Deloitte.
デロイト トーマツ



実現可能な水素エコノミーを創造する

“Future of Energy” の観点で

MAKING AN IMPACT THAT MATTERS since 1845

目次

01
はじめに

02
水素需要
—セクターの概要

03
水素供給
—技術の概要

04
水素配送

05
政策面の見解

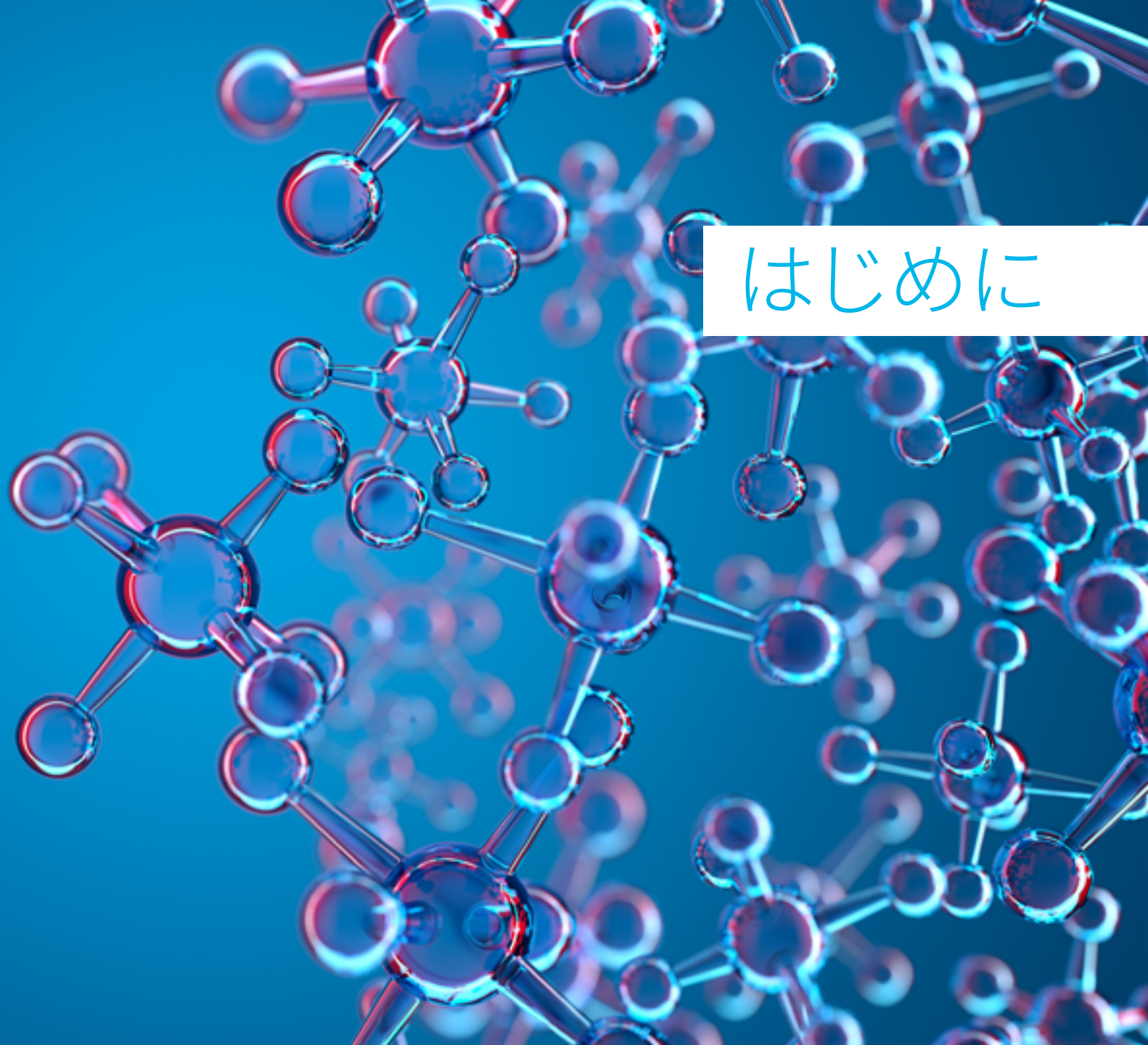
06
企業面の見解

07
見解のまとめ

08
Thought
leadership

09
問合せ先

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先



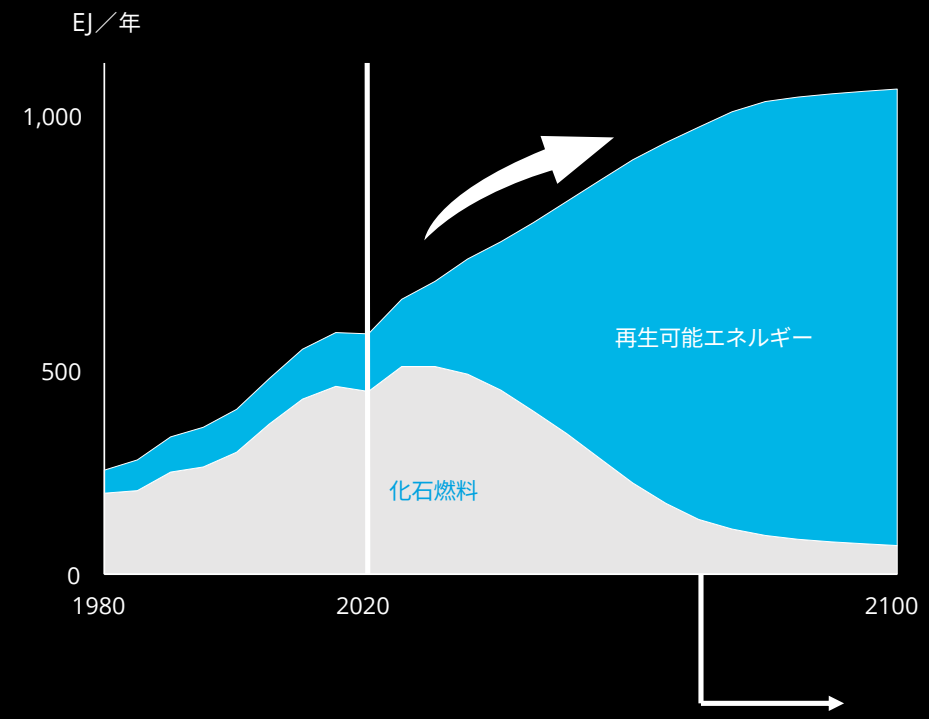
はじめに

CO_2排出量の削減を目指し、世界のエネルギーミックスは、化石燃料から再生可能エネルギーへ転換しつつある

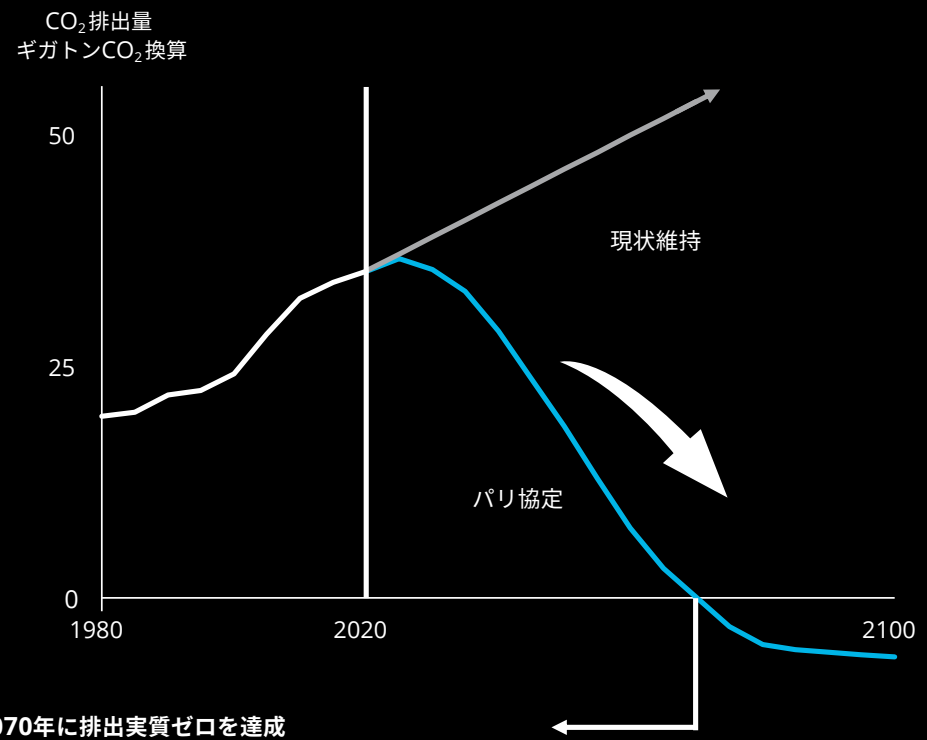
01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

世界の脱炭素化

全世界一次エネルギー総量（エネルギー源別）



全世界エネルギー関連実質CO_2排出量



2070年に排出実質ゼロを達成

注：EJ（エクサジュール）= 1018ジュール
出所：デロイトの”Future of Energy”シナリオ、ShellのSky 1.5シナリオ

しかし、転換の程度や速さは、世界のダイナミクスや気候変動に対する社会の対応に大部分が依存しており、この２つの不確定要素による分岐により、デロイトの"Future of Energy"シナリオが策定された

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

デロイトの"Future of Energy"シナリオ

- 2020年、デロイトが"Future of Energy"シナリオを発行
- これら４つの異なるエネルギーシナリオは妥当性があり、経営者が意思決定や短期的な取り組みを行う上で役に立つ道標になっている



明確なことは、ここ10年間でエネルギーシステムの電化への投資が進展した結果、太陽光と風力のコスト競争力が高まり、エネルギー消費量における電化率が向上したことである

