

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03636

研究課題名（和文）低栄養細菌 - マンガン酸化細菌培養系による有機物無添加の坑廃水処理技術の開拓

研究課題名（英文）Development of new technology for mine drainage remediation without organic substrate addition using coculture system of oligotrophic bacteria and heterotrophic Mn(II)-oxidizing bacteria

研究代表者

宮田 直幸（Miyata, Naoyuki）

秋田県立大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：20285191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：Mn酸化細菌を利用した低環境負荷の坑廃水処理技術の確立を目指して、代表者らが構築してきたMn酸化集積培養系の有機物供給機構とMn酸化機能を明らかにすること、及びMn含有坑廃水処理への適用性を評価することを目的として研究を実施した。有機性基質無添加条件において、集積培養系内では低栄養細菌が有機物供給者としての役割を担い、従属栄養Mn酸化細菌の維持に寄与することが示唆された。分離された低栄養細菌は炭酸固定能力を有し、貧栄養環境での有機物生成への寄与も示された。有機性基質無添加条件で集積されるMn酸化集積培養系は実坑廃水に対して十分機能し、坑廃水処理への適用性は高いと結論付けられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

休廃止鉱山では有害金属を溶解した坑廃水が発生するため、半恒久的な対策が必要である。Mn酸化細菌はMnイオンを酸化して不溶性酸化物を析出させるため、Mn含有坑廃水への適用が期待されている。しかしながら、利用可能なMn酸化細菌は従属栄養性であるため、エネルギー源・炭素源となる有機性基質を供給する必要があった。本研究により、低栄養細菌の働きで集積培養系内に有機物が供給され、Mn酸化細菌の維持に寄与し得ることが明らかになった。Mn酸化微生物系において低栄養細菌の機能を初めて提示することができた。また、微生物を利用したMn含有坑廃水処理の実用化を大きく前進させる成果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：To establish an eco-friendly process for mine drainage remediation using Mn(II)-oxidizing bacteria, this study investigated the supply of organic substrates for heterotrophs and Mn(II) oxidation in microbial cultures enriched without addition of organic substrates. The results suggested that oligotrophs actively grow in the cultures and serve as suppliers of organic substrates for heterotrophic Mn(II) oxidizers. The oligotroph strains isolated had the ability of carbon fixation, which was shown to contribute at least partly to the production of organic substances in the oligotrophs. Such microbial cultures enriched without addition of organic substrates could remove dissolved Mn(II) from actual mine drainage, so that we concluded that the cultures are highly applicable for treatment of Mn(II)-containing mine drainage.

研究分野：環境生物学

キーワード：マンガン酸化細菌 低栄養細菌 坑廃水 炭酸固定

1. 研究開始当初の背景

全国約 100 箇所(の)の休廃止鉱山では鉱業活動を停止しているが、坑道内で有害金属を溶解した坑廃水が発生するため、半恒久的な坑廃水対策が必要である。現在、坑廃水対策として中和剤で有害金属を不溶化する中和処理が適用されており、薬剤使用量の削減や省力化、省エネルギー化が課題である。マンガン(Mn)は坑廃水の主要な有害金属の一つで、海外では Mn 酸化細菌を利用した坑廃水処理の研究開発が活発に進められている。環境中に広く生息する Mn 酸化細菌は、Mn²⁺イオンを酸化して不溶性酸化物(MnO₂)を析出させる^[1]。この反応は中性 pH で進行し、生成した Mn 酸化物は沈降性に優れる。したがって、Mn 含有坑廃水に Mn 酸化細菌を適用できれば、薬剤(中和剤、凝集剤)使用量の大幅な削減に加え、スラッジ発生量の削減、固液分離槽のコンパクト化を通して、省力化や省エネルギー化に寄与できると期待される。しかしながら、Mn 酸化細菌を利用する際の問題点として、現在利用可能な Mn 酸化細菌は従属栄養性であるため、エネルギー源・炭素源となる有機性基質を供給する必要がある。したがって、有機性基質の供給を必要としない Mn 酸化微生物系を構築できれば、Mn 含有坑廃水の生物処理技術の実用化に向けて大きく前進させることができる。

2. 研究の目的

研究代表者らはこれまでに、休鉱山の坑道内水路で採取した Mn 含有スラッジを植種源として Mn 酸化集積培養系を取得し、有機性基質無添加条件において Mn 酸化活性を安定して維持できることを見出ししていた。本研究では、Mn 酸化細菌を利用した低環境負荷の坑廃水処理技術の確立を目指し、集積培養系の有機物供給システムと Mn 酸化機能を明らかにすること、及び Mn 含有坑廃水処理への適用性を評価することを目的として研究を実施した。

