

〔醸酵工学 第63巻 第6号 525-533. 1985〕

活性汚泥の糸状細菌に及ぼす硝化の影響

長谷川 進・福井 啓介・広田 昇治・中島 正基・前田 嘉道*

姫路工業大学産業機械工学科, *姫路工業大学応用化学科

Effects of nitrification on filamentous growth of activated sludge. SUSUMU HASEGAWA, KEISUKE FUKUI, SYOUJI HIROTA, MASAMOTO NAKAJIMA, and YOSHIMICHI MAEDA* (Department of Chemical Engineering, *Department of Applied Chemistry, Himeji Institute of Technology, 2167 Shosha, Himeji 671-22, Japan) *Hakkokogaku* 63: 525-533. 1985.

The relationship between nitrification activity and filamentous growth of activated sludge was studied using various artificial wastewaters on a laboratory scale by both continuous and batch reactors.

The wastewaters, not only with a high C/N ratio but also with a low C/N ratio, had a tendency to produce filamentous bulking when the nitrification was not active. The extent of nitrification was evaluated in terms of (oxidized nitrogen)²/(total inorganic nitrogen); when this was above 20 mg/l the filamentous growth was suppressed. According to Eikelboom's method the filamentous microorganisms were mainly *Sphaerotilus natans* and Type 1701. Type 0961 was found only when wastewater containing much peptone was treated. The effects of nitrification on the filamentous growth in the batch runs were similar to those in the continuous runs. The measurements of oxidation reduction potential were correlated to the extent of nitrification of mixed liquor.

活性汚泥系における糸状性バルキングは、解決されるべき古くからの課題である。糸状性バルキングに関する研究は、Chudoba ら,¹⁾ Eikelboom²⁾ 以来大きく進展したと言えるが、未だ現場に於て、この現象を確実に制御できるまでには至っておらず、現在なおバルキングによる固液分離障害を経験している処理場が比較的多い。³⁾

活性汚泥の糸状性バルキングには、多くの支配因子が指摘されるが、排水の組成も重要な因子と考えられる。⁴⁾ 滝⁵⁾ は、無機窒素を硫酸アンモニウムやリン酸アンモニウムの形で添加し、C/N 比を小さくすることにより *Sphaerotilus* バルキングを制御できたと報告している。しかし、C/N 比の小さい排水のバルキング抑制機構に関する報告はなされておらず、Pipes⁶⁾ の A/V 説があるのみである。

著者ら⁷⁾ は、前報において、糸状性バルキングに及ぼす排水の C/N 比の影響について検討を行い、C/N 比の小さい排水ほどバルキングを生じにくいことを確認し、さらに、C/N 比の小さい排水では硝化が活発に進行していることを認め、硝化が糸状性バルキングの抑制に寄与している可能性を示唆した。しかし、前

報で用いた排水は、ペプトンおよびデンプンを主成分とする排水のみであり、さらに排水組成の影響についても調べる必要があると考えられる。そこで、本研究では、C 源および N 源として酢酸、尿素、硫酸アンモニウム等を用い、排水組成の糸状性バルキングに及ぼす影響を調べた。なお、ここでは、前報の結果を参照して、特に、曝気槽内混合液の硝化の進行と糸状細菌の消長との関連を評価した。また、本報では、連続処理系の他に回分処理系にも注目し、両系における曝気槽内混合液の硝化と糸状細菌の消長についても比較検討を加えた。

実験方法

活性汚泥 活性汚泥は、実験の都度、姫路市下水処理場から採取し、使用排水に約 1 か月馴養後試験に供した。

人工排水 実験に供した人工排水は、デンプン、酢酸およびペプトン、尿素、硫酸アンモニウムを C 源および N 源として、それらの組成比を変えることにより C/N 比を 3 および 10 に調整した。Table 1 に排水組成を示す。使用に際しては、本溶液を流入 COD の

Table 1. Composition of artificial wastewater.

	C/N	Starch	Acetic acid	Peptone	Urea	(NH ₄) ₂ SO ₄	Allylthiourea
SP-3	3	1.05		19.84			
SP-10	10	18.89		6.80			
SN-3	3	28.20				19.80	
SN-10	10	28.20				5.60	
SU-3	3	18.10			6.76		
SU-10	10	21.78			2.02		
AU-3	3		18.51		6.23		
AU-10	10		21.94		1.82		
SPT-3	3	1.05		19.84			1.0
SNT-3	3	28.20				19.80	1.0

Other components: Yeast extract 1.0, NaCl 1.0, MgSO₄ 0.6, KH₂PO₄ 2.8, KCl 2.0 (g/l). When used, the wastewater was diluted to 200 mgCOD/l (continuous runs) and 1100 mg/l (batch runs) with water.

