

# 土 木 研 究 所 資 料

## マイクロブロック法を用いたりんの 超高度除去に関する調査

平成8年1月

建設省土木研究所  
下水道部三次処理研究室

Copyright © (1996) 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 General 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

## マイクロフロック法を用いたりんの超高度除去に関する調査

三次処理研究室    高橋 正宏  
                         諏訪 守  
                         奥儀 和史

### 要 旨

水域の富栄養化防止の観点から、従来のりん除去法をさらに上回る処理能力を持つりん除去法が必要となる場合が予想される。下水処理水中のりん濃度を富栄養化の限界と言われている $0.01\text{mg/l}$ のオーダーまで低下させることを目的に、マイクロフロック法によるりん除去調査を行った。パイロットプラントを製作し、凝集剤注入量や砂ろ過におけるろ過速度の違いが、りん除去率に及ぼす影響の検討を行い、本法のりん除去能力を評価した。

キーワード： りん除去、マイクロフロック、ろ過、富栄養化防止

# マイクロブロック法を用いたりんの高高度除去に関する調査

## 目 次

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 第1章 | はじめに                       | 1  |
| 第2章 | 既存のりん除去技術                  | 2  |
| 第3章 | マイクロブロック法によるりん除去の基礎的検討     | 4  |
| 3-1 | 金属塩凝集剤によるりんの除去             | 4  |
| 3-2 | 実験目的                       | 6  |
| 3-3 | 実験方法                       | 6  |
| 3-4 | 実験結果                       | 8  |
| 第4章 | マイクロブロックパイロットプラントによるりん除去調査 | 14 |
| 4-1 | 調査目的                       | 14 |
| 4-2 | 調査方法                       | 14 |
| 4-3 | スタテックミキサーによる凝集剤の攪拌混合       | 21 |
| 4-4 | 調査結果                       | 24 |
| 4-5 | 今回の調査結果から得られた最適運転条件の考察     | 41 |
| 第5章 | 自動りん分析装置の適用に関する検討          | 42 |
| 5-1 | 検討目的                       | 42 |
| 5-2 | 検討方法                       | 42 |
| 5-3 | 検討結果                       | 42 |
| 第6章 | まとめ                        | 44 |
|     | 今後の課題                      | 46 |
|     | 参考文献                       | 47 |

## 第1章 はじめに

平成5年に「海域における窒素及びりんに係わる環境基準」が告示されるなど、公共用水域の水質に関心が高まっており、下水道の普及率も平成6年度末には51%に達している。下水道の普及も相まってBOD、COD等の環境基準については全国の観測地点の76.5%において達成されているが、湖沼などの閉鎖性水域に限ると依然として達成率が低く46.1%（平成5年度）にすぎない。<sup>1)</sup>この原因は、通常の下水处理法である活性汚泥法で除去が不十分な窒素、りんなどの栄養塩類が、閉鎖性水域に蓄積し“アオコ”に代表される植物プランクトンが異常増殖するためである。栄養塩類除去、特にりん除去を目的とした高度処理法として、凝集剤添加活性汚泥法、生物学的りん除去（嫌気-好気活性汚泥法）等が実用化され、琵琶湖や霞ヶ浦などの流域で実施設が運転されているが、これらの処理法の処理水中のりん濃度は0.5mg/l程度であり、湖沼等における望ましい環境基準（Ⅱ類型）0.01mg/lを大幅に上回っている。ダム湖、山間の湖沼など、自然環境の保全された流域中の下水道を事業化する場合、当該水域の富栄養化防止の観点から、現行の高度処理法を上回るりん除去法が必要になることが予想される。

本調査では、マイクロブロック法を利用して下水処理水中のりん濃度を富栄養化の限界と言われている0.01mg/lのオーダーまで低下させることを目的にパイロットプラントを製作し、凝集剤注入量や砂ろ過におけるろ過速度の違いが、りん除去率に及ぼす影響の検討を行った。

尚、本研究は平成4年度から6年度に実施した「りんの超高度と回収システムの開発に関する研究、国立機関公害防止等試験研究費」の一部をとりまとめたものである。

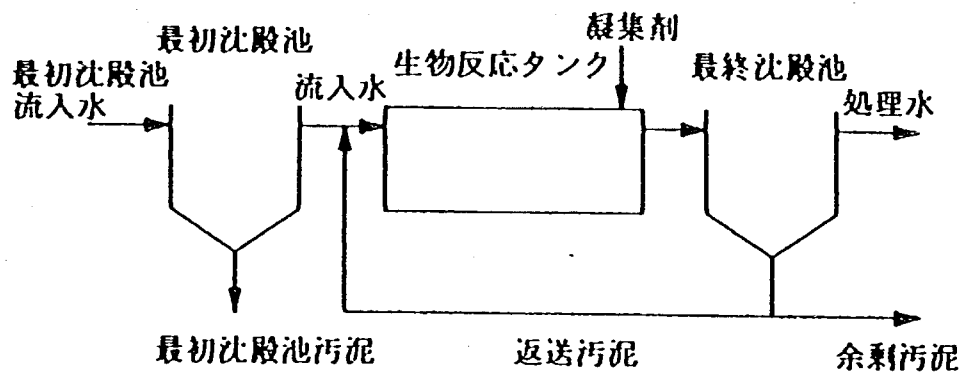
## 第2章 既存のりん除去技術

既存のりん除去技術<sup>2)</sup>としては、化学的除去法と生物学的除去法に大別され、化学的除去法としては凝集剤添加活性汚泥法や晶析脱りん法があり、生物学的除去法には嫌気-好気活性汚泥法等がある。各処理法の処理フローを図一1～3に示す。凝集剤添加活性汚泥法では生物反応タンクに凝集剤（PAC、硫酸アルミニウム、塩化第二鉄等）を添加し、下水中の正りん酸イオンと反応させ難水溶性のりん化合物を生成、最終沈殿池で固液分離を行い余剰汚泥として系外に排出することにより、りん除去を行う。処理水の全りん濃度は0.5mg/l以下が期待できるとされる。晶析脱りん法では、正りん酸イオンとカルシウムイオンを反応させ難水溶性のヒドロキシアパタイトをりん鉱石等に析出させ水中のりんを除去する。処理水のりん濃度は溶解性正りん酸態りん濃度で0.3mg/l以上とされる。嫌気-好気活性汚泥法は、生物反応タンクに嫌気と好気タンクを設け嫌気状態で正りん酸態りんを放出させた後、好気状態で放出させた以上の正りん酸態りん摂取させるものである。すなわち、活性汚泥微生物によるりんの過剰摂取現象を利用して下水中からりんを除去する方法である。この方法では概ね処理水のT-P濃度を1.0mg/l以下にすることができるとされる。

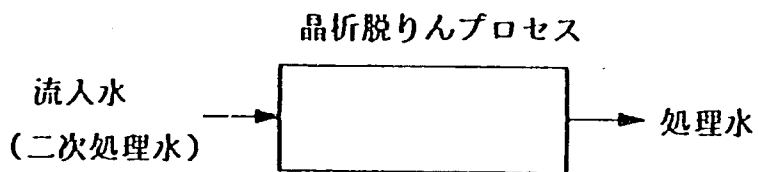
以上、既存のりん除去技術は処理水中のりん濃度を概ね0.3～1.0mg/lにすることができるとされるが、湖沼等における望ましい環境基準（Ⅱ類型）0.01 mg/lを大幅に上回っている。参考までに表一1に湖沼の窒素及びりに係る環境基準を示す。

表一1 湖沼の窒素及びりに係る環境基準

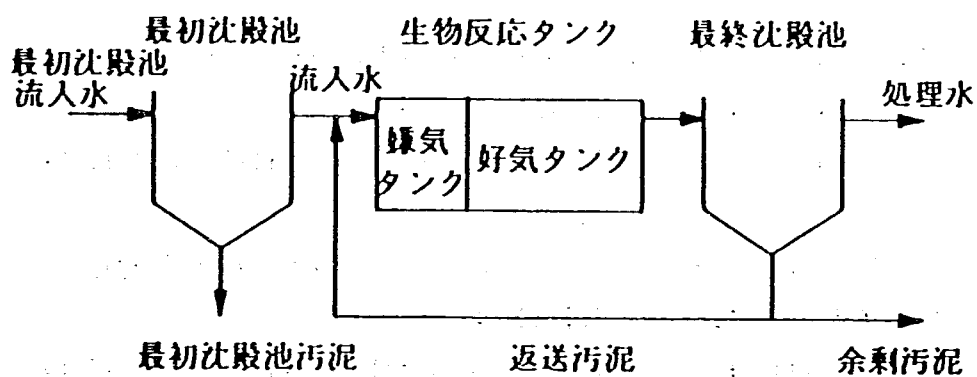
| 項目<br>類型 | 利用目的<br>の適応性                            | 基 準 値     |             |
|----------|-----------------------------------------|-----------|-------------|
|          |                                         | 全 窒 素     | 全 り ん       |
| I        | 自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの                     | 0.1mg/l以下 | 0.005mg/l以下 |
| Ⅱ        | 水道1、2、3級(特殊なものを除く) 水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの | 0.2mg/l以下 | 0.01mg/l以下  |
| Ⅲ        | 水道3級(特殊なもの)及びⅣ以下の欄に掲げるもの                | 0.4mg/l以下 | 0.03mg/l以下  |
| Ⅳ        | 水産2種及びⅤの欄に掲げるもの                         | 0.6mg/l以下 | 0.05mg/l以下  |
| Ⅴ        | 水産3種 工業用水 農業用水 環境保全                     | 1.0mg/l以下 | 0.1mg/l以下   |



図一 1 凝集剤添加活性汚泥法



図一 2 晶析脱りん法



図一 3 嫌気一好気活性汚泥法

### 第3章 マイクロブロック法によるりん除去の基礎的検討

上述のように既存のりん除去技術では、処理水中のりん濃度を概ね0.3~1.0mg/lにすることができ  
るが、本調査では下水処理水中のりん濃度を富栄養化の限界と言われている0.01mg/lのオーダーまで  
低下させることを目的としている。りん濃度が0.3~1.0mg/lの処理水を対象にりん除去を行う場合、  
生物学的除去法ではその除去性能の限界や安定性等から適していないと考えられる。よって、化学的  
除去法を利用してより高度にりん除去を行わなければならないと考えられる。化学的除去法では従来  
より凝集沈殿法が用いられてきたが、低濃度のりんを対象に凝集剤を添加しても微細な難水溶性のり  
ん化合物しか生成されず、沈殿分離が困難となることが予想される。

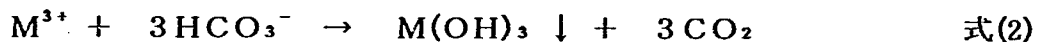
このため、室内実験により予め凝集剤添加によって生成する粒子の性状を把握し、それら生成粒子  
の除去手法の検討を実施した。

#### 3-1 金属塩凝集剤によるりんの除去

金属塩凝集剤によるりんの除去は、下水処理水中に金属塩を添加し正りん酸イオンと反応させ難水  
溶性のりん化合物を生成、固液分離を行いりん除去をする。これらの金属塩は式(1)の反応により難水  
溶性のりん化合物を生成する。

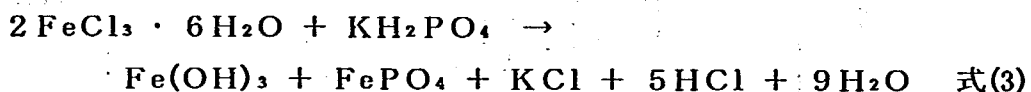


この反応はりん1モルに対して、3価の金属陽イオン1モルを必要とすることを示している。また、  
これらの金属塩はりん酸以外の成分とも反応する。例えば、式(2)のようにアルカリ度と反応して難水  
溶性の水酸化物を生成する。



沈殿しにくいコロイド状の粒子は、生成した $M(OH)_3$ のブロックに吸着されて沈殿する。

塩化第二鉄を凝集剤として用いた場合の反応式は式(3)のとおりである。



塩化アルミニウムを凝集剤として用いた場合の反応式は式(4)のとおりである。

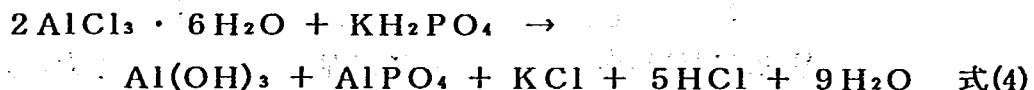


図-4に金属イオンとりんをモル比2:1で反応させた場合のpHと残留りん濃度を示す。<sup>3)</sup>りん  
酸第二鉄はpH4付近の領域で溶解度が最も低くなり、これ以下のpHでは水中にりんが残存するこ

となる。また、pHが高くても水酸化第二鉄を生成する方向に反応が進むため、りんとの反応が弱くなり、水中にりんが残存する。塩化アルミニウムの場合は、pH 6 付近の領域で溶解度が最も低くなり、りん酸第二鉄と同様 pH が低くても高くても水中にりんが残存する。りんの除去に必要な凝集剤の添加量は、理論的にはFe/Pのモル比で1/1、重量比で1.8/1、Al/Pのモル比で1/1、重量比で0.87/1であるが、実際には水酸化物等の生成に凝集剤が消費されてしまうため、理論当量の数倍の添加が必要である。

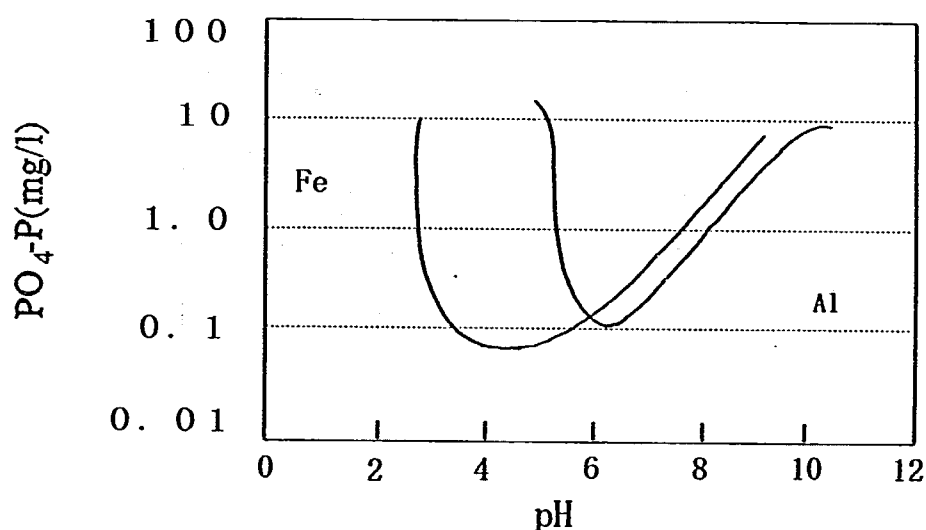


図-4 金属イオンとリンをモル比2：1で処理した場合のpHと残留リン濃度

### 3-2 実験目的

本室内実験の目的は、金属塩凝集剤である塩化アルミニウム、塩化第二鉄を用いて設定 pH とりんに対するモル比で理論当量、3 倍量と変化させた場合の生成粒子径、生成量及び孔径を異にする膜を用いてろ過した場合のりん除去率について検討を行うものである。実験条件、分析項目及び分析方法を表一 2、3 に示す。

表一 2 実験条件

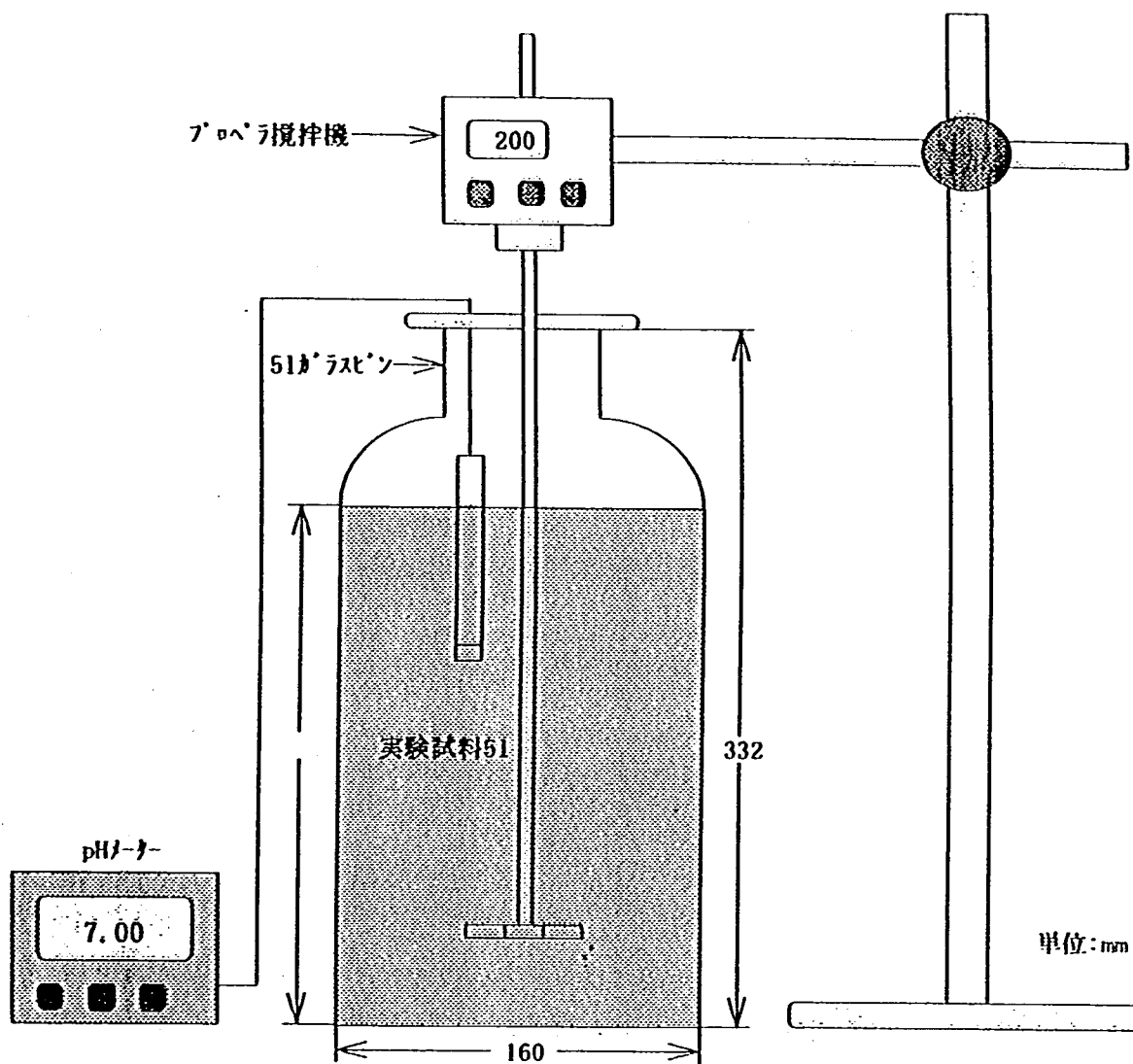
| 使用原水    | 高度処理水            |
|---------|------------------|
| 攪拌強度    | 200 rpm (34 1/S) |
| 攪拌時間    | 30 分             |
| p H     | 4, 6, 8, 無調整     |
| 水温      | 20 ℃             |
| 初期りん濃度  | 0.3 , 1.0 mg/l   |
| 初期アルカリ度 | 0 ~118 mg/l      |
| 凝集剤     | 塩化第二鉄, 塩化アルミニウム  |
| 添加量     | 理論当量, 3 倍量       |

