

水素、アンモニアは何故、重要か？

水素、アンモニアは社会をどう変えるか？

2023.6.16

国際環境経済研究所 主席研究員

元 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
「エネルギーキャリア」サブ・プログラムディレクター

塩沢 文朗



【学歴】

1977.3 横浜国立大学大学院 工学研究科化学工学専攻（工学修士）
1984.6 Stanford大学大学院 Communications学部 Master of Arts

【主な職歴】

1977.4 通商産業省入省
1982～84 米国Stanford大学大学院に留学
1993～96 OPCW（化学兵器禁止機構）準備委員会 暫定技術事務局（在オランダ、ハーグ）に出向
2003.7 経済産業省 大臣官房審議官（産業技術担当）
2004.7 内閣府 大臣官房審議官（科学技術政策担当）
2006.7 退官
2006.7～08.8 （財）日本規格協会 理事 国際標準化支援センター長
2008.8～21.3 住友化学（株）理事、気候変動対応推進室部長
2021.3 住友化学（株）退職
2010.12～11.6 OPCW事務局長アドバイザー
2014.7～19.3 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「エネルギー・キャリア」サブ・プログラム・ディレクタ
2016.6～18.6 ICCA（国際化学工業協会協議会）Energy & Climate Change LG, Chairman
2018.11～ SIP「IoE（Internet of Energy）社会のエネルギーシステム」イノベーション戦略コーディネータ
2021.7～ 正林国際特許商標事務所 顧問
2022.1～ Cognite K.K エグゼクティブ・アドバイザー

その他 早稲田大学 非常勤客員教授、東北大学、東京工業大学非常勤講師
産業技術総合研究所 客員研究員
経団連21世紀政策研究所 国際標準化TF委員
日本工業標準調査会、消費経済審議会 臨時委員
（NPO法人）国際環境経済研究所 主席研究員 ほか

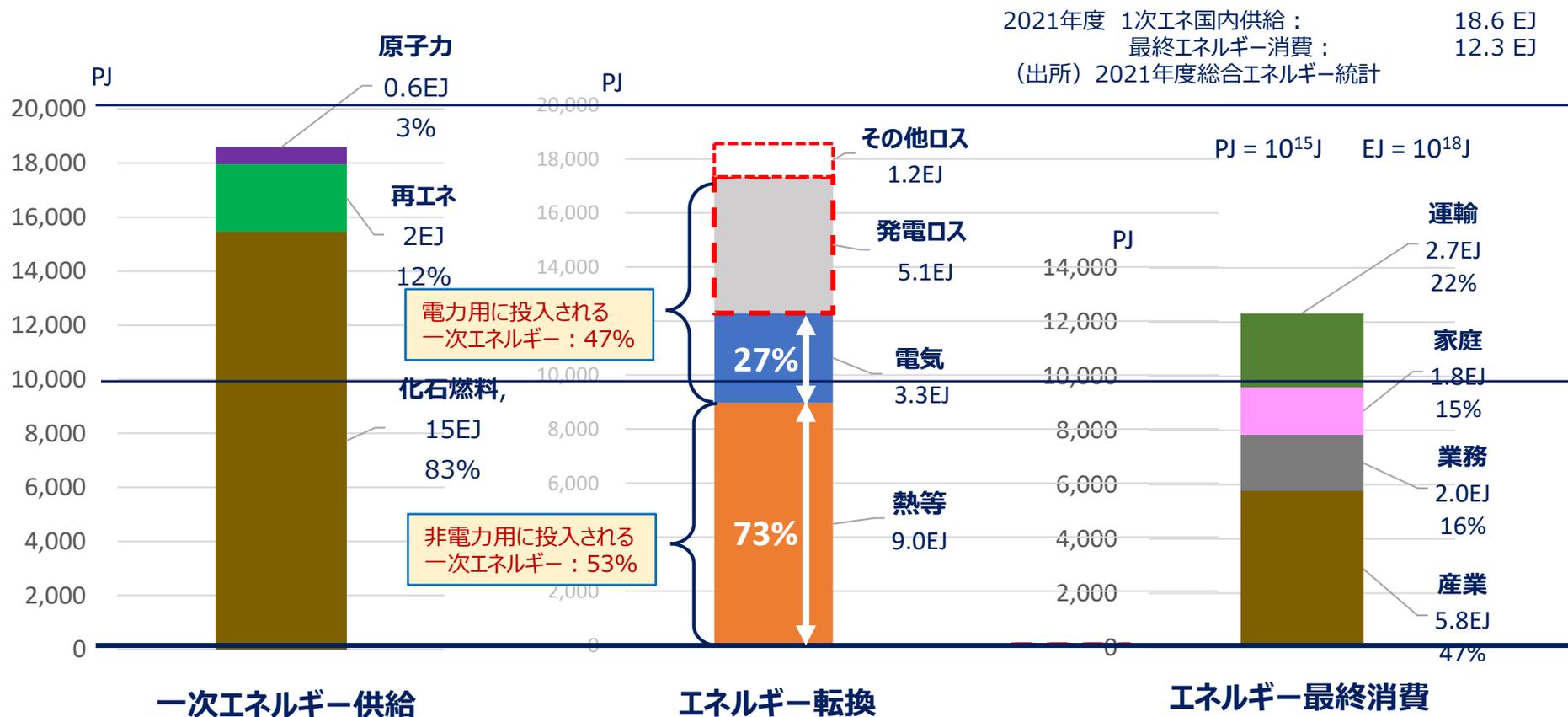
お話しの内容

1. 日本のカーボンニュートラル（CN）実現において、なぜ、水素が重要なのか？
2. 水素とともにアンモニアが注目されているのは、なぜか？
3. 水素社会は、日本と世界をどのように変えていくのか？（問題提起）
 - ① 日本の産業構造、経済への影響
 - ② 地域社会への影響
 - ③ 国際政治、経済への影響
 - －新たな経済発展のチャンスとリスク
 - －エネルギー地政学の変化
4. ディスカッション

