

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第1818号

西ドイツにおける下水道

昭和57年3月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室

Copyright © 1982 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

序

この資料は、建設省土木研究所下水道部汚泥研究室の佐藤主任研究員が、西ドイツ アーヘン工科大学上下水道研究所に約一年間滞在した間に見聞されたことをまとめたものである。

同君は、昭和54年10月から西独科学技術省により外国人研究者として招へいされたわけであるが、これに引き続きアーヘン工科大学同研究所のカール・ヒベルン氏が土木研究所に6ヶ月の間滞在した。その後も日独下水道技術者交流は精力的に行われる段となっているが、同君はその先鞭としての役割も果たしたものである。

外国における研究の動向なり成果については、我々は多くの文献を通じて知り得ることができる。

しかし、それらの研究の背景となった社会の要請、政府のとりくみ方、研究サイドの対応の仕方、研究の進め方、研究成果の活用のやり方および評価の方法などについては、実際にその国の中に入ってみなければわからない点が非常に多い。それもある程度の期間がなければ、きわめて表面的な観察に終わってしまうおそれが大である。

この点で、一年間というかなりまとまった期間、研修で外国に滞在された人が、この資料のような形で滞在中に見聞されたことをまとめられることは、今後の土研下水道部の研究を進めるうえだけではなく、ひろく我国の下水道技術の将来の方向を見い出すうえで我々下水道の技術に関係している者にとって非常に有益なことであると考えている。外国の技術から我々が学ぶべきものは多いが、その際にその技術の背景となるものまで十分に理解しておかないと我国の国情に適合した技術として根をおろすことができないであろう。

この資料は、佐藤君が直接、アーヘン工科大学において従事された業務の範囲だけにとどまらず、広い範囲の見聞にもとづくものであり、その内容は、今後の我国の下水道技術の向上に大いに役立つところがあると確信している。この資料が活用されることを期待する次第である。

最後に、佐藤主任研究員の西ドイツアーヘン工科大学上下水道研究所での長期研修に多大の努力を賜った各位に厚く感謝の意を表明させて頂く。

昭和57年 3 月

下水道部長 栗 林 宗 人

ドイツ滞在を終え帰国してからすでに1年半の期間がたってしまいましたが、ようやくここに帰朝報告書なるものを刊行することができました。1年もたてば外国経験など忘れてしまうという言もありますが、私の場合何かこういったものをまとめなければならないということが、いつも頭にあったせいか、ドイツ滞在の印象は今でも鮮かであり、資料を紐く毎に感慨を新たにしてきました。いずれにせよ、この報告書の刊行のことで周囲の皆様いろいろな気を揉んでいただきましたことを、ここに御礼申し上げておきます。

本報告書の構成は、1章がアーヘン大学で行った2段生物処理の実際についてであり、2章がドイツ内の下水道事業を視察した印象記となっています。また、いままでにドイツの下水道技術について、何編かの雑誌に紹介してきましたが、これらのものは全て本報告書に資料として添付させていただきました。とくに西ドイツにおける最近の下水道行政の動きとして、排水賦課金法の制定がありますが、これは土木研究所に滞在されたアーヘン工科大学のカール・ヒベルン氏に解説をしていただいたものを添付しました。又、氏の日本滞在印象記も我々にとって興味のあるものでしたので、巻末に掲載いたしました。

ドイツの下水道技術の特徴を一言で言い表せば、「経済的な合理性に貫かれた……」というところに落ち着くものと思います。本報告書が、こういった技術的背景の理解の一助となれば、幸いです。

最後になりましたが、ドイツ滞在の機会を与えていただきました、アーヘン工科大学ベッケン教授、又、渡独にあたりまして、いろいろ支援をいただきました建設省および土木研究所の皆様深く感謝申し上げます。

汚 泥 研 究 室

佐 藤 和 明

目 次

1. 2段生物処理に関するパイロットプラント実験	
1-1 はじめに	1
1-2 2段生物処理の概要	1
1-3 2段生物処理のパイロットプラント	2
1-4 アーヘン処理場パイロットプラント実験結果	7
2. ドイツ国内の下水道事業	
2-1 まえがき	11
2-2 ノルトライン・ウェストファリア州における 水管理組合の活動	11
2-3 ブッバー水組合	13
2-4 ルール水組合	21
2-5 エムシャー水組合	32
2-6 リッベ水組合	36
2-7 その他の水管理組合	38
2-8 州水管理機関 アーヘン支局	40
資料-1 アーヘン工科大学に滞在して	47
資料-2 西ドイツにおける排水賦課金法の施行とその 影響(カール・ヒベルン著)	51
資料-3 ドイツおよび欧州諸国の下水道事業見学報告書 (独文)	57
資料-4 西ドイツにおけるガスエンジン技術のマニ アル	71
資料-5 西独における汚泥の処理処分	75
資料-6 一人の日本滞在者の見聞とその印象 (カール・ヒベルン著)	85

1. 2段生物処理に関するパイロットプラント実験

1. 2 段生物処理に関するパイロットプラント実験

1-1 はじめに

筆者はアーヘン工科大学 (Rheinische Westfalen Technische Hochschule Aachen) の上下水道研究所 (Institut für Siedlungswasserwirtschaft) に 1979 年 10 月から 1980 年 9 月まで 1 年間滞在したが、その間主として以下に述べる 2 段生物処理のパイロットプラント実験に従事してきた。アーヘン工科大学および上下水道研究所については、その概要を資料-1 に紹介してあるので、ここでは 2 段生物処理の技術および実験の内容に的を絞って論述する。

1-2 2 段生物処理の概要

ドイツにおいて、2 段生物処理の技術は決して新しいものではない。実際に 2 段生物処理が行われている処理場は数多くみることができ、その歴史もかなり古いものである。この技術は当初工場廃水の混入率の高い都市下水の処理に用いられたものであり、難分解性物質の除去率を高めることができることおよびショックロードに強いことなどのシステムの利点を買われたものである。次に採用例が多い理由としては、処理能力の増強にうまく適合するシステムとなっていることがあげられる。ドイツでは生物処理の普及率はかなり高くなっているが、活性汚泥法などの設計値はかなり高負荷となっており、曝気時間も 1~2 時間のもが多く見られる。こうした処理施設における BOD 除去率は 70~80 % 留まり、現在の水質汚濁問題の解決に対しては、またはより直接的には現行施行されつつある排水基準をクリアするためには、より高い除去率が要求されている。従って現在ある施設をそのまま活かし、後段に新たな生物処理ユニットを付加する形態での処理効率の改善が、現実的な施策ともなってくるのである。ドイツにおける下水処理に関する最近の法律の動向などは資料-2 に詳しいので参照していただきたい。

現在、アーヘン工科大学の Böhnke 教授 (上下水道研究所長) の下では、この 2 段生物処理に関して積極的な開発が行なわれているが、その視点は少々異っている。というよりも現代的な問題意識が更に付加されていると理解されよう。その視点の第 1 は、建設費および維持管理費が 1 段法に較べ安価になるというものである。アーヘン工科大学で開発が行われている 2 段生物処理の第 1 段目には高負荷の活性汚泥法がくるが、通常の活性汚泥法というよりは吸着現象を主としたプロセスであり、BOD-SS 負荷で $5 \text{ kg BOD/kg MLSS-日}$ 、滞留時間で 30 分程度のものである。しかしながら都市下水に対する除去率はかなり良く、BOD で 50~70 % の除去が期待できる。よって 2 段目の生物処理に係る負荷がかなり軽減でき、それだけ曝気量も減らすことができるというものである。施設容量の減少を具体的に示せば、例えば通常の活性汚泥で 4 時間の滞留時間で所定の除去率が得られるものとすれば、2 段活性汚泥法では、1 段目が 30 分、2 段目が 2 時間、合計 2 時間半で同様の除去率が得られるというものである。

第 2 の視点は硝化効率である。1 段目で下水中の SS 成分が殆ど除去されることにより、2 段目の汚泥日令または汚泥滞留時間 (SRT) を長くとることが比較的容易となり、硝化条件設定

のコントロールがしやすくなる。ドイツでは河川の流下時間が長いので、アンモニア性窒素による酸素消費が問題となり、下水処理において窒素の酸化を行うことが将来の課題とされている。又、同時に生物学的硝化脱窒も2段生物処理における開発目標となっている。

第3の視点は、発生汚泥からの消化ガスの取得の増大である。一般に活性汚泥は好氣的に安定化されているので、そのガス発生量は少いといわれている。2段生物処理法では前段の槽からの発生汚泥量が大きな部分を占めるが、この発生汚泥は殆ど好氣的酸化が行われていないのでそのガス発生能力はかなり高いことが予想されている。

その他、前段の高負荷の槽における半嫌氣的な生物分解が、いわゆる難分解性物質とされるCOD物質の除去率を上げると、アーヘン工科大学ではみている。

以上、新しい観点からの2段生物処理法の特徴を述べてきたが、最近Böhnke教授による論文が2篇下水道協会誌に紹介されているので、細い点はこの論文を参照していただきたい。

① 第1段を高負荷にした2段活性汚泥法

B. Böhnke, 山根敦子訳 下水道協会誌 193号 昭和55年8月

② 環境保護の観点から要求される放流水質規準値

B. Böhnke, 渡部春樹訳 下水道協会誌 202号 昭和56年3月

1-3 2段生物処理のパイロットプラント

アーヘン工科大学上下水道研究所では、Krefeld, Neuenkirchen, それにAachen3箇所に2段生物処理のパイロットプラントを現在もっている。Krefeldでは純酸素を利用した処理、Neuenkirchenでは染料排水の色度の除去など、かなりその目的とするところは異っているが、以下にその概要を示す。

(1) Krefeld 処理場における2段生物処理プラント

Krefeld 市はルール工業地域の西端にある重工業都市Duisburg 市とライン河をはさんで対面する工業都市である。人口約23万人で都市内には繊維工場、化学工場などがライン河沿に立地している。身近な例をひくと、テレビの水虫の宣伝で耳にする大化学会社BAYER社の工場もある。Krefeld 処理場は、市域の下水を処理しているが、現在流入水量約8万 m^3 /日、ドイツでは1人当りの汚水量を200 ℓ /人/日としているので、事業所廃水または地下水の高い混入率が予想される。

Krefeld 処理場は最初沈殿池のみの簡易処理が行われているが、現在生物処理までの拡張工事が行われている。この生物処理は2段活性汚泥法となっており、後段にはオランダで開発されたオキシデーションディッチの変法、カロセル法が採用されている。Krefeld 処理場には1979年に数回、パイロットプラントの仕事で足をはこんだが、既に基礎工事は終り池の側壁などのコンクリート打ちが始まっていた。現在の初沈の一部が高負荷エアレーションタンクに改造され、残りの初沈は中間沈殿池となる。即ち流入してきた汚水は沈砂後直接、高負荷エアレーションタンクに入る設計である。アーヘン工科大学はこの処理場の改造の基本設計に深く係っており、設置されているパイロットプラントは、殆ど実施設と諸元が同じであり、いわば実施設の基本設計の数

値を決定するために、企画運転されているものと考えられるものである。

パイロットプラントのフローの概要を図-1に示す。プラント流入水は、ポンプ注み上げ後の着水井から直接ポンプアップされる生下水である。1段目は滞留時間30分高負荷活性汚泥法、2段目はカロセルタイプの標準負荷の活性汚泥法である。さて、この2段目のカロセル型のエアレーションタンクは、攪拌部に覆蓋がなされ、純酸素が供給されている。この純酸素が使われる理由については、曝気動力と酸素溶解効率の点で、純酸素を使用する利点がでてくるものと思われる。なお、実施設のカロセルタンクでは、将来流入負荷が上がった時点で、純酸素の適用が考えられているということである。

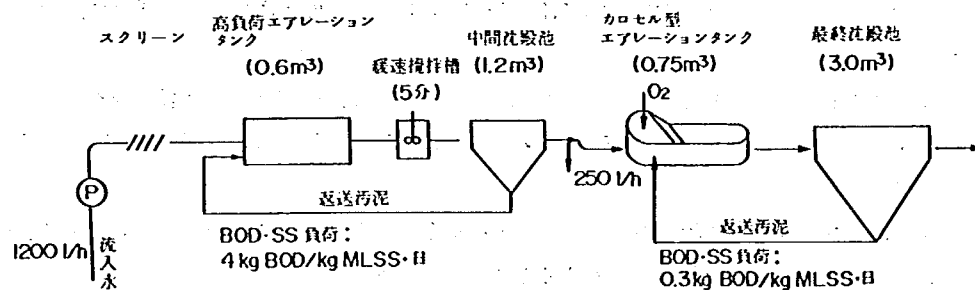


図-1 Krefeld 処理場における純酸素を利用した2段生物処理パイロットプラント

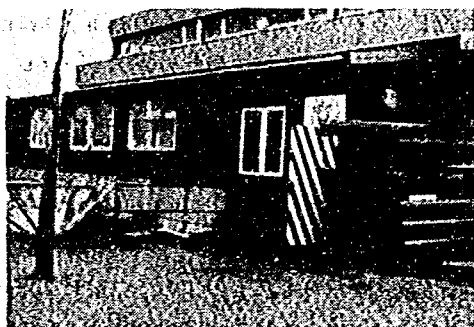


写真-1 流入ポンプ井の上に設けられたパイロットプラント施設建屋



写真-2 カロセル式エアレーションタンク

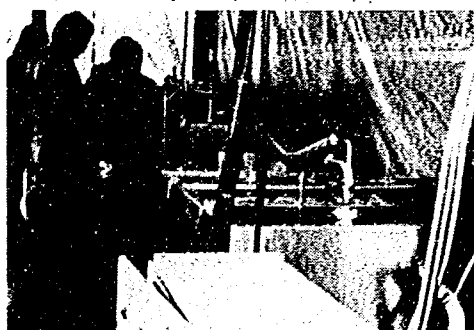


写真-3 高負荷エアレーションタンクおよび中間沈殿池 (手前)



写真-4 流入ポンプ井からの実験プラントの取水

パイロットプラントの運転結果については、手元に詳しいデータはないが、プロジェクトの直接の担当者である Damiecki 氏のサマリーレポートによれば、次の様な結果が得られている。

① 2段目の負荷を $0.80 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{日}$ に上げた場合でも処理水質は BOD で 11 mg/l と良好な結果を得た。これは Krefeld 処理場の流入水中の工場廃水の割合が高いということからみれば、かなり良い結果といえよう。又、同負荷での処理水の COD_{cr} 値は 113 mg/l であった。

② 2段目の負荷 $0.80 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{日}$ の処理の安定性は、通常の活性汚泥法で負荷が $0.15 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{日}$ のものと同程度であった。

③ 2段目の負荷を $0.30 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{日}$ として、純酸素曝気をした条件で、硝化がおきた。

④ 流入水の PH 値の急激な変化は、生物処理プロセスおよび処理水質に影響しなかった。

⑤ 第1段の活性汚泥の SVI は 45 ml/g 、第2段の酸素曝気時の活性汚泥の SVI は 52 ml/g であった。

⑥ 1段および2段の発生汚泥の脱水性を、その混合汚泥と共に、遠心脱水パイロット試験機により測定した結果、良好な脱水性を有することがわかった。

(2) Neuenkirchen 処理場におけるパイロットプラント

Neuenkirchen 市はルール工業地域の北のはずれにある小都市であり、この都市下水には市中にある繊維および染色工場の廃水が混入している。処理場は、最初沈澱池のないシンプレックス法による簡易活性汚泥法により処理が行われている。処理人口は 9,000 人また工場廃水人口当量は 10,000 人である。流入下水および処理水は染色廃水により、紺色の着色がなされ、以下に示すパイロットプラントでは、この色を除去するプロセスに主眼がおかれている。

パイロットプラントのフローを図-2に示す。このプラントも2段活性汚泥法のシステムとして組まれておりプラント流入水は、沈砂池出口よりポンプアップしたものである。最終沈澱池を出た生物処理水は、2系列に分割され、活性炭およびオゾンによる脱色プロセスに導かれる。

プラントの運転結果の概略を示すと、流入下水 BOD 濃度 $400 \sim 600 \text{ mg/l}$ に対して一段目の高負荷活性汚泥の除去率は、 $60 \sim 70 \%$ 、2段活性汚泥法の総合除去率は $92 \sim 94 \%$ である。色度の除去については、活性炭処理がオゾン処理よりもその除去率が高いという結果が出ている。

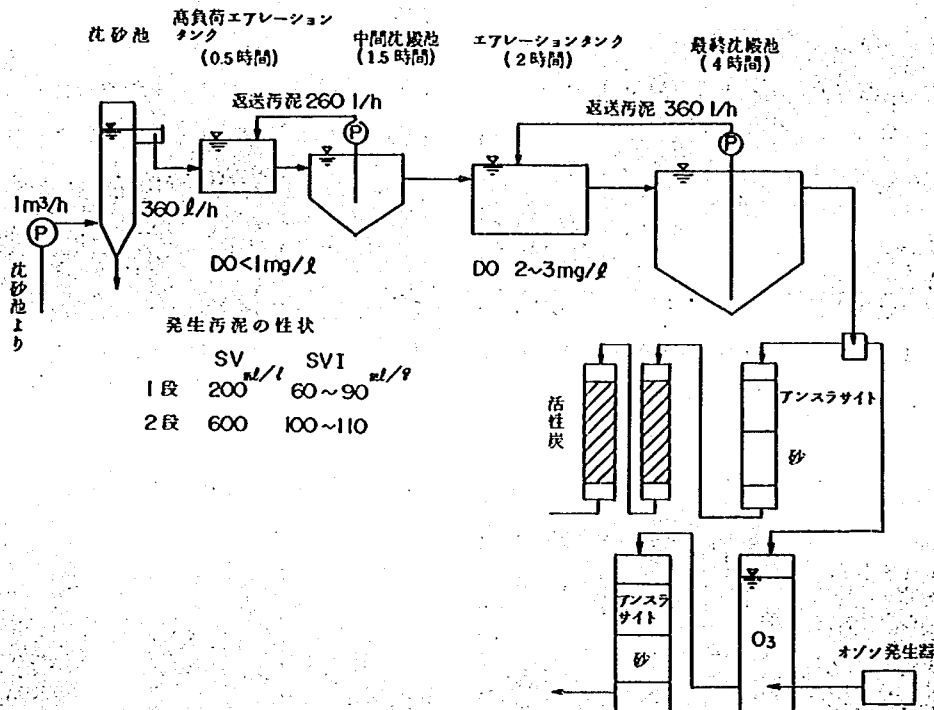


図-2 Neuenkirchen 処理場におけるパイロットプラント

(3) Aachen 処理場におけるパイロットプラント

Aachen Soers 処理場に設置されたパイロットプラントは、前段が高負荷活性汚泥、後段が散水汙床というものである。そのフローシートを図-3に示す。このシステムでは散水汙床による硝化が期待され、散水汙床の後に脱窒槽を設けている。このパイロットプラントは、いわば、本プラントの準備段階として設置されたものであり、その目的とするところは、次年度の連邦科学技術省の調査費による本プラントの設計数値を検討するところにある。よってタンクなどは古いものを使用している。

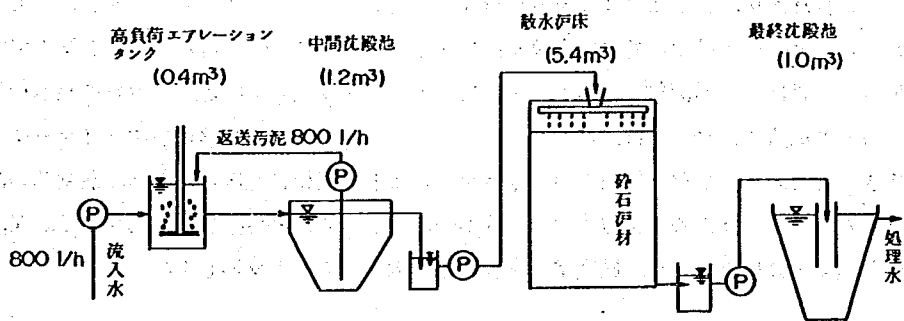


図-3 2段生物処理パイロットプラントの概要

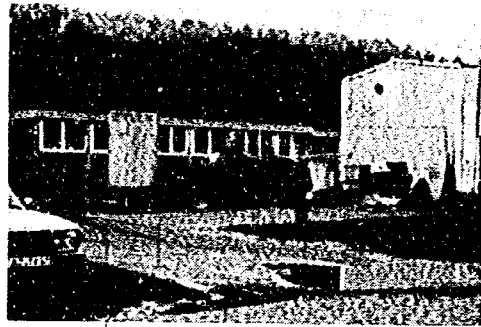


写真-5 実験室前に設置されたパイロットプラント

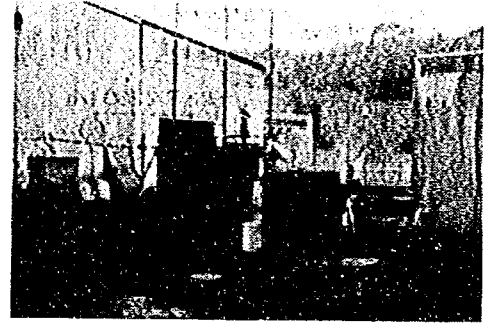


写真-6 パイロットプラント，高負荷エアレーションタンク (左)，散水戸床 (右)

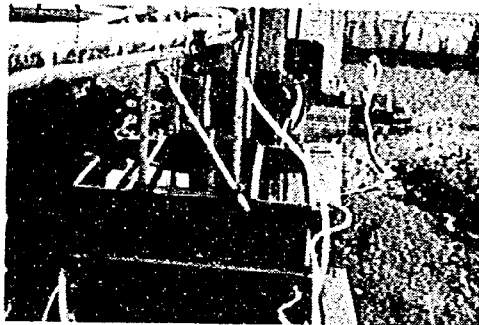


写真-7 中間沈殿池および耐圧ホースによる配管

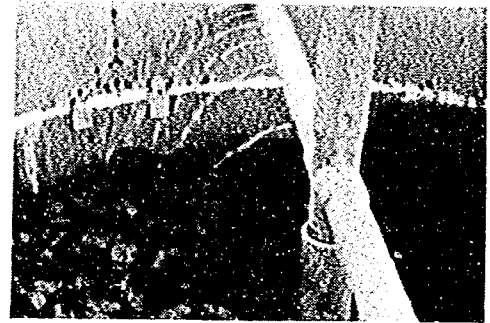


写真-8 散水戸床，上部

パイロットプラント実験は、1979年11月に予備的に開始されたが、12月に入り配管の凍結などが起きたことにより一端中断した。又、このときは、プラント流入水が沈砂池後の地下水であったため、流入水ポンプが度々異物をかんだりして停止したため、80年3月からの実験では最初沈殿池流出水をプラント流入水としている。

本実験の主要な目的の一つとして、下水中に含まれる窒素の硝化脱窒があげられる。散水戸床により硝化が行れた後、脱窒槽により脱窒が行れる。脱窒槽には通常メタノールなどの炭素源が添加されるが、今回の実験では特に炭素源を添加することなしに脱窒を行せることを試みている。

散水戸床の戸材は、碎石戸材であるが、多孔質の火山岩を使用している。一段目の高負荷活性汚泥等の汚泥の引抜きについては、当初マニュアルで行っていたが、実験途中でタイマーによる自動引抜きに切替えた。最終沈殿池の汚泥はポンプにより脱窒槽に返送されたが、脱窒槽の溶存酸素が0にならなかったため、実験途中で何回か一段目からの余剰汚泥を注入している。又、脱窒反応の時間を十分にとるため、脱窒槽を実験途中で大きなものと交換した。

1-4 アーヘン処理場パイロットプラント実験結果

(1) 実験の概要

前述したように、プラントへの通水は1981年3月20日より行っているが、約1ヶ月後の4月18日から5月29日までの2ヶ月間、処理水質などの調査を行ってきたので、その結果を以下に示す。なおこの期間のプラントの運転状況を箇条書きで示すと次のとおりである。

- ① 4月24, 25, 27, 28日強い降雨があった。
- ② 5月6日に脱窒槽を200ℓから600ℓに替える。
- ③ 一段目の高負荷活性汚泥法の系からの汚泥引抜きは1日400ℓとし、1日4回電磁弁により余剰汚泥を引抜いた。
- ④ 脱窒槽の汚泥は、散水戸床から供給され、終沈から常に返送されているが、5月10, 14日, 22日, 29日と試験的に一段目の余剰汚泥を100ℓずつ添加した。
- ⑤ このため脱窒槽の溶存酸素は、4月18日～5月10日において数ppm常時あったのに対し、5月10日以降は0に近い値を示した。

実験プラントの流量は800ℓ/h (19.2m³/日)であり、平均的なプラント流入水の濃度は、BOD₅ 173mg/ℓ, COD_{cr} で310mg/ℓである。実験期間中の平均的な処理成績を表-1に示す。又、これらの条件により計算された2段階の生物処理プロセスにかかわるBOD負荷を図-4に示す。一段目の高負荷プロセスのBOD負荷は、6.9kgBOD/kgMLSS・日、その時の除去率54%である。2段目の散水戸床の負荷は、0.28kgBOD/m²・日、処理水質はBODで8mg/ℓである。

表-1 実験プラントの処理成績の平均値

	BOD ₅ mg/ℓ	COD _{cr} mg/ℓ
流 入 水	173	310.5
中間沈殿池流出水	79.8	159.3
散水戸床流出水	12.1	86.1
最終沈殿池流出水	8.1	73.1

プラント流入水中のアンモニア性窒素の濃度は、平均的に28mg/ℓであり、総窒素濃度は約45mg/ℓである。一段目の高負荷プロセスにおいて、総窒素の濃度は多少小さくなるものの、アンモニア性窒素の値は殆ど変わっていない。またこれらの水質中の硝酸性および亜硝酸性窒素の濃度は無視しうる程低いと考えてよい。2段目の散水戸床では、このアンモニア性窒素の約半量が硝酸性窒素に酸化されている。散水戸床の流出水の平均的な窒素濃度は、アンモニア性窒素で15mg/ℓ, 硝酸性窒素で13mg/ℓである。当初、より高い硝化率が期待されたが、大体この程度に停った。因みに、水温は15℃程度、気温は15℃～20℃の範囲である。

脱窒槽については、散水戸床流出水は溶存酸素が飽和値近くあり、当初散水戸床汚泥を返送していたが、溶存酸素値を0にすることができず、むしろ硝化反応が起きていた。実験後半に、一段目の高負荷プロセスの余剰汚泥を加えることにより、DOをゼロとすることができたが、その脱窒速度は極めて遅く、約45分の滞留時間の後に減少できた硝酸性窒素の濃度は、1~3 mg/l程度のものであった。(表-2参照)

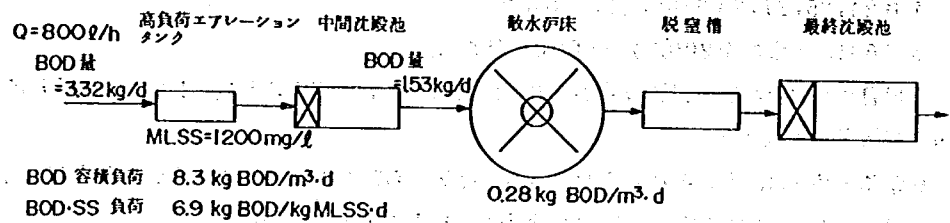


図-4 実験プラント BOD 負荷

表-2 実験プラントにおける窒素の処理成績

日付	流入水 NH ₄ -N	終沈処理水 NH ₄ -N	散水戸床流出水 NO ₃ -N	終沈処理水 NO ₃ -N
4. 18	30	16	11	12
22	28	14	12	13
23	28	11	15	14
24	29	12	12	13
25	28	12	12	12
29	29	14	13	13
30	28	13	13	13
5. 6	25	13	13	13
8	30	12	13	14
9	29	14	13	14
13	27	14	13	12
14	28	14	12	11
16	32	15	12	12
20	37	26	7.9	7
22	26	14	3.3	1.4
23	26	16	7.7	3.3
28	24	16	6.7	3.9
29	25	15	3.8	3.8

2. 2段生物処理法より発生する汚泥の性状

一段目の高負荷エアレーションタンクの混合液のMLSSは、かなり変動するが、平均的には1200mg/l程度である。このときの汚泥容積(SV)は80ml/l、汚泥指標(SVI)は70ml/g程度である。又、汚泥中の有機成分について、熱灼減量によって測定をすると、平均的には65%程度となる。

散水汙床から発生する汚泥量は随分低く、汙床流出水をインホフコーンで沈澱させても正確な汚泥量は計測できない。実験初期には、最終沈澱池に滞積してくる汚泥を適宜引抜いていたが、脱窒槽のMLSS濃度を上げるため途中で引抜きを中止している。MLSS濃度は5000mg/l以上あげることができたが、この汚泥の生物学的な活性度は低く、その有機物含有率は40%程度となっている。又、SVIは25付近となっており、非常に沈降性はよい。5月後半のデータで有機物含有率およびSVI値ともに上がっているのは、一段目の余剰汚泥を加えたことによるものである。

両者の汚泥を対象として、その呼吸速度を測定した結果を図-5に示す。この結果、前段の高負荷エアレーションの汚泥の呼吸速度定数は、106mgO₂/h-gTS、後段の散水汙床汚泥のそれは、4.9mgO₂/h-gTSと計算される。これにより散水汙床汚泥(脱窒槽の汚泥)は、かなり生物学的活性が低いことが再確認される。

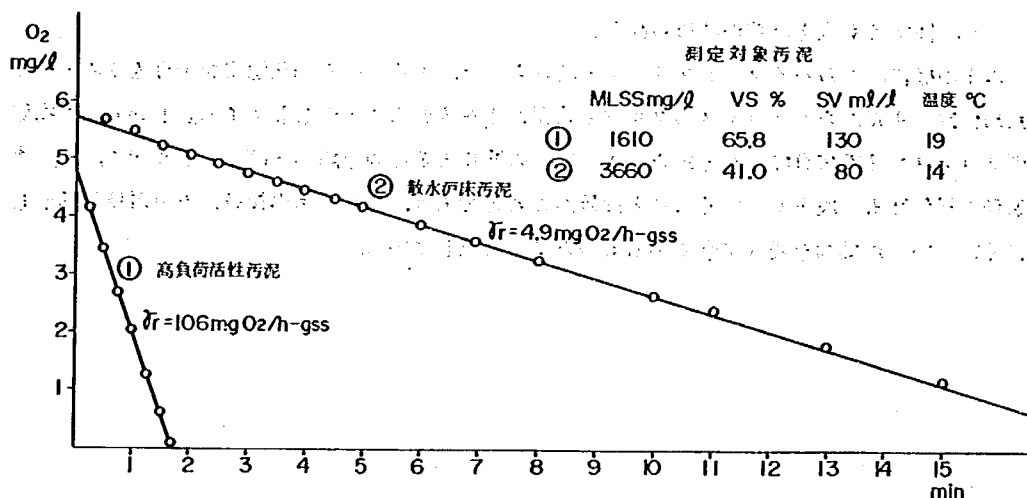


図-5 2段生物処理発生汚泥の酸素利用速度(r_t)の測定

検鏡

高負荷のエアレーションタンクおよび散水汙床の汚泥について、顕微鏡による観察を行ってみた。まず前段の汚泥に特徴的なことは、殆ど原生動物の存在が認められないということである。これは汚泥滞留時間(SRT)が数時間しかないということに、その原因が求められるものと思われる。散水汙床の流出水を沈澱して得られる汚泥中には様々な生物が見出される。まず特徴的なのは線虫の一種(Diplogaster)がかなり優性種となっている。又、原生動物としては繊毛

虫とくに *Paramecium* と思われる種が活発に運動をしている。次に多くみられるのが、有柄繊毛虫類であるが、これは *Vorticella* 属などがかなり多種類に及んでいる。

4月に入ると散水汚床に大量の汚床蠅の (*Psychoda alternata*) 発生がみられた。汚床蠅はそれ以後実験期間中常に成虫を見出すことができたが、散水汚床上部の砕石汚材を観察した結果、一つの汚材に平均約20余りの汚床蠅の幼虫が確認された。

あとがき

以上が、大体の実験の概要であり、また筆者がこの実験により見聞したものである。このパイロットプラント実験は前にも書いたとおり決して、倉入りの準備のもとに行れたものではなく、かなり場当りの実験目標の設定が行れたが、少くとも次のことは言えそうである。

- (1) BOD 負荷 $6\text{kg BOD/kg MLSS}\cdot\text{日}$ 高負荷活性汚泥プロセスによる初沈流出水 (BOD 約 170mg/l) の BOD 除去率が平均 56% であった。
- (2) 後段の散水汚床 ($0.4\text{kg/m}^2\cdot\text{日}$) により処理水 BOD は 10mg/l 以下のものが得られた。しかし、硝化率は期待していた程高くなり、約 50% に停った。
- (3) 散水汚床汚泥または前段余剰汚泥の脱窒能力を期待してプロセスを組み上げる試みは、満足いく段階まで到らなかった。
- (4) 前段の余剰汚泥と後段の散水汚床汚泥について、その発生量は前段の余剰汚泥が各段に多く、性状にも大きな差が認められた。

以上の様に、このパイロットプラントで試みられた、生物学的な硝化脱窒を十分なものとするためには、まだかなりプロセスのフローや諸元に手を入れることが必要である。しかし、生物処理プロセスを2段に分けることになって、種々の興味ある技術を組み上げることができ、又、水処理の操作性も一段上がってくることは確かなことであり、プロセスが複雑になり維持管理がしにくいといった批判を補って余りあるものと筆者は感じている。

