

人工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*

Minimum Sludge Production in Activated Sludge Process for Artificial Wastewater Treatment

Masanobu Takashima

In this research, minimization of sludge production from activated sludge processes was studied by increasing the solid retention time (SRT) as long as possible. Two sets of activated sludge processes were prepared and maintained for this purpose. One was an usual activated process with 8 hours detention time. To another was added an anaerobic tank with 2 hour detention time, which was expected to reduce sludge production further. Both processes were fed an artificial wastewater of 200mg/l BOD, and operated for about 100 days without withdrawing any excess sludge. The experimental results showed that it was possible for both processes to be operated without excess sludge production. However, the quality of effluent was deteriorated, suggesting further researches on this subject.

1. はじめに

下水道の整備にともない下水処理施設から発生する汚泥量は着実に増加の一途をたどっている。この汚泥の処理・処分をどうするかは大都市のみならず中小都市の自治体においても悩みの種である。これには汚泥の処理・処分が焼却と埋め立てに強く依存しており、周知のように、埋め立て処分場が全国的に不足し始めているということが背景にある。また、工場排水の処理施設においては、汚泥処分に要する経済的負担を減らすため、さまざまな有効利用の方法が検討されているが、遅々として進まない状況にある。

今までの技術開発は下排水処理施設で発生してしまった汚泥の減量化であり再利用化であったが、上記のような背景から近年、発生源である下排水処理施設において「汚泥をできるだけさない」ことが切望され始めている。

そこで本研究では、汚泥の滞留時間を長くし、自己酸化を促す下水の活性汚泥処理法を採りあげ、この方法がどの程度汚泥生成量を削減できるか実験的に検討してみた。この方法は、もっとも単純な方法であり、新たな設備をほとんど必要としない。今回は、人工下水を対象とし、通常の活性汚泥処理システムと、その前に嫌気タンクを付加したシステムの両方について検討を行った。

* 建設工学科地球環境工学専攻

2. 汚泥発生量の抑制技術¹⁾

近年提案されている、主な汚泥発生量の抑制技術を表1に整理する。生物処理方式において発生活泥量をできるだけ少なくするためには、長時間ばっ気法のように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方法がある。活性汚泥は、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、これを式で表すと以下ようになる。

$$\Delta X = aS_r - bX \quad (1)$$

ここで、 ΔX ：汚泥発生量 (g/日)、 S_r ：除去BOD量 (g/日)、 X ：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⁻¹)。

(1) 式において S_r の除去BOD量を下げることとはできないものと仮定すると、余剰汚泥量を減らすためには、 a の汚泥転換率を減らすこと、あるいは b および X を大きくすることが考えられるが、滞留時間を長くする方法は X を大きくすることによって自己酸化される汚泥量を増加させるものである。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。そのため、汚泥量の削減を目指したごく最近の研究では、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や、物理化学的手段を用いて余剰汚泥その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なども盛んに試みられている。

表1 汚泥発生量の抑制技術¹⁾

| | |
|--------------------|--|
| 汚泥転換率を減少させる方法 | 腐植土 スギナ 特殊岩石 |
| 自己酸化率または活性汚泥濃度の増大 | 長時間ばっ気槽 オキシデーションディッチ法 原生動物利用活性汚泥法 膜分離活性汚泥法 サポニン添加槽 |
| 余剰汚泥の可溶化・低分子化+生物処理 | オゾン法 好熱細菌 高速回転ディスク ミル破碎 水熱反応 |

3. 実験方法

使用した実験装置を図1に示す。実験装置は二系列準備し、一系列は好気タンク、沈殿池および付帯設備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）。嫌気タンクを付加する理由は、嫌気下における汚泥の分解を期待するためである。

種汚泥は境浄化センターエアレーションタンクの活性汚泥に実験室で培養していた汚泥を一部

混合したもので、実験開始時の濃度は約 $3,000\text{mg/l}$ であった。供試下水には表 1 に示す濃縮人工下水（BOD 濃度約 $2,400\text{mg/l}$ ）を使用し、これを水道水で 12 倍に希釈し流入させた（流入 BOD 濃度約 200mg/l ）。合計した流入下水量は約 30l/日 に設定したので、エアレーション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（ 2.5l ）の容量は好気タンク（ 10l ）の $1/4$ であるので、嫌気タンクの滞留時間は約 2 時間であった。好気タンクの溶存酸素（DO）濃度はおおむね $0.5\sim 2\text{mg/l}$ になるように調節し、汚泥の引き抜きは全く実施しなかった。分析方法はすべて下水試験方法²⁾に従った。

