

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0135

研究課題名（和文）グラファイト質金鉱石のバイオハイドロメタラジの学理

研究課題名（英文）Biohydrometallurgy for graphitic gold ores

研究代表者

笹木 圭子（Sasaki, Keiko）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：30311525

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：豪州との共同研究によって、開発対象とされていない超難処理金鉱石から高効率で金をシアン抽出する前処理法として、硫化鉱物のバイオ酸化により金粒子を単体分離させ、さらに炭素質物質をリグニン分解系酵素で分解する方法を提案した。さらに、抽出剤をチオ尿素とした場合には、硫化鉱物のバイオ酸化により金粒子を単体分離させたあとは直接強酸性条件下でほぼ完全に金を抽出できることを示した。これは抽出剤により金錯体と炭素質物質との親和性が大きく異なることに起因している。チオ尿素抽出は炭素質金鉱石にこそ向いている方法であり、金チオ尿素錯体の回収には一般的な陽イオン交換樹脂が十分な回収率を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素質金鉱石は、抽出損失が高いリスクがあるために、現在まで開発を断念してきていた未利用資源である。入手が難しいタイプの鉱石であるが、豪州や西アフリカの国々の協力により、1種類だけではなく、複数の産地の炭素質金鉱石を入手した。従来のシアン化法では酵素反応を利用して抽出率は改善が見られたものの、工程が煩雑で、回収率は90%を超えることは難しかった。しかし、抽出剤をチオ尿素に変えると、炭素質物質の処理は不要で、非常に簡便な方法で、数時間でほぼ完全に金を抽出できることを実証し社会的意義は大きい。その発見の背後にある学理を明らかにし、これにより抽出イオンの完全回収法も示すことができブレイクスルーを導いた。

研究成果の概要（英文）：Through joint research with Australia, we proposed a pretreatment method for highly efficient cyanide extraction of gold from gold ores that have not yet been subjected to development, in which gold particles are isolated by bio-oxidation of sulfide minerals, and carbonaceous substances are decomposed by lignin-degrading enzymes. Furthermore, when thiourea was used as the extractant, gold particles were mostly liberated after bio-oxidation of sulfide minerals, and gold was almost completely extracted directly under strongly acidic conditions. This is due to the fact that the affinity between the gold complex and the carbonaceous matter varies greatly depending on the extractants. Thiourea extraction is the only method suitable for carbonaceous gold ores, and a common cation exchange resin was sufficient to recover the gold thiourea complex.

研究分野：資源循環工学

キーワード：グラファイト質金鉱石 シアン化抽出 チオ尿素抽出 グラファイト化度 バイオオキシデーション  
リグニン分解酵素

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1 . 研究の背景

Cyanidation, a conventional process to extract gold from gold ores, has been used for over 130 years in industrial mining because of the high efficiency and rate of formation of  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  and the high recovery efficiency by adsorption of  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  on activated carbon. However, carbonaceous refractory gold ores are not targeted because  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  is easily adsorbed on carbonaceous matter in the ores, resulting in high recovery loss.

### 2 . 研究の目的

The present work aimed to elucidate the environmentally friendly process with sufficient efficiency of gold recovery from carbonaceous gold ores.

### 3 . 研究の方法

In this study, the flotation concentrates of a carbonaceous refractory gold ores was subjected to biooxidation at 45°C using a mixed culture containing iron-oxidizing and sulfur-oxidizing bacteria, followed by gold extraction using thiourea under strongly acidic conditions.

### 4 . 研究の成果

In this study, DRGOs were sequentially subjected to BIOX and enzymatic treatment to determine the optimal pretreatment conditions for maximizing the gold extraction efficiency. The almost perfect extraction of gold from DRGOs was realized by thiourea leaching when the ore sample was pretreated for sulfide dissolution by BIOX using iron- and sulfur-oxidizing bacteria for four weeks at 45 °C without any subsequent enzyme treatment to degrade carbonaceous matter. The complete extraction of gold from DRGOs was achieved in 12 h, and the extracted  $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2^+$  was quantitatively recovered at pH 1 using cation exchange resin DIAION PK216LH even in the presence of the residual 4.20 mM  $\text{Fe}^{3+}$  ions. In contrast, the gold cyanidation was much influenced by surface properties of carbonaceous matter in the remaining ore samples after BIOX. Re-adsorption of  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  obviously happened as well as extraction. Enzymatic decomposition of carbonaceous matter prevented the re-adsorption of  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ , although the recovery efficiency was lower than 80% because of the coverage of the surfaces with bio-degraded products. This study exemplifies the superiority of the BIOX pretreatment procedure and the thiourea extraction of gold from DRGOs over cyanide extraction. The proposed pretreatment without treatment of carbonaceous matter is simple, wherein carbonaceous matter does not need to be treated by changing the ligand. This is advantageous not only from the viewpoint of gold recovery efficiency and procedure efficiency but also from the viewpoint of environmental impact.

