

米国の海洋石油ガスの開発・生産施設の 現状と技術開発動向の調査

2020年3月

一般社団法人 日本船用工業会
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

はじめに

ヒューストンに着任してから間もなく 3 年が過ぎる。着任当初からの使命は、日本の製造、エンジニアリング等に携わる企業が、米国の海洋石油ガスの上流（探査・掘削・生産）産業に、製品・サービスを売り込むことを支援する事であった。

かなり早い段階で、日本企業を米国の石油・ガス企業の購買部門に紹介しても意味がない事は分かっていた。購買部門は技術・品質は評価せず、ベンダーリストに登録されていれば、価格のみの比較しか行わない。技術的な利点や品質を説明するには、技術担当を見つけ出す必要があるが、これは容易ではないからである。

日本財団と米国の石油ガス生産企業のコンソーシアム **DeepStar** との共同プログラムを立ち上げ始めた 2017 年の 10 月以降は、こちらへの応募を勧めてきたが、他社との横並びが嫌なのか、よほど売込みに自信があるのか、米国の石油・ガス企業の誰でも良いから紹介して欲しいという要請は多く、2018 年前半ころまでは、できるだけこのような日本企業の希望に沿うよう心がけてきた。

しかしながら、ほとんどの日本企業は実際の売込みとなると、自社製品の説明に終始し、相手のニーズや課題について確認もせぬまま話を進めてしまう。特に従来掘削・生産現場で使用されている他社製品との違いも説明しないので、第三者として聞いていても石油ガス企業にとって、この製品を採用するメリットは何だろうか？と悩んでしまうことが多い。結局、先方からストレートに「御社の製品・技術は、我々の石油ガスの掘削・生産現場に、どのような利益をもたらすのか？」と質問を受けることになるが、そのような質問に対して大抵の場合は自ら十分に回答できない。しかも、ユーザーにとっての一番の関心点である価格についても明確な回答は避ける。これでは石油ガス企業にとっては、説明に来られても時間の無駄である。

さらに、説明資料の右肩に「**Confidential**」と注意書きが付してあるケースが多いが、グローバルな石油ガス企業の多くは、「**Confidential**」と書かれた資料は受け取らない。守秘義務上の違反は罰則が重く、多くの企業では社内で共有した時点ですらコンプライアンス違反になるからである。

米国に拠点を持つ石油・ガスの売込みに際して、上記の相手からの想定問や資料作成のポイントは事前に日本企業側に再三注意してきたが、無視されるケースがほとんどであり、日本財団と **DeepStar** の共同プログラムが軌道に乗って以降は、この枠組みに参画することを前提としない売込みの支援は原則としてお断りすることにした。

幸いにして、上記のような売込み失敗に終わった企業の中にも、現在では日本財団・**DeepStar** の共同プログラムの一環として、共同技術開発プロジェクトに参画した企業もある。これによって、海洋石油ガスの上流側のニーズを直接聞き、さらにはアドバイスも受け、的確に技術開発を進めることができるようになったと信じている。

私にとっては確信に近いが、日本の製造業・エンジニアリング企業から頻繁に受ける「石油ガスの上流に日本企業が売り込むにはどうすればよいのか？」という質問への回答は「石油ガス上流企業との共同技術開発を行うこと」である。そして、日本企業にとって具体的かつ特別な方法が日本財団と **DeepStar** の共同プログラムである。このプログラム

の主旨、背景及び作り上げるまでの経緯を本報告書で解説する。

さらに、米国の石油ガスを取り巻く状況は新型コロナウイルス感染症 COVID-19 の影響、世界的な気候変動対策の影響を受けて大きな変化が起きている。日本財団・DeepStar のプログラムも、これに合わせて変化を遂げようとしており、これについても本報告書で解説する。

JETRO ヒューストン事務所

Director 中川直人

目 次

1	日本財団-DeepStar の共同プログラムについて	1
1.1	現状認識-石油ガスの生産オペレーターへの売込みは難しい	1
1.1.1	既に参入できている日本企業	1
1.1.2	参入が上手くいっていない日本企業	2
1.1.3	石油ガス上流企業側の問題	2
1.1.4	展示会ではなくカンファレンスが狙い目	2
1.1.5	ニーズは OnePetro の論文検索でも把握できる	3
1.2	DeepStar との出会い	3
1.3	日本財団と DeepStar の関係構築	4
1.4	米国における共同技術開発と DeepStar	4
1.4.1	産業界の共同プロジェクト (Joint Industrial Project: JIP)	4
1.4.2	JIP の実例 その 1	4
1.4.3	JIP の実例 その 2	5
1.4.4	一般的な JIP と DeepStar の違い	6
1.4.5	DeepStar の成り立ちと今日まで	6
1.4.6	DeepStar のプロジェクトの採用及び進捗管理	7
1.5	なぜ DeepStar なのか	8
1.6	日本財団と DeepStar の海洋石油ガスの技術開発に関する協力覚書	9
1.7	具体的なプロジェクト作り	9
1.7.1	DeepStar のプロジェクト選考プロセスから学んだこと	9
1.7.2	DeepStar と日本企業のミーティングに向けた準備	10
1.7.3	DeepStar のコアプロジェクト ショートリスト	10
1.7.4	DeepStar 及びシェブロン社と日本企業のミーティング	12
1.7.5	プロジェクトの承認と公表まで	13
1.7.6	プロジェクトのサポート	15
1.7.7	2020 年プロジェクトの形成に際して	16
1.8	今後の日本財団-DeepStar 共同プログラムの発展について	17
1.9	今後の日本財団-DeepStar 共同プログラムは環境をテーマに	18
1.10	まとめ	19
2	原油価格の動向について	20
2.1	新型コロナウイルス感染症と史上初の原油マイナス価格	20
2.2	原油価格の分類	20
2.3	WTI 原油価格について	22
2.3.1	WTI 原油価格の概要	22
2.3.2	WTI 原油先物取引について	24
2.3.3	期近限月とその取引期間	24

2.3.4	限月及び各限月先物の上場	24
2.3.5	ティッカー・シンボル	25
2.3.6	取引時間	25
2.3.7	終値	25
2.3.8	実際の取引	26
2.3.9	取引 1 件当たりの原油量	26
2.3.10	原油受渡方法	27
2.3.11	取引所における取引実施者とその責任	27
2.3.12	一般投資家等が取引所を通じて取引する場合	29
2.3.13	上場投資信託（Exchange Traded Fund: ETF）等金融商品	29
2.4	WTI 原油先物取引価格の推移	30
2.4.1	世界金融危機（The global financial crisis）時の暴落	31
2.4.2	2014 年から 2016 年までの間-イランへの経済制裁	31
2.4.3	2020 年までの間	34
2.4.4	新型コロナウイルス感染症を起因とする影響	34
2.5	WTI 原油価格の変動要因	36
2.5.1	世界の生産量と消費量のバランス	36
2.5.2	経済成長との関係	37
2.5.3	民間貯蔵の在庫量と生産量の関係	38
2.5.4	天候・季節要因	39
2.5.5	在庫量と価格	40
2.5.6	生産量と価格	40
2.5.7	国際的な減産調整／OPEC 及び OPEC プラスの決定	42
2.5.8	国際情勢不安、経済制裁	42
2.5.9	原油の特性	43
2.5.10	WTI 原油の需給・価格の今後	45
2.5.11	天然ガスと COVID-19 の拡大について	47
2.5.12	本節のまとめ	48
3	海洋石油ガス生産分野におけるデジタル化のための標準化作業について	49
3.1	背景	49
3.2	序説	49
3.3	プロジェクト実施	50
3.4	既存の産業規格及び業界イニシアチブについての調査	50
3.4.1	既存の産業規格	51
3.4.2	業界イニシアチブ	51
3.5	第一回調査結果	51
3.5.1	EPCI フェーズ関連の調査結果	52
(1)	EPCI フェーズにおいて収集される主要なデータ	52
(2)	必要不可欠なデータの収集	52

(3)	収集データの使用頻度	53
(4)	収集データが使用される頻度	53
(5)	収集される 3D モデルのデータの種類	55
(6)	EPCI フェーズにおける課題	55
(7)	オペレーター企業間で異なるデータの種類	55
3.5.2	オペレーションフェーズ関連の調査結果	56
(1)	オペレーションフェーズにおいて収集される主要なデータ	56
(2)	必要不可欠なデータ収集	57
(3)	データ収集頻度	57
(4)	データ記録方法	58
(5)	収集されたデータの陸上への転送	58
(6)	収集されたデータの使用頻度	58
(7)	収集されたデータの使用目的	59
(8)	データ管理に使用されるプラットフォーム	59
(9)	主な課題（自由記載）	59
3.6	業界セミナーの結果要約	60
3.7	第二回調査の結果	64
3.8	ハイレベルの推奨策	71
(1)	デジタルツインのロードマップ	72
(2)	重要データの収集 アセットレジユメ	72
(3)	検査インプット／アウトプット用のデジタルテンプレート	72
(4)	自動化された検索ツール	73
(5)	センサーと監視システムの業界基準	73
(6)	リファレンシング（参照）システム	74
(7)	その他の潜在的業界活動	74
3.9	次フェーズへの提言	75
3.10	まとめ	76

1 日本財団-DeepStar の共同プログラムについて

この節では、日本財団と DeepStar の共同プログラムが出来上がった背景及びその経緯について概説する。

1.1 現状認識-石油ガスの生産オペレーターへの売込みは難しい

米国に限らず、海洋石油ガスの上流（探査・掘削・生産）分野の現場に、実績を持たない他国の技術・製品が参入機会を得ることは極めて難しいということが、日本の産業界の共通認識であり、これは大手企業ですら例外ではない。この点については、欧米の企業だけでなく、中国や韓国の企業よりも日本企業は参入が遅れているのが現状である。

これは 1960 年代から 1980 年代にかけては、日本企業も比較的受注があったにもかかわらず、技術開発への投資の割に利益が上げられなかったため、1990 年から 2010 年前半まで、この分野の受注を敬遠したことが一つの要因と言われている。

確かに実績が重要視される石油ガスの開発分野では、この 20 年以上にわたるブランクは大きい。しかしながら、なかなか参入できない本当の要因は、この分野における技術の飛躍的な進展についていけない事、さらに多くのメーカーが顧客ニーズに寄り添う姿勢を忘れたことにあると思われる。

石油ガスの分野は、生産オペレーター毎に、また地域毎にニーズが異なり、技術オリエンテッドな製品や技術の提案では受け入れられないことが多い。また日本のメーカーはマスプロダクト化にこだわりすぎて、個々の生産フィールド毎に異なるニーズに合わせることを厭うことが、上記のような要因を生んでいる。

このような特殊分野の事情を踏まえた製造にあたってのマインドチェンジが、中韓に比べて遅れたことに加え、顧客である生産オペレーターに直接アクセスしてニーズを聞き取るノウハウまで失われたことや、既に一部の日本企業を除き、多くの日本企業が石油ガスの生産オペレーターから、製品、技術の参入を意図していないと思われることが、なかなか参入機会を得られない要因となっている。

日本財団は日本のメーカーがなかなか海洋石油ガスの上流分野に参入できない現状について、メーカーの要望を踏まえ、ヒューストンにおいて DeepStar との共同プログラムを立ち上げた。これに先立ち、筆者は上記のような状況を日本企業や米国の生産オペレーターから聞き取り、この解決策を提示し実現することが重要と考えた。

1.1.1 既に参入できている日本企業

筆者が 2017 年に渡米した段階で、シェブロン、ロイヤルダッチ・シェル等のオイルメジャーから認識されている日本のメーカーはごくわずかであり、それらは長い期間にわたり実績を積み上げた企業であった。これらの企業の製品・技術の特徴は、石油ガスの掘削から生産までの現場に特化した優れた機能・性能・品質を有していることである。また、企業としても継続的に知識や人脈においても秀でた人材を有している。稀なケースとしては、介在する商社の子企業（事業企業）が実質的かつ類稀なエンジニアリング力を有しており、その製品の敷設プロジェクトの設計段階から世界的にも有名なエンジニアリング企業と共同しており、施工方法のみならず、製品の曲げ加工、腐食対策（ライニング、塗装、セメント・コーティング、カソードック・アノードの取付）、接続まで一貫して管理して

いるケースもある。

1.1.2 参入が上手くいっていない日本企業

他方、参入に苦慮している企業の特徴は、第一にユーザーである石油ガスの上流企業の探査・掘削・生産に伴うニーズを把握できていないことが挙げられる。このような企業はユーザーに対してプレゼンテーションする機会を得ても、上流企業の課題の解決、その効果、利益を説明できないので、最初のプレゼンテーションの段階で売込みが終わってしまうケースが大半である。

1.1.3 石油ガス上流企業側の問題

もう一つの大きな問題が、ユーザーである石油ガスの上流企業側の適切な担当者にたどり着くことが困難であることである。石油ガスの生産オペレーターも、その多くが縦割り企業である。多くの日本企業の営業担当は石油ガスの生産オペレーターの購買の担当に面会を申し出るが、残念ながらその先につないでもらえるケースはほとんどない。また、たまたま技術部門に伝手を見つけても、売り込みたい製品を取り扱う担当部署とは違うケースがある。例えば浮体構造物の技術を売り込みたいのに、サブシーパイプラインの技術部門にのみ伝手を見つけたような場合がそうである。この場合も縦割りの弊害で浮体構造物の担当に繋いでもらえる場合はほとんどない。

1.1.4 展示会ではなくカンファレンスが狙い目

そもそも、筆者自身が多く展示会に参加してみた分かったのは、石油ガス上流企業の展示ブースには技術の専門家は常駐していない。そもそも技術展示会には、シェブロン、エクソンモービル、ロイヤルダッチ・シェル等の石油ガスの生産オペレーターは展示をしない。彼らは見学する側である。ガステックのようなイベントでは、商品としての石油ガス売る側なので展示もするが、彼らのブースには、その展示を請け負ったイベント企業の者しかいないケースが大半である。従って、名刺交換を申し出ても名刺すらもらえないことが多い。

これは生産オペレーターに限らず、掘削等の油田サービスを提供するシュルンベルジェ、ハリバートン、ベーカーヒューズ、ウエザーフォード、ナショナル・オイル・バルコ、テクニップ FMC のような企業でも同様である。

ちなみに、若し担当技術者の名刺の一枚でも貰うつもりであれば、カンファレンスのプログラムを読み込んで、その人がプレゼンテーションをやった直後が唯一の狙い目である。

最も有効なのは毎年ヒューストンで開催される **Offshore Technology Conference (OTC)** のようなカンファレンスでプレゼンテーションをする事である。これらプレゼンテーションは論文としての記録が世界石油工学技術者協会 (**The Society of Petroleum Engineers: SPE**) が提供するオンラインライブラリー **OnePetro** 上にも残るので、石油ガスの開発・生産オペレーター企業、石油ガス田サービス (油田探査から生産に至るまでの坑井掘削・仕上げ、生産開始後の坑井メンテナンスを行う) 企業の技術担当者の目に触れやすくなる。しかしながら残念なことに日本企業によるプレゼンテーションは数少ない。

1.1.5 ニーズは OnePetro の論文検索でも把握できる

実際、日本のメーカーやエンジニアリング企業の中には、熱心な営業や技術の担当者がいるのは確かである。彼らは、実際に掘削・生産現場で発生している問題を、あらかじめ OnePetro の論文検索で特定し、これを読んで（有料であり、論文 1 本あたり \$10）理解することで、的確なプレゼンテーションを行うことができる。

筆者自身は OnePetro の存在は日本の石油ガス上流企業の若い技術者から教えてもらったが、同じく筆者自身が所属していた米国造船学会（Society of Naval Architect and Marine Engineers: SNAME）が海洋石油ガス開発関連の論文を OnePetro に掲載を始め、会員向けサービスとして期間限定で 20 本まで無料ダウンロードが可能であったので、大いに利用させてもらった。これにより、日本財団・DeepStar の共同プロジェクトを形成する際に、石油ガス上流のニーズとマッチングを図る上で大いに役立ったことは言うまでもない。

1.2 DeepStar との出会い

DeepStar に最初に目を付けたのは、日本財団のオーシャンイノベーションコンソーシアムである。筆者のヒューストン行きの数日前に、同コンソーシアムの担当者から DeepStar について調べて欲しいという依頼があった。おそらくメンバーになるためには、年間数億円の会費が必要であり、日本企業では無理だろうというコメントが印象に残っている。

一方でヒューストンに立つ 2017 年 6 月 19 日の直前までビザが入手できなかったことや、ヒューストン着任直後には現地駐在の日本企業を訪問したり、展示会に参加したり、先ずは人脈作りと独自で石油メジャーにアクセスできないかを模索したこともあり、着任後、DeepStar について思い出すまでに 3 週間くらい経っていたと思う。

思い出したからには、先ずは担当者に会ってみるのが一番と思い、DeepStar をネットで検索してみたところ、その HP に翌日に会議が開催されるとある。とりあえず会議への参加登録をしてみるが返事がない。行動に勝るものは無いと思い、翌朝 7 月 16 日の会議開始の 30 分前の 7:30am に、会議開催場所の Chevron Tower を訪問してみる。案の定、受付では会議に筆者は登録されていないので入館は不可だと言われるが、ネットに掲載されている DeepStar Director の Shakir Shamsy 氏（以後 Shak 氏と略す）に取り次いでほしいと頼み、電話で話をすること数分、会議に参加を許される。

会議の内容は私にも理解できるものであり、親切にも質問やコメントの機会も与えられたので、理解できた範囲で論点になっている課題を整理し、そのいくつかについて解決策を提示した。Shak 氏からは参加を歓迎するので、以後の会議にも参加して欲しいという、うれしい言葉ももらった。

会議終了後に 30 分ほど Shak 氏から直接いろいろな情報を収集して、事務所への帰路で、日本財団の担当者に電話で Shak 氏から聞き取ったこと速報したことを今でも昨日のこのように思い出す。特に年会費は正規メンバーである石油ガスのオペレーターは 1500 万円相当で、アソシエイトメンバーである石油ガス田サービス（油田探査から生産に至るまでの坑井掘削・仕上げ、生産開始後の坑井メンテナンスを行う）企業、メーカー、エンジニアリング等を含むサービス企業は 150 万円相当とのことであった。これは 2017

年に DeepStar が大きな構造改革を行ったことで、より多くの企業がアクセスしやすい会費を設定したためである。

事務所に戻って、30 分ほどで詳細な報告書を書き上げたところで Shak 氏から電話があった。この電話で、実は筆者はメンバー限定の会議に参加してしまったこと、筆者を参加させたのは Shak 氏の失敗であるが、会議の内容や参加者は誰にも漏らしてはならないので、Non-Disclosure Agreement (NDA) にサインして欲しい。追って Chevron 社の弁護士から連絡があると知らされた。Chevron 社の弁護士からはその後すぐに電話があったが、簡単な説明のみで、NDA に違反すると米国の法令に基づき最大で \$3 million の罰金及び拘留される可能性があるとのことで、詳細の NDA の草案は追って送付するとのことであった。

一瞬落胆したものの、これはチャンスと思い直し、その後 NDA の詳細の文言について修文意見を提案するなどしながら、Shak 氏と面談や電話での会話、メールなどで対話の機会を得ることができた。Shak 氏はこの出会いを Accidental な出会いと語ることが多いが、Accidental であれ、この出会いが、この後の日本財団と DeepStar との関係構築や日本企業にとっての機会を生むことになる。

1.3 日本財団と DeepStar の関係構築

NDA について Shak 氏と調整する一方で、日本財団へも Shak 氏を日本に招聘してプレゼンや日本企業との面談の機会を提案した。これは直ぐに受け入れられ Shak 氏との調整の結果、2017 年 10 月 1 日から Shak 氏と東京の日本財団の会議室を一週間近く借り切って、日本企業 20 社近くと面談し、併せてその間に日本財団主催のセミナーで講演してもらうことになる。また、この期間中に日本財団の海野常務から翌 2018 年の 5 月に日本財団と DeepStar との間で共同技術開発に関する協力覚書を結ぶので、準備を進めて欲しいという依頼を受け、本格的に日本財団と DeepStar の関係構築を図ることになる。

1.4 米国における共同技術開発と DeepStar

1.4.1 産業界の共同プロジェクト (Joint Industrial Project: JIP)

米国に限らず国際的に石油ガス分野の技術開発は、産業界の共同プロジェクト (Joint Industrial Project: JIP) を通じて行われることが多い。日本ではジップと発音されることもあるが、現地ではジェイ・アイ・ピーと発音されることが多かったように思う。JIP は技術開発だけでなく、米国石油協会 (The American Petroleum Institute: AIP) の産業規格を作るさいにも利用される。

これらの取組について新鮮な驚きを感じたのは、政府主導ではなく純粋に民間主導であることはもちろん、石油ガスの生産オペレーター企業だけでなく、油田サービス企業、エンジニアリング企業、メーカー等も拠出金 (contribution) を支払ってプロジェクトに参画していたことである。

1.4.2 JIP の実例 その 1

もちろん全ての JIP にメーカーも拠出金が求められるわけではない。例えば、筆者自

身が会議に参加を認められた JIP の事例では、予算規模は数百億円相当の極めて高額なプロジェクトであり、全額石油ガスのオペレーター企業が負担していた。このプロジェクトは、複数のオペレーター企業が共同で開発する大水深の海洋油田の生産設備として必要な技術であり、油田開発に参画する企業の技術部門のハイレベル（ポートフォリオ・マネージャー等）同士がお互いに声掛けして着手されたものであった。概要としては、特定のメーカーの製品を、実際の大水深の海底に据え付けて、想定される複数の技術課題を克服できるかどうか検証するというものであり、石油生産オペレーターのうち一社が、一部の技術課題の解決について、日本の特定のメーカーにも声掛けする可能性を示唆したため、筆者も会議に呼ばれたものである。残念ながら上記の製品を開発したメーカーが、自社技術で全て完結することが可能であると宣言し、実際そのようにプロジェクトも進んだため、日本企業への声掛けは幻に終わった。

他にはサブシー（海中の）生産システム（Subsea Production System: SPS）、電力・電気信号・化学薬品等を伝送・輸送するケーブル、油・ガスの輸送管等（Subsea Umbilical Riser Flowline : SURF）、トップサイドと呼ばれる洋上施設の機器、センサー技術、検査機器等の開発について、筆者も頻繁に会議に呼ばれ、従来使用されていない技術の応用や日本企業のポテンシャルについて意見を求められた。

例えば、ロボットの衝突防止技術については、画像認識技術だけでなく、ミリ波やパルスレーザー、準静電界などのセンサー技術を応用したもので議論され、日本の関連メーカーに広く参加を呼び掛けた。また断熱材の内側のパイプの腐食（Corrosion Under Insulation : CUI）の検査については、放射線を用いた非破壊検査及びアコースティック・エミッション（Acoustic Emission: AE）と呼ばれる、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波（弾性波）として放出する現象を AI 技術によって分析する手法などを日本の技術として紹介した。前者の放射線検査については、イメージング装置がカギになるので、日本企業にヒューストンまで装置を持ち込んでもらい、石油オペレーター企業から米国の非破壊検査企業に放射線の線源になる放射性同位元素を用意してもらい、専用の施設でデモをやってもらった。後者の AE は現在石油ガスの業界でも、とりわけ海洋分野で注目度が高まっている。

1.4.2 JIP の事例 その 2

別の JIP は、DeepStar のプロジェクトからスピアウトしたもので、既存の産業規格の改定プロジェクトである。このような JIP は、最初に、オペレーター企業が中心となって会議を開催して、拠出金を支払って参加する企業を募る形でスタートする。このようなプロジェクトは一度 DeepStar のメンバーになると頻繁に声がかかるが、残念ながら関連しそうな日本企業には、その都度情報を提供して参加を呼び掛けたが、拠出金を払ってまで参加するという日本企業は現れなかった。このような標準化は多方面で行われており、2017 年の着任時は FPSO の部材からコンプレッサー等のトップサイド搭載機器に至るまでの標準化作業が盛んであった。2018 年 3 月に筆者からも「オフショア石油・ガス生産活動の標準化アプローチに関する基礎的調査」で American Bureau of shipping: ABS が中心となって進めた JIP 標準化作業の詳細、並びに国際石油ガス生産者協会（International Association of Oil and Gas Producers: IOGP）がダボス会議で知られ

る World Economic Forum : WEF の資金支援を受けて進めた JIP-33 Standardization of equipment and packages について紹介している。

このような標準化作業に関連する JIP は、2018 年には洋上施設の延命（Life extension）や異常気象に伴う高波高によるトップサイドの破壊に対応するものなどが多く、2019 年以降はデジタルトランスフォーメーション（DX）に関連するものが急速に増え始めた。

1.4.4 一般的な JIP と DeepStar の違い

JIP は上述のように、通常は固定のプラットフォームを持たず、共通の関心を持つ者が集まって自発的に形成されることが多い。他方 DeepStar は JIP の一形態であるが、シェブロン、エクソンモービル、ロイヤルダッチ・シェル等の石油オペレーターが、特定のプラットフォームを持ち、そのプラットフォームの中で技術開発プロジェクトを形成し、進捗を管理するところが異なる。

1.4.5 DeepStar の成り立ちと今日まで

1991 年に設立された DeepStar の最初の取組は米国メキシコ湾の FPSO の安全要件を産業規格として策定する事であった。これについては、Peter Lovie 氏が書いた「Why Only Two FPSOs in U.S. Gulf of Mexico?: The Late Start and Twenty Year Saga」に詳述されている。

DeepStar は当初設立の中心的役割を果たしたテキサコ社のロゴであるローンスタールをモチーフに、ヒトデとセミサブマージブル リグを重ねたロゴが用いられている。



2001 年にテキサコ社はシェブロン社に吸収合併され、一時はシェブロン・テキサコ社の社名が使われたが、2005 年にシェブロンに社名が変更され、現在テキサコはガソリン等燃料の小売りブランドとしてのみ存在している。これに伴い、DeepStar の管理部門は長らくシェブロンが引き受けており、DeepStar の Director や資金管理や会議開催のスタッフは、シェブロンの職員が兼任し、法務部門はシェブロン社の法務部門がこれを兼ねていた。

このような事情もあり、DeepStar はテキサコ及びシェブロンが主導してきた経緯がある。さらに、DeepStar においては、その意思決定に際して Director が絶対的権限を持っており、コンセンサスが得られなければ、Director が決定することができた。当然ながら個々の技術開発や産業標準策定のプロジェクトも、シェブロンの好みに偏りがちであったという指摘もあり、2014 年に、原油価格の急落で石油上流企業もコスト削減の影響が及んだ際には、開発コスト削減の観点からいくつかの石油生産オペレーターが DeepStar から撤退した。

2017 年に Director に着任した Shak 氏は、DeepStar の制度及び組織の改革に着手した。まず、制度面については、年会費を下げたことで多くの企業の参加を容易にし、その会費をベースにプラットフォームとしての DeepStar の運営費を捻出する。その残額の範囲内で毎年 10 程のプロジェクトがコアプロジェクトとして実施される。

さらに、このコアプロジェクトよりも緊急性や優先度が高く、コストも高いプロジェクトとしてサテライトプロジェクトと呼ばれる特別なプロジェクトを位置づけ、これらは関心のある石油オペレーターが上限無く費用負担するが、個々のサテライトプロジェクトに参加する企業以外には情報は共有されない仕組みである。またコアプロジェクトとして提案が採用された場合は、提案者のメーカー等のサービスカンパニーは **DeepStar** のアソシエートメンバーになることが求められる。

つまり、プロジェクトはコアプロジェクトおよびサテライトプロジェクトの二段階方式になり、プロジェクトの財源の集め方も二段階方式になった。2019 年以降は、これに日本財団・ **DeepStar** の特別プログラムに基づき、日本のメーカーやエンジニアリング企業のみが参加できる仕組みが導入されることになる。かつ、日本企業はアソシエートメンバーとしての加入は、年会費が 150 万円と高額であることもあり免除されることになったが、コアプロジェクトの選考プロセスに係る会議に出席し、オペレーターのニーズを広く聞くチャンスや **DeepStar** のアソシエートメンバーとして名を売るチャンスは失われてしまう。

さらに、組織についても従来はシェブロンがボランタリーで費用負担していたが、これにより公平性に偏りが出ていたことから、管理部門及び法務部門は、**Offshore Operators Committee: OOC** という NPO にアウトソーシングしてしまった。事務所も **Director** はシェブロン社内に居るが、管理部門はアナダルコ社（現 オキシデンタル社）のビルに間借りしている。

1.4.6 **DeepStar** のプロジェクトの採用及び進捗管理

プロジェクトの採用プロセスは、油田サービス提供企業、エンジニアリング企業、メーカー等のサービスカンパニーによる提案応募から始まる。毎年 5 月 20 日前後に 100 近い応募があり、応募様式は **One pager** と呼ばれる一枚紙のみが受け付けられる。これは日本財団と **DeepStar** のプログラムでも採用されている方法である。