表一 3 分析項目及び分析方法

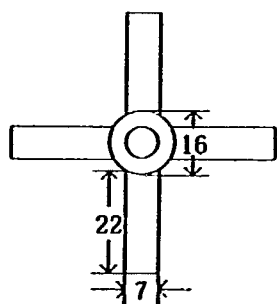
| 分析項目               | 分 析 方 法         |
|--------------------|-----------------|
| p H                | JIS K 0102 12.1 |
| 水温                 | JIS K 0102 7.2  |
| PO <sub>4</sub> -P | JIS K 0102 46.1 |
| アルカリ度              | JIS K 0102 15.1 |
| 粒度分布               | コールターカウンター法     |

### 3-3 実験方法

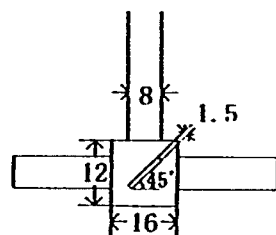
実験は、図一 5 に示した実験装置を用いて高度処理水（嫌気-無酸素-好気法と凝集剤添加活性汚泥法の処理水を混合して急速ろ過を行ったもの）を原水として行った。尚、高度処理水は実験に先立ち微粒子の影響を除くため、0.1 μm のメンブレンフィルターでろ過したろ液を用いた。りん濃度の調整



装置全体図



攪拌用羽根上面図



攪拌用羽根側面図

図-5 実験装置

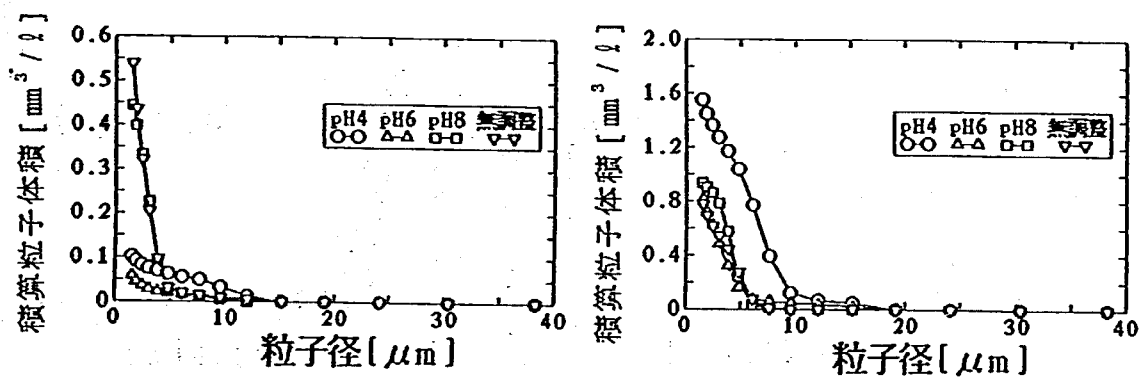
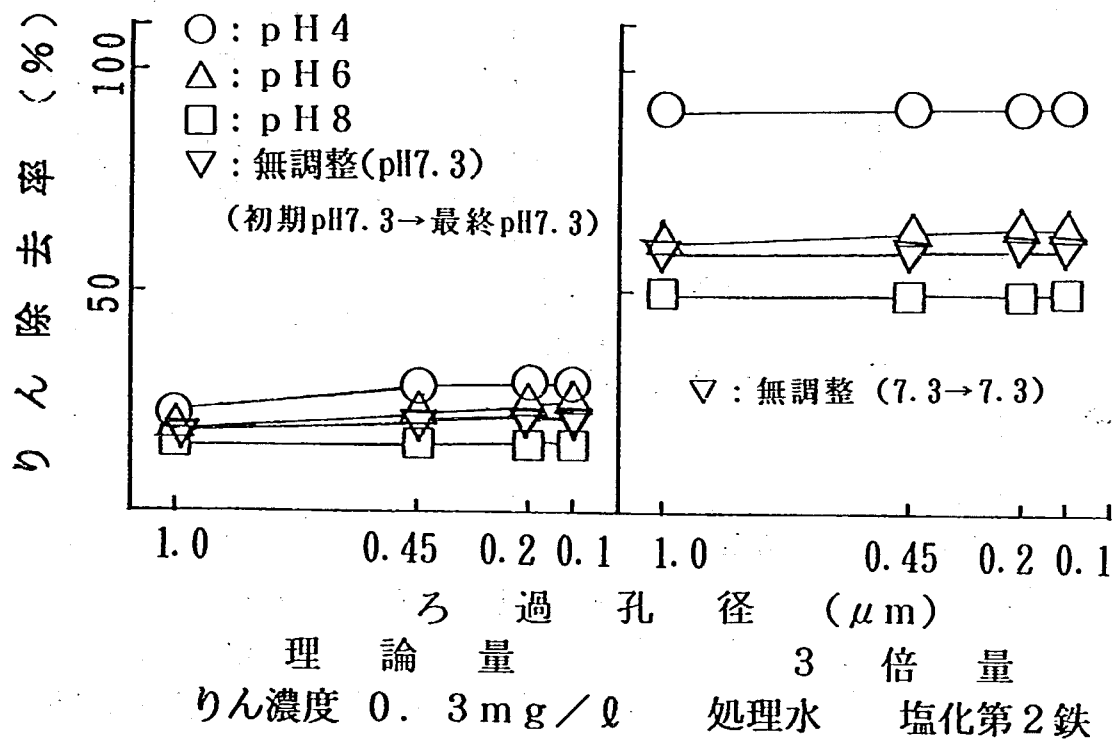
にはりん酸二水素カリウムを使用、pHの調整には塩酸及び水酸化ナトリウムを用いて行った。粒子径の測定は、2~64 $\mu$ mの粒子を対象としてコールターカウンターを用いて測定した。膜分離に関しては、1.0、0.45、0.2、0.1 $\mu$ mのメンブレンフィルターを用いる過を行った後、ろ液のりん濃度を分析した。

### 3-4 実験結果

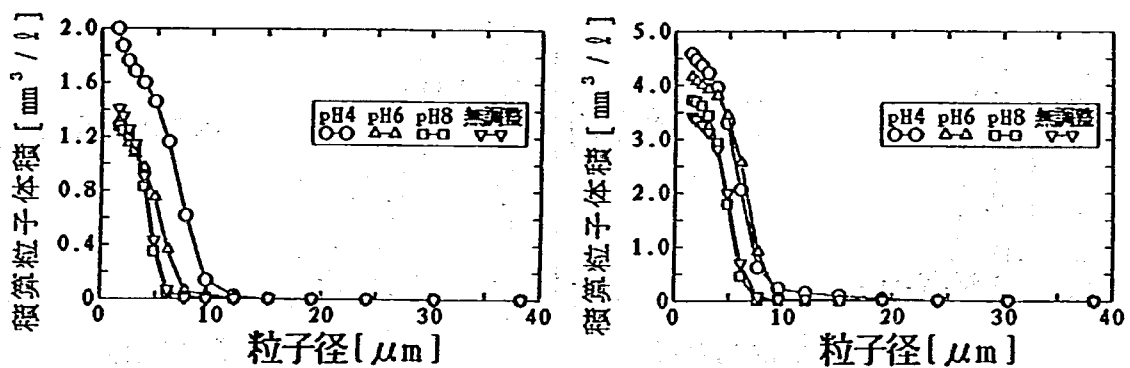
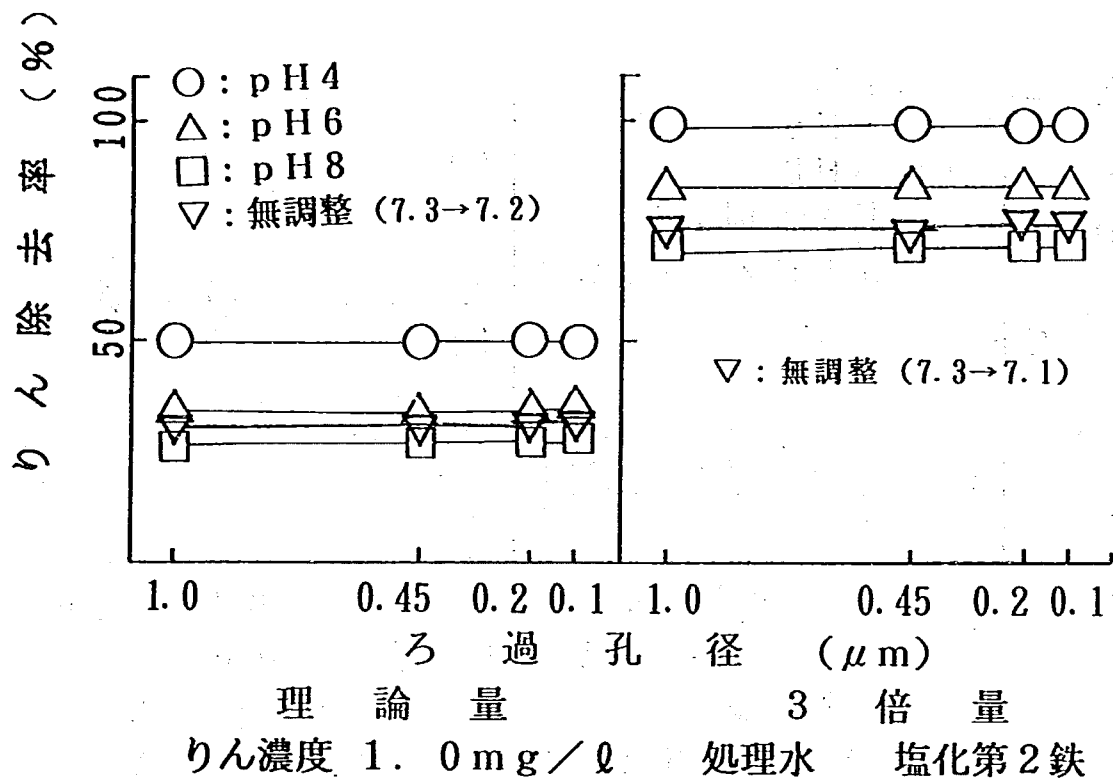
塩化第二鉄を用いた実験結果を図-6、7に示す。参考のためりん酸第二鉄、りん酸アルミニウムの溶解度曲線を図-10に示す。理論当量、3倍量の添加ともpHが高くなるにつれ溶解度曲線どおりりん除去率が低くなっている。また、溶解度曲線以上(0.03mg-P/l)にりん濃度が低下しているため、りん酸塩は鉄と錯体となって結合している可能性が考えられた。溶解度が最小となる範囲内のpH4で理論当量と3倍量でりんの除去率が2倍程度違うが、これは水酸化物等共存反応物の生成に凝集剤が消費されるためであり、十分なりん除去を行うためには3倍量程度の凝集剤添加が必要である。

塩化アルミニウムを用いた実験結果を図-8、9に示す。溶解度が最小となるpH6付近で各添加量においてりん除去率が最大となっているが塩化第二鉄と同様、3倍量の添加でなければ十分なりん除去が行われないものとなっている。初期りん濃度の違いによっては各々の凝集剤とも、りん濃度が低いことによって若干除去率が低下している。ろ過孔径の違いによるりん除去率の差は現れていない。これは生成したりんの不溶性化合物はほとんど1 $\mu$ m以上の粒径を有することを示している。1 $\mu$ m以上の粒径の粒径分布を把握するために積算粒子体積を算出した(図-6~9の下段)。積算粒子体積は、生成した粒子を全て球と仮定して粒子分布から換算した体積の積算値である。2~64 $\mu$ mの測定範囲ではあるが、粒子の分布範囲としては10 $\mu$ m以下の粒子がほとんどである。また、積算粒子体積量とりん除去量の関係を図-11に示す。生成体積量が多い程りん除去量も大きくなっている。さらに、初期りん濃度が高い程生成体積量が多いためりん酸化合物由来の粒子が多いと考えられる。

尚、本実験で生成したフロックは目視では観察できなかったため、かなり微細で密なフロックが形成されているものと考えられる。



図一六 ろ過孔径の違いによるりん除去率と生成粒子体積  
(設定りん濃度0.3mg-P/l, 塩化第二鉄)



図一7 ろ過孔径の違いによるりん除去率と生成粒子体積  
(設定りん濃度1.0mg-P/l, 塩化第二鉄)

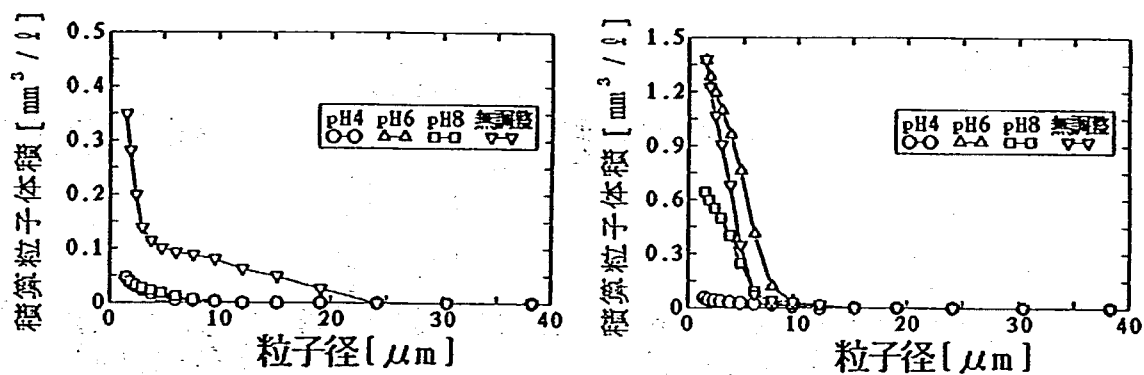
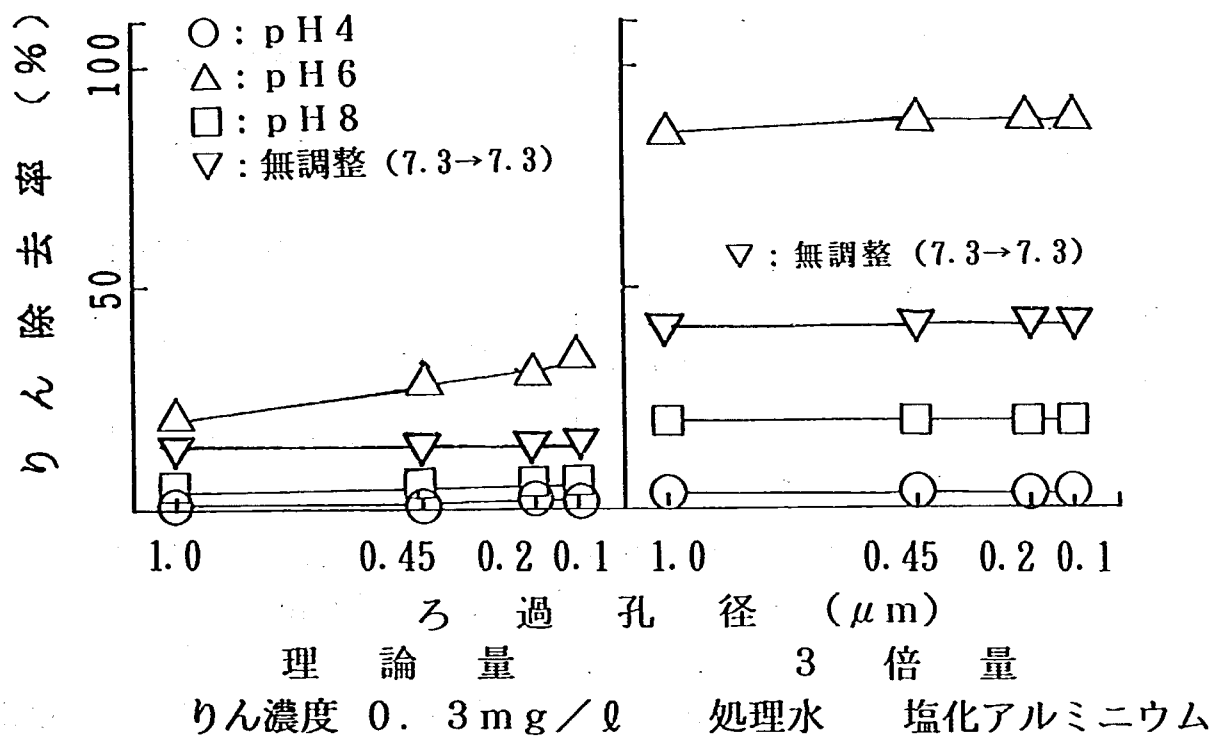


図-8 ろ過孔径の違いによるりん除去率と生成粒子体積  
(設定りん濃度0.3mg・P/l, 塩化アルミニウム)

