

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 21 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340094

研究課題名(和文) 活性バイオマンガン酸化物による多元素連続回収システム

研究課題名(英文) Recovery of inorganic elements by enzymatically active manganese oxide

研究代表者

谷 幸則 (Tani, Yukinori)

静岡県立大学・食品栄養科学部・准教授

研究者番号：10285190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：マンガン酸化真菌 *Acremonium strictum* KR21-2 が形成した酵素活性 BMO を用いることで、Mn(II) の溶出を控えながら、重金属イオン (Co(II), Zn(II), Ni(II), Cd(II))、希土類元素イオン (Ce(III)) の収着を大幅に高めることが可能となり、Mn(II) 酸化活性を有する BMO を多種類の重金属イオンに対する除去・回収に応用できることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study demonstrates the efficient ability of biogenic manganese oxides (BMO) produced by *Acremonium strictum* KR21-2 to sequester heavy metal ions (Mn(II), Co(II), Zn(II), Ni(II), Cd(II)) and rare earth element (Ce(III)). BMOs produced by *A. strictum* KR21-2 maintains Mn(II) oxidase activity and consequently can continue to oxidize Mn(II) to insoluble Mn(IV). This reduces the effect of competing Mn(II) on sequestration and provides new sorption site for heavy metal ions, resulting in enhanced sequestration efficiency. BMO can oxidize Co(II) to Co(III), and Ce(III) to Ce(IV). If BMOs is enzymatically active, reduced Mn(II) is readily reoxidized, resulting in a continuous oxidative sequestration of Co(II) and Ce(III) by BMOs.

研究分野：環境科学

キーワード：マンガン酸化真菌 元素回収 水処理

1. 研究開始当初の背景

世界的な産業発展に伴う需要拡大から金属資源の枯渇が顕著化しており、発展途上国での無秩序な金属回収や鉱山の開発による大規模な環境破壊が危惧されている。このような背景から、特に生体に影響が大きい重金属イオンに対する低コスト・低エネルギー型の除去・回収方法が必要となってきた。Mn 酸化物は、水環境における最も反応性の高い化学物質の一つであり、微生物による Mn(II)の酸化は、素早く進行するため、自然環境中に存在するほとんどの Mn 酸化物形成には、微生物が関与していると考えられている。ここで、微生物によって形成された Mn 酸化物を Biogenic Mn oxide (以下; BMO) とする。BMO は、ナノサイズであるため、高い結晶端面の割合を有し、また、高密度の結晶欠陥を持ち、これらは様々な無機元素類に対する主要な吸着サイトとして作用することが知られている。また、BMO は酸化力を有し、種々の無機化合物を酸化することができる。 *Acremonium strictum* KR21-2 が形成した BMO は、活性を有する Mn(II)酸化酵素をその内部に保持し、Mn(II)イオンを Mn(III/IV)へと効果的に酸化できることが示された。BMO 中に保持された Mn(II)酸化酵素によって、還元溶解した Mn(II)イオンが速やかに再酸化(つまり、BMO は自己再生能を持つ)されることを示している。

2. 研究の目的

本研究では、Mn(II)酸化活性を有する BMO による重金属イオンおよび希土類元素イオンの回収について調べた。本研究では、菌体外 Mn(II)酸化酵素によって BMO を産生する Mn(II)酸化真菌 *A. strictum* KR21-2 を利用し、多種類の重金属イオンに応用可能な除去・回収法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

Mn(II)酸化真菌 *A. strictum* KR21-2 孢子懸濁液を 1 mM Mn(II)を含む HAY 液体培地 (50mL)に植菌し、25 °C で 72 時間振とう培養し、BMO を形成させた。洗浄後、1 mM Mn(II) と Co(II), Cd(II), Ni(II), Zn(II)を含む 20 mM HEPES(pH 7.0)溶液(50 mL)を加え、振とうした。これを 24 時間ごと 3 回繰り返す、そのときの Mn(II)酸化率及び Co(II), Cd(II), Ni(II), Zn(II)の吸着量を調べた。Co(II), Cd(II), Ni(II), Zn(II)の吸着量は、上清中の溶存 Cd(II), Ni(II), Zn(II)濃度を

