

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2006-2008  
 課題番号：18510080  
 研究課題名 (和文) 真菌が形成するマンガン酸化物と金属イオンの複合系を用いた有害アニオン種の濃縮除去  
 研究課題名 (英文) Removal of toxic anions using cation-rich biogenic Mn oxide nano-particles produced by Mn-oxidizing fungi  
 研究代表者  
 谷 幸則 (TANI YUKINORI)  
 静岡県立大学・環境科学研究所・准教授  
 研究者番号：10285190

## 研究成果の概要：

マンガン酸化真菌が形成するマンガン酸化物と金属イオンの複合系を用いた有害オキソアニオン種の濃縮除去の可能性を検討した。KR21-2株は、Co(II), Ni(II), Zn(II)の初期濃度が50  $\mu$ M, 15  $\mu$ M, 80  $\mu$ M以下の濃度範囲でMn酸化物の形成が認められ、効率良く吸着除去された。オキソアニオン種のMn酸化物への吸着選択性は、W > V > Mo > As > Sb > Ge > Cr > Seであり、特にWの高い吸着性が認められた。しかしながら、これらのオキソアニオン種のMn酸化物への吸着量は、カチオン種に比較して一桁以上小さいことが明らかとなった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	600,000	4,100,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 環境技術・環境材料

キーワード：レアメタル、マンガン酸化物、微生物、ナノ粒子、オキソアニオン

## 1. 研究開始当初の背景

レアメタルは家電製品、精密電子機器などのさまざまな用途に使われ、我々の快適な生活を支えるためにはなくてはならない金属元素である。近年、レアメタル資源の枯渇化が顕著化してきており、様々なレアメタルをめぐる国際的な資源獲得競争が激化し、需要が逼迫している。そのためレアメタルの安定供給源の確保は今後我々が生活していく上で必要不可欠になってくる。

この背景から、既に不用となった製品からレアメタルを回収・再使用する機運が国内でも高まっている。しかしながら、廃棄物品のリサイクル過程では、有害元素を含む多

類の元素が同時に排出されてくる。このような有害元素が微量濃度で且つ多量に存在する場合、高度なイオン交換処理技術など高コスト・高エネルギー消費型の処理を選択せざるを得ないため、リサイクル過程全体のコストパフォーマンスは依然として高い。このように「都市鉱山」からの資源回収を全体的に考えると、微量有害元素を含む水処理に対する低コスト・高機能性除去システム構築が最も重要な課題の一つであると考えられる。

自然界には、様々な元素に対して吸着能を有する物質が知られている。中でも自然界で見出される Mn 酸化物には、様々な元素が含まれており、一部の元素では含有量が地殻

中の含有量よりも高いことがある。このように、環境中において Mn 酸化物中には、さまざまな元素が有意に濃縮されていることがこれまでの研究によって知られている。このような Mn 酸化物に濃縮されやすい元素として、亜鉛、鉛、銅、コバルト、ニッケル、タングステン、モリブデン、アンチモン、カドミウムなどが報告されている。また、ヒ素、アンチモン、クロムの還元型に対して酸化能を持っていることも報告されている。マンガンは、遷移金属元素としては、鉄について地球の地殻中で二番目に豊富な元素であり（地殻中の存在比：0.1%）、Mn 酸化物の機能が様々な元素を濃縮するのに重要な役割を担っていると考えられている。

環境中でマンガンが取り得る酸化数は、通常 +II、+III、+IV である。溶存 Mn(II)の酸化によって不溶性の Mn(III,IV)水和物が生成するが pH 中性付近、低 Mn 濃度 (~1mM レベル) の条件では酸素による化学酸化はほとんど進行しない。このような環境条件での Mn 酸化物の生成は、主として Mn 酸化能を有するバクテリアや真菌の生物作用によるものと認識されている。

