

(10) 糸状性バルキングの発生機構に関する一考察

富山県立技術短大 安 田 正 志

1. はじめに

活性汚泥中に *Sphaerotilus* sp. が異常に増殖してくることによって発生する糸状性バルキングが、活性汚泥の処理機能を悪化させる重大な障害となることは周知の通りである。しかし、その原因の究明や対策方法の確立に関してはまだ十分でないのが現状であろう。

筆者らは、そのような現状に鑑み、その発生要因や機構に関する基礎的な実験研究を行ってきたが、本報告は特にエアレーションタンクの水力混合条件や、基質のエアレーションタンクへの流入パターンの影響について実験を行い、その結果について若干の考察を行ったものである。

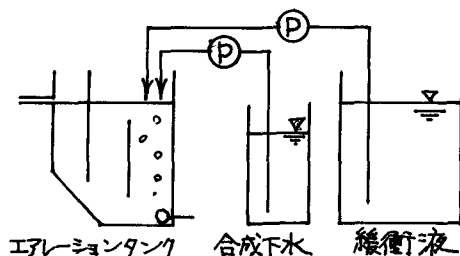


図-1 実験装置のフローシート

2. 回分法と完全混合型連続法

糸状性バルキングが、完全混合型連続法では非常に出現

しやすく、逆に回分法では出現しにくいとの知見が今までにも報告されており、筆者らも確認している。^{6)~8)}

すなわち、Chudobaらはペプトンとでんぷんを主体とした基質を用い、BOD 負荷 $0.3 \sim 0.5 \text{ kgBOD/KgMLSS} \cdot \text{day}$ の範囲において、エアレーションタンクの混合条件をシステムの分散数において整理し、押し出し流れに近い程バルキングが起きにくいことを示した。⁶⁾

また園田らは、気泡塔による活性汚泥処理においても完全混合型の一段塔および角型槽に比べて、押し出し流れ型の6段塔ではバルキングが起り難いことを認めている。⁷⁾

さらに Rensink も完全混合、パッチおよび押し出し流れの各システムで、BOD-SS 負荷と関連づけて SVI への影響を比較して、同様な結果を得ている。⁸⁾

表-1 合成下水の成分

成 分	A	B
グルコース	5 0 g	9 1 g
グルタミン酸ソーダ	5 0	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	3 4	5 0.7 5
NaCl	5	5
CaCl ₂	2.5	2.5
MgSO ₄	1.7	1.7
水道水	1 ℓ	1 ℓ
緩衝液		
リン酸一カリウム		1 0 0 g
リン酸二カリウム		2 0 0
水		1 ℓ

表-2 主要な実験条件

実験番号	実験期間	水 温 (℃)	pH	MLVSS (平均)	有機物負荷		COD 流入量	
					g/ℓ・d	g/g・d	パルス	定常
7502a	2/26~3/7	18.5~23.1	6.3~7.3	2770	0.60	0.23	191mg/ℓ	
7502b	"	18.7~19.5	6.5~7.4	2856	0.60	0.23	1500	134
7504a	5/7~16	19.5~21.5	6.8~7.4	1425	0.32	0.22	100	
7504b	"	19.5~21.8	6.9~7.1	1257	0.32	0.25	2400	0
7671	7/2~30	23.6~30.0	6.1~8.0	2586	0.60	0.23	0.6g/回	0
7672	7/31~8/9	25.3~29.5	6.0~7.6	3583	0.92	0.26	"	0.32g/d
7673	8/10~31	24.0~29.5	6.5~7.9	3961	0.60	0.15	"	0
7674	8/18~25	26.7~29.0	6.8~7.2	1564	0.60	0.38	0.075	"
7676	9/1~18	23.6~26.0	6.0~7.6	5755	1.8	0.31	0.075	"

