

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：11501  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22580373  
 研究課題名（和文） 堆積相微生物燃料電池による水田での発電とそれが土壌環境とメタン放出に与える影響  
 研究課題名（英文） Electricity generation of a sediment type microbial fuel cell set in a paddy field and its effects on the soil environments and methane emission from the paddy field  
 研究代表者  
 加来 伸夫（KAKU NOBUO）  
 山形大学・農学部・准教授  
 研究者番号：80359570

研究成果の概要（和文）： 水田に設置した堆積相微生物燃料電池（SMFC）による発電は、日中に光合成微生物に生産された酸素により促進された。この促進は、正極上に光合成微生物が多い湛水期間中に顕著だった。クローンライブラリー解析により、正極上からは多様な光合成微生物が検出された。一方、負極からは新種と思われる電流発生細菌を分離することに成功した。また、SMFCは湛水期間における水田からのメタン放出を増大させることが分かった。

研究成果の概要（英文）： Electricity output during the daytime in a sediment type microbial fuel cell (SMFC) set in a paddy field was enhanced by oxygen produced by photosynthetic microorganisms. This enhancement was significant during the irrigation period, in which chlorophyll a content as an indicator of photosynthetic biomass was high on the cathode. Diverse photosynthetic microorganisms were detected from the cathode by using clone library method. On the other hand, from anode, the exoelectrogenic strains which might represent new species of bacteria were successfully isolated. Electricity generation in the SMFC increased methane emission from the paddy field during the irrigation period.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野： 農学

科研費の分科・細目： 境界農学・環境農学

キーワード： 自然循環システム、自然エネルギー、微生物燃料電池、メタン放出、光合成

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、地球温暖化、環境汚染、さらには資源・エネルギー問題など、人類の生存に関わる諸問題が顕在化してきている。このような状況の中で、カーボンニュートラルな発電システムの一つである微生物燃料電池

(microbial fuel cell; MFC) が注目されてきている。MFCにはバイオリクター型と水圏堆積物利用型の2つのタイプが存在する。後者の水圏堆積物利用型のMFCは、一般に堆積相微生物燃料電池 (sediment microbial fuel cell; SMFC) と呼ばれている。SMFCは、堆積

物中に負極を埋設し、その上部の水中または堆積物表面に正極を設置して、両極間に電気機器を挟む形で配線を繋ぐことで電気機器に電力を供給することができる。

(2) SMFC は堆積物中の有機物を微生物に分解させることで発電するので、汚濁の進んだ水域に SMFC を設置することで、水底に堆積したヘドロを分解浄化しながら発電することが可能である。また、正極での電子処理に酸素の代わりに硝酸態窒素を利用させ、硝酸還元・脱窒反応を進行させることで硝酸態窒素により汚染された水域の浄化にも応用できると考えられている。さらに、水田に設置すれば、水田土壌中に鋤込んだ稲わら等を利用して、稲作をしながら発電できる可能性がある。なお、水稻は光合成でつくり出した有機物のかなりの部分を根から土壌中に供給していることが知られている。水田に設置した SMFC では、この有機物を利用して発電できる可能性がある。

(3) これまで SMFC についての研究は主として海洋底泥で行われてきており、淡水環境に設置した SMFC については、どのような環境要因が発電量に影響するのかといった基本的なことすらほとんど解明されていない。

(4) 水田は温室効果ガスであるメタンの主要な発生源の一つとしても知られているが、MFC の発電とメタン生成は競合関係にあると考えられており、水田への SMFC の設置は水田からのメタン放出を抑制する可能性がある。SMFC で稲作しながら発電し、さらにメタン放出を抑制できれば、その意味は計り知れないほど大きい、そのような研究はこれまで行われていない。

## 2. 研究の目的

(1) SMFC の発電量に対する水稻の光合成ならびに正極反応への光合成微生物の寄与の程度とその季節的な変動について明らかにする。

(2) 正極および負極で発電に関わっている微生物を特定するとともに、発電に有用な微生物を分離・同定し、その有効活用法を開発する。

(3) SMFC の設置が水稻の生育、土壌環境、さらには水田からのメタン放出量に与える影響について明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) SMFC の設置

