



デジタルイゼーションによる水素経済の加速

Ron Beck (アスペンテック、マーケティング戦略担当シニアディレクター)

はじめに

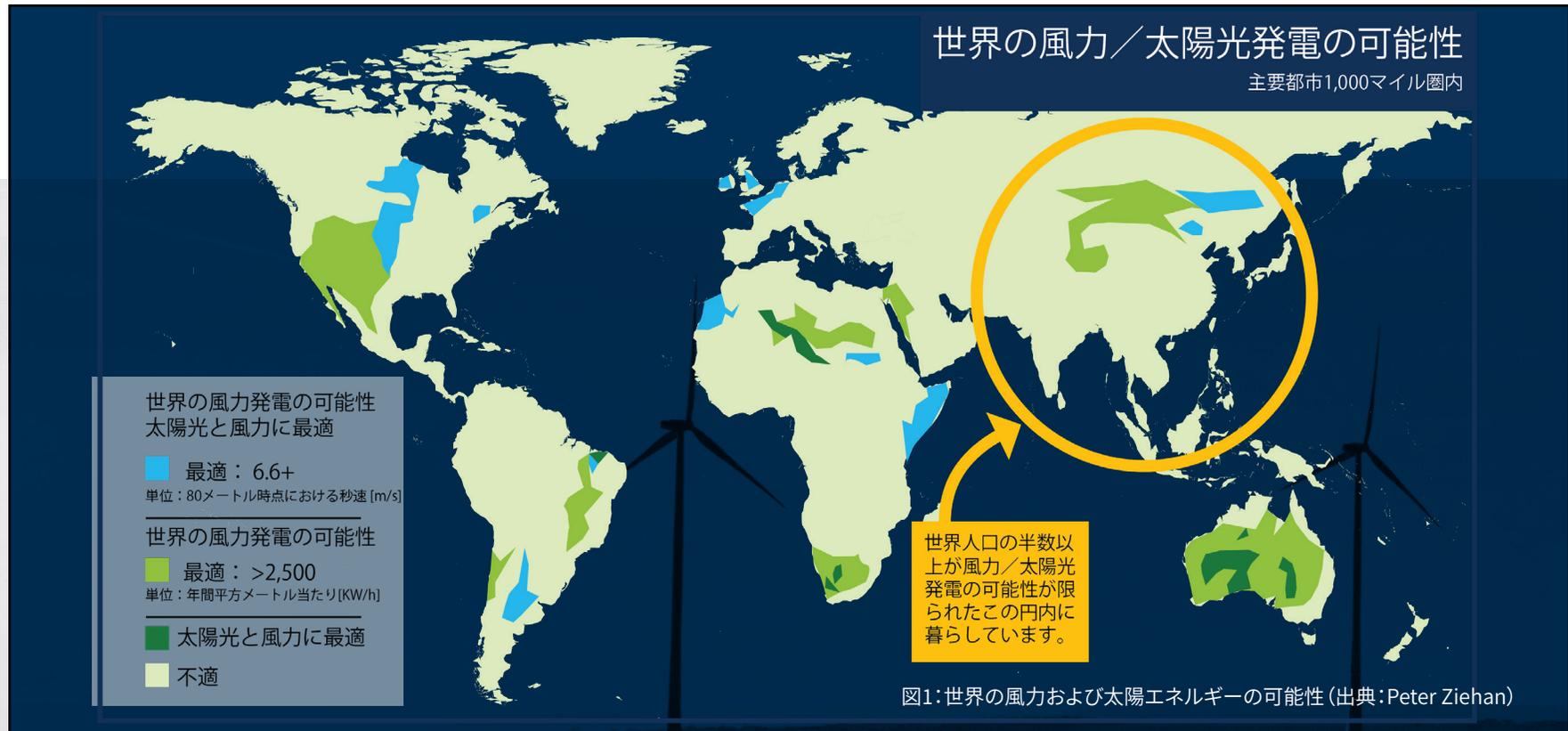
エネルギー大転換は、エネルギー業界と化学業界における世界的な持続可能性推進の動きと相まって、すでにエネルギーバリューチェーン全体で経済とすべての関係企業に影響を及ぼし始めています。こうした地政学的要因は、今後10年間で両業界に勝者と敗者を生み出すでしょう。

風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーには、潜在的に地理的格差があります。アジアの多くの地域は、大規模な太陽光または風力発電が可能な用地の確保が難しいという課題を抱えています(図1を参照)。加えて、航空輸送や海上輸送などの一部の用途では、液体燃料を置き換えることは容易ではありません。

さらに、車両やその他の用途の電動化により、金属加工に対する大きな将来需要が生まれることが見込まれますが、そのライフサイクルカーボンインパクトは不透明です。

そこで注目されているのが水素です。水素は、世界のエネルギー需要のかなりの割合を満たす機会をもたらす、しかもカーボンフリーで製造することができます。その一方で、貯蔵、輸送、電解製造のコスト、電解用の再生可能電気の電源と供給力、炭素回収のコストと効率(カーボンフリー水素の場合)、安全性をはじめとするさまざまな課題もあります。そして今、他のエネルギー源と比較した水素利用のコストペナルティ(ビル・ゲイツ氏による2020年の造語「グリーンプレミアム」)の削減競争が始まっています。

こうした課題にもかかわらず、大規模な水素製造・貯蔵の実現に向けた設備プロジェクトの発表に見られるように、水素経済は大きく弾みが付いています。実際、ゼロカーボンの重要な選択肢としての水素経済の実現可能性について調査を行っている地域もあります。



デジタルテクノロジーは、水素経済の実現、イノベーションの加速とリスク低減、導入リスクの低減、さらには水素バリューチェーンのより迅速かつ適切なスケールアップと最適化の実現に不可欠な要素であり、多くのバリューチェーンの障害要因を克服し、商業化、設計、およびサプライチェーンを最大化し、生産と経済性を向上させる基盤となるでしょう。

