“Technology Outlook 2020” は、どうだったのか？

我々は、10 年前に発行し、いくつかの例外を除いて、全体的な予測は良好であったと結論付けることができる。

海事業界での、電子海図情報表示装置（ECDIS）、モデルベースの船舶機械および船体設計の導入関する予測は正しかったが、LNG 燃料船の数を過大評価し、自律型船の出現を見逃した。

石油・ガス産業におけるほとんどの予測は正しかったが、北極域での石油・ガス探査の範囲を過大評価した。一方、再生可能エネルギーについては、薄膜太陽光発電とスマートメーターの実装に関する予測は正確であったが、高度な風力タービンブレードと制御システムの採用を過小評価した。

（松田　洋和　記）

Ⅱ．TRENDS AND TECHNOLOGIES：技術の動向

1. Enabling technologies: 実現技術

1）Acceleration of digitalization ： デジタル化の加速

今日、デジタル技術は他の技術開発をこれまでにないスピードで加速し、可能としている。これまでにないスピードで創造と革新を行う中で、私たちは、より広い社会的文脈の中で自分たちの創造物が与える影響を考える能力を失っていないであろうか？

それがもたらすすべての機会のために、デジタル化によるテクノロジーの加速は、経済的、社会的、倫理的な課題を生み出している。社会が、与えられたテクノロジーの広範な意味合いを省みる機会がないうちに、すでにさまざまなチャネルで販売するためにパッケージ化されている。今日では、性別や人種の偏見などのことを考えることなく、誰もがクラウドプロバイダーに無料でアクセスし、非常に強力な機械学習機能の実験を開始することができる。[(1)] そして、企業が市場に出てくる爆発的なテクノロジーの管理に苦慮している間に、新しいビジネスモデルがこれまで以上に急速に既存のビジネスを破壊している。[(2)]

◎構成アーキテクチャ

このコンセプトは、先端技術を採用する企業が成功するためのキーとなるものである。これは、実績のある技術や新しい技術をデータと組み合わせ、新しいビジネスモデルを活用して、顧客の変化する期待に応える能力を意味する。

精密農業を例に取り上げる。モノのインターネット（IoT）、高度なデータ処理、機械学習、高度な可視化技術、自動栄養剤や水の供給などの次世代の機能が組み合わされて、農家は環境への影響を軽減しながら、品質と収量の両方を向上させることができる。これらすべての開発は、2030 年 3 月までに世界の多くの地域で農業の方法を一変させるものとなる。[(3)]

テスラは、斬新なビジネスモデルと組み合わせた構成アーキテクチャを使用している。彼らは自社の車から大量のデータを収集しているが、これは内燃式のものとは異なり、高速でリアルタイムな接続性を実現するために車輪から設計されている。これにより、その機能を改善するために必要なデータを収集しながら、新たな問題の迅速な学習と新機能のテストを容易にしている。このような技術革新のスピードは、早ければ 2032 年には世界的に電気自動車が内燃車を上回ると予想される理由の一つであり、DNV GL の「エネルギー移行の展望（2019 年版）」の主要な知見となっている。

◎エコシステムとしてのデータ

データの創造から価値の抽出までのデータのパイプラインは、データの生態系を管理する組織や、バリューチェーンの各部分の技術を創造する企業にとって、さらに大きなチャンスとなろう。

エコシステムには 3 つの異なる部分がある。

・接続性は、データが通過するネットワークと組み合わせた IoT で構成されている。5G ネットワークにより、企業は計測・測定されるようになる。5G 市場は 2030 年までに 7,000 億米ドルに達すると予想されている。[(4)]

・処理と管理はすべての組織にとって基本的なものであり、組織が作成、消費、共有するデータを網羅している。データの品質管理、証明性、組織や規制基準へのコンプライアンスを提供するツールは、あらゆる企業のアーキテクチャの重要な部分を形成する。
・プレゼンテーションと使用とは、組織がデータパイプラインから価値を抽出することである。例としては、ダッシュボード、混合現実の遠隔支援、工場やプラントでの通常の手動操作の自動化などが挙げられる。

◎すべて順調か？

データ、アルゴリズム、AIは今後10年の間に多くの機会とリスクをもたらすであろう。企業は、より多様な物理的特性に代わるデータを提供するセンサーを増やし、手作業のデータ入力をデジタルデータ入力に変換し、パフォーマンスを向上させる自動化をより多く導入することで、その業務を実現していく。データの来歴、つまりパイプラインを通過する際にデータが有効で、正確で、改ざんされていないことを保証することが不可欠になる。

顧客が自分たちのデータの価値を認識するようになるにつれ、顧客はデータが安全な方法で扱われ、関連する規制や法律に準拠していることを期待する。ML（機械学習）とAI（人工知能）の導入により、組織はこれらのシステムがどのように意思決定を行ったかを示すことが求められるようになるであろう。[5] データの規制に関する法律を制定する国が増えるにつれ、データ管理業務は複雑さを増し、企業が訴訟に巻き込まれる可能性がある。

◎人工知能（AI）と機械学習（ML）

AIは組織に強力な機能を提供し、プロセスを最適化し、まったく新しいサービスを提供する。現在、4つの手法が活用されている。

・パターンマッチングと認識、予測、自動化のための教師付き学習
・関連する問題にまたがってこれらの能力を適用する「転移学習」
・強化学習は、ゲームに見られるような目標指向の連続学習である
・教師なし学習は、テキストの自動作成などの情報合成

新しい補完的な技術が進化するにつれて（量子コンピューティングを参照）、AIの性能はますます向上していく。人知を超える汎用人工知能（AGI）が登場するのは2030年以降と予想されている。しかし、AGIの是非は賛否両論あり、今後10年間で強力に進むのは、人間の知能を模倣するのではなく、それを補完する機械学習である。[6]

◎分散台帳技術（DLT）

DLTは、分散アクセス、安全なトランザクション管理、スマートコントラクトの実行を提供し、多くのデジタル技術をつなげる接着剤と考えることができる。

消費者だけでなく、企業にとっても、DLTは、トークン、パスワード、さらにはIDを含む様々なデータベースからのデータを便利に束ねたデジタル・ウォレットを実現することができる。

ユースケースはすでに多くの業界で見られるようになっており、それ以前にも大規模なアプリケーションはあるだろうが、2025年からはこの技術の実装が主流になると予想されている。[7]

◎モノのインターネット（IoT）とエッジコンピューティング（エッジ処理）

事実上あらゆる場所にセンサーが実装されることで、システムの理解が深まるだけでなく、遠隔操作や自動化の能力も向上する。

IoTは、物理的資産の状態に関する識見を提供する構成アーキテクチャの重要な要素である。センサーの種類と生成される情報の質が劇的に増加しているため、エッジコンピューティング機能（生成場所に近いところで情報を処理し、入力を理解し、必要に応じてシステムに行動を指示する）の必要性が生じている。Ciscoは、2030年までにIoTに接続されたデバイスは、2020年の約200億台から5000億台に増加すると予測している。[8]

◎仮想現実（VR）と拡張現実（AR）と複合現実（MR）

これらの技術は、完全に（VR）または部分的に（AR/MR）デジタル化された環境のいずれかにデジタル情報を重ねるものである。VRのアプ

リケーションは、アクセスしにくい新しい環境（海中、宇宙空間、敵対的な環境など）や、まったく新しい空間のメタファー（バーチャルオフィスなど）を必要とする新しい環境を作り出すことに焦点を当てている。

拡張現実は通常、情報を解離された視覚的なコンテキストで適用するが、Microsoft、Holo Lens や Magic Leap のような高度なセンサーのおかげで、情報を特定の物理的なコンテキストにマッピングすることができる。これらのアプリケーションには課題があり、特に酔いの可能性や、VR と MR の両方のアプリケーションに高価なハードウェアが必要である。

今後 10 年間で、これらのプラットフォームが現在の実験を通じて成熟し、アプリケーションの設計と機能が焦点となることを期待している。

◎量子コンピューティング

量子コンピューティングとは、重ね合わせやもつれなどの量子力学的現象を利用して計算を行うことである。最初の量子コンピュータは 1990 年代後半に作られ、2011 年に D-Wave が 128 ビットの量子コンピュータを発表したことで商用量子コンピュータが市場に登場した。D-Wave の量子コンピュータへのアプローチは最適化の課題に焦点を当てているが、超伝導回路を応用した Google、IBM、Intel が構築した普遍的な量子コンピュータは、より幅広い問題に対応することになるであろう。

大量のデータが作成されるようになると、そのデータを分析して使用して識見を得る能力が鍵となり、量子コンピューティングは優れた機能を約束する。

しかし、現在の量子コンピューティングには、エラーの処理能力や量子状態を長期間維持する能力など、まだ限界がある。今後 10 年間で、これまで以上にエキサイティングなクローズアップの概念実証型量子デバイスが登場することが期待されているが、2030 年までには商業規模の量子コンピューティングの応用はないと考えている。[9]

◎サービスとしてのすべて

コストを増やすことなく生産量を増やすことができると、非常に説得力のあるビジネスケースが生まれる。新しいアプリケーションとサービスの総所有コストの削減は、サービスとしてのソフトウェア（SaaS）とサービスとしてのプラットフォーム（PaaS）に基づくクラウドテクノロジーで実装されている。これらのコンセプトは、標準的な要素を再利用することで、新しいアプリケーションの構築を加速させている。これと並行して、ハードウェア製品のサービス化も進んでおり、今後 10 年以内にほぼすべてのものがサービスとして利用できるようになる世界では、それらが統合する可能性がある。

