

(23) 都市下水を対象とした回分式活性汚泥法の処理特性と
設計手法について

TREATMENT CHARACTERISTICS AND DESIGN CONDITIONS
OF SEQUENCING BATCH ACTIVATED SLUDGE PROCESS
FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

中 沢 均*, 田 中 和 博*
Hitoshi NAKAZAWA, Kazuhiro TANAKA
大 森 信 慈*
Shinji OHMORI

ABSTRACT: Pilot-scale experiments were conducted to clarify the design conditions, and operation control method of the sequencing batch activated sludge process (SBASP) for municipal wastewater treatment.

The removal performances of organic matter, nitrogen and phosphorus were evaluated based on the results of the pilot-scale survey. The aeration time required for one cycle can be predicted from the obtained relationship between modified BOD-SS loading and BOD₅ removal efficiency.

Settling characteristics of sludge blanket in the reactor and characteristics of the excess sludge production for SBASP were also investigated. It was found out that the initial settling velocity of sludge blanket can be predicted from both the MLSS concentration and the water temperature and that the settling time required for one cycle can be determined practically by predicting the initial settling velocity of sludge blanket.

Design conditions and design procedures peculiar to the SBASP system were proposed using the results obtained. KEYWORDS: Sequencing batch activated sludge process, Settling characteristics, Sludge blanket, BOD₅ removal efficiency, Excess sludge production

1. はじめに

回分式活性汚泥法は、単一の反応槽の中で、流入、曝気、沈殿、上澄水の排出等の各工程を時間的に順次繰り返す汚水処理方式であり、近年、下水処理の分野で注目を浴びている。回分式活性汚泥法の一般的な特徴は、流入工程での流入下水の質、量の時間的変動の平均化、沈殿工程での静止状態における固液分離に伴う有機物除去の安定性や最終沈殿池、汚泥返送設備等が必要でないための施設構成の簡単さなどである。また、1つの反応槽の中で嫌気と好気の条件を時間的に繰り返して設定することが容易なため、回分式活性汚泥法による生物学的な窒素除去特性^{1), 2), 3), 4)}とリン除去特性^{4), 5), 6), 7)}に関する研究および活性汚泥の沈降性の改善に関する研究^{8), 9), 10)}が報告されている。しかしながら、現在のところ下水処理を対象とした回分式活性汚泥法の有機物負荷条件に基づいた処理特性は十分に明らかにされておらず、下水処理施設に対する明確な設計基準はなかった。¹⁰⁾

筆者らは、都市下水を対象としたベンチスケール（反応タンク容量：60ℓ）の実験により、有機物負荷とそれに関係する設計因子に基づいて回分式活性汚泥法の処理特性を明らかにした。¹¹⁾

本論文では、パイロットスケールの実験により有機物除去性能と有機物負荷の関係、生物学的な窒素ある

* 日本下水道事業団技術開発部（Research and Technology Development Division, Japan Sewage Works Agency）

いはリン除去性能と有機物負荷の関係、余剰汚泥の発生量、活性汚泥の沈降性等について明らかにするとともに処理施設の設計手法を提案する。

2. 回分式活性汚泥法の概要

回分式活性汚泥法には、汚水の流入方式、有機物負荷、反応槽の構造等の違いにより様々な変法が存在する。汚水の流入方式により Goronszy ら¹²⁾が提唱している Intermittent Cycle Extended Aeration System (ICEAS) に代表される連続流入式のものとして Irvine ら¹³⁾が提唱している Sequencing Batch Reactor (SBR) に代表される間欠流入式のものに分類されるが、ここでは、複数の反応槽により流入下水を交互に受け入れ、連続的に処理を行うシステム (SBR) を対象とし、図-1 に示すような工程を設定している。

回分式活性汚泥法の有機物負荷は、流入水質、施設の容量、運転条件により変わるものであるが、既に筆者らが発表したように¹¹⁾ BOD-SS 負荷を曝気時間を考慮して次式のように定義する。

$$L_s = \frac{1}{e} \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{C_s}{C_A} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで L_s : BOD-SS 負荷 (kg-BOD₅/kg-SS・日)
 e : 曝気時間比
 n : サイクル数 (サイクル / 日)
 $\frac{1}{m}$: 引抜き比
 C_A : 反応槽内の混合液の平均 MLSS 濃度 (H. W. L. 時) (mg/ℓ)
 C_s : 流入下水の平均 BOD₅ (mg/ℓ)

引抜き比 ($\frac{1}{m}$) とは、1 サイクル当たり排出される処理水量と反応槽容積の容積比をいい、曝気時間比 (e) とは、1 サイクル中の曝気時間と 1 サイクルの所要時間の比をいう。また反応槽内の混合液の平均 MLSS 濃度は、反応槽の水位の推移により変化するが、ここでは水位が最高の時の平均 MLSS 濃度を用いることとする。

筆者らは、都市下水を対象としたベンチスケールの実験によって(1)式に示した BOD-SS 負荷を用いて、回分式活性汚泥法の処理特性を整理できることを示した。¹¹⁾

さらにその後松田らも同様な整理ができることを報告している。¹²⁾

図-2 は、サイクル数と引抜き比の組み合わせによる有機物負荷条件の違いを概念的に示したものであるが、実際にはこの他に 1 サイクル当たりの曝気時間、MLSS 濃度が、関係するものと考えられる。したがって、回分式活性汚泥法でも有機物負荷により、連続流れ式と同様に低負荷のもの (長時間エアレーション法) から高負荷のもの (標準活性汚泥法) まで種々の処理変法が存在する。

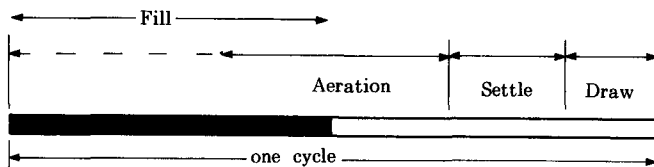


Fig. 1 Operation sequence for one cycle of sequencing batch activated sludge process

