

令和 4 年 3 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究(開拓)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H06296・20K20315

研究課題名(和文)メタン菌の付着機構解明による先端的コーティング配置技術の開発と高性能電極の試作

研究課題名(英文)Development of advanced coating array technology and trial production of high-performance electrodes by elucidating the adhesion mechanism of methanogen

研究代表者

多田 千佳(Tada, Chika)

東北大学・農学研究科・准教授

研究者番号：30413892

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 19,800,000円

研究成果の概要(和文):『微生物プリンター』による電極作製を目標に、メタン菌の付着メカニズム解明、高付着CNT分散液の開発、メタン菌の短時間集積、高性能電極作製を行った。その結果、*Methanothermobacter thermautotrophicus*は、COOH基とOH基が1:0.65比によく付着し、単層SG-CNTと親和性が高く、BSA0.5 mg/Lが分散に適した。-600 mV(vs. Ag/AgCl)でメタン菌は2日で107copies/電極に付着し、2倍高密度付着電極の微生物燃料電池では7.5倍高い電流密度だった。電極配向は非配向に比べ、微生物量1/10でも同程度のメタン変換速度を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、メタン菌をカソード電極とした高性能な微生物燃料電池の作製が可能になるための基礎データを得ることができた。これにより、これまで、白金などのレアメタルが必要だった、触媒反応が、メタン菌のような、どこでも手に入り、安価な材料として利用可能になること、また、CO<sub>2</sub>を有効なエネルギーガスのCH<sub>4</sub>に変換しながら、電力を得る新たな微生物燃料電池技術の基礎技術ができ、今後、その応用に向けての足掛かりを得た。

研究成果の概要(英文): With the goal of establishing "microorganism printer" that artificially and freely aligns and attaches methanogens to the electrode surface, (1) elucidation of the adhesion mechanism of methanogens, and (2) dispersion of highly attached CNT of methanogens (3) Accumulation of methanogen on the electrode for a short time, and manufacture of high-performance electrodes. As a result, (1) *Methanothermobacter thermautotrophicus* had a good adhesion to that COOH and OH groups on the electrode surface at a ratio of 1: 0.65, and (2) had a high affinity with single-layer supergrowth CNTs. In addition, BSA 0.5 mg / L was suitable as the CNT dispersion. (3) At -600 mV (vs. Ag/AgCl), methanogen adhered to 107 copies/electrode in 2 days. A 7.5-fold higher current density was obtained by microbial fuel cell which methanogen adhered twice as densely. As for the electrode orientation, the same methane conversion rate was obtained even with 1/10 of methanogen as compared with the non-alignment.

研究分野：環境微生物学

キーワード：メタン菌 カソード電極 プリンター CNT 分散 付着

タイトル:

メタン菌の付着機構解明による先端的コーティング配置技術の開発と高性能電極の試作

## 研究目的

地球温暖化対策に CO<sub>2</sub> 削減が求められ、水素自動車などの燃料電池導入が増加している。燃料電池は水素イオンを白金触媒によって酸素と反応させ、水をつくりながら電流を得る。白金は希少金属で高価であり、採掘による環境破壊もあり、持続可能なシステムとは言えない。そこで、次世代燃料電池には白金に代わる環境にやさしい触媒材料が求められる。申請者は、炭素素材に水素を利用するメタン菌が付着することを示し、その結果を応用させ、メタン菌を炭素電極に自然付着させて触媒利用し、CO<sub>2</sub> と H<sup>+</sup> を反応させ、CH<sub>4</sub> ガスを得ながら、電流を得るメタン菌触媒カソード電極を開発した。すでに白金含有電極とほぼ同等能力を発揮したが、培養液中のメタン菌が電極表面に十分付着していない課題があった。これをふまえ、本研究では、斬新な新発想で、絵を描くように、人為的・自在にメタン菌の電極表面へ整列・付着させる技術『微生物プリンター』を確立することを目標とし、まず、化学的表面修飾や生物的付着を活用したメタン菌の着メカニズム解明とともに、プリンターインクとなるメタン菌付着力の高いカーボンナノチューブ分散液の開発、インク原料のメタン菌を簡便かつ短時間で外環境から選択的に集積できる技術を開発し、現在の性能のさらに高性能電極を作製する。

