

第9章 Digital Transformation (DX)

9 Digital Transformation (DX)

9.1 Digital Transformation (DX)技術概論

9.1.1 はじめに

2020年現在、あらゆる産業においてデジタル技術を使用し、これまでにないビジネスモデルを展開することでゲームチェンジを図ろうとしている組織が登場している。

例えば日本においても展開している Amazon.com, Inc.などは、購買プラットフォームを web で展開し、顧客情報を集め、AI(Artificial Intelligence)を使用しビッグデータとして解析することで、ユーザーニーズに基づいた商品提案を行っている。Amazon.com, Inc.が日本で展開されたことによる、小売業界への影響は甚大であり、既にゲームチェンジが起きた業界と言える。

我々の所属するエネルギー分野においてもこの流れは避けられず、エネルギー業界を俯瞰して見ると、テスラなどが開発している Electrical Vehicle が普及した場合、各家庭に蓄電池が置かれると同義であり、家庭用太陽パネル発電を使用し、Smart Grid で効率的に蓄電・配電することで石油・ガス由来のエネルギー源を必要としない需給バランスが成立する可能性もある。

上流開発産業に属する日本企業が国際競争力を強化し、権益の新規獲得・維持を可能とするためには、こういったデジタル技術の普及から目をそらさず、AI・ビッグデータ・Robot 技術を活用した資源開発技術の高度化に取り組む必要がある。図 9-1-1 は探鉱・掘削・操業の各フェーズにおいて期待されるデジタル技術の展望となる。

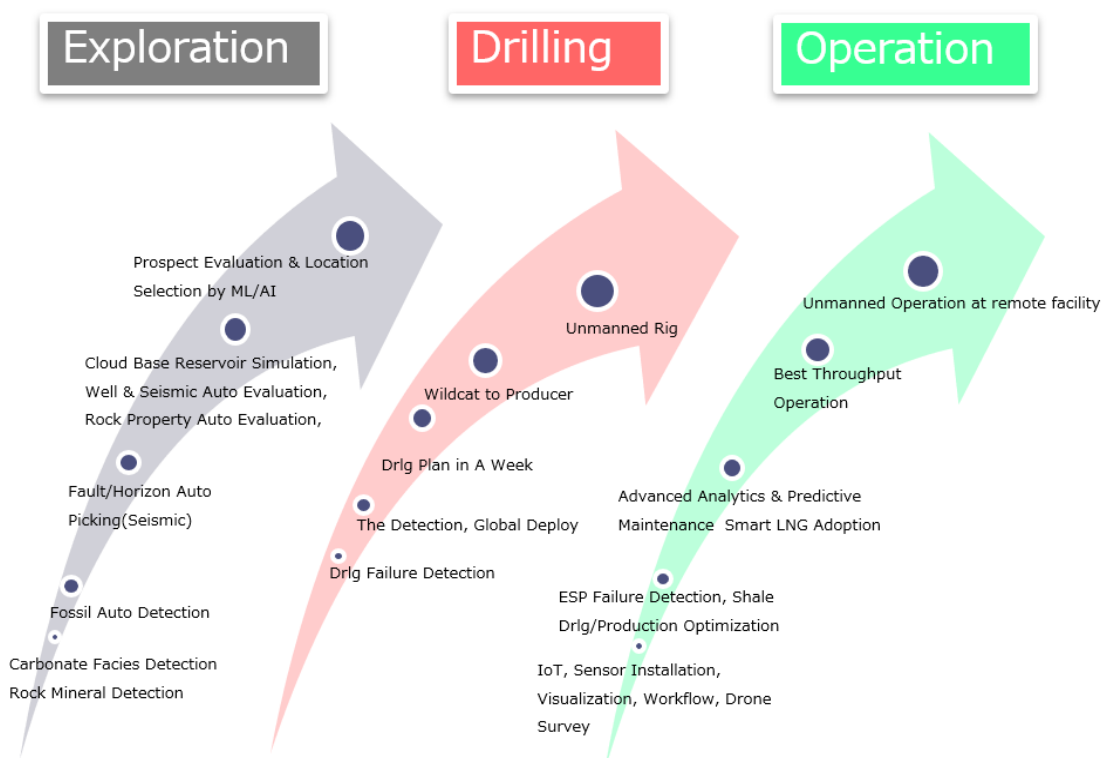


図 9-1-1 資源開発技術におけるデジタル技術展望

第9章 Digital Transformation (DX)

AI 分析等に知見を持つ高度デジタル人材は、各業界間で取合いになっており、上流開発産業においてもその確保が難しい状況であることに加えて、上流開発産業に関する業界知見の学び難さや難解な専門用語の多さから、高度デジタル人材と資源開発技術者の相互理解が困難であるといった課題があり、デジタル技術を理解した資源開発技術者の育成が求められている。

このような背景から本稿は若手技術者を対象に、デジタル技術の概要と海洋石油・ガス業界における適用事例を紹介する。

9.1.2 IoT

(1) 無線計装

今日、ありとあらゆる機器、例えば家庭用の冷蔵庫もインターネットに接続される時代となった。スマートフォンにアプリケーションをインストールすることで外出先から冷蔵庫の様々な情報にアクセスできる、まさに IoT (Internet of Things) 時代の到来である。また、インターネットへの接続にはかつて主流であった LAN(Ethernet)ケーブルによる有線で接続するよりも、Wifi に代表されるような広く普及した無線通信規格の恩恵により、手軽に接続できるようになった。この通信無線化の波は、プロセス産業の分野にも訪れており、代表的な無線ネットワークである ISA100 と Wireless HART は、それぞれ IEC 62591、IEC 63734 として国際規格になっている。こうした技術により、工場内の様々なセンサーで取得された情報は、有線ではなく無線通信により制御システムに送られており、敷設するケーブルの量が減らされ、敷設に必要な工数も削減できるという点が広く知られた無線化のメリットである。ただ、こうした無線計装が今後急速に有線にとって置き換わるかという点必ずしもそうは言いきれない。通信のみならず、各種計装機器には電源が欠かせないため、完全な無線化には独立したバッテリー駆動ないしは電源供給設備が必要となる。そうすると、定期的なバッテリー交換が必要となり、そもそも工場の新規建造時には膨大な量の各種ケーブル敷設工事が発生するので、今後も安定性の高い有線が中心となりつつも、部分的に無線計装が導入されるケースが一般的となるのではないかとと思われる。

(2) Portable Device 等による Operation 最適化

海上の巨大な石油・ガス生産施設や、東京ドームの何十倍相当の広大な敷地内に建設される LNG(Liquified Natural Gas)プラントにどのようなイメージを持たれるだろうか。実際に見学をされた方だと、案外人が少ないとか、巨大な塔槽類が立ち並び、配管がジャングルのように張り巡らされ、回転機がゴウンゴウンと常時無機質な騒音を発生させている、そんなイメージをお持ちではないだろうか。実際に

第9章 Digital Transformation (DX)

このような設備で勤務していた著者も、同様なイメージを持っている。精密機械工業とは全く異なる世界だ。しかし、実は小さなモバイル型の端末が巨大設備の至る所で活躍し、操業の最適化を支えている。本項ではそのような端末の利用シーンをいくつかご紹介する。

石油・ガス生産施設で使われるモバイル型の端末には様々な用途を持つものがあるが、何かを測定するものと情報を参照するもの大きく二分できる。どちらも、安全で効率的な、より最適な操業を支えるものである。前者の例としては、ポータブルガス検知器(図9-1-2参照)や赤外線カメラ、超音波探傷器(図9-1-3参照)などが挙げられる。石油・ガス生産施設は高圧の可燃性液体・気体を扱うため、万が一漏洩が起これば、引火・着火してしまうと人命を奪う大事故となる。そのため、安全に対する要求が非常に高く、漏洩を未然に防ぐ、あるいは万が一漏洩した際に即座に検知することが極めて重要である。



図 9-1-2 ポータブルガス検知器

参考：<https://www.rikenkeiki.co.jp/products/detail/104>[1]

第9章 Digital Transformation (DX)



図 9-1-3 超音波探傷

参考：<https://www.olympus-ims.com/ja/ndt-tutorials/flaw-detection/>[2]

後者の例としては、一般消費者にも普及しているスマートフォンやタブレット型のデータ閲覧ツールが挙げられる。これらは2010年頃まで主流であった今日ガラケーと呼ばれる端末にとって代わり、世界中の消費者に浸透した。石油・ガス生産施設の最前線でも、こうした端末の利便性が着目され、使われ始めている。様々な自動化技術が駆使されている工場であっても、日々巡回点検によるきめ細やかな保全活動で支えられているので、現場とオフィス（のネットワーク）をつなぐためのツールに対する需要は元々存在していた。巡回員が情報をトランシーバーで制御室に伝達する、巡回中に紙のメモに記載し、巡回後にデータ化する、こういった従来のワーキングスタイルがモバイル端末により変わろうとしている。



図 9-1-4 モバイル端末の活用例 OSi Soft PI World 資料より一部参照

第9章 Digital Transformation (DX)

参考：

https://cdn.osisoft.com/corp/en/media/presentations/2013/EMEA2013/PDF/EMEA13_OSisoft_LeBayResnickThomassen_PISystemVisualizationAndMobileDeviceStrategy.pdf?_ga=2.20413503.649274756.1602120909-60731589.1597791246[3]

(3)プラントヒストリアンと IoT との関係性等

“ヒストリアン”とは、辞書で調べると“歴史家”と訳される。しかし、“プラントヒストリアン”や“オペレーショナルヒストリアン”と一般的には呼称されるシステムの場合は、工場の制御システム(DCS=Distributed Control System、SCADA=Supervisory Control And Data Acquisition、PLC=Programmable Logic Controller)に埋め込まれる、あるいはこれらと連携させて使われるソフトウェアを指す。一般的には、工場の操業を支える通信インフラにおいて、監視を担うレベルにてデータの記録を 24 時間 365 日行い、データは様々な用途に利用される。

IoT は、こうした情報収集の仕組みにも大きな影響を及ぼしている。例えデータソースが世界中に散在していても、容易にデータを収集することが可能となった。また、昨今は単にデータを記録するだけでなく、データの見える化やコンテキスト化という観点で、プラントヒストリアンのソフトウェアメーカーは各社競っている。代表的なメーカーに米国サンフランシスコに本社を置く OSI Soft 社があり、同社は PI システムというプラントヒストリアン製品を世界中の顧客に提供している。図 9-1-5 に示す通り、工場の至る所で取得されたデータはサーバーに集約され、工場のみならず全社員が Web ブラウザ上で様々な機器の状態をリアルタイムで確認することが可能である。また、こうした Web ブラウザ上で動作するアプリケーションが普及することで、データを見るためのデバイスの選択肢も幅広くなった。工場の勤務者が、操業データがリアルタイムに解析され、状態が表示されたタブレット端末を持ち歩きながら巡回を行う現場も珍しくない。

プラントヒストリアンは、日々記録される膨大な操業データを、何十年単位という長期、つまりほぼ永続的に保存する特徴を持つ。まさに“ヒストリアン=歴史家”という名称が相応しい技術ではないだろうか。たとえ現在では解析不可能な機器トラブルであっても、急速に進化する AI 技術により解析可能になる時代が、目前に迫っていると言える。

第9章 Digital Transformation (DX)

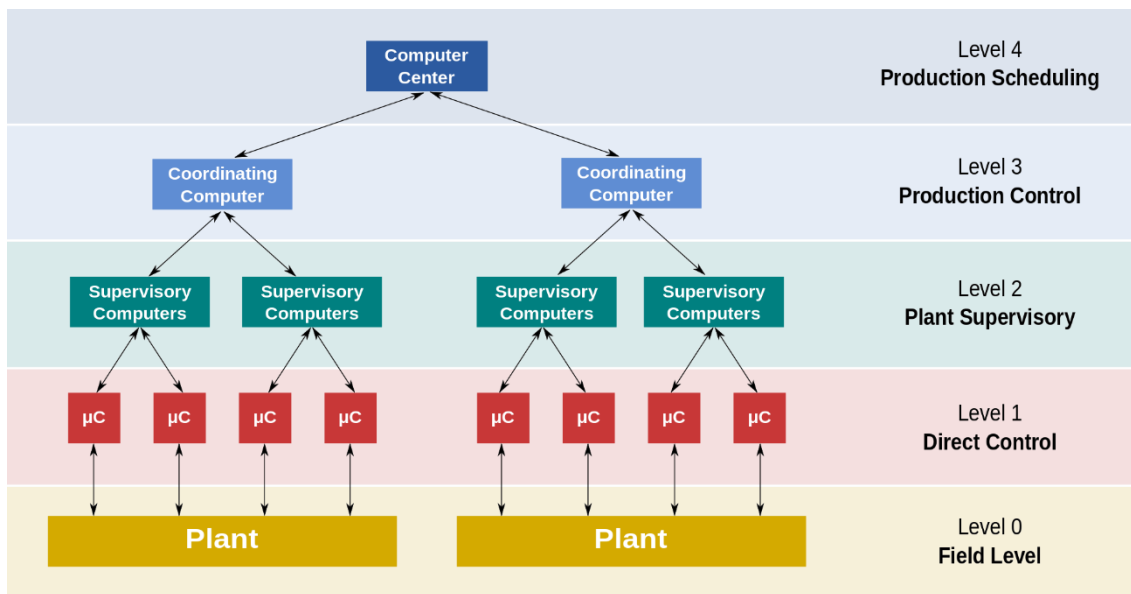


図 9-1-5 分散制御システムの機能レベル (Wikipedia より引用)

参考：

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/Functional_levels_of_a_Distributed_Control_System.svg/1920px-Functional_levels_of_a_Distributed_Control_System.svg.png[4]

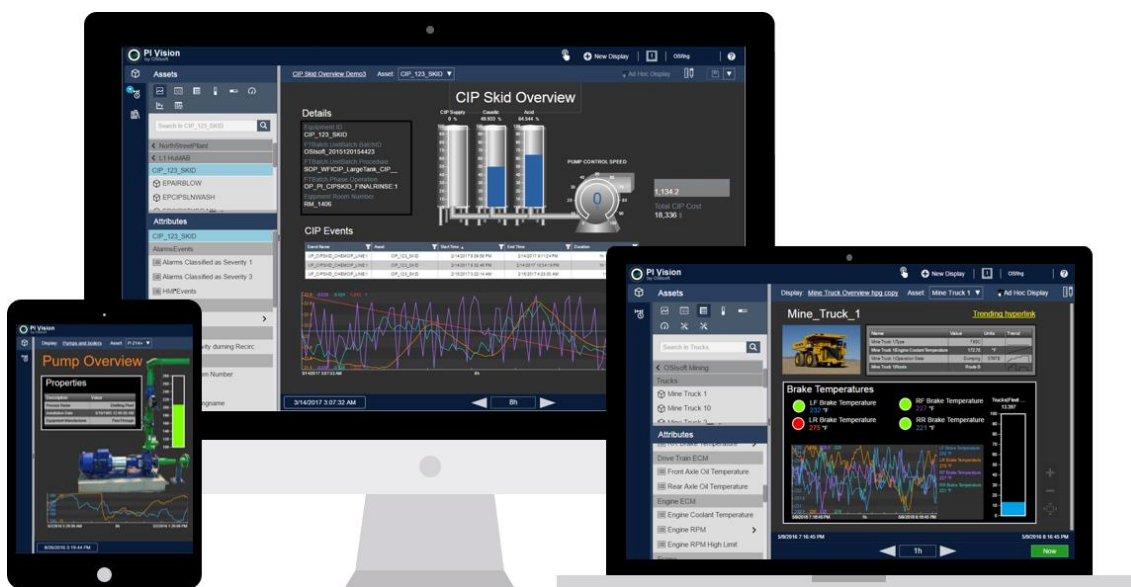


図 9-1-6 プラントの状態監視イメージ

参考：<https://www.osisoft.com/pi-system/pi-capabilities/pi-system-tools/pi-vision/>[5]

第9章 Digital Transformation (DX)

9.1.3 AI

(1) AI の定義

2020年現在、AIの厳密な定義は専門家の間でも統一されていない。ただニュアンスの違いはあるものの、「計算機を用いること（計算を用いること）」「人間の知能を再現する、または何らかの知的な活動を行うこと」が主たる要素であると考えられている。またAIには強いAI・弱いAIという区分がある。人間と同じような思考力や想像力を持ち、状況に応じて自己判断が可能なものを強いAIと呼ぶ。そうでないものを弱いAIという。一般にAIというと、鉄腕アトムのような自律したAI（＝強いAI）を想像する方が多いと思われるが、今日知られているものは全て弱いAIに当てはまる（と思われているだけで、実はすでに社会に紛れ込んでいるかもしれない）。基本的に弱いAIは外挿、すなわち未知の事象に対して非常に弱いことが知られている。

(2) 機械学習基礎

AIと機械学習の関係は下記のような包含関係で表される。すなわち、機械学習とはAIの中の一領域であり、ディープラーニングは機械学習の一手法であるニューラルネットワークの更に一部を指す。厳密にはAIを使っているからといって必ずしも機械学習が用いられているわけではないが、最近ではAI≒機械学習という意味合いで言葉が使われることも多い。

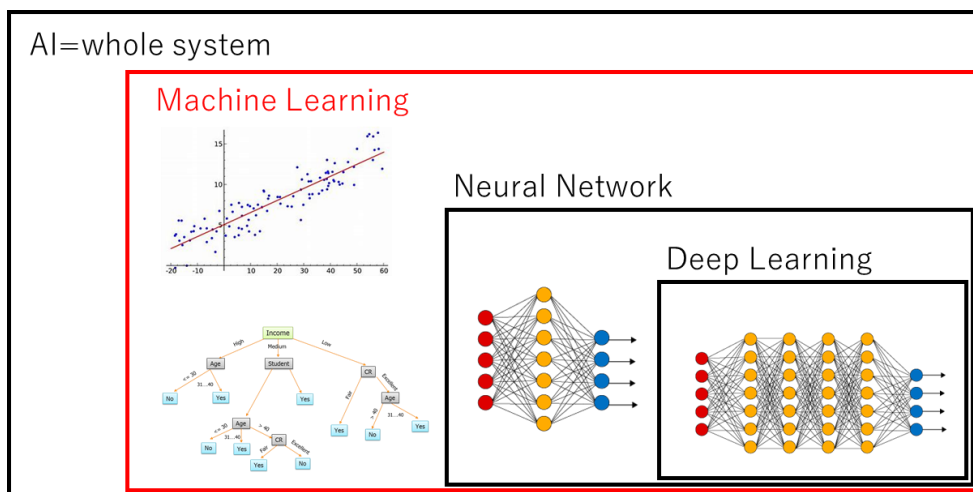


図 9-1-7 AI と機械学習の関係

機械学習のアルゴリズムは、統計学の数式に準拠している。機械学習の手法はこれまで多数開発されているが、大きく分けて教師あり学習・教師無し学習・強化学習の3つに分類される。教師あり学習・教師無し学習は与えられた問題に対して、

第9章 Digital Transformation (DX)

予め答えが分かっているかどうかという違いがある。

機械学習においては、入力データを特徴量(Feature)、出力データをラベル(Label)と呼称することが通例になっている。特徴量とは、入力データそのもの、あるいは入力データから何らかの処理によって抽出される値(平均や分散など)を指す。

教師あり学習では予め答えが分かっている問題を扱う。すなわち特徴量とラベルをセットにして学習を繰り返し、モデルは与えられた特徴量からラベルを予測する。例えば、特徴量である気温や天候といった気象条件から、テーマパークの来場者やコンビニの商品売り上げといったラベルの予測などがこれに該当する。

他方、教師無し学習では出題者自身にも真の答えが分からない問題を扱う。特徴量に対してある手法に基づいて計算を行ってデータを分類するため、選択した手法やハイパーパラメータ次第で結果が完全に変わってくる。答えが分からないため、結果の検証と試行錯誤が重要である。教師無し学習がよく用いられるのは、データを正常または異常に分類するようなケースである。プラント機器の異常検知や、ウェブサイトへの不正アクセスの検出といった事例が知られている。

強化学習は囲碁や将棋のAI開発において注目を集めた、教師あり・教師無しとも異なる第3の手法である。強化学習でモデルが学習するのは、「ある環境下におけるふるまい」である。つまり、入力値と学習モデルとは別に環境関数が用意されていて、その環境下でどうふるまうと目的関数を最適化できるかを学習する。例えば、地図上のマスにそれぞれ点数を割り振った双六があるとする。ここでモデルの目的を「最終的に得られるスコアを最大化すること」と定義すると、モデルは最も点数の高いマスに到達する経路を辿るように学習する。つまり強化学習は、「人間が学習データを与えなくとも、周囲の環境から勝手に学ぶ」ことに特徴がある。強化学習は明確な教師データを与えることが難しいテーマに適用されており、例えばロボットアームの動作(物をつかむ、卓球をする)といった事例がある。状況に応じて無限に変化するサーボの制御値自体をパターンとして学習させることは極めて困難だが、アームが掴んだモノの位置や姿勢といった数値化しやすいパラメータを学習対象に取ることでこれまでの手法では困難だった課題を克服している。

機械学習は純粋な数学的処理であるから、理論上は任意のプログラミング言語で実装が可能である。事実、FortranやVBA(Visual Basic for Application)の例も存在する。ただし、最近ではRまたはPythonといった比較的新しい言語が好まれる傾向にある。豊富なライブラリが無料で用意されており、誰でも簡単にトライできる。最近ではクラウド上にデータをアップロードすれば、予め用意された機械学習モデルを簡単に利用できるサービスも登場しており、ますます身近なものに

第9章 Digital Transformation (DX)

なりつつある。

機械学習モデルには人間が操作可能なパラメータ（ハイパーパラメータ）と不可能な内部パラメータが存在し、ハイパーパラメータを操作することで精度向上を目指す操作をチューニングと呼ぶ。ハイパーパラメータの種類は手法によって異なるが、モデル種類・レイヤー数・ノード数・学習率など多岐に渡る。チューニングはAIエンジニアの重要な業務である。実際にはハイパーパラメータの変更を自動で一括処理することも多く、その場合パイプラインと呼ばれるプログラムを追加する。

(3) 画像認識の原理

画像認識は、ニューラルネットワークと呼ばれる機械学習の一手法を用いた技術である。ニューラルネットワーク登場前の機械学習においては、画像や音声といったデータを扱うことはできなかった。これを打ち破ったのは、パーセプトロンモデルと畳み込み（Convolution）の登場である。パーセプトロンモデルは人間の神経伝達モデルを真似して作られており、ノードが信号を受け取ってそれに応じた信号を次のノードに受け渡す。これを複数のレイヤー組み合わせることでニューラルネットワークが構築され、厳密な定義はないものの特にレイヤーの枚数が多いものをディープラーニングと呼ぶ。