（参照資料）

1. https://azure.microsoft.com/en-us/free/cloudservices/
https://quantumexperience.ng.bluemix.net/qx/editor
2. https://hbr.org/2013/09/why-large-companies-struggle-withbusiness-model-innovation
3. https://www.chsfarmersalliance.com/about-us/news/benefits- precisionagriculture/
https://www.nationalgeographic.com/environment/future-of-food/foodfuture-precision-agriculture/
4. https://www.ericsson.com/en/news/2019/10/ericsson-5g-for-business-a-2030- market-compass
5. https://qz.com/1146753/ai-is-now-so-complex-its-creatorscant-trust-why-it- makes-decisions/
http://parisinnovationreview.com/articles-en/ai-regulation-understanding- the-real-challenges
6. https://hdsr.mitpress.mit.edu/pub/wot7mkc1
7. https://cloudsecurityalliance.org/artifacts/distributedledger-and- blockchain-use-v2/
8. Cisco（2019）. Cited in（7）above.
9. https://www.bcg.com/publications/2018/coming-quantum-leap-computing.asp

2）Virtualization and automation across the life cycle ：ライフサイクル全体にわたる仮想化と自動化

仮想化と自動化はまったく新しいレベルに引き上げられており、すべての業界とより広い社会にわたる大きな変革の基盤を築いている。デジタル

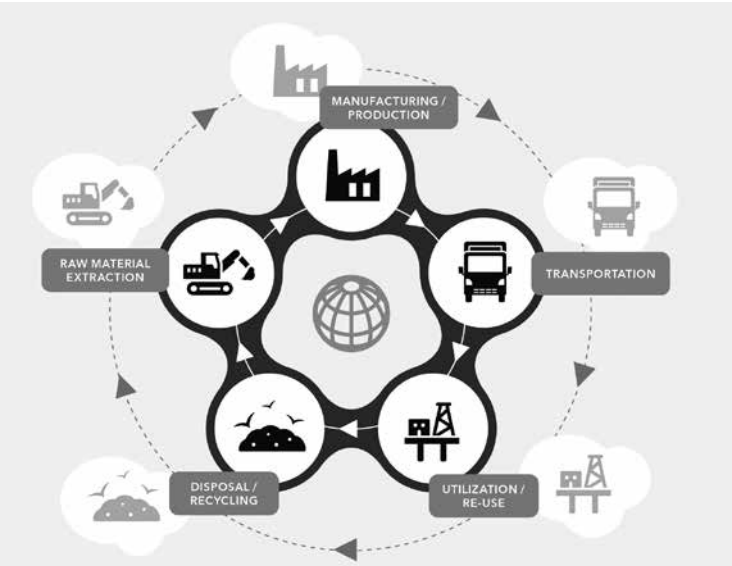
化によって可能になる高度な抽象化によって、多種多様な仮想アイテムを接続して、効率的なプロセスを構築することが可能になる。

産業界の文脈では、この現象はしばしばIndustry 4.0[1] と呼ばれるが、すべての社会的プロセスに直接または間接的に影響を与える仮想化と自動化の真の効果を説明する場合には、この用語では不足している。2020年の世界の自動化市場では、工場の自動化が最大の部分を占めると考えられており、ロボットはその実現の鍵を握っている。

オックスフォード経済学（2019年）[2] によると、2030年までに、現在の225万台から増加して2000万台のロボットが導入され、多くの雇用に取って代わるだけでなく、地域密着型の統合製造業における新たな雇用の道を活気づけると予想されている。

仮想化と自動化における以前のステップは、ライフサイクルの一部にしか影響を与えなかったが、現在のステップチェンジは、コンセプトから生産、さらには再利用に至るまでのライフサイクル全体に影響を与えている。これは主に、膨大な量の情報の提供、保存、相互接続、分析、利用によって実現される。

2030年に向けて、この傾向は製造業[3] を変革し、単純性（複雑なシステムをより透明で直感的なものにする）と安全性（安全で複雑なシステムの導入、安全性4.0[4] も参照）の両方に向かうと予想されている。どちらの用語も、現代の技術システムの複雑化を手なずけることを意味している。



（出典 “TECHNOLOGY OUTLOOK 2030” February 27, 2020, DNV GL）

図表－2　Virtualization and automation across the life cycle

製品のライフサイクルを通じた仮想化と自動化
製品のライフサイクルの各フェーズを（デジタルツイン、センサー、およびデータフィードを介して）好転させることができ、統合、効率化、およびリソースの最適な使用と再利用を促進する。

◎仮想エンパワーメント

バーチャルプレゼンスとテレプレゼンスは、2030年までに多くの作業ルーチンを変更する。特に、DNV GLなどの企業が実施する検査、監査、評価は変わる。意思決定を支援するAIと高度なカメラシステムやセンサーが組み合わされたことで、遠隔地からでも、より大きな「視界」と「奥行き」でこのような活動を行うことが可能になるであろう。[5] 広い業界において、会議やトレーニングは、さまざまなウェアラブル技術に助けられ、出張関連の費用と排出量を削減する必要性もあり、2030年までにバーチャルリアリティ空間へと確実に移行しているであろう。

高度なセンサー技術や機械学習アルゴリズム、フィードバックループの強化など、インダストリー4.0の発展により、資産の遠隔操作や自律操作が強化されていく。自動化、自律性、遠隔操作は、関連する技術分野が互いに挑戦し合いながら、共同で進化していくことになる。

2030年に向けて、仮想化は、デジタルツインの助けを借りて、システムライフサイクルのすべての要素と次元を接続する。これらは、利用可能なすべてのシステムデータと、ライフサイクル全体を通じて意思決定支援に使用されるモデルのコレクションとして機能し、専任の利害関係者が利用できる。一例は、DNV GLによって促進された「オープンシミュレーションプラットフォーム」共同産業プロジェクトである。[6]

◎予知メンテナンス

予知保全、「状態ベースの保全」、「予知保全」または単に「予知」は、基本的にすべての産業分野でよく知られている方法である。機器の状態をよりよく知り、重大な故障が発生する前にメンテナンスを計画し、実行することができるようにしたいとい

う願いは何年も前から存在している。同様に、状態を知ることで隠れた故障を「隠す」ことで、重要な（例えば安全性の高い）機器の試験作業を削減することは、切実な野望である。デジタル化は、モデルベースの予後予測、データ駆動型の予後予測、そして（おそらく最も重要な）ハイブリッドソリューションの両方において、この技術を後押ししている。

◎センサー /IoT

センサーはより小さく、より安価になり、エネルギー消費量も少なくなるであろう。「通信ネットワーク」という追加の後継技術と、大量のデータを処理する一般的な可能性により、センサーは、以前は考えられなかった多くの分野で有用なものとなる可能性があり、しばしばモノのインターネット（IoT）と呼ばれる。このようなアプリケーションは新しい可能性と新しい市場を生み出す。この発展途上の技術の中で現在注目されている分野は、エネルギー自動センサーのためのエネルギーハーベスティング、ナノセンサー、バイオセンサー、化学物質用センサー（環境センサーなど）である。

◎デジタルツインズ

仮想化は、ライフサイクルのすべての要素と次元を潜在的に接続し、改善する。概念段階のデジタルシステム表現（3D 図面、説明、要件とユースケースの仕様、高レベルのリスク分析、生成設計）は、設計段階を通じて詳細化され、最適化される。これらは、関連するすべてのシステムの側面を表すシミュレーションモデルで拡張することができ、オペレーターは、仮想システム統合における複雑なタスクを実行する能力を提供する。

生産段階では、この情報をベンダー仕様やフォローアップ（または 3D プリント）に利用し、竣工ベンダー情報と詳細なインターフェースや統合情報の両方で拡張することができる。その後、プロジェクト管理情報が追加され、設置および試運転プロセスのシミュレーションベースの最適化が可能になる。運用への引き渡しとライブセンサーデータの取り込み後、プロセスの最適化、メンテナンス、修正はデジタルツインからの意思決定支援を受けることができ、将来の設計の改善にも活用できる。

◎自動制御

自律制御とは、環境に大きな不確実性があっても十分な性能を発揮し、外部からの介入なしにシステムの障害を補償する能力を意味する。これは人類の長年の夢であり、デジタル化によって実現可能性が高まってきている。すなわち、安価なセンサーの利用可能性、関連するデータ量を処理する能力、必要な決定アルゴリズムを実行するための処理能力と方法である。したがって、自動化から高度な自動化や自律への移行は今後 10 年以内に予想され、その期間の終わりには複雑な環境（例えば、自律型自動車や近海輸送など）での完全自律型システムの大きなブレークスルーが期待されている。

◎通信ネットワーク

この展望で議論されているトレンドのほとんどを可能にするためには、通信技術の進歩が必要である。

4 つの分野が特に重要である：

- 膨大な量の情報のための超高速ネットワーク（ファイバー、5G など）、
- 高い信頼性と明確でタイムリーなメッセージの受信を提供するネットワーク（FlexRay など）、
- 短いメッセージの安価な転送、長距離かつ低エネルギーの転送を提供するネットワーク（Long Range Wide Area Network、LoRaWAN など）、
- そして最後に遠隔地や海上との間での衛星ベースの通信である。

