5　海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

5.1　概略

5.1.1　オフショア船舶

海洋油ガス田開発では、掘削用リグや生産設備としてのプラットフォームなどの海洋構造物に加えて、開発・生産システムにおいては多くのタイプの船舶が使用される。図 5.1.1-1 には浮体式の海洋油ガス田での生産システムで使用される構造物や船舶、あるいは機器の例が記されている。

図 5.1.1-1　海洋油ガス田開発のイメージと海洋油ガス田開発で活躍する機器や船舶

（出典：Sintef、Infographic）

ここにも、様々なタイプのリグなどの海洋構造物に混じって、シャトルタンカーやドリルシップなど多くの船舶が描かれている。一般的には開発段階であれば、物理探査用の船舶、海底掘削用の船舶、種々の海洋施設設置用の船舶が必要とされ、生産段階になると、積出用の船舶、メンテナンスなどの操業支援用の船舶などが必要となってくる。これら海洋油ガス田開発などの海洋開発で使用される船舶を総称してオフショア船舶と呼ぶことがある。

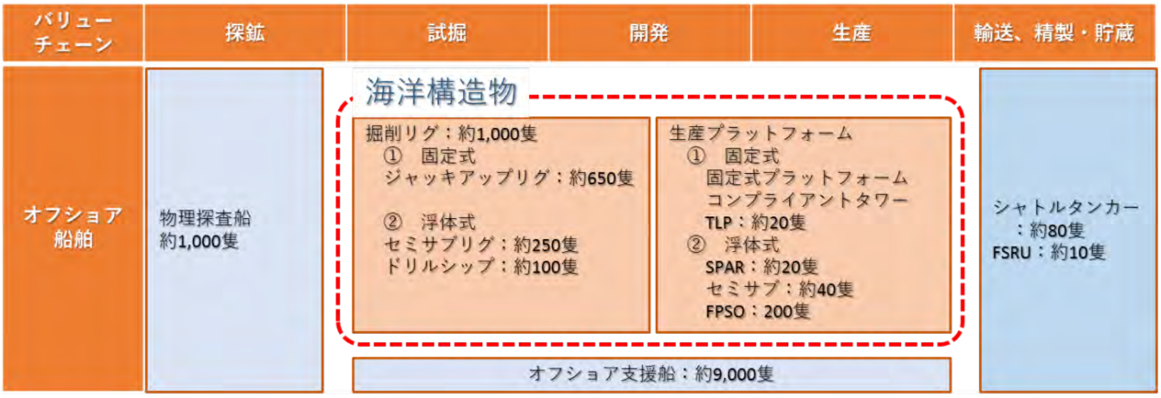


図 5.1.1-2　海洋油ガス田開発で使用されるオフショア船舶の隻数

（出典：みずほ銀行産業調査部）

図 5.1.1-3　海洋資源開発で用いられるオフショア船舶の例　（出典：国土交通省）

オフショア船舶は用いられる開発ステージにより図 5.1.1-2 のように変化する。例えば、オフショア船舶のうち探鉱段階で使用される重要な船舶としては物理探査船が挙げられる。物理探査船は海底に賦存する天然資源の場所や量を調査するための船舶である。図 5.1.1-4 をみると、近年の海洋資源開発の活発化を受けて、物理探査船の需要は堅調に推移している様子がうかがえる。現存する物理探査船については米国やノルウェーなど欧米で建造された船舶が中心であるものの、近年は図 5.1.1-5 にあるように、船型の大型化に対応可能な日本や中国などの造船所で建造されるケースもみられる。

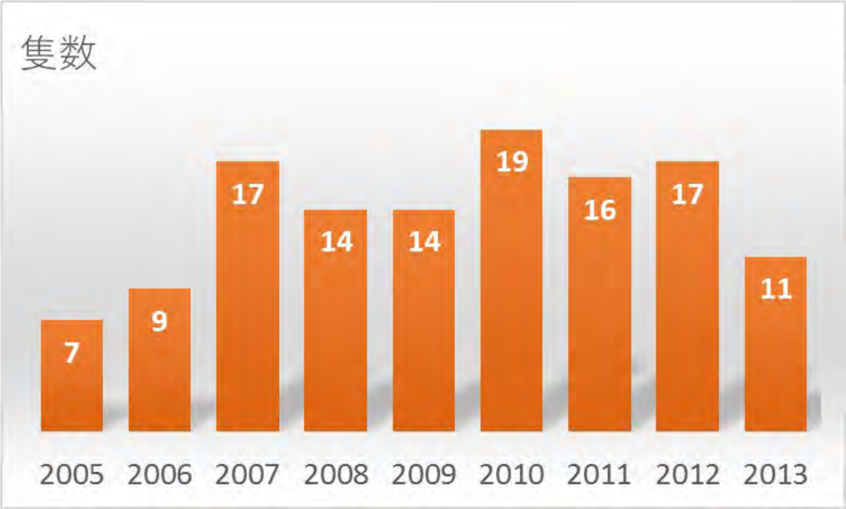


図 5.1.1-4　物理探査船の竣工隻数の推移　（出典：みずほ銀行産業調査部）

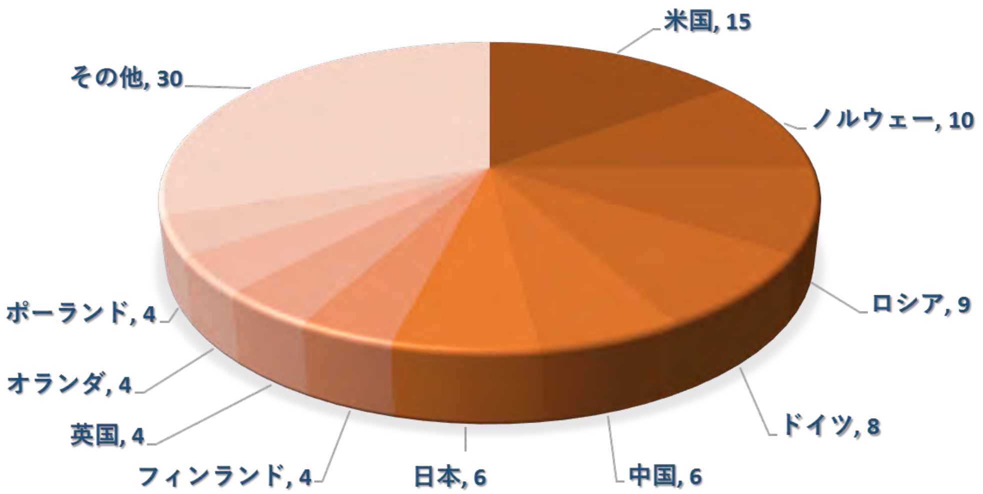


図 5.1.1-5　物理探査船建造国別現存船腹隻数内訳

（出典：みずほ銀行産業調査部）

探鉱段階を経て、試掘・開発・生産段階へと進んでいくと、掘削リグなど多様な海洋構造物が多く使用されると共に、多様なオフショア支援船が、試掘・開発・生産段階をサポートしていく。このオフショア支援船には、タグボートやパイプライン敷設船などが分類される。更に、輸送・精製・貯蔵段階になると、積み出しでのシャトルタンカーや FSRU と呼ばれる船舶が用いられる。図 5.1.1-2 にあるように、セミサブリグや Spar（円筒）型プラットフォームといった海洋構造物についても船舶に分類しているものもあるが、この章では、いわゆる船形のオフショア船舶について触れていく。Spar やセミサブなどの海洋構造物の紹介については第 4 章を参照していただきたい。

5.1.2　オフショア船舶のオペレーションの概略

表 5.1-1　主要船種の概要（2014 年 5 月時点）

	ドリルシップ	FPSO	LNG船	コンテナ船 (12K TEU+)	ケープサイズ (100K　DWT+)	VLCC
隻数 /発注残	108/72	169/16	394/123	173/102	1,594/350	626/85
新造船価 (M $)	600-800	500~3,000	200.0 (160K cbm)	117.0 (13K TEU)	58.0 (180K DWT)	100.5 (320K DWT)
主要造船所	韓国	韓国 シンガポール	日本・韓国	日本・中国・韓国	日本・中国・韓国	日本・韓国・中国
主要荷主	ペトロブラス オイルメジャー	ペトロブラス オイルメジャー	オイルメジャー 日系電力	多数	鉄鋼メーカー 資源メジャー	オイルメジャー 日系元売
主要オペレータ	Transocean Noble Drilling等	SBM、MODEC等	日系船社 オイルメジャー	欧州系・アジア系船社	多数	多数
保有形態	共同保有	共同保有	自社保有・共同保有 荷主保有	自社保有	船主起用※	自社保有
船舶管理	難しい	難しい	難しい	普通	普通	難しい
契約形態	Spot	長期	長期	Spot	Spot~長期	長期

※船主起用：船舶所有専業の船主に船を造らせて長期用船する形態

（出典：みずほ銀行産業調査部）

それぞれの船舶の紹介に移る前に、船舶のオペレーションについて見ておこう。表 5.1-1 の発注残の隻数と現存の隻数を比較すると、ドリルシップ（掘削船）の大幅増が見込まれるなど海洋開発に関しての積極的な投資が行われていると推察できる。また、こうした特殊な船舶を取り扱っている国や造船所が比較的偏っていることもうかがえよう。また、この中では FPSO の価格帯が一つ抜けて高く、次いでドリルシップが続いていることも理解できる。

また、表の中段下にある船舶の保有形態については自社保有や共同保有など様々で、保有会社と運用会社が別会社であることも少なくない。最終的には、要請へのタイムリーな対応と維持コストのバランスから、海洋構造物のオーナーとしてチャーター業務を手掛けるか、あるいは、生産設備やオフショア支援船を保有するかなどの企業戦略により、各社として最適と思われる保有の形態をとった結果としてこうした保有の傾向になっているということである。ただ、いずれの戦略をとるにしても、十分な資金力が無いと健全な海洋開発は出来ない。特に海洋開発に用いられる船舶の保有については海洋探査会社や掘削会社と同様に最新鋭の高付加価値な船舶が求められるため、既存の老朽化した船舶と最新鋭の船舶を如何にしてスクラップアンドビルドしていくかということが課題になると言われている。船舶に搭載する機器やその性能などについては、他章に譲るとして、ここでは海洋油ガス田開発の周辺で活躍する船舶そのものについての紹介をしていく。

以下の船舶の紹介を読むに当たっては、是非、船価やそれを扱う海域や企業なども意識すると、オフショア船舶に対しての理解が深まるであろう。

5.2 物理探査で用いられる船舶

世界の一次エネルギー需要は年々増大しており，主力エネルギー源である石油や天然ガスの開発市場は今もなお年々拡大している。この石油や天然ガスの在処を調べることを探査と呼ぶ。探査の中でも、自然もしくは人工的なエネルギー源が発する信号を測定することにより、地下の構造を調べる調査法を物理探査と呼ぶ。石油業界で通常用いる手法は、次のように大別される。

- リモートセンシング（衛星画像を用いる手法）
- 重力探査
- 磁力探査
- 電磁探査
- 地震探査

物理探査船は、上記の少なくともいずれかの手法を用いて海底に潜む石油や天然ガスのポテンシャルを調査する事が出来る船舶で、海洋開発では欠かすことが出来ない船舶である。

海洋探査会社は資源国政府や資源開発会社から海洋探査業務を受託し、物理探査船や無人探査機等を用いて海底資源の存在を調査する。海底資源探査で活用される主な方法としては物理探査が挙げられ、地層や岩石が有する物理的特性を手掛かりに非破壊検査で地質構造の様相を調査する。物理探査船は物理探査データ取得装置と取得されたデータを保存・処理するシステムが搭載されており、海洋探査会社はこのような船舶を保有して調査活動を行う。

海洋探査会社におけるグローバルプレイヤーとしては PGS（Petroleum Geo-Services ASA）（ノルウェー）、Schlumberger/Western Geco（米）、CGG（仏）の 3 社が挙げられ、国土交通省の調査によると 3 社で 7 割程度のシェアを有するとのことである。日本については独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC:Japan Oil Gas and MEtals national Corporarion）が調査を行っている他、日本水産子会社の日本海洋事業や石油資源開発子会社の地球科学総合研究所が海洋探査業務を手掛けている。

物理探査船は、探査能力に特化しているため、一般の船舶と比べるとかなり特殊な形状の船舶も多い。中でも、石油・天然ガスに係る調査を実施する大手資源探査会社である PGS が開発したランフォーム（ramform）型と呼称する船舶の形状は独特である。以下に実際に運用されている幾つかの船舶を紹介する。

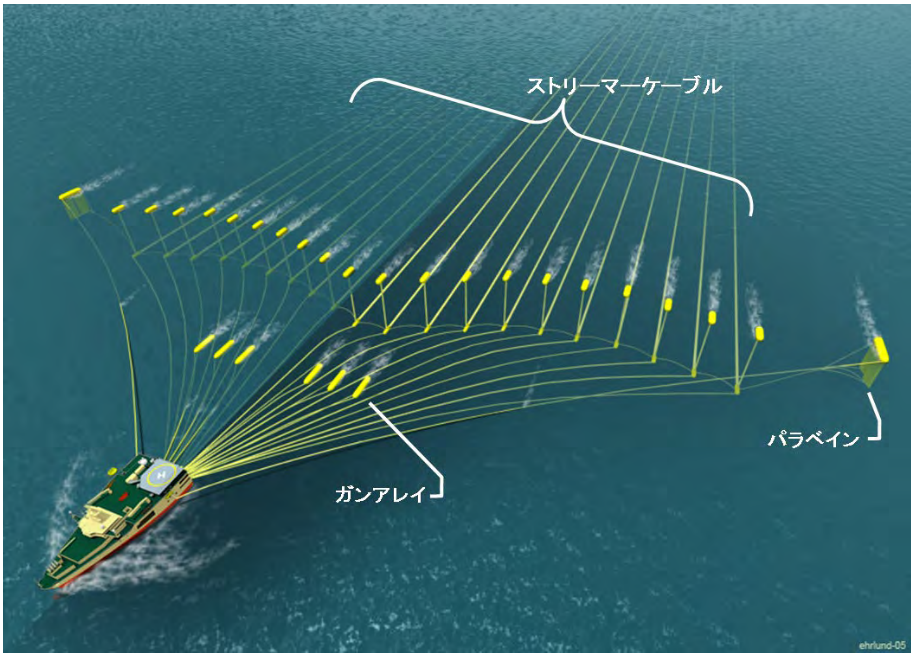


図 5.1.2-1 海洋の物理探査のイメージ （出典：三菱重工業）

5.2.1 物理探査船 三次元物理探査船「資源」

資源（しげん）は、2007 年（平成 19 年）に日本が保有、運用することになった経済産業省所有の探査船である。船体形状はいわゆるランフォーム型である。このタイプの三次元探査船を日本はこれまで有しておらず、日本としてようやく世界の先端に近い物理探査船を手に入れたことになる。地震探査は人工震源による振動を利用した手法で、物理探査手法のうち最も直接的且つ有効な方法として認識されている。

図 5.2.1-1 秋田沖海域で三次元地震探査中の「資源」 （出典：JOGMEC）

広大な EEZ を有する日本が高機能の三次元地震探査船を保有していないことは問題であると専門家からは盛んに指摘されており、日中中間線上のガス田開発が、問題として認識されたため、日本政府は三次元物理探査船を国際法によって保護される政府公船とすることを

決め、過去に日本国内で調査実績のあるランフォーム・ビクトリーを約 230 億円で購入し、船名を「資源」と改めている。この「資源」の運用とデータ処理・解析は PGS からの技術移転を受ける形式で JOGMEC が行っている。

図 5.2.1-2　ランフォーム・ビクトリー（「資源」改装の前）　（出典：Shipspotting.com）

(1)　主要目など

「資源」の要目を表 5.2-1 に示し、主な構造的な特徴を紹介する。船体は、全長 86.2m、全幅 39.6m、喫水 7.3m で、総トン数 10,395t である。「資源」は推進装置として通常のプロペラではなく、電動アジマススラスター（azimuth thruster、アジマス推進器あるいはプロペラともいう）4 基を装備しており、最大速力は 13.5 kt である。最大人員は 65 名、航続期間は 106 日となっている。

