

# 名古屋市熱田下水処理場における 生物学的高度処理法の課題と改善策

986110 野中 聡  
986112 長谷部 貴宏  
986117 早野 敦雄

## 1. 研究目的

伊勢湾のような閉鎖性水域において窒素、リン等の栄養塩濃度が高まると、富栄養化に起因する水の華や赤潮を生じ、漁業被害などをもたらすことがある。また、内部生産（植物プランクトン等が窒素、リン等を栄養素として有機物を増やすこと）により化学的酸素要求量（COD）を高くすることになる。下水処理場における従来の二次処理では生物化学的酸素要求量（BOD）、浮遊物質（SS）の除去が主目的であり、窒素やリン等の栄養塩類の除去には限界がある。そのため処理水の放流先の状況によっては更に高度の処理が必要になる。本研究では、窒素、リン除去技術の中心である生物学的高度処理法の1つで、名古屋市で実施されている嫌気好気活性汚泥法の処理状況を把握し課題と改善策を考察する。

## 2. 序論

### 2-1. 伊勢湾における富栄養化の現況と対策案

閉鎖性水域である伊勢湾の水質改善を図るに

は、その水域に流入する汚濁負荷量を効果的に削減することが重要で、愛知県では、国が定めた伊勢湾に係る総量削減基本方針に基づき、昭和55年度から四次にわたって総量削減計画を推進している。この結果、愛知県の指定地域内におけるCODの発生負荷量は着実に減少している（表1）。

伊勢湾は、海水の交換が少なく、汚濁物質の蓄積しやすい内海、内湾等の閉鎖性水域の特性を有している。このため、窒素、リン等の栄養塩類の流入に伴う内部生産の影響が大きく、COD総量規制等の排水規制強化にもかかわらず、依然として環境基準を達成していない状況にある。したがって、伊勢湾の水質を改善するには、湾内に流入する有機汚濁物質（CODを指標とする）の総量削減に加えて、富栄養化の要因物質である窒素、リンについても削減する必要がある。こうした中で国は、第四次水質総量規制に引き続き閉鎖性海域の改善を図る必要があるとして、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の三湾においては、従来のCODに加えて、新たに窒素及びリンを対象とした第五次水質総量規制を実施しようとし

表1 CODに係る総量削減計画の経緯

	第一次	第二次	第三次	第四次
総量削減計画策定年月	昭和55年4月	昭和62年5月	平成3年3月	平成8年7月
目標年度	昭和59年度	平成元年度	平成6年度	平成11年度
計画策定時の負荷量 (実績)	172トン/日 (55年度)	163トン/日 (62年度)	153トン/日 (3年度)	136トン/日 (8年度)
目標値	163トン/日	153トン/日	142トン/日	127トン/日
目標年時の負荷量 (実績)	163トン/日 (59年度)	153トン/日 (元年度)	136トン/日 (6年度)	—

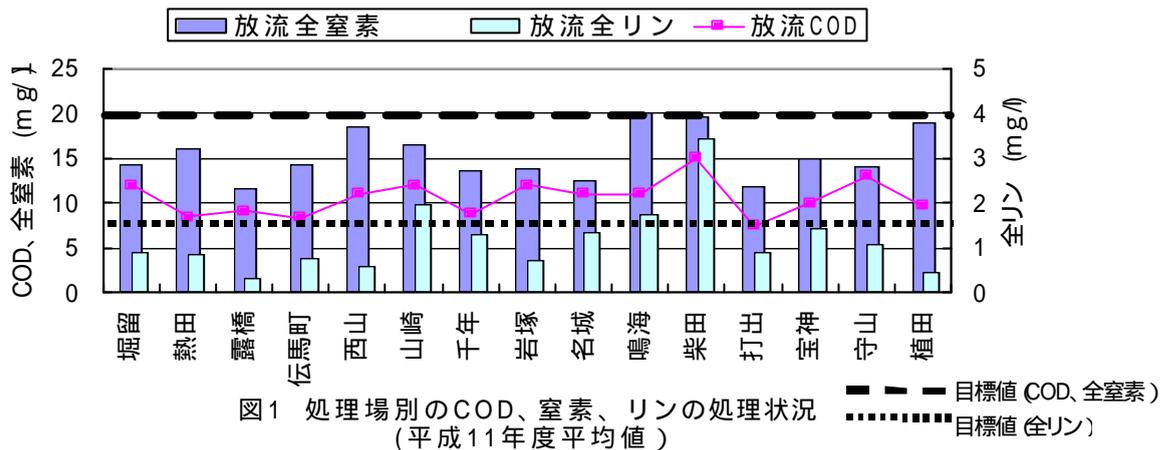


図1 処理場別のCOD、窒素、リンの処理状況 (平成11年度平均値)  
 - - - 目標値 (COD、全窒素)  
 ..... 目標値 (全リン)

ている。

一方、伊勢湾流域における下水道整備及び下水道整備および下水処理の高度化は、依然として遅れている。第五次目標値として、一般的に全リン 1.5mg/l、全窒素 20mg/l、COD20mg/l の排水規制が検討されているが、現状はこれらを超える下水処理場もある(図 1)。閉鎖性水域に特有の内部生産を抑制するために、従来の BOD、SS 除去主体の処理に加え COD、窒素、リンを除去する高度処理が必要となってきた。

### 2 - 2 . 下水道の高度処理

下水処理における高度処理とは、活性汚泥法に代表される通常の二次処理による処理水よりも高度に浄化された処理水を得るために行われる処理をいう。そして通常の二次処理の除去対象物質 (BOD、SS 等) の除去率向上を目的とするもののほか、二次処理では十分除去できない物質 (窒素、リン等) の除去率向上を目的とする処理を含むものである。

熱田下水処理場の放流先である閉鎖性水域の伊勢湾に窒素、リンが流入すると富栄養化が問題となる。この対策として下水道において窒素、リン除去型の高度処理を行う必要がある。この高度処理として、嫌気好気活性汚泥法 (リン除去) 循環式硝化脱窒法 (窒素除去) 嫌気・無酸素・好気法 (窒素、リン除去) がある。次に熱田下水処理場で実施されている嫌気好気活性汚泥法を示す。他の方法は付録に示す。