画像データは、各ピクセルに色の情報を数字として保存している。しかし単にニューラルネットワークを用いるだけでは、1つ1つの点を意味のある「画像」として捉えることができない。そこで畳み込みを用いる。これは、ある画像の中から特定の範囲内の全ピクセルを対象として特徴量を計算し、その値を一時的に Pooling 層に保存して次のレイヤーに受け渡す手法で、これによって隣接したピクセル同士の相関関係を数値化することができる。この畳み込み層と Pooling 層をディープラーニングモデルの中に組み込むことで、線や面といった特徴を画像から自動的に抽出して学習できるようになった。

ただし、オリジナルの画像から少し角度や色合いを変えただけで認識できなくなるのがしばしば起きる。そこで、学習の際には回転させたり色合いを変えたりするなど、データの水増し(Augmentation)を行うことが重要とされている。学習に適した水増しの手法はケースバイケースであり、AIエンジニアの腕が試される部分である。また、画像のどの部分を手掛かりにラベルの判断をしたのか可視化する技術の開発も進められているが、現状内部プロセスはほぼブラックボックスである。

AI は基本的に外挿に非常に弱く、モデルを構築する際は可能な限りパターンを網羅したデータセットを用意することが望ましい。また、画像認識は他の手法に比

第9章 Digital Transformation (DX)

べて計算量が膨大になりやすいため、従来の CPU(Central Processing Unit)依存の処理ではなく、並列処理計算に適した GPU(Graphic Processing Unit)を利用するようになってきている。

9.1.4 Robotics

(1) Drone

近年、ロボティクス技術の進歩がハード、ソフトの両面で著しく、これにより石油・ガス開発の現場でドローンの利用が進みつつある。ドローンと聞くと、4つのプロペラを持ち遠隔で操作される無人航空機、所謂ラジコンを思い浮かべるかもしれない。しかし、実はドローンとは様々な意味を持つ言葉であり、ここでは UAV(Unmanned Aerial Vehicle)の意味として“ドローン”を扱う。ここでも、UAVの定義としては“無人航空機”となるので、プロペラの数は関係ない。

ドローンと聞いてまず思い浮かぶのは4つ、あるいはそれ以上数のプロペラを持つタイプのものかもしれない。プロペラが多いと、非常に安定した飛行が可能となる。一輪車、二輪車(自転車やバイク)、四輪車の順に安定感が増すというのは容易にイメージできるだろう。ドローンでも同様であるが、プロペラが1つしかない、プロペラの回転と反対向きの力が機体に働きクルクルと回転してしまうため、これを打ち消す、もしくはバランスをとるため2つ以上のプロペラが必要である。

ドローンの飛行安定性には、ハード面だけでなく、ソフト面も大きく貢献している。かつては熟練したパイロットでなければたちまち墜落してしまったような制御の難しさが、今では GNSS(Global Navigation Satellite System)、レーダー、画像認識などによりドローンが自分の位置や姿勢を把握し、自動で安定飛行のための制御を行う機種が普及している。

自動安定飛行に優れたタイプの機種は、石油・ガス開発の現場においては人のアクセスが困難な箇所の点検でその威力を発揮し、既に数多くの現場で実用化されている。図 9-1-8 や図 9-1-9 はいずれもドローンによって撮影された画像である。図 9-1-8 の例では、ドローンはこの後降下し、赤丸でハイライトされた塔状の機器高所部の高画質画像を取得した。目視検査の代替手段として今後実用化が進むことが期待される。

今後は、搭載されたカメラによる目視検査の代替だけでなく、レーダーによる測量や、赤外線カメラによる温度監視、ガス検知など用途が拡大していくことが期待され、現在世界各地で実証試験が行われている。

第9章 Digital Transformation (DX)



図 9-1-8 国際石油開発帝石株式会社提供（ドローンによる設備点検時の取得画像）

※ 画像は長岡鉦場越路原プラント[6]

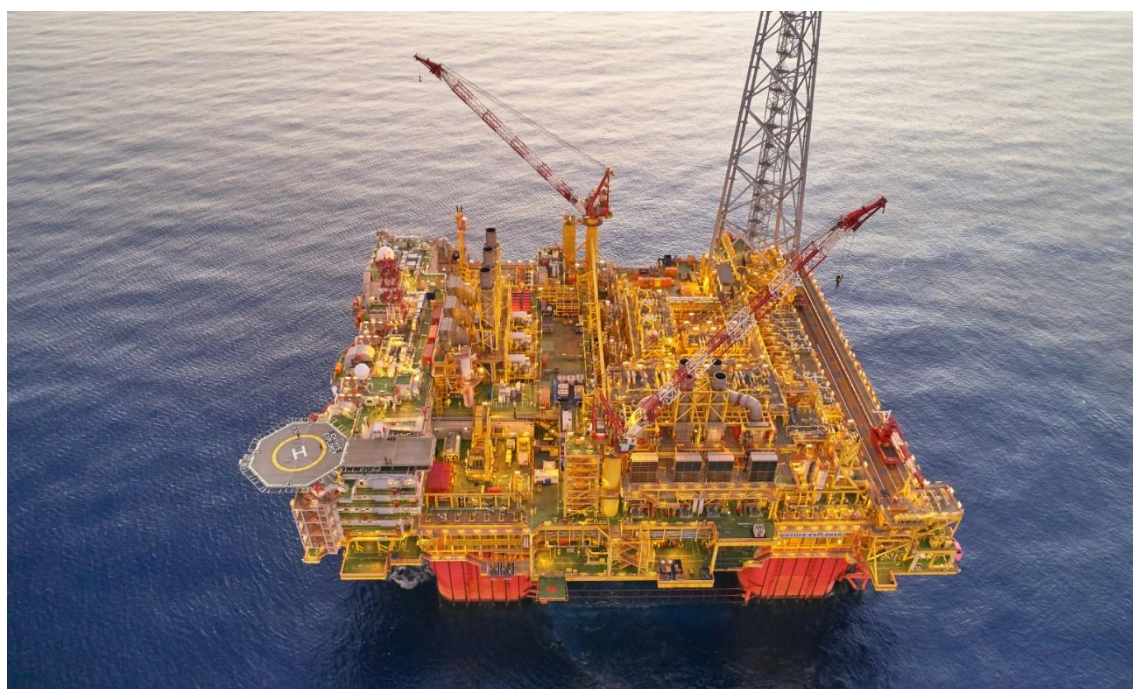


図 9-1-9 国際石油開発帝石株式会社提供（ドローンによる取得画像）

※ 画像はイクシスプロジェクト CPF(Central Processing Facility:沖合生産・処理施設) [7]

第9章 Digital Transformation (DX)

ドローンは物流や広域監視などへも利用されるが、この場合、大きな制約となっているのがドローンの飛行時間である。飛行時間は航続距離にも大きく関係し、駆動方式やプロペラの数が飛行時間の長短に影響を与える。駆動方式は、バッテリーによるモーター駆動とガソリンなどの液体燃料によるエンジン駆動に大別される。前者は数分～数十分の飛行が一般的であるのに対し、後者は長いものでは2時間程度、航続距離も200 kmに及ぶ機体もある。また、飛行の安定性は低下してしまうがプロペラは少ない方が飛行時間は延びる傾向にある。図9-1-10に示されるドローンはまさにこうした飛行時間・航続距離の課題に対応したタイプであり、2時間程度の飛行が可能となっている。



図 9-1-10 監視用ドローン

参考：<https://www.drone.jp/special/20190315121719.html>[8]

(2) AUV 等

石油や天然ガスは有限であり、いつか枯渇してしまうと言われながら、実際には可採年数が単調に短くなる傾向にはなっていない。これは、毎年のように新たな油田・ガス田が発見されている、もしくは技術の進歩によりそれまで手付かずだった資源が開発されているためである。シェールオイル、シェールガスはこうした資源の代表格だ。年々アクセスが困難な資源開発も進められており、高水深の海底下に

第9章 Digital Transformation (DX)

眠る油ガス田の開発(以下オフショア開発と呼ぶ)も様々な技術の進歩の恩恵を受けて世界中で行われており、水深は 2,000m を超え深くなっている。本項では、大水深の油ガス田開発に大きく貢献している ROV(Remotely Operated underwater Vehicle)や AUV(Autonomous Underwater Vehicle)に関する技術について紹介する。

海上油ガス田開発においては水中での様々な作業が発生するが、人間が容易にアクセスできないという点が陸上での開発とは大きく異なる。ROV や AUV が登場する以前はもちろんのこと、今日においても人間(ダイバー)が潜水して行う水中作業がある。レクリエーションダイビングでは主に減圧症リスクの観点から 40m ほどの水深が限度となるが、飽和潜水(図 9-1-11 参照)という数百 m の水深においても長時間の活動が可能で、溶接を伴う水中のパイプラインの補修工事などがこれまで行われてきた。それらの作業の内いくつかは、現在では人間が潜らずとも ROV により実施可能なものがある(図 9-1-12 参照)。ROV は母船とケーブルで接続されており、母船に乗船したオペレータが ROV に搭載されたカメラで取得された映像を常時確認しながら、ロボットアームにより例えば海底に設置された坑井の制御盤を遠隔で操作することができるため、今日の海洋開発においては非常に重要な役割を担っている。

ROV は動力源となる電源供給、通信のために母船と接続されており人間が操作を行うのに対し、AUV(図 9-1-13 参照)はバッテリーと自動航行システムにより自律的に動作するため、母船とケーブルで接続される必要はない。これが ROV と比較するとより広域での海底調査や水深が深い場所での調査などで活躍している理由である。

これまでに紹介した ROV、AUV はいずれも水中を航行する無人機である。水上を航行するタイプの無人機としては ASV(Autonomous Surface Vehicle)(図 9-1-14 参照)と呼ばれるものがあり、海象状況の調査などに使用される。ASV は海上油ガス田の開発における使用実績としては少ないが、研究開発が続けられている状況であり、実績例としては米国の非営利組織である XPRIZE 財団によって開催された無人での超広範囲・高速の海底地形データ収集の実現に向けた国際的な探査技術コンペティション(<https://www.xprize.org/prizes/ocean-discovery>)での成果が挙げられる。2030 年までに全世界の海底地形図を完成させる計画を練り始めていた日本財団は 2017~2018 年にかけて開催された本コンペティションに国際機関との共同チームとして参加し、優勝を飾った。ASV を有効に利用したことが勝因とされている。将来的にはバッテリー容量という制約を受ける AUV の弱点を補うため、このような応用事例の商業利用が期待される。



図 9-1-11 飽和潜水による水中作業の様子 (Wikipedia)

参考 : https://en.wikipedia.org/wiki/Saturation_diving [9]

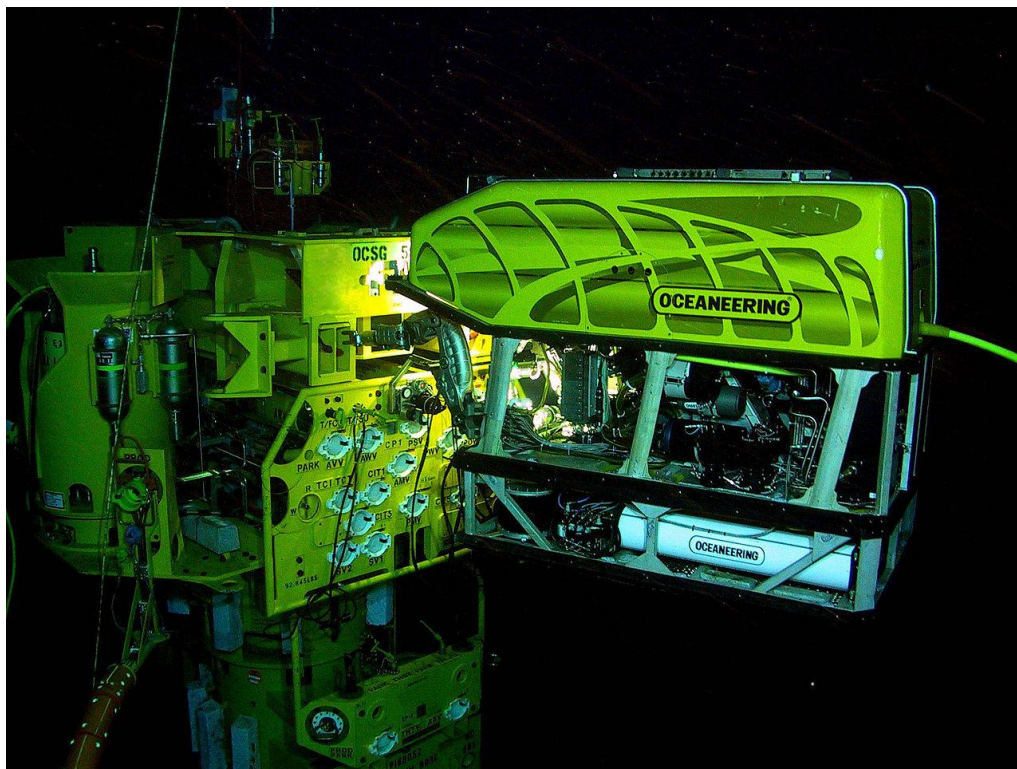


図 9-1-12 オフショア石油・ガス開発において使用される ROV (Wikipedia)

参考 : https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle [10]



図 9-1-13 自律型無人潜水機(AUV) ([Wikipedia](#))

参考 : <https://en.wikipedia.org/wiki/File:MiniU.jpg> [11]



図 9-1-14 海上で調査を行う ASV

参考 : <https://www.asvglobal.com/research-and-development/>[12]

第9章 Digital Transformation (DX)

9.1.5 クラウドコンピューティング

クラウドコンピューティングの定義は、アメリカの NIST (National Institute of Standards and Technology)が以下のように定めている

(<https://www.ipa.go.jp/files/000025366.pdf>)。

- 1) オンデマンド・セルフサービス
- 2) 幅広いネットワークサービス
- 3) リソースの共有
- 4) スピーディな拡張性
- 5) サービスが計測可能であること

ユーザーの目線から見ると、クラウドコンピューティングはカーシェアリングと似ている。使用する車は毎回異なり、その時に空いているものを使う。クラウドコンピューティングも同様で、閉鎖的なネットワーク内のデータセンターにある空いているコンピュータを借りて使用した分だけを支払う。実際に使用される物理的なマシンは毎回別物だが、ユーザーはインターネット経由でクラウドに接続し、それを意識することなく毎回同じように操作できる。クラウドが注目されるようになったのは、ビッグデータとの関連が大きい。日々増大し続ける膨大なデータを収集し扱うことは、オンプレミス環境では多額の設備投資と維持費を必要とするためハードルが高い。必要な時に必要なだけストレージやコンピュータリソースを利用できるクラウドによって、ビッグデータ利用のハードルが下がったと言える。我々が普段何気なく利用しているメールサービスやウェブサイト・ゲームなどでもクラウドを利用しているケースは非常に多く、日常生活と切っても切れない存在になりつつある。

なお、ビッグデータについて明確な定義は存在しない

(<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc121100.html>)。

2020年現在、概ねペタバイト以上のものを指すことが多いと言われる。また、ガートナー社はビッグデータの特徴として、i) データの大きさ (Volume) ii) 入出力や処理の速度 (Velocity) iii) データの種類や情報源の多様性 (Variety)、の「3V」を提案している。

クラウドコンピューティングをオンプレミスと比較した際のメリット・デメリットは次ページの通り。クラウドコンピューティングは非常に便利である反面、決して万能ではない点に注意が必要である。

第9章 Digital Transformation (DX)

表 9-1-1 クラウドコンピューティングのメリット

メリット
コストが全て OPEX(Operating Expenditures)になる、導入コストを抑えられる
将来のインフラニーズ需要予測が不要、遊休資産になりにくい
インフラを必要な時に必要なだけ柔軟かつ素早く構築でき、システムの信頼性が非常に高い
サーバールームが不要になり日々のメンテナンス業務から解放される、サーバーエンジニアやセキュリティエンジニアが不要になる
強固なセキュリティを簡単に利用できる
データが常に複数バックアップされているので保存性が高い、ストレージサイズを自由に変更できる
インフラだけでなく、クラウド上で各種マネージドサービスも提供されている
小規模な企業も最先端のインフラを安定的かつ安価に利用できる

表 9-1-2 クラウドコンピューティングのデメリット

デメリット
クラウドベンダーや地域によって利用可能な OS(Operating System)やマシンスペックの選択肢が限定されることがある
データの所有者から、クラウドにデータを置くことを拒否される可能性がある
無駄遣いを避ける仕組みが無いと、オンプレミスに比べ却ってコストが高くつく可能性がある
クラウドとオンプレミス間の通信速度がボトルネックになるため、安易にデータのアップロード・ダウンロードを行うと業務効率が低下する恐れがある
すでに大規模な自社データセンターを構築している場合、わざわざクラウドを使う理由がない
業務用ソフトウェアが技術的にクラウド上で動作しない、または契約上クラウド上での使用を許諾されていないケースがある
クラウドそのもののシステム全体がダウンしてしまう、またはインターネット回線自体が不通になると利用不可になる
オンプレミスからのデータ移行計画立案やコピーに労力を要する(場合によっては HDD による物理的移送が必要)

第9章 Digital Transformation (DX)

9.1.6 HPC・量子コンピュータ・アニーリング

(1) HPC

HPC (High Performance Computing) の厳密な定義は存在しない。これは、コンピュータハードウェアの性能が日々進歩していることが理由である。現在一般的に使用されているデスクトップパソコンですら、10年以上前であれば“スパコン”と呼ばれるだけの性能を有している。基本的には、「(現在ではクラスター構築を大前提として) 相対的に非常に高い演算能力を持つコンピュータ」、あるいは「数値計算用ハイエンド GPU を搭載しているマシン」といったニュアンスで使われる。また CPU など個々のパーツの性能ではなく、システム全体の性能を指して使われる言葉でもある。よって安価な CPU であっても数千~数万ノードを並列化すれば HPC になりうる。HPC は設備投資が高額で、かつ時間経過によって次第に陳腐化してしまうことからクラウドなどでサブスクリプション利用することも増えてつつある。

(2) 量子コンピュータ

量子コンピュータとは、電子回路の代わりに量子力学的な現象を用いてビット演算を行うコンピュータのことである。具体的に言えば、電子回路におけるビット (0 または 1) の代わりに、量子ビット (0 または 1 のいずれかの状態を持っているが、観測されるまでどちらかはわからない) によって計算を行う。量子ビット n 個の重ね合わせを用いると、 2^n 通りの計算を同時に行うことが理論上可能であり、現在のコンピュータに比べて大幅な高速化が期待されている。例えば、4ビット計算を例にとると電子ビットであれば 0000~1111 の中でどれか一つの状態しか表すことができないのに対し、量子ビットは 0000~1111 の全 16 通りの状態を同時に保持することができる (量子ビットは 16 倍の演算結果を同時に処理できる=処理速度が最大 16 倍になる)。この方式 (量子ゲート方式) であれば既存のコンピュータと同じ内容の処理を極めて高速に実行することが可能になる。ところが量子力学の性質上計算結果を取り出すことが非常に難しく、かつプログラミング言語がこれまでのものと全く異なることもあり、未だに市販のパソコン程度のものですら実現していない (簡単な演算しかできず、OS 起動や画面表示などですら一切できていない)。量子ゲート方式のハードウェアに関して、様々な手法の研究が進められているが未だ決定版は見つかっていない。

(3) 量子アニーリング

他方、量子アニーリングと呼ばれる、組み合わせ最適化に特化したアルゴリズムのマシンが 2011 年に商用化されている。これはセールスマン巡回問題のような問題に対して、量子が安定状態に留まろうとする性質を利用し目的関数の最適化解

第9章 Digital Transformation (DX)

を高速に計算できる量子コンピュータの中の一分野である。最近では電子回路を用いて、安定的かつ疑似的に量子アニーリング計算を行うデジタルアニーラと呼ばれる技術を富士通が開発した（後述の(B)LNG 運搬における運搬経路最適化参照）。アニーリング計算は用途が極めて限定的であるが、船舶の運航計画立案や運送業の巡回ルート決定など、これまで計算量の膨大さから未解決だった社会的な課題に対して適用が進んでいる。

9.1.7 データ通信・Cyber Security

(1) データ通信

データ通信には、データを運ぶ手段（インフラ）とデータをやり取りするための手順（通信プロトコル）という二つに大別できる。データ通信とはつまるところ電気および光信号によって0/1のビット情報を伝えることであるから、データを運ぶインフラと通信プロトコルは独立して選択することが可能である。通信インフラは大きく分けて有線通信と無線通信がある。それぞれ一般的な特徴は以下のようになっている。

表 9-1-3 有線通信と無線通信比較表

項目	有線通信	無線通信
種類	光ファイバー、電話線	Wi-fi、衛星通信
インフラ	ケーブル敷設（大規模工事が必要）	基地局を多数設置（一つ一つは小規模）
減衰	比較的小さい（ケーブルの物理特性に依存）	大きい、障害物に弱い
通信可能距離	長い	電波の波長と障害物の有無によって異なる
データ転送容量	ケーブルの太さ（本数）に依存、比較的大きい	有線に比べて小さい、Last One Mile がボトルネックになりやすい

インターネットを経由してデータを送受信する場合、糸電話のように物理的に固定された専用の回線を用いて直接相手に送る方式とは異なり、世界中に張り巡らされた有線・無線ネットワークの中継点をバケツリレーのように縦横無尽に経由し、目的地まで送られる方式となる。海洋における通信を考えると、Wi-fi や 4G といった無線通信は距離減衰が激しく、沿岸部でしか使用できない。そのため、船舶が wi-fi を使おうとして陸地に接近することも起こりうる。光ファイバーは距離およびモビリティの観点から移動する船舶やリグとの相性が悪いため、結局は衛

第9章 Digital Transformation (DX)

星通信を利用することが多い。衛星通信が最も通信距離が長い、これは地上の障害物を無視できることに起因する。データ通信は異なる速度の回線を経由する性質上、必ずボトルネックに支配される（最も遅い回線に律速される）。よって、高速なインターネットを実現しようとする、データの送信者から受信者まで全ての地点において一定以上の速度を担保せねばならない。一か所でも遅い箇所を作ってしまうと、全体の通信に悪影響を及ぼす。しかし通信回線の増強だけで全てを解決しようとする、インフラコストが非常に重くなるため、「通信速度が遅い」という不満を解消する際はデータ通信の圧縮や通信量の削減等、同じ情報量をより効率的に伝送するための別の方法を併用して考えることになる。

