

PS-33 海底熱水鉱床開発のための海底選鉱に関する研究

海洋開発系

東京大学大学院

中島 康晴、山本 謙司、金田 成雄、高橋一比古、
正信聡太郎

岡屋 克則、松尾 誠治、藤田 豊久

(*：研究実施当時在籍)

1. はじめに

我が国の排他的経済水域（EEZ）には、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラストなどの非在来型金属鉱物資源が存在することが知られており、海洋基本計画に基づき、その開発を推進するための研究開発が進められている。海底熱水鉱床については、水深約 700～1600m の海底で鉱石を採掘し、その全量を海上の母船に揚鉱したのち、陸上の施設に輸送して選鉱・製錬を行うことが想定されている。このため、海底から陸上までの輸送コストが資源開発コストの中で大きな割合を占めると予想される。海底において鉱石から有用鉱物を選別し、そのみを揚鉱すれば、開発コストを低減できると期待される。著者らは、図-1 に示すように鉱石を海底において粉碎・選別するプロセスを海底選鉱と名付け、その要素技術に関する研究を実施した。

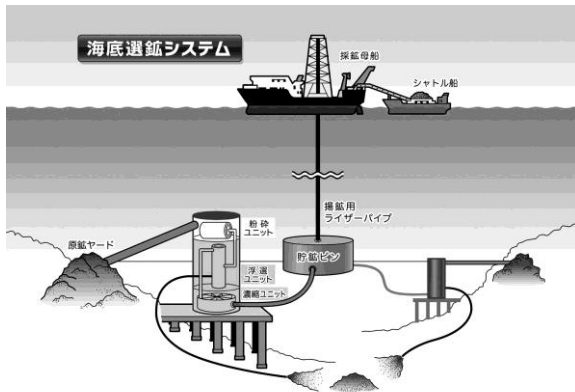


図-1 海底選鉱の概念図

2. 選鉱とその要素技術

陸上の鉱山では、採掘した鉱石を山元の選鉱場において破碎・粉碎し、精鉱と尾鉱とに選別する。精鉱は製錬所へ送られ、製錬して金属地金を得る。一般に、破碎から選別までの一連のプロセスを選鉱と呼び、大別して破碎、粉碎、分級、選別等のプロセスから構成される。選別を狭い意味での選鉱と呼ぶ場合もある。

2.1 破碎・粉碎

鉱石の破碎・粉碎には、1m 程度の鉱石を 100mm 程度にまで破碎するジョークラッシャー等の粗砕機、100mm 程度の鉱石を 10mm 程度にまで破碎するクラッシングロール等の中砕機、10mm 程度の鉱石を 10 μ m 程度にまで粉碎するボ

ールミル等の粉碎機（微粉碎機）が使用されている。

ボールミル粉碎では、ミル容器内に粉碎する試料と鉄球等を封入し、容器を回転させる。容器の回転に伴って鉄球が連続的に落下し、衝突や摩擦により試料が微粉碎される。

2.2 分級

粒子を粒径や密度などの特性の違いによって粒度群に分ける操作を分級と呼ぶ。通常、粒径によって分ける粒度分級のみを分級と呼ぶことが多い。分級機は、粒子を分散させる媒体が液体（主として水）か気体（主として空気）かによって、湿式分級機と乾式分級機に大別される。主な湿式分級機としては、重力分級機、水力分級機、遠心分級機、ハイドロサイクロンなどが知られている。

2.3 選別

粉碎した鉱石粒子の性質を利用して有用鉱物と不要な脈石とを選別する。代表的な選別法として、比重の違いを利用する比重選別、磁性の違いを利用する磁力選別、鉱物表面の濡れ性の違いを利用した浮遊選別（浮遊選鉱、浮選）等が知られている。

海底熱水鉱床等に含まれる硫化鉱物は水に濡れにくく、これに対して脈石は濡れやすいため、硫化鉱物の選別には浮選が適用されることが多い。試薬を含む水と微粉碎された鉱石粒子（原鉱）を混合した混合液（パルプ）を浮選機に投入し、気泡と接触させると、硫化鉱物を多く含む粒子は気泡に附着して浮上するが、脈石の粒子は気泡に附着せず沈降するため選別することができる。浮選機の種類としては、機械的な攪拌により気泡を発生させるアジテア型浮選機、背の高い円筒状容器（カラム）の下端から空気を圧入して気泡を発生させるカラム型浮選機などがある。

3. 海底選鉱の要素技術の検討

本稿では、海底選鉱の要素技術のうち、粉碎及び選別に関する研究の成果について報告する。粉碎機としてはボールミル、選別機としてはカラム型浮選機を海底選鉱に適用することを想定し、海底を模擬した高压水中条件における模型試験を実施し、これらの適用可能性を検討した。

3.1 ボールミル粉碎

粉碎試料として石英（硅砂）を使用し、ミル容器内の圧力

が大気圧となる場合（大気圧条件）と、高圧（10MPa）となる場合（高圧条件）の両方において粉碎した。また、陸上で一般的に行われている湿式粉碎と、ミル容器内が水で満たされている状態での粉碎（以下、本稿では水没粉碎と呼ぶ）を行い、その結果も比較した。