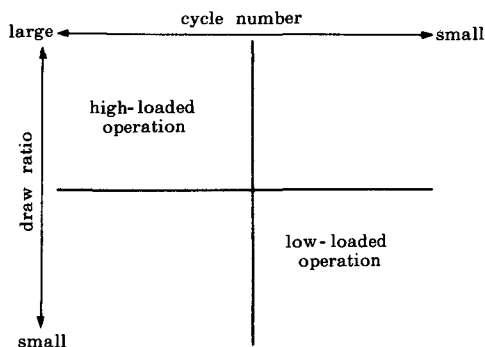


Fig. 2 Organic loading based on the combination of cycle number and draw ratio

3. 実験装置および実験条件

実験は、日本下水道事業団技術開発研修本部内で行い、隣接する埼玉県荒川左岸流域下水道荒川処理センターの沈砂池流出水を原水として用いた。図－3，4に実験に用いた2種類のパイロットプラントのフローシートを、表－1にそれぞれのパイロットプラントの主要構成機器を示す。ここで、2種類のパイロットプラントを用いたのは、異なる種類の上澄水排出装置、散気装置の機能の相違等を調査する為であるが、それらについては本論文では言及しない。実験は、それぞれ2つの反応槽を互いに独立した条件で運転し、昭和59年10月より昭和61年3月まで調査を行った。

表－2，3に各運転モードの実験を示すが、各運転モードでの処理特性に関する調査を実施する前に、それぞれ約1ヶ月の馴致期間を取った。処理特性に関する調査の期間は4週間とし、原水と処理水の1サイクルのコンポジットサンプルの水質等について週2～3回の頻度で分析を行った。分析方法は下水試験法によったが、リンについては混合試薬法(U.S.-EPA)により分析した。

4. 実験結果

各運転モードにおける流入下水及び処理水の平均水質を表－4，5に示す。

4.1 BOD₅ 除去性能

図－5に各運転モードの平均のBOD-SS負荷と処理水BOD₅，BOD₅除去率の関係を示す。表－2，3にある曝気時間(1.0～9.0h/サイクル)，引抜き比(1/4～1/2)，サイクル数(2，3，4，サイクル/日)，MLSS濃度(2,000～4,000mg/ℓ)に関する様々な条件が設定されているにもかかわらず、図－6の結果より、BOD₅の除去特性をBOD-SS負荷を用いてほぼ整理できることがわかる。

Table.1 Main experimental apparatuses

Apparatus	Plant A	Plant B
Reactors	Dimensions: 1.5(W) x 5.6(L) x 2.5(D) m Quantity: 2 units	Dimensions: 2.0(W) x 4.0(L) x 4.5 (D) m Quantity: 2 units
Aeration device	Jet aerator (DM-1)	Bayer injector
Supernatant discharge device	Decanter type, self-suction pump type, submersible pump type	Weir-trough type, submerge weir-trough type
Excess sludge withdraw device	Submersible sludge pump	Buit-in sludge thickener

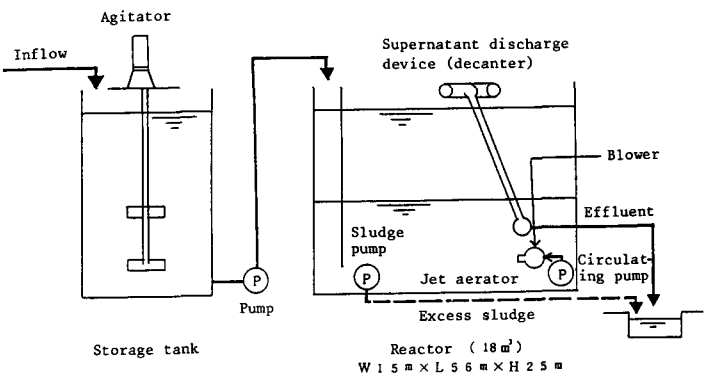


Fig. 3 Flow diagram of experimental apparatuses (plant A)

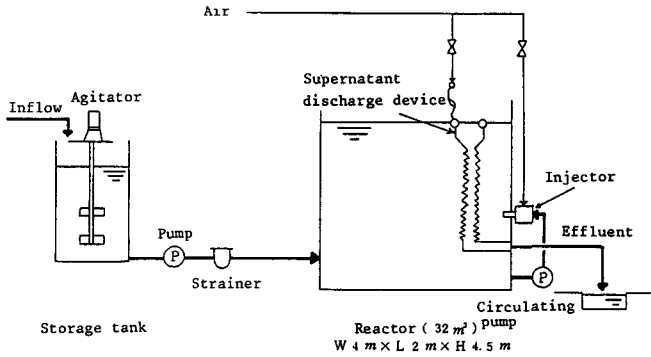


Fig. 4 Flow diagram of experimental apparatuses (plant B)

Table. 2 Operational conditions (plant A)

Run	Operation mode					Quantity of influent (m ³ /day)	Influent BOD ₅ (mg/l)	MLSS concentration (mg/l)	BOD-SS loading (kg-BOD ₅ /kg-SS · day)	Water temperature (°C)	Remarks
	MLSS concentration (mg/l)	Number of cycles	Withdraw ratio (-)	Aeration time (h/cycle)	Cycle						
1	2000	2	1/2	4		18	111	1,740	0.19	12.1 ~ 12.5	1) Intermittent aeration
2	2000	2	1/2	4		18	111	2,000	0.17	10.1 ~ 12.0	
3	2000	4	1/2	2		36	143	2,630	0.33	20.5 ~ 22.1	
4	2000	4	1/2	4		36	143	2,440	0.18	20.6 ~ 22.2	
5-1	3000	4	1/4	1		18	95.4	3,460	0.17	22.5 ~ 25.0	
6-1	3000	4	1/4	1		18	95.4	2,430	0.24	22.5 ~ 25.0	
5-2	2000	4	1/4	1		18	94.0	2,080	0.27	20.7 ~ 23.5	Intermittent aeration
6-2	2000	4	1/4	1		18	94.0	1,900	0.30	20.7 ~ 23.5	
7	2000	4	1/2	3		36	134	2,540	0.21	13.6 ~ 18.0	

☐ No agitation
 ☒ Agitation
 ☒ Aeration
 ☒ Settle
 ☒ Draw

Note 1: In the Aeration period of Run 5, 45 minutes of agitation and 15 minutes of aeration are repeated 4 times.

