

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04363

研究課題名（和文）固体腐植の細胞外電子供与を利用する酢酸生成微生物の新規な二酸化炭素固定化機構

研究課題名（英文）Novel mechanism in carbon dioxide-fixing acetogenic microorganism utilizing extracellular electron transfer from solid-phase humic substances

研究代表者

片山 新太（Katayama, Arata）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：60185808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：酢酸生成微生物により二酸化炭素を酢酸に変換する技術は有望と考えられているが、高濃度水素が必要である点が課題となっている。本研究では固体腐植ヒューミンを細胞外電子供与体として二酸化炭素が酢酸に変換される新規な微生物反応を見いだした。そこでその反応を担う酢酸生成微生物とその条件を解明するとともに、その電子伝達機構の解析を行った。酢酸生成微生物の中で *Moorella thermoacetica* が酵母エキス存在下で固体腐植ヒューミンの細胞外電子を利用して二酸化炭素固定・酢酸生成ができることが明らかとなった。また、固体腐植ヒューミン中の還元型硫黄が高密度に電子を保持できる官能基であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化が進む現在、二酸化炭素固定化技術の開発は人類にとっての最大の緊急課題である。本研究は、その中で有望視される酢酸生成微生物を用いた技術の弱点である高濃度水素の必要である点を回避して、二酸化炭素固定を行う技術の開発につながることを期待される。本研究を通して、水の電気分解は起こらない（水素供給の無い）温和な条件で、酵母エキス存在下、世界最高レベルの24.2mg-酢酸/L/日が達成され、今後の技術開発につながる成果が得られた。また、この細胞外電子伝達の現象は自然界における嫌気性微生物生態系のエネルギーの流れを明らかにするものとしても意義深いものである。

研究成果の概要（英文）：A technology that converts carbon dioxide into acetic acid using acetogenic microorganisms is considered promising, but the problem is that it requires high concentration of hydrogen. We have found that an anaerobic microbial reaction converts carbon dioxide into acetic acid using solid-phase humin as extracellular electron donor. In this study, we have conducted a study to elucidate the microorganisms that utilize solid-phase humin as extracellular electron donor and the conditions required for the microbial utilization, as well as the novel electron transfer mechanisms. In the acetogenic microorganisms, *Moorella thermoacetica* was able to utilize extracellular electrons in solid-phase humin for carbon dioxide fixation and acetic acid formation with the presence of yeast extract. Reduced sulfur in solid-phase humin was also suggested to hold electrons with high density in the matrix.

研究分野：環境工学

キーワード：固体腐植ヒューミン 細胞外電子伝達 二酸化炭素固定 酢酸生成微生物 硫黄 水素

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が進む現在、二酸化炭素固定化技術の開発は人類にとっての最大の緊急課題である。再生可能エネルギーへの代替、植物光合成による二酸化炭素固定化、地下貯留技術などの研究が進められている。特に二酸化炭素を有用物質へ変換する技術が必要とされ、多様な二酸化炭素変換技術が研究されている(環境省)。二酸化炭素を有機酸に変換する非光合成独立栄養微生物(酢酸生成微生物)を用いる技術は、その一つとして注目されている。反応に必要な不可欠な水素を、水の電気分解によって供給することによって、微生物の生化学経路に応じた特定生成物(例えば酢酸)を二酸化炭素から生産できることから、盛んに研究が進められている(例えば、Aryal et al *Bioelectrochem.*, 128, 83-93, 2019)。この方法は、光合成生物を使う場合と異なり高密度化が可能であることから、二酸化炭素固定化技術として有望視されている。しかし、微生物が二酸化炭素を酢酸に還元するためには、水素が高濃度必要(電位で言えば標準水素電極基準で-414mV(E_o' 、対標準水素電極電位(pH7)、以下同様)という高い還元エネルギーレベルが必要)とされている(Cord-Ruwisch et al, *Arch. Microbiol.*, 149, 350-357, 1988)。電極と細胞の間で直接電子授受ができる電気活性微生物であり且つ酢酸生成微生物でもある微生物種を用い、その電気培養による二酸化炭素固定化技術が盛んに研究されている。しかし殆どの場合、水の電気分解による水素発生を伴う条件($E_o' = -400\text{mV}$ よりも還元的条件)で行われている(例えば、Aryal et al, *Biores. Technol.*, 233, 184-190, 2017)。酢酸生成微生物による二酸化炭素還元 - 酢酸生成反応には外部からの水素供給が必須とされていた(例えば、Luijten et al, *Environ. Microbiol.*, 6, 646-650, 2004)