3. 研究の方法

(1) Mn 酸化集積培養系の培養 滅菌した無機塩培地(表 1)にフィルター滅菌した重炭酸ナトリウム溶液及び硫酸 Mn 溶液を所定の濃度で添加し、暗所、20℃ で穏やかに振とう培養した。上清の溶存 Mn²⁺イオンの減少が確認された後、培養液を静置して Mn 酸化物を含む培養物を自然沈降させた。デカンテーションにより上清を除去した後、培養物を新鮮な培地に再懸濁し、回分培養を繰り返した。

(2) 炭酸固定の評価

無機塩培地に所定濃度の硫酸 Mn 及び安定同位体で標識した重炭酸ナトリウム(NaH¹³CO₃)を添加し、暗所で培養した。なお培養器は、大気からの二酸化炭素の混入を最小限にするため密栓した。培養物は回収後、1 N 塩酸及び脱イオン水で洗浄して凍結乾燥し、¹³C 含量を安定同位体質量分析計で定量して炭酸固定量を評価した。

表 1. 集積培養系の培養で使用した無機塩培地の組成

培地の組成	含有量 (蒸留水 1 L 当たり)
硝酸ナトリウム	8 mg
リン酸水素二カリウム	5 mg
硫酸マグネシウム	220 mg
硫酸カリウム	10 mg
硫酸ナトリウム	200 mg
塩化カルシウム	155 mg
微量金属混合液	5 mL
HEPES 緩衝液(pH 7.5)	40 mmol

(3) 化学分析 Mn 等金属イオンの定量は ICP 質量分析計または ICP 発光分光分析計を用いて定量した。Mn 酸化物中の Mn 酸化数は、あいちシンクロトロン光センター(愛知県瀬戸市)の BL5S1 ビームラインにて、X 線吸収分光法により Mn-K 吸収端 XANES を測定して求めた。坑廃水処理試験で回収された Mn 酸化物の構造は粉末 X 線結晶回折計(XRD)及び走査型電子顕微鏡(SE-SEM)を用いて解析した。

(4) 細菌群集の解析 Mn 酸化集積培養系を 1 mM アスコルビン酸ナトリウム含有 HEPES 緩衝液(pH 7.0)に懸濁して Mn 酸化物を溶解させた。その後、ISOIL for Beads Beating(NIPPON GENE)を用いて DNA を抽出し、真正細菌と古細菌の 16S rRNA 遺伝子 V4 領域をプライマー-515 F、806R を用いて PCR 増幅した。増幅産物の塩基配列は Miseq (illumina)を用いて決定した。さらに、細菌群集内での発現遺伝子を明らかにするため、全 RNA を抽出した後、RNA-seq 解析を実施した。

(5) 低栄養細菌の分離及び培養法 以前に構築して研究室内で維持していた接触酸化槽の Mn スラッジから低栄養細菌を分離培養した。この処理槽は、プラスチック製コンテナ(縦 19 cm、横 33 cm、高さ 12 cm)を使用し、この中にエアポンプで曝気するために散気球を 2ヶ所設置した後、微生物付着担体として 20~40 mm 程度の石灰石を 9 kg 充填したものである。模擬廃水は水道水に、硫酸 Mn 五水和物(80 mg/L)、硫酸亜鉛七水和物(35 mg/L)、硝酸ナトリウム(25 mg/L)、リン酸水素二カリウム(5 mg/L)など、種々の無機塩を溶解させたものを使用した。なお植種源

として坑道内水路で採取した Mn スラッジを投入していた。この処理槽では滞留時間 0.5 日～1 日ではほぼ全量の溶存 Mn を除去できていた。石灰石上に沈積した Mn スラッジを有機性基質無添加の無機塩培地で段階希釈した後、同プレート培地（3 g/L ゲランガム添加）に塗抹した。20 で静置し、生じた細菌コロニーを単離した。

(6) 低栄養細菌の増殖特性の評価 有機性基質無添加の無機塩培地、またはこれに低濃度の酢酸 Na と酵母エキスを添加した 1/20 A2 培地（全有機炭素=4 mg/L）及び A2 培地（全有機炭素=130 mg/L）を用いて 25 で振盪培養した。菌体量はルミノメーター（3M, Clean-Trace）で ATP 濃度を測定して評価した。