筆者らも、グルコースとグルタミン酸ソーダ、および硫酸アンモニウムを主体とした基質を用いて、完全混合形連続法と回分法による培養において同様な結果を確認しており、1日1回のfill and drawによる回分法では、COD(Cr)負荷 $0.2 \sim 1.8 \text{ gCOD/l} \cdot \text{d}$ 、 $0.13 \sim 1.4 \text{ gCOD/g} \cdot \text{VSS} \cdot \text{d}$ 、 $\text{pH} 5 \sim 8$ の範囲で

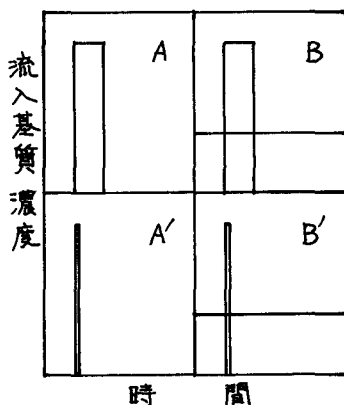


図-2 基質の流入パターン

Sphaerotilus sp. の増殖が抑制されていた。⁵⁾しかし、このような一連の知見に関する機構についてはまだ解明されておらず、Chudobaらの提起した基質濃度勾配によるというMonodの式による速度論に基づいた仮説も、⁹⁾彼ら自身が述べている様に、説明がつかない実験例がある。

3. 完全混合型連続法における基質流入パターンの影響

前節で述べた一連の結果の他に、筆者らは、完全混合型連続法においても、基質の流入を回分法におけると同様に1日1回パルス型に近いようにして投入すると*Sphaerotilus* sp. は出現しにくく、バルキングが発生しにくいことを見出していた。⁵⁾一方、田中らも同一量の負荷を連続的に加えた場合と、5分、10分、15分と間欠的に加えた場合についてSVIを測定してスラッジの沈降性を比較し、15分程度ではバルキング現象が抑制されると報告している。¹⁰⁾しかし、この実験は実験期間が25時間と短く、さらに長期間の培養では15分でもバルキングが発生するのではないかという疑問が感じられる。

けれども、以上の結果を考慮すると、一定の時間間隔で基質が流入する場合についてさらに実験的に検討を加えることにより、前節の結果をも含めてその影響する機構を明らかにできるものと考えられた。

3・1 実験方法

実験装置は、図-1に示したようなエアレーション部5ℓの完全混合型連続培養装置である。使用した基質は表-1に示した成分の合成下水を負荷に合わせて希釈して用いた。なお、後述の実験番号7502、7504では同表中A、7671～7676では同表中Bの合成下水を使用した²⁾が、この両者によって差がないことは別に確認されている。

