

〈研究発表〉

擬似嫌気好気活性汚泥法における嫌気部拡大による 処理への影響と省エネルギー効果

薄井 宗光

川崎市役所 建設局下水道部麻生水処理センター

(〒215-0021 川崎市麻生区上麻生 6-15-1, E-mail: usui-mu@city.kawasaki.jp)

概要

日本の下水道は計画的な整備が進められてきたため、既にある施設を有効に利用しつつ、水質を維持・向上させ、かつ設備投資や維持管理コストを抑制することが課題になっている。特に、京都議定書の発効に伴い、下水道を運営している事業者には、地球環境に配慮した効率の高い運用や省エネルギーへの取り組み強化が求められている。本研究では、擬似嫌気好気活性汚泥法における嫌気部の拡大運転を行い、窒素及びりん除去への影響を調査した。また、脱窒反応により消費されるBOD量から省エネルギー効果を評価した。

キーワード: 擬似嫌気好気活性汚泥法, 嫌気部拡大, 必要酸素量, 省エネルギー

1. はじめに

日本の下水道は、長年にわたり計画的な整備が進められてきた。その結果、全国での下水道処理人口普及率は70.5%となっており、人口が100万人以上の都市部では、普及率が98.4%を超えるものとなっている¹⁾。普及率が高まってきた都市部では、新たな下水道施設の建設は減少していく傾向にある。そのため、既にある施設を有効に利用しつつ、水質を維持・向上させ、かつ設備投資や維持管理コストを抑制することが課題になる。特に、2003年4月1日の省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)の改正や京都議定書の発効に伴い、下水道を運営している事業者には、地球環境に配慮した効率の高い運用や省エネルギーへの取り組み強化がより一層求められている。

標準活性汚泥法を採用している下水処理場の管理費のなかで約8%が電力費で、高度処理法では、約12.5%になる²⁾。下水処理場の電力費の中で送風のためのブロワに要する電力費は大きな割合を占めているため、送風量を削減することにより省エネルギーを達成することができる。処理水質を維持・向上させながら送風量を削減する方法として、酸素移動効率を高める方法とともに脱窒反応を利用する方法が考えられる。脱窒反応の化学量論式からは1kgNの脱窒により2.86kgBODが消費されるため、消費されたBOD量の分だけ送風量を削減できる。

本研究では、処理水質の向上と省エネルギーを目的として、擬似嫌気好気活性汚泥法において嫌気部の拡大運転を行った。

2. 調査方法

2.1 麻生水処理センターの概要

麻生水処理センターの処理施設の概要をFig. 1に示す。処理区域面積は1,655ha、処理人口は113,500人(平成19年度末現在)、平成19年度年間平均処理水量は35,849m³/dであった。反応タンク1-1~2-2は、反応タンク入口から出口にかけて敷設されている4箇所の空気の管内、1段目の空気バルブを全閉にした擬似嫌気好気活性汚泥法で、反応タンク2-3と2-4は担体利用・嫌気-無酸素-好気法で処理を行っている。エアレーション方式として反応タンク1-1~2-2は全面エアレーション式を、反応タンク2-3と2-4は水中かくはん式を用いている。送風量の調整はDO濃度一定制御を用いており、反応タンク1-1と1-2、反応タンク1-3と1-4、反応タンク2-1と2-2、反応タンク2-3と2-4は同じ返送汚泥が返送されている(返送汚泥1-1, 1-2, 2-1, 2-2)。

2.2 嫌気部の拡大運転

2007年6月19日~8月13日の間、反応タンク2-1の2段目の空気バルブ(Fig. 1)を調節し、送風量を活性汚泥が沈降しない程度(約80m³/h)に抑制することにより嫌気部拡大運転を行った。嫌気部拡大運転期間中、反応タンク1-3と2-1の処理水の全窒素(T-N)、NO_x-N(亜硝酸性窒素+硝酸性窒素)、アンモニア性窒素(NH₄-N)、りん酸イオン態りん(PO₄-P)濃度を測定した。過去の測定結果から処理水の全りん濃度はPO₄-P濃度とほぼ等しいことが分っているため、りん除去効果はPO₄-P濃度により検討した。嫌気部拡大運転での脱窒のプロセスを検討するために、反応タンク1-3と2-1

の反応タンク流出水、処理水の $\text{NO}_x\text{-N}$ を測定した。また、活性汚泥微生物によるリンの過剰摂取現象を調査するために、最初沈殿池流出水と反応タンク 2-1 の拡大した嫌気部内混合液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度、返送汚泥 1-1~2-2 のりん含有率を測定した。

