

# 海洋開発事業への取り組み

## 海から社会の発展に寄与することを目指し

石田 和利

わが国周辺海域には、石油・天然ガスに加え、メタンハイドレート等のエネルギー資源や、海底熱水鉱床・マンガン団塊・コバルトリッチクラスト・レアアース泥等の鉱物資源の賦存が確認されている。国はこれら資源の商業化を目指し、賦存量の把握、生産技術の開発とそれに伴う環境への影響の把握等の取り組みを着実に進めている。そうした中、国の調査船だけでは補えない部分を民間の調査船・ロボットを使用して事業に取り組んでいる。本稿ではこうした民間企業の船舶・ロボットを実績と合わせて紹介する。

キーワード：多目的作業船，自律型無人潜水機（AUV），遠隔操作無人探査機（ROV），海底着座型ボーリング機（BMS），掘削槽（RIG）

### 1. はじめに

これまで日本には石油天然ガスや海底鉱物資源開発に必要な深海関連のマーケットがなく、技術的にも海外から遅れていることは否めない。一方海外においては石油・天然ガスを初めとして1980年代から深海マーケットの開発が始まっており、そうした技術開発が石油・天然ガスの豊富な資金をベースとして盛んに進められてきた。日本には要素技術として優れたものはあるが、それを統合した技術として仕上げていく場がなかったことが最大の遅れの要因と考える。技術は計画・設計・製作だけでなく、それを実際に現場で使える技術にしていくことが肝要だ。ただ、こうした技術開発には費用がかかり、海洋環境を考慮するとさらに技術として仕上げていくためには膨大な費用を必要とする。民間企業ではこうした費用とリスクを担えるほどのマーケットがみえておらず、そうした技術開発・成熟の場は公的資金に期待せざるを得ないのが実態である。また、ハード技術だけでなくオペレータ等の人材に関しても日本は育成が遅れており、これに関しても育成していく場が必要である。オペレータ等の人材も技術の重要な要素であり、海洋の場合、船の運航と一体となった運営が必要となることから、その育成に関しても併せて考慮していくことが必要と考える。

そこで外洋でのさまざまな運航を目的とした多目的作業船と深海で使用するロボットを保有し、わが国における海洋での取り組みに貢献している。本稿では、それらの船舶とロボットを簡単に紹介する。

### 2. 多目的作業船

#### (1) POSEIDON-1

「POSEIDON-1」は船首側に2基のトンネルスラスタ（可変ピッチ）（写真—2）、船尾側に2基のアジマススラスタ（可変ピッチ）（写真—3）を備えており、Kongsberg maritime 社製のDPS（自動船位保持システム）を導入している（写真—1）。DPのクラスはDP2であり、電源系統、信号系統はすべて2重



写真—1 POSEIDON-1



写真—2 トンネルスラスタ



写真—3 アジマススラスタ

化されている。これによりシステム構成要素の1つが損傷した場合でも、位置保持能力が喪失しないよう冗長性が確保されている。また、アンチローリングタンクにより横揺れを軽減することができる。その他、50 t吊オフショアクレーンを搭載しており、20 tの重量物を海面下 2,500 m の海底へ安全に着底させることが可能である。尚、本クレーンは AHC (Active heave compensation) を装備しており波浪による船体の上下揺をセンシングし、クレーンウインチの回転を制御することで吊荷の対地位置を保持することが可能である。

船体中央部に 5.4 m×5.3 m 四方のムーンプール（開口部）があり、その上に船上設置型の掘削装置「GMTR-150」（写真—12）を艀装している。この掘削装置を駆使し「日本海のメタンハイドレート掘削調査」<sup>1)</sup>を皮切りに、JOGMEC（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）殿の「海底熱水鉱床採鉱・揚鉱パイロット試験」<sup>2)</sup>において揚鉱母船として起用され、水中ポンプを吊降ろし、水深約 1,600 m の海底から破碎された鉱石の連続的な揚鉱に成功した実績がある。現在では洋上風力発電施設の海底地盤調査で運用している。

## (2) Stanford Hobby

「Stanford Hobby」は元々ムーンプールを有する DSV（ダイビングサポートバツセル）であり、船首側に 2 基のトンネルスラスタ（可変ピツチ）、船尾側に 2 基のアジマススラスタ（可変ピツチ）を備え、船位保持装置には Kongsberg maritime 社製の DPS を装備している（写真—4）。尚、DPS に使用する船位情報は DGPS の他、比較的浅い水深 12 ~ 500 m で有効な測位装置 Taut Wire（写真—5）も利用している。Taut Wire は約 350 kg のウエイトを海底に投入して、ワイヤーの角度を計測し、ウエイトに対する相対位置情報を取得する装置である。その他、20 t 吊のオフショアクレーンを搭載しており、陸上クレーン無しで資機材の積み降ろしが可能である。ムーンプール上に船上



