

## カセット電極微生物燃料電池による製糖廃水処理検討

山澤 哲・上野 嘉之  
 鹿島建設株式会社 技術研究所 地球環境・バイオグループ  
 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 電話: 042-489-7023(代)  
 Fax: 042-489-7024 E-mail: akira@kajima.com

我々は、人工メデイエータを反応槽内に添加せずに発電を行うマイクロフロー系電気発酵（微生物燃料電池）に注目し開発を行っている。本研究ではビート製糖廃水（北海道糖業株式会社）を原料とした電力産生と有機物除去能について検討を行った。リアクタは 2 つのカセット電極をインストールした小型カセット電極微生物燃料電池（容量 320mL）を用い、高温メタン発酵汚泥を植種源として立上げを行った。結果、外部負荷を増加させながら約 10 ヶ月間の運転を継続した結果、外部負荷 40Ω において約 13.1 W m<sup>-3</sup> の電力密度が得られた。

### 1. はじめに

バイオマスは、太陽光をエネルギー源に合成された貴重なエネルギー物質であり、昨今、叫ばれている低炭素社会実現に向け、更なる有効活用を進めて行かなければならない。しかし、現代社会で活用が進められている液体燃料などと比較すると、安定性（腐敗しやすい）やエネルギー密度（含水率が高い）といった観点から、効率的な利用のためには解決すべき点も多い。一方、同様の観点から廃棄物系バイオマスの省エネルギー的処理技術、またはエネルギー回収技術の必要性もますます高まっている。この分野で活用可能な手段としては、水素発酵、メタン発酵、バイオ燃料化などが挙げられ、いずれも変換後の可得形態はエネルギー物質であることから、エネルギー密度の向上、貯留安定性、運搬の利便性といった重要な利点が得られる。その反面、現代社会において需要の大きい電力エネルギーを得るためには発電装置が必要となり、ほとんど

の場合、電力変換工程において半分程度のロスを生じてしまう点は、残念である。

そこで著者らは、近年、バイオマスから直接電力エネルギーを変換・回収する技術として急速に注目を集めている電気発酵に着目し、次世代の廃水・廃棄物処理システムとして実用化検討を推進している。この電気発酵を応用したリアクタは微生物燃料電池（MFC; Microbial Fuel Cell）と呼ばれ、メタン発酵のバイオマス分解効率と、燃料電池の電力変換効率を両立できる可能性があることから、近未来の低炭素社会実現を目指したエネルギー回収型廃水・廃棄物処理システムとして大いに期待されている（図-1）。

著者らは特に、廃水・廃棄物処理分野への適用を視野に検討を行うに当たり、アノード槽への人工的なメデイエータ添加や正極槽への酸化剤添加を行わない「メデイエータレス」、メタン発酵と同様に非滅菌の原料を安定的に処理できる「マイクロフロー系」を指向して実用化検討を推進している[1]。

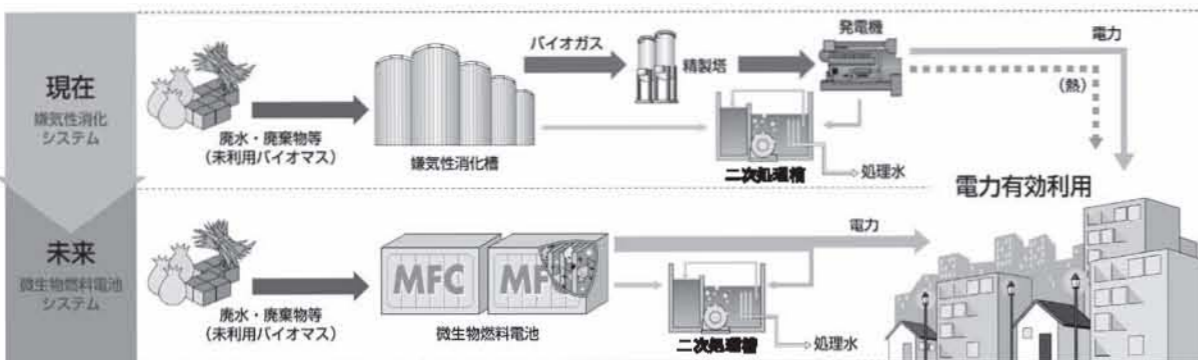


図-1 低炭素社会実現を目指した近未来のエネルギー回収型廃水・廃棄物処理システムの提案

### 2. カセット電極微生物燃料電池とは

著者らは、東京大学の渡邊らと共同で、保守性を考慮し、処理対象に合わせて柔軟なシステム構成が選択可能な独自のリアクタを構築した（図-2）。本システムは、嫌気処理槽にエアカソード（空気正極）カセットとアノード（負極）を設置するだけで構築可能なほか、エアカソードへのバイオフィーム形成により電気生成能低下が生じた場合、アノードに馴致された電気発酵微生物を空気に触れさせることなくエアカソードのみの保守が可能であり、簡便に最適状態を維持できる。