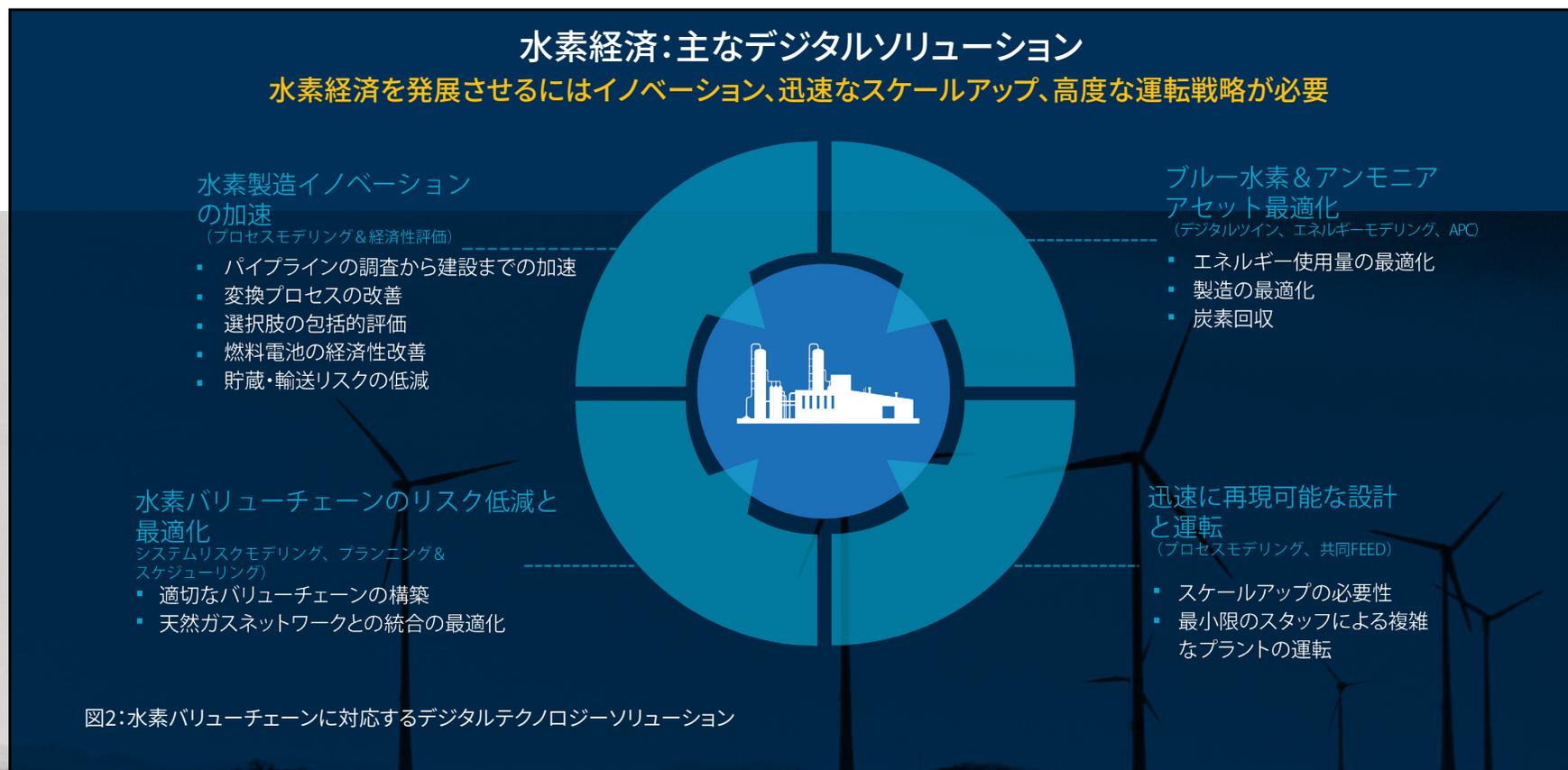
では、どのデジタルテクノロジーが最も重要なのでしょうか。水素をエネルギー源として開発するには、生産から最終用途までの完全なバリューチェーンが必要であり、それにはイノベーションから大規模安定操業に至るまでの商業化ライフサイクル全体が含まれます。アセット最適化ソフトウェアにおけるイノベーションは、今や設計から運転、サプライチェーン、メンテナンスにまで及んでおり、これらの課題への対処に比類なく適しています。

“デジタルテクノロジーはサステナビリティ革命の原動力となるでしょう。”

- アル・ゴア氏 (ジェネレーションインベストメントマネージメント 社長)

2021年1月22日、ダボスにて

アセット最適化ソリューションには、水素プロセスと炭素回収プロセスのモデリング、バリューチェーン全体のリスク評価とアベイラビリティ評価、確率モデリング、およびアセットヘルスマニタリングが組み込まれています。(図2を参照)。



水素経済におけるデジタルテクノロジーの役割

簡単に述べるならば、業界がエネルギー大転換をうまく乗り切ろうとする中で、ソフトウェアテクノロジーが戦略的アセットになるということです。水素経済の場合、デジタルテクノロジーは水素製造コストの削減、多くのバリューチェーン選択肢の評価と最適化、およびバリューチェーンの安全な拡大を阻む制約の除去を加速化させることが重要な要因になるでしょう。

さらに掘り下げて、現在のデジタルテクノロジーがどのようにして水素経済への転換を促進させ、主な機能領域に影響を及ぼし得るのかを紹介しましょう。

● イノベーションやオプショニアリングに対する高度な手法の導入とそれに伴うコスト削減

厳密なプロセスシミュレーションソフトウェアは、水素電解、水素改質装置プロセス、その他の革新的な水素合成方法、水素液化、およびパイプライン輸送を表現することができ、商業化の加速と資本調達改善につながります。¹

デジタルテクノロジーによるイノベーション加速化の具体的な機会として、以下のことが挙げられます。

- 第一原理モデルと共に人工知能(AI)を組み込んだ、膜技術、複合改質、炭素回収、および新規プロセスなどの新たなプロセスのハイブリッドモデル
- 炭素回収の速度論型シミュレーションモデリング
- 電気化学に対応する強力な厳密モデル
- オプショニアリングの観点から膨大な数の選択肢を評価するためのハイパフォーマンスコンピューティング
- 概念設計およびパイロットプラント試験中の技術経済的選択肢の選別を迅速化する総合的な経済性評価

● 協調エンジニアリングワークフローの統合

機能横断型チームは、迅速な概念選定、設計のスケールアップ、プロジェクト実行、およびモジュール設計の活用によって産業実装を加速させることができます。これは50%以上のプロジェクトスケジュールの短縮化につながることが期待されます。²