本船は、機器設置の自由度を確保し、観測機器に推進機器の振動が影響しないようにプロペラシャフトが不要な電気推進方式を採用し、4 基のアジマススラスターを搭載している。これらアジマススラスターは船首のバウスラスター、船尾の左舷スラスター、右舷スラスター、中央スラスターの構成となっている。アジマススラスターとは、水平方向に回転するポッドまたはノズル内にプロペラを装備したもので、プロペラの推力方向を 360 度全方向に自由に変えられる構造となっているので、通常の舵を必要としない。さらに可変ピッチプロペラ（プロペラピッチの回転機構が内蔵され航行中にピッチを任意に変えられる）との組み合わせにより、通常の船舶に比べ、観測に必要な最適船速の維持や任意の方向へ極めて小さい旋回性能を発揮するといった高い操縦性を有している。また、このような電気推進器を採用することは、通常のプロペラの場合に不可欠なプロペラ軸に直結する場所にエンジンを搭載する必要も無いので、船内の装備の配置については自由度が増す。

表 5.2-1　資源の主要目

全長	86.2m	垂線間長	78.35m
全幅	39.6m	深さ	8.5m
喫水	7.3m	総トン数	10,395t
定員	65 名	航続期間	106 日
最大速力	13.5kn	主推進器	アジマスプロペラ×4 基

（出典：資源パンフレット）

さて、船体内部の配置については、「資源」は 7 層（7 階建て）で構成されている。第 1 層(7 階)に操船を行うブリッジ（船橋）がある。第 2 層後部には、乗組員交替や急病人が発生した場合の緊急搬送が可能なヘリデッキがある。第 4 層には、中央部に観測室があり、観測用のコンピュータ類、モニターが設置され、調査中は調査員が 12 時間交替で調査全体の管理やデータ処理を行っている。第 4 層後部はストリーマデッキで、調査がされていない時はストリーマ等調査機器類が保管されている。ストリーマデッキは、調査時にデッキ後部よりストリーマケーブルの展開・揚収作業を効率的に行うため、第 3 層との吹き抜け構造となっており 2 層分の高さがある。第 4 層前部は、機関室となっており、ディーゼル発電機、ボイラーが配置されている。第 6 層後部にガンデッキがあり、エアガンアレイ（airgun array）、エアガン、テールブイ、作業艇等が保管されている。これらの機器類の海上への投入、回収はデッキ後部より行う。また、船体前部にコンプレッサー室があり、調査時にはエアガン充填用の高圧空気を発生させている。

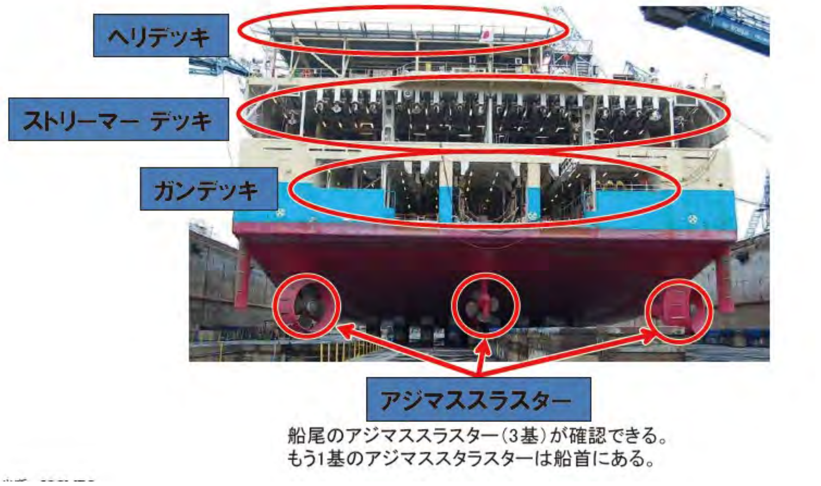


図 5.2.1-3　「資源」の船尾周りの外観　　（出典：JOGMEC）

図 5.2.1-4　「資源」の装備および船室　（出典：JOGMEC）

図 5.2.1-5　「資源」の設備　（出典：JOGMEC）

一般に「資源」のような地震探査船の調査作業は、データ取得、データ処理、データ解釈と大きく三つの要素に分けられている。

- データ取得：コンプレッサーから送られる圧縮空気をエアガンから発振し、海底面や地層境界面などからの反射波を、ハイドロフォンを内蔵した船尾に曳航する多数のストリーマケーブルで受振し、三次元的な地震探査データを収録する。
- データ処理：取得された地震探査データに対し、S/N 比の向上、連続性の向上、正しい位置へのイメージングなどを目的とした多数の処理ステップによるデータ処理を実施し、最終的にデータ解釈を可能とする断面（二次元の場合）またはボリューム（三次元の場合）を作成する。
- データ解釈：データ処理により作成された断面（二次元の場合）またはボリューム（三次元の場合）に対し、既存石油地質データを参照した上で統合データ解釈を実施し、調査海域内における石油天然ガス存在の評価を可能とする。

(2)　「資源」の技術と設備

①　ストリーマケーブル（ストリーマ：曳航型受振ケーブル）

「資源」の探査方法は三次元地震探査である。この原理を簡単に説明すると、エアガンに貯留していた海中で圧縮空気を一気に放出させることで地震探査の振動源となる。その振動は地震波として海底下に伝播し、地層境界など岩石の速度・密度の境界において反射した微弱な地震波がストリーマケーブルで受振できる。これは、医療現場で使用されている超音波診断装置（エコー）と同じ原理である。

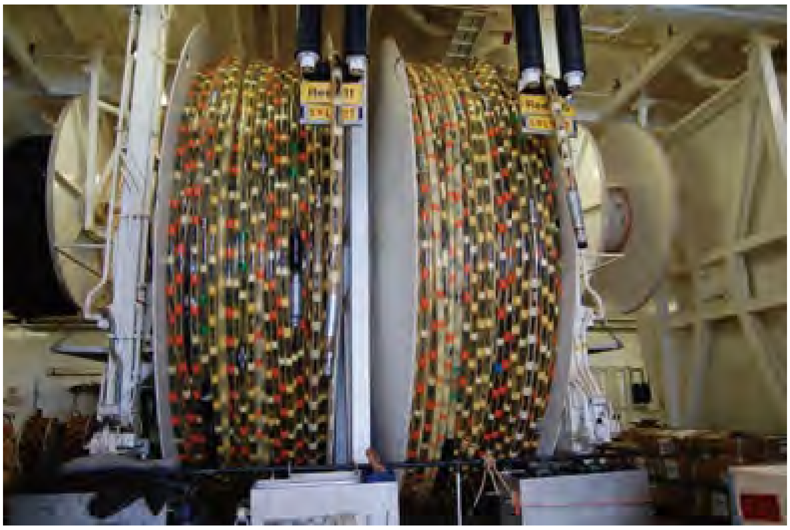


図 5.2.1-6　ストリーマケーブル　（出典：JOGMEC）

ストリーマケーブルとはこの反射してくる微弱な地震波を検出・受振するハイドロフォンを一定間隔に内蔵したケーブルである。ハイドロフォンでは圧電素子を内蔵しており、検出した圧力変化を電気信号として出力する。電気信号は、ケーブル内の A/D 変換器でデジタル信号に変換された後に船上まで伝送され、観測データとして収録される。「資源」は、全長 6,000m のストリーマケーブル 12 本を搭載している。

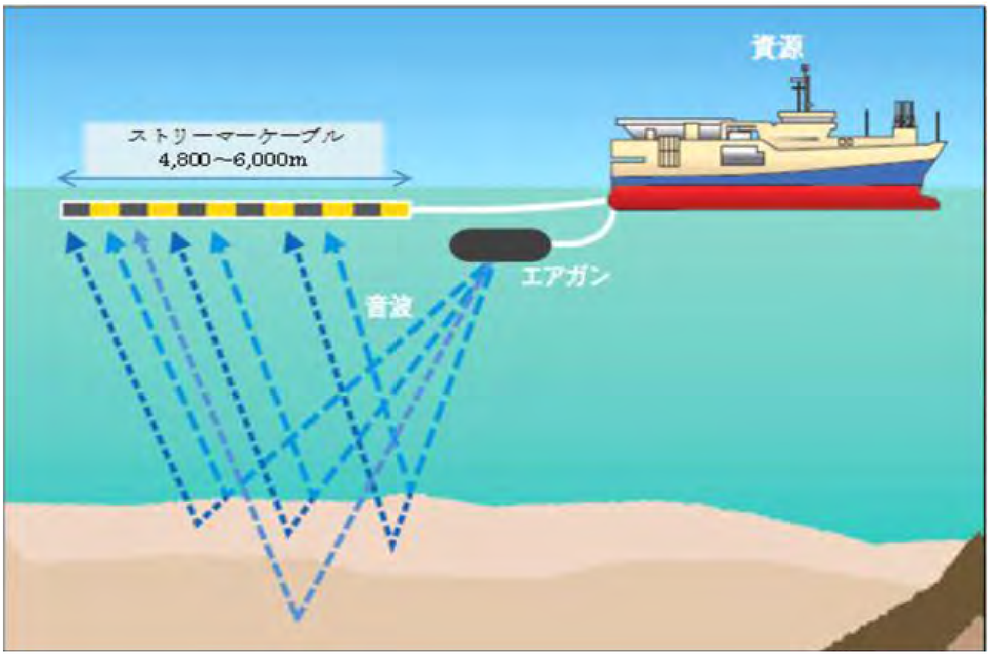


図 5.2.1-7　ストリーマケーブルによる探査のイメージ　（出典：日本海洋事業）

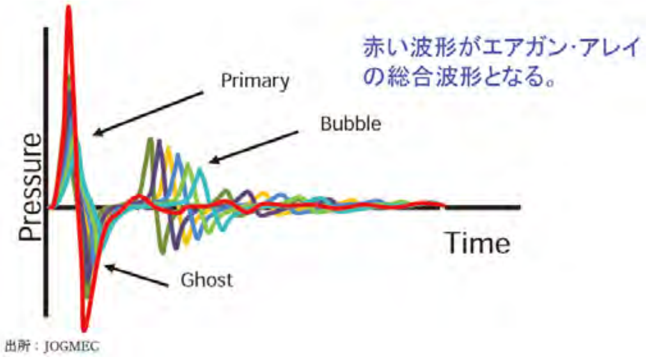
② エアガン

エアガンは、水中で圧縮空気を瞬間的に放出し、振動源となる機器で、現在ほとんど全ての海上地震探査において一般的に使用されている。エアガンは簡便性･安全性の両面で大きな利点を有している。

エアガンの振源波形には、1 次振動（primary、圧縮空気の放出により発生する地震波）、エアガンから放出された気泡が海中において振動を起こし発生するバブルノイズ（bubble、圧縮空気放出による気泡）、エアガンから上方に進行し自由境界面となる海面で逆位相となって反射してくるゴースト（ghost、primary の海面からの反射波）などが存在し、バブルノイズやゴーストは取得データの処理・解析において問題となることから、これらを可能な限り抑制するためのさまざまな工夫が考案されてきた。

エアガンアレイは、複数の異なる空気容量をもつエアガンを組み合わせ、バブル振動がうまく打ち消しあうように調整する。これは、バブル振動の周期が空気容量の大小で変わることをうまく利用したものである（tuned air gun と呼ばれる）。デュアルガンまたはトリガンと呼ばれるエアガンでは、２個または３個の同じ容量のエアガンを近接して配置し、その干渉作用を利用してバブル振動によるノイズ発生を抑える工夫がなされている。発生するエネルギーは、空気容量と圧力で規定される他、ガンの深度によりノッチ周波数やバブル周期が変化することに注意する必要がある。また、エアガンはエネルギー充填（充気、高圧空気をチャンバーに充填すること）に時間がかかるので、資源探査を目的とする海上三次元探査では、エアガンアレイを複数曳航することにより、ガン容量を増やしたり、交互に発震したりすることで作業効率を向上させるなどの工夫がなされている。このように複数のガンをコントロールするため専用のエアガン制御装置が開発されている。エアガン制御装置は、実際の個々のエアガンの発震をモニターし、エラーを監視するとともに、発震の遅延時間などを細かく制御する装置である。

図 5.2.1-8　エアガンアレイ　（出典：JOGMEC）



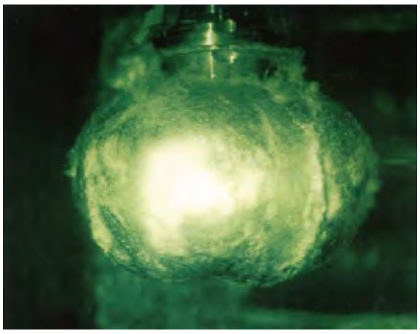


図 5.2.1-9　エアガンからの振動波形と弾性波の発生　（出典：JOGMEC）

展開されたストリーマケーブルは同じように曳航されるエアガンが海底に発した地震波が跳ね返ってくるのを受振することによって精細な三次元反射イメージを作成する。分析して資源探査に役立てることができる。何メートルのストリーマケーブルを何本搭載、展開するかは海域に応じて変更される。「資源」では両舷にエアガンアレイをそれぞれ 3 対曳航しており、片舷ずつ交互に発震し、1 発震につき約 50ℓ の高圧圧縮空気（2,000PSI）を放出して地下構造の調査を行っている。

③　パラベイン（parabain）

ストリーマケーブルには地震波を検知するセンサーが入っており、100m 間隔で曳航する。ストリーマケーブルを船幅よりも広く展開するため、パラベインという凧の原理を応用した機器を海面に沈めて使用する。パラベインは複数のストリーマケーブルを束ねた左右の両側に取り付けられ（図 5.2.1-11 参照）、ストリーマケーブルを展開するように左右に広がる。パラベインは普段は大きすぎて船内に収納できないため、船体の外側に収納される。これにより、最大時は横幅 1,100m、全長 6,000m に相当する展開になる。

図 5.2.1-10　パラベインの投入と船外収納

（出典：JOGMEC，JCNET）

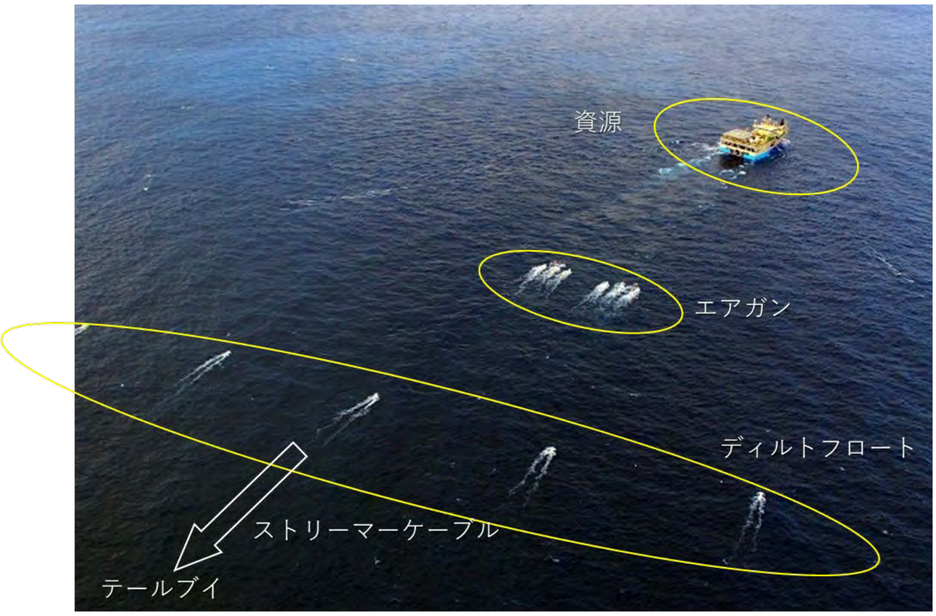


図 5.2.1-11　「資源」でのストリーマケーブルの展開

（出典：JOGMEC　（一部改変））

物理探査において対象海域に到着すると、調査機器の展開を開始する。まず、パラベインを片舷ずつ展開し、船尾のストリーマデッキにおいてストリーマケーブルにさまざまな曳航機器を取り付けながら海中へ投入し、展開していく。全てのストリーマケーブルを展開後、ガンデッキにおいてエアガンアレイを展開、エアガン発振テストを実施し、調査を開始する。通常、機器の展開には 2 日、揚収には 1 日を要する。

④ ストリーマケーブルに取り付ける主な曳航機器

ストリーマケーブルに取り付けるものは、羽の角度を自動的に調整して、ケーブル設定曳航深度を保持する DigiBIRD（Compass Bird）、ストリーマケーブルの横方向の位置を制御する DigiFIN、各ストリーマケーブルやエアガンアレイの相対位置を測定する DigiRANGE、ストリーマケーブルが沈んでしまった時に風船によって強制的に浮力を持たせる SRD（Streamer Retrieval Devices）などがある。