ICP-AES で測定し、初期濃度との濃度差で求めた。Ce の場合、20 mM MES buffer (pH 6.0) 溶液で BMO を洗浄し、Ce(NO₃)₃ を含んだ 50 mL の 20 mM MES buffer (pH 6.0) 溶液中 (大気平衡条件; 酸素分圧 0.2 atm) でしんとうした。上清を経時的に採取し、溶存 Ce³⁺イオンと溶出 Mn²⁺イオンの濃度を ICP-AES で測定した。対照として窒素ガスで脱酸素した条件で同様の実験を行った。

4. 研究成果

活性 BMO による Co(II)の収着

溶存酸素存在下で、新規調製した BMO (1 mM の Mn) を Co(II)溶液と接触させると、溶存 Co(II)の濃度は、時間とともに減少した。24 時間で収着された Co(II)の量は、見かけ上に Langmuir 吸着等温線 ($n = 15, R^2 = 0.964$) に従うことが明らかとなった。収着された Co (Co_{seq}) を酸化物態 (塩酸ヒドロキシルアミン可抽出態) Mn (Mn_{oxide}) に対するモル比で表すと、最大値 P_{max} は 0.763 に達することが明らかとなった。Mn(II)を含まない HAY 液体培地で培養した菌体は、ごく少量の Co(II)のみが収着され、BMO への吸着量より一桁小さかった ($P_{max} = 0.021$ mM Co(II), $n = 15, R^2 = 0.954$)。このことから、BMO 相が、Co(II)収着に対する主要なサイトであることが示された。溶存酸素を除いた系では、Co(II)の収着量は $P_{max} = 0.484$ (Co_{seq}/Mn_{oxide} のモル比) に減少した。興味深いことに、溶存酸素存在下では、反応の全期間で溶存 Mn(II)が観測されなかった。一方、溶存酸素を除いた場合、Mn(II)の溶出が認められ、その溶出量と Co(II)の収着量との間に、正の相関が認められた ($n = 18, R^2 = 0.964$)。この時の Mn_{dis}/Co_{seq} 比は、モル比で 0.42 であった。

溶存酸素存在下において、Co(II)の収着実験に通して有意な Mn(II)の溶出が観測されなかったことから、BMO 中に保持された Mn(II)酸化酵素が、Co(II)の収着によって溶出された Mn(II)を速やかに再酸化したと推察された。BMO への Co 収着に対する Mn(II)酸化酵素の役割を調べるために、BMO 中の Mn(II)酸化酵素を、50 mM アジ化 Na 添加又は 85 °C で 1 時間の加熱によって不活化し、溶存酸素存在下で Co 収着実験を行った。アジ化 Na 添加 BMO や加熱した BMO は、溶存酸素を除いた場合と同等の Co(II)収着量を示した。ここでは溶存酸素を除去していないので、先の新規調製した BMO で観測された高い Co(II)の収着には、非生物的(化学的)な Mn(II)酸化が関与していないこと

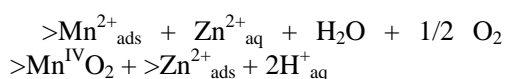
が示された。得られた P_{max} の値は、それぞれ、アジ化 Na 添加 BMO で 0.374 (Co_{seq}/Mn_{oxide} のモル比で $n=15, R^2=0.980$) と加熱 BMO で 0.361 ($n=15, R^2=0.993$) であった。Mn(II)イオンの溶出は、収着した Co に対するモル比でそれぞれ 0.53 ($n=18, R^2=0.977$) と 0.41 ($n=18, R^2=0.978$) で一次に相関した。Co(II)が存在しない場合の溶出 Mn(II)の濃度は、0.02 mM に満たなかったことから、Co(II)の収着 (酸化とイオン交換) が BMO 相から Mn(II)の溶出に対する唯一の要因であると結論付けられた。これらの条件で処理した BMO から Mn と Co を二段階抽出した結果は、溶存酸素を除いた系で処理された BMO の結果と同様であった。これらの結果から、BMO 中に包埋されている Mn(II)酸化酵素の活性による Mn(II)の再酸化によって、新規調製した BMO から見かけ上 Mn(II)の溶出が観測されなかった要因であることが強く示唆された。Mn(II)の BMO 相への再酸化は、Co(II)の酸化と Co(II)の吸着に対する新しい反応サイトを提供するので、これによって BMO の不動態化を回避し、より高い Co 収着効率をもたらしていると考えられた。

