

微生物燃料電池による排水処理

広島大学大学院 学生会員 ○井野上 祐太
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

燃料電池のひとつに、微生物燃料電池（MFC）というものがある。これは微生物の酵素による触媒作用を利用して、有機物の持つ化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換する装置である。この微生物燃料電池を用いることで、下水処理場の汚泥中に存在する、電極に付着して直接電子を伝達しうる微生物によって、電力回収を行うことが期待できる。特に残渣も発生せず、微生物が成長に用いるエネルギーの一部を、電気エネルギーとして回収するというメカニズムから、理論的には下水処理系における余剰汚泥生成量が減少し、処理コストの削減にもつながるというメリットを有している。近年この微生物燃料電池が注目を集めている。

この MFC をモチーフにして考案されたのが microbial electrolysis cell（以下 MEC）である。MEC とは、微生物の触媒作用を利用し、有機性廃水に含まれる有機物の持つ化学エネルギーを水素に変換する装置であり、アノード槽とカソード槽、電極と膜の部分（膜電極集合体）で構成されている。アノードへ直接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ると同時に、水素イオンが形成される。回収された電子が外部回路を通過してカソードへと移動するように電圧を供給する。また水素イオンは膜を通過して正極へと移動する。そして電子と水素イオンの2つが正極で反応して水素が生成される（Fig. 1）。水素は燃焼しても CO_2 が発生せず、貯蓄をすることができるため、MEC の幅広い分野での利用が期待されている。本研究は、この MEC リアクターの運転実験を行い、MEC における水素回収、有機性排水の処理能力の特性を調べた。

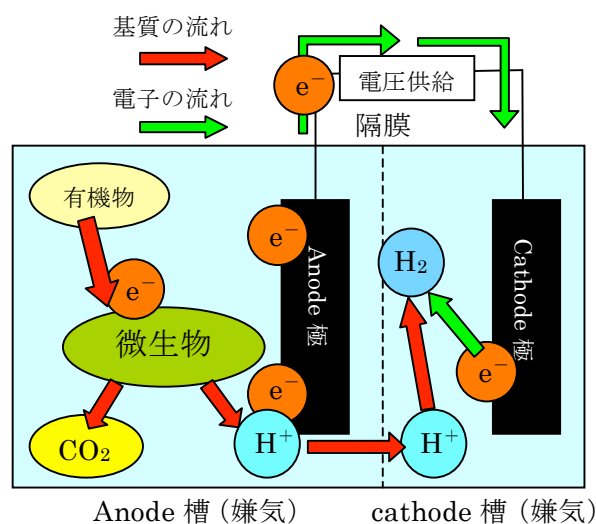


Fig. 1 MEC の水素生成原理

2. 実験方法

実験では、ラボスケールの MEC リアクターを用いた。リアクターの容積は 7500cm^3 で、アノード電極と隔膜、カソード電極の3つが接している。電極にはカーボンクロスを使用し、アノード電極には消化汚泥を植種させ、カソード電極には水素発生を促すために、白金触媒を塗布（ $2.0\text{mg}/\text{cm}^2$ ）している。装置を嫌気性にするため、リアクター運転前に気相部を窒素で充填させた。基質には、セルロース、酢酸、プロピオン酸、Yeast extract を含む人工廃水を用いる。実験条件は温度 30°C 、基質の COD 濃度 2000 mg/L 、供給電圧を 0.6 V とした。HRT は2時間と6時間、基質はポンプによって、連続的に供給した。測定項目は、基質と処理水それぞれの COD 濃度（total, 溶解）、ガス成分（ガス組成）、ガス発生量、電流、pH である。アノードでは微生物が有機物を分解する過程で、水素イオンと二酸化炭素が発生する。加えてアノード電極に付着した生物膜の中にはメタン生成古細菌が存在し、メタンガスが発生する可能性がある。メタンガスは発生した水素イオンを消費するため、水素生成を妨げる指標となる。ゆえに水素、二酸化炭素、メタンの3つを測定した。

3. 実験結果

COD 濃度の測定結果を Fig. 2 に示す. なお, Phase1 (～23 日目) では HRT2 時間, Phase2 (24 日目以降) が HRT6 時間である. 排水の全 COD 濃度 (eff(total)) は, Phase1 で基質の COD 濃度 (inf) である 2000mg/L よりも高くなった. そこで, HRT を長くして基質の流入負荷を減らした (Phase2) が, 廃水の全 COD 濃度は基質の COD 濃度の半分程度であった. また, 排水の溶存 COD 濃度 (eff(溶存)) も 1000mg/L 前後であった. 以上の結果から, 基質がうまく分解できていないことが分かる.

