

3,000m 級海底設置型掘削装置 “Unicorn-1”洋上試験報告

増田康佑・濱崎雅弘・川島良仁・大辻由希・泉田保
(深田サルベージ建設)

1. はじめに

わが国では海洋基本計画に基づき、メタンハイドレート、石油・天然ガス、海底熱水鉱床等の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画が進められている。これらの開発では、物理探査における資源量調査に加え、ボーリングによる地質調査が必要不可欠である。

当社は平成 27 年に水深 3,000m 級の海底設置型ボーリングロボット“Unicorn-1”を導入し、同年 2 月、翌年 28 年 3 月と 2 回の洋上試験を経て、商用運航を開始した。本稿はこのボーリングロボットの機材仕様と母船の新潮丸での運用、及び平成 28 年 3 月の洋上試験成果について報告する。また、海底熱水鉱床の掘削だけでなく、今後浅海域での地盤調査にも活用すべく本機改造を施している。これについても併せて紹介する。

2. Unicorn-1 システム及び使用船舶

2. 1 Unicorn-1

Unicorn-1 は海底熱水鉱床での掘削を目的として開発されたボーリングロボットである(図-1、表-1)。海底設置面積が約 5.5 m²と小さく、それぞれ独立して駆動するレベル調整用のドリル脚を 4 基備え、従来の大型の海底設置型掘削装置では着底が難しい、起伏が激しく狭い場所へも着底が可能である。

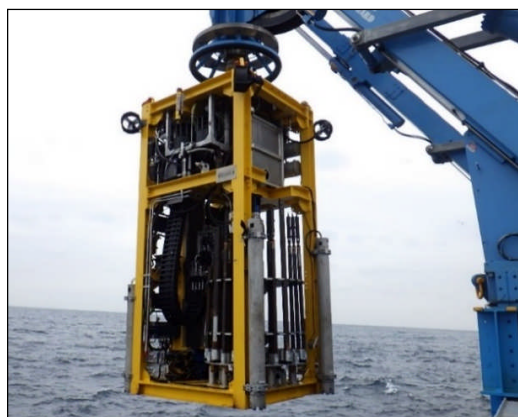


図-1 海底設置型掘削装置“Unicorn-1”

表-1 Unicorn-1 仕様

長さ/幅/高さ	2.35 / 2.35 / 4.85 m
機材搭載重量	13 t
最大運用水深	3,000m
最大掘削能力	65m
最大着地可能傾斜	30°
掘削工法	ワイヤーライン工法
ドリルツール径	H サイズ
コア径/コア長	61.1 / 1,500 mm

2. 2 投入揚収装置

Unicorn-1 投入揚収装置の A フレームには、その起倒に追従するアクセスプラットフォームを装備しており、整備等での高所作業も安全に行える仕様となっている。さらに、ウインチは上下揺補償機能(AHC 機能)が内蔵されており、船体から吊り下げた Unicorn-1 へ船体の上下揺を吸収し、本機を海底面へ衝撃なく着底させることが可能である。

また、Unicorn-1 とアンビリカルケーブルの接続部には常に約 20m のフロートが装備された状態で運用でき、接続部の折れに起因した損傷を防ぎ、掘削の際にはアンビリカルケーブルを弛ませて、直下の Unicorn-1 を転倒させたり、またこれと絡まることを防いでいる。

2. 3 作業母船

作業母船は、Unicorn-1 システム資機材一式(投入揚収装置、コントロールパン、各種コンテナ類)を艀装できる 500 m²以上の十分な甲板面積が必要であり、また船位保持機能として DPS を備える社有船の新潮丸として、本試験で運用している(表-2、図-2)。

本船はこの DPS 機能によって、掘削時におけるアンビリカルケーブルのキンク等を避けて、Unicorn-1 の直上に船位を保持することが可能である。なお、Unicorn-1 システムは同クラス以上の船舶であれば、他船舶での運用も可能である。

表-2 新潮丸仕様

寸法：全長/幅/深さ	70.7 / 16.0 / 6.8 m
総トン数	2,096 t
甲板面積	513 m ²
自動船位保持装置	DUAL DPS



図-2 作業母船「新潮丸」

3. Unicorn-1 システムの運用

3. 1 投入・揚収

ウインチ及びAフレームは、船体動揺の影響を最小にするために船体中央付近に艀装する。Unicorn-1 は、船体を定位置で横揺れが最小になるように波に立て、Aフレームにて吊上げた後、舷側より投入する(図-3)。