### A 水素資化性メタン菌の炭素電極への付着特性調査

#### A-1 炭素電極の表面修飾によるメタン菌の付着の評価

##### 1. 接触角に対する化学処理の影響

カーボンフェルトの表面疎水性の比較に、精製水との接触角を測定した。精製水(コントロール)処理したカーボンフェルトの接触角は、 $136 \pm 6 : 4^\circ$  の高い疎水性を示した。他のすべての化学処理した担体は、やや親水化する傾向を示した。

##### 2 表面官能基に対する化学処理の影響

コントロールに対する化学処理済み担体表面の官能基の強度比では、最小の接触角を特徴とする H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 処理カーボンフェルトでは、親水性基 -COOH、-C=O、および -OH は、対照表面と比較して、それぞれ 5.55 倍、4.59 倍、および 4.46 倍増加した。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> の両方の処理は、コントロールとほぼ同じ接触角 (134°) を示したが、各官能基の存在量は大きく異なった。この観察は、接触角が同じままであるにもかかわらず、官能基の組成が異なる可能性があることを示した。NaOH 処理担体とコントロールの接触角に有意差は見られなかった。ただし、親水性官能基 (-COOH、-C=O、および -OH) の量は約 2 倍に増加した。親水性基の量は、HNO<sub>3</sub> による酸処理後も対照とほとんど差がなかったが、疎水性 -CH 基は 1/10 に減少した。

##### 3. 表面処理後のメタン菌の付着

21 日間の培養後、全 H<sub>2</sub> は CH<sub>4</sub> に変換された。異なる表面処理における炭素フェルトに付着したメタン菌量を定量 PCR で比較した。図 1 に示すように、NaOH、HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、および Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 処理カーボンフェルトでは、コントロールと比較して有意に付着量が高かった (p < 0.05; t 検定)。それに対し、他の化学処理担体では、対照との間に有意差はなかった。

図 2 の SEM 画像は、化学処理後の担体に付着したメタン菌を示す。M. thermotrophicus の棒状の細胞がフェルト繊維に付着する様子が観察できた。SEM 観察から単位面積あたりのメタン菌の付着量を測定した結果(not shown data)。NaOH、HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、および Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 処理担体では、対照と比較して付着量が大幅に増加した(not shown data, p < 0.05; t 検定)。

##### 4 担体の表面特性とメタン菌付着量との関係

各カーボンフェルトの表面官能基とメタン菌の付着量との関係を調べた。4 つの官能基 (-COOH、-C=O、-CH、および -OH) の量は、この研究で適用された 7 種類の化学処理全体で変化した。各官能基の存在量とメタン菌に対する親和性、メタン菌量と -COOH

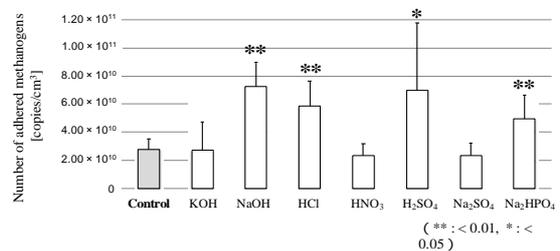


図 1 化学処理の違いによるメタン菌の付着量

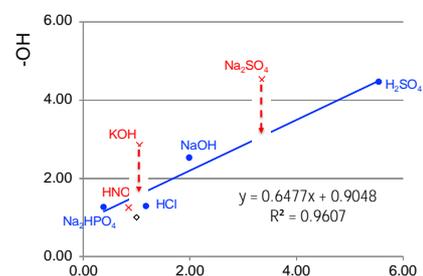


図 3 -COOH 基と-OH 基とメタン菌付着量との関係

および-OH基との関係を調査した(図3)。メタン菌付着が高かった4つの処理済み担体(NaOH、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、HCl、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)では、-COOHおよび-OH基はより強い相関を示した(R<sup>2</sup> = 0.9607)。対照的に、付着量が増加しなかったKOHおよびNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理カーボンフェルトでは、-COOH基と-OH基の相関は低かった。これらの発見は、メタン菌に対する担体の親和性が、その表面の-COOHおよび-OH基がバランスのとれた方法で修飾されたときに増強されたことを示唆する。近似曲線の程度と対照の官能基分布の基準との比較から、官能基は-COOH : -OH = 1 : 0.65の比率で分布することが望ましいと考えられた。

