水利用状況の量的な把握を工場側と一緒に進めていかなければならない。

しかし、この水利用状況を量的に把握する作業が持つ意味は大きい。それはその作業を通じて、工場の現場の人達が水に対する関心を高めるようになるのと同時に、その工場における水使用合理化のポイントが自ずと浮び上ってくるからである。その点で、水利用状況の量的把握がきちんと行われれば、水使用合理化の仕事は3分の1か半分位終わったと考えてよい。それだけ、この作業は重要である。

次にこの水利用状況に関するデータから、対象工場の水使用合理化を徹底した場合の青写真を作成する。そして、1～2年の猶予期間を設けて、その青写真通りに水利用方式を改善するよう、対象工場に対して勧告又は命令を行う。

更に、この後、勧告又は命令通りの改善をどのようなスケジュールで実施するかを示す改善計画書の提出を工場に求める。この改善計画書の提出の段階で、大抵の工場は水使用合理化の重要性と妥当性についての認識がまだ十分でないため、勧告や命令通りの改善ができない理由をいろいろとあげてくる。ここで、工場との折衝が行われるが、しかし、行政側の作成した青写真の内容は次の二つの場合を除いて変更してはならない。変更を要するのは一つは青写真で選んだ水使用合理化方法とは別の方法（3章に示す代替手段や同等以上の方法）を工場側が採用する場合であり、もう一つは3章で述べた例外に該当する箇所がある場合である。けれども、これらの変更はあくまで青写真のうちの一部であって、工場との折衝が繰り返されても原則として青写真通りの改善は実施されなければならない。その点で、工場との折衝はむしろ、改

善が困難な理由として工場側があげてくる種々の問題を論破して、水使用合理化について正しい知識を工場側が持つようにするためにある。

以上のことを整理すると、水使用合理化の指導は次の手順で行われるのが望ましい。

- ① 水利利用の概況の理解
- ② 用途別使用水量の測定の指導（工場より詳細な水利利用現状資料の提出）
- ③ 水使用合理化の青写真の作成
- ④ 水使用合理化の勧告又は命令
- ⑤ 工場との折衝（工場より改善計画書の提出）

次に以上の手順のうち、特に予備知識を必要としない③を除いて、①、②、④、⑤の各作業の内容を具体的に説明する。

(2) 水利利用の概況の理解

まず、行政側担当者が対象工場に立入って、その工場の水利用の概況を理解することが必要である。工場の水利用の概況は次のような手順をふめば、比較的早く理解できるようになると思われる。

i. 工場の生産の流れを知ること

工場内の水利利用箇所を一つ一つばらばらに聞いたのでは、工場の水利用の状況を理解することはむずかしい。各々の水利利用箇所を生産の流れに位置づけないと、水利用の状況が頭に入っていないものであって、まず、工場の生産の流れをつかむことが必要である。それゆえ、工場に立入ってからの仕事は工場の「案内」やパンフレットにでている大まかな生産の流れを参考に、主な生産設備の名称と数を聞き取ってより詳しい生産の流れ図をつくることから始まる。図5-1は市乳工場の生産の流れ図を作成したものであるが、最初の聞き取りでこれ位のメモが得られるようにしたい。ただし、市乳工場の場合は生産物が日常品であるため、生産の流れを比較的理解しやすいが、化学工場などの場合は原材料や中間製品の名がよくわからないため、生産の流れを理解することが困難と思われることが多い。その点で、そのような工場については立入る前に、その工場と同じ業種の一般的な生産工程を事前に勉強しておくことが望ましい。しかし、生産の流れは適度に詳しく理解すればよいのであって、隅から隅まで正確に理解しなければならないものではない。

ii. 生産の流れに主要な水利利用箇所を位置づけること

次に行うのはこの生産の流れに沿って、主な水利利用箇所を聞き出し、その水利利用箇所の用途、利用水の種類（新水か、他用途の排水か、冷却塔や水槽、冷凍機による循環水かの区別）を書きとめることである。図5-2の例はiでつくった生産の流れ図にこれらのデータを書き込んだものであるが、このようなメモを工場の現場で作成するのが望ましい。そして、この例の右端に示すように生産設備だけでなく、水を使用する付帯設備、つまり冷凍機、空気圧縮機、ボイラーなどの設備も同時にメモすべきである。

iii. 生産の流れに沿って主要な水利利用の現場を観察すること

次にiとiiで作成したメモにしたがって、主な水利利用箇所の現場に行って、水利用の状況を観察する。工場の中に数多くの設備があるため、現場観察では設備の数と種類に圧倒されて、工場の水利用状況の理解は大変むずかしいことだと思いがちであるが、見るポイントを主な水利利用設備にすれば、水利用状況の理解はそれほどむずかしいことではない。ただし、工場の中を歩き回っているうちに、iiで工場側から聞き出したメモにはのっていない主な水利利用箇所を発見することもしばしばあるので、現場観察では水が

多く出ているところにたえず注意を払うべきである。

そして、この現場観察では不明な点は何でも質問するようにすべきである。初歩的なことは聞きにくいものであるが、臆せず質問するよう心掛けたい。また、現場で観察したこと、聞いたことはなるべくノートにメモすることが望ましい。記憶だけに頼っていると、観察し聞いたことの大半を二、三ヶ月で忘れてしまうことが多い。その時のメモがあれば、そのメモをみて記憶をよみがえらすことができる。

以上で、行政側担当者が対象工場の水利用の概況を理解するための仕事は終わる。この仕事は中規模以上の工場ならば、朝から夕方まで1日かかる仕事である。朝から弁当持参で工場を訪ねて、この最初の仕事に取り組んでいただきたい。

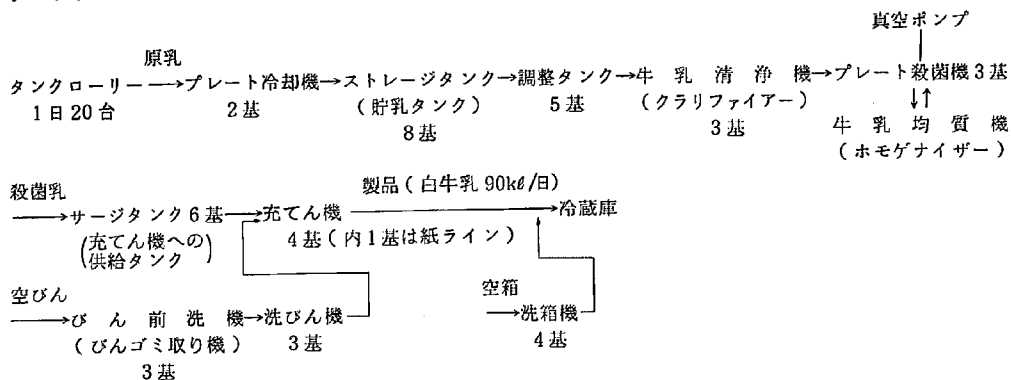
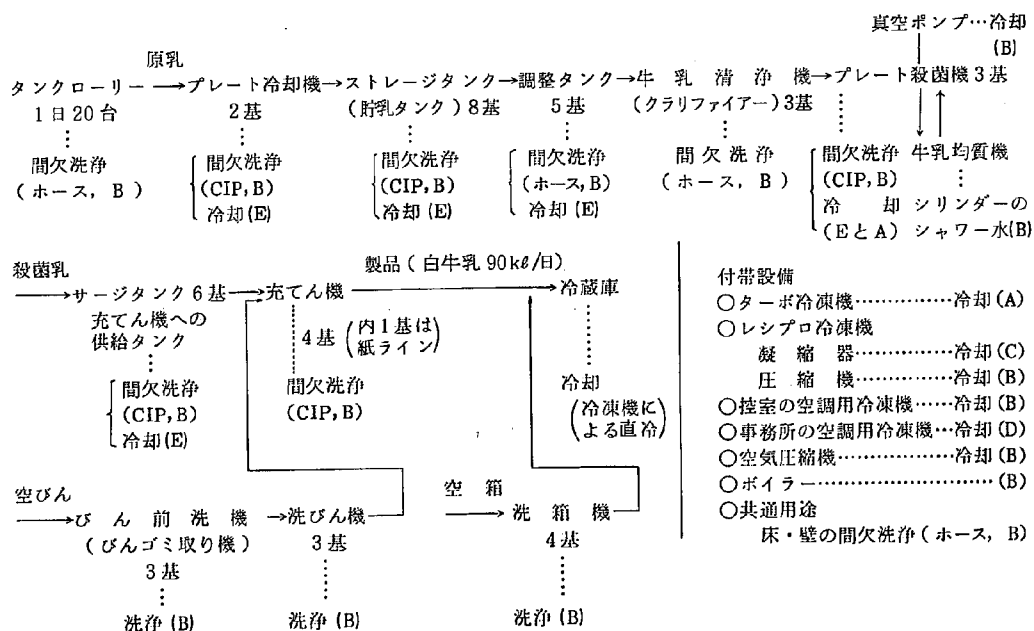


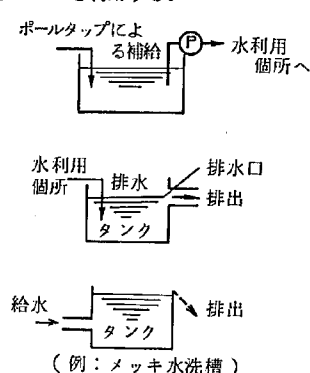
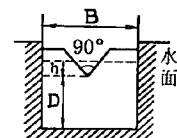
図5-1 生産の流れ図のメモ(例 市乳工場)



〔記号〕 A: 新水使用, B: ターボの冷却排水を再利用
C: 水槽循環, D: 冷却塔循環, E: 冷凍機の冷水循環

図5-2 生産の流れ図と主な水利用個所のメモ(例 市乳工場)

表 5 - 1 簡便な水量測定方法

	測 定 の 方 法	使 用 器 具	計 算 の 方 法
1 容器による測定	5 秒間以上の時間をきめて排水又は給水を容器に受け、その水量をはかる。 容器に直接受けることが困難な場合は次のような工夫を行う。 ① エルボを曲げたり、又はユニオン等をはずして容器に受けられる状態にする。 ② 給排水パイプにホースをつないで容器に導く。 ③ 給排水を一度ビニール袋に受けてから容器に移す。	○ ストップウォッチ ○ バケツ等の容器 ○ 目盛付きビーカー	水量 Q (cc/秒) $= V/t$ V(cc): 容器が受けた水量 t(秒): 容器に受けた時間
2 既存タンクを利用した測定	次の例のように既存タンクを利用する。 ① ボールタップを止めた後の水位降下速度を測定してタンクの断面積を乗じる。 ② 排水口をふさいで水位上昇速度をはかりタンクの断面積を乗じる。 ③ タンクの水を少しくみ出して水位を下げ、その後の水位上昇速度をはかってタンクの断面積を乗じる。 (例: メッキ水洗槽) 	○ ストップウォッチ ○ 巻き尺	水量 Q (cc/秒) $= V \cdot A$ V(cm/秒): 水位の上昇速度 (又は降下速度) A(cm^2): タンクの断面積
3 セキによる測定	下図のような三角セキを水路の途中に設けて、D、B、hを計測する。 	○ セキ ○ 巻き尺	水量 Q ($\text{m}^3/\text{分}$) $= \left[81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 + \frac{1.2}{\sqrt{D}} \right) \times \left(\frac{h}{B} - 0.09 \right)^2 \right] h^{5/2}$ h(m): セキの水頭 [$B/3$ 以内及び $0.07 \sim 0.26 \text{ m}$] B(m): 水路の幅 [$0.5 \sim 1.2 \text{ m}$] D(m): 水路の底面から切欠底点までの高さ [$0.1 \sim 0.75 \text{ m}$] [] 内は上式の適用範囲
4 浮子による測定	直線部の開水路で 1 ~ 5 m の距離をきめ、その間を浮子が流れる時間を測定する。 〔注〕 この方法で測定できるのは水路の表面流速であるが、測定の必要精度から考えて、この測定値をそのまま水路の平均流速に読み替える。	○ ストップウォッチ ○ 巻き尺 ○ ビンポン玉又は釣りに使う浮子、板切れ、インキ	水量 Q (cc/秒) $= A \cdot l/t$ A(cm^2): 開水路の断面積 l(cm): 浮子が流れた距離 t(秒): その距離を流れるのに要した時間
5 流速計による測定	直線部の開水路を選んで、水深 $\times 0.6$ の深さのところに流速計の回転翼を沈め、時間を限って回転数をカウントする。	○ 流速計 ○ 巻き尺	水量 Q (cc/秒) $= A(\alpha N/t + \beta)$ A(cm^2): 開水路の断面積 N: 回転数 t(秒): 回転数を数えた時間 α, β: 係数 (流速計の固有値)

(3) 用途別使用水量の測定の指導

次の仕事は水使用合理化の可能性を検討する際の基礎資料となる用途別使用水量一覧表と水利用のフローシート(表5-4, 図5-3)の作成を指導することである。この資料をつくるためには各水利用個所の使用水量がわかっていなければならない。しかし、この水利用個所ごとの使用水量をきちんと把握している工場はほとんどないといってよい。そのため、ほとんどの工場については用途別使用水量の測定方法を指導することからはじめなければならない。そこで、まず水量の測定方法から説明する。

i. 簡便な水量測定方法

各水利用個所の使用水量の測定という話になると、一般に水利用個所ごとに量水器を取り付けることだけが考えられがちである。しかし、工場の中の水利用個所はきわめて多く、すべての水利用個所に量水器を取り付けることは経済的にも作業的にも困難である。実際に細かく量水器を設置していることを自負している工場でもすべての水利用個所に量水器を取り付けているところはない。量水器を取り付けられるのは小口の水利用個所を何カ所かまとめた給水管や大口の水利用個所だけに限られる。そして、短期間のうちに水量測定を行う場合はこのように大口の水利用個所等に量水器を取り付けることも通常は期待できない。そこで、水利用個所ごとの水量測定は次に述べる簡便な方法によらなければならないことが多い。

簡便な水量測定方法としては表5-1に示すように次の5種類がある。

- ① 容器に受ける方法
- ② 既存タンクを利用する方法
- ③ セキを用いる方法
- ④ 浮子を用いる方法
- ⑤ 流速計を用いる方法

このうち、③～⑤の適用は測定対象の排水が水路(溝)を流れている場合に限られる。その点で、最も使われるのは①であり、次に②である。ただし、これらの方法によって測定できるのはあくまで瞬間流量であるので、1日使用水量を求めるためには平均的な1日水使用時間を推定して測定値と時間を掛け合わせなければならない。

ii. 簡便な方法によらない用途

この簡便な方法によって大抵の用途の使用水量は実測できるはずである。しかし、次に述べる一部の用途は簡便な方法では測定が困難であるので、別の方法で使用水量を求める必要がある。

- ① 冷却塔の蒸発飛散水：表5-2の(1)に示す計算式から求める。ただし、冷却塔からの排水(ブロー水)がある場合は別途、簡便な方法でその排水量を測定する必要がある。
- ② 従業員の雑用水：高置水槽式男子便所用水については高置水槽から便器へ落下する間隔を測定し、高置水槽の容量をその間隔時間で除して給水量を求める。その他の雑用水、すなわち、その他の便所用水、飲料手洗用水、食堂用水、浴場用水、寮生活用水は表5-2の(2)に示す計算式から求める。
- ③ 原料用水：生産量から逆算する。
- ④ 給水管や受水槽等からの漏水：水をあまり使わない休日を選んで、総給水メーターの針の動きを読み取り、このメーター読取値から休日の水利用個所の合計使用水量を差し引いて求める。

iii. 水量測定の指導

上記の方法、考え方によって各水利用個所の使用水量の測定を行うよう、工場を指導するわけであるが、

表 5-2 冷却塔の蒸発飛散水と従業員の雑用水の計算式

(1) 冷却塔の蒸発飛散水量

① 蒸発水量 (m³/時) = 循環水量 (m³/時) × 出入口温度差 (°C) / 600 (10³ kcal/m³)

循環水量: 実測されていない場合は冷却塔の仕様値による。

出入口温度差: できる限り実測し、できない場合は冷却塔の仕様値を用いる。ただし、大規模冷却塔の場合は必ず実測する。

[注] この蒸発水量は季節によって変化して、同じ冷却負荷でも冬は夏の 8 割程度まで落ちる。この計算式は夏場に合わせたものであって中小規模の冷却塔の場合はこの式による計算値を年間平均の近似値としてもよいが、大規模冷却塔の場合はこの式の計算値に 0.85 位の係数をかけて年間平均とすべきである。

② 飛散水量 (m³/時) = 循環水量 (m³/時) × 0.002

(2) 従業員の雑用水

① 男子便所用水 (l/日) = $\left(\frac{A}{A+B} \times 15 \text{ l/人} + \frac{B}{A+B} \times 5 \text{ l/人} \right) \times \text{男子従業員数 (人)}$
(高置水槽式を除く)

A: 洗浄弁式便器の数 B: 高置水槽式便器の数

[注] 小便 15 l/人・日と大便 5 l/人・日の根拠:

小便 5 l/回 × 3 回/日・人 = 15 l/人・日

大便 15 l/回 × 1/3 回/日・人 = 5 l/人・日

なお、A/(A+B) を 15 l/人・日にかけるのは高置水槽式便所用水との重複をさけるためである。

② 女子便所用水 (l/日) = 80 l/日・人 × 女子従業員数 (人)

③ 食堂用水 (l/日) = 25 l/食 × 製造食数 (食/日) (冷蔵庫冷却水を除く)

④ 浴場用水 (l/日) = 50 l/人 × 利用者数 (人/日) + 浴槽容積 (l)

⑤ 飲料手洗用水 (l/日) = 50 l/日・人 × 従業員数 (人)

⑥ 寮の生活用水 (l/日) = 300 l/日・人 × 入居者数 (人)

この指導は単に上記の測定方法、計算方法の一覧表を渡すだけでは不十分である。測定のみずかしい個所については工場側と一緒に現場で妥当な測定方法を考え出すことも必要である。この測定の実地指導は水利用の概況を把握するための現場観察の際に行ってもよい。水量測定の実地指導において工場側に注意すべきことを次に述べる。

① メーカーの指定水量や給水管の口径からの推定値は使用せず、できる限り実測すること(表 5-2 の計算式によるものを除く): 一見実測が不可能な場合でも表 5-1 の 1 に示すような工夫を行えば、実測が可能となることが多い。

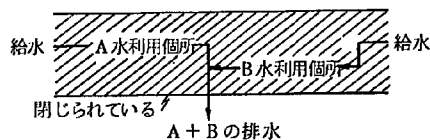
そして、測定対象の給排水が全く閉じられていて直接の測定ができない場合も次の図のように A + B の測定ができれば、B の使用をとめて A の測定を行うことができる。そのように実測が可能となるよう、最大限の工夫を行う必要がある。ただし、どうしても直接の測定ができない場合は測定対象のすぐ近くにある給水口の水量を実測し、その測定結果から測定対象の給水管の口径、バルブの開き具合を勘案して推定することもやむをえない。

② 各水利用個所の測定結果をデータシートに記入し、保

表 5-3 用途別使用水量データシートの記入例

測定年月日 1977. 1. 10 測定者 広野太郎

水利用の用途	空気圧縮機の冷却水
水利用時間	8:00 ~ 18:00 計 10 時間
測定の方法	容器による測定
測定結果	6 秒間の排水量を 3 回測定 1 回目 9.2 l 2 回目 9.0 l 3 回目 9.3 l 平均 9.2 l 9.2 l / 6.0 秒 = 1.53 l/秒
1 時間あたり使用水量	1.53 l/秒 × 3,600 × 10 ⁻³ = 5.5 (m³/時)
1 日使用水量	5.5 m³/時 × 10 時間 = 55 (m³/日)
出入口温度	入口 28 °C 出口 36 °C



管すること：測定した時の元データをきちんと記録しておかないと、後で計算ミスや測定ミスをチェックすることができない。そこで、測定結果は必ず表5-3のデータシートに記録して保管する。また、このデータシートには冷却水の出入口温度も記入する。

③測定の作業はなるべく各現場の人達が行うこと：工場の設備担当者が各水利用個所の水量をすべて測定してしまうことが多いが、その測定は水を使用する各現場の人達が行うことが望ましい。その理由は現場の人達がこの測定の作業を通じて自分達がどれほど水を大量に使っているかを理解して水に対する関心を高めるようになるからである。

④不明水量が総使用水量の1割を超える場合は再調査を行うこと：上記の方法で測定したデータの精度は必ずしも高いものとはいえない。表5-1の簡便な方法による1日使用水量は前述のように〔瞬間流量の測定値〕×〔1日水使用時間の推定値〕から求められる。このうち、瞬間流量の方は水圧の変動の影響が考えられるし、また、1日水使用時間の方も稼動状況がよく変る水利用設備の場合は平均的な水使用時間を推定することがむずかしい。それゆえ、上記の方法で求めた用途別使用水量は或る程度の誤差が伴うと考えるべきである。しかし、東京都での工場指導の経験を聞くと、測定方法や計算の誤り、測定欠落個所、予期せぬ漏水がなければ、用途別使用水量の測定結果の合計と総使用水量（地下水揚水量、工業用水道及び上水道の受水量、河川水取水量の和）の差（これを不明水量とよぶ）は総使用水量の1割以内にとどまることが通常のようなのである。個々の水利用個所の測定結果の誤差はかなり相殺されるようである。したがって、逆に測定結果の合計と総使用水量の差が総使用水量の1割を超えるようであれば、測定方法や計算ミス、測定欠落個所、予期せぬ漏水のいずれがあると考えて再調査を行う必要がある。

IV. 用途別使用水量一覧表と水利用のフローシートの作成

用途別使用水量の測定が終われば、工場側はその測定結果に基づいて用途別使用水量一覧表と水利用のフローシートを作成する。用途別使用水量一覧表は表5-4の例に示すように測定結果等を一表にまとめたもので、測定結果のデータシートから稼動日の使用水量（測定結果）、稼動時間、水量の測定年月と方法、冷却水の出入口温度差を転記するとともに、年間稼動日数、1日平均使用水量（年間使用水量/365日）、水使用合理化の状況（3章の水使用合理化技術をどの程度取り入れているか）、必要水量算出のための諸元（3章の必要水量の計算式で用いる係数等）も記入する。水使用合理化の状況を一行だけで表現することがむずかしい場合は必要に応じて図面等を添付する。一方、水利用のフローシートは図5-3の例のように受水槽から各水利用個所への水の流れや冷却塔、水槽等の水関係設備と各水利用個所との相互関係を示すもので、特に他用途の排水の再利用の状況や水槽による循環、冷却塔による循環の状況を理解する上で重要である。このフローシートと用途別使用水量一覧表が作成されて提出されれば、直ちに水使用合理化の可能性を検討する作業に移ることができる。これで指導の前段の仕事は終わる。

(4) 水使用合理化の青写真の作成

対象工場の水使用合理化を徹底した場合の改善計画案を作成して、工場側にその青写真どおりの改善を求めるのが次の仕事である。この青写真の作成を行政側が行うのは用途別使用水量の測定で工場側の水に対する関心が高まったとはいえ、水使用合理化のきびしさについて工場側がまだ十分によく認識していないことが多いからである。つまり、3章の水使用合理化技術を示すだけで、ほとんど白紙の状態で工場側に改善計画案の作成を求めても中途半端な計画案しか作成されず、その不十分な計画案を土台にして工場と折衝していたのでは望ましい計画案に到達するまで長い期間を費してしまうことになるからである。

表 5 - 4 用途別使用水量一覧表 (A 市乳工場)

場所	番号	水 利 用 個 所	数	用 途	稼働日の 使用水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	水使用 時 間 ($\text{時}/\text{日}$)	測定年月	測定方法	年間稼働 日 数 ($\text{日}/\text{年}$)	1日平均 使用水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	冷却水の 出入口温 度差($^{\circ}\text{C}$)	水使用合理化の状況	必要水量算出のための諸元
原乳受 入室	①	タンクローリー(ホース)	5 本	洗 浄	36	3	51.7	容 器	365	36	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	②	貯乳タンク(CIP)	8 基	"	72	0.3	51.7	既存タンク	365	72	—	向流方式なし	立型20 $\text{kl} \times 8$, 1日1回洗浄
	③	パイプライン(CIP)	3ライン	"	15	0.17	51.7	"	365	15	—	"	予洗8分, 終洗8分, 1日1回洗浄
	④	機器内部(ホース)	4 本	"	15	1.6	51.7	容 器	365	15	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	⑤	床 等(ホース)	3 本	"	15	2.1	51.7	"	365	15	—	"	"
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[153]	—	—	—
調合殺 菌室	⑥	乳 飲 料 原 料		原 料	21	8.8	51.7	計 算	365	21	—	—	—
	⑦	プ レ ー ト 殺 菌 機	3 基	冷 却	384	8	51.7	流 速 計	365	384	11	一過式	—
	⑧	真 空 ポ ン プ	3 基	"	84	8	51.7	容 器	365	84	7	"	—
	⑨	牛乳均質機シリンダーの シャワー	3 基	そ の 他	1	8	51.7	"	365	1	—	—	—
	⑩	調 整 タ ン ク (ホース)	6 本	洗 浄	36	2.5	51.7	"	365	36	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	⑪	調 合 タ ン ク (ホース)	4 本	"	21	2.2	51.7	"	365	21	—	"	"
	⑫	プ レ ー ト 殺 菌 機 (CIP)	4 基	"	44	1.1	51.7	既存タンク	365	44	—	向流方式なし	能力10 $\text{kl}/\text{時} \times 4$, 1日1回洗浄
	⑬	パイプライン(CIP)	2ライン	"	8	0.33	51.7	"	365	8	—	"	予洗5分, 終洗5分, 1日1回洗浄
	⑭	牛乳清浄機(ホース)	4 本	"	12	1.3	51.7	容 器	365	12	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	⑮	床 等(ホース)	6 本	"	29	2.0	51.7	"	365	29	—	"	"
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[640]	—	—	—
充てん 室	⑯	サージタンク(CIP)	9 基	洗 浄	72	0.33	51.8	既存タンク	310	61	—	向流方式なし	立型20 $\text{kl} \times 9$, 1日1回洗浄
	⑰	機器内部(ホース)	5 本	"	19	1.6	51.8	容 器	310	16	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	⑱	床, 機器外回り(ホース)	3 本	"	10	1.4	51.8	"	310	8	—	"	"
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[85]	—	—	—
洗びん 室	⑲	洗 び ん 機	3 基	洗 浄	852	8	51.8	流 速 計	310	724	—	向流方式なし	能力3.6万本/時 $\times 3$
	⑳	洗 箱 機	4 基	"	192	8	51.8	容 器	310	163	—	一過式	能力1,000 ケース/時 $\times 4$
	㉑	び ん 前 洗 機	3 基	"	132	8	51.8	"	310	112	—	洗びん排水再利用せず	能力3.6万本/時 $\times 3$
	㉒	機器内部(ホース)	4 本	"	16	1.7	51.8	"	310	14	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
	㉓	床, 機器外回り(ホース)	4 本	"	8	0.83	51.8	"	310	7	—	"	"
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[1,020]	—	—	—
冷蔵庫	㉔	床 (ホース)	2 本	洗 浄	3	0.7	51.8	容 器	310	3	—	制御弁なし	ホース口径19 ϕ
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[3]	—	—	—

表5-4のつづき

場所	番号	水利用箇所	数	冷却	稼働日の 使用水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	水使用 時間 ($\text{時}/\text{日}$)	測定年月	測定方法	年間稼働 日数 ($\text{日}/\text{年}$)	1日平均 使用水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	冷却水の 出入口温 度差($^{\circ}\text{C}$)	水使用合理化の状況	必要水量算出のための諸元
付帯設備	㉔	ターボ冷凍機	2	基 冷却	{ (1,244) 2,489	8 (国) 16 (国)	51.8	既存タンク	365	(1,244)	6	一過式。ただし昼間は 洗浄等に再利用	能力165RT(170kW)×2
	㉕	レシプロ冷凍機凝縮器	3	基 "	(3,050)	10	51.8	ポンプ能力	365	(3,050)	5	水槽循環	能力180RT×3
	㉖	" 圧縮機	6	基 "	110	10	51.8	容器	365	110	9	一過式	能力110kW×6
	㉗	空気圧縮機	2	基 "	55	10	51.8	"	365	55	11	"	能力45kW×2
	㉘	ボイラー	2	基 ボイラー	45	10	51.8	量水器	365	45	—	ドレン回収なし	間接使用15 $\text{m}^3/\text{日}$
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[2,699]	—	—	—
従業員関係	㉙	事務室空調用冷凍機	3	基 冷却	52	8	51.8	計算と容器	95	14	5	冷却塔循環、但しLOFあり	能力15RT(循環水量12 $\text{m}^3/\text{時}$)×3
	㉚	控室空調用冷凍機	3	基 "	105	8	51.8	容器	95	27	4	一過式	能力6RT×3
	㉛	高置水槽式男子便所	7	カ所 雑用	84	24	51.8	既存タンク	365	84	—	夜間も放流	男子従業員数160人
	㉜	その他の男子便所	—	"	1	—	51.8	計 算	365	1	—	—	—
	㉝	女子便所	—	"	12	—	51.8	"	365	12	—	—	—
	㉞	飲料手洗	—	"	16	—	51.8	"	365	16	—	—	—
	㉟	食堂	—	"	13	—	51.8	"	365	13	—	—	—
	㊱	浴場	—	"	6	—	51.8	"	365	6	—	—	—
排水処理関係	㊲	洗車(ホース)	3	本 洗浄	9	1.3	51.8	容器	365	9	—	制御弁なし	—
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[182]	—	—	—
排水処理関係	㊳	汚泥乾燥機	1	基 冷却	24	8	51.8	容器	270	18	8	一過式	—
		小 計	—	—	—	—	—	—	—	[18]	—	—	—
その他	㊴	不明水量	—	—	—	—	—	—	—	290	—	—	—
合 計			—	—	—	—	—	—	—	5,090	—	—	—