### 2 - 3 . 熱田下水処理場の嫌気好気活性汚泥法

今回調査対象とした熱田下水処理場の嫌気好気活性汚泥法のフローを図 2 に示し、次に各処理槽の機能を述べる。

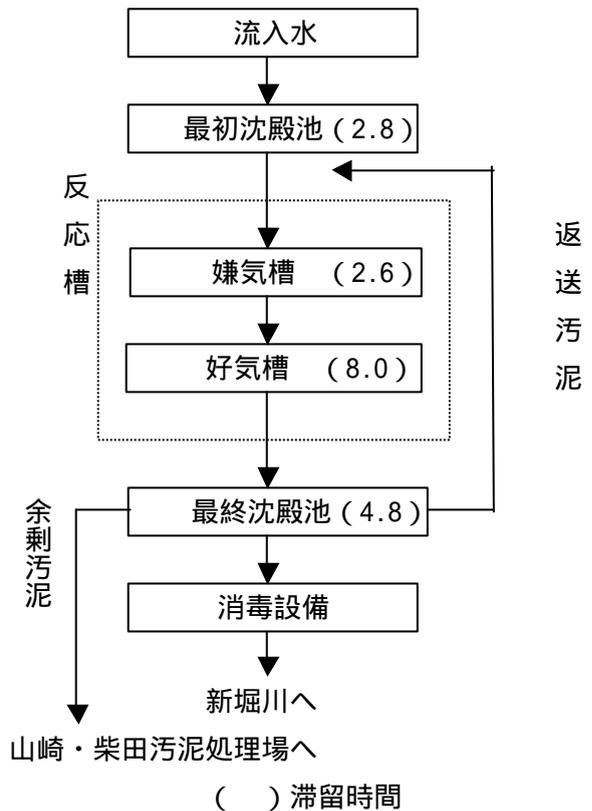


図2 嫌気好気活性汚泥法のフロー

- ・ 最初沈殿池 (一次処理) は、重力式の沈殿処理を行う設備。一部の有機物 (BOD) の除去も行えるため二次処理への負荷を低減する。
- ・ 嫌気槽および好気槽は、リン過剰摂取能力を持つ活性汚泥を嫌気状態におくと、活性汚泥微生物は混合液中にリンを放出し、好気状態にな

ると逆に放出した以上にリンを吸収しリン除去を行う。

- ・最終沈殿池は、活性汚泥を沈降分離させその上澄水は処理水として消毒後放流する。
- ・返送汚泥は、沈殿した活性汚泥のうち下水処理に必要な汚泥を反応槽にもどす。
- ・余剰汚泥は、増殖した汚泥で汚泥処理場へ送る。

なお本法は優れた方法であるが、雨天時には流入下水がうすくなり、かつ雨水は酸素を持ち込むため嫌気状態がうまくつくれず、リン除去が悪化することが知られている。

### 3. 現地調査

#### 3 - 1. 熱田処理場の概要と運転状況

熱田処理場は昭和5年に運転が開始された処理場で、名古屋市の他の処理場に比べ処理区域人口が少ない割に敷地面積が広く、長い滞留時間が確保できるため平成13年から嫌気好気活性汚泥法が実施されている。下水の排除方式(下水道で下水を集める方法)が合流式であるため、降雨時には下水と雨水と一緒に処理場に流入してくる。そのため、リン、窒素、COD等の濃度が低くなる傾向がある。またこの処理場の流域には、大手のメッキ工場がある。ここから無電解ニッケルメッキに使用される $PO_2-P$ 、 $PO_3-P$ が流入して来る。この $PO_2-P$ 、 $PO_3-P$ は除去されにくい。なお、工場排水には $PO_2-P$ 、 $PO_3-P$ の他にニッケルも含まれており生物処理に悪影響を与えている可能性もある。

表2 熱田処理場の運転状況

	流入水量 ( $m^3$ /日)	25700
最初沈殿池	沈殿時間 (hr)	2.8
	初沈容量 ( $m^3$ )	3150
反応槽	嫌気槽容量 ( $m^3$ )	3050
	好気槽容量 ( $m^3$ )	9150
	嫌気槽HRT (hr)	2.6
	好気槽HRT (hr)	8.0
	日間平均MLSS (mg/l)	1986
	SRT (日)	18
最終沈殿池	終沈容量 ( $m^3$ )	5380
	沈殿時間 (hr)	4.8

#### 3 - 2. 調査目的

熱田処理場の運転状況を把握し、リン除去における雨水の影響、工場排水の影響を調べ、安定した嫌気好気活性汚泥法による運転を確立するための資料とする。

#### 3 - 3. 調査実施日

##### 水質経時変動調査

第1回目 6月30日~7月16日

第2回目 8月6日~8月23日

第3回目 9月25日~10月9日

##### 水塊調査

第1回目 7月13日

第2回目 8月15日

第3回目 10月3日

#### 3 - 4. 調査方法

処理場の定置式自動採水器を利用して採水を行い、手分析により流入下水、初沈出水、放流水の水質変動を調査した。採水方法は、30分ごとに採水し4時間分で1試料とした。

各調査期に1回、4系列の反応タンク内の水塊調査もあわせて行った。

#### 3 - 5. 分析項目

##### ・水質経時変動調査

全窒素(T-N)、全リン(T-P)、正リン酸態リン( $PO_4-P$ )、亜リン酸態リン( $PO_3-P$ )、次亜リン酸態リン( $PO_2-P$ )、化学的酸素要求量(COD)

##### ・水塊調査

酸化還元電位(ORP)、溶存酸素(DO)、溶解性リン(S-P)、全窒素(T-N)、正リン酸態リン( $PO_4-P$ )、化学的酸素要求量(COD)、硝酸性窒素( $NO_3-N$ )

#### 4. 結果と考察

##### 4 - 1. 水質経時変動調査

水質経時変動調査の第1回目の結果を図3-1~3に、第2回目の結果を図4-1~3に、第3回目の結果を図5-1~3に示す。

第 1 回目調査 (6 月 30 日 ~ 7 月 16 日)