濃度 (連続処理系では約 200 mg/l, 回分処理系では約 1100 mg/l) となるように希釈した。

実験装置および方法 実験には, 連続および回分処理系を用いた。両系とも全実験条件を通じ COD 負荷量を 0.5~0.6 kgCOD/m³・d, 実験温度を 30±1°C とした。

連続処理系 連続試験には, 前報と同じ 10 l 曝気槽および 1 l 沈降槽からなる反応槽を用い, 排水供給速度を 31.2 l/d, 通気量を 0.3 vvm とした。曝気槽内平均汚泥滞留時間 (SRT) は, 汚泥引き抜きポンプをタイマー制御で ON-OFF させ, 間欠的に槽内混合液を引き抜くことにより調節した。実験には, Table 1 に示す種々の人工排水を用い, まず SRT を 20 日とし

て連続運転を行い, 定常状態を得た後 SRT を 10 日に短縮し, 系の応答を調べた。曝気槽内混合液の pH 制御を行う場合は, pH コントローラーを用い, 薬注ポンプで 1/5・N NaOH, あるいは 1/5・N HCl を投入することによって pH を自動的に調節した。

回分処理系 回分試験には, 10 l の塩ビ製角槽を反応槽として用い, 処理量は 5 l/d とした。1 サイクルの運転時間は 24 時間とし, 排水流入は 8 時間, 曝気は 13 時間, 沈殿および放流は 3 時間の時間配分で操作した。Fig. 1 に操作条件を示す。Case I では, 排水流入時にも好気条件を保つために曝気を行い, Case II では, 曝気を停止し, 嫌気状態とした。運転期間は, 処理の定常化を見込んで 3 週間以上とした。

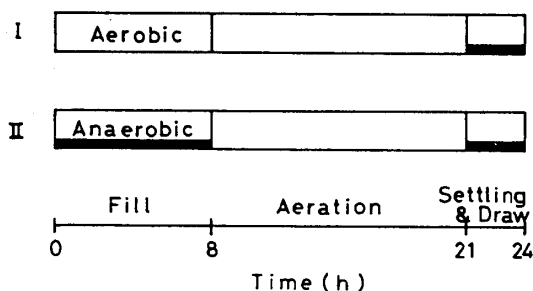


Fig. 1. Operating conditions in one cycle of each batch process (A to F).

Run no.	A	B	C	D	E	F
C/N ratio	3	3	3	10	10	10
Air flow rates (l/min)	3	1	3	3	1	3
Cycle pattern	I	I	II	I	I	II
SRT (days)	10	10	10	10	10	10

分析方法 処理水を 4000 rpm で20分間遠心分離し、上澄液の COD, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- を JIS K 0102⁹⁾ に準じて分析を行った。なお、COD の測定には、重クロム酸法を採用した。

顕微鏡観察 Nikon XF-Ph 型位相差顕微鏡を用いて、活性汚泥フロック中の糸状性微生物を観察し、Bergey⁹⁾ および Eikelboom¹⁰⁾ の方法に従ってタイプ分けを行った。また、フロック外に伸長した糸状体量を5段階表示で示した。

結果および考察

連続処理系 糸状性バルキングに及ぼす硝化細菌の活動の影響を調べた。まず、組成の異なる排水を用い、硝化と糸状細菌の消長との関連を調べ、次に、硝化の進行に伴う pH 低下の影響を調べるために pH 制御下で運転を行った。

排水組成の影響 微生物の栄養要求性や基質資化性は特異的であり、排水の基質組成が変われば活性汚泥の微生物相も当然変化する。これまでに、糸状細菌の栄養要求性に関する報告はいくつかなされている^{11,12)} が、多種の微生物からなる活性汚泥では、純粋培養の結果をそのまま適用するには問題がある。本研究では、Table 1 に示すように、C源およびN源として、デンプン、ペプトンの他に、酢酸、尿素、硫酸アンモニウム

を用いた。また、SPT-3 ならびに SNT-3 の排水には、アリルチオ尿素を添加して硝化を抑制した。実験は最初 SRT 20日で2か月間汚泥の馴養も兼ねて定常を得るまで運転し、その後 SRT を10日に変化させ、非定常な状態下での系の応答を調べた。Table 2 に各排水に対する処理成績および糸状細菌の生育状況を示す。

本研究で用いた排水組成の範囲では、前報でも認められたように C/N 比の大きい排水では、糸状性バルキングを生じ易い傾向を示した。しかし、C/N 比が小さい排水でも、酢酸および尿素を主成分とする排水 (AU-3) およびアリルチオ尿素を添加して硝化を抑制した排水 (SPT-3, SNT-3) では糸状細菌が生育し、程度に差は認められるが、明らかにバルキングを生じた。ただし、これらの排水では、いずれも硝化が進行しておらず、硝化が十分に進行した排水では糸状細菌の生育は抑制されていた。従って糸状性バルキングに及ぼす C/N 比の影響は、単に A/V 説⁶⁾ のような従属栄養菌のみからの立場よりも、むしろ硝化細菌などの独立栄養菌の影響を考慮する必要があると思われる。優先する糸状細菌を Bergey⁹⁾ および Eikelboom¹⁰⁾ の方法に従って分類すると、ほとんどの場合 *Sphaerotilus natans* または類縁の Type 1701 であったが、ペプトンを主成分とする排水 (SP-3, SPT-3) では、かなり大型の Type 0961 が生育した。

Table 2. Performance of activated sludge process fed various artificial wastewaters.

