

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420802

研究課題名(和文) 発電を伴う二次代謝産物生産リアクターの開発

研究課題名(英文) Construction of Microbial Fuel Cells that produce beneficial compounds

研究代表者

阿野 貴司 (ANO, Takashi)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：80202654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：微生物燃料電池(microbial fuel cell:MFC)は、微生物が有機物等の基質を分解し、生じる電子を電極で回収し、電気エネルギーとして利用するシステムである。微生物を触媒として用いるため、様々な有機物が含まれる廃水等を基質として利用でき、廃水処理と同時に電力生産を行う応用が期待され、本研究では、MFCによる発電と同時に有用物質生産を行い、廃水処理及び電力生産、有用物質生産を同時に行うシステムの構築を目的とし発電と抗生物質の生産を同時に行うことに成功した。

研究成果の概要(英文)：Microbial fuel cells (MFCs) are devices that use microorganisms as biocatalysts to directly convert chemical energy to electricity. MFCs are considered to be useful when used with organic waste treatment processes, because electricity is generated from organic wastes. In this study, MFCs were further used to produce antibiotic substances as well as electricity, and made it possible to co-produce electricity and an antibiotic substance.

研究分野：生物学

キーワード：微生物燃料電池 バイオリクター 二次代謝

1. 研究開始当初の背景

微生物燃料電池(microbial fuel cells : MFC)は、微生物の代謝を用いて基質から電力生産を行う装置である。MFC は自己増殖する微生物を用いることで、幅広い種類の基質を利用することができる。MFC はアノード槽(負極)とカソード槽(正極)を持ち、アノード槽では微生物が触媒となり基質を酸化分解し、プロトンと電子を放出する。プロトンはプロトン交換膜を透過しカソード槽へ移動する。電子はアノード電極へ渡され、外部回路を通りカソード電極へ移動する。カソード槽ではアノード槽から外部回路を通ってきた電子と、プロトン交換膜を通ってきたプロトンと酸素が結合し水を生成する。この時にアノード槽とカソード槽で電位差が生じ、電子が流れることでエネルギーが得られる。ただし、MFC の発電効率は火力発電などと比較すると低く、火力発電などに代わる電力源として利用するのは難しい。そのため、MFC 独自の利用方法が考えられている。例としては、廃水処理との組み合わせである。

日本の廃水処理で用いられる活性汚泥法は、曝気を行うことで処理槽へ空気を送り込み、微生物の好気的な代謝により廃水中の有機物の分解を行うシステムである。このシステムでは曝気と余剰汚泥の処理に費用が掛かる。しかし、MFC を組み合わせることにより、曝気にかかる電力を抑え、余剰汚泥の発生を抑えることができると考えられている。例として、Zainabらは *Bacillus subtilis* を用いた 2 槽式 MFC において家庭から出た実際の廃水を連続的に供給することで廃水処理と発電を同時に行ったものを挙げることができる。この研究により 90% の COD 除去率と約 270 mW/m² の最大電力を得ることができたと報告されている。このように MFC は廃棄物や廃水の処理を行うと同時に、発電を行う環境負荷の少ない発電システムとして位置付けられる。しかし、実用化には、いまだ発電効率が悪いと考えられている。そのため、発電メカニズムの解明や、発電効率上昇に向けた研究・開発、新たな利用形態の検討などが進められている。

2. 研究の目的

本研究では MFC の新規利用方法の検討として、発電を行いながら有用物質の生産を試みた。そこで、有用物質生産菌としては研究室保有株である KS と DE を用いて別々の MFC を構築し、発電による有用物質生産への影響を検討した。KS も DE もグラム陰性菌であり、低栄養から高栄養まで、幅広い栄養条件下で良好な成長を行うことが出来る。また、抗真菌活性物質であるピロールニトリンを生産し、苗立枯れ病の原因である植物病原菌 *Rhizoctonia solani* の成長を抑制することができる。ピロールニトリンは広範囲の抗真菌スペクトルと強い抗真菌活性を示すことが明らかにされている。ピロールニトリン

