使用済みカイロを肥料とした微生物発電

米田蒼菜

要旨

本研究は使用済みカイロを肥料として微生物発電の発電量を上げることを目的とした。塩化鉄と使用済みカイロそれぞれから水酸化鉄コロイド溶液を生成し、肥料として微生物燃料電池に散布した。塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドを加えた泥電池は発電量が上昇したが、使用済みカイロから生成した水酸化鉄コロイドを加えたものは発電量が 1 番低い値になっていた。よって本研究で塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドを加えると発電量は上がるが、使用済みカイロから生成した水酸化鉄コロイドを加えても泥電池の発電量は上がらないなことが明らかになった。

キーワード：微生物発電。水酸化鉄コロイド溶液。塩化鉄。使用済みカイロ。

Ⅰ. はじめに

微生物発電とは微生物の生命活動を利用した、既存の燃料電池より低コストな発電方法である。しかし、他の燃料電池や再生可能エネルギーと比べると得られる電流密度がごく微小であり、電極の安定性や耐久性、時間とともに増殖死滅する微生物が溶液の組成に影響するなど不安定な発電となっている。発電の仕組みはアノード(陽極)に微生物を付着させた炭素素材の基盤、カソード(陰極)に白金を担持した炭素電極を使い、アノード側で微生物が糖などを分解して電子とプロトンを発生させる。そうすると電子が外部回路を通ってカソードへ移動しプロトンは膜を通ってカソードへ行く。この反応によって得られる酸化還元電位の差が起電力となって行われる(速水、杉浦、西岡、2012)。

この時に使われる微生物を発電菌と呼び、代表的なものにシュワネラ菌(*Shewanella lohika*)がある。発電効率の上昇の方法として、シュワネラ菌の自然生息環境に近づけたら良いというコンセプトから、シュワネラ菌の生息する、酸化鉄や硫黄鉄を豊富に含む深海に環境を近づけるために研究室のシュワネラ菌に酸化鉄のナノコロイドを与えたところ、発電量が数十倍上昇した(橋本、渡邉、2010)。

また、大江、田口、三好、西尾らによると、沸騰水に塩化鉄を加えて作成した水酸化鉄コロイドを加えたところ、数倍から数十倍の発電量が得られたことがわかっている。これは、水酸化鉄コロイドが正の電荷を帯びているため、電池内で電子と電極を仲介するはたらきを持つからだと考えられている。

加えて、使い捨てカイロの廃棄量が問題にもなっており、その解決策として使い捨てカイロを回収し、再利用をしている団体もある。そこで、酸化鉄のナノコロイドを使用済みカイロから得られる酸化鉄で代用できないかと考えた。もし、この仮説が成り立つのならば、微生物発電の肥料として使い捨てカイロを提案できることになる。つまりこれは、微生物発電のデメリットである発電量の少なさという問題を少しでも解消でき、廃棄される使い捨てカイロの有効活用法を社会に広めることができるだろう。

Ⅱ. 手法

［予備実験 1］

まず予備実験として、使用済みカイロの塩抜きを行った。使い捨てカイロには食塩が含まれており、そのままでは肥料として使用するには塩分濃度が高すぎるため、事前に塩分を除去する必要がある。塩抜きの方法として、ろうとにペーパーフィルターを 2 枚重ねてセットし、そこにカイロ 1 袋分（20g）の中身を入れた。全体に水が行き渡

るように、200mL の水をゆっくり注いでろ過を行い、この操作を 3 回繰り返した。

［予備実験 2］

次に、本実験で使用済みカイロ由来の肥料を用いた微生物発電を行う前段階として、塩化鉄から作成した肥料を用いて微生物発電を行った。大柏第一調節池の泥(35.7N,139.9E 予備実験にて使用)と市川学園の生物室裏(本実験にて使用)の土を採取した。電極はあらかじめ水道水に浸して気泡を取り除き、針金を電極に貫通させて先端を 1～2cm 出した状態で折り曲げた。プラスチックカップの底に泥を全体の 4 分の 1 ほど入れ、その上に鉢金へストローを被せた正方形のアノードを設置した。さらに同量の泥を重ね、その上に長方形のカソードを置き、最後に水を加えて層状の構造を作った。アノードとカソードそれぞれに抵抗を接続し、電圧を測定した。