Table. 3 Operational conditions (plant B)

Run	Operation mode					Quantity of influent (m ³ /day)	Influent BOD ₅ (mg/l)	MLSS concentration (mg/l)	BOD-SS loading (kg-BOD ₅ /kg-SS · day)	Water temperature (°C)	Remarks
	MLSS concentration (mg/l)	Number of cycles	Withdraw ratio (-)	Aeration time (h/cycle)	Cycle						
A	2000	2	0.475	3		30.4	131	2,060	0.24	11.0 ~ 15.5	Intermittent aeration
B	2000	2	0.475	6		30.4	131	1,860	0.13	11.0 ~ 15.5	
C	2000	2	0.475	3		30.4	88.7	2,170	0.16	16.5 ~ 21.8	
D	2000	2	0.475	9		30.4	104	1,920	0.068	16.5 ~ 21.8	
E	2000	3	0.475	2.5		45.6	192	2,360	0.37	23.5 ~ 27.5	
F	2000	3	0.475	5		45.6	192	1,910	0.23	23.5 ~ 27.5	
G	2000	2	0.475	6		30.4	138	2,220	0.12	23.5 ~ 28.0	
H	2000	4	0.475	3		60.8	133	2,360	0.22	20.5 ~ 21.5	
I	2000	4	0.475	2		60.8	128	2,180	0.34	20.5 ~ 21.5	
J	4000	2	0.375	6		24.0	152	4,120	0.055	16.2 ~ 20.0	
K	3000	2	0.375	6		24.0	152	3,110	0.073	16.1 ~ 20.0	
L	2000	2	0.475	6		30.4	236	2,330	0.19	12.2 ~ 13.5	
M	2000	2	0.475	6		30.4	236	2,170	0.21	12.2 ~ 13.5	

☒ Agitation
 ☒ Aeration
 ☒ Settle
 ☒ Draw

Table. 4 Summary of average operating performance (plant A)

	Run	1	2	3	4	5 - 1	6 - 1	5 - 2	6 - 2	7
Influent	BOD ₅ (mg/ℓ)	111	111	143	143	95.4	95.4	94.0	94.0	134
	SS (mg/ℓ)	121	121	221	221	175	175	193	193	204
	T-N (mg/ℓ)	24.4	24.4	31.2	31.2	23.4	23.4	27.2	27.2	32.9
	T-P (mg/ℓ)	3.17	3.17	4.72	4.72	4.11	4.11	4.36	4.36	5.31
Effluent	BOD ₅ (mg/ℓ)	9.4	8.6	8.1	2.7	3.7	9.3	8.2	11.5	9.8
	SS (mg/ℓ)	5.2	6.3	3.7	3.1	2.8	9.2	4.7	6.5	6.8
	T-N (mg/ℓ)	16.0	17.3	7.1	12.9	1.8	5.0	5.8	6.3	12.6
	T-P (mg/ℓ)	0.20	0.27	0.22	0.58	0.13	0.31	0.22	0.25	0.30

Table. 5 Summary of average operating performance (plant B)

	Run	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Influent	BOD ₅ (mg/ℓ)	131	131	88.7	104	192	192	138	133	128	152	152	236	236
	SS (mg/ℓ)	140	140	111	121	162	162	179	150	152	176	176	242	242
	T-N (mg/ℓ)	25.5	25.5	23.5	25.1	23.0	23.0	24.9	29.5	28.1	30.5	30.5	37.0	37.0
	T-P (mg/ℓ)	3.51	3.51	2.74	3.01	3.85	3.85	4.04	4.28	4.13	4.79	4.79	6.26	6.26
Effluent	BOD ₅ (mg/ℓ)	11.3	9.5	8.9	5.4	9.0	8.5	5.0	8.8	17.7	3.9	2.5	8.3	12.1
	SS (mg/ℓ)	5.2	5.6	2.9	3.0	4.0	3.3	2.4	3.9	9.1	6.1	3.3	4.7	6.3
	T-N (mg/ℓ)	11.8	8.7	5.5	9.4	6.0	8.2	8.6	11.3	14.0	7.0	7.2	13.7	12.8
	T-P (mg/ℓ)	0.27	0.40	0.16	0.62	0.23	0.38	0.33	0.27	0.68	0.24	0.16	0.25	0.31

4.2 SS 除去性能

表-4, 5 に示されるように, 実験条件の違いによらず, 対象とした BOD-SS 負荷の範囲で処理水 SS は全て 10 mg/ℓ 以下で良好な SS 除去が行われた。図-6 は, プラント B の沈殿工程中の水深 1 m の位置 (反応槽の水位は 4 m) における SS 濃度の経時変化を示したものである。活性汚泥界面が沈降によりその位置を通過すると, SS 濃度は十分に小さくなり, 時間経過とともに残留する微細フロックの沈降により SS 濃度がさらに低下しているのがわかる。

このように回分式活性汚泥法では, 沈殿工程中に静止状態で活性汚泥と処理水の固液分離が行われるので, 上澄水

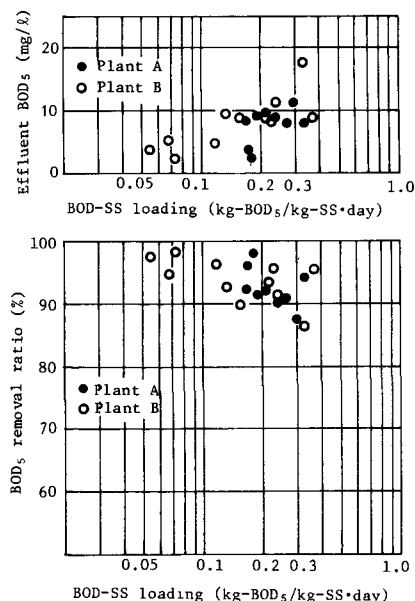


Fig. 5 Relationship between BOD-SS loading and effluent BOD₅ and BOD₅ removal ratio

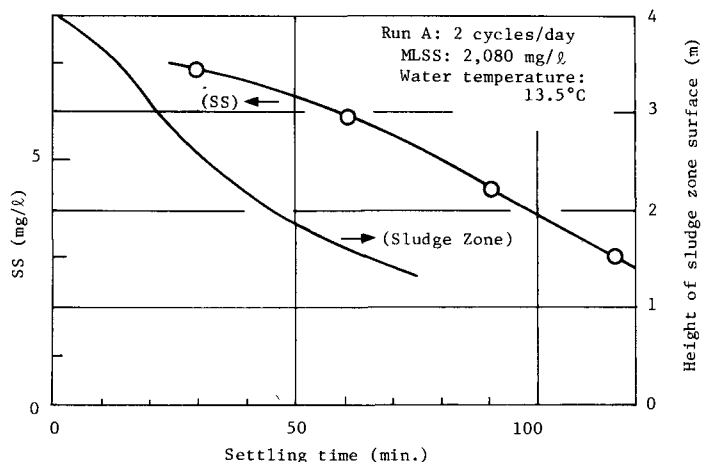


Fig. 6 Change with time in SS concentration at the point of water depth of 1 m during Settle Period (plant B)