〔注〕 ① 水槽で循環利用しているものや排水を他用途へ再利用しているものはその使用水量を()でくくる。

② 1日平均使用水量は次式から求める。(稼働日の使用水量)×年間稼働日数/365

③ 「水使用合理化の状況」と「必要水量算出のための諸元」の欄は各用途の必要に応じて記入する。例えば、メッキ洗浄水の場合は次のように記入する。

	水使用合理化の状況	必要水量算出のための諸元
例 1. 手動のクロムメッキ後の水洗	1段水洗, 給水制御なし, 液回収なし	品物の1日延表面積1,300 $\text{dm}^2/\text{日}$
例 2. 自動の銅メッキ後の水洗	向流2段水洗, 給水制御なし, 液切り時間5秒	品物の1日延表面積4,500 $\text{dm}^2/\text{日}$

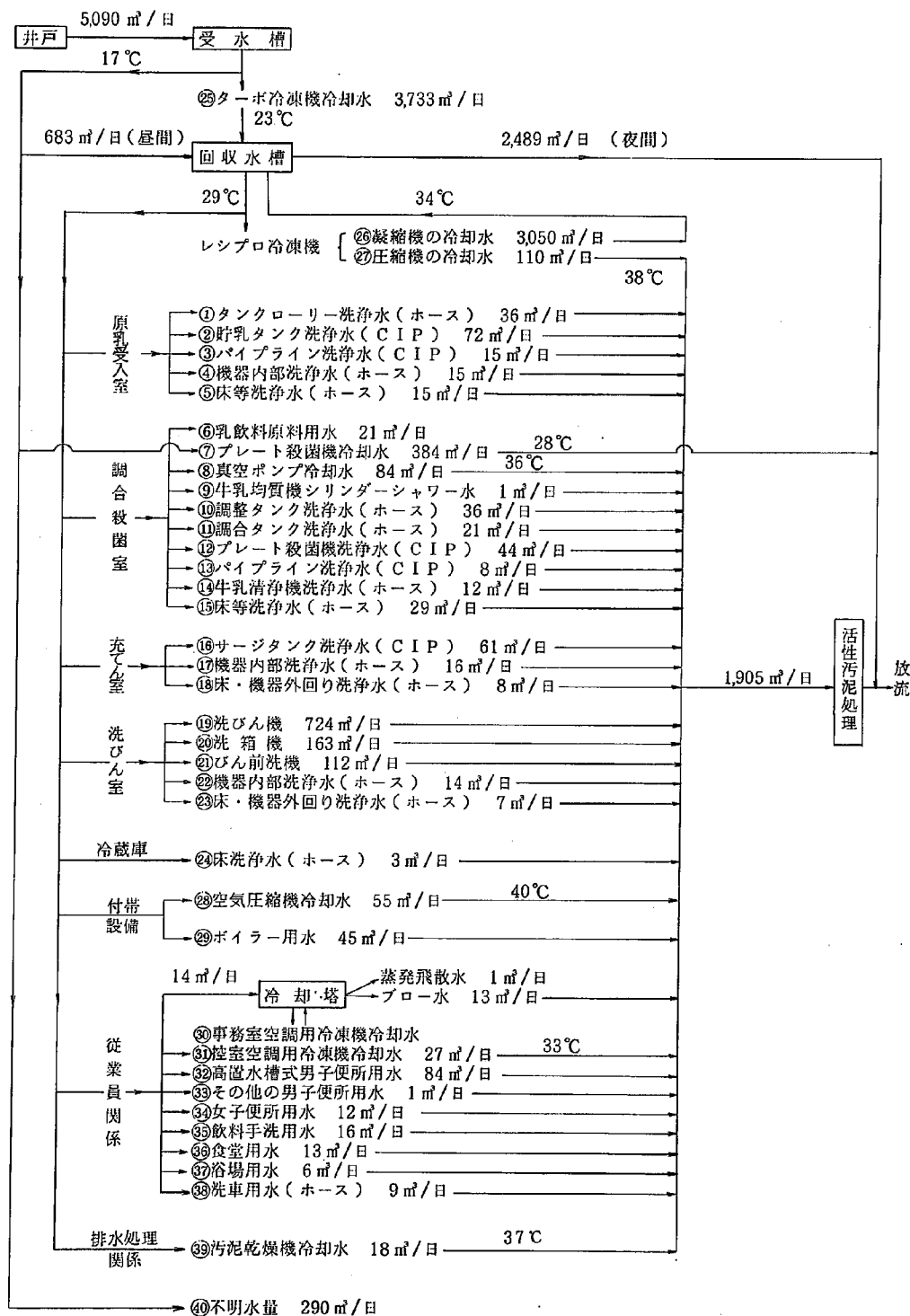


図5-3 水利用のフローシート (A 市乳工場)

この青写真の作成の手順はケーススタディで説明するのが簡明であろう。水使用合理化のケーススタディは2で説明する。

(5) 工場との折衝

青写真ができれば、一定の猶予期間（1～2年）のうちに青写真どおりの改善を進めるよう、工場に対して勧告又は命令を行う。そして、その後、改善のスケジュールを示す改善計画書の提出を工場に求める。この改善計画書の提出の段階で、工場側は青写真どおりの改善ができない理由をいくつかあげ、水使用合理化に対して多くの疑問や反論を投げかけてくるのが普通である。そこで、工場との折衝では工場側の疑問や反論を一つずつおぼしていくことが必要となる。ほぼ青写真どおりの改善計画書が提出されるまでの工場側との折衝が水使用合理化の指導の最後の仕事である。ただし、行政側の作成した青写真は細かい点で読み切れない部分があるため、工場側との折衝で若干の修正は必要となる。修正を要するのは次の三点である。

①代替手段の選択：3章で説明したように間欠洗浄水のうちの床・壁・各種機器の洗浄水、メッキ等の表面処理洗浄水、高置水槽式男子便所用水等の用途は水使用合理化の方法が一種類だけでなく、二種類以上の中から選択するようになっている。そのため、行政側としてはそれらの用途についてはとりあえずどれかの方法にきめて青写真をつくらざるをえないが、実際にどの方法を選ぶかは工場側との折衝に委ねられる。

②同等以上の方法の選択：水使用合理化の標準的な方法と同等以上の効果のある措置としては3章で述べたように冷却水の項の空冷、蒸発冷却、蒸発式凝縮器、冷却排水の他用途への再利用の他に、総合排水の排気洗浄水や便所用水への再利用、イオン交換樹脂によるメッキ洗浄排水の循環利用などがある。青写真はこれらの同等以上の方法を考慮せず、標準的な方法を用いた場合を想定して作成されるので、同等以上の方法を選択するかどうかは工場側との折衝に委ねられる。

③例外：3章の水使用合理化の標準的な方法のうち、一部の方法については適用することが困難な場合、つまり例外となる場合がある。どのような条件の場合に例外となるかについては3章で「特殊な条件の場合」として解説してあるので、その条件に該当する場合にのみ例外と認められる。実際に青写真の作成の段階で例外となるかどうかの判断が容易な場合もあるが、工場側と折衝してみなければ判断できない場合も結構多い。

以上の3点が工場との折衝で必要となる青写真の修正箇所である。しかし、実際に工場と折衝すると、上記の①、②、③のことよりも、水使用合理化を進められない理由として工場側があげてくる種々の問題の方が議論の対象となる。工場側があげてくる問題は大体、次の五点に整理できる。

- i. 製品の品質への影響又は衛生上の問題
- ii. 経済上の問題
- iii. 場所（スペース）の余裕の問題
- iv. 電力消費量増加の問題
- v. 生産設備の更新等の問題

このうち、vは改善の対象になっている生産設備が近い将来に更新又は縮少、撤去される予定があるため、現時点では改善できないというものであるが、この更新又は縮少、撤去の時期が改善期限1～2年後のうちに行為れることが明確な場合はともかくとして、不明な場合はく改善を怠る口実に使われる危険性

があるので)改善できない理由として認めるべきではない。そして、Ⅰ～Ⅳの四点も改善できない理由として認めるべきではない。それについては3節の「水使用合理化への疑問に対する解答」の一部として説明することにする。とにかく、工場との折衝において行政側作成の青写真の修正はほとんどの場合、上記の①～③にとどめるべきであり、その他の修正要求は聞き入れてはならない。

2. 水使用合理化のケーススタディ

この章では市乳工場を例にとって、水使用合理化の具体的な進め方を説明することにする。市乳工場を例にとったのは市乳工場が冷却や種々の洗浄に水を使用しているため、各種用途の水使用合理化の進め方を説明するのに好都合だからである。他の業種の工場も水使用合理化の進め方、考え方は基本的に同じであるので、この市乳工場のケーススタディをみて応用していただきたい。

(1) A市乳工場の水利用の状況

ケーススタディの例として取り上げるA市乳工場の水利用の状況は先に示した表5-4、図5-3のとおりである。このA市乳工場は牛乳と乳飲料(コーヒー乳等)の製造を行っている。ただし、牛乳と乳飲料の製造設備は同じものを使用している。実際のA工場の水利用状況はもう少し複雑であるが、ここでは分かりやすくするため、細かい点を省いている。

図5-3をみると、このA工場で地下水の受水槽から直接給水されている用途はターボ冷凍機の冷却水、プレート殺菌機の冷却水だけであって、その他の用途はターボの冷却排水を水槽に受けて再利用している。ただし、昼間はこの冷却排水だけでは不足するので、回収水槽には受水槽からも新しい水が一部送られている。そして、レシプロ冷凍機の冷却水のうち、凝縮器の冷却水は使用後、同じ水槽に戻しているが、圧縮機の冷却水は使用後、排出している。

ターボの冷却排水を再利用している用途は洗浄水、冷却水、雑用水、原料用水、ボイラー用水に分けられる。洗浄水はCIPによる各種タンク・パイプライン等の洗浄、ホースによる床・機器の洗浄、洗びん、洗箱等、冷却水は真空ポンプ、空気圧縮機、空調用冷凍機等の冷却、雑用水は便所、飲料手洗等に用いられている。大型冷凍機以外の冷却水のうち、プレート殺菌機の冷却水だけが受水槽から直接給水されているのは常に17℃前後の低温の水を必要とするためである。また、このA工場は不明水量(地下水揚水量-全用途の合計)が290 m³/日ある。全揚水量 5,090 m³/日の約6%である。

筆者が最初にA工場を調査したとき、ターボ冷却水は洗浄等に再利用し、レシプロの冷却水は水槽で循環しているので、この二つの大型冷凍機の冷却水は有効に使用されていると工場側は説明した。回収水槽をみると、確かにオーバーフローがないため、当初は工場側の言うとおりだと思った。しかし、更に調査を進めるにつれて、それは昼間だけの話であって、実際にはターボは主として冷蔵庫用の冷凍機であるから、24時間運転であり、一方、再利用先の洗浄水等はほとんど昼間だけの使用であるから、夜間は水の収支が逆転して、回収水槽から大量のオーバーフローが生じることがわかった。このようなオーバーフローは昼間の現場観察では発見できないものであるので、冷却水の再利用を行っている工場については特に水の収支に注意する必要がある。

(2) 冷却水の水使用合理化

まず、A工場の各種冷却水についてその水使用合理化の進め方を説明する。

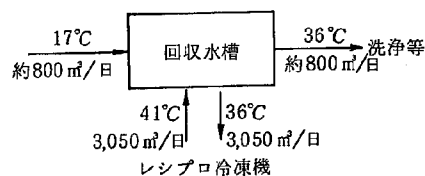
1. 使い捨てになっている冷却水(プレート殺菌機、真空ポンプ、空気圧縮機、レシプロ冷凍機の圧縮

機、控室の空調用冷凍機、污泥乾燥機の冷却水)：3章の標準的な方法にしたがって、これらの冷却水を使い捨て方式から冷却塔による循環方式に改める。ただし、プレート殺菌機は低温の水を必要とするため、冷却塔の他に冷凍機も設置する必要がある。

ⅱ. ターボ冷凍機の冷却水：この冷却水は昼間は使用後、洗浄等に再利用されているとはいえ、夜間はそのまま捨てられているわけであるから、この冷却水も冷却塔による循環方式に切り替えなければならない。そして、現在は昼間、洗浄等に有効に再利用されているが、再利用先の洗浄水や冷却水等の水使用合理化を行えば、再利用先の使用水量は約800 m³/日となり、一方、ターボ冷却水の昼間の使用水量は約1,200 m³/日であるから、約400 m³/日のオーバーフローが生じることになる。昼間だけを考えても、ターボ冷却水を冷却塔で循環することが必要となる。

ⅲ. レシプロ冷凍機の冷却水：見落としやすいのはレシプロ冷却水の扱いである。現在は水槽で循環しており、水を消費しているわけではないから、現状のままでよいというのが通常の考え方であろう。しかし、熱収支を検討してみると、そのようにはいかない。現在、回収水槽の水温が29℃位に保たれているのは回収水槽から洗浄等に約1,900 m³/日の水が送られているからであって、洗浄水等の水使用合理化によりこの回収水槽からの送水量が減少すれば、回収水槽の水温は上昇する。つまり、改善後もレシプロ冷却水を回収水槽で循環すれば、次の図に示すように熱が回収水槽に蓄積して回収水槽の水温は36℃まで上昇する。冷却水の入口温度が36℃になると、レシプロ冷凍機の機能に支障がでてくる。そのため、改善後も水槽循環方式を続ければ、回収水槽の水温を下げるのに大量のオーバーフローが必要になってくる。したがって、このレシプロ冷却水も冷却塔で循環する必要がある。

ⅳ. 事務室の空調用冷凍機の冷却水：この冷却水はずすでに冷却塔で循環しているが、冷却塔からのブロー水(排水)が多い。そこで、冷却塔から常時の排水がないように改善する。



V. 改善後の必要水量：表5-5の上段に示すように、改善後の各冷却水の必要量は3章の計算式に現在の使用水量と出入口温度差を代入すれば求められる。

(3) 洗浄水等の水使用合理化

次に、洗浄水、雑用水等の各用途について水使用合理化の進め方を説明する。これらの用途も次に述べるように3章の標準的な方法のとおり水使用合理化を進めればよい(各用途の必要水量の計算の過程を表5-5の中下段に示す)。

ⅰ. 洗びん機：現状は苛性ソーダ浸漬後の水使用箇所すべて新水を使用しているが、改善後は新水の使用を最終の内洗2列、外洗1列、塩素水噴射2列だけとして向流洗浄方式を導入する。洗びん機の能力は3.6万本/時であるから必要水量は3章より約19 m³/時となる。

ⅱ. 洗箱機：現状は予備水洗、最終水洗とも新水を使用した一過式であるので、これを次のように改める。各々を循環方式として、最終水洗の補給水には洗びん排水を使用し、更にその最終水洗の排水を予備水洗の補給水とする。新水の必要量はゼロであるが、洗箱機への必要給水量は能力1,000ケース/時の場合、約2.5 m³/時である。

ⅲ. びん前洗機(びんのゴミ取り機)：現状は前段(高圧部)と後段(低圧部)とも新水を使用して

いるので、後段に洗びん排水を再利用するように改善する。必要水量は現状の2分の1となる。

Ⅳ. CIPによるタンク・プレート殺菌機・パイプラインの洗浄水(図5-3の②③⑫⑬⑭)：現状は予洗、中間水洗、最終水洗とも新水を使用しているため、新水の使用を最終水洗側だけに限るようにし、更にその新水の使用時間を適正時間に調節する。ただし、プレート殺菌機とパイプラインの予洗の最初は牛乳と接触するため、新水を使用する。改善後の必要水量はパイプライン以外は3章の数字を使う。例えば、貯乳タンク立型20kl 1基の必要水量は3.5 m³/日である。パイプラインの必要水量は長さ、口径等によって異なるため3章に示されていないので、次のように求める。例えば、原乳パイプラインの改善後の洗浄プログラムを予洗(新水1分+回収水7分)+洗剤洗浄+最終水洗(新水8分)とすれば(現状は予洗、最終水洗とも新水8分)、必要水量は〔現在の使用水量〕×(1分+8分)/(8分+8分)
$$= 15 \text{ m}^3/\text{日} \times \frac{9}{16} = 8 \text{ m}^3/\text{日}$$
となる。

V. ホースによる床・機器の洗浄水(図5-3の①④⑤⑩⑪⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕)：3章によれば、床・機器の洗浄水はできる限り高圧洗浄機を用いることになっている。実際に高圧洗浄機の使用は高圧噴射による跳ね返りがあるため、床・機器の外回りの洗浄に限られることが多い。したがって、図5-3において高圧洗浄機の使用が適切と思われるのは⑤、⑮、⑰、⑲、㉑、㉒、㉓となる。残りの①、④、⑩、⑪、⑭、⑯、㉔はホースの先端に手元制御弁を取り付けるだけとする。必要水量の計算では3章に示すkの大ききとり方が問題となるが、A工場のホース使用状況を観察したところ、平均して大体3分の2程度の値がとれるものと考えられたので、3分の2を採用する。高圧洗浄機に転換する場合も必要水量は3章の式に改善前のホース口径の値を入れて計算する。

Ⅵ. ボイラー用水：ボイラーからの蒸気の送り先は殺菌機、洗びん機、洗箱機、ホース根元の汽水混合器であるが、このうち、殺菌機のみが間接使用で、その他は直接使用である。そこで、この間接使用の殺菌機からのドレン(凝縮水)15 m³/日をボイラーに回収する。

Ⅶ. 高置水槽式男子便所用水：洗浄弁を取り付けて使用時のみの給水に限ることとする。必要水量は男子従業員数から計算する。

Ⅷ. その他の用途：原料用水、牛乳均質機のシリンダーシャワー水、従業員のその他の便所用水、飲料手洗用水、食堂用水、浴場用水は現状のままとする。

Ⅸ. 不明水量：不明水量は現状で290 m³/日であるので、このまま改善後の使用水量に加算すると、全用途の約4分の1を占めることになる。この290 m³/日の中身は一部が漏水で、残りが測定誤差によるものと考えられる。前者は漏水箇所を発見すれば削減できるものであるし、後者は各用途の合計使用水量に比例して減少していくものである。そこで、改善後の不明水量は次式から求める。〔現在の不明水量〕×〔改善後の各用途の合計水量〕/〔現在の各用途の合計水量〕

(4) 改善後のフローシート

(2)、(3)で述べてきた各用途の水使用合理化を進めると、A市乳工場の水利用のフローシートは図5-4のように改められる。改善後は洗箱機、びん前洗機の後段を除くすべての用途に受水槽から直接給水する方式に変わる。総使用水量(不明水量を含む)は現状の5,090 m³/日からその17%の890 m³/日まで減少する。

以上、A市乳工場を例にとって、水使用合理化のケーススタディを行った。モデル化してあるため、水使用合理化の検討が比較的簡単であったが、実際の工場はもう少し面倒な検討を必要とする。しかし、手

表 5-5 改善後の必要水量の計算 (A 市乳工場)

用途	水 利 用 個 所	改善の方法	計 算 の 過 程	稼働日 の必要 水 量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	年間稼 働日数 ($\text{日}/\text{年}$)	1日平均 使 用 水 量 ($\text{m}^3/\text{日}$)
冷 却	①プレート殺菌機	冷却塔・冷凍機循環	$384 \text{ m}^3/\text{日} \times 11^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3 \times 125$	12	365	12
	②真空ポンプ	冷却塔循環	$84 \text{ m}^3/\text{日} \times 7^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	1	365	1
	③ターボ冷凍機	"	$(1,244 + 2,489) \text{ m}^3/\text{日} \times 6^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	50	365	50
	④レシプロ冷凍機凝縮器	"	$3,050 \text{ m}^3/\text{日} \times 5^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	34	365	34
	⑤" 圧縮機	"	$110 \text{ m}^3/\text{日} \times 9^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	2	365	2
	⑥空 気 圧 縮 機	"	$55 \text{ m}^3/\text{日} \times 11^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	1	365	1
	⑦事務室空調用冷凍機	"	$12 \text{ m}^3/\text{時} \times 8 \text{ 時}/\text{日} \times 3 \text{ 台} \times 5^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	3	95	1
	⑧控室空調用冷凍機	"	$105 \text{ m}^3/\text{日} \times 4^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	1	95	1
	⑨汚 泥 乾 燥 機	"	$24 \text{ m}^3/\text{日} \times 8^\circ\text{C} \times 1/600 \times 4/3$	1	270	1
	小 計	—	—	—	—	[103]
洗 び ん 洗 箱 びん前 洗	⑩洗 び ん 機	向 流 方 式 等	能力3.6万本/時→19 $\text{m}^3/\text{時} \times 8 \text{ 時}/\text{日} \times 3 \text{ 台}$	456	310	387
	⑪洗 箱 機	洗 び ん 排 水 再 利 用 等	新水使用 0	0	310	0
	⑫び ん 前 洗 機	"	$132 \text{ m}^3/\text{日} \times 1/2$	66	310	56
	小 計	—	—	—	—	[443]
CIP/C よる間 欠洗浄	⑬貯 乳 タ ン ク	向 流 方 式 等	立型20 $\text{kL} \times 8 \rightarrow 3.5 \text{ m}^3/\text{回} \times 1 \text{ 回}/\text{日} \times 8$	28	365	28
	⑭パイプライン(原乳)	"	予洗(新水1分, 回収水7分), 終洗(新水8分)→ $15 \text{ m}^3/\text{日} \times 9 \text{ 分}/16 \text{ 分}$	8	365	8
	⑮プレート殺菌機	"	能力10 $\text{kL}/\text{時} \times 4 \rightarrow 5.5 \text{ m}^3/\text{回} \times 1 \text{ 回}/\text{日} \times 4$	22	365	22
	⑯パイプライン(殺菌乳)	"	予洗(新水1分, 回収水4分), 終洗(新水5分)→ $8 \text{ m}^3/\text{日} \times 6 \text{ 分}/10 \text{ 分}$	5	365	5
	⑰サ ー ジ タ ン ク	"	立型20 $\text{kL} \times 9 \rightarrow 3.5 \text{ m}^3/\text{回} \times 1 \text{ 回}/\text{日} \times 9$	32	310	27
	小 計	—	—	—	—	[90]
ホース による 間欠洗 浄	⑱タンクローリー	手元制御弁等	ホース口径19 $\phi \rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 3 \text{ 時}/\text{日} \times 5 \text{ 本}$	18	365	18
	⑲原乳受入室の機器内部	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.6 \text{ 時}/\text{日} \times 4 \text{ 本}$	8	365	8
	⑳調整タンク	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 2.5 \text{ 時}/\text{日} \times 6 \text{ 本}$	18	365	18
	㉑調 合 タ ン ク	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 2.2 \text{ 時}/\text{日} \times 4 \text{ 本}$	11	365	11
	㉒牛 乳 清 浄 機	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.3 \text{ 時}/\text{日} \times 4 \text{ 本}$	6	365	6
	㉓充てん室の機器内部	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.6 \text{ 時}/\text{日} \times 5 \text{ 本}$	10	310	8
	㉔洗 び ん 室 の 機 器 内 部	"	" $\rightarrow 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.7 \text{ 時}/\text{日} \times 4 \text{ 本}$	8	310	7
	㉕原乳受入室の床等	高 圧 洗 浄 機	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 2.1 \text{ 時}/\text{日} \times 3 \text{ 本}$	4	365	4
	㉖調 合 殺 菌 室 の 床 等	"	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 2.0 \text{ 時}/\text{日} \times 6 \text{ 本}$	7	365	7
	㉗充てん室の床・機器外回り	"	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.4 \text{ 時}/\text{日} \times 3 \text{ 本}$	3	310	3
	㉘洗 び ん 室 の 床 ・ 機 器 外 回 り	"	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 0.83 \text{ 時}/\text{日} \times 4 \text{ 本}$	2	310	2
	㉙冷 蔵 庫 の 床	"	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 0.7 \text{ 時}/\text{日} \times 2 \text{ 本}$	1	310	1
	㉚洗 車	"	" $\rightarrow 1/2 \times 2/3 \times 30 \text{ L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 1.3 \text{ 時}/\text{日} \times 3 \text{ 本}$	2	365	2
	小 計	—	—	—	—	[95]
雑 用	㉛高置水槽式男子便所	洗 浄 弁	15 $\text{L}/\text{日} \cdot \text{人} \times 160 \text{ 人}$	2	365	2
	㉜その他の男子便所	現 状 の ま ま	—	1	365	1
	㉝女 子 便 所	"	—	12	365	12
	㉞飲 料 手 洗	"	—	16	365	16
	㉟食 堂	"	—	13	365	13
	㊱浴 場	"	—	6	365	6
	小 計	—	—	—	—	[50]
その他	㊲乳 飲 料 原 料	現 状 の ま ま	—	12	365	21
	㊳牛乳均質機シリンダーの シャワー	"	—	1	365	1
	㊴ボ イ ラ ー 小 計	ド レ ン 回 収	$45 \text{ m}^3/\text{日} - 15 \text{ m}^3/\text{日}$	30	365	30
	小 計	—	—	—	—	[52]
不 明 量	—	—	$290 \text{ m}^3/\text{日} \times 833 \text{ m}^3/\text{日}/4800 \text{ m}^3/\text{日}$	—	—	50
合 計	—	—	—	—	—	883

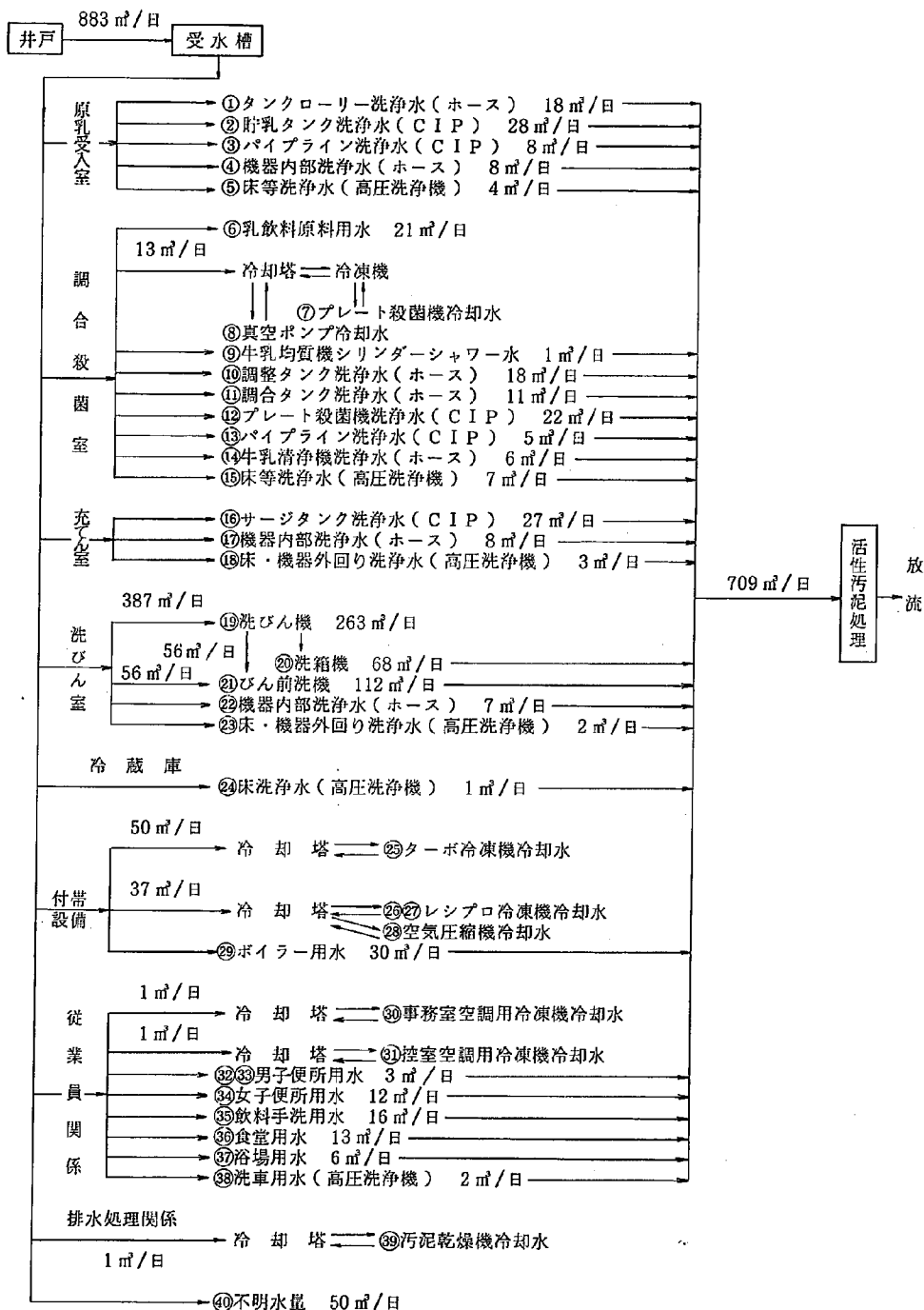


図5-4 改善後の水利用のフローシート(A 市乳工場)

法は同じであるから、このケーススタディをよく理解すれば、他の市乳工場だけでなく、他の業種の工場についても同様な検討が行なえるものと思う。

3. 水使用合理化への疑問に対する解答

水使用合理化は今まで述べてきたように、すでに確立した技術、いわばありふれた技術を十分に活用しようというものであるから、技術的問題はほとんど解決されていると考えてよい。しかし、水使用合理化の考え方そのものは決して一般的になっていないため、工場側だけでなく、行政側内部からも水使用合理化に対して多くの疑問が投げかけられる。その水使用合理化に対する疑問は大体、次の八つに整理することができる。このうち、最初の四つは水使用合理化の指導の過程で、工場側が水使用合理化を進められない理由としてよくあげてくるものである。(1の(5)参照)。

Ⅰ. 製品の品質への影響又は衛生上の問題：洗浄水の場合、水使用合理化は洗浄効果を低下させて製品の品質に影響を与えるか、又は衛生上の問題を引き起こす危険性がある。

Ⅱ. 経済上の問題：既設の工場における水使用合理化のための設備改善は多額の投資を必要とし、企業の負担能力を超える。

Ⅲ. 場所（スペース）の問題：新設の工場ならばともかく、既設の工場では水使用合理化のための設備改善を行うだけのスペースの余裕がない。

Ⅳ. 電力及びエネルギー消費量増加の問題：水使用合理化は電力消費量を大幅に増加させ、契約電力超過の問題を引き起こす。そして、このようなエネルギー消費量の増大はエネルギー対策上望ましくない。