嫌気部拡大運転期間中における反応タンク 1-1~1-4, 2-1 の運転条件を Table 1 に示す。全ての反応タンクにおいて硝化促進型運転が行われた。

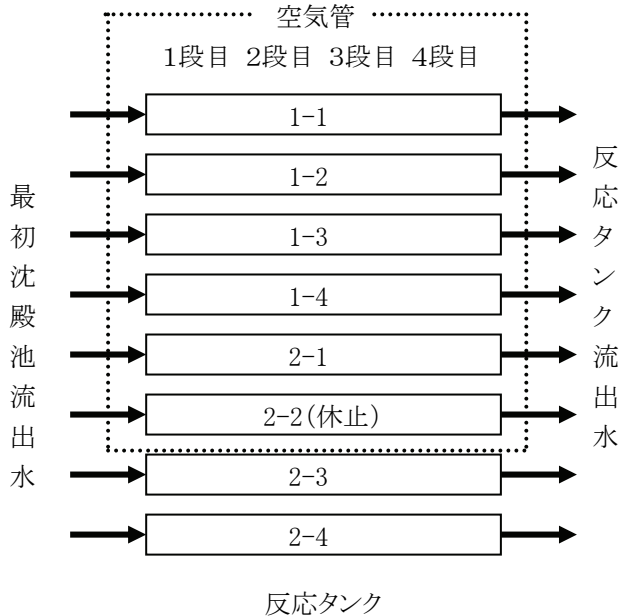


Fig.1: Schematic diagram of the reactors in Asao sewage treatment plant

Table 1: Operating conditions

	反応タンク 1-1~1-4	反応タンク 2-1
HRT (h)	12.4	13.4
MLSS (mg/L)	1,560	1,490
SRT (d)	16.3	18.4
A-SRT (d)	12.2	9.2
DO設定値 (mg/L)	0.9	0.9

2.3 分析方法

$\text{NO}_x\text{-N}$ は JIS K 0102 43.1.1, 43.2.3, 全窒素は JIS K 0102 45.2, $\text{PO}_4\text{-P}$ は JIS K 0102 46.1.1 に基づいて分析を行った。 $\text{NH}_4\text{-N}$ はろ紙 No.5C (アドバンテック東洋 (株)製) でろ過した後、ろ液を JIS K 0102 42.2 に基づいて分析を行った。

3. 結果及び考察

3.1 窒素除去

嫌気部拡大運転期間中における反応タンク 1-3 と 2-1 の処理水の $\text{NO}_x\text{-N}$ 、アンモニア性窒素濃度の経日変化を Fig. 2 に示す。嫌気部拡大運転期間中の反

応タンク内の水温は、25~28℃であった。反応タンク 1-3 と比較して、反応タンク 2-1 の処理水のアンモニア性窒素濃度はやや高くなり、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度は低くなったことから硝化反応は嫌気部の拡大によりやや抑制されたことが推測される。しかし、反応タンク 1-3 と比べて、反応タンク 2-1 のアンモニア性窒素濃度は平均で 0.4mg/L 高かっただけであるが、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度は平均で 1.3mg/L 低くなりアンモニア性窒素濃度の増加から予測される以上に低下した。

反応タンク 1-3 と 2-1 の処理水の全窒素濃度の経日変化を Fig. 3 に示す。嫌気部拡大運転期間中の全ての測定において反応タンク 2-1 の全窒素濃度は、反応タンク 1-3 よりも低く、平均で 1.0mg/L 低くなった。

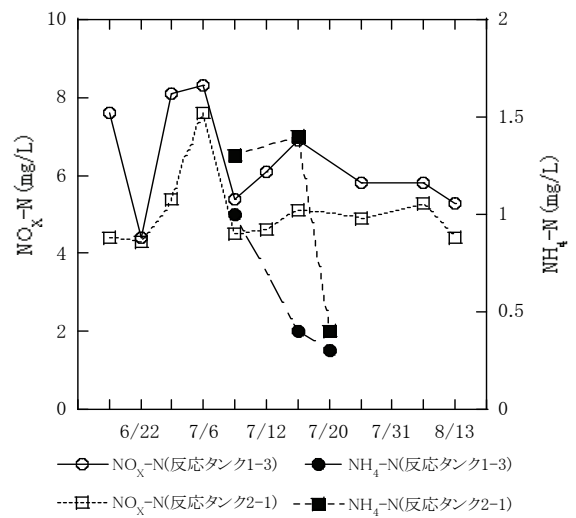


Fig.2: $\text{NO}_x\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ in treated wastewater for reactor 1-3 and 2-1