● 高度な統合サプライチェーン計画の促進

最新のソフトウェアの進歩により、水素経済のバリューチェーンを既存の天然ガス網や電力網に最適に統合します。



- **プロセスの自動化による自己最適化プラントのパラダイムの確立**

水素電解、炭素回収、C2C (Crude to Chemical)、産業規模の燃料電池などの新たなテクノロジーを可能な限り自律的に導入することで、高度な熟練オペレーターの不足を補完することができます。³

- **リスク／アベイラビリティモデリングによるバリューチェーンの最適化**

新たな能力を利用して水素製造、輸送、貯蔵、および最終用途の選択肢やリスクを評価すれば、確実なエネルギー目標の達成につながります。

水素電解と燃料電池のどちらも、電気化学のシミュレーション、動力学への対処、および確率的変動の考慮がすべて不可欠です。高度なモデリングおよびデジタルツインソリューションは、電解や水蒸気改質から炭素回収、燃料電池に至るまでの過去30年間の水素製造研究開発において卓越した役割を担ってきました。アスペンテックのモデリングテクノロジーは、その厳密さ、精度、および柔軟性により、水素および炭素回収関連の学術的な取り組みだけでなく、産業界や政府系の研究でも優先的に選ばれています。

Aspen Plus®は、複雑な化学プロセスを厳密にモデリングすることや電気化学を効果的にモデリングすることができる、燃料電池や水素電解プロセスなどの用途で実績のあるモデリングソリューションです。また、経済性を素早く評価できることから、技術経済分析のための戦略的ツールにもなります。

水素の課題：スケールアップ、流通、および信頼性

水素製造を加速させると同時に好ましい経済性を達成するには、(1) 製造コストの削減につながる最も有利な製造方法の選定を含む、水素製造の変換効率、プロセス最適化、およびスケールアップ、(2) 液化アンモニア、極低温の液化、固体水素などの各種運搬方法の評価を含む、低コストで効率的な水素流通・貯蔵バリューチェーンの開発、(3) 低リスクかつ高い信頼度でコスト競争力のある水素エンドユーザー技術の実現、などの領域に重点的に取り組む必要があるでしょう。



グリーン水素およびブルー水素製造の中心的課題としては、最も効率の高い電解方法や膜変換方法の特定と迅速な評価、触媒および吸着剤候補の経済性評価、最も高コストの障害要因に基づく経済性の改善が挙げられます。

図3は基本的な選択肢の現状をまとめたものです（もちろん、ブルー水素合成には炭素回収を組み合わせなければならないため、実際にはこれよりも複雑です）。この枠組みの中で、主な選択肢は以下のとおりです。

水素製造：クリーン水素の商業化手段

	プロセス	長所	短所	成熟度	効率 (%)	SMRを基準にしたコスト	Aspen+、HYSYSモデル
ブルー/グレー水素	水蒸気メタン改質 (SMR)	H/C比が最も良好	CO2排出	成熟	70-85	1 ¹	両方
	部分酸化	触媒不要	CO2排出	成熟	60-75	1.8 ¹	両方
	自己熱改質		CO2排出	研究開発	60-75	1	両方
	ナフサ改質		H2が副生成物	成熟		1	両方
CCU	炭素回収 (ブルー水素に必要な側面)	既知の技術	高エネルギー損失	商業化初期	N.A.	N.A.	両方
ブラウン水素	石炭ガス化	大規模、低コスト	大量のCO2排出	成熟	60	1.4-2.6 ¹	Aspen+
グリーン水素	バイオマスガス化	カーボンニュートラル	低効率	研究開発	35-50	2.0-2.4	Aspen+
	水電解	CO2、スケールラブル	高コスト	成熟	10-50	3-10	両方 + ACM
	風力/太陽光による水分解	CO2フリー	システムの最適化が必要	研究開発			両方 + ACM
	光生物学的、光電子化学的、薄膜太陽光	CO2フリー	未実証の技術	研究開発	おそらく >50		Aspen+、ACM

¹ CO2回収コストは含まず

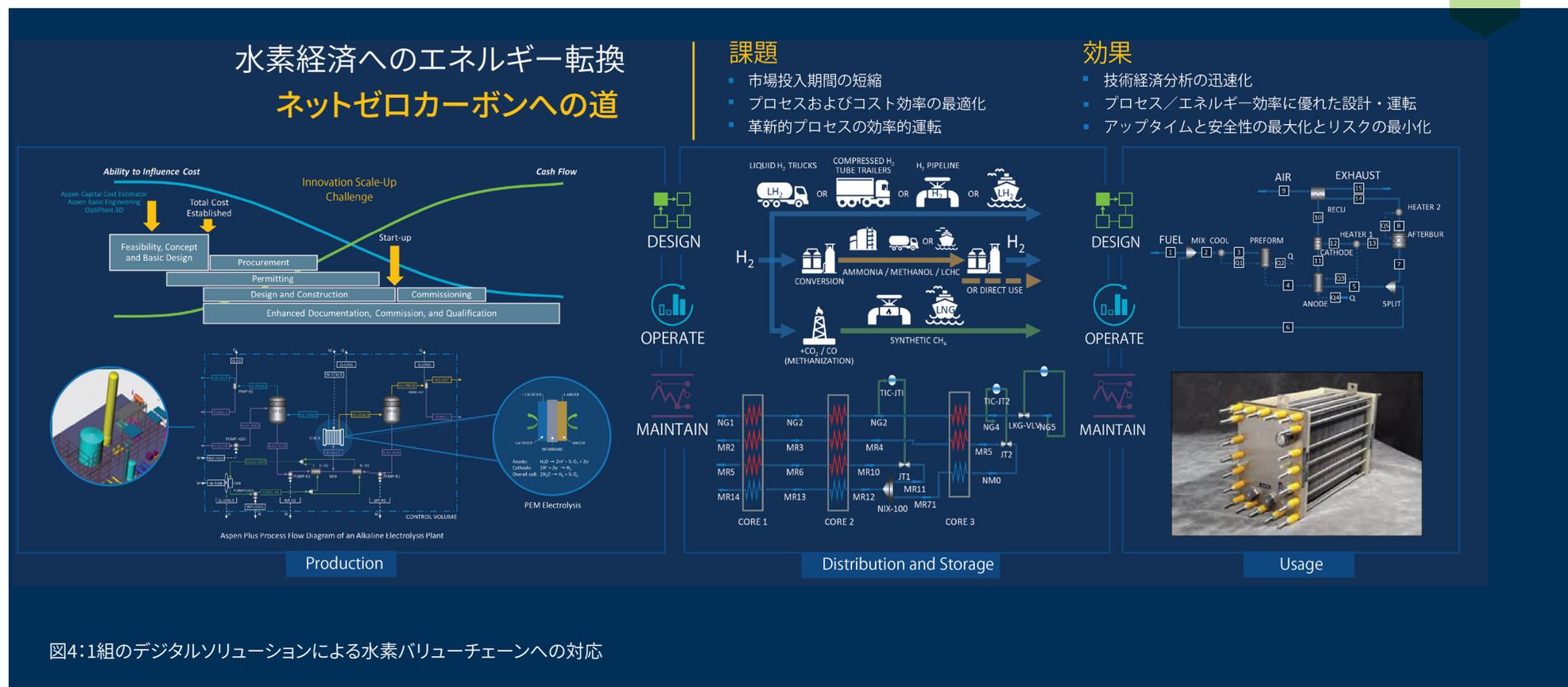
図3: 主な水素製造技術候補、経済的な長所/短所、および各候補の設計・最適化に用いられる主なモデリングシステム