活性 BMO による Zn(II)の収着

新規調製した BMO を Zn(II)イオンのみを含む 20 mM HEPES 水溶液 (pH 7.0) に処理した場合、溶存酸素有無のかかわらず、溶存 Zn(II)イオンの濃度は時間とともに減少した。Zn(II)イオンは振とう 24 時間後で、最高 30 mol% Zn (酸化 Mn に対する) で固相に収着した。真菌菌体による Zn(II)イオンの収着は、かなり低く、BMO 相が Zn(II)イオンの収着に対して重要な貢献していることを示している。二段階抽出の結果から、酸化状態 Mn (塩酸ヒドロキシルアミン可抽出態) は一定濃度に維持されている一方で、イオン交換態 Mn 濃度が Zn(II)の収着の増加とともに減少したことが示された。これらの結果から、BMO に電荷中性カチオン (charge-balancing cation) として吸着されていた Mn(II)イオンが、添加された Zn(II)イオンとイオン交換し、BMO への Zn(II)イオンの収着に部分的に関与したことが示唆された。

固相から溶出された Mn の濃度は、溶存酸素を除去した Zn(II)溶液中で有意に高くであり、その量は、Zn(II)イオン収着量と正に一次相関した。この一次相関式から、収着された Zn(II)イオンの 17% が、イオン交換反応を介して BMO 上に存在していた Mn(II)イオンを溶出させたと推察された。一

方、溶存酸素存在下においては、溶出 Mn の濃度は、反応全期間にわたって極めて低かった。BMO に保持された Mn(II)酸化酵素によって、BMO の Mn(II)酸化活性が維持されることが明らかとなっている。溶存酸素存在下では、イオン交換によって溶出された Mn(II)が、BMO 中の Mn(II)酸化酵素によって速やかに酸化され、見かけ上の Mn(II)イオンの溶出がほとんどなく、また、固相中のイオン交換態 Mn 濃度が減少したと推察された。85 °C、1 時間の加熱により Mn(II)酸化酵素を不活化した場合には、酸素存在下でも Mn の有意な溶出が観測された。このことから、Mn(II)酸化酵素による Mn(II)イオンの酸化が生じることが示された。よって、溶存酸素存在下における Mn(II)酸化酵素活性 BMO による Zn(II)イオンの収着過程の全反応は、次式で表すことができる。



最終電子受容体である溶存酸素が存在しない条件では、Mn(II)酸化酵素による Mn(II)酸化は進行しないので、溶存 Mn(II)とイオン交換態 Mn(II)は、酸化によって減少しない。この Mn(II)イオンは、Zn(II)イオンと BMO への吸着を競争し、Zn(II)収着率を減少させると考えられる。溶存酸素を除去した場合には、特に低濃度 Zn(II)イオンにおいて Zn(II)イオンの収着量は低く、この Mn(II)イオンによる吸着競合の影響が大きいためと考えられた。

0.2 mM の Zn(II)イオン溶液で BMO (新規調製・加熱処理の両方) を連続的に処理した場合、処理回数が増加するにつれて、Zn(II)イオン収着量が大幅に減少した。この結果は、BMO 上の Zn(II)イオンに対する吸着サイトが飽和したことを示している。加熱処理した BMO では、Zn(II)の収着に伴って Mn(II)イオンの溶出が認められたが、新規調製した BMO では、連続処理において有意な Mn の溶出は観測されなかった。Zn(II)イオンの収着効率は、新規調製した BMO に比べて、加熱処理した BMO の方が低かった。1 mM Zn(II)イオン溶液中では、溶存酸素除去した条件下で、溶出 Mn(II)の増加は観測されたが、溶存酸素有無による Zn(II)イオンの収着効率の有意な違いが見られなかった。これは、より高い Zn(II)イオン濃度では、還元溶出した Mn(II)イオンからの吸着競合が相対的に低下するためであると推察された。これらの結果から、Mn(II)

酸化酵素によって、溶出 Mn(II)イオンが酸化することによって、BMOからのMnの損失が防げること、また、特に低濃度のZn(II)イオンに対する溶出Mn(II)の吸着競合を低下させ、Zn(II)イオンの収着率を上げられることが明らかとなった。