図 5.2.1-12 DigiBIRD（Compass Bird），DigiFIN

（出典：JOGMEC）

また、各ストリーマケーブルの最後尾に設置するテールブイは、全地球測位システム（GPS:Global Positioning System あるいは Global Positioning Satellite）でストリーマケーブルとエアガンの相対位置を測定するだけでなく、フラッシュライト、反射板を取り付けることで、他の航行船舶への目印にもなっている。

5.2.2 かいめい

「かいめい」は、総合的科学調査を目的とし、主な調査観測機能は「地殻構造探査」、「海底下試料採取」、「AUV 複数機運用」、並びに「一般海洋観測」である。また、目的に合わせて必要な大型調査機器を搭載して、専用船と同じような航海を実施することができる海洋研究船である。

図 5.2.2-1 海底広域研究船「かいめい」

（出典：JAMSTEC）

また、二次元／三次元／三次元高分解能探査の 3 種類の地殻構造探査が可能な地震探査システム及び海底地震計を装備しており、多角的な地殻構造探査が可能である。また、重力計・磁力計も装備している。国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC:Japan Agency for Marine-earth Science and TEChnology）の保有する調査船としては、みらい（8,687t）に次ぐ大きさ（5,747t）で、新造船としてはかいれい（4,517t）やよこすか（4,439t）を抜いて過去最大の大きさとなる。デッキには、上記の探査設備のための作業甲板のほか、採取試料の分析・処理のための研究区画、船員、研究者の居住区画などがあり、研究区画の一部は、調査の内容に応じて積替が可能な専用コンテナラボとなっている。乗組員 27 名のほか研究者など 38 名を搭載して、最長 40 日間の航海が可能である。長期の航海を想定しているため、すべて個室化されている。

観測機器への悪影響を避けるため、静粛性が重視されており、電気推進が採用された。正副 2 基ずつの発電機の排気は、左舷に寄せられた煙突に導かれている。推進器はアジマススラスター2 基とされた。また観測時に船位を保持するため、高精度（誤差 10 cm）の DPS が搭載されている。三菱重工業株式会社下関造船所で起工し、調査機器の据え付けなどの艤装、試験航海などを経て、2016 年 3 月 30 日に JAMSTEC に引き渡された。

(1) 主要目など

「かいめい」は 5,747t、全長 100.5 m、幅 20.5 m、深さ 9.0 m、満載喫水 6.0 m の海洋調査船である。主要目の一覧を表 5.2-2 に示す。

表 5.2-2　「かいめい」の主要目

船舶番号	142484	Official number	142484
信号符字	7JVB	Call sign	7JVB
全　長	100.50 m	Overall length	100.50 m
幅	20.50 m	Breadth	20.50 m
深　さ	9.00 m	Depth	9.00 m
計画満載喫水	6.00 m	Draught (Designed)	6.00 m
国際総トン数	5,747 トン	Gross tonnage	5,747 ton
主推進機関	推進電動機 2,400 kW×2 基	Main propulsion system	Electric motor 2,400 kW×2
主推進器	アジマス推進器、5 翼固定ピッチプロペラ	Propeller	Azimuth thruster, 5-Bladed, fixed pitch propeller
航海速力	12.0 ノット	Service speed	12.0 knot
航続距離（速力 12.0 ノットにて）	約 9,000 マイル	Range (at 12.0 knot)	abt. 9,000 nautical miles
定　員	65 名（乗組員 27 名、研究者 38 名）	Accommodation	65 (27 crew members, 38 researchers)
起　工	平成 27 年 1 月 22 日	Keel laid	January 22, 2015
進　水	平成 27 年 6 月 7 日	Launched	June 7, 2015
竣　工	平成 28 年 3 月 30 日	Delivered	March 30, 2016
建造所	三菱重工業株式会社　下関造船所	Builder	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. SHIMONOSEKI SHIPYARD & MACHINERY WORKS

（出典：JAMSTEC）

推進設備として、電気推進器（可変速推進電動機＋ アジマス推進器× 2 基）と昇降旋回式／トンネル式バウスラスターを活用することで、航海性能を向上させている。バウスラスターとは船体の前方に設置され船を横方向に動かすための動力装置で、主には方向転換などの機能を有する。トンネル式とは船体を横に貫通するように取り付けられたスラスターで、昇降旋回式とは文字通り、船体から昇降し旋回することが出来るスラスターである。このような調査船においては、推進器が発する騒音や振動による、調査・観測時に使用する水中音響機器への影響を小さくすることが求められる。電気推進システムはその点において優れているとされている。

図 5.2.2-2　アジマス推進器、推進電動機　（出典：JAMSTEC）

図 5.2.2-3 トンネル式／昇降旋回式バウスラスター、バウスラスター室

（出典 : JAMSTEC）

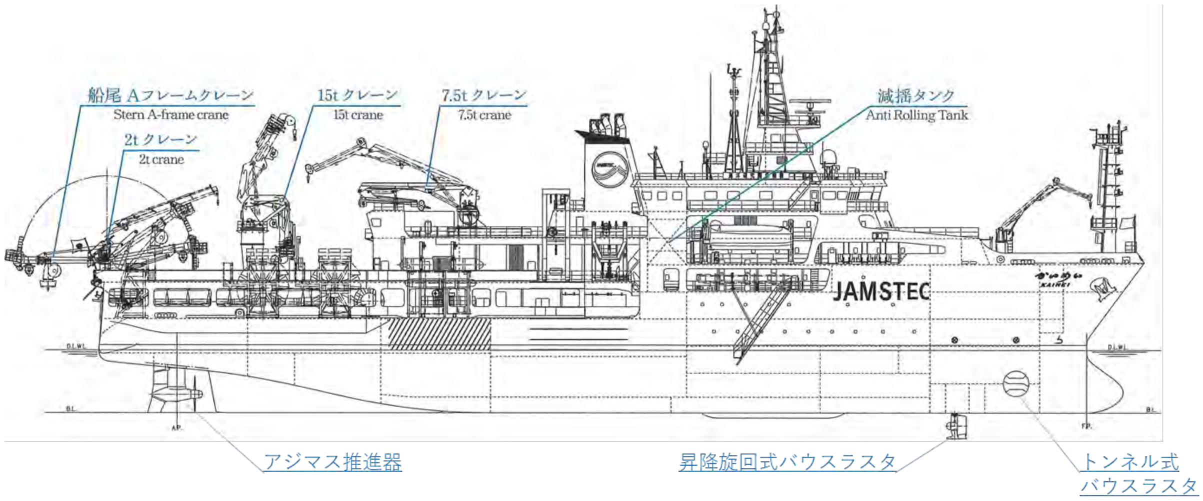


図 5.2.2-4 「かいめい」の側面図 （出典 : JAMSTEC）

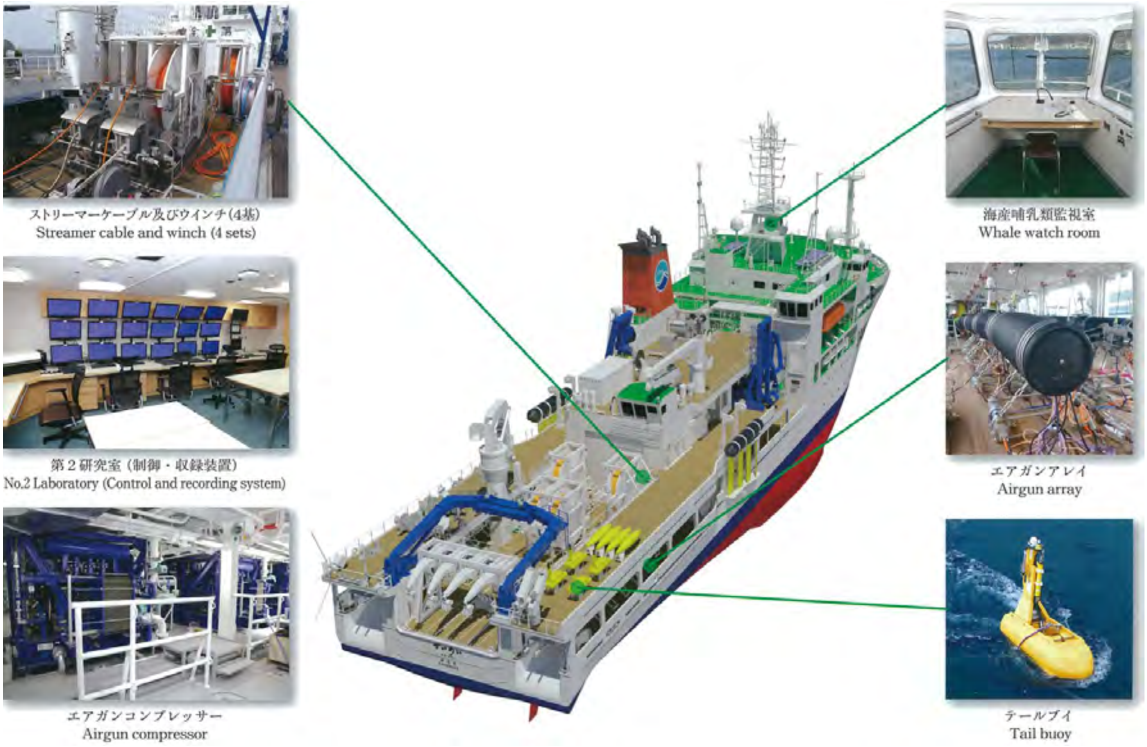


図 5.2.2-5 「かいめい」の甲板上の主な設備 （出典：JAMSTEC）

また、環境影響への配慮という視点では、燃料費節約対策のため、A 重油と C 重油のブレンド油を燃料として採用し、発光ダイオード（LED:Light Emitting Diode）照明の活用や太陽光発電装置を搭載するなどの省エネルギー化により、大気汚染物質及び温室効果ガス排出の低減をはかっている。ブリッジの更に上層階に海産ほ乳類監視室を設け、鯨等の保護に配慮している。

(2) 「かいめい」の技術と設備

「かいめい」の特徴としては、海洋研究船として、下記の探査・調査能力を有する。

- 地殻構造探査：二次元／三次元／三次元高分解能探査の 3 種類の地殻構造探査が可能な地震探査システム及び海底地震計を装備しており、多角的な地殻構造探査が可能。また、重力計・磁力計も装備。
- 海底下試料採取：40m ピストンコアラー、海底設置型掘削装置、パワーグラブ、ドレッジ、等を搭載して、海底下の試料採取が可能
- AUV 複数機運用：AUV を複数台搭載して、船底に装備される水中通信装置や音響測位装置を用いて同時に潜航させ、様々な海中・海底の観測作業が可能。
- 一般海洋観測：深海用及び浅海用マルチビーム音響測深機、サブボトムプロファイラー、深海用及び浅海用多層式流向流速計等の充実した音響機器により、高精度、リアルタイムでの海中・海底・海底下の調査が可能。また、気象海象観測装置、GPS 気象ゾンデ自動放球装置、表層海水分析装置による大気・海洋観測が可能トライトンブイ等の設置・回収も可能。

上記の探査・調査能力を発揮するために次のような設備を搭載している。

① 地震探査用機器

「かいめい」にはエアガン（音源装置）及びストリーマケーブル（受振装置：12,000m）が搭載されている。これらを船尾から曳航しながら、エアガンの圧縮空気放出により地震波を発生し、地下からの反射波をストリーマケーブルにて受振したデータから地殻構造や資源を調査する。ストリーマケーブルについては目的に応じ、以下の三つのモードで運用可能である。

- 二次元探査（2D）：曳航ストリーマケーブル長さ 12,000m× 1 条
- 三次元探査（3D）：曳航ストリーマケーブル長さ 3,000m× 4 条
- 三次元高分解能探査（HR3D）：曳航ストリーマケーブル長さ 300m×20 条

これらを曳航するために、船尾 A フレームクレーン、船体中央両舷の 2 基のギャロース及び 1 基の A フレームクレーン、15 トン/7.5 トン/2 トンクレーン、常設ウインチ（7 基）に加え、多数の可搬ウインチがある。

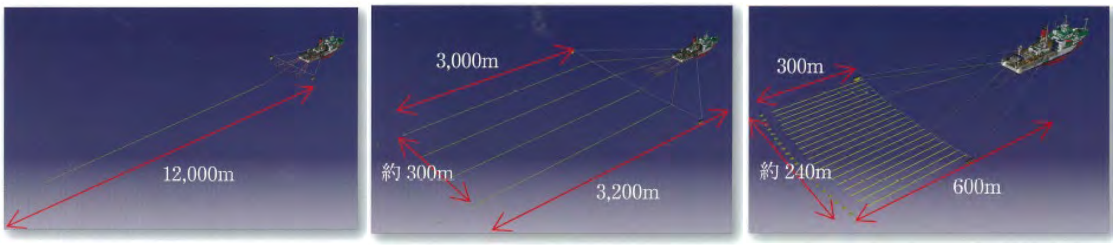


図 5.2.2-6 ストリーマケーブルの展開 （出典：JAMSTEC）

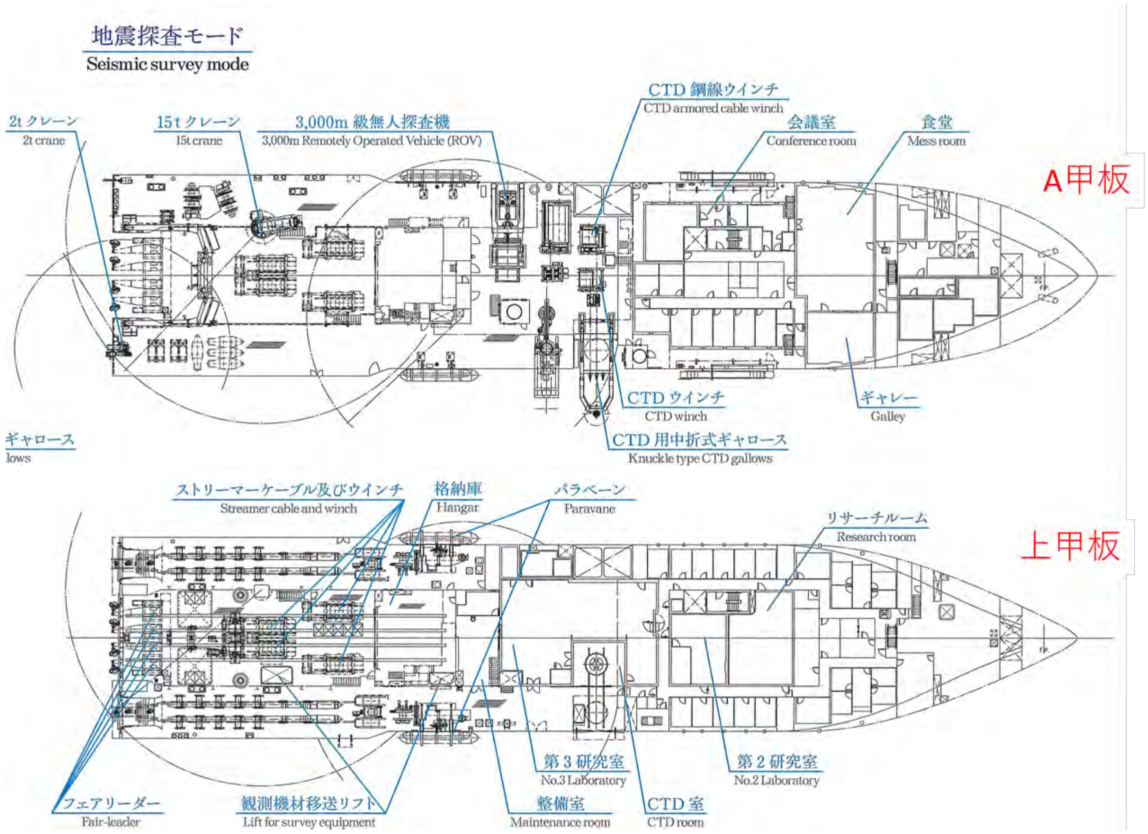


図 5.2.2-7 「かいめい」の一般配置図（地震探査関連機器） （出典：JAMSTEC）

② サンプリング関連機器

「かいめい」には次の機器で海底下サンプルの採取が可能である。

- パワーグラブ（シェル型）；運用最大水深 6,000m、バケット容量約 1m³
- パワーグラブ（6 本爪型）；運用最大水深 6,000m、バケット容量約 1m³
- 海底設置型掘削装置； 運用最大水深 3,000m、コアサイズ
- H（φ61.1mm×30m）、146T（φ123mm×7.5m）、穴開け（φ450mm×2m）
- 40m ピストンコアラー；サンプルコアφ110mm×40m

