

低有機物負荷時の生物学的 窒素リン除去のシミュレーション

Numerical simulation of biological nitrogen and phosphorus removal
under low organic concentration of influent

倉田 学児^{1*}、津村 和志²、森 豊³、佐々木康成⁴

¹正会員 豊橋技術科学大学 工学部 エコロジー工学系/〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

²正会員 京都大学 工学部 環境地球工学教室/〒606-8501 京都市左京区吉田本町

^{3, 4}(株)富士電機総合研究所 水処理・バイオ研究所/〒240-0194 神奈川県横須賀市長坂2-2-1

GAKUJI KURATA^{1*}, KAZUSHI TSUMURA², YUTAKA MORI³ and KOUSEI SASAKI⁴

¹Member of EICA Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology
/1-1 Tempaku-cho, Toyohashi, 441-8580, Japan

²Member of EICA Division of Global Environmental Engineering, Kyoto University
/Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

^{3, 4}Water Treatment and Bioelectric Laboratory, Fuji Electric Corporate Research and Development, Ltd.
/2-2-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa, 240-0194, Japan

Abstract

The temporal deterioration of phosphorus removal in the biological nitrogen and phosphorus removal process in the low organic concentration of influent condition was investigated on the numerical simulation using IAWQ Activated Sludge Model No.2.

Simulation results showed that the $PO_4\text{-P}$ concentration of effluent increase when the TOC concentration of influent is low. These results are in good agreement with experimental results of low organic concentration loading test on the test plant.

Using these results of simulation, two types of control method were investigated to stabilize the concentration of $PO_4\text{-P}$ of effluent. One method is increasing the excess sludge drawing rate when the $PO_4\text{-P}$ concentration of effluent is high. The other method is injecting the organic substrate into the anaerobic reaction tank. Behavior of each control method was compared on the simulation.

Key words : biological nitrogen and phosphorus removal process, activated sludge model, simulation, low organic concentration of influent

1. はじめに

閉鎖性水域の富栄養化へ対応するために窒素・リンに対する環境基準等が厳しくなり、下水処理場や浄化槽における窒素・リンの除去に関する技術の開発・導入が急務となっている。¹⁾ この様な背景のもとに、硝化脱窒に

よる生物学的窒素除去法と、生物脱リン法を組み合わせた生物学的窒素リン同時除去法は、微生物の持つ能力を最大限に利用して、生物学的な方法のみで有機物・窒素・リンを同時に除去できる方法として注目されている。しかし、ここで用いられる生物脱リン法は、生物反応槽への有機物負荷や排水性状、プロセスの運転制御条件などに敏感であり、安定した処理が難しいという事が欠点として挙げられている。

*連絡先

二槽式間欠曝気法は、山本、津村らによって提案されている²⁾³⁾ 生物学的窒素・リン同時除去法のひとつで、独立に曝気・攪拌が可能な直列二槽の生物反応槽を DO、ORP の連続計測によって曝気時間・攪拌時間を柔軟に調整することで、安定した窒素・リンの除去を可能にしている。本方法に関しては、既にパイロットプラントで通常の負荷変動程度であれば、継続して安定した窒素・リン除去が可能であることが報告されている⁴⁾ が、流入有機物負荷が一定以上低下した場合や継続して低下した場合などには依然としてリン除去の不安定な問題が残っている。

本研究では、二槽式間欠曝気法のテストプラントで実施した低負荷条件での連続実験を、IAWQ 活性汚泥モデル No.2 を用いたシミュレータ上で再現し、一時的な処理水リン濃度の上昇が引き起こされるメカニズムを明らかにし、これらを安定化し得る制御方法を開発するためのプロセスの特性解析を行った。

2. テストプラント概要および解析方法

2.1 テストプラント概要と実験方法

本研究では、Fig. 1 で示したテストプラントをシミュレーションの対象とし、低負荷連続実験で得られた実験データとの比較を行った。このプラントは、槽容量が第1槽76ℓ、第2槽74ℓの生物反応槽と36ℓの最終沈殿池からなり、第1・第2の各槽には独立に運転が可能な攪拌機(60rpm)と曝気ブロア(小型エアポンプ)および DO 計、ORP 計が設置されている。なお、排風バルブの自動開閉によって DO 制御が可能となっている。水温は、投げ込みヒーターおよびクーラーによって設定温度±1℃の調節が可能である。