(7) ショットガンメタゲノム解析 分離株の培養菌体から全 DNA を抽出した後、PacBio Sequel IIe システムを用いてシーケンス解析を行った。ゲノムアセンブルは Flye v.2.9.1 を用いて行い、CheckM v.1.2.2 により各ゲノムデータの完全性を確認した。得られたゲノムデータについて、アノテーションパイプライン DFAST、または eggNOG-mapper を用いて遺伝子予測を行った。

(8) 坑廃水処理試験 上記(5)の処理槽から採取した Mn スラッジ付着石灰石を 1 L 容のジャーファーマンターに充填した（有効容積 0.5 L）。これに休鉱山より採水した実坑廃水を添加した後、回分式または連続式で処理試験を行った。水温は 15 とした。

4. 研究成果

(1) 集積培養系による有機性炭素の供給メカニズム

集積培養系による Mn 酸化 集積培養系を有機性基質無添加条件で回分培養すると、溶存 Mn 濃度は時間経過とともに減少した（図 1）。培養開始時、192 時間後及び 288 時間後の培養物中の Mn 酸化数を Mn-K 吸収端 XANES から算出した結果、何れも 3.7 以上となり、Mn(II)は Mn(IV)を主とする酸化物として析出していることが示された（表 2）。

炭酸固定と Mn 除去への影響 重炭酸 Na を 0 ~ 200 mg/L の濃度で添加して Mn 除去速度を測定した結果、無添加でも Mn は除去され、また各濃度間で有意な差は認められなかったが、添加濃度の増加とともに除去速度が増加する傾向が見られた（図 2A）。さらに重炭酸 Na の添加濃度に依存した炭酸固定が起こっていることが明らかになった（図 2B）。これらの結果から、限定的ではあるが炭酸固定の Mn 除去への寄与が示された。

細菌群集構造と主要な発現遺伝子 16S rRNA 遺伝子アンプリコン解析の結果、集積培養系で存在割合が高かったのは（2%以上）、*Hyphomicrobium* (34.1%)、*Hydrogenophaga* (4.2%)、*Methylibium* (2.8%)、*Methyloversatilis* (12.4%)、*Rhodoferrax* (2.4%)、*Rhodococcus* (3.5%)、*Ohtaekwangia* (3.1%)、*Bacteroidetes bacterium* (7.0%)の各近縁種であった。*Hyphomicrobium* 属^[2]及び *Hydrogenophaga* 属^[3]には従属栄養 Mn 酸化細菌として報告されている種が含まれるため、集積培養系の Mn 酸化を担っている可能性がある。一方で、*Hyphomicrobium* 属は低栄養性であることが報告され^[2]、*Rhodococcus* 属にも低栄養性のものが知られている^[4]。

集積培養系の RNA-seq 解析の結果、メタノール/エタノール酸化酵素、水素酸化酵素、一酸化炭素酸化酵素の発現量が多く、集積系内の細菌群が大気中から供給される微量の基質を利用していると推察された。存在割合の高かった *Hyphomicrobium*、*Methylibium* 及び *Methyloversatilis* はメチル栄養細菌、*Hydrogenophaga* は水素酸化細菌であるため、

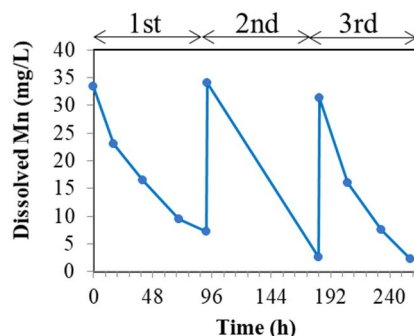


図 1. 集積培養系による溶存 Mn 除去

表 2. 集積培養系の培養物中の Mn 酸化数 (XANES 分析)

培養時間 (h)	Mn 酸化数	Mn(IV) 含有率 (%)	Mn(IV) 含有率 (%)
0	3.73	26.74	73.26
192	3.74	26.27	73.73
288	3.79	20.65	79.35