続いて、水酸化鉄コロイドを作成するために、まず塩化鉄から水酸化鉄を生成した。水と塩化鉄をビーカーに入れて加熱し、得られた溶液をセロハン膜に通してろ過した。その後、流水で 15～20 分ほど洗浄し、不純物をできるだけ取り除いた。この水酸化鉄コロイド溶液を霧吹きに入れ、1 日 1 回、泥電池に吹きかけた。

［本実験］

1.予備実験で得た酸化鉄から Fe3+を抽出する

以上の予備実験を終えた後、得られた酸化鉄を用いて本実験を行った。まず、予備実験で得た酸化鉄（Fe_2O_3）14.4g をビーカーに入れ、1M の希塩酸を 300mL 加えて十分に浸した。ガラス棒で撹拌しながら、ホットプレートまたは水浴を用いて 40～60℃程度に加熱した。反応が進行すると酸化鉄が徐々に溶解し、溶液は Fe^{3+}イオン特有の黄色から赤褐色を示した。固体がほぼ見えなくなった段階で反応が完了したと判断し、ろ紙でろ過して未反応の固体を除去した。

2、得た鉄イオンに水酸化物イオンを加え、水酸化鉄を生成する

次に、この鉄イオン溶液に水酸化物イオンを加え、水酸化鉄を生成した。鉄イオン溶液 300mL をビーカーに入れ、1M の水酸化ナトリウム溶液を少量ずつ滴下しながら撹拌した。pH が急激に変化しないよう注意しながら加えると、赤褐色の沈殿である水酸化鉄（Ⅲ）が生成した。沈殿が十分に形成された後、沈降させて上澄み液を除去し、沈殿の色や状態を観察・記録した。

3、得た水酸化鉄を水酸化鉄コロイド(Ⅲ)にする

その後、得られた水酸化鉄を水酸化鉄コロイド（Ⅲ）にするため、沈殿を蒸留水で 3 回洗浄し、余分なイオンや塩分を除去した。ガラス棒ですりつぶすように攪拌して粒子をできるだけ細かく分散させ、その後 30 分ほど静置した。

4、出来上がった水酸化鉄コロイド溶液の肥料を微生物発電に使用する

最後に、作成した水酸化鉄コロイド溶液を肥料として微生物発電に使用した。予備実験で作った泥電池にマイナス極（炭素棒またはグラファイト棒、長さ 10cm）とプラス極（炭素棒または銅線）を抵抗器で接続し、水酸化鉄コロイド溶液を 50～100mL 程度、霧吹きで均一になるように加えた。