実際にデータを送る際は通信プロトコルが重要になる。すでに多種多様なプロトコルが考案されているが、これは「データ通信における共通規格」である。すなわち、互いに確実にデータを送受信できるように予め約束事を決めておき、送受信におけるデータ処理作業を効率化している。また、プロトコルには圧縮によるデータ通信量削減・暗号化/復号によるセキュリティ担保・転送時のエラーチェック等の役割もある。最も単純な例で言えば、AさんとBさんが電話番号を互いに知らせ合うとする。その際に、どちらも080で始まるのであれば、「080を省略し、各桁を1ずつ増やしてやり取りする」という双方合意の上で番号を伝え合い後で元に戻せばよい（データ通信量を削減できるし、第三者から見てAさんおよびBさんの電話番号と分からないため安全性が高まる）。これも立派なプロトコルである。

古いプロトコルではマシンの種類やOS依存というものもあるが、最近ではそのような依存性を持たない、誰でもどのマシンでも利用可能なオープンなプロトコルが開発されている。例えば最新のプロトコルの一つである OPC UA(Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture)がそれに当たる。これはIIoT(Industrial Internet of Things)時代を睨み、マイクロコンピュータでもスパコンでもサーバーでも OS やハードの垣根を越えて自由に通信ができるようになることを指向している。性能が貧弱極まりないマイクロコンピュータでも動作する必要があり、周辺プログラムを削減するためプロトコル一つに必要な機能を全てパッケージ化し、かつメモリやCPU消費を抑えていることも特徴である。

(2) Cyber Security

「(Security という意味に限定して) 情報を守る」ためには3つの要件を満たす必要がある。一つは「機密性」であり、データへの不正なアクセスにより読み取られないよう電子的・物理的に防護すること。二つ目は「完全性」であり、データが第三者に改変されないこと。最後に「可用性」として、データを使用したいときに

第9章 Digital Transformation (DX)

使用できる状態にあることである。

各要件の例として、機密性はサーバーの物理的な保護・ログイン認証の設定・サーバーールームへの入室管理・ネットワークファイアウォールの設定等が該当する。完全性はデータ通信におけるエラーチェックや改ざん検知が該当する。可用性は、データのバックアップを取ることにより信頼性や使いやすさを高めることに該当する。

例えば、データを「絶対に」盗まれたくないのであればデータを保管したハードディスクを箱に入れ、地中 1,000m に埋めればよい。しかし、そもそもデータとは必要な時にアクセスできることに意味があるので、可用性を満たさないことから、「情報を守る」という意味を成さない。現代社会において、「データにアクセスできる」とはデータが電子媒体に保存されている・コンピュータから接続可能である（+インターネットから接続可能である）ことと同義である。従って、ハードディスクやコンピュータが物理的に盗まれるかもしれない・インターネット経由で覗かれるかもしれない・コピーされてしまうかもしれないといったリスクと常に隣り合わせである。よって情報を守ることは容易ではない。データを現金に例えるならば、銀行から盗む又は銀行ごと盗む（サーバー）・現金輸送車を襲撃する（インターネット通信）・店や歩行者から盗む（エンドユーザー）の全てのリスクに対して守りを固める必要がある。

リスクの大きさで言えば、エンドユーザー>インターネット>サーバーであると考えられる。サーバーは守る側の意識も高いことが多いのでデータを盗まれるリスクは比較的小さい。しかしインターネットは第三者も利用しアクセス可能な公共の場であり、VPN 等を利用したとしてもユーザーの気付かないうちにどこかでコピーされるなど、データが漏れてしまう可能性も否定できない。そしてセキュリティにおいて、一番リスクが高く、軽減することが難しいのが「エンドユーザー（ヒト）」である。なぜなら、サーバーおよびインターネットに係るリスクはシステムとしての弱点に起因することが多く、比較的対処しやすい。しかし、ヒトに係るリスクはシステムとして弱点を克服できたとしても、心理的な動機もしくは不注意などによる弱点を完全に無くすことは困難である。どれだけ技術が進歩しようと、**Cyber Security** とは「際限なき人間との闘い」に他ならない。

例えば、酔っ払ってデータを保管した PC や媒体を紛失する・嫌な上司に仕返しとしてデータを漏洩させる・うっかりパスワードを他者に分かりやすいものにしてしまう・部屋の鍵をかけ忘れる・ファイアウォールを設置し忘れる・清掃業者に扮して物理的な潜入を許す・フィッシング詐欺に引っかかる・悪ノリでネットにばらまく・多要素認証の重要性を理解せず利用していない等、枚挙に暇がない。ヒト

第9章 Digital Transformation (DX)

の動機および行動すべてを事前に予測し、その全てに完全に対処することは事実上不可能である。現在では、このような状況を鑑みて「ゼロ・トラスト」という考え方が生まれている。これは通信インフラや信頼された組織を過信せず、人・端末・データ全てが信頼できない存在であるという前提でセキュリティを担保する方法である。例えば、機密データを送る場合、データを暗号化した上で、送信者が送って良いか、受信者が見て良いか等、アクセスしようとするヒトおよびモノ、アクセス対象を場所・時間等のあらゆる情報を用いて都度検査および認証する。万が一データが漏洩した場合でも、第三者にはデータへのアクセスが許可されないことから、機密が漏れない（読み取られない）。

現在ではデータ暗号化に RSA 暗号に基づいた公開鍵暗号方式を用いることが多い。これは素因数分解の困難性を利用した暗号の一種であるが、理論的には時間をかけ試行を繰り返せばいつかは解けてしまう。実際には鍵のビット数（鍵長）を増やすことにより、スパコンを用いても数年～数十年以上（あるいは数億年）の時間が掛かるようになっている。すなわち、解読にあまりに時間が掛かることから現実的ではなく、解読できたとしてもその頃には守秘性が失われており、「事実上」安全であるため計算量的安全性を満たす。ただし、計算量的安全性に基づいては、コンピュータの演算能力が向上すると暗号解読に掛かる時間が短くなるため、演算能力の向上と鍵長はたちごっこになる。その一例として、量子コンピュータの開発競争がある。

最近では情報理論的安全性を満たす量子暗号も研究されており、日本が世界的に研究をリードしている。理論はある程度確立されており安全性は非常に高いと言われているが、光子という微弱な光を扱うことから伝送距離や速度に課題があるため、現時点でも光ファイバーを用いた通信可能距離が最大でも約 500km と言われており、実用化には至っていない。

9.2 Digital Transformation (DX)技術応用事例

9.2.1 自動運航船

船舶の自動運航は、増加する輸送ニーズに伴う船員需給のひっ迫やヒューマンエラーに起因する事故の防止・運航の効率化を目的として研究が行われている。航海は大きく分けると外洋航海・沿岸航海・港内・荷役の4つのフェーズがある。各フェーズにおける、自動運航のイメージは次ページの通り。

表 9-2-1 自動運航イメージ

フェーズ	自動化により期待される効果	技術
外洋航海	船員数の削減、業務負荷低減、メンテナンス業務低減、ヒューマンエラーによる事故防止、航路最適化	AIS(自動船舶識別装置)、ECDIS(電子海図)、海上ブロードバンド通信、オートパイロット、レーダーやカメラによる自動見張り装置、衝突回避アルゴリズム、陸上からの操船システム、IoT センサーに基づく CBM
沿岸航海	ヒューマンエラーに起因する海難事故防止	レーダーやカメラによる自動見張り装置、衝突回避アルゴリズム
港内	入港手続きにかかる時間・労力削減、ヒューマンエラーに起因する海難事故防止	レーダーやカメラによる自動見張り装置、衝突回避アルゴリズム
荷役	接岸作業の負担軽減、荷役作業の一部自動化	準天頂衛星による精密測位・高機能舵・無人タグ等による自動着棧

以前より外洋航海を行う大型船舶には AIS(Automatic Identification System)、ECDIS(Electric Chart Display and Information System)といった設備が義務付けられ、オートパイロットも実用化されているが、船内のメンテナンス業務や緊急時の意思決定は未だ船員に委ねられている。また沿岸航海や港内ではこれらの設備を備えていない小型船舶も多く、双方の船舶が同等の設備を備えていないため自動化が難しいという課題があった。技術の進歩によって、これを拡張し更なる自動化を推し進めようとする動きがなされている。具体的には、AI によるブリッジでの操船支援・ブロードバンド通信を用いた陸上からの操船支援（または無人船の遠隔操作）・無人船による着棧支援・メンテナンス業務の最適化などである。なお自動車の自動運転とよく比較されるが、船舶は大型で敏捷性が低いこと、洋上で孤立していること、船体自体が一種のプラントであるため 24 時間体制で複数のクルーを必要とするなどの違いがある。

日本における事業者の研究事例は次ページの通り。

第9章 Digital Transformation (DX)

表 9-2-2 日本における研究事例

事業者	事業内容
日本郵船(株) (株)MTI (株)日本海洋科学 古野電気(株) 日本無線(株) 東京計器(株)	船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究： 船舶の衝突リスク判断を容易にする機能、陸上からの遠隔操船、AR (Augmented Reality) 技術を利用した航海支援ツールの研究開発が進行中。
日本郵船(株) (株)MTI ジャパンマリンユナイテッド(株)	大型コンテナ船における船体構造ヘルスマonitoringに関する研究 開発： 船舶の海難事故を未然に防ぐため、コンテナ船の実航海における船体の曲げ、船体に加わる力及び航海データや気象・海象データ等を計測・収集し、それらを船陸間で共有することにより船体構造強度を考慮した操船判断支援や船舶のより合理的な設計等を可能とするシステムの開発が進行中。
(株)商船三井 スカパーJSAT(株) 古野電気(株)	海上気象観測の自動観測・自動送信システムの開発： 気象庁に海上気象データを定期報告するための自動観測・自動送信を可能とするシステムを開発中。
ジャパンマリンユナイテッド(株) 日本郵船(株) (株)MTI (株)ディーゼルユナイテッド (株)サンフレム 寺崎電気産業(株) 三菱化工機(株)	ビッグデータを活用した船舶機関プラント事故防止による安全性・経済性向上手法の開発： ビッグデータを活用して機関プラントにおける事故（特にコスト・社会的にインパクトが大きくなる可能性があるハイリスク事故）の低減を目指し開発中。
眞鍋造機(株) 渦潮電機(株)	貨物船・ばら積み貨物船（バルク船）向け甲板機械のIoT化研究開発： IoT技術を取り入れ、甲板機械を「見える化」することで、故障予知・真因追求の容易化・高度化を実現し、甲板機械の予防・保全を図ることを目的に開発中。
日本郵船(株) (株)MTI	船陸間通信を利用した LNG 安全運搬支援技術の研究開発：

第9章 Digital Transformation (DX)

JRCS(株)	LNG 船運航の安全性・効率性の向上と、LNG 船ビッグデータ活用の促進を目的として、(1)スロッシングリスクの推定計算、(2)タンククールダウン計画の評価と必要ヒール量の推定計算、(3)LNG 本船データの ISO 標準化を実施中。
(株)商船三井	ICT を活用した船内環境見える化システムの構築： 「ウェアラブルデバイスを用いた乗組員の健康・安全管理」、及び「ヘッドマウントディスプレイ、VR(仮想現実)/AR(拡張現実)技術を活用した乗組員教育、技能伝承、並びにメンテナンスや不具合時の遠隔支援システム」の開発により、安全運航の支援を行うと共に、乗組員の安全意識・技能の向上を目指して実施中。

海外では MUNIN(Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence in Network)プロジェクト・AAWS(Advanced Autonomous Waterborne Initiative)・MASRWG(Maritime Autonomous Systems Regulatory WG)などのプロジェクトが行われており、海洋事故リスク評価や法規制・技術コンセプト検証に取り組んでいる。また IMO において国際ルール策定に向けた動きがある。

9.2.2 LNG 運搬における運搬経路最適化

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) と富士通(株)がデジタルアニーラ技術(富士通(株)の技術)を用いた LNG 供給ロジスティクス最適化問題につき Proof of Concept(PoC)を実施。一定の成果が得られたためその事例を紹介する。

(1)デジタルアニーラとは

富士通(株)が 2016 年に開発し、2018 年 5 月に商用サービスを開始した新アーキテクチャコンピューターである。量子アニーリングをデジタル回路を用いて再現しているというのが最大の特徴であり、デジタルアニーラは厳密には量子コンピュータではないが、組み合わせ最適化問題を既存のコンピュータに対して非常に高速に解くことが出来る。その能力は従来型 CPU と比較した場合 1 万倍以上高速に解くことが出来ると言われている。

第9章 Digital Transformation (DX)

(2)背景

LNG 事業において LNG の販売先・販売経路の確立は必須であり、効率的な販路の検討手法が模索されている。この LNG 市場、特に複雑さが想定される LNG サプライチェーンに対してデジタル技術を用いた販路最適化の検討を行った。LNG 供給に係るいわゆるロジスティクスの最適化は巡回セールスマン問題（例えば一筆書きに 30 か所に宅配便を配達するルートは 30^{30} 通り）に代表されるように膨大な組み合わせケースを解く必要があり、現状のスパコンを使用しても膨大な時間を要する複雑な最適化問題である。本 PoC は、最適化問題に特化し高速演算できるデジタルアニーラ技術を LNG サプライチェーンの最適化に適用する初めての試みであり、その技術の有用性が確認することを目的とした。

(3)検討スキーム

インドネシア国島嶼部を対象に仮想的にボンタンおよびアバディからスラウェシ、ヌサツングラ 15 か所に LNG 供給するスキームにつきアニーラでの最適化について検討を実施した。具体的に行った検討は以下の通りである。

① 複数の仕入れ地と多数の仕向け地がある状況を想定した LNG サプライチェーンモデルの作成

指定された条件を満たす最適な LNG サプライチェーンを選定するための現実的なモデルを評価関数として数式で定義した。

② LNG 基地から LNG 受入基地（仕向け地）の間の最適な LNG サプライチェーンを選定するための手法検討

①で作成したモデルを使用し、定式化を行い、プログラムやアルゴリズムを開発し、組合せ最適化問題を高速に解く計算機「デジタルアニーラ」を使って計算を実施した。

検討に際しては Phase1 でコスト削減に影響が大きな要素を明らかにするため、まずは LNG 生産地を 1 つに固定し、複数の需要地を対象とし、コスト削減効果を検証した。Phase2 では Phase1 の結果から、計算条件の見直し、複数の生産地と複数の需要地を対象としたコスト削減効果を検証した。主に探索したパラメータとしては LNGC の隻数、容量、配送ルート、受け入れ基地タンク容量、栈橋長さ（船サイズから定まる喫水との関係）、一時貯蔵・再出荷を行うためのハブ位置である。設定条件として次ページの定義を用い、各シナリオにおける総費用最小化となる最適化案を求めた。その上で、熟練の船長、計画者による配送ルートを標準とし、アニーラでの最適化案を比較検討した。

第9章 Digital Transformation (DX)

総費用＝設備費（船購入費＋陸上タンク建設費＋栈橋建設費）＋運航費



図 9-2-1 Phase1, Phase2 の条件定義

(4) 検証結果

Phase 1 では一部の条件で、デジタルアニーラにより従来では発見できない経路の生成やコスト削減を実現することが示された。接岸条件や需要量は結果に与える影響が大きい。

表 9-2-3 Phase1 結果

シナリオ	シナリオ説明	コスト比	標準シナリオとの比較
1	標準シナリオ	100%	-
2	接岸条件 L=200m	92%	3万m ³ の船が入港できる港が増えて、船が1隻削減。
3	接岸条件 L=300m	88%	3万m ³ の船が入港できる港がさらに増えて、全てが depotからの運搬に変化。
4	接岸条件 L=1,000m	88%	5,000m ³ の船しか接岸できなかった"飛び地"の港に3万m ³ の船が入港出来るようになり費用が減少。
5	需要量を1.63倍	129%	CAPEX/OPEX全ての費用が増加。
6	需要量を2.67倍	171%	タンクサイズが上限に達する拠点が3箇所発生。
7	一部の需要量を2.67倍	115%	需要を増やした拠点には大きな船を使うとか、近い中継地から短周期で運搬するという変化。
8	一部の接岸条件をL=100m	94%	大きな船が使えなくなった拠点には、近くの中継地から運搬。中継地までは8万m ³ の船を使用。
9	一部のタンクサイズを15日分	104%	タンクサイズが縮小された拠点がタンクサイズ上限に達した。
10	最小船サイズを7,500m ³	91%	7,500m ³ の船で効率よく運搬出来るようになり、船が1隻削減。

※Lは栈橋長さ

第9章 Digital Transformation (DX)

Phase2 では Phase1 のシナリオ 10 に対し荷積/荷降時間を 21 時間に変更、タンク下限を容量 10%と需要 7 日分の大きい方に変更、全期間の操業費、運航時・停泊時で異なる燃料費に変更といった条件を追加し検討を行った。結論としては手計算で導出したルートに対し 13%程総費用が削減され、特定条件下におけるデジタルアニーラの有用性が示された。

表 9-2-4 Phase2 結果

	船の数	OPEX/CAPEX	20年間総費用比
手計算で算出したルート	7隻(3万x3、5千x4)	非公開	100%
デジタルアニーラで計算したルート (標準シナリオ)	5隻(3万x2、5千x3)	非公開	87%

参考：富士通(株)デジタルアニーラ：<https://www.fujitsu.com/jp/digitalannealer/>[13]

9.2.3 AUV

(1)AUV の役割

AUV の役割は、ROV に類似しており、海底地形や海底パイプラインの調査を行うことである。特に、海底パイプライン敷設前の海底の地形調査においては、広大な範囲の調査が必要であるため、ケーブルによって行動範囲を制限されない AUV に優位性があると言われる。しかし、長距離海底パイプラインの調査において、AUV ではなく母船を ROV に合わせて移動させる事例もあり、後述の制約の存在により、海洋石油・ガス開発においてはまだ AUV よりも ROV が利用されるケースが多い。

(2)ROV 代替への模索

AUV は ROV と異なり、母船となる作業支援船とはケーブルで接続されていなくても、自律的に水中での潜航作業を行う。ケーブルから解放されたことで、先述の通り AUV は ROV と比較し、より広範囲な行動域と深い水深へのアクセス性という優位性を得た。しかし、海洋石油・ガス開発における水中の作業全てが AUV で実施されるまでには至っておらず、いくつか技術的な制約を乗り越えるべく、以下に示すような実証が行われている。

(3)動力源の持続的確保

母船からのケーブル接続という潜航作業範囲を制限する要素がなくなった一方で、AUV にどう動力源を供給し続けるか、という問題がある。AUV の動力源は推

第9章 Digital Transformation (DX)

進力を得るために必要なモーターなどを動かす電力であるため、駆動時間はバッテリーの容量に左右される。バッテリーを消耗しきってしまう前に、水面に浮上し、作業支援船にて回収されたのち再充電やバッテリー交換を行ってから再び潜航、というプロセスを繰り返すのは効率的でないため、海底にチャージングステーションを設置し、AUVが浮上することなく繰り返し海底で充電する技術の実証が進められている。(図9-2-2)

(4)通信手段

動力源以外にも、母船とのケーブル接続から解放されることで犠牲になる要素がある。それは、安定した通信手段である。AUVと似たような動作を行うものとして、家庭用のお掃除ロボットをイメージ頂きたい。主にディスク型の家電量販店でもよく目にするのできるアレである。この家電の魅力は、部屋の掃除という家事の負荷低減が実現されることなので、都度人間が充電を行うようでは手間である。この点については、自動でチャージングポイントに戻り、充電を行うような製品が多いのでクリアされていると言えるだろう。

しかし問題は電力だけではない。最新のお掃除ロボットの中には、Wifiによりインターネットに接続されており、外出先からスマートフォンにより操作し、状況を確認できる機種もある。同様のニーズがAUVにもあり、遠隔地、つまり母船からROVと同様に操作、状況監視ができれば良いが、水中のためWifi接続のようにはいかない。水中での通信において電波は分が悪く、通信速度、通信可能距離ともに実用性を満たさないためである。

こうしたAUVの問題に対しても、解決策が考案されている。図9-2-3に示すように、インターネットにつなぐための無線ルーターや電波の強度不足を補うための中継器の如く、海底、及び海面に設けられた音波を用いる通信機器とさらにWifiにより母船とAUV間の通信手段を確保するという技術である。持続的な電力供給及びこのような通信技術の発達により、AUVの活躍の幅は今後ますます広がっていくことが期待される。

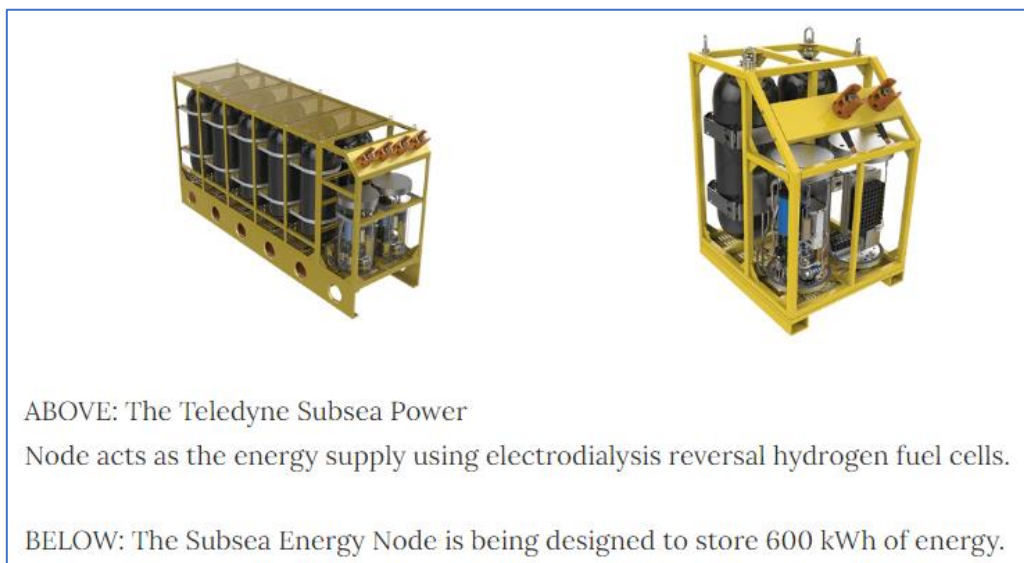


図 9-2-2 海底のチャージングステーション

引用元 : <https://www.offshore-mag.com/subsea/article/16761957/subsea-charging-station-designed-to-enable-auv-operations>[14]

