

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01899

研究課題名(和文) 環境浄化を担う嫌気性微生物のエネルギー源となる還元型固体腐植物質の生成・維持機構

研究課題名(英文) Mechanisms of synthesis and maintenance of reduced solid humic substances functioning as energy source for anaerobic microorganisms remediating the environment

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) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：環境浄化で重要な嫌気性微生物の還元反応に対しエネルギー源として働く還元型固体腐植の生成維持機構の解明を目指し、固体腐植ヒューミン(酸アルカリに不溶の腐植物質)に含まれる酸化還元構造と、電気化学特性、および固体腐植ヒューミンを還元する嫌気性微生物群を調べた。電子供与能の異なる固体腐植ヒューミンにおける各種スペクトルの比較解析から、細胞外電子伝達へのペプチドグリカン構造の関与が示唆された。電気化学インピーダンス法による電気化学特性解析は微生物代謝の傾向とは一致するが、特性値は異なった。固体腐植ヒューミンの還元が見られる系で嫌気性微生物群は、その9割以上がClostridiales目に属した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌や底質に広く存在する腐植物質、特にその中でもかなりの割合を占める有機無機複合体である固体腐植ヒューミンが、嫌気性微生物に対して電気的エネルギー源として機能する機構の解析は、これまで不明であったエネルギー欠乏条件の自然環境の中で生残する微生物戦略の解明につながると同時に、それを利用して環境中で得られる小電力を利用した自立分散型の環境浄化システムの構築の端緒にもつながるものとして期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to elucidate the formation and maintenance mechanism of solid-phase humic substance (humins, humic substances insoluble in any pH), functioning as energy source for the reducing reactions of anaerobic microorganisms, important reactions for environmental remediation. Carried out were the chemical structural analysis of redox center in humin, its electrochemical characterization, and the analysis of community structure of anaerobic microbial consortium reducing humin. The comparative study of the various spectra for humins with different extracellular electron mediating efficiencies suggested the association of peptide glycan structure in the extracellular electron mediating function. Electrochemical analysis using electrochemical impedance spectra showed the trend agreeing with the microbial metabolism but not with the values. Microbial consortium containing the reaction of humin reduction was composed of mostly Clostridiales (>90%).

研究分野：環境生物学

キーワード：固体腐植ヒューミン 細胞外電子伝達 化学構造解析 嫌気性微生物 最終電子受容体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、*Geobacter* 属や *Shewanella* 属のグラム陰性鉄還元細菌が、electroactive (細胞外の固体電極と電子授受を直接行う電気活性微生物、いわゆる発電菌)であることが見いだされ、これを利用した微生物発電や物質合成に関する研究が盛んに進められている (Lovley & Kelly, 2013)。電気活性微生物の細胞外電子伝達は、導電性繊維毛 (ナノワイヤー) か C 型チトクロームタンパクを介して行われる。一方、非電気活性微生物の場合は水溶性電子伝達物質 (フラビン、アントラキノン-2,6-ジスルホン酸(AQDS)、水溶性腐植酸など) を介して固体電極との電子授受が行われる。非電気活性微生物の細胞の内外境界を超えて水溶性電子伝達物質が電子輸送を担うと考えられてきた。しかし、本申請者らは、ペンタクロロフェノールの還元的脱塩素反応を行う嫌気性微生物 *Dehalobacter* 属 (Firmicutes 門、グラム陽性) を含む微生物群が、固体腐植ヒューミン (あらゆる pH 条件で不溶性の腐植画分) を細胞外電子供与体として電子を直接受取って呼吸 (すなわち脱塩素反応) することを見いだした (Zhang & Katayama, 2012; Zhang et al, 2014)。嫌気脱ハロゲン呼吸菌は非電気活性菌と推定され、また水溶性腐植酸では脱塩素活性が消失したことから、これまでと異なる新規な細胞外電子伝達機構が予想されている。驚くべきことに、一つの固体腐植ヒューミンが、嫌気性脱臭素細菌 (Zhang et al, 2013)、鉄還元菌、硝酸還元菌 (Zhang et al, 2015) など広範な非電気活性嫌気微生物の電子供与体として機能することが、本申請者らの研究により明らかとなった。このことは、還元型固体腐植ヒューミンはエネルギー源(電子供与体)として地圏の多様な嫌気微生物反応を活性化することを示している。