これらの応募企業は、次に **DeepStar** のサブコミッティーでメンバーのオペレーター企業に対しプレゼンテーションの機会が与えられる。このうちオペレーター企業が支援者（**DeepStar** ではチャンピオンと呼ばれる）になることを表明したプロジェクトがショートリストとして絞り込まれる。さらにショートリストに残った提案は、サブコミッティーで詳細の質疑応答のプロセスに進み、よりオペレーターのニーズに整合するようプロジェクト案の明確化やスコープ及び予算額の変更が行われ、**One Pager** の修正がオペレーターから提案される。このプロセスの後、オペレーター企業による投票が行われ、得票数の大きいものから順に予算枠の範囲で採用されることになる。

次に採用されたプロジェクトは、**DeepStar** の管理部門の外注先である **OOC** と契約を結び、最初の **DeepStar** メンバーでチャンピオン企業となったオペレーターとの会議がおこなわれる。この際にプロジェクトのスケジュールや開発内容、試験の実施方法等について打ち合わせが行われる。このような会議はプロジェクト毎に毎月少なくとも一回は実施され、提案者かつプロジェクトの実施者たるサービスカンパニーから進捗状況の報告及びプロジェクト推進のために解決すべき課題などが提示される。オペレーター企業からもそれぞれの分野の専門家が参加しているので、サービスカンパニーが課題に解決策を見つけ

るために必要な高度な知見や助言が与えられる。

DeepStar は予算年度が 5 月から 4 月末にかけてなので、2 月からは最終報告書作成に向けての作業に入るが、多くのプロジェクトは 12 月には最終化を見据えた調整に入っており、最終報告書はその進捗を盛り込むことになる。

最終報告書のうち秀逸な成果を導いたものは、ヒューストンで毎年開催される Offshore Technology Conference: OTC の翌年のカンファレンスで論文発表の打診を受ける。OTC における論文発表も、14 の学会のいずれかの審査及び選考が 8 倍以上の倍率になる年もあるが、DeepStar のプロジェクトは優先的に採用されるケースが多いと聞く。さらに、同時期に DeepStar が主催する Technology Conference において発表の機会を得ることもできる。

1.5 なぜ DeepStar なのか

この疑問は、民間企業や団体からよく聞かれる。しかしながら、日本財団が DeepStar との関係構築を進めるうえで、日本財団とは一度の電話会議で直ぐに以下の認識を共有していおり、そこに疑問の余地はないことが直ぐに共有できた。

- (1) 石油ガスの生産オペレーター企業と共同技術開発した結果は、石油企業の現場に採用される可能性が極めて高い。
- (2) 石油ガスの生産オペレーター企業の技術担当と日本企業の技術担当が直接対話できる機会が得られる。これを通じて石油ガスの生産オペレーター企業のニーズを直接聞き取ることが可能になる。
- (3) DeepStar に参画する各石油ガスの生産オペレーター企業の代表者が、各社の担当に繋いでくれるので、一つ一つの技術・製品を個々の石油ガスの生産オペレーター企業に紹介する手間が省くことが可能になる。
- (4) 上記を通じて共同技術開発の結果をまとめた論文は、Offshore Technology Conference (OTC) 等でプレゼンをするための審査を通過しやすくなる。
- (5) 上記を通じて日本企業側にとっては、石油ガスの生産オペレーター企業に人脈を形成することが可能になる。
- (6) 上記を通じて日本企業側にとっては石油ガスの生産オペレーター企業と相対して仕事ができる人材を育成することが可能になる。

すなわち、上記 1.1 節に挙げた全ての課題への解決策が、DeepStar との共同プログラムであり、その枠組みで形成されるプロジェクトという訳である。

とりわけ、DeepStar は基本的に石油ガスの開発・生産オペレーターのコンソーシアムであり、海洋石油ガスに力を入れているオイルメジャーのうち、主要なシェブロン (米 Chevron)、エクソンモービル (米 ExxonMobil)、ロイヤル ダッチ シェル (蘭 Shell)、トタル (仏 Total) が参画しており、参画していないのはコノコフィリップス (米 ConocoPhillips)、BP (英) のみである。

またペトロbras (伯 Petrobras)、エクイノール (諾 Equinor 2019 年に Statoil から名称変更)、オクシデンタル (米 Occidental 2019 年に Anadarko を買収したことによ

る)に加え、エネオス(日 JX として登録)が 2017 年度中にメンバーとして参画した。これだけの石油ガスの生産オペレーター企業が参画していれば十分であろう。また、DeepStar は 1991 年に設立され、FPSO の技術基準を作るなど、単に技術開発だけでなく、ルール作りにも貢献してきた実績がある。

1.6 日本財団と DeepStar の海洋石油ガスの技術開発に関する協力覚書

覚書調印式までには、この手の調整につきものの困難はそれなりにあったが、晴れて 2018 年 5 月 1 日に日本財団の笹川会長もご臨席の下で日本財団海野常務と DeepStar Shak 氏による日本財団と DeepStar の海洋石油ガスの技術開発に関する協力覚書の調印式が行われた。

覚書の内容は日本企業と世界の石油ガス生産企業が直接パートナーシップ組んで技術開発を実施する際に、4 年間で総額\$10million(約 11 億円相当)の支援金を日本財団が提供するもので、その代わりに DeepStar は会員企業の石油ガスオペレーターと日本企業による技術開発をその知見とアイデアにより支援するというものである。

より詳細には、日本財団は技術開発プロジェクトの第一段階目(1st Phase)の一年間で、当該プロジェクトを実施する日本企業に対して 2,000 万円を上限に、8 割を技術開発補助する。その後 DeepStar 会員の石油ガスオペレーター企業が最終化に期待が持てるプロジェクトを選び、二年間にわたる第二段階(2nd Phase)のプロジェクトとして、日本財団からは当該プロジェクトを実施する日本企業に対して 1 億円を上限に、8 割を技術開発補助する。

全てのプロジェクトの選出は、まずは DeepStar 側で石油ガスオペレーター企業による投票によって選ばれたものを、日本財団によって承認を受ける形で進められる。調印式の模様はテレビ東京の取材もあり、後にワールドビジネスサテライトでも放送されたので、ご覧になった方も多いと思う。

1.7 具体的なプロジェクト作り

日本財団と DeepStar の海洋石油ガスの技術開発に関する協力覚書の調印式が終わった次の段階は、具体的なプロジェクト作りが大きな課題である。2017 年 10 月に Shak 氏訪日時及び 2018 年 5 月の覚書調印式後も Shak 氏への売込みを希望する日本企業との面談で、日本側の製品・技術の概要は把握できていた。後はこれらをどうやって石油ガスの生産オペレーター企業のニーズにマッチングさせるかである。

1.7.1 DeepStar のプロジェクト選考プロセスから学んだこと

調印式後は、前述した DeepStar のコアプロジェクトの通常選考プロセスが夏の終わりまで開催される。第一段階は、米国内外のサービス企業からの 100 程度ある提案を 50 程度のショートリストに絞り込むプロセスであり、各提案をサービス企業がプレゼンテーションで説明し、質疑応答が行われる。

提案された全てのプロジェクト案についてこのプロセスが終わると、DeepStar メンバーの生産オペレーターが支援者(チャンピオン)になるかどうかで、絞り込みが行われる。50 ほどの提案に絞り込まれると、もう一度提案者と DeepStar メンバーの石油ガスの生

産オペレーター企業の間で質疑応答が繰り返される。この後、投票による最終選考で、予算の枠内で得票数が高いものから順に 10 程度のプロジェクトが選ばれる。

このプロセスに参加できたことは、後に日本財団と DeepStar の共同技術開発プログラムで、日本企業の選考プロセスを決める際に大いに参考になった。また、日本企業が具体的なプロジェクトを提案する際の支援を行う上で大いに役に立ったと同時に、海外の大手企業でも必ずしもプレゼンテーションが上手いわけではないということを知ることができたという点では自信にもつながった。

上記のショートリストから漏れたプロジェクトは、石油ガスの生産オペレーター企業のニーズとマッチングしていない提案が多く、実現可能性に疑問の余地がある提案も見受けられる。プレゼンテーションが圧倒的に下手で、そもそも何を提案したいのか、資料を見ても説明を聞いていて分からないようなケースもある。

これは Shak 訪日の際のプレゼンテーションでも見受けられたことで、日本企業から DeepStar メンバーの油ガスの生産オペレーター企業に説明を行う際には、できるだけ事前に筆者が資料作成と説明方法をできるだけ指導することにした。

1.7.2 DeepStar と日本企業のミーティングに向けた準備

2018 年 10 月に再度 Shak 氏が訪日し、改めて日本財団と DeepStar の共同技術開発プログラムに応募することを希望する日本企業との面談が持たれることになった。さらに Shak のシェブロンにおける上司であり、同社の技術部門では CTO に次ぐポジションにある John O'Brien 氏も同席し、助言を得られることになった。

1.7.3 DeepStar のコアプロジェクト ショートリスト

Shak 氏の訪日に先駆けて、事前に日本財団には DeepStar の 50 ほどのコアプロジェクトからなるショートリストを Shak 氏から送ってもらい、日本財団の HP に掲載してもらったほか、関心のある日本企業には送付もしてもらった。このリストは石油ガスの生産オペレーター企業の最新ニーズの概要を示すことは言うまでもない。

DeepStar のショートリストに残った 51 のプロジェクト（略語のみ注記付記）

- Drilling, Completion & Intervention

- (1) Dissolvable Barrier For Deep-Water ERD Wells - Casing & Liner Deployment Abetted by Buoyancy of Trapped Air Column (ERD: Extended Reach Drilling: 大偏距掘削)
- (2) Dissolvable Used for Downhole Actuation in Limited Entry Liner Nozzles Eliminating the Need for Sleeves or Intervention
- (3) Downhole Early Kick Detection Sensor Qualification
- (4) Electrical BOP, ESP Monitoring & Control System (BOP: Blowout Preventor: 防噴装置、ESP: Electrical Submersible Pump: 電動サブマージブルポンプ)
- (5) Modular Stress Joint for HPHT Subsea Well Intervention (HPHT: High Pressure High Temperature: 高压高温)
- (6) Top hole drilling system for LWI Vessels (LWI: Light Well Intervention)

(7) Tracer Impregnated Dissolvable Solids for Controlled & Bulk Release
Machinable Into Downhole tools for Sensing and Characterization

● Flow Assurance

- (1) Characterization of Wax Diffusion in Waxy Gel Deposits
- (2) Developing Hydrate Management Strategies for Processes and Conditions Involving Joule-Thomson Cooling
- (3) DRA qualification for turbulent multiphase flow (DRA: Duan–Rach approach: 粘弾性流体の流速と表面摩擦係数の分析手法の一つ)
- (4) Effect of Corrosion Inhibitors on Gas Hydrate Agglomeration in Lab to Industrial Scale Tests
- (5) Gas Hydrate Plug Remediation & A Safety Simulator
- (6) Hydrate Agglomeration from High Salinity Brines
- (7) Hydrate Formation and Transportability in CO₂-rich and N₂-rich Systems
- (8) Hydrate Formation and Transportation During Cold Restart in an Industrial-Scale Riser
- (9) Hydrate Plug Safety Simulator as Plugin into OLGA (OLGA: Dynamic Multiphase Flow Simulator の名称)
- (10) Machine Learning for Hydrates & Other Flow Assurance Solids
- (11) Numerical Modeling of Viscous Heavy Oil for Subsea Tie-back Concept with Active Heating
- (12) Optimizing Crude Oil Natural Hydrate Anti-Agglomeration at SS & Transient Operating Conditions in Lab to Large-scale Flow loop Tests
- (13) Wax Deposition in Gas Dominated Systems
- (14) Transient Hydrate Deposition Risk in Gas Dominated Systems

● Subsea Systems Engineering

- (1) Subsea Leak Detection with AUV (AUV: Autonomous Underwater Vehicle: 自立型無人潜水機)
- (2) 3D printing State-of-the-Art
- (3) Analysis of Reliability and Availability of Electro-Hydraulic actuation System vs All Electric Actuation System for Subsea Production Architecture
- (4) Autonomous navigation using sensor inputs - adaptive behavior
- (5) AUV Collision De-Risking via Simulation
- (6) Bundling of Reelable Products (Umbilical, Flex Pipe, TCP) For Tow Installation (TCP: Thermoplastic Composite Pipe: 熱可塑性複合材パイプ)
- (7) Business Case envelope for Subsea inspection vehicles
- (8) Efficient dewatering methods for deep water pipelines
- (9) Field development down to 4000 meters
- (10) Improving VIV Design to Reduce Cost of Long-Distance Umbilical (VIV:

Vortex Induced Vibration: 渦励起振動)

- (11) Low-cost acoustic subsea network solution SOTA and Conceptual Study (SOTA: State Of The Art: 最先端)
- (12) Lowering with Synthetic Slings and Cranes
- (13) Seabed-induced slugging hazards on subsea pipelines (Modelling, Monitoring and Mitigation-3M)
- (14) SOTA pipeline strain sensors for lateral buckling and fatigue tracking for riser life extension
- (15) Welding of High-Strength Steel Pipe
- (16) NOV Subsea Chemical Storage and Injection System (NOV: National Oilwell Varco 社)
- (17) Buried Flowline Monitoring and Inspection
- (18) Identification of fiber optics and wireless sensor technologies for flow assurance
- (19) management and leak detection in flowlines
- (20) Subsea Chemical Storage and Injection Systems LOPA (LOPA: Layer of Protection Analysis : 米国化学工業協会 (AIChE) が設立した化学プロセス安全センター (CCPS) が考案した化学分野のリスク分析手法)

● Floating Systems & Met Ocean

- (1) Accurate and Reliable Real-time Surface Current Measurements from Fixed and Floating Facilities Supplement Request
- (2) Development of Unmanned Offshore Floating Facilities
- (3) Fiber Rope for Top & Mudline Mooring Line Segments
- (4) FPSO Turret System Components
- (5) Improved Decision Making for Hurricane Evasion
- (6) Improving Mooring Integrity through Standardized Inspection and Fit-For-Service Assessment
- (7) Riser Integrity Management / Life Extension
- (8) Roadmap to Unmanned Floating Facilities
- (9) Unmanned Floating Facility - Design & Analysis
- (10) Variable Grid Method for Improved Decision Making

1.7.4 DeepStar 及びシェブロン社と日本企業のミーティング

2018 年 10 月の Shak 氏と O'Brien 氏に対するプレゼンは日本財団の会議室で行われ、初見のものも含め 8 社から 9 つの提案があった。

うち一社については Shak 氏と O'Brien 氏が同社の工場を訪問して実機の確認、同社の技術者との直接意見交換が行われ、より迅速にプロジェクトを進める必要があることから、日本財団のプログラムとは別のスキームで進められることが O'Brien 氏から提案され、実際にそのようになった。これに係る契約方式及び知財の取扱いについても議論が行

われ日本側企業の問題意識を解決する方策が O'Brien 氏から示された。これが後々の日本財団と DeepStar プログラムの個々のプロジェクトのひな型となっている。

特に筆者にとっても初見の提案が 2 件あった。そのうち、ある企業の提案一件については、より実現可能性についての精査が必要とされ、シェブロン研究者の Benjamin 氏がサンフランシスコから日本に派遣され、工場も訪問してより詳細を確認することになった。

Benjamin 氏とはヒューストンで一度打ち合わせを行い、早速翌月の 11 月に実際に同社を訪問してもらったほか、別の日本企業の提案についても迅速に開発を進める観点から訪問してもらい、後日 Benjamin 氏と O'Brien 氏と協議して進め方を確認した。ちなみに、後者の日本企業の提案は、DeepStar の選考プロセスで最も多くの支持を集めたプロジェクトである。残念ながら、前者のプロジェクトは提案企業の都合により提案書を出さないこととなったが、同社の提案は 2017 年時点ではよりシンプルで、実現可能性も高かったため、そのままオリジナルの提案で提出されなかったことが悔やまれる。このため、某商社の方をお願いして、引き続き FPSO のデッキ上での検証実施をやってもらうことにした。

1.7.5 プロジェクトの承認と公表まで

さらに、Shak 氏と O'Brien 氏が離日後、複数の日本企業から筆者宛に面談希望があり、これら企業からの提案も含めると 15 の提案が集まった。

その後、日本財団に対して正式な提案書を提出することになるが、いくつかの企業は、個別の事情等もあり提出を断念したケースがある。また、提案書を提出はしたものの、ニーズとマッチしないという助言を無視したために落選したケースもあり、結果として 10 件のプロジェクトに DeepStar メンバー企業が支援企業（チャンピオン）として名乗りを上げ、その全てが投票でも一定の票を核とした。これらは DeepStar としての選考結果として日本財団に送られ、2019 年 4 月に日本財団の正式な承認を受け、同年 5 月に DeepStar のテクノロジーシンポジウムで海野常務から公表された。

以下が、2019 年度プロジェクトとして承認され、公表されたプロジェクト一覧である。

No./案件概要/日本企業/支援企業

1. 自律型潜水ロボットの海洋石油分野への実用/川崎重工業（株）／Total、Shell

AUV を用いて生産設備周辺のフローライン及びタイバック用のパイプライン検査を行うため、UT 等の検査装置を収納するユニットがパイプを追随するシステムの構築。従来はパイプライン内を圧送されるピグと呼ばれる装置に代わるものとして期待される。

しかしながら、漁具や船舶の錨との干渉をさけるため、埋設されたり、コンクリートマットで保護されたパイプライン、又はコンクリート、カソードック・アノードが巻き付けられたパイプの検査を行う方法の検討がビジネス化のカギ。

2. 海底での光通信無線技術の開発／（株）島津製作所/Shell、Chevron、Total

水中では通信装置として電波が使えないため、無線で大容量の映像データを伝送するためには光通信が唯一のソリューションであるが、他社の技術では伝達距離も容量も十分ではなかった。特に ROV を無線化することについては、オペレーターの強い要望があり、本技術の確立は必要不可欠。なお ROV の無線化の課題は、光通信は伝達距離が短いため、中継点の設置や、大容量通信を必要としない ROV の操縦信号などについては、音響通信を用いる事も要検討。

3. 海底ケーブル用の新型スチールの開発／日本製鉄（株）Total、Chevron

アンビリアルケーブルの内部で、ケミカルの輸送、油圧伝達に用いられるスチール管は、より細く軽く、かつ耐久性のあるものが求められており、このようなニーズに対応するスチール管の開発。

4. 天然ガス中の CO₂ 等、高濃度酸性ガスの処理プロセス開発／日揮（株）／Petrobras、Shell、JX 石油開発（株）、Chevron

世界各地の原油生産フィールドの中には、随伴ガスとして産出される天然ガス中に二酸化炭素や硫化水素を 60%以上含むケースがある。これら酸性ガスをパイプラインで陸上施設まで輸送することはパイプラインの容量の観点からは無駄であり、パイプの腐食を加速させる原因にもなる。このような酸性ガスの除去に、多孔質のゼオライトメンブレンを利用し、分子レベルでふるいにかけて、除去した酸性ガスは油井に再注入するもの。

5. 海洋油田の生産効率を向上させるための添加剤の開発／日産化学、Woodside、、Chevron

油層内の岩石や砂には、原油中のアスファルテンが付着して流動性が悪くなり、原油の生産に悪影響を及ぼすことがある。ナノレベルの粒子のブラウン運動を利用して、付着したアスファルテンを除去する技術の開発・検証を行うもの。

6. 海洋油田での長期防食が可能な新型塗料の開発／（株）日本ペイントマリン／Anadarko、Woodside、Chevron、Shell

浮体式海洋構造物のバラスタタンの塗装に際しては、所定の膜厚（250-500 μm）を保つことが、長期にわたり膜を健全に保つうえで最重要であるが、このような範囲で膜厚を維持するように塗装することは非常に難しいという課題がある。塗装時に膜厚に応じて下地塗装の色の透過具合が変化する塗料は、そのような課題の解決策として、船舶塗装としての実績がある。これを浮体式海洋構造物に応用するための検証プロジェクト。

7. 水中での非接触型給電システムの開発/日本電気（株）／Total、Chevron、Shell

AUV 等の水中ロボットの運用に際し、充電のために海底に帰還する基地を備える場合、防錆等の観点からは、非接触型の給電システムが望ましく、さらに短時間での充電を実現するための開発及び検証。

8. 新型海底ポンプによる海底原油採取の最適化／三菱重工業（株）／Equinor、Chevron、Shell

海洋石油ガスの生産坑井内にある油水又はハイドレートを生産施設まで上げるには、時に電動ポンプを坑井内に設置する必要がある。このようなポンプは小型で大出力が求められるほか、電源ケーブルが流体によって離脱しないよう特別な接続が求められる。このようなポンプシステム全体の開発。

9. 海洋石油・ガス生産施設における故障予想モデルの開発／三菱重工業（株）／Anadarko、Total、Chevron

海洋石油・ガス生産施設においては、フローライン用のパイプ中をガス、油（炭化水素）、水、砂・泥等の4層の流体が流れるため、数値流体としての計算が難しく、かつ腐食防止の観点からは数値流体シミュレーションによる故障予想モデルの開発が求められている。このようなニーズに資する故障予想モデルの開発及び検証。

10. 海洋石油開発にかかるパイプラインのつまりや腐食を防止するための添加剤注入新技術の開発／横河電機／Shell、Chevron

海底に設置されるパイプライン中には、ハイドレート、アスファルテン、パラフィン、スケール等の塊が形成され、パイプライン中の天然ガスや原油の流れを阻害する。これらを取り除くために化学薬品を注入するのがフローアシュアランスと呼ばれる作業であるが、他方で、過剰な化学薬品の注入はコストの増加を招くため、過不足なく注入するために、形成された塊を正しく把握し、適正な注入を行うためのシステム開発。

1.7.6 プロジェクトのサポート

2019年度プロジェクトに関して日本企業を支援していて気付いたことがいくつかあるので、列記する。

(1) 契約内容の不必要なこだわり

OOCとプロジェクトを進める上で契約に全般的に時間が掛かった。これは海外企業との契約の不慣れからくるもので、個々に契約上の課題をDeepStar事務局に問い合わせなかったことも一因である。

特に知財（Intellectual Property：IP）の扱いについては、DeepStarメンバー側がIPについてはその権利を放棄すると明言しているにも関わらず、契約書中に報告書をDeepStarと共有することが明記されていることから、IPの権利を求められていると勘違いして契約に躊躇するケースが多くあった。これは、報告書中にIPに関連する内容を記載しないことで解決する。報告書に求められることは、企業が開発した製品・技術が、オペレーター企業が求める機能・性能を十分に発揮したかどうか検証できる試験データであり、製品・技術の詳細ではない。

さらに驚いたのは、オイルメジャーの企業を相手に、紛争解決は日本の裁判所で行うという一文を挿入したいという企業が一つあったことである。

(2) 英語でのオンラインミーティング経験不足

英語でのミーティングについては、慣れている企業とそうでない企業の差が際立った。プレゼンテーションは何とか読み上げ原稿を準備して対応できても、質疑応答になると筆者が通訳を務めなければならないケース企業が 2 社あった。また、想定される質疑の内容であるにもかかわらず、回答が準備できていないケースもあった。

コロナ禍の前で、オンライン会議に慣れていない企業も多く、会社のパソコンがシステムに対応できないケースもあり、なかなか参加できない事例も散見された。

最も驚いたのは、会議開始時刻になっても誰も参加しない企業があったことである。これから顧客になるかもしれない相手とのミーティングをすっぽかすというのは、もはや理解の範囲外である。

(3) プロジェクトマネジメントの不備

コロナ禍でプロジェクトが遅れたのは仕方ない。しかし、それまでの進捗に企業間の差が大いに表れた。

本プロジェクトを通じて、プロジェクトの工程管理や報告内容で見せることは、実績のない日本企業が信頼を得る唯一の機会である。このことは再三注意喚起し、プロジェクトによっては事前準備もかなりやったにもかかわらず、実際にはこれらの点をアピールできない日本企業が数社あったのは極めて残念である。

上手くいっている企業であっても、属人的に上手くいっていることが伺える事例もあった。

DeepStar のボードメンバーは、そのほとんどがプロジェクトマネジメント経験者であり、どの企業は誰がしっかりしているから、プロジェクトが上手くいっているという話がいつも話題になる。彼らの観察眼は流石と思うことが多々あったと同時に、日本企業の実態が見透かされている危機感も覚えた。

今後、本気でグローバル企業を顧客にする上で、日本企業が抱える課題でもある。

1.7.7 2020 年プロジェクトの形成に際して

2019 年プロジェクトと比較して、DeepStar 側からの注文が増えた。これは日本企業のポテンシャルに、より大きな期待が寄せられたことだと理解している。

特に、米国のスタートアップ企業との連携についての要請が相次いだ。日本ではベンチャー企業と呼ばれ、技術力や信頼性において疑問符が付くことが多いが、DeepStar から紹介されたスタートアップ企業のうち、特に印象に残るのは、大手の油田サービス企業を引退した方々が個々に設立した企業の集合体で、社員全てが PhD を取得しており、社長、開発・研究者、営業を兼ねている。本当に驚くほど小さな事務所と研究施設であるが、彼らが持つ知識やアイデア、実際に事業としている素材開発、実験やデータの整理は大企業にも引けを取らないと思う。もちろん、生産オペレーターのみが顧客ではなく、NASA や米国空軍、メディカルセンターなど、彼らが開発した素材の顧客は幅広い。

彼らと共同開発することになった日本側企業も極めて素晴らしく、強い期待が寄せられるプロジェクトになっている。特に一社について特筆すべきは、プロジェクトの担当者の方が、油田サービス企業で経験を積まれた方であり、上記のスタートアップ企業の一人

やシェルの DeepStar ボードメンバーとは知己の間柄であり、彼らから大きな信頼を寄せられていたことである。

こういう方がプロジェクトへの参画を通じて、若い海洋開発の人材育成に貢献されることが大いに期待される。

1.8 今後の日本財団-DeepStar 共同プログラムの発展について

2020 年プロジェクトのうち、特に選ばれたプロジェクトが 2021 年のフェーズ 2 プロジェクトとして承認される予定である。これで一旦、従来の日本財団-DeepStar 共同プログラムは終了する。

これまでのプロジェクトの主題は、海洋石油ガスの生産に際し、より高い生産性を目指すこと、既存設備の延命措置も含め全体コストを下げることであった。前者はより深く掘り生産する設備を開発し、より広域にわたってサブシーの生産設備を共有化することであった。

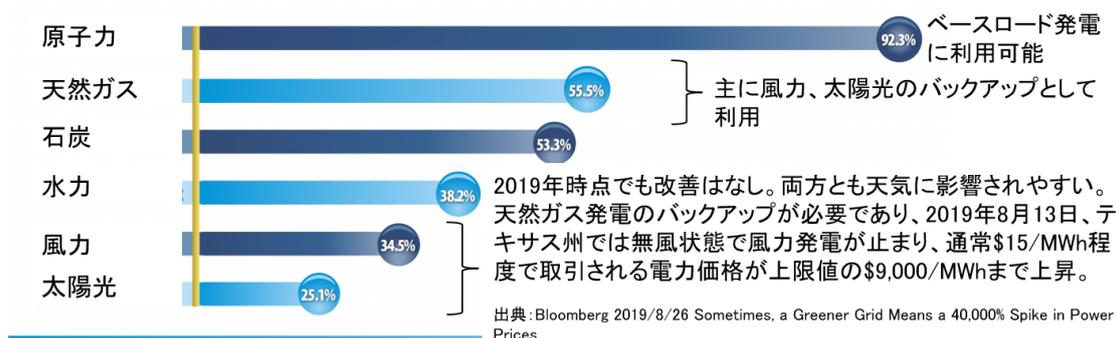
2020 年の年明け、日本財団からは新たに海洋開発のグリーン化をテーマにしたプログラムを検討するよう指示があった。これは時宜を得たものであるし、日本の製造業の強みを活かせる分野でもある。

課題は海洋石油ガスと切り離して再生可能エネルギーに特化するため、DeepStar とは別のパートナーを探すかどうかであった。

他方、再生可能エネルギーに関し、米国の風力発電、太陽光発電の設置は日本に比べはるかに進んでおり、2019 年末にはそれぞれネットで 295,882GW、68,719GW（出典：Electric Power Monthly - U.S. Energy Information Administration (EIA)）に及び、日本の 4.2GW、55.8GW（出典：経済産業省）は、はるかに及ばない。また、2019 年末で米国内の洋上風力は 1 基も設置されておらず、東海岸を中心とするプロジェクトはデンマークのオーステッド（Ørsted）社を中心とする欧州企業に席卷されている。従って、日本の技術を売り込むチャンスは乏しい、むしろ石油ガス業界に日本の再生可能エネルギーの実力を売り込む機会を狙うことの方が、意義があると判断した。

もう一点は、風力や太陽光発電は天候の影響を受けやすく、それ単独では安定な電力供給は難しいという特性がある。例えば風力は米国における設備利用率（Capacity Factor）は平均で 35%程度、太陽光は 28%程度である。設備利用率は、例えば発電力が 1MW の風力発電装置が 100 時間発電を続けた際に、1MW の発電を連続的に発電できれば発電量は 100MWh になるが、実際には天候による風の強弱があり 35MWh 程度の発電量にしかならないということである。しかも、日本の 1.6 倍の面積を誇るテキサス州においてすら全域で風力発電が停止することがある。これをバックアップするのが火力発電であり、常時需要と供給量のバランスをとるため、立ち上がりの早いガスタービン発電が重要になってくる。

