

微生物燃料電池による廃水からのリン回収量に影響を及ぼす諸因子の解明

岐阜大学大学院 学生会員 ○本山 亜友里

岐阜大学

正会員

市橋 修

廣岡 佳弥子

李 富生

1. はじめに

微生物燃料電池とは、電子生産微生物を利用して廃水中の有機物を除去すると同時に発電を行う技術である。電気エネルギーを回収できるのみならず、曝気が不要であり余剰汚泥の発生量も少ないことから従来の好気性微生物を利用した生物学的廃水処理と比較して運転に要するエネルギーが少なくなることも見込まれており、低炭素社会を担う省エネ・創エネ型廃水処理技術として実用化が期待されている。

しかし、廃水に含まれる汚濁物質は有機物だけではない。窒素やリンなどの栄養塩は、湖沼や湾岸などの閉鎖性水域における富栄養化の原因となるため、有機物の除去およびエネルギー回収だけでなく、栄養塩も同時に除去することが望ましい。また、リンは肥料の成分として代替物質がなく、その枯渇は食糧生産の低下に直結する重要な元素でもある。しかしながら、リン鉱石資源は50～100年での枯渇が懸念されており¹⁾、廃水などからリン資源をリサイクルすることが望まれている。

我々の研究グループは、微生物燃料電池を用いてリン酸、マグネシウム(Mg)、アンモニウム(NH₄)を含む廃水を処理する際に、カソード上にリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)の結晶を析出させ、有機物除去および発電と同時にリンの回収を行うことができることを報告した²⁾。この結晶は、カソードから容易に剥離させることが可能であった。結晶析出の原理は、カソードでの酸素還元反応によってOH⁻が生成した結果、カソード近傍のpHが局所的に上昇し、MAPの溶解度が下がったことによるものであると考えられる。しかしながら、析出に影響を及ぼす因子に関しては、詳細な検討が行われていない。そこで本研究では、廃水中のリン酸、NH₄、Mg、外部抵抗、有機物濃度および発生電流量に着目し、それぞれがリン回収に与える影響を明らかにした。

2. 方法

実験には、エアカソード一槽型微生物燃料電池を用いた。実験装置の概要を図-1に示す。微生物燃料

電池本体は水槽、アノード(カーボンフェルト+炭素棒)とカソード及びこれらをつなぐ外部回路から構成されている。カソードは、ガス拡散電極を用いた³⁾。炭素源は酢酸ナトリウム(8.2mmol/l/day)とし、廃水ボトル内には、HEPESバッファー(pH6.8)およびビタミン、ミネラルを含む人工廃水が入っており、ポンプにより20ml/minの流量で循環させた。リン回収実験に際しては、実験開始前に各微生物燃料電池の運転条件を各実験での設定条件に従い変更し、電圧を安定させた。その後、各廃水ボトル内にリン酸バッファー(pH 6.8)と塩化アンモニウムを添加した。さらに1時間後、塩化マグネシウムを1時間かけて注入した。適時サンプリングを行い、リン酸、Mg、NH₄濃度はイオンクロマトグラフ、リン濃度の測定はICP発光で測定した。実験終了後、各リアクターからカソードを取り外し、水で洗浄後、風乾させた。析出物はXRD回折分析で解析した。

検討因子としては、リン酸(リン)、NH₄ Mgの有無、リン酸、NH₄ Mg濃度、外部抵抗、有機物濃度、電流量である。これらの詳細な実験条件を表-1に示す。

3. 結果と考察

3.1 廃水中のリン酸、NH₄、Mg濃度の影響

廃水にリン酸とNH₄ Mgが全て含まれる場合は、廃水中のリン濃度(図-2)およびNH₄、Mg濃度が減少しカソード上に析出物がみられた(図-3(a))。

さらに、リン酸とMgを含むがNH₄を含まない場合

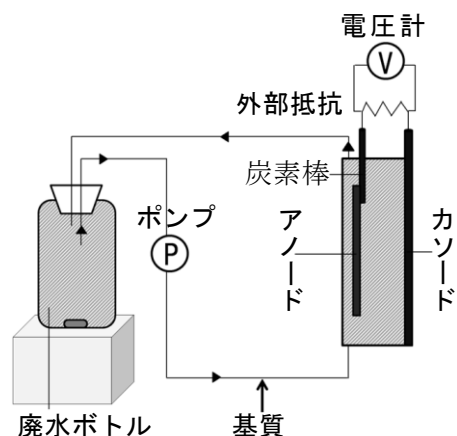


図-1 実験装置概要

も析出が見られた。しかし、リン酸と NH_4 を含み Mg を含まない場合は析出が見られなかった。析出物に関して、リン酸と NH_4 , Mg を含む場合は MAP, リン酸と Mg を含むが NH_4 を含まない場合はリン酸マグネシウム的一种であるカッタイト($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$)の結晶であった。さらに廃水中のリン酸を一定濃度にして、 NH_4 , Mg の濃度を变化させた場合、濃度が高くなるほどカソードへの析出量が多くなった(図-3(b))。

