



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

日本の水素戦略の再検討 「水素社会」の幻想を超えて

2022年10月



世界の動向と、水素戦略への影響

深刻さを増す気候危機と世界の動向

- ・ 国際社会は経済社会の脱炭素化に向けた取り組みを加速
- ・ 2022年2月以降、ロシアのウクライナ侵略によるエネルギー危機

⇒ エネルギー効率化と自然エネルギーへの転換による、化石燃料依存からの脱却を急ぐ動き
⇒ ロシア依存が高かったEUは、2030年までに**自然エネルギー電力割合を69%に高める戦略**

水素戦略への影響

- ・ 気候対応の加速 + 高騰する天然ガス
- ・ 天然ガスに依存するグレー水素、ブルー水素から、
自然エネルギー電力由来のグリーン水素の開発・利用をめざす動きへ

電化による対応領域の拡大

- ・ 技術的進展で、電化により対応できる領域が広がり、**水素を必要とする領域は縮小化**

- ▶ **水素の利用は、他の方法では脱炭素化の困難な用途を対象とすることが世界の共通認識**
- ▶ **欧州を中心として、鉄鋼など脱炭素化の困難な産業用途での実際の導入に向けた動きが活発化**

1. 脱炭素化への水素の役割

「水素社会」の幻想を捨てる

脱炭素化への水素の役割

「水素社会の実現」とは

- ・水素に関する日本の政策文書に、繰り返し使われている。
- ・水素基本戦略では「水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会」と定義。

水素の利用

- ・水素は、家庭やオフィス、運輸、産業、更に発電など様々な用途で使用可能。
- ・しかし、物理的に使用可能であることと、それが合理的な選択か、というのは別の問題。
- ・多くの用途には、水素よりも安価で使いやすい、効率的で脱炭素の別のオプションあり。

水素の役割

- ・2050年CNに向けて、水素の役割については国際的にも様々な議論。
- ・水素はコスト低下が進んでも、脱炭素技術の中では相対的にコストの高いオプション。
- ・共通の結論：
「脱炭素化が難しい(hard to abate)分野で、代替技術がないところに優先して使っていく」

- 水素は「日常生活と産業活動で普遍的に利用すべきもの」ではなく、本当に必要な用途に向け限定的に使われるべきもの。

水素の用途の優先度

水素の特徴

- ・製造、輸送、変換に多大なエネルギーが必要で、その使用がエネルギー全体の需要を増大させる。

⇒ 最も価値を発揮できる用途を特定する必要がある。

水素の用途

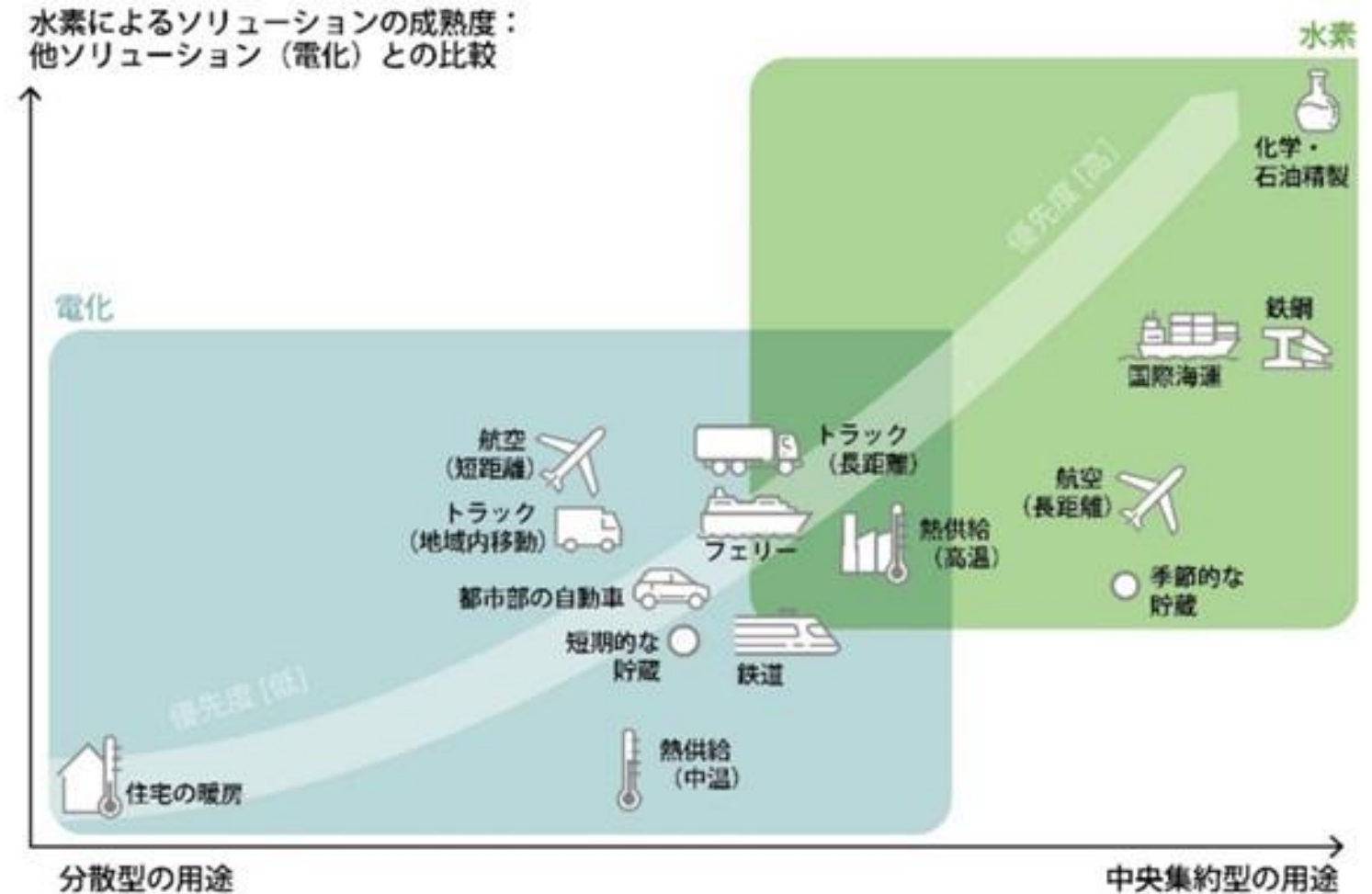
- ・IRENAは「**水素は現在代替手段がない用途に限って使用するのが最善**」と結論。
- ・水素は、成熟度が高く中央集約型の用途に優先的に利用すべき。など。

➤ 最も優先度が高い用途：

- 化学製品の製造や石油精製
- 次いで鉄鋼生産や国際海運

➤ 最も優先度が低い用途：

- 住宅の暖房、中温の熱供給
- 都市部の自動車、短距離航空など。



出典：IRENA “Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor” (2022年1月)

水素の「後悔しない」用途

用途に関する3つの分類

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| ・後悔のない用途(no regret) | 各研究機関が共通して優先すべきとしている用途 |
| ・意見が分かれる用途 (controversial) | 研究機関によって意見の異なる用途 |
| ・好ましくない用途(bad idea) | 多くの機関が優先順位を低いとする用途 |

「後悔しない用途」の考え方

- ・エネルギーの効率化、資源の有効利用・再利用を進めるサーキュラーエコノミーへの移行を前提。
- ・電化や自然エネルギー熱利用の進展も考えて、他の代替手段のない用途で水素を活用。

	産業部門	運輸部門	発電部門	建物部門
後悔しない用途	<ul style="list-style-type: none"> ・還元剤 (直接還元製鉄) ・原材料 (アンモニア、化学品) 	<ul style="list-style-type: none"> ・航空 (長距離) ・海運 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然エネルギー電源のバックアップ (風力・太陽光発電のシェアと季節的な需要構造による) 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱供給網 (残余の需要への対応) 1)
意見が分かれる用途	<ul style="list-style-type: none"> ・高温熱 	<ul style="list-style-type: none"> ・トラック・バス 2) ・航空・海運 (短距離) ・鉄道 3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要となる需要量－水素以外の柔軟性・貯蔵オプションによって決まる 	
好ましくない用途	<ul style="list-style-type: none"> ・低温熱 	<ul style="list-style-type: none"> ・乗用車 ・軽量車両 		<ul style="list-style-type: none"> ・個々の建物の熱需要への対応

出典) Agora Energiewende “12 Insights on Hydrogen” (2021年4月) より自然エネルギー財団和訳

注1) 自然エネルギー、環境熱、廃熱を可能な限り使用した後で、水素を使用する。特に、既存の大規模な地域暖房システムで、供給温度が高い場合は有効。

注2) 現在、大型車やバスの量産は、水素よりも電気自動車の方が進んでいる。水素大型車は、現時点ではシナジー効果のある場所 (港湾、産業クラスター) でのみ展開。

注3) 輸送距離、利用頻度、エネルギー供給オプションによる。

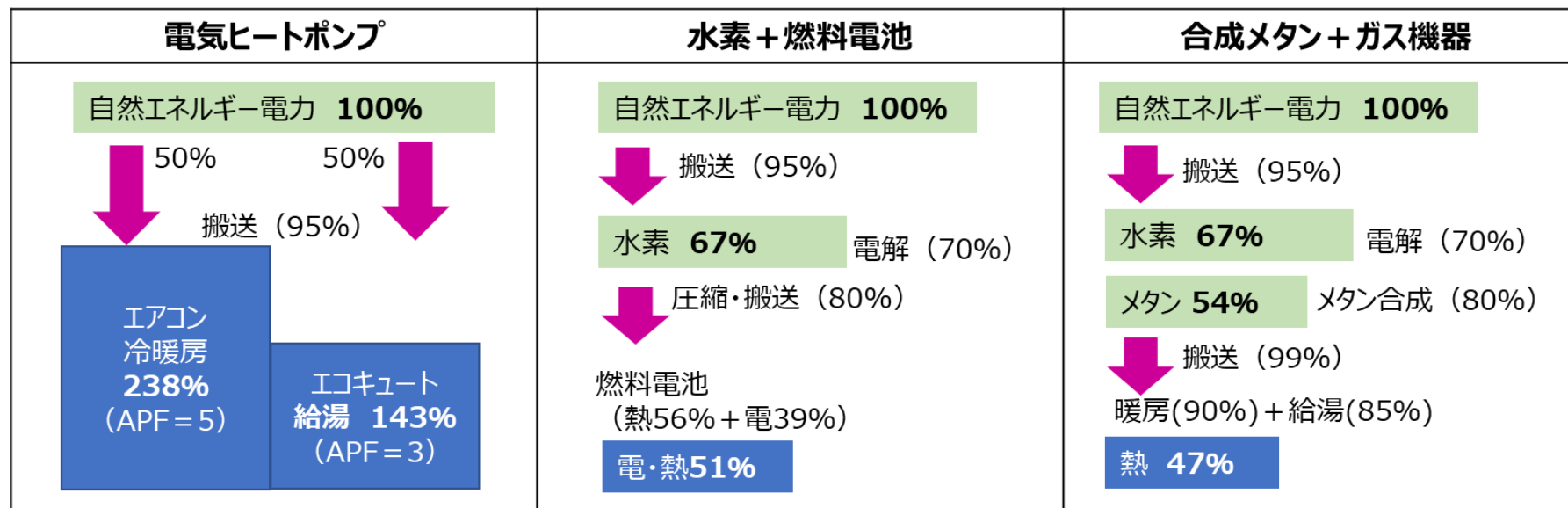
建物における熱利用の効率 (電気・ヒートポンプvs水素・燃料電池vs合成メタン・ガス機器)