写真—4 Stanford Hobby



写真—5 Taut Wire

設置型の掘削装置「GAIA-1」（写真—13）を艀装して洋上風力発電施設の海底地盤調査に従事し、静的コーン貫入試験、弾性波速度検層等を実施している。

## (3) 新潮丸

「新潮丸」は曳航兼海難救助船としてサルベージ作業やアンカーハンドリング、サプライ等の様々な作業を行う多目的作業船である（写真—6）。船首側に 2 基のトンネルスラスタ（可変ピツチ）、船尾側に 1 基のトンネルスラスタ（可変ピツチ）及び 2 基の可変ピツチプロペラを備えており、DPS を装備している。JOGMEC 殿「採鉱・揚鉱パイロット試験」では、揚鉱水運搬船として参画した。後述する海底着座型ボーリング機「UNICORN-1」（写真—14）を艀装して海底熱水鉱床のコアリング調査を行っている。



写真—6 新潮丸

## (4) 新世丸, 新日丸, 新竜丸

これらの船舶（写真—7 ~ 9）は同型船で、「新潮丸」と同様に曳航作業やサプライ等を行う多目的作業船である。船首側に 1 基のトンネルスラスタ（可変ピツチ）、船尾側に 2 基のアジマススラスタ（可変ピツチ）を備えており、DPS を備えている。写真—7 の「新世丸」には潜水可能深度 3,000 m の ROV「はくよう 3000」（写真—15）を常設しており、海底資源調査や海底落下物の回収などに使用している。「新日丸」（写真—8）には潜水可能深度 2,000 m の ROV「はくよう」（写真—16）を搭載している。「新竜丸」（写真—9）は来年度から AUV（自律型無人潜水機）「Deep-1」（写真—18）の作業母船とする予定である。



写真-7 新世丸



写真-8 新日丸



写真-9 新竜丸

(5) 新海丸

漁船クラスの高難救助や大型船の警戒業務を行う多目的作業船である (写真-10)。船首側に1基のトンネルスラスタ (固定ピッチ), 船尾側に1基の可変ピッチプロペラ (写真-11) を備えている。これまで潜航深度3,000mのAUV (自律型無人潜水機) 「Deep-1」 (写真-18) の母船として使用してきた。

これら多目的作業船の一覧を表-1に示す。



写真-10 新海丸



写真-11 可変ピッチプロペラ

表-1 多目的作業船一覧

船名	POSEIDON-1	STANFORD HOBBY	新潮丸	新世丸	新日丸	新竜丸	新海丸
長さ (全長)	78 m 00	65 m 50	70 m 70	60 m 98	61 m 01	60 m 86	46 m 90
幅 (型)	20 m 40	16 m 00	16 m 00	11 m 80	11 m 80	11 m 80	8 m 40
深さ (型)	7 m 00	6 m 00	6 m 80	5 m 45	5 m 45	5 m 45	3 m 98
満載喫水	5 m 50	4 m 50	4 m 80	4 m 60	4 m 60	4 m 60	3 m 00
総噸数	4,015 t	2,499 t	2,096 t	697 t	697 t	698 t	329 t
航行区域	遠洋区域 (国際航海)						近海区域
船級	ABS	DNVGL	NK				JG
最大搭載人員	77名	74名	64名	40名			38名
航行装置	DP-II & DGPS	DP-II & DGPS	DP-II & DGPS	DP-I & DGPS			Rader & GPS
主機馬力	3000PS×2基	2500PS×2基	3750PS×2基	2000PS×2基			1300PS×1基
巡航速度	11 kt	10 kt	13 kt	13 kt			11 kt
最大航続距離	10,500 浬	11,520 浬	13,100 浬	11,800 浬	12,000 浬	11,800 浬	7,000 浬
特記	HeaveConCrane Moon Pool GMTR-150 母船	HeaveConCrane Moon Pool GAIA-1 母船	SaaFloorDrill UNICORN-1 母船	ROV はくよう 3000 母船	ROV はくよう 母船	AUV Deep1 母船 ROV はくよう S-3000 搭載可	AUV Deep1 母船