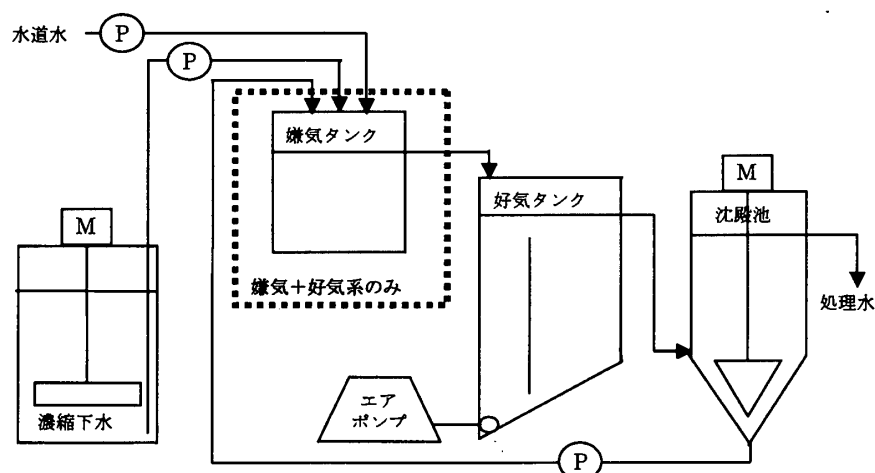


図 1 実験装置の概略

表 1 濃縮人工下水の組成

| | |
|--|------------|
| グルコース | 1.632g/l |
| L-グルタミン酸ナトリウム・一水和物 | 2.076 g/l |
| K_2HPO_4 | 0.261 g/l |
| KH_2PO_4 | 0.017 g/l |
| $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ | 0.535 g/l |
| NH_4Cl | 0.0034 g/l |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.27 g/l |

4. 実験結果および考察

図 2 に、主な実験結果として MLSS（エアレーションタンク内汚泥濃度）、処理水 BOD、同 TOC および同 SS の経日変化を示す。実験開始直後では、嫌気+好気系の MLSS が $2,000\text{mg/l}$ 以下まで急低下したが、これはこの時期に好気タンクの DO 濃度が不安定で 1mg/l 以下と低いことが多く、嫌氣的分解が進行しすぎたためと思われる。その後、徐々に MLSS 濃度が上昇し、60 日目ごろから好気系とほぼ同程度に到達した。一般に、嫌気下の方が汚泥の生成が抑制される。し

