

広島大学大学院 学生会員○横田 崇之
 広島大学大学院 正会員 大橋 晶良
 広島大学大学院 正会員 尾崎 則篤
 広島大学大学院 正会員 金田一智規

1. はじめに

下水中の有機成分から電気エネルギーを直接回収することのできる微生物燃料電池と呼ばれる装置がある。近年、海底汚泥や水田汚泥、下水処理場で用いられている汚泥中に、電極に付着し直接電子を伝達しうる微生物が存在することが確認されたことにより下水処理場などにおいて微生物燃料電池を用いて電気エネルギーを回収することが期待できるようになってきた。この装置を用いることによって下水処理における余剰汚泥生成量を減少させ、処理コストの削減にも繋がるというメリットを有している。

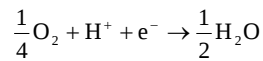
この微生物燃料電池は近年、注目度が上がっており、電子伝達を行う微生物やリアクター改善による電気エネルギー回収率の向上などといった数多くの研究がある。このような中で、実際の排水処理システムへの実用化の研究はあまり進んでいない。そこで本研究では、微生物燃料電池の実用化のための基礎研究として、まずリアクターを設置し有機物が分解できることを確認し、それと同時に電気エネルギーの回収を行う。次に有機物処理性能の把握と電気エネルギー回収率の向上を目的とする。

2. 微生物燃料電池による発電のメカニズム

微生物燃料電池では、Anode 極槽で電極へと直接電子伝達しうる微生物の触媒作用により、有機物から電子が回収され、同時に水素イオンも生成される。回収された電子は Anode 電極から外部回路を移動して Cathode 電極に、また発生した水素イオンは隔膜（陽イオン交換膜）を透過して Cathode 極槽へ移動する。この水素イオンが Cathode 極槽で酸素と反応し、電子を受け取るが、この過程で電力が生じることになる。各電極での代表的な反応を以下に示す。

Anode 極（酢酸塩を基質とする場合）

Cathode 極



3. 実験方法

Fig. 2 にリアクターの概要を示す。リアクターは 30℃ に設定した恒温器の中で、Anode 極槽の方を攪拌させている。それぞれ 250 mL の Anode 極槽と Cathode 極槽の間に隔膜として水素イオン交換膜を挟んだ。Anode 極槽は液体培地で、Cathode 極槽は純水で満たしエアレーションを行った。回分実験として液体培地はショ糖 900 mgL⁻¹、酢酸ナトリウム 450 mgL⁻¹、プロピオン酸 450 mgL⁻¹、酵母エキス 200 mgL⁻¹ を炭素源とし COD 濃度を 2000 mgL⁻¹ とした。各電極は 3×8 (cm) の Carbon cloth を使用し、Anode 極には消化汚泥を付着させた。回路は純ニッケル線とリード線により接続し途中に固定抵抗器を挟んだ。

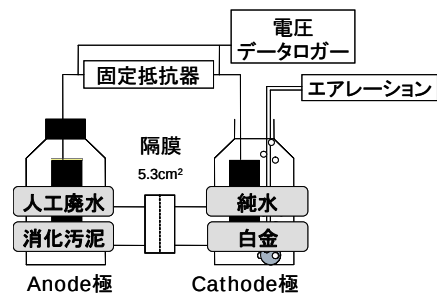


Fig. 2 微生物燃料電池リアクターの概要

人工廃水を用いた時の有機物処理性能を把握するために COD 濃度を測定した。サンプルは液体培地の作成直後、またリアクター運転途中の液体培地を適宜、チューブで吸い上げたものを用いた。電力 (P) は $P = V \times I$ で算出した。電流 I、電力 P は共に Anode 極槽の電極表面積あたりとした。次にクーロン効率 Q_e を求めた。これは有機物を分解することで得られた電子のうち、実際に回路を通過した電子の割合を示すものである。

ここで微生物燃料電池の発生電圧について考える。この電圧は微生物の有機物分解から得られるものであり、有機物自体のエネルギーを微生物が電子に変換している。そこで、ギブスの自由エネルギー ΔG^0 (kJ / e⁻ eq) を用いて本実験で発生する電圧を予測する。その結果、本実験における微生物燃料電池の上限電圧は約 1.0 V であると予測する。

4. 実験結果

Fig. 4 にリアクター運転中での COD 濃度の変動、Table. 1 に COD 除去速度を示す。COD 濃度を測定した結果、十分に有機物を除去できることが確認された。運転初期では Anode 極槽に存在する微生物の量が少なく、液体培地の有機物を除去するのに二週間以上を必要とした。しかし運転開始から約 170 日経過した現在、約一週間で有機物を除去できるようになっている。Anode 極槽に存在する微生物量が増加したと考えられる。