はピロール環と二つの塩素を有する C₁₀H₆Cl₂N₂O₂ で構成される抗真菌薬でシキミ酸経路によって生合成されるトリプトファンを前駆体として合成される。ピロールニトリンの作用機序としては真菌類の浸透圧シグナル伝達を異常活性化させることにより、細胞内にグリセロールを蓄積させ破裂させる。このため、ピロールニトリンは多くの植物病原菌を抑制することができる。このような理由からピロールニトリンを有用物質として研究を行った。発電を行いながら、十分に抗真菌活性物質を生産できるのであれば、発電に用いられた後のアノード廃液を微生物農薬などとしてさらに有効に活用できるのではないかと考えられる。以上のような考えの元、本研究では微生物燃料電池の新しい試みとして、発電と共に有用物質生産を行う事を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 培養方法の違いが抗真菌活性物質生産に及ぼす影響

TSB 液体培地(glucose 2.5 g/L、NaCl 5.0 g/L、K₂HPO₄ 2.5 g/L、polypepton-S 20 g/L) が 2 mL 入った試験管に、シャーレから釣菌した KS 株を植菌した。これを 25 ± 1、200 rpm で終夜培養行ったものを前培養液とした。TSB 培地 20 mL 入った 100 mL 三角フラスコ 2 つに前培養液 200 μL ずつ植菌した。片方は 120 rpm で振盪培養し、もう片方は静置で培養を行った。どちらも 25 ± 1 で 7 日間培養した。

培養終了後、全量から抗真菌活性物質の抽出を行った。抽出は培養液に等量の酢酸エチルを加え、攪拌(ボルテックスで 30 秒)後、水層と有機層を 9,500 G、15 分で遠心分離し、有機層を回収した。この操作を 3 回繰り返し、回収した有機層を減圧乾固した。これを粗抽出物とした。粗抽出物全量をメタノール 50 μL に溶かし、ペーパーディスクに供し、抗真菌活性試験に用いた。

抗真菌活性試験にはリゾクトニアを使用した。シャーレの端から 1 cm の所にステンレスカップでくりぬいたリゾクトニアのアーピースを置き、その反対側にペーパーディスクを置いた。その後経過観察し、リゾクトニアの成育抑制面積を算出し、抗真菌活性物質の生産量を比較した。

(2) KS 株を用いた MFC の性能評価

KS 株の発電能力を調べた。試験管に TSB 液体培地 2 mL 入れ、シャーレから釣菌した DE 株を植菌した。これを 25 ± 1、200 rpm で終夜培養行ったものを前培養液とした。500 mL フラスコに TSB 液体培地 100 mL 入れ、前々培養液を 1 mL 添加した。25 ± 1、120 rpm で 1 日培養した。これを前培養とした。アノード槽に前培養液 8 mL、カソード槽に 50 mM フェリシアン化カリウム水溶液 8 mL を添加し、二槽式の MFC を構築した。

アノード槽、カソード槽の容積はそれぞれ 10 mL であり、電極には炭素棒(使用時表面積: $3.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)を使用し、プロトン交換膜には NeoSepta CMX(表面積: $4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)を使用した。10 k の外部抵抗器に接続し、 25 ± 1 、遮光状態で 6 日稼働した。0.5, 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96, 120, 144 時間にデジタルマルチメータ 3804-50(日置株式会社)を用いて、電圧を測定し、以下の公式を用いて電流を求め、電極表面積あたりの電力を算出した。
電圧(mV)=外部抵抗() \times 電流(mA)
電力(mW/m²)=(電圧(mV) \times 電流(mA))/(電極表面積(m²))

(3) 発電が抗生物質生産に及ぼす影響

KS 株の発電を伴う培養と伴わない培養を行い、発電が抗真菌活性物質生産に及ぼす影響を調べた。

(2)の実験と同様に前々培養液、及び前培養液を作製した。また、MFC も(2)と同様に構築した。発電を伴う培養では外部抵抗(10 k)に接続し、発電を伴わない培養では外部抵抗に接続しない開回路の状態でも 6 日間稼働させた。稼働後、それぞれの培養液 20 mL から酢酸エチルを用いて抽出した。(1)と同様の方法で粗抽出物を抽出し、リゾクトニアを用いた抗真菌活性試験を行った。経過観察し成育阻止面積から抗真菌活性物質の生産量を比較した。

