

DEPHANOX プロセスへのグラニユール法の適用

日本大学 学生会員 ○小堀貴弘
 日本大学 非会員 森 亮
 日本大学 正会員 齋藤利晃
 日本大学 正会員 吉田征史

1.はじめに

近年、閉鎖性水域における富栄養化が深刻な問題となっている。この富栄養化の原因物質であるリンや窒素を同時に除去できる処理方法としてDEPHANOXプロセスが提唱されている。このDEPHANOXプロセスは嫌気工程後に中間沈殿池を設けることにより、活性汚泥は嫌気-無酸素工程のみを循環するため、硝酸を電子受容体として用いる脱窒性リン蓄積細菌(以下D-PAOs)の特性を生かしたプロセスであるといえる。また、電子受容体として硝酸を用いてリンを摂取することから、 A_2O 法等で発生する他の従属栄養細菌との有機物の競合が少なく、より効率的なリン、窒素同時除去を可能とするプロセスである。しかし、この処理方法を可能とする中間沈殿池の存在は、処理を複雑化させ、面積の拡大化を招くという欠点が指摘されているだけでなく、中間沈殿池における固液分離性によってアンモニア態窒素の除去性能が左右されるという欠点も備えている。

一方、嫌気性処理におけるUASB法や好気性グラニユール法など微生物自身の自己固定化能を利用した処理方法(グラニユール法)が開発されている。汚泥がグラニユール化すると、強度のある数mm程度の塊となるため、優れた沈降性を有し、微生物濃度を高めることができるため、反応槽を飛躍的に小型化できるとされている。

そこで我々は、嫌気-無酸素法で培養された汚泥が非常に強固で沈降性のよいフロックを形成することに着目し、DEPHANOX法を回分式に適用した外部硝化型嫌気-無酸素処理方法(以下、 A_2N 法)に、グラニユール法を適用することを考案した。嫌気-無酸素-好気工程で培養された汚泥のグラニユール化が成されれば、グラニユール特有の優れた沈降性により、DEPHANOXプロセスの欠点とされる処理速度の低下を補える可能性がある。ここでは、通常のア₂N法を運転した結果を示し、昨年度、嫌気-無酸素-好気法で培養した汚泥にグラニユール法を適用した結果との相違を述べる。また、昨年度の結果から、嫌気-無酸素-好気法で培養した汚泥のグラニユール化条件(i 著しく短縮した沈殿時間の設定、ii せん断応力の付与、iii 有機物の豊潤期、飢餓期の設定)を選定し、それをア₂N法に適用した結果を示す。

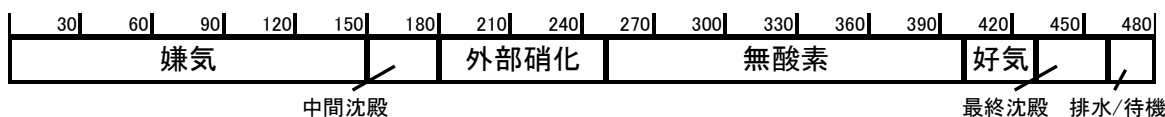


図3. 回分式外部硝化型嫌気-無酸素処理法の工程

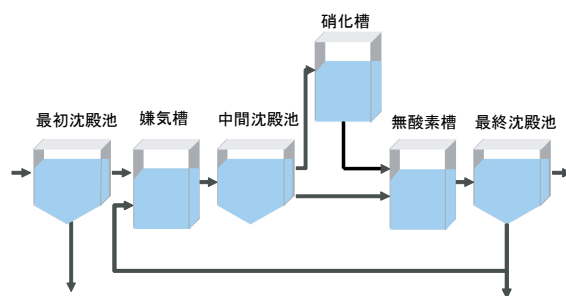


図1 DEPHANOX プロセス処理フロー図

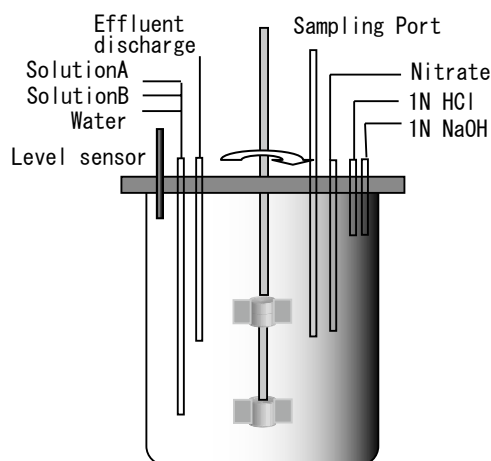


図2 リアクター概念図

キーワード; 排水処理、リン蓄積細菌、DEPHANOX、 A_2N 、グラニユール、脱窒、脱リン

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 TEL 03-3259-0672

2. 実験方法

2-1. 外部硝化型回分式嫌気-無酸素法(A₂N法)

