

好気性グラニュール汚泥を利用した省スペース型排水処理装置の開発

環境エネルギー科 岡本哲志
三鈴工業株式会社 鈴木正史

Development of a Space-Saving Wastewater Treatment System Using Aerobic Granular Sludge

OKAMOTO Tetsuji and SUZUKI Masashi

We conducted laboratory-scale experiments on a space-saving wastewater treatment system that uses aerobic granular sludge (AGS). Basic characterization of the system showed that the self-granulating sludge used in this study possesses the properties of AGS, which has high sludge settling properties and can maintain a high bacteria concentration. In addition, we evaluated the nitrogen removal characteristics of the wastewater treatment system and found that wastewater with a nitrogen volume load of 0.01 [kg-N/m³/d] and a C/N ratio of 3 to 9 can be treated in a sequential batch processing system. As a result, it was possible to save space by eliminating the sedimentation tank, which was essential for conventional activated sludge treatment, by using AGS.

Keywords : aerobic granular sludge, wastewater treatment system, space-saving type, sludge settlability, sequential batch processing

本研究では、好気性グラニュール汚泥 (AGS) を利用した、省スペース型排水処理について実験室規模で検討を行った。基本特性評価から、本研究で使用した自己造粒化汚泥は汚泥沈降性が高く、菌体濃度を高く保つことができるという AGS の特性を持っていることが分かった。また、窒素除去を目的として排水処理特性を評価し、窒素容積負荷が 0.01 [kg-N/m³/d] で C/N = 3 ~ 9 の排水を逐次回分方式で処理できることが分かった。以上の結果から、AGS を利用することで従来の活性汚泥処理で必要不可欠であった沈殿槽を省いた省スペース化が可能であった。

キーワード：好気性グラニュール、排水処理装置、省スペース型、汚泥沈降性、逐次回分方式

1 はじめに

排水処理技術は食品メーカーを中心に企業の生産活動に必要不可欠な技術であり、微生物が活性汚泥（写真 1 左）として排水を浄化する活性汚泥処理が行われているが、処理の低コスト化及び装置のコンパクト化が技術的課題となっている。同課題の解決を目的とした先行研究では、微細気泡散気装置で間欠曝気を行う新たな処理方式を提案し、県内食品工場に設置したパイロットプラント実験で実証した¹⁾。その実証実験の過程で自己造粒化した「好気性グラニュール汚泥（Aerobic Granular Sludge : AGS）」（写真 1 右）と考えられる汚泥を発見した。AGS は、①菌体の沈降性が高

く、②菌体濃度を高く保つことができる²⁾ことから、AGS が高濃度の有機性汚濁物質（特に窒素）に対する排水処理に有効であると考えられた。



写真 1 活性汚泥（左）及び AGS（右）

そこで本研究では、AGSを利用した省スペース型排水処理について実験室規模で検討を行った。

2 方法

最初に、先行研究で発見した自己造粒化汚泥（以下、自己造粒化汚泥）に対しAGSの基本特性を評価した。次に、窒素除去を目的として排水処理特性を評価し、逐次回分方式により単一槽での排水処理が実験室規模で可能かを検討した。

2.1 AGSの基本特性評価

AGSの基本特性として、汚泥沈降性と高密度性を評価した。具体的には、汚泥沈降性として汚泥容量指標（Sludge Volume Index: SVI）を測定した³⁾。また、汚泥の高密度性として、容量100mLのメスシリンダーに自己造粒化汚泥を一定容量添加し、終夜静置後に上清を除去した汚泥に対する活性汚泥浮遊物（Mixed Liquor Suspended Solid: MLSS）濃度を測定した。MLSSは、JIS K 0102: 2019の14.1（懸濁物質）に基づいて測定した。なお、評価に当たっては、先行研究¹⁾で使用した活性汚泥を対照試料とした。

2.2 排水処理特性評価

（1）実験装置及び排水

実験室規模の装置（処理槽容量：5L、写真2）を用い、自己造粒化汚泥単独での排水処理特性を明らかにした。自己造粒化汚泥は、先行研究の工場に設置したパイロットプラント実験装置から回収したものを使用した。また、実験に使用した排水は、プラントを設置した食品工場から排出されるシロップ廃液及び魚の煮汁廃液を所定の割合で混合し、蒸留水で希釈することで調製した。

（2）排水処理実験

実験は、最初に処理槽に自己造粒化汚泥（MLSS: 3,000mg/L）を3L添加した。次に、（1）曝気用ポンプにより処理槽内で曝気を行いながら、定量ポンプにより原水槽から原水を1.5L供給する操作、（2）曝気を停止し自己造粒化汚泥が沈降した後、処理槽の上清1.5Lを別の定量ポンプで処理水槽に回収する操作、を交互に繰り返した。上記の操作は、排水の供給と曝気により排水を処理する機能（図の（4）と（1））と、処理水を自己造粒化汚泥と分離し排出する機能（図の（2）と（3））を单一の処理槽で実現することを想定している。