1. 日本のCN実現において、なぜ、水素が重要なのか？

日本のエネルギー需給構造 (2021年度)

- 日本は一次エネルギーの83%を化石燃料に依存。
- カーボンニュートラルの実現のためには、化石燃料への依存をほぼゼロにしなければならない。
 - ➔ 化石燃料消費の約40%を占める発電燃料の脱炭素化が重要。
- エネルギーの需要サイドにおける構造改革を忘れてはならない。
 - ➔ エネルギー需要の70%強は、主として熱エネルギーでの消費。エネルギーの需要構造の変革が重要。

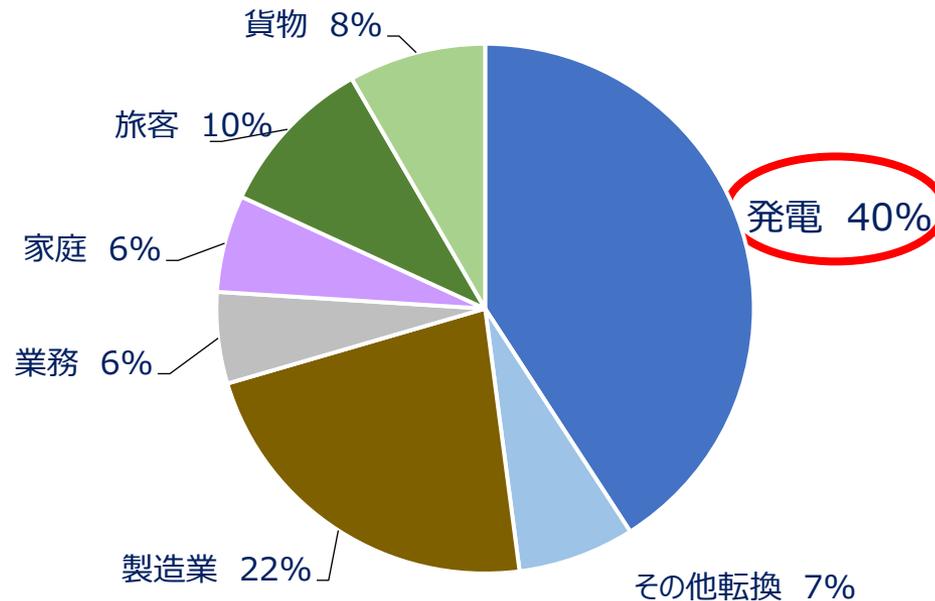


日本の化石燃料消費のエネルギー部門別内訳

2021年度

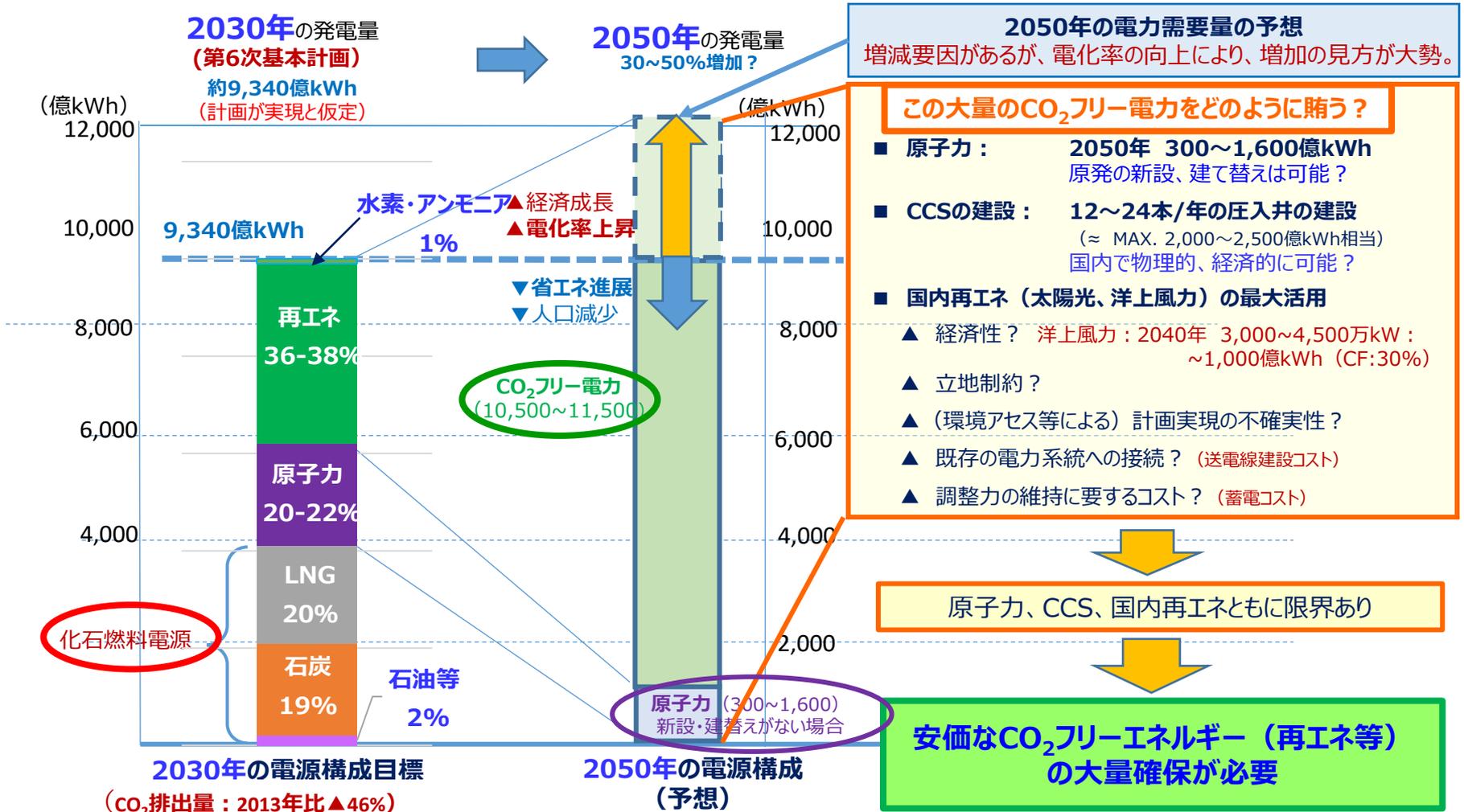
- 化石燃料消費の多いのは、発電、製造業、運輸（自動車）。
- 電力分野は、化石燃料消費が多いこと、その電力は各分野で使用され、各使用分野においてScope 2の排出量としてカウントされることから、電力分野の脱炭素化は重要。

