

# 亜硝酸曝露によるリン蓄積細菌の好氣的代謝阻害

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○高橋紘平、吉田征史  
日本大学理工学部 正会員 齋藤利晃、田中和博

## 1. 背景

閉鎖性水域の富栄養化が問題視され、下水中の栄養塩類を除去することが必要不可欠になっている。日本では窒素よりもリンを制限因子とする湖沼が多数を占めているため、生物学的リン除去技術の効率化、高度化が求められている。しかしながら、リン除去を担っているリン蓄積細菌(PAOs)の単離、同定には成功しておらず、不安定になることが知られている。そして、近年の研究からその不安定化因子の一つとして亜硝酸の存在が報告されている<sup>1)2)3)</sup>、連続運転での報告例についての知見は乏しい。一方、酸素に加え硝酸を電子受容体として脱窒と脱リンを同時に行うことが可能な脱窒能力を有するPAOs(DNPAOs)の存在が明らかにされてきた<sup>4)</sup>。DNPAOsは嫌気無酸素工程の暴露を繰り返し受けることで優占化・活性化する。DNPAOsは窒素、リン除去に必要な有機物量や酸素消費量、それに伴い汚泥発生量を削減できることから、その有用性が注目視されている<sup>5)</sup>。しかし、PAOs同様にDNPAOsにおいても生理学的特性についての理解は不十分なため、実施設における優占化度は低いのが現状である<sup>6)</sup>。

そこで、本研究では、連続培養を行っている嫌気好気回分式反応槽(A/O SBR)に微量の亜硝酸を連続的に添加した結果、1)生物学的リン除去の不安定化因子、2)好

気工程下における DNPAOs の優占化に寄与する因子として、硝化、脱窒工程の中間物質である亜硝酸が影響する知見が得られたので報告する。

## 2. 実験方法

### 連続実験

表1に表記するように、PAOsの集積培養を行っているA/O SBRに、91日から241日まで(Phase1)好気工程開始に1分間で、また525日から(Phase2)は15分間で、反応槽内の亜硝酸濃度が1(mgN/l)になるように連続的な添加を行った。定期的に嫌気、好気終了時のリン酸濃度および好気終了時の亜硝酸濃度の測定を行い、経日変化について調べた。

### 回分実験

A/O SBRから嫌気工程後の汚泥を採取し、一方は好気工程下、もう一方は無酸素工程に曝露した。実験結果から、好気および硝酸を電子受容体として用いた無酸素的リン摂取速度を算出し、好氣的リン摂取速度に対する無酸素的リン摂取の比率として脱窒性脱リン活性比<sup>7)</sup>を求め、これをDNPAOsの優占化度の指標とした。

## 3. 実験結果、考察

### 嫌気好気(A/O)法運転

図1にリン酸、亜硝酸濃度およびリン摂取速度の経日変化を、表2に各運転工程でのリン除去活性の値を示す。図1-1)より、A/O法でPAOsの培養を行ってから30日までは嫌気工程下におけるリン酸放出濃度も低く、また好気終了時のリン酸濃度も高い値を示している。そして、図1-2)より好氣的リン摂取速度も文献値<sup>8)</sup>と比較して低いことから、PAOsが優占種となっていないことが分かる。しかしその後、80日目には嫌気終了時のリン酸濃度が90(mgP/l)、処理水(好気終了時)のリン酸濃度が10(mgP/l)まで摂取されている。そして、図1-2)、表2より好氣的リン摂取速度およびその他の活性速度も向上を示したことから、経過日数とともにPAOsが優占種となっていると思われる。254日以降は再びA/O法でPAOsの培養を行っているが、既報<sup>9)</sup>と同様に冬季の水温低下が主たる原因で、リン摂取能が著しく低下した。一方、馴養中に酸化態窒素への曝露が無いため、無酸素的リン摂取速度の向上は観察されない。