実験は内径 120mm のミル容器に、鉄球（外径 25mm）、所定量の石英（80%通過径：720 μ m）及び水を封入して実施した。ミル容器の回転数（ M [rpm]）は、次式で与えられる臨界回転数（ N_c [rpm]）に対する比（ N/N_c ）が 70~130%となるように条件づけた。ここで、 D_m はミル容器の内径[m]である¹⁾。

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D_m}}$$

実験結果を図-2に示す。高圧条件でも概ね陸上と同程度の粉碎性能が得られた。水没粉碎では、回転数に対する粉碎性能の特性が湿式粉碎とは異なっていたが、最適な回転数では、高圧条件でも概ね陸上と同程度の粉碎性能が得られることが示された。

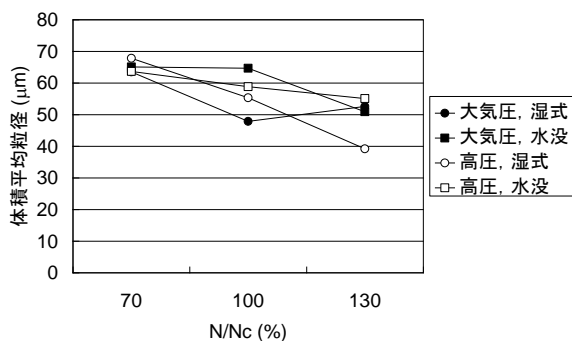


図-2 大気圧条件及び高圧条件におけるボールミル粉碎の結果

3.2 カラム型浮選機

図-3に海底選鉱用カラム型浮選機の概念図を示す。基本的な構造は陸上用のカラム型浮選機と同様であるが、気泡発生のための空気を海上から圧入する必要がある。実験では、これを模擬した簡易的な実験装置を製作し、最大で 10MPa までの高圧水中条件で浮選の模擬実験を実施した。パルプ中の試薬濃度等の条件設定については、予め陸上において大気圧での浮選実験を行い、最適な条件を見出した。

図-4に、清水をベースとしたパルプを用いた高圧条件（1MPa）下での浮選模擬実験で得られた精鉱及び尾鉱に含まれる主要な元素の品位を示す。精鉱では、原鉱と比較して銅や亜鉛などの品位が高く、ケイ素やカルシウムなどの含有率は低下した。海水をベースとしたパルプを用いた実験でも概ね同様の結果が得られた。以上のことから、浮選についても、海底選鉱への適用可能性が示唆された。

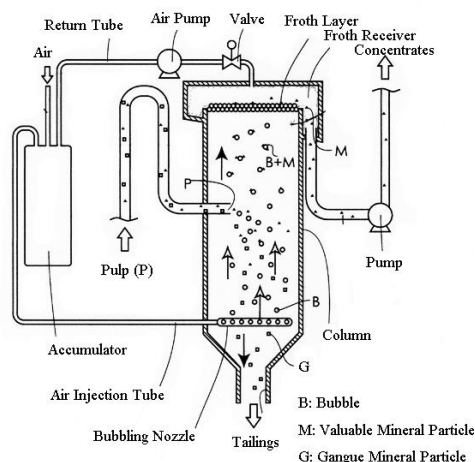


図-3 海底選鉱用カラム型浮選機の概念図

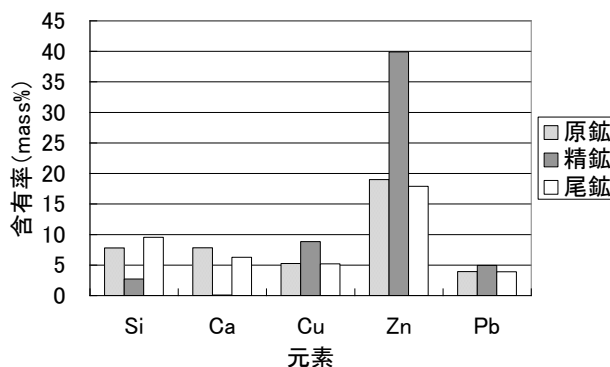


図-4 高圧条件（1MPa）下における浮選模擬実験で得られた精鉱及び尾鉱に含まれる主要な元素の品位

4. まとめ

海底選鉱の要素技術として、ボールミル粉碎及びカラム型浮選機を海底選鉱に適用することを想定し、深海底を模擬した高圧水中条件での実験を行い、これらの適用可能性について検討した。ボールミル粉碎については、高圧条件での水没粉碎において陸上での粉碎と概ね同程度の粉碎性能が得られた。また、浮選についても、海底選鉱への適用可能性を示唆する結果を得ることができた。

さらに、これらの要素技術をシステムとして統合し、稼働させるために必要な、計測・制御等の技術についても検討を進める必要があると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号 22360373）を得て実施されました。

参考文献

- 1) 粉体工学会編，粉体工学便覧，日刊工業新聞社，pp. 487~513 (1986)