

海底資源掘削法についての考察

学生会員 宮崎 良平* 正会員 木村 元**

A study of excavation for mining from the deep sea floor

by Ryohei Miyazaki, *Student Member* Hajime Kimura, *Member*

Key Words: mining machine, Mining system, submarine hydrothermal polymetallic ore

1. 緒言

我が国の排他的経済水域の深海底には、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラスト、レアアース堆積物など鉄や銅等のベースメタルやハイテク産業に欠かせないレアメタルやレアアース鉱物資源の存在が確認されており、これらの安定供給のためにも地上での採鉱と競争可能な採掘技術の確立が急務である。これまで履帯式の車体にカッタードラムやジェットノズルを取り付け、海水と一緒にパイプで海上まで引き上げる方式が開発されてきたが、移動や採鉱に大きなエネルギーを消費する問題がある。

本研究では、採鉱の際のエネルギー消費が少なく、周囲に汚染物質をまき散らすことのないフレーム着定式の採鉱装置を提案し、運用コストの概算を従来方法と比較することで実現可能性を検討する。

2. 海底資源の可能性

日本の排他的経済水域内における潜在資源量は、海底熱水鉱床は世界第1位、コバルトリッチクラストは世界第2位となっており、その回収推定額は180兆円以上だと言われている¹⁾。また、これらの海底鉱物資源を5000t/日採掘したとすると収入は、2~6億円/日である。また、南鳥島のsite800では、300万t/年採掘したとすると収入は、700億/年である²⁾。

3. 採鉱システム

3.1 全体の採鉱システム

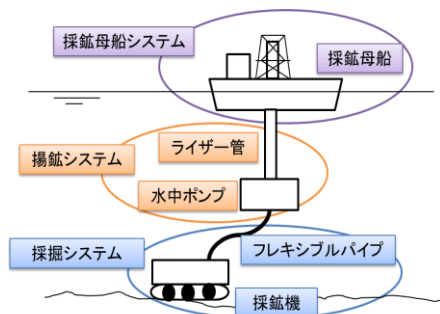


Fig. 1 Conception diagram of the mining system

採鉱システムは、大きく3つのサブシステムから構成され、①海底で鉱石を採掘する採掘システム、②採掘さ

れた鉱石を海面まで揚げる揚鉱システム、③海面に揚がった鉱石を処理し陸上に運ぶための採鉱母船システムに区分される³⁾。

3.2 従来の採鉱機

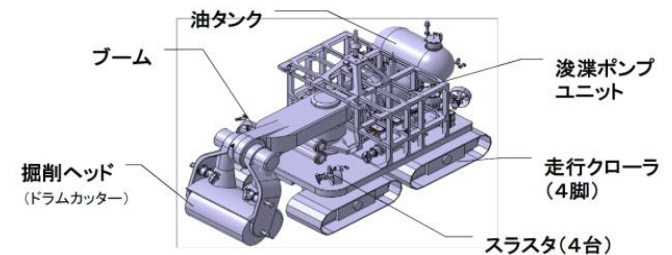


Fig. 2 Image of conventional mining machine

従来の採鉱機は、Fig. 2のような自走式の履帯式が一般的となっている⁴⁾⁵⁾。そして、このような採鉱機が平成24年8月に日本の海底熱水鉱床にて実証実験を行った³⁾。以下にその実証実験にての問題点・改良すべき点を述べる。

- ①反力の問題：掘削カッターの反力に対応するために採鉱機自身を大型化する必要がある。将来的には、ダイヤモンド掘削機（約200トン）のスケールが必要。
- ②採鉱機の移動の問題：海底は軟弱な地盤のため、車輪や履帯の沈下のため移動が困難である。移動することが出来たととしても大きな轍（わだち）を作って移動するため、大きなエネルギーコストを要する問題がある。
- ③環境面の問題：掘り起こす際に砂等を巻き上げることなどにより、周辺環境面の悪化につながる。
- ④カメラ等にセンシングの問題：掘削する際に相当、砂等は舞い上がり、カメラでのセンシングはほぼ不可能。
- ⑤自動化の問題：今はオペレータによるリモコン操縦で採鉱機を稼働させているが、将来は自動化したい。
- ⑥ソナーの問題：現在使われているソナーだけを使って採鉱機を思いのままに操作することは難しいレベルである。掘削前に掘削範囲をスキャン等することで、掘削前に地形データを把握して、掘削を行いたい。