自然環境に見出される Mn 酸化物の様々な元素の含有率から、Mn 酸化物が金属イオンに対して高い吸着性を有することは明らかである。特に Mn 酸化物に親和性の高い金属イオンとして、コバルト、ニッケル、亜鉛、銅、鉛、カドミウムがあげられる。また、自然環境中では様々な種類の微生物がマンガン酸化能を有することから、マンガン酸化能を有する微生物による Mn 酸化物の連続的な生産と Mn 酸化物を吸着媒体とした重金属イオンの吸着回収が可能であると考えられ、原理的にはマンガン酸化物に親和性の高い元素類はすべて回収できるシステムになる。このように Mn(II)酸化菌を Mn 以外の微量金属イオンの除去・回収に活用可能であることは、1986 年に Ghiorse によって初めて提案された。単離したマンガン酸化菌による研究では、1999 年に Nelson らが、*L. discophora* SS-1 の産生した Mn 酸化物を用いて、Pb(II)に対する吸着試験を行い、Mn 酸化物の Pb(II)に対する極めて高い吸着収容力 (Pb/Mn 比が 0.5 まで吸着する) を初めて示した。さらにこれらの報告では、*L. discophora* SS-1 が形成した Mn 酸化物は、化学合成された  $\delta$ -Mn 酸化物よりも比表面積あたりの吸着サイト数が多いことを示唆した。また、静岡県牧の原台地周辺の河川床石上のマンガン酸化物皮膜から単離したマンガン酸化能を有する真菌 *Acremonium* sp. KR21-2 株をモデル微生物として、それが産生する Mn 酸化物に対するニッケル、亜鉛、コバルトの高い吸着能力 (例えば、Zn/Mn 比で 0.3) が報告されている。これらの報告は、元素濃度が数  $\mu$ M

から数十  $\mu$ M で吸着試験がおこなわれており、Mn 酸化物が  $\mu$ M レベルの低濃度重金属イオンに対して、大きな吸着能力 (Mn に対しモル比で数 10%) を有していることを示しており、重金属イオンの低濃度から効率の高い回収が可能であることを示した。

生物起源の Mn 酸化物を重金属除去に用いた場合、従来の除去方法と比べ Mn 酸化真菌を用いた処理方法はエネルギーの消費が少なく、低いコストで重金属を処理できることが期待できる。また、前述した様に低濃度から非常に高い濃縮効率で希少元素を回収できると考えられる。同時に、有害元素の環境中への排出が抑えられ、生態系や人間の健康に対する影響を抑えることができる可能性がある。このような観点から、Mn 酸化菌を含めた様々な微生物を利用した有害元素処理方法の開発は今後、重要なものになりえる。

## 2. 研究の目的

近年、微量有害元素による環境水の汚染が世界的に顕著化してきている。また、水資源の枯渇とともに増加する水資源の再利用の要求が一層高まると予想され、低エネルギーでこれらの有害元素類が除去可能な浄化システムの開発が必要不可欠である。高濃度で且つ組成の一定した有害元素類は化学処理により比較的簡単に除去できるが、微量濃度で且つ多量に存在する場合、高度なイオン交換処理技術など高コスト・高エネルギー消費型の処理を選択せざるを得ない。よって、廃棄物埋立地の浸出水や鉱山廃水などの多量で且つ複雑な組成の微量有害元素を含む水処理に対する高機能性生物的除去システム構築は、国内外の環境保全の立場から最も重要な課題の一つである。我々は、静岡県牧の原台地周辺河川の河川床石上に形成されたマンガン酸化物皮膜から単離したマンガン酸化能を有する真菌 KR21-2 株をモデル微生物として、重金属イオン及び無機ヒ素の除去特性を明らかにして来た。これらの研究を通して、①マンガン酸化菌が生物的に形成するマンガン酸化物は、低結晶で、単位表面積あたりの重金属イオンの吸着が著しく大きいこと (Tani, et al., 2004a)、②重金属イオン (Zn(II)や、Ni(II)及び Mn(II)) が共存する場合、従来マンガン酸化物では除去されにくいと考えられていた陰イオンである As(V)が高度に吸着することを報告してきた (Tani et al., 2004b))。生物的に形成されるマンガン酸化物は、Mn(IV)の格子欠陥密度が高いため、マンガン酸化物構造上に -4 価のイオン吸着サイトが存在し、①の重金属イオンの高い吸着能を示すと考えられている。重金属イオンが共存する場合、この構造上の負電荷サイトに重金属イオンが高度に吸着することで、格子欠陥に由来するマンガン酸化物の負電荷が打