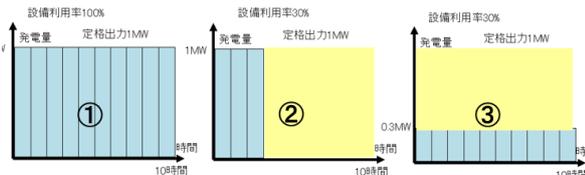
発電ソース別の設備利用率 2016年時点



設備容量について

定格出力1MWの風力発電設備が10時間運転を行う場合、天候により以下のような発電状況だったとする。

- ① 10時間連続で1MWを発電できた場合、設備利用率は100%
- ② 3時間連続で1MWを発電できたが、残り7時間は発電量が0.0MWの場合、設備利用率は30%
- ③ 10時間連続で0.3MWを発電できた場合、設備利用率は30%



もちろん二酸化炭素を排出しない原子力発電であれば、化石燃料による火力発電は不要になるが、福島第一原子力発電所の事故後、世界的に原子力発電を増やすことについて社会的な支持が得られる状況にはない。

このような事情から、化石燃料は当面必要とされると考えられるため、化石燃料の脱炭素化、すなわち天然ガスのメタンからブルー水素を生産し、副次的に生産される二酸化炭素は地中に封入する CCS などを、石油ガスの生産現場で同時に行う技術を導入することが、日本の技術の強みをさらに活かせる可能性がある。幸いにして、テキサス州では、石炭火力発電所から二酸化炭素を回収（最大で 4,750 t-CO₂/日）するプラントが、日本企業により製造・設置され運営されており、回収された二酸化炭素は石油増進回収法（Enhanced Oil Recovery: EOR）に使われている。また、先に説明したように、DeepStar のプロジェクトでも日本企業が参画して「天然ガス中の CO₂ 等、高濃度酸性ガスの処理プロセス開発」が進められており、応用が利く。

1.9 今後の日本財団-DeepStar 共同プログラムは環境をテーマに

こうした状況を踏まえ、半年近くかけて構想を練り、日本財団、DeepStar とのミーティングを経て、洋上石油ガス生産施設への再生エネルギー供給、高圧高温（HPHT）の油層内の熱を利用した地熱発電、洋上生産施設で天然ガスから水素を取り出し CO₂ を地層内に封入する設備の開発などを軸に、ロボットやドローンを利用した環境・安全技術なども念頭に新しい共同プログラムを立ち上げる方向で検討が進むことになった。

このような石油ガス産業のグリーン化は極めて新しい発想であり、再生可能エネルギーのキャパシティファクターの問題が解消し、従来の電力利用だけでなく、燃料生産のためにも十分に供給されるまでに、必要な技術であることから、引き続き DeepStar との間でプログラムが継続されることを期待する。

1.10 まとめ

以上に、日本企業が石油ガスの上流企業に対して、製品技術を売り込む仕組みとして日本財団と DeepStar の共同プログラムが出来た背景、経緯及びその具体的な運用について説明した。また、このプロジェクトを通じて、日本企業がグローバルな石油ガスの上流企業とビジネスをする上での課題も説明した。

海洋石油ガスの生産を拡大・効率化するという観点での日本財団と DeepStar の共同プログラムは 2020 年度の募集をもって終了する。もちろん日本財団からの支援は無くなるが、グローバルな石油ガスの上流企業海洋石油ガスの生産を拡大・効率化するための製品・技術を売り込むことを志す日本企業があるならば、DeepStar のコアプロジェクトに応募することをお勧めする。これが、最も有力な方法であり、テクニップ FMC やシュルンベルジェ、ベカーヒューズ、ハリバートンなどの実績ある企業も DeepStar のコアプロジェクトに対して応募をしている。

次に、環境面で技術を持つ日本企業でグローバルな石油ガスの上流企業に製品・技術を売り込むならば、現在検討中の日本財団と DeepStar の新たな共同プログラムへの応募をお勧めする。石油ガス分野のグリーン化という新しいビジネス分野であり、参入の機会も大きい。また、これまで日本財団と DeepStar のプログラムに参加して成果を上げた日本企業には、新たな参入を試みる日本企業を是非とも支援して頂きたい。

2 原油価格の動向について

石油ガス業界とのビジネスは、原油価格の動向に左右されることが多い。原油価格が大幅に下がれば、探査・掘削・生産のプロジェクトも停止又は延期されるし、技術開発コストにも影響する。さらには輸送、精製、小売りまでの中・下流のプロジェクトにも影響は波及する。また、石油ガス業界の多数の職員が解雇または自主的な退職勧告に従うことになり、このビジネスにかかわる日本企業にとっては、プロジェクトの仕切り直しのほかに、相手企業の担当が代わるなどの影響がある。

石油ガス業界とのビジネスには、原油価格変動についてのしっかりした理解が必要である。単に受給のバランスだけでなく、留意すべき要素が多々ある。本節では、市場で原油価格の大幅な変化が起きる要因について理解する手がかりとなりうる事項をまとめてみた。

2.1 新型コロナウイルス感染症と史上初の原油マイナス価格

2019年中国の武漢で発生した新型コロナ（SARS-COV-2）ウイルスによる感染症COVID-19は世界的に流行するパンデミックの様相を呈している。2020年2月には中国が天然ガスの需要低下を理由に、輸出者に対して供給契約上の不可抗力（Force Majeure）を申し出たが却下された。この直後は安定していた原油価格が、その2週間後から下がり始める。OPECの減産合意が上手く形成されなかった等の影響もあるが、2020年4月20日にWTI原油スポット価格及び期近限月の5月先物価格が、瞬間的にはバレルあたりマイナス40.32ドル終値は37.63ドルという値を付けた。

言うまでもないが、この価格は、原油を買ってくれるなら売り手が買い手に対して36.98ドル払いますということであり、通常の売買行為の逆のお金の流れが起きたということである。なぜこのような状況が発生したのかを順を追って解説する。

2.2 原油価格の分類

一般的に原油価格と言えば、米国のニューヨーク商業取引所（ニューヨークマーカンタイル取引所と呼ばれることもある（New York Mercantile Exchange: NYMEX）、欧州ではインターコンチネンタル取引所（Intercontinental Exchange: ICE）Futures Europe、アジアでは東京商品取引所（Tokyo Commodity Exchange: TOCOM）、ドバイ商業取引所（Dubai Mercantile Exchange: DME）等で取引される原油価格がベンチマークとして発信されている。

NYMEXは、かつての親会社NYMEX Holdings, Incが2008年8月22日に、シカゴ・マーカンタイル取引所の運営会社であるCME Group（CME）によって買収され、その傘下になったため、その取引に関するデータや規則等の情報はCME Groupが提供している。また、欧州の原油取引所であるICEは、2001年にロンドン国際石油取引所を買収した米国ジョージア州アトランタに本社を置く企業である。さらにDMEはドバイ・ホールディング（Dubai Holding）とNYMEXのジョイントベンチャー企業である。これら市場では原油はスポット取引及び先物取引の両方が行われている。

産地別で見ると、ウエスト・テキサス・インターミディエート（West Texas Intermediate :WTI）がNYMEXで主に取り扱われており、ブレント原油（Brent Crude）がICE Futures Europeで、オマーン原油（Oman Crude）がDMEで取り扱

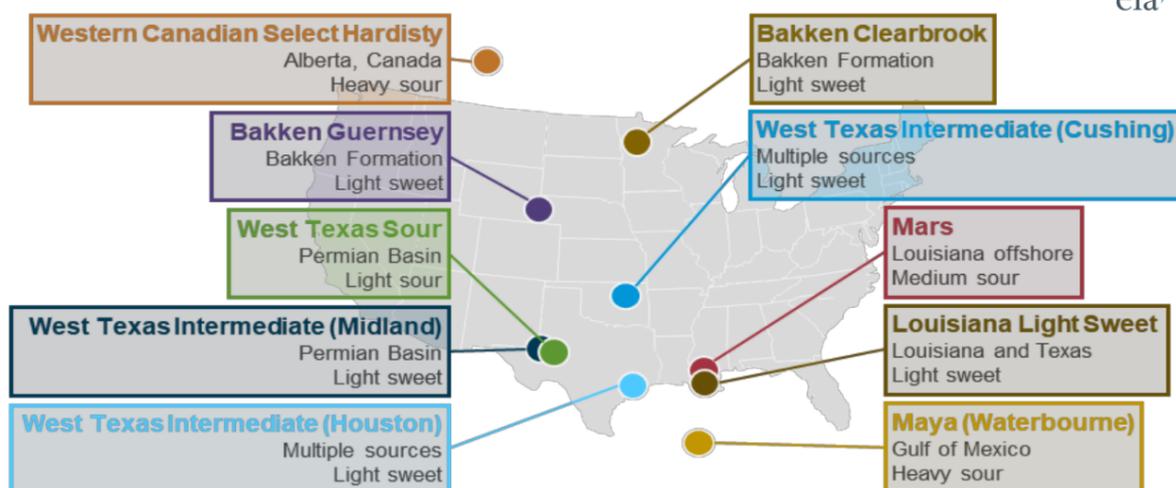
われている。

オマーン原油よりも生産量が少ない ドバイ原油 (Dubai Crude) は DME ではなく、S&P グローバル・プラッツ社 (S&P Global Platts) のプラッツ・ウィンドウというコンピュータ・システム上で業者間の相対取引が行われており、先物取引は無く、スポット取引のみである。そのスポット市場価格をもとにしてプラッツ社が発表するのがドバイ原油価格である。中東産原油への依存度が高いアジア市場では、ほぼ全量がスポット市場で取引されるドバイ原油及びオマーン原油の価格が中東産の原油価格のベンチマークになっている。

その他にも、グローバルには、OPEC Reference Basket、Tapis crude (マレーシア産)、Bonny Light (ナイジェリア産)、Urals oil (ロシア ウラル・ボルガ地域産)、Isthmus (メキシコ産)、Western Canadian Select (WCS) 等の指標がある。

さらに北米の原油価格だけについても、産地ごとに以下の様な分類がある。

Pricing locations of selected North American crude oils



Pricing locations of selected North American crude oils

出典：EIA

さらに、CME では、北米の原油について、産地に応じて以下のような指標を提供している。

LLS		MARS		Midland		WTS	
ARK	Argus LLS vs WTI 1st Line Future	ARO	Argus Mars vs WTI 1st Line Future	MLT	Argus WTI Midland vs WTI 1st Line Future	AFH	Argus WTS vs WTI 1st Line Future
ARP	ARGUS LLS VS WTI 1ST LINE BALMO FUTURE	ARW	Argus Mars vs WTI Trade Month Future	MSV	Argus WTI Midland vs WTI Trade Month Future	AVT	Argus WTS vs WTI Trade Month Future
ARL	Argus LLS vs WTI Trade Month Future	ARN	Argus Mars vs Brent 1st Line Future				
ARI	Argus LLS vs Brent 1st Line Future	ARM	Argus Mars Future				
ARH	Argus LLS Future						

Mid-continent Crude		Canadian Crude		Houston		Benchmark Crude	
CSH	Argus WCS (Cushing) Crude Oil Future	TMW	ICE WCS 1a Index Future	ACM	Argus WTI Houston vs WTI Trade month Future	BTD	WTI 1st Line vs Brent 1st Line Future
TMU	TMX UHC 1A Index Future	TDX	ICE WCS 1b Index Future	AIL	ARGUS WTI HOUSTON VS WTI 1ST LINE FUTURE	TAB	ASCI vs WTI 1st Line Future
		TMR	ICE SW 1a Index Future			R	WTI 1st Line Future
		TMS	ICE SYN 1a Index Future			I	Brent 1st Line Future
		TMF	ICE C5 1a Index Future				

出典：CME

2.3 WTI 原油価格について

2.3.1 WTI 原油価格の概要

本節では、ニューヨーク商業取引所で売買取引される Western Texas Intermediate (WTI) 原油先物価格のうち、現物引渡が行われる直近の月（期近限月）の先物価格について解説するものとし、現物引渡がその月の翌月以降の先物、スポット価格、さらにはブレント原油価格若しくは OPEC basket については、特に言及する必要がある場合のみ触れることとする。

同じく WTI には先物を売買の権利を取引するオプション取引価格もあるが詳述は省略する。

スポット契約は一か月以内に現物の引渡を受けるもので、先物のように一旦購入した期近の先物を売って期先の先物を買直すロールオーバーができない。またスポット価格と翌月の先物価格については、ほとんど価格差は無い。

WTI 原油価格のベンチマークとして使われる市場価格は、通常、期近限月の先物価格であるが、米国エネルギー情報局等が統計上使う WTI 原油価格は通常はスポット価格を指すので注意が必要である。

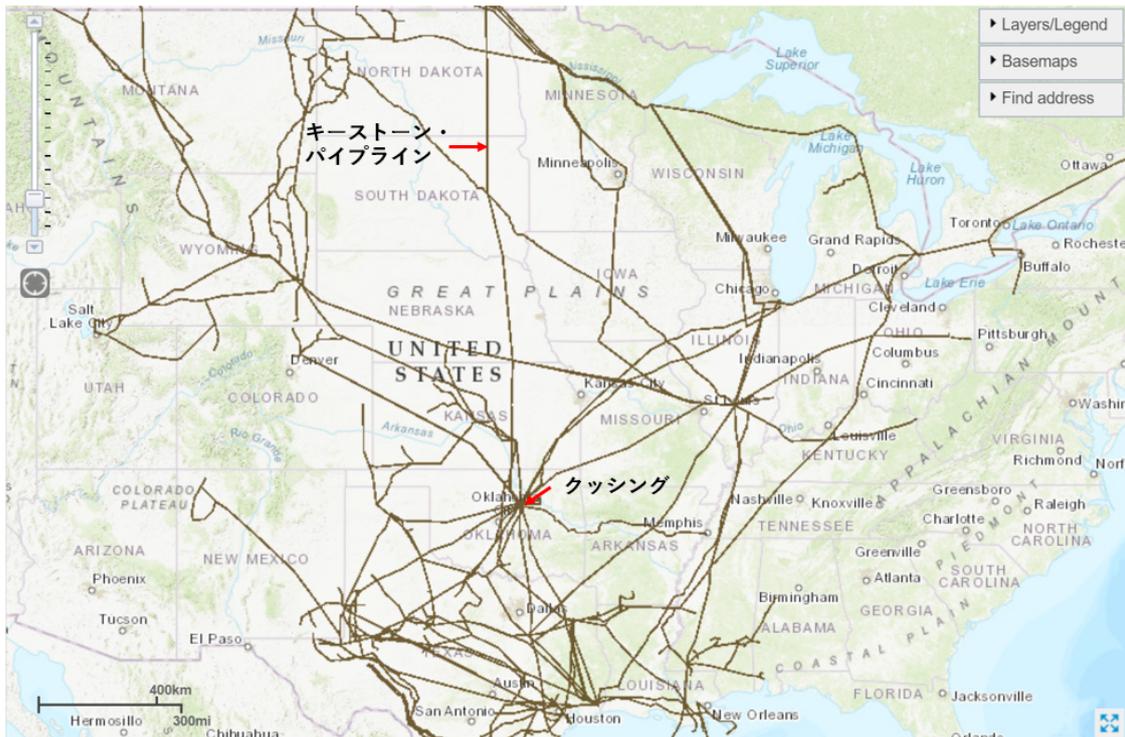


図-1 クッシングに集まる原油輸送パイプライン

出典：EIA/ Energy mapping system

WTI はシカゴ・マーカンタイル取引所の運営企業 CME Group (CME) が運営するニューヨーク商業取引所 (NYMEX) で取引される原油で、契約の決済はオクラホマ州クッシングで原油の現物引渡を受ける。クッシングで取引される原油の生産地はテキサス州、ニューメキシコ州、オクラホマ州を中心とする米国内のその他州に及び、2011 年に完成したキーストーン・パイプラインを通じて遠方はカナダからも集められている。



図-2 クッシングの貯蔵タンク

出典：Google マップ

WTI 原油として取り扱われる大部分の原油は軽質スイート原油（比重が軽く硫黄分が少ない）で、ガソリン、ナフサ、軽油等を多く抽出できるため高品質原油とされている。かつてはブレント原油よりも高価であったが、2010 年から 2011 年にかけて価格が逆転し、以降 WTI 原油価格の方が価格は低い。

2.3.2 WTI 原油先物取引について

WTI 原油先物という概念は広く、先物市場にある程度詳しくない方には馴染みがない用語が多いので、簡単に解説をする。

例えば報道でよく耳にするのは「今日の WTI 原油の 5 月先物価格は・・・」又は「5 月を期近限月とする WTI 原油の先物価格は・・・」のような言い方である。この 5 月先物はその直前の 4 月中盤までに売買取引・契約ができ、5 月中にクッシングで現物引渡を受ける先物を指している。

2.3.3 期近限月とその取引期間

直近の月に現物引渡を受ける先物のことを、期近限月（きちかげんげつ）の先物という。例えば 2020 年 5 月に WTI 原油の現物を受取る先物が、期近限月の先物になるのは、2020 年 4 月を期近限月とする先物売買取引期間が終了した翌日からの約一か月の間である。

期近限月の売買取引期間の最終日は、前月の 25 日より 3 営業日前の日である。また 25 日が営業日でない場合は 25 日の前営業日から 3 営業日前の直前日が最終日になる。

例えば、2020 年の 4 月を期近限月とする先物の売買取引は、2020 年 3 月 25 日（水）の 3 営業日前の 3 月 20 日（金）が最終日である。3 月 20 日（金）の取引終了時刻（米東部時間 5:00pm）以降は 4 月先物の売買取引はできない。

また 2020 年 5 月を期近限月とする先物の売買取引は、2020 年 4 月 25 日が土曜日なので、25 日の前営業日から 3 営業日前の 4 月 22 日（水）の直前日 4 月 21 日（火）が最終日になる。

なお、2020 年 5 月の WTI 原油先物が上場されたのは、2014 年 11 月 21 日であり、上場後から取引が可能になっていた。上場のタイミング等については以降に詳しく解説する。

2.3.4 限月及び各限月先物の上場

限月とは取引が満了を迎える月であり、その月末までに決済すなわち現物の受渡を行わなければならない。

NYMEX に上場されている先物は、当年とその先 10 年、さらにその先の連続する 2 ヶ月までの各月を限月とする先物である。例えば 2020 の 3 月時点では 2031 年の 2 月までの各月を限月とする先物が上場されており、これら全ての売買取引ができる。

また新たな上場のタイミングは、12 月限の取引終了日（(1) 参照）である。例えば 2020 年は 12 月限先物の売買取引最終日は 11 月 20 日であり、同日に 2031 年 3 月限から 2032 年 2 月限の先物が上場される。

なお、市場では期近限月の次月を 2 番限、続いて 3 番限と呼ぶ。

2.3.5 ティッカー・シンボル

NYMEX において、WTI 軽質スィート原油のティッカー・シンボルは CL である。また Bloomberg は期近限月を CL1、2 番限を CL2 と表示することがある。さらにティッカー・シンボルではないが、米国エネルギー情報局（EIA）は期近限月を Contract 1、同様に 2-4 番限を Contract2-4 と表示する。

2.3.6 取引時間

先物全般の取引時間は米東部時間の日曜日一金曜日：6:00 pm - 5:00 pm。清算値取引（清算価格及び清算価格から一定額を加減した価格での成立を事前に約する取引 TAS：Trade at Settlement）については米東部時間の日曜日一金曜日：6:00 pm - 2:30 pm。

2.3.7 終値

WTI 原油先物の取引時間は上述のとおりであるが、通常 WTI 原油先物の終値は、米東部時間の 2:28pm から 2:30pm の価格をベースに CME が計算する清算価格に同じ価格である。月・木曜日の公表時刻の目安は米東部時間の 5:30pm から 9:30pm、金曜日の清算価格は日曜日の 12:00pm から 4:00pm である。毎日の終値がなかなか公表されないのはこのためである。

清算価格という用語を詳述することは、本報告書の本質ではないが、参考まで先物取引の専門用語について関連する用語の解説を以下に付す。

清算価格 (settlement price)： 値洗いによって損益または証拠金請求額などを算出するために、各先物・オプションの限月ごとに毎日、取引時間終了後に、取引所が決める価格。[1]

値洗い (marking-to-market)： もともとの値段を時価で洗い直す（リセットする）ことを意味する。信用取引や先物取引の建玉について、時価（清算値段）によって日々評価替えを行うことで、相場の変動に際しても決済の履行を確実にすることができる。[2]

建玉 (たてぎょく open interest)： 信用取引や先物取引、オプション取引、FX などにおいて、取引約定後に反対売買されないまま残っている未決済分を指す。略して「玉（ぎょく）」とも呼ばれ、買い付けとなっている建玉を買い建玉、売り付けとなっているものを売り建玉という。建玉の総数は相場動向によって増減し、売買高や人気を計る目安のひとつとなっている。[2]

取引高 (volume)： 期間中に成立した売買の数量のこと。1 日、1 週間など、ある一定期間内に売買が成立した件数を指す。株式でいう出来高。[3]

反対売買：信用取引や先物取引において、買っていた銘柄を売らなくてはならない期日、あるいは売っていた銘柄を買わなくてはならない期日が決まっている。その期日までに、反対の売買をおこなわなくてはならない。そのことを反対売買という。反対売買の決済は、現物（株券など）や売買代金の総額ではおこなわれずに、買いの代金と売りの代金の差額でおこなわれる。[4]

引用元：

- [1] 金融先物取引の知識／金融先物取引業協会
- [2] 初めてでもわかりやすい用語集／SMBC 日興証券
- [3] 金融・証券用語解説／大和証券
- [4] 証券用語解説集／野村證券

2.3.8 実際の取引

図-3 は 2020 年 6 月 22 日の WTI 原油先物の取引状況一覧表である。先ず上場された先物の限月が 2020 年 6 月 23 日時点では、2020 年 8 月を限月とする先物から 2031 年 2 月を限月とする先物までが示されている。途中の限月は省略している。

限月	始値	最高値	最低値	直近価格	前日清算値	取引高見込み	前日建玉	
MONTH	OPEN	HIGH	LOW	LAST	CHANGE	SETTLE	ESTIMATED VOLUME	PRIOR DAY OPEN INTEREST
AUG 20	40.68	41.63	39.76	40.02	-.36	40.37	379,632	313,893
SEP 20	40.78	41.74	39.90	40.14	-.34	40.51	108,287	311,303
OCT 20	40.90	41.84	40.02A	40.27A	-.32	40.63	35,073	137,696
NOV 20	40.95	41.91	40.16	40.38B	-.31	40.73	16,621	118,322
DEC 20	41.05	41.98	40.25	40.47	-.30	40.82	60,263	312,988
JAN 21	41.15	42.02	40.40	40.56A	-.29	40.89	6,457	74,765
FEB 21	41.23	41.97	40.46	40.59	-.29	40.95	4,537	47,756
OCT 30	-	-	-	-	-.53	52.70	0	0
NOV 30	-	-	-	-	-.53	52.82	0	0
DEC 30	-	-	-	-	-.53	52.94	0	1
JAN 31	-	-	-	-	-.53	53.09	0	0
FEB 31	-	-	-	-	-.53	53.24	0	0
Total							675,875	2,006,271

Last Updated: Tuesday, 23 Jun 2020 10:32 PM 更新時刻 [About This Report](#)

図-3 WTI 原油先物取引の状況

出典：CME Group／Crude Oil Futures Settlements

また、2030 年 12 月の建玉が 1 件あるのを見てとれるが、取引は期近限月に近い限月が多い。その一方で 2020 年 12 月を限月とする先物の取引も多い。このような傾向についての解説は後述する。

2.3.9 取引 1 件当たりの原油量

1 件の取引は原油 1,000 バレルに相当する。

2.3.10 原油受渡方法

原油受渡は、オクラホマ州クッシング市にあるエンタープライズ社もしくはエンブリッジ社の貯蔵施設へのパイプラインに接続されている同市内のパイプラインまたは貯蔵施設での FOB とする。また受渡では、適用される米連邦の行政命令、および適用される米連邦、州、地域の法律や規定に、すべて従わなければならない。

受渡手段として、買い手には次の選択肢がある：

- (a) 売り手の受入パイプラインまたは貯蔵施設と接続されている指定のパイプライン、または貯蔵施設への施設間移動（ポンプオーバー）
- (b) 登録上の所有権を買い手に移すインライン（またはインシステム）トランスファー
- (c) 売り手が同意し、売り手が用いている施設でそれが可能な場合は、実際に現物を動かすのではなく、買い手に貯蔵タンクの所有権を移すインタナクトランスファー。

2.3.11 取引所における取引実施者とその責任

CME グループの取引所における WTI 原油先物の取引は、クライアントの代理で原油先物を売買するクリアリング・ファーム（Clearing Firm）と呼ばれる決済履行会社が、原油受渡も含む取引を実施し、その全責任を負う。

クリアリング・ファームが、WTI 原油先物の取引に際し、現物の受渡ができないような決済不履行（Failure to Perform）を招いた場合、その代償は、罰金、会社の信頼性低下、クライアントがクリアリング・ファームに預けた担保の清算、クリアリング・ファームの売買資格のはく奪、違反に起因する法的和解コストなど多岐に及ぶ。

そのため、クリアリング・ファームは必ず決済不履行の回避に努めるので、実際に不履行に至ることはほとんどない。この責任と代償が、WTI 原油価格が 2020 年 4 月 20 日に瞬間的にマイナス 40.32 ドル、終値マイナス 37.63 ドルにも至った一因でもあることに留意する必要がある。

なお、CME グループの取引所のクリアリング・ファーム・メンバーは以下のとおりである。

ABN AMRO Clearing Chicago LLC / ADM Investor Services, Inc. / Advantage Futures LLC / Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A. / Bank of Montreal / Barclays Capital Inc. / BMO Capital Markets Corp. / BNP Paribas / BNP Paribas Securities Corp. / BofA Securities, Inc. / BP Energy Company / BP Products North America Inc. / Bunge Chicago, Inc. / Cantor Fitzgerald & Co. / CHS Hedging, LLC / CIBC World Markets Corp. + / Citigroup Global Markets Inc. / Credit Agricole Corporate and Investment Bank / Credit Suisse Securities (USA) LLC / Credit Suisse International / Cunningham Commodities, LLC / Daiwa Capital Markets America Inc. / Deutsche Bank AG / Deutsche Bank Securities Inc. / Direct Access USA LLC / Dorman Trading, L.L.C. / DRW Execution Services, LLC / E D & F Man Capital Markets Inc. / Eagle Market Makers, Inc. / G.H. Financials, LLC / Gelber Group, LLC / Goldman Sachs & Co. LLC / HSBC Securities (USA) Inc. / Interactive Brokers LLC / Jump Trading Futures, LLC /

J.P. Morgan Securities LLC / Logista Clearing Corporation, LLC / Macquarie Futures USA LLC / Marex North America LLC / Mizuho Securities USA LLC / Morgan Stanley & Co. LLC / Nanhua USA LLC / NatWest Markets Plc / NatWest Markets Securities Inc. / Nomura Securities International, Inc. / Phillip Capital Inc. / Proxima Clearing, LLC / Rabo Securities USA Inc. / RBC Capital Markets LLC / R.J. O'Brien & Associates, LLC / Royal Bank of Canada / Santander Investment Securities Inc. / Scotia Capital (USA) Inc. / SG Americas Securities LLC / Societe Generale / Standard Chartered Bank / StoneX Financial Inc. / Straits Financial LLC / Term Commodities Inc. / The Bank of Nova Scotia / The Toronto-Dominion Bank / TradeStation Securities, Inc. / UBS Securities LLC / Wedbush Securities, Inc. / Wells Fargo Securities, LLC

(参考 1)

決済不履行 (Failure to Perform) に伴う代償については、EIA が次のように明記している。

This Week In Petroleum Summary Printer-Friendly Version (eia.gov)

Theoretically, a contract holder could choose or be forced to fail to take physical delivery of the crude oil cargo, although doing so is likely to be costly. The specific costs associated with a failure to accept physical delivery depend on the specific contractual arrangements entered into by the futures contract holder and the Futures Commission Merchant (FCM) —the entity responsible for executing the buying and selling of futures contracts on behalf of a client. The possible costs could include a combination of direct monetary penalties, reputational consequences, the liquidation of the collateral deposited by the client in the margin account with the FCM, the revocation of trading privileges, and the costs of any legal settlements resulting from the breach of contractual obligations. As a result, holders of expired contracts obligated to take physical settlement rarely fail to take delivery.

(参考 2)

原油受取又は支払送金に際して不履行 (Failure to Perform) に伴う代償については、CME の規則に次のように明記されている。

715. FAILURE TO ACCEPT DELIVERY OR REMIT FULL PAYMENT

Where a buyer to whom a delivery has been assigned by the Clearing House fails to take such delivery and make payment when payment is due, the seller tendering such delivery shall immediately notify the Clearing House. If a clearing member obligated to receive delivery fails to make full payment to the seller, the Clearing House shall debit the account of said clearing member an amount sufficient to complete the delivery. Failure to accept delivery or to remit full payment shall be deemed an act detrimental to the interest or welfare of the Exchange.