3.3 従来の採鉱機の移動の問題

平成24年8月に、JOGMECが沖縄海域伊是名海穴に産する海底熱水鉱床地帯で採掘試験を実施をした³⁾。その際に、海底は軟弱な地盤のため、移動が出来ないという問題が生じた。

参考文献6を元にTable 1の履帯式の採鉱機で計算を行ってみる。Table 1より、水中重量は80[t]、採鉱機の横8.5[m]×縦4.5[m]より、接地圧を概算する。参考文献6の結果を元に外を挿行すると、初期沈下量は2.6[m]となり、またすべり沈下量は0.79[m]という結

* 九州大学大学院工学研究院海洋システム工学専攻

** 九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門

果が出た。また、海底熱水鉱床・コバルトリッチクラストより、地盤が軟弱だと思われるレアアース堆積物には、履帯式の採鉱機では移動することが出来ないのではないかと思われる。

4. 新たな海底資源掘削方法の提案

本研究では、新たな海底資源採掘方法として「フレーム着底式海底鉱床掘削機」を提案する。フレームにトロリー走行用の軌道を設置し、トロリーに掘削用カッタードラムを取り付ける。カッタードラム後方には、掘削と同時に掘り出した鉱物を吸い込むための吸い込み口が設置され、フレキシブルパイプを通じて支援母船へ送られる。フレームは海底に対し支柱と脚によって掘削が海底地形に影響されない高さに支持される。掘削時、本機を海底面に着底させ、掘削カッターをトロリーで移動させながら掘削する。掘削が終了したら、クレーンまたはフロートまたはスラストを利用して本機を海底面より持ち上げ、別の場所へ移動する。

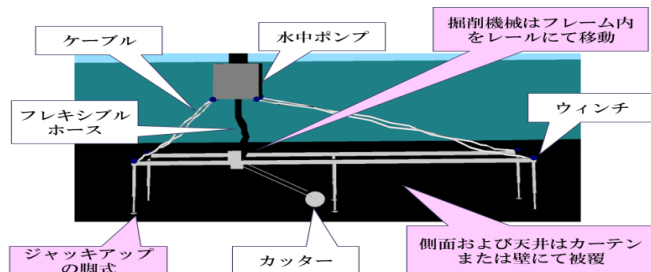


Fig. 3 Image of renewed mining machine

本システムは以下の特徴を有する。

- ①反力の問題への対応：フレームが大きな重量を有する、カッタードラムを大きくする、水中ポンプをこの構造内に入れることによって、重さの調整が出来、反力の問題を解決可能。
- ②採鉱機の移動の問題への対応：トロリーはレール上を移動するため、轍（わだち）等を作って移動せず、その分のエネルギーロスがない。また、履帯式のように移動するわけではないため、移動が出来ないことがない。特に、レアアース堆積物等の超軟弱地盤で有効だと思われる。
- ③環境負荷の低減：側面および天井はカーテン等にて被覆するため、掘削時における砂等の舞い上がりの拡散を防ぐ効果が高い。
- ④センシングの容易さ：トロリーに超音波距離計を取り付けて、スキャナーのようにセンシングすることによって、掘削する前に掘削対象の形状を正確に計測が可能にすることが可能である。そのため、視界悪化に影響されず、掘削が可能。
- ⑤自動化への容易さ：④で述べたように掘削前に地形データを把握でき、オペレータの手を借りず、採掘作業の完全自動化が可能。
- ⑥ケーブルの損傷・衝突等の回避：掘削カッター一部はレールを走行するので、ケーブルの損傷の回避が可能。また、1台のみの稼働のため、衝突等もなく、メンテナンス数も少なく済む。

5. 既存の履帯式方法と新システムの比較

新システムでは、以下の3種類を試算する。また、新システムの水中重量は、カッターの重量(㊸は23[t], ㊹と㊺は123[t])を構造的に支持することが可能な鋼材より構成される梁とラーメン構造として求めた。また、新システムの縦移動に関しては、フロートに空気を注入して浮上する場合を対象に試算を行った。

履帯式の採鉱機は、Fig. 2の採鉱機を対象とし、主寸法等はTable 1に示す。また、Table 1より掘削用馬力は400[KW]、移動用馬力は300[KW]とし、定格出力の700[KW]が常時、稼働していると仮定する。

新システムでは、掘削用馬力(カッターの動力)が稼働をしている際の消費電力と縦移動を行う際の消費電力を足し合わせたものを計算している。

Table 1 Comparison of. conventional mining machine and renewed mining machine(output: 5000t/day)