5G 技術は特に重要であり、いくつかの開発分野で実現することが期待されている。

◎移り変わるリスクの風景

デジタル技術が複数の産業を変革する中で、リスクの状況は変化している。現在の保証手法は、物理的なリスクとビジネスプロセスのリスクに焦点を当てているが、新興のデジタルリスクを適切に特定し、理解し、管理することが急務となっている。

センサー、通信、アルゴリズムの性能不足、意図せずに（サイバーセーフティ）、または意図的に操作された（サイバーセキュリティ）が、新たなリスクの主な原因となっている。さらに、機械

学習やAIベースのシステムによって不確実性が乗算され、ソフトウェアシステムの複雑さが増している。説明可能なアルゴリズムは、ソフトウェアが意図した通りに動作するかどうかをユーザーが理解するための一つの道を開く。

産業用資産（船舶、海洋プラットフォーム、電力グリッド、通信ネットワーク、工場ロボット、検査用ドローンなど）や兵器システムの制御システムの不備は、財産の損失や潜在的には人命の損失に関連した大きな意図しない結果を招く可能性がある。AIベースの制御システムは、現在、自律走行車などで稼働しており、すでに故障の結果を実証している。

また、デジタルトランスフォーメーションは、食品、健康、製造などの業界に新たな信頼のギャップをもたらす。以前は完全に物理ベースのビジネスが強化され、最終的にはデジタルビジネスに置き換えられた。食品の栄養素やアレルゲンのデータ、患者さんの健康状態のデータ、添加物を製造する製品のデータは検証・確保が必要である。

同時に、現在の社会的・政治的環境のために、利害関係者のコラボレーションが限られていることが見受けられる。これは、標準化されたインターフェースが限られており、チェックやテストのためのデジタルモデルの再利用や相互参照を困難にしている多くの産業用プラットフォームにも反映されている。

それと並行して、デジタル技術の開発が加速しているため、規制が遅れがちで、検証やテストのための関連基準が整備されていないまま、新しい技術が導入されることが多い。このため、公的ガバナンスから生じるギャップを埋めるために、民間やサードパーティーによる検証の必要性が強調されている。

ここに挙げたリスクは、技術の提供者によって無視されることが多く、時には知られていないこともあるが、ユーザーのコミュニティでは、過剰な楽観論から一般的な懐疑論や諦観論まで様々である。課題は、これらのリスクを適切に分析して対処し、人間や社会全体への望ましくない結果を緩和した上で、初めて技術を導入することである。ルールや規制を積極的に形成し、実行するとともに、適切なガバナンスが必要である。[7]

◎社会への影響

仮想化により、地域やドメインを超えた前例のないコラボレーションが可能になり、柔軟性が高まり、より多くの自由な時間が得られる。しかし、管理されていない場合は、社会的混乱、孤立、犯罪、テロリズムを助長する可能性がある。同様に、自動化は時間とエネルギーの効率性をはじめとする莫大な利益をもたらすが、適切に設計された産業政策がなければ、雇用を破壊したり、賃金を維持できなくしたりする可能性がある。

（参照資料）

1. https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementingindustry-4-0-data.pdf
2. http://resources.oxfordeconomics.com/how-robotschange-the-world
3. http://www.manufuture.org/wp-content/uploads/Manufuture-Vision-2030_DIGITAL.pdf
4. https://www.dnvgl.com/technologyinnovation/oil-gas/safety40/
5. Ibid
6. https://www.dnvgl.com/research/review2018/featured-projects/open-simulation-platform.html
7. https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultationGDPR
https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/680/oj/e

（庄司　るり　記）

2.Transforming technologies: 輸送技術

1）Towards future transport and logistics: 将来の輸送とロジスティクス

2030年までの10年は、輸送とロジスティクスの歴史上において、主要なターニングポイントとして記憶されるだろう。この転換を推進する技術は、「地球を救う」というこれまで以上に緊急の使命から生まれる新しい科学の進歩、考え方、ビジネスおよび経済モデルと密接に結びついている。

電気自動車（EV）の開発に関する大きなニュースが1週間もないうちに報じられ、世界の一部地域での販売台数が新記録を達成した。バッテリーを動力源とする最初の旅客機はすでに就航しており、多くの人が考えているよりも商業運航に近づいている。所有ではなく利用ごとに料金が

支払われるサービスとしての輸送は、接続ブームの当然の帰結である。

これらの開発を推進しているのは、利便性とコストの要因だけではない。気候変動が刻々と進行し、その結果、エネルギーの調達と利用の脱炭素化を求める圧力が高まっている。交通は、世界の人為的な温室効果ガス（GHG）排出量[1] の 1/7（14%）を占めている。交通の排出量を削減するための圧力が継続的に高まり、規制が厳しくなることが予想される。

この分野で可能にする技術の一覧は驚異的であり、次のようなものが含まれている。

低炭素またはゼロ炭素の代替技術燃料；付加生産による部品・構造の分散生産；人工知能（AI）とそのサブセット - 機械学習；拡張現実、仮想現実、複合現実；物流チェーンにおけるカーボンクレジットを含む契約、追跡、支払いに革命をもたらすブロックチェーン技術；モノのインターネット（IoT）；物流最適化のための量子計算；自動化を支援するロボット工学；高度な衛生を使用した、より強力で信頼性が高く、より高速なデジタル通信とジオロケーション（ユーザの位置情報を扱う技術）

◎電化

輸送部門において、電化は主要なトレンドである。電気自動車の再充電インフラストラクチャが成熟した地域において、最も普及しているのは自家用車である。欧州においては、少なくとも 2024 年までに乗客用 EV が主流となる見込みであり、インド、中国、東南アジアの大型二輪車および大型三輪車は、2030 年までに 90% が電化する見込みである。コスト学習率（すなわち、容量が 2 倍になるごとにコストが低下する速度）は 19%。

特に 2030 年以前の固体化学製品の出現により、蓄電池のコストは太陽光 / 風力発電技術コストよりも急速に急落する。[2] 蓄電池のコスト、エネルギー密度、重量及び容積のさらなる改善は、トラックやバスなどの陸上輸送、短距離の空輸、及び近海の海上輸送での蓄電池貯蔵システムの幅広い使用を可能とする。

◎社会的影響

一見したところ、輸送革命は完全に肯定的なもののように見える。すなわち、経済活動の脱炭素化に向けて大きな進歩を遂げながら、企業や消費

（出典 “TECHNOLOGY OUTLOOK 2030” February 27, 2020, DNV GL）

図表－３　将来は 300 km/h での通勤可能か？　全電動のリリウムジェット (※)。
（※）ドイツの Lilium GmbH が開発している全電動の小型機。垂直離着陸可能で、ホバリング後そのまま水平前進飛行に移行するため、滑走路を必要としない。2017 年 4 月 20 日に世界初の 2 人乗りプロトタイプの（無人）テスト飛行を成功させ、垂直離陸から水平飛行へのスムーズな移行を証明した。 2019 年に有人飛行テストを行うこと、2025 年には 5 人乗車可能なエアタクシーとしての実用化を目指している。

者に幅広い利益と選択肢を提供する安価で接続されたモビリティ（移動性）とロジスティクスである。しかし、社会における輸送とロジスティクスの基本的な役割により、この分野はサイバー攻撃に対して特に脆弱であり、潜在的なリスクを特定し、適切な安全対策を実施する必要性が高まっている。また、自動運転の自動車の設計、運転および保守に関連する倫理的ジレンマも未解決のままである。

モビリティにおける混乱の多くは、ビッグテクノロジーによって引き起こされており、一部の人間がデジタルの「独占」とみなしている事業体の権力、データ、コントロールを集中させるためのさらなる手段を表している。

◎最終的には

輸送は都市と世界経済の生命線である。それは世界のGDPと人口増加と密接に関連している。世界のロジスティクス市場だけでも、2015年から2024年の間に年率7.5%の成長を遂げ、2023年には15兆5000億米ドルに達するだろう。[3] この増加の大部分は、主にデジタル化と自動化による技術革新への投資に加え、新しい燃料・エネルギー輸送業者や新しいビジネスモデルへの投資によるものである。例えば、ドローンを利用した荷物配送を含むラストワンマイルe-mobilityは、2030年までに都心部の働き方を変えるだろう ―この分野への投資は、多くの新興企業だけでなく、大手テクノロジーや大手自動車メーカーからももたらされる。[4]

この大規模な産業の変化は、コミュニケーション、雇用、社会関係、都市化、経済成長に影響を及ぼし、地球上の生命にも大きな影響を及ぼす。

重要な技術（2025－2030）

スマートポート ：

継続的な自動化とデジタル対応のスマートポートのグローバルサプライチェーンへの統合は、2025年頃に広く採用される見込みである。

サプライチェーン4.0：

より速く、より効率的で、正確で、透明なチェーンを作るために、デジタル技術、センサー、IoTを統合する開発。

個体電池：

輸送の電化のために、より安全であり、より持続可能であり、より強力である。

自動運転車、自動運行船：

自動化されたサプライチェーンのための自律型及び遠隔操作の車両及び船舶は、安全性及び環境性能を改善している。自動運転車の市場への浸透は2030年以降になる可能性がある。