### A-2 様々な水素資化性メタン菌の付着特性の評価

Realtime PCRの結果(図4)、炭素フェルトに付着したメタン菌量は、それぞれMethanosarcinaeは1.6\*10<sup>4</sup> copies/電極、Methanomicrobiales 1.6\*10<sup>4</sup> copies/電極、Methanobacterialesは6.3\*10<sup>3</sup> copies/電極であった。これまで、A-1では、高温メタン菌の純粋培養株として、*M. thermoautotrophicus*に着目して、その付着特性をみてきたが、高温の多様なメタン菌を含むもので、付着を観察した結果、水素資化性メタン菌のMethanomicrobialesも付着しやすいことが明らかになった。高温菌でMethanomicrobialesに属するものとして、*Methanoculleus thermophilus*が知られている。本実験では、HRT 5 minという高速HRT条件で培養を行っており、しっかり担体に付着していなければ、メタン菌の増殖は不可能な速度である。その条件下でもMethanomicrobialesが炭素フェルト上に付着していたことから、付着性は高いものと考えられた。今後、Methanomicrobialesのメタン菌を電極に用いることも、付着性の面から良い結果を得られる可能性が考えられた。

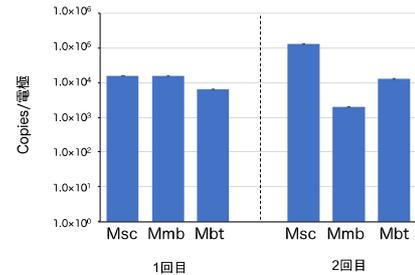


図4 多様なメタン菌の炭素フェルトへの付着

### A-3 高比表面積ナノカーボン電極の開発によるメタン菌付着性向上

**2種の単層CNTを用いたメタン菌の付着について**  
 カーボンナノチューブ(CNT)は粉状であり、接触面積が大きく取れる利点、また、CNTの中でも単層CNTは結晶性が高く、導電性が高いといったメリットがあることから、単層CNTと高温性メタン菌

*M. thermoautotrophicus*の付着性について検討した。本実験では、単層CNTの中でも結晶性の高いeDIPS(製造元：名城ナノカーボン)と、比表面積が大きい特性を持つSuper Growth(製造元：日本ゼオン)のSG-CNTを用いて、これらに対するメタン菌の付着特性について検討した。

図5にそれぞれの培養におけるメタン菌量を示す。SG-CNTおよびeDIPS-CNTともにメタン菌が増殖し、2.61\*10<sup>8</sup> copies/5ml培養液、8.68\*10<sup>9</sup> copies/5mlであることがわかった。溶液全体量としては、eDIPSの方がメタン菌量が高かった。しかし、それぞれのCNTに付着したメタン菌量を比較すると、SG-CNTでは、2.04 \*10<sup>8</sup> copiesとなり、一方、e-DIPS-CNTでは、4.18\*10<sup>8</sup> copiesであった。これより、SG-CNTでは、培養されたメタン菌の78.2%がCNTに付着していたのに対し、eDIPS-CNTでは、培養されたメタン菌の4.8%のみがCNTに付着している状態であることがわかった。

図6にそれぞれのCNTのXPS分析の結果を示す。これより、SG-CNTはeDIPS-CNTに比較して、C-O基やC=O基が多く見られることがわかった。A-1でも今回使用している高温性水素資化性メタン菌

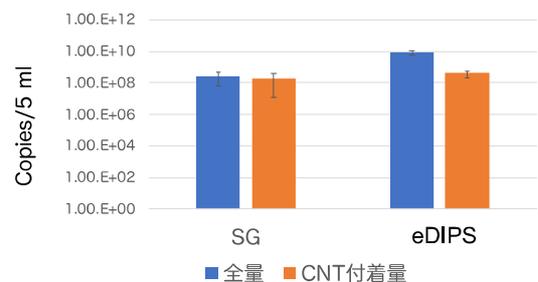


図5 SGおよびeDIPSに付着したメタン菌量の比較

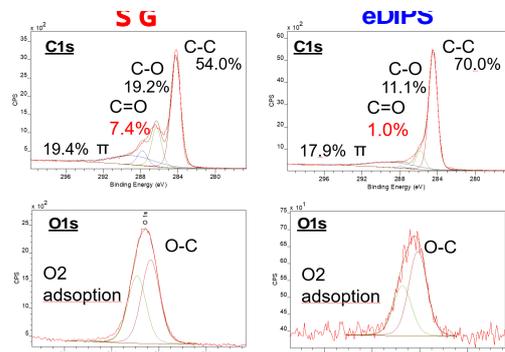


図6 XPS分析によるSGおよびeDIPSの表面特性

*M. thermoautotrophicus* の付着において、COOH 基の関与がわかっており、本実験結果からも C-O 基や C=O 基が多い SG-CNT にメタン菌付着量が多かったことから、表面が C-C のみの eDIPS-CNT に比較して、SG-CNT はメタン菌の付着にとって適した表面構造をしていると考えられた。

