

海水を利用した含モリブデン銅鉱石の浮選に関する研究

田中, 善之

<https://hdl.handle.net/2324/4784601>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 田中 善之

論 文 名 : 海水を利用した含モリブデン銅鉱石の浮選に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

銅資源の需要は、再生可能エネルギーや電気自動車の普及などにより高まっているが、銅鉱石品位の低下、鉱石の複雑化、鉱床の深部化などが進行しており、鉱物処理工程、特に浮遊選別（浮選）の操業コストを低減するための技術開発が必要とされている。また、環境保護の観点から、浮選工程には海水を使用することも求められている。これらのことから、鉱山を経済的に稼行するための浮選の評価方法が必要とされている。浮遊選別（浮選）は、鉱物の濡れ性を利用して分離を行う手法で、その処理鉱は性状（酸化度合い、含有硫化鉱物）、磨鉱した後の適切な粗選給鉱粒度、浮選 pH、捕収剤、起泡剤、条件剤の選定と添加量などの影響を受ける。また、現在の主な銅鉱山は斑岩銅鉱床によるものであり、深度や場所により多種多様な硫化鉱、酸化鉱により構成されており、鉱物の組成や酸化度により浮選挙動は変化する。これらのことから、本論文では、様々な鉱物を含む銅モリブデン鉱石、またこれらを混合した鉱石において、回分浮選試験を行い、鉱物組成と鉱石の酸化度、浮選用水と pH、粒度などが浮選挙動に及ぼす影響について検討を行った。これらの実験結果の重回帰分析を行うことにより、任意の条件の浮選における銅モリブデン回収率と品位について、統一したモデル式で推定できることを明らかにした。また、これらの手法を、より大型のパイロット試験、また実操業においても適用できることを明らかにしている。

本論文は、8 つの章で構成されている。第一章では、本研究の背景と目的、関連する従来の研究と当面の課題および本論文の構成について述べた。

第二章では、5 種類の浮選給鉱鉱石を用いて MLA と XRD を用いた鉱物学的分析を行った。その結果、各鉱種中に存在する銅鉱物は、*chalcopyrite*、*bornite*、*chalcocite*、*covellite*、*atacamite*、自然銅であり、モリブデン鉱物は、*molybdenite* と酸化モリブデンを確認した。鉱石中におけるこれらの銅鉱物の割合は、鉱石の酸化度と強い相関関係があり、酸化度の低い鉱石 **Sample A**、**B** では、*chalcopyrite* が主な銅鉱である一方、酸化度が高くなるにつれ、*chalcopyrite* の割合は減少し、次いで *chalcocite*、*bornite*、*atacamite* の割合が増加した。さらに酸化度が高い **Sample D** と **E** では、*bornite* の割合が減少し、*atacamite*、*covellite*、自然銅の割合が増加した。これらの鉱石 **Sample** を、粒度分布が類似した値になるよう粉砕し、浮遊選別試験 **Sample** として使用し、また、これらの鉱石 **Sample** を混合した、コンポジット鉱石として、**Sample F** の調整を行った。実操業と類似した実験条件とするため、実験に使用する用水、試薬についても、実操業を参考に準備した。

第三章では、5 種類の酸化度の異なる鉱石 **Sample** による海水による浮選試験を行った。**Sample A**、**B** は一次硫化鉱帯、**Sample C**、**D** は二次硫化鉱帯、**Sample E** は酸化鉱帯から採取した鉱石を用いた。また、これら 5 つを混合した **Sample F** についても、同様に浮選試験を実施した。その結果、銅とモリブデンの回収率は、銅の酸化度が高くなるにつれて低下しており、銅の酸化度（酸可溶性銅と全銅の比率）に強く影響されることを明らかにした。この結果は、銅鉱物の酸化により溶

出した銅イオンがモリブデンの浮遊性を抑制している可能性が示された。酸化度と浮遊性の結果からは、Sample B<A<C<D<Eの順に酸化されていることが明らかになった。鉱種別およびそれらに含有される各鉱物と銅、モリブデンの最大理論回収率 (R_{max}) と一次速度係数浮遊速度係数 (k) を算出し、ブレンド比率から各鉱種を混合した鉱石 (Sample F) に含まれる各鉱物と銅とモリブデンの R_{max} と k を求めることで、各鉱石のブレンド比率から混合した鉱石の各種鉱物と銅およびモリブデン回収率を予測できることを明らかにした。