の排出時にスカムの巻き込みや沈殿している活性汚泥の巻き上げを防ぐことにより良好なSS除去が期待できる。

4.3 窒素除去性能

(1) 硝化

活性汚泥法によるケルダール性窒素 ($Kj-N$) の除去の因子は、①生物学的硝化、②SS性の有機窒素の沈殿、活性汚泥への吸着、③溶解性の有機窒素の細胞合成への利用が考えられるが、このうち②と③の合計が余剰汚泥の系外排出による $Kj-N$ の除去量となる。

図-7に、各運転モードの平均のBOD-SS負荷と $Kj-N$ 除去率の関係を、図-8に全 $Kj-N$ 除去量に占める余剰汚泥の系外への排出による $Kj-N$ 除去量とBOD-SS負荷の関係を示す。ここで余剰汚泥の系外への排出による $Kj-N$ の除去量は、余剰汚泥の $Kj-N$ 濃度と余剰汚泥量の積によって求めたものである。余剰汚泥の $Kj-N$ 含有率は5～8%の間にあった。

図-7でBOD-SS負荷が0.15～0.2の間にある2つのデータは $Kj-N$ 除去率が他のデータに比べて著しく低かった。これは水温10～12℃のデータであり図-8でもわかるように、硝化反応がほとんど進行していなかった為である。

水温が12℃以下と低く硝化反応が良好に進行しなかった場合を除くと、BOD-SS負荷が0.2 kg-BOD₅/kg-SS・日以下の条件であれば、 $Kj-N$ 除去率は85%以上の値が得られた。またBOD-SS負荷が増加するとともに硝化による $Kj-N$ の除去量が低下していることがわかる。

(2) 脱窒

図-9に流入工程中に嫌気時間がある場合の NO_T-N (NO_2-N と NO_3-N の合計) 濃度、 PO_4-P 濃度の変化の例を示す。前サイクルの沈殿、排出工程中に上澄水あるいは汚泥ゾーン中に残留した NO_T-N が、次のサイクルの流入工程中に脱窒により除去されているのがわかる。従って、嫌気工程がある場合は、残留した NO_T-N が多い運転 (引抜き比が小さい運転) の方が、脱窒を十分行う為には有利であると考えられる。

図-10に流入工程中に嫌気時間がない場合の NO_T-N 濃度、 PO_4-P 濃度の変化の例を示す。曝気工程中に硝化により生じた NO_T-N の一部が、沈殿工程中の汚泥ゾーンで脱窒され、汚泥ゾーン中の NO_T-N 濃度はほとんど0 mg/ℓとなっている。また、これに伴ない上澄水中の NO_T-N 濃度もやや低下していることがわかる。

以上のことから、回分式活性汚泥法における生物学的

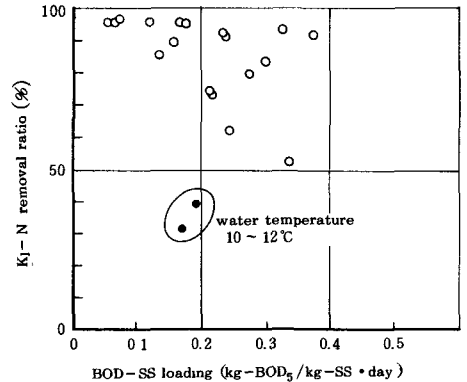


Fig. 7 Relationship between BOD-SS loading and $Kj-N$ removal ratio

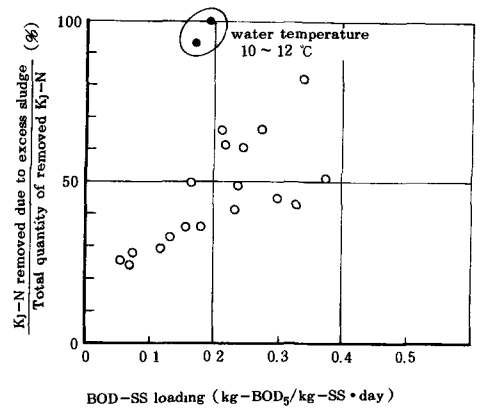


Fig. 8 Breakdown of $Kj-N$ removal ratio

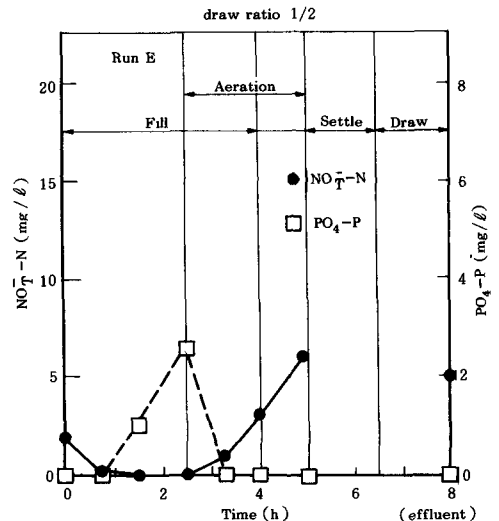


Fig. 9 Changes in the concentration of NO_T-N and PO_4-P per cycle (Run E)

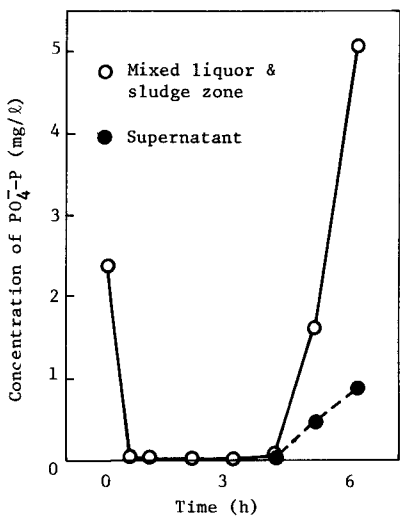
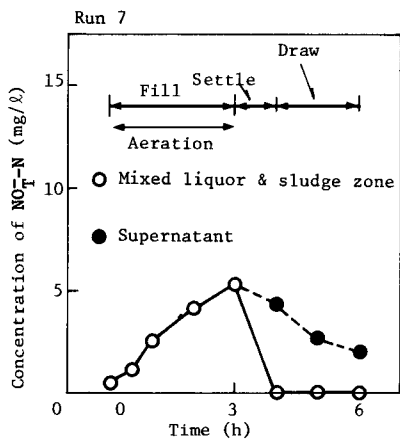