SRT	(days)	SP-3 20-10*	SP-10 20-10*	SN-3 20	SN-10 20-10*	SU-3 20	SU-10 20	AU-3 20-10*	AU-10 20-10*	SPT-3 10	SNT-3 10
COD loading (kg/kg·d)		0.40	0.67	0.52	0.51	0.69	1.08	2.23	0.89	0.64	0.57
Effluent pH		4.7	7.5	5.9	7.1	6.5	7.4	7.9	7.1	7.9	7.3
Initial SVI	(ml/g)	130	184	78	493	168	162	125	270	152	80
Final SVI	(ml/g)	195	434	84	1421	76	805	520	650	234	1602
COD removal	(%)	83.5	90.2	87.0	89.0	65.5	92.5	92.5	92.5	84.7	79.5
NH_4^+ -N	(mg/l)	1.16	0.70	15.52	0.85	8.54	0.39	0.20	0.77	19.44	31.84
NO_2^- -N	(mg/l)	0.12	0.97	0.46	0.06	9.13	0.31	0.31	0.46	0.06	0.06
NO_3^- -N	(mg/l)	26.48	2.82	14.68	2.26	16.95	8.36	10.17	2.19	0.57	0.55
Filamentous growth**		++	+++	++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Dominant Type		0961	1701	1701	1701	?	021N	S.***	S.***	0961	S.***
NO_{XW}	(mg/l)	25.5	3.2	3.78	1.7	19.6	8.3	10.3	2.1	0.02	0.01

* The SRT was shortened from 20 days to 10 days.

** Filamentous growth in activated sludge

+++ very much present (in a microscopic field)

+++ much present

+++ always present

++ frequently present

+ occasionally present

***S.: *Sphaerotilus natans*

pH 制御の影響 前報で報告したように、一般に C/N 比の小さい排水を処理した場合、硝化の進行により pH が低下する。安田¹³⁾は、*Sphaerotilus* sp. の増殖に及ぼす曝気槽内混合液 pH の影響を調べ、pH 6~9 で *Sphaerotilus* sp. は増殖し得るが、それ以外の範囲では抑制されると報告している。また、糸状性バルキングが pH 制御により抑制されたという事例も多い。^{14,15)} そこで、本研究では、硝化と曝気槽内混合液 pH を別個の要因としてとらえ、それぞれの影響を調べる目的で、pH 制御下での実験を行った。C/N 比が 3 の排水 (SP-3, SN-3) を処理した場合、硝化の進行により pH が低下する。そこで、pH の影響を省くために曝気槽内混合液 pH を中性付近 (pH 7~8) に制御して、硝化活動の影響を調べた。一方、硝化が緩慢で糸状性バルキングを生じ易い C/N 比が 10 の排水 (SP-10) については、pH を酸性 (pH 5) に制御して低 pH の影響を調べた。処理成績を Table 3 に示す。C/N 比が 10 の排水 (SP-10) を処理した場合、曝気槽内混合液 pH を制御しない槽では SRT を 10 日にステップ変化させた際、ただちにバルキングを生じたのに対し、pH を 5 に制御した槽では、ステップ変化後 2 週間経た後も糸状細菌の増殖はほとんど認められず、SVI も低い値となった。しかし、塩酸による低 pH 環境は、他の微生物に対しても影響を及ぼすために汚泥が幾分散流出し、長期運転の継続は困難となった。一方、C/N 比が 3 の排水 (SP-3) で曝気槽内混合液 pH を中性付近に制御した場合、ペプトン、デンプン

を主成分とする排水では、糸状細菌の著しい増殖は認められず、安定したフロックが形成された。しかし、排水組成を変えて、窒素源として安田¹³⁾と同じ硫酸アンモニウムを用いると、安田の報告と同様、容易にバルキングを生じた。