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

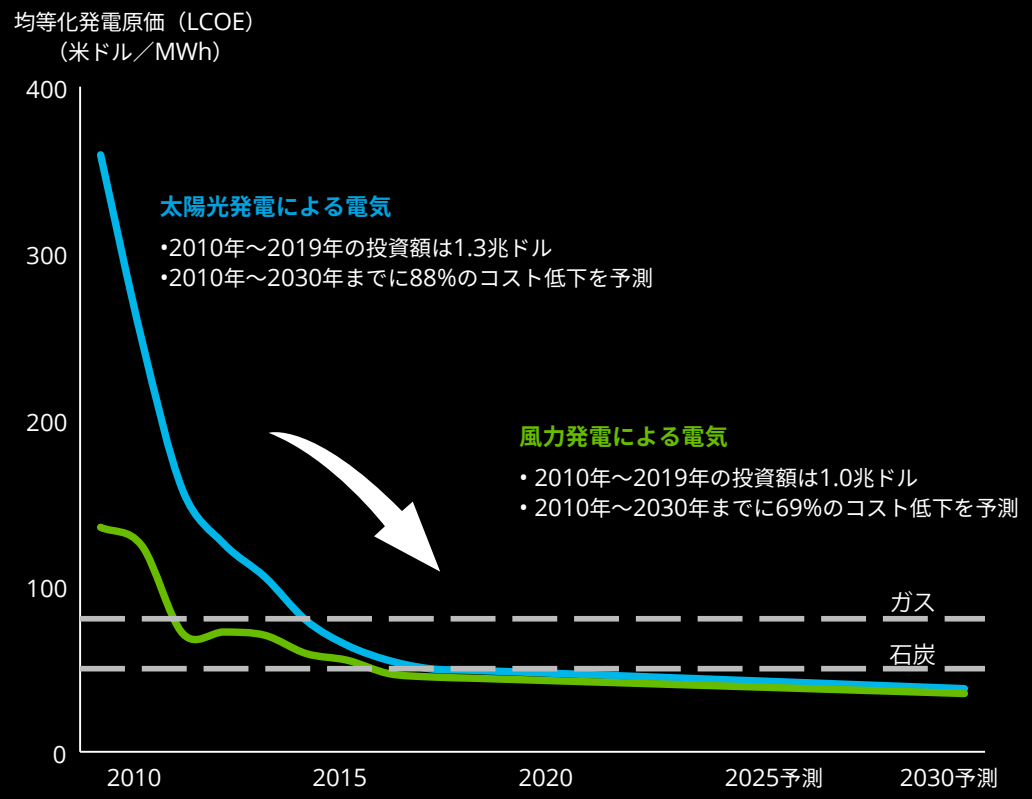
07 見解のまとめ

08 Thought leadership

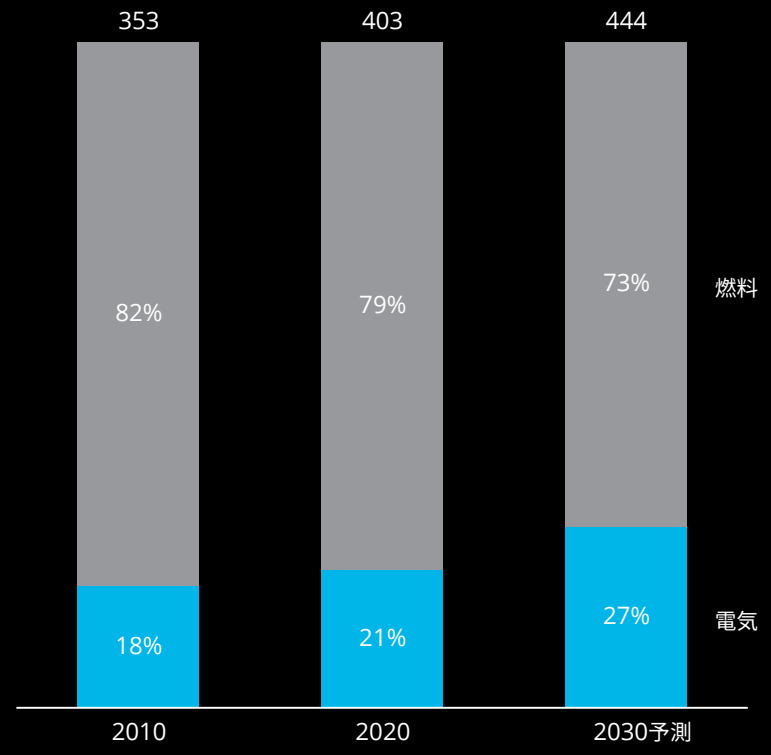
09 問合せ先

エネルギーミックスの電化

太陽光・風力による電気のコスト



エネルギー源別総エネルギー消費量（EJ／年）

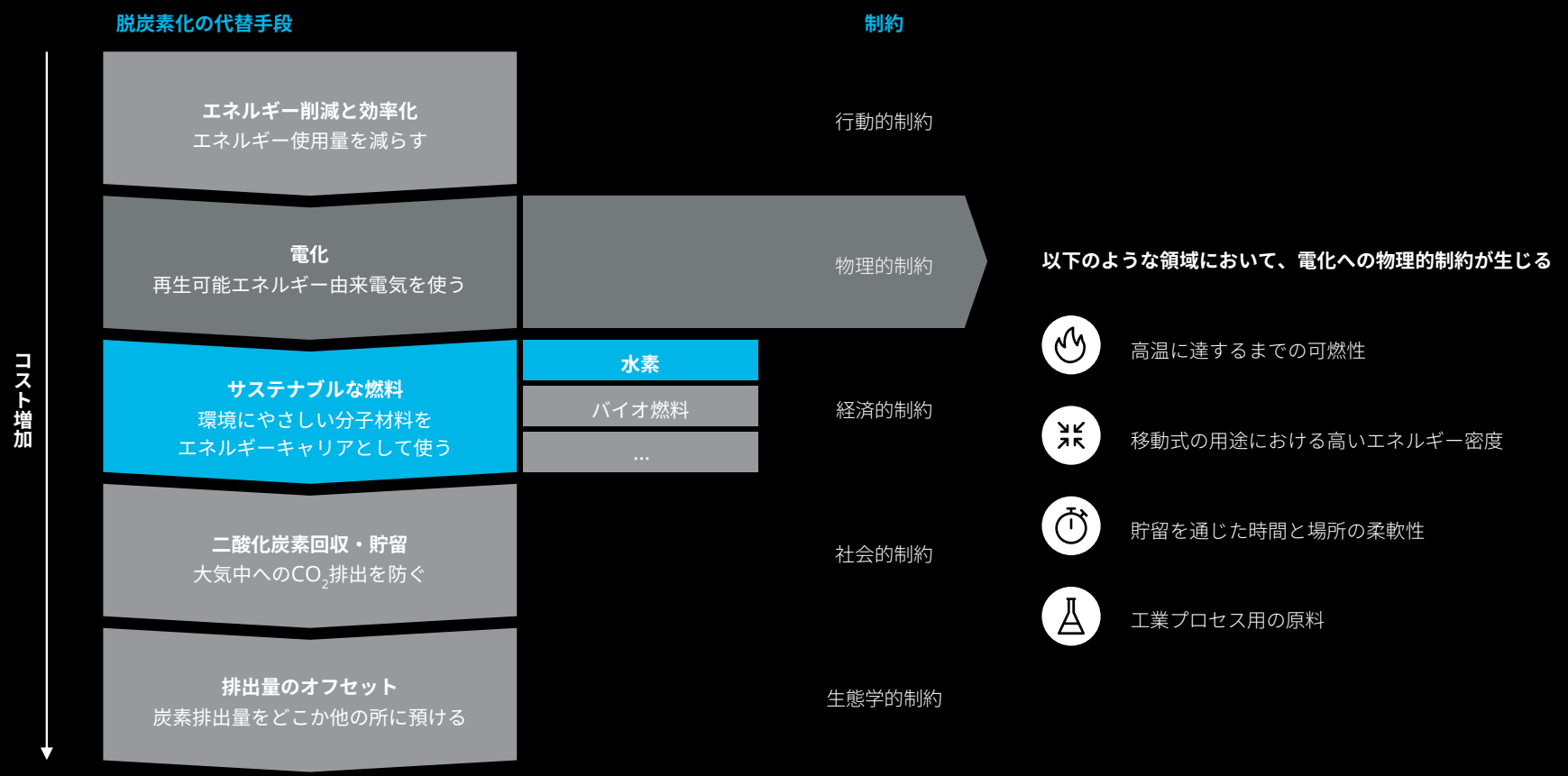


注：均等化発電原価（LCOE）とは、設備の耐用年数にわたる1 MWhあたりの平均コスト。EJ（エクサジュール）とは、10の18 乗ジュール
出所：BloombergNEF、ShellのSkyシナリオ

しかし、電化には制約があり、こうした領域において、水素がエネルギー使用の脱炭素化への代替手段になりうる

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

「パリ協定への道」―脱炭素化の代替手段の優先順位付け

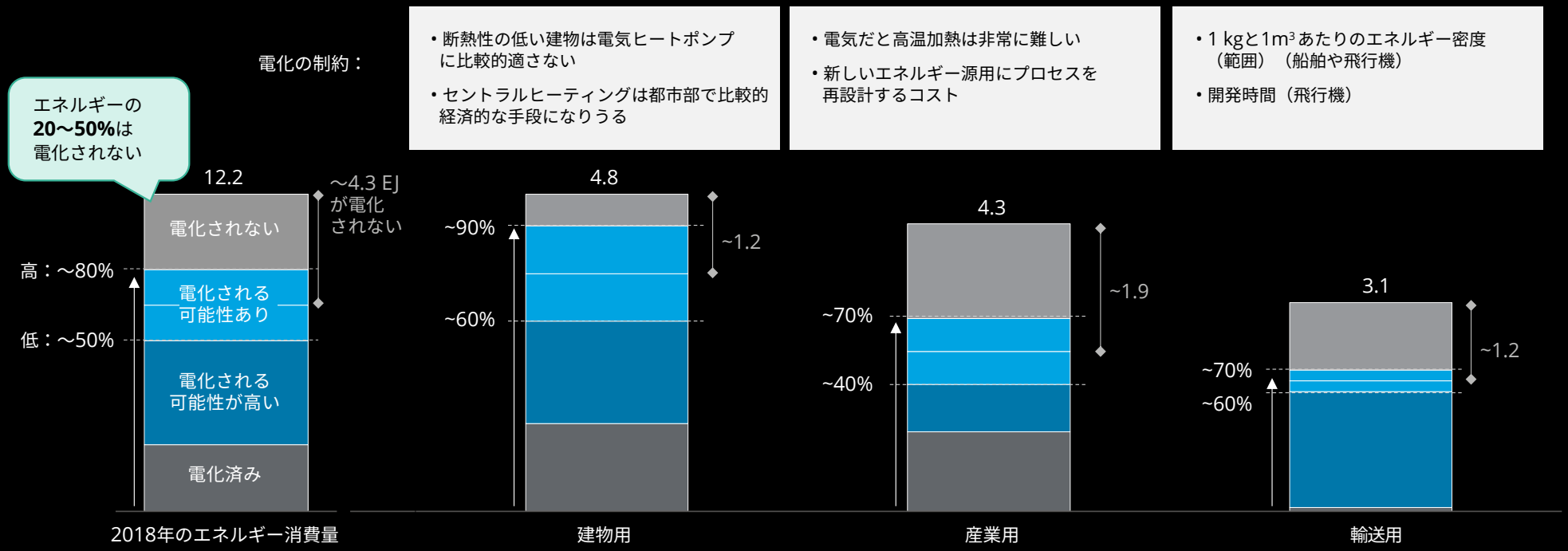


注:「パリ協定への道」とは、地球の平均気温上昇を産業革命以前レベルと比較して2°Cより充分低く抑えるというグローバルな合意を指す。

エネルギー領域においては、需要の約20～50%が物理的または経済的な制約により電化できない

01 はじめに
02 水素需要― セクターの概要
03 水素供給― 技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

2050年に向けたエネルギー電化の可能性（2018年消費量比（%）、EJ：ドイツ、オランダ、ベルギー）



出所：欧州連合統計局の2020年6月エネルギーバランス（ドイツ、オランダ、ベルギー）に基づいたデロイトのエネルギーシステムモデル、経済協力開発機構（OECD）、ShellのSkyシナリオ、国際エネルギー機関（IEA）の持続可能な開発シナリオ（SDS）、Zsiborácsほか、Electronics（2019年8月）、欧州環境庁（EEA）

水素は、以前から議論されていたが、今回はファンダメンタルが変わった…

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

なぜ今か？

テクノロジー対応型

- 再生可能エネルギーによる電力が**商業化**され、**グリーン水素の生産**が可能になった
- **供給が需要を**より頻繁に**超過する**レベルまで再生可能エネルギーによる電力のシェアが増えたことにより、エネルギー貯留が必要になってきている
- 太陽光発電や風力タービンのように、水電解装置は**急速なコスト低下**の兆候を示している
- 欧州の一部の地域（オランダなど）における**送電網の混雑**により、再生可能エネルギー電力のさらなる導入が制限され、**エネルギー輸送**の代替手段が必要になっている

政府支援型

- 政策の注力分野は、再生可能エネルギー由来電気から**削減が難しいセクターの脱炭素化**にシフトしている
- 欧州の各国政府は、コロナ復興パッケージの一環として、水素インフラに**多額の投資**を行っている
- **国家水素戦略**は、戦略的に有利な立場を築くために構築されている

特に工業用の化学原料、工業用のプロセス加熱、発電、貨物用モビリティの分野で、水素の代替オポチュニティがある

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

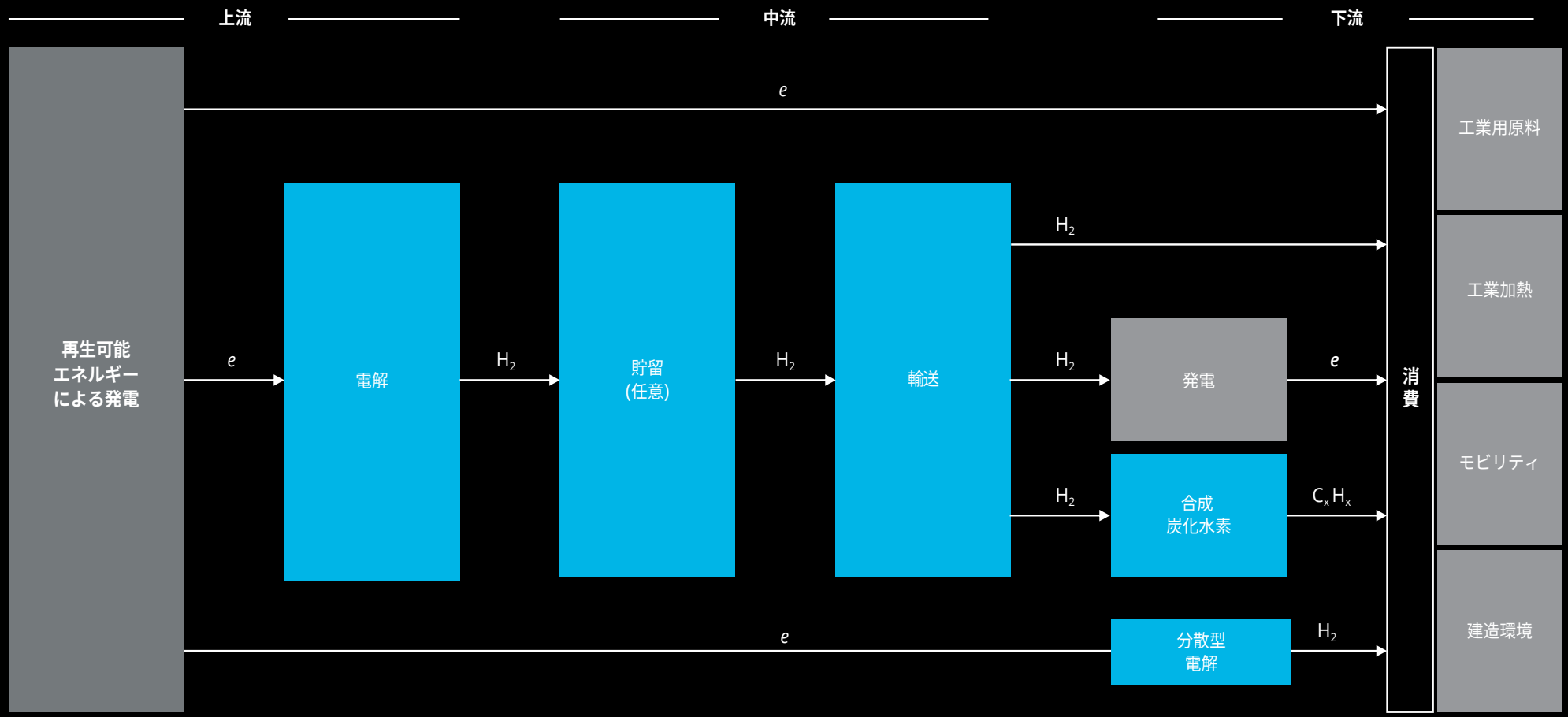
化石燃料の使用と水素の可能性



そして、それがエネルギーバリューチェーンの新たな要素を生み出す

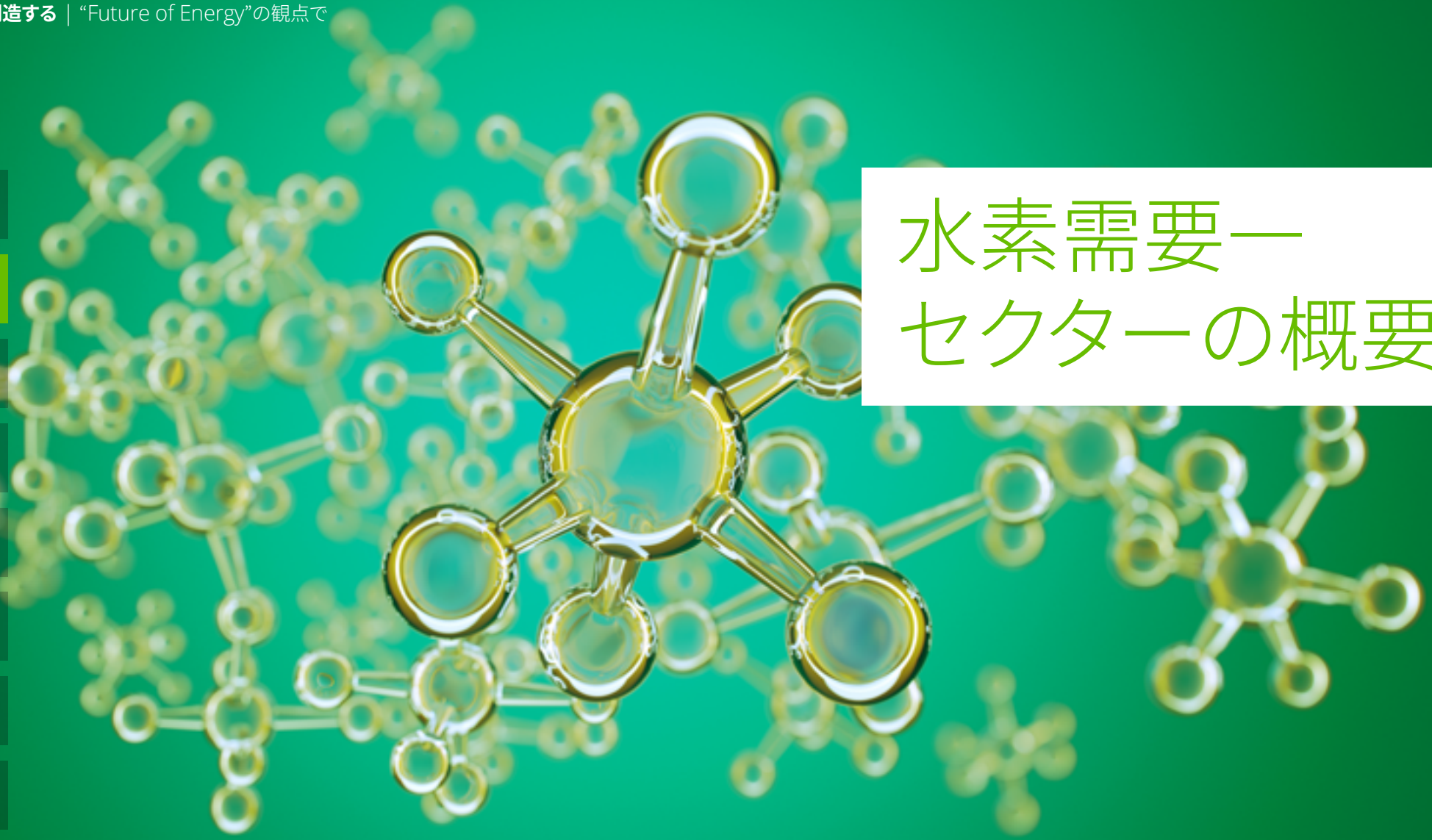
01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

再生可能エネルギーのバリューチェーンと水素の役割



注: *e* = 電気

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先



水素需要―セクターの概要

水素は、炭化水素に代わる工業用原料としての利用価値が高く、潜在的な競争力も高いと認識されている一方、既存の工業設備が大規模であることなどを背景に、新しい設備の更新・導入は緩やかに進む

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

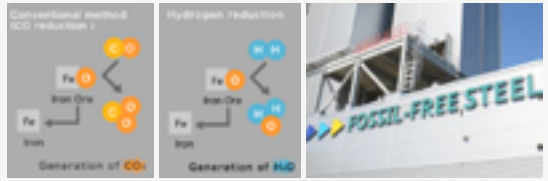
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