化石燃料のエネルギー消費部門別の割合
(2021年度 総合エネルギー統計)



電力の脱炭素化：2050年の電力需要量（予想）と電源構成

○2050年に向けて電源の脱炭素化には、原子力、CCSの導入、再エネの大量導入が必要だが。



2050年におけるCO₂フリー電力発電量（試算）



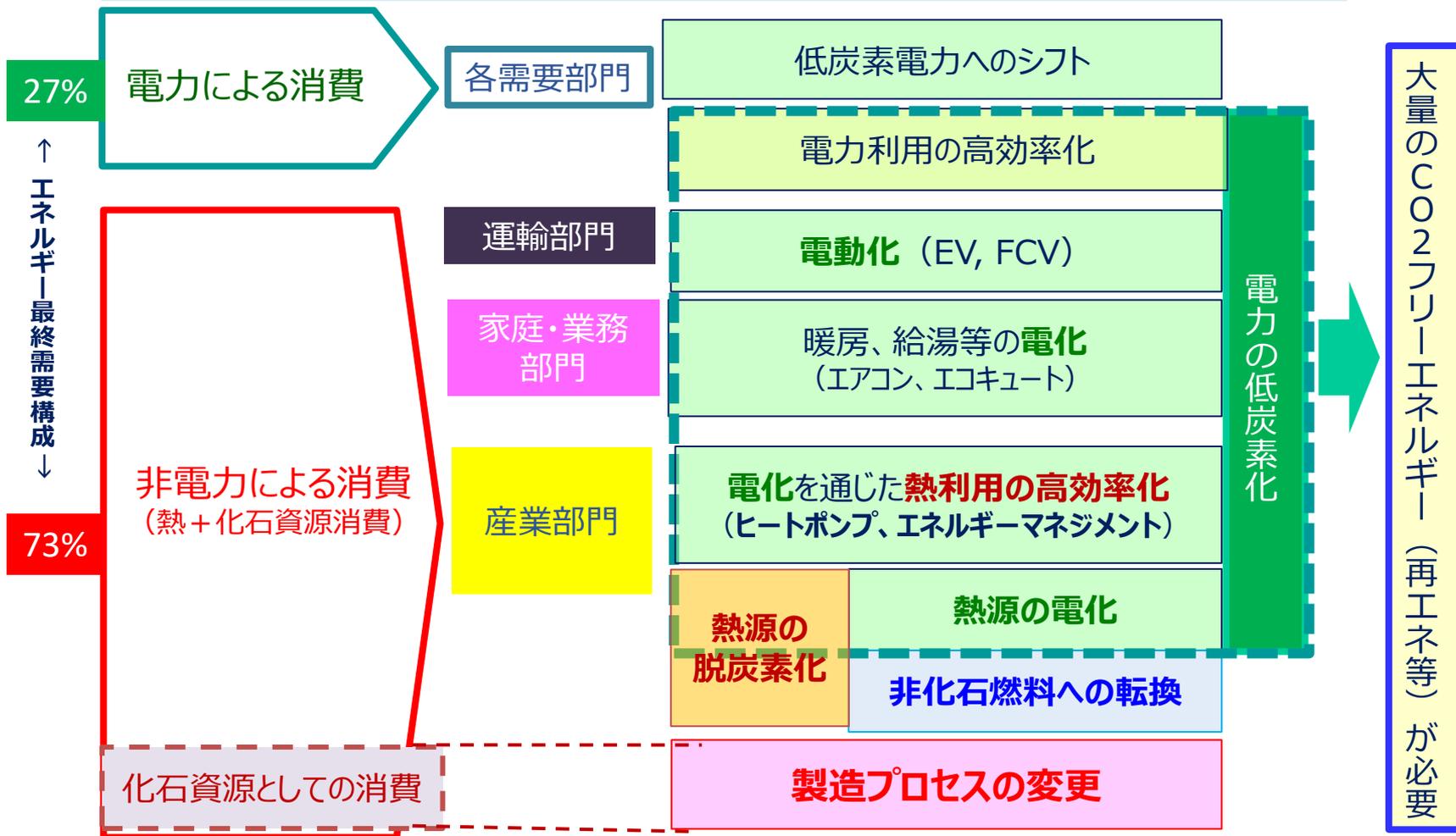
【参考表】 2050年におけるCO₂フリー電力の導入可能量の推定（試算）

- 以下の試算は、日本における2050年におけるCO₂フリー電源の導入可能量と、各電源によって発電可能となる発電量を表の再右欄に記した仮定に基づいて、筆者が試算したもの。
- 電源の導入可能推定量については、資源エネルギー庁が掲げた“目標”や“目安”など、その確度の程度はさまざまである。
- 資源エネルギー庁の検討においては「参考値」として、**2050年に太陽光：264GW、風力：90GW**という数字を上げ、その実現可能性と問題点を議論。仮にこうした可能性が実現した場合には、**2050年のCO₂フリー発電電力量の合計量は、約11,000 + α（原発新設分）億kWh**となる。

	2015年	2030年	2040年	2050年の推定量 (国の目標値は設定されていない)	2050年の導入見込み量の推定 に用いた仮定とコメント
	実績値	第6次エネルギー 基本計画	目標値	推定値 (根拠は右欄参照)	
太陽光	64 GW (249億kWh)	100 GW (1,244 億kWh)	—	145 GW (約1,800億kWh)	・2020年の導入量の1.5 GW/年のペースで、今後とも導入が進むと仮定。
陸上風力	9.2GW (161 億kWh)	15.9 GW (302 億kWh)	—	16GW (約300億kWh)	・陸上風力の導入は、2030年目標値がほぼ限界と考えられている。