2. ドイツ国内の下水道事業

2. ドイツ国内の下水道事業

2-1 まえがき

アーヘン工科大学滞在中、西ドイツの下水道事情を視察するため、総期間として約2ヶ月の見学旅行を行った。見学はオランダ、スイス、オーストリアなど周辺の諸国も含めて行ってきたが、ここではドイツのみに的を絞って紹介したい。見学は、1980年2月に行っているが、アーヘン市が所属するノルトライン・ウェストファリア州内の主として水管理組合の下水道事業を対象としたものである。これらの見学旅行については、既にアーヘン工科大学にレポートを提出しているが、その内容は、何処に、誰を尋ね、何を見たというかなり事務的なものである。この独文レポートを参考のための資料-3、として添付するが、ここではとくに、見学において印象深かったこと、また、各下水道事業体の特徴などについて、書いてみたいと思う。なお、紹介の順番は見学した順とするので、より細い点または紹介を省略した箇所については、資料-3の出張報告書を参照していただきたい。

2-2 ノルトライン・ウェストファリア州における水管理組合の活動

ノルトライン・ウェストファリア州は、西ドイツの産業圏の中核ともいべきルール地方を擁し、近代産業の勃興、人口の集中などに伴う水需要および水質汚濁の問題を古くから抱えており、水管理組合の発祥の地をも行ったところである。現在、州内の水管理組合の数は10をこえ、図-1に示すように、組合の管理する区域は州面積の約5割を占めている。水組合の歴史は古く、例えばエムシャー組合では1904年にプロイセンの特別法により(Sondergesetz)、その設定がなされている。

ドイツでは、水管理組合の機構は多数(数千)存在しており、この水管理組合の機構、活動に関しては水管理組合連邦法規により規定されている。(Wasserverbandordnung, WVVO 1937年に最初の法令施行) よってこれ以降に組織された水管理組合は、WVVOの下に法的根拠を有する団体であるが、ノルトライン・ウェストファリア州には、歴史的に古く特別法により成立した組織の大きな水組合があり、前述のエムシャー水組合の他、ルール水組合(Ruhrverband)、ルールダム管理組合(Ruhrtalsperrenverein)、リッペ水組合(Lippeverband)、ライン河下流左岸水組合(Links Niederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft, Lineg)が、現在もなお特別法をその法的根拠としている。

水管理組合連邦法規(WVVO)の規定を超えて、下水道事業などを行う場合には、特例として、新たに特別法を施行し、水管理組合を組織することが許されており、最近では、ノルトライン・ウェストファリア州においてエルフト川水組合(Erftverband)が1958年に特別法により成立している。また反対に、ノルトライン・ウェストファリア州のニース水組合(Niersverband)とヴァッパ水組合(Wuppervverband)は、特別法により成立したが、現在では連邦法規(WVVO)による水管理組合として、改組されている。

以上みてきたようにノルトライン・ウェストファリア州は、水管理組合の組織が非常に発達し

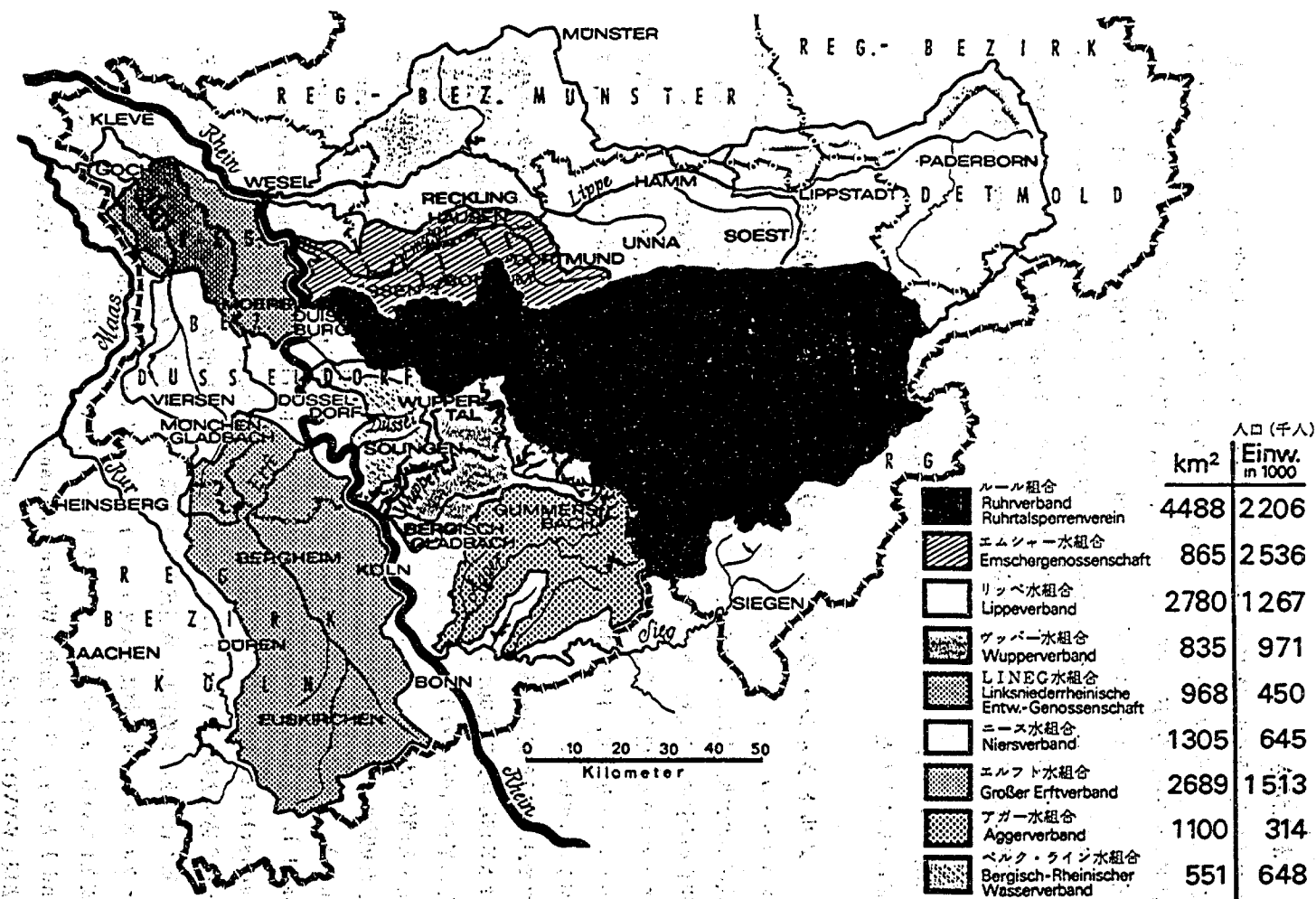


図-1 ノルトライン・ウエストファリア州の水管理組合

た地区であり、歴史的な大規模の組合もこの地区に集中している。現在、州内には10の水組合が存在しており、これらの水組合の管理する流域の面積の広さは、州の約50%を占め、州内の人口の約62%がその流域内に存在する。図-1に水管理組合の領域図を示す。一部領域が重なる地域があるが、これは一般下水の管理と地下水または欽山廃水の管理と、組合相互で多少その業務の内容を異にするためである。

水管理組合の一般的な業務は、洪水防御、上水供給、下水処理、河川の浄化であるが、他に欽山廃水の処理、地下水の保全などその地区に特異的な業務が含まれる場合がある。以下に筆者が見学した順番にこれらの組合の活動を紹介する。

2-3 ブッパー水組合 (Wupperverband)

この地区の中心となる都市は、Wuppertalであるが、tal(谷)という名がつくように、この地区は山間の地区となっている。Wuppertalは、ドイツにおける産業革命の時期に、近代産業が発達した地であり、Wupper川の水利を求めて、工場群が建ち並びまた人口も集中した。

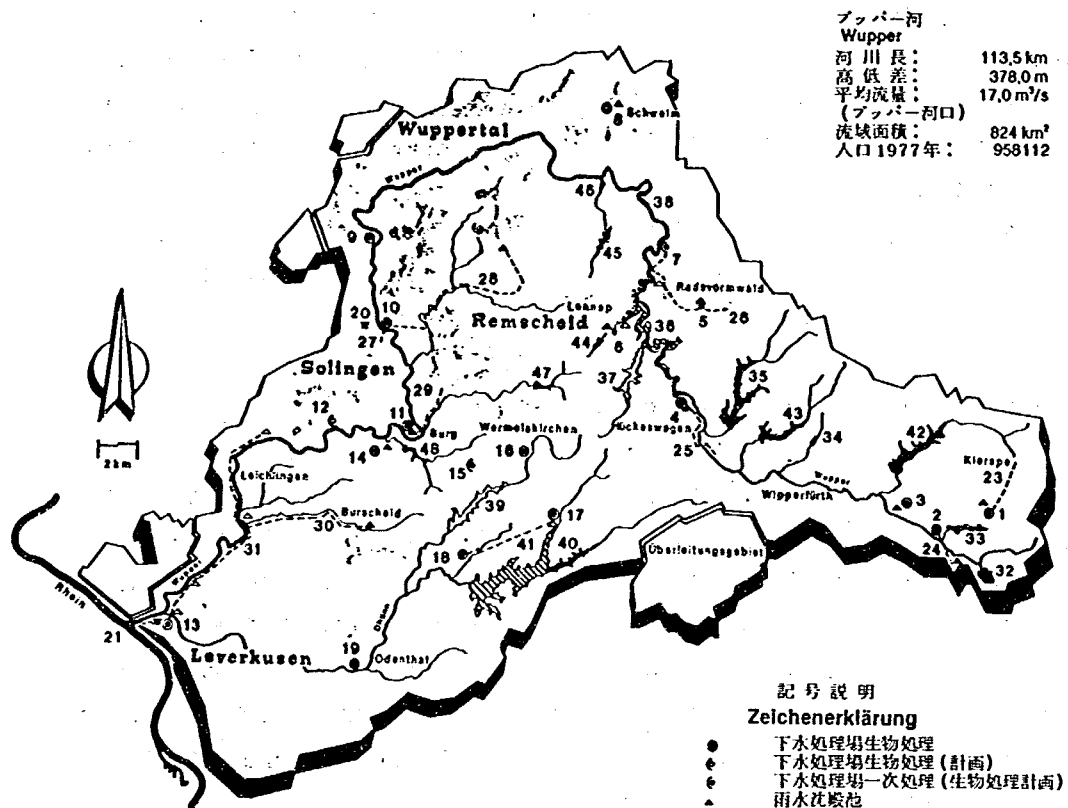
Wupper河の水質汚濁問題は1800年代の末期にまで溯ることができ、その時点で既に百万人分の人口当量の汚水がWupper河に放流されていた。こうした水質汚濁問題を解決するために1930年 Wupperverbandは、特別法により設立された。しかし、1930年代40年代は、ドイツは、世界大戦の中心となったところであり、水質汚濁防止事業は遅々としてすすまなかったようである。戦前における事業で顕著なものは、großen Bever ダムの建設があげられ、これにより洪水防御また渇水期の流量調整が行われた。

Wupper 水組合が現在行っている水質汚濁防止事業を図-2によって総覧することができる。Wuppertal-Buchenhofen 処理場は、人口当量128万人分の汚水を処理する区域内の最大の処理場であるが、この処理場の生物処理の拡張事業が1948年に企画されることにより、水組合の本格的な水質汚濁防止事業が開始されたと考えられよう。

Buchenhofen 処理場は、1906年に初沈の一部が建設され、その後30年代は、沈殿または生下水の砂口力による簡易処理、1952~1967年の部分生物処理(ハイレート活性汚泥法)、などを歴史をたどって、1972年にほぼ現在の2次処理施設の完成をみている。

Wupper 水組合については、この代表的な Buchenhofen 処理場とWupper川上流域に建設された Hucksnagen 処理場を概観する。

Buchenhofen 処理場は、この様に増設に増設を重ねて出来た処理場であるが、現在は標準活性汚泥法の設計となっている。処理区の下水道は殆ど完全分流式でできており、場内に雨水沈殿池はない。下水は自然流下で処理場に流入する。下水はスクリーン、曝気沈砂池を通り、初沈、エアタン、終沈という標準的なフローで処理される。但し日本の下水処理場の設計と異なる点は、1) スクリューポンプの使用が一般化しており、ポンプ揚水の後にスクリーン、沈砂池が設置され、これらが地上構造物となっていること。2) 曝気時間が標準法でも4時間程度と短めであり、また終沈の水面積負荷が $15 m^3/m^2 \cdot 日$ 付近と比較的低なっているため、平面図をみると、終沈と曝気槽の水面積の関係が日本の場合とかなり異ってくる。3) 塩素滅菌プロセスがないこと。などがあげられる。



プッパ-河
 Wupper
 河川長: 113.5 km
 高低差: 378.0 m
 平均流量: 17.0 m³/s
 (プッパ-河口)
 流域面積: 824 km²
 人口1977年: 958112

記号説明

Zeichenerklärung

- 下水処理場生物処理
- 下水処理場生物処理(計画)
- 下水処理場一次処理(生物処理計画)
- △ 雨水沈殿池
- △ 雨水沈殿池(計画)
- ポンプ場
- ポンプ場(計画)
- 下水送水管
- ダム湖
- ダム湖(建設中)
- ダム湖(計画)

注 釈

下水処理場	人口当量(千人)
1 Kierspe	5.0
2 Marienheide	4.5
3 Ronsahl	2.5
4 Hückeswagen/Gruppenklärwerk	40.0
5 Radevormwald-Süd	17.0
6 Lennep	23.0
7 Radevormwald/Gruppenklärwerk	75.0
8 Schwein	25.0
9 Buchenhofen	1200.0
10 Kohlfurt/Gruppenklärwerk	200.0
11 Burg/Gruppenklärwerk	120.0
12 Solingen-Süd	5.0
13 Leverkusen/Gemeinschaftskl. (Anteil WV)	375.0
14 Witzhelden	1.5
15 Kolthausen	0.9
16 Wermelskirchen	31.0
17 Dhönn	0.6
18 Dabringhausen	3.0
19 Odenthal	5.0

下水ポンプ場

	Us
20 Kohlfurt	50/185
21 Leverkusen	2800/ 5300
雨天時下水	7500/10000
下水送水管	m
23 Kierspe -	3300
24 Marienheide -	900
25 Wipperfurth-Hückeswagen -	3650
26 Radevormwald-Süd -	650
27 Altenbau -	1000
28 Morsbach -	3950
29 Eschbach -	3300
30 Murbach -	7300
31 Wupper -	12600

ダム湖

用水用ダム湖	百万m³
32 Brucher -	3.3
33 Lingese -	2.6
34 Schevelänger -	0.3
35 Bever -	23.7
36 Wupper -	25.9
37 Dörpe -	10.5
38 Beyenburg/Stausée	0.5
39 Erigen -	16.0
上水用ダム湖	
40 Dhönn -	7.5
41 Große Dhönn -	81.0
42 Kerspe -	15.5
43 Neye -	6.0
44 Panzer -	0.3
45 Obere Herbringhauser -	2.9
46 Untere Herbringhauser -	0.2
47 Eschbach -	1.1
48 Sengbach -	2.9

図-2 プッパ-水組合領域図

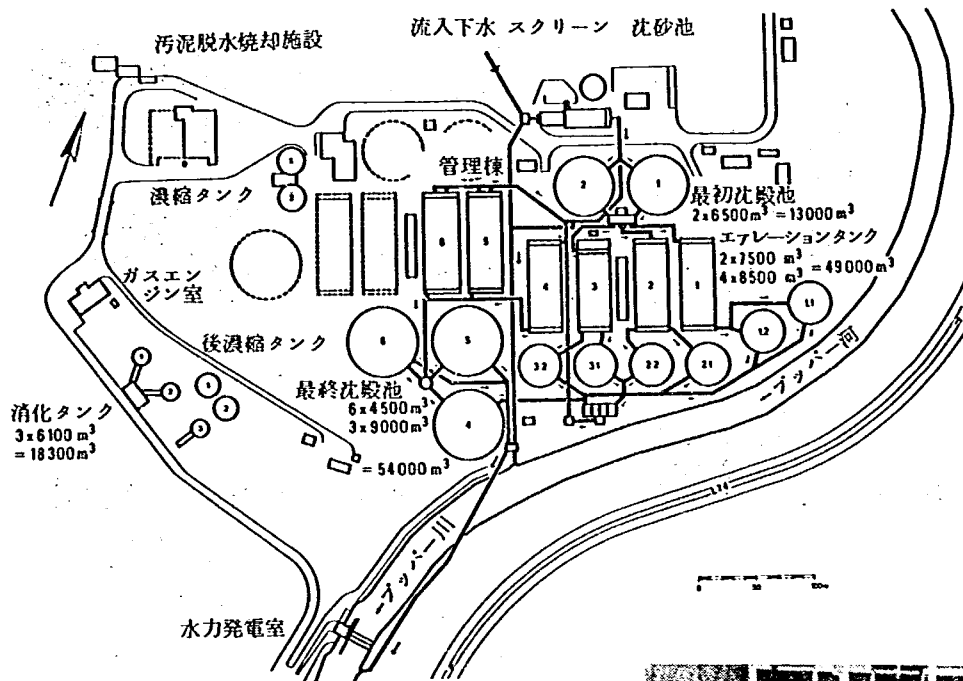


図-3 Buchenhofen 処理場

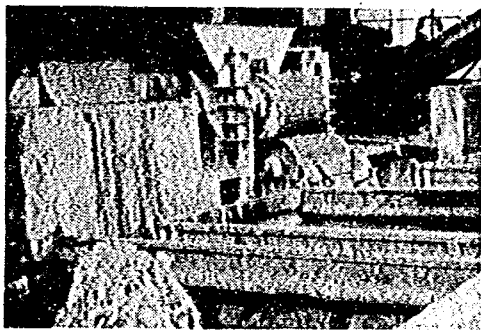


写真-1 Buchenhofen 処理場, スクリーンかすの脱水機とその搬出設備

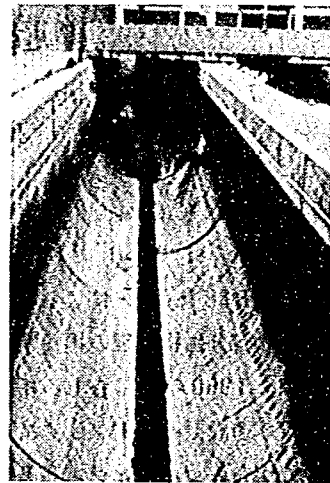


写真-2 Buchenhofen 処理場, 曝気沈砂池

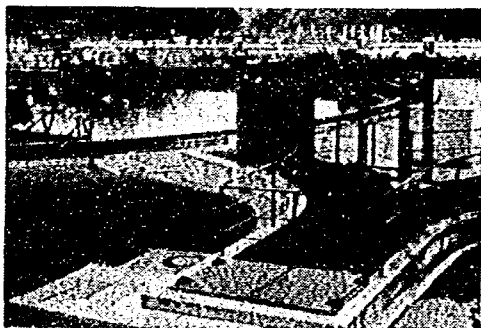


写真-3 Buchenhofen 処理場, 最初沈殿池, 手前は流入水量の分割施設

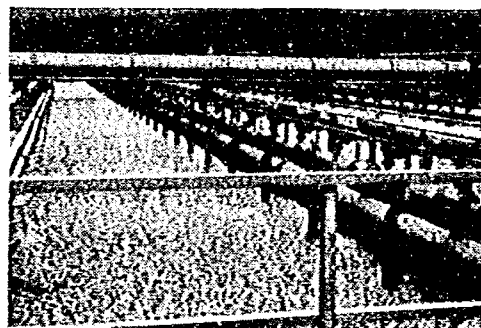


写真-4 Buchenhofen 処理場, エアレーションタンク (散気管式)



写真-5 Buchenhohen 処理場, エア
レーションタンク散気管

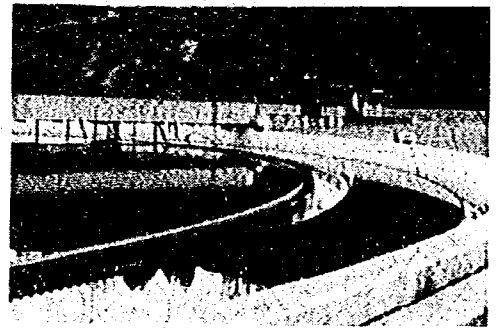


写真-6 Buchenhohen 処理場, 最終
沈殿池

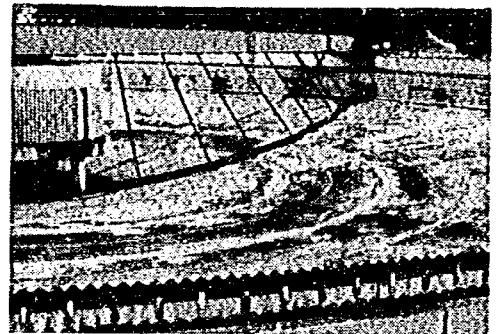


写真-7 Buchenhohen 処理場, 最終
沈殿池の汚泥貯留機

Buchenhohen 処理場を特徴づけるものとして、消化ガスによる発電（ガスエンジン 3、ガスディーゼル 1 計 2350 PS）と放流水；正確には Wupper 河の落差を利用した水力発電（最大 838 PS）とによる場内の電力補給があげられる。これらの施設は 1950 年代に完成し、当時の部分生物処理の消費電力をかなりの部分賄っていた。こうした場内のエネルギー自給の試みは、1960 年代にむしろ精力的に行われたようで、例えば本処理場のガスエンジン施設は、ドイツの下水道設計ハンドブックにも紹介されている。

しかしながら、ガスエンジン施設は、現在種々の原因から、その稼働率が下がっている。その一つは、タンクの投入汚泥濃度の低下である。一般的にドイツの処理場の発生汚泥は濃縮性がよく、消化槽投入汚泥濃度は 4% から 5% である。しかし、本処理場では、日本と同じく、汚泥濃縮が厄介な問題となっており、濃縮汚泥濃度は、3% 程度でしかない。

ドイツの処理場における、消化槽投入汚泥濃度と、処理条件を一部まとめたものを表-1 に示すが、一般的に濃縮性のよいとされるドイツの汚泥の性状が、流入水質、処理条件とどのような関係で、日本の汚泥の性状と差異が出てくるのかは、興味ある検討課題である。

さて、Buchenhofen 処理場におけるガスエンジンの稼働率が低いという理由のもう一つは、本処理場に焼却施設が最近設置されたことであろう。本処理場発生汚泥は、濃度が薄いこともあり、全量消化されずに、かなりの部分が直接脱水に回り、焼却されている。脱水機は、容量 60 m^3/h の遠心脱水機であり、高分子凝集剤により薬品調整されている。焼却炉は、流動床型である。

表-1 処理場発生生汚泥（消化槽流入汚泥）の濃度および有機物含有率

処 理 場 名	規 模	水処理形式	汚泥の種類	デ ー タ
1. Kla. Rimburg Kla. Kaffeberg (オランダ)	150,000 EWG 75,000 " (30%工場廃水 織物および鉄工)	カロセル(30時間曝気) " (初沈なし)	余剰汚泥(0.5~ 1.0%) 汚泥処理場へ圧送 重力濃縮	TS 約5%
2. Kla. Aachen-Soers	200,000 EWG 合 流	初沈→表面曝気→終 沈(2時間程度)	初沈引抜汚泥 (余剰含む)	TS 5.2% VS/TS (66%)
3. Klw. Buchenhofen (Wupper 水組合)	170,000 m ³ /d 合 流	標準活性汚泥法 曝気時間 6 h	初沈引抜汚泥 (余剰含む) 濃縮槽機能せず	TS 3~4%
4. Klw. Huckswagen (Wupper 水組合)	10,000 m ³ /d 合 流	標準活性汚泥法 曝気時間 4 h 曝気方式横型表面曝 気 リン除去のため鉄塩 投入	初沈引抜汚泥 (余剰含む) 濃縮槽なし	TS 3.5% VS/TS (65%)
5. G. Klw. Kohlfurth (Wupper 水組合)	133,500 EWG 合流+分流	標準活性汚泥法 曝気時間 4 h 曝気方式横型表面曝 気	濃縮汚泥	TS 4.1%
6. Klw. Bochem- Ölbachtal (Ruhr 水組合)	136,000 m ³ /d 合 流	標準活性汚泥法 表面曝気式 3 h リン除去のため鉄塩 投入	濃縮槽(初沈汚泥) 余剰汚泥貯留槽 エアレーション設備 つき	TS 6~9% TS 3%
7. Kla. Marl-West (Lippe 水組合)	6,000 m ³ /d	散水汙床 初沈あり	初沈引抜汚泥 (汙床汚泥も含む)	TS 5% VS/TS 70%
8. Klw. Hamm (Lippe 水組合)	55,000 m ³ /d 合 流 20% 工場廃水 鉄板, 化学工業	活性汚泥法 曝気時間 3 h 初沈は 15 分滞留	濃縮汚泥 (2日滞留)	TS 6% VS/TS 60%
9. G.-Klw. Moncheng- ladbach-Neuwerk (Niers 水組合)	140,000 m ³ /d 合 流 かなりの工場廃水 織物 染色	2段生物処理(活性 汚泥) 色を除去するため鉄 塩の投入 1段 1 h 2段 3 h	初沈汚泥 余剰汚泥 (濃縮槽 1.8 日)	TS ~10% VS/TS 65% TS 8~9% VS/TS 60~65%
10. Klw. Aachen- Eilendorf	250,000 EWG 合 流 かなりの工場廃水	標準活性汚泥法	初沈汚泥 余剰汚泥(約1%) 遠心分離機による濃 縮 ポリマーの添加	TS 3.5% TS 6%

注 Kla.: Kläranlage (下水処理場)

Klw.: Klärwerk (比較的大きい処理場)

EWG: 人口当量 (1人当り 150~200 人/日
または 60 g BOD/日)

ドイツにおける下水汚泥の総量の約8%は焼却処理されるが、* Wupper水組合も汚泥の処分地の問題に頭を悩まし、焼却処理にふみきったようである。

以上の様に、Buchenhofen 処理場は、散気管方式の標準活性汚泥法、発生汚泥の濃縮性の悪さ、汚泥の焼却など、日本の処理場に共通した点をいくつか持っているようである。

Hückeswagen 処理場は、Wupper ダムの上流に位置する町村の下水を処理している。処理区域は 199ha 殆どが合流区域である。1979 年時点の処理人口は、22,000 人 加えて工場廃水が、7,400 人分、現在の流入水量は約 10,000 m³/日の、どちらかといえば、小じんまりとした処理場である。処理場の平面図を図-4 に示す。生物処理は活性汚泥法であるが、オキシデーションディッチ型の迂回流式機械曝気方式で、水深は 2.5m である。この様なディッチ型曝気槽は、決して珍しいものではなく、他の箇所でもみられるものである。この曝気槽は、滞留時間 4 時間、BOD 負荷、0.20 kg BOD/kg MLSS・日で設計されている。

本処理場は、Wupper 川の流量調整を行う Wupper ダムに処理水を放流している。よって富栄養化防止対策として、鉄塩の曝気槽投入によるリン除去を行っている。鉄塩の形態は Fe^{III}ClSO₄ であり、エアタンの前・後に投入し、その投入量はリンの自動分析計により制御している。流入水のリン濃度は、20 ~ 30 mg/l PO₄³⁻、処理水は 2 mg/l PO₄³⁻ である。こういった凝集剤のエアタン投入によるリンの除去は、日本でも検討されているが、pH 値が下がることによる活性汚泥の解体などが懸念されている。本処理場でも、多少そうした問題は認められており、流入水の pH 値 7.5 に対し、放流水の pH 値は 6.5 ~ 7.0 である。また、夏期に硝化反応が進む場合には、pH 値は 5.5 程度まで下がる。しかし、ドイツにおける下水のアルカリ

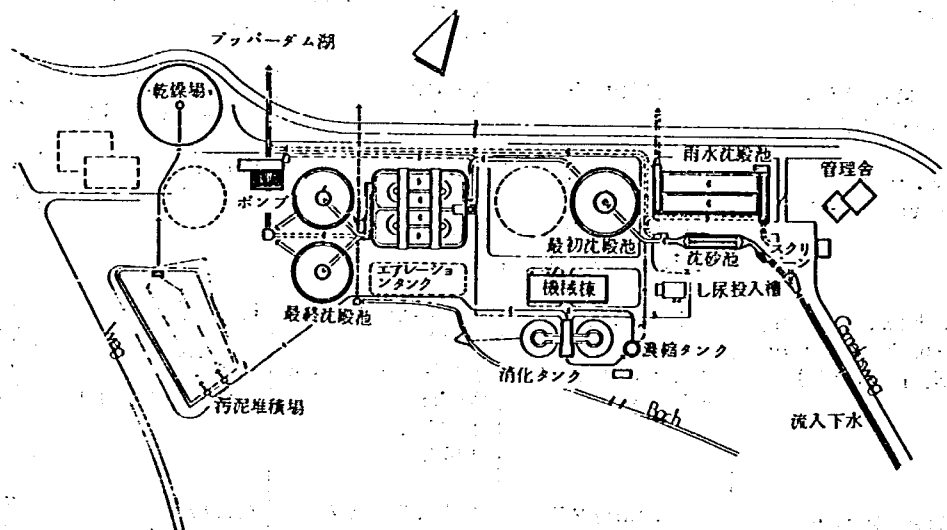


図-4 Hückeswagen 処理場

* 資料 5 「西独における汚泥の処理処分」 参照

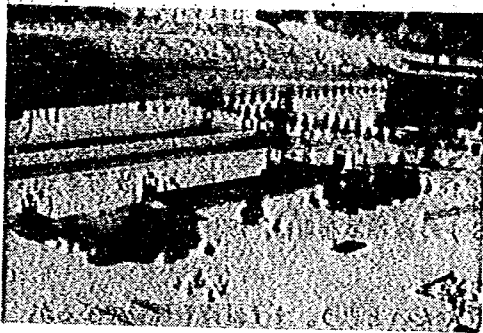


写真-8 Hückeswagen 処理場, 流入
施設および雨水沈殿池

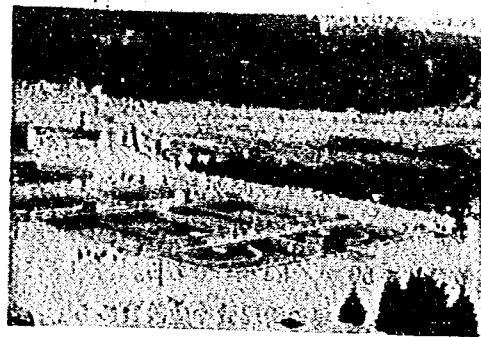


写真-9 Hückeswagen 処理場, ディ
ッチ型エアレーションタンク

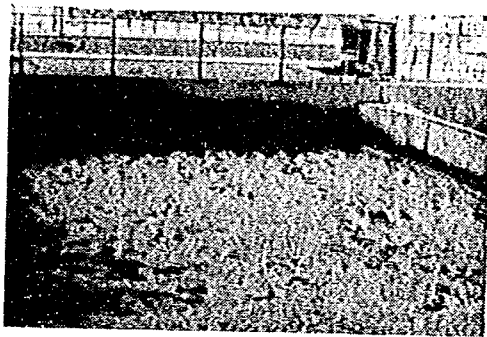


写真-10 Hückeswagen 処理場, ロ
ーターによる曝気

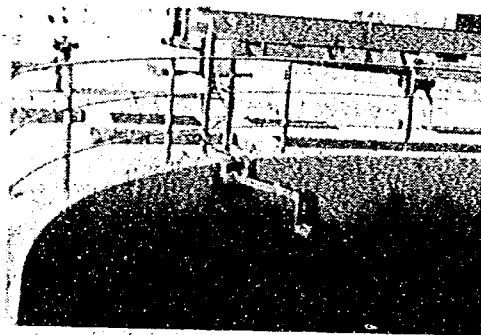


写真-11 Hückeswagen 処理場, エア
レーションタンクに設置されたDO
メーター



写真-12 Hückeswagen 処理場, 消化
タンクおよび消化汚泥タンク車

度は一般的に高く、(300 ~ 500 mg/ℓ) 硝化や凝集塩の投入による pH の低下は一般的にはあまり問題にならないと言われている。

その他、特徴的なものは、雨水沈澱池がある。これは最近のドイツの処理場でかなり一般的となっている施設であるが、月平均10日程度稼動するということである。また、処理区域から外れる家屋の浄化槽汚泥が搬入処理されている。汚泥は消化し、近くの農地へ散布されている。Wupper水組合内における消化汚泥(5 % TS) の標準散布量は、畑地で、100 m³/ha・年、牧草地で50 m³/ha・年である。

さて、処理場の管理費や建設費にちょっとふれてみたいと思う。まず維持管理費であるが、当処理場では人件費を除き次の様な額となっている。

電力費	130,000 DM/年
凝集剤(FeClSO ₄)	60,000 DM/年
その他	90,000 DM/年
計	280,000 DM/年

これを処理水1 m³当りに直すと、0.08 DM/m³(約10円/m³) である。果して日本の現状と比較してどうであろうか。

建設費については、本処理場は2回に分けて建設されている。

第1期工事(初沈までの水処理施設、消化槽、管理棟、汚泥乾)

6.5 Mill DM (1968/70 時価)

第2期工事(雨水沈澱池、し尿投入槽、2次処理施設)

7.5 Mill DM (1977/79 時価)

合 計 14 Mill DM

本処理場は人口当量として29,000人で設計されているので、1人当りの施設の建設費は470 DMと計算される。本施設は半分が1970年時点で建設されているので現在の価格に直せばもう少し高くなるが、それでも1人当り10万円までいかない。ドイツにおける下水処理場の建設費を1人当りに直した単価は、もう少し低い値が平均値と言われているが、処理水量1万 m³程度の施設では、ここに計算された値に近いものと推定される。いずれにせよ、1人当りの建設単価として比較する場合には、ドイツでは1人1日当り平均汚水量を200ℓ、BOD負荷を60 g/人/日として、他の工場廃水などもこの人口当量に直し、合計した数値で割っているということを頭に入れておかなければならない。

ドイツにおいては、事業所排水の下水道受け入れに係る水質基準について、一般的な法律的基準はない。Wupper水組合の試験室を案内して戴いたときに、組合の金属工業廃水に対する指導基準が表-2のようになっていることを聞いた。わが国の基準値よりは、かなり甘いものとなっているが、生物処理に危害を加えないという観点から指導基準が定められているものと推察された。