12,000m 繊維索ロープを搭載し 40m ピストンコアラーを運用することで、大水深でのコアリングを実施して古環境の調査なども可能とされている。

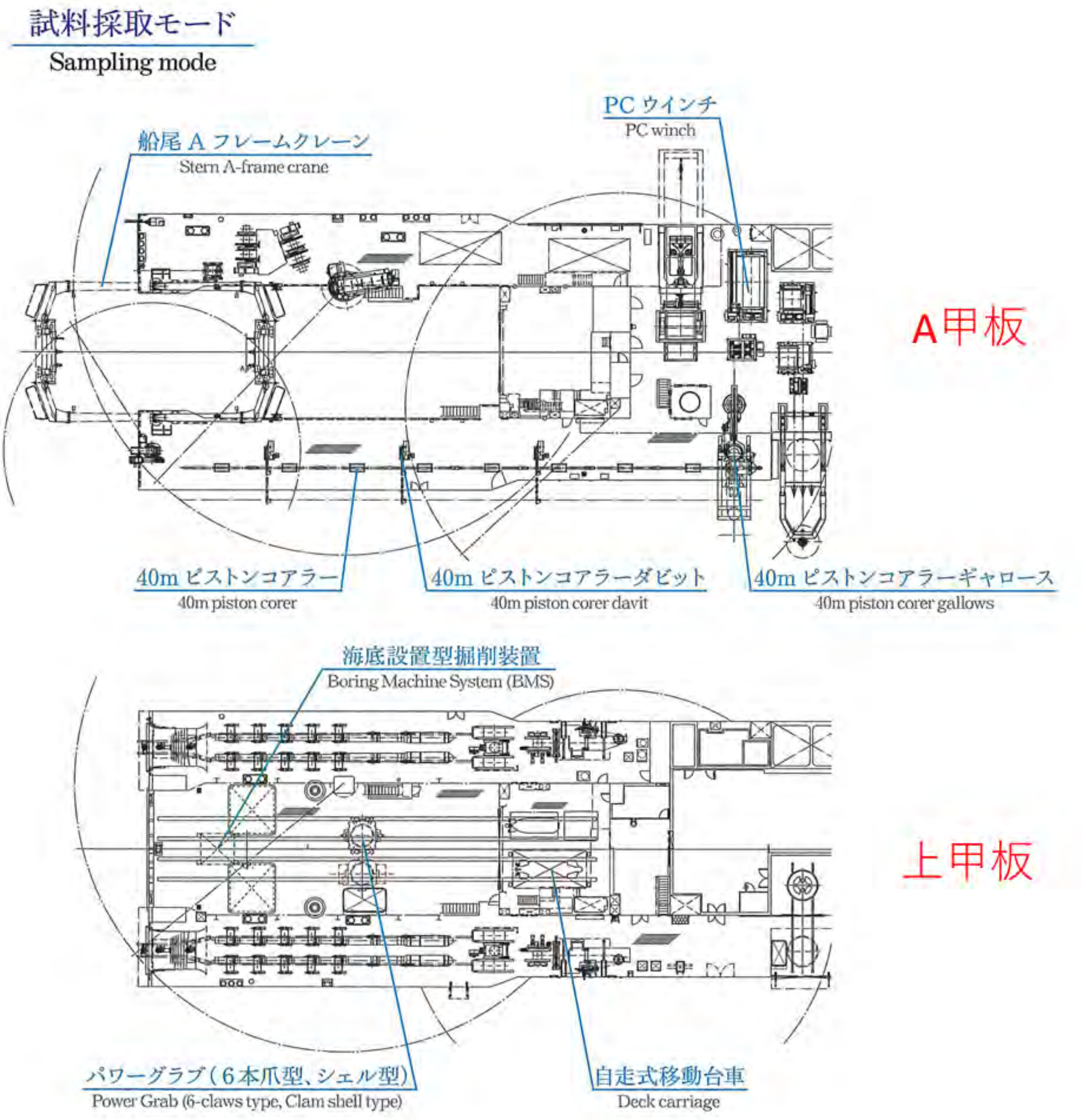


図 5.2.2-8 「かいめい」一般配置図（試料採取関連機器） （出典：JAMSTEC）

図 5.2.2-9 「かいめい」の観測用設備 （出典：JAMSTEC）

その他の船内設備としては、

・リサーチルーム、表層海水分析室、重力計室、塩分測定室、整備室、並びに格納庫

を備え、洋上での調査・観測・研究が実施可能な設備が整っている。また、

・ドラフトチャンバー、コールドルーム、試薬保管庫

を装備しており、洋上の船内において、安全かつ好適条件での試料処理を行うことが可能である。また、船内 LAN（Local Area Network）システムが構築されており、無線 LAN を介した航海／観測機器データ等の大量な情報を効率的に処理できるように工夫されている。

5.2.3　海洋資源調査船「白嶺」

(1)　白嶺の解説

JOGMEC が、主に日本周辺海域に存在する海洋資源の探査、開発を加速するため、運航中の調査船「第 2 白嶺丸」に代わる新たな海洋資源調査船として発注した。「白嶺」は、海底や地質の状況に応じて選択できる 2 種類の大型掘削装置や各種の最新調査機器を搭載し、効率的かつ安全に海底鉱物資源の賦存量調査や海洋環境基礎調査の実施が可能である。新調査船は、平成 22 年 7 月に三菱重工業株式会社下関造船所（山口県下関市）で起工し、平成 23 年 3 月に進水式が執り行われ、調査機器の据付など艤装を経て、平成 24 年 1 月に完成、就航した。

図 5.2.3-1　「白嶺」の全景

（出典：海洋技術開発）

命名の由来であるが、調査船「白嶺丸／第 2 白嶺丸」の名称が、マンガン団塊、海底熱水鉱床などの調査をはじめ南太平洋諸国１２か国での海底鉱物資源調査や大陸棚調査等を通じて海洋調査の分野では世界的に広く知られていること、また、海底熱水鉱床である小笠原海域ベヨネーズ海丘の「白嶺鉱床」、伊是名海穴の「Hakurei site」及び南極の「白

嶺海山」の名称も「白嶺丸／第 2 白嶺丸」に由来して付けられたことなどから、これらを踏襲・継承し「白嶺」と命名された。したがって、日本の調査船で「白嶺」を冠に持つ船舶は、「白嶺丸」「第 2 白嶺丸」そしてこの「白嶺」の三つになる。また、「白嶺」は日本船舶海洋工学会の主催するシップ・オブ・ザ・イヤー2012 において、「技術の独創性・革新性と完成度」が評価され技術特別賞を受賞している。

「白嶺」の主要目は、表 5.2-3 の通りである。

表 5.2-3　「白嶺」の主要目

総トン数	6,283t	**全幅**	19.0 m
全長	118.3 m	**深さ**	9.2 m
垂線間長	101.0 m	**喫水**	6.2 m
主機関	ディーゼル・エレクトリック方式		
推進器	アジマススラスター×2 基、昇降旋回式バウスラスタ×1 基 トンネル式バウスラスタ×2 基		
出力	主発電機 2,450kW×4 推進用電動機 3,200kW×2 基		
航海速力	15.5knots		
航続距離	約 9,000 海里		
旅客定員	36 名（調査員）		
乗組員	34 名		

（出典：JOGMEC 及び海洋技術開発）

船舶としての特徴は、船首楼型と呼ばれる船形で、船体の船首側に居室や研究室、操舵室などが配置されている。ファンネル（煙突）は船体中央ではなく、左舷に寄せて設置されている。

推進器の構成は長時間の掘削調査を行うための高精度な定点保持機能と、音波を使用する探査機器へ影響を与えないための水中放射雑音低減に主眼を置いた構成となっており、機関はディーゼル・エレクトリック方式、推進器はアジマススラスターが採用された。アジマススラスターは 2 基で、船首付近には 3 基のバウスラスター（昇降旋回式×1 基、トンネル式×2 基）が装備されており、DPS の装備により、強力な定点保持能力を有する。

また、特に調査時おける水中放射雑音低減のため、プロペラには大直径・低速回転型のハイスキュープロペラを用い、発電機は 2 重防振支持、各種機器や配管も防振支持となっている。

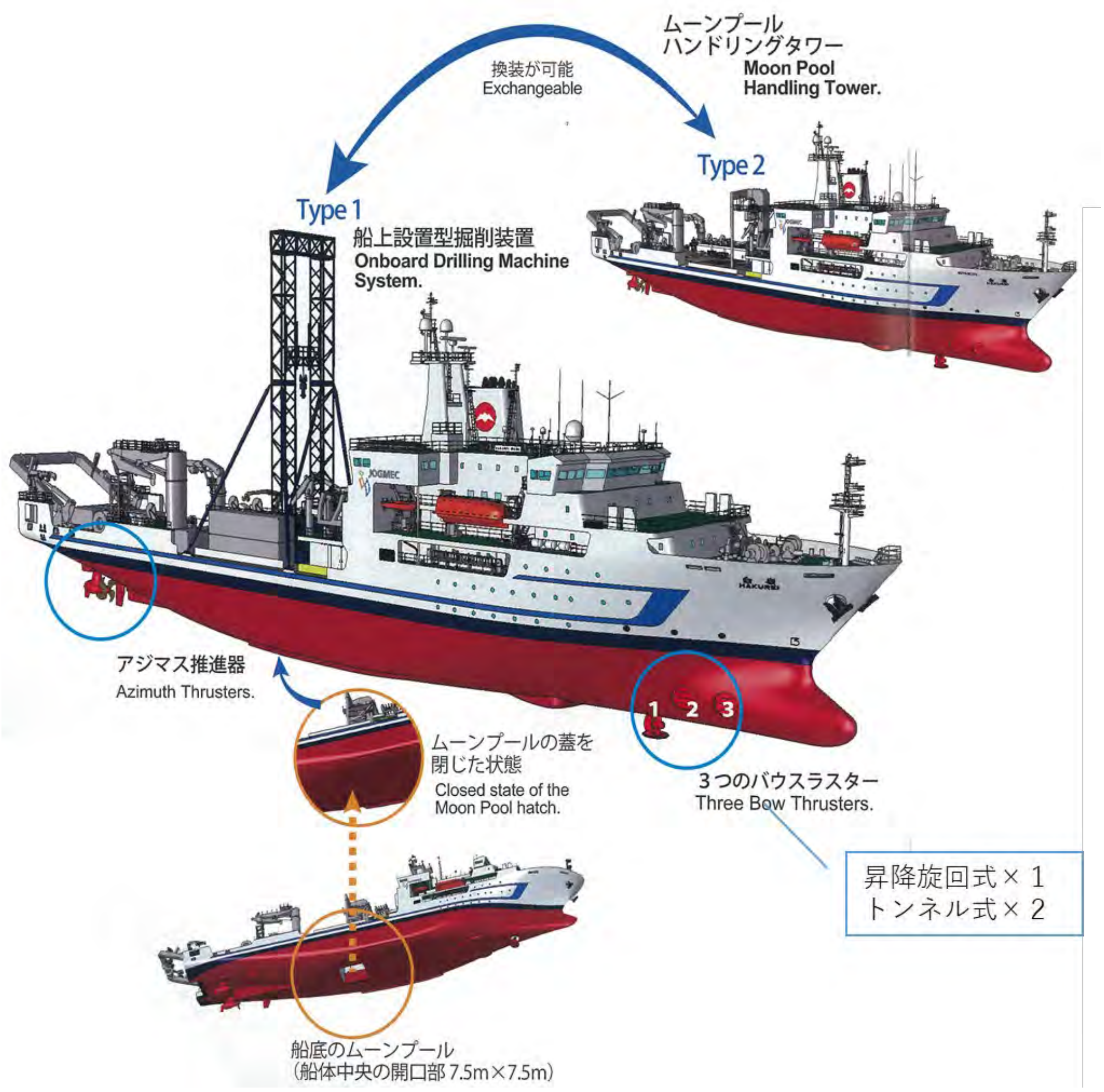


図 5.2.3-2　白嶺の特徴　（出典：JOGMEC）

掘削船としての機能を有することから、船体中央部には開閉が可能なムーンプールが設けられており、底部にはソナードームが設置されている。ムーンプール上部には、調査機器を吊り下げるガイド装置付ハンドリングタワー（図 5.2.3-2　白嶺の特徴の Type 2）または船上設置型掘削装置（図 5.2.3-2：Type1）を選択して装備する事が出来る。

また、調査機器用の専用ウインチを 10 台備えており、5 台は、海底着座型掘削装置（最大水深：3,000m　掘削能力：50m）等の吊り下げ型大型調査機器に対応した自動緩衝機能付高性能電動観測ウインチとなっている。

船尾側は調査作業甲板となっており、調査機材の搭載のため、スライド式移動台車 2 基、各種クレーンなどが装備されている。作業甲板は木甲板で、機材固定用の埋込みボルト孔が配置されている。船尾の大型クレーンからは、吊り下げ式の大型調査機器の運用が可能である。

環境面としては、船体の暴露部（exposed section）にはステンレスを多く用いる事で、メンテナンス性の向上とライフサイクルコストの低減を図っている。また、抵抗の少ない

船型と電気推進システムの採用により、燃費向上及び二酸化炭素や窒素酸化物の排出抑制による環境負荷を低減している。国際海事機関（IMO:International Maritime Organization）の環境基準に対応した廃油処理装置、焼却装置などを搭載、将来的に適用となる国際海洋汚染防止条約（マルポール条約）（International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto：MARPOL 73/78）、バラスト水管理条約（BWM ：International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004）、シップリサイクル条約（Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships 2009 Ships, 2009）など各種国際条約に対しても対応した仕様となっている。

(2)　「白嶺」の調査船としての設備

「白嶺」の調査船としての任務は、海底熱水鉱床の開発に向けて課題となっていた正確な資源量の評価に大きく貢献することである。

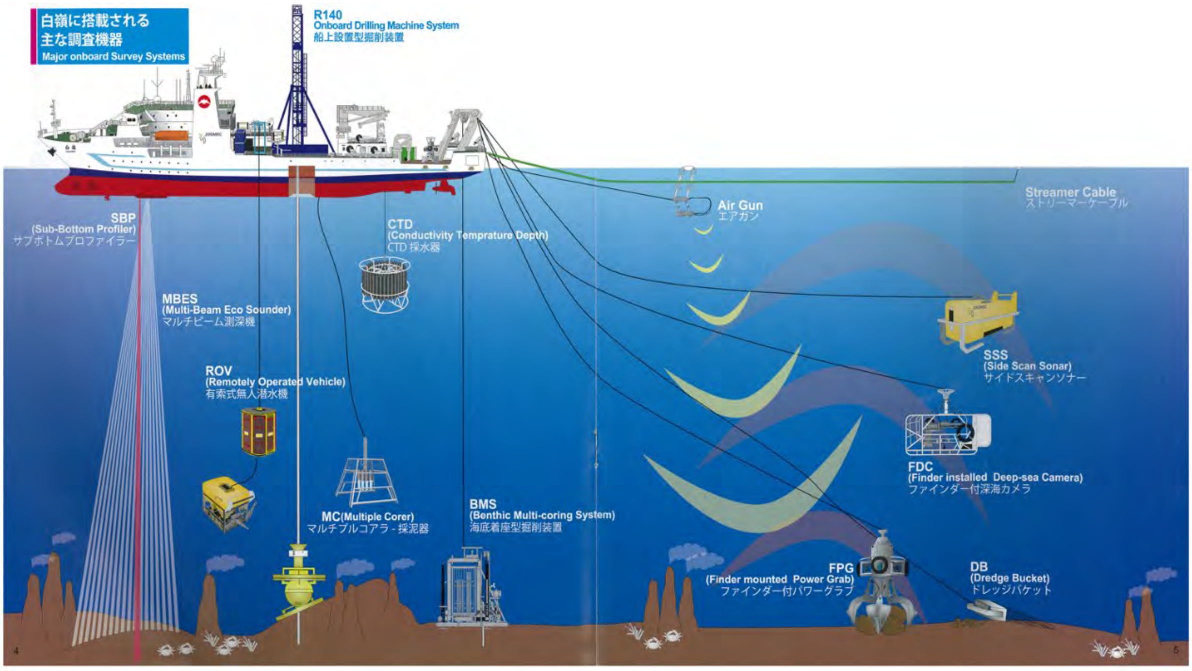


図 5.2.3-3　「白嶺」の調査イメージ　（出典：JOGMEC）

表 5.2-4　「白嶺」搭載機器とその使用目的

調査項目	調査機器	使用目的
音響調査	マルチナロービーム音響測深機：MBES	詳細海底地形図作成
	ナロービーム表層断面探査機：n-SBP（サブボトムプロファイラー）	海底面近くの地質構造の把握（堆積物の層厚把握）
	サイドスキャンソナー：SSS	海底面の詳細構造把握（画像化）
	極深海測深機	海底面からの高度を把握
物理探査	船上重力計	地下の地質構造把握
	船上3成分磁力計	地下の地質構造把握（火成岩分布）
	曳航式プロトン磁力計	地下の地質構造把握（火成岩・変質帯分布）
	二次元反射法地震探査装置	比較的表層付近の地下の構造把握（堆積物・BSRの把握）
海底観察	ファインダー付き深海カメラ：FDC	海底面・鉱床の賦存状況の観察
	遠隔操作無人探査機：ROV	海底面・鉱床の賦存状況の観察、作業、サンプリング
サンプリング	船上設置型掘削装置	最大水深2,000mにおいて掘削長400mのコア採取
	海底着座型掘削装置	最大水深3,000m（6,000m）における50m（20m）のコア採取　＊数字は新型、() 内は従来機
	ファインダー付きパワーグラブ：FPG	最大水深6,000m（3,000m）における海底面の試料採取　＊数字は6本爪型 () 内はシェル型
	有索自航式深海サンプル採取システム：NSS	最大水深4,000mにおける任意の場所における海底堆積物等の試料採取
	ドレッジ（フリーフォールグラブ、スペードコアラ、マルチプルコアラ、ピストンコアラ、ドレッジバケット）	海底の状況に合せた試料採取
その他	採掘要素技術試験機	実海域における運用環境下での試験データの取得
	岩石処理・分析装置	採取試料のカッティング、薄片作成、コアの分析・記録等
	環境分析装置	採水試料等の前処理、分析、保管

