

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02333

研究課題名(和文) 高ヒ素含有銅鉱石ミネラルプロセッシングのイノベーション

研究課題名(英文) Innovation of mineral processing technology for arsenic removal from copper ore

研究代表者

平島 剛 (Hirajima, Tsuyoshi)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：00175556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：鉱物表面の酸化を利用して浮選で銅鉱石と高ヒ素含有銅鉱石、輝水鉛鉱等を分離回収可能であることを明らかにした。また、浮選分離が困難な高ヒ素含有銅鉱石(主に黄銅鉱と含ヒ素硫化鉱物)については、新規に見出した加熱処理・磁力選別法により分離が可能であることを示した。加熱法としてはマイクロ波加熱も有効であった。さらに、高ヒ素含有銅鉱物をバイオ・ケミカルリーチングによりCu回収し、Asをスコロダイト化する機構を明らかにした。石炭改質液を利用した酸性鉱山廃水抑制のための硫化鉱物の安価なマイクロカプセル化処理法を提案し効果的であることを示した。これらの結果から最適処理フローを示した。

研究成果の概要(英文)：We clarified that the copper sulfide minerals, high arsenic containing copper minerals, and molybdenite can be separated by flotation using oxidation of the mineral surface. In addition, it was shown that high arsenic containing copper mineral which is difficult to separate by flotation, can be separated from copper sulfide minerals by newly developed heat treatment / magnetic separation method. As a heating method, microwave heating was also effective. In addition, we revealed the mechanism of scorodite formation and Cu recovery by bioleaching and/or chemical leaching of high arsenic containing copper mineral. We suggested an inexpensive carrier microencapsulation method of sulfide minerals for suppressing acidic mine drainage using hydrothermal treatment liquid of low rank coal and showed it is effective. Based on these results, the optimal process flow for mineral processing of high arsenic containing copper minerals is proposed.

研究分野：資源処理工学

キーワード：ヒ素含有銅鉱石 分離 銅 ヒ素 浮選 磁選 リーチング スコロダイト

1. 研究開始当初の背景

銅鉱石の世界の可採鉱量は、約6億9千万トン(2011年版 Mineral Commodity Summaries)とされており、国別の可採鉱量はチリが最も多く全体の28%、ペルーが2位で13%と中南米に多くの銅が分布している。日本の銅精錬所は、約500万トンの精鉱を輸入し、150万トンの銅地金を生産している。近年、銅鉱石の需要の増大にともない良質な銅鉱石は減少し、銅鉱石中の不純物、特にヒ素品位は年々増加傾向にある。ヒ素含有銅鉱物(ヒ四面銅鉱、硫ヒ銅鉱等)と黄銅鉱などの分離は、表面性状が類似しているため困難で、得られる銅精鉱中のヒ素品位も徐々に高くなってきており、製錬過程でスラグ固定処理が追いつかない場合も生じてきている。そのため、高ヒ素含有銅鉱石(ヒ四面銅鉱、硫ヒ銅鉱等を高濃度に含有)からの有価資源回収と有害尾鉱や廃水等の無害化処理は世界的に重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、各種表面改質及び浮選システムを構築、最適浮選分離条件及び新規選別法を確立し、高ヒ素含有銅鉱石から銅鉱物(主に黄銅鉱、斑銅鉱)-輝水鉛鉱混合精鉱を分離回収した後、銅鉱物と輝水鉛鉱を新規方法により分離回収する。ヒ四面銅鉱及び硫ヒ銅鉱は、その後、微生物-電位制御処理により、銅の浸出を促進、一方ヒ素はスコロダイト等として不動化する。黄鉄鉱、硫砒鉄鉱を含む浮選尾鉱からの酸性鉱山廃水を抑制するために、安価で適切なマイクロカプセル化処理方法を示し、未利用の高ヒ素含有銅鉱石をも利用可能とするシーケンシャル有価物回収・廃棄物固定化技術を開発する。

3. 研究の方法

試料として、種々の産地から入手する黄銅鉱、斑銅鉱、輝銅鉱、硫ヒ銅鉱、ヒ四面銅鉱、四面銅鉱、硫ヒ鉄鉱、輝水鉛鉱、チリの2,3の鉱山から入手する未利用高ヒ素含有銅鉱石、選鉱原鉱と各種精鉱を用いる。