**A-3(2) SG-CNT の分散材の検討** 分散剤にプロピレングリコールを用いたものでは、メタンガス発生量がコントロールに比較して著しく低かった。また、BSA を用いて場合には、コントロールとほぼ同等のガス量を得た。培養終了後のメタン菌量は、コントロールに比較してプロピレングリコール分散したメタン菌では、メタン菌量もやや低かった。一方、BSA 分散剤では、メタン菌量はコントロールより高かった。これらの結果から、分散剤には、BSAの方がメタン菌との親和性がよいことがわかった。しかし、メタンガス発生量は、コントロールよりやや低い傾向があったため、少なからず、メタン生成に対して阻害を受けた可能性が考えられた。そのため次の実験では、BSA 濃度を変化させ、より最適な濃度を明らかにすることとした。

### A-3(3)-1 分散剤 BSA 濃度の検討

図 12 に分散剤 BSA 濃度の違いによるメタンガス生成量を示す。非分散 CNT に比較して BSA1mg/ml を添加した系では、メタンガス生成量が著しく低かった。また、BSA0.25mg/ml 添加系でも、メタン生成の低下が見られ、最終的に非分散区に追いついた。BSA0.5 mg/ml 添加が、非分散に比較して、最初の 12 時間は多少の遅れが見られたが、その後は、ほぼ非分散 CNT と同等のメタンガス生成であった。また、このときの培養 5 日目のメタン菌量を比較すると、非分散では  $2.36 \times 10^7$  copies/40ml であったが、BSA による分散によってメタン菌量は増加傾向にあり、特に、BSA0.5mg/ml 添加区では  $10^9$  まで増加していた。以上のことから、BSA 分散剤の添加量は 0.5 mg/ml が望ましいことがわかった。

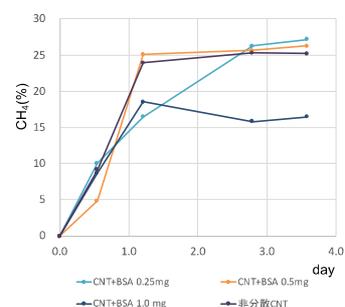


図 12 SG-CNT 分散剤としての BSA 濃度の違いによるメタン

### A-4 EPS などの細菌由来付着物質を活用したメタン菌の付着性向上

今回、EPS ではなく、BSA のみでメタン菌の付着性やメタンガス生成量が高まるかを確認した。その結果、培養 5 日目のメタン菌量は、BSA を 0.5mg/ml 添加したものとしないものを比較した結果、BSA 0.5mg/ml を添加した方が  $7.82 \times 10^9$  copies/40mL となり、コントロールの  $5.21 \times 10^7$  copies/40mL に比較して約 100 倍高く増加することがわかった。メタンガス生成量に大きな違いは認められなかったが、ややコントロールに比較して、BSA0.5 mg/L 添加系では、培養 1 日目までのメタン濃度が 0.86 となり、低かった。フィルターで濾過した場合、BSA 添加系では、メタン菌が多いこと、また、BSA の粘性作用によってフィルター上にメタン菌が捕捉されやすくなり、多く濃縮できることがわかった。

