

# 下水の活性汚泥処理における無汚泥生成に関する研究

高 島 正 信\*

## Study on Activated Sludge Processes without Sludge Wasting for Wastewater Treatment

Masanobu Takashima

The operation without sludge wasting from activated sludge processes for wastewater was studied by increasing the solid retention time (SRT) as long as possible. Two sets of activated sludge processes were prepared: one was an usual activated process with 8 hours detention time. To another was added an anaerobic tank with 2 hour detention time, to observe the effects of an anaerobic condition on sludge production. Both processes treated the effluent from a primary settling tank of a municipal wastewater treatment plant in Fukui City, Japan, and were operated for about 160 days without withdrawing any excess sludge. After the MLSS was accumulated to around 10,000 mg/L, both processes were suffered from the washout of sludge from the sedimentation tank, and the quality of effluent was not very bad. The anaerobic tank appeared to have little influence on sludge reduction. The experimental results implied that it was proper to maintain the MLSS below a certain concentration.

### 1. はじめに

有機性排水の処理法として、活性汚泥法は処理性能が高く、運転管理費が安価なことから広く利用されている。この浄化原理は微生物が排水中の有機性汚濁物を餌として分解、除去することによるため、処理の結果として微生物の増殖が必ず生ずる。したがって、活性汚泥法では排水処理に伴う余剰汚泥の排出が不可欠であると考えられている。

近年、産業廃棄物の排出量が年々増大し、このうち汚泥の占める割合は約40%ともっとも多い。これに対して、最終処分場の残余容量は少なく、汚泥の排出が環境に対して大きな負荷となっている。また、これを反映して汚泥処分費も年々高騰してきている。その結果、汚泥処理コストが排水処理コストの50%以上を占めるケースも多く、地方自治体や工場排水処理を行っている企業の財政を圧迫している。したがって、余剰汚泥量の低減化技術の開発はより重大な課題となっている。

このような背景から近年、汚泥発生量の抑制技術の開発が進められている<sup>1)</sup>。主に、①添加材をばっ気槽に投入して汚泥の発生を少なくする方法と、②物理化学的手段を用いて余剰汚泥その

---

\* 原子力技術応用工学科

ものを可溶化してばっ気層に返送し、汚泥を発生させない方法があり、いずれの場合も装置や薬剤を加える必要がある。一方、長時間ばっ気法のように、③できるだけばっ気槽滞留時間を長くし、活性汚泥の自己酸化を促すという、単純な方法がある。しかし、この方法では、槽容積やばっ気量、沈殿池容積の増大がともなってしまうことがある。

前報<sup>2)</sup>では、人工下水の活性汚泥処理において、標準的な設計条件のもとで汚泥を意図的に排出させない運転方法を採用することによって、汚泥発生がほぼゼロになることが実証された。その一方で、処理水質が時々悪化することも観察された。本報告では実下水について同様に運転し、この“超”長時間ばっ気法がどの程度汚泥生成量を削減し、良好な処理水質を達成できるか実験的に検討してみた。

## 2. 実験方法

使用した実験装置を図1に示す。実験装置は2系列準備し、一系列は好気タンク（容量10L）、沈殿池（同6L）およびポンプ等がセットとなった活性汚泥実験装置（宮本製作所製 ASS-10P）で（以後、好気系と呼ぶ）、もう一系列はそれに嫌気タンク（同2.5L）を付加したものである（以後、嫌気+好気系と呼ぶ）。嫌気タンクを加える理由は、嫌気条件の汚泥分解に与える影響を観察するためである。図1では省略されているが、嫌気タンクの攪拌は、エアポンプを用いてタンク内ガスを循環させる方法を採用した。