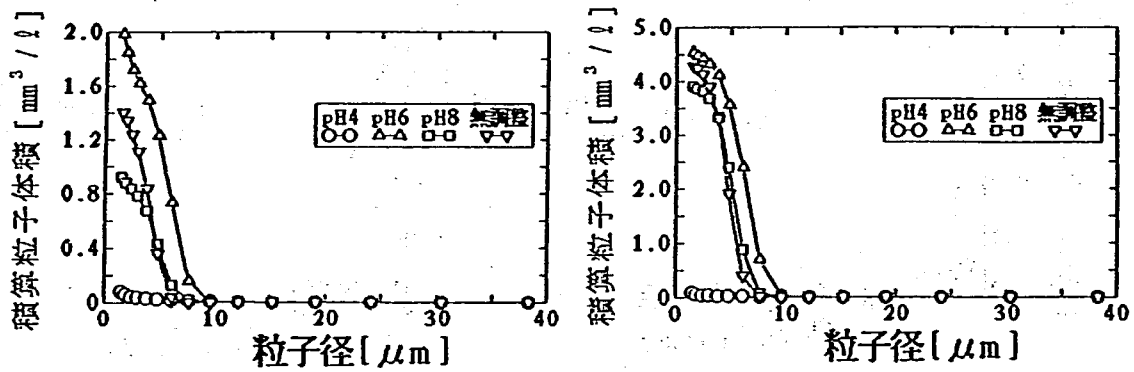
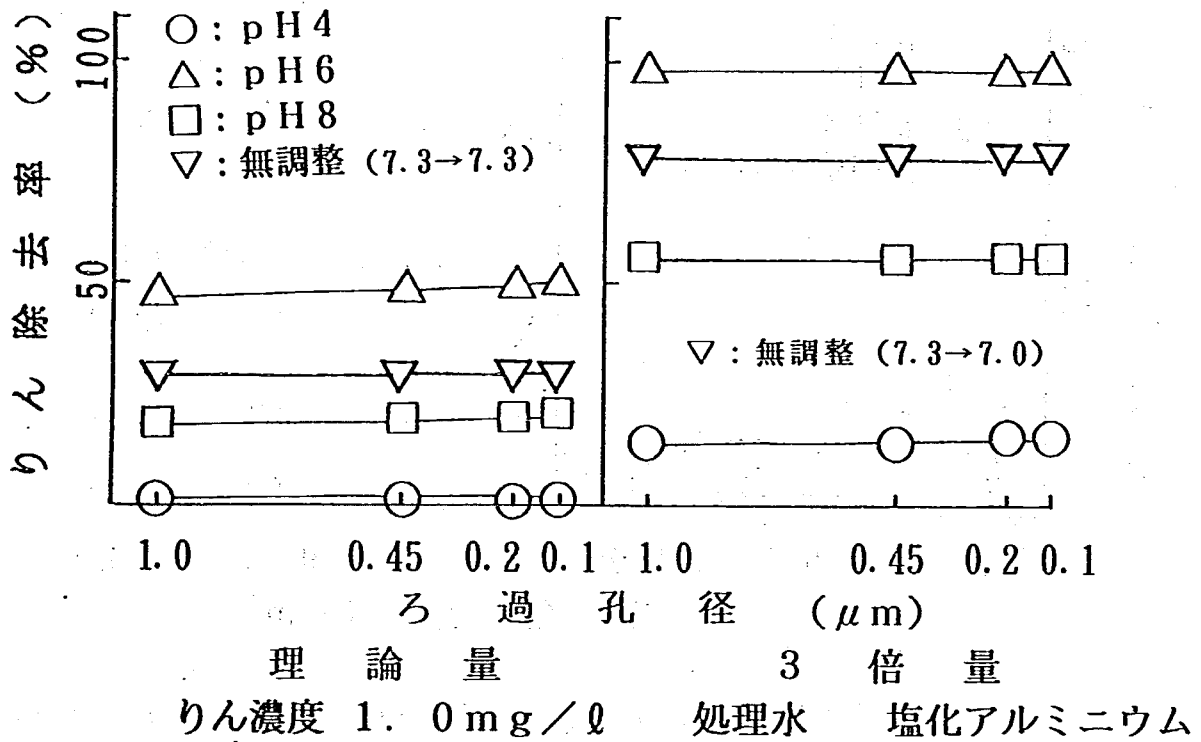


図-9 ろ過孔径の違いによるりん除去率と生成粒子体積  
(設定りん濃度1.0mg-P/l, 塩化アルミニウム)

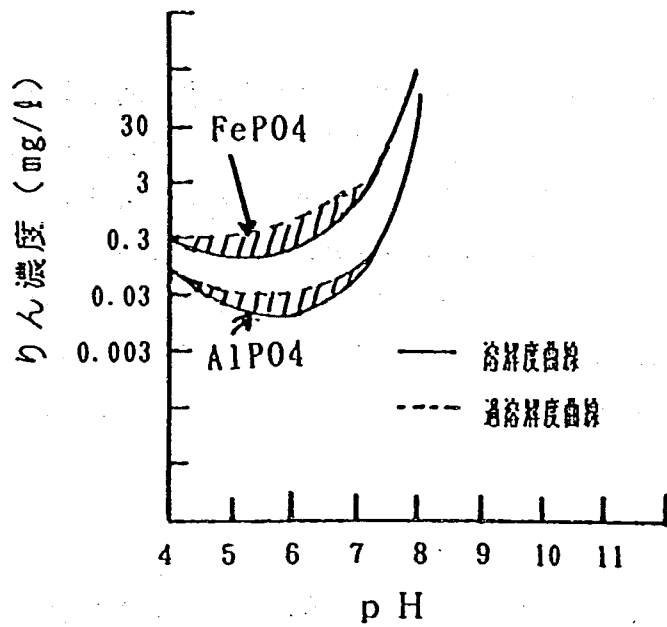


図-10 リン酸化合物の溶解度

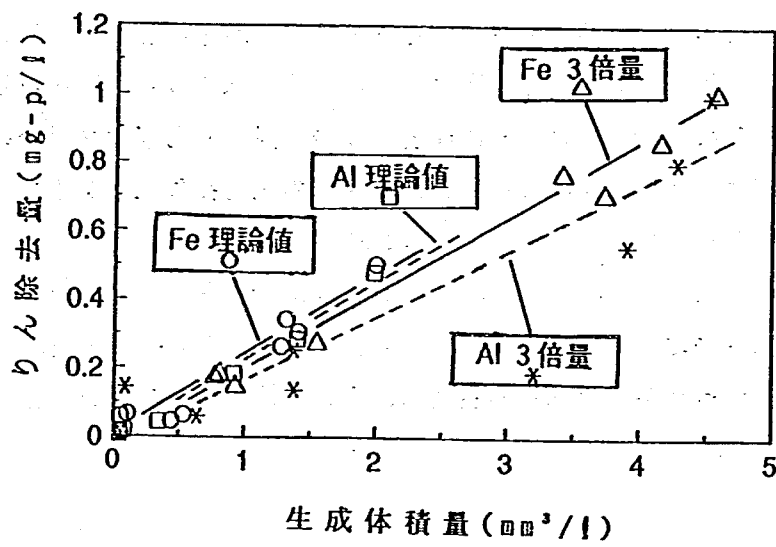


図-11 生成体積量とりん除去量の関係

## 第4章 マイクロフロックパイロットプラントによるりん除去調査

### 4-1 調査目的

室内実験のマイクロフロック生成によるりん除去に関する基礎的実験結果では、添加する金属塩凝集剤各々の溶解度が最小となる領域でりん除去率が最大となったが、共存物質による凝集剤の消費のため、凝集剤の投入量は溶解性りん除去に必要な理論当量の3倍量程度としないと、高いりん除去率は得られなかった。生成粒子径は $10\mu\text{m}$ 以下の粒子がほとんどであり、 $1.0\sim 0.1\mu\text{m}$ とろ過孔径を小さくしてもりん除去率は変化しないことから、本パイロットプラント実験では生成したマイクロフロックの分離のために砂ろ過法を適用し、凝集剤注入量や砂ろ過によるろ過速度の違いが、りん除去率に及ぼす影響を検討することを目的に、マイクロフロックパイロットプラントを製作し、実処理水を用いて調査を行った。

### 4-2 調査方法

パイロットプラントはK下水処理場内に設置、原水には室内実験に使用したものと同一の高度処理水（嫌気-無酸素-好気法と凝集剤添加活性汚泥法の処理水を混合して急速ろ過を行ったもの）を用いた。パイロットプラントの概要を図-12と写真-1に示す。パイロットプラントはりん濃度調整槽、スタテックミキサー（内径11mm、長さ2,100mm）、砂ろ過塔（内径285mm、ろ層厚2,300mm）などより構成される。尚、ろ過塔のろ層構成は高橋ら<sup>4)</sup>の報告を参考に表-4に示すよう決定した。また、実験条件を表-5に示す。凝集剤にはポリ塩化アルミニウム（多木化学株式会社製 PAC 250A）を使用し、その品質性状を表-6に示す。実験方法は高度処理水にりん酸を添加し、所定のりん濃度にした後、スタテックミキサーで凝集剤を混合し砂ろ過塔へ送水、ろ過水のりん濃度を測定した。実験ケースを表-7に示すが、凝集剤添加量3段階、ろ過速度5段階、設定りん濃度2段階の合計9ケースについて行い、ろ過継続時間はろ過塔に設置したマンメーターの圧力損失水頭が水柱換算で約2m以上に達するか、あるいはろ層からフロックの流出が観察された時点で終了した。ろ過塔の洗浄は図-13に示すような方法により行った。尚、現地測定項目を表-8に分析項目及び分析方法を表-9に示した。尚、りん濃度の測定は自動比色分析装置（TRAACS800、ブラルベ社）を用い、モリブデン青法（アスコルビン酸）により測定を行ったが、原水りん濃度は、手分析法（モリブデン青法、アスコルビン酸）によっても併せて実施した。

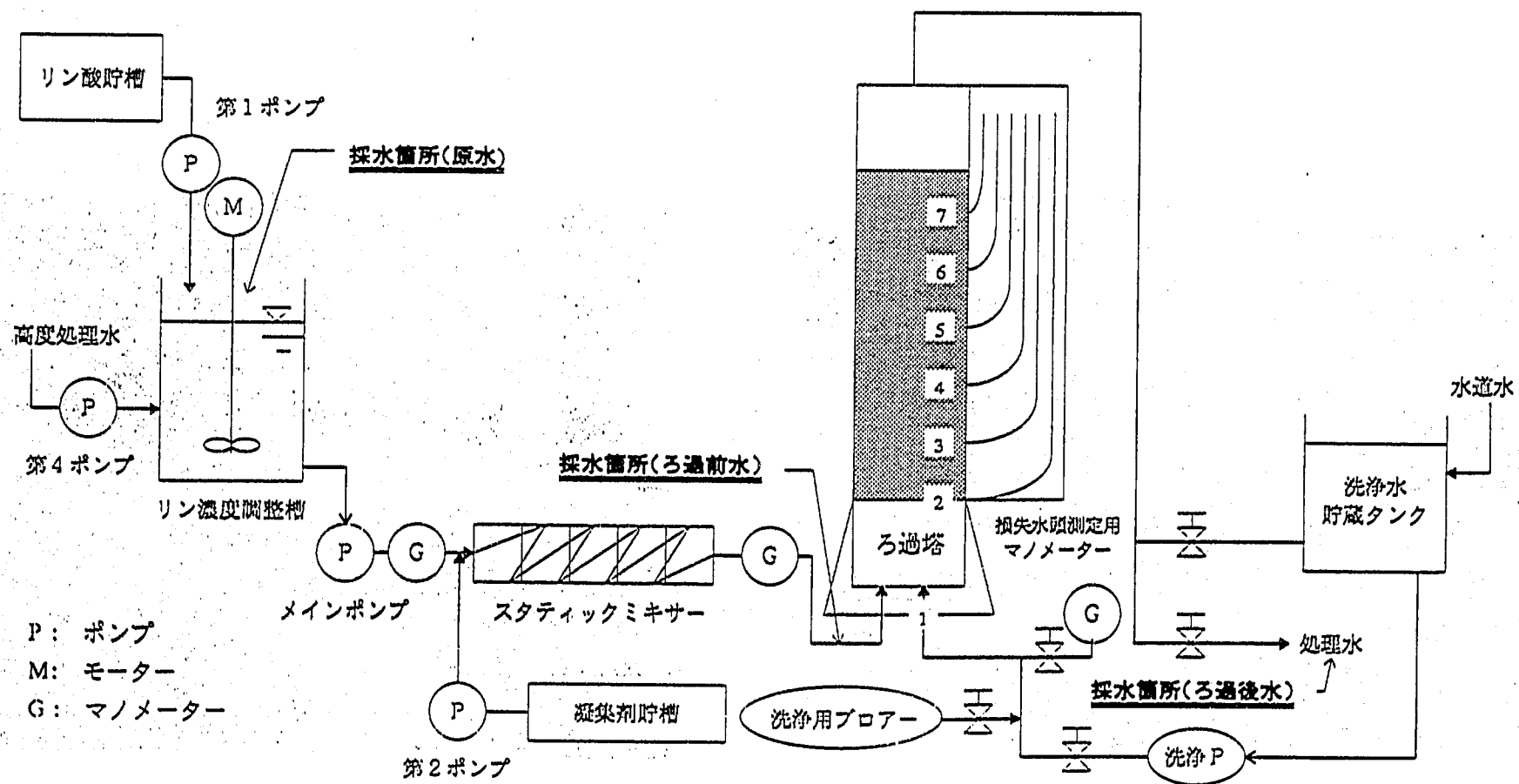


図-12 パイロットプラントの概要

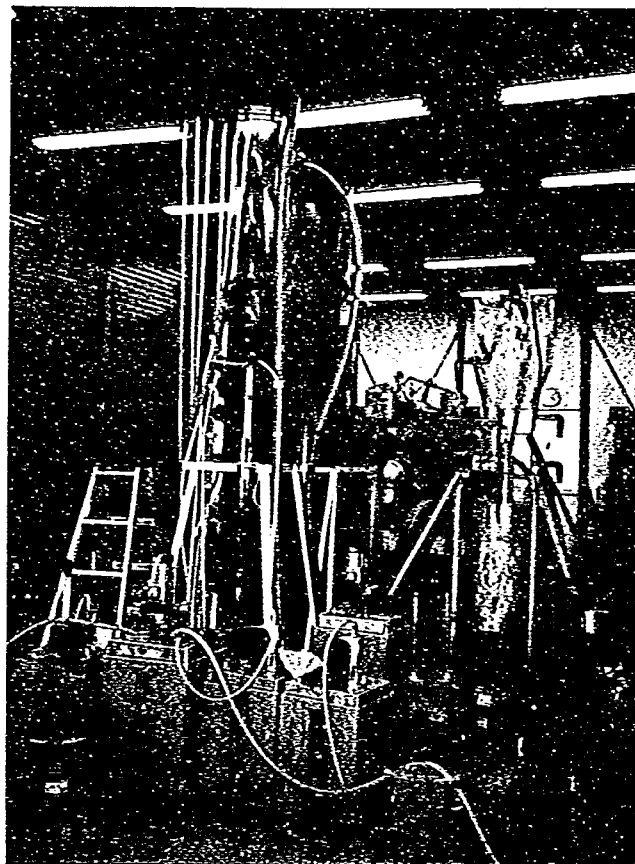


写真-1-1 パイロットプラント

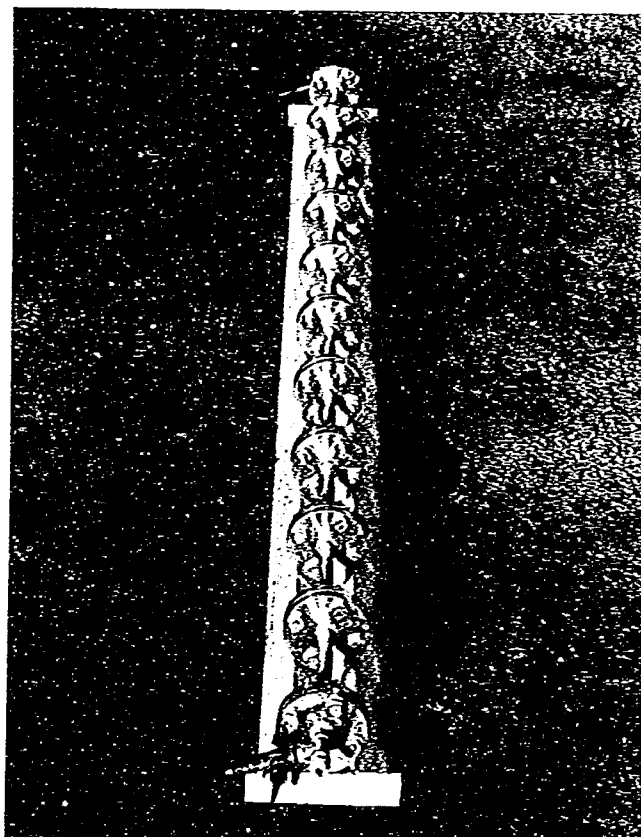


写真-1-2 スタテックミキサー

表一4 ろ過塔ろ層構成

| 粒 径 (mm)       | 層厚 (mm) |
|----------------|---------|
| 0.6 (有効径、      | 700     |
| 1.25 均等係数1.4以下 | 200     |
| 2~3            | 300     |
| 3~6            | 300     |
| 8~12           | 300     |
| 20~35          | 500     |
| ろ過材は珪砂         | 計 2,300 |

表一5 実験条件

| 使用原水          | 高度処理水                   |
|---------------|-------------------------|
| 凝集剤           | ポリ塩化アルミニウム              |
| pH            | 無調整                     |
| 凝集剤添加量        | 1.5, 3, 5 倍量            |
| 設定りん濃度        | 0.5, 1.0 mg/l           |
| ろ過速度<br>(m/日) | 50, 75, 100<br>150, 200 |

表一6 ポリ塩化アルミニウムの品質性状表

|             |             |
|-------------|-------------|
| 品名          | PAC 250A    |
| 製造元         | 多木化学株式会社    |
| 外観          | 無色ないし淡黄褐色透明 |
| 比重(20℃)     | 1.20±0.01   |
| 酸化アルミニウム(%) | 10.3±0.3    |
| 塩基度         | 51±4        |
| pH(1W/V%溶液) | 4.1±0.5     |
| 硫酸イオン (%)   | 3.0±0.5     |
| アモニア性窒素 (%) | <0.003      |
| ヒ素 (ppm)    | <0.5        |
| 鉄 (%)       | <0.006      |
| マンガン (ppm)  | <10         |
| カドミウム (ppm) | <0.3        |
| 鉛 (ppm)     | <1          |
| 水銀 (ppm)    | <0.1        |
| クロム (ppm)   | <1          |