1. 分散型水素製造モジュールか、大規模集中型製造か
2. まずブルー水素製造とグリーン水素製造の両方を利用し、経済性の改善と技術的リスクの低減が進むにつれて、より高効率のグリーン水素に移行する段階的アプローチ
3. 研究開発による消費者向け燃料電池および電解製造コストの削減、輸送・貯蔵時のリスク低減
4. 発電やグリッド貯蔵などの大規模集中型最終用途への短期集中的取り組み

ソリューション:バリューチェーン全体のデジタル化

産業の水素移行に伴い、バリューチェーン全体にわたり、製造、流通、貯蔵、利用という主要領域に対応するアセット最適化ソフトウェアを導入することが不可欠です(図4を参照)。

次に、最新のデジタルソリューションが水素経済を実現するためのあらゆる手段の探求にどう役立つのかを詳しく見ていきましょう。



グリーンテクノロジーとブルーテクノロジーの選択 – システムソリューション

水素経済は、多くの選択肢と転換をもたらします。最も適切なテクノロジーの選択は、地域のエネルギー選択、業界企業、政府の政策に大きく依存します。現在、ヨーロッパから中東、アジア太平洋地域、中南米までの業界企業は、同じ最終目標を目指して異なる道を追求しています。

選択肢、経済性、およびリスクを効果的に理解するには、特にバリューチェーン案への影響を評価するに当たって、システムリスクを総合的な視点で捉えることが極めて重要です。ここでは、システムリスク分析を容易にする形式上の水素経済モデルを搭載したAspen Fidelis™のようなシステムリスク分析ツールが最適です(図5を参照)。



イノベーションと概念設計

グリーン水素電解: カスタムユニットモデリング技術の最新の進歩により、電解質特性を含む電気化学に比類なく対応し、電解をエンドツーエンドでモデリングすることができます。現在、**エア・プロダクツ社**や**エア・リキード社**のようなガス・化学薬品プロバイダーは、水素製造用電解反応器に関してモデリングの最先端を切り開くソリューションを利用しています。

ブルー水素 – 改質: クラス最高のエンジニアリングソフトウェアは、天然ガスまたは石炭からの水素製造におけるプロセスルートおよびエネルギー使用量をモデル化し、最適化します。ブルー水素およびグリーン水素における業界リーダーであり、すでに炭素回収を効果的に行っている**エア・プロダクツ社**は先頃、ブルー水素展開用の既設水素プラントを最適化する水素モデリングの活用事例を発表しました。

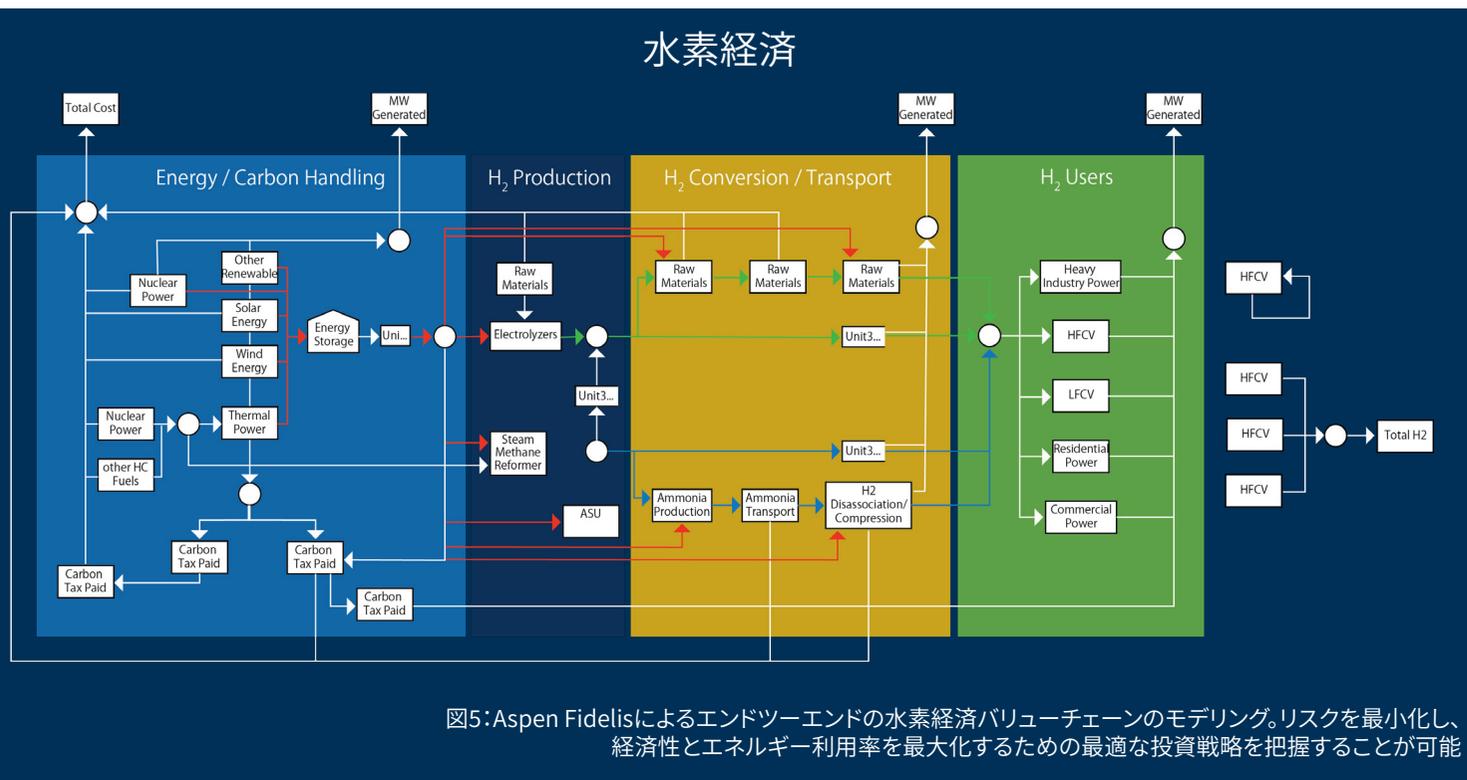
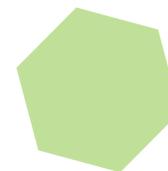