図1-1)より亜硝酸の添加を開始する以前、55日からアンモニア酸化細菌による硝化反応により、好気工程下において突発的な亜硝酸の蓄積が生じ、次のサイクルの嫌気工程まで亜硝酸が戻るような運転が数日間行われた。その結果、処理水(好気終了時)のリン酸濃度が不安定になった一方で、図1-2)より無酸素的リン摂取速度が徐々に向上を示した。このメ

表1 A/O SBR の運転条件

運転条件		
条件	数値	単位
反応槽容積	4	L
サイクル時間	6	h/cycle
嫌気工程(流入10min)	180	min
好気工程	130	min
沈殿、排水	50	min
SRT	10	d
HRT	12	h
pH制御	6.9-7.1	
水温	18-22	℃
流入濃度		
酢酸	400	mgCOD/L
リン酸	30	mgP/L
アンモニア	40	mgN/L
その他微量栄養素	文献 <sup>2)</sup> 参照	
亜硝酸負荷量		
Phase1	1.0	(mgN/min)
Phase2	1.0	(mgN/15min)

キーワード: 生物学的リン除去、リン蓄積細菌、好氣的代謝阻害、亜硝酸、脱窒能力

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部 TEL03-3259-0875 E-mail:kh\_takahashi@yahoo.co.jp

カニズムは既報<sup>10)11)</sup>と同様に、嫌気工程に電子受容体である亜硝酸と電子供与体である有機物の共存が起因していることも考えられ、無酸素的リン摂取速度の向上は好氣的な亜硝酸曝露による影響ではなく、嫌氣的曝露による影響が寄与している可能性がある。

### 亜硝酸添加A/O法(Phase1)

好氣的な亜硝酸曝露が DNPAOs の優占化に寄与する因子であるか否か明確にするため、Phase1 から好気開始時 1min 間で反応槽内での亜硝酸濃度が 1(mgN/l) になるように連続的な添加を行った。また嫌氣的な亜硝酸曝露を受けないように、反応槽内に ATU を定期的に添加し、硝化反応を抑制したが完全に抑制できたのは 121 日以降である。その結果図 1-1)より、亜硝酸添加開始した直後(硝化が生じていた期間)は嫌気および処理水(好気終了時)のリン酸濃度、好氣的リン摂取速度の悪化は見られなかったが、硝化反応が抑制された時期とリン除去の悪化がほぼ一致した。硝化が抑制された後は、経過日数とともに嫌気および処理水(好気終了後)のリン酸濃度が不安定になり、図 1-2)、3)、表 2 より好氣的リン摂取速度に関しては A/O 法で培養されていた期間よりも、約 40%の低下が観察された。一方、無酸素的リン摂取速度は徐々に向上を示し、脱窒性脱リン活性比が約 40%まで向上した。

### 亜硝酸添加A/O法(Phase2)

次に Phase2 では Phase1 よりも亜硝酸負荷量を小さくすることで、リン除去活性や無酸素的リン摂取速度の向上に与える影響を検討した。その結果図 1-1)より、亜硝酸の添加を開始した直後は、嫌気終了時、処理水のリン酸濃度ともに高い値を示す結果が得られたが、その後は安定した処理水質を保つことができた。また表 2 より好氣的リン摂取速度および他の摂取速度の著しい低下も見られず、A/O 法で培養していた期間よりも良好なリン除去が観察された。一方で、Phase1 同様に無酸素的リン摂取速度の向上に伴い、脱窒性脱リン活性比も経過日数とともに向上を示した。

## 4. 結果

連続実験の結果から、好氣的な亜硝酸曝露の影響は生物学的リン除去の不安定化因子なる一方で、亜硝酸負荷量によってその阻害の程度も異なる結果が得られた。また、DNPAOs の好氣的な優占化に寄与する因子として亜硝酸であることが明らかになった。