Ⅴ. 排水処理の問題：水使用合理化によって排水量が減少すると、排水濃度が上昇して排水処理の効率が低下する。

Ⅵ. 薬剤投入による二次公害の問題：水使用合理化に伴って薬剤投入による二次公害が生ずる危険性がある。

Ⅶ. 保安上の問題：水使用合理化をぎりぎりまで進めることは保安上問題である。

Ⅷ. 渇水時の問題：工業用水道を使用している工場が水使用合理化を徹底すると、渇水時の給水一律カットに対応できなくなる。

以上の疑問の中には全く根拠のないものもあれば、多少は現実的なものもある。しかし、後者の場合も詳しい検討を行ってみると、水使用合理化を進められないほど致命的な理由になるものはほとんどない。そこで、本節では読者が水使用合理化への理解を深め、水使用合理化への種々の批判に対応できるよう、以上の疑問に対する解答を述べておくことにする。

(1) 製品品質への影響と衛生上の問題について

①この疑問は、生産工程内の使用水量は一定の要件を満たすために定められているのであって、その水量を減らせば製品等への影響はさけられないという考え方に根差している。実際の工程内の使用水量はきわめてラフに定められているのが実状であるが、それはともかくとしてこの疑問は水使用合理化の内容を根本的に誤解している。確かに水利用の方式を全く改善せずただ給水量をしばるだけならば、(余分な水を使っていない場合は)洗浄効果が低下して製品品質への影響や衛生上の問題が生ずる危険性はある。しかし、水使用合理化は基本的にそのようなものでなく、水利用の方式を改善して、いわば洗浄効果の強化策を講じた上で、その洗浄効果の増加分だけ逆に給水量をしばって洗浄効果を現状程度に維持しようと

いうものである。すなわち、水使用合理化の方法自体が洗浄効果を悪化させないという前提でつくられている。

②例えば、第1章3の(3)の後段で述べたメッキ洗浄水への向流多段方式の導入について考えてみよう。改善前が1段水洗で、洗浄効果として1/100の希釈率が得られていたと仮定する。水槽を増設して向流2段水洗に改造した場合、給水量を現状のままにしておくと、洗浄効果は大幅に増大し、 $1/100 \times 1/100 = 1/10,000$ に近い希釈率が得られる。そこで、逆に給水量を現状の1/10($=1/\sqrt{100}$)までしぼって、現状と同程度の洗浄効果、すなわち $1/10 \times 1/10 = 1/100$ の希釈率が得られるようにするのが水使用合理化であるから、洗浄効果の低下による製品品質への影響という問題が生じることはない。

③衛生上の問題も同様である。同じく第1章3の(3)の前段で述べた洗びん機への向流洗浄方式の導入を例にとる。旧式の洗びん機では苛性ソーダ浸漬後の第1、第2、第3水洗とも新水を使用しているのが、新水の使用を第3水洗のみに限り、その第3水洗の排水を第2水洗へ、更に第2水洗の排水を第1水洗に反覆利用するように改善するのが水使用合理化である。この向流洗浄方式を導入しても洗浄効果がほとんど低下しないことは例えば第1水洗前のびんの汚れ度と第2水洗の排水の汚れ度を比較すれば分かる。つまり、前者の汚れ度は後者の汚れ度よりはるかに大きいため、第1水洗に新水を用いようが第2水洗の排水を用いようが、そこで得られる洗浄効果にはほとんど差が生じない、したがって、維持管理の不手際がなければ、衛生上の問題が生じることはない。

(2) 経済上の問題について

①結論から述べれば、水使用合理化がかなりの投資を必要とすることもあるが、それは決して企業の負担できない額ではなく、水使用合理化をすべての工場で実施することは可能である。現に、東京都の地下水大口使用工場では企業側の負担で、徹底した水使用合理化が進行中である。

②東京都内の工場を指導した結果によると、各工場の必要投資額は工場によってかなり異なるが、大体、節約水量1 m^3 /日あたり1～10万円の間に入っていたということである。この投資額は決して少ない額ではないが、償却期間10年、年利10%として1 m^3 /日あたりの費用(減価償却費+利息)を求めると、5～50円/ m^3 であり、用水費用としてそれほど高い額とはいえない。

③このように水使用合理化はほとんどの工場では企業側の負担で実施することが可能であるが、経営状況の悪い中小企業に対しては別途、助成措置がとられるべきであろう。例えば東京都では水使用合理化のための設備改善に対して中小企業に年利2%の融資のあっせんを行っている。

(3) 場所(スペース)の問題について

①水使用合理化を進める際にスペースの余裕のないことが問題となるのは通常、次の三つの用途である。他の用途の場合はほとんど問題にならない。

- 冷却水
- メッキ等の表面処理洗浄水
- タンク・パイプ等の洗浄水(CIPによる場合)

②このうち、冷却水については冷却塔の設置場所が騒音対策上または消防法の面で制限される場合が特に問題となる。しかし、冷却塔は配管でつながさえすれば、冷却水使用設備から遠く離れたところにも設置することが可能であるので、冷却塔を設置する場所が全くないということは通常、起こらないと考えて

よい。東京都の地下水使用工場では種々の工夫をこらすことにより冷却塔の設置場所の問題は解決されてきている。

③CIPによるタンク・パイプ等の洗浄水については回収水タンクの設置場所が問題となることがあるが、この場合も空いたスペースに合わせるように回収水タンクの形状を工夫したり、生産用の空きタンクを回収水タンクに転用したりすることによって、通常は回収水タンクの場所の問題は解決されると考えてよい。

④メッキ等の表面処理洗浄水の水使用合理化方法のうち、水洗槽の増設はスペースの余裕を必要とする。実際のメッキ作業場は手狭なため、新たに水槽を設ける余裕がないように見えることが多いが、通常は、使用していない設備を撤去し、設備の配置を変えるなどの工夫を行えば（3章4参照）、水洗槽を増設するスペースを生み出すことは可能である。

⑤要するにスペースの問題はどこまで工夫を行うかにかかっているわけで、東京都内の工場を指導した経験を聞くと、一見スペース的に水使用合理化設備の設置が困難な作業場もほとんどの場合、工場側と話を詰めている間にスペースの余裕を生み出す方法を見つかることができたということである。その点で、スペースの余裕がないために水使用合理化を進められないというのはきわめてまれなケースであると考えられる。

(4) 電力及びエネルギーの消費量増加の問題について

①水使用合理化の多くは（ホース先端への手元制御弁の取り付けやメッキ槽上での液切り時間の延長などの例外を除いて）主に電力の形でエネルギー消費量を増加させることは事実である。しかし、一般に洗浄水の場合、水使用合理化に伴うエネルギー消費量の増加は制御機器や移送ポンプ等の消費電力だけであり、冷却水の場合に比べればかなり小さい。そこで、ここでは冷却水についてののみ検討する。

②冷却水を冷却塔で循環する場合、通常必要とする電力は循環水量 $1 \text{ m}^3/\text{時}$ あたり 0.2 kWh のオーダーである。例えば、 $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ の冷却水を使い捨てにしている工場に冷却塔を導入すると、消費電力は（稼動時間10時間の場合）約 20 kW 増加する。しかし、このような工場の全電力消費量は普通 $500 \sim 1000 \text{ kW}$ 以上であるから、冷却水循環に伴う消費電力増加は数%以下にしかならないことが多い。したがって、冷却塔の設置だけで済む通常の場合は電力及びエネルギー消費量の増加はあまり問題にならない。

③しかし、地下水に依存していて、地下水並みの水温を必要とする冷却水を持つ工場の場合は事情が異なる。地下水は年間を通じて $16 \sim 19^\circ\text{C}$ の温度であるが、一方、冷却塔の循環水は真夏には $31 \sim 32^\circ\text{C}$ まで上る。そのため、地下水の一過式利用から循環方式に切り換える場合、冷却水使用設備の種類によっては冷却塔だけでなく、冷凍機も必要となることがある。冷凍機の消費電力は $1 \text{ m}^3/\text{時}$ あたり 1.5 kWh 程度（出入口温度差 5°C の場合）であるから、冷凍機も必要な場合の消費エネルギーは冷却塔だけの場合に比べて約1桁多くなり、エネルギー消費量の増加は無視できない大きさになることがある。

④けれども、この③の問題は水使用合理化だけに限られることではない。地下水から工業用水道や上水道、雑用水道に転換する場合にも、また、工場内で総合排水の循環利用を行う場合にもこの問題は共通する。すなわち、河川水や下水処理水の温度は真夏には $27 \sim 28^\circ\text{C}$ まで上昇するし、工場の総合排水も 25°C 以上になることが多い。それゆえ、これらの方式に切り替えても冷凍機が必要となり、エネルギー消費量が増大する。地下水の一過式利用から他の方式に転換する場合には常に伴う問題である。

⑤実際に、この冷凍機の設置に伴うエネルギー消費量の増大は契約電力の超過という問題を引き起こす。

しかし、この場合は主に電力に頼る圧縮式冷凍機ではなく、蒸気又は都市ガスや灯油を熱源に使う吸収式冷凍機を用いることで、契約電力の問題を回避することができる。

(5) 排水処理の問題について

①水使用合理化により排水量が減少して排水濃度が上昇すると、排水処理の効率が低下すると考える人達が多いが、それは全くの誤解に基づいている。一定の範囲内ならば、排水濃度は高まっても排水量をできるだけしぼることが排水処理を効率的に進めていくための必須の条件であることは排水処理の現場担当者の常識であり、且つ排水処理の基本原則である。

②まず、各処理方法に共通の効果として流出成分の回収と排水濃度の平均化がある。水使用合理化の原則Ⅰ(第1章3参照)で明らかにように生産工程内の水利用箇所一つ一つについて使用水量を減らす対策を講じていくと、同時に流出汚染物質の減少に結びつくことが少なくない。また、実際の排水処理において最も問題となることは処理前の排水濃度の変動による処理効率の悪化であるが、水使用合理化により排水量が減少すれば、処理前の貯留槽での滞留時間が長くなって、排水濃度が平均化され、処理は安定化する。そして、たとえこの二つの効果を期待できない場合でも水使用合理化による排水量の減少は処理効率をむしろ上昇させる効果を持つ。それを各処理方法について説明する。

③最初にメッキ排水処理などの化学的処理について述べると、この処理における化学反応は反応速度論でいう二次反応と考えてよい。除去対象成分の平均濃度が高ければ、それに比例して処理薬品が投入されるからである。二次反応の場合、濃度が高いほど反応が急速に進むため、反応槽の容量は排水濃度とは関係なく、専ら排水量からきめられる。したがって、水使用合理化によって排水量が減少すれば、排水濃度が反比例的に上昇しても反応槽内での滞留時間が反応必要時間を大幅に上回るため、処理水質は以前よりはるかに安定したものとなる。

④次に物理的処理のうち、凝集沈殿処理を取り上げると、この処理方法の場合は処理前の濁度が高くても凝集剤の注入量を増やせば、上澄水の濁度をほぼ一定値まで落すことができる。それゆえ、水使用合理化によって排水量が減少して処理前の濁度が上昇しても、沈殿池での滞留時間の増加によってむしろより清浄な水が得られると考えてよい。

⑤さて、生物学的処理については最も一般的な活性汚泥処理を考えると、この活性汚泥処理に対する水使用合理化の影響は様々ではない。しかし、濃度上昇に伴うことのある酸素移動速度の低下や毒物濃度の上昇などへの対策を怠らなければ、水使用合理化により有機物濃度が上昇しても一定の範囲内ならば、むしろ曝気槽での滞留時間が長くなることによって通常は処理効率が上昇するものと考えられる。

⑥以上説明してきた処理効率の上昇はもちろん既存の処理方法がその工場排水に対して適切な場合に限られる。たとえば、化学工場などで生物的難分解性の有機物を含む排水を活性汚泥処理している場合、水使用合理化を進めれば、処理後の排水中の有機物濃度は水量の減少と反比例して上昇する。しかし、このような工場は排水処理設備を持っているとはいえ、その有機物に対しては実質的に希釈しか行っていないのと同じである。したがって、この場合は水使用合理化に伴って新たに適切な処理方法を導入することが必要となる。

(6) 薬剤投入による二次公害の問題について

①この問題が多少でも関係するのは冷却水を冷却塔で循環して、その循環水に防食剤を投入する場合だけであり、その他の水使用合理化には全く関係のない話である。

②冷却水についても冷却塔による循環に伴って必ず防食剤の投入が必要となるわけではない。第3章の標準的な方法として示した4倍という濃縮度の下限値は防食剤を用いなくても支障がないことが多いという前提で定められており、薬剤投入による二次公害は関係のないことが多い。

③もちろん、特に腐食を問題にする生産工程の場合は防食剤を必要とする。この場合はクロムや亜鉛等の重金属を含む防食剤ではなく、最近開発された有機化合物を主成分とする防食剤を用いるとともに、冷却塔のエリミネーターを強化して飛散水を極力少なくすべきである。そうすれば、防食剤の使用による二次公害はほとんど問題にならないと考えられる。

④むしろ、これに関連して問題にすべきことは第1章2で述べたように冷却塔の補給水に下水や工場排水の三次処理水を用いることによる二次公害の発生である。冷却塔からの水滴の飛散により処理水中のウィルスや重金属が大気中にばらまかれる恐れがあるし、また、三次処理水は（脱塩まで行わない場合は）腐食性が強いので、重金属系防食剤を用いざるをえないことがあるからである。

(7) 保安上の問題について

①水使用合理化の「合理化」という言葉から連想するのであろうが、水使用合理化を進めると、保安上の問題が生じるという批判を受けることがある。しかし、その批判は然したる根拠があつてのことではない。水使用合理化を徹底すると、余分の水がなくなって、事故が生じたいざという時に対応できなくなるということがイメージとして浮んでいるにすぎないようである。しかし、このような保安上の問題は予備水槽が設置されているかどうかということであつて、水使用合理化の進行状態とは無関係のことである。

②むしろ、多少なりとも関連してくるのは冷却水の循環利用の徹底が配管の腐食速度を高めて事故を引き起こすというようなことであるが、実際には一過式利用ならば10年もつ配管が4～5年でだめになるといったものであるから、この問題も配管の寿命のチェックを怠らなければ、保安上の問題とはならない。したがって、保安上の問題と水使用合理化は無関係と考えられる。

(8) 渇水時の問題について

①工業用水道使用工場は渇水時に使用水量一律カットという給水制限を受けることがある。この場合、どの工場も普段の使用水量を一律に、例えば10%とか20%削減しなければならない。もし水使用合理化を徹底した工場があるとすれば、その工場が一律カットに対応するためには生産量の削減が必要となる。このことから、水使用合理化の徹底は渇水時の一律カットへの対応を困難にさせるという反論が出されている。

②しかし、この反論を逆に言い換えると、「渇水時の一律カットに対応できるように水使用合理化をほとんどして普段は水を余分に使う必要がある」ということであるから、考え方そのものが基本的におかしい。この問題は一律カットという現在の給水制限方式をもっと合理的な方式に改めることによって簡単に解決することができる。すなわち、各工場の〔実使用水量－最小必要水量〕に対して一定の削減率をかけて、各工場の削減水量をきめれば、反論で述べるような問題は生じない。

③そして、もともと渇水時において給水制限を行わなければならないのは工場が水を過大に使っているからであつて、各工場の水使用合理化が徹底されれば、このような給水制限そのものが不要となるであろう。

補

補1 コンビナートにおける水使用の合理化

- 1. コンビナートの水使用の特徴 137
- 2. コンビナートにおける水使用の合理化 145

補2 水需要の動向

- 1. 都市用水需要の動向 155
- 2. 工業用水需要変動要因分析 160
- 3. 生活用水需要変動要因分析 170

補3 水使用合理化の重要性

- 1. 地盤沈下・水質汚濁の状況 173
- 2. 水需給対策としての水使用合理化の特性 181

補1: コンビナートにおける水使用の合理化

コンビナート，すなわち，石油精製・石油化学工業の工場群では水を大量に使用すると見られている。事実，統計から見ても，この産業は図表－1のように多量である。なぜ，コンビナートは水を多量に消費するのか。ここでの水使用は，合理化はどうすればよいのか。

図表－1 工業用水の水源および用途

業 種	水 源 (万m ³ /日)								海 水	用 途 (万m ³ /日)							
	淡 水									ボイラー 用 水	原料用水		製品処理用水 洗 浄 水		冷 却 水		温熱用水
	公 共 水 道		地表水	伏流水	井戸水	その他	回収水	合 計			淡 水	淡 水	淡 水	海 水	淡 水	海 水	
	工業用 道	上水道															
石 油 精 製 業	672 (237)	21 (08)	14 (05)	—	42 (15)	07 (02)	2075 (733)	2832 (100) <37>	4809 <63>	129 (46)	003 (001)	20 (07)	08 (02)	2602 (943)	4799 (998)	07 (02)	
石油化学工業	2836 (109)	17 (05)	817 (32)	589 (23)	1025 (39)	581 (22)	19698 (758)	25962 (100) <72>	10035 <28>	502 (20)	21 (008)	1048 (41)	172 (16)	22882 (880)	9835 (974)	862 (03)	
化 学 工 業 (石油化学工業を除く)	919 (110)	467 (58)	1184 (142)	218 (26)	1508 (180)	113 (13)	3925 (470)	8350 (100) <68>	4021 <32>	210 (18)	17 (013)	1463 (113)	126 (10)	5726 (442)	3504 (872)	427 (32)	

(出所) 昭和46年度，通産省『工業統計表』『用地・用水編』より作成。

(注) 1. ()内数字はパーセント，水総では淡水のみを示す。用途の場合はそれと淡水と海水に対する割合。

2. < >内数字は淡水と海水の使用割合のパーセント。

3. 石油化学工業は統計表のうち，「アンモニア系肥料製造業」，「石油化学基礎製品製造業」，「脂肪族系中間物製造業」，「環式中間物，合成染料，有機顔料製造業」，「プラスチック製造業」，「合成ゴム製造業」，「合成繊維製造業」の項を集計した。

4. 原料用水は化学工業では，淡水の他に海水が27.6万 m^3 /日(6.7)である。

1 コンビナートの水使用の特徴

1-1 コンビナートの水使用は「暗箱」か

まず，コンビナートの水使用の特徴を考えよう。

コンビナートを構成する工場は，それぞれのコンビナートによって違っているから，そこで使用される用水量も廃水量もまた多様であり，したがって，用水や廃水の量，性状の特徴を一般的に述べるのは困難なように思われる。

たしかに，コンビナートの工場は，製造法も異なっているばかりか，その詳細は公開されてはいない。その点で「暗箱」といってよいほど，コンビナートの工場は外部からわかりにくい。しかし，公表されている製造工程から見て，用水がどのように使われ，そして廃水になるかのメカニズムは類型化できる。また，その量もオーダーとして把握できる。図表－2,3はその例である。

1-2 製油所とは

図表－2の左側には石油精製装置名を記してある。簡単にこれを説明する。石油精製は，原油をガソリン・LPG・灯油・軽油・重油など，蒸留によってあらわけする常圧蒸留装置と，さらにLPG・ガソリン・灯油・重油に含まれる硫黄などの不純物を水素添加して精製する水素化精製・水素化脱硫装置がある。また，ガソリンのオクタン価を高める接触改質装置，常圧蒸留プロセスから得た重油のアスファルト分を除くため減圧下で蒸留する減圧蒸留装置，軽油などから高オクタン価のガソリンを得る流動接触分解装置などがある。その他，前述した水素化精製や水素化脱硫のための水素を製造する装置，脱硫した硫黄を回収する装置がある。また，流動接触分解装置，常圧蒸留装置

図表-2 石油精製における水使用

発 生 源 バレル / 日		水									汚 染				
		油 分 ppm	H ₂ S ppm	NH ₃ ppm	SS ppm	フェノール ppm	シアン ppm	COD ppm	塩 類 ppm	その他 ppm	排水量 m ³ /日		用水量 m ³ /日		
											プロセス	冷却水	プロセス	冷却水	
常 圧 蒸 留 装 置	250,000	3~100	300~3,000	300~400	-	20~ 30	-	100~200	-	-	440~800		St	3,650	
(脱 塩 装 置)		3~100	300~400	30~100	-	2~ 4	-	30~200	20~300	-	1,200~2,000		1,200~2,000	-	
減 圧 蒸 留 装 置	77,000	10~ 20	0~150	100	-	-	-	20~ 30	-	-	740~800		-	2,700	
LPG 水素化精製装置	5,000	5~ 20	600~800	300~400	-	-	-	500	-	-	9~ 10		9~ 10	100	
ナフサ水素化精製装置	25,000	5~ 20	900~5,000	500~800	-	-	-	900	-	-	45~ 55		45~ 80	300	
灯油水素化精製装置	25,000	5~ 20	5,000~6,000	700~900	-	-	-	4,100	-	-	75~ 80		75~ 80	380	
軽油水素化精製装置	30,000	5~ 20	900~10,000	900~1,000	-	-	-	6,500	-	-	85~ 90		85~ 90	2,030	
接 触 改 質 装 置	21,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		St	1,730	
流 動 接 触 分 解 装 置	15,000	20~ 30	3,000~5,000	3,000~5,000	-	300~500	20~ 30	500~3,000	-	-	140~170		St	950	
減圧軽油水素化脱硫装置	40,000	100~200	20,000~30,000	2,000~12,000	-	-	-	1,000~10,000	-	-	200~230		200~230	720	
常圧軽油水素化脱硫装置	30,000	100~200	35,000~40,000	20,000~25,000	-	-	-	20,000	-	-	240~290		240~290	500	
水 素 発 生 装 置	3,000	10~ 20	-	-	-	-	-	-	-	有 機 酸	340		-	800	
硫 黄 回 収 装 置	240トン/日	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	60		60	100	
カ ス 回 収 装 置	12,000	5~ 20	100	-	-	-	-	-	-	-	120		-	590	
溶 剤 脱 れ き 装 置	2,600	50	500	-	-	-	-	-	-	溶 剤	12~ 13		-	1,270	
溶 剤 抽 出 装 置	9,100	50	-	-	-	-	-	-	-	溶 剤	130~140		-	110	
潤滑油水素化精製装置	4,500	5~ 20	3,500~20,000	3,500~20,000	-	-	-	-	-	-	220~260		220~260	260	
溶 剤 脱 ろ う 装 置	4,500	20,000	-	-	-	-	-	-	-	溶 剤	100		-	-	
白 土 精 製 装 置	4,000kg/月	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	
小 計											4,496~5,268		2,334~3,077	16,490	
各装置冷却水(冷水器) ポンプ、コンプレッサー の 冷 却 水		50~100								水処理剤Cr	-	1,700 200~300			
ボイラ 350 tボイラ (自家発電のみ)											850		8,500	6,000 m ³ /時 (海水)	
タンク(原油、製品、 半製品)		20~100									480				
雨 水 (クリーン) (オイルリー)											1,710 m ³ /時 1,570 m ³ /時				
(バ ラ ス ト 水)											250 m ³ /時				

St: スチーム (ボイラ用水を必要とする)

出所: 「石油文明の技術と公害」技術と人間社

にて生ずるLPGを回収するガス回収装置もある。

以上あげた装置は、LPG・ガソリン・灯油・軽油・重油など、すなわち、燃料油を製造する装置である。したがって、このような製油所を燃料油型製油所といっている。

さらに、重油分から潤滑油を製造する装置、溶剤脱れき、溶剤抽出、潤滑油水素化精製、溶剤脱ろう、白土精製など、一連の潤滑油製造装置がある。一部の製油所には、燃料油製造装置の他に、潤滑油製造部門を持っている。

製油所の規模は、常圧蒸留装置の1日当たりの原油処理能力で示される。大型の製油所では、20~25万バレル/日〔1バレル160ℓ〕である。各社の原油の種類や製品販売計画によって多少の差はあるが、25万バレルの常圧蒸留装置に適応した標準的な装置の規模は図表-2のように示すことができる。

製油所には、以上のような製造装置以外に原油や製品のタンク群（敷地面積から見るとその割合は各製造装置の敷地面積と大体同じである。）、自家発電を兼ねたスチームボイラ、出荷設備などがある。

製油所は、常圧蒸留装置の規模によって、図表-2に示したように他の装置の規模も決まる。したがって、製油所の規模は常圧蒸留装置の大きさで表わすことができる。

1-3 製油所の用水（プロセス水、冷却水）量、廃水量

図表-2の製油所の装置とその規模は、今まで述べてきたような理由から典型的なものである。これに従って、用水量と排水量を右側に記す。

ここで示した冷却水は、冷水塔と空冷熱交（空冷熱交は、常圧蒸留塔など塔頂蒸気を凝縮するような場合に使用され、油の出口温度80℃以下に冷却するにはさらに冷却水を使用する。）に最大に使用した場合の結果である。また、この冷却水量は、冷水塔の循環使用水の約3%を補給水した結果である。

25万バレルの製油所であり、冷水塔を使用しなければ、約55万 m^3 /日の膨大な冷却水を必要とする。原油処理 kl 当たり13.8 m^3 の冷却水を必要とし、冷水塔を使用すると、0.4 m^3 の冷却水で済むことになる。製油所の冷却水は、海水でもよい。統計によると、わが国の製油所では、海水が480万 m^3 /日、淡水が360万 m^3 /日（S.46年度）使用されている。海水を使用すると、取水のための工事費（沿岸部の海水が汚染された結果、遠距離取水管の敷設を必要とする。）、冷却器のチューブの材質をアルミ銅合金にするなど、設備費用がかかる。したがって、冷水塔によっては、淡水を使用の方が冷却水のコストが安価になる。海水を使用すると、排水水によって熱汚染されるとの理由で、海水を冷水塔に循環使用している製油所の例がある¹⁾。これは、環境問題によって海水が冷水塔に使用された例である。しかし、海水を冷水塔に使用すると、海水が冷水塔から飛散して塩害を引き起こす恐れもあるから、十分に注意する必要がある。

（実際の製油所における冷却水は海水、工業用水の有無等それぞれの製油所の立地条件によって決まる。）

プロセス用水は、図表-2によると、約2,300~3,000 m^3 /日である。ボイラ用水は85,000 m^3 /日である。ここでいうプロセス用水とは、例えば、脱塩装置における原油中に含まれているマグネシウム塩類を水に溶解させる脱塩水、水素化精製装置における配管などに生成する塩化アンモニウムを溶解させる洗浄水、減圧蒸留装置などのスチームストリップングに使用されるスチーム、また、減圧蒸留装置の真空用エジェクターの作動用スチームである。その他、雑用水（メンテナンス時の洗浄水など）である。プロセス用水は、処理油の約3~4%のオーダーの使用量である。

ボイラ用水は、自家発電のボイラ用水と、製油所に使用するスチームに使用される。製油所では、スチ

ーム、先にあげたスチームストリッピング、真空用エジェクターの作動用、その他、重油燃焼用のアトマイジング用、消化用（加熱炉内に吹き込んだり、塔内のパージに使用）に使用される。加温・加熱用の例では、ろう分の多い重油のトレース用、潤滑油装置などに使用される。

プロセス用水量と冷水塔などの冷却水量とを比較すると、前者は後者の $\frac{1}{170}$ である。かりに、25 万バレルの製油所で冷却水（冷水塔使用）、プロセス用水、ボイラ用水に淡水を使用すると、約 28,000 m^3 /日が必要となる。そこで、冷却水の占める割合は、約 59 %、ボイラ用水は、約 30 %、プロセス用水が約 11 % となる。冷水塔を使用したとしても、製油所の用水で冷却水の占める割合が最も多く、半分以上を占めている。冷却塔を使用しないと、製油所の用水の約 98 % は冷却水である。

1-4 製油所が多量の冷却水を必要とする理由

なぜ、製油所の用水は冷却水が多いのか、その理由は、製油所は蒸留塔が使用されているためといえる。

石油製品の規格は、化学組成ではなく、沸点範囲によって決まっている。換言すると、蒸留塔によって各製品が分離され、かつ、製造される。蒸留では、まず、原料油を加熱し、蒸留塔の塔頂から沸点の低い揮発しやすい成分の蒸気を、塔底からは沸点の高い揮発しにくい成分を液状で取り出す。そこで塔頂から取り出す蒸気を冷却凝縮させ、液状にする。蒸気を冷却凝縮するために冷却水を必要とする。また、塔底から取り出された油も高温であるから冷却する必要がある。もちろん、塔底から取り出した高温の油を供給する原料の油と熱交換する。このことにより、加熱するための燃料と冷却するための冷却水が減少するような熱交換システムが蒸留装置には取り入れられている。今、省エネルギーのために、熱交換システムの再検討が製油所で進められているが、結果的には、冷却水量を減少させることになる。（省エネルギーが優先するのは、エネルギーのコストが製品コストに占める割合が石油製品で 3 ~ 4 %、石油化学製品ではエチレン 20 %、高圧ポリエチレン 9 % と大きいからである。）ちなみに、製油所で使用されるエネルギーは²⁾、処理原油の 3 ~ 4 % である。その消費エネルギーの大部分は、蒸留塔の加熱源と考えられる。つまり、製油所の消費エネルギーが多量であることと、冷却水が多いことは対応している。

1-5 製油所と石油化学工場

原油を精製し、各種の石油製品を製造する工場が製油所である。その石油製品のうち、ナフサ（粗製ガソリン）を原料にしてエチレンが製造される。ナフサは、原油の約 12 ~ 13 % の割合で生産される。そしてナフサの約 25 % がエチレンになる。今、わが国のエチレンセンター（コンビナートの中心になるエチレン製造工場）の規模は、年産 50 万 t である。（装置最大は 40 万 t/年であり、小規模では 10 万 t/年である。）したがって、原油→ナフサ→エチレンを 50 万 t/年製造するには 40 万バレル規模の製油所を必要とする。

わが国のエチレン製造工場、すなわち、エチレンセンターへの製油所からのナフサの供給は、パイプの場合もあるが、タンカーでも輸送される。いずれにせよ、製油所とエチレンセンターは原料の面で結合している。すなわち、コンビナートを形成している。その規模は、先に述べたように、エチレン 30 ~ 50 万 t/年である。かりに、エチレンを 50 万 t/年とすると、プロピレンなどが約 30 万 t、ブタジエン・ブタンなどが 20 万 t、ベンゼン・キシレンなどが 60 万 t も副生する。

エチレンから塩化ビニルやポリエチレン、あるいはポリスチレン、エタノール等を製造する。同じように、副生したプロピレンからポリプロピレンやアクリロニトリル、ブタジエンなどから合成ゴムの SBR や BR、ベンゼンやキシレンからアルキルベンゼンやテレフタル酸などが製造される。以上のよ