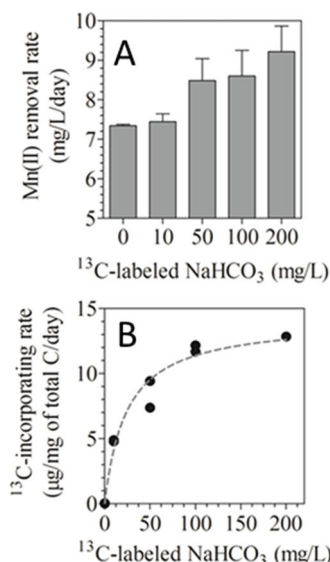


図 2. 集積培養系による溶存 Mn 除去に及ぼす重炭酸塩の影響と炭酸固定

集積培養系内でこれらの代謝系が高発現していた可能性が示された。貧栄養条件下でこれらの細菌が増殖することで、集積培養系内に菌体成分、分泌物といった有機物がもたらされるため、有機物供給の役割を担っていると考えられた。一方で、カルビン回路の酵素遺伝子の発現も確認され、特にRubiscoの発現量は他と比べて相当に高いことが明らかになった。有機物供給における炭酸固定の寄与が窺えた。また発現量は多くなかったが、多様なマルチ銅オキシダーゼの遺伝子発現が認められ、Mn酸化反応を担っていると考えられた。

(2) 集積培養系における低栄養細菌の有機物供給者としての役割

低栄養細菌の増殖特性 研究室で維持していた接触酸化槽内のMnスラッジから6株を単離して実験に供した(表3)。R1-5 (*Methylibium*)、R1-7 (*Methyloversatilis*) 及び R1-9 (*Rhodococcus*) は、細菌叢解析から集積培養系の主要な細菌種と位置付けられる。R1-3、R1-5、R1-7、R1-9の4株は、他の株と比較して、有機性基質無添加の無機塩培地で高い比増殖速度を示した(図3)。また、有機性基質を添加した2種の培地でも同等の比増殖速度であった。さらに、これら4株は菌体増殖量も多かったことから(図4)、貧栄養環境に適応した低栄養細菌であると判断された。

低栄養細菌による炭酸固定能力 分離株の無機塩培地中での炭酸固定能力を調べた結果、低栄養細菌(R1-5、R1-7、R1-9)では培養時間の経過とともに菌体の¹³C存在比が高まった(図5)。増殖した菌体の総有機炭素の3.5~6.0%は炭酸固定によるものと見積もられ(図5)、増殖時に一定の無機炭素を取込むことが明らかになった。しかし、菌体の炭素の大部分(94%以上)は¹²Cであり、主要な炭素源は培地に極微量混入する有機物であると結論付けた。

これらの結果から、集積培養系の主要細菌の幾つかは有機性基質無添加条件下で活発に増殖する低栄養細菌であり、限定的な炭酸固定を伴う従属栄養的な増殖特性をもつことが明らかになった。有機物の乏しい坑廃水中で低栄養細菌が増殖することで、菌体成分や分泌物が生産され、従属栄養Mn酸化細菌に有機物が供給されるとの示唆を支持する結果が得られた。

低栄養細菌のゲノム情報

低栄養細菌R1-3、R1-5及びR1-9のゲノム解析の結果(表4)3株ともC1化合物代謝経路を有していた。また水素ガスの代謝系も存在していた。これらの代謝系の保持と低栄養性との関係は不明であるが、大気から混入する微量ガス成分を効率よく資化することで、無機塩培地で活発に増殖している可能性がある。これらの低栄養細菌は限定的であるが炭酸塩の取込み能力を有していた(図5)。R1-3、R1-5ではC1代謝がセリン経路で行われていると推定され、炭酸固定へのセリン経路の関与が示唆された。さらに両株ともカルビン回路も見い出され、カルビン回路の関与も示唆された。一方で、R1-9はセリン経路やカルビン回路を保持しておらず、炭酸固定には別の経路が関

表3. 本研究で分離した細菌株

R1-3	<i>Williamsia</i> sp.
R1-5	<i>Methylibium</i> sp.
R1-7	<i>Methyloversatilis</i> sp.
R1-9	<i>Rhodococcus</i> sp.
R1-12	<i>Afipia</i> sp.
R2-5	<i>Sphingopyxis</i> sp.