### B,C,D 電圧印加による電極表面へのメタン菌の集積培養とターゲットメタン菌の環境からの選択集積培養法の確立

電圧印加ありなしでの電極上の古細菌量は、-600 mV, -800mV の両区で電圧印加区の方が印加なしに比較して多量だった。よって微生物電解セルによる電圧印加が古細菌の電極付着量増加有効であると考えられた。次に、各種メタン菌量について定量 PCR の結果では、-600mV では *Methanosarcinaceae*(Msc) で約 13 倍、*Methanomicrobiales*(Mmb) では 3.4 倍、電圧印加ありで電圧印加なしの実験区と比較して高い値となった。しかし、*Methanobacteriales*(Mbt) では電圧印加ありとなし区に大きな差は認められなかった。また、-800 mV では、いずれでも電圧印加による付着量の増加は確認できなかった。これらの結果からメタン菌の電極付着量を増やすには -600 mV が有効と考えられた。今回の結果から、*Methanomicrobials* の増加がおこったことから、実際の環境中では、電子伝達の主な役割を担っているのは、微生物群衆の中では、優占種ではない、*Methanomicrobials* が重要な可能性がある。また、この菌を電位 -600mV にすることで、容易に増やすことが可能であることが

明らかになった。以上より、-600mV で電極に付着した Methanomicrobials と Methanosarcinae は、CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> から CH<sub>4</sub> を生産することが考えられ、微生物燃料電池のカソード電極として利用可能である可能性が示唆された。培養液中の古細菌量を測定した結果、-600 mV の 2 日目時点で、古細菌量の増加が確認された。よって 2 日間の電圧印加でメタン菌を電極に付着させられる可能性が示唆された。

## E 改良型高密度付着性メタン菌カソード電極の試作と性能評価

### E-2-2-3 NaOH 処理と無処理の比較

NaOH 処理をした炭素フェルトには、精製水処理に比較して、メタン菌量が約 2 倍多く付着した。また、これらの電流密度では、培養開始から約 4000 min で、NaOH 処理区では、1270 mA/m<sup>2</sup>、一方、精製水の方では、165 mA/m<sup>2</sup> と低いままであった。よって、NaOH 処理し、メタン菌の付着濃度を高めることで、高性能のバイオカソード電極になることが示され、本実験では約 7.5 倍高い値になった。

### E-2-3 非分散 SG-CNT, 分散 SG-CNT と配向型フォレスト SG-CNT の比較

非分散 CNT, 酸化 SG-CNT による分散 CNT 添加によるメタンガス生成については、非分散 CNT, 酸化 SG-CNT による分散 CNT, SG-CNT フォレストにおいて、メタン生成速度に大きな違いは認められなかった。培養 5 日後のメタン菌量を比較すると、非分散 CNT が  $2.36 \times 10^7$  copies/40mL, 分散 CNT  $1.97 \times 10^6$  copies/40mL, フォレスト CNT  $2.16 \times 10^6$  copies/40mL であった。これらより、メタン菌数が非分散 CNT に比較して 1/10 の量でも、メタン生成速度が速かった配向型フォレストは、CNT が配向していることで、効率の良い電子伝達を行い、メタン生成変換率を高めている可能性が考えられた。また、同様に、酸化によって分散した SG-CNT においても、メタン菌の存在量は、非分散に比較して 1/10 であったが、メタン生成変換率は変わらなかったことから、分散も効果的であることが明らかになった。

また、前回の A-3 の分散剤の選定の結果と比較すると、BSA を添加することで分散させた方が、メタン菌の増殖量は酸化して分散させる場合に比較して、約 30 倍-約 800 倍高かったこと、また、メタン生成速度も約 3.5 倍速かったため、分散には、BSA 添加の方が適していることが明らかになった。

## 総括

本研究では、人為的・自在にメタン菌の電極表面へ整列・付着させる技術『微生物プリンター』を確立することを目標とし、まず、化学的表面修飾や生物的付着を活用したメタン菌の着メカニズム解明とともに、プリンターインクとなるメタン菌付着力の高いカーボンナノチューブ分散液の開発、