図3にA₂N法の工程図を示す。培養は、有効容積4Lの回分式反応槽に、種汚泥として中川処理場A₂O法の反応槽から採取した汚泥を投入し、1cycle480分（嫌気150分、中間沈殿工程30分、外部硝化工程70分、無酸素工程150分、好気工程30分、最終沈殿工程30分、排水・待機20分）で運転し、中間沈殿工程後の引拔を3L、最終沈殿後の引拔を2L(HRT14 hour)として運転した。培養に用いた流入水は表1にあるように調製された人工排水を用い、酢酸カリウムとポリペプトンをCOD比1:1になるように調整し、投入した。また、後述する嫌気-無酸素-好気法で操作因子となった攪拌速度は100rpmとして運転を行った。なお、外部硝化槽の能力が安定しなかったため、無酸素工程開始から硝酸カリウムを投入し、硝酸態窒素の不足分を補った(表2)。

2-2. 回分式嫌気-無酸素-好気法

昨年度の嫌気-無酸素-好気法では、嫌気-無酸素-好気法で培養した汚泥のグラニュール化を目的として運転を行った。流入水組成はA₂N法と同様に表1の通りである。この運転の特徴として、沈殿時間を著しく短縮し(2分or5分)、攪拌速度を100 or 250rpmに設定して運転を行った点と、汚泥の引拔を行っていなかった点が挙げられる。

2-3. A₂N法へのグラニュール法の適用実験

昨年度の嫌気-無酸素-好気法の実験結果を踏まえ、2-1.の運転から最終沈殿工程時間を2分としたA₂N法を行った。運転条件は最終沈殿工程時間が異なる点と、無酸素工程の開始から流入水ベースで30(mgN/l)となるように硝酸を流入させた以外は、2-1.と同じである。

3. 実験結果と昨年度との比較

3-1. A₂N法と嫌気-無酸素-好気法の比較

図4にA₂N法の代表的なサイクル変化を示す。図4にあるように、嫌気状態で有機物を摂取しながらリン酸を放出し、150分からの無酸素状態でリン酸摂取が起これ、好気状態で更にリン酸の摂取が進行する。A₂N法で運転した結果、このように脱窒性リン蓄積細菌の優占化を確認することが出来た。次に、A₂N法で運転した結果の経日変化、および、および昨年度の結果を図5に示す。昨年度は、嫌気-無酸素-好気法にグラニュール法を適用し、いくつかの期間に分けて運転条件を変え、

グラニュール化の有無やリン、窒素除去能、沈降性(SVI, 沈降速度)がどのような変化を辿るか検証したが、図5で用いたデータは、有機物組成が本年度のA₂N法と同様のものである。図5にある通り、20日目から43日目まで、8.0(mgP/l)前後を示しているのに対し、A₂N法では終始2.0(mgP/l)程度に留まっている。45日目過ぎからは同程度になっているが、2.0(mgP/l)を切るサイクルはほとんどなく、反応槽としてのリン酸

表 1. 人工排水の組成

有機物組成		反応槽への流入量	
成分	mg/l		
CH ₃ COOK	153	T-P	10
Poly-Pepton	86	T-N	30
Yeast Extract	2	COD	200
栄養塩組成		Trace Elements 組成	
成分	mg/l	成分	mg/ml
NH ₄ Cl	300	EDTA	10
CaCl ₂	53	FeSO ₄ ·7H ₂ O	1.54
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	11	H ₃ BO ₄	0.15
K ₂ HPO ₄	25	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.03
MgSO ₄ ·7H ₂ O	28	Na ₂ MoO ₄ ·H ₂ O	0.06
Trace Elements	6 (ml)	ZnSO ₄ ·H ₂ O	0.12
		CoCl ₂ ·H ₂ O	0.15
		MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.12
		KI	0.18

