

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

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

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

あるが、効率的な輸送の観点からタンカーが大型化すると、着岸に操船の高度な技量を要する上に、広大な面積で且つそれなりの水深の港の整備・管理（浚渫・航路水深の確保など）が必要となる。これら問題を解決するため、陸に直接接岸せず、主要な港湾の沖合に錨地を設け、錨泊させて浮沈式オイルフェンス（原油の場合）の設置などの必要な措置を講じた上で原油や LNG を受け入れる方法が考案された。この施設からは、海底に設置されたパイプラインで陸上にある精製工場やタンクに送られる。この港の沖合にタンカーを係留し海底パイプラインを経由して、貨物の積み揚げ荷役を行う施設には、シーバース（sea berth）や石油荷役用係留ブイがある。原油の場合は洋上受入施設からパイプラインで原油を陸上の製油所に送るのが一般的であるが、LNG の場合には洋上受入施設で LNG を貯蔵し、気化器によって再ガス化してからパイプラインに送る。したがって LNG の洋上の受入基地としては、後述の FSRU など LNG の貯蔵だけでなく再ガス化とパイプラインへの送出を行う設備が必要となる。図 5.5.1-1 にタンカーの主な受入方式と係留索の張り方の典型例およびその時の必要とされている係留力の関係を示す。また、表 5.5-1 には受入方式およびそれに伴う代表的な係留方式の特徴を示す。

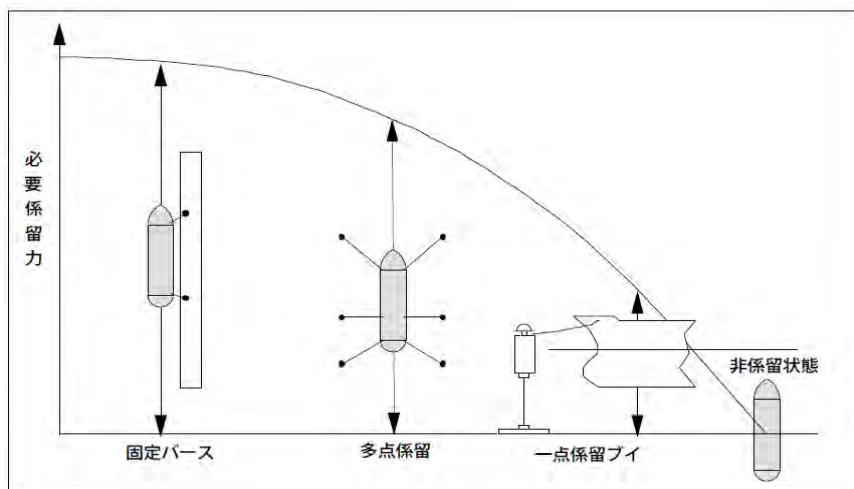


図 5.5.1-1 係留方式と必要係留力 （出典：海洋工学ハンドブック 2010）

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

表 5.5-1 係留方式の特徴

項目	シーバース（栈橋）	多点係留方式	一点係留ブイ
設置海域	静穏海域	同左	海象条件の厳しい北海等にも実績有り
係留力	タンカー接岸の横波時に大きくなる	同左	係留力が最小になる様にターン
専有面積	2 船長+シーバースの設置面積	2 船長+多点係留ブイの設置面積	ブイを中心に3 船長
設置最大水深	約 30m	約 30m	約 160m
着栈／離栈	一定方向からのみ。潮流・風によっては操船が難しい	複数の係留索の取り回しが難しい	陸岸側方向を除き、任意の方たててアプローチする
支援曳船	4～5 隻	4～5 隻	2～3 隻
荷役作業	ローデングアームの接続作業は容易。強風時にもタンカーを許容範囲内に保つ必要あり	ホースの接続作業が若干煩雑。タンカーの動きにはホースは良く追従できる。	同左
タンカー容量	シーバースに適したサイズのみ。	10 万 t 以下のタンカーは可能	同左
メンテナンス	鋼管抗の電気防蝕対策が必要	数年に一度ブイを陸揚げし、オーバーホールする必要。	ブイ本体は 2～4 年に一度陸揚。他の部品は非係船時にメンテナンス
実績	多い	極めて少ない	最も多い

(出典：海洋工学ハンドブック 2010，一部追記)

(1) シーバース（栈橋方式）

シーバースという。これにより、原油や LNG などの危険物を、船舶を陸上港に直接停泊させることなく、積荷を安全に搬出入することができる。「原油(LNG)受入基地」とも呼ばれる。図のように 1 本のシーバース（栈橋）につき両舷の 2 隻が一般的である。表にもあるように、受け入れられるタンカーの大きさについては勿論上限もあるが同時に下限もある。例えば、10 万 t 用のシーバースに数千 t のシャトルタンカーを受け入れることは困難である。一般にシーバースは浮き栈橋で係留方式により、ドルフィン方式、一点係留方式、多点係留方式等に分かれるが、港によっては固定式の栈橋の場合もある。シーバースから陸上港への輸送は、主にパイプラインで送られる。国内における主なシーバースとして、京浜横浜シーバース、京葉シーバース、伊勢湾シーバース、東燃ゼネラル扇島シーバースなどが整備されている。尚、原油等を陸域に輸送するシーバースは海洋工作物に該当し、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律の適用を受けることになる。



図 5.5.1-2 シーバースの例 (出典：日本船主協会)

(2) 石油荷役用係留ブイ

係留形式は、一点係留方式と多点係留方式に大別されるが、現在使用されている係留形式の大多数は一点係留方式である。係留中のタンカーが波、風、潮流などから受ける力は、その方向も強さも時間と共に変化する。ブイにターンテーブルを搭載することにより、ブイに係留索で繋がれたタンカーは外力の変化に追従して係留力が最小になるようにブイを中心にして回転する。これをウェザーベーン (weather vane) という。一点係留方式はこのウェザーベーンの特性を活かした方式である。

ブイを使用した一点係留方式には CALM (Catenary Anchor Leg Mooring) と SALM (Single Anchor Leg Mooring) がある。操船が容易で、海象条件の影響を受けにくく、安価であることが一点係留ブイの利点である。ブイに係留する方法によってドルフィン方式、一点係留方式、多点係留方式などに分かれる。いずれもタンカーの大型化に伴う係留施設の増強や航路水深の関係から要請され、開発された沖合係留施設である。

① CALM

CALM ブイは円盤状のブイを通常 4 本以上のチェーンで係留したもので、タンカーはこのブイに係留索で繋がれる。係留索はブイ側に装備されている。送油系は海底のパイプラインエンドマニフォールド (PLEM: Pipe Line End Manifold) とブイ間を結ぶブイ下ホース、およびブイとタンカーを結ぶフローティングホースより構成される。

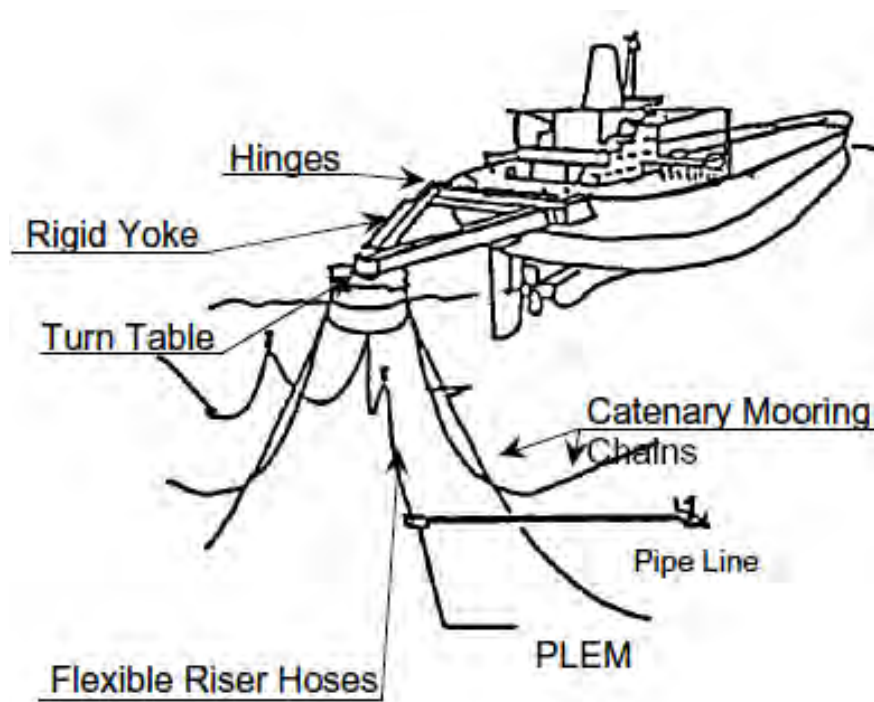


図 5.5.1-3 CALM with Rigid Yoke (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

ブイ下ホース (under buoy hose) の配置は、3 通りの方式がある。CALM システムを構成する主要な要素は次の通りである。

- 係留機能：ブイ、ターンテーブル (ブイに搭載)、チェーン、アンカーまたはシンカー、係船索システム (タンカーの係船システム) 付属品 (標識灯、レーダーリフレクター、霧笛、張力計等)
- 送油機能：フローティングホース (ブイとタンカー間を接続)、ブイ上配管、フルイドスイベル (ブイに搭載)、ブイ下ホース (ブイと PLEM 間を接続) PLEM、バルブ類

なお、次に示す SALM (Single Anchor Leg Mooring) システムとの違いは次の通りである。

- ・ ブイ本体が複数のチェーンで係留されている。
- ・ フルイドスイベルがブイに搭載されている。
- ・ 送油ホースがフローティングホースとブイ下ホースの二つに分かれている。

② SALM

SALM ブイは、海底に設置されたベースとブイ本体が一本のチェーンで連結されるテンションレグシステムである。タンカーのブイ周りの回転に対応するためチェーンの途中にチェーンスイベル (chain swivel) が設置されている。送油系は海底のベース上に設置されたプロダクトスイベルとそれに接続された送油ホースより構成されている。

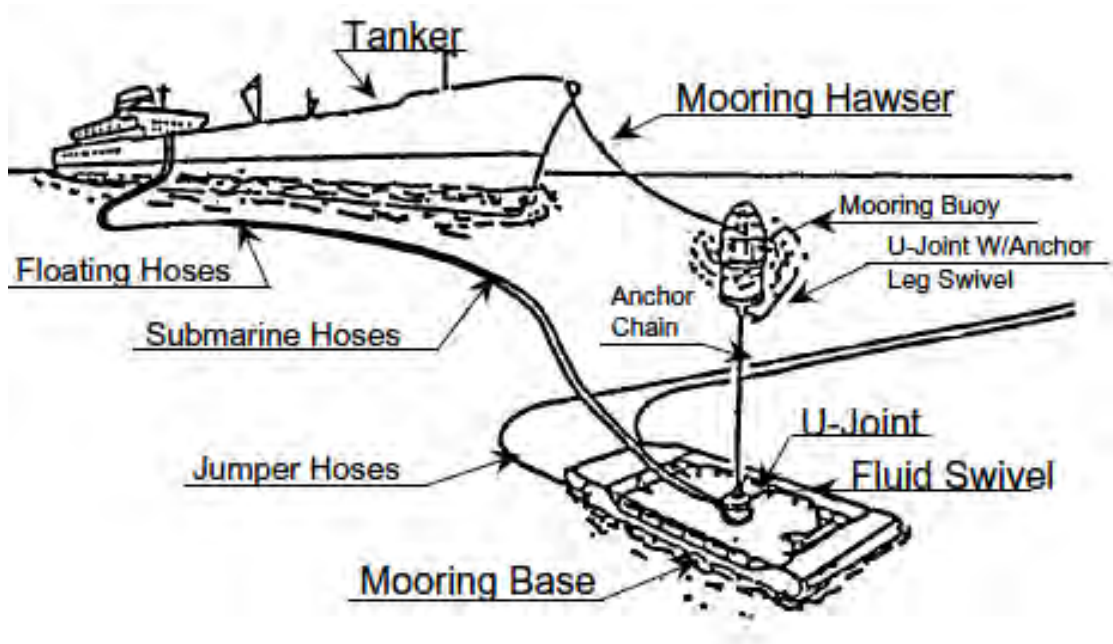


図 5.5.1-4 SALM (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

CALMシステムと異なり、送油ホースはブイを経由せずに直接タンカーに接続される。設置水深が 50m 以上の場合、フローティングホースを短くするためにチェーンとベースの間に鋼管を配し、鋼管の上部から送油ホースを立ち上げる深海型 SALM ブイがある。SALM システムを構成する要素は次の通りである。

- 係留機能：ブイ本体、チェーン（一本）、チェーンスイベル（一個）、ベース（海底に設置）、ユニバーサルジョイント（チェーンの上下に各一個）付属品（標識等、レーダーリフレクター、霧笛、張力計等）
- 送油機能：送油ホース、フルイドスイベル（海底のベース上に設置）、ベース上配管ジャンパーホース（ベースと PLEM 間を接続する）、バルブ類

5.5.2 FSU/FRSU

FSU・FSRU とは、それぞれ Floating Storage Unit 及び Floating Storage and Regasification Unit の略で、洋上浮体式の LNG 貯蔵設備を指す。FSRU については、文字通り LNG を再ガス化する設備も搭載している。これら FSU・FSRU は、基本的に洋上に係留固定された状態で設置され、従来の陸上 LNG 基地と同等の能力を有するもので、浮体式 LNG 受入基地と言えるものである。また、LNG RV (LNG Regasification Vessels) あるいは LNG SRV (LNG Shuttle Re-gasification Vessel) と呼ばれる、通常の輸送能力を備えた LNG タンカーに LNG 再ガス化能力を備えたものも存在している。

2004 年に世界で初めての浮体式 LNG 受入・再ガス化設備 (LNG RV) がメキシコ湾 (Gulf Gateway プロジェクト) で稼働して以降、近年は従来の陸上 LNG 受入基地に代わり、これら洋上浮体式の LNG 受入・再ガス化設備の利用が全世界で進んでおり、既に操業中のプロジェクトが 10 件以上、建設・検討中のものを含めた計画中のプロジェクトは 20 件以上が挙げられている。

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

FSU・FSRUは、LNG船からの転用（FSUはLNG船のタンクをそのまま貯蔵用LNGタンクとして使用。FSRUはLNG船のデッキ上に再気化設備を増設する。）も多く、経年によって動力機関が船舶としての使用にそぐわなくなったLNG船についてもそのタンク部分を有効活用できる。

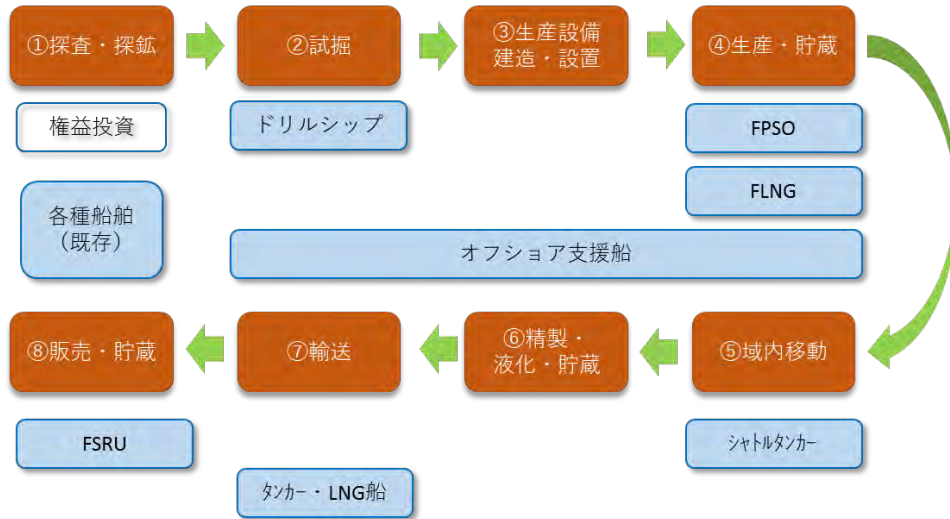


図 5.5.2-1 FSRU の位置づけ

（出典：みずほ銀行産業調査部より作成）

FSRUは浮体式再ガス化設備であり、LNG船で輸送されたLNGを消費地に近い沖合で受け入れ、FSRU内の再ガス化設備でLNGを天然ガスに気化した後、パイプラインで消費地に天然ガスを送る役割を担う。FSRUは陸上の受入基地に比べて設置コストが低いことから、従来の陸上受入基地に代わるプロダクトとして注目されている。

FSRUはLNG消費地における洋上LNG受入基地であり、陸上のそれと比較して、低コストかつ短期間に受入体制を構築可能とする施設である。2013年に商船三井がウルクアイ案件に新規参入するまでは、Golar LNG、Hoegh LNG、Excelerate Energyで寡占体制を確立していた。

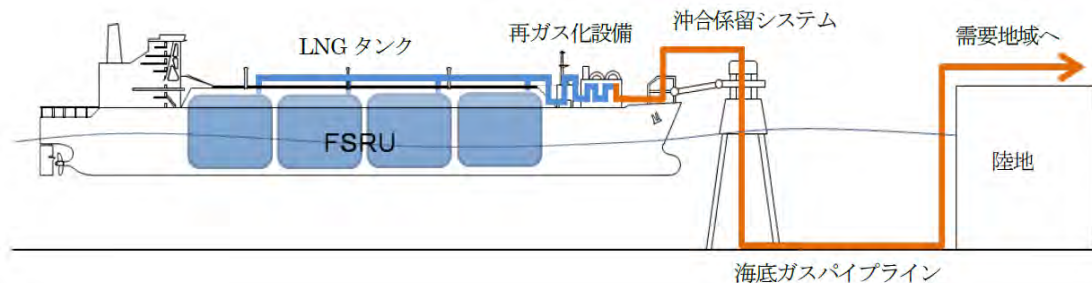


図 5.5.2-2 FSRU・SRVの設置イメージ図（沖合タワー係留&海底ガスパイプライン）

（出典：JOGMEC）

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

(1) FSU・FSRU の特徴

- 低い建設コスト：FSU・FSRU の建設コストは陸上 LNG 受入基地に比べて低い。従来の陸上 LNG 受入基地を建設する場合のコストは、平均的な規模のものとして、1,000 億円程度。一方、FSU・FSRU では、基本的に通常の LNG 船と同様の形状・設計であるため、新規に建設した場合でも 300 億円程度とされている。さらに、既存の LNG 船を FSU・FSRU に転用する場合の改造費用は 80 億円程度である。ただし、FSU・FSRU を係留固定するための栈橋設備等の建設に 100 億円程度が必要となるが、それでも陸上 LNG 受入基地に比べると大幅に建設コストを削減することが可能となる。
- 建設期間（操業開始までのリードタイム）が短い：FSU・FSRU の建設期間は、新規に建設する場合で約 3 年程度となる（通常の LNG 船とほぼ同じ）。既存の LNG 船を改造し転用する場合、改造に要する期間は約 1 年程度である。もちろん、FSU・FSRU を設置するための栈橋などの係留設備が必要であるが、既存の港湾設備などを使用可能な場合はこちらも建設が不要となる。また、洋上に係留された状態での操業となることから、陸上の土地を必要とせず、周辺環境への影響が少なく、各種規制に縛られる可能性も低い。いずれにしても陸上 LNG 受入基地の建設期間 5～7 年（環境影響評価・設計期間等を含む）に対し、基地としての操業を開始できるまでのリードタイムは大幅に短縮することができる。
- 移動・転用が容易：船舶と同様の扱いであるので、当然移動は容易である。従って、将来的に LNG 気化基地が不要となった場合には速やかに撤去可能で、場合によっては別の場所での使用に転用することも可能である。例えば、近隣に大規模な陸上 LNG 受入基地の建設を並行して進め、そちらの基地の操業開始までの間のみ、つなぎとして一時的に FSU・FSRU を使用するといったことも考えられる。さらに、冬季など一年の内のガス需要のウルトラピーク期間のみ FSU・FSRU を設置・稼働させるといった、季節間変動に合わせたピークシェービング用としての活用も想定されている。
- 安定した気象・海象条件が必要：洋上に係留されて設置されるため、気象・海象に大きく影響を受ける。特に係留索を用いての係留では、通常船舶が栈橋に係留されるのと同様、波高が高くなると安全性にも大きく関わってくる。特に、外洋に直接面した港湾では長周期波（周期が数分～数十分の波で、ゆっくりと海面が上下する動き。しばしば係留索切断等の事故の原因となる）の影響があるため、注意が必要である。従って、FSU・FSRU の設置場所としては、波浪の影響が少ない湾内とされることが多い。また、台風やハリケーンなどが接近する場合には、安全のために FSU・FSRU を離岸させ避難させることが必要になる可能性もある。
- 貯槽容量の拡張柔軟性が低い：現在提案されている FSU・FSRU で最大の貯槽容量は 26 万 m³（世界最大の LNG 船である Q-Max クラスとほぼ同じ）のものであるが、FSU・FSRU ではタンクの貯槽容量は設置される船体の大きさによって画一的に決定される。したがって、需要増加などに併せてタンクの増設を行う際には、FSU・

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

FSRU の隻数を増加させていかなければならず、その都度係留設備も増設していく必要がある。

(2) FSU・FSRU の係留方式

① 陸上栈橋&FSU+陸上気化設備方式

FSU は再ガス化能力を持たないため、栈橋に固定した浮体式 LNG 貯槽として使用し、陸上に LNG の再ガス化設備を設置してガス送出手を行う方式である。マレーシアの Melaka の FSU プロジェクトがこれにあたる。LNG は栈橋経由で LNG 船からローディングされる。