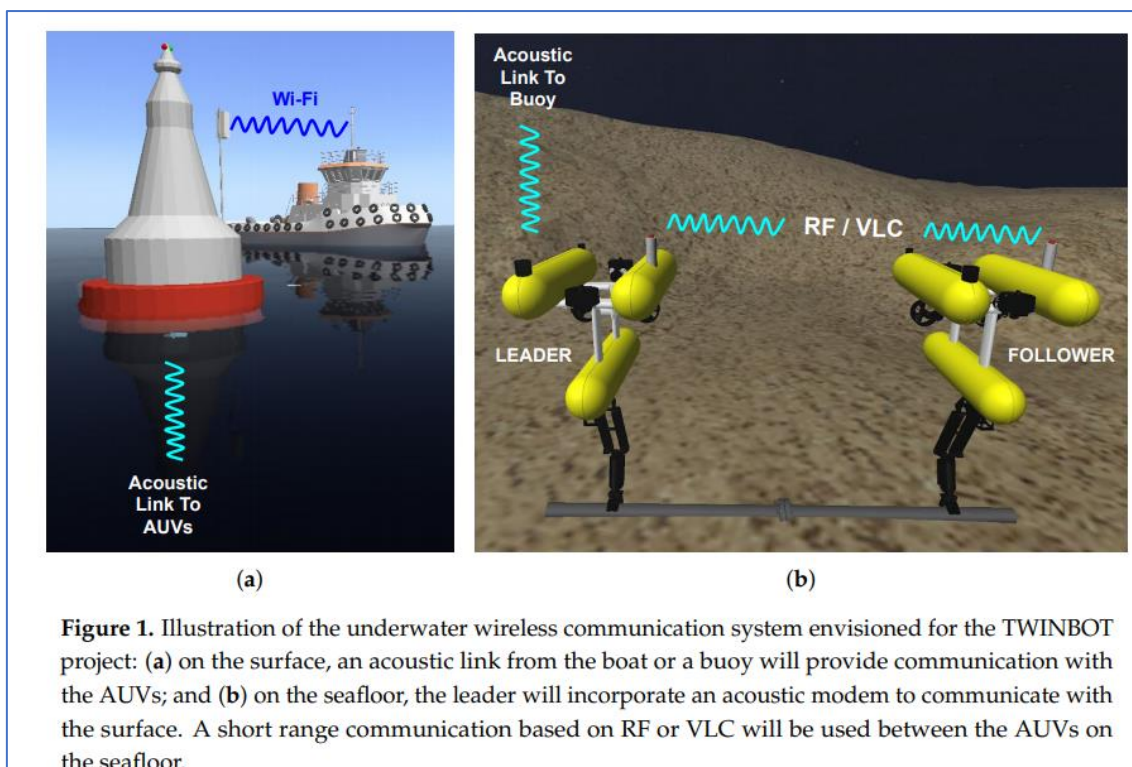


図 9-2-3 母船-AUV 間の無線による通信手段

- (a) Wi-Fi と音響を用いる中継器による母船-AUV 間通信、
- (b) 音響・RF/VLC による海底での母船-複数の AUV 間リレー式通信

引用元 : <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/17/3526/pdf>[15]

第9章 Digital Transformation (DX)

最後に、ROV と AUV の役割やそれぞれの利点について、特徴を比較できるよう表にまとめる。

表 9-2-5 ROV と AUV の比較

	ROV	AUV
役割	海底の生産設備 (SPS = Subsea Production System) や海底パイプラインなどの調査及びこれらの操作または補修作業。	主に広域の海底地形の調査。
行動範囲	母船とケーブルで接続されているため制約を受けるが、ROV の移動にあわせて母船が追従するよう航行することで広範囲の潜航作業を行う場合もある。	母船とケーブルで接続されていないため、行動範囲は広い。
潜航深度	機体の強度を高めることは可能だが、ケーブルによる制約のため大水深には不向きとされる。	ケーブルによる制約を受けないため、水深数千 m に達するような大水深での潜航作業にも向いている。
駆動時間	ケーブルにより母船から継続的に電力供給を受けるためほとんど制約がない。	バッテリー駆動のため制約がある。海底、もしくは海上に充電可能な設備を設け、再充電に要する時間を削減するための研究・開発が進められている。
通信	ケーブルにより母船との安定した通信が可能。	母船とケーブルで接続されていないため、通信の質は有線より劣ってしまうが音響などを用いた通信手段の研究・開発が行われている。そのため、連続通信はしない自律航行が中心となる。

9.2.4 Drone

(1) 3D モデリング

石油・ガス生産施設を 3D モデルとしてデータ化することは、設備設計の効率化のみならず、安全性などの各種レビューや流動解析などのシミュレーションを行う上で重要で、その作成は近年の生産施設設計においては欠かせない要素である。しかしながら、数十年前に建造されたような施設では 3D モデルは存在せず、あらゆる設計データが紙面でしか有効でない場合が多々ある。このような場合に、効率的に 3D モデルを作成することができれば、設備の検査や、増強など改造時に大きなメリットをもたらすことになる。[フォトグラメトリー](#)と呼ばれる技術は、多くの

第9章 Digital Transformation (DX)

画像から 3D モデルを効率的に生成することを可能にした。しかし、巨大な石油・ガス生産施設ともなると、人間がカメラを手に持ち、隅から隅まで撮影することは困難かつ高所ともなると危険が伴う。ドローンはこうしたニーズに答えることができるため、ドローンの活用+3D モデル作成が近年注目されている。測量データ、設計データを基にした CAD(Computer-Aided Design)ソフトによる 3D モデルの作成は施設の設計時に数か月～数年かけて作られる大変な労力を必要とする作業として知られている。この点、フォトグラメトリーによる 3D モデルの作成は、同質の成果物を提供できるわけではないため、従来の方法の完全な代替手段となるわけではないが、3D モデル作成に必要な期間とコストを大幅に削減することができる。

(2)設備検査とスマート保全

高性能化を続けるドローンは、石油・ガス生産施設における設備検査に利用され始めている。特に高所設備の検査に向いており、例えば地表から 100m 以上あるようなフレアスタックの頂部の検査は人間が実施するとなると危険を伴うため、ドローンが活躍している。そういう安全面だけではなく、人間による高所設備の目視検査を実施するには、しばしば大掛かりな足場の設置作業が必要となり、コスト削減の観点からもドローンが注目されている。単に足場の設置費用が削減できるだけでなく、日々の製品生産からもたらされる利益が莫大であるため、設備検査のためのダウンタイムを減らすことができれば、それだけ多くの製品を生産し、大きな利益につなげることができる。



図 9-2-4 FPSO 設備検査におけるドローン利用

引用元：[Terra Drone 社 Website https://terra-drone.eu/en/fps0-inspectie/](https://terra-drone.eu/en/fps0-inspectie/)[16]

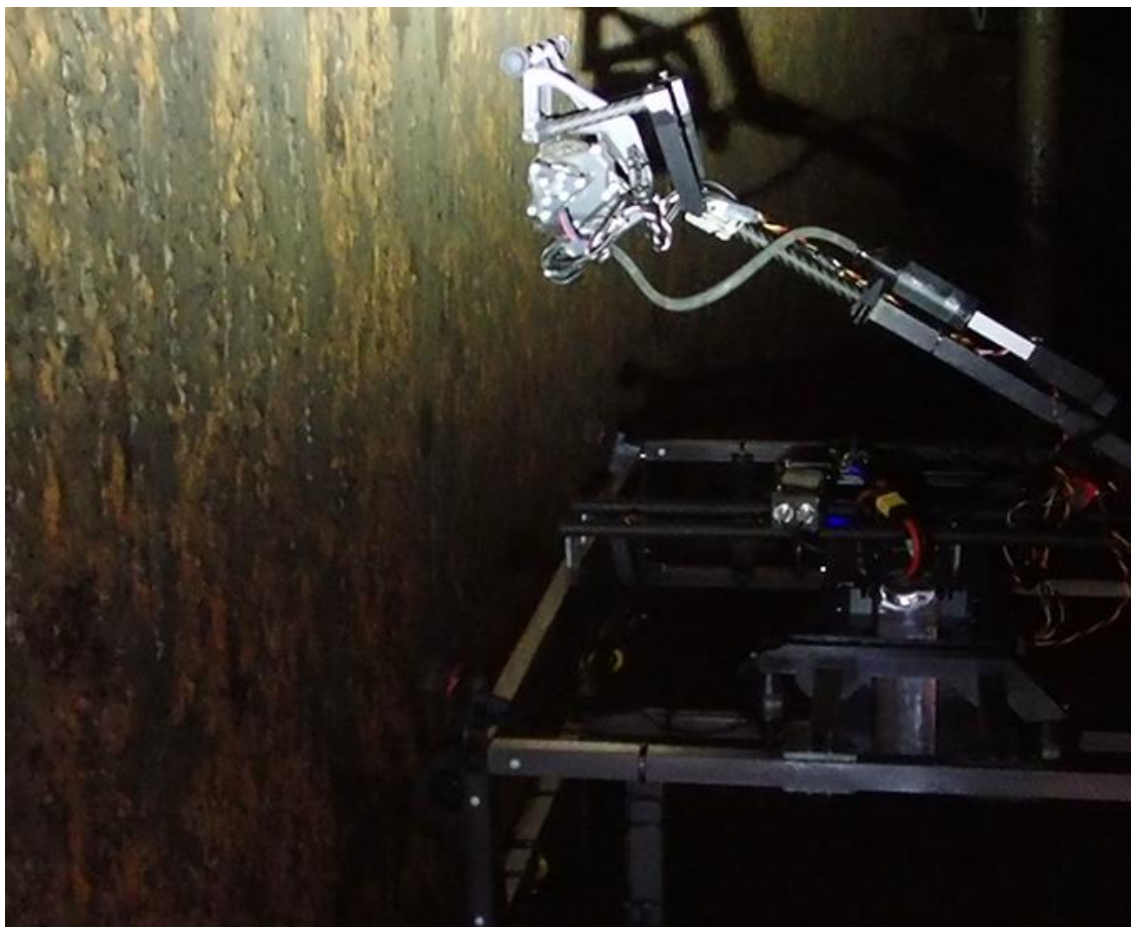


図 9-2-5 ドローンによる閉所での設備検査

引用元：[Terra Drone 社 Website https://www.terra-drone.net/global/solution-oil/](https://www.terra-drone.net/global/solution-oil/)[17]

9.2.5 デジタルツイン

(1) デジタルツインとは

デジタルツインとは現実の世界に発生する物理現象を、コンピュータ上で同じように(もしくは双子の様にと表現される)再現する技術である。例えば、プラントの各種プロセスデータ使用し、物理モデルを使用してプロセスシミュレーションを行う Operator Training System (以下、OTS) や回転機や大型機器をコンピュータ上で再現しシミュレーションを行うものがある。本項では、プラントのデジタルツインである OTS と大型熱交換機のデジタルツイン事例について紹介する。

(2) OTS

① 概要

石油ガスなどの精製プラントは一旦立ち上がった後は、製品の生産量の変化の

第9章 Digital Transformation (DX)

少ない定常状態に近い運転がなされる期間が支配的となる。そのため、スタートアップやシャットダウン等の非定常状態における運転機会が少ない。また、特に日本においては団塊世代の退職による熟練オペレータ減少がかねてより問題となっており、若手の運転訓練はますます重要となっている。

OTSは運転訓練用にプラントの動的な挙動をダイナミックシミュレーションで模擬し、その結果を実機DCSのエミュレータ上に反映するものである。主な使用目的は若手の教育や、既存オペレータに対する非定常状態における運転の再教育であるが、その他にも下記の目的で使用される。

(ア) 新しい運転条件におけるプロセスシミュレーション

(イ) DCS ロジックのチェック

(ウ) プロセスアラームの正当性確認

(エ) エンジニアリング用のシミュレータ

② システム構成

OTSにおける一般的なシステム構成を次ページに示す。OTSはシミュレータ用計算器とDCS及びバックアップ盤で構成されている。

<シミュレータ用計算機 説明>

1. MAIN-PC : プロセスモデル PC 1台

(ア) シミュレーションモデルの計算を実行する。

(イ) インストラクタ用の画面 (IOP: Instructor Operation Panel) を表示。

(ウ) その他訓練管理機能の処理を実行する。

2. FOP-PC : 現場操作 PC 1台

(ア) 現場操作用の画面 (FOP: Field Operation Panel) を表示する。

第9章 Digital Transformation (DX)

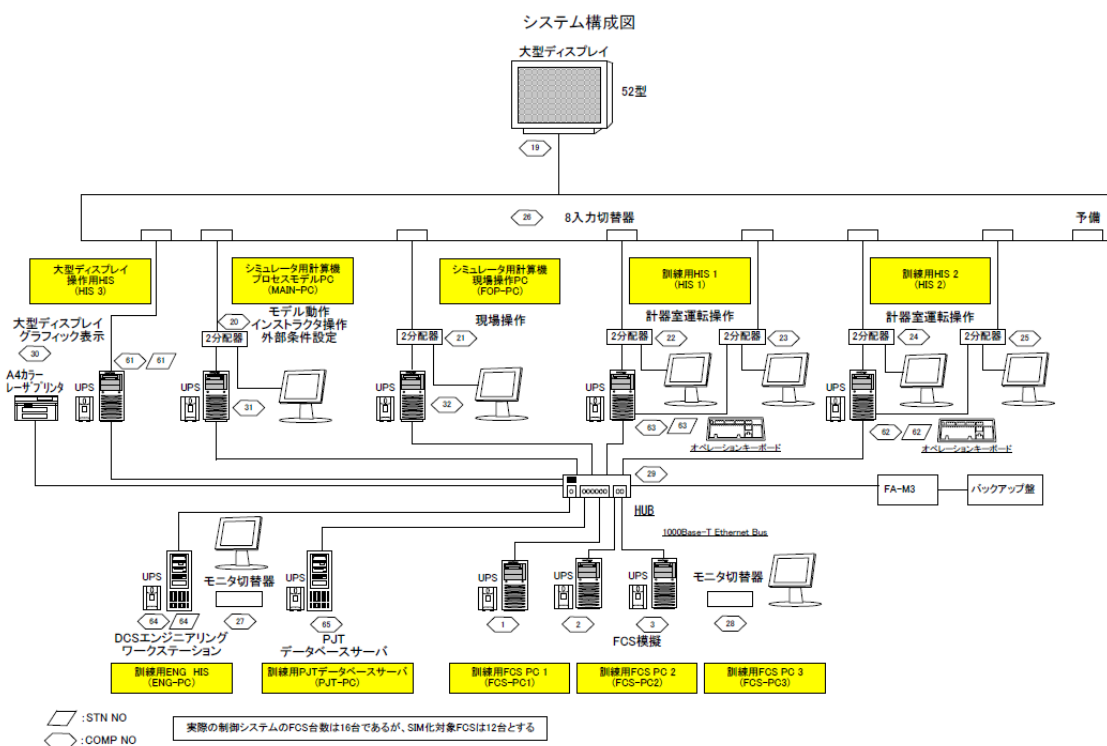


図 9-2-6 OTS システム構成図

<ソフトウェアパッケージ構成 説明>

シミュレータ用計算機にインストールするソフトウェアパッケージは一般的に下表で構成される。

表 9-2-6 ソフトウェアパッケージ構成表

モジュール	シミュレータ用計算機	
	MAIN-PC	FOP-PC
シミュレーションモジュール	○	
物性計算モジュール	○	
実行制御モジュール	○	
データベースモジュール	○	
グラフィックモジュール	○	○
自動運転モジュール	○	
評価モジュール	○	
PCS 接続モジュール	○	
Microsoft Visual C++	○	
Microsoft Office	○	

1. シミュレーションモジュール
ダイナミックシミュレータとなる。
2. 物性計算モジュール

第9章 Digital Transformation (DX)

シミュレーションモジュールで使用する物性データと物性推算機能を提供する。

3. 実行制御モジュール

(ア) 全体の実行を制御する。

(イ) 全体を構成するモジュールおよびモジュールが使用するデータを管理する。

4. データベースモジュール

画面表示用およびマルファンクション(非定常運転)実行用のデータベース。

5. グラフィックモジュール

(ア) 画面を作成/表示する機能群となる

(イ) インストラクタ用の画面、現場操作用の画面を作成/表示する際に使用します。

6. 自動運転モジュール

マルファンクション機能の一部として使用される。

7. 評価モジュール

訓練中の操作を記録する。

③ 訓練形態

OTSは、プロセスプラントのプロセス及びユーティリティー設備に関する操作を訓練する。一般的には、インストラクタ(先生)とトレーニ(生徒)が連携して訓練を進める。自習のために、トレーニが単独ですべての役割を兼ねることも可能となっている。

表 9-2-7 訓練参加者役割

訓練参加者とその役割(例)	
参加者	役割
インストラクタ	訓練システムの管理者。つぎの作業を担当する。
	・訓練内容に対応した初期状態の読込
	・訓練シナリオに基づいたマルファンクションの実行
	・必要なタイミングでの初期状態の保存
トレーニ1	DCS 操作担当者
トレーニ2	・訓練用HIS における運転操作を担当する。
トレーニ3	現場操作担当者
	・現場情報の確認および現場操作を担当する。

参考として LNG 基地において想定するマルファンクション(異常事象)の例を下記に示す。このような想定されるマルファンクションをプロセスエンジニアや熟

第9章 Digital Transformation (DX)

練オペレータと検討・定義し、OTS上で状況を再現することで若手オペレータの訓練を行っている。このようにデジタル上でプラントのデジタルツインを実現することで、シミュレーションによる運転の訓練・検討が行われている。

表 9-2-8 マルフアクション例

No.	画面タイトル	地区	種別	名称	異常シナリオ	対応操作シナリオ
1	LNG受入設備	LNG受入エリア	計器異常	受入圧カバース側 上昇 PT-034A	・入船受入作業中に受入ライン圧力 (PIA-034A) DCS ANN発報	・バース受入担当者に連絡、現場指示の圧力計指示値の確認、受入設備側の弁関係の異常有無調査依頼 ・中操では受入ラインの弁開閉状態の確認と受入量の確認、当該計器の入力値を確認し異常箇所の特定を行う
2	LNG受入設備	LNG受入エリア	弁・回転機異常	LNG船カーゴポンプトリップ	・受入中にカーゴポンプトリップ	・船側に異常の状態確認 ・受入再開が遅れるようであれば、バース受入弁閉、保冷循環ライン生かしを行う ・受入サンプリングの中断
3	LNG受入設備	LNG受入エリア	弁・回転機異常	LNG受入弁 突然閉 XV-031A	・受入中にLNGローディングアームA受入弁 (XV-031A) が突然閉 ・弁チェックタイマーが動き異常を検知	・船側に異常事態を知らせる ・受入量の減少が予想されるためカーゴ台数を減らすよう要請する ・異常原因を究明し対応処置を行う ・受入サンプリングの中断
4	LNG戻りガスブロフ	LNG受入エリア	弁・回転機異常	LNG戻りガスブロフトリップ C-060A	・受入中にLNG戻りガスブロフ(C-060A)トリップANN吹鳴 ・戻りガス圧力低下ANN吹鳴	・予備RGB自動起動を確認、RGライン圧力・流量、タンク内圧の監視を強化 ・船側に異常事態を報告する
5	LNG受入設備	LNG受入エリア	プロセス異常	LNG受入 突然レートダウン発生	・受入中にカーゴレートが突然減少	・受入サンプリングの一時中断 ・受入ライン圧力を調整する
6	LNGタンク	LNGタンクエリア	計器異常	LNGタンク内圧 上昇・低下 PT-101A1	・LNGタンクAのタンク内圧 (PI-101A1) 上下限警報吹鳴	・T-100Bタンクのタンク内圧が正常であるか確認 ・DCSでPI-101A1の入力信号が正しく入ってきているか確認し異常値であれば保守担当者に連絡 ・RGB吸込圧を確認
7	LNGタンク	LNGタンクエリア	弁・回転機異常	LNGタンクJM弁 突然閉 HV-122A	・JM中にJM弁(HV-122A)突然閉、アンサーチェックに引っかかりANN吹鳴	・オペレーターは異常原因を調査しJMシーケンスをインシャライズし、通常のラインに戻す ・台数制御により1ryPが停止することを確認
8	LNGタンク	LNGタンクエリア	弁・回転機異常	LNGタンク下部受入弁 異常発生 HV-053A	・LNG受入のためLNGタンクA受入弁 (HV-053A) を開操作したが弁異常発生	・オペレーターはDCSから当該弁の開指令が出力されているか確認 ・上部受入可能か判断し、可能であればHV-052Aを開にする
9	LNGタンク	LNGタンクエリア	プロセス異常	入船時BOG圧力上昇(低気圧接近)	・入船時LNG受入途中での低気圧接近によるタンク内圧上昇ANN吹鳴	・BOGコンプレッサーのロードアップ、必要に応じ掛け増し ・ボトムフィード受入に切替え (BOGの抑制オペレーション)

(3) 大型熱交換機デジタルツイン事例

(ア) 概要

近年各種プラントにおける重要機器の状況を現場の計測機器からデータを取得し、クラウド上で現場の機器状況をリアルタイムのデジタルツインとして再現し、機器の製造会社はその状況を常時モニタリングすることで、予知保全の実現や専門家からのアドバイスを提供している。本事例では Linde 社が提供するプレート式熱交換器のデジタルツイン事例を紹介する。

(イ) プレート式熱交換器

本事例の熱交換器は Linde 社が提供するアルミニウム製のプレート式熱交換と

第9章 Digital Transformation (DX)

なる。主な使用目的は主プロセス流体と冷媒を熱交換させることで、主プロセス流体を液化させることである。特徴としては熱効率が良く、場所を取らないコンパクトな設計が可能であるが、その分内部構造が複雑になる。図 9-2-7 はプレート式熱交換器の実際のプレートとプレートを内部に組み込んだ機器の写真である。図を見るとわかる通り、配管とプレートが何重にも重なっており、機器の状況をオペレータが正確に把握するのは困難である。しかしながらこういった液化を目的とした熱交換機は、万が一リークが発生すると 3-4 週間ほどのダウンタイムが発生するなど、その影響は甚大である。それゆえオペレーションリスクを下げるために製造会社の専門家によるモニタリングが求められた。

図 9-2-7 左図は実際のプレートの写真、右図はプレートを内蔵した各熱交換器と接続された配管の図になる。



図 9-2-7 プレート式熱交換器構造

(ウ) デジタルツイン構築例

図 9-2-8-I の様なイメージでプレート式熱交換の温度を計測している。緑色の点が熱交換器表面の温度、赤が内部温度、水色の線が光ファイバを用いた温度計測の敷設図になる。

これら温度計からの情報で内部の流体温度を図 9-2-8-II の様に可視化することが可能になる。

第9章 Digital Transformation (DX)

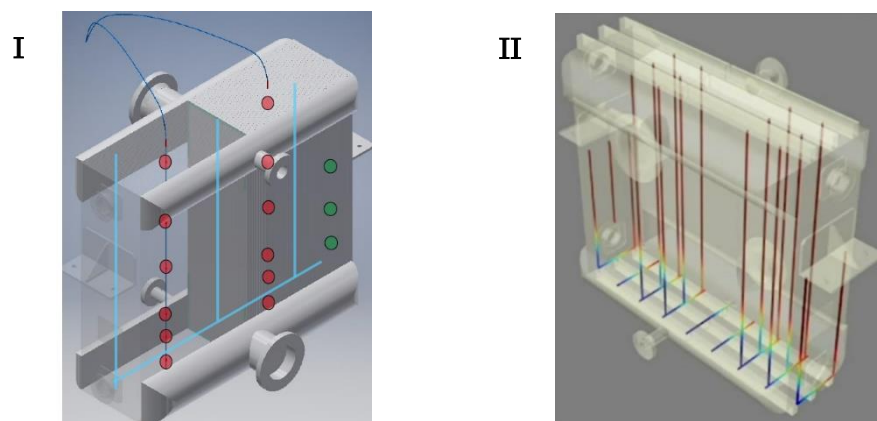


図 9-2-8 デジタルツイン温度可視化の例

[Gasteck Virtual Summit 2020: Digital Twin of a Plate Fin Heat Exchanger より抜粋] [18]