ハイパーループの概念 ：

より速く、より安く、より安全で、より効率的な輸送に対する世界的な経済的要求の高まりに応えての、低圧チューブを介してカプセル内の人と貨物を高速で輸送するための新しいハイパーループの概念。コストと安全性に関する問題により、2030年以降の市場での採用が示されている。

◎サプライチェーンのデジタル化と統合

規制上の大きな障害にもかかわらず、FAAは商用目的のドローンの販売台数は、2020年には約270万台にまで増加すると予測している。2019年後半、AlphabetのWing Airはアメリカ初の商業配達を行い、UPSは処方薬の最初の配達を行った。[5]

サプライチェーン全体の自動化の例は、すでに実証され、適用されている。自動倉庫、自動運転トラック、自動運航船、及び自動複合一貫輸送

（出典 “TECHNOLOGY OUTLOOK 2030” February 27, 2020, DNV GL）

図表－4 Amazon 商用目的ドローン

（自動インターモーダル輸送）により、安全性が向上しロジスティクスがより効率的かつ安価となる。

デジタル技術によって推進される、垂直統合と水平統合がますますサプライチェーンを変革するであろう。主要企業はすでにサプライチェーンのシェアを拡大し、デジタル化と統合のメリットを最大限に引き出すための合理化を進めている。

Amazon と Alibaba が卸売りと小売りのロジスティクスチェーンでそれらの上下のレベルに挑戦し吸収する垂直統合がみられた。例えば、注文された商品を配達するドローン、大洋横断、航空ロジスティクス。

最近のコンテナ船会社の合併は、水平統合の傾向もみられる。自動車業界においては、他社ブランドの製品を製造する企業（OEM）間の統合が進む可能性もある。分析家らは、関係する OEM は、急速に業界に参入しようとしているデジタルプレーヤーに対抗するため、競争と統合の適切なバランスを見つける必要があることを示唆している。

◎循環経済が出現する

循環経済モデルは、サプライチェーン戦略にリサイクルと再利用を取り入れさせるであろう。その一例が、製品を製造、修理、リサイクルして一生使えるようにしている、アウトドアウェアを販売するパタゴニアのモデルである。企業規模をさらに拡大すると、テクノロジ大手である HP と Dell は、中古品の非常に効率的な返品システムを確立している。

輸送用のバッテリーが目的に沿わなくなれば、他の第2、第3のライフアプリケーションに再利用できる。その間、技術の大幅な進歩により、バッテリーのリサイクル率が現在の 50% から 80% 以上に向上する。技術は、それはデジタルタグを介して商品の出所を追跡しブロックチェーンを使用することと、消費者が商品を返品するためのトークン化されたインセンティブを可能にすること、の2つの重要な側面で循環経済が出現することを助ける。

最終的には、循環経済と材料の再利用により、製造が減少し、原材料と製品の輸送が、リサイクルと再利用のための商品と材料の輸送に移行する。

（参照資料）

1. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf
2. DNV GL（2019）
3. https://www.transparencymarketresearch.com/logistics-market.html
4. https://home.kpmg/xx/en/home/media/press-releases/2018/01/speeding-toward-auto-industryconsolidation.html
5. https://www.reuters.com/article/us-ups-drones/ups-drone-makesfirst-home-prescription-deliveriesfor-cvs-idUSKBN1XF2JC

（福岡　将之　記）

2）Towards low carbon energy systems: 低炭素エネルギーシステムへの移行に向けて

本レポートは、海運だけでなく多岐にわたり関係があるので、小職なりにかみ砕き要約した。また、小職の少ない経験及び知識からではあるが、一人の海上機関長としての考え方を記した。

前世紀においては、化石燃料は世界の主要エネルギー源として支配してきたが、昨今は、低炭素エネルギーシステムへの移管が勢いを増してきている。

低炭素エネルギーシステムへの移管は、風力や太陽光といった代替エネルギーが非常に少ない占有率から始めたことによりそのスピードは緩やかであったと思われる。残念ながら、2030 年まで化石燃料は、未だ 70% を占めると思われる。将来の低炭素エネルギーシステムのため、新たなソースへの絶え間のない研究は欠かせなく、一方、化石燃料の生産や消費における炭素排出量をなるべく少なくする追求も併せて続けなければならない。技術的にそしてその技術の採用までのタイムラグを見越した余裕を持たせる観点から再生可能エネルギー開発のペースを加速していかなければならず、これが、来る 10 年間がエネルギー勢力図の転換点のキーの一つであったと将来思うことになるだろう。(1)

新しいエネルギー群への移管は、気候変動危機を防ぐ観点から、また次世代のために、かつてない巨大なルール変更の衝撃をもって、その市場自体及び温暖化の考え方の両方より実行されている。

地域の汚染や環境への問題は、エネルギー輸入の依存度を減少させる地政学的傾向に加えて、新エネルギーへの移管を促す一部となっている。[2] 低炭素エネルギーシステムへの移管は全ての工業セクターで、また世界のすべての地域で行われている。また、それらの多くの技術は目新しいものではない。しかし、それらは来る未知の将来においては新しい技術であり、来る10年に勃興し、そして世界を席巻するだろう。これら新しい技術の進展度合いが、化石燃料よりの移管が顕著に進むか遅延するかを決定することとなる。

◎来る10年の変化

ピークエネルギー　：

現在より2030年迄の間、ほぼ90%の再生可能エネルギーは風力又は太陽光によるものと思われる。これら再生可能エネルギーは勢力関係に影響し始め、現存のエネルギーとの競争が開始されることとなる。石炭は2014年がピークであり、来る10年間が石油需要のピークかプラトウ（緩やかなピーク）になるそして2028年にピークを迎えその後、低下傾向になることを予想している。

天然ガスが最大のエネルギー源となる来たる10年の間、総エネルギーは増え続けるであろう。しかしながら、主に電化の加速に関連したエネルギー効率の相乗効果により2030年までには、世界は一次エネルギーの供給ピークとなり、また減少に向けての分水嶺に至るであろう。

エネルギー効率　：

エネルギー効率は、GDP比の1次エネルギーで表現される世界経済のエネルギーの動向で表される。

エネルギー動向は過去20年間に年間1.6%削減されたが、2030年迄には年間2.5%の削減への加速が期待される。この加速は、主に発電部門の再生エネルギー利用の比率増加や、エネルギ-生産や供給の巨大な熱損失の削減そして全般的なエネルギーシステムの電化によりもたらされるであろう。その結果としてGDPの成長は、従来考えられていたエネルギーの消費と比例するという考え方から脱却し、その考え方の進化は2030年代に益々広がっていくだろう。

電気自動車：

2030年までのエネルギー転換の最も目に見える現象は世界中に広がる電気自動車の普及であろう。競争相手の内燃機関の3倍のエネルギー効率を持つ電気自動車は総合効率で大きな転換への衝撃的動機となるであろう。2030年半ばまでに、電気自動車は世界の各国の市場において内燃機関車に比べ所有者にとって安価なコストを達成するだろう。50%の新車がEU及び中国で2020年後半までに電気自動車となり、世界的には2032年までに50%を超える乗用車が電気自動車になるであろう。

運輸部門の電化に支えられ、バッテリー価格はこれから起こる化学のエネルギー密度の向上やチャージ効率の向上により、劇的に低下し続けるであろう。

2.7%　世界GDP比：
2030年に世界エネルギー消費はGDP比2.7%を見込んでいる。
これは2017年の3.6%より改善している。
エネルギー削減動向の加速的改善の結果である。

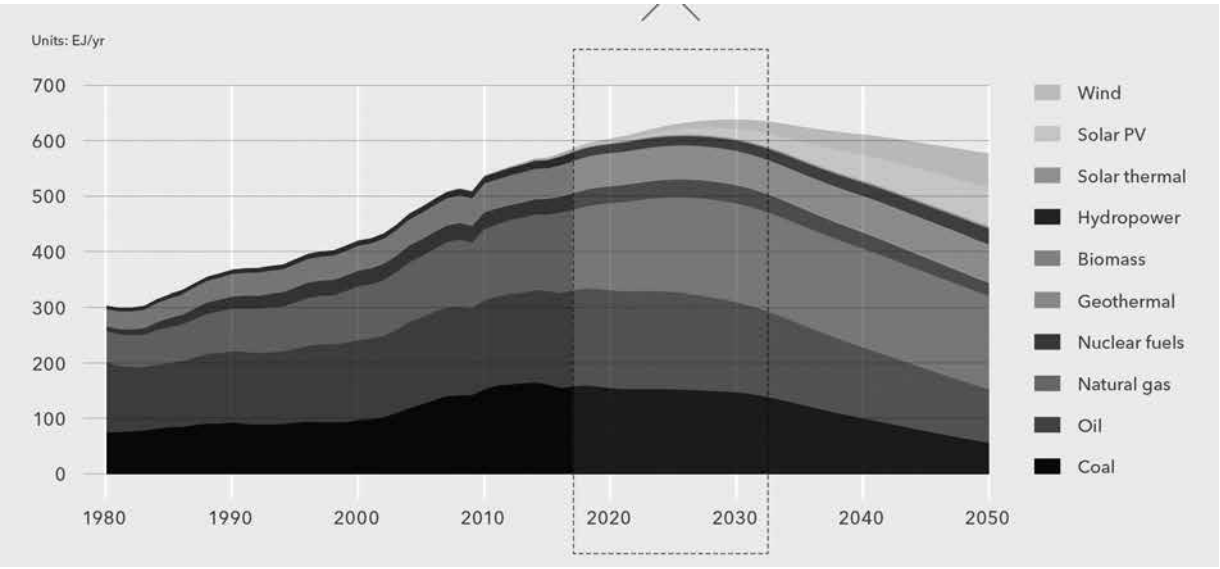
◎チャンス（適切な機会）とリスク

エネルギー産業は世界的であり、人々や地球自体に影響を及ぼしている。そしてエネルギー転換はその使用者、生産者すなわちすべての人類に影響を及ぼすだろう。

しかしながら、低炭素エネルギーシステムへの新たな転換は多くの現エネルギー関係者にはより挑戦的なものになるであろう。それゆえ、エネルギー転換のリスクや将来の基準となる現実の資産評価への潜在的影響をよく理解しておくことが重要である。