写真2 実験装置

①原水槽、②曝気槽、③処理水槽、④曝気用ポンプ、⑤定量ポンプ、⑥溶存酸素計、⑦データロガー

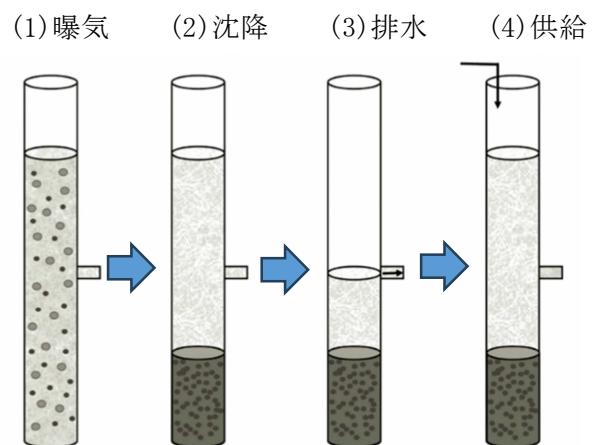


図 単一槽での排水処理方式

排水処理特性として、排水の炭素/窒素（C/N）比及び窒素容積負荷を評価した。最初に、窒素容積負荷を先行研究の3.3倍の負荷に当たる0.1[kg-N/m³/d]に固定し、C/N比を9から3まで下げた条件で実験を行った。その後、C/N = 3に固定し、窒素容積負荷を0.1から上げていく条件で実験を行った。実験条件を変更する判断基準として、排水の窒素除去効率を90%に設定した。排水中の窒素成分としてはケルダール窒素（有機体窒素）を指標とした。排水中のケルダール窒素は、JIS K 0102: 2019の44.1（有機体窒素前処理（ケルダール法））に基づいて前処理を行い、得られた試料中のアンモニア態窒素をイオンクロマトグラフ Integrion HPIC system（サーモフィッシュ）

サイエンティフィック（株）製）で定量した。また、排水中の炭素成分としては COD_{Mn} を指標とし、JIS K 0102 : 2019 の 17（100 °C における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量 (COD_{Mn})）に基づいて定量した。そして TOC 標準液の COD_{Mn} との比較から、得られた COD_{Mn} 値を TOC に換算した。

3 結果及び考察

3.1 AGS の基本特性評価

標記評価結果を表 1 に示す。汚泥の沈降性の指標とした SVI は値が低いほど沈降性が高く、一般的な活性汚泥の SVI は 50-150 [mL/g] が正常値とされる⁴⁾。このことから、自己造粒化汚泥は対照とした活性汚泥に比べて沈降性が高いことが分かった。また、自己造粒化汚泥の SVI は既往研究²⁾の AGS の SVI (40-50 [mL/g]) に近い値が得られた。さらに、汚泥の高密度性の指標とした MLSS は、対照とした活性汚泥の 1.7 倍高かった。MLSS が高い程、曝気槽内で菌体濃度を高めることができるので、高負荷排水処理にも対応できると期待される。以上の結果から、本研究で使用した自己造粒化汚泥は AGS であると考えられた。

表 1 AGS の基本特性評価

試料	自己造粒化汚泥	活性汚泥
SVI [mL/g]	61	228
MLSS [mg/L]	16,400	9,590

3.2 排水処理特性評価

実験結果を表 2 に示す。本表より、窒素容積負荷を 0.1 [kg-N/m³/d] に固定し、C/N 比を 9 から 3 まで下げた条件では、いずれも窒素除去効率 90% を達成した。このことから、AGS による排水処理では、低 C/N 比の排水にも効果があることが分った。また、C/N = 3 に固定し、窒素容積負荷を 0.1 から上げていく条件では、窒素容積負荷 0.3 まで窒素除去効率 90% 以上を達成した。以上の結果から、AGS を利用することで沈殿槽を省いた活性汚泥処理の実現が可能と考えられた。

表 2 排水処理特性
(排水の C/N 比及び窒素容積負荷)

排水中の C/N 比 [—]	9	6	3
窒素容積負荷 [kg-N/m ³ /d]			
0.03	◎	—	—
0.1	◎	◎	◎
0.3	—	—	◎

◎ : 窒素除去率 90% 以上

AGS は目視可能な粒状汚泥であり、表面には有機性炭素を炭酸ガスに酸化し、有機性窒素を硝酸態窒素まで硝化する好気性細菌が分布する一方で、内部には硝酸態窒素を窒素ガスにまで脱窒する嫌気性細菌が存在することが知られている⁵⁾。本研究で使用した AGS の菌叢解析は今後の研究課題であるが、本研究の排水処理条件においても、同様の有機性炭素及び窒素の除去が行われているものと考えられた。

4 まとめ

本研究では、AGS を利用した省スペース型排水処理を実験室規模で検討し、以下のことが分かった。

- (1) AGS の基本特性評価から、本研究で使用した自己造粒化汚泥は AGS と考えられた。
- (2) 排水処理特性評価から、窒素容積負荷が 0.1 [kg-N/m³/d] では、C/N = 3 ~ 9 の排水を処理することができた。
- (3) AGS を利用することで、従来の活性汚泥処理で必要不可欠であった沈殿槽を省いた省スペース化が可能であった。

今後、AGS の培養方法を確立し、パイロットプラントでの実証を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 岡本哲志 他：微細気泡散気方式を利用した省スペース型排水処理装置の開発. 令和 4 年度

静岡県工業技術研究所 研究発表会 要旨集, 18
(2023).

- 2) 長谷部吉昭 他: 好気性グラニュール汚泥による窒素除去. *Journal of Environmental Biotechnology*, 15(2), 57-61 (2016).
- 3) 公益社団法人 日本下水道協会: 下水試験方法 (1997 年版) (上), 第 3 章 活性汚泥試験 第 8 節 活性汚泥の沈降性指標 2. 汚泥容量指標 (SVI) (1997).
- 4) 須藤隆一 他: 「図説 生物相からみた処理機能の診断」, 4, 第 8 版 (産業用水調査会, 東京) (1997) .
- 5) Nancharaiah, Y. V. et. al. :Recent advances in nutrient removal and recovery in biological and bioelectrochemical systems. *Bioresource Technology*, 247, 1128-1143 (2016).