再生可能エネルギーのバリューチェーンと水素の役割

サブセグメント	水素の導入		プロジェクト事例
	導入を推進する要因	導入の障害となる要因	
工業用原料（既存の需要）	• **水素を利用する工業用設備**がすでに存在する • **原料としての需要**があり、かつ既存の原料よりも**環境性が高い**（例：天然ガス転換ではなく、グレー水素の代替としてグリーン水素を導入する等）	• グレー水素の生産設備（水蒸気メタン改質装置）は既に設置済み（かつ、減価償却済みである）ため、**グレー水素の限界コストは低い** • 最終消費者から遠く、グリーンエネルギーの使用による**プレミアム（付加価値）を得ることが難しい**	• 例：オランダ・Zeelandの**肥料**（Yara）・石油**精製**（LUKOILおよびTotalの製油所）向けに、水蒸気メタン改質（SMR）で**グレー水素を置き換える**ための1ギガワットの水電解装置を導入 
工業用原料（新たな需要）	• **原料としての需要**があり、かつ既存の原料よりも**環境性が高い**（例：水素還元製鉄等）	• 水素の生産と活用には**新たな設備**の導入が必要 • 最終消費者から距離が遠いので、グリーンエネルギー使用のためのに**プレミアム（付加価値）を得ることが難しい**	• 例：Hybritは LKAB、Vattenfall、SSABの共同事業であり、鉄鉱石の**直接還元**にコークスの代わりに水素を使用するパイロット試験を行っている 

出所：SDR（2020年）「1 GW Hydrogen plant in Zeeland」、Hybritの企業サイト

工業用熱エネルギーについても、再生可能エネルギーに付加価値を見出す消費財企業などを中心に、水素を化石燃料に代わる燃料として利用する動きが見られる

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

工業用の熱エネルギーにおける水素の可能性

サブセグメント	水素の導入		プロジェクト事例
	導入を推進する要因	導入の障害となる要因	
工業用熱エネルギー（B2C）	• 消費財企業はグリーンなイメージを消費者にとっての**製品プレミアム（付加価値）とする**ことで、水素への切り替えることによる**直接的なメリットを**得られる • エネルギーコストは多くの場合、総事業経費の比較的少ない部分を占める（**BtoB企業と比べた場合**） • 技術面の障害は低く、例えば、バーナーやボイラーは比較的簡単に水素に切り替えられる	• 消費者を相手にする企業は、生産活動における何らかの不利益が企業ブランドに直接的な影響を与えるため、**メリットとリスクのバランスを**慎重に**とる必要がある**	**A社** • 例：A社は施設において、**ホーム・パーソナルケア製品**用の**工業用ボイラー**で水素使用のパイロット試験を行っている • 専用パイプラインで他社から供給された**ブルー水素**を使用
工業用熱エネルギー（B2B）	• **技術面の障害は低く**、例えば、バーナーやボイラーは比較的簡単に水素に切り替えられる • バーナーも**天然ガスと水素の濃度を0～100%**での運転に切り変えることができ、水素供給が限られている場合のダウンタイムのリスクは限定的である	• B2Bの顧客側は再生可能エネルギーのプレミアム（付加価値）分により発生した追加コストを**負担したくない**ので、生産側が追加コストを負担する • **エネルギー**コストは、B2C企業と比較して総コストに占める**割合が大きい**ことが多い。したがって、水素へ切り替えるコストが企業に与える影響は大きくなる	**B社** **C社** • 例：B社は、0～100%の天然ガスと水素の混合燃料を扱える**ハイブリッドバーナー**を開発中である • さまざまな混合燃料を扱うことで**供給ロックインを緩和し、**（グリーン）水素への**切り替えを円滑にする**

消費財企業は、ごくわずかな追加コストで化石燃料から水素に切り替え、企業のグリーンな取り組みを消費者にアピールすることができる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

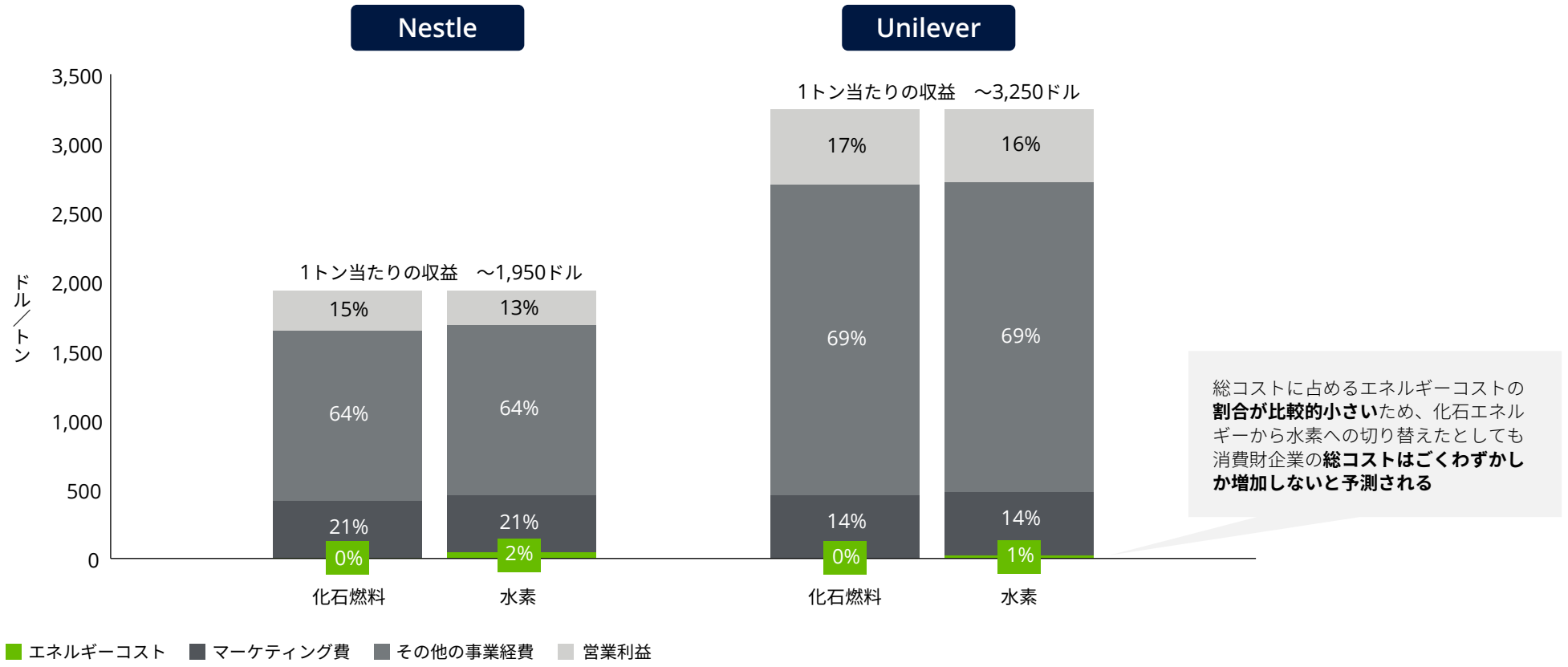
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

消費財企業のエネルギーコスト



総コストに占めるエネルギーコストの**割合が比較的小さい**ため、化石エネルギーから水素への切り替えたとしても消費財企業の**総コストはごくわずかしか増加しないと予測される**

注：化石燃料は5ドル/GJ の100%天然ガスを使用、水素は35ドル/GJと仮定して計算している
出所：各社の2019年アニュアルレポート、 各社の2019年環境パフォーマンス指標

電気エネルギーの観点からも、水素は再エネ発電の貯留媒体として使用できる可能性があり、既存の電力システムの補完、裁定取引、代替エネルギー輸送の用途で利用することができる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

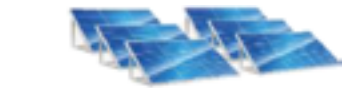
07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

発電における水素の可能性

余剰電力







電気分解



水素貯留

タンク貯留

- 設備投資（CAPEX）が高く、貯留はバッテリーに対してコスト競争力がない
- 場所の制約がない



地中貯留

- 設備投資（CAPEX）が低い
- 場所の制約と技術の複雑



発電

水素タービンによるピーク発電



燃料電池



発電

メリット：

緩衝装置：貯留媒体により、電気の生産と消費の需要と供給が一致する

裁定取引：電気価格が安い時に発電・貯蔵し、高い時に電気を売る

代替エネルギー輸送：送電網の混雑を防ぎ、既存のガスネットワークを水素輸送に使う

水素は、エネルギー密度が高く、航続距離の延伸と充電の高速化というメリットが得られることから、モビリティの脱炭素化を実現する機会をもたらす

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

モビリティにおける水素の可能性

サブセグメント	水素導入		プロジェクト事例
	推進因子	障壁	
トラック・バス	• バッテリー[1]と比較して**長距離航続**（800kmに対して1,200km）及び**高速充電**（60分に対して15分）が可能なため、商用フリートにとってコスト優位性がある	• 新たな**充填ネットワーク**が必要 • **1kmあたりのエネルギーコスト**が電気より高い	• Nikola
自動車	• バッテリー駆動の電気自動車と比較して**長距離航続**と**高速充電**が可能なため利便性が高い（しかし、通常の個人の移動には**必要がなくなる可能性もある**）	• 新たな**充填ネットワーク**が必要 • **1kmあたりのエネルギーコスト**が電気より高い	• トヨタ
船舶	• 水素の**エネルギー密度**は、グローバルな海上輸送ではバッテリーよりも適している • **燃料電池**または**燃焼**に使用可能	• 業界は化石燃料から取って代わる燃料や技術が**まだ決まっていない**ので、アンモニアも競合している	• KOMERI
電車	• 電車線路の電化にかかる**高いコスト**が避けられる • したがって、**長距離、利用頻度の低い**線路（田舎または鉱山貨物列車路線）に適している	• **1kmあたりのエネルギーコスト**が電気より高い	• Stadler
飛行機	• 水素の**エネルギー密度**は、バッテリーよりも適している • タービンで燃焼して**離陸を押し上げる**ことも、燃料電池で燃焼して**航続中に電力を供給する**こともできる	• 市場投入前に、推進技術や機体設計に関する**研究開発への多額の投資**が必要	• Airbus
特殊機械	• バッテリーと比較して（例えば、24時間稼働の倉庫で働くフォークリフトにおいて）**高速充電**のコストメリットがある • オンサイトの使用なら**給油インフラはほとんど必要なし**	• **1kmあたりのエネルギーコスト**が電気より高い	• トヨタ

注：(1) 全航続距離の充電時間
出所：Transport & Environment (2020年)「Comparison of Hydrogen and Battery Electric Trucks」、各社のサイト

水素は、特殊機械領域において実現可能な代替燃料である一方で、将来的には貨物用モビリティセクターでの用途も拡大する可能性を秘めている

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

将来のモビリティにおける水素の可能性（欧州の見解）

	2030年	2050年
トラック・バス	～ 中	✓ 高
自動車	✗ 低	✗ 低
船舶	～ 中	～ 中
電車	✗ 低	～ 中
飛行機	✗ 低	～ 中
特殊機械	✓ 高	✓ 高

- 陸上貨物運送は**全世界CO_2排出量の約9%**を占める
- 大型トラックでバッテリー電気自動車（BEV）にするには、航続距離と充電時間が極めて困難になり、**燃料電池自動車（FCEV）が最も確実性の高いソリューション**だろうというのが**一般的な見解**
- しかしながら、陸上貨物運送の脱炭素化に関する現在進行中の調査によると、**大型トラック（HDT）の一部のデューティサイクルにおいてはBEVを足掛かりにする可能性がある**
- もしBEVが今後５年で大規模で受け入れられれば、**水素は**このセクターから**永久的に閉め出されるかもしれない**

- 船舶は**全世界CO_2排出量の約3%**を占める
- 当社の調査によると、水素は候補燃料の中で「未来の燃料」という位置にいるが、**アンモニア**もまだ候補に残っている
- グリーンアンモニアは、水素イオンを使っているものの、燃料として使用される水素とは異なるインフラが必要になる

出所：国際エネルギー機関（IEA）のセクター別CO_2排出量

「小さな変更を加えるだけで、ほとんどの運送業者は水素よりも低コストな**バッテリー電気自動車を80%の陸運貨物のデューティサイクルに使用**できるかもしれない」

グローバル大手トラックOEM企業のバイスプレジデント

「**アンモニア**は船舶運送の**良い選択肢**になりえるし、わたしたちはその扱い方を知っている」

船舶技術企業のCEO

建物においては、水素をガス供給ラインで混合し、家庭で使用することもできるが、代替オプションの方がより魅力的と考えられている

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

建造環境における水素の可能性

既存の使用

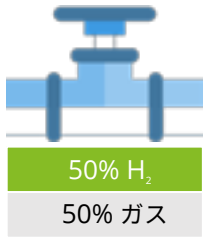
建物セクターでは、**既に水素を**少量混ぜて**使用している場合もある**

- **5-10%**の水素留分により**水素生産の規模拡大**が可能になり、より手軽な価格になるだろう

短期的な視点

下記が実施されれば、**水素の混合割合が上げられる**可能性がある（**30%超**）

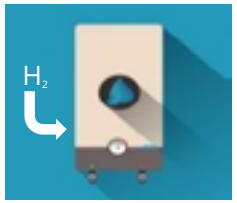
- **ガスネットワークの構成**を改善する
- 既存の**規制**の変更

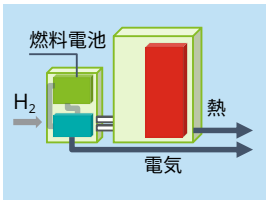


長期的な視点

ガス配管網を完全に水素に置き換えるか、新しい水素インフラが整備されたとき、以下が実現される

- 炭素排出ゼロの**水素ボイラー**
- 熱と電力を供給する**水素コージェネレーションシステムと燃料電池**により、オフグリッドシステム

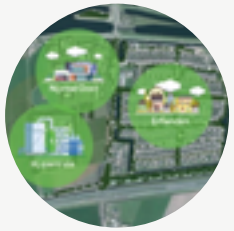
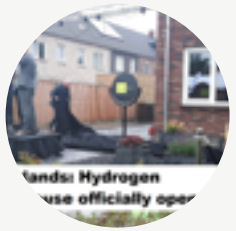




建物への水素導入は、2030年までの期間では非常に限定的だが、パイロット試験が現在展開されている

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

建物における水素の可能性

	Leeds（英国）	Hoogeveen（オランダ）	Stad aan het Haringvliet（オランダ）
事例			
内容	• 100%水素を輸送するために既存のガス配管網を変える • 総年間平均需要＝5.9 TWh • ブルー水素の生産能力は15万トン／年 • 英国主要都市の天然ガス供給を水素100%に段階的に切り替える • 2035年までに370万、2050年までに1,570万の世帯・事業所を切り替える	• 新興および既存の住宅地における既存のガスインフラをグリーン水素（100%）に切り替える • （地域で）グリーン水素が使用可能であることは、建造環境における水素のさらなる成長と導入の前提条件である • 新築住宅100戸と既存住宅400戸を切り替える	• 住宅地の既存ガスネットワークを100%水素に切り替える • 古い家や戸建住宅は必要なレベルの隔離が不可能であるため、全電動ヒートポンプは現実的な代替手段ではない • グリーン水素の生産のため、近くの風力タービンに接続する • 既存住宅600戸を切り替える、また可能性として2050年までに気候中立を達成するため都市全体を切り替える

出所：h21.green、Leeds Climate Commission、Proefproject Hoogeveen Publiek Rapport 2020、Stedin.net