この期間は、全体として安定したリン除去ができた。期間中の降雨が少なく、工場排水の流入も少なかったためであると考えられる。

流入下水には (図 5-1) のように毎日 8 時から 12 時に全リン濃度のピークがある。これは朝の家庭排水の流入によるものと考えられる。9 日の流入下水の全リン濃度のピーク (図 5-1) が 13.1mg/l となっている。この濃度のピークは  $PO_3\text{-P}$  を含んでいるので工場排水によるものである可能性が高い。この流入下水は初沈出水で全リン濃度 (図 5-1) が 3.8mg/l に下がっているの、リンを含むスカムが多く流入したと思われる。10 日、12 日における放流水の全リン濃度 (図 5-1) が他の日に比べて高くなっ

た理由は明確でないが、嫌気槽で嫌気状態が保ちにくくなる夜半から明け方の低有機物濃度の流入下水に対応している。他の日はほぼ 0.5mg/l 以下と極めて良好である (水質管理目標値 1.5mg/l)。

9 日における流入下水の COD 濃度 (図 3-2) のピークが 460mg/l となっている。これはスカムによるものと考えられる。第 1 回調査での放流水の COD 濃度は 7~14(平均 10)mg/l と、この期間の処理は良好である。

9 日における流入下水の全窒素濃度 (図 3-3) のピークが 59mg/l となっている。これもスカムによるものと考えられる。第 1 回調査での放流水の全窒素濃度は 9~16(平均 13)mg/l とこの間の処理は良好である。

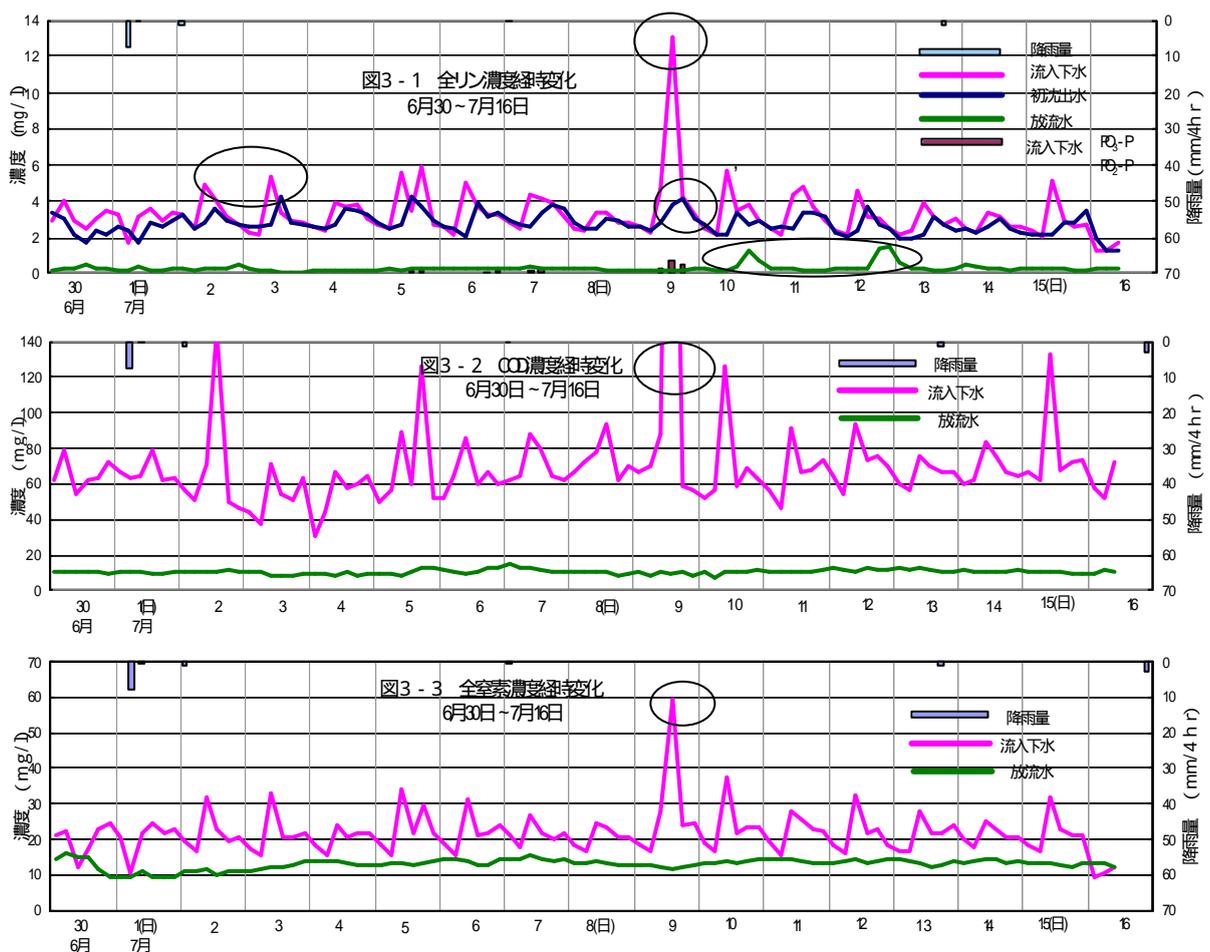


図 3 第 1 回目調査の水質経時変化

第2回目調査(8月6日~23日)

この期間は、雨が降ったが安定したリン除去ができた。

12、21日のように雨が降ると流入下水の全リン濃度(図4-1)は低くなる。

20日における流入下水の全リン濃度(図4-1)のピークが6.4mg/lとなっている。これはPO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-Pを含むことから工場排水によるものと考えられる。この日の放流水全リン濃度(図4-1)のピークは1.3mg/lである(第2回目調査平均除去率85%であるが、20日の平均除去率74%)。11日も工場排水が流入していて、放流の全リン濃度にも影響している(図4-1)が、20日に比べ工場排水の流入濃度が低く、放流の全リン濃度(図4-1)への影響が小さい。(11日の平均除去率87%)。18日における流入下水の全リン濃度(図4-1)のピークは

7.5mg/lである。全リン濃度は高いがPO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-Pがないため工場排水によるものではないと考えられる。これは、初沈出水で全リン濃度(図4-1)が3.5mg/lに下がっているの、リンを含むスカムが多く流入したと思われる。