インク原料のメタン菌を簡便かつ短時間で外環境から選択的に集積できる技術を開発し、現在の性能のさらに高性能電極を作製することを目的に、研究した。その結果、高温性水素資化性メタン菌の *Methanothermobacter thermoautotrophicus* は、電極表面の官能基 COOH 基と OH 基の比が 1:0.65 のときに、よく付着することがわかった。また、特に、今回使用したカーボンフェルトの場合、1M NaOH で熱処理するとその条件になることが明らかになった。単層 CNT の中では、スーパーグロース型の CNT との付着が、結晶性の高い eDIPS-CNT に比較して、よく付着することがわかった。また、分散剤には、BSA 0.5 mg/L 添加が CNT 分散、メタン菌の増殖、ガス生成量において適していた。多様な高温メタン菌が存在する溶液の中で、-600mV(Ag/AgCl)の電位で印加した場合、培養 2 日で  $10^7$ copies/電極に付着し、印加しない場合の 10 倍付着した。また、*M. thermoautotrophicus* が属する *Methanobacterium* 以外に、*Methanosarcinae* や *Methanomicrobials* の付着も確認できた。これらの菌も微生物との直接的な電子伝達が報告されていることから、-600mV(Ag/AgCl)電位印加することで、電子伝達に関与するメタン菌を早期に培養できることが明らかになった。さらに、NaOH 処理により、通常より 2 倍多くのメタン菌が付着した電極を用いた微生物燃料電池では、1270mA/m<sup>2</sup> に達し、7.5 倍高い結果を得た。これより、メタン菌を高密度に付着させることで、高い性能の微生物燃料電池を製作できることが明らかとなった。また、電極そのものの配向性では、配向しないものに比較して、微生物量が 1/10 でも同程度のメタン変換速度を得られたため、電極そのものの配向性も性能向上に重要な因子であることが明らかとなった。さらに、分散することで、基質との親和性が高まることでも、微生物量が 1/10 でも同程度のメタン生成を得たことから、基質の供給効率を分散することで高めることも効果的であることが明らかになった。また、分散においては、CNT そのものを酸化処理する場合に比較して、CNT を BSA で分散させた方が、メタン菌の増殖も高く、メタン生成も高いことがわかり、今後、プリンターのインクにアプライする上では、SG-CNT の BSA 分散が望ましいことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masaki Umetsu, Yasuhiro Fukuda, Hideyuki Takahashi, Chika Tada	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 Electricity Generation by a Methanogen Cathode Microbial Fuel Cell,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Animal Production Environment Science	6. 最初と最後の頁 17-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Masaki Umetsu, Takaaki Sunouchi, Yasuhiro Fukuda, Hideyuki Takahashi, and Chika Tada	4. 巻 2020
2. 論文標題 Functional Group Distribution of the Carrier Surface Influences Adhesion of Methanothermobacter thermautotrophicus,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Archaea	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2020/9432803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Masaki UMETSU, Yasuhiro FUKUDA, Hideyuki TAKAHASHI, Chika TADA
2. 発表標題 Electricity Generation with a Fed-Batch Type and a Continuous Type Methanogen Cathode Microbial Fuel Cell
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki UMETSU, Yasuhiro FUKUDA, Hideyuki TAKAHASHI, Chika TADA
2. 発表標題 Methane production in the fed-batch Microbial Fuel Cell
3. 学会等名 10th Asian Symposium on Microbial Ecology（ASME）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梅津将喜, 福田康弘, 高橋英志, 多田千佳
2. 発表標題 微生物燃料電池におけるアノードでのメタン菌増殖とその解決法
3. 学会等名 日本畜産環境学会第17回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Umetsu M, FukudaA Y, Takahashi H, Tada C.
2. 発表標題 Electricity Generation with a Fed-Batch Type and a Continuous Type Methanogen Cathode Microbial Fuel Cell..
3. 学会等名 The Water and Environment Technology Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梅津将喜, 福田康弘, 高橋英志, 多田千佳.
2. 発表標題 バッチ式微生物燃料電池におけるメタンガス生産
3. 学会等名 日本微生物生態学会 第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梅津将喜, 福田康弘, 高橋英志, 多田千佳.
2. 発表標題 微生物燃料電池におけるアノードでのメタン菌増殖とその解決法.
3. 学会等名 日本畜産環境学会 第17回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Umetsu M, Fukuda Y, Takahashi H, Tada C. (2019)
2. 発表標題 Power generation with a batch type Microbial Fuel Cell using a hydrogenotrophic methanogen as cathodic catalyst.
3. 学会等名 16th World Conference on Anaerobic Digestion 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Umetsu M, Fukuda Y, Takahashi H, Tada C.
2. 発表標題 Simultaneous Power Generation and Methane Production by a Methanogenic Cathode Microbial Fuel Cell.
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅津将喜, 多田千佳.
2. 発表標題 メタン菌カソード微生物燃料電池の実用化の可能性についての検討
3. 学会等名 日本畜産環境学会 第18回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	関口 貴子  (Sekiguchi Atsuko)  (50738086)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員    (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	高橋 英志  (Takahashi Hideyuki)  (90312652)	東北大学・環境科学研究科・教授    (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関