表-2 Wupper 水組合における下水道受入れ水質指導基準

項 目	基準値
温度	40 °C
pH	6.5~8.5
沈降性浮遊物	0.5 ml/ℓ
Cu	2.0 mg/ℓ
Cr	3.0 "
Cr ⁶⁺	0.5 "
Zn	4.0 "
Cd	4.0 "
Pb	2.0 "
亜硝酸	20.0 "
鉱油	20.0 "

2-4 ルール水組合 (Ruhrverband, Ruhrtalsperrenverein)

ルール水管理組合は、その規模の大きさ、歴史の古さ、また活動の多様さからいって、ドイツにおける代表的な存在であり、わが国においてもその実情は数多く紹介されてきた。よって、ここにその活動について重複して書くつもりはないが、Ruhr 河の上水源としての水質保全事業はなかなか多彩で、見るべきものが多くある。Ruhr 河は、ライン河に注ぐ流域面積 4,500km²、平均流量 75 m³/S の中河川であり、わが国の河川と比較すれば、淀川と多摩川の間程度の大きさである。

ルール地方とは、ルール河に因んでつけられた名前であるが、ドイツのいわゆる工業地域の中核部であり、ここに住む 500 万人の人口と、工業活動の水需要の大部分を Ruhr 河から供給している。Ruhr 河から取水される水量は、6 億 m³/年であるが、その内再び排水として流域内に戻ってくるのは 2 割程度であり、4.8 億 m³/年は他の流域に排出されている。この排出を専門とする河川が後に記す Emscher 河であり、ルール地方は、Ruhr 河という動脈と、Emscher 河という静脈により、水の新陳代謝が行われていると理解できよう。

ルール河上流においては、渇水時においても必要な流量を確保するためダムが建設されている。ダムの建設の歴史は古く、例えば写真に示す Fürwigge ダムは 20 世紀初頭に建設されたものであり、石積みの外観は昔日のダム技術を彷彿するものがある。現在このダムは下流に Verse ダム (32.8 百万 m³) が建設されたため、その一部分となっている。ルール水組合内に設置されているダム湖の数は 14 にのぼるがその位置を図-5 に示す。このうち Bigge ダム (172 百万 m³) が最大のものであるが、1965 年に完成している。ドイツにおける平均降雨量は、約 800 mm/年であるが、ルール河の源流山間地区では約 1,000 mm/年となっている。本地域においては、冬季が降水期であり、貯水された水は、夏季、秋季に放流され、Ruhr 河を涵養する。この様にダ

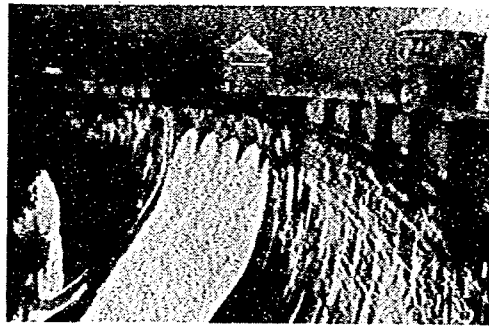


写真-13 Fürwigge ダム (1904年建設)

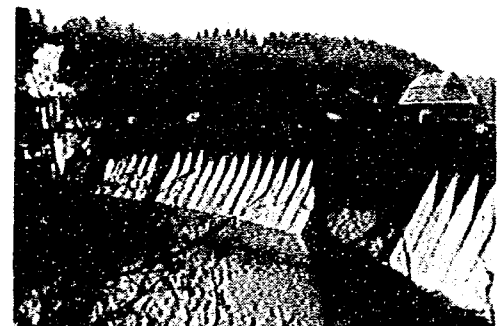


写真-14 Bigge ダム上流の Lister ダム

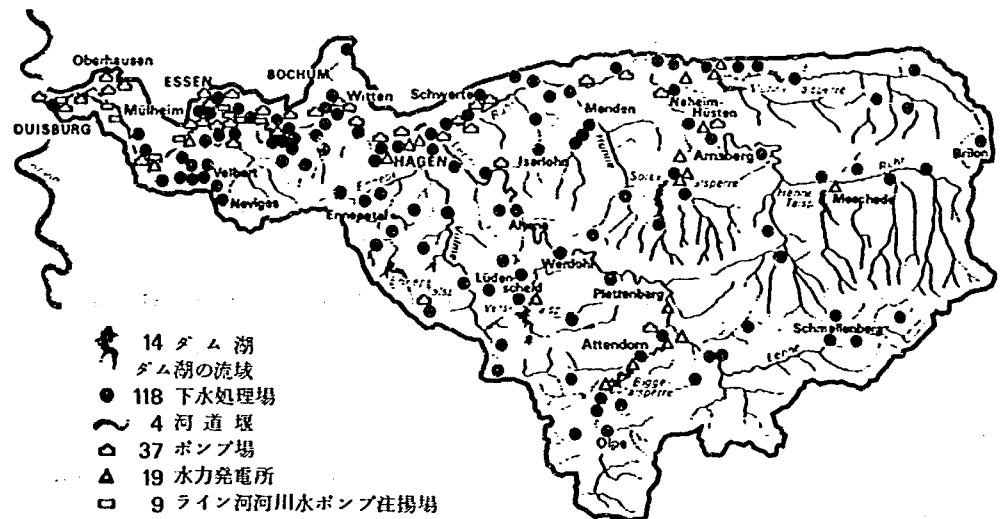


図-5 ルール水組合の管理施設

ダム湖に貯水された水は、全て河道を通してルール地区に運ばれるが、これは導水渠の建設節約とダム湖のない流域の水利用も計るという意図によるものである。

ルール河下流では伏流水をとるというかたちで取水が行われている。この取水のシステムの概要を図-6に示すが、Ruhr河の河床をなしている砂層および砂利層を通して取水が行われ、飲料水の場合には 0.4 mg/l の塩素が添加されて、各都市に供給されている。取水能力を増すため、河川敷には緩速口過池が設置され河川水が導入されている他、最近では木材の目詰りを軽減するため、急速口過を前段で用いる場合もある。こうしたシステムの特徴として、安価である他、安定した水質を供給できる。又、水温を低くして供給できるというメリットがあげられている。

以上に示したような簡易な機構で上水が供給できるということは、反面河川水質をかなり清浄に保つことが必要となってくるが、Ruhr河下流の目標水質は、 $\text{BOD } 5 \text{ mg/l}$ 以下、 $\text{DO } 4 \text{ mg/l}$ 以上ということになっている。このためルール水組合では、先に述べた ①ダム湖による流量の平滑化に加えて、②流域内の市町村に約百ヶ所の下水処理場を建設管理する他 ③河道に堰を設けることにより、滞留時間を増し、自浄作用を促す。という事業を行っている。特に河道堰の

表-3 既設のダム湖

No	ダム湖	貯水面標高 m	ダム容量		最大 貯水面積 ha	流域面積 km ²	年間平均貯 水量 百万m ³
			容 量 百万m ³	年間の平均 貯水量に対 する割合%			
1	Heilenbecke	299.86	0.45	8.2	8.50	7.6	5.5
2	Fuelbecke	286.50	0.70	25.0	7.85	4.7	2.8
3	Hasperbach	286.30	2.05	36.0	18.60	8.1	5.7
4	Ennepe	307.30	12.60	33.2	103.00	48.0	38.0
5	Glör	308.70	2.10	38.2	22.00	7.2	5.5
6	Jubach	343.70	1.05	21.0	11.70	6.6	5.0
7	Öster	363.52	3.10	30.0	24.50	12.6	10.5
8	Möhne	213.70	134.50	71.0	1,037.00	432.0	189.9
9	Sorpe mit Beileitungen	282.00	70.00	151.0	334.15	99.5	46.5
10	Henne mit Beileitungen	323.30	38.40	76.0	210.00	97.9	50.3
11	Fürwigge	438.95	1.67	39.0	17.70	4.7	4.3
12	Stausee Ahauser	248.00	2.09	0.8	53.84	362.4	262.0
13	Verse	390.00	32.80	148.0	170.00	24.1	2.2
14	Bigge mit Lister	307.50	171.70	78.2	876.50	289.0	219.7

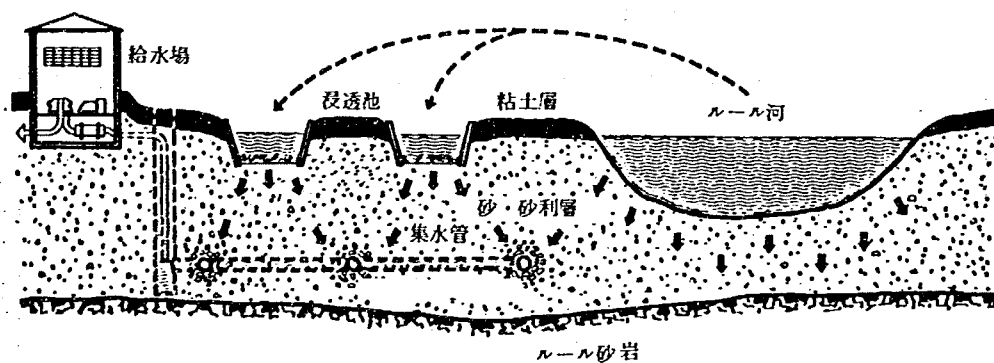


図-6 ルール河からの上水取水

建設は、水質保全、水量調整の他、市民に水辺の憩いの場をつくるという多角的な事業効果を狙ったものであり興味深い。しかし、近年この場の富栄養化が、ダム湖の場合と同様問題となっており、堰における酸素の注入、また河川水のエアレーションなどが、その対応策としてとられるようになった。

以上、ルール水組合における水質保全の事業の概要を述べてきたが、ここでその組織経営上の問題について少し触れてみたい。

ルール水組合と一般に称されるものは、Ruhrtalesperrenverein (RTV, 1903年設立) Ruhrverband (RV, 1913年設立) の2組合からなっている。RTVは、ダム湖の建設管理、上水の供給を主として行うのに対し、RVは主に下水処理場の建設管理を行っている。RTVの組合員は、上水需要者と水力発電所であり、上水需要者は具体的には、①都市 ②工場 ③上水供給会社である。RVの組合員としては、1番に①RTVをあげることができ、約35%の費用負担を行っている。その他は、②都市と、③工場である。この様に上水売却によって得られた収益のかなりの部分が、下水道への投資となっている機構は、水経済という観点からみると、かなり合理性をもったものと考えられ、水質保全を仲介とした有機的な金銭の動きが注目値する。

ドイツにおける水組合の基盤というものは、上水供給；そのための水質保全、下水処理場の運営という、水経済の図式の上に乗ってできあがってきたものであり、経済至上主義、いかえればかなり民間色の強い団体であると言えよう。ドイツの下水道技術は、安価で確実なものという鉄則に貫かれているが、多くの技術がこの水組合を母体として醸成されてきたという歴史から、理解できるものである。

河道堰 (Stausee) による水質浄化

Ruhr河には、この河道堰が計5箇所あり、それらに川幅の広い滞水池をつくっているが、Essen市郊外のBaldney湖に代表されるように、Ruhr河の景観を代表するものと言われている。

表-4 ルール河の堰止池

	Hengsteysee	Harkortsee	Kemnader See	Baldeneysee	Kettwiger See
完成年時	1929	1930	1979	1932	1949
堰止池容量 百万 m^3	3.2	32	30	90	14
池の面積 Km^2	1.7	138	125	26	0.55
池の長さ Km	4	32	35	80	5.1
平均幅 m	350	430	430	350	105
平均水深 m	1.90	260	240	380	300
堰門個数	4	4	4	3	2
堰門一つの幅 m	30	305	25	335	440
ゲート	4 MAN-Walzen	4 (2 MAN-Walzen u. 2 DU-Walzen)	4 gerade Fishbauchklappen	3 (2 MAN-Walzen u. 1 DU-Walze)	2 Sektorklappen DU
ゲート高 m	630	350/480	26	635	480



写真-16 Kemnade 湖の概観

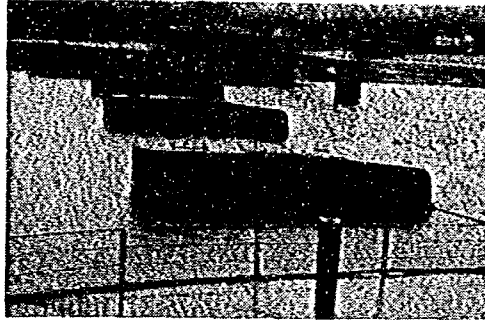


写真-15 Kemnade 河道堰

いる。このうち Baldney 湖上流に新しく建設されたのが、Kemnade湖である。筆者が見学に行ったときは、河道堰は8割かた出来上がっていたところで、堰の内部に入って堰の可動部、また氷結による損壊を防ぐためのダム回りのエアレーション設備などを見学させてもらった。この河道堰による人工滞水池の建設の第1の目的は、市民のレクリエーションの場をつくることにあるが、水質の浄化機能もあるものとされている。この事業主体は、Ruhrverbandであるが、その出資率は30% その他は、近隣のBochum市とWitten市の出資によっている。堰近くには、公園、ヨットハーバーが整備され、囲りに堀をめぐらした古城も、憩いの場としての雰囲気をもりたてている。その他の主要な工事としては築堰および堰内地の地下水位が上がらないようにするための、地中止水壁の建設などであるが、第1期工事の総工費は124 Mil. DM (約150億円)である。このうちノルトライン・ウェストファーレン州から約60%の補助金が出ている。第2期工事として、レクリエーション施設の拠点を3箇所増設する計画がなされているが、1980年から4~6年の工期で、63 Mil. DMの予算が計上されている。

水質試験所の見学 (Chemisch-biologischen Labor)

ルール水組合の事務所はEssen市の中心部にあるが、その建物の中に水質試験所が設置されている。この試験所で働く人員は70名であり、組織としては、①下水処理場関係、②河川・ダム湖関係、③アイソトープ、ガスマスなどの専門的分析関係、と3つに分かれている。業務の内容としては、①日常試験(6割)、②市や工場に対するコンサルタント(3割)、③研究、技術開発(1割) という構成である。現在とり組んでいる課題としては、①富栄養化、②殺虫剤などの環境循環、③有機塩素化合物、④重金属 ということであった。

特に富栄養化現象については、流下状況(河川)での富栄養化機構のコンピュータープログラムを作製中であり、精力的に調査研究が行われているという印象を受けた。又、各下水処理場、河川の水質分析データの保存と解析に対するソフトウェアを導入中である。

Hagen 処理場

本処理場はルール河中流に処理水を排水しているが、近年その処理効率を増すため、旧来の散水戸床法から、活性汚泥-散水戸床の2段生物処理法に改善がなされた。処理場の規模は、流入汚濁負荷人口当量440,000人、流入水量は約100,000 m³/日である。

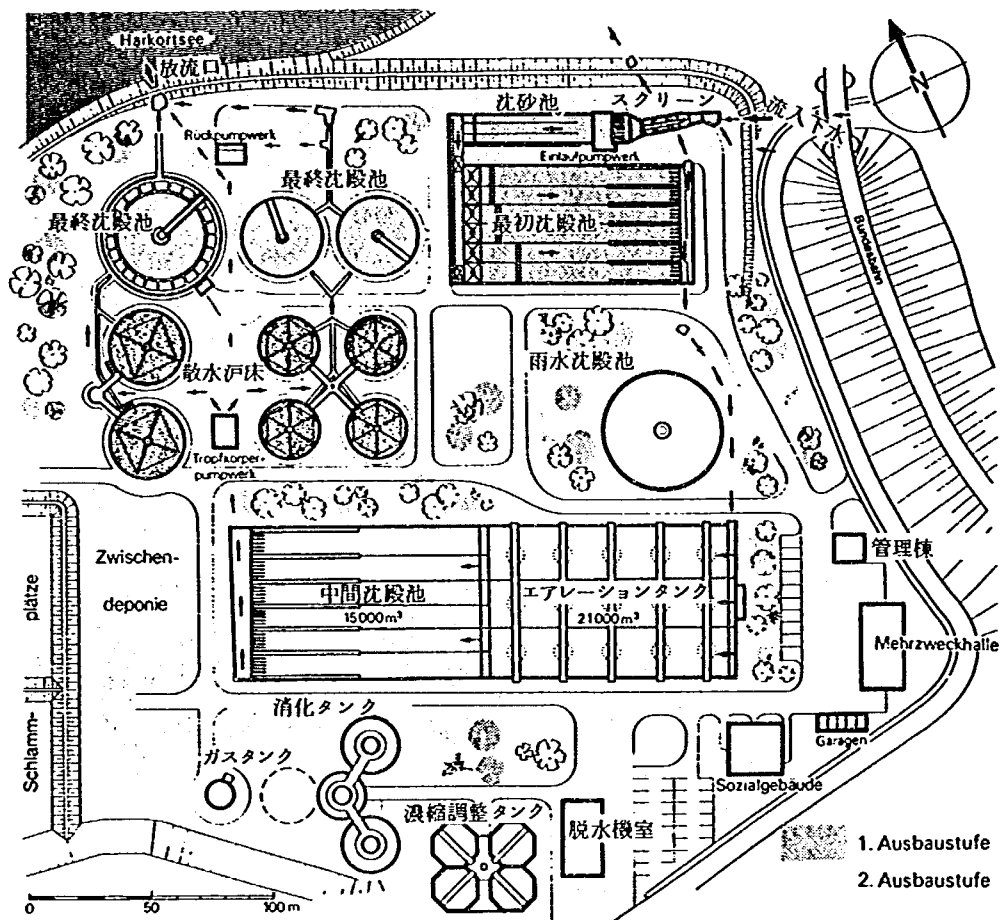


図-7 Hagen 下水処理場

流入水はスクリーンを通った後、スクリーンプンプで揚水され、沈砂沈を経て最初沈殿池で沈殿処理される。次にエアレーションタンクにより活性汚泥処理されるが、その設計負荷は、BOD容積負荷 $0.85 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ BOD-SS負荷 $0.25 \text{ BODkg/SSkg} \cdot \text{日}$ となっている。なおエアレーション方式は、表面機械曝気方式である。活性汚泥法処理水は、旧来からある散水戸床で次に処理されるが、この設計負荷は、 $0.13 \text{ BODkg/m}^3 \cdot \text{日}$ となり、主に活性汚泥処理水中の窒素成分の硝化を目的としているものと理解される。

汚泥は、濃縮槽で濃縮された後、新設の卵形タンク（1槽 $8,700 \text{ m}^3$ 、高さ 40 m ）に投入、嫌気性消化処理される。濃縮タンクは4池建設中であつたが、そのうちの2池が、通常の前濃縮槽、後の2池が消化汚泥の濃縮槽である。ドイツにおける嫌気性消化タンクは、一段で設計される場合が多く、消化汚泥の固液分離は、オープン形式の濃縮タンクにより行れる。本処理場では、この後濃縮槽に脱水剤が投入混合される設計となっており、調整タンクの機能も兼ね備えている。脱水は、横型加圧戸過機により行われる。

なお、旧施設の円形の最初沈殿池は、雨水沈殿池として改造中であつた。

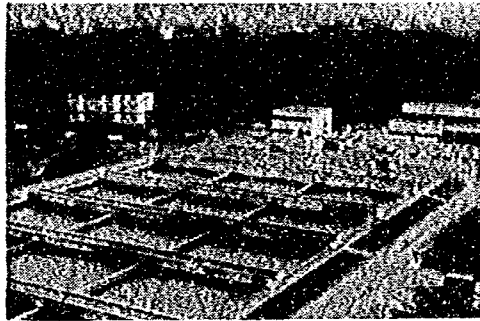


写真-17 Hagen 処理場，前段エアレーションタンク（表面曝気方式）



写真-18 Hagen 処理場，後段散水汚床および最終沈殿池

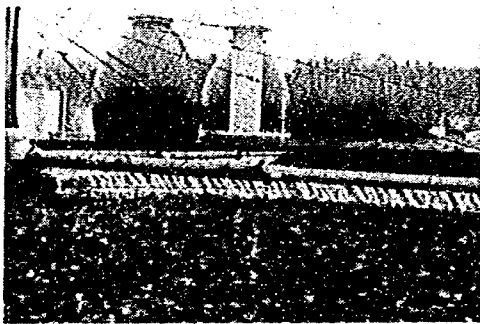


写真-19 Hagen 処理場，散水汚床より消化タンクを望む

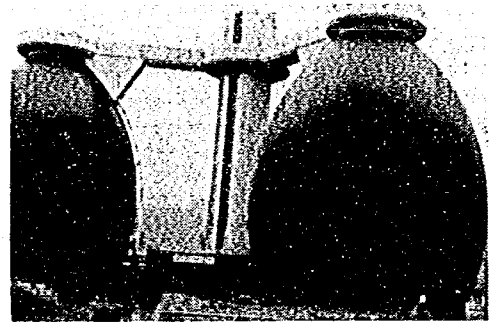


写真-20 Hagen 処理場，卵型消化タンク

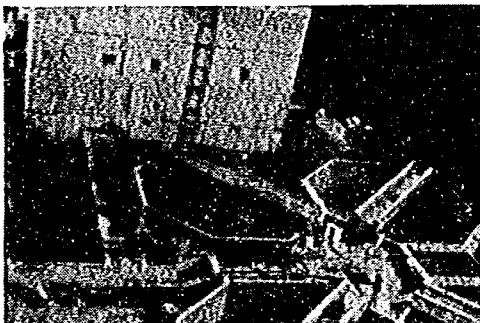


写真-21 建設中の濃縮タンク

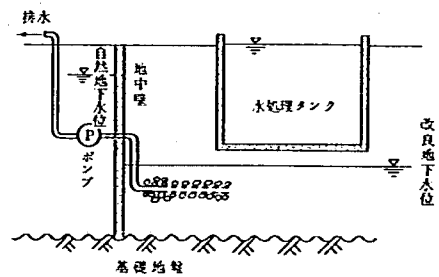


図-8 地下水位の高い地盤における水処理タンク施設の建設

その他，処理場施設建設で興味のある点は，処理場地の地下水位が高いため，水処理の池廻りを仕切って，地下水水位をポンプ排水により調整しているということであった。（図-8参照）

Bochum-Ölbachtal 処理場

処理場の平面図を図-9に示す。本処理場は合流式であり，流入水と平行してÖlbach川が処理場内を暗渠で貫流している。この小川は，処理水と共に処理場に隣接している浄化池（Schönung Teich, polishing pond）に注ぎこみ，数日の滞留時間のうちに，水質の浄化が行われている。ドイツの処理場においては，放流水が一旦この浄化池へ貯留される仕組みとなっている箇所が



写真-22 Ölbach 川と処理場の流入渠



写真-23 Bochum-Ölbachtal 処理場、前曝気槽および最初沈殿池



写真-24 Bochum-Ölbachtal 処理場の処理水の浄化池

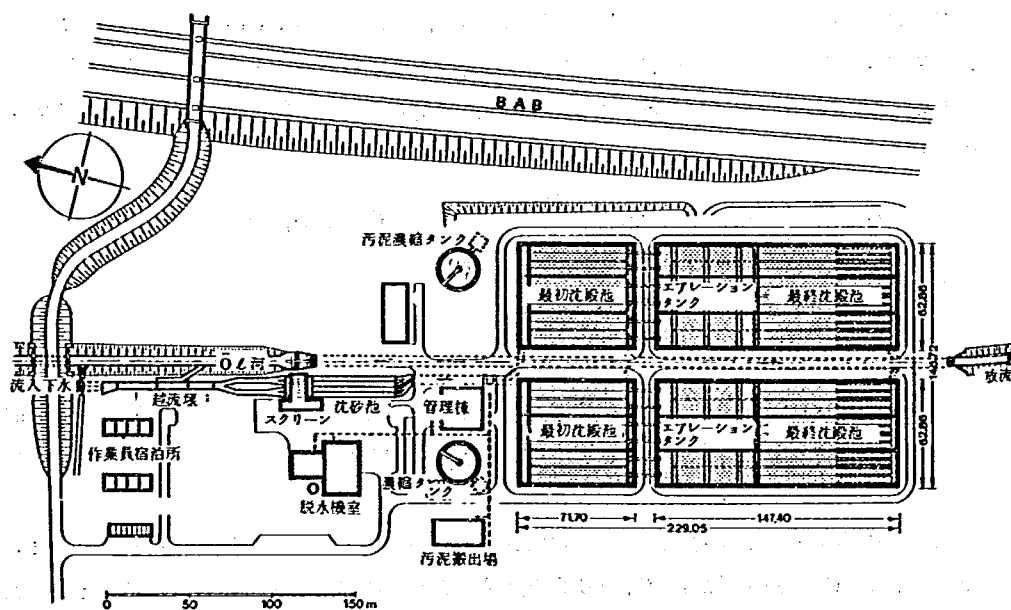


図-9 Bochum-Ölbachtal 下水処理場

なりみられる。表面曝気などのエアレーション施設が設けられている場合もあり、実質的には酸化池的な浄化機能をもつものと考えられる。

本処理場は、晴天時日流量 $136,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ($2.1 \text{ m}^3/\text{S}$) で設計されており、活性汚泥法で行われている生物処理の能力は、 $3.4 \text{ m}^3/\text{S}$ 、雨天時下水の処理は $7.0 \text{ m}^3/\text{S}$ まで行うことになっている。

本処理場における計画水量は、2,000年を目標にしているため、現在流入水量は、かなりこれを下回っており、施設の半分は未使用となっている。近々、近くにある高負荷散水汚床法の処理水を、あまり良い水質ではないので、ポンプアップして本処理場で再処理する予定となっている。

本処理場では、エアレーションタンクへの金属塩の投入によるリンの除去を行っている。凝集剤は、硫酸第一鉄 (FeSO_4) であり、エアタンク前部に投入されている。

施設の平面図をみて気がつくことは、エアレーションタンクが最終沈殿池よりも小さいことである。わが国では一般的にこの関係が逆であるが、これはドイツにおいて一般的にエアレーション時間が短くとられること、および、終池の水面積負荷が比較的低くとられることによってのものであり、ドイツにおける他の処理場の平面図も、終沈が大というものが一般的である。本処理場のエアタンクおよび終沈の設計諸元を列記する。

エアレーションタンク ($V = 17,400 \text{ m}^3$, $A = 7,560 \text{ m}^2$, 機械曝気)

滞留時間 2.34 h BOD・容積負荷 $1.0 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$
BOD・SS負荷 $0.3 \text{ kg BOD}/\text{kg MLSS} \cdot \text{日}$

最終沈殿池 ($V = 23,200 \text{ m}^3$, $A = 9,600 \text{ m}^2$)

滞留時間 2.55 h 水面積負荷 $19 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$

ドイツにおける処理場設計の基本となる流量値は、昼間平均値 (Q_{18} または Q_{15}) というものが使用される。この昼間平均値と晴天時流量 Q_{tr} (日平均流量) との関係は以下の様であり、既に Q_{18} の場合は、日平均流量の 1.33 倍が設計流量となる。上記の諸元もこの Q_{18} で計算されている。

$$Q_{18} = \frac{Q_{tr}}{18} \quad Q_{15} = \frac{Q_{tr}}{15} \quad Q_{18}, Q_{15} \text{ は } \text{m}^3/\text{h} \text{ 表示}$$

工場廃水対策

Ruhrverband の Schürmann 氏と共に、組合内にある 2 箇所の工場を訪問し、その前処理施設について説明を受けた。この 2 箇所は、中規模の自動車部品メッキ工場と電気部品工場であるが、双方メッキ廃水が問題となるところである。

この種の金属系排水に対し、ルール水組合では、重金属の排出規制値を、 $\text{Cu } 1 \text{ mg}/\ell$, $\text{Ni } 3 \text{ mg}/\ell$, $\text{Cr } 2 \text{ mg}/\ell$, $\text{Cr}^{6+} 0.5 \text{ mg}/\ell$ として指導を行っている。前処理施設の設置およびその後の管理に当たっては、ルール水組合がかなり指導を行っており、工場の責任者と組合の監督員の関係は、なかなか親密なものに感じられた。

自動車部品メッキ工場の、メッキ廃水前処理施設のフローシートを図-10に示すが、クロム系廃水、シアン系廃水、酸、アルカリ系廃水の3系統に分けて処理が行われている。本工場においては用水が1日当り240 m^3 使用されており、廃水処理施設からは1ヶ月平均50 m^3 の金属汚泥が発生している。1978年の実績では、この廃水処理費が148,300 DMとなっているがこの中には上水および下水道料金が含まれており、その金額が約100,000 DMとなっている。なおこの上水および下水道双方を含めた水の単価は、2,20 DM/ m^3 (250 円/ m^3) となっており、電気部品工場も含めて、廃水量の節約の努力が払われている。発生するスラッジは、ルール水組合のタンク車により回収され、工場廃水汚泥中央処理場に運ばれる。この汚泥処理単価は20~30 DM/ m^3 である。

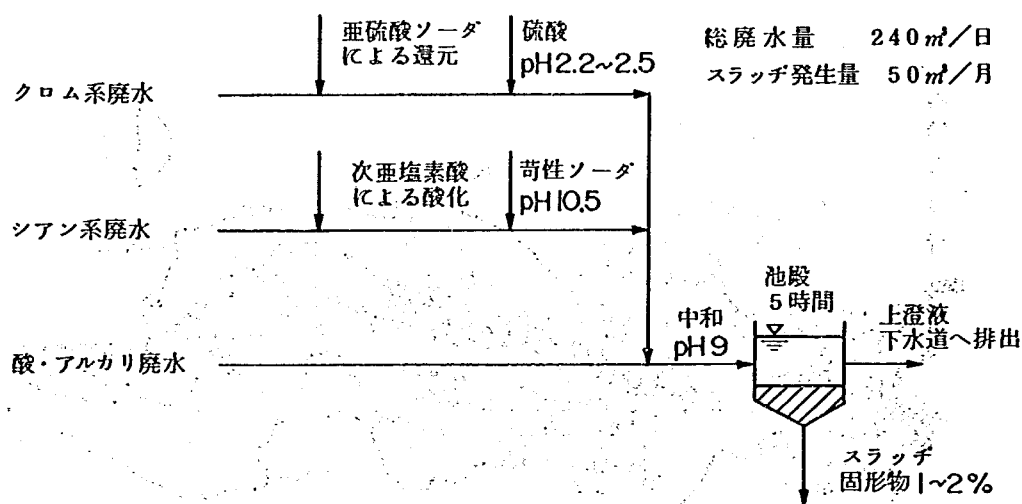


図-10 メッキ廃水前処理プロセスの一例

工場廃水汚泥中央処理場 (Zentrale Industrieschlammmentwässerungsanlage) は1967年にHeiligenhaus市の地に、金属廃水の排出する中小工場の前処理施設の発生汚泥を処理する施設として建設されたものである。この施設の建設および汚泥処分場 (1 ha) の取得に、当時の金額で、825,000 DM (約1億円) がかったが、この建設費は、関係する130工場によって全て支出された。

施設は、汚泥貯留槽と加圧濾過機による簡易なものであるが、汚泥の収集、脱水、埋立の管理作業は、ルール水組合の手により行われている。現在、月に1,200~1,500 m^3 のスラッジが搬入され、脱水汚泥 (含水率75%) は月に150 m^3 生産される。脱水汚泥は埋立地に埋立てられるが、土で被覆されるだけで特別な処理は行われていない。この処理に要する維持管理費は、やはり全て工場側で支払い機構となっており、スラッジ1 m^3 当り20~30 DMが徴収される。なお、汚泥脱水工程から出る脱水濾液は、隣接する下水処理場に排出されている。

2-5 エムシャー水組合 (Emschergenossenschaft)

Emscher河はルール地帯の北部を流れる流域面積865km²の河である。この流域には人口約260万人を擁し、人口稠密地域である他、炭田地帯としても有名であり、典型的な工場地帯となっている。この地域の発展は、19世紀中頃から興きた採炭鉱業によっているが、このためこの地域は著しい地盤沈下地帯となり、(最高20mの沈下をみている)流域の沼沢化また洪水問題が頻発した。この様な背景から、河川流量の制御またEmscher流域の排水の処理を目的として、1904年プロイセン州の特別法によりEmscher水組合が設立された。この水組合は、その構成員を市町村、鉱山会社、および工場とする自主管理組合である。

