

最近の大水深海底油田開発技術の紹介

渡 邊 啓 介

海底油田開発技術は、原油価格の高止まりを受けて、1990年代後半から大水深化が非常に進み、現在では、ブラジル沖プレソル開発において、3,000 m 水深に向けての技術開発も進められている。日本では、1980年代に掘削プラットフォームやジャケット構造物が建造され、近年ではFPSOの建造等もなされているが、産業規模及びR&D規模において欧米に比べあまり活発とは言えない現状である。本稿では、大水深プラットフォームの形式、サブシープロダクションシステム、インストレーションの観点から、最近の話題について簡単に紹介する。

キーワード：海底油田開発、浮遊式生産システム、サブシープロダクションシステム、フレキシブルライザー、インストレーション

1. はじめに

海底油田開発は、近年の原油需要の急増と価格の高止まりを背景に、大水深化の傾向が続いている。一般に、プラットフォームを設置する水深が1,000 ft程度までをshallow, 1,000 ft～5,000 ftまでをdeep, 5,000 ft以上をultra deepと分類しているが、1990年代には、それまでの着底固定式であるジャケットやコンクリート重力式プラットフォームから、Floating Production System (FPS), 及び海底に設置するSubsea Production System (SPS)と呼ばれる技術セットが飛躍的に進歩し、表1に示すように大水深開発の記録が更新され続けてきた。ごく最近では、ブラジル沖プレソル油田開発が本格的に開始されるため、日本の海洋産業界も含め世界中の注目が集まっていることはご存じの方も多いと思う。これは、サンパウロ州とリオデジャネイロ州の300 km程度沖合にある、推定120,000 km²以上（日本の本州の半分以上）とも言わ

れる非常に大規模な海底油田及びガス田であるが、水深は2,000 m～3,000 m、海底下数千mに存在するものであり、さらに新しい技術的チャレンジが進行中である。

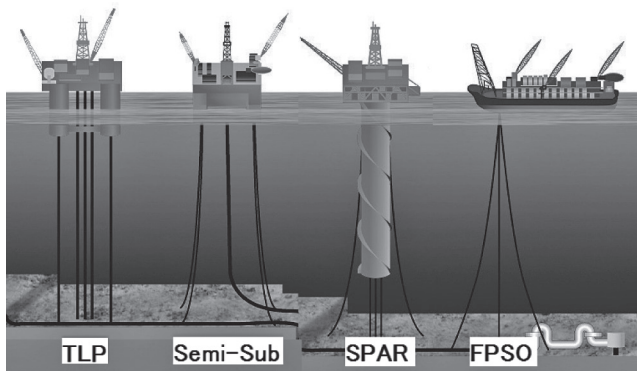
このような海底油田開発技術は、非常に多岐に亘るが、本稿では、筆者が関連している内容について、以下に簡単に紹介したい。

2. プラットフォームの形式

Shallow Waterでは、ジャケットとも呼ばれるFixed Platformが一般的であり、今でも多く使用されている。水深が深くなるにつれて、構造重量が増えると同時に長大化するため構造物の固有周期が長くなり、波のエネルギーが集中する領域を避けられなくなるため、FPS (Floating Production System) と呼ばれる形式が採用される。大別して、図1に示すように、セミサブ (Semi-Submersible), TLP (Tension

表1 大水深開発プラットフォームの水深記録

タイプ	CPT	TLP	SPAR	FPSO	Semi	SPS
海域	Gulf of Mexico	GOM	GOM	ブラジル沖	GOM	GOM
フィールド名	Petronius	Big Foot	Perdido	Lula	Independence HUB	Tobago
オペレータ	Chevron	Chevron	Shell	Petrobras	Anadarco	Shell
水深 [m]	531	1,581	2,383	1,853	2,415	2,934
年	1999	2014	2010	2009	2007	2010

