



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Mineral processing of complex sulfide ores combined with extraction, flotation, and cementation for sustainable development of complex sulfide deposits [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	相川, 公政
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15380号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/89522">https://hdl.handle.net/2115/89522</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Kosei_Aikawa_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 相川 公政

審査担当者 主 査 教 授 伊藤 真由美  
副 査 教 授 廣吉 直樹  
副 査 准教授 坂入 正敏  
副 査 准教授 大竹 翼

### 学位論文題名

Mineral processing of complex sulfide ores combined with extraction, flotation, and cementation for sustainable development of complex sulfide deposits

(複雑硫化鉱の持続可能な開発のための抽出・浮選・セメンテーションを組み合わせた選鉱手法の開発)

銅, 鉛, 亜鉛などのベースメタルは, 日常生活に不可欠な電気電子機器, エネルギーの生産や輸送に不可欠であり, カーボンニュートラル社会の実現に向けた再生可能エネルギーの設備拡大にも関連して, 需要の急増が予測されている。銅, 鉛, 亜鉛の鉱床としては, かつて日本で産出していた黒鉱を始めとする複雑硫化鉱床があり, 近年の探査では日本近海に海底熱水鉱床が発見され, 経産省による海洋エネルギー・鉱物資源開発計画のもと, 調査が進められている。この鉱床では, 現在開発されている銅・鉛・亜鉛鉱石には含まれていない形態の鉱物の存在が明らかになってきており, また, 陸上にも小規模かつ鉱物組成が複雑で未開発の鉱床が存在することから, これら未開発の鉱床の開発を可能にするための, 鉱物組成の変動に応じた選鉱技術の開発は重要である。資源開発では, 採掘, 鉱物処理, 製錬工程を経て金属が生産される。黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱を主体とした複雑硫化鉱石の鉱物処理では, 気泡に目的鉱物を付着させて銅精鉱, 鉛精鉱, 亜鉛精鉱を順次回収・濃縮する浮選法が用いられる。しかしながら溶液に溶解しやすい鉱物を含んでいる場合, 溶解したイオンが他の鉱物粒子表面に吸着し, 浮選での選別成績が悪化することが報告されている。

本論文では, 溶解性の高い鉱物を含む鉱石の選鉱手法の開発を目的として, 浮選前処理・浮選・溶解金属イオンの回収からなる手法を検討し, 特に, 亜鉛浮選, 銅浮選工程での選別成績を向上させる手法を提案している。2,3,5章では硫化鉛(方鉛鉱)よりも溶解性の高い硫酸鉛鉱が含まれる硫化鉱石の浮選分離(銅・亜鉛分離浮選, 亜鉛精選)について検討し, 4章では亜鉛を含み銅品位が高いフィードを処理するための銅精選工程について検討した。

本論文は6章から構成されている。

第1章は, 序論であり, 研究の背景・研究事例の要約・研究目的を記している。

第2章は, 鉛の硫化鉱である方鉛鉱よりも溶解性の高い硫酸鉛鉱を含む複雑硫化鉱石の選鉱手法の開発を行った。具体的には, 黄銅鉱を浮遊させ, 閃亜鉛鉱を尾鉱として回収する浮選工程で, 硫酸鉛鉱の溶解により生じる鉛イオンが閃亜鉛鉱表面を活性化させてしまい, 黄銅鉱と共に浮遊してしまう問題を解決するため, 黄銅鉱と閃亜鉛鉱の分離浮選工程前に EDTA による硫酸鉛鉱の鉛抽出工程を導入し, 抽出後産物の浮選および抽出された鉛イオンの金属鉛形態での回収を組み合わせる手法を開発した。また, 実際の複雑硫化鉱石(実試料)の処理に適用し, 実試料とモデル試料での結果

を比較した。その結果、様々な形態の脈石を含む複雑硫化鉱石に対しても、本法が有効であることを明らかにした。

第3章は、前章で開発した手法を鉱山の現場で使いやすくするための代替抽出材の性能評価試験を行った。酢酸アンモニウムを用いた試験では EDTA と同等の選別成績が得られることが示された。NaCl+HCl を用いた試験では、抽出が途中で止まってしまうことが明らかとなり、新たに、抽出・析出同時処理法 (CEC-flotation 法) を開発した。

第4章は、亜鉛を含み銅品位が高いフィードに対応した選鉱手法の開発を行った。銅品位が高い場合、溶液中にわずかに溶解してくる銅イオンが閃亜鉛鉱表面を活性化してしまい、黄銅鉱と閃亜鉛鉱の選別成績が低下した。また、共存鉱物として黄鉄鉱を添加すると、黄鉄鉱と黄銅鉱のガルバニック反応により黄銅鉱の溶解が促進されてしまうことを明らかにし、この反応を抑制するための窒素浮選法を開発した。

第5章は、第2章で見出された、閃亜鉛鉱の鉛活性後の亜鉛浮選 (亜鉛精選) について検討した。鉛活性閃亜鉛鉱は未活性閃亜鉛鉱よりも浮遊性が高いが、脈石である黄鉄鉱が共存すると、閃亜鉛鉱表面の硫化鉛被膜とのガルバニック反応が起こり硫化鉛被膜が減少し、浮遊性が低下することを見出した。また、電気化学測定装置と接触角測定法を用い、ガルバニック反応による接触角低下機構を明らかにした。

第6章は、本論文の結論を記すとともに、今後の金属資源の需要拡大および優良鉱床の枯渇に起因して開発拡大が予想される未開発の複雑硫化鉱床に対し、本研究で開発した手法の選鉱工程の適用について、鉱物組成や溶出特性の異なる鉱石ごとの導入案を提案した。

これを要するに、この成果は、選鉱学および資源工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。