

図 5-2 廃坑（Plug & Abandonment）のイメージ図

出典：Plug & abandonment of offshore wells: Ensuring long-term well integrity and cost-efficiency (Journal of Petroleum Science and Engineering No. 173, 2019 年)

プラットフォームの分解・トップサイドの取り外しについては、最初にプラットフォームのシャットダウン・洗浄を行う。この際、重金属や有機溶剤コンパウンド、放射性物質など、様々な物質の付着状況を確認し、適切な運搬・処理・処分を行う必要がある。その後、分解・撤去作業に入るが、一般的には、トップサイド（上載設備）を切断・撤去した後、下部構造物を自然の海底面下で切断・撤去し、自然の海底面上の施設を全て取り除いた状態にする。切断・撤去した施設のうち、上載設備は全て陸上に運搬して処分し、下部構造物は陸上に運搬して処分するか又は人工魚礁等に再利用若しくは海洋へ投棄する。また、この場合、下部構造物の切断箇所から下の部分については残置のまま廃棄することとなる。これらの作業において、水中切断技術、海底・深海作業技術及び大型重量物の吊り上げ・運搬技術が使用される。下図に日本で実施されたプラットフォーム撤去の事例を示す。

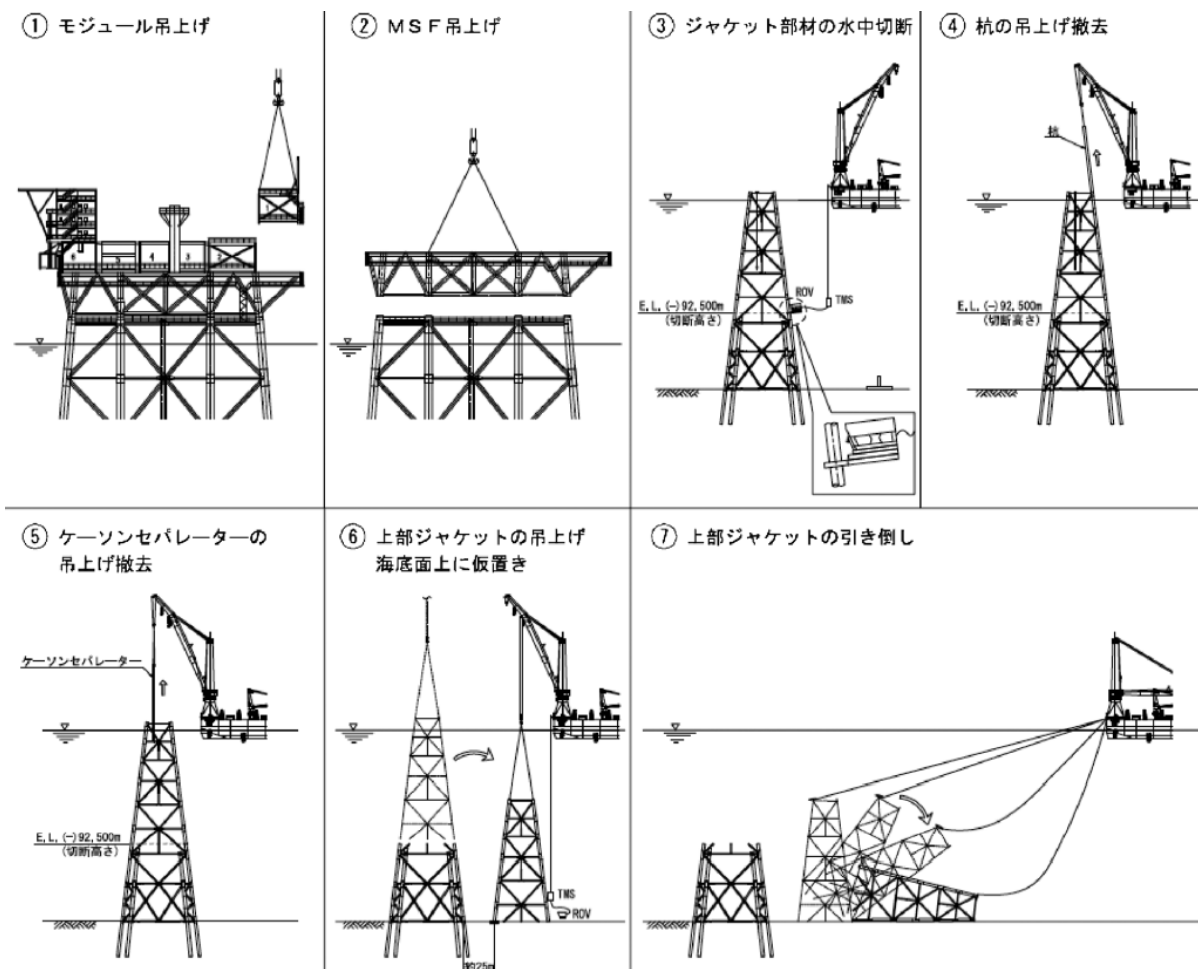


図 5-3 海洋プラットフォーム撤去の手順の例

出典：磐城沖プラットフォーム撤去の概要（石油技術協会誌、2012年）

パイプラインの撤去については、パイプライン内部の洗浄、海洋プラットフォームからの切り離し及びパイプラインの密閉・埋設などの措置を行った上で残置することが一般的である。この場合、当該パイプラインはそのまま廃棄するケースもあるが、海底敷設面から引き上げて陸上で処分する方法もある。タイにおいては Thailand Decommissioning of E&P Installations Project (DMF、2012年) によるとパイプラインも管内を洗浄し、再利用可能な場合でも撤去が求められるが、近年では他国に倣って残置のパイロットプロジェクトを実施している。これらの作業において、水中切断技術及び海底・深海作業技術等が使用される。

