

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H03503
研究課題名(和文)酸性鉱山廃水発生防止のためのキャリアマイクロエンカプセレーション技術の新展開

研究課題名(英文) New development on carrier micro-encapsulation for preventing acid mine drainage formation

研究代表者
廣吉 直樹 (Hiroyoshi, Naoki)
北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：50250486
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：酸性鉱山廃水の発生原因となる黄鉄鉱の酸化溶解を防止する新しい技術として、金属イオン錯体を用いて鉱物表面に保護被膜を生成するキャリアマイクロエンカプセレーションについて研究した。鉱山の操業現場で入手・利用しやすいAlやFeイオンのカテコール錯体を用いた新規の手法を電気化学実験や表面分析などにより検討し、保護被膜の生成と黄鉄鉱酸化抑制の効果を確かめた。2種類の金属イオン(TiとFeイオン)のカテコール錯体を共存させると、どちらか一方の錯体を用いた場合よりも耐酸性に優れた被膜が生成した。この被膜は鉱物表面を被覆して溶存酸素の還元反応の速度を低下させ、黄鉄鉱の酸化溶解を抑制した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭鉱や金属の鉱山開発に際して、鉱床中の黄鉄鉱が露出して空気(酸素)や水に曝されて酸化溶解すると、硫酸が生成して共存鉱物から有害な重金属類を溶かし出す。このようにして発生する酸性鉱山廃水は、対策が講じられない場合には鉱山周辺の水や土壌を汚染して深刻な環境問題を引き起こす。ひとたび酸性鉱山廃水が発生すると中和処理などの水処理を鉱山の休廃止後も長年に渡って継続する必要がある、大きな経済的損失を招く。本研究は、鉱山酸性廃水発生の原因となる黄鉄鉱の酸化溶解反応を抑制する新しい方法を提案して、その効果を検証しており、鉱山開発に伴う環境問題を解決し、鉱物資源の持続的な供給システムを構築することに寄与する。

研究成果の概要(英文)：Carrier micro-encapsulation (CME) was studied as a new method to suppress oxidative dissolution of pyrite, causing the formation of acid mine drainage. A novel technique of CME using Fe or Al ions, which are easy to be obtained at mine site, was proposed and its suppressive effects on pyrite dissolution was confirmed based on electrochemical studies and surface analysis. When Ti and Fe-catecholate complexes coexisted, a high acid resistant protective coating was formed on pyrite surface, and it suppressed cathodic reduction of oxygen on the mineral surface and pyrite oxidation.

研究分野：資源工学

キーワード：酸性鉱山廃水 黄鉄鉱 カテコール 鉄 チタニウム アルミニウム 保護被膜 酸化還元

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1. 研究の背景

石炭や銅、鉛、亜鉛などの鉱山の鉱床には黄鉄鉱 (FeS_2) が含まれることが多い。鉱山開発に伴って、黄鉄鉱が地上に露出して空気(酸素)や水に曝されるようになると、酸化溶解して硫酸 (H_2SO_4) が生成し、共存鉱物から有害な重金属類を溶かし出す。このようにして発生する酸性鉱山廃水 (Acid mine drainage) は、対策が講じられない場合には鉱山周辺の水や土壌を汚染して深刻な環境問題を引き起こす。酸性鉱山廃水が発生すると中和処理などの水処理が必要になるが、この処理は鉱山の休廃止後も長年に渡って継続する必要がある、大きな経済損失を招く。黄鉄鉱の酸化溶解反応を抑制することができれば、酸性鉱山廃水は発生しなくなるので上述の問題を抜本的に解決できる。

このような方法(黄鉄鉱の酸化を抑制する方法)のひとつとして、キャリアマイクロエンカプセレーション (Carrier-microencapsulation, CME 以下では CME と略記) がある。この方法では、水に溶けにくい Si^{4+} や Ti^{4+} などの無機陽イオンをキャリアとなる有機配位子に結合させて可溶化し、黄鉄鉱の表面で生じる自発的な酸化反応で有機キャリアを分解して、 SiO_2 や TiO_2 などの薄膜を生成させて鉱物表面を被覆し、空気・水との接触を妨げる(図 1)。研究代表者の廣吉は、科学研究費補助金「キャリアマイクロエンカプセレーション ～鉱山汚濁水発生防止のための新しい方法～ (2005-2006 年度, 萌芽研究)」および「選択的薄膜形成技術を用いた石炭脱硫浮選の高効率化と酸性鉱山廃水の発生抑制」(2008-2010 年度, 基盤研究(B)) において CME の概念を提案して研究を進め、カテコール (1,2-dihydroxybenzene, $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$) をキャリアに用いて黄鉄鉱を TiO_2 , SiO_2 の薄膜で被覆し、黄鉄鉱の酸化溶解反応を抑制できることを確認した。また、黄鉄鉱の酸化溶解反応の抑制のみならず、黄鉄鉱と石炭の選別(浮選分離)にも CME が有効に利用できることを明らかにした。