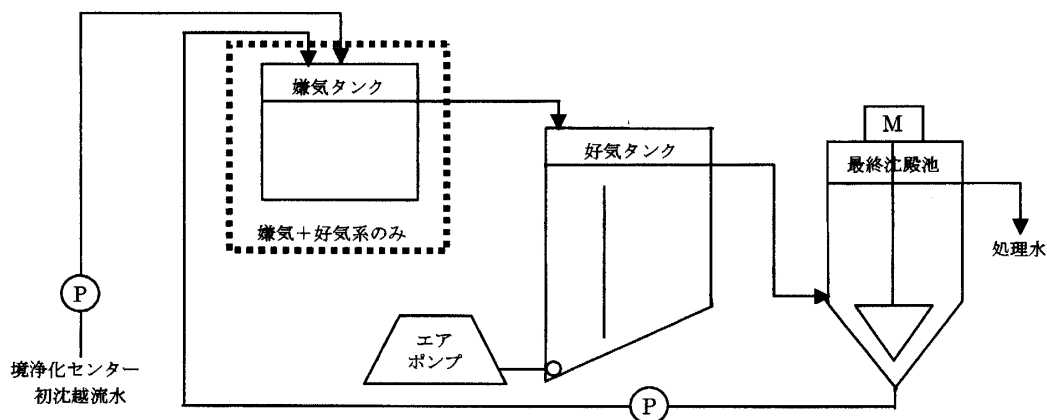


図1 実験装置の概略

種汚泥は福井市環境浄化センター（合流式下水道方式）のエアレーションタンクより採取した活性汚泥で、その濃度は約 2,400 mg/L であった。供試下水は同浄化センターの最初沈殿池越流水である。流入量は約 30 L/日に設定したので、滞留時間は標準活性汚泥法と同じ約 8 時間となる。また、嫌気タンクの容量は好気タンクの 1/4 なので、嫌気タンクの滞留時間は約 2 時間であった。沈殿池からの返送汚泥量は、好気タンク内に汚泥を高濃度に保持するため、約 30 L/日（返送率約 100%）と高めに設定した。好気タンクの溶存酸素（DO）濃度はおおむね 0.5~2 mg/L になるように調節し、少量の分析目的以外に汚泥の引き抜きは全く実施しなかった。

分析は流量、温度、pH、DO（溶存酸素）についてはほぼ毎日、BOD（生物化学的酸素要求量）、TOC（全有機体炭素）、SS（浮遊物質）、MLSS（ばっ気槽内汚泥濃度）およびSVI（汚泥沈降性指標）については週一回の頻度で行った。その方法は下水試験方法<sup>3)</sup>に従い、溶解性液の作成にはろ紙5Cを用いた。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 流入水質

境浄化センターのような合流式下水道は、雨天時に雨水が混入してくるため、流入下水の水質・水量が大きく変動するのが一般的である。これは表1に示されている分析結果の範囲の広さからも見てとれる。境浄化センターの場合にはそれに加え、場外にある排水ポンプ場からの排泥、場内にある雨水貯留池からの排泥が不定期に流入するため、特にSS成分に由来する変動が大きいようである。結果的に、BOD 平均値は全国平均並みであったが、SS 平均値は全国平均を上回っている<sup>4)</sup>。

表1 流入水（最初沈殿池越流水）の水質

	平均	標準偏差	最大	最小
BOD (mg/L)	138	130	460	20
SS (mg/L)	206	224	658	32

#### (2) 処理状況・水質

図2に、主な実験結果として好気タンク内汚泥のMLSSとSVI、および処理水のBOD、SSと溶解性TOCの経日変化を示す。

好気タンク汚泥濃度MLSSについては、好気系が約12,000mg/L、嫌気+好気系が約10,000mg/Lで頭打ちになり、その後はむしろ減少傾向にある。運転を100日以上継続してMLSSがこのように10,000 mg/L付近に達すると、わずかの汚泥沈降性の悪化でも汚泥が最終沈殿池からウォッシュアウトしてしまい、汚泥を系内に溜め続ける運転は困難であったといえる。二系列を比較すると、嫌気+好気系の方が好気系よりMLSSが若干低めであった。トータルの反応容積は嫌気+好気系の方が好気系の1.25倍あり、系内の汚泥量が同じならば嫌気+好気系のMLSS濃度は逆に1/1.25となるので、大雑把な判断では嫌気タンクの導入による汚泥減量化への効果は少ないということになる。