1)浮選試験(チリ等では淡水が高価なため、海水の浮選に及ぼす影響についても一部検討する。)

・各種酸化法による純粋鉱物の表面改質と濡れ性評価

・高速度カメラによる各種条件下における鉱物と気泡の付着挙動解析ソフト開発及び開発ソフトを用いた付着挙動把握

・各種浮選試薬添加条件下における小型浮選機による浮選試験と浮選メカニズムの解析、最適浮選システムの構築について検討

2)加熱酸化・磁力選別による各種硫化鉱物の新規分離法の検討

・熱重量・示差熱 TG-DTA 測定

・電気炉加熱酸化・磁力選別による各種鉱物

の選別可能性について検討

・マイクロ波加熱処理・磁力選別による各種鉱物の選別可能性について検討

3)溶液酸化還元電位調節によるケミカルリーチング法、バクテリアリーチング法の最適化について検討

・含ヒ素硫化銅鉱からの銅回収及びヒ素不動化、廃水処理についての最適条件、メカニズムについてそれぞれ研究

4)硫化鉱物からの有害酸性鉱山廃水抑制

・低品位炭改質液中のカテコール廃液を利用し、カテコール-Si錯体を用いた酸性鉱山廃水抑制処理条件の検討及び電気化学的手法による安定性確認試験

4. 研究成果

高速度カメラを用いた微細気泡と鉱物のカラム型付着挙動解析システムとソフトを開発した。淡水、海水下での気泡と鉱物との衝突・付着挙動を本解析ソフトを用いて解析するとともに海水中の主要な陽イオンであるCa、Mg濃度、pHなどの浮選に及ぼす影響について検討を行った。その結果、アルカリ条件下では最初に $Mg(OH)_2$ の沈殿、その次に主に $CaCO_3$ の沈殿生成が起こり粒子表面を親水化すること、輝水鉛鉱のような層状構造を持つ鉱物の場合、エッジ部分が先に親水化されること、これら沈殿物はアルカリ領域で正のゼータ電位を示すことから、負の電位を持つ鉱物に付着し正に帯電させること、付着物量の差を利用し選択浮選が可能であることが分かった。さらに、酸素、プラズマ、オゾンおよび H_2O_2 などによる表面酸化の浮選に及ぼす影響について各種検討を行った。表面酸化により黄銅鉱表面には $FeOOH$ 、 $Cu(OH)_2$ が形成され親水化するのに対し、 MoS_2 はほとんど酸化されず疎水性を保つことが分かった。なお、XAFS解析から、Cu成分の化学状態にはほとんど変化が見られず、Fe成分の化学状態が鋭敏に状態変化が起こっていることが明らかになった。含ヒ素鉱物も酸化され親水化はするが、その程度が黄銅鉱とは異なるため適切な表面処理・浮選条件を設定することで浮選分離可能であることを確認した。 H_2O_2 を用いた表面酸化によるCu-Mo分離浮選結果より、従来法であるNaHS法とほぼ同等の結果が得られることを明らかにした。

硫化鉱物と各種含ヒ素硫化鉱物の分離を目的として電気炉またはマイクロウェーブにより加熱酸化した後、磁力選別する新規分離方法について検討を行った。鉄を含む硫化鉱物は加熱酸化により、鉱物表面に磁鉄鉱などの磁化率が高い鉱物が生成され、鉄を含まない含ヒ素硫化鉱物との分離が可能であることが分かった。黄銅鉱の磁性は、約400以上で増大するがそれ以外の鉱物の磁性はあまり増大しないことが明らかとなった。また、シングルモード導波管を用いたマイクロ波処理実験では、一部の鉱物を除きほとんどの鉱物は電界成分で加熱されることがわか

った。純粋鉱物を用い加熱処理・磁力選別を行い黄銅鉱とヒ素鉱物の分離が可能であることを明らかにした。

含ヒ素硫化銅鉱物の浸出反応の電位依存性を浸出実験および電気化学的手法により調べ、硫ヒ銅鉱の浸出は電位依存性を示すこと、電位制御と銀添加により硫ヒ銅鉱の高速浸出が可能であることを明らかにした。銀添加によるケミカルリーチングの最適条件下では、30-24時間でCu浸出率75%を達成した。