使用上の注意：50%以上の溶液で使用。30%以下の希釈液では、  
白濁しやすく効力が若干低下する。

表一 7 パイロットプラントの実験ケース

| 条件 \ ケース      | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 設定りん濃度 (mg/l) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5  | 0.5 |
| 凝集剤注入量 (倍量)   | 1.5 | 3   | 5   | 3   | 5   | 5   | 5   | 5    | 5   |
| ろ過速度 (m/日)    | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50  | 75  | 150  | 200 |

表一 8 現地測定項目

気温、水温、pH、色相、外観、  
 スタテックミキサー前後のマノメーター値の読み、  
 損失水頭測定用のマノメーター値の読み、  
 ※ スタテックミキサー前後のマノメーター値の読みは実験開始時  
 に行った。

表一 9 分析項目及び分析方法

| 分析項目                               | 分析方法                                                |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| SS                                 | 下水試験方法                                              |
| 粒度分布                               | コールターカウンター法<br>(アパーチャーチューブの孔径50 $\mu$ m)            |
| T-P<br>D-T-P<br>PO <sub>4</sub> -P | 自動比色分析装置<br>(TRAACS 800、ブラムヘ社)<br>モリブデン青法 (アスコルビン酸) |

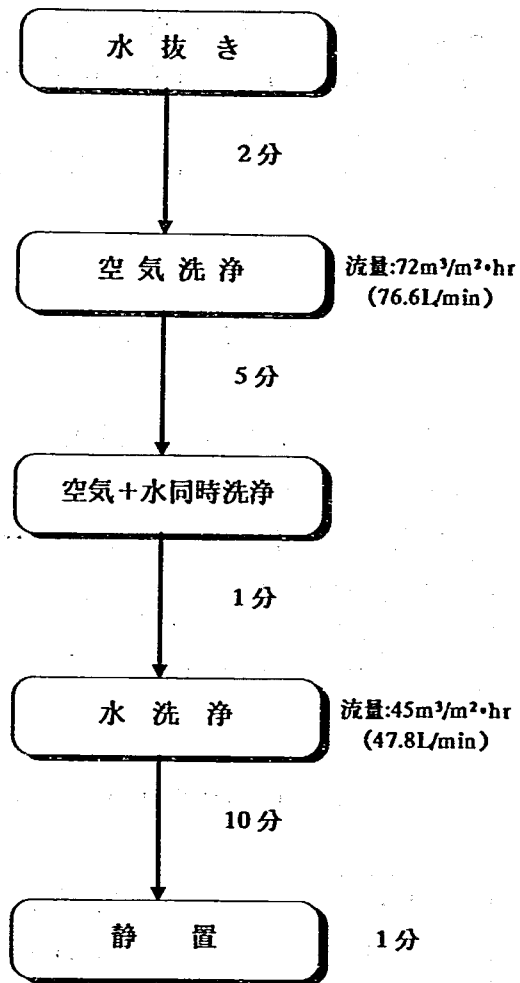


図-13 砂ろ過塔の洗浄方法

#### 4-3 スタテックミキサーによる凝集剤の攪拌混合

室内実験においては、攪拌槽とミキサーを用いた回分的方法でマイクロブロックを生成し固液分離を行いりん除去実験を実施した。パイロットプラント実験では、連続的にマイクロブロックを含む検水を砂ろ過塔へ供給しなければならないが、マイクロブロック生成後の検水をポンプで送水した場合、生成したブロックを壊す可能性がある。このため、攪拌槽とミキサーを用いる方法の代わりにスタテックミキサーをろ過塔の前段に設置、スタテックミキサーの入り口において凝集剤を注入することにより攪拌混合及びマイクロブロックを生成させるプロセスとした。

各条件下でのスタテックミキサーのG値：平均速度勾配(1/s)と滞留時間 t (sec)を以下の式<sup>5)</sup>より計算し、その結果を表一10に、スタテックミキサー前後のマノメーター値(圧力差)を表一11に示した。

各条件下での平均速度勾配G値は、約530~3,500以上であり、下水処理プロセスの混合操作の位置づけとしては、急速混和操作及び接触ろ過における急速混和に相当するG値であると考えられた<sup>5)</sup>。

平均速度勾配G値(1/s)と滞留時間 t (sec)

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad P = \gamma Q h$$

$$t = V / Q$$

ここに、 G 値：平均速度勾配(1/sec)       $\mu$ ：水の粘度(Kg/m<sup>2</sup>・s)  
h：損失水頭(m)       $\gamma$ ：水の比重量(KN/m<sup>3</sup>)  
P：消費動力(KW)      Q：流量(m<sup>3</sup>/sec)  
V：スタテックミキサー容量(m<sup>3</sup>)

表一10 G値と滞留時間

| ろ過速度    | G 値 (1/sec) | t (sec) |
|---------|-------------|---------|
| 50 m/日  | 530         | 5.4     |
| 75 m/日  | 1,090       | 3.6     |
| 100 m/日 | 1,600       | 2.7     |
| 150 m/日 | 2,280       | 1.2     |
| 200 m/日 | > 3,500     | 0.9     |

表-11 スタテックミキサー前後のマノメーター値

| 測定部位 \ 流量 (ml/min) | 50   | 75   | 100  | 150  | 200   |
|--------------------|------|------|------|------|-------|
| 入口 (cm Hg)         | 28.4 | 48.9 | 71.4 | 94.3 | > 150 |
| 出口 (cm Hg)         | 17.0 | 17.6 | 20.4 | 25.1 | 25.1  |
| 差圧 (cm Hg)         | 11.4 | 31.3 | 51.0 | 69.2 | > 125 |

(スタテックミキサーによるマイクロブロックの生成状況)

各ケースのスタテックミキサー攪拌混合後のマイクロブロック生成状況を表-12に示す。各ケースとも測定した粒子径のうち最も数多く生成した粒子径範囲は $1 \sim 1.26 \mu m$ である。その占める割合は各ケース約20~40%で推移しており、スタテックミキサー内の滞留時間が5.4~0.9秒、G値が530~3,500以上(1/S)と変化しても大きな差はないと考えられる。また、各ケースの生成粒子径は $10 \mu m$ 以下の粒子が99%以上を占めており、スタテックミキサー内で生成されるブロックは、その大部分がマイクロブロックであった。しかし、凝集剤添加量が理論当量の5倍量で初期りん濃度が $0.5 mg/l$ から $1.0 mg/l$ に増加すると生成粒子数は約 $7 \times 10^4$ 個/mlから約 $14 \times 10^4$ 個/mlと2倍に、生成体積量は約 $1.1 \times 10^{-3} mm^3/ml$ から約 $3.4 \times 10^{-3} mm^3/ml$ と3倍量となる。各ケースの総生成粒子数と生成体積量の関係を図-14に示す。ケースIVを除くとほぼ直線上にプロットされている。

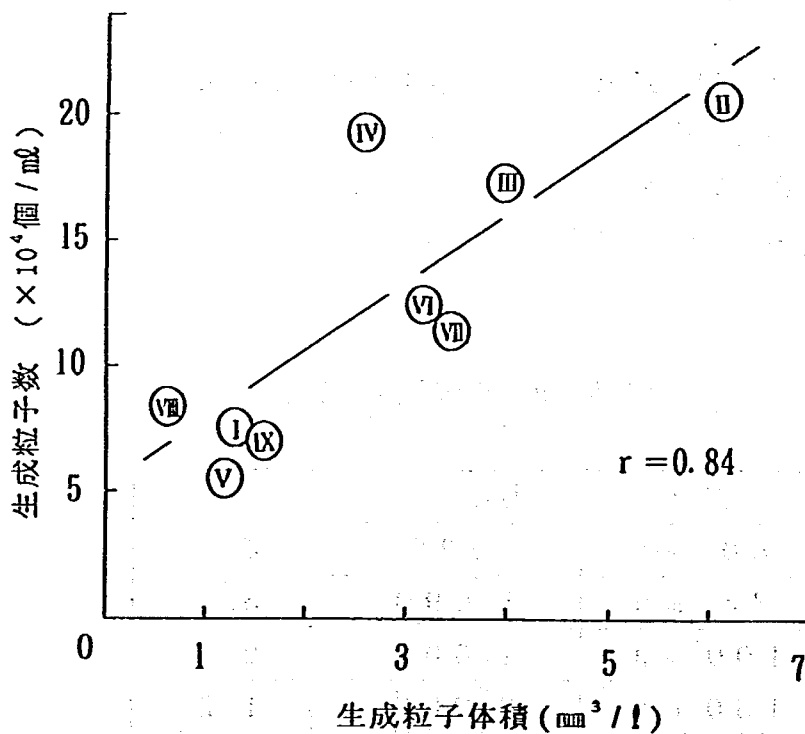


図-14 総生成粒子数と生成体積量の関係

表-12 スタテックミキサーによるマイクロブロックの生成状況

| 項目 \ 実験ケース                                     | I             |               | II            |               | III           |               | IV            |               | V             |               | VI            |               | VII           |               | VIII          |               | IX            |               |
|------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 粒子体積( $\times 10^{-3} \text{mm}^3/\text{mL}$ ) | 1.30          |               | 6.04          |               | 3.94          |               | 2.57          |               | 1.17          |               | 3.08          |               | 3.29          |               | 0.58          |               | 1.41          |               |
| 最多生成粒子径( $\mu\text{m}$ )                       | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               | 1.00~1.26     |               |
| 測定粒子径範囲<br>( $\mu\text{m}$ )                   | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    | 粒子数<br>(個/mL) | 構成<br>比(%)    |
| 1.00~1.26                                      | 30456         | 39.5          | 54621         | 26.2          | 46866         | 27.3          | 79902         | 41.5          | 21262         | 37.9          | 29100         | 23.8          | 21624         | 18.5          | 35212         | 41.3          | 24832         | 33.2          |
| 1.26~1.59                                      | 15812         | 20.5          | 29613         | 14.2          | 27435         | 16.0          | 39650         | 20.6          | 11624         | 20.7          | 18082         | 14.8          | 15326         | 13.1          | 21082         | 24.7          | 13868         | 18.5          |
| 1.59~2.00                                      | 8121          | 10.5          | 17904         | 8.6           | 17826         | 10.4          | 21298         | 11.1          | 6652          | 11.9          | 12786         | 10.5          | 12026         | 10.3          | 11546         | 13.5          | 8878          | 11.9          |
| 2.00~2.52                                      | 5091          | 6.6           | 15861         | 7.6           | 14310         | 8.3           | 13138         | 6.8           | 3994          | 7.1           | 11358         | 9.3           | 11708         | 10.0          | 6426          | 7.5           | 5984          | 8.0           |
| 2.52~3.17                                      | 4161          | 5.4           | 19260         | 9.2           | 15810         | 9.2           | 10110         | 5.3           | 2698          | 4.8           | 11758         | 9.6           | 13248         | 11.4          | 3932          | 4.6           | 4722          | 6.3           |
| 3.17~4.00                                      | 4196          | 5.4           | 24297         | 11.7          | 18600         | 10.8          | 9704          | 5.0           | 2486          | 4.4           | 12968         | 10.6          | 15040         | 12.9          | 3098          | 3.6           | 4956          | 6.6           |
| 4.00~5.04                                      | 3944          | 5.1           | 23400         | 11.2          | 16320         | 9.5           | 9016          | 4.7           | 2620          | 4.7           | 12926         | 10.6          | 14626         | 12.5          | 2472          | 2.9           | 5422          | 7.2           |
| 5.04~6.35                                      | 3300          | 4.3           | 15012         | 7.2           | 9846          | 5.7           | 6590          | 3.4           | 2400          | 4.3           | 9380          | 7.7           | 9876          | 8.5           | 1200          | 1.4           | 4250          | 5.7           |
| 6.35~8.00                                      | 1623          | 2.1           | 6195          | 3.0           | 3486          | 2.0           | 2498          | 1.3           | 1782          | 3.2           | 3268          | 2.7           | 2678          | 2.3           | 252           | 0.3           | 1740          | 2.3           |
| 8.00~10.1                                      | 327           | 0.4           | 1779          | 0.9           | 903           | 0.5           | 510           | 0.3           | 464           | 0.1           | 490           | 0.4           | 370           | 0.3           | 26            |               | 162           | 0.2           |
| 10.1~12.7                                      | 44            | 0.1           | 369           | 0.2           | 240           | 0.1           | 104           | 0.1           | 48            | 0.1           | 66            | 0.1           | 104           | 0.1           | 10            |               | 26            |               |
| 12.7~16.0                                      | 14            |               | 63            |               | 69            |               | 28            |               | 10            |               | 22            |               | 50            |               | 6             |               | 12            |               |
| 16.0~20.2                                      | 8             |               | 18            |               | 3             |               | 14            |               | 12            |               | 4             |               | 30            |               | 6             |               | 6             |               |
| 20.2~25.4                                      | 2             |               | 12            |               | 3             |               | 4             |               | 4             |               | 2             |               | 8             |               | 0             |               | 0             |               |
| 25.4~32.0                                      | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               | 0             |               |
| 総粒子数(個/mL)                                     | 77099         | $\approx 100$ | 208404        | $\approx 100$ | 171717        | $\approx 100$ | 192566        | $\approx 100$ | 56056         | $\approx 100$ | 122210        | $\approx 100$ | 116714        | $\approx 100$ | 85268         | $\approx 100$ | 74858         | $\approx 100$ |

#### 4-4 調査結果

(凝集剤添加量と初期りん濃度がりん除去率に及ぼす影響)

パイロットプラントの運転結果を表-13に示すが、ろ過後水の平均りん濃度は、ろ過後水のりん濃度が低レベルに安定した段階からのものである。図-15~23にりん濃度の経時変化を示したが、ケースVIについてはろ過速度が遅い分、他のケースと比較して処理水のりん濃度が低レベルに安定するまでに時間を要している。

原水設定りん濃度  $1\text{mg-P/l}$ 、ろ過速度  $100\text{m/日}$ 、ケースIの理論当量の1.5倍量の添加においては、あまり高いりん除去率が得られずT-P、溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ とも68.8%であった。これは、水酸化物等共存反応物の生成に凝集剤が消費されたためであると考えられる。しかし、この時の砂ろ過後水のT-P濃度と溶解性(GF/B 公称孔径 $1.0\mu\text{m}$ でろ過)  $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が同一であり、懸濁性りんがほぼ0であることより、生成したりんの不溶性化合物は砂ろ過によって補足されていることが示された。また、スタテックミキサー混合後の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が、原水のリん濃度に対して約50%の濃度であることから、りん不溶性化合物はスタテックミキサー内のみならず、砂ろ過層内でも生成されているものと考えられる。ケースIIの3倍量の添加においては処理水の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平均濃度も $0.03\text{mg-P/l}$ 、除去率が96.9%と高く、ケースIIIの5倍量の添加においては処理水の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平均濃度が $0.02\text{mg-P/l}$ で、除去率が97.9%となり3倍量の添加よりもさらに高度にりんが除去されている。3、5倍量添加のスタテックミキサー混合後の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、原水のリん濃度に対して4~25%の濃度であることから、りん酸イオンとの反応に凝集剤が充分存在していれば、りんの不溶性化合物はスタテックミキサー内で短時間に生成されるものと考えられる。原水設定りん濃度 $0.5\text{mg-P/l}$ 、ろ過速度 $100\text{m/日}$ 、ケースIVの3倍量の添加においては、処理水の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平均濃度が $0.09\text{mg-P/l}$ 、除去率が81.3%となっており原水りん濃度が低くなることにより、りん除去率も低下している。室内実験でも同様な結果が得られており、共存イオンによる化合物の生成がりんの除去率に影響を及ぼしているものと考えられる。この影響について概念的に現したものが図-24である。原水りん濃度の低い場合には、凝集剤の添加量(3倍量を仮定)が少なくなり共存イオンによる凝集剤の消費によってりん酸イオンとの反応に必要な凝集剤の量に不足分を生じる。しかし、原水りん濃度が高い場合には、凝集剤の添加量も多くなることから共存イオンに凝集剤が消費されても、りん酸イオンとの反応に必要な量の凝集剤は充分残存することとなる。ケースVについては、凝集剤の添加量を5倍量とすることでケースIVよりも高いりん除去率が得られている。よって、原水りん濃度が $1.0\text{mg/l}$ 程度の場合には理論当量の3倍量、原水りん濃度が $0.5\text{mg/l}$ 以下の場合には5倍量程度の凝集剤添加量が必要であると考えられる。

また、参考のために図-10にりん酸アルミニウムの溶解度曲線を示したが、砂ろ過後水のpHが7前後であることから、処理水のりん濃度は溶解度曲線とほぼ同じ(ケースI、IVを除く)濃度となっている。

表-13 パイロットプラント運転結果

| 運 転 条 件   |            |                         |               | 運 転 結 果             |                     |                    |                     |         |                     |                    |              |
|-----------|------------|-------------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------|
| 実験<br>No. | 凝集剤<br>注入量 | 原 水<br>リン濃度<br>(mg-P/l) | ろ過速度<br>(m/日) | ミキサ-混合水<br>(mg-P/l) |                     | ろ過後水平均<br>(mg-P/l) |                     | 平均リン除去率 |                     | ろ過継続<br>時 間<br>(h) | ろ過水量<br>(m³) |
|           |            |                         |               | T-P                 | D-PO <sub>4</sub> P | T-P                | D-PO <sub>4</sub> P | T-P     | D-PO <sub>4</sub> P |                    |              |
| I         | 1.5倍量      | 0.93                    | 100m/日        | 0.89                | 0.48                | 0.29               | 0.29                | 68.8 %  | 68.8 %              | 4 8                | 12.8         |
| II        | 3 倍量       | 0.97                    |               | 0.79                | 0.04                | 0.05               | 0.03                | 94.8 %  | 96.9 %              | 2 6                | 6.9          |
| III       | 5 倍量       | 0.96                    |               | 0.82                | 0.10                | 0.04               | 0.02                | 95.8 %  | 97.9 %              | 1 7                | 4.5          |
| IV        | 3 倍量       | 0.48                    |               | 0.32                | 0.12                | 0.09               | 0.09                | 81.3 %  | 81.3 %              | 5 9                | 15.7         |
| V         | 5 倍量       | 0.52                    |               | 0.47                | 0.03                | 0.02               | 0.03                | 96.2 %  | 94.2 %              | 4 2                | 11.2         |
| VI        | 5 倍量       | 0.96                    | 50m/日         | 0.77                | 0.11                | 0.05               | 0.04                | 94.8 %  | 95.8 %              | 4 5.5              | 6.1          |
| VII       | 5 倍量       | 0.99                    | 75m/日         | 0.88                | 0.06                | 0.05               | 0.04                | 94.9 %  | 96.0 %              | 3 0.3              | 6.1          |
| VIII      | 5 倍量       | 0.61                    | 150m/日        | 0.63                | 0.07                | 0.09               | 0.05                | 85.2 %  | 91.8 %              | 2 1.5              | 8.6          |
| IX        | 5 倍量       | 0.52                    | 200m/日        | 0.44                | 0.04                | 0.03               | 0.03                | 94.2 %  | 94.2 %              | 1 7.5              | 9.3          |