716. DUTIES OF CLEARING MEMBERS

Prior to the last day of trading in a physically delivered contract, each clearing member shall be responsible for assessing the account owner's ability to make or take delivery for each account on its books with open positions in the expiring contract. Absent satisfactory information from the account owner, the clearing member is responsible for ensuring that the open positions are liquidated in an orderly manner prior to the expiration of trading

2.3.12 一般投資家等が取引所を通じて取引する場合

上述したように、CME グループの取引所における WTI 原油先物の取引は、クライアントの代理で原油先物を売買するクリアリング・ファーム (Clearing Firm) が行う。従って、個々の石油事業者や一般投資家は、直接取引所で売買することは出来ず、クライアントとしてクリアリング・ファームを通じて売買を行うことになる。通常、個々のクライアントは、決済不履行 (Failure to Perform) に関する責任を負う手立てがなく、それを忌避したとしても責任を追及しきれないケース (海外への逃亡等) があることを踏まえれば、このような仕組みは当然である。

特に一般投資家や機関投資家の責任は、クリアリング・ファームとの契約によるが、ある程度責任が限定されるため、マイナス価格になっても、追加で費用要求されることはない。

また、一般投資家等が取引に参加する方法は多様であることに留意する必要がある。通常、クリアリング・ファームとの間には多くの仲介業者が入り、責任も仲介業者間の契約内容次第である。

2.3.13 上場投資信託 (Exchange Traded Fund: ETF) 等金融商品

さらに、一般投資家や機関投資家は、NYMEX 取引所等を通じて原油先物を直接売買するのではなく、金融商品を通じて WTI 原油の取引に関わることができる。

上場投資信託 (Exchange Traded Fund: ETF) は、WTI 原油価格の動きに連動して運用される投資信託 (インデックス・ファンド) の一種であり、金融商品取引所に上場した金融商品である。

また、上場投資証券若しくは指標連動証券 (Exchange Traded Note: ETN) と呼ばれる金融商品やまた差金決済取引 (Contract for difference: CFD) も WTI 原油価格に連動したものがある。

これらのうち、ETN や CFD は原油を現物資産としての裏付けを必要としない金融商品であり、原油価格に影響を与えることはない。このため、本報告書では特に取り上げない。

しかしながら、取引に際して裏付けとなる現物資産を必要とする ETF については、特にその発行体はクリアリング・ファームと同様の責任が伴う。このため、ETF 発行体が 2020 年 4 月 20 日 (月) にマイナス価格をつけた前週に、期近限月の 5 月分の先物を、より先の限月の先物に買換え (ロールオーバー) を行ったことが WTI 原油価格暴落の予兆であったとされている。

一般的にコモディティの ETF 発行者として有名なのは、Blackrock Financial Management, Invesco, First Trust, ProShares, WisdomTree 等である。日本では原油についても Wisdom Tree が発行する WisdomTree WTI Crude Oil (CRUD) は、ETF として有名な商品である。

他方、WTI 原油に関連する ETF として発行数が大きいと言われる ETF は以下の通り：

Ticker Symbol/ETF/Issuer/Exchange (取引所)

USO/United States Oil Fund/United States Oil Fund LP, United States Commodity Funds (USCF) investments/NYSE Arca

UCO/ProShares Ultra Bloomberg Crude Oil/ProShares Trust/NYSE Arca

DBO/Invesco DB Oil Fund/Invesco PowerShares Capital Mgmt LLC/NYSE Arca

USL/United States 12 Month Oil Fund LP/United States Commodity Funds (USCF) investments/NYSE Arca

SCO/ProShares UltraShort Bloomberg Crude Oil/ProShares Trust/NYSE Arca

OILK/ProShares K-1 Free Crude Oil Strategy ETF (OILK) /ProShares Trust /CBOE BZX

(注 1) NYSE Arca : ICE 参加の NYSE の電子取引所

(注 2) CBOE : シカゴ・オプション取引所 (Chicago Board Options Exchange: CBOE) は、米国シカゴの Cboe・グローバル・マーケット (Cboe Global Markets) 傘下のデリバティブ取引所。

2.4 WTI 原油先物取引価格の推移

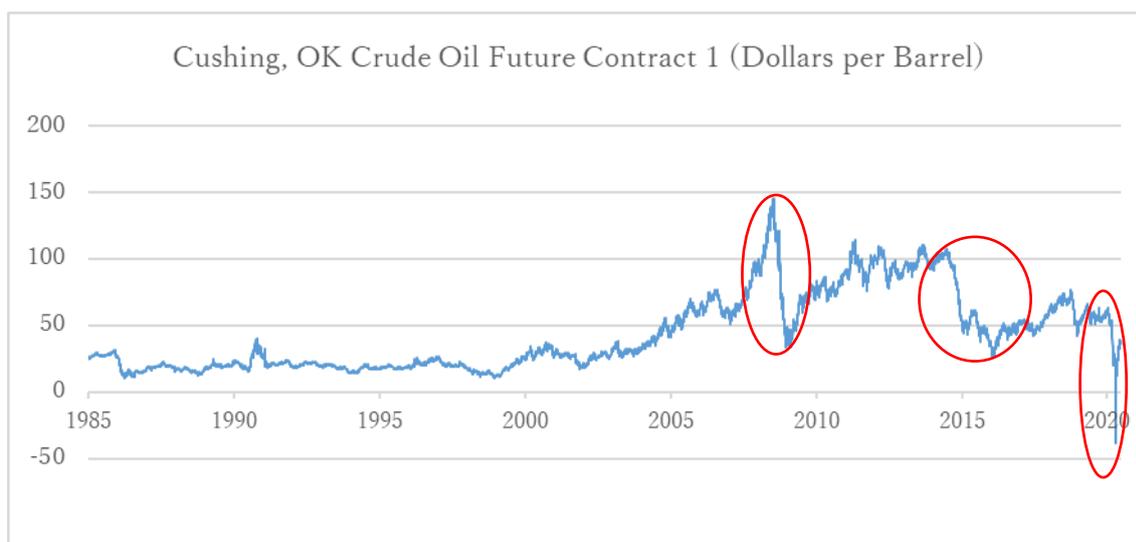


図-4 WTI 原油先物 (期近限月) 価格

出典 : EIA/ NYMEX Futures Prices

本節では、WTI 原油先物のうち期近限月の先物、すなわち米国エネルギー情報局 (EIA) でいうところの Contract 1 の価格推移について解説する。

図-4 のチャートに示されている折れ線は取引があった日毎の終値を示しており、米東部時間 2:28 から 2:30 pm の価格をベースに CME が計算する清算価格に同じである。

このチャートで目立つのは、赤丸で囲った 3 度の価格暴落である。この暴落に着目して原油価格の推移を見てみる。

2.4.1 世界金融危機（The global financial crisis）時の暴落

チャートでは 2005 年頃までは \$50/bbl を下回る水準で推移してきた原油が、2008 年 7 月 14 日に最高値 \$145.18/bbl を記録する。同年 9 月 15 日に米国の投資銀行リーマン・ブラザーズ・ホールディングスが連邦倒産法第 11 章の適用申立を行い、いわゆる日本で言うところのリーマン・ショック（英語圏では The global financial crisis : 世界金融危機）が起きる。この時の経済不安、世界的な金融危機への発展に伴い、同年 12 月 17 日には \$33.87/bbl まで下落する。

2.4.2 2014 年から 2016 年までの間-イランへの経済制裁

世界金融危機後、原油価格の回復は早く一定の増加ではなく増減はあるものの、2009 年 6 月には \$70/bbl 台、10 月には \$80/bbl 台、2011 年 3 月から 5 月までは \$100/bbl 以上で推移する。4 月下旬から 5 月上旬にかけては \$113/bbl 台という高い水準で推移する。その後も 2014 年 10 月下旬までは \$80/bbl から \$109/bbl の幅で推移している。

急落を始めるのは 2014 年 10 月以降であり、2016 年 2 月 11 日に \$26.21/bbl まで下落を続ける。

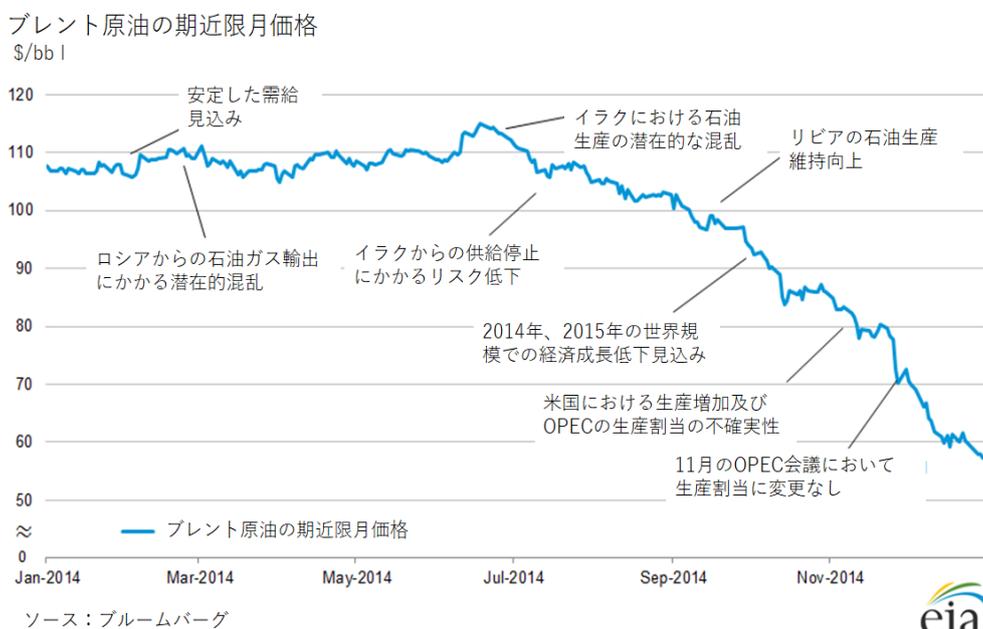


図-5 2014 年の原油価格暴落時の EIA による分析

出典：EIA

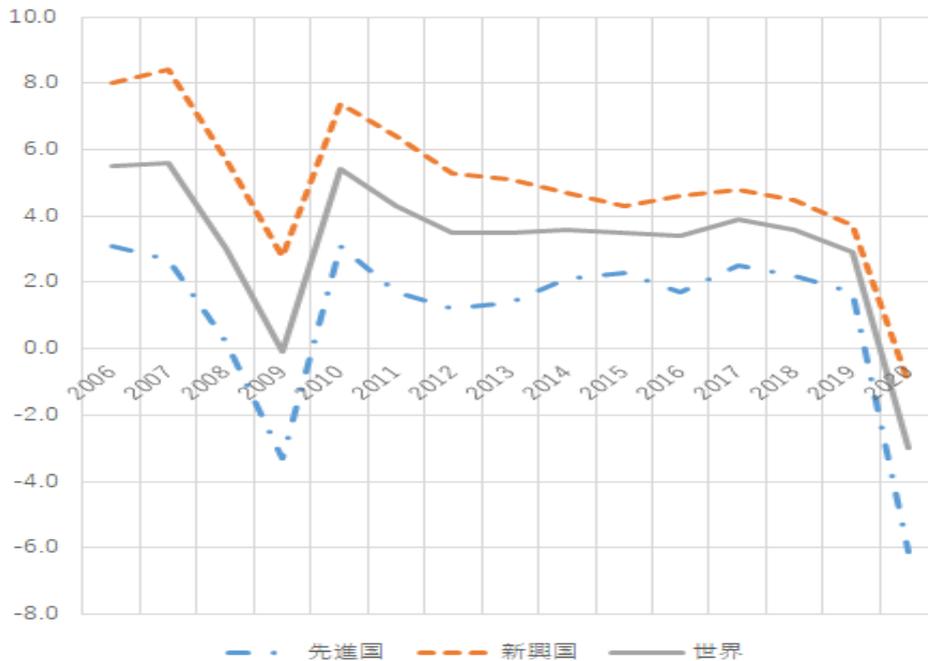


図-6 先進国、新興国、世界の GDP 成長率

出典：IMF

図-5 のように EIA は分析しているが、図-6 のとおり実際の GDP 成長率を見ると、2014 年及び 2015 年の GDP 成長率は先進国、新興国、世界とも悪くない。また 2016 年の先進国は弱含んでいるが、世界全体で見れば決して悪くない。さらに先進国の 2012 年及び 2013 年の GDP 成長率が悪かった割に原油価格の下落に影響していないことから、2016 年の先進国における GDP 成長率の微減が原油価格に影響したとは考えにくい。

ここで、もう一つの要因として考えられるのが、イランに対する経済制裁解除である。元々 2012 年に米国および欧州が対イラン経済制裁を強化したことで、イラン産原油を輸送するタンカーは米国および欧州の保険企業による再保険引き受けが禁じられ、日本も国土交通省が政府として再保険を引き受ける法律を整備した。その後毎年 14 兆円前後の政府保証枠を予算要求時に確保している。

一方で 2013 年 6 月のイラン大統領選挙で保守穏健派のロウハニ氏が当選し、同年 11 月からイランの核開発問題に向けた対話が開始され、目標の 2014 年 7 月時点では合意に至らなかったが、2015 年 7 月 20 日に包括的共同作業計画（JCPOA：Joint Comprehensive Plan of Action）が国連安全保障理事会で決議 2231 号として採択される。さらに JCPOA は 2015 年 10 月 8 日に発効、2016 年 1 月 16 日にはイランによる核合意事項への履行確認及び経済制裁解除が履行される。

この間、経済制裁解除に伴うイラン産原油が市場に大量に出回り、供給過剰を悪化させることが予想されていた。

イランの原油輸出量(2011年1月から2013年10月)

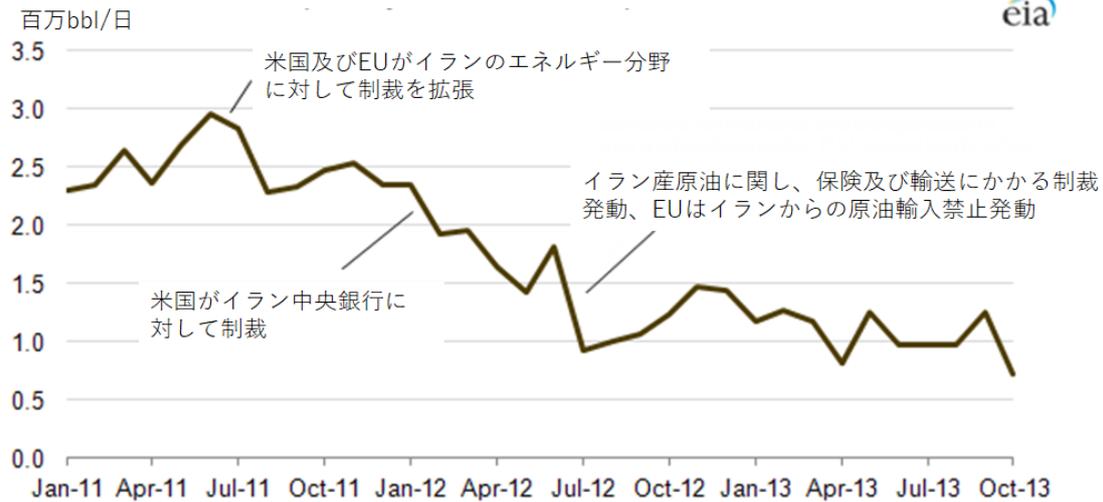


図-6 経済制裁前後のイラン産原油輸出量

出典：EIA

ただし、イランの原油輸出量は制裁前に 2 百万 bpd (bpd はバレル/日) 以上あり、これが 1 百万 bpd 程度まで落ち込んでいたが、これが制裁解除で一気に市場に出回ったとしても、サウジアラビアの輸出量が図-7 のとおり 2016 年の JCPOA 履行日直前には 8 百万 bpd 近くあったことを考えれば、大きすぎるという量ではない。

しかしながら、投機的な投資家からすれば、おそらく市場における供給過剰への不安というのは、実際の数値以上に重みがある可能性がある。

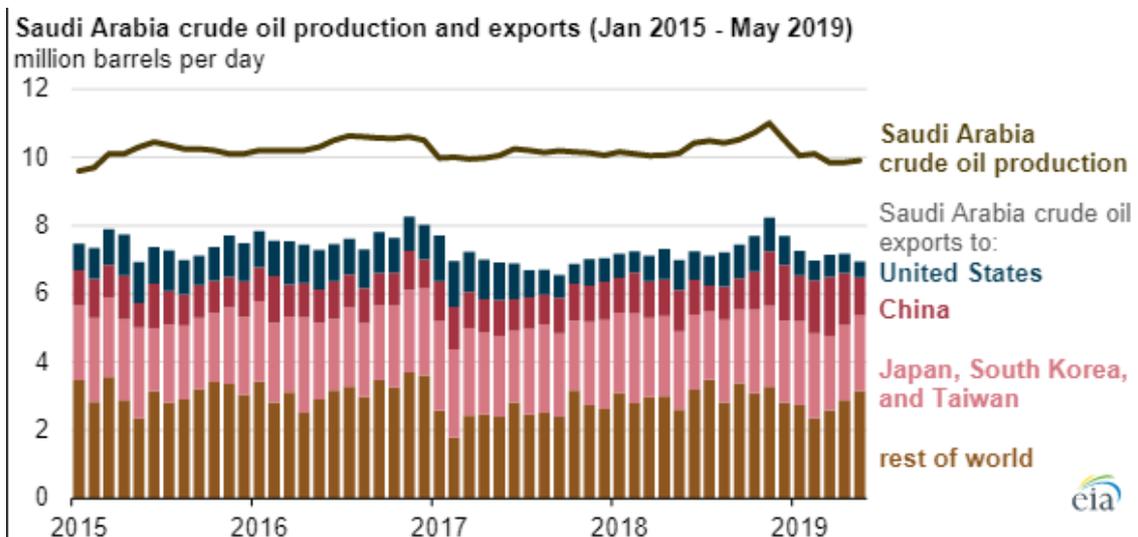


図-7 サウジアラビアの原油輸出量

出典：EIA

Iran liquid fuels, crude oil, and condensate production and exports (Jan 2011- Sep 2018)
million barrels per day

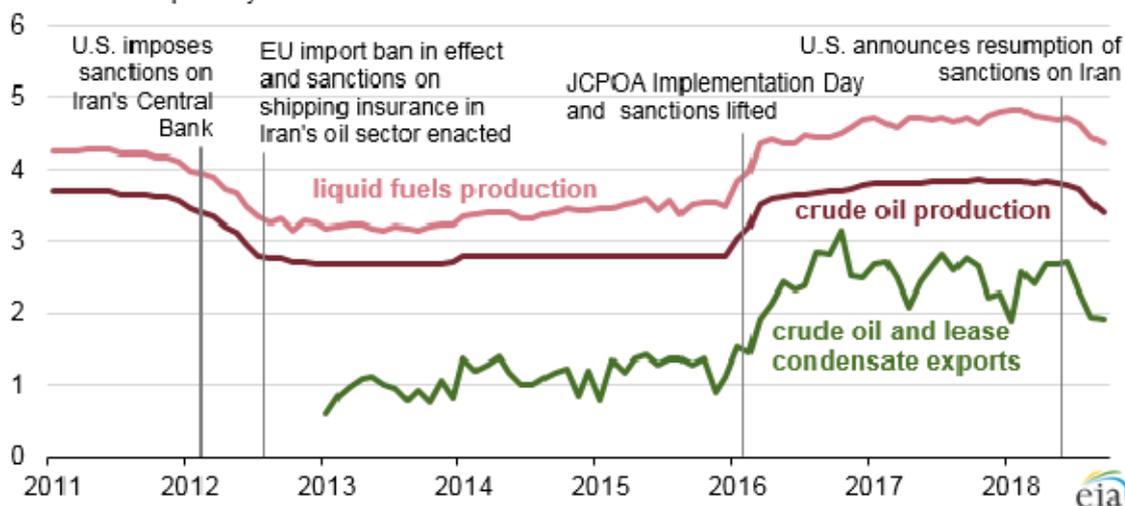


図-8 経済制裁前から経済制裁解除後までのイラン産原油等の輸出量

出典：EIA

結果的には制裁解除後、イラン産原油の輸出量は図 8 の緑の線のように瞬間的には 3 百万 bpd まで増加するが、2016 年後半には原油価格も \$40/bbl まで回復するので、世界的な需要増加と 2017 年のサウジアラビアの輸出削減等により相殺されたと考えられる。

2.4.3 2020 年までの間

2014 から 2016 年にかけての暴落後、後 \$50/bbl 以上で安定するのは 2017 年 10 月以降である。2018 年 1 月以降は \$59/bbl から \$74/bbl の間を推移するが、米国の中間選挙直前から下落を始め 2018 年 12 月には \$42.53/bbl まで下がってしまう。

2019 年は 4 月の \$66.30/bbl から 6 月の \$51.14/bbl の間で変動し、同年 12 月 6 日の OPEC 減産合意を皮切りに上昇を始め、2020 年 1 月 3 日にイランのソレイマニ軍司令官が米国に殺害され、1 月 6 日にイランがイラクの米軍駐留基地を攻撃するなど中東情勢に緊張が高まったことから 2020 年 1 月前半までは \$60 台を推移していた。

2.4.4 新型コロナウイルス感染症を起因とする影響

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の影響が出始めたと思われるのは 2020 年 2 月中盤以降である。最初の兆しは、中国において COVID-19 の影響下天然ガス需要が減じたため、中国政府が国内の天然ガス輸入企業に対して、不可抗力 (Force majeure) に係る証明書を発給することが報じられた 1 月 30 日である。同日には世界保健機関 (WHO) が国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態を宣言している。結果的に中国側の天然ガス輸入企業が企業 COVID-19 拡大を理由とする不可抗力条項に基づく輸入停止の申し入れは輸出者側に却下されたが、その後 COVID-19 の拡大が進むにつれ 2 月 20 以降徐々に下落を始める。

これ以降の価格変動については以下のように推移するが、図-9 のチャートにそれぞれの番号に対応する価格変動を図示する。

- ① OPEC プラスにおける減産調整からのロシア離脱
3/3→3/6 \$47.27/bbl→\$41.14/bbl
- ② 3/8 (日曜日) サウジアラビアが増産決定
3/6→3/9 \$41.14/bbl→\$ 31.05/bbl
- ③ 3/20 に 4 月先物取引終了
3/16→3/20 \$28.96/bbl → \$19.48/bbl
- ④ トランプ大統領、世界で 1 千万 bpd 減産案をツイート (4/2)、米国石油大手経営者と会談 (4/2)
4/1→4/3 \$20.28/bbl → \$28.36/bbl
- ⑤ 4/13 OPEC プラス (4/9 から延期) で 970 万バレル減産合意
4/14 テキサス鉄道委員会生産規制に係る公聴会
4/17 United States Oil Fund (USO) のロールオーバー (現月乗換方針) 発表
4/13→4/17 \$22.36/bbl→\$18.31/bbl
- ⑥ 4/21 に 5 月先物取引終了 ETF の 6 月先物へのポジション変更進む
4/17→4/20 \$18.31/bbl→\$-36.98/bbl
- ⑦ ETF USO の先物ポジション変更及び USO へ投資家殺到
4/20-5/4 \$ -36.98/bbl →\$20.47/bbl
- ⑧ 米国内自動車利用増加
5/4 以降

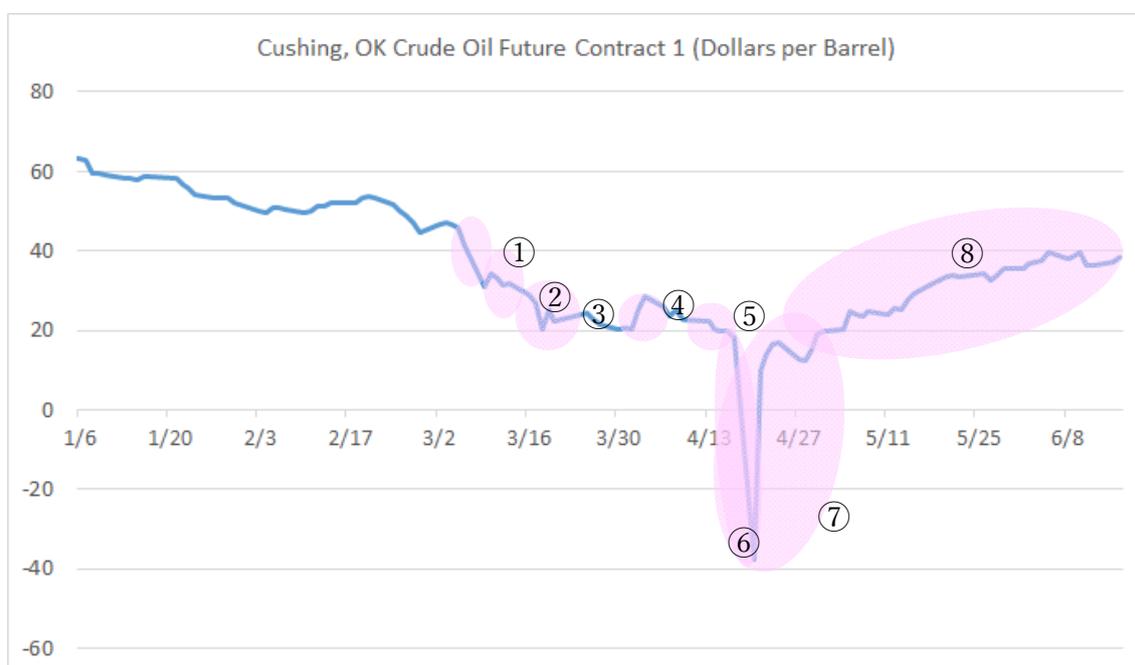


図-9 2020 年 WTI 原油先物 (期近限月) 価格

出典：EIA/NYMEX Futures Prices

上記の原油価格変動は 3 ヶ月に満たない短時間でありながら、多様な要因によるものである。次節でその理解の手がかりとなる要素を解説する。

2.5 WTI 原油価格の変動要因

当然ながら原油価格は需要と供給の関係で決まる。しかしながら、需要と供給の関係はリアルタイムで簡単に分かるものではない。原油価格の変動要因を捉える上で、どのような要素が重要なのかということは、簡単には説明し難いが、ここではできるだけ要因毎に説明を試みる。特に COVID-19 の影響下での変動についてもこの項で解説する。

以下に原油生産量と在庫量、原油生産量と価格、原油在庫量と価格のそれぞれについてのチャートを示す。ここではデータの重ね合わせ等の都合上、WTI 原油スポット価格（期近限月の先物価格とほぼ同じ）を用いるのでお断りしておく。

ここでは 2016 年から 2020 年 4 月の暴落前後までの変動について、その変動要素も例示しながら解説する。特に 2020 年 2 月以降の新型コロナウイルス感染症の影響は特殊な要因が作用しているため、今後の変動がないこの時期の分析は、通常時の原油価格の変動要因と理解してよい。

ただし要素は多様かつその影響力の重みは容易には測り難いものがある。原油のようなコモディティの価格を市場で決めるのは、実需として売買する事業化に加え投機的な投資家が参加しており、投資家の心理と投資行動はなかなか単純には理解しにくいことに留意する必要がある。

2.5.1 世界の生産量と消費量のバランス

原油価格は需要と供給の関係で決まる。しかしながらリアルタイムで需要と供給のデータを得ることは容易ではない。世界の生産量と消費量のバランスについては、リアルタイムではないが、毎月 EIA が出す Short-Term Energy Outlook (STEO) に示される。

図-10 のチャートに示すように、青が世界の液体燃料（原油、コンデンセート：炭化水素を地上で採取する際に凝縮する液体（石油））の生産量、茶色がその消費量、橙色が原油価格である。

チャートには生産量が消費量を超える供給超過の時期を青の網掛に、消費量が生産量を超える需要超過の時期をピンクの網掛にしている。すなわち青は供給過剰、ピンクは需要超過を示すので、青の時期には原油価格は下がり、ピンクの時期には原油価格は上がるはずである。