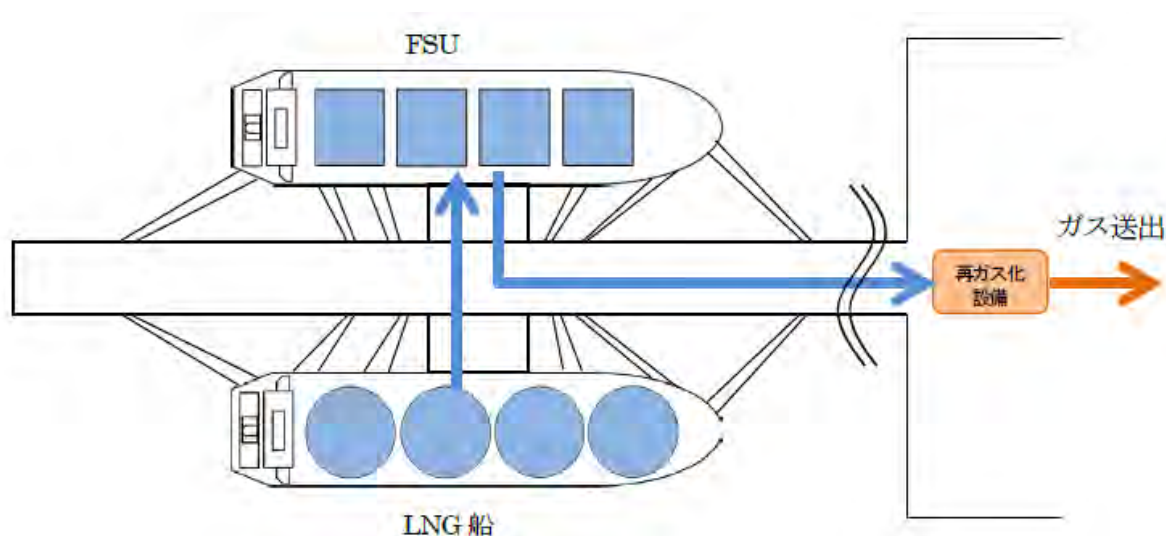


図 5.5.2-3 陸上栈橋&FSU+陸上気化設備方式イメージ (出典：JOGMEC)



図 5.5.2-4 Melaka の FSU プロジェクト (出典：MUHIBBAH)

写真を見ると、3 隻の船舶が海上栈橋に着栈していることが分かるが、手前側の 2 隻が FSU である。FSU を 2 隻設置することで貯槽容量を確保している。この FSU は、マレーシア LNG プロジェクトで使用されていた LNG 船を改造したものである。再ガス化設備は栈橋上に設置され、FSU から払い出された LNG をガス化し、海底パイプライン

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

にて陸上に送出される。

② 陸上栈橋&FSRU (LNG荷役は栈橋経由)方式

FSRUを陸上栈橋に固定、LNG船からのLNG荷役も栈橋経由で行う方式である。最もシンプルで、安全性・確実性が高い方式である。栈橋を海上栈橋とし、海底ガスパイプラインでガス送出を行うものもある。

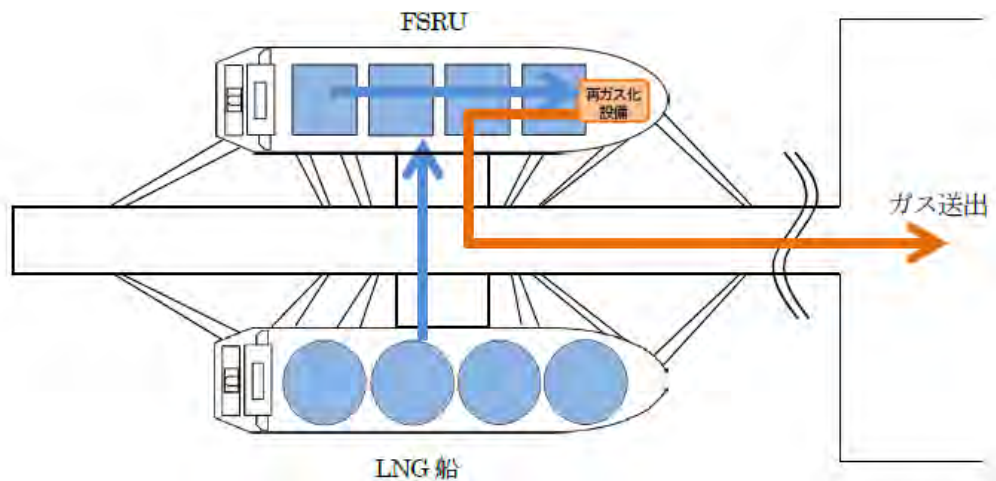


図 5.5.2-5 陸上栈橋&FSRU (LNG荷役は栈橋経由)方式イメージ

(出典：JOGMEC)

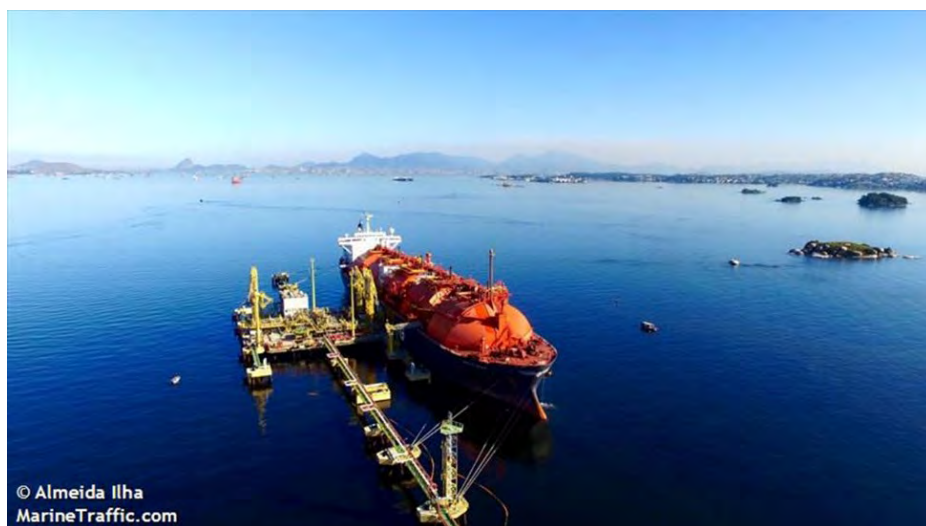


図 5.5.2-6 The FSRU "GOLAR SPIRIT" (出典：Marine Traffic.com)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

ペトロbrasが手掛けるFSRUプロジェクトで、2008年に稼働を開始した。栈橋に係留されている船舶がLNG船“GOLAR SPIRIT”をFSRUに改造（コンバージョン）した世界で初のFSRUである。このFSRUはブラジルとしては初めてのLNG受入基地である。栈橋の左側にLNGのシャトルタンカーがついて、LNG荷役を行う。

このFSRUの再ガス化能力は700万m³/日で、貯槽容量は128,000m³である。ガスは地域のガスグリッドに注入されるが、主にCearaおよびFortalezaガス火力発電所に供給されており、ブラジル国内の電力需要の増加への対応策となっている。

③ 陸上栈橋&FSRU+STS（Ship To Ship）輸送方式

FSRUを陸上栈橋に固定し、LNG荷役はSTS輸送で行う。この場合、船舶はSBS(Side-By-Side)のポジションに係留しミッドシップマニホールド間の極低温ホースを接続する。

栈橋設備が一つで良いというメリットがある。しかし、船舶同士を数mの範囲で近接して係留する必要があることから、STS輸送は気象・海象が穏やかな条件でないとう行うことができず、安定性・安全性の面で相対的にリスクが高い。安全性の点もそうであるが、それぞれの船価が200億円や300億円であることまで考えると、操船面ではかなり気を遣わざるを得ない。今後の課題としては、ある程度（100m程度）離れた距離を維持しても極低温ホースでの移送が問題なくなれば、求められる海象条件の範囲は少し緩和される。

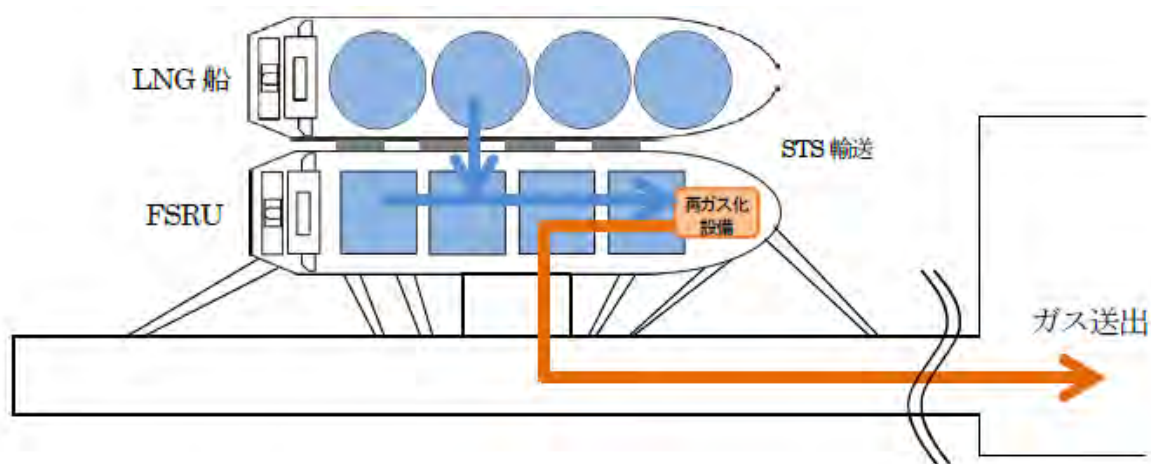


図 5.5.2-7 陸上栈橋&FSRU（LNG荷役はSTS輸送）方式イメージ（出典：JOGMEC）



図 5.5.2-8 Ship-to-ship lightering of LNG (出典 : Gas tech news)

④ LNG RV 沖合係留&海底ガスパイプライン方式

沖合にタレット係留等で LNG RV を係留し、海底ガスパイプラインで陸上にガスを送出する形態である。北米 Neptune LNG プロジェクト等で採用されていた。こうした、タレット係留は船体の一点を係留し、風見鶏のように波、風、潮流からの外力が最も小さくなるように係留点（この場合はタレット）を中心として自由に回転することが出来る SPM (Single Point Mooting) の形態の一つである。タレットは回転を許容する巨大なベアリングを持つ構造物で、タレット係留では、海底からの複数の係留索などで係留されたタレットに、船体を一点で係留する。海底に固定された複数の係留索が船体に搭載されたタレットのベアリングを通して船体と繋がれ、タレットを中心に回転することで船位を維持する。船体から陸上（パイプライン）への積み出しを水深のある沖で行えることから、船舶の大型化に対して柔軟に対応できる方式の一つである。

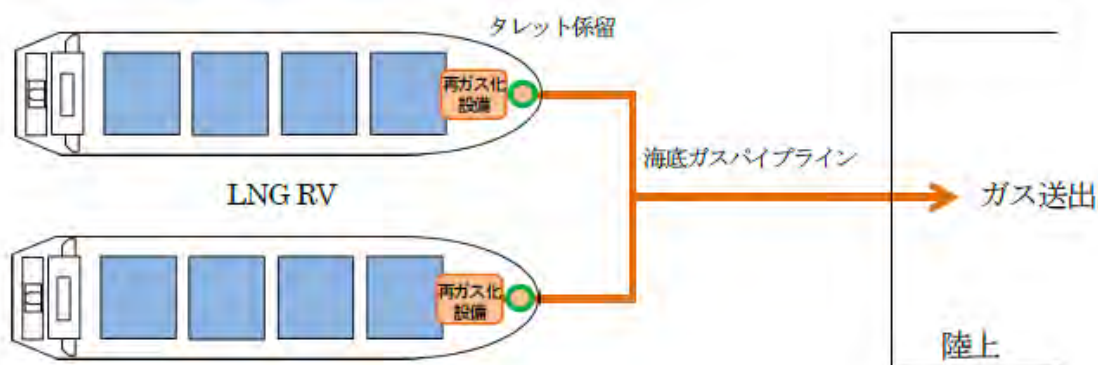


図 5.5.2-9 沖合係留&海底ガスパイプライン方式イメージ (出典 : JOGMEC)



図 5.5.2-10 LARGEST LNG RV Experience (出典 : Bureau Veritas)

図 5.5.2-10 は韓国の大宇造船で建造された最大級の再ガス化 LNG 運搬船 (LNG-RV) である。4 つのメンブレンタイプの貨物タンクを有し、合計容量は 173,600m³ である。DFDE (Dual Fuel Diesel Electric, 2 元燃料ディーゼルエンジン) 推進は 4 基の Wartsila 発電エンジンと 2 基の電気推進モーターおよび固定ピッチプロペラで構成されている。

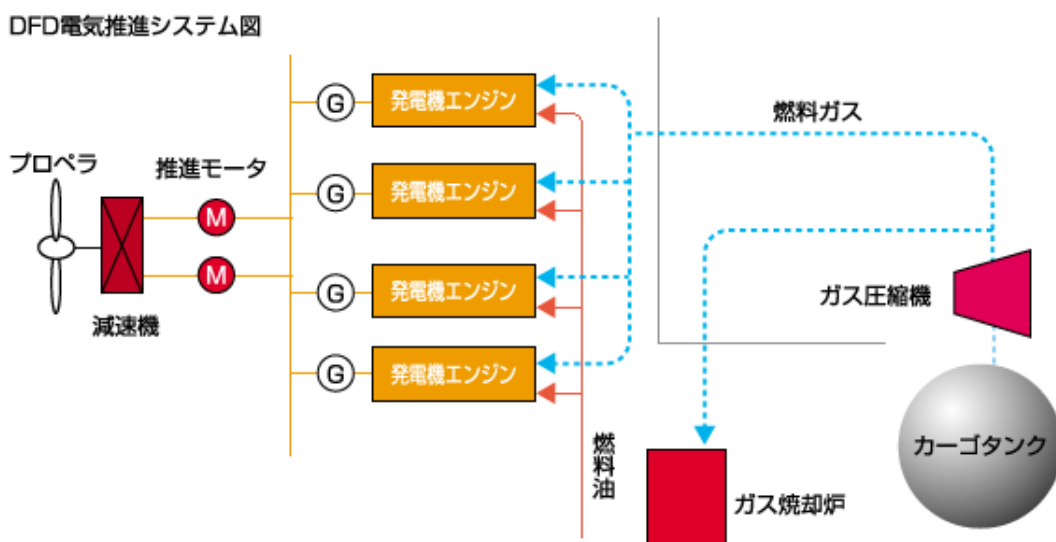


図 5.5.2-11 DFDE 推進システム (出典 : 川崎重工業)

また、2016 年現在では、合計容量が 263,000m³ の FSRU を商船三井が大宇造船に発注しており、建造されれば世界最大の FSRU になりウルグアイ、及び近隣国へのガス供給業務に従事する見込みである。



図 5.5.2-12 建造中の世界最大の FPSO (出典：商船三井)

5.6 据え付け・操業に用いられる船舶

ここまで主に開発・生産ライン上にある船舶について触れてきた。しかし、それらの船舶だけでは海洋開発は不可能である。例えばセミサブ型の施設をサイトまで運ぶ為の船舶、据え付けるための船舶、オペレーション段階での燃料・人員の輸送の為の船舶、メンテナンスのための船舶などなど、これらの多種多様な船舶が状況に応じて作業船団を組み効率的な開発・生産を行っている。ここでは、そんな海洋開発を支える船舶を幾つか紹介する。

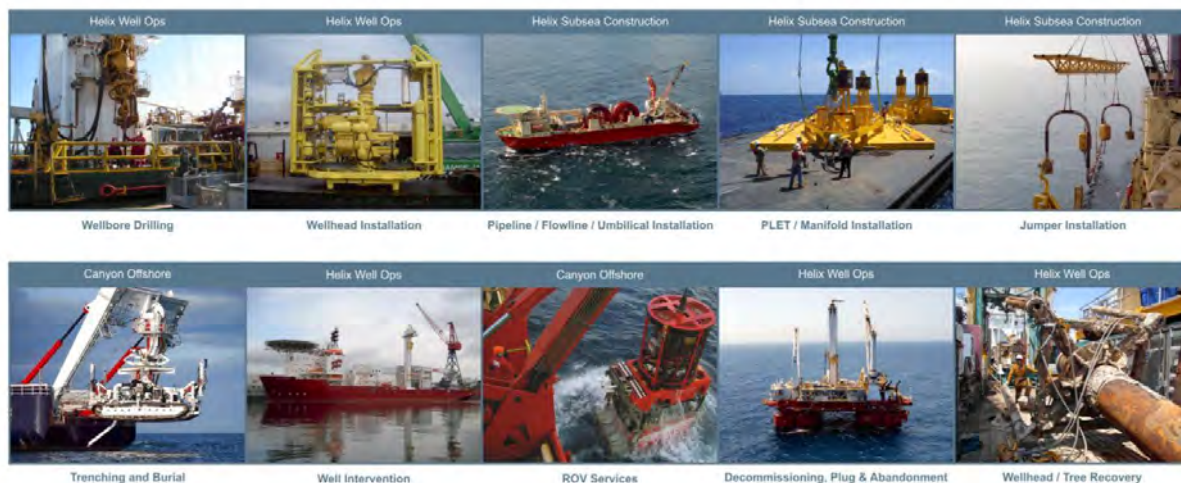


図 5.5.26-1 海洋開発での様々なステージとそこで使用される船舶・作業のイメージ

(出典：HELIX)

5.6.1 クレーン船

クレーン船は重い物をつり上げて移動させるために特化した船である。移動式クレーンおよび海上起重機の種類である。船にクレーンを搭載した物が一般的である。最大級のクレーン

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

船はパイプライン建設など沖合での工事、海上橋梁の建設などに使われている。大きいものは半潜水型で造られているが、単胴船型のものも用いられている。また、クレーンが旋回型のものと、旋回できないものがある。クレーン船は、浮きクレーンや起重機船と呼ばれることもある。

クレーン船と呼べる船舶は14世紀初頭の中世ヨーロッパの港にはあったとも言われているが、最初のクレーン船としては、1920年に1898年に進水したアメリカ海軍のキアサージ級戦艦「キアサージ」(USS KEARSARGE)に吊り下げ能力250tのクレーンが据え付けられ、改造されたのが最初と言われている。



図 5.6.1-1 USS キアサージ AB-1 (Crane ship No.1) (出典：MaritimeQuest)

1949年に旋回可能な吊り下げ能力150tのクレーンを装備したデリックバージ4号が建造された。この種の船の登場によって、沖合工事産業の方向がそれまでと一変することになる。すなわち、陸上でパーツごとに作成して運んでいた石油プラットフォームなどを、モジュールごとに作成し、海上で組み立てできるようになった。メキシコ湾など浅瀬での事業では、バージで十分であった。

1963年、ヘーレマ (Heerema) はノルウェーのタンカー SUNNAAS を300tの吊り下げ能力を持つクレーン船 GLOBAL ADVENTURER (グローバルアドベンチャー) に造り変えた。これは沖合工事として、半潜水型ではない最初の船舶とされている。

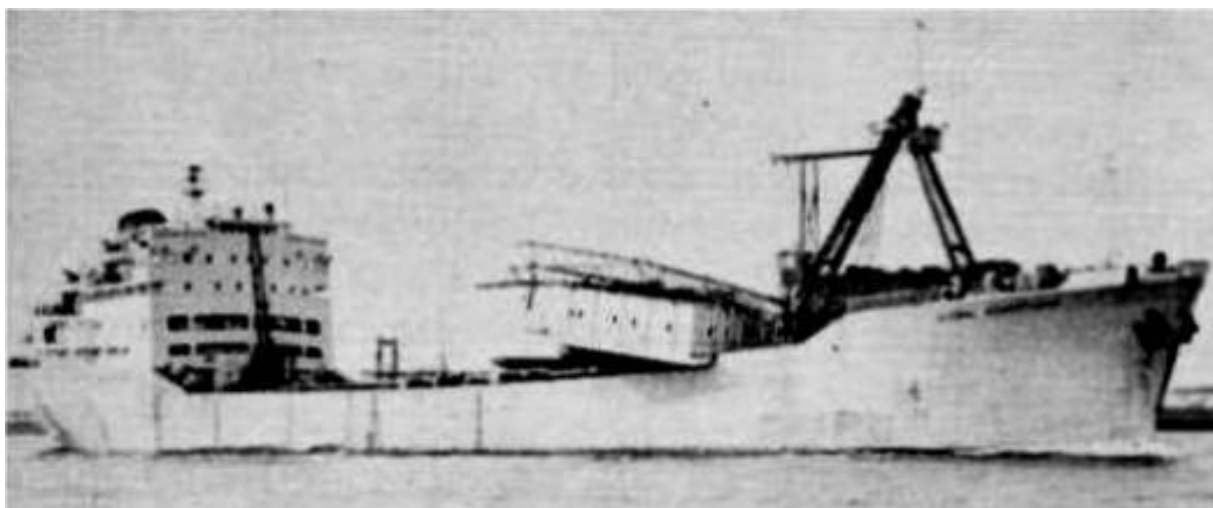


図 5.6.1-2 GLOBAL ADVENTURER Carrying the prefabricated REM Island

(出典：Offshore radio museum)

