

アノード親水化および流れによる下水からの生物学的電流生産の促進

名古屋工業大学 学生会員 ○宮崎耕平

名古屋工業大学 正会員 吉田奈央子

1. はじめに

次世代の下水処理方法の一つとして、下水バイオマスを電流に変換し回収する微生物燃料電池(Microbial fuel cell : MFC) (図1) が着目されている。しかし、MFC の出力電力は下水に潜在するバイオマスエネルギーに比べて低く、技術改善が必要である。

MFC の電力出力を決める主たる要因に、アノードにおける下水有機物の微生物による酸化ならびに電子伝達反応がある。他の微生物反応と同様に、有機物濃度が高いほど反応が早くなり MFC の出力電力が高くなる。そのため、都市下水のような有機物濃度の低い廃水から電力回収を行うには、アノード担持微生物に如何に有機物を供給できるかが鍵となる。本研究では、アノード担持微生物への有機物供給を促進する方法として、アノード表面の親水化ならびに反応溶液中の流れに着目し、これらが下水有機物からの電流生産性に与える影響を評価した。

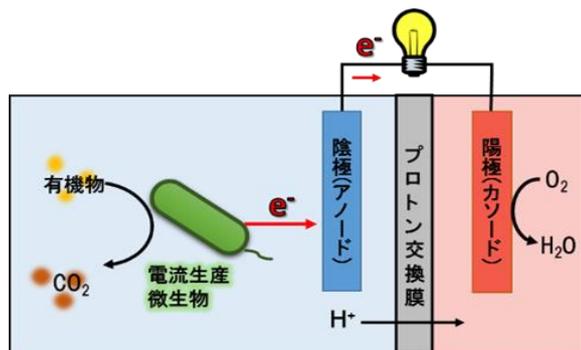


図1 MFC 模式図

2. 実験方法

2.1. アノードの親水処理が吸水性および微生物担持性に与える影響評価

MFC のアノード材料に一般的に用いられる黒鉛フェルト (GF) をアノード材料として用いた。アノードの親水化の手法には、O₂プラズマ処理を用いた。親水性の評価は、以下の式で算出される吸水率により評価した。吸収した水の体積は 5×5×0.5cm 角に切り取った GF を水で満たしたケースに 30 秒浸した後取り出し、水の質量の減少量を測定することにより求めた。

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{\text{吸収した水の体積 (cm}^3\text{)}}{\text{黒鉛フェルトの体積 (cm}^3\text{)}} \times 100$$

微生物の植種は、次のようにして行った。下水処理施設(堀留処理場, 愛知)の最初沈殿池からサンプリングした活性汚泥を約 2 倍に濃縮し、3×1×0.5 cm 角に切り取った未処理および O₂プラズマ処理 GF を 30

分漬け置きした。漬け置き後取り出し、GF が補足した汚泥微生物の細胞密度を直接検鏡法により計測した。

2.2. 定電圧培養試験

900ml 容積の蓋付きガラス瓶の蓋に、参照電極 (Ag/AgCl), 対電極 (φ 1.0cm のばね状の白金線), 集電体として φ 0.30mm の白金線, および未処理または O₂プラズマ処理 GF (3×8×0.5 cm 角) を設置した (図2)。アノードに、2.1.と同様の方法で汚泥微生物を植種した後、容器を最初沈殿地流出水で満たした。ポテンシオスタット (北斗電工) を用い、アノードの電圧を常に +0.2V(vs. Ag/AgCl) に保ち、発生電流を 1 時間毎にデータロガーで記録した。