以上のように CME 技術の基礎はすでに出てきているが、実用化にあたっては解決すべき課題が存在する。最も大きな課題は、これまでに開発した CME で用いてきた Ti^{4+} などの金属イオンは、鉱山の操業現場で入手・準備することが困難な点にある。原理的には、鉱石中に存在するこれらのイオンをカテコールにより現場で抽出することは可能だが、抽出量には限度がある。また、カテコールを有機キャリアに用いて CME を実施する際には、 Ti^{4+} の他の共存金属イオンのカテコールの錯体も生じることが予想され、それら複数の錯体の下で生じる被膜の性状に関する理解も適切なプロセス設計において必要になる。

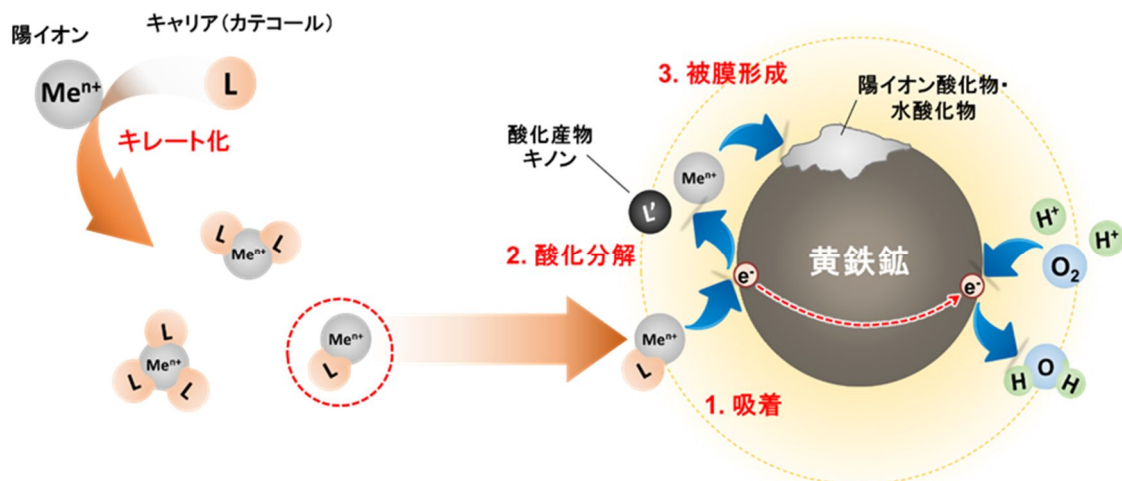


図1 キャリアマイクロエンカプセレーションの概念図

2. 研究の目的

鉱山の廃水中には、黄鉄鉱の酸化に伴って生成する鉄イオン (Fe^{3+}) や、粘土鉱物などから溶け出してくるアルミニウムイオン (Al^{3+}) などの金属イオンが多く含まれている。そこで、本研究では、鉱山の操業現場で比較的利用しやすい Fe^{3+} や Al^{3+} などの金属イオンとカテコールとの錯体を用いて、黄鉄鉱酸化抑制のための保護被膜を生成する、実用的で汎用性の高い CME 技術を開発することを目的として研究を行った。

Fe^{3+} や Al^{3+} などの3価イオンは、従来の CME 技術で研究されてきた4価イオン (Ti^{4+} や Si^{4+}) と比べると、価数が小さいので、 O^{2-} や OH^- を引き付ける静電的力が弱く、黄鉄鉱の表面に形成される酸化物や水酸化物の薄膜が安定に存在できる pH 域は狭くなる。この点を考慮し、3価イオンを用いた CME を適用できる pH 域などの条件を明らかにすることに特に留意して研究を進めるとともに、より高い安定性を被膜に付与することを目指して、単独の金属イオンのみならず複数のイオンを含んだ CME 技術についても検討した。