図5: Aspen Fidelisによるエンドツーエンドの水素経済バリューチェーンのモデリング。リスクを最小化し、経済性とエネルギー利用率を最大化するための最適な投資戦略を把握することが可能

炭素回収: 炭素回収は、業界内では投資分野として注目を集めています。炭化水素と金属は世界のエネルギーミックス/資源構成において引き続き需要があるため、CO2は今後も変換の副産物として生成され続けるはずで。そのため、さまざまな技術の選択肢による炭素回収が広範な実用化を競っています。主な課題は、CO2回収時エネルギー使用量の最小化、錯体化学におけるCO2回収プロセスの最適化、二次的な廃棄物処理の課題を避けるための触媒および吸着剤の再充填と再利用の効果的な最大化などです。



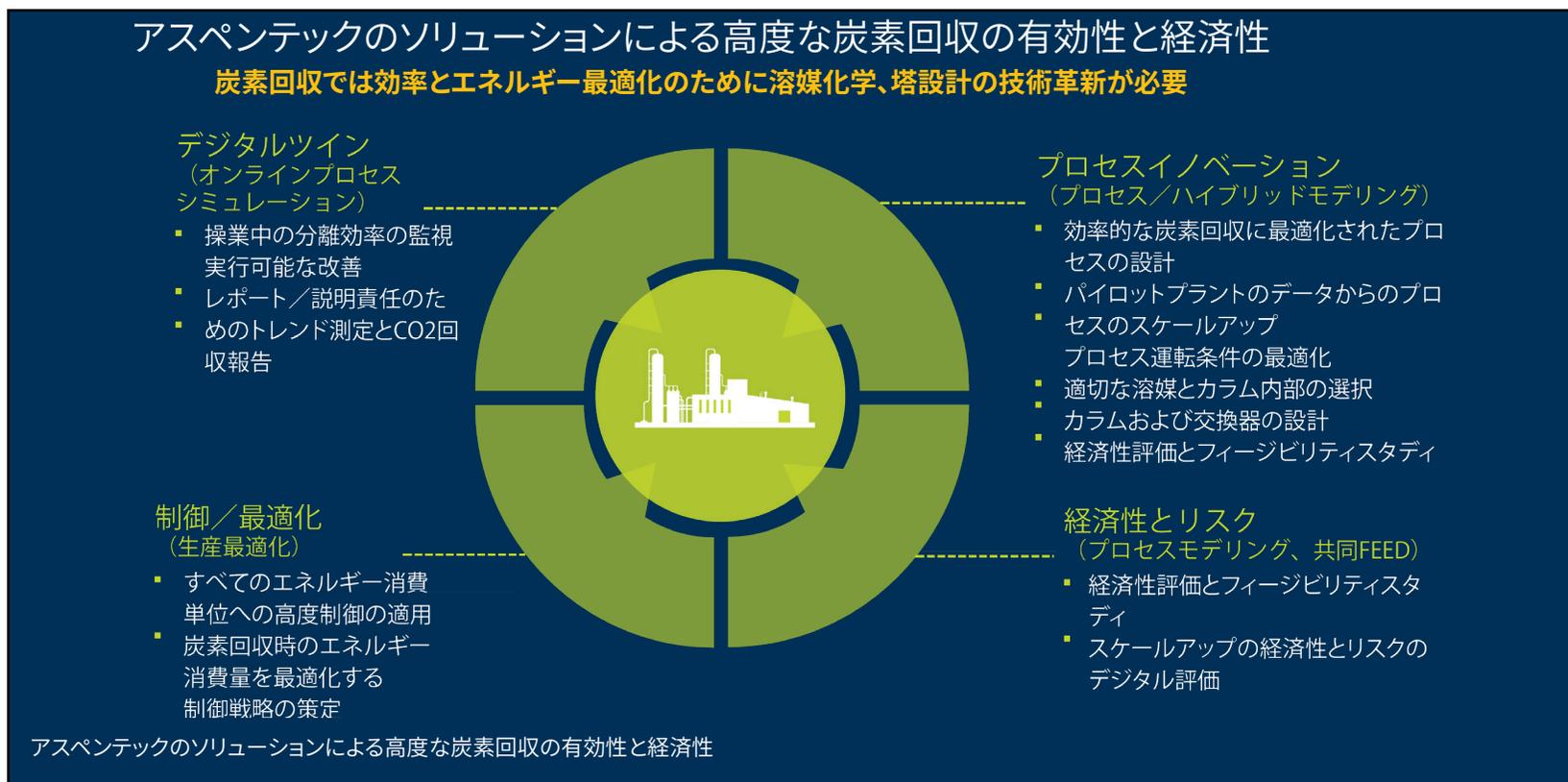
こうした技術的課題を解決し、経済性を改善するだけでなく、オペレーショナルインテグリティの確保、エネルギーの最適化と改善を図るには、高度なプロセスモデリングが不可欠な要素です。したがって、溶媒ベースの炭素回収プロセスを最も厳密、正確かつ効率的にモデル化する方法として、高度に差別化された速度論型モデリングを導入する必要があります。また、カスタムユニットモデリングやAIベースのハイブリッドモデルを使用して、炭素回収用に試験が進められている先進膜技術をモデル化することもできます。