水素需要が見込める第一セクターは、工業用エネルギーと消費者にプレミアム（付加価値）を提供できる消費財企業向けの陸上貨物運送である

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

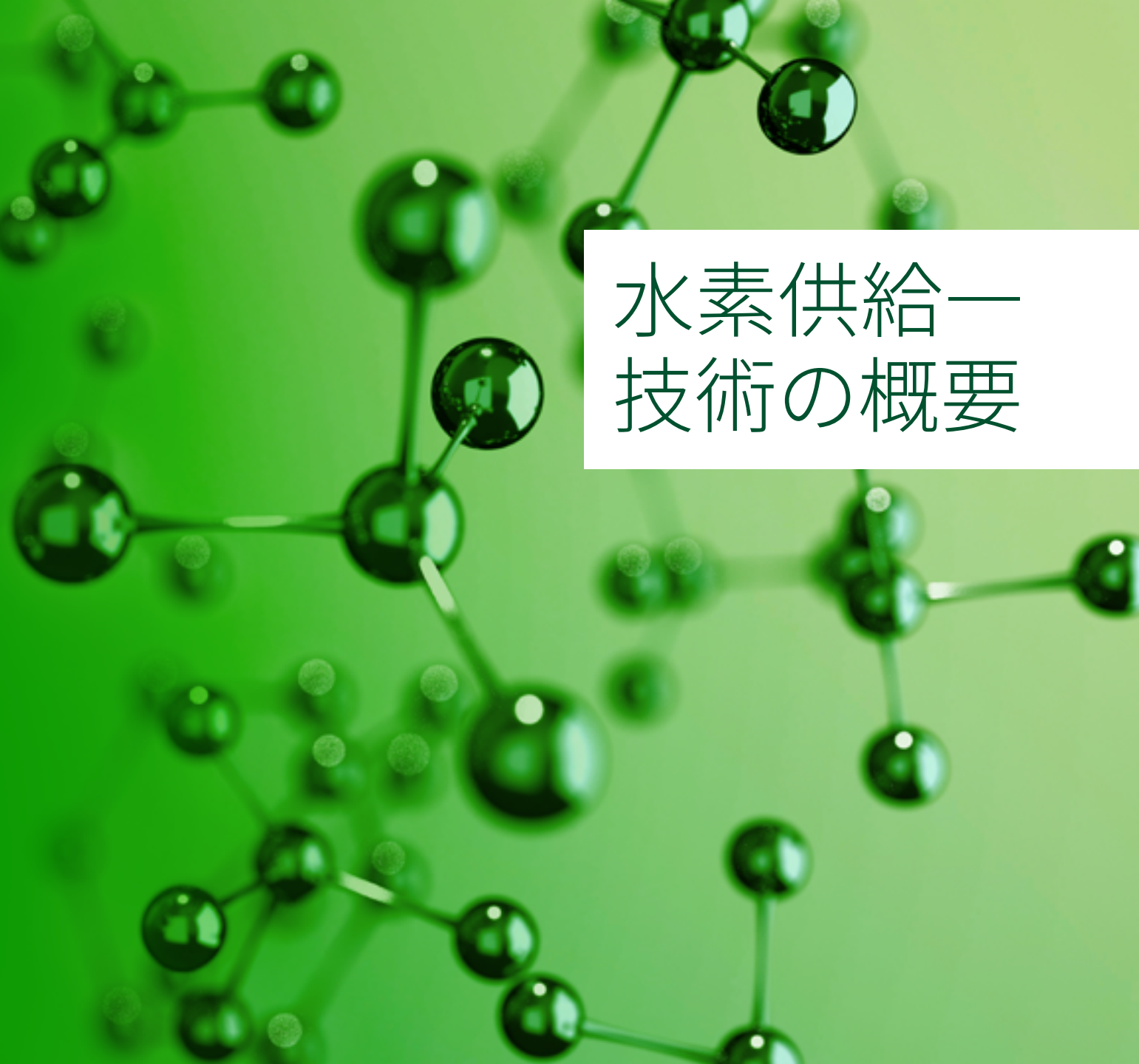
08 Thought leadership

09 問合せ先

各需要セクターの水素の可能性（欧州の見解）

		2030	2050	水素の可能性の評価
工業用原料	既存	低	高	• 化石燃料の直接使用の代わりに（より費用がかかる）**グレー水素**との競合になるので、可能性は高い • 既存のグレー水素設備は**限界コストが低く**、プレミアム（付加価値）獲得が難しいため、**導入には時間がかかる**
	新規	中程度	高	• 化石燃料の直接使用の代わりに（より費用がかかる）**炭化水素**との競合になるので、可能性は高い • **新技術や設備**の要件による障壁とプレミアム（付加価値）獲得の困難さ
工業加熱	B2C	高	高	• 消費財企業はグリーンエネルギー使用に対する**プレミアム（付加価値）が顧客から**得られ、エネルギーコスト増をカバーできるため、可能性は高い
	B2B	低	高	• **技術面の障壁は低い**ため、可能性は高い • **プレミアム（付加価値）獲得が困難**であり、総コストに占める**エネルギーコスト**の割合が**大きい**ため、導入には時間がかかる
発電		低	中程度	• ピーク容量の使用として再生可能エネルギー電気の余剰供給を貯めておく**柔軟性のあるサービス**で、ニッチな可能性がある • ケーブルに対するパイプラインのコスト優位性が変換損失を上回る場合、**輸送**でニッチな可能性がある
モビリティ	トラック・バス	中程度	高	• 電気自動車より長い**航続距離**と短い**充電時間**というコスト優位性により、可能性は高い • 出かけるための**充填インフラ**が十分普及していることが必要
	自動車	低	低	• **電気自動車**が依然として**低価格とな**る可能性が高く、一般的な乗用車には長い航続距離や高速充電は必要ないため、可能性は低いことも考えられる
	船舶	中程度	中程度	• 業界では化石燃料に代わる燃料や技術が**まだ決まっていない** • 水素は**エネルギー密度**のメリットから可能性があるが、アンモニアも候補燃料として残っている
	電車	低	中程度	• 大半の電車は水素を使うより**低コストで電化**ができるため、可能性は低い • 電化に法外なインフラコストがかかる**長距離で使用頻度の低い路線**には、ある程度ニッチな可能性がある
	飛行機	低	中程度	• 飛行機は**極度のエネルギー密度**が必要だが、バイオ燃料または合成炭化水素の方がより適しているので、可能性は低い
	特殊機械	高	高	• 電動機器より**長い航続距離と短い充電時間**というコスト優位性により、可能性は高い • 使用がオンサイトに限られているので、一般的には**充填インフラはほとんど必要としない**
建造環境		低	中程度	• 電化または地域暖房もしくはバイオマスの代替が実現できない場所（一般的には**都市中心部の断熱性が低い古いビル**）、ニッチな可能性がある

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先



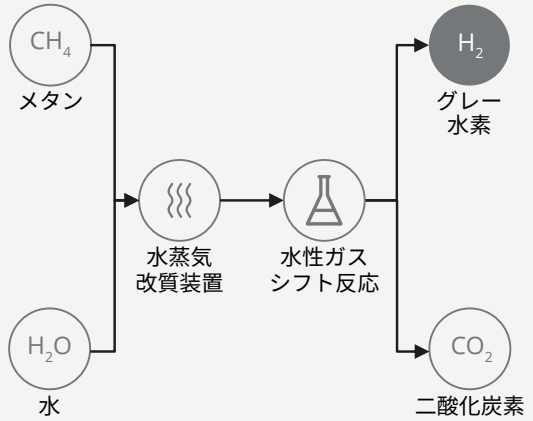
水素供給―技術の概要

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素の主要な生産方法は、天然ガスの水蒸気改質由来のグレー水素、プロセス中のCO_2が回収・貯留されるブルー水素、また、再生可能エネルギー電力を用いた水電解由来のグリーン水素という３種類が存在する

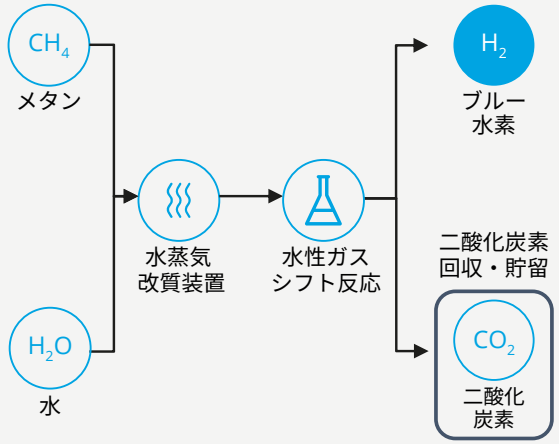
水素の生産方法

グレー水素



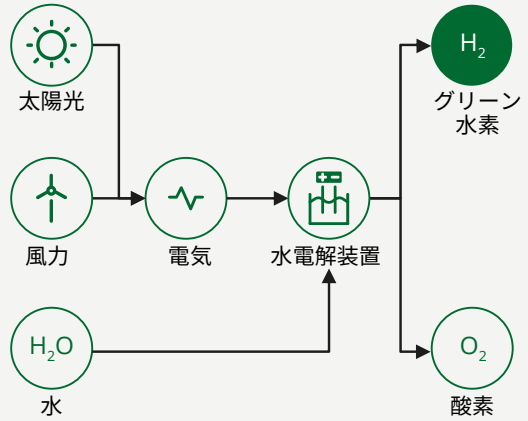
- 現在のほとんどの水素生産は天然ガス由来の**グレー水素である**
- グレー水素は**炭素排出量が多い**

ブルー水素



- ブルー水素は、グレー水素と同様な生産方法を採用されているが、**炭素回収・貯留技術（CCS）**を活用している
- 需要に応じて**製造量は容易に制御可能**なため、**水素貯蔵設備の必要性が相対的に低い**
- グリーン水素普及への**足掛かり**になりうる

グリーン水素

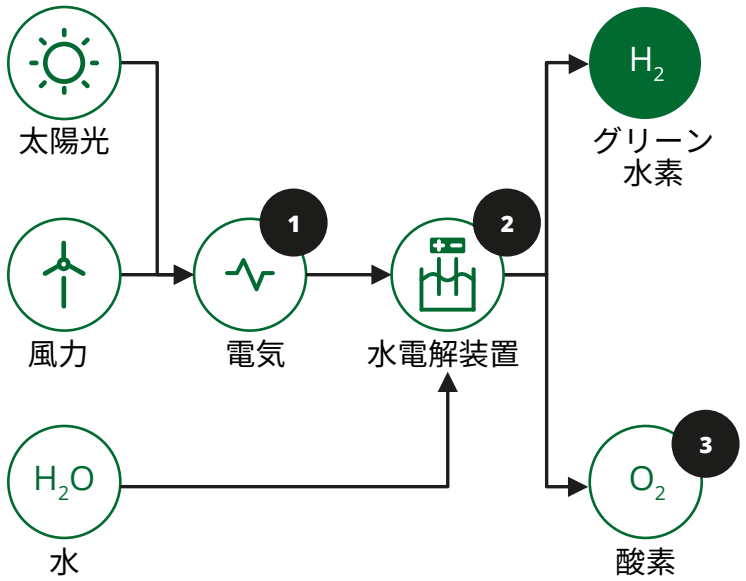


- グリーン水素は唯一の**100%再生可能エネルギーによる水素**製造方法である
- 変動性の高い再生可能エネルギーによる**断続的な電力供給量と、絶え間ない需要**とのバランスをとるため、**水素の貯蔵設備**が必要である
- 電解**技術はさまざま**で、**安定した電力供給に適する**成熟した**アルカリ水電解**技術、及び、**断続的な電力供給**に新たに開発された**PEM水電解技術がある**

グリーン水素のコスト競争力向上要素として、再生可能エネルギーや水電解装置のコスト低減、そして炭素税による化石燃料のコスト上昇があげられる

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

グリーン水素の生産プロセス



グリーン水素の**コスト競争力を向上させる要素**は以下の通り：

1. 主要な変動費である再生可能エネルギー由来の**電気コスト**が継続的に低減していく
2. 太陽光発電と同様、**技術進展や規模拡大**による主要な固定費である**水電解装置の設備コスト**が下がる
3. **炭素税**により、炭素を排出しないグリーン水素が化石燃料に対する相対的なコスト競争力が高まる

水素供給の**最終形態**においては、**大半の水素**が大規模・集中型水電解により製造される

グリーン水素のコスト低減を待たずに、成熟技術に基づいたブルー水素が、短期では水素供給を始動させる役割を担う

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

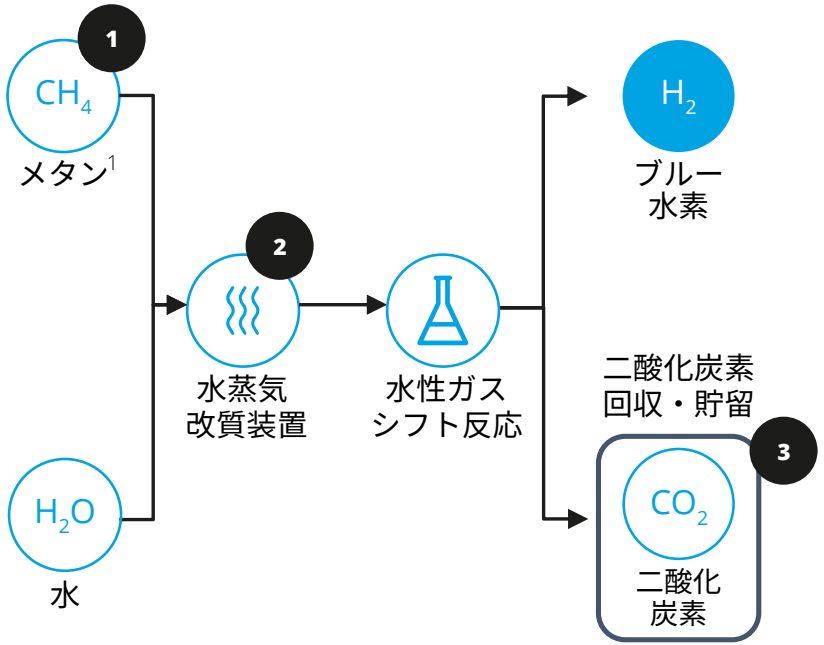
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

ブルー水素の生産プロセス



ブルー水素**のコスト競争力を向上させる要素**は以下の通り：

1. 主な変動費である**天然ガス**が**大量かつ安価で調達可能**である
2. すでに成熟技術であるため、主要な固定費となる**水蒸気改質装置の設備コスト**が水電解装置よりコスト優位性がある
3. **コスト効率のよいCCS/CCUS**（例：枯渇したガス井またはメタノールを再利用するなど）を実施することが可能であり、**炭素税**負担を回避できる

グリーン水素のコスト低減を**待たずに**、CO_2フリー水素の早期導入を希望する企業にとって、その**トランジションを始動させる**のはブルー水素である

注：(1) メタンの他、石炭や精製ガス等のような炭化水素もブルー水素の原材料になりうる

グリーン水素コストは、将来的に大幅な低減が予測されているものの、短期的にはブルー水素より高価である。両者とも、化石燃料に対するコスト競争力を構築するには、政策インセンティブが求められる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

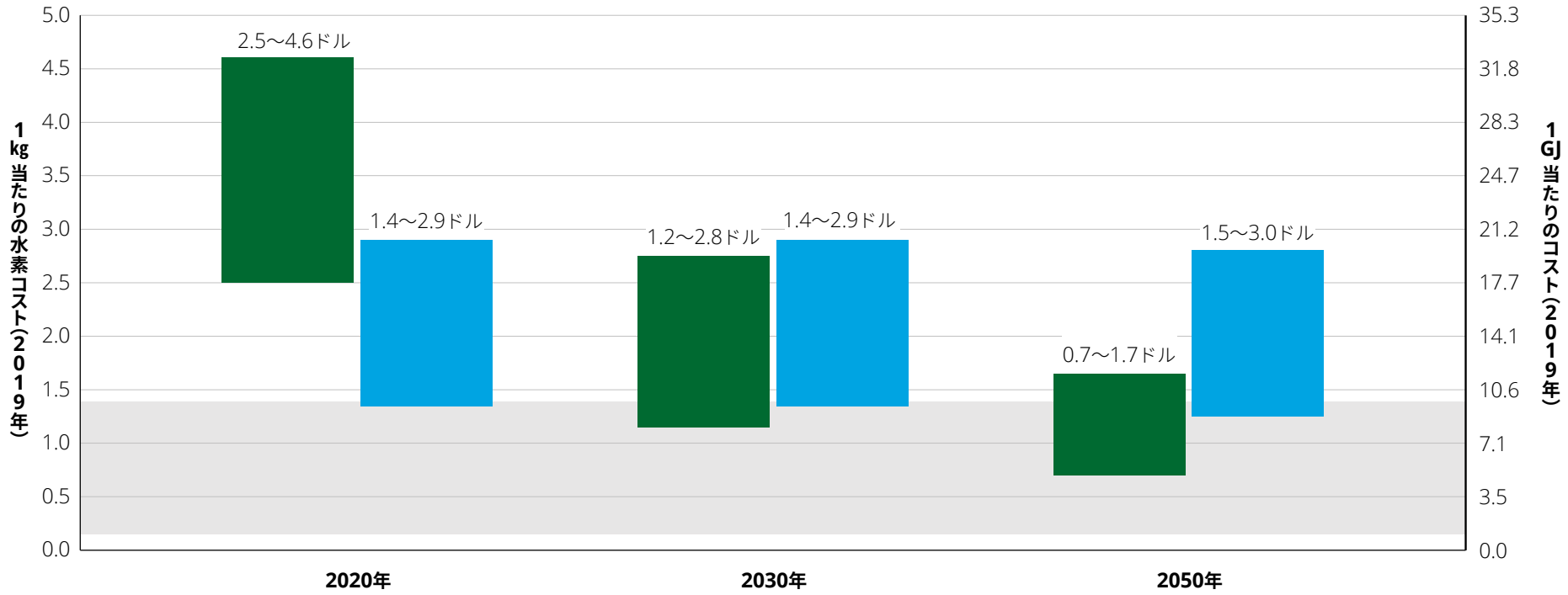
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