銀触媒を用いた硫砒銅鉱の低温域バイオリーチングについて一連の実験を行った結果、45℃にて銀触媒無添加の系でCu浸出率43%、Fe浸出率100%であったのに対し、Ag₂S添加系(0.04%)にて、最終Cu回収率96%を達成し、Feの溶出が29%に抑制され、さらに52%のAs不動化が確認された。Fe溶出抑制に伴う低Eh維持により、硫砒銅鉱の溶解が促進されたと考えられる。また硫砒銅鉱表面にtrisilver arsenic sulfideの生成が確認された。また、ヒ素含有廃液処理のためのバイオスコロダイト法に関する一連の実験の結果、スコロダイト化が難しいとされる低As(III)濃度域(>250 ppm)においても鉄ヒ素比および種結晶の添加条件を最適化することにより、ヒ素の固定化に成功した。また、スコロダイト種結晶の成長過程をモニタリングすることで、バイオスコロダイトの種結晶としての優位性および安定性における優位性を示した。さらに、硫酸イオンがバイオスコロダイト生成に及ぼす影響およびバイオスコロダイト生成機構について考察を行うための一連の実験を行った。FTIR/TG-DTA/XAFS分析により、黄褐色の非晶質前駆体が2種類の沈殿により構成されることが示された。まず、1段階目のAs濃度減少では、jarosite型水酸化硫酸第二鉄(MFex(SO4)y(OH)z)および非晶質ferric arsenateが生成し、数日に渡って溶解・再結晶が行われた。その後、水酸化硫酸第二鉄の溶解およびferric arsenateの粗大化が進行し、結晶性バイオスコロダイトの生成が進んだ。水酸化硫酸第二鉄を含む前駆体の生成がバイオスコロダイト生成に大きく寄与していることが示された。

銅などの有用物を含まない含ヒ素硫化銅鉱物、硫ヒ鉄鉱などは、脈石として分離後安定して堆積池などに固定化することが望ましいが、実際は、脈石中に含まれる黄鉄鉱が酸化溶解し、酸性鉱山廃水として硫ヒ鉄鉱なども溶解してしまうことが知られている。Carrier Micro Encapsulation(CME)の低コスト処理を可能にするために低品位炭の水熱処理により排出されるカテコールを含む廃液(H.T.liquid)とSi試薬との混合溶液(H.T.liquid-Si)で黄鉄鉱を処理し、黄鉄鉱の長期溶出試験を鉄酸化細菌存在下で行なった(図1)。H.T.liquid-Siで黄鉄鉱を処理したものは、未処理の黄鉄鉱、カテコール

試薬とSi試薬混合溶液(Catechol-Si)で処理したものより強い溶出抑制を示すことを明らかにした。さらに、各種電気化学的手法(電位走査法、定電位測定法、インピーダンス分析法)を用いてSi被覆処理後の黄鉄鉱溶出抑制に関する挙動の解析と機構の解明を行った。本研究の成果により、2017年度資源・素材学会論文賞を受賞した。

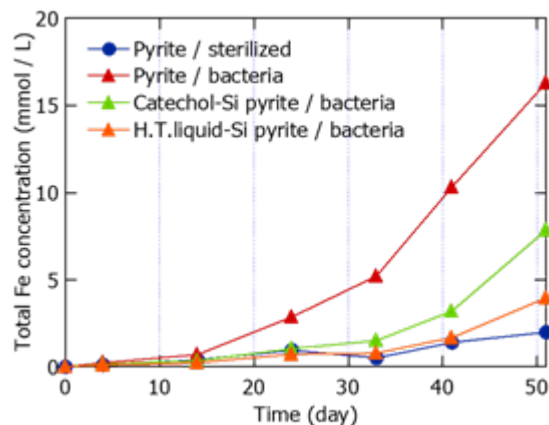


図1 黄鉄鉱浸出の経時変化

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19件)