The DRGOs should not be abandoned any longer. By selecting the ligand to extract gold, the property of the gold complex can be altered. “*Gold robbing*,” the reason why

DRGOs have been abandoned for development, can be prevented. Mendoza (2023) proposed a pretreatment scheme for DRGOs prior to cyanidation, including sulfide oxidation and laccase treatment to degrade carbonaceous matter. However, it should be modified by incorporating the strategy developed in this study. The DRGOs containing carbonaceous matter with low graphitic degrees are classified to be the most refractory gold ores. Even if the graphitic degree is low in DRGOs, the carbonaceous matter does not need to be degraded using organic carbon-degrading bacteria or lignin-degrading enzymes, if thiourea is used for extraction. The applicability of the simplified extraction and recovery process to other carbonaceous refractory gold ores was demonstrated using the second sample. Although the poor affinity of  $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2^{2+}$  on activated carbon is disadvantageous, it can be overcome by replacement with cation exchange resins. In some places, industrial activities involving cyanide compounds are restricted. The process of extracting gold from urban mines is not always suitable to meet the demand for gold owing to the complexity of the separation process from the coexisting metals and the dangers associated with the consumption of environmentally hazardous chemical reagents. Under these circumstances, the prospect of a complete gold extraction and recovery method from DRGOs, an unutilized natural gold resource, is of great significance

The gold extraction efficiency reached ~100% in 12 h without re-adsorption. Finally, the quantitative recovery of the  $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2^{2+}$  complex was confirmed by adsorption on strongly cationic exchange resin. Biooxidation reduced the amount of Fe-containing metal sulfides, which minimized the decomposition of thiourea, and the  $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2^{2+}$  complex had a low affinity toward carbonaceous matter, different to  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ . Since the process described in this study does not require roasting to remove carbonaceous materials in pretreatment and does not use cyanide for gold extraction, it is environmentally friendly and should be considered for practical applications in carbonaceous gold ore-producing mines.

