ＩＳＳＮ　0386−5878
土木研究所資料　第1700号

土木研究所資料

第１７００号

凝集剤等の添加による二次処理水質の向上に関する調査報告書

昭和56年７月

建設省土木研究所
下水道部三次処理研究室

Copyright ©1981 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。

凝集剤等の添加による二次処理水質の向上に関する調査報告書

目　　次

1. はじめに …… 1

2. 調査の目的 …… 2

3. 調査方法及び内容 …… 2

4. 調査結果の要約 …… 7

4. 1　西山処理場での調査結果の要約 …… 7

4. 2　京都パイロットプラントの調査結果の要約 …… 9

4. 3　室内実験結果の要約 …… 10

5. 調査結果の詳細 …… 11

5. 1　西山処理場における調査結果の詳細 …… 11

5. 1. 1　各実験における運転及び処理の概況 …… 22

5. 1. 2　コントロール系の処理機能 …… 31

5. 1. 3　硫酸バンドのエアレーションタンク添加実験 …… 62

5. 1. 4　硫酸第1鉄のエアレーションタンク添加実験 …… 77

5. 1. 5　硫酸バンドの前エアレーションタンク添加実験 …… 86

5. 2　京都パイロットプラントの調査結果の詳細 …… 96

5. 3　室内実験結果の詳細 …… 100

5. 3. 1　汚泥処理への影響 …… 100

5. 3. 2　テストプラントによる処理実験 …… 106

6. 実用化に当っての留意点 …… 109

7. あとがき …… 111

1. はじめに

水質汚濁に係わる環境基準の設定や，湖沼・海域等の閉鎖性水域における富栄養化の進行に伴ない下水処理場の放流水に対する基準が強化される傾向にある。このため従来の下水処理施設の有する処理機能のみでは不十分であり，その向上を図らねばならないケースが増えるものと予想される。新しく計画する場合は別として，既設の下水処理場においては用地の拡張が困難なことが多く，既設施設の大幅な改造，拡張なしに処理水質を向上させる手法の開発が望まれている。

三次処理研究室では凝集剤を既設施設に添加するという手法に注目し，昭和４９年度より調査を行っており，本手法の実用性について一部を除き十分な成果をあげることができた。本資料はその成果をまとめたものである。十分な成果が得られず，今後の検討課題として残された点については，本資料では室内実験の結果のみを示すこととした。

本資料の成果が下水処理に携わる方々の一助となれば幸いである。

2. 調査の目的

本調査は凝集剤を既設の下水処理施設に添加した場合の処理機能の変化，汚泥処理への影響，設計・維持管理上の指針を把握することを目的としている。

室内規模での実験ではいくつか経験及び報告[1),2)]があるので，本調査ではパイロットプラント及び実施設に適用した場合について検討することとした。

調査を実施したのは名古屋市西山下水処理場（実施設，名古屋市と共同調査）と京都市鳥羽下水処理場（パイロットプラント）の2カ所である。前者では凝集剤を添加した系列としない系列とを並行して運転することにより凝集剤の効果を把握し，後者では流入水量，凝集剤添加濃度を一定として長期間運転し処理機能の季節変化を把握することを目的とした。いずれの施設においても汚泥処理施設が併設されておらず，調査の対象は主として水処理機能であった。汚泥の処理，処分への影響については文献，室内実験の結果を基に評価することとした。

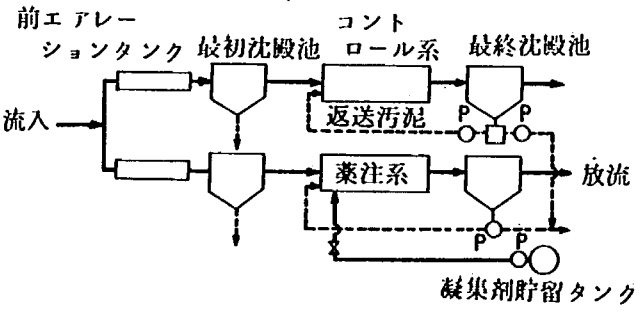
3. 調査の方法及び内容

調査を実施した西山処理場と京都パイロットプラントの概要を以下に示す。

① 西山処理場の概要

本処理場の現有施設は計画日最大流入下水量が3万m³/日，分流式で家庭下水を主とする下水を処理している。

流入下水量の時間変動の激しいことが特徴となっているが，1978年7月より流量カットを実施し，ピーク時の流量の一部は他の処理場へ振り向けられている。



図－1－1. 施設のフロー図

施設は標準活性汚泥法で設計されており，最初沈殿池以降が互いに独立した2系列となっている。2系列のうち一方を凝集剤添加系列（以下薬注系と略す），他方を無添加系列（以下コントロール系と略す）として運転した。なお最終沈殿池は全部で3池あり，片系列2池で他の系列1池，もしくは両系列1池という変則的な運転を行った。こういう運転になった経緯は後で述べる。

最終沈殿池では返送汚泥用のピットが1カ所しかないためこれを薬注系用とし，コントロール系に対しては最終沈殿池ホッパー内に水中ポンプを設置して汚泥引抜きを行った。

西山処理場の施設のフローを図－1－1に，処理区域と施設の概要を表－1に示す。

凝集剤添加の実験を行うために新たに設置した施設は凝集剤貯留タンク，注入ポンプ，制御装置，配管類である。本処理場は流入水量や流入リン濃度が一日のうちでかなり変動する。

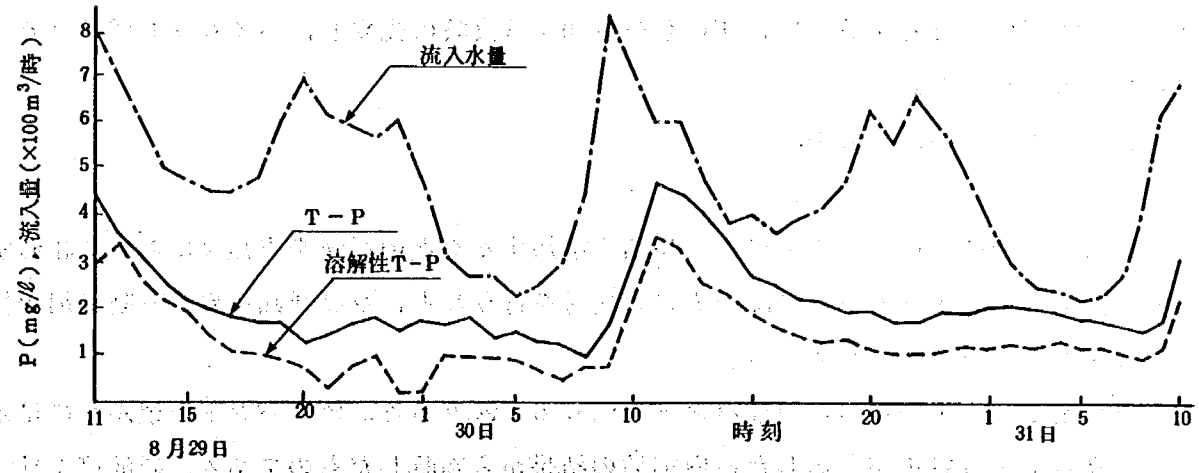
表－1.　西山処理場及び処理区域の概要

施設概要

施設名＼項目	形式	形状寸法（m）	池数	総容量（m³）	計画日最大量に対する滞留時間
沈砂池	平行流式	巾 長 深 2.5 × 10 × 1.85	2	—	1.2分
予備エアレーションタンク	散気式	4.0 × 20 × 3.5	1	245	13 分
最初沈殿池	水平流式 矩形	5.0 × 28 × 3.0	4	1,680	1.3時間
エアレーションタンク	散気式 (散気板)	5.0×40×5.0×2回路	2	4,000	3.2時間
最終沈殿池	2階式 水平流 矩形	5.0×上段 22.5 下段 27.5 × 3.0	3	2,250	1.8時間

処理区域の人口と面積

年度	1975	1976	1977	1978	1979
処理人口（人）	47,000	51,000	56,000	66,000	68,000
処理面積（ha）	763	763	763	763	778



図－1－2.エアレーションタンクへの流入水量，リン濃度の時間変化（1974.8.29～8.31）

図－1－2にその一例を示す。

こうした変動に対応して凝集剤を添加させるため注入ポンプには回転数とストロークの両方が可変のプランジャー型ポンプを用いた。注入ポンプの設計仕様は表－2の通りである。

表－2.　凝集剤注入ポンプの設計仕様

1. 設定条件

流入下水量	最大 600 m³/hr	最小 150 m³/hr
流入リン濃度	最大 7 mg/ℓ	最小 2 mg/ℓ
Aℓ/p のモル比	最大 2	最小 1

2. 凝集剤

$Aℓ_2O_3$ として8％の液体硫酸バンド

3. ポンプ吐出量

6.6 ℓ/hr ～ 198 ℓ/hr

4. 電動機出力　0.75 KW

貯留タンクは容量5m³のものを3基設置した。硫酸バンドを貯留したときにはタンクの保温ないし加温は行わなかったが，硫酸第1鉄の場合には冬季に氷結あるいは結晶化の恐れがあったのでタンク内にヒータを入れて加温した。薬注配管はテ

ープを巻いて保温した。

凝集剤の添加方法には一定量を注入する定量注入，流入下水量にあわせて注入量を変化させる流量比例注入（凝集剤の濃度が一定となる），流入下水中のリンの負荷量に合わせて注入量をかえる負荷比例注入（凝集剤とリンのモル比が一定となる）などがある。上記3種類の注入方式の比較は次章以下で詳述する。

㋺ 京都パイロットプラントの概要

本プラントは京都市鳥羽下水処理場内に設置され，同処理場の初沈流出水を原水としている。プラントはエアレーションタンクと最終沈殿池から構成されている。エアレーションタンクは $4\,m^W \times 2.1\,m^L \times 3\,m^H$ のタンクを4槽直列に連結しており，容量は100m³，最終沈殿池は円形で直径5.1m，深さ2.5m，容量50m³，水面積18m² という大きさである。

鳥羽処理場の流入下水には繊維工業を中心とする工場廃水が含まれており，家庭排水中心の西山処理場の流入下水とはかなり性状が異なっている。

㋩ 室内実験の概要

生成した汚泥の濃縮，脱水，嫌気性消化について室内実験を行った。またエアレーションタンクへAℓとNaOH を添加する実験，Fe塩を添加する実験に先立ち，パイロットプランでその効果について実験した。

調査の内容は次の通りである。

a. 西山処理場における調査内容

西山処理場における調査では，凝集剤を添加することの影響を実施設において評価すること，凝集剤の最適添加率及び添加方式の検討を行うこと，及び種類の異なる凝集剤の性能を比較することを目的としている。

凝集剤として用いたのは硫酸バンドと硫酸第1鉄である。硫酸バンドを選んだのは本調査に先立って名古屋市が実施した室内実験の結果から判断したものである。硫酸第1鉄を選んだのは価格の安さに着目したもので，本調査で用いたのは名古屋市近郊の工場の副産物である。両者の規格は次の通りである。

硫酸バンド：液体硫酸バンド，$A\ell_2O_3$ として約8％
（水道用JIS規格品）

硫酸第1鉄：液体，Feとして5％になるよう調整したもの
（チタン製造工程の酸洗廃水から生成したもの）

調査は1975年2月から1979年5月（途中一時中断あり）まで継続した。コントロール系は一部の期間を除いて標準活性汚泥法で運転し，薬注系は表－3に示す条件で運転した。

表－3の凝集剤添加位置でエアレーションタンク末端とは流出部より4m戻った地点，エアレーションタンク先端とは流入下水と返送汚泥の混合部分から5m流下した地点を，またエアレーションタンク末端より1/4とは流出部より2.0m戻った地点を指している。

添加方法で流量比例とはエアレーションタンク流入水量と設定添加濃度とから算出される量の凝集剤を添加する方式であり，負荷比例とはエアレーションタンク流入水の水量，リン濃度（連続分析計の測定値）及び設定モル比から計算される量の凝集剤を添加するものであ

る。但し，添加位置が前エアレーションタンクの場合の負荷比例添加では初沈流入水のリン濃度を測定し，計算に用いている。

備考欄で高MLSSないしはNaOH の添加を行っているのは硝化の促進をも目指した実験である。

分析用のサンプルは条件変更後処理が安定したと思われる時期に採取した。流入下水，初沈流出水，終沈流出水については２４時間の混合試料，混合液と返送汚泥はグラブ試料を作成し分析を行った。２４時間の混合試料は自動採水器を用いて２時間毎に採取した試料を流量に合わせて混合して作成したものである。これらの試料の採取頻度は実験の初期と中期以降で若干差があるが，概ね１～４回/月 である。なお試料採取はなるべく晴天の日になるようにした。

分析項目は次の通りである。

流入下水 初沈流出水 終沈流出水	水温，pH，透視度，蒸発残留物，強熱減量，浮遊物質，溶解性物質，アルカリ度，BOD(T,S)，COD(T,S)，K−N，NH_4−N，NO_2−N NO_3−N，T−P，S−T−P，Ort−P，MBAS，大腸菌群数
混合液 返送汚泥	SS，VSS，SV_{30}，SVI，K−N，T−P，Aℓ or Fe （溶解性成分の分画は１μの沪紙による）

分析方法はリンが混合試薬法，Aℓが原子吸光法，リン，Aℓ以外は下水試験法に拠った。混合液のSS，VSSではグラブサンプルによる測定値から日間平均値を次のようにして推定した。

方法　MLSS，MLVSS試料採取時のSV_{30}を$(SV_{30})_T$とし，試料採取日のSV_{30}の平均値（１時間毎に測定）を$(SV_{30})_M$とする。MLSS，MLVSSの測定値を（MLSS，MLVSS）$_T$とするとき，MLSS，MLVSSの日間平均値を

$$(\mathrm{MLSS},\ \mathrm{MLVSS})_T \times \frac{(SV_{30})_M}{(SV_{30})_T}$$ の式で推定した。

グラフや表に示すとMLSS，MLVSS，SV_{30}，SVIの値はいずれも日間平均値を基にして計算したものである。

流入水量，汚泥量（返送及び余剰），汚泥濃度については各々堰式流量計，電磁流量計，超音波汚泥濃度計により連続測定している。

b．京都パイロットプラントにおける調査内容

京都パイロットプラントでは凝集剤を添加したときの処理機能が一年という期間にどのように変化するかについて把握することを目的としている。西山処理場での調査の確認という意味をも有しているため西山での結果を踏まえて行うこととし，次のような運転条件を設定した。

凝集剤：硫酸バンド，　6 mg Aℓ/ℓ（実験期間の最後に4 mg Aℓ/ℓとする）

添加位置：エアレーションタンク最終槽

流入水量：300 m³/日定量（夏季は400 m³/日）

エアレーションタンク滞留時間：8 hrs（夏季は6 hrs）

返送汚泥率：25%

夏季に6 hrsとしたのは流入水の濃度が低くなったため，水量を増やしたものである。

添加濃度は調査期間の大半（1978年5月～1979年2月）が6 mg/ℓ，1979年2月～4月が4 mg/ℓである。6 mg/ℓの期間で流入水量を増やしたのは1978年7月末～10月末の約3カ月間である。

添加濃度を6 mg/ℓから4 mg/ℓとしたのは低い添加濃度での処理機能の把握を目的としたものである。

水質分析はエアレーションタンク流入水と終沈流出水については24時間の混合試料（1時間毎の採水），混合液と返送汚泥についてはグラブ試料（午前10時採取）で行った。試料の採取頻度は週1回である。

分析項目は次の通りである。

エアレーションタンク流入水 終沈流出水	BOD, ATU−BOD*, COD(T,S), TOC(T,S), SS, T−P, S−T−P, K−N, NH_4−N, NO_2−N*, NO_3−N*, pH, アルカリ度,
混合液 返送汚泥	SS, VSS　SV_{30}, SVI

*は終沈流出水のみ。

分析方法はリンが混合試薬法，TOCがダウケミカル法，その他は下水試験方法に拠った。なお，溶解性成分の分画は1 μの沪紙で行った。

混合度及び返送汚泥のSV_{30}，水温は1日1回午前10時に測定した。

4. 調査結果の要約

4.1 西山処理場での調査結果の要約

イ. 凝集剤添加位置

硫酸バンド……二次処理での添加はエアレーションタンク末端（撹拌時間5～20分），一次処理での添加では前エアレーションタンク入口（撹拌時間10～30分）がよい。エアレーションタンク添加では注入点を上流側に移すと処理水が白濁しやすくなる。前エアレーションタンク添加では撹拌時間が短いと凝集不十分なフロックが生成される恐れがある。

硫酸第1鉄……二次処理での添加はエアレーションタンク入口付近がよい。

ロ. 凝集剤添加方式

ⓐ 硫酸バンドの二次処理での添加の場合

返送汚泥と流入下水が混合するときにリンがかなり除去される。そのため今回実施した3種の添加方式では処理水質にはほとんど差がなかった。リンに注目した場合，負荷比例注入による利点はほとんどない。流量比例注入で流入負荷の変動に対し十分対応できている。定量注入はデータが少ないこと，流入水量の季節変化に対する対応など今後解決すべき課題があるが，流量比例注入に劣るものではない。

ⓑ 硫酸バンドの一次処理での添加の場合

流入下水の負荷変動を受けやすいため，負荷比例注入が有効になる。流量比例注入では低負荷時には添加量が過剰になりやすい。

ⓒ 硫酸第1鉄の二次処理での添加の場合

返送汚泥によるリン除去は硫酸バンドの場合ほど顕著でなく，凝集剤と下水中のリンとの直接的反応により除去されるリンが多い。しかしながら定量と流量比例の比較では処理水質にほとんど差はみられなかった。

ハ. 凝集剤添加濃度

硫酸バンドの二次処理への添加の場合には初沈流出水のリン濃度，エアレーションタンクのMLSSの影響を受ける。リンの除去という面からみると初沈流出水の溶解性全リンに対するAℓのモル比を2以上にとる必要がある。

処理水の全リン濃度，汚泥発生量，汚泥の生物相などへの影響からみてMLSS 1,000～2,000 mg/ℓの場合にはAℓとして4～6 mg/ℓが最適である。MLSSが2,000 mg/ℓ以上の場合にはAℓで8 mg/ℓ程度の添加が必要となる。活性汚泥全量に対する1日当りのAℓの添加量の目安として0.014 kg Aℓ/kg・SS・日以上という値をあげることができる。

硫酸第1鉄では処理水質への影響の他に汚泥発生量への影響が効いてくるのでFeとして10～20 mg/ℓの添加が適当である。

硫酸バンドの二次処理への添加の場合には初沈流出水へ期待する水質により添加濃度は異なる。

ニ．二次処理での添加による処理機能への影響

硫酸バンドの添加

① 処理水が青く澄み，清澄感が増す。

② コントロール系の汚泥は冬季にはSVIが200以上と高くなるのに対して硫酸バンドを添加した汚泥は年間を通して50～100と安定し，沈降性が良い。

③ リンの除去率が著しく向上する。

初沈流出水の溶解性全リンに対してモル比が2以上となるようにAℓを添加すれば処理水の溶解性全リンはほぼ0.1mg/ℓ以下となる。

処理水中のリンは主としてSSに由来するリンであり，MLSSに対してAℓの添加量が少ないときにSS性のリン濃度が高くなる。

本調査で最もリン除去率の高かったのは6mg/ℓ添加でコントロール系の35%に対し，94%という値を得ている。

エアレーションタンクにおける溶解性全リンの除去は，ほとんどが返送汚泥と流入水とが接触したときに起きている。

④ 処理水のBODはほぼ10mg/ℓ以下で低く安定している。処理水のSSは最終沈殿池の容量を同一にして運転した時のコントロール系とほとんど変わらない。コントロール系に比べるとSSがBODとして効きにくくなっている。この原因としては硝化が起きにくいこと，汚泥のVSS/SS比の低いことなどがあげられる。

⑤ 溶解性CODの除去が良くなるためCODの除去率が少し高くなる。Aℓの添加濃度による差は本実験では認められなかった。

⑥ 硝化にはマイナスとなる。

Aℓの凝集によるアルカリ度の消費，汚泥発生量の増大により汚泥のSRTを長く保つのが難しいなどの理由で硝化を起こすときにはマイナスとなる。NaOHの添加で前者を解消することはできるが，後者の影響が大きい。

⑦ MBASの除去はわずかながらAℓを添加した方が悪い。

⑧ 汚泥中のAℓの含有率はAℓ添加濃度に大きく左右されており，3，4，6，8mg/ℓの添加の場合概ね4.0，4.5，7，8%（Aℓ/TS）となっている。

⑨ 汚泥発生量はAℓ無添加のコントロール系に対しAℓ 1kg当りSS 4.8kgに相当する分だけ増加する。

硫酸第1鉄の場合

① 処理水が白～白茶色に濁ることがあったが赤茶色に着色することはなかった。

② 汚泥の沈降性はほとんど改善されず，バルキングの発生を抑えることはできなかった。

③ リンの除去率はかなり向上する。

初沈流出水の溶解性全リンに対してモル比2以上の添加すれば処理水中の溶解性全リンは0.4mg/ℓ以下になる。下限値は0.1mg/ℓ前後である。

処理水の全リンのうち約60%が溶解性である。

SS性の全リンはFeの添加濃度を上げることで減らすことができる。

④ MBASの除去はFeの添加により低下している。

⑤ リン，MBAS以外の項目についてはFeの添加がマイナスになることはない。

⑥ 汚泥発生量はFe 1kgの添加に対し，3.2kgのSSに相当する量だけ無添加の場合より増加する。

ホ. 一次処理での硫酸バンドの添加による処理機能への影響

① 最初沈殿池でのリン除去率が向上する。

溶解性全リンの除去が進み，初沈流出水で0.1mg/ℓ以下に下げることも可能である。

流量比例添加では低負荷時に過剰注入しており，このため単位Aℓ量当りのリン除去量を上げるには負荷比例添加が望ましい。

② 最初沈殿池では浮遊性の成分の除去に比べ溶解性成分（1μ沪紙による分画）の除去が改善される。

③ 初沈流出水に透明感が出てくる。

④ 二次処理水はわずかながら濁りがある。

⑤ 二次処理への負荷が軽くなるためSRTの長い活性汚泥の生成が容易になる。エアレーションタンク流入水にNaOHを添加することで硝化を容易に起こすことができる。

⑥ 二次処理水のリン，BODの値はエアレーションタンク添加の方が優れているが，CODでは，ほぼ同じか二次処理での添加の方がやや良い結果となっている。

⑦ 初沈汚泥の発生量はAℓの添加で増加する。その増加量はAℓ 1kgに対しSSで3.1kgないしそれ以上と推定される。

⑧ 余剰汚泥の発生量はエアレーションタンク流入SSを100としたとき90～100となっており，流入SS量を1つの目安としてよい。

⑨ 汚泥のSVIは60～75と低く沈降性は良い。

4.2 京都パイロットプラントの調査結果の要約

① Aℓとして6mg/ℓの添加によりリンは効果的に除去される。

流入水の溶解性全リンに対してモル比で2.5以上のAℓを添加することにより処理水中の溶解性全リンを0.3mg/ℓ以下に下げることができる。但し処理水中のリンは主としてSS性のものであり，全リンの値で0.5mg/ℓ以下になるのは調査期間中の全データの60%にとどまっている。

Aℓ 4mg/ℓの添加では溶解性全リンの除去が不十分となるため処理水の全リンの値が高くなる。

② 硫酸バンドの添加により溶解性CODの除去が良くなる。6mg/ℓ添加と無添加を比較すると除去率は前者の方が10%程度高い。

③ BOD，窒素の除去については無添加の場合とほとんど差がない。

4.3 室内実験結果の要約

① 硫酸バンドのエアレーションタンクへの添加は汚泥の濃縮性の改善に効果があるが，硫酸第1鉄では効果はみられない。

② 硫酸バンドないしは硫酸第1鉄をエアレーションタンクへ添加した時に生成する汚泥の脱水性は無添加の汚泥とほとんど差がない。濃縮性が改善される場合には脱水性に良い影響を及ぼす。

③ 硫酸バンドを一次処理で添加したときに生成する初沈汚泥の脱水性は無添加のものより悪い。

④ Aℓ/TS 2.5％程度の余剰汚泥では嫌気性消化には影響はみられない。

⑤ Aℓ を添加した場合の余剰汚泥では濃縮及び嫌気性消化におけるリンの溶出は無添加の余剰汚泥に比べるとかなり小さくなる。

⑥ テストプラント実験の結果ではエアレーションタンクに硫酸バンドとNaOHを添加することによりリンの除去とともに硝化を進めることができた。但しリンの除去率はNaOH無添加に比べるとやや劣る。

⑦ テストプラント実験の結果では硫酸第1鉄をエアレーションタンク入口に添加することによりリンの除去率を高めることができた。

5. 調査結果の詳細

5.1 西山処理場における調査結果

1975年2月の調査開始から1979年5月の調査終了までの実験条件を表－3に，運転条件を表－4に，水質分析結果を表－5に各々示す。

表－3 実験条件総括表（西山処理場）

番号	期間	凝集剤の種類	添加位置	添加濃度	添加方法	備考
1	1975 2.20～3.26	Aℓ	A.T. 末端	8 mg／ℓ	流量比例	終沈：両系列各々1
2	4.1 ～ 9.21	〃	〃	8 〃	〃	終沈：薬注1, コントロール2
3	9.22～10.19	〃	〃	8 〃	〃	終沈：薬注2, コントロール1
4	10.20～1976 1.7	〃	〃	6 〃	〃	以下同じ
5	1976 1.8 ～ 2.7	〃	〃	4 〃	定量	
6	2.7 ～ 3.15	〃	〃	4 〃	流量比例	
7	4.2 ～ 4.15	〃	〃	3 〃	〃	
8	4.15～ 5.13	〃	〃	3 〃	〃	高MLSS運転
9	5.13～ 6.22	〃	〃	3 〃	〃	
10	6.22～ 7.27	〃	〃	4 〃	〃	
11＊	7.27～ 8.23	〃	前エアタン	6 〃	〃	
12	8.23～ 9.2	〃	A.T. 末端より1／4	6 〃	〃	
13	9.3 ～10.26	〃	A.T. 末端	6 〃	〃	
14	11.2 ～11.26	〃	〃	6 〃	〃	高MLSS運転
15	11.26～12.8	〃	〃	8 〃	〃	〃
16	12.8～1977 1.7	〃	〃	8 〃	〃	〃 A.T. にNaOHを
17	1977 1.7 ～1.26	〃	〃	4 〃	〃	〃 添加
18	3.2～ 3.31	〃	〃	8 〃	〃	〃 初沈流出水に NaOHを添加
19	5.12～ 6.25	〃	〃	モル比1.0, 1.3, 1.5	負荷比例	
20	6.28 ～ 7.13	〃	前エアタン	6 mg／ℓ	流量比例	
21	7.13 ～ 7.26	〃	〃	モル比 2	負荷比例	
22	7.26 ～ 8.31	〃	〃	6 mg／ℓ	流量比例	
23＊	9.13～10.15	〃	〃	6 〃	〃	初沈流出水にNa OH添加
24＊	10.15～11.9	〃	〃	3 〃	〃	〃
25	11.9～1978 1.26	〃	〃	6 〃	〃	〃
26	1978 2.13～ 4.25	Fe	A.T. 先端	10 〃	〃	
27	4.26～ 6.14	〃	〃	11 〃	定量	
28	6.14～ 7.17	〃	〃	10 〃	流量比例	
29	7.22～ 9.9	〃	〃	5 〃	〃	終沈：両系列各々1
30	1979 1.17～ 3.1	〃	〃	8 〃	〃	〃
31	3.1 ～ 3.31	〃	〃	20 〃	〃	〃
32	4.2 ～ 4.23	〃	〃	25 〃	〃	〃
33	5.2 ～ 5.24	〃	〃	4 〃	〃	〃

注：凝集剤の種類でAℓは硫酸バンド，Fe は硫酸第1鉄。凝集剤の添加濃度はAℓor Fe としての濃度
＊印の実験番号11，23，24ではコントロール系初沈にも凝集剤を添加，添加濃度は薬注系と同じ

表－4 西山処理場の運転条件のまとめ（その1）

実験番号	1		2		3		4		5		6		備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（㎥／日）	10,700		11,900		12,600		11,700		9,800		10,900		
初沈滞留時間（hrs）	1.9		1.7		1.6		1.7		2.1		1.8		処理水量ベース
エアレーション時間（hrs）	4.5		4.0		3.8		4.1		4.9		4.4		処理水量ベース
返送汚泥率（%）	30	30	25	24	22	27	21	30	27	34	29	29	
空気倍率	4.0	4.0	3.2	3.2	3.1	3.1	3.3	3.3	3.9	3.9	3.5	3.5	
MLSS（mg／ℓ）	270	1,178	1,425	1,107	1,254	1,494	791	1,861	926	1,900	809	1,810	
MLVSS（mg／ℓ）	216	834	1,002	676	861	930	637	1,204	815	1,444	663	1,321	
MLVSS／MLSS（%）	80	71	70	61	69	62	81	65	88	76	82	73	
SV_{30}（%）	3.5	12	10	12	9.0	13	9.2	13	12	14	13	12	
SVI	130	102	70	108	72	87	116	70	130	74	161	66	
BOD－SS負荷（kg／kg・日）	1.33	0.30	0.23	0.30	0.22	0.18	0.58	0.25	0.53	0.26	0.55	0.25	
SRT（日）	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	エアタンのSS量／発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	1.7	1.7	3.0	1.5	1.4	2.9	1.5	3.1	1.8	3.7	1.7	3.3	処理水量ベース
終沈水面積負荷（㎥／㎡・日）	43	43	24	48	50	25	47	23	39	20	42	22	
汚泥発生量（t／日）	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe 添加率（mg／ℓ）	0	Aℓ 8.0	0	Aℓ 8.0	0	Aℓ 8.0	0	Aℓ 6.0	0	Aℓ 約4.0	Aℓ 0	Aℓ 4.0	
備考										定量注入			

表－4 西山処理場の運転条件のまとめ（その2）

実験番号	7		8		9		10		11		12		備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（㎥／日）	13,100		13,700		14,900		14,300		13,900		13,600		
初沈滞留時間（hrs）	1.5		1.5		1.4		1.4		1.5		1.5		処理水量ベース
エアレーション時間（hrs）	3.7		3.5		3.2		3.4		3.5		3.5		処理水量ベース
返送汚泥率（%）	－	－	26	52	－	－	25	25	26	26	27	27	
空気倍率	－	－	2.8	2.8	－	－	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	
MLSS（mg／ℓ）	842	1,476	1,201	3,261	1,633	2,677	792	2,129	989	1,875	954	1,885	
MLVSS（mg／ℓ）	589	974	841	2,124	1,094	1,633	562	1,341	613	1,088	630	1,130	
MLVSS／MLSS（%）	70	66	70	65	67	61	71	63	62	58	66	60	
SV_{30}（%）	11	14	11	20	11	13	9.7	11	9.0	9.0	9.0	12	
SVI	131	95	92	61	67	49	122	52	91	48	94	64	
BOD－SS負荷（kg／kg・日）	0.35	0.20	0.38	0.14	－	－	0.42	0.15	0.16	0.085	0.29	0.15	
SRT（日）	－	－	－	－	－	－	3.4	5.2	3.7	6.0	3.6	4.7	エアタンのSS量／発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	1.4	2.7	1.3	2.6	1.2	2.4	1.3	2.5	1.3	2.6	1.3	2.6	処理水量ベース
終沈水面積負荷（㎥／㎡・日）	52	26	55	27	60	30	57	29	56	28	54	27	
汚泥発生量（t／日）	－	－	－	－	－	－	0.47	0.82	0.53	0.62	0.53	0.80	余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe 添加率（mg／ℓ）	0	Aℓ 3.0	0	Aℓ 3.0	0	Aℓ 3.0	0	Aℓ 4.0	0	Aℓ 6.0	0	Aℓ 6.0	
備考										前エアタン添加			

表－4　西山処理場の運転条件のまとめ（その3）

実験番号	13		14		15		16		17		18		備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（m³/日）	15,700		12,100		11,200		11,200		10,300		11,100		
初沈滞留時間（hrs）	1.3		1.7		1.8		1.8		2.0		1.8		処理水量ベース
エアレーション時間（hrs）	3.1		4.0		4.3		4.3		4.7		4.3		処理水量ベース
返送汚泥率（%）	23	23	25	60	27	65	27	64	29	70	27	27	
空気倍率	2.4	2.4	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.7	3.7	3.5	3.5	
MLSS（mg/ℓ）	1,337	1,493	1,139	4,024	946	3,915	1,038	3,867	885	3,393	962	1,400	
MLVSS（〃）	884	881	888	2,616	776	2,623	862	2,475	735	2,545	–	–	
MLVSS/MLSS（%）	66	59	78	65	82	67	83	64	83	75	–	–	
SV_{30}（%）	11	12	14	22	14	22	21	22	18	23	10	14	
SVI	82	80	123	55	148	56	202	57	203	68	104	100	
BOD-SS負荷（kg/kg・日）	0.32	0.29	0.42	0.12	0.62	0.15	0.47	0.13	0.76	020	–	–	
SRT（日）	5.9	3.4	4.6	8.5	4.3	7.9	3.7	8.0	2.4	7.7	2.9	2.4	エアタンのSS量／発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	1.1	2.3	1.5	3.0	1.6	3.2	1.6	3.2	1.7	3.5	1.6	3.2	処理水量ベース
終沈水面積負荷（m³/m²・日）	63	31	48	24	45	22	45	22	41	21	44	22	
汚泥発生量（t/日）	0.45	0.87	0.49	0.95	0.44	0.99	0.56	0.97	0.75	0.88	0.67	1.17	余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe 添加率（mg/ℓ）	0	Aℓ 6.0	0	Aℓ 6.0	0	Aℓ 8.0	0	Aℓ 8.0	0	Aℓ 4.0	0	Aℓ 8.0	
備考								NaOHをエアタンに添加		NaOHをエアタンに添加		NaOHを初沈流出水に添加	

表－4　西山処理場の運転条件のまとめ（その4）

実験番号	19		20～22		23		24		25		26		備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（m³/日）	14,600		15,200		14,600		13,900		12,200		11,300		
初沈滞留時間（hrs）	1.4		1.3		1.4		1.5		1.7		1.8		処理水量ベース
エアレーション時間（hrs）	3.3		3.2		3.3		3.5		3.9		4.2		処理水量ベース
返送汚泥率（%）	21	49	20	47	21	49	22	52	25	59	27	34	
空気倍率	2.6	2.6	2.5	2.5	1.6	3.3	1.7.	3.4	2.0	3.9	2.3	4.5	
MLSS（mg/ℓ）	362	2,227	475	2,021	775	3,271	856	3,426	884	3,377	580	1,340	
MLVSS（〃）	247	1,717	363	1,357	619	2,125	625	2,330	681	2,364	461	899	
MLVSS/MLSS（%）	68	77	76	67	80	65	73	68	77	70	79	67	
SV_{30}（%）	8.0	16	7.6	14	7.5	21	8.3	24	9.6	27	11	8.5	
SVI	221	72	160	69	97	64	97	70	109	80	190	63	
BOD-SS負荷（kg/kg・日）	1.6	0.26	–	–	0.40	0.094	0.51	0.13	0.52	0.098	1.0	0.43	
SRT（日）	0.9	3.6	1.2	9.2	5.2	31	2.8	11	2.9	12	1.3	5.6	エアタンのSS量／発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	1.2	2.5	1.2	2.4	1.2	2.5	1.3	2.6	1.5	3.0	1.6	3.2	処理水量ベース
終沈水面積負荷（m³/m²・日）	58	29	61	30	58	29	56	28	49	24	46	23	
汚泥発生量（t/日）	0.83	1.23	0.80	0.44	0.30	0.21	0.62	0.62	0.62	0.56	0.88	0.48	余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe 添加率（mg/ℓ）	0	$Aℓ_{3\sim8}$		Aℓ 6.0	Aℓ 6.0	Aℓ 6.0	Aℓ 3.0	Aℓ 3.0	0	Aℓ 6.0	0	Fe 10	
備考		負荷比例注入		前エアタンに添加	前エアタン添加	前エアタン添加 NaOHを併用	前エアタン添加	前エアタン添加 NaOHを併用		前エアタン添加 NaOHを併用			

表－4 西山処理場の運転条件のまとめ（その5）

実験番号	27		28		29		30		31		32		備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（㎥／日）	12,800		15,100		10,000		7,500		7,900		7,300		
初沈滞留時間（hrs）	1.6		1.3		2.0		2.7		2.6		2.8		処理水量ベース
エアレーション時間(hrs)	3.8		3.2		4.8		6.4		6.1		6.6		処理水量ベース
返送汚泥率（%）	23	30	20	32	30	42	39	39	37	37	40	40	
空気倍率	3.0	3.0	2.5	2.5	1.7or 3.8	1.7or 3.8	4.5or 10	4.5or 10	9.7	9.7	5.3	5.3	
MLSS（mg／ℓ）	535	1,000	714	1,148	872	1,992	1,189	1,065	968	735	1,075	1,088	
MLVSS（〃）	402	658	495	825	691	1,151	984	758	795	450	876	596	
MLVSS／MLSS（%）	75	66	69	72	79	58	83	71	82	61	81	55	
SV_{30}（%）	12	16	10	14	9.0	14	41	62	33	24	10	16	
SVI	224	160	140	122	103	70	345	582	341	327	93	147	
BOD-SS負荷(kg／kg・日)	1.1	0.56	0.66	0.41	0.34	0.15	0.31	0.35	0.42	0.55	0.37	0.37	
SRT（日）	1.2	1.4	2.9	3.5	7.0	8.1	4.9	3.0	3.4	1.4	4.4	2.0	エアタンのSS量発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	1.4	2.8	1.2	2.4	1.8	1.8	2.4	2.4	2.3	2.3	2.5	2.5	処理水量ベース
終沈水面積負荷(㎥／㎡・日)	51	26	60	30	40	40	30	30	32	32	29	29	
汚泥発生量（t／日）	0.86	1.47	0.49	0.65	0.25	0.49	0.49	0.71	0.57	1.08	0.49	1.10	余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe添加率(mg／ℓ)	0	Fe 約11	0	Fe 10	0	Fe 5.2	0	Fe 7.9	0	Fe 20	0	Fe 25	
備考		定量注入											

表－4 西山処理場の運転条件のまとめ（その6）

実験番号	33												備考
項目＼系列	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	コントロール系	薬注系	
処理水量（㎥／日）	9,200												
初沈滞留時間（hrs）	2.2												処理水量ベース
エアレーション時間(hrs)	5.2												処理水量ベース
返送汚泥率（%）	32	32											
空気倍率	4.2	4.2											
MLSS（mg／ℓ）	971	876											
MLVSS（〃）	730	597											
MLVSS/MLSS（%）	75	68											
SV_{30}（%）	11	13											
SVI	113	148											
BOD-SS負荷(kg／kg・日)	0.38	0.43											
SRT（日）	5.0	3.5											エアタンのSS量発生汚泥量
終沈滞留時間（hrs）	2.0	2.0											処理水量ベース
終沈水面積負荷(㎥／㎡・日)	37	37											
汚泥発生量（t／日）	0.39	0.50											余剰汚泥量＋流出SS量
Aℓ or Fe添加率(mg／ℓ)	0	Fe 4.3											
備考													

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その1）

実験番号	1				2				3				4				5			
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	7.1～7.5	7.2～7.6	7.3～7.7	6.9～7.3	6.9～7.3	6.9～7.6	6.6～7.6	6.5～7.6	7.5	7.4	7.0	7.0	6.7～7.1	6.9～7.2	6.5～7.1	6.7～7.0	6.9～7.2	7.0～7.3	7.0～7.1	6.9～7.0
透視度（cm）			15～19	26～30<			21～30<	7～30<			26	30<			22	24～30<			18	26～30<
蒸発残留物（mg／ℓ）																				
強熱減量 〃																				
浮遊物質 〃	117	53	8.0	5.5	112	46	8.6	15	73	39	3.5	1.0	128	42	12	4.7	257	51	12	7.5
溶解性物質 〃																				
アルカリ度 〃	87	94	97	55	77	86	36	32	82	106	38	40	81	89	55	49	94	96	95	83
T－BOD 〃	100	67	13	5.3	88	56	11	6.8	83	43	16	6.8	133	79	19	4.5	226	100	17	8.9
S－BOD 〃	62	50	8.2	4.9	39	35	5.2	3.4	40	29	3.3	2.0	47	46	4.7	2.8	68	59	6.7	5.1
T－COD 〃	60	44	14	11	57	47	12	11	59	36	12	8.2	63	47	13	7.9	93	56	15	12
S－COD 〃	－	25	13	8.9	22	19	8.6	6.8	16	12	7.1	4.8	20	22	9.1	6.1	31	32	10	8.1
K－N 〃	228	237	188	17.4	251	245	108	16.9	266	243	9.0	16.5	260	237	15.0	17.1	330	27.4	20.7	20.8
NH_4－N 〃	112	139	14.1	14.4	138	14.3	7.5	13.3	13.6	10.9	4.6	12.9	13.7	15.0	11.3	15.0	15.7	17.6	17.5	18.1
NO_2－N 〃	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.00	0.61	0.09	0.00	0.00	0.10	0.01	0.02	0.01	0.24	0.04	0.05	0.05	0.10	0.08
NO_3－N 〃	0.17	0.17	0.25	0.21	0.06	0.04	3.91	0.54	0.00	0.04	6.41	1.40	0.17	0.09	2.13	0.34	0.43	0.43	0.41	0.52
T－P 〃	328	334	229	0.21	347	314	155	0.36	313	215	1.33	0.27	315	300	1.95	0.17	353	304	1.72	0.53
Ort－P 〃	167	184	164	0.12	216	220	1.18	0.19	199	186	1.04	0.10	192	204	1.34	0.09	201	213	1.54	0.36
S－T－P 〃	－	194	163	0.02	218	226	1.10	0.08	208	128	0.91	0.17	171	171	1.32	0.05	181	195	1.46	0.17
ABS 〃					6.5	6.1	0.40	0.76	6.5	6.3	0.5	0.2	6.3	6.4	0.67	0.58	6.3	6.3	0.37	1.12
大腸菌群（個／cc）							4,070	2,600			1,300	200			5,180	510			3,700	1,700

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その2）

実験番号	6				7				8				9				10			
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	7.0～7.3	7.0～7.2	7.1～7.2	7.1	7.0	7.0	6.8	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0					6.6～7.0	6.7～7.0	6.6～7.0	6.5～6.8
透視度（cm）			17	24			16	27			14	17			12	15			22	22～30<
蒸発残留物（mg／ℓ）					328	202	156	160	414	290	243	239					424	245	204	209
強熱減量 〃					162	94	64	48	172	132	140	126					256	127	62	72
浮遊物質 〃	214	45	16	14	135	28	9.5	7.5	178	73	17	12		43	14	16	156	40	11	14
溶解性物質 〃					193	174	147	153	216	217	125	227					268	205	193	195
アルカリ度 〃	92	91	88	74	63	69	46	54	67	78	45	73					67	63	38	39
T－BOD 〃	182	82	16	8.5	88	45	16	6.2	103	66	16	19					131	64	26	6.2
S－BOD 〃	62	52	5.3	4.7	23	23	8.8	6.0	37	30	7.8	7.6					38	32	6.5	4.5
T－COD 〃	87	57	15	12	50	30	13	11	65	35	13	12					73	44	14	9.7
S－COD 〃	30	30	9.6	8.6	15	14	8.5	6.8	16	15	7.1	6.6					19	17	8.2	5.7
K－N 〃	29.8	25.5	23.1	20.0	14.9	14.5	7.8	11.0	24.3	21.1	12.4	19.1					22.7	18.6	9.9	8.0
NH_4－N 〃	14.9	16.2	14.8	15.9	6.0	8.0	5.2	8.3	10.6	11.9	7.5	13.9					11.3	11.0	6.3	5.1
NO_2－N 〃	0.03	0.04	0.06	0.06	0.22	0.13	0.11	0.09	0.07	0.04	0.37	0.19						0.00	0.25	0.04
NO_3－N 〃	0.08	0.04	0.20	0.16	0.32	0.15	1.63	0.58	0.09	0.03	2.58	0.13					0.10	0.09	2.65	4.16
T－P 〃	4.43	3.44	1.83	0.52	3.44	2.73	1.69	0.78	3.04	2.85	1.46	1.86		2.90	1.54	0.63	4.37	3.08	1.69	0.50
Ort－P 〃	2.61	2.11	1.60	0.27	1.50	1.74	1.04	0.20	1.46	1.64	1.45	0.72		1.84	1.05	0.23	1.48	1.52	1.13	0.13
S－T－P 〃	2.35	2.35	1.51	0.19	1.44	1.62	1.12	0.07	1.48	1.61	1.32	0.39		1.94	1.06	0.08	2.25	2.07	1.43	0.05
ABS 〃	6.5	5.8	0.59	1.34	2.5	2.5	0.3	0.3	3.4	3.4	0.6	0.4					6.4	4.4	0.4	0.6
大腸菌群（個／cc）			4,450	650															5,300	750

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その3）

実験番号	11				12				13				14				15			
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	6.9	6.9	6.6	5.2	6.9～7.1	7.0～7.1	6.9～7.0	6.3～6.6	7.1～7.2	7.1～7.3	7.0～7.3	7.0～7.1	7.0	6.9～7.0	7.0～7.2	6.7	7.1	7.0	7.1	6.6
透視度（cm）			15	17			18	23			18	30＜			20～30＜	21			28	30
蒸発残留物（mg／ℓ）	410	284	256	240	345	252	198	230	333	241	217	212	371	281	214	213	472	284	196	198
強熱減量 〃	228	100	94	64	163	117	77	88	189	92	77	49	212	148	81	74	320	164	78	72
浮遊物質 〃	198	23	14	15	142	42	16	18	115	36	15	7	131	59	13	19	150	64	14	15
溶解性物質 〃	212	261	242	225	203	210	182	212	218	205	202	205	240	222	201	194	322	220	182	183
アルカリ度 〃	74	41	25	0	74	74	44	11	85	84	37	31	95	98	63	35	85	100	60	45
T－BOD 〃	78	23	6.3	4.9	76	41	9.7	4.6	101	55	28	11	131	80	25	9.9	203	105	19	7.0
S－BOD 〃	33	18	5.8	5.2	32	28	7.9	5.3	37	33	8.5	7.6	58	50	6.8	5.9	73	60	7.8	5.2
T－COD 〃	75	27	14	14	78	41	13	12	69	50	14	10	59	49	11	11	68	41	10	6.3
S－COD 〃	21	15	8.4	5.9	21	19	9.1	5.8	23	22	10	7.7	26	24	8.2	5.6	28	23	7.9	4.2
K－N 〃	220	15.6	9.5	6.2	19.2	17.5	10.1	7.9	22.6	19.4	7.5	12.2	21.5	23.2	10.6	13.4	29.9	26.5	14.5	15.2
NH_4－N 〃	102	101	5.5	4.3	9.7	10.0	5.9	5.2	8.3	11.5	4.6	8.4	12.8	14.3	8.2	10.2	12.8	13.8	9.0	7.6
NO_2－N 〃	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	0.21	0.02	0.03	0.01	0.10	0.01	0.04	0.02	0.29	0.01
NO_3－N 〃	0.05	0.08	4.68	6.76	0.07	0.10	2.75	3.40	0.06	0.07	3.23	1.61	0.01	0.01	1.41	0.52	0.00	0.00	0.21	0.12
T－P 〃	4.10	1.10	0.55	0.53	2.93	2.29	1.72	0.42	3.35	2.69	1.71	0.27	3.79	2.78	1.59	0.67	4.27	3.67	1.76	0.31
Ort－P 〃					1.45	1.44	1.44	0.19	1.50	1.70	1.29	0.13	1.44	1.75	1.30	0.13	2.14	2.18	1.49	0.11
S－T－P 〃					1.62	1.52	1.33	0.03	1.74	1.76	1.24	0.05	2.34	2.44	1.23	0.03	2.52	2.37	1.21	0.08
ABS 〃	6.6	3.8	0.3	0.3	4.5	4.1	0.39	0.27	4.6	4.7	0.34	0.25	5.6	5.7	0.36	0.29	7.2	6.1	0.61	0.32
大腸菌群（個／cc）											2,190	370								

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その4）

実験番号	16				17				18				19（モル比1.3）				20			
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水＊	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	7.1	7.1	7.2	7.2	7.0～7.4	6.9～7.1	7.0～7.2	7.2～7.7					6.5	7.0	7.3	7.2	6.7	6.9/6.8	7.1	7.1
透視度（cm）			28	10			20	22			9.0	30<			30<	30<			17	27
蒸発残留物（mg/ℓ）	1000	685	485	785									406	348	243	195	326	206/268	174	182
強熱減量 〃	710	420	295	370									272	190	91	52	162	108/104	45	50
浮遊物質 〃	150	50	6	28	193	79	18	14	171	41	32	7.3	170	68	27	18	94	29/_	12	7
溶解性物質 〃	850	635	479	757									236	280	216	177	232	197/_	162	175
アルカリ度 〃					95	109	104	151					91	109	115	45	75	85/58	80	63
T－BOD 〃	178	88	10	13	197	130	20	9.1					126	78	21	15	134	75/49	20	6.2
S－BOD 〃	72	53	8.3	6.9	74	69	7.8	5.0					54	44	8.4	6.3	56	43/19	7.9	5.3
T－COD 〃	83	55	14	19	79	56	16	12					64	43	16	13	56	33/28	15	11
S－COD 〃	29	27	11		36	32	11	8.1					21	18	9.8	8.4	21	17/14	8.9	7.1
K－N 〃	31.7	27.7	17.9	21.6	30.1	30.0	22.6	22.6					28.9	23.3	18.9	18.2	20.6	17.3/15.9	15.3	13.5
NH_4－N 〃	15.1	16.8	12.4	14.1	16.0	17.9	16.5	17.3					13.4	14.4	11.3	11.7	10.2	11.8/10.8	12.3	12.7
NO_2－N 〃	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.15	0.04					0.00	0.00	0.04	0.03	0.01	0.02/0.00	0.28	0.31
NO_3－N 〃	0.05	0.04	0.73	0.41	0.07	0.07	0.05	0.02					0.08	0.04	0.05	0.07	0.03	0.38/0.03	0.14	0.14
T－P 〃	4.21	3.61	2.00	1.21	5.05	4.08	2.02	0.73	6.43	3.88	3.62	0.35	4.32	3.78	2.26	1.48	3.80	2.94/1.85	2.09	0.72
Ort－P 〃	2.43	2.40	1.46	0.86					2.99	2.58	2.46	0.11	2.37	2.40	1.74	0.95				
S－T－P 〃	2.58	2.65	1.63	0.09	2.71	2.76	1.65	0.25	3.11	2.63	1.95	0.09	2.08	2.40	1.76	0.94	2.23	2.19/0.36	1.67	0.43
ABS 〃	8.1	7.6	0.6	0.6	8.4	7.4	0.71	1.1					4.4	4.3	0.91	0.73	4.0	4.6/_	0.25	0.19
大腸菌群（個/cc）			1,400	2,000			3,200	600							－	21,500				