同時に、世界のGDPの割合に占めるエネルギー支出は効率が増加するにつれ減少をはじめている。[3] 2030年における世界の化石燃料の支出は現在の2.5%より1.5%に減少させることが期待されている。一方、再生エネルギーや送電網整備への支出はGDPの成長を加味すれば来たる10年間に現支出を倍増することが必要となろう。

2020年代初めの石油需要から2030年代初めの天然ガス需要の転換予想に向け、エネルギー市場や技術の発展的展開が期待される。オイルメジャーから新たな参入者に至るまで様々な戦略を展開している。しかし、メインテーマは石油に代



（出典　“TECHNOLOGY OUTLOOK 2030”　February 27, 2020, DNV GL）

図表－５　エネルギーソース別世界の一次エネルギー供給推移（1980 より 2050 年）

わり天然ガスの温暖化に向けた増加であり、さらに再生可能エネルギーへの一部移管である。ここでは、規模やリターンは、従来の諸指標との比較では計られず、新しい指標が必要となり、また、新たなデジタル化という指標も加味されるべきであろう。

具体的には、比較的小規模なオペレーターは低炭素ソースへのスイッチは非常に柔軟性を持っている。例えば、国営のデンマーク石油＆天然ガス会社（DONG）は化石燃料の資産をすべて売却し、風力特に洋上風力エネルギーのメジャープレイヤーの一つとなった。更に社名迄オーステッドに変更した。現在メジャーなソースである石油から全てを代えることは難しいが、大きなステップは数社によりとられている。特にトタール、エクイールやシェル社は、既に電力市場に参入しているが、この動きから切り離せない。2030 年代までに世界有数規模の電力供給会社のなることを将来目指している。[4]

これらの会社やその他のオイルメジャーは天然ガスに軸足を移しており、そして、まさしく“ガスと石油”の会社である。効率を上げる時や生産時のカーボン排出量を下げる間、会社は皆均一にコスト削減に焦点を当てる。費用、生産性及び低カーボン化は多くの技術を巻き込み、主要なデジタル化された川上事業者になるための激しい競争がそこにある。[5]

低炭素エネルギーシステムの構築に向け、電力化は主に主導される。電力化が主となることより比較的採用されやすい様々な再生可能エネルギーは導入に向け違った要素をもたらすこととなる。日照時間や季節他外部環境等により安定性や継続性を左右される太陽光や風力発電等は、バッテリーやその他の方法により切れ目のない電力供給を可能とする。そして、それは更なる再生可能エネルギーへの集約を促す。[6]

新しい技術と加速するエネルギー移管の組み合わせは、現在の資産価格の下落と関連する様々なリスクを産む。それぞれステークホルダーは将来の技術的開発と関連するリスクを十分評価すべきであろう。開発者、保証者、エネルギー供給者及びユーザー（広く社会全体のユーザー）等全てのステークホルダーは、このエネルギー移管が安全で持続可能な方法で成し遂げられることを期待している。そして、これは絶え間のなく新しいマーケットの構造、規則や保証等のレジームチェンジを促すこととなる。

◎エネルギー変換　促進ドライバー

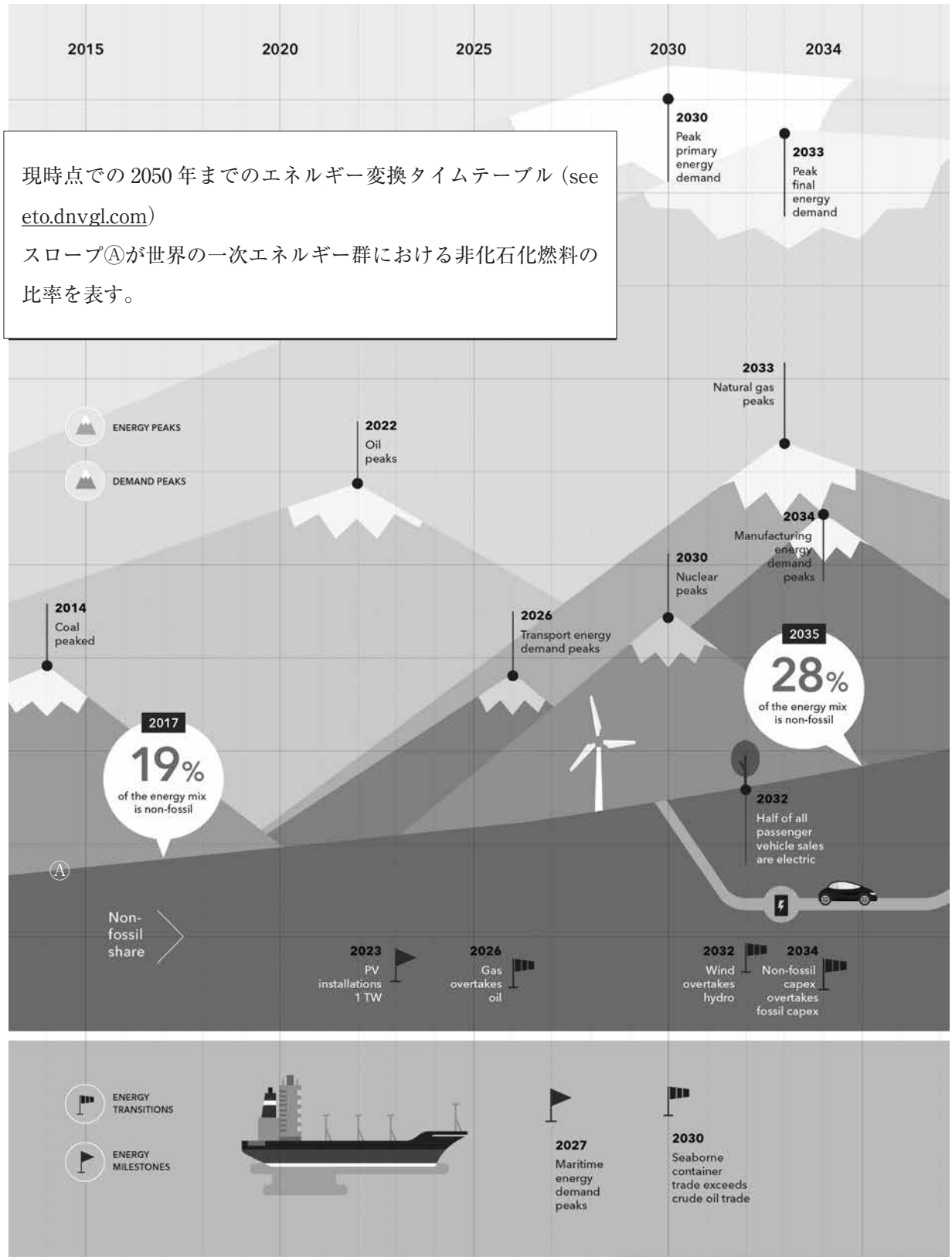
ポリシー　：

国家の政策や目的の持続的展開は、その動機や税金及び特殊な規則＝パリ協定等国際条約等により行われる。各国が決めた貢献度（CO2 削減目標）及びパリ協定は 2020 年より強化される可能性がある。その他の地域排出規制やエネルギー安全保障及び諸々のポリシーは、再生可能エネル

ギーにその活路を求め、実施に向け方向性を定めるであろう。

投資業界　：

石油需要のピークや産業のリスクは、気候変動に関する経済的指標の継続的開示の絶え間のない要求を求めそれにより左右されるであろう。投資



（出典　“TECHNOLOGY OUTLOOK 2030”　February 27, 2020, DNV GL）

図表－6　2030年代へのエネルギー変換タイムテーブル

業界は、低排出エネルギーの将来を基にしたビジネスモデルへのストレステストをエネルギー供給会社に益々求める様になる。[7]

技術とコスト　：

優れたデジタル化や周辺機器とのコネクトのような急速な開発はコスト削減ができ、エネルギー転換スピードを加速する事に寄与している。再生可能エネルギーはこの10年間で顕著なコスト削減を産み、そして、更なる顕著な太陽光発電、風力発電におけるコストを削減できる。風力はオフショアが増加してきている。はじめは固定されたものであったが、結局現在は浮体型風力発電システムがコスト競争力を持ち、加えて陸上使用のものと競合する事もなくなった。