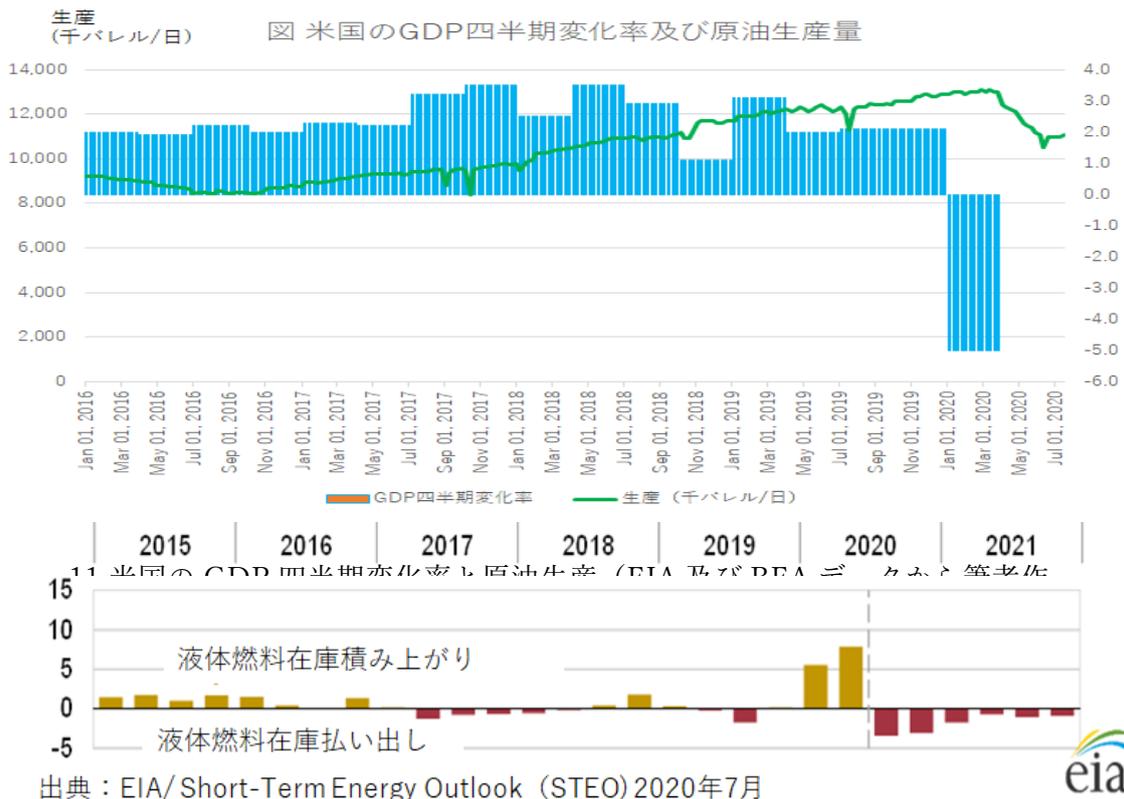


図-10 米国の GDP 四半期変化率と原油生産 (EIA データから筆者作成)

しかしながら、実際に①の期間は供給過剰状態であるにも拘らず原油価格は上がっており、想定とは異なる傾向を示している。②の時期に関しては需要超過であるがその初期には価格は下がっている。その後価格は上向いており想定通りである。③の時期は供給過剰期で最初は想定通り価格が下がっているが、後半は上昇に転じている。④の時期は需要超過期であるが当初価格は下がった後に上下動しており想定とは全く異なる。⑤の時期は供給過剰状態で価格も下がっており想定に最も沿った傾向を示している。

2.5.2 経済成長との関係

米国産原油は約 30%近くが輸出されるので、70%は国内消費に回される。経済成長と消費量を反映する生産量が関係を有するのではないかという推測が成り立つ。GDP で見る場合、米国の GDP は右肩上がりに変化を捉えにくいいため、GDP の四半期毎の変化率と生産量の関係を図-11 に図示する。

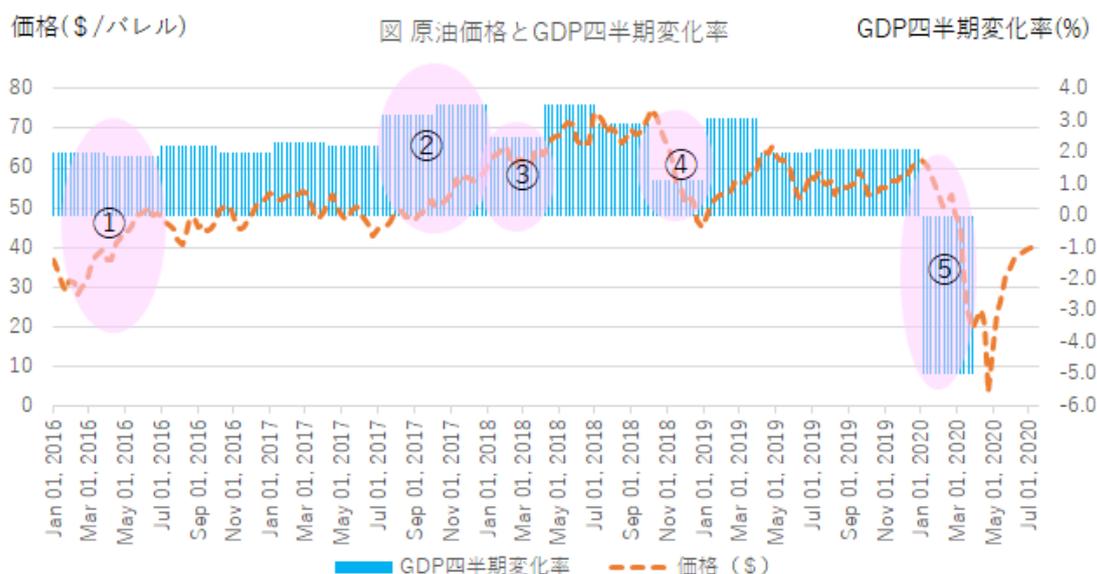


図-12 米国の原油価格と GDP 四半期変化率（EIA 及び BEA データから筆者作成）

データは米国エネルギー情報局 EIA 及び米国商務省経済分析局 BEA の GDP 四半期変化率のデータを用いている。しかしながら、GDP 四半期変化率と生産量の間にはほとんど相関関係が見られない。唯一 2020 年の新型コロナウイルスの影響が出た後の第 1 四半期に相関がみられる程度である。

他方、原油価格と GDP 四半期変化率の関係について図-12 に示すが、これを見ると相関関係がかなりはっきりしている。①を除けば、②から⑤にかけては、原油価格の長期的な大きな上下動と GDP の四半期変化率はかなり近いものがある。これは経済活動が活発化して原油の実需要が増えれば価格は上がり、逆に実需要が減れば価格は下がることを明確に示している。

これらのことから、原油の生産はあまり経済活動状況には配慮せず、一方で原油価格を決める売買取引は経済活動状況に影響を受けることが理解できる。一方で原油生産量が価格の影響を受ける場合については後述する。

2.5.3 民間貯蔵の在庫量と生産量の関係

2016 年 2 月 11 日に \$26.21/bbl まで下がった原油価格は、その後急激に \$40/bbl 台まで回復する。2016 年の GDP の四半期変化率は第 1 四半期が 2.0、第 2 四半期が 1.9、第 3 四半期が 2.2、第 4 四半期が 2.0 ととりわけよかったわけではない。一方生産量と在庫量は図-13 のような関係がある。

なお、2020 年 4 月 10 日時点の民間貯蔵施設（戦略的備蓄を除く）の貯蔵能力は 6 億 5,344 万 bbl である。

図-13 から明らかなように、在庫量が増加すれば生産量が減少し、在庫量が減少すれば生産量が増加する傾向は確かにある。貯蔵が需給のバッファ的な機能を果たしているので、当然と言えば当然である。

ただし、2016 年 5 月頃のように在庫量が減少しても、生産量が増加していない、また 2017 年 1-4 月のように在庫量が増加しても生産量が減少しない場合もあるので、注意が必要である。

2.5.4 天候・季節要因

なお、図-13 において、生産量が小幅であるが時々急激に落ち込んでいるのは、ハリケーンや熱帯性低気圧によりメキシコ湾の海洋石油生産プラットフォームの稼働が停止するためであり、図-13 には、それぞれ影響を与えたハリケーン、熱帯性低気圧の名称を付記しておく。

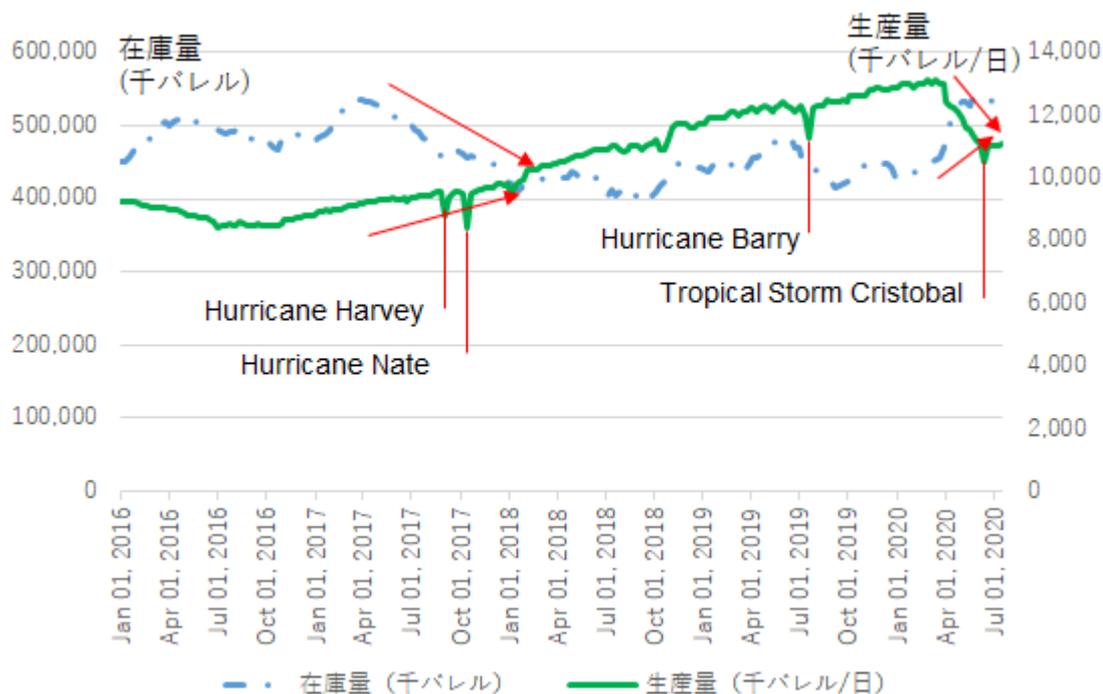


図-13 米国内の原油在庫量と生産（EIA データから筆者作成）

また天候については、米国では石油火力発電の割合は少ないとはいえ、例えば、夏場の激しい気温上昇、冬場の激しい気温低下は、火力発電を有する国々への原油輸出が増えるため、在庫の減少を招く。このため EIA の Short-Term Energy Outlook (STEO) においても、天候は価格予測因子として記されている。

また、学校のスプリング・ブレイク、夏季休暇、秋の感謝祭、クリスマス時期には、長距離のドライブが増えるためガソリン需要の増加に連動して原油価格が微増することにも留意が必要である。

これは後述するが、WTI 原油を米国内で精製する際の製品としてはガソリンが圧倒的に多く 49%を占めるためである。

2.5.5 在庫量と価格

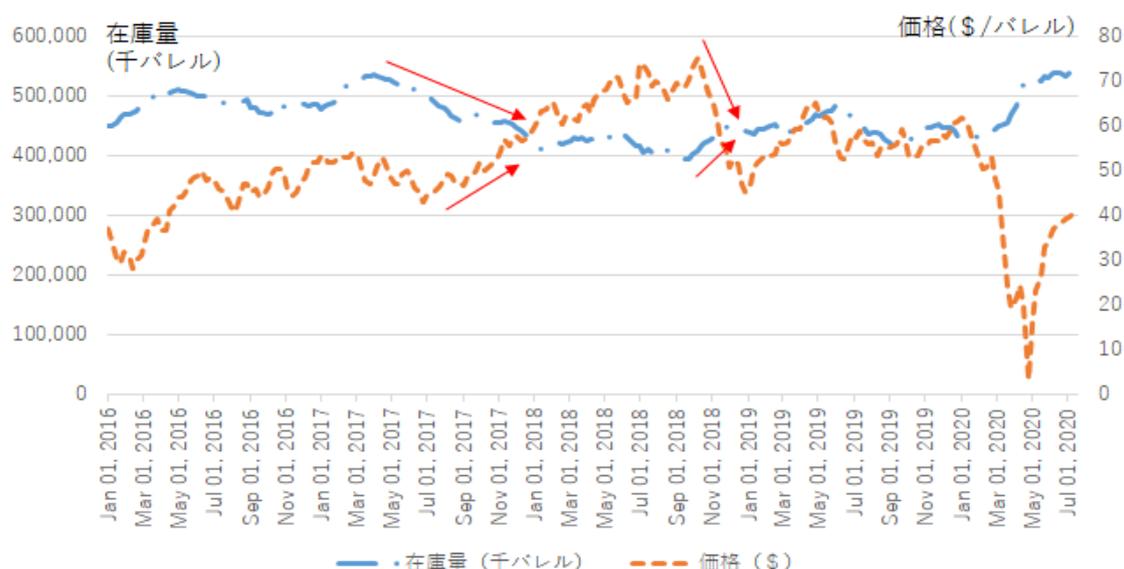


図-14 米国内の原油在庫量(SPR 除く)と価格 (WTI スポット)

先に 2.5.2 でも触れたが、貯蔵は需給のバッファ的な機能を持っている。供給過剰であれば実需要との差分は貯蔵に回され在庫 (stock) になる。逆に需要が供給を上回る需要超過になれば、在庫から需要に回される。したがって貯蔵された在庫量を見ていれば、需給のバランスがだいたい把握できる。

在庫量と価格については、図-14 に示すが、上述のような事情があるため相関関係は強い。チャートのように長期的でなく、非常に短期間のうちの値動きも在庫量の増減に影響されることが多く、毎週アメリカ石油協会 (API) が火曜日に公表する Weekly Statistical Bulletin (WSB) に示される米国の在庫 (stock) の増減に市場は敏感に反応する。なお水曜日には EIA が無料で公表する Weekly Petroleum Status Report が入手できる。

ただし、在庫量の量的変化と価格の変化量は必ずしも一致しないことにも注意が必要である。

2.5.6 生産量と価格

以下に、2.5.1 で触れた価格と生産量の関係について解説する。

在庫量との関係と比較すると、生産量と価格の関係は少し複雑である。在庫についてはその増減が価格に影響するケースが大半であるのに対し、生産量についてはその増減が価格に影響を与える場合と、価格の変化が生産量の増減に影響を与える場合もあるからである。

もちろん生産量が増加することは将来的に供給過剰になる懸念を生む。供給過剰状態で生産が減少すれば供給過剰が解消する期待につながる。他方、価格が高ければ生産者は需要が多いので供給を増やして利益を上げようと思うし、価格が低くて損益分岐価格を下回るようであれば、生産を止めるか減少させる。

新型コロナウイルス感染症の影響が始まる以前では、この関係を上手く捉えている

ケースは 2016 年から 2020 年 1 月までの間はあまりない。図-15 の様に価格は下がっても生産量は上昇を続けている。これは前出の図-10 にも示されているとおり、世界的に見れば米国の生産増加が必ずしも供給超過を生むことなく、世界的な需要増と上手くバランスしたことが要因である。また米国内の在庫量を示す図-14 のとおり、在庫も 2017 年をピークに減っている。

これらのことは、懸念されたシェールオイルの増産が、さほど原油価格の押し下げ要因とはなっただけとはいえないことを示している。

他方、2020 年の新型コロナウイルスの影響下においては、供給超過の状況下で生産調整が原油価格の変化に一程度の影響を与えているので、これは後述する。

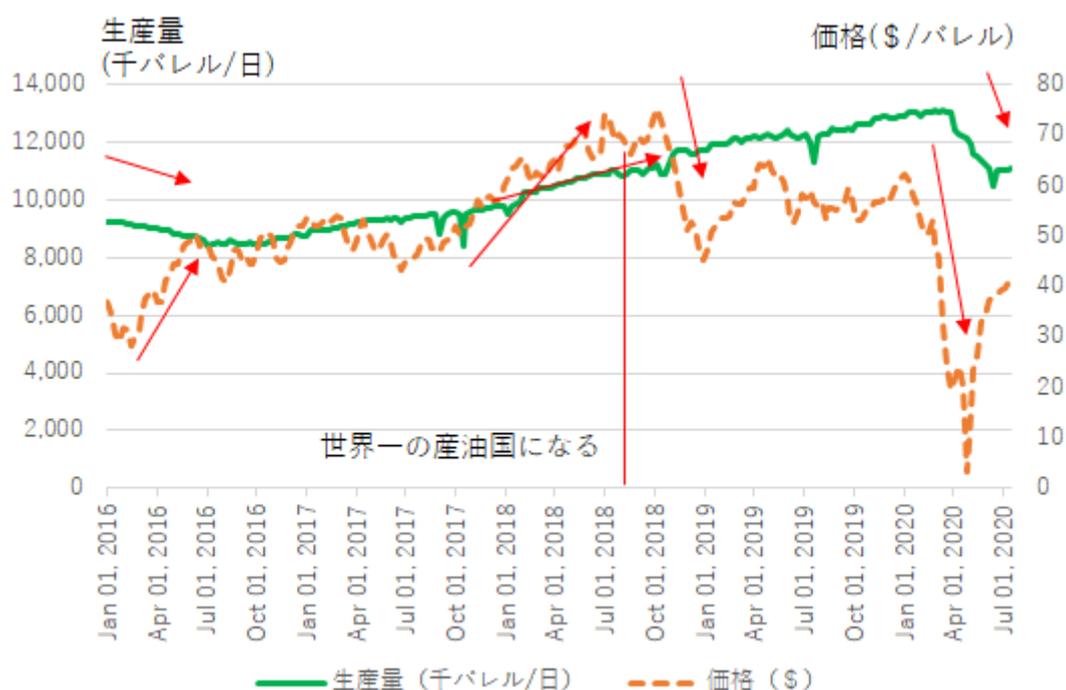


図-15 米国内の原油生産量と価格 (WTI スポット)

なお図-15 に示すように、2017 年 6 月頃から 2018 年 7 月頃までのように価格が上がれば生産量が増加するのは道理であるが、実際はそれ以前から生産量は増加を始めており、必ずしも価格上昇が生産増加を引き起こしたわけでは無く、持続的な生産増加の後押しとして作用したと思われる。

また、2018 年後半に価格が随分下がっても生産量が増加し続けた事例もあり、必ずしも常に成立する関係ではないことに留意が必要である。

(i) 生産量の増減が価格に影響する

図-15 のチャートで生産量が価格に影響を与える直近の事例は 2020 年の 4 月から 6 月にかけての取引である。2020 年 4 月 20 日に暴落して (このチャートは Weekly price なので瞬間的なマイナス 40.32 ドル、終値マイナス 37.63 ドルは表れない) 以降は、原油生産量が減少していることを受けて、価格が上昇している。

同様の傾向は 2016 年 2 月 11 日に \$26.21/bbl まで下落して以降にも見られる。

(ii) 価格の増減が生産量の増減に影響するケース

上記 (i) の 2020 年 4 月 20 日の暴落直前の事例が参考になる。

最初に 3 月から急激に原油価格が下がり始め、4 月 2 日にトランプ大統領が世界で 1 千万バレルの減産を呼びかけた。さらに 4 月 13 日に OPEC プラスの会合において全世界で 970 万バレルの減産が合意されたが原油価格はなおも下がり続けた。その履行を疑問視していたと言われている。しかしながら、3 月末以原油安を受けて降継続的に生産量は減少している。

全米の原油生産量は 3 月末時点の日産 1,300 万 bbl から、6 月 12 日時点で 1,050 万 bbl と約 20%の減産が進んでおり、WTI 原油の 8 月先物価格は 6 月 24 日時点で 1 バレル当たり 38.01 ドルとなっている。

なお、6 月 24 日、米国テキサス州のダラス連邦準備銀行が管轄地域（テキサス州、ルイジアナ州北部、ニューメキシコ州南部）に本社または事業所を置く石油・ガスの生産事業者および油田・ガス田サービス事業者に対して実施したアンケート結果を公表しているが、2020 年第 2 四半期に生産停止または減産を行っているかとの質問について、回答した 108 の生産事業者のうち 82%に相当する 89 事業者が生産を停止または減産をしており、その理由として原油価格の低迷を挙げた事業者は 94%におよんだ。また、71%の事業者が 6 月時点においても生産停止または減産していると回答している。

また、大部分の生産事業者が生産を再開するようになる原油価格帯を聞いたところ、1 バレル当たり 36~40 ドルに達した時との回答が 30%で、41~45 ドルが 27%、46~50 ドルは 18%、31~35 ドルは 15%となっている。

以上、需給のデータの相関関係が要因となる原油価格の変動について解説したが、以降はデータの相関関係に依らない要因について取り上げる。これらは多くの場合は通常時に瞬間的な

2.5.7 国際的な減産調整/OPEC 及び OPEC プラスの決定

2.4.2 でも触れたが、WTI 原油価格に限らず世界規模で原油価格に最も大きな影響を及ぼすのが OPEC 及び OPEC 非加盟国を含む OPEC プラスによる減産調整である。先に貯蔵が需給のバランスとしての機能を持つ旨を指摘した。貯蔵は需給のバッファ的な役割なので貯蔵能力という限界があるのに対し、減産調整は供給力を直接減じるため、より積極的なバランスとしての機能を有している。

2.5.8 国際情勢不安、経済制裁

(1) 国際情勢不安

2019 年の第 4 四半期以降は、イラン情勢の不安が高まり始め、2020 年 1 月 3 日にイランのソレイマニ軍司令官が米国に殺害され、1 月 6 日にイランがイラクの米軍駐留基地を攻撃したため中東情勢の緊張が高まった。このため 2020 年 1 月前半までは WTI 原油価格は \$ 60 台を推移していた。米国が軍事行動の検討を開始すると WTI は値上がりする

と言われている。これは、米国陸海空軍が使用する燃料が戦略備蓄の放出により賄われ、その放出の埋め合わせのため、米国政府が WTI 原油を購入しオクラホマ州クッシングから供給するためである。

(2) 経済制裁

また、先に 2.4.2 においても触れたが、イランへの経済制裁とその解除に向けた動きは、WTI 原油価格にも大きな影響を及ぼした。これほど大きくはないが、ベネズエラへの経済制裁も WTI 原油価格に大きな影響を与えており、図-10 米国の GDP 四半期変化率と原油生産のチャートにおいて、2019 年 1 月以降原油価格は上がっている。

米国によるベネズエラへの経済制裁については、2018 年 11 月 1 日付の大統領命令 13850 で「資産凍結対象となるベネズエラ情勢に貢献した者の追加が発令され、2019 年 1 月 25 日には大統領令 13857 により、ベネズエラの国営石油会社 (PDVSA) が制裁対象になった。

これに伴い、米国財務省は 2019 年 1 月 28 日、ベネズエラ国営石油会社 (PDVSA) を経済制裁の対象に指定すると発表している。

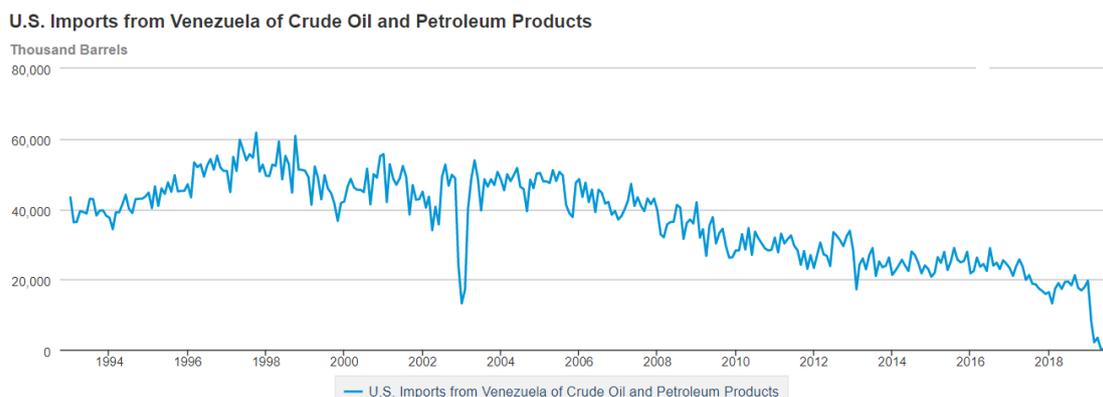


図-16 米国のベネズエラからの原油輸入量

米国のベネズエラからの原油輸入は財務省外国資産管理局 (OFAC) が発行する一般ライセンス No.12 に基づいて 4 月 28 日の直前まで認められていたが、米国への原油供給に影響が出るとみられた 2019 年 4 月 23 日には 1 バレル当たり 66.30 ドルまで上昇した。また、米国のベネズエラからの原油輸入量は、実際に 1 月は 1,957 万バレル、4 月は 342 万バレル、7 月には 0 バレルと経済制裁の実施が表れている。

2.5.9 原油の特性

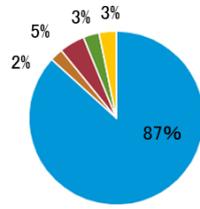
WTI 原油は API 比重が約 35-50 度の間にある軽質原油である。市場ではドバイ原油が約 31 度、オマーン原油が約 33.5 度、ブレント原油が約 38 度とされている。

API 比重は American Petroleum Institute (API) が定める下式で与えられる数値であり、数値が大きいほど軽質であるとされ、パラフィン等の含有量が少なく、ガソリンや軽油を精製するのに適している。

API 比重=141.5/ (比重 60/60° F) -131.5

米国の精製施設及びブレンダー
に注入される原料と割合(2018年)

total = 7.14 billion barrels

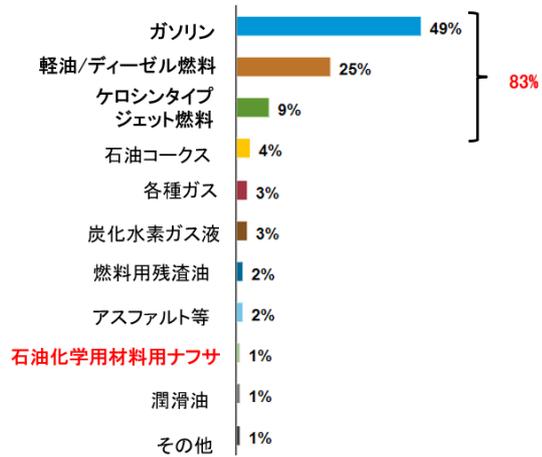


Note: HGL is hydrocarbon gas liquids; blending components are motor gasoline blending components.
Source: U.S. Energy Information Administration, Petroleum Supply Annual, September 2019



米国の精製施設及びブレンダーで
製造される石油製品(2018年)

total = 7.55 billion barrels



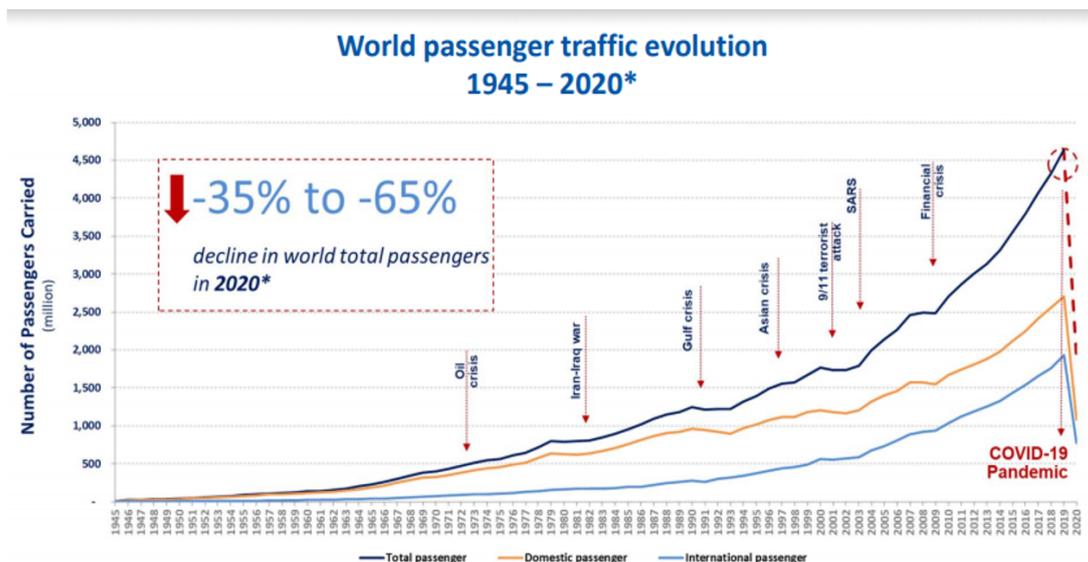
出典: EIA/ Oil: crude and petroleum products explained Refining crude oil

図-17 米国の製油所における原料と製造される石油製品

実際、図-17 に示すとおり、WTI 原油を米国内の製油所で精製した際に抽出されるのは、49%がガソリン、軽油が 25%、航空機用のジェット燃料は 9%に過ぎない。

図-18 のとおり、新型コロナウイルス感染症の発生以降、最も深刻な影響を受けたのが航空分野であり、2020 年の航空旅客は 35-65%減少すると言われている。実際にジェット燃料の需要は 2020 年 5 月時点で半減している。しかしながら、WTI 原油から抽出されるジェット燃料は 9%に過ぎず、これが WTI 原油の需要減の主要因とは言い難い。

また、図-19 に示すとおり、軽油の供給はあまり減ってはならず、産業分野の利用が堅調に維持されていることが伺える。やはり、WTI 原油価格はその需要そのものが、米国内のガソリン需要に大きく依存すると考えるのが妥当である。