2. 研究の目的

固体腐植ヒューミンが細胞外電子伝達物質として機能する酸化還元中心は、キノン構造 (Zhang & Katayama, 2012) または、鉄ポルフィノイド様の金属キレート構造が推定されている (Zhang et al, 2014)。このような化学構造は大気条件下で比較的容易に空気酸化されるはずであるが、経験的に安定であることが知られている。一方、嫌気性微生物は固体腐植ヒューミンから迅速に電子授受 (酸化還元) を行っていることが観察されている (Zhang & Katayama, 2012)。この独特の性質が生じる科学的根拠は不明のままとなっている。そこで、本研究では、固体腐植ヒューミンの電気化学特性および酸化還元に関与する化学構造の詳細解析を行う。

また、固体腐植ヒューミンの細胞外電子伝達機能を担う酸化還元中心を還元する微生物は、これまで特定されていない。腐植物質を還元できる菌としては、*Geobacter* 属と *Shewanella* 属の電気活性微生物が知られている。しかし、これらの菌は上記のペンタクロロフェノール脱塩素培養物や硝酸還元培養物中には必ずしも検出されていない。これまで電気活性が無いと考えられる細菌で腐植還元能をもつ細菌として、*Corynebacterium* 属、*Bacillus* 属、*Pseudomonas* 属、*Paenibacillus* 属、*Thauera* 属、*Kocuria* 属が報告されている (例えば Guo ら、2016; Yang ら、2013)。しかし、これらの細菌は、いずれも腐植物質の水溶性低分子モデル化合物である AQDS またはその類似物質を還元できることから「腐植還元能を有する」と判断されているに過ぎない。固体腐植ヒューミンは電子伝達物質であるが、非水溶性であり、細胞内外境界を超える電子輸送は起こらないため、固体腐植ヒューミンの微生物還元プロセス(蓄電)は、AQDS とは全く異なるメカニズムによるものと考えられる。そのためには、固体腐植ヒューミンを還元する微生物を特定することが必要であるが、固体腐植ヒューミンは無定型高分子とシリカアルミナからなる有機無機複合体であるため一定の微生物群を集積することが難しい。そこで、固体腐植ヒューミンを電子供与体とする脱塩素微生物群を用い、水素から固体腐植ヒューミンを介して電子供与する微生物群の群集構造解析を行った。

3. 研究の方法

(1) 固体腐植ヒューミンの電気化学特性の評価: 固体腐植ヒューミンを電気材料としてとらえ、その電気伝導度、電気容量を、乾燥状態、湿潤状態、および水で飽和した状態で測定した。この測定は、複数種の固体腐植ヒューミンをあらかじめ酸またはアルカリで処理して H 型および Na 型とした試料を用い電気化学インピーダンス法で行った。

(2) 固体腐植ヒューミンの化学構造の詳細解析: 固体腐植ヒューミンとして抽出する方法が複数知られている。複数の抽出方法で得られる固体腐植ヒューミンの化学構造を固体腐植ヒューミン依存性脱塩素反応の活性と詳細比較することによって、細胞外電子伝達に関与する化学構造を推定した。

(3) 水素から固体腐植ヒューミンを介して電子供与する微生物群の群集構造解析: 固体腐植ヒューミンを電子供与体として依存する嫌気性脱塩素微生物群は、通常の嫌気性脱塩素微生物群が電子供与体として利用する水素を利用できない。そこで、水素を用いて固体腐植ヒューミンを還元する微生物群を脱塩素微生物群とともに集積し、群集構造解析を行った。

4. 研究成果

(1) 固体腐植ヒューミンの電気化学特性の評価: 各種の異なる土壌から得られた固体腐植ヒューミンをあらかじめ、酸またはアルカリで処理して、H 型および Na 型として、電気化学インピーダンス解析を行った。固体腐植ヒューミンは粉体であるため、乾燥状態および湿潤状態では電気抵抗が非常に高く測定が難しかった。そこで、水飽和条件下で測定を行ったところ、測定に成功した。H 型および Na 型に殆ど差は見られなかった。等価回路を設定することによってナイキ