図表-3 石油化学コンビナートの用水と廃水

	生産量 万/年	用水						廃水量 (プロセス)		廃水性状 濃度 ppm						
		プロセス用水		冷 却 用 水				m ³ /日	m ³ /t	PH	BOD	COD	SS	油分	その他	
		m ³ /日	m ³ /t	m ³ /日 (※)	m ³ /t	m ³ /日 (※※)	m ³ /t									
エチレン	50	8,000	5.3	21,000	13.9	700,000	3,750	2.5	8	300	400	55	30		フェノール30	
塩ビモノマー	15	1,000	2.2	4,500	9.9	150,000	750	1.7	6	-	100	100				
塩ビポリマー	15	3,000	6.4	1,800	4.0	60,000	1,500	3.3	6	-	20~70	50	2			
高圧ポリエチレン	7.5	200	0.8	1,400	6.0	45,000	200	0.8	7.4	10	5	2	2			
中低圧ポリエチレン	7.5	1,000	4.4	1,500	3.0	50,000	900	4.3	7.5	-	60	1,150	10			
スチレンモノマー	7.5	1,300	5.0	1,300	1.8	38,000	1,250	5.0	7	-	150	40	5		フェノール2	
ポリスチレン (懸濁重合)	5	1,650	4.4	230	1.5	7,500	730	3.2	7	-	70	30	1			
ポリスチレン (塊状重合)	5						500	2.2	7	-	5~15	10~20	0.5			
A B S 樹脂	3	1,000	6.5	120	1.3	3,600	1,000	6.5	7.5	2,000	2,000	1,500	50			
エチレンオキシド	4	1,400	10	2,100	9.0	70,000	10	0.08	7	31,000	30,000	100	1			
エチレングリコール	3.3						1,400	9.5	7	710	700	4	1			
アセトアルデヒド	6	360	1.8	1,800	10.0	60,000	290	1.6	2~5	1,200	1,000	100	2~5			
酢酸	3.5	500	4.7	750	7.0	25,000	20	0.2	3	-	1,000	-	-			
酢ビモノマー	5	500	3.3	1,050	6.9	35,000	50	0.3	6	-	400	-	-			
エタノール	2.5	1,500	19.3	1,100	10.0	37,000	1,500	6.6	11	150	50	3	1			
ポリプロピレン	8	2,000	8.3	2,500	10.5	85,000	670	2.5	7.5	-	15~50	1,000	5			
プロピレン オキシド	5	1,200	7.8	2,400	15.7	80,000	500	3.2	7~8	-	50,000	100	1			
アクリロニトリル	7.5	1,000	4.4	3,400	15.0	115,000	1,000	4.5	6.5	-	16,000~45,000	50	-		シアン600	
アセトニトリル							1,000	4.5	6.0	-	1,350	50	15		シアン50	
フェノール	5	1,500	6.2	1,000	4.1	33,000	550	2.6	4.4	-	195	510	10			
アセトン	3						400	1.6	10	-	190	5	2		フェノール4.5	
メチル メタアクリレート	2.5	550	70.0	1,050	6.2	35,000	500	65.5	2	-	90	5	-		シアン25	
オクタノール	4	1,500	12.4	6,000	5.0	200,000	500	4.2	10	2,800	1,400	40	10			
ブタジエン	15	1,000	2.2	400	0.9	12,000	40	0.09	9	-	200	-	10			
SBR(スチレン ブタジエンゴム)	10	3,000	9.8	2,000	6.6	65,000	3,000	9.8	6~7	400	260	150	35			
BR(ポリブタ ジエンゴム)	5	3,500	23.1	1,200	7.9	40,000	3,500	23.1	6	-	130	100	35			
イソブレン	2.5	500	6.7	900	12.0	30,000	500	6.6	8	-	400	-	30			
ポリイソブレン	2.5	1,000	13.2	450	5.9	15,000	480	6.8	8~9	-	300	100	35			
芳香族	42.5	1,000	0.78	4,800	3.7	160,000	500	0.4	7.5	-	80	20	5			
アルキルベンゼン	2.5	500	5.0				180	2.1	5~9	420	225	30	25			
無水フタル酸	3	480	4.8	750	8.2	25,000	240	2.4	7	-	2,920	100	1			
テレフタル酸	3	1,000	11.0	1,500	16.5	50,000	60	0.7	11	7,000	3,700	290	3			
DMT(ジメチル テレフタル酸)	10	1,500	5.0	1,500	5.0	50,000	1,440	1.0	7.5	-	70	50	-			
アンモニア	20	4,850	8.0	4,200	6.9	140,000	600	1.0	7.5	-	50	50	-			
メタノール	10	2,000	6.7	1,500	5.0	50,000	60	0.2	7	1,560	300	10	1			
計		49,490		74,200		2,466,100	29,560									

※ 冷却水は冷水塔を使用する場合の補給水。 ※※ 一過性の水に使用する場合。

うに、エチレンはもとより副生物のプロピレンやブタジエンからも、これを原料にして各種の化学製品が製造される。その製品の種類と割合は、副生物の割合や需要によって異なるが、典型的な例を図表-3に示す。

図表-3は、50万t/年エチレン製造装置（プロピレン等の副生物の製造装置でもある。）と、これから一定の割合で製造されるエチレン・プロピレンなどを原料にする装置名、すなわち、石油化学コンビナート構成と規模、さらにそれぞれの用水量と廃水量を記した。

1-6 石油化学工業の用水

石油化学工場の用水は、大別すると、冷却水とプロセス用水になる。

化学反応を利用する石油化学工場では、原料も多様となり、各種の化学反応を利用するため、高温あるいは低温の条件が必要になり、冷却水の多い装置もある。また、重合反応の媒体、塩、酸などの除去のためにプロセス用水の使用先がより複雑である。したがって、プロセス用水からの廃水の汚染は、製油所の場合よりも汚染される。製油所でも水素化精製、接触分解などは化学反応が利用される。

例えば、エチレン製造装置では、ナフサを反応管内に通し、外部から900℃の高温に加熱して、エチレンに分解する。この時、炭素を析出せずにエチレン収率をあげるために、ナフサといっしょにスチーム（媒体スチーム）を反応管に加える。加える媒体スチーム量、すなわち、プロセス用水量は、エチレン1tに対し1.6～2.3tである。反応管から出たエチレンは、200℃近くまで急冷される。もちろん、急冷する時に高温の熱回収（スチームを発生させる。）を行う。エチレンには、副生した重質油、プロピレン、メタン、ガソリンなどとスチームが含まれているから、いくつかの蒸留塔によって、これらを分離する。メタン、エチレン、プロピレンの蒸留には-140℃まで冷却する必要がある。しかも、99.9%の純度の高いエチレンやプロピレンを得るために数多くの蒸留塔を使用しているのだからやはり冷却水を必要とする。

石油化学工場の例をもう一つあげよう。ポリ塩化ビニルの製造は、原料の塩化ビニルモノマーと水に分散剤、触媒を加えて重合槽で強く攪拌する。すなわち、塩化ビニルモノマー油滴を水中に懸濁させる。この時、水は媒体の役割を果たし、一定時間を経て塩化ビニル油滴を重合させた後に、水は分離されて廃水になる。塩化ビニルが重合する時発熱するから、除去して温度を一定に保たねばならない。そのため、重合槽にジャケットして冷却水を通す。

塩化ビニルのような懸濁重合へのプロセス用水の使用例の他に、合成ゴム（SBR, BR）への懸濁重合など、あるいは乳化重合などにも媒体として水が使用される。またSBRの製造のように、重合槽から取り出されたSBRに付着している分散剤や塩類などを洗浄するためにも水が使用される。

塩化ビニル、BRの場合でも、未反応モノマーの回収、分離に蒸留塔が使用され、やはり冷却水が使用される。

1-7 コンビナートの用水と廃水

エチレンと塩化ビニル製造を例にして、プロセス用水、冷却水と、これらが廃水に転化する過程を簡単に説明した。

図表-3のそれぞれの製造装置では、化学反応も工程も異なるのだから、プロセス用水も冷却水も、そして廃水も当然異なることになる。しかしその使用先を類型化すると図表-4に示すことができる。

第一に、水は熱容量が大きいことから、冷却媒体として冷却水に利用される。また、逆に、水蒸気として加熱作業流体に利用される。コンビナートの冷却水の条件は、水温が低く汚濁していないことが好まし

図表-4 石油化学コンビナートにおける用水と廃水の関連

水の特性	用 水		廃 水
	水の役割と操作	工場の使用先	汚染のメカニズム、廃水の性状
熱容量大	冷却媒体=冷却水	各装置の多管式冷却器、ジャケット、サーフェスコンデンサー、ポンプ、コンプレッサーの軸受の冷却、急冷塔（クエンチャー）の冷却水、冷却塔の補給水	多管式冷却器のチューブ損傷→チューブ内の流体（油、液体）による汚染。 サーフェスコンデンサーによる排気の冷却分解ガスのクエンチ、排気中の油蒸気、ガス中のタール、硫化水素、シアン等による汚染。 ポンプ等の軸受等からの潤滑油類の混入。 冷水塔の循環水には水処理剤（クローム）の混入、循環水の使用先の冷却器の損傷による汚染。
	熱媒体=ボイラ用水	蒸留塔のボイラの加熱用スチーム。装置加温用の温水。水蒸気蒸留の加熱スチーム。吸熱反応の熱媒用スチーム。	水蒸気蒸留のため塔内に吹きこまれたスチームが塔底、塔頂にて凝縮し、塔内の液、ガスを混入。 ナフサを熱分解→エチレン、エチルベンゼンの脱水素→スチレン、ナフサスチームリフォーミング→水素の時の熱媒体のスチームの凝縮水。各種炭化水素、カーボンを混入。
	作業流体=ボイラ用水	タービン駆動用（コンプレッサー、発電用）スチームエジェクター	スチームエジェクターの排気中の揮発性炭化水素、ミスト類がスチームに混入し、凝縮水になる。
溶解性大	溶媒（抽出吸収）=洗浄水 プロセス水	ガス、液ポリマー中の酸、塩、等可溶物の洗浄。アルカリ水による中和洗浄。 ガス中のダスト、ミスト類の集じん水。 ゴム、塩ビ等のポリマーの懸濁重合、乳化重合用の溶媒。	洗浄水には、酸、塩、各種炭化水素を混入。集じん水は、ダストを含む。 乳化剤、触媒、モノマー、ポリマー等を重合器からの廃水は含む。
化学的特性	原料水=プロセス水	原料用水（水性ガス、電解用）	製品の希釈用水は、汚染源にならない。 水性ガス、電解用水は余剰水が汚染源になる。 活性汚泥法にて廃水処理する時、濃厚廃水の希釈用水。
	その他（生成水、漏洩、流出）		縮合、酸化（フタル酸、アクリロニトリル）によって水が生成し、これには、各種副生物を含む。 ポンプのグラウンド、パイプの接合部等からの流体の漏洩。 操作ミスによる流体の流出、漏洩。 原料、中間製品に含まれている水の凝縮、脱水。

い。水温が低いと、冷却する流体との温度差がとれるため、冷却器を小さくできるからである。また、冷却水が汚濁していないことは、冷却器の伝熱面積がよごれにくいから、これもまた冷却器を小さくできる。通常、石油化学コンビナートの冷却は30～40℃まで冷却する場合が多く、それ以下に冷却する時は、冷凍機によるブライン、アンモニア等の冷媒などが使用される。

例えば、アンモニア合成装置で20℃と35℃の冷却水を使用する時、建設コストと動力費の比較例を図表－5に示す。当然とはいえ、20℃の冷却水を使用し、水冷却器のみの場合が建設費も動力消費量も少ない。35℃の冷却水では、水冷却器のみでは建設費も動力消費量も大きい。しかし、冷凍機をうまく組み合わせると、35℃の冷却水を使用しても大幅なコストアップにはならない。つまり、冷却水の水温は、化学装置のシステム構成によって対処できる。

図表－5 冷却水の水温と建設費・動力消費との関係

アンモニア合成装置

建設費 (動力消費) 冷却温度	20℃	35℃
水冷却器のみ	317,000 (2,295)	501,000 (4,425)
水冷却器と冷凍機	354,500 (2,730)	385,000 (3,200)

(注) 建設費 1,000 円

() 動力消費 KWH

出 所：此 木 恵 三 プロセスシステムの設計 100 P

冷却水の水质によっては、冷水塔を使用する場合、特に、スライム、スケールが生成し、熱交換器のよごれをひどくする。濃縮化、水処理剤の使用、あるいは熱交換器の管配列を□ピッチにするとかの対策はある。

水をボイラ用水(蒸気)に使用する場合は冷却水の場合と違って、水温より水质が重要である。イオン交換などによって水処理をする必要さえ生ずる。一般のボイラ用水の取り扱いと同じであり、石油化学コンビナートに特有のことではない。しかし、エチレン製造に使用するような媒体用スチームは、それほど水质を問題にしくなくてもよい。後にも記すが、媒体用スチームは、凝縮した後に、ガソリン分などを取り除き、再使用できる。

第二に、水の溶解性の大きいことを利用して溶媒、つまり洗浄水に使用される。プロセス用水といわれるのは、この水の性質が利用された結果である。ガスや液中の硫化水素や塩酸などをアルカリ水で洗浄したり、重合したゴムに付着した塩類の洗浄水である。ゴムやプラスチック類の乳化重合をする時の溶媒、あるいは懸濁する時の溶媒に水が利用される。重合の溶媒に使用する水は、脱イオンする。ガス中の酸や塩などの洗浄水は、脱イオンなどの水処理をする必要はない。集じん用の洗浄水も同様である。

第三に、原料用水には、石油化学コンビナートではその例は少ない。食塩の電気分解による水素、塩素、ソーダを製造する時の電解用水などが一例である。

図表－4の右側は、コンビナートの工場で使用された水が廃水になるメカニズムを、用水に対応させて記述した。そこで、用水と廃水を対応して、廃水を再び用水に使用する問題点をあげたい。

使用した後の冷却水は、温度が上がっただけで汚濁されていないから、再び何らかの方法で冷却させると再使用できると考えられる。しかし、冷却水が直接に接触しないようになっている冷却器のチューブの損傷によって、チューブ内の流体（油など）が漏洩して冷却水を汚染することがしばしばある。直接に冷却水がガスや液に接触するような場合は、もちろん冷却水は汚濁する。ポンプ、コンプレッサーの冷却水は、軸受等の潤滑油が混入する。

冷水塔の循環水は、塩類やスライム、冷却器からの流体の漏洩等により、これが濃縮するための約 10 % ブローする必要がある。

加熱用のスチームドレンは再使用できる。しかし、蒸留塔に直接に吹き込んで水蒸気蒸留を行うような場合、これは凝縮して塔内液によって汚濁される。また、先にあげたエチレンなどの製造の熱媒体用のスチームも凝縮して各種の汚濁物を含む。

洗浄水は、酸や塩、有機物などの不純物を洗浄除去するために使用されるのだから、当然これらの酸や塩などを含む重合の媒体に使用された水も、乳化剤や触媒、モノマーを含む廃水になる。

総じて、石油化学コンビナートの廃水は、各種の炭化水素を多く含んでいる。また、これらの有機物の濃度も高い。

石油化学コンビナートは、規模が大型化し、各種の工場が集積する特徴を持っている。石油を原料とすることで、原油からナフサに、ナフサからエチレンに、エチレンから……と、いもづろ的に製品が作られ、しかも、その装置も大きい方が効率的であるためである。

コンビナートの大型化は集積の利益がある。しかし、用水と廃水の点では、大型化には限度がある。コンビナートが大型化すると、図表-2, 3 が示すように、一箇所でも大量の用水を必要とする。たとえ冷水塔を使用したにせよ冷却用水とプロセス用水は、原料の 10 ~ 20 倍も必要とする。したがって水源には限度があろう。廃水処理も、コンビナートからの廃水の性状が複雑であるため、一括して処理することには問題が残っている。

2. コンビナートにおける水使用の合理化

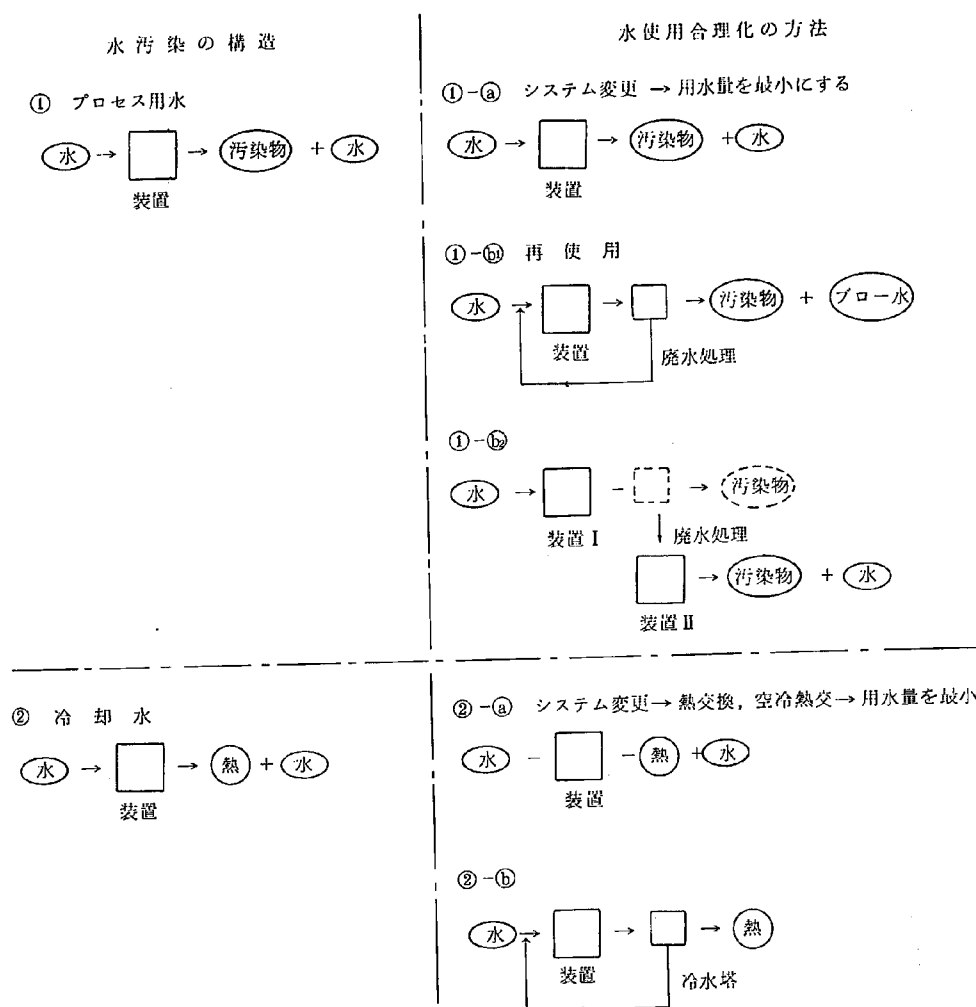
2-1 水使用合理化の基本型

コンビナートに使用される水は、プロセス用水と冷却用水に大別される。そしてこれらは、使用法、水質、水量も異なっている。したがって、水使用の合理化も二つに大別される。それぞれを図示すると、基本的には図表-6 のように示すことができる。

プロセス水や冷却水がコンビナートで使用された結果、廃水となるメカニズムは図表-6 ①②に示す。前述したように、洗浄塔や重合槽、反応管などの装置を経た水がプロセス廃水である。冷却水は、冷却器、コンデンサーなどの装置で奪った熱で冷却水の温度が上昇したものが排水になる。いずれの場合も、「汚染物」「廃熱」が水に付加され、エントロピーが増大した水である。

水使用の合理化は、プロセス水の場合、①-④のように、プロセスシステムを変更し、用水量を少なくする方法がある。次に、①-⑤、①-⑥のように、再使用する方式がある。①-⑤は、汚染物+水、すなわち、廃水の中の汚染物を廃水処理で除去し、循環再使用する方式である。この方式では、新しく補給される水が減少する。①-⑥は、装置Ⅰの廃水を装置Ⅱに使用する方式である。この方式をとると、装置Ⅱ

図表-6 水使用合理化の基本型



に使用する水を必要としなくなる。装置Ⅰの廃水を簡単に処理し、一部の汚染物を除去して再使用する方式もこの方式の変更型である。

冷却水の場合も、②-aのように、熱交換システムを変更し、空冷熱交の使用による冷却水の減少の方式がある。②-bは、冷水塔によって昇温した排水の熱を除去する方式である。この方式は、型式から見ると廃水処理によって汚染物を除去する方式に対比しうる。しかしながら、廃熱の除去と汚染物の除去方法を比較すると、明白な差異がある。冷水塔は温水と空気との温度差を利用し、温水の約1%を蒸発させ、約5.5℃の温度を低下させる。水の一部を蒸発させ、廃熱すなわち増大したエントロピーを低温の空気に棄てることは、熱力学的に容易である。エントロピーの増大した汚濁水は、その汚染物の分離除去のために熱エネルギーや機械的エネルギーを必要とする。例えば、蒸発で汚染物と水を分離する方法をとるなら、水を100%蒸発することが必要となる。冷却水の排水エントロピーを除去するには、1~2%の蒸発ですむ

のに対し、プロセス廃水のエン트로ピーを除去するには100%蒸発しないといけない。

つまり、汚染物を含んだ廃水は、エン트로ピーが大きいので、廃水処理で汚染物を除去するのが容易でないといえよう。事実、石油化学コンビナートの廃水を完全に再使用できるまで処理するには、その費用が多くかかる。

2-2 プロセス水の水使用合理化の問題点

プロセスシステムの変更——プロセス水を減少させるためには、工場の運転操作への考慮と製造プロセスの改良がある。

運転操作による水使用の減少は、工場内のポンプのまわりなどの油よごれを水洗しないで、砂にまぶして除去するなどのもその一例である。また、メンテナンスの時の槽や塔のクリーニング水なども、注意を払うと節水できる。

製造プロセスの改良は、すぐにできるものではない。しかし、プロセス水の節水の方向に向かっているのは事実である。

例えば、中・低圧ポリエチレンを製造する時の重合用の触媒の活性を上げることによって、触媒量を少なくすることができるようになった。今まで製品中の触媒を除去するための工程が不要となり、その結果、洗浄水も使用しなくてもよくなった。また、水の中にスチレンモノマーを懸濁させて重合する方法を、水の不用な塊状重合の方法に転換した例も同様な考えである。

ナフサを原料にするエチレン、水素の製造、あるいはエチルベンゼンを原料にするスチレンモノマーの製造の場合、いずれも、これらの原料と媒体のスチームを反応管に通し、外部から高温で加熱する。反応管、生成したエチレン、水素、スチレンモノマーのいずれの場合も、その後で急冷する。すると、媒体のスチームは凝縮してカーボンや各種の炭化水素を含んだ水が生ずる。これは廃水となる。しかし、カーボンや炭化水素を分離して再びスチームボイラ用水に供給し、媒体スチームに用いられる例がある。後の実施例の合成ゴム工場や製油所のストッパーの廃水も再びプロセス水に用いる場合も同じような例である。

廃水処理後の再使用——コンビナートのプロセス水の廃水は、各種の炭化水素あるいは塩類が混入している例が多い。このような廃水を活性汚泥処理後、さらに活性炭処理をするとCOD値は10~15 ppmまで減少することが可能である。しかし、塩類の除去は困難である。

活性汚泥法、活性炭吸着法を用いた廃水処理費用は、エチレン(30万t/年)、スチレンモノマー、芳香族抽出など、限られた製造装置の廃水では、約200円/㎥かかると見られる。

廃水使用を行い、この水を再使用するためには、水質と費用の点から見ると問題がある。すなわち、塩、微生物による腐食、スケール、スライムによる障害である。むしろ、先に述べたような簡単な廃水処理で、少々汚濁していてもかまわないような使用先に用いるべきであろう。

2-3 冷却水の使用合理化

石油化学コンビナートの冷却水の使用合理化の第一の方法は、冷却水を最少にするようにシステムを変更する方法がある。

例えば、石油化学コンビナートの製品を分離するためには蒸留塔を使用する。蒸留塔へ供給する原料油を蒸留塔の製品の塔底油、塔頂からの留出油とを熱交することによって、原料油を加熱する燃料を節約すると同時に、製品のための冷却水を減少させることができる。

この方式によると、熱交換器の基数、あるいは、熱交換の伝熱面積の増加となるが、省エネルギーの結

果、設備費が回収される。製品の純度をあげるため、蒸留塔頂への塔頂液を還流する量を多くすると、当然、ここで塔頂のコンデンサーの冷却水が多くなる。還流量を減らすには冷却水を少なくする蒸留塔の塔高を高くするとよい。そうすると蒸留塔の設備費が高くなるので、コンデンサー、設備費と還流量の兼ね合いで蒸留塔の高さが決められる。

このような蒸留塔の熱エネルギーシステムばかりではなく、除熱する例では石油化学コンビナートの製造プロセスには反応器の反応熱、加熱する例では蒸発器、乾燥機などがある。したがって、適切に除熱と加熱の組み合わせを行うと、結果的には冷却水の水使用は合理化される。くり返すまでもなく、製造プロセスでの冷却システムの変更は、加熱の省エネルギー化の結果として行われるのが普通である。

冷却水の水使用合理化は、やはり空冷熱交換器や冷水塔を使用するのが実際のであり、石油化学コンビナートでは、常識的にこれらが採用されている。

冷水塔を使用する時注意する点は、第一に濃縮率の取り方である。濃縮率を高く取ると補給水量が少なくなる。すなわち冷却水量が減少する。しかし、濃縮率を高くすると冷水塔の循環水が蒸発することによって、不溶性の塩類が濃縮して冷却器のスケール障害、腐食の原因になったり、細菌、藻などの繁殖によってスライムが発生する。このようなことを防止するために、重クロム酸、磷酸などの処理薬剤を投入する。また、濃縮を防止するために、循環水の一部をブローする。通常の循環水の濃縮率は2～3であり、薬剤投入によって5～8の高濃度運転も行われている。

通常、冷水塔の循環冷却水の水温を5.5℃低下させるには循環水量の約1%が蒸発損失量であり、また、機械的な飛散損失は0.2%と見込まれる。循環冷却水を濃縮比5.2、10℃冷水塔で低下させた場合、循環水量の0.25%をブローし、補給水量は2.5%となる。石油化学コンビナートでは、濃縮比を3～5取り、一般に冷水塔を使用する場合は、循環冷却水の2.5%が補給量である。すなわち、冷却水は一過性に使用する場合の2～5%の減少が可能である。

冷水塔を使用する際に、第二に注意する点は、循環水の入口温度と出口温度の差（レンジといわれる）、出口温度と外気湿球温度の差（アプローチといわれる）の取り方によって、冷水塔の設備コスト、運転コストも大幅に異なる。レンジを大きくし、アプローチを小さくするとコストが上昇する。したがって、製造装置の運転条件によって、適切な冷水塔を設計することが大事である。例えば、アプローチのために外気湿球温度をどの値に決めるにしても、夏季の最高湿球温度を取るか、夏季別日平均湿球温度+3℃にするとか、異なる年間で、決めた温度を越す時間が少ない場合は、冷水塔の能力がなくてその時の生産量が落ちて、設備費のコストが安価で用水量が少ない方が合理的である。

2-4 水使用合理化の実施例³⁾

石油化学コンビナートで、用水を減少させる方策は、使用量の多い冷却水を対象にするのが第一である。冷水塔あるいは空冷熱交を使用するのはごくありふれたことである。プロセス廃水を再使用する試みもいくつかある。

しかし、エントロピーの増大した廃水の再使用を本格的に行うのは容易ではなからう。

プロセス廃水の処理水を別な用途に再使用する場合は前記した①-⑨法の例で述べる。

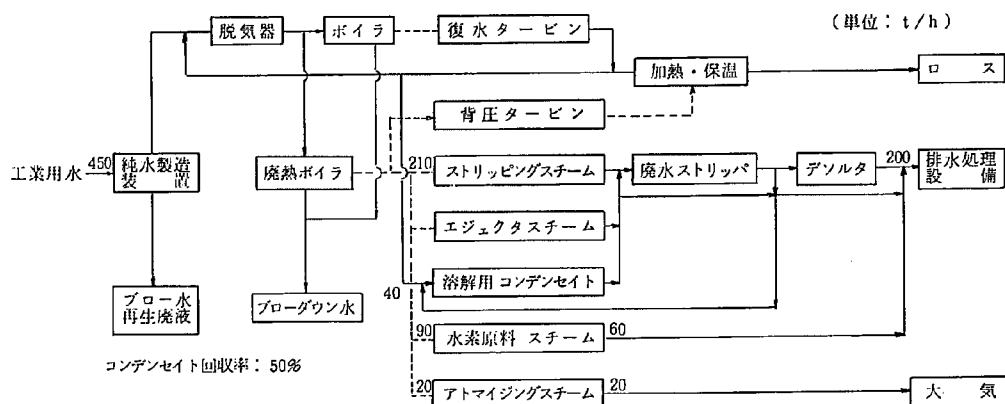
製油所のプロセス廃水の再使用

出光興産千葉製油所の現状のプロセス用水と廃水の収支は図表-7に示される。

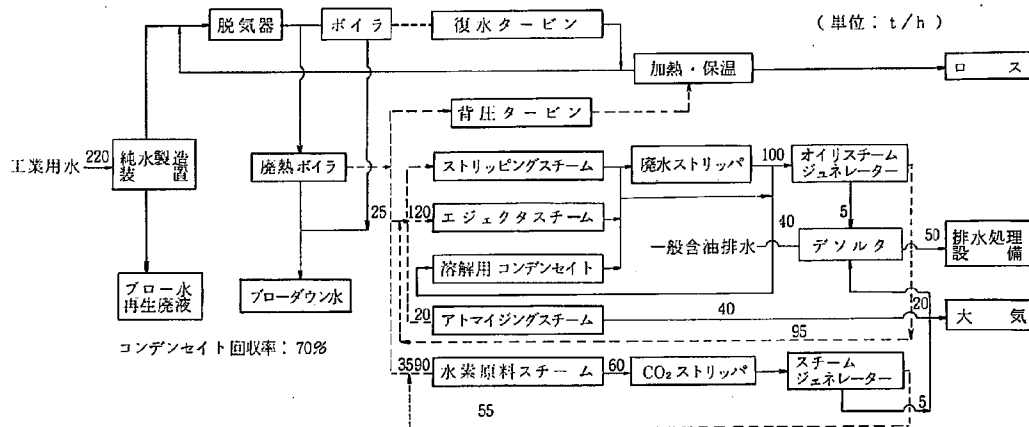
※ 同製油所は30万バレル/日規模の製油所であるから、2表からみても当を得た廃水量である。

