

嫌気性 MBR を用いた BMBR 余剰汚泥からのリン溶出に関する研究

中央大学 正会員 ○羽深 昭

中央大学 非会員 ル タオ

三機工業株式会社 非会員 三村 和久

中央大学 正会員 山村 寛

北海道大学 正会員 佐藤 久

中央大学 正会員 渡辺 義公

1. はじめに

リンは、ここ数年間高い国際取引価格を維持しており、リンの全量を輸入に頼る日本は、長期的かつ安定的なリン資源の確保が懸念されている¹。したがって廃棄されているリンを未利用資源として循環利用していくことが強く求められる。

近年、 0.36 kWh/m^3 の低エネルギーで運転できる有望な下水処理プロセス：BMBR (Baffled Membrane Bio-Reactor) の研究が進んでいる。下水中の栄養塩類に関して、BMBR は高い除去率を持っており、流入下水の全リンに対して、約 97% の高い除去率が報告されている²。また、除去されたリンの約 95% は BMBR 余剰汚泥に移行することが分かっている²。

生物学的リン除去法で除去されたリンは汚泥中にポリリン酸として蓄積され、嫌気条件下で液相に再放出されるため、嫌気性処理を用いた下水活性汚泥からのリン回収に関する研究も行われている³。従来の嫌気処理システムの立ち上げは、およそ2か月から4か月の期間を要する。加えて、反応槽中の微生物の付着が弱く、汚泥流出が多いという問題点がある。一方、嫌気プロセスと膜分離プロセスを合わせた嫌気性 MBR は汚泥滞留時間を長くすることができ、立ち上げ期間を2週間以内にすることが可能である⁴。その他にも嫌気性 MBR プロセスは省エネルギーであるうえ、バイオガスの生成も期待される。

そこで本研究では、ベンチスケールの嫌気性 MBR を用いた BMBR 余剰汚泥からのリン溶出とバイオガス生成の有用性を検討した。

2. 実験方法

2-1. 実験装置

本研究に用いた嫌気性 MBR の有効容積は 20 L であり、消化槽外には汚泥循環管路と膜ろ過管路を別々に設置した。分離膜は住友電気工業のポアフロモジュール中空系膜を用いた。膜材質は PTFE 多孔質体、膜総表面積は 0.06 m^2 以上で膜の孔径は $1 \mu\text{m}$ である。消化槽内の温度は消化槽外周部の温度制御装置で 35°C に制御した。消化槽内はモーターで攪拌し、反応槽内の物質混合と温度均一化を図った。発生したバイオガスは消化槽上部からチューブを通してガス採取袋内に採取後、湿式ガスメータ（日本フローコントロール、MGC-1）を用いて計量した。

2-2. 実験方法

種汚泥には下水処理場の嫌気消化汚泥を用いた。投入汚泥には BMBR 余剰汚泥を用いた。毎週槽内から 2 L 消化汚泥を引き抜いた後、2 L の余剰汚泥を投入し、39 日間運転を行った。40 日目から分離膜を使用し、ろ液のみを槽内から引き抜き、汚泥滞留時間を長くした。バイオガスの発生に伴い、50 日目から投入汚泥の量を 3 L に増加させた。

2-3. 分析項目

分析は消化槽内汚泥、投入汚泥、汚泥投入直後の混合汚泥に対して行った。汚泥を投入する際に、槽内汚泥を採取し、蒸発残留物 (TS)、強熱減量物 (VS) を測定した。リン酸イオン (PO_4^{3-}) は試料水を 100 倍希釈し、 $0.2 \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターを通し、モリブデン青吸光光度法を用いて濃度を測定した。アンモニウムイオン (NH_4^+) は液体クロマトグラフィー（島津製作所）を用いて測定した。また、pH メーター（堀場製作所、D-55）を用いて消化槽内の pH を 2 日に 1 度測定した。

キーワード：リン回収、嫌気性 MBR、メタン発酵、汚泥処理、BMBR

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 羽深昭

TEL: 03-3817-7283 E-mail: hafuka.14p@g.chuo-u.ac.jp

3. 結果および考察

3-1. 消化槽内有機物の分解

運転開始後、pH は 7.6 から 7.2 と変動が見られたが、嫌気消化が進むと槽内の pH は 7.2 から 7.3 に安定する傾向が見られた。既存の研究では、良好に運転されているメタン発酵槽の pH は 6.5 から 8.2 の範囲であることが報告されており⁵、本消化槽の運転も良好であることが示唆された。図 1 に VS の経時変化を示す。消化槽内の VS 濃度は約 6.4 mg/g から 7.0 mg/g で推移した。運転日数 40 日から 50 日の間に、VS の分解率は 68%、50 日から 63 日の間に、VS の分解率は 90%に上昇した。