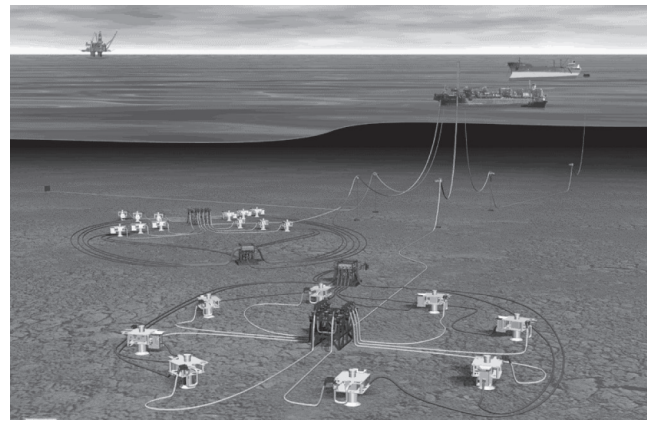


図一 大水深プラットフォームの形式

Leg Platform), SPAR, FPSO (Floating Production Storage and Offloading) がある。セミサブは、最も歴史があり良く知られた形式である。TLPは、非係留状態のセミサブを過剰浮力にしておき、海底とプラットフォーム脚を繋ぐ係留索に高張力をかけてプラットフォームを引き込んで係留（緊張係留）する方式である。SPARは1990年代に入って実用化された方式で、波力が水深につれて指数関数的に減少する点に着目し、巨大なパイのような形を利用して波浪中動揺を抑えた形式である。普通の係留方式なのでTLPよりも建造コストは抑えられると言われている。FPSOは、タンカーに石油精製工場を搭載したようなもので、実際にタンカーを改造して建造される場合もある。移動できるため、ハリケーン時には退避できる、一つのプロジェクトが終了してから容易に他のプロジェクトに再利用できる、リースできる、など多くのメリットがあり、現在、大水深では最も多く使用されているプラットフォーム形式である。近年には、ライザーを着脱できるシステムが実用化され、荒天時の退避がより容易になっている。

3. サブシープロダクションシステム

SPSは、図一2に示すように、機器とフローラインが海底上に配置される。大別して、サブシーウェルヘッド、サブシープロセス設備、フローライン、サブシーコントロールモジュール、ライザーから構成される。1990年以前の海底油ガス田の開発においては、生産プラットフォームを油井の直上に配置する方式が一般的であったが、SPSでは、プラットフォームは生産油井から離れた場所にあっても問題ない。FPSOなどを用いた大水深開発や、生産プラットフォームから遠くない場所で発見された比較的小規模な油ガス田開発において低コストに開発を進めることができる重要なシステムである。海洋油ガス田開発の大水深化には



図二 サブシープロダクションシステム (Courtesy of McDermott Subsea Engineering)

3D物理探査技術の向上と同時に、SPSの発展が不可欠であった。

海底下の油井は、外側のケーシングと内側のチューブの2重構造になっている。ケーシングは、海底下を掘削しながら、鋼管を挿入しつつ地面と鋼管の間にセメントを打って安定させたものである。この鋼管内にさらに細いチューブを挿入し、原油はこの内部チューブを通して坑口まで上がってくる。2重構造になっているのは、原油にさらされるチューブの交換などのメンテナンスができるように、また、ケーシングとチューブの間で原油中の砂などをある程度除去するためである。油井の海底面には、ケーシングに蓋をし、チューブ内の流体を海底上に敷設されたフローラインに送るためのクリスマスツリーと呼ばれる装置があり、さらに、BOP (Blow Out Preventer) と呼ばれる防噴装置が設置される。

複数の油井があるため、複数のフローラインをマニフォールドに集合させて、さらに太いフローラインを通して、生産プラットフォームに送るが、その間に、砂やガス成分を海底で分離するためのセパレーターや、長距離になる場合には自噴圧力が減少するためブースターが設置され、これらをサブシープロセス設備と呼んでいる。

これらのプロセス設備や管内の流体圧力などは全てプラットフォームでモニタリングされており、また、バルブの開閉を遠隔操作するため、Subsea Control Module (SCM) が、ツリーやマニフォールドの中にインストールされる。温度が低く、高圧であるため、アスファルトやパラフィン、ハイドレートが析出してフローラインを詰まらせたり、バルブの開閉ができなくなる、などの問題が生じる可能性があり、全てのフローラインとバルブが健全に保たれるかどうかは、非常に重要である (flow assurance)。そのため、例えば、

