

生物学的窒素・リンの同時除去技術 (その2)

—リフォーナイトシステムの開発—

Biological Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus (Part 2)

—Development of REPHONITE System—

環境装置事業部 製品開発室
野 中 信 一
Shinichi Nonaka
小 林 哲 男
Tetsuo Kobayashi

The technology for biological nitrogen and phosphorus removal has been well developed. Shinko-Pfaunder has developed a proprietary activated sludge process, the REPHONITE SYSTEM, which biologically removes phosphorus and can also be modified for total nitrogen control. This system is a single sludge suspended growth system, which combines an anaerobic section and anoxic section in parallel, deficient in oxygen, with a conventional stage aerobic section. Experimental results have shown the advanced REPHONITE system, in which sludge recycle and mixed liquor recycle and DO control are adapted, to be a viable and stable process for nutrient removal.

近年、湖沼、内湾等閉鎖性水域の富栄養化の進行が著しく、富栄養化防止対策として、その原因物質とされる窒素、リンの排水規制が検討されている。

前報¹⁾では、富栄養化問題にかかわる諸問題や、窒素、リンの除去技術を紹介するとともに、パイロットプラント規模による従来型同時脱窒脱リン法の実験結果を報告した。従来型同時脱窒脱リン法では、汚水流入条件の変動により処理水質が大きく変動するという欠点が見られた。この問題を解決するため検討を重ねた結果、原水分注方式を特徴とする生物学的同時脱窒脱リン法「リフォーナイト」システムを開発するに至った。

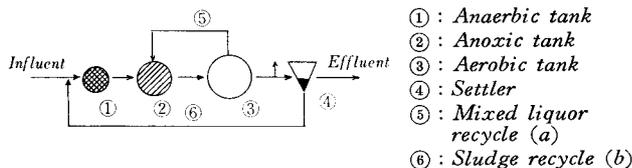
さらに、負荷変動に対する処理の安定化を目的として、各種制御をリフォーナイトシステムで試み、DO制御、返送汚泥量制御、循環液量制御の有効性を確認した。本報告では、リフォーナイトシステムの開発経過と処理成績および、リフォーナイトシステム制御実験結果を記述する。

1. 従来型同時脱窒脱リン法

第1図に示す修正 Phoredox 法²⁾は、日本国内では最も一般的な生物学的同時脱窒脱リン法である。本報では修正 Phoredox 法を従来型同時脱窒脱リン法と称することにする。この従来型同時脱窒脱リン法による窒素、リンの除去原理は前報に詳しく記載しているが、再度ここに簡単に述べておく。生物学的同時脱窒脱リン法は、循環脱窒法と生物学的脱リン法とを組合せた方法で、硝化菌、脱窒菌、リン蓄積菌の働きを有効に活用して、薬品の添加なしに窒素、リンを除去しようとするものである。このプロセスは、嫌気槽、脱窒槽、硝化槽、沈殿槽で構成され、窒素除去とリン除去はそれぞれ次のようにまとめることができる。

1) 窒素除去

好気条件の硝化槽で、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は硝化菌によって $\text{NO}_3\text{-N}$



第1図 修正 Phoredox 法

Fig. 1 Modified Phoredox process for nitrogen and phosphorus removal

もしくは $\text{NO}_2\text{-N}$ ($\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{N}_2\text{-N}$ の含量を以下 $\text{NO}_x\text{-N}$ と表す)に硝化される。硝化液は脱窒槽に循環返送され、嫌気条件で脱窒菌により N_2 ガスに還元され大気中に放散除去される。還元反応では有機炭素を必要とし、有機炭素として原水のBOD成分が使用される。

2) リン除去

嫌気条件と好気条件の履歴によってある種の菌は細胞内にリンを過剰に取込む能力を有するようになり、汚泥中のリン含有率も3~8%に増加する。リン含有率の高い汚泥を余剰汚泥として系外に引抜くことでリン除去が達成される。嫌気槽では汚泥細胞からリンが放出され、硝化槽ではリンの過剰摂取により、放出した分以上のリンが摂取される。

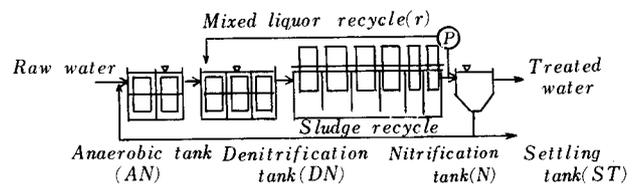
従来型同時脱窒脱リン法により、第2図に示す回転円板併用式実験装置を使用して、団地下水を対象として実験を行ない、以下に示す処理に関する諸因子を見出した。

1. 1 窒素除去に関する処理因子

窒素除去については、各種報文³⁾で処理因子が報告されているが、われわれは特に同時脱窒脱リンプロセスにおいて重要となるDOの影響を詳細に検討した。

1) 硝化槽内DO

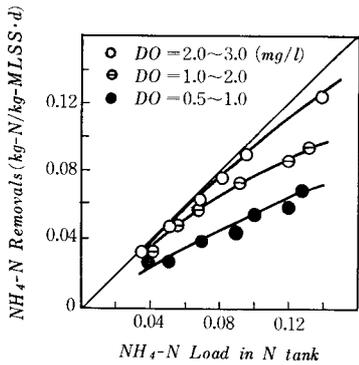
硝化槽のDO設定値によって、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去量はある程度制御できる。第3図に硝化槽内DOをパラメーターとした、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷と $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去量との関係を示す。DOの制御範囲は $2\text{mg}/\ell$ 以下で有意差が生じ、 $2\text{mg}/\ell$ 以上で