2. 研究の目的

このような背景の中、申請代表者の研究グループは、土壌や底質中に含まれる固体腐植ヒューミン(腐植物質のなかで酸アルカリに不溶の画分)が多様な微生物に対して細胞外電子伝達能力を持ち、嫌気性微生物の脱ハロゲン反応、鉄還元反応、硝酸還元アンモニア生成反応、脱窒反応を促進する事を世界に先駆けて明らかにしてきた(例えば Zhang ら, *JBB*, 119, 188-194, 2015)。また、有機無機複合体である固体腐植ヒューミンは、有機画分に細胞外電子伝達能力を有し、等電点は平均的に $-100\text{mV} \sim +100\text{mV}$ であることを明らかにしてきた。更に、独立栄養条件にある酢酸生成菌を含む非光合成微生物群に固体腐植ヒューミンを唯一のエネルギー源として加えたところ、電気培養でないにもかかわらず二酸化炭素から酢酸を生成する(反応 $E_o' = -280\text{mV}$)ことが見いだされた。この発見は、非光合成微生物による新規な二酸化炭素固定法として期待される(特願 2019-183411、令和元年 10 月 4 日出願)。この酢酸生成反応には、これまで未知の二酸化炭素の還元メカニズムが存在するものと推定された。酢酸生成微生物が二酸化炭素を酢酸に変換するには水素供給が不可欠とされているためである(Wood-Ljungdahl 経路)。即ち、水素の持つ還元エネルギー($E_o' = -414\text{mV}$)を利用して、細胞内に NAD(P)H ($E_o' = -320\text{mV}$) やフェレドキン ($E_o' = -420\text{mV}$) 還元型を生成し、二酸化炭素を酢酸に還元 ($E_o' = -280\text{mV}$) するものと考えられている(例えば、Westphal et al, *J. Bacteriol.*, 200, e00357-18, 2018)。しかし、水素に比べて酸化還元電位が酸化側(低エネルギーレベル)にある固体腐植ヒューミンからの細胞外電

子供与では、酢酸生成に必要な還元エネルギーが不足すると考えられ、説明できない。そこで本研究では、この固体腐植ヒューミンをエネルギー源とする酢酸生成微生物の細胞外電子伝達とその二酸化炭素還元機構を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 固体腐植ヒューミンを電子供与体とする酢酸生成微生物の分離

固体腐植ヒューミンを電子供与体とする嫌気性酢酸生成微生物群の集積物を既に得ているが、分離に必要な更なる集積を行う。分離のためには、酢酸生成微生物を高度に集積することが必要であるため、固体腐植ヒューミン、硫化鉄、塩化ナトリウム、硫酸マグネシウム等の条件を変えて集積し、二酸化炭素固定—酢酸生成速度の高い条件を明らかにし、固体腐植ヒューミンを電子供与体として用いる酢酸生成微生物の集積を行った。また、酢酸生成微生物は増殖が遅く、分離に困難な場合は菌株保存機関より想定微生物菌株(集積微生物群に多くみられる *Clostridium* 類縁微生物)を購入し、固体腐植ヒューミンを電子供与体として利用できる微生物菌株を探索した。

(2) 固体腐植ヒューミンを電子供与体として利用する酢酸生成微生物の反応条件の解明

水の電気分解による水素発生が起こらない温和な条件下で、固体腐植ヒューミンを電子供与体として二酸化炭素固定—酢酸生成を行う酢酸生成微生物を選抜し、その反応条件を解明するために、水素および酵母エキス等の有機炭素源の影響を調べた。

(3) 酢酸生成微生物の電子供与体となる固体腐植ヒューミンの特性解析

固体腐植ヒューミンが二酸化炭素固定 - 酢酸生成反応の電子供与体として機能するためには、その構造の中に $E_0' = -280\text{mV}$ よりも還元的な部位が存在するものと推定される。そこで、固体腐植ヒューミンの化学的および電気化学的特性解析を行って、酸化還元に関与する官能基の解析を行った。

4. 研究成果

(1) 固体腐植ヒューミンを電子供与体とする酢酸生成微生物

固体腐植ヒューミンおよび水素の両方を電子供与体とする酢酸生成微生物群を集積して、特性を調べた。二酸化炭素固定 - 酢酸生成活性は、硫化鉄(0.2g/L)により 14 倍に高まったが、硫酸マグネシウム(0.02g/L)および塩化ナトリウム ($\geq 6\text{g/L}$) で阻害された。固体腐植ヒューミンの細胞外電子を利用するためには、水素が必要であった。酢酸生成活性は持っているが水素を電子供与体として固体腐植ヒューミンを電子供与体として利用できない微生物群を集積して、群集構造を 16S rRNA 部分配列により比較したところ、両者ともクロストリジウム類縁菌が優占し、主要微生物群の種に違いは見られず、固体腐植ヒューミンの細胞外電子伝達利用性はマイナーな微生物種により左右されるものと推察された。そのため、集積・分離のアプローチをやめて、菌株保存機関から酢酸生成微生物を購入して、それらの固体腐植ヒューミンの細胞外電子利用性を調べたところ、*Moorella thermoacetica* が細胞外電子を利用して二酸化炭素固定—酢酸生成できることが明らかとなった。