デジタルツールを利用して飛躍的なイノベーションを実現している炭素回収分野のリーダーとして、この分野の研究を行っているほとんどの大学のほか、**米国エネルギー技術研究所 (NETL)、マサチューセッツ工科大学 (MIT) エネルギーセンター、米国エネルギー環境研究センター (EERC)、カナダ鉱物エネルギー技術センター (CANMET)** などの政府研究機関が挙げられます。また、炭素回収関連の主な民間企業としては、**キャンソルブ社** (シェルグループの炭素回収専門化学企業)、**ダウ社**、**フルーア社** (炭素回収技術を保有)、**カーボンキャプチャー社**、**カーボンエンジニアリング社**、**テクノロジーセンター**、**モングスタッド社** などがあります。さらに、いくつかの石油精製企業や化学メーカーも、化学/エネルギーシミュレーションソフトウェアを導入してエンドツーエンドの炭素回収のモデリングを行っています (炭素回収プロセスで価値を創造するデジタルソリューションについては図6を参照)。

水素液化・貯蔵: 強力なモデリング環境では、水素液化設計のパフォーマンスや安全性を予測することができます。例えば、**ノルウェー科学技**

術大学 (NTNU) は、Aspen HYSYS®のようなツールで液化を厳密にモデル化する方法を実証しました。

燃料電池技術: 電解の場合と同様に、最新のデジタルアプリケーションは燃料電池技術のモデリングや改善に必要な優れた能力と柔軟性を備えています。この場合、吸着モデリングやダイナミックモデリングなどの領域もツールに要求される重要な要素です。分散型産業用燃料電池ユニットを製造するフューエルセル・エナジー社や、韓国の斗山社をはじめとする数十社の燃料電池関連企業が、これらのテクノロジーを強みとして活用しています (燃料電池システムモデルの例については図7を参照)



オプションリアリングと商業化

今日のデジタルソリューションは、研究開発、概念設計、技術経済的オプションリアリング、および商業化の各段階で強力なイノベーション機能を提供する統合ワークフローを実現します。こうした先進のツールは、水素製造コストの削減、経済性の改善、大規模実行に不可欠であるとすでに明らかになっています。着目すべき主な差別化要因は以下のとおりです。

オプションリアリングワークフロー：コスト、持続可能性、および信頼性の観点から最適なテクノロジーと実行を迅速に発見します。

- ハイパフォーマンスコンピューティングおよび統合ソリューションは、膨大な数のプロセス選択肢の中から主要候補を素早く選別することができ、最適なプロセス設計が現在も開発中であるグリーン水素や炭素回収のような分野に不可欠です。
- また、統合経済性・コストモデリング、エネルギー効率最適化、およびリスクモデリングワークフローを利用して、各種選択肢のコスト感度やエネルギー感度を検討することもできます。これらのツールは、ERTC、テクノロジーセンターモングスタッド社、NETLなどが概念開発段階における技術経済評価を行う際に利用しています。

概念レイアウトワークフロー：

- プロセスシミュレーションと連携する概念3Dレイアウトソフトウェアは、既存または新規プラントサイトの制約へのプロセス設計の適合を最適化し、分散実装の場合は燃料電池ユニットまたは水素製造ユニットを発電所や燃料ステーションなどの既存サイトに適合させます。このアプローチは、エクソンモービル社が概念設計段階でアセット3Dモデルを再利用するために採用しています。

モジュール設計ワークフロー：

- 一連のモジュール設計ツールは、分散型水素製造、産業用燃料電池、または炭素回収に利用できる再利用・再構成可能なデザインを素早く開発し、企業の戦略上要求される範囲と規模を実現します。



インダストリアルAIを活用したワークフロー:

- ラボ／ベンチデータ(ハイブリッドモデル)からモデルを構築し、AIを活用して水素流通サプライチェーンの構築およびボトルネック解消戦略を特定できれば、機会の発見が飛躍的に加速します。

高度な制御と最適化

クラス最高のアダプティブプロセスコントロールおよび動的最適化テクノロジーは、水素製造や炭素回収に代表される複雑な新技術の制御と信頼性に不可欠です。多くの石油精製企業は、既存の水素プラントでアダプティブプロセスコントロールを利用し、動的最適化の実装をリードしており、セブサ社RLR製油所の水素ネットワークなどのサイトでは、エネルギー使用量、水素損失、およびフレアリングの大幅な削減につながっています。

統合サプライチェーン

水素経済を実現するためには、既存のエネルギー流通サプライチェーンから、グレー／ブルー／グリーン水素に対応できるサプライチェーンへの移行に向けた進化的アプローチが必要になるでしょう。

最新の高度なプランニング／スケジューリング／サプライチェーンツールは、ボードリライアンス社などのエネルギー企業で、企業の枠を超えたエンドツーエンドのサプライチェーンに独自の方法で対処するための統合プラットフォームとして活用されています。加えて、企業リスクモデリングシステムもサプライチェーン構築の成功要因を理解する上で不可欠です。

水素を超えて:短期および長期的な持続可能性

エネルギー業界は今、ネットゼロカーボン推進の必要性、炭化水素の世界需要に対するマクロ経済的影響、エネルギー大転換の本格化、再生可能電気やゼロカーボンモビリティソリューションの需要喚起などのさまざまな問題に直面しています。

2021年1月の **世界経済フォーラム「ダボス・アジェンダ」**では、ビル・ゲイツ氏が信頼される世界炭素市場を創出する必要性について話をしましたが、それにより大型設備投資を低炭素分野にシフトする必要性に拍車がかかることが予想されます。ゲイツ氏はグリーンプレミアムや、大規模化と投資による新技術の経済性向上だけでなく、水素経済、炭素回収、エネルギー貯蔵についても具体的に言及しました。