ち消され、陰イオンである As(V)の吸着が促進されると考えられた。本研究課題では、これらの背景に基づき、マンガン酸化真菌が形成するマンガン酸化物と金属イオンの複合系を用いた Sb, Mo, As, W, Se, Te 等の有害オキソアニオン種の濃縮除去の可能性を検討することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、筆者らが単離したマンガン酸化真菌 *Acremonium* sp. KR21-2 をすべての実験に用いた。研究項目は以下の通りである。(1) Co(II), Ni(II), Zn(II)の KR21-2 株の Mn 酸化活性と成長に与える影響と Mn 酸化物形成が溶存率に及ぼす影響、形成されたマンガン酸化物への Co(II), Ni(II), Zn(II)の吸着特性を、Mn(II)存在下、金属イオン濃度を変化させて測定した。

(2) KR21-2 株による Mn 酸化物形成に伴う Co(II), Zn(II), Ni(II)の吸着除去過程を上清液中の溶存金属イオン濃度を ICP-MS で濃度変化を追跡することにより測定した。

(3) Co(II), Ni(II), Zn(II)の吸着に対する溶存 Mn(II)の影響を知るために、KR21-2 によって Mn 酸化物(1mM)を形成させ、Mn 酸化活性を  $\text{NaN}_3$ (最終濃度 10mM)を添加することによって停止させた後、さらに 1M Mn(II)(最終濃度 1.0mM)を加え、マンガン酸化物と溶存態 Mn(II)が共存する系を用いた。また、10 mM 硫酸銅水溶液 (50 mL) (Cu(II)交換態)、10 mM 塩酸ヒドロキシルアミン水溶液 (50 mL) (酸化物態)による 2 段階抽出を用いて金属イオンの吸着形態を推定した。

(4) KR21-2 株による Mn 酸化物形成に伴うオキソアニオン種の吸着除去過程を、KR21-2 株による Mn 酸化物形成に伴うオキソアニオン種の濃度減少を ICP-MS により追跡した。

### 4. 研究成果

(1) Co(II), Ni(II), Zn(II)が KR21-2 の Mn 酸化活性に与える影響

初期濃度 0.1, 0.5, 1.0 mM Mn(II) を含む培地内に Co(II), Ni(II), Zn(II)のいずれかを添加し、これらの金属イオンが Mn 酸化真菌 KR21-2 の Mn 酸化活性にもたらす影響について調べた。Co(II), Ni(II), Zn(II)を添加しない培地においては、すべての初期 Mn(II)濃度条件で、72 時間以内にほぼ全ての(99.9 %以上)添加した Mn(II)が黒色の Mn 酸化物として菌体に沈積する(図 1A)。Ni(II)を添加した場合、すべての Mn(II)濃度で、Ni(II)濃度が 15  $\mu\text{M}$  以上で Mn(II)の酸化(72 時間後)が認められなくなった。同様に Zn(II)では 80  $\mu\text{M}$  以上、Co(II)では、50  $\mu\text{M}$  以上で添加したときに、Mn(II)からの酸化物形成が認められなかった。Mn(II)の酸化物形成が認められない濃度では、KR21-2 の成長が認められる(図

1B)濃度範囲と成長が認められない(図 1C)濃度範囲があった。*L. discophora* SS-1 は、Co(II), Ni(II), Zn(II)濃度がそれぞれ 10  $\mu\text{M}$ , 100  $\mu\text{M}$ , 10  $\mu\text{M}$  以下の濃度範囲においてのみ Mn 酸化物形成能が認められており、それ以上の濃度では、Mn 酸化物形成能が阻害されることが報告されている。つまり、*L. discophora* SS-1 の Mn 酸化物形成能に対する重金属イオンから受ける阻害 (Co(II), Zn(II) > Ni(II))は本研究から見出された KR21-2 に対する阻害 (Ni(II) > Co(II) >