5.3 設備撤去技術の概要

Decommissioning Methodology and Cost Evaluation (ICF International 社、2015) によると撤去の技術は、1. Well P&A (止栓及び廃鉦)、2. Well Intervention Vessels and Systems (坑井介入船及びシステム)、3. Cutting and Severing (水中切断技術)、4. Heavy Lift Technologies (大型重量物吊り上げ技術) に大別される。以下に、各技術の代表的な技術の概要及び写真を示す。また、プラットフォームの更新については、利活用の事例を収集した。

5.3.1 止栓及び廃鉋関連技術

止栓及び廃鉋関連技術としては主なものとして、坑井介入技術（油圧改修）と洗浄、セメント充填等が挙げられる。

(1) 油圧改修

撤去時における油圧改修は、デッドウェルにチューブの取付け、取外しに使用される坑井介入技術で、「デッドウェル」とは、表面張力がゼロの坑井で、坑井内に重い液体または泥が存在するか、自然の流れを維持できない状況となっている。油圧改修は、坑井の仕上げ、廃坑、廃棄、切削作業、および配管またはケーシングの修理など、様々な用途がある。下図は、油圧改修ユニットを示している。



図 5-4 撤去時における坑井介入技術（油圧改修）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation（ICF International 社、2015）

(2) セメント充填

セメント充填技術として使用されるコイルチューブユニットは、下図に示す通り、坑井の生産停止、管内の砂、パラフィンの洗浄、または配管やケーシングが破損した場合のセメント充填として使用される。コイルチューブのサイズは通常、直径が 1.25 インチ（3.2 センチメートル）から 3.5 インチ（8.9 センチメートル）とされている。これらの作業は、掘削リグや生産設備を通じて実施可能である。