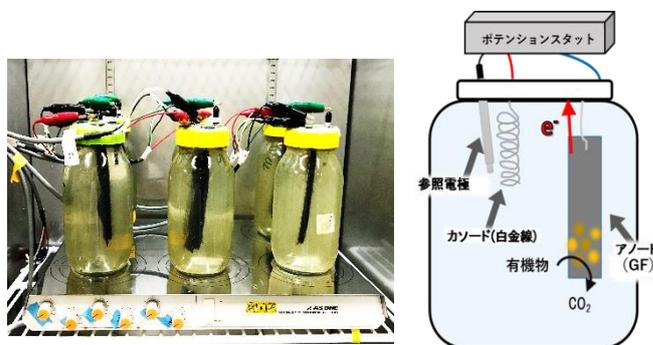


図2 電気培養装置図

2.3. 一定流速下での定電圧培養試験

流速が下水からの有機物利用の促進に与える影響を評価するため、2.2 でアノードに未処理 GF を用いた培養容器の中に攪拌子を入れ、100, 200, 300, 400 rpm で攪拌し、攪拌時の電流生産を記録した。各攪拌強度における流速は、培養装置と同じ瓶を水で満たし、5g/L カオリン (白陶土) を滴下した際の単位距離の到達時間から算出した。

3. 実験結果

3.1. 親水化が吸水性および微生物担持性に与える影響

図3に、未処理ならびに O₂プラズマ処理した GF の吸水試験の結果を示す。図3より、未処理 GF の平均吸水率は 9.4%であったのに対し、O₂プラズマ処理 GF の平均吸水率は 98%と高かったことから O₂プラズマ処理により GF 内部へ水が浸透しやすくなることが示された。つづいて植種微生物の担持性を評価した結果、植種源である活性汚泥の細胞密度を 100 とした際の GF の微生物補足率は、未処理 GF で 67%, O₂プラズマ処理 GF で 96%であった。これより、O₂プラズマ処

理によって、水の浸透と同様、微生物細胞もアノードに補足されやすくなることが示された。

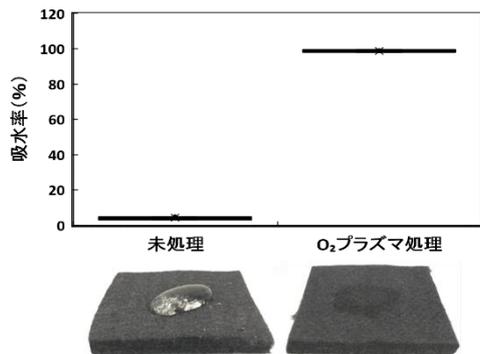


図3 未処理 GF および O₂プラズマ処理 GF の吸水率 (n=3)および水滴下後の吸水の様子

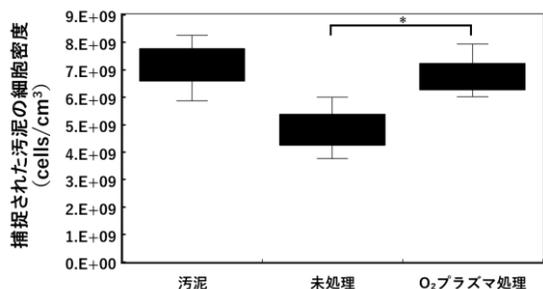


図4 GF が捕捉した汚泥の細胞密度 (n=3)

3.2. 親水処理が下水からの電流生産に与える影響評価

未処理ならびに O₂プラズマ処理 GF に活性汚泥を植種後、下水中で定電圧バッチ培養した際の生産電流を記録した結果を図5に示す。最初の汚水入れ替えを行った9日目までの間での平均最大電流密度は未処理 GF で $28 \pm 42 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ 、O₂プラズマ処理 GF で $57 \pm 8 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ であった。よって培養初期では、O₂プラズマ処理によって電流生産が促進されることが示された。しかし、定期的に汚水入れ替えを行いながらさらに培養を継続した結果、未処理ならびに O₂プラズマ処理 GF 間の電流密度の差は小さくなり、培養開始から21日目では、未処理 GF で $133 \pm 60 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ 、O₂プラズマ処理 GF で $142 \pm 33 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ となり、同程度になった。これより、O₂プラズマ処理は、植種から一定期間の電流の立ち上がり期に電流生産を促進するものの、しばらく経過した後は未処理と差がないことが示された。