SVIでみる汚泥沈降性については、約30日目以降、好気系の方が良い結果を示した。嫌気+好気系はSVI200近くに達していることからややバルキング状態にあり、週一回の分析にあらわれてこないSSの流出が、実験終盤にMLSS濃度を著しく低下させる原因となった。活性汚泥の顕微鏡観察より、嫌気+好気系は好気系より糸状性細菌が多数存在することがわかった。負荷変動の激しいところに汚泥濃度が高まったため、嫌気状態にさらされる嫌気+好気系のエアレーションタンクにおける酸素供給が不足し、極端にDOの低下することがみられたが、これが糸状性細菌

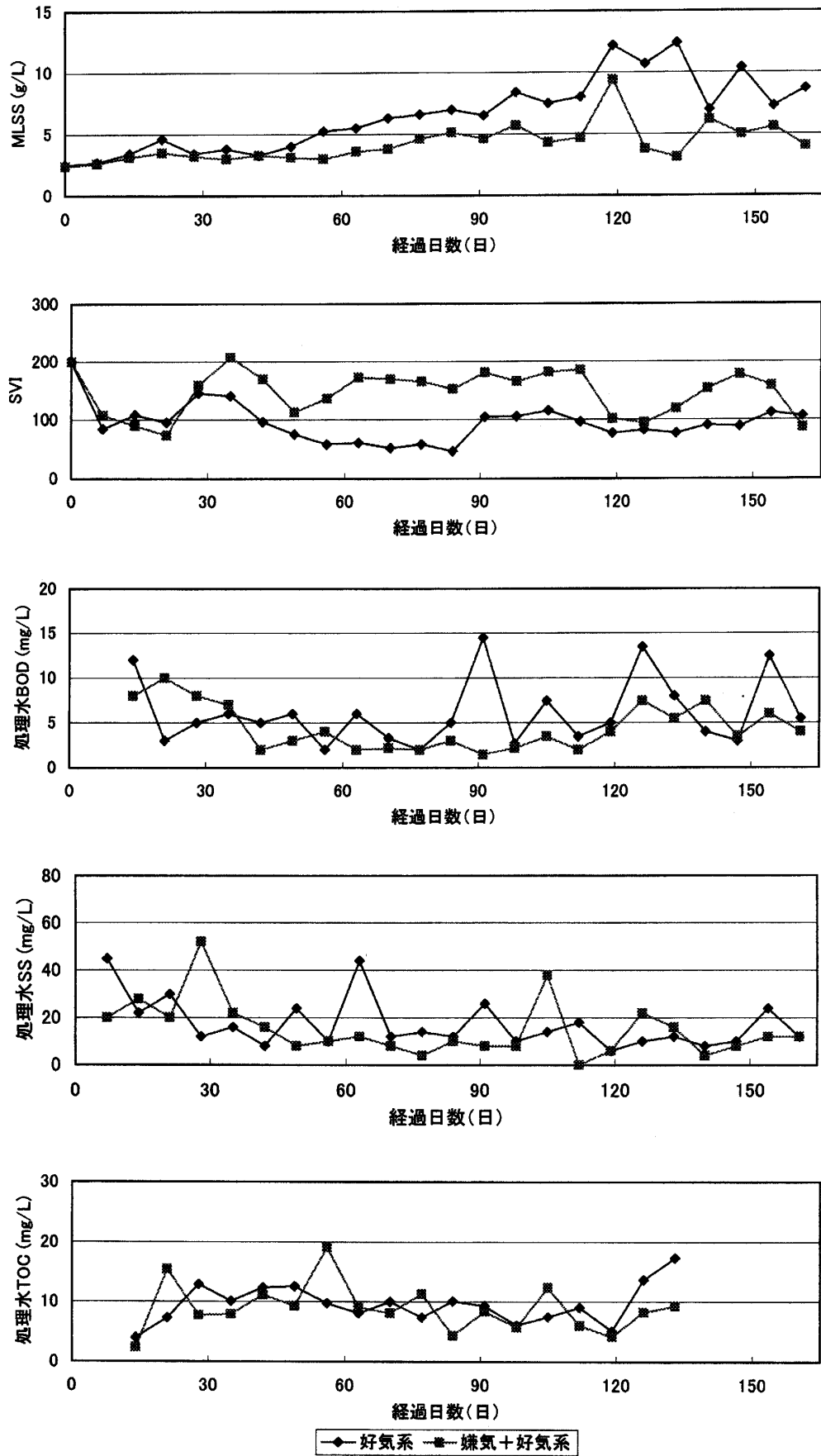


図2 主な実験結果

菌を繁殖させた原因であったと推測している。逆に言えば、嫌気条件は糸状性細菌を抑制することが知られているので<sup>4), 5)</sup>、DO 制御をうまく行えば、前報<sup>2)</sup>のように嫌気+好気系の汚泥沈降性が良くなるはずだと思われる。

処理水質については、バラツキが大きいこともあって好気系と嫌気+好気系の間で明確な差が認められなかった。そのうち処理水 BOD についてはほとんど 10mg/L 以下と、下水処理水放流基準 20mg/L より良好であったのに対し、処理水 SS については 20mg/L を上回ることが多く、良い結果であるとは言えなかった。実際には、週 1 回の分析では検出されなかった処理水への大量の SS 流出が時おりあり、SVI 値の悪い嫌気+好気系の方で好気系より頻繁に観察された。一方、BOD 濃度には反映されない、自己酸化された活性汚泥由来の難分解性物質が増えることが予想されたが、前報<sup>2)</sup>同様、溶解性 TOC の値からそれが比較的わずかであったと考えられる。

### (3) 汚泥構成の推定

ばっ気槽に蓄積する汚泥は、式 (1) のように、大別して増殖した微生物汚泥と流入下水を通じて流入する SS がある。