Fig. 10 Changes in the concentration of NO_3^- -N and PO_4 -P per cycle (Run 7)

な脱窒は、流入工程中の嫌気条件下（曝気を停止して攪拌を行う）か、沈殿、排出工程中の沈殿した汚泥ゾーン中で生じているといえる。

図-11に間欠的に曝気を行った（45分攪拌した後15分曝気を4回繰り返した）場合の NH_4^+ -N濃度、 NO_3^- -N濃度、 PO_4 -P濃度の変化の例を示す。流入水の NH_4^+ -N濃度が 13.2 mg/l であったが、混合液内の NH_4^+ -N濃度、 NO_3^- -N濃度の変化は小さく、硝化した部分が同時並行的に脱窒している様子がみられる。従って、脱窒を行ううえで、間欠的な曝気が有効であると考えられる。

図-12は間欠曝気、嫌気工程の有無、引抜き比がT-N除去率に与える影響を比較したものである。硝化反応が十分に行われKj-N除去率が高い場合、脱窒を促進するような運転条件で高いT-N除去率が得られている。

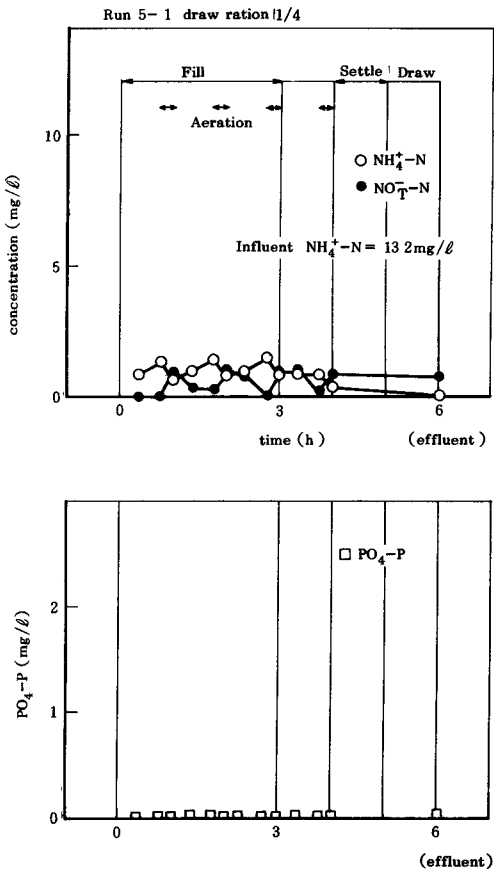


Fig. 11 Changes in the concentration of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and PO_4 -P per cycle (Run 5-1)

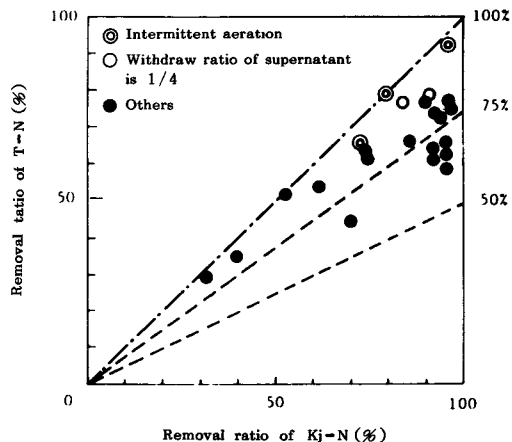


Fig. 12 Relationship between removal ratio of Kj-N and removal ratio of T-N

即ち前述したように、間欠的に曝気を行った場合、処理水の引抜き比が小さく流入工程中に嫌気時間がある場合にT-N除去率が高まっている。

4.4 リン除去性能

図-9, 10 に示した例のように、回分式活性汚泥法では、反応槽内に脱窒による完全嫌気状態（混合液中に溶存酸素、結合酸素が全く存在しない状態）が生じている。このため、これに伴う活性汚泥からのリンの放出とその後の好気状態でのリンの吸収が行われている。（図-9, 10参照）

図-13 は、各運転モードの平均のBOD-SS 負荷と処理水T-P 濃度、T-P 除去率の関係を示したものである。

流入工程中に嫌気時間がない場合でも高いリン除去率が得られているが、これは、沈殿、排出工程中の汚泥ゾーン中に生じる完全嫌気状態により説明できると考えられる。

4.5 活性汚泥の沈降性

回分式活性汚泥法の沈殿工程では、静止状態で活性汚泥と処理水の固液分離が行われるので、反応槽の活性汚泥界面の沈降曲線は、初期の定速沈降区間と減速沈降区間あるいは圧縮脱水区間に分けられる。図-14 に定速沈降区間が終了するときの活性汚泥の沈殿率とMLSS 濃度の関係を示すが、MLSS 濃度が2,000~3,000 mg/ℓ程度の場合、水深の1/2 程度まで定速沈降区間が継続するので、沈殿時間を設定するためには、定速沈降区間での活性汚泥界面の沈降速度を用いればよいと考えられる。

活性汚泥の沈降性に対する水温の影響を調べるためにプラントB（H.W.L = 4m）におけるMLSS 濃度が1,800~2,200 mg/ℓの範囲の場合の初期沈降速度（定速沈降区間での活性汚泥界面の沈降速度） v_{max} （m/h）と水温 t （℃）の関係を図-15 に示す。初期沈降速度 v_{max} （m/h）は、水温 t （℃）にはほぼ比例しその関係は(2)式で表される。

$$v_{max} = 0.185t^{0.97} \dots\dots\dots (2)$$

次にMLSS 濃度の活性汚泥の沈降性に対する影響を調べるために、(2)式に基づいて v_{max}/t とMLSS 濃度 C_A （mg/ℓ）の関係を求めたものが図-16 であり、(3)式の関係が得られた。

$$v_{max} = 7.4 \times 10^4 \cdot t \cdot C_A^{-1.7} \dots\dots\dots (3)$$

図-17 は、1 サイクル中の嫌気工程の有無による活性汚泥の沈降性の差を調べるために、1 サイクル当りの曝気時間だけを変えた場合の反応槽内における活性汚泥界面の沈降曲線を比較したものの例である。ここで対象とした下水の場合、例えば Run D のように沈殿、排出工程以外は曝気を行い1 サイクル中の基質濃