活性 BMO の形成と Ni(II) イオンおよび Cd(II)イオン収着

0.2□1.2 mMのNi(II)もしくはCd(II)を含む20 mM HEPES 緩衝溶液に新規調製のBMOを添加した場合、これらのイオン濃度は反応時間とともに減少し、BMOへの収着を示した。このときのNi(II)とCd(II)イオンの収着は、Langmuir 吸着等温線に従った。最大吸着量は、Ni(II)で25.8 mol% (二段階抽出時の塩酸ヒドロキシルアミン可抽出態Mn(酸化物態Mn)に対するモル%)、Cd(II)で25.0 mol%と算出された。Mn(II)を添加しないで培養した菌体への収着は、溶存酸素存在下で、0.03 mM未満であり、BMO相への収着が主であることが示された。溶存酸素除去条件下では、Langmuir 吸着等温線から算出した最大吸着量は、Ni(II)で23.4 mol%とCd(II)で27.7 mol%となり、溶存酸素存在下の場合とほぼ同等であった。しかし、吸着平衡濃度が低い条件では、溶存酸素を除去した場合の方が、より低い収着量を示した。溶存酸素除去条件では、有意な濃度のMn(II)の溶出が認められた。収着されたイオン濃度と溶出Mn濃度の間の正の相関関係 ($R^2 > 0.97$; $p < 0.01$) が認められ、一次相関式の傾きから、収着したNi(II)とCd(II)のそれぞれ37%と29%が、BMOの結晶欠陥の上下に電荷中和イオンとして吸着されていたMn(II)イオンとイオン交換していることが示された。加熱処理したBMOは、溶存酸素が存在しても同程度のMn(II)を溶出した。二段階抽出から求めたイオン交換態(吸着態)Mn(II)の濃度は、新規調製したBMOの溶存酸素存在条件の収着実験で最も低く、Mn(II)酸化酵素によって溶出Mn(II)が効率的にMn酸化物へ変換したことが示唆された。溶出Mn(II)イオンが酸化することで、Mn(II)イオンによる吸着競合が弱められ、また、同時に新たな吸着サイトが形成されると考えられる。溶出Mn(II)イオンによる吸着競合が相対的に高いと考えられる低平衡濃度でのNi(II)もしくはCd(II)イオンの収着が、溶存酸素を含む条件で高くなるのは、この機構によると推察された。BMOにMn(II)酸化酵素が保持された場合には、これらイオンが高い濃度(例えば、

~0.8 mMまでに)に存在していても、Mn(II)酸化反応が進行し、その溶出を抑制したことを示している。新規調製および加熱処理したBMOをNi(II)もしくはCd(II)水溶液で、溶液を更新しながら連続的に処理した場合、一回目処理で、その収着はほとんど飽和に達した。新規調製のBMOによる積算収着率(3回連続処理における全添加量に対する全収着量の割合)は、Ni(II)(添加濃度、約0.9 mM)で~10%、Cd(II)(添加濃度、約0.9 mM)で $11.3\% \pm 0.6\%$ であった。加熱処理したBMOの積算収着率は、新規調製BMOよりも低かった(Ni(II) $6.8\% \pm 0.5\%$ 、Cd(II) $7.0\% \pm 1.0\%$)。Mn(II)の溶出は、加熱処理したBMOから高い濃度で検出され、新規調製BMOでは、競合吸着するMn(II)イオンが酸化されるため、高い収着効率を示すと考えられた。ここで新規調製したBMO中に保持されたMn(II)酸化酵素によって添加Mn(II)から連続的にBMO相を形成することで、Ni(II)やCd(II)の連続収着が可能であると考えた。これを確かめるために、溶存酸素存在下、新規調製したBMOをMn(II)イオン共存下、Ni(II)もしくはCd(II)イオンを含む水溶液で連続的に処理した。添加濃度約0.9 mM Ni(II)と溶存Mn(II)(約0.9 mM)の混合溶液中において、溶存態Mn(II)濃度は、時間とともに減少し、各回処理(24時間毎)の終了までには、ほぼ全量が(添加したMn(II)の>99%)溶液中から除かれた。二段階抽出の結果から、溶存Mn(II)イオンの大部分が、酸化物相へ変換されたことが確認された。この時、溶存Ni(II)イオン濃度は、連続的に減少し、積算Ni(II)収着率は $37.6\% \pm 0.3\%$ に達した。Langmuir 吸着等温式から算出した最大吸着量(25.8 mol%)よりも、Ni(II)の負荷を低くした(0.9 mM Mn(II)の添加に対して約0.2 mM Ni(II))場合の積算収着率は非常に高く($92.2\% \pm 1.9\%$)、また、この時、溶存Mn(II)の99%以上が酸化物相へ変換した。従って、添加した溶存Mn(II)イオンが、BMO相(Mn酸化物)へ変換され、それが、Ni(II)イオンに対する新たな吸着サイトになることが示された。一方、加熱処理したBMOでは、添加した溶存Mn(II)の酸化の進行は認められず、わずかなMn(II)イオンの減少($2.7\% \pm 0.5\%$ (Ni(II)添加濃度約0.9 mM時)と $3.3\% \pm 2.8\%$ (Ni(II)添加濃度約0.2 mM時))しか観察されなかった。また、この時の積算Ni(II)収着率は、 $11.3\% \pm 0.4\%$ (添加濃度約0.9 mM Ni(II))と $13.9\% \pm 1.1\%$ (添加濃度約0.2 mM Ni(II))であり、かなり低い値であった。溶