化石燃料採掘会社自身が技術やポリシー変更に応じるように最近変化してきている。石炭火力発電開発は2015年より75%急落しており[8]、多くの石油やガス会社が排出量の少ないガスバリューチェーンへの変化してきている。ガスの需要の増加は2030年に向け2倍以上の安定したガスへの転換を導くであろう。[9] そして、それは結果として世界的にガス価格の安定を導くだろう。

脱炭素　：

2030年代は未だ石油やガスは依然目立ったエネルギー供給源であるが、燃料変換により脱CO_2の達成が難しい排出源の産業に脱炭素への要求は向かうであろう。そして、それゆえCCSの更なる開発への要求が増加する。

◎エネルギー転換への障壁

保守（確定）や現状維持（惰性）への希求　：

現存するエネルギーインフラの守旧や現状維持への希求は、現存する化石燃料の補助金やエネルギーも仕事も守るという保護への要求があり、エネルギー転換への巨大な障壁となる。

事業運営費から設備投資への軸移動（現存の石油運営費より環境問題に即した新規投資への新規投資中心軸の移動）：

再生可能エネルギーは高い投資が必要である。しかし、化石燃料に比較した低い運用コストにより相殺される。温暖化に対し環境配慮等が世界的に認知されている昨今では、新規投資に係るリスクは、投資資本を動かす事で明るい将来へむけリスクでなくむしろ挑戦的なものになる。

電力市場　：

より高い再生可能電力の比率は、その時点時点での電気料金をより安くすることになるだろう。しかし、様々な再生可能リソースは、電力市場の構造変化において投資効率の競争にさらされるだろう。低コストの風力が同様に安い太陽光発電と競合するように、様々なソース間での競争を増幅する事になるだろう。

◎重要な技術群

今後10年間に起こるであろうエネルギー変換を推進するそれぞれのエネルギ-技術を要約した。また、エネルギー変換に対応する為の数個の技術を提唱した。まずは、変化によりすぐに影響を受ける現在のエネルギー企業からの技術を提唱した。さらに、我々はデジタル技術を追加した。そのデジタル技術は、エネルギー関連技術の進化や採用における重要なツールであり、それをうまく使いこなすことにより低炭素エネルギーシステムを加速するかもしれない新技術を例示してくれるかもしれない。

① 2025年以前における核たる脱炭素技術

電池による蓄電（蓄電池）：

蓄電池は、18%のコストを削減した。その85%は2010～2019年の間に削減した。このコスト削減とエネルギ-密度及びチャージングレート両方の化学の発展により、様々な再生可能エネルギーを支える事が顕著になった。特に多くの地域での電気自動車の発展には重要な要素や機会を与えている。

風力（オンショア及びオフショア）：

風力は、その容量を現在の倍にすることで16%低下が期待されている一つの安価なパフォーマンスの電力である。風力発電は陸上や食料生産と競うことがなく洋上へ移っていくだろう。

電気自動車　：

2032年までに世界中で乗用車の50%が電気自動車になる。これが2030年までの石油需要のピークを迎えさせる主要原動力となる。急落するオーナーの総コストは、早く取って代わる最大の原因となる。

太陽光発電　：

近年、世界で最安価な発電装置である太陽光発電は、ここ10年間で90%コスト削減され、更に2030年迄に50%の削減を期待している。従っ

て、その他の発電装置は太陽光発電と競う事となる。しかしながら、太陽光発電の日照時間等自然の不確実性、不連続性がネックとなり、それらをカバーする蓄電池の開発やその他の技術開発が全発電量に占める太陽発電電力量を決定するだろう。

②低炭素エネルギーシステムへの移行に対応するコア技術

石油回収の増進と改良　：

石油掘削時 CO2 削減の為の EOR と IOR の近代化が必要である。（原油増進回収法（EOR）と改良型回収法（IOR））

全電化した海底掘削技術（含む深海や超深海開発）：

海底掘削技術について、その安全を含めた進化の為には油圧から電化への変更が重要である。特に深海や超深海開発には欠かせない技術である。

③合成燃料 / ガスやブルー水素（CCS による）技術（移行技術）

完全電気化できない船や飛行機のシステムにおいては、低コストで豊富な電気エネルギ - が、それら（船や飛行機）のエネルギーを液体や気体のエネルギーキャリアへ移行させる事が出来る。水素ははじめ水蒸気メタン改質（天然ガスより）による水素ガス→ CCS よりの水素ガス（ブルー水素）→水分解のガスより作られる（グリーン水素）水素ガスとステップを踏んで作られる。また、その製造に係る電力はその時代の最低コストの再生可能エネルギーで賄われる事が重要であろう。また、水素ガスの新規の使用需要は、現存するガスインフラを使って作る事が出来るメタンバイオガスの製造価値を高めるであろう。

CCS（炭素の採取と貯蔵）：

今日採取された CO2 の 2/3 は天然ガス製造過程より来ている。その採取に加えエネルギーシステムにおける CCS の技術の次の 3 つの将来の使用を期待している。

- 水蒸気によるメタン改質を通して炭素フリーの水素製造
- ガスや石炭火力発電時の CO2 排出除去
- 工業的プロセスにおける CO2 排出緩和（例えば石油化学、セメント、 廃棄物発電プラント）（= 石油掘削の EOR 時の CO_2 投入、低炭素セメント製造時の CO_2 使用、人工光合成時の CO2 利用）

④エネルギーに関する技術の進展や投入時の重要なデジタル技術

自律・自動　：

自律（自動化）した制御技術は安定的電力網には必須である。さらに、自律化（自動化）は分散や遠隔操縦されたソーラ発電、風力発電、海底装置や送電網を可能とし、そして更なるコスト削減を可能とする。

更なる工業技術　：

エネルギーのより効率使用を可能にする技術。

物の製造や輸送からエネルギー削減に付加されるより進化した熱交換器設計やヒートポンプ技術等を含む新仕様の技術。

AI や ML（自ら推論パターンにより課題を効率的に実行する事）：

AI や ML はエネルギー転換に多大な影響を与える。エネルギーシステムのすべての部分に関与する事により、AI は様々な再生可能エネルギーにおける比率の増加をベースとした、安定し、よく機能した電力やエネルギー市場の導入を支える事が出来る。

ブロックチェーン　：

複雑性や透明性の要求は将来における電力システムにおいて、世界は永続的な真実な姿を求めるであろう。ブロックチェーンはある地域変化や地方市場や直接取引を、エネルギーシステムに積極的に参加する全ての人に公平的にする事を可能とする。様々な契約、通商、追跡、支払いをブロックチェーンは透明化してくれる。

IoT　：

センサーやコミュニケーションネットワークは増加するエネルギーの供給や需要の施設を結びつける。そこでは遠隔や自動操作が有効である。

⑤十分可能性のある突破的なインパクトを持った技術（2030 年までに）

水分解水素（グリーン水素）：

この方法の効率を改良する事はその他のエネルギーシステムを補助するエネルギ - キャリア（中間体）になる。電力コストにおける顕著な削減や一体型パネルを使った直接的製造は、その販売を大きく増加させることが出来る。水素の値段が下がれば、工業的熱利用や船舶燃料の一つの候補で

あるアンモニア製造原料としての要望が増え船舶燃料の大変換を惹起する。

蓄電池化学　：

新化学技術は現在のリチウムイオンエネルギー密度、製造インフラやコストと競う事となる。(世界的容量の2倍毎の18%の改良）より効率的で安価な地球によくある材料でのバッテリーが現れたら、電力製造や運輸において、現存するエネルギ - 蓄積開発者のいくつかにおいて新たな進化を導く事が可能であろう。

小規模原子力発電　：

全体や一部のモジュールとして設備された新しいモデルの小規模原子炉はコスト的に有利になりうるであろう。ベンチャー資本家は既に市場に小規模原子炉設計をしている。併行して、安定した核融合炉に発達がある。同炉は成功を収めた場合限定的な放射線核廃棄物処裡の懸念を払しょくできれば、安全で安価なエネルギ - の魅力的なソースになりうるであろう。

極限効率のヒートポンプ / 地熱利用　：

中、低熱をカバーするヒートポンプを利用した工場は進化している。さらに進化すれば熱への要求はこれまで以上に電化へと加速していくだろう。

(参照資料)

1. DNV GL（2019）
2. https://www.pnas.org/content/115/38/9592
3. DNV GL（2019）
4. https://www.ft.com/content/87cfc31e-44e7-11e9-b168-96a37d002cd3
5. https://www.ft.com/content/8ee6cfc6-e825-11e9-a240-3b065ef5fc55
6. https://www.economist.com/leaders/2017/02/25/wind-and-solar-power-are-disrupting-electricity-systems
   https://www.fsb-tcfd.org/
7. https://www.fsb-tcfd.org
8. https://www.iea.org/wei2019/
9. DNV GL（2019）

＜所見・所感＞

以上DNV GLは今後10年における低炭素エネルギーシステムへの移行について述べているが、現時点（2020年10月）での一海上機関長としての考察を以下に記す。皆様の参考になれば幸いである。