二槽式間欠曝気法の制御スキームは Fig. 2 に示した

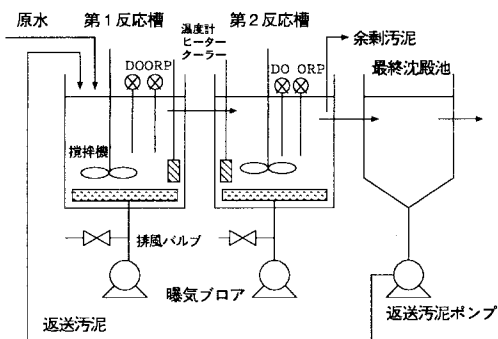


Fig. 1 Process flow of the test plant

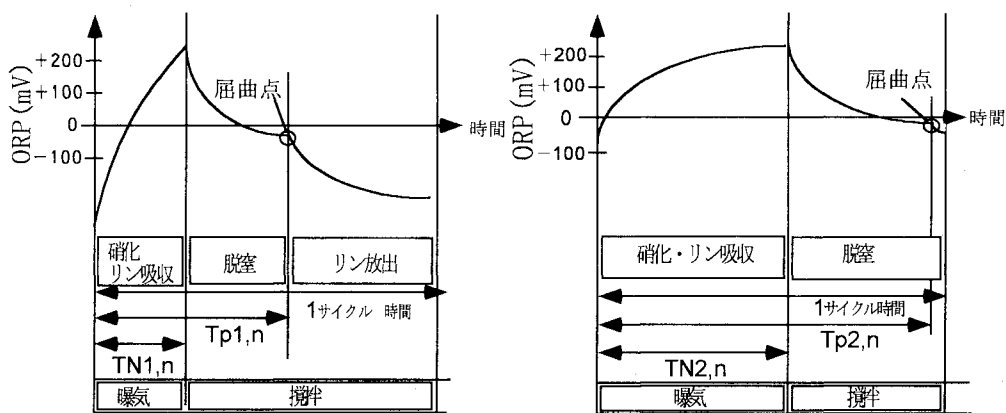
ように、第1槽では ORP の屈曲点の検出によって各サイクル中に一定の嫌気時間を確保すると同時に、第2槽では、リンの再放出を防止するために、嫌気状態を作らないように曝気時間を調整している。ただし、ORP センサーの計測異常時や極端な流入水質変動に対して制御系の破綻と、曝気時間の減少に伴う A-SRT の減少を防ぐために、曝気時間には上限および下限が設定されている。本実験では第2槽の最小曝気時間を60分に設定しており、実験期間中でも、特に流入負荷低下時には、この下限値に制御値が張り付く事が多かった。

低負荷実験は約70日にかけて行なわれ、最初の17日間は通常負荷条件でそれ以降は原水の有機物負荷、窒素負荷、リン負荷を全て2/3とした。ただし、流入原水は調整下水で、生し尿、食堂排水、石鹸水、ショ糖、酢酸ナトリウム、水道水を1日に一度程度自動混合し、窒素・リン濃度の調整のために塩化アンモニウム、リン酸3ナトリウムを添加したものを使用している。実験期間中の流入原水の TOC、D-TOC を Fig. 3 (A)に、T-N、T-P を Fig. 3 (B)に示した。また、実験の諸条件は Table. 1 に示した通りである。

2.2 プロセスシミュレータ及び IAWQ 活性汚泥モデル No. 2 の概要

本研究では、下水処理プロセスを構成する単位装置を部品としてモデル化することで、複雑なプロセスフローや計測・制御系も考慮することができるプロセスシミュレータを構築して用いた⁵⁾⁶⁾。また、本研究で用いたのは IAWQ 活性汚泥モデル No. 2⁷⁾である。このモデルは、硝化脱窒を含む生物学的窒素除去モデルに加えて、リン蓄積性微生物によるリンの過剰摂取をモデル化しており生物脱リンを扱う事ができる。

Fig. 4 (A)に示したように、流入水中の有機物は、加水分解性基質(XS)、発酵可能基質(SF)、発酵産物(SA)の3種類に分類しており、XSは加水分解によりSFに、SFは酸発酵によりSAに変化する。リン蓄積性微生物(PAO)は、Fig. 4 (B)に示したように、嫌気条件下において、ポリリン酸を加水分解して得たエネルギーによって、混合液中のSAをポリヒドロキシアルカノエート(PHA)として体内に蓄積する。好気条件下及び無酸素条件下では蓄積しているPHAを消費して増殖すると共に、 $PO_4\text{-P}$ をポリリン酸として体内に蓄積する。すなわち、リン蓄積性微生物が系内で増殖し機能するためには、嫌気・好気の適切なサイクルと、嫌気条件下での十分な発酵産物(SA)の存在が必要となる。