存 Mn(II)を添加しない場合の積算 Ni(II)収着率(約 0.2 mM Ni(II)添加時、25.3% ± 1.8%)に比較して、有意に低い積算 Ni(II)収着率(13.9% ± 1.1%)は、添加した Mn(II)イオンによる競合によるものである可能性が高い。これらの結果は、特に溶存 Mn(II)が共存する場合には、Mn(II)酸化による Mn(II)の酸化が、Ni(II)の収着効率に大きく影響を与えることを示している。得られた BMO 相を二段階抽出したところ、塩酸ヒドロキシルアミン可抽出態 Ni(II)は、新規調製した BMO と加熱した BMO に対して収着された全 Ni(II)の 61% ~ 67%と 63% ~ 84%を占めた。

活性 BMO による Ce(III)イオン収着

新規形成した BMO を、脱酸素条件下で Ce(III)水溶液で処理した場合、溶存 Ce(III)の減少と Mn(II)の溶出が認められた。溶出 Mn(II)に対する減少 Ce(III)のモル比(減少 Ce/溶出 Mn 比)は、約 2 を保持していること、二段階抽出によって固相 Ce は酸化形態として抽出されることから、MnO₂ による Ce(III)の化学量論的酸化(2Ce(III) + Mn^{IV} 2Ce^{IV} + Mn(II))が示された。一方、新規形成した BMO を大気平衡条件下において Ce(III)水溶液で処理した場合、溶存 Ce(III)の減少が認められるものの、Mn(II)の溶出は大幅に少なく、減少 Ce/溶出 Mn 比は一時的に 200 以上に達した。一方、加熱して Mn(II)酸化酵素を失活させた BMO を用いた場合には、溶存 Ce(III)の減少とともに、Mn(II)イオンの溶出が認められた。以上の結果から、新規形成した BMO は、溶出 Mn(II)を Mn(II)酸化酵素作用により再酸化していると結論付けられた。溶存酸素が存在した場合、加熱 BMO の場合でも、減少 Ce/溶出 Mn 比は、脱酸素条件(約 2)に比べ、高い値(4.3)を取った。X 線結晶回析から、BMO による Ce(III)酸化によりナノサイズ cerianite が形成することが明らかとなった。無酸素存在下でナノサイズ cerianite を形成し、これを溶存酸素存在下で Ce(III)イオンと反応させたところ、Ce(III)の酸化が認められたことから、BMO の Ce(III)酸化によって形成したナノサイズ cerianite が自己触媒として働くことで Ce(III)の酸化(溶存酸素による)が継続すると結論付けられた。このような BMO による二つの Ce(III)酸化過程を利用することで効率的な Ce(III)酸化が可能であることが示された。

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 6 件)

1. J. Chang, Y. Tani, H. Naitou, N. Miyata, H. Seyama, K. Tanaka, Cobalt(II) sequestration on fungal biogenic manganese oxide enhanced by manganese(II) oxidase activity. *Applied Geochemistry* **37**, 170-178 (2013).
2. J. Chang, Y. Tani, H. Naitou, N. Miyata, H. Seyama, Zn(II) sequestration by fungal biogenic manganese oxide through enzymatic and abiotic processes. *Chemical Geology* **383**, 155-163 (2014).
3. J. Chang, Y. Tani, H. Naitou, N. Miyata, H. Seyama, Sequestration of Cd(II) and Ni(II) on fungal manganese oxides associated with Mn(II) oxidase activity. *Applied Geochemistry* **47**, 198-208 (2014).
4. D. Inthorn, Y. Tani, J. Chang, H. Naitou, N. Miyata, Magnetically modified fungal Mn oxides with high sequestration efficiency for simultaneously removing multiple heavy metal ions from wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2**, 1635-1641 (2014)
5. 谷 幸則, 常 佳寧, 渡邊淳一, 宮田直幸: バイオ合成マンガ氧化物による微量元素の処理と回収、用水と廃水 **56**, 32-40 (2014).
6. 谷 幸則, 常 佳寧, 宮田直幸: 微生物によるマンガ氧化物の形成を利用したレアメタルの回収法、バイオインダストリー **31**, 34-40 (2014).