建築部門の水素利用

- ・全体として優先度が低いことが共通認識。特に個別建物での水素利用は「好ましくない」とされる。
- ・建物の熱利用では、ヒートポンプを利用した電気暖房器具や給湯器が商用化、普及。

エネルギー効率の比較

- ・ヒートポンプ：空気中の熱を利用することで、元の電力の5倍（エアコン）、3倍（エコキュート）に利用。
- ・グリーン水素、グリーン合成燃料：製造過程で30%以上のロスが生じ、元の電力の50%前後の出力。



出典) Agora Energiewende "The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels" (2018年4月) を基に自然エネルギー財団作成

- 直接自然エネルギー電力を使ったほうが、グリーン水素やグリーン合成メタンに変換して利用するより格段に効率が良い。
- 個別の建物における水素の選択は電気ヒートポンプが使用できない場合に限られる。

産業用電気加熱の適用領域

産業部門の水素利用

- 水素利用の優先度が高い分野だが、近年、電化の可能性が進展し、水素利用の優先度が低下。

200℃未満

電化促進：電気ヒートポンプが効率よく、コスト効果もある

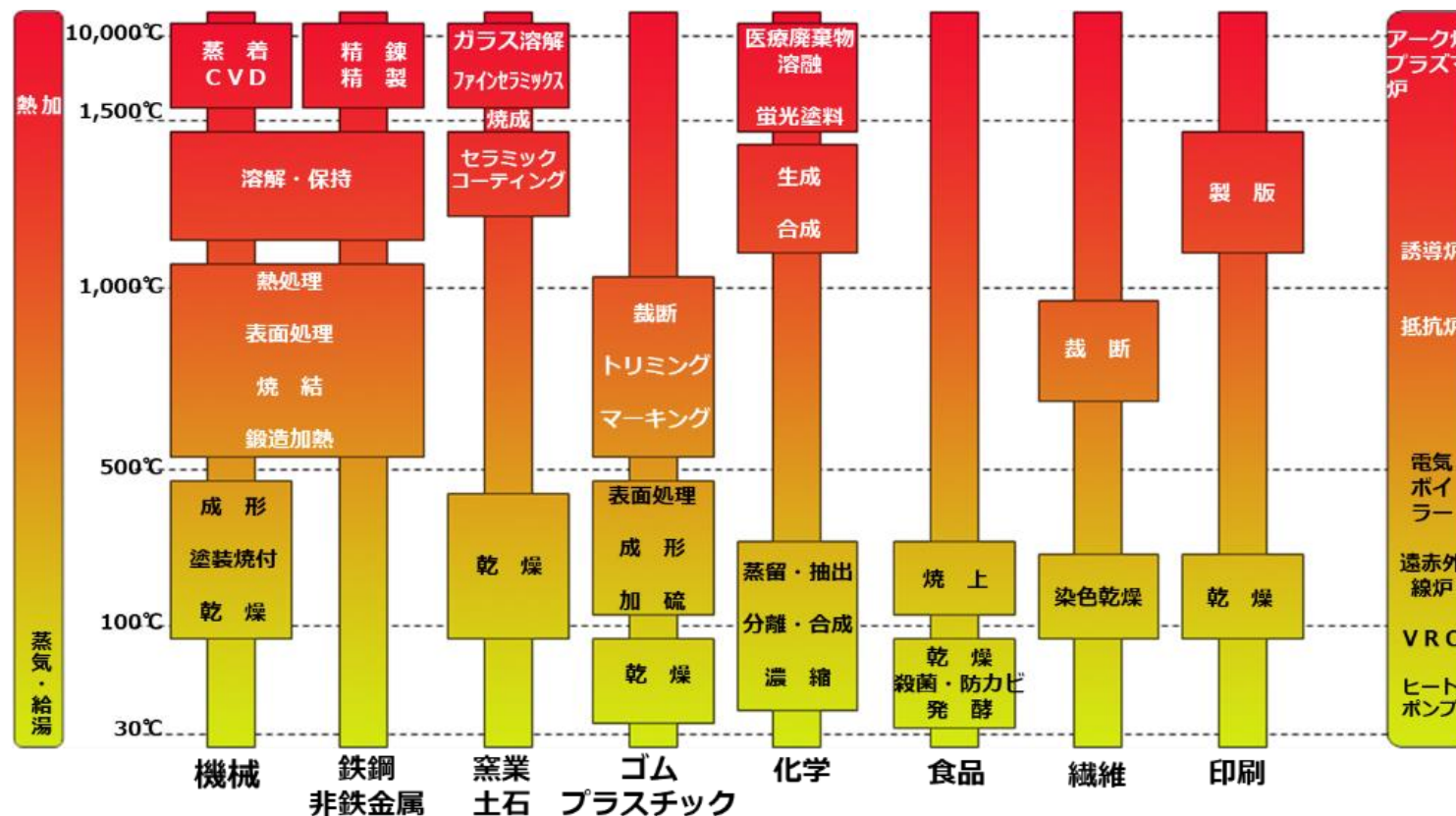
1000℃以上

水素の領域と言われてきたが、電気加熱が可能に。

5000℃を超える領域

アーク炉やプラズマ炉で、蒸着加工、精錬、ガラス溶解等の工程で電気加熱が可能に。

➤ 加熱技術の進展も考慮し、製品や製造プロセスごとに、エネルギー転換にむけた設備投資の判断をしていく必要。



出典) (一社) 日本エレクトロヒートセンター「エレクトロヒート 電気加熱システム 活用ガイド 紹介 (産業用電気加熱の適用領域)」 (2019年8月)

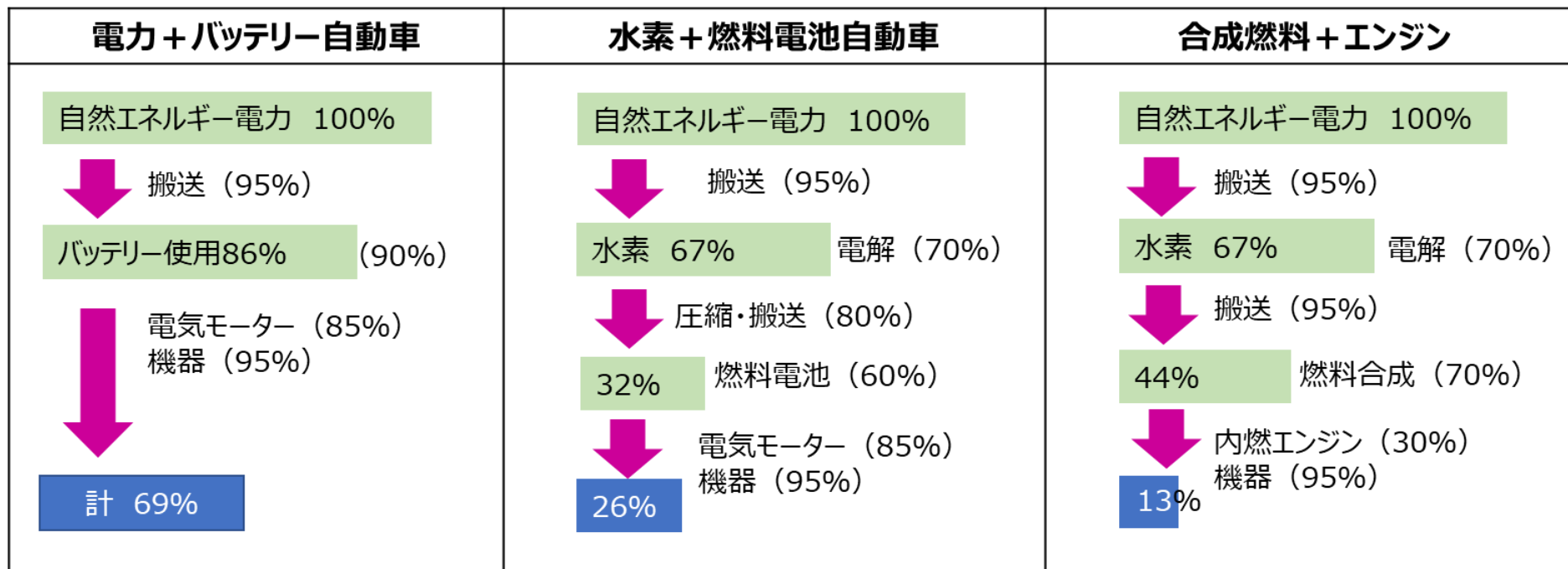
自動車のエネルギー効率（電気・バッテリーvs水素・燃料電池vs合成燃料・エンジン）

運輸部門の水素利用

- ・燃料製造から走行までのエネルギー効率で、電気自動車は水素利用の燃料電池車等を大きく上回る。
- ・トラック（長距離、重量車）では水素が優位であると考えられていたが、電気自動車の参入により燃料電池車の優位性が不透明に。その結果、トラックやバスでの水素は「意見が分かれる」という評価。

エネルギー効率の比較

- ・電気自動車：走行に出力できるエネルギーは発電された電力の69%。
- ・FCV：水素の製造とその搬送、燃料電池の使用に伴うエネルギー消費が大きく、最終的には26%。
- ・合成燃料：水素と合成燃料の製造・搬送、エンジン効率も考慮すると、13%。



発電部門 脱炭素時代の電力システム構築を考えるなかで、必要性を検証

水素発電が必要となる条件

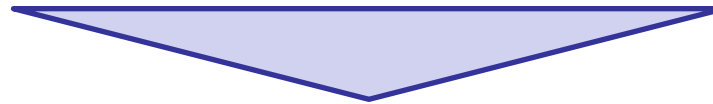
- ・ 太陽光発電、風力発電という変動型電源が電力供給の大半をになう脱炭素時代の電力システムにおいて水素が調整力として役割を担うとすれば・・・