（出典：JOGMEC）

①　掘削機器

海底着座型、船上設置型の 2 種類のボーリングマシン（掘削装置）を搭載している。海底着座型は、船体から本体をケーブルで吊り下げて海底に設置して掘削を行う装置で、第 2 白嶺丸で使用していた最大水深 6,000m、掘削長 20m の従来機と、最大水深 3,000m、掘削長 50m の新型機の 2 機を搭載する。

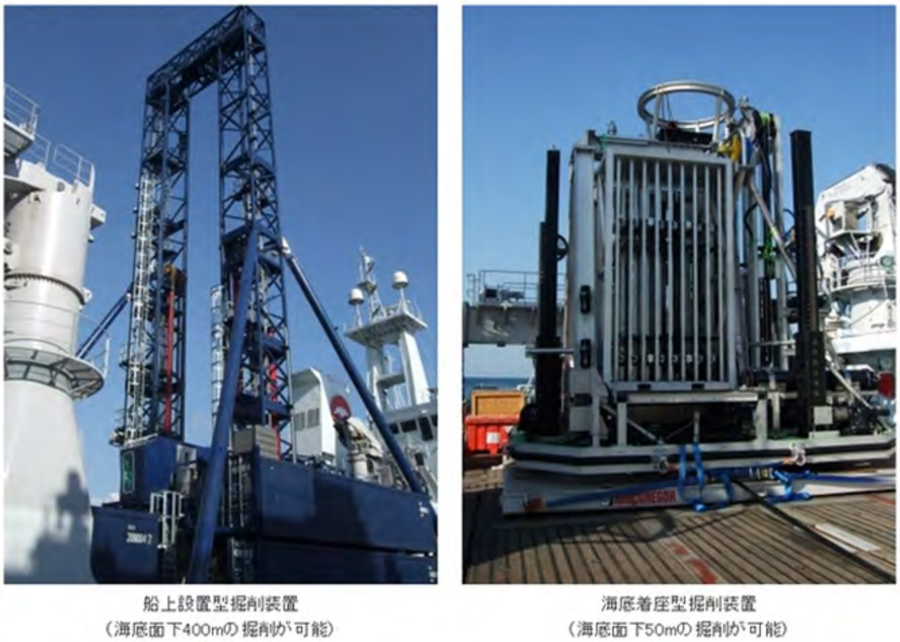


図 5.2.3-4 海底着座型掘削機と船上設置型掘削機 (出典：JOGMEC)

船上設置型は、船上に設置した本体から掘削パイプを海底面に伸ばし掘削を行う装置で、最大水深 2,000m、掘削長は 400m である。船上設置型の搭載により、海底着座型が使用できない急峻な地形の海底熱水鉱床における調査が可能となった。

② 搭載している調査機器

「白嶺」は、海底熱水鉱床やマンガンクラスト(コバルトリッチクラスト)といった深海底鉱物資源の調査に加え、環境調査も目的とした調査船である。 そのため搭載する調査機器はバラエティに富んでいる。その一部を下記に掲載する。

- サイドスキャンソナー：海底表面の地質や性状、海底地形を音波により調査する
- 遠隔操作無人探査機：船上からの遠隔操作で TV カメラによる海底観察やロボットアームによる試料採取を行う。
- ファインダー付きパワーグラブ：6 本の鉄爪型や大きなシェル型のバケットを油圧で開け閉めし、海底の試料を採取する。
- エアガン：二次元物理探査用の地震波を発生させる

図 5.2.3-5 「白嶺」が搭載している調査機器の例 (出典：JOGMEC)

大型 A フレームクレーン : 海底着座型掘削装置（BMS）や掘削試験器などの大型調査器を投入・揚収する。船尾に設置されており、幅 10m、高さ 11m、動荷重 20t の吊り下げ能力を持っている。

図 5.2.3-6 : 白嶺の大型 A フレームクレーン

（出典 : 白嶺パンフレット）

その他の主な調査用の装置として、マルチビーム音響測深器、精密音響測深機、サブボトムプロファイラー、船上重力計、磁力計、ラージ・コアラー、CTD（Conductivity Temperature Depth profiler）、各種ドレッジサンプラーなどがある。

5.2.4 地震探査船「RAMFORM TITAN」

ここまでは日本が所有する物理探査船について触れてきた。ここでは日本（三菱重工業）で建造された海外の最新の調査船の一つを紹介する。

図 5.2.4-1 RAMFORM TITAN の外観 （出典：Marine traffic.com）

(1) 地震探査船「RAMFORM TITAN」の解説

RAMFORM TITAN は、船名からも類推されるように、三角形をなす特異な船形の Ramform 型の地震探査船である。PGS の Ramform 型の第 5 世代となる最新鋭の船舶である。

表 5.2-5 RAMFORM TITAN の主要目

総トン数	20,637	全長	104.2 m
幅	70.0 m	航海速力	15.5 knots
夏季満載喫水	6.42 m	曳航速度	6.0kt
推進システム	電気推進、ノズル付き 4 翼可変ピッチプロペラ、6,000kW×3		
主発電機	3 840 kW×6 基	バウスラスター	電動昇降・アジマス型 2,200 kW ×1 基
乗員数	80 名（60 single cabins, 10 double cabins）		

（出典：三菱重工技報 Vol.50No.2(2013)）

この探査船は 2013 年に三菱重工業株式会社長崎造船所にて最新鋭の三次元地震探査船

として建造された。既に紹介した「資源」と似ている船形であるが、全長 104m、船尾の幅が 70m と、「資源」に比べ、全長で 120%、全幅で 175%となる世界最大の地震探査船となっている。新造船の発注元は PGS である。2013 年の夏頃から北欧で資源探査に従事する。推進系については、静粛性に優れているといわれているディーゼル発電設備による電気推進方式を採用している。また快適な居住設備と洋上補給のための設備を有することで、長期間無寄港で探査することが可能となっている。

(2) 地震探査船「RAMFORM TITAN」の技術と設備

三次元地震探査とは、ストリーマケーブルを複数曳航することで、同時に取得可能なデータの量を増やし、データ取得作業時間の短縮化を実現した現代の地震探査の主流である。したがって、ストリーマケーブルの本数を増やすことで同時に広範囲のデータを取得可能とし、探査の高効率化が可能になる。この船では、24 本ものケーブルを曳航でき、これらを効率よくかつ安全に運用するため、船尾の幅が原型の 40m から 70m へと大幅に広げられた。

この設計にあたった三菱重工業によると設計段階において 3D 設計の採用が大きな役割を果たしたとのことである。このような特殊形状の船舶でありながら通常の船と同様の基準を満たすためには扁平でかつ細分化された区画の中に多くの機材や配管を設置する必要がある。すなわち、類型船の経験が無い中で、その複雑な設計を短時間で実施するために設計図面を立体的に描ける 3D 設計が活用された。それにより配管同士や、配管と船体構造部材などの干渉を回避しながら、多数の機材を高密度で配置できる設計を効率的に実現している。

また、人工地震波を使用する地震探査船では、船体自身が起こす振動や騒音への静粛化対策が重要となる。例えば、地震探査船では水中放射雑音を抑えるためには、キャビテーション を発生させないプロペラが必要となる。一般船舶ではプロペラにおけるキャビテーションは不可避とも言われているが、この船舶においてはプロペラ及びプロペラ周りの船尾形状を工夫することで、キャビテーションフリーの船型を実現している。このキャビテーションフリーの実現は、地震探査船としてかなり技術的な進展である。

図 5.2.4-2　RAMFORM TITAN の船尾からの外観　（出典：Marine Traffic.com）

探査性能としては、第 4 世代までの ramform 型の船幅約 40m で最大 22 本のストリーマケーブルを曳航できるが，この第 5 世代の Titan Class では船幅を 70mまで広げ、最大 24 本のストリーマケーブルを曳航可能となっており全長も最大 12km である。これは「資源」のおおよそ倍の本数と全長である。これにより効率良く、かつ精度良く反射波を取得することが可能となった。また、船幅を拡幅したことにより、ストリーマケーブルの展開・回収時の安全性も向上している。

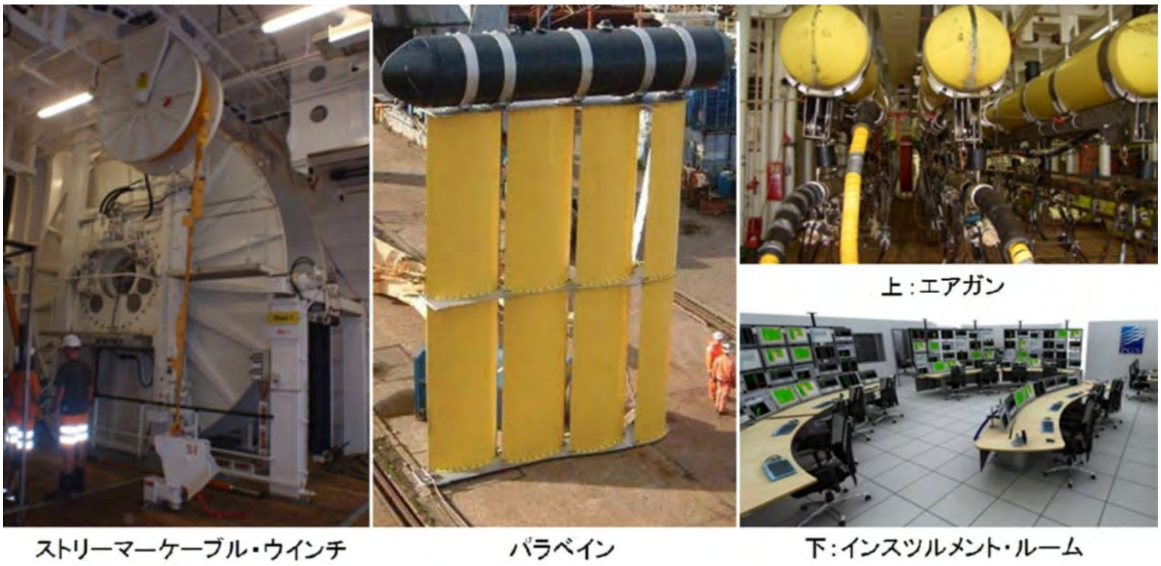


図 5.2.4-3　RAMFORM TITAN の装備

（出典：三菱重工業）

➢ ストリーマケーブル ウインチ（図 5.2.4-左）：最大 12, 000m のストリーマケーブ

ルを巻き取ることができるウインチ 24 基とこれらを効率的かつ安全に展開・回収するための各種ウインチ等が第３甲板（第５甲板まで２層吹き抜け）に配置されている。

- ガンアレイ（図 5.2.4-右上）：ブイにエアガンを複数個ぶら下げたガンアレイ６条を展開・格納する設備と本船からエアガンに圧縮空気と制御信号を送るケーブルを巻き取るウインチは第１甲板（第３甲板まで２層吹き抜け）に配置されている。また観測中エアガンに圧縮空気を供給するエアコンプレッサ３基が第１甲板下に配置されている。
- ワークボート：ストリーマケーブルなどの観測機器が観測中に故障や損傷した場合，都度本船上に回収して修理・交換していては効率が悪いので、ワークボートで当該場所まで出向いてその場で修理・交換する。第１甲板にワークボートを２隻搭載し，これらを航走中に迅速かつ安全に着水・回収する設備を装備している。
- パラベイン（図 5.2.4-中）：複数のストリーマケーブルを等間隔で展開するための板状の曳航体。曳航時に索には大きな力がかかるのでウインチとの間に緩衝器を設けている。
- 観測室（インスツルメント・ルーム）（図 5.2.4-右下）：観測中のストリーマケーブルの位置情報と観測データを 24 時間継続して監視・取得するためのコンピューター・システムを備えた観測室を備えている。

観測は 24 時間連続して行われ、かつ広大な海域の調査は数か月に及ぶこともある。そこで、観測者を含めた乗組員最大 80 名が効率的かつ快適な活動と生活ができるよう、観測設備はもとより、居室、食堂、ラウンジ、TV 室、サウナ、屋内ボールゲームコート、屋外プールなどの居住・娯楽施設も充実させている。また、観測中は停船できないため、乗組員の交代や物資の補給のためのヘリコプターデッキや給油船から洋上給油できる設備を有している。

5.2.5　Flip Ship

少し変わり種の探査船を紹介しよう。Flip Ship（Floating Instrument Platform Ship）は日本では半潜水艇の一部に分類されていることもある。この船舶は船体をある程度まで水没させて航行することができる特殊な船舶のことである。

この船舶は荒れた海で安定したプラットフォームを形成するために設計されている。従来型の船首と船尾があり、その間はチューブ構造で接続されている。移動時は通常の船舶のような姿勢で航行するが、調査プラットフォームとして使用するときは船首部を水面下に沈め海底に向けて垂直になり、船尾部を水上に残した状態となる。船尾部の甲板やはしごをはじめ、トイレなどの装備品などは、縦横両方の設備を備え、両用できるような工夫が施されている。

水面に接するのは船尾と船種の間の細いチューブ状の部分であり、あたかもコラムが立っているような状態になる。この状態では、水線面積が小さくなることから海のうねりなどの波から受ける力が非常に小さくなる。そのため、通常の船に比べて動揺が小さくなり、プラットフォームとして機能を発揮する。

「Flip Ship」は、1962 年、米国政府が海軍省に設置した海軍研究局（ONR:Office of Naval Research）によって開発された、長さが 108m、幅 7.93m の海洋調査船で、今でも現役である。水平な航行姿勢から垂直位置の観測姿勢への姿勢のシフトは約 28 分かかる。自立し上に跳ね上がった船尾部から遠方を観察することができ、高さはおよそ五階建てのビルに相当する。またこの状態での喫水は 91.4m になる。この「Flip Ship」、最大 5 名の乗組員と 11 名の調査員が 35 日の航海をすることができる。

この船舶は調査船（reserch vessel）に分類されているが、洋上での波高や海水温や密度などの海水や波などの自然環境の観測に加えて、水面下に没した側の水面下に水中聴音機を設置することによって海洋生物が発信する信号を正確に捉え、海生哺乳動物の研究を中心に活躍している。また、観測姿勢状態においては推進器を持たないことから、観測姿勢状態では漂流するか、曳航船により曳航して運用される。曳航する場合の最大速度は約 7～10kt である。

図 5.2.5-1　Flip Ship の外観

（出典：Deep Sea News.com, Marine Insight）

5.3　掘削に用いられる船舶

掘削会社はドリリングコントラクターとも呼ばれ、試掘用の掘削リグを保有し、海底油田・ガス田の掘削工事を資源国政府や石油資源開発会社から請け負って掘削を行う。近時においては大水深に対応できる最新鋭の掘削リグに対する需要が旺盛であることから、掘削リグの数は増加傾向で推移していたが、2015 年以降の原油価格の下落により、掘削会社各社は目先の需要に備えて掘削リグの保有を増やすなどの掘削リグの新造発注ブームはかなり低下してしまっている。

