

CLASS NK WEBINAR SERIES

水素エネルギーの 基本情報と現状



June 2024

HYDROGEN: AN INTRODUCTION

もくじ

1. 水素エネルギーの現状
2. 製造、流通、貯蔵、最終需要



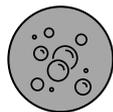
HYDROGEN: AN INTRODUCTION

水素エネルギーの現状

水素の製造方法による種類

グレー水素: スチームメタン改質(SMR)

天然ガスを高温高圧下で水蒸気と触媒と混合し、水素とCO₂を製造。発生したCO₂は回収されず、大気中に放出される。



グリーン水素: 電気分解

再生可能な電力を動力源とする電気分解で、水分子を酸素と水素に分解する。



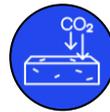
黄色水素: 太陽光発電による電気分解

太陽光発電を動力源とし、水分子を酸素と水素に分解。グリーン水素の一部と言える。



ピンク水素: 原子力発電による電気分解

原子力発電からの電気を使用して、水分子を酸素と水素に分解。



CCUS+メタン改質: ブルー水素

SMRプロセスで水素を製造。発生した二酸化炭素(CO₂)を回収し、CCUSで地下に貯留。CCUS=Carbon Capture, Utilization and Storage。



石炭ガス化: ブラウン水素/ブラック水素

石炭(褐炭)をガス化して作られる水素がブラウン水素。化石燃料全般にガス化して作られるのがブラック水素。同時に生成される、CO、CO₂が環境に悪影響。



メタン熱分解: ターコイズ水素

再生可能エネルギー電源でメタンを熱分解して水素と固体炭素を生成する。CO₂は発生しない。

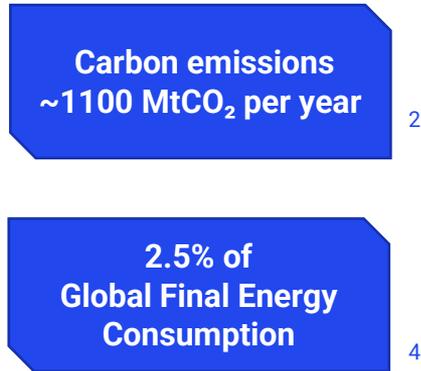
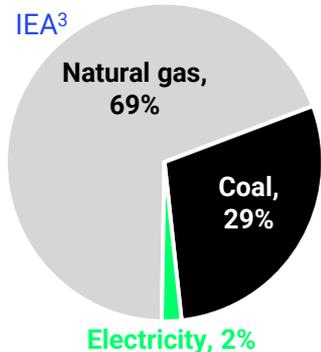


フラッキングで地層から採掘: ホワイト水素

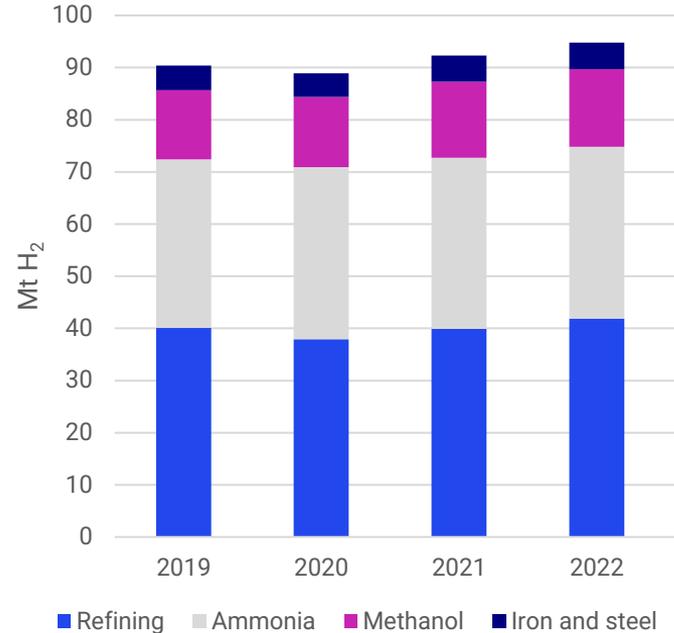
地下堆積物に自然に存在する水素。フラッキングによってアクセスおよび抽出される。採掘コストが下がれば有望。