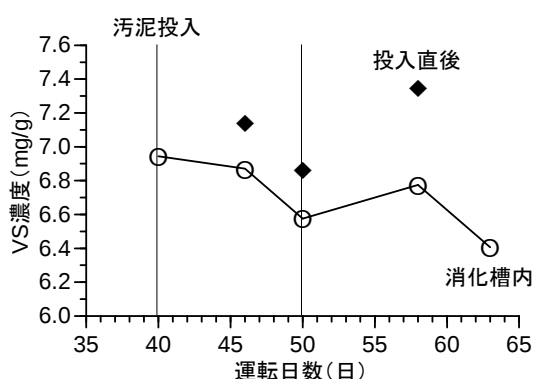


図 1. 消化槽内 VS 濃度の経日変化.

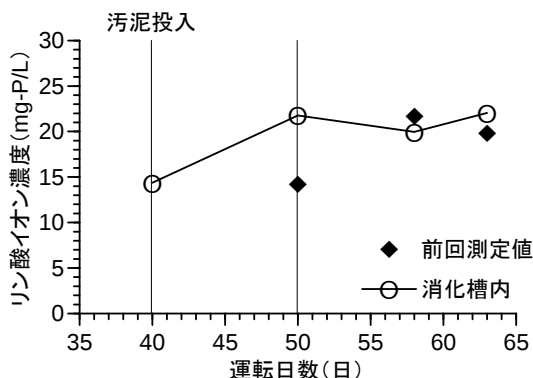


図 2. 消化槽内リン酸イオン濃度の経日変化.

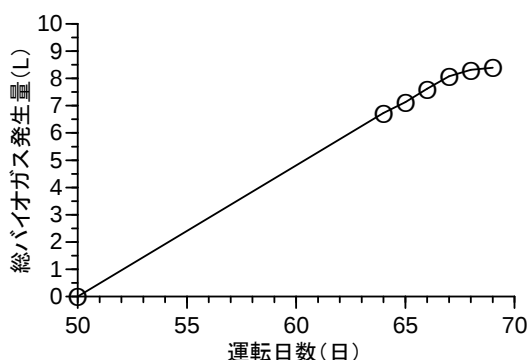


図 3. 消化槽からのバイオガス発生量.

3-2. 消化槽からのリン溶出

本研究で用いた BMBR の余剰汚泥は約 20 mg-P/g-VS のリンを含有していた。投入余剰汚泥の VS は約 6.5 g/L のため、130 mg-P/L のリンが投入汚泥中に含まれている。図 2 に槽内のリン酸イオン濃度を示す。消化槽内のリン酸イオン濃度はおよそ一定の濃度（約 20 mg-P/L）を保っていた。また、槽内のリン酸イオン濃度は投入汚泥のリン酸イオン濃度（40 mg-P/L から 50 mg-P/L）に比べると低かった。よって、汚泥中のリンは溶出しておらず、BMBR の余剰汚泥中のリンの大部分は槽内に留まっていると考えられる。分析試料が少ないため、今後もリン酸イオン濃度の経日変化を測定する予定である。

3-3. 消化槽からのバイオガス生成

消化槽からのバイオガス生成は 40 日以降に確認できた。ガス生成量を図 3 に示す。初期のバイオガス生成速度 k は 0.5 L-gas/d であった。また、投入汚泥 VS あたりのガス発生能は約 0.44 L/g-VS であり、中温発酵の平均ガス発生能 0.52 L/g-VS より少ないが⁵、消化槽の運転日数が短い点を考慮すると十分なガス発生量が得られたと言える。

4. 結論

本研究では、嫌気性 MBR を用いた BMBR 余剰汚泥からのリンの資源回収およびバイオガス生成の有用性を検討することを目的とし、現時点で以下の知見を得ることができた。投入汚泥の分解は順調に進んでいたが、汚泥中のリン溶出は見られなかった。嫌気消化プロセスに膜分離プロセスを加えることで、従来の立ち上げ期間を短縮できた。また、嫌気性 MBR を用いた BMBR の余剰汚泥の消化はバイオガスの創エネルギー効果を持つことが明らかとなった。

参考文献

1. 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 2010. 「下水道におけるリン資源化の手引き」.
2. K. Kimura et al., *Water Research*, **42**(3), pp625-632, 2008.
3. 東京都下水道局, 2000. 「活性汚泥中含りんの効率的除去技術の開発」調査年報.
4. H. Lin et al., *Desalination*, **314**(2), pp169-188, 2013.
5. 野池達也ら, 2009. メタン発酵 技報堂出版.