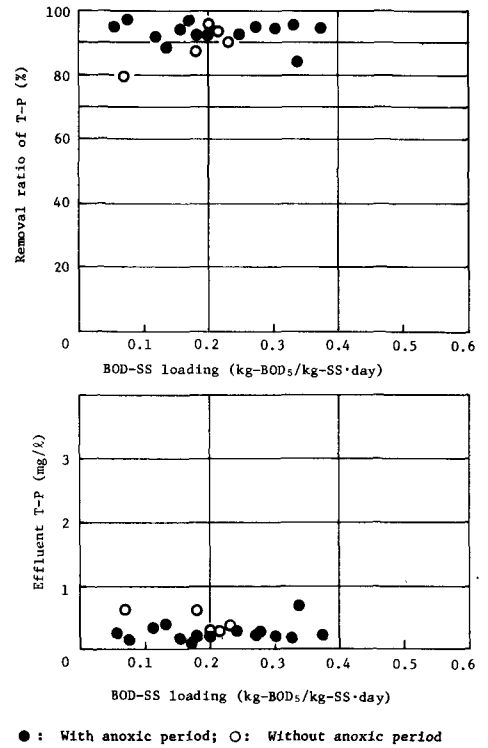


Fig. 13 Relationship between BOD-SS loading and effluent T-P and removal ratio of T-P

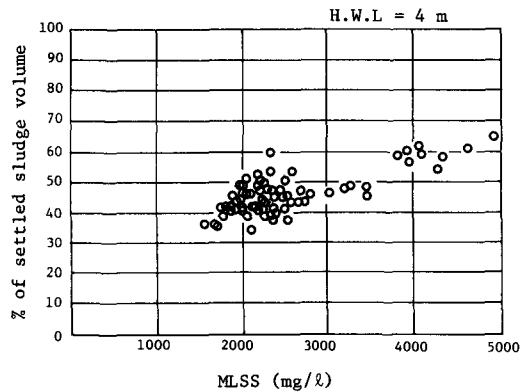


Fig. 14 Difference in % of settled sludge volume at the end of initial constant velocity section due to MLSS concentration (plant B)

度の変化が小さい場合でも活性汚泥の沈降性は良好でバルキングを生ずるような糸状菌の発生も見られなかった。

したがって流入工程における曝気の有無による活性汚泥の沈降性の有意な差は認められず、図－16に示したように、活性汚泥の沈降性は、水温とMLSS濃度の影響を主に受けていた。

4.6 余剰汚泥の発生量

図－18は、BOD-SS 負荷と除去BOD₅ 量当たりの余剰汚泥発生量の関係を示したものである。除去BOD₅ 1kg 当たり1～2kg 程度の余剰汚泥が発生し、BOD-SS 負荷が増加するに従がい余剰汚泥発生量が増加する傾向がみられた。

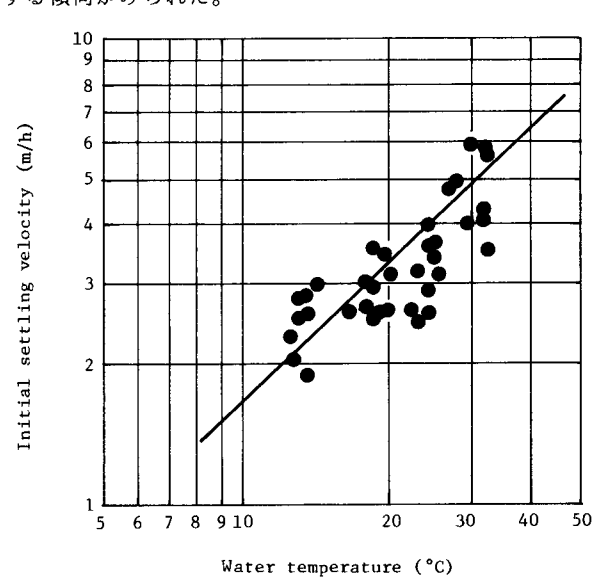


Fig. 15 Relationship between water temperature and initial settling velocity (plant B)
MLSS : 1800 ~ 2200 mg/ℓ

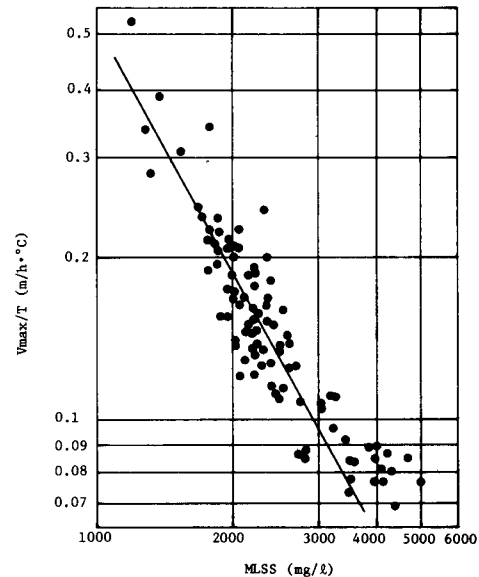
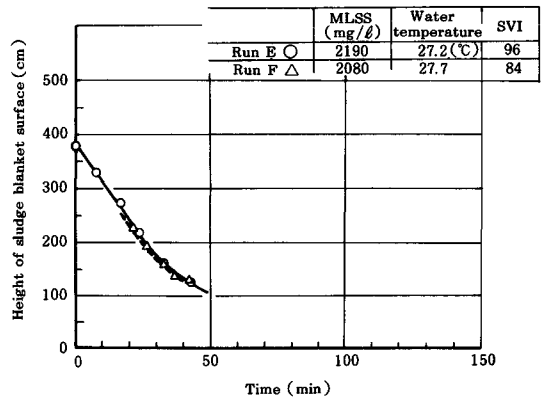
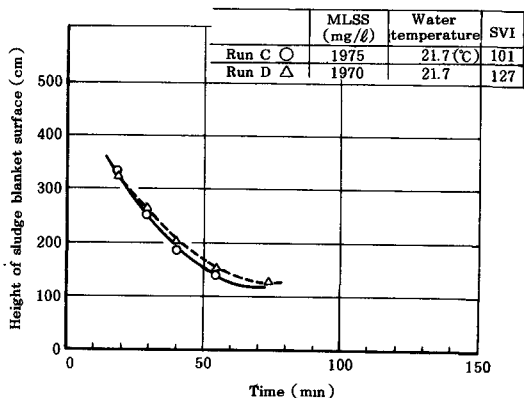
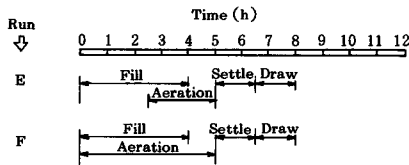