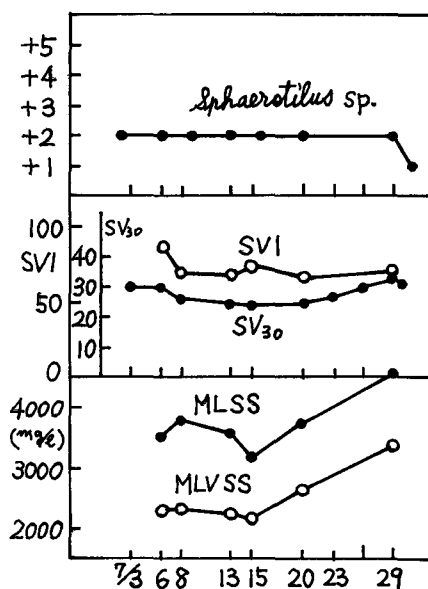


図-3 実験7671の経日変化

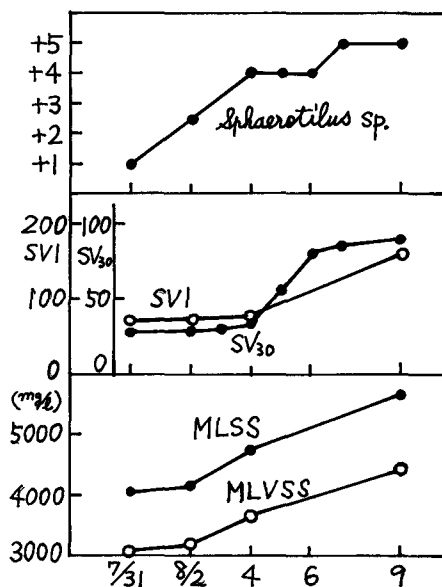


図-4 実験7672の経日変化

以上の
実験の主
要な実験
条件は表
-2の通
りである。
使用汚泥
は、実験
番号
7502、
7504、
7671、
7674、
は住宅団

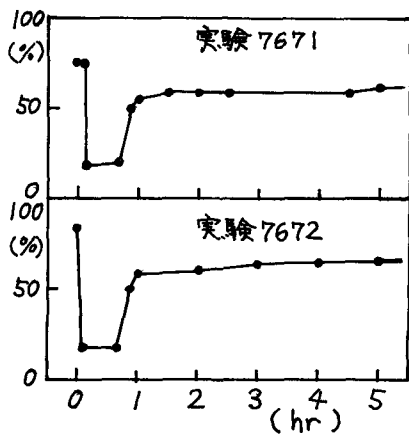


図-5 DOの変化

地の終末処理場の返送汚泥を種汚泥とし、7672は7671の最終日の汚泥をそのまま継続して使用し、同じように7673は7672、7676は7673の汚泥を引続いて使用した。また、基質の流入の調整は図-1中の合成下水と示した系統で行い、緩衝液は

一定に流入するようにした。したがって、流入水の滞留時間は7.6hr。希釈率は0.13(1/hr)である。これは、実験手法上の制約にもよるが、本研究の目的からはかえって好都合であったと考えられる。

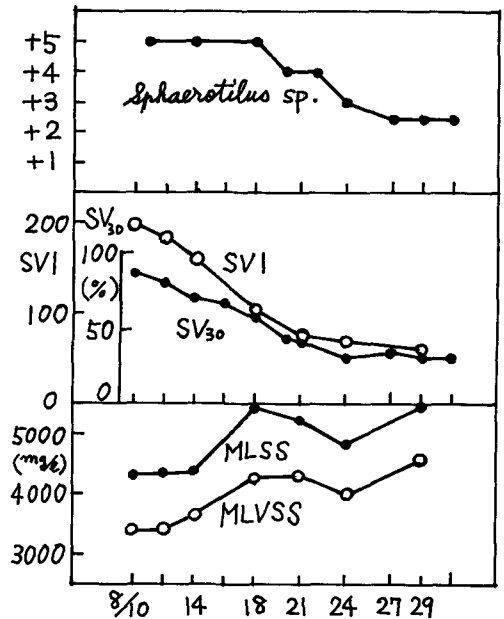


図-6 実験7673の経日変化

3・2 定常的連続流入パターンと周期的パルス流入パターン

実験7502bおよび7504bについては、すでに一部報告を行っているように、その基質流入パターンは、図-2中のそれぞれパターンAおよびパターンBであった。そしてその結果は、パターンBによる実験7502では*Sphaerotilus* sp. は増殖したが、パターンAによる実験7504では増殖しなかつた⁵⁾。なお、実験7502a、7504aはそれぞれ対照である。また、本節における実験はいずれも、パルス型で流入する高濃度部分は1日1回の周期である。

以上の結果をさらに確認するため、実験7671は同図中パターンA'、実験7672は同じくパターンB'で培養を行った。図-3、図-4にそれぞれの結果を示したように、実験7671では*Sphaerotilus* sp. の発生、増殖は認められなかったが、実験7672では増殖しバウキングを発生した。なお、図-5は、それぞれの実験におけるDOの経時変化の代表例を一緒に示したものである。

さらに、実験7673は、以上のように実験7671のパターンA'に定常的連続流入パターンを付加したパターンB'である実験7672に対して、再び実験7671と同じパターンA'の条件にもどしたとき、*Sphaerotilus* sp.を抑制できるかどうかを調べたものである。その結果、図-6に示したように、*Sphaerotilus* sp.は周期的パルス流入のパターンによって減少傾向を示している。しかし、その減少の傾向は非常に遅く、8月10日にスタートして、8月27日にようやく卅~卅の程度になるものであった。