(2) 酢酸生成微生物が固体腐植ヒューミンを電子供与体として利用条件の解析

酢酸生成微生物 *Moorella thermoacetica* を、固体腐植ヒューミンを用いた 2 槽式電気培養

系で培養し、二酸化炭素固定—酢酸生成活性に対する陰極電位、酵母エキス、二酸化炭素の有無の効果を調べた。酵母エキス、二酸化炭素の存在下、陰極電位 - 300mVで、24.2mg-酢酸/L/日が達成された。水の電気分解は起こらない温和な条件で世界最高レベルの二酸化炭素固定活性が得られた。*M. thermoacetical*は、電気活性微生物で電極から直接電子授受ができることとされているが、このときの供与電子の8割以上が固体腐植ヒューミンから供給されていた。一方、酵母エキスなしの条件では、全く二酸化炭素固定が起こらなかったことから、この微生物が二酸化炭素固定をするためには、酵母エキスが必須であることが示された。

(3) 酢酸生成微生物の電子供与体となる固体腐植ヒューミンの特性解析

これまで、固体腐植ヒューミンの酸化還元反応には、キノン骨格およびペプチドグリカン構造の関与が示唆されてきたが、酸化還元電位の低い二酸化炭素固定反応に対する電子供与が可能な官能基は明らかとなっていなかった。腐食物質の酸化還元には炭素以外の窒素や硫黄の関与の研究が必要とされていること、また上述したように硫化鉄によって二酸化炭素固定—酢酸生成反応速度が高まったことから、固体腐植ヒューミン中の硫黄に注目した。固体腐植ヒューミン中には硫黄は 0.9%未満しか含まれないが、その酸化数は-2 から+6 まで分布した。還元型および酸化型の固体腐植ヒューミンにおける硫黄の酸化状態変化を調べたところ、約 19%の硫黄が、酸化還元可能であった。これは、 $1.2 \sim 17.1 \times 10^{-5}$ 等量/g に相当した。腐食物質中には含硫黄アミノ酸からなる部分構造があり、それらが有機物中に密に存在することによって、低い酸化還元電位(高エネルギー電子)の源となっていることが推察された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sujan Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 134
2. 論文標題 Promotion of biological H ₂ (Bio-H ₂) production beyond the metabolic limit by the anaerobic microbial consortia enriched under nitrogen-deficient conditions using humin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Bioscience and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 144-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiosc.2022.04.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sujan Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 13
2. 論文標題 Promotion of nitrogen fixation of diverse heterotrophs by solid-phase humin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 853411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2022.853411	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 Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Daiki Masuda, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 119
2. 論文標題 Humin-promoted microbial electrosynthesis of acetate from CO ₂ by Moorella thermoacetica	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biotechnology and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 3487-3496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/bit.28238	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tingting Hu, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 19
2. 論文標題 Emergence of Extracellular Electron Mediating Functionality in Rice Straw-Artificial Soil Mixture During Humification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Health and Public Health	6. 最初と最後の頁 15173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph192215173	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 Tingting Hu, Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 135
2. 論文標題 Wide distribution of extracellular electron transfer functionality in natural proteinaceous organic materials for microbial reductive dehalogenation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Bioscience and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 238-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiosc.2022.12.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Duyen Minh Pham, Hiroshi Oji, Shinya Yagi, Satoshi Ogawa, Arata Katayama	4. 巻 408
2. 論文標題 Humin organic sulfur as a redox-active element for extracellular electron transfer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 115580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2021.115580	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Duyen Minh Pham, Sujana Dey, Arata Katayama	4. 巻 195
2. 論文標題 Activation of extracellular electron network in non-electroactive bacteria by Bombyx mori silk	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2021.11.190	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Takanori Awata, Arata Katayama	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of humin and chemical factors on CO ₂ -fixing acetogenesis and methanogenesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Health and Public Health,	6. 最初と最後の頁 2546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph19052546	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 Mahasweta Laskar, Takuya Kasai, Takanori Awata, Arata Katayama	4. 巻 17
2. 論文標題 Humin Assists Reductive Acetogenesis in Absence of Other External Electron Donor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 4211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17124211	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 Sujan Dey, Takanori Awata, Jumpei Mitsushita, Dongdong Zhang, Takuya Kasai, Norihisa Matsuura, Arata Katayama	4. 巻 11
2. 論文標題 Promotion of biological nitrogen fixation activity of an anaerobic consortium using humin as an extracellular electron mediator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-85955-3	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 該当する