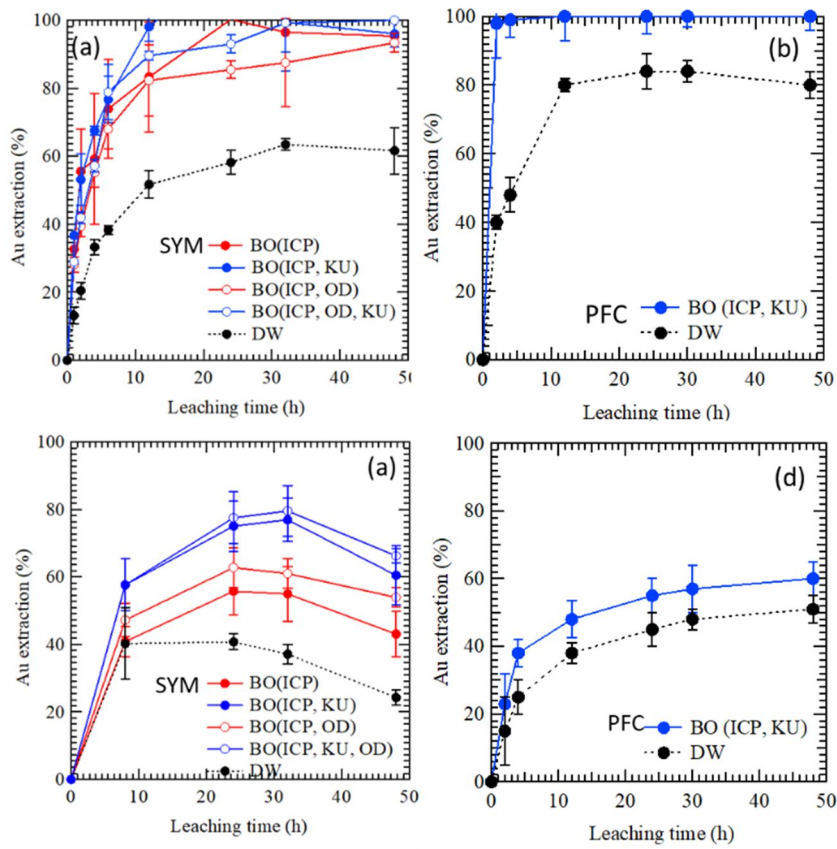


Fig. 1 Thiourea (a), (b) and cyanide (c), (d) extraction of Au from DRGO. (a), (c) SYM after BIOX treatments with different mixed cultures, (b), (d) PFC after BIOX (*Am. ferrooxidans* ICP, *Ac. caldus* KU) treatment ( $n = 3$  for SYM,  $n = 2$  for PFC).

Table 1 Adsorption characteristics of (a)  $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2^+$  and (b)  $\text{Fe}^{3+}$  on DIAION WA21J and PK216LH from the extracted solutions in thiourea leaching. Initial Au concentration was  $4.86 \mu\text{M}$  ( $n = 3$ ).

ion exchange resin	equilibrated concentration ( $\mu\text{M}$ )	adsorption density ( $\mu\text{mol/mL}$ )	Recovery (%)
WA21J	$1.073 \pm 0.333$	$0.0474 \pm 0.0042$	$77.93 \pm 6.85$
PK216LH	$0.190 \pm 1.54 \times 10^{-4}$	$0.0584 \pm 1.54 \times 10^{-4}$	$96.09 \pm 0.25$

