

## リン蓄積細菌のリン摂取能に与えるアンモニア制限の影響

日本大学大学院理工学研究科土木工専攻 学生会員○松橋 学

日本大学理工学部 正会員 齋藤 利晃

### 1. はじめに

日本全国の閉鎖性水域において顕在化している下水からのリンや窒素の流入に起因する富栄養化の問題は、近年少しずつ改善されてはいるが、未だ大きな問題である。一方、富栄養化の原因物質でもあるリンは、世界的に枯渇が懸念されている資源であり、アメリカでは、国防戦略物質として事実上国外への持ち出しを禁止している。日本でも、肥料等の原料となるリン成分をリン鉱石という形で100%輸入に頼っている。

リン蓄積細菌 (PAOs) を用いた生物学的脱リン法は、下水中のリンを経済的で環境負荷の小さく効率よく除去するとともに、適切な条件のもとで、体内に蓄えたリンを放出するため、リン除去・回収の方法として、注目を集めている排水処理技術である。

著者らは、リン蓄積細菌を利用した効率的なリン回収技術の開発を目指し、活性汚泥を包括固定化した包括固定化担体を用いて、リン回収を試みた。その結果、リン蓄積能を包括固定化担体にリン蓄積・放出能を持たせることに成功した。しかしながら、リン蓄積・放出能の向上を狙い有機物付加量を増加させたところ包括固定化担体の周囲に過剰に増殖した汚泥が付着し、能力の低下が見られた。そこで本研究は、リン蓄積細菌の増殖を適切にコントロールし、包括固定化担体を用いたリン回収を効率的に行う方法について基礎的研究を行った。

### 2. 実験方法

#### (1) 汚泥培養方法

図1に示す回分式培養装置を表1に記載する条件(嫌気180分、好気130分、SRT10日)により運転した。炭素源として酢酸又はペプトンを用い、それぞれPAOsの集積培養を行った。

#### (2) 増殖抑制試験

増殖抑制試験は、ペプトンで培養した汚泥で1度、酢酸で培養した汚泥で4度表2に示す条件で行った。アンモニア制限による増殖抑制を行わせるため、それぞれについて、アンモニアを添加した系としない系を用意した。特に、ペプトンで培養した汚泥を用いる場合は、窒素源の溶出を避けるため、回分時の有機物には酢酸を用いた。

試験の手順は、まず集積培養槽より好気終了時に汚泥を図2に示すように1L採取し、汚泥を3回洗浄、有機物(酢酸)を100mgC投入し、嫌気工程で240分リン放出を放出させた。その後、もう一度汚泥の洗浄を行い、500mLずつ2槽に汚泥を分けた。それぞれの汚泥に対し、アンモニアとリン酸を投入するアンモニア添加系(Control)とリン酸のみを投入するアンモニア無添加系を作り、好気条件で240分運転を行い観察した。

表2 回分実験使用基質

サンプル	培養有機物	回分時有機物	濃度	基質濃度	
Pe	ペプトン	酢酸	100mgC	25mgNH <sub>4</sub> /L	25mgP/L
Ac-1	酢酸	酢酸	100mgC	25mgNH <sub>4</sub> /L	20mgP/L
Ac-2	酢酸	酢酸	100mgC	25mgNH <sub>4</sub> /L	20mgP/L
Ac-3	酢酸	酢酸	100mgC	25mgNH <sub>4</sub> /L	150mgP/L
Ac-4	酢酸	酢酸	100mgC	25mgNH <sub>4</sub> /L	100mgP/L

表1 培養条件

運転条件		
条件	数値	単位
反応容積	4	L
サイクル時間	6	h/cycle
SRT	10	d
HRT	12	h/cycle
嫌気工程(流入10min)	180	min
好気工程	130	min
沈殿排水	40	min
余剰汚泥引き抜き	0.1	L/cycle
pH制御	6.9-7.1	
流入濃度		
リン酸	30	mgP/L
アンモニア	40	mgNH <sub>4</sub> /L
その他栄養素		
有機物		
酢酸	400	mgCOD/L
ペプトン	400	mgCOD/L