脱炭素時代の電力システムの需給調整

- ① 広域的な連系線
- ② 揚水発電
- ③ 蓄電池
- ④ 市場運営
- ⑤ 「柔軟な需要」 デマンドレスポンス

など、様々な方法と併せた検討が必要

※調整力として「唯一」でもなければ、「コスト」が低いわけでもない



水素の用途として優先度の高い分野

- ・ 製造プロセスで水素を使っている石油精製、直接還元製鉄など産業部門の一部、長距離航空、海運用途。
- ・ 発電部門、トラックなど重量車での利用可能性・必要性については、他の脱炭素技術の進捗と合わせて検討されていくべき。

2. 席卷するグリーン水素

席卷するグリーン水素

日本の水素戦略の問題点（供給面）

- ・ 自然エネルギー電力によって水を電気分解して生産されるグリーン水素がコスト競争力を持つのは、2050年ころになるという判断
- ・ 日本の電力供給における自然エネルギー電源に対する低い位置づけ。
⇒ 自然エネルギー由来のグリーン水素の促進を重点とするのではなく、**化石燃料由来のグレー水素、ブルー水素を優先**してきた。

グリーン水素の生産コストの低下

- ・ ①自然エネルギー電力の急速なコスト低下、②電解装置の技術開発、量産化の進展の中で、グリーン水素の生産コストは低下。
- ・ その結果、先行する国々では2020年代の半ばにも、ブルー水素、そしてグレー水素よりも安価になると予測されている。
- ・ 更に、ウクライナ侵略が引き起こした化石燃料価格の高騰は、グリーン水素のコスト優位性を際立たせた。

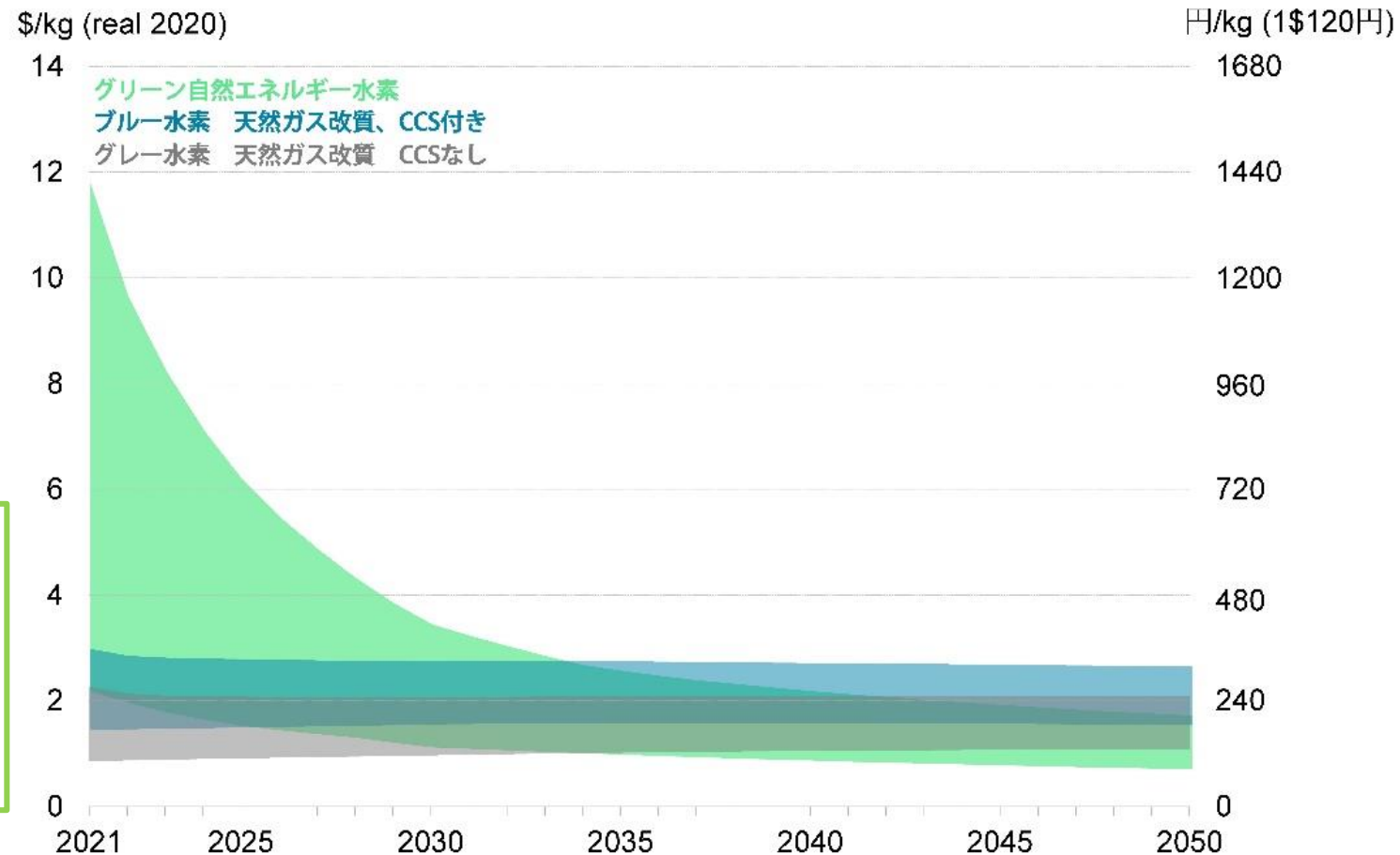
➤ グリーン水素のコスト低下と、化石燃料価格高騰により、日本政府の水素戦略の前提は大きく変化した。

グリーン水素と化石燃料由来（ブルー、グレー）水素コストの将来予測

BNEFのコスト予測

- ・日本を含む世界25か国を対象。
- ・グリーン水素と化石燃料由来（ブルー、グレー）水素プロジェクトの分析に基づく将来予測を実施。
- ・ブルー水素：2050年までほぼ横ばい。
- ・グリーン水素：今後10年で急速に低下。

- 2024年以降、グリーン水素は先行する国からブルー水素より安価になり始める。
- グレー水素に対しては、2030年に一部の国でグリーン水素が安価になり、2050年には調査対象としたすべての国で安くなる。



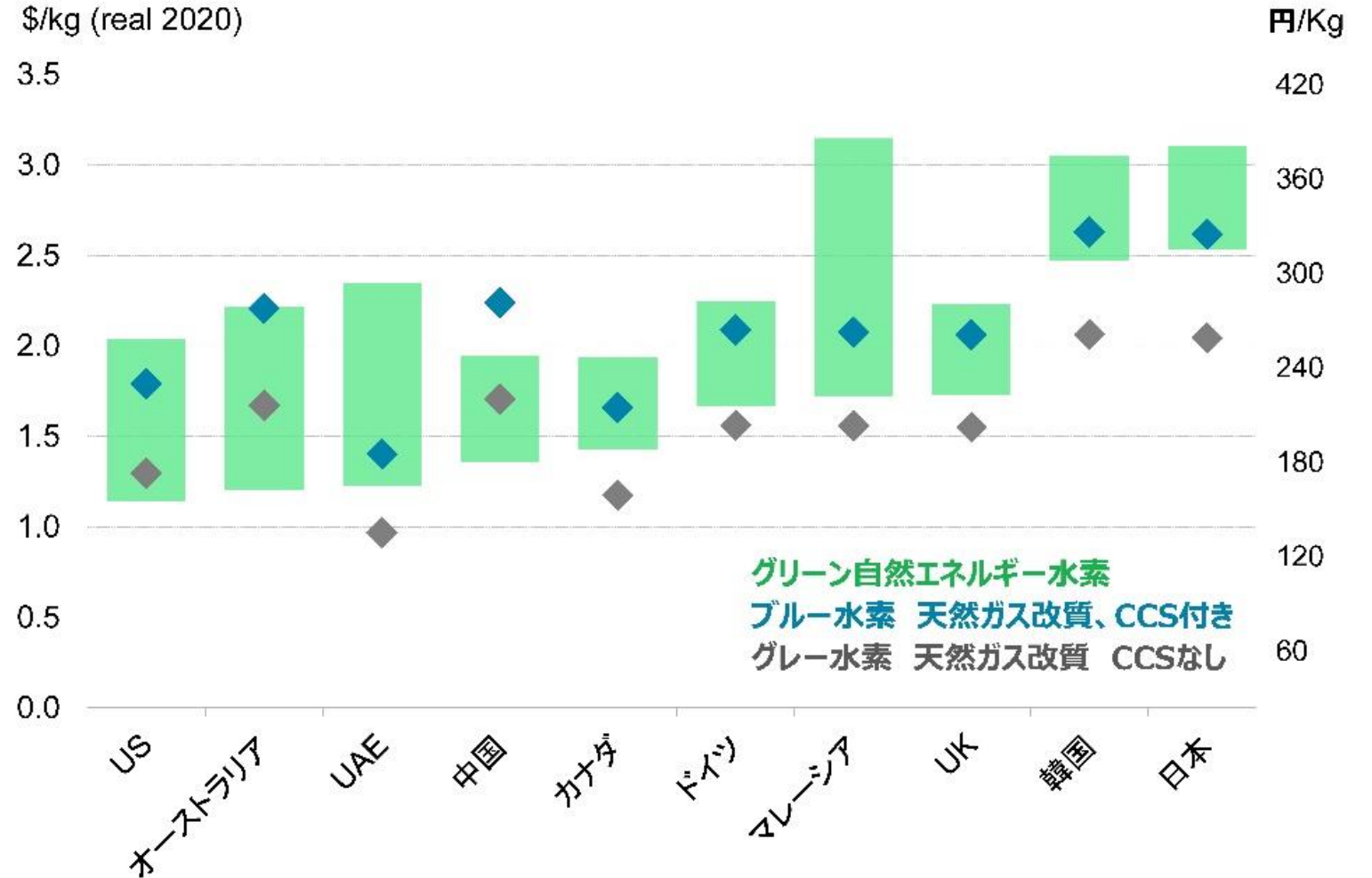
注) 25か国におけるグリーン水素とブルー水素のコスト幅。BNEFの電解装置コスト・オプティミスティック・シナリオによる。グリーン水素の幅は、電解装置の種類による。中国のアルカリ型が低く、PEM型が高い。電解装置の電力はPVまたは陸上風力のうち低い方による。CCSコストは全ての国で一定と仮定。

出典) Bloomberg NEF "1H 2022 Hydrogen Levelized Cost Update – Higher LCOE and gas prices" (2022年6月) を基に自然エネルギー財団作成