＊ 上段はコントロール系，下段は薬注系

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その5）

実験番号	21				22				23				24				25			
サンプル名	流入下水	初沈流出水*	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水*	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水*	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH					6.6	6.9/6.6	7.0	6.5	6.8	6.8	6.7	5.4	6.9～7.1	6.7～7.1	6.9～7.2	6.9～7.1	7.1～7.2	7.1/7.6～8.0	7.1～7.4	6.3～7.2
透視度（cm）			21	26			28	14			14	18			23	21～30<			8.4	21～30<
蒸発残留物（mg/ℓ）					438	214/236	179	198	372	200	228	216	371	306	206	273	467	380/440	337	382
強熱減量 〃					214	102/94	57	60	318	154	160	136	229	159	57	73	223	97/199	109	97
浮遊物質 〃	123	31/46	13	8	212	71/63	20	34	172	26	8	8	123	46	6.0	6.0	137	55/50	27	10
溶解性物質 〃					226	143/173	159	164	250	174	220	208	248	260	200	267	330	325/390	304	279
アルカリ度 〃					61	67/43	40	13									102	105/119	106	19
T－BOD 〃					116	49/40	12	12	107	42	7.8	7.9	155	63	8.	7.3	115	76/54	22	11
S－BOD 〃					43	36/22	4.9	5.8	47	18	6.5	4.2	55	35	5.4	4.8	54	42/28	10	3.6
T－COD 〃					54	28/22	13	17	55	24	13	7.6	64	33	9.4	7.6	113	39/22	15	7
S－COD 〃									12	5.4	6.2	2.2								
K－N 〃					17.2	13.1/12.0	7.0	6.9	24.2	17.9	10.5	7.7	26.7	21.0	16.7	6.2	27.1	237/21.9	19.9	6.6
NH_4－N 〃					6.7	7.5/7.9	4.7	5.0	11.0	10.4	7.7	4.2	12.8	12.2	12.4	3.8	13.1	115/11.8	13.0	2.2
NO_2－N 〃					0.00	0.00/0.03	0.78	2.83	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.13	0.05			0.00	0.00
NO_3－N 〃					0.07	0.02/0.05	1.31	0.24	0.12	0.18	0.93	8.50	0.06	0.02	0.08	6.37			0.16	10.42
T－P 〃	4.31	2.95/2.46	1.85	0.72	2.67	1.89/1.24	1.41	1.18	3.38	1.20	0.54	0.38	3.40	2.05	0.67	0.73	3.57	3.06/1.58	2.45	0.57
Ort－P 〃	2.16	1.94/1.18	1.53	0.32	1.25	1.26/0.68	1.22	0.65	2.16	0.56	0.25	0.21	2.47	1.49	0.36	0.41	2.74	3.09/1.07	1.94	0.17
S－T－P 〃	2.23	1.94/0.57	1.67	0.27	1.19	1.24/0.17	1.15	0.23	1.75	0.09	0.08	0.09	2.09	0.61	0.45	0.43	2.36	2.17/0.61	1.87	0.13
ABS 〃					3.0	2.9/_	0.22	2.2	4.80	4.56	1.51	0.08	5.1	5.2	0.71	0.20	5.71	6.54/5.33	2.23	1.39
大腸菌群（個/cc）							12,000	35,000							1,500	2,700				

＊ 上段はコントロール系，下段は薬注系

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その6）

実験番号	26				27				28				29－a				29－b			
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	7.1	7.0	7.3	7.2	7.0～7.2	7.2	7.3～7.4	7.2～7.4	7.0	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.0	6.3	7.0	7.1	6.8	7.0
透視度（cm）			6.5	7.0			30<	24～30<			28	28			19	14			23	30<
蒸発残留物（mg／ℓ）	524	424	336	298	435	273	241	215	216	232	154	182	292	218	190	126	324	256	200	202
強熱減量 〃	232	138	80	66	262	136	88	81	150	136	68	78	194	134	144	48	202	148	94	94
浮遊物質 〃	165	83	36	34	132	50	15	12	66	26	7.	6	104	48	15	30	105	29	8	4
溶解性物質 〃	359	341	300	264	303	223	226	203	150	206	147	176	188	170	175	96	219	227	192	198
アルカリ度 〃	112	111	101	91	101	99	104	84					90	80	8	28	80	76	28	40
T－BOD 〃	103	103	16	22	149	88	10	7.7	79	62	8.9	8.1	84	49	9.8	21	98	69	16	16
S－BOD 〃	90	72	7.5	6.6	55	48	7.6	7.0					38	31	3.5	2.8				
T－COD 〃	73	61	20	21	54	38	12	11	55	39	14	14	47	32	16	17	41	25	15	12
S－COD 〃													21	21	9.4	9.5				
K－N 〃	25.3	26.0	22.0	20.5	27.8	24.4	20.4	20.2	21.1	18.1	16.2	15.8	22.2	18.5	3.8	7.4	27.5	23.6	6.5	14.3
NH_4－N 〃	14.9	14.8	12.7	7.3	15.8	15.1	16.1	16.9	12.7	11.8	12.2	12.3	11.0	10.9	1.1	8.8	13.4	13.0	2.5	9.9
NO_2－N 〃					0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38	0.49	0.00	0.00	0.63	0.71
NO_3－N 〃					0.10	0.10	0.03	0.04	0.11	0.10	0.01	0.01	0.09	0.10	5.26	0.81	0.18	0.15	1.88	0.09
T－P 〃	4.61	4.40	2.49	0.34	4.04	3.39	1.94	0.62	3.33	2.74	1.78	0.85	3.64	2.62	1.58	0.98	3.10	2.86	1.60	0.12
Ort－P 〃	3.09	2.93	1.64	0.55	2.47	1.95	1.63	0.44					2.42	2.12	1.37	0.62	2.28	2.17	1.42	0.10
S－T－P 〃	2.25	2.32	1.47	0.19	2.47	2.34	1.65	0.30					2.27	2.10	1.57	0.64	2.03	1.47	0.99	0.08
ABS 〃					6.5	6.9	0.95	0.93	7.6	7.7	0.24	1.21	6.1	6.0	0.60	0.78	6.1	7.0	0.26	0.63
大腸菌群（個／cc）							3,500	2,400			2,700	3,000			800	3,200			3,400	2,200

＊ CODは28以降酸性法，27まではアルカリ性法

表－5 西山処理場における水質分析結果のまとめ（その7）

実験番号	30				31				32				33							
サンプル名	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系	流入下水	初沈流出水	終沈流出水 コントロール系	終沈流出水 薬注系
PH	6.9～7.2	7.0～7.2	7.0～7.4	7.0～7.4	7.1～7.2	7.1～7.2	7.1～7.3	6.9～7.2	6.9	7.0	6.6	6.6	7.0～7.2	7.0～7.2	7.0～7.1	7.2～7.3				
透視度（cm）			30<	30<			30<	30<			29	50<			45	40				
蒸発残留物（mg／ℓ）									396	282	228	240	343	251	184	181				
強熱減量 〃									252	144	84	82	188	122	58	53				
浮遊物質 〃	134	56	5.7	5.0	151	52	4.2	3.8	149	41	10	4	126	45	6.9	6.3				
溶解性物質 〃													217	206	177	175				
アルカリ度 〃	93	97	87	79	95	103	88	65	100	105	55	40	74	87	61	77				
T－BOD 〃	145	98	5.6	5.4	166	102	8.8	4.7	186	110	19	4.2	140	81	19	8.4				
S－BOD 〃																				
T－COD* 〃	78	58	12	13	86	56	12	11	65	44	13	8.6	70	48	16	12				
S－COD 〃																				
K－N 〃	31.0	27.0	18.7	18.9	31.0	27.8	19.1	21.0	31.2	26.3	15.1	19.9	23.3	21.6	12.1	15.8				
NH_4－N 〃	14.0	16.1	13.3	12.4	15.7	15.1	13.1	13.6	15.4	14.7	9.5	15.1	10.9	10.3	8.8	10.0				
NO_2－N 〃	0.10	0.10	0.19	0.09	0.02	0.00	0.37	0.06	0.01	0.00	0.42	0.04	0.02	0.03	0.86	0.37				
NO_3－N 〃	0.12	0.10	0.23	0.18	0.19	0.19	0.91	0.19	0.14	0.15	4.17	0.23	0.17	0.14	2.62	0.34				
T－P 〃	4.83	3.73	1.21	0.49	4.49	3.80	1.87	0.35	4.36	3.54	2.25	0.19	4.66	2.98	1.82	0.81				
Ort－P 〃	2.19	2.17	0.83	0.26	2.53	2.49	1.49	0.21	2.60	2.60	1.90	0.10	1.94	1.88	1.44	0.59				
S－T－P 〃	2.77	2.51	1.06	0.28	2.93	2.76	1.63	0.25	2.86	2.68	2.08	0.11	2.22	2.07	1.66	0.60				
ABS 〃	6.4	5.8	0.40	0.58	6.9	7.2	0.19	0.53	6.9	8.1	0.30	1.32	6.2	6.1	0.17	0.29				
大腸菌群（個／cc）			3,300	3,700							4,700				2,950	3,400				

＊ CODは酸性法

表－3の各実験番号について運転及び処理の状況を下記に簡単に示す。

5.1.1 各実験における運転及び処理の概況

No.1.：最初沈殿池，エアレーションタンク，最終沈殿池の滞留時間をコントロール，薬注の両系列で同一にそろえるため3池ある最終沈殿池は1池を不使用とし各系列1池ずつとした。このため最終沈殿池の水面積負荷は43 m^3/m^2・日という値になり，流入水量のピーク時に最終沈殿池でキャリーオーバー現象がみられることがあった。

MLSSはコントロール系，薬注系で各々270，1,148mg/ℓと低い。

有機物の除去は両系列とも良好である。硝化はどちらも起きていない。

No.2：No.1での運転から最終沈殿池の容量不足が問題となったので，No.1では使用しなかった1池をコントロール系として用いることにした。この結果コントロール系のMLSSは1,425mg/ℓとNo.1に比べかなり高くなったが，薬注系は汚泥のキャリーオーバーが多くなった。

有機物の除去は両系列とも良好である。コントロール系では硝化が起きているが，薬注系では起きていない。薬注系の処理水はコントロール系に比べ概してSSが高いにも拘らず青く澄んで清澄感があり，コントロール系処理水で見られるやや黒っぽい色調とは異なっていた。

No.2の期間中に2回処理水が白濁する現象がみられた。この時の処理水のAℓ，Pの値は平常時と変わらなかった。処理水を顕微鏡で観察したところ，大量のスピロヘータ菌が発生していることが明らかとなり，白濁現象がこの微生物によることが判明した。スピロヘータ菌による白濁はNo.3以降は全く見られない。

No.3：No.2で薬注系からのキャリーオーバーが多いため終沈3池のうち2池を薬注系，1池をコントロール系として使用することとした。この条件で運転したところ両系列ともキャリーオーバーは見られず，以後No.28までこの条件で継続した。

汚泥の性状は両系列とも安定しており，処理水SSは極めて低い。BOD，CODでは薬注系の方が少し除去率が高くなっている。硝化はコントロール系でかなり起きている。薬注系でもわずかながら起きており，処理水中にNO_3－Nが1.4mg/ℓ検出されている。

薬注系処理水の清澄感は極めて高く最終沈殿池底部の汚泥掻き寄せ機のレールが見えるほどであった。

No.4：No.1～No.3まではAℓ 8mg/ℓの添加率であったが，No.4で6mg/ℓに下げて運転した。薬注系の汚泥性状は極めて良好でエアレーションタンクに硫酸バンドを添加するという条件の運転（実験No.1～10，12～18）の中で最も優れた結果が得られた。このときの状況を要約すると次のようになる。

㋑ 汚泥の沈降性がよく，処理水のSSが低い。

㋺ 処理水の清澄感が高い。

㋓ 硝化が起きていない。

㋔ pHが6.7～7.0と中性付近にとどまっている。

㋕ 溶解性全リンの値は0.05mg/ℓと極めて低く，リンと凝集剤との反応はほぼ完全に行われている。

エアレーションタンクに硫酸バンドを添加する方法においては㋑～㋕の状況を作ることを目標として運転条件を設定する必要がある。㋒についてはさらに解説が必要と思われるので後で触れることとする。

コントロール系は12月に入ってからSVIが上昇しており，少しバルギング気味になっている。処理水BODは19mg/ℓとやや高くなっている。溶解性BODは4.7mg/ℓと低いこと，NH_4－N，NO_3－Nが各々11.3，2.1mg/ℓ検出されていることから，フランピン中でのNH_4－Nの硝化によるBODが処理水のBODを高めていることが予想される。

No.5とNo.6：No.5，6ではAℓの添加濃度を4mg/ℓとほぼ同一と前者で定量注入，後者で流量比例注入で行い，2種類の添加方式を比較した。

リン及び有機物の除去の点からみて両者には全く差がない。

コントロール系では汚泥のSVIが130，161と少し高くなっており，処理水のSSも12，16mg/ℓとやや高目になっている。但しNo.1，2で薬注系に見られたようなキャリーオーバーは見られなかった。

No.7：Aℓの添加濃度を3mg/ℓと下げて処理への影響を見た。リンについてみると薬注系処理水では溶解性全リンが0.07mg/ℓと低いにもかかわらず全リンは0.78mg/ℓと高くなっている。

SSではコントロール系の方がわずかながら低くなっている。

コントロール系では硝化が起きているが，薬注系ではほとんど起きていない。コントロール系で処理水BODが高いのは硝化によるものと思われる。

No.8：Aℓの添加濃度は3mg/ℓのままで返送汚泥量を増やしてMLSSを高め硝化を進めることを目的とした運転を行った。返送汚泥量はNo.7までの約2倍に増やした。MLSSは3,267mg/ℓと高くなった。

薬注系の汚泥の性状はSVI，MLVSS/MLSSでみる限り他の実験の場合とほとんど変化はないが，処理水質ではNo.7（Aℓ 3mg/ℓ）と比べてもかなり悪くなっている。透視度は15cmで処理水の清澄感の悪化が最も顕著である。BODで19mg/ℓ，全リンで1.86mg/ℓ（溶解性全リンは0.39mg/ℓ）と高くなっている。NO_3－Nの値は0.12mg/ℓと低いことからBODの高いのは硝化によるものではないことが推定される。

処理水の溶解性全リンは0.39mg/ℓと高く，リンの凝集が不十分なことが予想される。

No.9：薬注系においてMLSSを3,000mg/ℓ程度に維持したところ処理の悪化が見られたので再びMLSSを低くして運転した。透視度は15cmとNo.7と変わっていない。SSについてはコントロール系より少し高くなっている。リンについてはNo.7のレベルにまで戻っており，MLSSを高めることがリンの凝集の面で不利に働いていることがうかがえる。

No.10：Aℓの添加濃度を4mg/ℓとNo.6と同じ条件で運転し，4mg/ℓの結果の確認を行った。処理水の透視度が30cm以上となり清澄感が回復している。リン，BOD，CODの除去は概ねNo.6のレベルになっている。硝化についてはNo.9からの傾向が続き薬注系処理水ではコントロール系を上回るNO_3－Nが検出されている。硝化とAℓの添加のためアルカリ度が低下しており処理水で30mg/ℓとなっている。

No.11：一次処理での凝集剤添加実験のための予備実験として前エアレーションタンク入口にAℓを6mg/ℓ添加した。エアレーションタンク流入水は両系列とも最初沈殿池においてAℓで凝集沈殿されたものである。

初沈流出水の水質はAℓの添加で改善され，エアレーションタンクへの流入負荷は軽減されている。両系列とも硝化がかなり進んでおり，処理は良好である。エアレーションタンクへの添加に比べると処理水が少し濁っておりSSも少し高い。

No.12：再びエアレーションタンク添加の実験に戻る。No.1～No.10ではAℓをエアレーションタンクの末端で添加していたが，添加位置を変えた場合の影響について調査するため，添加位置をエアレーション入口より3/4の位置（入口より約60m流下した地点）に移した。添加濃度は6mg/ℓである。

リン，BOD，CODの除去は良好であるがSSはコントロール系より高い値を示している。またこの実験の特徴として，実験開始後，時間の経過に従って処理水が乳白色に濁ってきたことが指摘できる。

No.13：No.12の実験で処理水が乳白色に濁ってきたため添加濃度は6mg/ℓのままで，添加位置をエアレーションタンク末端に戻した。

この結果，処理水の清澄感は回復し，全リンの除去も良くなった。BOD，CODについてはNo.12とあまり変化はない。

No.12，No.13の結果からAℓのエアレーションタンクへの添加位置はタンク末端が良いことが分かった。

No.14：Aℓ添加によるリン，有機物の除去と共に硝化を進めることを目的とした実験を行うため，返送汚泥量を約2倍に上げてMLSSを高く維持する運転を行った。この条件はNo.17まで継続した。この間MLSSは3,400～4,000mg/ℓに保たれている。これ以上高くすることは最終沈殿池の容量の点から難しい面がある。

MLSSを上げたにも拘らず硝化は起きていない。No.12とNo.13では起きていたがNo.14では硝化は起きていない。水温が低下したこと，MLSSを上げたがSRTは8日程度にしか上がらなかったことが原因として考えられる。

処理水のSSが高くなり，全リンの値も高くなった。コントロール系では処理水BODが25mg/ℓと高くなっているが，硝化によるBODの影響と考えられる。

No.15：No.14では処理水のSSが高くなり，Aℓの凝集が不十分なことが予想されたので添加濃度を8mg/ℓに上げた。これにより処理水の透視度，全リンなどは良くなった。

No.16：硝化を効率よく起こすためにはエアレーションタンクのpHを7.0～7.5付近に保つ必要

がある。また Aℓ の添加により低下したアルカリ度を補給することで硝化を十分におこすことが可能になる。この見地からエアレーションタンクに NaOH を添加して pH 調整を行った。NaOH の添加位置はエアレーションタンクの先端で，設定 pH は 7.5～8.5 とした。Aℓ は No.15 と同じく 8 mg/ℓ 添加している。

しかしながら硝化は全くといっていいぐらい起きなかった。

薬注系では汚泥引抜にトラブルがあり，汚泥の流出があったため透視度は悪く SS が高くなっている。全リンが高いのは SS の流出のためとみられる。溶解性全リンの値は 0.09 mg/ℓ と低く，Na [illegible] 添加でエアレーションタンクの pH を上げた影響は見られない。

No.17：No.16 で硝化が起きなたったため Aℓ による阻害の恐れがあると判断し，添加濃度を 4 mg/ℓ に下げて運転した。硝化は起きなかった。

全リンの除去は悪く，処理水で 0.73 mg/ℓ となった。溶解性全リンの値も 0.25 mg/ℓ とやや高い。

No.17 の実験開始後約 1 週間後に薬注系エアレーションタンクに粘質のスカムが浮かび，一部終沈へ流出した。やがでエアレーションタンク全域に拡がり実験が継続できなくなった。この原因としては NaOH をエアレーションタンクに添加する際，一時的に pH 12 程度の高 pH の状態になる部分ができることがあげられる。これは NaOH の注入設備の性能に起因している。

また，No.17 の最後の期間に硫酸バンドが注入配管内に析出し添加不能に陥いることがしばしばあった。スカムと硫酸バンドの析出のため 1977 年 2 月は実験を中止した。

No.18：エアレーションタンクに直接 NaOH を添加すると粘質のスカムが発生したので，NaOH を初沈流出水の水路に添加するという条件で実験を再開した。MLSS は実験中止の間に低下したため，No.18 は 1,400 mg/ℓ と No.13 以前の状態に戻っている。

硝化はおきなかった。

処理水の清澄感は回復し，SS，全リンは低い値となっている。

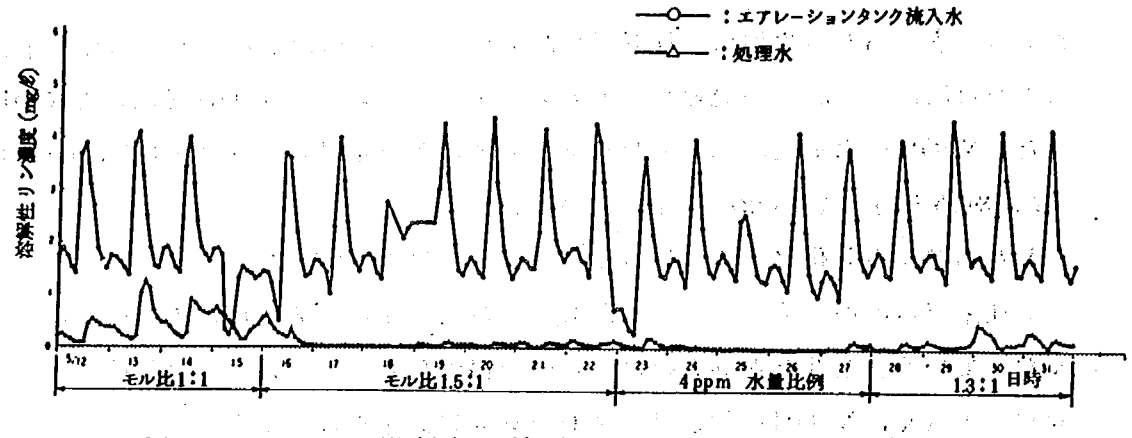
コントロール系では SS の流出が大きく，透視度もよくない。

No.19：これまで流入水量に比例し Aℓ を注入する実験を行ってきたが，リンの連続自動分析計が実用に耐えることが判明したのでエアレーションタンクへのリンの流入負荷量に比例して Aℓ を注入する実験を行った。

実験では初沈流出水のリン（溶解性加水分解性リン）濃度と流量とを測定してリンの負荷量を計算し，Aℓ/P のモル比をかけた量の Aℓ を注入した。

No.19 ではモル比 1.0，1.3，1.5 の 3 種類を比較した。各ケースの比較はリンの分析計の結果から行った。この時の結果を図－2－1 に示す。モル比 1.5 では初沈流出水中のリン濃度のピークが処理水に表われず，低く安定していることが分かる。このことはリンとの反応を十分に行うためにはモル比で 1.5 以上の Aℓ が必要であることを示している。なお，全リンの除去についてはデータがないので評価を下すには至らなかった。

表－5 に示した No.19 の結果はモル比 1.3（Aℓ で 2.7 mg/ℓ）のものである。透視度が良いのに



図－2－1. モル比制御の結果（エアレーションタンク添加）

比べリンの除去が良くない。Aℓの量が不足しているものと推定できる。

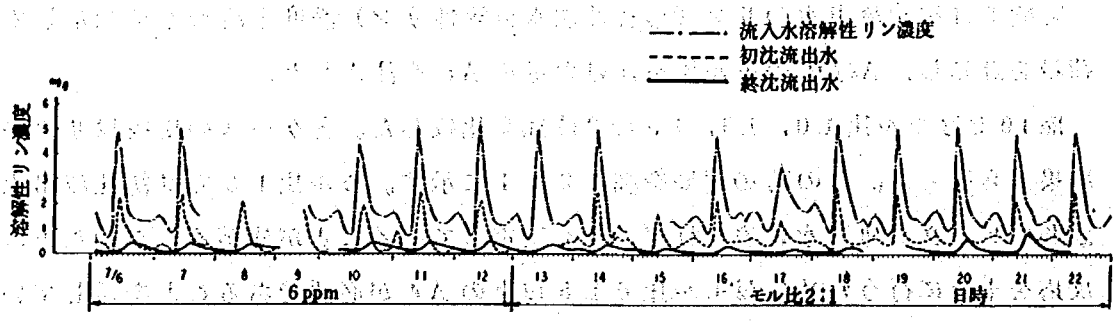
No.20：No.20～No.25 では Aℓ を前エアレーションタンクに添加し，最初沈殿池でのリン，有機物除去について調査した。No.20～22, 25 では薬注系の最初沈殿池のみに入るように運転した。

最初沈殿池での凝集は午前の高負荷時を除いて良好に行われている。午前の高負荷時には十分沈降せずに Aℓ のフロックが流出する傾向がある。初沈流出水は外観は非常に清澄になった。これは水質の各項目で，コントロール系の値より低くなっていることとからも裏付けられる。水質の改善は溶解性ＢＯＤをはじめとして溶解性成分で顕著である。

最初沈殿池での除去率が向上したためエアレーションタンクへの負荷が低下したため，返送汚泥率を高めてエアレーションタンクのＭＬＳＳを上げる運転をしたが，余剰汚泥の引抜き過剰（余剰汚泥発生量の低下に合わせて引抜量を減らすのに少し時間がかかったため）によりＳＲＴは9.2日までしか伸びなかった。

終沈流出水の水質はBOD，COD，リンについてはエアレーションタンク添加の場合に比べてやや劣る。コントロール系と比べるとNo.20ではやや改善されている。硝化はどちらもまだ進んでいない。

No.21：前エアレーションタンクでの添加において負加比例注入が有効かどうかについて調査した。設定は Aℓ とＰのモル比で２とした。初沈流入水と流出水のリン濃度の変化についてリンの分析計の記録を図－２－２に示す。



図－２－２. モル比制御の結果（前エアレーションタンク添加）

図－２－２を見るとモル比２の負荷比例注入を行ってもピークを抑えることができていないこと，６mg/ℓ添加に比べ低負荷時の値が高いことが指摘できる。No.21ではAℓの注入濃度は約3.8mg/ℓでむしろ流量比例注入（6mg/ℓ）より低くなっている。このことが低負荷時の値を高めている。またピークを抑えることができないのはモル比がまだ小さいこと，ないしはリンと反応しても大きなフロックに生長しないまま流出していくAℓが多いことなどが原因として考えられる。

No.22：再び流量比例注入（6mg/ℓ）に戻す。

硝化はしだいに進み両系列ともNO_2－N＋NO_3－Nで２～３mg/ℓの値が検出されている。両系列ともアルカリ度が低下している。薬注系では最初沈殿池での減少が大きく，終沈流出水では13mg/ℓとかなり低下し，硝化を途中で阻害していることが予想される。

処理水のBOD，CODはやや高い。BODでは両系列とも硝化の影響と推定される。薬注系のCODが高いのは処理水のNO_2－Nが2.83mg/ℓ検出されていることも影響している。

リンの除去は良くない。溶解性全リンは0.23mg/ℓと割合低い値だが全リンは1.18mg/ℓと高く，微細なフロックの形でリンが流出していることが予想される。

なお実験期間中に薬注系のエアレーションタンクのDOが末端で1.0mg/ℓ程度と低いことが分かり，No.22の終了後９月１日より送気量を２５％程度増やして運転した。

No.23：前エアレーションタンクにAℓを添加することでエアレーションタンクへの負荷を下げ，その結果硝化を起こすことに成功した。但しNo.20～22の結果に見られる程度の硝化は一年前のNo.12，13（エアレーションタンク添加）で経験している。No.13以降は水温の低下と共に硝化が停止した。No.14～18では高MLSS運転に成功したが，SRTを長く保つことには失敗しており，このことが硝化を起こせなかった一因と考えている。

ところが前エアレーションタンクに添加する方法ではSRTを長く保つことが容易である。No.23ではMLSS 3,271mg/ℓに対しSRT 31日が得られている。このことはアルカリ度，DO等の阻害がなければ硝化をかなり進めることができることを示唆している。そこでNo.23からNo.25において初沈流出水路にNaOHを添加しアルカリ度を補給する実験を行った。NaOH添加の効果を知るため両系列の前エアレーションタンクにAℓを添加し，コントロール系はNaOH無添加，薬注系はNaOH添加という条件で運転した。なおAℓの添加濃度は6mg/ℓであり，NaOHの添加は初沈流出水路でpHが8.7～9.0となるように行った。

薬注系ではかなり硝化が進み，処理水中のNH_4－Nは4.2mg/ℓと低くなった。処理水中にNH_4－Nが常時1mg/ℓ以上検出されるのは午前11時～午後8時の時間帯で，午前のピーク時に流入した窒素が十分硝化されずに処理水に流出している。エアレーション時間の不足が原因ではないかと思われる。

コントロール系では十分硝化するまでに至っていない。有機物の除去は両系列とも良好であるが，薬注系の方がやや優る。

リンの除去では両系列ほとんど差がない。

No.24：前エアレーションタンクへのAℓの添加濃度を3mg/ℓと減らし，他の条件はNo.23と同じにしそ運転した。最初沈殿池からの流出負荷が少し高くなったためSRTはNo.23より短くなっている。

薬注系では十分硝化しているが，コントロール系では硝化は起きていない。

処理は安定しており，SS，有機物の除去は両系列とも良好である。リンについては両系列ほとんど差がない。全リンに対する溶解性全リンの割合が高くなっている。

No.25：前エアレーションタンクへの添加濃度を6mg/ℓに戻し，コントロール系への添加を中止して薬注系のみの添加という条件で運転した。

薬注系では硝化が進んでいるが，コントロール系では硝化は起きていない。

実験期間中に最終沈殿池の汚泥かき寄せ機のチェーンが切れるという事故が起きた恐れがあり，両系列とも汚泥のキャリーオーバーが見られた。このため処理水のSS，BODが高くなっている。

リンについては薬注系処理水では溶解性全リンが0.13mg/ℓまで除去されている。これに比べ全リンはSSの高さが影響を及ぼしており0.57mg/ℓとなっている。コントロール系ではAℓの添加がなくなったためNo.22以前のレベルに戻っている。

No.26：No.25までAℓの実験を終了し，No.26から凝集剤として硫酸第1鉄を用いた実験を行った。実験開始にあたってFeの最適添加位置を求める実験をした。まず，エアレーションタンクの入口から3/4地点でFe^{2+}として10mg/ℓ添加したところ処理水にFe^{2+}が流出していることが分かったのでFe^{2+}の酸化及び不溶化にはエアレーション時間を長くとることが必要と判断し添加位置をエアレーションタンク入口より5mの地点に移した。これにより処理水中にFe^{2+}の流出がなくなったので以後この地点に添加することとした。

返送汚泥率はNo.25の59%から34%まで下げ，MLSS 1,000mg/ℓ前後を目途として運転した。

No.26では最終沈殿池のチェーンのはずれや薬注ポンプの不調などの事故があり運転はうまく行っていない。両系列とも処理水はSSが高く，清澄感の乏しいものとなっている。薬注系の処理水では白ないし白っぽい茶色の濁りがときどき見られた。但し，処理水の鉄の赤茶色に着色するという現象はなかった。

処理水のBOD，COD，窒素では両系列で大きな差はないがリンは薬注系ではよく除去されており，硫酸第1鉄による効果が見られる。

No.27：薬注ポンプ不調のため硫酸第1鉄を定量で注入した。実験期間中の日平均水量に対する濃度は10～12mg/ℓ（平均11mg/ℓ）となっている。

最終沈殿池のチェーンが正常に戻り，処理が良好に行われるようになった。

但し薬注系処理水の白濁は時々見られた。濁質のFeの含有率を見るとSSに対し30%という結果が得られた。これは活性汚泥中の値（7～25%，添加濃度により異なる）に比べ少し高くなっており，凝集が不十分な鉄のフロックが流出している可能性が強い。

No.28：流量比例注入に戻して10mg/ℓの添加を行った。処理水の白濁の原因が硫酸バンドの時に経験したエアレーション時間の長さにあるのではないかと判断し，実験期間の後半に添加位置の変更を行った。添加位置はエアレーションタンク入口より60mの地点とした。これはNo.26では不適当とされた地点だが水温の上昇他の原因で処理水への Fe^{2+} の流出が見られないと推定されたため選んだものである。

最終沈殿池での清澄感にはあまり変化がなく，添加位置の変更による効果は見られなかった。

No.29：西山処理場への流入下水のうちピーク時の一部分を他の処理場へ回すための工事が完了し，No.29からは流入水量が30％程度減少している。この結果エアレーション時間が従来の3～5時間から5～6時間と長くなり処理に安定をもたらすことが期待された。また最終沈殿池にも少し余裕ができるので各系列で1池ずつ使用する（残る1池は使用せず）という運転をとり両系列が水理学的に同一条件となった。以後この条件で運転している。

この期間は処理の状態がかなり変動している。7月下旬から8月上旬までは処理水の濁りがなくなり清澄感の優れていた。8月中旬から汚泥の分散によるとみられるSSの流出が激しくなり，処理水質が悪化しはじめた。そこで8月下旬に送気量を減少させたところ処理水質は回復した。

表－5には8月中旬～下旬の処理の悪化した時期（29－a）と8月下旬～9月上旬の処理の良好な時期（29－b）に分けて結果を示した。

9月上旬に薬注に関してトラブルがあり，硫酸第1鉄を添加する運転は一時中断し翌年1月より再開することとなった。この間両系列とも無薬注の標準法で運転した。

No.30：Fe^{2+} として8mg/ℓの添加濃度で再スタートする。この期間には両系列ともバルキング状態に陥った。SVIはコントロール，薬注で各々345，582と本調査期間中の最高値を示している。

しかしながら処理水質は両系列とも良好で透視度30cm以上，SS，BODいずれも1桁という結果が得られている。リンについては薬注系では全リンが0.28mg/ℓとかなり低くなっている。

No.31：Fe^{2+} の添加濃度を20mg/ℓまで上げて運転した。汚泥のバルキングは少しおさまったがSVIは両系列とも300を越えていた。

処理水質は良好である。

No.32：Fe^{2+} の添加濃度を25mg/ℓまで上げた。

MLSSは両系列とも1,000mg/ℓ程度であるが，VSS/SSの比がコントロール系81％に対し薬注系55％とかなり差がある。SVIはNo.31よりさらに低下したが，薬注系の方が少し高い。

処理水質は両系列とも良好である。コントロール系では硝化のためBODがやや高くなっている。薬注系処理水のリンの除去は良好で全リン0.19，溶解性全リン0.11mg/ℓとなっている。

No.33：Fe^{2+}の添加濃度を4mg/ℓと本調査中最小にまで下げて運転した。

薬注系の汚泥のVSS/SS比は68％と高くなった。

処理は概ね良好である。

薬注系処理水では溶解性全リンが0.60mg/ℓとなったため全リンが0.81mg/ℓと高くなった。

本調査では凝集剤の添加による処理の改善ということを目的としているため，凝集剤を使用していないコントロール系との比較が重要なポイントとなる。すでに述べたように，実験No.1～No.28では最終沈殿池の容量の点でアンバランスがあり，両系列は厳密に言うと対等ではない。コントロール系の最終沈殿池容量が小さいという欠点はエアレーションタンクのMLSSを高く保つのが難しい，終沈流出水にSSが流出しやすいという結果となって表われている。

この欠点は1978年7月に流量の一部カットを実施してからかなり改善されている。このためコントロール系での処理機能を把握する際1978年6月までの時期と7月以降の時期の2つに分けて考えねばならない。

次章でコントロール系の処理機能についてまとめ，そのあとで凝集剤の添加の効果について論じることにしよう。

5.1.2 コントロール系の処理機能

西山処理場は家庭下水を主体とする分流式の処理場である。処理に影響を及ぼしている要因のうち重要なものとして下水の流入から処理までが自然流下で流れており，ポンプを使用していないこと，流入下水の量及び質の時間変動が大きいこと，水温の季節変化が大きいこと（夏25～26°C，冬11～12°C）などをあげることができる。ポンプを使っていないということは流入SSの微細化と関連して最初沈殿池での沈殿除去機能に影響を及ぼすことが予想される。流入下水の量及び質の時間変動が大きいことは沈殿池の沈殿時間及びエアレーションタンクの滞留時間の変動が大きいことを意味しており，処理水に対しては変動のピーク時におけるSSの増大，除去不十分の成分の流出（例えば未硝化のNH_4－N）となって表われてくる。水温の変化はSSの沈降性に影響を及ぼす他に活性汚泥の性状や活性に大きな影響を与えている。

なお，他の処理場では運転上の重要な要因にあげられているが，西山処理場の場合関係のないのは工場排水及び汚泥処理からの返流水の影響である。

上記の3つの要因を中心にコントロール系の処理機能を見て行くことにしよう。

A. 流入下水の量及び質の時間変動と処理への影響

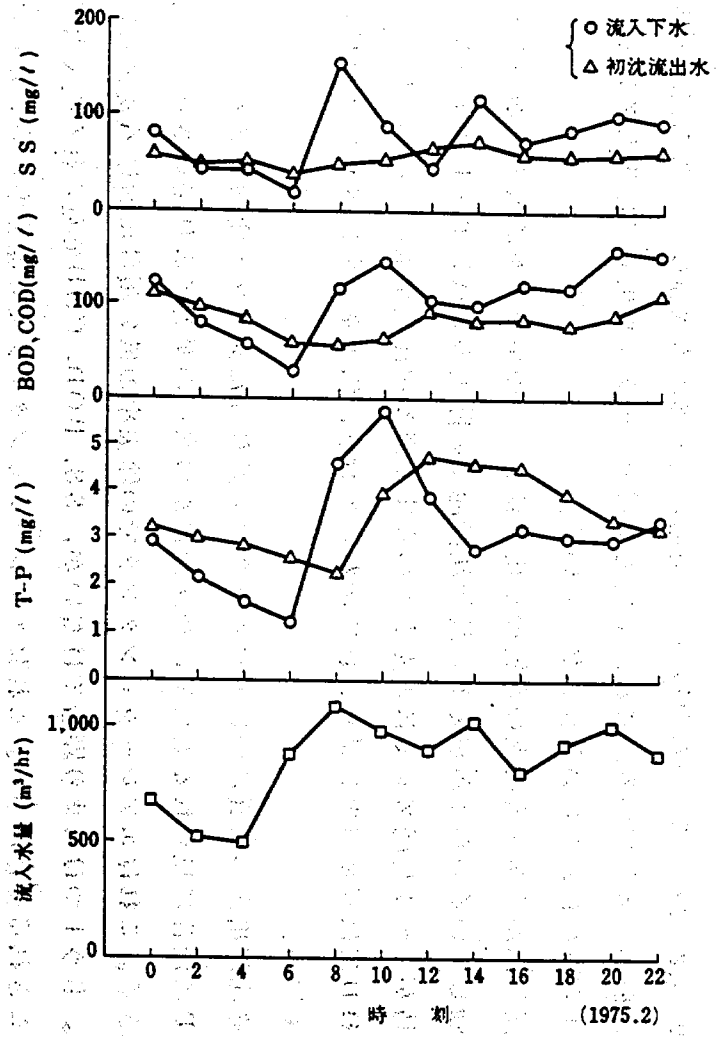
流入下水の水量と水質の時間変動と最初沈殿池流出水，コントロール系処理水の時間変動をあわせて図－3－1～図－3－6に示す。なお図－3－5と図－3－6は流入下水の一部カットを実施したあとのものである。

図－3－1～図－3－4をみると，流入水量は最大時と最小時の比が3～5ある。最大時には最初沈殿池，エアレーションタンク，最終沈殿池（コントロール系）の滞留時間は各々0.9，2.2，0.8時間とかなり短い。西山処理場では流入水量のピークと流入下水の水質のピークが概ね一致している。これは水量と水質のピークが相乗的に作用していることを示し，処理する側にはかなりの負荷となっている。

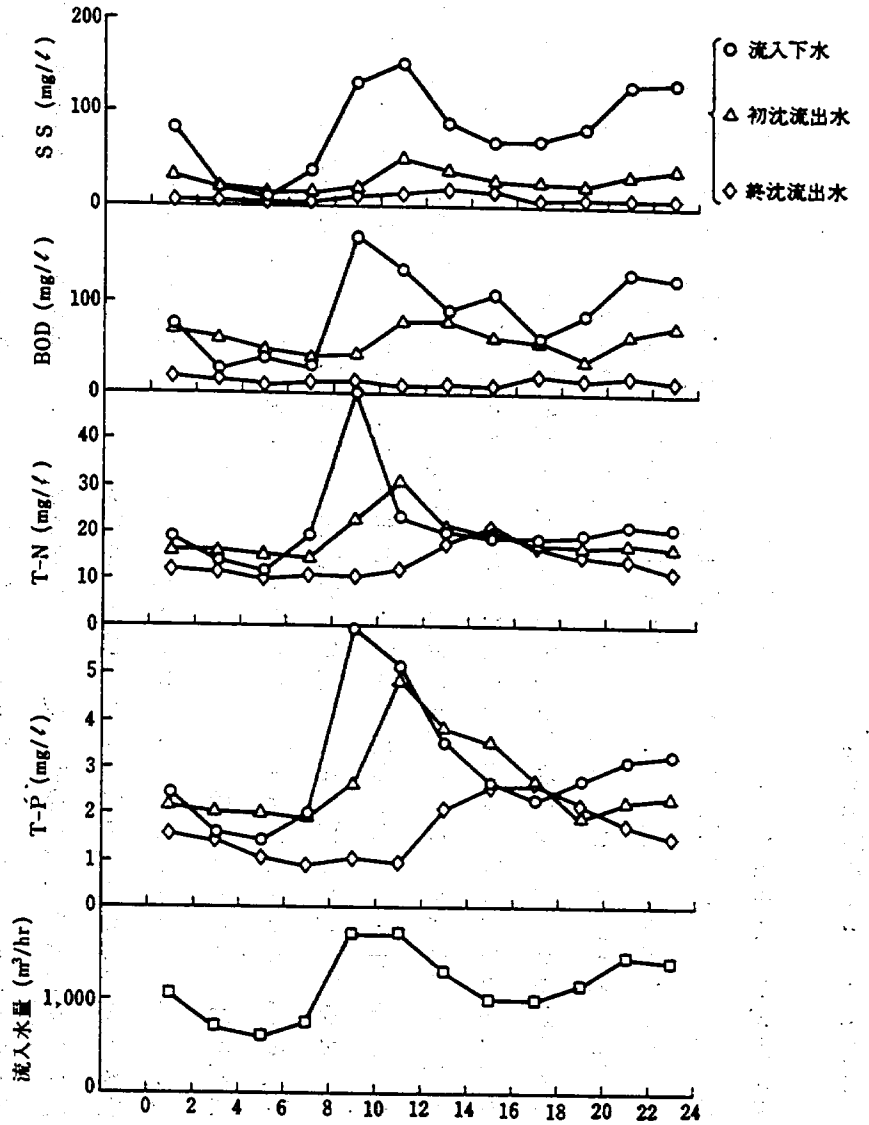
同じ図から初沈流出水の水質の変化を見るとどの項目でも流入下水から2～4時間ズレて変動しているのがうかがえる。最初沈殿池での除去率の低いT－P，T－Nでは流入下水の変動が2～4時間ズレてほとんどそのままの形で初沈流出水に伝わっている。これに比べ，BODでは変動が少し緩和されて伝わっており，除去率の良いSSではなだらかな変動となっている。

終沈流出水の水質について見ると2つの異なったタイプの変動がある。1つはT－N，T－Pに顕著に見られるもので，初沈流出水の水質の変動により起こされる変動ということができる。これはエアレーションタンクでの除去率の低い項目における変動と言うこともできる。もう1つはあまり顕著ではないが，SS，BOD，CODで見られる流入水量の変動により起こされる変動がある。これはエアレーションタンクでの除去率の良い項目に見られる変動と言うことができる。

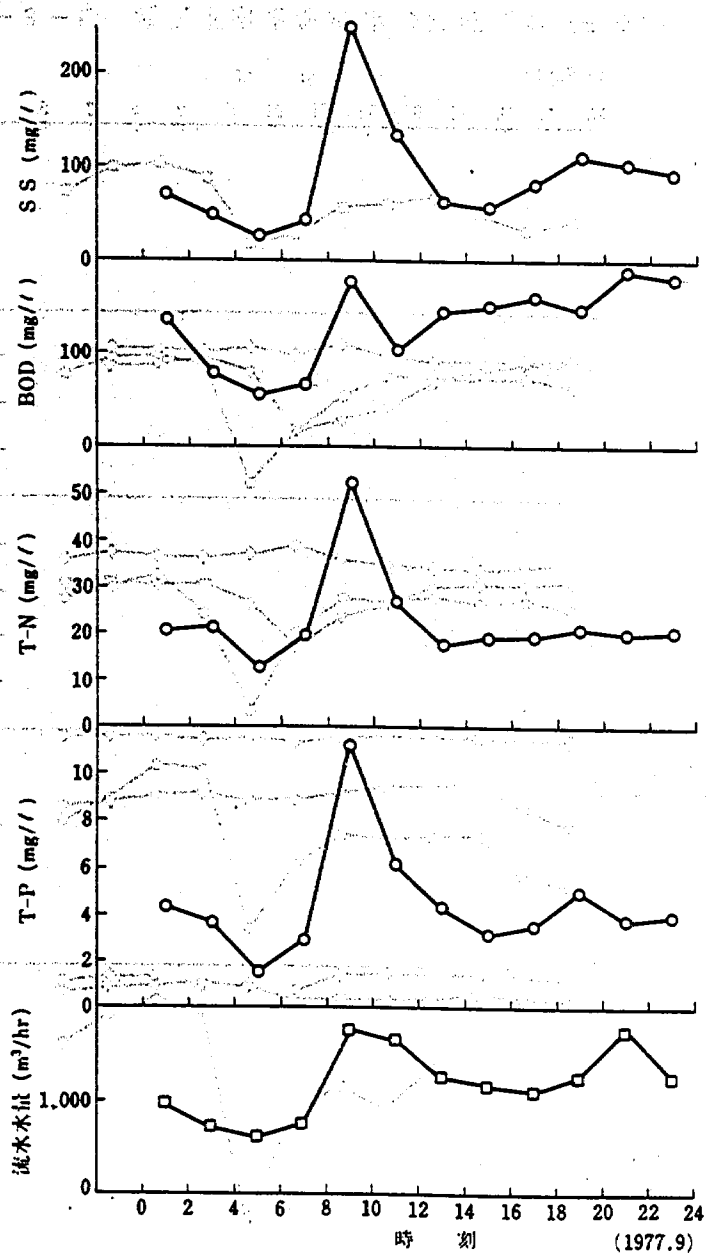
流入下水の一部カットを実施したあとの結果（図－3－5，6）を見ると水量では最大時と最小時の比は3～4と実施前と大差ないがピーク時の水量は約30％低くなっている。この