第四章では、海水および実際の鉱山の選鉱工程で使用されているプロセス水を用いて浮選における銅およびモリブデンの挙動と pH の関係を調べた。pH の増大に伴い一次浮選速度式で近似して求めた k は低下し、 R_{max} は若干低下する傾向が認められた。このことは、高濃度の石灰を添加して pH を上昇させると、 $Mg(OH)_2$ や $CaCO_3$ などの沈殿物が発生するためなどと推察された。また、銅とモリブデンの品位は pH7.7 と 9.5 で高くなる傾向が認められた。pH7.7 では、沈殿生成が起こらないため、銅およびモリブデンの浮遊性が高かったこと、pH9.5 では pyrite の浮遊性が抑制されたために結果として銅およびモリブデンの品位が上昇したためと推察された。

第五章では、給鉱粒度を 100 μm から 320 μm の範囲で変化させ、銅およびモリブデン鉱物浮選への影響について調べた。その結果、粗選給鉱の粒度は 10 μm 粗粒化するに伴って回収率は銅で 6.6% 低下、モリブデンで 7.5% 低下した。これは、浮選給鉱が粗粒になると、単体分離度が低下し、浮遊しにくい鉱物である脈石と硫化鉱物との片刃が増加するためであった。給鉱粒度 170 μm と 240 μm の給鉱の鉱物別単体分離度は、粒度の細かい場合に高いことが分かった。主要な銅鉱物および molybdenite は 35 秒までに大部分が浮遊し、その後残りの鉱物がゆっくりと浮遊してくることが確認された。また、細粒ほど、35 秒までの単体分離した鉱物の浮遊が多いことが分かった。

第六章では、100kg/h 鉱石の処理が可能な選鉱パイロット設備を建設し、予備試験に基づいた立ち上げを行い、稼働鉱山の成績が再現できる設備調整と浮選条件の確認を行った。パイロット設備での試験は 100kg/h で 96 時間 (4 日間) の連続試験を基本とし、稼働鉱山をイメージして選鉱用水には海水を使用した。設備はボールミルと再磨鉱ミルに加えて、8 台の 20L 容積の粗選セルと 5L の精選セル 4 台と同容積の清掃選セル 2 台およびカラム浮選で構成されていて、浮選試験中には選鉱用水である海水は精鉱の脱水で発生した用水以外を繰り返し使用した。処理量 100kg/h としたパイロット設備の物量バランスは、目標とする稼働鉱山と酷似しており、パイロットプランでの粗選回収率およびバルク回収率は稼働鉱山の粗選回収率と比較して同程度の成績となった。

第七章では、パイロット設備を使用し浮選に影響する主要な因子 (鉱石の種類、給鉱品位、酸可溶性銅、給鉱粒度、浮選 pH、用水) を変化させ連続浮選に及ぼす影響について検討するとともに、第三章から第五章で述べた実験室規模の試験結果からパイロット設備および実際の稼働鉱山の浮選成績予測法について検討を行った。パイロットおよび稼働鉱山での銅酸化度と銅およびモリブデンの回収率の関係について調査した結果、いずれの場合も粗選およびバルク浮選での銅、モリブデン回収率は、酸化度が高くなれば低下し、ラボでの浮選結果と同様な結果を示した。なお、パイロットの粗選、バルク浮選では、酸化度が 10% 増大すると銅とモリブデンの回収率は約 12% 程度低下すること、実操業でも同様な傾向が得られることが明らかになった。また、ラボ試験の給鉱粒度、給鉱銅品位、給鉱モリブデン品位、溶解性銅、pH を用いて行った重回帰分析で得た相関式により銅およびモリブデンの回収率と品位を予測できることがわかった。同様に、パイロット、実操業についても相関式を求めたところ、パイロットでも回分試験と同様に良好な予測が可能であった。実操業では、本研究で使用した鉱石と同様の鉱石を処理していた期間で良好な相関式を得ることができ、特にモリブデンのバルク浮選品位について、良好な予測が可能であることがわかった。

第 8 章は結論であり、本論文のまとめと総括を行っている。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。