山形大学農学部フィールド科学センターの試験水田に SMFC を設置した。肥料として向

き肥料の他、10 a 当たり 0.5 t となるように稲わらを施用した。追肥は慣行に従って行った。電極として 30 cm x 15 cm x 0.5 cm のグラファイトフェルトを使用した。負極は土壌の深さ 5 cm に埋設し、正極はその上の土壌表面に置いた。正極には丸い穴をあけて、そこに水稻の苗を移植した。ポットに SMFC を設置して実験を行う場合には、水田土壌風乾土と蒸留水を入れて水稻を移植した。1/5000 アールポットに円形のカーボングラファイトの電極を設置して SMFC を構築した。電圧はデータロガーを用いて継続的に測定した。

### (2) 発電への光の影響

電気生産量への光の影響を調べるため、植物または正極を遮光した時のセル電圧の変化を調べた。

### (3) 電気生産量へ植物の種類の影響

ポットに風乾土ではなくパーミキュライトを充填して SMFC を作成し、少量の生土を微生物源として接種した。これにイネ、ウォーターミント、ガマ、クワイ、サトイモ、スイレン、セリ、マコモ、ミクリ、ミズホウレンソウを移植して、セル電圧を比較した。

### (4) メタン放出量の測定

水田からのメタン放出量はチャンバー法で行った。

### (5) 正極及び負極からの微生物の分離

光合成微生物の分離と分離菌株の維持には AF6 培地を用いた。電流発生細菌の分離と分離菌株の維持には PY を基本とした培地を用いた。分離はコロニー分離により行った。

### (6) 分析法

ガス分析は水素炎イオン化検出器を備えたガスクロマトグラフで行った。pH は pH メーターで測定した。Eh は Eh メーターを用いて測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 発電への光の影響

図 1 に SMFC における起電力の季節変化を示す。起電力は正極に日光が当たっている日中に高く、夜間には低下したが、エアレーションすることで低下を抑制できた。このことは、正極上で光合成微生物により供給された酸素が SMFC の性能に影響していることを示唆していた。正極への光照射量が発電量に与える影響は稲作前半に大きく、稲作後半には小さくなったが、これは、光合成微生物量の指標となるクロロフィル量の正極上における変化とよく対応しており、田面に日光がよく当たる稲作前半にクロロフィル量は高かつ

たが、水稻が生育して田面を覆ってしまい田面に日光があまり届かなくなる稲作後半には低くなった（図1および2）。

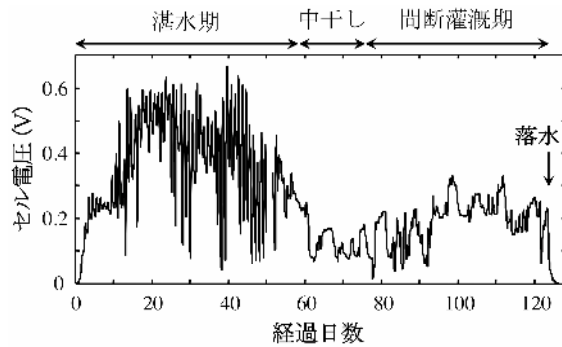


図1 PEMFCにおける電圧の季節変化

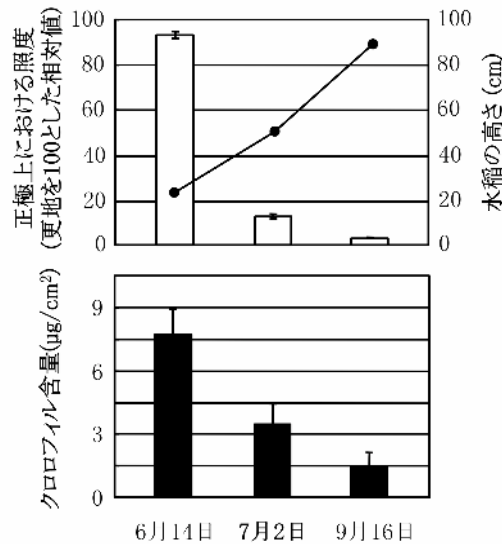


図2 正極上における照度、正極バイオマス中のクロロフィル含量および水稻の高さの変化

(2) 電気生産量へ植物の種類の影響

電気生産量はイネやマコモを移植した SMFC で非常に高く、サトイモを移植した場合でもわずかな発電が認められたが、それ以外ではほとんど発電しなかった。このように、植物の種類が電気生産量に大きく影響することが明らかになった。