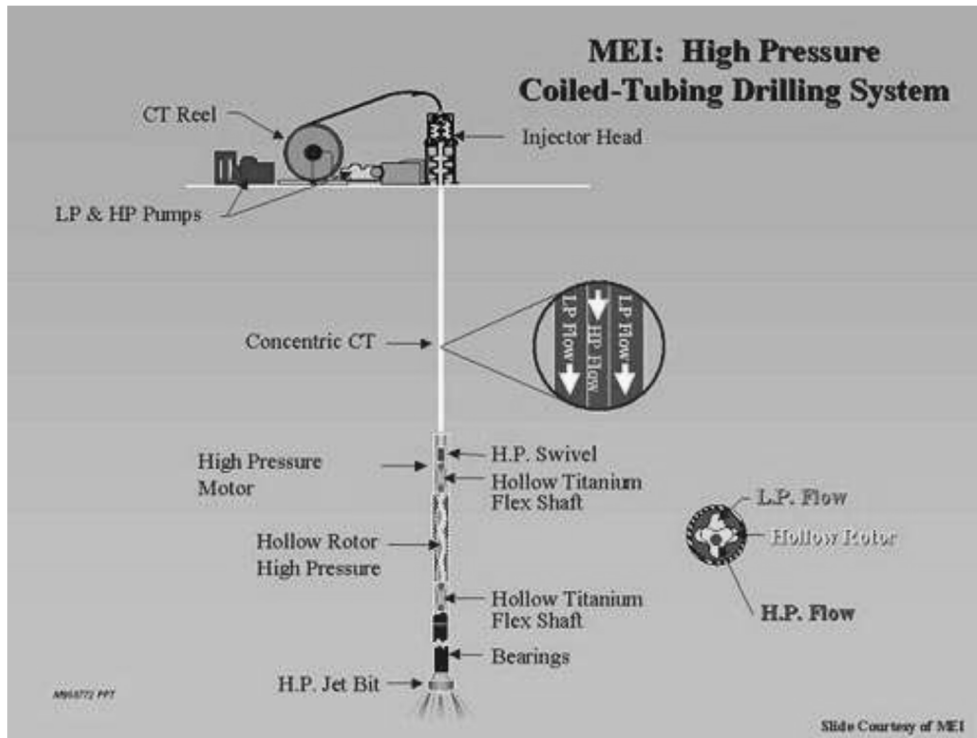


図 5-5 撤去時におけるセメント充填技術（コイルチューブユニット）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

5.3.2 坑井介入船及びシステム

坑井介入船及びシステムの事例として、プラットフォーム方式と船舶方式、坑井介入システムの事例を記載する。

(1) 坑井介入船（プラットフォーム方式）

下図は、Helix 社の Well Ops Q4000 坑井介入船で、メキシコ湾の水深 6,500 フィート（約 2,000m）での介入作業の実績がある。船舶の ROV は水深 10,000 フィート（約 3,300m）まで、動作可能であり、同船は、安定したプラットフォーム下で、海底の仕上げ、廃止措置、コイル管の配備等の作業が可能である。

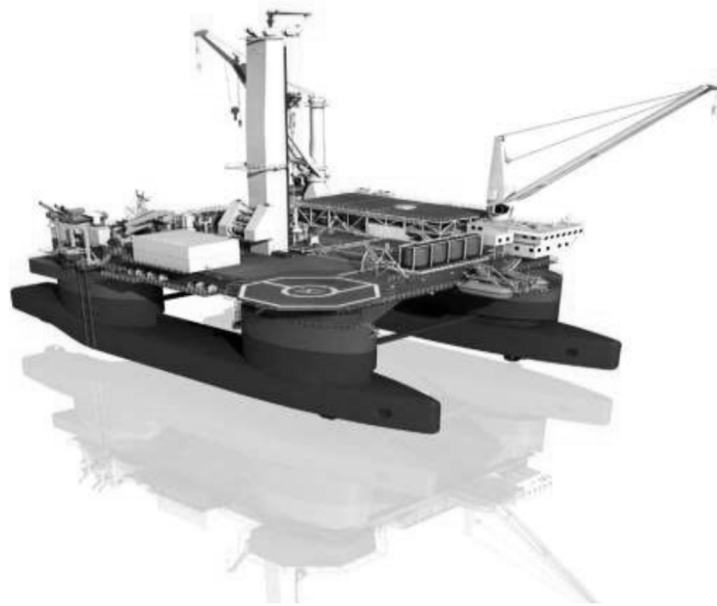


図 5-6 坑井介入船（プラットフォーム方式）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(2) 坑井介入船（船舶方式）

下図は、Oceaneering International Inc.が備船している Olympic Intervention IV の写真で、同船は、アンビリカル（海底坑口装置を制御するための電力・油圧・信号ケーブルからなる複合ケーブル）、ツリー（海底井戸開閉・圧力制御装置）、ジャンパー（圧力制御装置とパイプライン終端を接続するパイプ）、フライングリード（各種配線）、およびマニホールド（複数のバルブを統合する装置）などの海中ハードウェアの設置が可能である。また、同船は検査、修理、保守（**Inspection, Repair Maintenance: IRM**）の作業が可能で、各種ワイヤーの敷設、プラグおよび廃坑作業などの坑井介入作業が可能である。



図 5-7 坑井介入船（船舶方式）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(3) 坑井介入システム

下図は、Expro International Group が開発した軽量の坑井介入システム (AX-S システム) で、船舶上に配備可能な同システムは、最大 10,000 フィート (3,000m) の水深で作業可能で、坑井介入時間の大幅な短縮が可能である。リグを使用した標準的な坑井介入システムの必要稼働期間 (12 ~ 15 日) に対して、8~10 日で作業可能となっている。また、同システムは廃坑作業も可能である。