3. 研究の方法

本研究では、 Fe^{3+} などを利用した実用的な CME 技術を開発するため、各種実験と理論的考察を実施した。初めに、熱力学や量子化学などに基づく理論計算、可視紫外光吸収スペクトル分析などの溶液分析、電気化学測定（サイクリックボルタンメトリー、電気化学インピーダンス測定など）、各種表面分析、浸出実験などを組み合わせて、本研究の主な対象となる Fe^{3+} などのカテコール錯体と、従来の CME 研究の対象であった Ti^{4+} カテコール錯体の熱力学的性質、電気化学的特性、黄鉄鉱酸化反応に及ぼす効果などを調べて比較した。次いで、複数の金属イオン（例えば Ti^{4+} と Fe^{3+} ）を含む被膜を生成する方法を開発することを目指して、複数カテコール錯体を含む溶液から定電位アノード酸化により白金電極の表面に被膜を生成させて、その性質（電気化学インピーダンス、酸化還元特性、耐酸性）を電気化学測定と表面分析で詳細に調べた。最後に、定電位アノード酸化により Fe^{3+} 錯体と Ti^{4+} 錯体が共存する溶液から黄鉄鉱電極上に被膜を生成させ、黄鉄鉱酸化に関わる 2 つの半電池反応（黄鉄鉱のアノード溶解、黄鉄鉱上での溶存酸素のカソード還元）に及ぼす被膜の効果を調べた。

4. 研究成果

(1) 各種金属イオンのカテコール錯体の熱力学的性質と電気化学特性の比較

本研究は、鉱山の現場で利用しやすい Fe^{3+} や Al^{3+} などを被膜の原料とする新しい CME 技術を開発することを目的としている。このことを踏まえ、はじめに、これらのイオンのカテコール錯体と、従来の CME 研究で用いられてきた Ti^{4+} カテコール錯体の熱力学的性質や電気化学的特性を比較した。

熱力学計算と溶液分析（可視紫外吸収スペクトル測定）の結果、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} とカテコールを含む溶液中には、pH に応じて金属イオンとカテコールが 1:1、1:2、1:3 のモル比で結合した錯体が存在することが確認された。CME では錯体の酸化分解が引き金となって被膜が生成するので、電気化学実験（白金電極を作用電極に用いたリニアスイープボルタンメトリー）により、これらの錯体の酸化分解特性を検討したところ、電極電位の上昇に伴って 1:3 型錯体は 1:2 型錯体に、1:2 型錯体は 1:1 型錯体に逐次的に分解され、最終的に 1:1 型錯体の分解により金属イオンが放出されることが示された。これに対して従来の CME 研究で用いられてきた Ti^{4+} とカテコールの組み合わせでは 1:3 型の錯体しか存在せず、その酸化分解反応は一段階であった。以上の結果は、一例として図 2 に示した、 Fe^{3+} および Ti^{4+} カテコール錯体の熱力学計算の結果（Speciation diagram）と電気化学実験の結果（アノード分極曲線）で確かめることができる。

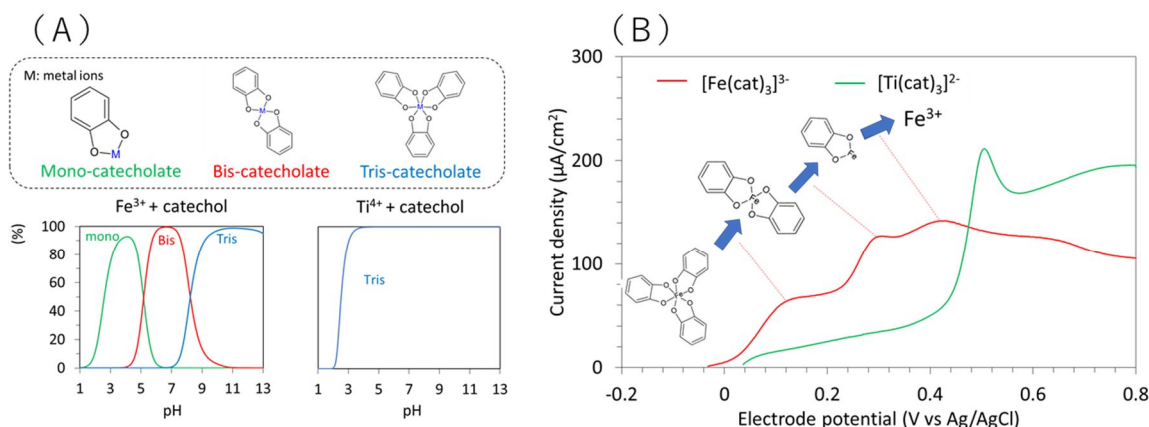


図 2 Fe^{3+} カテコール錯体および Ti^{4+} カテコール錯体の熱力学的性質と電気化学特性の比較：(A) Speciation diagram（金属イオン濃度 1mM、カテコール濃度 3mM）、(B)アノード分極曲線（金属イオン濃度 1mM、カテコール濃度 3mM, pH10）