13日に放流水の全リン濃度(図4-1)が高くなっているが原因は不明である。

図4-1に放流水の全リン濃度が高くなっているのは、嫌気槽で嫌気状態が保ちにくくなる夜半から明け方の低有機物濃度の流入下水に対応している。

12、22日の流入下水のCOD濃度(図4-2)全窒素濃度(図4-3)が低いのは雨の影響である。18日における流入下水のCOD濃度(図4-2)全窒素濃度(図4-3)にピークがある。これはスカムによるものと考えられる。

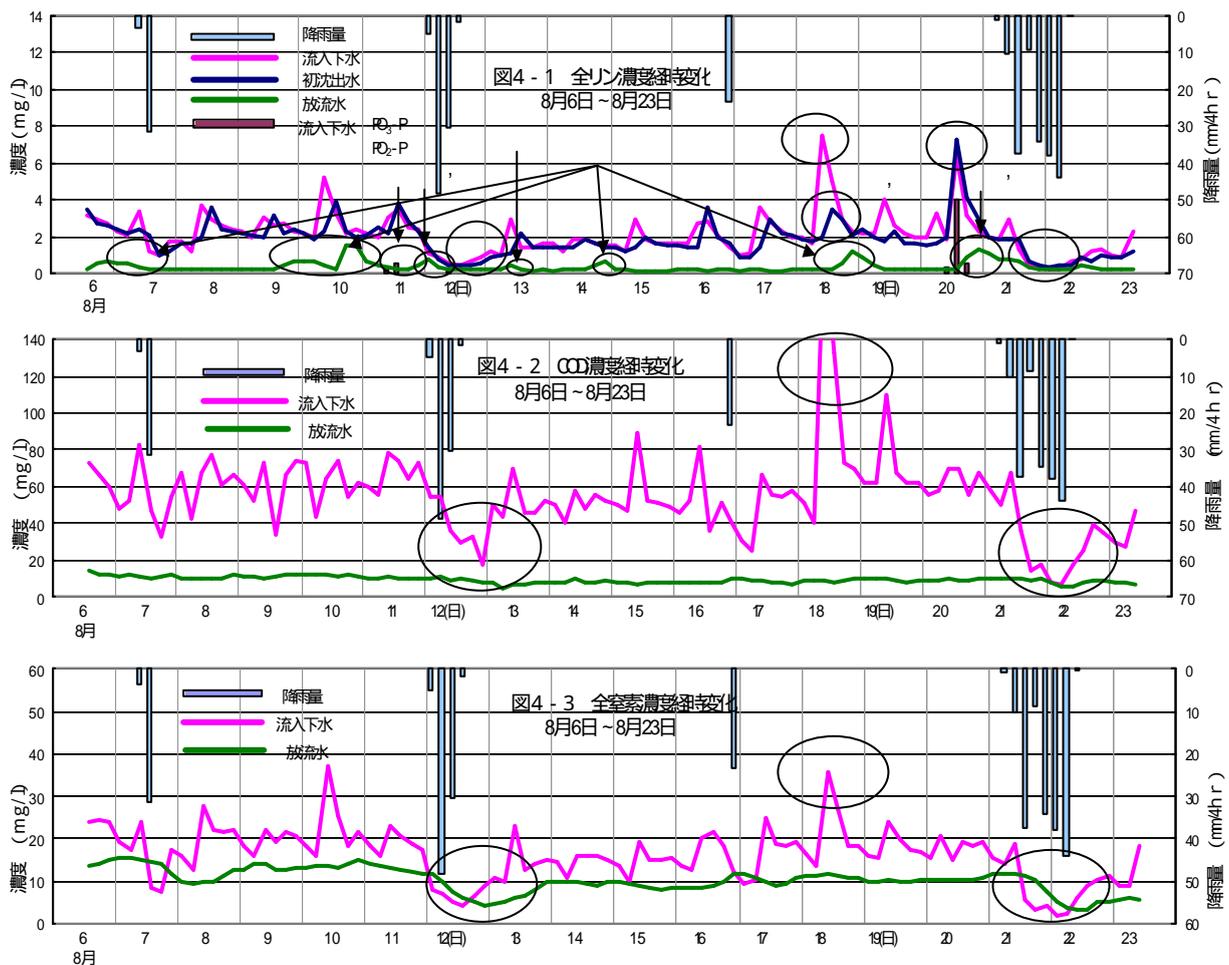


図4 第2回目調査の水質経時変化

第3回目調査(9月25日~10月9日)

この期間は、安定したリン除去ができなかった。

9月28日と10月1日、6日における流入下水の全リン濃度(図5-1)のピークは、それぞれ11.5、11.0、16.1mg/lと非常に高く放流水(図5-1)にも影響している。このピークは $PO_2-P$ 、 $PO_3-P$ の濃度も高いため、工場排水によるものであると考えられる。25~30日における放流水の全リン濃度(図5-1)が高い理由は25、27、28日に流入した工場排水の影響であると考えられます。10月1日以降、放流水全リン濃度(図5-1)が高いのは9月30日からの雨と10月1

日に流入した工場排水の影響であると思われる。

(2日~8日までの日平均放流濃度1.2mg/l)

1、5日における流入下水のCOD濃度(図5-2)全窒素濃度(図5-3)が低いのは雨の影響である。25~30日は工場排水が流入したがCOD、全窒素は安定した除去ができており工場排水の影響はないと思われる(25日~30日までのCODの平均放流濃度10mg/l)(25日~30日までの全窒素の平均放流濃度11mg/l)。降雨と工場排水が流入した10月2日以降もCOD、全窒素は安定した除去ができており(2日~8日までのCODの平均放流濃度10mg/l)(2日~8日までの全窒素の平均放流濃度10mg/l)。