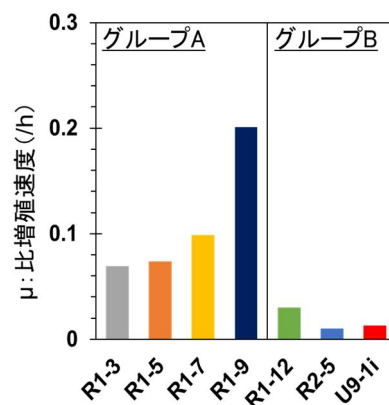


図3. 分離株の無機塩培地での比増殖速度 (U9-1iは研究室保有のMn酸化細菌)

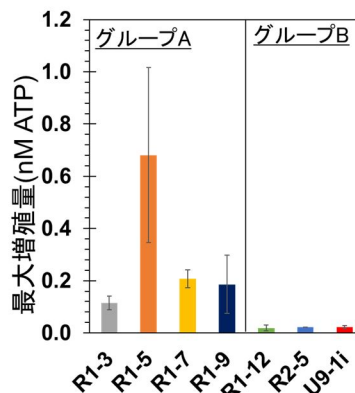


図4. 分離株の無機塩培地での最大増殖量

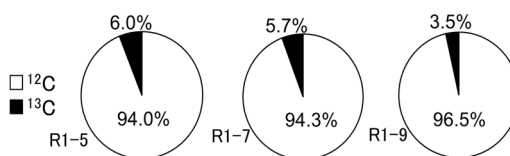
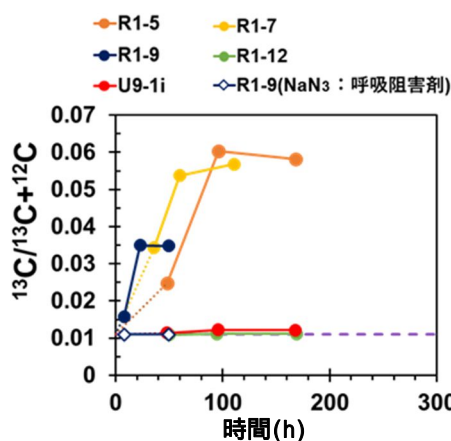


図5. 分離株の無機塩培地での炭酸固定能力

与すると推察された。これらの低栄養細菌では、炭酸固定によって有機物が付加的に生成することになるため、貧栄養条件下での活発な菌体増殖に炭酸固定が部分的に寄与していると考えられた。

(3) 有機物無添加条件下での坑廃水処理

Mn 酸化集積培養系を導入した接触酸化槽を用いて、75 mg/L 溶存 Mn²⁺ 及び 12 mg/L 溶存 Zn²⁺ を含む実坑廃水の処理を検討した(図6)。連続式、回分式ともに水理学的滞留時間 0.5 日程度で溶存 Mn をほぼ全量除去することができた。また混在する溶存 Zn も除去できることが明らかになった。FE-SEM 観察では、微生物が形成する Mn 酸化物に特有のナノシート構造が見られた(図7)。XRD 解析では、パーネス鉱(δ -MnO₂)及びウッドルフ鉱(ZnMn₃O₇·2H₂O)と一致する回折パターンが得られ、これらの酸化物が生成していることが示された。Zn²⁺は生成する Mn 酸化物の結晶構造中に取り込まれることで廃水から除去されたと推察された。以上より、有機性基質無添加条件下で集積される Mn 酸化集積培養系は実坑廃水に対しても十分機能することが明らかになり、坑廃水処理への適用性は高いといえる。

<引用文献>

- [1] 宮田直幸, 谷幸則: 微生物によるマンガン酸化物の生成 - 微生物 金属相互作用と環境技術への応用. 化学と生物, 58, 562-570 (2020).
- [2] C. Gliesche, A. Fesefeldt, P. Hirsch, *Hyphomicrobium*, in: M.E. Trujillo et al. (Eds.), *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, Wiley, USA (2015).
- [3] D.N. Marcus et al., Diverse manganese(II)-oxidizing bacteria are prevalent in drinking water systems, *Environ. Microbiol. Rep.* 9, 120-128 (2017).
- [4] Y. Ikeda et al., Oligotrophic gene expression in *Rhodococcus erythropolis* N9T-4 under various nutrient conditions, *Microorganisms* 10, 1725 (2022).