(3) 正極及び負極からの微生物の分離

どのような微生物が正極上で発電に関与しているのかを明らかにするために、SSU rRNA遺伝子塩基配列に基づいた群集構造解析を行った。その結果、単細胞性藻類やシアノバクテリアを含む多様な光合成微生物が正極上に生息していることが明らかになった。光合成微生物の分離を試みたところ、数株の単細胞性藻類やシアノバクテリアを純粋分離すること

に成功した。これらの一部について、発電を促進するか調べたところ、明条件下で発電を促進することが分かった。

負極からは、*Clostridium* 属や *Bacillus* 属に近縁な細菌が多数分離され、それらの特徴付けを進めた。その結果、AN3 株を含むいくつかの菌株は、既知の *Clostridium* 属細菌と 16S rRNA 遺伝子配列の類似性が低い、新種の電流発生細菌であることが示唆された。

(4) SMFC の設置が水田からのメタン放出に与える影響

図3に SMFC を設置した水田（電池設置区）と SMFC を設置していない水田（電池非設置区）における水田からのメタン放出量の季節変化を示す。SMFC の設置は、稲作前半においては水田からのメタン放出量を増大させた。一方、稲作後半においてはメタン放出量にほとんど影響しないことが明らかになった。

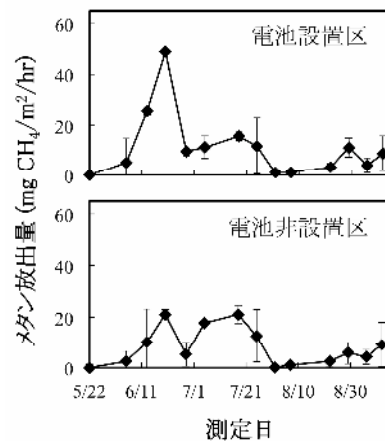


図3 水田に設置したSMFCにおける発電が水田からのメタン放出量に与える影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① Naoko Matsumoto, Nobuo Kaku, Katsuji Ueki, Atsuko Ueki and Masanori Watanabe, Isolation and phylogenetic characterization of anaerobic bacteria producing psychrotrophic extracellular lipase, protease and amylase, The 28<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japanese Society of Microbial Ecology, 20-21 September in 2012, Toyohashi University of Technology.
- ② Nobuo Kaku, Natsuki Yonezawa, Dai Takahashi, Kazuya Watanabe, Atsuko Ueki and Katsuji Ueki, Effects of sunlight irradiation on electricity output from

a paddy-field microbial fuel cell, 14th International Symposium on Microbial Ecology, 19-24 August in 2012, Bella Center, Copenhagen, Denmark.

- ③ 高橋大、加来伸夫、上木厚子、上木勝司、渡邊一哉、堆積相植物微生物燃料電池の電気生産量に影響する要因の解析、日本微生物生態学会 27 回大会、2011 年 10 月 9 日、京都大学農学部。
- ④ 加来伸夫、微生物を利用したエネルギー生産～微生物燃料電池の基礎と応用～、「リグニン討論会若手の会」&「日本木材学会バイオマス変換研究会」合同公演会、2011 年 9 月 16 日、山形大学農学部。
- ⑤ 加来伸夫、米澤夏岐、上木厚子、渡邊一哉、上木勝司、水田に設置した堆積相微生物燃料電池の発電量に対する光の影響と正極付着微生物群集の構造解析、日本微生物生態学会 26 回大会、2010 年 11 月 25 日、筑波大学。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加来 伸夫 (KAKU NOBUO)  
山形大学・農学部・准教授  
研究者番号：80359570

### (2) 研究連携者

上木 厚子 (UEKI ATSUKO)  
山形大学・農学部・客員教授  
研究者番号：60143088