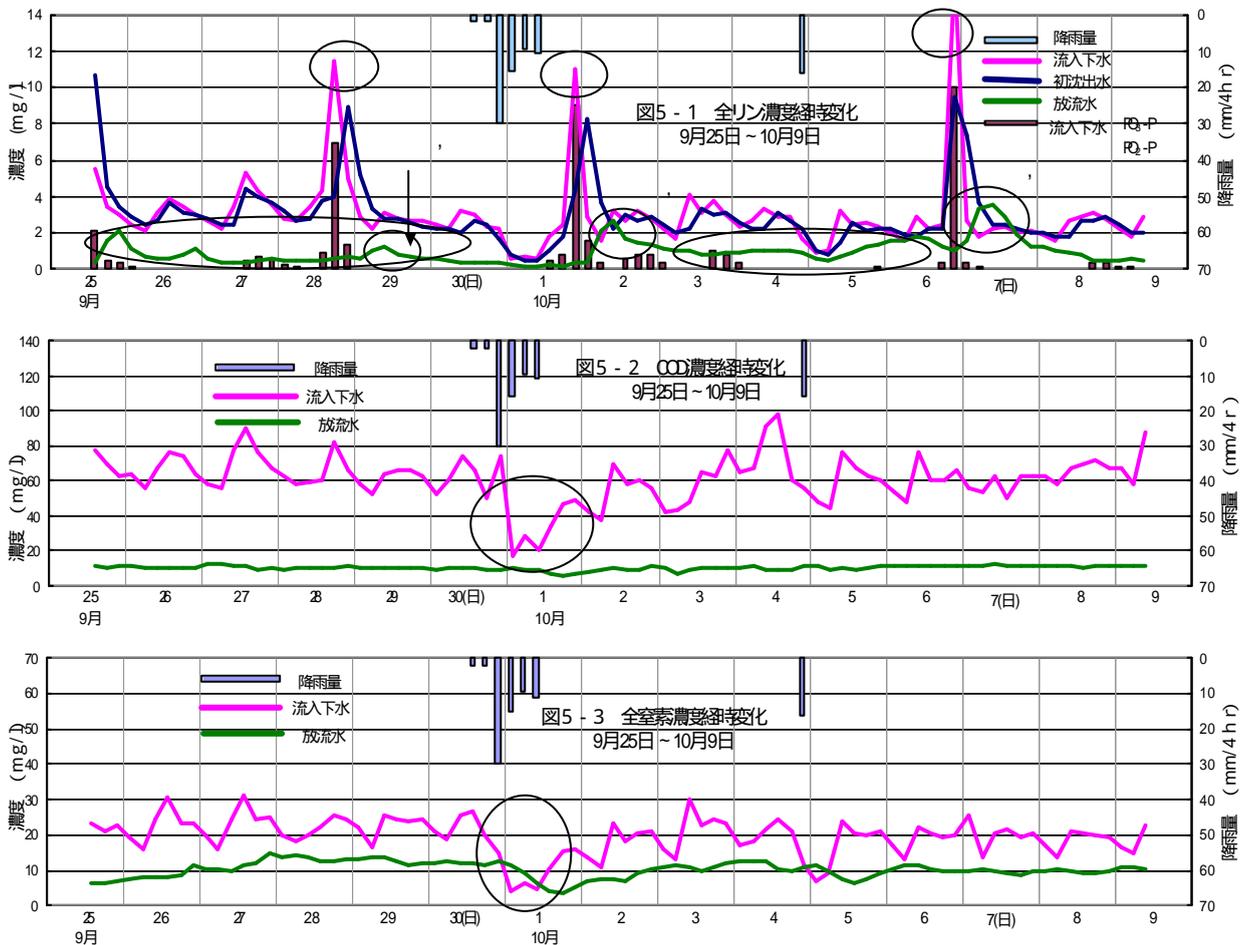


図5 第3回目調査の水質経時変化

#### 4 - 2 . 総量と除去率の日変動

各採水時間の流入下水量と水質から総量を計算して1日当たり流入総量を積算した。1日当たりの放流総量については、流出時間を12時間と考慮して計算し、1日平均除去率を算出した。それらを第1回目の結果を図6-1~3に、第2回目の結果を図7-1~3に、第3回目の結果を図8-1~3に示す。一般的に嫌気好気活性汚泥法の除去率の基準として、全リン80%、COD80%、全窒素40%以上が良好であるといえる。