表 2. 硝酸投入量

期間	
day	mgN/l
0-10	20
10-68	10

流入水(2L) ベース

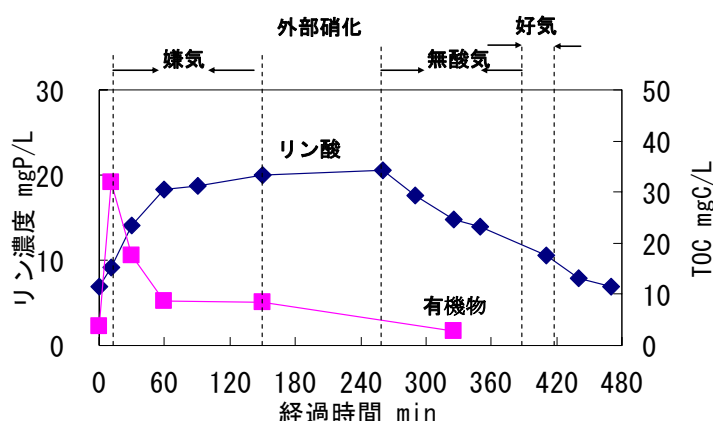


図 4. 代表的なサイクル変化

除去能力は昨年度の方が優れていたと言える。その理由の一つとして考えられることに汚泥量の違いがある。図5にあるように、嫌気-無酸素-好気法ではMLVSSが2500(mgVSS/l)付近まで上昇しているのに対し、 A_2N 法では1000(mgVSS/l)程度の汚泥量に留まっている。これは、昨年度の嫌気-無酸素-好気法で、汚泥の引抜きを行っていなかったのに対し、 A_2N 法では汚泥の引抜きを行いSRTを10(日)に設定しているという運転上の違いが原因であると考えられる。見た目には昨年度の方が、微生物の増殖には適した環境であったように思われたが、投入された有機物の汚泥転換率を計算してみると、昨年度は0.22であるのに対し、今年度は0.36と昨年度の約1.6倍の数値を示した(図6)。このことより、反応槽内の汚泥量が今年度よりも昨年度の方が多かった理由は、SRT制御を行っていなかったためであり、実際の汚泥増殖量は今年度の方が多かったことがわかる。また先に述べたとおり、反応槽としてリン除去量を比較すると、昨年度の方が格段に高い数値を示していたが、単位汚泥あたりの除去量を計算してみると、昨年度も今年度もほぼ同等の値を示しており、40日以降はむしろ今年度の方が高くなるという結果になった。これらのことから、反応槽としては昨年度の嫌気-無酸素-好気法の方が処理性能は優れていたが、これは反応槽内に多量の脱窒性リン蓄積細菌が存在したためで、単位汚泥あたりの能力としてはほぼ同等の能力であったといえる。

次に、沈降性に関する指標についての結果を述べる。図5にあるように、嫌気-無酸素-好気法にグラニューール法を適用した昨年度は、 SVI_{30} が60(ml/g)付近まで低下しているのに対し、通常沈殿時間を設け、汚泥のグラニューール化を狙っていない今年度の結果は、 SVI_{30} で100(ml/g)前後と2倍近い値を示した。しかし、この100(ml/g)前後という値は、通常の活性汚泥であれば良好な沈降性を有しているといえる数値であり、別段悪いものではない。そういったことから、昨年度嫌気-無酸素-好気法にグラニューール法を適用し、沈降性の向上を目指したが、あ