(4)メチレンブルー添加による発電への影響

電子の授受を促進するメディエーターとしてメチレンブルーを添加することで、発電に及ぼす影響を検討した。

(2)と同様の方法で前々培養と前培養を行い、MFC を構築した。メチレンブルーの量の最適化をするために終濃度が 0.3 mM、0.5 mM、0.8 mM、1.0 mM になるように添加し、それぞれ 6 日間稼働した。(2)と同様の方法で電圧を測定し、電極表面積あたりの電力を算出した。

(5)電力生産量の差による抗真菌活性物質生産量への影響

発電量の違いが抗真菌活性物質生産量に及ぼす影響を、MB 添加無しの KS 株を用いた MFC と MB0.5 mL 添加時の KS 株を用いた MFC の培養液を用いて比較した。

(4)の稼働後菌液を回収し、培養液 20 mL から酢酸エチルを用いて抽出した。(1)と同様の方法で粗抽出物を抽出し、リゾクトニアを用いた抗真菌活性試験を行った。経過観察し成育阻止面積から抗真菌活性物質の生産量を比較した。

(6)PYN 生産菌を用いた MFC の性能比較と抗真菌活性物質生産量の比較(2 連を 1 回のみ)

メディエーターとして化学物質を添加することは環境に良くないと考えられる。KS

はメディエーターを添加しないと微力な発電しか行わないため、KS 以外のピロールニトリン生産菌を用いて、より発電力の高い菌の選抜をした。

(2)の実験と同様に KS 株、DE 株、MH3 株の前々培養液と前培養液を作製し、MFC を構築した。(2)と同様に 6 日間稼働し、電圧を測定し、電極表面積あたりの電力を算出した。

また、稼働後の培養液 5 mL から酢酸エチルを用いて抽出した。(1)と同様の方法で粗抽出物を抽出し、リゾクトニアを用いた抗真菌活性試験を行った。経過観察し成育阻止面積から抗真菌活性物質の生産量を比較した。

(7) 培養方法の違いが抗真菌活性物質生産に及ぼす影響(DE 株)

(6)の結果から、DE 株は他の 2 株より発電量と抗真菌活性物質生産量が多い事が分かった。(1)と同様の方法で DE 株の静置培養時と振盪培養時で同等の抗真菌活性物質を生産できるか検討した。

また、同様に準備した粗抽出物をミニカラムで分画した。粗抽出物をメタノール 100 μ L に溶解しミニカラムに滴下した。これを 3 回行い、減圧乾燥させた。乾燥後、ヘキサンと酢酸エチルの割合が 10 : 0、7 : 3、5 : 5、3 : 7、0 : 10 の溶媒を作製し、それぞれ 3 mL 流して分画をした。ヘキサンと酢酸エチルの割合が 7 : 3 の画分をメタノールに溶解し、HPLC 分析用サンプルとした。カラムは Inertsil ODS-3 3 μ L (2.1 \times 150 mm) を使用し、流速は 0.2 mL/min、カラムオープン 40、5 μ L 注入し、ギ酸 60 % の isocratic で分離し、280 nm の吸収波長で検出した。ピロールニトリンの生産量評価にはピロールニトリン標品により作成した以下の検量線を用いた。
 $Y(\text{ピークエリア})=9554.1X(\text{mg/L})+11775$
 $R^2=0.9977$

(8) DE 株を用いた MFC の性能評価

再度、DE 株の発電能力を調べた。また、発電量が最大になる 5 日目に電子の流れやすさを示す内部抵抗を測定した。

(2)の方法と同様に DE 株の前々培養液と前培養液を作製し、MFC を構築した。(2)の方法と同様に 6 日間電圧を測定し、電極表面積あたりの電力を算出した。

内部抵抗の測定は外部抵抗値を 14 分毎に 1 k 減らし、その時の電圧を測定し、電極表面積あたりの電力を算出し、その値が最大値の時の外部抵抗値が内部抵抗値と同じになることを利用して求めた。

(9)発電が抗真菌活性物質生産に及ぼす影響

DE 株の発電を伴う培養と伴わない培養を行い、発電が抗真菌活性物質生産に及ぼす影響を調べた。

(2)の実験と同様に前々培養液、及び前培養液を作製した。また、MFC も(2)と同様に構築

築した。発電を伴う培養では外部抵抗(10 k Ω)に接続し、発電を伴わない培養では外部抵抗に接続しない開回路の状態です。6日間稼働させた。稼働後、それぞれの培養液 5 mL から酢酸エチルを用いて抽出した。(1)と同様の方法で粗抽出物を抽出し、リゾクトニアを用いた抗真菌活性試験を行った。経過観察し成育阻止面積から抗真菌活性物質の生産量を比較した。