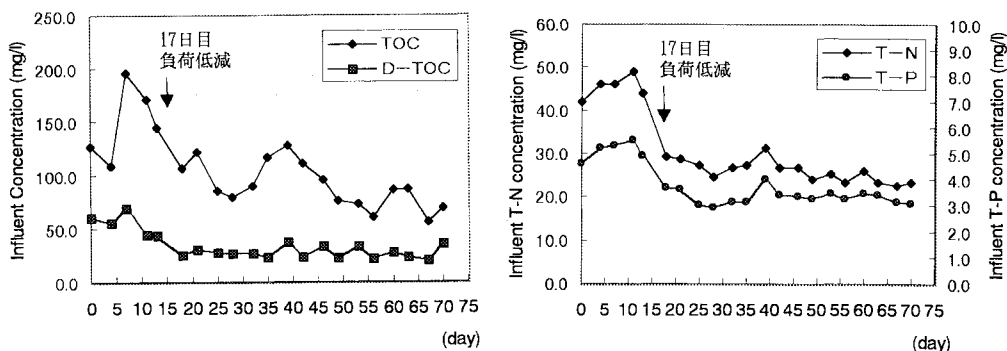


(A) 1st Reaction tank

(B) 2nd Reaction tank

TN1,n、TN2,n：各槽の曝気設定時間 Tp1,n、Tp2,n：屈曲点検出時間
 Tp1,n、Tp2,nがそれぞれの目標値と等しくなるようにTN1,n、TN2,nを調整する

Fig. 2 Control method of 2-Reactor intermittent-aeration activates sludge process



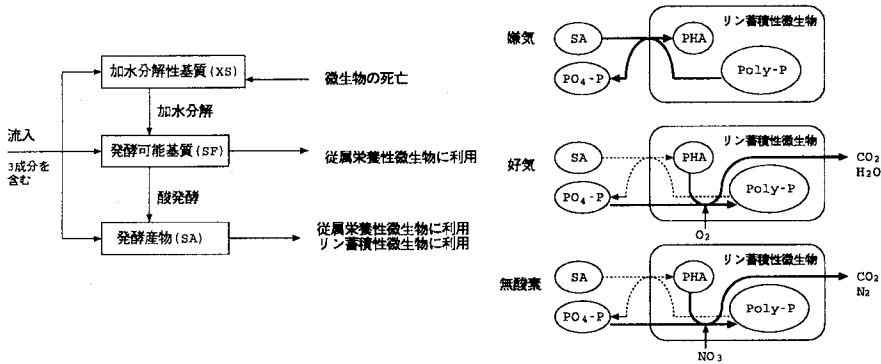
(A) TOC、D-TOC

(B) T-N、T-P

Fig. 3 Influent concentrations during the experiment

Table. 1 Conditions of the laboratory experiment

| | | | |
|-----------|---------|---------|-----------|
| 反応槽滞留時間 | 20(時間) | 沈殿池滞留時間 | 5(時間) |
| 水温 | 20±1(℃) | SRT | 30(日) |
| 第1槽硝化脱窒時間 | 60(分) | 返送率 | 50(%) |
| 第1槽リン放出時間 | 60(分) | DO設定値 | 2.5(mg/l) |
| 1サイクル設定時間 | 120(分) | | |



(A) Components of influent organic substrate and these changes (B) Activity of PAO in aerobic / anoxic / anaerobic condition and consumptions

Fig. 4 Simple diagram of IAWQ Activated Sludge Model No.2⁷⁾

2.3 流入水質条件の算定

IAWQ 活性汚泥モデル No. 2 では、原水の有機物量を XS、SF、SA の 3 種類に分類し、これらを COD_{cr} 相当量で与えている。これに対して、テストプラントでの原水水質は、BOD、D-BOD、TOC、D-TOC で分析されているので、これらの値から XS、SF、SA の各値を推定する必要がある。

ここでは、過去の研究例⁸⁾などから下水処理場の原水に対する BOD : COD_{cr} 比として 1.5 を用いて、BOD 値から COD_{cr} 値に換算した。また測定頻度の多い TOC のデータを生かすために、実験期間中で TOC と BOD が同時に測定された日のデータを用いて TOC-BOD の回帰式を求めた上で、原水 TOC の測定値を流入有機物濃度の計算に用いた。得られた回帰式は

$$COD_{cr}(mg/l) = \frac{(TOC(mg/l) \times 1.76 - 32.3) \times 1.5}{BOD}$$

$$D-COD_{cr}(mg/l) = \frac{(D-TOC(mg/l) \times 0.827 + 1.92) \times 1.5}{BOD}$$

となった。

XS は (COD_{cr}) - (D-COD_{cr}) で与え、D-COD_{cr} のうち酸発酵生成物 (SA) の割合は分析値からは不明であるので、モデルが一般的な下水水質として想定している値を参考に 30% が SA として与えた。

3. 通常定常負荷時のシミュレーション

まずテストプラントでの通常負荷条件での処理状況を

再現できるように、モデルのパラメータの調整を行った。これには、実験期間初期の通常負荷条件で運転した 17 日間に計測された第 1・第 2 両槽での曝気終了時およびサイクル終了時の NH₄-N、NO₃-N、PO₄-P の各値の平均値 (Table. 2) が一致するように調整した。実験では、多少の流入水質の変動があったが、シミュレーションでは定常流入条件として、十分に収束させた結果を用いた。