このため、船尾側投入型より動揺の影響を小さくして投入・揚収作業を行うことができる。

作業限界は、母船の耐航性と Unicorn-1 の投入揚収装置の性能により決定されるが、新潮丸の運用においては、

平均風速 10m/s

有義波高 2.0m

と定めている。



図-3 Unicorn-1 投入の様子

3. 2 着底

海底熱水鉱床域の地形は起伏が激しい場合が多く、着底場所の選定、及び着底作業は重要である。

Unicorn-1 は着底支援装置として、海底を観察するカメラに加え、海底面の起伏を計測する超音波高度計を備えている。これらの情報をもとに、海底面の状況を詳細に確認しながら着底点を選出することができる。(図-4)。

着底後、ドリル脚により本機のレベルを調整し、

鉛直姿勢の保持を確認して、掘削を開始する。

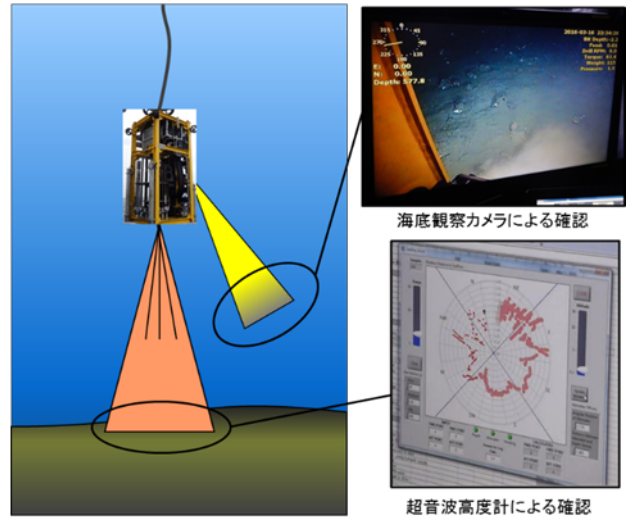


図-4 着地する海底状況の確認 (イメージ)

3. 3 掘削

Unicorn-1 は掘削工法として、ワイヤーライン工法を採用しており、従来工法による掘削と比較して作業能率は高い。掘削手順として、カルーセルに装填されたドリルツールをツールアームによって取出し、スイベルヘッドへ接続、ドリルツールを継足しながら掘り進む。採取したコアはオーバーショットによって回収され、ツールアームでカルーセルに収納される(図-5)。

これら一連の作業はコントロールバンの中から遠隔操作で行われ、ロボットの半自動操作で行われるが、必要に応じてオペレーターによる手動による操作も可能である。掘削中のドリルビットの回転数、先端にかかる圧力等の状態は数値化され、映像と共にコントロールバンから常時監視される。

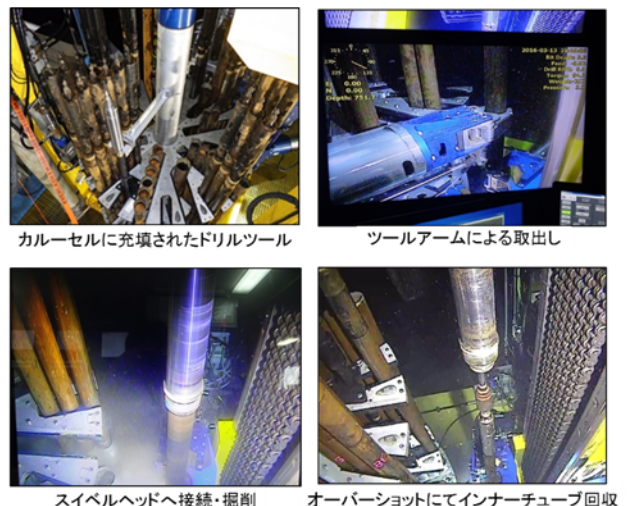


図-5 掘削の様子

4. 洋上試験成果

4.1 試験海域

本試験の目的は、Unicorn-1 システム一式の動作確認、及び実際の運用を想定した海底熱水鉱床の掘削である。前者は作業中に海象の影響が少なく、Unicorn-1 へ負担の軽い、比較的軟らかい地層を掘削するために伊豆門脇崎沖を選出した。後者は海底熱水鉱床域が確認されており、かつ出港地である横須賀から距離的に近い御蔵海山を選出した（図-6）。