洋上風力	0.8GW (22 億kWh)	3.7 GW (107 億kWh)	30～45 GW (900～1,300 億kWh)	45GW (1,300億kWh)	・国は、洋上風力の導入目標（2040年、30～45 GW）を掲げている。
原子力	42 GW (220億kWh) (稼働率 1%)	27 GW* (2,000 億kWh) *: 計画の発電量から逆算 (稼働率：80%)	—	32GW + α (約2,600 + α 億kWh)	・2040年には現存の原発がすべて稼働と仮定。 (稼働率：80%) (現存の原発：再稼働済み + 設備変更許可済み + 審査中 + 未申請を含む。) (α：2050年までに、新設、建替済みの原発が稼働した場合。)
CCS	—	—	—	CCS 圧入井: 18本/年 (3,000億kWh)	・CCS導入による可能となる発電量は、LNG火力のCO ₂ 排出係数の平均値（約0.4 kg-CO ₂ /kWh）を用いて算出。 ・CCS貯留量は国が貯留目安量の試算に用いている量の中間値の1.7億トン-CO ₂ を前提に算出。 ・このために、毎年新たに18本（50万トン/本）の圧入井を増やす必要あり。
計				9,000 + α 億kWh	

エネルギー需要の脱炭素化：熱源、製造プロセスの脱炭素化

- 運輸/家庭・業務部門の脱炭素化 ⇒ 電化
- 産業部門の熱等エネルギー消費の脱炭素化 ⇒ 非化石燃料、電化、水素



大量のCO₂フリーエネルギーをどのように確保するか

- ◆ 海外には、安価な再エネ資源が豊富に賦存している地域が広範に存在。
- ◆ エネルギーの大量輸送、貯蔵は、そうした再エネを**化学エネルギー**に変換することで可能。

各エネルギー形態の特徴

- ・電気エネルギー……… 長距離の輸送、貯蔵が困難。
- ・熱エネルギー……… 低品位で使い難い、輸送困難。
- ・光エネルギー……… 貯蔵困難。
- ・機械エネルギー……… 輸送、貯蔵困難。
- ・化学エネルギー……… エネルギー密度が高く、輸送、貯蔵が容易。
(🔥 化石燃料は、古代の太陽エネルギーが化学エネルギーに変化したもの。)