3.1 モデルパラメータの調整

本研究で対象としたプラントは小規模なテストプラントであり、流入原水も調整下水を利用している点で、標準のモデルパラメータでは妥当な結果を再現できず、いくつかのモデルのパラメータの調整が必要であった。リン除去はリン蓄積性微生物の存在量に依存し、硝化速度は硝化菌の量に依存するので、これらはそれぞれの微生物の比死亡速度又は比増殖速度で調整した。また、小型プラントであるために、フロック径が通常の施設よりも小さくなることを考慮して、SA、SF、NH₄に対する半飽和定数も調整の対象とした。

これらの調整は、各パラメータの変更を試行錯誤的に繰り返し、サイクル平均の処理水質及び曝気終了時及びサイクル終了時の両槽の水質、さらに両槽の曝気時間なども一致するようにした。調整を行なったパラメータ及び最終的に決定したパラメータの値は Table. 3 の通りである。

3.2 シミュレーション結果

まず、通常負荷定常流入条件で、モデルパラメータの

Table 2 Average concentrations of NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P at the end of aeration period and the cycle during normal loading operation

| | 第 1 槽 | | 第 2 槽 | |
|---------------------------|-------|---------|-------|---------|
| | 曝気終了時 | サイクル終了時 | 曝気終了時 | サイクル終了時 |
| NH ₄ -N(mgN/l) | 6.7 | 10.4 | 0.22 | 2.2 |
| NO ₃ -N(mgN/l) | 2.6 | 0.01 | 4.1 | 1.9 |
| PO ₄ -P(mgP/l) | 0.05 | 7.2 | 0.0 | 0.0 |

Table 3 Modified model parameters

| 定 数 名 | モデル推奨値 | 変 更 値 |
|----------------------------------|---------------|-------|
| 従属栄養細菌の酸発酵に対するSFの半飽和定数 | 20.0(mgCOD/l) | 5.0 |
| 従属栄養細菌の増殖に対するSAの半飽和定数 | 4.0(mgCOD/l) | 2.0 |
| リン蓄積細菌の増殖に対するSAの半飽和定数 | 4.0(mgCOD/l) | 2.0 |
| リン蓄積細菌の比死亡速度係数 | 0.20(1/day) | 0.14 |
| 硝化菌の比増殖速度係数 | 1.0(1/day) | 1.2 |
| 硝化菌の増殖に対するNH ₄ の半飽和定数 | 1.0(mg/l) | 0.5 |

調整を行わない場合のシミュレーション結果は、Fig. 5 のようになった。第1・第2各槽での曝気停止時点とサイクル終了時点の、NH₄-N、NO₃-N、PO₄-Pの各濃度を図中にプロットしたが、PO₄-P濃度の変化が全く異なっている。またNH₄-N濃度も第1槽で大きく異なり、第2槽でも実験よりも高くなっている。

モデルパラメータの調整を行ったところ、Fig. 6 に示すように、実験結果に対応する槽内の濃度変化を再現することができた。ただし、第1槽のNH₄-N濃度を一致させようとすると、第2槽のNH₄-N、NO₃-N濃度が過少になるだけでなく、第1槽の曝気時間も実験結果と異なってしまうために、第1槽のNH₄-N濃度は実験結果と一致させることは出来なかった。この状態での最終的な処理水のT-Nは、3.47mg/lで、PO₄-Pは0.37mg/lとなり、これは通常負荷実験時の平均的な値に近いものである。

4. 低負荷連続実験のシミュレーション

4.1 シミュレーションの方法

次に、前節で得られたモデルパラメータおよびTOC測定値からの流入有機物負荷量の推定式を用いて、低負荷連続実験のシミュレーションを行ない、窒素・リン除去率と流入有機物負荷の関係および微生物の状態の違い

による窒素・リン除去率への影響の解析を行なった。

原水水質の変動はFig. 3で既に示した通りである。計算は、通常負荷条件で十分に定常状態に達するまで計算した後、低負荷に変更する17日前からの測定値を線形内挿して流入条件に与えた。処理水質については一日の平均値を、1サイクルのデータについては各日の最初のサイクルでの各物質の濃度とプロセス速度の経時変化を第1・第2の両槽について出力して解析に用いた。モデルによる水質の計算については、間欠曝気による槽内の急激なDOの変化を考慮して、タイムステップを6秒で計算している。

4.2 結果と考察

シミュレーションの結果と低負荷実験時の分析値について、Fig. 7(A)に処理水T-Nの変化を、Fig. 7(B)に処理水T-Pの変化を示す。処理水T-Nについては、実験値にばらつきが大きくシミュレーション結果との対応は十分には得られなかった。T-Pについては、ピーク濃度に違いが見られるものの実験開始から30日前後の処理水リン濃度の悪化が再現されている。これは、流入原水TOCの低下している時期に対応しており、有機物負荷の減少によってリン蓄積性微生物がポリリン酸を維持する事ができなくなっている事に起因しているものと考えられる。また、実験期間後半は、対応は明確ではなかつ