2030年にはグリーン水素はブルー水素より安価に

BNEFのコスト予測

- 2030年には調査対象のすべての国でグリーン水素はブルー水素より安価になると予測。

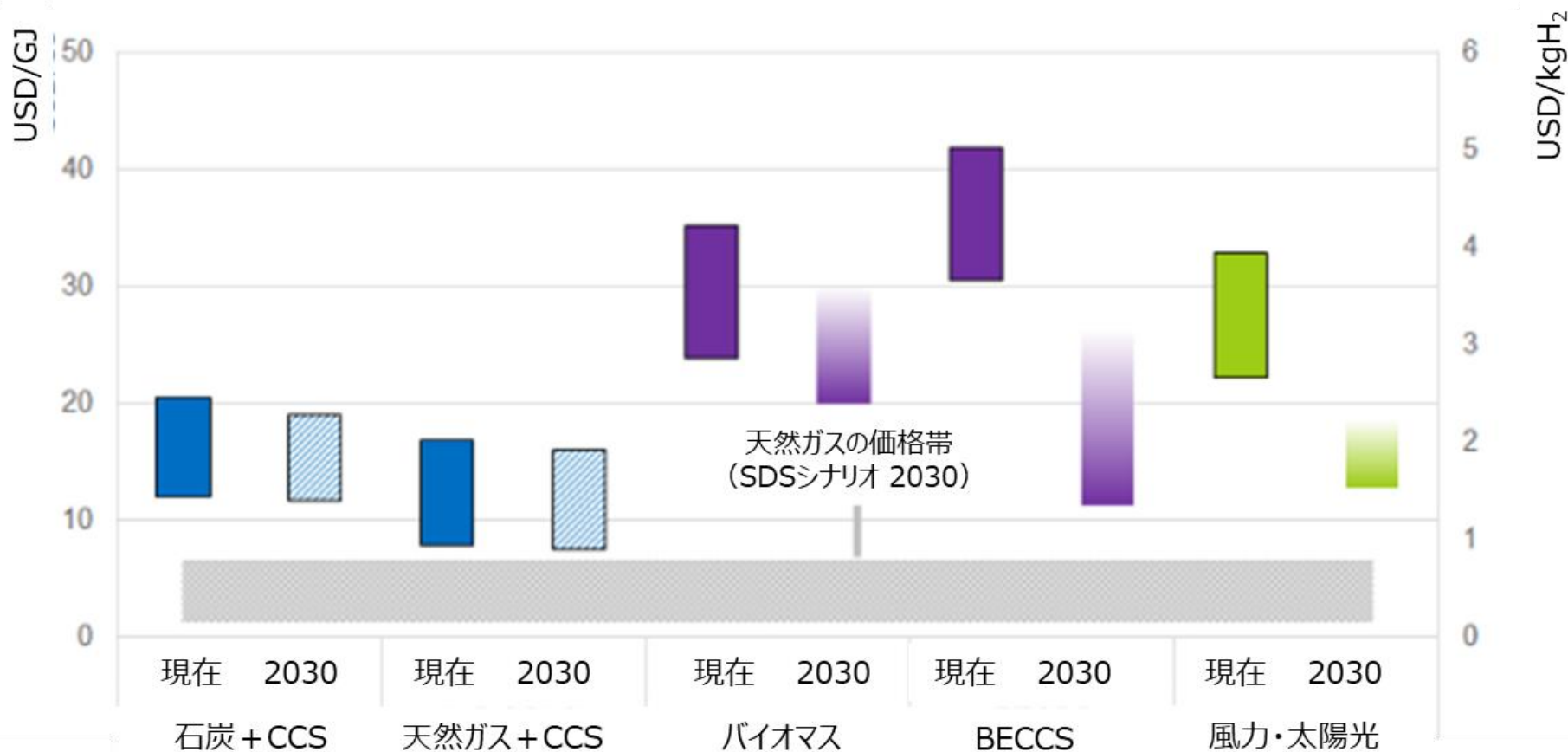


注) 自然エネルギー水素の幅は、電解装置の種類の多様性による。アルカリ型が低く、PEM型が高い。電解装置の電力はPVまたは陸上風力のうち低い方による。CCSコストは全ての国で一定と仮定。

出典) Bloomberg NEF "1 H 2022 Hydrogen Levelized Cost Update - Green to outcompete 'blue' in mid-2020s" (2022年6月) より、日本と関係が深いと考えられる10か国を選択して自然エネルギー財団作成

製造法による水素コストと将来予測

IEAのコスト予測：電解装置の大型化による規模の経済性向上と技術改善により、太陽光発電と風力発電の最適な組み合わせが可能な地域では、2030年時点でグリーン水素はブルー水素と同じレベルになると予想。



出典) IEA "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector" (2022年2月)

➤ 自然エネルギーの拡大と低価格化、水電解装置の大型化・効率アップ・長寿命化により、グリーン水素のコストは今後大幅に低下することが、各研究機関の共通する見解。

エネルギー危機がグリーン水素の競争力を高める

化石燃料価格の動向

- ・ コロナ禍からの回復で、2021年後半から上昇。ウクライナ侵略開始以降、より急速な高騰を記録。
- ・ 燃料価格の高止まりは中期的に継続する可能性。

水素コストへの影響

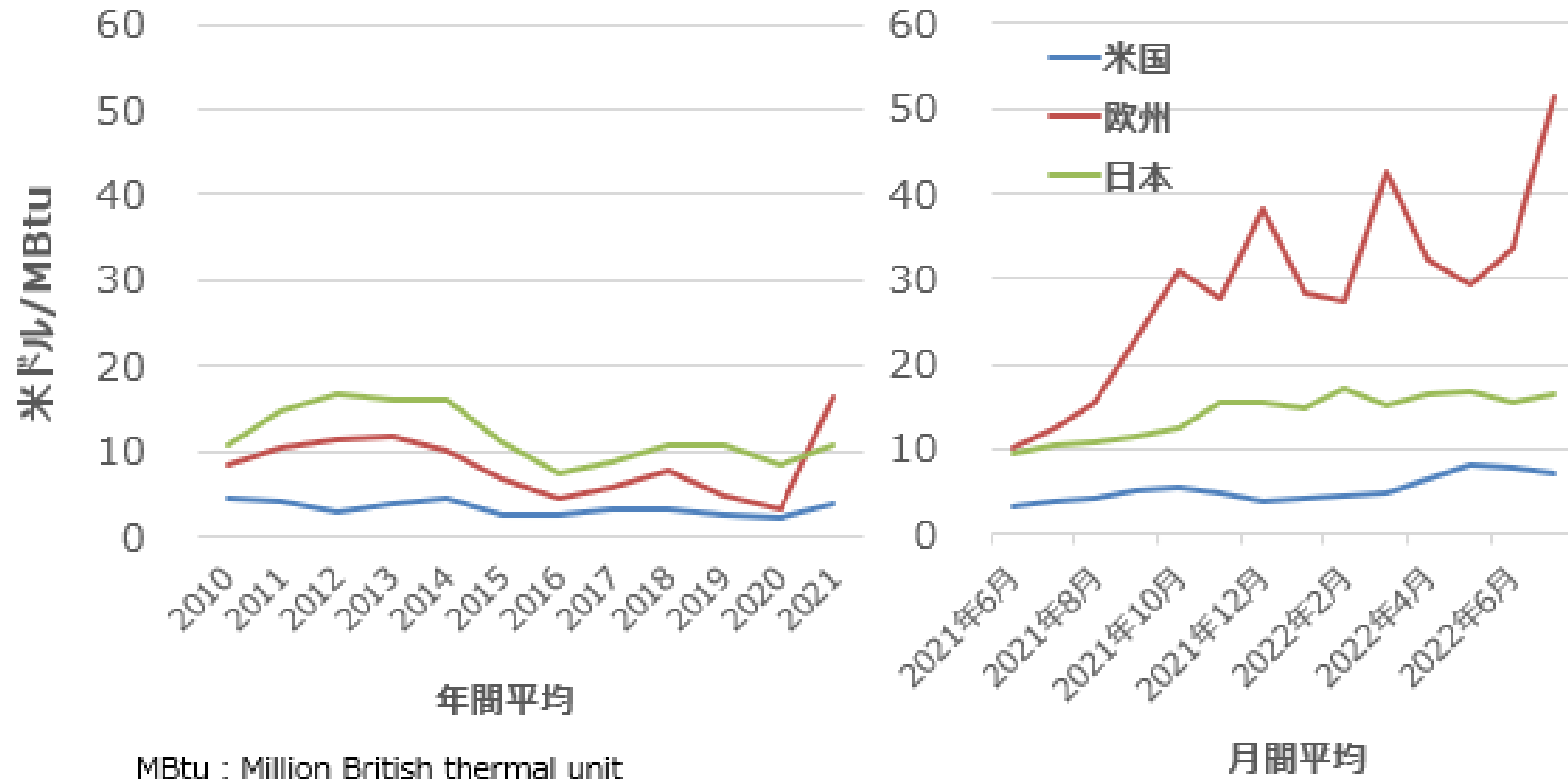
- ・ 化石燃料を主原料とするブルー、グレー水素の生産コストを引き上げ
- ・ グリーン水素への影響は軽微で、相対的にコスト競争力が高まる。

各機関の予測

IRENA：2021年後半より、欧州では既にグリーン水素がグレー水素より安価に。
 BNEF：グリーン水素は、既に化石燃料に由来する水素への競争力をもっているとの見解。

- EUをはじめとしてグリーン水素への政策支援と投資が活発化。
- 世界的にもグリーン水素が水素市場を席捲していくことは確実。

天然ガス価格の推移（米国、欧州、日本）



出典) The World Bank "Commodity Markets"(2022年8月)
<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> を
 基に自然エネルギー財団作成

3. 世界の水素戦略の動向

欧州を中心に

世界の水素戦略の動向

欧州連合、欧州各国

- ・ 2020年以降、それぞれの水素戦略を策定
- ・ グレー水素ではなく、脱炭素、低炭素のグリーン水素、ブルー水素を戦略の中心においている。

EUとドイツ

- ・ 自然エネルギー由来のグリーン水素開発を最重点。
- ・ エネルギー危機を受けてそれぞれグリーン水素開発を更に加速する方針。

中国

- ・ 2022年3月、初の長期水素戦略を公表
- ・ グリーン水素開発を戦略の中心とすることを明確にした。

英国、インド、オーストラリア

- ・ グリーン水素の開発を進める新たな取組が始まる。

- 世界の水素戦略では、**グリーン水素を重視、加速**。
- ブルー水素については、単にCCSを用いて排出削減対策を行うだけでなく、実際にどの程度の排出削減を行う必要があるのか、その基準を明確化するようになっている。

厳しくなる世界のブルー水素排出基準（1）水素はカーボンフリーでなく、中立

EU、英国、米国

- ・ブルー水素の利用を経過的に認める。
- ・ブルー水素は、CCSだけではクリーンとせず、そのGHG排出基準を明確化。

EU

＜指令案（2021年12月）＞

- ・グリーン水素、ブルー水素ともに、グレー水素に比べ、70%以上の温室効果ガスの排出削減が必要。
- ・天然ガス生産にともなう上流工程（天然ガスの採取から輸送等）のGHG排出量も含む基準。