すなわち、450 t/Hの用水が200 t/Hの廃水になっている。これを $\frac{1}{4}$ の50 t/Hの廃水量に減少させる目的と合わせて、工業用水量も半分にしようとする。

図表-7 製油所のプロセス用水と廃水の収支（現状）



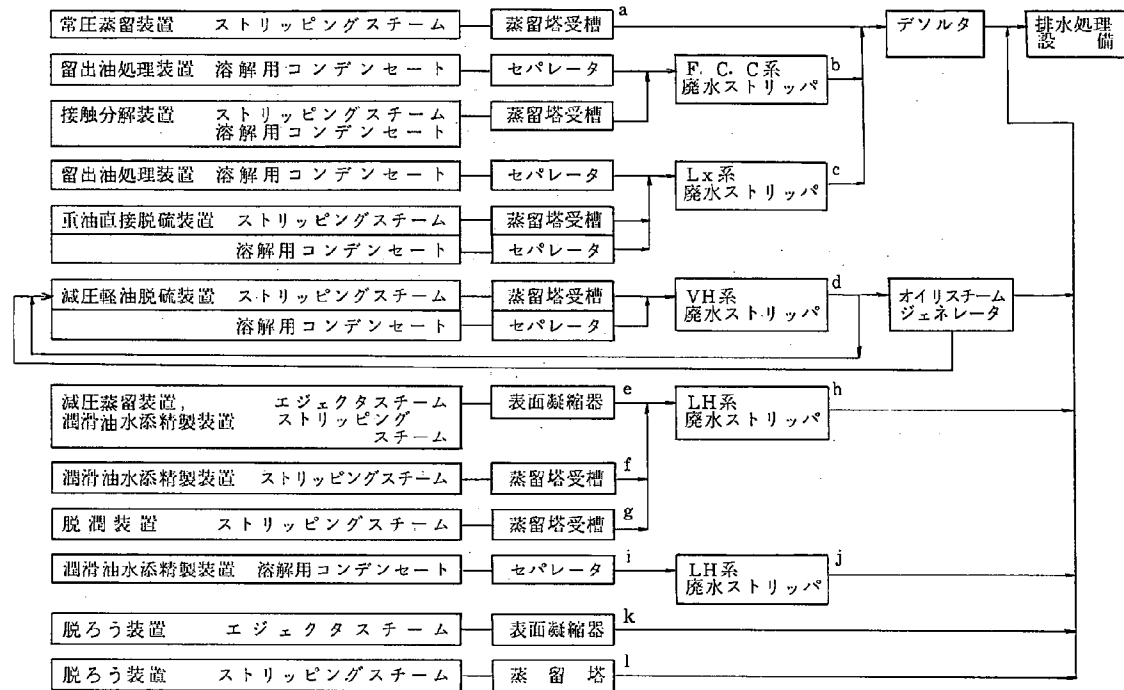
図表-8 製油所のプロセス用水と廃水の収支(将来)



ここで注目すべきことは、先に述べた①-㉔型の水使用合理化、すなわち、プロセス廃水の活性汚泥法処理の処理水は腐蝕、スケール、スライムの点で再使用は困難であるとした点である。そして①-㉔型の方式、すなわちプロセス廃水をスチームストリッピングを行って汚染物を除去し、これをスチームエジェクターの供給水に使用したことである。

図表-8のストリッピングスチーム、エジェクタースチーム、アトマイジングスチームなどのプロセス用水と廃水について説明を加えよう。

ストリップングスチームは、図表－９に示すように、常圧蒸留、接触分解等の装置の蒸留用に用いられる。このスチームは凝縮して廃水になる。溶解用コンデンセートとは、塩化アンモニウムなどが各装置のパイプを塞閉させるので、これを溶解するための洗浄水である。水素原料用スチームは、ナフサから水素を製造する時の媒体となる原料用のスチームで、一部は反応して水素になるが、大部分は凝縮して廃水になる。その性状は図表－１０に示される。アトマイジング用スチームは、燃料油を燃焼する時に用いられる。



図表—9 製油所のプロセス廃水の発生源

図表-10 製油所のプロセス廃水の性状

項目 場所	PH	導電率 μ S/cm	Pアルカリ度 ppm as CaCO ₃	Mアルカリ度 ppm as CaCO ₃	硬度 ppm as CaCO ₃	Ca 硬度 ppm as CaCO ₃	油 脂 ppm	塩 素 ppm	シリカ ppm	全 鉄 ppm	COD ppm
a	6.5~8.5	-	-	-	-	-	-	5~70	-	-	100~500
b	8.5~10.0	50~400	-	26~830	1~40	1>	-	5~100	2~6	1>	240~340
c	6.5~9.0	50~70	-	2~15	1~2	1>	80~100	10~20	1~2	1>	30~40
d	7.5~8.0	20~50	0.5>	1~4	4	2	1~100	4~8	1	1>	10
e	6.0~8.0	10~130	0.5>	2~50	1	1>	-	1~20	1~2	1>	20~330
f	-	5,000~6,000	0.5>	1,800~2,600	1	1>	-	1~4	2~4	1~50	1,800~2,100
g	-	30~44	0.5>	8~15	1	1>	-	1>	1>	1>	300~400
h	-	70~110	30~50	100~150	1~4	1>	1,000~5,000	1~4	1~3	1>	50~70
i	-	90,000~100,000	0.5>	39,000~64,000	1	1>	50~300	3~20	5~10	2	50,000~70,000
j	-	400~450	0.5~150	100~330	1	1>	-	1~3	1>	1>	10~40
k	7.5~9.0	5~10	0.5>	2~6	1	1>	20~30	1>	1>	1>	20~30
l	7.5~8.0	2~6	0.5>	2~3	1	1>	3~5	1>	1>	1>	1~10

故に、廃水にはならない。これらの廃水には、濃度の違いはあっても、アンモニアと硫化水素、油分を含んでいる。（図表-2を参照のこと。）この廃水を廃水ストリッパー（蒸留塔）を用いてスチームを吹き込み、廃水中のアンモニアや硫化水素を追い出す。その処理結果は図表-5に示される。処理水は、デソルターの処理水や減圧軽油脱硫用溶解コンデンセートに用いる。デソルター（脱塩装置）とは、原油中に含まれる塩類を洗浄する装置であり、洗浄水に、以前は工業用水が使用されていたが、洗浄用だからストリッパーの処理水が使用されても、なんらさしつかえがない。（図表-2を見れば、デソルターの用水量の多いことがわかるであろう。）減圧軽油脱硫の溶解コンデンセート用も、洗浄水だから使用できる。

以上のように、すでにプロセス廃水の処理水が再使用されて、プロセス用水使用量の約半分になっていたのを、さらに減少しようというのである。

図表-9と図表-10に示されるVH系廃水ストリッパーの廃水をオイリースチームジェネレーターの給水に使用した。給水およびボイラ水の定測値（ボイラ清缶剤を添加した場合と無添加の場合）は、図表-11に示される。そして、オイリースチームジェネレーターで発生したスチームを図表-9の示すように、減圧軽油脱硫装置のストリッパー用スチームに再使用する。

運転結果は、次のようになった。運転後半年で、ボイラ水のPHが低下しつつ全鉄が増加した。一年後の定修では、図表-12に示すように、ボイラに点食とスケールが堆積していた。

運転には、ボイラ清缶剤を添加し、一般のボイラより、より細かく水質管理を行うことが必要である。ボイラのブロー率を3~5%の連続ブローにし、濃縮倍率を下げ、特別界面活性剤のスケール分散剤を使

用するのが効果的である。また、アミンを主成分としたボイラ清缶剤を使用し、PH 7.5～9.0に安定させる。

水素原料スチームの廃水の組成は、図表-13に示される。廃水中の遊離炭酸をスチームストリッピングして、これを再びスチームジェネレーターの給水に用いてスチームを発生させ、ナフサのスチームリホーミング用に供給するのである。もちろん、廃水も全量再使用されるわけではない。再循環使用すると汚染物が濃縮されるから一部ブローする必要がある。

さらに、ストリッパー廃水を全面的にオイリースチームジェネレーターの給水に使用し、同様に、水素原料スチームの廃水をCO₂ストリッパーで処理してスチームジェネレーターの給水に使用して再使用すると、先にあげた図表-12のようになる。

合成ゴム工場の例 注3

日本ゼオン徳山工場の合成ゴム製造装置のプロセス廃水を再使用して、廃水量も用水量も減少させた例を述べよう。

合成ゴムの製造プロセスは、図表-14に示す。まず、重合器の中で溶媒にベンゼンを用いる。ブタジエンを触媒で重合させると粘調な溶液ができる。この溶液を水の入っている凝固水をタンクに注入すると、ゴムの小片に凝固する。凝固タンクには、スチームが吹き込み、ゴムにならなかった未反応のブタジエンと溶剤のベンゼンをタンクから追い出す。追い出されたブタジエンとベンゼンにはスチームが同伴し、このスチームは凝縮水となる。これをブタジエンとベンゼンから分離すると廃水になる。次に、

ブタジエンの重合停止剤の沸点アルコールを水洗する。この洗浄水が、また、廃水になる。一方、凝固タンクからは、重合したゴムの小片と温水が抜き出され、水油スクリーンでゴム小片と分離されて廃水になる。

図表-11 製油所のオイリースチームジェネレーターに使用した時の水質

ボイラの種類		オイリースチームジェネレーターの給水およびボイラ水の実測値(6)			
圧 力 (kg/cm ²)		10			
伝熱面蒸発率 (kg/m ² ・h)		40			
給 水	PH (25℃)	7.3～	8.0	5.6～	8.7
	硬 度 (ppm)	2～	4	2	
	油 脂(1) (ppm)	0.1～	2		
	溶 存 炭 酸 素 (ppm)				
	導 電 率 (μS/cm)	20～	50	35～	44
	P アルカリ度 (ppm)	0.5>		0.5>	
	M アルカリ度 (ppm)	1.5～	3.5	6～	28
	Ca 硬 度 (ppm)	1～	2		
	塩 素 イ オン (ppm)	4～	9	8～	9
	シ リ カ (ppm)	1.0>		1.0>	
	全 鉄 (ppm)	0.1～	0.6	0.1～	0.3
	C O D (ppm)	1.2～	6.8		
ボ イ ラ 水	PH (25℃)	5.8～	9.5	6.5～	8.9
	M アルカリ度 (ppm)	3.0～	19.5	8～	310
	P アルカリ度 (ppm)	0.5～	3.0		
	全 固 形 物(3) (ppm)	2580～	3920		
	塩 素 イ オン (ppm)	870～	1430	185～	500
	リン酸イオン(4) (ppm)	0.2>		12～	23
	亜硫酸イオン(5) (ppm)				
	シ リ カ (ppm)	1.0>		2～	3
	導 電 率 (μS/cm)	3660～	4610	375～	904
	硬 度 (ppm)	390～	400	10～	31
	硫 酸 イ オン (ppm)	29～	33	7～	23

- (注) (1) n-ヘキサン抽出物質 JIS-K-0101
 (2) 1 ppm以下に保つことが望ましい。
 (3) 全蒸発残留物 JIS-K-0101
 (4) リン酸イオンの標準値はボイラ内処理剤としてリン酸塩を使用する場合に適用する。
 (5) 亜硫酸イオンの標準値は脱炭素剤として亜硫酸塩を使用する場合に適用する。
 (6) オイリースチームジェネレーターの実測値の左欄にはボイラ清缶剤無添加時のデータを、右欄にはボイラ清缶剤添加時のデータを示す。

図表-12 プロセス廃水のスチームジェネレーターに再利用結果

腐 食 状 況

機 器 名	場 所	状 況
スチーム ジェネレーター (VH-E10)	チャンネル	フランジおよびノルズに点食
	シェル	底部に点食、他は一般腐食
	チューブバンドル	外面に点食

ゴムは、乾燥する前に、ゴムに付着している触媒などを水で洗浄し、乾燥工程に送られる。いずれの廃水にもブタジエンやベンゼンなどを含んでいる。特に、ゴム小片を分離した廃水は、その他のゴムなどがSSとして含まれている。廃水中のSSを浮上分離し、この時、廃水中のブタジエンやベンゼンも暴気される。こ

図表-12の続き

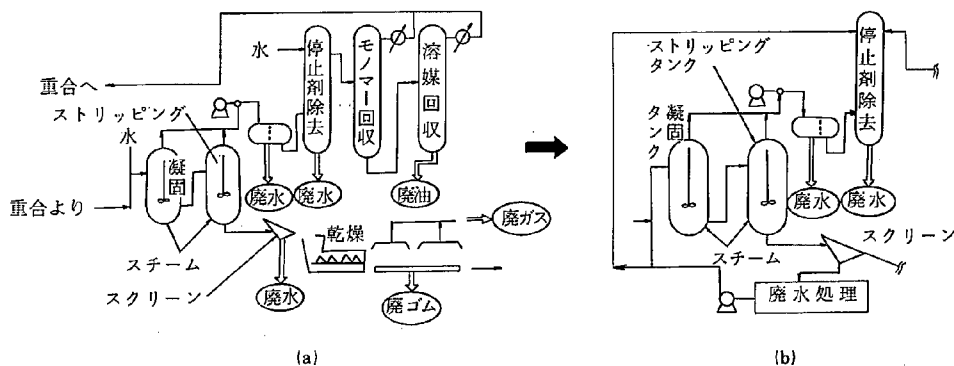
スケール障害の状況

機 器 名	場 所	状 況
スチーム ジェネレーター (VH-E10)	シェル	泥状のスケールが底部に堆積 スケール分析結果、油分、カルシウム、マグネシウム、鉄、硫黄等を検出した。
	チューブバンドル	チューブ表面にスケール 下部に泥状のスケール

図表-13 水素製造装置のプロセスコンデンセートの性状

項 目	PH	導 電 率	Mアルカリ度	硬 度	塩 素 イオン	シリカ	全 鉄	COD
	-	$\mu S/cm$	ppm as $CaCO_3$	ppm as $CaCO_3$	ppm	ppm	ppm	ppm
プロセス コンデンセート	4.5~5.0	10~30	1~12	1>	1>	1>	1~5	15~30

図表-14 合成ゴム工場のプロセス廃水再利用の例



うして処理された廃水をゴムの凝固用の水に再利用する。

次に、触媒洗浄水の廃水、乾燥工程のゴム洗浄水も凝集浄分離によって処理し、洗浄水として再利用する。

以上、二つの場合の再利用工程の変遷を図表-14の(a)→(b)に示すことができる。

合成ゴムのプロセス廃水量の減少例

対 策 (年 月)	初 期 (1965. 1)	対 策 A (1973. 1)	対 策 B (1973. 11)	対 策 C (1974. 2)
排 水 量 (ml/t)	36.2	17.0	8.8	0.2

(注) A: 主として合成ゴムの生産性アップ
B: 主として凝固用廃水の循環利用
C: 主として触媒洗浄廃水の循環利用および乾燥工程排水の循環利用

出所: 佐伯康治「化学工場」4月号(1974)

こうして、ゴム生産量当たりのプロセス廃水の減少は、初期のゴム1 t当たり362 m³から生産性の向上によって17.0 m³となる。次に、凝固廃水の再使用により 8.8 m³となる。さらに対策として触媒洗浄廃水などの乾燥工程の廃水を再使用することにより 0.2 m³に減少することができた。廃水量の減少は用水量の減少となった。

む す び

石油化学コンビナートの冷却水、プロセス水は、その技術の特徴から、多量に使用される。その結果、熱的に、物質的に汚染する。

つまりエントロピーが増大する。

プロセスシステムを変更し、冷却水、プロセス水を減少することは、製造プロセス効率をあげるために、とられる方法である。

たとえば、エチレン製造プロセスの原単位は、図表-15のように初期にくらべて減少した。

冷却水ばかりでなく、電気、燃料、スチームを減少するように、プロセスシステム全体の改良をすすめた結果である。必ずしも水使用の合理化を第一義にもったわけではない。しかし、可能なのである。

エントロピーの増大しないように、冷却水、プロセス水を減少すること、増大したエントロピーを、冷水塔で除去し再使用すること、また、一部の汚染物を除去し再使用することは、実際的なことが、さきにあげた実例から示唆される。

図表-15 エチレン製造装置の原単位の向上

基 準	エチレン t 当り	
時 期	初 期	現 在
能 力	2万 t/yr	30万 t / yr
分 解 条 件	マイルド	ミディアム (含エタンリ サイクル)
電 力 kW	1450	50
蒸 気 t	2.2	0.2
燃料 10 ³ kcal	8	7.5
冷 却 水 m ³	850	400

出所：平松一道 PETOTECH 1巻1号
(1978) P51

冷却水は海水でも工業用水で一過性に使用した場合で、冷却水は冷水塔を使用しない例である。

参 考 文 献

- 1) 神 田 昭 三 他 三菱重工技報 Vol 11 No 2 (1974) P 133, 日本石油精製, 室蘭製油所の例, 冷却水量 12,000 m³/日である。
- 2) 飯 島 孝 システム Vol 14 No 9 (1975) P 16
- 3) 山 近 茂 出光石油技術 20 巻 3 号 (1977) P 26
- 4) 佐 伯 康 治 「化学工場」 4 月号 (1974)

補2：水需要の動向

合理化の対象となる都市用水需要が、過去10年間どのような推移をたどってきたか、どの程度水使用合理化が行われてきたか等について統計的にみてみよう。

何故そのような推移をたどったかについては、さまざまな解釈がありうるが、ここでは統計的な事実をトレースするにとどめる。

1. 都市用水需要の動向

過去10年間（昭和40～50年）についてみると、大きな増加率を示したのは家庭用水で2.4倍に増大している。次いで都市活動用水が1.9倍、工業用水は1.3倍にとどまった。特に、45年以降工業用水はほぼ横這いに推移している。その結果、40年の各用水のウエイトがそれぞれ工業用水72％、家庭用水19％、都市活動用水9％であったものが、50年には工業用水60％、家庭用水29％、都市活動用水11％へと大きく変化している。

（図表－1、図表－2）

水需要増大の主要な要因として工業用水については工業出荷額の増加が、家庭用水については人口の増加が、都市活動用水については就業・就学人口の増加が考えられるので、その推移をみてみると、工業出荷額は48年以降停滞しているとはいえ、40年に対して50年は165％の増大であるのに対し、人口は14％、就業・就学人口は5％の伸びに過ぎない。（図表－3、－4）

このことは、上述の水需要の動向とうまく符合しない。そこで、水需要量とフレームを結ぶ係数として水使用原単位の推移をみてみると、工業用水の原単位（淡水補給水量／工業出荷額）は年々減少して、50年には40年の値より60％も減少しているのに対し、家庭用水の原単位（家庭用水使用量／人口）は83％の増加、都市活動用水の原単位（都市活動用水使用量／就業・就学人口）は66％の増加を示している。（図表－5、－6）

すなわち、工業用水は出荷額の大巾な増加にも拘らず、同じ出荷額を実現するために使用する水の量も大巾に減少したために、水需要の大巾な増加は見られなかったのに対し、家庭用水と都市活動用水は、人口や就業・就学人口の増加は小さかったが、1人当りの使用水量が大巾に増加したために、水需要は急速な増加を示したといえる。

次いで、各用水の水源構成の推移をみる。工業用水は、回収水と海水が大巾な増加を見せており、水使用の合理化が回収水と海水への転換という形で進められてきたことが読みとれる。淡水補給水量でみると、既に述べたようにあまり増えていない（10年間で31％の増加）が、淡水補給水量の水源内訳をみると、工業用水道の割合が増大し、井戸水が減少する傾向がみられる。40年と50年の水源構成を比較すると次表の通りである。（図表－8）

工業用水の水源構成

(%)

	地表水	工業用水道	上水道	井戸水	伏流水その他	淡水補給水量	回収水	海水	総用水量
40年	10.3	6.3	3.9	18.0	5.9	44.4	25.3	30.3	100.0
50年	4.8	7.2	1.9	8.2	2.1	24.1	48.8	27.1	100.0

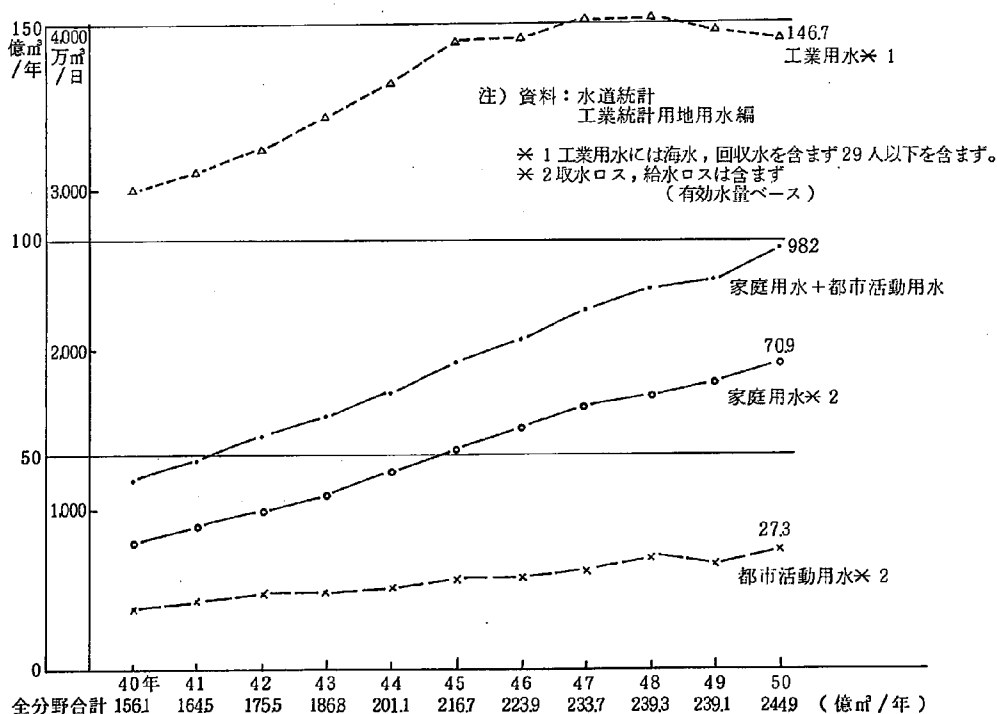
家庭用水と都市活動用水の水源は水道水と自家用井戸である。自家用井戸の使用量は減少傾向にあると思われるが、その実態はほとんど把握されていない。ここでは、参考までに上水道（工場向を含む）の水源地構成の推移をみている。上水道については、井戸水の大巾な増大に対して伏流水の増加は小さいので、井戸水の割合が高まる傾向がみられる。なお、河川水はもともと絶対量が多いので、伸びてはいるがウェイトはあまり高まっていない。（図表－7）

上水道の水源地構成

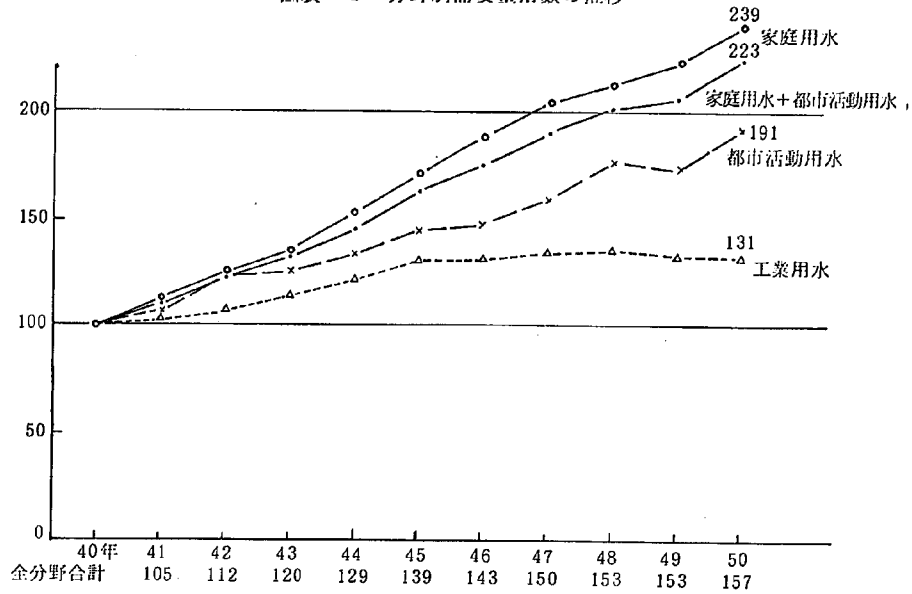
	地 表 水	井 戸 水（深）	井 戸 水（浅）	伏 流 水	合 計
40年	72.1	10.6	3.4	13.9	100.0
50年	72.5	14.1	5.2	8.1	100.0

以上工業用水についてはその水源は地下水（含伏流水）から河川水へとそのウェイトが移行しつつあることが読みとれるが、家庭用水、都市用水では地下水のウェイトは増している。地下水は現在の揚水量においても、地下水位の低下、更には地盤沈下等の障害をひきおこしている地域もあり、河川水との相対割合だけでなく、使用量そのものを更に減らしていく必要がある。水使用の合理化は、地下水を使用している需要者については特に強く要請されるといえよう。