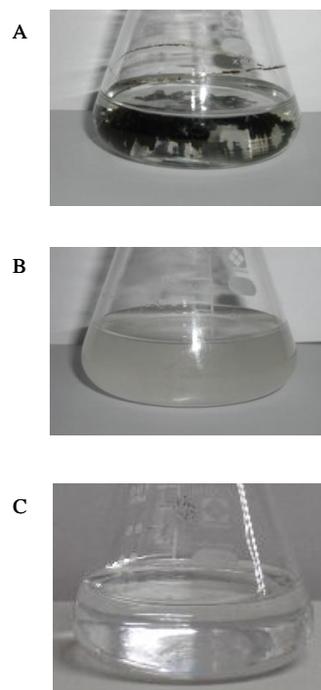


図 1 添加した重金属イオンによる KR21-1 の Mn 酸化活性と成長への影響の様子

Zn(II))と異なることが明らかとなった。このような Mn 酸化微生物の Co(II), Ni(II), Zn(II)から受ける Mn 酸化物形成能への阻害がそれぞれ異なるという観測結果は、異なる種類の Mn 酸化微生物が共存した場合には、Mn 酸化微生物が単独で含まれる時よりも、より高い濃度の Co(II), Ni(II), Zn(II)が含まれている処理水中でも Mn 酸化物形成が可能であることを示唆している。今後、様々な Mn 酸化菌の Mn 酸化能に対するそれぞれの金属イオン種による影響を調べることが必要と思われる。

(2) Co(II), Ni(II), Zn(II)がマンガン酸化真菌の成長に与える影響

KR21-2 株は Mn(II)については、初期濃度が 5 mM でも成長が認められていることから、これらの金属イオンは Mn(II)イオンよりも

KR21-2 に対して成長阻害が高いことが明らかとなった。Ni(II)添加の場合、15~50  $\mu\text{M}$  で成長が認められるものの、Mn 酸化物は形成しない濃度範囲であることが明らかとなった。同様に、Co(II)で 50~100  $\mu\text{M}$  の濃度範囲、Zn(II)で 80  $\mu\text{M}$ ~500  $\mu\text{M}$  の濃度範囲で KR21-2 は孢子から菌体へと成長するものの、Mn 酸化物形成が認められなくなることが明らかとなった。KR21-2 によるマンガン酸化物形成は、Mn 酸化酵素によることが明らかになっている。培地内の Co(II)、Ni(II)、Zn(II)添加濃度の増加に伴い、菌糸体の成長が認められるが、Mn 酸化物形成が認められない濃度範囲では、Mn 酸化酵素による Mn(II)酸化が阻害を受けたか、その発現が抑えられたかのいずれかであると考えられた。KR21-2 株の Mn 酸化酵素は、活性中心に銅イオンを含むマルチカッパーオキシダーゼファミリーに属することが明らかにされている。重金属イオンによる活性中心金属の置換による不活性化、Mn(II)結合部位への添加重金属イオンの競争的な結合など様々な阻害機構が考えられている。これらの阻害機構の解明は今後の課題である。

### (3) Mn 酸化物形成が Co(II), Ni(II), Zn(II)の残存率に及ぼす影響

Mn 酸化物の形成が認められた培地内の Co(II)、Ni(II)、Zn(II)の初期濃度条件では、Mn 酸化物の形成に伴ったカチオン種の濃度減少が認められた。Co(II)について注目すると、初期 Mn(II)が 0.1mM の場合、前述したとおり Co(II)の初期濃度が 50  $\mu\text{M}$  以下で Mn 酸化物形成率はほぼ 100%であった。Co(II)の残存率(培養 72h 後)は、初期 Co(II)濃度が 5, 10, 30, 50  $\mu\text{M}$  のとき、それぞれ約 10%, 10%, 20%, 40%であった。この値から吸着した Co(II)の固相 Mn に対するモル比をプロットしたものを図 2 に示す。固相中の Co/Mn 比は最大 0.30(初期 Mn 0.1 mM, Co(II)48  $\mu\text{M}$ )に達した。初期 Mn が 0.5 mM, 1 mM の場合、Co(II)の残存率は、初期添加量の 20%程度であり、80%程度が溶液中から除かれていた。

Ni(II)添加の場合、Mn 酸化能への阻害は、より低濃度(15  $\mu\text{M}$  以下)から認められたため、それ以上の Ni 濃度を含む培養系では、Mn 酸化物形成に伴う Ni 濃度の減少は測定できなかった。最大吸着量は、初期 Mn(II)0.1 mM および Ni(II)濃度 8  $\mu\text{M}$  の時に観測され、固相 Ni/Mn モル比は 0.07 程度であった(図 2)。これは、KR21-2 によって形成した Mn 酸化物に Ni が吸着されにくいのではなく、より高い Ni 濃度での吸着量が算出できないためである。初期 Mn 濃度が 0.1~1.0 mM では、Ni は 5~10  $\mu\text{M}$  という比較的低濃度から 80%以上が溶液中から除去されることが示さ