##### 第1回目調査

降雨があったがリン除去に影響はなかった(図6-1)。

夜半から明け方の低有機物濃度下水の流入があったため他の日に比べ除去率が下がったと思われる(図6-1)。

スカムの流入によりCODの流入量が増加したと思われる(図6-2)。

スカムの流入により全窒素の流入量が増加したと思われる(図6-3)。

##### 第2回目調査

降雨があったがリン除去に影響はなかった(図7-1)。

夜半から明け方の低有機物濃度下水の流入があったため他の日に比べ除去率が下がったと思われる(図7-1)。

のときより降雨量が多かったことにより、全リンの流入量が減ったため除去率が下がったと思われる(図7-1)。

工場排水の流入があったため全リンの放流量に影響し除去率が下がったと思われる(図7-1)。

スカムの流入によりCODの流入量が増加したと思われる(図7-1)。

降雨によってCODの流入量が減ったため除去率が下がったと思われる(図7-2)。

降雨によって全窒素の流入量が減ったため除去率が下がったと思われる(図7-3)。

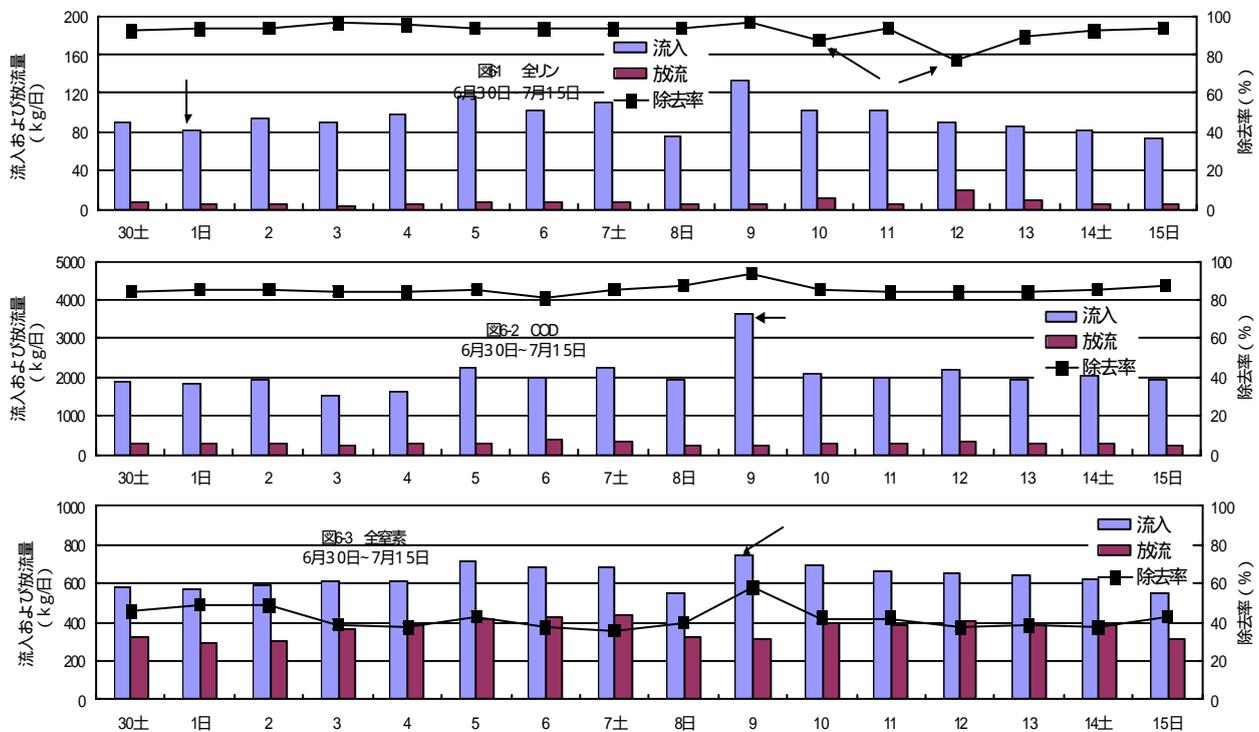


図6 第1回目調査の日流入量、放流量および除去率

### 第 3 回目調査

26、27、28 日に工場排水の流入があったが全リンの除去率が 80%以上あり良好であった (図 8-1)。このことから工場排水のみの流入であれば、全リン除去への影響はあまりないと考えられる。1 日以降の全リン除去率は 30~71 (平均 55)%と不安定である。1 日以降の全リン除去が悪くなった理由は、30、1 日の降雨と