ストプロットから得られた電気抵抗値は絶縁物として考えられる値に近く、また電気容量は主に有機画分に見られたが、得られた値が生物反応から推定される値と大きく異なることから、電気容量の評価のためには、更なる測定解析法の検証が必要な事が示唆された。細胞外電子伝達能力との比較から、有機画分が細胞外電子伝達を担っているものと推定された。

(2) 固体腐植ヒューミンの化学構造の詳細解析：同じ水田土壌から異なる方法で調製した固体腐植ヒューミン 7 種の詳細化学構造解析と脱塩素微生物群に対する電子供与効果を比較した。その結果、調製方法によって化学構造および電子供与効果が異なることが明らかとなった。ジメチルスルホキシド・硫酸可溶画分が固体腐植ヒューミンの調製方法として化学構造変化が少ないことから推奨されているが、この方法で得られたものは細胞外電子伝達能が無かった。調製に用いる化学成分が、得られる固体腐植ヒューミンの構造に影響することも明らかとなった。特に、シンクロトロン光を用いた XPS および XAFS 測定から、鉄およびフッ素が構造の中に取り込まれていることが示唆された。シンクロトロン光を用いた XPS 測定においては、チャージアップを防ぐために、銅の微粉末を用いる試料調製法を新たに考案し測定を可能にした。FT-IR スペクトル、固体 ¹³CNMR スペクトル、シンクロトロン光 XPS、固体 ESR、元素分析の結果から、固体腐植ヒューミンの有機画分は、脂肪族炭素および炭水化物構造が優占し、C=O、O=C-N、O=C-O の部分構造を有することが明らかとなった。嫌気性脱塩素微生物の活性との比較から、O=C-N、O=C-O の部分構造が細胞外電子伝達能と関連していることが示唆された。キノン骨格が細胞外電子伝達機能を担うものと推定されてきたが、キノン骨格が検出されない固体腐植ヒューミンにも細胞外電子伝達機能が見られたことから、細胞外電子伝達能へのキノン骨格の寄与は小さいと考えられた。

(3) 水素から固体腐植ヒューミンを介して電子供与する微生物群の群集構造解析：固体腐植ヒューミンに活性を依存する嫌気性ペンタクロロフェノール脱塩素細菌は、脱塩素反応に必要な電子を固体腐植ヒューミンから直接得ることが判っている。そこで、この微生物群に対して固体腐植ヒューミン還元のための化学物質として水素を供与して、ペンタクロロフェノールの脱塩素反応から、水素から固体腐植ヒューミンを還元するまでの電子の流れに關与する微生物群の群集構造解析を行った。培養条件は、気相を水素と二酸化炭素の混合ガス(4:1)とし、30°Cで培養した。培養物中には酢酸生成が観察されたことから、水素から供与された電子は二酸化炭素還元して酢酸となり、酢酸を分解して固体腐植ヒューミンを還元するという順で電子が流れていることが推定された。16S rRNA 遺伝子の V3-V4 領域を次世代シーケンサーで調べ、群集構造を推定した。その結果、Firmicutes 門が優占(96%)し、続いて Proteobacteria 門(<3.5%)であった。Firmicutes 門は、殆どが Clostridiales 目に属し、96%の内 63%が Tissierella 科(Tissierella_Soehngenia)、30%が Lachnospira 科で96%の内の殆どを占めた。Geobacter 属細菌や Shewanella 属細菌は検出され無かったことから、これらの微生物が、ヒューミン還元に關与するものと推定された。

