

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06214

研究課題名（和文）ネイチャーテクノロジーを用いた金属・難分解性排水の新規生物学的処理技術の開拓

研究課題名（英文）Development of novel nature-technology for biological wastewater treatment to remove metals and persistent substances

研究代表者

大橋 晶良（Ohashi, Akiyoshi）

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：70169035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、生物学的排水処理のブレイクスルーとなるネイチャーテクノロジー（自然模倣技術）を用いた新規排水処理技術の開発を行った。マンガン団塊はレアメタル等の金属を含み、海底資源として注目を集めている。このマンガン団塊はマンガン酸化細菌によって形成されたバイオMn酸化物であり、層状の結晶構造を有していることにより層間に金属が多量に吸着する特質がある。この深海底で起きている自然現象をバイオリアクター内で模倣することができれば金属排水処理が可能になる。そこで、マンガン酸化細菌の集積培養方法を確立し、金属含有排水からの金属除去・回収の効果的な方法を提案し、排水処理性能を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微生物を利用した排水処理技術は、ここ数十年の間に徐々にではあるが進歩している。このようなことを述べると、排水処理技術は成熟したように感じられるかもしれない。しかしながら、手付かずの未解決の排水処理が残されている。従来の生物学的処理では金属、難分解性有機物、着色の排水に適用できない。これらの排水処理はお手上げ状態にある。そこで本研究では、生物学的排水処理のブレイクスルーとなるネイチャーテクノロジー（自然模倣技術）を用いた新規排水処理技術の開拓に挑戦した。その結果、マンガン酸化細菌と生成するMn酸化物を利用したネイチャーテクノロジーを構築することができた。

研究成果の概要（英文）：Novel wastewater treatment technologies were developed using nature technology, in which nature phenomenon is simulated in reactor, making a breakthrough for biological technology. Manganese nodule containing many minor metals is attractive as seabed resource. The manganese nodule is bio-Mn oxides produced by microbes, and has a distinctive potential to adsorb many kinds of metal because of the layer structure, where metals are adsorbed on the gap between the layers. If biological Mn oxidation occurring on seabed can be simulated in reactor, the treatment of metal-containing wastewaters should be possible. In this study, the enrichment method of manganese oxidizing bacteria was established. We have proposed a new treatment technology for removal and recovery of metals from wastewaters, and evaluated the performance of treatment system.

研究分野：環境衛生工学

キーワード：排水処理技術 金属資源回収 生物学的手法 ネイチャーテクノロジー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

微生物を利用した排水処理技術は、ここ数十年の間に徐々にではあるが進歩している。このようなことを述べると、排水処理技術は成熟したように感じられるかもしれない。しかしながら、手付かずの未解決の排水処理が残されている。従来の生物学的処理では金属、難分解性有機物、着色の排水に適用できない。これらの排水処理はお手上げ状態にある。

太平洋の深海底にはマンガン団塊と呼ばれる野球ボール状の Mn 酸化物が散在しており、日本の排他的経済水域でも発見されている。マンガン団塊はレアメタルの Ni, Co, Mo, Pt, W, Ti や Cu 等が多く含有していることが知られており、海底資源として注目を集めている。このマンガン団塊の形成の詳細なメカニズムは不明な点が多いが、微生物(マンガン酸化細菌)が関与し、海水の溶存 Mn(II)イオンが Mn(IV)へ酸化されることでマンガン酸化物が形成されると考えられている。マンガン酸化細菌によって生成されるバイオ Mn 酸化物(Bio-MnO<sub>2</sub>)は、無機的な反応で作られる Mn 酸化物よりも構造中の Mn の結晶欠損が高く、これに由来する高い負電荷密度によりレアメタル等の金属を多量に吸着することが知られている。この深海底で起きている自然現象をバイオリクター内で模倣すること(ネイチャーテクノロジー、自然模倣技術)ができれば、金属排水処理が可能になる、と言うのが本研究の提案である。しかし、マンガン団塊の形成には数百万年という途方もない歳月を要しており、このような生成速度では実用化できず、高速に反応させることができれば排水から金属の除去および回収が可能になる。