英国

＜低炭素水素基準（2022年4月）＞

- ・グレー水素に比べ約80%の削減が必要
- ・天然ガス生産にともなう上流工程（天然ガスの採取から輸送等）のGHG排出量も含む基準。

米国

＜インフラ投資雇用法（2021年11月）＞

- ・連邦政府として初めて推進の対象とする水素の排出基準を定めた
- ・ **クリーン水素の定義を炭素強度* 2kg以下の水素****

* 水素1kgの生産量あたりGHG排出量が二酸化炭素換算

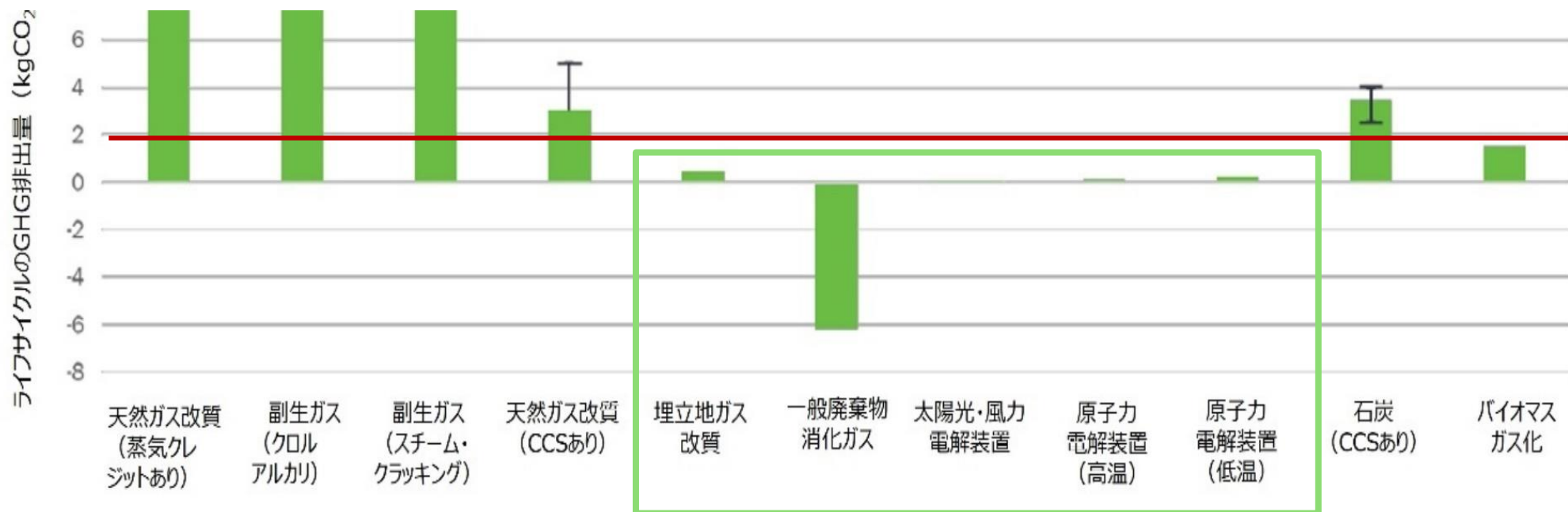
** 水素生産時点以降の排出を対象。ただし、支援対象とするプロジェクトの選定にあたっては、上流工程を含めたライフサイクルでの排出量も考慮される見込み。

厳しくなる世界のブルー水素排出基準（2）

米国のインフラ投資雇用法

- DOEの説明資料（下図）では、天然ガス由来でも石炭由来でもブルー水素のGHG排出量は2 kgを上回る。
- CCSの回収率を90%と設定しているが、グリーン水素とするにはさらに高い回収率が必要。
- 現在、2kgを下回るのは、グリーン水素と廃棄物や埋め立て地からの排出ガス由来の水素のみ。

水素のライフサイクルにおけるGHG排出量（製造技術別）



注) 黒い線で描いた幅は、上流の漏出率、CCSの効率・回収率による影響を反映している。ベースラインの回収率は90%を想定。

4. 日本の水素戦略の問題点と再構築の方向

日本の水素戦略の問題点と再構築の方向

水素基本戦略とその後（2017年12月～）

- ・ 世界で初めて水素基本戦略を策定（2017年12月）
- ・ その3年前には、水素・燃料電池戦略ロードマップを策定（2014年）、2016年と2019年に改訂。

2050年CN宣言以降（2020年10月～）

- ・ 第6次エネルギー基本計画（2021年10月）
 - 水素社会実現を通じて、カーボンニュートラルを達成、とした。
 - 水素基本計画の改定の方針が示されたが、具体的なスケジュールはまだ示されていない。
 - クリーンエネルギー戦略の中間まとめ（2022年5月）でも、これまでの取組と方針のまま。

日本の水素戦略の問題点

- ・ EU、欧州各国の水素戦略はCN時代のものとして策定。
- ・ 一方、日本は脱炭素社会への水素戦略を確立されない中で、水素がどの分野に必要なのかが明らかでないまま、大規模サプライチェーンの整備が進行中。
- ・ また、脱炭素化、エネルギー安全保障の確立という重要課題の解決に大切な役割を果たすグリーン水素の国内生産という点で、日本は欧州各国、中国などの後塵を拝している。
- ・ この事態は、水素戦略だけの誤りによるものではなく、電源においても自然エネルギー電力の開発に消極的だった政府のエネルギー政策そのものの誤りの反映。

日本の水素戦略、3つの問題点

1. 優先度の低い用途の選択
2. 化石燃料由来のグレー水素・ブルー水素の優先
3. 国内グリーン水素生産の立ち遅れ

優先度の低い用途の選択

水素の用途

- ・他に脱炭素化の手段がない分野に優先して使うべき。
- ・電力の直接利用や他に有力な選択肢のある用途に用いるべきではない。

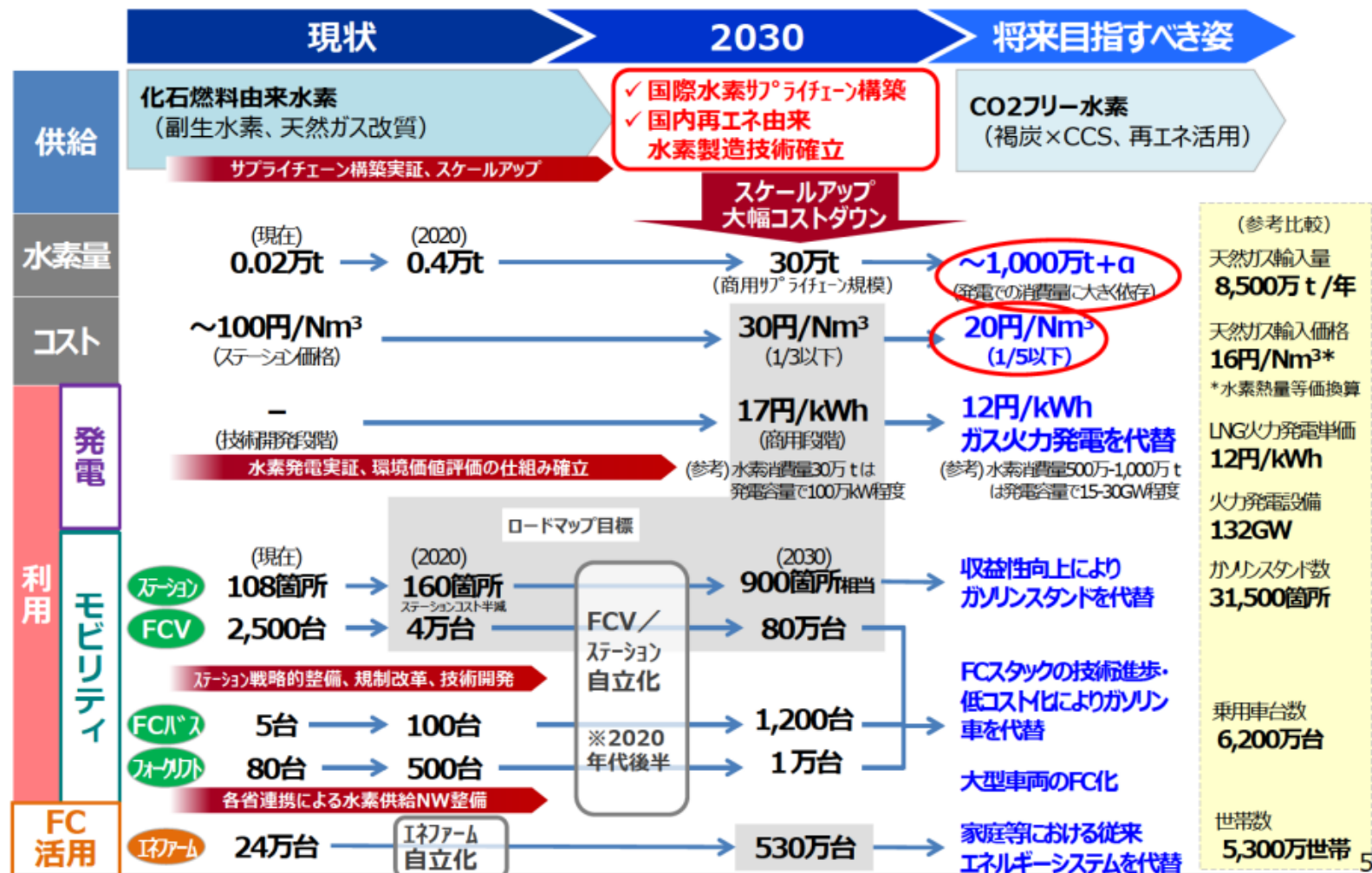
水素基本戦略

- ・用途の記載のほとんどがFCVと燃料電池。
- ・そのひずみが今日まで続いている。

第6次エネルギー基本計画

- ・鉄鋼生産での水素還元製鉄、船舶での利用や航空機燃料など、「後悔のない用途」に適合するものも記載。
- ・一方、依然としてFCVのさらなる導入拡大と水素ステーションの整備、家庭用燃料電池の普及促進を明記。

水素基本戦略のシナリオ



出典) 経済産業省 「水素基本戦略概要」 (2017年12月)

<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11049177/www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html>

「好ましくない用途」に10年間の予算の7割を使う

水素関連予算の推移（経産省、環境省）

- 毎年400億から700億円近い予算。
- この10年の総額は約4,600億円。
- 燃料電池、FCV、水素ステーションを対象とする予算が2012～2016年度までの5年間に特に高く、それ以降も半分程度を占める。
- 10年間の合計では7割。