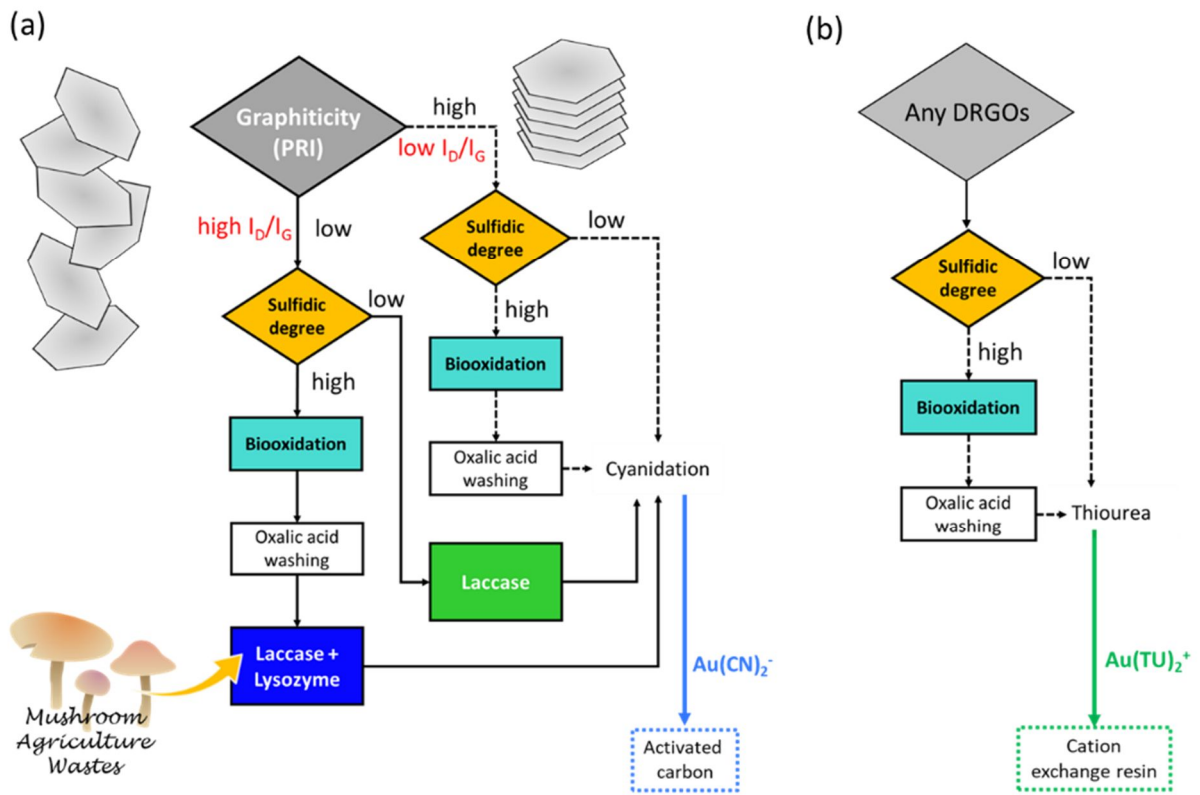


Fig. 2 Flow sheet for the DRGO pretreatment, extraction and recovery of Au complex ions proposed by (a) Mendoza et al (2023), and (b) the present work.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sakai Ryotaro, Mendoza Diego M., Konadu Kojo T., Cindy, Aoki Yuji, Hirajima Tsuyoshi, Ichinose Hirofumi, Sasaki Keiko	4. 巻 212
2. 論文標題 Laccase-mediator system for enzymatic degradation of carbonaceous matter in the sequential pretreatment of double refractory gold ore from Syama mine, Mali	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105894 ~ 105894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2022.105894	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 Sasaki Keiko, Suyama Ikumi, Aoki Yuji, Konadu Kojo T., Cindy, Chuaicham Chitiphon, Miki Hajime, Hirajima Tsuyoshi	4. 巻 191
2. 論文標題 Significance of Fe contents on the surface of the gold ores in gold leaching by thiourea and ethylene thiourea	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Minerals Engineering	6. 最初と最後の頁 107957 ~ 107957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mineng.2022.107957	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 Konadu Kojo T., Sasaki Keiko	4. 巻 216
2. 論文標題 Sulfidic gold ore leaching by cysteine in the presence of Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 106018 ~ 106018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2022.106018	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 Suyantara Gde Pandhe Wisnu, Berdakh Daniyarov, Miki Hajime, Hirajima Tsuyoshi, Sasaki Keiko, Ochi Daishi, Aoki Yuji	4. 巻 XX
2. 論文標題 Effect of hydrogen peroxide on selective flotation of chalcocite and enargite	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Mining Science and Technology	6. 最初と最後の頁 XX-XX
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmst.2023.01.002	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 Suyantara Gde Pandhe Wisnu, Semoto Yuki, Miki Hajime, Hirajima Tsuyoshi, Sasaki Keiko, Ochi Daishi, Aoki Yuji, Berdakh Daniyarov, Ura Kumika	4. 巻 408
2. 論文標題 Effect of sodium metabisulfite and slaked lime on the floatability and surface properties of chalcopyrite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Powder Technology	6. 最初と最後の頁 117750 ~ 117750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2022.117750	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 Cindy, Sakai Ryotaro, Mendoza Diego M., Konadu Kojo T., Sasaki Keiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Significance of Acid Washing after Biooxidation of Sulfides in Sequential Biotreatment of Double Refractory Gold Ore from the Syama Mine, Mali	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 1316 ~ 1316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min11121316	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 Mendoza Diego M., Konadu Kojo T., Aoki Yuji, Kameya Misato, Sasaki Keiko	4. 巻 163
2. 論文標題 Carbonaceous matter degradation by fungal enzyme treatment to improve Ag recovery from an Au-Ag-bearing concentrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals Engineering	6. 最初と最後の頁 106768 ~ 106768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mineng.2020.106768	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 Mendoza Diego M., Ichinose Hirofumi, Konadu Kojo T., Sasaki Keiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Degradation of powder activated carbon by laccase-mediator system: Model experiments for the improvement of gold recovery from carbonaceous gold ore	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 106375 ~ 106375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2021.106375	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 Ren Jianchao, Kaneta Takashi	4. 巻 XX
2. 論文標題 N-Benzoyl leucomethylene blue as a novel substrate for the assays of horseradish peroxidase by spectrophotometry and capillary electrophoresis?laser-induced fluorometry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 XX-XX
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s44211-022-00078-7	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 Konadu Kojo T., Sakai Ryotaro, Mendoza Diego M., Chuaicham Chitiphon, Miki Hajime, Sasaki Keiko	4. 巻 195
2. 論文標題 Effect of carbonaceous matter on bioleaching of Cu from chalcopyrite ore	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105363 ~ 105363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2020.105363	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 Keishi Oyama, Kazuhiko Shimada, Jun-ichiro Ishibashi, Keiko Sasaki, Hajime Miki, Naoko Okibe	4. 巻 195
2. 論文標題 Catalytic mechanism of activated carbon-assisted bioleaching of enargite concentrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2020.105417	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 Mendoza Diego M., Konadu Kojo T., Aoki Yuji, Kameya Misato, Sasaki Keiko	4. 巻 163
2. 論文標題 Carbonaceous matter degradation by fungal enzyme treatment to improve Ag recovery from an Au-Ag-bearing concentrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals Engineering	6. 最初と最後の頁 106768 ~ 106768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mineng.2020.106768	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 Kojo T. Konadu, Diego M. M. Flores, Robert J. Huddy, Susan T. L. Harrison, Takashi Kaneta, Keiko Sasaki	4. 巻 195
2. 論文標題 Biological pretreatment of carbonaceous matter in double refractory gold ores: a review and some future considerations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hyc!romet.2020.105434	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 該当する