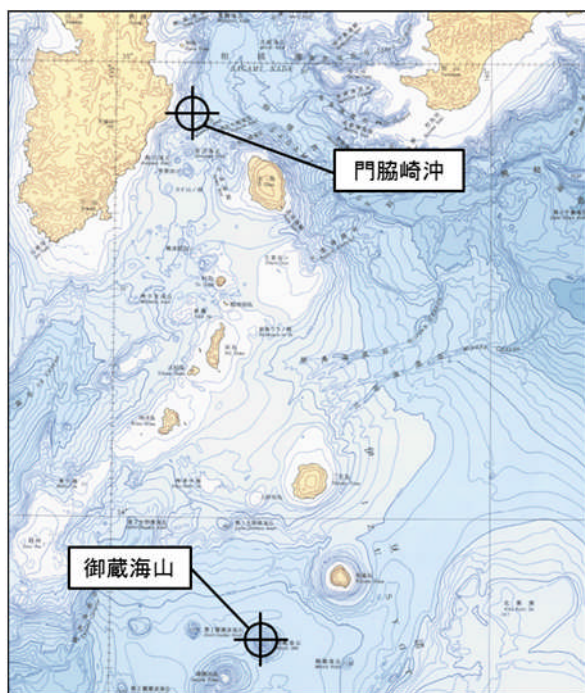


図-6 試験海域図

4.2 洋上作業

伊豆門脇崎沖にて Unicorn-1 システム一式の動作確認を完了し、新潮丸は御蔵海山へ移動した。御蔵海山を含む伊豆諸島周辺海域は、冬期の海象は厳しく、本試験でも作業限界を定めたが、実際は最大風速 15m/s、有義波高 2.5m 程度においても作業を実施できた。

Unicorn-1 投入後、コントロールバンにて水深、水圧、潮流の流向、流速、および着底支援装置を常時確認しながら着底させた。この海底面の傾斜角度は 17° であった。また、平成 27 年の試験においては傾斜角度 25° の海底面に着底し、掘削した実績を有する。

掘削時、海域の潮流は最大流速 2.7kt であった。このため、アンビリカルケーブルの余長を取り、

母船と Unicorn-1 がなるべく直線状になるようにし、アンビリカルケーブルへの潮流の影響を最小限にした。

また、海底熱水鉱床域の地質は、動作確認で掘削した地質と異なり非常に硬質であるため、ドリルビットの摩耗の防止及び掘屑を効率的に排出するために、掘削開始時から掘削水は海水ではなく泥水を使用した。

4.3 試験結果

伊豆門脇崎沖における動作確認を終え、御蔵海山で実施した試験掘削では、試験期間と海象の制約から、二地点の掘削にとどまり、海底熱水鉱床そのものを採取することはできなかった。

しかし、二地点目（MK02）の掘削は海底熱水鉱床に準ずる硬度であると思われる安山岩質玄武岩のコア採取に成功し、約 10 時間で 24m を掘削し、コア採取率も 70% を超えるものとなった（表-3）。

この掘削では、深度 24m を超えたところで荒天も激しくなり、掘削試験を終了し、待避した。

表-3 御蔵海山(MK02)コア採取結果

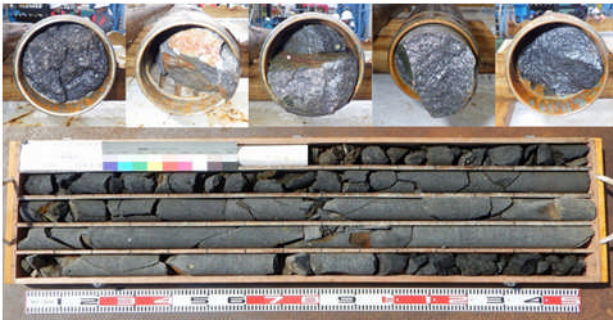
海域	水深	掘削長	採取コア	掘削時間
御蔵海山(MK02)	752m	24.528m	17.20m	約 10 時間