水素生産コストの予測



水素の製造は、化石燃料の精製プロセスより複雑であり、構造的に高価となるため、化石燃料に負けないコスト競争力を確立するには、政策インセンティブが必要である

コストレンジ予測： グリーン水素 ブルー水素 天然ガス

出所：BloombergNEF（2020年）「Hydrogen Economy Outlook」

水素は、変換中のエネルギー損失によりエネルギー効率が低下するものの、バリューチェーン全体で見たコストの観点では電化より優位である

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

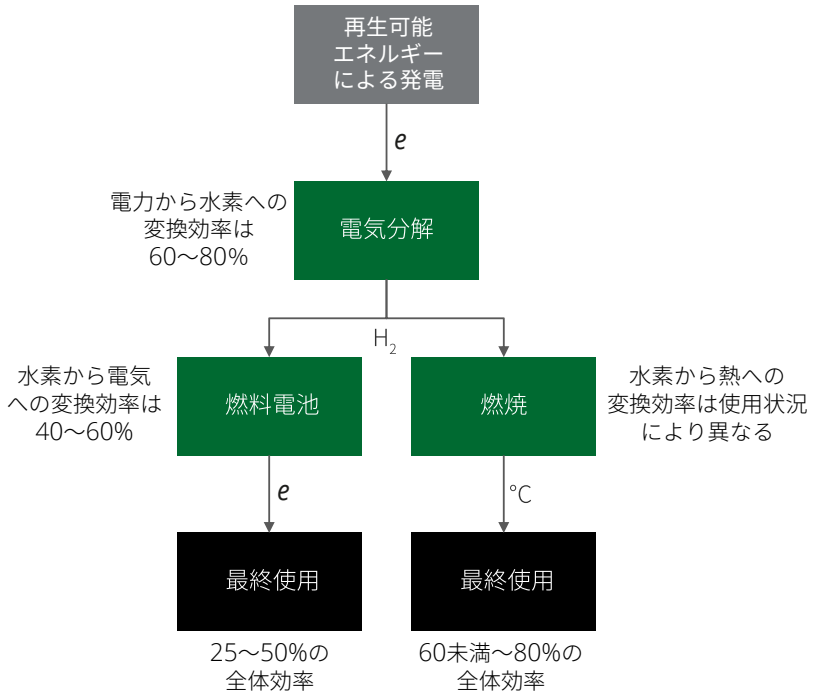
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

水素変換の効率と全体コスト



- 電力⇒水素⇒電力への変換は、**全体効率がわずか25-50%**であり、電気の直接使用と比較して**エネルギー損失が多い**
- しかし、水素バリューチェーンの**全体コスト**は、電化と比較して**安価**である点に大きな価値があり、上記の欠点より重要である
  - 水素は、エネルギー**最終消費の脱炭素化が可能となるのに対し**、電化の場合、電気利用設備等の物理的な制約がある
  - エネルギー単位当たりの輸送コストからみれば、水素の**パイプライン輸送**は、送電線より**8～15倍安価**になる
  - 水素は**エネルギーを貯蔵**できる点から、変動性の高い再生可能エネルギー由来電気を容易に活用できる

注：輸送と貯留上の非効率性は考慮されていない（発熱量から評価された効率）
出所：Hydrogen Europe

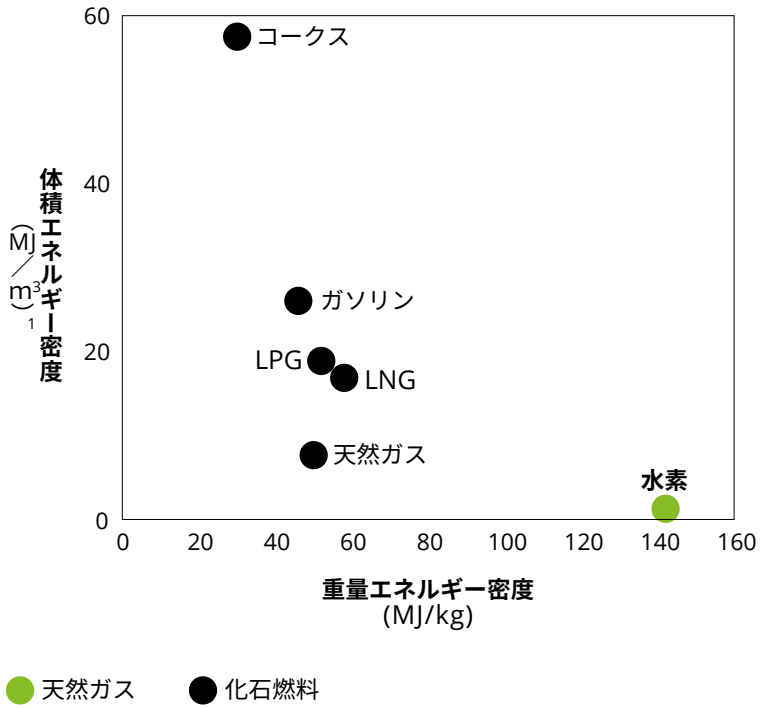
01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素配送

水素の体積単位当たりのエネルギー密度が低いため、水素形態でのエネルギー輸送は化石燃料よりも高価である

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素のエネルギー密度と輸送への影響



- 水素は**体積**当たりの**エネルギー密度**が低い（天然ガスの1/3以下）ため、**トラックまたはパイプライン**を利用する場合、運べる**エネルギー量は少なく**、以下の対応が必要となる：（当然ながらいずれも追加のコストが発生する）
  - **水素の圧縮または冷却（液化）**
  - **トラック運搬回数**の増加
- 水素の**重量**当たりの**エネルギー密度**が高いため、輸送**重量が軽い**
- 水素は**流速**が速い（天然ガスより最大3倍速い）ため：
  - **パイプライン輸送**を利用する際に、体積当たりのエネルギー密度が低いという欠点が**ある程度解消される**
  - 水素は化石燃料と比較する場合、**トラック輸送よりパイプライン輸送**の方が**コストメリットがある**

注：(1) 3,000 psiの空気圧下の数値
出所：IEA「World Energy Outlook 2019」、Grey Cells Energy「Hydrogen Markets」、「Shell Hydrogen Study」(2018年)

水素の小規模輸送はトラック、大規模輸送はパイプライン、そして長距離（大陸間）輸送は船舶の利用が想定されるといったように、化石燃料輸送に類似した輸送方式となる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

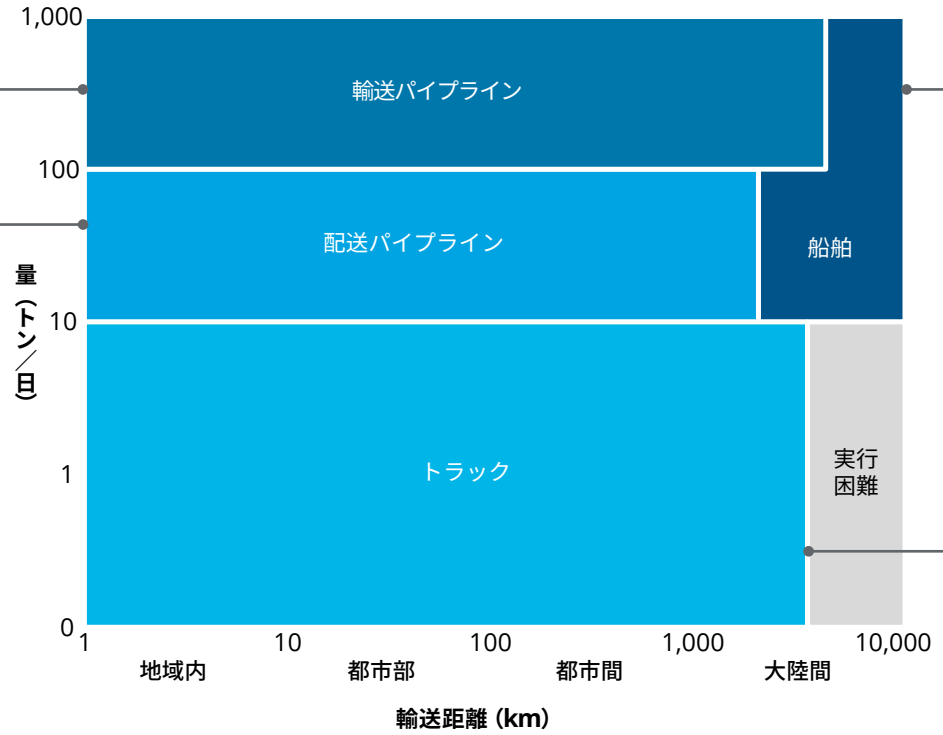
最も効率の高い水素輸送手段（距離・量別）

例：欧州バックボーン（“European Backbone”）計画

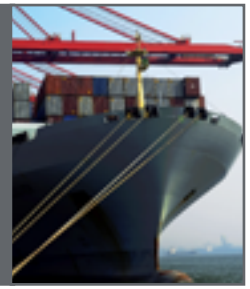


例：配送システム事業者による既設インフラ環境での水素配送計画





北アフリカ⇔ヨーロッパ間やオーストラリア⇔日本間で**液化水素輸送計画**



例：工業関係企業による水素**ステーションやパイロットプロジェクト**のための小規模水素輸送



出所：BloombergNEF（2020年）「Hydrogen Economy Outlook」

輸送インフラ不要という大きな利点があることから、分散型水電解において水素の新たな可能性がある

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

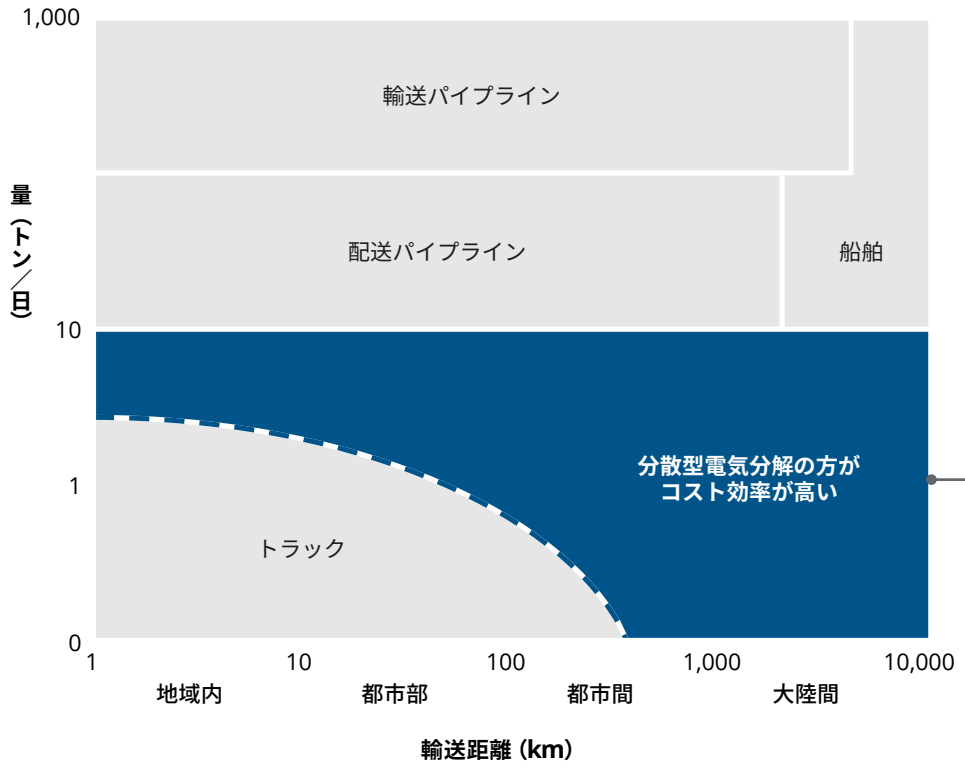
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

分散型電気分解のコスト効率



出所：BloombergNEF（2020年）「Hydrogen economy outlook」、モニターデロイトの分析

例：水素ステーションにあるコンパクト水電解装置



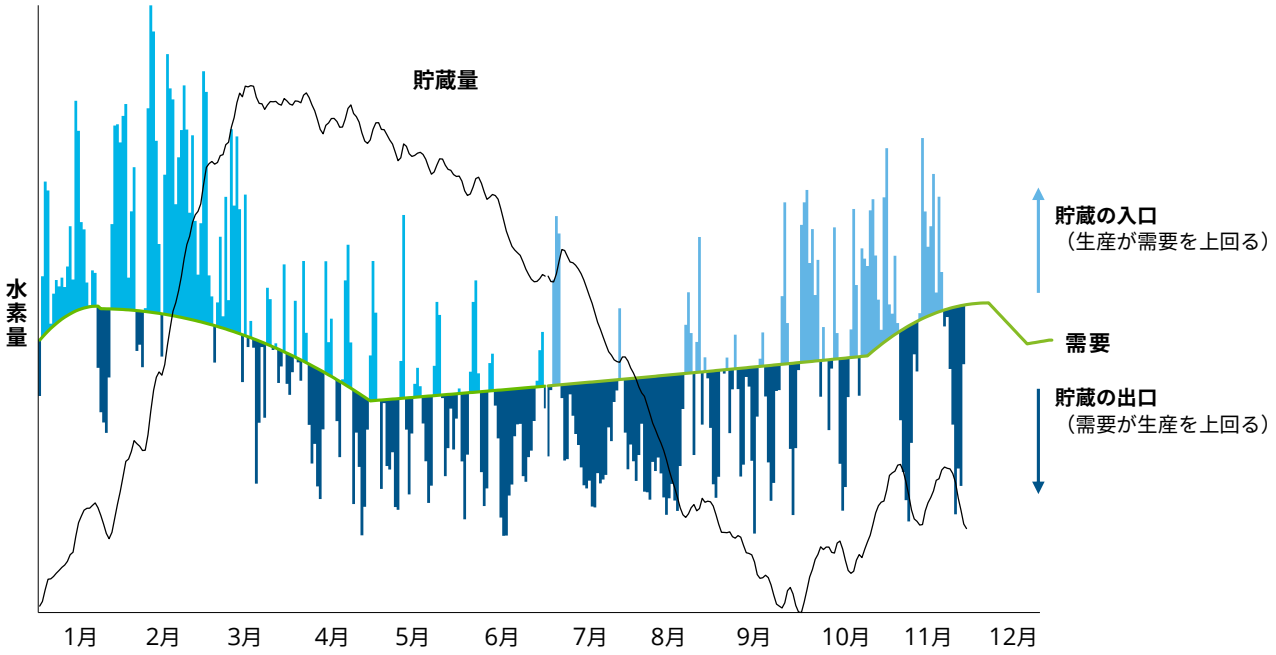
以下のような条件の場合、分散型水電解はトラック輸送よりもコスト効率が高い

- 分散型水電解装置の設置サイトから**安価な再生可能エネルギー由来電気**が利用可能である（系統または水素製造用の太陽光・風力発電設備）
- 水素の製造量が、水電解装置の製造能力を**十分に利用**できる量であるが、パイプラインを導入するほどの量に満たしていない
- 集中型水電解装置までの距離が十分に遠く、集中型製造より、利用地に近い分散型製造の方が大量の水素**輸送コスト**を削減できる