水素エネルギー生成・使用の現状

- 年間約1億トン(Mt)の生産量 ¹
- ほとんどが化学原料として使用されている
- 一元的かつ継続的に大規模に生産
- 化石燃料を圧倒的に使用し、二酸化炭素排出はおよそ 12kgCO₂ / kg H₂ ²
- 化石燃料ベースの生産プロセスは非常に成熟しており、高度に統合され、非常に効率的



Global hydrogen demand by, 2019-2022¹

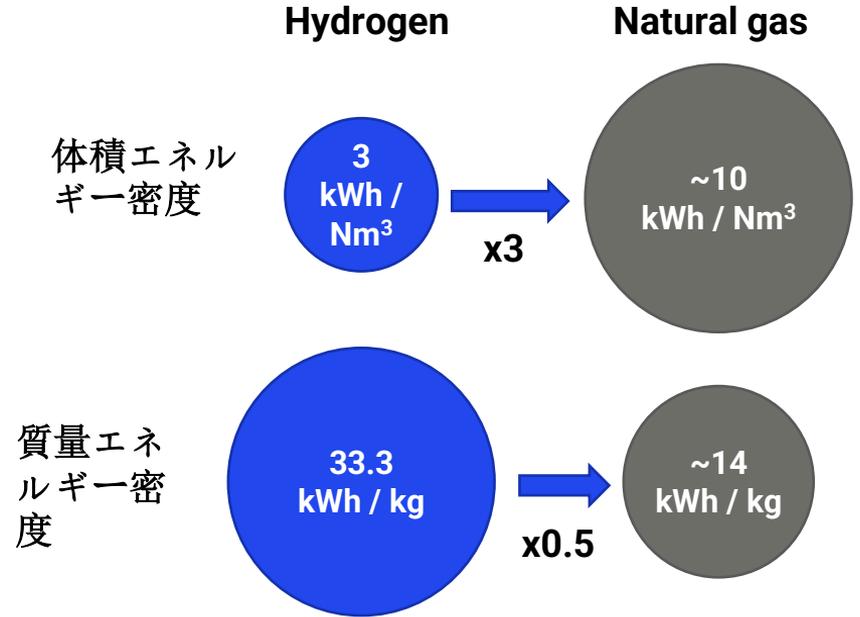


¹ Hydrogen - IEA
² Hydrogen - IEA

³ IEA Global Hydrogen Review 2023
⁴ IEA Global Hydrogen Review 2022

現在の水素バリューチェーンはなぜこのような状態か？

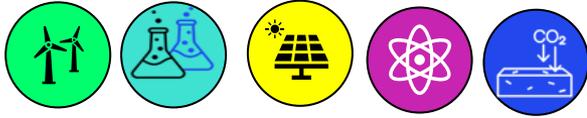
- 化石燃料を使用した水素の製造は、非常にエネルギー集約的であり、経済的に実行可能な原料を生産するには規模の経済性が必要。
- 天然ガスと比較して、体積エネルギー密度が低いため、水素の輸送と貯蔵はコストが掛かる。
- 水素はコモディティとして取引されていないため、最終用途に合わせて生産規模が決定される。
- 天然ガスの現地価格は製品のコストを決定するため、水素の製造と使用は天然ガスが最も安い地域に集中している。