図 9-2-9 は測定した温度データから熱交換機の熱収縮をシミュレーションした結果である。このように現場で取得したデータから金属疲労が起きる可能性の高い箇所をシミュレーションし、割り出すことを可能としている。

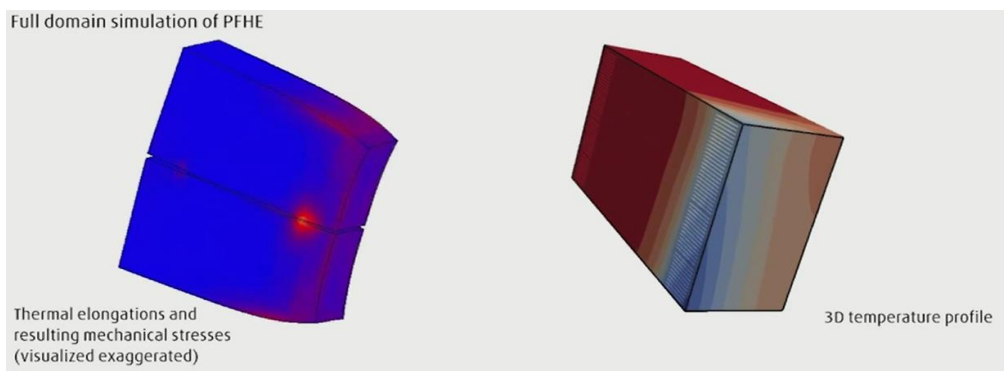


図 9-2-9 デジタルツイン金属疲労シミュレーション例

[Gasteck Virtual Summit 2020: Digital Twin of a Plate Fin Heat Exchanger より抜粋] [18]

(エ) リモートサポート

上記したリアルタイムシミュレーションの情報をクラウドで共有し、現場オペレータと専門家で情報を共有し、ダッシュボード的な形で重要な情報を可視化することで、必要アクションを迅速に取ることを可能としている。また、製造会社の専門家からの見解を得ることで、操業に影響を与えるような重大事故を未然に防ぎ、効率的な保全計画の立案に対するサポートも行っている。

第9章 Digital Transformation (DX)

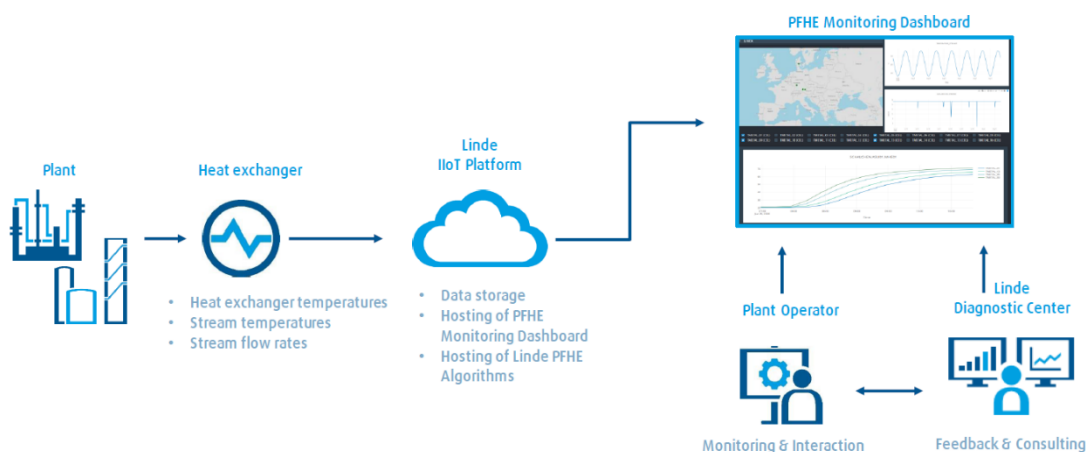


図 9-2-10 リモートサポート概念

[Gasteck Virtual Summit 2020: Digital Twin of a Plate Fin Heat Exchanger より抜粋]

参考(Linde Engineering) : <https://www.linde-engineering.com/en/index.html>[19]

9.2.6 プラントヒストリアン活用事例

(1) トラブルシューティング

プラントヒストリアンの代表的な活用事例が、日々の操業において予期せず発生してしまう様々なトラブルへの対応である。こうしたトラブルで生産が停止してしまうことの無いよう、制御室オペレータは常時アラームに注意を払っているが、それでも個別の機器のトラブルが引き金となり、ドミノ倒しの様に生産停止に至るケースは時折見られる。その引き金となる現象は、事前にアラームによって把握できる場合もあるが、ほとんど兆候をとらえるのが不可能な場合もある。いずれの場合も、詳細な履歴が無ければ将来に向けた対応策を検討できない。この詳細な履歴というのが、まさしくプラントヒストリアンに蓄積された膨大なデータである。

(2) 生産操業最適化

プラントヒストリアンに蓄積された膨大なデータを解析することで、それまでにないレベルで生産操業の最適化を実現できる場合がある。プラントの制御において多く用いられる PID コントローラーのみの場合、プロセス全体、プラント全体という大局的なスケールで最適性を目指すことは困難である。全体最適性を追求するとよりエネルギー消費の少ない、効率的な運転条件を突き詰めていくことが可能である。なお、制御の最適化については、APC(Advanced Process Control) や Real-time Optimization と呼ばれる技術・分野があり、日進月歩で進化するデジタル関連の技術が適用されている。

第9章 Digital Transformation (DX)

(3) アラーム・予兆検知

制御システムより制御室オペレータに発せられるアラームに対しては、通常分単位での対応が求められる。それらのアラームにより、機器トラブルの予兆を事前につかみ、状況が悪化することを未然に防ぐことはベテランのオペレータであれば特に強く意識される場所である。しかし、中長期的な機器の状態監視やトラブルの予兆検知は、こうした制御室オペレータのみならず、日々の巡回を担うフィールドオペレータの経験と勘によるところが大きく、属人化傾向が強い。プラントヒストリアンは、ただデータを蓄積するだけでなく、リアルタイムで解析し、特定の条件に一致したことを通知する機能が備わっていることが多い。これにより、制御システムのアラームに現れないプラントが発する声なき声を聞き取り、保全・作業チーム一丸となって安全で効率的に業務を遂行していくのに一役買っているわけである。また、近年はプラントヒストリアンに蓄積されたデータを機械学習により解析することも盛んに試みられている。

9.2.7 AI を用いたネスティング最適化

(1) ネスティングとは

ネスティングとはレーザー切断機、プラズマ切断機、ガス溶断機やウォータージェット等を使う切断、溶断業界において使用される言葉で、長方形の鋼板から各種製造工程に必要な部材を切り出す際に、可能な限り切り出す元となる鋼板の廃棄が少なくなるように配置することを指す。以前から様々な業界において歩留まり率(切り取った部品の面積を元となる鋼板の面積で割った率)が良くなるように、最適配置を自動で出力するネスティングの研究が行われており、実用化されている例もあるが造船業のネスティングにそのまま適用できるものではない。その理由としては他産業に比べ造船業で取る部品の形状は複雑かつ、部品面積の差が大きく、配置条件に制約がほぼないといった背景がある。本稿ではこのような背景を持つネスティングに対し、海上技術安全研究所と株式会社大島造船所が共同研究を行った AI ネスティングについて紹介する。

(2) AI を使用したネスティング

[海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊 10 最新の人工知能技術の活用・ネスティング AI と画像認識による点検・より引用]

以前より、造船業界のネスティングにおいても遺伝的アルゴリズムや確率論的手法等のネスティングアルゴリズムの開発は行われてきた。しかしこれらアルゴリズムはネスティングによって出力された結果に対し、人手による手直しの必要があった。AI を使用したネスティングはこれらアルゴリズムとは異なり人手による修正が不必要なレベルでネスティング出来る可能性を示唆している。具体的な

第9章 Digital Transformation (DX)

手法としては下図に示すように自己学習と人手の配置データから学習する部分の2つで構成される。自己学習では、まず一品ごとの部材別データベースから配置したい部材を複数個選び、環境である部材配置シミュレータに入力する。部材配置シミュレータでは、歩留まり率と現在の配置状況を出力し、エージェントは現在の配置状況から一つの部材に対してどこに配置すればよいかを出力し、再び部材配置シミュレータにて次の配置状況へ遷移する。これを繰り返し実施し、報酬の総和、つまり歩留まり率がよくなるように学習を行う。次に、人手の配置データから学習する部分については、人手の配置結果をまず行動履歴として分解し、それらを模倣するようにエージェントに学習させる。これにより、人手の良い結果と同様の結果を出力できるようになる。

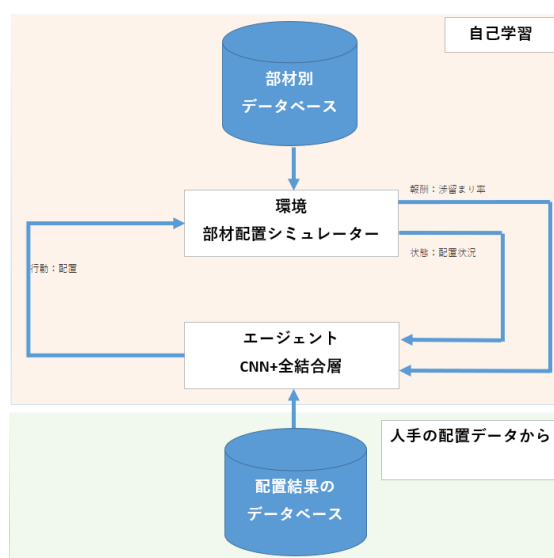


図 9-2-11 AI ネスティングシステム構成イメージ図

図 9-2-12 は AI ネスティングによって配置された結果の一例である。図 9-2-12-I は 3 個の部材を配置した結果、図 9-2-12-II は 10 個の部材を配置した結果であり、部材を濃い青色～黄色で色分けして表示している。このように、強化学習および人手の配置データを活用することで、人手による修正が不必要なレベルで配置できる可能性が確認されている。



図 9-2-12 AI ネスティング結果

参考: <https://www.nmri.go.jp/>[20]

9.2.8 洋上風力におけるスマート保全の動向

(1)背景

風力発電は気候温暖化という環境問題に対する解決策の一つとして需要が高まっており、世界の再生可能エネルギーの中で、最大規模の発電量となっている。特に国土の制限が多い日本において、洋上での発電を可能とする風力発電の需要は今後も高まっていくと予想される。災害大国である日本は海外と比較し、台風や落雷などが多い上、主な重要部品が海外製であるため部品調達に時間が必要になり、結果として、故障によるダウンタイムが海外と比較して長くなる傾向がある。このような背景から、保全をより効率的に行うスマート保全のニーズが高まっている。本章では国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)が取り組んだ故障予知検知の事例を紹介する。

(2)故障予知

上記で述べた通り、風力発電のオペレーションにおいてダウンタイム最小化は重要課題となっている。この問題に向き合うため、以前から風車可動部(ブレードやギアボックス等)にセンサーを設置し振動値等を取得し分析することで、TBM(Time Based Maintenance)ではなく CBM(Condition Based Maintenance)を実現する試みは行われてきた。アプローチ方法としては取得するデータに対し、故障に起因するデータに対して閾値を設定しアラームが発報するようにすることで、故障が起きる前に異常を検知するものである。しかしながらこの方法は取得されるデータが故障事象に対し線形に推移した後を捉えることになる。例えば、ギアボックスの振動値を取得し、通常状態を 20Hz、異常状態を 60Hz とし、故障アラームを 40Hz と設定した場合、20Hz から 60Hz に徐々に推移して振動値が上昇し 40Hz でアラーム発報した後に対応することになる。つまり、ある程度異常状態が進展してからアラームが発報されることになる。かといって、通常状態に近いところ、例えば 30Hz あたりに閾値を設定した場合、アラームの誤報に悩まされることになる。

これに対し故障に至る前のデータに対し人工知能技術に基づくアプローチ(機械学習)であれば、こういった閾値による検知でなく、データの変化パターンを分析し、そのパターン認識を行うことで故障発生前に異常を検知が出来るのではないかと期待されている。NEDO はこのような人工知能技術に基づくアプローチを用いて風車に対する故障予知の実証実験を行った。

第9章 Digital Transformation (DX)

(3)SCADA のデータを使用した風車故障予知

NEDO が取り組んだ SCADA のデータを使用した風車故障予知について紹介する。通常故障予知を実現するシステム(CMS: Condition Monitoring System)を作る場合、高解像度のデータ(msec 単位)を取得し解析できるようなセンサーと専用のシステムを構築することが多いが、通常の発電オペレーションのみを考えると構築する必要性もなく、追加コストということになる。風力発電の通常オペレーションでは SCADA を使用し、各種電力データや制御データ、環境データ等を取得し、リモートで設備の監視を行っているが、オペレーション監視目的であり、また通信量の制限があることから Scan Time が遅く、故障予知を行うにはデータとしての解像度が低いとされていた。しかし、SCADA で取得されたデータを使用し故障予知が出来れば、追加での設備等なしで故障予知が出来ることになり、メリットが大きい。NEDO はこの点に着目し、SCADA データを用いた風車の故障予知について検討を行った。

手法としては特定の部品に対する故障を予知するのではなく、風車を構成する機器の稼働データをまんべんなく利用する(つまり風車全体をモデル化している)ことが特徴的である。また、教師データとして、故障時のデータを使用するのではなく、通常オペレーション時のデータを教師データとして使用し、正常状態と異常状態を比較することで、異常時の判定を行っている。このような手法を取ることで異常状態の予知だけでなく、通常時の稼働状態と比較してパフォーマンスが劣るといったことも判定できる。

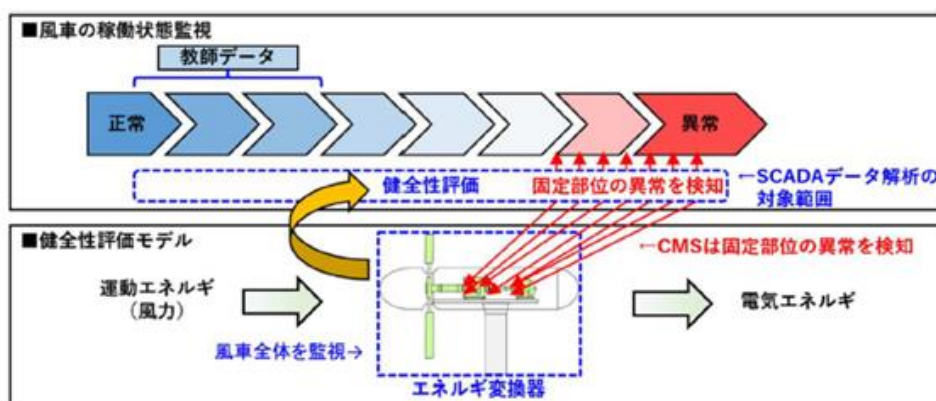


図 9-2-13 SCADA を用いた故障予知の概念図

図 [出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：風力等自然エネルギー技術研究開発風力発電高度実用化研究開発スマートメンテナンス技術研究開発(分析)(リスク解析等)] [21]

第9章 Digital Transformation (DX)

このような手法を取ることで3カ月前の異常予知が可能という結論が得られている。

詳細は風力等自然エネルギー技術研究開発風力発電高度実用化研究開発スマートメンテナンス技術研究開発（分析）（リスク解析）
https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html を参照されたい。

9.2.9 用語集

表 9-2-9 用語集

用語	意味
AI(Artificial Intelligence)	学習・推論・判断といった人間の知能のもつ機能を備えたコンピュータシステム。応用として、自然言語の理解、機械翻訳、エキスパートシステムなどがある。
AUV(Autonomous Underwater Vehicles)	自律型無人潜水機は、水中で活動するロボットである。蓄電池や燃料電池や閉鎖型内燃機関を動力として深度 6000m で活動する物もある。
Cloud(クラウド)	クラウドとは、IT用語としては、「クラウドコンピューティング」の略、または、クラウドコンピューティングにおいて利用される不特定多数のサーバーのことである。
Drone	無人航空機。無人で遠隔操作や自動制御によって飛行できる航空機の総称。
HPC(ハイパフォーマンスコンピューティング)	ハイパフォーマンスコンピューティングとは、単位時間当たりの計算量が非常に多い計算処理のことである。
IoT (Internet of things)	あらゆるモノがインターネットを通じて接続され、モニタリングやコントロールを可能にするといった概念・コンセプトのこと。
OTS (operation training simulator)	物理モデルに基づいた、オペレータのトレーニングシステム。
PLC(Programmable Logic Controller)	機械を自動的に制御する装置。機械が実行する動作を事前に順序付けて記憶させることで効率的に制御する。
SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)	産業制御システムの一つであり、大きな施設やインフラを構成する装置・設備から得られる情報を、ネットワークを通して一カ所に集めてコンピュータにより監視し、必要に応じて制御するシステム。

第9章 Digital Transformation (DX)

Smart Grid	情報通信技術を活用することによって、電力の需要と供給を常時最適化する、次世代の電力網。水力・火力など既存の発電施設と風力・太陽光発電など新エネルギーによる分散型電源を制御し、効率・品質・信頼性の高い電力供給システムの構築を目指す。地球温暖化対策の一つとして各国で取り組みが進められている。
デジタルアニーラ	デジタルアニーラは、量子現象に着想を得たデジタル回路で、現在の汎用コンピュータでは解くことが難しい「組合せ最適化問題」を高速で解く富士通の新しい技術。
デジタルツイン	デジタルツインとは、現実の世界から収集した様々なデータを、まるで双子であるかのように、コンピュータ上で再現する技術。
ネスティング	板金加工を行う際に1枚の鋼板から複数の部品をまとめて加工すること。
ビッグデータ	一般的には「ビッグデータ」(big data)と表記される語。数百・数千兆バイト、またはそれ以上の桁数を持つ膨大な容量のデータのこと。分析・データマイニングなどに活用されることが増えつつある。
プラントヒストリアン	操業パフォーマンス管理に必要な情報(生産実績、品質情報、設備稼働率など)をリアルタイムに見える化・共有化する、操業情報管理システム。
量子コンピュータ	物理状態の重ね合わせという量子力学の基本原理を利用し、並行してそれぞれの計算を同時に処理するといった高速コンピュータ。

9.3 まとめ

本章では、デジタルトランスフォーメーションの必要性についてまず説明し、その後デジタルトランスフォーメーションに取り組む上で必要な要素技術と、それらを適用した実例について紹介した。

冒頭の初めに述べたように、近年デジタル関連の技術は日進月歩であり、本章で記載した内容もすぐに陳腐化する可能性がある。例えば昨今のAIは“弱いAI”と言われており、汎用性を持たないが、人間の脳のリバースエンジニアリングに成功した際は“強いAI”が開発されAIの概念が変わると言われている。

よって、今後デジタル技術を業務に活用する際は、本教科書はあくまで執筆時点での情報

第9章 Digital Transformation (DX)

としてとらえ、都度 Web や関連図書を参考にすることを強く推奨する。

本稿がデジタル関連の業務に取り組む際に若手技術者の一助となれば幸いである。

第9章 Digital Transformation (DX)

参考資料

- [1] ハンディータイプガスリーク検知器：理研計器株式会社
<https://www.rikenkeiki.co.jp/products/detail/104>
- [2] 超音波探傷チュートリアル：OLYMPUS
<https://www.olympus-ims.com/ja/ndt-tutorials/flaw-detection/>
- [3] Users Conference 2013 , The Power Of Data：OSIsoft
https://cdn.osisoft.com/corp/en/media/presentations/2013/EMEA2013/PDF/EMEA13_OSIsoft_LeBayResnickThomassen_PISystemVisualizationAndMobileDeviceStrategy.pdf?_ga=2.20413503.649274756.1602120909-60731589.1597791246
- [4] Function levels of a Distributed Control System: Wikipedia
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/Functional_levels_of_a_Distributed_Control_System.svg/1920px-Functional_levels_of_a_Distributed_Control_System.svg.png
- [5] プラントの状態監視：OSIsoft
<https://www.osisoft.com/pi-system/pi-capabilities/pi-system-tools/pi-vision/>
- [6] 長岡鉦場越路原プラント：INPEX
- [7] イクシスプロジェクト CPF (Central Processing Facility): INPEX
- [8] シングルロータードローン：三菱重工業
<https://www.drone.jp/special/20190315121719.html>
- [9] Saturation Diving: Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Saturation_diving
- [10] Remotely Operated Underwater Vehicle: Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle
- [11] Autonomous Underwater Vehicle: Wikipedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:MiniU.jpg>
- [12] Autonomous Surface Vehicles: L3HARRIS
<https://www.asvglobal.com/research-and-development/>
- [13] デジタルアニーラ：富士通
<https://www.fujitsu.com/jp/digitalannealer/>
- [14] Charging Station: Offshore
<https://www.offshore-mag.com/subsea/article/16761957/subsea-charging-station-designed-to-enable-auv-operations>
- [15] Underwater Wireless Communications for Cooperative Robotics with UWSim-NET
<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/17/3526/pdf>
- [16] FPSO Inspection：Terra Drone
<https://terra-drone.eu/en/fpso-inspectie/>

第9章 Digital Transformation (DX)