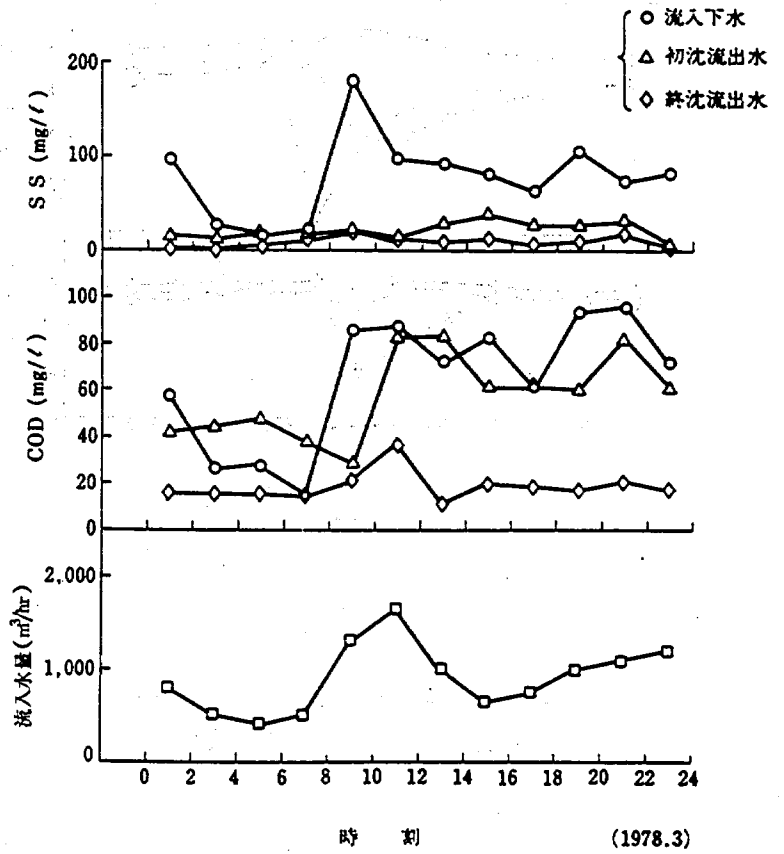
図－３－１. 流入下水及び処理水の時間変動（その１）



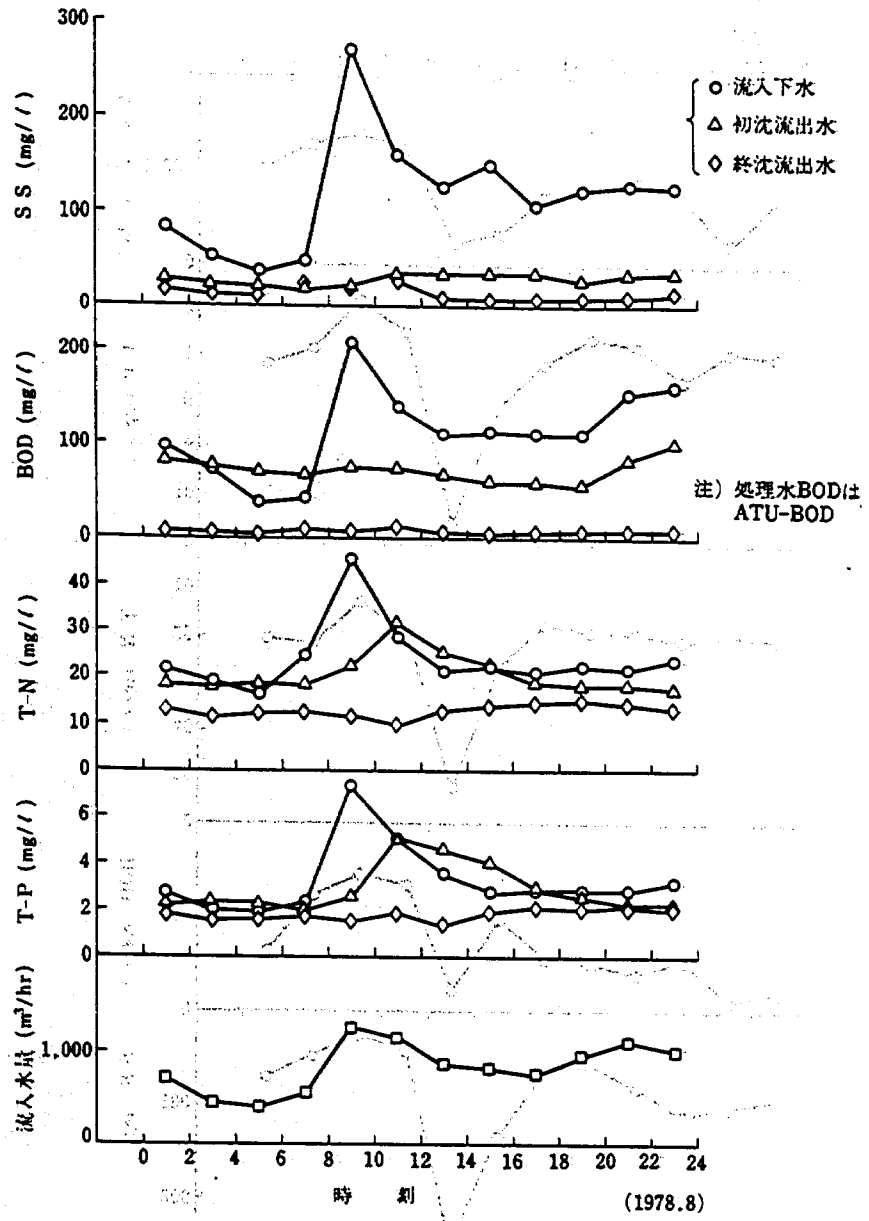
図－３－２. 流入下水及び処理水の時間変動（その２）



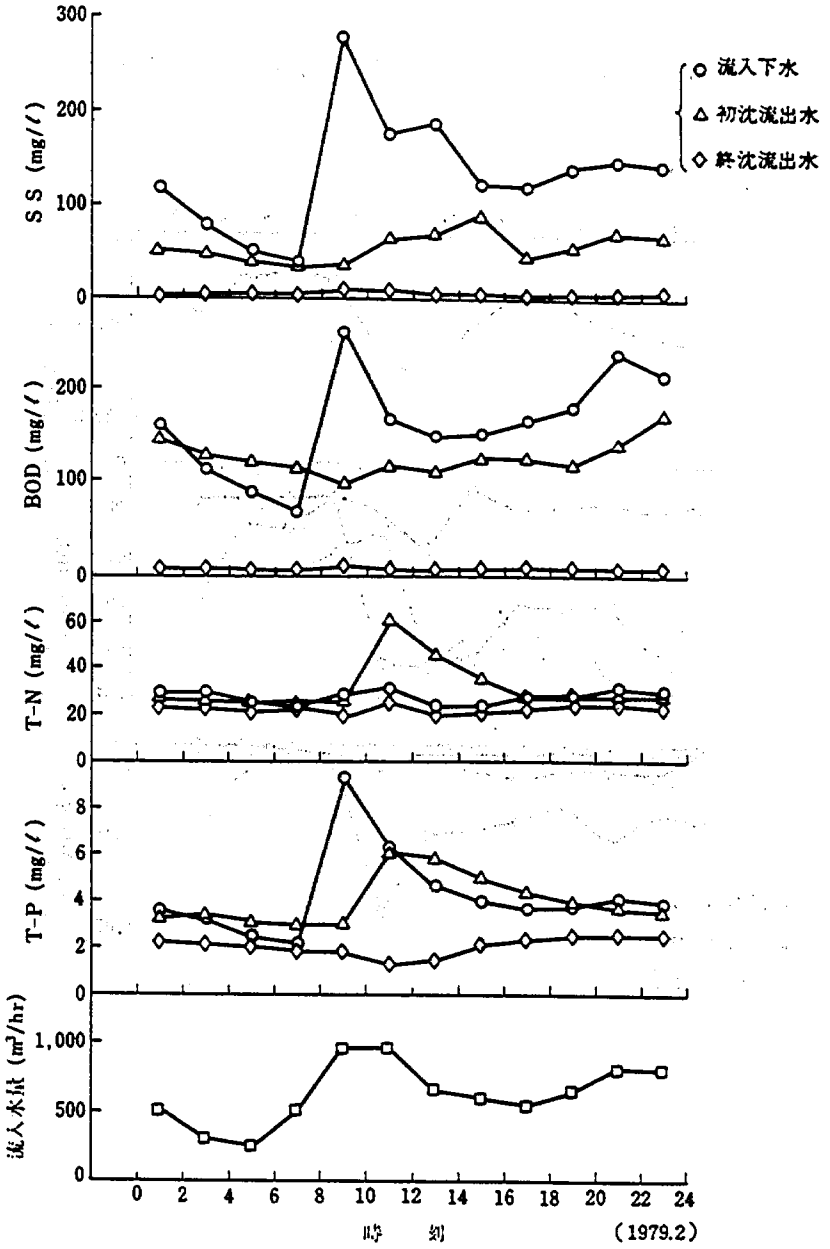
図－3－3. 流入下水の時間変動（その3）



図－3－4. 流入下水と処理水の時間変動（その4）



図－3－5. 流入下水と処理水の時間変動（その5）



図－3－6. 流入下水と処理水の時間変動（その6）

ことが最初沈殿池以降のプロセスでの除去率にどう効いてくるかについては後で検討することとする。初沈流出水及び終沈流出水の水質変動のパターンは流動カット前とあまり変っていない。以上の考察をまとめると次のような点が指摘できる。

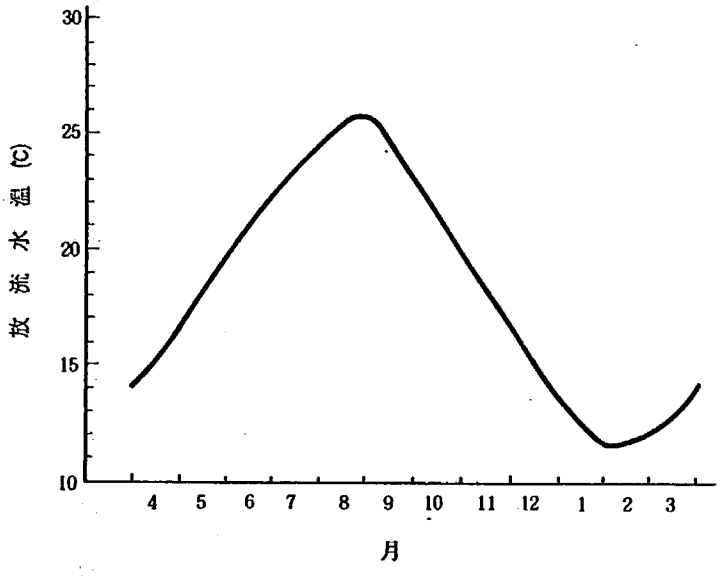
㋑ 最初沈殿池流出水の水質の時間変動は流入下水の水質の時間変動の影響を強く受けている。水質項目のうち最初沈殿池で除去されにくいものほど流入下水の時間変動をそのまま伝えている。

㋺ 最終沈殿池流出水の水質の時間変動には2つのタイプがある。1つは初沈流出水の水質の影響を受けやすい項目で，他方は流入水量の影響を受けやすいものである。前者にはT－P，T－Nが，後者にはSS，BOD，CODなどが相当する。

㋩ ピークは最初沈殿池，エアレーションタンク，最終沈殿池と流下するにつれてゆるやかになる。

B. 流入下水の量及び季節変化

流入下水の量及び質は日間変動の他に季節による変化も顕著に見られる。まず1年間の放流水温の変化を図－3－7に示す。年間に12～26°Cまで変化する。次いで1日の混合試料の分析結果を基に調査期間中の流入下水の汚濁負荷の変化を求めた。流入下水量の変化を図－3－8に，流入下水中のBOD，T－N，T－Pの濃度の変化を図－3－9～図－3－11に，水量と濃度をかけ合わせて計算した負荷量の変化を図－3－12に示す。試験採取はなるべく晴天の日になるように行っており，以上の結果は晴天時流入下水の特徴と考えてよい。



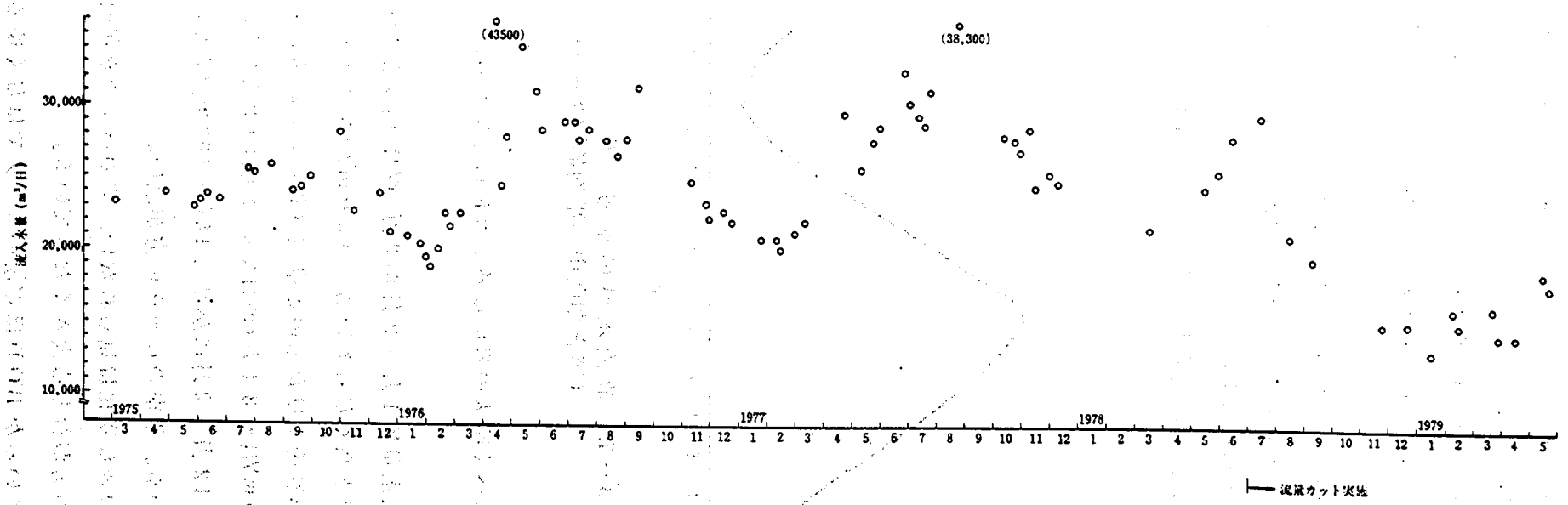
図－3－7. 放流水温の季節変化
(調査期間中の平均的パターン)

まず流量カット以前についてみてみよう。流入水量は1月～2月が2万m³/日 前後と年間を通して最も低く，5月～10月が3万m³/日前後と高くなっている。3.5万m³/日を超えている2点はいずれも前日に雨が降っており，その影響を受けたものと推定される。これらの2点を除いて流入下水量の変動幅を求めると1.9万m³/日～3.4万m³/日でその比は1.8となる。

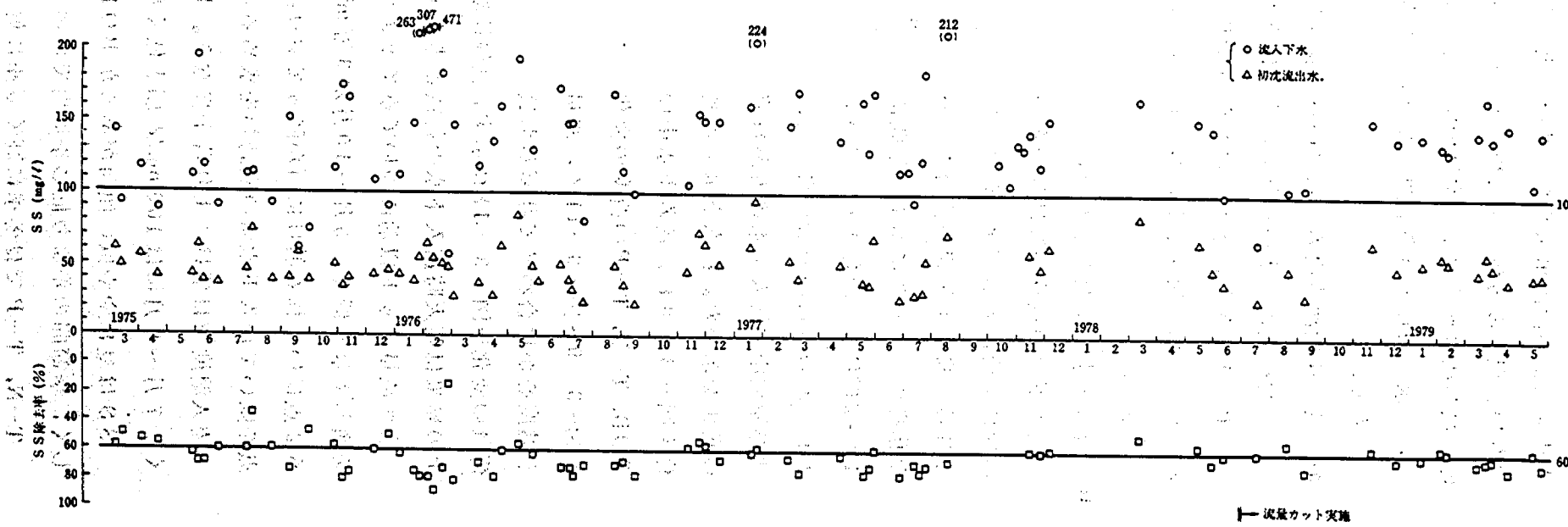
流入濃度では項目により若干異なる。BODは12月～2月にかけて150～200mg/ℓと高く，7月～9月には100mg/ℓ弱と低くなっている。冬季のピークの方が鋭い。

SSは夏にやや低い傾向があるがBODほど顕著な変化は見られない。値のバラつきが激しく，季節間の差より同じ季節内でのバラつきの方がむしろ大きくなっている。

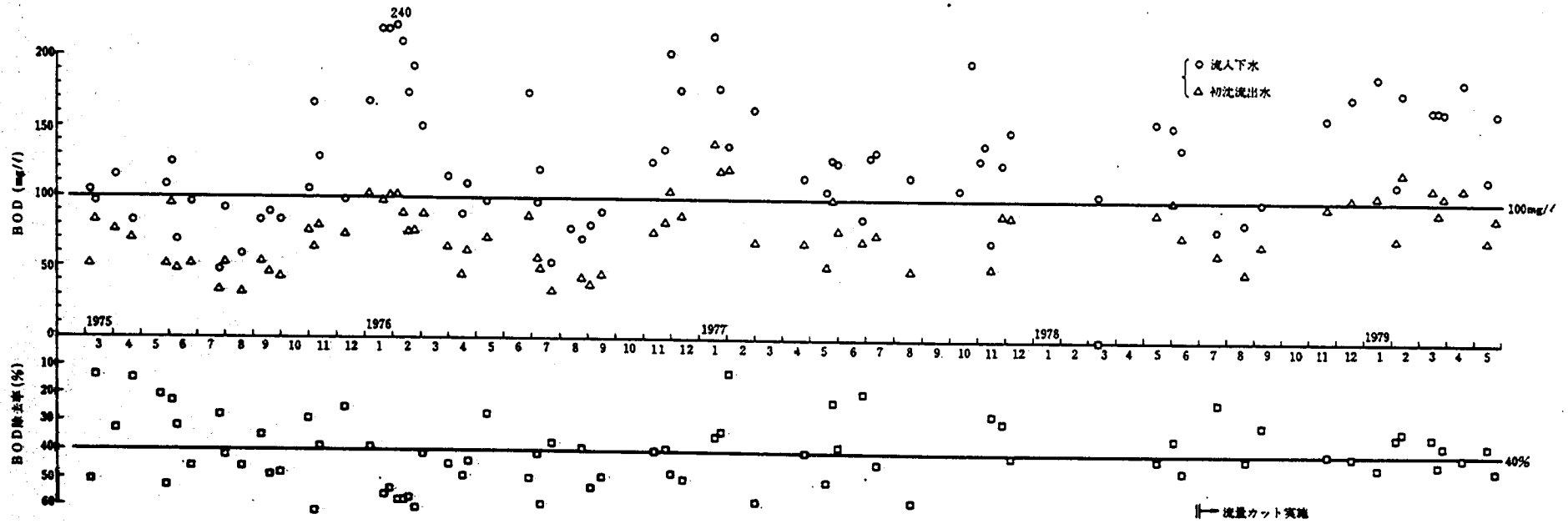
T－N，T－Pでは冬季に高く夏季に低くなっているがBODほど鋭いピークではなくゆるやかな変化を示している。



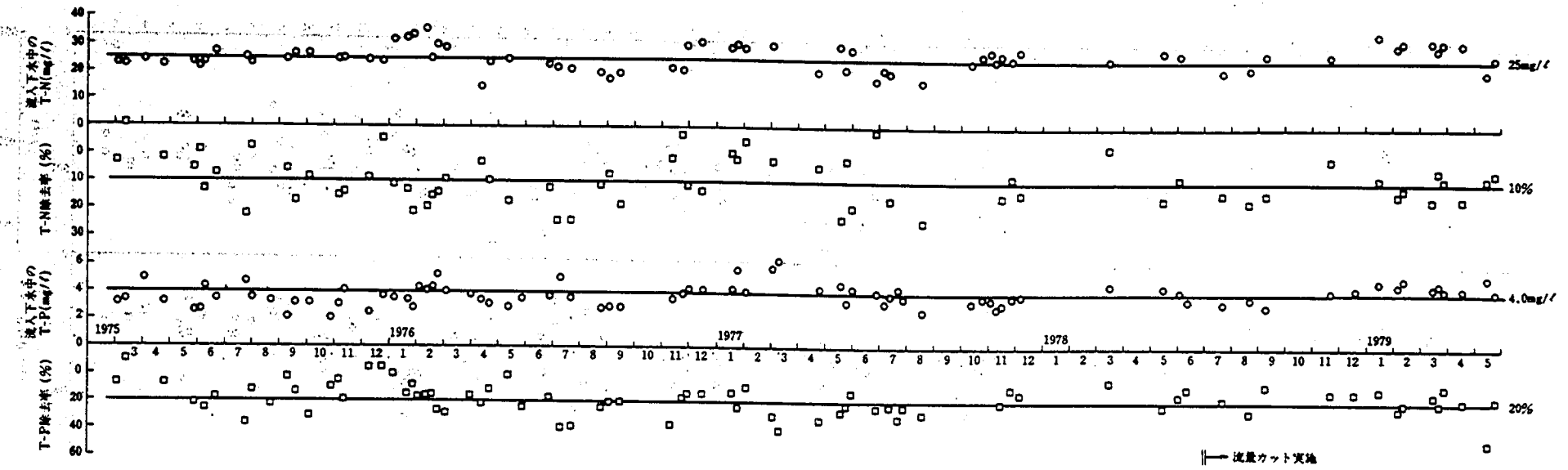
図－3－8. 流入下水量の季節変化



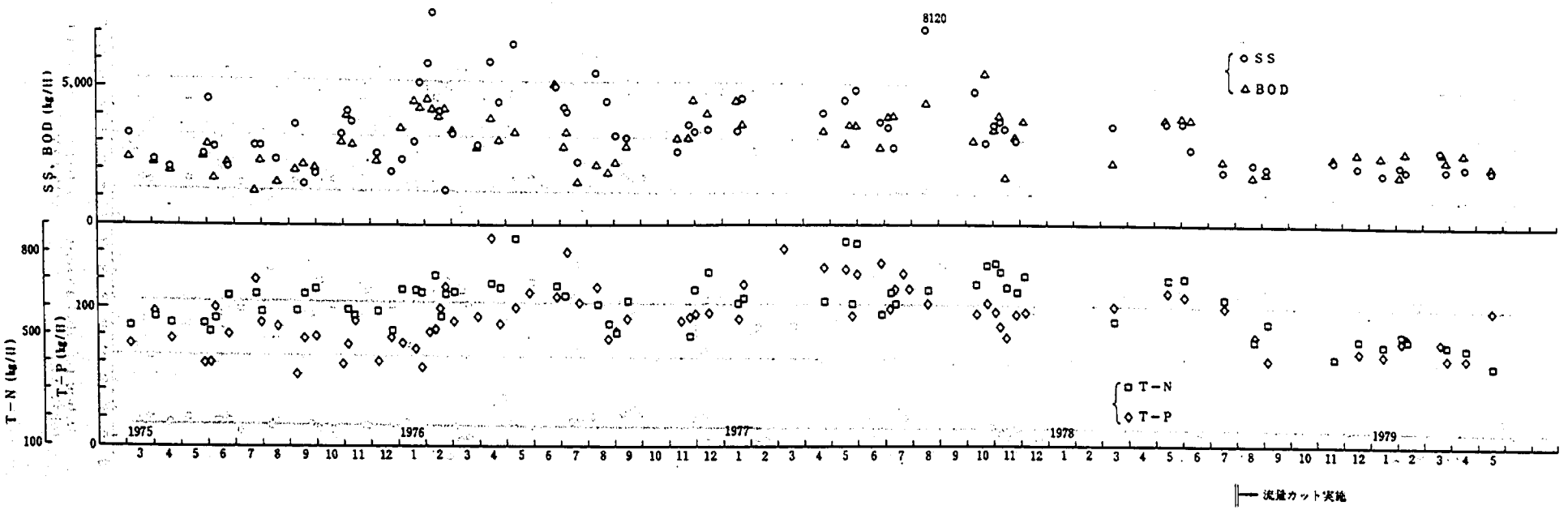
図－3－9. 流入下水と初沈流出水のSS



図－3－10.　流入下水と初沈流出水のBOD



図－3－11.　流入下水と初沈流出水のNとP



図－3－12. 流入下水中の汚濁負荷（S.S, BOD, N, P）

各項目で濃度の変動幅を求めると次のようになる。

BOD	: 60 ～ 220	比は 3.7	(単位は mg/ℓ)
SS	: 60 ～ 220	比は 3.7	
T－N	: 20 ～ 35	比は 1.8	
T－P	: 2.5 ～ 5.5	比は 2.2	

流入負荷では変化は少し複雑になる。BODについてみると冬季に高く夏季に低い傾向がみられる。この傾向は1975～76年で割合顕著であるのに対し，1977年ではあまりはっきりしていない。

SSでは季節変化は顕著ではない。むしろ1975年がそれ以後に比べやや低目になっているのが注目される。この年は夏季の流入水量が76年，77年に比べ10％前後少なく，それが流入負荷を小さくしている。

T－NではBODとは逆に夏季の方が冬季に比べわずかながら高くなっている。T－PではT－Nと同じく夏季にわずかながら高くなっている。

各年毎に流入負荷の変動幅を求めると次のようになる。

	1975	1976	1977	(単位は kg/日)
BOD	1,200～4,000	1,600～5,000	1,700～5,500	
SS	1,500～4,500	1,200～6,500	2,800～5,800	
T－N	510～ 660	500～ 850	570～ 840	
T－P	50～ 120	55～ 150	80～ 130	

流入負荷の変動の大きさではBOD≒SS＞T－P≧T－Nと表現することができる。

流入濃度の変動と流入負荷の変動を比べると，いずれの項目でも変動幅という点ではほとんど変化がない。しかし季節変化のパターンでみるとBODでは負荷と濃度の変化のパターンがよく似ているのに対し，T－N，T－Pでは負荷は濃度とは逆のパターンとなり流入水量の影響を強く受けているというように項目により挙動が異なっている。

以上示した通り流入水量，流入濃度のみならずそれらの積である流入負荷においても1年のうちでかなり変動している。流入下水のサンプリングは初沈流出水や処理水に比べると難しい点があるが，それを考慮してもなお変動は残ると思われる。晴天時における流入水量，流入濃度，流入負荷の年間の変動の目安として次の値をあげる。これは変動の上限と下限の値の比として示したものである。

流 入 水 量 : 1.5 ～ 2.0

流 入 濃 度 : BOD …… 3 ～ 4
SS …… 3 ～ 4
T－N …… 1.5 ～ 2.0
T－P …… 2 ～ 3

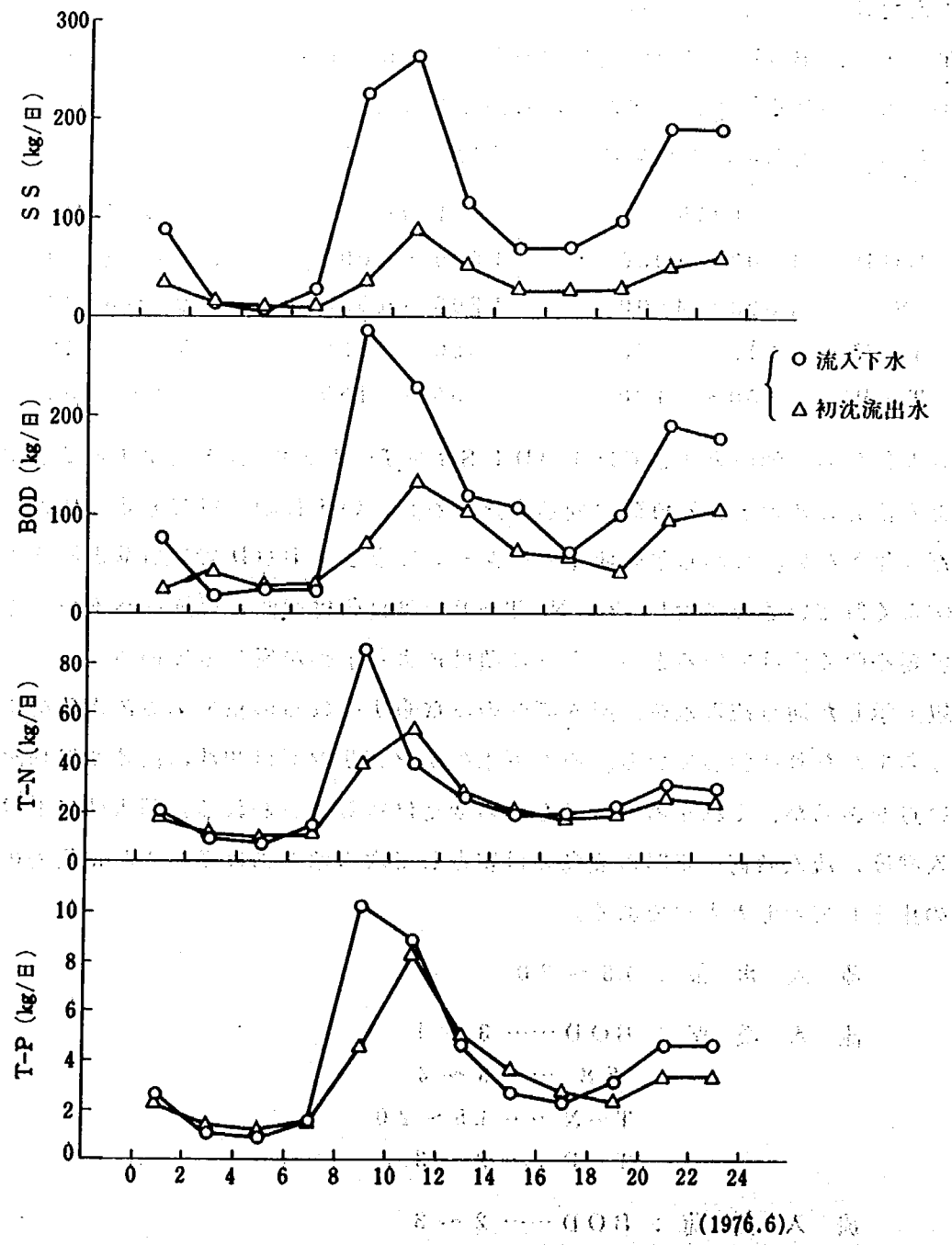
流 入 負 荷 : BOD …… 2 ～ 3
SS …… 3前後

流 入 負 荷 ： T－N …… 1.5 ～ 2
T－P …… 2 前後

こうした流入下水の季節変化を受けて処理プロセスがどのように機能を発揮するかについて以下で詳述する。

C. 最初沈殿池の機能

a の時間変動の考察から最初沈殿池の除去機能が流入水量より流入下水の水質の影響を強く受けていること，最初沈殿池を通ることでピークがゆるやかになることなどの点が指摘された。このことはエアレーションタンクへ流入する負荷を低くかつ平均化していることを意味している。図－3－2の結果を基に流入下水の負荷（濃度×水量で求めた）と初沈流出水の負荷を計算し時間変動の形で表現したのが図－3－13である。



図－3－13. 流入下水と初沈流出水の負荷の時間変動

この図を見るとどの水質項目についても負荷の最小値は両者でほぼ同じであるのに対し，最大値は初沈流出水の方が低くなっている。各項目で最大値と最小値の比，最大値と平均値の比，1日としての除去率を求めると次のようになる。

項　目	最大値/最小値		最大値/平均値		除去率 (%)
	流入下水	初沈流出水	流入下水	初沈流出水	
SS	44	11	2.7	2.4	62
BOD	16	4.8	2.4	2.0	44
T－N	13	5.8	3.1	2.3	16
T－P	12	6.8	2.6	2.5	16

最初沈殿池を通すことでエアレーションタンクへ流入する負荷は総量が減少する他に時間変動が緩和されていることが分かる。図－3－2以外の結果についても同様の計算を行い，得られた結果をまとめると表－6となる。1979.2のT－Nを除いてすでに述べたことを確認する結果となっている。

表－　負荷の時間変動と最初沈殿池の機能

		SS			BOD			COD			T－N			T－P		
		最大／最小	最大／平均	除去率 (%)	最大／最小	最大／平均	除去率 (%)	最大／最小	最大／平均	除去率 (%)	最大／最小	最大／平均	除去率 (%)	最大／最小	最大／平均	除去率 (%)
1975.2	流入下水	9.7	2.4	31	5.7	1.5	27							6.7	2.0	−8.8
	初沈流出水	2.9	1.5		2.3	1.4								3.4	1.6	
1976.6	流入下水	44	2.7	62	16	2.4	44				13	3.1	16	12	2.6	16
	初沈流出水	11	2.4		4.8	2.0					5.8	2.3		6.8	2.5	
1977.9	流入下水	27	3.6	−	9.9	1.9	−				12	7.7	−	22	3.3	−
	初沈流出水	−	−		−	−					−	−		−	−	
1978.3	流入下水	40	2.9	76				20	2.2	16						
	初沈流出水	5.8	1.8					7.6	2.5							
1978.8	流入下水	23	3.0	78	19	2.5	43				8.8	2.7	16	12	3.0	17
	初沈流出水	4.6	1.6		3.7	1.7					4.9	2.0		6.4	2.3	
1979.2	流入下水	20	2.8	62	11	2.2	30				4.7	1.7	−21	15	3.0	12
	初沈流出水	6.3	1.7		4.6	1.8					9.4	2.8		7.7	2.2	

次に24時間の混合試料による分析結果を基に最初沈殿池におけるSS，BOD，T－N，T－Pの除去についてまとめたのが図－3－9～図－3－11である。

㋑　SS……流入下水，初沈流出水ともかなりバラついており，冬季に両者ともSSがやや高目になるという点以外ははっきりした季節変化は見られない。むしろ注目すべきは除去率の一定していることであり，ほとんどの期間で50％を超えており60％ラインの周りに分布している。この傾向は流量カット実施の前後であまり変化がない。つまり滞留時間の延長（約30％）はほとんど効果を及ぼしていない。このことは西山処理場では最初沈殿池で除去できるSSは1.3～2.0時間の滞留で十分に沈殿しており，滞留時間を1時間程度

延ばしても効果のないことを示唆している。

㊐ BOD……流入下水，初沈流出水とも冬季に濃度が高く，夏季に低くなっている。除去率はSSに比べるとかなりバラついている。流量カット後は除去は安定し40％の周辺に分布している。

BODでは滞留時間の延長が除去率の安定化（但し除去率のレベルはあまり変っていない）に寄与していることが指摘できる。

㊑ T－N……流入下水ではBODの場合ほど顕著ではないが，冬季に濃度が高く夏季に低いという季節変化が見られる。変化の幅は小さく概ね20～35 mg/ℓ に入る。

最初沈殿池ではほとんど除去されていない。夏季は除去率が良好であるが，それでもせいぜい20％程度の値である。除去率がマイナスになる時が何度か見られるが，これは一度沈んだものが再浮上したり再溶出したためと思われる。流量カットの影響はほとんどみられない。

㊒ T－P……流入下水ではT－Nと似たような季節変化を示している。変化の幅は小さく，ほとんどが3～5 mg/ℓ に入っている。最初沈殿池ではあまり除去されていない。除去率は夏季に高く，冬季に低い傾向があるが，夏季の高い場合でもせいぜい40％程度である。

流量カットの影響はほとんど見られない。

以上4項目の除去についてまとめると除去率では次の順に並べることができる。

SS ＞ BOD ＞ T－P ＞ T－N

流入下水中の濃度はBOD，T－N，T－Pでは夏季に低く冬季に高いという季節変化を示している。SSではこの変化はあまりはっきりしない。

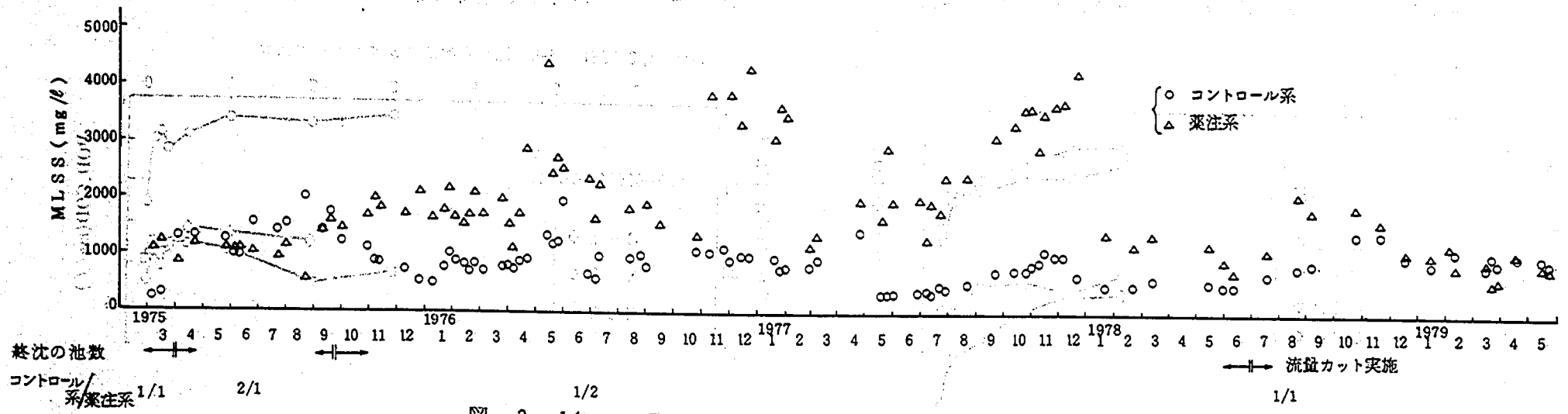
初沈流出水の季節変化はSSとBODについてしか示していないが，BODについては顕著で夏と冬とでは濃度が2倍程度異なっている。SSはBODほど明確ではないが夏低く冬高い傾向がある。流量カットによる最初沈殿池の滞留時間の延長は除去率の上昇という形では表われていない。みかけ上はほとんど効果がないが，BODの除去率の安定化に見られるように処理機能の安定化に貢献していることが推定される。

D. 二次処理の機能

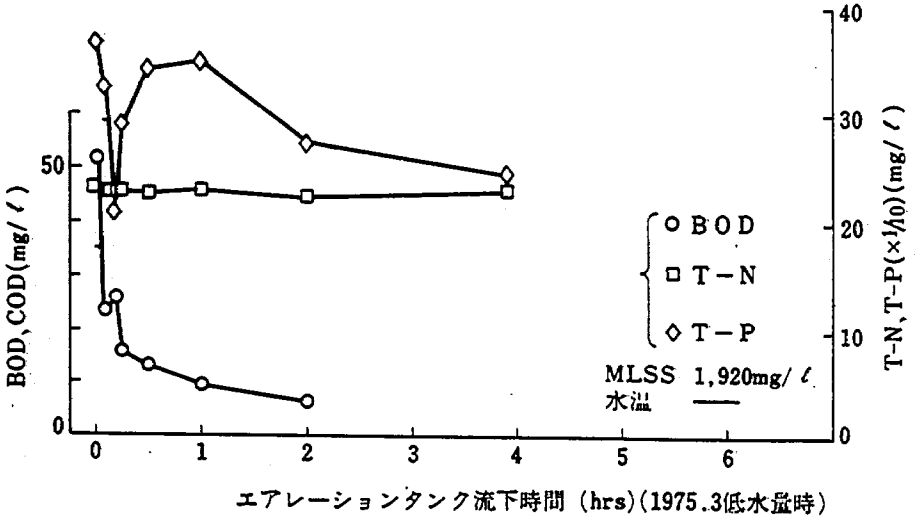
最初沈殿池のあとにエアレーションタンクと最終沈殿池がある。エアレーションタンクは活性汚泥と下水の接触，最終沈殿池は活性汚泥の沈降分離を受けもっており，両者がうまくかみあってはじめて二次処理の機能が発揮される。

エアレーションタンクの運転指標としてMLSSをとりあげ，調査期間中の変化を図－3－14に示す。1,000 mg/ℓ を中心として夏～秋に高く，冬～春低いという変動を示している。冬季に低いのはこの季節に汚泥の沈降性が悪化することに対応している。最終沈殿池の容量が少ないため沈降性が悪いとき（SV_{30} が高いとき）には汚泥引抜量（容量）を増やすという操作を行っており，そのためMLSSが低くなるという結果となっている。

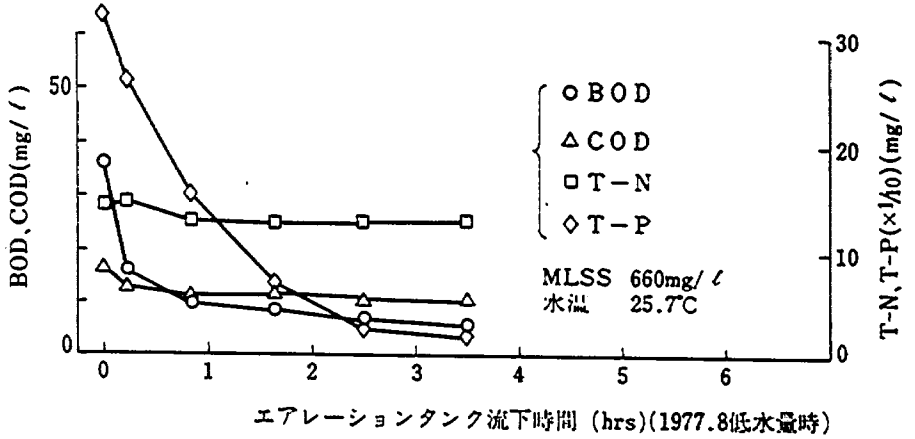
二次処理水の水質の考察に入る前にエアレーションタンクでの処理状況に触れることにしよう。



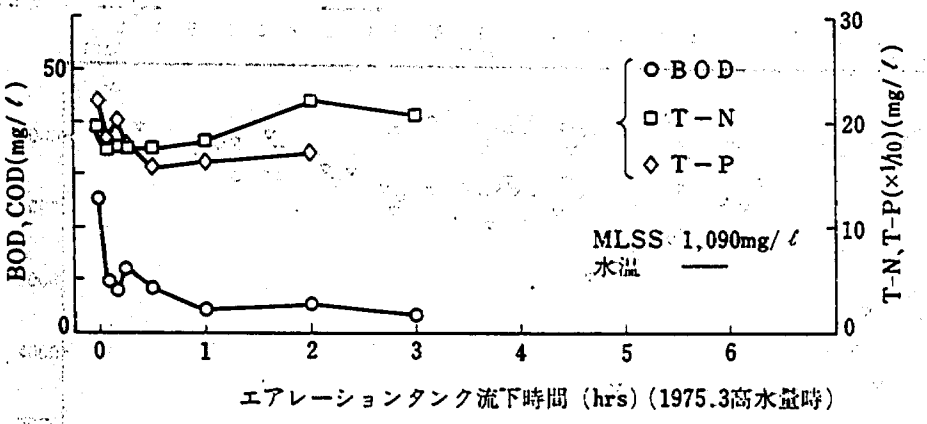
図－3－14　エアレーションタンクのMLSSの変化



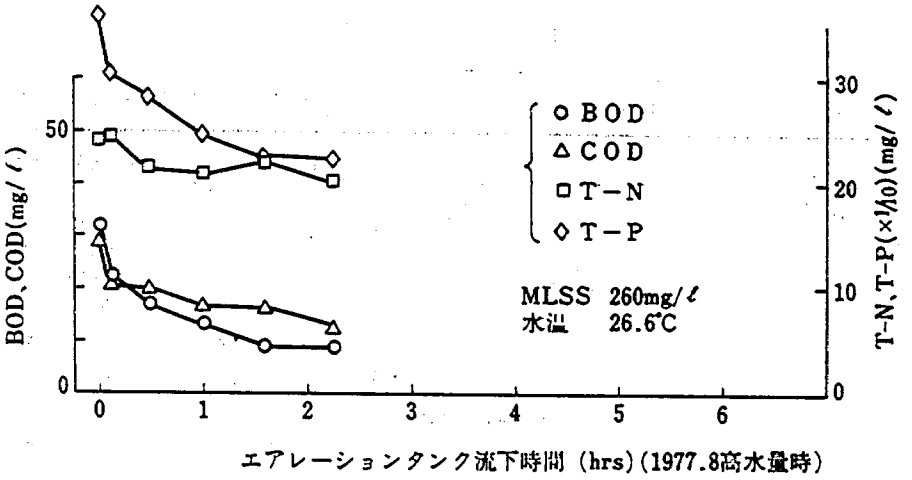
図−3−15. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



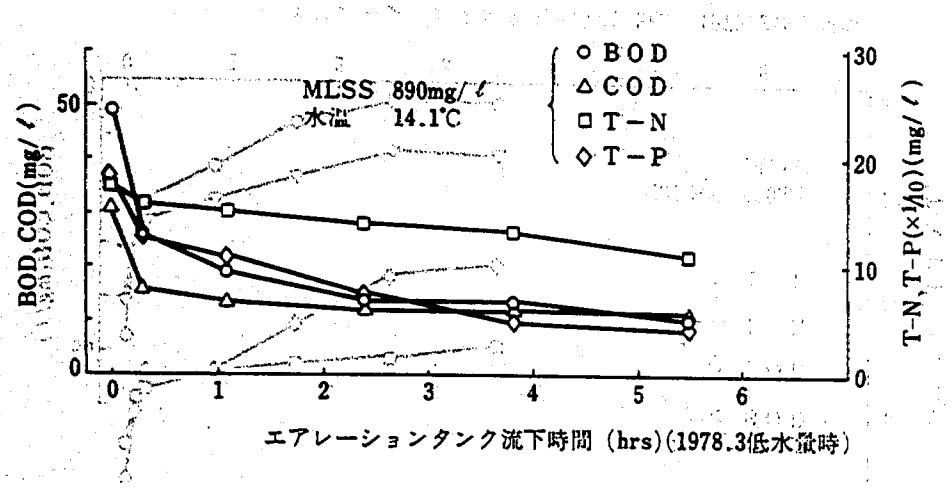
図−3−17. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



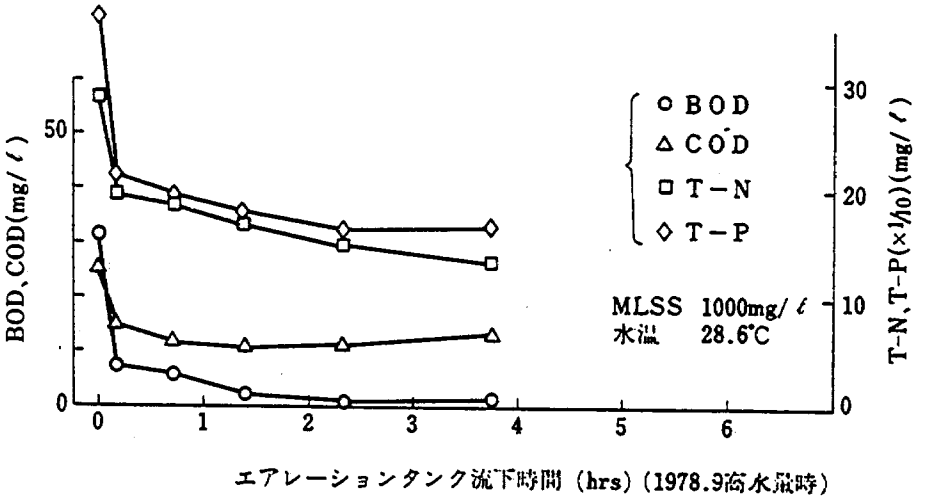
図−3−16. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



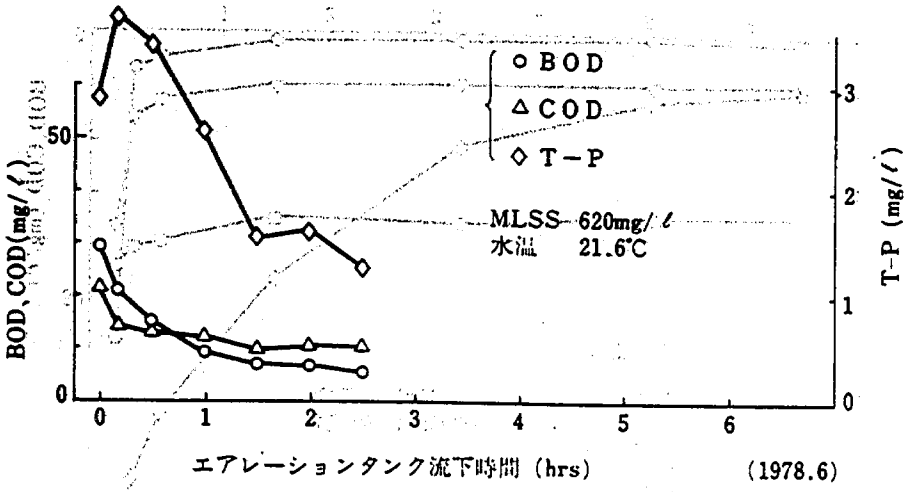
図−3−18. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



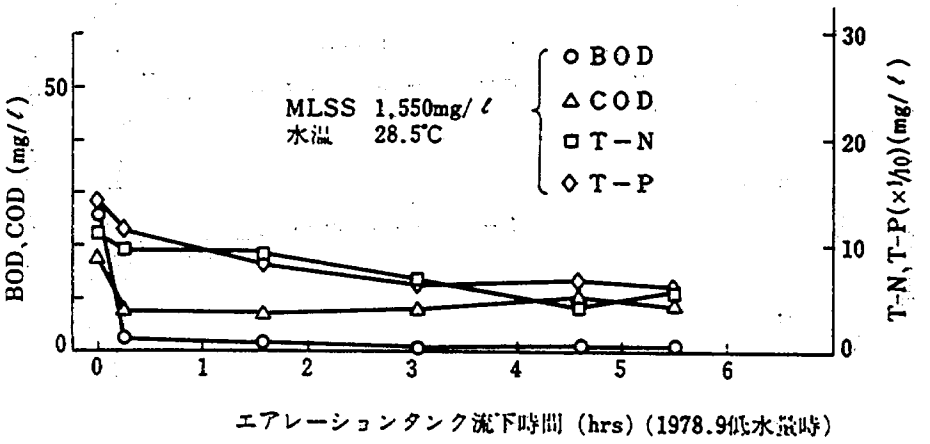
図−3−19. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