温暖化効果ガスの増加が地球の気象環境に影響を与えていることは、一部異なる見解を持っている人や集団があるが、昨今の気象変動を鑑みれば疑いのない事と思われる。

地球温暖化対策は京都議定書よりパリ協定へと進化してきており、着実に実施されているかにみえるが、内情は更なる対策の深化を計らない限り達成できないところまで悪化しているようである。

一方、国境を越え活動し、船籍国、運航国の区分けが難しい事により外航海運はIMOに温暖化効果ガス削減対策は委ねられているが、2018年に、2008年を基準年とし2030年までに平均燃費を40%、50年までに70%改善し、総排出量を50%削減し、更に今世紀中の可能な限り早期に排出ゼロを目指すとされた。

産業別としては初めての具体的数値を示した対策であった。しかし、温暖化対策の進捗を危惧した更なる圧力（炭素税課金他）が欧州地区中心に発せられているのが現状である。一方、外航海運において船舶の主たる推進機関はほとんど新替えすることもなく、かつライフサイクルが長く一旦就航するとその性能を維持することが精いっぱいであり、CO2を減らす新しい技術の導入も難しい。また、計画から就航までの時間も長く、新技術導入が遅れ気味となる。目標が全体の温暖化ガス排出量規制である海運については、就航船も含まれ新造船の対策だけでは、目標達成が困難なその特性を考慮すれば、温暖化対策は早ければ早いほど良い事であろう。

現在、短期目標達成に向け様々な対策が世界で取られているが、燃料をLNGに変換する対策がメジャーになりつつある。これに加え運航を含めた様々な技術改革が重要であり、絶え間のない努力が期待される。また、中長期目標達成に向けては、LNG燃料だけでは達成できず、脱炭素技術の導入が必須である。水素、アンモニア、バイオ、CCSや蓄電池技術他様々な対策が検討されているが、それだけでなくデジタル技術での革命的イノベーション（DX）対応を加え総合的な対策が

必要であろう。すなわち、技術のイノベーションだけでなく、経済・社会システムやライフスタイルのイノベーション等も必要であろう。

今、世界は新型コロナ禍の外的ショックにより、社会経済活動が停滞する時間を地球規模で共有している。かかる状況の中、将来の持続可能な社会に向け、今こそ人類全てが叡智を持ちより、様々な垣根を取り払った具体的な道筋を探り、どのような道を選択していくか地球規模での対策を考える時だと思われる。

（掛谷　茂　記）

3.Sustaining technologies：持続的な技術

1）Engineering natural ecosystems　自然生態系のエンジニアリング

地球は窮地に陥っている。気候変動、生物多様性の減少、森林破壊及び人間の活動による汚染などによって、経済、健康及び生活の質が危機にさらされている。[1] 技術で救うことができるであろうか。

増え続ける二酸化炭素の排出から地球の天然資源を脅かす人口増加に至るまで、環境への圧力は、経済成長、工業化及び人口増加の結果として数多く、複雑なものとなっている。

2019年3月1日国際連合は、世界の森林破壊と劣化した生態系を回復するための、政治的・金融的支援を求める大規模な「行動への呼びかけ」を発表した。

32億人の健康危機への支援、20億エーカー以上（南アメリカよりも広大な面積）の回復、最大26ギガトンの温室効果ガスの大気中からの除去である。

気候変動に取り組むための活動により、2030年までに26兆米ドルのビジネスチャンスが生まれると予測されている。

人間の経済活動は環境に影響を及ぼす主要因であるが、地球に関する産業もまた技術革新を通して、自然生態系を理解し、維持し、復元し、そして増強するなど環境保護に寄与することができた。ここに「自然生態系のエンジニアリング」としてこれらの技術を集めた。

◎増大する気候危機の現在の損失

1998年から2017年の災害による直接的な経済損失は約3兆米ドルと推定されており、そのうち気候関連の災害が全体の77%を占めるが、1978年から1997年と比較して151%増加しており、気候関連の災害と地球物理学的災害が、推定で130万人の命を奪った。[2]

生態系の劣化は、景観の美しさを含む文化的快適性と同様、飲料水、受粉、食糧、気候調節などの重要な機能の供給を妨げる。こうした生態系サービスは、世界的に年間125兆米ドルの経済価値を有している。[3] 生態系サービスの損失は、社会的、経済的両方の観点から深刻なリスクをもたらし、社会経済的発展を妨げる。

同時に、気候変動に取り組むための活動の増加が、ビジネスチャンスを生み出すと予測されており、ある試算によると2030年までに26兆米ドルの経済的利益が得られることが示されている。[4]

◎技術導入における将来的な要因

支配：

気候の大災害が増加して定期的に発生することは、社会に対し、地球温暖化や生態系の悪化を防ぎ、持続可能な開発目標を達成するといった動機を与え続けることになろう。

革新：

新素材、工程及び設計における技術の進歩は、SDGsの達成を目指すミッション指向の政策によって支援されており、環境に精通している企業に競争上の優位性をもたらしている。また、持続可能な開発目標に対する投資家の関心も高まっている。

情報の流れ：

デジタル技術は、環境に影響するデータの透明性を支援し、企業の責任を促進させ、責任ある消費を可能にする。

文化的及び規制上の障害：

社会の無知と規制による障壁が、自然生態系を設計する技術の導入を妨げている。これらは、健全な環境がもたらす実体的な利益の評価の欠如や、強固な炭素価格の設定などの、十分な誘因を実行するための政治的な意志の欠如を含む。その結果、従来通りのビジネスが続いている。

◎重要な技術

真水の解決　：

自然ベースの技術がここでは好ましい解決策で

ある。需給ギャップを埋めるための海水淡水化のサポートによって洪水と干ばつに対する地球の回復力を高め、生物多様性の減少を打ち消すことにより、生態系サービスが水の質と量を改善する。

農業における循環的効果　：

農業における環境への悪影響を減らし、増加する世界の人口を養うことができるようにする。新しい技術や慣行が、外部からの投肥量の最小化、閉鎖的な養分（窒素）の循環、負の排出量の削減を含めて進化している。

負の排出技術　：

様々な技術を用いて、大気から純粋な除去を行うために、二酸化炭素を捕捉し、安全に貯蔵する。気候の大変動を誘発するさらなる地球温暖化を回避するため、あらゆる削減のための選択肢が遂行されるという条件で、負の排出技術は、大気中の二酸化炭素の過大量を制御するために必要となる。

これらの主要な技術は、以下によって支援されるであろう。

合成生物学　：

対象の種の個体群全体を修正、抑圧、代替、あるいは有害な化学物質に対する生物学に基づく代替を提供することにより、環境の脅威に対する生態系の回復力を高める。これらは、厳しいリスク評価と多数の利害関係者の関与を必要とする、リスクの高い解決策である。

次世代環境モニタリング　：

機械学習と組み合わせたDNAバーコーディング、センサーとカメラを使った自律装置、自然のインターネット化を実現するための地球観察衛星などがある。このような手段により、生態系の健全性や人間活動の影響を正確に推定することができる。

社会への影響　：

生態系のエンジニアリングにおける技術開発のおかげで新たなビジネスチャンスが生じるであろう、そしてこれらの技術を取り入れることにより、人と地球の両方に利益をもたらすことができる。生態系のエンジニアリング技術は、従来の技術によるビジネスより効果的で低コストであり、生物多様性と人間の健康に重要な共益をもたらす可能性がある。

一方で、自然生態系のエンジニアリングは、厳格なリスク評価、多様な利害関係者の知見の参入、予防原則がなければ、予測不能で致命的な結果をもたらす可能性がある。また、環境問題に対して工学的解決策に焦点を当ててしまうことにより、問題の根本的解決を行うことから注意が逸らされることにもなりかねない。

◎サハラの森林プロジェクト

生態系のエンジニアリング技術を応用した砂漠の緑化　：

サハラの森林プロジェクト[5]は、循環効率の原則に基づいて設計されており、乾燥した気候地域に位置する塩水冷却式の温室の中での食料、真水、エネルギーなどの希少資源を生産するため、砂漠、塩水、二酸化炭素といった豊富な資源を利用する。類似の技術が、緑化を通して生態系を再生する間に、二酸化炭素を貯留し、砂漠において価値の高い農作物を栽培するために使われている。

（参照資料）

1. https://www.ipbes.net/news/ipbes-global-assessment-preview IPCC（2019）
2. UN ECOSOC（2019）
3. https://wwf.panda.org/knowledge_hub/all_

（出典　“TECHNOLOGY OUTLOOK 2030” February 27, 2020, DNV GL）

図表－７　サハラの森林プロジェクトのイメージ

publications/living_planet_report_2018/
4. https://newclimateeconomy.report/
5. https://www.saharaforestproject.com/office-2/

（横井　幸治　記）

＜所見・所感＞

生態系サービスを守るため、生物多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用、遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分を目的として、1992年の国連環境開発会議で生物多様性条約が採択されるなどの対策が取られていたところ、近年、海洋の生物多様性が悪化していることも指摘され、持続可能な開発目標の紹介が新聞紙面上に掲載されたり、新総理の所信表明演説で脱炭素社会の実現を目指すことを宣言したりするなど、本節に示されているように、各方面からの取り組みが活発になっている。