図 5-8 坑井介入システム

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

5.3.3 水中切断技術

海洋掘採施設及びパイプラインの撤去にて適用可能な水中切断技術は、爆破切断技術 (Explosive Charges) 及び非爆破切断技術に大別される。近年では、海洋への環境配慮の観点から、非爆破切断方法が主流となっている。以下に、非爆破切断技術として、ダイヤモンドワイヤー切断技術、ギロチン式のこぎり切断技術、アブレッシブジェット切断技術、機械切断技術の概要を示す。

(1) ダイヤモンドワイヤー切断技術

ダイヤモンドワイヤー切断システム (Diamond Wire Cutting System : DWCS) は、ジャケットの脚、パイル等の部材を水中で切断出来るシステムで、ダイバーまたは遠隔操作船 (ROV) が切断を行う。下図は、ダイバーによる切断を行う DWCS で、鋼製クランプユニットとダイヤモンドワイヤーカッターで構成される。フレームは、切断される部材を固定するように設計されており、切断ワイヤーは、直径約 0.25 インチの鉄製ワイヤロープで構成され、その中にダイヤモンドが埋め込まれたスチールリングが挿入されている。また、切断システムは、ワイヤーがフレームの周囲に沿って回転できるように設計されている。



図 5-9 ダイヤモンドワイヤー切断システム（ダイバーによる切断）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

また、ROV を使用する場合は、切断する部材の適切な位置にレグクランプとカッターを設定することが可能となっており、DWCS のワイヤー速度、使用圧力、および流量を船上から制御可能である。下図に ROV タイプのダイヤモンドワイヤー切断システムを示す。

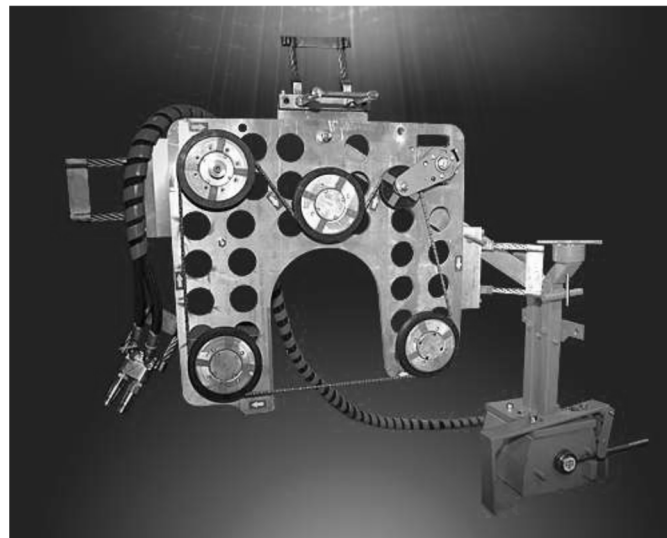


図 5-10 ダイヤモンドワイヤー切断システム（ROV 船による切断）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(2) ギロチン式のこぎり切断技術

ギロチン式のこぎり切断技術は、下図に示すとおり、基本的にのこぎりの動作と同様に左右に動く単一のブレードを備えた油圧式、電気式、または空気圧式により切断を行うものである。また、深海では ROV 油圧式による操作が、浅海ではダイバーによる操作が可能で、ダイヤモンドワイヤー切断技術と同様である。