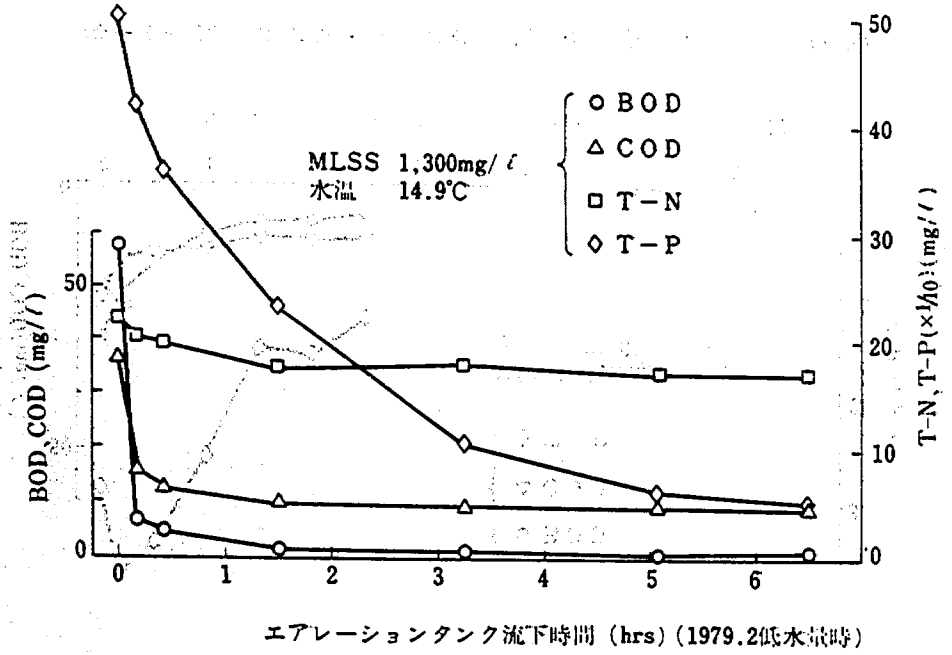
図−3−21. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



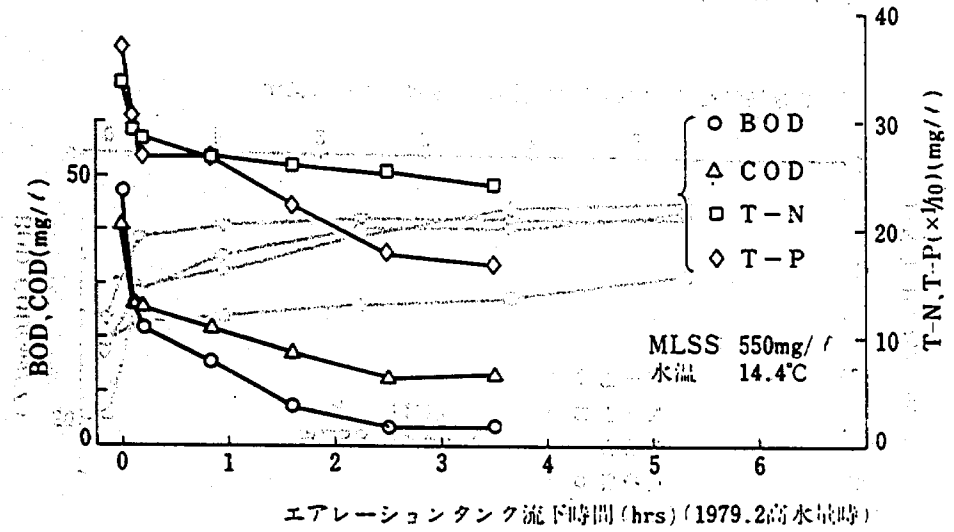
図−3−20. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



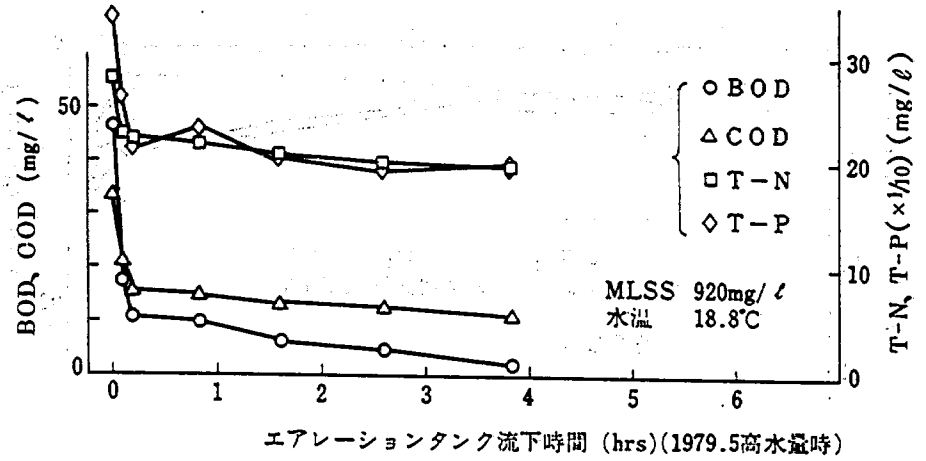
図−3−22. エアレーションタンク追跡調査(コントロール系)



図−3−23. エアレーションタンク追跡調査（コントロール系）



図−3−24. エアレーションタンク追跡調査（コントロール系）



図−3−25. エアレーションタンク追跡調査（コントロール系）

エアレーションタンクでの処理状況の把握には追跡調査という手法を用いた。これはある時刻に流入した水がエアレーションタンクを流下する間にどのように変化していくかを調べたもので，タンクの流下はプラグフローと仮定し，エアレーションタンク混合液の溶解性成分（GFCによる分画，孔径1.2μ）の挙動を測定した。測定項目はBOD，COD，T－N，T－Pである。結果を図－3－15～図－3－25に示す。なお時間ゼロの値は初沈流出水と返送汚泥の値の加重平均値である。

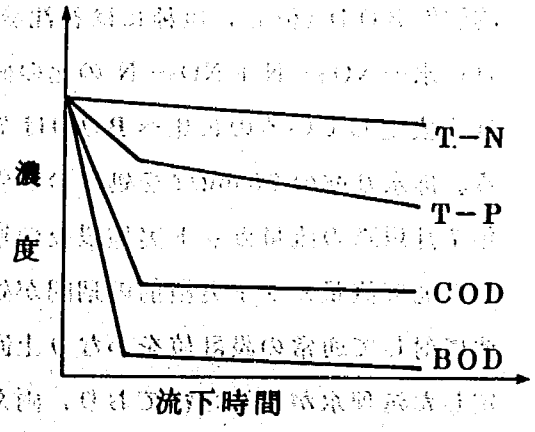
これらの図を見るとBOD，CODとT－N，T－Pとでは減少のパターンがかなり異なっていることが分かる。BOD，CODの場合には初沈流出水が流入し返送汚泥と混合したあと速やかに減少しており，そのあとゆるやかに減少（もしくは横ばい）している。溶解性BODが10 mg/ℓ以下になるには1時間前後を要している。エアレーションタンクの後半部ではほぼ横ばいになっており，前半部で除去が終了していることを示している。西山処理場では流入水量のピーク時でもエアレーションタンクの滞留時間は2時間程度に確保されており，溶解性のBODの除去は十分に行われるものと思われる。溶解性BODが低くなってからあとの時間は，溶解性BODの除去という点では無駄な時間と言えるが，汚泥の沈降性や発生量など汚泥性状からみると別の評価ができよう。どういう評価になるかは未だ定説はない。

CODの減少カーブはBODのそれによく似ている。BODと異なるのはCODが10 mg/ℓ前後の値までしか減少せず，そのまま最終沈殿池へ流出している点である。CODを構成する物質に2つの種類があり，1つはBODと同じように除去されやすいもの，もう1つは活性汚泥で除去しにくいものと分けることができる。CODの減少カーブの初期の急速な減少は前者に，エアレーションタンクを流下しても一定濃度で残留しているのは後者によるものと言える。両者の比は図－3－15～図－3－25でみる範囲では除去しやすいCODとしにくいCODの比は1.5～2.5：1である。

T－NではBODとは逆にエアレーションタンク流入直後の急速な減少が見られない。徐々に減少するか，横ばい状態が続く。このことは溶解性のT－Nがわずかしか除去されていないことを示している。

T－PはBODとT－Nの中間的なパターンを示している。エアレーションタンク流入直後にやや急速な減少があり，そのあと徐々に減少している。エアレーションタンク末端で溶解性T－Pが0.5 mg/ℓ付近まで低下している例や2.0 mg/ℓ以上残留している例などがあり，リンの除去はBODやCODのように単純な図式で割り切ることができないことを示している。

以上4つの項目のエアレーションタンクでの除去パターンを模式的に示すと右のようになる。



エアレーションタンクでの溶解性BOD，CODの除去は流入水量のピーク時でもタンク内でほぼ終っているということは，処理水でのBODの変動が主として最終沈殿池におけるSS

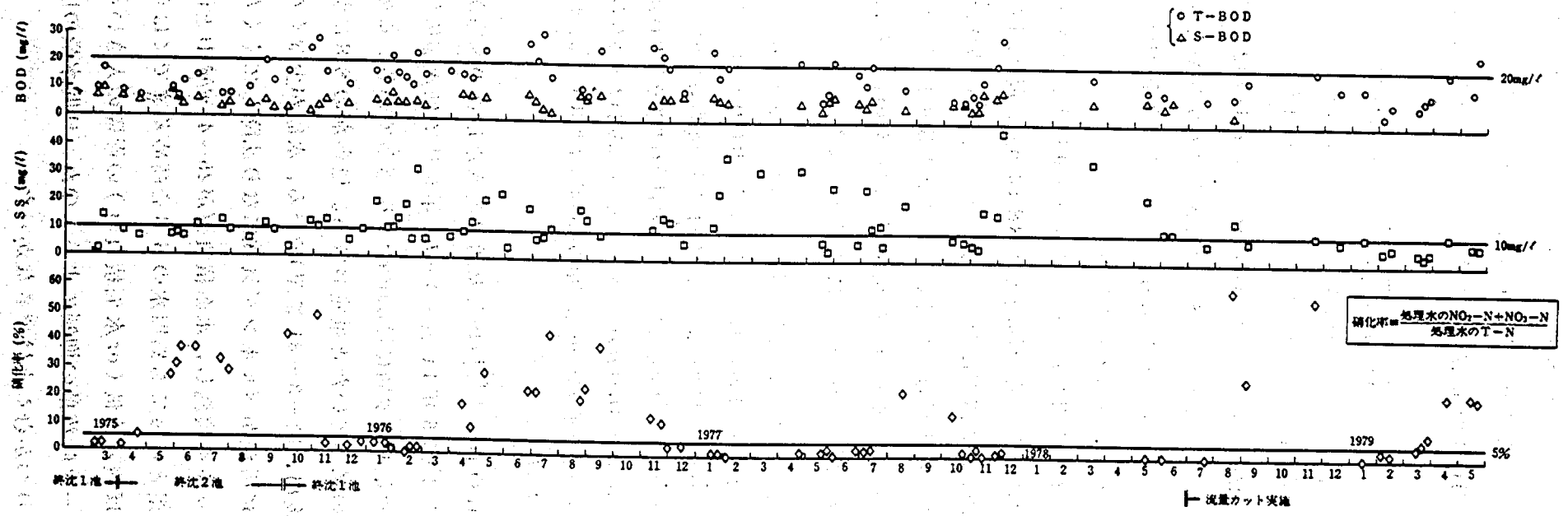
の流出の大小にかかっていることを示唆している。最終沈殿池でのSSの流出の大小は流入水量に影響をうけているが，他に水温，汚泥性状などの因子に関連しており，原因を明らかにすることは難しい。最終沈殿池での処理（固液分離）については処理水質の所で改めて触れることにする。

BOD，CODの除去はすでに述べたように下水と汚泥の接触後に速やかに行われ，最終沈殿池での固液分離により完結する。CODについてはこの記述でほぼ妥当であるがBODについては不十分であり，さらに追加説明を要する。BODは生物化学的酸素要求量を意味しており，必ずしも有機物のみに由来する酸素要求量ではないからである。下水中の成分で有機物以外で重要な酸素要求源になるのはNH_4－Nである。NH_4－Nは酸化されてNO_2－NないしNO_3－Nになるが，この酸化を行う細菌は硝化菌と呼ばれており，有機物の酸化に携わる細菌と異なっている。硝化菌は有機物を酸化する細菌に比べ増殖速度が遅いといわれており，エアレーションタンクで硝化を起こすには活性汚泥の滞留時間（活性汚泥が二次処理系内に滞留する時間）を一定値以上に保つことが必要となる[3)]。活性汚泥の滞留時間の値は水温の高い夏季には短く（3～5日以上），水温の低い冬季には長く（12～18日以上）なるといわれている[3)]。

夏季には比較的条件がそろいやすいので簡単に硝化がおきる。硝化が完全に進みNH_4－Nがゼロに近い状態で放流されるならば酸素要求源がないためBODには効いてこないが，硝化が中途半端で処理水中にNH_4－NとNO_2－N，NO_3－Nがどちらも存在するような状態で放流されると処理水のSSに含まれる硝化菌がNH_4－Nを酸化するためBODが大きくなるケースがよくある。このため有機物の濃度（例えばCOD）は低いにもかかわらずBODとしては高くなるという事態に陥いる。BODのデータを評価する場合にはこのことを忘れてはならない。

なおCODについても厳密に言えば同様の問題がある。例えばFe^{2+}やNO_2－Nのような還元性物質が存在するとCODの値を高める。しかしながらエアレーションタンクという酸化的状態の所を経た処理水にこうした物質が高濃度に存在することは稀である。

以上の点を踏まえて二次処理水の水質についてまとめてみた。まずBODをとりあげる。すでに述べたようにBODの値と関連が深いのはSSと硝化であるから，これら3者の関係及び変化を図－3－26に示した。対象は二次処理水（終沈流出水に同じ）で，そのBOD，溶解性BOD（但し，植種には初沈流出水を利用），SS，硝化率（処理水のT－Nに対する処理水のNO_2－N＋NO_3－Nの比の値で定義）を図示した。溶解性BODは3～10 mg/ℓと低く安定しているのに比べBODは7～30 mg/ℓとバラツキが大きく，時折高い値が見られる。排水基準の20 mg/ℓを処理の目安として処理状況を概観すると1975年9月以前と1978年7月以降の流量カット実施以後の期間が処理が良好であり，その間にはさまれた最終沈殿池1池で流量カット実施前の期間が処理が不安定であった。この期間の運転は特に最終沈殿池に対して通常の設計値をかなり上回る条件で行われたものである。なお，薬注系からは安定した処理水が放流されており，両系列を合わせた処理水についてはBOD 20 mg/ℓの基準



図－3－26. 二次処理水のBODに及ぼすSSと硝化率の影響（コントロール系）

を上回ることはなかった。処理の良否はSS，硝化率との関係が深い。そこでSS 10mg/ℓ，硝化率50%を基準としてデータをSS，硝化率に関して4つのグループに分けた。各グループ毎に全データ数に対するBOD 20mg/ℓ をこえるものの数をまとめると次のようになる。

		SS	
		10mg/ℓ未満	10mg/ℓ以上
硝化率	5%未満	0/15	7/25
	5%以上	3/19	7/17

これを見るとSSでは10mg/ℓ未満で3/34，10mg/ℓ以上で14/42，硝化率では5%未満で7/40，5%以上で10/36 となっており，SSの効き方の方がやや大きいことが分かる。硝化率が5%を超すのは水温が高い夏～秋であることから冬の高BODはSSが，夏～秋の高BODは硝化とSSが主な原因ということができる。

実験期間中，最終沈殿池を2池使用した1975年4月～9月と，最終沈殿池は1池ながら流量カットを実施した1978年7月以降の期間ではSS 10mg/ℓ 以上が7/25と低率となり，その結果BODがほとんど20mg/ℓ 以下におさまっている。両方の時期は硝化は起きていることから，SSの影響の大きさを裏付けている。ここで高SSの目安としてあげた10mg/ℓ という値に絶対的な意味はない。高水温期の硝化が不可避なものとすればSSをなるべく低くすることがBODを20mg/ℓ 以下に保つために不可欠になる。

補　足：SSを低くすることで硝化によるBODの影響を小さくしようという行き方は"処理水"に限定してBODを捉えるものである。つまり処理水のBOD（むしろ5日間BODと正確に呼ぶ方がいい）を低くすることに主眼を置いたものである。処理水が水域に放流されたあと消費される酸素量という見方で考えれば，硝化による酸素消費をも含めて測定する方がいい。これはBODを極限BOD（ultimate-BOD）でとらえる考え方になる。例に5日間BODの5日間に重要な意味を持たせるならば『処理水中の細菌群で5日間に消費される酸素の量』と『放流先の水域中の細菌群をも加味して5日間で消費される酸素の量』との違いをよく認識せねばならない。

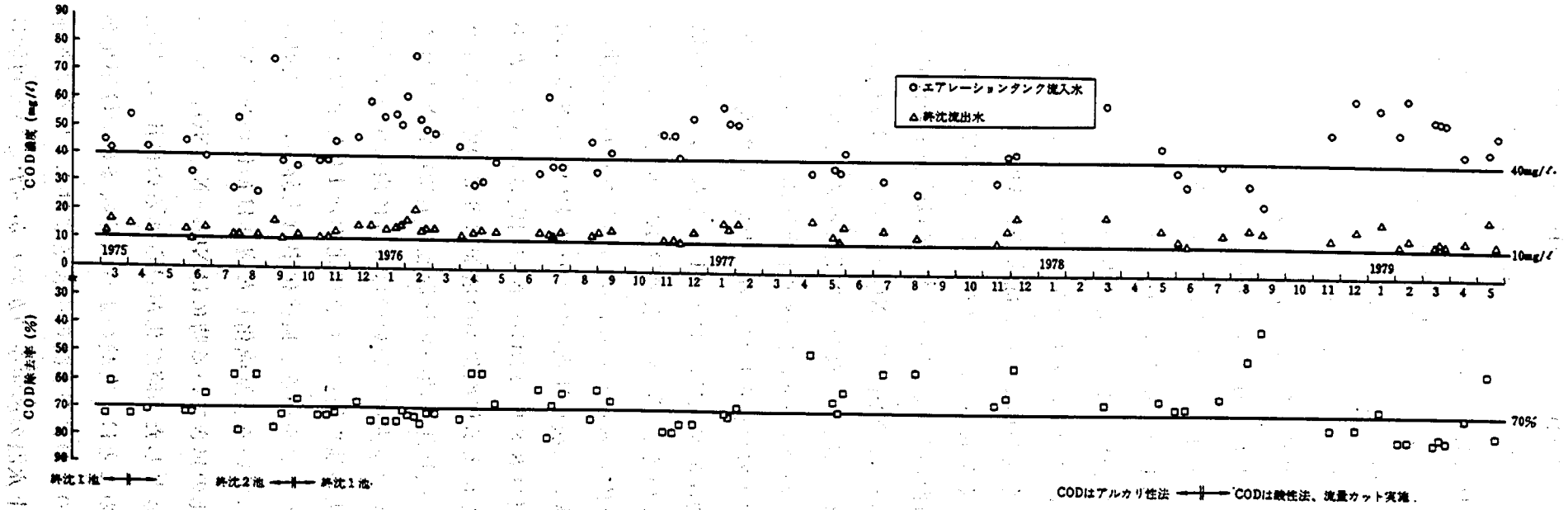
次にSSについてみるとBODの所で指摘した通り流入水量との関係が深い。最終沈殿池への水量負荷が最も高かった1975年10月～1978年6月では水面積負荷が40～60㎥/㎡・日となっている。午前の流入水量ピーク時には80㎥/㎡・日を超している。このことが処理水のSSの値を高く，不安定なものにしていたと推定される。処理水のSSに関係が深いもう一つの因子は活性汚泥の性状（後出，図－3－31参照）である。水量が少なくなる冬季でSSの高くなる傾向があるのは冬季に汚泥がバルキング気味になり沈降しにくくなることに対応している。しかし，流入水量カットを実施し，水面積負荷が25～40㎥/㎡・日と低くなってからは冬季にSVIが400を超す汚泥となっても処理水のSSを高めるまでには至っていない。処理水のSSとの関連からみれば流入水量（or水面積負荷）の影響の大きいことが指摘できる。

水量負荷削減の効果がピーク時流量の抑制によるものか，日間水量の削減によるものかについては残念ながらはっきりつかむことはできなかった。

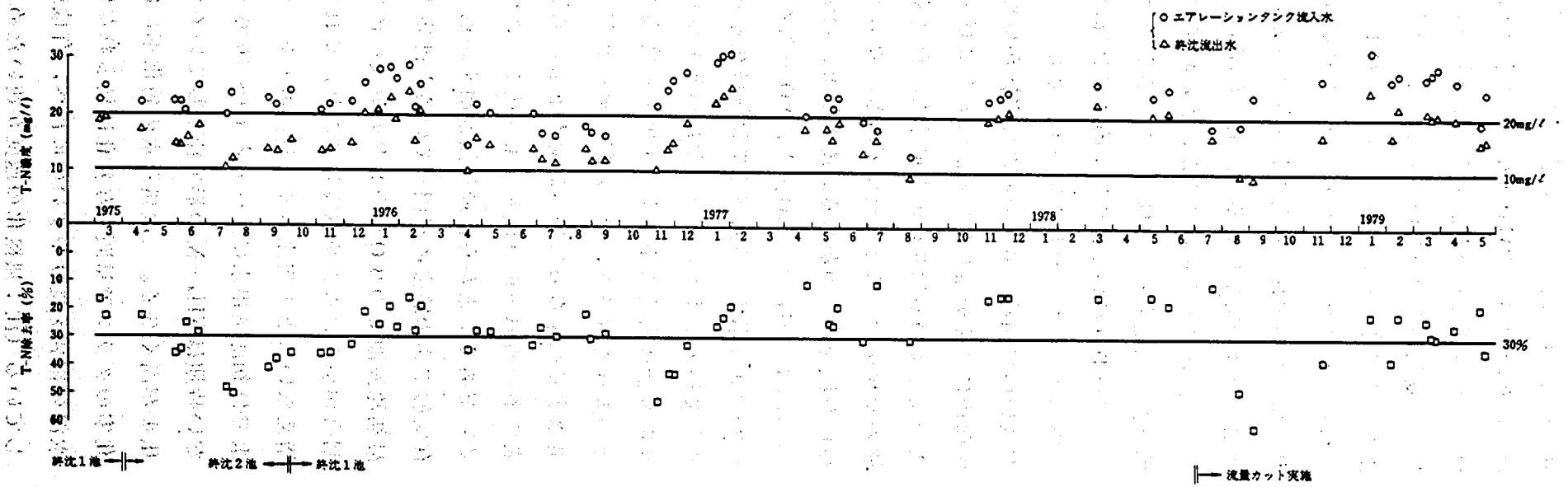
続いてCODについて初沈流出水と二次処理水のCOD濃度及び両者より求めた除去率を

図－3－27に示す。二次処理水ではＳＳ性COD（全CODから溶解性CODを引いた値)/SSの値は0.3～0.4でBODに比べるとＳＳ成分による寄与分は低い。そこで図には全ＣＯＤの値のみをあげておいた。図を見ると処理水のＣＯＤ濃度の変化の幅が小さいこと，その中で冬高く夏低いという傾向のあることが指摘できる。この傾向は初沈流出水のＣＯＤ濃度の変化とよく似ており，初沈流出水のＣＯＤが高いとき処理水のＣＯＤが高くなっている。初沈流出水のＣＯＤが高くなる時期と水温の低い時期とが重なっているため，冬季の処理水ＣＯＤの高さがいずれの原因によるものか決定することはできない。しかしエアレーションタンク追跡調査の結果を見ると，水温が高くとも低くともＣＯＤ減少パターンはほとんど変化がなく，除かれるものは速やかに除かれている。そこで「水温の低下に伴うＣＯＤ除去速度の低下」を仮定することは難しく，冬季の処理水ＣＯＤの上昇はエアレーションタンクへ流入するＣＯＤ（ひいては生物学的に難分解なＣＯＤ）濃度の上昇によるものと推定できる。

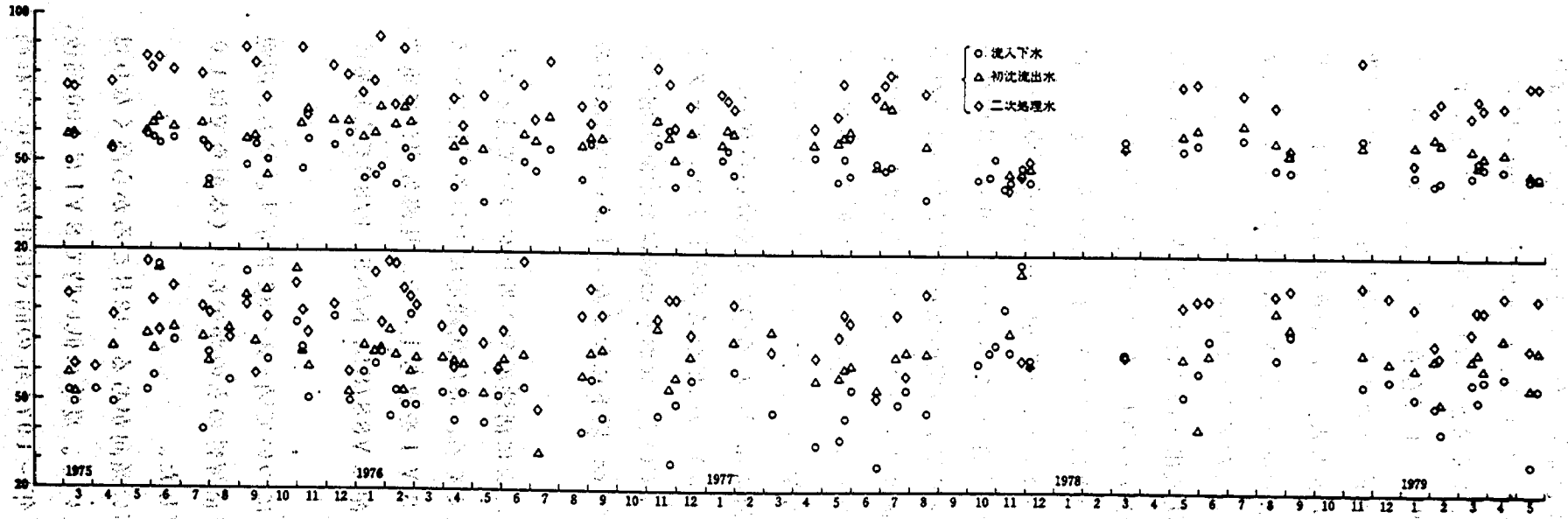
窒素についての結果を図－3－28に示す。窒素についてエアレーションタンクでの除去率が低いので初沈流出水の濃度の影響が処理水に強く現われている。除去率は10～50％で30％前後に多く分布している。除去率は夏～秋に高く冬低いという季節変化を示しており，硝化の起きている期間の後半に除去率が高くなる傾向がある。窒素については除去率の他に形態の変化を知ることも重要である。窒素にはNH_4－Ｎ，NO_2－Ｎ，NO_3－Ｎのような無機態の他に有機態のものがある。流入下水，初沈流出水，二次処理水の全窒素に占める無機態窒素（ここではNH_4－Ｎ，NO_2－Ｎ，NO_3－Ｎを指す)の割合（以下，無機化率と呼ぶ）の変化を図－3－29に示す。流入下水では無機化率が35～62％に分布しており，大体50％付近に集まっている。季節による変化は顕著ではない。初沈流出水では46～71％となり，平均値は60％前後と流入下水より10％程度高くなっている。二次処理水では42～93％とバラつきが大きくなるが，ほとんどのデータが65～85％に入っており，平均的なレベルは初沈流出水より高くなっている。流入下水，初沈流出水，二次処理水のいずれにおいてもＳＳに由来する窒素は主に有機態窒素（注：二次処理水ではＳＳ性のNO_3－Ｎが測定されることがある）であることから，最初沈殿池を通過することによる無機化率の増加はＳＳの除去に伴う有機態窒素の除去に起因していると推定される。最初沈殿池の処理機能の項で触れたように最初沈殿池でのＢＯＣやＳＳの除去率に比べ窒素の除去率が低いのはＳＳに由来する窒素の割合が小さいことを示唆しており，これが最初沈殿池を通っても無機化率が10％程度しか増えないことと関係している。エアレーションタンクを通ると無機化率は上昇し，二次処理水では初沈流出水に比べると10～20％高くなっている。無機化した窒素は硝化の起きていない時期はNH_4－Ｎの形で流出しているが，硝化の起きている時にはNO_2－Ｎ，NO_3－Ｎの比重が高くなる。二次処理水の硝化率にははっきりした季節変化が見られるのに比べ，無機化率のグラフでは顕著な変化は見られない。このことは本実験のような運転条件では硝化が水温の影響を受けやすいのに比べ，有機態窒素の無機化が水温の影響を受けにくいことを示している（注：無機化の速度が速いため見かけ上水温の影響をつかめなかったという可能性はある)。



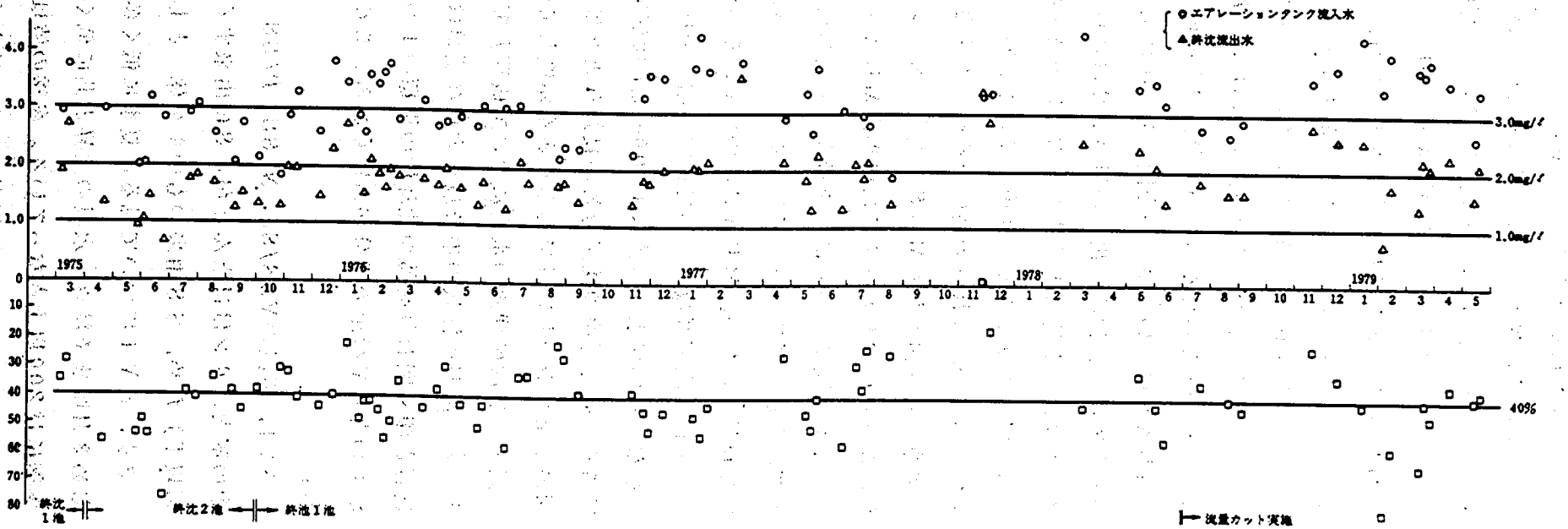
図－3－27. エアレーションタンクにおけるCODの除去(コントロール系)



図－3－28. エアレーションタンクにおける窒素の除去(コントロール系)



図－3－29. エアレーションタンクにおける $\frac{無機態－N}{T－N}$, $\frac{ort－P}{T－P}$ の変化(コントロール系)



図－3－30. エアレーションタンクにおけるリンの除去(コントロール系)

最後にリンの結果を図－3－30に示す。処理水のリン濃度は初沈流出水のリン濃度の影響を受けているが窒素の場合ほど顕著ではない。除去率は40％付近に分布しているがかなりバラついている。1975年6月と1979年2月に除去率が70％，処理水濃度1mg/ℓ以下というデータがある。これらの好成績の原因についてはよく分からない。リンはリン酸イオン（PO_4^{3-}）の形の他に無機性のポリリンや有機物中のリンとして存在している。処理プロセスを経ることで全リンに占めるリン酸イオンの割合（以下，オルトリン率と呼ぶ）がどう変化するかについて図－3－29に示した。流入下水，初沈流出水，二次処理水のいずれについても値はかなりバラついている。平均的には二次処理水の値が最も高くなっているが，流入下水でも90％を超えるものがあり，処理の他に別の要因が関係していることが予想される。

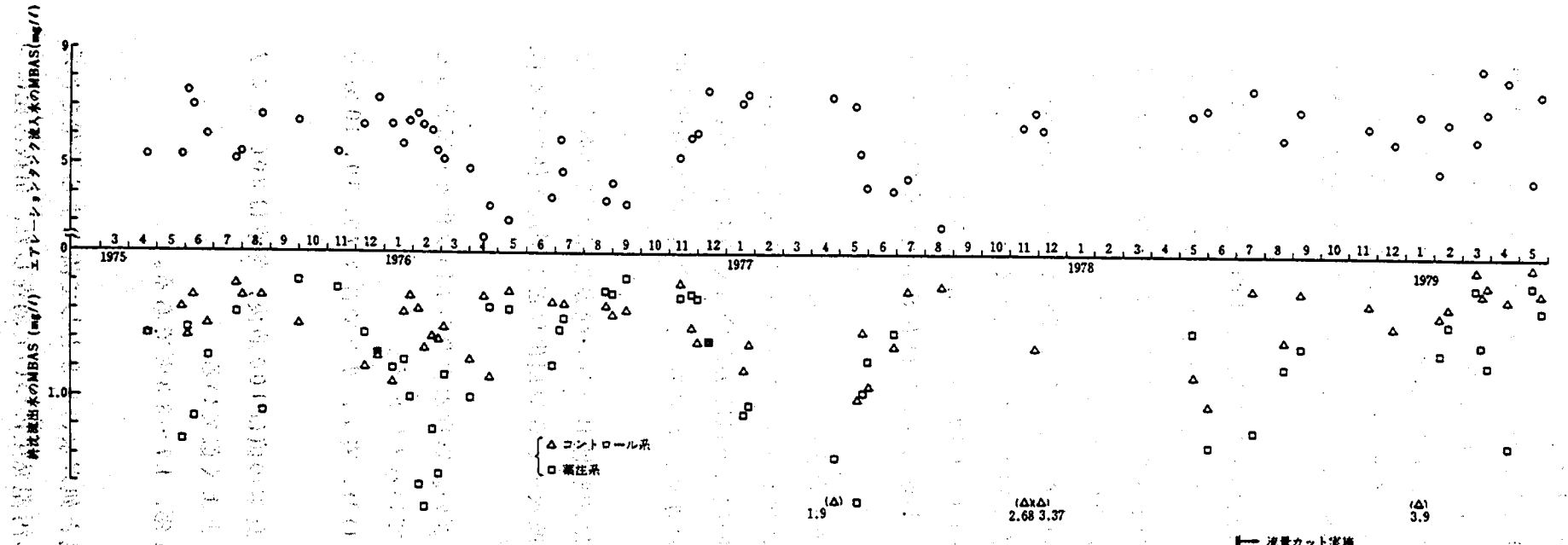
ＭＢＡＳについての結果を図－3－31に示す。初沈流出水の値は概ね流入下水の値に等しいとみてよい。初沈流出水のＭＢＡＳは試料採取日やその前日の天候の影響を受けやすい（例えば，雨が降ると洗濯をしない）ので多少バラつきはあるが冬季に高い傾向がある。処理水も似たような季節変化をしている。時々1mg/ℓ以上の高い値が現われているが原因はよく分からない。これらの高い値を除くと除去率は90％前後となっている。ＭＢＡＳの除去に関連する要因としてＭＬＳＳ濃度，エアレーション時間，汚泥の吸着性などが考えられるが，表－4のＭＬＳＳを基に処理水ＭＢＡＳとの関係をみるとほとんど相関がない。エアレーション時間については，流量カット後処理水の値がカット以前に比べると低くなっているので何らかの形で影響していることが予想される。汚泥の吸着性についてはデータが皆無なので判断できない。ＭＢＡＳについてはその除去が何に影響されるのかよく分からない。

最後に大腸菌群数については実験結果総括表（表－5）の結果から考察しよう。データ数は少ないが処理水中の値は1,300～5,180個/ccとなっている。なおこの値は塩素滅菌前の値である。活性汚泥の沈降分離が良好なときは1,000個/cc 以下になるから上記の結果は細菌類の流出がやや多い目であることを示唆している。

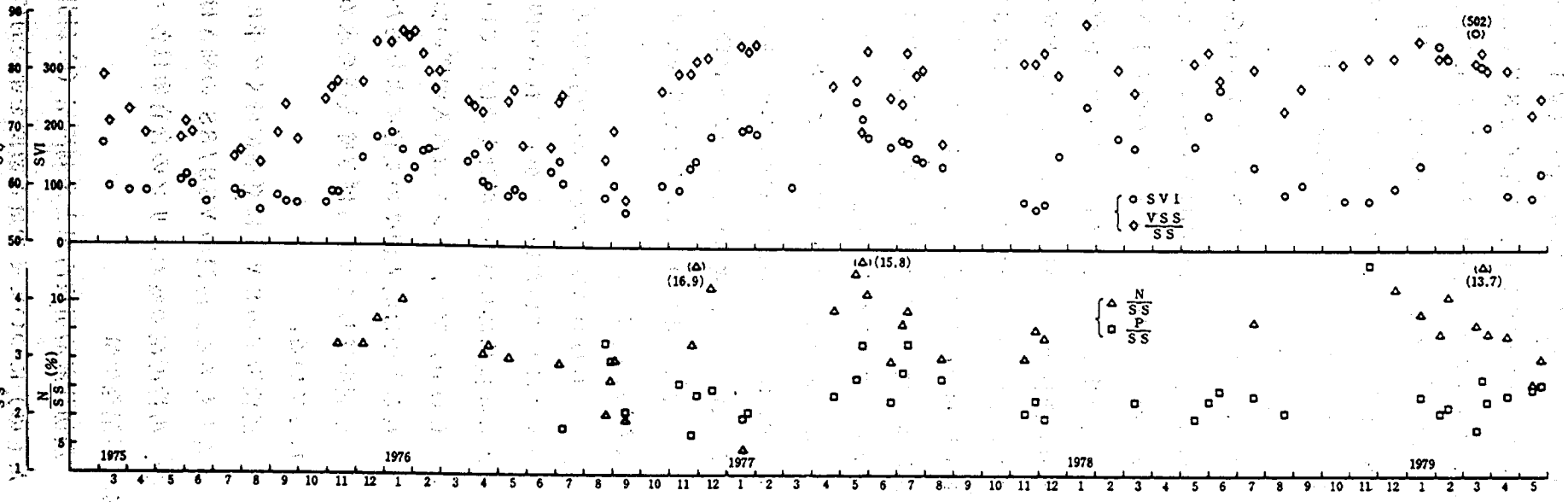
以上，二次処理水の水質について概観してきたが，次に活性汚泥の性状について見ることとする。汚泥の性状の中で最も大切な項目は沈降性である。最終沈殿池における固液分離の良否と深く関わりを持つ沈降性の指標の1つとしてＳＶＩを取り上げた。沈降性以外に重要なものとして汚泥の成分があげられる。ここでは汚泥のVSS/SS，N/SS，P/SSをとりあげる。

ＳＶＩ，汚泥のVSS/SS，N/SS，P/SS の変化について図－3－32に示す。なお，汚泥中の窒素，リンはほとんどがＳＳに由来するもので溶解性のものが少ない（本調査では10％以下）ため，ＳＳ由来のもの÷全体 として計算した。

まず，ＳＶＩについて見ると夏季に低く冬季に高い傾向がある。12月ごろから高くなりはじめ3月頃まで続き，水温の上昇と共に低くなっている。夏季の低い時でＳＶＩは100前後，冬季には200以上となっている。冬季の値は1976年～1979年の間では年が経つにつれ高くなる傾向がある。この原因についてはよく分からない。1979年の冬季はそれ以前に比べ流入水量が減少しているにも拘らずＳＶＩは高くなっている。流入水量を制御して処理施設



図－3－31. エアレーションタンクはおけるMBASの除去



図－3－32. 活性汚泥の性状（コントロール系）

の滞留時間を長くしても冬季にはＳＶＩの上昇が避けられないものであることが分かる。

汚泥のVSS/SS の比を見るとＳＶＩと極めてよく似た動きをしている。夏季には７０％前後まで下がるが冬季には８０％を超す。汚泥中のＶＳＳ（概ね有機物を示す）が増えることが汚泥の沈降性にマイナスの影響を及ぼしていることが予想される。季節変化ではＳＶＩとVSS/SS は似た傾向を示しているが，経年変化を見ると少し異なっている。ＳＶＩでは夏季は一定，冬季が漸増という傾向に対し，VSS/SS では冬季が一定，夏季は漸増という傾向を示している。

汚泥中の窒素の含有率をみると7～11％で，時折高い値がある。全体的に冬高く夏低い傾向がある。リンの含有率は1.7～3.3％となっており季節による変化は見られない。窒素とリンの含有率の動きを見ると両者が似たような変化を示す場合とそうでない場合とがあり，窒素の含有率が高いときには必ずリンの含有率も高いという公式は成り立たない。このことは両者の活性汚泥への移行のメカニズムが異なっていることを示唆している。次に処理水中のＳＳが全て活性汚泥であると仮定してＳＳに由来する窒素，リンを求めてみよう。例えば，SS 10mg/ℓ による窒素，リンの濃度は各々0.7～1.1，0.17～0.33mg/ℓとなる。この値は処理水の窒素，リンの値と比べるとかなり小さい。しかしリンではＳＳが大きくなるとその影響が無視できなくなる。

二次処理の機能について述べてきたことをまとめると次のようになる。

① BOD，CODのような除去率の高い項目ではエアレーションタンクに流入後速やかに除去される。逆に窒素やリンのように除去率の低い項目では除去がゆっくり進行する。

② 処理水のＢＯＤに大きな影響を及ぼすのは処理水のＳＳである。高水温期には硝化も重要な因子となる。

流入ＢＯＤ濃度，水温，滞留時間などの因子は溶解性ＢＯＤの除去で見る限りあまり影響を及ぼしていない。しかしこれらの因子は処理水のＳＳや硝化などと関連を持つことにより間接的にＢＯＤに影響を及ぼしている。

③ ＣＯＤ，窒素，リンでは流入濃度の影響が大きい。処理水濃度の季節変化としてとらえられるものは流入濃度の変化によりもたらされているといえる。

年間を通して大ざっぱな除去率を求めるとＣＯＤ，窒素，リンで各々70，30，40％となっている。

④ 活性汚泥のＳＶＩは夏季に低く冬季に高い。夏季の値は100前後，冬季は300 をこすこともある。汚泥のVSS/SS の動きはＳＶＩとよく似ている。

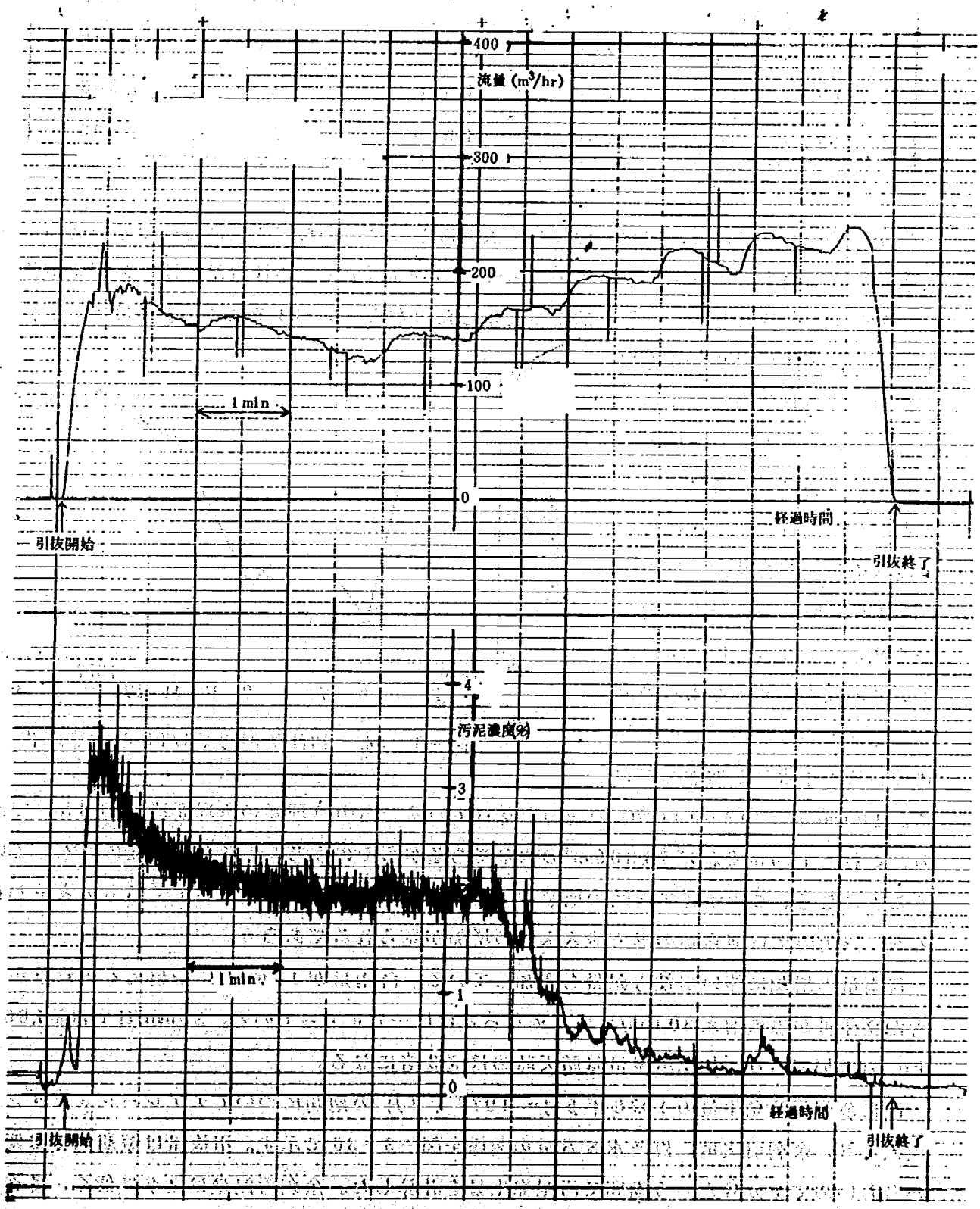
⑤ 汚性汚泥の窒素，リンの含有率は各々7～11％，1.7～3.3％である。

E. 汚泥発生量

最初沈殿池引抜汚泥と余剰汚泥（余剰引抜汚泥と処理水のＳＳとして流出する汚泥を加えたもの）についてその量と濃度を連続的に測定し汚泥発生について調査した。引抜汚泥については量を電磁流量計，濃度を超音波濃度計で測定し処理水のＳＳについては濁度計の測定値をＳＳに換算したものを用いた。なお余剰汚泥量の目安として初沈流出水のＳＳ量を処理

水のＳＳと同様の手法で算出した。

初沈汚泥は１日数回に分けて引抜いているが図－３－３３に示すように１回の引抜きの中で濃度が大きく変動しており正確な引抜量をつかむことは難しい。こうした測定上の制約を考慮の上データを見ていただきたい。初沈汚泥は流入下水と初沈流出水のＳＳの差にあたる。降雨があって流入ＳＳが高くなると初沈汚泥の引抜き頻度（ないしは時間）は多くなり，汚泥発生量も増える。雨天時には晴天時の４倍を超す汚泥が引抜かれることもある。このよう



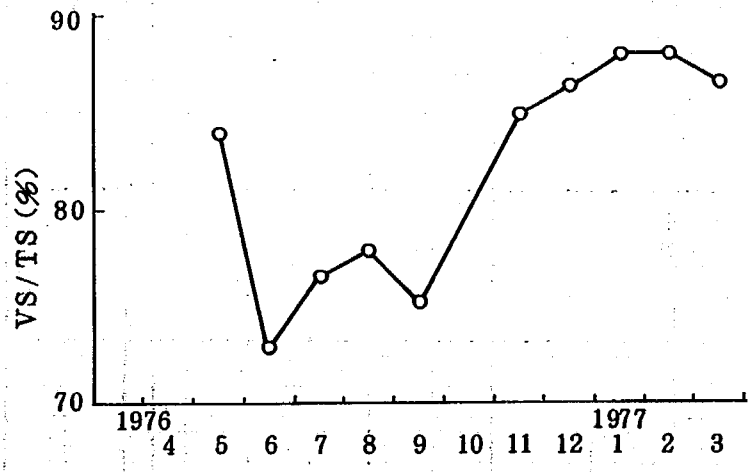
図－３－３３　初沈汚泥引抜時流量及び濃度パターン

に初沈汚泥は流入下水の性状の影響を強く受ける。そこでまず晴天時に限ってデータをまとめ季節（夏と冬）に分けて初沈汚泥の量を示したのが表－7である。

表－7. 初沈汚泥発生量（晴天時）

	調査期間	流入水量 (m³/日)	初沈汚泥引抜量 (kg/日)	流入水量当りの発生量 (mg/日)	初沈でのSS除去量 (kg/日)
冬季	1975.12 ～1976.3	22,000	1,030	46.8	1,090
	1976.12 ～1977.3	22,100	1,210	54.8	1,290
夏季	1976.6 ～ 10	27,800	1,370	49.3	1,380
	1977.6 ～ 10	29,000	1,660	57.2	1,930