家庭用燃料電池とFCVの普及実績

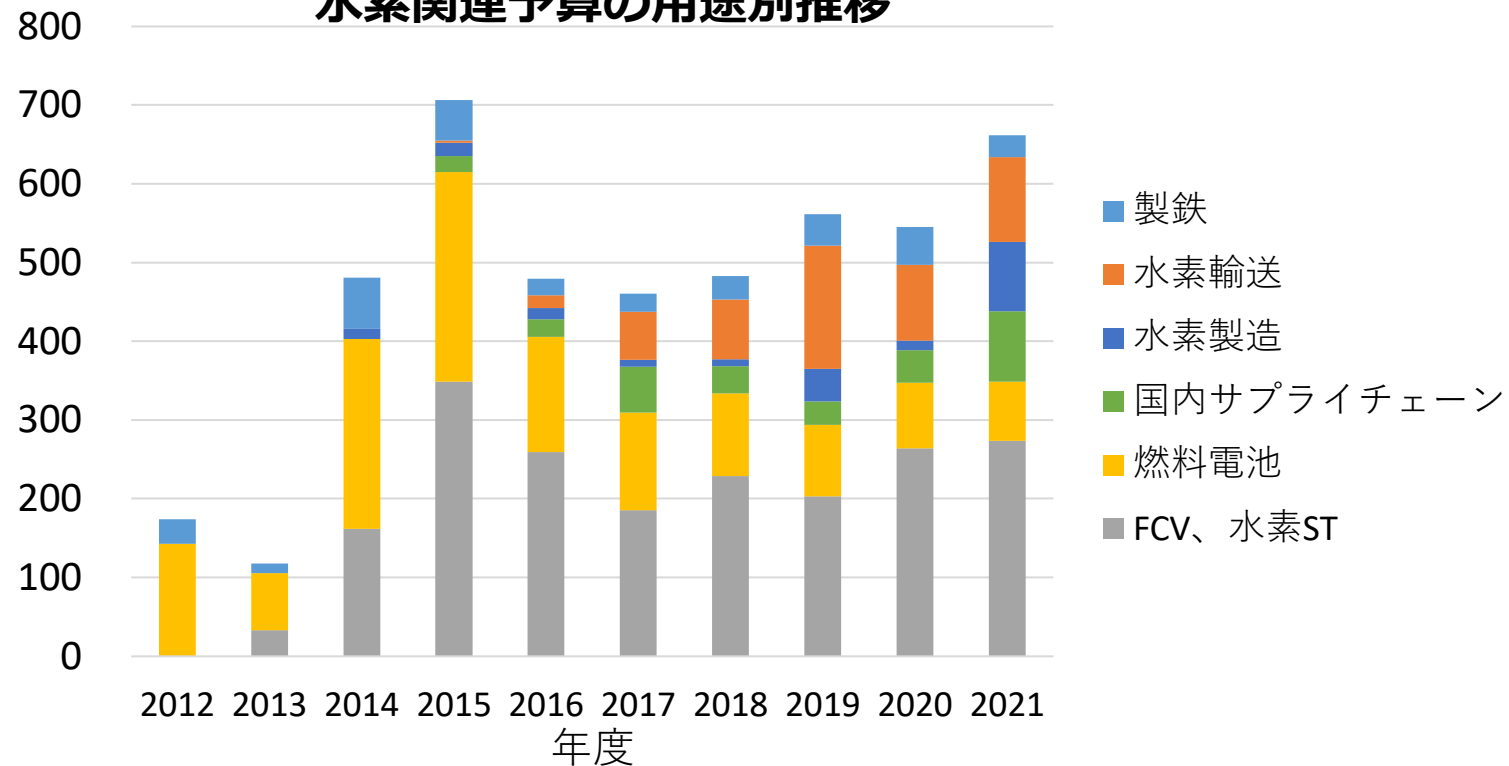
エネファーム

- 普及目標は2030年に500万台だが、年間販売台数は4～5万台で低迷。
- 累計販売台数は2021年度末で43.3万台。2030年には目標の5分の1以下の90万台程度と予想。

FCV

- 2030年の普及目標は8万台だが、販売台数は500～1500台/年程度。2020年度末の累計台数は5,170台。
- 2030年には2万台程度と予想。目標の1/40。

水素関連予算の用途別推移



出典) 経済産業省および環境省行政レビューシートより自然エネルギー財団集計
https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review.html
https://www.env.go.jp/guide/budget/spv_eff/review.html

石炭火力の延命をもたらすアンモニア混焼発電の推進

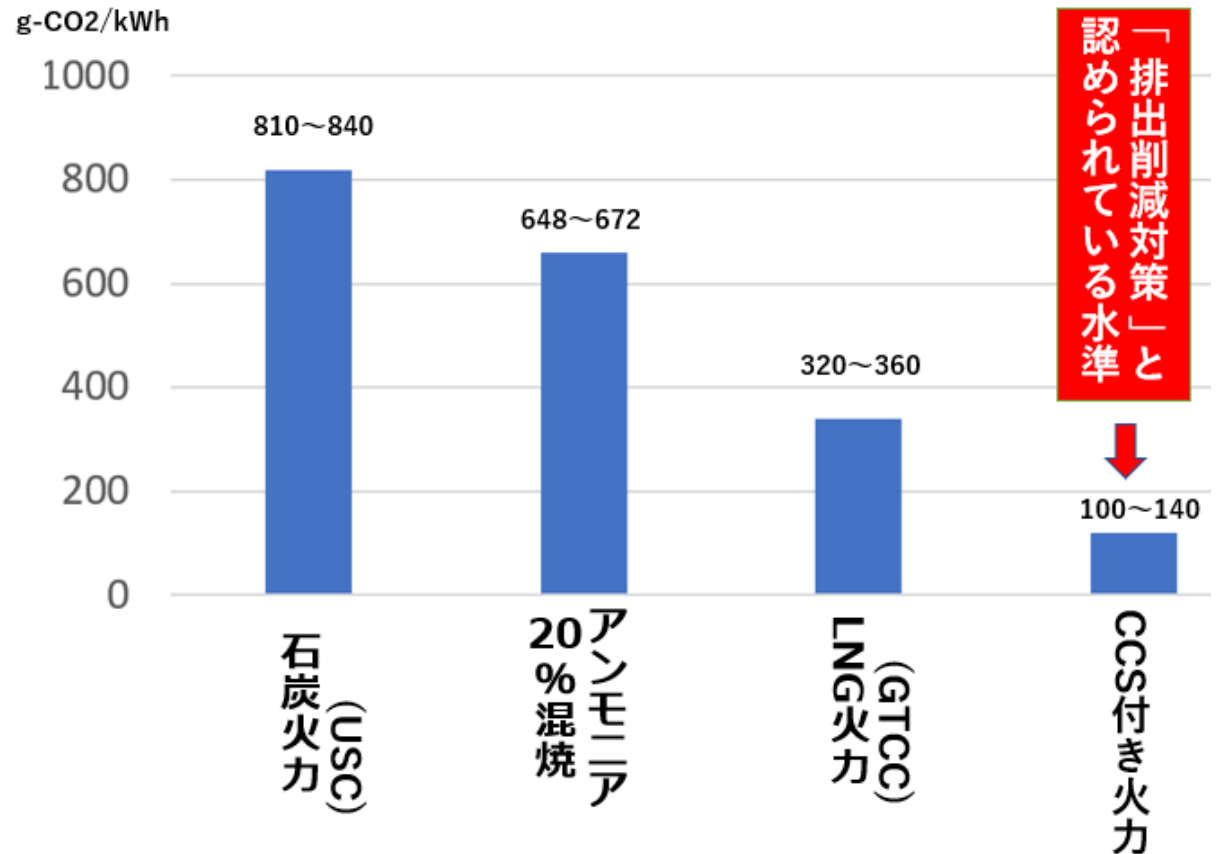
火力発電での水素利用

- ・エネルギー基本計画では、2030年の電力供給の1%分を混焼による水素発電・アンモニア発電でまかなうとし、必要な水素量は80万トン弱。
- ・水素発電として、天然ガス火力との混焼、水素専焼ガスタービンの開発を実施中。
- ・実機での実証実験で先行するのは石炭火力へのアンモニア混焼発電。

石炭火力へのアンモニア混焼の問題点

- ・最も効率がいい超々臨界の石炭火力にアンモニアを20%混焼しても、その排出量はなお天然ガス火力の2倍程度。
- ・2030年にアンモニア50%混焼が実現できても、脱炭素に貢献する技術とは評価されず、2030年までの廃止が求められる石炭火力の延命政策と見なされる。
- ・グレーアンモニアは製造過程でCO₂を排出し、その量は混焼による削減分をほとんど相殺する規模。
- ・アンモニア発電の実現には大規模なサプライチェーンの確立が必要であり、発電コストが高くなるという課題。

火力発電の排出係数の比較



出典) 以下の資料より自然エネルギー財団作成。USCとGTCCは平成27年度版環境白書のデータ。20%混焼は、USCの排出係数の80%とした。CCS付き火力はIEA “Energy Technology Perspectives 2017”。グラフは排出係数の中間値で作図。