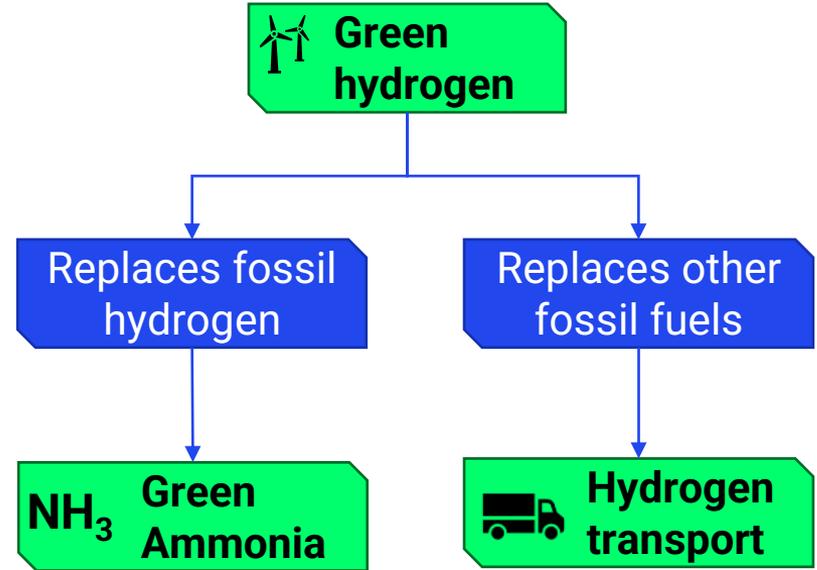
All energy densities in LHV

水素はエネルギー転換のツールとしてどのくらい期待できるか？

- 現在の水素製造は非常に炭素集約的であるが、炭素排出量が非常に少ない製法もある。または、完全クリーンな水素(グリーン水素)を製造する方法もある。



- これらの水素生成方法は、精製や肥料生産などの分野で灰色水素や黒色水素に取って代わって、脱炭素化に貢献できる。
- これにより、水素は低炭素または脱炭素のエネルギーベクトルとして機能し、再生可能エネルギーの代替手段として、多くのセクターでの脱炭素化を促進させる。
- さらに、グリーン水素と電解装置は、ガスと電気のセクターの統合を進めるうえで重要な要素となる。





HYDROGEN: AN INTRODUCTION

製造、流通、貯蔵、最終需要

グレー水素、ブルー水素、グリーン水素が最も重要



グレー水素

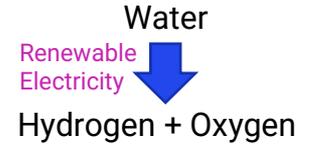
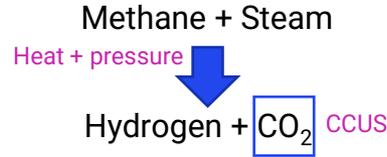
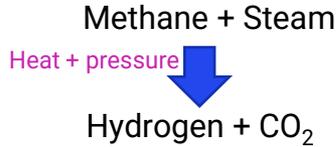