初沈汚泥の発生量はほぼ初沈でのＳＳ除去量に等しい。また発生量は夏季の方が高いが流入水量当りの発生量に直すと季節による差はほとんどなくなる。初沈汚泥の性状を示す指標としてVS/TS に注目し各月の平均的な値を示したのが図－3－24 である。夏季は70％台に下がるが，冬季には85％を超えており，有機物含有率が高くなっていることを示している。

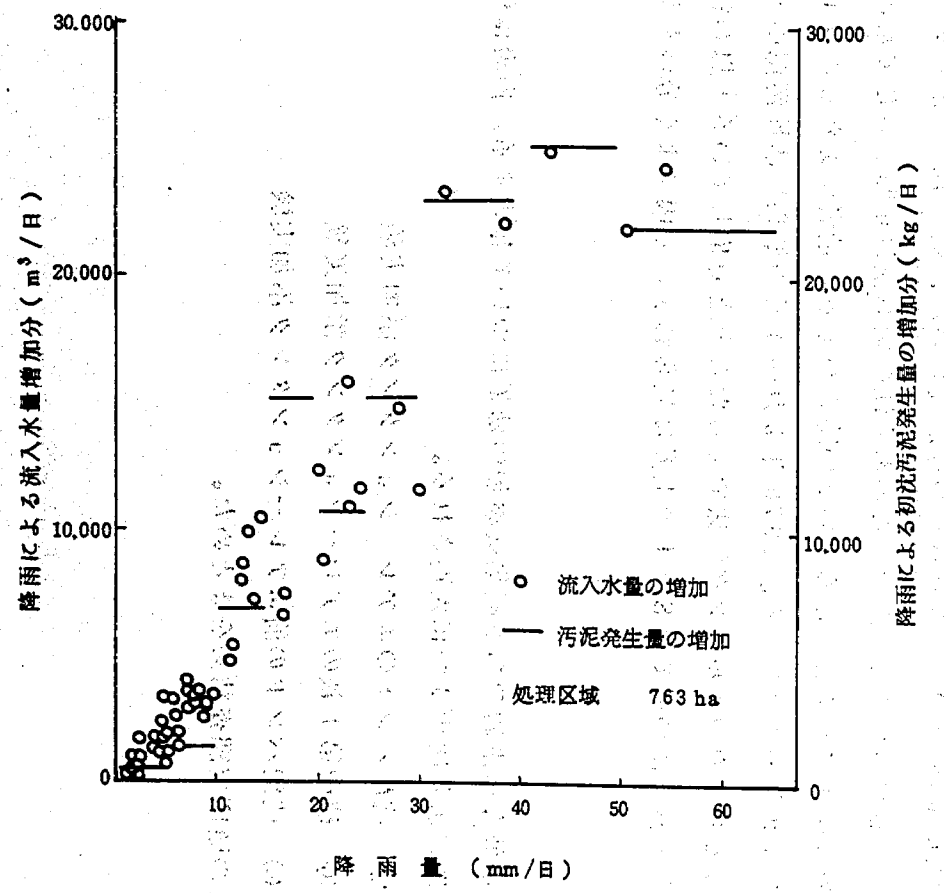


図－3－34. 初沈汚泥のVS/TSの季節変化

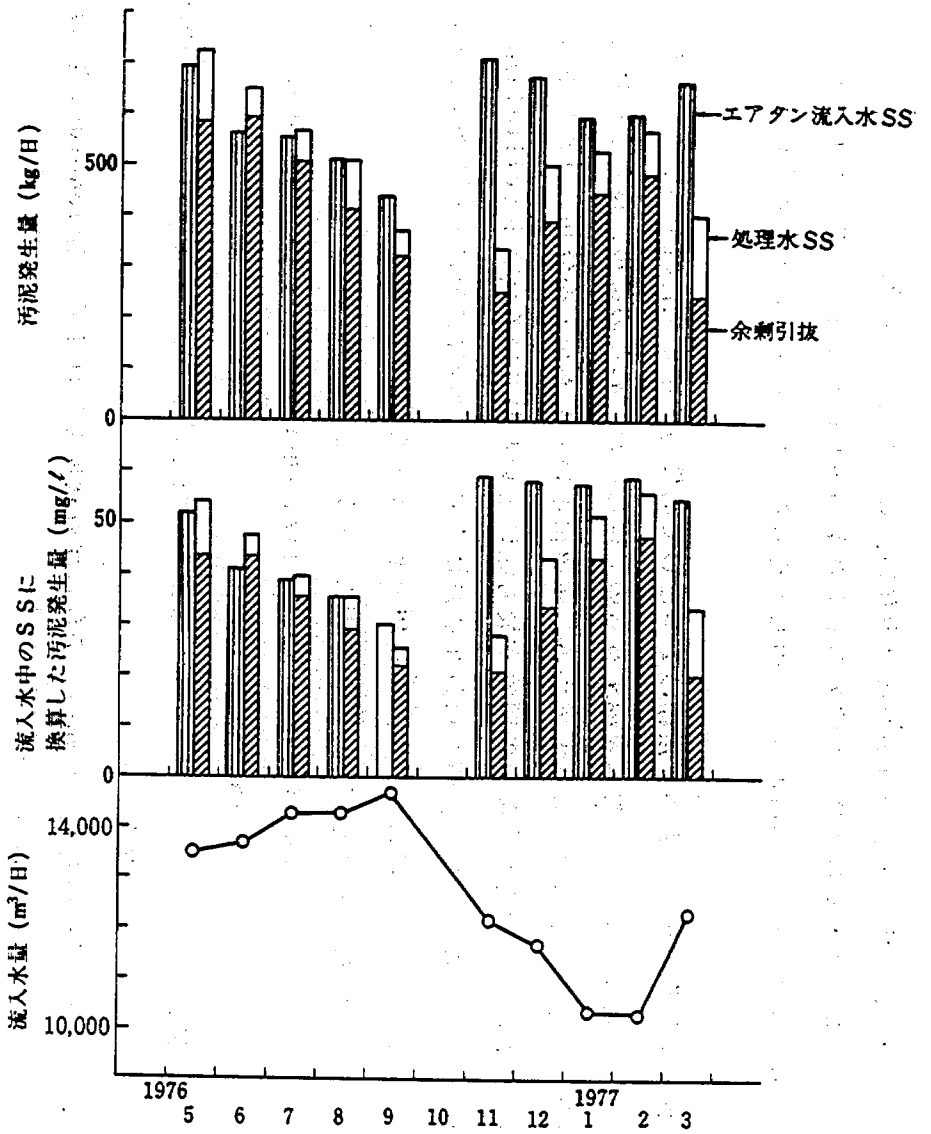
降雨の影響については表－7の期間の降雨時のデータについて流入水量及び初沈汚泥量の降雨時と晴天時の差と降雨量の関係を求めたのが図－3－35である。分流式といえども雨水の流入は起きており，降雨量の増加に伴い流入下水量が増加している。10 mm/日で約 4,000 m³/日 の増加となっている。西山処理場の処理面積は763 ha であり，これに10mm降れば76,300m³の水量であるからそのうち5.2％が処理場に流入していることになる。この値は処理区の地形や配管の誤接の多少により異なってくるものと思われるが，降雨時には何らかの形で流入水量の増加が見られるであろう。

降雨量の増加に伴い初沈汚泥量も増加している。降雨量が10 mm/日 を超えるあたりから汚泥発生量が急に増え30 mm/日以上になるとほぼ一定になっている。20mm/日では約1,000 kg の増加であり，初沈汚泥量は晴天時のほぼ2倍になる。

次に余剰汚泥発生量の1976年5月～1977年3月 の期間についてエアレーションタンク流入ＳＳ，余剰引抜量，処理水ＳＳ量の関係を図－3－36に示す。引抜量は短期的には変動が激しいので1カ月という期間で汚泥発生量を計算した。余剰汚泥量は夏季に低く，冬季に高くなっている。5月～9月はエアタン流入ＳＳと余剰汚泥量がほぼ等しくなっているが，



図－3－35.　降雨による流入下水量及び初沈汚泥量の増加
（降雨量は名古屋中央気象台の測定値）



図－3－36.　余剰汚泥の発生量（コントロール系）

11月，12月，3月は後者の方がかなり少ない。この理由はよく分からない。

汚泥発生量を流入水量で除した値でみても夏季の方が低くなっており，エアレーションタンクへの流入ＳＳの減少が汚泥発生量の低下をもたらしているものと考えられる。

F. 生 物 相

活性汚泥処理の状況を表わす指標の1つとして活性汚泥中の生物相をあげることができる。この指標は処理水質を直接的に表現するものではないが，処理の推移，良否を定性的に示すものとして意義あるものであると考える。生物相といっても全てを分類，計数することは不可能である。そこで処理状況との関連が最も深いといわれている繊毛虫(ciliata)に着目し，その消長を追うこととした。繊毛虫は生活形により3つの種類に分けることができる。以下に3つの生活形とそれに含まれる主な種類をあげておく。

㋑ 固 着 性……柄を有し，汚泥に固着している。
Vorticella, Epistylis, Opercularia, Carchecium, Zoothamnium など。

㋺ 匍ふく性……体表に剛毛を有し汚泥の表面をはうようにして生活する。Aspidisca など。

㋩ 遊 泳 性……体表に細かい毛を有し浮遊状態で生活する。Litonotus, Tetrahymena など。

以上，3種類の繊毛虫の数(活性汚泥1cc中の数)の消長を図－3－37に示す。全個体数は500～21,000(個/cc)とかなりバラつきが激しいが，概ね10^3のオーダーであり，夏季に少し少なくなる傾向がある。固着性と匍ふく性の繊毛虫は年間を通じて常に存在しているが，浮遊性は多数存在する時とほとんどいない時とがある。前者にあたるのは1975年5月～7月，1976年2月～4月である。1976年2月～4月の結果は活性汚泥のＳＶＩが200近くまで上がっておりややバルキング気味であったことと対応していると思われるが，1975年5月～7月の結果についてはＳＶＩの上昇は見られず，原因はよく分からない。

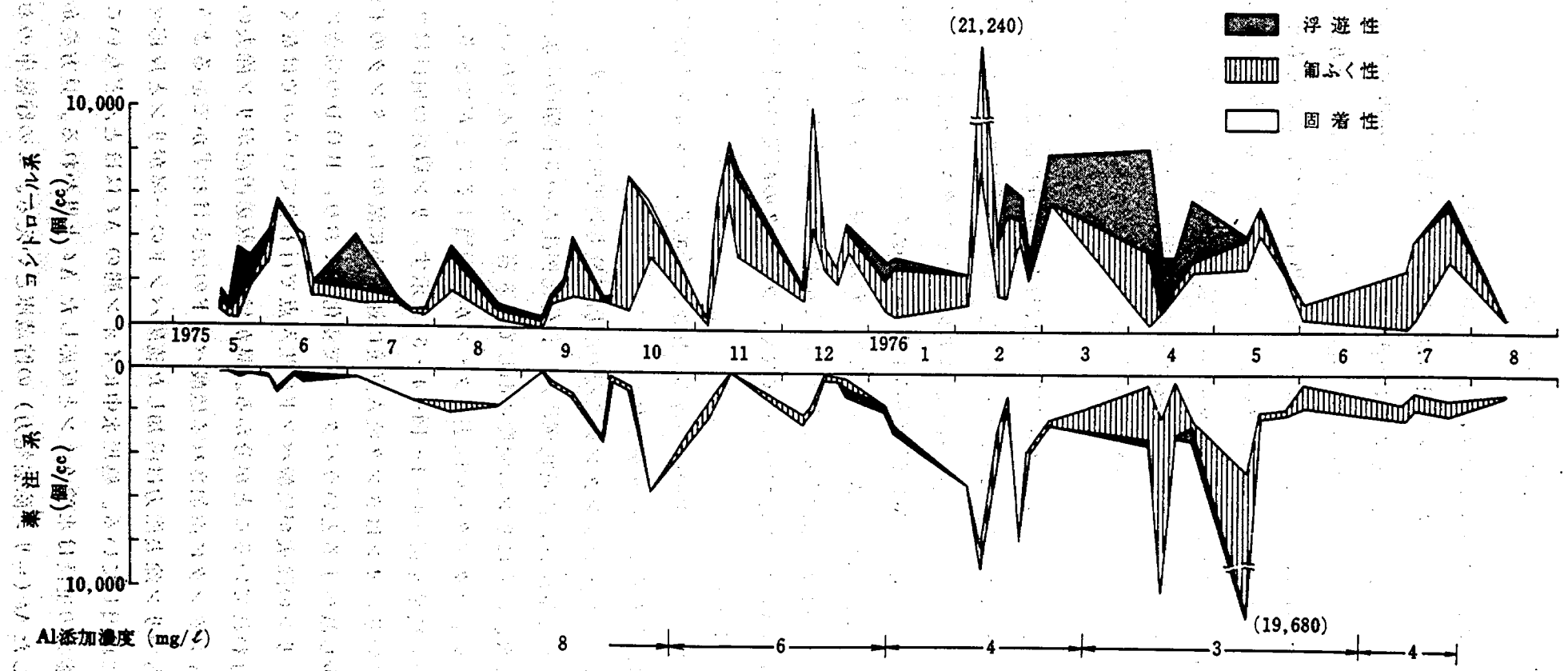
続いて本調査の主題である凝集剤添加の効果について報告する。内容は使用した凝集剤及び添加位置により次の3つに大別される。

ⓐ 硫酸バンドのエアレーションタンク添加実験

ⓑ 硫酸第1鉄のエアレーションタンク添加実験

ⓒ 硫酸バンドの前エアレーションタンク添加実験

以下この順序で調査結果をまとめた。



図－3－37. 活性汚泥中の繊毛虫の挙動

5.1.3 硫酸バンドのエアレーションタンク添加実験

硫酸バンドをエアレーションタンクに添加する実験は1975年2月から1977年6月までの2年4カ月にわたって実施した。実験の目的は，硫酸バンドの添加による処理機能の改善を実施設で把握することである。このため通常の活性汚泥処理の機能を阻害することなく処理水質の向上を目指す，という方針で硫酸バンドの添加濃度，添加位置，添加方式について最適条件を検討した。実験の概略についてはすでに5.1.1で紹介したが，ここでもう一度まとめておく。

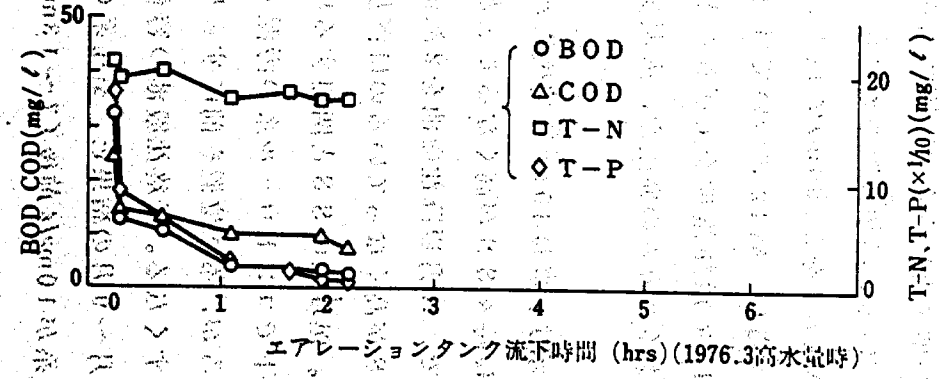
㋑ 添加位置……エアレーションタンクの末端部がいい。エアレーションタンクの流入部より3/4の地点に添加したときには処理水に白濁現象が見られた。エアレーションタンク末端部に添加したときにはスピロヘータによるとみられる白濁が1度だけ起きている。3/4地点で添加した場合にはスピロヘータの大発生はおきていないから両者の白濁は異なる原因によるものと思う。

末端部添加ではエアレーションを受ける時間は5～20分程度であるが，3/4地点添加では30分～80分となっている。この撹拌時間の差が硫酸バンドフロックの活性汚泥への取り込みに影響を及ぼしたものと推定される。エアレーションタンクを流下していく過程で上澄みが白く濁るという現象は高MLSSで添加濃度が3 mg/ℓのときに1度だけ経験したが，それ以外では見られなかったことから，凝集して一たん汚泥に移行したAℓがエアレーションを受けて微細化し，白濁の原因となることはほとんどないと考える。例外となったケースではMLSSに対するAℓの添加量がかなり少なく，フロックの凝集が不十分になったために起きたものと推定される。

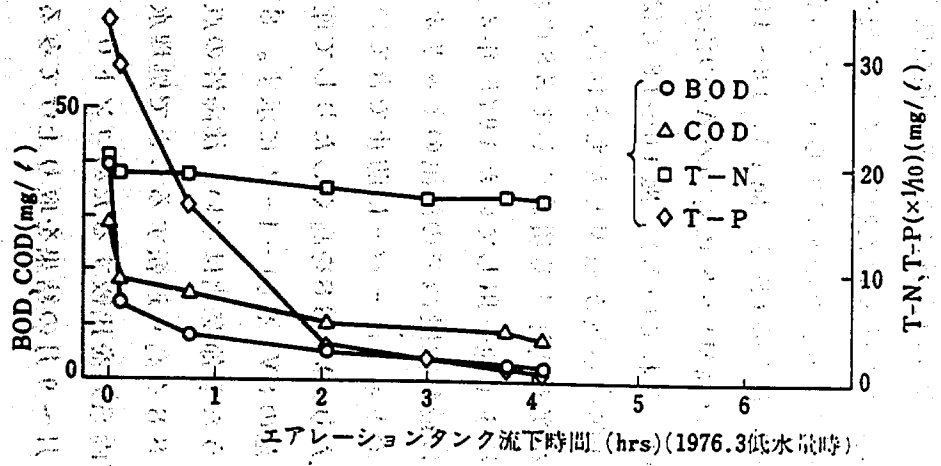
以上のことから硫酸バンドの添加時の撹拌条件（エアレーションの強さとそれを受ける時間）が主な問題となることが分かった。

本調査ではエアレーションタンク末端の添加が最も効果的であった。

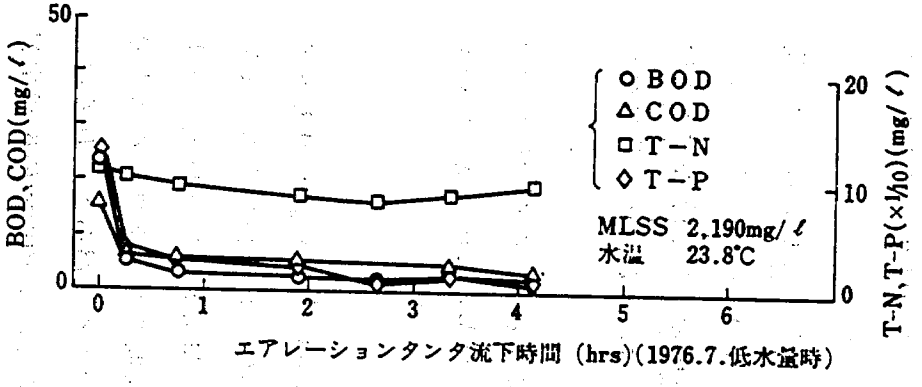
㋺ 添加方式……定量注入，流量比例注入，負荷比例注入の3種類の添加方式について実験したところ処理水，とくにリンの濃度に関しては3者でほとんど差がない。これはBODやリンのエアレーションタンクでの除去パターンから説明することができる。エアレーションタンク追跡調査の結果を図－4－1～図－4－5に示す。リン以外の項目はコントロール系の結果とよく似ている。リンはタンク流入直後に速やかに減少し，タンクの末端の硫酸バンド注入点付近で少し減少するというパターンで変化しており，BODの動きによく似ている。これらの図からリンの除去が硫酸バンドの注入点で行われているのではなく，下水と返送汚泥の混合点で行われていることが分かる。見かけ上は返送汚泥がリン除去の主たる働きをし，エアレーションタンクに添加される硫酸バンドの働きはわずかであるように見える。しかし返送汚泥のもつリン除去能力は添加した硫酸バンドの一部がリンと反応せずに汚泥中に残っていることに起因している。処理水中にイオン態のAℓはほとんどないことから，返送汚泥のリン除去能力の主役は水酸イオンと反応したAℓと思われる。見方をかえると返送汚泥は過剰に添加したAℓ（＝リン除去能力）の貯蔵庫といえる。この貯蔵庫のおかげでエアレーシ



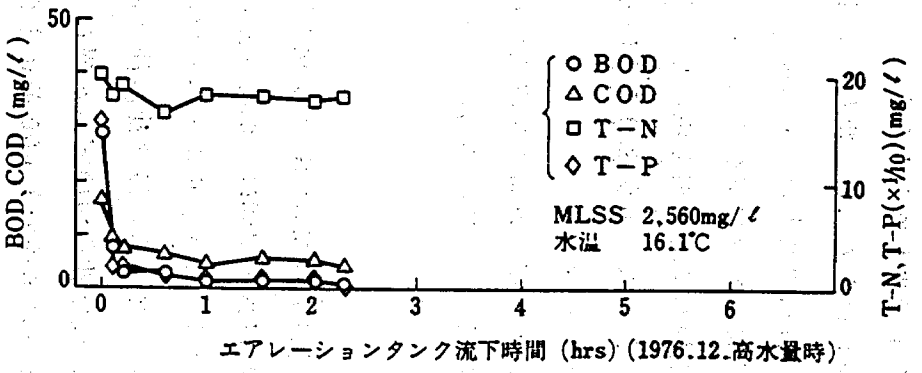
図−4−1. エアレーションタンク追跡調査（薬注系，Aℓ添加）



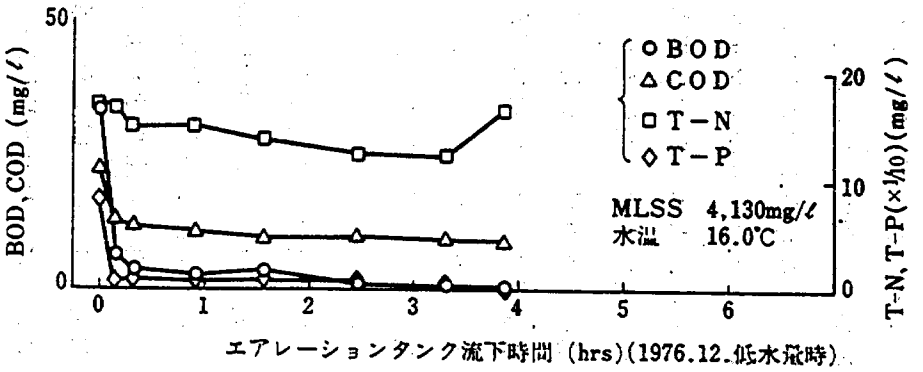
図−4−2. エアレーションタンク追跡調査（薬注系，Aℓ添加）



図−4−3. エアレーションタンク追跡調査（薬注系，Aℓ添加）



図−4−4. エアレーションタンク追跡調査（薬注系，Aℓ添加）



図−4−5. エアレーションタンク追跡調査（薬注系，Aℓ添加）

ョンタンクへの硫酸バンドの添加を定量注入でやろうと流量比例ないし負荷比例でやろうと添加する量に差がなければ処理水質にほとんど差が出ない結果となっている。

蛇足ながら本調査では流量比例，負荷比例といっても流入水量ないし流入リン負荷量に比例してエアレーションタンクの末端に硫酸バンドを添加している，ということを付け加えておく。流入水量ないし流入負荷に比例して凝集剤を添加して流入水中のリンを除去するという意味で流量比例注入ないし負荷比例注入という言葉を用いるならば，これらの言葉は凝集剤を流入点付近で添加する場合にのみ意味をもつ。

添加濃度の検討には処理水質，生物相など多方面に及ぶ比較が必要である。ここで硫酸バンドをエアレーションタンクに添加した場合の処理の特徴について述べながら添加濃度について考察して行くことにする。

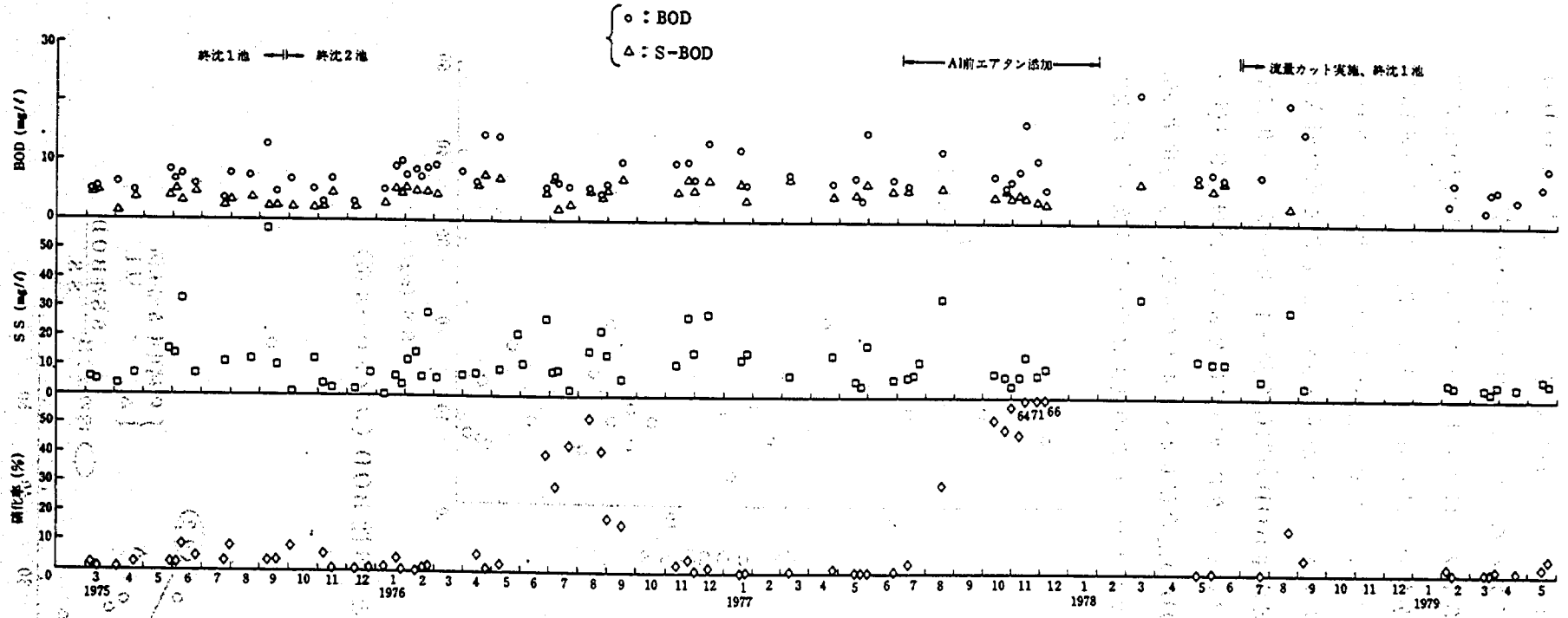
A. 処理水質

処理水質の考察に入る前に実験期間中のMLSSの変化を図－3－14に示す。高MLSS運転では3,000～4,000mg/ℓ，それ以外の期間は1,000～2,000mg/ℓという結果となっている。最終沈殿池1池使用の場合には汚泥のキャリオーバーがあり，MLSSは低目でコントロール系（終沈2池）よりも低くなっている。最終沈殿池2池使用時にコントロール系よりMLSSを高く保てたのは1つには最終沈殿池の容量が異なっていることがあげられるが，この他に汚泥のSVIが後述するように冬季でも100前後と低いことが3,000mg/ℓを超すMLSSの維持を可能にしたと思う。

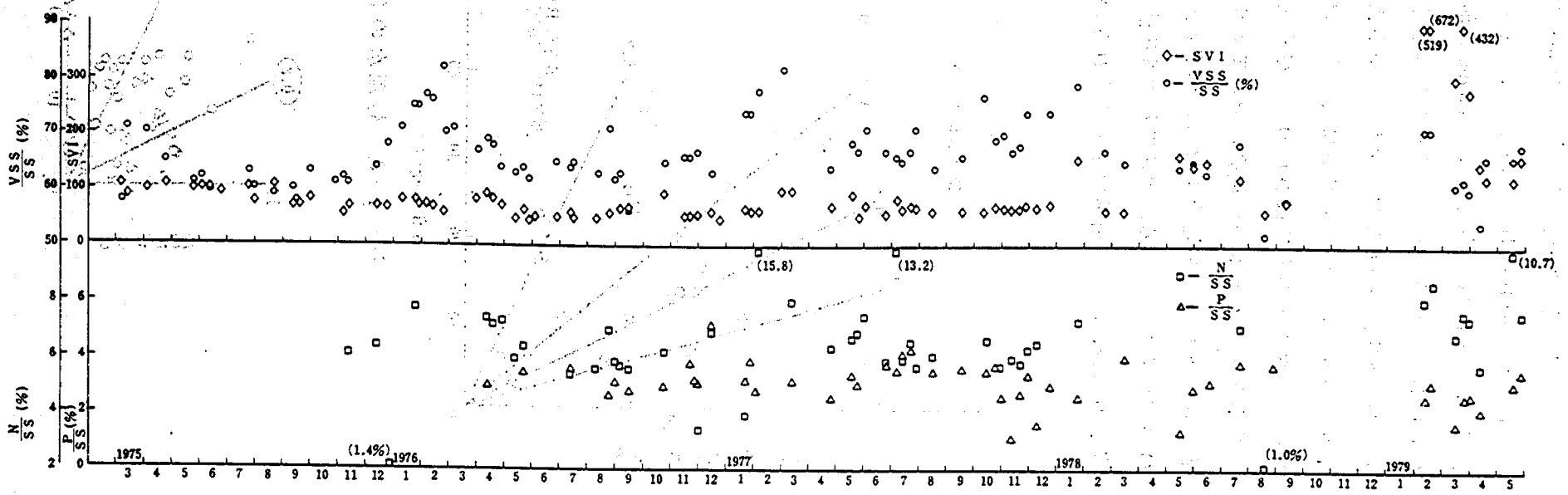
次に処理水質についてまとめよう。

まず処理水の特徴については透視度がよくなり清澄感が増すという点が重要である。SSの除去改善だけでは説明できない透視度の改善が行われている。添加位置をエアレーションタンク末端から上流側にずらして行った実験（No.12）とMLSSを2,000mg/ℓ以上と高く保って行った実験（No.8，No.14，16～18）では透視度が良くない。No.12については白濁現象，No.14では高MLSSに対するAℓの添加量の不足（注，No.15で添加濃度を上げることで透視度は改善されている），No.16～18ではNaOHの添加によるスカムの発生や，汚泥引抜のトラブル等の事故が原因と考えられる。

透視度と関連する項目としてSSの結果を図－4－6に示す。概ね10mg/ℓ前後だが，最終沈殿池を1池使用していた1975年3月～9月の期間では時々SSが高くなることがある。これは最終沈殿池での汚泥のキャリオーバーによるもので，10月以降沈殿池を2池に増やすことでキャリオーバーは防止できている。10月以降でSSが高くなっているのは添加位置をかえたり，MLSSを高くしたりして運転した場合である。処理水のSSと関連する項目として汚泥のSVIを図－4－7に示す。SVIはほぼ100以下でコントロール系の汚泥でみられたような季節変化はない。沈降性の点では常時優れているが，添加位置を前にずらしたり，MLSSを高く運転することで処理水にSSが流出しやすくなる。最終沈殿池の容量をそろえて両系列を比較するためコントロール系の1975年4月～9月の結果と，薬注系の1976年4月～9月の結果を取り上げてみると，コントロール系が10mg/ℓ前後（7～13mg/ℓ），



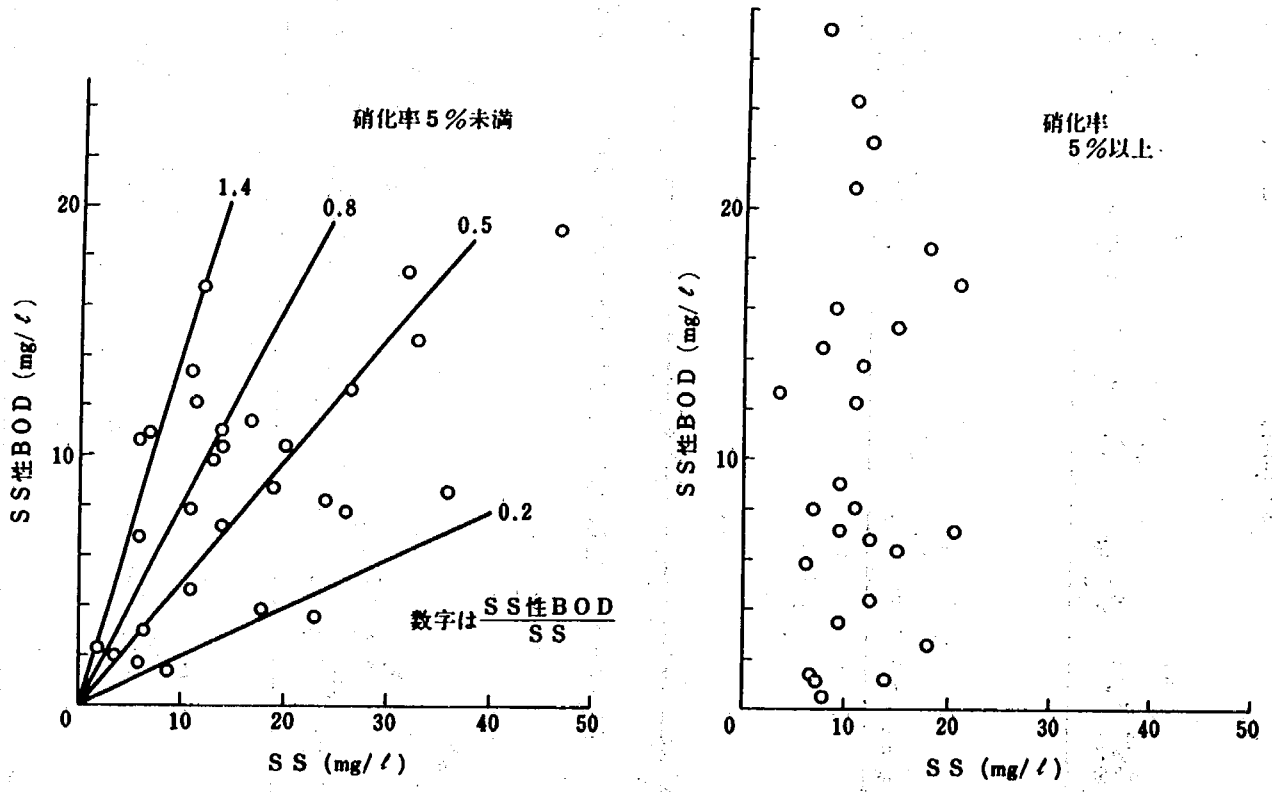
図－4－6. 二次処理水のBODとSS，硝化率の関係（薬注系）



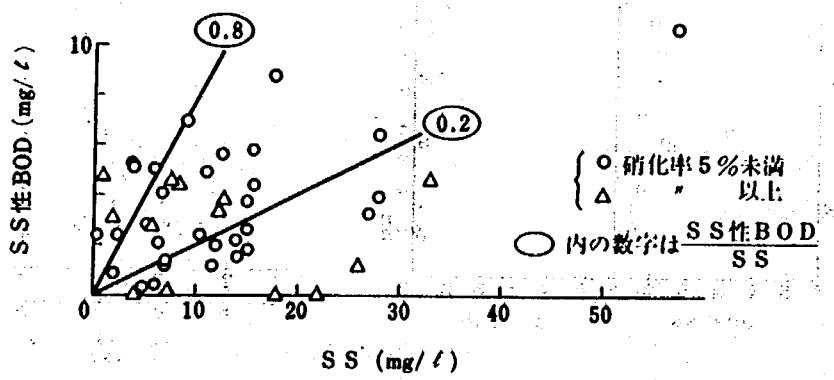
図－4－7. 活性汚泥の性状（薬注系）

薬注系が同じく10mg/ℓ前後（2～26mg/ℓ）とほぼ同じになっている。

次に処理水のＢＯＤについての結果を硝化率，ＳＳとあわせて図－4－6に示す。ＢＯＤの値はほぼ10mg/ℓ以下で最大で15mg/ℓ前後であることから，ＳＳ性のBOD が小さいことがＢＯＤの値を低くしていることが分かる。ＳＳの値はコントロール系よりやや低い程度であるが，ＳＳ性BODではコントロール系よりかなり低目である。また硝化のおきている1976年6月～9月においてもＳＳによる影響は小さい。そこで薬注系処理水のＳＳとコントロール系処理水のＳＳとではＢＯＤへの効き方に差があることが予想される。そこで両処理水で硝化率5％以上と未満の場合に分けてＳＳとＳＳ性BODの関係を図－4－8～図－4－9に示す。コントロール系処理水では硝化率5％未満のデータについてはＳＳが高いほどＳＳ性ＢＯＤが高くなっている。ＳＳ当りのＳＳ性BODの割合は0.2～1.4となっている。硝化率5％以上の場合は両者の相関は全くみられない。コントロール系の結果に比べ薬注系の処理水で



図－4－8. 処理水のＳＳとＳＳ性BOD（コントロール系）



図－4－9. 処理水のＳＳ性BOD（薬注系，Aℓエアタン添加）

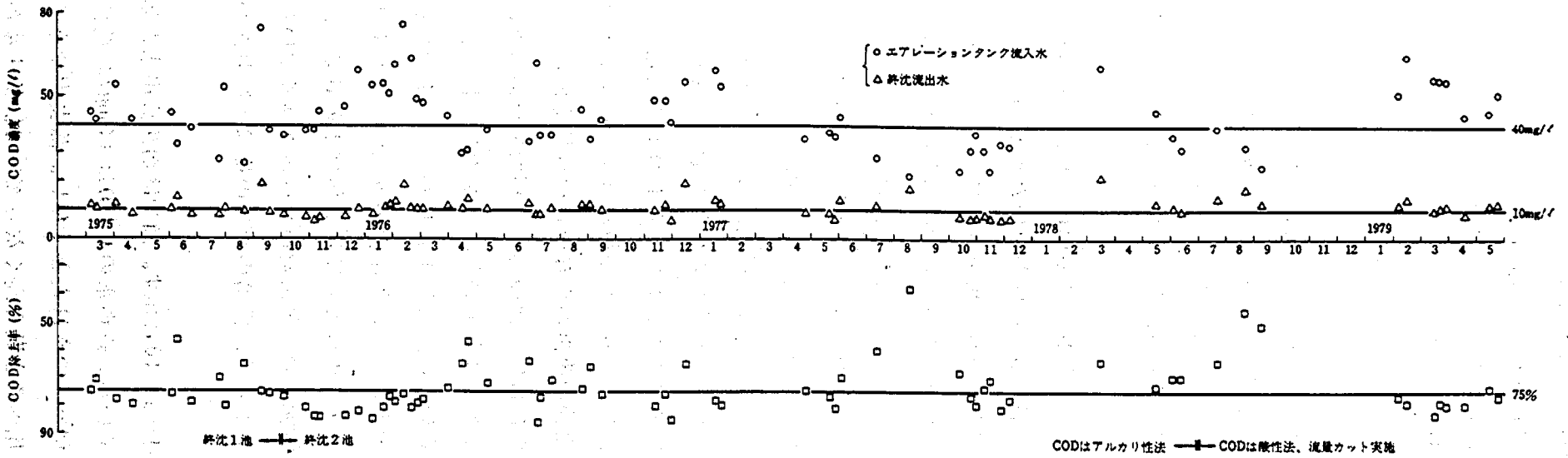
は硝化率の大小に関わらずSS性BOD及びSS性 BOD/SS が低いことが分かる。このことは先に述べた"薬注系処理水のＳＳはＢＯＤとして表われにくい"という予想を裏付けしている。特に硝化の起きているときにはコントロール系処理水との違いがはっきりしている。分析に関する補足として溶解性ＢＯＤの測定には植種水として初沈流出水を用いており，フランピン中での硝化によるＢＯＤはほとんどないとみなせることを加えておく。

これらの事実から次のような推論を行った。

硝化の起きていない時のＳＳとＢＯＤの関係についてはＳＳ中の有機物の含有率が影響を及ぼすと考える。処理水ＳＳの有機物含有率についてはデータをとっていないが，活性汚泥のVSS/SSで比べるとコントロール系，薬注系で各々65～85％，60～75％となっており前者の方が後者より10％前後高くなっている。この差がＳＳ当りのＢＯＤを変える一因になっていると思う。

硝化の起きている時には有機物に由来するＢＯＤの他に硝化によるＢＯＤを考慮せねばならない。有機物の分解を行う細菌は一般に増殖速度が速いため（平均世代時間1～2時間，土研の室内実験では20°Cで1.4～1.5時間という結果あり）フランピン中の細菌数が10^2個/cc程度でも5日間のうちには飽和した状態（水中の基質濃度から決まる細菌濃度，フランピン中では10^5～10^7個/cc程度）に達している。しかしながら硝化菌は増殖速度が遅いため（亜硝酸菌の平均世代時間は20°Cで14時間，文献3）より）10^2個/ccの細菌は5日間で380倍にしかならない。このため初期のフランピン中の細菌数の多少が，フランピン中の硝化に大きな影響を及ぼすものと推定できる。コントロール系の硝化がおきているときのＳＳ性ＢＯＤのデータのバラつきの原因として処理水にもちこまれた硝化菌数の多少を仮定することができる。薬注系処理水では硝化の起きている時にもＳＳによるＢＯＤの増加は少なく，硝化の起きていないときとほとんど差がない。コントロール系処理水について立てた仮定をそのままあてはめると，薬注系処理水には硝化菌の流出が少ないという結論になる。ＳＳ中の硝化菌数が少ないことになる。硝化菌の増殖には付着物のある方が効果があるという報告[3]があり，硝化菌は活性汚泥中では汚泥に付着して存在していることが予想される。この予想と薬注系処理水のＳＳ中の硝化菌数が少ないという推論とは矛盾している。1つの解としては，薬注系処理水中のＳＳが活性汚泥そのものではなく，汚泥中のAℓフロックを主体とする無機物質の割合が高いことがあげられる。もう1つの解としては，処理水のＳＳと活性汚泥は同一とし，硝化がおきているときでも活性汚泥中の硝化菌数のレベルが高くないことがあげられる。これらの解については実証するデータもなく，推論のための推論に陥りかねないので深入りしないこととする。

次にCODの除去について結果を図－4－10に示す。図では初沈流出水と処理水のＣＯＤ濃度及び両者から求めた除去率を示している。処理水のCODは10mg/ℓ 前後となっている。初沈流出水の季節変化を伝えているがバラつきは大きくない。除去率でみると75％を中心に分布しており，コントロール系に比べると数％高くなっている。除去率が良くなっているのは主に溶解性ＣＯＤが低いことに起因している。表－5を見ると薬注系では4.2～8.9mg/ℓ



図－4－10. エアレーションタンクにおけるCOD除去（薬注系）

コントロール系では7.1～13mg/ℓとなっておりコントロール系の値より0.5～4.3mg/ℓ 低くなっている。Aℓの添加濃度とCOD除去率向上についてははっきりつかめなかった。各実験番号毎にCOD除去率を求め，コントロール系の値より何%よくなったかをみると0～11%でAℓの添加濃度をかえても目立って良くなるということはなかった。

処理水のCODは主に溶解性であるが，それでもSSにより高くなることがある。そこで両系列についてSSとSS性CODの関係を求めたのが図-4-11である。コントロール系の方がわずかながらSS当りのSS性CODが高くなっているが，BODにみられるような差はない。SS当りのSS性CODはどちらも概ね0.2～0.5となっている。

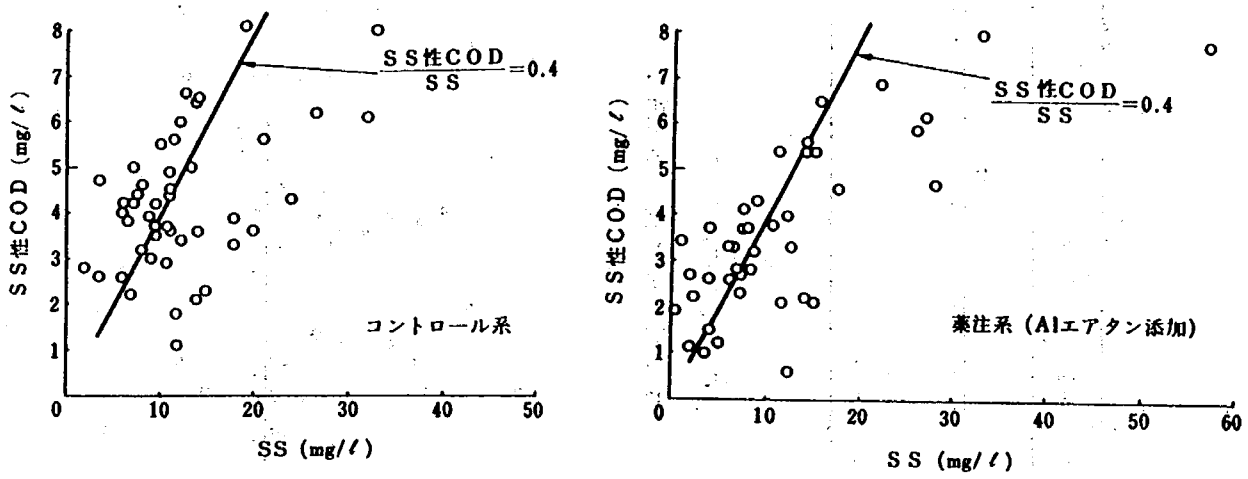
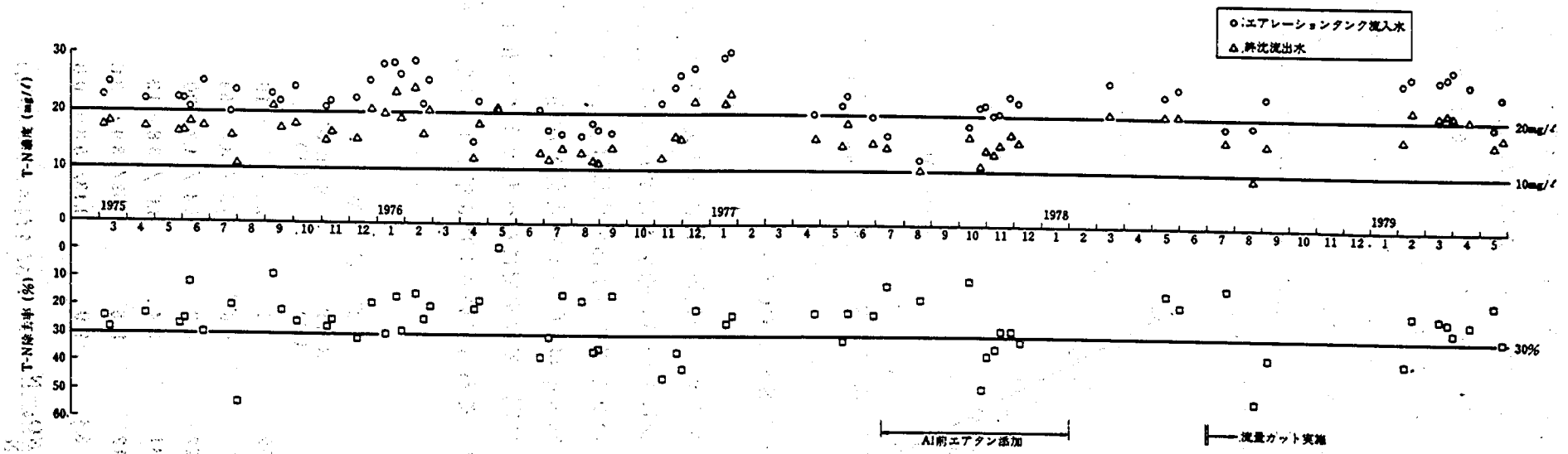


図-4-11. 二次処理水のSSとSS性COD

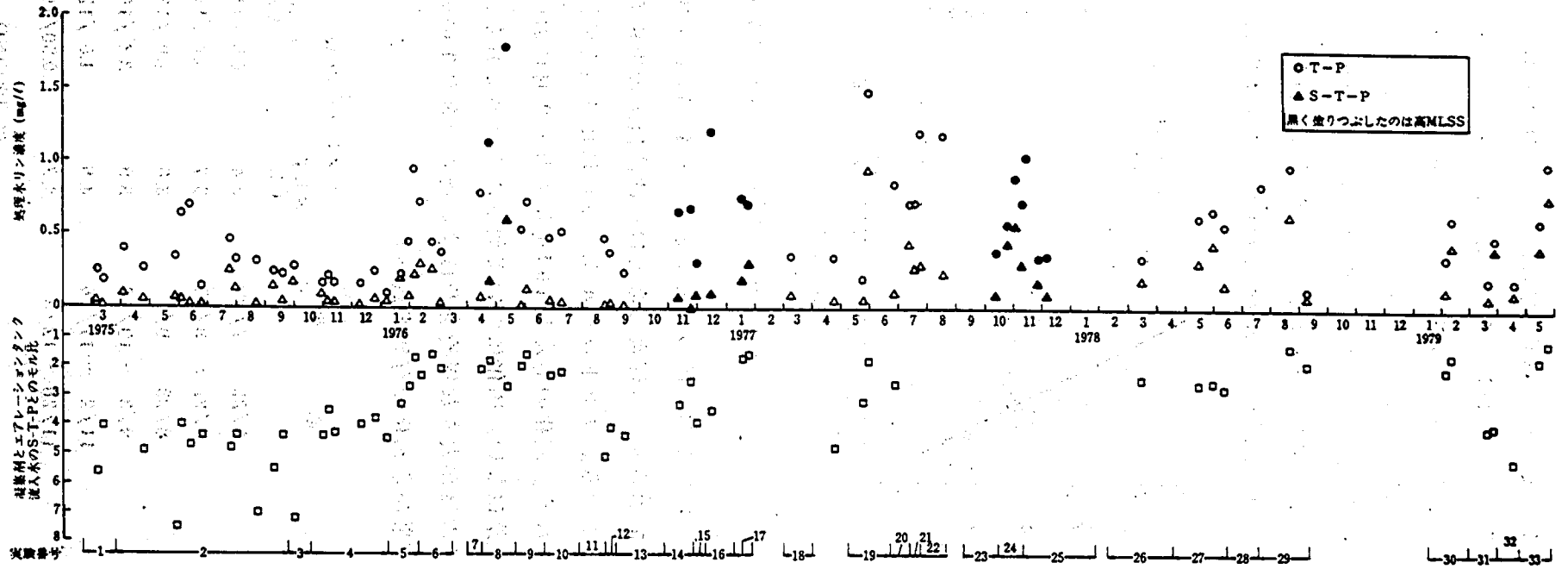
続いて窒素について結果を図-4-12に示す。コントロール系と同様にほとんど除去されておらず，処理水の濃度は初沈流出水の影響を強く受けている。除去率は20～30%となっている。コントロール系でみられた夏高く冬低いという除去率の季節変化ははっきりしなくなる。硝化の進んだ1976年7月～9月においても除去率は16～36%と他の期間とあまり差はない。硝化について簡単にまとめておく。硝化に関してはすでに述べたようにSRTと水温が大きな影響を及ぼす。そこでSRTのデータのそろっている1976年6月～12月の結果から硝化の有無を調べた。