[17] Visual Inspection: Terra Drone

<https://www.terra-drone.net/global/solution-oil/>

[18] Gasteck Virtual Summit 2020: Digital Twin of a Plate Fin Heat Exchanger

[19] Linde Engineering

<https://www.linde-engineering.com/en/index.html>

[20] 海上技術安全研究所

<https://www.nmri.go.jp/>

[21] 風力等自然エネルギー技術研究開発風力発電高度実用化研究開発スマートメンテナンス技術研究開発（分析）（リスク解析等）：NEDO

【和英 50 音順】

アーチーの式 (Archie's formulas).....	97, 111
アジマススラスター (azimuth thruster).....	323
圧潰圧力 (collapse pressure).....	77
圧縮率 (compressibility).....	118, 132
圧入井 (injection well).....	58, 170, 183
アップスケージング (upscaling).....	160
アトリビュート解析 (attribute analysis).....	53, 55
油粘度 (oil viscosity).....	131
油密度 (oil density).....	131
アルカリ攻法 (alkaline flooding).....	174
アンビリカル (umbilical).....	299, 304
異常高圧層 (abnormal pressure formation).....	77
伊豆・小笠原島弧 (Izu-Bonin Arc).....	454
一次採取法 (primary recovery).....	164, 166
一次磁場 (primary magnetic field).....	98
逸泥 (lost circulation).....	76, 77
移動 (migration).....	16, 17, 34
陰圧管理 (negative pressure management).....	355
インセンティブ方式 (incentive method).....	259
インダクション検層 (induction logging).....	94, 97
インヒビテッド泥水 (inhibited mud).....	74
ウインチ (winch).....	306
ウェザーベーン (weather vane).....	371
ウェットクリスマスツリー (Wet Xmas Tree,WXT).....	262
ウェットトウ (wet tow).....	387
ウェルヘッド (wellhead).....	180
迂回係数 (tortuosity factor).....	96
浮屋根式タンク (floating roof tank).....	207, 209
渦流量計 (vortex flow meter).....	202, 203
エアガン・アレイ (air gun array).....	47
エアリフト (air lift).....	462
英国エネルギー協会 (Energy Institute).....	503, 504, 528, 536, 542
API 比重 (American Petroleum Institute gravity,API gravity).....	8
液化天然ガス (Liquefied Natural Gas,LNG).....	27
S/N 比 (Signal to Noise ratio).....	51
エトバス効果 (Eotvos effect).....	37
エトバス補正 (Eotvos correction).....	38
NMO 補正 (Normal Move Out correction).....	50
エネルギー収支比 (Energy Return On Investment,EROI).....	442
エマルジョン (emulsion).....	75, 186
MH 濃集帯 (methane hydrate-concentrated zone).....	435
遠隔操作無人潜水機 (Remotely Operated Vehicle,ROV).....	233
円錐屋根式タンク (cone-roof tank).....	207, 208
円筒型プラットフォーム (spar).....	234
オイルウィンドウ (oil window).....	13
沖縄トラフ (Okinawa Trough).....	454

索引

オリフィスマータ (orifice meter)	202
音響インピーダンス (acoustic impedance)	45
音波検層 (sonic log).....	104, 110, 111
回収率 (recovery factor).....	112, 116
海底擬似反射面 (Bottom Simulating Reflector,BSR)	436
海底鉱物資源 (seafloor mineral resources).....	4, 442
海底仕上げ井 (subsea completion well)	178, 293
海底生産システム (Subsea Production System,SPS).....	292
海底セパレーター (subsea separator).....	302
海底熱水鉱床 (seafloor massive sulfides)	4, 443, 444, 452, 465
ガイドラインテンショナー (guideline tensioner).....	254
開発 (development/exploitation)	30
開発井 (development well)	58
界面活性剤攻法 (surfactant flooding)	174
改良型採収法 (Improved Oil Recovery,IOR).....	165
化学吸収法 (chemical absorption process).....	192
化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand,COD).....	195
拡散電位 (diffusion potential)	99
核磁気共鳴 (nuclear magnetic resonance).....	43
確率論的手法 (probabilistic method)	149, 157
可採埋蔵量 (recoverable reserves)	24
火山岩 (volcanic rock).....	41
ガス圧入法 (gas injection)	170, 171
ガスウィンドウ (gas window).....	13
ガスキャップ (gas cap)	126
ガスキャップ押し (gas cap drive).....	136, 138
ガス攻法 (gas flooding).....	172, 174
ガス・コンデンセート (gas condensate).....	124, 134
ガス - コンデンセート比 (gas condensate ratio)	135
ガスクラバー (gas scrubber).....	184
ガスの計量 (gas metering).....	201
ガス比重・密度 (gas gravity/density)	132
ガス水接触面 (Gas Water Contact,GWC).....	110
ガス油接触面 (Gas Oil Contact,GOC).....	110
ガス油比 (gas oil ratio)	131
ガスリフト (gas lift).....	30, 166
岩圧 (overburden pressure).....	76
岩質 (lithology).....	32, 53
乾性ガス (dry gas).....	124
岩石コア試料 (rock core sample).....	92
岩石物理 (rock physics)	56
岩相 (lithofacies/rock facies)	20, 49
岩相 (ファシス) 解析 (facies analysis)	53
観測井 (monitoring well)	58
貫入岩 (intrusive rock)	39, 40, 44
ガンマ線検層 (gamma ray logging).....	101
擬重力変換 (pseudo-gravity transform).....	44
基準状態 (standard condition)	116, 201
擬似臨界圧力 (pseudo critical pressure).....	133

索引

擬似臨界温度 (pseudo critical temperature)	133
既発見初期賦存量 (discovered petroleum initially in place)	148
機能安全	522, 524, 533, 534
基盤岩 (basement rock/bedrock)	40
基本波形 (basic wavelet).....	49, 110
逆解析 (inversion).....	44
逆問題 (inverse problem).....	33
キャビテーション (cavitation).....	303, 346
キャリアベッド (carrier bed).....	16, 17
究極可採資源量 (ultimate recoverable resources).....	438
Q 比 (Q ratio)	41
境界波 (boundary/interface wave)	46, 104
極磁力変換 (reduction to the magnetic pole).....	44
緊張係留式プラットフォーム (Tension Leg Platform,TLP)	234, 271
空間フィルタ (spatial filter).....	48, 51
区間速度 (interval velocity).....	53, 112
掘削泥水 (drilling mud).....	59, 72, 93
掘削同時検層 (Logging While Drilling,LWD).....	92
掘削やぐら (drilling derrick).....	353
掘削リグ (drilling rig).....	58, 232, 241, 246
屈折法地震探査 (seismic refraction survey)	45
組合せ押し (combination drive)	136, 140
クラスター井 (cluster well)	298
クリギング (kriging)	158
グリコールデハイドレーター (glycol dehydrator)	190
クリコンデンサーム (cricondenthem).....	126
クリスマスツリー (xmas tree).....	296
群配置 (group setting)	48
傾斜掘削 (directional drilling).....	85
ケーシング (casing,CSG)	59, 78, 82, 200, 310, 355
ケーソン (caisson).....	230, 248
ケーニヒスベルガー比 (Koenigsberger ratio).....	41
頁岩 (shale)	13, 17, 20, 24, 74, 101, 111
保証レビュー	527
ケミカル攻法 (chemical flooding).....	172, 174
ケリー (kelly)	62
ケロジェン (kerogen).....	12
減圧法 (depressurization method).....	439
原始資源量 (in-place resources)	438
原始埋蔵量 (original in place)	148
減退曲線法 (decline curve method).....	149, 155
原油 (crude oil).....	8, 123, 186, 199, 207
原油貯蔵タンク (crude oil storage tank).....	208
原油の計量 (crude oil metering).....	199
コアリング (coring).....	92
孔隙率 (porosity)	18, 96, 110, 117
膠結係数 (cementation factor).....	96
坑口装置 (wellhead assembly)	179, 266, 296
鉱床 (deposit)	9, 16, 30

索引

公称稼働水深 (nominal operating depth)	257
坑井仕上げ (well completion)	243
坑廃水处理 (waste water treatment)	195
鉱物資源 (mineral resources)	2, 442, 444
ゴースト反射波 (ghost reflected wave)	48
コールベッドメタン (coalbed methane)	23, 435
国際海事機関 (International Maritime Organization,IMO)	246, 341
国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program,IODP)	244, 351
国際標準地球磁場 (International Geomagnetic Reference Field,IGRF)	41
コバルトリッチクラスト (cobalt-rich ferromanganese crusts)	4, 449
コヒーレント雑音 (coherent noise)	51
コラム (column)	254
コリオリ式流量計 (coriolis flow meters)	201
コリドースタック (corridor stack)	113
根源岩 (source rock)	10, 16
コンダクターパイプ (conductor pipe)	78
コンデンセート (condensate)	8, 126, 134, 150
コンプトン散乱 (Compton scattering)	103
コンプライアントタワー (compliant tower)	265, 269
コンボリューションモデル (convolution model)	49
サーフェスキューシング (surface casing)	78
採鉱 (mining)	462
最小位相 (minimum phase)	49
最小曲率法 (minimum curvature method)	90
最大生産レート (Absolute Open Flow,AOF)	144
在来型資源 (conventional resources)	23
砂岩 (sandstone)	18, 109
サッカーロッドポンプ (beam pumping)	167
サワー環境 (sour environment)	81
三次採取法 (tertiary recovery)	141, 165
酸性ガス (acid gas)	123, 189, 192
三相セパレータ (three-phase separator)	185
サンプリング (標本化) 定理 (sampling theorem)	49
残留油飽和率 (residual oil saturation)	123
残留磁化 (remanent magnetization)	41
CMP 重合 (Common Mid-Point stack)	50
シーバース (sea berth)	369, 370
シェールオイル (shale oil)	23
シェールガス (shale gas)	23, 435
シェールシェーカー (shale shaker)	70
ジオフォン (geophone)	48, 107
磁化強度マッピング (magnetic susceptibility mapping)	44
時間マイグレーション (time migration)	52
磁気異常 (magnetic anomaly)	41
試掘(exploratory drilling)	30, 32
試掘井 (exploration well/wildcat)	58
資源量 (resources)	24, 148, 435
地震探査 (seismic exploration/seismic survey)	30, 39, 45
沈み込み帯 (subduction zone)	452

索引

自然電位 (Self-Potential/Spontaneous Potential,SP)	99
自然電位検層 (spontaneous potential logging)	99
湿性ガス (wet gas)	124
実体波 (body wave)	45, 104
自動船位保持装置 (Dynamic Positioning System,DPS)	405
自噴圧 (self-injection pressure)	302
シャトルタンカー (shuttle tanker)	242, 271, 288, 367
シャトルマイナー法 (shuttle mining)	462, 465
褶曲構造 (fold)	21
重金属泥 (metalliferous muds)	465
重合後マイグレーション (post-stack migration)	52
重合速度 (stacking velocity)	50
重大事故	485, 486, 500, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 510, 513, 516, 518, 519, 520, 521, 522, 524, 525, 529, 531, 532, 534, 536
重合前時間マイグレーション (Pre-Stack Time Migration,PSTM)	52
重合前深度マイグレーション (Pre-Stack Depth Migration,PSDM)	52
重合前マイグレーション (pre-stack migration)	52
自由水面 (free water level)	121
重力異常 (gravity anomaly)	35, 39
重力押し (gravity drive)	136, 140
重力基準点 (gravity station)	37
重力計 (gravimeter/gravity meter)	37
重力探査 (gravity survey)	33, 34, 321
重力偏差法 (gravity gradiometry survey)	35
熟成 (maturation)	17
受動的地震探査 (passive seismic method)	45
準定常流動 (semi-steady state flow)	142
順問題 (forward problem)	33
商業生産が可能な賦存量 (commercial petroleum initially in place)	149
商業生産が不可能な賦存量 (sub-commercial petroleum initially in place)	148
条件付き資源量 (contingent resources)	149
条件付きシミュレーション (conditional simulation)	159
状態方程式 (equation of state)	127, 132, 202
正味現在価値 (Net Present Value, NPV)	116, 163
将来挙動予測 (prediction)	160, 163
将来的資源量 (prospective resources)	148
初期総賦存量 (total petroleum initially in place)	148
初期流体賦存量 (petroleum initially in place)	116
自律型無人潜水機 (Autonomous Underwater Vehicle,AUV)	233
磁力計 (magnetometer)	42
磁力探査 (magnetic survey)	33, 34, 40
シルドベーズン (silled basin)	11
人工採油法 (artificial lift)	166
親水性 (water wet)	119, 121
浸透率 (permeability)	18, 112
深度変換 (depth conversion)	52
深度マイグレーション (depth migration)	52
親油性 (oil wet)	119
スイート環境 (sweet environment)	81

索引

水攻法 (water flooding).....	58, 170
水蒸気攻法 (steam flooding).....	172
水蒸気刺激法 (cyclic steam stimulation).....	172
水中電動ポンプ (electrical submersible pumping).....	167, 168
垂直方向分解能 (vertical resolution).....	52
随伴ガス (associated gas).....	8
性能基準.....	506, 507, 516, 526, 533, 536
水平坑井 (horizontal well).....	85
水平方向分解能 (horizontal resolution).....	52
スイベル (swivel).....	63, 237
スウィートガス (sweet gas).....	124
スキンファクター (skin factor).....	142
スタビライザー (stabilizer).....	188
スタンド (stand).....	62
ステアラブルモーター (steerable motor).....	88
ストリーマ (streamer).....	48, 326, 335, 346
ストリーマケーブル (streamer cable).....	48, 326, 335, 346
ストーンレー波 (Stoneley wave).....	104, 105
スラスター (thruster).....	236
スローネス (slowness).....	105
スロッシング (sloshing).....	283
生産 (production).....	30
生産指数 (Productivity Index,PI).....	144
生産性障害 (formation damage).....	73
生成 (generation).....	10, 34
生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand,BOD).....	195
石油 (petroleum).....	1, 8
石油系炭化水素 (petroleum hydrocarbon).....	8, 23
石油システム (petroleum system).....	16, 22
石油輸出国機構 (Organization of the Petroleum Exporting Countries,OPEC).....	233
石灰岩 (limestone).....	101, 109
接触角 (contact angle).....	119, 121
絶対重力 (absolute gravity).....	37
絶対浸透率 (absolute permeability).....	19, 115, 118
z-ファクター (z-factor).....	132
セーフティケース.....	501, 505, 506, 518, 526, 529, 536, 540
セパレータ (separator).....	178, 181, 184
セミサブマーシブル (semi-submersible).....	58, 232, 350
セメンチング (cementing).....	82
漸移帯 (transition zone).....	121
先験的な情報 (a priori information).....	44
全磁力 (total magnetic intensity).....	41
潜水支援船 (Diving Support Vessel,DSV).....	394, 404
相挙動 (phase behavior).....	125
増進回収法 (Enhanced Oil Recovery,EOR).....	30, 141, 164
相対 (比較) 重力 (relative gravity).....	37
相対浸透率 (relative permeability).....	19, 122
想定資源 (prospective resource).....	435
相平衡 (phase equilibrium).....	126

索引

測位 (positioning).....	37, 237
続成作用 (diagenesis)	10, 12, 96
速度解析 (velocity analysis)	50
ターンキー方式 (turnkey contract method).....	259
耐圧容器 (pressure vessel)	302
堆積岩 (sedimentary rock)	9, 40, 101
堆積環境 (sedimentary environment).....	52
堆積盆地 (sedimentary basin).....	11, 22
タイトサンドオイル (tight oil).....	23
タイトサンドガス (tight sand gas).....	23, 435
タイバックケーシング (tie-back casing)	78
ダイポール震源 (dipole source)	104
多重反射 (multiple reflection)	51
多相流量計 (Multi-Phase Flow Meter,MPFM)	204
多段式セメンチング (multi-stage cementing)	83
脱塩処理 (desalting).....	189
脱湿処理 (dehydration).....	190
脱水 (filtration loss).....	72
タレット (turret).....	276
炭化水素孔隙有効層厚 (hydrocarbon net pay thickness).....	151
炭化水素飽和率 (hydrocarbon saturation).....	109, 111
探鉱 (exploration)	30
探鉱対象 (プロスペクト) (prospect).....	34
断層構造 (fault structure)	35
単独井 (single well).....	298
地化学調査 (geochemical exploration/geochemical prospecting)	34
地形補正 (terrain correction).....	38
地溝 (graben).....	40
地質構造解析 (geological structure analysis)	53
地質統計学 (geostatistics).....	157
地質モデリング (geological modeling)	115, 160
地質モデル (geological model).....	115, 160
地層圧 (formation pressure).....	77
地層係数 (formation factor).....	95
地層水 (formation water)	77, 95, 111
地層水特性 (formation water property).....	136
地層破壊圧力 (formation fracture pressure)	76
地層比抵抗係数 (formation resistivity factor)	95
地表地質調査 (geologic survey)	32
中央インド洋海盆 (Central Indian Ocean Basin)	456
中央海嶺 (mid-oceanic ridge).....	452
中間ケーシング (intermediate casing).....	78, 84
中性子検層 (neutron logging).....	101, 110
チュービング (tubing,TBG).....	166, 297
チューブ波 (tube wave)	106
潮汐補正 (tidal correction).....	38
貯留岩 (reservoir rock)	16, 18, 34, 119
貯留層 (reservoir).....	8
地塁 (horst).....	40

索引

ツールジョイント (tool joint).....	65
泥水置換領域 (flushed zone).....	93
泥水ポンプ (mud pump).....	64, 69
定積放散試験 (constant volume depletion test).....	134
ディファレンシャル放散試験 (differential liberation test).....	129
泥壁 (mud cake).....	72, 93
デコンボリューション (deconvolution).....	49
デジタルアニメーション.....	562, 568, 569, 570, 571, 589, 591
デジタルツイン.....	576, 580, 581, 589
電磁探査 (electromagnetic survey).....	34
テンダーバージ (tender barge).....	230
テンドン (tendon).....	271
天然ガス (natural gas).....	1, 8
テンプレート井 (template well).....	298
等価循環泥水比重 (Equivalent Circulating Density,ECD).....	76
等価泥水比重 (Equivalent Mud Weight,EMW).....	75
島弧 (island arc).....	452
統合・可視化 (integration and visualization).....	53, 56
搭載可能重量 (Variable Deck Load,VDL).....	252
トップドライブシステム (Top Drive System,TDS).....	62
ドライデシカントデハイドレーター (dry desiccant dehydrator).....	191
ドライトウ (dry tow).....	387
ドライドック型 (dry dock).....	248
トラップ (trap).....	16, 20
ドリフト補正 (drift correction).....	38
ドリルカラー (Drill Collar,DC).....	63, 65
ドリルストリング (drill string).....	59, 63
ドリルパイプ (Drill Pipe,DP).....	62
ドロウダウン圧力 (drawdown pressure).....	144
ドロワークス (drawworks).....	60, 237
内部収益率 (internal rate of return).....	116, 164
二次採取法 (secondary recovery).....	141, 164, 170
二次磁場 (secondary magnetic field).....	98
二相セパレータ (two-phase separator).....	184
濡れ特性 (wettability).....	119
熱攻法 (thermal recovery).....	172
ネスティング.....	584, 585, 589
ネット・グロス比 (net-gross ratio).....	109
粘度 (viscosity).....	8, 9, 23, 72
能動的地震探査 (active seismic method).....	45
ノッチ効果 (notch effect).....	48
背圧弁 (back pressure regulating valve).....	181
背弧 (back arc).....	452
背斜構造 (anticline structure).....	35
排水量型 (displacement type).....	256
排他的経済水域 (Exclusive Economic Zone,EEZ).....	4
ハイドレート安定領域 (hydrate stability zone).....	433
ハイドレートの安定領域基底 (Base of Gas Hydrate Stability,BGHS).....	433
ハイドロフォン (hydrophone).....	48

索引

ハイドロリック・ダウンホール・ポンプ (hydraulic downhole pumping)	167, 169
パイプの抑留 (pipe sticking)	62
パイプライン (pipeline)	27
ハザード	486, 488, 489, 490, 492, 495, 497, 498, 499, 500, 503, 504, 508, 510, 512, 515, 516, 518, 519, 524, 529, 531, 533, 536
ハザード同定 (Hazard Identification, HAZID)	510, 518
排油エネルギー (drainage energy)	137
排油機構 (drainage mechanism)	116, 136
暴露部 (exposed section)	340
本質安全	524, 526
パッカー (packer,PKR)	181
バライト (barite)	74
バラスト水管理条約 (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004,BWM)	341
バラストタンク (ballast tank)	253, 361
パラベイン (parabain)	328, 348
バリオグラム (variogram)	158
反射係数 (reflection coefficient)	46
反射法地震探査 (seismic reflection survey)	34, 46
反射面 (ホライゾン) (horizon)	54
PDC ビット (Polycrystalline Diamond Compact bit)	66
ヒープコンペンセーター (heave compensator)	254
ピグ (pig)	198
非在来型資源 (unconventional resources)	23, 435
比重 (specific gravity)	8, 9
微小地震探査 (microearthquake utilization exploration method)	46
非随伴ガス (non-associated gas)	8
ヒストリーマッチング (history matching)	160, 162
ビクデータ	589
微生物攻法 (microbial flooding)	172, 175
ビット (bit)	59, 66
比抵抗検層 (resistivity logging)	94
費用対効果分析	510, 515, 517, 520
非定常流動 (unsteady state flow)	141
微動探査 (microtremor array survey)	46
評価井 (appraisal well)	58
標準重力場 (normal gravity field)	35
標準状態 (normal condition)	199, 201
表面波探査 (surface wave survey)	45
フィージビリティ・スタディ (Feasibility Study,F/S)	30
フィクストカッタービット (fixed cutter bit)	66
ブーゲー異常 (Bouguer anomaly)	39
ブーゲー補正 (Bouguer correction)	38
フォーメーションファクタ (formation factor)	95
賦存量 (petroleum in place)	116, 148
浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備 (Floating Production, Storage and Offloading system,FPSO)	234
浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備 (Floating Storage and Offloading system,FSO)	271
浮体式貯蔵・再ガス化設備 (Floating Storage and Regasification Unit,FSRU)	215, 242

索引

物質収支法 (material balance method).....	116, 151
沸点圧力 (bubble point pressure).....	125
物理吸収法 (physical absorption process).....	192, 193
物理検層 (geophysical logging/well logging).....	56, 92
物理探査 (geophysical exploration/geophysical prospecting).....	30, 33
不働水 (irreducible water).....	121
浮遊物質量 (Suspended Solids,SS).....	195
プライマリセメンチング (primary cementing).....	82
ブラックオイル型 (black oil type).....	161
フラッシュ計算 (flash calculation).....	128
フラッシュ放散試験 (flash liberation test).....	129
プラットフォーム (platform).....	178, 240, 241, 263
プラントヒストリアン.....	548, 583, 584, 589
フリーエア補正 (free-air correction).....	38
フレキシブルライザー (flexible riser).....	198, 234
flexural (たわみ) 波 (flexural wave).....	104
フレックスジョイント (flex joint).....	254
フレネル帯 (Fresnel zone).....	52
フローライン (flowline).....	166, 181, 293, 303
プロセスセーフティマネジメント.....	485, 503, 504, 522, 524, 526, 527, 528, 529, 530, 533, 535, 536, 540
プロダクションケーシング (production casing).....	78
分解エネルギー (dissociation energy).....	439
分散剤 (dispersant).....	74
噴出防止装置 (Blowout Preventer,BOP).....	70, 237
ペイアウトタイム (payout time).....	116, 164
平衡定数 (equilibrium constant).....	127
平甲板船型 (flush deck vessel/flush decker).....	361
閉塞測定 (base tie measurement/loop measurement).....	38
米国労働省労働安全衛生局 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) ..	501, 503, 504, 536, 541
ベースメタル (base metals).....	2, 442
ヘビーウエイトドリルパイプ (Heavy Weight Drill Pipe,HWDP).....	66
ペルー海盆 (Peru Basin).....	456
ベントナイト (bentonite).....	73
ペンリン海盆 (Penrhyn Basin).....	456
ボウタイ分析.....	495, 496, 513
帽岩 (cap rock).....	16, 20
放射能検層 (radioactivity logging).....	100
包接化合物 (clathrate compound).....	430
暴噴 (blowout).....	58, 70
飽和指数 (saturation exponent).....	97
飽和率 (saturation).....	119
補修セメンチング (remedial cementing).....	82
掘屑 (cuttings).....	59
ポリマー攻法 (polymer flooding).....	174
ポンツーン (pontoon).....	232, 248
ポンプ採油 (pumping).....	167
ポンプリフト (pump lift).....	462, 464