表4. 低栄養細菌のゲノム解析で推定された代謝機能

菌株	R1-5	R1-7	R1-9
分類群(属)	<i>Methylibium</i>	<i>Methylover-</i> <i>satilis</i>	<i>Rhodococcus</i>
ゲノムサイズ (Mbp)	4.86	4.70	7.23
DNA Scaffolds	5	1	4
G+C 含量 (mol%)	68.9	66.2	62.3
CDS 数	4,672	4,306	6,714
RNA 遺伝子数	3	4	15
炭酸固定能 (加圧回路)	+	+	-
C1 化合物資化性	+(methanol → serine)	+(methanol → serine)	+(methanol → aldehyde)
CO 資化性	-	-	-
H ₂ 資化性	+	+	+

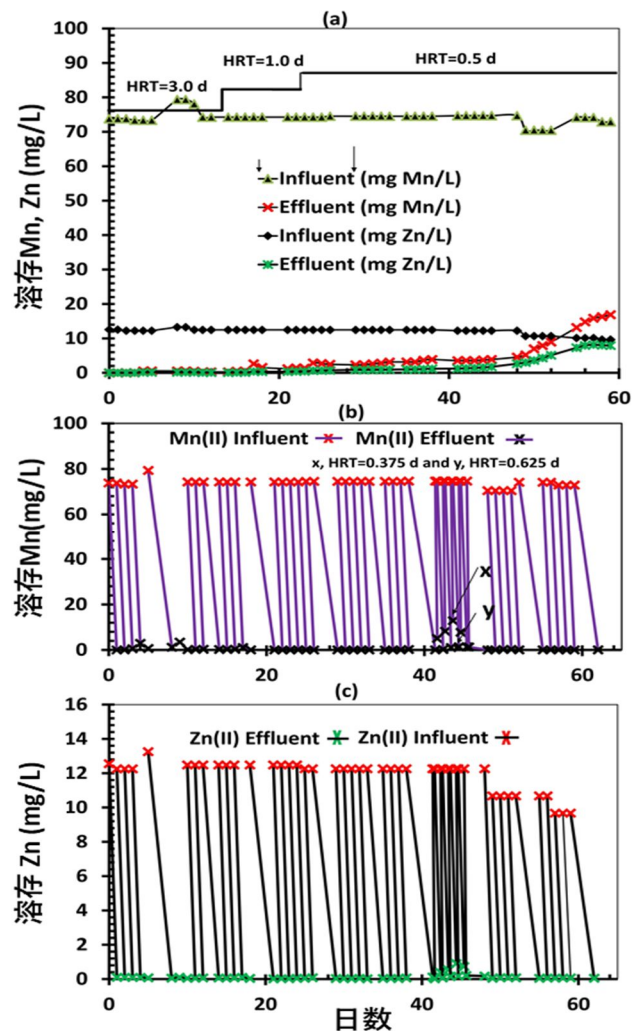


図6. 連続式(a)及び回分式(b, c)による坑廃水処理試験

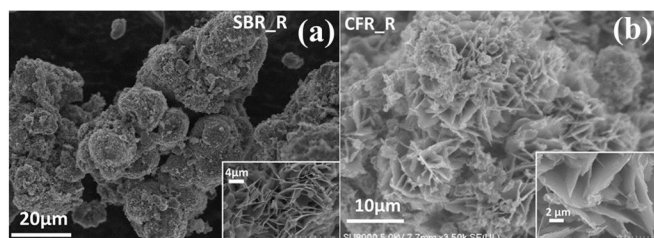


図7. 連続式(a)及び回分式(b)の坑廃水処理で沈積したMnスラッジのFE-SEM観察

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 淵田 茂司, 田嶋 翔太, 所 千晴.	4. 巻 138
2. 論文標題 -MnO ₂ 吸着剤およびNaClO酸化剤を用いた高濃度Mn・Znを含む酸性坑廃水の最適処理方法の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of MMIJ	6. 最初と最後の頁 160-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2473/journalofmmij.138.160	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 SUNOUCHI KIMIHITO, WATANABE MIHO, OKANO KUNIHIRO, MASAKI YUSEI, SAKODA MASATOSHI, MIYATA NAOPYUKI	4. 巻 58
2. 論文標題 Removal of Mn(II) and Zn(II) Ions from Synthetic Mine Drainage Using a Laboratory-Scale Mn(II)-Oxidizing Bioreactor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Water Treatment Biology	6. 最初と最後の頁 25 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2521/jswtb.58.25	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 Miyata Naoyuki, Suganuma Reina, Sunouchi Kimihito, Okano Kunihiro, Fuchida Shigeshi, Watanabe Miho, Fujibayashi Megumu, Sato Yuya, Tokoro Chiharu	4. 巻 203
2. 論文標題 Biological Mn(II) oxidation under organic substrate-limited conditions and its application in mine drainage remediation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Biochemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 109187 ~ 109187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bej.2023.109187	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 Gotore Obey, Watanabe Miho, Okano Kunihiro, Miyata Naoyuki, Katayama Taiki, Yasutaka Tetsuo, Semoto Yuki, Hamai Takaya	4. 巻 in press
2. 論文標題 Effects of batch and continuous-flow operation on biotreatment of Mn(II)-containing mine drainage	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jes.2024.05.038	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14件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Gotore, O., Watanabe, M., Okano, K., Miyata, N., Tum, S., Katayama, T., Yasutaka, T., Horiuchi, K., Hamai, T.
2. 発表標題 Immobilization and bio-oxidation mechanisms of manganese(II) from mine drainage by Mn(II)-oxidizing bacteria in batch and continuous flow bioreactors