- ◆ 化学エネルギーの中では、地球上に豊富に存在する水を利用して製造できる**水素**が重要。

加えて

- ◆ (CO₂フリー) **水素**の製造は、(海外の) **天然ガス改質 + CCS**によるCO₂貯留でも可能。

➡ **水素** は、CO₂フリーエネルギーの大量導入手段



“水素の色”の例

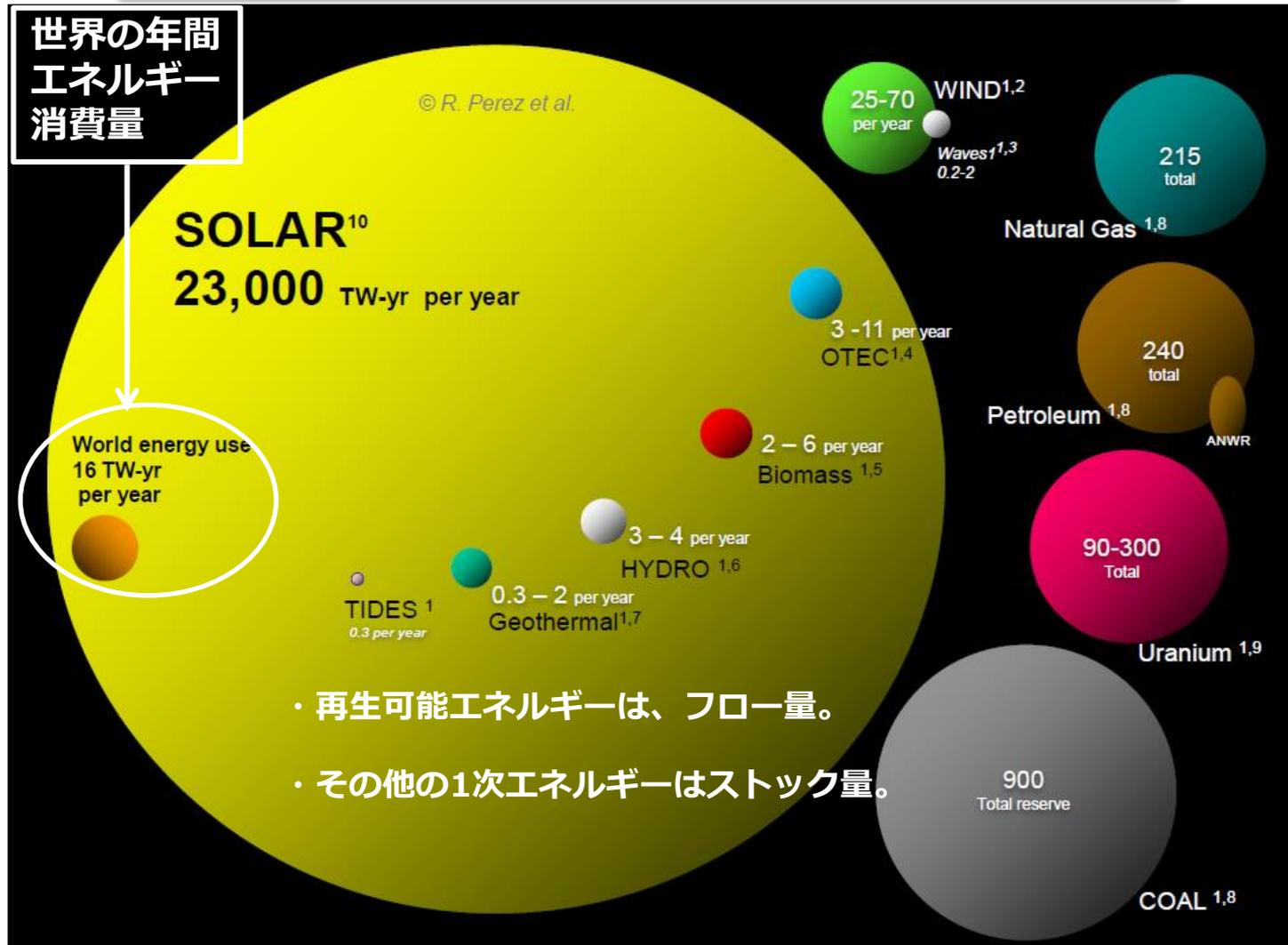
(ドイツの「国家水素戦略」に記載されているもの)

水素の色		
	グリーン	再生可能エネルギーによる電力を用いて水を電気分解することにより製造した水素
	ブルー	化石燃料から水素を製造。その際、生成・排出されるCO ₂ を分離、回収し、地下貯留(CCS)することでCO ₂ フリーとする。
	グレー	化石燃料から水素を製造。その際、生成・排出されるCO ₂ は、そのまま大気中に排出。
	ターコイズ (トルコ石色)	メタン(CH ₄)の熱分解により、製造する水素。熱分解に必要なエネルギーは、再エネ起源のエネルギーを用いる。固体として生成する炭素は、回収し貯留。
(参考) その他のカラー分類の例		
	イエローまたはパープル	原子力発電による電力を用いて水を電気分解することにより製造した水素。
	ブラック	石炭から製造する水素。(グレー水素に分類されることもある。)
	ブラウン	褐炭から製造する水素。(グレー水素に分類されることもある。)
	ホワイト	他の製品生産プロセス(苛性ソーダの製造プロセス等)で副産物として生成された水素。

【出所】JOGMEC資料

(https://oilgasinfo.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/834/2009_j_ru_recenttopic_EUHydrogenStrategyAndRussiasCounterMeasures.pdf) などより筆者作成