工場排水が同時に流入したためだと考えられる (図 8-1)。

工場排水のみの流入(図 8-2)であっても、降雨と工場排水が同時に流入(図 8-2)があっても COD の除去率に影響は見られなかった。

工場排水のみの流入(図 8-3)であっても、降雨と工場排水が同時に流入(図 8-3)があっても全窒素の除去率に影響は見られなかった。

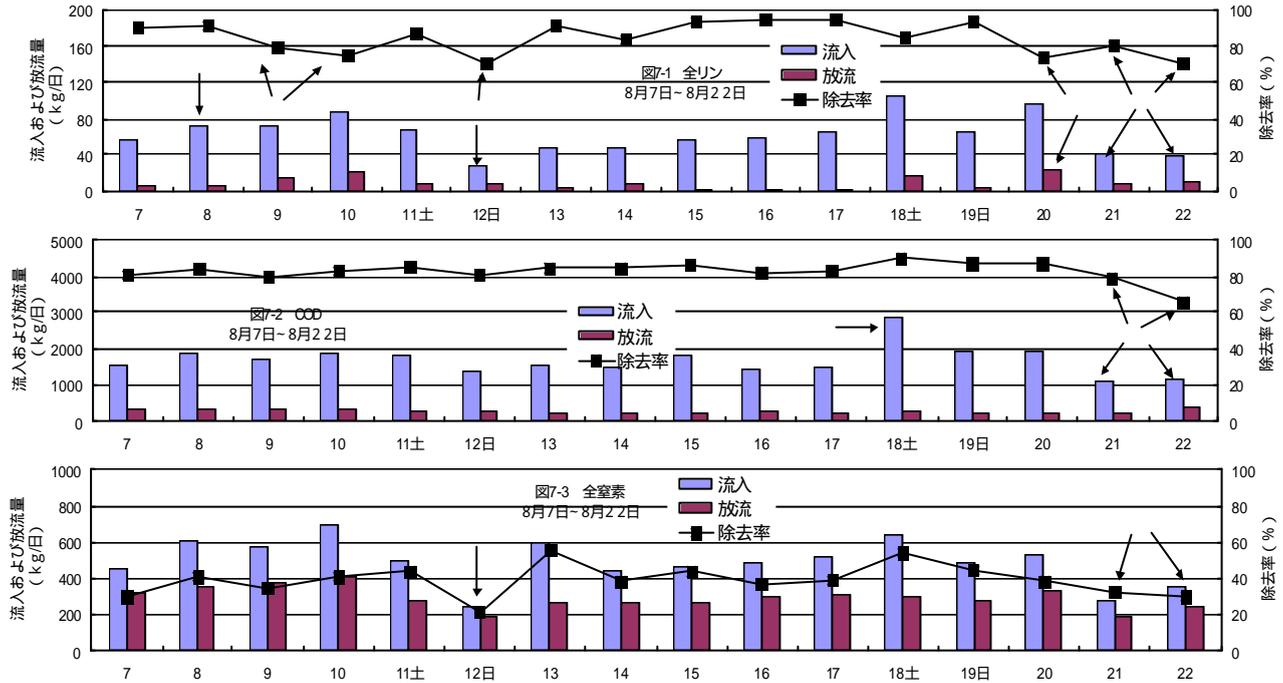


図 7 第 2 回目調査の日流入量、放流量および除去率

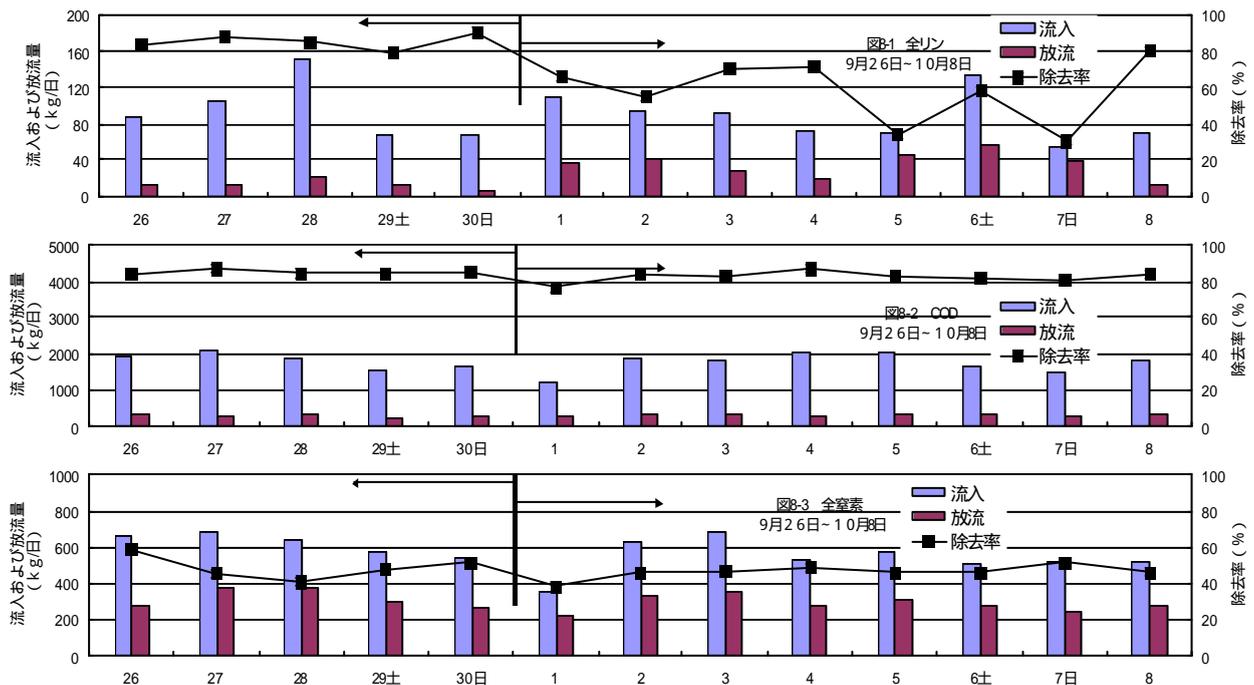


図 8 第 3 回目調査の日流入量、放流量および除去率

#### 4 - 3 . 降雨、工場排水の影響

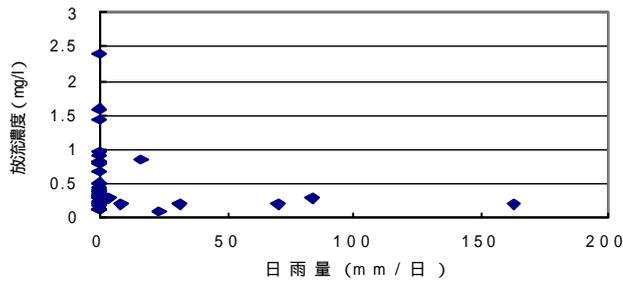


図 9 日雨量放流全リン濃度への影響

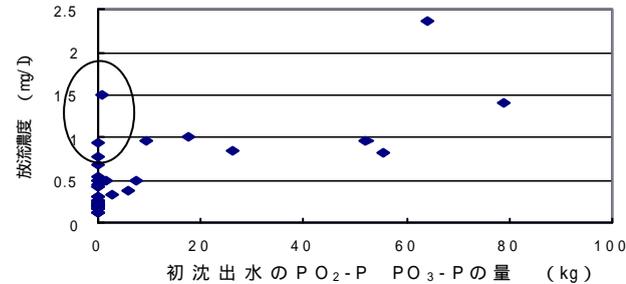


図 10 初沈出水の PO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-P 量と放流全リン濃度

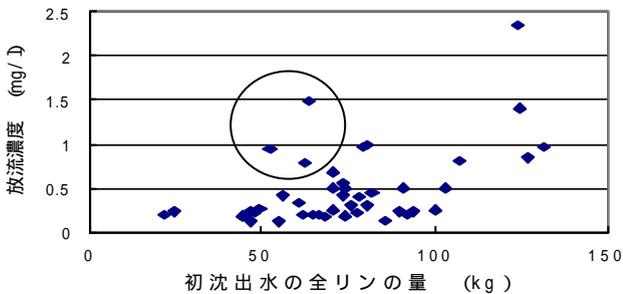


図 11 初沈出水の全リン量と放流全リン濃度

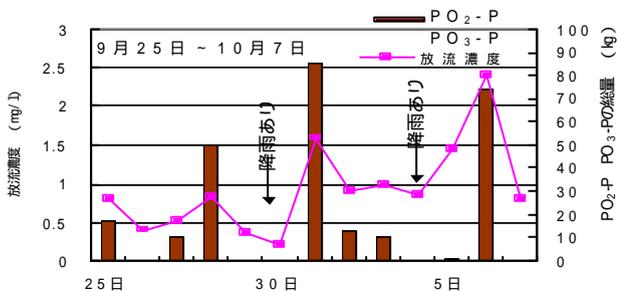


図 12 全リン放流濃度と PO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-P の総量

図 9 は 12 時～翌日の 12 時の日雨量と 12 時間ずらした日平均放流全リン濃度の相関図である。この図からは、降雨とリン除去能力の間にはあまり相関が読み取れない。

図 10 は 12 時～翌日の 12 時の初沈出水の PO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-P 量と 10 時間ずらした日平均放流全リン濃度の相関図である。図 11 に初沈出水の全リン量と放流全リン濃度を示した。左上の 3 点 (図 10,11) を除いたとき図 11 (相関係数 0.62) に比べ図 10 (0.82) の方が相関関係があ

った。これより工場排水が放流濃度に影響している可能性がある。30、1 日に雨水と工場排水が流入し、それ以降 PO<sub>2</sub>-P、PO<sub>3</sub>-P の流入量に関わらず放流の全リン濃度が高い状態が続いている。左上の 3 点 (図 10,11) は 10 月 4,5,7 日に対応している (図 12) (1 日以降の全リン除去率平均 55%)。

#### 4 - 4 . 平均水質と除去率

調査期間中の流入および放流の平均水質と除去率をまとめたものを表 3 に示す。異常水無 (晴天時) 21 日間、雨 (雨のみ流入) 7 日間、工場 (工場排水のみの流入) 9 日間、工場・雨 (工場排水と雨の流入) 9 日間のそれぞれの期間で平均水質と除去率を算出した。