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2023 (WET2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮田直幸, 渡邊美穂, Gotore Obey, 岡野邦宏, 片山泰樹, Tum Sereyroiith, 保高徹生
2. 発表標題 マンガ含有坑廃水の生物処理におけるマンガ酸化細菌の挙動
3. 学会等名 日本水処理生物学会第59回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Obey Gotore, Miho Watanabe, Kunihiro Okano, Naoyuki Miyata, Taiki Katayama, Tetsuo Yasutaka, Yuki Semoto, Takaya Hamai
2. 発表標題 Performance of start-up and steady state bio-oxidation treatments of manganese-impacted mine drainage using batch and continuous bioreactors
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会（福岡）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊美穂, Tum Sereyroiith, 片山泰樹, Gotore Obey, 岡野邦宏, 佐藤総一郎, 保高徹生, 宮田直幸
2. 発表標題 マンガ含有坑廃水処理を駆動する電気合成微生物プロセスの解明
3. 学会等名 微生物生態学会第36回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮田直幸
2. 発表標題 微生物生態系を利用したマンガン含有坑廃水の処理
3. 学会等名 分離技術会シンポジウム - 休廃止鉱山における坑廃水処理技術の最前線（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 國光春花, 簾内君仁, 渡邊美穂, 岡野邦宏, 宮田直幸
2. 発表標題 マンガン酸化微生物群集から分離された低栄養細菌の増殖特性
3. 学会等名 日本水処理生物学会第58回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 國光春花, 菅原巧太郎, 渡邊美穂, 岡野邦宏, 宮田直幸
2. 発表標題 マンガン含有坑廃水の生物処理における低栄養細菌の有機物供給者としての役割
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊美穂, 片山泰樹, Tum Sereyroi th, 保高徹生, 宮田直幸
2. 発表標題 有機物無添加のマンガン含有坑廃水処理実証プラントにおける微生物機能の解明
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮田直幸
2. 発表標題 微生物生態系を利用した坑廃水処理技術の展望
3. 学会等名 令和4年度資源・素材学会東北支部秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 簾内君仁、渡邊美穂、岡野邦宏、宮田直幸
2. 発表標題 有機物無添加条件で集積されたマンガン酸化培養系における低栄養細菌群の役割
3. 学会等名 第57回日本水処理生物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田直幸
2. 発表標題 坑廃水の生物処理 低栄養性の視点
3. 学会等名 環境資源工学会Webシンポジウム「休廃止鉱山のグリーン・レメディエーションに関わる研究の最前線」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田直幸
2. 発表標題 マンガン酸化菌利用処理技術の実用化に向けた検討
3. 学会等名 日本生態学会関東地区会公開オンラインシンポジウム - 休廃止鉱山の坑廃水処理のGreen Remediationを考える（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊美穂、簾内君仁、岡野邦宏、宮田直幸
2. 発表標題 重金属処理槽における従属栄養マンガン酸化細菌への有機物供給プロセス
3. 学会等名 環境資源工学会Webシンポジウム「若手研究者・実務者の取り組みによる休廃止鉱山と土壌の環境保全」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田直幸、簾内君仁、渡邊美穂、岡野邦宏、藤林恵、佐藤由也、淵田茂司、所千晴
2. 発表標題 有機性基質無添加条件で集積したマンガン酸化培養系とマンガン酸化に関与する細菌群の特徴
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022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	渡邊 美穂 (Watanabe Miho) (70867184)	秋田県立大学・生物資源科学部・助教 (21401)	
研究分担者	佐藤 由也 (Sato Yuya) (80711291)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	所 千晴 (Tokoro Chiharu) (90386615)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

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0件

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