期間	コントロール系 SRT (日)	コントロール系 硝化率* (%)	薬注系 SRT (日)	薬注系 硝化率* (%)
6/22 ～ 7/27	3.4	4.5 /11.6＝39	5.2	2.2 /13.7＝16
7/27 ～ 8/23	3.7	4.7 /14.2＝33	6.0**	6.8 /13.0＝52
8/23 ～ 9/2	3.6	2.9 /13.0＝22	4.7	3.4 /11.3＝30
9/3 ～ 10/26	5.9	3.4 /10.9＝31	3.4	1.6 /13.8＝12
11/2 ～ 11/26	4.6	1.5 /12.1＝12	8.5	0.53/13.9＝ 3.8
11/26 ～ 12/8	4.3	0.50/15.0＝ 3.3	7.9	0.13/15.3＝ 0.8

* 硝化率：$\frac{\text{処理水の}NO_2-N+NO_3-N}{\text{処理水のT}-N}$　** ：Aℓを前エアタンに添加



図－4－12. エアレーションタンクにおける窒素の除去（薬注系）

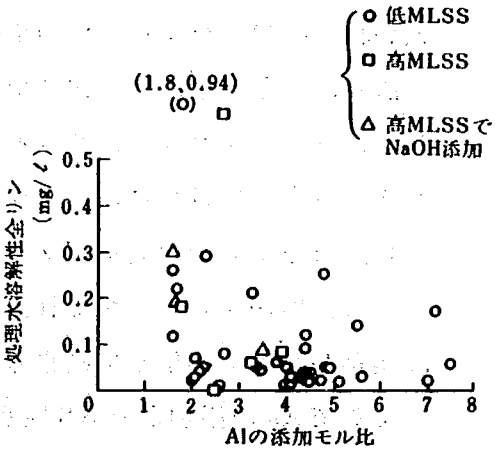


図－4－13. エアレーションタンクにおけるリンの除去（薬注系）

硝化率の値の大小はここでは重要ではない。硝化がおきているかどうかが問題であるので，硝化率5％を1つの目安として硝化の有無を判定した。コントロール系では夏場はＳＲＴ3～4日でも硝化が起きているが，11月下旬～12月にかけては4.3日のＳＲＴでも硝化をおこせない。薬注系では秋に3.4日というＳＲＴで硝化をおこしているが，11月以降は8日に伸ばしても硝化は起きていない。11/2～11/26 の結果はＳＲＴが多少短くともコントロール系の方が硝化を起こしやすいことを示している。薬注系で1975年の夏に硝化がみられなかったのは1976年の夏に比べMLSSが低く，その分ＳＲＴが短かったことが予想される。

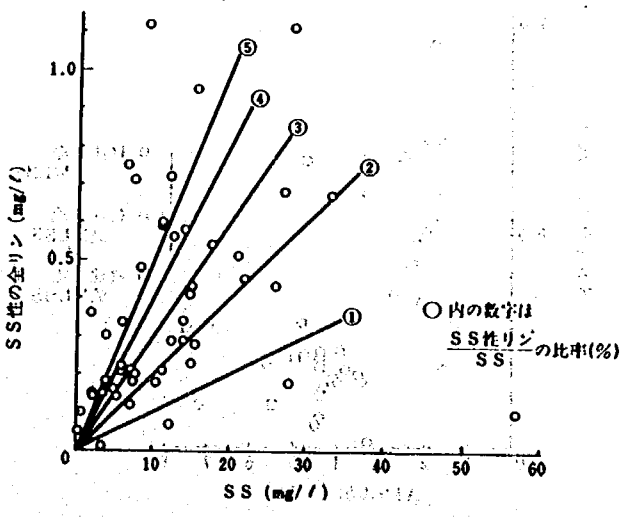
1976年の11月からMLSSを2,000mg/ℓ以上に上げ，さらに12月からはエアレーションタンクにNaOHを添加してPH調整を行ったが期待に反して硝化はおきなかった。表－4をみると実験No.14～17ではMLSS 3,393～4,024mg/ℓになっているがSRTでは7.7～8.5日とあまりのびなかった。ＳＲＴが短いのが低水温期に硝化をおこせなかった原因であろう。

続いてリンの結果を図－4－13に示す。図には処理水の全リンと溶解性全リン，及びAℓと初沈流出水中の溶解性全リンのモル比（以下，添加モル比と呼ぶ）の値をあげている。溶解性全リンの値と添加モル比の関係を図－4－14に示す。これをみると添加モル比2以上ではほぼ0.1mg/ℓ以下に入っているが2以下では高目の値となっている。この結果から添加モル比は2以上を確保しておれば処理水の溶解性全リンの値をほぼ0.1mg/ℓに保てるものと推定できる。添加モル比の値は2以上なら高くしても効果はほとんどない。なおここで示した溶解性全リンの値が固液分離が完璧に行われた場合の処理水リン濃度となる。



図－4－14. Aℓの添加モル比と処理水の溶解性全リン

溶解性全リンの値が低く割合安定しているのに比べ全リンの値はやや高く変動が大きい。処理水のリン濃度に影響を及ぼしているのはＳＳ性のリンであろうと予想された。そこで処理水のSSとSS性リン（全リンから溶解性全リンを引いた値）との関係を求めたのが図－4－15である。SS性リンは0.01～1.13mg/ℓという範囲に入っている。分布にはかなりバラつきがあるがＳＳが高い程ＳＳ性リンが高くなる傾向がある。単位ＳＳ当りのリンの比率は0.2～11％となっているが全体の2/3は1.5～5％の範囲に入っている。薬注系の活性汚泥に含まれるリンの量はＳＳ当り3～4％



図－4－15. 処理水のSSとSS性全リン（Aℓのエアタン添加）

で割合一定している。ＳＳ性リンの主体は活性汚泥に由来するリンと思われるが，それ以外の要因も関係しているものと思われる。

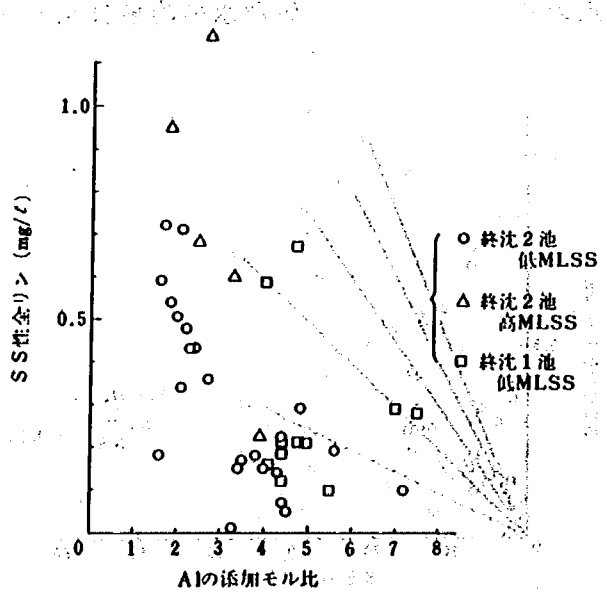
コントロール系処理水ではリンの70～80％が溶解性であり，初沈流出水中のリン濃度の影響を強く受けている。そのため初沈流出水に見られる冬高夏低の季節変化をそのまま伝えている。しかし，硫酸バンドを添加することにより処理水の溶解性全リンは極めて低い値になり逆にＳＳ性のリンが処理水のリン濃度を決定するようになる。このことは薬注系処理水には初沈流出水のリン濃度の季節変化が伝わらないこと，及び薬注系処理水のリン濃度の変化は主にＳＳ性リンによりもたらされることを示している。

ＳＳ性リンの流出は現象としては，一度凝集し溶解性からＳＳ性に転換したリンの流出としてとらえることができる。活性汚泥に移行したものが再び微細化して流出したのか，移行する過程で流出したのか判別するのは難しいが，いずれにせよ活性汚泥と硫酸バンドのフロックとの結びつきの問題である。この問題は硫酸バンドの添加量，活性汚泥のＳＲＴ，エアレーション強度，Ａℓの凝集に関連する無機イオンなど種々の要因が関わりをもっておりその解明は難しいと思われる。本調査では硫酸バンドの添加量以外の要因はほぼ変化がないと思われるので，凝集剤の添加量の影響についてのみ検討を行った。

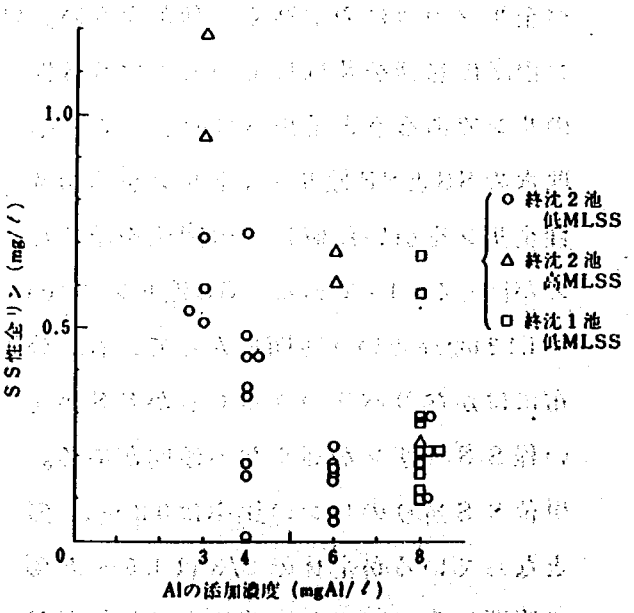
活性汚泥と凝集剤との結びつきをとらえる際，凝集力を有する主体が活性汚泥にあるとするか，凝集のフロックにあるとするかによって見方が変わってくる。凝集力の主体を活性汚泥と見る場合には凝集剤のフロックは活性汚泥の凝集力によって汚泥と結びついており，この凝集力を超す量の凝集剤フロックの存在は処理にとってマイナスになることになる。

逆に凝集剤フロックがそれ独自の凝集力を有していると見る場合にはＳＳ性リンの流出は凝集剤が量的に不足して凝集力が不十分なことが原因とみなされる。

そこでＡℓの添加量とＳＳ性リンの流出との関係を求めてみた。Ａℓの添加量として添加モル比，添加濃度の２つの指標を用いた。図－４－16，図－４－17に両者とＳＳ性リンの関係



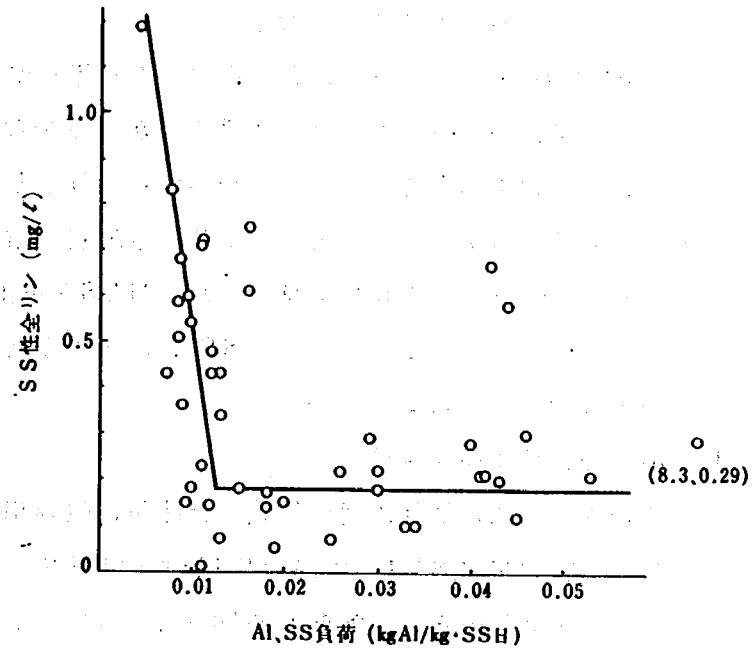
図－４－16. Ａℓの添加モル比とＳＳ性全リンの関係



図－４－17. Ａℓ添加濃度とＳＳ性全リンの関係

を示した。なお添加位置の変更で白濁の生じた実験番号12とNaOHを添加した16～18のデータは除いた。どちらの図をみても添加量がある値より小さいときはＳＳ性リンが高いこと，その値をこえるとＳＳ性リンはほぼ一定になっていること，MLSSの高いときにはSS性リンが高目になることなどの点が分かる。MLSSが1,000～2,000 mg/ℓ のときの結果ではＳＳ性リンが一定になるのは添加モル比で3以上，添加濃度では4～6 mg/ℓ であり，逆にこれ以上添加しても効果は上がっていない。

ＭＬＳＳがＳＳ性リンの流出に関係してくることが分かったのでMLSSとAℓの添加量の両方の因子を含む指標を見い出すことが必要となった。この指標として活性汚泥総量に対して1日当り添加するAℓ量なる値を考え，BOD・SS負荷になぞらえてAℓ・SS負荷(kg・Aℓ/kg・SS・日)なる指標を用いることとした。Aℓ・SS負荷とSS性リンの関係を図－4－18に示す。Aℓ・SS負荷が0.014以下のときはＳＳ性リンの値はバラつきも高いものも存在するが，0.014以上では概ね0.3 mg/ℓ以下になっている。



図－4－18. Aℓ・SS負荷とSS性全リンの関係

以上の考察から先の凝集力の主体の議論に戻ると，ＳＳ性リンの流出を抑えるにはある量以上の添加が必要なことから，凝集力の主体は凝集剤にあるといえる。しかし添加量を上げても効果は向上しないことから，高添加量では活性汚泥との関係が問題になってくる。

次にMBASについての結果を図－3－31(既出)に示す。処理水中のMBASはコントロール系と同じく夏低く冬高いという季節変化がみられる。ＭＢＡＳの除去については硫酸バンドの添加は効果がないかあるいは逆効果となっている。汚泥へのAℓの蓄積による汚泥の変化がＭＢＡＳの吸着に影響を及ぼしたのではないかと予想される。

処理水中の大腸菌群数はコントロール系に比べるとかなり少ない。表－5の値をみると200～2,600個/ccで1,000以下に入っているものが多い。ＳＳの値は薬注系の方が若干低い程度なので，薬注系処理水の大腸菌群数の低さは浮遊状態の大腸菌群の少ないこと，ないしは処理水ＳＳ中の大腸菌群の少ないことが原因ではないかと思う。

以上処理水質をざっとみてきたが，添加濃度の観点から整理し直すと次のようになる。

a. ＢＯＤ……SS性BODが低くなるために処理水BODの値が低くなっている。添加濃度との関係ははっきりしない。

b. ＣＯＤ……溶解性ＣＯＤが低くなる。このためコントロール系より除去率が数%高くな

っている。添加濃度との関係ははっきりしない。

c. 窒　素……除去率はコントロール系よりやや劣る。コントロール系と比べると硝化をおこしにくい。

d. リ　ン……除去率は著しく向上する。溶解性全リンを0.1 mg/ℓ以下に保つには添加モル比を2以上にすればよい。処理水のリンはほとんどが浮遊性のリンである。SS性リンの流出の面からみると最適の添加量が存在する。この値はMLSSが高くなると高くなる。

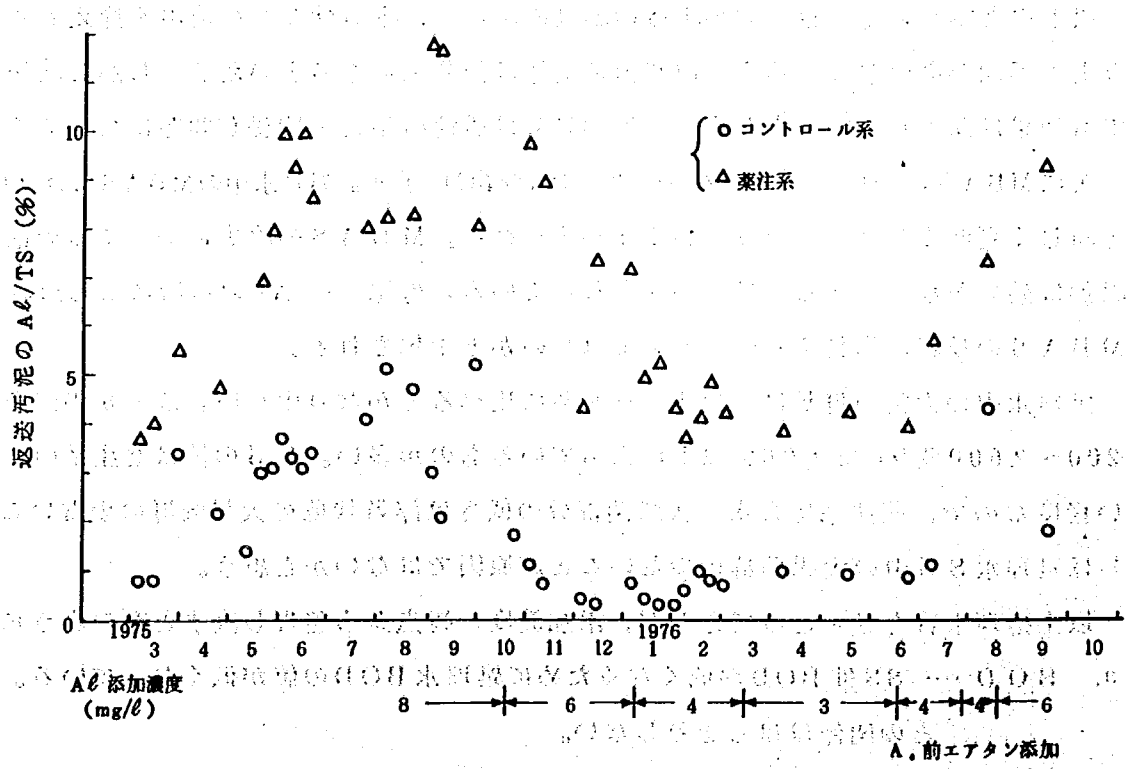
e. MBAS……コントロール系に比べると同等かやや悪い。

f. 大腸菌群数……コントロール系よりかなり少ない。

これらの結果から添加濃度の影響がはっきりとした形で現われているのは処理水のリン（特にSS性リン）であることが分かる。本調査の結果ではAℓとして6 mg/ℓ（MLSS 1,000～2,000 mg/ℓのとき）が最も良かった。MLSSを上げると6 mg/ℓではやや不足気味で，もう少し高くする必要がある。Aℓ・SS負荷という考え方をすれば0.014（kg/kg・日）という値が1つの目安となる。

B. 汚泥の性状及び発生量

処理水質の他に活性汚泥の性状，発生量，生物相について考慮する必要がある。まず汚泥の性状についてはSVI，汚泥のSS当りのVSS，窒素（K－N），リンの含有率を図－4－7に，TS当りのAℓの含有率を図－4－19に示す。SVIについてはすでに触れた通りコントロール系汚泥のような季節変化はなく，50～100低く安定している。汚泥のVSS/SS比は夏季に60～65％，冬季に75％前後と冬季高くなる傾向がある。コントロール系汚泥ではSVIの変動がVSS/SS比の変動とよく似ており，VSS/SS比がSVIに



図－4－19. 活性汚泥の性状（その2）

影響を与えていると予想した。しかし薬注系汚泥では両者ほとんど関係がない。これは汚泥の性状の中で重要な点である。

次に汚泥中の窒素の含有率をみると概ね5～8％で，時折低い値（3.4％，3.9％）や高い値（15.8％，13.2％）がみられる。コントロール系よりは1～2％低い値となっている。リンの含有率では2.6～5.2％になっており平均すれば3％強となっている。コントロール系に比べると1％弱高くなっている。

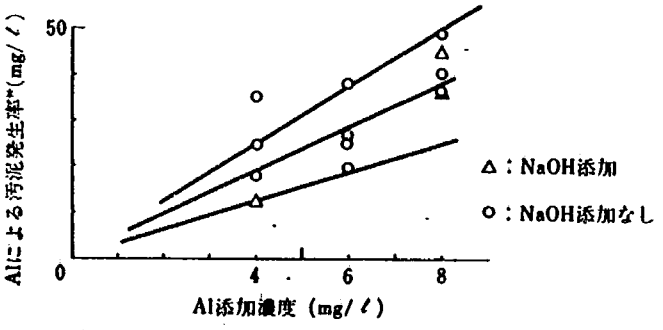
処理水のSSが全て活性汚泥としてSS 10mg/ℓによるリン濃度を求めると0.26～0.52mg/ℓとなり，処理水中の全リンの中でかなりの比重を占めることが分かる。

汚泥中のAℓについてはTS当りの割合を図－4－19に示した。Aℓの含有率はAℓの添加濃度，初沈流出水中の汚泥転換物質の量などにより決まってくる。後者を一定とみなしてAℓの添加濃度との関係をみると次のようにまとめられる。

Aℓ添加濃度（mg/ℓ）	3	4	6	8
Aℓ/TS（％）	4.0	4.5	7.0	8.0

1975年4月～9月ではコントロール系の値も高くなっているが，これは薬注系汚泥の一部混入があったためと思われる。

汚泥の発生量はコントロール系に対してどれだけ増加するかに注目して整理した。SRTやMLSSなどの運転条件の差を無視して同じ実験期間で薬注系とコントロール系の汚泥発生量の差を硫酸バンド添加による汚泥増加量とし，この値を流入水量で除した値を"Aℓによる汚泥発生率"と呼びAℓの添加濃度とAℓによる汚泥発生率の関係を図－4－20に示した。3mg/ℓ添加についてデータがないのが残念であるが，4, 6, 8 mg/ℓ 添加の結果を図に示している。図よりAℓ1の添加によるSSの生成量を求めると3～6となっている。やや強引だが平均値を求めるとAℓ1当りSS 4.8となる。これはAℓが全てAℓPO_4となると仮定したときの値（＝4.5）やAℓ$(OH)_3$になると仮定したときの値（＝2.9）よりやや高い。活性汚泥に対し硫酸バンドを添加してpH調整（pH＝6）し生成したSSを測定するという室内実験を行った結果ではAℓ1に対し4.3となっている（土研での実験より）。この実験では活性汚泥中の溶解性のリンは少ないためAℓの反応はほぼ水酸化物生成に使われたものと推定される。実測値ではリンとの反応生成物が含まれてるため室内実験の値より高くなることが予想され，4.8という値が妥当なものであることを示唆している。



*Alによる汚泥発生率：$\frac{\text{硫酸バンド添加による汚泥増加量}}{\text{流入水量}}$

図－4－20. Aℓ添加濃度と汚泥の発生

O. 汚泥の生物相

最後に活性汚泥の生物相についてコントロール系で行ったのと同様の手法で整理した。結

果を図－3－37に示した。全個体数を見るとほとんどの場合コントロール系より少なくなっている。8 mg/ℓ添加では1975年5月～6月にかけては10^2/cc のオーダーでかなり少ないが10月に入ってやや回復している。6 mg/ℓ 添加でもコントロール系よりやや少ない。次の4 mg/ℓ と3 mg/ℓ ではあまり差はないが，最後の4 mg/ℓ ではコントロール系よりやや少ない。繊毛虫のうち浮遊性のものはほとんど存在せず，また匍ふく性のものについては添加濃度3 mg/ℓ になって出現してきている。硫酸バンドの添加による生物相への影響は全個体数ではAℓ 4 mg/ℓ以上，匍ふく性繊毛虫に対しては3 mg/ℓ 以上で現われるとまとめることができる。

5.1.4 硫酸第1鉄のエアレーションタンク添加実験

硫酸第1鉄をエアレーションタンクに添加する実験は1978年2月から1979年5月（うち1978年9月～1979年1月は実験中断）までの1年4カ月（正味11カ月）にわたって実施した。実験の方法，内容は硫酸バンドの時と同じである。硫酸第1鉄の反応は硫酸バンドに比べ遅いことが予想されたので，まず添加位置を決めるための実験を行い，その後添加濃度をかえて実験した。なお1978年7月に流入水量の一部を他の処理場へ振りかえる工事が完了し，水量は工事前の2/3程度に低下している。

A. 添加位置の選定

エアレーションタンクに添加された第1鉄イオン（Fe^{2+}）とリンや水酸イオンとの反応は次のようなパターンが考えられるが，まだ十分には解明されていない。

㋑ Fe^{2+} から Fe^{3+} に酸化されリン，水酸イオンと反応

㋺ Fe^{2+} のままリン，水酸イオンと反応

㋩ イオン態以外の形に変化しリンと反応

いずれのパターンにせよ水中から Fe^{2+} が消失しないと凝集剤として添加した効果がない。そこでまず Fe^{2+} として10mg/ℓの量をエアレーションタンクの入口より3/4の位置へ添加したときのエアレーションタンク流下方向の Fe^{2+} の変化を図－5－1に示す。添加した Fe^{2+} は十分反応（もしくは不溶化）しないうちに流出していることが分かる。そこで添加位置をエアレーションタンク入口から5mの所に移した。その結果も図－5－1に示す。これを見るとエアレーションタンクの中間点（滞留時間にして約1.5時間）でようやく Fe^{2+} の値がゼロに近くなる。Fe^{2+} がゼロになるまでの時間はエアレーションタンク内の条件（水温，DO，pHなど）により変化する。実験の進行に伴い Fe^{2+} の消失速度がどう変わるかを見るために実験開始後1カ月と4カ月たったあとの Fe^{2+} のエアレーションタンクでの挙動を図－5－2，5－3に示す。実験開始直後に比べると Fe^{2+} 添加直後の減少が速やかになっている。また高水量時の方が低水量時より減少が遅いのはＭＬＳＳ濃度の影響を予想させる。以上の結果を総合すると Fe^{2+} を添加する地点はエアレーションタンク滞留時間を1.5時間程度とれる所がよいと判断できる。

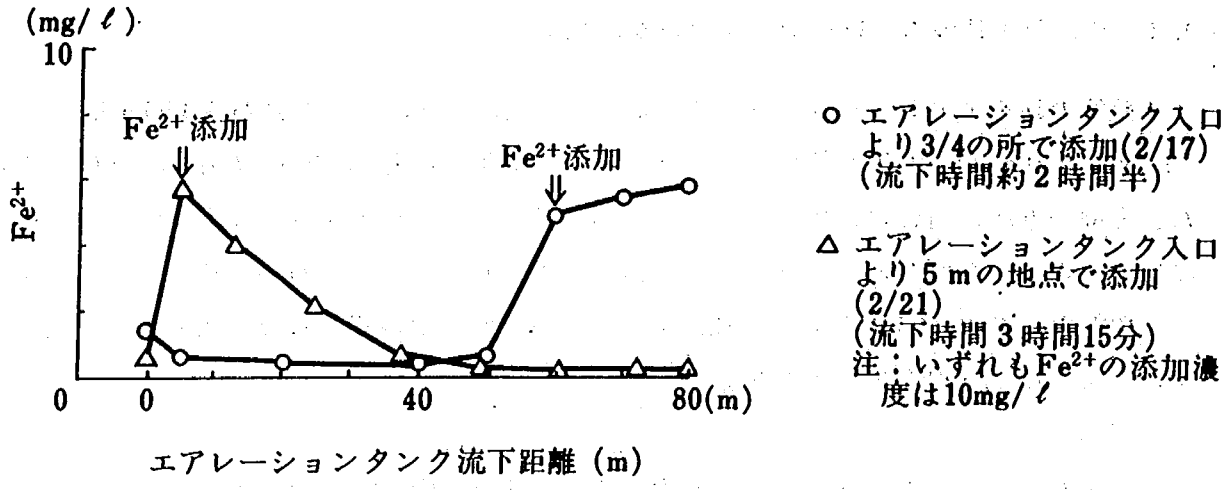
また添加位置を前にずらしても硫酸バンドの場合にみられた濁り*はみられなかったため，エアレーションタンクでの挙動からみてタンク入口付近に添加するのが良いと判断される。

*：添加位置の違いによる濁りはなかったが，その他の原因による濁り（白茶色）が見られることがあった。これについては後で触れる。

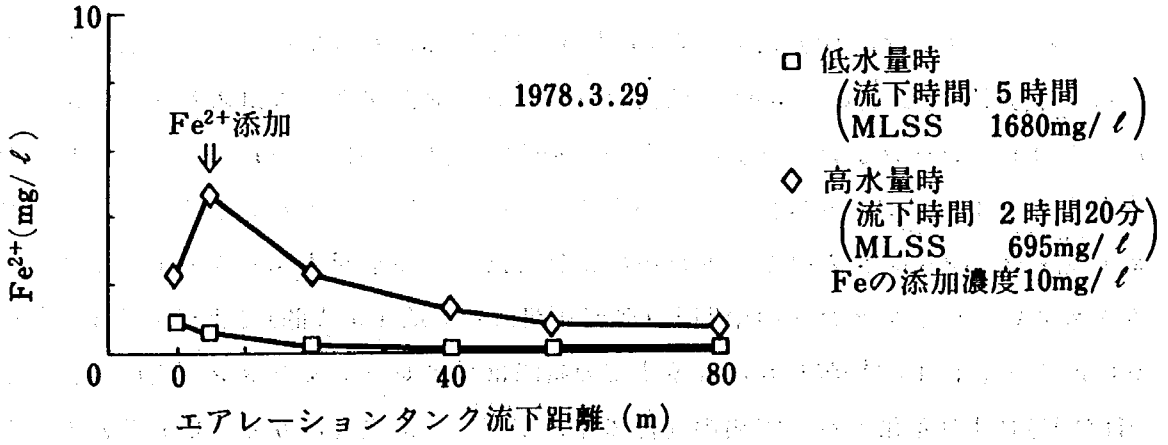
B. エアレーションタンクの除去機能

添加濃度について検討する前にエアレーションタンク内でどのように除去が行われているかを見るためにエアレーションタンク追跡調査の結果を図－5－4～図－5－10に示す。

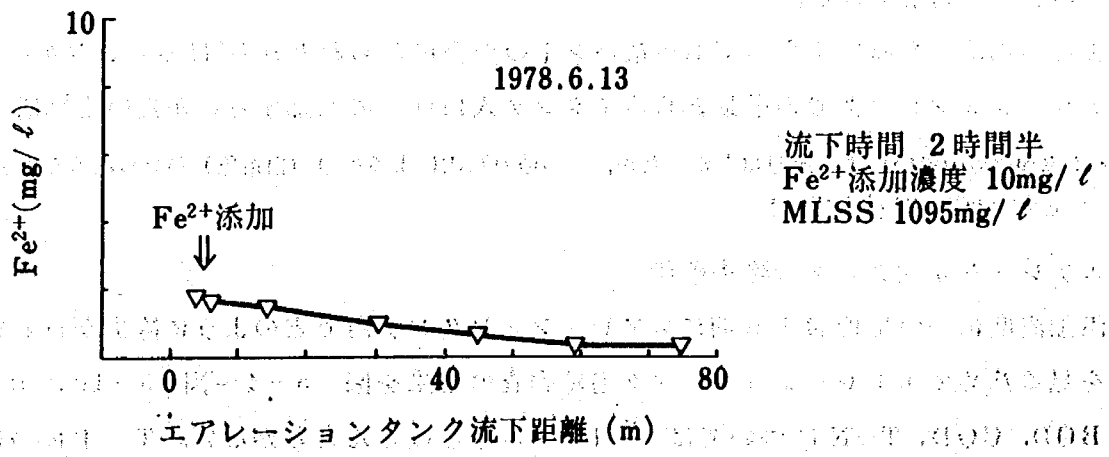
BOD，COD，T－Nについてはコントロール系とほとんど差がない。T－PについてはBODの変化と似ていて返送汚泥と初沈流出水の混合直後に速やかに減少している。硫酸バン



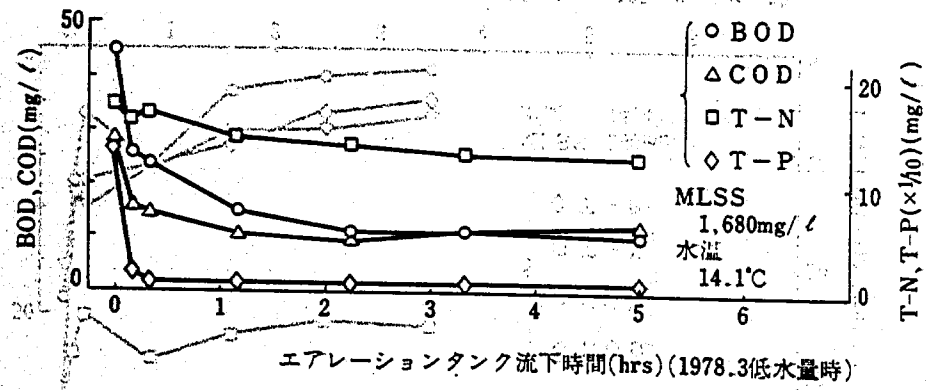
図－5－1. エアレーションタンクの流下に伴う Fe^{2+} の変化（その1）



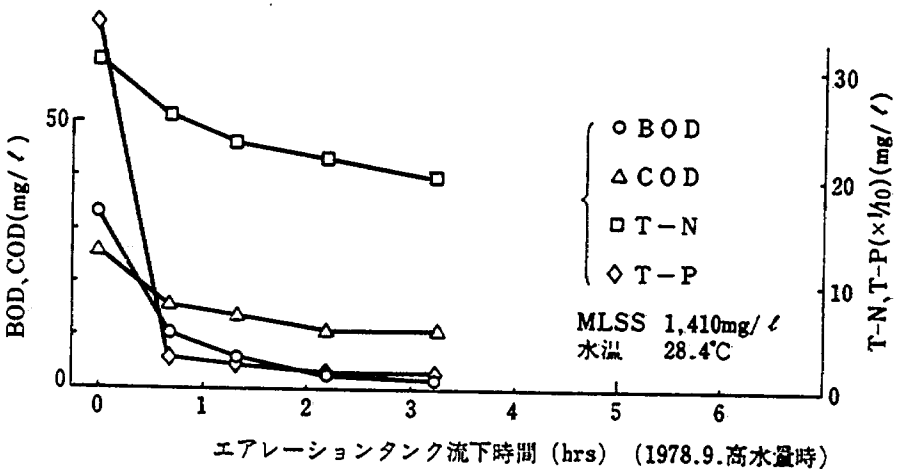
図－5－2. エアレーションタンクの流下に伴う Fe^{2+} の変化（その2）



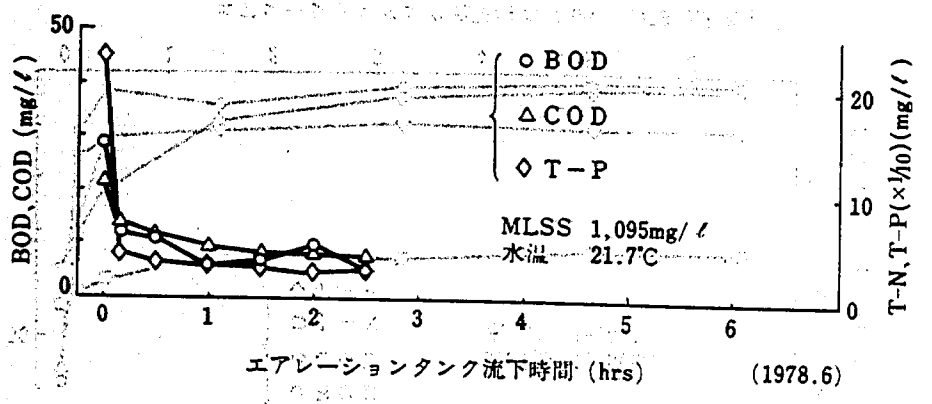
図－5－3. エアレーションタンクの流下に伴う Fe^{2+} の変化（その3）



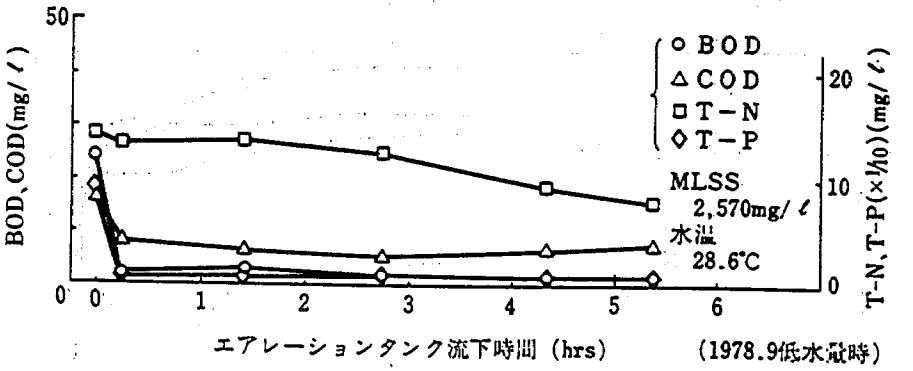
図−5−4. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 10 mg/ℓ)



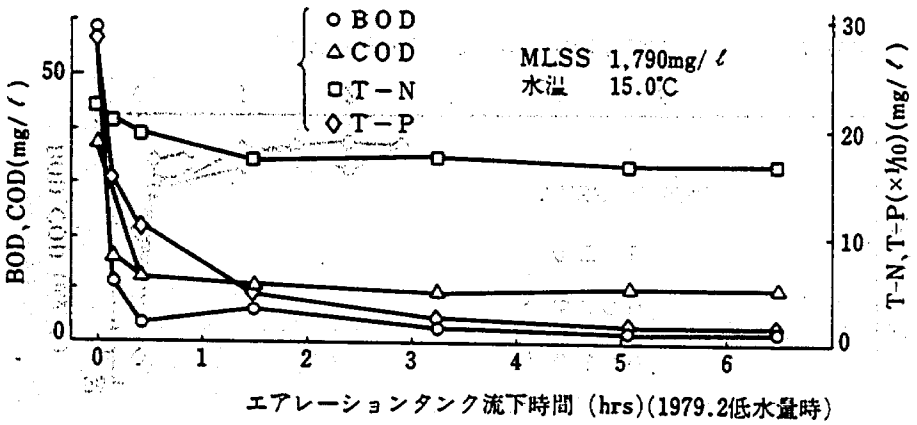
図−5−6. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 5 mg/ℓ)



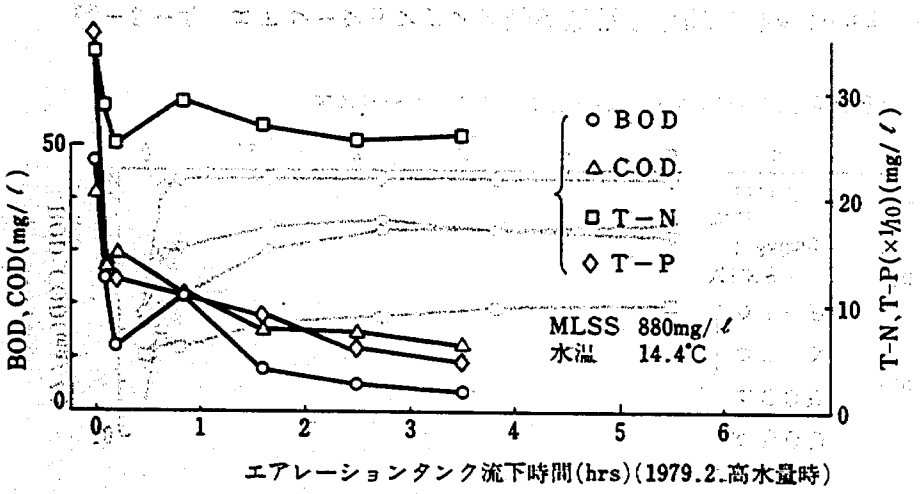
図−5−5. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 10 mg/ℓ)



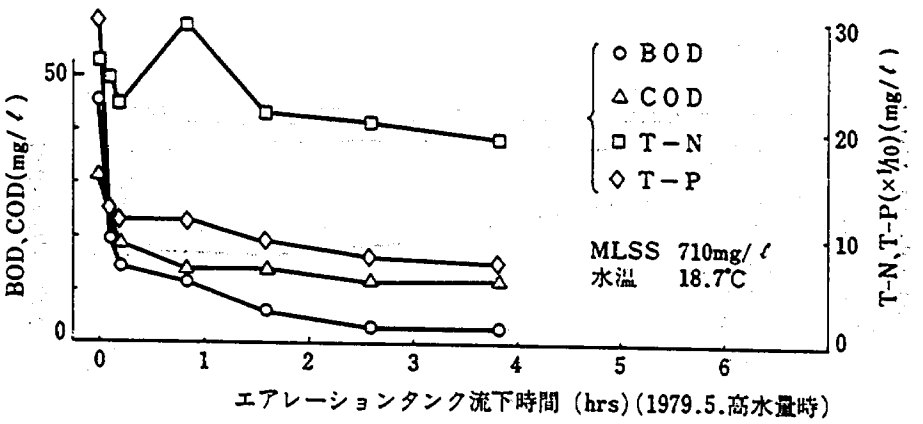
図−5−7. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 5 mg/ℓ)



図－5－8. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 8 mg/ℓ)



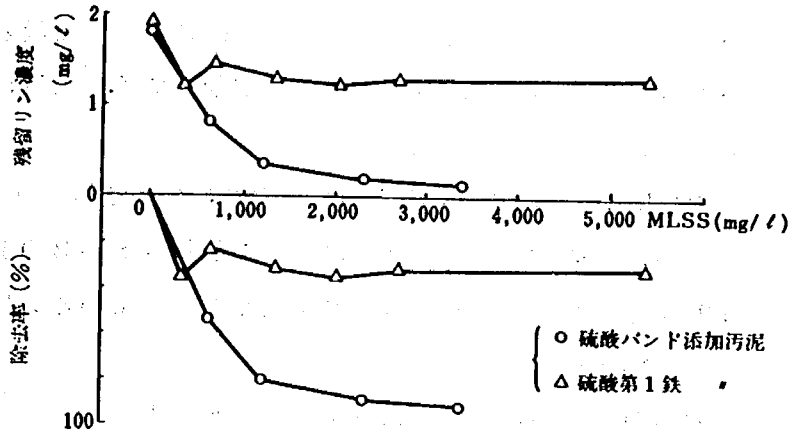
図－5－9. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 8 mg/ℓ)



図－5－10. エアレーションタンク追跡調査(薬注系, Fe 4 mg/ℓ)

ドの場合と比較するとエアレーションタンク出口でのT－Pの値がやや高くなっている。硫酸第1鉄はエアレーションタンク入口付近に添加しているのでエアレーションタンク流入直後のT－Pの速やかな減少が返送汚泥によるものか凝集剤によるものかはこれらの図からは判断できない。そこで硫酸バンド添加時の返送汚泥と硫酸第1鉄添加時の返送汚泥を用いて下水中のリン除去実験を行ったところ図－5－11のような結果が得られた。

硫酸バンド添加の場合にはMLSSが高くなるほどリンの残留値が低くなっており，1,000～1,500 mg/ℓでは初沈流出水中の溶解性全リンの約80％が除去されている。これに比べ硫酸第1鉄添加の場合にはMLSSを上げてもリンの残留値はかわらず，初沈流出水中の溶解性オルトリンの約30％が除去されているにすぎない。この結果は両者のリン除去能力の差を端的に示している。この実験で用いた硫酸第1鉄添加汚泥は図－5－4のエアレーションタンク追跡調査のときと同じ時期のものである。追跡調査の結果ではリンはエアレーションタンクに流入後に速やかに除去されている。以上の結果から硫酸第1鉄添加時のリン除去は主に凝集剤とリンとの直接的な反応により行われているといえる。汚泥に移行したFeとリンの反応性が弱いということはリンの除去についての運転の安定性を考える際，硫酸バンドよりも不利になることが予想される。



注）実験方法：初沈流出水に返送汚泥を加えてジャーテストする。
添加する汚泥は所定量を遠心分離して用いた。
リンはAlのときが溶解性全リン
Feのときが溶解性オルトリンである
供試汚泥：Al：Al/TS＝10％
Fe：SS5400mg/ℓ、Fe689mg/ℓ(1978.3)

図－5－11. 返送汚泥によるリンの除去

C. 処理状況

処理水の特徴としては時々濁り（白茶色）に見られたことをあげることができる。硫酸バンド添加の場合にはスピロヘータや添加位置の変更，高MLSS運転というように濁り（白濁，他）の原因がはっきりしており，それ以外の期間には清澄感のある処理水が得られた。これに比べ硫酸第1鉄添加では清澄感では硫酸バンドより劣っており，時々白～白茶色の濁りが見られた。コントロール系と比べると良い時，悪い時があり外観上は差はない。白～白茶色の濁りの見られたときに処理水と活性汚泥のSS当りのFeの含有率（汚泥はTS当り）を求めたところ処理水で30％，活性汚泥で14％となっていた（1978年6月のデータ）。この一例だけで判断するのは危険だが，処理水中のSSのFe含有率が活性汚泥の約2倍と高いのはFeのフロックが十分凝集されずに流出していることを示唆している。

エアレーションタンクはFeを含んだ活性汚泥のため赤茶色になり，最終沈殿池の壁面に

も赤茶色の藻類が付着していた。しかし処理水にこの色が残ることはなく，放流先の河川では河床がわずかに茶色に着色しただけである。

処理水質について簡単にまとめてみよう。

まずSSを見ると1978年3月～6月では全て10 mg/ℓ 以上となっているが，流量の一部カットを実施した7月以降は1例を除き10 mg/ℓ 以下となっている。ＳＶＩは高く，決して沈降性の良い汚泥ではないが処理水中にＳＳとして現われてこないところに流量カットの意味の大きさを感じる。ＳＳ性の成分が効いてくる項目については流量カットの前と後とで分けて考える方が良いと思う。

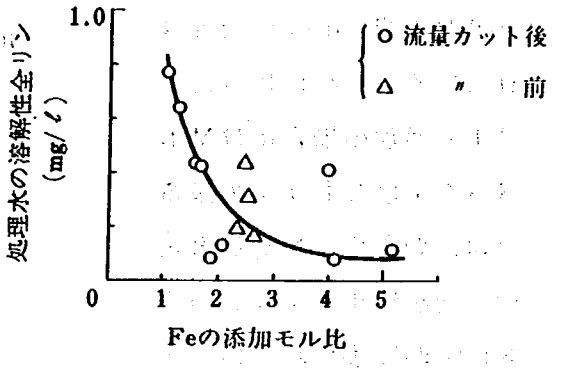
BODはＳＳの高い2例と硝化のおきているときの1例を除くと10 mg/ℓ 以下と低くなっている。硫酸バンドの場合とは少し異なりＳＳがＢＯＤに影響しやすい。流量カット後の1979年2月以降で特にＢＯＤが低く安定しているのはＳＳの低さと硝化の起きていないことが原因と思う。

ＣＯＤの除去についてはコントロール系とほぼ同じであり，流量カット後はやや良い場合がある。

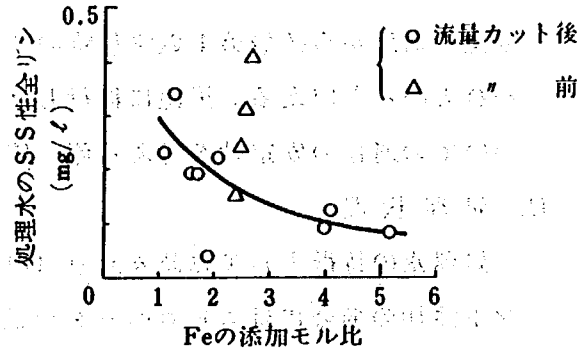
ＢＯＤやＣＯＤに代表される有機物の除去においては硫酸第1鉄は"可もなく不可もなし"という評価が適当と考える。

窒素の除去率はほとんど30％以下でコントロール系や硫酸バンド添加時と差はない。硝化についてはコントロール系より起きにくくなっている。これは Feの添加により汚泥発生量が増えるためＳＲＴを長く保つのが難しいためと思われる。

リンの除去については硫酸バンドの場合とかなり異なっている。図－5－12に添加モル比と処理水の溶解性全リンの関係を，図－5－13に添加モル比と処理水のＳＳ性全リンの関係を示す。これらの図から次の点が指摘できる。