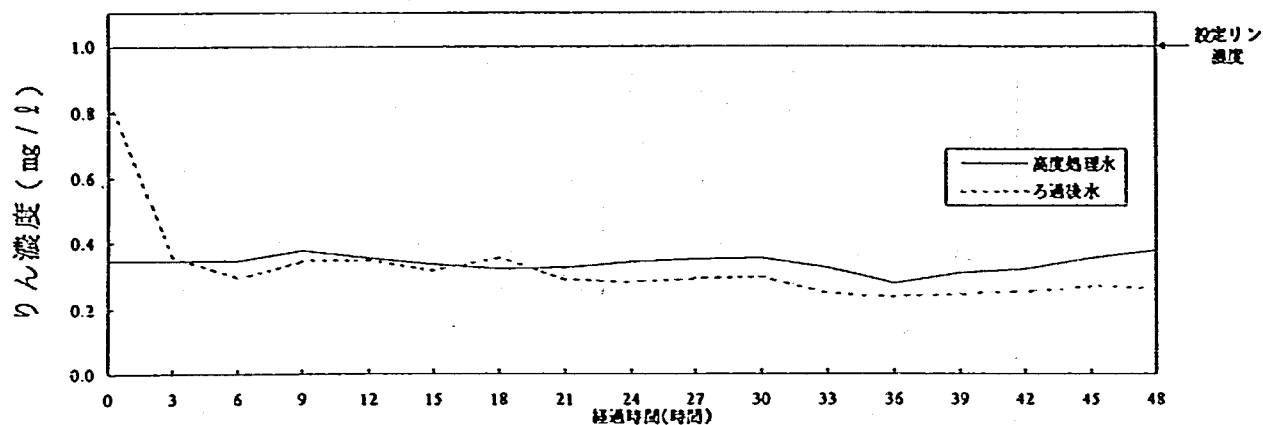


図-15 リン濃度の経時変化 (ケースⅠ)

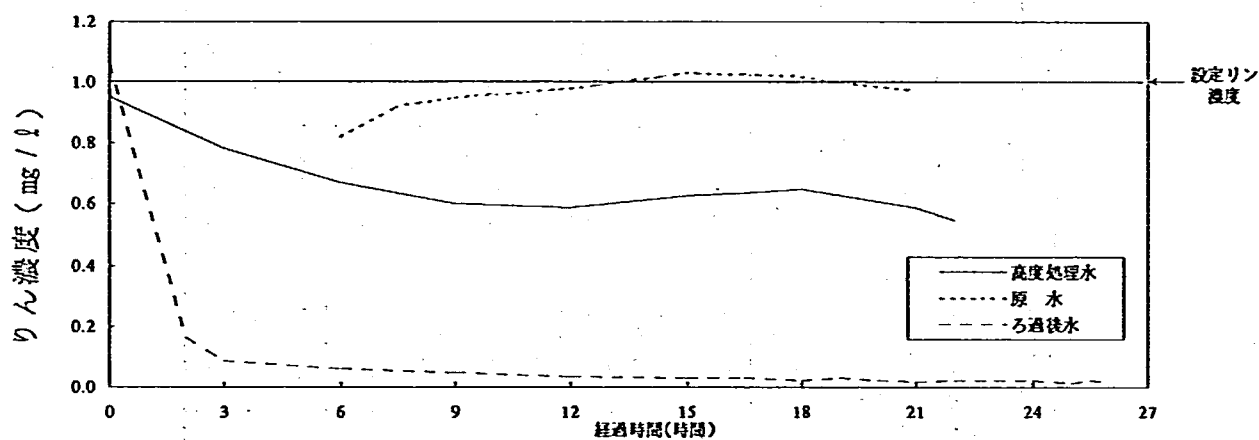


図-16 リン濃度の経時変化 (ケースⅡ)

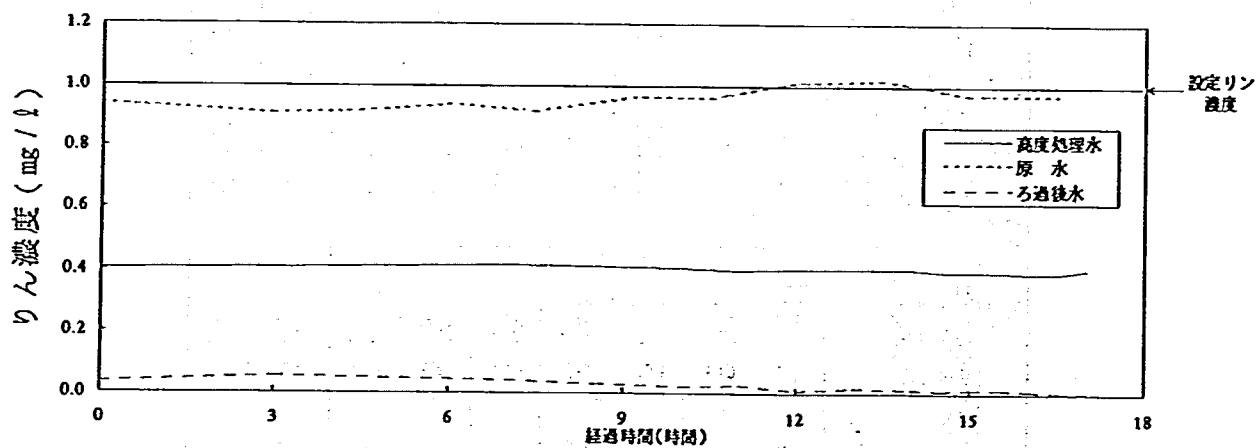


図-17 リン濃度の経時変化 (ケースⅢ)

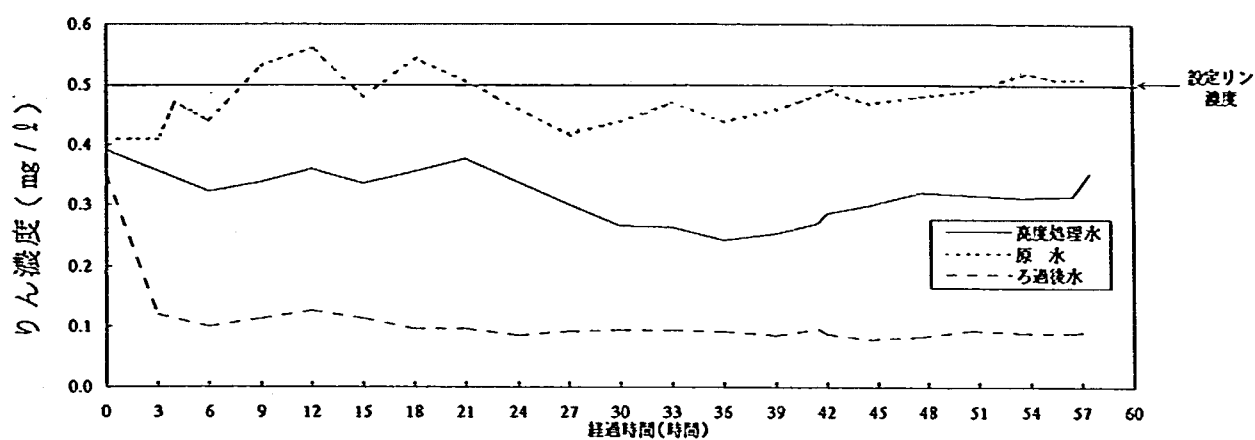


図-18 りん濃度の経時変化 (ケースIV)

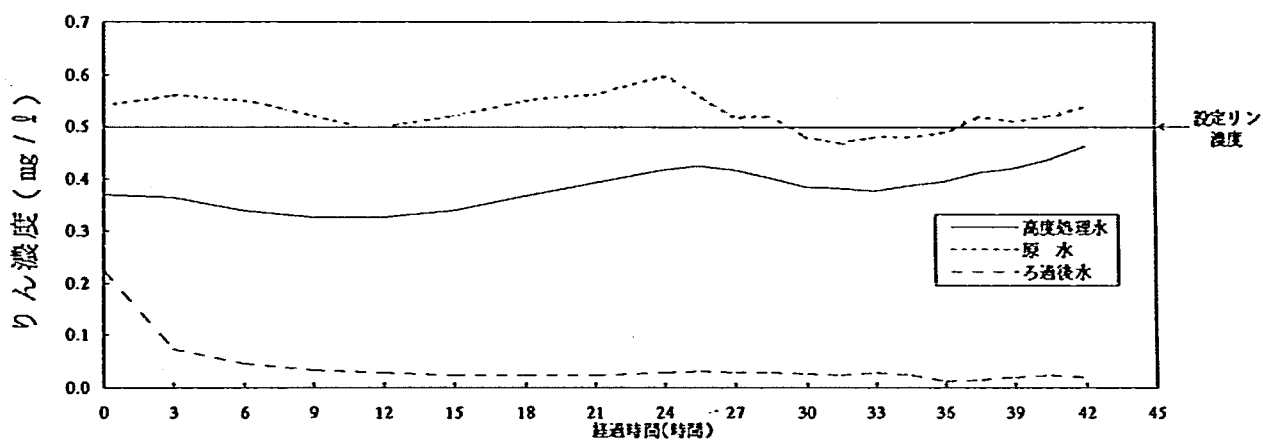


図-19 りん濃度の経時変化 (ケースV)

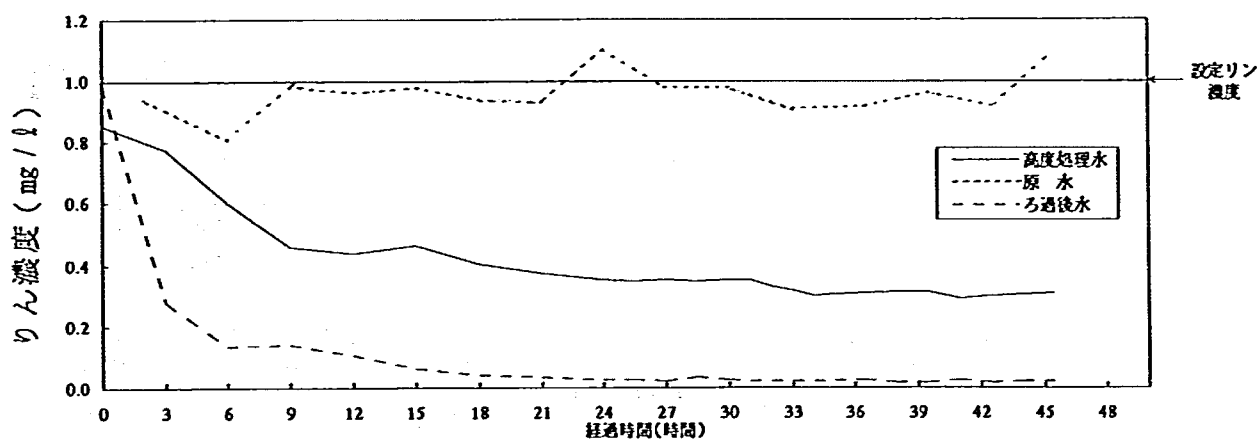


図-20 りん濃度の経時変化 (ケースVI)

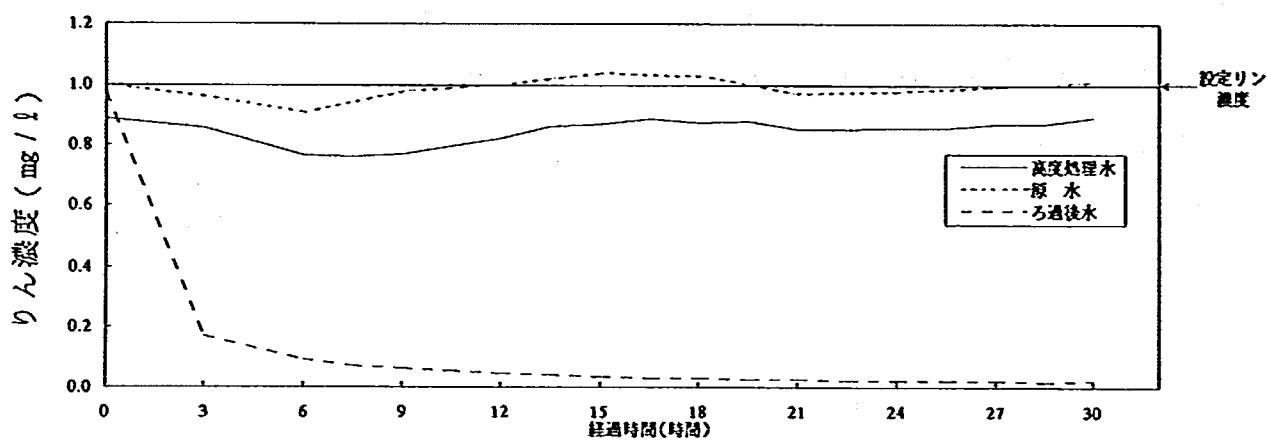


図-21 りん濃度の経時変化 (ケースⅦ)

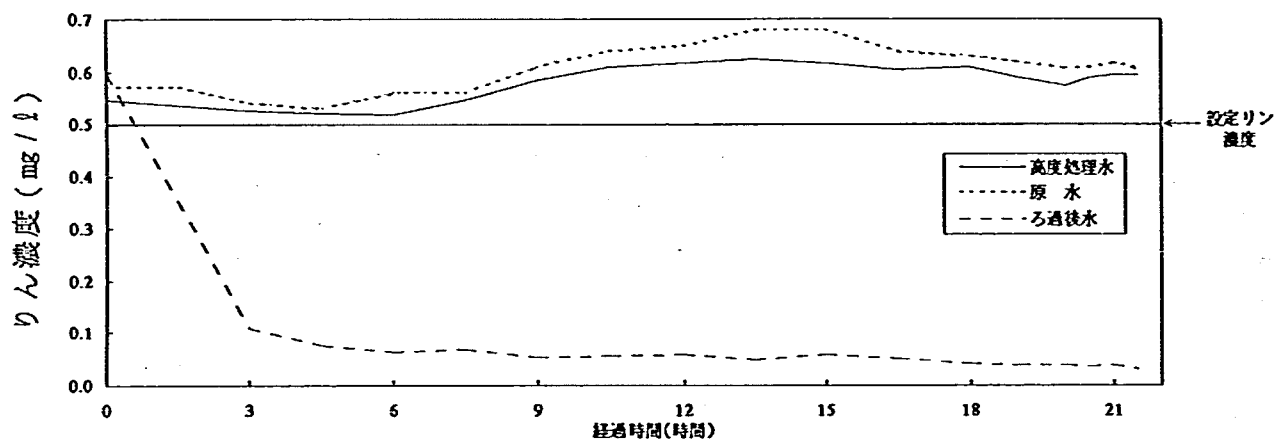


図-22 りん濃度の経時変化 (ケースⅧ)

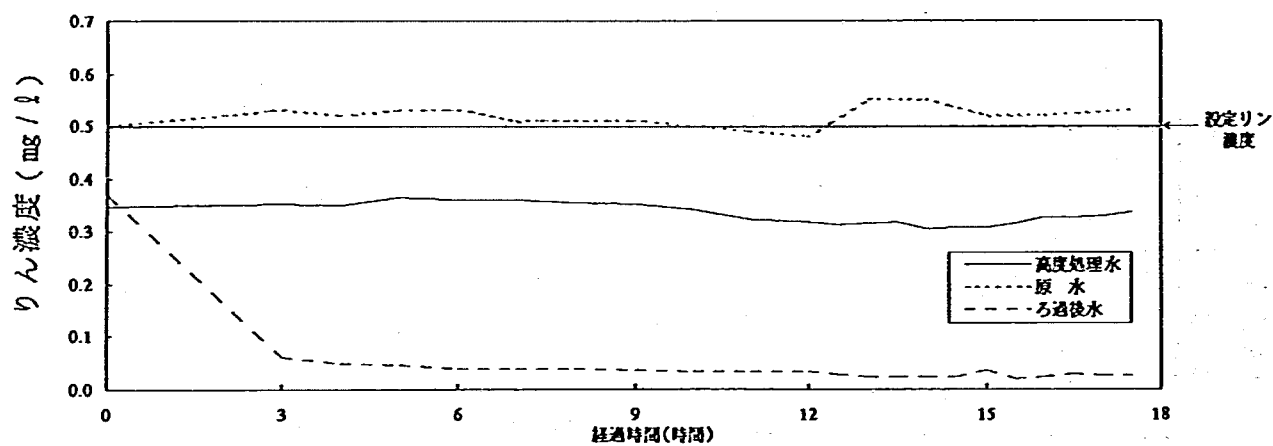


図-23 りん濃度の経時変化 (ケースⅨ)