3.2 外部抵抗の影響

有機物濃度を一定にし、外部抵抗を变化させ運転した結果、外部抵抗が小さくなるほど微生物燃料電池の発電量が増加し、同時にリン析出量が増加した。

3.3 廃水中の有機物濃度の影響

有機物の濃度を变化させて運転した結果、有機物の濃度が高くなるほど微生物燃料電池の発電量が増加し、リン析出量が増加した。

3.4 電流量の影響

電流を一定に制御して運転した結果、有機物の濃度を变化させてもリン析出量にはほとんど影響がみられなかった。一方有機物濃度が同じ場合でも電流量が多くなるほどリン析出量が増加した。このことから、3.2 や 3.3 において電流制御なしで外部抵抗や有機物濃度を变化させた場合にリン析出量が増加したのは、電流量が増加したことが直接的な原因であったと推測される。電流量が増加すると析出量が増加するのは、カソードでより多くの OH^- が生成し、カソード近傍の pH が高くなるためだと考えられる。

4. まとめ

微生物燃料電池による廃水からのリン回収に影響を及ぼす因子について検討した結果、 NH_4 , Mg 濃度が高くなるほどカソードへの析出量が多くなった。また、有機物濃度に関しては高くなるほど、外部抵抗

に関しては小さくなるほど発電量が増加しカソードへの析出量が多くなった。これは電流量が増加したことによりカソード近傍の pH がより高くなったためであると考えられる。

参考文献

- 1) Cordell, D., et.al (2009). Global Environmental Change 19: 292-305
- 2) Ichihashi, O. and Hirooka, K. (2012) Bioresource Technology 114: 303-307
- 3) Cheng, S., et.al., (2006). Electrochemistry Communications 8(3), 489-494

謝辞：本研究は「最先端・次世代研究開発支援プログラム」の一環として行われた。

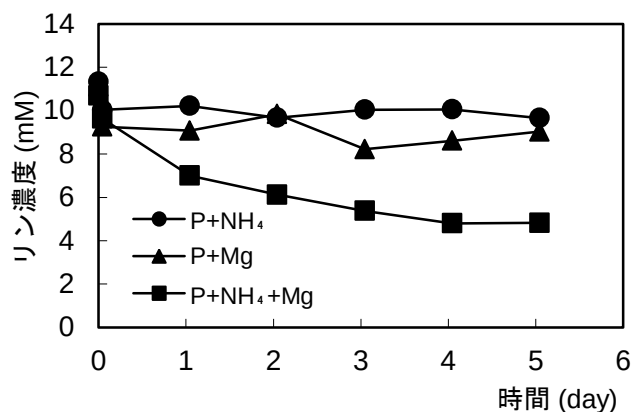


図-2 廃水中のリン濃度の経時変化

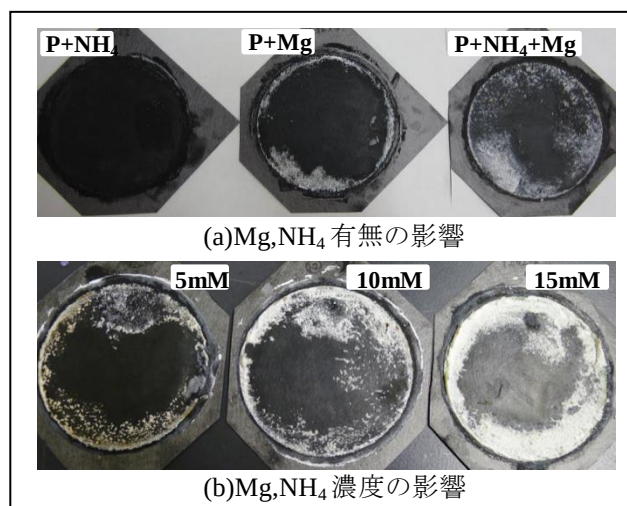


図-3 廃水の組成(P, Mg, NH_4 濃度)の影響

表-1 検討要因及び実験条件

検討因子 / 実験条件	P (mM)	NH_4 (mM)	Mg (mM)	外部抵抗 (Ω)	有機物濃度 (mmol/L/day)	電流量 (mA)
リン酸, NH_4 ,Mg の有無		15 / 0 / 15	0 / 15 / 15	10	8.2	制御なし
リン酸, NH_4 ,Mg 濃度		5 / 10 / 15	5 / 10 / 15			
外部抵抗	10			10 / 100 / 開回路		
有機物濃度		10	10	10	8.6 / 4.3 / 2.2	
電流量				-	8.6 / 8.6 / 4.3	14 / 5 / 5