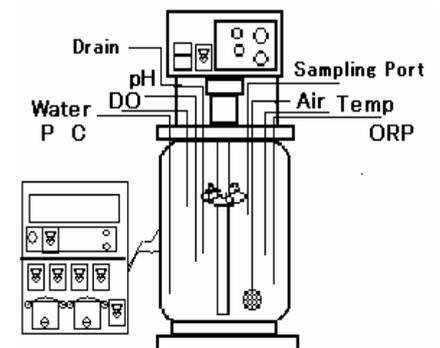


図1 汚泥培養装置

キーワード 活性汚泥 アンモニア リン除去

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

このときの測定項目は、リン酸摂取速度、リン酸摂取量、アンモニア測定、実験開始前・後のMLSS、OUR測定をおこない、検討した。

表3 回分実験の工程

試験条件	嫌気工程	好気工程
反応層容積	1L	0.5L
時間	240分	240分
pH制御	6.8-7.2	6.8-7.2

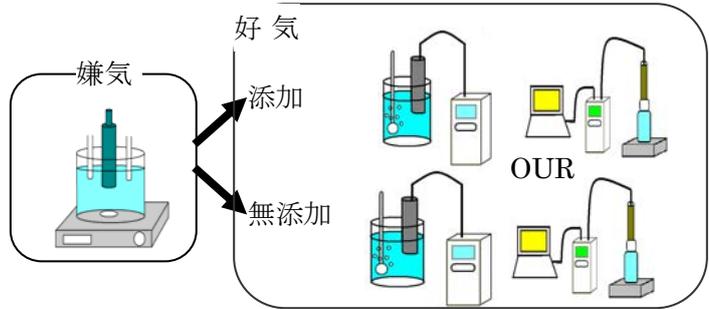


図2 回分実験装置

### 3. 想定シナリオと解析方法

(1) 想定されるシナリオ

結果の整理にはSmoldersらによるPAOsの好氣的代謝モデルを参考に以下の仮定を用いた。

Smoldersらの使用汚泥の培養用条件はSRT8日、嫌気好気比の若干の違いがあるが、ほぼ同等の条件での培養条件であることからこの条件における代謝と本実験結果を比較することで窒素源制限条件におけるPAOsの代謝について考察を行う。Control(アンモニア添加系)として図3にあげるような代謝をおこなうとされている。この代謝においてのVSS変化と酸素消費量を考え、case1、case2との比較を行った。Case1では、アンモニア無添加によって窒素制限をすることで、増殖を阻害された分のPHAがリン蓄積とGlycogenに増殖が起こる場合と同じ比率で分配された場合について考えた。このときMaintenanceによって消費されるエネルギーはControlと同等の値とした。Case2では、アンモニア無添加によって窒素制限をすることで、増殖を阻害された分のPHAがリン蓄積のみに使われた場合を考え比較した。このときMaintenanceによって消費されるエネルギーはControlと同等の値とした。それぞれの比較に使用する値を表4に示す。