そして地球温暖化に関連する海洋生態系への影響等を把握するための高精度な海洋観測として、高度海洋監視システム、全球海洋観測システム、国際海洋炭素観測連携計画等、国内外の関係機関と連携して地球規模での環境変動研究が推進されており、近い将来、我々の原点である地球の自然生態系が本来の状態に回復していることが望まれる。

2）Towards wider use of ocean space ：海洋空間のより広い利用に向けて

海洋は地球の表面の約71%を占め、食料、鉱物及びエネルギーの重要な供給源となっている。しかしながら、魚の乱獲、汚染、酸性化を含むいくつかの要因が海洋生態系を脅かしている。

海の健康が深刻な圧力にさらされている。より持続可能な海洋管理を達成するためには、海洋生態系のより良い理解が極めて重要である。

海洋の5%しか詳細には地図に表されていないが、新しい技術は、海洋資源の地図への表記と抽出を容易にするであろう。自律型のシステムは、物流上の課題がある地域の海洋資源の探査と監視に理想的で適している。

海洋利用が増大し、新たな海域が切り開かれると、新たな産業部門が沖合に移動し、それに対応するために新たな構造物が開発される。

OECD（経済協力開発機構）（2016）“2030年の海洋経済”から転記すると、2030年には付加価値の合計が3兆米ドルとなり、「海洋及び沿岸の観光」がその26%を占め、2010年～2030年の付加価値成長率が100%で、以下占有率順に、

図表－８　海洋空間のより広い利用のイメージ

各々その割合と成長率が、「石油及び天然ガス」が21%と24%、「港湾活動」が16%と146%、「海洋の設備」が10%と82%、「水産加工」が9%と260%、「洋上風力」が8%と1500%、「海上輸送」が4%と60%、「造船及び修理」が3%と50%、「産業的な捕獲漁場」が2%と300%、「産業的な海洋養殖」が1%と100%でなる。

OECDによると、2030年までに、海洋経済における世界的な付加価値は3兆米ドル以上に成長すると予測されている。

海洋はまた、混雑した海岸地域の開発のための領域となる。海上浮体式都市は、気候変動の影響に対応した住宅問題の解決策となる可能性がある。

◎膨大な価値、期待される成長

OECDは、2010年の海洋経済の産出額を1.5兆米ドルと評価しており、これは世界の総付加価値（GVA）の約2.5%に上る。[1] 産業的な捕獲漁場の割合は小さい（付加価値の1%）が、人的な捕獲漁業（主にアフリカとアジア）によって生み出される価値の推定値を含めると、捕獲漁業の合計に数百億米ドルが加わることになる。

OECDによると、2030年までに、海洋経済における世界の付加価値は3兆米ドル以上（2010年恒常為替レートで）に成長し、世界のGVAの総額の約2.5%を維持すると推定している。これらの推計は限定的であって、適切なデータが入手できない多くの海洋関連の産業を含んでいない。同じ理由で、この推計は多数の国が除外されなければならないような特定の産業（海運業など）における活動を低く評価している。一部の大規模産業（海底油田や天然ガスなど）で予想される緩やかな成長、さらに縮小は、他の産業（海洋養殖、洋上風力、水産加工、港湾活動など）において予想されている比較的高い成長率を覆い隠し、海洋経済の全体的な平均的成長量を抑制している。海洋経済の多くの分野は、世界経済の成長率を上回る可能性を持っている。

◎深刻な脅威にさらされている海洋の健康

生物多様性と生態系サービスに関する政府間科学政策討論の報告によると、プラスチックごみが1980年から10倍に増加しており、毎年3億～4億トンの重金属、溶剤、有毒な汚泥、その他の産業施設からの廃棄物が世界の水域に投棄されている。沿岸の生態系に入り込んだ肥料は、400以上の海洋の「死のエリア」を作り、それは合計で24万5,000km^{2}以上に及び、合わせるとイギリスの面積よりも大きい。[2] 生産的で回復力のある海洋と海を守るためには、持続可能な慣行への転換が不可欠である。国連グローバル・コンパクトの報告「世界的な目標、海洋の機会」は、生産量の増加を達成しながら、どのように海洋を保護し、保全すべきかについて詳述している。[3]

持続可能な方法で海洋を利用するという共通の必要性は、地政学的関係を強化する可能性があり、調整と協力を必要とする。

◎資源をめぐる競合

海洋空間の利用の増加は、食料、エネルギー、鉱物などの資源の需要の増加と、同様に限りがある陸上資源の縮小とによって促進されている。

スペースの限界はまた、陸から海へ、そして沿岸地域から近海へと活動を促進する。

その傾向は、沖合での高価な運営コストによって制限される可能性がある。海洋生態系の生産性における継続的な減少は、もう1つの潜在的な障壁である。

◎社会への影響

食糧、鉱物、その他の価値ある産物のための海洋資源の必要性は、既存の環境脆弱性に関する知識とともに、循環型経済モデルの早急な構築に導く可能性がある。持続可能な方法で海洋を利用するという共通の必要性は、地政学的関係を強化する可能性があり、調整と協力を必要とする。

逆に、海洋のより広範な利用は、伝統的な生活を破壊し、脆弱な沿岸の生態系に影響を与え、沿岸の地域社会に負の結果をもたらす可能性がある。海洋の統治は、異なる規定が重なり合っていて、しばしば不明確で、主要地域が統治されずに放置されている。このことは、地政学的な不一致や対立を導く可能性がある。

◎多目的洋上プラットフォーム

エネルギー、養殖、輸送のための海洋施設が海洋空間を競い合うように、運営を海岸から離すことは、物流と運営をより複雑で困難にする。

多目的洋上プラットフォームは、養殖、レジャー、輸送などのサービスの提供に、風力、波

浪、太陽光、海流、そして海洋温度差エネルギー変換といった海洋エネルギー発電を組み合わせている。

同じ基礎構造の中で多くの機能を組み合わせた洋上プラットフォームは、設置コスト、物流、運用、メンテナンスを共有することで、経済的なパフォーマンスにおいて大きな利益を提供する。それらはまた、運用のための足跡を減らし、空間計画を最適化し、環境への影響を低減することができる。

多目的プラットフォームは、経済パフォーマンスを向上させ、金融リスクを減らすことができる一方で、それは部門をまたがった協力を必要とし、潜在的に実行を複雑にする。

統治に関しては、同じ規制機関で同じ規則が適用される、同一産業分野の運用を組み合わせる方が容易である。不確実性を減らし、実施を早めるためには、部門を超えた法律、規制、政策の相乗効果、あるいは国境を越えた設置の可能性についての交渉を行うことが賢明かもしれない。

◎重要な技術

デジタル海洋　：

海の広大な規模やその多くの未知の領域、そしてその資源を持続的に利用する最善の方法を迅速に理解する必要性は、デジタル技術やデジタル化によってもたらされるあらゆる効力が必要であることを意味している。これまでほとんどの海洋環境の監視は、高価な海洋調査船や水路調査船によって提供されてきた。海洋ロボット工学の急速な進歩により、生物に着想を得た自律型システムが、海洋空間を探索し、監視し、相互に作用するための新しい方法を提供するであろう。

2030年までに、地球低軌道のインターネット衛星の飽和度がはるかに高まって、そのほとんどが常に海洋空間の上空を通過するようになり、接続が断続する区域は両極地だけのような、莫大な接続機会を洋上の顧客に提供し、通信のみならず、地球観測、環境の監視、探索、海洋資源の開発のためのその他の情報収集を可能にするであろう。今後10年間に海洋空間の利用に影響を与えると予想されているその他のデジタル化技術により可能となる技術は、人工知能や機械学習、付加製造（例えば船舶やプラットフォームに搭載されるもの）、先端材料（軽量化、耐海水性、自己修復、その他の進歩したスマートな能力を持った材料を含む）などがある。

技術展望のオンライン版で示されているように、以下の基本的な実現能性を持つ技術が、さらなる分析のために選ばれた。

自律型システム　：

海洋を地図に表して監視し、遠隔地や深海での資源を収穫する。

バイオ工学　：

医薬品、食品、飼料製品、石油、そして環境に配慮した様々な産業において有益な商業要素を識別する。

多目的洋上プラットフォーム　：

同じ設備内で多くの機能を組み合わせ、基礎構造を共有し、コストと必要スペースを減らし、環境への影響を低減する。

メッシュ網状洋上高電圧直流送電線　：

洋上でのエネルギー効率及び獲得を改善し、よりクリーンなエネルギーを洋上設備に供給する。

ここでは更なる分析のために選択されなかったが、海底採掘と海上都市が、2030年ないしそれ以降に向けて、両方とも海洋空間のより広範な利用に影響を与える可能性がある。

（参照資料）

1. https://www.oecd.org/environment/the-ocean-economy-in2030-9789264251724-en.htm
2. IBPES（2019）
3. https://www.unglobalcompact.org/library/5711

＜所見・所感＞

国内では2007年に海洋基本法が制定され、翌2008年に同法に基づく海洋基本計画が策定されて海洋に関する施策の方向性が示された。その計画の中で、「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」が目標を達成するための計画として作成され、2019年に改定されている。国土面積をはるかに超える管轄海域の存在が極めて重要で、海上輸送や水産資源を育む場としてのみならず、メタンハイドレードや海底熱水鉱床の存在など、その重要性は更に高まっている。

本節に紹介されているような最新の技術をより進展させ、困難とされている深海の海洋資源の探