

## アノード構造の違いが下水からの電流生産に与える影響評価

名古屋工業大学 学生会員 ○長橋航 正会員 吉田奈央子

## 1. 緒言

下水道の下水処理方法の主流である標準活性汚泥法は曝気や汚泥処理に多大な電力を消費する課題がある。一方曝気量・汚泥発生量が極めて少なく下水からエネルギーを回収できる次世代の排水処理方法として微生物燃料電池（以下MFC）がある。本研究で開発を進めているMFCは、汚水処理が進むほど有機物濃度が小さくなりアノードが律速となる。本研究では既往研究で用いた平面状のアノードに代え、立体的に加工した3種類のアノードを用い電流回収を増強できるか試みた（図1）。

## 2. 実験方法

## 2.1 本研究で用いたアノード

既往研究では黒鉛フェルト（Graphite Felt 以下GF）を用いたが、ひだ状加工した黒鉛不織布（Non-woven Graphite, 以下NWG）、カーボンブラシ（Carbon Brush 以下CB）および中空構造の竹炭（Bamboo Charcoal 以下BC）の3種類を用い下水からの電流生産評価を試みた（図1）。

## 2.2 定電圧培養装置の製作

定電圧培養装置は、容積900 mLのガラス瓶に汚水を満たしアノード、白金線ならびに参照電極を浸漬したものをを用いた。MFCのアノードがセパレーターに隣接する環境を模擬するため、アノードはアクリル板の5.0 cm×3.0 cmの部分にチタン線で固定した（図2）。さらに参照電極としてAg/AgCl電極ならびに、対電極として白金線20 cmをφ1.0 cmのばね状にしたものを蓋に固定した。

## 2.3 定電圧培養

アノード接種源は植田水処理センターの曝気槽の活性汚泥、汚水には最初沈殿池流出汚水を用いた。汚水は、10℃冷蔵庫で保存したものをおよそ2日毎に入れ替えを行った。アノード電圧は、ポテンショスタットで+0.2 V（vs Ag/AgCl）に設定し、作用極プローブをアノード、参照極プローブをAg/AgCl電極、対電

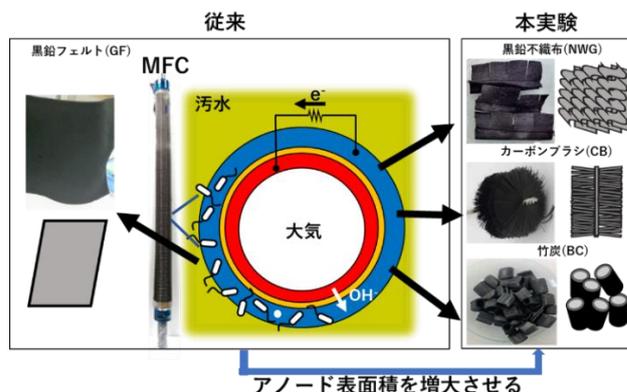
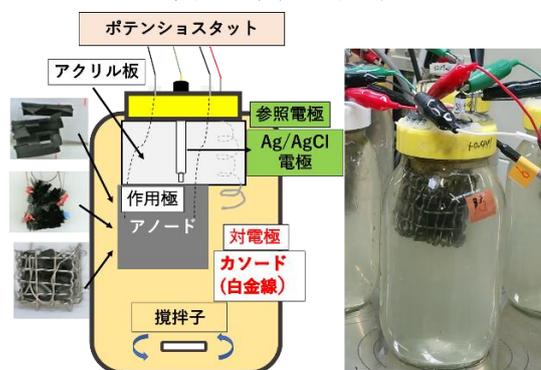


図1 研究の目的

図2 培養装置模式図および外観  
極プローブを白金線に接続した。

## 2.4 サイクリックボルタンメトリー測定

サイクリックボルタンメトリー（CV）測定は、電位が循環的に変位したときの電流を測定する試験である。本研究では、定電圧培養で用いた3種類のアノードについてEC-lab（電気化学測定装置: 仏国 BioLogic SP-150SH-Y）に接続しCV測定を実施した。アノード電位の範囲は-0.6V~0.4Vとし、掃引速度は0.2 mV/sとした。

## 2.5 交流インピーダンス測定

交流インピーダンス測定は、アノードに微小振幅で周波数を変えながら交流電位を印加した時の電流を測定し、アノードのインピーダンスを測定する試験である。本研究ではEC-labに接続し交流インピーダンス（EIS）測定を実施した。開回路電圧において変数電位の振幅は10mV、周波数範囲は1mHzから100kHzとし、1桁10点の対数操作を行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 定電圧培養

3種類のアノードについて定電圧培養を行った際の単位投影面積における電流密度の時間推移を図3に示す。バッチ毎の最大電流密度の平均は、NWG, BC, CBそれぞれ88, 78, 260 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ となった(図4A)。次に、得られた電流密度から40時間におけるバッチ毎の累積電荷密度を求めた。累積電荷密度の平均はNWG, BC, CBそれぞれ5.4, 8.7, 18 $\text{C}/\text{cm}^2$ となった(図4B)。CBが一定時間における累積電荷密度が最も大きく安定した電流生産が見込まれ、十分な空隙のある表面積を大きく保つことが電流生産を増強できると示唆された。