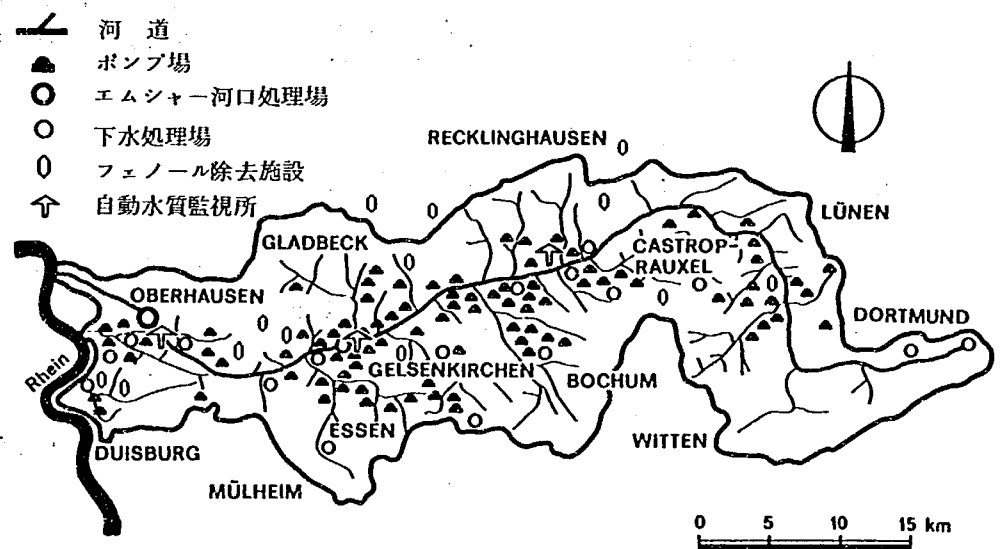


図-11 Emscher 水組合の施設

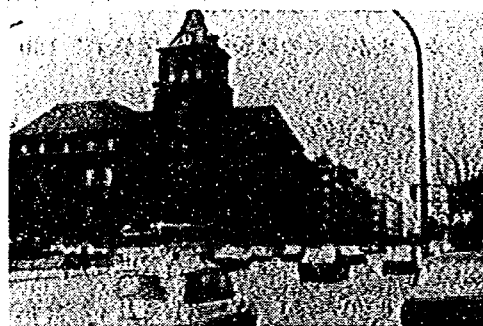


写真-25 Emscher 水組合の事務所



写真-26 エムシャー水組合内の開渠の下水路

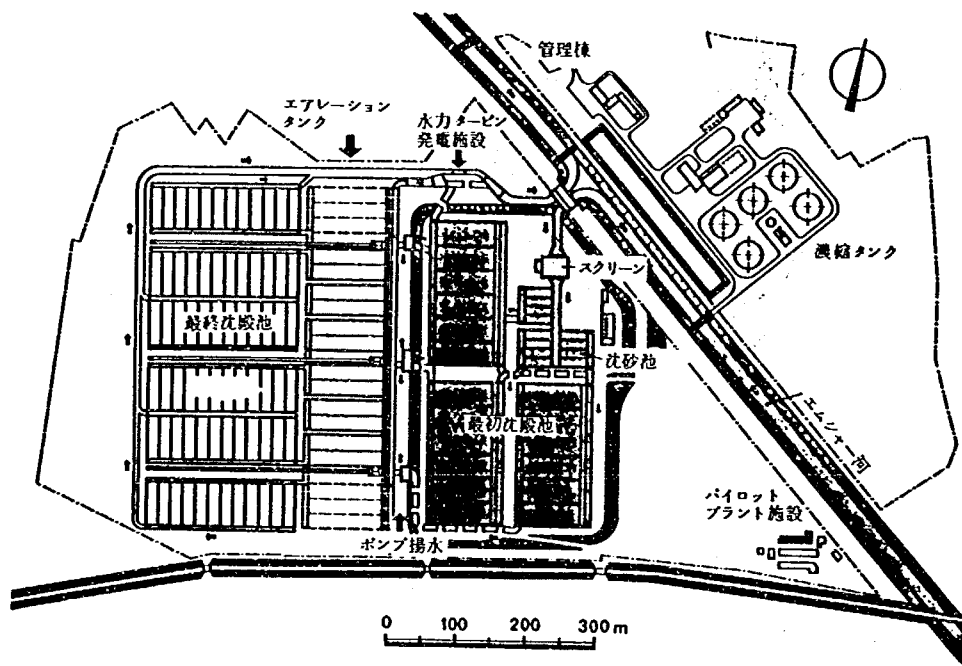


図-12 エムシャー河口処理場

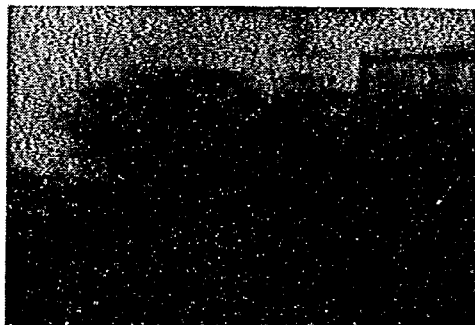


写真-27 エムシャー河口処理場の流入渠および放流渠



写真-28 エムシャー河口処理場最初沈殿池

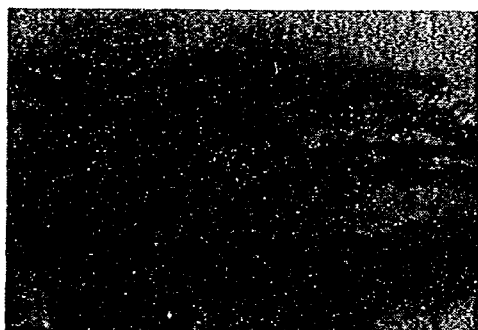


写真-29 エムシャー河口処理場、カバーのついたエアレーションタンク施設

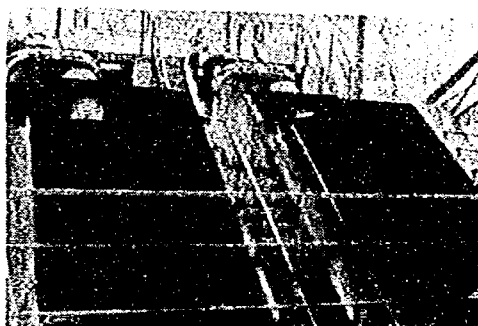


写真-30 エムシャー河口処理場、スクリーンプンプによる汚泥返送

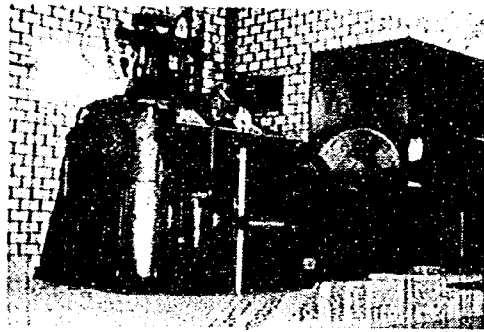


写真-31 エムシャー河口処理場，放流水
落差によるカプラン水車発電施設

エムシャー河は、いわば排水を専用とする河川で、その支流は、流域の下水を排除する下水路となっている。組合の管理するこの排水河川の総延長は、363 Kmあまりであるが、この排水路の掘削、築堤が重要な事業となっている。この区域は、近年もおお地盤沈下が続いている関係もあって、下水路は開渠として建設管理されている。これは、下水路の補修がやり易い、また容易に点検ができるといった利点があるためであり、この地域の特徴に合わせた下水路づくりであると言えよう。なおこれらの開渠下水路の流速は $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上として設計される。また流域内のポンプ場の数は83を数え、流域の約3割の地区がポンプ排水の助けなしには、内水の排除ができない地区となっている。

以前は、このエムシャー河本川に放流される都市下水や鉱山廃水は、河床の堆積を防ぐということで、沈殿処理のみで排出されていた。しかし、最近ではライン河下流の汚濁が国際問題となるまでに至った経過もあって、このエムシャー河の流量全量を生物処理する下水処理場が建設された。この処理場は、エムシャー河口処理場 (Klärwerk Emschermündung) と名付けられ、1976年に生物処理を開始している。処理場の平面図を図-12に示すが、本処理場の最大生物処理能力は、 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (260万 $\text{m}^3/\text{日}$)、通常の処理は $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ベース (180万 $\text{m}^3/\text{日}$) で、約500万人当量の下水が処理されている。雨天時における最初沈殿池の処理能力は $45 \text{ m}^3/\text{s}$ あるが、最初沈殿池までは自然流下で入ってきており、その沈後水がポンプアップされ生物処理プロセスへ送られている。処理プロセスは活性汚泥法であり、BOD-SS負荷は、 $0.5 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{d}$ と若干高負荷で設計されている。(滞留時間2.0時間) 処理水質の設計値は、BODで $25 \text{ mg}/\ell$ 、 COD_{cr} で $70 \text{ mg}/\ell$ である。ここでも曝気は、表面機械曝気式が採用されており、DO測定との連動により、曝気機械の回転制御が行われていた。また、本処理場では曝気槽にFRP製の覆蓋がなされつつあったが、この様な覆蓋はドイツでは珍しいのであるが、やはり附近住民から悪臭の苦情がある故とのことであった。

本処理場では放流水の落差5mを利用して水力発電を行っている。容量700KW、実際の出力600KW程度のKaplan水車であるが、これによる場内電力補填率は7%以下ということであった。

尚、本処理場には汚泥処理施設はなく、上流の18Km離れたBottropにあるEmscherfluß処理場に、濃縮汚泥が圧送されている。このとき汚泥は最初沈殿池汚泥、余剰汚泥別々に濃縮され、初沈汚泥は10%近くの濃度で、余剰汚泥は1%前後の濃度で圧送されている。

Bottrop 市にある中央汚泥処理場 (Zentrale Schlammbehandlungsanlage Bottrop) は、エムシャー河処理場 (Emscherflußkläranlage) に隣接している。中央汚泥処理場における汚泥のフローシートを図-13に示すが、エムシャー河口処理場、エムシャー河処理場および Bernemündung 処理場の3処理場の汚泥を処理している。それぞれの処理場の発生汚泥量および、処理人口は次の通りである。

Emscherfluß 処理場 (初沈汚泥)	800 t	DS/日	1,800,000 人
Bernemündung 処理場 (初沈消化汚泥)	12 t	DS/日	350,000 人
Emschermündung 処理場			
初沈汚泥	300 t	DS/日	2,500,000 人
余剰汚泥	150 t	DS/日	5,000,000 人口当量

一般にこの地域の下水は、大量の石炭鉱業廃水を含有しており、流入水はかなり黒ずんでいる。よって初沈汚泥の中には相当の量の炭じんが含まれており、質は良好とはいえないが、良い燃料となり、初沈汚泥の脱水汚泥は近くにある発電会社に売られている。初沈汚泥が単なる重力沈降により10%から20%の汚泥濃度となるのは、こういった汚泥成分によっているものである。

この汚泥処理で特徴的なプロセスは、余剰汚泥の熱処理と、その熱処理脱離液の嫌気性消化である。熱処理は、220℃、25気圧、30分の条件で行われており、熱処理汚泥は濃縮脱水後、流

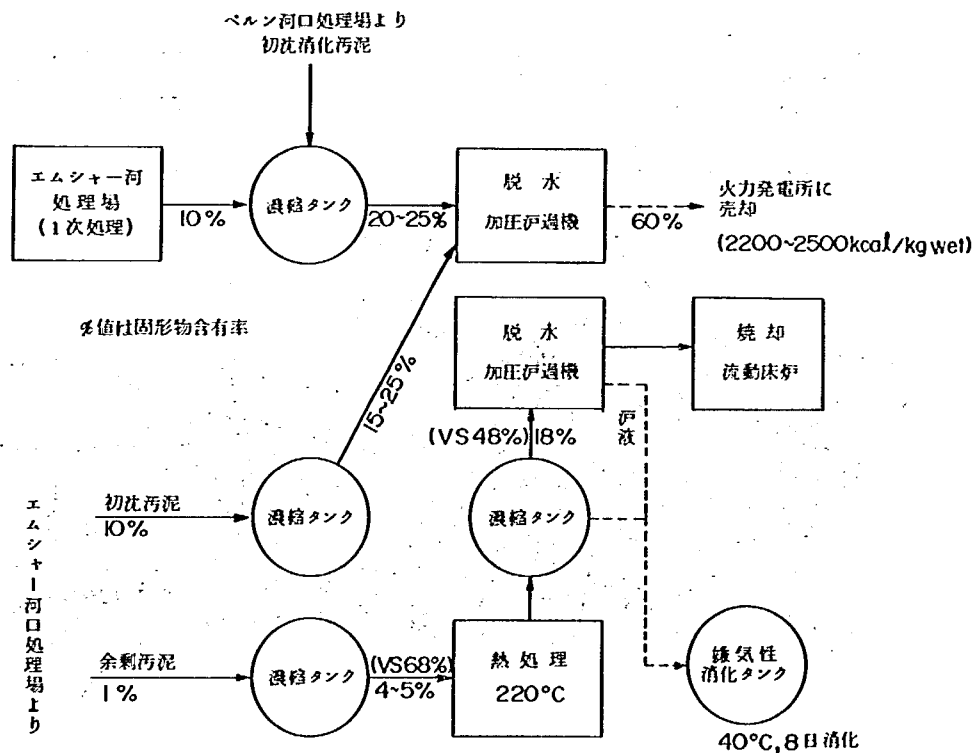


図-13 Boffrop 中央汚泥処理場の汚泥処理フローシート

動床炉で焼却されている。熱処理に必要となる蒸気量は、この焼却炉の熱により生産されることとなっている。熱処理により分離される脱離液はBODにして20,000mg/ℓもの高濃度の有機廃液となっている。ここでは消化温度40℃、消化日数は8日の嫌気性消化法により処理が行われている。VSまたはBODでみた除去率は約70%となっている。以上のように、汚泥を集中処理すること、初沈汚泥と余剰汚泥を別個のフローで処理すること、熱処理分離液を嫌気性処理することなど、今後のわが国の技術開発のヒントとなる点であろう。

2-6 リッペ水組合 (Lippeverband)

リッペ河は、ルール工業地帯の北部を流れるほぼルール河と同規模の流域を有する河である。リッペ水組合は、このリッペ河の河道管理、流域の都市の下水処理場の管理および上水・工業用水の供給をその業務としている。リッペ水組合は、上述のエムシャー水組合とかなり共通した部分があり、炭坑地帯を共有することから、地盤沈下対策としての築堤事業がやはり主要な業務の一部となっている。リッペ水組合の事務所は、エムシャー水組合と同じ建物の中にあり、この組合の成立の歴史もエムシャー水組合と密接な関係をもっている。なお、リッペ水組合は1926年に設立されている。

エムシャー河流域

	Ruhr	253.5 Mio m ³	64%
	Rhein	75.2 Mio m ³	19%
	Lippe	66.8 Mio m ³	17%
		395.5 Mio m ³	

リッペ水組合流域:

	Lippe	47.4 Mio m ³	35%
	Ruhr	89.4 Mio m ³	65%
		136.8 Mio m ³	

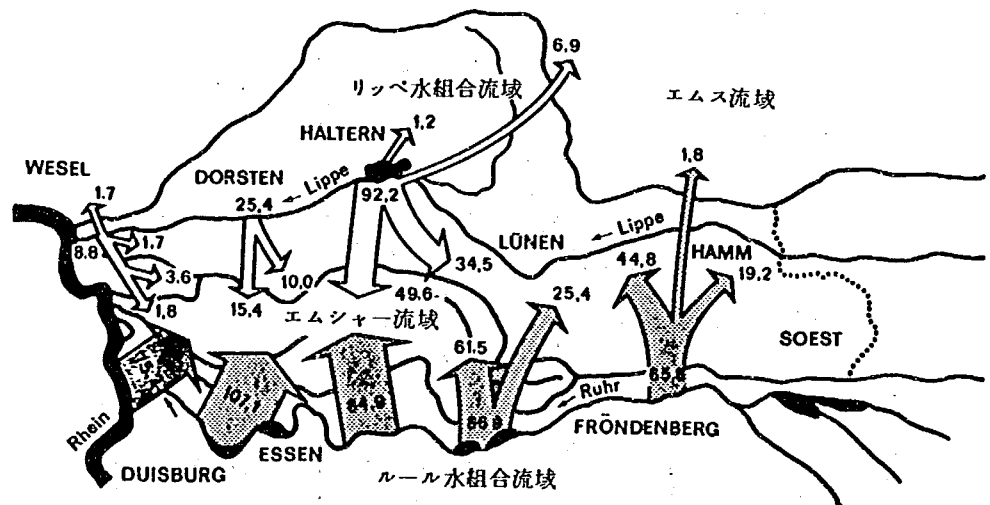


図-14 エムシャー水組合およびリッペ水組合における上水の供給*
・単位は百万m³/年、1973年時点



写真-32 リッペ河 Wesel 水質監視所

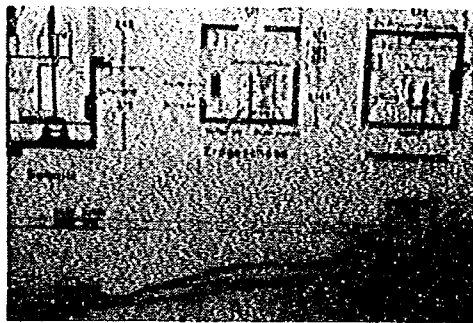


写真-33 水質監視所の平面図、側面図

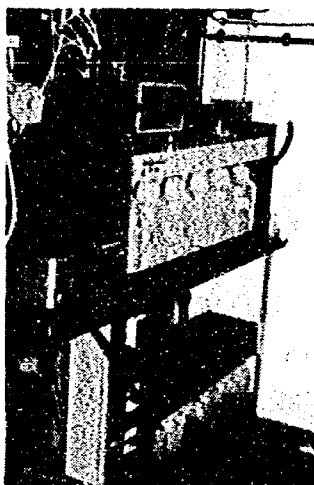


写真-34
水質監視所内
に設置されてい
る採水器



写真-35 試験魚による水質の監視

リッペ河の水利用は、炭坑業、冷却用水などの工場用水が主であり、飲料水としての上水の取得は一部の支流に限定される。これはリッペ河の水質が炭坑業排水の関係で塩分を含んでいることと、Hamm市以下の下流ではかなり汚濁がすすんでいるためである。このため、Lippe水組合の領域の都市用水は、かなりの部分Ruhr河の水源によって供給されている。リッペ、エムシャー両組合内の上水供給の状況を図-14に示す。なおリッペ河下流Halterm市から、かなりの上水が取水供給されているが、これは地下水源によるものであり、この地帯は良質の砂層に恵まれている。

組合では、リッペ河に自動水質監視所を3箇所設けて、河川の水質保全を行っている。このうちリッペ河河口Wesel地区に設けられた自動水質監視所を見学する機会を得たので、紹介する。写真-32はこの監視所の外観であるが、通常は無人運転、定期的巡回保守点検が行われている。写真-33は監視所への水質サンプルの取水の様子を示したものである。取水は連続的に行れており、2時間おきにサンプルが自動採水されると共に、魚類毒性試験の水槽に河川水が通水されている。自動採水されたサンプルは、試験魚に異常が認められた場合、詳しく分析されるが、このために8日間保存される。試験魚の種類は、ドイツ語でGoldfischまたはGoldorfe というもので、ウグイの一種である。(Leuciscus idus melanotus) この試験魚を用いた魚類毒性試験は、最近西ドイツで制定された排水賦課金法の対象となる規制水質の一項目をなすもの

であり、広範に用いられているものである。水質監視所では以上の他に、水温、pH値、伝導度、溶存酸素、濁度が自動的に測定され、記録されている。

リッペ水組合は、合計72箇所の下水処理場で管理している。その下水処理技術については、とくにガスエンジン技術の導入が1950年代から行れており、特筆すべきものであるが、その概要は本報告書資料-5に示したので参照していただきたい。又、ドイツのガスエンジン技術のマニュアルについても資料-4に示した。

・Baudirektor Dr.-Ing. E. h. E. Knop ; Water Engineering in the Area of the Enscher and Lippe Rivers, 1970.

2-7 その他の水管理組合

ニース水組合(Niersverband)は、西ドイツ西部を流れオランダのマース川へ注ぐ中河川ニース河の流域を管理する組合である。本組合の特色ある事業としては、下水汚泥の農業利用があげられる。この分野ではドイツでも屈指の先進団体であり、今まで本組合で行れてきた汚泥の農業利用に関する技術開発および事業の経済性の詳細検討は、他の組合、諸都市の範となっている。ニース水組合の活動については、本報告の資料-5に紹介してあるので、詳しくはこの資料を参照して載きたい。

エルフト水組合(Grosser Erftverband)は、比較的新しくできた組合で1958年に成立している。この組合の事業は、①地下水の保全 ②上水道事業 ③下水処理場の管理 ④Erft川の保守管理である。エルフト水組合が管理する区域は、褐炭(Braunkohle)の採掘場が何ヶ所もあり、大規模な露天掘りが行れている。このため地下水の渇涸という問題と常時隣り合っており、市町村の枠を超えた地下水保全が組合の重要な仕事となっている所以である。エルフト河流域の都市の上水は、全て地下水を取水源としており、組合内の最大都市ケルン市においても、ライン河の伏流水を取水した後、緩速河過にかけ、上水源としている、地下水は浅層

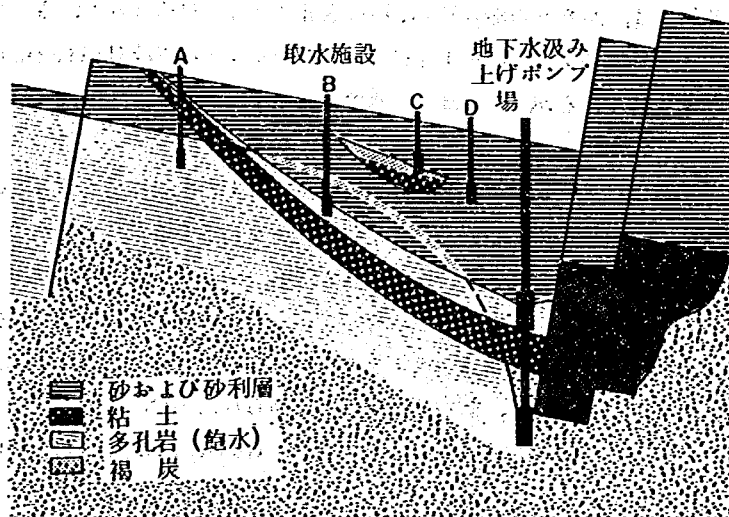


図-15 地下水汲み上げによる影響模式図

と深層のものがあるが、良質の上水源となるのは浅層の方で、深層のものは塩分、鉄分が多い。よって採炭事業のための地下水位を下げる場合、または、地下水の監視のためにボーリングを行う場合、この層の相互流動がおきないように配慮せねばならない。又、地下水位の低下によって、うけた各取水事業体の損害は採炭事業所が支払いを行うことになっているが、この様な地下水に係る問題を最小限に留めるため、エルフト水組合は、地下水の監視、監督および取水事業を含めて、広範な活動を行っている。

さて、採炭現場からは、毎日大量の地下水が注み上げられエルフト河に放流されている。これは素人目にも一見もったいないように見え、また現にケルン市などの大都市からはこの地下水を上水添に用いた由の申し入れがあったということである。しかし、エルフト水組合の技術者は、①現在ライン河伏流水を用いていることにより地下水の清澄度の監視が行われている。②これを放棄した場合、再び地下水の清澄度を取り戻すことは難しい。③採炭事業は永久に続くものではない。と判断してこの要求を退けているそうである。ここにみられるように、ドイツにおける水利用、とくに飲料水としての上水源は地下水によっている場合が多く、地下水保全に関するドイツの水道技術者の心意気を深く感じたものであった。

LINEG 水組合は、その正式名称を Lingsniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft といい、これをそのまま訳すと、ライン河下流左岸排水組合ということになる。LINEG 水組合の専らとする仕事は、区域内の排水事業である。この区域は元来低地であることに加えて、瀝青炭 (Steinkohle) と鉄鉱石の採掘場が多数存在することにより、地盤沈下がおき、区域の排水に大きな問題が生じた。現在、組合が管理している下水および鉱業廃水処理場が 20 箇所、ポンプ場が 120 箇所 (河川ポンプ場 58 箇所、地下水揚水ポンプ場 21 箇所、下水ポンプ場 23 箇所、雨水ポンプ場 8 箇所) ということからも、この区域の排水事業の重要性が伺える。又、本組合では、都市下水以外にも、例えば炭坑業より排出される廃水の処理もその業務の一部となっている。

アガー水組合 (Aggervverband) は、上水の供給がその事業の大部分を占める水組合である。歴史的にはアガー河の洪水調整用のダムを建設する他、水力発電もその事業の一部となっていたが、第 2 次大戦後この地域に大量の移民がなされ、またチフスなどの悪疫も流行したため、上水道の整備が、アガー水組合の手で急がれることとなった。上水のダム湖としては今まで Genkel ダム (年間供給能力 8 百万 m^3) があったが、1975 年 Wiehl ダム (年間供給能力 22 百万 m^3) の建設が完了し、組合内の上水供給は安定したものとなった。現在この二つの上水源から、広域的に上水供給のネットワークが張られ、一部余剰となる分は、他の水組合に売ることが考慮されている。

Wiehl ダムの貯水容量は、31.5 百万 m^3 、その集水域の面積は 46.4 Km^2 である。Wiehl ダム上流には小都市が散在するが、これらの排水は遮集され、ダムの左手に新しく建設された Ufersmühle 処理場で処理され、ダム下流の河川に処理水が放流されている。この処理場の規模は、人口当量 19,500 人であり、計画水量は 1,130 m^3 /日となっている。また都市下水以外にも、農地から出る排水 (雨天時) も一部受け入れられている。処理場はダムの地形の落差を有効に利用する意図から 2 段の散水床法が設計されている。

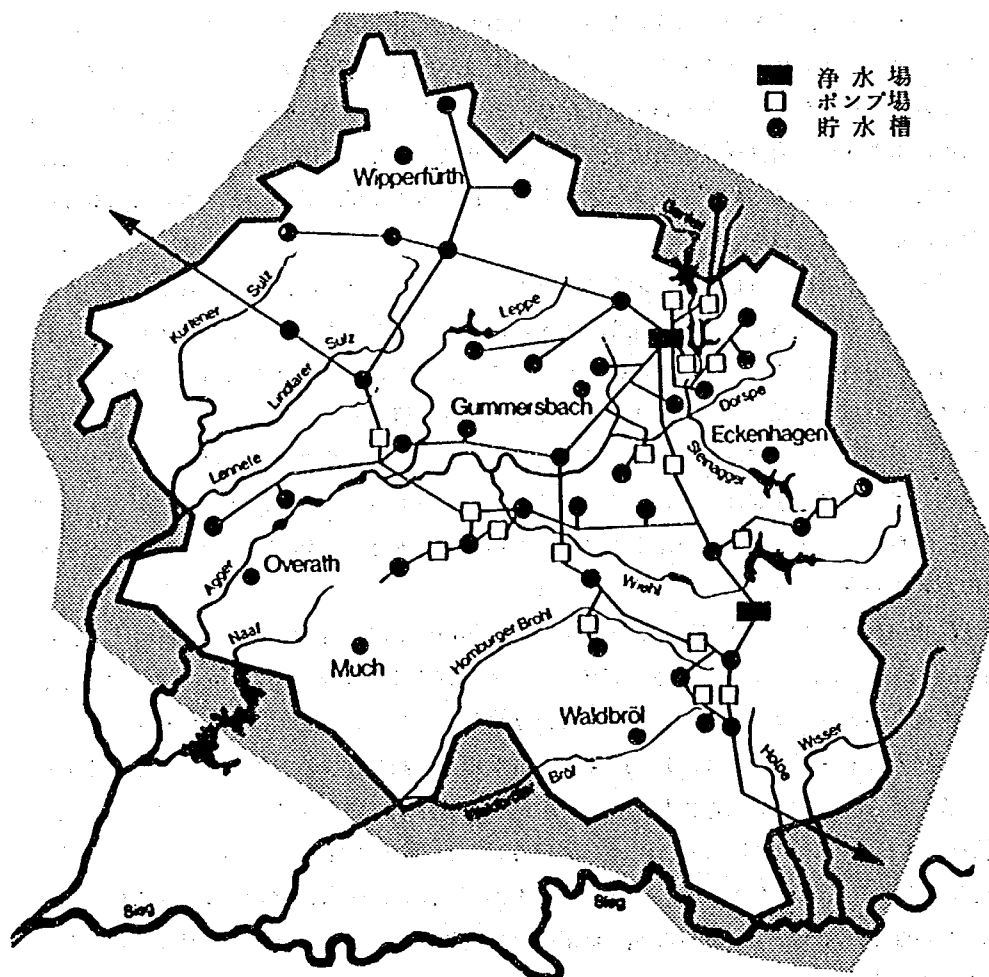


図-16 アーゲン水組合における広域上水道の水道本管網

2-8 州水管理機関アーヘン支局 (StAWA Aachen)

州水管理機関アーヘン支局は、ノルトライン・ウェストファーレン州の機関であり、アーヘン地区の水および廃棄物に関する事業の技術的な監督を行っている機関である。州内にはこの州水管理機関支局が7つあり、原則として流域別にその監督の領域を分割している。ノルトライン・ウェストファーレン州 (Land) はこれとは別に、5つの行政区画 (Bezirk) に分画されているが、この水および廃棄物に関する州の行政上の機構の関係を図-17に示す。州の行政組織は、州 (Land)、県 (Bezirk)、郡 (Kreis)、市町村 (Gemeinde) という順序の関係となっており、図の左側はこういった行政組織の中で、水および廃棄物行政の責任管理者を示したものである。図の右側には、州の実務部局を示してある。この図の中には、こうした機関内に就業している職員の数を示したが、約700名の職員が州または県の機関で、水および廃棄物行政に従事していることとなる。

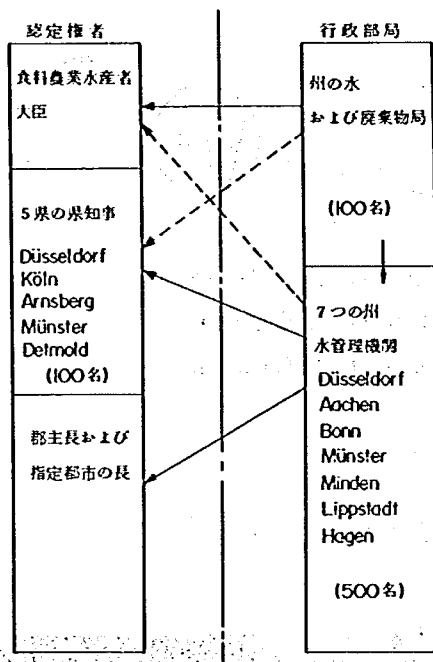


図-17 水および廃棄物行政にかかわる州内行政機構

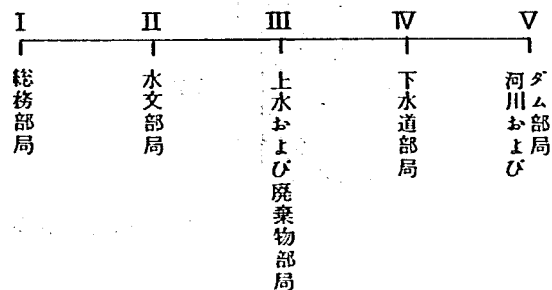


図-18 州水管理機関アーヘン支局 (StAWA Aachen) の機構

さて、StAWA Aachen が監督する領域は、Ruhr河流域の約4,000km²である。StAWA Aachenでは80名の人員が働いているが、その部局は、図-18に示すように5つに分かれている。このうち下水道部局の人員は27名、12名が技術監督員、他の15名が水質試験所員となっている。この水質試験所は、1981年1月に施行された排水賦課金法に基づく排水水質検査を行うことを主たる業務とするもので、最近になって特にその人員が補強されたものである。排水賦課金法については本報告書の資料-2に詳述してあるので、参照して戴きたい。以上の関係から、州レベルで下水道行政に携っている人員は約200名程度であることが推定される。

StAWA Aachen の管轄下の下水処理場数は、2,000人以上の人口当量であるものを対象として、都市下水処理場150箇所、工場廃水処理場90箇所となっている。さて指導監督の内容であるが、単にマスタープランのチェックだけでなく、市町村またはコンサルタントが書きあげてきた図面に対して逐一目を通し、かなり細い点まで修正を行っている。従って各技術者は、自分の担当した箇所には精通しており、施設の見学に同行願ったときには、自分が技術指導した点などを細く説明していただいたものである。又、施設の建設時においては、その進捗状況をStAWAの技術者がチェックをしており、現地定期的に出席して説明を受けている。

下水道施設の建設については、州から多額の補助が出る。処理場施設においては、1978年より工場廃水起源の部分を除いた建設費の80%が補助されることとなっている。又管渠については、市街部より処理場までの本管が補助対象となっており、管径により定額が補助される。これらの補助金事業について、StAWAは実質的なチェック機関となっており、StAWA Aachenの管轄下の下水道事業の年間の補助金高は、約5千万DM(約60億円)となっている。

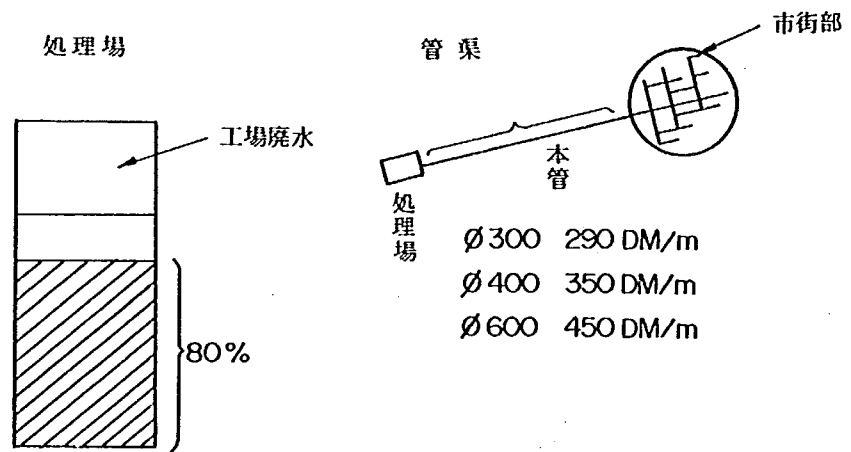


図-19 処理場および管渠の建設に係る州補助金

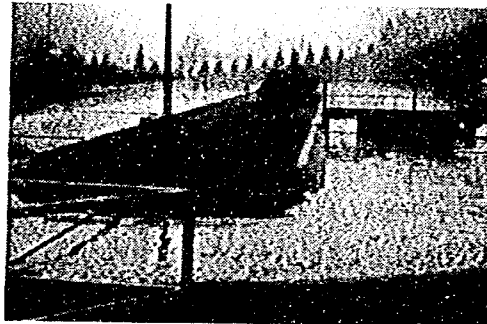


写真-36 Mausbach 処理場, オキシデーションディッチ施設

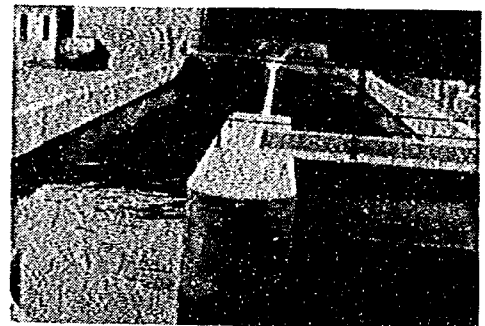


写真-37 Gressenich-Hamich 処理場, オキシデーションディッチ施設



写真-38 Gressenich-Hamich 処理場, ディッチと返送汚泥ポンプ

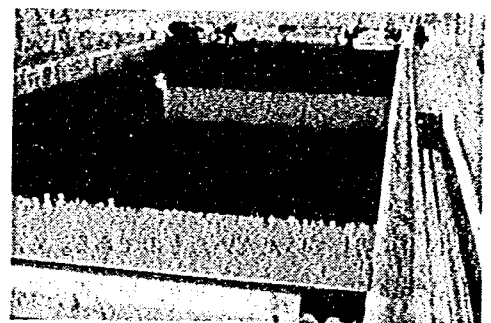


写真-39 Gressenich-Hamich 処理場, 最終沈殿池

以上に、州機関に係る下水道行政の概要を示してきたが、州間の独立の傾向が強い西ドイツでは、州が異なれば、全く行政機構が変わってしまう。例えばバイエルン州では、StAWAに相当する機関はなく、又、補助金のつけ方も全く違ひやかたである。よって以上の概要は、ノルトライン・ウェストファ州のみにあてはまることを明記しておく。

StAWA Aachen の管轄下の市町村においては、下水処理場を持たない都市は殆どない様になっているが、その処理が一次処理であったり、また不完全な生物処理である箇所は多い。また施設が既に老朽化してきている箇所もかなりみられ、多くの市町村で、下水処理場の増設計画、またはつくり替えの計画をもっている。最近では、こうした都市を2、3箇所まとめ、共同の処理場の建設の例が多くなってきているが、州当局も経済性の観点から、この様な下水道計画を大いに推奨しているようである。

さて最後にStAWA Aachen 管轄内の小規模下水処理施設の例を示す。写真-36に示すものは旧来のオキシデーションディッチであり、処理人口4,000人の施設である。この施設には作業員が1人ついており夜間は無人運転である。また消費電力等は1㎥当り1KWとかなり高くなっているが、やはりDOコントロールのない場所では、こういった値が出るようである。写真-37に示すものは、最近に建設されたオキシデーションディッチである。流入水量は1日約1,000㎥/日、消費電力量は250KW h/日となっている。写真でわかるようにかなりコンパクトに設計されており、ディッチ容量は400㎥、平均エアレーション時間は約10時間となっている。このようにエアレーションのタイプとしては、ディッチ型ではあるものの、設計諸元は活性汚泥法と大差ないものも、ドイツでは多く造られている。

資 料 目 次

資料-1	アーヘン工科大学に滞在して	47
	土木技術資料 Vol. 23 ㍻ 8 1981. 8	
資料-2	西ドイツにおける排水賦課金法の施行とその影響	51
	(カール・ヒベルン著)	
	下水道協会誌 Vol. 18 ㍻ 201 1981. 2	
資料-3	ドイツおよび欧州諸国の下水道事業見学報告書	57
	(独 文)	
資料-4	西ドイツにおけるガスエンジン技術のマニュアル	71
	月刊下水道 Vol. 4 ㍻ 3 1981. 3	
資料-5	西独における汚泥の処理処分	75
	再生と利用 Vol. 4 ㍻ 13 1981	
資料-6	一人の日本滞在者の見聞とその印象	85
	(カール・ヒベルン著)	
	土木技術資料 Vol. 23 ㍻ 7 1981. 7	

APPENDIX A

THE FOLLOWING TABLES GIVE THE VALUES OF THE
FUNCTIONS $f(x)$ AND $g(x)$ FOR x FROM 0 TO 10.