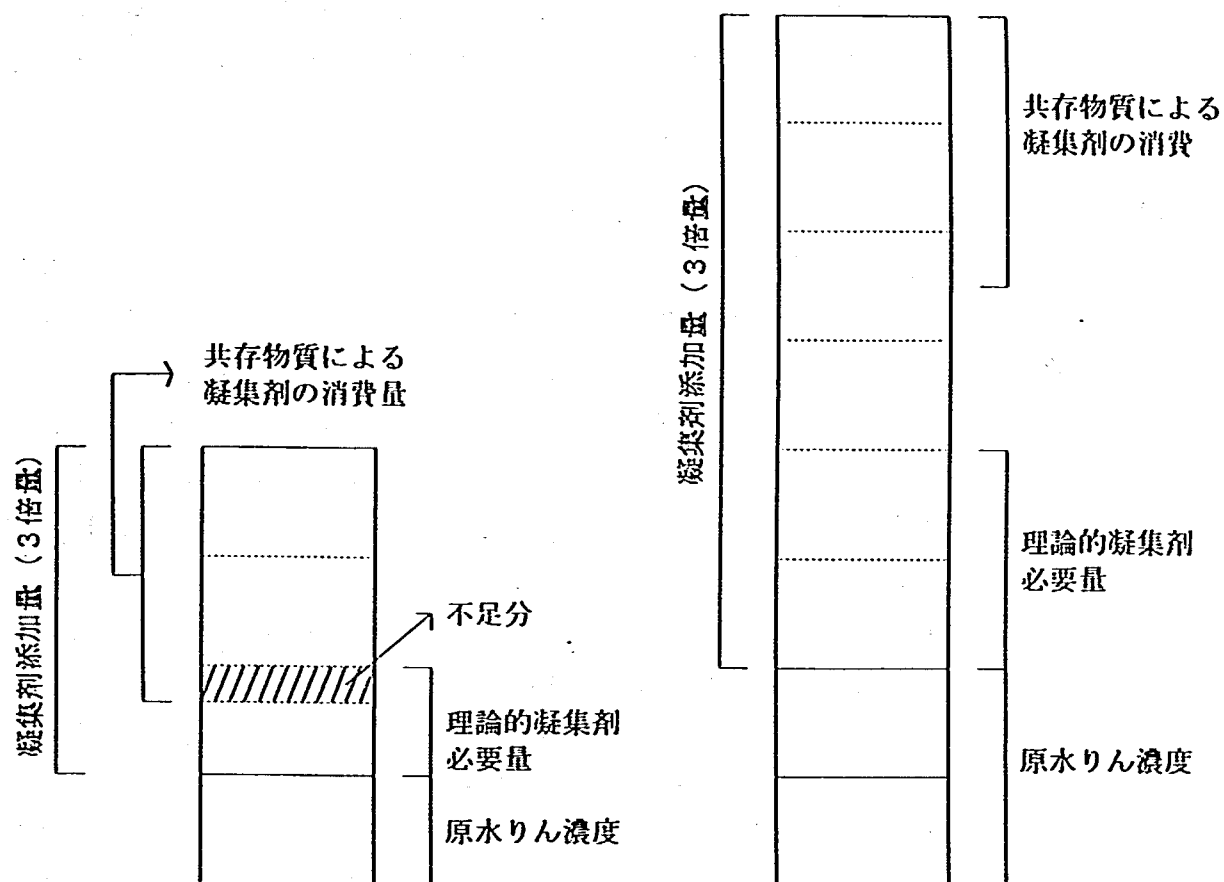


図-24 りん酸イオンと凝集剤との反応模式図

#### (ろ過速度の違いがりん除去率に及ぼす影響)

ろ過速度の違いがりん除去率に及ぼす影響を検討するため、ろ過速度を50~200m/日に変化させたが、処理水のりん濃度に大きな違いは現れていない。しかし、ろ過速度を上昇させることによってろ過継続時間が短縮するとともに、短絡流が生じるまでのろ過層内の損出水頭値が小さくなるものと考えられた。ろ層の洗浄頻度を1日1回程度とすれば、設定ろ過速度は100~150m/日程度が適当であるのではないかと考えられた。

#### (ろ過水量とろ過塔でのマイクロブロックの補足状況)

ろ過継続時間すなわちろ過水量(ろ過継続時間×ろ過速度)については、原水りん濃度及び凝集剤注入量に左右され、高いりん除去率を得るためにはろ過水量が減少してしまう。図-25に各ケースのろ過水量とりん除去率について示す。原水設定りん濃度0.5mg-P/l、5倍量添加のケースV、VIII、IXの平均ろ過水量は9.7m<sup>3</sup>であるのに対し、原水設定りん濃度1.0mg-P/l、5倍量添加のケースIII、VI、VIIでは平均ろ過水量が5.6m<sup>3</sup>に減少することから、原水りん濃度が約2倍に増加することによってろ過水量は約40%減少する。設定りん濃度1.0mg-P/l、3倍量添加のケースIIについても設定りん濃度0.5mg-P/lの各ケースに比較してろ過水量は少なくなっている。

尚、各ケースのろ過水量とSS補足量の関係を図-26に示す。補足SS量は砂ろ過塔を洗浄しそのSS濃度と洗浄水量から求めた。各ケースの補足SS量は約120gで推移している。

よって、高いりん除去率を維持するとともにろ過継続時間を長くするためには、ろ過層内でのマイクロブロックの補足状況を把握した上で最適なるろ材の粒径構成等を検討する必要があると考えられる。このため、ケースIVより砂ろ過層内の生成粒子の補足状況を把握するため、各層別に圧力損失水頭の測定を行った。表-14に各層別の圧力損失水頭の測定結果を、図-27、28に各測定部位の損失水頭値及びその積算値を、図-29にろ過塔内ろ材の構成を示す。また、図-30~38に各ケースの損失水頭の経時変化を示す。圧力測定ポイントが②~③で大きな圧力差を生じているとともに、②の測定部位で損失水頭値が突出していることから測定ポイントの③から下部の層内で大部分の生成粒子が補足されているものと考えられる。洗浄等によってろ過塔内の砂が移動していると考えられたことから、ケースIX終了時にろ過塔を分解して②から③までのろ材について、簡易的にふるい分けを行った。その結果を表-15に示す。粒径が1~2.36mmのろ材は約30%となっており、上層から下層へろ材の移動があるものの、粒径が1mm以上のろ材は約90%を占めていることから、比較的粒子径の粗いろ材で固液分離の行える可能性が伺えた。これは、ろ過層内でマイクロブロックが成長していることに起因しているものと考えられる。ケースIのスタテックミキサー混合後の溶解性P<sub>04</sub>-P濃度が、原水のりん濃度に対して50%であったものが、ろ過後ではその割合が約30%に減少していることから、ろ層内でのマイクロブロック形成が裏付けられる。さらに、ケースVとIXについて各測定ポイント別に損失水頭値を比較したものを図-39に示す。この2ケースは初期りん濃度と凝集剤添加量が同一であるが、ろ過速度がケースVでは100m/日、ケースIXでは200m/日である。ケースVのポイント①での損失水頭値が約230cmであるのに対し、ケースIXでは約210cm、ケースVのポイント②では約230cm、ケースVでは約1

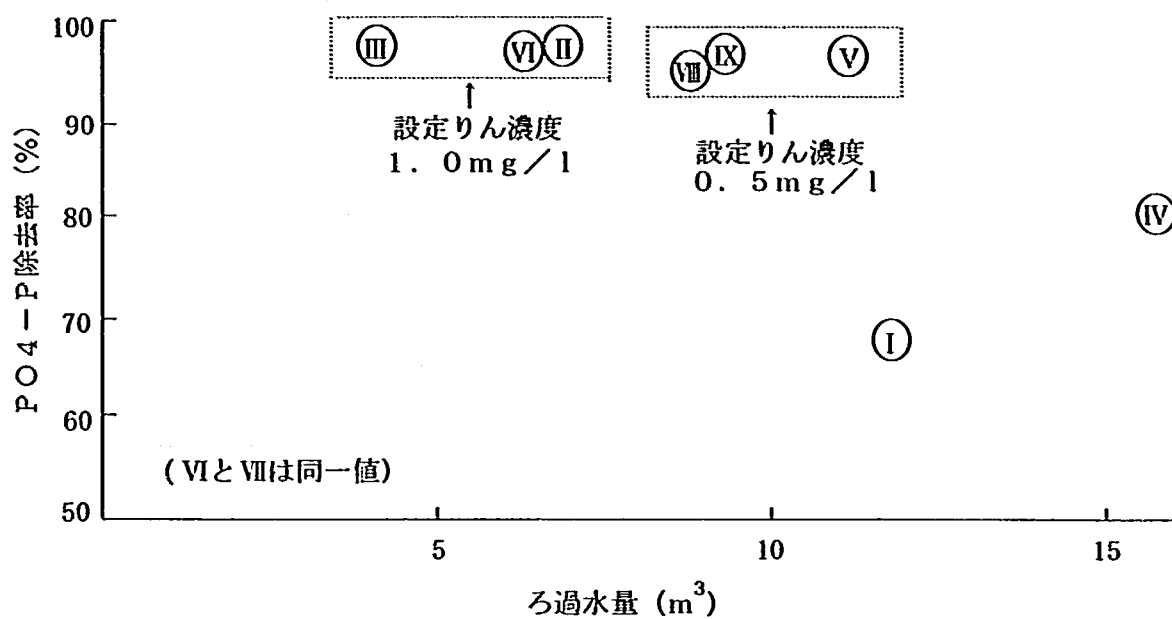


図-25 ろ過水量とりん除去率の関係

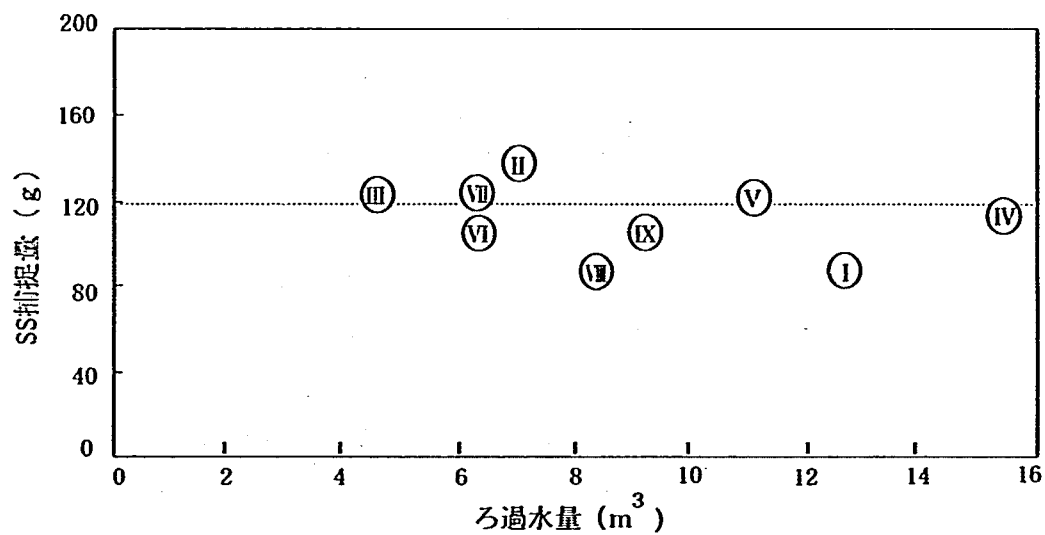


図-26 ろ過水量とSS補足量の関係

表一14 ろ過層内の損失水頭の推移

| ケース<br>ポイントNo. | IV         | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    |
|----------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | ろ過継続時間 (h) |       |       |       |       |       |
|                | 5 9        | 4 2   | 45.5  | 30.3  | 21.5  | 17.5  |
| ①              | 238.4      | 225.5 | 269.3 | 204.3 | 151.5 | 208.6 |
| ②              | 208.2      | 226.9 | 265.3 | 165.8 | 103.3 | 154.4 |
| ③              | 75.9       | 86.8  | 96.0  | 74.8  | 35.4  | 47.3  |
| ④              | 36.3       | 35.5  | 17.0  | 42.8  | 19.4  | 27.0  |
| ⑤              | 19.7       | 22.5  | 9.7   | 24.6  | 11.3  | 16.1  |
| ⑥              | 16.3       | 16.9  | 8.5   | 14.9  | 4.9   | 19.6  |

水柱換算 (cm)

表一15 ふるい分け結果

| ポイント②～③  |      |      |
|----------|------|------|
| 粒径 (mm)  | 構成比  | 累計   |
| 1.0 以下   | 11   | 11   |
| 1.0～2.36 | 33   | 44   |
| 2.36～4.0 | 23   | 67   |
| 4.0～5.6  | 16.5 | 83.5 |
| 5.6 以上   | 16.5 | 100  |

(%)

50cm、同様にポイント③ではケースVで約90cm、ケースIXで約50cmとなり、ろ過速度が1/2になることによってろ材粒径の粗い部分での損失水頭値が大きくなっている。これは、ろ過層内での滞留時間が長くなることによってブロックの成長が促進しているものと考えられた。実験回数が少ないため明確なことは言えないが、ろ過水量でもケースIXに比較してケースVでは約2 m<sup>3</sup>多いものとなっており、成長したブロックがろ材粒径の大きい下部に補足されることによってろ過水量が多くなったと考えられる。

また、ケースIX終了後ろ過塔層内別のSS補足状況を把握するために、ろ材を層別に取り出した後、洗浄しSS量を測定した。測定結果を表一16に示す。ろ過塔下部よりポイント③までの層内で、全体のSS量の約70%を占めていることから、ろ過層内の損失水頭の結果を反映したものとなっている。

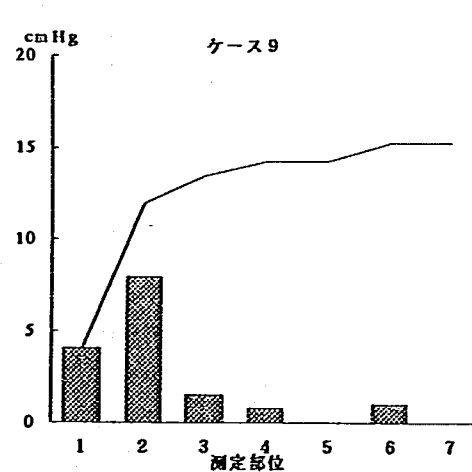
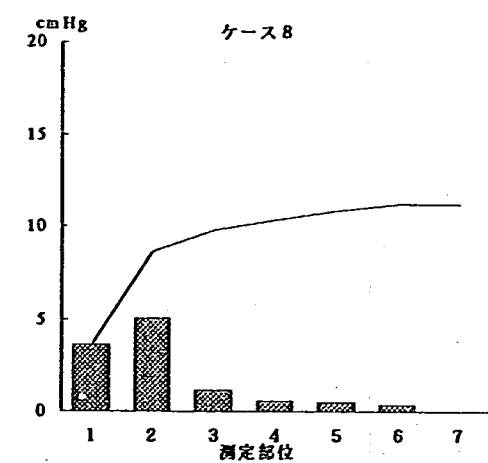
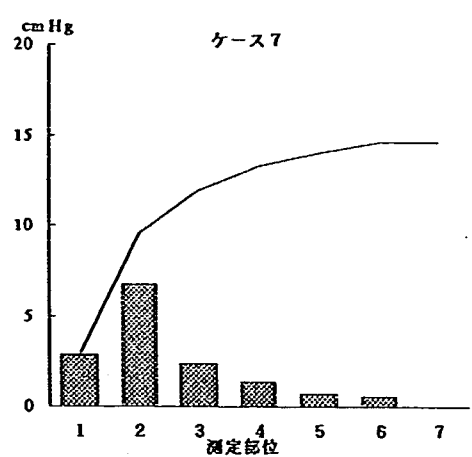
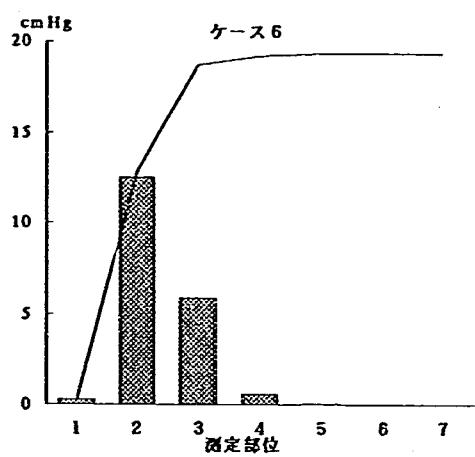
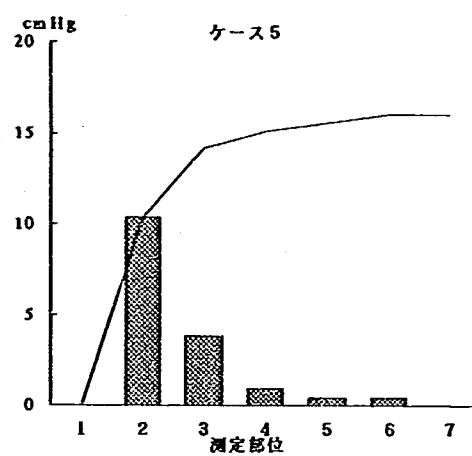
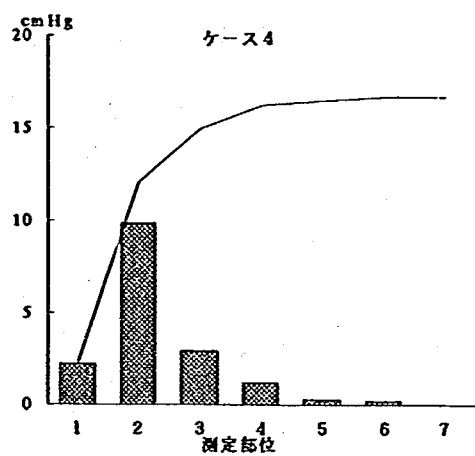