企業別の掘削リグ保有状況は図 5.2.5-1 の通りであり、Transocean（スイス）、Noble Drilling（米国）、ENSCO（英国）等の掘削会社が上位を占める。掘削リグの保有隻数が掘削会社としての事業規模に直結しており、Transocean が業界首位のポジションに位置付けられる。

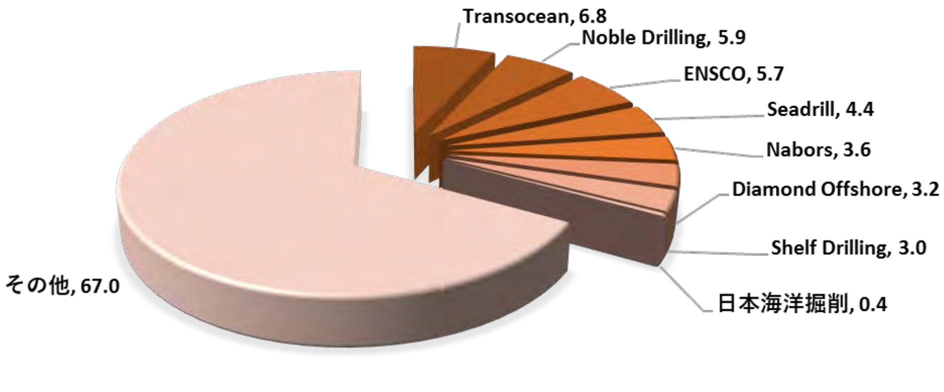


図 5.2.5-1 掘削リグの保有状況 （出典：みずほ銀行産業調査部）

掘削船あるいはドリルシップは、掘削設備を備えた船である。主に深海において新しい油井やガス井の探査掘削を行ったり、科学探査を行ったりするために用いられる。また油井に管を通したりバルブを取り付けたりといった補修・仕上げ作業の石油プラットフォームとして用いられることもある。

現代の掘削船が持つ最大の利点は、2,500m 以上の深海で掘削する能力があり、なおかつ通常船舶と同様の航行性能を有することである。これにより洋上を(比較的)高速で自由に移動できるので世界中の油田を移動するための時間を節約できる。この浮体としての自立性が、他船に曳航・運搬されないと移動が出来ないセミサブマーシブルリグやジャッキアップリグなどと比べて有利な点である。

掘削するために、掘削船からライザー と呼ばれるパイプが海底へ下ろされ、その最下部に油井と接続する BOP が取り付けられている。

掘削船は探査掘削を行う手段のうちの一つである。第 4 章でも触れたように、掘削作業をする場合には、セミサブマーシブルリグやジャッキアップリグなどによる掘削も候補になり、それらの中から種々の条件により選択される。

世界最初の掘削船はモホール計画（Project Mohole）で使用されたカス 1（CUSS 1）である。米国の深海掘削計画に従事したグローマー・チャレンジャー（GLOMAR CHALLENGER）とその後継プロジェクトである国際深海掘削計画に従事したジョイデス・レゾリューションに続き、日本が建造した JAMSTEC の地球深部探査船「ちきゅう」は現在掘削性能としては世界最高レベルの性能を誇っている。

5.3.1 JAMSTEC ちきゅう

ちきゅうは、JAMSTEC 地球深部探査センター（CDEX）の地球深部探査船（掘削船）である。運航・管理及び掘削業務は、当初は JAMSTEC の自主運用、2006 年からはシードリルの協力のもとでグローバルオーシャンディベロップメント（GODI : Global Ocean Drilling Inc.）が行い、2008 年からは日本マントル・クエストによって行われている。

日本・米国が主導する統合国際深海掘削計画（現・国際深海科学掘削計画）において中心的な掘削任務を担当しており、巨大地震・津波の発生メカニズムの解明、地下に広がる生命

圏の解明、地球環境変動の解明、そして、人類未踏のマントルへの到達という目標を掲げている。なお、船名の「ちきゅう」は一般公募で選ばれた。掘削船の役割については第 4 章において触れているので、ここでは「ちきゅう」を掘削船の代表としてその経緯と船としての特徴を少し詳しく紹介したい。

図 5.3.1-1　「ちきゅう」の外観　（出典：Marine Traffic.com）

(1)　「ちきゅう」の経緯

海底は地上と比べて地殻が薄いため、掘削調査による地球物理学や海洋地質学の研究に適した場所とされている。1960 年代初頭にアメリカ合衆国が着手したモホール計画を端緒として、60 年代後半の深海掘削計画（DSDP：Deep Sea Drilling Project、後に国際化して IPOD ：International Phase of Ocean Drilling）、1985 年からは国際深海掘削計画（ODP： Ocean Drilling Program）、2003 年からは統合国際深海掘削計画（IODP：Integrated Ocean Drilling Program)、2013 年からは国際深海科学掘削計画（IODP：International Ocean Discovery Program）といった掘削調査が順次進められてきた。

1980 年代後半、日本の科学技術庁は、21 世紀の地球科学関連研究の飛躍的発展のためにもっとも効果的な施策についての検討を行った。この際に、ODP による貢献が非常に高く評価された。しかしこれらの諸掘削調査で用いられた掘削船は、DSDP では「グローマー・チャレンジャー」、ODP では「ジョイデス・レゾリューション」と、いずれもライザーレス掘削にしか対応していないという技術的な限界を抱えていた。このことから、1989 年に発表された報告書では、この限界を解決した新型の掘削船を開発し、国際協力のもとで研究を進める必要性が特記された。これを受けて、1990 年、政府の科学技術会議は新しい深海掘削船を開発して深海掘削計画を強化することを答申し、同年より、JAMSTEC において新たな深海掘削システムの研究および技術開発が着手された。

1992 年から 1994 年にかけて設計および要素技術の研究開発が行われ、ライザー掘削システムの導入を基本とした技術計画案が作成された。1995 年からは全体システムに関する研究に移行し、本船設計と主要システム、概念設計などが取りまとめられた。そして 1999 年からは基本設計を開始、2000 年 3 月には、三菱重工業が全体の取りまとめと掘削部分の開発、三井造船が船体部分を担当する建造契約が締結された。そして 2001 年度の政府予算原案の国会承認に伴って建造は正式に承認され、2001 年 4 月 25 日に三井造船玉野事業

所で起工された。これによって建造されたのが「ちきゅう」である。

(2) 「ちきゅう」の技術と設備

「ちきゅう」の主要目をに記す。

表 5.3-1 ちきゅうの主要目

船体全長	210.0m	垂線間長	192.00m
幅	38.00m	深さ	16.20m
満載喫水	9.20m	ドリルフロア高さ（船底から）	37.5m
全高さ（船底から）	約 121m	航海速力	10knots
主機	アジマススラスター 6 基、サイドスラスター1 基		

（出典：ちきゅうパンフレット）

これらの主要目は、従来の掘削船よりも船体動揺特性を向上させる、必要なバリアブルロードを確保し、所定の復原性能を有する、主要港への入港を考慮し喫水 10m 以下とする、などのコンセプトを考慮して決定された。ちなみに、パナマ運河通航可能な幅は 32.3m、スエズ運河通航可能高さは 70m であり、「ちきゅう」は両運河ともに通航できない。

図 5.3.1-2 に「ちきゅう」の側面図を示す。

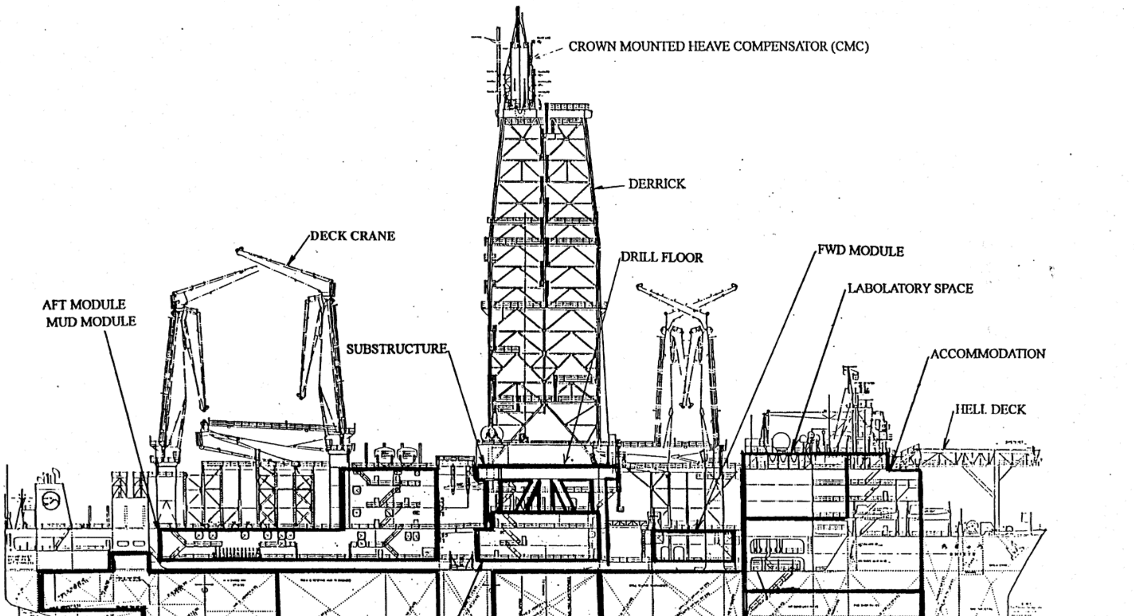


FIG. 3.1 PRIMARY LAYOUT OF "CHIKYU"

図 5.3.1-2 「ちきゅう」の側面図 （出典：JAMSTEC）

この図で、船首付近の船形について着目すると、バルバスバウ（球状船首）が設置されていないことに気づく。これは、高緯度海域において稼働中に急激な気温低下による結氷

の可能性を想定し、この氷海域から脱出を図る場合を考慮した結果、氷海域での航走に有利なようバルバスバウを採用しない船型としている。また船尾付近の形状に着目すると、船底が比較的フラットで船尾に向かって滑らかなバトックフロー船型として設計されている。これにより、左右舷２基の船尾固定式アジマススラスターを、ベースラインより上に配置可能となり、DP（Dynamic Position モード）時に、これらスラスターの噴流と船体との干渉を最小限に止めている。また、DP 時に船尾方向から潮流を受けた際の潮流抵抗低減を狙って、船尾端の曲率にも工夫をしている。

図 5.3.1-3 バトックフロー船型（バトックフロー船型は船型と水流の干渉が少なく推進抵抗を抑えることができるとされる理想船型の一つ。ポッド推進器との組合せが多い）

（出典：YANMAR）

また、船体中央部には、本船の外見上の特徴となるデリック（掘削やぐら（drilling derrick））が配されている。高さは、海面上から約 120m、船底から 130m である。この水面からの高さは、日本国内の海にかかるどの橋よりも高いため、結果として入港できる港は制限される。

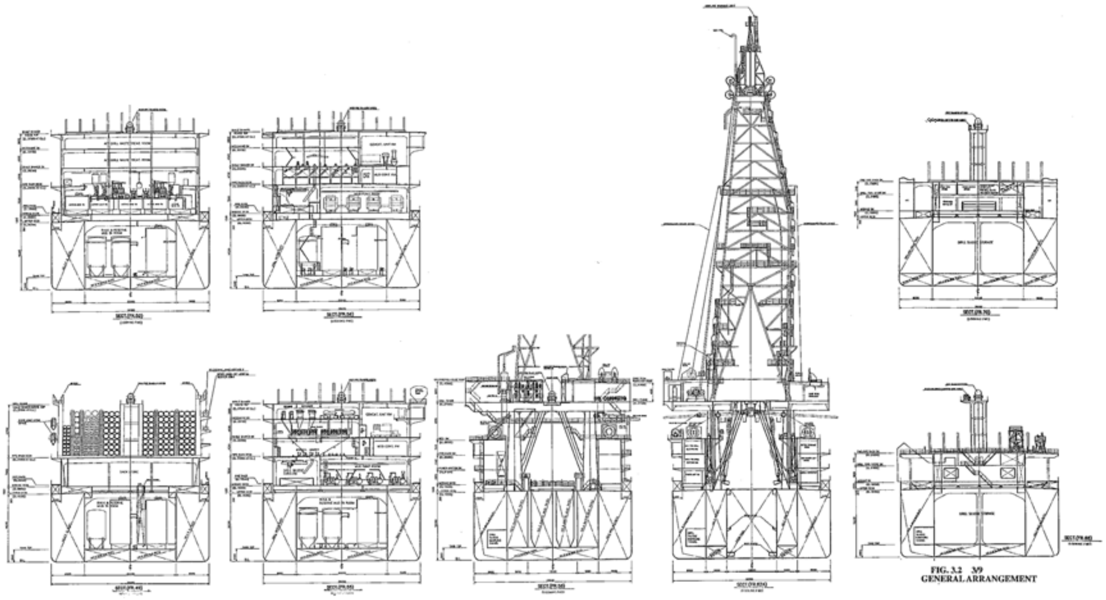


図 5.3.1-4 「ちきゅう」の一般配置図（正面図） （出典：JAMSTEC）

図 5.3.1-4 は「ちきゅう」の正面線図である。これを見るとデリックは船体中央に位置するものの、その形状は左右非対称で、片側はほぼストレート、もう片側は段階的に細くなる形状をしていることが分かる。また、図からは読み取れないが、デリックの構築にあたっては、ボルト・ナットによる部材の接合は行われていない。これは緩みや錆びなどの心配もあるが、デリック全体の応答が非常に精度を問われるため、ボルトの穴などによる部材内での力の分散・集中を減らし、できる限り一体型の構造物にするためである。したがって、デリック部についてはボルト・ナットではなく、構造部材を強力に挟み込むことによって得られる摩擦力でデリックは支えられている。ただし、その摩擦力を得るために継ぎ手面はボルト・ナットにより締め付られている。また、もちろん、デリックの真下にはムーンプールが設置されている。

図 5.3.1-5「ちきゅう」のムーンプール（開口部（幅 12m×長さ 22m））

左側：荒天時のムーンプール（6 本の黄色いライザーテンショナーが中央のライザーパイプを保持している最中）　右側：平静時のムーンプール

（出典：JAMSTEC）

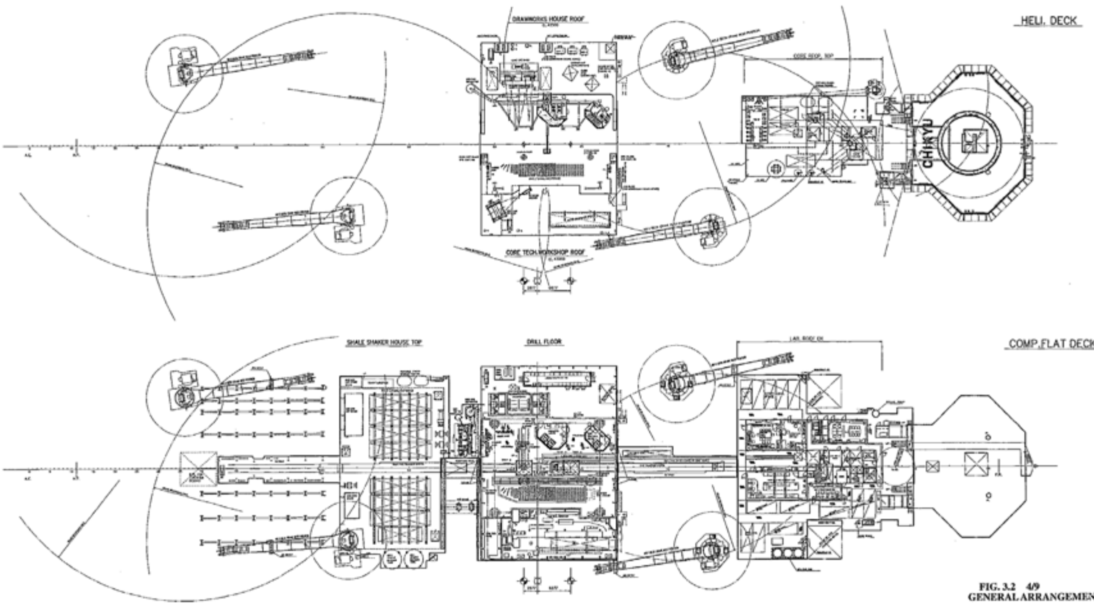


図 5.3.1-6　「ちきゅう」の一般配置図（平面図）（出典：JAMSTEC）

また、図 5.3.1-4 の左下の図をみると、デッキ上に大量の〇があるのが見える。これらはライザー管である。このパイプラックは、図 5.3.1-6 の下段の船尾付近のところに位置する。実際にパイプを搭載した状態が図 5.3.1-7 である。