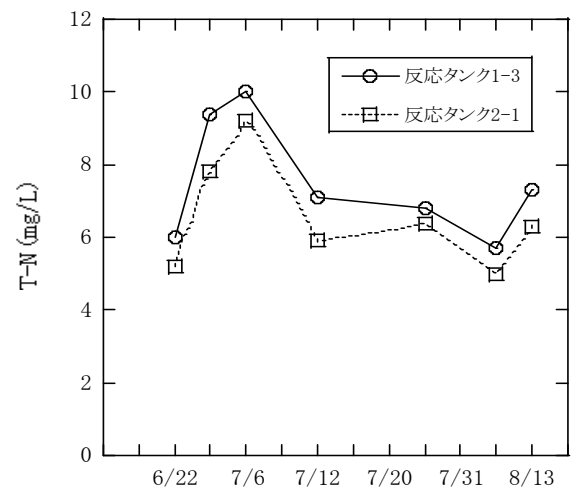


Fig.3: T-N in treated wastewater for reactor 1-3 and 2-1

反応タンク 1-3 と 2-1 の反応タンク流出水と処理水の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度の経日変化を Fig. 4 に示す。嫌気部拡大

運転を行う前だった6月16日では、反応タンク 1-3 と 2-1 の反応タンク流出水のNO_x-N濃度はほとんど同じであったが、嫌気部拡大運転を行った6月22日～8月11日では、反応タンク 2-1 のNO_x-N濃度は、反応タンク 1-3 よりも低くなった。また、6月22日～8月11日の間の平均値では、反応タンク 1-3、2-1とも反応タンク流出水と比較して処理水のNO_x-N濃度は同程度低下した。これらのことから嫌気部拡大運転を行うことにより、反応タンク内での脱窒反応が促進され、処理水の全窒素濃度が平均で 1.0mg/L 低下した (Fig. 3) と考えられる。

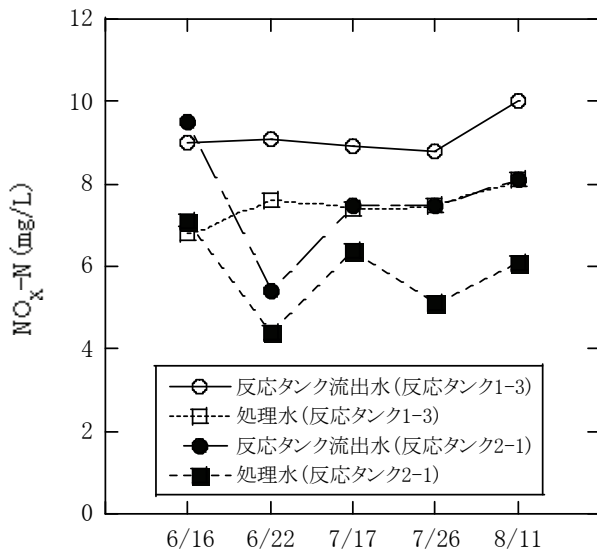


Fig.4: NO_x-N in effluent from reactor and treated wastewater for reactor 1-3 and 2-1

3.2 りん除去

最初沈殿池流出水、反応タンク 2-1 の拡大した嫌気部内混合液、反応タンク 1-3 と 2-1 の処理水のPO₄-P濃度の経日変化を Fig. 5 に示す。反応タンク 2-1 の処理水のPO₄-P濃度は反応タンク 1-3 よりも低くなった。拡大した嫌気部内混合液のPO₄-P濃度は、平均で 3.13mg/L となり、最初沈殿池流出水のPO₄-P濃度 1.67mg/L の約 1.9 倍となった。過去の調査から、擬似嫌気好気活性汚泥法での嫌気部のPO₄-P濃度は、最初沈殿池流出水と同程度であることが分っている。このことから、嫌気部が拡大したことによりりんの放出が促進されたと考えられる。

返送汚泥 1-1～2-2 のりん含有率の経日変化を Fig. 6 に示す。反応タンク 2-1 に返送されている返送汚泥 2-1 は、嫌気部拡大運転を開始した後、返送汚泥 1-1、1-2 よりもりん含有率が高くなり、8月7日には高度処理法の返送汚泥 2-2と同程度のりん含有率になった。これらのことから、嫌気部拡大運転を行ったことにより活性汚泥微生物によるりんの過剰摂取現象が起き、りん除去が向上した (Fig. 5) と考えられる。

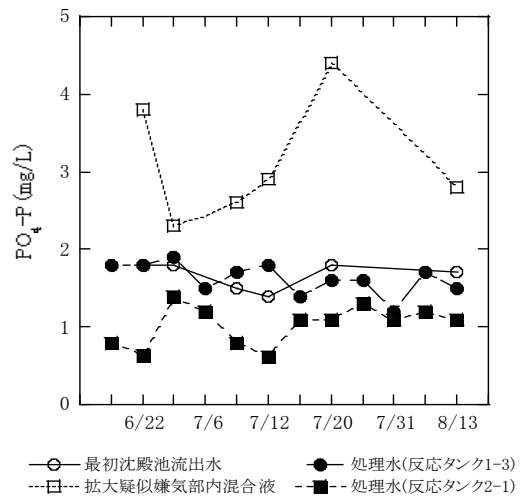


Fig.5: PO₄-P in effluent from reactor, extended anaerobic tank mixed liquor and treated wastewater for reactor 1-3 and 2-1