水素の貯蔵は、変動制電源の需給をバランスできる点から、水素の普及・拡大に需要な役割を担っている

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素貯蔵の入口と出口



- 水素需要は、特に産業用途で、**一定である**
- グリーン水素の製造量は、変動性の再生可能エネルギー電力に従って**変動している**
- **大半の**水素は**貯蔵プロセス**を経て利用されるため、「貯蔵」機能が**極めて重要**
- 水素製造量に伴う輸送先（即ち消費地）の変更に関する**迅速な反応**が求められ、**パイプライン**の重要性がより一層高まる
- 水素貯蔵は、水素への転換を促進する重要な要素であり、**政府**の重点施策分野となるほか、**企業**にとっても大きな事業機会である

注：水素生産パターンは欧州の風力発電パターンを採用している
　　グラフのデータは例示目的であり、貯蔵量の曲線は正確な縮尺ではない

出所：WindEurope、国際エネルギー機関（IEA）、モニターデロイトの分析

長期的に、水素コストは地理的条件に大きく左右されるため、再生可能エネルギーコストの安い地域からパイプラインまたは船舶で水素を輸入することが想定される

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

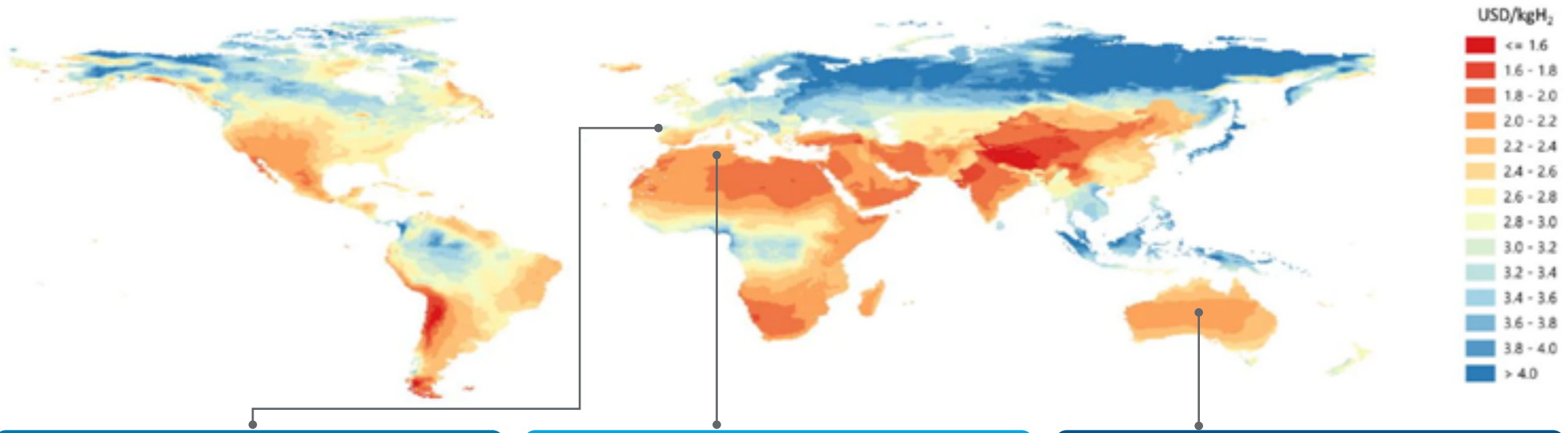
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

水素コストの長期予測



ポルトガル・オランダのグリーン水素に関する二国間協力の強化

「ポルトガルから、オランダおよび同国の内陸部へグリーン水素を生産・輸送する戦略的バリューチェーン構築について、両国の意思が確認された」

オランダ政府

北アフリカ―欧州間の水素宣言

「欧州と北アフリカの共同水素戦略により、欧州は2050年までに50%の再生可能エネルギーと50%のグリーン水素に基づいたエネルギーシステムを構築していく」

「Hydrogen, the Bridge between Africa and Europe」

排出量削減を目指した日豪「Hydrogen Road」の構築

「コンソーシアムによる5億ドル規模の本プロジェクトは、褐炭由来のブルー水素を製造し、世界初のゼロエミッションエネルギーサプライチェーンで供給していく」

Financial Review

出所：IEA「The Future of Hydrogen」

再エネ由来の水素と排ガスやDAC由来のCO_2を原料に、炭化水素ベースの合成燃料が開発・製造されており、需要側で新たなインフラ投資をせずに利用可能である（例：持続可能な航空燃料SAF）

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

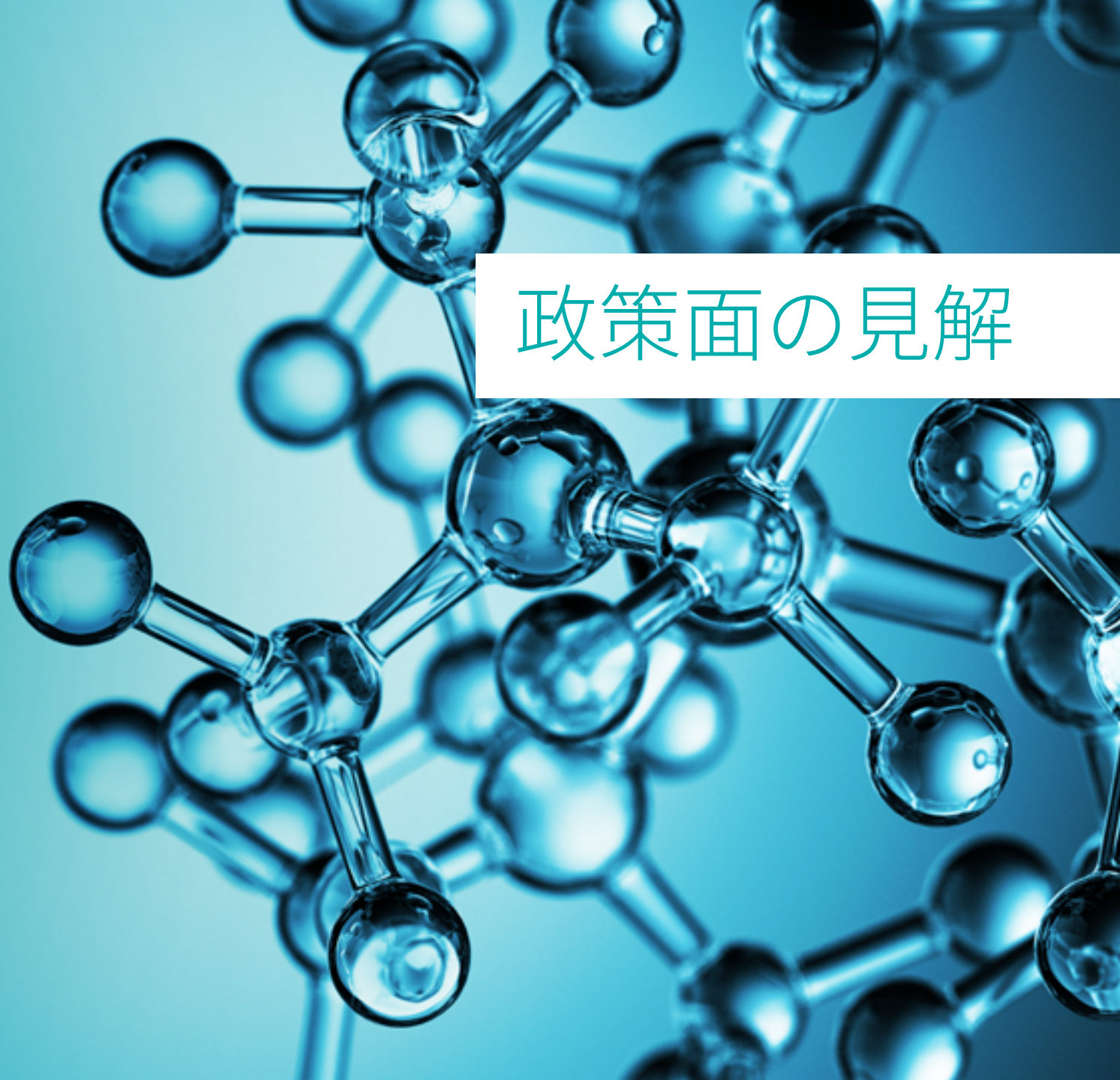
炭化水素ベース合成燃料の生産プロセス





出所：Joule「On the Emergence of the Energy Transition」O. Kraan氏（2019年）

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先



政策面の見解

水素エコシステムの構築に取り組んでいる政府の景気刺激策により、国家のエネルギー・産業政策アジェンダに即した水素コストの低下が見込まれる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

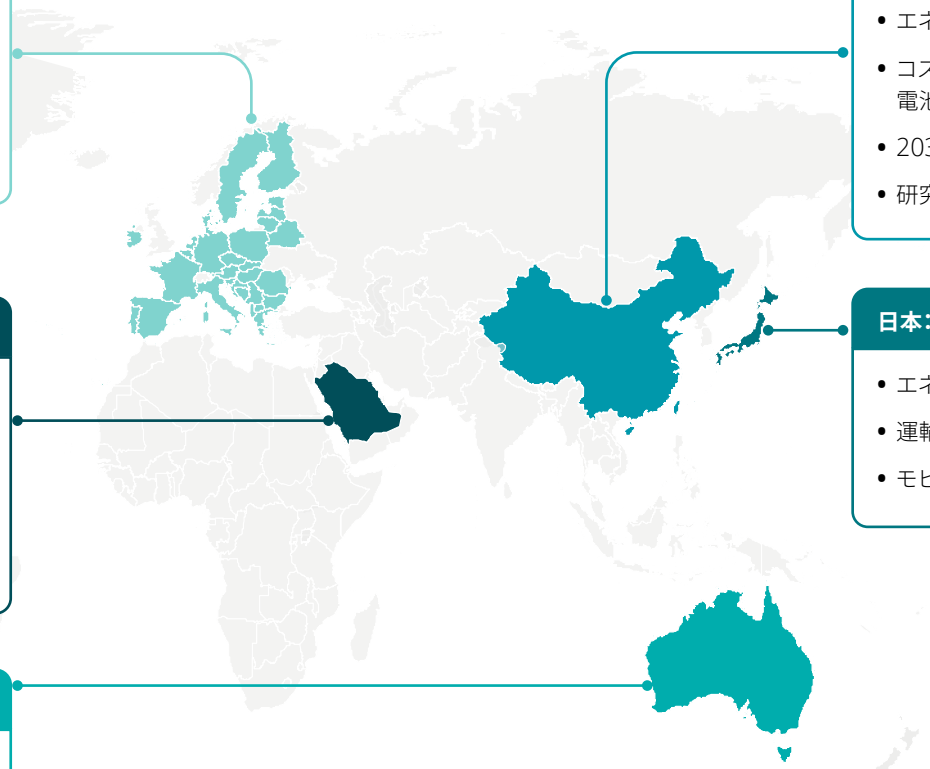
06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

世界各地の水素ポリシー目標



EU: 全て

- エネルギー輸入国
- 脱炭素化とエネルギー非依存を目指す
- グリーンエネルギー、技術助成金、需要刺激
- 化学物質とパイプラインインフラを活用

中国:テクノロジープッシュ型

- エネルギー輸入国
- コスト競争力が最も高い技術（水電解装置と燃料電池）
- 2030年までにFCEV100万台を目指す
- 研究開発補助金、使用に対するインセンティブ

サウジアラビア:供給プッシュ型

- エネルギー輸出国
- 化石燃料に依存しない雇用創出を目指す
- 肥料の原料として、太陽光や風力発電ファームによるグリーン水素の生産
- 「ビジョン2030」プログラムの一環

日本:需要プル型

- エネルギー輸入国
- 運輸セクターのイノベーションを目指す
- モビリティと発電に注力

オーストラリア:供給プッシュ型

- エネルギー輸出国
- 日本へ輸出するために ブルー水素に注力

各国の水素戦略に次いで、EUでは、欧州大の水素・エネルギーシステム統合戦略において、新たなクリーン投資アジェンダが設定されうる

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

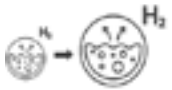
09 問合せ先

EUの水素戦略

スコープ

- 欧州の再生可能エネルギー由来水素の生産を増やす
- 原料、燃料またはエネルギーキャリアおよび貯留剤としての水素に注力し、工業、輸送、電力および建築セクターでの利用を目指す
- 「次世代のEU」（欧州委員会の経済復興計画）は、優先投資対象として水素を取り上げ、経済成長とレジリエンスの促進、地域の雇用創出、EUのグローバルリーダーシップの強化を目指している

規模拡大



現在～2024年

- 6GW未満の（再生可能エネルギー由来水素の）水電解装置の**設置**
- 再生可能エネルギー由来水素を100万トンまで**生産**



2025年～2030年

- EUの統合エネルギーシステムの一部
- **水電解装置:** 40GW未満の再生可能エネルギー由来水素
- 再生可能エネルギー由来水素を1,000万トンまで**生産**



2030年～2050年

- **脱炭素化が難しい全セクター**で、再生可能エネルギー由来水素を**大規模**に展開する

投資の見通し

- 現在～2030年：水電解装置への投資は**240億ユーロと420億ユーロ**
- 必要投資額：規模を拡大し、80～120GW生産能力の太陽・風力エネルギーを水電解装置に直接接続して、必要電力を提供するため、**2,200～3,400億ユーロ**が必要
- CCSの設置に伴う改造：既存工場の半分**~110億ユーロ以下**
- 輸送とインフラ：**650億ユーロ**の投資
- 現在～2050年：EUの生産能力への総投資額は**1800～4700億ユーロ**に達する見込み
- 最終使用セクターの水素消費や水素型燃料に対する支援にも、**多額の投資**が必要になるだろう

需要の創出

- 工業用途やモビリティなど、新たな主導市場が徐々に創出されてきている
- **工業用：** 1）製油所における**炭素集約型水素使用の削減や切り替え**（アンモニア生産や新しい形態のメタノール生産）2）**ゼロカーボンスチール生産プロセス**
- **モビリティ：** 1）ローカルバス、商業用車両（タクシーなど）または電化が不可能な一部の鉄道網での**自家消費用**　2）**大型陸運車両、水素燃料電池電車、**内陸水路や短距離船舶、航空・海事セクター

コロナ復興に向けた欧州の財政刺激パッケージで水素に充てられた基金は、政府のコミットメントを表している

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

欧州の水素投資に関する発表（2020年）

EU	**ドイツ**	• 6月：水素能力の拡大を目指し、**90億ユーロ**を含むコロナ復興パッケージの概要を発表
	フランス	• 9月：1,000億ユーロのコロナ復興計画の一環として、20億ユーロを含む**70億ユーロ**の水素投資を計画
	スペイン	• 10月：**89億ユーロ**の官民投資を必要とする4GWの水電解装置を含む水素戦略を承認
	ポルトガル	• 5月：2030年までに**70億ユーロ**の投資が見込まれる国家水素戦略を発表
	オランダ	• 3月：経済・気候政策省大臣が「Kamerbrief Kabinetsvisie waterstof」を発表 • 9月：長期投資として**200億ユーロ**の予算を組んだ「Nationaal Groeifonds」を発表
	欧州委員会	• 7月：2050年までに**1800億～4700億ユーロ**の水素投資を見込んだ水素戦略を発表