4.3 採取コアの状況

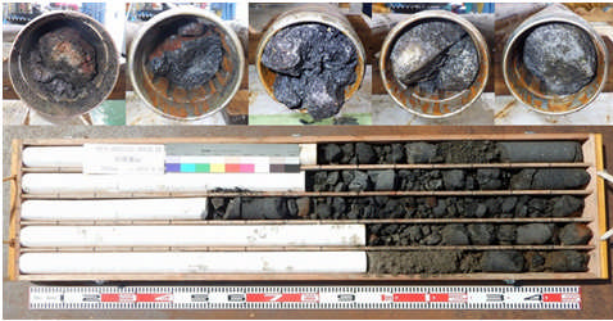
御蔵海山（MK02）にて採取したコアの写真掘削深度順に示す（図-7）。上部は Unicorn-1 揚収後、インナーチューブよりコアを回収した際の写真である。

採取したコアは、掘削深度 0m～7.5m 程までは比較的岩質である。7.5m～22.5m では、コアは大部分が礫質と火山灰質より構成されている。それらのコア回収率が他の掘削深度よりも低くなっているのは、掘屑として排出された、もしくは空隙率が大きく、掘削時に圧縮されたと考えられる。22.5m～24m では、コアは岩質と火山灰質より構成され、24m 付近ではパミスが採取された。

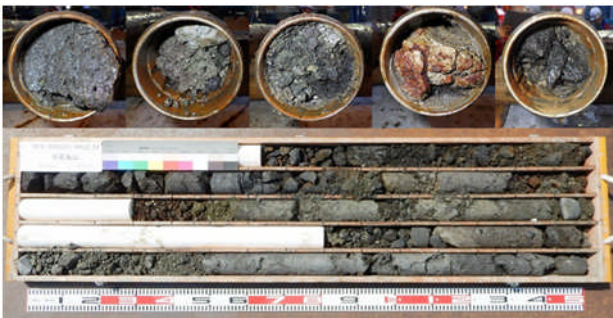
御蔵海山における掘削は二地点のみであるため、全体の構成を把握することはできないが、本試験でのコア採取地点は、火山活動により形成されたと確認できた。このことは同海山に海底熱水鉱床が確認されていることから裏付けられる。



0m～7.5m (比較的岩質)



7.5m～15m (礫質+火山灰質)



15m～22.5m (大部分が火山灰質)



22.5m～24m (岩質+火山灰質)

図-7 御蔵海山(MK02)コア試料

5. まとめ

Unicorn-1 システムの洋上試験の第二回目として実施された本試験は、門脇崎沖にて投入・揚収時や着底時における能力を確認した。御蔵海山における掘削試験では、最大風速 15m/s、波高 2.5m 程においても作業を実施し、約 10 時間で 24m を掘削し、そのコア回収率も 70%超を達成すること

ができた。以上の結果から、海底熱水鉱床掘削における Unicorn-1 システムの性能を示すことができたと考えている。

6. 地盤調査への適用

Unicorn-1 は海底熱水鉱床の掘削を目的として開発されたボーリングロボットであるが、拡張性を持たせており、脚部の改造により堆積層への地盤調査、例えば近年進められている洋上風力発電設置計画における地盤調査への活用も可能である。

この場合、調査海域の海象によっては台船に Unicorn 1 とコントロールバンを艀装し、投入揚収はクローラークレーン等により行うことも可能であり、港湾区域などの浅海域において、Unicorn-1 システム一式を艀装するよりも、総コストを抑えて調査することが可能である。

このため、現在の海底熱水鉱床用のドリル脚を、地盤調査等における軟らかい海底面へも着底を可能とする設置面積の広い展張式ドリル脚へ交換可能な改造を施している (図-8)。また、コーン貫入試験 (CPT) やプッシュコアラ-・ピストンコアラ-も導入済みで、コアラ-による物理的影響を最小限に抑えるツールも備えている。

これらの改造により、海底熱水鉱床の掘削だけでなく、今後の国内外における地質調査・地盤調査へ積極的に貢献したいと考えている。



展張式ドリル脚



CPT Plobe

図-8 地盤調査用 Unicorn-1 (改)

謝辞

洋上試験の掘削地点の選定に当たっては、国立研究開発法人 産業技術総合研究所にご助言を賜り、航海においても、ご指導を頂きました。深謝いたします。