出典: ICAO/Effects of Novel Coronavirus(COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis/2020年5月13日公表

図-18 新型コロナウイルス感染症による航空旅客の減少見込み

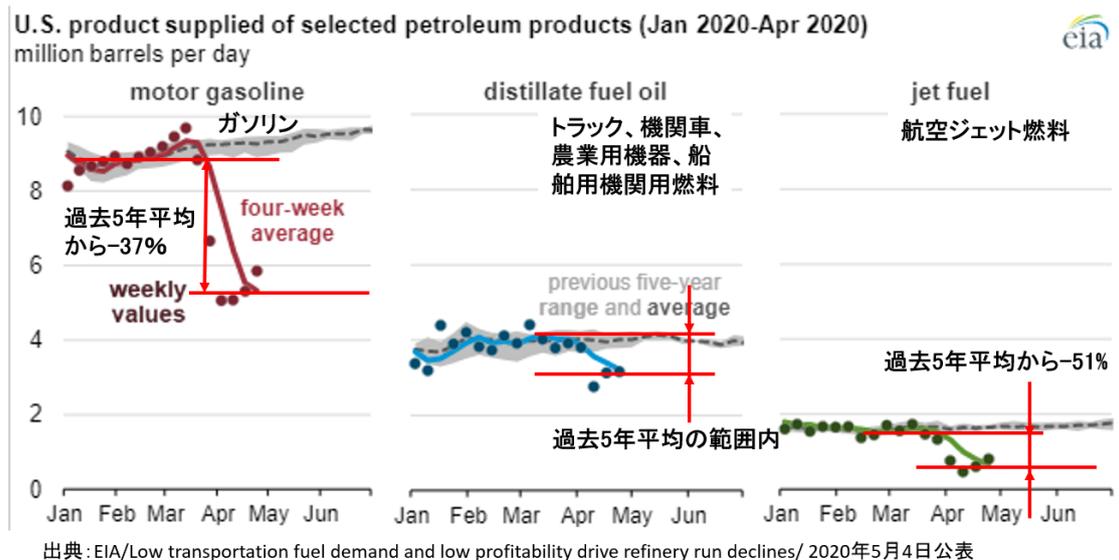


図-19 新型コロナウイルス感染症によるガソリン、軽油、ジェット燃料供給量の変化

2.5.10 WTI 原油の需給・価格の今後

WTI 原油の需要、供給、価格は今後どうなるのか。これは米国エネルギー情報局 EIA が公表する諸資料、とりわけ SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO) に注目するのがよい。

先ず 2020 年 5 月 13 日に EIA が公表した Weekly Petroleum Status Report から、直近の製油所稼働状況、在庫量、輸入量、石油製品供給量、単価、小売価格をまとめたのが以下表である。

製油所稼働状況(千バレル/日)				石油製品供給量(千バレル/日)			
	2020/5/8	2020/5/1	2019/5/10		2020/5/8	2020/5/1	2019/5/10
原油(製油所への提供量)	12,644	12,714	16,528	ガソリン	12,644	12,714	16,528
製油所設備稼働率(%)	69	69	90	精製燃料油	69	69	90
ガソリン生産量	6,786	6,390	9,937	その他全ての石油製品	6,786	6,390	9,937
精製燃料生産量	4,991	4,999	5,136	合計	4,991	4,999	5,136

在庫量(百万バレル)				価格(単位の注記無いものは\$/ガロン)			
	2020/5/8	2020/5/1	2019/5/10		2020/5/8	2020/5/1	2019/5/10
原油(戦略備蓄以外)	531.5	532.2	472.0	世界の原油(\$/バレル)	-	-	-
ガソリン	252.9	256.4	225.0	スポット価格	-	-	-
精製燃料油	155.0	151.5	125.6	WTI原油-クッシング渡し(\$/バレル)	24.730	19.720	61.650
その他全ての石油	455.5	455.3	442.0	在来型レギュラーガソリン-NY港渡し	0.877	0.686	1.937
原油(戦略備蓄)	639.8	637.8	646.0	ヒーティングオイル-NY港渡し	0.811	0.755	2.031
合計	2,034.7	2,033.3	1,910.6	超低硫黄ディーゼル燃料-NY港渡し	0.889	0.792	2.053
				プロパン-モントベルビュー渡し	0.380	0.333	0.623

ネット輸入量(千バレル/日)				小売価格(単位の注記無いものは\$/ガロン)			
	2020/5/8	2020/5/1	2019/5/10		2020/5/11	2020/5/4	2019/5/13
原油	2,020	2,115	4,477	ガソリン-レギュラー	1.851	1.789	2.866
石油製品	-2,976	-3,571	-2,838	ガソリン-ミッドグレード	2.257	2.221	3.258
合計	-956	-1,457	1,639	ガソリン-プレミアム	2.519	2.479	3.514
				オンハイウエー軽油	2.394	2.399	3.160

出典: EIA/ Weekly Petroleum Status Report/2020年5月13日公表

図-20 製油所稼働状況、在庫量、輸入量、石油製品供給量、単価、小売価格

	2019年 4Q	2020年 1Q	2020年 2Q	2020年 3Q	2020年 4Q	2021年 1Q	2021年 2Q	2021年 3Q	2021年 4Q
WTI原油価格(\$/bbl) スポット平均	56.86	45.34	20.64	25.47	29.59	36.63	42.16	45.48	48.53
ブレント原油価格(\$/bbl) スポット平均	63.30	50.00	23.11	29.97	34.00	41.13	46.66	49.98	53.03
天然ガス価格 (\$/MMBtu) ヘンリーハブ・スポット	2.40	1.89	1.85	2.11	2.71	2.99	2.74	2.83	2.98
米国原油生産量 (million bpd)	12.78	12.81	11.78	11.23	10.93	10.81	10.89	10.83	11.07
OPEC原油供給量 (million bpd)	29.02	28.28	26.14	25.23	26.64	28.26	28.46	28.51	28.54
米国液体炭化水素総供給量 (million bpd)	20.21	20.27	18.52	18.06	17.87	17.61	18.03	18.07	18.41
OPEC液体炭化水素総供給量 (million bpd)	34.19	33.59	31.15	30.09	31.50	33.21	33.35	33.39	33.42
OPEC・米国を除く国の液体炭化 水素総供給量(million bpd)	47.09	46.92	43.30	44.48	45.06	45.33	46.21	46.81	47.03
全世界液体炭化水素総供給量 (million bpd)	101.49	100.78	92.97	92.63	94.43	96.15	97.59	98.27	98.86
実質GDP (billion chained 2012 dollars - SAAR)	19,222	19,048	17,627	17,617	17,885	18,532	19,108	19,455	19,682
暖房温度・日数 HDD (65° F、18° C 基準)	1,559	1,875	505	69	1,506	2,094	483	70	1,504
冷房温度・日数 CDD (65° F、18° C 基準)	105	71	416	864	96	46	409	864	96

出典：EIA/ SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO) /2020年5月12日公表

■ 上記期間中の最低値

図-21 EIA/ SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO) のまとめ

EIA/SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO) から読み取れることは以下の通り。

- 原油価格は2020年中に30ドル/バレル手前まで回復し、2021年中に50ドル/バレル手前まで回復する
- 原油需要は2020年第2四半期中に回復を始め、2021年第3四半期にはCOVID-19以前の水準まで回復する
- 天然ガスについて、当面需要は減るが、生産量も減っているため、価格は2020年中にCOVID-19直前の水準まで回復する
- 電力について、2020年は夏・冬の気温が穏やかと予想されており、住居等の電力価格は例年を下回るが、2020年は産業需要も増えるため、COVID-19以前の水準まで回復する

ただし、原油生産量に関しては、原油生産量が順調に回復するかについては予断できない側面がある。

一旦生産を停止した場合、油層内の炭化水素（石油）が岩石や砂の濡れ性が変化するため、隙間を透過する量が減少することや、坑井内にアスファルテンの堆積やスケールの付着し、さらに底部には分離した重い比重の液体が集まることで、坑井内に析出する油分を上げ難くなることなどが懸念されている。また、停止した装置の腐食をはじめとする劣化も、生産再開時には問題になると見られている。

さらには、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、米国テキサス州のダラス連邦準備銀行が管轄する地域（テキサス州、ルイジアナ州北部、ニューメキシコ州南部）に本社または事業所を置く石油・ガスの生産事業者および油田・ガス田サービス事業者に対して、6月10～18日に実施したアンケートを行ったところ、回答した108の生産事業者のうち

82%に相当する 89 事業者が生産を停止または減産をしていると回答している。油井の生産を完全に停止した場合、上記を手当 (remedy) する坑井サービス事業者が需要に追いつかない状況が発生しうる。また、生産事業者やサービス事業者の倒産、解雇も、需要回復期の生産量の立ち上がりに影響することが懸念される。

2.5.11 天然ガスと COVID-19 の拡大について

本報告書では原油に焦点を当てており、天然ガスについては本来触れるつもりはない。しかしながら、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が拡大し、原油の需給、価格に大きな影響が及ぶ一方で、天然ガスの需給、価格には、さほど影響が出ていないことについては、全く触れないわけにはいかない。

COVID-19 以前から、シェールガスの生産増加、FERC による液化施設建設許可の増加により、天然ガスについては供給過剰の懸念があり、天然ガスのヘンリーハブ価格は低迷していた。しかしながら、電力、産業、家庭用の天然ガス国内需要が堅調に推移していることから、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 拡大後も、大きな値崩れは認められない。

これは原油が精製後に、ガソリン、軽油、ジェット燃料等、パンデミックの影響を受けやすい分野の燃料に転換されることに比べ、天然ガスが安定した消費先に供給されることで生じる違いである。

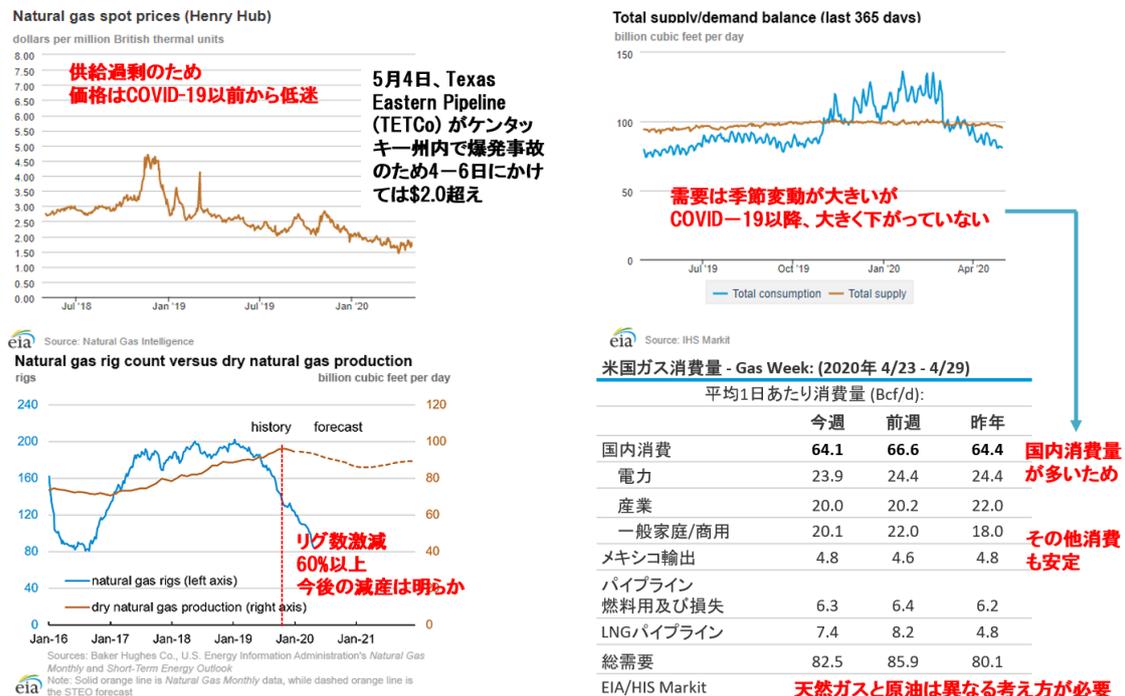


図-22 天然ガスの価格、生産、需給バランス、消費量のまとめ

2.5.12 本節のまとめ

原油価格は何で決まるのか？ 当然ながら、原油の需給バランスで決まるのであるが、このバランスは、大まかに、経済的要因、政治的要因、自然現象に左右される。

- ▶ 経済的要因としては、世界的又は局所的な景気変動に伴う需要変化、とりわけ景気後退や恐慌などの負の要因には注意が必要である。また、貯蔵能力と在庫量、生産技術向上に伴う生産量の増加、市場における投資家の行動などが挙げられる。
- ▶ 政治的要因としては、OPEC 及び OPEC プラスの生産（供給）調整、安全保障に関連する国際情勢、経済制裁措置、さらには減税や関税措置等も挙げられる。
- ▶ 自然要因としては、天候、地震等の自然災害に加え、新型コロナウイルス感染症のようなパンデミックが極めて大きな影響をもたらすことが明らかになった。また、今後は温暖化対策の文脈で化石燃料の生産に大きな影響があることは言うまでもない。

本報告書は、読者として製造・技術開発に従事する企業の関係者の方々を念頭に書いているが、生産停止のような状況に置かれた時こそ、その先の生産再開時に新たなビジネスチャンスがあるということを前向きにとらえることが重要である。また、気候変動対策を講じていく間にも、化石燃料は単に廃れるものとしてではなく、再生可能エネルギーによる代替燃料が提供されるまでの繋ぎの技術が必要になると考え、いち早く新技術に取り組むことが重要な時代になっている。これは、第1節のまとめとも共通する。

3 海洋石油ガス生産分野におけるデジタル化のための標準化作業について

3.1 背景

本プロジェクトは、某石油オペレーター企業から、筆者に直接相談があったことから始まった。既に同社は DNV-GL とデジタル化のための標準化作業に着手していたが、どうも上手くいっておらず、日本の企業を参画させて、プロジェクトを進めたいとの意向であった。構想の中にはビッグデータや機械学習も含まれていた。

直前に別の坑井サービス企業とデジタル化について意見交換していたので、この分野の問題点は理解していた。

ちなみに、ビッグデータとそれをベースとする機械学習の問題点は以下のとおりである。

- 石油オペレーターは、競合する企業間で掘削・生産のデータ共有は行わない。
- 石油オペレーターA社、B社、C社の間でデータ共有を行うことはないが、これらに共通の坑井サービス企業はA社、B社、C社のデータを自社内で持っていることがある。
- データ収集は同一企業内ですら生産施設、フィールド毎にムラがある。
- 主なムラは、計測機器の違いで、計測制度、計測頻度（毎秒1回、10秒に1回等）、保存データのフォーマットが異なる。
- さらには、同じ個所の圧力計測ですら単位が異なる。地域によって使用単位がパスカル（Pa）、バール（bar）、標準大気圧（atm）、重量ポンド毎平方インチ（psi）等異なる。
- このため、ビッグデータの様に共通プラットフォームに乗せても、これを同じ土俵で使えるまで、データを整理する手間が膨大である。
- 石油オペレーターがデジタル化で削減できるコストと上記手間に必要なコストが見合わない。

直ぐに関係する石油オペレーター企業数社と DNV-GL とで問題点についての認識を共有し、スコープを絞ることで合意した。このスコープを絞るための調査が以下であり、日本財団・DeepStar の共同プロジェクトとして日本企業の参画を念頭に調査は進んだ。

3.2 序説

既存のアセットを最大限に活用し、新しいアセットを最適化するためには、これらアセットのライフサイクルの管理を高コスト効率かつ円滑に行うことが、海洋石油ガス開発業界の長期にわたる持続可能性の維持にとって必要不可欠である。

デジタル化は、石油・ガス業界におけるコスト効率化への要望の高まりに対応する一つの方法であり、過去数年間に多数の企業が 何らかの形のデジタル開発に投資をしてきた。しかしながら、これらライフサイクル管理のデジタル・ツールや課題解決法の開発は、ほとんどが個別企業毎に独立して行われたものであり、石油ガス業界にとって デジタル化の恩恵を最大化するためには、データの標準化が必要不可欠である。

標準化作業の第1フェーズの焦点は、船殻・係留設備・ライザー（Hull, Mooring, Riser: HMR）に関するデータのインテグリティ・マネージメントに絞っており、トッ

プサイド及びサブシーに関するデータの標準化作業は後のフェーズで追加する。本プロジェクトにおいては、海洋石油ガス開発に関わる業界のデジタル化に関する業界共同研究（JIP）を取りまとめ、デジタル技術を通じて、アセットのライフサイクル・コストの費用対効果を高めるため、以下を目指す：

- オペレーターのニーズ/期待及びサービス業者が提供する解決策との連携を確実化すること。
- ライフサイクル管理を支援するための最小限のデータに関し、その必要条件についてオペレーター間の意見の一致及び一貫性を確立すること。
- データ管理に係る最低限の画一性を確立すること。

本プロジェクトにおいては、文献調査、業界への聞き取り・アンケート調査、会議、業界へのセミナーなどを組み合わせた活動を通じて、HMR のインテグリティ・マネージメントに関する業界の現在の課題（苦痛）を見極め、課題に対する解決策（治療法）を提示する。

3.3 プロジェクト実施

下記の活動を実施した：

- 幾つかの文献調査及び分析を実施した。また、入手可能な情報源から相乗的な効果を引き出すべく、既存のデジタル化に関する産業規格又は石油ガス業界と同様の標準化に着手した業界イニシアチブについての情報を収集すべく、他産業界の委員会との意思疎通を図った。
- 第一回調査 - データ標準化に関するアンケート調査を 2019 年 10 月に実施。調査にかかる質問事項は DeepStar の主要メンバー（シェブロン、シェル、エクソンモービル、トタル、エクイノール）によって作成・吟味された後、DeepStar のメンバー、アソシエイトメンバー以外の企業を含む関係企業に送付した。
- 第一回調査の回答回収後、引き続き DeepStar の主要メンバーと会議を実施し、HMR データ管理に関する現状と課題を検討した。
- 業界セミナーを 2019 年 11 月 14 日に開催し、第一回調査結果をベースに、HMR データ管理に関する課題と解決策を徹底的に討議した。
- 第二回調査は業界セミナーの結果に基づいて、最重要課題に対する最も望ましい解決策についての優先順位をつけるための質問を 2019 年 11 月 21 日に送付した。
- 第二回調査結果の回収後、DeepStar の主要メンバーと更に検討を実施し、今後の進め方について方針をまとめた。
- 以上について本報告書を取りまとめた。

3.4 既存の産業規格及び業界イニシアチブについての調査

デジタル化に関連する既存の産業規格及びデータ標準化に関連する業界イニシアチブに関し、以下について調査及び検討を行った。

3.4.1 既存の産業規格

- ISO 19848: 船舶及び海洋技術－船上機械及び機器のための標準データ
- ISO 19847: 海上における共有現場データに対する船上データサーバー（ISO 19848 のデータ構造に関する通信プロトコル）
- ISO 15926: 工業分野の自動オペレーションシステム及び統合化・石油ガス生産設備を含むプロセスプラントのライフサイクルデータ統合規格。
- データモデル（FMI, OWL, SFI, CMDS, ISO 15926）
- センサーのネーミング及び参照（ISO 19848, SFI）
- 海事分野における分類学（DNV GL VIS, ISO 28005）
- センサーのメタデータ（ISO 19848, IEEE 1451）
- データの記録（ISO 19847, OPC-UA）
- センサーの品質・信頼性（ISO 標準, IEEE 1451）

3.4.2 業界イニシアチブ

- CFIHOS: オペレーター会社、下請会社、機器製造会社、供給会社に対するプロジェクトの情報移譲に係る仕様の標準化で ISO 15926 の開発。現在は International Oil and Gas Producers: IOGP の Joint Industry Project JIP36 の下で開発が進められている。（CFHIOS は Capital Facilities Information Handover Specification の略）
- PPDM: 抗井サービスの分類法の開発。（PPDM は The Professional Petroleum Data Management の略）
- READI: オントロジー（共有されている概念化の形式的・明示的仕様）に焦点を絞った Joint industrial project: JIP として開発が進められている。コンピューターに必要な情報共有のために必要な概念化の形式的・明示的仕様に係るデータおよびデザインデータを検証し、分析することを可能とするセマンティックス（意味論）とフォーマリズム（形式論）を明確化する。現在フェーズ 2 にあり、IEC/ISO 81346 に基づく共通の参照指定（Reference Designation）システムを開発中。

3.5 第一回調査結果

第一回調査は DeepStar 主要メンバー（シェブロン、シェル、エクソンモービル、トタル、エクイノール等生産オペレーター）及び EPCI コントラクターからなる本プロジェクトへの全参加者からの入力情報を収集するよう作成されており、以下のとおり EPCI フェーズとオペレーションフェーズを対象とし、関係者毎に異なる質問事項を含んでいる：

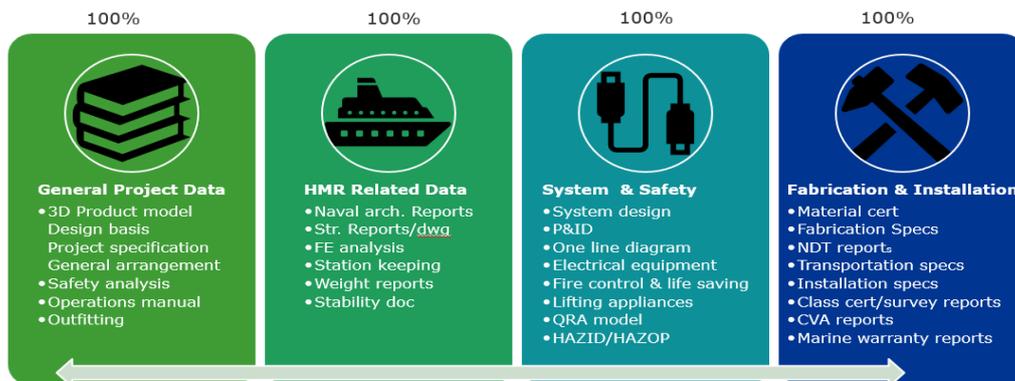
EPCI フェーズ

- (1) EPCI フェーズに関連するデータ－オペレーター 会社の観点
- (2) EPCI フェーズに関連するデータ－EPCI コントラクターの観点
- (3) オペレーションフェーズ
- (4) オペレーションフェーズに関連するデータ－オペレーター 会社の観点
- (5) オペレーションフェーズに関連するデータ－EPCI コントラクターの観点

3.5.1 EPCI フェーズ関連の調査結果

EPCI フェーズに関連する質問の回答結果は以下の通り。

(1) EPCI フェーズにおいて収集される主要なデータ

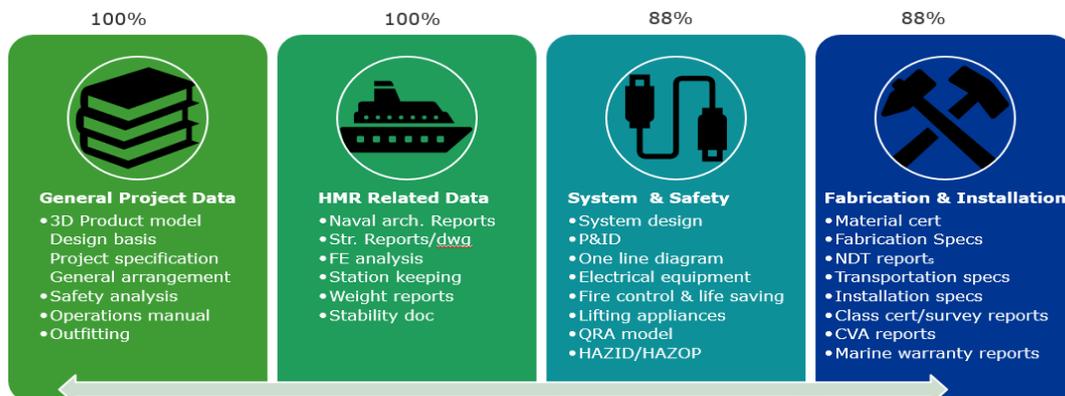


パーセントは列挙されたデータが収集されていると回答した者の割合を表す。

内訳

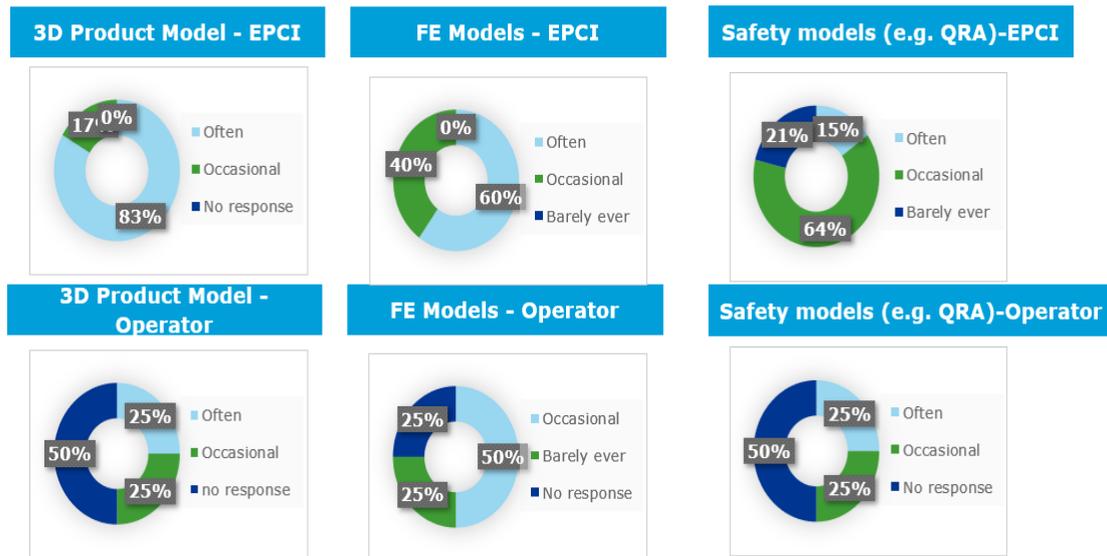
- 一般的プロジェクトデータ：3D プロジェクトモデル（デザインベース、プロジェクト仕様、一般配置図）、安全性分析、オペレーションマニュアル、取付
- HMR（船殻、係留装置、ライザー）関連データ：造船レポート、Str（強度）レポート／dwg（設計図）、FEA（有限要素解析）、位置保持、重量レポート、復原性関連文書
- システム・安全性：システムデザイン、P&ID（Piping and Instrumentation Diagram:配管計装図）、単線系統図、電気機器、防火&人命救助、昇降機、QRA（Quantitative Risk Assessment: 定量的リスク分析）、HAZID/HAZOP
- 製作・設置：材料認証、製作仕様、NDT（Non Destructive Testing: 非破壊検査）レポート、運搬仕様、設置仕様、船級証書／検査レポート、CVA（Certified Verification Agent）レポート、海上保険契約関連検査（Marine warranty survey）レポート

(2) 必要不可欠なデータの収集



パーセンテージは列挙されたデータ収集が必要不可欠と回答した者の割合を示す。

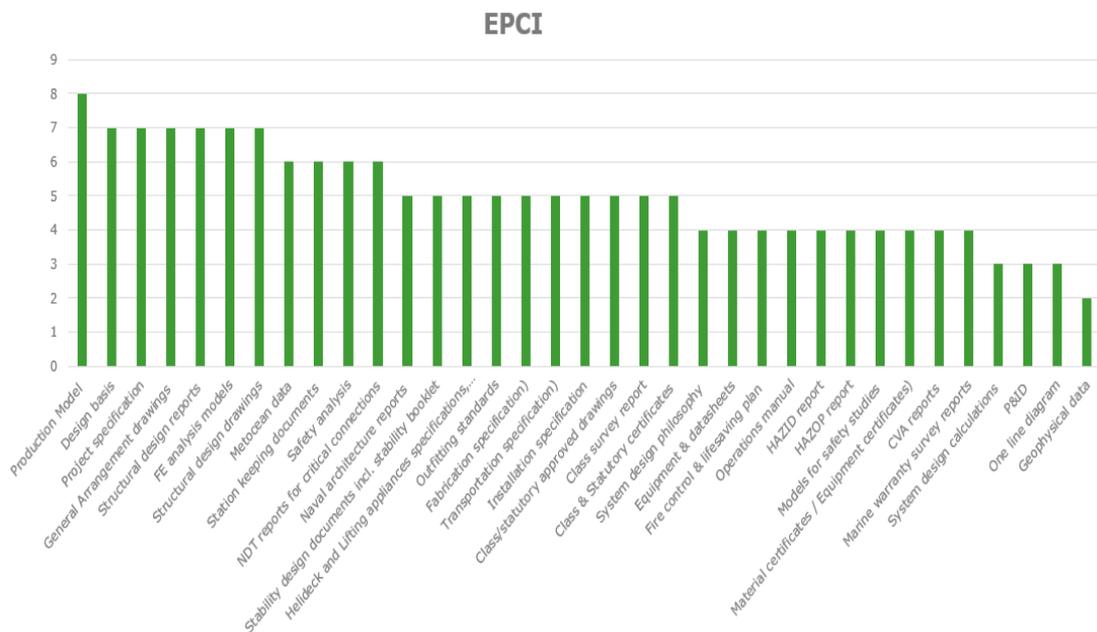
(3) 収集データの使用頻度



この質問は多肢選択形式であり、no response（無回答）とあるのは、回答者が質問に回答しなかった若しくは選択肢を選んでいないことを意味する。なお、Often は頻繁に、occasional は時折に該当する。

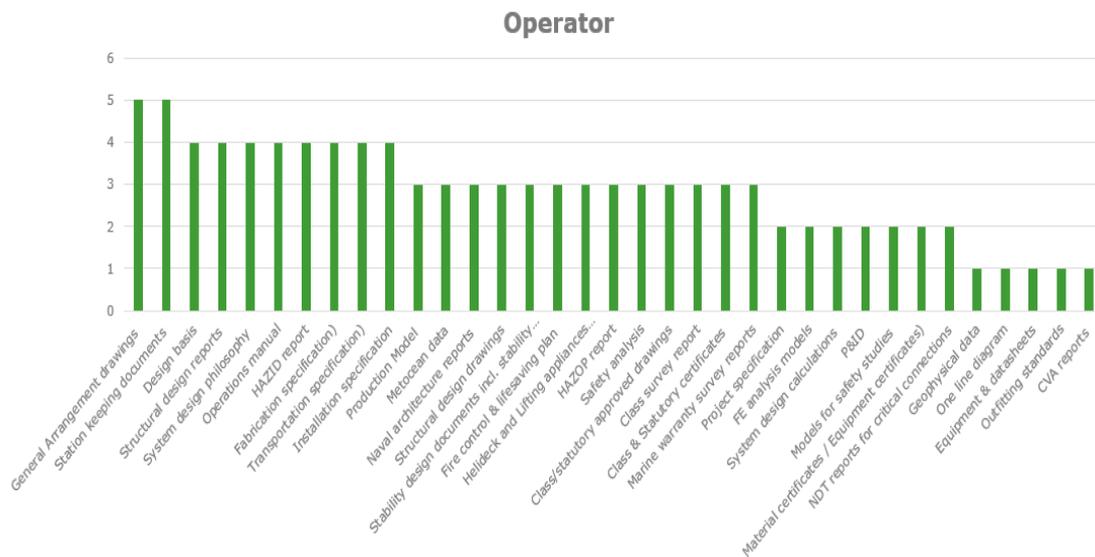
(4) 収集データが使用される頻度

本質問は EPCI 下請企業及びオペレーター企業の双方を対象としている。横軸は項目、縦軸は回答者の割合を表す。



1. プロダクションモデル
2. デザインベース
3. プロジェクト仕様書
4. 一般配置図
5. 構造設計レポート
6. FE 分析モデル
7. 構造設計図
8. 気象・海象データ
9. 位置保持関連文書
10. 安全解析
11. 重要結合個所の NDT レポート
12. 造船レポート
13. 復原性小冊子を含む復原性関連文書
- 14.