Fig. 16 Relationship between MLSS concentration and initial settling velocity (plant B)



Operational condition



Operational condition

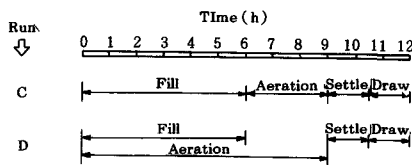


Fig. 17 Settling curves of sludge blanket in the reactor (plant B)

なお本実験に用いた下水は沈砂池流出水であり、パイロットプラントでは、最初沈殿池を設けていないので、ここでの余剰汚泥発生量には、本来最初沈殿池で発生する汚泥量も含まれている。

5. 回分式活性汚泥法の設計手法 — 反応槽容量に関する設計手法（有機物除去を対象とする場合）—
回分式活性汚泥法の1サイクルの運転は、図-1に示したように、流入、曝気、沈殿、排出等の各工程から構成されており、1サイクルの所要時間は、これら各工程の所要時間より求めることができる。

1系列 N_R 槽を単位として連続的に流入下水を受け入れて、各槽で順番に処理をすることと、流入工程中に沈殿・排出を行わないことを前提条件とすると、各工程の所要時間は次にあげる条件を満たさなければならない。

$$T_C \geq T_A + T_S + T_D \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$T_F = T_C / N_R \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$T_S + T_D \leq T_C - T_F \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 T_C ：1サイクルの所要時間（h）、 T_F ：流入時間（h）、 T_A ：曝気時間（h）、 T_S ：沈殿時間（h）、 T_D ：排出時間（h）、 N_R ：1系列当たりの反応槽数

(4)式より、1サイクル当たりの最少所要時間は $T_A + T_S + T_D$ となるので、以下に T_A 、 T_S 、 T_D の算出方法を個別に述べることにする。

回分式活性汚泥法のBOD-SS負荷 L_s は、(1)式で与えられるので、曝気時間比 $\left(e = \frac{n \cdot T_A}{24}\right)$ から1サイクル当たりの曝気時間は(7)式のように求まる。

$$T_A = \frac{24 \cdot C_S}{L_s \cdot m \cdot C_A} \quad \dots\dots\dots (7)$$

すなわち、1サイクル当たりに必要な曝気時間は、BOD-SS負荷、引抜き比、流入下水の BOD_5 、MLSS濃度を与えれば、(7)式より定まる。図-19は(7)式を用いて必要な曝気時間を計算した結果である。ここでは、引抜き比を1/2、流入下水 BOD_5 を140mg/ℓとし、4種類のMLSS濃度についてBOD-SS負荷と必要曝気時間の関係を示してある。流入下水および目標処理水質から BOD_5 の除去率が定まると、必要なBOD-SS負荷は図-5から求まる。

活性汚泥界面の沈降速度とMLSS濃度、水温の関係により、初期沈降速度 v_{max} は、(3)式で予測でき、沈殿開始初期の定速区間が図-14に示したように、反応槽の水深のほぼ半分の位置まで継続するので、引抜き比が1/2までであれば、必要な沈殿時間 T_S は(8)式で求められる。

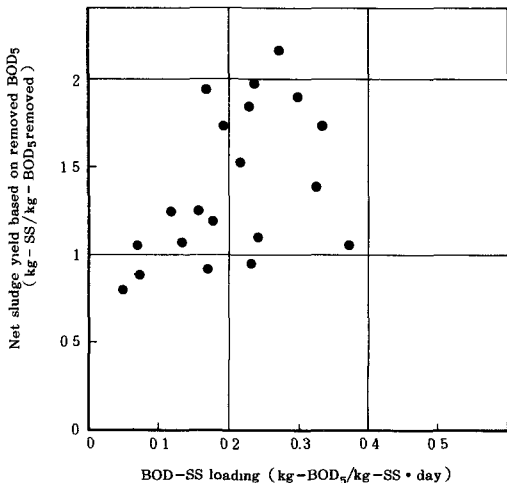


Fig. 18 Relationship between BOD-SS loading and net sludge yield based on removed BOD_5

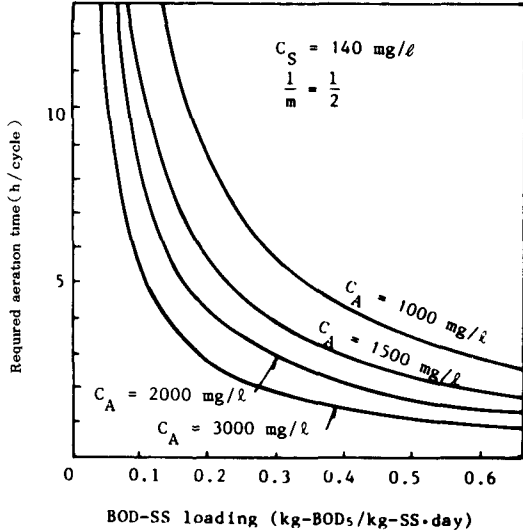


Fig. 19 Relationship between BOD-SS loading and required aeration time

$$T_s = \frac{H \times \frac{1}{m} + \beta}{v_{\max}} = \frac{H \times \frac{1}{m} + \beta}{7.4 \times 10^4 \times t \times C_A^{-1.7}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 H：反応槽の水深（m）

β ：最低水位と活性汚泥界面の余裕高（m）

なお、排出工程中に沈殿した活性汚泥を巻き上げて処理水SS 濃度を悪化させないために必要な最低水位と活性汚泥界面の余裕高 β は、表－1 にあげた上澄水排出装置に対して表－6 のように得られた。¹⁵⁾