THE VALUES OF $f(x)$ ARE GIVEN IN THE FIRST COLUMN

AND THE VALUES OF $g(x)$ IN THE SECOND COLUMN.

THE VALUES OF $f(x)$ ARE GIVEN IN THE FIRST COLUMN

AND THE VALUES OF $g(x)$ IN THE SECOND COLUMN.

THE VALUES OF $f(x)$ ARE GIVEN IN THE FIRST COLUMN

AND THE VALUES OF $g(x)$ IN THE SECOND COLUMN.

THE VALUES OF $f(x)$ ARE GIVEN IN THE FIRST COLUMN

AND THE VALUES OF $g(x)$ IN THE SECOND COLUMN.

技術紀行

西独アーヘン工科大学に滞在して

佐藤 和 明*

はじめに

昭和54年10月から55年9月まで一年間、筆者はアーヘン工科大学上下水道研究所に滞在する機会を得た。この研究所の所長であるペーンケ教授は、大変日本という国に興味をもっておられ、日独技術者の交流をぜひ行いたいという意向であった。幸運にも、そのトップバッターとして渡独することとなったが、独語など学校卒業以来ほとんどお目にかかっていない筆者は、大分狼狽したことを憶えている。泥縄的な準備もつかの間、ヨーロッパの地へ降り立ってしまったわけであるが、下水道技術を志向する技術者、研究者にはある種の共通感覚があるせいか、言葉以上にわかりあえるものがあり、肝胆相照らす会談をたびたび持てたことは幸いであった。一年間の滞在中、かなり欲張って周辺諸国まで技術見学を行ってきたが、何よりも増して印象に残っているのは、同世代の土との親交である。今回、こういった一般的な印象も交えながら、紙面の許すかぎりアーヘン市における研究生活の一端を紹介しようと思う。

1 アーヘン市について

アーヘンといっても、ピンとくる人は少ないかもしれないが、ヨーロッパの父といわれるカール大帝が西暦800

年に都を定めたところとして名高い。アーヘン(Aachen)という名はラテン語で水を意味する Aqua からきているようで、ヨーロッパでは珍しく温泉の出る地である。温泉があり風光明媚であるという地の利は、カール大帝以来この都市の発展の基礎となったわけであるが、現在でも大学を抱える文化都市として落ちついた趣をみせている。アーヘンでは毎年ヨーロッパ諸国間の会議や国際馬術競技が開催されるが、このような背景によるものである。

アーヘン市の人口は約24万人であるが、ベルリンを除いて、100万人を超える都市がハンプルグ、ミュンヘンしかないドイツでは、れっきとした大都市と考えられる。アーヘン市の市街図を図-1に示すが、典型的な中世の都市の輪郭を示しており、中心にはカール大帝ゆかりの聖堂(Dom)があるほか、古い城壁など処々に歴史の遺産が残されている。

アーヘン市を特徴づけるのは、まず学生の街であるということであろう。街には、他都市よりも多く黒人、黄色人が見られるが、その大半は学生である。こうした学生を対象としてか、あるいはインドネシアを植民地に持ったオランダと境を接するせいか、中国およびアジアの食料品の素材を売る店を見つけることができた。アーヘンからアウトバーンを60km程とばしていくと、日本

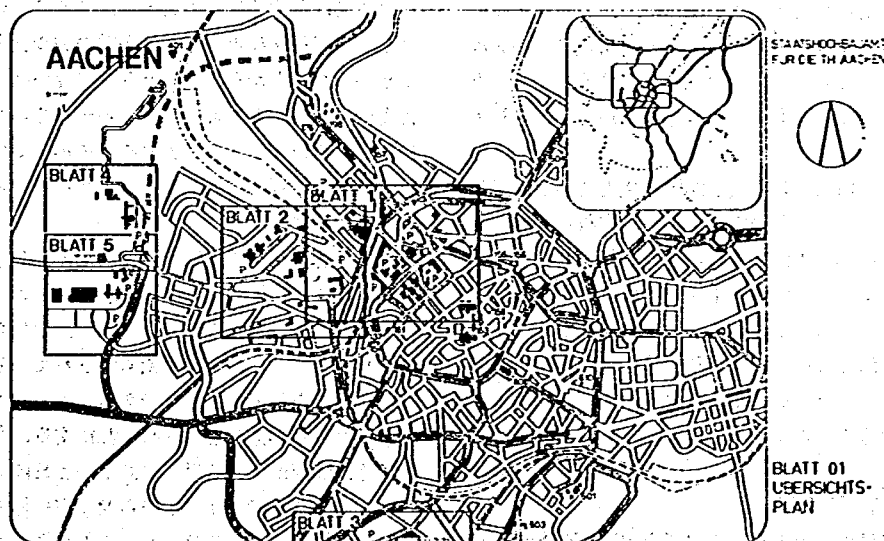


図-1 アーヘン市の地図と工科大学の建物(■印)

*建設省土木研究所下水道部汚泥研究室主任研究員

Kazuaki Sato: One Year Stay in Technical University Aachen, West Germany

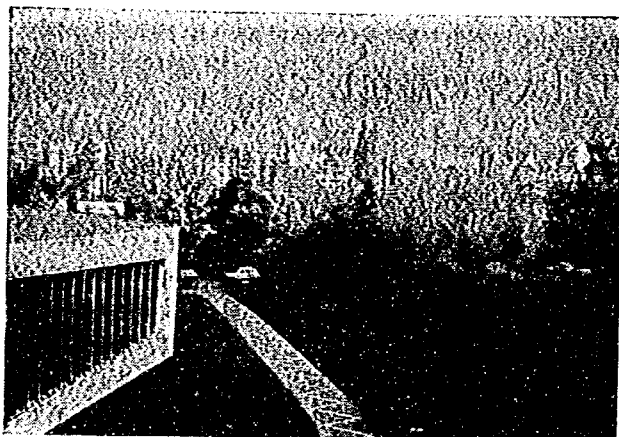


写真-1 研究所のオフィスからアーヘン市街を眺む

人街で有名なデュッセルドルフ市に着き、そこでは大体の日本食料品が手に入るが、値段が高いので不評である。そこへいくと、この東洋物産品店ははてごらで、よく利用させてもらったものである。豆腐、もやしまで揃っていたが、豆腐が中国語でも Tofu であるとは始めて知った。

もう一つの特徴として国境の街であることがあげられる。車で10分も行くとオランダまたはベルギーとの国境であるが、通関では身分証明書の呈示を求められる。ドイツでは土曜日は午後2時になるとほとんどすべての店が閉まってしまうのであるが、オランダでは6時頃まであいている。また、煙草や軽油などベネルックス諸国の方が安いものがあり、これらのものを買い求める人々で、土曜日には通関所に車の列ができていた。また、オランダに住んでいながらアーヘンに働きにきている人もかなりいるらしい。私の近辺でも研究所に化学技術者として2人ほどその例を知っている。聞けば、アーヘン市は第2次世界大戦中かなりの激戦地であり、街の3分の2は破壊されたという。こういった歴史も今は過去のものとなり、落ちついたしかもユニバーサルな地方都市として発展してきている。

このアーヘン市にも日本人が20人程住んでいる。半分が学生であり、あとは私のような在外研究員の家族である。しかし圧倒的に中国系の人が多く、最初2・3人に話しかけてみたが、「私はチャイニーズだ。」と言われて、同胞を見つける勇気をなくしてしまった。ひょんなことから日本語で話している夫妻を見つけ、アーヘンには日本人ゲマインシャフトがあることを知ったが、すでに滞在4カ月目を迎えた時であった。

2 研究所での生活

アーヘン工科大学上下水道研究所(Institut für Siedlungswasserwirtschaft)のメインオフィスは大学構内にあるが、その他にサブオフィスと試験分析所がある。職員は総数約30名、しかしそのうち州政府から給料が出ている

正職員は10名位であとは研究予算による雇用という制度となっていると聞いた。研究所の組織は、所長の下に2人の主任研究員(Oberingenieur)、実験室長、それから、ディプロムエンジニア(Diplomingenieur)という日本でいえば、大卒または修士卒にあたる称号を持っている研究員10名程度、その他化学分析技術者、秘書という構成となっている。しかし、その職制は必ずしも日本のように部室単位に分かれているものではなく、研究所長であるペーネケ教授の下に、直接研究員に指示が下るという形式である。また、特色といえることは、研究の主力となる研究員の年齢が比較的若く、20代から30代の前半という構成になっている。というのは、この研究員達は6・7年研究所で働いた

後、ドクター称号をとり、外へ出ていくのがならわしとなっているからである。ドイツでは、他の西欧諸国でもそうであろうが、ドクター称号が一般の社会でかなり重きが置かれ、数年社会で働いた後再び大学に戻りドクターアルバイトをする例も多い。

上下水道研究所は、大学の研究所という一般のイメージとは違って、かなり実用的な研究調査が行われている。というのも、西ドイツは10の州よりなる連邦国であり、各州の自治はかなり強く、上下水道、水質汚濁に関する事業、調査などは、すべて州の権限内で行われていると考えてよいからである。アーヘン市が属するノストライン・ヴェストファーレン州はルール地方など工業都市を抱えるドイツでも中核の州であるが、水問題に関する調査研究のかなりの部分が大学の付属の研究所に委託されている。アーヘン工科大学の上下水道研究所は、州内の水質汚濁に関する屈指の研究機関であり、州政府はもとより、連邦科学技術省からも多額の調査費を受けている。こういったことから、この研究所の性格は、多分に土木研究所下水道部と共通したところがある。当研究所で行われている研究テーマを表-1に示すが、2段生物処理というのが、最近の重要なテーマである。この技術については後に詳述する。

さて、この研究所の同僚達は実に良く仕事をする。というより非常に忙しそうである。というのは彼等な研究員であるほか、講義の準備をしたり、学生のレポートの面倒をみたりする助手の役割も任されているので、午前中は学生への対応で手一杯である。こうした中で、10分でも空き時間があると、一心不乱に文献に目を通して、彼等には頭が下がる思いである。これは、ひとつには、とにかく5時までに仕事を終らせて家に帰るということに第一義に考えているせいでもあるのであるが、ドイツ人のエネルギー的な集中力というものに何回かはとさせられることがあったのである。

研究所の始業時は8時である。ヨーロッパの大部分の

表-1 アーヘン工科大学上下水道研究所における研究テーマ

1. 2段生物処理法 (吸着+活性汚泥法) に関する基礎的研究
2. Krefeld 処理場における2段生物処理法の適用
3. 2段生物処理における純酸素法の適用に関する研究
4. Krefeld 処理場における計測制御装置の開発調査
5. Würselen/Euchen 処理場の基本設計
6. 難分解性物質除去に関するパイロットプラント実験
7. GC-MS による難分解性物質の同定に関する研究
8. 3段生物処理法 (吸着+散水汚床+活性汚泥) に関する研究
9. 凝集沈殿過法による高度処理に関する研究
10. 排水賦課金法の規制水質項目としての COD_{Cr} の分析法に関する調査
11. 繊維工場排水の家庭下水との混合高度処理

国がサマータイムを施行しているの、夏期(4月~9月)には実際には7時始まりとなる。一般の工場などでは、もっと始業時刻が早いと聞いているが、冬は暗いうちから、また夏早朝から仕事が始まることとなる。日本人が残業、居残りの夜型に対して、ドイツ人の勤勉は朝にあるのであろうか。研究室の活動をみていると午前中がピークであり、1時頃に始まる遅い昼食を終えた後は、なんとなく張りつめていた空気もゆるみ、コーヒーを飲みながらの雑談に花が咲くこともある。イラン問題など政治的なものが良く話題となっていたが、ドイツの経済相が日本の実情を見てかえり、「もっと我々ドイツ人は働かなければならない。」と国民に呼びかけたことはかなり反響があったらしく、研究室でもよく引き合いに出されたものであった。10年前はカメラ、そして現在は自動車の市場を日本に脅かされて、誇高きドイツ民族の一部には心穏かでない感情を遠い東洋の島国に向けつつあることも事実である。

3 2段生物処理の実験

筆者が参加していたプロジェクトは、Atrok という俗称がつけられていたが、前段が高負荷活性汚泥、(Adsorption Prozeß)、後段が散水汚床 (Tropfkörper) の2段生物処理法である。2段生物処理法は本来工場废水など難分解性物質を含みかつショックロードの出易い排水に対して開発されてきたものであるが、アーヘン工科大学では、1)生物処理にかかわる処理時間が短縮でき、したがって建設費が減らせること、2)処理にかかわる電力量が減らせること、3)十分な硝化を行う処理条件の設定が簡単となること、など新しい観点からこのシステムの開発を行っている。この新式の2段生物処理法の第1段目は、かなり高い負荷の活性汚泥法で、BOD 負荷にして約 6kgBOD/kgMLSS・日、滞留時間は30

分というのが設計値となっている。通常の活性汚泥法に比べ、10分の1の規模であるが、初期吸着の作用により、それでも BOD の除去効率は60~70%の比較的高い水準を示す。2段目には低負荷の活性汚泥法または散水汚床がくるが、硝化を目的として、BOD負荷が0.15kgBOD/kg・MLSS・日が一般的にとられる。筆者が参加したプロジェクトは後段が散水汚床のものであったが、BOD負荷は0.4kgBOD/m³・日とかなり高い値で実験が行われた。実験装置のフローを図-2に示す。当初は沈砂後の処理場流入水を直接実験に使用していたが、ポンプが異物によりたびたび閉塞したりしたため、'80年3月からの実験では最初沈殿池流出水を使用した。しかし実施設では最初沈殿池を省略することも十分設計として成り立ちうるということである。

実験用のパイロットプラントは、アーヘン市の下水処理場構内にある上下水道研究所の実験分析室前に設置された。プラントの概要を写真に示すが、沈殿池関係はあり合わせのものを持ってきて組み合わせたものである。というのは、この Atrok プロジェクトは、まだ予算的な裏付けがないもので、仮設のプラントであるためである。このプラントは、研究室直属の工房から職人がきて、1週間程度で組みあげてしまったものであるが、実験中の機器の故障に対しても電話一本で専門工が飛んできてくれるので、本当に助かったものである。この工房は、いわゆるドイツの職人制度の流れを受けつつものであるが、

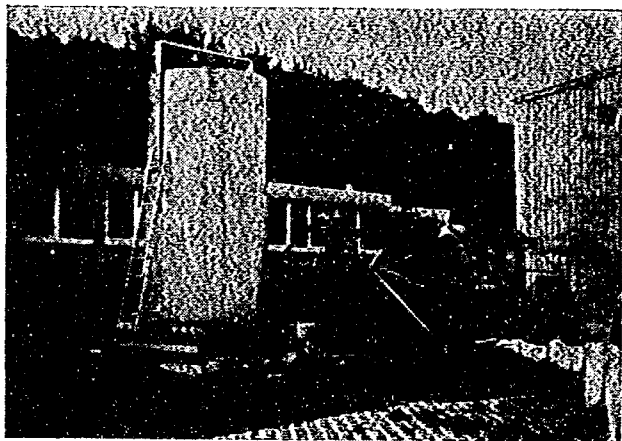


写真-2 2段生物処理パイロットプラント

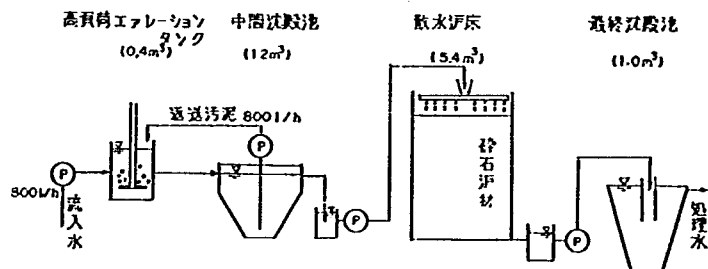


図-2 2段生物処理パイロットプラントの概要

大学の機関の中でもれっきとした役割を果たしている。

Atrok プロジェクトには、1人の土木出身の研究者と、手伝いの学生そして筆者が自ら手を下した訳であるが、毎朝、研究所へ行く前に2,3時間プラントの世話をすることが日課となった。といっても、24時間サンプラーのセット、汚泥の引抜き、その他機器の点検など、かなり単純労働が主であった。そのうち暇にまかせて、活性汚泥の呼吸速度の測定や顕微鏡による検鏡作業などをやってみたが、実験室にいる分析技術者からたびたび「おまえは俺達と同じ化学やか?」と聞かれたものである。「いや日本の衛生工学者は、自分である程度の化学分析もやるし、基礎的な生物学の知識ももち合わせている。」などと多少煙に巻いた答をしていたが、彼等にとっては、そんなヘテロな技術者はあり得ないことなのである。この研究所でも土木技術者と化学技術者の役割分担は非常にはっきりしていて、決してお互いの領分は侵さないことになっている。確かにメインオフィスで仕事をする研究員にとっては、実験室に入りびたる時間的余裕はとうてい与えられてはいない。しかし、毎月実験室から出てくる莫大なデータを基にきっちょうめんなレポートをつくり、また、下水道一般の技術についてはびっくりする程、深い知識を持っている研究員も、水質データの解釈や実験のすすめかたの議論となると何となく焦点がぼけてくるというのが、筆者の偽らざる感想であった。

3月から始まった実験も4月を過ぎ5月ともなるとかなり調子が出てきた。硝化率も50%にならんとしていた時であったが、突然散水汚床から小さな虫が大発生した。実験担当者は、何だ何だと右往左往していたが、そのうち、これが有名な汚床蠅であることがわかった。日本では散水汚床法はすでに過去のものとなりつつあり、我々下水道技術者もお目にかかる機会は少なくなったが、低廉な管理費と、高い硝化能力を特徴とするこのプロセスは、もう少し検討の対象となっても良いものと感じた。

おわりに

ドイツはイギリスに次いで近代下水道が早くから発達

した国であり、ここ10年来下水道整備に力を注いできたわが国とは比較にならない程、古い歴史というものを持っている。こうした伝統の上につくりあげられてきたせいか、下水道の技術や施設を見聞するにつけ、なるほどと思わせることが数多くある。また簡素で機能的であるという設計思想は、施設のすみずみにまで行き渡っている。最近では、省資源、省エネルギーへの要請がドイツの下水道界でもその重要性を増しているが、安価であるということを追求し続けてきたドイツ型技術の合理性の元においては、こうした基盤はすでに出来上がっていたとみてよいだろう。処理人口1人当りの処理費や消費電力量に関して、アーヘンの研究所では毎日のようにその議論がなされているし、現場の技術者も驚く程そうした数値を頭の中にたたきこんでいる。

今回、筆者の帰国と同時に、アーヘン工科大学からカール・ヒベルン氏を下水道部に迎え入れることができた。氏には滞日中数回、ドイツの技術について講演してもらったが、日本側技術者の反響はかなりのものであった。やはり低廉な管理費を厳しく条件付けて開発されてきたドイツ型の技術に、大いにヒントがあったのではないと思われる。また、ヒベルン氏自身、日本の下水道技術、とくに独自に開発された高度処理プロセス、また、防音防臭などの処理場環境対策に大変に興味があったようである。こうした技術以外にも、奥さんも共に、すっかり日本の生活様式が気に入る、昼、ふとん、こたつ等、その合理性を讃えること日本人以上となってしまったのは、我々としてはほほ笑ましい限りであった。

1年間にわたるアーヘンでの滞在、またそれに続くヒベルン氏家族との親交、この間緊張したり、腹をたてたり、感心したり随分いろいろなことがあったが、これらのことは現在も生々しい余韻として残っている。そのうえ、書棚には在独中集めた数々の貴重な資料が未整理のまま山と積まれ、まだまだドイツ滞在を過去のものとして語れないというのが現状である。

最後となりましたが、渡独に当たっていろいろ御尽力いただいた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

「報 告」

西ドイツにおける排水賦課金法の施行と
その影響

Karl Hibbeln*

訳 者: 佐 藤 和 明**

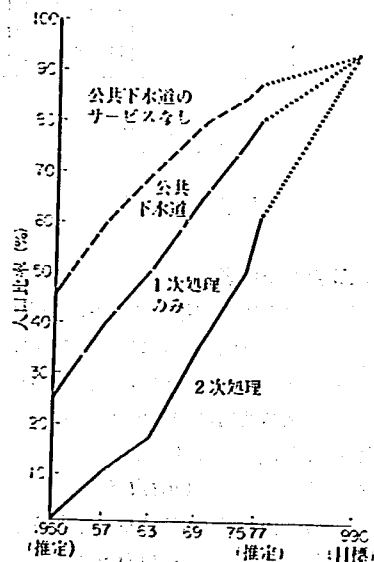
1. 法律制定の背景

西ドイツ(ドイツ連邦共和国)においても今世紀への変わり目に生じた工業化およびそれに伴う人口の集中は、水質汚濁の問題を深刻なものにし、時には疫病の蔓延の原因ともなった。この時点をきっかけとして、排水の処理技術が開発され順次実用化されてきており、現在なおこれらの多くのものが都市下水の処理技術として用いられている。

西ドイツの水質汚濁防止体系としては、例えば1957年制定の連邦水法がある。この法律によれば、排水は公共用水域に排出される前に処理されなければならないと定められている。しかし、地方の行政機関に水質の管理を行うための十分な人員、予算が不足していたこと、また、規制の自由裁量の範囲が広く、時にかなり高濃度の排水の放流を許していた事実などがあった。このようなことから、法の制定にもかかわらず、排水はしばしば無処理または不十分な処理のまま放流されてきた(図-1)。

約10年ほど前から、環境保全について多くの人々の関心を集めるようになり、環境保全は政治上の課題ともなってきた。現在、水質保全に対する最も重要な法律は次のものである。

1. 連邦水法(Wasserhaushaltsgesetz, WHG)
1957年7月27日公布, 1976年4月26日第4次改正
公法
2. 排水賦課金法(Abwasserabgabengesetz, AbwAG)
1976年9月13日公布
1981年1月1日より賦課金の支払い施行
そのほかに国際的な水質に関する協定が次のようにあるが、これらは後に示す排水規制値の制定の際にその根拠となったものである。
3. ヘルシンキ協定(1974)
4. ヘルシンキ協定(1974)
5. ライン川汚染化学物質協定(1976)

図-1 西ドイツにおける下水処理の状況³⁾

6. 水質保全に関するECガイドライン(1978)

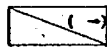
上記したドイツの法律に関しては過去数年間、識者の間で注目を呼び多くの議論がなされ、その一つの成果として下水の2次処理施設の建設を促進してきた。将来には排出される家庭下水の90%以上に対し、2次処理またはそれ以上の処理が行われることになる。西ドイツは10の州(Länder)より構成されるが、歴史的に州の独立的な傾向が強い。上記の2法の制定に関しても、連邦政府と州政府の間で競合があり、連邦政府の権限はその大要を決めるところに留まった。よって前項に示した法律は、州の法律の施行によって初めてその効力を発するとともに具体的な規定がなされる。州法が具体的に規定する項目は、表流水の利用、河川の管理、高水対策、罰則

* 西ドイツ州立アーヘン工科大学水質汚濁研究所

** 建設省土木研究所下水道部汚泥研究室

表-1 都市下水処理場に対する連邦水法の排水基準

		沈降性 物質	化学的酸素消費量 COD _{Cr}		生物化学的酸素消費量 BOD ₅	
			沈降後の サンプル	元サンプル	沈降後の サンプル	元サンプル
		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
規模の区分1 <60Kg BOD ₅ /日 (流入下水に対して)	ランダムサンプル	0.3 (0.3)				
	2時間 平均サンプル		(200)	(215)	(45)	(50)
	24時間 平均サンプル		180 (150)	195 (165)	45 (30)	50 (35)
	24時間 平均サンプル		120	135	30	35
規模の区分2 60~600Kg BOD ₅ /日 (流入下水に対して)	ランダムサンプル	0.3 (0.3)				
	2時間 平均サンプル		(200)	(215)	(45)	(50)
	24時間 平均サンプル		160 (150)	175 (165)	35 (30)	40 (35)
	24時間 平均サンプル		110	125	25	30
規模の区分3 600Kg BOD ₅ /日 (流入下水に対して)	ランダムサンプル	0.3 (0.3)				
	2時間 平均サンプル		(200)	(215)	(45)	(50)
	24時間 平均サンプル		140 (150)	155 (165)	30 (30)	35 (35)
	24時間 平均サンプル		100	115	20	25



(一) 暫定基準 1984年12月まで、1979年以前建設開始の処理場に適用

を伴う水域の監視規定などである。

2. 排水賦課金法の概要

1976年改正の連邦水法の施行令により、排水の水質に関する規制値が定められた。この排水規制値は、一般に認められている標準的な技術にのっとって決められたものである。都市下水の排出に関しては、表-1に示すように次の項目により規制がなされる。

沈降性浮遊物質 (ml/l)*

生物化学的酸素消費量 (BOD₅ mg/l)*

化学的酸素消費量 (COD mg/l)*

公共用水域に直接排出される工場廃水に対しては、他の規制値が適用される。州機関は、この規制値に関して上乗せができ、より厳しい規制値を設定することができる。水質検査は州の関係当局によって行われるが、連続して計られた5回のサンプルの平均値が、規制値以下となることが要求される。その他、表-1に示された排水規制値で注意すべき点は、排水の負荷が大きくなるに従って厳しい基準となっていることである。また、1979年以前に着工された処理場に対しては、1984年までは暫定

的な基準が適用される。

排水賦課金法は、賦課金が排水の処理の程度を上げるための経済的なインセンティブとなることを目的としている。賦課される金額の大小は、排出される汚濁負荷量によって決められることになっている。この汚濁負荷量は次に示す項目の年間排出負荷をもとに計算される。

沈降性浮遊物質 SM

酸素消費量 COD

魚類毒性試験 FT

水銀 Hg

カドミウム Cd

これらの計算は汚濁ユニットという単位で行われるが、1汚濁ユニットは、無処理の場合排出される1人年間当りの汚濁負荷量として定義される。この1汚濁ユニットの排出により、各事業体は1981年で12マルク(約1,400円)、1986年時点で40マルク(約4,600円)支払うことが義務づけられている。この汚濁ユニット計算の詳細を表-2に示す。汚濁負荷量の算出に当たって基準となるものは、晴天時排水量と代表水質値である。これらの値は、晴天時における実測値データとよく照合するものでなければならない。また、これらの値は、州当局の機関により、排水者の合意の下に事前に設定されることになる。

水質代表値の決め方に対しては、年間の負荷に基づくもののほかに、短期間のピーク負荷に基づいて行うものがある。即ちピーク値という第2の水質値が定義される。このピーク値は、通常この値を超えることなく、また、年に2回以上これを超える場合は、新たな賦課の増

* 沈降性浮遊物質とは、通常高さ40cmおよび容量1lのガラス製沈降計量管(イムホフコーン)中において2時間後の沈降量を計ったものである。

西ドイツの法律が定めるBODの計測方法は、硝化作用を抑えたものであり、炭素系BODである。

CODは重クロム酸カリウムによる酸素消費量である。

表一 排水賦課金法における汚濁負荷量の計算¹⁾

汚濁負荷ユニットの計算式	
(以下の5項目の数値を足したものが汚濁負荷値となる。1人1年当りの未処理の家庭下水に対しては、以下の式(1)と式(2)により計算される数値を足すと1となる。これが汚濁ユニットである。)	
1. 沈降性浮遊物質(SM)	$PU_{SM} = \frac{Q_a \cdot (RV_{SM} - 0.1 - P_{SM})}{1000} \cdot 1$
2. 酸素消費量(COD)	$PU_{COD} = \frac{Q_a \cdot (RV_{COD} - 15 - P_{COD})}{1000} \cdot \frac{2.2}{100}$
3. 水銀(Hg)	$PU_{Hg} = \frac{Q_a \cdot (RV_{Hg} - P_{Hg})}{100} \cdot 5$: $Q_a \cdot (RV_{Hg} - P_{Hg}) \geq 1,000 \text{ g/年}$ の場合
4. カドミウム(Cd)	$PU_{Cd} = \frac{Q_a \cdot (RV_{Cd} - P_{Cd})}{100} \cdot 1$: $Q_a \cdot (RV_{Cd} - P_{Cd}) \geq 10,000 \text{ g/年}$ の場合
5. 魚類毒性(FT)	$PU_{FT} = \frac{Q_a}{1,000} \cdot 0.3 RV_{FT}$: $RV_{FT} = (1+n) > 2$ の場合 n : 希釈倍率
ここで、	
PU =汚濁負荷値	
Q_a =晴天時流量 $\times 365$ (m ³ /年)	
RV =代表水質値 ¹⁾	
P =水質の当初水質値	
1) 代表水質値の各単位は、SM: ml/l, COD, Hg, Cd: mg/l	

加が見込まれるとされる値である。一般的にこのピーク値は、代表水質値の2倍として決められる。もし予想されるピーク値が代表水質値の2倍を超えると判断された場合は、代表水質値が新たにピーク値の50%ということで決められることとなる。更に、もし規制当局が設定されたピーク値よりも高い値を2回以上見つけた場合には、新たな代表水質値が、測定された最高値の50%以上ということで決められる。このように、汚染者は実際に排出する年間汚濁負荷に対する賦課金以上の支払いを行わなければならない場合がある。

表一より、沈降性浮遊物質の項と酸素消費量に関する汚濁負荷計算の式に、沈降性浮遊物質で0.1 ml/l, CODで15 mg/lのマイナス項があることがわかる。これらの値は、比較的質の高い用水域の水質と考えられるもので、例えば15 mg/l以下のCOD値は汚濁負荷の計算対象にはならず、排水が一定の水質以上に清浄であれば賦課金を払う必要がないことを示すものである。更に、例えば工場等が直接河川から取水し、再び排水を同じ地点に排出する場合には、その河川の水質に見合った値が差し引かれる。このことは表流水の直接利用

者は、付加された汚濁負荷分だけ支払えばよいということの意味している。水銀、カドミウムについては、ある一定量以下の負荷量では賦課金はかからない。魚類毒性試験についても同様の最低値が定められている。

上述の二つの法律が最も密接に結びつくのは次の点である。即ち、連邦水法により定められた排水基準値より放流水質値が下回る場合は、汚濁負荷による計算された賦課金高が50%に引き下げられることである。よって、排水賦課金法は、下水処理の責任者に規制水質よりも確実によい処理水を得る処理システムを建設する動機を与えているといえよう。

他に、処理区域に入っていない小口の家庭排水および雨天時下水に対する賦課金の体系がつくられている。小口の家庭排水に対しては、その汚濁負荷量の50%をもとに賦課金かけられる。また、公共下水道システムから河川に排出される雨水時下水に対する賦課金の値は、その処理人口の12%に当たる汚濁負荷として計算される。この負荷計算の根拠は明確なものではないが、ドイツにおける雨天時下水の汚濁負荷総量は、全人口汚濁負荷の約12%程度のものであるといわれている。処理施設の設置によって雨天時下水の負荷は削減されるが、この削減分に見合った賦課金の軽減の方法については、各州政府の判断に任されている。