GHG排出増大を招くグレー水素（2）

グレー水素混焼の影響

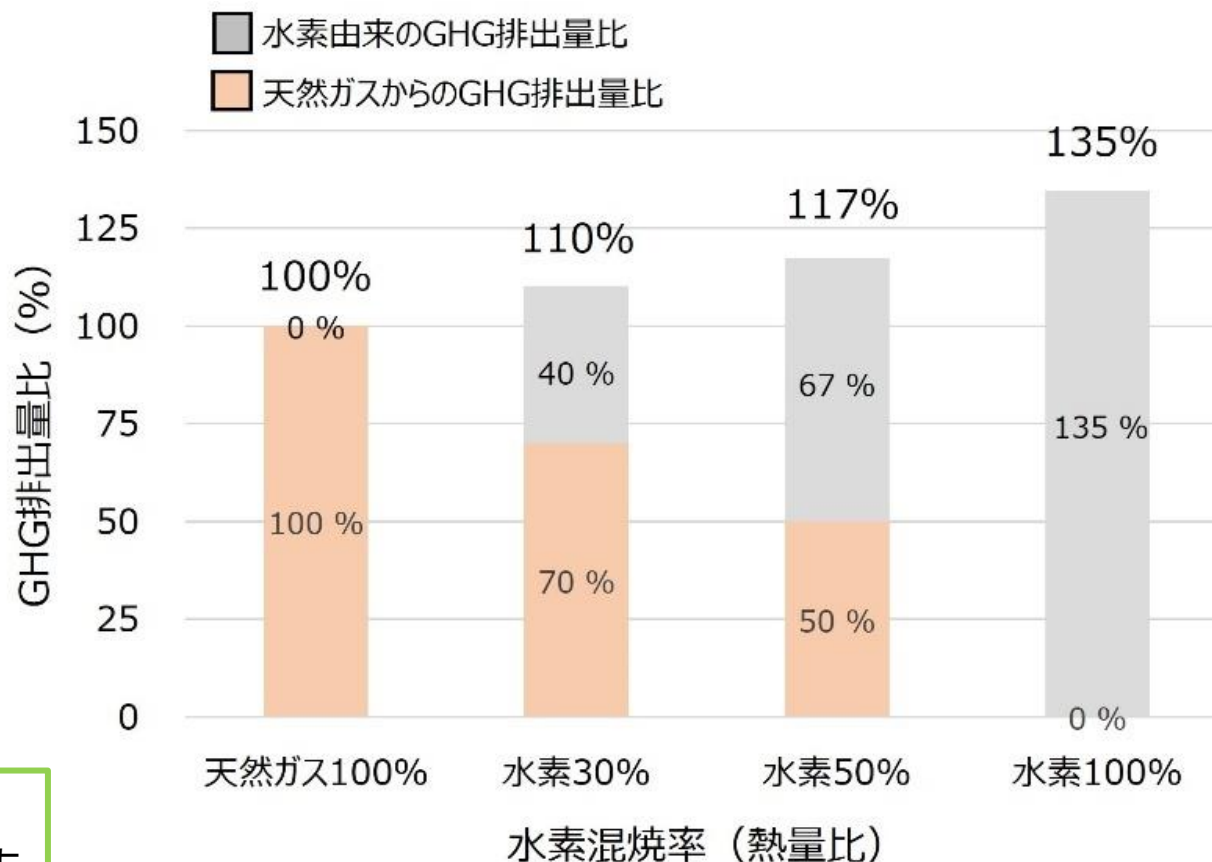
- ・ グレー水素の発熱量あたりのGHG排出量は、もとの天然ガスより35%多い。
- ⇒ 発電用燃料のように単に熱源として使用するのであれば、天然ガスをそのまま燃焼させた方がGHGの排出量は小さい

第6次エネルギー基本計画の計画と結果

- ・ 2030年までにガス火力への30%水素混焼を進める、としている。
- ⇒ **グレー水素を使った場合には、GHG排出量は混焼しないガス火力より10%増加してしまう（右図）**

- このままでは国際的には低炭素・脱炭素として評価されない水素を流通し利用するシステムができあがってしまう恐れがある。
- その場合、日本の水素を用いて製造される材料や製品は、国際的な産業競争力を失う恐れがある。

天然ガスにグレー水素を混焼した場合のGHG排出量比



注）発電効率55%のGTCC発電を想定。図13と合わせ、同じGHG排出量（LHV）を使用。

出典）下記データをもとに自然エネルギー財団作成 発熱量：資源エネルギー庁「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数(2018年度改訂版)の解説」（2020年1月）GHG排出量：IEA “The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector”（2022年2月）

CO₂排出量にかかわらずグレー水素・ブルー水素を支援

支援に関する各国の動向

- ＜EU＞
 - ・ 産業分野での水素使用に対する支援の対象を、自然エネルギー由来のグリーン水素、追加性のある自然エネルギー電力を使うプロジェクトに限ることで、脱化石燃料シフトを加速。
- ＜ドイツ＞
 - ・ 当初から明確にグリーン水素。
- ＜英国、米国＞
 - ・ 当面はブルー水素も促進の対象としていく方針だが、グレー水素は対象にせず。
 - ・ ブルー水素についても、実際にどの程度の排出削減効果があるのか、その基準を明確に定め、基準に合致して削減効果が見込まれるものだけを支援の対象。

日本の政策

- ＜方向＞ 「何らかのCO₂排出量の閾値等を設定する方向で、国際情勢等も踏まえつつ、詳細検討を行う」
- ＜支援＞ **基準を設置する時期は示されておらず、グレー水素も含め、CO₂排出量にかかわらず「製造源・調達先を限定せず」支援していく方針**
- ＜法制面＞
 - ・ 2022年5月の省エネ法の改正では非化石燃料への転換の促進が盛り込まれ、高度化法の改正では、水素・アンモニアが非化石エネルギー源に位置づけ。
 - ・ グリーン水素・グリーンアンモニアでなく、化石燃料由来の水素・アンモニアであっても非化石エネルギーに位置付け、法の施行段階ではグレー水素も非化石エネルギーとして扱う方針。

- グレー水素は、混焼率が高まれば高まるほど、GHG増加が大きい。
- それにもかかわらず、省エネ法・高度化法の改正により、グレー水素使用があたかもグリーン水素を使っているかのように、排出の改善に寄与するかのように扱われることになった。
- 実際の排出量は隠れ、非効率な石炭火力も併せて石炭火力の温存に貢献することになる

国産グリーン水素生産の大きな遅れ（欧州、中国企業が先行）

水電解装置の開発

＜効率＞

- ・ 欧州や中国は75-80%。スタック効率のため、日本と同等と予想。

＜納入実績＞

- ・ 数MWレベルのシステムを実際のビジネスとして展開、多くの納入実績。

＜生産体制＞

- ・ 年間数百MW～数GW

＜設備コスト＞

- ・ 各社、日本の2030年目標の半分の\$200/kWを目標。中国企業は達成。

日本メーカーの状況

- ・ 国による10MWの実証プラントを運転開始。
- ・ 大規模化と量産への取り組みはスタートしたばかり。

水電解装置の主な企業と開発状況

	主要企業	方式	製品	最大能力 MW	効率 %	実績	生産体制	装置コスト \$/kW	今後の計画
欧州	Thyssenkrupp nucera 独	アルカリ	○	20MW	78.2*	納入600件 (10GW)以上	1GW/年		5GW/年 (2025年)
	Siemens Energy 独	PEM	○	17.5MW	75	実績数十MW、50MWを受注			3GW/年 (2025年)
	nel 独	アルカリ、PEM	○	85MW	79.9* アルカリ型	納入3500台 (1927～)	500MW/年	約\$200/kW (2025年\$1.5/kg)	10GW (2025年)
	McPhy 仏	アルカリ	○	20MW	78.2*	100MW装置を受注			1GW/年 (2024年)
	ITM Power 英	PEM	○	5MW	70.9	100MW装置を納入	1GW/年		5GW/年 (2024年)
中国	PERIC	アルカリ、PEM	○	7.5MW	81.8* アルカリ型	納入1000台 (1984～)	300台/年	\$200/kW Sinopec社に提案	5GW/年 (2025末)
	Longqi Hydrogen	アルカリ	○	7.5MW	79.9*		1.5GW (2022年末)	\$205/kW Sinopec社に提案	
	Cokerill Jinli (John Cokerill)	アルカリ	○	6.5MW	70.3	納入1000台 (500MW)	200MW/年 (2021年)	\$205/kW Sinopec社に提案	仏にギガファクトリーを計画
日本	旭化成	アルカリ	-	10MW	70.3	ドイツでの実証プロジェクトに参加		\$1,200/kW (2022年)	\$433/kW 2030年目標値
	日立造船	PEM	○	1MW	70.3	納入数十台 15MWを受注		\$3,158/kW (2022年)	\$542/kW 2030年目標値

注) 効率は高位発熱量(HHV)基準、* : スタック効率

出典) 中国企業の装置コストは、BloombergNEF “Update on Sinopec’s Green Hydrogen Project” (2022 May)。この他の内容は、各社の公開情報(巻末参考資料4参照)をもとに自然エネルギー財団作成。

日本の2030年グリーン水素コストの推計

グリーン水素のコスト

- グリーン水素の生産コストに影響するのは電解装置の設備費と共に、自然エネルギー電力コスト。

日本のグリーン水素コスト予測

- 電解装置の2030年のコスト目標*と、2025年の太陽光発電コスト**をもとに試算すると、日本の2030年の水素の価格は4.51\$/kg (48.4円/Nm³)

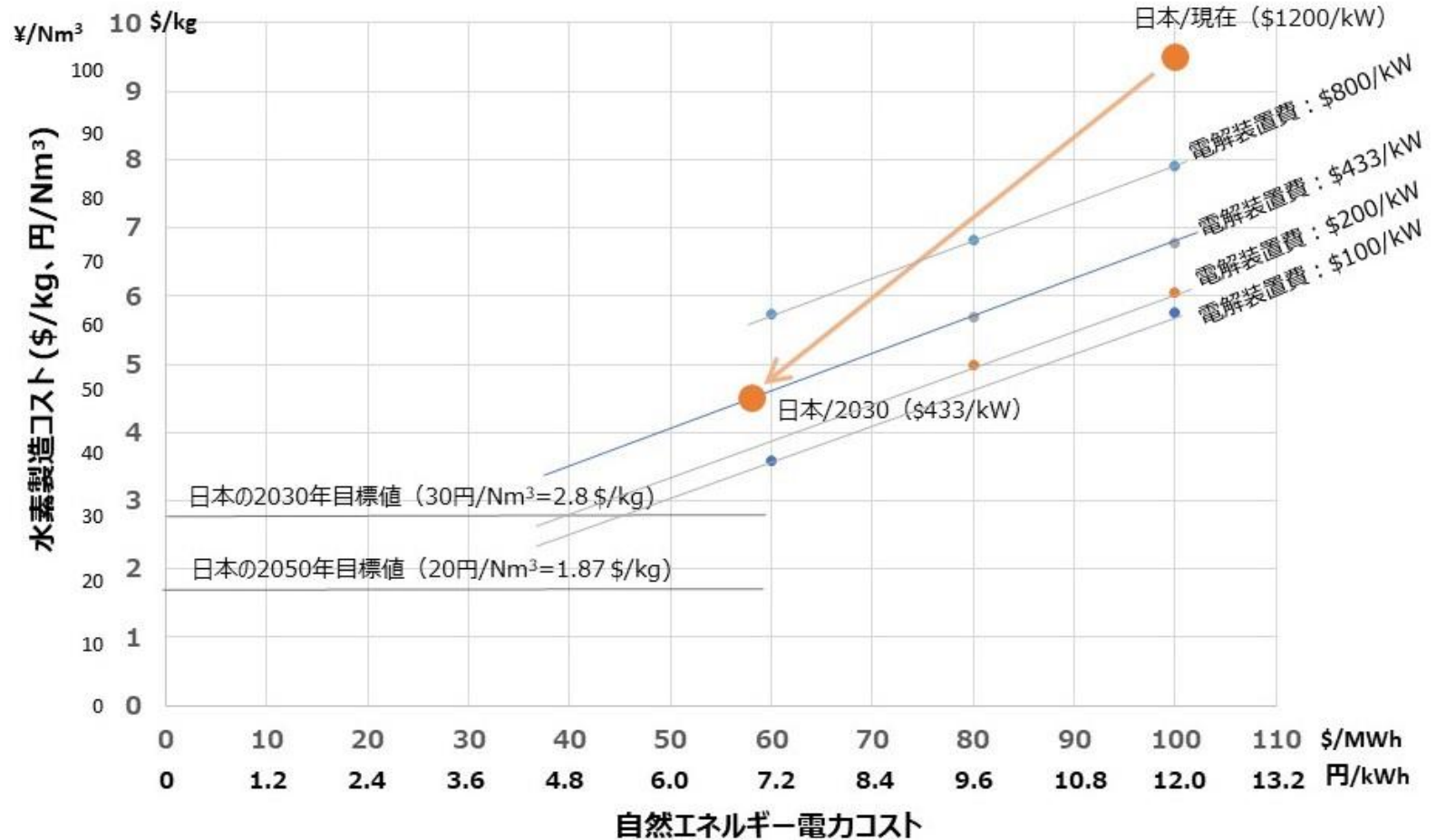
* アルカリ型5.2万円/kW (\$433/kW)