Fe^{3+} カテコール錯体と Ti^{4+} カテコール錯体の性質の差異（錯体化学種の数、酸化分解特性の違い）を理解するため、分子軌道法による数値計算を実施した。その結果、 Fe^{3+} カテコール錯体では、最高被占軌道（HOMO）のエネルギー準位が 1:3 錯体、1:2 錯体、1:1 錯体の順に低くなっており、これらの錯体がこの順で逐次的に酸化分解される実験結果と対応することが確かめられた。一方、 Ti^{4+} カテコール錯体の場合、1:1 錯体、1:2 錯体は、HOMO エネルギー準位が 1:3 錯体のそれよりも高く、不安定で存在できないことが分かった。 Ti^{4+} とカテコールの 1:3 錯体が、1:2 錯体や 1:1 錯体を経ずに一段階で酸化分解されるのはこのためである。

Fe^{3+} や Al^{3+} のカテコール錯体の水溶液に白金電極や黄鉄鉱電極を浸漬してアノード定電位電解を行い、電極表面を SEM - EDX などの手法で調べたところ、電極表面に金属酸化物あるいは水酸化物の薄膜が形成されることが確かめられた。黄鉄鉱の粉末試料を用いた浸出実験を実施した結果、黄鉄鉱の酸化に伴う硫酸イオンの生成量は、金属イオンカテコール錯体を添加した場

合には無添加の場合よりも少なくなり、 Fe^{3+} や Al^{3+} のカテコール錯体を用いた CME が黄鉄鉱の酸化溶解反応の抑制に有効なことが確かめられた。

(2) 複数の金属イオンカテコールが共存する場合の被膜生成

前節の結果は、 Fe^{3+} や Al^{3+} のカテコール錯体の溶液中では、黄鉄鉱表面にこれらの金属イオンの酸化物あるいは水酸化物の被膜が生成し、これが黄鉄鉱の酸化溶解反応の抑制に有効なことを示している。しかし、 Fe^{3+} や Al^{3+} などの3価イオンは、従来のCME研究で用いられてきた4価イオン(Ti^{4+} や Si^{4+})と比べると価数が小さいので、 O^{2-} や OH^- を引き付ける静電的な力が弱く、その酸化物や水酸化物は不安定で酸性領域で容易に溶解・消失する。このような酸性領域での不安定性は、酸性鉱山廃水の発生抑制を目的とした被膜の性質として不満足なものである。このことを勘案して、本研究の第2段階では、酸性領域での安定性の高い被膜を開発することを旨として、例えばフェライト(FeMO_4)やチタン鉄鉱(TiFeO_3)などのように、2種類の金属イオンを構成要素とする酸化物の被膜をカテコール錯体から生成する方法を電気化学実験と表面分析(SEM-EDX観察)などの手法を組み合わせて検討した。

はじめに、フェライト系被膜の生成条件を明らかにすることを念頭に置いて、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} などの2価金属イオンと Fe^{3+} のカテコール錯体を組み合わせた系について予備的な検討を行った。白金電極上で金属錯体をアノード分解して被膜を形成させ、SEM-EDXで被膜の性状を観察したところ、 Cu^{2+} と Fe^{3+} を組み合わせた場合には均質な被膜が形成され、 Cu 、 Fe 、 O が同一個所に析出していたが、 Ni^{2+} と Fe^{3+} を組み合わせた場合には Ni と Fe の析出場所が異なっていた。各錯体のサイクリックボルタムメトリの結果によると、 Cu^{2+} カテコール錯体と Fe^{3+} カテコール錯体の酸化分解電位は比較的近いので、これらの錯体の組み合わせでは電極上への析出がほぼ同時に起こって均質な膜が生成するが、 Ni^{2+} カテコール錯体の酸化分解電位は Fe^{3+} カテコール錯体の酸化分解電位よりもはるかに高いので、 Fe^{3+} の水酸化物の析出が Ni^{2+} の水酸化物の析出に先立ち、膜が不均質になったものと推定した。