図－5－12. 処理水の溶解性全リンとFeの添加モル比



図－5－13. 処理水のＳＳ性全リンとFeの添加モル比

㋑ 処理水のリンのうち溶解性の割合は59％(28～84％)と硫酸バンドの場合より高い。

㋺ 添加モル比が2以下になると処理水の溶解性全リンが高くなる。

㋩ 添加モル比2以上でも溶解性全リンの値はバラついており，その下限は0.1 mg/ℓ 前後である。

㋥ 処理水のＳＳ性全リンは添加モル比を上げると低くなる傾向がある。

㊉ 流量カット前には㊀で述べたことはあてはまらない。

溶解性全リンについてはエアレーションタンク追跡調査の結果をみても0.1～0.7 mg/ℓ 流出しており Fe と未反応かもしくは Fe と反応しても非常に細かいフロックのままで流出したものと推定される。

MBASはFeを添加した方が悪い。MLSSは薬注系の方が高目であり，送気量は同じであるので両系列の差は Fe の添加によるものと推定される。

大腸菌群数はコントロール系とほとんど差がなく 10^3 個/cc のオーダーで検出されている。

硫酸第1鉄添加が処理水質へ及ぼす影響は次のようにまとめられる。

ⓐ リンの除去率が著しく向上する。

処理水に残留するリンは添加モル比2以上であれば全リン 0.2～0.7 mg/ℓ，溶解性全リン 0.1～0.4 mg/ℓ となっている。

ⓑ BOD，COD，大腸菌群の除去及び処理水の清澄感の向上にはほとんど効果がない。

ⓒ MBASの除去にはマイナスの効果を及ぼす。

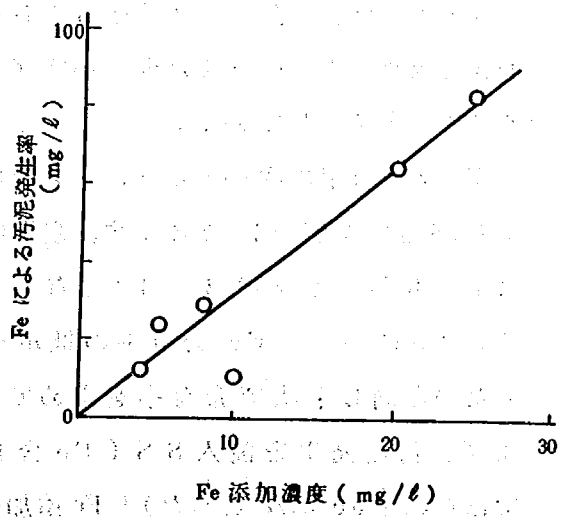
ⓓ 処理水が赤茶色に着色することはないが，時々白～白茶色の濁りが見られた。

D. 汚泥の性状及び発生量

汚泥のSVIは図－4－7（その1）に示すようにコントロール系と差がない。1979年の1月～3月にはコントロール系以上に高くなっており，バルキング状態であった。硫酸バンドを添加したときにはSVIが50～100と低く安定していたのに比べると硫酸第1鉄の添加は汚泥のSVIの改善に全く効果がないことが分かる。

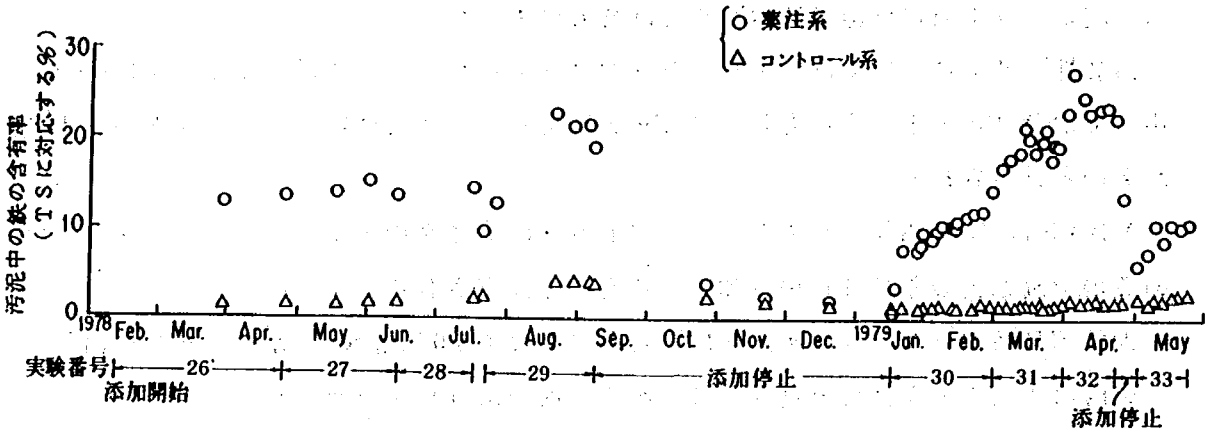
汚泥のVSS/SSは60～70％でコントロール系より10～20％低くなっている。無機分の多い汚泥となっているが汚泥の沈降性は改善されていない。

汚泥の発生量については硫酸バンドの場合と同じくFeの添加濃度とFe添加による汚泥発生率の関係を図－5－14に示した。1点を除きほぼ y（汚泥発生率）＝3.2・x（Fe添加濃度）の直線上に並んでおり，硫酸第1鉄の添加ではFeとして1kgの添加により汚泥が3.2kg発生していることが分かる。



図－5－14. Fe 添加濃度と汚泥の発生

実験期間中の汚泥中のFeの含有率（TS当り）の変化を図－5－15に示す。汚泥中の Fe の含有率はFeの添加量の他に汚泥に転換される物質（BODやSS）の量とのバランスから決定される。初沈流出水のBODとSS（濃度及び負荷）が比較的安定している1979年2月～5月の結果からFeの添加濃度と汚泥中のFe含有率の関係をみたのが図－5－16である。Fe の含有率は各実験期間の後半で値の安定した時期の結果を用いている。添加濃度ゼロの



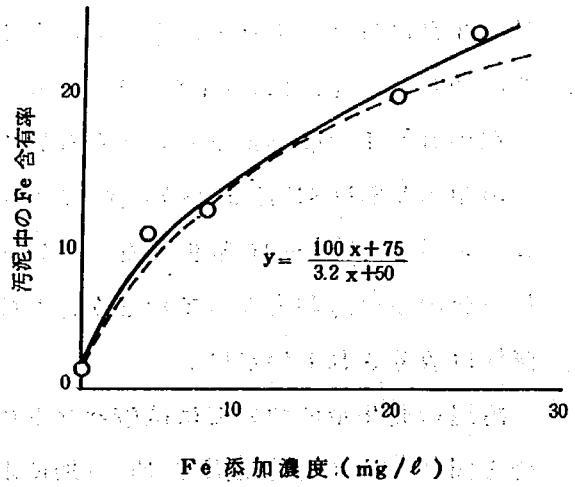
図－5－15.　汚泥のFeの含有率

ときの値を1.5％として4つの点を通る線を図中に示した。

Fe以外の要因の汚泥発生量を一定と仮定すると，汚泥中のFeの含有率はFe添加濃度により決定されることになる。そこでFe以外の要因による汚泥発生量を50 mg/ℓ(初沈流出水のSS濃度に相当)，Fe添加による汚泥発生をFe 1に対し3.2，Fe無添加のときの汚泥のFe含有率を1.5％で一定すると汚泥のFe含有率（y％）はFe添加濃度（x mg/ℓ）を用いて次のように表わせる。

$$y = \frac{100x + 75}{3.2x + 50} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(1)式による計算値を図－5－16に破線でプロットした。実測値とよく合っており，(1)式を求めるときに立てた仮定がほぼ妥当であることを示している。



図－5－16.　Fe添加濃度と汚泥中のFeの含有率

Feの含有率に次いで窒素，リンの含有率（SS当り)を図－4－7に示す。窒素は概ね7～8％，リンは2～4％となっている。リンについてFe含有率の推定を行ったのと同じ手法で含有率を求めてみた。まず，汚泥発生を流入SS（Fe含有率ではこれを50 mg/ℓとした)とFe添加の2つに分け，汚泥へのリンの取り込みは流入水の全リンと流出水の溶解性全リンの差に等しいとした。汚泥中のリンの含有率は流入SS量(SS)，Fe添加濃度(Fe)，リン除去量(ΔP)を用いると次のように表現できる。

$$\text{リン含有率}(\%) = \frac{\Delta P}{SS + 3.2 \times Fe} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

(2)式の計算値と実測値を比較したのが図－5－17である。この図をみると計算値が実測値より1％弱高くなっている。この差が何に起因しているかよく分からない。

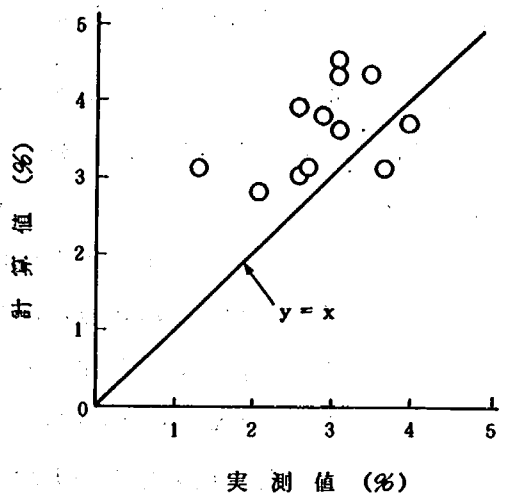
汚泥の性状及び発生量については次のようにまとめられる。

ⓐ 汚泥の沈降性を改善することはできない。

ⓑ Fe添加による汚泥発生量はFe 1 kg 当り 3.2 kgである。

ⓒ 汚泥中のFe含有率はFe添加濃度から推定することができる。

ⓓ 汚泥中のリン含有率については流入SS，Fe 添加濃度，リン除去量から(2)式で推定すると実測値よりやや高い値となる。この原因はよく分からない。



図－5－17.
汚泥中のリン含有率の試算

5.1.5 硫酸バンドの前エアレーションタンク添加実験

硫酸バンドを前エアレーションタンクに添加する実験は1977年6月から1978年1月までの7カ月にわたって実施した。実験の目的は硫酸バンドの添加により一次処理の除去機能がどのように変化するかを把握することにある。硫酸バンドの添加位置については最初沈殿池へ直接添加するのでは撹拌，凝集が不十分になると考え前エアレーションタンクへ添加した。施設の構造上薬注系の最初沈殿池のみに凝集剤を加える場合と，両系列に加える場合では前エアレーションタンクの撹拌時間に差がある。前者の場合（実験番号 No.20，21，22，25）は約5分，後者の場合（実験番号 No.23，24）は約14分となっている。添加方式は No.21 以外は流量比例で行い，No.21 で負荷比例注入の実験を行った。添加濃度は3mg/ℓと6mg/ℓ の2段階で比較を行った。調査の後半に初沈流出水にNaOHを加えてpH調整をしエアレーションタンクでの硝化を促進する実験を行った。この実験期間にはNH_4－Nと加水分解性リンの自動分析計が順調に稼動していたので，これらのデータを加えて処理機能を見て行こう。

A．最初沈殿池の処理機能

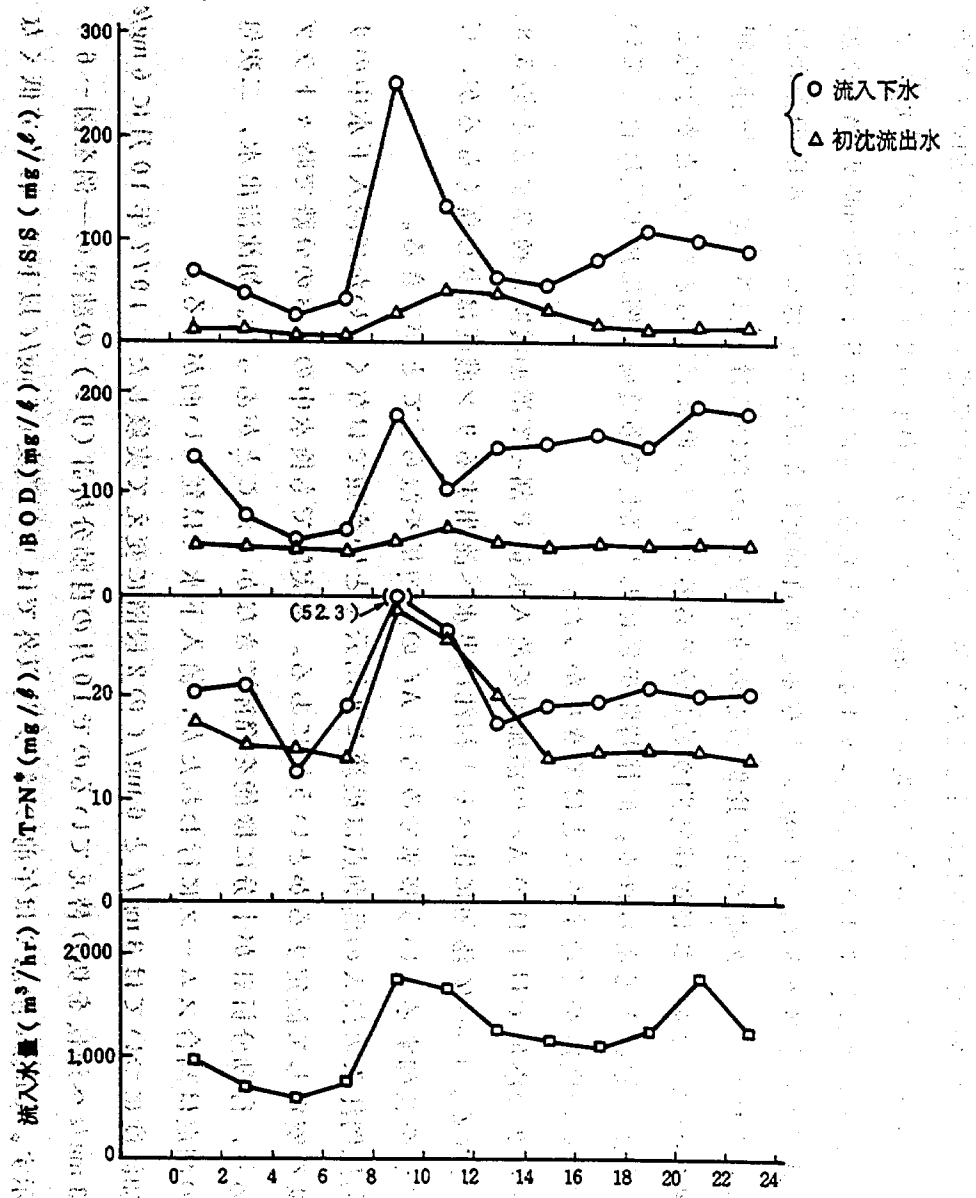
最初沈殿池へ添加する硫酸バンドがリンや有機物と反応してどのような挙動をとるかが本調査の最も主要なテーマである。流入水量の時間変動の中でどのように処理が行われたかについて24時間調査の結果を紹介する。図－6－1に流入下水と初沈流出水の水量，SS，BOD，T－N，全リン，溶解性全リン，アルカリ度，Aℓの時間変動を示す。初沈流出水中のAℓをみると9時～11時の流入水量ピーク時の影響を受け9～13時には2mg/ℓ以上のAℓが流出しているが，それ以外の時間帯では概ね1mg/ℓ 以下となっている。夜間の水量の少ない時間帯にはAℓの流出も0.25mg/ℓ以下とかなり低くなる。リンの除去ではまずAℓと溶解性全リンとの反応が問題となるが，初沈流出水の溶解性全リンは9時～13時に0.5～1.5mg/ℓと高くなるのを除くと0.2mg/ℓ以下とかなり低い。流入下水の溶解性全リンのピークは9時，初沈流出水は11時と2時間程ズレている。浮遊性全リンも含めた全リンの挙動をみると，初沈流出水では9時～17時に1mg/ℓを超えているが，それ以外の時間帯では1mg/ℓ以下となっている。ピークの時間は溶解性全リンとほぼ同じである。これらの結果から次のことが指摘できる。

㋑ 9時～11時に流入したリンには一部にAℓと未反応のリンがあり，溶解性全リンとして流出している。

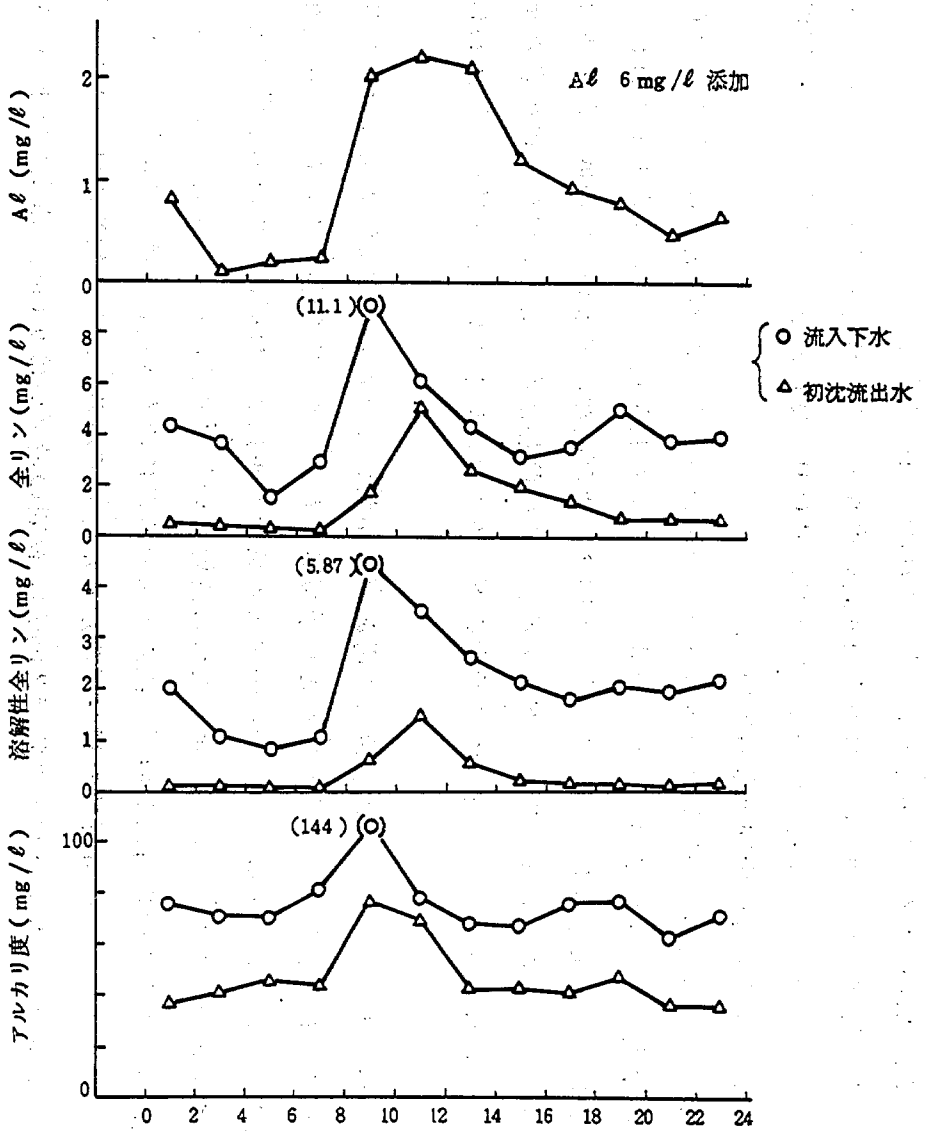
㋺ 水量のピークとして9時～11時と21時のピークは同じ水量であるが，後者では初沈流出水へのAℓやリンの流出は見られない。この差は流入下水のリン濃度の差及びピーク継続時間の差によるものと推定される。

㋩ 9時～11時には水量と濃度のピークが重なってくるため流入水量比例で添加しているAℓでは量が不足しているものと思われる。

Aℓ，リンの他の項目をみるとSS，BODで除去率が各々78，64%とかなり高い。窒素は除去率25%とあまりよくないが，硫酸バンド無添加のときと比べると少し良くなっている。



図－6－1. 流入下水及び初沈流出水の時間変動
(前エアタンへAℓ添加，その1)(1977.9)



図－6－1. 流入下水及び初沈流出水の時間変動
(前エアタンへAℓ添加，その2)(1977.9)

アルカリ度は初沈流出水の方が流入下水より30mg/ℓ前後低くなっている。

流入下水の時間変動と初沈流出水の時間変動を比較すると，除去率の低い窒素ではかなりシャープに前者の変動が後者に伝わっているが，ＢＯＤでは流入下水の変動はかなり緩和されている。ＳＳは両者の中間となっている。

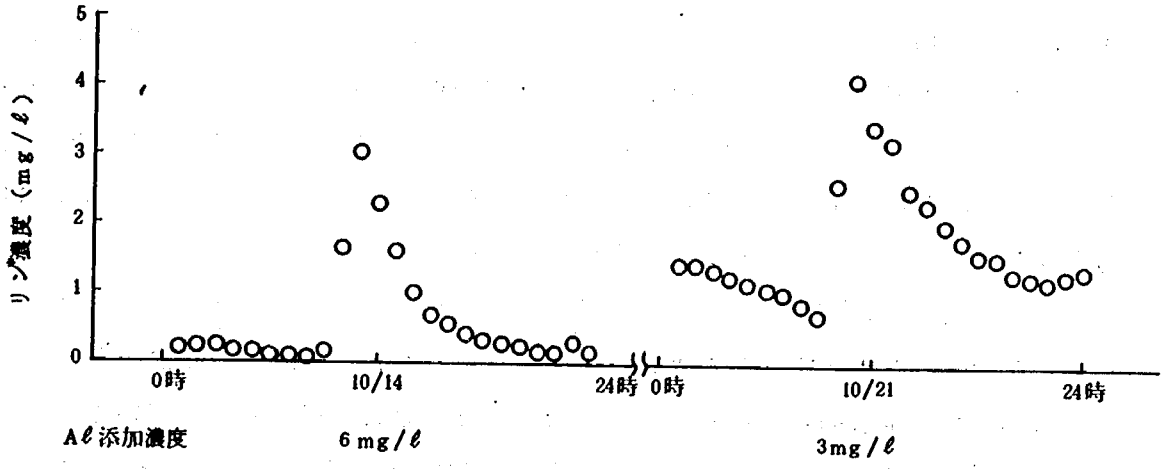
図－６－１の結果から一次処理で硫酸バンドを用いることがリン除去だけでなく，ＢＯＤやＳＳの除去の面でも効果のあることが分かった。また問題点としては流入下水の負荷の激しい変動に合わせて添加量を制御する手段の開発，及び初沈流出水の負荷の低下とアルカリ度の減少が二次処理へ及ぼす影響などがある。Aℓの添加濃度を決める場合には後者が重要になり，どの程度までリンや有機物の濃度を下げるのがよいかという別の問いに答えねばならない。

Aℓの添加方式については添加位置や汚泥返送がないことから，定量注入よりは流量比例，流量比例よりは負荷比例が望ましいことが予想された。そこで実験番号２１で負荷比例注入による実験を行った。6mg/ℓの流量比例注入と添加モル比２の負荷比例注入の結果は図－２－２にすでに示しておいた。図に示したのは溶解性の加水分解性リンの経時変化であり，負荷比例注入をする際の負荷はこの図の流入下水の結果に流入水量をかけて算出している。なおこのリンは連続式自動分析計を用いて測定したものである。図から初沈流出水のリン濃度をみると6 mg/ℓ 添加ではピーク時で2mg/ℓ，夜間の最低値は0.1mg/ℓ以下まで下がっているが，モル比２の添加ではピーク時が2mg/ℓ前後，夜間の最低値は0.02～0.43mg/ℓとなっている。ピーク時の値は両者ほぼ同じであるが，負荷の低い時間帯では6mg/ℓ添加の方が値が低い。6mg/ℓ添加でピーク時（流入リン5mg/ℓとする）と低負荷時（流入リン1.5mg/ℓとする）との添加モル比を計算すると各々1.4，4.6となる。逆にモル比２の添加時のAℓ添加濃度を計算すると各々8.7，2.6mg/ℓとなる。低負荷時に差が出るのはこのモル比の差が原因と考えられる。ピーク時に負荷比例添加の効果がみられないのは予想外であり，撹拌時間の不足（図－２－２の実験は撹拌時間が約５分であるがピーク時にはもっと短いことが予想される）が主な原因と考えられる。撹拌時間を延ばした条件での負荷比例添加実験は行っていないのでこの推定を確認することはできなかった。

モル比２の添加では１日のAℓの添加量を流入水量で割って添加濃度に換算すると約3.8mg/ℓとなる。6mg/ℓ添加に比べると初沈流出水へ流出するリン濃度は少し高くなるが，ピークの値を制御するという基準でみるとAℓの添加量を減らすことができる。

負荷比例注入の最大の問題点は最適モル比云々という類ではなく，いかに流入下水中のリン濃度を安定して測定するかという所にある。本実験でも検水中のＳＳの分離で時々トラブルがあり，自動分析計が十分に機能を発揮できなかったことがあった。初沈流出水，二次処理水の測定は割合スムースに行われたが，流入下水では難しい面がある。

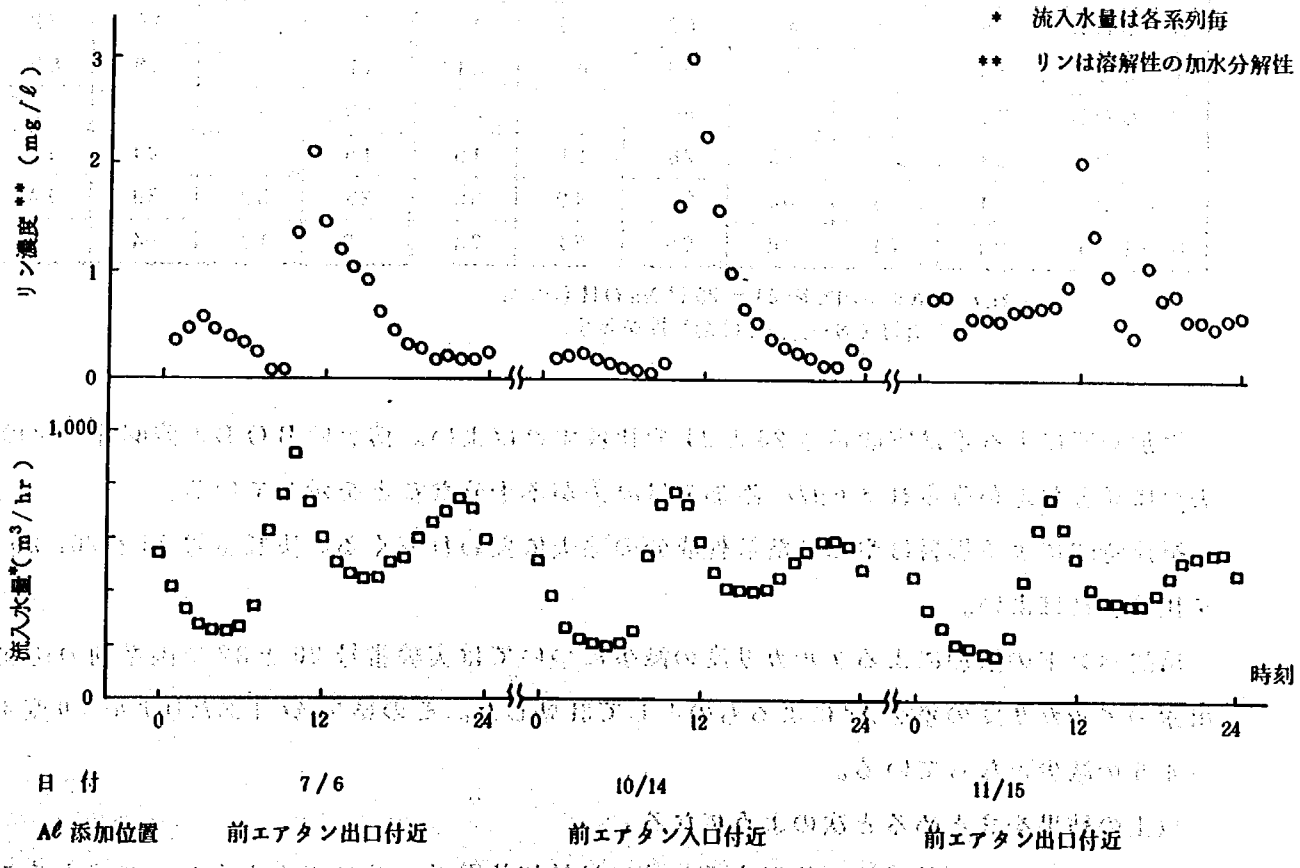
添加濃度については3mg/ℓと6mg/ℓの２段階に変えて実験した。1977年10月に6mg/ℓから3mg/ℓへ運転を切り替えているので10月の自動分析計（リン）の結果の一例を図－６－２に示す。6mg/ℓ添加では午前のピーク時以外ではリン濃度0.5mg/ℓ以下できわめて低くな



図－6－2.　初沈流出水のリン濃度に及ぼすAℓ添加濃度の影響
（Aℓ，前エアタン添加）

っているが，3 mg/ℓ添加では明け方のわずかの間を除いてリンが1 mg/ℓ以上になっている。ピーク時の値も6 mg/ℓ添加の方が低い。図－6－2の結果はAℓの添加濃度が低いとリンの流出が多くなること，またピーク時に合わせた添加量の制御をすれば最初沈殿池でリンをほとんど除去できる可能性のあることを示唆している。

負荷比例注入の所で撹拌時間について触れたが，6 mg/ℓ添加の実験で硫酸バンドの添加位置を変えたときのデータを得ている。実験をした時期は4カ月ほどズレていて流入負荷が変わっている恐れはあるが，図－6－3に初沈流出水のリン濃度と流入水量の1日の変化を示す。



図－6－3.　撹拌時間が最初沈殿池のリン除去に及ぼす影響
（Aℓ添加濃度は全て6 mg/ℓ，7/6はNaOH無添加）

10月14日と11月15日の結果は水量，時期の点で似たデータであるが低負荷時のリン濃度をみると後者の方が高くなっている。7月6日と10月14日を比べると，前者の方がやや高い時間帯がある（午前0時～6時）。これらの結果から本実験では前エアタン出口付近での添加では撹拌時間が不十分であり，前エアタンの入口付近で添加する（撹拌時間は10～30分）方がリンとの反応にとって効果があることが分かる。

次に24時間の混合試料による結果（表－5参照）を基に議論を進めよう。実験番号20～25において硫酸バンドを添加したときとしないときとで最初沈殿池の除去率がどう違うかを表－8に示した。全般的に硫酸バンドを添加した方が除去率が高くなっている。その中で特に溶解性成分の除去率の向上が著しい。例えばBODでは無添加で34～58％，Aℓ添加では53～66％となるのに対し，溶解性BODでは16～22％が36～66％と上昇しており，Aℓが溶解性成分の除去に寄与していることが分かる。リンについても同様である。これらの事実は初沈流出水の透明感が向上した（注：どんよりと濁っているのではなくさらっとした感じになる）ことからも裏付けられよう。濁りの原因とみられるコロイド状の物質が硫酸バンドで凝集除去されたためと思う。

表－8. 最初沈殿池の除去率（％）

項目＼実験番号	Aℓ添加						Aℓ無添加			
	20	21	22	23*	24*	25*	20	21	22	25
SS	－	63	70	85	63	64	69	75	67	60
T－BOD	63		66	61	59	53	44		58	34
S－BOD	66		49	62	36	48	23		16	22
T－COD	50		59	56	48	81	41		48	65
S－COD	33			56			19			
K－N	23		30	26	21	19	16		24	13
T－P	51	43	54	64	40	56	23	32	29	14
S－T－P	84	74	86	95	71	74	2	13	－4	8

注）Aℓ添加でNo.23～25はNaOHも添加
項目でS－～～は溶解性を示す。

添加濃度による差は実験番号23と24で比較すればよい。溶解性BODと溶解性リンの除去率に顕著な差がみられ3 mg/ℓ添加では凝集が不十分なことを示している。

撹拌時間による影響はやはり溶解性成分の除去に現われてくる。実験番号23と20，25とを比較すればよい。

硫酸バンドの添加によるアルカリ度の減少については実験番号20と22で両系列の初沈流出水のアルカリ度の差をAℓによるものとして計算した。その結果Aℓ1あたりアルカリ度4.0～4.5の減少となっている。

以上の結果をまとめると次のようになる。

① 硫酸バンドを効果的に使用するためには最初沈殿池の前で下水と十分に撹拌することが必要であり，撹拌が不十分だと溶解性成分が流出しやすくなる。

㋺ 硫酸バンドを利用することにより最初沈殿池での除去機能を向上させることができる。特に溶解性成分（1 μの沪紙による分画）の除去に効果がある。

㋩ リンの除去についてみた場合，流入下水の負荷の影響を強く受けるため，流量比例による添加ではピーク時に未反応で流出するリンが増える。

b. 二次処理への影響

一次処理で硫酸バンドを添加することが二次処理へ及ぼす影響としては次の2点があげられる。

① エアレーションタンクへの流入負荷が軽くなることにより低負荷運転となる。

② 初沈流出水のアルカリ度が低くなるためpHが下がりやすくなる。

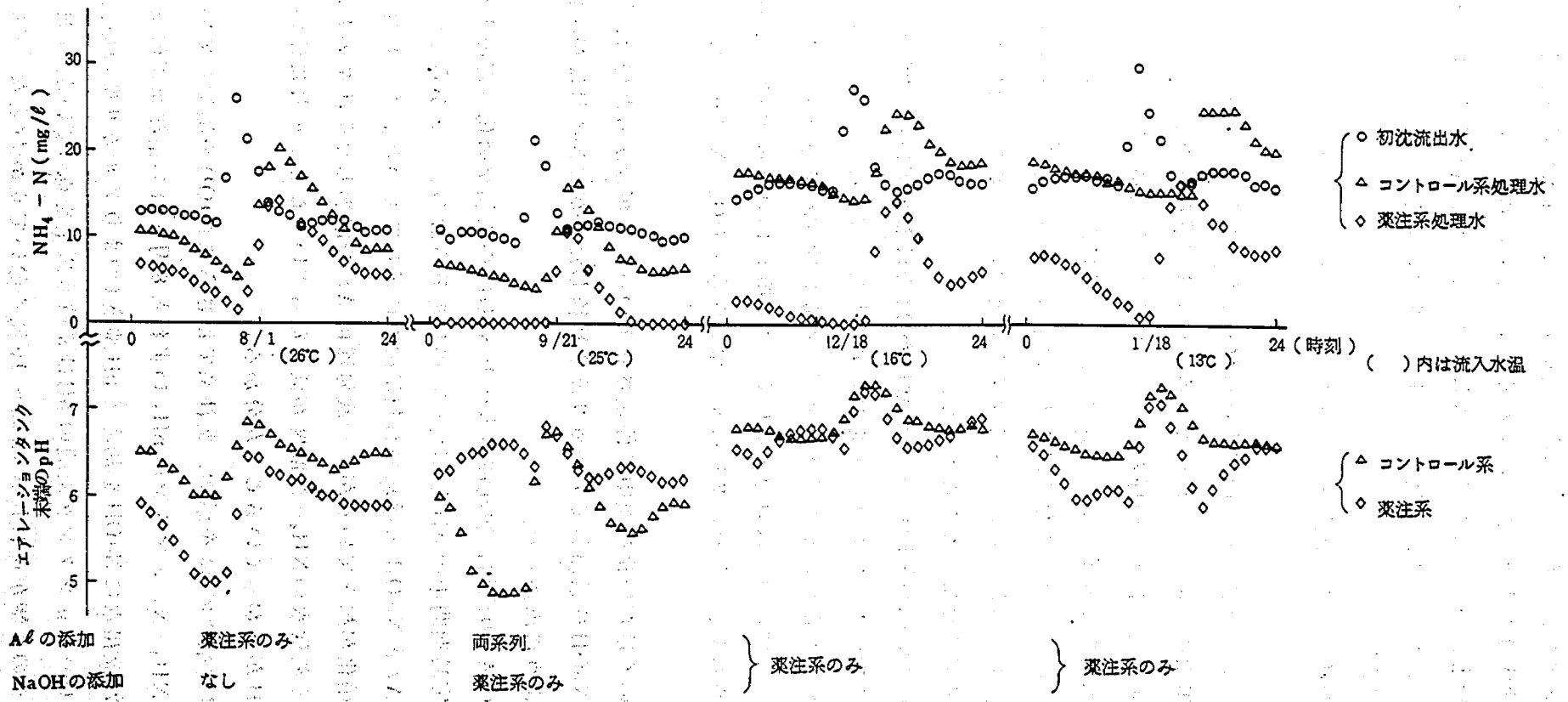
①,② のいずれも硝化と深い係わりをもってくる。低負荷運転の結果余剰汚泥の発生量が少なくなり，汚泥のＳＲＴがかなり伸びた。秋～冬にかけての実験番号25においても12日という値が得られており，硝化を起こすには十分の長さである。硝化が起きるとアルカリ度が減少するため②の点は硝化にとってマイナスとなる。そこで二次処理への影響については硝化に焦点をあてて見ていくこととする。

実験番号20ではまだ硝化はおきていないが22ではおきている。22では処理水のアルカリ度が13mg/ℓまで低下しており硝化を促進する上で障害となっている。処理水の酸化態窒素の中でNO_2－N濃度が高いことは運転上でどこかに問題があると予想された。エアレーションタンクの運転条件の中ではＤＯの低いこと（末端で1mg/ℓ前後）が分かり実験番号23からは送気量を増やして運転した。23～25では処理水のNO_2－Nは0.1mg/ℓ以下と極めて低くなっている。

アルカリ度の不足が硝化を途中で停止させていることが分かったので，実験番号23からは初沈流出水にNaOHを添加してアルカリ度を補給した。なおNaOHは初沈流出水のpHが8.7～9.0になるように添加した。

一次処理へのAℓの添加，初沈流出水へのNaOHの添加が硝化へどのような影響をもたらすかについて実験期間中のpHとNH_4－Nの自動分析計のデータからその一部を図－6－4に紹介する。AℓとNaOHの添加の有無は図中に示しておいた。まず8月1日の結果をみると両系列とも硝化が起きているが，一次処理にAℓを添加した薬注系の方がコントロール系より硝化が進み処理水のNH_4－N濃度が低くなっていること，それに伴いエアレーションタンク末端のpHが下がっていることが分かる。

9月21日は両系列にAℓを添加，薬注系ではさらにNaOHを添加している。コントロール系は処理水のNH_4－N，エアタンのpH，いずれも8月1日の薬注系に似た挙動を示している。薬注系では初沈流出水にNaOHを加えてpH調整（つまりアルカリ度の補給）を行っている。このためエアレーションタンク末端のpHは常時6以上を保っている。処理水のNH_4－Nは午前の流入ピークの影響が現われる12時～19時を除いて0mg/ℓとなっている。処理水のピークは10mg/ℓ前後で，このピークが日平均ないし混合試料の値を高めている。初沈流出水のNH_4－Nはピークは午前中の1つだけで，その他の時間帯ではほとんど変動がない。水量の



図－6－4. 一次処理へのAℓの添加，初沈流出水へのNaOH添加が硝化に及ぼす影響

ピークと重なってエアレーションタンクには大きな負荷となる。水量の多いことはエアレーションタンクの滞留時間のみならずMLSSをも小さくする（注：汚泥返送量は定量）ために流入負荷の面でも，それを受けるエアレーションタンクでもかなり厳しい条件となる。その結果が9月21日の図に表われている。100％ 硝化を達成するためには流入水量の平滑化ないしは一部カットが必要になる。

12月18日と1月18日の結果は水温の低下と流入濃度の上昇が硝化にどのような影響をもたらすかについて示したものである。コントロール系は一次処理へのAℓの添加を停止したのと水温が低下したことのため硝化はほとんど起きていない。薬注系ではかなり硝化がおきているが，処理水のNH_4－Nが1mg/ℓ以下になる時間は12月18日で8時間，1月18日ではわずかに1時間となり，9月21日の結果に比べるとかなり短くなっている。pHの図をみるとpHが硝化を阻害したとは考えられず，流入濃度の上昇と水温の低下が処理水に残留するNH_4－N濃度を高めたものと思われる。このことはエアレーションタンクの滞留時間をもう少し長くとれば冬季でも9月21日型の硝化に近づけられることを示している。

NaOHの添加量は12月18日，1月18日で各々43，27mg/ℓ（流入水量当りのNaOHの量として換算，なお9月21日はデータなし)でアルカリ度として各々54，34mg/ℓ補給したことになる。

蛇足ながら本実験ではエアレーションタンクの滞留時間が3～4時間（日間水量に対し）のため一次処理で硫酸バンドを使い，エアレーションタンクへの負荷を軽くすることで硝化を可能にし，NaOHを用いることで硝化を促進することができたわけであるが，エアレーションタンクに余裕があり，SRTをある程度長く（冬季で10日以上）とれる場合にはpH調整のみが問題となる。

次に他の処理水質についてみよう。

透視度はよくない。硫酸バンドをエアレーションタンクに添加したときのような清澄感はみられない。これは初沈流出水が硫酸バンドの添加で非常に透明感が出てきたのと好対照である。

BOD，CODの値はコントロール系よりやや低くなっている。硝化がおきているためSSが高くなるとBODに影響しやすい。SSが10mg/ℓをこえるときはBODが高くなっており，SSの流出を抑えることが本法の運転上大きなポイントとなる。CODは図－4－10をみると初沈流出水の値が低くなっているにも拘らず75％前後の除去率が得られている。

1977年10月～12月の処理水CODの値は硫酸バンドをエアレーションタンクに添加したときの最も良好なときの結果に匹敵している。負荷を下げSRTを長くし，かつ硝化によるpH低下をNaOHの添加で補ったということがCODの除去に効果のあったものと思われる。

処理水のリンはエアレーションタンク添加より高目である。処理水の溶解性全リンは0.09～0.56mg/ℓ，全リンは0.34～1.20mg/ℓで，コントロール系処理水と比べるとかなり低くなっているが，エアレーションタンク添加時と比べると全リン，溶解性全リンともやや高い。

窒素については除去率はコントロール系やエアレーションタンク添加のときとほとんどか

わらない。

続いて汚泥の性状について簡単に触れておく。SVIは60～75とかなり低く安定している。VSS/SSは65～75％でエアレーションタンクにAℓを添加したときの汚泥と比べると少し高いがコントロール系の汚泥と比べると10％前後低い。毎年12月～1月にはコントロール系では80～85％まで上がるが，本実験では80％以下になっている。

SVIが低く，VSS/SSも低いこと及び処理水の透明度が低く濁りがちであることを合わせて考えると，沈降分離性は良いが細かいフロックの流出しやすい汚泥であることが想像される。汚泥のN含有率は6～7％で大体一定，P含有率は1～4％で実験期間中にしだいに低下している。

c. 汚泥発生量

一次処理に硫酸バンドを添加した場合にはコントロール系の汚泥発生とは異なることが予想される。本調査でも初沈汚泥引抜管と余剰汚泥引抜管に設置した電磁流量計と超音波汚泥濃度計を用いて引抜量を連続記録している。余剰汚泥は濃度の変化が激しくなく引抜量が割合容易に算出できるのに比べ，初沈汚泥は図－3－33に示すように一回の引抜のうちでもかなり濃度がかわり，また1日数回の引抜毎に濃度が変化している。このため初沈汚泥の引抜量の算定にはかなり誤差を覚悟せねばならない。また，SSの測定についても処理水や初沈流出水に比べると流入下水では試料採取に関してバラつきが大きい（注：粗大物の混入，土砂の流入等により異常値が出やすい）。そこでSS収支をとることはあきらめ同一の期間にコントロール系に比べてどれだけ汚泥発生量が増えるかという観点から検討することとした。対象としては実験番号22（Aℓとして6mg/ℓ添加）を取り上げた。結果を表－9に示す。これを見るとAℓ1kg当り3.2kgのSSが増えていることが分かる。この値はエアレーションタンク添加のときの4.8と比べるとかなり小さい。この原因としては実験番号22では硫酸バンド添加後の撹拌不足が考えられ，凝集不十分のまま流出したAℓ（SSとして測定されないもの）が少なからず存在したのではないかと思う。撹拌を十分に与え，よく凝集させた場合には単位Aℓ当りのSS生成量はもう少し高くなると予想される。

表－9. 最初沈殿池の汚泥発生量の比較

（1977．7．27～8．14）

（汚泥量は流入水量当りのSS濃度に換算）

	コントロール系	硫酸バンド添加（Aℓ 6mg/ℓ添加）
初沈引抜汚泥（mg/ℓ）	59	85
初沈流出SS（〃）	53	46
合　計	112	131

Aℓ添加による増加分＝19（Aℓ1当り3.2）

余剰汚泥は上記の表－4の期間に合わせて結果を示すことはできるが，上記の実験期間は両系列とも余剰引抜量が他の期間に比べて少し異なった値を示している。薬注系では初沈流出水の負荷軽減に対応して余剰引抜量を減らせばよかったのであるが，それに気づくのが少し遅れたため1977年7月の前半に引抜き過ぎ，後半には汚泥の貯め込みを図ったため引抜量はアンバランスとなっている。表－9の期間（7/27～8/14）では引抜きがやや少ない。コントロール系では逆に他の期間及び1年間の同じ季節に比べても引抜量が大きくなっている。

この原因は分からない。

余剰汚泥の引抜きが安定した実験番号23～25の結果について考えてみよう。エアレーションタンクにおけるＳＳ収支を表－10に示す。水質分析一覧表（表－5）の値と少し異なっているのは定期採水以外のＳＳの測定値をも加えたためである。表－10を見ると流入ＳＳに対する発生汚泥量の割合は90～100％となっている。薬注系の23では発生汚泥量は流入ＳＳの約半分で，全実験中で発生汚泥量及び$\frac{\text{発生汚泥量}}{\text{流入SS量}}$の比が最も小さかった。本実験のような低負荷運転では発生汚泥量の目安として流入ＳＳ量を考えておけばよいことが分かる。

表－10. エアレーションタンクのSS収支

（1977．9～1978．1）

（汚泥量は流入水量当りのSS濃度に換算）

	コントロール系			薬注系		
実験番号	23	24	25	23	24	25
流入SS (mg/ℓ)	27	46	54	27	46	52
余剰引抜（〃）	14	39	21	8	39	19
流出SS（〃）	8	6	30	6	6	27
発生汚泥*（〃）	22	45	51	14	45	46

* 発生汚泥＝余剰引抜＋流出SS

実験でＳＲＴが長くとれたのは流入ＳＳの減少による汚泥発生量の低下と，汚泥の沈降性が良くなることにより高ＭＬＳＳ運転が可能になったことが原因と考えられる。

5.2 京都パイロットプラントの調査結果の詳細

京都パイロットプラントの実験期間中の運転条件を表－11，初沈流出水と処理水の水質を表－12に示した。なお凝集剤の効果をみるため凝集剤無添加の結果として京都市鳥羽下水処理場E系列（注：パイロットプラントの流入水と同じ水を原水としている。以下，実プラントと称

表－11. 実プラントとパイロットプラントの運転条件

	パイロットプラント				実プラント			
実験区分	I	II	III	IV	I	II	III	IV
実験期間	5/8～7/29	7/30～10/25	1/8～2/10	2/19～4/26	5月～7月	8月～10月	1月～2月	3月～4月
流入水量 (m³/日)	300	400	300	300	69,550	70,920	66,450	68,930
エアレーションタンク滞留時間(hrs)	8	6	8	8	8.0	8.8	9.4	9.0
返送汚泥率 (%)	25	25	25	25	20	20	25	25
余剰汚泥率 (%)	1.3	1.5	2.0	2.0	2.2	1.3	1.7	2.0
エアレーションタンク水温 (°C)	21.3～27.9	22.5～28.1	14.9～17.0	16.2～20.4	20.7～25.2	23.2～26.8	16.3～17.1	17.9～19.5
SV (%)	13	13	14	14	10	12	16	13
MLSS (mg/ℓ)	1,281	1,209	1,148	1,502	698	953	1,106	1,182
SVI	103	111	116	97	137	125	141	105
空気倍率	9.5	7.5	9.8	10.5	4.8	4.3	5.3	5.5
SRT (日)	4.7	3.5	3.1	3.2	—	—	—	—
BOD・SS負荷 (kg/kg日)	0.20	0.24	0.27	0.21	0.33	0.20	0.26	0.22
終沈滞留時間 (hrs)	4	3	4	4	3.9	3.9	4.1	4.0
終沈水面積負荷 (m³/m²・日)	16.9	22.5	16.9	16.9	24.2	24.6	23.1	23.9
Aℓ添加濃度 (mg/ℓ)	6	6	6	4	0	0	0	0

注） 滞留時間はいずれも流入水量から算定したもの。

表－12. 流入水質と処理水質

(単位はmg/ℓ)