ヘリデッキ及び昇降装置仕様書 15. 取付け基準 16. 製作仕様書 17. 運搬仕様書 18. 設置仕様書 19. 船級/法定認可図面 20. 船級調査レポート 21. 船級・法定認可証明書 22. システムデザインフィロソフィー 23. 機器・データシート 24. 防火・救命プラン 25. オペレーションマニュアル 26. HAZID レポート 27. HAZOP レポート 28. 安全性調査用モデル 29. 材料証明書/機器証明書 30. CVA レポート 31. 海上保険契約関連検査 (Marine warranty survey) レポート 32. システムデザイン算定 33. P&ID 34. 単線系統図 35. 地球物理学的データ
(略語は (1) を参照)



1. 一般配置図 2. ステーション・キーピング・ドキュメント 3. デザインベース
4. 構造設計レポート 5. システム設計フィロソフィー 6. オペレーションマニュアル 7. HAZID レポート 8. 製造仕様書 9. 運搬仕様書 10. 設置仕様書
11. プロダクション・モデル 12. 気象・海象データ 13. 造船レポート 14. 構造設計図 15. 復原性小冊子を含む復原性関連文書 16. 防火・救命プラン 17. ヘリデッキ及び昇降装置仕様書 18. HAZOP レポート 19. 安全解析 20. 船級/法定認可図面 21. 海上保険契約関連検査 (Marine warranty survey) レポート
22. プロジェクト仕様書 23. FE 分析モデル 24. システムデザイン計算 25. P&ID 26. 安全検討モデル 27. 材料証明書/機器証明書 28. 重要結合個所の NDT レポート 29. 地球物理学的データ 30. 単線系統図 31. 機器・データシート 32. 取付け基準 33. CVA レポート
(略語は (1) を参照)

(5) 収集される 3D モデルのデータの種類



88 % has PDMS
25% has AVEVA
25% has Navisworks

この質問に対する回答結果によれば、殆どのプロジェクトがある種の 3D モデルを使用していることを示している。回答者の 88%が使用する Plant Design Management System (PDMS) は AVEVA が提供する 3D CAD のソフトウェアであり、25%の AVEVA の回答も同一ソフトウェアを示していると思われる。同じく 25%が回答した Navisworks は Autodesk 社が提供する 3D CAD ソフトウェアである。どちらも Microsoft Window 上で動くことから汎用性が高いが、オフショアの石油ガス生産設備の設計においては PDMS の使用割合が多い事を示している。

また、二つの 3D CAD ソフトを使っている回答者も複数いることを示している。二つのソフト間ではデータの Export/Import が可能ではあるが、これに関する課題は本調査では特に論じられていない。

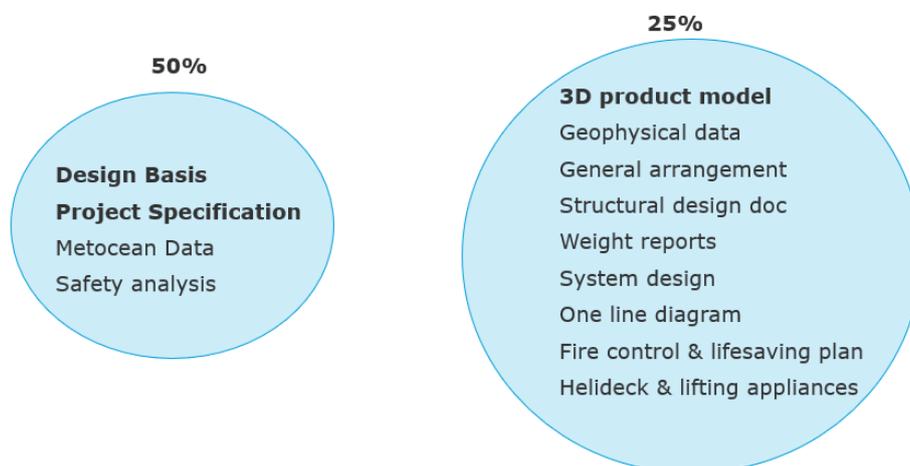
(6) EPCI フェーズにおける課題

以下のとおりの課題が提示された。

- 入手できるのが部分的データに限定される場合がある
- フォーマットに一貫性がない
- システム内のデータの管理と発見
- 妥当な情報を見つけ難い — 基準オンラインシステムが必要
- PDF ファイルは 検索し難く、ライフサイクル管理には最善ではない。

(7) オペレーター企業間で異なるデータの種類

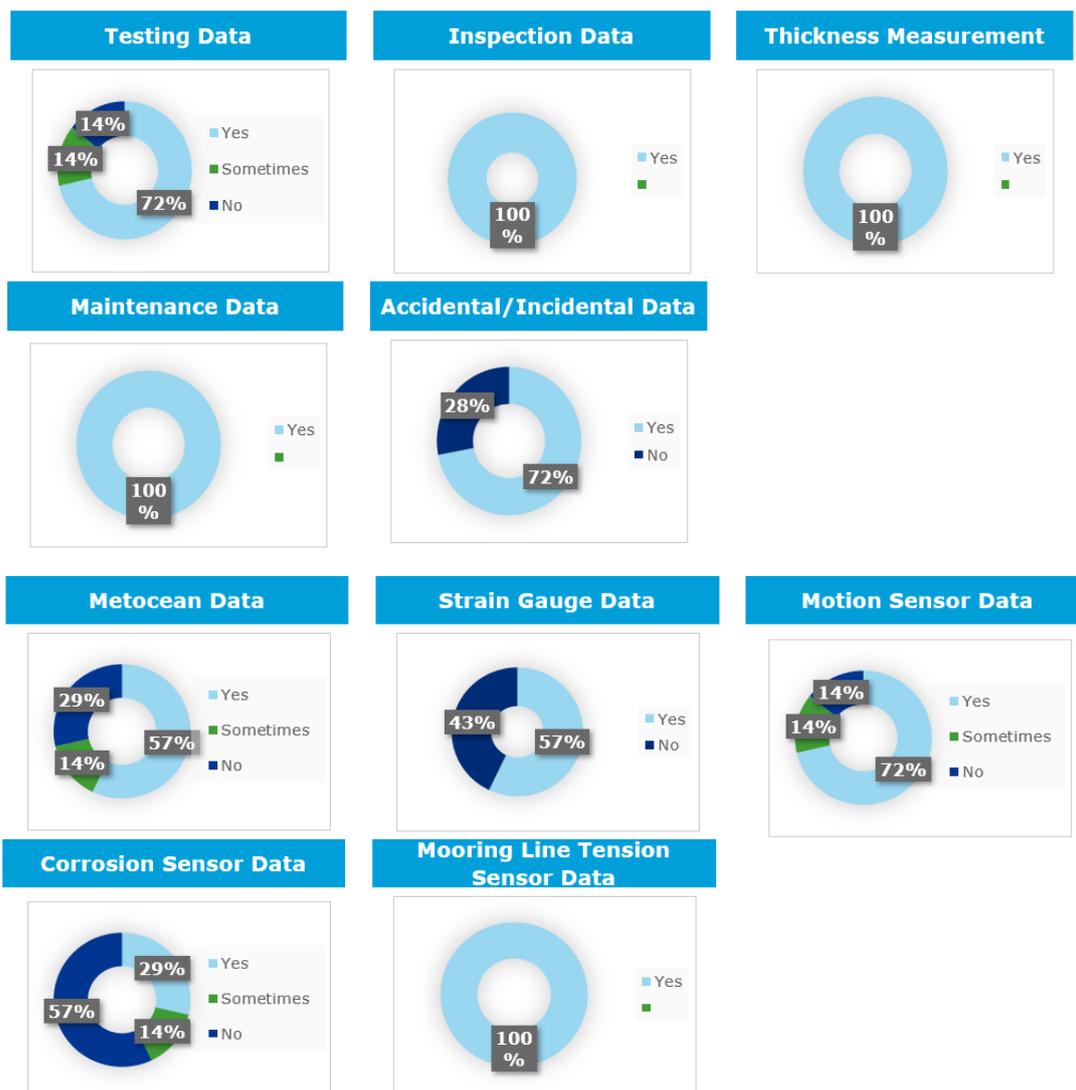
以下は、EPCI 下請企業及びサービス提供企業の回答。



50%の回答者は、設計ベースのプロジェクト仕様、特に気象海象、安全評価に関するデータについて、オペレーター 企業間における一貫性が最も欠如していると考えている。また 25%の回答者は、3D 製品モデルに関し、地球物理、一般配置図、構造設計、重量レポート、システム設計、単線系統図、防火&救命、ヘリデッキ&昇降装置に関連するデータの一貫性が最も欠如していると回答。

3.5.2 オペレーション フェーズ関連の調査結果

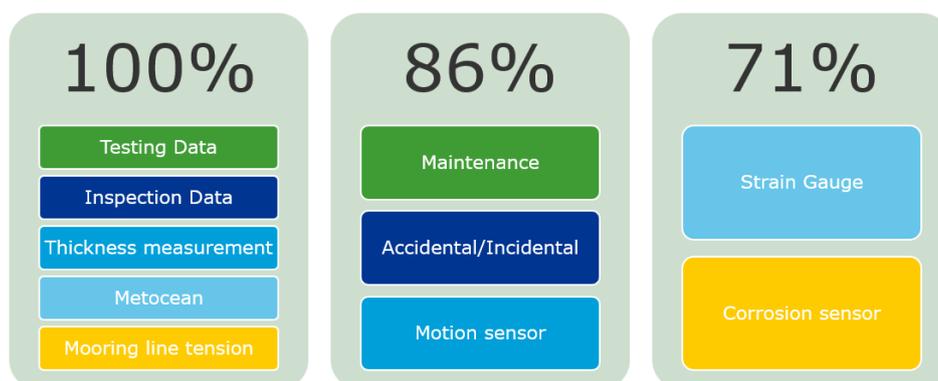
(1) オペレーションフェーズにおいて収集される主要なデータ



この質問は多肢選択形式であり、no response（無回答）とあるのは、回答者が質問に回答しなかった若しくは選択肢を選んでいないことを意味する。なお、各回答として挙げられたデータ種類の和訳は以下のとおり。

1. テストデータ
2. 検査データ
3. 厚さ測定
4. メンテナンスデータ
5. 事故／インシデント関連データ
6. 気象・海象データ
7. ひずみゲージデータ
8. モーションセンサーデータ
9. 腐食センサーデータ
10. 係留索の張力センサーデータ

(2) 必要不可欠なデータ収集



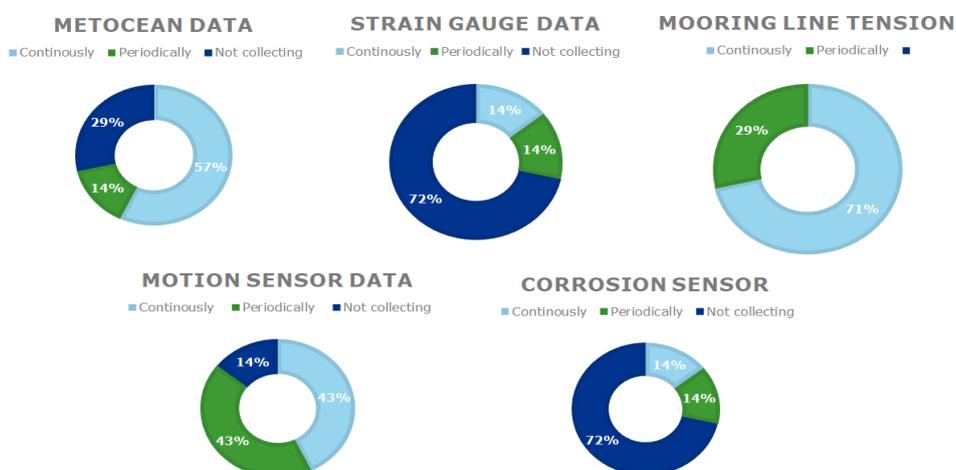
パーセントは列挙されたデータを不可欠とみなす調査回答者の割合を表す。

100%が必要不可欠と回答したのが、テスト、検査、厚み計測、気象・海象、係留索の張力に関するデータ。

86%が必要不可欠と回答したのが、メンテナンス、事故/インシデント、モーションセンサーに関するデータ。

71%が必要不可欠と回答したのが、ひずみゲージ、腐食センサーに関するデータ。

(3) データ収集頻度



気象・海象データ（継続的 57% 定期的 14% 無収集 29%）

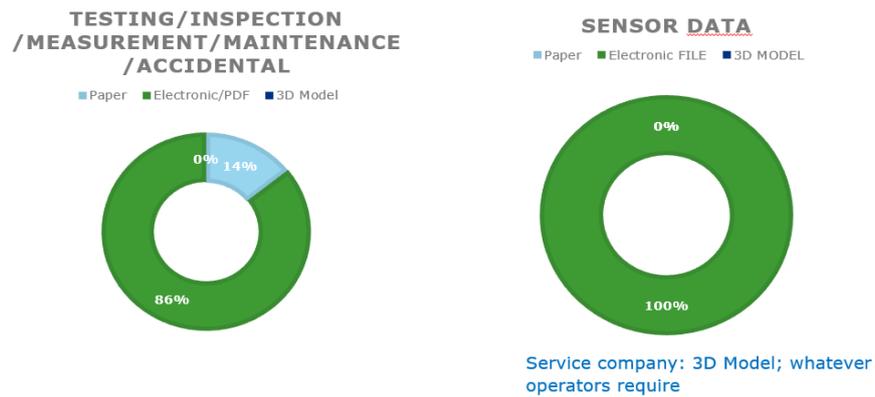
ひずみゲージデータ（継続的 14% 定期的 14% 無収集 72%）

係留索張力データ（継続的 71% 定期的 29% 無収集 0%）

モーションセンサーデータ（継続的 43% 定期的 43% 無収集 14%）

腐食センサーデータ（継続的 14% 定期的 14% 無収集 72%）

(4) データ記録方法



テスト／検査／測定／メンテナンス／事故データ：

紙文書 14%、電子データ／PDF86%、3D モデル 0%

センサーデータ：

紙文書 0%、電子データファイル 100%、3D モデル 0%

サービス会社はオペレーターが要求する如何なるデータも 3D モデルに対応すると回答

(5) 収集されたデータの陸上への転送



71%～86%が大部分のデータを陸上に転送すると回答。

(6) 収集されたデータの使用頻度



テスト／検査データ：頻繁に 28%、時々：58%、稀に：14%

厚み計測データ：頻繁に 50%、時々：50%、稀に：0%

係留索の張力データ：頻繁に 43%、時々：57%、稀に：0%

(7) 収集されたデータの使用目的



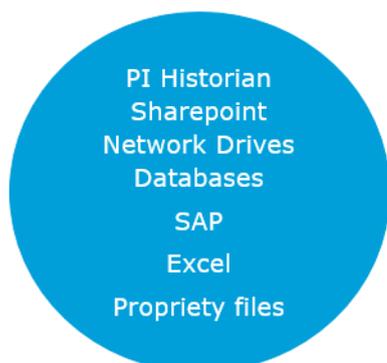
100 % mentioned about Integrity Mgm, Modification, Repair
85% mentioned Life Extension

100%が インテグリティ・マネージメント、改修、修繕を挙げている。

85%が 延命（Life Extension）を挙げている。

(8) データ管理に使用されるプラットフォーム

Operators



EPCI Contractors



(9) 主な課題（自由記載）

データマネージメントに関し、以下の課題が挙げられた。

- 文書発掘（ドキュメント抽出・分析）：
 - －正しいドキュメントの発見。
 - －あまり重要でない調査結果の中の重要情報の発見。
- 生産の維持、塗装プログラム、検査活動がデジタル資本経費より優先的に扱われている。
- プロジェクトフェーズとオペレーションフェーズ間の断絶。
- 歴史的な気象海象及びダイナミックモデル（力学的モデル）との統合方法。
- タグ付け/参照システムの欠如、ヘルスマトリクス（判断基準）の基準化
- データの質及び入手可能性
- データから通常のオペレーション以上の価値を得ること

- 機器の信頼性：取り込んだデータが 敏速な決断を支持する為の予測モデルにフィードされていない。
- 移行フェーズでのパラレルシステム（並列システム）： 新アセット/システム、旧アセット/システム

3.6 業界セミナーの結果要約

業界セミナーは DNV GL が開催し、オペレーター企業、EPCI 下請企業、サービス企業並びに JETRO 及び DeepStar が参加。終日のグループワーク作業を通して、洋上浮体設備プロジェクトの異なるフェーズで生じるデータに関連する課題について徹底的に議論・討議し、概要を取りまとめた。

EPCI フェーズにおける主な課題（苦痛）を下記の通り要約した：

	課題（苦痛）
1	大量のデザインレポートがあるものの、共通の参照と番号付けのシステムが欠如している為、妥当な情報を発見するのが往々にして困難。
2	ドキュメント管理システムでの不一致、また追跡可能性がドキュメント管理のスタッフに大きく依存している（人が変わると、ドキュメントは殆ど見つからない。）
3	主要デザイン情報は 上手くドキュメント化されておらず、ライフサイクルを通じて追跡不能である。
4	デザインレポートの詳細記述と品質のレベルに大きな差異がある。中には十分な詳細記述が無いものがある。
5	分析モデルは、往々にしてオペレーター 会社に提供されない。これは責任上の懸念、ビジネス競合或いはソフトウェアバリア（同じソフトウェアに対してライセンス無しに、オペレーター会社は 分析モデルを使用できない）ためである。
6	異なるソフトウェア間での、あるいは同じソフトウェアでも異なる改訂版の間での互換性。
7	ソフトウェアの旧式化によるモデルの互換性。
8	時として分析モデルは入手可能であるが、ドキュメント化されていない。
9	ライフサイクルを通してモデルのメンテナンス（整備）を欠く。
10	異なるソフトウェアと異なるタイプのソフトウェア間のコミュニケーションの欠如は、（例えば、分析的モデルに対する CAD モデル）は結果的に二重作業をもたらす。
11	ライフサイクルを通じて、異例の追跡と検査のフォローアップ（事後点検）の欠如。
12	設置中の調査について質の点検と記録の欠如（例えば、係留索が設置中適切に張り渡されていないことがあると、デザイン通りの荷重運搬能力に至らない）。
13	ライフサイクルを通して変更追跡の欠如
14	データの中にはよくドキュメント化されておらず、遡ってたどることが困難なものがある、例えば製作中の硬度。
15	異なる材料販売業者は、内容及び様式の点で、非常に異なる材料証明書を提供している。
16	船級規則と業界基準はサービス中の条件に対する、またある程度は運搬状態に対する最低必要条件を定義する。しかし、中間的な運搬状態は上手く定義されておらず、サービス前の状態に対する会社仕様は一般的にサービス中の条件に比して強固ではない。多くのインシデント或いは故障はサービス前の状態中に発生している。例えば TLP に対する連結前の支えなしの埠頭側の係船状態など。

17	船級に含まれる事項については、最小限必要条件と第三者確認があるが、等級の範囲外の事項は、例えばライザーシステムについては材料代用或いは偏差の容認などについて明確な文書がない。
18	運搬の決断や必要条件は往々にして EPCI 下請会社にとっては、プロジェクトに参画するのが遅すぎるためデザイン過程に効果的に組み込めない。
19	牽引関連の情報について知識や習得した教訓の共有が限られている
20	良い情報記録保管に対するインセンティブが無い、今記録するためのコストについて、20-30 年後に必要となりうるとの正当性を示すことが困難。

オペレーションフェーズの主要課題ー「課題（苦痛）」ーの要約は下記のとおり：

	課題（苦痛）
静的データ ープロジェクトフェーズからの ドキュメント	1 データ管理及びデータ記憶保管の責任者につき明確な定義がない。
	2 企業のドキュメン化管理基準／システム／ツールなどは EPCI と異なっている。データの EPCI からオペレーション会社への転送後、望むデータ抽出が困難である。
	3 デザイン CAD／3D モデル（PDMS, AVIVA, NAVIS Work）と現場現況に合わせて作成した図との間に相違点がある。
	4 メタデータの適用が不十分である。
	5 プロジェクトフェーズ中には、データの入手可能性・そのフォーマット（読み込めない）・トラック変更（追跡可能のログが不在）に関する課題がある。
	6 データが移譲時ですら最新のものでないことが頻繁である（例えば 3D モデル）。
	7 ドキュメントの管理担当者配置ーやめる人がデータの知識を持ち去る。
定期的 データ	8 ビジュアルデータ - 古いデータ（写真）がよく使用されるが、追跡し動向をみるのが困難（例えば時系列）。 ビジュアルデータを如何に適切に捕捉するか。
	9 膨大な量の記録データが存在する。重要性の低い調査結果の中から重要な情報を見極めるのは困難。
	10 UT はスコープに一貫性がない。UT のスコープと手法はよく異なる企業により異なって定義づけられている。
	11 調査結果／所見の実際の物理的場所をデザインデータに結びつける或いは関連づけるのは困難である。適切な参照システムが使用されていない。
	12 検査範囲（方法・間隔など）は、デザインからの調査結果（重要性）に合うように調整されていないーリスクベースの検査でない。
	13 収集されたデータのフォーマットは一貫性がない；データの質は時には不良である。
	14 第三者販売会社により提供される検査データに一貫性がない。
継続的 データ	15 センサーシステムがプロジェクトフェーズ中に適切にセットアップされないと、システムの改良が高価となる。
	16 オペレーションチームとプロジェクトチーム間に断絶がある；オペレーション（データ収集の点で）から学んだ教訓が、改善に向けてプロジェクトフェーズに適切にフィードバックされない。

	17	継続的に収集されたデータの一般的問題点: ●データ入手が困難（サービスが第三者から提供される場合） ●一貫性のないフォーマット ●データ作成日（頻度）と明確に定義されていないシンクロニゼーション（同期性）とデータギャップ ●データのノイズとキャリブレーション：データのクリーンアップは多大の労力を要する。
	18	良い継続的腐食モニターシステム/センサー/方法/その他が無い。
	19	適正な人（ニーズと「課題（苦痛）」の理解者）が「データ」システムの構成方式の開発に携わるべきである。知識の無い人が良いシステムを創れるはずはない。
	20	継続的モニターに使用されるセンサーの信頼性 - 数年後に多数の機能停止: センサーに対する明確な認定プロセスが無い。
耐用期間の延長	21	耐久期間延長に際して、材質疲労度再評価の為に FE モデルが入手不能である。作り直すのは非常に高価となる。古いモデルは往々にして役に立たない（旧式）。
	22	古いアセットについては、保管されている情報が殆どない。
	23	一部のアセットについては、情報（歴史的データ、改造、保全・管理の記録）が入手可能であるが、種々のフォーマット（文書或いはスキャンされた PDF）であり、不完全であり、利用可能な情報を見つけるのに多大の労力がかかる。
	24	耐用期間の延長には明確な法的規制必要条件が無い。各オペレーター 会社は独自に対処している。
	25	ハインドキャスト（予測値を使って見通しを立てる）の作業は集約的である。歴史的出来事は e-メールやメモリーのレポートの中に在る。
	26	法的規制デザイン耐用期間（取締機関により認定された現場での耐用期間）と実際の設計デザイン耐用期間（計算されたデザイン上の耐用期間）との間には往々にして相違がある。

セミナーにおいては、引き続き確認した課題に対する潜在的な解決策を討議した。これら EPCI フェーズに対する潜在的解決策を以下に要約する:

潜在的解決策（治療法）	
1	「アセットレジューム」に対する業界ガイドライン、これは高水準のドキュメントであり重要デザイン決定（例えば強度や材質疲労度に関する最重要の部品）、製作異常、設置異常、そして設置中の状態（デザインから逸脱しているか）を包含する全ての分野の重要情報全てを要約し、アセットのライフサイクルを通して維持されるべき生きた（更新されて行く）ドキュメントである。
2	検査、NDT 報告書、厚さ測定（基準参照システムを使用するインプットとアウトプットの内容とフォーマット）用の基準デジタルテンプレート、これは異なる検査会社間に一貫性、異なるオペレーション会社間と異なるプロジェクトに必要な条件をもたらす。
3	材料と機器類の証明書用の基準デジタルテンプレート。
4	ドキュメント参照（命名と番号付けの規約）システムに対する業界基準、これは EPCI とオペレーションフェーズの双方を対象とすべき。
5	属する等級レベルやデータの入手可能性/質を示すための自発的な等級表示： a. 等級別の独立分析のレベル b. 等級別に立証され、EPCI 契約の一部として引き渡された分析モデル（妥当な等級表記がモデルの最小必要条件を定義することになる） c. 等級別に保管・維持され記憶され、オペレーター会社による入手が可能とされるドキュメントのレベル。 d. 3D 製品モデル（調査によると、これはオペレーションフェーズ中に最も使用されるデータである）

6	ニュートラル（中立）モデルファイルのフォーマットの業界基準（FE 分析モデルに対して）、これは異なるソフトウェアのインターフェース問題、及び分析モデルの引き渡しについての責任上の懸念に対処するのに役立つ（よって全てのモデルが変換され、このニュートラルモデルファイルフォーマットで引き渡されることになり、異なる利用目的に他のソフトウェアに変換できることになる。各自のソフトウェアがこのニュートラルモデルファイルフォーマットをインポート／エクスポートできるかを確認するのは各ソフトウェア会社或いは最終使用者に任せられることになる。
7	サービスの前段階フェーズに対する更に詳細な必要条件を定義するための業界基準
8	耐久期間延長に要求されるドキュメント化のために明確に定義された規定期待値