以上の結果より、低い pH は糸状細菌 (本研究では Type 1701) の増殖を抑制するが、最適 pH が必ずしも糸状細菌の増殖を促進しないことが分かった。

硝化の影響 安田¹³⁾は、上述の *Sphaerotilus* sp. に関する研究で、pH が抑制的でない場合、炭素と窒素の関係が *Sphaerotilus* sp. の増殖に影響してくると報告している。本研究においても、ペプトン、デンプンを主成分とする排水を用い曝気槽内混合液 pH を中性付近に制御した場合、明らかに C/N 比による影響が認められた。すなわち、C/N 比が小さい排水 (SP-3) では糸状細菌の増殖は抑制され、C/N 比が大きい排水 (SP-10) では糸状細菌 (Type 1701) が増殖し、バルキングを生じた。しかし、同様の実験を排水組成をかえて行くと、異なる挙動が観察された。SN-3 は C/N 比が小さい排水であるが、pH を中性付近に制御すると汚泥は糸状化した。これらの結果より、C/N 比よりもむしろ流入排水中の基質組成あるいは基質の代謝生成物が糸状細菌の生育に影響している可能性が示唆された。本研究の結果および前報の結果を通じ、硝化が十分進行している際には必ず糸状細菌の増殖が抑制されていることから、流入排水中の NH_4^+ および硝化過程が糸状細菌の生育に影響しているのではないか

Table 3. Performance of activated sludge process under control of mixed liquor pH.

SRT (days)	SP-10 20-10*	SP-3 10	SP-3 20-10*	SN-3 20-10*
Mixed liquor pH	5	7	8	8
COD loading (kg/kg·d)	1.02	0.57	0.42	0.87
Effluent pH	5.0	7.0	8.0	8.0
Initial SVI (ml/g)	170	147	180	84
Final SVI (ml/g)	142	171	176	1212
COD removal (%)	76.6	86.8	88.9	84.4
NH_4^+-N (mg/l)	3.88	0.39	0	0.08
NO_2^--N (mg/l)	0.08	0.3	0.15	0.19
NO_3^--N (mg/l)	1.13	25.98	20.33	35.01
Filamentous growth	++	++	++	###
Dominant Type	1701	?	0961	1701
NO_{xw} (mg/l)	0.29	25.90	20.48	36.12

* The SRT was shortened from 20 days to 10 days.

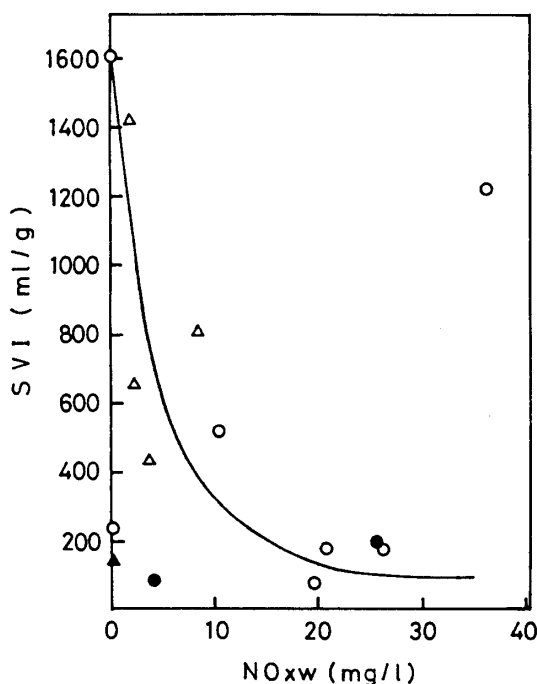


Fig. 2. Effects of nitrification on SVI (measured as index of filamentous growth).

	C/N ratio	
	3	10
pH>6	-○-	-△-
pH<6	-●-	-▲-

と考えられた。そこで、硝化の進行を示す指標として、酸化態窒素濃度 ($\text{NO}_x\text{-N}$) にアンモニア態窒素から酸化態窒素への転換率 ($\text{NO}_x\text{-N}/(\text{Nt})$) を乗じた、いわゆる“加重”酸化態窒素濃度 (NO_{xw}) を用い、硝化の進行と SVI の関係を考察した。Fig. 2 に Table 2, 3 より得られた NO_{xw} と SVI の関係を示す。図中、黒印は pH が 6 以下で運転された結果を示す。この場合、低 pH によりバルキングが抑制され SVI 値も低い。pH が抑制的でない場合には、 NO_{xw} が大きいほど、すなわち、硝化が活発に進行しているほど SVI の値は低く、 NO_{xw} が 20 mg/l 以上でバルキングは抑制されている。SN-3 の排水を用いて曝気槽内混合液 pH を 8 に制御した実験のみ、 NO_{xw} が 20 mg/l 以上であるにもかかわらずバルキングを生じた。これは、SN-3 の排水を pH を制御しないで処理した場合、硫酸アンモニウム由来の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が相対的に多いため、 NO_{xw} が約 4 mg/l と低い値となる。従って、硝化による pH 低下がなければバルキングを生じ易いと考えられ、pH を上げることにより硝化が急激に進行し、 NO_{xw} が 36.12 mg/l になるまでの約 1 週間の間にバルキン