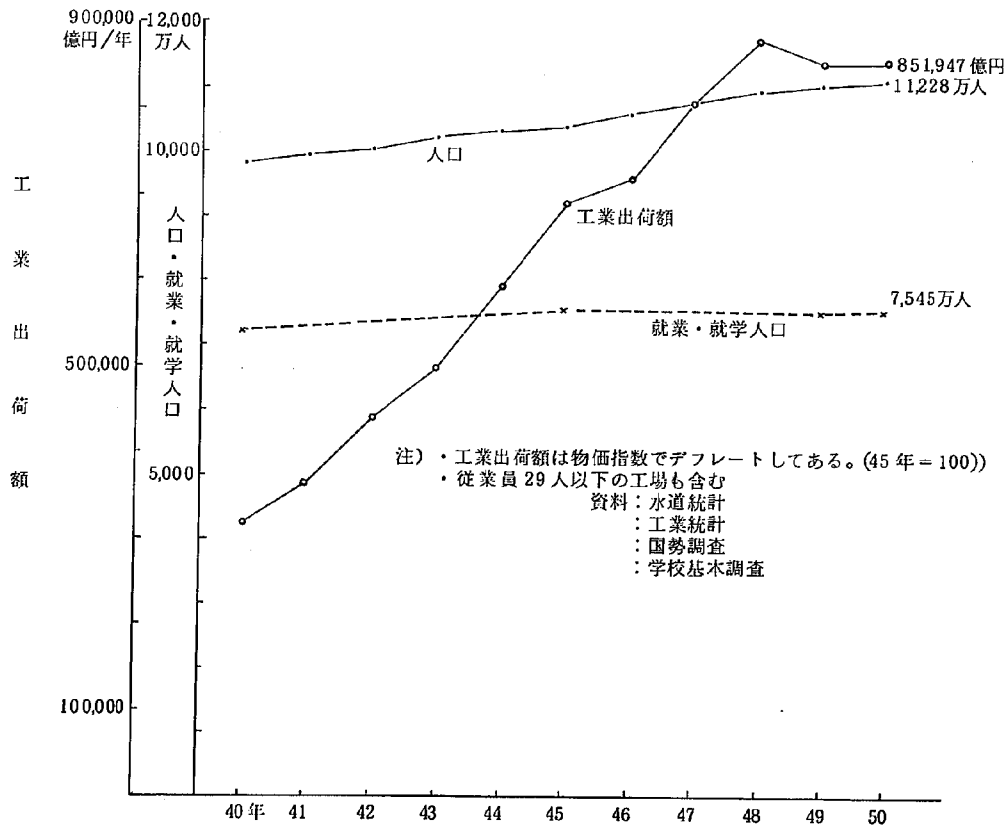
図表－1 分野別水需要量の推移



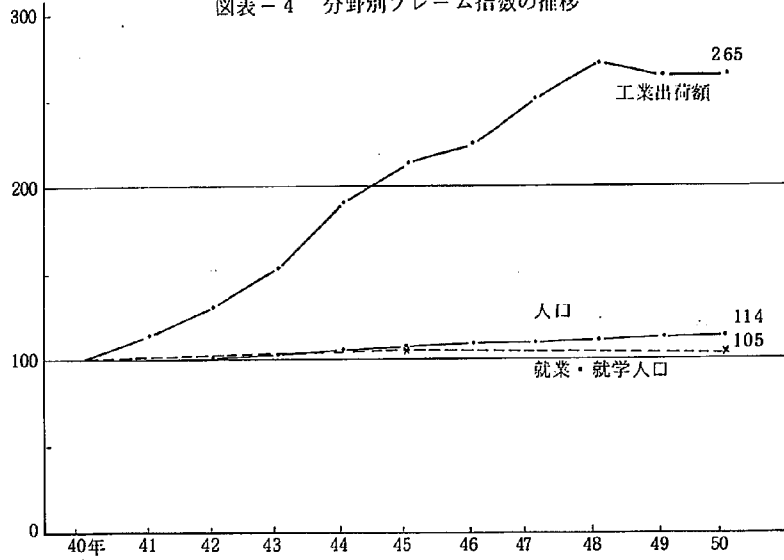
図表-2 分野別需要量指数の推移



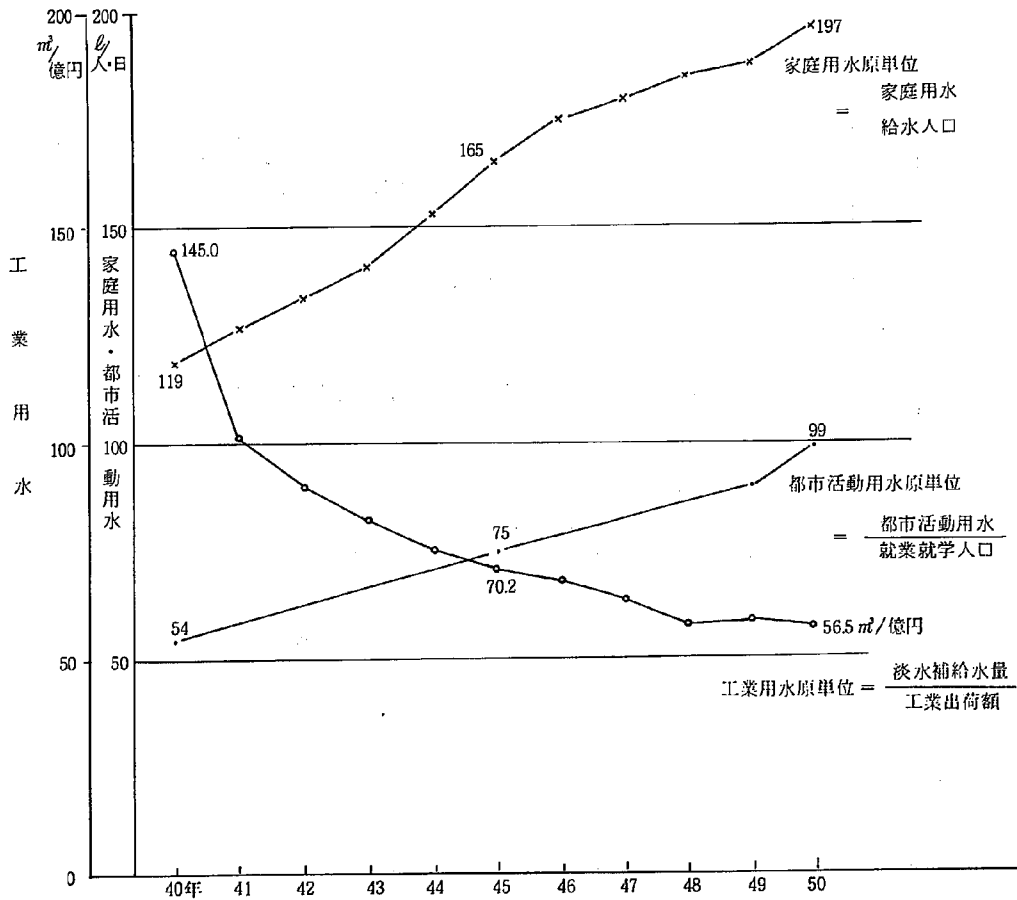
図表-3 分野別フレームの推移



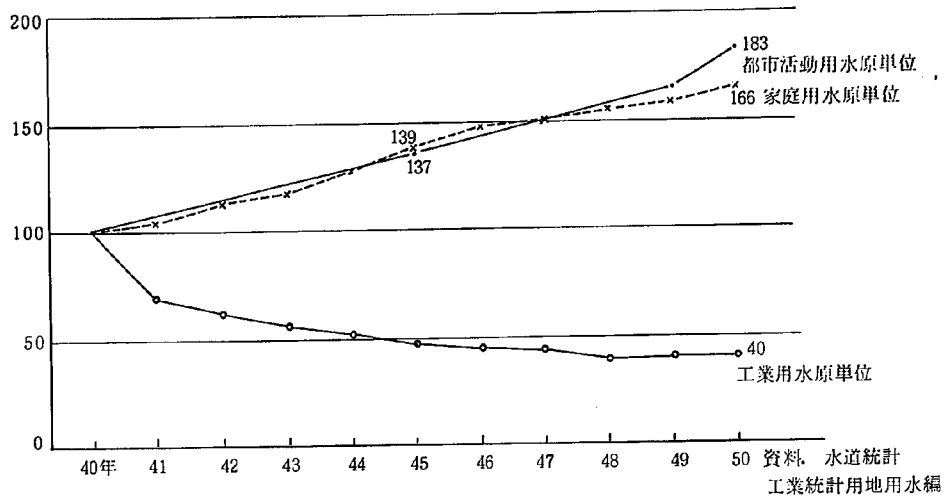
図表-4 分野別フレーム指数の推移



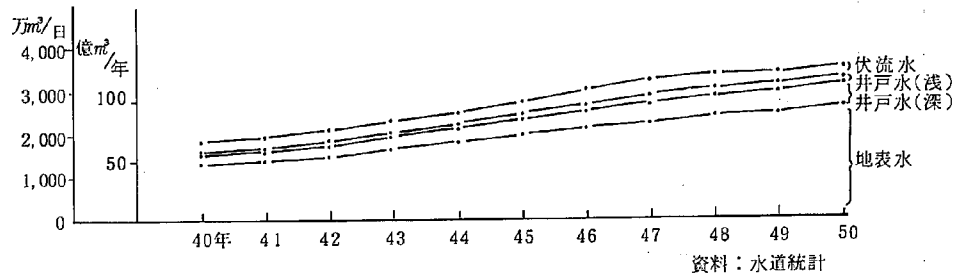
図表-5 分野別原単位の推移



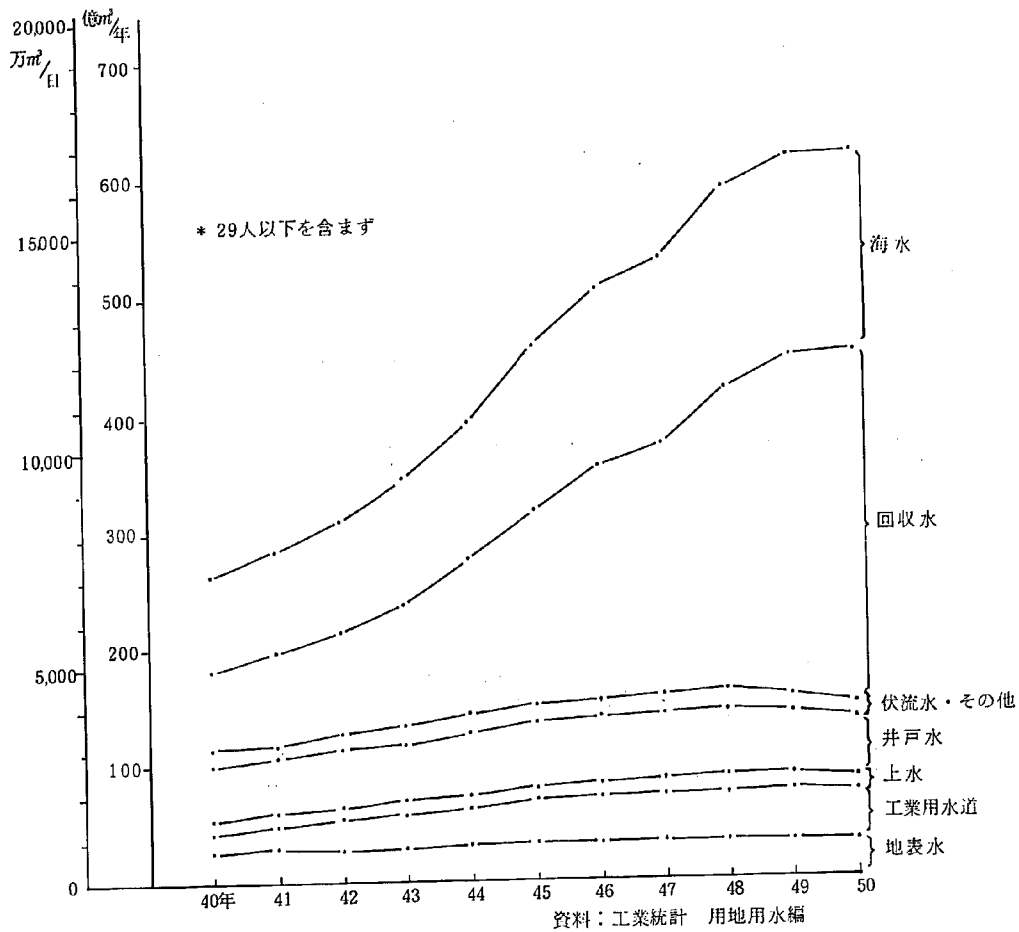
図表-6 分野別原単位指数の推移



図表-7 生活用水水源構成の推移 上水道全体(取水量ベース)



図表-8 工業用水水源構成の推移



2. 工業用水需要変動要因分析

以上都市用水全般についての動向を概観したが、ここでは、工業用水について需要変動の要因をやや詳しくみてる。

分析方法として、工業用水の淡水補給水量をいくつかの因子の積として恒等式に展開し、それぞれの因子の変動への寄与率をみるという方法を採用した。

まず、淡水補給水量は次式のように展開できる。

$$\text{淡水補給水量} = \text{製造品出荷額} \times \frac{\text{淡水補給水量}}{\text{製造品出荷額}} \dots\dots\dots (1)$$

＜補給水原単位＞

(1)式に40年と50年の実際の数値を入れて増加倍率をみると次のようになる。

$$\frac{A_{50}}{A_{40}} = \frac{B_{50}}{B_{40}} \times \frac{C_{50}}{C_{40}} \dots\dots\dots (I)$$

$$1.283 = 2.570 \times 0.499$$

40年から50年までの10年間に、全国全業種 total の淡水補給水量が1.283倍になったのは、製造品出荷額が2.570倍になり、補給水原単位が0.499倍になった結果である。

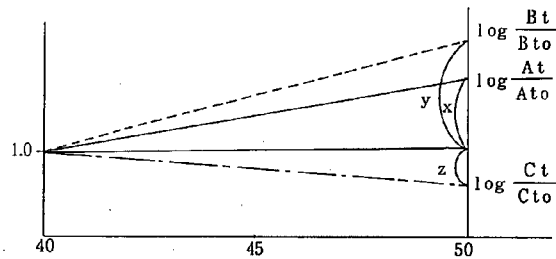
この関係を視覚化するために(I)式の対数を取り、(I')式とし、それを片対数グラフに画いたのが次の図である。

$$\log \frac{A_t}{A_{t0}} = \log \frac{B_t}{B_{t0}} + \log \frac{C_t}{C_{t0}} \dots\dots\dots (I')$$

t₀ 40年

t 41年～50年

この図は、淡水補給水量の変化を製造品出荷額の変化と、補給水原単位の変化で説明しているものでそれぞれの寄与率が視覚化されている。その関係を模式的に説明する。



この図では、 $x = y + z$ でAの変動分xに対して、Bの変動分は $(y/x \times 100)\%$ 、zの変動は $(z/x \times 100)\%$ 寄与していることを示している。

注) このような形で寄与率という用語を用いて良いか否か厳密には問題はあるが、ある指標の変動を構造的に説明するのに極めて有効である。

図表-9-1によれば、淡水補給量が28%増加したことに対し、出荷額の増加が373%寄与し、補給水原単位の減少が-273%寄与していたことになる。

それでは、補給水原単位はどのような要因で低下したのであろうか。(2)式のように更に展開して分析してみたのが図表-9-2である。

(C)	(D)	(E)	(F)	
$\frac{\text{淡水補給水量}}{\text{製造品出荷額}}$	$= \frac{\text{総用水使用量}}{\text{製造品出荷額}} \times$	$\frac{\text{淡水使用量}}{\text{総用水使用量}} \times$	$\frac{\text{淡水補給水量}}{\text{淡水使用量}} \dots\dots\dots (2)$	
$<\text{補給水原単位}>$	$<\text{総水原単位}>$	$<\text{淡水割合}>$	$<\text{補給水割合}>$	

40年から50年の間に補給水原単位が0.499倍になったのは、総水原単位が0.920倍に、淡水割合が1.046倍に、補給水割合が0.518倍になった結果である。これをグラフでみると更に明瞭である。総水原単位は44年位までは低下したが、その後は上昇傾向であり、工場が水そのものを必要としなくなった訳では決していないことを示している。補給水原単位の低下の原因として、海水の使用量の増加が考えられるが、淡水割合の推移にみられるように、最近では総水使用量に占める淡水の割合はむしろやや増加

傾向にあり、海水が淡水にとって代わるという気配は見られない。しかし、淡水使用量に占める補給水の割合（回収率の逆数）は急激に低下しつつあり、補給水原単位の低下は補給水割合の低下、即ち回収率の向上によってほぼ説明されとも言えよう。50年時点で見ると、補給水原単位の約50%の低下は、総用水原単位の低下が12%、淡水割合の上昇が-7%、補給水割合の低下が95%寄与したといえる。

以上、工業を全業種一本で扱ってきたが、その中には出荷額の割に水を沢山使う用水型工業と、その逆の非用水型工業が含まれている。もし、用水型工業から、非用水型工業へと業種構成が推移していったとすると、それだけで全業種一本の補給水原単位は低下してしまう。そこで補給水原単位の低下を業種構成の変化によるものと、純粹に水使用合理化によるものとに分ける必要がある。ここでは次の(3)式によって両者を分離し、それを図表-9-3に示した。

$$\frac{\text{淡水補給水量}}{\text{製造品出荷額}} = \frac{\sum \tilde{U}_i \cdot \bar{x}_i}{\sum \bar{x}_i} = \frac{\sum U_i \cdot \bar{x}_i}{\sum \bar{x}_i} \times \frac{\sum \tilde{U}_i \cdot \bar{x}_i}{\sum U_i \cdot \bar{x}_i}$$

U_i …… 基準年（40年）の*i*業種の前単位

$\tilde{U}_i$ …… 当該年（41年～50年）の*i*業種の前単位

$\bar{x}_i$ …… 当該年（41年～50年）の*i*業種の製造品出荷額

(C) …… 補給水原単位（全業種一本）

(G) …… 業種別補給水原単位は40年のままで、業種別出荷額のみが変った場合の補給水原単位。この要因の変化は、業種構成の変化による補給水原単位の変化を表わす。

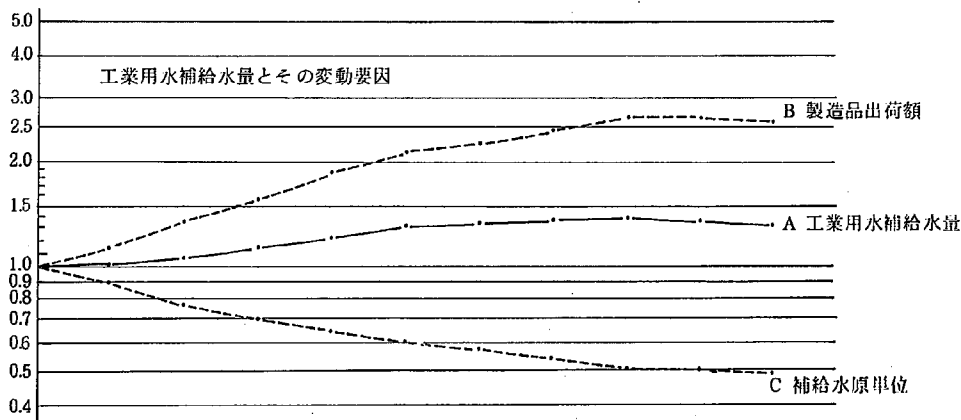
(H) …… 業種別補給水原単位が40年のままで、業種別出荷額だけ当該年の出荷額とした場合の必要補給水量と、補給水原単位、出荷額ともに当該年とした場合（当該年の実際の補給水量）との比。この要因の変化は、合理化による補給水量の変化を表わす。

グラフにみるとおり、補給水原単位の低下は主として水使用合理化によるもので、50年時点でのその寄与率は85%、業種構成の変化の寄与率は15%である。

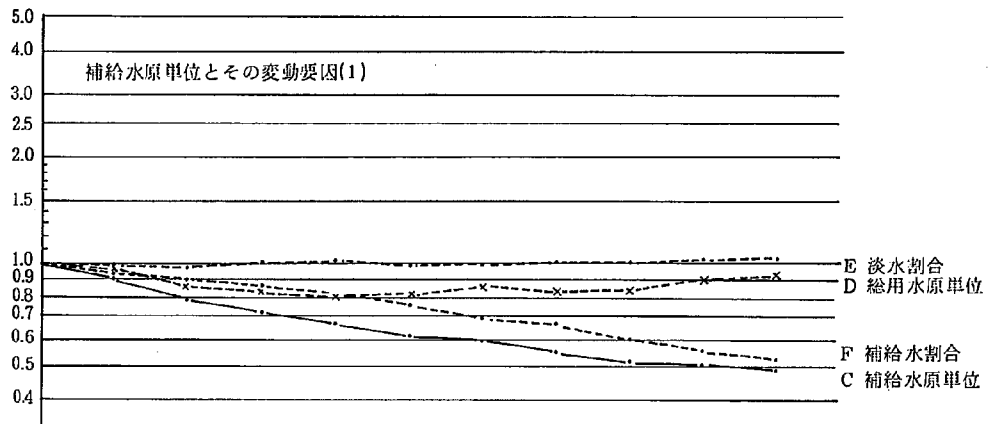
以上工業全業種について分析したが、以下主要5業種について同様の分析をした結果をグラフで示す。

（図表-10～14）

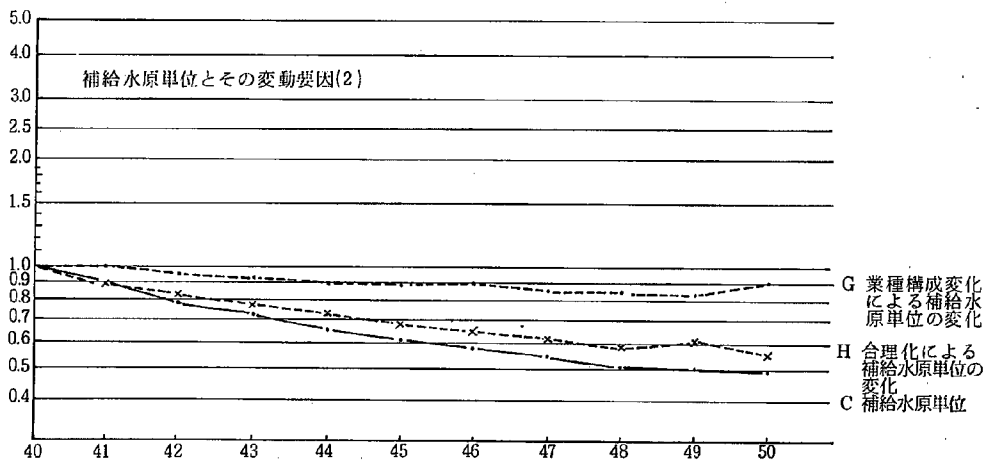
図表-9-1 工業用水需要変動要因の分析
全業種合計



図表-9-2



図表-9-3

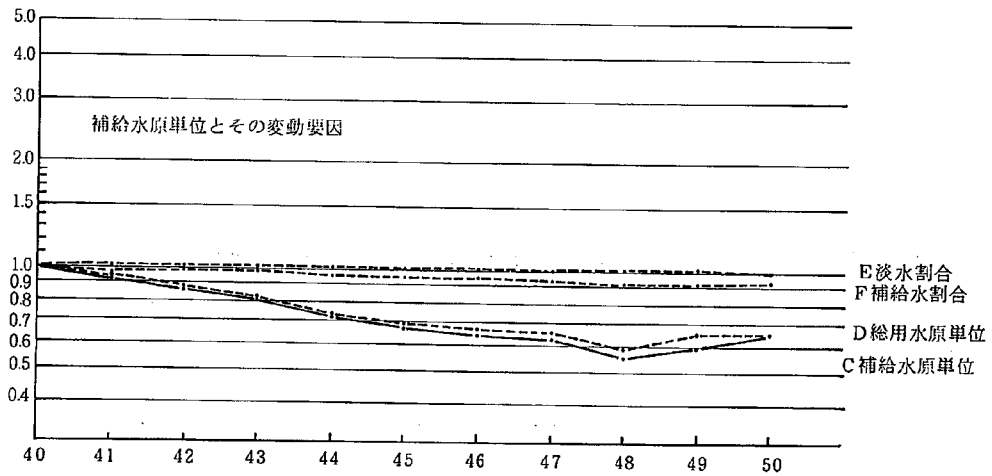
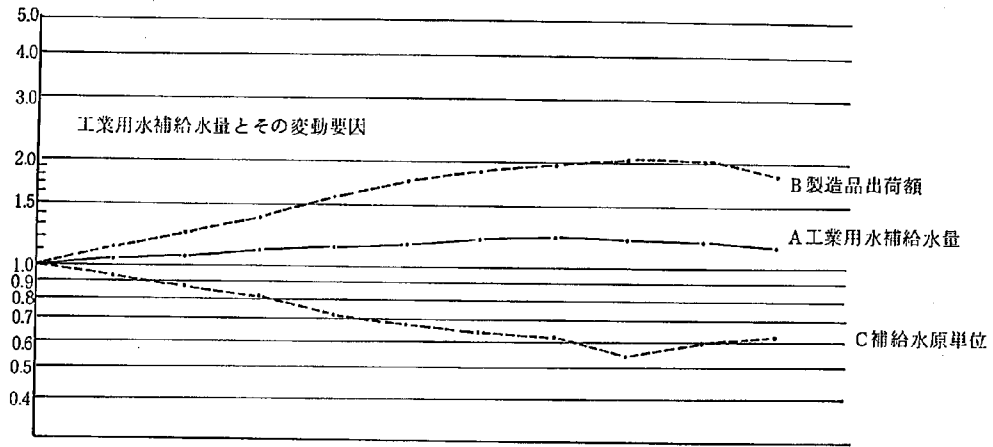


図表-9-4 全国工業用水需要変動要因の分析

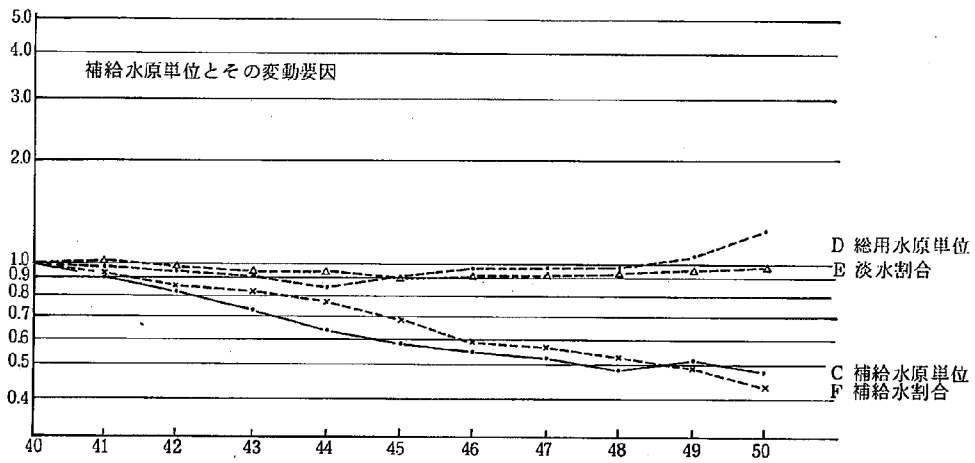
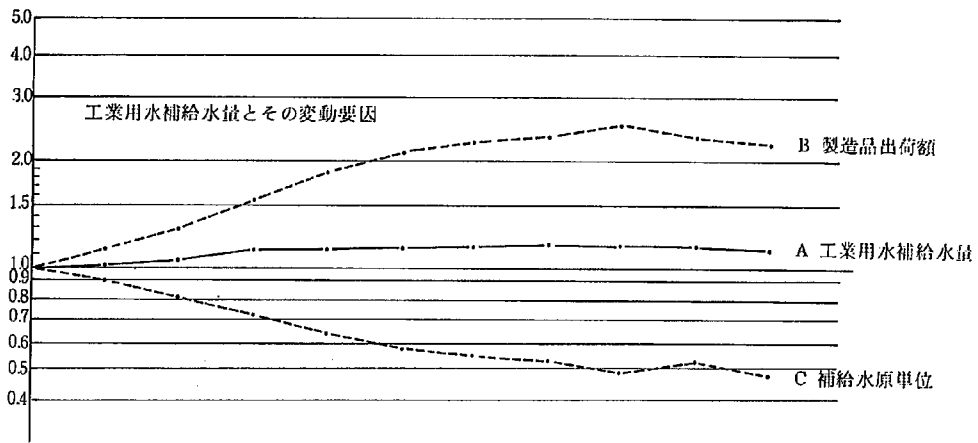
全業種合計

項目 計 算 式		① 工業用水 補給水量 (千 m^3 /日)	② 製 造 品 出 荷 額 (億円/年)	③ 補 給 水 原 単 位			④ 同 左	
				(D) 総用水 原単位	(E) 淡 水 割 合 総 用 水 量	(F) 補給水 割 合 淡 水 量	(H) 合理化によ る補給水量減 少割合 $\frac{\sum \tilde{U}_i \cdot \tilde{x}_i}{\sum U_i \cdot \tilde{x}_i}$	(G) 業種構成変 化による補給 水原単位変化 $\frac{\sum U_i \cdot \tilde{x}_i}{\sum \tilde{x}_i}$
年 次				補 給 量 製造品出荷額 (m^3 /日/ 億円/年)	総用水量 製造品出荷額 (m^3 /日/ 億円/年)	淡 水 量 総 用 水 量		
実 数	40	31,336	270,538	115.8	260.7	0.697	0.637	— m^3 /日/億円/年 69.0
	41	32,014	306,409	104.5	250.5	0.692	0.603	— 69.1
	42	33,518	368,878	90.9	227.3	0.688	0.581	— 65.9
	43	36,063	430,791	83.7	216.7	0.696	0.555	— 64.5
	44	38,616	505,686	76.4	210.7	0.698	0.520	— 62.9
	45	41,056	578,148	71.0	213.1	0.690	0.483	— 61.4
	46	41,937	615,253	68.2	222.2	0.697	0.440	— 62.1
	47	42,569	667,150	63.8	215.5	0.706	0.420	— 60.9
	48	43,257	729,791	59.3	218.8	0.713	0.380	— 59.6
	49	42,250	712,795	59.3	233.5	0.722	0.352	— 57.7
	50	40,193	695,257	57.8	239.8	0.729	0.330	— 62.4
推 移 指 数	40	1000	1000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00
	41	1022	1.133	0.902	0.961	0.993	0.947	0.901 1.001
	42	1070	1.363	0.785	0.872	0.987	0.912	0.818 0.96
	43	1.151	1.592	0.723	0.831	0.999	0.871	0.777 0.93
	44	1.232	1.869	0.660	0.808	1.001	0.816	0.725 0.91
	45	1.310	2.137	0.613	0.817	0.990	0.758	0.689 0.89
	46	1.338	2.274	0.589	0.852	1.000	0.691	0.654 0.90
	47	1.358	2.466	0.551	0.827	1.013	0.659	0.626 0.88
	48	1.380	2.697	0.512	0.839	1.023	0.597	0.595 0.86
	49	1.348	2.635	0.512	0.896	1.036	0.553	0.609 0.84
	50	1.283	2.570	0.499	0.920	1.046	0.518	0.552 0.90

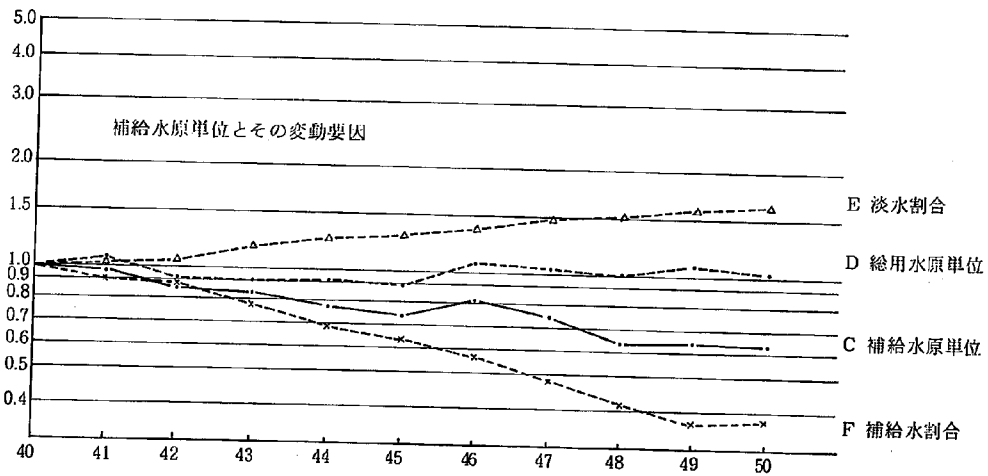
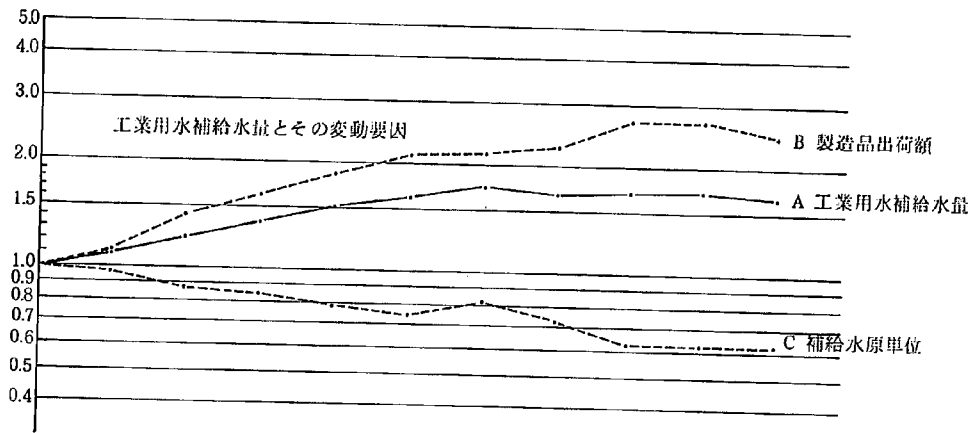
図表-10 パルプ・紙