排水賦課金は州政府により徴収されるが、排水賦課金法の著しい特徴として、徴収された賦課金は一般の税体系の中へ繰り込まないということが挙げられる。すべての金額が、再び下水処理施設および水質保全施設の建設に投資されることとなる。不十分な処理ゆえに徴収された金額が、より高度の処理施設への投資となるという機構により、排水浄化の程度を全体的に上げていこうということが、この方式の窮極的な目的となっている。

以上のことをまとめると次のとおりである。まず、連邦水法の改正により、明確な排水基準が設定され、かつ規制当局に強力な権限が与えられた。また、排水賦課金法は、排水の処理程度の向上を進める経済的なインパクトになった。また、同法はピーク値の設定により短時間に排出される汚濁負荷量の規制制度を導入した。

3. 新法制定と下水処理技術

下水処理場からの放流水を数少ないサンプルにより監視したり、また、ピーク値による規制といったものが考えられるようになり、平均的な処理効率をどの程度にしたらいかが、また、必要とされる処理の安定性はどのようなものであるかについて、現在西ドイツ国内ではかなりの議論を呼んでいる。この議論に積極的に参加している技術

者の一人として、フーヘン工科大学の Böhnke 教授の名を挙げることができるが、教授の下で実処理場のデータが数多く集められ解析が行われた¹⁾。この結果を図-2～4に示すが、通常BOD90%除去が期待されている標準活性汚泥法(BOD-SS負荷 0.3 BOD kg/MLSS kg・日)の処理施設の多くが、排水規制値を満足していないことが示されている。しかしながら、この結果に反対する技術者もかなり多くいる。100カ所以上の下水処理場を有するルール水組合の水管理者 K. R. Imhoff 氏

もその一人である。彼は19の処理場からのデータを集計、解析し、図-5～8のようにまとめている²⁾。このデータは、標準負荷の生物処理法により連邦法による排水規制値が十分守れることを示している。ドイツ下水道協会(Abwasser-Technische-Vereinigung, ATV)の委員会のメンバーの大半も Imhoff 氏の意見に賛同している。

しかしここで次のように考えることができる。即ち、工場廃水の混入割合の低い場合は、標準負荷の生物処理で十分放流基準をクリアすることが可能であるが、混入割合が高く、かつ難分解性物質が多く含まれる場合に、幾つか難しい例が出てくるようである。この点に関し、

図-2 西ドイツ、オランダの下水処理場における処理水のBOD₅値¹⁾(硝化抑制)

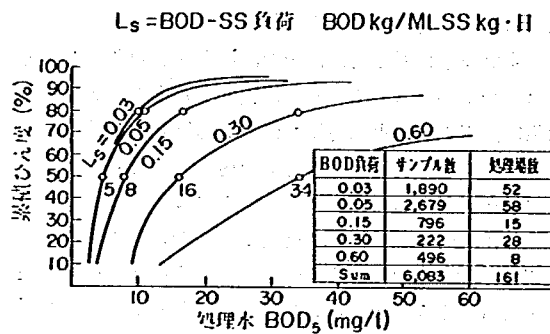


図-3 西ドイツ、オランダの下水処理場における処理水のCOD_{Cr}値¹⁾

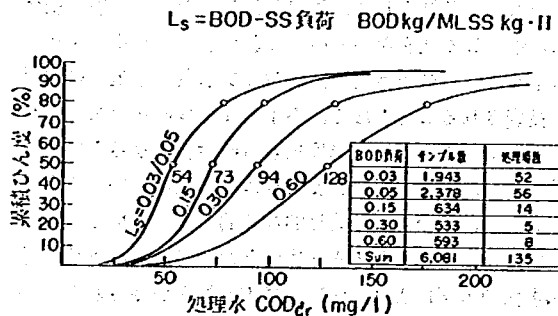


図-4 西ドイツ、オランダの下水処理場における処理水のNH₄-N値¹⁾

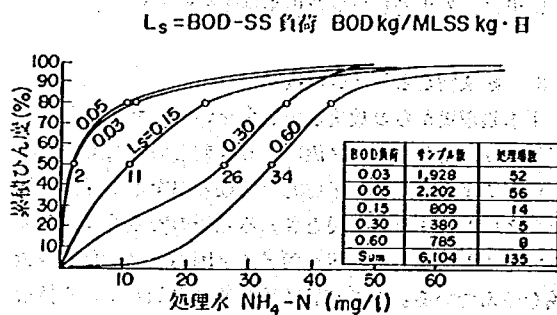


図-5 BOD負荷と処理水BOD値²⁾

(24時間混合サンプル、沈殿上澄液)

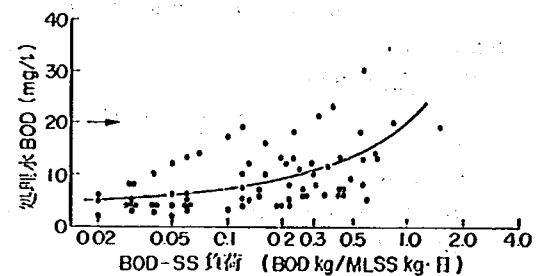


図-6 BOD負荷と処理水BOD値²⁾

(2時間混合サンプル、沈殿上澄液)

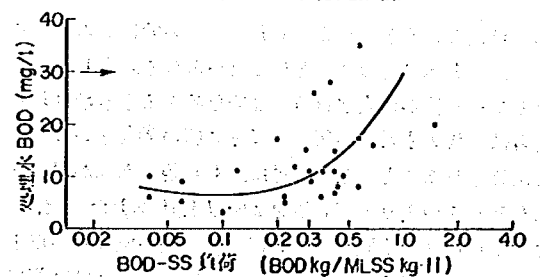


図-7 BOD負荷と処理水COD²⁾

(24時間混合サンプル、沈殿上澄液)

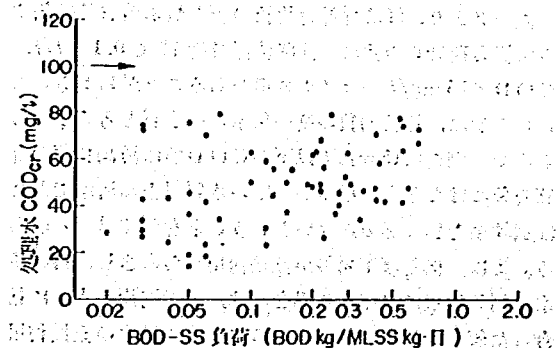
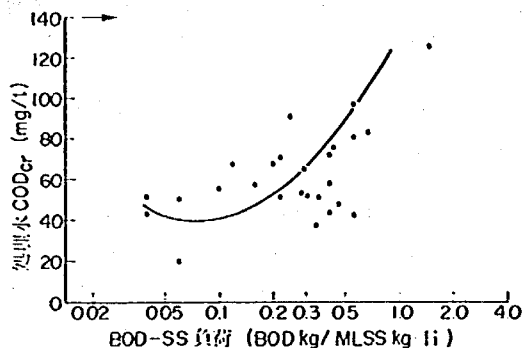


図-8 BOD負荷と処理水COD_{Cr}
(2時間混合サンプル、沈殿上澄液)



どのような種類の工場廃水がどの程度処理効率に影響するのか、当面の検討課題であるものと考えられる。また、短時間に高負荷の排水を出す工場がある場合にも問題が出てくる。標準負荷で設計された処理施設にこのようなショックロードが入ってくると、安定した処理の確保はかなり難しくなる。図-2, 3をみるとわかるように、BOD負荷が $0.15 \text{ kg BOD/MLSS kg} \cdot \text{日}$ 以下の条件下、処理の安定性が十分となっている。図に示されたカーブの傾きが垂直に近いほど、処理の安定性が高いと判断される。

西ドイツにおいては、かなりの数の散水汚床が建設されてきた。しかし、一般的な散水汚床の設計負荷 $0.6 \text{ kg BOD/m}^2 \cdot \text{日}$ では、今回の排水基準を守るのに十分ではない。ドイツ下水道協会の委員会は、通常の碎石汚床の場合、BOD負荷 $0.4 \text{ kg BOD/m}^2 \cdot \text{日}$ 、水量負荷 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{時}$ 、また、人工汚床の場合、BOD負荷 $0.4 \sim 0.8 \text{ kg BOD/m}^2 \cdot \text{日}$ 、水量負荷 $0.8 \sim 1.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{時}$ を推薦している。回転円板の場合には $8 \text{ kg BOD/m}^2 \cdot \text{日}$ を基準としている²⁾。

しかし、散水汚床法は活性汚泥法に比べて広い面積が必要となってくること、また、処理の安定性が劣ることなどにより将来的にはその数が減るものと予想される。現在、散水汚床は2段生物処理法の中で、特に活性汚泥法との組合せにより、その効果が期待されている。2段生物処理法においては、一般的に高い処理の安定性を示すとともによい処理水質が得られている。

人口1万人以下の自治体では、一般的に散水汚床または汚泥の好氣的安定化を伴った長時間エアレーション活性汚泥法(BOD-SS負荷 $0.05 \text{ kg BOD/MLSS kg} \cdot \text{日}$)を採用している。この二つの方法は、排水基準が小口の排出者に対し緩くなっていることにより、十分適用可能である。しかし、一般に長時間エアレーション法や

オキシデーションディッチによって得られる水質はより良質なものであるため、排水賦課金が低額になることを意味している。よって将来、低負荷の活性汚泥法が小規模処理場でより多く採用されるものと推測できる。もちろんこういった処理方式は比較的多量の電力を消費するので、将来の電力価格が重要なファクタになることも事実である。

ここで、西ドイツにおける水質管理の不十分な点を一つ指摘しておく。それは、アンモニア性窒素による酸素の消費が考慮されていないことである(図-4参照)。これは、CODまたはBODの計測の中には乗ってこない。硝化を抑えたBODの計測には以上のような問題があるが、一方では硝化が起きているような下水処理水の計測に際して、かなり安定した値を求めることができるという利点を持つ。このことは下水処理場の運転が、放流水域の水質管理に相反せずに行われることに関係してくる。なぜならば、硝化の抑制がないBOD値を指標とする場合には、標準活性汚泥の操作で起こりうる硝化反応を極力抑える運転を行わざるを得ないからである。しかし、全く硝化の起きている見かけ上BOD値の低い処理水が、一般の硝化菌密度の高い水域へ放流された場合、アンモニア性窒素濃度に比例した酸素消費を行うことは明らかである。

4. 排水賦課金法に対する批判

排水賦課金法は既に連邦議会を通り参議院(Bundesrat)の同意も得て制定・公布されているが、この法に対しては長い間、かなり厳しい批判が加えられてきた。公布後三つの州から参議院に、この法律の改正案が出されていた。主な批判点は次のとおりである⁵⁾。

- ・法律施行にかかわる行政費用がかかりすぎる。その費用は賦課金により集られた額の約40%にも見積られる。
- ・処理水質が排水規制値を下回る場合の、賦課金割引率を50%以上または賦課金ゼロとすべきである。例えばCODを限界値 15 mg/l 以下にすることは非常に難しいので、排水者は常に賦課金を払う必要があり、これは税金と等しく感じられる。
- ・雨天時下水に対する賦課金を除くべきである。なぜなら、公共下水道の処理区域だけを対象とするのは公正でない。更に、雨天時下水に対する処理施設を設置した際の賦課金軽減の算定方式の決定が非常に難しい。
- ・ピーク値の導入はすべきではない。ピーク値は実際の汚濁負荷に関係してこない。連続した五つのサンプルの平均値をとるという連邦水法の評価に統一した方が

よい。これによって、行政出費も少なくすることができる。

- ・沈降性浮遊物質の水質項目は除くべきである。イムホフコーンによる沈殿物量の測定は正確でない。また、通常の下水では沈降性浮遊物質にかかわる賦課金額はCOD項目に対するものの10%以下である。
- ・魚類毒性に関する水質項目は除くべきである。この試験方法は十分に検証がつまえたものでなく、また、再現性もよくない。また、年間大量の試験魚を殺さなければならないことは、環境保護の思想と一致しない。
- ・各州の行政機関の体制を十分整えるため、法律の施行を1980年1月から1981年1月に延期すべきである。

以上の批判を出している3州は、連邦政府の政権をとる政党と異なる政党が政権をとっていることをコメントしておく。もちろん企業側からも批判があり、賦課金により生産コストがかなり上がるということを指摘している。化学工業界にだけかかわるものをとっても、1986年に支払われると想定される賦課金は3億5千万マルク(約400億円)になると試算されている。また、ピーク水質値による規制も最も強く批判されるところである⁶⁾。

5. 付 論

上述した排水賦課金法の改正への要求は、1980年3月に連邦政府によって拒否されている。また、1980年の秋に行れた総選挙で連邦政府与党の票が伸びたことにより、近い将来においてこの法律の改正が行われることはないと考えられる。

1980年に行われたアンケート調査の結果は、既にこの両新法に対する反応が現れつつあることを示している。例えば、調査対象となった自治体の65%および企業の75%が排水処理に対する投資をふやすことを検討している。このうち40%の企業は、この判断に当たって排水賦課金法の影響が強かったと答えている。すべての企業が完全に答えているわけではないが、詳細な計算を行っている企業の30%が、賦課される金額が新たな施設の建設に比べ高くなるなら、高度処理施設の建設を行うと答えている。また、調査の対象となった自治体や企業がしばしば、規制当局による監視や強制がかなり厳しくなるだろうと予想していることは、重要なポイントであると考えられる。こういった感覚だけからも、水質行政の効果はかなり上がりうるものだからである。

公共下水道および工場廃水に適用される法体系の複雑さは様々な論議を呼んできたが、一方、雨天時下水の放流に関することの重大さがしばしばないがしろにされてきた感がある。

ここに一例を掲げて説明を加えてみる。標準的な2次処理施設を持っているところでは、その汚濁負荷は約90%除去される。そしてその放流水質は連邦水法による規制値以下になることが予想され、賦課金の計算に50%のファクタがかかってくることになる。一方、雨天時下水に対して何も方策が講じられないとすると、自治体は人口1人当り1986年に次の賦課金の値を支払うことになる。

処理水に対する賦課金

$$40\text{マルク} \cdot (1 - 0.9) \cdot 0.5 = 2.00\text{マルク}$$

未処理の雨天時下水賦課金

$$40\text{マルク} \cdot 0.12 = 4.80\text{マルク}$$

計 6.80マルク(約800円)

大抵の自治体では通常の2次処理施設を持っているが、雨天時下水の処理施設は十分ではない。よって、賦課金のかかなりの部分が雨天時放流下水に対して支払われることになる。このことは、現在または将来において、雨天時下水に対する調査研究が重要な課題となってくることを示しているものと考えられる。

<参 考 文 献>

- 1) B. Böhnke, R. Damiecki: "Reinigungsleistung und Prozeßstabilität Kommunalen Kläranlagen" Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Band 42, Aachen 1980
- 2) K. R. Imhoff: "Auswirkungen der Abwasserabgabe auf Planung und Betrieb der Abwasseranlagen für Kommunale Einleiter" Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e. V. Nr. 32, ATV-Jahreshauptversammlung 1980
- 3) ATV: "Qualität der Abwasserbeseitigung" im Spektrum der Korrespondenz Abwasser 8/1980
- 4) P. Doetsch: "Grundsätzliches zur Ermittlung der Abwasserabgabe" ATV Fortbildungskurs Laasphe, Frühj. 1980
- 5) G. Weiser: "Verbesserung des Abwasserabgabengesetzes" Korrespondenz Abwasser 6/1980
- 6) G. Krause: "Auswirkungen der Abwasserabgabe auf Planung und Betrieb der Abwasseranlagen für Kommunale Einleiter" Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e. V. Nr. 32, ATV-Jahreshauptversammlung 1980
- 7) K. H. Hansmeyer: "Auswirkungen des Abwasserabgabengesetzes auf Gemeinden und Unternehmen" Korrespondenz Abwasser 6/1980

(55. 12. 26 受付)

資-3 ドイツおよび欧州諸国の下水道事業見学報告書

VERMERK

Über meine Studienreise zu den Wasserwirtschaftsbehörden und Verbänden in NW vom 28. Jan. - 28. Febr. 1980

Dipl.-Ing. Sato

Entsprechend der Vereinbarung vom 17.01.1980 zwischen Herrn Prof. Dr.-Ing. Böhnke und den Leitern der Institutionen habe ich in der Zeit vom 28. Jan. bis 28. Febr. 1980 Studienreisen zu den Verbänden und Wasserwirtschaftsbehörden in NW gemacht und dabei folgendes Besuchs- und Besichtigungsprogramm absolviert.

1.) 28.1. - 1.2.1980 Besuch des Wupperverbandes (ブッパ-水組合)

28.1.1980 Begrüßung durch Herrn Baudir. Dipl.-Ing. Brechtel.
Die Betreuung übernahm Herr Dipl.-Ing. Birkholz.
Mir wurde über die Verbandsgeschichte und die Arbeit des Verbandes berichtet. Danach Besuch der Kläranlage Buchenhofen (1.200.000 EGW) mit Herrn Czauderna. Die Anlage arbeitet nach dem Belebungsverfahren mit feinblasiger Belüftung. Interessant waren vor allem die masch. Schlamm entwässerung und -verbrennung im Wirbelschichtofen und die Energieversorgung durch Gas- und Wasserkraft.

29.1.1980 Rundfahrt mit Herrn Birkholz durch das nördliche Verbandsgebiet. Dabei Besuch der Kläranlage Hückeswagen unter Führung von Herrn Dipl.-Ing. Weyer. Die Anlage liegt oberhalb der Wuppertalsperre und entfernt den Phosphor durch Simultanfällung mit Eisensalzen.
Danach Besuch der Baustelle des Hauptsammlers ($\varnothing$ ca. 2m), der zum Gruppenklärwerk Radevormwald führt.
Anschließend Besuch der im Bau befindlichen Kläranlage Radevormwald (EWG 75.000).

- 30.1.1980 Rundfahrt mit Herrn Karsch durch das südliche Verbandsgebiet. Besuch der Kläranlage Kohlfurth (EGW 133.500, Belebungsverfahren mit Mammutrotoren). Danach Besuch der Kläranlage Leverkusen (EGW 375.000). Es handelt sich um ein Gemeinschaftsklärwerk welches vorgeklärtes Gemeindeabwasser und Industrieabwasser der Bayer AG aufnimmt und teilbiologisch reinigt. Der Ablauf wird demnächst durch das sogenannte Biologie-Tanks System verbessert. Im Anschluß daran wurden die Kompaktanlage Odental (5.000 EGW) und der Oxidationsgraben in Dabblinghausen (3.000 EGW) besucht.
- 31.1.1980 Besichtigung des Labors des Wupperverbandes mit Erklärungen von Dr. Zwenger. Des weiteren Erläuterungen und Diskussion über die Grenzwerte bei der Abwassereinleitung.
- 1.2.1980 Herr Kisseler zeigte mir die seit 1965 im Bau befindliche Große Dhünntalsperre. Diese Talsperre fängt ein Niederschlagsgebiet von 60 km^2 auf und besitzt demnächst einen Stauraum von 81 Mio m^3 .
- 2.) 4.2.1980 - 8.2.1980 Besuch des Ruhrverbandes/Ruhrtalsperrenvereins (ルール水組合)
- 4.2.1980 An diesem Tag besuchte ich mit Herrn Gluch die Verse-, Fürwigge- und Biggetalsperre. Die Fürwiggetalsperre ist Anfang dieses Jahrhunderts gebaut und liegt oberhalb der Versesperre ($32,8 \text{ Mio m}^3$). Die Biggetalsperre ist mit $171,7 \text{ Mio m}^3$ Stauraum die größte Talsperre des Ruhrverbandes.
- 5.2.1980 Herr Dipl.-Ing. Mock erklärt mir die Organisation des Ruhrverbandes und Ruhrtalsperrenvereins. Im Verlauf des weiteren Tages zeigte er mir die Kläranlage Bochum-Ölbachtal mit 330.000 EGW, mit Belebungsverfahren, Schönungsteich und Schlammverbrennung, den Damm des Kemnader Stausees und die im Bau befindliche Kläranlage Witten-Herbede (Caroussel -Anlage)

- 6.2.1980 Besuch des Labors mit Gespräch über den Gewässerschutz am Beispiel der Ruhr mit Herrn Dr. Koppe. Danach Besichtigung des Labors unter Führung von Herrn Dr. Klopp mit Darlegung der chemischen und biologischen Arbeiten des Verbandes.
Die laufenden Untersuchungen zur Eindämmung der Eutrophierung wurden mir von Herrn Dr. Nusch erläutert.
- 7.2.1980 Fachgespräch mit Herrn Mock über die Energieversorgung in Kläranlagen. Danach Rundfahrt im Raum Hagen-Arnsberg mit Besichtigung der Kläranlage Hagen mit 440.000 EGW, zweistufiger biologischer Reinigung mit Belebung und Tropfkörper, der Kläranlage Schlittenbachtal- es handelt sich um eine Belebungsanlage mit Zugabe von Kalk in der Vorfällung zur pH-Steuerung und Schwermetallfällung, sowie der Kläranlage Witten, Tropfkörperanlage für 80.000 EGW.
- 8.2.1980 Mit Herrn Schürmann Besichtigung industrieller Abwasservorbehandlungsanlagen der Galvanik- und Elektroindustrie. Ferner Besichtigung der zentralen Schlamm entwässerungsanlage für industrielle Abwasserschlämme des Ruhrverbandes.
- 3.) 11.2.1980 - 14.2.1980 Besuch bei der/dem Emschergenossenschaft/
Lippeverband (エムシャー水組合, リッペ水組合)
- 11.2.1980 Dr. Montens erklärte die Geschichte und die besonderen Aufgaben der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes. Anschließend Führung durch das Laboratorium und Fachgespräch mit Herrn Bortlitz über CSB-Analyse u.a.
- 12.2.1980 Besichtigung des Klärwerkes Emschermündung unter Führung von Dr. Schlegel. Hier wird bei Trockenwetter der gesamte Emscherfluß mechanisch und biologisch gereinigt, der Anschlußwert beträgt ca. 5 Mio EGW. Der anfallende Schlamm wird zur zentralen Schlammbehandlungsanlage Bottrop gebracht. Bei deren Besichtigung erklärte mir Dr. Kaetzler das dortige Verfahren der thermischen Schlammkonditionierung und der Entwässerung auf Kammerfilterpressen.

13.2.1980 Fachgespräch über den Gewässerschutz der Lippe mit Herrn Aalen. Besichtigung der Lippe Kontrollstationen und der Kläranlagen Marl-West.

14.2.1980 Besichtigungen im Raum Hamm mit Herrn Kremer.
Besuch des Pumpwerks Hamm-Herringer Bach und der Kläranlage Hamm (300.000 EGW, Belebungsverfahren). Auf dieser Anlage sind 4 Gasmaschinen in Betrieb. Es schloß sich ein Fachgespräch über den Wirkungsgrad der Stromgewinnung und über die Wirtschaftlichkeit an.

4.) 20.2. - 21.2.1980 Besuch beim Niersverband/Viersen (ニース水組合)

20.2.1980 Besuch bei Herrn Baudirektor Kugel
Herr Direktor Kugel erläuterte die Geschichte und die Arbeit des Verbandes.
Fachgespräch mit Herrn Wenzel über die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung mit anschließender Besichtigung der Niers und einem Schlammverwertungsort.

21.2.1980 Fachgespräch mit Herrn Dr. Lohmann über die chemisch-biologischen Kläranlagen des Verbandes mit anschließender Besichtigung von drei Kläranlagen:
Gruppenkläranlage Mönchengladbach-Neuwerk (760.000 EGW)
Gruppenklärwerk Nette (65.000 EGW) und
Gruppenklärwerk Grethrath (75.000 EGW).
Bei allen drei Anlagen wird zur Eliminierung von Farbe, Schwebstoffen und Phosphor Eisensulfat vor der Belebung zugegeben.

5.) 22.2.1980 Besuch beim großen Erftverband (エルフト水組合)

Besuch bei Herrn Baudirektor Stein mit Erläuterungen über die Arbeit des Verbandes. Bericht von Dr. Schenk mit Dia-Film über die Grundwasserschutzarbeit. Anschließend Besichtigung des Grundwasserversorgungsgebietes und des Braunkohlentagebaus. Danach mit Herrn Horten Besuch des Gruppenklärwerkes Mittlere Erft (80.000 EGW).

6.) 25.2.1980 Besuch bei der LINEG (LINEG水組合)

Besuch bei Dr. Schröder mit Erläuterungen der Verbandsarbeit.

Anschließend mit Herrn Dipl.-Ing. Schuch Besichtigungen der Kläranlagen:

Kamp-Lintfort (40.000 EGW, zweistufige Belebung), Rheinkamp-Gerdt (100.000 EGW, nur teilbiologisch) und Pattberg in der das gesamte Abwasser der Schachanlage behandelt wird.

Im Zentrallabor in Rheinkamp-Gerdt dazu ein Fachgespräch mit dem Laborleiter Dr. Garr.

7.) 26.2.1980 Besuch beim Aggerverband (アガ-水組合)

Erläuterungen der Verbandsarbeit durch Herrn Dipl.-Ing. Bosch, Besichtigungen des Labors und Erläuterungen zum Gruppenwasserwerk. Anschließend Besichtigung der Wiehltalsperre (Einzugsgebiet $46,4 \text{ km}^2$, Stauraum $31,5 \text{ Mio m}^3$), des Wasserwerkes Auchel mit der Hauptzentrale der Gruppenwasserversorgung und der Kläranlage Ufersmühle. Diese Kläranlage reinigt das Abwasser des Einzugsgebietes der Wiehltalsperre mit dem Tropfkörperverfahren (19.500 EGW).

8.) 27.2.1980 - 28.2.1980 Besuch des StAWA Aachen (州水管理機関ア-ヘン事務所)

27.2.1980 Gespräch mit Herrn Baudirektor Meierjohann über die Organisation und die Arbeit der StAWA.

Unter der Führung von Herrn Mulleneers Besichtigung der Kläranlagen:

Stolberg (100.000 EGW, Belebungsanlage und Geruchseliminierung durch Kompostfilter),

Mausbach (40.000 EGW, Oxidationsgraben) und

Gessenisch-Hamich (Belebungsanlage mit Mammutrotor).

Danach Erläuterungen zum Abwasserabgabengesetz durch Herrn Bieler.

28.2.1980 Teilnahme an einer Sitzung zur Ortsbestimmung der Kläranlage Rötgen.

Mit Herrn Jakob Besichtigungen der Kläranlagen:

Aachen-Eilendorf (250.000 EGW) und

Aachen-Soers (500.000 EGW). Die Kläranlage Aachen-Soers

arbeitet derzeit teilbiologisch, der Ausbau auf

$B_{TS} = 0,15 \text{ kg/kg}$ ist jedoch bald abgeschlossen.

Dann wird die Belüftung durch gasmotorgetriebene Turbokompressoren erfolgen.

Vermerk

über die Informationsreise nach
Zürich, Stuttgart, München, Wien, Hamburg,
Kopenhagen, Stockholm und London
im Juni, Juli, August,
September 1980
von
Dipl.-Ing. K. Sato

1.) Zürich (チューリヒ市下水道局)

23. Juni, Tiefbauamt der Stadt Zürich

Besuch des Tiefbauamtes der Stadt Zürich auf Einladung von Professor Heierli. Begrüßung in der Abteilung für Stadtentwässerung. Als erstes wurde mir von Herrn Wiptli die Organisation des Amtes und die Abwicklung der Arbeiten erklärt. Als nächstes besuchte ich den Teil der Altstadt in dem die alten Abwasserkanäle durch neue ersetzt wurden. Diese Erneuerung der Kanäle beansprucht einen großen Teil der Arbeitskapazität der Stadtentwässerungsabteilung.

Am Nachmittag wurde in Begleitung von Herrn Stöckli eine Rundfahrt unternommen und Kanalerhaltungsarbeiten und das Funktionieren der Kanäle beobachtet. Das Programm beinhaltete das Ansehen eines Filmes, der die Stadtbewohner über die Abwasserableitungs- und behandlungsarbeiten informiert. Ferner wurde das Kontrollzentrum für das Kanalnetz, die Regenwasserklärung an der Kornhausbrücke, die Entwässerungseinrichtungen für Straßenschlamm in der Bändlistraße und das Kanalüberwachungsauto, welches mit einer Fernsehkamera ausgerüstet ist, besichtigt.

24. Juni, Tiefbauamt der Stadt Zürich:

Die städtischen Vorschriften für die Hausinstallationen wurden mir von Herrn Kunz erläutert.

Danach erklärte mir Herr Leutert die Kontrollen über das Indu-

strieabwasser.

Anschließend Besuch der Kläranlage Glatt, die nach dem Belebtschlammverfahren mit $B_{TS} = 0,3 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS} \cdot \text{d}$ arbeitet und mit 240.000 EGW bzw. $86.400 \text{ m}^3/\text{d}$ belastet ist. Auf dem Gelände der Kläranlage befindet sich auch die Zulassungsprüfstelle für Kanalmaterial. Dort waren viele Vorrichtungen für die Materialprüfungen zu besichtigen und Herr Hottiger, der Chef der Abteilung, erklärte die Vorschriften.

Am Nachmittag erklärte Herr Dipl.-Ing. Wiesmann, Chef der Abteilung für Stadtentwässerung, die Details der Kläranlage Werdhölzli. Eine Besichtigung schloß sich an (Kapazität der mechanischen Reinigungsstufe 500.000 EGW, der biologischen Stufe 300.000 EGW). Werdhölzli ist die größte Kläranlage der Stadt Zürich mit einer langen Entwicklungsgeschichte. Zur Zeit arbeitet die Anlage mit einer Schlammbelastung von $B_{TS} = 1,0 \text{ kg/kg}$, aber in naher Zukunft werden die großen biologischen Kläranlagen mit anschließender Filteranlage errichtet.

2.) Stuttgart (シュツットガルト大学 水質汚濁研究所)

26. Juni, Universität Stuttgart:

Dr. Mayer gab mir eine Übersicht über die Organisation und die Arbeit des Institutes. Dann zeigte er mir das Institutsgelände. Das Institut und die Kläranlage ($5.000 \text{ m}^3/\text{d}$) der Stadt Büsnau befinden sich auf einem Gelände. Die Kläranlage ist so geplant, daß sie zu Demonstrationszwecken gebraucht werden kann. Ich sah dort den Betrieb mit Simultanfällung mittels Eisensalz zur Phosphorreduzierung, einen Oxidationsgraben, und die Nachklärung mit Wasserpflanzenfilter und einen Scheibentropfkörper. Verschiedene Laboratorien wurden mir gezeigt wobei jedes auf die jeweilige Abteilung zugeschnitten war. Es schloß sich mit Dr. Mayer eine Diskussion über die Abwasserfiltration an.

27. Juni, Universität Stuttgart:

Herr Dipl.-Ing. Müller erklärte mir seine Arbeit über die Nitrifikation. Ich sah den Aufbau für die Laborversuche zur Messung der Nitrifikationsgeschwindigkeit und die Pilotfilteranlage mit belüftetem Zufluß zur Erzielung einer Nitrifikation im Filterbett.

Ich sprach außerdem mit den Ingenieuren der Müllbehandlungs-
abteilung über die Deponie und die Kompostierung von Klär-
schlamm und Müll.

3.) München (ミュンヘン工科大学 上下水道研究所, バイエルン州水管理局)

30. Juni, Techn. Universität München

Prof. Dr.-Ing. Bischofsberger und Dr.-Ing. Merkl erklärten
die Organisation und die Arbeit dieses Institutes und zeigten
mir die Büros und Laboratorien. Am Nachmittag wurde ein Besuch
mit Dr. Ing. Merkl der Kläranlage Großklappen (mit 2.300.000 E
+ EGW; bzw. 550.000 m³/d) durchgeführt. Dort sah ich eine re-
lativ hoch belastete Belebtschlammanlage unter der Leitung von
Dr. Martin. Die Schlammbelastung ist etwa 1,0 kg BSB₅/kg TS . d
und die Ablaufqualität liegt um 40 mg BSB₅/l. Der Ablauf wird
zur weiteren Reinigung in große Fischteiche geleitet. Ein Teil
der Vorklärung besteht noch aus den alten Emscherbrunnen (Imhoff-
tanks) und die Schlammkonditionierung erfolgt hochthermisch.
Mit dem Faulgas werden Gasmotoren betrieben, die etwa 60 % des ge-
samten Energiebedarfs decken.

1. Juli, Technische Universität München:

Beim erneuten Besuch des Instituts zeigte mir Dipl.-Ing. Englmann
einige Pilotanlagen für Versuche mit Belebtschlammverfahren,
zur Schlammfäulung, zur Schlamm entwässerung usw.

Wir diskutierten besonders die Entwässerbarkeit des Abwasser-
schlammes und seine Analytik. Am Nachmittag Besichtigung der
Kläranlage Dachau (80.000 E + EGW; Q_d 20.000 m³/d) die unter der
Leitung von Dipl.-Ing. Günther steht. Diese Anlage ist eine kon-
ventionelle Belebungsanlage mit B_{TS} = 0,3 kg BSB₅/kg TS . d.
Der Schlamm wird anaerob ausgefäult und mit Filterpressen ent-
wässert. Das Faulgas wird benutzt um die Belüftungsgebläse an-
zutreiben, wobei Erdgas in Zeiten geringen Faulgasanfalls eben-
so benutzt werden kann.

2. Juli, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft:

Besuch bei Dipl.-Ing. Lüthje im Büro des L.f.W. Er und Dipl.-Ing. Hettche erläuterten die Organisation und Arbeit
des Amtes. Dann sprach ich mit Dipl.-Ing. Erkmeyer über die Ver-
wendungsmöglichkeit von Abwasserschlamm in der Landwirtschaft.
Darauf folgte ein Gespräch mit Dr.-Ing. Wolf über den Energieauf-
wand für Abwasserbehandlungsanlagen.