グを生じたものと考えられる。また、ペプトンを主成分とする排水は、他の排水より糸状細菌の出現率が少なく、5 段階表示で +++ を越えることは無かった。

活性汚泥は、多様な微生物の混合培養系であり、また、糸状細菌にも多くのタイプがある。したがって、糸状細菌と硝化細菌との個別関係のみにしてもなお不明な点が残されているが、C 源および N 源としてのペプトンは、二次的には硝化細菌のための無機 C 源とアンモニアの恰好の供給源とみられる。一方、アンモニアのみを N 源とした場合、硝化細菌による N 源の利用度は大きいから、硝化細菌の十分生育する条件下では、硝酸イオンの生成 (N 源の化学形態の変化) とかなりの pH 低下を生じる。それゆえ、この二つの現象が糸状細菌に対する静菌的な要因ではないかと考察される。なお、硝酸イオンのみを N 源とした活性汚泥中にも糸状細菌は観察されたが、この場合には糸状体は長くは伸長しなかった。

回分処理系 回分処理系が連続処理系に比べて糸状性バルキングを生じにくいことは、一般的な事実である。近年、この機構が検討され、基質濃度勾配説¹⁵⁾ および飢餓時間比説¹⁶⁾ が提唱されている。回分処理系では、1 サイクルの運転条件により基質濃度勾配および飢餓時間比が変化するが、一定曝気量下においては、曝気槽内 DO も経時的に変化する。槽内 DO は硝化の進行に大きく影響するため、回分処理系における硝化活動は、1 サイクルの間に非定常的に変化すると考えられる。そこで、回分処理系における硝化活動と糸状細菌の消長との関連を調べた。実験は、硝化がよく進行するペプトン、デンプンを主成分とする排水 (SP-3, SP-10) を用い、太宰ら¹⁷⁾ の方法に準じ Fig. 1 に示す操作条件で運転した。

SVI の変化 Fig. 3 に各条件下での SVI の経時変化を示す。C/N 比が 3 の排水 (SP-3) を処理した場合、どの条件であっても SVI は 100~158 ml/g で高い値にはならなかった。しかし、C/N 比が 10 の排水 (SP-10) の場合、SVI が低いのは排水注入時に曝気を行わなかった条件 F のみであった。他の条件では、SVI は最高 350 ml/g にまで達し、糸状性バルキングを生じた。本研究のような操作条件で回分処理を行うと、排水注入とともに曝気槽内 MLSS は希釈されて減少する。条件 D および E の SVI 値がこの MLSS の減少にともない大きく増加することが認められた。SVI が MLSS により影響することは古くから知られており、¹⁸⁾ 河野、¹⁹⁾ Chudoba ら¹⁾ は、MLSS 濃度

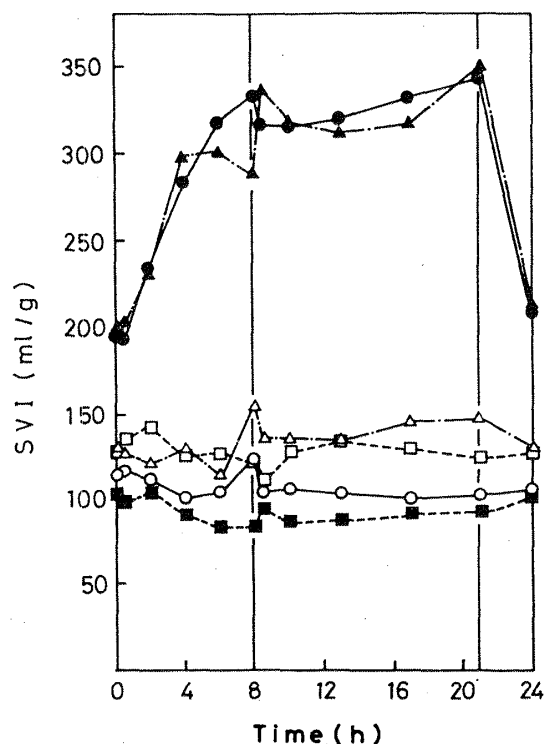


Fig. 3. Changes in SVI under various operating conditions.

-○-, A; -△-, B; -□-, C; -●-, D; -▲-, E; -■-, F
Run A to F and punctuated times in one cycle are identical with those in Fig. 1.

の変化に対する SVI の値の変動は沈降性のよい汚泥ほど小さく、沈降性の乏しい汚泥ほど大きいと報告している。顕微鏡観察によると、条件DおよびEの汚泥には、かなりの糸状細菌（5段階表示で++++）が認められており、沈降性の乏しい汚泥であったため、MLSS 濃度の変化とともに SVI 値が大きく変動したものと考えられる。一方、糸状細菌の出現の少なかった他の条件では、SVI 値に大きな変動は認められなかった。Table 4 に各条件下での処理成績を示す。COD

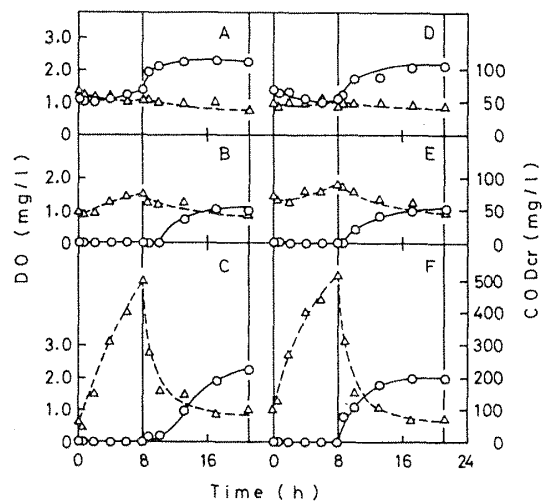


Fig. 4(a). Changes in DO and COD in batch processes.