ブルー水素



グリーン水素

製造方法



CO2排出量

~12 kg² CO_{2eq} / kg H₂

> 1 kg CO_{2eq} / kg H₂

0* kg CO_{2eq} / kg H₂

水素 1 kg 当りの の推定コスト

~\$3 / kg H₂

~\$3.5 / kg H₂

~\$7 / kg H₂

IEA¹ est. \$1-6 / kg H₂

IEA¹ est. \$2-7 / kg H₂

IEA¹ est. \$3.5-12 / kg H₂

その他の特徴

非常に成熟したプロセス、非常に効率的、需要に応じたサイズの生産、および継続的に運用できる。

灰色の知識を使用して、CCUSは最大95%のCO₂を回収し、需要に応じた生産規模で継続的に運用できる。

再生可能な電力を使用する。再エネの電力発電は、断続的となるため、需要と供給のバランスをとるためにはエネルギー貯蔵が必要。

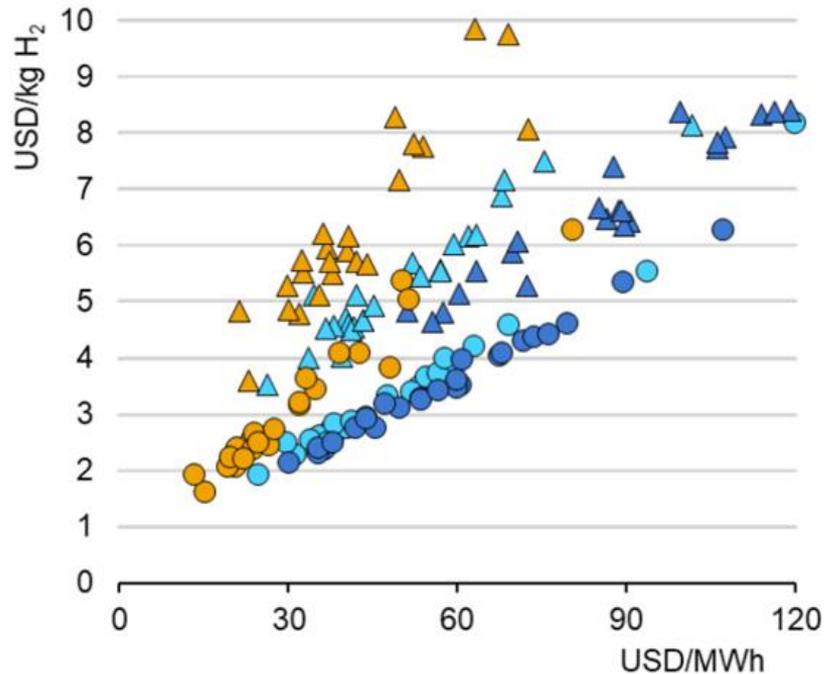
¹ IEA Global Hydrogen Review 2023

² Hydrogen – IEA

グリーン水素のエコノミクス

- グリーン水素の平準化コスト (LCOE) は、通常、ブルーやグレー水素に比して高い。
- このコストは、主に電解槽の資本コストと電解槽の運転に必要な電気代から導き出される。
 - 電解槽の資本コストは、生産能力の増強やサプライチェーンの精緻化に伴い、減少する見込みです。
 - これにより、総生産コストに占める電力コストの割合が増加します。
- そのため、最も安価なグリーン水素を作るためには、低コストの再生可能電力を確保する必要がある。
-
- 最も安価な再生可能電力は、必要となるときに必要な場所で利用できない可能性がある。

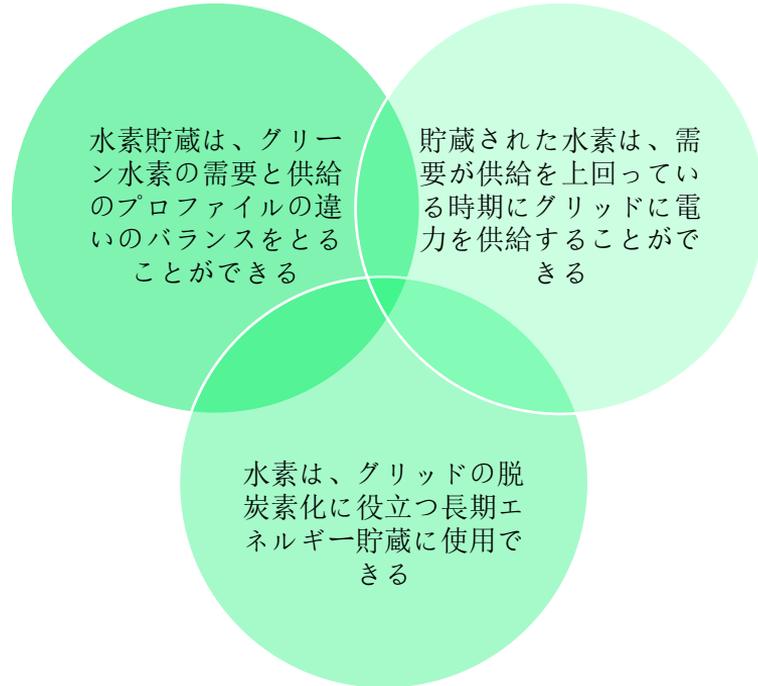
各種の再生可能エネルギーによる電力価格に基づく水素製造の平準化コストの分布 2022 / 2030 (IEA¹)