一次エネルギーの賦存量

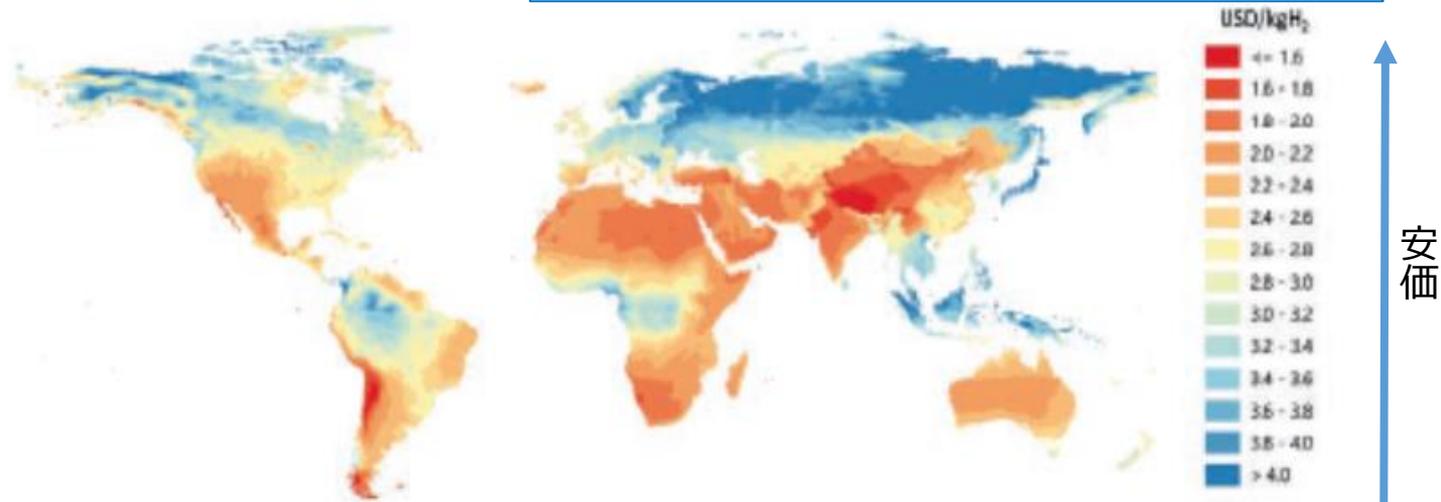


出典： A Fundamental Look at Energy Reserves for The Planet (Richard Perez & Marc Perez)

再エネによる地域別水素製造コスト (IEAによる分析)

Figure 14. Hydrogen costs from hybrid solar PV and onshore wind systems in the long term

1.6 USD/kg-H₂ = 15.8 Yen/Nm³ (1USD = 110Yen)



Notes: This map is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area. Electrolyser CAPEX = USD 450/kW_e, efficiency (LHV) = 74%; solar PV CAPEX and onshore wind CAPEX = between USD 400-2 000/kW and USD 900-2 500/kW depending on the region; discount rate = 8%.

Source: IEA analysis based on wind data from Rife et al. (2014), NCAR Global Climate Four-Dimensional Data Assimilation (CFDDA) Hourly 40 km Reanalysis and solar data from renewables.ninja (2019).

The declining costs of solar PV and wind could make them a low-cost source for hydrogen production in regions with favourable resource conditions.

【出典】 IEA、The Future of Hydrogen, 2019.6

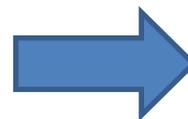
2. 水素とともにアンモニアが注目されているのは、なぜか？

水素の取扱いの困難性

- 水素の**体積エネルギー密度は極めて小さい**ため、エネルギー源として利用するためには、**液化**または**高圧で圧縮して利用**することが必要。
(35MPa (70MPa) という高圧下でも体積当たりの燃焼熱はガソリンの1/12 (1/7) 程度。)
- 液化すると体積は1/800になるが、**液化にはエネルギーを要し、極低温 (-253℃)** とする必要。容器への自然入熱と水素の蒸発潜熱が非常に小さいこともあり、液化水素からの**ボイル・オフ**が避けられない。(LNGの液化温度は-164℃)
- 容器から**漏洩**しやすい。また、**金属の脆性を加速する**性質がある。
- **爆発限界**が極めて広く (空気と4~75%の混合状態で爆発*)、**最小着火エネルギー**も小さい (0.02mJ**) ことから**爆発しやすい**。
(*爆発限界: メタン 5~14%、都市ガス13A 5~15%)
(**最小着火エネルギー: メタン 0.28mJ)
- 漏洩時の感知、漏えい個所の特定が難しい (**付臭が困難**) 等。