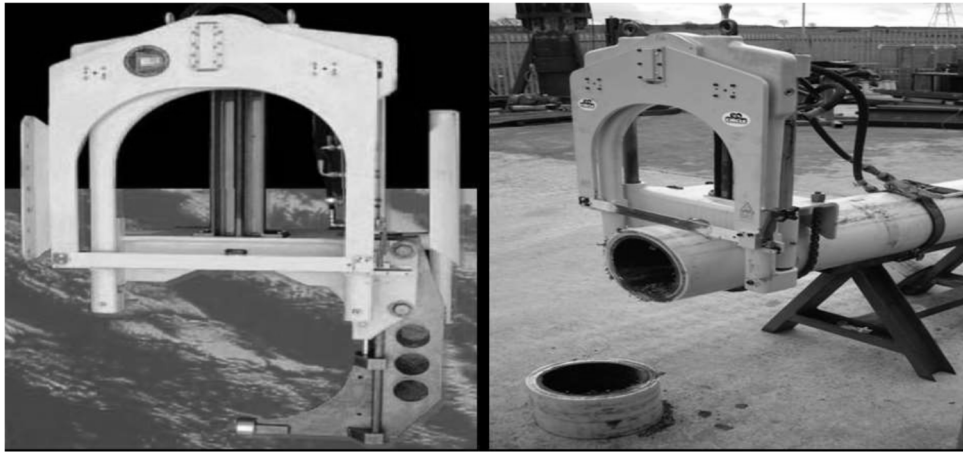


図 5-11 ギロチン式のこぎり切断技術

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(3) アブレッシブジェット切断技術

アブレッシブジェット切断（研磨切削）は、下図のとおり、切削材料をウォータージェットに注入し、鋼を研磨して磨耗させるメカニズムを採用した技術である。現在、主に使用されているのは、2つのタイプで、大容量-低圧もしくは低容量-高圧システムである。大容量-低圧タイプは、大量の砂またはスラグを水と混合して分散させ、4,000～10,000 psi（270～680 気圧）の比較的低い圧力で毎分 80～100 ガロン/分の水を供給する。高圧タイプは 15,000 psi（15,000 気圧）で、マルチストリングコンダクター（ドリルパイプやビット等を連結した一連のパイプ）の切断等に使用される。

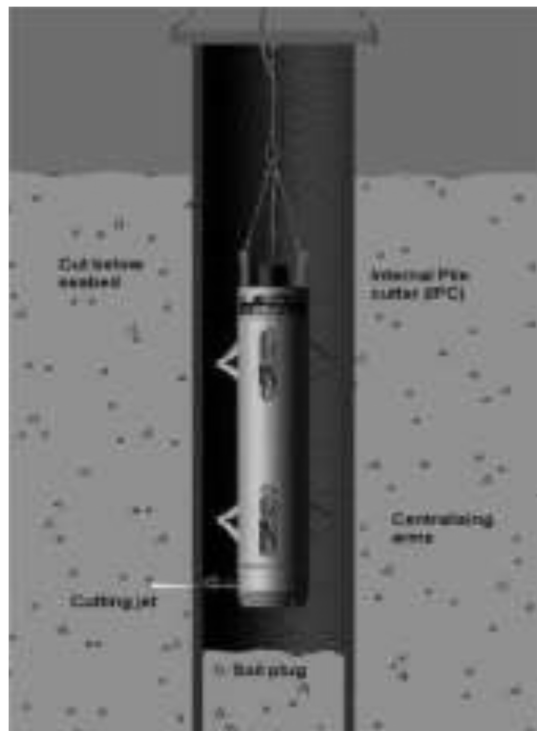


図 5-12 アブレッシブジェット切断技術

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(4) 油圧機械切断技術

機械切断は、油圧を使用してジャケットの構造部材を切断する。下図は、油圧機械切断設備で、橋梁解体用に開発され、最大で直径 48 インチ（約 120 センチ）のマルチコンダクターが切断可能である。陸上及び水中で作業可能であるものの、海洋では使用実績が限られている。

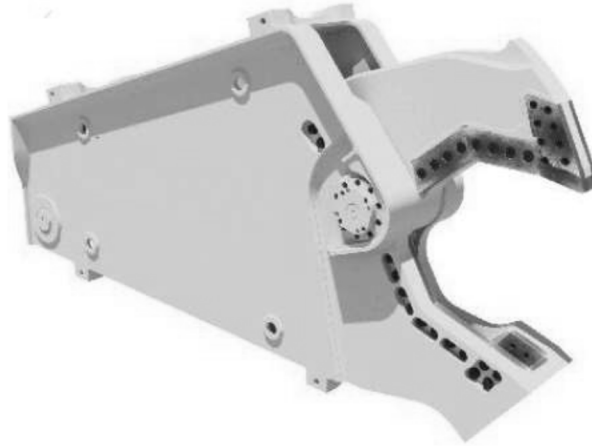


図 5-13 油圧式機械切断技術

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

5.3.4 大型重量物吊り上げ技術

大型重量吊り上げ技術のうち、重量物運搬船（HLV）については、固定式および浮体式プラットフォームの積載重量により、撤去可能な HLV の数が限られる。海洋石油ガス生産設備の設置海域が深海域に移行するに従いより大型の HLV が必要となる。大型重量物吊り上げ技術の選定、すなわち HLV の選定においては、水深及び重量、海象等の条件を基に決定する必要がある。