また、(7)の方法と同様に粗抽出物を分画し、HPLC を用いてピロールニトリンの生産量を測定した。

また、発電によりピロールニトリンが壊れていないかを確認するために LC/MS に抽出物を供した。MS の検出法は Q1scan(200~300 m/z)、ネガティブモード、システムには QTrap2200 ESI を用いて、分析した。

(10) 発電後の培養液を用いた植物試験

発電後の培養液の粗抽出物を用いて、リゾクトニアの成育を抑制することが出来たため、植物を用いた感染防除試験及び、培養液が植物の生長に影響を与えないか検討した。キュウリの種子をエタノール(信和アルコール産業株式会社)へ 10 秒つけた後、1% 次亜塩素酸ナトリウム水溶液につけて 10 分間 スターラーバーを用いて攪拌した。滅菌蒸留水で 10 分間洗浄し、洗浄を 3 度繰り返した。素寒天(0.8%)培地が入ったシャーレへ播種し暗所で 3 日間培養を行い発芽させた。アグリポットへ素寒天培地 80 mL を作製し、発電を伴う培養後の DE もしくは伴わない培養後の DE の培養液をそれぞれ 100 μ L 塗布した。発芽後のキュウリの種子(殺菌済)を 3 個ずつ根冠を傷つけないようにアグリポットへ植替えた。室温で 5 日間培養し、中心へリゾクトニアを植菌した。経過観察を行い、植物病原菌防除効果の有無を検証した。

(11) 廃棄物を基質とする DE 株の MFC の性能評価

ここまでの実験で発電と同時に抗真菌活性物質を生産できることがわかり、植物を用いた感染防除試験においても、植物の生長に悪影響を及ぼさず、植物病も防ぐことが示された。さらに低コストで発電と抗真菌活性物質を生産させるために廃棄物を用いた DE 株の MFC を構築し、性能評価を行った。

(2)と同様の方法で DE 株の前々培養液を作製する。人工廃棄物のモデルとして polypepton-S を 2% 及び、4% 添加した滅菌蒸留水と、農業廃棄物として米糠を 2% 及び、4% 添加した滅菌蒸留水に前々培養液を 1% 植菌し、25 \pm 1、120 rpm で終夜培養を行い前培養液とした。これを用いて(2)と同様の方法で MFC を作製し、6 日間稼働し、電圧を測定し電極表面積あたりの電力を算出した。

また、発電後の培養液を回収し、高圧蒸気滅菌(121 $^{\circ}$ C、3 分)を行い、抗真菌活性試験に用いた。1/10 TSA-S 寒天培地の端から 1 cm の所にステンレスカップを用いて穴を開け、滅菌した培養液を 100 μ L 添加し、培地の中央にリゾクトニアのアガーピースを置き、経過観察を行った。そして、抑制面積から抗真菌活性物質の生産量を比較した。

4. 研究成果

(1) 培養方法の違いが抗真菌活性物質生産に及ぼす影響

静置培養後の粗抽出物と振盪培養後の粗抽出物の 2 群に分け、それぞれの抗真菌活性試験による抑制面積の平均値を算出した結果、静置培養後の粗抽出物では 17.7 \pm 0.3 cm²、振盪培養後の粗抽出物では 17.0 \pm 0.5 cm² となった。この 2 群に有意な差があるか検定するため、*t* 検定を行ったが有意な差は見いだせなかった。

この結果から静置で KS 株を培養しても、振盪で培養したときと同程度の抗真菌活性物質を生産していることが示された。そのため、KS 株は振盪培養を必要とせずに、低コストで抗真菌活性物質生産が可能であり、酸素の混入をできるだけ防ぎたい MFC にも応用できると考えた。

(2) KS 株を用いた MFC の性能評価

KS 株による電力の経時変化はほぼ一定で約 2 mW/m² 程度の微弱な発電となった。微弱ではあるが、KS 株は発電を行っていると考えられる。MFC 稼働初期に見られる急激な電力の低下は、MFC 構築後外部抵抗に接続するまでの間に電極に電子が蓄積されていたのではないかと考えられる。