(1) クレーンバージ

クレーンバージに分類されるクレーン船の船体形状は一般に箱型で、船首形状は曳航時の抵抗を軽減するためカットアップ (cut up) またはスプーンバウ (spoon bow) になっている。上甲板後部のクレーンタブ (crane tub) 上に旋回式クレーンを備え、左右両舷および船尾側でクレーン作業が出来る。海洋工事用のクレーン船の大きさは次のようにして決められる。

- クレーンの最大の吊り能力に対して、船体傾斜が 3 度以内に収まる様に計画される。船幅を大きくすれば船体傾斜は小さくなる。3 度の制限は、クレーンが安全に旋回できる条件であるが、クレーンを固定すれば 3 度以上傾斜して作業できる。
- パイプ敷設船との兼用船の場合、パイプライン敷設用機器の配置から船の長さが決められる。
- 船体の深さは船体の縦強度および機器や各室等の配置から決められる。甲板下は、作業員用居住施設、機関室、操船用ウインチ室等が配置され、その他の区画には燃料、清水、バラスト水等のタンクが配置される。船によっては居住施設、操船用ウインチ等が甲板上に配置されることもある。

また、自航出来るクレーン船もあるが、一般的には自航式でないことが多く、その場合の作業地点間の移動は曳船で行う。作業時には 8 本ないし 12 本の係留ラインで多点係留され、係留ロープを繰り出し・巻き取るウインチ操作で位置保持を行う。

海洋作業で用いられる国内最大級のクレーンバージとしては、くろしお、第 2 くろしおがある。両船とも全旋回型のクレーン船である。

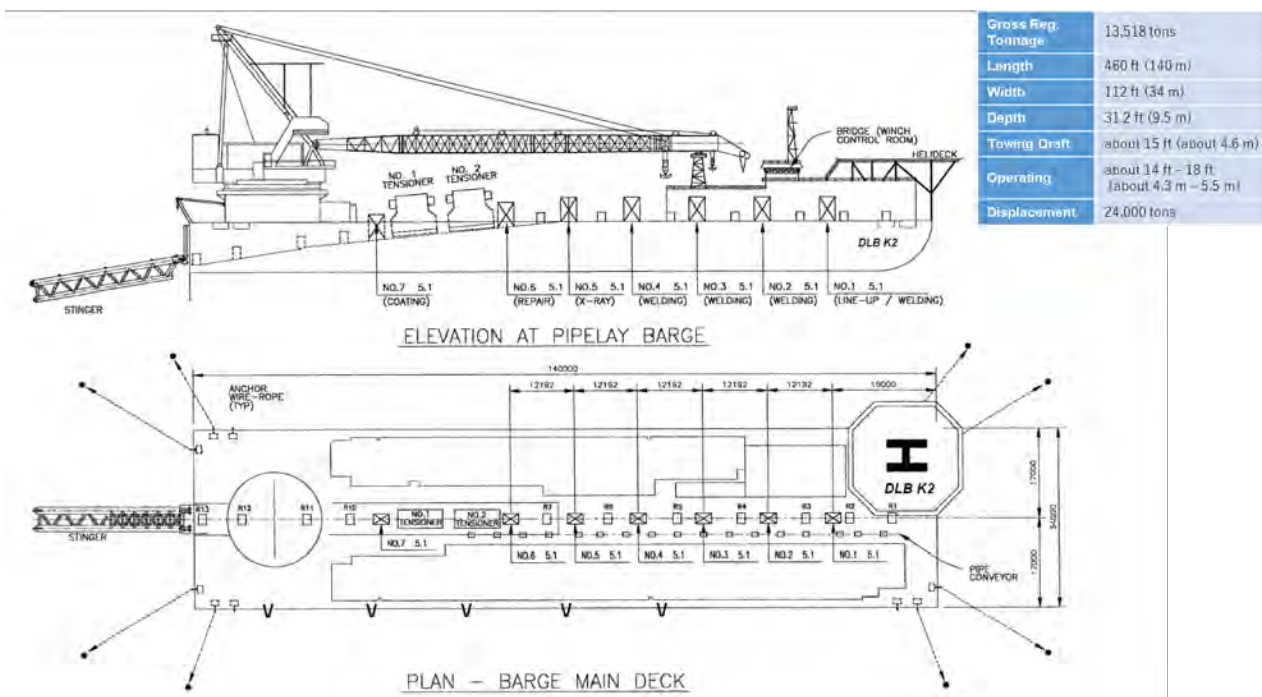


図 5.6.1-3 第 2 くろしおの一般配置図 (出典：新日鉄住金エンジニアリング)



図 5.6.1-4 くろしお・第 2 くろしおの外観 (出典：新日鉄住金エンジニアリング)

(2) セミサブクレーンバージ

主として浮力を受け持つ下部構造（ローハル）、復原性を受け持つコラム、各コラムをつなぐデッキ構造より構成され、デッキ構造上に旋回クレーン用架台、旋回クレーン、居住施設等が配置される。半潜水型のクレーン船は海のうねりに対して強く、冬の北海のような環境でも使うことができる。また一般のセミサブ型がそうであるように、波浪中動揺性能も非常に高いことから単胴船の物と比べて非常に大きい吊り下げ能力を得ることができる。セミサブリグに較べて大型で、巨大な復原力を得るためにコラムが大きい。また、吊り荷重の移動に伴う船体の傾斜を許容値以内に抑えるために、バラスト海水を急速に移動してコントロールする方法が用いられている。

セミサブクレーンバージは 1978 年、オランダのヘーレマの設計、三井造船の建造で

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

HERMOD と DCV ボールダーの二隻の半潜水型のクレーン船が造船された。それぞれ当初は 2,000t と 3,000t のクレーンを備えていた。この吊り能力の高い船舶が出現したことで、石油プラットフォームの建設にかかる期間が 3～4 か月だったものが数週間にまで短縮されたと言われている。セミサブクレーンバージの吊り能力はこの時代に一気に大きくなっているが、2016 年現在、最大の吊り能力を有するクレーン船は、1985 年にアメリカ合衆国マクダーモットが就航した“DB-102”を 2000 年に 7100t のクレーン 2 機搭載に改造・改名した“THIALF”で、2 番目が 1986 年にイタリアの Micoperi が造船した 7000 トンのクレーン 2 機を積んだ M7000 である。



Length overall 201.6 m 661 ft
 Length of vessel 165.3 m 542 ft
 Width 88.4 m 290 ft
 Depth to workdeck 49.5 m 162 ft
 Draught 11.8-31.6 m 43-104 ft
 GRT 136,709 t –
 NRT 41,012 t –

図 5.6.1-5 THIALF (出典 : Marine Traffic.com)



Class and type: Semi-submersible crane vessel
 Displacement: 172,000 t (heavy lift)
 Length: 198 m (overall)
 Beam: 87 m
 Height: 43.5 m (keel to deck)
 Draft:
 10.5 m (34 ft) (transit)
 18.0 m (59 ft) (survival)
 27.5 metres (90 ft) (heavy lift)
 Installed power: 70,000 kW
 Propulsion: 12 thrusters
 Speed: 9.5 knots (17.6 km/h; 10.9 mph)
 Crew: Up to 700 persons

図 5.6.1-6 サイペム (SAIPEM) 7000 (出典 : Marine Traffic.com)

また、2018 年に建造予定の SLEIPNIR は長さ 220m、幅 102m で強化デッキエリアに 10,000t のクレーン 2 機が装備される予定で、その吊り能力で徐々に世界最大級を更新するセミサブクレーンバージになりそうである。



図 5.6.1-7 SLEIPNIR (2018 年建造予定) (出典 : HEEREMA)

2016 年現在で広報されている内容によると、デュアルクレーンは、ジャケットやリグの上甲板部のインストールにも撤去にも対応できる能力を有しているだけでなく、大水中での、海底基礎、係留及び構造物の設置のために利用可能である。また、自航性能も有しておりデュアル燃料エンジンにより発電した電力で 10kt の自走が可能である。位置保持性能については、係留システムの利用も可能であるが、搭載されている DP3 レベルのダイナミックポジショニングシステムの利用も可能である。

表 5.6-1 SLEIPNIR の主要目

Length overall	220 m	721 ft
Beam overall	102 m	334 ft
Length over Work Deck	180 m	590 ft
Beam over Work Deck	97.5 m	320 ft
Depth to Work Deck	49.5 m	162 ft
Draft range	12-32 m	39-104 ft

Boom Length	144 m (from heel point to whip hoist)
Boom Clearance (to deck)	28.0 m in stowed position
Main Hoist Capacity - Revolving	10 000 mT between 27 - 48 m radius 7 000 mT at 62 m radius 4 000 mT at 82 m radius
Main Hoist Lifting Height	from -20 m up to 129 m (above waterline at 32m draft)
Main Hoist Maximum Radius	102 m
Auxiliary Hoist Capacity - Revolving	2 500 mT between 33 - 60 m radius
Aux. Hoist Lifting Height	from -50m up to 165 m (above waterline at 32 m draft)
Aux. Hoist Maximum Radius	135 m
Whip Hoist Capacity - Revolving	200 mT between 37 - 153 m radius
Whip Hoist Lifting Height	from -100m up to 181 m (above waterline at 32 m draft)
Whip Hoist Maximum Radius	153 m
Deep Water Lowering	heave compensated capacity per crane 1 000 mT at 1 000 m below sea level 760 mT at 1 500 m below sea level 240 mT at 3 000 m below sea level
Deck Crane	One pedestal mounted, lattice boom crane 70 mT at 12 m radius 25 mT at 60 m radius 8 t at 72 m radius Range up to 2 000 m water depth Man riding certified
Heavy Lift Lay Down Area	15 mT/m ²
Main Deck	10 mT/m ²
Total Deck Load Capacity	20 000 mT
Total Deck Area	12 000 m ²

(出典 : HEEREMA)

5.6.2 曳船 (タグボート)

ドリルシップとセミサブリグを除く大部分の海洋構造物は推進装置をもっていないので、建造場所から稼働地点へ、あるいは稼働地点間の移動では、ウェットトウ(wet tow)として曳船(タグボート)等によって浮遊状態で曳航される方向か、ドライトウ(dry tow)としてバージに搭載されて輸送される方法が用いられる。

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

タグボートによるバージのドライトウの曳航速度は5kt程度、ウェットトウでは2-3ktであるが、自航式バージに搭載した場合の速度は10~12ktと大きい。海洋構造物の種類によるドライトウとウェットトウの傾向は勿論あるが、輸送距離の視点では、長距離輸送(ocean tow)はドライトウが多くて、近距離の移動(local tow)はバージへの搭載作業のないウェットトウが行われることも多い。これはドライトウの場合、構造物が直接波浪荷重を受けることがないのでウェットトウより安全で、そのため保険料率は低いことも要因の一つである。

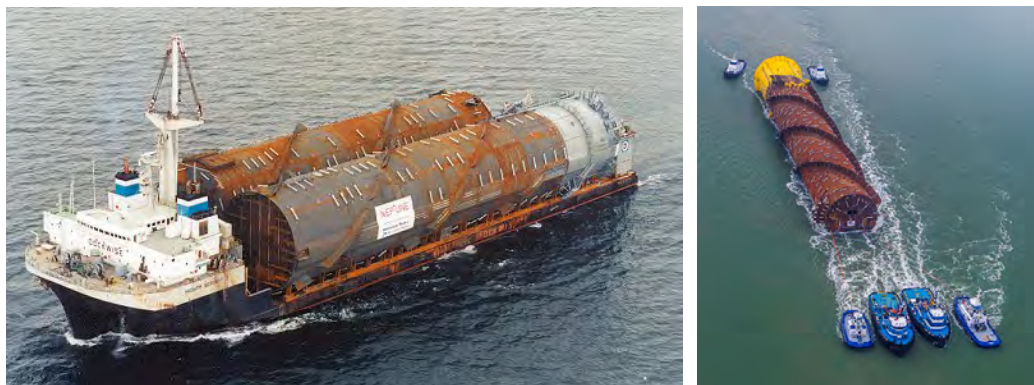


図 5.6.2-1 Spar のドライトウとウェットトウ

(出典 : Arognautics.com, The Williams Companies)



図 5.6.2-2 POSH GIANT 1 loaded with 3 STS cranes を曳航するタグボート

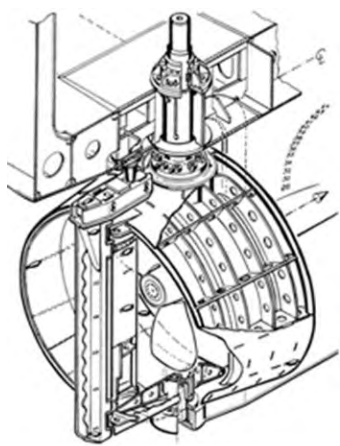
(出典 : POSH TERASEA)

タグボートは曳航時の安全確保と操縦性能向上のため、通常2基の主機を装備している。タグボート(曳船)の(曳航)能力を決定する要素は、主機出力のみではなく、主機関・推進器による曳航力や曳航索、曳航ウインチなどの曳航装置・資機材の強度が挙げられる。中

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

でも主たる要素は岸壁曳引力(ボラードプル、bollard pull)であり、曳航能力を評価する際に用いられることが多い。ボラードプルは、推進器の種類、直径、及び主機関の種類、出力(馬力)及び回転数により決定される。タグボートの甲板にある曳航用ウインチ(トーイングウインチ、towing winch)のドラムには曳航索が巻かれており、この索を繰り出して海洋構造物を牽引する。最新の曳航ウインチにはオートテンショナーが装備され、曳航索の張力に応じて自動的に巻き出しと巻き込みが行われ、曳航索張力を一定に保てるようになっている。

また、湾内作業に使用されるタグボートは、操縦性能を重視してシュナイダープロペラ、旋回型プロペラ等が使用されるが、油田開発作業に使用されるタグボートでは、曳航性能を重視して可変ピッチプロペラ(controllable pitch propeller)やコルトノズル(kort nozzle、プロペラ周りの流れを整え推力を増加する翼型断面の円筒)付プロペラ等が使用されている。同等の有効馬力であれば、通常のプロペラに比べて、コルトノズル付可変ピッチプロペラは1.4～1.5倍程度の推力を得ることができるといわれている。



- 1) プロペラはノズルの中にある。
- 2) ノズルは船底から吊り下げられていて、鉛直軸周りに回転でき、水流の向きが変わるので舵の役割を果たす。
- 3) ノズルの後尾には翼型のフィンがあり、これも舵の役割をする。
- 4) ノズルの断面形状は翼型で、揚力の一部が水力となり、推進力を増加させる。

図 5.6.2-3 コルトノズル付プロペラ (出典：ナカシマプロペラ)

最新のタグボートの例として、TERASEA FALCON が 2013 年にジャパンマリンユナイテッド株式会社 (JMU:Japan Marine United) によって建造された。海洋構造物曳航用の大型のタグボートである TERASEA FALCON の外観および主要目は下記の通りである。

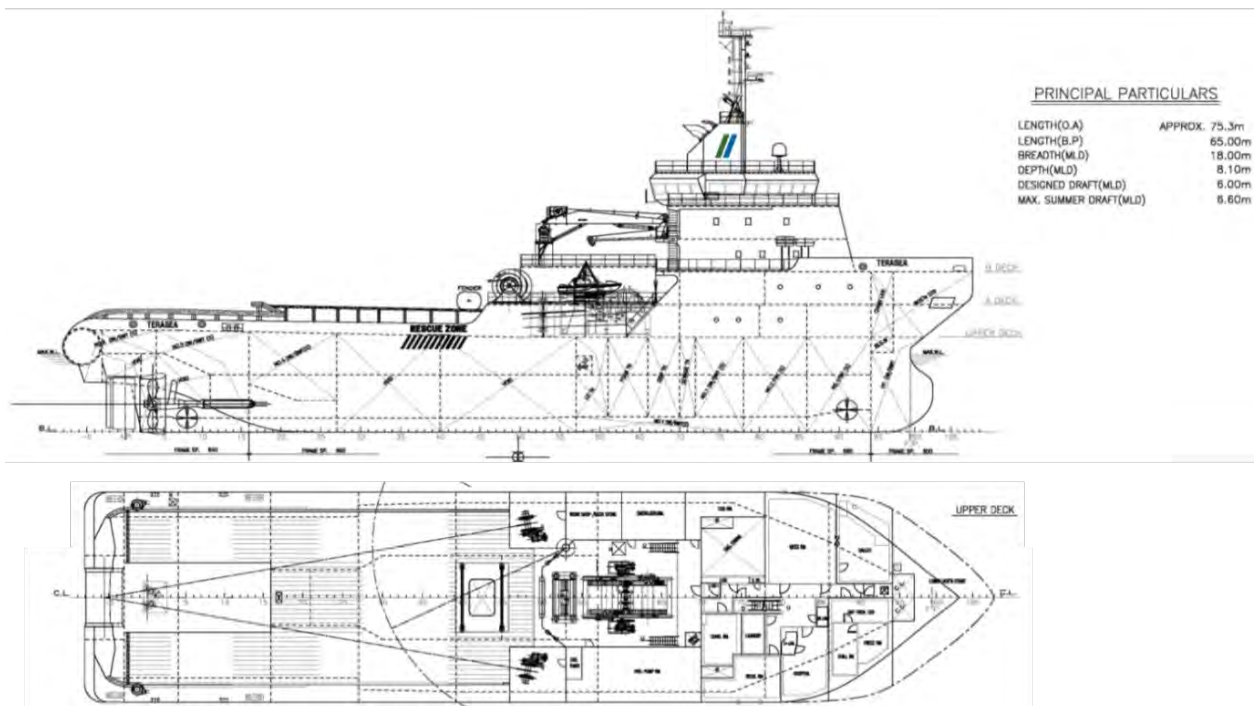


図 5.6.2-4 TERASEA FALCON の GA の一部

(出典：TERASEA FALCON パンフレット)

表 5.6-2 TERASEA FALCON の主要目

Length Overall	75.30m	Length B.P.	65.0m
Beam Overall	18.00m	Depth Moulded	8.00m
Desing Draft	6.00m	Gross Tonnage	3513 t
Max Speed	15 kt	Deck Space	450m ²
Bollard Pull	205 tons	Ballast water treatment system	Ultra violet with filter type, treatment capacity 60m ³ /hr



図 5.6.2-5 TERASEA FALCON の外観と FPSO (P76) を曳航する TERASEA FALCON (カラーリングが異なる) (出典：POSH TERASEA)

5.6.3 カーゴバージ

カーゴバージは資材、物資等の輸送に利用されるバージで、チェーンやロープ、パイル、モジュール、コンダクターパイプ、その他工事に必要な機材等の運搬に使用される。この船舶はいわゆる“dry tow”に用いられる船舶である。上甲板は資材の積載重量に耐え得るように強固に、また資材の積載に便利なように出来る限り平坦に建造されており、曳航用金物、係留用金物および航海灯等必要最小限の艀装品だけが配置されている。甲板下のスペースはバラストタンクまたは空所（ボイドスペース）となっている。

甲板上が積み荷スペースであるので、デッキカーゴバージ（deck cargo barge）とも呼ばれる。海洋構造物をデッキ上に搭載して輸送する特殊なカーゴバージをサブマーシブルバージ（submersible barge）と呼ぶ（またはシンキングバージ（sinking barge）ともいう）。自航式の船舶もあるが、自航性能がない単なる舾の場合もある。舾の場合は移動にあたってはタグボートに曳航してもらう必要がある。

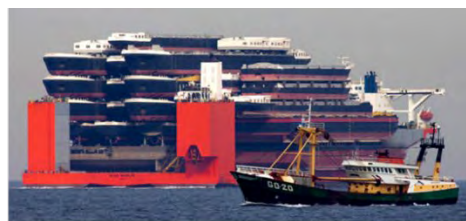
また、最大重量 5 万 t 級の構造物をドライトウする自航バージをヘビーリフトバージ（HLB : Heavy Lift Barge）と呼ぶこともある。1970 年代に建造された GIANT-1 から GIANT-4 などは数十年にわたり数多くの輸送に従事している。世界最大の HLB は 2000 年に建造された BLUE MARLIN で 7 万 t の構造物を輸送できる。



Gross Tonnage: **13109**
Deadweight: **24133 t**
Length Overall x Breadth
Extreme:
140.01m × 36.05m
Year Built: **1978**
Status: **Active**

図 5.6.3-1 GIANT-4 （出典：Giant Marine）

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備



Gross Tonnage: **51821**
 Deadweight: **76292 t**
 Length Overall x Breadth Extreme
 : **224.6m × 63m**
 Year Built: **2000**
 Status: **Active**

図 5.6.3-2 BLUE MARLIN(右の奥) (出典 : Champion Freight)

MAIN DIMENSIONS	
L.O.A.	122,450 m
Breadth	30,500 m
Depth	7,600 m
Draft Tropical	6,138 m
Draft Summer	6,014 m
Draft Light Ship	1,500 m
Deck Area	110 m x 30.5 m
Void Tank (aft)	992.7 m ³
Fresh Water Tank	53.1 m ³
Fuel Oil Day Tank (fwd)	53.1 m ³

TONNAGE	
Dead Weight	14,859 mt
Light Ship Weight	3,636 mt

CLASSIFICATION	
Lloyd's Register (LR)	
Class Notation: \star 100A1 submersible pontoon, max. operating depth 12.26 m to bottom of keel, deck strengthened up to 15000 kg/m ²	

Built: November 1977, Japan • GT: 7023 • NRT: 2106
 Port of registry: San Lorenzo, Honduras