<引用文献>

- Guo J.H. et al (2016) *Bacillus nitroreducens* sp nov., a humus-reducing bacterium isolated from a compost, Arch. Microbiol. 198:347-35.
- Lovley, D. and Kelly, N. (2013) Electrobiocommodities: powering microbial production of fuels and commodity chemicals from carbon dioxide with electricity. Curr. Opin. Biotech 24:385-390.
- Yang G.Q. et al. (2013) *Thauera humireducens* sp nov., a humus-reducing bacterium isolated from a microbial fuel cell. Inter. J. System. Evol. Microbiol. 63:873-878.
- Zhang C.F. and Katayama, A. (2012) Humins as an electron mediator for microbial reductive dehalogenation. ES&T 46:6575-6583.
- Zhang C.F. et al. (2013) A humin-dependent Dehalobacter species is involved in reductive debromination of tetrabromobisphenol A. Chemosphere 92, 1343-1348.
- Zhang C.F. et al (2014) Characterization of humins from different natural sources and the effect on microbial reductive dechlorination of pentachlorophenol. Chemosphere 92, 1343-1348.
- Zhang D.D. et al, (2014) Electrochemical stimulation of microbial reductive dechlorination of pentachlorophenol using solid-state redox mediator (humins) immobilization. Biores Technol, 164:232-24.
- Zhang D.D. et al. (2015) Humins as an electron donor for enhancement of multiple microbial reduction reactions with different redox potentials in a consortium. J. Biosci. Bioeng., 119, 188-194.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mahasweta Laskar, Takanori Awata, Takuya Kasai, Arata Katayama	4. 巻 16
2. 論文標題 Anaerobic dechlorination by a humin-dependent pentachlorophenol-dechlorinating consortium under autotrophic conditions induced by homoacetogenesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 2873
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.3390/ijerph16162873	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 Duyen Minh Pham, Yasushi Miyata, Takanori Awata, Masashi Nakatake, Chung Fang Zhang, Keiji Kanda, Satoshi Ogawa, Shozo Ohta, Shinya Yagi, Arata Katayama*	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of Sample Preparation Technique to Characterize Chemical Structure of Humin by Synchrotron Radiation Based X-ray Photoelectron Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surface and Interface Analysis	6. 最初と最後の頁 226-233
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1002/sia.6574	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 該当する

1. 著者名 Duyen Minh Pham, Arata Katayama	4. 巻 15
2. 論文標題 Humin as an external electron mediator for microbial pentachlorophenol dechlorination: exploration of redox active structures influenced by extraction methods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 2753
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.3390/ijerph15122753	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26件（うち招待講演 4件/うち国際学会 19件）