1. Gde Pandhe Wisnu Suyantara, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Floatability of molybdenite and chalcopyrite in artificial seawater, Minerals Engineering, 査読有, Vol.115, 2018, 117-130, DOI:10.1016/j.mineng.2017.10.004
2. Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Masashi YAMANE, Eri TAKIDA, Shigeto KUROIWA, Yuji IMAIZUMI, Selective flotation of chalcopyrite and molybdenite using H₂O₂ oxidation method with the addition of ferrous sulfate, Minerals Engineering, 査読有, Vol.122, 2018, 312-326, DOI:10.1016/j.mineng.2018.02.005
3. Masahito TANAKA, Naoko OKIBE, Factors to Enable Crystallization of Environmentally Stable Bioscorodite from Dilute As(III)-Contaminated Waters, Minerals, 査読有, Vol.8, Issue 1, 2018, Open Access, DOI:10.3390/min8010023
4. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Hidekazu MATSUOKA, Ahmed Mohamed

- ELMAHDY, Keiko SASAKI, Yuji IMAIZUMI, Shigeto KUROIWA, Selective Flotation of Chalcopyrite and Molybdenite with H₂O₂ Oxidation, Minerals Engineering, 査読有, Vol.100, 2017, 83-92, DOI:10.1016/j.mineng.2016.10.007
5. Naoko OKIBE, Shiori MORISHITA, Masahito TANAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Kazuhiro HATANNO, Atsuko OHATA, Bioscorodite Crystallization using Acidianus brierleyi: Effects Caused by Cu(II) Present in As(III)-bearing Copper Refinery Wastewaters, Hydrometallurgy, 査読有, Vol.168, 2017, 121-126, DOI:10.1016/j.hydromet.2016.07.003
 6. Hajime MIKI, Hidekazu MATSUOKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Keiko SASAKI, Electrolysis Oxidation of Chalcopyrite and Molybdenite for Selective Flotation, Materials Transactions, 査読有, Vol.58, No.5, 2017, 761-767, DOI:10.2320/matertrans.M-M2017807
 7. Mohsen FARAHAT, Ahmed Mohammed ELMAHDY, Tsuyoshi HIRAJIMA, Influence of Microwave Radiation on the Magnetic Properties of Molybdenite and Arsenopyrite, Powder Technology, 査読有, Vol. 315, 15, 2017, 276-281, DOI:10.1016/j.powtec.2017.04.023
 8. Masahito TANAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Naoko OKIBE, Optimization of Bioscorodite Crystallization for Treatment of As(III)-Bearing Wastewaters, Solid State Phenomena, 査読有, Vol. 262, 2017, 555-558, DOI:10.4028/www.scientific.net/SSP.262.555
 9. Hajime MIKI, Akinobu IGUCHI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Catalytic Effect of Silver on Arsenic-containing Copper Sulfide Dissolution in Acidic Solution, Hydrometallurgy, 査読有, Vol.162, 2016, 1-8, DOI:10.1016/j.hydromet.2016.02.007
 10. Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Ahmed Mohamed ELMAHDY, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Effect of Kerosene Emulsion in MgCl₂ solution on the Kinetics of Bubble Interactions with Molybdenite and Chalcopyrite, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 査読有, Vol.501, 2016, 98-113, DOI:10.1016/j.colsurfa.2016.04.039
 11. Xiangchun LIU, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Hydrothermal Treatment Coupled with Mechanical Expression for Loy Yang Lignite Dewatering and the Microscopic Description of the Process, Drying Technology, 査読有, Vol.34, Issue 12, 2016, 1471-1483, DOI:10.1080/07373937.2015.1127933
 12. Tsuyoshi HIRAJIMA, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Osamu ICHIKAWA, Ahmed Mohamed ELMAHDY, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Effect of Mg²⁺ and Ca²⁺ as Divalent Seawater Cations on the Floatability of Molybdenite and Chalcopyrite, Minerals Engineering, 査読有, Vol. 96-97, 2016, 83-93, DOI:10.1016/j.mineng.2016.06.023
 13. Ahmed Mohammed ELMAHDY, Mohsen FARAHAT, Tsuyoshi HIRAJIMA, Comparison Between the Effect of Microwave Irradiation and Conventional Heat Treatments on the Magnetic Properties of Chalcopyrite and Pyrite, Advanced Powder Technology, 査読有, Vol. 27, Issue 6, 2016, 2424-2431, DOI:10.1016/j.appt.2016.08.020
 14. Yu TAKAKI, Xinhong QIU, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Removal Mechanism of Arsenate by Bimetallic and Trimetallic Hydrocalumites Depending on Arsenate Concentration, Applied Clay Science, 査読有, Vol. 134, Part 1, 2016, 26-33, DOI:10.1016/j.clay.2016.05.010
 15. Xiangchun LIU, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Effects of Hydrothermal Treatment Coupled with Mechanical Expression on Combustion Performance of Loy Yang Lignite, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 査読有, Vol. 126, Issue 3, 2016, 1925-1935, DOI:10.1007/s10973-016-5692-3
 16. Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Silicate Covering Layer on Pyrite Surface in the Presence of Silicon-Catechol Complex for Acid Mine Drainage Prevention, Materials Transactions, 査読有, Vol.56, No.10, 2015, 1733-1741, DOI:10.2320/matertrans.M-M2015821
 17. Mari YOSHIDA, Paulmanickam KOILRAJ, Xinhong QIU, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Sorption of Arsenate on MgAl and MgFe Layered Double Hydroxides Derived from Calcined Dolomite, Journal of Environmental Chemical Engineering,