III. 結果

［予備実験］

電圧 1 は 8 月 22 日より計測開始し、特に条件は変えていない泥電池である。

電圧 2 は 8 月 22 日より計測開始し、9 月 3 日から毎日水酸化鉄コロイド溶液を霧吹きで吹きかけた。その他は他の泥電池と変わらない。

電圧 3 は 9 月 3 日より計測開始し、特に条件は

変えていない泥電池である。



図 1 日数と電圧の変化

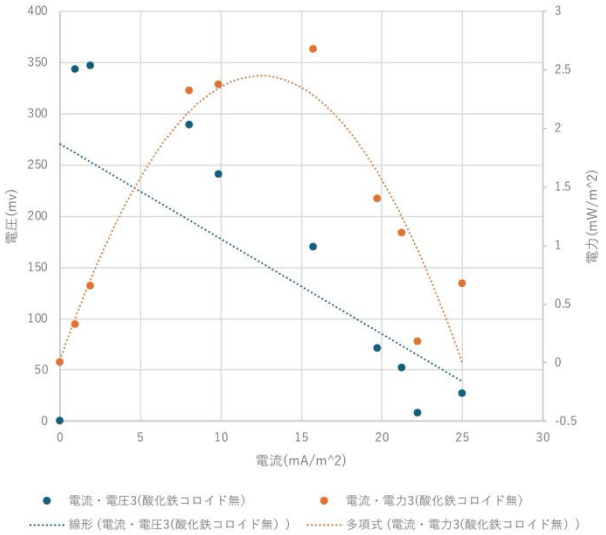
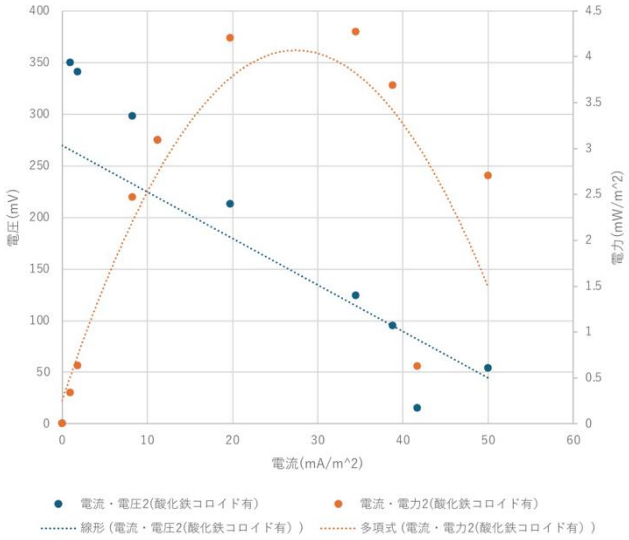


図 2 塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドなしの電極解析

図 3 塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドありの電極解析

[本実験]