マンガン酸化細菌は古くから研究されている細菌であり、上述したように生成される Bio-MnO<sub>2</sub> は多様な金属の吸着性に優れていることが知られている。しかし、なぜ Mn(II)イオンを酸化するのか、どのようなメカニズムで Bio-MnO<sub>2</sub> を生成するのか、など不明なことが未だ多い。また開放系においては、マンガン酸化細菌を培養してバイオリクター内に保持することが困難であった。従って、排水処理に適用する研究は報告されていない。そこで、筆者らはマンガン酸化細菌を利用した排水処理の研究を進めていて、新規の方法でマンガン酸化細菌を培養し、排水から金属(Mn, Co, Ni)を除去することに成功している(特許:第 5736592 号)。

この研究の過程で思いがけない有用な発見があった。マンガン酸化細菌は貧栄養下で難分解性有機物を利用して増殖することができ、Bio-MnO<sub>2</sub> を生成して、染料などの難分解性有機物の除去、および金属との同時除去の可能性が明らかになった。深海底では、生物死骸などの難分解性栄養が僅かな貧栄養であり、これをマンガン酸化細菌が利用してマンガン団塊を金属吸着しながら生成されている自然現象が、まさに排水処理リアクター内で模倣されたのである。

そこで本研究では、生物学的排水処理のブレイクスルーとなるネイチャーテクノロジー(自然模倣技術)を用いた新規排水処理技術の開拓に挑戦した。具体的には、マンガン酸化細菌と、この細菌が生成する Mn 酸化物を利用するネイチャーテクノロジーである。

### 2. 研究の目的

マンガン酸化細菌を利用した金属および難分解性排水の新規処理技術を開拓し構築するには、さらに科学および工学的アプローチの研究が必要であり、本研究での目標は次の5項目である。

#### (1) オーダーメイドの金属吸着と Bio-MnO<sub>2</sub> 結晶構造

Bio-MnO<sub>2</sub> はゼライト型の層状構造をしていて、層間に金属が吸着するため、数十%に及び高い吸着収容力を有する特質がある。吸着する金属元素は多種であり、多様な金属排水処理に適用できる。しかし悪く言えば、目的以外の有害でもなく有用でもない金属までも吸着して、目的の金属の除去・回収率が低下する。目的の金属だけを吸着させることができれば、オーダーメイドの金属の除去・回収が可能となる。金属イオン半径と Bio-MnO<sub>2</sub> 層状構造の層間距離が一致すると、その金属が特異的に吸着すると考えられる。層状構造と層間距離に関する研究が行われており、層間距離は一定ではなく種々の値が報告されている。このことは、多様な金属イオンを特異的に吸着できる可能性を示しており、当研究目標は Bio-MnO<sub>2</sub> 結晶構造の層間距離をコントロールする条件を明らかにし、吸着金属元素を特定する。

#### (2) Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構の解明

吸着金属の特異性を高めるためには、Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構の解明も不可欠である。マンガン酸化細菌は数十 mg/L 程度の低 Mn( )イオン濃度で活性阻害されることを筆者は発見していて、Mn( )酸化するのは、阻害物質の除去および生成した Bio-MnO<sub>2</sub> の他の従属栄養細菌との有機物競合に勝つための生存戦略であると考えている。Mn( )酸化にはマルチ銅酸化酵素 MCO (multi-copper oxidases) が不可欠であり、スーパーオキシドを生成してラジカル反応が関与しているとの報告はあるが、明白になっていない。これはマンガン酸化細菌の種によって Mn( )酸化の機構が異なることによるものと推測される。酵素 MCO の違いは Bio-MnO<sub>2</sub> の結晶構造に影響を及ぼすと考えられ、生成機構を明らかにする。

#### (3) 難分解性物質の分解特性

スーパーオキシドは、高分子有機物を酸化して低分子に分解する作用があることが知られている。筆者らはマンガン酸化細菌が溶解性の易分解性有機物だけでなく、難分解性の固形性有機物を資化して増殖することを発見している。すなわち、マンガン酸化細菌は有機物を資化するためにスーパーオキシドを生成し、これに伴ったラジカル反応により Mn( )酸化が起きると仮説される。染料は難分解性であるがゆえに色があせない特質があるが、逆に染色排水処理で

は脱色できない厄介物質である。染料の種類は数多くあり、それぞれ分子構造が異なることから、マンガン酸化細菌によって分解できる染料とできない染料があると考えられ、難分解性物質の分解特性を明らかにする。