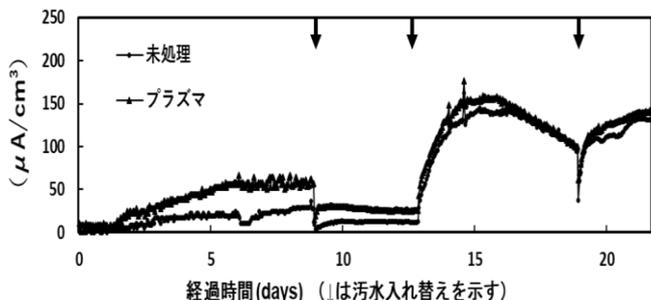


図5 未処理ならびに O₂プラズマ処理が下水からの電流生産に与える影響評価 (n=3, ↓は汚水入れ替えを示す)

3.3. 流速が下水からの電流生産に与える影響評価

未処理 GF を用い、異なる攪拌速度下で下水からの電流生産を比較した結果を図6に示す。静置条件で21日間培養した後、攪拌速度を段階的にあげ、0~16cm/sの流速(図6c)を与えた後、再度静置条件に戻し、各流速で10-20分間生産電流を記録した(図6a)。流速が大きくなるにつれて電流密度も増え、静置条件に戻したところ、直ちに電流生産も減少した。静置条件では電流密度 $153 \pm 77 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ であったのに対し、流速16cm/sで最大電流密度 $338 \pm 94 \mu\text{A}/\text{cm}^3$ となり、約2.2倍に促進された(図6b)。これより、流れが生じることでGF内部に有機物が供給され、GF内部に捕捉された微生物による電流生産が促進されたことが示唆された。

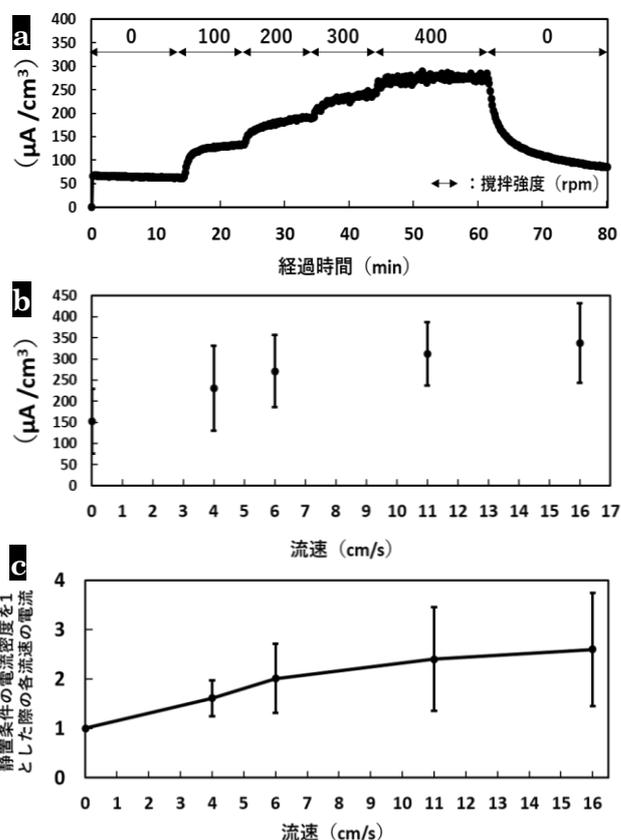


図6 流れが下水からの電流生産に与える影響 (a: 各攪拌強度時の電流密度, b: 平均電流密度と流速の関係, c: 静置条件の電流密度を1とした際の各流速の電流)

結論

- ・ GF の O₂プラズマ処理は、GF の水の浸透ならびに植種微生物の担持を促進し、定電圧培養開始初期の電流生産を促進する。
- ・ GF に担持した微生物の下水からの電流生産は、流速の増加に伴い増加し、16 cm/s で静置時の電流生産の約2.2倍の電流生産を示した。これより、GF に担持した微生物による下水有機物からの電流生産は GF 内部への有機物拡散が律速であり、流れの制御により電流生産を促進できる。