電気化学測定の結果によると、 Fe^{3+} と Ti^{4+} のカテコール錯体は、金属イオンの放出を伴う最終的な酸化分解電位が比較的近接している。このことを踏まえて、 Fe^{3+} と Ti^{4+} のカテコール錯体が共存する場合の被膜生成に関して電気化学実験と表面分析により詳細に検討した。定電位アノード酸化により、 Ti^{4+} カテコール錯体と Fe^{3+} カテコール錯体を含む溶液から白金電極の表面に被膜を生成させて、その性質を調べたところ、これら2種の金属錯体が共存する場合には、いずれか一方のみが存在する場合とは電気化学インピーダンス、酸化還元特性、耐酸性の異なる被膜が生成した。具体的には、両錯体が共存する場合には、 Fe^{3+} カテコール錯体のみを含む場合よりも、膜抵抗は小さいが、酸化還元されにくく、耐酸性に優れた被膜が生成することが分かった。 Fe^{3+} と Ti^{4+} のカテコール錯体を含む溶液(pH10)に黄鉄鉱粉末を懸濁して、溶存 Fe と Ti 濃度の経時変化を調べたところ、双方の錯体が共存すると、いずれか一方のみを含む場合よりも Fe や Ti の濃度の低下速度が速くなり、黄鉄鉱の表面には Ti と Fe が均質に分布した被膜が生成した。熱力学的な観点から検討したところ、両錯体が共存する場合には、どちらか一方の錯体のみが存在するときに生成し得る TiO_2 や Fe_2O_3 よりも安定な TiFeO_3 が生成して来る可能性があるものと推察された(図3)。

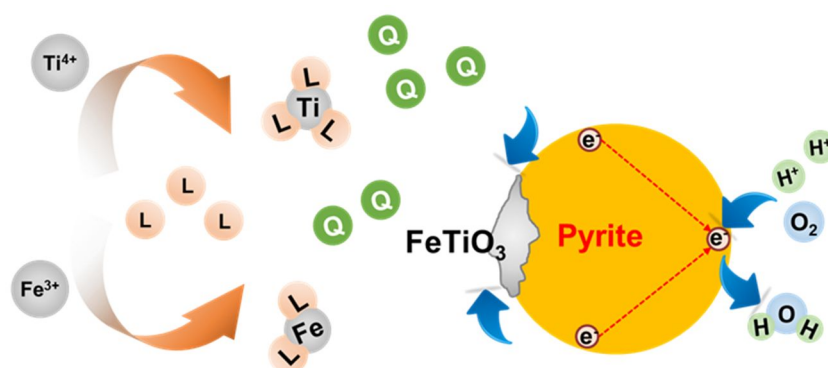
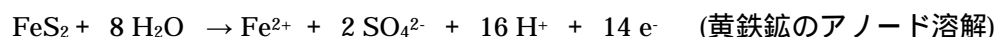