#### (4) Bio-MnO<sub>2</sub> 耐性細菌と非耐性細菌の阻害・耐性メカニズム

マンガン酸化細菌は生成する Bio-MnO<sub>2</sub> に当然ながら耐性を有しているが、Bio-MnO<sub>2</sub> に阻害される細菌がいることを発見している。上述したように、Mn( ) 酸化するのは、この Bio-MnO<sub>2</sub> 非耐性細菌との競合に勝つための戦略であると言える。この戦略を利用してマンガン酸化細菌を早期に培養できることを明らかにしているが、どの細菌群が非耐性であり、阻害されるメカニズムを解明することで、Bio-MnO<sub>2</sub> 生成速度を高める方法を確立することが第4の目標である。

#### (5) オーダーメイドの金属除去・回収および難分解性物質の除去の実証と性能評価

各種の排水を用いて連続処理実験を行い、オーダーメイド金属除去の運転方法、適用できる排水種を明らかにし、その処理性能を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) オーダーメイドの金属吸着と Bio-MnO<sub>2</sub> 結晶構造

マンガン酸化細菌の種、培養条件によって Bio-MnO<sub>2</sub> の結晶構造は変化する。すでに、20 種のマンガン酸化細菌の分離株を保有しており、pH、温度、Mn(II) 濃度、基質濃度を種々変えた条件下で Bio-MnO<sub>2</sub> を生成させる。それぞれの結晶構造に対して、バッチ実験より元素の金属吸着特性を調べる。

#### (2) Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構の解明

Mn( ) 酸化は細胞の表層で起きているのではなく、Bio-MnO<sub>2</sub> の先端で Mn( ) 酸化し、スーパーオキシドが生成され、発生した電子が Bio-MnO<sub>2</sub> を伝わって細胞内で酸素を還元しており、これによって層状に成長すると考えている。MCO と heme peroxidase の2つの酵素が関与しており、スーパーオキシド scavenger 剤を用いた実験系における Bio-MnO<sub>2</sub> の成長様式の観察実験を実施する。

#### (3) 難分解性物質の分解特性

アゾ、アントラキノンなどの染料を用いて、マンガン酸化細菌の分解性をバッチ実験より評価する。Bio-MnO<sub>2</sub> の存在下、Mn( ) 酸化している場合との分解性を比較し、難分解性染料の分子構造と分解との関係を明らかにする。

#### (4) Bio-MnO<sub>2</sub> 耐性細菌と非耐性細菌の阻害・耐性メカニズム

MnO<sub>2</sub> の従属栄養細菌阻害効果を利用した新規の方法で Bio-MnO<sub>2</sub> 耐性細菌、非耐性細菌、マンガン酸化細菌をすでに数株分離している。一般的に、寒天プレートに細菌のコロニーを形成させて分離するが、このプレートに高濃度の MnO<sub>2</sub> を含む寒天にすることで、MnO<sub>2</sub> 耐性細菌を分離できる。この中にマンガン酸化細菌が含まれており、Mn(II)酸化能を有する細菌であるマンガン酸化細菌を Mn( ) 酸化物検出試薬(LBB)を用いて検出し分離できる。この方法で網羅的に分離株を取得して、金属耐性・非耐性の微生物生態を明らかにする。

#### (5) オーダーメイドの金属除去・回収および難分解性物質の除去の実証と性能評価

上記の科学的アプローチで得られた知見を基に、染色排水の連続処理実験を実施し、処理性能等を評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) オーダーメイドの金属吸着と Bio-MnO<sub>2</sub> 結晶構造

本研究で分離したマンガン酸化細菌の中で最もマンガン酸化能力の高い *Pseudomonas resinovorans* Strain MO-1 株を用い、pH、温度、Mn(II)濃度の異なる環境条件で Bio-MnO<sub>2</sub> を生成させ、それぞれの Bio-MnO<sub>2</sub> における Ni と Co の吸着特性をバッチ実験により評価した。Bio-MnO<sub>2</sub> の生成速度は環境条件で異なるものの、Ni と Co の吸着能力は統計的に差異があるとは言えない結果となった。すなわち、培養条件によって特異的にある金属元素を吸着させることは難しいと言える。また、他の分離株においても、Strain MO-1 株が生成する Bio-MnO<sub>2</sub> との吸着特性に違いは見られなかった。この結果より、残念ながら、可能性であると思われた Bio-MnO<sub>2</sub> によるオーダーメイドの金属吸着・回収は容易でないことが分かった。このため、Bio-MnO<sub>2</sub> 結晶構造を比較しても意味をなさないことから、構造解析は実施しなかった。