Offshore Magazine's 2014 Worldwide Survey of Heavy Lift Vessels によると、2014 年 11 月現在、100 ショートトン（91 トン）以上の吊り上げ能力を有する HLV は、世界に 107 隻存在する。下表に、2,000 ショートトン以上の吊り上げ能力を有する HLV リストを示す。なお、Sapura 3000 は磐城沖でのプラットフォーム撤去事業で使用されている。下図に、代表的な重量運搬船としてセミサブ型クレーン船二隻の写真を示す。

表 5-2 重量運搬船リスト（2,000 ショートトン吊り上げ能力以上、2014 年 11 月時点）

船名	船会社	能力（トン）	種類
Pioneering Spirit	Allseas	Topside – 48,000; Jacket – 25,000	Twin Hull
TML	SeaMetric	20,000	Twin vessels
Thialf	Heerema	14,200 (2 *7,100 tons)	Semi
Saipem 7000	Saipem	14,000 (2 *7,000 tons)	Semi
Bottom Feeder	Versabar	10,000	Dual Barges
Svanen	Ballast Nedam	8,800	Catamaran
Hermod	Heerema	8,165 (1 *4,536, 1 *3,629)	Semi
7500 Barge	ZPMC	8,500	Monohull
Balder	Heerema	6,350 (1 *3,629, 1 *2,722)	Semi
Borealis	Nordic	5,000	Monohull
Oleg Strashnov	Seaway	5,000	Monohull
Bottom Feeder	Versabar	4,000	Twin barges
DB 50	J. Ray	3,992	Monohull
Rambiz	Scaldis	3,300	Catamaran
Asian Hercules II	Smit	3,200	Monohull
DB 101	J. Ray	3,185	Semi
DB 30	J. Ray	2,800	Monohull
Sapura 3000	Acergy	2,800	Monohull
Stanislav Yudin	Seaway	2,500	Monohull

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation（ICF International 社、2015）



図 5-14 代表的な重量運搬船：セミサブ型クレーン船
（左：Saipem 社 Saipem7000、右 Heerema 社 Thialf）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation（ICF International 社、2015）

(1) 大型バージ船

Heerema 社が建造した大型バージ船 Heerema H-851 のイメージ図を下図に示す。同船は、長さ 750 フィートの大型バージ船であり、最大積載量は 35,000 トン（トップサイド）／40,000 トン（ジャケット）である。



図 5-15 大型バージ船イメージ図（Heerema H-851 Cargo Barge）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(2) 吊り上げシステム（Versatruss Jacket Lifting System）

下図は、Versabar 社が開発した吊り上げシステム（船名：Versatruss）であり、以下の 3 つの設備で構成されており、トラス構造を利用して最大 7,500 トンの貨物を吊り上げることが可能である。

- ・ 貨物バージ（吊り上げ用プラットフォーム）
- ・ スチール A フレーム
- ・ 油圧ウィンチ



図 5-16 ジャケット・トップサイド吊り上げシステム（Versatruss Jacket Lifting System）

出典：Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(3) Bottom Feeder 吊り上げシステム (Versabar Bottom Feeder Lift Systems)

Versabar 社が開発した Bottom Feeder 吊り上げシステムは、2つのカーゴバージを橋梁トラスで繋げた形状をしており、海底からの機材回収等が可能である。1,250 トンの鉄製のトラスフレーム 2つが貨物バージに取り付けられており、4つの 200 トンウィンチを動力として、4,000 トンの吊り上げ能力を有する。2008 年より、メキシコ湾にて 50 以上のサルベージの実績がある。



図 5-17 Bottom Feeder 吊り上げシステム (Versabar Bottom Feeder Lift Systems)

出典 : Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

(4) 双胴タンカー船吊り上げシステム

Excalibur Engineering, BV 社が設計した Allseas 社 Pioneering Spirit (前 Pieter Schelte) は、下図のとおり 2つの大型タンカーとプラットフォームを繋げた形状をしており、最大で 48,000 トン (トップサイド) / 25,000 (ジャケット) を吊り上げ、撤去することが可能である。Pioneering Spirit は北海で実績があり、2020 年 2 月現在、二隻目を建造中である。Allseas 社のウェブサイトには過去の撤去のビデオや現在の撤去場所が示されている。