図3 Ti^{4+} カテコール錯体と Fe^{3+} カテコール錯体が共存する場合の耐酸性被膜の生成機構

(3) 黄鉄鉱の酸化溶解反応に及ぼす各種CMEの効果

黄鉄鉱の酸化溶解は、電気化学的な反応であり、以下の2つの半電池反応の組み合わせで起こる。



CMEで生成した被膜がこれらの半電池反応に及ぼす影響を電気化学実験で検討した。初めに、

黄鉄鉱電極の表面に被膜を生成させるため、カテコール錯体を含んだ電解液（金属イオン濃度 5 mM，カテコール濃度 30 mM，電解質 0.1 M NaNO₃，pH8）中で黄鉄鉱電極をアノード電解処理（印加電圧+0.5 V，25℃，窒素雰囲気，1 h）した。この被膜処理を施した黄鉄鉱電極を洗浄した後，定電位アノード電解実験（0.1 M NaNO₃ 溶液，印加電圧 0.5 V，窒素雰囲気）と定電位カソード電解実験（印加電圧 0.2 V，空気雰囲気，攪拌条件）を行い，黄鉄鉱の酸化溶解の関わる 2 つの半電池反応に対する被膜の効果を調べた。比較のため，錯体を含まない 0.1 M NaNO₃ 溶液中で被覆処理と同条件の電解処理を施した黄鉄鉱電極を用いた実験（以下では Control 1 と表記）も行った。またカテコールが及ぼす影響も確認するためカテコールと 0.1 M NaNO₃ 溶液を用いて同様の実験（以下では Control 2 と表記）を行った。この結果，CME により生じる被膜は主として黄鉄鉱上の酸素のカソード還元反応を抑制することが分かった。図 4 に示すように，金属錯体溶液中で被覆処理を施した電極を用いた場合の電流密度は Control 実験と比較して小さかった。このことは，電極上に形成された被膜が溶存酸素のカソード還元反応を抑制することを示している。特に，Ti⁴⁺錯体と Fe³⁺錯体の双方が共存する溶液中で被覆処理を施した電極では，どちらか一方のみが存在する溶液中で被膜を形成した時と比べて電流密度が小さかった。このことは，Ti⁴⁺と Fe³⁺のカテコール錯体が共存する場合に生成する被膜が黄鉄鉱表面での酸素のカソード還元に対して最も高い抑制効果を持つことを示している。