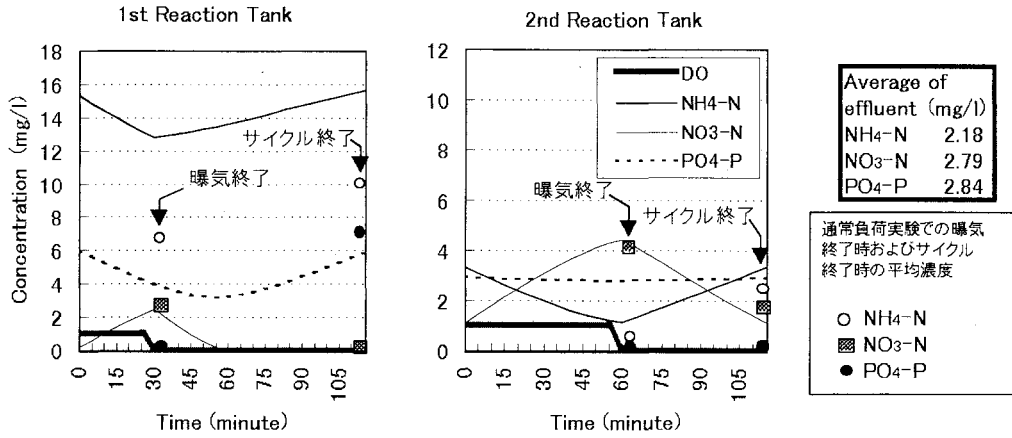


Fig. 5 Simulation results of normal loading operation with original model parameters

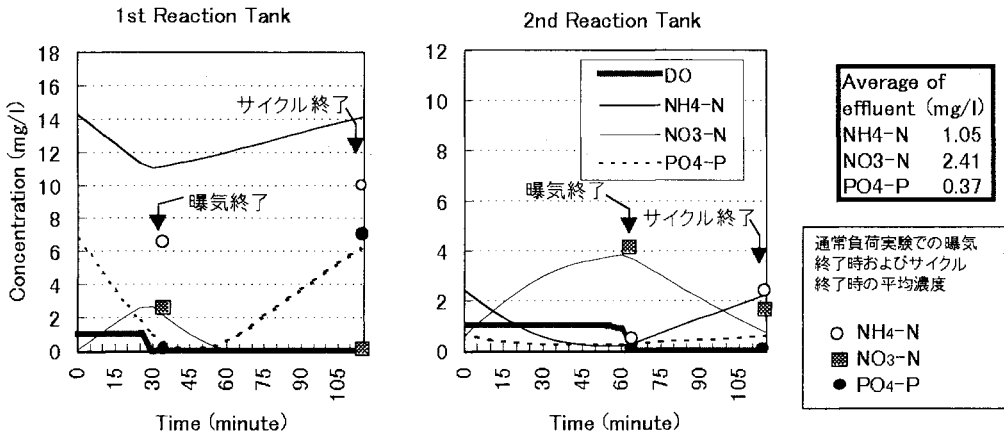


Fig. 6 Simulation results of normal loading operation with modified model parameters

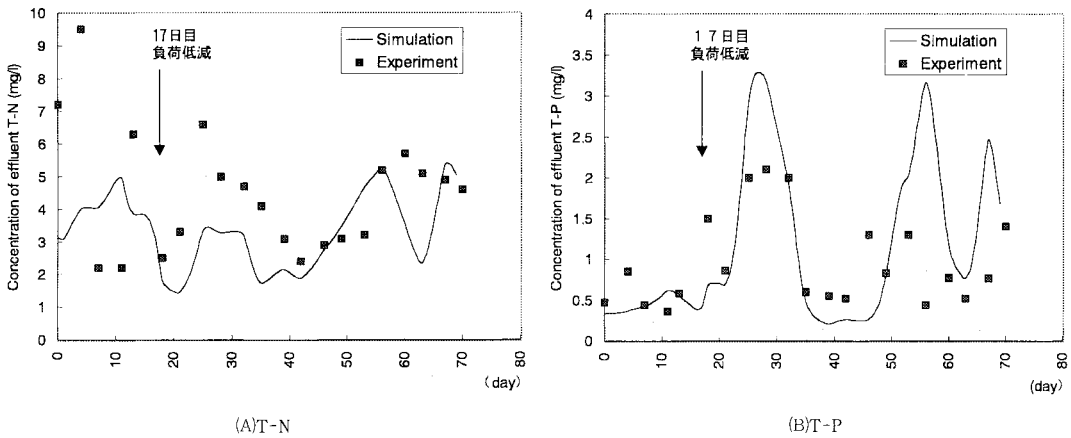


Fig. 7 Simulation results of low organic loading experiment

たが、原水 TOC の低下に伴う処理水リン濃度の上昇がシミュレーションと実験結果共に見られる。

次に、低負荷実験期間中の原水 TOC と処理水 $PO_4\text{-P}$ との関係を Fig. 8 (A)(B) に示す。(A) が実験結果、(B) がシミュレーション結果である。実験結果では、実験期間後半には明確な相関関係が見られないのに対して、シミュレーションでは、実験開始から30日前後と55日前後のリン除去悪化時の原水 TOC と処理水 $PO_4\text{-P}$ の関係が2本の軸状に分布していることがわかる。いずれの結果からも原水の TOC が100mg/l 程度以上である場合には、処理水 $PO_4\text{-P}$ 濃度は1.0mg/l 程度以下に抑えられているが、それよりも原水 TOC が低下すると処理水 $PO_4\text{-P}$ も悪化する傾向にあることが分かる。