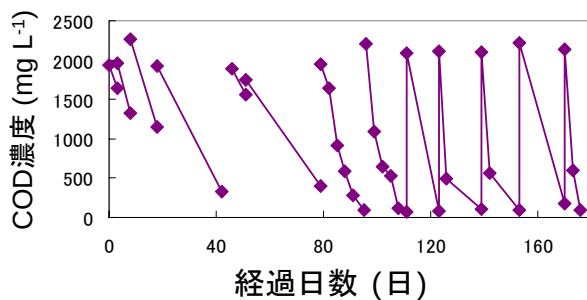


Fig. 4 COD 濃度の変動

Fig. 5 にリアクターの電圧、電流と電力の変動を示す。Fig. 5 中の矢印は液体培地の交換時期を表す。ギブスの自由エネルギーから 1.0 V の電圧が発生することが予想されたが、実際にはリアクターの内部抵抗が存在するため発生電圧は低く、最大で抵抗値 1600 Ω 、311 mV までしか発生しなかった。微生物量が増加すると電子伝達量も増加し電圧が増加するのではないかと考えていたが、現在、発生電圧は約 290 mV を上限値としそれ以上の増加を見せなくなった。これは微生物量と発生電圧には直接的な関係はなく、発生電圧は抵抗値や隔膜などの装置的な影響を受けると言える。また、電圧は抵抗値に比例するが、電流は抵抗値に反比例する。そこで、高い電力密度を得るための最適な抵抗値を調べた。Fig. 6

に抵抗値と電圧、電流、電力の関係を示す。実験は運転開始後 53 日目に行った。1000 Ω を超えたあたりから電力密度は 13 mW m⁻² でほぼ一定となりそれ以上増加しなくなった。また、抵抗値が高くなるほど電流密度は減少した。そこで、抵抗値が低いほうが微生物は電子を伝達しやすいのではないかと考え、抵抗値を 1000 Ω に決定した。クーロン効率を求めると、約 5% であった。まだ向上の余地がある結果となった。

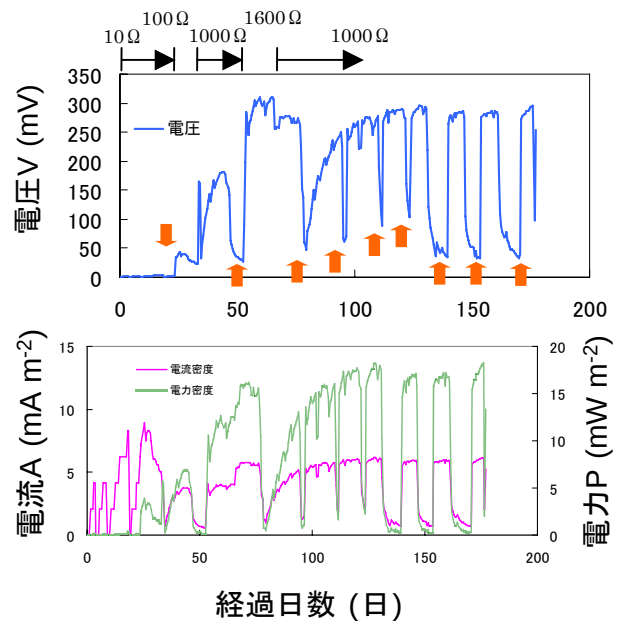


Fig. 5 電圧、電流と電力の変動

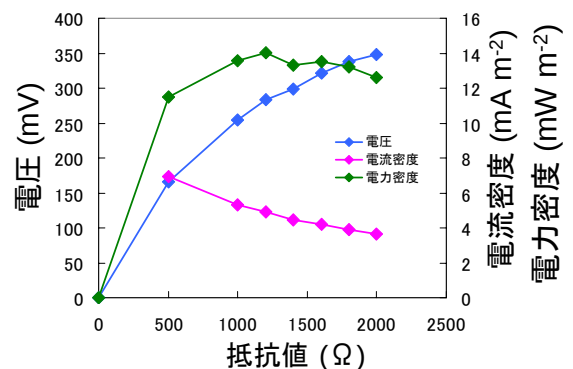


Fig. 6 抵抗値と電圧、電流、電力の関係

5. 今後の予定

本研究では回分実験を行ったが、下水処理場に見立て連続実験でも行い有機物処理性能に問題がないか調べる必要がある。また、微量ながらメタンも発生しており、電気エネルギーとメタン回収の関係についても考察する必要がある。