### 3. 深海口ボット

#### (1) GMTR150

「POSEIDON-1」(写真-1)に搭載している掘削リグ「GMTR-150」(写真-12)はGeoquip Marine社製で、トップドライブ(リグ最上部)に最大150tの資機材を吊下げて作業することが可能である。水深と掘削長との合計で3,000mまで掘削する能力を持つ。また、Passive Heave Compensation装置を備え、上下揺±3.0mの変動まで対応可能である。



写真-12 RIG「GMTR-150」

#### (2) GAIA-1

「Stanford Hobby」(写真-4)に艀装した掘削リグ「GAIA-1」(写真-13)はARMADA Rig Builders社製で、トップドライブに最大25tの資機材を吊下げて作業することが可能である。デッキ上に1本約5mのドリルパイプを60本搭載しており、水深と掘削長の合計で300mまで掘削可能である。また、Passive Heave Compensation装置を備え、上下揺±1.5mの変動まで対応可能である。



写真-13 RIG「GAIA-1」

#### (3) UNICORN-1

BMS (Boring Machine System)「UNICORN-1」(写真-14)はCellula Robotics社製で水深3,000m級の海底着座型ボーリングロボットである。海中での方位制御用スラスタを4基、レベル調整及び固定用ドリルレグを4脚有する。この脚はそれぞれ独立して伸縮し、最大25°の傾斜面においても着底した実績がある。掘削はワイヤーライン工法を採用しており、1本1.5mのドリルパイプを接続しながらコア径61.1mmのコアを最大深度70mまで掘削できる。本機の投入・揚収はHawboldt社製のAフレームとActive Heave Compensator付きのウインチで行うため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。「UNICORN-1」の作業母船は通常「新潮丸」(写真-6)を使用している。



写真-14 BMS「UNICORN-1」

#### (4) はくよう3000

「はくよう3000」はInternational Submarine Engineering社製で、水深3,000mまで潜航可能なROV (Remotely Operated Vehicle 遠隔操作無人探査機)である(写真-15)。150馬力の電動油圧ユニットにより大型スラスタやマニピュレータなどの油圧装置を作動させる能力を持つWork Class ROVである。



写真-15 ROV「はくよう3000」

2011年に稼動を開始し現在までに1,300回以上を無事故での潜航を達成している。高精細な映像を撮影可能なハイビジョンカメラ、高感度広角白黒カメラ、デジタルスチルカメラ、更にマルチフレクエンスキャンソナーを備え、LEDライト、HIDライトを併用し、海中、海底の状況を正確に把握することができる。カメラで撮影した映像は船上の操縦室の他、船橋や専用の観測室にてリアルタイムで観察することが可能である。

ROVに搭載するジャイロ、水深計、高度計、音響測位装置によりROVの姿勢や位置を正確に把握することができ、緯度経度などで指定される任意の海底上の目的地にROVを水平距離1m程度の誤差範囲で誘導させるが可能である。

ROV前方に装備される2基のマニピュレータは、最大450kg持上能力による重作業から、7関節の高機動性を生かした綿密かつ複雑な作業まで、海底観測機器の設置・回収や海底上のサンプルの採取など、様々な作業の場面で柔軟に対応できる。

近年増加する海底調査作業などでは、特殊な調査機材をROVに積載し、海底で調査データを取得する手法が多用される。その際は、ROVを介して12V～240Vの適切な電力を供給し調査機材を駆動する。調査データはRS-232CやEthernetなど通信ラインを利用して、ROVを介して船上へ伝送することで即座に収集することが可能である。作業母船は「新世丸」(写真-7)。

#### (5) はくよう

「はくよう」はInternational Submarine Engineering社製で、水深2,000mまで潜航可能なROVである(写真-16)。100馬力だが「はくよう3000」と同様にWork Class ROVで、カメラやソナー、ライト等も同等クラスの機材を装備している。作業母船は「新日丸」(写真-8)。



写真-16 ROV「はくよう」

#### (6) はくよう S-3000

「はくよう S-3000」もInternational Submarine Engineering社製で、水深3,000mまで潜航可能なROVである(写真-17)。50馬力と小さいが、左右2基のマニピュレータ、サンプルBOX、カメラやライト等を装備している。Aフレーム・ウインチがコンパクトな一体型であり、必要に応じてどの船にも搭載が可能である。作業母船を「新竜丸」(写真-9)として運航する予定。