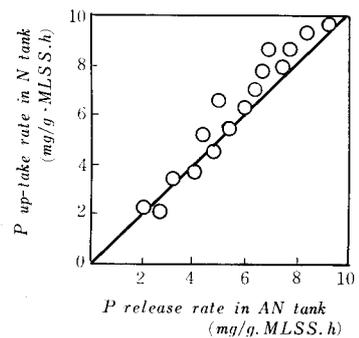
Submerged type RBC tank		Semi submerged type RBC tank
1) Anaerobic tank $\phi 100 \times 12.9 \text{ m}^2$ 750 × 980 × 700	430 ℓ	3) Nitrification tank $\phi 500 \times 40 \text{ m}^2$ 760 × 2,200 × 700
2) Denitrification tank 400 × 16.5 m^2 750 × 1,320 × 700	580 ℓ	1,020 ℓ

第2図 RBC併用法フローシート

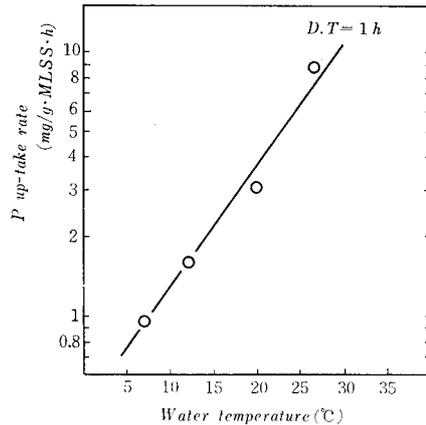
Fig. 2 Flow sheet of the combination system of RBC and activated sludge



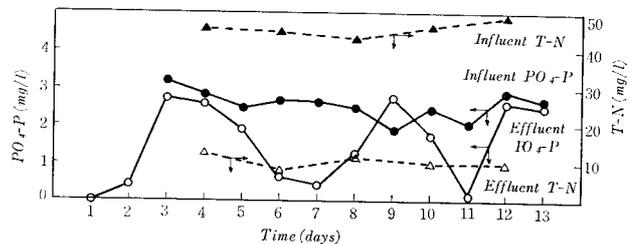
第3図
N槽内NH₄-N除去量
(パラメーター: DO)
Fig. 3
NH₄-N removals in
N tank
(Parameter: DO)



第4図
P放出量とP摂取量の関係
Fig. 4
P release in AN tank and
P up-take in N tank



第5図
水温とP摂取量
Fig. 5
Influence of water
temperature on P
up-take rate



第6図 従来型同時脱窒、脱リン法試験結果
Fig. 6 Daily variations in N and P concentrations in modified
Phoredox process

はほぼ完全硝化となる。同一負荷でDO値0.5~1.0 mg/lと2.0~3.0 mg/lでは20~40%のNH₄-N除去量の差が生じる。またDOが低い場合好気性脱窒が生じる。

2) 脱窒槽内DO

脱窒槽では、循環液による持込みDOが多い程NO_x-N除去率は低くなる。これは、DOによる有機物消費のためNO_x-N除去に必要な有機物量が不足するという事に起因する。したがって、硝化槽のDOはできるだけ低くするのが望ましい。

1. 2 リン除去に関する処理因子

生物学的リン除去は、汚泥のリン過剰摂取作用によるものであるが、リン過剰摂取は嫌気槽でのリン放出工程が大きな要因となる。

1) 嫌気槽内リン放出量

第4図にリン放出量とリン摂取量との関係を示すが、好気槽でのリン過剰摂取量は、嫌気槽でのリン放出量が大きい程大きいといえる。嫌気槽でのリン放出量は有機物負荷が高い程大きくなる。リン放出の際、有機物は汚泥細胞内に取込まれ、有機物をT-CODで表わした時、リン放出量と取込みT-COD量の割合は約1:5である。

2) 水温

第5図に、水温とリン摂取量との関係を示す。リン摂取は、水温に大きく影響され、リン摂取量K_{pt}は次式で表わすことができる。

$$K_{pt} = 3.741\theta^{T-20} \quad (\theta = 1.112)$$

以上のような同時脱窒脱リン処理における、基本的な諸知見を得るとともに、いくつかの問題点も見られた。

1. 3 従来型同時脱窒脱リン法のポイントと問題点

従来型同時脱窒脱リン法による実験で、以下の点が判明し、新たな開発のための指標となった。

- 1) 硝化液の循環量を増大させ、脱窒槽での脱窒量を増大させるとP過剰摂取機能が弱まる傾向にある。
- 2) 原水中の有機物濃度が高ければ、窒素、リン除去は安定している。
- 3) 好気性槽のDOを低めに設定すると、好気性脱窒量を高めることができ、リン除去量も高くすることができる。
- 4) 第6図に示すように、水質経日変化をみると、処理水の窒素は比較的安定しているが、処理水のリンに大きな変動がみられる。

2. リフォーナイトシステムへの展開

1. 3 項に示した、従来型同時脱窒脱リン法の問題点全てに共通するのは、窒素、リン除去においてはそれぞれ有機物を必要とし、有機物の量によって窒素、リンの除去率が左右されるということである。そこで、窒素、リン除去に必要な有機物の量をまず把握し、次に最適な処理法の検討を行なうこととした。

2. 1 リン過剰摂取に必要な有機物量

窒素については数多くの研究が行なわれており、一般的に除去NO_x-N当り約3倍のBODが必要とされている。³⁾ リンについては、同時脱窒脱リン法ではリン過剰摂取に必要な有機物量を数値的に示された報告例はなく、生物脱リン法において汚泥増殖量と汚泥中のリン含有率からリン除去量を求める次式⁴⁾が示されている程度である。

$$\Delta P = \Delta BOD \cdot Y \cdot P_x$$

ΔP : 除去されたリン (mg/l)