図 5.3.1-7 「ちきゅう」でのケーシングパイプとライザーパイプの保管

（出典：National Geographic 日本版）

これを見ると、掘削船が実際に掘削するのには相当のライザー管や掘削ドリル管が必要になるかが改めて理解できる。

船上では単に深海底掘削を行うだけではなく、掘削試料を用いた分析を行うための研究区画も備えられている。研究区画は居住区後方に配されており、上階から順に、試料の分割を行う「ラボ・ルーフデッキ」、一次的な分析を行う「コア・プロセッシングデッキ」、さらに高度な分析を行う「ラボ・ストリートデッキ」、それらを管理する「ラボ・マネージメントデッキ」の全 4 デッキに分かれており、総床面積は約 2,300m²。掘削・採取されたコアから生じる有毒ガス（硫化水素や炭化水素）に対処するための安全措置が講じられており、室内の空気が外気に漏れないように陰圧管理（negative pressure management）とされている。

コアの分析のため、X 線コンピュータ断層撮影（CT：Computed Tomography）装置を搭載するが、これは医療用と同じものである。またサンプルの地磁気測定のため、船舶では世界初となる磁気シールド・ルームを備えている。ケイ素鋼板やコバルト系アモルフェ

ス鋼板などによる 4 層の磁気シールドが施されており、地球磁場の 100 分の 1、3.5 ミリガウス以下に保たれている。また、船体動揺などの加速度のために、船上でサンプルの正確な質量を測定するのは困難とされていたが、「ちきゅう」では質量原器との比較補正によって正確な質量測定を可能にする計量器を開発し、搭載している。

また、1 本の掘削期間は 6 か月を想定しており、このために乗組員は 1 か月おきにヘリコプターで交代するほか、長期間の船上生活を求められる研究者に配慮して、居住区の半数以上が 1 人個室とされた（1 人部屋が 78 室、2 人部屋が 61 室）。また、外国人研究者に日本の文化に親しんでもらいながら円滑な意思疎通を図るためのレクリエーション施設として、茶室も設けられている。

(3)　「ちきゅう」の掘削能力

一般的な掘削手順については第 3 章 3 節及び第 4 章において述べているので、ここではあくまでも「ちきゅう」の掘削能力に関して触れる。

「ちきゅう」の掘削はライザー掘削システムである。したがって、ドリル・パイプはライザーと呼ばれる中空のパイプのなかを通り、海底面から先はドリル・パイプだけで掘り進んでいくことになる。ドリル・パイプの先端からは比重が大きい泥水が噴出され、掘削孔内の壁面圧力を調整するとともに、泥水のしっくい効果によって掘削孔の崩壊を防止できる。またライザーを通じて泥水や掘屑（カッティングス）を回収する。

使用できるライザーは外径 533mm、内径 494mm、1 本の長さは 27m、重量は約 27t である。現時点でのライザー掘削では最大水深 2,500m であり、その場合はライザー管、約 90 本をつなぐことになる。また、その内部に通じるドリル・パイプは直径 140mm、長さ 9.5m（RANGEⅡに分類される）の高強度鋼管であり、先端部にはダイヤモンドなどの掘削刃がついたドリル・ビットが付けられている。こちらは最長で 10,000m である。

したがって、ライザー掘削としては水深 2,500m で海底下 7,500m まで掘削する能力を備えていることになる。これは世界最高レベルの掘削能力であり、マントル物質や巨大地震発生域の試料を採取することができる。また、ライザー掘削の際には、ライザーの先端部（海底面）には BOP が取り付けられており、石油やガスが噴出した場合にも掘削孔内に留めることができる。

図 5.3.1-8　「ちきゅう」でのライザー掘削（デリック）　（出典：日本マントル・クエスト）

これらの設備は現状であるが、将来的には最大水深 4,000m を目指し、ドリルストリング長は 12,000m を目指している。なお、ライザーを使わないライザーレス掘削での最大水深は現状でも既に 7,000m である。

これらのライザーとドリルを駆使し、その掘削能力を発揮させるには、かなり高度な位置保持性能を必要とする。特に定点保持が求められる掘削中には、これらは DPS によって自動制御され、水深 1,000m では半径 15m 以内、水深 2,000m では半径 30m 以内の精度で常時保持できるようになっている。また、推進器／スラスターを制御することで、風速 3m/s、波高 4.5m、潮流 1.5kt の海況下においても掘削が可能である。

「ちきゅう」のライザー掘削限界水深は 2,500m であることは既に述べた。この限界水深は、稼働時ではなく、暴風時に、ライザーを船体から吊り下げた状態であるハングオフで決まる。その考え方を記す。

パイプを水中に吊り下げる場合、パイプに浮力体を装備することで、静的な水中重量をゼロにすることが可能であり、この場合、無限大の水深にライザーをハングオフすることが可能となる。しかし、実海域では、船体動揺による加速度によって、船から吊り下げたライザーの質量に対し慣性力が作用する。管体、浮力体、付加質量等の質量は、ライザーの降下長さに応じて大きくなり、暴風時は船体動揺による加速度も大きくなって、非常に大きな慣性力が発生する。

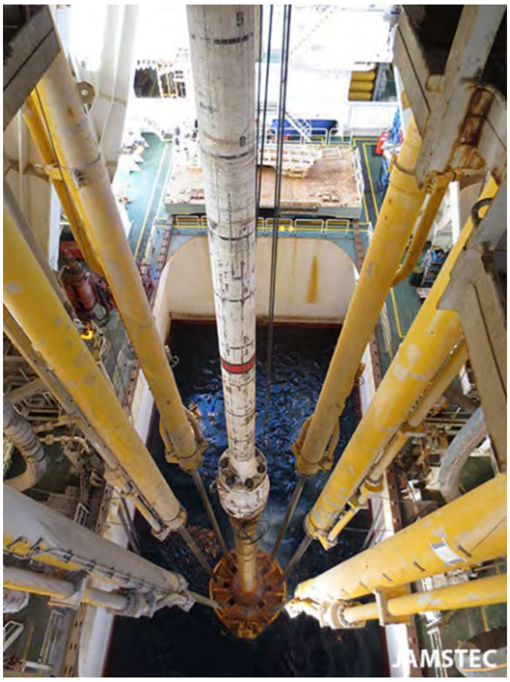


図 5.3.1-9　「ちきゅう」のライザーテンショナーとデリッククレーン　（出典：JAMSTEC）

船体の上下動による慣性力と水中重量の合計が、ライザー管の引張り強度を超えると破断し、逆に負の慣性力がライザーの水中重量を上回ると圧縮荷重が働き座屈する。したがって、大水深におけるライザー掘削は船体動揺、すなわち海象条件が大きな限界要素となっている。

このため、ライザーを設計するには、まず、海象条件を定める必要がある。海象条件を定める方法として、「ちきゅう」の設計では World Wide Sea State を用いている。具体的には、ライザーには周波数特性も踏まえ、ライザーの強度は、全ての周期において Sea State から求まる波高に耐えうるように設計される。なお、この Sea State は周期に対する波高の出現の 100 年再現期待値であり、上限を 16m としている。

ライザーハングオフおよび BOP 揚降時の、慣性力とライザー強度およびフックロードの関係を図 5.3.1-10 に示す。

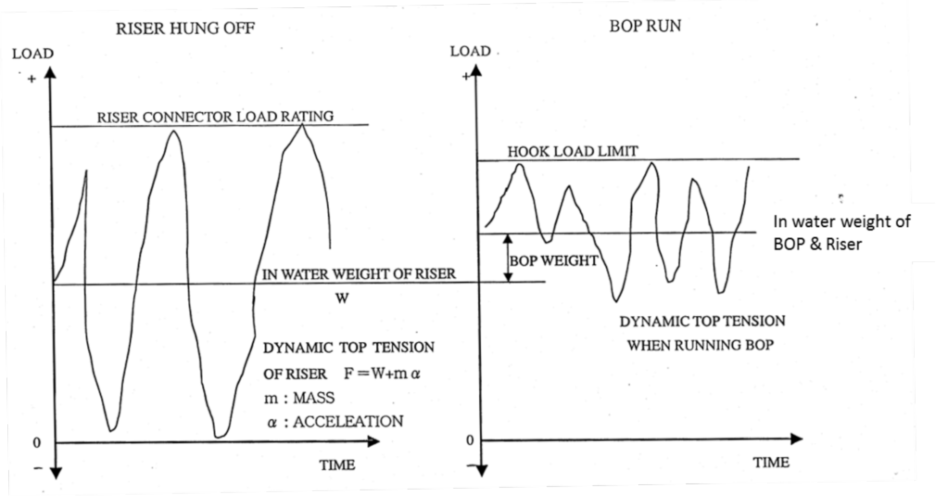


図 5.3.1-10　慣性力とライザー強度およびフックロードの関係　（出典：JAMSTEC）

この図の左に示すように、ライザーハングオフ状態における厳しい海象に耐えるには、ライザーコネクタは、強度が高いほど良く、この海象の中で、最大の船体動揺を許容するには、水中重量がコネクタ強度の半分となるように、浮力体を調整すれば良いことが分かる。このため、「ちきゅう」では、引張り強度 1,588t のコネクタ（採用時世界最高の強度）を採用した。

ハングオフ時の限界水深を向上させるには、高強度のコネクタを用いることで解決する。しかし、高強度のコネクタを用いて水中重量を上げた場合、問題となるのが BOP 降下である。この場合、図 5.3.1-10 の右に示すように、降下時は、水中重量は BOP の分だけ重くなる。ハングオフ時、ライザー上端はドリルフロアの構造で支持可能であるが、BOP 降下中はドローワークスで吊り下げる必要がある。ドローワークスのフックロードの限界がライザーの水中重量を制限し、これがハングオフ可能なライザーの長さ、すなわちライザー掘削の限界水深を決めることとなる。

石油業界におけるフックロードの最大は 908t であるが、「ちきゅう」はこれに対して 1,250t のフックロードとした。フックロードをさらに向上させることも、技術的には可能であるが、動滑車の数の増加は、通常掘削時の速度低下につながることになる。ドリリングワイヤラインのサイズを上げる事も考えられるが、デリック本体を含む関連機器の大幅な重量増大による安定性能上の問題やワイヤのハンドリングの問題が発生する。

なお、BOP 降下中に許容できる海象は穏やかであることが要求されるため、限界条件を把握し、海象条件の良い時間を選定し実施する必要がある。また、回収時と降下時ではドローワークスに作用する張力は回収時の方が厳しくなる。他の石油掘削リグではあるが、ライザーと BOP を回収しようとした直後に、ドローワークスのモーターがオーバーロードしてライザーと BOP が落下するという事故が発生している。

5.3.2 ETESCO TAKATSUGU J

「ちきゅう」以降で日本が強く関わった掘削船として「ETESCO TAKATSUGU J」を紹介する。“ETESCO TAKATSUGU J”は日本郵船、三井物産、川崎汽船、日本海洋掘削の 4 社が主要出資者（85%強）となって保有する船舶で、ブラジルのペトロブラス（国営石油会社）向けに 2012 年 から傭船が開始された。傭船期間は最長で 20 年である。ETESCO TAKATSUGU J は水深 3,000m、海底下 9,000m までの掘削が可能である。運航はブラジルの Etesco が行う。

載貨重量トン: 58007 t
全長： 218メートル
全幅： 42メートル
排水トン数： 90,600トン
吃水：11.7m
最大操業水深：
10,000フィート(約3,000メートル)
最大掘削深度：
40,000フィート(約1万２千メートル)
建造造船所： 韓国・三星重工業
竣工：2011年12月

図 5.3.2-1 ETESCO TAKATSUGU J （出典：川崎汽船）

主要目および主要設備の一覧を表 5.3-2 に示す。この船は、第 6 世代の大水深対応掘削船にカテゴリーされている。

表 5.3-2 ETESCO TAKATSUGU J の主要目

船体全長	218.0m	幅	42.0m
深さ	19.0m	満載喫水	12.0m
満載排水量	90,600t	最大操業水深	10,000ft
最大掘削深度	40,000ft	航海速力	11.5kt

（出典：ETESCO TAKATSUGU J パンフレット）

主要目を「ちきゅう」と比べると、長さは余り変わらないが、幅 42m や喫水 12m と一回り大きくなっていることが分かる。これは大水深に対応するための装備品の充実もあるが、ライザーなどの資材スペースおよびそれらの重量物を搭載する為の排水量の確保、また、作業性や安全性が向上できるデッキスペースなどを確保することを優先したためと考えられる。最大操業水深 10,000ft、最大掘削深度も 40,000ft、となっており、ブラジル沖プレソルト層(岩塩下層)鉱区などで活動している。

5.4 輸送に用いられる船舶

5.4.1 タンカーの分類

油田で産出された原油は、精製基地までパイプラインまたはタンカー（tanker）によって輸送される。産出された天然ガスは液化されて LNG として LNG 船（液化ガスタンカー）で消費地まで輸送される。液体貨物の運搬船を広義のタンカーと呼び、液体の種類によって次のように分類する。

- 原油タンカー（crude oil tanker）：一般にタンカーという。原油を消費国の精製基地へ輸送する。
- プロダクトタンカー（product tanker あるいは product carrier）：精製基地にて処理された石油二次製品の輸送に用いられる。ナフサ・ガソリン・灯油など俗に白物（しろもの）と呼ばれる揮発性の高い石油製品を運ぶクリーンプロダクトタンカー（clean product tanker）と、俗に黒物（くろもの）と呼ばれる重油類を運ぶダーティプロダクトタンカー（dirty product tanker）がある。
- ケミカルタンカー（chemical tanker）：ベンゼン・トルエン・メタノールなどの液体化学製品を輸送する。
- 液化ガスタンカー：LNG タンカー（LNG tanker あるいは LNG carrier）と LPG タンカー（LPG tanker あるいは LPG carrier）があり、高圧または低温で液化した天然ガスやプロパンガスの輸送に用いられる。

タンカー（液化ガスタンカー以外）は、油積載量を表す載貨重量トン数（DWT：Dead Weight Tonnage）によって、次のように俗称されている。

- 8-12 万トンクラス ：アフラマックス（AFRA Max.）
- 15 万トンクラス ：スエズマックス（Suez Max.）
- 20～30 万トン ：VLCC（Very Large Crude Carrier）
- 30 万トン以上 ：ULCC（Ultra Large Crude Carrier）

スエズマックスはスエズ運河を満載状態で通過できる最大クラスである。また、ここにはないが、パナマ運河を満載状態で通過できるサイズをパナマックスと呼ぶ。これに対して、アフラマックスのアフラは運河を示しているのではなく、運賃指数の AFRA（Average Freight Rate Assessment）に由来している。つまり経済的に利益が最大化するようなという意味である。

5.4.2 タンカーの構造

現在のタンカーは、船尾に居住区などの上部構造物を設けた平甲板船型（flush decker あるいは flush deck vessel）であり、推進用主機関（main engine）も船尾に設置されている。この機関室より前方が原油を積み込むタンク区画（原油タンク、貨油タンク、cargo oil tank）となっている。タンク区画の配置・構造には、次のような特徴がある。

- バラストタンク：タンカーは、生産地から消費地への航海では原油を満載するので喫水は最大となる。消費地から生産地への航海では積荷がないため喫水が小さくなり、プロペラが水面上に浮上して都合が悪い。このため、海水を積み込み、喫水を調整す

る。この海水をバラスト（ballast）と呼び、バラストを入れるタンクをバラストタンクという。初期のタンカーでは、原油タンクにバラストを入れていたが、積地において排水する際に排水中に含まれる油分が海洋を汚染するため、現在では新造タンカーは MARPOL 条約により専用のバラストタンク（SBT：Segregated Ballast Tank）を設けることが義務づけられている。

- 海洋汚染対策：タンカーによる海洋汚染の原因は、バラスト排水中の油分の他に、タンカーの座礁、衝突などによる原油の流出事故がある。このような事故による原油の流出を防止するために、個々のタンクの大きさを制限し、船側のタンク（wing tank）の一部をバラストタンクとし、原油を積み込まないようにするなどの対策が、MARPOL で定められている。アラスカ沖でのエクソン・バルディーズ（EXXON VALDEZ）号の座礁・原油流出事故を契機として、二重船殻構造（double hull）が条約化された。船側および船底を二重構造とし、その部分をバラストタンクとすることで、衝突・座礁等による原油タンクの損傷を軽減する構造である。デッキ（上甲板）、サイドシェル、船底と隔壁からなる箱形の面構造が基本である。2004 年に IMO は船舶のバラストの浄化を義務づける条約を採択した。この条約は、2009 年建造の船舶よりタンク容量に応じて順次適用され、2012 年以降の建造船舶には全面適用される。浄化システムがメーカーで開発され、基準を満たすシステムには IMO から型式承認が与えられている。

