

氏名（本籍）	Refilwe Sandra Magwaneng（ボツワナ）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第3号
学位授与の日付	平成31年3月21日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	浮選および加圧浸出を用いた選鉱尾鉱と炭素質難処理銅鉱石からの銅回収 (Recovery of Copper from Mine Tailing and Complex Carbonaceous Sulfide Ore by Flotation and High-Pressure Leaching)
論文審査委員	（主査）教授 柴山 敦 （副査）教授 石山大三 （副査）教授 川村洋平

## 論文内容の要旨

近年、銅鉱石の低品位化が進み、資源確保に向けた技術開発や新たな銅資源の探索が進められている。従来、斑岩銅鉱床タイプの銅鉱石が広く生産されてきたが、最近では堆積型銅鉱床の開発が進められるなど供給源の多様化が進んでいる。堆積型鉱床の中には有機・無機炭素を多量に含み、従来の浮選では銅の分離回収が困難な難処理銅鉱石の存在が知られている。一方、以前から、選鉱尾鉱と呼ばれる選鉱残渣物の一部には、低品位銅鉱石とほぼ同等の銅品位を有することがわかっており、銅資源としての可能性が議論されてきた。さらに最近になると、浮選を中心とする選鉱技術や浸出工程を始めとする湿式製錬プロセスの研究開発が進められ、多様な鉱石に対する技術の先進化が期待されている。

そこで本研究では、銅-ニッケル鉱山の選鉱尾鉱および堆積型鉱床から産出された炭素質を多く含む難処理銅鉱石からの銅回収を目的に、浮選あるいは高温高圧浸出法を使って銅を回収する新たな鉱物処理技術の開発を目指し研究を進めた。本論文は緒論に加え、本論2章と総括によって構成されている。

第1章は緒論であり、銅鉱石への選鉱プロセスを中心に湿式製錬の特徴と課題が述べられ、選鉱尾鉱の現状ならびに炭素質難処理銅鉱石への新たな処理法の必要性が説明されている。また本研究で注目した高温高圧浸出の技術的有意性を示し、本論文の意義と構成が論じられている。

第2章では、ボツワナ国のセルビピケ鉱山で発生した銅-ニッケル選鉱尾鉱を対象に、浮選と高温高圧浸出法を組み合わせた銅の回収プロセスについて研究が行われている。試験試料として用いた選鉱尾鉱には、0.29%の銅が含まれているが、これを浮選により6.7%まで濃縮し、回収率80%以上という高い値で分離できることを明らかにした。その条件として、浮選薬剤として使用する捕収剤の効果を見だし、粒径やpHによって品位、回収率に与える影響を論じている。次いで、

浮選で得られた精鉱を高温高压浸出に供し、浸出条件の最適化を進めた。反応装置としてオートクレーブを使用し、酸素加压による容器内全圧が 1.5 MPa、硫酸濃度 1.0 mol/L、温度 170 °C、浸出時間 60 分において銅の浸出率が 95%以上に達することを明らかにしたほか、主要条件によって銅の浸出率にどのような影響を与えるのか考察している。さらに銅や鉄の浸出挙動、残渣の形態や鉱物相の解析、顕微鏡観察などから銅浸出における反応機構を論考し、浮選と高温高压浸出を組み合わせることで選鉱尾鉱から銅回収が可能であることを明らかにしている。

第3章は、堆積型鉱床で採掘された炭素質難処理銅鉱石からの銅回収について調査研究を行っている。銅品位 2.4%と比較的高品位ではあるが、無機・有機成分の炭素を含むため、分離回収が極めて難しいタイプの鉱石である。まず本研究では、この炭素質難処理銅鉱石に浮選を適用し、分離性を調べている。その結果、捕収剤としてオレイン酸ナトリウムを用いることで炭素質分を除去し、銅を3倍程度濃縮した精鉱が得られることを明らかにしたが、回収率が 55%と低く、十分な分離効果が得にくいことを論じている。そこで当該鉱石を直接高温高压浸出し、銅の直接回収を試みている。浸出条件として、容器内全圧 1.5 MPa、硫酸濃度 0.8 mol/L、浸出温度 160 °C、浸出時間 60 分で銅の浸出率は 95%に達し、極めて高い分離性が得られることを確認した。さらに、投入粒度や浸出温度、硫酸濃度、反応圧力などの影響因子をもとに、熱力学的観点から活性化エネルギーの算出と、浸出メカニズムに寄与する主要因子の考察を行った結果、銅鉱石の浸出には浸出温度、硫酸濃度および酸素加压による圧力付加が特に重要な役割を果たしていることを明らかにした。本章では、浸出機構の考察や浸出残渣との相関性をもとに、炭素質難処理銅鉱石からの銅回収の可能性を究明した点が特徴になっている。

第4章は総括であり、本研究で得られた内容を総括するとともに、浮選尾鉱や炭素質難処理銅鉱石を中心に、銅回収のための浮選や高温高压浸出の有効性を示しつつ、鉱物処理技術としての可能性や展望を論述した。

以上、本研究では、選鉱尾鉱ならびに炭素質難処理銅鉱石からの銅回収を目的に、浮選あるいは高温高压浸出法を利用した銅回収方法を調査し、条件の最適化や反応モデルの考察をもとに、銅の浸出・回収メカニズムについて論考を展開した。これらの研究成果は銅資源の安定供給に加え、鉱物処理技術の進展にとって重要な知見であり、工学的意義は極めて大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認められる。

## 論文審査結果の要旨

本学位審査委員会は、平成31年2月8日（金）午前10時30分から午前11時35分まで、国際資源学研究科1号館3階S310教室にて論文公聴会および審査委員会を開催した。柴山 敦 審査委員会主査、石山大三 審査委員、川村洋平 審査委員による出席のもと、論文内容と関連事項に関する詳細な質疑応答並びに口頭による学力確認を行った。

特に、博士論文で述べられた浮選尾鉱あるいは炭素質難処理銅鉱石への浮選あるいは高温高压浸出法による銅回収プロセスと反応メカニズムを中心に、

- (1) 研究の主旨をどのように考えているのか。対象鉱石の処理を優先しているのか、それとも技術やプロセス開発を重視しているのか。
- (2) 今回の技術を実用するにはどのような課題があるのか。環境対策やエネルギー削減などの可能性はあるのか。
- (3) 尾鉱を浸出する際、今回の研究で得られた170℃よりも低温で浸出時間を長くしても同様の結果が得られるのか。
- (4) 経済性はどうか。高コストな処理法と考えられるので今後検討が必要ではないか。
- (5) 銅資源のポテンシャルとしてボツワナは世界生産にどの程度貢献しているのか。
- (6) 浸出時に元素硫黄の生成は考慮しなくてよいのか。
- (7) 今回の研究、技術開発の最大の要点はどこになるのか。

などの質問が行われたが、申請者からは学術的考察にもとづいた明確な回答が示された。

よって公聴会の後に開催した学位審査委員会は、**Refilwe Sandra Magwaneng**氏が最終試験に合格し、博士（工学）として十分な資格があるものと判定した。