図-27 各ケースの損失水頭値（各測定部位の測定値と積算値）

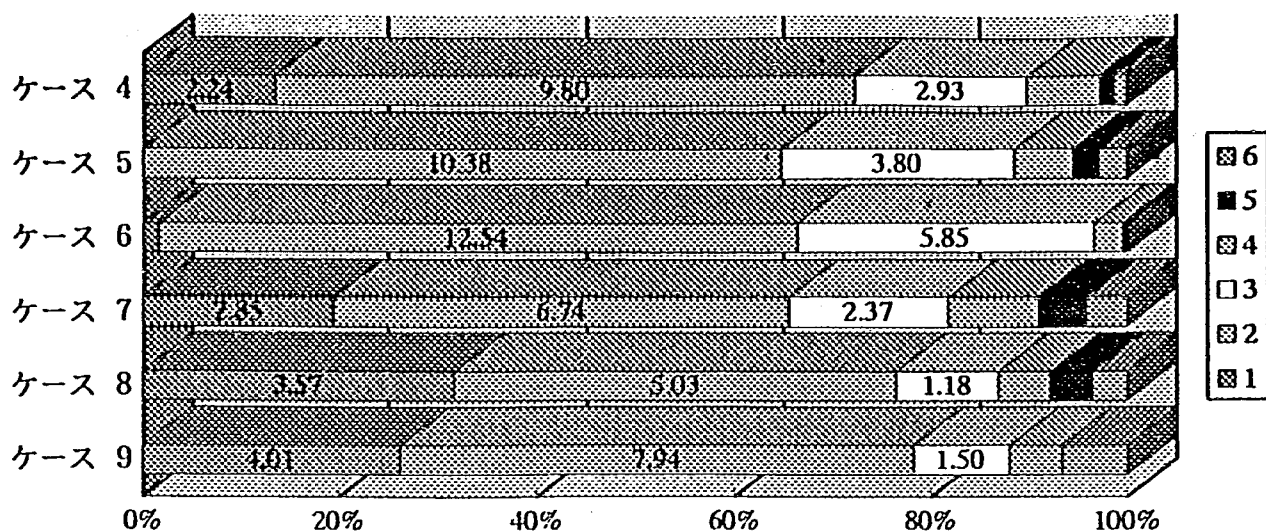


図-28 各測定部位の損失測定値

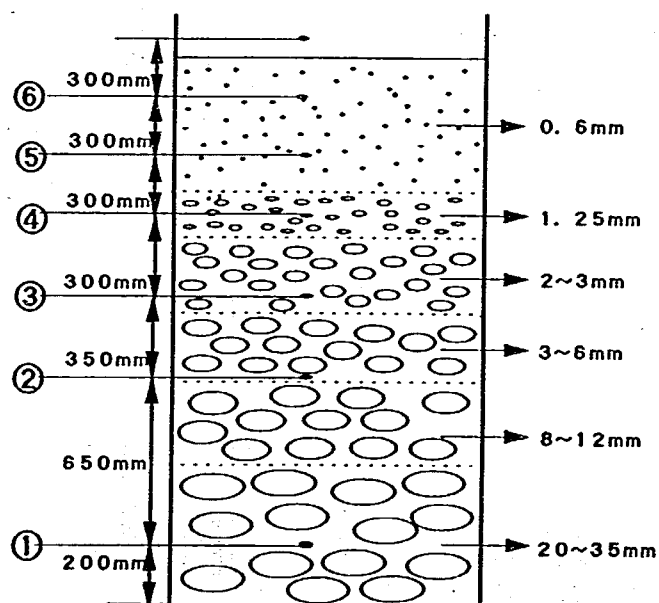


図-29 ろ層構成図

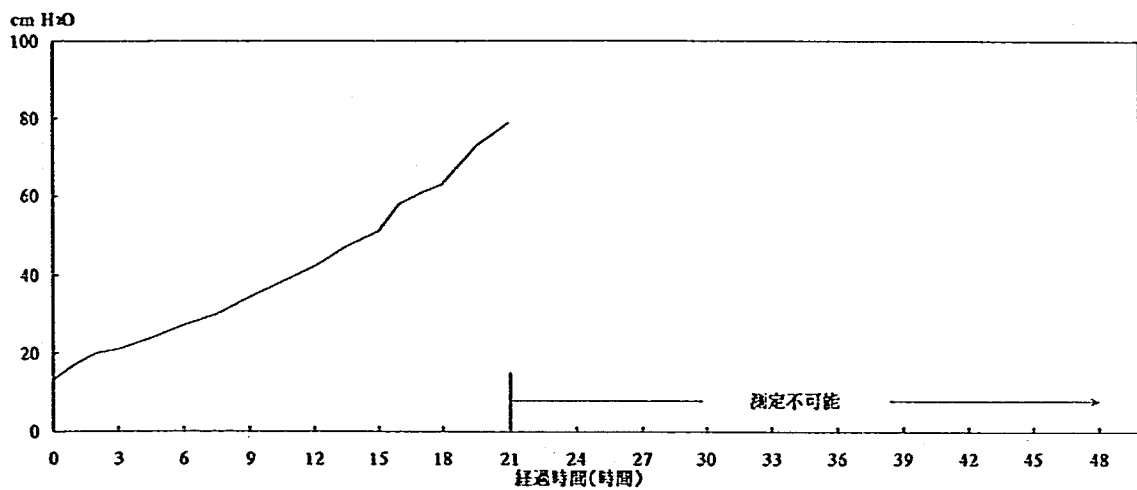


図-30 損失水頭値の経時変化 (ケース I)

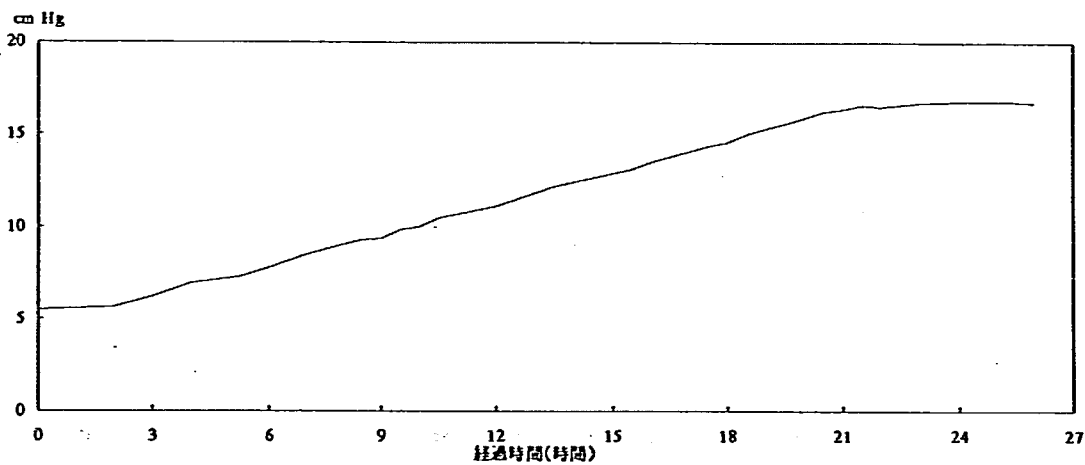


図-31 損失水頭値の経時変化 (ケース II)

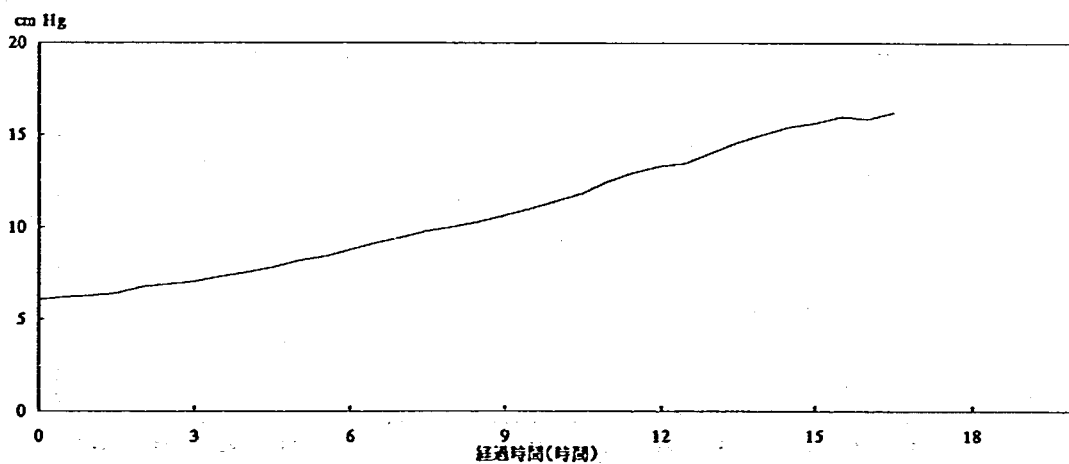


図-32 損失水頭値の経時変化 (ケース III)

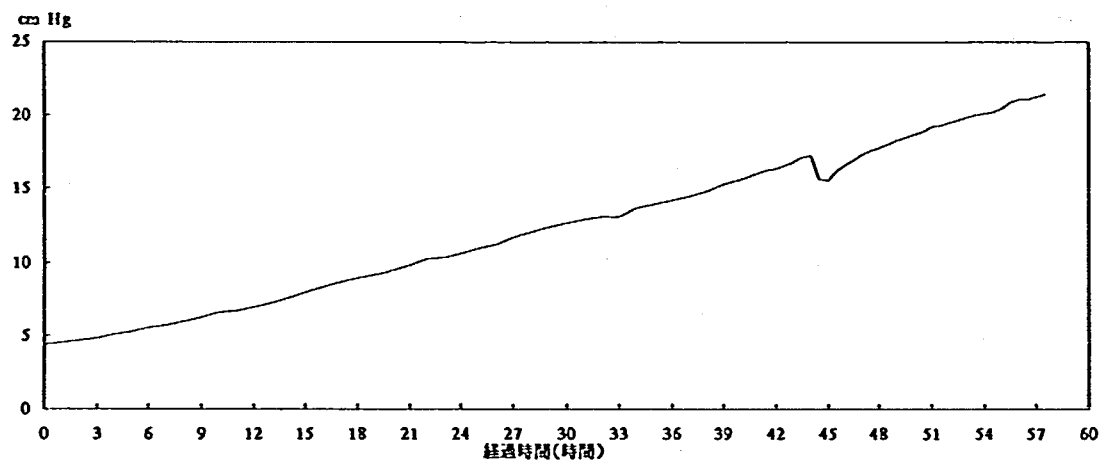


図-33 損失水頭値の経時変化 (ケースIV)

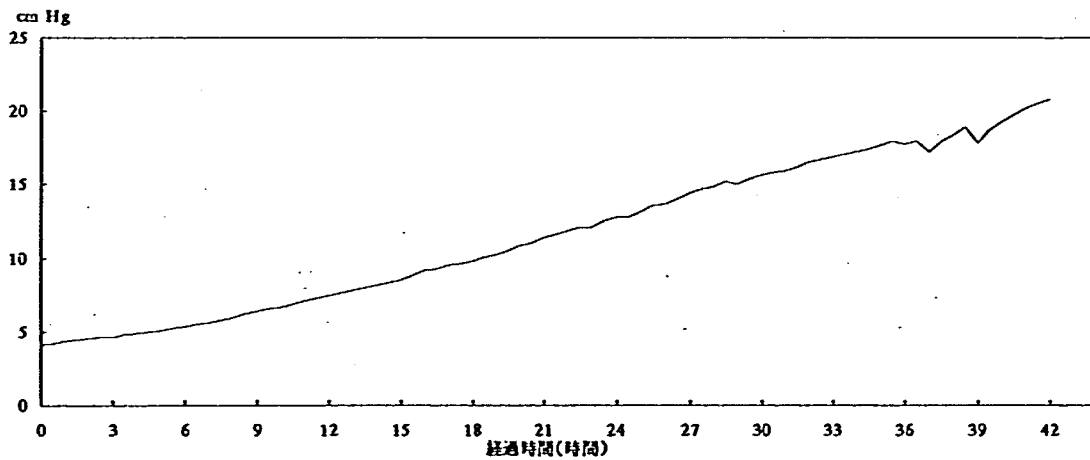


図-34 損失水頭値の経時変化 (ケースV)

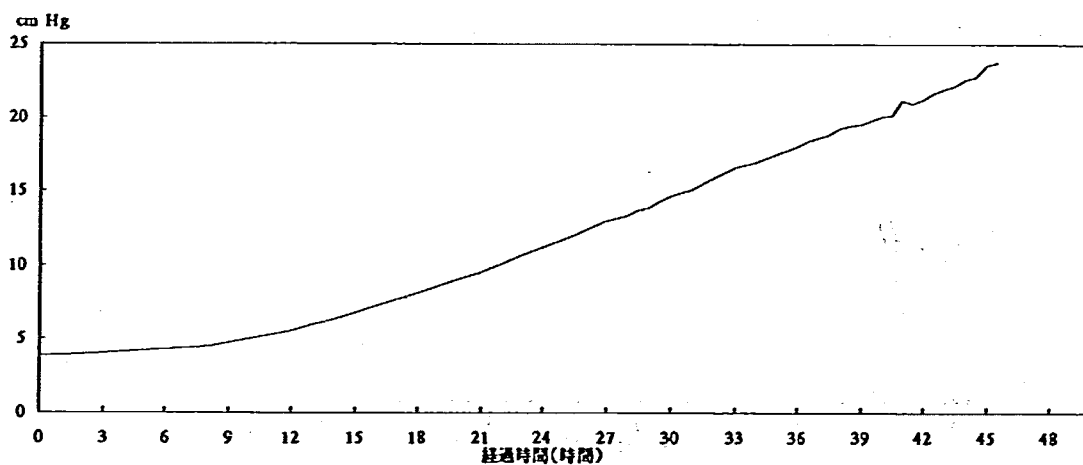


図-35 損失水頭値の経時変化 (ケースVI)

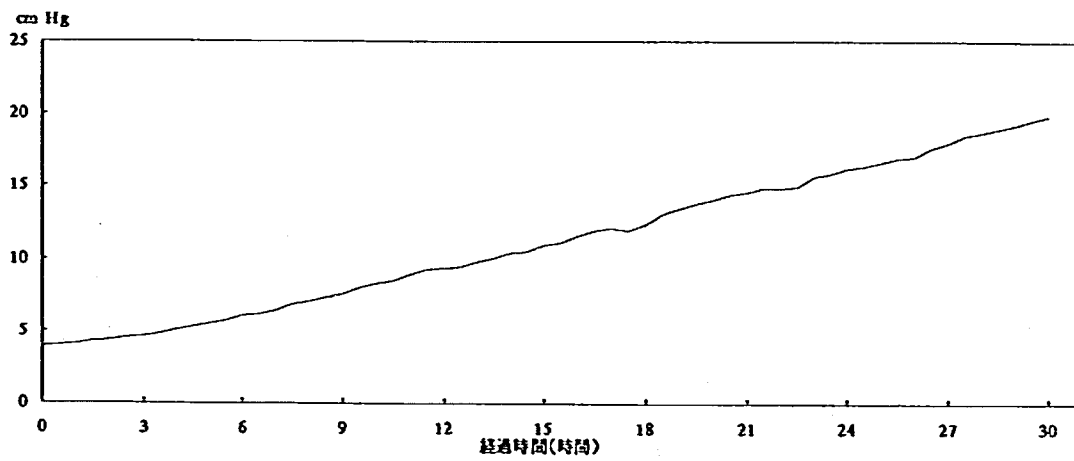


図-36 損失水頭値の経時変化 (ケースⅦ)

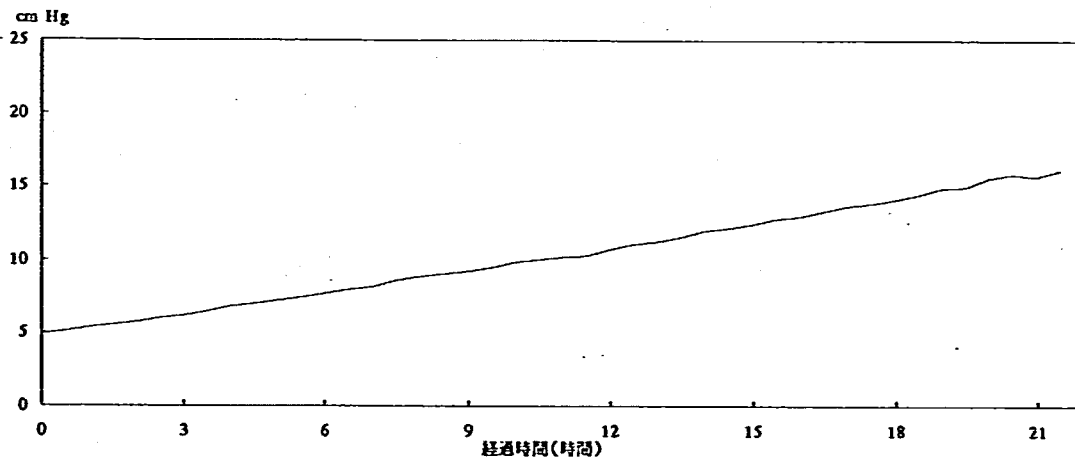


図-37 損失水頭値の経時変化 (ケースⅧ)

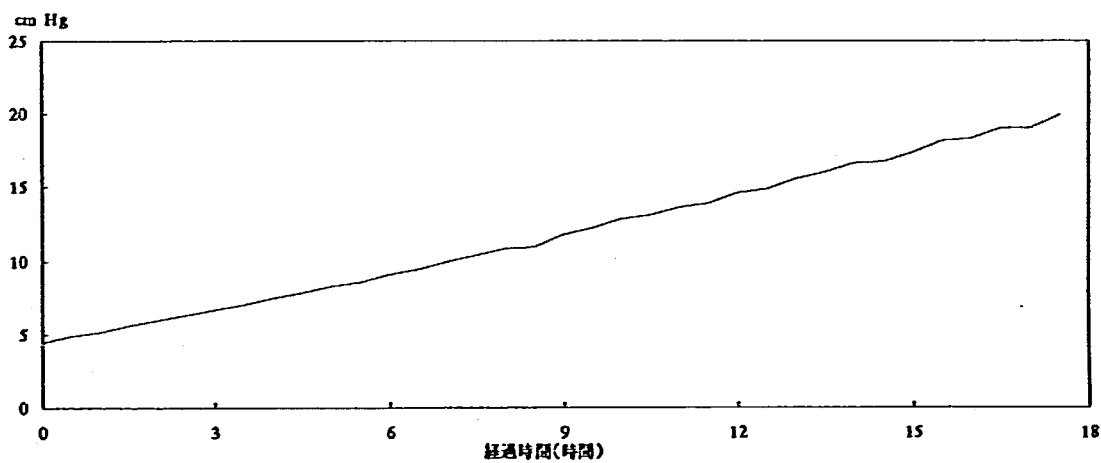


図-38 損失水頭値の経時変化 (ケースⅨ)