- 査読有, Vol.3, Issue 3, 2015, 1614-1621, DOI:10.1016/j.jece.2015.05.016
18. Naoko OKIBE, Shiori MORISHITA, Masahito TANAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Effect of Cu(II) on Bio-Scorodite Crystallization Using Acidianus brierleyi, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.1130, 2015, 101-104, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1130.101
 19. Mutia Dewi YUNIATI, Keitaro KITAGAWA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Naoko OKIBE, Keiko SASAKI, Suppression of Pyrite Oxidation in Acid Mine Drainage by Carrier Microencapsulation Using Liquid Product of Hydrothermal Treatment of Low-rank Coal, and Electrochemical Behavior of Resultant Encapsulating Coatings, Hydrometallurgy, 査読有, Vol.158, 2015, 83-93, DOI:10.1016/j.hydromet.2015.09.028

[学会発表](計 19 件)

1. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Hidekazu MATSUOKA, Keiko SASAKI, Oxidation of Chalcopyrite and Molybdenite with Hydrogen Peroxide and its Application to Their Separation, Fifth International conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, Mar.6-10, 2017, Lisbon, Portugal, 一般, 国際
2. Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Effect of hydrogen peroxide on separation of chalcopyrite and molybdenite using flotation, EARTH 2017, Sep.26-28, 2017, 北海道, Japan, 一般, 国際
3. Tsuyoshi HIRAJIMA, Fine Particles Processing Technology and Its Applications, Mineral Processing and Technology International Conference 2017 (MINEPROCET'17), Oct.23-24,2017, Balai Kartini, Indonesia, 招待, 国際
4. Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Study on the Effect of a Mixture of Hydrogen Peroxide and Ferrous Sulfate on the Floatability of Chalcopyrite and Molybdenite, Flotation'17, Nov.12-16, 2017, Cape Town, South Africa, 一般, 国際
5. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Yukihiko MUTA, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Keiko SASAKI, Development of Alternative Additive of NaHS for Selective Flotation of Chalcopyrite and Molybdenite, Flotation'17, Nov.12-16, 2017, Cape Town, South Africa, 一般, 国際
6. Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Ahmed Mohamed ELMAHDY, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Effect of Kerosene on Bubble Interaction with Molybdenite and Chalcopyrite in MgCl₂ Solution, IMPC 2016: XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Sep.11-15, 2016, Quebec City, Canada, 一般, 国際
7. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hidekazu MATSUOKA, Hajime MIKI, Gde Pandhe Wisnu SUYANTARA, Ahmed Mohamed ELMAHDY, Keiko SASAKI, Comparison of Selective Flotation of Chalcopyrite and Molybdenite with Various Oxidation Techniques, IMPC 2016: XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Sep.11-15, 2016, Quebec City, Canada, 一般, 国際
8. Ahmed Mohammed ELMAHDY, Mohsen FARAHAT, Tsuyoshi HIRAJIMA, The Effect of Heat Treatment on Chalcopyrite - Molybdenite Magnetic Separation, IMPC 2016: XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Sep.11-15, 2016, Quebec City, Canada, 一般, 国際
9. Masahito TANAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Naoko OKIBE, Bioscorodite Crystallization for Treatment of As(III)-bearing Copper Refinery Wastewaters, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016 神戸, Japan, 一般, 国際
10. Hajime MIKI, Akinobu IGUCHI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Enhanced Leaching of Arsenic Containing Copper Sulfide with Silver Addition in Acid Solution, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016, 神戸, Japan, 一般, 国際
11. Keishi OYAMA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Hajime MIKI, Naoko OKIBE, Selective Bioleaching of Enargite (Cu₃As₄) over Pyrite (FeS₂) for Copper Recovery, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016, 神戸, Japan, 一般, 国際
12. Koichiro TAKATSUGI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI,