表4 想定されるΔVSSDEFとControlとの比

case	ΔVSS	ΔVSSDIF	比ΔP	比OUR
2	40	5	1.6	1.1
3	167	132	4	1

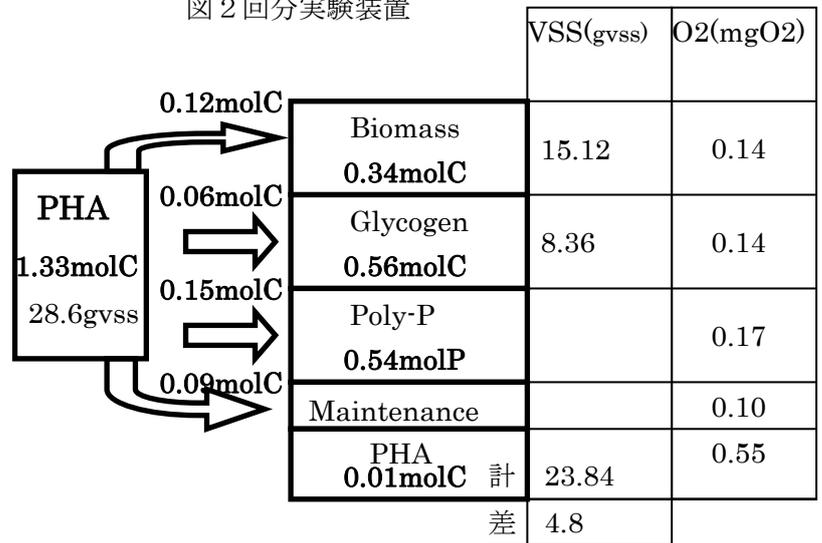


図3 Control アンモニア添加の場合の代謝

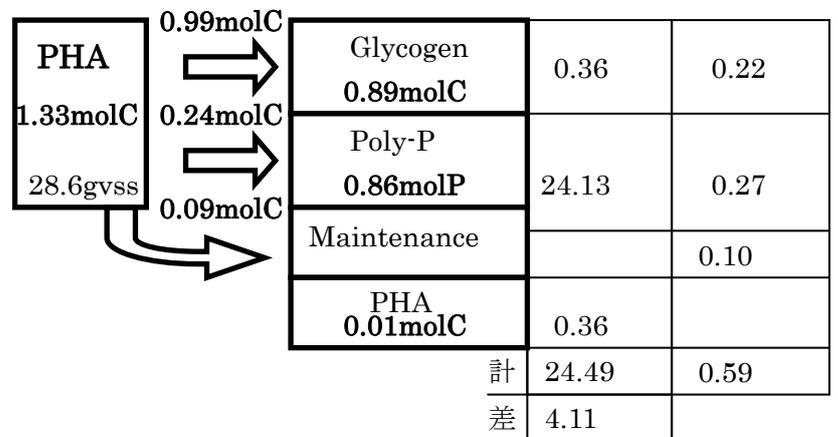


図4 case1 増殖エネルギーを等分配した場合の代謝

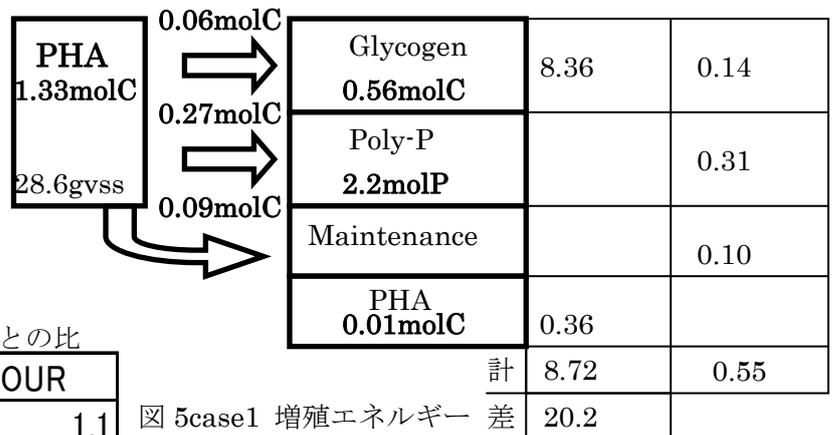


図5 case1 増殖エネルギーをリン酸摂取のみに分配した場合の代謝

(2) 解析方法

ここで、解析方法を説明する。

Smolders らの行った実験により想定された結果を用い本実験と比較する場合、想定される物質による比較も可能であるが、VSS に関しては、アンモニア添加系と無添加系の相違をより明確にするため次のような解析を行った。

まず、想定されるシナリオの変化量の差を求める。

$$\Delta VSS_{case1} - \Delta VSS_{control} = 5$$

$$\Delta VSS_{case2} - \Delta VSS_{control} = 120$$

そこで、実際の実験データにおいての変化量をもとめる。

$$\Delta VSS_{DIF} = \Delta VSS_{sampleN} - \Delta VSS_{control}$$

それらの値をもとに VSS 変化から、想定シナリオと比較して、PAO s の増殖抑制時の代謝を考察する。

4. 結果と考察

本実験において、アンモニア添加系・無添加系の比較をリン摂取速度、VSS 変化、OUR 変化を観察することで PAO s の増殖抑制時の代謝について考察することを試みた。