ΔBOD : 除去されたBOD (mg/l)

Y : 除去BODに対する汚泥転換率

P_x : 汚泥のリン含有率

生物学的脱リン法では、有機物量がリン除去に大きく影

第1表 N槽内P摂取に必要な基質濃度呈示式

Table 1 Equation of necessary substrate concentration for phosphate up-take in nitrification tank

$S_{bp} = (S_{bi} - \Delta S_{bs}) / (1 + r + n)$(1)
$\Delta S_{bs} = m_1(r+n) \cdot NOx-N_N + m_2 \{ (1+r) \cdot DO_{AN} + n \cdot DO_N \}$(2)
$PS = (P_{ANe} - P_{ANi}) \cdot (1+r) / (1+r+n)$(3)
$PU = (P_{Ni} - P_{Ne})$(4)
$\Delta P = (PU - PS) \cdot (1+r+n)$(5)

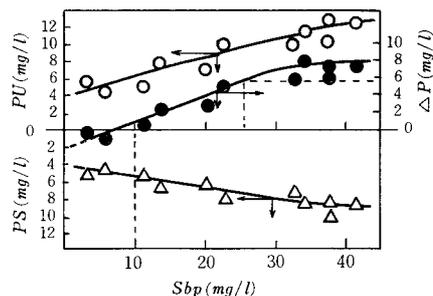
S_{bp} : biodegradable substrate conc. carried in N tank (calculated on N tank base) (mg/l)
 S_{bi} : biodegradable influent substrate conc., following equation (calculated on feed water base) (mg/l)
 $S_{bi} = 0.85 \cdot T-COD - 7$
 ΔS_{bs} : biodegradable substrate conc. used in AN and DN tank for $NOx-N$ and DO removal (calculated on N tank base) (mg/l)
 PS : phosphorus conc. released (calculated on N tank base) (mg/l)
 PU : phosphorus conc. up-taken (calculated on N tank base) (mg/l)
 ΔP : phosphorus conc. luxury up-taken (calculated on feed water base) (mg/l)
 m_1 : $NOx-N$ removal const. r : sludge recycle ratio
 m_2 : DO removal const. n : mixed liquor recycle ratio
 additional subscript AN : anaerobic tank i : influent
 N : nitrification tank e : effluent

響することは上式でもわかるが、窒素除去を含む生物学的同時脱窒脱リン法では $NOx-N$ や DO によって消費される有機物量も考慮しなければならない。

我々は、これを考慮した有機物量として、硝化槽流入有機物濃度でリン過剰摂取との量的関係を表わすことができると考えた。硝化槽流入有機物濃度 (S_{bp}) を第1表に示す一連の計算式より算出し、 S_{bp} とリン放出やリン摂取との関係を求めることにした。⁵⁾

硝化槽に持込まれる有機物量は、原水中の生物分解性有機物量 (S_{bi}) から嫌気槽および脱窒槽で、 DO の消費や $NOx-N$ の除去の際に使用された有機物量 (ΔS_{bs}) を差し引いたものと定義する。 S_{bp} はこの有機物量を全流入水量で除したものであり、硝化槽流入水の溶解性有機物濃度と、汚泥内基質の合計を表わすものとも言える。

第7図は、有機物をCODで表わして、嫌気槽でのリン放出濃度 PS 、硝化槽でのリン摂取濃度 PU 、およびリン過剰摂取濃度 ΔP をそれぞれ S_{bp} との関係で表わしたものである。第7図から、 S_{bp} が増加すると、結果として PS および PU は高くなり、 ΔP も大きく、リン除去が達成されるといえる。そして、過剰摂取に必要な S_{bp} は 10 mg/l 以上



第7図
P除去に対する
 S_{bp} の効果
Fig. 7
Effect of S_{bp}
on P removal

上であり、下水を対象とした時処理水リン濃度を 0.5 mg/l 以下にするには S_{bp} は 25 mg/l 以上必要であるといえる。

2.2 最適処理法の検討

窒素、リン除去に必要な有機物を量的に把握することができた。しかし、排水の種類によって $BOD/N/P$ 比が定まり、窒素、リン除去に必要な有機物は必ずしも十分に存在しているとはいえない。したがって、限られた有機物量で、高い窒素、リンの除去率を得るためには、違った角度からプロセスを見直し、有機物を有効に利用する方法を考えなければならない。この観点からの検討の結果、第8図に示すような原水分注方式と嫌気槽と脱窒槽の並列的配置という処理フローの改良を試みた。この処理方法はのちに「リフォーナイト®」システムと命名した。

リフォーナイトシステムの2大特徴である、原水分注方式と、嫌気槽と脱窒槽の並列的配置は以下の論拠に基づくものである。リフォーナイトシステムでは、硝化槽を好気性槽という名称に変更したが、これは、好気条件では硝化だけでなく、リン過剰摂取が行なわれること、および従来型と区別して特徴づけることによるものである。