しかしながら、この実験を通して新たな発見があった。マンガン酸化能力の高い Strain MO-1 株においても、Bio-MnO<sub>2</sub> の生成が早く起こったり、遅かったりするなど、マンガン酸化が不安定であった。下記の研究サブテーマの Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構とも関連するが、MnO<sub>2</sub> が培養内に予め添加していると生成速度が高まる現象が把握できた。また、有機性基質濃度が高いとマンガン酸化は起こりにくく、基質濃度が低下してくるとマンガン酸化が起きることが示唆された。マンガン酸化は起きるタイミングというものがあ、この機構を解明することの新たな課題が生まれた。

#### (2) Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構の解明

Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構を解明する研究を行う前に、バイオリクターによるマンガン酸化の連続実験を実施した時に不思議な現象が見られた。好気条件下なのにマンガン酸化ではなく、

Mn(II)の生成が観察された。この現象を明らかにするために、バイオリアクター内の酸素濃度を変えて、連続実験を続けたところ、酸素濃度が低くなっているときに Mn(II)が検出された。すなわち、酸素不足になるとマンガンは酸化されるのではなく、生成してバイオリアクターに保持されている MnO<sub>2</sub> が還元されたと考えられた。この現象を明らかにするために、数種のマンガン酸化細菌の純菌株を用いて、嫌気条件下で MnO<sub>2</sub> の還元が起きるかのバッチ実験を行った。驚いたことに、マンガン酸化細菌はマンガン酸化する機能だけでなく、嫌気条件下で MnO<sub>2</sub> を還元すると共に有機物を酸化して増殖できることを発見した。すなわち、マンガン酸化細菌は Mn に関して、酸化と還元をする両刀使いである。このことは、Mn が酸化されて Bio-MnO<sub>2</sub> が生成される機構と、MnO<sub>2</sub> を還元して Mn(II)を生成する機構には共通点があると考えられる。研究当初、Bio-MnO<sub>2</sub> の生成機構について仮説をしていたが、この仮説では MnO<sub>2</sub> 還元においても説明できる。そこで、Bio-MnO<sub>2</sub> の生成と還元の実験より、本研究で立てた仮説の実証を試みた。

この実験において、微生物燃料電池を模擬した装置を用いた。一方の電極には、微生物を塗布し有機物を供給した。他方の電極には MnO<sub>2</sub> を塗布し、Mn(II)を供給している。2つの電極は導線で結ばれ、2つの電極セルは塩橋でつながっている。実験では、微生物を塗布している電極が嫌気性の時に、MnO<sub>2</sub> は還元されて Mn(II)を生成し、一方、好気条件の時には、Mn(II)の消費すなわち酸化が観察された。これらの反応時において、導線では電流が流れており、酸化と還元では電流の方向は反対であった。さらに、電流量と Mn の酸化と還元での反応における理論量論比とほぼ一致した。すなわち、Mn 酸化あるいは還元は細胞の表層で起きているのではなく、MnO<sub>2</sub> と電子を受容あるいは供与して起こっているという仮説が実証できた。なお、この微生物燃料電池を用いた実験において、MnO<sub>2</sub> 塗布電極のセルにマンガン酸化細菌の代謝物を供給しないと、Mn の還元は起きなかった。すなわち、代謝物中には、遊離の酵素が含まれており、反応には体外酵素が必要であることを示唆している。まだ、この体外酵素が何であるかは同定できておらず、今後の課題として残された。

MO-1 株のプレート培養の実験により、スーパーオキシドの Mn(II)酸化の影響を調べた。スーパーオキシド scavenger 剤を培養プレートに添加することで、コロニーの成長、MnO<sub>2</sub> の生成にどのような影響を及ぼすかを観察したが、scavenger 剤の添加による顕著な影響は見られなかった。スーパーオキシドが Mn(II)酸化に影響しているという研究報告はあるが、検証できなかった。スーパーオキシドの Mn(II)酸化への関与については、疑う結果となった。