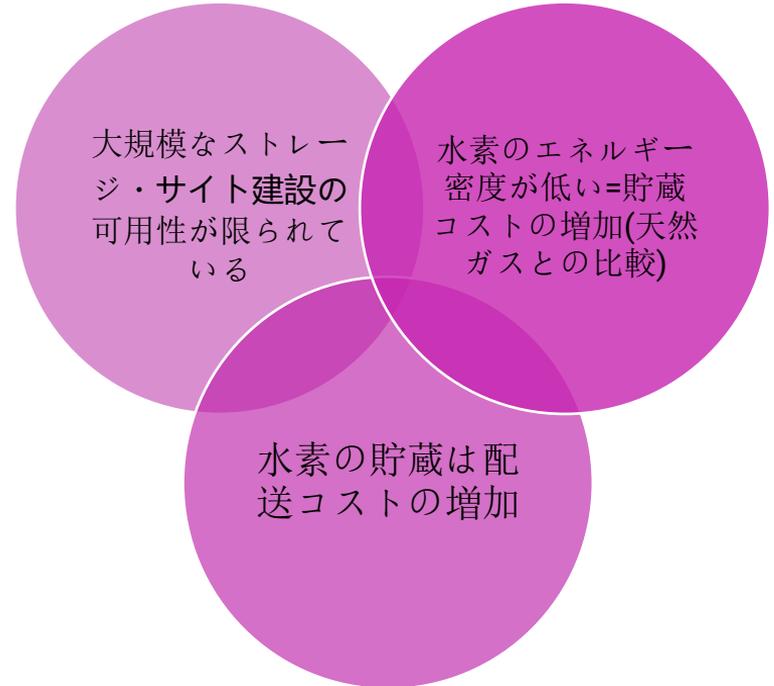
¹ IEA Global Hydrogen Review 2023

なぜ水素貯蔵が必要か？

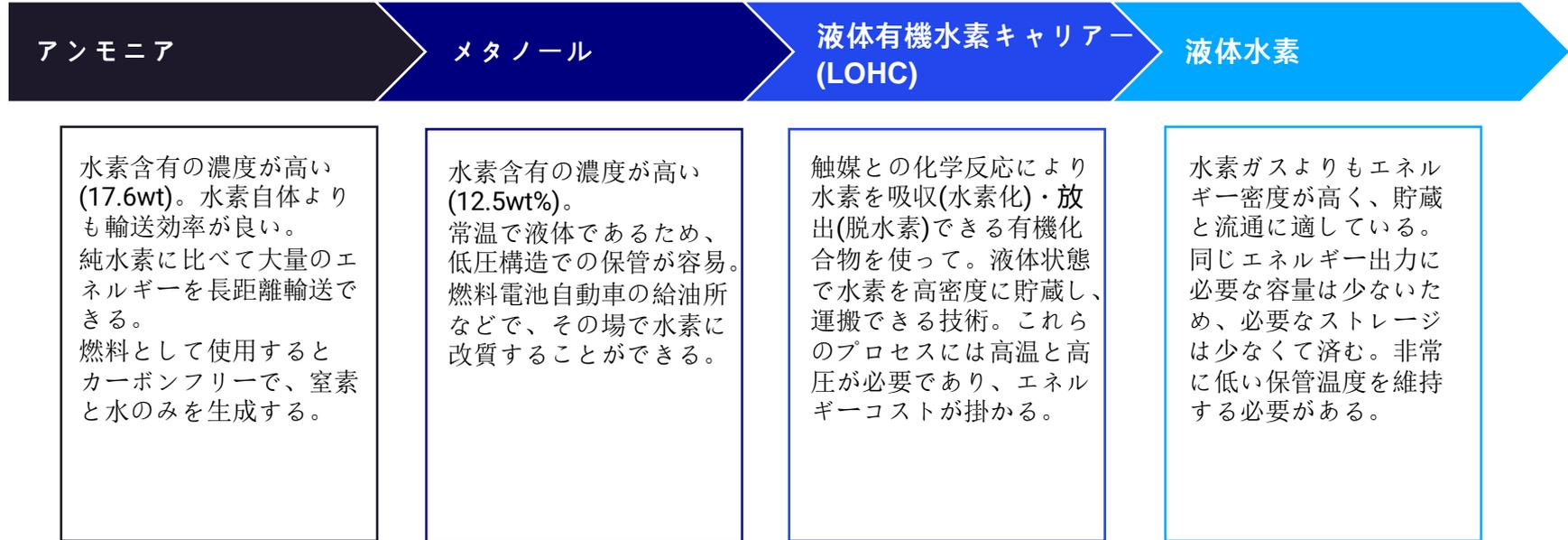
水素貯蔵の利点



水素貯蔵のデメリット



水素キャリアー媒体、液体水素などの技術を使うことで、水素の運搬に関して、単位体積当たりのエネルギー密度問題を克服できる。



水素キャリアーは、水素の貯蔵と流通のための実用的で効率的な媒体であり、クリーンエネルギーとして水素をより広く普及させることを可能にする。また、既存の燃料インフラにも対応できる。