図 6 に示すように、実験の条件としてアンモニアの無添加の系において条件が整っていることを確認した。

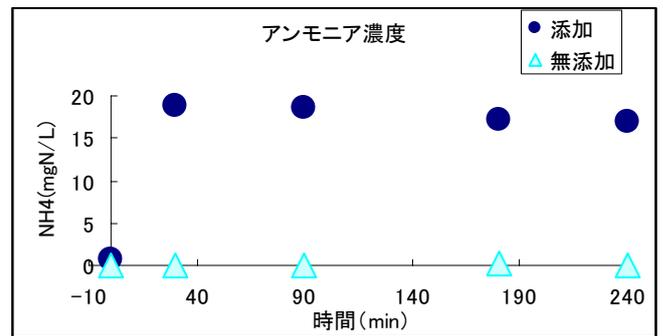


図 6 アンモニア濃度

表 5 に示すように VSS 変化については好気開始時より終了時の値が現象するという想定をしていたが結果としては増加するものもあった。図 7 に示すように、3-(2) に示す解析方法により解析をおこなってが、想定されるものに当てはまるような結果はえられなかった。本実験においての VSS 変化の差に関しては、想定した case1, case2 のどちらにも該当していないことが分かる。

表 5 VSS 変化

Sample	Pe	Ac-1	Ac-2	Ac-3	Ac-4
添加開始	1485.0	1554.3	1241.0	931.7	1126.3
終了	1565.7	1624.7	1094.0	886.3	1054.7
無添加開始	1630.3	1845.7	1155.0	876.3	1085
終了	1284.0	1841.3	1103.0	909.3	977
添加(差)	80.7	70.3	-147.0	-45.3	-71.6
無添加(差)	-346.3	-4.3	-52.0	33.0	-108.0
VSSDIF	-427	-74.7	95	78.3	-36.4

表 6 に示すようにリン摂取速度を直接比較した場合には無添加系のリン摂取速度が遅い結果となっている。想定では、なんらかの形で無添加系のリン摂取速度またはリン摂取量が増大するという想定をしていたが、結果としては、ほぼ変わらないかあるいは、アンモニア添加系の方が早くなるという結果であった。また図 8 に示すように添加系無添加系の速度比をみても想定される結果にはならなかった。

表 6 リン酸摂取速度変化

					単位(mgP/gvss・h)
サンプル	Pe	Ac-1	Ac-2	Ac-3	Ac-4
添加	7.6	3.3	14.6	4.9	32.9
無添加	11.6	2.4	13.8	2.4	19.8
比	1.5	0.7	0.9	0.5	0.6
差	-3.9	0.9	0.8	2.5	13.2

次に OUR に変化については、表 7 に示すように、本実験では明確に測定されたサンプル Ac-3 と Ac-4 の 2 回分のデータのみについて記載する。OUR では個々のデータについて比較を行ったがそれぞれのサンプル 4 に関しては無添加系の酸素消費量が大きくサンプル Ac-4 については添加系の酸素消費が大きい結果となった。想定していた結果としては、無添加の酸素消費が若干増すか、

表 7 酸素摂取量

サンプル	Pe	Ac-1	Ac-2	Ac-3	Ac-4
添加	-	-	-	63228	18692
無添加	-	-	-	61183	23407
比	-	-	-	0.967657	1.252247

変わらないというものであるが、サンプル Ac-4 では若干の減少という結果になった。

これらのことより、本実験において、アンモニアのない条件が確立されているがリン蓄積細菌の諸反応については、予想された反応には、至らない結果となった。特にリン摂取能に関しては、窒素制限を受けている系の方が、諸反応の能力が下がるという傾向があり、想定の外での代謝が起こっている可能性があると考えられる。また本実験においては予想される値として、極微量の値の観察が必要になるため測定誤差により結果が均一なものにならなかった可能性があるため、今後は、実験精度を高める必要があると考える。