1. 著者名 Sasaki Keiko, T. Konadu Kojo	4. 巻 XX
2. 論文標題 Biotechnological Approaches to Facilitate Gold Recovery from Double Refractory Gold Ores	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biotechnology in Mining and Metallurgical Industry	6. 最初と最後の頁 XX
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5772/intechopen.94334	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 Konadu Kojo T., Harrison Susan T.L., Osseo-Asare Kwadwo, Sasaki Keiko	4. 巻 143
2. 論文標題 Transformation of the carbonaceous matter in double refractory gold ore by crude lignin peroxidase released from the white-rot fungus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 104735 ~ 104735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2019.104735	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 該当する

1. 著者名 Konadu Kojo T., Huddy Robert J., Harrison Susan T.L., Osseo-Asare Kwadwo, Sasaki Keiko	4. 巻 138
2. 論文標題 Sequential pretreatment of double refractory gold ore (DRGO) with a thermophilic iron oxidizing archaeon and fungal crude enzymes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Minerals Engineering	6. 最初と最後の頁 86 ~ 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mineng.2019.04.043	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 該当する

1. 著者名 笹木 圭子、コジョ トワム コナドゥ	4. 巻 63
2. 論文標題 酵素反応を取り入れたグラファイト質難処理金鉱石のバイオミネラルプロセッシング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 粉碎	6. 最初と最後の頁 29 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24611/micromeritics.2020008	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 Sasaki Keiko, Suyama Ikumi, Takimoto Ryusei, Konadu Kojo Twum, Ichinose Hirofumi, Eksteen Jacques	4. 巻 227
2. 論文標題 Complete gold extraction and recovery from double refractory gold ores by thiourea after bio-oxidation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 106330 ~ 106330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2024.106330	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 該当する

1. 著者名 SUYAMA Ikumi, T.KONADU Kojo, SASAKI Keiko	4. 巻 140
2. 論文標題 低グラファイト化度炭素質難処理金鉱石に対するチオ尿素金抽出の優位性	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of MMIJ	6. 最初と最後の頁 8 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2473/journalofmmij.140.8	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 Cindy, Mendoza Diego M., Konadu Kojo T., Ichinose Hirofumi, Sasaki Keiko	4. 巻 221
2. 論文標題 Multiple laccase-mediator system treatments for carbonaceous matter degradation in double refractory gold ore	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 106129 ~ 106129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2023.106129	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 該当する

1. 著者名 Owusu Clement K., Konadu Kojo T., Acquah Gertrude, Mends Emmanuel Atta, Amankwah Richard K., Sasaki Keiko	4. 巻 202
2. 論文標題 Improving gold recovery in carbonaceous gold ores using naphthalene sulphonate as a blanking agent	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Minerals Engineering	6. 最初と最後の頁 108283 ~ 108283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mineng.2023.108283	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 該当する

1. 著者名 Konadu Kojo T., Makaula Didi X., Smart Mariette, Cindy, Mendoza Diego M., Opitz Elaine, Harrison Susan T.L., Sasaki Keiko	4. 巻 220
2. 論文標題 Enzymatic degradation of carbonaceous matter in contrasting South African refractory gold ores using cell-free spent medium from Phanerochaete chrysosporium	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 106087 ~ 106087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hydromet.2023.106087	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 該当する