	パイロットプラント								実プラント							
実験区分	I		II		III		IV		I		II		III		IV	
	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水	初沈流出	処理水
BOD	81.8	11.6	71.0	6.1	103	12.6	102	10.6	81.8	10.3	7.1	10.7	111	13.5	93.2	10.9
ATU-BOD	—	7.6	—	—	—	10.5	—	8.4	—	7.2	—	—	—	11.3	—	7.8
T-COD	61.7	20.1	58.0	18.6	78.5	30.1	82.5	27.8	61.7	23.5	58.0	23.4	81.0	30.5	79.6	28.5
S-COD	41.8	16.0	36.5	15.4	52.3	23.1	48.9	23.3	41.8	21.8	36.5	20.3	53.4	27.3	47.0	25.0
T-TOC	58.3	13.4	55.3	12.0	79.8	27.6	86.7	21.6	58.3	16.4	55.3	15.3	88.3	29.0	79.8	20.8
S-TOC	35.4	9.7	31.3	8.8	51.9	15.8	43.4	15.5	35.4	12.8	31.3	12.5	52.1	19.4	41.1	16.9
SS	66.8	13.3	53.2	8.0	66.7	26.4	87.1	13.4	66.8	4.1	53.2	5.8	77.5	9.1	74.9	7.2
T-P	3.22	0.47	2.85	0.35	3.16	0.87	3.89	1.05	3.22	1.18	2.85	1.34	3.51	1.46	3.72	1.39
S-T-P	2.09	0.12	85	0.13	2.15	0.23	2.64	0.65	2.09	1.07	1.85	1.21	2.28	1.23	2.64	1.22
K-N	24.3	13.8	21.0	11.6	24.7	19.2	28.1	21.8	24.3	13.7	21.0	12.7	26.1	17.2	27.7	19.6
NH_4-N	16.8	11.6	15.5	11.0	16.8	15.9	19.0	19.6	16.8	12.0	15.5	10.5	17.6	14.6	18.9	17.1
NO_2-N	—	0.52	—	0.99	—	0.08	—	0.11	—	0.57	—	0.59	—	0.13	—	0.09
NO_3-N	—	2.16	—	1.51	—	0.30	—	0.21	—	1.14	—	0.71	—	0.18	—	0.10
アルカリ度	141	77	144	84	167	123	176	126	141	121	144	119	173	152	173	153
PH	7.1～7.8	6.9～7.5	7.2～7.7	6.8～7.3	7.6～7.9	7.5～7.6	7.6～7.8	7.3～7.7	7.1～7.8	7.1～7.8	7.2～7.7	7.1～7.6	7.6～8.0	7.4～7.6	7.6～7.8	7.3～7.5

注） S－は溶解性を示す。

す）の測定値を用いた。初沈流出水と両処理水及びパイロットプラントの汚泥については土研でデータをとり，実プラントの汚泥については京都市の測定結果を引用した。

パイロットプラントはその運転条件から4つの期間に分けられる。実験Ⅰ～ⅢはAℓの添加濃度が6 mg/ℓ，実験Ⅳは4 mg/ℓである。実験Ⅱで流入水量を増やしたのは夏季に流入負荷が低くなったためである。実プラントは1年を通じて運転条件の大幅な変更はない。実プラントのデータは月単位にまとめられているのでパイロットプラントの実験期間とは完全には一致しないが，パイロットプラントに合わせてⅠ～Ⅳの期間に分けた。

表－11，表－12 の結果に基づいて処理状況について考察を行った。

凝集剤無添加の実プラントの結果をみると処理水のＳＳが低いこと，実験Ⅰで少し硝化が起きた他はほとんど硝化が起きていないこと，その結果BODが10 mg/ℓ強で安定していることが指摘できる。これは標準法の運転の典型的な結果といえよう。窒素の除去率は29～37％（平均34％），リンの除去率は53～63（平均59％）となっており，リンの除去率は西山処理場での結果に比べるとかなり高い。ＣＯＤについては工場廃水の混入の影響で処理水の値が23～31 mg/ℓと高くなっている。また，除去率では60～64％で西山処理場の結果と比べるとやや低い。

これらの結果に対して硫酸バンドを添加した場合，処理がどのように変化するかについては次のようにまとめられる。

イ．処理水中のＳＳは実プラントよりやや高い。ＳＶＩはパイロットプラントの汚泥の方が低く，ＳＶは両者ほぼ等しいが，ＳＳの流出ではパイロットプラントの方が高い。パイロットプラントでは空気倍率が7.5～10.5と実プラントの倍近くなっている。このため汚泥がせん断されて処理水のＳＳが高くなったのではないかと考えられる。

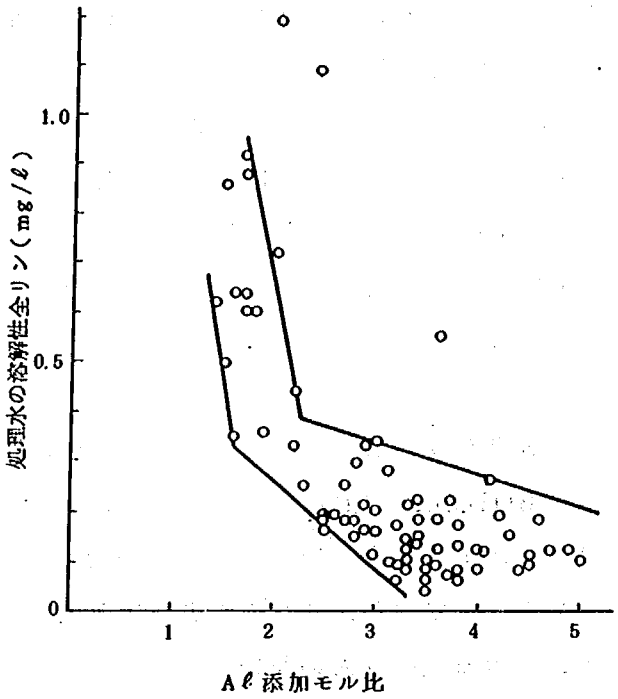
ＳＳの差は他の処理水質に少なからず影響を及ぼしており，実プラントに有利な結果となっている。

ロ．ＢＯＤの除去は良好に行われており，処理水の値は6.1～13 mg/ℓと凝集剤無添加と同じような値となっている。ATU－BODをみるとBODとの差はわずかで硝化によるBODは少ないと思われる。

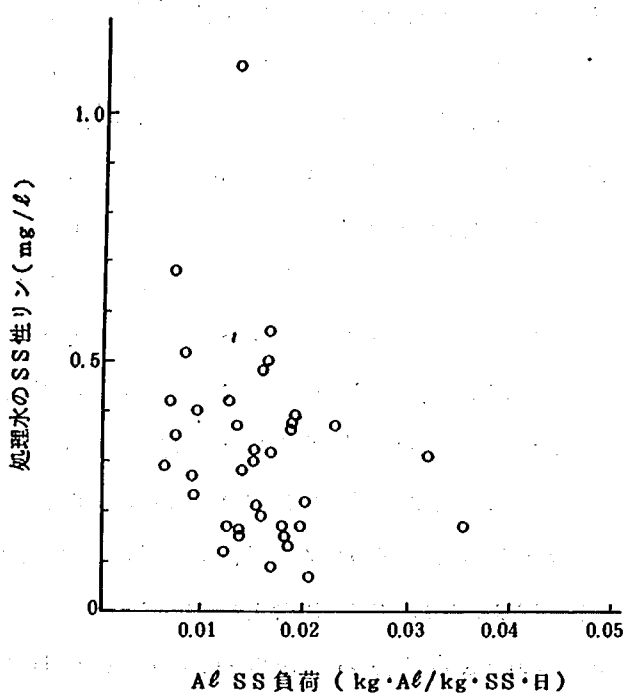
ハ．ＣＯＤの除去率は62～68％で実プラントよりやや高くなっている。これは溶解性ＣＯＤの除去向上による所が大きい。処理水の溶解性CODはAℓ 6 mg/ℓ添加では4～6 mg/ℓ，4 mg/ℓ添加では2 mg/ℓ弱各々実プラントの値より低くなっている。処理水へのＳＳの流出を実プラント並みに抑えるとＣＯＤの除去率はもう少し高くできる。

ニ．リンの除去については凝集剤添加の効果がはっきり現われている。この効果は溶解性リンの除去に顕著にみられる。図－7－1にAℓの添加モル比と処理水の溶解性全リンの関係を示した。添加モル比2.5以上では処理水の溶解性全リンが0.3 mg/ℓ以下となっている。また処理水の溶解性全リンの下限値は0.05 mg/ℓである。添加モル比，溶解性全リンの下限値のいずれも西山処理場での実験に比べると少し高くなっている。

処理水中のリンのうち溶解性の占める割合は実プラントでは90％弱であるのに対し，パ



図－7－1. Aℓ添加モル比と処理水の溶解性全リン（京都パイロットプラント）

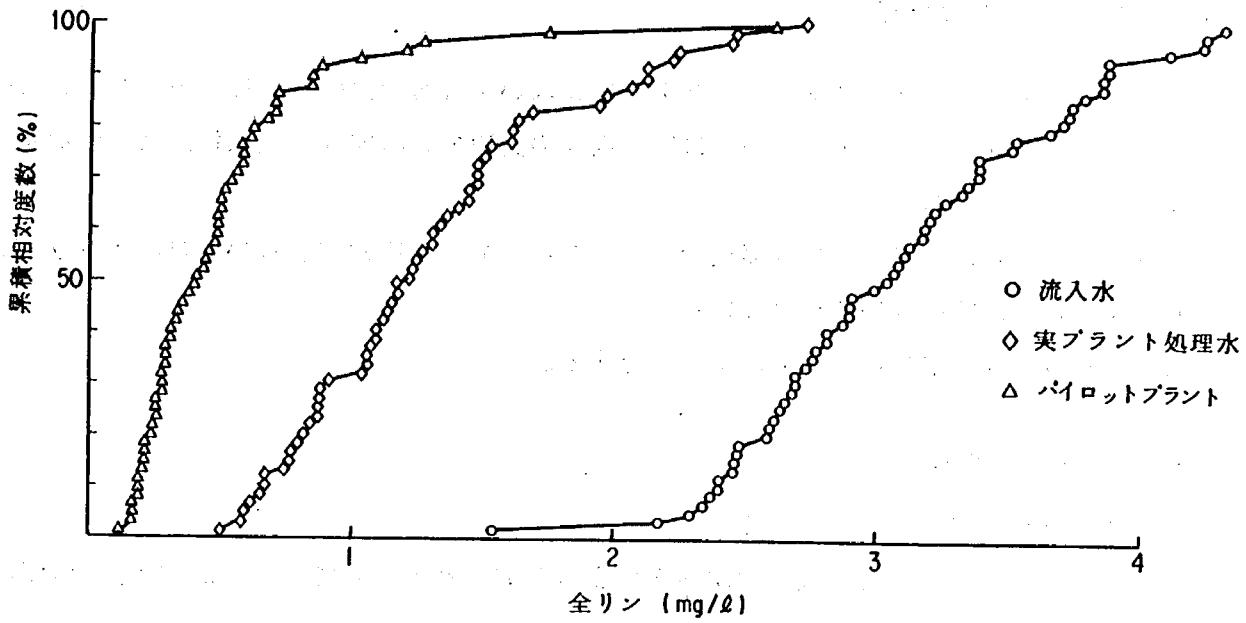


図－7－2. Aℓ・SS負荷と処理水のSS性リン（京都パイロットプラント）

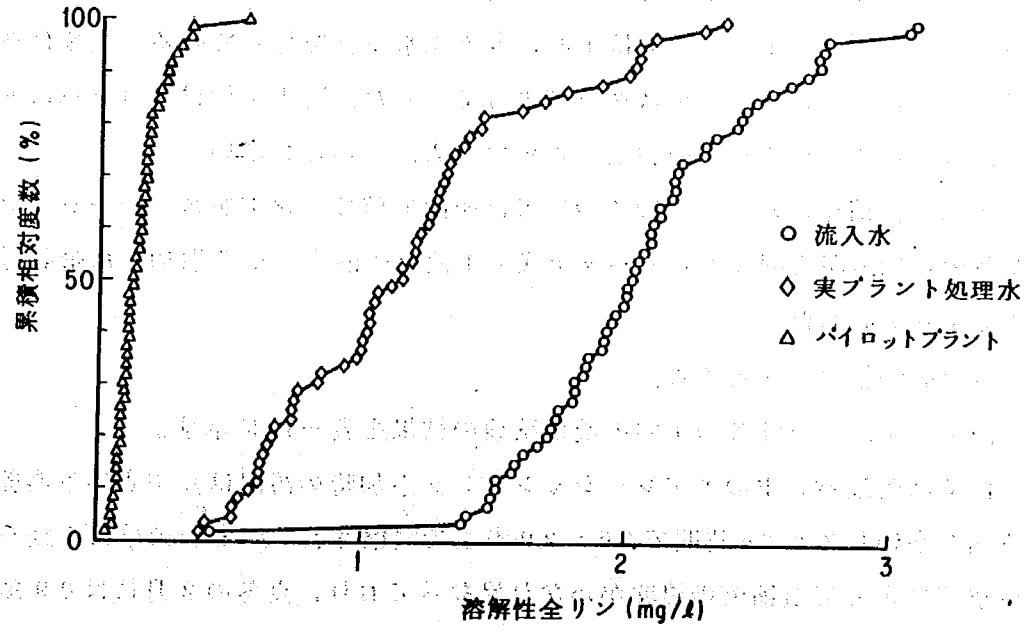
イロットプラントではAℓ 6 mg/ℓ添加では30％，4 mg/ℓ添加では60％となっている。凝集剤を添加した場合にはSSの流出に伴うリンの流出が処理水のリン濃度を高めていることが分かる。

処理水のSS由来のリンに影響を及ぼす因子としてAℓ・SS負荷を取り上げ両者の関係を図－7－2に示した。両者は負の相関があるが，西山の結果に比べるとかなりバラついており，処理水のSS性リンの高さはAℓ・SS負荷だけでなく他の要因を受けていることが予想される。

リンの除去について長期間における変化を把握するため，Aℓを6 mg/ℓ添加した実験（実験Ⅰ～Ⅲ）における処理水のリンの累積相対度数を図－7－3，図－7－4に示す。これはパイロットプラント実験Ⅰ～Ⅲの期間における初沈流出水，実プラント処理水，パイロットプラント処理水の全リンと溶解性全リンの全測定値（測定頻度は概ね週2回）を低い順に並べたものである。図－7－3には全リン，図－7－4には溶解性全リンについて示した。初沈流出水と実プラント処理水では両者のプロットは大体平行しており，実プラントでのリン除去は除去濃度が一定という傾向があることが分かる。除去濃度は全リンでは1.7～1.9 mg/ℓ，溶解性全リンでは0.9～1.0 mg/ℓとなっている。これに比べるとパイロットプラント処理水では少し違ったカーブを描いている。全リンでは80％以下では垂直に近いカーブでバラつきが少ないのに比べ，80％を超えるところからバラつきが大きくなっている。溶解性全リンでは非常にバラつきが小さくなっており，少なくとも凝集は十分行われていたと言える。運転の安定性という観点から両図を見ると，溶解性全リンの除去という目的に対しては非常



図－7－3. 全リンの累積相対度数



図－7－4. 溶解性全リンの累積相対度数

に安定した結果が得られるが，全リンの除去という目的に対しては一部でかなり不安定になることがあると表現できる。

ホ. 窒素の除去については除去率が21～33％で実プラントと比べて同じかやや悪くなっている。硝化についてはわずかしか起きていない。ＳＲＴの短いことが原因と思われる。

5.3 室内実験結果の詳細

西山処理場及び京都パイロットプラントの施設はいずれも汚泥処理の施設を有していない。これらの施設で得られた汚泥については室内規模の実験で，濃縮性，脱水性，嫌気性消化への影響について調査した。

西山処理場での調査においては実施設での調査に先立って室内実験ないしはパイロットプラント実験で処理特性について調べている。

以上の室内実験の結果について以下に紹介する。

5.3.1 汚泥処理への影響

まず実験の概況について述べる。

汚泥の濃縮性については残念ながら系統立ったデータはとっていない。脱水試験の際の濃縮汚泥の濃度の値から推定することとした。

汚泥の脱水性については，硫酸バンドのエアレーションタンク添加時に4回，硫酸バンドの前エアレーションタンク添加時に1回，硫酸第1鉄のエアレーションタンク添加時に3回，京都パイロットプラントの実験では1回，各々脱水試験を行っている。試験は西山分は加圧脱水試験機，京都分はリーフテスターによって行った。脱水条件は各試験毎に異なっているので各試験毎に脱水性の良否を判定するという方法しかとれない。

汚泥の嫌気性消化に及ぼす影響については西山で硫酸バンドをエアレーションタンクに添加した時の余剰汚泥を対象としてバッチ式で1回と硫酸第1鉄を添加した余剰汚泥について連続式で1回実験した。

次に各実験の結果をまとめる。

A. 西山での7回，京都での1回の濃縮試験の結果を表－13に示す。

西山では硫酸バンドのエアレーションタンク添加時の汚泥は夏季という濃縮には好条件の時期も幸いしてか24時間で2.6～2.9％まで濃縮されている。硫酸第1鉄を添加した汚泥は季節によって濃縮後の濃度がかなり異なっており，真冬の2月には0.9％，夏季の9月には2.6％とバラついている。コントロール系の余剰汚泥では年間を通しても，同じ季節の中でもかなりバラついており，濃縮後の濃度は0.9～2.0％となっている。

この表からエアレーションタンクへの凝集剤添加の効果をみると，硫酸バンドの添加は濃縮性にプラスになっていること，硫酸第1鉄の添加はプラスにもマイナスにもなっていないことが分かる。この傾向は汚泥のＳＶＩの傾向とよく似ている。

一次処理で硫酸バンドを用いた場合のデータは1点しかないが，濃縮性に悪影響は及ぼしていないようである。

京都での汚泥濃縮試験の結果では，Aℓ添加，無添加の場合濃縮後の濃度はいずれも1.5％前後で，Aℓ添加の効果は西山の場合ほど顕著ではない。

B. 汚泥の脱水性

表－13. 汚泥の濃縮実験の結果

年月日	汚泥の種類	濃縮時間 (hrs)	原汚泥のTS (mg/ℓ)	濃縮汚泥のTS (mg/ℓ)	濃縮倍率
1975 7.8	初沈	24		13,000	
	Aℓ添加余剰			25,800	
	コントロール余剰			8,900	
1975 7.12	初沈	24		79,500	
	Aℓ添加余剰			28,700	
	コントロール余剰			19,600	
1975 7.19	初沈	24		29,900	
	Aℓ添加余剰			29,000	
	コントロール余剰			16,000	
1977 8.3	Aℓ添加初沈	7	20,600	36,600	1.8
	コントロール初沈		13,600	30,300	2.2
	薬注系余剰		5,400	21,600	4.0
	コントロール余剰		2,400	9,700	4.0
1978 9.5	初沈	17	9,750	27,600	2.8
	Fe添加余剰		6,220	25,700	4.1
	コントロール余剰		3,760	15,400	4.1
1979 2.27	初沈	19	20,080	25,200	1.3
	Fe添加余剰		7,670	9,190	1.2
	コントロール余剰		5,120	8,550	1.7
1979 5.16	初沈	19	13,250	26,500	2.0
	Fe添加余剰		3,310	13,000	3.9
	コントロール余剰		3,560	19,400	5.4
1978* 7.26	Aℓ添加余剰	19	6,950	16,500	2.4
	実プラント余剰		3,350	14,100	4.2

(* は京都分)

西山で硫酸バンドをエアレーションタンクに添加した時の汚泥については脱水試験は行っているが試験がうまく行かず，比較に耐えるデータは得られていない。ただし，ケーキのでき方という点で定性的に比べると硫酸バンド添加汚泥の方がやや良い。

硫酸第1鉄をエアレーションタンクに添加した時の汚泥については次の条件で脱水（加圧脱水）している。

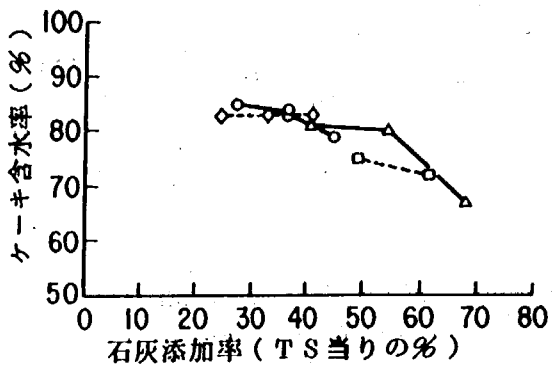
- o 脱水条件：打込み　4 kg/cm²　6分
  脱水　10 〃　6分
- o 供試汚泥：濃縮後の初沈汚泥と余剰汚泥をTS比（1978.9は容量比）で1になるよう混合したもの。

試験は1978年9月，1979年2月，5月の3回行っている。結果を図－8－1に示す。脱水沪液はいずれの試験でもきわめて清澄でSSは20 mg/ℓ 以下であった。ケーキ含水率と沪過速度の2点から薬注系汚泥とコントロール系汚泥の脱水性を比較すると次のようになる。

① 1978.9 …… 沪過速度，ケーキ含水率のどちらもFe添加汚泥の方が良い。

② 1979.2 …… 両者ほとんど差がない。

③ 1979.5 …… 沪過速度，ケーキ含水率のどちらもコントロール系汚泥の方がやや良い。

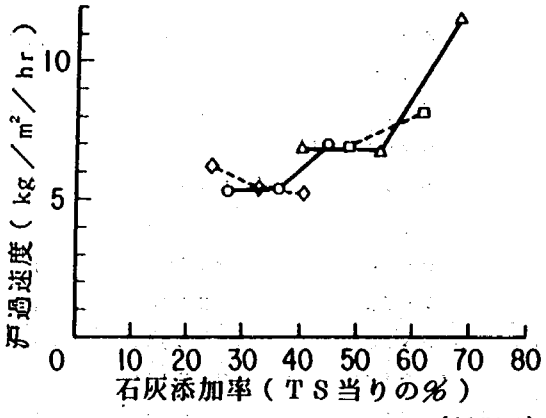


○ 薬注系　$FeCl_3$　9.1%（対TS）
△ 〃　〃　13.6%（〃）
◇ コントロール系　〃　8.2%（〃）
□ 〃　〃　12.3%（〃）

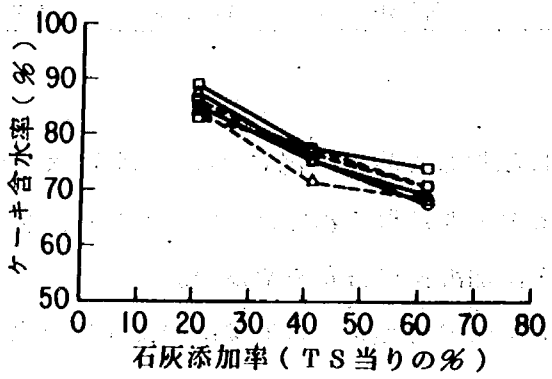
混合比は初沈汚泥と余剰汚泥のTS比を1とした。

脱水条件：打込み 4 kg／cm² 6分
脱水 10 〃 6〃

供試汚泥のTS
薬注系混合汚泥　13,900mg／ℓ
コントロール系　〃　12,500mg／ℓ



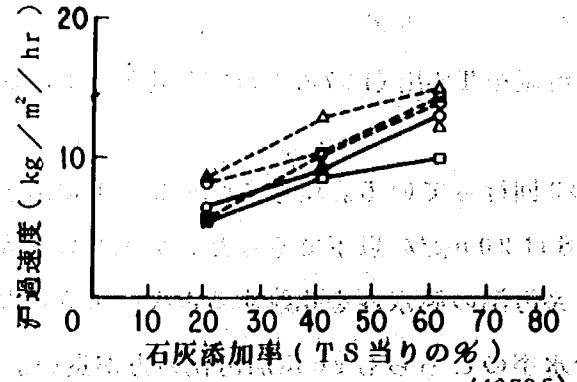
(1979.2)



○ $FeCl_3$　4.1%（対TS）
△ 〃　8.2%（〃）
□ 〃　12.3%（〃）
——— ：薬注系混合汚泥
------ ：コントロール系混合汚泥

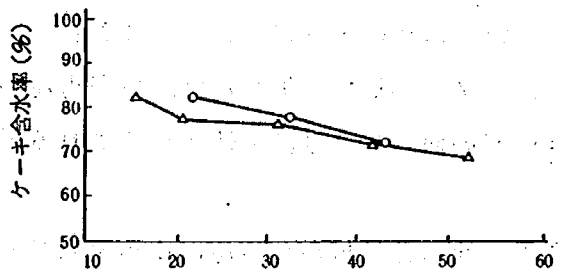
但し混合比は初沈汚泥と余剰汚泥のTS比を1：1とした。
脱水条件：打込み 4 kg/cm² 6分
脱　水 10 〃 6〃

供試汚泥のTS
薬注系混合汚泥　17,500mg／ℓ
コントロール系　〃　22,500　〃



(1979.5)

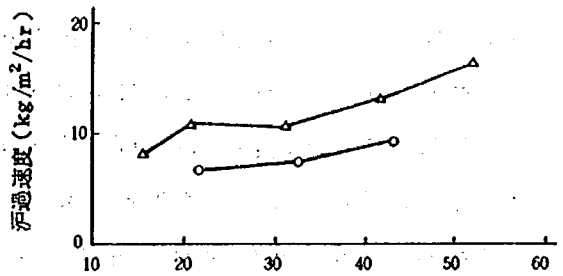
図－8－1　汚泥の脱水性



石灰添加率　（TS当り%）

o　コントロール系混合汚泥

△　薬注系混合汚泥



石灰添加率（TS当り%）

供試汚泥のTS｛薬注系混合汚泥　26,400 mg/ℓ
コントロール系混合汚泥　21,500　〃

石灰と塩化第2鉄は重量比が5になるように添加

(1978.9)

図－8－1.　汚泥の脱水性（続き）

①～③で述べた優劣は汚泥濃度の大小と同じ関係（汚泥濃度の高い方が脱水性がよい）になっており，脱水性がFe添加の有無よりも供試汚泥濃度の大小に左右されていることが分かる。

Aℓを含んだ初沈汚泥の脱水は次の条件で試験した。

o　脱水条件：打　込　み　　4 kg/cm²　　6分
　　脱　　水　　15　〃　　6分
　　石灰，塩化第2鉄はTS当り25%，5%の添加

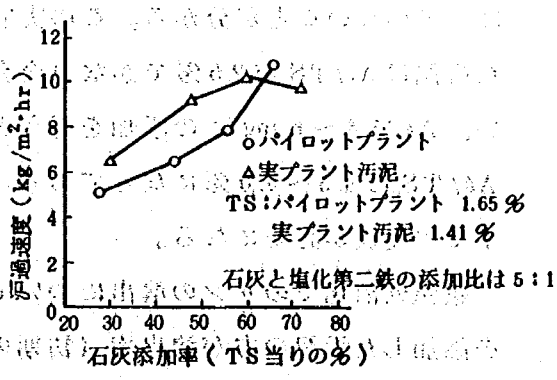
o　供試汚泥：Aℓ添加と無添加の初沈汚泥を濃縮したもの
　　供試汚泥のTSは　Aℓ添加系　36,600 mg/ℓ
　　Aℓ無添加　30,300　〃

結果は次の通りである。

汚　泥　名	ケーキ含水率 (%)	沪過速度 (kg/m²/hr)	沪液SS (mg/ℓ)
Aℓ添加初沈	81	10.0	113
コントロール初沈	64	15.3	143

Aℓを添加した方が脱水性が悪くなっている。

京都パイロットプラントの汚泥のリーフテストの結果を図－8－2.に示す。図には沪過速度の結果をのせておいた。これをみるとパイロットプラント汚泥の方が脱水性が良くないことが分かる。脱水沪液のSSはパイロットプラント汚泥が1,800～5,300 mg/ℓ，実プラントの方が49～240 mg/ℓとなっており，リーフテストに用いた沪布がパイロットプラント汚泥には適していなかったことが予想され



図－8－2.　汚泥の沪過速度
（京都パイロットプラント）

る。

以上の結果から凝集剤を添加した汚泥の脱水性については次のようにまとめられる。

① 硫酸バンドでも硫酸第1鉄でもエアレーションタンクに添加する場合には，余剰汚泥の脱水性は無添加の汚泥とほぼ同一とみてよい。凝集剤の使用により濃縮性が改善される場合には脱水性に好ましい影響を与えている。

② 硫酸バンドを一次処理で添加する場合に生成する初沈汚泥は無添加汚泥に比べ脱水性が悪くなる。

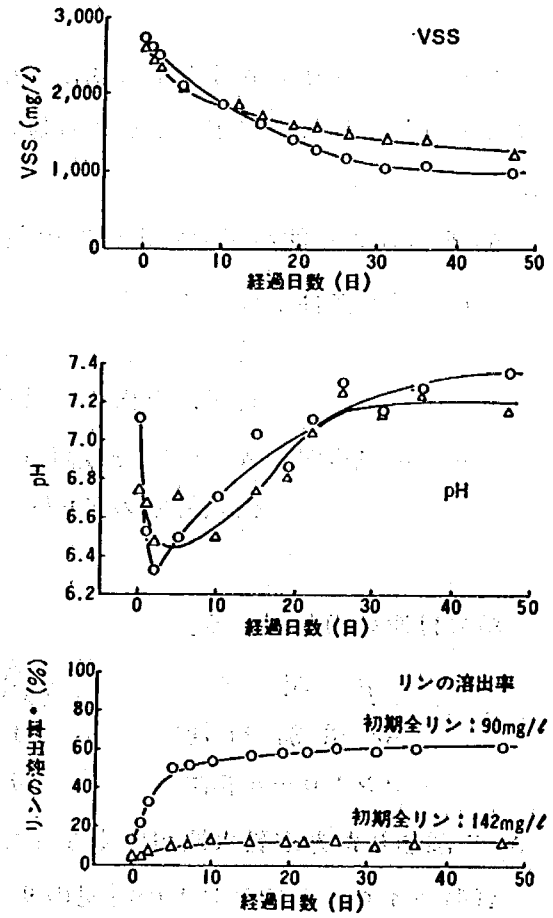
③ 凝集剤を添加した汚泥と無添加の汚泥とでは脱水に適する沪布が異なっていることが予想される。

C. 汚泥の嫌気性消化へ及ぼす影響

硫酸バンドをエアレーションタンクに添加したときの余剰汚泥が嫌気性消化の過程でどのような挙動をするかを調べるため，1977年6月に西山処理場の実施設から薬注系とコントロール系の余剰汚泥を採取して実験した。実験では汚泥のＳＳをそろえ，ポリタン中に入れ30°C で放置し所定の日によく撹拌して試料を採取した。採取試料についてＶＳＳを，試料を遠心分離した上澄みについてpHを，その上澄みを0.45μのメンブレンフィルターで沪過したものについて全リンを各々測定した。

結果を図－８－３に示す。両者ともＶＳＳの分解は順調に進んでおり，またpHでも初期に酸性側へ行き，その後アルカリ性になるという嫌気性消化の通常のパターンを歩んでいる。無添加に比べると約５倍の量のＡℓが存在しているが，消化にはほとんど影響を及ぼしていないことが分かる。この実験で用いた汚泥はＡℓ/TSが2.5％でかなり含有率が低い。Ａℓで４～６mg/ℓの添加を行うと汚泥のＡℓ/TSは4.5～7.0％になっており，高含有率での実験が必要になる。

嫌気性消化でのリンの溶出についてはＡℓを添加した汚泥の方が溶出率（初期の全リンに対する溶解性全リンの比）がかなり低い。どちらの汚泥も実験開始後５日間でほとんど



○ 無添加汚泥　△ Ａℓ添加汚泥

＊ 溶出率：初期の全リンに対する溶解性全リンの割合

なお，溶解性成分の分画は0.45μのメンブレンフィルターによる。

供試汚泥（単位：mg/ℓ）

	Ａℓ添加	無添加
SS	3,860	3,640
VSS	2,690	2,740
P	142	90
Ａℓ	98	21

図－8－3. 汚泥の嫌気性消化への影響

リンの溶出を終えているが，溶出率の値はAℓ添加系が12％，無添加が62％となっており，Aℓの存在がリンの溶を抑制していることが分かる。Aℓの含有率の低い汚泥でこうした結果が得られたことはAℓの含有率が高くなるとリンの溶出はさらに少なくなることを予想させる。

嫌気性消化ではないが，京都パイロットプラントでの濃縮試験時のリンのデータを紹介しよう。ここでは濃縮汚泥と濃縮分離液の溶解性全リン（溶解性の分画は1μのフィルター）の値を示す。濃縮時間は19時間，季節は夏（1978．7）である。

	濃縮汚泥の S−T−P (mg/ℓ)	濃縮分離液の S−T−P (mg/ℓ)	濃縮汚泥 T−P (mg/ℓ)
パイロットプラント汚泥	0.56	0.15	344
実プラント汚泥	36.4	6.10	286

実プラント汚泥の濃縮汚泥では全リンに占める溶解性全リンの割合は13％であるが，パイロットプラント汚泥では0.16％となっており，リンの溶出がAℓによって抑制されていることが分かる。

硫酸第1鉄を添加した場合の余剰汚泥を嫌気性消化した時の結果については館山の報告がある[4]。これは西山処理場の実験で硫酸第1鉄を添加した汚泥と無添加の汚泥を用いて1日1回の投入，引抜，消化日数30日という条件で連続的に実験したものである。VS当りのガス発生量は両者ほぼ等しくなっている。

また脱離液へのリンの溶出については引抜汚泥の遠心分離液中のオルトリンで評価している。無添加汚泥で177mg/ℓに対しFe添加汚泥は3〜6mg/ℓとなっており，Feを添加した汚泥では無添加に比べリンの溶出が抑制されていることが分かる。供試汚泥と消化汚泥の組成を以下に示す。

単位：mg/ℓ

供試汚泥		TS	VTS	T−P	T−Fe
	Fe無添加	13,100	10,500	293	524
	Fe添加	22,700	13,900	786	2,920
消化汚泥		TS	VTS	T−P	T−Fe
	Fe無添加	11,000	7,390	392	308
	Fe添加	16,900	8,410	764	2,400

5.3.2 テストプラントによる処理実験

西山処理場の実施設での調査に先立ち西山処理場の初沈流出水を原水としたテストプラント実験を行った。ここに報告するのはエアレーションタンクに硫酸バンドとNaOHを加えることによりリン除去と合わせて硝化の促進をねらった実験と，Aℓ塩に代わってFe塩を用いた場合の処理実験の2つである。実験装置は7槽から成るエアレーションタンク（容量360ℓ）とたて型の最終沈殿池（容量155ℓ）により構成されている。実験結果を以下に示す。

A. 硝化実験

実験では7槽あるエアレーションタンクの1槽目に1NのNaOH，7槽目に硫酸バンドを直接添加した。2カ月の馴養運転のあと24時間試験（2時間毎に24時間にわたり採水し分析する）を行った。24時間試験前の3週間の運転条件を表−14に，24時間試験の平均値と除去率を表−15に示す。

表−14. 硝化実験の運転条件

エアタン滞留時間	3.5 hrs		Aℓ添加濃度	3.9 mg/ℓ
〃 MLSS	2,950mg/ℓ		NaOH 〃 〃	113 mg/ℓ
〃 SVI	67		返送汚泥率	36 %
〃 2槽目pH	8.2		SRT	8.2 日
〃 6 〃 〃	7.4		水温	24.4 °C
終沈 滞留時間	1.5 hrs			
〃 水面積負荷	20m³/m²・日			

表−15 24hr試験平均値と除去率

	原水	処理水	除去率	返送
水温 °C	23.6	24.5	−	−
pH	6.89	7.45	−	7.07
アルカリ度 mg/ℓ	66.0	92.9	−	359
SS 〃	37.4	13.7	63.4	0,410
COD 〃	39.0	8.4	78.5	−
T−P 〃	2.67	0.78	70.7	−
K−N 〃	16.69	1.45	91.3	−
S−K−N 〃	12.93	1.07	91.7	1.04
NH_4−N 〃	8.37	0.26	76.8	0.777
NO_3−N 〃	0.034	2.96	−	2.07
NO_2−N 〃	0.023	0.003	−	0.606
T−N 〃	16.75	4.41	73.7	−

滞留時間3.5時間（流入水量ベース）と短いにも拘らず硝化はよく進んでおり，処理水のNH_4−Nは0.26mg/ℓまで低下している。水温24.4°C，SRT8.2日という条件ではエアタン滞留時間3.5時間という条件でもNH_4−Nを十分硝化できることが分かった。また硝化と同時に脱窒も起きているようであり，全窒素の除去率が74%にも達している。

CODについては78%と高い除去率が得られている。

リンについては処理水に0.78mg/ℓも流出しており，NaOHの添加がリンの除去にややマイナスに働いているものと思われる。

B. 鉄塩添加実験

硫酸バンドに代わる凝集剤として硫酸第1鉄，塩化第2鉄をとり上げ，これら3者について処理への影響を調査した。

実験は全部で5ケース行った。その概要を次に示す。

No.1……硫酸バンドを7槽目に添加したもの（Aℓ，4mg/ℓ）

No.2……塩化第2鉄を7槽目に添加，添加濃度をFeとして32mg/ℓと高くし，処理水への着色の有無を調べた。

No.3……塩化第2鉄を7槽目に，Feとして8mg/ℓ添加，No.1のAℓと添加モル量をほぼ同じとしてFe^{3+}と$Aℓ^{3+}$との効果の比較を試みた。

No.4……硫酸第1鉄を7槽目に，Feとして15mg/ℓ添加した。

No.5……No.4と同じ添加濃度で1槽目に添加し，添加位置の違いによる影響を調べた。

No.1～No.5の運転条件を表－16に示す。

実験期間中の24時間混合試料による分析結果を表－17に示す。各実験毎に結果をまとめると次のようになる。

表－16. 運転条件

実験番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
期間	52.6.16～7.12	52.5.28～6.1	52.6.3～6.13	52.7.27～8.3	52.8.5～8.17
薬注率 mg/ℓ	$Aℓ^{3+}$ 4	Fe^{3+} 32	Fe^{3+} 8	Fe^{2+} 15	Fe^{2+} 15
添加位置	7槽目	7槽目	7槽目	7槽目	1槽目
エアタン滞留時間 hr	3.6	3.6	3.5	3.6	3.5
終沈滞留時間 hr	1.56	1.56	1.51	1.56	1.52
〃 水面積負荷 m^3/m^2D	19.0	19.0	19.6	19.0	19.5
MLSS mg/ℓ	3,371	2,645	2,474	3,219	4,389
30分沈殿率 %	13	25	22	19	14
SVI	40	96	87	61	32
2槽目 pH	6.92	6.92	6.63	6.55	—
6槽目 〃	6.29	6.24	5.41	5.66	—
処理水 〃	5.55	5.15	5.32	4.87	—
返送率 %	27	38	36	36	28
SRT D	11.9	8.8	7.9	9.0	9.2

表－17. 水質試験成績表

実験番号	No.1			No.2			No.3			No.4			No.5		
期間	52.6.16～7.12			52.5.28～6.1			52.6.3～6.13			52.7.27～8.3			52.8.5～8.17		
	流入下水	処理水	除去率	流入下水	処理水	除去率	流入下水	処理水	除去率	流入下水	処理水	除去率	流入下水	処理水	除去率
pH	6.8	6.4	%	7.0	6.0	%	6.9	5.9	%	—	—	%	6.81	5.11	%
アルカリ度	(83)	(19)	—	101	9	—	—	—	—	—	—	—	69	2.3	—
SS mg/ℓ	36	11	69.4	45	13	71.1	31.3	20	36.1	34	35	−2.9	47	26.8	43.0
BOD 〃	73	5.4	92.6	92	12	87.0	78	20	74.4	(55)	(9.4)	82.9	48	6.5	86.5
S−BOD 〃	40	5.0	87.5	41	4.1	90.0	46	2.4	94.8	—	—	—	—	—	—
COD 〃	(31)	(6.2)	80.0	39	7.9	79.7	35	13.5	61.4	—	—	—	31	11.4	63.2
S−COD 〃	(14)	(3.9)	72.1	18	5.3	70.6	15	7.1	52.7	—	—	—	—	—	—
T−P 〃	2.88	0.52	81.9	3.39	0.45	86.7	3.18	2.19	31.1	2.71	1.34	50.6	2.09	0.78	62.7
S−T−P 〃	1.69	0.12	92.9	2.08	0.08	96.2	2.05	0.81	60.5	2.00	0.10	95.0	1.40	0.07	95.0
ort−P 〃	(1.34)	(0.15)	88.8	2.21	0.21	90.5	2.14	1.60	25.2	1.97	0.72	63.5	1.45	0.39	73.1
K−N 〃	17.9	7.7	57.0	23.4	6.0	74.4	21.5	8.4	60.9	1 2	8.0	53.5	13.6	10.1	25.7
NH_4−N 〃	11.2	5.3	52.7	11.3	3.4	69.9	11.3	2.8	75.2	1 7	3.6	66.4	8.9	7.5	15.7
NO_2−N 〃	0.01	0.07	—	0.00	0.33	—	0.02	0.09	—	0.01	2.57	—	0.01	0.97	—
NO_3−N 〃	0.07	6.22	—	0.07	7.00	—	0.02	10.64	—	0.02	0.58	—	0.06	1.49	—
T−N 〃	17.98	13.99	22.2	23.47	13.33	43.2	21.54	19.13	11.2	17.23	11.15	35.3	13.67	12.56	8.1
Fe 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.50	4.63	—

No.1，No.4，No.5は2回の平均値である。ただし(　)内の数値は1回だけの値である。
No.2，No.3は1回だけの値である。

No.1……BOD，COD，リンの除去は良好である。硝化はかなり進み，処理水のNO_3-Nが6.22 mg/ℓとなっている。NaOHを添加した実験と比べると硝化が途中でとまっていることが分かる。

No.2……COD，リンの除去は良好でAℓと変わらない。BODはやや高目，硝化はほぼ同じくらいおきている。処理水への着色はなく，非常に透明となった。

No.3……No.1のAℓとモル比をそろえて実験したものであるが，BOD，COD，リンの除去はいずれもAℓより劣っている。リンでは処理水の溶解性全リンが0.81 mg/ℓもあることからFeの添加濃度が不足しているものと思われる。

No.4……リンとはよく反応し処理水の溶解性全リンは0.10 mg/ℓと低くなっている。BODも9.4 mg/ℓとよく除去されている。しかしSSは流入水を上回る値となっており，このため全リンは1 mg/ℓを超す値を示している。

No.5……硫酸第1鉄の添加位置をエアタン入口に変えたところ，処理水へのSSの流出は少しおさまったが，それでも27 mg/ℓあり，No.1～No.3に比べるとかなり高い。BOD，リンについてもエアタン末端添加より良くなっている。しかし処理水中にFe分が4.63 mg/ℓ(15 mg/ℓ添加の約30%)が流出していることは放流先の河床が着色する恐れがある。硝化についてはあまり進んでいない。

これらの結果から次のような運転上の指針が導かれた。

イ. Fe塩の場合Aℓ塩と同じ程度のリン除去率を得るにはモル比で2倍程度の添加が必要である。Feとして15 mg/ℓ程度が適当である。

ロ. 第1鉄を添加する場合にはエアレーションタンク末端より入口の方が効果がある。

ハ. Fe塩では添加濃度8～32 mg/ℓでは硝化はかなり進む。

c. 実施設での結果との対応

第1鉄の添加については実施設の結果の方が良かった。特に処理水への鉄の流出は実施設では運転開始してしばらく経つとほとんど見られなくなった。処理水のリン濃度を目安にFeとAℓの添加量(モル換算)を比べるとFeの方がやや多くいる。硝化に関しては実施設ではSRTをテストプラントほど長くできなかったためほとんど起きていない。

硝化実験では実施設の結果とテストプラントの結果は全く逆である。実施設では硝化は全くといっていいほど起きず，逆にNaOHのエアレーションタンク直接添加によるとみられる粘性のスカムの発生があり，処理に大きな障害となった。硝化については実施設でSRTが8日前後とテストプラント並みにとれたが，実験開始が冬季のはじめで，このSRTではまだ不十分なことが原因と考えられる。pHを8前後に調整してもSRTを水温の低下に合わせて長く保たないと硝化が起きないことを示している。エアレーションタンクのスカムについてはテストプラント実施設の混合特性の差が出たものと思われる。テストプラントでは添加したNaOHが速やかに混合されるが，実施設では一時的に高pHになる領域があり，スカムの発生を招いたのではないかと考える。

6. 実用化に当っての留意点

a. 凝集剤の選定

凝集剤の選定に当っては流入下水の性状，活性汚泥の性状，目標水質，汚泥の処分，コストなどの面から検討する必要がある。

流入下水の性状については，凝集剤の反応を阻害するような物質の存在の有無を確認する（つまり，凝集がうまく行くかどうかの確認），また下水の性状によって必要添加量が若干異なってくるので添加量の確認を行う。

活性汚泥の性状に関しては，凝集剤によっては活性汚泥の沈降性改善に役立つものや，そうでないものがあり，リンの除去以外の効能を期待するか否かを決める必要がある。また逆に，活性汚泥の性状改善（例えばバルキング防止）という目的で本プロセスを利用する場合がある。活性汚泥と凝集剤の結びつきは割合デリケートなので，汚泥に合った凝集剤を選ぶ必要がある。

本法で最もよく除去されるのはリンであり，次いでCOD，BODとなる。凝集剤によってはリンしか除去できないというものもあるのでここではリンを取り上げ，目標水質について考えよう。リンと凝集剤の反応はリンを不溶解化して活性汚泥とともに沈降分離しようとするものであるから，まず凝集剤の添加量と処理水の溶解性全リンについて相関を求める必要がある。溶解性全リンの値が処理水の全リンの極限値と考えてよい。SS性のリンについてはエアレーション強度，活性汚泥と凝集剤の結びつきの強さ，沈殿池の条件などにより影響を受ける。1つの目安として流出SSを想定し，それに汚泥のP/SSをかけるという方法もある。

後段に沪過を設ける場合にはSS性リンの影響は小さくなる。

汚泥の処分については埋立てにするか海岸投棄か農地還元かによって使っていい凝集剤と使わない方が望ましい凝集剤とがでてくる。例えば，農地還元をする場合にはAℓ塩を使うことは望ましくないといわれている。

コストについては，主に凝集剤の価格が問題となる。硫酸バンドは水道用の規格品があり，その価格が1つのポイントとなる。Fe塩では産業廃棄物（本調査で用いた酸化チタン製造工程でできる硫酸第1鉄の他，製鉄の工程の酸洗廃水など）の利用が考えられるが，その場合には供給の確保，製品の安全性等の点でチェックが必要になる。凝集剤の価格の他に汚泥処理過程でのコストの増加を考慮せねばならない。

こうした点から本調査で使用した硫酸バンドと硫酸第1鉄を比較すると次のような点が指摘できる。

① 硫酸バンド

リンの除去，汚泥の沈降性改善，処理水の清澄感の向上に優れた効果を有する。薬剤費はAℓ 6 mg/ℓ 添加で2.0円/m³（Aℓ 1 kg 330円とする）である。汚泥の農業利用には不利な面がある。

② 硫酸第1鉄

リンの除去向上以外は処理水質の改善は期待できない。汚泥の沈降性改善にも効果はない。

処理水のリン濃度は硫酸バンドよりやや高く，また溶解性の形で残留するものが多い。薬剤費はFe 15 mg/ℓ添加で0.48円/m³（Fe 1 kg当り32円とする）である。汚泥の農業利用は可能である。

b．施設の増設

本法を採用する際に増設が必要となるのは次のものである。

イ．凝集剤貯留槽及び凝集剤の搬入に要する配管

ロ．凝集剤注入ポンプ及び関連配管

ハ．添加量制御用機器

ニ．汚泥濃縮槽及び脱水機の能力向上

ホ．イ,ロに関して保温，加温が必要な場合にはその設備

ニについてはどの程度の能力向上が必要かという問題が残る。エアレーションタンク添加の場合は凝集剤の添加量だけ汚泥発生量が増えるとし，性状は無添加汚泥と同じと考えて計算してよいと考える。一次処理での添加では汚泥の脱水性にやや問題があり，無添加と同じと仮定できない。

c．維持管理のポイント

通常の活性汚泥処理と同じように運転すればほとんど問題はない。硫酸バンドの場合には処理水の白濁に注意する必要がある。白濁は透視度の低下だけでなく，リン除去にもマイナスになるのでその発生を防止せねばならない。白濁の最も大きな原因は添加位置（ないしは撹拌強度）の不適であり，これを防ぐためにはエアレーションタンクの混合形態，撹拌強度などをよく知っておくべきである。

硫酸第1鉄では処理水にFeが残留しないことが重要であり，時々確認する必要がある。

7. あとがき

1975年3月から1979年5月に及ぶ長期間にわたって行ってきた実験の概要を報告した。西山処理場での実験は実施設を使うということでパイロットプラント実験とは異なる問題があり，また，それだけにパイロットプラント実験では得られない成果をあげられたと自負している。

西山処理場での実験でさらに追究すべきは最適添加濃度での長期間運転（少なくとも夏，冬を1度ずつ経過すべきと思う）と汚泥処理への影響である。前者については京都パイロットプラントの実験にその考え方を反映させた。後者については今後の課題として残される。

最後に長期間にわたり，西山処理場の運転管理，水質分析に携わって下さった名古屋市の担当者と，京都パイロットプラントの運転管理に携わって下さった京都市の担当者の皆様に感謝の意を表します。本報告をまとめるにあたっては両市の担当者の方々より多くのコメントをいただいた。

文責　前三次処理研究室　研究員
酒　井　憲　司

参　考　文　献

1) 吉田，林　他　　曝気槽への凝集剤添加による処理水向上実験（第１報，第２報）
用水と廃水　Vol.17.　No.1とNo.9（1975）

2) 稲　森　他　　生物・化学的同時法によるリン除去
下水道協会誌　Vol.12.　No.135（1975，8月）

3) 建設省土木研究所　昭和54年度下水道関係調査研究年次報告書集
（昭和55年8月）

4) 館　山　　鉄塩添加時発生汚泥の消化
第19回土木研究所研究発表会資料（昭和55年12月）

昭和56年度
凝集剤等の添加による二次処理
水質の向上に関する調査報告書

ISSN 0386−5878
土研資料第1700号
昭和56年6月
下水道部三次処理研究室

キーワード　下水処理，凝集剤添加活性汚泥法
硫酸バンド，硫酸第1鉄

要旨　既設の下水処理施設に凝集剤を添加することによりリン，BOD等の除去率を改善することができる。
本報告は実施設及びパイロットプラントにおける実験を通じて凝集剤の添加が水処理及び汚泥処理に与える影響についてまとめたものである。

郵便はがき

四十円切手をはって下さい

305−□□

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

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1700号　　部

「凝集剤等の添加による二次処理水質の向上に
関する調査報告書」

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印