また、いずれの結果も一度、リン除去の悪化を経ることによって、グラフの左下へと状態が移動している。すなわち同じように流入 TOC が低下しても、処理水リン濃度の悪化が抑えられている。

ここで、微生物体を構成する成分も含めて系内に蓄積されているリンの総量の変化を計算してみると、Fig. 9 のようになった。原水からのリンの負荷が通常負荷で約1g/日程度なので、30日分以上のリンを蓄積している計算になる。処理水のリン濃度が上昇することで、系内に蓄積しているリンの総量が減少し、リン蓄積性微生物がこれらのリンを系内に保持するのに必要な有機物量が少なくなっているためと考えられる。

処理水のリン濃度自体は、原水の有機物負荷の減少に伴って、1日~数日の間に急激に変化するが、系内に蓄積されているリンの総量は、それよりも長い時間スケールで変化するため、原水の有機物負荷の変動に対して、リン除去の悪化を予測し、制御するためには、これらの系内の微生物の過去の履歴を考慮する必要があると考えられる。

5. リン除去安定化の制御法開発のための特性解析

前節で、テストプラントで観測された有機物負荷の減少に伴うリン除去の悪化の現象が、シミュレーションによって再現された。次に、この結果をもとにして、リン除去の悪化を低減する制御法を開発するための特性解析を行なった。

リン除去悪化の原因は、系内に蓄積している総リン量を維持するだけの有機物が存在しない事が原因である。そこで、原水の有機物負荷の低下時に維持すべき系内の

総リンの量を減らすか、微生物が利用できる有機物量を増やす事が必要となる。ここでは、それぞれについて、余剰汚泥引抜量を一時的に増加させて系内のリンの総量を減らす方法と有機物を投入する方法の2通りについてシミュレーションを行い、それぞれの方法によって得られる制御効果を調べた。

5.1 シミュレーションの方法

5.1.1 余剰汚泥引抜量の制御による方法

この方法では、処理水のリン濃度が1.0mg/l を越えると余剰汚泥引抜量を1.5倍および2倍にする2通りについて試みた。これにより MLSS 濃度は次第に減少することになる。そのために、有機物除去や窒素除去にも影響するが、原水の負荷自体も減少しているために、著しい悪化はない。しかし、この操作が長期間にわたると硝化菌に対する A-SRT が短縮され、硝化に悪影響を及ぼす可能性があるが、一時的な有機物負荷の減少に対しては適用できる。

5.1.2 有機物の投入による方法

従来より生物学的窒素除去法においては、有機物負荷の低下時に脱窒槽へ有機物を添加して脱窒速度を維持する事が有効な方法として利用されている。ここでは、リン除去の悪化に対応する方法として、嫌気槽への有機物の添加が対応策のひとつとして考えられる。連続的な有機物の添加はコストの面で不利であるが、突発的な高濃度のリンの流出を避けるためには有効な対策である可能性がある。ここでは、処理水リン濃度が1.0mg/l を越えた場合に、原水 CODcr 濃度に換算して50mg/l 及び100mg/l の発酵産物(SA)を第1槽の嫌気時に投入するという制御をシミュレーション上で行なった。

5.2 結果と考察

5.2.1 余剰汚泥引抜量の制御による方法

余剰汚泥引抜量の制御によるリン除去悪化の抑制法のシミュレーション結果は Fig. 10(A)(B) のようになった。引抜量を1.5倍にした場合にはピークで約0.4mg/l、2倍にした場合には約0.6mg/l の抑制効果があった。また、処理水リン濃度が1.0mg/l 以下に回復するまでの期間も短くなっている。これは系内に蓄積されている総リン量が減少し、低下した原水 TOC 濃度との新たな平衡点に変化している事を表している。