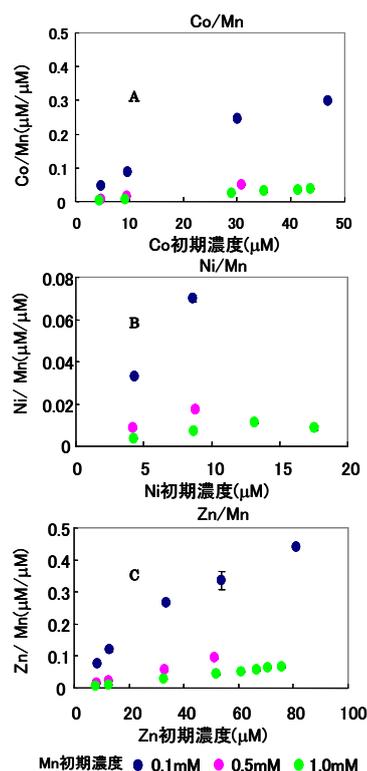


図 2 KR21-2 による Mn 酸化物形成過程によって除去される重金属イオンの固相モル比。

れた (図 2)。

Zn(II)は最も高い濃度(~80  $\mu\text{M}$ )まで Mn 酸化物形成が認められた。本研究で行った最も低い Mn 初期濃度の 0.1 mM で、固相における Zn/Mn 比を初期 Zn(II)濃度に対してプロットした場合、最大 Zn/Mn モル比は、0.44 と算出された(図 2)。この値は、マンガン酸化バクテリア *L. discophora* SS-1 によって生物形成したマンガン酸化物による Pb(II)イオンの吸着における最大 Pb/Mn 比(0.5)とほぼ同等の高い吸着能であった。初期 Mn(II)濃度が 1 mM と最も高い場合、Mn 酸化物形成が認められる初期 Zn(II)濃度の範囲では、Zn(II)の 95%以上が溶液中から除去された。以上の結果から、Mn 酸化物の形成過程は、水相に含まれる Co(II)、Ni(II)、Zn(II)に対し、非常に効果的な除去作用があることが示された。

生物によって形成された Mn 酸化物は、主に Mn(IV)で構成されており、構造中に Mn(IV)が欠損しているサイトが数多く存在することが明らかとなっている。*L. discophora* SP6 によって形成された Mn 酸化物には Mn(IV)の欠損サイトが Mn 酸化物の結晶構造中に 16~8%程度存在することが報告されている。Mn 酸化物に存在するような欠損サイトによって、形成した Mn 酸化物は負電荷を帯びる。そのため、共存する正電荷を帯びた Zn(II)、Ni(II)、Co(II)が Mn

酸化物の負電荷をうち消すようにして吸着がおこる。生物起源の Mn 酸化物は Mn(IV) の欠損に由来する負電荷が多いと考えられている。その陽イオン交換容量は～850meq/100g(欠陥サイトを17%とした場合)であり、代表的な粘土鉱物である Montmorillonite の陽イオン交換容量(～100 meq/100g)と比べて8倍以上の陽イオン交換能を持つことが近年明らかになった。これは、化学的に合成された陽イオン交換樹脂の陽イオン交換能(290～1020 meq/100g)に匹敵し、自然界に産出する無機化合物としては陽イオン交換能が非常に高い。マンガン酸化真菌 KR21-2 によって形成された Mn 酸化物も、このような Mn(IV)の欠陥サイトをもつことが予想され、この欠陥に由来する高い負電荷から陽イオンに対して高い吸着能が観測できたと考えられる。

#### (4) KR21-2 による Mn 酸化物形成過程におけるオキソアニオン種の吸着

KR21-2 による Mn 酸化物形成過程における Sb(V), Mo(VI), Se(VI), Te(VI), V(V), Cr(VI), W(VI), As(III・IV), Ge(IV)のオキソアニオン種の濃縮除去の可能性を検討した。オキソアニオン種である Sb, Mo, Se, Te, V, Cr, W, As (20 μM) について KR21-2 株の増殖に対する阻害は認められなかった。Te を除くオキソアニオン種 Sb, Mo, Se, V, Cr, W, As (20 μM) の共存下で、KR21-2 株は、初期濃度 1 mM から Mn 酸化物の形成が認められた。Sb, Mo, V, W についての結果を図3に示す。これらの元素濃度は、マンガン酸化物が形成するに従い、減少することが認められ、また、溶存 Mn(II) を含まないコントロールでは、これらの濃度減少が認められなかった。このことから、オキソアニオン種の濃度減少は、マンガン酸化物上への吸着によることが明らかとなった。Te 存在下では、マンガン酸化物形成は認められず、今回検討したオキソアニオン種の中で唯一、酵素による Mn 酸化物形成過程を阻害することが明らかとなった。