### (3) 難分解性物質の分解特性

マンガン酸化細菌が Mn(II)酸化する過程でスーパーオキシドを生成すると考えられることから、生成されるスーパーオキシドによって難分解性物質が分解できるのではと期待された。そこで、2種類のアゾ染料 (Bordeaux S: BS, Acid Orange 7: AO7) と1種類のアントラキノン染料 (アリザリンレッド S) の分解実験を実施した。アゾ染料の BS, AO7 共に Mn(II)酸化が起きている好気条件下において、脱色されると評価できたものの、その脱色能力はほんの僅かであり、予想していたスーパーオキシドの効果は見られなかった。しかしながら、嫌気性条件下において、アゾ染料2種類とも分解により脱色される結果を得た。しかも、MnO<sub>2</sub> が塗布され還元を起きている時に脱色の能力が高かった。アゾ染料は、おそらく高い還元状態でアゾ結合の切断が起こりやすいようであるが、なぜ、Mn 還元されている環境下で分解反応が促進されるのか不明であり、今後の課題として残された。

アントラキノン染料のアリザリンレッド S においては、アゾ染料の分解と異なった挙動を示した。マンガン酸化細菌が好気条件下でアリザリンレッド S を分解・脱色することはできないが、Mn(II)酸化生成物の MnO<sub>2</sub> が存在していると、MnO<sub>2</sub> の還元とアリザリンレッド S の酸化の化学的酸化還元反応が起きて、アリザリンレッド S が脱色されることが分かった。この脱色はアリザリンレッド S の完全分解ではないが、分解生成物は、嫌気条件下で微生物によりさらに分解される結果を得た。その後、その生成物は好気条件下でマンガン酸化細菌により分解が進むことが明らかになった。すなわち、嫌気と好気環境を繰り返すことで、マンガンの還元と酸化によってアリザリンレッド S は完全分解されることが分かった。

染料の構造によって、分解の程度は大きく異なるようであるが、アゾ染料においても、嫌気と好気条件を繰り返すことで、分解が段階的に進行することが予測され、今後も検討する必要がある。なお、マンガンの酸化と還元のサイクルが難分解性物質の分解に大きく関わっていることを示唆しており、新しい知見を得ることができた。

### (4) Bio-MnO<sub>2</sub> 耐性細菌と非耐性細菌の阻害・耐性メカニズム

一般的なゲランガム培養プレートおよび高濃度の MnO<sub>2</sub> を含む培養プレートに活性汚泥を接種してコロニーを形成させ、プレート内全ての微生物を回収して、MnO<sub>2</sub> 耐性細菌と MnO<sub>2</sub> 非耐性細菌の微生物群集を次世代シーケンス解析によって行った。また、Bio-MnO<sub>2</sub> 耐性細菌のコロニーを採取して、Mn ( ) 酸化物検出試薬 (LBB) によりマンガン酸化細菌かどうかの判定を行った。活性汚泥中の従属栄養好気性細菌の内、約 98%は MnO<sub>2</sub> 非耐性細菌であり、僅か約 2%が耐性細菌であった。その内の約 10%がマンガン酸化細菌であると判定された。すなわち、活性汚泥中には約 0.2%のマンガン酸化細菌が生存していることが分かった。微生物群集解析の結果、MnO<sub>2</sub> 耐性細菌は、系統的に非常に多様なグループに存在しており、さらに、

同じ属の細菌でも  $\text{MnO}_2$  耐性と非耐性の種が存在していることが明らかになった。マンガン酸化細菌も同様に、属の中にもマンガン酸化細菌でない細菌のいることが分かった。すなわち、非常に近縁な細菌でもマンガン酸化する細菌としない細菌が存在していることから、マンガン酸化細菌だけを特異的にバイオリアクターにて培養することが容易でないことが証明された。なお、上述したようにマンガン酸化細菌の純菌株によるマンガン酸化が不安定であるため、LBB を用いたマンガン酸化細菌かどうかの判定方法は、今後改善が必要である。