4.) Wien (ウィーン工科大学 水質汚濁研究所)

7. Juli, Techn. Hochschule Wien:

Prof. Dr.-Ing. von der Emde erklärte die Arbeit des Instituts, dann zeigte mir Dr. Ruider die Labors, wo ich die experimentellen Anlagen für Versuche mit unterschiedlichem industriellen Abwasser und Belebtschlammverfahren besichtigen konnte.

Besuch der Kläranlage Wien-Blumental, (200.000 E + EGW; $Q_d = 60.000 \text{ m}^3/\text{d}$) die unter der Leitung von Dr. Matsché steht. Diese Anlage hat keine Vorklämung und der Zufluß gelangt direkt in die kreiselbelüftete Belebungsstufe. Die Stickstoffelimination erfolgt über Nitrifikation und Denitrifikation, die Eliminationsrate liegt bei 70 - 80% bei einer Schlammbelastung von $B_{TS} = 0,1 - 0,2 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS} \cdot \text{d}$. Diese Anlage hat keine Schlammbehandlung und der Überschussschlamm wird der Wiener Hauptanlage zugeführt.

8. Juli, Techn. Hochschule Wien:

Besuch der Hauptkläranlage Wien, die mit 2.500.000 E + EGW und $700.000 \text{ m}^3/\text{d}$ belastet ist. Da der Betrieb auf diese Anlage gerade erst aufgenommen worden war, war auch noch kein Belebtschlamm im Belebungsbecken. Die biologische Behandlung ist als Belebungsanlage mit Oberflächenbelüftung ausgelegt bei einem B_{TS} von $0,8 \text{ kg BSB}_5/(\text{kg TS} \cdot \text{d})$. Der gesamte Wirkungsgrad liegt bei 70 %. Der Ablauf wird zum Kraftwerk geleitet um elektrische Energie zu erzeugen. Der anfallende Schlamm wird auf der Anlage eingedickt und zu einer Schlammverbrennungsanlage gebracht, die nahe der Kläranlage liegt. (Entsorgungsbetriebe Simmering). Am Nachmittag Besichtigung der Schlammverbrennungsanlage wo nicht nur Klärschlamm sondern auch Industrieabfall im Wirbelschichtofen verbrannt wurde.

9. Juli, Techn. Hochschule Wien:

Besuch einiger Abwasserbehandlungsanlagen im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees. Die Kläranlage des Gemeindeverbands Bad Vöslau hat eine Kapazität von 40.000 E + EGW und die Belebungsstufe mit 2 horizontalen Belüftungswalzen wird mit einem B_{TS} von $0,25 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS} \cdot \text{d}$ gefahren. Die Kläranlage Ebreichsdorf ist eine sehr kleine Anlage, an die zur Zeit 500 Einwohner angeschlossen sind. Das Reinigungssystem hat Probleme mit dem Fremdwasseranfall, was bewirkt, daß der Zulauf eine Konzentration von $50 \text{ mg BSB}_5/\text{l}$ hat. Zwei Belüftungswalzen werden wechselweise betrieben.

Die Kläranlage Wulkatal nimmt die Abwässer einer Konservenfabrik (5100 kg BSB₅/d) und einer Zuckerrübenfabrik (7500 kg BSB₅/d) zusätzlich während der Saison zu dem normalen Abwasseranfall von 3000 kg BSB₅/d auf. Die Anlage ist ausgelegt als Stabilisierungsanlage unterstützt durch Simultanfällung mit $\text{Fe SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Die Schlammbelastung beträgt 0,05 kg BSB₅/kg TS . d bei der normalen Belastung und 0,2 kg BSB₅/kg TS . d in der Rübensaison. Die guten Reinigungsergebnisse (BSB, CSB, P) und die Nitrifikation können aber das ganze Jahr über eingehalten werden.

5.) Hamburg (ハンブルク市下水道局)

28. Juli, Stadt Hamburg:

Treffen mit Herrn Baudirektor Dr.-Ing. Kuntze.

Herr Dipl.-Ing. Rüttgers erklärte mir dann die historische und augenblickliche Situation in der Entwicklung des Abwassersystems in der Stadt Hamburg. Er erklärte die Konstruktion der Kanäle vor dem zweiten Weltkrieg, die Kläranlagentypen die seit 1950 gebaut worden sind, das neue Rückhaltesystem, welches das Abwasser im Westen von Hamburg sammelt und der neuen Kläranlage Köhlbrandhöft Süd zuleitet, das Schlammbeseitigungsverfahren mit Verklappung in der Nordsee.

Am Nachmittag besuchte ich die Kläranlage Köhlbrandhöft-Nord ($Q_d = 215.000 \text{ m}^3/\text{d}$) die von Dipl.-Ing. Heinrich und Dipl.-Ing. Kleist geleitet wird. Diese Kläranlage ist eine hoch belastete Belebungsanlage (B_R ca. 6 kg BSB₅/m³ . d, $B_{TS} = 1,8 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS.d}$). Der anfallende Schlamm wird in Faulbehältern behandelt und das Faulgas zur Gewinnung elektrischer Energie genutzt. Das Hauptdiskussionsthema war der Betrieb von Faulbehältern und die Nutzung von Faulgas. Dann sah ich mir die Kläranlage Köhlbrandhöft-Süd an ($Q_d = 275.000 \text{ m}^3/\text{d}$), die zu dieser Zeit gerade im Bau war.

6.) Kopenhagen (コペンハーゲン市下水道局、デンマーク工科大学)

30. Juli, Stadt Kopenhagen:

Die historische Entwicklung des Kopenhagener Entwässerungssystems wurde von Herrn Zachariassen erklärt. Er erklärte mir weiterhin die Umstände die zum Bau der Kläranlage Lynetten geführt hatten, die mit einem Sauerstoffbegasungssystem arbeitet. Dann besuchte ich die Kläranlage Lynetten wo mich Herr Worgard führte. Die Belüftungsbecken waren in acht Reihen mit je vier geschlossenen Becken angeordnet und die Aufenthaltszeit ist ungefähr 2 Stunden.

Die Sauerstofferzeugungsanlage hat eine Kapazität von 164 t Sauerstoff am Tag und erfolgt über das Kühlverfahren.

Die Sauerstoffbegasungsanlage nahm diesen Mai den Betrieb auf, während die Schlammbehandlungsanlage inklusive der Schlammverbrennung noch nicht betrieben wurde.

31. Juli, Technische Universität von Dänemark:

Besuch bei Prof. Harremoës und Dr. Arvin in der Abteilung Sanitärtechnik (Laboratoriet for teknisk Hygiejne) der Universität von Dänemark. Dr. Arvin erläuterte mir die Hauptgesichtspunkte der Arbeit dieses Instituts und zeigte mir die Labors. Dann besuchte ich die anderen Labors, die unter der Leitung von Herrn Peterson stehen. Dort sah ich einige Demonstrationen mit Pilotanlagen über simultane Phosphorfällung mit Eisen und Aluminium, Denitrifizierung mit biologischem Rasen und Schlammfäulung.

7.) Solna/Stockholm (スウェーデン環境保護庁)

4. August, Staatliches Amt für Umweltschutz:

Besuch bei Herrn Nordström beim S.A.f.U. in Solna. Er erklärte die allgemeinen Umstände der Abwassertechnik in Schweden. Seine Ausführungen gingen über Wasserverschmutzungsprobleme, Entwicklung der Abwasserbehandlung und biologisch-chemische Verfahren zur Phosphoreliminierung. Darauf erklärte mir Herr Sasserson die Organisation und Funktion des S.A.f.U.

Am Nachmittag besichtigte ich die Kläranlage Knivsta (15.000 E + EGW, zur Zeit allerdings nur 5.000 E + EGW) die von Herrn Nordström und Herrn Blomström geleitet wird. Es ist eine biologisch-chemische Anlage mit Belebungsverfahren und Nachfällung mit Aluminium. Die Dosierung (AVR Boliden 8 % Al, 3 % Fe) 160 g/m³ Abwasser. Außerdem

besuchte ich die Kläranlage Uppsala (180.000 E + EGW, $Q_d = 62.000 \text{ m}^3/\text{d}$). Diese Anlage arbeitet mit dem Belebungsverfahren und Nachfällung mit Eisen (Fe^{3+}). Der Schlamm wird im Becken mit Lamellen abgesetzt. Die Dosierung des Fällmittels ist 75 g/m^3 .

5. August: Staatliches Amt für Umweltschutz:

Besuch der Kläranlage Aker (5000 E + EGW) die von Herrn Nordström und Herrn Blomström geleitet wird. Dies ist eine Anlage mit Belebungsverfahren und Nachfällung mittels Kalk. Auf dieser Anlage wird der Kalkschlamm durch Flotation entfernt. Die Dosierung ist ca. $200 \text{ g Ca (OH)}_2/\text{m}^3$ und der Gesamtposphor im Ablauf der Anlage ist etwa $0,3 \text{ mg/l}$. Zur selben Zeit konnte ich über Kalkbehandlung mit Herrn Henrickson sprechen, der beratender Ingenieur und Spezialist für Kalkbehandlung ist.

8.) London (テムズ水政庁, 中央水研究所)

1. Sept., Thames Water Authority:

Besuch der Beckton Kläranlage ($Q_d = 1.000.000 \text{ m}^3/\text{d}$) die zur Metropolitan Public Heath Division gehört. Dort erklärte Herr Stedman die Anlage und die Abwasserbehandlung aus historischer Sicht. Das Abwasser wird mit einer schwachbelasteten Belebungsanlage ($B_{TS} 0,15 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS} \cdot \text{d}$) gereinigt. Die Nitrifikation erfolgt fast das gesamte Jahr über. Der Schlamm wird mit Faulbehältern stabilisiert und dann ins Meer verklappt. Das Faulgas wird zum Betreiben von Gasturbinen genutzt, die etwa 60 % des gesamten elektrischen Energiebedarfs decken.

Am Nachmittag hatte ich Zeit zu einer Diskussion mit Herrn Sommerville unter Einzelheiten des Gasturbinensystems. Er gab mir außerdem Verfahrensdaten und ein Prospekt der Anlage.

2. Sept., Thames Water Authority:

Besuch der Trinkwasseraufbereitungsanlage Coppermills die Trinkwasser in den östlichen und nord-östlichen Teil von London liefert (850.000 Einwohner, $Q_d = 280.000 \text{ m}^3/\text{d}$).

Herr C. Hill zeigte mir die Anlage und erklärte den Betriebsablauf. Das Wasser wird dem Fluß Lee entnommen, in einige große Stauteiche zum Absetzen geleitet und dann der Anlage zugeführt. Das Wasser wird erst mit Schnellfiltern behandelt, die mit Luft/Wasser rückgespült werden und dann in Langsamfilter geleitet. Chlor und Ammoniak werden

zur Erhaltung der Wasserqualität zugegeben.

3. Sept., Water Research Centre:

Besuch des Water Research Centre in Stevenage, wo mir Herr D.H. Northcote die Geschichte und Arbeit des Institutes erklärte. Dann sprach ich mit Dr. Baskerville über den augenblicklichen Stand der Schlammbehandlung und -beseitigung in England. Anschließend erklärte mir Herr Harrington die Technik zur Stickstoffentfernung und zeigte mir ihre Versuchsanlagen mit Durchfluß des Wassers durch biologisch aktives Filtermaterial. Dann sprach ich mit Herrn F. E. Moesey über Faulungsprozesse und er zeigte mir seine Versuche.

5. Sept., Hawker Siddeley Water Engineering:

Besuch bei der H.S.W.E. in Wokingham.

Dort diskutierte ich mit Herrn Stratton und Herrn Brearley über Energiespartechniken im Bereich der Abwassertechnologie. Sie erklärten die besondere feinblasige Belüftung mit pilzförmigen Belüftungskörpern die in dieser Firma entwickelt wurden, und zeigten mir die Pläne einer mittels Klärgas vollständig energieautarken Kläranlage.

西ドイツにおける ガスエンジン技術の マニュアル



※ 佐藤 和明 訳

建設省土木研究所下水道部
汚泥研究室

【訳者註】本資料は、西ドイツの下水道協会 (Abwassertechnische Vereinigung e. V., ATV) より発行されている下水道ハンドブック (Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik) の“消化ガスの回収と利用”という章の一部を訳したものである。下水道ハンドブックは3巻よりなっているが、本章は第3巻のp.482より始まっている。図表および項目の番号は原本のままとした。

2-4 消化ガスによる動力回収

この種の消化ガス利用技術の選択は、1951年いらい増

加している。1951年には、0.55百万 m^3 のガスがガスマシンに利用されただけであったが、1973年には、68.5百万 m^3 となっている。生物処理により電力需要が増すにつれ、また、処理場が大きくなるにつれ、ガスの動力利用は経済的になってきている。もちろん、この経済性の計算は、それぞれの利用形態を考慮して行わなければならない。なぜなら、地域的な条件、とくにそれぞれの処理場における買電の電力価格がかなり異なるからである。

C章“下水処理におけるエネルギー経済”において、処理場におけるこの問題が多種多様であり、また、この問題が一般化できる可能性が少ないということが記されている。ガス動力利用の形態は、24時間の動力の負荷を負わせる場合もあるし、また、単に日中だけの電力ないしはピーク電力を発電するという形態もある。外部に対する給電の目的だけで連続発電をすることは、どんな場合でも不経済である。なぜなら、通常ほとんど原価が補

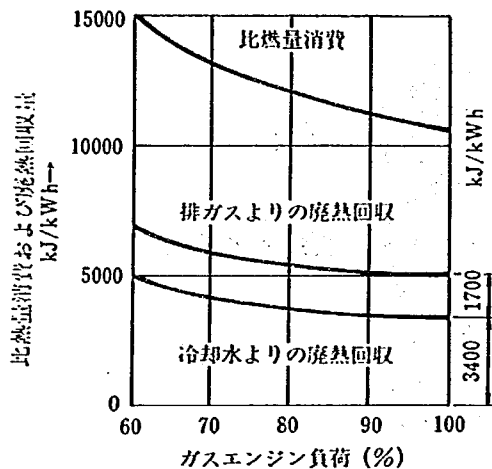
※ 昭和48年 東京大学都市工学科修士課程卒。同年建設省下水道部に入り、ただちに下水道事業センター（現・日本下水道事業団）の技術部に出向、50年建設省土木研究所下水道部に移り、現在にいたる。

表-58 ガスマシンの技術データ

	オットー型 ガスエンジン	ディーゼルガスエンジン	
		過給器なし	過給器* 付き
必要熱量			
ガス..... KJ/kWh	11,100	8,400	9,200
点火オイル..... g/kWh	—	245	180
計..... KJ/kWh	11,100	9,400	10,000
消化ガス必要量			
m^3/kWh	0.48	0.36	0.40
kWh 生産.....	1.93	2.57	2.32

* “過給器”により、シリンダーの中の圧を0.5気圧程度通常のものより上げ、これにより負荷を高くかけることができる。

図-315 230kW のガスエンジンにおけるエンジン負荷と比燃料消費および廃熱回収量



償されないからである。

2-4-1 オットーガスエンジンとディーゼルガスエンジン

もし、なんらかのかたちで、電力会社との電力供給の形態が保たれている場合には、オットーガスエンジンが使用される。なぜなら、ガス不足の場合は外部の電力が使えるからである。電力供給の義務が高い場合は、経済的ではないが、ディーゼルガスエンジンを使用することになる。このエンジンは2種の燃料の使用が可能で、一定量の点火オイル付加（総熱量の8～10%）の条件でガスが燃焼されるか、あるいはガス不足のときは、ディーゼル油のみの運転ができる。オットーガスエンジンの場

図-318 蒸気形態による廃熱の回収

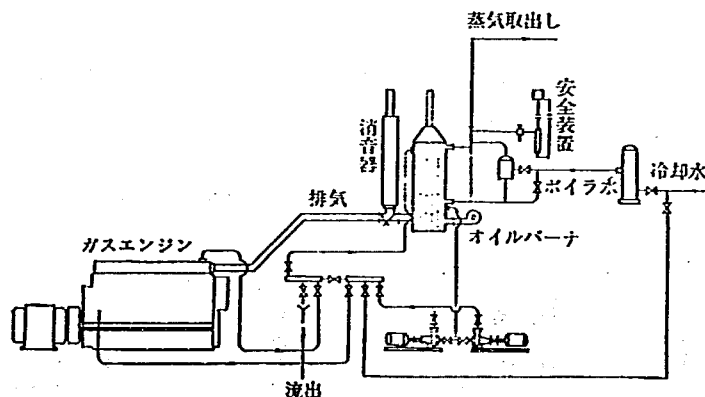
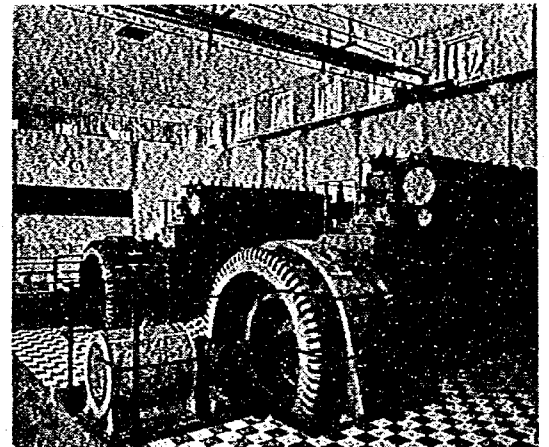


図-316 Wupper 水組合の Wuppertal-Buchenoten 処理場のガスエンジン施設



合は、シリンダーの中で圧縮されたガスと空気の混合物が、点火プラグの火花によって点火される。一方、ディーゼルガスエンジン（ガスエンジンとして使用される場合）においては、高圧に圧縮されたガス空気混合物を点火させるために、少量の点火オイルがシリンダー内に添加される。このエンジンがディーゼル油だけで運転される場合は、通常のディーゼルエンジンとなんら変わることはない。

外国では(米国、英国)、最近エンジンと同様にガスタービンも用いられている。このガスタービンは、約736 kW 以上の負荷で使用されるので、ドイツの処理場への適用は限られたものになると考えられる。ガスタービンには冷却水はないので、排ガスの廃熱のみが利用される。このことは、廃熱は水蒸気としてだけとりだすことが可能であり、したがって消化タンクの加熱は水蒸気によることになることを示している。

ガスエンジンにおいても、冷却水加熱（入口温度約55℃ 出口温度75℃）のほかに、高温冷却水法が可能である（出口温度110℃～120℃、0.5～1.0気圧）。この方法は、しかるべき理由により、温水による消化タンク加熱にかわって、低圧水蒸気による加熱を行っている場合に適合する（図-318参照）。西ドイツではガスエンジンは、MAN社、Werk Augsburg社、Mannheimer Motorenwerken社(MWM社)、Caterpillar社(米国)によって調達されている。冷

却水の補給量は約 $4.5\ell/\text{kWh}$ 、エンジンオイルの消費量は $0.39\text{kg}/100\text{kWh}$ である。米国においてはディーゼルガスエンジンが一般的に使用されるが、ディーゼル油がドイツにくらべ非常に低廉であるという理由によっている。Heyes氏によれば、米国における消化ガスによる動力回収にあたって、ガスが十分であり、かつ連続運転がなされる場合は、一般にオート型エンジンを使用することが推せんされている。しかしながら、たびたびガスが不足し、その間補充燃料を使用しなければならないところでは、ディーゼルガスエンジンが使用されるべきであろう。

図-316は、Wupper水組合の Wuppertal-Buchenhofen 処理場における合計 $1,730\text{kW}$ のガスエンジン設備を示している。ここでは、 $2 \times 375\text{kW}$ と $1 \times 440\text{kW}$ の3台のガスエンジンと 540kW のディーゼルガスエンジンが設置されている。

2-4-2 廃熱利用

ガスエンジンの冷却水と廃ガスから約 $5,200\text{kJ}/\text{kWh}$ の熱量が回収され、消化タンクの加温に供することができる。この場合、約 $3,400\text{kJ}/\text{kWh}$ が冷却水から、また、約 $1,700\text{kJ}/\text{kWh}$ が排ガスから回収される。図-317は、廃熱回収の目的で冷却水が循環されている状況

を示している。計算によれば、冬期のタンク加温に要する最大必要熱量も、ガスエンジンに全発生ガス量が使われた場合には、その廃熱により問題なくまかなうことができるという結果である。図-315は総投入熱量の約半分が利用可能な廃熱として得られるということを示している。エンジンの負荷が下がるにしたがい、比熱需要は約 $14,800\text{kJ}/\text{kWh}$ まで上がっていく。そして、その場合、利用できる廃熱は約 $7,100\text{kJ}/\text{kWh}$ までになる。図-319は、Wuppertal-Buchenhofen 処理場 (Wupper 水組合) におけるガスエンジン設備の廃熱利用設備を示している。

2-4-3 ガスエンジンの運転

ガスエンジンは、原動機ゆえに電動モーターのように始終間断なく運転することはできない。数週間に1回の短時間の運転停止が必要で、点火プラグなどの取りはずしを行う。ガス噴射口の清掃、電極摩耗の調整のためのバルブの取りはずし、点火プラグの交換などが作業内容となる。また、数ヵ月に1回はオイル交換が必要となる。約 $10,000$ 時間の運転後には、徹底したオーバーホールが必要になるが、その点検作業には、1週間またはそれ以上の期間がかかる。これらのことは、連続運転するポンプやブローの直結運転を行うときには考慮しておかなければ

図-317 温水形態によるガスエンジンの廃熱利用

- 循環経路 I 全廃熱利用 ($5,200\text{kJ}/\text{kWh}$) の場合
 II エンジン冷却水の廃熱のみ ($3,400\text{kJ}/\text{kWh}$) 利用の場合
 III 廃熱を利用しない場合

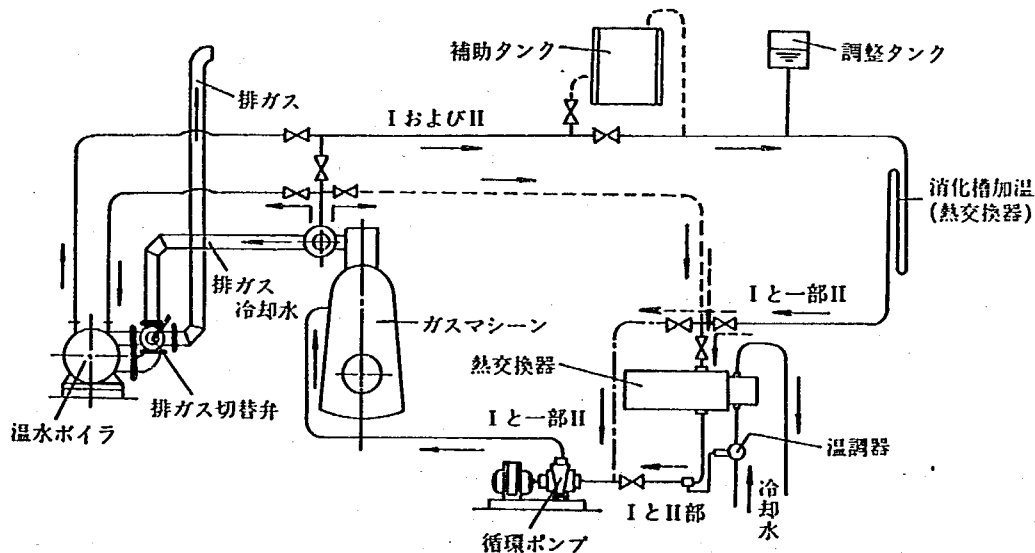


図-319 Wupper 水組合 Wuppertal-Buchenhoten 処理場におけるガスエンジンの廃熱回収装置 (温水循環型)

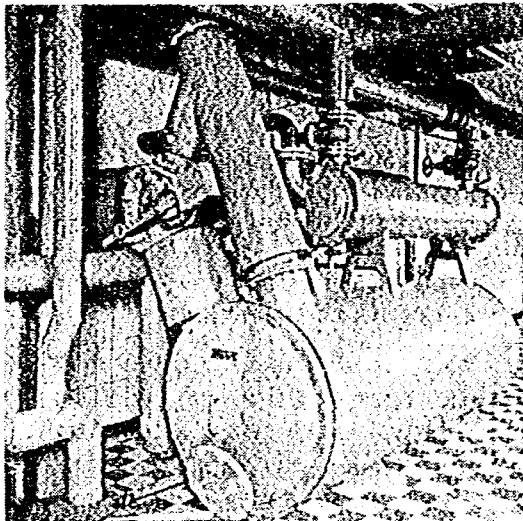
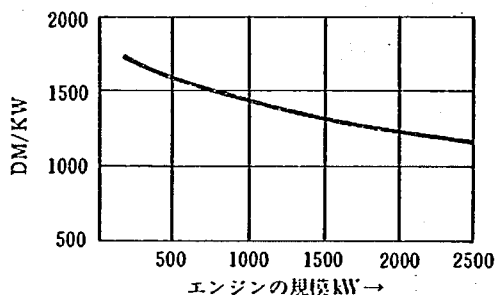


図-320 ガスエンジンの平均的な設備費
廃熱回収装置、電気付属設備、経整、点検、建
屋の費用も含む (1974年価格 1 DM約100円)



ればならない。直結運転は、100% 負荷の場合に約20% 上回る動力が得られるし、配電設備の投資および管理コストが節約できる。また、台数の分割が可能であれば、それは得策である。なぜなら、あらかじめ決められた運転計画に沿って1台のエンジンをとめることが可能であるし、また、経済計算によっても十分1台の予備エンジンを設置することが成り立ちうるからである。しかし、どの種のガスエンジンも一定負荷以下では運転できないということを考慮しておく必要がある。

もし24時間連続で発電をするならば、最低半日分のガス発生量にみあうガスタンク容量が必要である。ピーク電力の発電をする場合は、より大きなガスタンクが必要である。また、日中の電力だけを発電し、夜間の電力は余剰の日中電力と引き替えに得ることもできる。ガスエ

ンジンの運転方法は種々あるので、それに対する一般的に有効な基準はない。よって種々の地域的な状況、とくに電力料金が大きな影響を与える。ガスマシンは一般に発電機と直結され、同一の基礎ブロックの上に据えられる。この基礎ブロックは、直接に基礎の上に据えられるのではなく、基礎から切り離しパネをかまして、いわゆる防音基礎の上に据えるのが好ましい形態である。それにより騒音をかなり減少させることができる。ガスエンジンの建屋の屋根と側壁は防音壁にすることが望ましく、これによって騒音を許容値の範囲にとどめることができる。

2-4-4 設備コスト

現在稼働している設備から設備コストの中間的な値を算出することが可能である。その状況を図-320に示す。1,500kW から2,200kW のエンジンの規模においては、設備コストは次のような内容となる。機械設備約45% (ガスエンジン および 発電機)、建屋およびその他廃熱回収装置、配管など約35%、電気設備約20% (配線、配電盤、トランス同期機など)。この設備費に加えて、ガスタンクおよびその他外部設備、車道、給排水管工事などのコストが加わることになる。

2-4-5 維持管理費 (1974年の価格)

維持管理費は次の項目のコストから成り立っている。人件費、潤滑油、給水、修繕費、ディーゼルガスエンジンに対する点火オイル等々。オットー型のガスエンジンにおいて、その維持管理費は、設備の規模、地域的な状況などにより幅をもっているが、大きな設備で5.0 pf/kWh (≈ 5 円/kWh)、小さな設備で9.0 pf/kWh (≈ 9 円/kWh) 程度になる。ディーゼルガスエンジンに関しては、その値は若干上がり、消化ガスと8~10%の点火オイルで運転されている場合には最低約2.0 pf/kWh (2 円/kWh) 以上にかかる。ガス不足期にディーゼル油だけで運転される場合は、コストが点火オイル (ディーゼル油) 消費分だけ高くなる。

2-4-6 ガスエンジンの経済性

計画にあたって実際の経済計算を行ってみることが必要である。その場合、個々の処理場で地域的に異なる因子に対して相応の考慮を払うことが必要である。また、現在の処理場諸元を基本とするよりも、最終の諸元を基本として経済計算をすることが好ましいものと考えられる。さらに、買電の電力価格の動向も考慮に入れる必要がある。

西独における 汚泥の処理処分

～汚泥の農業利用と消化ガスの利用～

佐 藤 和 明

建設省土木研究所下水道部
汚泥研究室主任研究員

1. はじめに

昭和54年10月より1年間西独のアーヘン工科大学水質汚濁研究所に席を置く機会をもった。研究所では主に2段生物処理法のパイロットプラントのプロジェクトに参加していたが、その間いくらかの時間をドイツ国内及び周辺諸国の下水道事情の視察旅行に行くことができた。今回、編集者より西独における下水汚泥の処理処分について執筆するように依頼を受けたが、断片的な事例は収集してきたものの、ドイツの一般的な事情となると果たして十分これを理解してきたかどうか自信がない。そこで今回は、下水汚泥の利用という面に焦点を当てて、汚泥の農業利用及び消化ガスの利用法について事例を主に紹介したいと思う。

西ドイツにおける汚泥の処分状況について最近の文献¹⁾より情報を拾ってみると次のようになっている。まず、35%の下水汚泥が埋立場に投棄されている。海岸線が北にのみ限られているドイツではほとんど埋立地は内陸に求められており、列

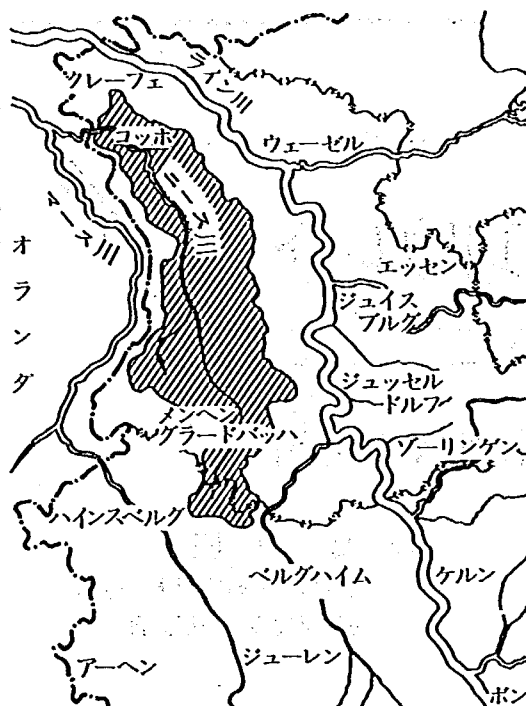
車の窓からも時々台形状に積上げられた大きなゴミの山を見ることができる。下水汚泥はほとんどが脱水汚泥の状態ですべて都市ゴミと一緒に投棄されている。次に35～40%の汚泥が農業利用されている。汚泥の形態は脱水汚泥及び液状消化汚泥が大半であるが、特に液状消化汚泥としての利用が一般化しているのが特徴である。その他、5%の汚泥が焼却されており、残りはコンポスト及び海洋投棄の形態で処分されている。以上がかなり雑な概略であるが、次にその事例を紹介してみよう。

2. 汚泥の農業利用

1. Niers 水管理組合における液状消化汚泥の利用

Niers 水管理組合を見学したのは1980年2月末であった。冬の寒さもようやく峠を過ぎ、久しぶりに好天となった日である。グラフ(51～52頁)に掲載した写真はそのときに撮ったものである。最初に組合の管理責任者(Bauassessor)のKugel氏に話を聞くことができたが、この組合は流域面積1,300km²を有するNiers川の流域の水管理を行

図-1 Niers 水管理組合の管理区域



っており、上流の褐炭採掘地区の地下水の管理、流域内の下水処理場の建設管理、Niers 川の水質保全といったものが主な仕事となっていた。Niers 川はオランダ国境を超え、Maas 川に合流するが、オランダの機関と Niers 水管理組合は水質保全に関して協定を結んでいる。図-1 に Niers 水組合の管理領域を示すが、西ドイツ国内でもノルトラインウェストファリア州は、ルール地方など早くから工業化が行われた地区を有しており、エムシャー組合、ルール水管理組合など20世紀の初頭からその活動が始まっている。Niers 水管理組合は、1928年に設立されたが当初は主に洪水管理及び河道の清掃がその仕事であったようである。現在、組合が管理する流域には約65万人の人口が居住するが、そのうち中北部が人口密度の高い区域となっており、Mönchengladbach 市などに3分の2の人口が集まっている。組合内には合計32カ所の下水処理場が存在するが、処理水量13万 m^3 の Mönchengladbach 処理場、2万 m^3 の Grefrath の他は、日量1万 m^3 以下の小規模の処理場となっている。処理施設は大体活性汚泥法で運転されているが、硫酸第一鉄又は塩化第二鉄の投入を伴っ

た生物化学処理プロセスが、代表的な処理場6カ所で行われている。この金属塩の投入は決してリンの除去ということだけが目的でなく、工場廃水起源の色の除去、及びSSの除去効率の向上ということが重要な役割となっている。さて、以上が水管理組合の概要であるが、組合の技師である Wenzel 氏にこの組合の特徴的な事業である、消化汚泥の利用について話を伺い、又、散布地の見学の便宜も図ってもらったので、次のこの事業の概要を説明したいと思う。

管理組合内の処理場で発生する汚泥の大部分は農業利用されており、1979年の実績では 433,000 m^3 の濃縮消化汚泥が農地に施用されている。汚泥の農地散布に当っては、窒素効果がその施用量の基準となる。水管理組合の経験によれば、野菜畑においては年間、消化汚泥で40mmの施用が一番収穫高が多くなっている。又、冬小麦、大麦、牧草地に対しては20mmが良いとされている。これらの散布量は汚泥濃度5%を基準にしている。

図-2 は水管理組合内の発生汚泥の処分要する面積を示したものである。この面積の算出に当っては、汚泥の散布厚さ10mm、又、散布可能な耕地面積比を、各地区の状況に合わせて2.5~5%の範囲で定めている。この内 Mönchengladbach 処理場から発生する汚泥量は全体の約3分の2を占め、その必要面積は半径18kmに及ぶ。汚泥は19t 積のタンクトラックで運ばれるが、平均運送距離12kmの場合、汚泥1 m^3 当りの処分費は4.64 DM/