- Biobleaching of Copper from Enargite Using Thermoacidophilic Iron-oxidizing Archeron: Spectroscopic Study for Stabilizing Arsenic, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016, 神戸, Japan, 一般, 国際
13. Gde Pandhe Wisnu Suyantara, Tsuyoshi HIRAJIMA, Osamu ICHIKAWA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Ahmed Mohamed ELMAHDY, Bubble Collision and Attachment on Chalcopyrite and Molybdenite Surfaces, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016, 神戸, Japan, 一般, 国際
14. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hidekazu MATSUOKA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Yuuji IMAIZUMI, Application of Oxidative Treatment on Selective Flotation of Molybdenite and Chalcopyrite, Copper 2016 International Conference, Nov.13-16, 2016, 神戸, Japan, 一般, 国際
15. Yu TAKAKI, Paulmanickam KOILRAJ, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Adsorption Characteristic of Arsenate on Delaminated Layered Double Hydroxides, Euroclay 2015, Jul.5-10,2015 Edinburgh, Scotland, 一般, 国際
16. Naoko OKIBE, Shiori MORISHITA, Masahito TANAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Effect of Cu(II) on bio-scorodite crystallization using Acidianus brierleyi, 21st International Biohydrometallurgy Symposium (IBS 2015), Oct.5-8, 2015 Bali, Indonesia, 招待, 国際
17. Tsuyoshi HIRAJIMA, Mineral Processing, The 5th Indonesian National Seminar on Chemical Engineering, Oct.12-13, 2015, Yogyakarta, Indonesia, 招待, 国際
18. Tsuyoshi HIRAJIMA, Osamu ICHIKAWA, G.P.W. SUYANTARA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Ahmed Mohamed Elmahdy Ahmed MOHAMED, Seawater Divalent Cations (MgCl₂ and CaCl₂) Effect on the Flotation of Molybdenite and Chalcopyrite, Flotation '15, Nov.16-19, 2015, Cape Town, South Africa, 一般, 国際
19. Tsuyoshi HIRAJIMA, Hidekazu MATSUOKA, Hajime MIKI, Ahmed Mohamed Elmahdy Ahmed MOHAMED, Keiko SASAKI, Study of Selective Flotation of Chalcopyrite and

Molybdenite with Various Oxidation, Flotation ' 15, Nov.16-19, 2015, Cape Town, South Africa, 一般, 国際

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称：選鉱方法
 発明者：平島剛、松岡秀和、三木一、今泉有二、黒岩樹人、滝田絵理平島剛、市川修、三木一、SUYANTARA Gde Pandhe Wisnu, 越智大司
 権利者：同上
 種類：特許
 番号：特願 2015-250827
 出願年月日：2015年12月24日
 国内外の別：国内

名称：選鉱方法
 発明者：平島剛、松岡秀和、三木一、今泉有二、越智大司、滝田絵理
 権利者：同上
 種類：特許
 番号：特願 2015-229400
 出願年月日：2015年11月25日
 国内外の別：国内

名称：選鉱方法
 発明者：平島剛、市川修、三木一、SUYANTARA Gde Pandhe Wisnu, 越智大司
 権利者：同上
 種類：特許
 番号：特願 2015-100114
 出願年月日：2015年5月15日
 国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平島 剛 (HIRAJIMA, Tsuyoshi)
 九州大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号：00175556

(2) 研究分担者

笹木 圭子 (SASAKI, Keiko)
 九州大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号：30311525

沖部 奈緒子 (OKIBE, Naoko)
 九州大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：30604821

三木 一 (MIKI, Hajime)
 九州大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：10706386