1. 著者名 Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Mirai Yamaura, Arata Katayama	4. 巻 269
2. 論文標題 Humin: No longer inactive natural organic matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 128697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2020.128697	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Arata Katayama, Mahasweta Laskar, Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai
2. 発表標題 Alternate functionality of humin, a solid-phase humic substance, as extracellular electron mediator in carbon dioxide-reducing acetogenesis
3. 学会等名 American Chemical Society, Spring 2021 meeting, "Macromolecular Chemistry: the second century" (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Kasai, Mahasweta Laskar, Arata Katayama
2. 発表標題 Activation of carbon dioxide reduction by autotrophic acetogen with solid-phase humic substances
3. 学会等名 World Microbial Forum, ASM and FEMS collaboration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Activity of CO ₂ -fixing acetogenesis and methanogenesis in mixed cultures with humin under different conditions
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tingting Hu, Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Extracellular electron mediating functions discovered in fresh organic materials and changes the functionality in artificial soil
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Takanori Awata, Arata Katayama
2. 発表標題 Effects of chemical factors and microbial community on the activity of CO ₂ -fixing acetogenesis and methanogenesis with the presence of humin as extracellular electron mediator
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Duyen Minh Pham, Hiroshi Oji, Shinya Yagi, Satoshi Ogawa, Arata Katayama
2. 発表標題 Unveiling redox-active structure in humin by synchrotron radiation-based X-ray absorption near edge structure
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021, online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Kasai, Sujan Dey, Takehito Noto, Ryota Ujibayashi, Arata Katayama
2. 発表標題 Study on extracellular electron transfer mechanism in humin promoting redox reactions of nitrogen
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021, online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Arata Katayama, Takuya Kasai, Naoko Yoshida
2. 発表標題 Strategy of anaerobic bioremediation: design of artificial microbial community and bioelectrochemical system
3. 学会等名 the 41st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山新太
2. 発表標題 微生物等を利用した浄化技術
3. 学会等名 おおさかATCグリーンエコプラザ、水・土壌汚染研究部会、オンライン (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tingting HU, Duyen Minh PHAM, Takuya KASAI, Arata KATAYAMA
2. 発表標題 Increase in extracellular electron mediating function of rice straw-artificial soil mixture during the humification
3. 学会等名 日本微生物生態学会第34回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田大起, Pham Duyen Minh, 笠井拓哉, 片山新太
2. 発表標題 固体フミン質を適用した微生物電気化学システムの構築と最適化
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会、オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笠井 拓哉, 伊藤 啓人, Pham Minh Duyen, 菰田 峰生, 片山 新太
2. 発表標題 固体腐植ヒューミンを用いた生物電気化学システムにおける酢酸生成菌による二酸化炭素変換の促進
3. 学会等名 日本農芸化学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sujan Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion of biological nitrogen fixation using extracellular electron mediator-humin
3. 学会等名 The Water and Environment Technology Conference, WET-2020-online (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Arata Katayama
2. 発表標題 Humins, an insoluble fraction of humic substances, as a key extracellular electron mediator in anaerobic microbial world
3. 学会等名 Vebleo webinar 2021 on Materials Science, Engineering and Technology online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笠井 拓哉, ラスカー マハシュウエタ, 片山 新太
2. 発表標題 固体腐植物質による生物学的二酸化炭素資源化反応の促進
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度(令和3年度)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 How do solid-phase humic substances (humins) serve as extracellular electron mediator in multiple anaerobic microbial reactions?
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度(令和3年度)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sujuan Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion of nitrogen-fixation activity of diverse heterotrophic diazotrophs by supplying extracellular electrons from humins, a solid-phase humic substance.
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度(令和3年度)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Kasai, Sujan, Dey, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion of biological nitrogen fixation by electron donation from solid phase humin
3. 学会等名 8th The international society for microbial electrochemistry and technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion effect of humin on acetate electrosynthesis from carbon dioxide by <i>Moorella thermoacetica</i> JCM 9320
3. 学会等名 8th The international society for microbial electrochemistry and technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tingting Hu, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Potential involvement of high content of reduced sulfur in wide distributed extracellular electron transfer functionality of natural proteinaceous materials
3. 学会等名 名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム(2022)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 笠井拓哉, Dey Sujan, 片山新太
2. 発表標題 固体腐植ヒューミンを用いた窒素固定細菌群による水素生産の促進
3. 学会等名 日本農芸化学会2022年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tingting Hu, Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Natural proteinaceous organic materials as widely-distributed extracellular electron mediators for microbial reductive dehalogenation
3. 学会等名 日本農芸化学会2022年度大会
4. 発表年 2023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	笠井 拓哉 (Kasai Takuya) (00833831)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教 (13901)	

	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
研究協力者	宮田 康史 (Miyata Yasushi)	名古屋市工業試験場	

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1件

国際研究集会 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (ICMaSS2021)	開催年 2021年～2021年
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

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
---------	---------