索引

マイクロ比抵抗検層 (microresistivity logging)	98
マイセラーポリマー攻法 (micellar-polymer flooding)	175
埋蔵量 (reserves)	22, 24, 109, 116, 147, 149
埋蔵量成長 (reserve growth)	149
膜電位 (membrane potential)	99
膜分離法 (membrane separation process)	192, 194
マッドケーキ (mud cake)	72, 93
マッドモーター (mud motor)	88
マネジメントシステム	485, 486, 491, 492, 493, 494, 497, 504, 505, 525, 527, 533, 534, 540, 541
マルチラテラル坑井 (multilateral well)	85
マンガングラスト (ferromanganese crusts)	4, 443, 449, 458
マンガング塊 (manganese nodules)	4, 443, 447, 456
水押し (water drive)	136, 139
水系泥水 (Water Base Mud, WBM)	72, 73
ミストエキストラクター (mist extractor)	184
水飽和率 (water saturation)	95, 121
密度検層 (density logging)	101, 102
南鳥島 (Minamitorishima Island)	451, 457, 459, 461, 465
未発見賦存量 (undiscovered petroleum initially in place)	148
ムーンプール (moon pool)	256, 340, 354
メタンハイドレート (Methane Hydrate, MH)	4, 23, 430
メンブレン (membrane)	215, 217, 283, 365
毛細管圧力 (capillary pressure)	119, 120
モス (moss)	283, 364
モノハル (monohull)	271
モノポール震源 (monopole source)	104
モホール計画 (Project Mohole)	350, 351
モンテカルロ法 (Monte Carlo method)	157
有効孔隙率 (effective porosity)	18, 118
有効浸透率 (effective permeability)	19, 122
誘導磁化 (induced magnetization)	41
油ガス層シミュレーション (reservoir simulation)	116, 160, 161, 163
油ガス層シミュレータ (reservoir simulator)	160, 161
油ガス層評価 (oil/gas reservoir evaluation)	114
油ガス層モデル (oil/gas reservoir model)	116, 160, 162, 163
油ガス田 (oil/gas field)	4
油系泥水 (Oil Base Mud, OBM)	72, 75
油水接触面 (Oil Water Contact, OWC)	110
油層 (oil reservoir/petroleum reservoir)	21
油層岩特性 (reservoir rock properties)	117
油層評価 (reservoir evaluation)	30, 114
溶解ガス押し (solution gas drive)	136, 137
揚鉦 (lifting)	462
容積係数 (formation volume factor)	130, 132
容積法 (volumetric method)	149
ライザー (riser)	244, 245
ライザーテンショナー (riser tensioner)	254, 358
ライナーケーシング (liner casing)	78

索引

裸坑 (open-hole)	92
ラテロ検層 (latero logging)	97, 112
ランダム雑音 (random noise)	51
ランフォーム (ramform)	321
リアリゼーション (realization)	159
リークオフテスト (Leak Off Test,LOT)	77
陸弧 (continental arc)	452, 453
リグレート (rig day rate)	258
リスクマトリックス	497, 498
リモートセンシング (remote sensing)	30, 321
流体特性 (fluid property)	115, 123, 160
流体ドレッジ法 (hydraulic dredging)	462
流動坑底圧力 (flowing bottomhole pressure)	142
流動電位 (streaming potential)	99
流動方程式 (flow equation)	141, 161
量子コンピュータ	561, 562, 565, 568, 589
臨界圧力 (critical pressure)	126
臨界温度 (critical temperature)	126
臨界点 (critical point)	126
レアアース (rare-earth elements)	2, 451
レアアース泥 (REY-rich mud)	4, 443, 451, 460
レアメタル (critical metals)	2, 442
レトログレード凝縮 (retrograde condensation)	126
連続バケット法 (continuous line bucket mining)	462
ロータリー掘削 (rotary drilling)	58
ロータリーステアラブルシステム (Rotary Steerable System,RSS)	89
ロータリーテーブル (rotary table)	62
ローラーコーンビット (roller cone bit)	66
ローラービット (roller bit)	66
ログ (log)	92
露点圧力 (dew point pressure)	126
労働安全	489, 499, 503, 505, 511, 528, 534, 535
ロワーハル (lower hull)	251
ワイヤライン検層 (wireline logging)	92
割引現金収支 (Discounted Cash Flow,DCF)	163

【英和 アルファベット順】

a priori information (先験的な情報)	44
abnormal pressure formation (異常高圧層)	77
absolute gravity (絶対重力)	37
Absolute Open Flow (AOF,最大生産レート)	144
absolute permeability (絶対浸透率)	19, 115
acid gas (酸性ガス)	123
acoustic impedance (音響インピーダンス)	45
active seismic method (能動的地震探査)	45
AI(Artificial Intelligence)	544, 545, 548, 550, 551, 552, 566, 577, 584, 585, 588, 589
air gun array (エアガン・アレイ)	47
air lift (エアリフト)	462
ALARP (As Low As Reasonably Practicable)	486, 505, 506, 507, 513,

索引

	514, 515, 516, 529, 536, 542
alkaline flooding (アルカリ攻法).....	174
American Petroleum Institute gravity (API gravity,API 比重).....	8
anticline structure (背斜構造).....	35
APDCA (AはAssessment「実態把握」、PはPlan(計画)、DはDo(実施)、CはCheck (監視・測定・分析)、AはAct(改善)).....	491, 492, 527, 535
appraisal well (評価井).....	58
Archie's formulas (アーチーの式).....	97
artificial lift (人工採油法).....	166
associated gas (随伴ガス).....	8
attribute analysis (アトリビュート解析).....	53
Autonomous Underwater Vehicle (AUV,自律型無人潜水機).....	233, 543, 555, 556, 558, 571, 572, 573, 574, 588
azimuth thruster (アジマススラスタ).....	323
back arc (背弧).....	452
back pressure regulating valve (背圧弁).....	181
ballast tank (バラストタンク).....	253
barite (バライト).....	74
base metals (ベースメタル).....	2
Base of Gas Hydrate Stability (BGHS,ハイドレートの安定領域基底).....	433
base tie measurement (閉塞測定).....	38
basement rock (基盤岩).....	40
basic wavelet (基本波形).....	49
beam pumping (サッカーロッドポンプ).....	167
bedrock (基盤岩).....	40
bentonite (ベントナイト).....	73
Biochemical Oxygen Demand (BOD,生物化学的酸素要求量).....	195
bit (ビット).....	59
black oil type (ブラックオイル型).....	161
blowout (暴噴).....	58
Blowout Preventer (BOP,噴出防止装置).....	70, 236, 237
body wave (実体波).....	46
Bottom Simulating Reflector (BSR,海底擬似反射面).....	436
Bouguer anomaly (ブーゲー異常).....	39
Bouguer correction (ブーゲー補正).....	38
boundary wave(境界波).....	46
BSEE (Bureau of Safety and Environmental Enforcement).....	536
bubble point pressure (沸点圧力).....	125
caisson (ケーソン).....	230
cap rock (帽岩).....	16, 34
capillary pressure (毛細管圧力).....	119
carrier bed (キャリアベッド).....	16
casing (CSG,ケーシング).....	59, 236
cavitation (キャビテーション).....	303
CBA (Cost Benefit Analysis : 費用対効果分析).....	515, 517, 520
CCPS (Center for Chemical Process Safety).....	503, 504, 523, 541, 543
cementation factor (膠結係数).....	96
cementing (セメンチング).....	82
Central Indian Ocean Basin (中央インド洋海盆).....	456

索引

chemical absorption process (化学吸収法)	192
chemical flooding (ケミカル攻法)	172
Chemical Oxygen Demand (COD, 化学的酸素要求量)	195
clathrate compound (包接化合物)	430
Cloud(クラウド)	588
cluster well (クラスター井)	298
coalbed methane (コールベッドメタン)	23
cobalt-rich ferromanganese crusts (コバルトリッチクラスト)	4
coherent noise (コヒーレント雑音)	51
collapse pressure (圧潰圧力)	77
column (コラム)	232
combination drive (組合せ押し)	136
commercial petroleum initially in place (商業生産が可能な賦存量)	149
Common Mid-Point stack (CMP 重合)	50
compliant tower (コンプライアントタワー)	263, 265
compressibility (圧縮率)	118
Compton scattering (コンプトン散乱)	103
condensate (コンデンセート)	8
conditional simulation (条件付きシミュレーション)	159
conductor pipe (コンダクターパイプ)	78
cone-roof tank (円錐屋根式タンク)	207
constant volume depletion test (定積放散試験)	134
contact angle (接触角)	119
continental arc (陸弧)	452
contingent resources (条件付き資源量)	149
continuous line bucket mining (連続バケット法)	462
conventional resources (在来型資源)	23
convolution model (コンボリューションモデル)	49
coring (コアリング)	92
coriolis flow meters (コリオリ式流量計)	200
corridor stack (コリドースタック)	113
cricondentherm (クリコンデンサーム)	126
critical metals (レアメタル)	2, 442
critical point (臨界点)	126
critical pressure (臨界圧力)	126
critical temperature (臨界温度)	126
crude oil (原油)	1, 8
crude oil metering (原油の計量)	199
crude oil storage tank (原油貯蔵タンク)	208
cuttings (掘屑)	59
cyclic steam stimulation (水蒸気刺激法)	172
decline curve method (減退曲線法)	149
deconvolution (デコンボリューション)	49
dehydration (脱湿処理)	183
density logging (密度検層)	101
deposit (鉱床)	30
depressurization method (減圧法)	439
depth conversion (深度変換)	52
depth migration (深度マイグレーション)	52

索引

desalting (脱塩処理)	189
desiccant dehydrator (ドライデシカントデハイドレーター)	191
development (開発)	30
development well (開発井)	58
dew point pressure (露点圧力)	126
diagenesis (続成作用)	10, 96
differential liberation test (ディファレンシャル放散試験)	129
diffusion potential (拡散電位)	99
dipole source (ダイポール震源)	104
directional drilling (傾斜掘削)	62
Discounted Cash Flow (DCF,割引現金収支)	163
discovered petroleum initially in place (既発見初期賦存量)	148
dispersant (分散剤)	74
displacement type (排水量型)	256
dissociation energy (分解エネルギー)	439
Diving Support Vessel (DSV,潜水支援船)	394, 400
drainage energy (排油エネルギー)	137
drainage mechanism (排油機構)	116
drawdown pressure (ドローダウン圧力)	144
drawworks (ドローワークス)	60
drift correction (ドリフト補正)	38
Drill Collar (DC,ドリルカラー)	63
Drill Pipe (DP,ドリルパイプ)	62
drill string (ドリルストリング)	59
drilling derrick (掘削やぐら)	353
drilling mud (掘削泥水)	59
drilling rig (掘削リグ)	58, 232
Drone(無人飛行機)	553, 574, 575, 576, 588, 591, 592
dry dock (ドライドック型)	248
dry gas (乾性ガス)	124
dry tow (ドライトウ)	387
Dynamic Positioning System (DPS,自動船位保持装置)	234, 237
EERA (Escape, Evacuation and Rescue Analysis)	520
effective permeability (有効浸透率)	19, 122
effective porosity (有効孔隙率)	18, 118
electrical submersible pumping (水中電動ポンプ)	167
electromagnetic survey (電磁探査)	34
emulsion (エマルジョン)	75
Energy Return On Investment (EROI,エネルギー収支比)	442
Enhanced Oil Recovery (EOR,増進回収法)	30
Eotvos correction (エトベス補正)	38
Eotvos effect (エトベス効果)	37
EPC (Engineering, Procurement and Construction)	526
equation of state (状態方程式)	127
equilibrium constant (平衡定数)	127
Equivalent Circulating Density (ECD,等価循環泥水比重)	76
Equivalent Mud Weight (EMW,等価泥水比重)	75
ETREER (Escape, Temporary Refuge, Evacuation and Rescue Analysis)	520, 521
Exclusive Economic Zone (EEZ,排他的経済水域)	4

索引

exploitation (開発).....	30
exploration (探鉱).....	30
exploration well (試掘井).....	58
exploratory drilling (試掘).....	30
exposed section (暴露部).....	340
facies analysis (岩相 (ファシス) 解析).....	53
fault structure (断層構造).....	35
Feasibility Study (F/S, フィージビリティ・スタディ).....	30
ferromanganese crusts (マンガンクラスト).....	4, 443
filtration loss (脱水).....	72
fixed cutter bit (フィックストカッタービット).....	66
flash calculation (フラッシュ計算).....	128
flash liberation test (フラッシュ放散試験).....	129
flex joint (フレックスジョイント).....	254
flexible riser (フレキシブルライザー).....	198
flexural wave (flexural (たわみ) 波).....	104
Floating Production, Storage and Offloading system (FPSO, 浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備).....	234
floating roof tank (浮屋根式タンク).....	207
Floating Storage and Offloading system (FSO, 浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備).....	271
Floating Storage and Regasification Unit (FSRU, 浮体式貯蔵再ガス化設備).....	215, 242, 373
flow equation (流動方程式).....	141
flowing bottomhole pressure (流動坑底圧力).....	142
flowline (フローライン).....	166
fluid property (流体特性).....	115
flush deck vessel (平甲板船型).....	361
flush decker (平甲板船型).....	361
flushed zone (泥水置換領域).....	93
fold (褶曲構造).....	21
formation damage (生産性障害).....	73
formation factor (地層係数/フォーメーションファクタ).....	95
formation fracture pressure (地層破壊圧力).....	76
formation pressure (地層圧).....	77
formation resistivity factor (地層比抵抗係数).....	95
formation volume factor (容積係数).....	130
formation water (地層水).....	18, 77
formation water property (地層水特性).....	136
forward problem (順問題).....	33
free water level (自由水面).....	121
free-air correction (フリーエア補正).....	38
Fresnel zone (フレネル帯).....	52
gamma ray logging (ガンマ線検層).....	101
gas cap (ガスキャップ).....	126, 136
gas cap drive (ガスキャップ押し).....	136
gas condensate (ガス・コンデンセート).....	124
gas condensate ratio (ガス - コンデンセート比).....	135
gas flooding (ガス攻法).....	172
gas gravity/density (ガス比重・密度).....	132
gas injection (ガス圧入法).....	170

索引

gas lift (ガスリフト).....	30
gas metering (ガスの計量).....	201
Gas Oil Contact (GOC,ガス油接触面).....	110
gas oil ratio (ガス油比).....	124
gas scrubber (ガスクラバー).....	184
Gas Water Contact (GWC,ガス水接触面).....	110
gas window (ガスウィンドウ).....	13
generation (生成).....	10, 34
geochemical exploration (地化学調査).....	34
geochemical prospecting (地化学調査).....	34
geologic survey (地表地質調査).....	32
geological model (地質モデル).....	115
geological modeling (地質モデリング).....	115
geological structure analysis (地質構造解析).....	53
geophone (ジオフォン).....	48
geophysical exploration (物理探査).....	30
geophysical logging (物理検層).....	56
geophysical prospecting (物理探査).....	30
geostatistics (地質統計学).....	157
ghost reflected wave (ゴースト反射波).....	48
glycol dehydrator (グリコールデハイドレーター).....	190
graben (地溝).....	40
gravimeter (重力計).....	37
gravity anomaly (重力異常).....	35
gravity drive (重力押し).....	136
gravity gradiometry survey (重力偏差法).....	35
gravity meter (重力計).....	37
gravity station (重力基準点).....	37
gravity survey (重力探査).....	33
group setting (群配置).....	48
guideline tensioner (ガイドラインテンショナー).....	254
HAZID (Hazard Identification).....	510, 518
HAZOP (Hazard and Operability Study).....	504, 510, 518, 519, 522, 543
heave compensator (ヒープコンペンセーター).....	254
Heavy Weight Drill Pipe (HWDP,ヘビーウエイトドリルパイプ).....	66
history matching (ヒストリーマッチング).....	160
horizon (反射面 (ホライゾン).....	54
horizontal resolution (水平方向分解能).....	52
horizontal well (水平坑井).....	85
horst (地塁).....	40
HPC(ハイパフォーマンスコンピューティング).....	561, 588
HSE (Health, Safety and Environment).....	485, 488, 492, 493, 494, 495, 497, 504, 505, 511, 518, 534, 536, 540, 541
hydrate stability zone (ハイドレート安定領域).....	433
hydraulic downhole pumping (ハイドロリック・ダウンホール・ポンプ).....	167
hydraulic dredging (流体ドレッジ法).....	462
hydrocarbon net pay thickness (炭化水素孔隙有効層厚).....	151
hydrocarbon saturation (炭化水素飽和率).....	109
hydrophone (ハイドロフォン).....	48

索引

ICS (Incident Command System)	532
Improved Oil Recovery (IOR,改良型採収法)	165
incentive method (インセンティブ方式).....	259
induced magnetization (誘導磁化).....	41
induction logging (インダクション検層).....	97
inhibited mud (インヒビテッド泥水).....	74
injection well (圧入井).....	58
in-place resources (原始資源量).....	438
integration and visualization (統合・可視化).....	53
interface wave (境界波).....	46
intermediate casing (中間ケーシング).....	78
internal rate of return (内部収益率).....	116
International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM,バラスト水管理条約)	341
International Geomagnetic Reference Field (IGRF,国際標準地球磁場).....	41
International Maritime Organization (IMO,国際海事機関)	246, 341
International Ocean Discovery Program (IODP,国際深海科学掘削計画)	244, 351
interval velocity (区間速度).....	53
intrusive rock (貫入岩).....	39
inverse problem (逆問題)	33
inversion (逆解析).....	44
IoT(Internet of things).....	545, 548, 563, 566, 567, 588
irreducible water (不動水).....	121
island arc (島弧).....	452
Izu-Bonin Arc (伊豆・小笠原島弧).....	454
kelly (ケリー).....	62
kerogen (ケロジェン).....	12
Koenigsberger ratio (ケーニヒスベルガー比).....	41
KPI (Key Performance Indicator : 重要指標)	535
kriging (クリギング).....	158
latero logging (ラテロ検層).....	97
Leak Off Test (LOT,リークオフテスト)	77
lifting (揚鉤).....	226, 462
limestone (石灰岩).....	101
liner casing (ライナーケーシング).....	78
Liquefied Natural Gas (LNG,液化天然ガス).....	27
lithofacies (岩相).....	20, 49
lithology (岩質).....	32
log (ログ).....	92
Logging While Drilling (LWD,掘削同時検層).....	92
loop measurement (閉塞測定).....	38
LOPA (Layer of Protection Analysis : 防護層分析)	522, 523, 533
lost circulation (逸泥).....	59
lower hull (ロワーハル).....	251
magnetic anomaly (磁気異常).....	41
magnetic survey (磁力探査).....	33
magnetic susceptibility mapping (磁化強度マッピング).....	44
magnetometer (磁力計).....	42
manganese nodules (マンガン団塊).....	4, 443

索引

material balance method (物質収支法)	116
maturation (熟成)	13, 34
membrane (メンブレン)	215
membrane potential (膜電位)	99
membrane separation process (膜分離法)	192
metalliferous muds (重金属泥)	465
Methane Hydrate (MH,メタンハイドレート)	4, 430
methane hydrate-concentrated zone (MH 濃集帯)	435
micellar-polymer flooding (マイセラーポリマー攻法)	175
microbial flooding (微生物攻法)	172
microearthquake utilization exploration method (微小地震探査)	46
microresistivity logging (マイクロ比抵抗検層)	98
microtremor array survey (微動探査)	46
mid-oceanic ridge (中央海嶺)	452
migration (移動)	16, 34
Minamitorishima Island (南鳥島)	451
mineral resources (鉱物資源)	2
minimum curvature method (最小曲率法)	90
minimum phase (最小位相)	49
mining (採鉱)	462
mist extractor (ミストエキストラクター)	184
monitoring well (観測井)	58
monohull (モノハル)	271
monopole source (モノポール震源)	104
Monte Carlo method (モンテカルロ法)	157
moon pool (ムーンプール)	256
moss (モス)	283
mud cake (泥壁/マッドケーキ)	72
mud motor (マッドモーター)	88
mud pump (泥水ポンプ)	64
multilateral well (マルチラテラル坑井)	85
Multi-Phase Flow Meter (MPFM,多相流量計)	204
multiple reflection (多重反射)	51
multi-stage cementing (多段式セメンチング)	83
natural gas (天然ガス)	1, 8
negative pressure management (陰圧管理)	355
Net Present Value (NTV, 正味現在価値)	116, 163
net-gross ratio (ネット・グロス比)	109
neutron logging (中性子検層)	101
nominal operating depth (公称稼働水深)	257
non-associated gas (非随伴ガス)	8
normal condition (標準状態)	199
normal gravity field (標準重力場)	35
Normal Move Out correction (NMO 補正)	50
notch effect (ノッチ効果)	48
nuclear magnetic resonance (核磁気共鳴)	43
Oil Base Mud (OBM,油系泥水)	72
oil density (油密度)	131
oil reservoir (油層)	21

索引

oil viscosity (油粘度).....	131
Oil Water Contact (OWC,油水接触面).....	110
oil wet (親油性).....	119
oil window (オイルウィンドウ).....	13
oil/gas field (油ガス田).....	4
oil/gas reservoir evaluation (油ガス層評価).....	114
oil/gas reservoir model (油ガス層モデル).....	116
Okinawa Trough (沖縄トラフ).....	454
open-hole (裸坑).....	92
Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC,石油輸出国機構).....	233
orifice meter (オリフィスマータ).....	202
original in place (原始埋蔵量).....	148
OSHA (Occupational Safety and Health Administration).....	501, 503, 504, 536, 541
OTS (operation training simulator).....	559, 588
overburden pressure (岩圧).....	76
packer (PKR,パッカー).....	181
parabain (パラベイン).....	328
passive seismic method (受動的地震探査).....	45
payout time (ペイアウトタイム).....	116
Penrhyn Basin (ペンリン海盆).....	456
permeability (浸透率).....	18
Peru Basin (ペルー海盆).....	456
petroleum (石油).....	1, 8
petroleum hydrocarbon (石油系炭化水素).....	8
petroleum in place (賦存量).....	116
petroleum initially in place (初期流体賦存量).....	116
petroleum reservoir (油層).....	21
petroleum system (石油システム).....	16
phase behavior (相挙動).....	125
phase equilibrium (相平衡).....	125
physical absorption process (物理吸収法).....	192
pig (ピグ).....	198
pipe sticking (パイプの抑留).....	62
pipeline (パイプライン).....	27
platform (プラットフォーム).....	178
PLC (Programmable Logic Controller).....	548, 588
Polycrystalline Diamond Compact bit (PDC ビット).....	66
polymer flooding (ポリマー攻法).....	174
pontoon (ポンツーン).....	232
porosity (孔隙率).....	18
positioning (測位).....	37
post-stack migration (重合後マイグレーション).....	52
prediction (将来挙動予測).....	160
pressure vessel (耐圧容器).....	302
Pre-Stack Depth Migration (PSDM,重合前深度マイグレーション).....	52
pre-stack migration (重合前マイグレーション).....	52
Pre-Stack Time Migration (PSTM,重合前時間マイグレーション).....	52
primary cementing (プライマリセメンチング).....	82
primary magnetic field (一次磁場).....	98

