

令和5年度環境・社会理工学院共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所属系・役職	融合理工学系・助教
氏名（フリガナ）	Cheng Shuo（テイ シャク）
研究題目	Development of packed bed flow electrode microbial fuel cells
受賞名（1つ選択）	創成的研究奨励賞

研究の背景

現在、廃水処理プロセスは世界の電力消費量の3~4%を占めており、エネルギー回収率は30%未満にとどまっている。一方、微生物燃料電池（MFC）は廃水処理とエネルギー回収を同時に実現する優れた技術であり、既存の廃水処理施設に導入すれば、エネルギー消費量を大幅に削減できると期待されている。しかし、従来のMFCでは、固定アノードの表面積が限られているため、微生物の付着量や単位時間あたりに接触できる廃水の総量も限られ、これが発電量と水処理効率の向上を妨げていた。そこで本研究では、この技術的ボトルネックを突破するために、固定電極を流動性のある電極粒子に置き換え、Fe/C磁性電極粒子を開発した。磁場により電極粒子と集電体との接触を強化することで、従来の炭素固定電極の3倍以上の出力を安定的に達成することに成功した。

研究の概要と成果

フロー電極に置き換えると、発電菌から電極粒子への電子移動および電極粒子から集電体への電子移動が効率的に行われることを確保する必要がある。そのため、申請者は既存の固定電極（グラファイトフェルト）と炭素フロー電極（グラファイト繊維粒子、粉末活性炭粒子、グラファイト粒子）を用いて発電実験を行った。顕微鏡観察から、細菌細胞がフロー電極粒子に定着していることが確認された。しかし、出力結果によると、すべてのフロー電極の発電量は固定電極の1/6以下であった。これは、フロー電極粒子から集電体への電子移動効率が固定電極よりもはるかに低いことを示している。したがって、フロー電極の電子生成能力をさらに向上させると同時に、電極粒子と集電体との接触を強化する必要がある。

フロー電極粒子の電子生成能力を向上させるため、申請者は炭素電極粒子の表面に鉄とその酸化物を担持させ、電極粒子内部で鉄-炭素マイクロ電気分解反応を起こすことで電子生成効率を向上させることを試みた。出力結果により、Feを担持したフロー電極の出力が、未担持の炭素フロー電極より全般的に高く、Fe担持による電極効率の向上が確認された。しかし、Feを担持したフロー電極の発電量は依然として固定電極に及ばなかった。また、Feを担持した固定電極もフロー電極も、未担持の炭素電極と同様に、電極の分極による経時的な出力低下という問題があった。

その後、申請者は含浸-高温焼結法を用いて、鉄含有率80wt%および60wt%のFe/C磁性電極粒子の合成に成功した。砂鉄、磁化および非磁化フェライト粒子との比較結果により、Fe(80%)/CおよびFe(60%)/C電極粒子は、他のフロー電極材料よりも高い出力を供給でき、電極分極による出力低下もないことが示された。また、顕微鏡観察では、酸化鉄結晶表面に多数の細菌細胞が付着していることが確認された。これにより、鉄-炭素マイクロ電解と発電菌の2つの電子生成経路を持つことが、Fe/C磁性電極粒子がより高い出力を提供できる理由と考えられる。

Fe/C電極粒子は強い磁性を持つため、外部磁場で簡単に駆動・分離させることができる。そこで、申請者は外部磁場（磁石）を用いてFe/C磁性電極粒子を引き寄せ、金属集電体の表面に短時間付着させることを試みた。試験結果によると、磁場アシストにより、Fe(80%)/C電極粒子の出力が8倍以上（0.98W/m³から7.95W/m³）に増加した。この出力値は、固定電極の最高出力記録（2.69W/m³）の約3倍に達した。

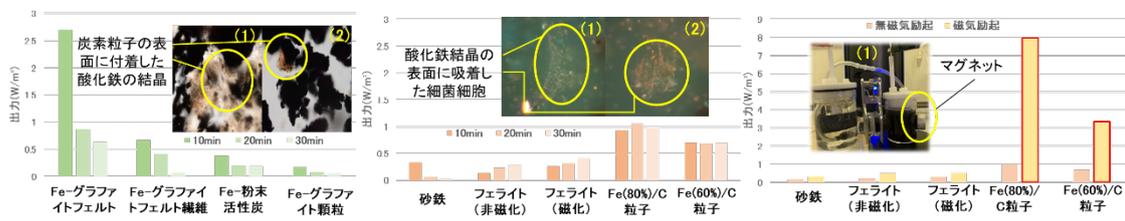


図1 MFC出力とフロー電極粒子の顕微鏡観察結果

今後の展望

廃水処理プロセスは現代社会に不可欠ですが、その膨大なエネルギー消費量と低いエネルギー回収率はこれまで見過ごされてきた。磁場アシストフロー電極MFCを開発することで、低濃度有機廃水から直接エネルギーを回収し、低発電量、低水処理効率、電極分極といった従来のMFCの技術的限界を克服することが期待される。これにより、廃水処理施設のエネルギー回収効率を50~70%まで高めることが可能になると考えられる。

※このページは学院内に公開するので、他分野の教員でも理解できる書き方を心掛けて下さい。