水素の貯蔵 – プロジェクトレベルの貯蔵、国家備蓄

気体貯蔵タンク

圧縮水素ガスは、緩衝貯蔵や日中貯蔵として利用するために、少量ずつ敷地内に貯蔵されている。

現在使用されていることは、2020年代のエネルギー転換において重要な役割を果たす。

水素の貯蔵量は、高kWhから低MWhまであります。¹

地層貯留

圧縮水素ガスは、岩石の洞窟、塩の洞窟、枯渇したガス田などの地層に貯蔵され、季節的かつ長期間の貯蔵を提供できる。

これらの地層に貯蔵される水素は、GWh～TWhの範囲。現在、塩の洞窟は水素貯蔵に使用されている。

固体状態水素貯蔵

水素は固体構造で貯蔵できる。この貯蔵方法はエネルギー密度が高く、水素燃料給油ステーションで使用される。

1MWhの固体水素貯蔵システムは、現在スコットランド諸島で試験中。²

アンモニアおよびその他のキャリア

水素をアンモニアに変換することで、エネルギー密度を向上させることが出来る。それにより長距離輸送することが可能となる。

¹ [Technical and Economic Feasibility Analysis of Underground Hydrogen Storage: A Case Study in Intermountain-West Region USA \(2022\)](#)

² [Shylo: Solid hydrogen at low pressures \(2024\)](#)

体積と距離が水素の物流を左右する

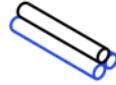


チューブトレーラー

高圧水素ガスタンク(チューブ)を積載するセミトレーラー。

現在使用されていることは、2020年代のエネルギー転換において重要な役割を果たす。

生産現場から産業ユーザーへの現地流通に適している。



パイプライン

国をまたぐ距離の場合、水素ガスは送電および配電サイズのパイプラインでさまざまな圧力で分配する必要がある。

一部の新しいパイプラインの建設は必要であるが、天然ガスパイプラインは再利用できる。



液体水素タンカー

液体水素(LH₂)は、高断熱の極低温タンクローリーで輸送できる。

パイプラインを構築できない価値の高いアプリケーションへの供給に使用できる。

国境を跨ぐ距離の輸送に適している。



船舶

より大きなエネルギー需要への対応と大陸間輸送に必要。

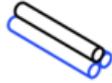
水素は通常、アンモニア、メタノール、または液体水素に変換され運搬される。

まだこの技術は開発中。

各物流オプションには、それぞれ利点と課題がある



チューブトレーラー



パイプライン



液体水素タンカー



船舶

~500kg¹の容量のチューブトレーラーを用いる市場はすでに存在する。

性能を向上させ、漏れを減らすには、技術的な改善が必要。

チューブトレーラーの物流を最適化するには、商業的な改善が必要。

パイプラインは、多くの場合、大量の貨物を長距離輸送するための最も費用対効果の高い方法である。パイプの鋼管が、水素により脆化する懸念があり、これにより、材料に亀裂が入り、漏れが発生する可能性がある。

液体水素は、液体水素を~3,500kgのより大きな質量で流通させることができるため、圧縮ガスチューブトレーラーよりも規模の経済性に優れている。²

水素の液化は、大量のエネルギーを消費するためコストが掛かる。また、液体水素は温度が上がると茹で上がってしまう可能性がある。

水素の大陸間取引を可能にし、市場の成長をもたらす。現在の液体水素タンカーは、75トンの液体水素を運ぶことができるが³、現在、市場はまだ限られている。

¹ [Hydrogen Europe \(2021\)](#)

² [Hydrogen Europe – Tech \(2021\)](#)

³ [JSEA \(2023\)](#)

水素は用途が広く、多くの分野で使用できる。

船舶

アンモニアやメタノールは、船舶エンジンの重油の代わりに使用できる。

重量物長距離輸送

長距離重量物は、ディーゼルで走行する場合と比較してコスト競争力を発揮できます。

化学品製造

石油化学製品の精製やアンモニア製造に使用されるグレー水素を置き換えることで、炭素排出量を削減できる。

発電とグリッドバランシング

集中型のオンデマンド電力(ストレージを含む)と分散型電力(オフグリッド、バックアップ電源)