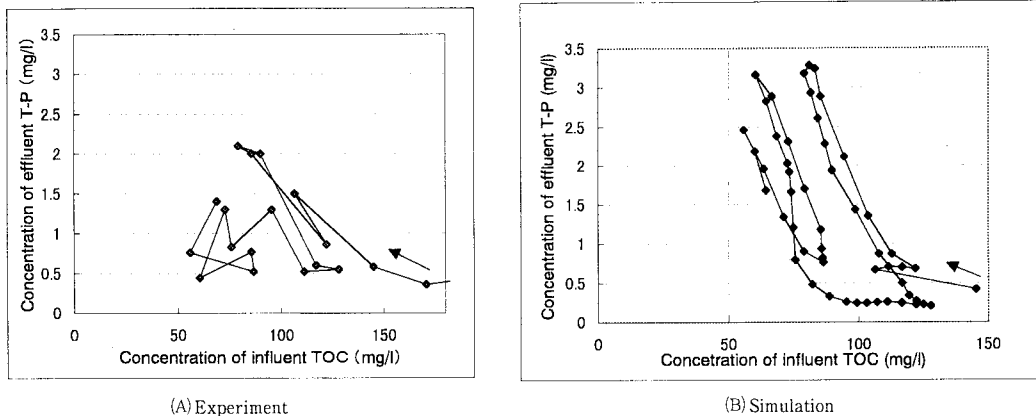


Fig. 8 Relationship between influent TOC concentration and effluent PO_4 -P concentration during low organic loading experiment

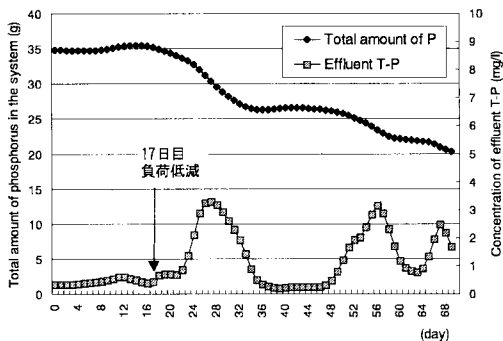


Fig. 9 Changes of total amount of phosphorus in the system and effluent PO_4 -P concentration

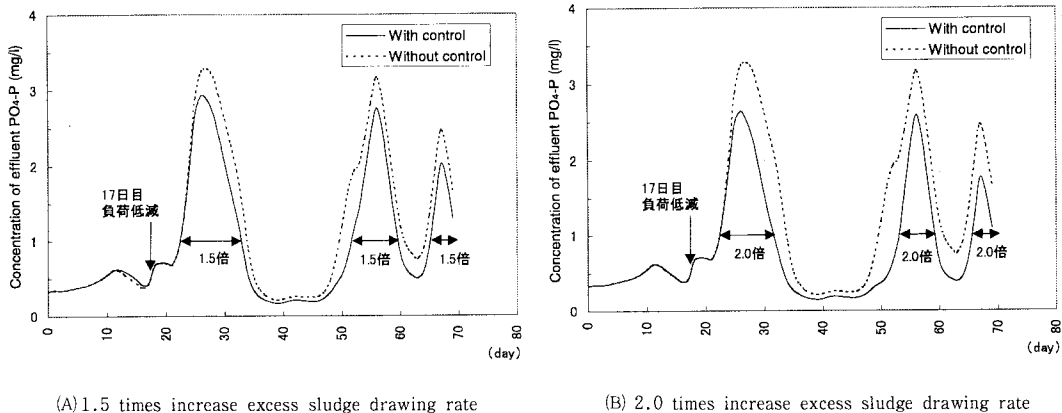


Fig.10 Simulation results of effluent PO_4 -P concentration with the excess sludge drawing rate control

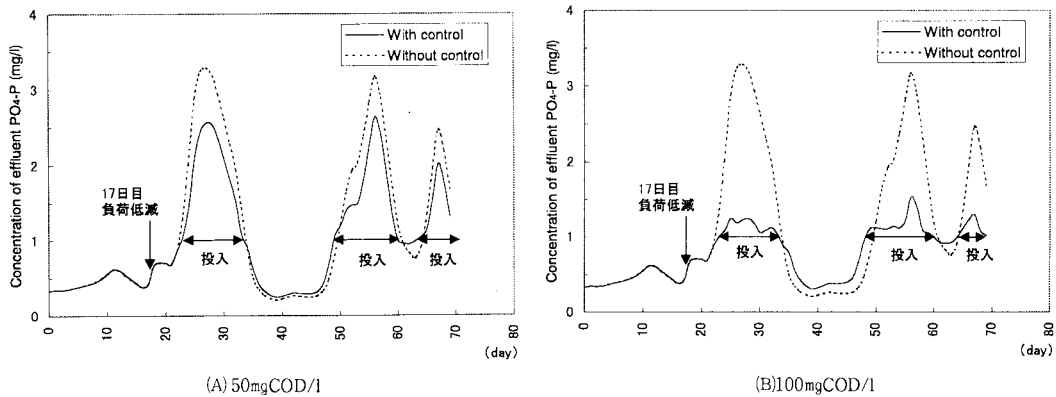


Fig.11 Simulation results of effluent $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration with the control of injecting organic substrate