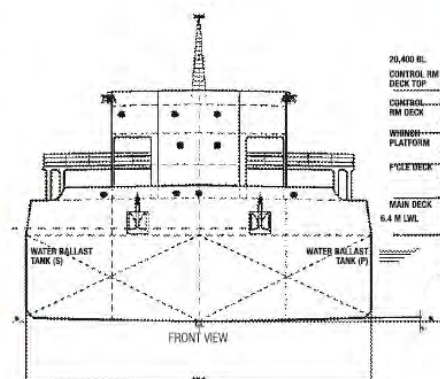


図 5.6.3-3 ドライカーゴバージの主要目の例と正面図 (出典 : GSP Offshore)



Flag : Singapore
 Year Built : 2009
 Builder : Jiangsu Sentosa Marine Co. Ltd
 Gross Tonnage : 9,741
 Net Tonnage : 12,922
 Deadweight : 19,300
 Deck Strength : 20 T/m² evenly distributed
 Class : Lloyd's Register
 Length : 116.8m (383.07 feet)
 Breadth : 36.58m (120.01 feet)
 Depth : 7.6m (25 feet)
 Submersible Depth : 7m (22.97 feet)
 above main deck

図 5.6.3-4 セミサブカーゴバージ (TERAS 002) の外観 (出典 : Teras Offshore)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

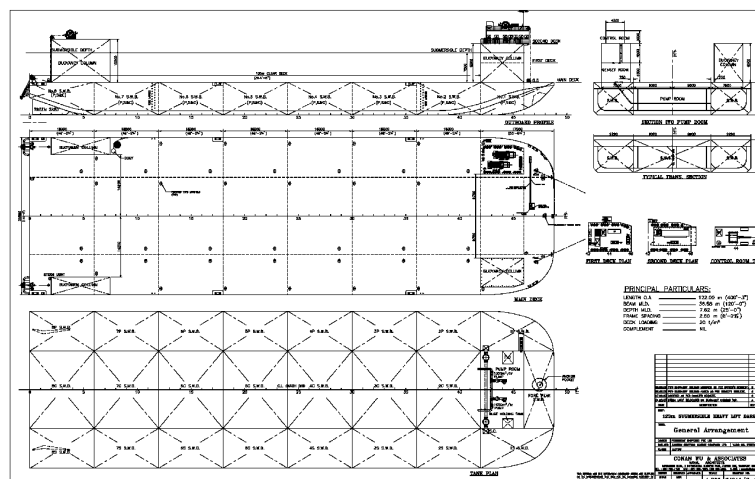


図 5.6.3-5 Teras 002 の一般配置図 (出典: Teras Offshore)

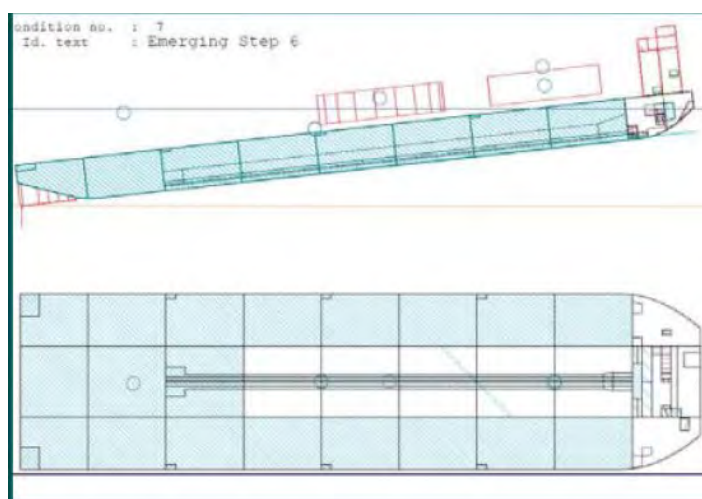


図 5.6.3-6 Loading/offloading (出典: BOA)

図 5.6.3-6 のように、セミサブ型のカーゴバージでは海洋構造物の Loading/offloading の際に、喫水と傾斜のコントロールをすることもある。

5.6.4 オフショア支援船 (OSV: Offshore Support Vessel)

オフショア支援船の種類について海洋開発の形態や技術の進展、時代の要請によって様々な分類のさせ方があるが、例えば表 5.6-3 のように、用途や業務に応じて様々な船種を区別することができる。傾向としては、従来は需要側が求める様々な性能やサービスに応じて船種が多様化していたが、近年は広範囲で幾つかの作業が可能なマルチファンクショナルな船舶が求められる傾向にある。そのため、アンカーハンドリング・タグサプライ船、プラットフォームサプライ船、多目的支援船など、複数の作業を手掛けることが出来る船種に対する需要が高まっている。

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

表 5.6-3 オフショア支援船

船種	内容
アンカーハンドリング・タグサプライ船 (Anchor Handling Tug Supply Vessel, AHTSV)	掘削リグを別の場所に移動する際に、アンカーの巻き上げや掘削リグの曳航作業、海底パイプラインの敷設補助をする船舶
プラットフォームサプライ船 (Platform Supply Vessel, PSV)	掘削リグへの資材や燃料を輸送する船舶
多目的支援船 (Multi-Purpose Support Vessel, MPSV)	潜水支援、海中作業支援などの複数の業務に使用される船舶
潜水支援船 (Diving Support Vessel, DSV)	検査・修繕・メンテナンスや海洋構造物の設置・撤去等の際に必要なとなる潜水業務のための船舶
オフショア海底工事船 (Offshore Subsea Construction Vessel, OSCV)	油ガス田開発の開発設備を備え付ける作業を行う船舶

また、現存するオフショア支援船については米国で建造された船舶が最も多いが、近年は中国に加えて、シンガポール、マレーシア、インドネシア等の ASEAN 諸国など低コストで建造可能な地域で建造された船舶の割合が増している。

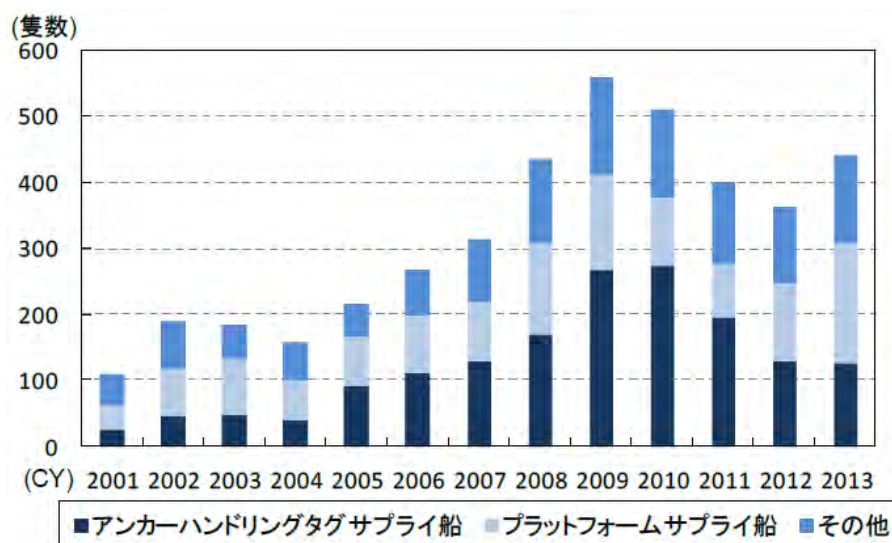


図 5.6.4-1 オフショア支援船の竣工隻数の推移

(出典：みずほ銀行産業調査部)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

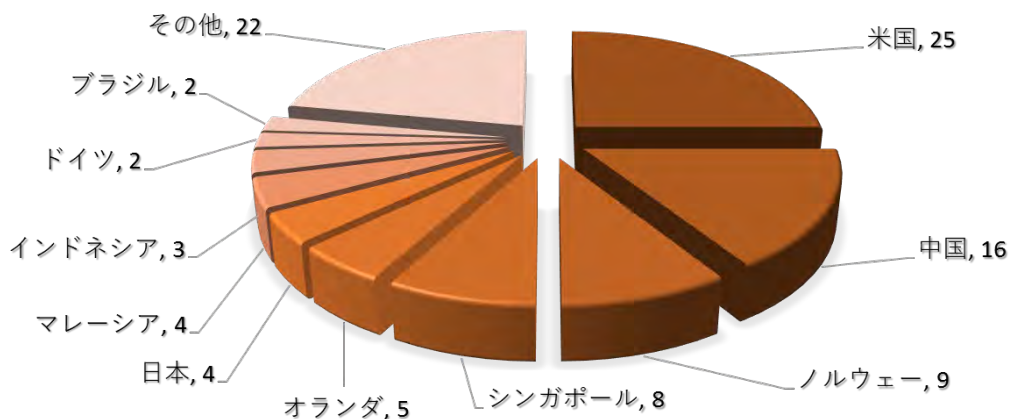


図 5.6.4-2 オフショア支援船建造国別現存船腹隻数内訳

(出典：みずほ銀行産業調査部より作成)

ここでは、上記の分類に沿って船舶の例およびその他の船舶の例を紹介する。

(1) アンカーハンドリング・タグサプライ船 (AHTSV)

AHTSV は掘削用のリグを別の場所に移動する際、海底からのアンカーの巻き上げやリグの曳航作業、海底パイプラインの敷設補助などを行う。



図 5.6.4-3 AHTSV の例とサプライ (出典：川崎汽船)

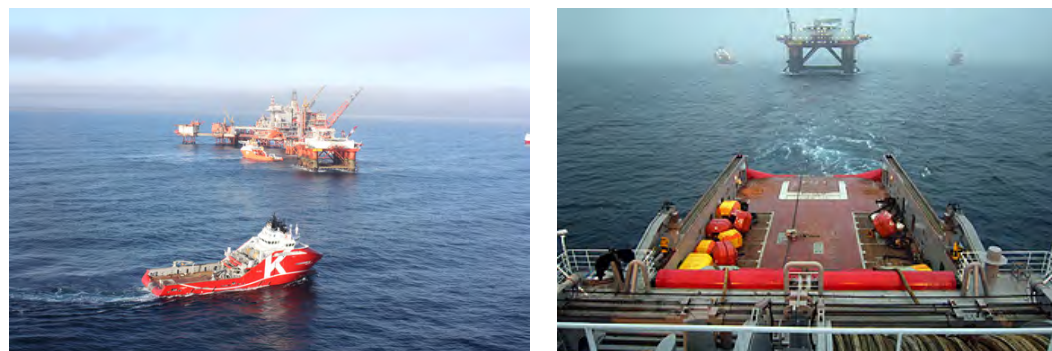


図 5.6.4-4 AHTSV による曳航 (出典：川崎汽船)

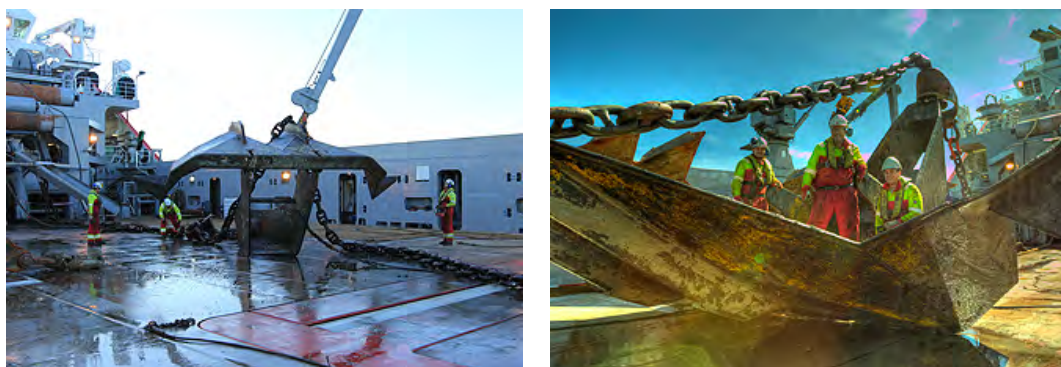


図 5.6.4-5 AHTSV による揚描 (出典：川崎汽船)

表 5.6-4：アンカーハンドリング・タグサプライ船：KL SALTFJORD の主要目

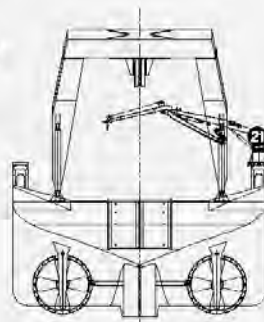
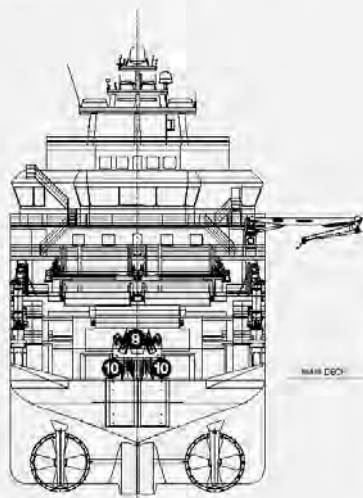
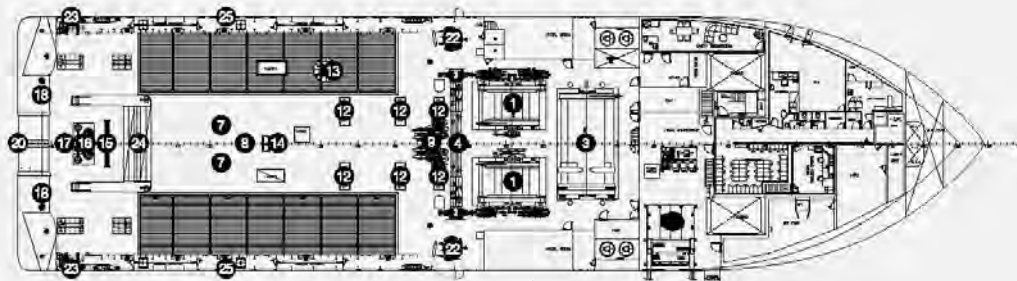
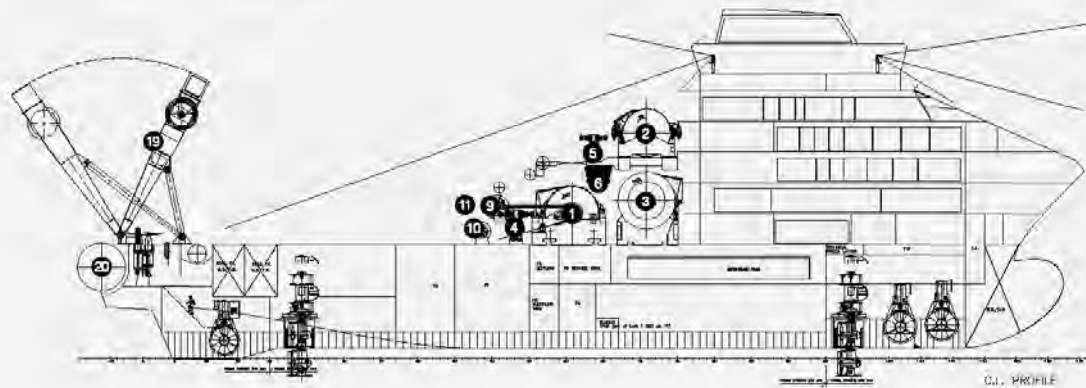
LOA	95.2 m	LPP	84.8 m
Breadth	24.0 m	Depth Main Deck	9.8 m
Draught (Summer, at mark)	7.80 m	Draught (Summer, Extreme)	8.85 m
Height (Keel to Antenna)	44.5 m	Deadweight (Summer)	4,246 T
GRT	8,360 T	NRT	2,508 T

(出典：川崎汽船)

ここで紹介しているアンカーハンドリング・タグサプライ船は K-Line が所有している 2011 年就航の KL SALTFJORD で、全長 95m、型幅 24m ながらも、馬力は 34,000 BHP のプロペラ出力である。この出力は驚くべき事に 300m 超の VLCC (Very Large Crude oil Carrier) 並みである。この出力を利用して、油田・ガス田を掘削するリグを牽引して移設したり、リグのアンカーを巻き上げたりを行う。その際に必要な牽引力 (ボラードプル) は 390t で世界最大級である。

またこの船舶は、海底での油田開発機器の設置・補修・点検で使用される海中作業監視用の機器 ROV、大型海底機器の揚げ降ろしができる 250tA フレームといった最新の機器も数多く装備している。

PROFILE AND MAIN DECK ARRANGEMENT
+ MIDSHIP AND STERN VIEWS



- ① Towing / AH winch x 2
- ② Secondary winch x 2
- ③ Special handling drum
- ④ Spooling gear for towing/ AH winches
- ⑤ Spooling gear for secondary winches
- ⑥ Spooling gear for special handling drum
- ⑦ Fiber rope storage reels (below main deck)
- ⑧ Emergency towing wire drum (below main deck)
- ⑨ Chain pulling winch
- ⑩ Adjustable chain roller x 2
- ⑪ Fly chain slates (detachable)
- ⑫ Fly chain locker x 6
- ⑬ Detachable pennant winder
- ⑭ Towing guide
- ⑮ Centring device x 2
- ⑯ Shark jaw x 2
- ⑰ Towing pins x 2 sets
- ⑱ Pop-up pins x 2
- ⑲ SWL 250 t A-frame
- ⑳ Twin stem roller
- ㉑ Cargo Rail Cranes with wire anti-twist device + manipulator, 1'S+S3 (S3 side shown, 1'S symmetrical)
- ㉒ Tugger winch midships x 2
- ㉓ Mooring / Tugger winch aft x 2
- ㉔ Anchor Recovery Frame (ARF)
- ㉕ Cargo load/discharge stations (D, FW, FO, WH, MUH, BRN: 5 male and SL OP 4 male)

図 5.6.4-6 アンカーハンドリング・タグサプライ船の配置例 (出典：川崎汽船)

(2) プラットフォームサプライ船(PSV)

PSVは、主に石油・ガス田開発リグへの物資・人員・燃料の輸送などを行う。ときに「海のトラック」とも呼ばれる。船長は約20~100mと様々であるが、近年では油田・ガス田

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

開発の沖合化に伴い、輸送効率の観点からこうした大型の PSV が求められている。こちらについても最新の PSV の例として、K-Line が所有している 2011 年就航の KL BRISFJORD を紹介する。KL BRISFJORD は載貨重量 5,100t、甲板スペース 1,100m² と、汎用型 PSV のおよそ 1.5 倍の積載能力を持つ、世界最大級の PSV である。

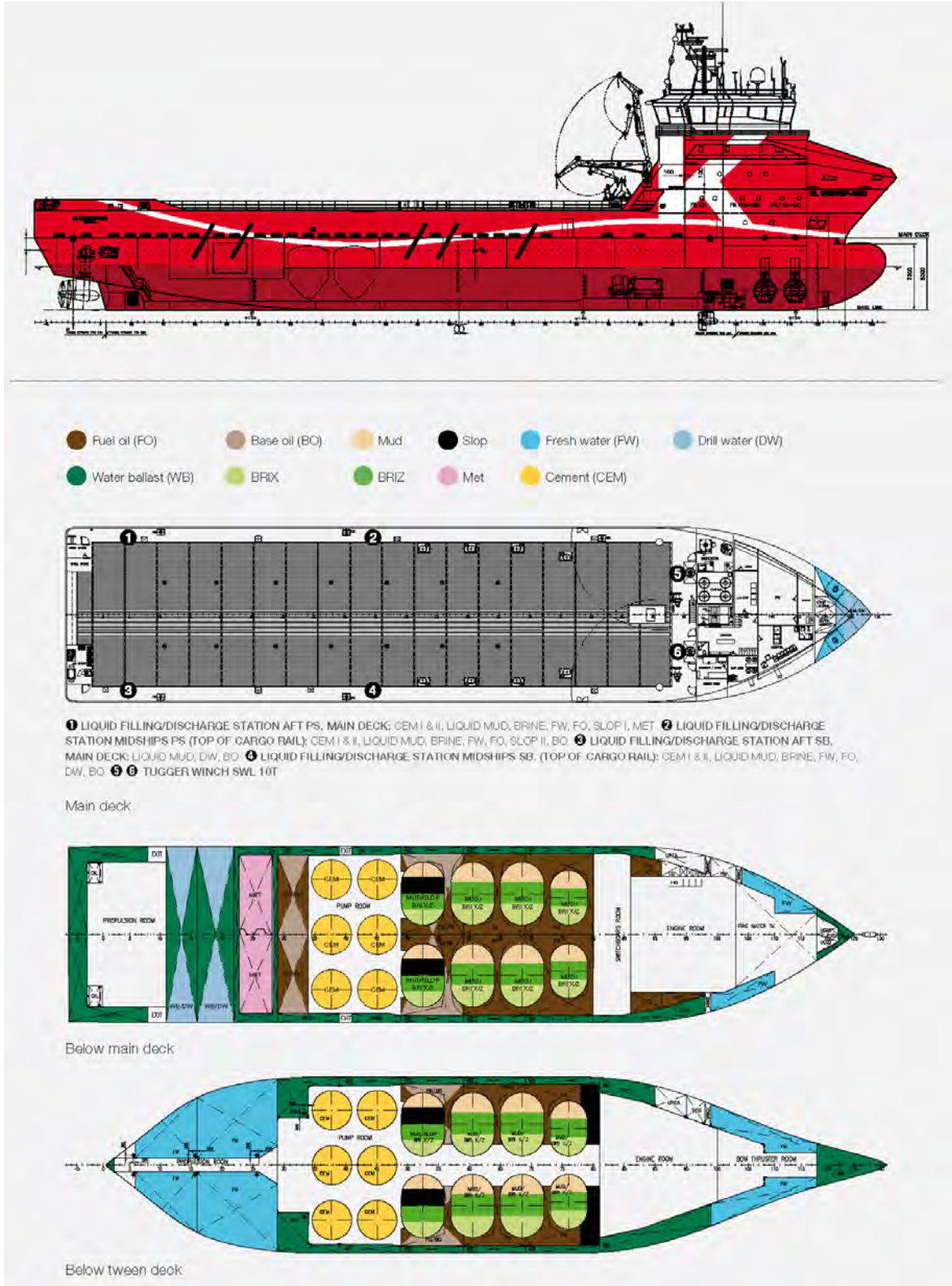


図 5.6.4-7 KL BRISFJORD の一般配置図 (出典：川崎汽船)