#### 3.2 CV測定およびEIS測定

CV測定において、電流密度に換算した時、CBが最も大きくなる。また、BC, NWGとの電流密度の差はアノード電位が大きくなるにつれて、大きくなる(図5)。EIS測定結果を図6に示す。次に溶液抵抗 $R_{\text{sol}}$ 、電荷移動抵抗 $R_{\text{ct}}$ 、電気二重層容量 $C_{\text{dl}}$ を(1)、(2)、(3)式から求めた。

$$R_{\text{sol}}[\Omega/\text{cm}^2]=R1 \quad (1)$$

$$R_{\text{ct}}[\Omega/\text{cm}^2]=2(R2-R1) \quad (2)$$

$$C_{\text{dl}}[\text{F}]=1/4\pi A p f_{\text{m}}(R2-R1) \quad (3)$$

ここで、 $R1[\Omega/\text{cm}^2]$ :高周波数側での実軸との交点、 $R2[\Omega/\text{cm}^2]$ :円の頂点での周波数 $f_{\text{m}}[\text{Hz}]$ での実軸値、 $A p[\text{cm}^2]$ :アノード投影面積=15である。

以上の式からそれぞれ求めた結果を表1に示す。3種類のアノードの中で、CBの内部抵抗値が小さく、電気二重層容量が大きいことから、CBは電子伝達がしやすく、電荷を多くためられるので電流が最も得られていると考えられる。

### 4. 結論

定電圧培養による電流測定から、既往研究で用いたGFの最大平均電流密度は61 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に対し、立体構造としたCBの最大平均電流密度は260 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ で4.3倍増大した。累積電荷密度では、既往研究の5.0 $\text{C}/\text{cm}^2$ に対して3.6倍となった。CBが非常に大きくこれは空隙が大きく汚水に接触する表面積が他と比べて大きいことによるものであると考えられる。また、CBの内部抵抗値が小さく、電気二重層容量が大きいことが

他と比べて電流生産が大きい要因と考えられる。

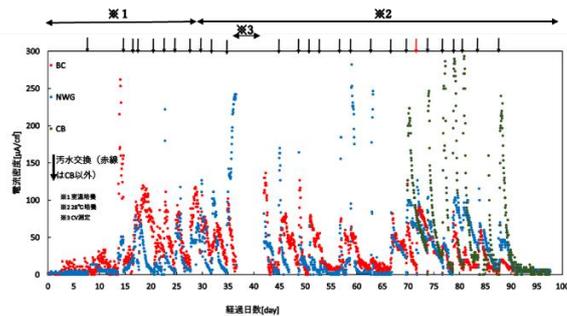


図3 電流密度の経時変化

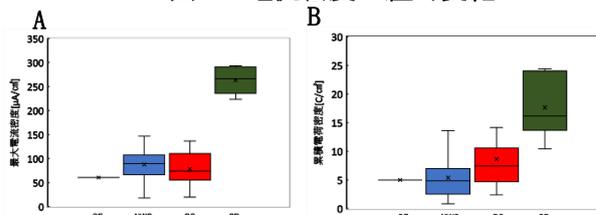


図4 バッチ毎の (A) 最大電流密度 (B) 累積電荷密度

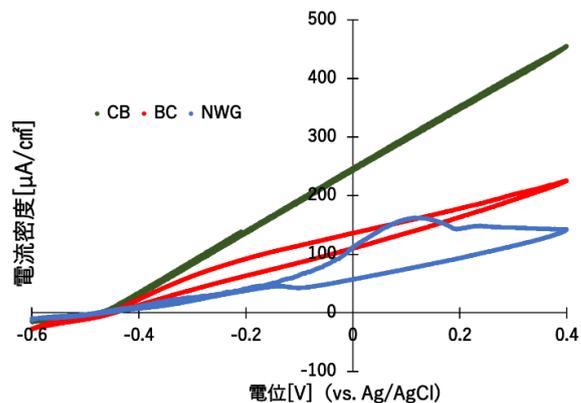


図5 CV測定結果

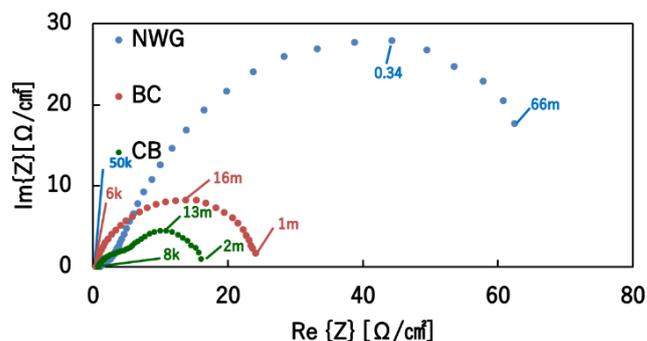


図6 EIS測定結果

表1 アノード抵抗値・電気二重層容量計算結果

アノード	溶液抵抗 [ $\Omega/\text{cm}^2$ ]	電荷移動抵抗 [ $\Omega/\text{cm}^2$ ]	電気二重層 容量[mF]
NWG	0.10	87	9.4
BC	0.47	27	25
CB	0.76	20	41