表 3 調査期間中の平均水質と除去率

	全リン			COD			全窒素		
	初沈	放流	除去率	流入	放流	除去率	流入	放流	除去率
	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%
異常水無	2.5	0.3	88	65.7	10.1	84	20.5	12.3	40
雨	1.4	0.2	82	43.1	8.6	77	14.7	8.7	41
工場	3.4	0.6	82	74.5	9.9	86	21.4	11.0	48
工場と雨	2.7	1.2	57	60.6	10.4	83	18.5	9.9	46
第1回調査	3.3	0.3	92	71.7	10.4	85	22.0	12.9	41
第2回調査	2.2	0.3	85	58.4	9.4	83	20.1	10.4	40
第3回調査	3.1	0.9	68	70.2	10.2	84	19.9	10.1	49

注1) 除去率 = 100 - 放流 / 流入 \* 100 流入、初沈は12時から翌日の12時の平均 放流は初沈からの場合、滞留時間を10時間とし22時から翌日の22時までの平均、流入からの場合、滞留時間を12時間とし0時から24時までの平均で算出した。  
注2) 異常水無 (晴天時) 雨 (雨のみの流入) 工場 (工場排水のみの流入) 工場・雨 (工場排水と雨の流入)

3 回の水質経時変動調査の結果、全リン (T-P) の除去率 (表 3) を見ると第 1 回目、第 2 回目は平均 92、85% と 80% を超えており良好である。第 3 回目は平均 68% と低くなっていた。これは、降雨と工場排水が流入したためと考えられる。

COD、全窒素 (T-N) の平均除去率は 3 回の調査とも COD80%、T-N40% を超えており良好である。COD、全窒素の除去率は雨が降ると晴天時に比べ低くなるが、工場排水による影響は見られなかった。

#### 4 - 5 . 水塊調査

反応槽を流下する水塊の水質変動を測定することにより、反応槽での処理状態の調査を行った。その溶解性リン (S-P) の変化を調査毎に図 13 に示す。

第1回目調査(7月13日)では、嫌気槽出口ではリンの吐き出しが多く、好気槽でのリン除去は早く、かつゼロまで除去できており、典型的な嫌気好気状態になっていた。

第2回目調査(8月15日)では、嫌気槽でのリンの吐き出しが少ないが、好気槽でのリン除去は早く、かつゼロまで除去できており、嫌気好気状態になっていた。

第3回目調査(10月3日)では、嫌気槽でのリンの吐き出しが少なく、かつ好気槽でリンを除去しきれないため、嫌気好気状態が完全に崩れていた。

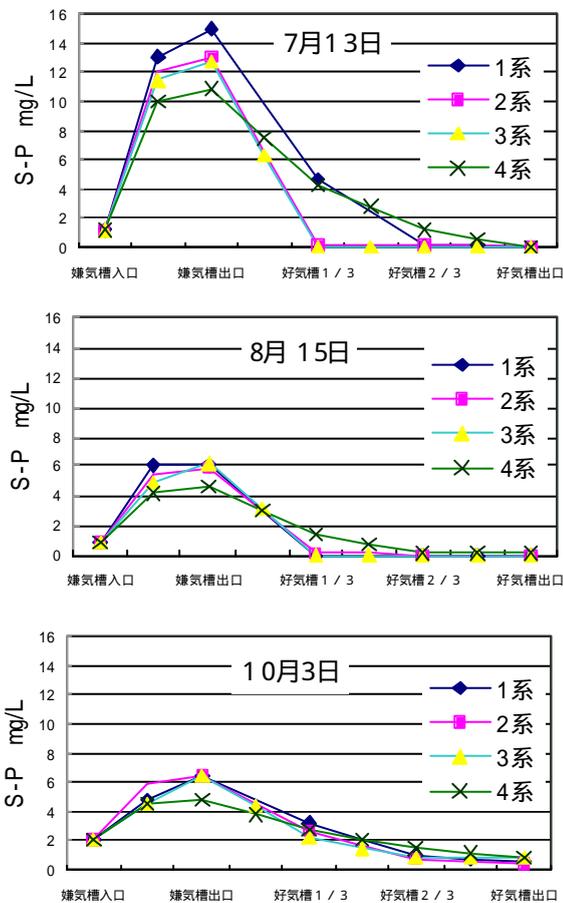


図13 反応槽におけるS-Pの変化

いずれの場合も処理状況を反映しており、10月は嫌気好気状態が崩れているために、降雨や工場排水のリンの流入時以外もリン除去が悪かったことがわかった(2日~8日までの平均除去率56%)。

全体を通して、4系では原因はわからないが他系列に比較してリンの嫌気槽での吐き出しが少なく、かつ好気槽での吸収が遅いなど反応系

列ごとの差がみられた。

## 5.まとめ

今回の調査では、降雨のみによる全リン、COD、全窒素の除去への影響は見られなかった。工場排水が流入すると全リンの流入濃度を高くし、それに伴い放流濃度も高くなる。しかし、数時間後には放流全リン濃度は低くなる。30、1日に工場排水と雨水が同時に流入し、それ以降は放流の全リン濃度が高い状態が続いている。異常水の流入が無いときでは、熱田処理場における放流水の全リン、COD、全窒素濃度は水質管理目標値の1.5、20、20mg/lを十分達成可能である。

## 6.課題と改善策

全リン流入濃度が高くなると、放流濃度に影響する。全リン流入濃度を高くする要因の1つと考えられる工場排水を抑制する必要がある

## 7.謝辞

熱田下水処理場の調査は、名古屋市上下水道局水質管理課の指導のもとに行ったことを付記し、上下水道局の多くの方々にご指導とご協力を頂いたことに謝意を表します。

## 参考文献

- 1). タクマ環境技術研究会, 水処理技術絵とき基本用語, オウム社, p70 p79~81 p118, 2000
- 2). 福田文治, 初歩から学ぶ水処理技術, 工業調査会, p144, 1999
- 3). 村田恒雄, 下水の高度処理技術, 理工図書株式会社, p70, p186, p201, 1992
- 4). 星加昭代 他, リン除去に関する調査, 東京都下水道局技術調査年報, p231~244, 1997
- 5). 滝田久憲, 下水処理場へ流入する難分解性リンについて, 下水道局実務研究発表会論文集, p23~25, 1998
- 6). 兼子崇, 熱田処理場のリン挙動等の実態調査結果について, 名古屋市上下水道局水質管理課, p1~8, 1998 他