	履帯式の採鉱機	新たな掘削機案㊸	新たな掘削機案㊹	新たな掘削機案㊺
主寸法 (L×W×H)	8.5m ×4.5m ×4.3m	10m ×70m ×10m	18m ×108m ×10m	36m ×216m ×10m
水中重量	80t	116t	585t	1400t
掘削速さ	3.8m/分	3.5m/分	1.8m/分	1.4m/分
移動回数	なし	24回	8回	2回
掘削用馬力	400KW	172KW	540KW	540KW

Table 2 Comparison of. conventional mining machine and renewed mining machine about Total power consumption of the 1day (top) and Operating costs (low)

モデル/掘削機	履帯式の採鉱機	新たな掘削機案㊸	新たな掘削機案㊹	新たな掘削機案㊺
ベヨネーズ	16800KWh	8814KWh	18832KWh	16897KWh
	¥379,792	¥199,276	¥425,729	¥382,002
伊是名	16800KWh	15256KWh	29661KWh	23376KWh
	¥379,792	¥344,905	¥670,536	¥528,469
最大水深	16800KWh	17909KWh	34120KWh	26044KWh
	¥379,792	¥404,870	¥771,339	¥588,778

新システムは、水深が深くなれば深くなるほど掘削機を海底面より持ち上げ、別の場所へ移動するコストが高くなる。そのため、鉄鋼ではない材質に変え、総重量を軽くすることや掘削速さを速くすることで採鉱量自体を増やし、より収入を増やす。この方法には2つのパターンが考えられる。

1つ目のパターンは、掘削速さを履帯式と同じまで上げ、掘削機の移動回数を増やすことをせず、同じ経路を2回通ることで、掘削深さをさらに深くする方法である。これは海底熱水鉱床のようなマウンドの全体が資源の場合に適用できる。

2つ目のパターンは掘削速さを履帯式と同じまで上げ、さらに掘削機の移動回数も増やすことで掘削範囲を広げて、採鉱量を増やす方法である。これは、コバルトリッチクラストのように薄い層だけに資源がある場合に適用できる。またこの場合における移動時間は始めに定めた

時間に固定する。例えば、掘削機案①で試算をすると、パターン①においては、掘削速さを1.8[m/分]から3.6[m/分]とした場合は、採鉱量は5000[t]増加する。また、パターン②においては、掘削機の移動回数は4回分増加するが、採鉱量は2500[t]増加する。

これらを考慮すると、どちらのパターンにおいても掘削速さを履帯式の採鉱機の速さに近づけるだけで、同等のコストで最大で2倍の掘削性能を持つことが分かる。

6. 考察

5章より、既存の採鉱機の問題点を解決する新システムならではの長所、重量・掘削速さを再検討することで新システムは海底資源採掘の方法の一つとして、検討する余地が十分にあると分かった。また、フレームの移動にフロートではなくクレーンを用いれば、もっとコストを抑えることが出来、深度にも依存しないため、新システムはさらに優位となる。

7. 終わりに

本研究では、新たな海底資源採掘方法として「フレーム着底式海底鉱床掘削機」を提案し、従来の履帯式採鉱機との比較を行った。新システムは、従来の履帯式採鉱機の問題点を解決するだけでなく、掘削速さを再検討して試算を行った結果、同等のエネルギーコストで2倍の掘削性能が期待出来ることを示した。

課題は実際の海底データと照らし合わせ、シミュレーションすることで、新システムの大きさ等の再検討することである。また、レアアース堆積物においても、この新システムが適用することが可能であるかの検討である。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁(2011年)海底熱水鉱床開発計画にかかる第1期中間評価報告書。
- 2) 加藤泰浩(2012),『太平洋のレアアース泥が日本を救う』,PHP 研究所。
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁, 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構,海底熱水鉱床開発委員会(2013年)海底熱水鉱床開発第1期最終評価報告書。
- 4) 山本耕次(2010年),独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構セミナー・講演会資料「海底熱水鉱床の採鉱システムの検討について」
- 5) 石黒慎二,山内由章,小高宏幸,秋山清悟(2013),海底熱水鉱床採掘技術試作機の開発,三菱重工技報,Vol.50.No.2,37~42。
- 6) 室達朗,河原庄一郎(1986年),「剛性履帯と超軟弱地盤との相互作用」,土木学会論文集,第378号/III6,307~314。
- 7) 近藤操可,中山努,浚渫装置,特開2005-30138,公開日