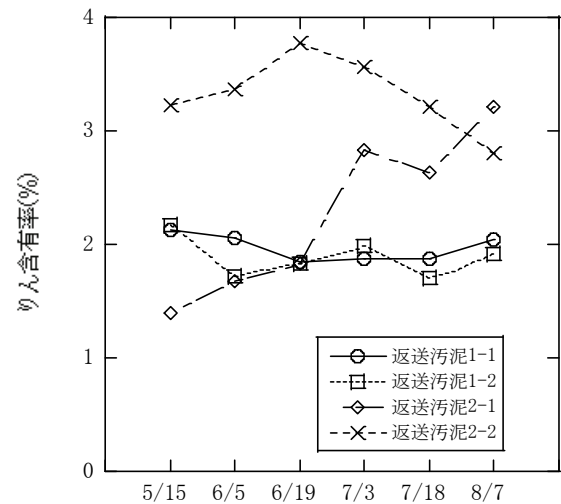


Fig.6: Phosphorus content in return sludge

3.3 脱窒反応による省エネルギー効果

嫌気部拡大運転により促進された脱窒反応による省エネルギー効果を必要酸素量 (AOR) から考察する。有機物の酸化に必要な酸素量 (D_B) は (1) 式で表される³⁾。

$$D_B = \left\{ \left(C_{BOD,in} - C_{BOD,eff} \right) \times Q_{in} \times 10^{-3} - \left(L_{NOX,DN} - L_{NOX,A} \right) \times K \right\} \times A \quad (1)$$

ここで $C_{BOD,in}$ は反応タンク流入水BOD, $C_{BOD,eff}$ は処理水BOD, Q_{in} は反応タンク流入水量, $L_{NOX,DN}$ は無酸素タンク流入NO_x-N量, $L_{NOX,A}$ は無酸素タンク流出NO_x-N量, K は脱窒反応により消費されるBOD量, A は除去BOD当たりに必要な酸素量である。

最初沈殿池流出水が反応タンク内で滞留している間

に硝化脱窒反応を起こすと考えると D_B は(2)式で表される。

$$D_B = (C_{BOD,in} - C_{BOD,eff} - C_{NOX} \times K) \times Q_{in} \times A \times 10^{-3} \quad (2)$$

ここで C_{NOX} は脱窒反応を起こす NO_x -N濃度である。 K を2.86とすると³⁾、2005年1月～2006年10月の間に反応タンク1-1～2-2で除去された平均のBOD量は2,643kgBOD/dであった⁴⁾。この期間の反応タンク1-1～2-2の処理条件において、3.1節で得られた結果と同じ1mg/Lの NO_x -Nが反応タンク内で脱窒反応を起こすと、(2)式より脱窒反応で消費されるBOD量は70 kg BOD/dとなり、脱窒反応を起こす場合と起こさない場合の必要酸素量はTable 2に示す結果となる⁴⁾。必要酸素量は脱窒反応が起こらない場合と比較して43 kgO₂/d低下することから、嫌気部拡大運転を行うことにより必要酸素量を約0.8%削減することができる試算となる。ただし、嫌気部拡大運転は硝化反応を抑制することから、水温が低下する冬季の適用は難しいと考えられる。

Table 2: Results of AOR reduction

	脱窒反応無	脱窒反応有
D_B (kgO ₂ /d)	1,586	1,543
D_N^* (kgO ₂ /d)	2,475	2,475
D_E^{**} (kgO ₂ /d)	1,322	1,322
D_O^{***} (kgO ₂ /d)	36	36
AOR(kgO ₂ /d)	5,419	5,376

* 硝化反応に必要な酸素量

** 浮遊汚泥の内生呼吸に必要な酸素量

*** 溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量

4. 結論

本研究では、擬似嫌気好気活性汚泥法における嫌気部の拡大運転を実施し、以下の結論を得た。嫌気部の拡大運転は、反応タンク内での脱窒反応を促進し、また活性汚泥微生物によるりんの過剰摂取現象を起こすため窒素、りんの除去が向上した。脱窒反応はBODを消費するため、ブロー電力量を削減することができ省エネルギーとなる。

[参考文献]

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課：平成18年度末の下水道整備状況について、下水道協会誌、Vol.44, No.540, pp.51-60 (2007)
- 2) (社)日本下水道協会：平成9年度版下水道統計 財政編、日本下水道協会、(1997)
- 3) (社)日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編—2001年版—、日本下水道協会、日本下水道協会、(2001)
- 4) 薄井 宗光：麻生水処理センターにおける必要酸素量と散気装置による省エネルギーの検討、下水道協会誌、Vol.45, No.545, pp.125-132 (2008)