図-2 汚泥の施用領域

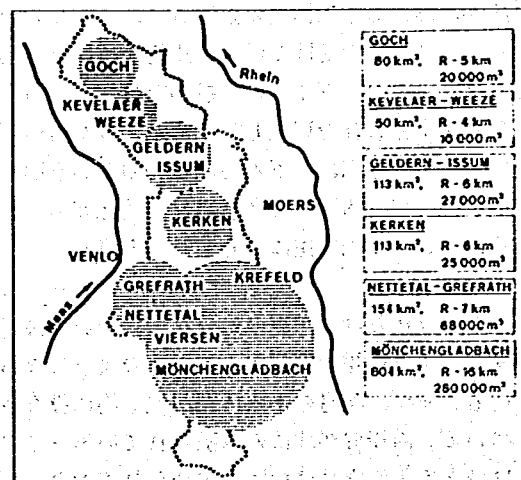
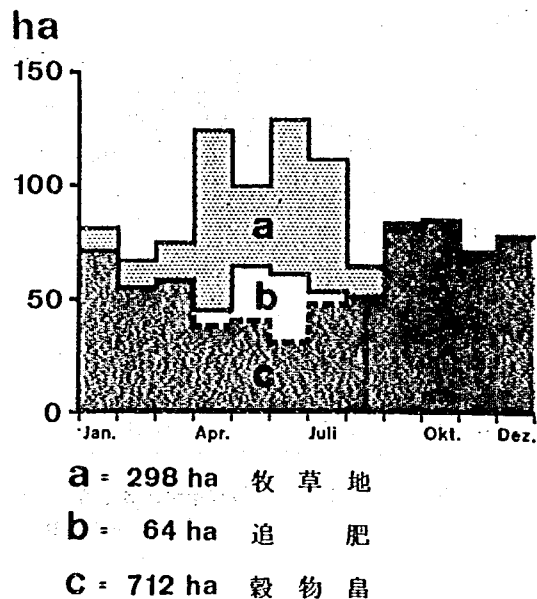


図-3 汚泥の施用面積 (1975年)¹⁾



m² (1978年, 約500/m²円) となる。汚泥の散布形式はグラフの写真に示すようなものであるが, 1回の散布は12~30分で終了する。

処理場から発生する汚泥を年間を通じて農業利用に供するため, 水管理組合では各農業者と事前に汚泥散布について契約を結び年間の計画を立てている。図-3 に1975年の汚泥の利用実績を示すが, 穀類の耕地への散布を基調にし, 年前半期の牧草地への適用, 又, トウモロコシ畑への追肥などがその内容となっている。

散布汚泥の品質の管理は水管理組合自体で行っており, 汚泥の成分が組合の試験所で測定され, 資料として保存されている。検査項目は, 蒸発残留物, 強熱減量, pH, 全窒素, 溶解性窒素, リン, カリウム, カルシウム, マンガン, 及び重金属類

(Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, Zn) である。

消化汚泥が牧草地へ散布される場合は, 汚泥の殺菌が行われている。その殺菌施設をグラフの写真にも示したが, その機構は低温殺菌である。消化ガスを熱源としてつくられた蒸気を接触させるものであるが, 温度65~75℃, 接触時間10~20分である。

2. バイエرن州水管理局における汚泥利用の指針

バイエルン州は南ドイツの代表的な州で, その州都はミュンヘンである。1980年7月にミュンヘンにある州の水行政に関する機関を訪れ (Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft), 下水道技術に関して専門家と話を交わす機会を得た。このときに水質汚濁防止部局の Erlenmeyer 氏に下水汚泥の利用についての州の指導要綱を説明いただいたので, その概要を紹介したいと思う。

バイエルン州は九州よりは広く, 北海道よりは小さい面積となっているが, 下水処理場の総数は2,560カ所となっている。しかし, この内の半数近くが, ただの素掘りの池であり, 日本人の感覚からは処理場とは呼びにくいものである。ただし, 人口1,000人以下の村では, こういった簡易なものが一般的であり, 活性汚泥法や散人床法は, まだごく限られた数でしか普及していない。参考までに処理人口1万人以上の処理上の数は約300カ所であり, これらについては生物処理が行われている。

バイエルン州水管理局では, 下水汚泥の利用に当たってのパフレットを各自治体, 又, 農業者に対して用意している。まず, 下水汚泥の肥料価値を他の肥料と比較しているが, それを表-1に示す。下水汚泥はカリウムの含有率が低く, 例えば, 牛の

表-1 下水汚泥の施用による土壌への肥料効果¹⁾ (kg)

肥効成分	液状消化汚泥 5%TS 100m ³ /ha	トウモロコシなどへの一般的な施肥量			
		厩肥 300dt/ha	水肥 50m ³ /ha		化学肥料
			牛	豚	
有機物	2,500	5,400	3,000	3,000	—
N ^{*)}	150(30)	150(50)	200(40)	250(50)	150
P ₂ O ₅	300	60	100	200	150
K ₂ O	20	180	250	150	200

(*) カッコ内の数字は, 例えば秋季に施用された場合の有効窒素量

表-2 下水汚泥中の重金属 mg/kg TS(ppm)¹⁾
(バイエルン州の中小都市の中間的な値)

重 金 属	下水汚泥中濃度		土 壌 中 濃 度		
	領 域	中間値	最頻値	害の出る濃度	液状汚泥の散布による濃度の増加 (TS 5%, 100m ² /ha)
銅 (Cu)	100—2,100	630	5—20	100	1.1
亜鉛 (Zn)	820—7,130	2,140	10—50	300	3.6
ニッケル (Ni)	30—920	197	10—50	100	0.3
コバルト (Co)	8—11	9	1—10	50	0.02
クロム (Cr)	50—3,770	603	10—50	100	1.0
カドミウム (Cd)	3—97	35	0.1—1.0	5	0.05
鉛 (Pb)	149—265	205	0.1—5.0	100	0.4
水銀 (Hg)	0.1—55	6	0.01—1.0	5	0.01

水肥などでこれを補う必要がある。汚泥の散布量の決定に際しては窒素の量を基準とするが、夏期や秋期に裸地に散布した場合かなりの窒素が失われることが指摘されている。又、汚泥中に含まれる有機成分の効用も説かれており、ha 当り100 m²の下水汚泥の散布は、100 t の厩肥に相当する有機物を厩地に施す。

次に重金属のことに触れているが、表-2 に下水汚泥の平均的な重金属含有量、又、土壌中の含有量を示す。表には5%濃度の下水汚泥が100m²/ha 撒かれたとき、土壌中の金属濃度がどの程度上がるか試算結果がでていいる。又、作物に摂取される金属量は、土壌の pH などにより大いに変わらうるものであり、石炭、腐植質、粘土を多く含む場合は安全側となると説いている。

次に衛生的な見地から各種の汚泥の農地への施用の条件を示している。液状消化汚泥は衛生学的に疑い汚泥として分類される。耕地、牧草地などの適用に当っては、その時期に制限を受ける。例えば、穀類の耕地への散布に当っては、収穫が終わり次の播きつけの芽が出るまでの期間、牧草地では最後の刈取りがあった後、その年の終わりまでの期間というように指定されている。熱処理汚泥、乾燥汚泥、低温殺菌汚泥、コンポスト汚泥に対しては、四季を通じて適用可能であるとしている。

以上みてきたように、ドイツにおいては、汚泥の衛生的無害化、即ち殺菌、滅菌といった考慮が一般的になされているようである。しかしここで注意すべきことは、ドイツにおいては液状消化汚

表-3 下水汚泥中の許容重金属濃度値
mg/kg DS¹⁾

カドミウム (Cd)	30
亜鉛 (Zn)	3,000
銅 (Cu)	1,200
ニッケル (Ni)	200
鉛 (Pb)	1,200
クロム (Cr)	1,200
水銀 (Hg)	25

泥の形態での施用が最も普通に行われていることである。汚泥の殺菌技術に対しては、エネルギーコストがかなり高くなる。又、その効果が疑問が残るほど批判的な意見もあるが、牧草地への適用に当っては、原則的に殺菌を行うといったことが了解されているようである。

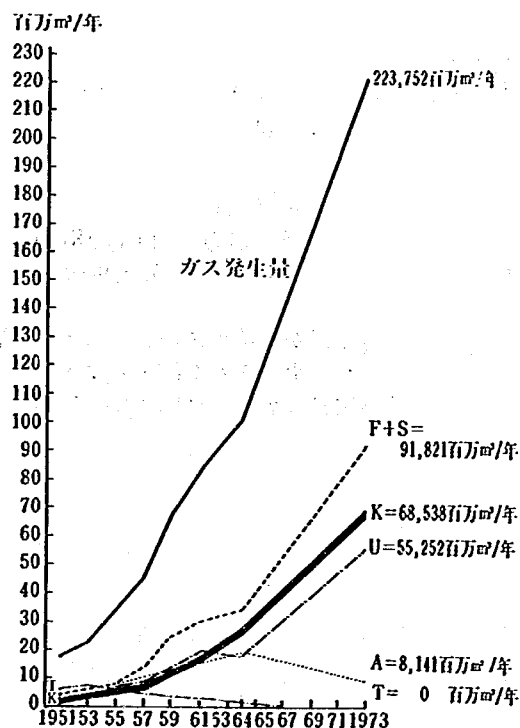
重金属の問題に関しては、現在まで長い歴史を伴って慣例的に汚泥の農業利用を行ってきたという実績もあるせいか、現場の技術者は随分楽な見方をしている場合が多い。しかし、最近はこの問題もマスコミなどで取りあげられるようになり、行政府も近々、下水汚泥中の重金属値の規制値を表-3 に示すような数値で公表する予定である¹⁾。この数値は、日本のものと較べると随分ゆるいものとなっているが、ドイツにおいてはとくにカドミウム、亜鉛、ニッケル、クロムの値が厳しいものといわれている。この規制値が適用された場合には、現在行われている汚泥の農業利用は半減すると予想されており、ドイツの下水道界

では大問題となっているものである。

3. 消化ガスの利用技術

西ドイツにおいては、汚泥の消化処理というものが、ごく一般的に行われており、文献⁹⁾によると消化プロセスを採用する処理場は全体の90%近くにもなる。これらの消化プロセスより発生する消化ガスの年間総量は2億2千万 m^3 (1973)となっている。図-4に消化ガスの利用状況の経年変化を示すが、ガスエンジンシステムに使用される量が全体の約3分の1を占めており、消化ガスの有効利用形態の代表的なものとなっている。ガスエンジンシステムは処理規模が一定以上のところ

図-4 西ドイツの下水処理場における消化ガスの発生量とその利用 (西独A T V下水道ハンドブックより)



F+S; 消化タンクの加温およびその他の利用

U; 利用していないガス量

A; 都市ガスへの供給その他

K; 動力利用

T; 自動車への利用

で経済性が出るといわれているが、アンケート調査の結果によると処理人口2万人(処理水量4,000 $\text{m}^3/\text{日}$)以上の規模で約40%の処理場がこのシステムにより消化ガスの有効利用を行っている⁹⁾。

このように採用例が多いことには、いくつかの要因が考えられるが、まず第1の原因は消化ガス発生量が多いということである。わが国においては消化ガスの投入汚泥量当りの発生倍率は5~10倍となっているが、ドイツでは10倍から20倍が普通の値である。これは投入汚泥の濃度の濃さによるものであるが、平均的な投入汚泥の濃度は5%となっている。その他に、汚泥中の脂肪分の多寡が関係しているといわれているが、今後の調査が必要となろう。又、ドイツにおいては処理場の流入水の濃度がBODで200から300 mg/l と濃いうえに、エアレーション時間が3時間程度と短いため、処理水量又は消費電力量に対する消化ガスエネルギー量がかなり良い条件となっていることが指摘される。

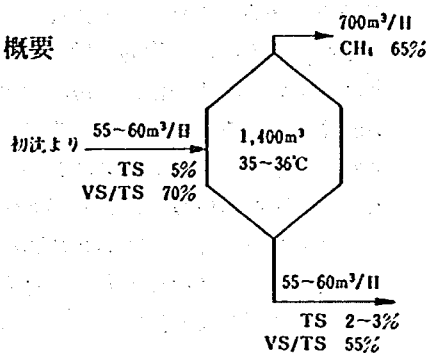
表-4, 5は、ガスエンジンシステムを有する処理場の実データを示したものである。双方共15年程前から運転が行われてきた古い施設のものであるが、処理場消費電力量の約半分の電力を生産している。廃熱回収方式は低圧蒸気発生方式であり、0.5気圧の蒸気を回収し消化タンクの加温に供している。この回収廃熱により、年間を通し加温が賄われるが、冬期の一番厳しい時期には若干の重油がたかれている。

ガスエンジンのタイプは、デュアルフェル型、オットー型エンジン、双方使われているが、最近の傾向としてオットー型の使用の例が多くなっている様に見受けられる。この理由は、デュアルフェルエンジンでは、パイロットオイルとして、常に総熱量価にして5%以上の油を供給し燃焼しなければならず、これが経済的にかなり影響するためと理解される。又、最近の設計例では、グラフの写真にも示したようにエンジンとブローの直結運転が一般化してきている。この方式は、エネルギーの変換効率を多少こしても上げるところにその設計意図があるが、こうした方式の採用によりドイツでは散気方式のエアレーションタンクが増加していると聞いている。

表-4 Marl-West 処理場のガスエンジンデータ (Lippe 水管理組合)

40,000EWG (人口当量)	6,000m ³ /日	1964年 処理開始
水処理	初沈 → 散水汚床 → 活性汚泥 → 終沈	
	1,010m ³ 2,250m ³ 275m ³ 1,233m ³	
汚泥処理	初沈より (余剰も含む) → 消化槽 → 汚泥乾燥床	
	1,400m ³	
	↓	
	ガスホルダー	
	300m ³	

消化タンク概要



ガスエンジン 1台 (小型)

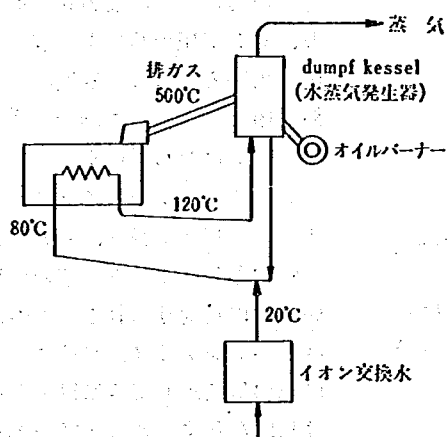
1964年設置

オート型ガスエンジンによる発電、廃熱は蒸気発生器により水蒸気としてとり出す。

125 P S 4気筒 発電器 400 V 80~85kw (実際は60~70kw)

運転は、12時間から24時間/日

廃熱回収



(廃熱回収)

公称能力 120,000Kcal/h
(最大負荷時)

(気温がマイナスのときはオイルバーナーをなくという。オイル使用量のデータは明きらかでない。)

1979年 維持管理年報より (Marl-West)

処理水量 5,022,360m³

使用電力量 683,716Kwh
(0.136Kwh/m³処理水量)

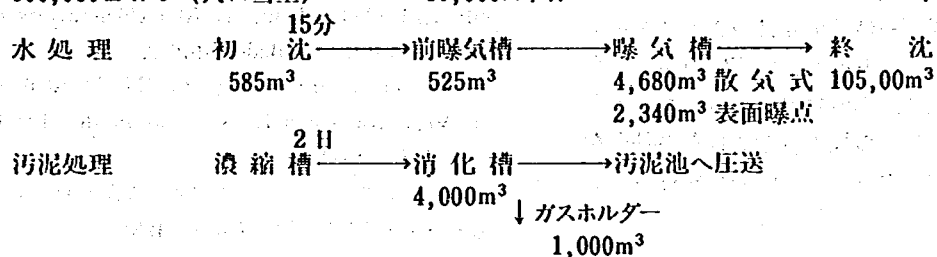
消化ガス 発生量 258,056m³
使用量 255,100m³

このうち 買電 338,172Kwh
発電 345,544Kwh

(1.35Kwh/m³ガス)

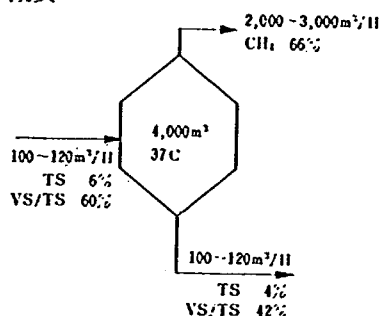
表-5 Hamm 処理場のガスエンジンデータ (Lippe 水管理組合)

300,000 E WG (人口当量) 55,000m³/H 1961年 生物処理開始

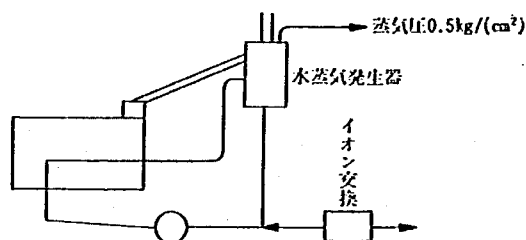


流入水のBOD₅、200~300mg/l このうち1/5が工場廃水 (鉄板、化学工業)

消化タンク概要



ガスエンジン 4台 (2台 ディーゼルガス 2台 ガス)
型式 Deutz WA 8 M428 260 P S (175kw)
発電機 400 V 50Hz 40 A 215KVA
4台とも上記のものであるが、2台は処理場でotto型に改造



ガスエンジン管理データの1例 日データより (24時間運転)

	ガス使用量	ディーゼル油量	発電量
otto型	2,133m ³ /d (12.0×10 ⁶ Kcal)	—	3,380Kwh/d (2.9×10 ⁶ kcal) $\eta=24\%$
ガス・ディーゼル型	1,769m ³ /d	219l/d	3,740Kwh/d

1979年 維持管理年報より

処理水量	19,905,740m ³ /年	このうち	買電	3,065,355Kwh
使用電力量	6,052,365Kwh*		発電	2,987,010Kwh
消化ガス発生量	1,740,309m ³			
消化ガス使用量	1,774,397m ³			
ディーゼル油使用量	不明			

*使用電力の原単位が0.3Kwh/m³と高いが、曝気配管にかなりの漏れがある

ドイツにおいては、ガスエンジン技術の歴史は古く、もはや目新しさのない技術となっていたが、やはりエネルギー情勢が今日のようになってきたことによって、より厳しい経済性の検討のもとに新たに開発及び評価の対象となってきたようである。われわれ日本の技術者もこれらの動向を正しく見定め、独自のシステムの開発を行っていく必要がある。

文 献

1) 日独環境保護技術パネル、第5回会合議事録、

1980；環境庁企画調整局

2) H. Wenzel; "Erfahrungen des Niersverbandes mit der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung", Wasser und Boden 1979. 9.

3) ATV Landesgruppe Bayern; "Merkblatt über die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft", 1976. 5.

4) 中丘徹; "ヨーロッパにおける汚泥研究および処理の現状と動向" 汚泥研究年報, 1981.

西独

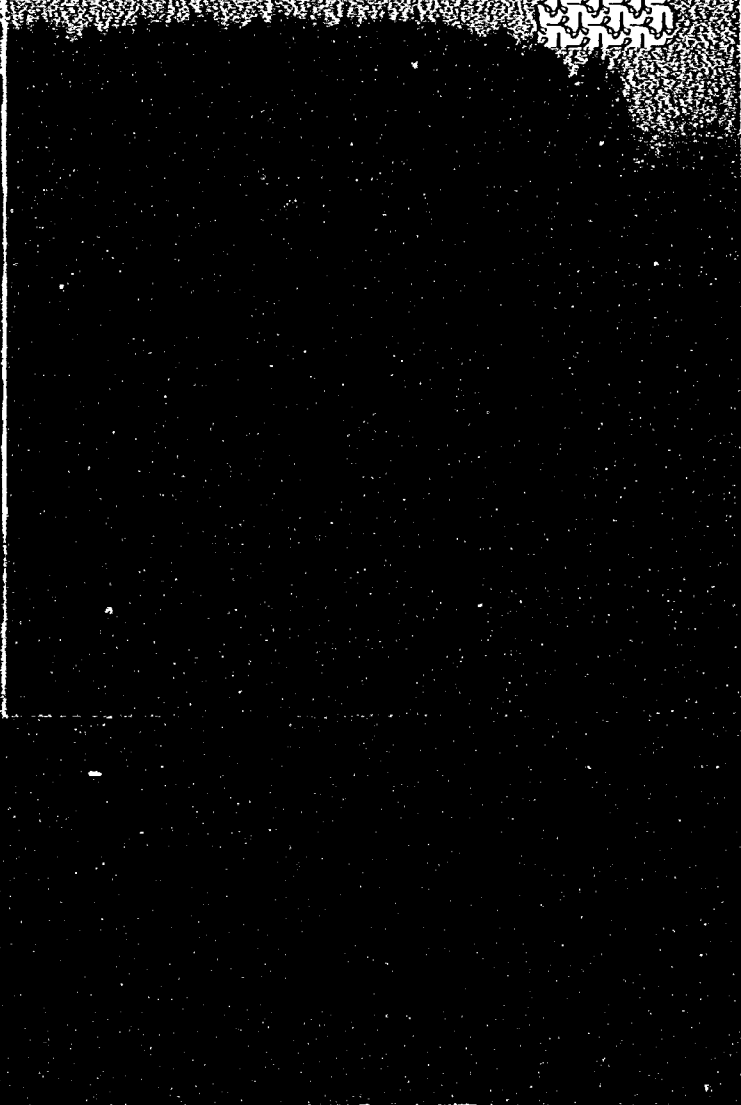
汚泥の処理処分



▲汚泥タンク車 (19t)

消化汚泥の耕地利用

Niers水管理組合



①

②

③

- ① 汚泥の堆積場
- ② 汚泥の貯蔵庫
- ③ 汚泥の処理場

Hanau処理場 消化ガスの動力への利用

上下円筒型の消化タンク

消化ガス

消化ガスエンジン（手前が発電機と送給機、奥の2台はローソブローと直燃機）

技術紀行

一人の日本滞在者の見聞とその印象

— 両国文化の相互理解の一助としての寄稿 —

カール・ヒペルン*

(訳) 佐藤和明**

ほぼ地球の裏側にある日本に半年の間滞在するため、大きな不安と緊張の気持を抱いてドイツを飛びたちました。日本、それはドイツにおいて多くの詩や書物に書かれてきましたが、今回私が始めて知ったように、ほとんど理解されていない国と言えましょう。飛行場で日本人の知己に出会い、一緒に筑波研究学園都市に向けて車に乗ったあたりから、何故か知った世界に行くようで、緊張も幾分はぐれてきました。もちろん、全く異なった文字、構造の違う家の造りなど、外見上の違いは随分目につきましたが、文化の水準のいくらか似通った特徴というものを認めることができました。しかし、私達の感情をやわらげるのに一番重要であったものは、土木研究所や隣近所の方々から、すぐさま親切なる歓待を受けたことでした。

日本についての私の一般的な印象を披瀝する前に、土木研究所において経験したことやその印象を、職場での生活という面から書いてみたいと思います。

最初の大きな違いは、これはどの西洋人も口を揃えて言うと思いますが、全く趣を異にした事務所の部屋のつくりにあります。この部屋はかなりの大部屋で、比較的面積のせまい机がびっちりと並んでいます。ドイツの私の研究所では、2人ずつの小部屋に分かれています。そしてドイツにおいては、とくに研究開発部門では、1人1部屋というのが一番普通の形態となっています。こういった隔離された部屋というのは日本人にとってあまり好ましくない労働環境かも知れませんが、多くのヨーロッパ人も疑いなく同様の感覚を持っています。そして仕事の能率を上げるために、昨今では一部の企業、役所で再び大部屋の事務所を用いる傾向が出てきています。次の段階には、一体感を満足させると同時に個人の独立といったものをできるだけ尊重するシステムが考えられねばならないでしょう。これは西洋社会が見落している一つの開発分野であろうと思います。

土木研究所の下水道部の研究員の方々と知り合いになれたことは、私にとって大変貴重なものでした。都市下水処理場数、約400箇

所ということから、おぼろげながら想像していたのと違って、その知識のレベルが随分と高度であることを再認識しました。水質分析室やパイロットプラントの施設の良さは美しいぐらいです。実験室における仕事のやり方といったものについて、日本とドイツの差をここに示してみたいと思います。日本においては土木または衛生工学技術者自身が、化学技術者と同様に、実験から出るサンプルの分析も自ら行っていますが、ドイツにおいては実験を企画実施する土木技術者と、分析をつかさどる化学技術者の領分は、はっきり別れています。ドイツにおける実験室の組織は、例えばドクター称号をもった化学やの実験室長、その下に大学卒の化学技術者数名、それに分析技術者という構成が一般的となっています。私のような西洋人にとっては、土木研究所下水道部がもつ大きな実験室が、明確な責任をもつ実験室長というものなしで、かなり組織的に仕事が行われているという状況がなかなか信じられません。以上の点に関しては、ドイツのやり方により多くの弊害がみられるように私には思われます。なぜかと言いますと、実験担当の主任者となる土木技術者が、分析技術について未熟であったり無知であったりすることによって、実験結果について間違った解釈を行うといった危険性が広々にしてあるからです。しかし、日本の現状についても疑問がない訳ではありません。日本の土木技術者というのは分析を行っているほど暇があるのでしょうか。また、分析手法の改良といった



ヒペルン氏夫妻(向かって左側) 宇治の平等院にて

* フーヘン工科大学

** 建設省土木研究所下水道部汚泥研究室主任研究員

方まで頭がまわるのでしょうか。私は、日本式、ドイツ式の中間で最良の方策があるように思います。

次に、試験研究のテーマの選びかたに関して部分的にかなりの違いがあるということを指摘しておかなければなりません。それにはやはりそれなりの理由があるのだと思います。例えば所狭しと家が建てこんでいる日本の状況では、土地の有効的な利用といったものに、ドイツとは較べものにならない位の重要な意味があるのだと思います。この土地問題というのは、明らかに日本独特の問題であり、これからも独自の方法で解決していかなければならない問題であろうと思います。この一つの例として、ドイツではほとんどみられない下水処理場に対する覆蓋施設というものがあります。日本ではこの覆蓋の上を公園にしたり運動場にしていますが、処理場建設用地の取得条件というものがドイツと較べ随分厳しいようです。この問題は処理場建設費が高くなることと関係してきますが、日本では建設費に対する経済性の追求の取り組み方がドイツとは全く違うのではないかというのが、私の卒直な印象です。多分これは日本の美しい自然をなにごんでも守るといった、喜ばしい合意の産物かもしれません。または、毎年急増する税金のおかげで、各自治体は全然経済的な圧迫は感じないのでしょうか。もしここで、下水処理場の消費電力を日独間で統計的に比較してみるとできるならば、非常に興味ある結果が出ると思います。多分日本においてその消費電力はかなり高くなっているものと推定できます。もしこの推定も正しいとするならば、次のように解釈することができます。すなわち、その原因は日本の下水道技術が米国の技術の影響を強く受けてきたというところに求められるのではないのでしょうか。米国においては、昔からまた現在もおエネルギー価格は安く、個人も団体もエネルギー節約について、経済的な面からの必要性を感じていないからです。

もう一つ、これははっきり統計的な数字が示していますが、日独間の差異をあげることができます。それは日本において水使用量が大きいということです。これは私の限られた日本滞在の経験からいって、有名な日本式風呂によるというよりも、すすぎ量の多い洗濯方式にその原因があるのではないかと考えています。ともかくも、この2つのものによって、日本においては河川水をそれだけドイツよりも多く使用していることは確かです。以上のことは、日本人がより綺麗好きであるということを示しているのかも知れませんが、水の値段というものからも説明ができるのではないかと思います。西ドイツにおける水の値段はかなり日本より高く、過去においてその差はより大きかったようです。この水の価格の意味については、ドイツにおける一つの事例が参考となります。ある都市で上水の料金をタダにしたところ、急激に水使

用量が増し2倍となっていました。その後、再び旧来の料金システムに戻したところ、全く驚いたことに、実に速かに以前の水使用量に落ちついてしまったということです。

ここで専門的な話から一般的な印象についての話に移そうと思いますが、これは日本で書く方が随分楽です。もしドイツにおいてこういった報告を書くとしたら、私は二つの報告を書かなければなりません。なぜかといえば、我々のところでは仕事と個人の生活の領域は、はっきり分れているからです。

さて、私は日本人に対して日本の生活がどの位ヨーロッパの生活と違うかについて逐一書く必要はないと思います。というのは日本の皆さんはその違いを良く知っているからです。しかし、日本を訪れたヨーロッパ人がどのような差異を感じているかについて、日本人は果して想像がつくのでしょうか。ここに例えば夫と妻の関係というものがありますが、日本で通常みられるものは、少なくともヨーロッパの若い世代が理想とするものからかなりかけ離れています。ドイツでは夫婦お互いの合意の下にものごとを決めるのが習しですが、日本では大体のことをそれぞれ別個に決めているようです。これは夫妻がそれぞれ固有の生活領域というものをもっているせいでしょう。ウーマンリブの趨勢にしばしば押されながらドイツの男供はため息をつきつぎのように言うでしょう。「そう、日本にはまだ男性天国の世界が健在である。」しかし、これはいくつかの問題に対する皮肉でもあります。ちょっと本当のことを言わせていただくと、しばしば行われる夜の社交的会合に、才気煥発で見目麗しい女性の出席がないというのは信じられません。我々ヨーロッパ人にとっては、こういった会合にはなくてはならないものが欠けています。ここでちょっとヨーロッパの男性の心の内を披露させていただきます。我々男性は、女性の解放を認めるにやぶさかではありませんが、次のように思っています。女性はあるかぎり可愛いらしくあるべきである。もし比較というものができるならば、我々男性よりももちろんより可愛いらしくあるべきであり、そのうえより聡明であればそれもよろしい。

もうひとつの基本的な相異は、個人主義に関する見解にあります。これに関しては、ヨーロッパのルネサンスの時代から、個人主義についての古代ギリシャの理想というものが再び通用しています。その意味は、単に内面的なものだけでなく、自由そして卒直ということにあるように思えます。この大きな理想は、我々既に幼年の時代に教えこまれ、しばしばこれを守るのは煩しく困難なものでもあります。しかし、こういった特性というのはこれを集団および国家的な見地からみればマイナスに作用していることも見逃がすわけにいきません。というのは、他人の意見を受け入れるということに対して応々

にして随分と大きな障害となってくるからです。このことは、今回別れを告げる西洋人がいくらか高圧的な態度になるという問題と関係してきます。多くの日本の方々は、この西洋人が批判的な意見を億面もなく表わすといったことに閉口した経験を持っているのではないのでしょうか。最後に彼は日本人を洗面をつくるまで追いこんではいけないということを知りました。この批判的な態度というものは、あまりにも身についてしまっているのです。少なくともかなりのドイツ人にとって、これを抑制することは難しいものです。このことは、日本人がヨーロッパの環境の中におかれた場合、自分の意見を主張することがまず難しいといったことと同様です。ここでつけ加えておきますが、機微を心得るといったことは我々の社会でもちろん期待されていることです。建設的な批判と破壊的な批判との微妙な差を心得るといった芸は、これから我々ヨーロッパ人が学んでいかなければならないことであると思います。この批判的態度といったものにもう少し説明を加えるならば、我々は、友好的な関係といったものには必ずお互いの批判といったものがついてまわります。批判はお互いを助長するものであると考えています。

さて、私は技術者であるので、私の専門領域についてもっと書くべきだったのでしょう。しかし技術の領域というのは、人間の生活様式という分野から較べると、東西間でそれほど大きな差異というものはありません。そして、一人の技術者としても、“顔色を変えない”ということがどうして日本でこれほどに重要であるのだろうかということに自然と疑問がわいてきます。そして、ヨーロッパにおいては、一度くらい洗面をつくったとしても、それは一般的に大した意味合いはないと理解されています。しかし、これはどうしてでしょうか。一つの解釈としてヨーロッパにおけるキリスト教の伝統というものをもてることが出来ます。キリスト教の教義は許すということの一つの基本とされていますし、キリストの神は、ある条件の下においては、完全なる免罪ということ

も創り出しました。このなかでも際立っているのは、カトリック教で、この免罪が洗礼によって現世でも得られるのです。この完全なる許しというのは、不可避的に忘れるということもその意味合いに含んでいます。比較的早く許すという我々の特性、そして過ちに対して社会的または心理学的な原因を探るという習慣は著しいマイナスの効果をももたらしています。我々の社会における犯罪の件数は明らかに日本より多くなっています。

最後にいままで書いてきたことに少し注釈をつけたいと思います。私の個人的な印象というのを書いてきた訳ですが、“…と私には見える。”というような表現をしばしば使わざるをえませんでした。もし私が日本人であったなら、どのように私の感じたことを表現していたでしょうか。多分“多くのわが国の人々は次のように考えています……。”とでもしたことでしょう。

(注) カール・ヒベルン氏はアーヘン工科大学水質汚濁研究所 (Institut für Siedlungswasserwirtschaft) の研究員 (Wissenschaftlicher Assistent) であるが、下水処理に関する講義をうけもつなど助手の職務も行っている。訳者は、西独科学技術省の招へいにより同研究所に一年間滞在する機会を得たが、今回関係者の尽力により、ヒベルン氏を日本側に招いたものである。日本への招へいは、科学技術庁の外国人研究者招へい要領に則ったものであり、55年10月より56年3月まで6カ月間当研究所下水道部に席を置いた。この間、下水道部の研究プロジェクトに参加すると共に、日本の下水道技術の現状の視察および西独の下水道事情についての講演を行うなど、日独技術交流に勢力的に参画した。

原題：

Eindrücke und Empfindungen eines Japanbesuchers
und vielleicht ein Beitrag zum besseren gegenseitigen
Verständnis

Karl Hibbeln.

郵便はがき

305-□□

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

下水道部三次処理研究室 御中

昭和 年 月 日

受 領 書

土木研究所
下水道部 殿

氏 名

下記物品を受領致しました。

記

品 名 土木研究所資料 第1818号
西ドイツにおける下水道

数 量※ 部

No. * _____

※ 2部以上のときはまとめて頂いても結構です。

キ
リ
ト
リ
線