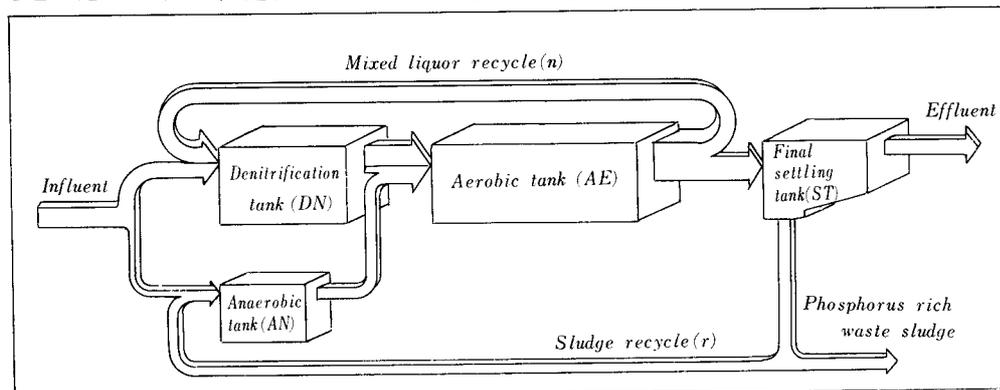
1) 原水分注方式の意義

◎窒素、リンの除去に対して、それぞれ適切な量の有機物を注入することにより、目標除去率を設定でき管理が容易となる。

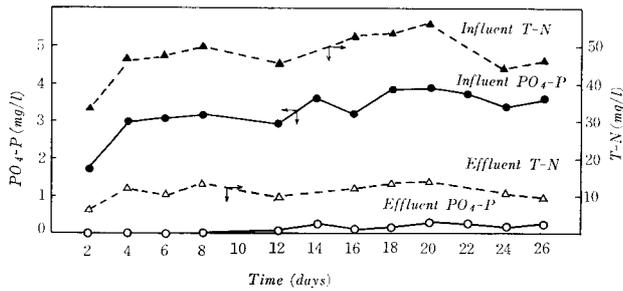
◎原水分注方式によって、嫌気槽の汚泥濃度を高めることができ、その分P放出量が増大し、結果的に好気性槽でのリン過剰摂取量の増大が期待できる。また滞留時間を長くとることができ、水量変動に対して安定化をはかることができる。

2) 嫌気槽と脱窒槽の並列的配置の意義

◎処理水の変動は窒素よりもリンの方に顕著に現われる。これは流入水質の変動による影響が大きいと考えられるが、嫌気槽から好気性槽に直接流入させることに



第8図
リフォーナイトシステムフ
ローシート
Fig. 8
Flow sheet of REPHO-
NITE System



第9図 リフォーナイトシステム試験結果
Fig. 9 Daily variations in N and P concentrations in REPHONITE system

第2表 処理成績例
Table 2 Experimental conditions and results

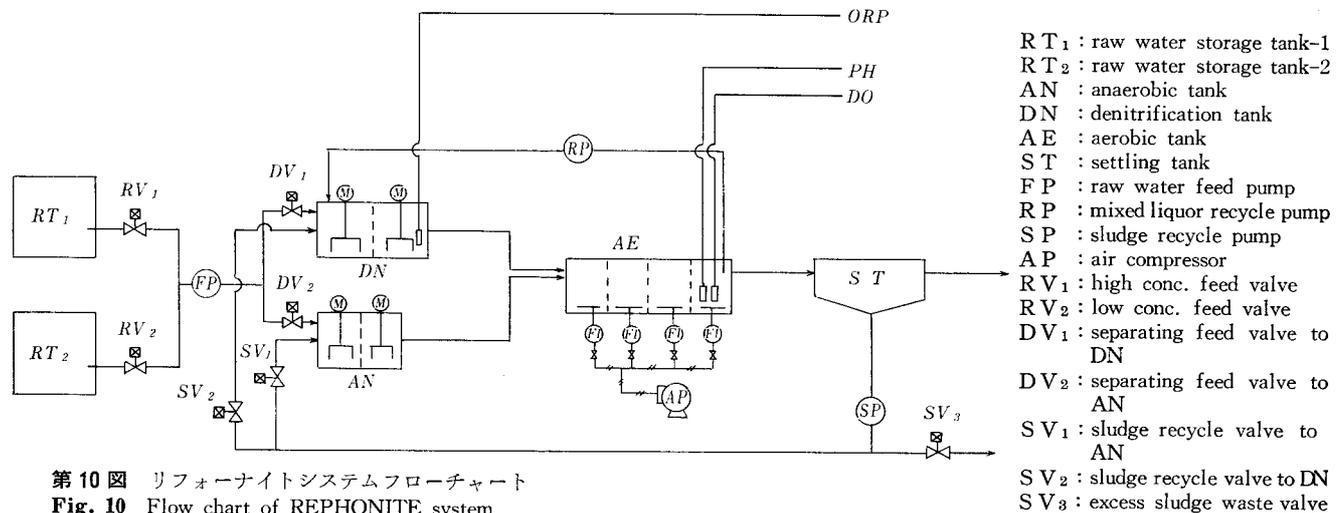
		REPHONITE System
Influent flow rate		(m ³ /d) 4.5
Sludge recycle ratio		(-) 0.5
Mixed liquor recycle ratio		(-) 1~2
Feed ratio		(AN : DN) 1 : 1
Detention time	Anaerobic tank	(h) 1.0
	Denitrification tank	(%) 2.5
	Aerobic tank	(%) 7.0
T-N	Influent	(mg/l) 30~40
	Effluent	(%) 5~10
T-P	Influent	(%) 4~5
	Effluent	(%) 0.3~0.5
BOD	Influent	(%) 160~200
	Effluent	(%) 10
SS	Influent	(%) 130~180
	Effluent	(%) 15