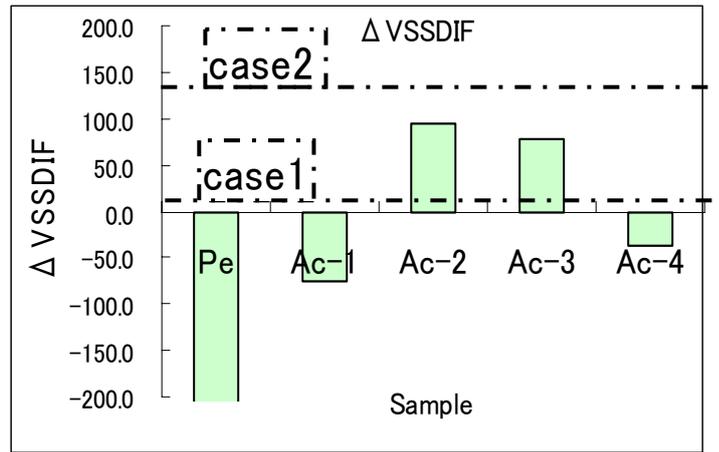


図 7 ΔVSSDEF

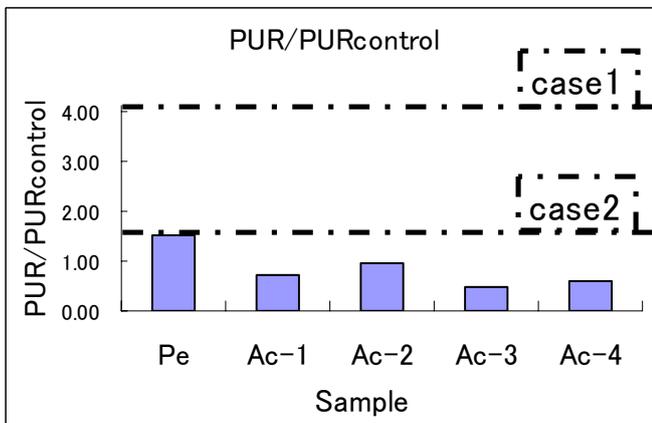


図 8 PUR/PURControl

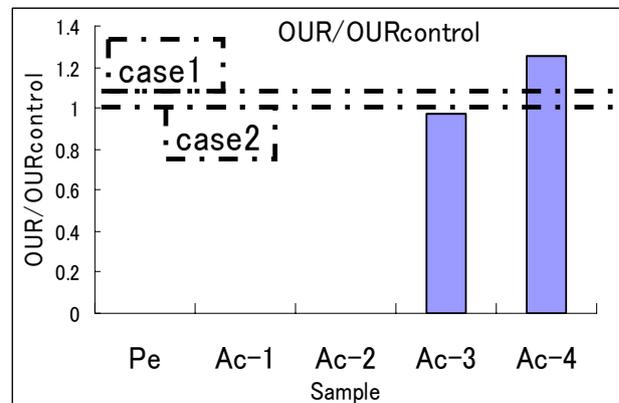


図 9 OUR/OURControl

5. まとめ

本実験では既存の実験結果と相違する結果が得られた。特にリンの蓄積能に関しては、増殖に使われるエネルギーが減少した分リン摂取速度または量が増加するという予想をしていたが、結果としては、ごく微量ではあるが、アンモニア無添加系のリン摂取能が減少したという結果がえられた。このことは、アンモニアが存在しない条件下においても、リン蓄積細菌がアンモニアのある条件よりもエネルギー消費をする別の代謝をしている可能性考えられる。今後は、遺伝子解析により PAOs に窒素固定能の遺伝子があるといわれているため、その可能性もふくめ実験の精度を高め検討してゆきたい。

参考文献

- 1) G. J. F. Smolders. et al. (1994). Stoichiometric Model of the Aerobic Metabolism of the Biological Phosphorus Removal Process. Biotechnology and Bioengineering, Vol. 44, Pp. 837-848.
- 2) 瀧本真理 (2004) 包括固定化微生物を用いた同時硝化-脱窒およびリン回収に関する研究、日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻、修士論文