以上の結果、基質の流入が図-2中の周期的パルス流入のパターンAまたはA'の場合には*Sphaerotilus* sp.は抑制されるが、さらに定常的連続流入パターンの加味したパターンBまたはB'では増殖し、バウキングを発生することが認められた(ただし、ここではパルス流入の周期は1日の場合である。)この結果は、2で述べた回分法における結果と同様である。

3・3 周期的パルス流入パターン の周期長さ

前節の結果は、周期的パルス流入パターンにおいてはその周期的パルスの周期長さは24時間と長いものであった。それに対して、その周期長さを短くしたときにどのような影響がでてくるかを調べてみたのが、実験7674および実験7676である。すなわち、実験7674では周期長さ3時間、実験7676では周期長さ1時間とした。

その結果を示した

のが、図-7および 図-7 実験7674の結果

図-8である。実験

7674では、当初、*Sphaerotilus* sp.は増加し、沈降性指標のSVIも増加したが、8月22日からは逆に減少しはじめた。これには種汚泥の新しい基質への馴化が関連していると考えられ、当初、DOの低下する時間が長かったが、徐々に短くなり、約2日後には安定して約20分間程となった。このDOの低下している時間の長さを流入した基質からみれば、その基質がまだ消費しきらずに残留している時間とみることができる。

一方、実験7676では、基質への馴化を考慮して実験7673の汚泥を継続して使用した。この結果は図-8からわかるように当初1週間程は*Sphaerotilus* sp.が減少するような傾向を示したが、その後増加の傾向に認められた。すなわち、周期時間の長さ1時間では、*Sphaerotilus* sp.は増殖しうることが認められた。なお、このような増加の開始が遅れる現象については、田中らも指摘しており、スラッジの履歴によって差があるものと考えられる。

4. セルモデルによる実験例

以上の実験の他に、セルモデルの実験を行い、*Sphaerotilus* sp.が増殖してくるかどうかを調べたのが、実験7663である。実験装置は図-9に示した通りで、エアレーションタンクは直径5mmの穴を4個ずつあけた隔壁によって4槽に仕切られている。主要な実験条件は、次の通りである。実験期間1976年5月28日～6月17日、COD-容積負荷0.6gCOD/l・day、COD-VSS負荷0.29gCOD/gVSS・day MLVSSの平均2058mg/l、流入水COD濃度195mg/l、汚泥返送率58%、汚泥滞留時間5.3hr、基質希釈率0.191/hrであった。その結果を示したのが、図-10である。

これからわかる通り、この実験では*Sphaerotilus* sp.が増殖し、バルキングを発生した。なお、こ

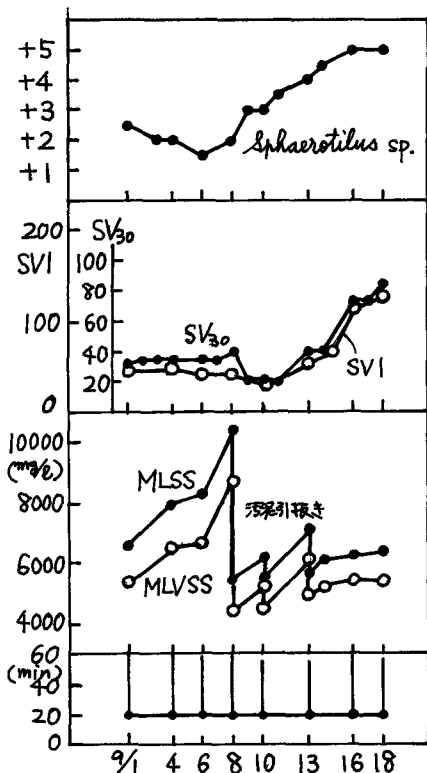
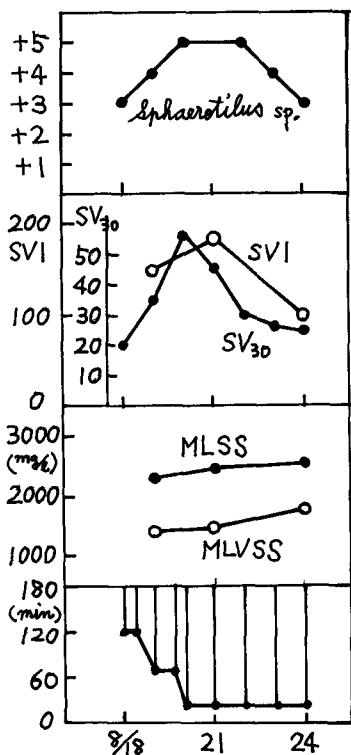