図 5.6.4-8 KL BRISFJORD の外観 (出典 Marine Traffic.com)

表 5.6-5 プラットフォームサプライ船(PSV : KL BRISFJORD)の主要目

LOA	94.9 m	LPP	84.9 m
Breadth	20.0 m	Depth Main Deck	8.0 m
Draught (Summer, at mark)	6.531 m		
Height (Keel to Antenna)	33.8 m	Deadweight (Summer)	5,185 T
GRT	4,518 T	NRT	1,869 T

(出典 : 川崎汽船)

主要目について、AHTS と比べると、主要寸法に大きな違いは無いが、排水量および GRT (Gross Register Tonnage) に大きな違いがあることがうかがえる。PSV の主な機能は、石油プラットフォームへ補給物資を輸送するだけでなく、その他のプラットフォームからの積み荷を陸へ持ち帰ることである。

PSV の大きな甲板を使って必要な種々の道具を輸送するが、ばら積み貨物のスペースには、掘削によって発生した泥、粉末セメント、ディーゼル油、飲料・非飲料用水、掘削過程で用いられる化学薬品などを収容するためのスペースがある。輸送に際しては甲板上の積み荷と甲板下のばら積み貨物タンクの両方を組み合わせる。また、PSV の中には石油プラットフォーム火災に対して消防能力を備えているものや、石油流出を抑制し、海に流出した石油を除去するための設備を備えているものもある。

(3) 多目的支援船 (MSV)

メキシコ湾に限らず海底油田・ガス田の開発は大水深化が進んでいる。その中で、採算性の高い海底油田・ガス田の開発には、生産井の坑井内トラブルを修復し、あるいは産出量を増大させるための次のような作業が必要である。

- 坑井内の機器 (チュービング・パッカーや ESP など) の損傷または坑井内トラブルによる産出量の減少を回復させる作業。
- 酸処理、水圧破碎法などにより産出量の増大を図る作業。

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- 産出層が枯渇した場合、同一坑井内で他の産出層を対象に仕上げ直す作業。
- 坑内に採取目的でないガスまたは水が産出する場合に、それらを生産する層を遮蔽する作業。

このような作業を行うために坑井にアクセスすることを総称してインターベンション（intervention）と呼び、水深の小さい場所ではダイバーによるが、水深 200～300m 以上では ROV により行う。

こうした作業には深海掘削リグが充てられるのが通常であった。しかし、ここまで度々述べてきたように、掘削リグを備船することは周辺船舶団も抑えることでありコストと時間がかかる。このコストと時間の問題は、開発段階では初期投資・初期必須作業として掘削リグをチャーターするのとは同一ではなく、坑井の使用状況や生産実績に基づく将来性を見越して物理的・化学的・経済的に適切なタイミングで実施したい手入れ作業にとっては大敵である。こうした背景の下、多目的支援船（MSV）の開発は、昨今の特に坑井の手入れに関しての実行可能な選択肢を増やすこととして期待されている。

多目的支援船（MSV）には前節で紹介したアンカーハンドリング・タグサプライ船なども含んで分類されることもあるが、ここでは上記を背景とした坑井に関する潜水支援、海中作業支援等の複数の業務を支援できる船舶として紹介したい。即ち、掘削リグやドリルシップのように DPS を装備し、種々（文字通り多目的）の海底作業をサポートするだけでなく機動力があり、大水深に対応できるものがある。船型が多いがセミサブ型もある。MSV は重量物を扱えるばかりでなく、DSV や RSV（ROV Support Vessel）を兼用することになる。

船型の MSV の例として、OLYMPIC INTERVENTION IV がある。図 5.6.4-9～図 5.6.4-11 および表 5.6-6 は当船関連の図および主要目である。



図 5.6.4-9 船舶型の MSV OLYMPIC INTERVENTION IV

(出典 : Marine Traffic.com)

表 5.6-6 OLYMPIC INTERVENTION IV の主要目

particulares			
Length:	312 ft	Draft	23 ft
Beam	64 ft	Open Deck Area	9,500 ft ²
Molded Depth	21 ft		
Cargo Deck Load Capacity:	1,600 T	Net Tonnage:	1,744 T
Gross Tonnage:	5,814 T		
Power & Propulsion			
Diesel electric power & propulsion plant			
Main generators	4 x 2,800 kVA	Tunnel thrusters,	2 x 1,500 kW, CPP
Emergency generator	1 x 315 ekLR	Swing-up azimuth thruster	1,500 kW, CPP
Accommodations Persons:	100		
DPSシステム Kongsberg Simrad SDP-21 (DP-2)	Working Tooling Moonpool 23 ft X 23 ft	Helicopter Deck	Remotely Operated Vehicle (ROV)

(出典 : OLYMPIC INTERVENTION IV のパンフレット)

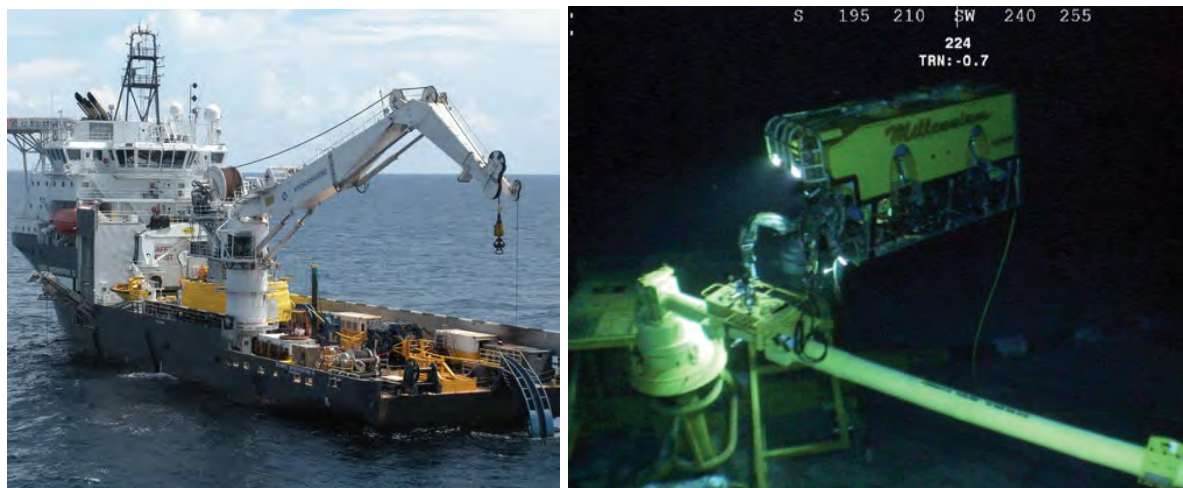


図 5.6.4-10 MSV の作業例 (OLYMPIC INTERVENTION IV) (出典 : Oceaneering.com)

例えば、OLYMPIC INTERVENTION IV のカタログでは、下記の通り、MSV の役割として“Subsea Hardware Install”、“Inspection, Maintenance Repair”、“Well Intervention Service” が可能であると記載されている。

Typical Projects

- » Subsea Hardware Installations
 - » Umbilicals
 - » Subsea Trees
 - » Jumpers
 - » Flying Leads
 - » Manifolds
- » Inspection, Maintenance & Repair (IMR)
- » Well Intervention Services
 - » Well Stimulation
 - » Plug & Abandonment Operations




図 5.6.4-11 MSV の用途例・作業中の MS (出典 : Oceaneering.com)

これを見ると、MSV の用途がはっきりイメージできるのではないかと思います。このような船舶では各種の作業用の人員も必要であることから、かなり大人数の宿泊を可能（上記の OLYMPIC INTERVENTION IV の場合は 100 名）としていることもある。また、作業目的によっては、リアルタイムの作業観察用のストリーミングビデオを陸上にも伝送することができる衛星通信機器システムも備えていることがある。

また、セミサブ型の MSV の例には Q4000 がある。Q4000 は、2002 年に投入されたセミサブ型の MSV である。ちなみに建造費は約 1.6 億ドルとされている。

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備



Length Overall	312 ft	Beam	210 ft
Depth	26.5 ft	Operating Draft	49.5 ft
Column Height	80 ft	Operational Deck Area	15,000 ft ²
Moon Pool	38 ft x 20 ft fully opening rig floor door		
Derrick	Huisman MPT 60 mT capacity 44m free lift height, active and passive heave compensation		
Propulsion	Fixed Pitch /Azimuthing: 6 @ 2,900 kW each Tunnel: 2 @ 800 kW each		
Others	a 7-3/8" intervention riser system a 10,000ft heavy weather ROV system		
Q4000 Service Capabilities			
Riser-based or riserless thru-tubing well intervention			
Surface top hole drilling and casing installation			
Subsea and surface equipment installation / recovery			
Well testing and production flow-back services			
Slickline / electric line / coiled tubing service deployment			
Cementing, pumping, well stimulation			
Riser based or riserless well and field decommissioning			
Casing cutting and wellhead recovery			
Tree recovery and replacement			
Emergency well control support			

図 5.6.4-12 Q4000 の外観と主要目

(出典 : HELIX ENERGY SOLUTIONS ウェブサイトを基に作成)

Q4000 の特長としては、セミサブ型であることで波浪中の動的な安定性を得られるだけでなく、船舶タイプに比べ幅広いデッキスペースと収容量に加えて、最大速度 12kt の自航性能を備えていることである。想定している作業は、海底仕上げ、廃井および管（ライザー・チューブ）の配置など様々で、そのためのプラットフォームとして機器と活動スペースを提供することになる。活動最大水深は 3,048m を想定している。

<ul style="list-style-type: none"> •Seabed Remediation and Recovery (clean-up) <ul style="list-style-type: none"> •Q4000 •Olympic Triton •Installation <ul style="list-style-type: none"> •Express •Intrepid •Island Pioneer and T750 (burial) •Q4000 (buoy) •Well Completion <ul style="list-style-type: none"> •Q4000 •Drilling (Future) <ul style="list-style-type: none"> •Q4000 •Future Tie-backs <ul style="list-style-type: none"> •Express, Intrepid •Production <ul style="list-style-type: none"> •Helix Producer I •Abandonment (future) <ul style="list-style-type: none"> •Well P&A (Q4000) •Flowlines(Express / Intrepid)

図 5.6.4-13 多目的支援船の用途 (出典 : Helix のカタログ)

図 5.6.4-13 に Q4000 を保有している Helix のカタログでの海洋開発作業と使用（予定）船舶を示す。これを見ると、MSV のユーティリティ性がうかがえる。

この Q4000 は 2010 年に発生したメキシコ湾でのディープウォーターホライゾン油流出事故の処理にあたり、海底の漏出地点のシーリングを行い、油の流出を止めることに成功

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

している。更にその後には、事故を起こしたディープウォーターホライズンの BOP を Q4000 のデッキに回収し、多目的支援船としての能力を期せずして発揮している。



図 5.6.4-14 次世代 MSV の例 (出典 : TSC)

図 5.6.4-14 は現段階で建造予定の MSV のイメージ図である。サイトによると、比較的静穏な海域をターゲットに設計されている MSV で、船舶の特長としては DPS による面内の位置保持制御だけでなく、過酷な環境でもデッキの上昇やエアギャップの最小限の調整で上下方向の運動についても応答を抑制し、海底での坑井に関するオペレーションを可能にするとしている。

(4) 潜水支援船 (DSV)

潜水作業支援船は、潜水作業の水上基地として用いられる船である。民間の潜水作業支援船は、北海やメキシコ湾の海上で石油プラットフォームや関連設備の周辺で潜水作業を行う必要性がでてきた 1960 年代から 1970 年代にかけて登場した。それまでの潜水作業は可動式の石油掘削プラットフォームやパイプ敷設船、クレーン船などから実施されていた。潜水関連装備はモジュラー化 (modularization) されていて、パッケージとしてクレーンで船に積み込み・積み降ろされる傾向があった。MSV の節でも触れたように、ひとたび生産活動が始まると、潜水作業は一般的に殆ど無くなることから、洋上プラットフォームに潜水活動用のスペース・資材を確保することは不経済として敬遠される。結果として、潜水作業が必要な事態に対しては、潜水作業に対しての専用船を用いる方が経済的ということになる。

専用の商用潜水作業支援船が出現したのはこうしたときであった。こうした船は新造されるか、あるいはパイプの輸送船や他の種類の船から大規模改造して主に 1980 年代に建造された。しかし、例えば北海の例でも 21 世紀初頭で稼働している船の大半はそのときに

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

建造された船舶でその後の更新がされていなかった。そして、SSSV UNCLE JOHN およびそれに類似した 1980 年代に登場した半潜水式の専用船は、維持費が高く油田間の移動速度もあまりに遅く不経済になってきた。更に 21 世紀に入ってから各地での海洋開発の活発化が、潜水作業支援船の不足を加速化し、近年になって新造される DSV が増えつつある。



Specifications

- Cruising Speed: 15 Knots
- Nominal length: 137.00m
- Length Overall: 125.70m
- Breadth moulded: 25.00m
- Designed Draught: 7.20m
- Depth Main Deck: 10.60m
- Moon Pool (Two): 4.2 x 4.8m; 7.2 x 7.2m
- Deadweight: 7,000t

Saturation Dive System

- Divex Asia Pacific Pty. Ltd
- 300m depth, 12-man system
- 3-man bell
- Dedicated HRC
- Lloyd's Register Class

ROV Equipment

- 1 work class - 3000m depth - Energy Holding, Norway
- Both in hangars with dedicated LARS
- Central control room

図 5.6.4-15 DSV の例 (出典: Global Pilot)

海底での潜水作業をサポートするために、DSV には少なくとも次の装備が求められる。

- 自動船位保持装置: GPS あるいはトートワイヤ装置 (海底に錘の付いたワイヤを垂らして、船が移動するとワイヤの繰り出し量や傾き角度が変化することを検知して移動の方向や量を計測する装置)、RadaScan (レーダーを用いた装置) などの位置測定システムからの入力を基にしたコンピュータ制御に基づき、多方向スラスタを使って船の位置を潜水作業地点に保つ。他のセンサーが海のうねりや潮汐、風などに対応する。
- 飽和潜水システム: 50 m 以深の潜水作業では、水圧による窒素中毒を避けるためにヘリウムと酸素の混合物であるヘリオックスが必要とされる。深い場所で長時間の潜水作業を行うためには、飽和潜水が望ましい手段である。飽和潜水は作業期間中ダイバーを作業水深と同じ気圧のチャンバー内で生活させ、作業終了後に減圧して大気圧に戻す潜水方法である。このチャンバーも含めた飽和装置一式を船上に設置する。潜水時には船底に設けられたムーンプールを通じて、潜水球が飽和装置から作業地点までダイバーを輸送する。水面近くの水流に対処するために潜水球を支持するカーソルという構造物も用いられる。これらの機器一式を飽和潜水システムと称する。
- 遠隔操作無人探査機や重量物の引き上げ設備: 一般的に大水深海域で活動する ROV の搭載はもちろんのこと、支援船として ROV も含めて海底まで重量物を降下・引き揚げするためのウインチやクレーンなどの設備

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

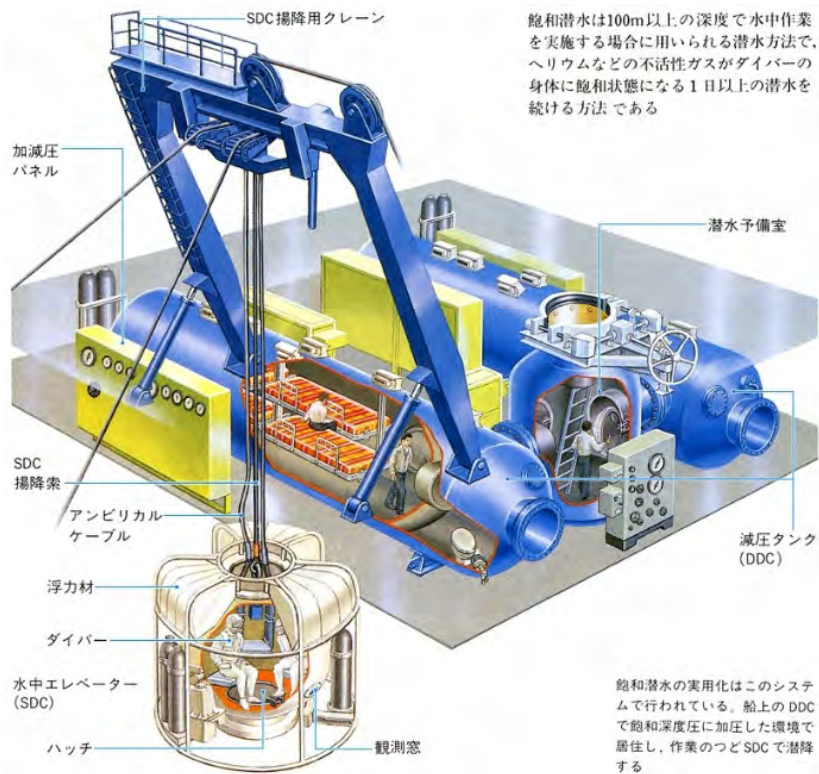


図 5.6.4-16 飽和潜水システムのイメージ (出典：小学館)

(5) オフショア海底工事船 (OSCV)

オフショア海底工事船 (OSCV) は海底での坑井の建設や設置工事、点検整備などの海中作業任務のための船舶である。これらの船舶も、前節にも記述したように、特に海洋開発時の活躍よりは、開発作業が進行してきた段階あるいは生産段階に入った後に、一時的に必要な海底工事に対応する事が求められている。したがって、稼働海域にも因るが、北海などの場合は特に優れた耐航性能が要求されるだけでなく、精度の高い位置保持性能と移動の高速性が要求されてきている。海洋エネルギー開発の大水深化と沖合化などの背景があることから、従来の船舶を改造するのではなく新規の新造船が活発化しており、結果として上記のような高性能性と共に、新造船として環境面での低燃費性も求められる傾向が強い。



Built:	Delivery 2014
Design:	STX OSCV 03
Dp Class:	2
LOA:	120.80 m
Breadth:	23.00 m
Draught:	6.60 m
Dwt:	5,000 t
Accommodation:	110
Cargo Deck Area:	1,300 m ²
Offshore Subsea	1 X 250 t AHC,
Crane:	3,000 m
ROV Moonpool	7.2 X 7.2 m

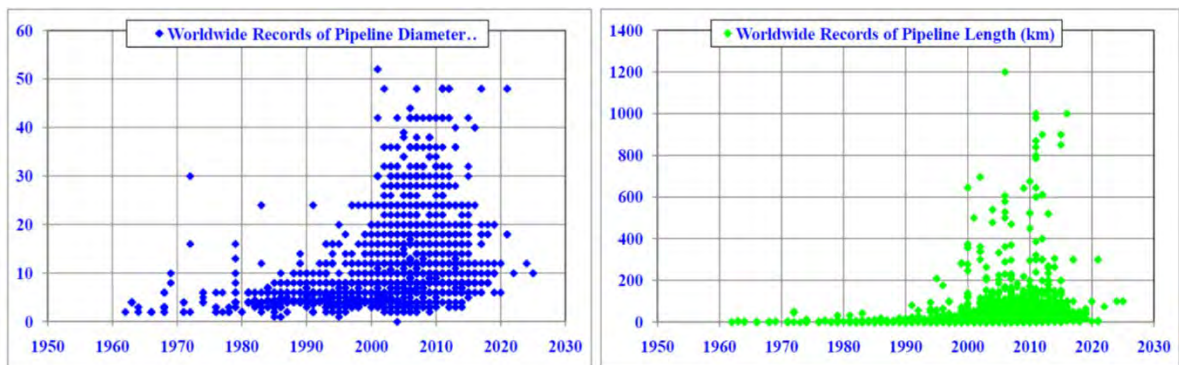
図 5.6.4-17 OSCV の例 SIEM STINGRAY (出典：SIEM OFFSHORE)

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

また、OSCV ではムーンプールを装備していることが多く、ムーンプールを利用して ROV を降下・揚収する。このような作業船は 100 人近い関連する専門の作業員が船内に長期間滞在できる施設を持っていることが多い。

5.6.5 パイプライン敷設船

海洋石油開発とともにパイプライン建設が始まり、特に 1990 年代の大水深開発で離岸距離、生産量ともに大きい油ガス田が開発され、そのために口径 20inch 以上、敷設距離 200km 以上のパイプラインが多数建設された。最大口径は 52inch、最大敷設距離は 1,200km (langeled pipeline) である。実績には、infield flowline (坑井から生産プラットフォームまたは Pipeline Grid までのパイプライン) と export pipeline があり、各々 Flexible、Rigid、Coiled の 3 種類のパイプラインが含まれている。Export pipeline の数は全体の 16% で、大部分は infield flowline である。coiled tubing は極めて少なく、flexible line の大部分は infield である。infield flowline の約 1/3 は flexible でかなり多く使われている。