鉄鋼生産

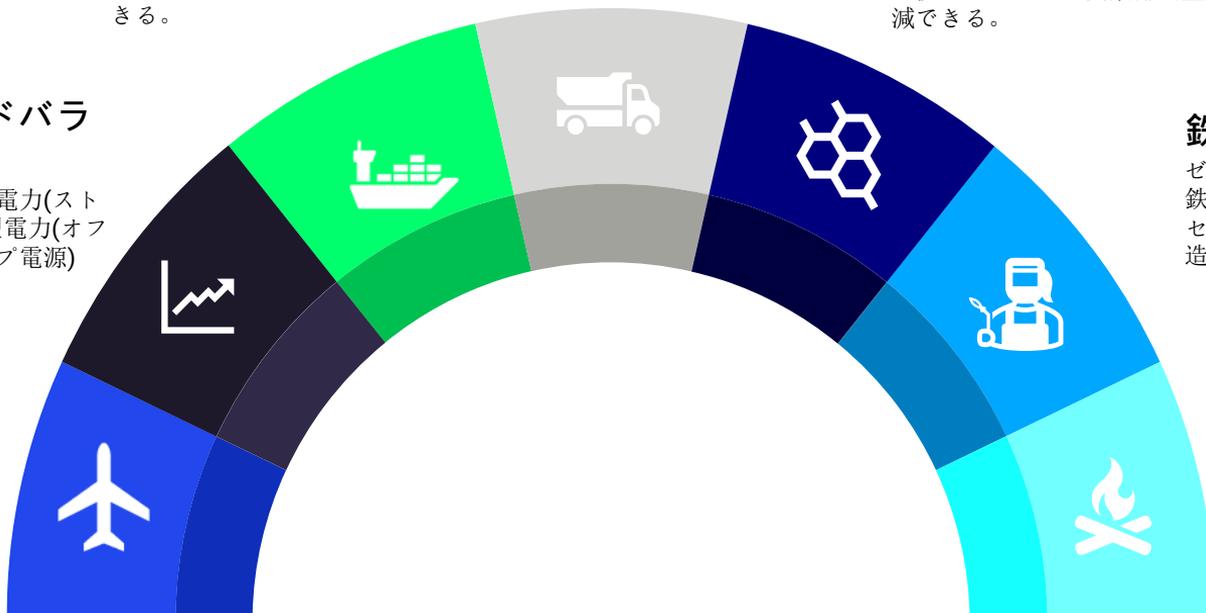
ゼロカーボンエミッションの鉄鋼生産は、直接還元鉄プロセスを通じて水素で銑鉄を製造できる。

アビエーション

ジェット燃料の代わりに、水素や再利用されたCO2ベースの合成燃料を使用することが可能。

暖房

水素を天然ガスに置き換えることで、高温プロセス加熱の脱炭素化に貢献できる。

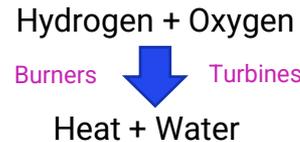
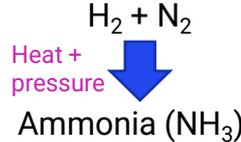


水素エネルギーはどのように活用できるのか？

クリーンエネルギーを提供するために水素を使用する方法は、大きく分けて3つある。



それはどのように
使用されるか？



アプリーケー
ション

鉄(鋼)の直接還元
化学薬品
メタノール
合成燃料

高温プロセス熱
発電
(タービン)
ボイラー
エンジン

輸送
熱電併給(CHP)

特性

- 灰色水素を置き換える。
- 低/ゼロカーボン還元剤。

- 天然ガスの代替
- 高温の熱を提供。
- 低純度(>99%)が必要
- 現在の技術(タービン、エンジン、ボイラー)の軽微な変更

- エンジンの交換
- 電気と低品位熱を提供
- 高純度(<99%)が必要
- 「新技術」開発

低炭素水素は、脱炭素化に最大の効果をもたらすことができる セクターに優先されるべきである。



既存の水素製造

工業プロセス(石油精製および化学品製造)で現在使用されている炭素集約型の水素原料からクリーンな水素に切り替えることは、これらの用途での残留化石燃料の使用による環境への影響を最小限に抑えるために重要です。