1. 著者名 Mendoza Diego M., Ichinose Hirofumi, Sakai Ryotaro, Konadu Kojo T., Cindy, Sasaki Keiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Defining the applicable pathway of laccase pre-treatment in the bio-mineral processing of double refractory gold ores based on carbonaceous matter characterization	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 113997 ~ 113997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2024.113997	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 該当する

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Kojo T. Konadu, Didi X. Makaula, Mariette Smart, Elaine Opitz, Susan T. L. Harrison, Keiko Sasaki,
2. 発表標題 Enzymatic degradation of carbonaceous matter in DRGOs from Kloof Gold Mine (VCR) and Witwatersrand goldfields (BRF), South Africa, using cell-free spent medium from Phanerochaete chrysosporium for gold recovery
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium (IBS) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Didi X. Makaula, Kojo T. Konadu, Mariette Smart, Elaine Opitz, Keiko Sasaki, Susan T. L. Harrison
2 . 発表標題 Investigating the biooxidation of sulfide matrix of two potential double refractory gold concentrates at various temperatures
3 . 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium (IBS) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Cindy, Ryotaro Sakai, Diego M. Mendoza, Kojo T. Konadu, Keiko Sasaki,
2 . 発表標題 Beneficial laccase mediator system treatment of double refractory gold ore in sequential treatment
3 . 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium (IBS) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ikumi Suyama, Cindy, Kojo Twum Konadu, Keiko Sasaki,
2 . 発表標題 Effect of the sequential (bio) treatment of double refractory gold ore on gold extraction by thiourea
3 . 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium (IBS) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kojo Twum Konadu, Keiko Sasaki
2 . 発表標題 Sulfide gold ore leaching by cysteine in the presence of Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3 . 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium (IBS) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Diego M. Mendoza, Hirofumi Ichinose, Keiko Sasaki,
2 . 発表標題 GC-MS characterization of organic compounds in different carbonaceous gold ores after sequential extraction
3 . 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2022 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Didi X. Makaula, Kojo T. Konadu, Mariette Smart, Elaine Opitz, Susan T. L. Harrison, Keiko Sasaki, ,
2 . 発表標題 Impact of the carbonaceous matter composition on sequential bio-pretreatment of South African double refractory gold ore (DRGO)
3 . 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2022 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kojo Konadu, Keiko Sasaki
2 . 発表標題 Effect of additives on gold extraction by cysteine
3 . 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2022 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Cindy, Hirofumi Ichinose, Keiko Sasaki
2 . 発表標題 Multiple Additions of Laccase-Mediator System in Sequential Treatment of Double Refractory Gold Ore
3 . 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2022 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 境 諒太郎、Cindy, Kojo Konadu, Keiko Sasaki
2. 発表標題 逐次的バイオ処理による炭素質金鉱石からの金回収率の向上
3. 学会等名 MMIJ Fall 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Diego M. Mendoza, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Gold determination in double refractory gold ores: Extraction methods and analytical techniques
3. 学会等名 CINEST 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Cindy, Diego M. Mendoza, Kojo T. Konadu, Hirofumi Ichinose, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Effects of common heavy metals on laccase activity and stability for enzymatic degradation of carbonaceous matter in double refractory gold ores
3. 学会等名 CINEST 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryotaro Sakai, Cindy, Kojo. T Konadu, Diego M. Mendoza, Richmond Asamoah, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Sequential biotreatment of extremely refractory gold ores using laccase
3. 学会等名 CINEST 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 D.X Makaula, K. T. Konadu, Opitz, K. Sasaki, S.T.L Harrison
2 . 発表標題 Using flotation to concentrate potential double refractory gold ores: A precursor study towards biooxidation of sulfide matrix and fungal decomposition of carbonaceous matter
3 . 学会等名 CINEST 2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 D.X Makaula, K Konadu, E Opitz1, M Smart1, K Sasaki, S.T.L Harrison