図-8 実験7676の結果

の槽における混合特性は、NaCl をトレーサーとして調べた実験から $n=4$ における分散 $\sigma^2=0.225$ となり、これから $\frac{D}{uL}$ (ベクレー数) $=0.13$ であった。これは、理論上 $\sigma^2=\frac{1}{n}=0.25$ として求めた $\frac{D}{uL}=0.146$ と近似した値であった。

5. 考 察

以上の一連の実験結果から、完全混合型連続法、押し出し流れ型連続法(セルモデル)、回分法による実験のいずれにも通じて *Sphaerotilus sp.* の増殖に影響すると考えられる要因を上げてみると、次のような仮説が考えられるであろう。

- (1) エアレーションタンク内の基質濃度勾配
- (2) パルス部分の濃度
- (3) DO の低下時間の長さ
- (4) ある基質に対する飢餓時間の長さ

まず(1)の仮説は、完全混合型連続法と回分法あるいは押し出し流れ型とを一般に区別するものである。しかし、本報告において、3・2で示したように完全混合型連続法でも、基質の流入をエアレーションタンク内でその濃度勾配ができるように周期的パルス流入パターンにしたときは *Sphaerotilus sp.* は回分法と同様に抑制されたが、それに定常的連続流入パターンが付加されると増殖し、パルキングが発生するという結果が得られており、しかも両者ともに基質の濃度勾配は形成されている。すなわち、この仮説では説明しえない現象がある。(2)の仮説は、(1)と関連があるが、すでに2で述べたように1日1回の fill and draw による回分法では、COD 負荷 $0.2\sim1.8 \text{ gCOD}/\ell \cdot \text{day}$ 、 $0.13\sim1.4 \text{ gCOD}/\text{g} \cdot \text{VSS} \cdot \text{day}$ の範囲で有機物負荷によらず抑制されていたので、この仮説も無関係であると考えられる。

次に(3)の仮説は、DO の変動に着目するものであるが、DO が低下したとしても、本実験では最低でも飽和度に対して35~40%程度が含まれており、嫌気性になることはなかったので、このDOの低下が影響したとは考えにくいことである。

最後に(4)の仮説は、完全混合型連続法における基質の周期的パルス流入パターン、回分法、さらにはセルモデルではこのような飢餓時間が存在し、完全混合型連続法の定常的連続流入パターンでは基質の供給は低濃度ではあるけれども飢餓時間はないと考えられる。そして、後者では *Sphaerotilus sp.* の増殖が認められ、さらに前者のうち、完全混合型連続法の周期的パルス流入パターンで、その周期の長さが3時間では(すなわちDOの変化から飢餓時間は約2時間40分と推定) *Sphaerotilus sp.* の増殖は抑制されるが、同じく1時間では(すなわち飢餓時間約40分と推定)では増殖してくることが認められた。このように、*Sphaerotilus sp.* の増殖の有無は、一定の長さの飢餓時間の存在によって区分されることが認められる。この時間を限界飢餓時間と呼ぶことにすると、本実験の範囲では40分から2時間40分の間であっ