持続可能性価値の創造手段

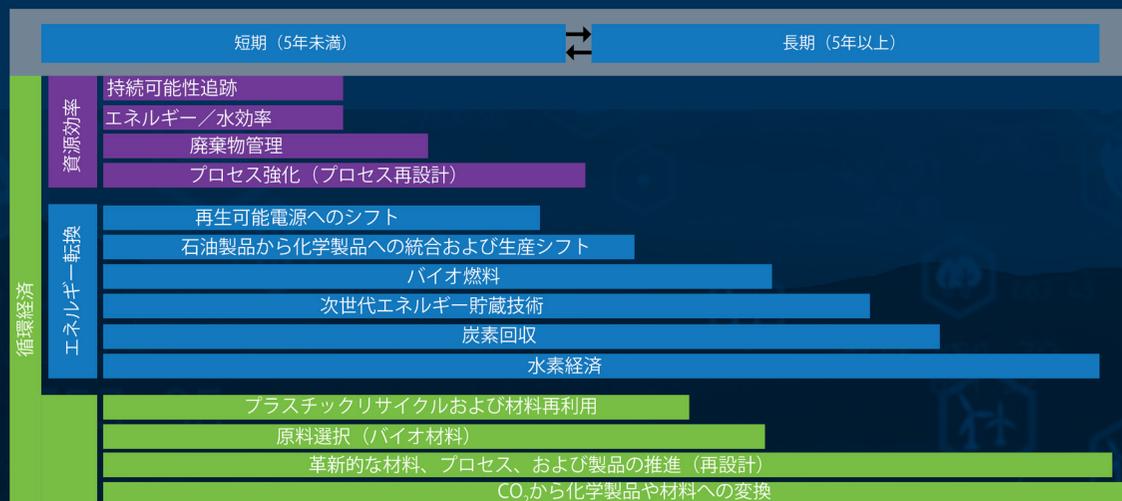


図8:エネルギー/化学企業にとっての主な持続可能性手段

水素経済やバイオ燃料などのエネルギー転換戦略におけるイノベーション、スケールアップ、および競争優位性の実現に関して、差別化されたユニークなテクノロジーがすでに存在します。

図8は、プロセス業界が脱炭素化とエネルギー大転換を積極的に推進するために採用が見込まれる価値創造手段をまとめたものです。また、水素は製造におけるゼロエミッションとゼロウェイストを目指す循環経済プログラムのエネルギー源となります。

今、早期導入、スケールアップ、競争優位性の確保を支援する最新のデジタルソリューションを利用することで、企業が水素経済、炭素回収、バイオ燃料の価値実現までの期間を短縮できる大きなチャンスがあります。

持続可能性を一気に高めるテクノロジーソリューション

エネルギー大転換は極めて複雑であり、企業の資産やデータに基づく定量的アプローチ全体にわたって多くの目標のバランスを取る必要があります。デジタルイノベーションとインダストリアルAIは、このバランスを取る上で不可欠なツールになるはずで、アル・ゴア氏は、2021年1月のダボス・アジェンダで「デジタルテクノロジーは持続可能性革命の原動力となるだろう」と語りました。図9は、デジタルテクノロジーが業界において検討されているエネルギー大転換の必須要素に密接に対応することを示しています。