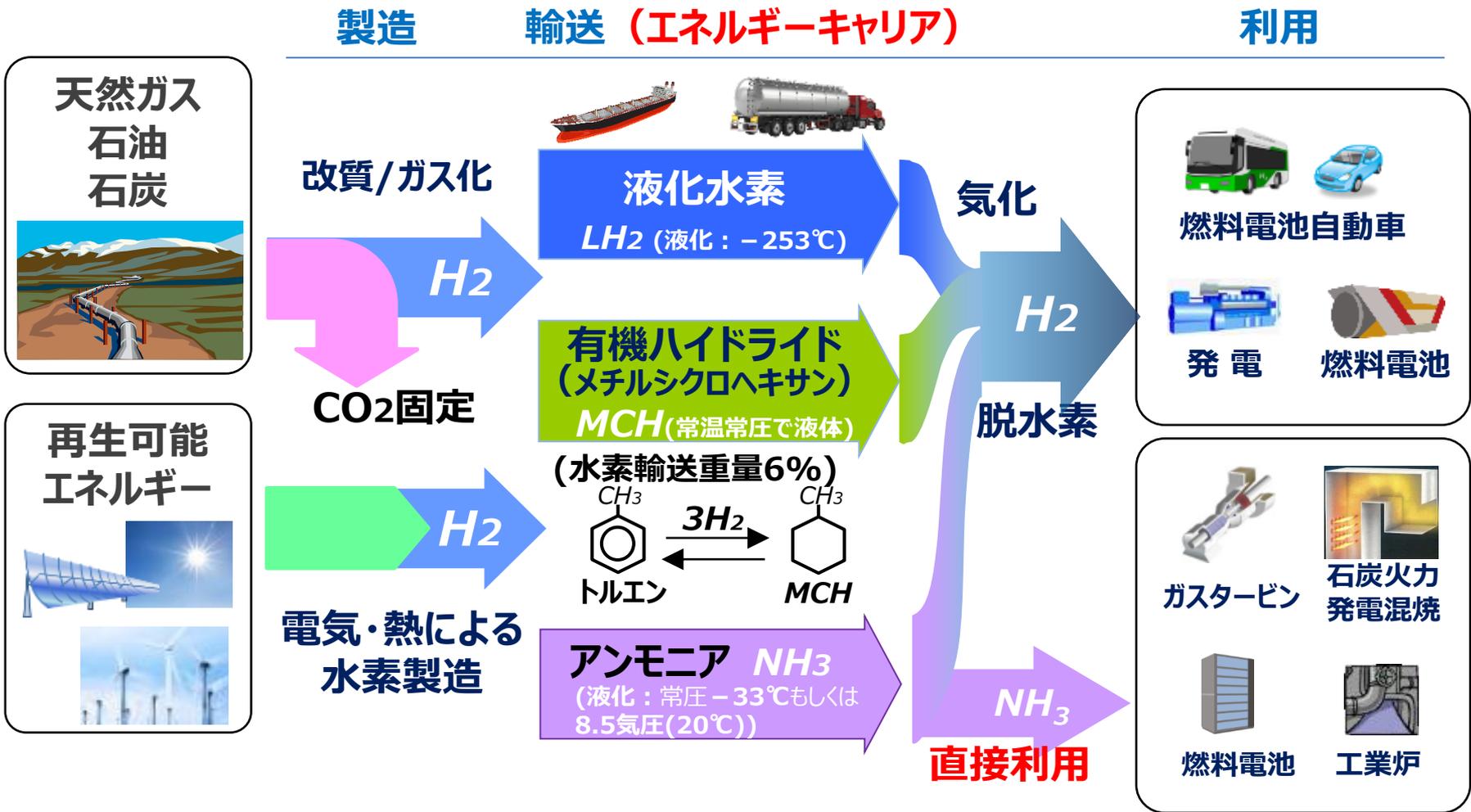


水素エネルギーの大量輸送、貯蔵を容易にする工夫が必要



エネルギーキャリアの利用

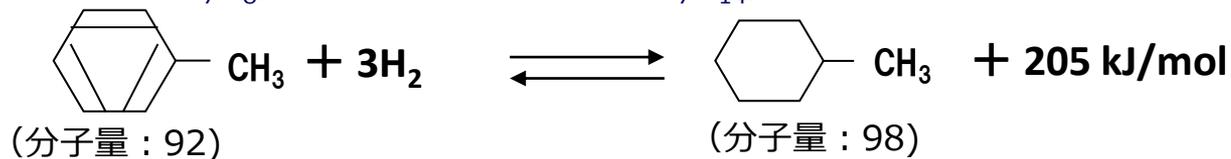
水素エネルギーの大量導入手段：エネルギーキャリア



エネルギーキャリアの物性値

	水素含有率 (重量%)	水素密度 (kg-H ₂ /m ³)	沸点 (°C)	水素放出 エンタルピー変化* (kJ/molH ₂)	その他の特性**
液化アンモニア	17.8	121	-33.4	30.6	急性毒性、腐食性 (劇物)
メチルシクロヘキサン (MCH)	6.16	47.3	101	67.5	引火性、刺激性 トルエンは劇物
液化水素	100	70.8	-253	0.899	強引火性、強可燃性、爆発性
圧縮水素 (350気圧)	100	23.2	-	-	
圧縮水素 (700気圧)	100	39.6	-	-	