V(V)の場合、Mn 酸化物形成が、20%程度進行した段階で、その吸着の大部分が起きていることが明らかとなった。これは、筆者が先に報告した As(V)の吸着挙動に似ている。As(V)の報告では、Mn 酸化物形成過程初期における過剰な吸着 Mn(II)イオンが、マンガン酸化物上の負電荷を中和することで、アニオン種である As(V)の吸着を増加させていると結論付けた。

一方、興味深いことに、Mo(VI)はマンガン酸化物形成が大部分進行した後に、吸着が起きることが明らかとなった。この吸着挙動は、先の Ni(II)の吸着挙動に基本的に似ている。吸着 Mn(II)と競争的な吸着が生じている可能性を示唆する。W(VI)は、Mn 酸化物形成と

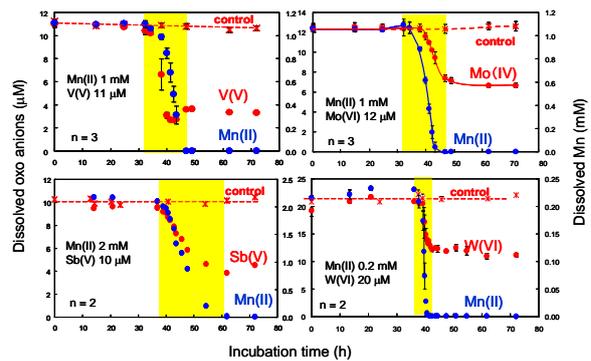


図3 KR21-2によるMn酸化物形成過程におけるオキソアニオン種の濃度減少。Mn を含まないコントロールは、濃度減少は観測されない。

もに、一時的にその吸着が進行し、Mn 酸化物形成終了間際に、全体の30%程度の量が吸着をする。複数に吸着サイトがあり、後者の吸着は、Mn(II)との吸着競合が飽きているかも知れない。Sb(V)は、形成した Mn 酸化物と一時的な関係にあり、吸着競合や吸着の増加は見かけ上観測されなかった。このように、オキソアニオン種間でも、Mn 酸化物形成過程における吸着挙動が大きく異なることが明らかとなった。今後、これらの違いを利用することで、選択的な吸着・回収が可能になる可能性を示唆している。

図4は、KR21-2によるMn酸化物形成過程において吸着したオキソアニオン種の吸着等温式である。KR21-2によって形成されたMn酸化物への吸着選択性は、W > V > Mo > As > Sb > Ge > Cr > Seであり、特にWの高い吸着性が認められた。