(3) 発電が抗生物質生産に及ぼす影響

発電を伴う培養の粗抽出物(発電時)と伴わない培養の粗抽出物(非発電時)の 2 群に分け、それぞれの抗真菌活性試験による抑制面積の平均値を算出した結果、非発電時の粗抽出物では 15.4 \pm 0.5 cm²、発電時の粗抽出物では 15.4 \pm 0.6 cm² となった。この 2 群に有意な差があるか検定するため、*t* 検定を行ったが有意な差は見いだせなかった。

このことから、KS 株は電子を取り出される条件で培養しても、取り出されない条件と同程度の抗真菌活性物質を生産することができると考えられる。しかし、KS 株のみでは電力生産が微弱なため抗真菌活性物質生産に影響を与えなかった事が示唆される。そのため、KS 株の発電力の向上と抗真菌活性物質生産への影響を検討するため、メチレンブルー(MB)の添加を行う必要があると考えた。

(4) メチレンブルー添加による発電への影響

MB 0.3 mM 添加時では約 9.2 mW/m²、

MB 0.5 mM 添加時では約 11.8 mW/m²、MB 0.8 mM 添加時では約 10.0 mW/m²、MB 1.0 mM 添加時では約 8.2 mW/m² の電力が生じた。MB の添加により、添加していない時と比較し 4 倍以上の電力生産が行われた。MB 添加量は 0.5 mM 添加時で KS 株のみで稼働した時の 6 倍となり、MB 0.5 mM 添加時が最適条件と示された。MB 0.8 mM 添加時と MB 1.0 mM 添加時では MB 0.5 mM 添加時と比較して電力が低下していることが分かる。MB は呼吸鎖の電子伝達系における NADH デヒドロゲナーゼから電子を奪うため、過剰に添加することで KS 株の成長が抑制され、電力が低下したのではないかと考えられる。結果より、MB 0.5 mM 添加時を最適条件とし、その培養液を用いて電力生産の差が抗真菌活性物質生産に及ぼす影響を調べた。

(5) 電力生産量の差による抗真菌活性物質生産量への影響

KS 株のみの粗抽出物と MB 0.5 mM 添加時の粗抽出物の 2 群に分け、それぞれの抗真菌活性試験による抑制面積の平均値を算出した結果、KS 株のみの粗抽出物では 15.4 ± 0.6 cm²、MB 0.5 mM 添加時の粗抽出物では 17.0 ± 1.2 cm² となった。この 2 群に有意な差があるか検定するため、*t* 検定を行った結果 MB 0.5 mM 添加時の粗抽出物による抑制面積の平均値の方が有意に大きいと示された。

このことから MB を添加し、KS 株からより電子を取り出せる状態で稼働することで抗真菌活性物質生産量が向上したと考えられる。また、MB 自体にも殺菌作用があるため、MB 0.5 mM 添加時と等量の MB を用いて抗真菌活性試験を行った結果、リゾクトニアを抑制しなかったため、MB による影響はないことが示された。電子を取り出すことにより抗真菌活性物質生産量が増加する理由としては、KS 株が異化的金属還元細菌のように細胞外に電子を出すことでエネルギー生産を行うことができる可能性が考えられる。KS が微弱な発電を行うことはメディエーターのような働きを行う物質を微量ではあるが生産している可能性が示唆される。

(6) PYN 生産菌を用いた MFC の性能比較と抗真菌活性物質生産量の比較(2 連を 1 回のみ)

KS 株の発電は(2)と同様にほぼ一定で約 2 mW/m² 程度の微弱な発電となった。MH3 株は 4 日目に約 3.5 mW/m² 程度の発電で KS 株より 1.5 倍高い発電量であった。さらに DE 株は約 6 mW/m² の発電を示し、メディエーターを使用せずに KS 株の 3 倍高い発電量を示した。

また、発電後の培養液からの抽出物を用いた抗真菌活性試験では DE 株が KS 株、MH3 株と比較して、明らかに大きな抑制面積を示

したため、DE 株は他の 2 株より発電能力、抗真菌活性物質生産能力が優れていると考え、今後の実験に使用した。

(7) 培養方法の違いが抗真菌活性物質生産に及ぼす影響(DE 株)