より、リン除去に必要な有機物量を安定確保でき、リン除去率も安定しやすい。

◎嫌気槽でリンを放出した汚泥は、脱窒槽を経ずに直接好気槽に流入する方が、嫌気-好気のスストレスが高まり、リン過剰摂取機能が強く維持できる。

3. リフォーナイトシステムによる処理実験

3.1 リフォーナイトシステム処理成績



第10図 リフォーナイトシステムフローチャート
Fig. 10 Flow chart of REPHONITE system

第2図に示した回転円板併用式実験装置をリフォーナイトシステムに改造した。団地下水を対象とした実験の処理条件および処理成績を第2表に、処理水質の経日変化を第9図に示す。処理水質としてT-N 5~10mg/l, PO₄-P 0.3 mg/l以下の水質が得られた。また第9図に示すように実験期間中処理水質は低い値で安定した。第9図に示した水質の値は、一定流量処理条件下におけるコンジットサンプルの測定結果である。団地下水等では、1日の各時刻の流入汚水量および流入水質は一般に午前と午後2つの大きなピークをもったパターンを示し、実処理施設では流入水の負荷変動に応じて処理水質も変動する。したがって負荷変動対策についても検討する必要がある。

4. リフォーナイトシステムにおける制御実験

リフォーナイトシステムは従来型同時脱窒脱リン法に比べると安定した窒素、リンの除去ができるが、流入水の大きな負荷変動には対処できず、処理水質に変動が生じる。この負荷変動に対して安定した処理水質を得ることを目的として、DO制御、返送汚泥量制御および循環液量制御を試みた。これら各制御の目的は次の通りである。

1) DO制御

循環液からの脱窒槽への持込みDOをできるだけ少なくし、NO_x-Nの除去率を高めると同時に好気性槽での好気性脱窒量を多くするため、好気性槽のDOを1~2 mg/lの低い値に一定制御する。処理効果の面以外に、曝気動力の低減化も目的としている。

2) 返送汚泥量制御

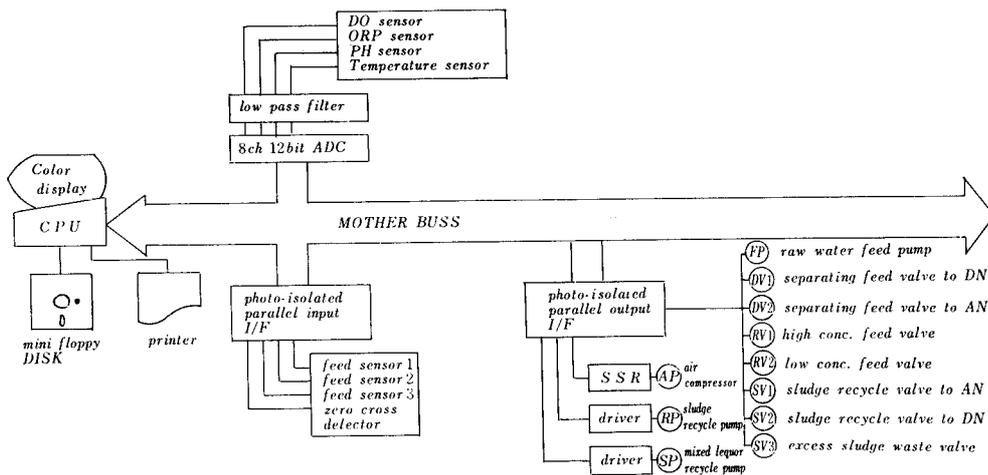
好気性槽のNH₄-N-MLSS負荷が一定になるよう、返送汚泥量制御によって、負荷変動に応じて好気性槽のMLSS濃度を変化させる。返送汚泥量は、負荷流入時に直接対応させて制御する。

3) 循環液量制御

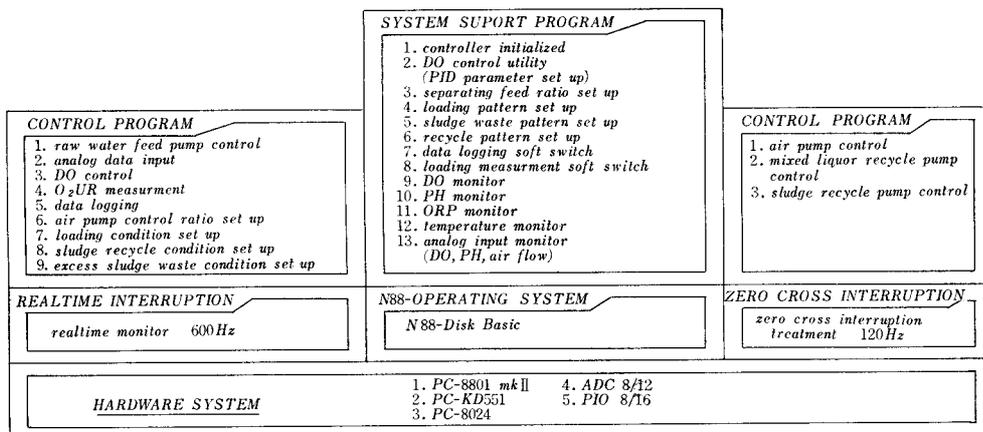
好気性槽の処理水のNO_x-N濃度が一定となるよう、流入負荷の高い時に循環液量を増加させ、負荷の低い時は減少させる。循環液量は負荷流入時より数時間の遅れをもたせて制御する。