-○-, DO; -△-, COD

Run A to F and punctuated times in one cycle are identical with those in Fig. 1.

除去率はどの条件でも高い値が得られた。排水注入時曝気をしなかった条件CおよびFのCOD除去率も、同じ排水を処理した他の条件下での結果と最終的にあまり変わっていない。顕微鏡観察によると、SVIが高い値を示した条件DおよびEでは汚泥が糸状化していた。また、C/N比を小さく、曝気量を少なくした条件Bにおいても、かなりの糸状細菌が観察された。Palmら²⁰⁾は、曝気槽内DOが糸状細菌の増殖に影響すると報告しているが、本研究では、C/N比の小さい排水において曝気量の影響が顕著に認められた。

硝化の影響 Fig. 4(a) に曝気槽内CODおよびDOの経時変化を、また、Fig. 4(b) に飢餓時間比(St)とSVIの関係を示す。ここで、飢餓時間は、曝気をしていない時間および槽内CODがほぼ一定値を示す時間とした。なお、安田、能登¹⁶⁾は、飢餓時間比が6以

Table 4. Performance of activated sludge process under various operating conditions.

		A	B	C	D	E	F
Initial MLSS	(mg/l)	2900	3270	3950	4670	4330	3330
Final MLSS	(mg/l)	1680	1910	2300	2480	2340	1900
COD loading	(kg/m ³ ·d)	0.53	0.53	0.53	0.59	0.59	0.59
Reactor pH		5.0-6.8	6.8-7.7	6.6-7.6	6.5-7.6	6.0-7.4	6.2-7.8
SVI	(ml/g)	107	134	127	327	319	90
COD removal	(%)	96.3	95.6	90.5	96.4	95.9	94.9
Filamentous growth		0	++	+	+++	+++	++
Dominant Type		—	0961	0961	0961	<i>S. natans</i>	0961

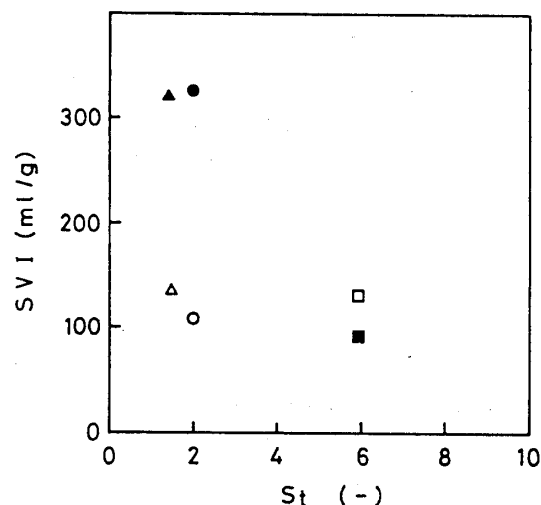


Fig. 4(b). Relationship between SVI and starvation period ratio¹⁶⁾ (St).

—○—, A; —△—, B; —□—, C; —●—, D; —▲—, E; —■—, F

上であれば、糸状性バルキングが抑制されると報告している。C/N 比が10の排水 (SP-10) を処理した場合、条件DおよびEでは、基質濃度勾配はほとんど認められず、飢餓時間比も2と低い値であり、糸状性バルキングを生じた。一方、条件Fでは明確な基質濃度勾配が認められ、飢餓時間比も6で運転されており、糸状性バルキングは抑制された。この結果は Chudoba ら,¹⁷⁾ 安田、能登¹⁶⁾ の報告とよく一致した。しかしながら、条件Aで、C/N 比が3の排水 (SP-3) を処理した場合、基質濃度勾配が認められず、飢餓時間比も2と小さい値であったが、糸状性バルキングが抑制された。この場合には、むしろ硝化による影響が現れたものと考えられる。

Fig. 5 に基質濃度勾配の認められなかった条件A、B、DおよびEの NO_{xw} の経時変化を示す。図から明らかなように、曝気の十分な条件Aでは、1サイクルを通じて常に硝化が活発に進行しており、 NO_{xw} は常に 20 mg/l 以上を維持している。この条件下では、ほとんど糸状細菌は認められなかった。一方、条件DおよびEでは、 NO_{xw} は1サイクルを通じて 10 mg/l 以下で、容易にバルキングを生じた。曝気量の少ない条件Bでは、曝気後半に硝化がかなり進行しているが、排水注入期間では DO が0であり、みかけ上嫌気状態となっており、むしろ脱窒が進行し、基質濃度勾配はほとんど認められない。この条件下の汚泥には糸状細菌の生育が認められた。なお、条件Aで SRT を5日とした実験も行ったが、この場合も十分な硝化が進行し、糸状性バルキングは抑制された。ただし、