図 5-18 双胴タンカー船ジャケット・トップサイド吊り上げシステム
(Allseas Pioneering Spirit Lifting System Topsides/Jacket)

出典 : Decommissioning Methodology and Cost Evaluation (ICF International 社、2015)

(5) 双胴船型吊り上げシステム (TML Lift System)

SeaMetric 社の双胴船型吊り上げシステム (Twin Marine Lifter: TML) は特徴的な形状をしており、クレーンではなく 2 つの同型船 (459 フィート x 131 フィート x 35 フィート) にある計 8 本のリフティングアームを使用して、22,000 トンを吊り上げることが可能である。



図 5-19 双胴船型吊り上げシステム (Seametric International Twin Marine Lifter)

出典 : Decommissioning Methodology and Cost Evaluation
(ICF International 社、2015)

5.3.5 プラットフォームの更新の事例

先行事例である北海では、これまで撤去作業時に施設や資機材の売却益が見込めるという考え方がなされてきた。しかしながら、近年は 施設や資機材を安価に処分・廃棄する方法が主流となっている。更新の事例としては、以下が挙げられる。

(1) 他のフィールドへの再利用

海洋石油ガスプラットフォームの他のフィールドへの再利用は、開発技術の進歩で油田・ガス田の経済寿命が延びているメキシコ湾や北海においては一般的である。タイにおいては、Chevron タイが 2017 年頃に海上ウェルヘッドプラットフォーム (WHP) の上載設備の移設の試行を実施したが、移設は費用面の課題があるとされている。

(2) その他のプラットフォームの利用法

例えば、トップサイドやジャケットのような施設は石油業界以外の場所でも転用が可能である。転用可能な例としては以下が挙げられている。

- ・ 娯楽用施設 : 健康施設、スポーツフィッシング場、アドベンチャーセンターなど
- ・ 研究施設 : 气象台、化学プラント、危険物質処分場など
- ・ 新エネルギー生産所 : 風力発電所

しかしながら、転用の際には、劣化の状態や環境汚染防止のために内部の洗浄を完全に実施する必要があることから、転用の実現には課題が残る。

6 まとめ及び今後の課題

6.1 まとめ

- ・タイ国でのヒアリングの結果、政府機関（DMF）としては、海上石油ガス設備の撤去は、必要な規制等を順次進めており、技術面及び財政面での問題は無いとの言及があった。しかしながら、実際には様々な問題に直面しているようである。水銀処理を始めとする環境問題については、知見が無い事から日本への技術協力の期待が寄せられた。
- ・タイ国初の本格的な撤去事例では、権益が再入札により Chevron タイ-MOECO から国営企業である PTTEP に移った事から、問題が複雑になり、DMF との協議が続いており、オペレーター側としては、課題が山積しているという認識である。
- ・環境問題（悪臭、住民対応等）を解決すべく、洋上での撤去・処理のアイデアの提案があった。実現には水銀処理の洗浄水の確保等の財務的・技術的な課題も残る。
- ・今後、タイ国内での石油ガス生産設備の撤去需要は間違いなく増加し、市場規模も大きい事から、洋上での撤去・処理が技術的に可能となれば、撤去分野で日本の技術を活用し、日本からのインフラ輸出の可能性が十分にある。また、インドネシア、ブルネイ、ベトナム等も同様の問題を抱えており、ASEAN 全体の課題でもある。
- ・北海では、スコットランド地方政府が撤去技術世界一を目指すべく、「Oil & Gas Decommissioning Action Plan」を策定し、技術イノベーションを支援する Decommissioning Challenge Fund (DCF) を通じた支援を行っているが、現時点で撤去の技術は発展途上である。
- ・北海では地質の関係から東南アジア地域で発生している水銀の問題はクローズアップされておらず、北海の適用している技術がそのまま転用出来ない可能性が高い。

6.2 今後の課題

- ・洋上での撤去・処理のアイデアの実現には、洋上プラットフォーム建造や撤去に係る廃棄物処理技術などの調査が必要である。
- ・タイ国が撤去に係る各種規制が進んでいる事から、日本が技術協力を行い、タイ国がこの分野で ASEAN 諸国をリードする事になれば、Win-Win の関係になる可能性がある。
- ・北海では、スコットランド地方政府が撤去技術世界一を目指すべく策定した「Oil & Gas Decommissioning Action Plan」の取組については、日本国内でも参考に出来る点がある事から、さらなる実態調査を行う事が望ましい。

以上