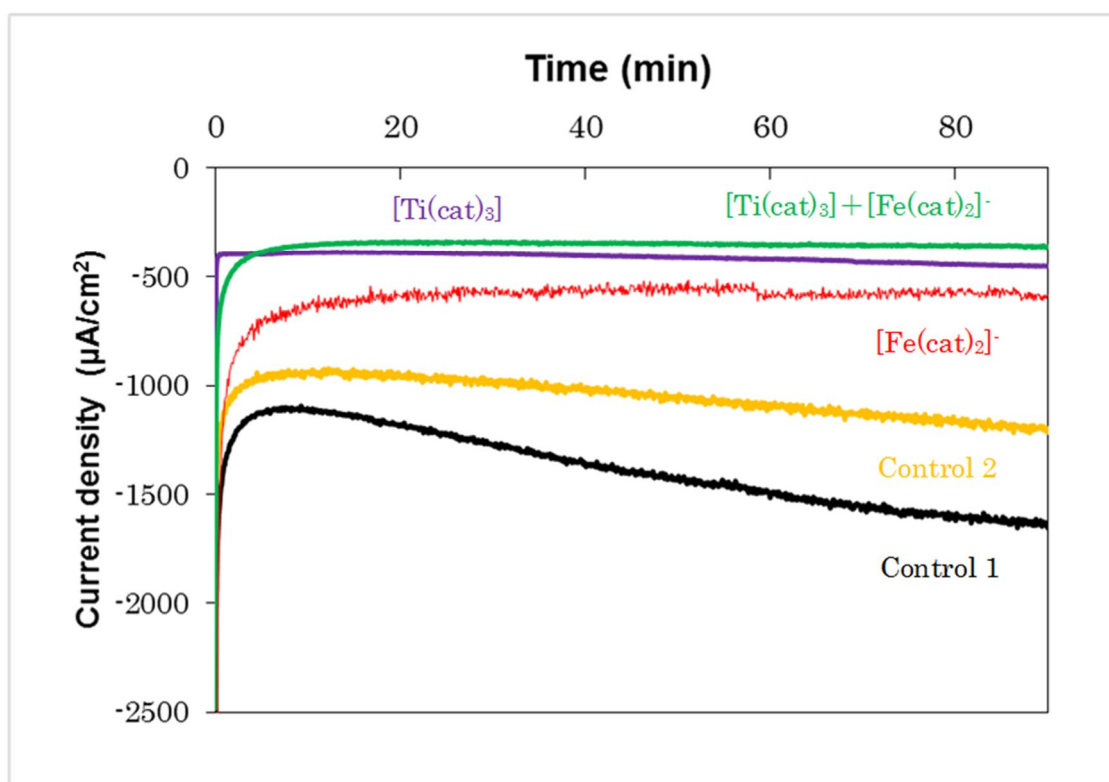


図 4 黄鉄鉱表面での酸素カソード還元反応に及ぼす各種 CME 処理の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Park Ilhwan, Tabelin Carlito Baltazar, Seno Kensuke, Jeon Sanghee, Ito Mayumi, Hiroyoshi Naoki	4. 巻 205
2. 論文標題 Simultaneous suppression of acid mine drainage formation and arsenic release by Carrier-microencapsulation using aluminum-catecholate complexes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 414 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.088	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 Li Xinlong, Hiroyoshi Naoki, Tabelin Carlito Baltazar, Naruwa Kosuke, Harada Chie, Ito Mayumi	4. 巻 214
2. 論文標題 Suppressive effects of ferric-catecholate complexes on pyrite oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 70 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.086	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 Seno Kensuke, Park Ilhwan, Tabelin Carlito, Magaribuchi Kagehiro, Ito Mayumi, Hiroyoshi Naoki	4. 巻 268
2. 論文標題 Carrier-microencapsulation using Al-catecholate complex to suppress arsenopyrite oxidation: Evaluation of the coating stability under simulated weathering conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 06002 ~ 06002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1051/mateconf/201926806002	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 Park Ilhwan, Tabelin Carlito, Inano Hiroyuki, Seno Kensuke, Higuchi Kazuki, Ito Mayumi, Hiroyoshi Naoki	4. 巻 268
2. 論文標題 Formation of surface protective coatings on arsenopyrite using Al-catecholate complex and its mode of inhibition of arsenopyrite oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 06015 ~ 06015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1051/mateconf/201926806015	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 Park Ilhwan, Tabelin Carlito Baltazar, Magaribuchi Kagehiro, Seno Kensuke, Ito Mayumi, Hiroyoshi Naoki	4. 巻 344
2. 論文標題 Suppression of the release of arsenic from arsenopyrite by carrier-microencapsulation using Ti-catechol complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Hazardous Materials	6. 最初と最後の頁 322 ~ 332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhazmat.2017.10.025	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8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Ilhwan Park, Carlito Baltazar Tabelin, Kensuke Seno, Kagehiro Magaribuchi, Mayumi Ito, Naoki Hiroyoshi
2. 発表標題 Suppression of the release of arsenic from arsenopyrite by titanium- and aluminum-based carrier-microencapsulation
3. 学会等名 Geo-Environmental Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xinlong Li, Chie Harada, Ilhwan Park, Naoki Hiroyoshi, Carlito Baltazar Tabelin, Mayumi Ito
2. 発表標題 Comparison of electrochemical properties of various metal-catecholate complexes for carrier-microencapsulation
3. 学会等名 Geo-Environmental Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xinlong Li, Kosuke Naruwa, Naoki Hiroyoshi, Carlito Baltazar Tabelin, Mayumi Ito
2. 発表標題 The Redox Properties of Metal Complexes with Catechol and its Derivatives
3. 学会等名 MMIJ&EARTH 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ilhwan Park, Kensuke Seno, Kagehiro Magaribuchi, Carlito Baltazar Tabelin, Mayumi Ito, Naoki Hiroyoshi
2. 発表標題 Carrier-microencapsulation using Al-catechol complex for suppressing arsenic release from arsenopyrite
3. 学会等名 MMIJ&EARTH 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Xinlong Li, Chie Harada, Ilhwan Park, Naoki Hiroyoshi, Carlito B. Tabelin and Mayumi Ito
2. 発表標題 Comparison of Electrochemical Properties of Various Metal-catecholate Complexes for Carrier-microencapsulation
3. 学会等名 17th Global Joint Seminar on Geo-Environmental Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Li, X., Naruwa, K., Tabelin, C.B., Ito, M. and Hiroyoshi, N.
2. 発表標題 EFFECTS OF ADDITIONAL ORGANIC FUNCTIONAL GROUPS ON THE REDOX PROPERTIES OF METAL-CATECHOLATE COMPLEXES
3. 学会等名 1st International KAMPAI Symposium on Sustainable Management of Resources and Environment in the 21st Century (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ilhwan Park, Kensuke Seno, Carlito Baltazar Tabelin, Mayumi Ito, Naoki Hiroyoshi
2. 発表標題 Suppressive effects of aluminum-catechol complexes on the release of arsenic from arsenopyrite
3. 学会等名 1st International KAMPAI Symposium on Sustainable Management of Resources and Environment in the 21st Century (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ilhwan Park, Carlito Baltazar Tabelin, Kensuke Seno, Kagehiro Magaribuchi, Mayumi Ito, Naoki Hiroyoshi
2. 発表標題 Effects of aluminum-catechol complexes on pyrite oxidation
3. 学会等名 Effects of aluminum-catechol complexes on pyrite oxidation (国際学会)
4. 発表年 2017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	伊藤 真由美 (Ito Mayumi) (10339690)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	タベリン カーリット (Tbelin Carlito) (60626125)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	