索引

primary recovery (一次採取法)	164
probabilistic method (確率論的手法)	149
process-safety (プロセスセーフティ).....	530, 542, 543
production (生産).....	30
production casing (プロダクションケーシング)	78
Productivity Index (PI,生産指数).....	144
Project Mohole (モホール計画).....	350
prospect (探鉱対象 (プロスペクト)).....	34
prospective resource (想定資源).....	435
prospective resources (将来的資源量).....	148
pseudo critical pressure (擬似臨界圧力).....	133
pseudo critical temperature (擬似臨界温度)	133
pseudo-gravity transform (擬重力変換)	44
PSM (Process Safety Management).....	501, 503, 504, 536
PSSR(Pre Startup Safety Review).....	531
pump lift (ポンプリフト).....	462
pumping (ポンプ採油)	167
Q ratio (Q 比).....	41
QRA(Quantitative Risk Assessment).....	511, 515, 520
radioactivity logging (放射能検層).....	100
ramform (ランフォーム).....	321
random noise (ランダム雑音).....	51
rare-earth elements (レアアース).....	2, 451
RBPS (Risk Based Process Safety)	503, 504, 541
realization (リアリゼーション)	159
recoverable reserves (可採埋蔵量).....	24
recovery factor (回収率).....	112
reduction to the magnetic pole (極磁力変換)	44
reflection coefficient (反射係数).....	46
relative gravity (相対 (比較) 重力)	37
relative permeability (相対浸透率).....	115
remanent magnetization (残留磁化)	41
remedial cementing (補修セメンチング).....	82
remote sensing (リモートセンシング)	30
Remotely Operated Vehicle (ROV,遠隔操作無人潜水機).....	233
reserve growth (埋蔵量成長)	149
reserves (埋蔵量)	22
reservoir (貯留層)	8
reservoir evaluation (油層評価).....	30
reservoir rock (貯留岩)	16, 34
reservoir rock properties (油層岩特性).....	117
reservoir simulation (油ガス層シミュレーション).....	116
reservoir simulator (油ガス層シミュレータ).....	160
residual oil saturation (残留油飽和率)	123
resistivity logging (比抵抗検層).....	94
resources (資源量).....	24
retrograde condensation (レトログレード凝縮).....	126
REY-rich mud (レアアース泥).....	4, 443
rig day rate (リグレート).....	257

索引

riser (ライザー).....	236
riser tensioner (ライザーテンショナー).....	254
rock core sample (岩石コア試料).....	92
rock facies (岩相).....	20, 49
rock physics (岩石物理).....	56
roller bit (ローラービット).....	66
roller cone bit (ローラーコーンビット).....	66
rotary drilling (ロータリー掘削).....	58
Rotary Steerable System (RSS, ロータリーステアラブルシステム).....	89
rotary table (ロータリーテーブル).....	62
sampling theorem (サンプリング (標本化) 定理).....	49
sandstone (砂岩).....	18
saturation (飽和率).....	97, 119
saturation exponent (飽和指数).....	97
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).....	548, 587, 588
SCE(Safety Critical Element : 安全重要要素).....	503, 507, 526, 530, 532, 533, 534, 536
sea berth (シーバース).....	369
seafloor massive sulfides (海底熱水鉱床).....	4, 443
seafloor mineral resources (海底鉱物資源).....	4
secondary magnetic field (二次磁場).....	98
secondary recovery (二次採収法).....	141
sedimentary basin (堆積盆地).....	11
sedimentary environment (堆積環境).....	32
sedimentary rock (堆積岩).....	9
seismic exploration (地震探査).....	32
seismic reflection survey (反射法地震探査).....	34
seismic refraction survey (屈折法地震探査).....	45
seismic survey (地震探査).....	32
self-injection pressure (自噴圧).....	302
Self-Potential (SP, 自然電位).....	99
semi-steady state flow (準定常流動).....	142
semi-submersible (セミサブマーシブル).....	58, 23
separator (セパレーター).....	130
shale (頁岩).....	13, 74
shale gas (シェールガス).....	23
shale oil (シェールオイル).....	23
shale shaker (シェールシェーカー).....	70
shuttle mining (シャトルマイナー法).....	462
shuttle tanker (シャトルタンカー).....	242
SIF (Safety Instrumented Function).....	523, 533, 534
Signal to Noise ratio (S/N 比).....	51
SIL (Safety Integrity Level).....	522, 533, 534
silled basin (シルドベーズン).....	11
single well (単独井).....	298
skin factor (スキンファクター).....	142
sloshing (スロッシング).....	283
slowness (スローネス).....	105
Smart Grid (スマートグリッド).....	544, 589
solution gas drive (溶解ガス押し).....	136

索引

sonic log (音波検層)	104
sour environment (サワー環境)	81
source rock (根源岩)	10
spar (円筒型プラットフォーム)	234, 273
spatial filter (空間フィルタ)	48
specific gravity (比重)	8
Spontaneous Potential (SP, 自然電位)	99
spontaneous potential logging (自然電位検層)	99
stabilizer (スタビライザー)	188
stacking velocity (重合速度)	50
stand (スタンド)	62
standard condition (基準状態)	116
steam flooding (水蒸気攻法)	172
steerable motor (ステアラブルモーター)	88
Stoneley wave (ストーンレー波)	104
streamer (ストリーマ)	48
streamer cable (ストリーマケーブル)	48
streaming potential (流動電位)	99
sub-commercial petroleum initially in place (商業生産が不可能な賦存量)	148
subduction zone (沈み込み帯)	452
subsea completion well (海底仕上げ井)	178
Subsea Production System (SPS, 海底生産システム)	292
subsea separator (海底セパレーター)	294
surface casing (サーフェスケーシング)	78
surface wave survey (表面波探査)	45
surfactant flooding (界面活性剤攻法)	174
Suspended Solids (SS, 浮遊物質量)	195
sweet environment (スイート環境)	81
sweet gas (スウィートガス)	124
swivel (スイベル)	63
template well (テンプレート井)	298
tender barge (テンダーバージ)	230
tendon (テンドン)	271
Tension Leg Platform (TLP, 緊張係留式プラットフォーム)	234
terrain correction (地形補正)	38
tertiary recovery (三次採収法)	141
thermal recovery (熱攻法)	172
three-phase separator (三相セパレーター)	185
thruster (スラスター)	236
tidal correction (潮汐補正)	38
tie-back casing (タイバックケーシング)	78
tight oil (タイトサンドオイル)	23
tight sand gas (タイトサンドガス)	23
time migration (時間マイグレーション)	52
tool joint (ツールジョイント)	65
Top Drive System (TDS, トップドライブシステム)	62
tortuosity factor (迂回係数)	96
total magnetic intensity (全磁力)	41
total petroleum initially in place (初期総賦存量)	148

索引

transition zone (漸移帯).....	121
trap (トラップ).....	16
tube wave (チューブ波).....	106
tubing (TBG, チュービング).....	166
turnkey contract method (ターンキー方式).....	259
turret (タレット).....	276
two-phase separator (二相セパレータ).....	184
ultimate recoverable resources (究極可採資源量).....	434
umbilical (アンビリカル).....	299
unconventional resources (非在来型資源).....	23
undiscovered petroleum initially in place (未発見賦存量).....	148
unsteady state flow (非定常流動).....	141
upscaling (アップスケールリング).....	160
Variable Deck Load (VDL, 搭載可能重量).....	252
variogram (バリオグラム).....	158
velocity analysis (速度解析).....	50
vertical resolution (垂直方向分解能).....	52
viscosity (粘度).....	8
volcanic rock (火山岩).....	41
volumetric method (容積法).....	149
vortex flow meter (渦流量計).....	202
waste water treatment (坑廃水処理).....	195
Water Base Mud (WBM, 水系泥水).....	72
water drive (水押し).....	136
water flooding (水攻法).....	58
water saturation (水飽和率).....	95
water wet (親水性).....	119
weather vane (ウェザーベーン).....	371
well completion (坑井仕上げ).....	58
well logging (物理検層).....	56
wellhead (ウエルヘッド).....	180
wellhead assembly (坑口装置).....	78
wet gas (湿性ガス).....	124
wet tow (ウェットトウ).....	387
Wet Xmas Tree (WXT, ウェットクリスマスツリー).....	262
wettability (濡れ特性).....	119
wildcat (試掘井).....	58
winch (ウインチ).....	306
wireline logging (ワイヤライン検層).....	92
xmas tree (クリスマスツリー).....	91, 259
z-factor (z-ファクター).....	132

【略語】

AI(Artificial Intelligence).....	544, 545, 548, 550, 551, 552, 566, 577, 584, 585, 588, 589
ALARP (As Low As Reasonably Practicable:合理的に達成可能な限り低く).....	486, 505, 506, 507, 513, 514, 515, 516, 529, 536, 542
AOF (Absolute Open Flow, 最大生産レート).....	144
APDCA (AはAssessment「実態把握」、PはPlan(計画)、DはDo(実施)、CはCheck	

索引

(監視・測定・分析)、AはAct(改善)	491, 492, 527, 535
API (American Petroleum Institute)	8, 64
API gravity (American Petroleum Institute gravity,API比重)	86
AUV (Autonomous Underwater Vehicle,自律型無人潜水機).....	233, 304, 543, 555, 556, 558, 571, 572, 573, 574, 588
AVO (Amplitude Variation with Offset).....	47
BGHS (Base of Gas Hydrate Stability,ハイドレートの安定領域基底).....	433
BHA (Bottom Hole Assembly)	90
BOD (Biochemical Oxygen Demand,生物化学的酸素要求量).....	195
BOP (Blowout Preventer,噴出防止装置).....	70, 236
BS&W (Basic Sediment & Water).....	186
BSEE (Bureau of Safety and Environmental Enforcement:安全・環境施行局)	536
BSR (Bottom Simulating Reflector,海底擬似反射面).....	436
BWM (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004,バラスト水管理条約).....	341
CBA (Cost Benefit Analysis:費用対効果分析)	515, 517, 520
CCPS (Center for Chemical Process Safety:化学品安全センター) ...	503, 504, 523, 541, 543
CCZ (Clarion-Clipperton Zone)	456
CMP (Common Mid-Point)	50
COD (Chemical Oxygen Demand,化学的酸素要求量)	195
CSG (casing,ケーシング).....	59
DC (Drill Collar,ドリルカラー)	63
DCF (Discounted Cash Flow,割引現金収支)	163
DP (Drill Pipe,ドリルパイプ)	62
DPS (Dynamic Positioning System,自動船位保持装置).....	234, 237, 256, 357
DSV (Diving Support Vessel,潜水支援船)	394, 404
ECD (Equivalent Circulating Density,等価循環泥水比重)	76
EERA (Escape, Evacuation and Rescue Analysis:避難・退避・救助解析)	520
EEZ (Exclusive Economic Zone,排他的経済水域)	4
EMW (Equivalent Mud Weight,等価泥水比重).....	75
EOR (Enhanced Oil Recovery,増進回収法)	30, 172, 176
EPC (Engineering, Procurement and Construction:設計(Engineering)、調達 (Procurement)、建設(Construction)を含む、プロジェクトの建設工事請負契約)	526
EROI (Energy Return On Investment,エネルギー収支比)	442
ESSA (Emergency System Survivability Analysis:重大事故発生後に使用する設備の生存性分 析)	548
ETRER (Escape, Temporary Refuge, Evacuation and Rescue Analysis:避難経路・一時的な 退避所・退避・救助分析)	520, 521
F/S (Feasibility Study,フィージビリティ・スタディ).....	30
FLNG (Floating LNG/LNG-FPSO)	280, 283
FLPG (Floating LPG/LPG-FPSO).....	280, 282
FPSO (Floating Production, Storage and Offloading system,浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵 積出設備).....	234, 275
FSO (Floating Storage and Offloading system,浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備)	271, 280
FSRU (Floating Storage and Regasification Unit,浮体式貯蔵再ガス化設備)	215, 373
GOC (Gas Oil Contact,ガス油接触面).....	110
GPS (Global Positioning System).....	37, 48, 330
GWC (Gas Water Contact,ガス水接触面).....	110
HAZID (Hazard Identification:ハザード特定(同定)手法)	510, 518

索引

HAZOP (Hazard and Operability Study:ハザード・操業性検討)	504, 510, 518, 519, 522, 543
HPC(ハイパフォーマンスコンピューティング)	561, 588
HSE (Health, Safety and Environment)	485, 488, 492, 493, 494, 495, 497, 504, 505, 511, 518, 534, 536, 540, 541
HWDP (Heavy Weight Drill Pipe,ヘビーウエイトドリルパイプ)	66
ICS (Incident Command System:インシデントコマンドシステム)	532
IGRF (International Geomagnetic Reference Field,国際標準地球磁場)	41, 44
IMO (International Maritime Organization,国際海事機関)	246, 341, 362
IODP (International Ocean Discovery Program,国際深海科学掘削計画)	244, 351
IOR (Improved Oil Recovery,改良型採収法)	165
IoT(Internet of things:モノのインターネット)	545, 548, 563, 566, 567, 588
IPR (Inflow Performance Relationship)	143
KPI (Key Performance Indicator:重要指標)	534, 535
LACT unit (Lease Automatic Custody Transfer unit)	199
LNG (Liquefied Natural Gas,液化天然ガス)	27
LOPA (Layer of Protection Analysis : 防護層分析)	522, 523, 533
LOT (Leak Off Test,リークオフテスト)	77
LTS (Low Temperature Separator)	191
LWD (Logging While Drilling,掘削同時検層)	92
MD (Measured Depth)	93
MH (Methane Hydrate,メタンハイドレート)	4, 430
MPFM (Multi-Phase Flow Meter,多相流流量計)	204
NTV(Net Present Value, 正味現在価値)	116, 163
OBC (Ocean Bottom Cable)	49
OBM (Oil Base Mud,油系泥水)	72
OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries:石油輸出国機構)	233
OPR (Outflow Performance Relationship)	146
OSHA (Occupational Safety and Health Administration:米国労働安全衛生局)	501, 503, 504, 536, 541
OTS (operation training simulator:運転訓練シミュレーター)	559, 588
OWC (Oil Water Contact,油水接触面)	110
PAB (Production Adapter Base)	261
PABRT (Production Adapter Base Running Tool)	261
PI (Productivity Index,生産指数)	144
PKR (packer:パッカー)	181
PLC (Programmable Logic Controller : プログラム可能な論理回路の制御装置)	548, 588
PPCZ (Pacific Prime Crust Zone)	458
PSDM (Pre-Stack Depth Migration,重合前深度マイグレーション)	52
PSM (Process Safety Management:プロセス安全管理)	501, 503, 504, 536
PSSR(Pre Startup Safety Review:運転開始前安全審査)	531
PSTM (Pre-Stack Time Migration,重合前時間マイグレーション)	52
PVT (Pressure-Volume-Temperature)	128
QRA(Quantitative Risk Assessment:定量的リスク評価)	511, 515, 520
RBPS (Risk Based Process Safety:リスクに基づくプロセスセーフティ)	503, 504, 541
ROV (Remotely Operated Vehicle,遠隔操作無人潜水機)	233, 417
RSS (Rotary Steerable System,ロータリーステアラブルシステム)	89
SBM (Synthetic Base Mud)	75
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)	548, 587, 588

索引

SCE(Safety Critical Element:安全重要要素)	503, 507, 526, 530, 532, 533, 534, 536
SIF (Safety Instrumented Function:安全計装機能)	523, 533, 534
SIL (Safety Integrity Level:安全度水準)	522, 533, 534
SP (Self-Potential/Spontaneous Potential, 自然電位)	99
SPB (Self-supporting Prismatic shape IMO type B)	283, 365
SPS (Subsea Production System, 海底生産システム).....	292
SS (Suspended Solids, 浮遊物質量)	195
TBG (tubing, チュービング).....	166
TDS (Top Drive System, トップドライブシステム)	62
TLP (Tension Leg Platform, 緊張係留式プラットフォーム)	234, 263, 271
TVD (True Vertical Depth)	93
VDL (Variable Deck Load, 搭載可能重量).....	252
VSP (Vertical Seismic Profiling)	104, 106
WBM (Water Base Mud, 水系泥水)	72
WXT (Wet Xmas Tree, ウェットクリスマスツリー).....	262

海洋開発工学概論 海洋資源開発編 改訂第1版 執筆者一覧 (順不同)

【執筆者】

第1～2章, 3.1, 3.2.1, 第7章	安川 和 孝 (東京大学大学院工学系研究科 助教)
3.2.2, 3.4	松島 潤 (東京大学大学院工学系研究科 准教授)
3.3	長縄 成 実 (東京大学大学院工学系研究科 助教)
3.5	栗原 正 典 (早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 教授)
3.6～3.9, 6.1	増田 昌 敬 (東京大学人工物工学研究センター 教授)
3.6～3.9	今里 博 教 (東京大学人工物工学研究センター 協力研究員)
第4～5章	村井 基 彦 (横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授)
6.2	中村謙太郎 (東京大学大学院 工学系研究科 准教授)

平成29年度 海洋開発人材育成 海洋開発工学概論 海洋資源開発編
ワーキンググループ委員一覧 (順不同)

【座長】

三輪 正 弘 (国際石油開発帝石株式会社 技術本部 開発技術ユニット ジェネラルマネージャー)

【委員】

常盤 安 弘 (新日鉄住金エンジニアリング株式会社 海洋事業部 プロジェクト部長)

河合 展 夫 (株式会社地球科学総合研究所 代表取締役社長)

勝間 寛 (東洋エンジニアリング株式会社 資源エネルギー事業本部事業本部長代行 兼
資源プロジェクト本部長)

上田 真 司 (日本海洋掘削株式会社 人材育成推進室長)

岸本 直 彦 (日揮株式会社 プロジェクトマネジメント本部 プロジェクト部モジュールグループ
グループリーダー)

小松 法 仁 (千代田化工建設株式会社 成長戦略本部 オフショア・アップストリーム・フローター
ユニット オフショア・アップストリームセクション アシスタント マネージャー)

※所属、肩書は2017年12月時点のもの

【委員長】

鈴木英之（東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授）

【委員】

佐藤時幸（秋田大学 副学長（国際戦略担当） 国際資源学研究科長 国際資源学部長）

藤久保昌彦（大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門 教授）

古川芳孝（九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門 教授）

中島喜之（株式会社 IHI 社会基盤・海洋事業領域 F-LNG SBU 副 SBU 長）

佐々木丈一（川崎汽船株式会社 理事 先進技術グループ長）

脇山典広（川崎重工業株式会社 船舶海洋カンパニー 技術本部 海洋設計部 基幹職）

三輪正弘（国際石油開発帝石株式会社 技術本部 開発技術ユニット ジェネラルマネージャー）

関本恒浩（五洋建設株式会社 執行役員 技術研究所担当）

栗島裕治（ジャパン マリンユナイテッド株式会社 海洋・エンジニアリング事業本部
海洋エンジニアリングプロジェクト部 部長）

川越美一（株式会社商船三井 常務執行役員）

常盤安弘（新日鉄住金エンジニアリング株式会社 海洋事業部 プロジェクト部長）

清水正巳（大成建設株式会社 土木本部土木技術部部長（技術担当）兼 海洋技術室 室長）

河合展夫（株式会社地球科学総合研究所 代表取締役社長）

荻谷俊行（千代田化工建設株式会社 執行役員 成長戦略本部 本部長代行）

西川正夫（東亜建設工業株式会社 土木事業本部 理事）

勝間寛（東洋エンジニアリング株式会社 資源エネルギー事業本部 事業本部長代行 兼
資源プロジェクト本部長）

岸本直彦（日揮株式会社 プロジェクトマネジメント本部 プロジェクト部
モジュールグループ グループリーダー）

上田真司（日本海洋掘削株式会社 人材育成推進室長）

吉田泰三（日本郵船株式会社 工務グループ グループ長）

坪川毅彦（三井海洋開発株式会社 常務執行役員）

横田浩明（三井造船株式会社 企画本部 海洋事業推進部長）

小松正夫（三菱重工業株式会社 インダストリー&社会基盤ドメイン 船舶・海洋事業部
船舶・海洋技術部 主幹技師）

※所属、肩書は 2017 年 12 月時点のもの

海洋開発工学概論 海洋資源開発編 改訂第2版 執筆者一覧（順不同）

【執筆者】

第1～7章

一般財団法人エンジニアリング協会

第8～9章

国際石油開発帝石株式会社

令和2年度 海のドローンの活用とそれを踏まえた社会人育成に向けた基盤整備業務
～企業の若手技術者育成のあり方の検討～

「海洋石油・ガス開発分野における教育訓練に係る教材の作成」検討委員会委員一覧（順不同）

【委員長】

鈴木英之（東京大学大学院工学系研究科教授 システム創成学専攻 教授）

【委員】

佐藤時幸（秋田大学国際資源学部 特別教授）

中野圭崇（JX石油開発株式会社 技術管理部施設グループ）

河合展夫（株式会社地球科学総合研究所 エグゼクティブアドバイザー）

日隈 薫（東洋エンジニアリング株式会社 資源エネルギー事業部資源プロジェクト本部プロジェクト・マネージャー）

岸本直彦（日揮グローバル株式会社 オイル&ガスプロジェクトカンパニープロジェクトマネジメント本部プロジェクト部 チーフエンジニア）

常盤安弘（日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 洋上風力プロジェクト部長）

石田浩三（日本海洋掘削株式会社 エンジニアリング部担当部長）

横田浩明（三井海洋開発株式会社 事業開発部長）

開 哲也（横河電機株式会社 グローバル営業インダストリアルマーケティング本部オイル&ガスセンター 技術部 海洋・船舶課課長）

尾藤清貴（石油資源開発株式会社 HSE 統括部企画設備安全グループ）

※所属、肩書は2021年2月時点のもの