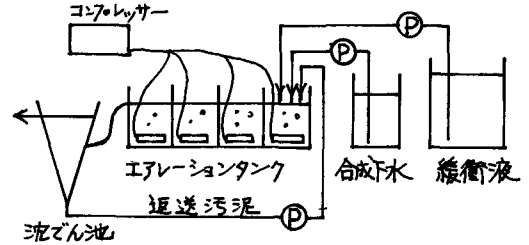


図-9 実験7663の実験装置

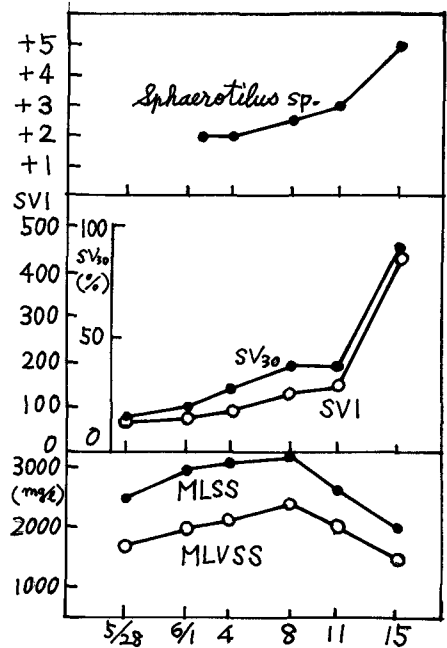


図-10 実験7663の結果

た。

この仮説によって、前記のChudobaらやRensinkによる実験結果を説明することは可能であると思われる。Chudobaらが報告しているようなエアレーションタンク内に基質濃度勾配がある場合でも、汚泥負荷が $0.5 \text{ kg BOD}_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ 以上ではバルキングを発生したとの結果についても、彼らの実験でみられた糸状細菌の限界飢餓時間によって影響されたと考えることができる。またRensinkの実験結果において、特に押し出し流れ型で負荷の高い場合のみSVIが高くなっていた例についても、その飢餓時間が限界飢餓時間より短くなっていたためであると考えられる。

さらに、本報告の4におけるセルモデルの実験でも、基質の拡散等によって、その飢餓時間が限界飢餓時間より短くなっていたためSphaerotilus sp.が増殖したと考えられる。

なお、この(4)における"ある基質"とは、本実験の範囲では流入基質そのものとしているが、暫定的である。基質の種類による影響は当然考えられるところで、多くの研究報告もみられるが、そのような基質の特定は今後の課題であると考えられる。また、基質の代謝過程で、このような飢餓時間に関与する物質が生成する場合もあると考えられるが、これも今後の検討課題である。

6. 結 論

エアレーションタンクの水力混合条件やそれと関連して基質の流入パターンの影響について、一連の実験によって検討した結果、得られた実験結果を統一的に説明しうる仮説として"限界飢餓時間"の存在を提起した。

最後に、本研究のために応援をいただいた安田郁子、能登勇二両氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 安田・中村; 土木学会第29回年講Ⅱ, 1974.10.
- 2) 安田; 土木学会第30回年講Ⅱ, 1975.10.
- 3) 安田; 土木学会論文報告集№247, pp.51~59, 1976.
- 4) 安田・能登; 第13回下水道研究発表会, 1976.5.
- 5) 安田・能登; 土木学会第31回年講Ⅱ, 1976.10
- 6) Chudoba, J. et al; Water Research, Vol. 7, pp.1163~1182, 1973.
- 7) 園田他; 醸酵工学雑誌, Vol.51, №11, pp.813~818, 1973.
- 8) Rensink, J.H.; J.WPCF, Vol.46, №8, pp.1888~1894, 1974.
- 9) Chudoba, J. et al; Water Research, Vol.8, №4, pp.231~237, 1974.
- 10) 田中他; 化学工学協会第11回総合シンポジウム, 1973.
- 11) 例えばStokes, J.L; J.Bact. Vol.67, pp.278~291, 1954.

(本研究は、文部省科研費特定研究"微生物による浄化分解のシステムアナリシス"より一部補助された。)