オペレーションフェーズに対し可能性のある解決策の要約は下記の通り：

	可能性のある解決策
静的データ	1 「ドキュメント」思考から離れて、枠をでて考えること、例えばデジタルツインの向かうこと？—船殻・係留装置・ライザー用のデジタルツインのロードマップを開発し、ギャップを見極めること。
	2 ドキュメント検索と主要情報の比較を自動化できるツール／プロセスを開発すること。
	3 異なるプロジェクトフェーズを通じてのドキュメント管理のための業界ガイドラインを開発すること：最小限の内容、フォーマット、引き渡し、移行、保管、保全。
	4 適切なプロジェクト管理／ドキュメントコントロールプロセスは価値がある。
	5 記憶保管にクラウドを利用し、等級或いは販売会社のデータ管理を外部委託すること。
データ収集	6 センサー／モニターシステムに対する業界基準、これには資格、設置、データ収集、処理などが含まれる。
耐用期間の延長	7 耐用期間延長の枠組みプロセスに対する業界基準（関係当局の同意の下で） - DeepStarとの進行中のプロジェクト？
	8 メキシコ湾における耐用期間延長に対する業界技術ガイドラインを確立した。
	9 将来のプロジェクトや耐用期間延長に使用でき得るいくつかの「典型的な」パラメータを見極めるために歴史的データやセンサーが収集したデータを利用すること。
	10 息の長いアセット耐用期間を維持するビジネス価値を論証すること。

3.7 第二回調査の結果

業界セミナーの結果において確認した「課題（苦痛）」及び「解決策」の優先順位を決めるため、第二回調査が実施された。

調査ツールの制限もあり、幾つかの「課題（苦痛）」と「解決策」を統合して調査を行った。調査に含まれる「解決策」は業界共同プロジェクト（JIP）において取組を要する事項に焦点を絞っている。

第二回調査結果の要点は下記のとおりである：

「下記のそれぞれの課題（苦痛）に関し、各社のオペレーションへのインパクト（影響）」を次の選択肢で示すよう質問した

■ Very Low ■ Low ■ Medium ■ High ■ Very High

（非常に低い、低い、中程度、高い、非常に高い）

受け取った回答に基づき、課題（苦痛）には次の方法を使用して順位がつけられた：

A. 個々の苦痛度は調査で与えられた選択肢に基づいて測られている：

非常に低い=1、低い=2、中程度=3、高い=4、非常に高い=5

苦痛度の総合値は（個々の課題（苦痛） x 票数）の合計として計算。

苦痛の順位は苦痛度の総合値に基づく。例えば、最高順位の数値は 1、二番目の高順位の数値は 2 など。同点が多かった。

	順位
ドキュメント管理システムの不一致、追跡可能性はドキュメント管理スタッフに大きく依存； 新任者は正しい情報を容易に見つけることは困難。	1
オペレーションチームとプロジェクトチーム間が断絶しており、オペレーションから学んだ教訓（データ収集の点で）は改善に向けてプロジェクトフェーズに適切にフィードバックされない。	1
ソフトウェアの旧式化のため古いモデルを再使用できない。	1
資産の所在場所を含めデザインデータにサービス中の発見や所見を結びつけ或いは連結するのが困難。適正なりフェレンスシステムが使用されていない。	4
共通の番号付けと参照システムの欠如が妥当な情報を見出すのを困難にしている。	4
検査範囲（方法、時間的間隔等）はデザインからの発見（重大性）と同調していないため、リスクベースの検査ではない。	4
良い情報記憶装置に対するビジネス上の正当な根拠の欠如：現在の記憶データのコストで 20-30 年先に必要であろうデータを正当化するのは困難。	4
映像データ：古いデータ（写真）がしばしば使用されるが、追跡することや傾向（例えば時系列）を見るのは困難。映像データを如何に適切に捕らえるか？	8
等級に含まれる項目に関しては、最小限度の必要条件と第三者検証があるが、等級の範囲外の項目、例えばライザーシステム、に関しては、材料代用或いは偏差の容認などについてのドキュメント化に対する明確な必要条件はない。	8
異なるソフトウェアと異なるタイプのソフトウェア（例えば分析的モデルに対する CAD モデル）間のコミュニケーションの欠如は仕事の重複という結果に終わる。	8
第三者販売会社が提供する検査データ（範囲、方法、フォーマット）における一貫性の欠如、データの質はやや劣っている。	8
センサーシステムはプロジェクトフェーズ中に適切に設置されておらず、システムの改造は高価である。	8
（ニーズや「苦労点」を理解している）適任者が「データ」システム構造の開発に携わるべきである。この知識のない人は良いシステムを創り得ない。	8
輸送の決定と必要条件是しばしば EPCI 下請会社にとりプロジェクトで余りにも遅くもたらされるのでデザインプロセスに効果的に組み入れられない。	8
ライフサイクルを通して異常の追跡調査と検査フォローアップ（追加措置）の欠如	8
分析モデルはしばしば責任上の懸念・ビジネス競合或いはソフトウェアの障害（同じソフトウェアに対するライセンス無しにオペレーター 会社は使用できない）のためにオペレーター 会社に提供されない。	8
設置状態査定の品質チェックと記録の欠如、例えば、ある係留ラインが設置中に適切に張り渡されていないことが捉えられていなければ、これは誤った確信感を引き起こす。	17
データの管理とデータ記憶保存の責任者についての明確な定義の欠如。	17
大量の小発見中に重要情報を見極めるのは困難	19
ライフサイクルを通して分析と 3D モデルの保全維持の欠如	19
耐用期間延長に対して明確な規定必要条件がない。各オペレーター 会社は独自に対処。	19

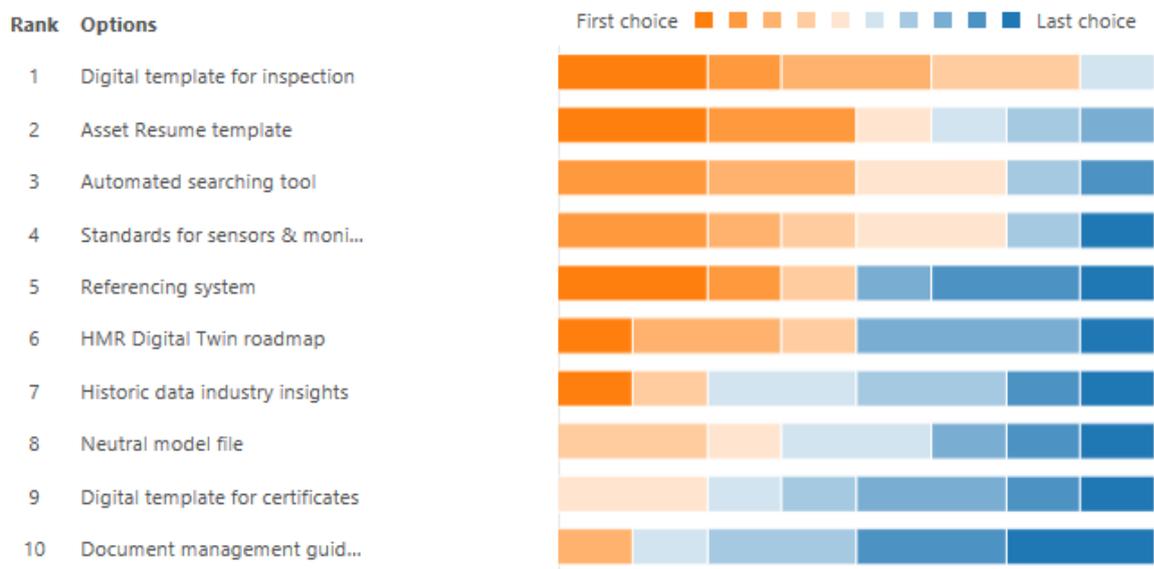
牽引関連の情報について知識の共有や習得した教訓は少ない。	19
情報は入手可能であるが、フォーマットが様々（文書或いはスキャンされた PDF）であり、不完全である。利用価値のある情報を見つけるには大変な労力を要する。	23
主要デザイン情報はうまくドキュメント化されておらず、ライフサイクルを通して追跡不能。	23
ライフサイクルを通して変更追跡の欠如	23
一部のデータはうまくドキュメント化されておらず、遡ることが困難、例えば製作中の硬度	23
優良な継続的腐食モニターシステム/センサー /方法などが無い。	23
規制デザイン耐用期間（規制官公認の現場耐用期間）と実際のデザイン耐用期間（算定デザイン耐用期間）との間の相違がよくある。	23
ハインドキャスト（過去事例の予測実験）の努力が集中的に行われている。しかし、過去の事例の耐用期間は e-メールや散在するレポートの中にある故に習得した知識が実施されない。	23
継続的モニターで利用されるセンサーの信頼性—多くは数年で故障：センサーの明確な認定プロセスが無い。	23
デザインレポートの詳細記述と質のレベルに大きな差がある。一部には十分な詳細記述が全くない。	31
異なる材料販売会社が内容とフォーマットの点で、非常に異なる材料証明書を提供している。	31
等級規定と業界基準はサービス中の状態とある程度までは運搬状態に対する最低必要条件を定義する。	33
旧資産について、記憶保管された情報が殆どない。	33
継続的に収集されるデータを包含する一般的問題点： — データ入手が困難（サービスが第三者により提供される場合） — 一貫性のないフォーマット — タイムスタンプ（頻度）と時間的一致が一致していない。	33
分析モデルの入手は可能ではあるが、適格にドキュメント化されておらず、再使用が困難/不可能	36

また「解決策」の順位付けのために下記 a. b.のポイントについての質問を行った。

A. 下記の分類リストで業界の共同研究（JIP）がどこに焦点を合わせて標準化の開発を行うべきか、優先順位付けを行う。

最上位: 最も好ましい開発のポイント

最下位: 最も好ましくない開発のポイント

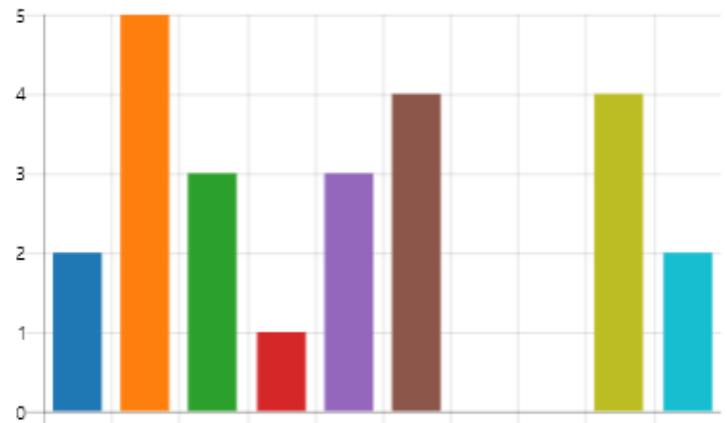


上図はその結果であり、ヒートマップの形で表示されている。縦の各項目の和訳は以下のとおり。

1. 検査用デジタルテンプレート
2. アセット経歴テンプレート
3. 自動検索ツール
4. センサーとモニターの基準
5. 参照システム
6. HMR デジタルツインのロードマップ
7. 歴史的データに基づく業界の洞察
8. 中立的モデルファイル
9. 証明書用のデジタルテンプレート
10. ドキュメント管理ガイドライン

b. 共同研究（JIP）の努力により、業界が集中すべき上位 3 つの解決策を指摘する。
 なお、セミナーで指摘された解決策の全てがここには入っていない。その代わりに、調査は業界共同研究（JIP）による開発が最善とされる「解決策」に集中する。

● 1: Referencing system	2
● 2: Asset Resume	5
● 3: Standards for sensors & mo...	3
● 4: Document management gui...	1
● 5: Automated searching tool	3
● 6: Digital template for inspecti...	4
● 7: Digital template for certifica...	0
● 8: Neutral model file	0
● 9: HMR Digital Twin	4
● 10: Historic data industry insig...	2



上図はその結果であり、縦の各項目の和訳は以下のとおり。

1. 参照システム
2. アセット経歴
3. センサーとモニターの基準
4. ドキュメン管理ガイドライン
5. 自動検索ツール
6. 検査用のデジタルテンプレート
7. 証明書用デジタルテンプレート
8. 中立的モデルファイル
9. HMR デジタルツイン
10. 歴史的データに基づく業界の洞察

可能性のある「解決策」が指摘された「課題（苦痛）」に如何に上手く対処しているかを評価すべく、以下のマトリックスが作成された。

横列はセミナーで指摘された「課題（苦痛）」を表し、縦列はセミナー出席者によって提案された「解決策」を表す。

「X」は、特定の「解決策」が特定の「課題（苦痛）」の緩和に役立つ可能性を示す。

重要なのは、このような関連性が、業界セミナーにおける議論に基づき、「課題（苦痛）」と「解決策」が意味する関係を、それぞれのコンテキスト（文脈）において考察することである。それぞれの詳細についてはセクション 3.5 を参照のこと。

また、この調査は業界共同研究により最も開発される「解決策」に焦点を合わせているため、業界共同研究（JIP）には妥当ではない「課題（苦痛）」は、以下表からは除外している。

表の最末尾には、各「解決策」についてのコネクション総数が表示してあり、特定の「解決策」が潜在的に対処できる「課題（苦痛）」の数を示している。

実際、コネクション総数が最高の 3 つの「解決策」は、優先順位で上位 3 件の「解決策」と上手く整合している。本表は、最上位の「課題（苦痛）」が最上位の「解決策」により（完全ではないものの）よく対処されていることを示している。

横列の項目

- a. データ基準化に関する「課題（苦痛）」
- b. アセットレジュメテンプレート
- c. サービス中検査用テンプレート
- d. HMR デジタルツインロードマップ
- e. 自動検索ツール
- f. ドキュメント管理ガイドライン
- g. 参照システム
- h. センサーとモニター用の基準
- i. 歴史的データ業界洞察
- j. 中立的分析モデルファイル
- k. 証明書用デジタルテンプレート
- l. 苦痛順位

データ基準化に関する課題（苦痛）	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
ドキュメント管理システムでの不一致、追跡可能性はドキュメント管理スタッフに大きく依存； 新任者は正しい情報を容易に見つけられない。		x		x	x	x	x					1
オペレーションチームとプロジェクトチーム間が断絶しており、 オペレーションから学んだ教訓（データ収集の点で）は改善に向けてプロジェクトフェーズに適切にフィードバックされない。		x	x	x								1
ソフトウェアの旧式化のため古いモデルを再使用できない。				x						x		1
アセットの所在場所を含めデザインデータにサービス中の調査結果や所見を結びつけること或いは接続するのが困難。適切なリファレンスシステムが使用されていない。			x	x			x					4
共通の番号付けと参照システムの欠如が妥当な情報を見出すのを困難にしている。					x	x	x					4
検査の範囲（方法、時間的間隔等）がデザインからの知見（重大性）に同調していない。リスクベースの検査ではない。	x	x										4
良い情報記憶装置に対してビジネス的正当化の理由が無い。NOW（現在）の記憶装置のデータのコストはこの先2、30年後に必要であろうデータを正当化し難い。			x		x	x						4
映像データ — 古いデータ（写真）がしばしば使用されるが、 追跡したり傾向見たり（例えば時系列）するのは困難。映像データを如何に適切に捕らえるか？			x	x								8
異なるソフトウェアと異なるタイプのソフトウェア（例えば分析的モデルに対するCADモデル）の間のコミュニケーションの欠如は仕事の重複という結果に終わる。										x		8
第三者販売会社が提供する検査データ（範囲、方法、フォーマット）における一貫性の欠如、データの質はやや劣る。			x									8
センサーシステムはプロジェクトフェーズ中に適切に設置され無い。システムの改良は費用がかかる。								x				8
（ニーズや「課題（苦痛）」を理解している）適任者が「データ」システム構造の開発に携わるべきである。この知識のない人は良いシステムを創り得ない。	x				x	x	x					8
輸送の決定と必要条件はしばしばEPCI下請会社にとりプロジェクトで余りにも遅い段階でもたらされるので事実上デザインプロセスに組み入れられない。										x		8
ライフサイクルを通して異常の追跡調査と検査のフォローアップ（追加措置）の欠如	x	x			x							8
分析モデルは責任上の懸念・ビジネス競合或いはソフトウェアバリア（同じソフトウェアに対するライセンス無しにオペレーター会社は使用できない）が原因で、オペレーター会社に提供されないことがしばしばある。										x		8
設置中査定の品質チェックと記録の欠如、例えば、ある係留索が設置中に適切に張り渡されていないことが捉えられていなければ、虚偽の確信を生む。	x											16
データ管理とデータ記憶保管の責任者についての明確な定義の欠如。	x											16

データの基準化の進歩に役立つであろう。

(1) デジタルツインのロードマップ

デジタルツインのロードマップは優先順位の高い「救済法」の一つであることに留意すべきである。完全なデジタルツインは目標にはいまだに程遠いが、多様な構成部分が種々の企業や JIP により開発中である（或いは開発されている）。例えば、掘削機器・幾つかの生産機器・幾つかの係留装置構成部分のためのデータ予測モデル；READI JIP はオントロジーを、すなわちコンピューターに必要条件データとデザインデータを推論し分析せしめる意味論と形式論を開発している。船殻・係留装置・ライザー用の完全なデジタルツインを達成するには何が必要かを理解するためには、必要とされる全ての構成部分を明確に定義し、既存の構築ブロック（構成部分）を綿密に図示し、ギャップを明確化すべく入念な研究調査を行うべきである。費用対効果の分析に基づいて、業界はどのギャップを更にまた如何に進展させるべきか決断できるであろう。

留意すべきは下記に挙げた推奨策の多くが完全なデジタルツインの実施に向けた構築ブロックであることである。

(2) 重要データの収集 アセットレジュメ

データの発掘（旧来のデータですら）は多大なる時間を要し、時には効果的に使用できずに不十分な情報あるいは品質不良の情報にたどり着く。最善の方法として、重要なデザインの取り決め（例えば、強度及び疲労度に関して最も重要な構成部分）、製作組立の異常、設置の異常、設置中の状態（デザインからの逸脱があるか）を包含するあらゆる専門分野の重要情報全てを要約する高水準のドキュメントが生成されるべきだと提案されている。これは、アセットのライフサイクルを通じて維持されるべき生きたドキュメントであり、同ドキュメントにオペレーションの知見が記録される。業界共同研究がこのアセットレジュメの基準化を達成する最善の方法であろう。例えば、アセットレジュメ・テンプレートに対する業界ガイドラインを確立することで、これが最小限の内容とデータのフォーマットを定義する。ライフサイクルを通して重要情報の追跡可能性を容易にするために基準のタグ（目印）付け/参照システムが使用されるべきである。

長期的利益は、デジタルテンプレート（デジタルモデルにおいても）をオープンソース（自由に改良・再配布可能）の形で確立する、そうすることで情報は他のデータシステムと容易にインターアクトできるように、またデジタルツインモデルの一部として統合されるようになる。

(3) 検査インプット/アウトプット用のデジタルテンプレート

オペレーションフェーズ中に収集された検査データが大量にあり、インテグリティ管理、耐用期間延長などにとって非常に貴重である。しかしながら、数百ページの長さに容易に及ぶことのある検査報告書にはかなりの矛盾がある。僅かな重要情報を見つけるのにこれらの膨大なドキュメントに目を通すのには長時間を用する。検査される構成部分での不一致のために、如何に検査結果（用語、場所、測定単位、参照事項など）が記録されるかは、例え大量の検査データが入手可能であっても追跡することもしくはトレンドイン

グ（趨勢を見る）ことは殆ど不可能である。

従って、検査・NDT レポート・厚さ測定などのためにデジタルテンプレートを確立すべきと勧められている、これは種々の検査会社と種々のオペレーション会社と種々のプロジェクトとの間に一貫性をもたらし、また最終的に多年に渡って追跡することやトレンドイング（趨勢を見ること）を可能性とするためである。このテンプレートは種々の検査ツールやシステムとインターフェースで接続できる検査データのインプットとアウトプットを標準化するためである。

重ねて業界共同研究が斯様な標準化を確立するための最善の方法である。種々の検査ツール／システム（測定を含め）を検討することで、標準化されたオープンソースの検査インプット／アウトプット用テンプレートは、例えば最小限必要条件（検査対象の構成部分、場所、測定タイプ、測定回数、日付など）、記録フォーマット（例えば、単位、参照システム、専門用語、格付けなど）を含めて開発されるべきである。テンプレートは異なる検査ツールや他のソフトウェアとインターフェースで容易に接続ができ、またデジタルツインモデルの一部として統合されるようにオープンソースの形式を使用すべきである。一貫性のある内容とフォーマットでデータが電子的に収集されさえすれば、追跡することやトレンドイングをしたり、自動アセスメント（評価）を可能とする分析モデルに統合されたり、あるいは潜在的故障を予知するデータ分析や機械学習を行うことが可能となる。

（4）自動化された検索ツール

大量のレポートや図面が存在するが、共通の参照・番号付けシステムが欠如しているために妥当な情報を見つけ出すのが往々にして困難である。古いアセットについては、大量のデータが例えば文書の写し、スキャンした PDF ファイル、電子ファイル（PDF、ワード、エクセル）などの種々のフォーマットで存在している。僅かな重要情報の検索は時として多くのデータマイニング（発掘）を要する。電子ファイルとスキャン（走査）された PDF ファイルの両方を検索できるスマートツールが、特に検索結果に基づいて鍵となる用語を自動的に拡大/修正する機械学習能力を備えたツールが非常に役立つであろう。テキスト（原文）ドキュメントからの検索は容易である；図面はかなり困難である。数社（スタートアップ会社を含め）が必ずしも特に石油・ガスへの適用を目指したものではないが、類似したツールを開発している。関心があれば、業界 JIP をツールの開発或いは既存ツールを注文変更するソフトウェア会社を雇うのに利用できる。

（5）センサーと監視システムの業界基準

センサーと監視システムはデジタル化への移行で重要な構成部分であり、データ分析を可能とする貴重なデータを提供する。現在のところ、センサーと監視システムについての確立した業界基準はない。センサーの品質、設置場所、データ収集及び送信の方法の点で、大きな相違がある。多数のセンサーは設置後間もなく故障している。収集されたデータの多くは利用されていないか、利用が限られている。センサー／監視システム販売会社、オペレーター会社、船級協会、EPCI 会社、サービス提供会社を加わった業界共同研究を通して センサーと監視システムの業界基準を確立することが勧められている。下記の基準は出発点として利用できる：

- センサーのネーミング（命名）及びリファレンシング（参照）（ISO 19848, SFI）
- センサーのメタデータ（ISO 19848, IEEE 1451）
- データ記録（ISO 19847, OPC-UA）
- センサーの品質及び信頼性（ISO 基準, IEEE 1451）

（6）リファレンシング（参照）システム

前述の通り、大量のデザインレポートがあるが、多くの場合、共通の参照と番号付けシステムの欠如のために適切な情報を見つけるのが困難である。今後のプロジェクトやデータ収集にとり、共通の参照システムが重要である。業界共同研究は業界基準の確立するためには最善の取り組み方であり、或いは船殻・係留装置・ライザーに使用される参照システムにとり最善の方法である。出発点として使用できる確立されたの海事分類（DNV GL VIS, ISO 28005）が幾つかある。

（7）その他の潜在的業界活動

ニュートラルファイル

分析モデルは船殻・係留装置・ライザーシステムが意図されたデザイン基準を満たしていることを確認するためのデザインプロセスの重要構成部分である。これらのモデルの継続的利用は様々な要因により限定されている：

- これらは（ニュートラルモデルファイル）は、責任上の懸念又はビジネス競合或いはソフトウェアバリア（障壁）（同じソフトウェアに対するライセンス無しに、オペレーター会社は分析モデルを使用できない）故に、オペレーター 会社に提供されないことがよくある。
- 異なるソフトウェア間或いは同じソフトウェアの異なるバージョン（改訂版）間での互換性
- ソフトウェアの旧式化によるモデルの互換性。
- 異なるソフトウェア間と異なるタイプのソフトウェア間（例えば分析モデルに対する CAD モデル）のコミュニケーションの欠如は二重の作業という結果に終わる。

上記制限要因に対処するための一つの可能性のある解決策はニュートラルモデルファイルのフォーマット（分析モデルのために）の業界基準を確立することで、そうすれば全てのモデルが変換されてこのニュートラルモデル・ファイルフォーマットで提供されることができ、また異なる利用目的のために他のソフトウェアに変換され得るようになる。これによりソフトウェアが、このニュートラルモデルファイルフォーマットをインポート（読み込み）／エクスポート（書き出し）できるを確認するのは種々のソフトウェア会社或いは最終利用者の責任となる。

歴史的データに基づく業界の洞察

業界セミナーでは運搬の決定や必要条件が届くのが EPCI 下請け会社にとってプロジェクトの過程で余りにも遅すぎるということがよくあるために、デザインプロセスに効果的に組み入れることができないことが討議された。これに対する可能性のある解決策は業界が幾

つかの歴史的データに基づく洞察を共有することで、デザイナーがデザインプロセスの早期に更に正確な工学的見積りをすることが可能となる。これは調査質問事項で余り説明されておらず、この質問の回答者は異なる理解をしているかもしれない。

一般的に歴史的データに基づく洞察の共有は今後のプロジェクトに有益なのは明らかである。これは種々の会社の方針・慣例による制約があるため、ここでの業界共同研究に関する努力の討議から除外された。

耐用期間延長（延命）のガイドライン

耐用期間延長に関する課題について論議が多数あった。必要条件やプロセスが不明瞭である。メキシコ湾における浮遊施設の耐用期間延長に向けた最善の方法を定義するための業界ガイドライン確立に関心があるが、データ基準化に直接関連していないために、最優先解決策の調査質問から除外されている。しかしながら上記提案の実行は耐用期間延長プロセスを一層容易にするであろう。

3.9 次フェーズへの提言

活動の全てが実施されれば、結果的に下記の事項を開発するための業界共同研究は船殻・係留装置・ライザーシステムの保安全管理に最もコスト効率性の高い価値をもたらす：

- 1) アセットレジュメのテンプレート
- 2) デジタル検査 インพุット（入力）／アウトプット（出力）のテンプレート
- 3) 船殻・係留装置・ライザー用のデジタルツインのロードマップ

現行のプロジェクトの継続として、下記を日本企業と DNV-GL が日本財団及び DeepStar の共同プログラムに共同プロジェクトとして提案している。

上記 項目 2) 及び項目 3) の一部を統合する 2020 年度 日本財団・DeepStar 共同研究開発プロジェクト：

検査インพุット／アウトプットデータの基準化（例えば、係留装置のデータ）及び検査/測定データをデジタルツインモデルに送り込むロードマップの開発、これはリアルタイムでの保全監視と故障予測を可能とする負荷監視データに統合される。

基準化された検査アウトプットに基づく自動的材質低下情報の更新は、ルーチン操作の必要にとり時間／コストの節約となる。これは、リアルタイムの負荷監視システム（例えば、牽引張力システム）と組み合わせられて、係留装置用の真のデジタルツインを可能とする。

なお、上記の日本財団・DeepStar 共同研究開発プロジェクトの対象外になる項目「1) アセットレジュメ・テンプレート」に関しては、DeepStar コアプロジェクトへの応募を念頭に進める事を検討する。

3.10 まとめ

本プロジェクトについては、結果的に日本企業と DNV-GL がシェブロン等の支援を受けて、日本財団-DeepStar の枠組みプロジェクトとして進めることが決定した。上述のように、石油ガス業界のデジタル化、デジタルツイン化については、先が長いプロジェクトになる。ましてや、ビッグデータを活用した AI による機械学習などはまだまだ先の長い話である。

こうした背景にあるのは、一つには石油ガス業界の秘密主義がある。仕様、設計、データの企業間における共有は決して行われたい。

もう一つは、生産設備の仕様が設置される地域毎に異なることである。生産される原油やガスも違えば、地質、地形、気象・海象も異なるからである。特にデジタルツインは、シミュレーションと同じであり、モデルを実物との間でチューニングして整合させていくため、膨大なシナリオとデータが必要になる。これに掛かるコストを選ぶのか、従来通り人に頼るのか。おそらくは、生産設備を丸ごとデジタルツイン化するのではなく、デジタルツイン化に適した個所を特定することが必要になる。

筆者が参加したプロジェクトの一つに、海洋構造物の延命措置に係るものがあった。基本的なアプローチは現在の耐久性能を把握し、さらに何年の使用に耐久性が維持できるのかを計算で求めるのである。もちろん必要に応じて改造で強化するところはそうする。

このため、腐食と疲労の状況を把握する事から始まるが、腐食は現状の構造部材の板厚計測により対応可能である。しかしながら、疲労については過去にひずみゲージを付けるなどして計測したデータがないため、どのような応力が各部材に働いたかを推測しなければならない。

過去の気象海象データを集め、実際にどのような荷重が加わったかを推定するのだが、その時に浮体構造物がどのようなポジショニングを取っていたかすらデータがないため、やむなく最悪のコンディションを想定して計算したところ、あるハリケーン下の状況下で破壊が起こる結果が出てしまい、さらにもう一度ポジショニングの設定についての検討を全般にわたって見直すことになった。

このように、過去を再現するシミュレーションもデータが十分でなければ難しいということである。

一方で、この分野は競争が始まったばかりであり、日本も決して後れてはいないと信じている。多くの企業が叡智を集めて、困難を克服することを願ってやまない。

この報告書はポートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

米国の海洋石油ガスの開発・生産施設の現状と
技術開発動向の調査

2020年（令和2年）3月発行

発行 一般社団法人 日本船用工業会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-13-3
虎ノ門東洋共同ビル 5階
TEL 03-3502-2041 FAX 03-3591-2206

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 2-10-9 ラウンドクロス赤坂
TEL 03-5575-6426 FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