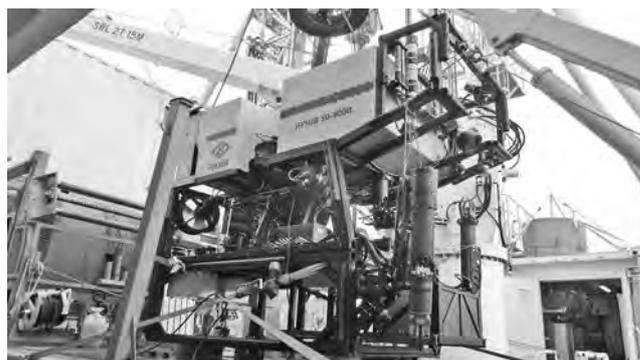


写真-17 ROV「はくよう S-3000」

#### (7) Deep-1

「Deep-1」はInternational Submarine Engineering社製で水深3,000mまで潜航可能なAUV(Autonomous Underwater Vehicle 自律型無人潜水機)である(写真-18)。円形断面の魚雷型、後部の垂直翼によりロールとヨーの姿勢制御を行い、前方の水平翼で上昇・下降を制御する。音響調査機器として海底地形図や鯨鯨図のデータを取得するMBES(マルチビーム測深機)、陰影図のデータを取得するSSS(サイドスキャンソナー)、断面図のデータを取得するSBP(サブボトムプロファイラー)、CTDを常設している。必要に応じて濁度計、Phセンサー、磁力計等各種センサーを追加搭載して探査を行っている。船上からの投入・揚収は母船に艀装したLARS(Launch And Recovery



写真-18 AUV「Deep-1」

表-2 深海ロボット一覧

機材	ROV			AUV	BMS	RIG	
名称	はくよう 3000	はくよう	はくよう S-3000	Deep1	UNICORN-1	GMTR-150	GAIA-1
製造者	ISE				CRL	Geoquip Marine	ARMADA
型式	HYSUB 150-3000	HYSUB 100-2000	HYSUB 50-3000	Explorer 3000	CRD100	GMTR-150	ARB25
潜航深度	3,000 m	2,000 m	3,000 m	3,000 m	3,000 m	許容荷重 150 t	許容荷重 25 t
長さ	3.02 m	2.50 m	2.64 m	4.60 m	2.28 m	9.1 m	3.0 m
幅	1.8 m	1.5 m	1.3 m	1.47 m	2.47 m	11.7 m	7.5 m
高さ	1.9 m	1.8 m	1.48 m	1.30 m	5.36 m	32.3 m	22.0 m
重量	4,575 kg	2,300 kg	1,905 kg	950 kg	13.5 t	-	-
巡航速度	3.0 ノット	3.0 ノット	3.0 ノット	3.0 ノット	掘削深度 70 m	掘削深度 3,000 m	掘削深度 300 m
その他	ペイロード：200 kg 馬力：150 HP	ペイロード：150 kg 馬力：100 HP	ペイロード：130 kg 馬力：50 HP	着水揚取装置 LARS	投入揚取装置 ヒブコンウインチ	最大回転数 250 rpm 最大トルク 29 kNm	最大回転数 150 rpm 最大トルク 17 kNm
備考	海底熱水鉱床 表層・砂層型メ タハイ コバルトリッチ クラスト	海底熱水鉱床 表層・砂層型メ タハイ コバルトリッチ クラスト		海底熱水鉱床 表層・砂層型メ タハイ コバルトリッチ クラスト	海底熱水鉱床 コバルトリッチ クラスト	海底掘削調査 (CPT, PS 検層 等)	海底地盤調査 (CPT, PS 検層 等)

System) を使うためダイバーやクレーンを使用せずに行える。AUV 母船はこれまで新海丸 (写真-10) を使用してきたが、来年度から新竜丸 (写真-9) となる。

これらの深海で使用するロボットの一覧を表-2に示す。

#### 4. おわりに

本稿では外洋を舞台とした多数定員の船舶と深海で使用する機械やロボットを簡単に紹介してきた。主要なシステムや機械の大部分が海外製ではあるが、こうした海外の先進技術を積極的に取り入れて、それをローカライズし、国内の技術と組合せて国内のニーズに対応することを指向している。

JCMA

#### 【参考文献】

- 1) 鳥取国際メタンハイドレートフォーラム～メタンハイドレート賦存域の環境評価と海底地盤工学の最前線～2017.3.15Wed P-66
- 2) 平成30年度第1回 JOGMEC 金属資源セミナー<海底熱水鉱床における取組と成果>採鉱技術開発～世界初の採鉱・揚鉱パイロット試験～2018年5月16日資料

#### 【筆者紹介】

石田 和利 (いしだ かずとし)  
深田サルベージ建設㈱  
東京支社 海洋開発事業 計画技術部  
部長代理