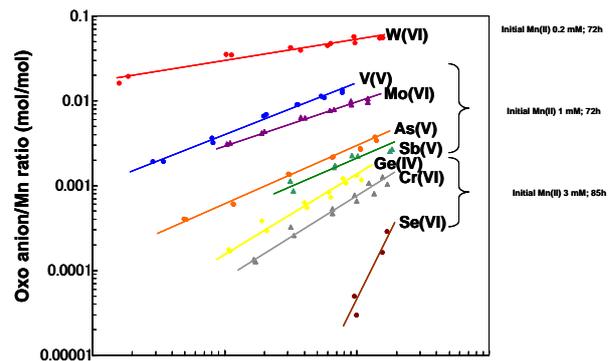


図4 KR21-2によるMn酸化物形成過程において吸着したオキソアニオン種の吸着等温式。

#### 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 4 件)

- ① H. Seyama, Y. Tani, N. Miyata, M. Soma, K. Iwahori Characterization of pebble surfaces coated with biogenic manganese oxides by SIMS, XPS and SEM. *Applied Surface Science* **255**, 1509-1511 (2008). 査読有
- ② N. Miyata, Y. Tani, M. Sakata, and K. Iwahori, Microbial Manganese oxide formation and interaction with toxic metal ions, *Journal of Bioscience and Bioengineering* **104**, 1-8 (2007). 査読有
- ③ N. Miyata, Y. Tani, K. Maruo, H. Tsuno, M. Sakata, and K. Iwahori, Manganese(IV) oxide production by *Acremonium* sp. Strain KR21-2 and extracellular Mn(II) oxidase activity. *Applied and Environmental Microbiology* **72**, 6467-6473 (2006). 査読有
- ④ N. Miyata, K. Maruo, Y. Tani, H. Tsuno, H. Seyama, M. Soma, and K. Iwahori, Production of Biogenic Manganese Oxides by Anamorphic Ascomycete Fungi Isolated from Streambed Pebbles, *Geomicrobiology Journal* **23**, 63-73 (2006). 査読有

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① Yukinori Tani, Naoyuki Niyata: Interaction of several elements with biogenic Mn oxides formed by a Mn(II)-oxidizing fungus, *Acremonium* sp. KR21-2. 237th American Chemical Society Notional Meeting & Exposition, Session: Geochemical Processes, Reactivity and Applications of Manganese Oxides, Abstract GEOC 198, March 22-26, 2009. Salt Lake City, UT, USA.
- ② 谷 幸則, 宮田直幸: マンガン酸化真菌 KR21-2 株のマンガン酸化物形成に伴うオキソアニオン型元素類の吸着除去. 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2008 (三島) 予稿集 p.109, 2008 年 12 月.
- ③ 保坂祐貴, 谷 幸則, 宮田直幸, 坂田昌弘, 岩堀恵祐: Mn 酸化真菌によって形成される Mn 酸化物への重金属イオンの吸着. 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2008 (三島) 予稿集 p.106, 2008 年 12 月.
- ④ 保坂祐貴, 谷 幸則, 宮田直幸, 坂田昌弘, 岩堀恵祐: Mn 酸化真菌の Mn 酸化物形成過程における微量金属イオン吸着特性. 日本水処理生物学会第 45 回大会 (秋田) 別巻 28 号 p.86, 2008 年 11 月.
- ⑤ 谷 幸則, 宮田直幸, 岩堀恵祐, 坂田昌弘, 津野 宏: 真菌 KR21-2 株のマンガン酸化酵素と形成するマンガン酸化物の特性. 日本水処理生物学会第 43 回大

会 (仙台) 日本水処理生物学会誌別巻第 26 号 p65, 2006 年 11 月.

- ⑥ Haruhiko Seyama, Yukinori Tani, Naoyuki Miyata, Mitsuyuki Soma, Keisuke Iwahori, Characterization of pebble surfaces coated with biogenic manganese oxides by SIMS, XPS and SEM The 16th International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS XVI), Abstract P1-091, Kanazawa, Japan, October 2007.
- ⑦ 谷 幸則, 宮田直幸, 坂田昌弘, 岩堀恵祐: 真菌のマンガン酸化物形成におけるオキソアニオン型希少金属の吸着特性 第 54 回日本生物工学会大会 (広島) 講演要旨集 p179, 2007 年 9 月.
- ⑧ Haruhiko Seyama, Yukinori Tani, Naoyuki Miyata, Mitsuyuki Soma, Keisuke Iwahori, Analysis of pebble surfaces coated with biogenic manganese oxides, 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA2006), Abstract p253, Kobe, Japan, July 2006.

〔図書〕(計 1 件)

- ① 谷 幸則, 宮田直幸: マンガン酸化菌を利用した微量元素処理・回収, メタルバイオロジー による環境保全と資源回収—新元素戦略の新しいキーテクノロジー—(吉田和哉 名誉監修, 植田充美, 池道彦 監修), pp44-49, シーエムシー出版 (2009)

〔その他〕(計 2 件)

- ① テレビ出演  
谷 幸則: 「都市鉱山を生物パワーで掘りおこせ」 NHK 放送局サイエンス ZERO, 2008 年 3 月.
- ② ホームページ  
[http://www.u-shizuoka-ken.ac.jp/file/r95\\_tani.pdf](http://www.u-shizuoka-ken.ac.jp/file/r95_tani.pdf)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷 幸則 (YUKINORI TANI)  
静岡県立大学・環境科学研究所・准教授  
研究者番号: 10285190

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

宮田直幸 (MIYATA NAOYUKI)  
秋田県立大学・生物資源科学部・准教授  
研究者番号: 20285191