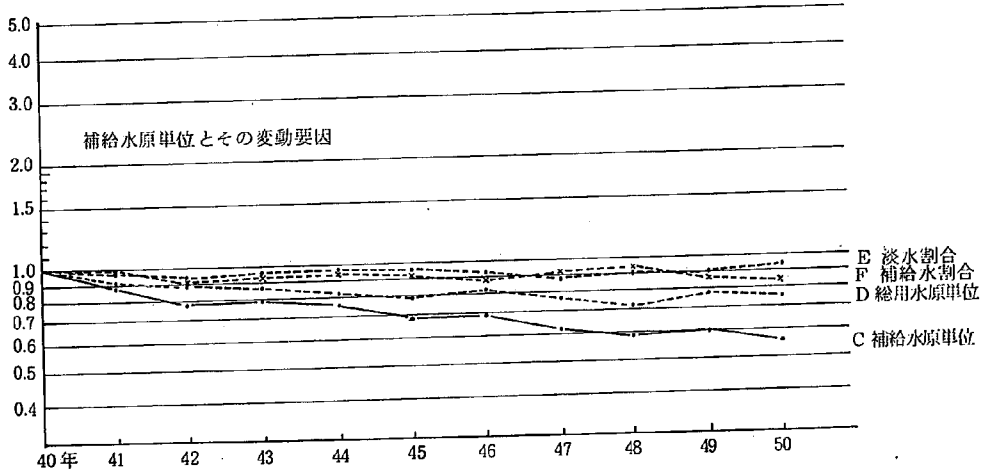
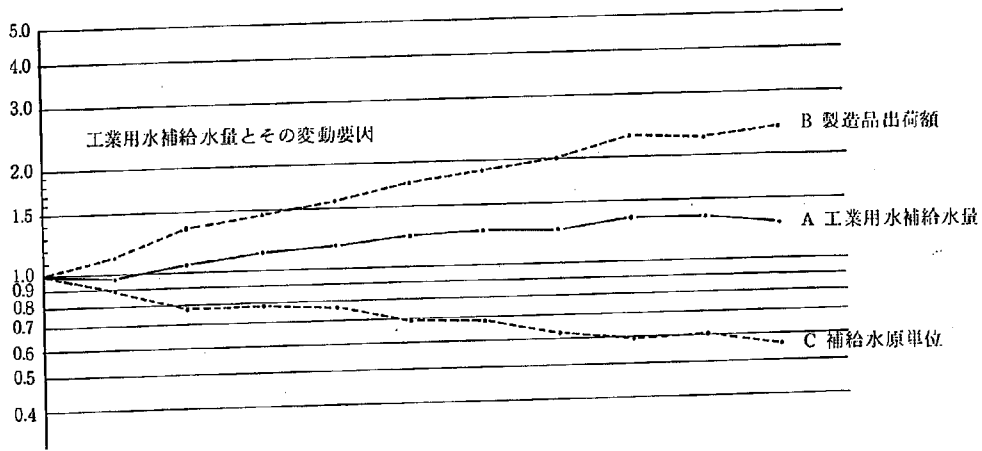
図表-11 化 学



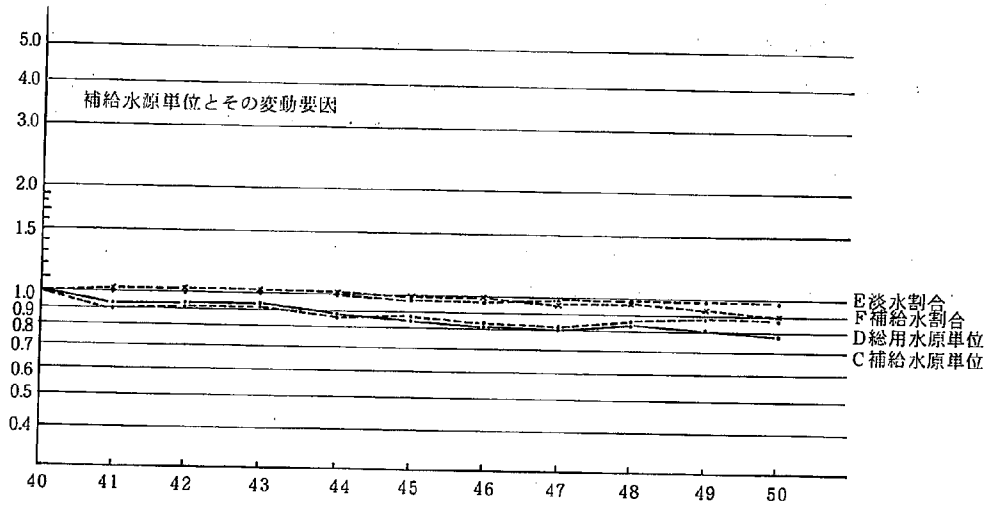
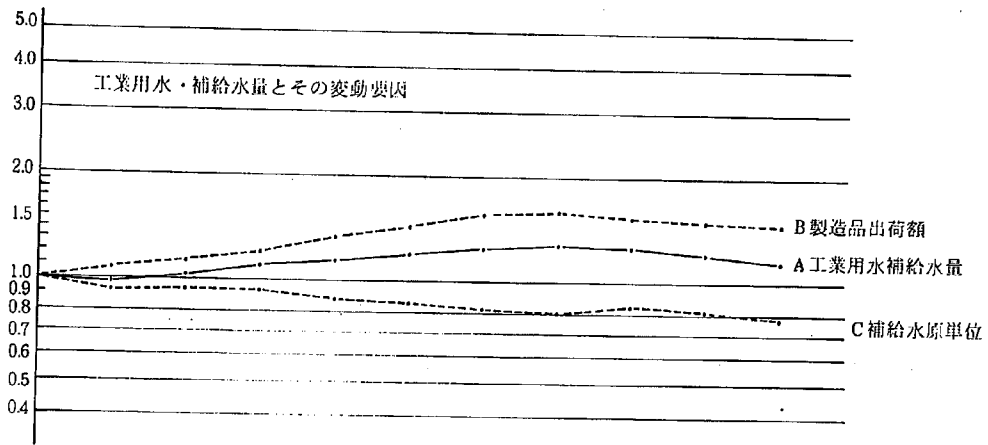
図表-12 鉄 鋼



図表-13 食 料 品



図表-14 織 維



3. 生活用水需要変動要因分析

家庭用水と都市活動用水を合わせて生活用水とし、同様の分析を行なった。

まず、生活用水給水量を基本式として(1)のように展開し、各々の因子を更に(2)(3)式のように展開してその寄与率をみた。

$$\begin{array}{ccccc} & (A) & & (B) & (C) \\ \text{生活用水給水量} & = & \frac{\text{生活用水給水量}}{\text{給水人口}} & \times & \text{給水人口} \quad \dots\dots\dots (1) \\ & & \text{生活用水給水量} & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} & (B) & & (D) & (E) \\ \frac{\text{生活用水給水量}}{\text{給水人口}} & = & \frac{\text{生活用水有効水量}}{\text{給水人口}} & \times & \frac{\text{生活用水給水量}}{\text{生活用水有効水量}} \quad \dots\dots\dots (2) \\ \text{生活用水給水量} & & \text{生活用水有効水量} & & \end{array}$$

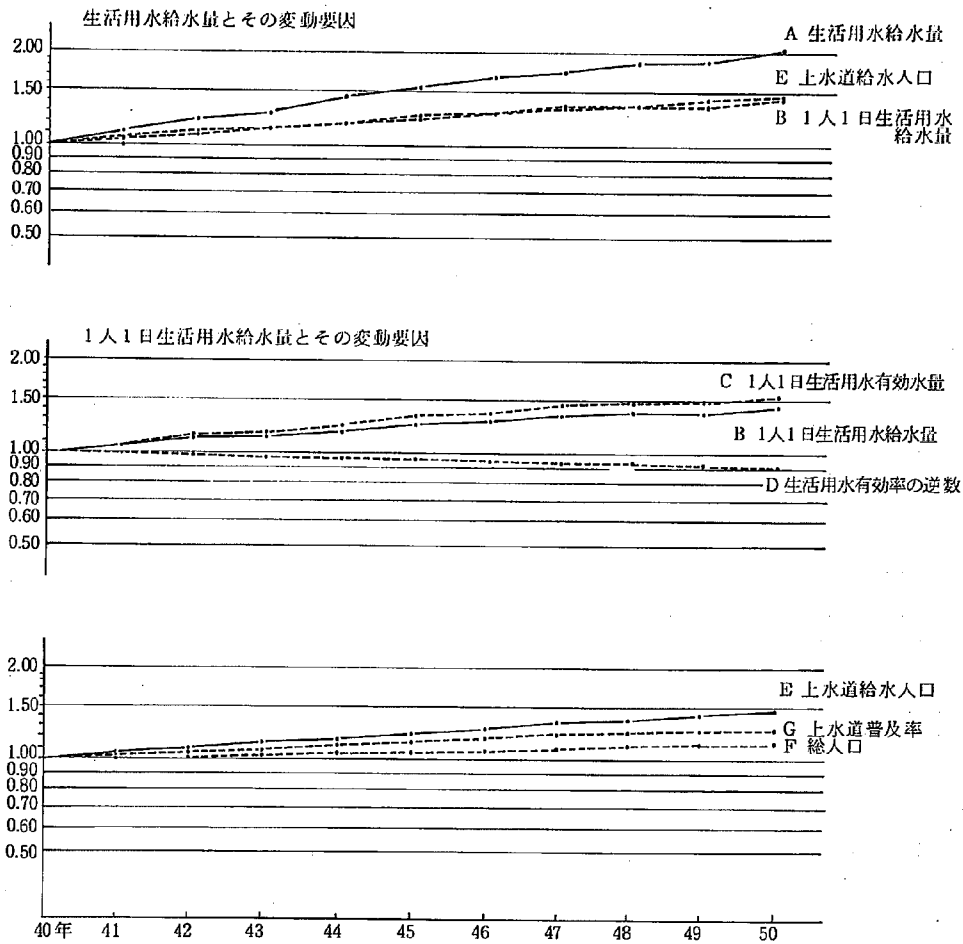
$$\begin{array}{ccccc} & (C) & & (F) & (G) \\ \text{給水人口} & = & \text{総人口} & \times & \frac{\text{給水人口}}{\text{総人口}} \quad \dots\dots\dots (3) \\ & & \text{総人口} & & \end{array}$$

結果は図表-15に示すように、生活用水給水量が、40年から50年までの10年間で103%増加したことに対しては、1人1日生活用水給水量の増加が48%、給水人口の増加が52%寄与しており、2つの要因はほぼ同程度の寄与率であった。

また、1人1日生活用水給水量の41%の増加に対しては、1人1日生活用水有効水量、即ち需要者段階の実際の水使用原単位が128%寄与しているのに対し、給水プロセスでのロスが減少し、有効水量に対する給水量の割合が低下したことが-28%の寄与となっている。給水ロスを減らす努力がなければ、給水量は更に増大していた筈である。

次いで給水人口の増加についてみると、給水人口の44%の増加に対して、人口の増加が36%、水道普及率の上昇が64%寄与していたことが分かる。水道普及率は50年現在87.6%であるし、人口増加率も次第に小さくなるであろうから、今後の給水人口増加要因は、これまでほどの影響をもたないであろう。

図表-15 全国生活用水需要変動要因の分析



図表-16 全国生活用水需要変動要因の分析（上水道）

項目		(A) 生活用水 給水量 (千 π /日)	(B) 1人1日 生活用水 給水量			(C) 上水道 給水人口 (千人)	(F) 総人口 (千人)	(G) 上水道 普及率 上水道 給水人口 総人口 (%)
			(D) 1人1日 生活用水 有効水量 (ℓ /人・日)	(E) 生活用水 有効率の 逆 数 生活用水 給水量 生活用水 有効水量	(F) 総人口 (千人)			
年次								
実 数	40	16,340.6	239	176	1.357	68,242	98,279	69.4
	41	18,006.8	252	186	1.357	71,519	99,054	72.2
	42	19,853.1	266	199	1.335	74,901	100,242	74.7
	43	21,115.5	271	204	1.328	78,004	102,174	76.3
	44	23,106.2	284	217	1.311	81,112	103,286	78.5
	45	25,074.7	299	232	1.289	83,754	103,718	80.8
	46	26,964.1	307	240	1.280	87,652	106,051	82.7
	47	28,912.7	319	252	1.266	90,477	107,334	84.3
	48	30,345.0	325	259	1.255	93,412	109,353	85.4
	49	30,980.0	323	259	1.248	95,988	110,752	86.7
50	33,167.7	337	273	1.233	98,397	112,279	87.6	
推 移 指 数	40	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	41	1.102	1.054	1.057	1.000	1.048	1.008	1.040
	42	1.215	1.113	1.131	0.984	1.098	1.020	1.076
	43	1.292	1.134	1.159	0.979	1.143	1.040	1.099
	44	1.414	1.188	1.233	0.966	1.189	1.051	1.131
	45	1.535	1.251	1.318	0.950	1.227	1.055	1.164
	46	1.650	1.285	1.364	0.943	1.284	1.079	1.192
	47	1.769	1.335	1.432	0.933	1.326	1.092	1.215
	48	1.857	1.360	1.472	0.925	1.369	1.113	1.231
	49	1.896	1.351	1.472	0.920	1.407	1.127	1.249
50	2.030	1.410	1.551	0.909	1.442	1.142	1.262	

補3：水使用合理化の重要性

ここ数年の経済活動の停滞によって水需要の増大傾向は鈍化したかに見えるが、長期的にはなおかなりの増大が予想され、水資源開発を強力に推進しても、水需給ギャップを解消しえない地域が出そうである。

一方、地下水の汲み上げによって地盤沈下を起している地域が全国的に広がりつつあり、河川水への転換等による地下水揚水量の削減が緊急の課題となっている。

また、水使用量の増大はそのまま排水量の増大となって河川、海域の水質汚濁をもたらし、漁業、レクリエーション、生態系に悪影響を及ぼしているが、更に河川下流での取水にも障害となりつつある。

そのような背景から強力な水需給対策の推進が望まれているが、その一環として、水使用合理化の重要性が急速に高まりつつある。本章では、地盤沈下、公共用水域の水質汚濁の状況を概観し、それらの対策として水使用合理化の特性、意義を明らかにする。

1. 地盤沈下・水質汚濁の状況

水需要量の増大は、地下水の過剰揚水や排水量増加などをもたらしたが、これらにともなう障害も目立つようになった。

ここでは、水利用による障害のうち、とくに地盤沈下と水質汚濁とをとりあげ、その概況を主として環境白書から引用、要約することとする。

1) 地盤沈下

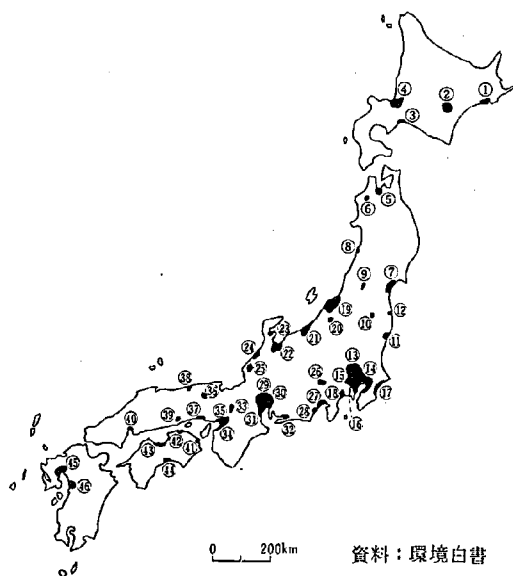
(i) 現況

地盤沈下の歴史は古く、東京都江東地区では大正の初期、大阪市西部では昭和の初期から注目され始め、その後急速に地盤沈下が進むにつれ、建物等が抜け上がり、高潮等による被害が生じるに及んで大きな問題となった。これらの地区では戦災を受けた昭和20年前後には一時的に沈下が停止したが25年頃から再び沈下は激しくなり、沈下地域も拡大してきた。30年以降、地盤沈下は、大都市ばかりでなく、図表-1のように新潟平野、濃尾平野をはじめ全国的に拡大しつつある。

昭和52年の調査結果によると、地盤沈下が認められた地域は、34都道府県58地域の合計8,210km²（うちゼロメートル地帯は966km²）で、前年度の31都道府県46地域、7,380km²を上回っている。

現在、最も地盤沈下の著しい地域は、首都圏南部（埼玉県所沢市周辺、横浜市郊外）、濃尾平野（愛知県、三重県の臨海部）、大阪府泉州地域等で、所沢市周辺では14cmもの沈下が測定されている。

図表-1 全国地盤地域



大都市地域のうち、東京湾沿岸の大部分の地域、大阪市および三重県四日市市付近のように、かつて著しい沈下を示したものの、その後の地下水採取規制およびこれにともなう水源転換の結果、地盤沈下の速度が鈍化、あるいはほとんど停止した地域がある。

各地域における年間沈下量の最大値は、前年度の調査と比較すると減少した地域が多いものの、全般的にはほとんどの地域において依然として沈下が進んでいる。

地盤沈下が生じている地域における地下水利用状況を見ると、濃尾平野（愛知県）のように大部分が工業用である地域、首都圏南部（埼玉県、東京都）のように水道用が工業用を上回っている地域、山形盆地、白石平野（佐賀県）のように大部分が農業用である地域、濃尾平野のうち、三重県長良川河口域のように水産養殖業が多い地域、秋田県金浦、新潟平野、千葉県九十九里のようにほとんどが水溶性天然ガス溶存地下水である地域など、状況はさまざまである。

代表的地域の地盤沈下の経年変化を図表-2に示す。

地盤沈下は地下水の採取が原因であるが、その地域の地形、地質、土地利用等の要因の組合せいかんによっても、その現れ方が著しく異なり、極めて地域的特性の強い公害となっている。

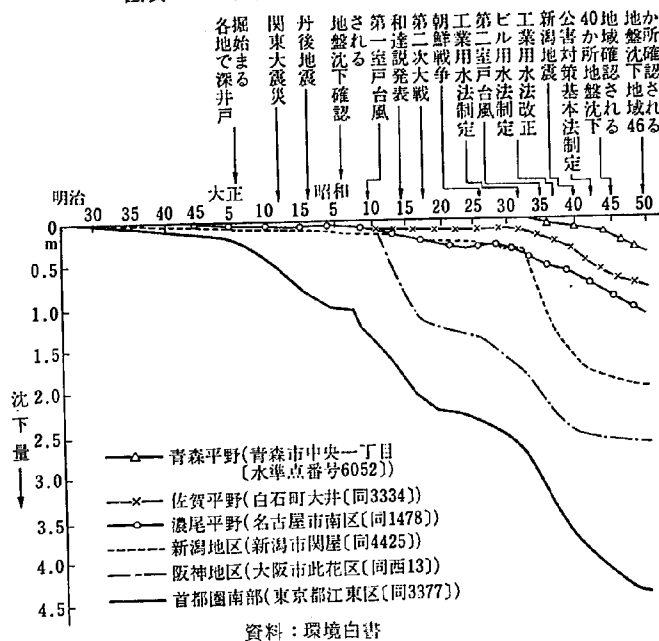
そして、多くの地盤沈下地域では建造物、治水施設、港湾施設、農地、農業用施設等に被害が生じており、洪水、高潮、津波等による災害の危険性が高まっている地域も少なくない。

一方、地下水を中心とする我が国の水利用実態は図表-3のように推計されている。

(ii) 対策

以上のような最近の地盤沈下の状況から見て、今後地盤沈下の防止のため地下水採取規制を一層強化し

図表-2 代表的地域の地盤沈下の経年変化



図表-3 我が国の地下水利用状況（昭和49年）

（単位：億 m^3 /年）

用途	工業用	上水道用	農業用	その他 (建築物用等地下水)	合計
分類					
水利用量(A)	126.8	114.4	528.0	10.0	779.2
(用途別の割合%)	(16.3)	(14.7)	(67.8)	(1.2)	(100.0)
地下水利用量(B)	56.5	37.5	32.7	10.0	136.7
(用途別の割合%)	(41.3)	(27.4)	(23.9)	(7.4)	(100.0)
地下水依存率% (A/B)	44.6	32.8	62	100.0	17.5

（備考）工業利用量は回収水、海水を含まない。上水道用は工業用に給水されているものを除く。
地下水には伏流水を含む。

資料：環境白書

ていく必要があるが、表流水への転換が容易でなくなっていることから、今後水使用の合理化の一層の促進と積極的な代替水源の確保及びその供給を図ることが重要となっている。

52年時点で、地盤沈下防止のため、9都府県計1,300[㍔]の地域において「工業用水法」および、4都府県計1,530[㍔]の地域において「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（いわゆる「ビル用水法」）に基づいて地下水採取規制が行なわれている。

また、多くの地方公共団体では条例等により地下水の採取の規制を行っており、最近はこの種の規制地域が拡大しているが、さらに新潟県および千葉県における可燃性天然ガス採取に伴う地下水の揚水の削減、東京都等における地下水使用の合理化、静岡県、徳島県等における工業用地下水採取の自主規制等行政指導により地下水採取量の減少を図っているところもある。

地下水採取量を抑制するための代替水対策としては、首都圏南部地域等において代替水供給事業が進められているが、特に工業用水道については「工業用水法」による規制に対応して建設される地盤沈下対策工業用水道事業に対して国庫補助金が交付され、その建設の促進が図られている。

また既に著しく地盤が沈下している地域については、この結果生じる被害を防止するとともに、洪水、高潮等による災害に対処するため、高潮対策、内水排除施設整備、海岸保全施設整備、土地改良等の各種公共土木事業が国庫補助事業として実施されている。

2) 水質汚濁

(i) 現 況

最近における水質汚濁の状況は、総合的には改善の傾向が見られるが、望ましい水質環境に達していない水域も数多く残されている。カドミウム等の人の健康にとって有害な物質については、その環境基準値を超える検体数の調査総検体数に対する割合（以下「不適合率」という）は、45年度1.4%であったものが年々減少し、50年度には0.17%、51年度には0.09%と大幅に改善されている。

現在、環境基準を超えて測定される検体のほとんどは、山奥の鉱山地帯の小河川と都市部の中小河川におけるものである。

一方BOD、COD等の生活環境の保全に関する項目については、50年度の不適合率が河川21.3%、湖沼38.4%、海域16.1%、51年度が河川20.2%、湖沼34.4%、海域15.6%となっており、改善の方向にある。

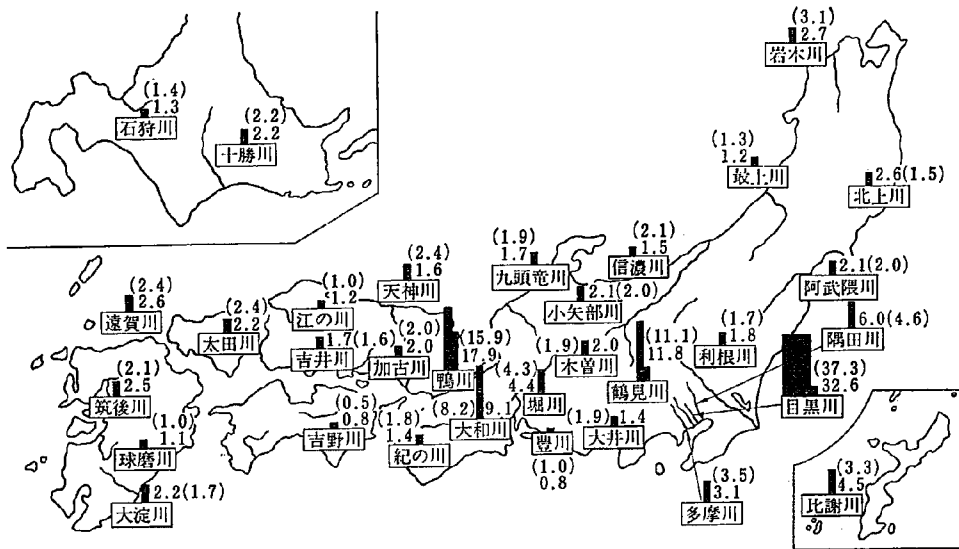
51年4月までに環境基準の類型が指定された2,586水域（河川2,024、湖沼82、海域480）について、有機汚濁の指標であるBODまたはCODの環境基準の達成状況（環境基準を達成している水域の環境基準類型当てはめ水域総数に対する割合）を見ると、河川では57.5%、湖沼では41.5%、海域では76.3%であり、湖沼の達成状況が悪く、海域が比較的よい。

また、41年頃から50年までの長期的推移から見ると、46年以前に水質汚濁のピークがあり、その後、改善の傾向を示しているものが多く、全国的に見れば、最近の排水規制の強化等を反映し、水質汚濁の状況は総体的には改善されつつある。この改善の傾向は特に河川において顕著である。

東京、大阪等の大都市内河川や大都市の衛星都市および地方の中核都市を流れる中小河川は、共通して流域人口増加が見られる反面、河川流量が少なく、水質が悪い河川が多い。例えば、綾瀬川、立会川（東京）等は、BOD値で10ppmをはるかに超え、魚介類が生息しないばかりでなく、長年の汚濁物質が河床にたい積し、悪臭を発生する原因になっている。

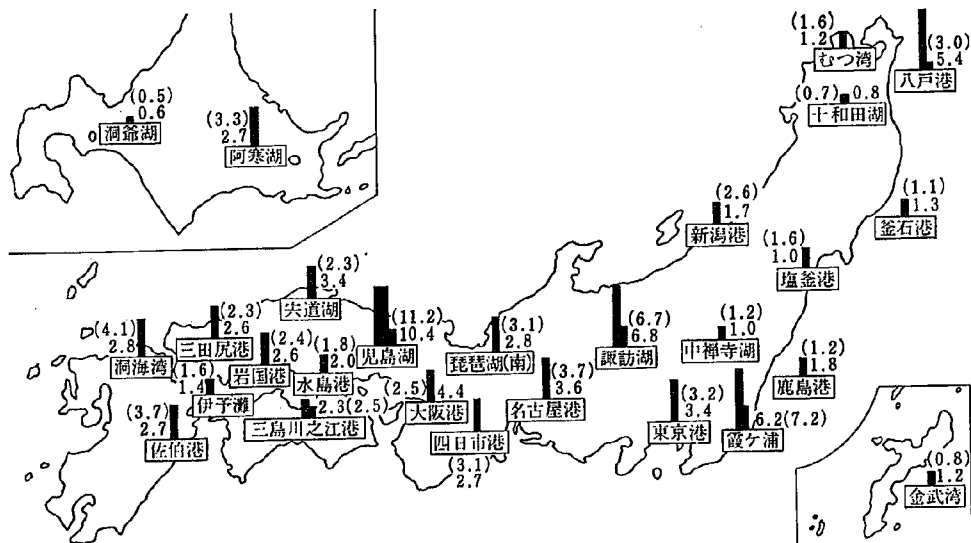
図表-4 主要河川・湖沼・内湾の水質汚濁状況

主要河川の水質汚濁状況



- (備考) 1. 環境庁調べ (51年)
 2. BOD値である。単位: ppm
 3. ()内は、50年調べ

主要湖沼・内湾の水質汚濁状況



- (備考) 1. 環境庁調べ (51年)
 2. COD値である。単位: ppm
 3. ()内は、50年調べ

湖沼は、自然の状態においても窒素、リン等の栄養塩類が流入することにより、湖水中の生物が繁殖成長し、生物体内に移行した栄養塩類が湖水中に蓄積され累進的にその水質が悪化する。このようないわゆる富栄養化現象は、人為的にも促進されており、一度富栄養化すればその後に汚濁源を排除しても湖沼の停滞性から見て容易に元の状態に戻らないのが特徴である。

琵琶湖、霞ヶ浦等各種の水利用上重要な湖沼において富栄養化の進行が見られる。

海域は、一般的に水質の変動が小さく、環境基準の達成維持されている割合が高い。しかしながら、後背地に大きな汚濁源を有し、閉鎖性海域である東京湾、伊勢湾、大阪湾、広島湾等内湾および閉鎖性の港湾は、外洋との水の交換が悪いことなどから、一部の海域では改善が見られるものの依然として汚濁の程度が高い。

東京湾は、工場、事業場、家庭等から多量の有機物栄養塩類等が流入するとともにそれが湾内に蓄積するいわゆる富栄養の状態にある。また、植物プランクトンの異常な増殖が季節的に見られる。

(ii) 水質汚濁の特徴と要因

① 特徴

ア. 有害物質による汚濁

カドミウム等人の健康に有害な物質による水質汚濁は排水水の水質規制が整備されたことにより、工場からの排水に起因すると見られるものがほとんどなくなり、著しく改善された。

イ. 有機物による汚濁

大都市圏内の河川および沿岸海域において、改善の傾向にあるもののいまだ水質汚濁が著しい。特に、都市内の多くの中小河川の水質汚濁が著しく、悪臭を発する等都市環境を損なっている。

また、内湾、内海、湖沼等の閉鎖的な水域においては、一部の水域で改善が見られるものの依然として水質汚濁の程度が高い。例えば、海域では東京湾、伊勢湾、大阪湾が、湖沼では琵琶湖、霞ヶ浦、諏訪湖等が挙げられる。

これらの水域においては、水の交換が悪いため、流入した多量の窒素、リン等の栄養塩類が蓄積して富栄養化が進行し、植物プランクトン等有機物の増加が見られる。

② 水質汚濁の要因

水質汚濁の基本的な要因は、工業排水の増大、人口の都市集中による生活排水の増大およびこれに対する下水道整備の立ち遅れ、し尿浄化槽の維持管理等が十分でないこと等により、水域の浄化能力の限界を超える排水が公共用水域に流入していることである。

工業用水（淡水）使用量の伸びを見ると、京浜、阪神、中京の三大都市圏の伸びが比較的低いが、その隣接地域および外周地域での伸びは、三大都市圏の伸びよりはるかに高く、これらの地域の工業の伸びが都市部からその周辺部に水質汚濁の広がりをもたらすこととなったと考えられる。

さらに、業種別に淡水取水量を見ると、用水型工業のうち汚濁負荷量の大きい紙・パルプおよび化学工業については、全体に占める割合は、低下しているものの、50年には47.8%であり、なお高い割合を占めている。

また、最近の人口と上水道の給水量の動向を地域的に見ると、東京・大阪等周辺の新興住宅地域における伸びが著しいことが特徴的であり、41年から49年の間に、給水量は1.5～3.2倍にも増加している。家庭の生活排水も、ほぼその割合で増加していると考えられるが、下水道普及率（処理人口／総人口）は、

50年度末で約23%にすぎない。

(Ⅲ) 水質汚濁による被害

① 水道原水の汚濁

公用水域における水質汚濁によって、良質な水道原水を求めることが近年ますます困難になりつつある。このため浄水技術の高度化、浄水施設の改善等が図られているが、水源の富栄養化によるソウ類等の異常発生に起因する異臭味水の問題等、通常の浄水技術では対処が困難な問題が増えており、なかには水源や取水地点の変更を強いられる場合もある。