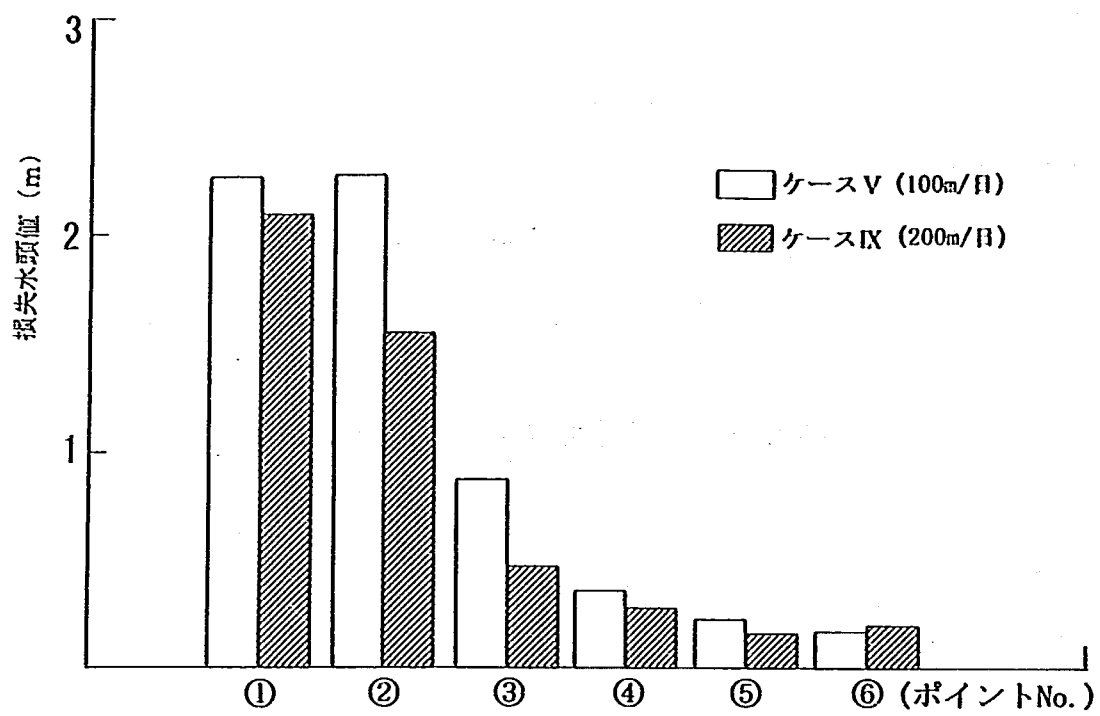


図-39 各ポイントにおける損失水頭値の比較

表一16 層内のSS補足状況

| ケース IX           |         |       |
|------------------|---------|-------|
| ろ過塔下部<br>より (cm) | 補足量 (g) |       |
|                  | 構成比     | 累 計   |
| 0~50             | 20.2    | 20.2  |
| 50~80            | 27.8    | 48.0  |
| 80~110           | 25.2    | 73.2  |
| 110~140          | 14.0    | 87.2  |
| 140~160          | 8.2     | 95.4  |
| 160~230          | 14.2    | 109.6 |

表一17に砂ろ過によって補足されたSS量と、そのSSのりん含有量を示す。補足SS量は、砂ろ過塔を洗浄しそのSS濃度と洗浄水量から求め、りん含有量は処理水の溶解性 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の平均値に通水量を乗じて除去りん量を算出し、SSのりん含有量を求めた。

ケースIの1.5倍量の添加においてSS中のりん含有量は9.5%であるのに対し、ケースII、IVの3倍量では平均で4.9%に減少、ケースIII、V~IXの5倍量では平均で4.4%となっており、凝集剤の添加量の増加にともなってSS中のりん含有量は減少している。しかし、3倍量と5倍量添加においてSS中のりん含有量は、大差がないものとなっている。また、りん1g除去量あたりのSS発生量は、凝集剤の添加量が理論当量の1.5倍量で10.5g、3倍量の平均で20.8g、5倍量の平均で23.2gであり、高いりん除去率を得るためにはSSの発生量も増加する。しかし、3倍量と5倍量添加において、SS中のりん含有量と同様に、そのSSの発生量に大差がないものとなっている。

表一18に単位ろ過水量当たりのSS発生量と単位除去りん量・ろ過水量当たりのSS発生量を示す。初期りん濃度が1.0mg/lの5倍量添加のケースIII、VI、VIIでは、単位ろ過水量当たりのSS発生量の平均が約22g、初期りん濃度が0.5mg/lの5倍量添加のケースV、VIII、IXの平均で約12gとなっており、初期りん濃度が2倍上昇することにより単位ろ過水量当たりのSS発生量も約2倍増加することとなる。単位除去りん量・ろ過水量当たりのSS発生量も同様に、初期りん濃度が1.0mg/lの5倍量添加のケースでは平均で4.5g、初期りん濃度が0.5mg/lの5倍量添加のケースの平均で2.3gとなっており、約2倍の違いを生じている。よって、マイクロブロックを用いたりんの超高度除去法では、如何に対象とする原水のりん濃度を低くすることが重要であるのではないかと考えられた。

表一17 補足SS量とりんの含有量の関係

| 実験   | 補足SS量 (g) | りん含有量 (%) | SS量/リ1 g |
|------|-----------|-----------|----------|
| I    | 86        | 9.5       | 10.5 g   |
| II   | 142       | 4.6       | 21.9 g   |
| III  | 125       | 3.4       | 29.6 g   |
| IV   | 120       | 5.1       | 19.6 g   |
| V    | 131       | 4.2       | 23.9 g   |
| VI   | 111       | 5.1       | 19.8 g   |
| VII  | 127       | 4.6       | 21.9 g   |
| VIII | 95        | 5.1       | 19.7 g   |
| IX   | 110       | 4.2       | 24.1 g   |

表一18 単位ろ過水量当たりのSS発生量

| 実験 No. | SS量/m <sup>3</sup> | SS量/リ1 g/m <sup>3</sup> |
|--------|--------------------|-------------------------|
| I      | 6.7 g              | 0.82 g                  |
| II     | 20.6 g             | 3.17 g                  |
| III    | 27.8 g             | 6.58 g                  |
| IV     | 7.6 g              | 1.25 g                  |
| V      | 11.7 g             | 2.13 g                  |
| VI     | 18.2 g             | 3.25 g                  |
| VII    | 20.8 g             | 3.59 g                  |
| VIII   | 11.0 g             | 2.29 g                  |
| IX     | 11.8 g             | 2.59 g                  |

#### 4-5 今回の調査結果から得られた最適運転条件の考察

今回の調査では、①スタテックミキサーによるマイクロブロックの生成状況、②凝集剤添加量と初期りん濃度の違いがりん除去率に及ぼす影響、③砂ろ過によるろ過速度の違いがりん除去率に及ぼす影響、④ろ過水量とろ過塔でのマイクロブロックの補足状況、などの把握を行った。

以上の調査結果から、マイクロブロックによるりんの超高度除去法においてSSの発生量を少なくろ過水量を多くするためには、対象とする原水りん濃度をなるべく低くし添加する凝集剤の量（原水りん濃度が0.5mg/lの場合には理論当量の5倍量程度は必要）を少なくする。また、砂ろ過等により固液分離を行う際には、マイクロブロックの成長を促進させるためにろ過速度をあまり高速化させないことが良いと考えられた。

今回の調査条件の範囲で最適運転条件を勘案すると、りん除去率、ろ過水量などの関係から原水りん濃度の0.5 mg/l、凝集剤添加量は理論当量の5倍量、ろ過速度が100m/日と思われる。しかし、これらは今回の調査条件の範囲内であり、対象とする原水のりん濃度や固液分離施設的能力によって多少の違いが生じると考えられる。

## 第5章 自動りん分析装置の適用に関する検討

### 5-1 検討目的

本調査においては、マイクロブロックを用いたりんの超高度除去法について検討を行った。マイクロブロック法によるりんの除去においては、流入りん濃度を把握することによって凝集剤の添加量を適正にコントロールできるとともに、りん除去状況の把握が行えると考えられる。さらには、各下水処理プロセスでのりん除去量の把握が行えれば各プロセスのりん除去配分等の最適化に資することも可能となるであろうと考えられる。ただし、本調査においてはりんが低濃度であるため、低濃度りんの安定した分析のために必要な改善点に関する検討及び評価の実施を行わなければならない。このため、本検討では自動比色分析装置でマイクロブロックパイロットプラント処理水（溶解性）のりん濃度の測定を行い、低濃度のりんが含まれた下水試料における分析の安定性に関する検討及び評価を目的に実施するものである。

### 5-2 検討方法

使用した自動比色分析装置は、分解系を有しないオルトリン酸態りん専用の可搬式装置（サンプル吸入→試薬混合→発色→吸光度測定→濃度換算）であり、分析法は、モリブデン青（アスコルビン酸）吸光光度法（波長880nm、光路長5cm）によるものである。尚、予め行った検討結果から、低濃度領域での分析値の安定性を向上させるため、自動比色分析装置のりん測定範囲を0～0.1mg-P/lと低レベルに限定し測定を行った。また、自動比色分析装置の分析値と比較するために手分析及びTRAACS 800、ブランルーベ社製自動比色分析装置によるりん分析も行った。手分析、TRAACS 800についてもモリブデン青（アスコルビン酸）吸光光度法（波長880nm、光路長5cm）によった。

### 5-3 検討結果

分析比較結果を図-40、41に示す。全体的に線形を保っており相関係数も良いものとなっているが、モニター値は手分析値やTRAACSによる分析値に比べ若干低い値を示しているようである。これは、ほとんどのサンプルにおいて一定に約0.02mg-P/l低くなっていることから、分析機器の特性によるものと考えられる。また、予め行った検討結果では0.2mg-P/l以下の領域において分析値がやや不安定になる傾向であったが、今回はそれよりも低レベルにもかかわらず比較的安定した結果であった。これは、自動比色分析装置の測定範囲を0～0.1mg-P/lと低く設定するとともに、分析サンプルを浮遊物の含まない溶解性としたことに起因するものと考えられた。TRAACSによる分析値は手分析値とほぼ一致しており、安定したものとなっている。

一般に水質測定機器はラボ用、プロセス用、携帯用等に大別されるが、測定精度や安定性、保守点検性等の兼ねあいから、目的に合致した機器選定を行う必要があると考えられる。今回使用した自動比色分析装置は、プロセス用から携帯用に位置づけられるが、分析機器の特性や測定サンプルの分析条件等（測定濃度範囲の制約、サンプルの前処理）を考慮することで、低レベルのりん濃度の推移を

ある程度把握できるのではないかと考えられた。しかし、ラボレベルの精度を要求するのであれば、プロセス用に適した低濃度対応の光学系の開発さらには、安定した発色条件の維持のために、浮遊物除去系の開発が必要であると考えられた。

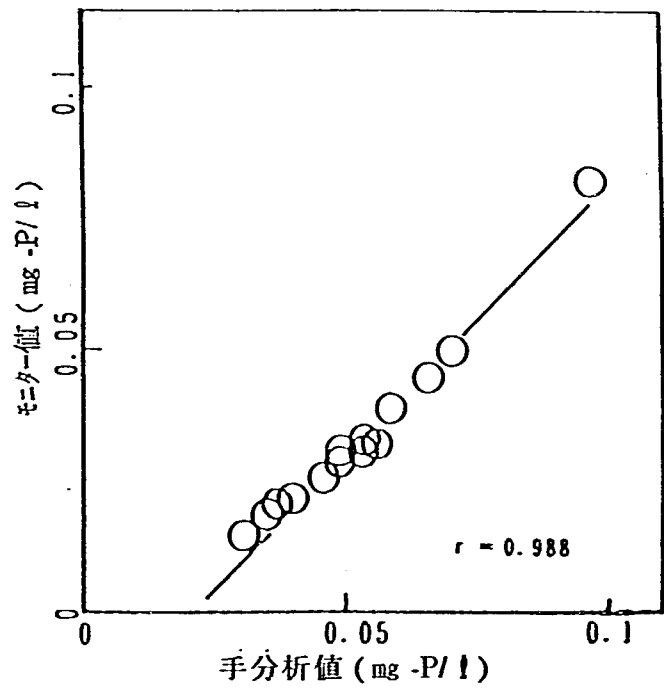


図 - 40 モニター値と手分析値の比較

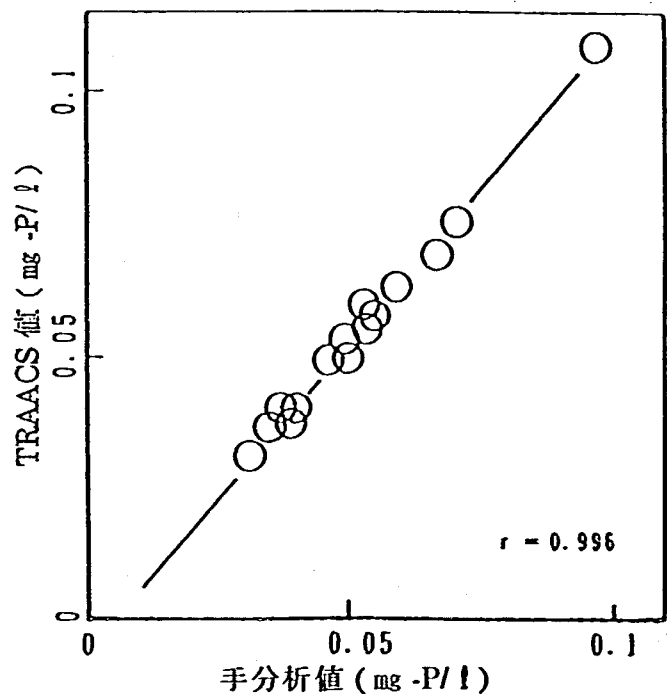


図 - 41 TRAACS値と手分析値の比較

## 第6章 まとめ

水域の富栄養化防止の観点から、従来のりん除去法をさらに上回る処理能力を持つりん除去法が必要となる場合が予想される。下水高度処理水中のりん濃度を富栄養化の限界と言われている $0.01\text{mg/l}$ のオーダーまで低下させることを目的に、マイクロブロック法によるりん除去調査を行った。パイロットプラントを製作し、凝集剤注入量や砂ろ過におけるろ過速度の違いが、りん除去率に及ぼす影響の検討を行い、本法のりん除去能力を評価した。検討結果を以下のとおり示すが、本法は従来のりん高度処理法を上回る性能を有していることが明らかとなった。

①原水設定りん濃度が約 $1\text{mg-P/l}$ に対し、凝集剤注入量が理論当量の3倍量以上とすることによって高いりん除去率が得られたが、原水設定りん濃度が約 $0.5\text{mg-P/l}$ の場合には凝集剤注入量を5倍量としないと高いりん除去率が得られなかった。

②凝集剤5倍量添加において、原水設定りん濃度を $0.5$ から $1.0\text{mg-P/l}$ にあげると、ろ過水量は約40%減少した。

③りん $1\text{g}$ 除去量あたりのSS発生量は、凝集剤の添加量が理論当量の1.5倍量で $10.5\text{g}$ 、3倍量の平均で $20.8\text{g}$ 、5倍量の平均で $23.2\text{g}$ であり、高いりん除去率を得るためにはSSの発生量が増加することが明らかとなった。

④発生SSのりん含有量は、凝集剤の添加量が理論当量の1.5倍量で9.5%、3倍量の平均で4.9%、5倍量の平均で4.4%となっており、凝集剤の添加量の増加にともなってSS中のりん含有量は減少している。しかし、3倍量と5倍量添加において、りん $1\text{g}$ 除去量あたりのSS発生量と同様に、その発生SSのりん含有量に大差がないものとなっている。

⑤単位ろ過水量当たりのSS発生量は、初期りん濃度が $1.0\text{mg-P/l}$ の5倍量の平均で約 $22\text{g}$ 、初期りん濃度が $0.5\text{mg-P/l}$ の5倍量の平均で約 $12\text{g}$ となっており、初期りん濃度が2倍上昇することにより約2倍増加することとなる。よって、ろ過水量を多くするためには対象とする原水のりん濃度を低くしなければならない。

⑥ろ過速度については、 $50\sim 200\text{m/日}$ の範囲で検討を行ったが、りん除去能力に及ぼす影響は現れなかった。しかし、ろ過速度を増加させることにより、ろ過継続時間が短縮される。また、実験回数が少ないため明確なことは言えないが、ろ過速度をあまり高速化しなければろ過塔内でブロックの成長が促進されるため、ろ過水量は増加すると考えられた。

⑦自動分析装置に関しては、分析機器の特性や測定サンプルの分析条件等（測定濃度範囲の制約、サンプルの前処理）を考慮することで、低レベルのりん濃度の推移をある程度把握できるのではないかと考えられた。しかし、ラボレベルの精度を要求するのであれば、プロセス用に適した低濃度対応の光学系の開発、さらには、安定した発色条件の維持のために、浮遊物除去系の開発が必要であると考えられた。

#### 今後の課題

以上の結果から、マイクロブロック法によるりん除去法は従来のりん高度処理法を上回る性能を有していることが明らかとなった。今後、導入に際してはSSの発生量を少なくしろ過水量を増加させるために、対象とする原水のりん濃度をなるべく低くすることや、ろ過塔のろ材構成及びろ過速度（ろ層内での滞留時間）等の詳細な検討が必要と考えられる。

〈 参 考 文 献 〉

- 1) 日本の下水道 平成7年 建設省都市局下水道部監修
- 2) 高度処理施設設計資料 建設省高度処理会議 平成6年2月
- 3) 須藤隆一ほか：富栄養化対策総合資料集、サイエンスフォーラム、pp218-220 (1983)
- 4) 高橋正宏ら、「担体投入型生物処理システムの処理性能に関する一考察」下水道協会誌論文集  
Vol. 31、No. 379 (1994)
- 5) 水質環境工学：-下水の処理・処分・再利用-、技報堂出版
- 6) 土木研究所下水道部：「平成5年度下水道関係調査研究年次報告書集」、土木研究所資料  
No. 3294, pp87-94 (1994)
- 7) 土木研究所下水道部：「平成6年度下水道関係調査研究年次報告書集」、土木研究所資料  
No. 3 , pp93-103 (1995)

## <謝 辞>

本調査を実施するのにあたって、下水処理場の諸氏にはプラントの設置等に関して、土木研究所水質水文共同実験棟の諸氏にはサンプルの水質分析等に関して、それぞれ多くの協力を得た。ここに記して感謝いたします。

マイクロブロック法を用いたりんの  
超高度除去に関する調査

I S S N 0386-5878  
土研資料 第3414号  
平成8年1月 (1996)

郵便はがき

郵便切手を  
はって下さ  
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所  
下水道部二次処理研究室  
行

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3414号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印