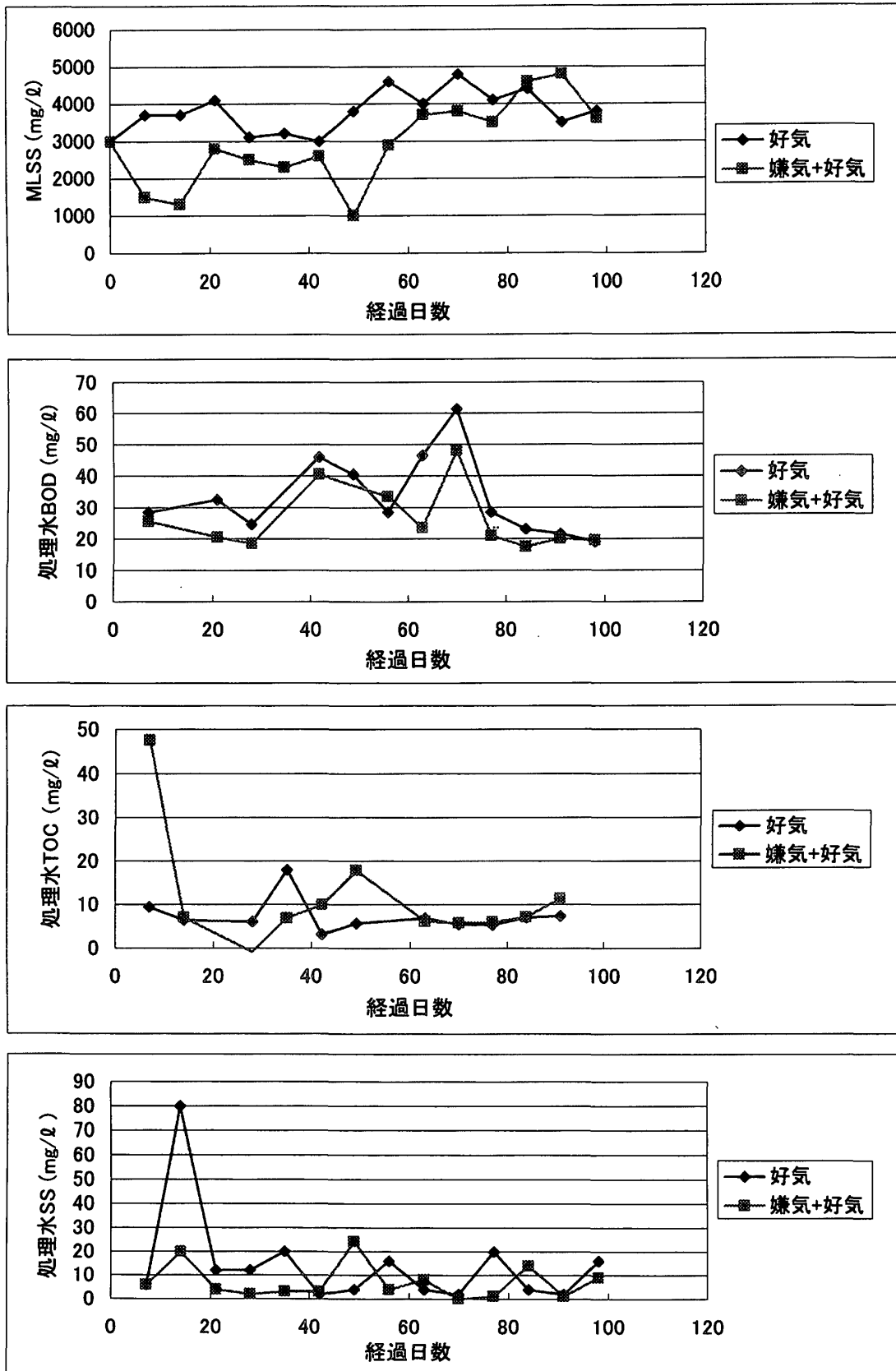


図2 主な実験結果のまとめ

かし、今回のように汚泥を捨てない無制限に長い汚泥滞留時間では、嫌気下でも好気下でも難分解な成分のみが残るため、その濃度に大差がないのではないかと推測される。

今回の運転条件では、平均処理水 BOD は約 30mg/l なので、除去 BOD 量 $S_r = (200 - 30\text{mg/l}) \times 30\text{l/日} \times 1\text{g/1,000mg} = 5.1\text{g/日}$ である。また、意図的に汚泥を排出しなかったが、処理水 SS として流出していく分が余剰汚泥とすると（平均約 10mg/l ）、余剰汚泥量 $\Delta X = 10\text{mg/l} \times 30\text{l/日} \times 1\text{g/1,000mg} = 0.3\text{g/日}$ となる。典型的な汚泥変換率 a と自己酸化率 b は、文献 3) よりそれぞれ 0.7、0.06 である（ 20°C ）。以上より本運転条件における定常状態の X を推定すると、 $X = (aS_r - \Delta X) / b = (0.7 \times 5.1 - 0.3) / 0.06 = 54.5\text{g}$ であり、このときの MLSS 濃度は好気タンクの容量が 10l であるので $54.5\text{g} / 10\text{l} = 5.45\text{g/l} = 5,450\text{mg/l}$ と推算される。好気タンク MLSS の最大値は約 $5,000\text{mg/l}$ であり、推算値より若干低いことが多かった理由として、高 MLSS により時々チューブ等に詰まりが生じて汚泥が流出したことが考えられる。

処理水の BOD、TOC および SS の濃度は、多少のばらつきはあるものの、好気系、嫌気+好気系とも全体的に同様なレベルを推移した。そのうち処理水 BOD については、下水処理水放流基準 20mg/l よりほとんどの場合高く、この運転方法では処理水質の悪化が伴うことがわかった。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、全有機物濃度を表す TOC の値からそれが比較的わずかであったと思われる。

毎週測定しなかったのが図 2 には図示されていないが、汚泥沈降性を表す SVI は、最後の 1 ヶ月間は好気系が $160 \sim 250\text{ml/g}$ 、嫌気+好気系が $80 \sim 130\text{ml/g}$ の範囲であった。SVI が 200 を超えると汚泥が沈殿しにくいバルキング状態を意味する。したがって、汚泥濃度や処理水質について両系列で大きな差がなかったものの、汚泥沈降性の面では嫌気タンクを有する方が圧倒的に優れていたと言える。

5. まとめ

今回の実験から、人工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、処理水質が悪化することも観察されたので、これが今後の検討課題であろう。

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) (社) 日本下水道協会：下水試験方法、1997.
- 3) 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

(平成 16 年 12 月 1 日受理)