2 . 発表標題 Investigating the impact of temperature on the degradation of sulfide matrix during the biooxidation of potential double refractory gold concentrates
3 . 学会等名 CINEST 2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Clement Owusu, Selorm Mensah, Konadu Kojo Twum, Grace Ofori-Sarpong, Keiko Sasaki and Richard K. Amankwah
2 . 発表標題 Improving gold recovery in carbonaceous gold ores using naphtalene sulphonate as blanking agent
3 . 学会等名 CINEST 2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Diego Moizes Mendoza Flores, Kojo Twum Konadu, Keiko Sasaki
2 . 発表標題 Fungal enzyme treatment of carbonaceous matter for recovery of Ag from carbonaceous Au-Ag ore
3 . 学会等名 MMIJ Kyushu 2020
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Diego M. Mendoza, Kojo T. Konadu, Hirofumi Ichinose, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Degradation of powder activated carbon by laccase mediated system: model experiment for improvement of gold recovery from carbonaceous gold ore
3. 学会等名 CINEST 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kojo T. Konadu, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Review of the double refractory gold ore pretreatment by lignin-degrading enzymes to minimize preg-robbing
3. 学会等名 CINEST 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 境 諒太郎, Kojo T. Konadu, 笹木 圭子
2. 発表標題 黄銅鉱のバイオリーチングに対する共存炭素質物質の影響
3. 学会等名 MMIJ Kyushu 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kojo T. Konadu, Susan T. L. Harrison, Kwadwo Osseo-Asare, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Bio-mineral processing of double refractory gold ore in sequential treatment using a thermophilic archaeon followed by fungal spent medium
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Keishi Oyama, Kyohei Takamatsu, Hajime Miki, Keiko Sasaki, Naoko Okibe
2. 発表標題 Carbon-assisted bioleaching of primary copper sulfides
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiko Sasaki
2. 発表標題 Fungally formed Mn oxides and their application to bio-templated Li <sup>+</sup> ion sieve
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kojo T. Konadu, Ryotaro Sakai, Diego M. M. Flores, Susan T. L. Harrison, Kwadwo Osseo-Asare, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Effect of carbonaceous matter on bioleaching of Cu from carbonaceous chalcopyrite ore
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Kaneta, Airi Harada, Sumire Kudo, Hiroe Kubota, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Determination of lignin-modifying enzymes by capillary electrophoresis using in-capillary reactions
3. 学会等名 International Biohydrometallurgy Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹木 圭子
2. 発表標題 酵素反応をとりいれたグラファイト質難処理金鉱石のミネラルプロセッシング
3. 学会等名 日本粉体工学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiko Sasaki
2. 発表標題 Challenges to gold recovery from carbonaceous gold ores using biotechnology
3. 学会等名 1st International Conference of Asia Pacific Mining and Metallurgy（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kojo Konadu, Kwadwo Osseo-Asare, Keiko Sasaki
2. 発表標題 Challenges to gold recovery from carbonaceous gold ores using biotechnology
3. 学会等名 African Material Research Society 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹木 圭子
2. 発表標題 バイオテクノロジーによる難処理金鉱石からの金回収率の向上
3. 学会等名 日本技術士会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹木 圭子
2. 発表標題 酵素反応を導入したバイオハイドロメタラジーへの誘い
3. 学会等名 日本バルブ研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Keiko Sasaki, Kojo T. Konadu	4. 発行年 2021年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 280
3. 書名 Biotechnology in Mining and Metallurgical Industry	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金鉱石の前処理方法および金回収方法	発明者 笹木圭子ほか6名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、JP3368	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 金鉱石の前処理方法及び金回収方法	発明者 笹木圭子ほか	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開 2021-134424	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

九州大学地球資源システム工学部門資源処理・環境修復工学研究室 <a href="https://process.mine.kyushu-u.ac.jp/">https://process.mine.kyushu-u.ac.jp/</a>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 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	三木 一  (Miki Hajime)  (10706386)	九州大学・工学研究院・准教授    (17102)	
研究分担者	金田 隆  (Kaneta Takashi)  (20243909)	岡山大学・自然科学学域・教授    (15301)	
研究分担者	GUO BINGLIN  (Guo Binglin)  (60839588)	九州大学・工学研究院・学術研究員    (17102)	
研究分担者	KONADU KOJO・TWUM  (Konadu Kojo)  (40873394)	九州大学・工学研究院・学術研究員    (17102)	
研究分担者	Suyantara Gde・P andhe・Wisnu  (Suyantara Pandhe)  (70932367)	九州大学・工学研究院・特任助教    (17102)	

## 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