4.1 実験装置

実験はベンチスケールテスト装置により、模擬排水を使用して行なった。テスト装置は生物反応を行なう処理装置と各種制御を行うコントローラから構成される。



第11図 リフォーナイトシステムコントローラシステムブロック図
Fig. 11 Control system of REPHONITE system



第12図 リフォーナイトシステムソフトウェアの機能
Fig. 12 Software function of REPHONITE system

1) 処理装置

第10図に処理装置のフローシートを示す。処理装置は嫌気槽、脱窒槽、好気性槽および沈殿槽で構成され、槽容量はそれぞれ5.2ℓ, 10.5ℓ, 32.2ℓ, 21ℓ(有効容量)である。嫌気槽と脱窒槽は密閉構造で、2槽仕切となっており、それぞれの槽に攪拌機を設けている。好気性槽は4槽仕切となっており、それぞれの槽に多孔散気管と攪拌機を設けている。好気性槽の攪拌機は、DO制御においてエアポンプのON/OFF動作を伴うため、低風量時の汚泥の沈降を防止し、混合接触を常時行なうようにするため設けている。原水ポンプにはパルスポンプを、返送汚泥ポンプと循環ポンプにはローラポンプを使用し、空気供給はエアポンプを使用した。

2) コントローラ

コントローラのシステムブロック図を第11図に示す。本システムの特徴は、1台のパーソナルコンピュータで制御、データの入出力、データ処理、CRTオペレーション等を実現しているところにある。これはパーソナルコンピュータ内蔵のリアルタイム割り込みを有効に利用した、リアルタイムモニタの製作によって可能となった。コントローラは以下の各機器から構成されている。

- CPU (PC8800 mk II model 30 : NEC)
- 入出力インターフェースボード (PIO 8/16 : コンテック)
- AD変換ボード (ADC 8/12 : コンテック)
- 高解像度カラーCRTディスプレイ(PC-8058 : NEC)
- ドットプリンタ (PC-8024 : NEC)

4. 2 実験条件

流入負荷変動は、団地下水の流入負荷変動パターンに類似した変動パターンを与えた。変動パターンは12時間1サイクルとしてこれを連続して与えた。原水には第3表に示すような成分と水質からなる、高濃度原水と低濃度原水の2種類の模擬排水を作成して用いた。

この2種類の原水の混合比によって、流量と濃度が決定され、流量と濃度の設定はコントローラで行なわれる。以下の各制御実験における流入負荷条件は全て同じとした。この流入負荷条件を第4表に示している。分注条件も各制御実験を通じて同一とし、嫌気槽と脱窒槽への分注比は1 : 1とした。

4. 3 制御方法

コントローラは第12図に示すように各種の機能を備えているが、処理実験におけるコントローラの主な制御は負荷変動量制御、DO一定値制御、返送汚泥量制御および循環液量制御である。それぞれの制御方法は以下の通りである。

1) 負荷変動量制御

時間毎の流量と濃度をあらかじめ12時間分プログラム設定しておく。高濃度および低濃度に調整した2種類の原水を用いて、原水切換弁RV₁, RV₂の切換動作と、原水ポンプのパルス周期切換によって、流量と濃度が制御される。

2) 原水分注制御

原水に分注は分注弁DV₁, DV₂の切換によって行なわれる。分注弁の切換は、嫌気槽と脱窒槽にそれぞれ同じ濃度の原水が設定した分注比で注入されるよう、原水切換弁の動作と関連して行なわれる。

Composition	Dosage		Water quality	Concentration	
	High conc.	Low conc.		High conc.	Low conc.
Glucose (g/100ℓ)	21	8.4	BOD (mg/ℓ)	320	128
Peptone (ℓ)	21	8.4	COD (ℓ)	163	66
(NH ₄) ₂ SO ₄ (ℓ)	23.5	9.4	T-N (ℓ)	92.5	37
NaHCO ₃ (ℓ)	21	8.4	NH ₄ -N (ℓ)	50	20
KH ₂ PO ₄ (ℓ)	3.5	1.4	T-P (ℓ)	9.8	3.9
MgSO ₄ ·7H ₂ O (ℓ)	10.5	4.2	PO ₄ P (ℓ)	8.0	3.2
CaCl ₂ ·2H ₂ O (ℓ)	5.25	2.1	BOD : T-N : T-P = 1 : 0.29 : 0.03		
NaCl (ℓ)	4.75	1.9	Table 3 模擬排水の成分と水質 Composition of synthetic waste water		

第4表 制御実験における原水流入条件

Table 4 The condition of raw water feed at control examinations

Time	Flowrate (ℓ/h)	T-N Conc. (mg/ℓ)	T-P Conc. (mg/ℓ)	BOD Conc. (mg/ℓ)
0:00	2.7	55.8	5.87	192.2
1:00	〃	〃	〃	〃
2:00	〃	〃	〃	〃
3:00	〃	〃	〃	〃
4:00	4.0	65.1	6.88	225.3
5:00	5.4	82.6	8.73	286.0
6:00	6.9	83.5	8.83	289.2
7:00	8.2	86.1	9.11	298.3
8:00	6.4	75.5	7.24	237
9:00	〃	〃	〃	〃
10:00	4.4	63.4	6.70	219.4
11:00	〃	〃	〃	〃

3) DO一定値制御

好気性槽に設置したDOセンサーのDO値を入力として、デジタルPID制御を行なう。PID演算により出されたON/OFFパルスにしたがい、エアポンプの時間比例制御を行なう。

4) 返送汚泥量、循環液量制御

設定した負荷変動パターンに基づいて、計算式により時間毎の必要な量の返送汚泥量と循環液量を算出する。算出した値に基づいて返送汚泥量および循環液量をあらかじめプログラム設定する。設定された値に対して、DCモータのPWM制御(パルス幅変調制御)を行ない、返送汚泥量、循環液量を制御する。