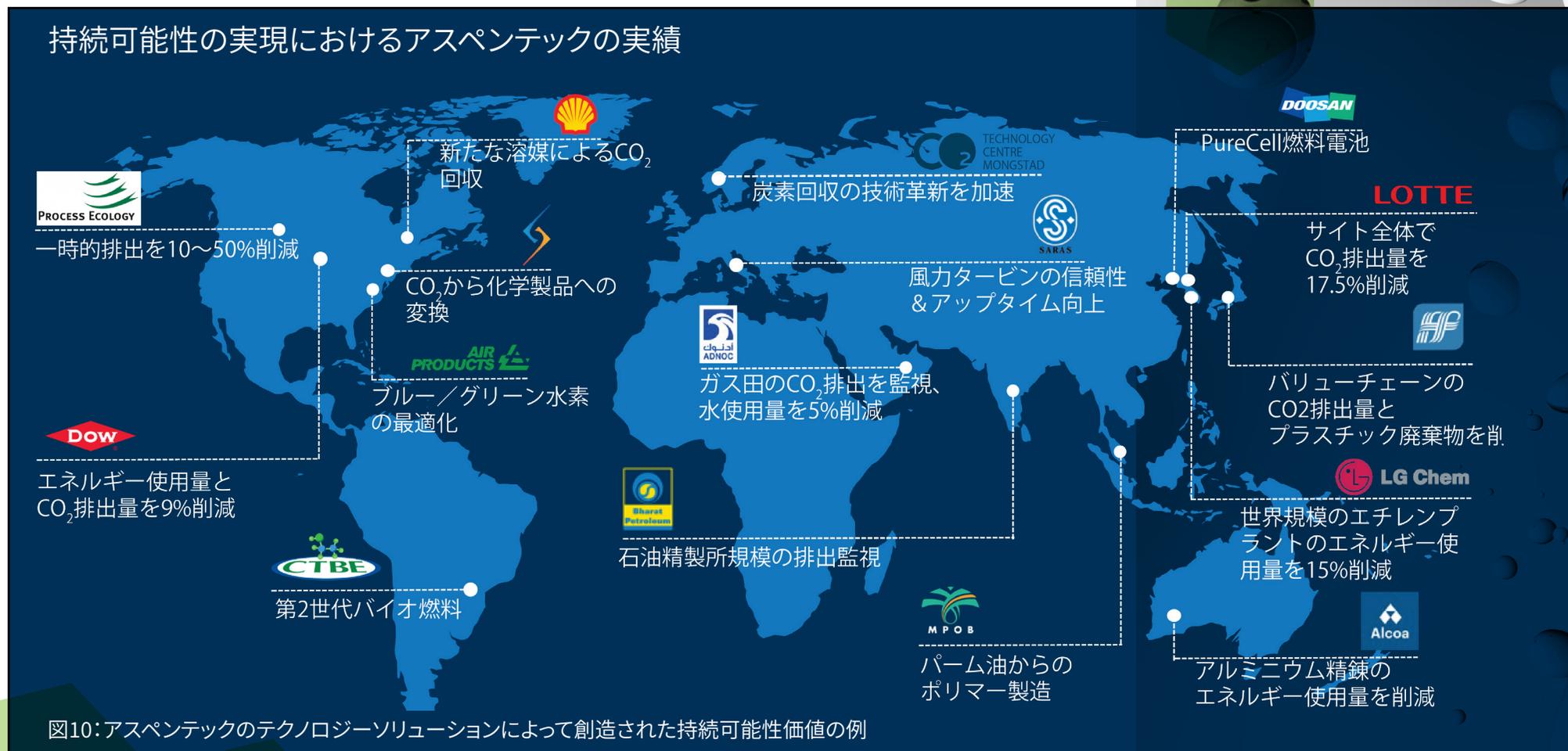
各種テクノロジーソリューションが実現する持続可能性のユースケース

		資源効率		エネルギー転換				循環経済Economy				
		排出（すべての温室効果ガス源）	エネルギー/水効率	バイオ燃料	炭素回収・利用	グリーン/ブルー水素	Crude to Chemicals	太陽光/風力/再生可能/貯蔵	プラスチック/マテリアルリサイクル	CO ₂ から化学製品への変換	革新的なプロセス/製品	バイオ材料
すべて	エネルギーおよび排出監視/最適化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
パフォーマンスエンジニアリング	戦略、設備計画（CAPEX）、および設計	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	デジタルツイン	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ユーティリティ最適化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
製品最適化	プランニング&スケジューリング	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	制御と最適化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	モニタリングと実行	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
バリューチェーン	サプライチェーン/バリューチェーン最適化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	廃棄物会計	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
APM	予知保全およびアセットヘルス	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ 大きく影響 ■ 補助的役割

図9: 持続可能性のユースケースで戦略的に価値を創造するアスペンテックのソリューション

図10に、デジタルテクノロジーによって創造された持続可能性価値の主な公開事例を示します。



結論

今、アスペンテックをパートナーに選ぶ理由とは?

現在のマクロ経済は、持続可能性とエネルギー大転換に向かっています。その勢いを考えると、業界およびテクノロジー企業にとってこれまで以上に密接な協力関係を構築することが特に魅力的になっています。双方が革新的なアイデアを出し合うことで、前例のない飛躍的な進歩を実現することができます。

産業規模の水素製造および炭素回収テクノロジーでエネルギー大転換におけるリーダーシップを握るには、比類のないレベルのイノベーション、創造性、俊敏性、および実行力が必要です。これは、まさにアスペンテックのようなソフトウェアテクノロジーのイノベーターが、個々の業界企業や業界全体を補完したり、付加価値を提供したりすることができる領域です。

テクノロジーの利用により株主価値が生み出される主な領域は、以下のとおりです。

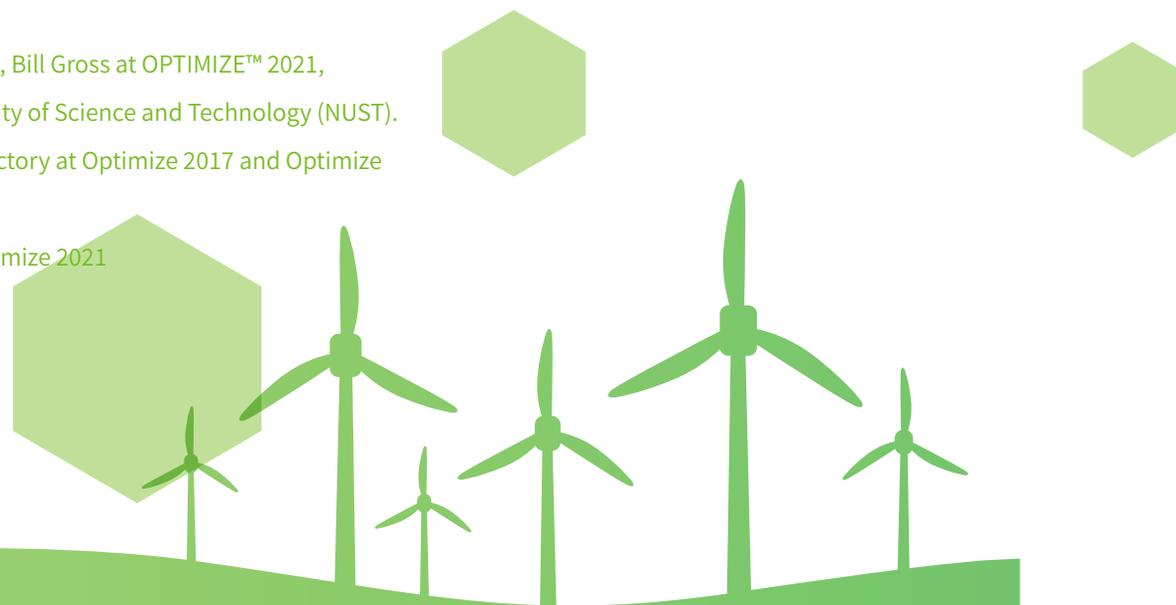
- **市場投入期間:**イノベーション、オプションアライン、概念選定、および設備投資意思決定を最大50% (6~12カ月) 加速させます。
- **製造コスト:**積算の視覚化によって設備コストを削減するほか、設計の最適化によってエネルギーや水の使用量の削減と既存施設への新たなテクノロジーの効果的な導入によって運転コストを削減します。

- **アップタイム、安全性、およびリスク:**AIとアナリティクスの導入によってリスクを低減しながらアップタイム、安全性、および信頼性を改善します。
- **顧客満足度:**サプライチェーンの俊敏性と回復力を最大化します。

自社独自の転換を推進することを目指し、要件に最適なテクノロジーをお探しであれば、アスペンテックの実証済みソリューションをさらに詳しくご検討することをお勧めします。

引用

1. Carbon Capture Inc, Bill Gross at OPTIMIZE™ 2021, Norwegian University of Science and Technology (NUST).
2. ExxonMobil, Don Victory at Optimize 2017 and Optimize 2021
3. Air Products at Optimize 2021



アスペンテックについて

アスペンテクノロジー（アスペンテック）は、資産のパフォーマンスを最適化するソフトウェアを提供するリーディング企業です。当社の製品は、装置の設計、運用、保守のライフサイクルを最適化することがきわめて重要となる、複雑な業界環境において成功を収めています。アスペンテックは、数十年にわたって培ったプロセスモデリングの専門知識と機械学習を独自の方法で組み合わせています。当社の専用ソフトウェアプラットフォームは、資産のライフサイクル全体で高い利益を提供することで、知識労働を自動化し、持続可能な競争上の優位性を築きます。これにより、さまざまな資本集約型業界の企業が、稼働時間を最大化させ、パフォーマンスの限界を押し上げ、より高速かつ安全に、長年にわたり、より環境に配慮した方法で資産を運用できるようになります。

aspentech.com