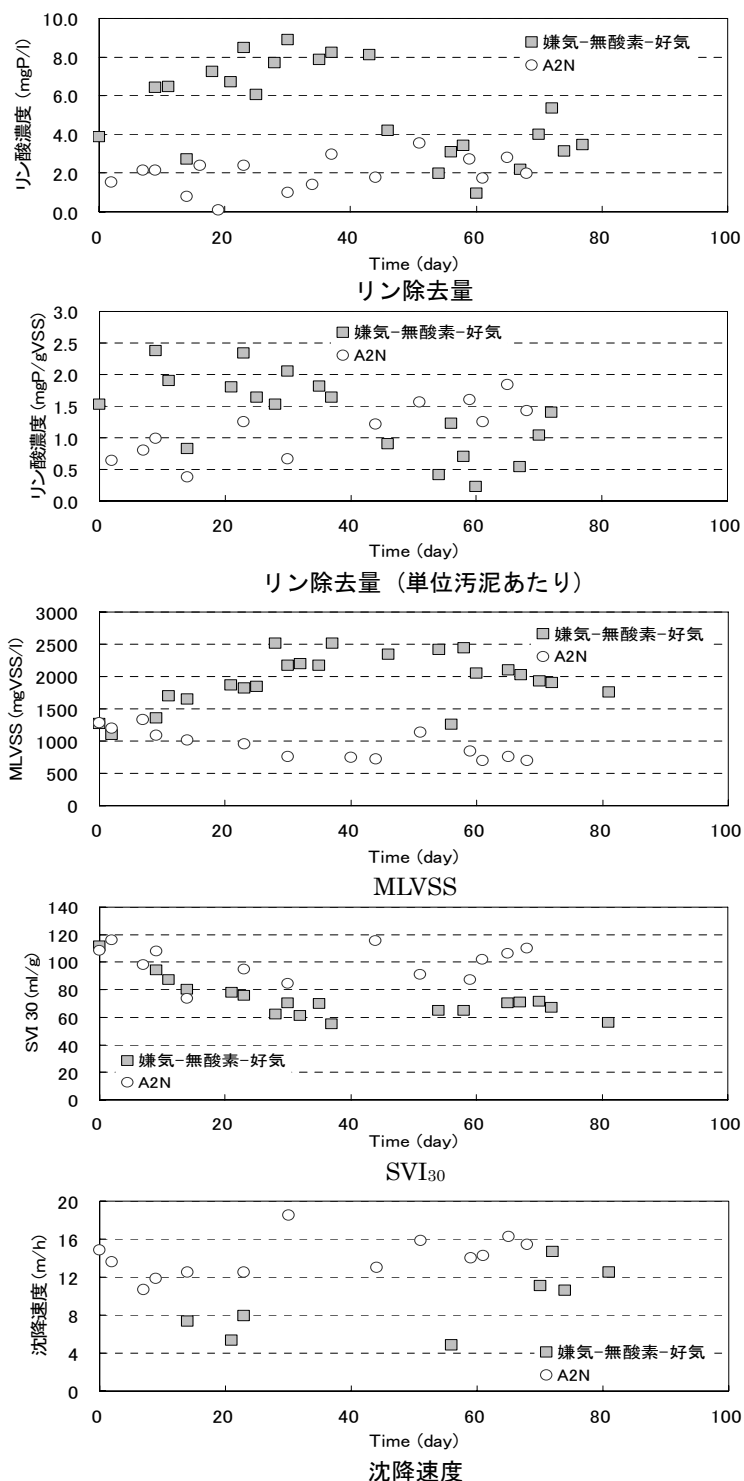


図5. A_2N 法と嫌気-無酸素-好気法の相違

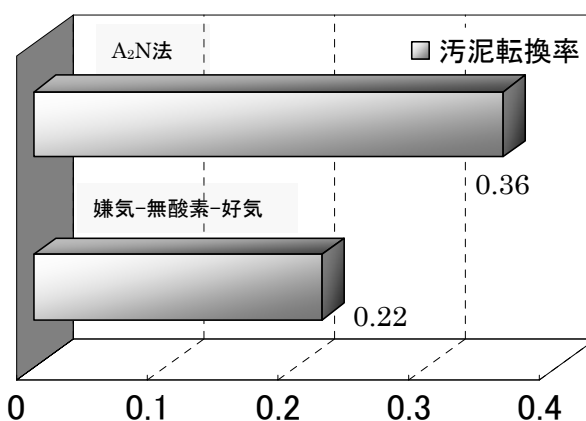


図6. 汚泥転換率の相違

る一定の成果を挙げたといえる。一方、汚泥の純粋な沈降速度はA₂N法で 14(m/h)、昨年度の良好な値で 12(m/h)程度となった。このことから、A₂N法で運転を行うと、比較的沈降性のよい汚泥が培養できるということが確認されただけでなく、昨年度のグラニュール法の適用による効果は認められなかったと言える。しかし、その一方で、昨年度の方がSVI₃₀が半分近い値を示していることから嫌気・無酸素・好気汚泥にグラニュール法を適用する効果は、汚泥の圧密性にある可能性が示唆された。圧密性が向上すると、沈殿池における固液分離性が向上するため、より多くの処理水を外部硝化槽へと送水することが出来る。このことから、嫌気・無酸素・好気汚泥にグラニュール法を適用するメリットが示されたと言える。

3-2. A₂N法へのグラニュール法の適用

図 7 に、A₂N法にグラニュール法を適用(以下、セレクション)した前後のサイクル経過変化を示す。沈殿工程を著しく短縮したことにより、時間内に沈殿し切れなかった汚泥が流出し、セレクション後、槽内汚泥量が 13 サイクル目には 400(MLSS/l)まで低下したが、その後 750(MLSS/l)回復した。流出した汚泥の特徴は、SVI₃₀に現れている通り、沈降性が非常に悪いという点であり、沈降性の劣る汚泥を選択的に排出出来ていたことがわかった。