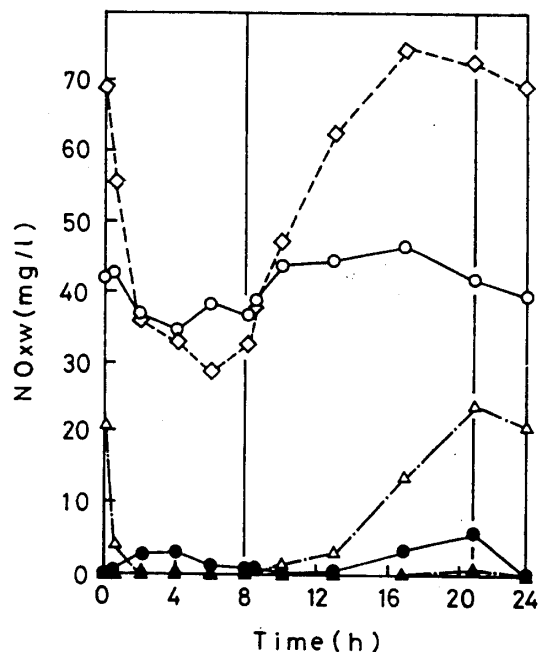


Fig. 5. Changes in NO_{xw} in batch processes.

—○—, A; —△—, B; —●—, D; —▲—, E

—◇—, A (SRT=5 days)

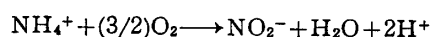
Run A to E and punctuated times in one cycle are identical with those in Fig. 1.

硝化は亜硝酸型であった。

以上の結果より、C/N 比の小さい排水はバルキングを生じにくい排水と考えられるが、1)一時的な高負荷などにより曝気槽内混合液の DO が極度に低下する(回分処理系での高濃度基質の流入)、2)硝化細菌が wash out される (SRT の短縮)、などにより硝化が緩慢になった場合、バルキングを生じる可能性があると考えられる。

硝化の進行と ORP の関係 曝気槽内混合液の ORP は混合液の好気および嫌気の尺度であり、糸状性バルキングとの関連は興味のある点である。近年、浄化槽の維持管理に ORP が測定され、この結果より活性汚泥のバルキングの判定が可能であるといわれている。²¹⁾ この場合、バルキング傾向時の ORP は 50~100 mV であり、バルキング状態時の ORP は 50 mV 以下であった。ORP に影響する要因は複雑であり、DO、pH、その他多くの酸化還元系が考えられる。ペプトンを主成分とする排水では、主な酸化還元系は硝化と脱窒であり、この反応は DO により影響を受け pH を変化させる。硝化反応および酸化還元電位は次式で与えられる。

亜硝酸菌の生物酸化反応



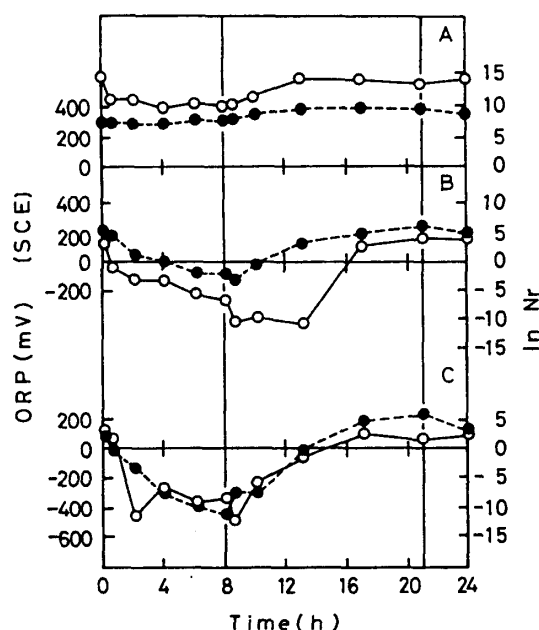
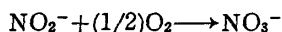


Fig. 6. Relationship between ORP and concentration of inorganic nitrogen compounds.
 -○-, $\ln N_r$; -●-, ORP
 Run A to C and punctuated times in one cycle are identical with those in Fig. 1.

$$E_1 = E_{01}$$

$$+ (RT/6F) \ln \{ (NO_2^-)(H^+)^2 / (NH_4^+) \} \quad (1)$$

硝酸菌の生物酸化反応



$$E_2 = E_{02} + (RT/2F) \ln \{ (NO_3^-) / (NO_2^-) \} \quad (2)$$

(1) 式および (2) 式より

$$E = E_0 + (RT/6F) \ln \{ (NO_3^-)^3 (H^+)^2 / \{ (NH_4^+) (NO_2^-)^2 \} \} \quad (3)$$