公的資金は、主に**市場創出に向けたインフラ**（充填ステーションやパイプラインなど）や、**水素製造におけるパイオニア**（電解等）への助成金に充てられる

出所：各発表情報

こうした政府目標に沿う形で、政府には、混合義務化、イノベーションへの予算立て、助成金・増税など、水素市場を刺激するさまざまなオプションがある

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

市場創出のための手段

	混合義務化	イノベーションへの予算立て	助成金・増税
内容	• ある一定の割合（5以下～15%）の水素を天然ガスに混合することをサプライヤーに義務化する • 水素市場の促進を目的として、別の水素需要を創出する	• 実証プロジェクトへの資金調達プログラム（イノベーション基金や成長基金など） • 気候に関する発表に向かって経済成長を促進する	• 特定のプロジェクト（SDE++など）への助成金 • 特定のプロジェクトへの増税（炭素税など）
メリット	• 政府は容易に混合を義務化することが可能 • 市場への影響は多大 • 必要投資が少ない（圧縮機器やバルブ、導入機器は水素の割合を増やして置き換えるだけである）	• 非商業プロジェクトに対する資金援助 • 銀行融資のリスク軽減 • 研究開発活動の加速化	• 構造的な財政支援となる • 助成金はテクノロジー・ニュートラルであること
デメリット	• 小さな割合では市場を促すだけなので、大きな市場は作れない • 生活必需品に高いプレミアム製品を混合するので、水素の価値が下がる可能性がある	• 資金援助は一回のみに限られる • 商業関係者はたとえプロジェクトが戦略的に関連していなくても、資金援助の要件を満たそうという気になる	• 水素は市場で資金調達を受けるほど商業として成り立っていない • 市場手段はエネルギーキャリア用に作られていないし、太陽・風力エネルギーとの比較可能性が限定的である

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

企業面の見解

いくつかの欧州企業は、水素の高い将来性を見越して水素のパイロットプロジェクトに投資しており、その利用用途としては、産業用原料としての利用が多い

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

水素パイロットプロジェクト例

鉄鋼―原料

SSAB **LKAB** **Vattenfall**

- **「HYBRIT」**という合弁**事業**
- **水素を原料**として使用した、直接還元技術による**鉄鋼生産**
- LKABはバイオ燃料を原料とする熱で鉄をペレット化し、Vattenfallは水素生産用にグリーン電力を供給する
- **パイロット**実験フェーズは**2024年**まで。工場建設は遅くとも2025年以降

鉄鋼―熱

Ovako **Linde**

- スウェーデンのOvako工場において**圧延前の鉄鋼の加熱処理に**水素を使用するトライアルを行った
- 燃焼における燃料を、**LPGから水素に切り替えた**

化学品―原料

Liquid Wind

- a.o. Haldor Topsoe、Axpo、Siemens Energyで結成されたコンソーシアムと協働
- **水素**と排出されたCO_2を混合して**eメタノール**を生成し、燃料または**原料**として使用
- **2023年**に**稼働**予定

鉄鋼―原料

thyssenkrupp **RWE**

- **水素を原料**として使用した、直接還元技術による**鉄鋼生産**
- thyssenkruppが既存の溶鉱炉に**水素**を注入する実験を行った
- RWEによる水素供給（予定）
- **2022年**に**溶鉱炉**の完全**改造**を予定

化学品―原料

Haldor Topsoe

- Haldor Topsoeは、**グリーンアンモニア**生産のため、新たな技術であるSOEC（固体酸化物形電解セル）を開発した
- SOECにより、再生可能エネルギーで**水素と窒素（ともにアンモニアの原料**）が生成される
- SOECにより、**将来のアンモニア工場は、現在**の最先端**施設**と同レベルの**エネルギー効率**になる
- SOEC**実証工場は2025年**に建設予定で、2030年までに**商業化**が見込まれている

マグネシウム―熱

Nedmag **DNV·GL**

- さまざまな濃度（0～100%の水素濃度）の天然ガス・水素混合物が処理できる**ハイブリッド加熱ソリューション**を開発中
- さまざまな混合物を扱うことにより、供給ロックインを軽減し、**（グリーン）水素への切り替え**を**円滑にする**
- Nedmagの拠点で**2020年**にテスト

出所：各社のサイト、ammoniaindustry.com

欧州では、大規模な水素供給プロジェクトが進行中である

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素

NorthH$_2$―グリーン水素

NorthH$_2$

Shell　Gasunie　Groningen Seaports　RWE　Equinor

- エネルギー供給事業者、グリッド事業者、港湾運営事業者の**コンソーシアム**
- 洋上風力からグリーン水素の生産、輸送、貯留そして供給までの**統合型チェーン**の構築を目指す
- **2030年までに3～4GW**の生産能力を目指し、オランダと欧州北西部の**産業ユーザー**へ供給していく
- 水素はオランダの天然ガスパイプラインから転用予定の**水素輸送網**を介して輸送され、**塩洞窟**に貯留される
- **FID（最終投資決断）の前段階（2021年時点）**

Zero Carbon Humber―ブルー水素

ZEROCARBON HUMBER

Associated British Ports　British Steel　Centrica　Drax
Equinor　Mitsubishi Power　National Grid　px　SSE Thermal
Triton Power　Uniper　The University of Sheffeld AMRC

- エネルギー供給会社とエネルギーユーザー、グリッド事業者、港湾運営会社の**コンソーシアム**
- 2040年までにHumberの**産業クラスター**を英国初のカーボン実質ゼロのクラスターに変えることを目指す
- Equinor初の生産工場**（600MW）**の需要は、Tritonのガス火力発電所への**水素混合という形で確保している**
- その後、生産能力を増強して、現地の**パイプライン網**を介して鉄鋼や化学産業に**産業熱**を供給していくことが可能である
- **FID（最終投資決断）の前段階（2021年時点）**

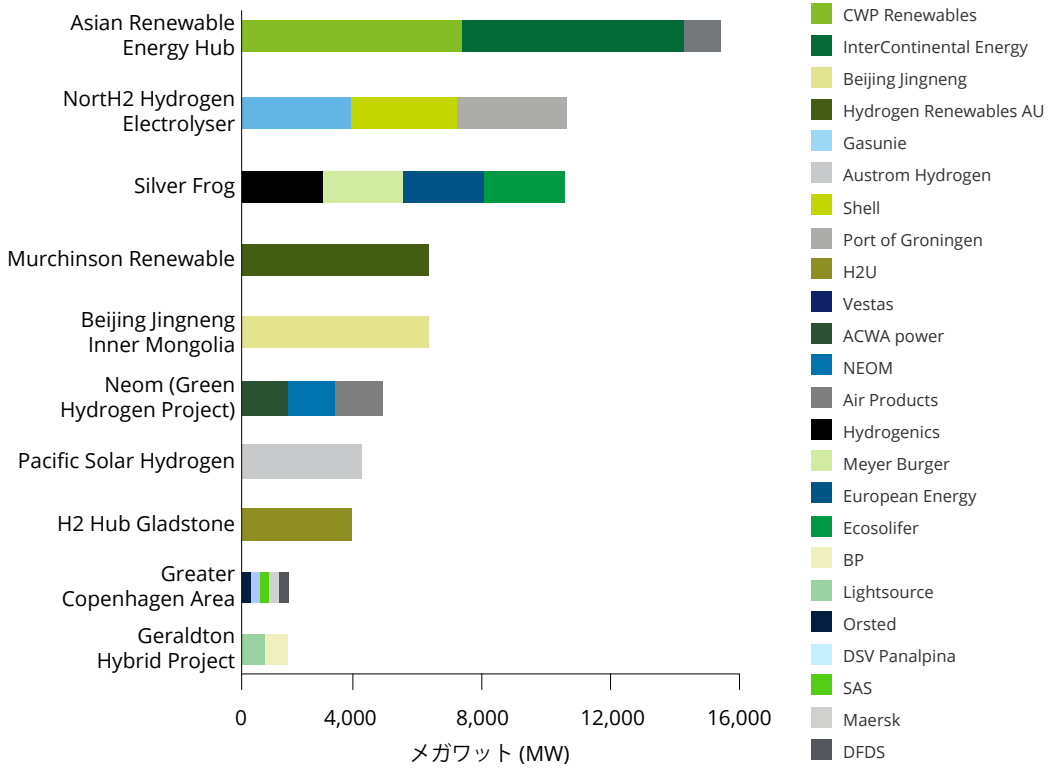
出所：各プロジェクトのサイト

専門知見の結集と開発の加速のために、コンソーシアムやエコシステムによる協働が重要になる

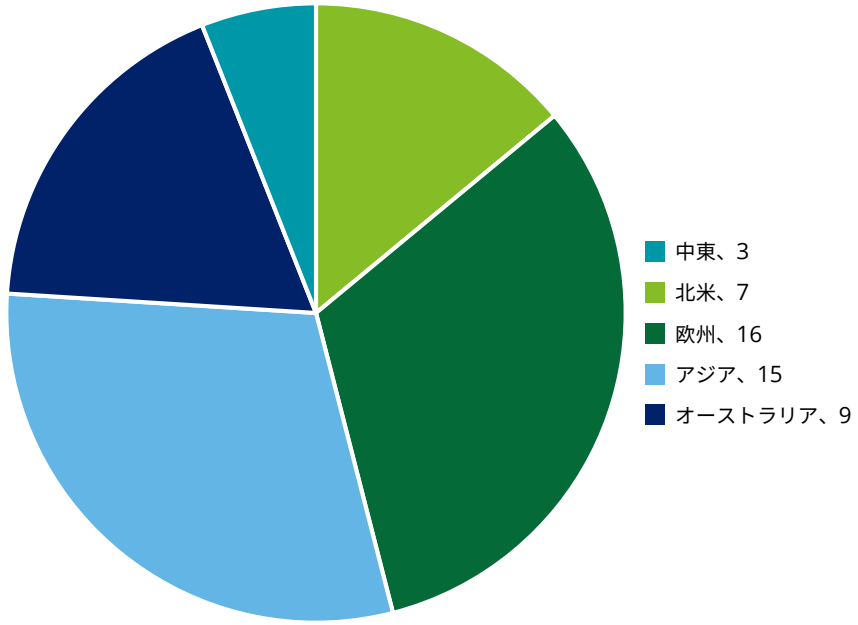
01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

大規模水素プロジェクト（会社・地域別）

水素水電解装置プロジェクトトップ10（会社別）



大規模水素プロジェクト数（地域別）



出所：Rystad Energy「RenewableCube」(2020年)、各社、エネルギー経済・財務分析研究所の推定値

水素エコノミーは、何を出発点とすべきかといった不確実性に起因する、悪循環に直面している

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

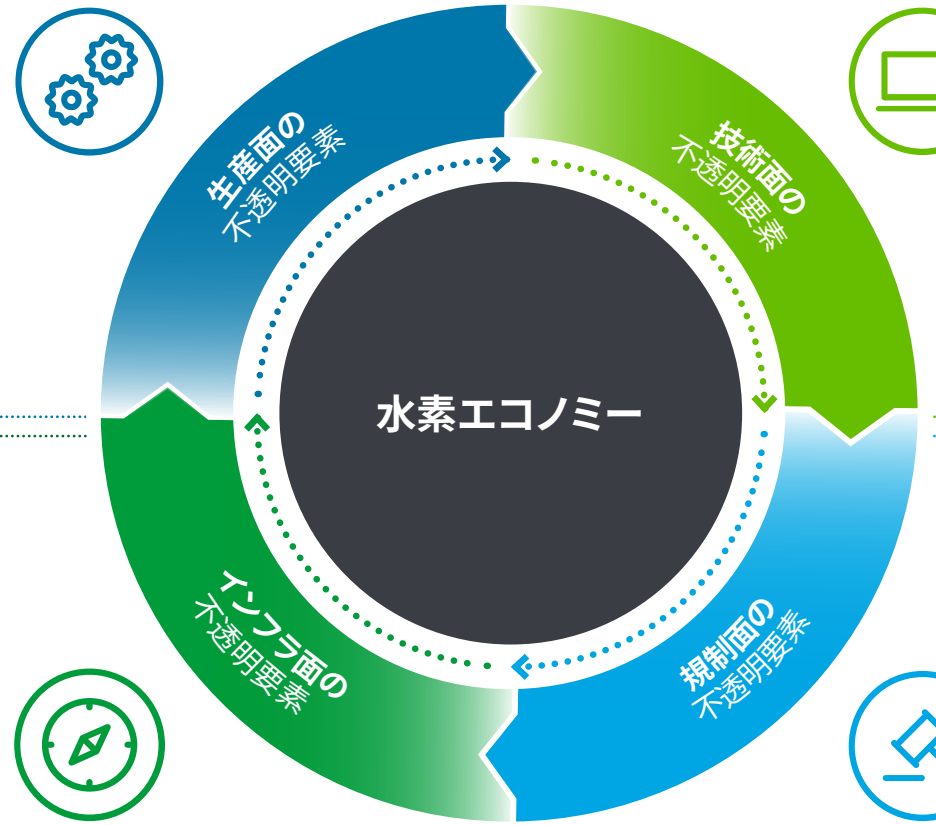
08 Thought leadership

09 問合せ先

脱炭素化の不透明要素

生産インフラが不十分な場合、またはコストが法外な場合どうなるのか

どの技術が業界標準になるのか、もし違うものに投資したらどうなるのか



供給インフラが自分の地域の近くにない場合、または規格が異なる場合どうなるのか

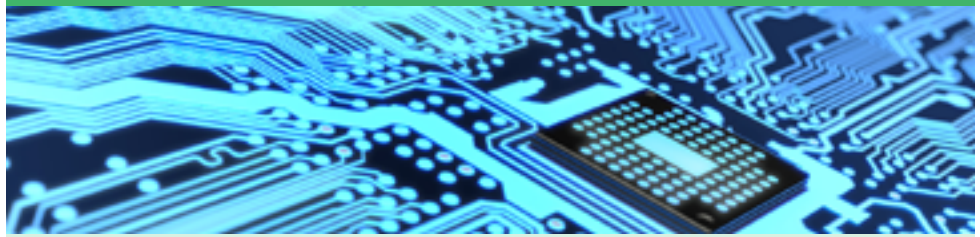
省／州、国、国際機関が**相反する規制**を採択したらどうなるのか

他技術の土台がある場合や体系的なR&D投資が実行された場合にブレークスルーが可能になることは、他のインフラ・技術開発においてアナロジーが見いだせる

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

同じような技術開発との類似性

インターネット



電話回線を介した最初の公共接続

- 1990年代初頭、WWW（ワールドワイドウェブ）へのアクセスはダイアルアップ接続により可能であった
- ダイアルアップ接続は、電話回線を介して他のコンピュータからの接続が確立されたが、ダイアルアップ接続では電話とインターネットを同時に使うことができなかった

商業ブロードバンドの導入

- 1990年代後半、ダイアルアップ接続に置き換わり、ケーブルやDLS、衛星、FFTxを介したブロードバンド接続が標準技術になった

オープンインフラ標準は新しい技術開発を可能にする

太陽光発電



最初の導入事例は政府の資金援助を受けた衛星

- 1964年、NASAは、470wの太陽電池アレイを電源とした人工衛星であるニンバス宇宙機を打ち上げた
- 政府による宇宙プログラムへの大規模投資は、電子機器企業や石油企業による投資と相まって、宇宙開発競争に勝つための開発を推し進めた

技術が1つ開発されると、太陽光発電の利用用途がそれに追随して増えていった

- 1980年、デラウェア大学が家庭用向け実用化の可能性を示す10%超効率の薄膜太陽電池を初めて開発した
- 研究は1990年代と2000年代に爆発的に増え、それにより実用化の可能性が拡大した