1. 発表者名 Mahasweta Laskar, Takanori Awata, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Homoacetogenesis induced autotrophic dechlorination in a humin dependent pentachlorophenol-dechlorinating consortium
3. 学会等名 Water and Environmental Technology Conference 2019, Osaka University, Japan, 13-14 July 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arata Katayama
2. 発表標題 Characterization of Humin, Insoluble Humic Substance, as Versatile extracellular Electron Mediator for Bioelectrochemical Systems
3. 学会等名 The 10th National Conference on Environmental Chemistry, Nankai University, Tianjing, China, 15-19 August 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arata Katayama
2. 発表標題 Management of nitrogen fertilizer for energy-saving agricultural systems
3. 学会等名 The 10th National Conference on Environmental Chemistry, Nankai University, Tianjing, China, 15-19 August 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mahasweta Laskar, Takanori Awata, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Humin functions as the electron donor in reductive acetogenesis
3. 学会等名 International Society for Microbial Electrochemistry and Technology, ISMET7, Global Conference, OIST, Okinawa, 7-11 October 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Duyen Minh Pham, Yasushi Miyata, Arata Katayama
2. 発表標題 Humin as an Insoluble External Electron Mediator in Microbial Reductive Reactions: Electrochemical Characterization of Humin Extracted from Different Soil Sources
3. 学会等名 International Society for Microbial Electrochemistry and Technology, ISMET7, Global Conference, OIST, Okinawa, 7-11 October 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Kasai, Sujan Dey, Jumpei Mitsushita, Takanori Awata, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion of biological nitrogen fixation with solid-phase humin
3. 学会等名 International Society for Microbial Electrochemistry and Technolgy, ISMET7, Global Conference, OIST, Okinawa, 7-11 October 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arata Katayama, Pham Minh Duyen, Takuya Kasai
2. 発表標題 Humin, insoluble humic substances, as the external electron donor for multiple microbial reducing reactions
3. 学会等名 International Society for Microbial Electrochemistry and Technolgy, ISMET7, Global Conference, OIST, Okinawa, 7-11 October 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama
2. 発表標題 Extracellular Electron Transfer Function of Soil Humin: Potential Origins
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019), Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Duyen Minh PHAM, Arata Katayama
2. 発表標題 Polyphasic Characterization of Solid-phase Humin Functioning External Electron Mediator for Anaerobic Microorganisms
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sujan Dey, Takuya Kasai, Jumpei Mitsushita, Takanori Awata, Arata Katayama
2 . 発表標題 Acceleration of Biological Nitrogen Fixation Using Humin as External Electron Mediator
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takanori Awata, Jumpei Mitsushita, Takuya Kasai, Norihisa Matsuura, Arata Katayama
2 . 発表標題 Nitrogen fixing activity promoted by humin
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yasushi Miyata, Arata Katayama
2 . 発表標題 Nanocarbon Electrocatalysts for Environmental Purification Devices using Microbes
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Mahasweta Laskar, Takanori Awata, Takuya Kasai, Arata Katayama
2 . 発表標題 Carbon-dioxide Fixation by Humin-Dependent Mixed Consortium Exercises Humin ' s Alternate Functionality in Electron Transfer
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) Nagoya University, Nagoya, 1-3 November 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Awata, Jumpei Mitsushita, Takuya Kasai, Norihisa Matsuura, Arata Katayama
2. 発表標題 Promotion of nitrogen fixing activity of anaerobic consortium using humin
3. 学会等名 8th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference (MEWE2019), ANA Crown Plaza Hiroshima, Hiroshima, 17-20 November 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠井拓哉、ラスカーマハスウエタ、粟田貴宣、片山新太
2. 発表標題 固体腐植ヒューミンによる生物学的CO2固定・資源化反応の促進
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市、2020年3月25-28日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen
2. 発表標題 Soil Humin as External Electron Mediator in Anaerobic Microbial Reductive Reactions: Unveiling Redox-Active Components
3. 学会等名 第8回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠井拓哉、ファムデュエンミン、章春芳、片山新太
2. 発表標題 ペンタクロロフェノールの微生物分解を促進する固体腐植物質の特徴
3. 学会等名 日本農芸化学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arata Katayama
2. 発表標題 Microbial electrochemical system for biodegradation of organic pollutants and energy production
3. 学会等名 The 4th International Conference on Environmental Pollution and Health, Nankai University, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Arata Katayama
2. 発表標題 Microbial electrochemical system for bioremediation of soil/groundwater and biosynthesis, and Evaluation of the potential of biodegradation in water/sediment in watershed
3. 学会等名 MIRAI workshop (Sustainability), Gothenburg University, Gothenburg, Sweden (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Duyen Minh Pham, Yasushi Miyata, Shozo Ohta, Arata Katayama
2. 発表標題 External Electron Mediating Function of Humin Extracted by Different Methods
3. 学会等名 Goldschmidt, Boston (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Kasai, Duyen Minh Pham, Yasushi Miyata, Shozo Ohta, Arata Katayama
2. 発表標題 Characterization of solid-phase humin as external electron mediator for anaerobic reducing reactions of microorganisms
3. 学会等名 the 14th International Symposium on Persistent Toxic Substances, Basel, Switzerland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen, Miyata Yasushi, Takanori Awata, Kanda Keiji, Satoshi Ogawa, Shozo Ohta, Toyoko Demachi, Shinya Yagi, Arata Katayama
2. 発表標題 Electrochemical Characterization of Humin Extracted from Kamajima Paddy Soil
3. 学会等名 Water and Environmental Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen, Miyata Yasushi, Takanori Awata, Kanda Keiji, Satoshi Ogawa, Shozo Ohta, Shinya Yagi, Arata Katayama
2. 発表標題 Electrochemical characterization of metal-humic acid complexes as external electron mediator in bioelectrochemical technology
3. 学会等名 the 14th International Symposium on Persistent Toxic Substances (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen, Miyata Yasushi, Takanori Awata, Keiji Kanda, Satoshi Ogawa, Shozo Ohta, Shinya Yagi, Arata Katayama
2. 発表標題 X-ray Spectroscopic Characterization of Humin as Bioelectrochemical Material
3. 学会等名 the International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen, Yasushi Miyata, Takanori Awata, Shozo Ohta, Masashi Nakatake, Satoshi Ogawa, Shinya Yagi, Arata Katayama
2. 発表標題 Development of Sample Preparation method for humic characterization by SR-based XPS: Part I. Comparison of various methods
3. 学会等名 第7回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Pham Minh Duyen, Yasushi Miyata, Takanori Awata, Shozo Ohta, Masashi Nakatake, Satoshi Ogawa, Shinya Yagi, Arata Katayama
2. 発表標題 Development of Sample Preparation method for humic characterization by SR-based XPS: Part II. Method 's verification
3. 学会等名 第7回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----