$$\Delta X = \Delta X_m + \Delta X_i \quad (1)$$

ここで、 $\Delta X$ : 活性汚泥発生量 (g/日)、 $\Delta X_m$ : 微生物汚泥増殖量 (g/日)、 $\Delta X_i$ : 流入 SS 残存量 (g/日)。微生物汚泥は、有機物の酸化、合成、自己酸化を行いながら維持されているわけであるが、これを式で表すと式 (2) のようになる<sup>1)</sup>。

$$\Delta X_m = aS - bX_m \quad (2)$$

ここで、 $S$ : 除去 BOD 量 (g/日)、 $X_m$ : エアレーションタンク内の微生物量 (g)、 $a$ : 汚泥転換率 (—)、 $b$ : 活性汚泥の自己酸化率 (日<sup>-1</sup>)。

流入水質の変動が大きすぎると複雑化するため、以下では単純に流入水の平均値 (BOD: 138mg/L、SS: 206mg/L) を用いて解析することとする。意図的に汚泥を排出しない今回の運転条件では、処理水 BOD は平均約 5mg/L なので、除去 BOD 量  $S = (138 - 5\text{mg/L}) \times 30\text{L/日} \times 1\text{g}/1,000\text{mg} = 4.0\text{g/日}$  となり、 $\Delta X_m = 40a - bX_m$  の速度で系内に蓄積していくことになる。また、流入後残存する SS 量は、処理水 SS が平均約 16mg/L なので、 $c$  を流入 SS の分解率とおくと、流入 SS 残存量  $\Delta X_i = (206 - 16\text{mg/L}) \times 30\text{L/日} \times 1\text{g}/1,000\text{mg} \times c = 5.7c\text{g/日}$  になる。