また、水質汚濁事故により、取水源において、汚濁物質が一時的に増加するときには、単に取水の制限、停止にとどまらず、給水停止に至る場合もある。

② 工業用水の汚濁

工業用水は、生産工程の多くの部門に使用されており、水質汚濁の影響を受けやすいため、水質処理にかなりの費用を要するとともに、処理汚い量も増大している。

工業用水道事業では、一般に薬品沈でんにより水質処理を行っているが、これでは、コロイド状濁質の除去にとどまり、溶解した無機物や有機物等を十分除去することは困難である。このため、工業用水の供給施設や工場の設備の腐しよく等が生じやすくなっている。

③ 農業被害

近年、都市汚水の増大、汚濁物質の複雑化等の進行により、都市汚水の流入する農業用水の水質汚濁は著しいものとなっている。このことは、農業生産の基盤である土壌および水に悪影響を及ぼし、農作物への被害をもたらすほか、農村の生活環境の悪化をもたらしている。

水質汚濁による農業被害の現状は、50年度の調査によると、全国で被害地区数約1,350地区、被害面積約157千ha（全国の水田面積の約5%）に及んでいる。

地域別に見ると、東海地域が約37千ha（当該地域の水田面積の19%）で最も大きく、全被害面積の23%を占め、次に関東地域が約27千ha（同5%）で全被害面積の17%となっている。

汚濁源別に見ると、都市汚水による被害が約93千haで最も大きく、全被害面積の59%を占め、次いで工場排水による被害が約35千haで全被害面積の22%となっている。

④ 漁業被害

水質汚濁による漁業被害は、近年、年により変動はあるものの件数および被害額ともに増加傾向にあり、全国的に多種多様な形で発生している。

ただし、廃油の流出等、突発的な漁業被害がほとんどである。

⑤ その他の被害

環境庁の海水浴場等の水質調査（51年度）によれば、調査対象とした391水浴場のうち大腸菌や油分に関し改善対策を要するものが39カ所あった。

(Ⅳ) 対 策

① 環境基準の設定

水質に係る環境基準は、人の健康の保護に関する基準（カドミウム、シアン、有機リン、鉛、クロム（6価）、砒素、総水銀、アルルキル水銀及びPCBの9項目）と生活環境の保全に関する基準の2つから成っている。前者の健康項目については全公用水域一律に定められているが、後者の生活環境項目については、河

川、湖沼海域ごとに利水目的等に応じた水域類型を設けてそれぞれに、BOD、COD、DO等の項目に関する基準値を定め、各公共用水域について水域類型を指定することにより当該公共用水域の環境基準を具体的に示すことになっている。

主要水域については、51年度末において約500水域について類型の指定が行われている。

② 規制措置の強化

公共用水域の水質保全のため、「水質汚濁防止法」により特定施設を設置する工場及び事業場から公共用水域に排出される水については、全国一律の排水基準が設定されているが、この統一的な排水基準では環境基準を達成することが困難な水域においては、都道府県が条例でより厳しい上乗せ排水基準を設定している。

「水質汚濁防止法」は、旧「工場排水規制法」当時の規制対象130業種のほぼ4倍に当たる約560業種を規制対象としてきたが、更に、51年6月には浄水施設および中央卸売市場に係る卸売場等を特定施設に追加したが、現在なお規制の対象となっていない業種についても順次調査を実施の上規制対象として組み入れていくこととしている。

③ 監視測定体制の整備

「水質汚濁防止法」に基づき、都道府県知事および政令市長が実施する公共用水域の水質調査の対象水域は、環境基準の水域類型の指定が行われた水域（県際水域47水域、委任水域375水域）およびその他の水域監視の必要性の高い水域であり、調査の頻度は原則として、県際水域では1水域6地点、毎月1回以上、委任水域では1水域3地点、毎月1回以上となっている。一方、建設省においても都道府県知事の作成する測定計画に従って河川管理者の立場から全国109水系の管理区間内水域について、水質汚濁状況をは握するとともに、水質の常時監視を実施している。

また「水質汚濁防止法」に基づき、都道府県知事および政令市長は、工場または事業場の排水基準の遵守状況を監視するため、工場または事業場に必要の報告を求めまたは立入検査を行なっている。

④ 下水道の整備

下水道の整備は、5ヶ年計画に基づき計画的に推進されてきているが、50年度に第3次下水道整備5ヶ年計画が終了したことに伴い、新たに、第4次下水道整備5ヶ年計画が51年8月に決定された。新5ヶ年計画は、計画年度を51～55年度とし、処理人口普及率（総人口に対する処理人口の割合）を50年度末の22.8%から55年度末には40%に引き上げることを目途として、公害防止計画および水質環境基準達成のための下水道事業、市街化区域における浸水の防除と都市環境の整備向上を図るための下水道事業、農山漁村の主要な集落および湖沼周辺等における環境保全のため特定環境保全公共下水道の整備等に重点を置き下水道整備の推進を図るものである。

⑤ 浄化対策

河川の浄化対策としては、主として自己流量の少ない汚濁河川に大河川から浄化用水を導入する浄化用水導入事業と、河床にたい積した汚でいをしゅんせつして、悪臭等の汚濁源の減少を図り、併せて流況を改善する汚でいしゅんせつ事業等が実施されている。

たとえば51年度の浄化用水導水事業については、直轄事業として中川、新町川等7河川、補助事業で和歌川等4河川の浄化用水導入事業が実施された。

また、ダム建設事業を推進することにより、積極的に渇水時の流況を改善し、利水者の取水の安定化お

よび河川水質の保全が図られている。

このほか沿岸海域の浄化対策として、しゅんせつ、耕うん、作れい等の復旧事業も実施されている。

⑥ その他の対策

ア. 水銀、PCBに係る底質除去対策

有害物質に係る底質汚染については、現在底質除去等の対策が講じられつつあるが、水銀に関しては全国で39水域、PCBに関しては73水域が計画された。(含実施終了済)

イ. 農業用水水質汚濁対策

近年都市汚水による農業被害が急激に増加していることに対処するため、被害地区に現地調査ほ場が設置され、都市汚水等に係る対策基準調査等とともに、被害防止対策の必要な地区において、水源転換、用排水路の分離等を内容とする水質障害対策事業が実施されている。

ウ. 水産関係公害防止対策

水産加工関係公害防止については、公害防止施設の管理の万全を期するため、公害防止管理者管理基準を作成するほか、水産物産地流通加工センター形成事業において共同排水処理施設建設等の指導、助成がなされた。

さらに赤潮防止対策として、新たに赤潮予察調査事業のほか、赤潮情報交換事業、赤潮被害防止施設設置事業が実施された。

(V) 瀬戸内海の汚濁防止対策

瀬戸内海におけるCODに関する水質は、改善の方向にあり、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」に基づく産業排水に係るCOD汚濁負荷量の半減措置の効果が現れてきたものと考えられる。しかしなお、有機物による汚濁、赤潮の多発化の傾向など多くの問題が残っている。

ここでは、とくに、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」が2年間(53年11月まで)延長されたことに伴い、同法に基づく施策が引き続き実施されることになっているほか、環境基準の水域類型指定の促進、下水道、廃油処理施設の整備等の施策が講じられており、その概要は次のとおりである。

① 環境基準の類型の指定と上乗せ排水基準の設定

環境基準の水域類型の指定を行うこととされている公共用水域のうち県際水域については、その指定がすべて完了しており、委任水域についても主要水域においてはほぼその指定が完了している。

上乗せ排水基準については「水質汚濁防止法」に基づき設定されたもののほか、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」に基づき、産業排水に係るCOD汚濁負荷量を51年11月までに47年当時の1,345トン/日から2分の1の673トン/日を目途として削減するための上乗せ排水基準の設定が行なわれてきたが、この措置は引き続き維持されることとなっている。

② 特定施設の設置等に関する許可制の導入

瀬戸内海関係11府県においては、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」に基づき、特定施設の設置等について許可制が採られている。

③ 埋立てに当たっての環境保全上の配慮

埋立てによる瀬戸内海の環境の一層の悪化を防止するため、瀬戸内海での埋立ての免許または承認をするに当たり関係府県知事の配慮すべき基本方針が示された。

④ 公害防止計画の策定の促進

公害対策を推進するための公害防止計画については、水島、大阪、大分等の18地域について既に計画が承認され、これに基づく対策が実施されている。

⑤ 下水道整備の促進

51年度は、第4次下水道整備5ヶ年計画に基づき瀬戸内海関係11府県における公共下水道、流域下水道及び特定公共下水道の重点的な整備が図られた。

⑥ 廃油処理施設の整備

船舶廃油等を処理する廃油処理施設は52年1月現在、瀬戸内海の22港41か所において整備されている。

⑦ 水質汚濁の調査、監視取締り等

瀬戸内海の水質汚濁の機構が複雑であるため、47年から継続的に水質調査のほか、赤潮発生予察の技術開発、富栄養化の要因物質とされている窒素、リンの収支挙動等に関し、調査研究が行なわれている。

また、海上保安庁は、瀬戸内海が海洋汚染の多発する海域であるため監視重点海域として、巡視船艇および航空機を配備して、緊密な連携監視体制を採っている。

このほか、水銀、PCB等に汚染された香川県坂出港、山口県徳山湾等における汚でのしゅんせつ等が行われたほか、水質の監視測定施設の整備、水質監視船の建造が行われた。

2. 水需給対策としての水使用合理化と特性

1) 水需給対策の体系

① 平常時の水不足と渇水時の水不足

10年に1度発生する程度の渇水時にも、安全に河川から取水出来ることを基準として水利権が与えられているので、原則として、それ以上の渇水が来ない限り、取水、給水制限を必要とするような事態は発生しない。

注) 現実には都市の発展が先行して水資源開発が間に合わず、将来の水資源開発を見越して他の水利権者に迷惑を及ぼさない範囲で豊水時に取水する暫定水利権が認められている場合もあり、10年に1度が8年に1度、5年に1度というように取水の安全性が低下している地域もある。

水不足という場合、次の二つの局面を区別して認識する必要がある。

A. 水利権量に見合う取水を確保出来る平常時の水不足

B. 水利権量に見合う取水が確保出来ない渇水時の水不足

平常時の水不足では既得水利権者の取水は確保されているが、それ以上の水需要が発生しているか、発生する可能性を秘めている状況の意味している。たとえば、上水道の場合、給水区域内の受水希望者に対しては、水道事業体は給水義務があり、急速な需要増大があると、既得水利権量では不足を来すことがある。また地下水利用によって地盤沈下を起しているような場合には、近い将来地下水の相当量を河川水に転換すべきであり、潜在的な水不足地域である。最も典型的な水不足の形態は、工業団地、住宅団地等の計画があるが、水の手当が出来ずに計画がストップしているような場合である。

このように、平常時の水不足は、概して構造的、長期的なものであり、供給側、需要側の連繫のもとに、根本的な対策を講じなければならない。

一方、水利権量に見合う取水が出来ないような渇水時の水不足の場合は、一般に取水・給水制限をとめない、渇水による被害が発生するが、概して一時的、短期的な問題である。この場合には全水利権者の水利権量に見合う河川水の供給は出来ないで、全水利権者あるいは一部の水利権者の取水量を減らさざるを得ず、トラブルが発生しやすい。一般には渇水になってから、水利権者間の調整が行なわれるが、それに手間どり更に事態を悪化させがちである。

渇水による水不足は、頻度の差こそあれどの地域でも発生する可能性がある。平常時から渇水の程度に応じた対応のパターンを、利水者と河川管理者の間で決めておき、渇水時には遅滞なく対策をとることが望ましい。

暫定水利権に依存している割合の高い地域、気象条件が大きく変わった地域等では、渇水による取水・給水制限は、常習化する可能性があり、恒常的、抜本的な対策が必要となることもある。平常時の対策と渇水時の対策は共通な部分が多いが、渇水時の対策は急であり、応急措置的にならざるを得ないので、長い準備期間を必要とするような対策はとりにくい。一方で一時的であるということから、地下水を利用したり、下水処理水を利用するという可能性も考えられる。

水使用の合理化は、平常時、渇水時いずれの場合も有効であるが、平常時から実行することがより重要である。ここでは平常時の水需給対策を中心に考える。

② 平常時水需給対策の体系

水需給対策は、大別して次の二つに分けられる。

A. 人口、産業の集積を前提とした水需給対策

B. 水の賦存状況に合わせた人口、産業の配置

水需給の逼迫度合がさほどでもない段階では、Aの対策が中心であったが、逼迫度合が厳しくなるにつれてBの対策をも加味せざるを得なくなって来ているのが実情である。

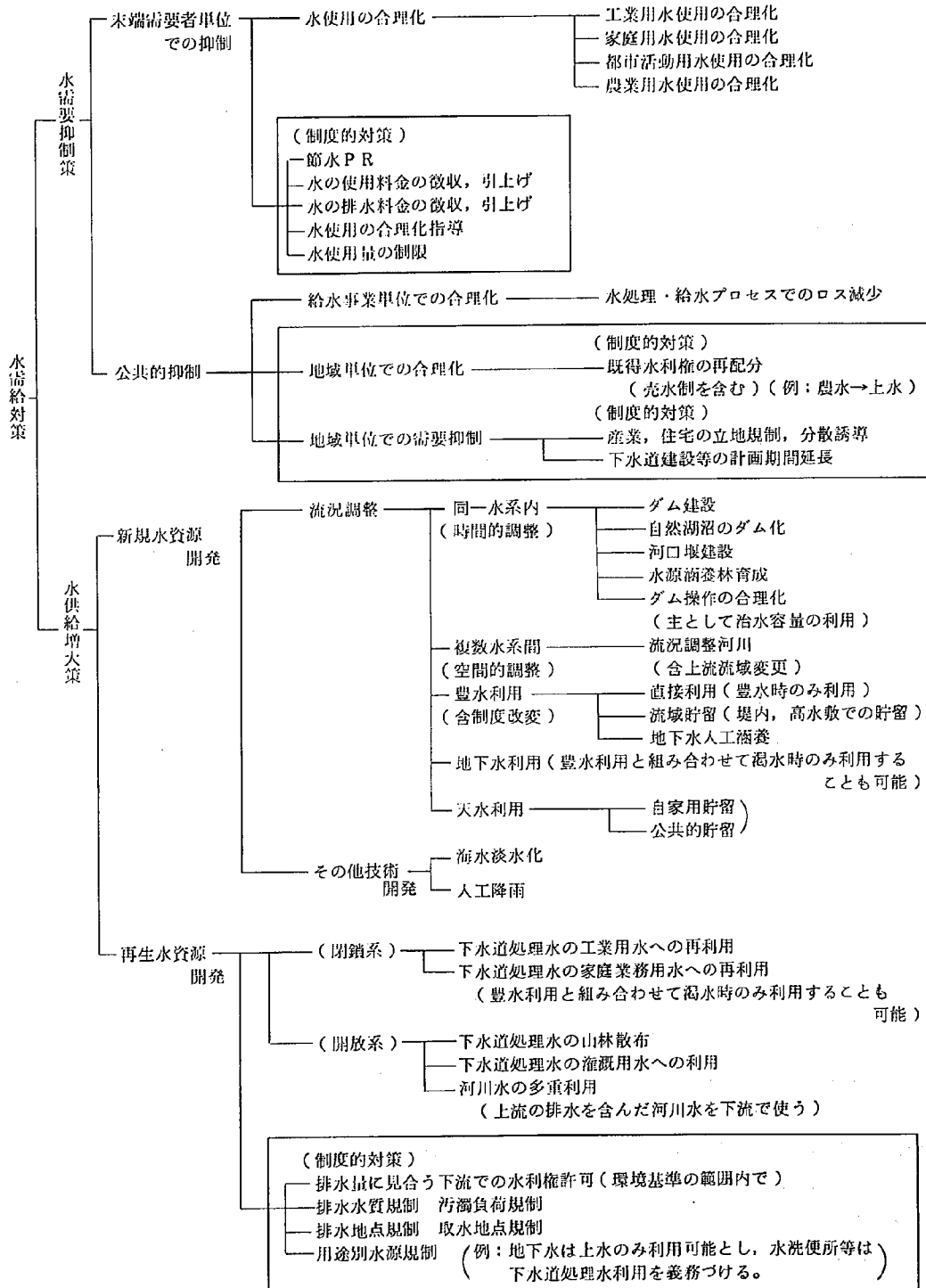
長期的には水需給逼迫地域は全国的に広がっていくであろうが、現状では各地域の水需給の逼迫度合には大きな差がある。今後の人口の集中、産業の立地を比較的水需給にゆとりのある地域に誘導出来れば、水需給逼迫解消に大きな効果を発揮するであろう。しかし、将来のわが国の土地利用を決める因子は水だけではないので、水を制約因子として、人口、産業の配置を考える場合にも、他の因子との総合的な判断が必要なことは言うまでもない。

特定の水需給圏にとっては、その地域への人口、産業の集積の動向を前提として水需給対策を考えることになるが、それにはさまざまな対策が含まれている。ここでは次のような基本分類で各対策を体系的に整理してみた。

		技 術 的 対 策	制 度 的 対 策
水 需 要 抑 制 策	末端需要者単位での抑制		
	公 共 的 抑 制		
水 供 給 増 大 策	新 規 水 資 源 開 発		
	再 生 水 資 源 開 発		

技術的対策は、ダム建設、水利用の合理化等具体的に行為をとまう対策であり、制度的対策は技術的対策を可能にし、促進するための法、条例の制定、改変や行政指導である。これらの対策は、それぞれ水

図表 - 5 水需給対策の体系



需給逼迫の解消に役立つものであるが、特定の地域に適用する場合には、地域の諸条件に合わせ、各対策の特性を生かした適切な組合せのもとに実施すべきものである。

各対策については、水資源開発ないし抑制効果、経済性、環境へのインパクト、技術的可能性、住民の抵抗、エネルギー消費等各種の視点から評価し、比較検討して、それぞれの特性を明らかにしておくことが重要であり、現在各方面で調査研究が行なわれている。

ここで取り上げる都市用水の水使用合理化は、末端需要者単位での水需要抑制策のうちの技術的対策に入る。

2) 水使用合理化の特性

水資源開発の困難度が増し、水の供給コストも急速に上昇しつつあるなかで、なお人間の諸活動を拡大しようと思えば、水使用の段階で、むだを排し、水の高度利用を計ることが最も重要な課題となる。以下、工業用水、生活用水に分けてその特性を概説する。

① 工業用水使用合理化の特性

工業用水使用合理化という概念の中には、広くは中水道の利用、工場単位での総合排水の循環利用も含まれると思われるが、ここでは用途ごとに使用方法を改善し、使用水量を削減することに限定している。

そのように限定しても、水使用の合理化は工場ごと用途ごとに異なるため非常に複雑のように見える。しかし、それらの方法は個々ばらばらのものではなく、共通の原則に従っているのである。この共通の原則は次に示す通りであるが、これを水使用合理化の四原則と呼んでいる。

1. 洗浄対象物の減少
2. 不要水のカット
3. 向流多段洗滌
4. 単一用途の排水の循環利用

工場における水使用の合理化は以上の4つの原則を選択し組合わせて進める訳であるが、その効果発現のプロセスを次頁に示した。工業用水使用合理化の効果は、新規水資源開発必要量の減少、地盤沈下等の防止による国土の保全、公共用水域の水質保全、有用資源の回収等、多岐にわたっており、水使用合理化のための投資は社会トータルとしては十分ペイするものと考えられる。それは、水使用合理化が計らずも排水処理、汚染物質の再資源化の前工程を同時に行ってしまう結果となり、汚染物質の水域、地上、空中への放出量減少、稀少資源の回収を促進することになるからである。

工場の水使用合理化、工場による環境汚染の防止、工場生産資源の回収の三者は、そのための実施工程のかなりな部分を共通にしているので、どれを最初に進めても他の二つの目的を促進することになる。

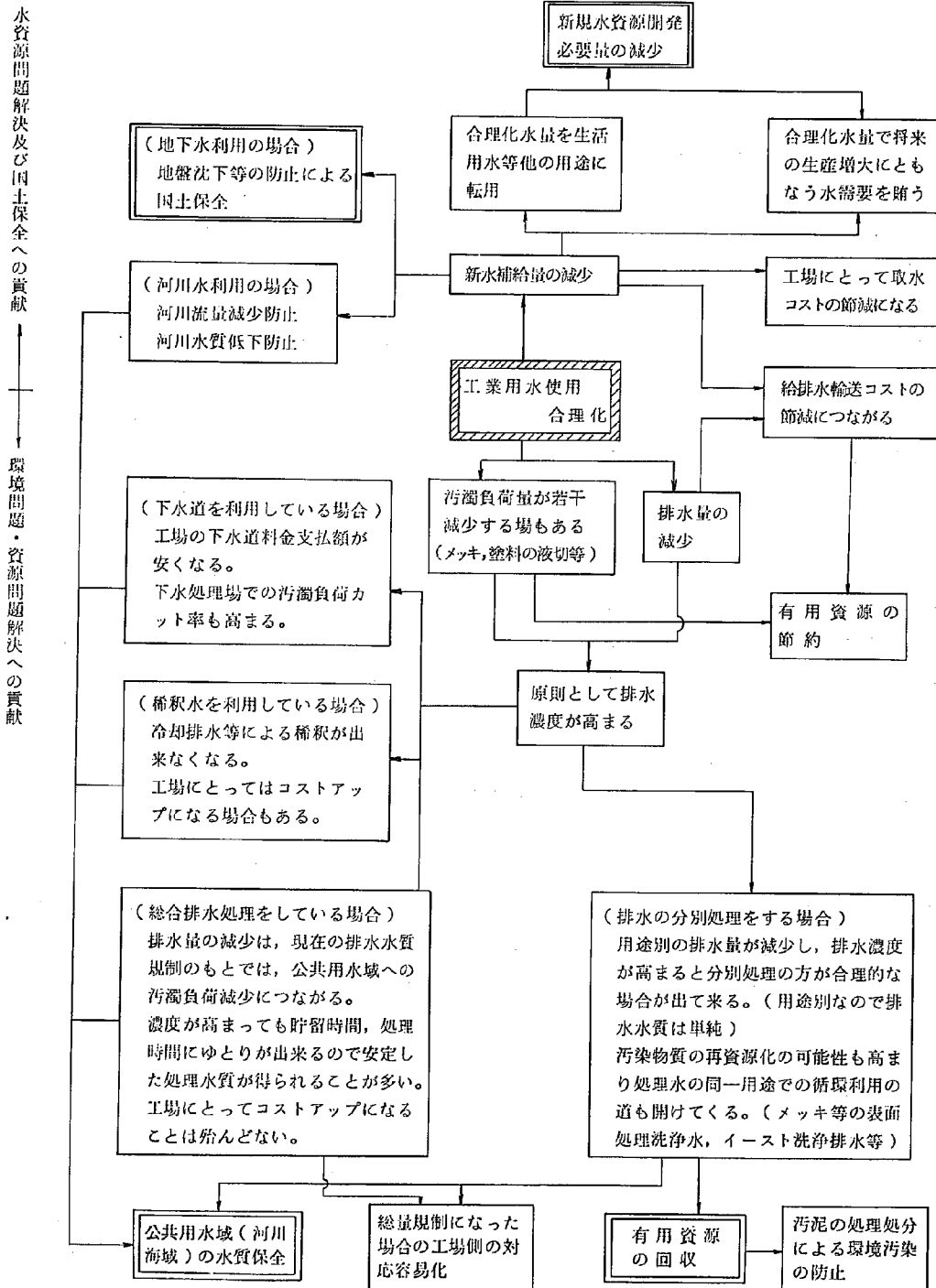
水に混合している各種の汚染物質も全てもとはそれぞれ有用な資源であった筈であり、生産活動のために混合したプロセスを逆にたどれば再び有用な水と、その他の資源に戻るのである。

水不足から水の使用量を減らしたり、水を処理してきれいな水の回収をしようとすれば、結果として汚染物質も濃縮し、再資源化が容易となるし、逆に水以外の資源を回収しようとすれば、結果としてよりきれいな排水が得られ、水の再利用も容易となる。

水と汚染物質との関係は、そのまま汚染物質相互の関係にもあてはまり、後工程を考えずに不用意に混合して複雑な排水としてしまうのは得策でない。

人間の生産・消費活動は、物質の流れから見れば自然界（人為が一部加わっている場合もあるが）から

図表 - 6 工業用水使用合理化の効果



注) は工業用水使用合理化の最終的效果

人間にとって有用な物質のみを抜き出し、それを加工し、消費する過程で人間にとって害が少ない形にして再び自然界に戻すことのくり返しである。物質は不滅であるから人間の諸活動によって自然界での存在の様相が徐々に変化していくということになる。その存在の様相が現在及び将来の人類にとって少しずつ望ましくない形になっていくことは避けられないとすれば、その速度を可能な限り遅くすることが目標とならざるを得ないであろう。

水は雨や雪となって地上に降ってから海域に流れ出すまでの間、陸上で様々な利用が行なわれる。その全体のプロセスは極めて複雑であるが、個々の利用の工程に着目すれば水の特定の機能を活用した比較的単純な姿になっている。その水利用の個々の工程を自然界における長期的な物質の移動という視点も加えて評価し、再編成していくことが必要であろう。

水そのものは、どんなに汚れても蒸発する過程で再び純粋な水となって地上に供給されるので、それほど問題はないと言えるかも知れないが、水に混合したその他の物質は川や海に流れ出し、さまざまな害を及ぼしながら、再び人間が利用するのに困難な形で堆積することになる。

現在の排水処理は、人間の活動が自然の許容能力を超えて拡大したために、自然に与えるマイナスの影響を若干でも緩和しようとする努力である。しかし、処理後の排水そのものが再び使える程の水質ではないし、汚染物質も資源としての回収ではなく、水域に流すかわりに濃縮して影響の少ない場所を見つけて廃棄する（一部汚泥処理過程で空中にまかれる）にすぎない。

人間の活動は、とどまる所を知らないが如く肥大を続けているので現在のような影響緩和策だけでは早晚行きづまってしまう、近い将来水、及びその他の資源の循環再利用が必要となってくるであろう。その場合、既に述べたように、工業用水使用の合理化、汚染物質の再資源化、自然環境の保全の三者は極めて密接な関係があり、1つの対策が三者を同時に促進するという関係に着目すべきである。

最近、社会トータルコストという概念が導入され、1つの効果、たとえばダム建設による水資源開発のコストとしては、直接の投資だけでなく、それによる自然環境の破壊、移転住民の生活再建の失敗等も可能な限り取り込もうという動きがある。コストの方をトータルで取り込むのであれば、効果の方もトータルで取り込んでも良いであろう。

工業用水の合理化、汚染物質の再資源化、自然環境の保全のために1つの投資が、それぞれに非常に大きな効果を持つのであれば、その効果を総合してアウトプットと考えることが出来る。それぞれを単独に、目的としたのでは合理性を立証出来ない投資でも、評価の場を広げて3つの効果を総合すれば、十分ペイするということになるかも知れない。今後の調査研究が待たれる。

工場における水使用の合理化が十分社会的にペイするとしても、現在の制度のままで工場が積極的に水使用の合理化を進めるようになるか否かは問題である。工場にとっても、水使用合理化を行なった方が有利となるような制度的対策も必要となろう。

② 生活用水合理化の特性

水道水は、蛇口をひねればいくらでも使える。しかも水道料金は多くの場合家計を圧迫するほどの支出にならないので日常生活において水を節約しようとする意欲はわきにくい。つるべで井戸水を汲み、桶で運ばなければならなかった時代には水が不足するからではなく、重労働を軽減するために大切に水を使った。現代は、あまりにも便利であるために、無駄使いをしているという意識なくして、大量の水を消費している。

所得が上昇したので、水を沢山使おうと考える人はほとんどいないであろう。所得が上昇すれば、その結果として風呂、洗濯機、水洗便所等の施設や機器を導入するので、その結果としての水の使用量が増大するのである。過去における水使用量の急速な増大は、主として水使用施設、機器の普及によってもたらされたものであり、水使用施設、機器の仕様によって水使用量が決まってしまうという一面があったことも事実である(図表-7)。しかし、一方で、同じような家族構成、同じような水使用施設、機器を導入している家庭でも、1ヶ月の水使用量のバラつきが非常に大きいこともまた事実である(図表-8)。どの家庭も節約しようとか、ふんだんに使おうといった意識が特に働いているとは思えないので、その差の原因は主として、水使用慣習の差に求めざるを得ない。

水使用量の少ない家庭が特に不自由を感じていないとしても、水使用量の多い家庭がそれを真似して水使用量を減らすことは、日常の習慣を変えることであり、若干の利便性低下をとまなうであろう。水の料金が比較的安いために、利便性の低下に見合うだけの水道料金の節約は難しく、生活用水の合理化は現状のままでは進みにくい。

しかし生活用水の合理化も基本的には工業用水合理化と同様、新規水資源開発必要量の減少、地盤沈下等の防止による国土の保全、公共用水域の水質保全といった重要な効果が期待できるので、利便性の大巾な低下なくしてどこまで水使用量を節減できるかについて、技術的な可能性を検討しておくことの意義は大きい。

図表-7 施設の有無別世帯人員数別1世帯月当り使用量

(単位 $\text{m}^3/\text{月}$)

世帯人員数 施設の有無	1人	2人	3人	4人	5人	6人	7人	回帰分析結果	
								$\bar{y}$	r
全施設あり	6.77	16.01	22.85	27.35	34.44	40.74	50.81	$6,268x+3,185$	0.9921
全施設なし	5.34	9.96	13.03	15.38	17.20	18.64	21.11	$2,366x+5,562$	0.9899
風呂のみあり	9.44	14.32	18.45	20.24	22.80	25.01	27.73	$2,571x+9,979$	0.9880
水洗便所のみあり	6.11	11.95	15.20	18.54	21.26	25.00	—	$3,203x+5,597$	0.9989
自動車のみあり	5.21	11.14	15.50	17.41	19.66	22.54	24.32	$2,607x+6,894$	0.9850

資料：大阪府企画部水資源課水経済および水需要量推定基礎調査
昭和49年3月

$\bar{y}$: 1世帯当月間使用量($\text{m}^3/\text{月}$)
 x : 1世帯当り人員数(人)
 r : 相関係数

図表-8 施設の有無別水量規模別水量及び件数グラフ