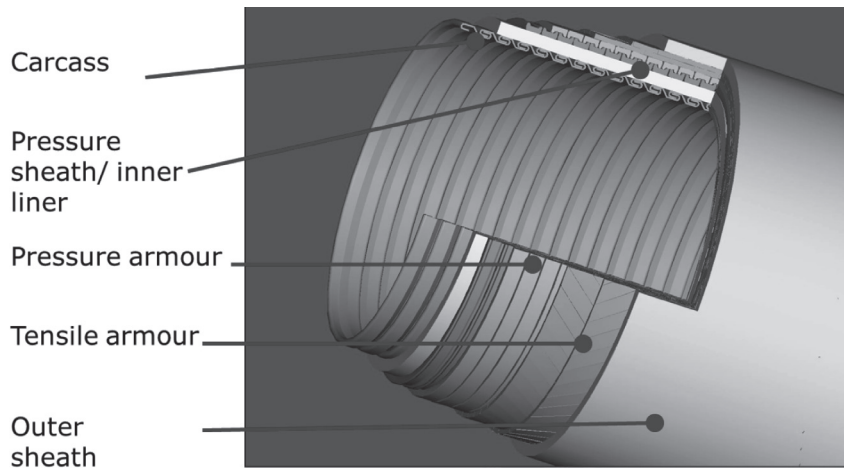


図-3 フレキシブルパイプの構造

パイプを暖める、ガスと水をフローライン以前に分離する、ハイドレート生成阻害剤を注入するなどの工夫がなされる。SPSの各装置は、海底に据え付けられると、生産が終了するまで操業を続けなければならないため、長寿命で信頼度の高い、品質保証精度の高い製品の供給が重要である。

生産ライザーは、サブシー設備を通った生産流体がプラットフォームまで上昇していくルートである。大水深化では、フレキシブルライザーが重要である。フレキシブルライザーは、図-3に示すように、多層に編みこまれた構造のパイプで、変形可能なため、浮体の動揺をある程度許容できる。ハリケーンなど荒天時には、FPSOが退避する必要があるが、ライザーを切り離して退避し、再度接続できるようになり、システム全体の運用フレキシビリティが向上した。潮流が速い海域では、VIV (Vortex Induced Vibration) が問題となることが多く、疲労破壊の可能性があるため、VIVを低減するための工夫と研究が行われている。

4. インストレーション

浮体の洋上での結合や、係留、SPSやパイプラインのインストレーションは、専用の敷設船を用いて行われる。作業船としては、Pipelay, Heavy Lift, Construction, Flexlay, Diving Support, IMR (Inspection Maintenance and Repair), Surveyのように分類されるのが一般的である。図-4は、筆者が2008年11月から1年間 senior engineering specialist として滞在したインストレーション専門会社 Acergy (現 Subsea7) の Pipelay Vessel の一つ Acergy Eagle である。この船では、パイプラインやケーブルを図-5のように船内のカールセルに巻いて搭載し、敷設現場で図-6のようなパイプライン敷設装置のカーブしている部分 (Chute と

呼ばれる) を通し、ちょうど裏側になってしまっているが、図-7のようなテンショナーでテンションをかけながら、海底にパイプラインなどを敷設していく。

これらの船においては、DP (Dynamic Positioning) 技術が重要である。海底に設置する機器や多数のフローラインのレイアウトは厳密に設計されており、フ



図-4 ガルベトン港に停泊中の Acergy Eagle (渡邊撮影)



図-5 カールセルに巻かれたパイプライン (Courtesy of Acergy)



図一6 Acergy Eagle のパイプライン敷設装置 (渡邊撮影)



図一7 パイプ敷設装置のテンショナー部分 (渡邊撮影)

ローラインの長さや井戸の位置は容易に変更できないため、作業の航路維持が必要不可欠だからである。多くの Installation/Construction Vessel では、クレーンと ROV (Remotely Operated Vehicle) を搭載しており、デッキ上で組み上げた構造物を海中に投入したり、ROV で海中の様子をモニタリングしたり、ROV でワイヤをカットしたり、複雑な作業が行えるような設備が専用のコントロールルームと共に船内に装備されている。

5. おわりに

本稿では、大水深海底油田開発技術の基礎的な内容について、いくつかの話題を紹介した。筆者も情報収集に訪れた毎年5月に開かれる OTC (Offshore Technology Conference, 第一回は1969年) では、今年は過去30年間で最高の89,400人が参加、企業展示は46か国の2,500社、技術論文数は300件であった。このように世界では非常に活発な技術開発と産業活動が続けられている分野である。近海に大きな油田がなかったこともあって、これまで日本では自動車やエレクトロニクス分野に比べあまり世界的に進出しているとは言えない現状ではあるが、今後、日本の技術がこの分野でもプレゼンスを発揮できるようになって欲しいと願っている。

JICMA

【筆者紹介】

渡邊 啓介 (わたなべ けいすけ)
東海大学
海洋学部 航海工学科 海洋機械工学専攻
准教授、博士(工学)