以上の要素を時間経過とともに計算したのが図 3 である。典型的な汚泥変換率  $a$  と自己酸化率  $b$  として、前報<sup>2)</sup> でほぼ妥当な微生物汚泥濃度を与えた、それぞれ 0.7、0.06 (20°C)<sup>5)</sup> をそのまま使用した。微生物汚泥の濃度は比較的速やかに 4,000mg/L 弱で一定となり、これは微生物合成とその自己酸化がつりあっている状態と考えられる。図 3 では好気系についてのみ図示してあるが、流入 SS の分解率  $c$  を変化させたところ、好気系、嫌気+好気系ともにほぼ実測結果にマッチした値は  $c = 0.92$  (分解率 92%) であった。一般には、せいぜい半分程度しか分解されないとされてきたので<sup>4)</sup>、これはきわめて高い SS 分解率である。流入水性状の変動が一因となっているかもしれないが、すでに報告<sup>6)</sup> があるように、流入 SS を長時間系内に滞留させることによる

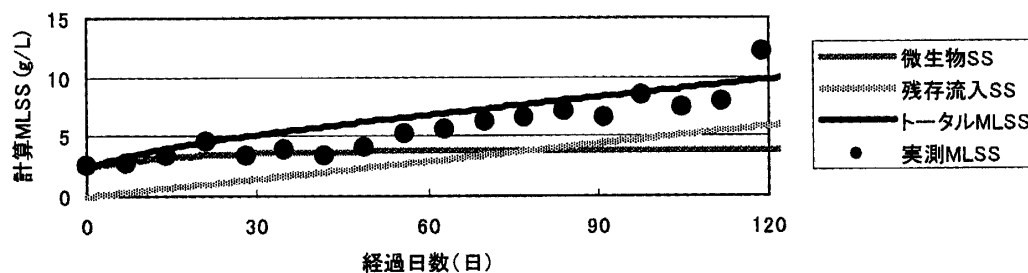


図3 各汚泥濃度の概算結果

分解促進効果も大きいと思われる。今回得られた流入 SS 分解率の妥当性については、今後の検討課題であろう。

#### 4. まとめと課題

本報では、実下水の活性汚泥処理において汚泥を意図的に排出させないという、極限的な長時間ばっ気法を採用したところ、好気系、嫌気+好気系ともに MLSS が約 10,000mg/L またはそれ以上に達し、時おり大量の汚泥が最終沈殿池からウォッシュアウトするのが観察された。やはり、この超長時間ばっ気法は固液分離に問題が生じることが示唆され、標準的な設備では運転が困難であると思われた。しかしながら、ばっ気量の増加を無視するならば、重力沈殿池に替えて遠心濃縮、膜分離等の固液分離装置を用いることによってこの問題は解決可能である。また、オキシデーションディッチ法のような低負荷処理方式ならば、重力式の最終沈殿池でも運転可能であると推測される。一方、汚泥構成を概算したところ、流入 SS の 90%以上が分解されるという計算結果となった。この流入 SS 分解率の向上という点については、超長時間ばっ気法の採用による好影響がでたものと考えられる。

#### 謝辞

実験に協力していただいた福井市浄化センターの皆様に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 石川宗孝：余剰汚泥の削減化技術の特徴と今後、環境技術、Vol.28、No.8、p.523-527、1999.
- 2) 高島正信：福井工業大学研究紀要、第 35 号、p.171-175、2005.
- 3) (社) 日本下水道協会：下水試験方法、1997.
- 4) (社) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説、2001.
- 5) 松尾友矩ほか監訳：水質環境工学—下水の処理・処分・再利用—、技報堂出版、1993.
- 6) 船戸東郎：余剰汚泥の減量化を目指した OD プロセスの運転管理について、第 40 回下水道研究発表会講演集、2003.

(平成17年11月30日受理)