5.2.2 有機物の投入による方法

第1槽の嫌気状態への有機物の投入によるリン除去悪化の抑制法のシミュレーション結果はFig.11(A)(B)のようになった。50mg/l相当量の有機物投入では、リン濃度のピークを約0.7mg/l程度低下させることが可能である。さらに10mg/l相当量の有機物投入では、処理水リン濃度を1.5mg/l以下に抑制することが可能であるという結果になった。

余剰汚泥引抜の方法では、1度目のリン除去の悪化の後、系内の総リン量が制御しない場合よりも減少しているのに対して、有機物を投入する方法では、系内の総リン量は制御しない場合よりもむしろ増加しているために、2度目以降のリン除去の悪化の始まりが余剰汚泥引抜の方法の場合よりも早く現れている。この事は、継続的に有機物負荷が低下すると予想される場合には、系内に保持する総リン量を減少させるように、余剰汚泥により系外に排除する方がよい事を意味している。逆に、負荷の低下が数日間で収まる場合には、有機物投入によって処理水リン濃度の上昇を防ぐ方が効果が期待できると考えられる。

6 結論

二槽式間欠曝気方式のテストプラントで実施された低負荷連続実験の結果をもとに、IAWQ活性汚泥モデルNo.2を用いたシミュレーションによって低負荷時の処理水リン濃度の悪化のメカニズムと、制御方法について検討を行なった。

まず、通常負荷時の運転データからモデルのパラメータフィッティングを行なって、窒素・リンの槽内での変化を適切に表現できるようにモデルの調整を行い、低負荷連続実験のシミュレーションをした結果、実験で観測された処理水リン濃度の悪化の様子が再現できた。

シミュレーション結果の解析から、これはリン蓄積性の微生物がポリリン酸を保持するための有機物が不足していることが原因であることが明らかとなった。また、Fig.8(A)の流入TOC-処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ の散布図から同じように原水の有機物量が減少した場合でも、その時点で系内に蓄積している総リン量が少ないほうがリン除去の悪化は少なくて済むことがわかった。

これらの結果を利用して、有機物負荷減少時のリン除去の悪化を抑制するために、余剰汚泥引抜量の増加による方法と第1槽の嫌気状態への有機物の添加による方法の2種類の方法をシミュレーションにより検討した。

いずれの方法も処理水のリン濃度の悪化を抑制することが明らかになったが、継続的な有機物負荷の減少に対しては、系内に蓄積されているポリリン酸の総量を減らすために、汚泥を引き抜く事が効果的であり、一時的な処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ の上昇を防ぐためには有機物投入の方が直接的な効果を発揮する事が明らかとなったので、これらを組み合わせることでより有効な運転・制御法が考えられる可能性がある。

また、本研究では扱えなかったが、生物学的リン除去の一時的な悪化に対しては、凝集剤の添加による化学的な手法なども用いられている。さらに、原水の性状によってはあらかじめ嫌気槽で酸発酵を進めるなどリン除去

の安定性を高めるための手法はいろいろと考えられる。

今後はさらに、それらの方法と組み合わせたシミュレーションを行うと共に、計算精度の向上のために、より分析精度・頻度を高めた実験との比較も進める必要があると思われる。

参考文献

- 1) 齊藤照夫, 海域の富栄養化防止対策, 水環境学会誌, 18, 538-542, 1995
- 2) 山本康次, 津村和志, 中野仁, 2槽式間欠ばっき法による窒素・リン除去, 水環境学会誌, 15, 541-553, 1993
- 3) Sasaki, K., Yamamoto, Y., Tsumura, K., Ouchi, S. and Mori, Y., Development of 2-Reactor Intermittent-Aeration Activated Sludge Process For Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus., Water Science & Technology, 34, No. 1-2, 111-118, 1996
- 4) 大地佐智子, 山本康次, 津村和志, 佐々木康成, 二槽式間欠曝気法を用いた生物学的窒素・リン同時除去, 水環境学会誌, 20, 50-56, 1997
- 5) Kurata, G., Tsumura, K., Nakamura, S., Kuwahara, M., Sato, A., Kanaya, T., Retrofit of Biological Nutrient Removal Process Assisted By Numerical Simulation With Activated Sludge Model No.2, Water Science & Technology, 34, No.1-2, 221-228, 1996
- 6) 倉田学児, 津村和志, 山本康次, 下水処理プロセスシミュレータの利用による生物学的窒素・リン除去プラントの管理性の向上, 水環境学会誌, 20, 95-102, 1997
- 7) IAWQ Task Group, Activated Sludge Model No.2, Science and Technical Report No.3, IAWQ, 1995
- 8) Mino, T., Liu, W. T., Kurisu, F., Matsuo, T., Modelling Glycogen Storage and Denitrification capability of Microorganisms in Enhanced Biological Phosphate Removal Processes, Water Science & Technology, 31, No.2, 25-34, 1995

(受付 1998. 1. 16)

(受理 1998. 2. 25)