### 謝辞

この研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究

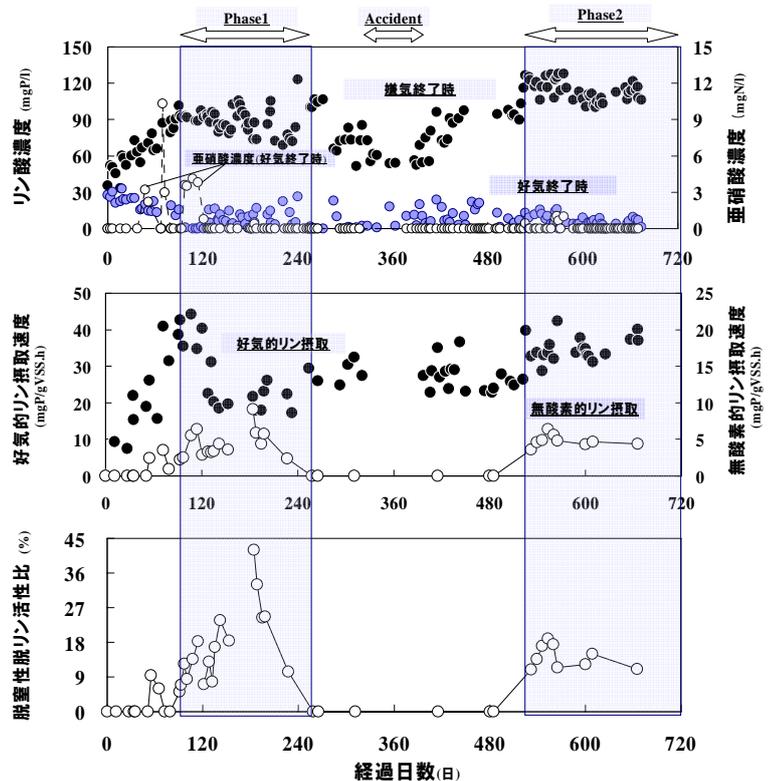


図 1 リン酸および亜硝酸濃度、リン摂取活性の経時変化

表 2 各運転条件でのリン除去活性

条件	A/O SBR		Phase1	Phase2	
	リン摂取活性	単位	数値		
嫌気工程	リン酸濃度(処理水)	(mgP/l)	94	88	114
	P/C 比	(gP/gCOD)	0.33	0.32	0.43
	リン放出速度	(mgP/gVSS.h)	55	29	64
	酢酸摂取速度	(mgCOD/gVSS.h)	140	115	150
好気工程	リン酸濃度(処理水)	(mgP/l)	9.5	7.8	6.0
	リン摂取速度	(mgP/gVSS.h)	35	22	35
無酸素工程	リン摂取速度	(mgP/gVSS.h)	0	9.1	6.4
	脱窒性脱リン活性比 <sup>7)</sup>	(%)	0	42	19
その他概要	VSS / SS	(%)	65	71	64

(C)(課題番号:17560489)の補助を得て行われました。

### 参考文献

- 1) 松尾吉高ら(1989)下水道協会誌, Vol.1.26, No.305, pp49-56
- 2) Saito et al(2004)Water Res, Vol.38, No.17, pp3760-3768
- 3) 吉田征史ら(2005)環境工学研究論文集, Vol.42, pp69-79
- 4) Kuba et al(1996)Water Res, Vol.30, No7, pp1702-1710
- 5) Wachtmeister et al (1997)Water Res. Vol.31, No.3, pp.471-478
- 6) 庄司仁ら(2004)水環境学会誌, Vol.27, No.4, pp255-260
- 7) Kerm(1993)Water Res, Vol.27, No.4, pp617-624
- 8) Kuba et al(1993)Water Sci Technol, Vol.27, No.5/6, pp241-252
- 9) 浜田康治ら(2005)土木学会論文集, No.783, pp61-69
- 10) 常田聡ら(2002)水環境学会誌, Vol.25, No12, pp751-755
- 11) Ahn et al(2001)J Biosci Bioeng, Vol.92, No.5, pp442-446