1 サイクル当たりの排出時間は、1 回の排出工程において排出が必要な処理水に対して、排出装置の台数を増加したり越流負荷を大きくすることにより短縮できる。一方、排出装置の台数を少なくしたり、塩素混和池・放

Table. 6 Clearance required in various discharge methods

Discharge method		Clearance (cm)	Discharge rate
Plant A	Decanter type	30	1.5 m ³ /m min
	Self-suction pump type	40	1.8 m ³ /m min
	Discharge from side opening	20	0.2 m ³ /min
Plant B	Weir-trough type	50～60	1.0 m ³ /min
	Discharge from side opening	50	0.3 m ³ /min

流渠の容量を小さくするためには、排出時間をできるだけ長くする必要がある。また、上澄水を水面近くから排出する方式では、沈殿工程の一部を排出工程、あるいは排出工程の一部を沈殿工程とみなすことができる。

1 系列当たりの流入下水量を q （m³/日）とすると、1 サイクル当たりに各反応槽に流入する下水量は $q/(n \cdot N_R)$ となる。したがって、各反応槽の容量 V （m³）は(9)式で求めることができる。

$$V = \frac{m}{n \cdot N_R} \cdot q \quad \dots\dots\dots (9)$$

なお、1 サイクルの最少の所要時間は、 $T_A + T_s + T_D$ で求まるので、サイクル数 n は、(10)式より設定できる。

$$n = \frac{24}{T_A + T_s + T_D} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、サイクル数 n は、1, 2, 3, 4 という整数値が望ましい。

6. ま と め

- (1) BOD₅ の除去性能はサイクル数、引抜き比、MLSS 濃度、流入下水の BOD₅、曝気時間比により定義される BOD - SS 負荷と BOD₅ 除去率の関係によりまとめることができた。沈砂池越流水を対象とした場合、BOD - SS 負荷が 0.4 kg - BOD₅/kg - SS・日以下ならば、処理水の BOD₅ は 20 mg/ℓ 以下であった。
- (2) ケルダール性窒素の除去は、硝化反応と余剰汚泥の系外の排出の 2 つの要因により行われる。硝化反応による K_j-N の除去量は低有機物負荷条件で増加し、余剰汚泥の系外排出による K_j-N の除去量は、除去 BOD₅ 量当たりの余剰汚泥の発生量が高有機物負荷条件で増加するため、高有機物負荷条件で増加する。硝化が良好に行われる低有機物負荷条件でより高い K_j-N の除去率が得られた。従って、高い T - N の除去率を得るためには、硝化を促進する低有機物負荷条件が有利である。また嫌気工程で十分に脱窒を行う必要があるので、引抜き比を小さくするか間欠的な曝気を行うことにより、積極的に脱窒を促進することが必要である。
- (3) 回分式活性汚泥法では、流入工程中の嫌気工程での脱窒や沈殿排出工程中の汚泥ゾーン中での脱窒により、完全嫌気状態を得やすい。
- (4) BOD - SS 負荷が 0.05 ～ 0.4 kg - BOD₅/kg - SS・日の範囲では、嫌気工程の有無にかかわらず T - P 除去

率は80%以上であった。

- (5) 1サイクルあたりに必要な沈殿時間は、定速沈降区間の活性汚泥界面の沈降速度(初期沈降速度)により実用上は求めることができる。初期沈降速度は、MLSS濃度と水温により予測できることがわかった。

なお、流入工程中の曝気の有無による活性汚泥の沈降性の有意な差はみられなかった。

- (6) 曝気時間を考慮したBOD-SS負荷の考え方を導入し、1サイクルあたりに必要な曝気時間の算定方法を明らかにした。さらに、活性汚泥界面の沈降特性から沈殿時間を設定する実用式を求めるなど、都市下水における回分式活性汚泥法の設計手法を整理し提示した。

7. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、株式会社西原環境衛生研究所と三井造船株式会社の協力を得たことをここに記し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Silverstein, J., Schroeder, E. D.; "Performance of SBR activated sludge processes with nitrification/denitrification," Jour. WPCF, Vol. 55, No. 4 (1983)
- 2) Alleman, J. E., Irvine, R. L.; "Nitrification in the sequencing batch biological reactor," Jour. WPCF, Vol. 52, No. 11, November 1980
- 3) Palis, J. C., Irvine, R. L.; "Nitrogen removal in a low-loaded single tank sequencing batch reactor," Jour. WPCF, Vol. 57, No. 1, January 1985
- 4) 岡田, 須藤, 寺園; "回分式活性汚泥法による窒素および有機物の同時除去法に関する研究", 水質汚濁研究 第8巻 第11号
- 5) Manning, J. F., Irvine, R. L.; "The biological removal of phosphorus in a low-loaded single tank sequencing batch reactor," Jour. WPCF, Vol. 57, No. 1, January 1985
- 6) 太宰, 風袋, 福岡; "制限曝気式活性汚泥法によるリンの除去," 下水道協会誌 Vol. 22, No. 250 1985/3
- 7) 小林, 風袋, 中村, 太宰, 宮武, 藍沢; "回分式活性汚泥法による実規模でのリン処理", 下水道協会誌 Vol. 22, No. 252 1985/5
- 8) Pasveer, A.; "A case of filamentous activated sludge, Jour. WPCF, Vol. 41, No. 7 (1969)
- 9) Dennis, R. D., Irvine, R. L.; "Effect of fill:react ratio on sequencing batch biological reactors", Jour. WPCF, Vol. 51, No. 2 (1979)
- 10) 太宰, 風袋, 高原; "バルキング防止のための新しい回分式活性汚泥法の開発-制限曝気法-", 下水道協会誌 Vol. 19, No. 214 1982/3
- 11) 田中, 中沢; "回分式活性汚泥法の処理特性について", 第22回下水道研究発表会講演集
- 12) Goronszy, M. C.; "Intermittent operation of the extended aeration process for small systems", Jour. WPCF, Vol. 51, No. 2 (1979)
- 13) Irvine, R. L.; "Sequencing batch biological reactors-an overview," Jour. WPCF, Vol. 51, No. 2 (1979)
- 14) 松田, 井出, 片島; "回分式活性汚泥法の処理特性", 下水道協会誌 Vol. 23, No. 262 1986/3
- 15) Tanaka, K., Nakazawa, H.; "Performance evaluation on sequencing batch reactor for municipal wastewater treatment", Third German/Japanese Workshop on Wastewater and Sludge Treatment (1986)