$\text{MnO}_2$  非耐性細菌は、 $\text{MnO}_2$  プレートではコロニーを形成しないが、スーパーオキシド scavenger 剤をプレートにまくことで、コロニーの形成が見られた。このことは、非耐性細菌はスーパーオキシドの分解能力のない、あるいは小さい細菌であることが分かる。しかし、scavenger 剤を加えてもコロニーを形成しない細菌もあり、耐性細菌のメカニズムはスーパーオキシドだけでは説明できないことを意味している。今後、阻害・耐性メカニズムについては、さらになる研究を要する課題として残された。

#### (5) オーダーメイドの金属除去・回収および難分解性物質の除去の実証と性能評価

オーダーメイドの特異なある金属のみを除去・回収することは容易でないという研究結果が示されたことを上述したが、金属の除去・回収ができない訳ではない。排水中に含まれている金属で  $\text{Bio-MnO}_2$  に吸着性のあるものは除去・回収が可能である。そこで、DHS リアクターによるマンガン酸化の連続処理実験を実施し、マンガン酸化速度を高める条件を検討した。DHS リアクターによりマンガン酸化速度  $1\text{kg Mn(II) m}^3\text{ d}^{-1}$  に達することが分かった。

難分解性物質の一例としてアリザリンレッド S 染料の人工排水に対して、 $\text{MnO}_2$  を塗布した 2 基の DHS リアクターを嫌気と好気環境にして直列に配列して処理実験を行った。その結果、排水は脱色のみならず良好に処理できることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ahmad Shoiful, Taiki Ohta, Hiromi Kambara, Shuji Matsushita, Tomonori Kindaichi, Noriatsu Ozaki, Yoshiteru Aoi, Hiroyuki Imachi, Akiyoshi Ohashi	4. 巻 259
2. 論文標題 Multiple organic substrates support Mn(II) removal with enrichment of Mn(II)-oxidizing bacteria.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of environmental Management	6. 最初と最後の頁 109771
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jenvman.2019.109771	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10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山本 航太, 金田一 智規, 尾崎 則篤, 大橋 晶良
2. 発表標題 マンガン酸化物の生物学的生成と還元に及ぼす細胞外酵素の影響
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広田 純也, 金田一 智規, 尾崎 則篤, 大橋 晶良
2. 発表標題 染色排水の嫌気・好気処理による生物学的脱色
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大田 泰輝, 金田一 智規, 尾崎 則篤, 大橋 晶良
2. 発表標題 マンガン酸化リアクターの処理能力に及ぼすMn(II)イオンの影響
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白石 亮平, 金田一 智規, 青井 謙輝, 大橋 晶良
2. 発表標題 微生物に及ぼすバイオマンガン酸化物の影響
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiki Ota, Ahmad Shoiful, Akiyoshi Ohashi, Noriatsu Ozaki, Tomonori Kindaichi, Yoshiteru Aoi
2. 発表標題 Mn oxidation performances of bioreactors enriched on different organic substrates.
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 Shuji Matsushita, Yoshiteru Aoi, Tomonori Kindaichi, Noriatsu Ozaki, Akiyoshi Ohashi
2. 発表標題 Mutant strains of Pseudomonas resinovorans oxidizing Mn (II) at high Mn (II) concentrations.
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 Taiki Ota, Tomonori Kindaichi, Noriatsu Ozaki, Akiyoshi Ohashi
2. 発表標題 Simultaneous recovery of Ni and Co from rechargeable battery waste with dissolution treatment solution using MnOB.
3. 学会等名 International Conference on Civil and Environmental Engineering ICCEE 2017, (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大田 泰輝, 大橋 晶良, 尾崎 則篤, 金田一 智規
2. 発表標題 マンガン酸化細菌の培養における活性汚泥の使用の検討
3. 学会等名 第69回土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松下 修司, 金田一 智規, 尾崎 則篤, 大橋 晶良
2. 発表標題 DHSリアクターからのマンガン酸化細菌の分離および同定
3. 学会等名 第52回日本水環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoiful Ahmad, Kindaichi Tomonori, Ozaki Noriatsu, Ohashi Akiyoshi
2. 発表標題 Development of Down-flow Hanging Sponge(DHS)Reactor for Decolorization of Azo Dye
3. 学会等名 第52回日本水環境学会年会
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
研究 分担 者	金田一 智規	広島大学・工学研究科・助教	
	(Kindaich Tomonori)		
	(10379901)	(15401)	