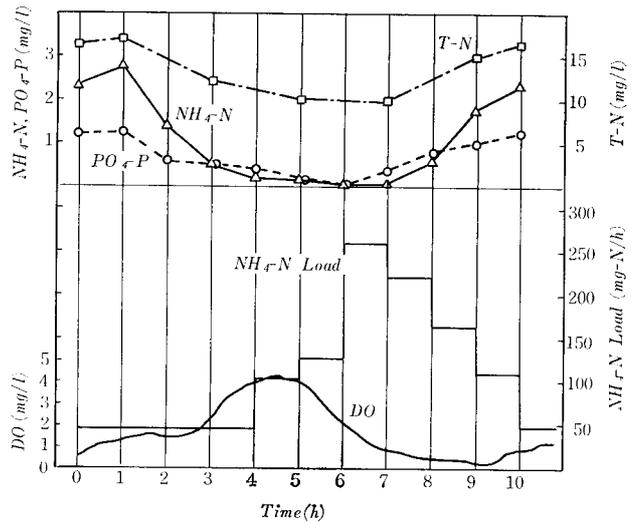
4.4 制御実験結果

1) 非制御実験結果

制御実験に先立ち、負荷変動による処理水質への影響を調べるため、制御を含まない負荷変動だけの実験を行なった。この結果を第13図に示す。流入負荷量変動の影響は、流入時から数時間の遅れで処理水側に現われており、流入負荷変動により処理水の窒素、リン濃度は大きく変動するといえる。好気性槽のDOも同様に負荷流入時から、数時間の遅れをもって現われ、DO 0.5~4.5 mg/ℓの間で変動している。

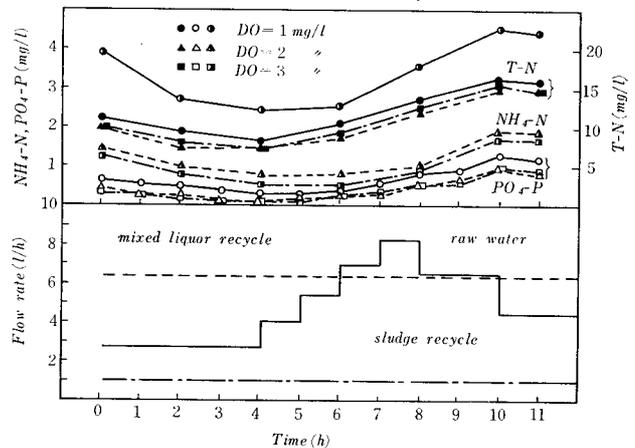
2) DO制御の効果

好気性槽のDOを1 mg/ℓ, 2 mg/ℓ, 3 mg/ℓに制御してそれぞれ実験を行なった。各DO制御実験の処理結果を第14図に、DO制御応答結果を第15図に示す。



第13図 負荷変動試験結果(DO制御なし)

Fig. 13 Variations in N, P and DO concentrations of AE tank effluent (DO control free)



第14図 DO制御試験結果

Fig. 14 Variations in N and P concentrations of AE tank effluent (DO control)

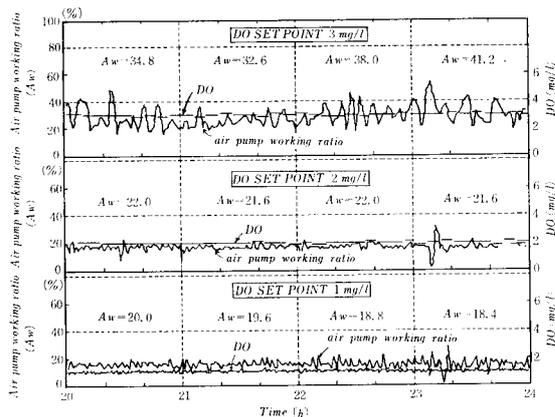
制御DO値1 mg/ℓの処理結果は、2 mg/ℓ, 3 mg/ℓに比べて処理水PO₄-P, NH₄-N濃度が高くなっている。これはDOの影響よりむしろ、混合撹拌強度の不足による生物反応効率の低下という、実験装置上の問題と考えられる。

DO制御値2 mg/ℓと3 mg/ℓでの処理結果を比較すると、リンについてはほとんど同じであるが、窒素については、NH₄-NはDO 3 mg/ℓの場合が低く、T-Nは逆にDO 2 mg/ℓの場合が低くなっている。これはDO 2 mg/ℓの方が脱窒槽でのNO_x-N除去率が高いこと、好気性槽での好気性脱窒量が大きいためである。

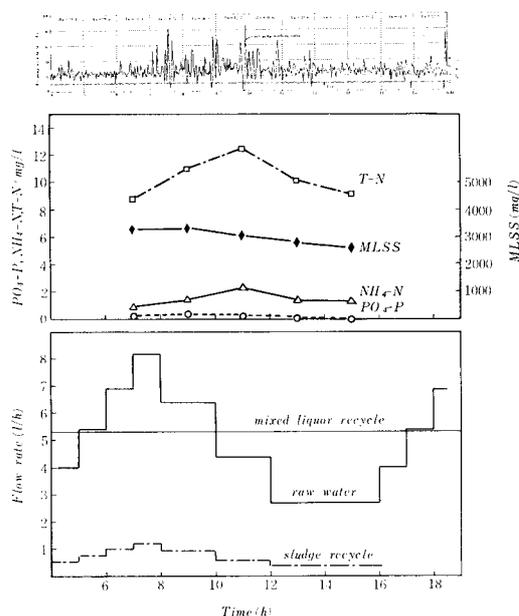
第14図のDO制御値2 mg/ℓと3 mg/ℓの結果と、第10図のDO非制御結果を比較すると、負荷変動の高い時から3~4時間後の処理水PO₄-P, NH₄-N濃度に差が生じており、DO制御した方が低い値となっている。