** 調達価格等算定委員会が設定、7円/kWh

今後の取組み

- 更にコストを下げていく鍵は、電解装置と、**自然エネルギー電力コスト**。
- 欧州や中国の各社に伍するべく、装置の大規模化を進めると同時に、自然エネルギー電力コストについて、余剰電力も含めたさらなるコスト低下への道を追求する必要。

電力コストと電解装置コストをパラメータとした場合の水素製造コストの試算



注) 図中、電解装置コストは、経済産業省「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021年5月)による。120円=1ドルで換算。また、2030年の自然エネルギー電力コストは、調達価格等算定委員会「令和4年度以降の調達価格等への意見」(2022年4月)における2025年度の太陽光発電コストによる。

出典) 自然エネルギー財団

水素戦略の再構築に向けた論点

これまでの、日本の水素戦略

- ＜当初の実践的な目標＞ ・ 日本企業が先行的に開発し商品化していた、家庭用燃料電池と燃料電池自動車の利用拡大。
- ＜将来ビジョン＞ ・ 「水素が普遍的に利用される水素社会」という、利用目的が不明確なあいまいな概念。
- ＜展開されてきた政策＞ ・ 脱炭素化の観点から、優先度の低い用途での利用を中心に据えた。
・ そのため、排出削減には寄与しない、あるいは寄与の小さい化石燃料水素の輸入とそのためサプライチェーン構築を目指した政策が展開されてきた。

その結果

- ＜直面している課題＞ ・ 世界をリードするという掛け声とは裏腹にグリーン水素の生産では後塵を拝す。
・ ブルー水素の排出基準づくりでも後れをとる。
・ 家庭用燃料電池と燃料電池乗用車の普及は目標を大きく下回る。
・ 全国に作られた多くの水素ステーションは、利用率の低迷に苦しんでいる。

再構築に向けた3つの論点

- 1) 日本の脱炭素化における水素の役割を再検討し、必要量を最小にする**一本当に必要な用途へ**
- 2) グリーン水素の利用を中心とし、**海外からの輸入と国内生産で供給**する体制を構築する
- 3) **グレー水素・ブルー水素を前提とする諸政策の見直し**
LCAに基づくGHG排出基準の設定と省エネルギー法、高度化法での水素の扱いの是正
「大規模サプライチェーン構築」政策の見直し

おわりに

将来への懸念と対策

いま、水素戦略を根本的に見直さなければ、日本の水素ビジネスも太陽光や風力発電と同様、成長の可能性を失う

- ⇒ 日本の水素戦略を脱炭素戦略の中に位置づけ、「**水素なら何でもいい**」という誤った概念を正す
- ⇒ 国際的にも評価される**ブルー水素**についての**GHG排出基準を早急に整備**し、国際サプライチェーンへの信頼を得る
- ⇒ 脱炭素化のために**本当に必要な用途を明らかに**し、
- ⇒ **自然エネルギー拡大の加速にあわせた国産グリーン水素供給**、更に一定部分の海外からの輸入で必要な需要を満たす体制を構築

➤ 戦略と政策を転換し、サプライチェーン整備などで努力を重ねてきた日本企業の実績をいかし、日本が世界のグリーン水素ビジネスで大切な役割を果たす。

参考資料

水素の分類

水素の種類による色分け

- ・ 利用時のCO₂排出ゼロだが、製造時を含めると事情は異なる。
- ・ 自然エネルギー由来のグリーン水素や原子力発電由来のパープル/ピンク水素はCO₂排出ゼロとされる。
- ・ 化石燃料由来のグレー水素はその生産過程においてCO₂が排出され脱炭素化には貢献しない。
- ・ グレー水素は、石炭、褐炭、天然ガスといった原料によってさらにブラック・ブラウン・グレーに区分けされる。

	分類		原料	製造方法	CO ₂ 排出量
電気分解	グリーン		水、電力 (再生可能エネルギー由来)	電気分解	最少
	パープル/ピンク		水、電力 (原子力発電)	電気分解	最少
化石燃料由来	ブルー		天然ガス	水蒸気改質 + CO ₂ 分離回収・貯蔵	少
			石炭	石炭ガス化 + CO ₂ 分離回収・貯蔵	少
	ターコイズ		天然ガス	熱分解	固体で排出 (炭素)
	グレー	グレー	天然ガス	水蒸気改質	中
		ブラウン	褐炭	石炭ガス化	大
	ブラック	石炭	石炭ガス化	大	

出典) Global Energy Infrastructure "Hydrogen – data telling a story" (2021年3月30日) を基に自然エネルギー財団作成

ブルー水素

- ・ 製造時の排出を回収・利用・貯蔵 (CCUS) して削減するブルー水素は脱炭素化に貢献できる可能性があるが、排出ゼロにはならない。CCUSが想定どおりの排出量を削減できるかという点でも問題がある。

水素の種類による主なコスト構成要素

<グリーン水素>

- ・電解装置のコストと自然エネルギー電力のコストが主要な構成要素。
- ・燃料価格の高止まりは中期的に継続する可能性。

<グレー水素>

- ・化石燃料をガスの状態から高温蒸気で処理
- ・化石燃料が主要なコスト要因。

<ブルー水素>

- ・グレー水素のコスト要因に加えてCO₂の分離と貯留コストが必要。

	設備費 (CAPEX)	運用維持費 (OPEX)		CO ₂ 回収・ 貯蔵	輸送・貯蔵	その他要因
種類	製造設備	原材料	エネルギー	コスト	輸送等エネルギー、設備	
グリーン	電解装置	水	自然 エネルギー 電力	—	[国内製造] ・製造地—消費地の輸送（パイプ ライン、タンクローリー移送、船舶） ・短期貯蔵施設	・電解装置の 効率 ・設備利用率 ・寿命
グレー (天然ガス)	改質装置	ガス、 水蒸気	電力	オフセット*	[海外輸入] ・製造地—輸出港—輸入港—消 費地の輸送(船舶、パイプライン、タ ンクローリー移送等)	・熱効率 ・設備利用率、 ・精製効率
グレー (石炭)	ガス化・ 改質装置	石炭 水蒸気 酸素	電力	オフセット*	・荷揚げ下ろし	
ブルー	上記グレーと同様			CO ₂ 回収、 貯蔵のコスト	・短期貯蔵施設 ・キャリア転換等	CO ₂ 回収率

注) 化石燃料由来の水素で、CCS (CO₂の回収、貯蔵) を行わないものについては、最終的には炭素価格等によるオフセットが必要となる。

出典) IEA The Future of Hydrogen (2019年6月)、一般財団法人エネルギー総合工学研究所 (NEDO) 「エネルギーキャリアの製造、輸送・貯蔵、利用を俯瞰した技術評価・分析」 (2019年3月) 18102527-0 を基に自然エネルギー財団作成

水素のエネルギー量

エネルギー量の表現

- 水素は常温で気体であるため、日本では他の気体燃料のように体積あたりのエネルギーやコスト (kWh/Nm³、円/Nm³) で表現されることが多い。
- 一方、海外では重量あたりのエネルギーやコスト (MJ/kg、\$/kg) で表現されるのが一般的である。

2種類の発熱量

- 燃焼の際に発生する水蒸気の潜熱を含んだ高位発熱量と、水蒸気の凝縮潜熱を含まない低位発熱量の2種類で表現される
 高位発熱量：HHV (Higher Heating Value)
 低位発熱量：LHV (Lower Heating Value)

水素のエネルギー量

	LHV	HHV
MJ/kg	120.0	141.8
MJ/Nm ³	10.71	12.66
kWh/kg	33.33	39.39
kWh/Nm ³	2.976	3.517

出典) 水谷幸夫 「燃焼工学」 (2002) をもとに換算

グリーン水素の製造効率

- グリーン水素は、水の電気分解で製造されるため、電気をインプットして水素がアウトプットされる。
- 電解効率は、製造される水素のエネルギー量 / 使用電力量となるが、アウトプットされる水素のエネルギー量としては高位発熱量を用いて表現されることが多い。
- 効率の表現としては、下記で表現される
 単位重量あたりの水素製造に必要なエネルギー量 (kWh/kg)
 単位体積あたりの水素製造に必要なエネルギー量 (kWh/Nm³)
 製造に必要なエネルギー量と水素の発熱量との比 (%)

電解装置の能力表示と水素製造量

グリーン水素の製造量

- 水素の製造量としては、Nm³/hやkg/hの他に、グリーン水素ではMWやGWでも標記されることが多い。
- これは、グリーン水素の製造には再生可能エネルギーを用いた電力を確保する必要があるため、その電力で水素製造の規模感の把握と比較が容易になるからである。

製造される水素の量

- 実際に製造される水素の量は、電力量を電解効率（例えば4.5kWh/Nm³など）で除した値となる。
- これは1時間あたりの製造量となるが、年間であれば8,760時間と設備稼働率（多くの場合は40-50%）を乗じた量となる。

電解装置の能力表示と水素製造量

定格能力 (供給電力)	水素製造量			
	Nm ³ /h	t/h	t/年	万トン/年
2 MW	400	0.036	160	0.02
20 MW	4,000	0.36	1,560	0.16
100 MW	20,000	1.79	7,820	0.78
2 GW	400	35.7	156,400	15.6
20 GW	4,000	357	1,564,300	156.4
100 GW	20,000	1,786	7,821,400	782.1

注) 水素製造量(Nm³/h)は、最大能力時の変換効率を5.0(kWh/Nm³_HHV)として算出。

注) t/年は、1年間(8,760時間)・稼働率50%の運転を想定した値。

出典) 自然エネルギー財団作成