Area	Export Pipeline			Infield Flowline			(Total)
	Flexible	Rigid	Coiled	Flexible	Rigid	Unknown	
Africa/Meditteranean	3	119	2	144	303	18	589
Asia/Pacific	3	169	2	152	272	23	621
Norh America	—	196	17	62	836	22	1133
North Sea / Arctic	—	87	—	288	606	58	1039
South America	5	39	—	363	68	14	489
(Total)	11	610	21	1009	2085	135	3871

図 5.6.5-1 パイプラインの敷設実績 (1962-2020 年実績及び確度 75%以上の計画)

(出典：海洋工学ハンドブック 2010)

Infield flowline の中ではジャンパーはそれほど長くないので海底設備の設置に併せて ROV などを用いて設置してしまうことが多いが、その他のパイプラインはそれなりに長いので、敷設には何らかの方法が必要である。その海底パイプラインの敷設方法には次のように大きく 3 種類の敷設工法がある。

- 敷設船工法 (lay barge method)
 - ・ S-Lay 工法 (S 敷設工法)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- ・ J-Lay 工法 (J 敷設工法)
- ・ Reel 工法 (リール工法)
- 海底曳航法 (bottom pull method)
- 浮遊曳航法 (floatation method)
 - ・ off-bottom tow 工法 (海底上曳航工法)
 - ・ surface tow 工法 (海面曳航工法)
 - ・ near-surface tow 工法 (海面下曳航工法)

これらの工法の中から、水深、パイプの直径、パイプラインの規模、敷設環境、作業船の能力等を勘案して工法を選択するが、長距離パイプラインは、敷設機能を有する大型のパイプライン敷設船を使って(敷設船工法)で敷設される。図 5.6.5-2 は水深とパイプ径に対応する敷設工法を示しており、1500m 以深では Solitaire 以外は J-lay のみとなっている。また Solitaire のみが水深及びパイプ径の面で最高の高能力敷設船として示されている。

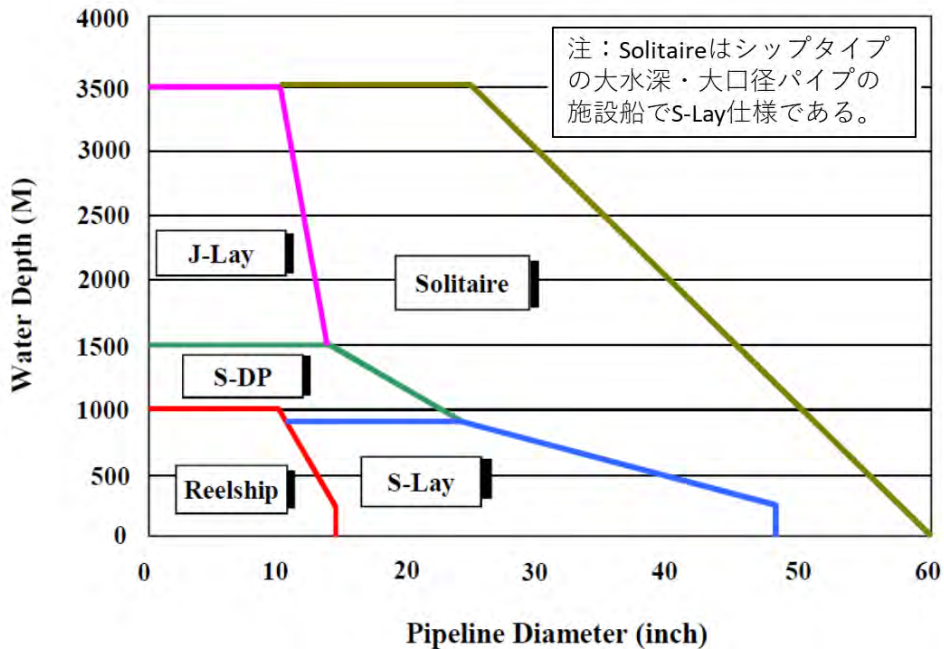


図 5.6.5-2 パイプライン敷設法の選択 (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

但し、この図が作成されたのは 2003 年頃の実績ベースの傾向であり、水深 3,000m 以上に対応可能な数隻の高能力敷設船が建造され稼働を始めた現在では、必ずしもこの図の通りにはならなくなっている。例として、近年の高能力新鋭敷設船を表 5.6-7 に示す。これを見ると、従来(図 5.6.5-2)の傾向と比べて、S-lay 範囲の大水深化と Solitaire(又はそれ以上の)レベルの敷設船増加が顕著な変化として現れていることがわかる。

表 5.6-7 : 大水深対応新鋭敷設船

Vessel Name	Company	Year Built	DP	Max. Operating Water Depth(m)	Max. Pipe Size(inch)	Tension Capacity (t)	S/J-Lay
Castorone	Saipem	2012	DP3	>3000(J-lay) >2000(S-lay)	60	750(S-lay)	S-lay J-lay (future)
Pioneering Spirit	Allseas	2014	DP3	3000	68	2000	S-lay
Aegir	Heerema	2010	DP3	3500	32	2000	J-lay/Reel-lay
FDS2	Saipem	2011	DP3	2200	36	1500/2000	J-lay/Reel-lay
Seven Borealis	Subsea7	2012	DP3	3000	46	600(S-lay) 950(J-lay)	S-lay/J-lay

敷設船工法の S-Lay と J-Lay は、船上でパイプを溶接しながら敷設し、Reel 工法はリールに巻かれたパイプラインを繰り出しながら敷設を行う。ただし、実際のパイプラインの敷設では、起点と終点の設備・施設の条件や海底部の地形・土質条件が一定ではないため、複数の工法を組み合わせる施工されることが多い。

ここでは各工法について触れながら船舶を紹介する。なお一般的には、敷設船には次のような設備が搭載されている。

- バージの位置を固定し、パイプライン敷設にバージを前進 (crawling) させるための係留ワイヤ (係留索) とウインチからなる係留システムまたはスラスターを使用して位置を保持できる DPS
- パイプのハンドリング用のクレーン (crane)
- パイプを溶接・検査するための 5~8 箇所作業ステーション (work station)
- パイプラインの敷設時にパイプがバージ上から海底に至るまでのたわみを軽減するために、パイプに張力を与えるテンショナー (tensioner)
- パイプのたわみを軽減するためにパイプを下方から支持するための連結浮力体 (スティンガー、stinger)
- 居住設備等のユーティリティ設備

(1) S-Lay 工法

S-Lay 工法は、パイプレイバージ (pipe lay barge) 上で単管 (通常 12m) かダブルさらにはトリプルジョイント (通常 24~36m) を溶接接続しながら海底に敷設していく工法である。

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

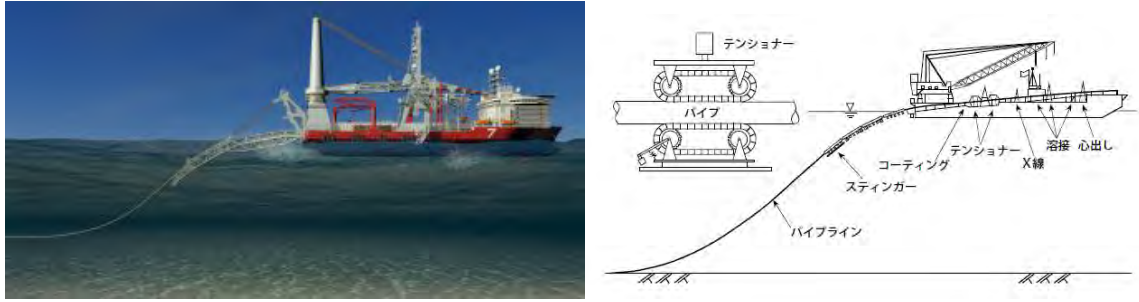


図 5.6.5-3 S-Lay の模式図 (出典：Huisman, 海洋工学ハンドブック 2010)

バージ上で接合されたパイプは、バージ上に配置されたローラーおよびバージ後尾から海中に張り出したスティンガーによって支持されて、海中で緩やかに曲線を描きながら海底に至る。この曲線形状が S の字形となるため S-Lay 工法と呼ばれる。パイプは、バージ上でデッキに沿って鉛直下方に押しつけられ、バージ端部では塑性変形限界程度まで曲げられる。それ以上曲げられるとパイプが破壊するため、その変形を押さえるためにスティンガーが設けられる。パイプラインが上に凸に曲げられている部分をオーバーバンド部という。この部分の応力が徐々に緩和され、海中部でなめらかな S 字形状（曲率半径 120m 以上とも言われているがパイプ径による）を保ち、かつ、海底に接して、再び大きな反力を受けるときに過大なモーメントが発生しないようにするためには、パイプに大きな張力をかけることが有効で、そのためにバージ上にテンショナーと呼ばれる張力装置が設けられている。

S-Lay 工法は伝統的な敷設法で、1990 年代半ばまでに施工されたパイプラインの 90% はこの工法であった。その理由としては、パイプがバージ上で水平状態にあるため溶接などの作業が容易であることが挙げられる。ただし、海底で再び水平になるため、その間にモーメントの符号が変わる変曲点がある。パイプの応力を許容範囲に押さえるためには、大水深になるほど大きな張力をかけなければならない。そのため、テンショナー張力やスティンガー長さなどの実用的限界から、S-Lay 工法の水深限界は 1,000m とわれてきた。しかし、Saipem はシチリアからリビアまでの最大水深 1,127m の長距離 32inch パイプをパイプレイバージ CASTRO SEIi で S-Lay 工法により 2004 年に敷設している。



Platform
 Gross Tonnage: 31506 t
 Deadweight: 28000 t
 Length Overall x Breadth Extreme:
 143.35m x 64.5m
 Year Built: 1978
 Status: Active

図 5.6.5-4 CASTRO SEIi (出典：Marine Traffic.com)

大水深では、係留索を展張して敷設が進む毎に係留アンカーを設置し直すことは容易で

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

はないことから、21 世紀になると DPS で操船するパイプ敷設船が開発されてきており、必要な装備を開発さえすれば、S-Lay でも超大水深のパイプライン敷設は可能であることが実証されてきている。Solitaire は S-Lay により水深 2,775m の記録を有している。



Length overall (incl. stinger)	397 m (1,302 ft)
Length overall (excl. stinger)	300 m (984 ft)
Length between perpendiculars	249 m (817 ft)
Breadth	41 m (135 ft)
Depth to main deck	24 m (79 ft)
Operating draught	10 m (33 ft)
Maximum speed	13.5 knots
Total installed power	51,480 kW
Thrusters	10 x 5550 kW non-retractable, fixed pitch azimuth type
Dynamic positioning system	LR DP (AAA), fully redundant Kongsberg K-Pos DP-22, K-Pos DP-12 and 3 x cloy system
Accommodation	420 persons
Helideck	Maximum take-off weight 21 t, suitable for Sikorsky S-61N and Chinook BV-234 helicopters
Deck cranes	Special purpose crane of 850 t (1900 kips) at 30 m (98 ft) main hoist 2 x pipe transfer cranes of 35 t (80 kips) at 33 m (108 ft) main hoist
Workstations	2 x double-joint factories (each with 3 welding stations and 1 NDT station), 5 welding stations for double joints, 1 NDT station and 4 coating stations
Installed tension capacity	3 x 350 t (3 x 770 kips)
ROV	150 HP work-class ROV, rated to 4000 m depth (13,000 ft), for subsea surveys and intervention work
Pipe diameters	From 2" to 60" OD
Classifications	100 A1, Pipe Laying Ship, LA, *IWS, LI, LMC, DP(AAA), PCR (98, 93)
Abandonment & recovery	Equipped with hydraulic four-winch system, capacity 1000 t (2200 kips), cable length 4800 m (15,750 ft) Additional electric winch, capacity 400 t (880 kips), cable length 3400 m (11,150 ft)

図 5.6.5-5 SOLITAIRE の外観と主要目と設備

(出典：Marine Traffic.com、SOLITAIRE カタログ)

(2) J-Lay 工法

J-Lay 工法では図 5.6.5-6 のようにパイプレイバージ上にタワーを設け、そのタワーからパイプラインをほぼ垂直に近い角度で懸架しながら海底へ敷設する。敷設時のパイプラインの形状が J の字形となるため J-Lay 工法と呼ばれる。J-Lay 工法は、S-Lay 工法の弱点であるオーバーバンド部（パイプレイバージおよびスティンガー上にあるパイプラインの上側に凸な部分）の過度な応力を回避できるため、深海パイプラインの施工に有利である。逆に浅い海域の敷設には向いていない。

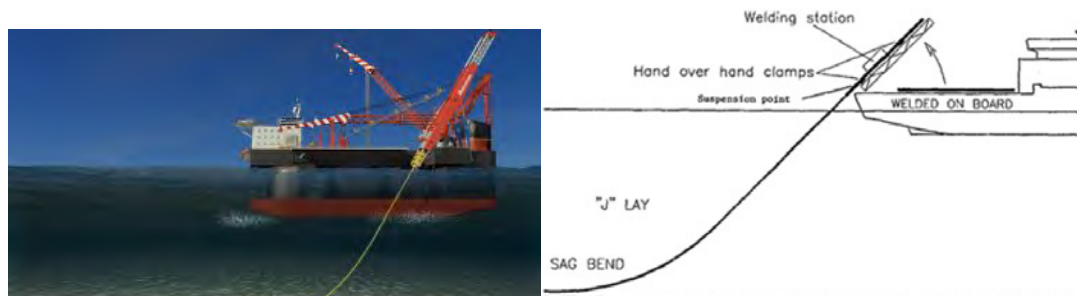


図 5.6.5-6 J-Lay の模式図

(出典：Huisman, 海洋工学ハンドブック 2010)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

J-Lay 工法のアイデアは 1960 年代からあったが、施工業者がメキシコ湾やブラジル沖の深海油田開発を対象に、本格的にこの工法の開発を開始したのは 80 年代後半である。そして、90 年代後半の大水深開発の進展とともに J-Lay によるパイプラインの敷設は一般化し、98 年にはブラジル Campos Basin の Roncador の水深 1,830m に設置された FPSO で、出荷用 SCR (Steel Catenary Riser) が J-Lay で設置され、水深 2,000m の超大水深に応用できることを実証した。

水深 872m の Auger TLP の出荷用 12inch×20miles ガスパイプラインは、1993 年 McDermott の DB-50 クレーン船で敷設された。その敷設作業は次の通りである。

- ▶ パイプレイバージ上で、パイプを数本溶接し、長管を製作する（実施例では 51m 長管）。
- ▶ パイプエレベーターもしくはストロングバックにより長管を吊り上げる。
- ▶ 溶接中は、パイプ頂部のカラーをペDESTAL（溶接ステーションの下方にあるパイプ支持台）によって支え、またはテンショナーで支持し、バージから海底に至るまでの海中のパイプラインの重量を保持する。（バージが波浪により上下に動揺した場合も、懸架部のパイプラインが自然のスプリングの働きをし、溶接部ではほとんどパイプは動かず、溶接作業は順調に行われたと報告されている。）
- ▶ トラベリングブロックでパイプをつかみ、あるいはテンショナーでパイプを支持しながらバージの前進に合わせてパイプを繰り出す。



525mt J-lay System Saipem 7000,



1050mt J-lay System Balder

図 5.6.5-7 J-Lay システムをクレーンバージに搭載した例 (出典: Huisman)

(3) Reel 工法

Reel 工法は、陸上で製作したパイプをコイル状に巻き取ったリールを専用のリール船に搭載し、船の前進とともにパイプを繰り出して敷設する工法である。1940 年代にイギリスとフランス間のフローラインを施工したのが始まりである。

パイプをコイル状にするのでコンクリートコーティングを採用することはできず、その代わりにパイプ肉厚を厚くして施工中の偏平化を防ぎ、海底での流れに対する安定性を確

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

保する。船上の溶接作業が無いため高速で敷設できる。代表的なリール船を示す。

リールには、垂直リールと水平リールがあるが、垂直リールはリール径を大きくできるので深海に適しており、16inch程度までのパイプラインに適用できる。一度に敷設できる距離はリールの巻き取れる量で決まり、例えばCSO APACHEは4inch×100km、16inch×8kmである。

フレキシブルパイプは全てリール工法で敷設される。多くのリール船は Rigid Pipe も Flexible Pipe も敷設できる。CSO FLEX INSTALLERはDPSで操船し、12本のリールで合計2200tのフレキシブルパイプを搭載できる。最長40km程度のパイプを搭載できるリール船があり、敷設速度は1分間に数十mと高速である。また、一度に複数形式の敷設ができるMulti Line仕様の敷設船も少なくない。

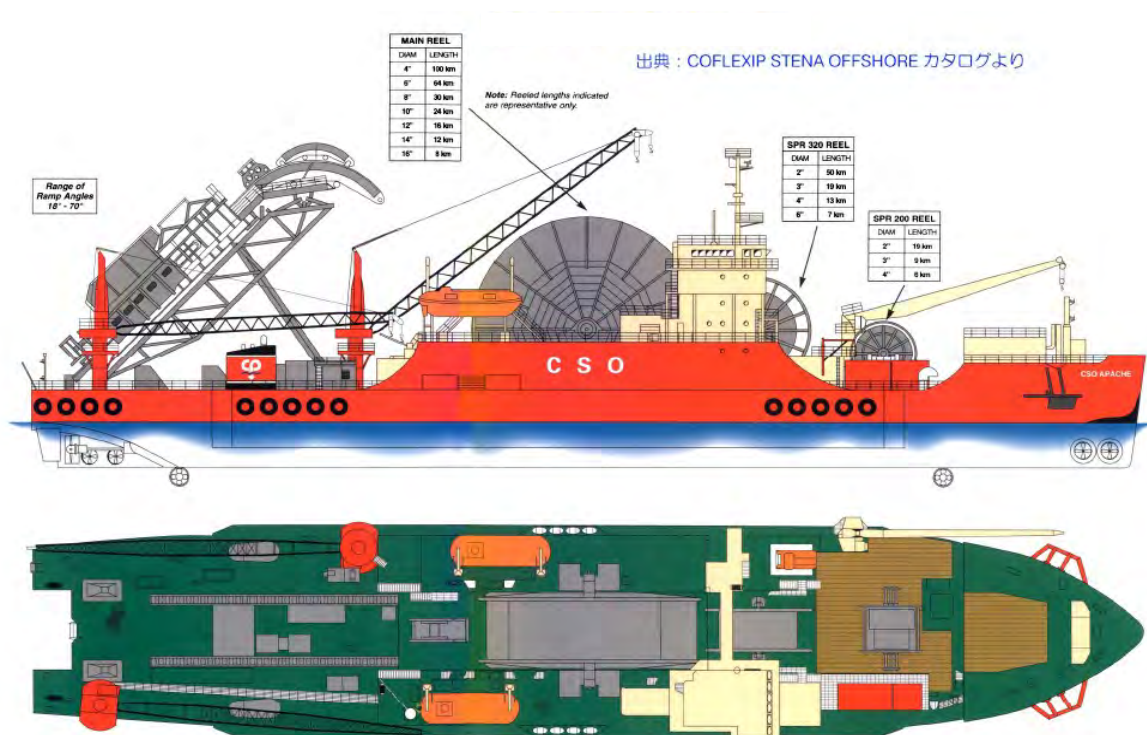


図 5.6.5-8 CSO APACHE (出典：海洋工学ハンドブック 2010)



S-lay configuration



J-lay configuration

図 5.6.5-9 垂直型の Reel-Lay 船 (出典 : Huisman, Marine Technology)

(4) その他の方法

① Flex-lay

フレキシブルチューブによるパイプライン、ライザーの敷設だけでなく、In-line での構造物の設置のための機能を兼ね備えていることもある。この工法を可能とする船舶の最も顕著な特徴は、一つ以上のテンショナーを搭載した垂直な進水路 (rampway)、および傾斜台やホイールを整列させる装置が搭載されていることである。Flex-Lay システムは、複雑な施設は出来ないので、敷設されるパイプラインが疲労に敏感である場合は向いていない。また鋼製のような高剛性パイプの敷設にもあまり適していない。



図 5.6.5-10 650mt の Flex-Lay システムを SKANDI AFRICA に搭載した例

(出典 : Huisman)

② Multi-lay

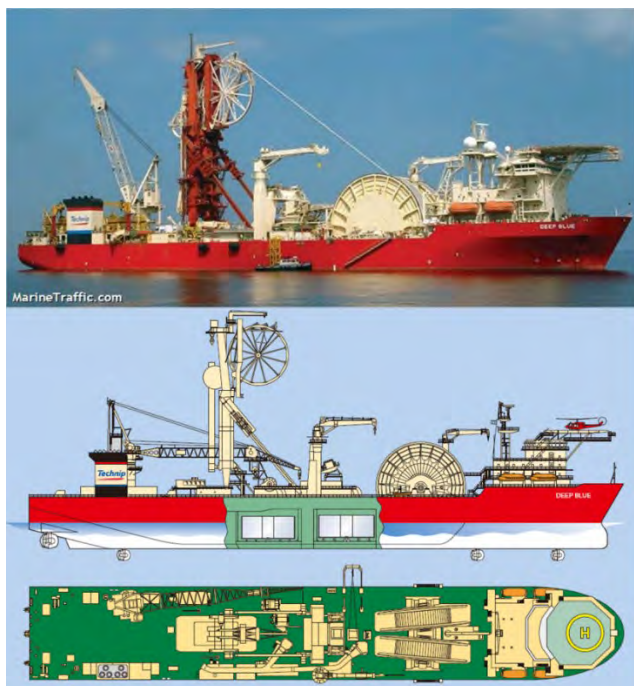
ガス田や油田の一式のパイプラインは複数のパイプの組み合わせで構成されるだけでなく、それぞれのパイプや設置条件に応じて異なる工法を選択することが好ましいことが多い。そこで、一つのパイプ敷設船に複数のパイプ敷設が可能な設備を搭載し状況に応じて対応させる船舶が出現している。この手の船舶の場合、ほとんどの水深で動作が可能であり、特定のパイプのための最もコスト効率の良いインストール方法が装備されているので、運用面での柔軟性とコスト効率で大きなメリットがあると言われている。