政府によるサポートが研究開発に弾みをつけるカギである

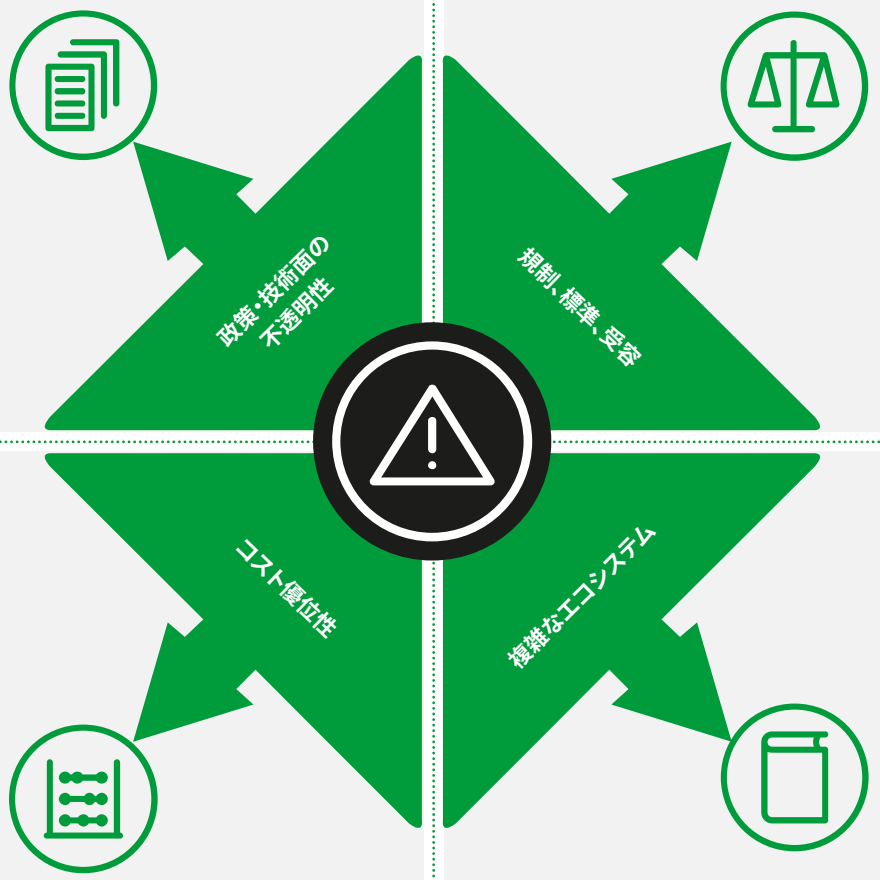
出所：米エネルギー省

水素戦略の成功のカギは、4つの主要課題を解決することである

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

主要課題

他の技術やエネルギー源より低炭素水素が競争力を有する環境を作るためには、政府と政策のサポートが必要である



世界および欧州・中東の規制や規格が水素の導入または新たな使用を完全にサポートしていないため、現在は黎明期にある

水素の総均等化原価は、2035年までに、ディーゼルよりコスト優位になる

しかし、2050年までは豊富な資源である天然ガスとは依然差がある。また、欧州や中東は安価な電力が豊富であるため、水素が現状のエネルギー源と直接競争するという逆風になっている

エコシステムは複雑で、それにより規模とタイミングの面で投資と政策を同期化させる必要が生じている

現在の欧州と中東には、一貫した総合的な水素戦略がない

ルールを作るために積極的に政策立案者とつながりながら、戦略的な投資やエコシステムの構築をしていくことが、これまでの水素市場開発で得られた教訓である

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先

得られた教訓

戦略的な投資を行う	エコシステムを構築する	学び続ける	ルールを作る
戦略的な考え方を持って投資することで、自身の投資を賢く使う	ステークホルダーのニーズを理解するため、エコシステムを構築する	実際のプロジェクト課題を把握するためにプロジェクトのコンソーシアムに参加する	政策立案者に対して積極的になる
自社の戦略と一致した投資を行う	非商業プロジェクトのリスクを分散するために、パートナーシップを構築する	スタートアップ企業に投資し、彼らのビジネスモデルを理解する	有利な市場ルールを確保する
失敗が早いほど、学びも早い		研究コンソーシアムをサポートし、技術開発がどこに向かっているのかを把握する	助成金がどこに行くかも把握する

水素市場の開発におけるオポチュニティは、セクターごとに異なる

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

さまざまなセクターのオポチュニティ

石油、ガスおよび化学	電力およびユーティリティ	鉱業および金属	工業製品および建設
水素分子の取り扱いは、現在のコアケイパビリティと合致	発電に関するアービトラージのオポチュニティを利用できる可能性	水素トラックによるオペレーションの脱炭素化オポチュニティ	水素の生産や貯留、輸送に使用する設備（水電解装置、バーナー、燃料電池など）に関する新たなビジネスオポチュニティの開発
大規模設備プロジェクト（洋上風力発電やパイプライン）の経験を水素プロジェクトに生かすことが可能	電力システムの柔軟性の向上と付加サービスの実現	水素生産に使用する原料（水電解装置に使用する材料など）に関する新たなビジネスオポチュニティの開拓	オンサイトのディーゼル発電機の切り替えによるオペレーションの脱炭素化オポチュニティ
グレー水素からグリーン水素への切り換えによる、石油精製プロセスの脱炭素化のオポチュニティ	ユーティリティ会社における新たなビジネスオポチュニティの開拓		
工業用原料や産業熱に水素を使用することによる、化学品生産の脱炭素化のオポチュニティ			

では、各セクターの代表企業が取るべき次のステップとは？

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

主要セクター企業のネクストステップ

典型的な企業	ネクストステップ
鉄鋼メーカー	• **潜在顧客**とつながり、グリーンスチールの需要が十分あるかを確認し、シナリオ分析で市場**需要**のダイナミクスを分析する • **グリーンスチールのパイロットプロジェクトを実施し、**技術、HSE面の要件を検証する
統合型の電力・ユーティリティ企業	• シナリオ分析で**電力から水素、水素から電力のオポチュニティ**を分析する • **実環境**と産業部門における水素の適用性を理解する
統合型の石油・ガス企業	• **シナリオ分析で**電力から水素、水素から電力のオポチュニティを分析する • **モビリティ** と産業部門における水素の適用性を理解する • 水電解装置と燃料電池の**技術**の動きを**注視する**
天然ガス輸送システムオペレーター	• 顧客や水素供給事業者とつながることで、**需要と供給**の動向を把握する • 水素市場における有利な立場を確保するため、**規制当局と積極的につながる**
工業関連のB2C企業	• 水素供給業者や水素技術開発企業とつながり、水素への移行の**可能性を把握する** • **技術的な選択肢**（電気、バイオマス、水素）のメリットとデメリットを分析する

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

見解のまとめ

エグゼクティブサマリー

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

水素は、電化に物理的な制約があるため排出削減が難しいセクターが脱炭素化を実現するのに不可欠な役割を果たす。また、輸送媒体や貯留媒体として、変動性の再生可能エネルギー由来電力を集約するのにも重要な役割を果たす。

水素需要

短期的には、水素は脱炭素化に対する社会的圧力が大きいセクター、おそらく顧客に近いセクターが最初に導入するだろう。市場の関心については、生産・配送工程のエネルギーを代替燃料にすることで消費者からプレミアムを得ることが可能な欧州の消費財企業が関心を寄せている。グリーンスチール（水素使用で生産された鉄鋼）で作られた車や消費財商品配送用水素トラックがこれらに該当する。

中長期的には、工業用原料や電気緩衝装置も水素で脱炭素化される可能性が高い。また、他のモビリティ手段や建造環境におけるニッチな領域も一部可能性があるだろう。

長期的には、水素を原料とする、アンモニアや合成炭化水素燃料の生産により、船舶輸送や飛行機など排出削減が難しいセクターの脱炭素化が可能になるだろう。

水素供給

このような水素利用の拡大は、グリーン水素のコストが低下しないと実現できない。グリーン水素は、再生可能エネルギーが豊富に利用できるようになり、スケールメリットで水電解装置のコストが低下するにつれ、大幅に機能すると予測されている。短期的にはコストは高いため、供給開始にはブルー水素が利用されるだろう。

水素配送

パイプライン、トラック、船舶はすべて、水素の輸送手段の役割を担う。海に近い地域においては、大規模な水素貯留をつなぐ能力として、パイプラインインフラが有利に働く一方で、その他の沿岸地域においては、供給と需要をつなげる役割を果たすことなるだろう。専用の水素網が現在の天然ガスネットワークほど広く敷設されないため、トラックによる水素配送は今後も使われるだろう。水素需要は欧州域内の水素生産を上回る可能性が高いため、海外からの輸入（特にパイプラインを使った輸入と、将来的には船舶を使った輸入）は必ず必要になるだろう。

しかし、輸送コスト（及び、予想される変換コスト）を考慮すると、欧州域内で生産された水素（特に低価格の再生可能エネルギー由来電力で作られた水素）は、輸入された水素に対して引き続き競争優位に立つ可能性が高い。水素需要の規模が本当に拡大したとき、安定した供給能力を考えると、パイプラインを介して大規模貯留と繋がっている集中型生産の方が分散型生産よりもメリットが大きくなる。

政策面の見解

脱炭素化への圧力を踏まえ、欧州は、コロナ復興パッケージの後押しを受け水素産業を推進していく。その結果、（水電解装置、燃料電池、太陽光発電、自動車、トラックなど）アジアの製造業や、北アフリカ、中東の再生可能エネルギー源の輸出、オーストラリア、カナダおよびロシアの安価な化石資源（ブルー水素）の資本化など、各地域にオポチュニティが創出されるだろう。

水素混合は、水素供給会社に対して需要を保証し、水素ユーザーに対して供給不足のリスクを除去する上で政策手段になりうる。しかし、水素の需要が生まれることが現在確実になってきているため、混合の優先順位は低下している。

水電解装置（および燃料電池）のコスト低下を可能にするため、短期的には政府の援助が必要ではあるが、長期的には水素は常に化石燃料より高価になるため、競争力を確保するためには政策インセンティブ（炭素税または助成金など）が必要になるだろう。

企業面の見解

オポチュニティを上手く利用するため、企業は戦略的な投資を行い、エコシステムを構築し、学習し続け、そして、政策立案者と積極的に関わりを持つ必要がある。

需要側の企業については、自社の野心的な環境目標を原動力として、電化できないエネルギーに代わる再生可能な代替手段を探している世界大手ブランドに注目が集まる。これにより、電力市場内に水素版のPPA市場が生まれる可能性がある。

供給側の企業については、規模（その後のこれらのプロジェクトを遂行する能力）、低炭素社会と業種の関連性が高く、会社の生命線としての水素への関心度を考えると、グローバル大手エネルギー企業のコンソーシアムが、水素市場の開発を推進していくだろう。コンソーシアムの各社は水素市場が規模拡大できるように、政府に対して圧力を強めていくだろう。

日本版の刊行にあたって

欧州の水素に関する動向を中心に、水素概論も含めてご紹介した。ただし、日本での社会実装にあたってはいくつかの相違点も存在する。例えば、水素市場創出にむけて、日本では発電用途の位置づけが大きい一方で、欧州ではモビリティや産業向けがメインとなっている点等である。その他にも、再エネ資源が、域内に豊富にあり、パイプラインを活用した集中型水素生産方式が指向されている点等も興味深い。

このように、インフラの構築順序や注力領域は異なるが、共通点も多い。本書にも記載のあるような、市場創出に向けたジレンマが存在する現実ではあるが、新たなインフラ創出に向けて官、民、学が知恵を出し合っていくことが肝要である。今後も、こうした基礎情報をベースとして、社会実装に向けた議論が産業・企業間や、官民で活発化することを願っている。こうした各種目的のために、本書のような資料を活用頂ければ幸いである。

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

Thought leadership

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

“Future of Energy” に関するThought Leadershipの一環として、デロイトは水素技術が影響を与える各業界・セクターに関する見解を定期的に出版し、最新の市場インサイトと最先端の見解を提供している

“Future of Energy” の出版物

出版物例









デロイトの**“Future of Energy”ページ**をご参照ください

世界各地のデロイト各社がまとめた最新で最高水準のThought Leadership、報告書、インサイトが閲覧可能
モビリティ、エネルギー、食料とコネクティビティといった領域の未来に関する見解を提供する「Future of …」テーマも掲載

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

"Future of Energy" におけるThought Leadershipの一環として、デロイトは水素技術が影響を与えるセクターに関する見解を定期的に出版し、最新の市場インサイトと最先端の見解をクライアントに提供している

“Future of Energy” の出版物

出版物例



Fueling the Future of Mobility（モビリティの未来を加速させる）

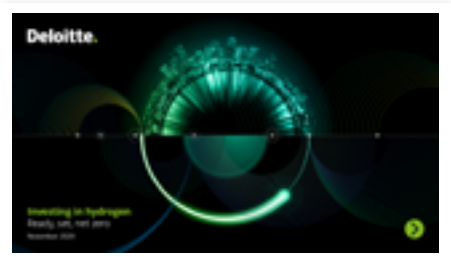
燃料電池の用途例を調査し、燃料電池に関する深い見解と以下における技術比較を掲載している

- 総保有コスト（TCO）
- エネルギー効率
- 環境への影響



Making hydrogen happen（水素化を実現する）

オランダにおける未来の水素市場についてGasunie社の水素プログラムマネジャーであるRené Schutteとのインタビュー



Investing in hydrogen（水素への投資）

バリューチェーンの最新の動きに関する概要と、それに関連し企業が考察すべき事項

01 はじめに
02 水素需要―セクターの概要
03 水素供給―技術の概要
04 水素配送
05 政策面の見解
06 企業面の見解
07 見解のまとめ
08 Thought leadership
09 問合せ先

問合せ先

” Creating a Viable Hydrogen Economy” 英文　発行人・作者

01 はじめに

02 水素需要―セクターの概要

03 水素供給―技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought leadership

09 問合せ先



Eric Vennix
資源・エネルギー・生産財のインダストリーリーダー
デロイトオランダ
evennix@deloitte.nl



Wolfgang Falter
パートナー、サステナビリティサービス
デロイトドイツ
wfalter@deloitte.de



Jeroen van der Wal
パートナー、モデリングサービス、再生可能エネルギーのリーダー
デロイトオランダ
jvanderwal@deloitte.nl



Vincent Oomes
パートナー、ストラテジー
デロイトオランダ
voomes@deloitte.nl



Daniel Grosvenor
パートナー、再生可能エネルギーのヘッド
デロイト英国
dgrosvenor@deloitte.co.uk



Bart Cornelissen
資源・エネルギー・生産財のリーダー
デロイト中東
bpcornelissen@deloitte.com



Tarek Helmi
パートナー、ストラテジー、エネルギーの未来・リード
デロイトオランダ
thelmi@deloitte.nl



Johannes Trüby
ディレクター、デロイト・エコノミクスアドバイザリー
デロイトフランス
jtruby@deloitte.fr



Oscar Kraan
マネジャー、モニターデロイト
デロイトオランダ
okraan@deloitte.nl



Michal Arament
ディレクター、エネルギーストラテジー
デロイトオランダ
marament@deloitte.nl



Eline Brugman
ディレクター、気候&エネルギー・リード
デロイトベルギー
ebrugman@deloitte.com

01 はじめに

02 水素需要―
セクターの概要

03 水素供給―
技術の概要

04 水素配送

05 政策面の見解

06 企業面の見解

07 見解のまとめ

08 Thought
leadership

09 問合せ先

”実現可能な水素エコノミーを創造する”和訳　発行人・訳者



下田　健司
パートナー
ER&I Div.統括
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
keshimoda@tohmatsu.co.jp



森田　哲平
パートナー
Processユニット統括
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
tmorita@tohmatsu.co.jp



吉見　望
シニアマネジャー
Processユニット
(石油・ガス)
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
nyoshimi@tohmatsu.co.jp



大室　理人
シニアコンサルタント
PU&Rユニット
(エネルギー)
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
momuro@tohmatsu.co.jp



髙橋　健
シニアコンサルタント
IP&Cユニット
(防衛・安全保障)
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
ken1takahashi@tohmatsu.co.jp



李　成浩
コンサルタント
Processユニット
(石油・ガス)
デロイト トーマツ
コンサルティング合同会社
chengli@tohmatsu.co.jp

Deloitte.
デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ コーポレート ソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市以上に1万5千名を超える専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。
デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約345,000名のプロフェッショナルの活動の詳細については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト・ネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2022. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group