[学会発表](計 8 件)

1. 谷 幸則, 常 佳寧, Duangrat Inthorn, 宮田直幸: バイオマンガ氧化物・マグネタイト混合物による微量重金属イオンの回収 日本水処理生物学会第 50 回大会, 日本水処理生物学会誌(別冊), 33 号 p. 53 (B-16), 2013 年 11 月 13 - 15 日
2. 常 佳寧, 谷 幸則, 内藤博敬, 宮田直幸, 瀬山春彦: 真菌によって形成した活性バイオマンガ氧化物による重金属イオンの除去過程 日本水処理生物学会第 50 回大会, 日本水処理生物学会誌(別冊), 33 号 p. 56 (B-19), 2013 年 11 月 13 - 15 日
3. 鄭 海粟, 谷 幸則, 内藤博敬, 宮田直幸: *Acremonium strictum* KR21-2 が形成したバイオマンガ氧化物による La³⁺ イオンの回収, 日本水処理生物学会第 51 回大会, No. C-21, 要旨集 p79, 2014 年 11 月 12-14 日.

4. 谷 幸則, 常 佳寧, 宮田直幸, 東條ふゆみ, 福島 淳, 梁 瑞録: 廃電子基板のバイオリーチング溶液からのバイオマンガン酸化物によるレアメタルの回収, 日本水処理生物学会第 51 回大会, No. C-22, 要旨集 p80, 2014 年 11 月 12-14 日.
5. 吳 婷婷, 谷 幸則, 内藤 博敬, 宮田直幸: Mn(II)酸化真菌を利用したオキソ酸型元素の回収, 第 49 回日本水環境学会年会, 講演集 p. 602 (P-F17), 2015 年 3 月 16 - 18 日.
6. 谷 幸則, 常 佳寧, 宮田直幸, 東條ふゆみ, 福島 淳, 梁 瑞録: 廃電子基板のバイオリーチング溶液からのバイオマンガン酸化物によるレアメタルの回収, 第 49 回日本水環境学会年会, 講演集 p. 601 (P-F16), 2015 年 3 月 16 - 18 日.
7. 鄭 海粟, 谷 幸則, 内藤博敬, 宮田直幸, 東條ふゆみ: Mn(II)酸化活性バイオマンガン酸化物による Ce(III)の効率的酸化, 日本水処理生物学会第 52 回大会, No. C-08, 要旨集 p55, 2015 年 11 月 11-13 日.
8. 谷 幸則, 吳 婷婷, 内藤 博敬, 宮田直幸, 東條ふゆみ: 真菌由来バイオマンガン酸化物による V(V), Mo(VI), W(VI)の回収, 日本水処理生物学会第 52 回大会, No. B-20, 要旨集 p46, 2015 年 11 月 11-13 日.

〔図書〕(計 3 件)

1. 谷 幸則, 宮田直幸, 常 佳寧: Mn 酸化物形成能を有する微生物によるレアメタルの回収, *リサイクルバイオテクノロジーの最前線* (植田充美 監修), pp170 - 178, シーエムシー出版(2013).
2. 谷 幸則, 宮田直幸: 微生物によるマンガン酸化物の形成とレアメタル回収への応用, *地球を救うメタルバイオテクノロジー* (山下光雄, 清 和成 編), pp.55-62, 成山堂書店 (2014).
3. 谷 幸則, 常 佳寧, 宮田直幸; バイオマンガン酸化物による廃水等からのレアメタル回収, *バイオベース資源確保戦略 都市鉱山・海底鉱山に眠る貴金属・レアメタル等の分離・回収技術* (小西康裕 監修), pp74 - 82, シーエムシー出版 (2015).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

〔その他〕

<http://db.u-shizuoka-ken.ac.jp/show/prof18.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

谷 幸則 (TANI YUKINORI)
 静岡県立大学・食品栄養科学部・准教授
 研究者番号 : 10285190

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :

(4)研究協力者

()