図 5.6.5-11 2000Mt の Multi-Lay システムを Heerema に搭載した例（J-/Reel-/Flex-Lay システムを搭載している）

（出典：Huisman）

また、船舶として独立している例に、Technip の DEEP BLUE がある。この船舶は J-/Reel-/Flex-Lay システムを搭載しており、2005 年に Reel-Lay システムで水深 2,115m、J-Lay システムで 1,912m の最深の記録を達成している。



Deadweight: **24000 t**
 Length Overall x Breadth Extreme:
206.9m × 32m
 Year Built: **2001**
 Status: **Active**

図 5.6.5-12 DEEP BLUE の外観・主要目とレイアウト (出典 : Marine Traffic.com, Technip)

③ Pipe Lay Support Vessel (PLSV)

また、パイプライン敷設に関連する船舶には PLSV もある。この船舶はパイプラインの敷設だけでなく、補修なども用途にしている。



全長 (LOA) : 145.99m
 垂線間長 (LBP) : 133.00m
 幅 : 30.00m
 最大喫水 : 8.50m
 メインデッキ深さ : 12.70m



Speed: 12 knots
 Thrusters:
 Two forward tunnel thrusters: 2,200 kW each
 Two forward azimuth thrusters: 2,000 kW each
 Three aft steerable thrusters: 3,000 kW each
 Main generator engine:
 Four diesel generators: 3,300 kW (or 3,800kW) at 720rpm-MDO
 Two diesel generators: 4,300 kW (or 3,300kW) at 720rpm-MDO
 Lay system:
 Lay system tower with 2 tensioners for 550t of pipe tensioning
 One carousel for storage of 2,500t of flexible pipes and
 Eight reels for storage of 8 x 190t (1,520t) of flexible pipes or
 One carousel for storage of 1,500t of flexible pipes
 Remote Operated Vehicle:
 Two ROVs capable of operating at depth of 2,500 meters, crane wire and DP system shall be suitable up to 3,000m
 Accommodation:
 75 cabins with total capability of 120 persons

図 5.6.5-13 PLSV (TOP CORAL DO ATLANTICO) の外観・主要目 (出典 : Abe marine)

5.6.6 ROV

海洋構造物の設置工事・点検・補修工事などに、ROV と呼ばれる無人の潜水艇が広く用いられている。最初の本格的な ROV は 1960 年に米海軍の兵器試験施設 Naval Ordnance Test Station で魚雷の回収用として開発された CURV I である。その後、2 号機と 3 号機にあたる CURV II と CURV III は、それぞれスペイン沖（1966）での水爆弾の回収とアイルランド沖での有人潜水艇 Pices III の救出（1973）で有用性を認められ、その後の ROV の発展に寄与した。特に最初に商用として成功したのは Hydroproducts の RCV-225 であり、アイボール型の代表機種として海洋石油開発でも広く用いられた。

海洋構造物の設置工事・点検・補修工事などに ROV を用いることは、従来の潜水士による作業や、有人の潜水艇による作業に比べて、次の長所がある。

- 人命に対する危険がない。
- 作業時間の制約がなくなり長時間の作業が可能となる。
- 大水深でも作業が可能となる。
- 装置の製造運用コストが安い。
- 支援装置が少なくても良い。

水深 300m 以深の海洋油田開発では潜水士作業が不可能となり、また有人潜水艇は一般的に機動性がないので、ROV は海洋石油開発では不可欠の装置となった。

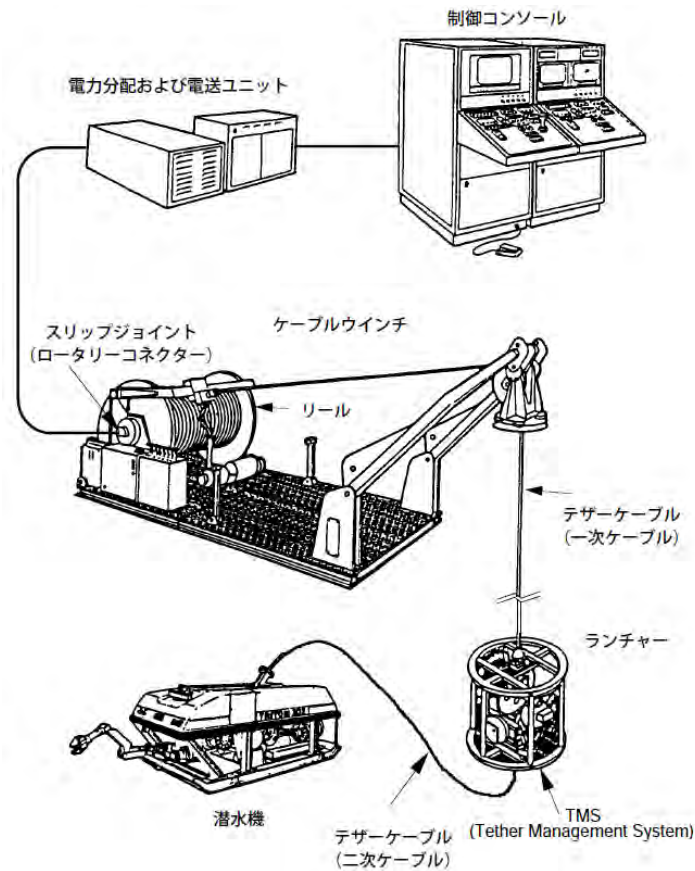


図 5.6.6-1 ROV のコントロールのイメージ (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

1980 年代初頭、北海の海底石油開発では 3 機の Scorpio の導入で約 20 機の有人潜水艇が倉庫入りとなった。図 5.6.6-2 は北海に於ける 1980 年代から 90 年代の潜水作業の変遷である。これを見ると ROV の出現により ROV の操縦者と潜水艇の操縦者の需要人数がこの 1990 年代に一気に交代したことが読み取れる。

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Submersible Pilots	70	67	50	34	28	23	16	3	3	4	8
ROV Pilots	225	245	279	282	355	323	282	324	412	394	514
Other Offshore Support Personnel	140	167	128	127	104	73	114	50	69	168	112
TOTAL	435	479	457	443	487	419	412	377	484	566	634

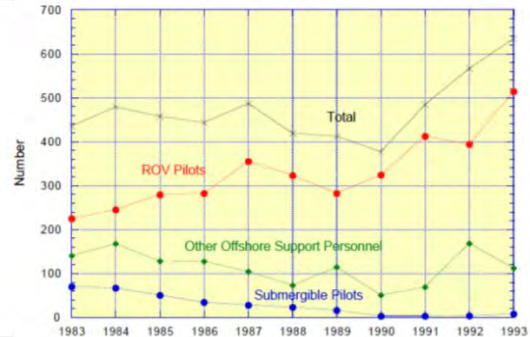


図 5.6.6-2 潜水作業の変遷 (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

現在は一昔前に比べて、多種多様な ROV が開発されており ROV は機能面での分類はもちろんあるが、ROV のサイズ、体重、能力又は電力に基づいても分類されるようになってきている。サイズによる分類について紹介する。

- マイクロクラス：マイクロクラスの ROV は、サイズと重量が非常に小さいものを指すが、3 キロ未満の ROV を示していると考えて良い。これらの ROV は、具体的にはダイバーが物理的に入ることが出来ないパイプラインの中や小さな空洞を活動の場として、ダイバーの代替として使用される。
- ミニクラス：ミニクラスの ROV の重量は約 15 キロ程度を意味する。ミニクラスの ROV もまたダイバーの代替として使用される。このサイズは、一人が小さなボートに載せて運び、特に他の船舶も含め外部からの補助無しで、諸々の作業を展開し完結できるサイズと認識されている。幾つかのマイクロクラスを含むこのミニクラスの ROV はアイボール級と呼ばれ、インベンションのタスクを実行可能な ROV と区別される。



Length	530mm
Width	245mm
Height	254mm
Weight	11kg
Depth Rating	150msw
Payload	45kg

図 5.6.6-3 SeaBotix LBV150-4 (※msw:meter sea water) (出典：Total Marine Technology)



Standard Equipment Fit

- 1 x CCD Colour Camera (480TVL, 0.2Lux) on Tilt Unit $\pm 90^\circ$
- 1 x High Resolution Scanning Sonar
- 2 x Variable Intensity Lights (150W in total) Tritech Gemini / Blueview 2D (Optional)

Optional Equipment

- Single Function Manipulator/Rope Cutter
- C.P. Contact and proximity
- Marine Growth Thickness probe
- USBL Positioning Transponder
- Additional camera (switchable with main camera)
- Additional options are possible including hydraulic tools, with an electro-hydraulic underslung skid fitted

図 5.6.6-4 Seaeye Falcon (出典 : Fugro)

- 標準クラス : 一般的に 5 馬力未満の推進出力機構を有している。初期の RCV225 のように小さな 3 指のマニピュレータを持っていることもある。これらの ROV 音響システムを装備しており、簡単な調査などを行うことが出来る性能を持っている。このクラスで水深 7,000m ほどに対応している ROV もあるが、典型的には活動範囲の最大水深は 1,000m 以下である。
- 軽量 Workclass : 一般的に 50 馬力未満の推進出力機構を有している。これらの ROV は、複数のマニピュレータを有していることがある。その外殻は、従来型のステンレス鋼またはアルミニウム合金というよりはポリエチレンのようなポリマーから作製されていることが多い。一般的に活動水深は 2,000m 以下である。



Vehicle Dimensions
 Length 1.75m
 Height 1.22m
 Width 1.06m
 Weight 500kg
 Depth 1000msw
 Payload 110kg
 Power
 Propulsion 16kva
 Tooling 11kva
 Main Components
 Remotely Operated vehicle (ROV)
 Tether Management System (TMS)
 20ft Control Container / workshop
 (combined) or 15ft Control
 Container and 10ft Workshop.
 Integrated LARS: A-Frame or Crane
 incorporating winch and HPU.
 Typical Integrated Crane LARS: 4.65m
 x 2.7m x 2.9m (L x W x H) @ 13.5Te
 Typical Integrated A-Frame LARS:
 5.59m x 2.64m x 2.44m

図 5.6.6-5 SEAEYE PANTHER PLUS (出典 : Fugro)

- 重量 Workclass : 少なくとも 2 指のマニピュレータを運ぶ能力を持ち、220 馬力程度の推進力を有する。水深 3,500m 程度までが活動水深である。

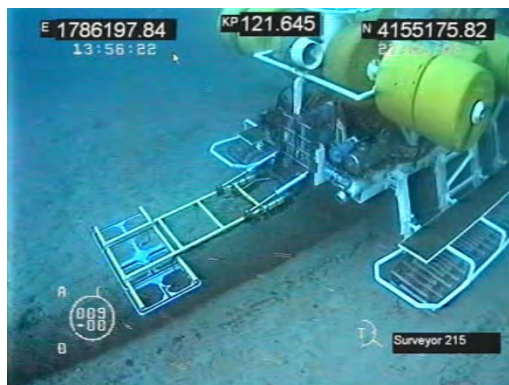


Dimensions
 Length 3.315m
 Height 1.73m (excl TMS)
 Width 1.76m (excl TMS)
 Weight 4.2Te (incl 400kg payload)
Power
 Motor 1x 2850Vac @ 150kW (200hp)
 Hydraulic Pump Flow 430lpm @ 60Hz
 Hydraulic Pump Pressure 210 bar (main)
 Single Phase Electric Supply 10KVA , 24vdc & 110vac
 Tooling up to 430lpm @ 60Hz
Sensors
 Heading : Togsnav 2
 DVL : Togsnav 2
 Pitch and Roll : Togsnav 2
 Depth : Togsnav 2
 Altimeter : Simrad 1007 Digital Altimeter
 Sonar : Simrad MS1171 600m digital
 Cameras : 12 cameras, 8 at any 1 time + 3 HDTV
 Lighting : 10x dimmeable LED/4x 110VAC Floodlights
Manipulators
 Manipulator 1 : Schilling TITAN 4
 Manipulator 2 S : chilling RigMaster
 Optional : Schilling Atlas



図 5.6.6-6 FCV3000 (出典 : Fugro)

- Trenching & Burial クラス : 典型的には 200 馬力以上で 500 馬力まではいかない程度の推進力を有している。水深 6,000m までケーブル敷設を行える機能を持っている ROV も存在する。



Impresub



T1200 TRENCHER

図 5.6.6-7 Trenching & Burial に分類される ROV (出典 : Impresub, Helix her/)

以下、海洋石油開発の分野で開発された作業用 ROV をいくつか紹介する。

(1) 海底坑口装置用 ROV

ダイバーの作業限界水深は 200～300m 程度であるため、大水深ではダイバーを用いない海底仕上げ (diverless subsea completion) が必要である。坑口装置の開発に際しては、保守・設置作業用の ROV も同時に開発するのが一般的である。作業内容は、サブシーツリーのバルブ操作、清掃、坑口装置の点検、サブシーツリーやマニフォールドの設置工事における誘導、スプールピースの引き込み接続などである。

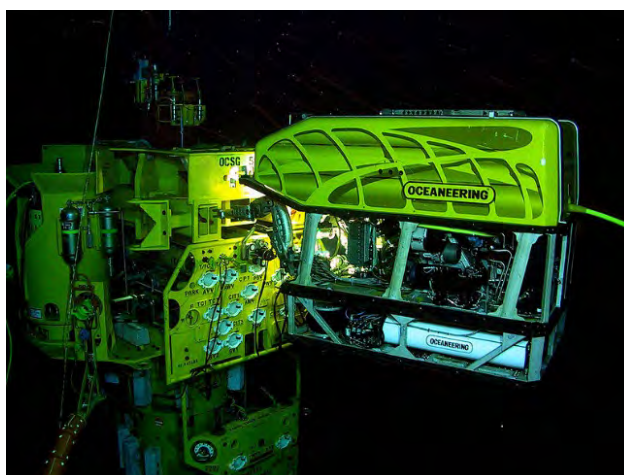
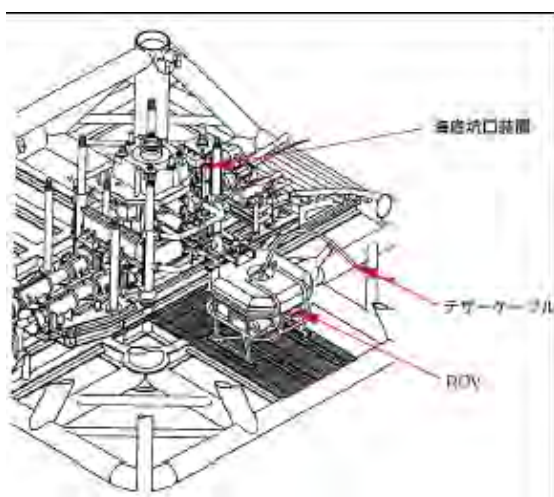


図 5.6.6-8 海底坑口装置用 ROV (出典 : 海洋工学ハンドブック 2010)

(2) ライザー結合用 ROV

フレキシブルライザーの下端にリエントリーユニット (REU : Re-Entry Unit) と呼ばれるカップリングを設け、海底の PLEM と結合するシステムがある。REU 自体にスラスター、TV カメラなどが設備されており、一種の ROV として機能している。

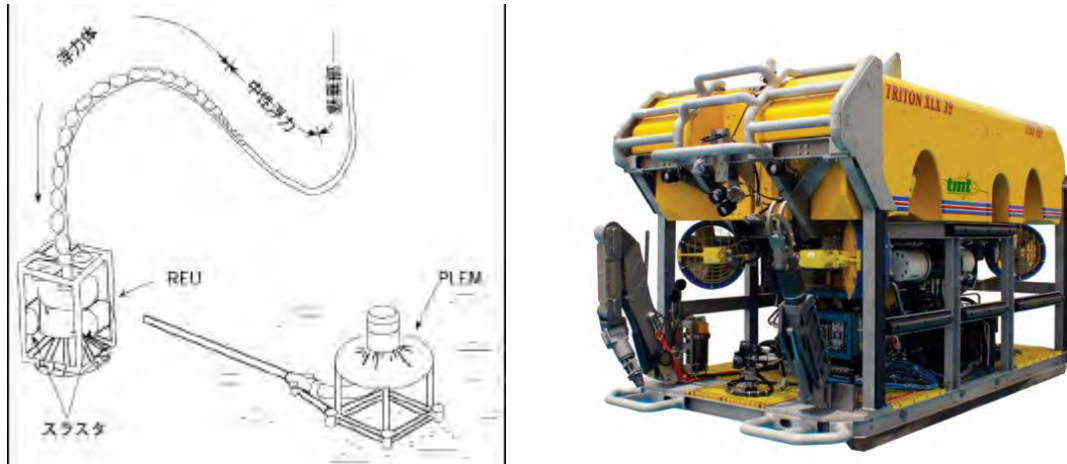


図 5.6.6-9 ライザー結合のイメージとその機能を有する ROV TRITON XLX51

(出典：海洋工学ハンドブック 2010、Total Marine Technology)

図 5.6.6-9 の ROV は海中構造物・海底構造物への *intervention*、即ち、パイプラインアンブリアルの接続、パイプラインの修理、部品の交換、バルブ操作、流体注入、破片の除去、ポジショニングなど、必要とされる海底作業の支援を可能としている。

(3) 付着物除去用

ジャケットなどに付着したカキやフジツボなどを除去するために開発された ROV で、ジャケットを構成する鋼管を挟み、移動しながら作業する。

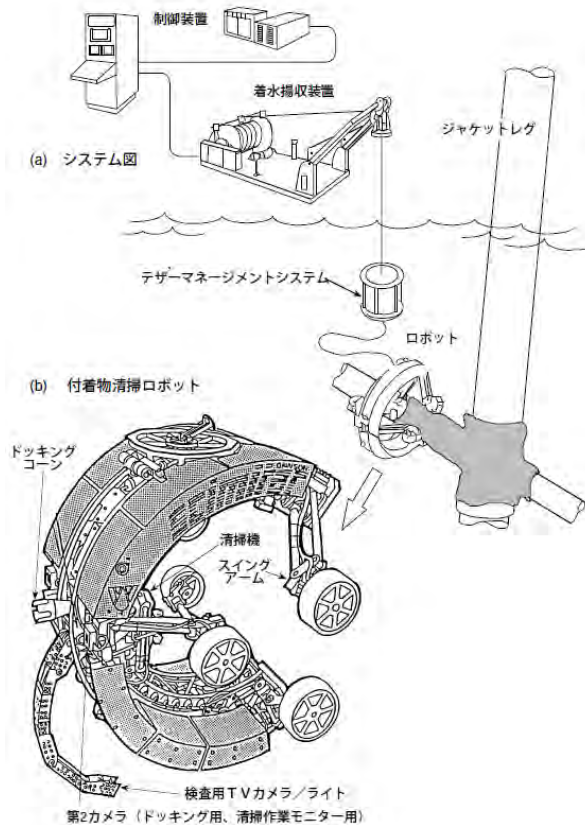


図 5.6.6-10 付着物を除去する ROV の作業イメージ (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

(4) 海底パイプライン保守点検

海底パイプラインの保守点検用 ROV で、パイプの上に車輪をのせて跨ぎスラスターによって前進し、TV カメラによる目視観察、腐食電位の連続計測などを行うことができる。

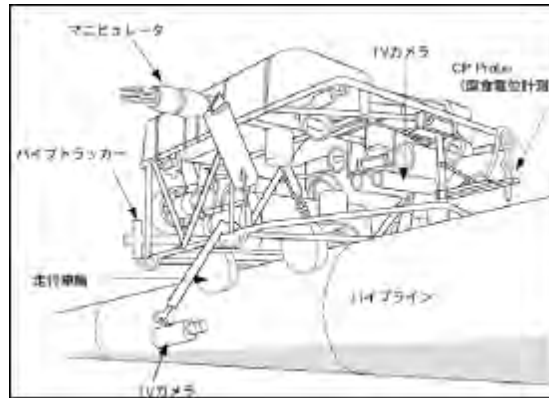


図 5.6.6-11 パイプラインのメンテナンス作業をする ROV (出典：海洋工学ハンドブック 2010)

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

<参考資料>

- SINTEF. “Pipelines, Risers and Cables”. SINTEF.
<https://www.sintef.no/en/expertise/ocean/pipelines-risers-and-cables/>, (cited 2021-02-26).
- infographic-illustrations. <http://www.infographic-illustrations.com/energy.htm>, (cited 2017-11-01).
- みずほ銀行産業調査部. みずほ産業調査—海洋資源開発産業の現状と展望. みずほ銀行. 2014, 79p. https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/1047_all.pdf, (参照 2021-02-26).
- 国土交通省 海事局. 海洋資源開発における競争力のある産業創出に向けて. 国土交通省 海事局, 2013, 9p.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/017/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2013/05/23/1335052_3.pdf, (参照 2021-02-26).
- 三菱重工業 船舶・海洋事業本部 長崎船海技術部.“第五世代ラムフォーム (Ramform) 型物理探査船 “Titan Class” の建造”. 三菱重工技報 vol.50, no.2. 三菱重工業, 2013, p.24-26.
<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/502/502024.pdf>, (参照 2021-02-26).
- JOGMEC. “三次元物理探査船「資源」による初の日本人主体の海上物理探査を実施”. JOGMEC. 2016-04-15. http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_06_000126.html, (参照 2021-02-26).
- Marine Traffic. “RAMFORM VICTORY - IMO 9178630”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:665285/mmsi:311000901/imo:9178630/vessel:RAMFORM_VICTORY, (cited 2021-02-26).
- JOGMEC 物理探査船グループ. “三次元物理探査船「資源」による調査活動についての報告”. 石油・天然ガスレビュー vol.48, no.5. JOGMEC. 2014, p. 69-86.
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/review_reports/1006521/1006542.html, (参照 2021-02-26).
- 日本海洋事業. “地殻構造探査”. 日本海洋事業.
https://www.nmeweb.jp/duties_marinesurveys_1.html, (参照 2021-02-26)
- JC-NET. “佐渡沖で探査船「資源」石油・ガス大規模試掘開始／資源エネルギー庁”. JC-NET. 2013-04-16. <http://n-seikei.jp/2013/04/post-15334.html>, (参照 2021-02-26).
- JAMSTEC. “海底広域研究船「かいめい」の引渡しについて”. JAMSTEC. 2016-03-31.
http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160331/, (参照 2021-02-26).
- JAMSTEC “海底広域研究船かいめい”パンフレット
- 金属鉱業事業団 “地質調査船 白嶺丸”
- 三菱重工業 K.K. 下関造船所造船設計部. “地質調査船"白嶺丸"について”. 船の科学 vol.27, no.6. 船舶技術協会, p.11, 44～54.
- 奈須 紀幸. 海に魅せられて半世紀 (XXXII) . JAMSTEC1996 調査報告書. 1996, 日本財団図書館, <https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/1996/00567/contents/016.htm>, (参照 2021-02-26).
- JOGMEC. “第2白嶺丸が探る改訂鉱物資源”JOGMEC NEWS vol. 8. JOGMEC, 2007.
http://saas.startialab.com/acti_books/1045176633/25122/, (参照 2021-02-26).
- 松本勝時, 村山信行, 松井一徳. “深海底鉱物資源 (4) マンガン団塊の探査・開発に向けた取り組み”. 金属資源レポート vol.36, no.4. 石油天然ガス・金属鉱物資源機構金属資源開発調査企画グループ, 2006.
https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10379629_po_MRv36n4-11.pdf?contentNo=1&alternativeNo=3, (参照 2021-02-26).
- 海洋技術開発. “海洋資源調査船「白嶺」について”. 海洋技術開発.
<http://www.oed.co.jp/product/ship01.html>,
<http://www.oed.co.jp/product/ship02.html>, (参照 2021-02-26).
- JOGMEC. “海洋資源は日本を資源大国に変えられるか!?” JOGMEC NEWS Vol.28. JOGMEC. 2012.
http://saas.startialab.com/acti_books/1045176633/25045/, (参照 2021-02-26).