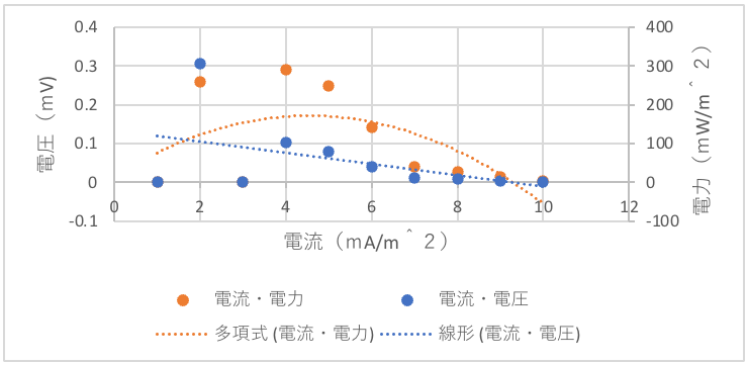


図 4　　水酸化鉄コロイドなしの電極解析

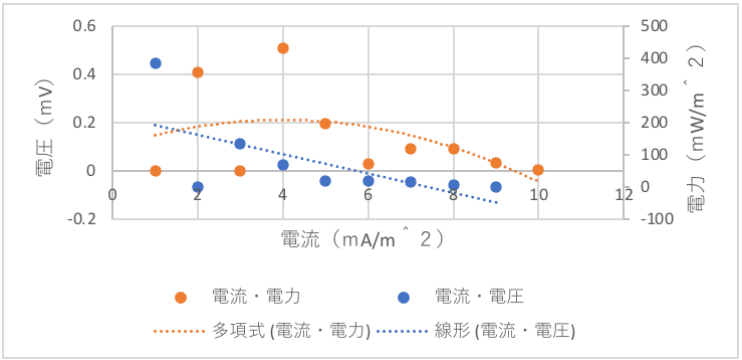


図 5 塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドありの電極解析

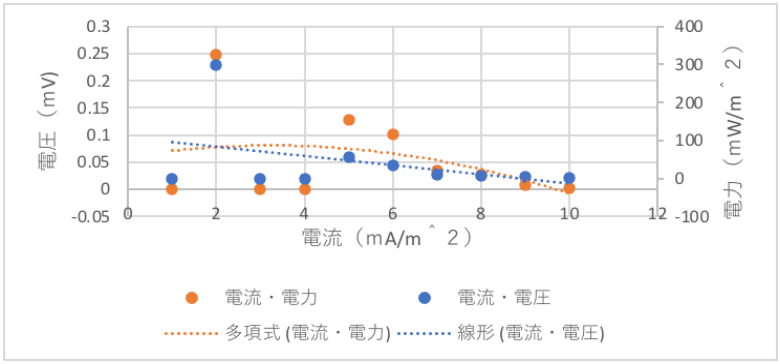


図 6 使用済みカイロから生成した水酸化鉄コロイドありの電極解析

IV. 考察

［予備実験］

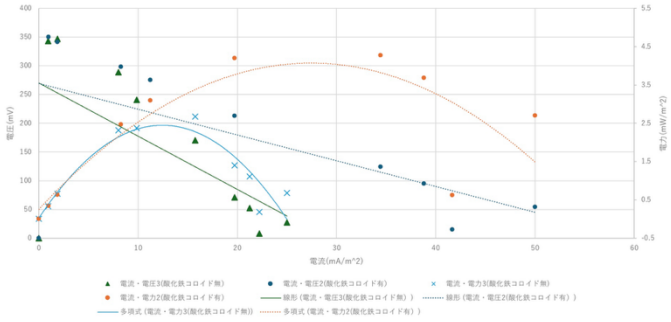


図 7 各泥電池の最大電力(P max)

各泥電池の最大電力(P max)を計測したところ、水酸化鉄コロイド溶液なしの泥電池は 2.4mW/㎡、水酸化鉄コロイド溶液ありの泥電池は 4.0mW/㎡となった。よって水酸化鉄コロイド溶液を加えた泥電池は３つの泥電池の中で日々の発電量は 1 番少なかったが、Pmax は 1 番大きかったと言える。

［本実験］

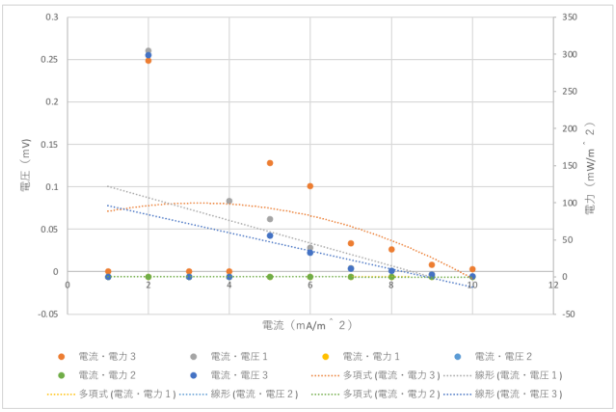


図 8 各泥電池の最大電力 2(P max)

各泥電池の最大電力(P max)を計測したところ、水酸化鉄コロイド溶液なしの泥電池は 1.7mW/㎡、塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイド溶液ありの泥電池は 2.0mW/㎡、使用済みカイロから生成した水酸化鉄コロイドありの泥電池は 0.5mW/㎡であった。よって予備実験よりも全体的に発電量が下がってしまった上、肥料として水酸化鉄コロイドを加えた泥電池の方が発電量が少なくなってしまった。

V. 結論

塩化鉄から生成した水酸化鉄コロイドを加えると発電量が上がるが、使用済みカイロから水酸化鉄コロイドを生成して泥電池に加えても、発電量は上がらない。

謝辞

この研究を行うにあたってたくさんのアドバイスをくださったスーパー発電菌をみんなで探そうプロジェクトの東京薬科大学の渡邊先生及び八角さん、生物科の先生方及び化学科の先生方にこの場を借りてお礼申し上げます。

文　献

橋本光(2010): ERATO「橋本光エネルギー変換システムプロジェクト」の取り組み 自然に近づいていく新たなサイエンスの礎.JSTNEWS,10,8

速 水 一・杉 浦 公 彦・西 岡 求(2012):微生物燃料電池におけるセル構造の最適化: 大阪府立大学工業高等専門学校総合工学システム学科

大江修裕・田口豪已・三好駿斗・西尾徹太:「微生物発電」,学校総合ネット