アノード素材として炭素繊維不織布を用い、エアカソードとして Cheng らの方法[2]を用いて構築したカセット電極微生物燃料電池リアクタ（カセット電極数 12、容積 1 L）により、スターチを主電子供与体とする高濃度模擬廃水（289 g-COD<sub>C</sub> L<sup>-1</sup>）を原料として検討を行った結果、複合高分子基質を用いたものとして、当時、世界トップの性能（129 W m<sup>-3</sup>）を実証している[3]。

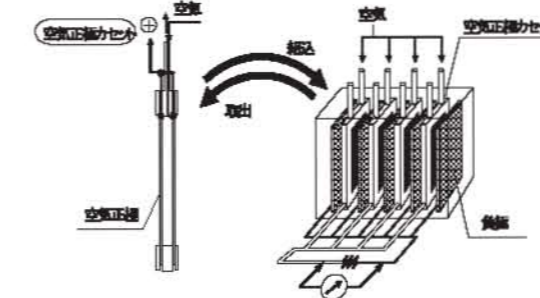


図-2 カセット電極微生物燃料電池リアクタの模式図

### 3. 製糖廃水への適用検討

#### (1) 方法

小型のカセット電極微生物燃料電池（写真-1; カセット電極数 2、容積 320 mL）を用い、製糖廃水（北海道糖業株式会社; 16.7 g-COD<sub>C</sub> L<sup>-1</sup>）を原料として長期間連続運転の検討を行った。植種は、季節変動の少ない植種源として自社の高温メタン発酵汚泥を用いた。

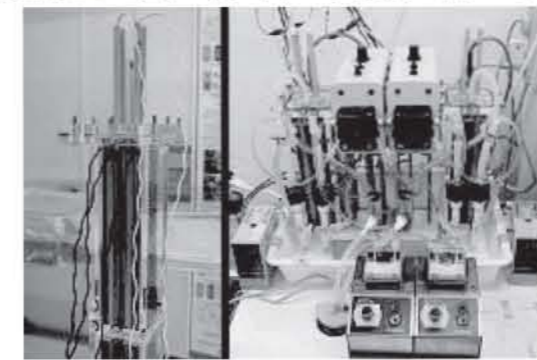


写真-1 小型カセット電極微生物燃料電池リアクタ

#### (2) 結果

外部負荷と原料供給について、電位を観察しながら大幅な電位低下が生じないように調節し、徐々に有機物負荷と外部負荷を増加（抵抗値を低下）させながら運転を継続し、およそ 4 ヶ月が経過した時点で電力密度 4.2 W m<sup>-3</sup> が得られた（水理的滞留時間（HRT）; 3 日、外部負荷; 201 Ω）。この時 HRT を変化させて COD<sub>C</sub> 除去率を比較したところ、HRT=3 日では約 30%、HRT=6 日では約 55% の COD<sub>C</sub> 除去率であり、しかし得られる電力密度は HRT=3 日条件のほうが高い傾向を示した。そこで HRT を 3 日条件としたまま、更に外部負荷を増加させ運転を継続したところ、約 7 ヶ月時点で 8.9 W m<sup>-3</sup>（外部負荷; 50 Ω）、約 10 ヶ月時点で 13.1 W m<sup>-3</sup>（外部負荷; 40 Ω、日平均としては 11.6 W m<sup>-3</sup>）の電力密度が得られた。有機物の分解に伴い、速やかな発生電位の低下が観察されるが、安定した電位を維持できるように 1 時間おきに原料供給を行った場合、COD<sub>C</sub> 除去率は 26% 前後、クーロン収率 20% 程度であった。

以上の成績は、渡邊らと実証した 129 W m<sup>-3</sup> [3] と比較すると 10 分の 1 程度の値であるが、原料濃度が 17 分の 1 程の実廃水であることと、リアクタ容積当たりのカセット電極充填量も半分程度であることを考慮すれば、相当に優秀な成績といえる。

なお、本研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構より委託を受けて実施した。

### 4. 今後の展望

著者らは、微生物燃料電池リアクタについて、たとえばメタン発酵の代替システムとしての利用を想定すると、リアクタ容積当たりの回収電力が 1 kW m<sup>-3</sup> を超えられるかどうかビジネス化への分岐点であると考えている。そのためには特に、有機物除去能の向上のためにもアノード微生物の更なる賦活化とクーロン収率の向上が必須課題であると考えられる。同時にカソード反応の効率化とバイオフィーム研究開発の進展によるコストの低減技術にも期待したい。

### 参考文献

- [1] 山澤 哲, *et al.*: 鹿島技術研究所年報, 57, 135-138 (2009)
- [2] Cheng, S., *et al.*: *Electrochem. Comm.*, 8, 489-494 (2006)
- [3] Shimoyama, T., *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 80, 325-330 (2008)