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- 石油天然ガス金属鉱物資源機構新調査船プロジェクトグループ. “事業紹介 新海洋資源調査船の建造について-海洋資源の探査、開発を加速するために”. 金属資源レポート vol.40, no.6. 石油天然ガス・金属鉱物資源機構金属資源開発本部金属企画調査部, 2011.
- 奈須 紀幸. 海に魅せられて半世紀 (XXXII) . JAMSTEC 1996 調査報告書. 1996, 日本財団図書館, <https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/1996/00567/contents/014.htm>, (参照 2021-02-26).
- JOGMEC “海洋資源調査船 白嶺” パンフレット
- JOGMEC. “JOGMEC の取り組み状況 世界最先端の調査船の就航”. JOGMEC. http://www.jogmec.go.jp/metal/metal_10_000005.html, (参照 2021-02-26).
- 海上保安庁. “海洋調査により海を拓く”. 海上保安レポート 2008. 海上保安庁, 2008. <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/books/report2008/tokushu/p035.html>, (参照 2021-02-26).
- Marine Traffic. “NIKOLAY TRUBYATCHINSKY”. Marine Traffic. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:462600/mmsi:273413550/imo:8705010/vessel:NIKOLAY_TRUBYATCHINSKY, (cited 2021-02-26).
- 鬼山武広, “物理探査船「大陸棚」の紹介” 海洋調査協会、第 21 回技術発表会
- 総合海洋政策本部. “「大陸棚の限界に関する委員会」へ提出した我が国の大陸棚の限界について”. 総合海洋制作本部. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/dai11/siryou1-2.pdf>, (参照 2021-02-26).
- Marine Traffic. “RAMFORM TITAN”. Marine Traffic. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:372038/mmsi:311000084/imo:9629885/vessel:RAMFORM_TITAN/:baa9f1a673ab143733f4bd37c04a0ae4, (cited 2021-02-26).
- Marine traffic. “RAMFORM TITAN”. Marine Traffic. <https://www.marinetraffic.com/ja/photos/picture/ships/3030260/9629885/shipid:372038/imo:9629885/mmsi:311000084/vessel:RAMFORM%20TITAN>, (cited 2021-02-26).
- Deep Sea News. “FLIP is towed to its operating area in the horizontal position and through ballast changes is "flipped" to the vertical position to become a stable spar buoy with a draft of 300 feet”. Deep Sea News. <http://www.deepseanews.com/wp-content/uploads/2010/02/FLIP-is-towed-to-its-operating-area-in-the-horizontal-position-and-through-ballast-changes-is-flipped-to-the-vertical-position-to-become-a-stable-spar-buoy-with-a-draft-of-300-feet.gif>, (cited 2021-02-26).
- Marine Insight. “The Flip Ship: An Amazingly Weird Research Ship”. Marine Insight. <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/the-flip-ship-an-amazingly-weird-research-ship/>, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “CHIKYU”. Marine Traffic. <https://www.marinetraffic.com/ja/ais/details/ships/shipid:665206/mmsi:432522000/imo:9234044/vessel:CHIKYU>, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “CHIKYU”. Marine Traffic. <https://www.marinetraffic.com/ja/photos/picture/ships/2807971/9234044/shipid:665206/imo:9234044/mmsi:432522000/vessel:CHIKYU>, (cited 2021-02-26).
- JAMSTEC ちきゅう解説 1 2002
- YANMAR. “電気推進システム 環境への配慮”. YANMAR. <https://www.yanmar.com/jp/marinecommercial/products/electricpropulsion/environment.html>, (参照 2021-02-26).
- JAMSTEC. “地球深部探査船「ちきゅう」下北半島東方沖掘削試験について”. JAMSTEC. 2006-10-27. https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/2006/20061027/, (参照 2021-02-26).
- JAMSTEC. “第 1 回「ちきゅう」は海底掘削工場だった!”. NATIONAL GEOGRAPHIC. 2013-11-06. <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/20131106/371949/?P=7>, (参照 2021-02-26).
- 日本マントル・クエスト “地球深部探査船 ちきゅうのお話”
- JAMSTEC. “ちきゅう写真コーナー”. JAMSTEC.

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- <https://www.jamstec.go.jp/chikyu/j/outreach/portfolio/photos/chikyuphotos.html>, (参照 2021-02-26).
- 川崎汽船. “ブラジル・ペトロブラス社 プレスルト鉦区向け超大水深掘削船の操業開始について”. 川崎汽船. 2012-05-16.
<https://www.kline.co.jp/ja/news/other/other6924027714489666746.html>, (参照 2021-02-26).
 - ETESCO TAKATSUGU J パンフレット, 2011
 - Transocean. “Discoverer Deep Seas”.
<https://www.deepwater.com/Documents/RigSpecs/Discoverer%20Deep%20Seas.pdf>, cited 2021-02-26).
 - The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. “National Academy of Sciences Celebrates 50th Anniversary of Project Mohole”. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.
<https://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=04152011>, (cited 2021-02-26).
 - MantlePlumes. “50th anniversary of recovery of the first basalt core by means of scientific ocean drilling”. MantlePlumes. <http://www.mantleplumes.org/50-YrAnniversary.html>, (cited 2021-02-26).
 - LinkedIn Corporation. “Drillships: 60 years of Innovation - Performance Management - Offshore Experience (7)”. LinkedIn Corporation.
<https://www.linkedin.com/pulse/drillships-60-years-innovation-performance-offshore-hug-o-f-valdez>, (cited 2017-11-01).
 - Maritime-connector. “Discovery 511”
<http://maritime-connector.com/images/discoverer-511-3-ships-21159.jpg>, (cited 2021-02-26)
 - SHIPSPOTTING. “Pelican - IMO 7117266”. SHIPSPOTTING.
<http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=660541>, (cited 2017-11-01).
 - Marine Traffic. “Discoverer 534”. Marine Traffic.
<https://www.marinetraffic.com/ja/photos/picture/ships/1039773/-7403469>, (cited 2021-02-26).
 - Offshore Energy Today. “Keppel to deliver next generation drillship in 2016”. Offshore Energy Today.
<https://www.offshore-energy.biz/keppel-to-deliver-next-generation-drillship-in-2016/>, (cited 2021-02-26).
 - Marine Technology. “DESIGNING the Next Drillship”. Marine Technology.
<https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/d7614a0a-1160-449c-8cdb-12d56ad4c697/UploadedImages/Keppelfeature40-47.pdf>, (cited 2021-02-26).
 - Friede & Goldman. “DRILLSHIPS-DS3810”. Friede & Goldman.
<http://www.fng.com/designs/drillships>, (cited 2021-02-26).
 - 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). ClassNK.
https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ballastwater/bwm_convention_j.pdf, (2021-02-26).
 - JOGMEC 海洋工学ハンドブック. 第5版, JOGMEC, 2010.
 - Marine Traffic. “ZEKREET”. Marine Traffic.
<https://www.marinetraffic.com/ja/ais/details/ships/shipid:663235/mmsi:431325000/imo:9132818/vessel:ZEKREET>, (cited 2021-02-26).
 - Marine Traffic. “TRINITY ARROW”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:412192/mmsi:353392000/imo:9319404/vessel:TRINITY_ARROW, (cited 2021-02-26).
 - 経済産業省資源エネルギー庁. 長期エネルギー需給見通し関連資料. 経済産業省. 2015, 95p.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/011/pdf/011_07.pdf, (参照 2021-02-26).
 - FleetMon. “VIGDIS KNUITSEN”. FleetMon.
https://www.fleetmon.com/vessels/vigdis-knutsen_9052989_26716/, (参照 2021-02-26).

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- FleetMon. “HILDA KNUTSEN”. FleetMon.
https://www.fleetmon.com/vessels/hilda-knutsen_9628300_8502271/, (参照 2021-02-26).
- 日本船主協会. “海運雑学ゼミナール 057 東京湾上の鋼鉄の島が飲み込む年間 3,600 万キロリットルの原油”. 日本船主協会. https://www.jsanet.or.jp/seminar/text/seminar_057.html, (参照 2017-11-01).
- JOGMEC. “グローバルに拡大する FSU・FSRU（浮体式 LNG 受入基地）”. JOGMEC.
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/info_reports/1004313/1004410.html, (参照 2021-02-26).
- MUHIBBAH. “Oil&Gas - Epcic Alliance for The LNG Regasification Unit, Island Berth and Subsea Pipeline Lekas Project, Malacca”. MUHIBBAH.
<http://www.muhibbah.com/main/4148/index.asp?pageid=185087&Accid=11705>, (参照 2021-02-26).
- Auke Visser's Renewed Historical Tankers Site. “Some details of the FSRU "Golar Spirit"”. Auke Visser. <http://www.aukevisser.nl/supertankers/gas-1/id636.htm>, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “GOLAR SPIRIT”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:711749/mmsi:538002199/imo:7373327/vessel:GOLAR_SPIRIT, (cited 2021-02-26).
- GastechNews. “Ins and outs of a buoyant business”. GastechNews. 2013-06-02.
<http://gastechinsights.com/article/ins-and-outs-of-a-buoyant-business>, (cited 2017-11-01).
- Bureau Veritas. “LARGEST LNG RV DELIVERED”. Bureau Veritas.
<https://www.veristar.com/rest/jcr/repository/collaboration/sites/veristarinfo/web%20contents/bv-content/news/veristarNews/veristar-news-41-may-2014/documents/pdf>, (cited 2021-02-26).
- 川崎重工業. “油とガス、2つの燃料を使えるエンジンを搭載した LNG 船の開発”. 川崎重工業.
<https://www.khi.co.jp/mobility/marine/technology/new.html>, (参照 2021-02-26).
- 商船三井. “ウルグアイ LNG FSRU プロジェクト 長期定期用船契約を締結”. 商船三井. 2016-07-22. <https://www.mol.co.jp/pr/2016/16055.html>, (参照 2021-02-26).
- HELIX ENERGY SOLUTION GROUP. “The Phoenix Project”. HELIX ENERGY SOLUTION GROUP.
<http://www.helixesg.com/default/About-Publications/Phoenix%20Overview.pdf>, (cited 2017-11-01).
- Sojitz. “米国メキシコ湾フェニックス油田からの生産開始について”. Sojitz. 2010-11-05.
<https://www.sojitz.com/jp/news/2010/11/20101105.php>, (参照 2021-02-26).
- MARITIME QUEST. “USS Crane Ship No. 1 AB-1”. MARITIME QUEST.
http://www.maritimequest.com/warship_directory/us_navy_pages/uss_kearsarge_bb5_cranship_1_ab1_page_2.htm, (cited 2021-02-26).
- OFFSHORE RADIO Museum. “TV Noordzee”. OFFSHORE RADIO Museum.
<http://www.offshoreradiomuseum.co.uk/page763.html>, (cited 2021-02-26).
- 寄神建設, “洋翔パンフレット”
- 寄神建設. “起重機船”. 寄神建設. <https://www.yorigami.co.jp/ship/ship01.html>, (参照 2021-02-26).
- Marine Traffic. “THIALF”. Marine Traffic.
<https://www.marinetraffic.com/ja/ais/details/ships/shipid:413401/mmsi:353979000/imo:8757740/vessel:THIALF>, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “SAIPEM 7000”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:370081/mmsi:309461000/imo:8501567/vessel:SAIPEM_7000, (cited 2021-02-26).
- HEEREMA. “Sleipnir”. HEEREMA. <https://hmc.heerema.com/fleet/sleipnir/>, (cited 2021-02-26).
- ARGONAUTICS MARINE ENGINEERING. “DEFLECTION NEPTUNE SPAR HULL”. ARGONAUTICS MARINE ENGINEERING.
http://www.argonautics.com/Neptune_Spar_Hull.html, (cited 2021-02-26).
- Williams. “Williams’ Gulfstar One delivers first oil at Gunflint”. Williams.
<https://www.williams.com/2016/07/22/williams-gulfstar-one-delivers-first-oil-at-gunflint/>,

第5章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- (cited 2021-02-26).
- POSH TERASEA. “Overview of 2015 for Posh Terasea Offshore Pte Ltd”. POSH TERASEA. 2015-12-31.
<http://poshterasea.com.sg/news/latest-news/details/overview-of-2015-for-posh-terasea-offshore-pte-ltd->, (cited 2017-11-01).
- ナカシマプロペラ. “コルトノズルおよびノズルラダー”. ナカシマプロペラ.
<http://www.nakashima.co.jp/product/rudder.html>, (参照 2021-02-26).
- TERASEA FALCON パンフレット
- GIANT MARINE. “BARGE TRANSPORT”. GIANT MARINE.
<https://www.giantmarine.com/>, (cited 2021-02-26).
- CHAMPION FREIGHT. “COLOSSAL CARGO”. CHAMPION FREIGHT. 2014-01-10.
<https://www.championfreight.co.nz/news/20140110>, (cited 2021-02-26).
- GSP Offshore. “GSP Bigfoot 2”. GSP Offshore.
<http://www.gspoffshore.com/the-fleet/construction-vessels/gsp-bigfoot-2>, (cited 2021-02-26).
- Teras Offshore. “Semi-Submersible Barge”. Teras Offshore.
<http://www.terasoffshore.com/>, (cited 2021-02-26).
- Teras Offshore. “TERAS 002”. Teras Offshore.
<http://www.terasoffshore.com/files/articles/127/Teras%20002-SpecsGA.pdf>, (cited 2021-02-26).
- BOA, “BOA-ENGINEERING”, リーフレット
- 川崎汽船. “世界最大級のオフショア支援船”. 川崎汽船.
<https://www.kline.co.jp/service/energy/osv/fleet.html>, (参照 2021-02-26).
- K-Line Offshore. “KL SALTFJORD”. K-Line Offshore.
<https://www.klineoffshore.no/kl-saltfjord/category847.html>, (参照 2021-02-26).
- K-Line Offshore. “KL BRISFJORD”. K-Line Offshore.
<https://www.klineoffshore.no/kl-brisfjord/category853.html>, (参照 2021-02-26).
- Marine Traffic. “KL BRISFJORD”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:122302/mmsi:209455000/imo:9482342/vessel:KL_BRISFJORD, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “OLYMPIC INTERVENTION IV”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:305871/mmsi:257294000/imo:9396854/vessel:OLYMPIC_INTERVENTION_IV, (cited 2021-02-26).
- Oceaneering, “MSV Olympic Intervention IV”,
<http://www.oceaneering.com/3976/oceaneering-msv-multi-service-vessel-olympic-intervention-iv/>, (cited 2017-11-01).
- Ulstein “Olympic Intervention IV “. Ulstein.
<https://ulstein.com/references/olympic-intervention-iv>, (cited 2021-02-26).
- HELIX ENERGY SOLUTIONS. “Q4000 DP3 WELL INTERVENTION VESSEL”. HELIX ENERGY SOLUTIONS.
https://www.helixesg.com/downloads/Helix_WellOps_Q4000-04.24.2018-FINAL_email_.pdf, (cited 2021-02-26).
- TSC. “Multi-Service Vessel Solutions”. TSC.
<http://www.t-s-c.com/products-services/rig-integrated-solutions/multi-service-vessel-solutions/>, (cited 2021-02-26).
- Global Pilot, “MULTIPURPOSE SUPPORT VESSELS”,
<https://globalpilotgroup.com/our-assets/dp2/#main>, (cited 2021-02-26)
- SIEM OFFSHORE. “Siem Stingray”. SIEM OFFSHORE.
<https://www.siemoffshore.com/vessels/siem-stingray>, (cited 2021-02-26).
- Huisman. “PRODUCTS Pipelay”. Huisman.
<https://www.huismanequipment.com/en/products/pipelay>, (cited 2021-02-26).
- Marine Traffic. “CASTORO SEI”. Marine Traffic.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:368385/mmsi:308162000/imo:8758603/vessel:CASTORO_SEI, (cited 2021-02-26).

第 5 章 海洋油ガス田開発に用いられる船舶及び関連設備

- Huisman. “PRODUCTS J-lay”. Huisman.
<https://www.huismanequipment.com/en/products/pipelay/jlay>, (cited 2021-02-26).
- MARINE TECHNOLOGY. “Rigid Reel-Lay Pipe-in-Pipe Installed Offshore Malaysia”. MARINE TECHNOLOGY. 2014-04-28.
<https://www.marinetechnews.com/news/rigid-installed-offshore-malaysia-491050>, (cited 2021-02-26).
- Huisman. “PRODUCTS Flex-lay”. Huisman.
<https://www.huismanequipment.com/en/products/pipelay/flexlay>, (cited 2021-02-26).
- Huisman. “PRODUCTS Multi-lay”. Huisman.
<https://www.huismanequipment.com/en/products/pipelay/multilay>, (cited 2021-02-26).
- TechnipFMC, “Fleet, Reel-lay and J-lay, Deep Blue”. TechnipFMC.
<https://www.technipfmc.com/en/what-we-do/fleet/>, (cited 2021-02-26).
- Abe Marine. “Technip - Odebrecht PLSV CV Pipe Laying Support Vessel Project”. Abe Marine.
[http://abemarine.co.kr/02_sprecords/2_01.php?mode=view&number=74&chj=&hj=&b_name=execution&page=2&scate=Shipbuilding\(Hull+%2B+Top\)+Engineering+Project](http://abemarine.co.kr/02_sprecords/2_01.php?mode=view&number=74&chj=&hj=&b_name=execution&page=2&scate=Shipbuilding(Hull+%2B+Top)+Engineering+Project), (cited 2021-02-26).
- Total Marine Technology. “LBV150/300”. Total Marine Technology.
<http://www.tmtrov.com.au/rovs/lbv150300>, (cited 2021-02-26).
- FUGRO. “ROV - REMOTELY OPERATED VEHICLES”. FUGRO.
<https://www.fugro.com/our-services/marine-asset-integrity/rov-services-and-tooling/rov-remote-operated-vehicles>, (cited 2021-02-26).
- Impresub. “Trenching, Burial and Protection Services”. Impresub.
<http://www.impresub.com/en/services/trenching-burial-and-protection-services.html>, (cited 2017-11-01).
- HELIX ENERGY SOLUTIONS. “T1200 TRENCHER”. HELIX ENERGY SOLUTIONS.
<https://www.helixesg.com/what-we-do/our-assets/t-1200-trencher/>, (cited 2021-02-26).
- Total Marine Technology. “TRITON XLX51”. Total Marine Technology.
<http://www.tmtrov.com.au/rovs/triton-mlx51>, (cited 2021-02-26).