これは高負荷時における酸素供給量の差によるもので、DO非制御の場合は酸素供給が不足するが、DO制御の場合は常に必要量が供給されているといえる。

DOの制御方法に関しては、実験の範囲では特に問題なく第15図に示すように安定して制御が行なわれた。図中のエアポンプ稼働率は、連続運転時を100%として、ON/OFF運転時の実際に運転された時間の割合を示すものである。



第15図 DO制御応答結果
Fig. 15 DO control response



制御因子 control factors
 • 原水負荷量 loading feed
 • 返送汚泥量 sludge recycle feed
 • DO in AE tank
 • DO

第16図 返送汚泥制御試験結果
Fig. 16 Variations in N, P and DO concentrations of AE tank effluent (Sludge recycle control)

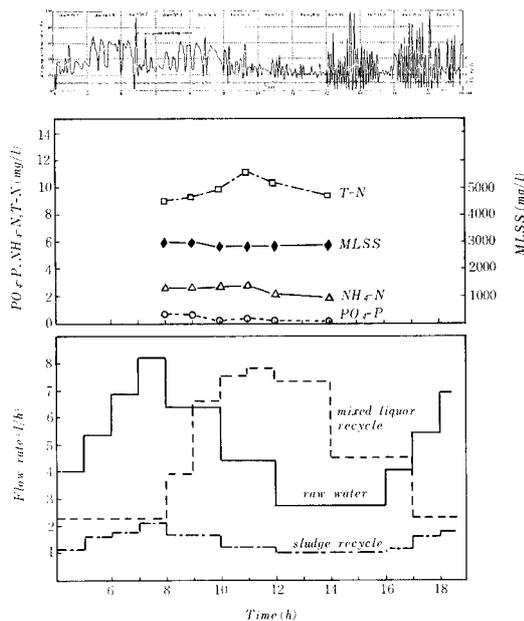
DO 1 mg/l, 2 mg/l, 3 mg/l 制御時の12 hr の平均稼働率を求めると、それぞれ23.9%, 30.9%, 45.5%となり、設定DO値により、この値の差分の動力が節減できると言える。

3) 返送汚泥量制御の効果

DOを一定制御し(2 mg/l)、返送汚泥量を負荷変動量に対応させて制御した。第16図に実験時の水量変動パターンと、処理結果を示す。返送汚泥量制御によって、負荷の高い時間帯のMLSS濃度を高めることができ、その結果基質、MLSS負荷が一定化され、処理水の PO_4-P 、 NH_4-N 濃度も安定化している。処理水T-N濃度は NH_4-N が NO_x-N に変換されるだけでDO制御時と変わっておらず、10~14.5 mg-lと変動している。

4) 循環液量制御の効果

DO一定制御(2 mg/l)と返送汚泥量制御とともに循環液量を負荷流入時より4 Hrの時間遅れをもたせて制御した。4Hrの遅れは、流入負荷が、嫌気槽、脱窒槽を経て好気



制御因子 control factor
 • 原水負荷量 loading feed
 • 返送汚泥量 sludge recycle feed
 • DO
 • 循環流量 mixed liquor recycle
 • DO in AE tank

第17図 循環液量制御試験結果
Fig. 17 Variations in N, P and DO concentrations of AE tank effluent (Mixed liquor recycle control)

性槽に到達し、その後好気性槽内の平均水質となるまでの時間を考慮したものである。第17図に実験時の水量変動パターンと処理結果を示す。循環液量制御によって、処理水の PO_4-P 、 NH_4-N が安定化するとともにT-Nも NO_x-N 除去量の増加により9.8~11.9 mg/lと返送汚泥量制御時より安定化されている。

5. 負荷変動の推定による制御の検討

実験により、DO制御、返送汚泥量制御、循環液量制御の有効性を確認できたが、今回の制御方法は既知の流入負荷量に基づいて、返送汚泥量や循環液量を制御したもので完全な制御とは言えない。完全な自動制御を目標として検討を行ない、活性汚泥の比酸素消費速度 K_r (mg- O_2 /g-MLSS \cdot h)と流入汚水量によって、流入負荷量を推定し、さらに計算によって返送汚泥量、循環液量を決定する方法を考えた。(特許申請中)この方法については、今後さらに検討を行なっていく予定である。

6. むすび

窒素、リンの排出規制が検討される時期に際して、経済的に効率的な窒素、リン除去技術の開発が急務となっている。リフォーナイトシステムはこれらの要求に十分答えることのできる技術である。負荷変動等の外乱に対し、処理の安定化を図ることを目的として各種制御運転を実施し、処理に対する有効性を確認した。今後は、実装置規模でのテストを実施し、より効果的、より実用的なリフォーナイト制御システムを開発していく所存である。

参考文献

- 1) 野中新一ほか：神鋼ファウダー技報, Vol. 27, No.3 (1983)
- 2) Marais G. V. R. ほか：Review, IAWPR Post conference seminar on Phosphate removal in biological treatment process (1982)
- 3) 八木橋一郎ほか：下水道協会誌, Vol. 18, No. 207 (1981)
- 4) 稲森悠平ほか：用水と廃水, Vol. 24, No. 10 (1982), p. 3
- 5) 小林哲男ほか：化学工学シンポジウムシリーズ4 排水処理技術の最近の動向、(1984). p. 52