産業プロセス

化石燃料による熱の燃焼は、産業排出物の大部分を占めている。熱は、物質を溶かしたり気化させたり、化学反応(鉄鋼生産など)を可能にするためによく使用される。水素は、ネットワーク接続の確保(電化の障壁)や燃料の調達(バイオマスの障壁)の面で障壁が少ない可能性が高いため、他のクリーンな選択肢よりも工業用熱で比較優位に立っている。

グリッドの柔軟性

エネルギーシステムの脱炭素化は、エネルギー需要が再生可能エネルギーの供給に見合わないときに、貯蔵された水素から電力を生産しなければほとんど不可能。水素の長期にわたる季節間の貯蔵能力により、より広範なエネルギーシステムにとって最もコストの低い時間帯に水素を製造し、必要に応じて再電化することができる。したがって、エネルギーシステムへの柔軟性の提供は、水素の将来の役割としてさらに検討する必要がある。

削減が困難なセクター

長距離航空や海運などのOMEセクターは、バッテリー技術の根本的な物理的境界により、電化がほとんど不可能。水素と水素由来の燃料はここで役割を果たすことができるが、それをスケーラブルにするためのイノベーションとコスト削減が大いに必要。水素への投資のリスクを軽減することは、これらの削減が困難なセクターで水素のイノベーションを可能にするために不可欠。

低炭素水素は、成熟した電化技術が存在する部門では使用するべきではない。



家庭用暖房

水素ボイラーはヒートポンプなどの電化熱よりも効率が悪く、運転コストがかかる。水素暖房インフラの改造は、住宅用暖房用の既存のガスネットワークがある英国でも、非常に複雑でコストがかかる。地域クラスターアプローチの一環としての水素ベースの暖房の用途は限られているが(たとえば、水素の主な用途が産業向けである場合)、家庭用暖房の脱炭素化へのために水素を追求すべきではない。



自家用車

EVは、ガソリン車やディーゼル車に代わる、成熟した効率的な低炭素ソリューションである。EVは、直接充電メカニズム(生産から車両への電力供給までの約20%のエネルギーしか失われない)により、再生可能エネルギー供給の効率的な使用であり、需要に応じた充電を通じてグリッドの回復力をサポートする可能性がある。水素燃料電池自動車は、エネルギーの約60%が生産から車両への電力供給までに失われるため、エネルギーシステム全体の効率が大幅に低下する。市場の発展により、EVは最も効率的ですぐに利用できるソリューションとして確立されており、幅広い使用をサポートするためのインフラストラクチャが拡大しています。水素燃料電池車を家庭復帰輸送に使用することは、重量物輸送や迅速な燃料補給を必要とする用途の脱炭素化への効率的なアプローチである可能性があるが、その費用対効果はまだ決定的に証明されていない。

Thanks for listening

For more information on Carbon Trust's
Hydrogen capabilities, please contact:



Rob Bloom – Programme Manager
Rob.Bloom@carbontrust.com



Charlotte Bücke – Programme Senior Analyst
Charlotte.Bucke@carbontrust.com



Whilst reasonable steps have been taken to ensure that the information contained within this publication is correct, the authors, the Carbon Trust, its agents, contractors and sub-contractors give no warranty and make no representation as to its accuracy and accept no liability for any errors or omissions. All trademarks, service marks and logos in this publication, and copyright in it, are the property of the Carbon Trust (or its licensors). Nothing in this publication shall be construed as granting any licence or right to use or reproduce any of the trademarks, services marks, logos, copyright or any proprietary information in any way without the Carbon Trust's prior written permission. The Carbon Trust enforces infringements of its intellectual property rights to the full extent permitted by law.

The Carbon Trust is a company limited by guarantee and registered in England and Wales under company number 4190230 with its registered office at Level 5, Arbor, 255 Blackfriars Road, London SE1 9AX, UK.

© The Carbon Trust 2023. All rights reserved.