一方、反応槽のリン除去量はセレクション後から徐々に低下し、未だに回復の兆しを見せていない。脱窒性リン蓄積細菌の活動が低下した理由を、昨年度行ったセレクションの結果などから考察すると、無酸素工程化への有機物の流出、単位汚泥あたりの硝酸態窒素負荷量の増加、次サイクルへの酸化態窒素の流出などが挙げられるが、どれも汚泥量の減少が原因となり起こる現象である。よって、沈降性に劣る汚泥を強制的に系外に排出し、汚泥のグラニュール化を図るという場合、なんらかの対策が必要となることが示唆された。ただし、実際の污水処理を考えた場合、流入水濃度を操作することは難しいため、急激に沈殿時間を短縮するのではなく、段階的に沈殿時間を短くしていく等の方法の方が現実的であると考えられる。

4.まとめ

外部硝化型回分式嫌気・無酸素法(A₂N法)で運転し、昨年度の嫌気・無酸素・好気法と比較した。反応槽としての処理能力は昨年度が上回ったが、単位汚泥あたりの能力にさほど差はなかった。また、SVI₃₀と沈降速度の結果から、嫌気・無酸素・好気汚泥にグラニュール法を適用するメリットは汚泥の圧密性にある可能性が示唆された。

A₂N法にグラニュール法を適用した結果、沈降性に劣る汚泥を選択的に系外に排出することには成功したが、同時に脱窒性リン蓄積細菌の能力も低下した。しかし、今後の経過次第で回復する可能性は十分あるため、経過を見守る必要がある。今後は、2・3.の運転の経過を見守ると共に、その結果を踏まえ、嫌気・無酸素・好気汚泥のグラニュール化の最適条件を再構築していく予定である。

参考文献

岸田直裕ら 水処理技術 Vol.47 No.8 2006

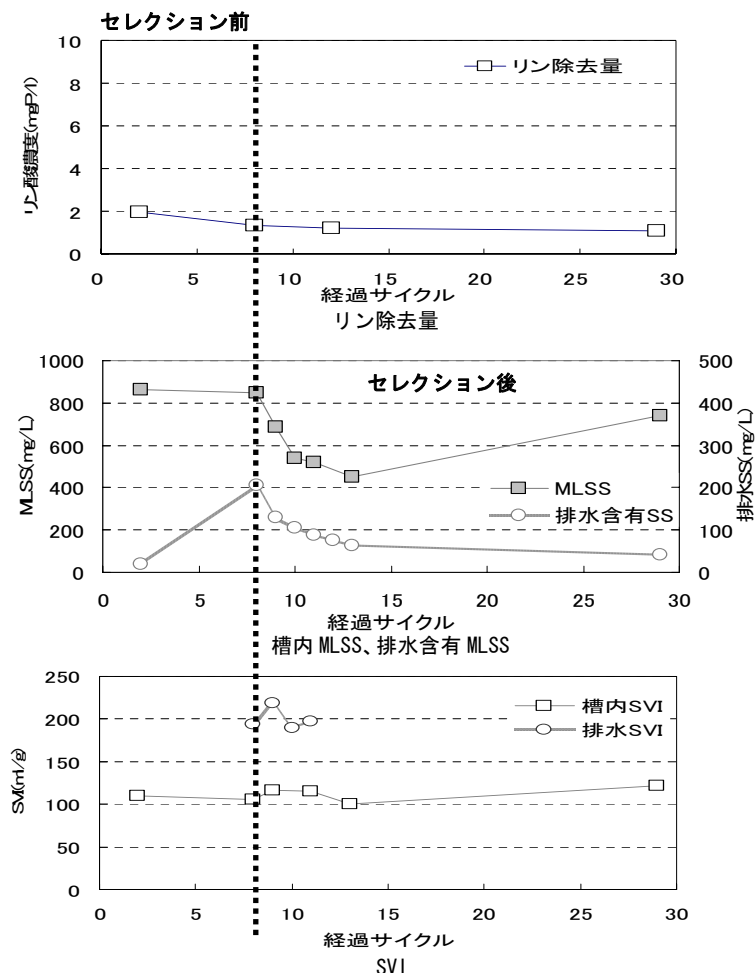


図 7. セレクション後の経過