ガス発生量は予想よりも非常に少なく, うまく測定できなかったが, 一日あたり 10mL 以下であった. ガス組成は, 二酸化炭素が 10%～30%程度含まれていたが, 水素は全く含まれておらず, 水素の生成を妨げるメタンもほとんど発生していないという結果となった (Fig. 3). その他のガスは, リアクター運転前に気相部に充填させた窒素であると考えられる.

メタンあるいは水素が発生しない原因を調べるために, リアクターをチェックした. すると, 空気が内部に流入している可能性があることが分かり, 運転 71 日目に空気が入らないようにリアクターを修正した. その後ゆっくりではあるが, バイオガス中のメタン濃度が上昇しているが, 依然低い値である. 加えて水素ガスも回収できなかった. 以上の結果からも, 基質の有機物分解が不十分であることが分かる.

回路を流れた電流とクーロン効率を Fig. 4 に示す. クーロン効率とは, 「微生物による有機物の分解反応によって得られた電子のうち, 実際に回路を通過した電子の割合」である. 運転 71 日目にリアクターを修正するまで, 電流とクーロン効率は極端に低い値であった. リアクター修正後, クーロン効率と電流が共に上昇した. しかし依然として低い値である. この結果は, 基質の有機物分解が不十分であるために, 回路を通過した電子が少ないことを示している. しかし, メタンがほとんど発生していないため, 回路を通過していない残りの電子の行方は不明である.

4. 課題

微生物による基質の有機物分解が不十分であり, 廃水処理性能が悪い結果となった. ガスもほとんど発生せず, 目的の水素も回収できなかった. 原因はアノード槽が嫌気状態を保てていなかったこと等が考えられる. 今後, 効率よく有機性廃水を分解できるよう改善を行う.

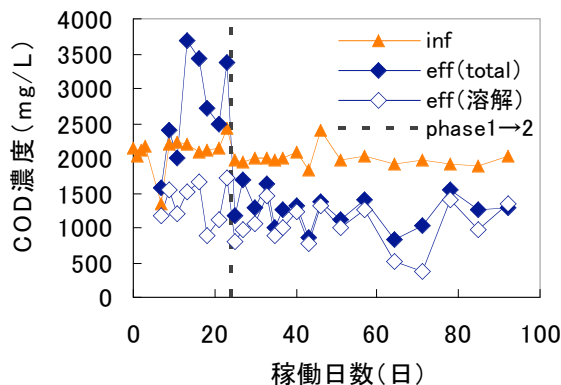


Fig. 2 COD 濃度

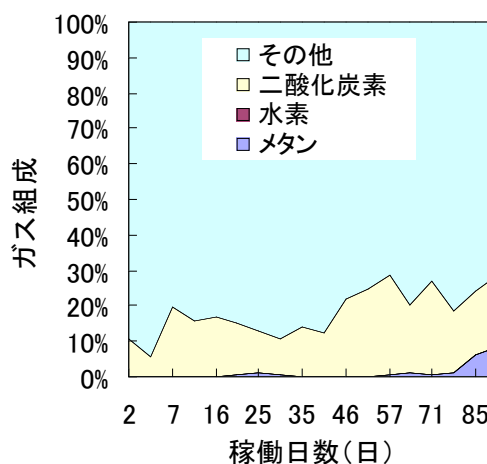


Fig. 3 発生ガス組成

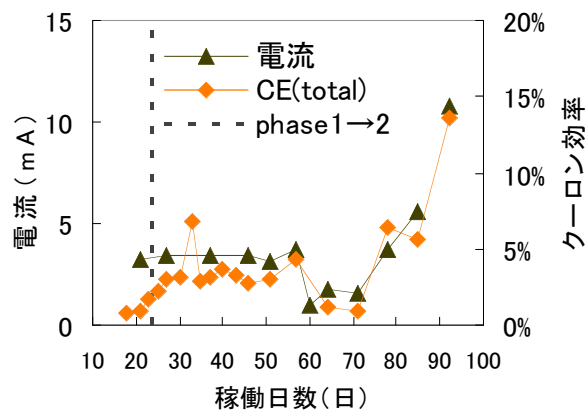


Fig. 4 電流&クーロン効率