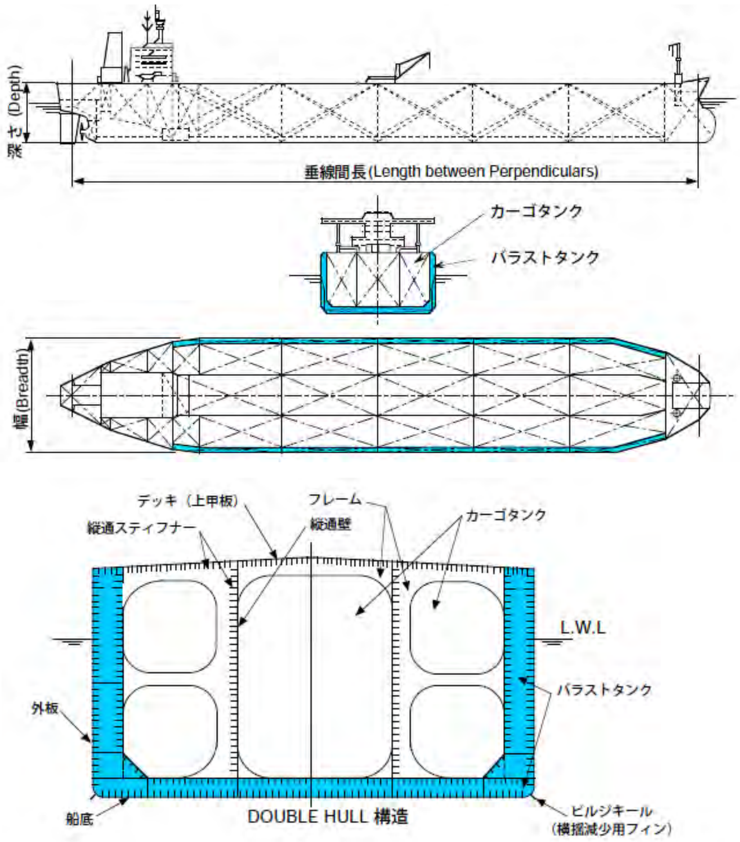


図 5.4.2-1　タンカーのダブルハル構造の例　　（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

表 5.4-1 バラスト水管理の IMO 規則

対象生物		排出基準
プランクトン	最小サイズ50μm以上の生物 （主として動物プランクトン）	10個／m^3未満
	最小サイズ10μm以上50０μm未満の生物 （主として植物プランクトン）	10個／ml未満
バクテリア	病毒性コレラ菌（O1及びO139）	1cfu/100ml未満 又は動物プランクトン1g当たり1cfu未満
	大腸菌	250cfu/100ml未満
	腸球菌	100cfu/100ml未満

（出典 : ClassNK，船舶バラスト水及び沈殿物の管制及び管理のための国際条約案（仮訳）規則 D-2 を基に作成 ）

- COW（Crude Oil Washing）：原油タンク内に残っているワックス分やピッチ分を洗い落とす方法に、原油をタンククリーニングマシン（tank cleaning machine）と呼ばれる噴射ノズルから高圧・高速で噴射させる洗浄法をカウ（COW : Crude Oil Washing）と呼ぶ。COW は、海水洗浄に比べてタンク内のワックス分やピッチ分が溶解され、さらに積荷の一部として陸上げできるため、タンク内の残留油分を減少させることができ、MARPOL によって設置が義務付けられている。
- IGS（Inert Gas System）：原油タンク内の上部空間は原油から揮発したガスで占められており、常に爆発の危険性がある。このため、不活性ガスを送り込むことでタンク内の酸素濃度を爆発限界以下にして、爆発の危険を防止する。不活性ガスを製造するための装置がイナートガス装置（IGS : Inert Gas System）である。IGS はボイラーの燃焼排ガスを冷却・洗浄・脱湿した低酸素濃度ガスをタンク内に送り込む。不活性ガスは、荷揚げ時、タンククリーニング時などにも送りこまれる。IGS も MARPOL によって設置が義務付けられている。

5.4.3 液化ガスタンカー

(1) LNG タンカー

LNG の主成分であるメタンは、-162℃で常圧液化し体積が約 600 分の 1 となる。LNG はこの超低温液化状態でタンカーに積み込まれ輸送される。このため LNG タンカーではタンクの断熱が重要である。LNG タンカーの構造には次の 3 形式がある。

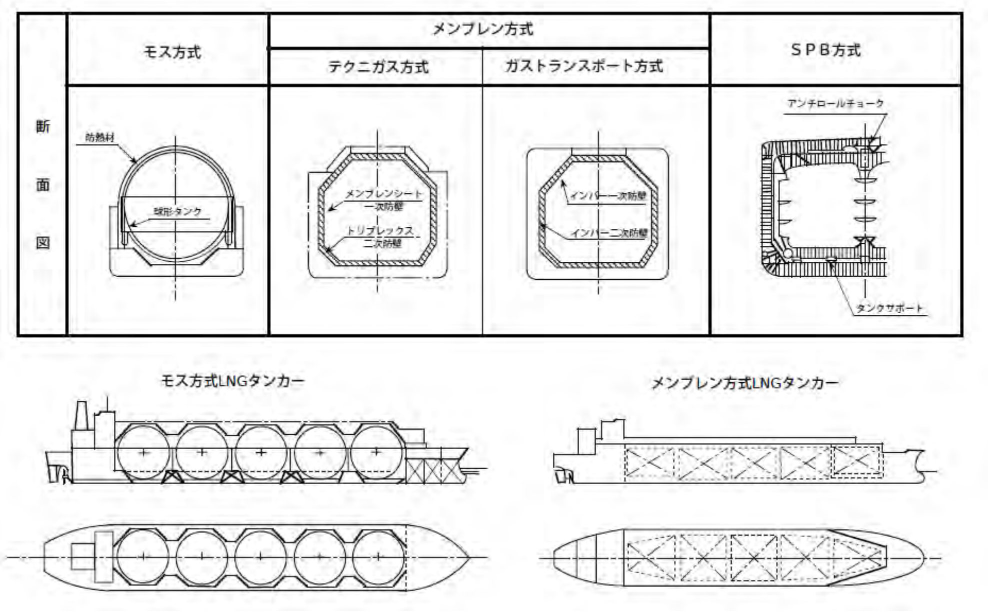


図 5.4.3-1　LNG 船のタンク方式　（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

- 自立式球形タンク方式（モス方式）：球形タンクの赤道部を円筒形のスカートで支持した構造で、上甲板上に大きな構造が突出している。タンク材料には、低温でも強度が低下しないアルミニウム合金（A5083）、または 9%ニッケル鋼が用いられる。

Built:1998
Size: 297.5m × 45.75m
Draught:11.25 m
Gross Tonnage:111124 t
Net Tonnage:33337 t
Deadweight:72316 t

図 5.4.3-2　モス型 LNG 船　ZEKREET　（出典：Marine Traffic.com）

表 5.4-2 モス方式の主要目の例

Particulars	138,000m³	145,000m³	200,000m³	235,000m³
Number of Tanks	5	4	5	5
LAO (m)	287	290	315	345
Draft (m)	11	11.4	12	12.5
Beam (m)	45.7	49.0	50.0	55.0
DWT	68,200	71,600	98,000	115,400
Speed (Knots)	18.5	18.5	19.5	19.5
Boil-Off Rate (day)	0.15%	0.10%	0.10%	0.08%

（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

- メンブレン方式：メンブレン方式は、貨物の荷重を直接船体で支える非独立型と呼ばれる構造である。タンクは金属の薄膜で、それ自体では荷重を保持することができず、防熱材を介して全荷重を船体が支持する構造になっている。テクニガス方式（technigas type）とガストランスポート方式（gastransport type）がある。テクニガス方式は、タンク材料に 1.2mm 厚のコルゲート（波形）ステンレス鋼を用いて、低温による収縮をこのコルゲート部で吸収している。防熱材にはバルサ材や合板、またはポリウレタンフォームなどが用いられている。ガストランスポート方式は、タンク材料に熱収縮の小さいインバー（36%ニッケル鋼）を用いており熱収縮の影響がほとんどない。
- SPB Type：：自立式角型タンク方式は船体内部に独立した角型タンクを持ち、タンク材料にはアルミニウム合金（A5083）が用いられ、タンク内面には同じアルミ合金の防撓材が配置されている。防熱材として、ポリウレタンフォームが張りつけられている。

いずれの形式でも、航海中はデッキ・外板などからの熱流入による積荷の気化が避けられない。気化したガスをボイルオフガス（BOG：Boil Off Gas）と呼び、ガス燃料として利用するか、または再液化してタンクに戻す。

Deadweight: 79556 t
Length Overall x Breadth Extreme:
289.93m × 44.73m
Year Built: 2008

図 5.4.3-3　メンブレン型 LNG 船　TRINITY ARROW

（出典：Marine Traffic.com）

表 5.4-3　メンブレン方式の主要目の例

Particulars	145,000m^3	155,000m^3	216,000m^3	264,000m^3
Number of Tanks	4	4	5	5
LAO (m)	283	288	315	345
Draft (m)	11.4	11.5	12	12
Beam (m)	43.4	44.2	50.0	55.0
DWT	71,500	76,700	101,100	122,200
Speed (Knots)	18.5	18.5	19.0	19.0
Boil-Off Rate (day)	0.14%	0.15%		

（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

(2) LPG タンカー

LPG の主成分はプロパンとブタンで、常温常圧では気体である。プロパンを液化するには、大気圧下で-42℃以下に冷却するか、常温で 8 気圧以上に加圧しなければならない。またブタンは、-2℃以下または 2 気圧以上で液化する。LPG タンカーは、常温加圧方式と低温常圧方式がある。

常温加圧方式は高圧タンクを船内にもち、高圧液化した LPG を常温で輸送するものである。高圧タンクは、強度的にも重量的にもあまり大きくできないので内航輸送用の小型 LPG タンカーとして用いられることが多い。

低温常圧方式は、大気圧下で液化した LPG を船内に設けた断熱保冷タンクに積載して輸送する。この方式は、LNG タンカーと同様の特徴をもち、外航輸送用の大型タンカーに用いられている。

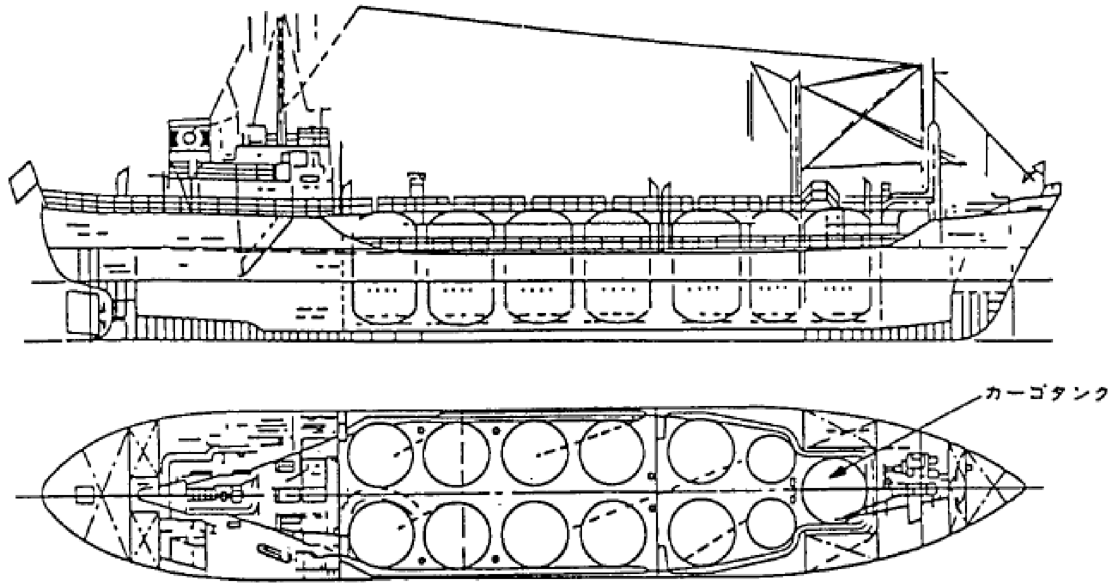


図 5.4.3-4　常温加圧方式の LPG タンカー　（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

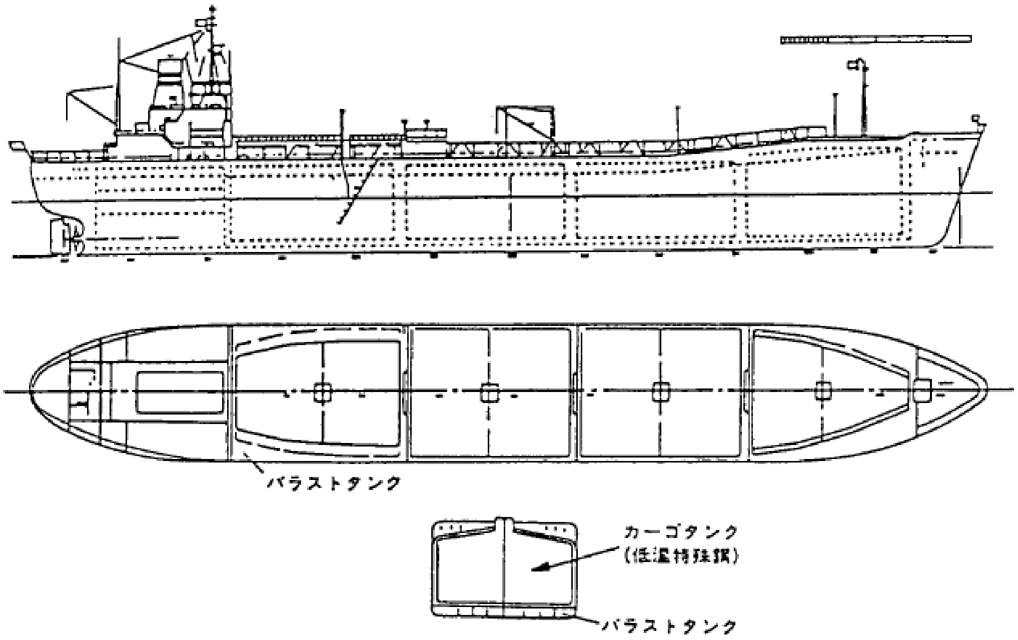


図 5.4.3-5　低温常圧方式の LPG タンカー　（出典：海洋工学ハンドブック 2010）

5.4.4 シャトルタンカー

洋上の生産設備で生産された石油や天然ガスを輸送する船舶の一つにシャトルタンカーがある。シャトルタンカーは別名フローティング・パイプライン（floating pipeline）とも呼ばれ、FPSO などから積み出された石油を陸上の受入基地にピストン輸送するタンカーである。

シャトルタンカーは、厳しい海象条件においても海上で停泊し確実な積み込みを行う必要から、通常のタンカーと異なり、自動船体保持装置やバウローディングシステム等の機能を搭載しているのが特長で DPS シャトルタンカーと称されることもある。

Length:	270 m x 44 m
Draught (min/avg/max):	6.5 m / 9.9 m / 13.8 m
Speed (avg./max):	8.9 kn 16.3 kn
Year Built:	1993
Deadweight:	123423 tons
Gross Tonnage:	66671

Length:	276 m x 46 m
Draught (min/avg/max):	1.8 m / 9.5 m / 15.2 m
Speed (avg./max):	9.7 kn 17.5 kn
Year Built:	2013
Deadweight:	123166 tons
Gross Tonnage:	80850

図 5.4.4-1　シャトルタンカーの例　VIGDIS KNUTSEN,　HILDA KNUTSEN

（出典：FleetMon.com）

シャトルタンカーは世界的に見ても、Teekay と Knutsen NYK Offshore Tankers が 2 強を形成しており寡占化が進んでいる。両社とも今後の需要拡大を見越し、シャトルタンカー船隊の拡充に取り組んでいるが、2013 年末時点で、カナダの船会社 Teekay が最も多くの 35 隻を所有しており、北海での FPSO 事業及びシャトルタンカー事業に強い。近年では、ブラジルにも事業エリアを拡大させ、ペトロブラス向けシャトルタンカー輸送を拡大している。また、LNG 船や FPSO においても積極的な取組みをみせている。

5.5　受入基地

5.5.1　受入基地の形態

生産基地でタンカーは原油や LNG を目的地まで輸送してくる。当然受入には港が必要で