静置培養時には 26.3 ± 1.3 cm²、振盪培養時には 26.1 ± 1.1 cm² の成育阻止面積であった。また、HPLC 分析の結果では静置培養時に 13.4 ± 0.6 mg/L、振盪培養時に 12.2 ± 0.9 mg/L の生産量であることが分かった。以上の結果は DE 株が静置培養においても振盪培養と同程度のピロールニトリンを生産している事を示した。そのため、DE 株は KS 株と同様に振盪培養を必要とせず、低コストで抗真菌活性物質生産が可能であり、酸素の混入をできるだけ防ぎたい MFC にも応用できると考えた。

(8) DE 株を用いた MFC の性能評価

DE 株を用いた微生物燃料電池では発電開始から 24 時間後から 96 時間後まで増え続け、120 時間後に最大電力 4.4 mW/m² に達した。このことから、DE 株には発電能力があると考えた。また、内部抵抗の測定結果は 4.5 kΩ であった。

(9) 発電が抗生物質生産に及ぼす影響

抗真菌活性試験の成育阻止面積は表 3 の様になった。発電を伴う培養は 23.4 ± 1.3 cm²、発電を伴わない培養は 23.3 ± 1.1 cm² の成育阻止面積であった。また、HPLC 分析の結果では発電を伴う培養は 4.4 ± 0.5 mg/L、発電を伴わない培養は 4.3 ± 0.3 mg/L の生産量であることが分かった。静置及び振盪培養と比較してピロールニトリンの生産量が低下したのは培養器の違いによるものだと考えられる。以上の結果から DE 株は発電を伴う培養において発電を伴わない培養と同程度のピロールニトリンを生産している事を示した。また、LC/MC の結果から発電時及び非発電時の抽出物で PYN 標品と同じ MS スペクトルが得られたため、発電により PYN の生産に悪影響がないことが示された。

(10) 発電後の培養液を用いた植物試験

リゾクトニア植菌から 4 日目に培養液を塗布しなかったアグリポットのキュウリに感染が見られた。しかし、発電後及び、非発電後の培養液を塗布したアグリポットでは感染は見られず、リゾクトニアからキュウリを防御したことが示された。また、DE 株の培養液を塗布する事によるキュウリへの悪影響は見られなかった。

このことから、発電を伴う培養を行った DE 株の培養液も、植物病原菌から植物を防御する微生物農薬としての利用が期待できる。

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)

[雑誌論文](計 1件)

江邊 正平、大池 達矢、岡南 政宏、阿野 貴司、酵母を用いた微生物燃料電池における発電力向上の試み、近畿大学生物理工学部紀要、査読有、第 34 号、2014、pp.15-26、<http://id.nii.ac.jp/1391/00005774/>

[学会発表](計 5件)

5.[学会発表]

Ebe Shohei, Ohike Tatsuya, Okanami Masahiro, Ano Takashi, Construction of microbial fuel cells that produce beneficial compounds, 2016 Global Conference on Engineering and Applied Science (2016 GCEAS), July 20, 2016, Premier Hotel Tsubaki Sapporo (北海道, 札幌市).

江邊 正平、大池 達矢、岡南 政宏、阿野 貴司、再生可能エネルギーとしての微生物燃料電池、第 5 回 JACI/GSC シンポジウム、2016 年 6 月 3 日、ANA クラウンプラザホテル神戸(兵庫県, 神戸市)

Ebe Shohei, Ohike Tatsuya, Okanami Masahiro, Ano Takashi, Construction and improvement of microbial fuel cells using alkaliphiles, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2015), Dec 16, 2015, Hawaii Convention Center (ホノルル, 米国).

谷口 右起、江邊 正平、大池 達矢、岡南 政宏、阿野 貴司、発電を伴う有用物質生産の試み、日本生物工学会、2015 年 10 月 28 日、城山観光ホテル(鹿児島県, 鹿児島市)

江邊 正平、大池 達矢、岡南 政宏、阿野 貴司、アルカリ性条件下における微生物燃料電池の発電力向上の試み、日本生物工学会、2014 年 9 月 10 日、札幌コンベンションセンター(北海道, 札幌市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

阿野 貴司 (ANO, Takashi)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：80202654

(2)研究分担者

なし