他の生物酸化反応に起因する pH 変化を無視すると、(3) 式中の (H^+) は $(NO_2^-) + (NO_3^-)$ の 2 倍当量とみなせるので (3) 式より (4) 式が得られる。

$$E \propto \ln \{ (NO_3^-)^3 \{ (NO_2^-) + (NO_3^-) \}^2 / \{ (NH_4^+) (NO_2^-)^2 \} \} = \ln N_r \quad (4)$$

Fig. 6 は、ORP と $\ln N_r$ の関係を示したものである。図中の全プロットの相関式は

$$ORP = 51.89 + 23.33 \ln N_r$$

であり、相関係数は 0.861 であった。多少のバラツキはあるが、かなりの相関が得られている。従って、活発な硝化が期待できる系（例えば、C/N 比の小さい排水を処理している系）において、ORP が低い値を示すとき（例えば、条件 B の排水注入時）にはバルキングの可能性を予想することができるであろう。

要 約

連続および回分処理系で、排水組成や操作条件を変化させて、硝化の進行が糸状性バルキングに及ぼす影響について調べたところ、次の結果が得られた。

(1) 硝化の進行を“加重”酸化態窒素濃度 NO_{xw} で評価したところ、この値がおおよそ 20 mg/l 以上で糸状性バルキングが抑制された。

(2) NO_{xw} の値は、排水の組成により大きく影響され、C/N 比が小さい排水であっても硫酸アンモニウムのようにアンモニア態窒素を多量に含む排水は、 NO_{xw} の値が低く、低 pH などの抑制因子がなければバルキングを生じ易い傾向にあった。

(3) ペプトンを主成分とする排水では、ORP と硝化の進行にかなりの相関があり、硝化が活発に進行している系では、曝気槽内混合液の ORP によりバルキングを予測できる可能性が示唆された。

記 号

(NO_{x-N}) : oxidized nitrogen concentration, mg/l

(N_t) : total inorganic nitrogen concentration, mg/l

E : oxidation-reduction potential (ORP), mV

E_0 : standard oxidation-reduction potential, mV

F : faraday constant, C/mol

R : gas constant, J/mol·K

T : absolute temperature, K

(NH_4^+) , (NO_2^-) , (NO_3^-) : ion concentration, mol/l

ただし、(1) 式から (4) 式では、正しくは活量を意味する。

文 献

- 1) Chudoba, J., Ottova, V., Madera, V.: *Wat., Res.*, 7, 1163 (1973).
- 2) Eikelboom, D. H.: *Prog. Wat. Technol.*, 8, 153 (1977).
- 3) 船越泰司: 下水道協会誌, 19 (214), 46 (1982).
- 4) Hattings, W. H. J.: *Water and Water Treat.*, 9, 476 (1963).
- 5) 滝 元男: 活性汚泥のバルキングとその対策, I. P. C., 91 (1978).
- 6) Pipes, W. O.: *Adv. Appl. Microbiol.*, 9, 185 (1967).
- 7) Hasegawa, S., Fukui, K., Maeda, Y., Nakajima, M.: *J. Ferment. Technol.*, 63, 357 (1985).
- 8) 日本工業標準調査会: JIS K 0102 (1981).
- 9) Buchanan, R. E., Gibbons, N. E. (ed.): *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th Ed.,

- The Williams and Wilkins Co., Baltimore (1974).
- 10) Eikelboom, D. H.: *Wat. Res.*, 9, 365 (1975).
 - 11) 滝 元男, 橋本らん子: 日本水処理生物誌, 13, 1 (1977).
 - 12) Phaup, J. D.: *Wat. Res.*, 2, 597 (1968).
 - 13) 安田正志: 下水道協会誌, 14 (163), 31 (1977).
 - 14) 小林一行: 活性汚泥のバルキングとその対策, I. P. C., 308 (1978).
 - 15) 沢田敏一: 水処理技術, 13(10), 15 (1972).
 - 16) 安田正志, 能登勇二: 下水道協会誌, 18 (208), 41 (1981).
 - 17) 太宰宙朗, 風袋則男, 高原義昌: 下水道協会誌, 19 (214), 17 (1982).
 - 18) Dick, R. I., Vesilind, P. A.: *J. WPCF*, 41, 1285 (1969).
 - 19) 河野哲朗: 下水道協会誌, 13 (144), 17 (1976).
 - 20) Palm, J. C., Jenkins, D., Parker, D. S.: *J. WPCF*, 52, 2484 (1980).
 - 21) 渡辺勝俊: 活性汚泥のバルキングとその対策, I. P. C., 324 (1978).

(昭60. 7. 3受付)