MCH: トルエン (C₇H₈) (分子量92) とMCH (C₇H₁₄) (分子量98) の水素分子の差により水素を運ぶ



(注) * 水素放出エンタルピー変化: 水素を取り出す際に必要となるエネルギー。

** 「その他の特性」の記載事項は、MSDSの「危険有害性情報」のサマリーから引用。各物質の正確な特性については、それぞれの物質のMSDSを参照のこと。

エネルギーキャリアの物性に由来する特徴

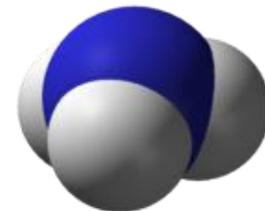
	水素密度	物性等に起因する重要事項	必要なインフラ	発電燃料としての特徴
液化水素	<p>体積：70.8kg/m³ 重量：100%</p> <p>・-253℃まで冷却することにより 気体水素の1/800の容積で 同重量の水素の輸送・貯蔵が可能</p>	<p>・液化のために、水素の有するエネルギーの30%以上のエネルギーが必要（現状）。（目標：20%程度）</p> <p>・-253℃の極低温での取扱い必要。</p> <p>・ボイルオフによる損失対策が必要。</p>	<p>液化水素用の新規インフラが必要</p>	<p>・水素の燃焼速度が速く、火炎のコントロールが困難、燃焼温度が高い（サーマルNO_xの発生）等の課題があり、水素専焼タービンは開発中。</p> <p>・水素混焼タービン（熱量ベースで10%の混焼）は開発・実証済み。</p>
MCH	<p>体積：47.3kg/m³ 重量：6.2%</p> <p>・常温で液体。 気体水素の1/500の容積で、 同重量の水素の輸送・貯蔵が可能</p>	<p>・常温で液体。</p> <p>・MCHからの脱水素のために、MCHが運べる水素エネルギーの約30%のエネルギーが必要。</p> <p>・脱水素後のトルエン中の不純物量の低減が必要。</p> <p>・MCHで運べる水素の重量/体積密度が小さいため、インフラの規模大。MCHとトルエンの貯蔵が必要。</p> <p>・トルエンは「劇物」+長期毒性のおそれがある。</p>	<p>ガソリンのインフラの利用が可能</p>	<p>・水素として使うので、上記「液化水素」と同じ。</p>
液化アンモニア	<p>体積：121kg/m³ 重量：17.8%</p> <p>・-33℃又は8.5atm（LPGとほぼ同じ）で 1/1,350(-33℃) or 1/1,200(8.5atm) の容積のNH₃で同重量の水素の輸送・貯蔵が可能</p>	<p>・常温では気体。-33℃又は8.5atmで液化。</p> <p>・「劇物」。急性毒性、刺激臭がある。</p> <p>・NH₃のまま直接、燃料として利用が可能。</p> <p>・脱水素する場合には、脱水素にエネルギーが必要。 NH₃の運べる水素エネルギーの約13%のエネルギーが必要。</p>	<p>NH₃の輸送・貯蔵インフラ存在</p> <p>LPGと同様のインフラ技術の利用も可能</p>	<p>・NH₃混焼/専焼のタービン/ボイラーの開発が進展。</p> <p>・詳細は、別スライド“SIP「エネルギーキャリア」の成果とその後の進展”を参照</p>

CO₂フリー燃料、水素エネルギーキャリアとしてのNH₃

Advantages

- 水素密度の大きい物質。 (NH₃ : 121 kg-H₂/m³; LH₂ 70.8 kg-H₂/m³)
- 大量輸送、貯蔵技術が確立。 (世界で2億トン/年製造、2,000万トン/年 が国際間で流通)
- 燃焼時にCO₂等の温室効果ガスを排出しない。

【NH₃の燃焼】

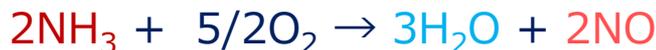


NH₃分子

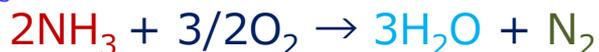
Disadvantages

- 火が付きにくい。
- 火炎速度が遅い。(火の回りが遅い)
- Fuel NO_xが発生・排出される懸念

【NH₃燃焼の副反応】



【NH₃燃焼の正反応】



SIP「エネルギーキャリア」の成果

- ① NH₃の安定的な燃焼が可能
- ② NH₃燃焼で生成する可能性のあるNO_x及びN₂Oの排出抑制が可能

この反応がもっとも安定。

- 毒性 (急性毒性) がある。 (「劇物」)

アンモニア混焼/専焼ガスタービン、ボイラーの開発 (SIP「エネルギーキャリア」の成果とその後の進展)

(2023.1.18UD)

SIP「エネルギーキャリア」(2014 - 18)での成果

■ NH₃の燃焼メカニズムの解明

- NH₃が安定燃焼する条件を明確化 (東北大)
- NH₃燃焼で発生するFuel NOx等の大気汚染物質の排出抑制・管理が可能であることを確認 (産総研、東北大)

■ アンモニア混焼/専焼ガスタービン、ボイラー開発

ガスタービン GT

マイクロ (50-300kW) GT : NH₃ 専焼 (TES)

中型 (2MW) GT : NH₃ 混焼 (20%) (IHI)

大型 (500-600 MW) GT: NH₃ を水素キャリアとして利用* (*下図参照.)

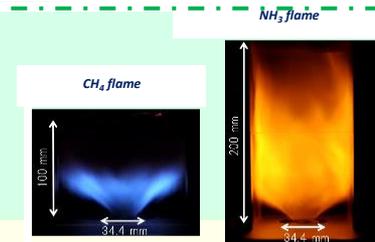
ボイラ

10MW微粉炭-NH₃ (20%)混焼ボイラ: (IHI)

(*注) NH₃をH₂キャリアとして利用するNH₃の分解利用システム



その後の技術の進捗(2019 -)



ガスタービン GT

20 MW NH₃ 専焼 (液供給) GT (IHI)

40 MW NH₃ 専焼GT (MHI)

(MHI)

大型 (数百MWクラス) NH₃ 100% GT (IHI/GE, MHI)

ボイラ

JERAの100万kW商業発電所でアンモニア20%混焼を実施 (JERA, IHI)

■ 石炭-アンモニア (50-60%) 混焼バーナの開発 (IHI)

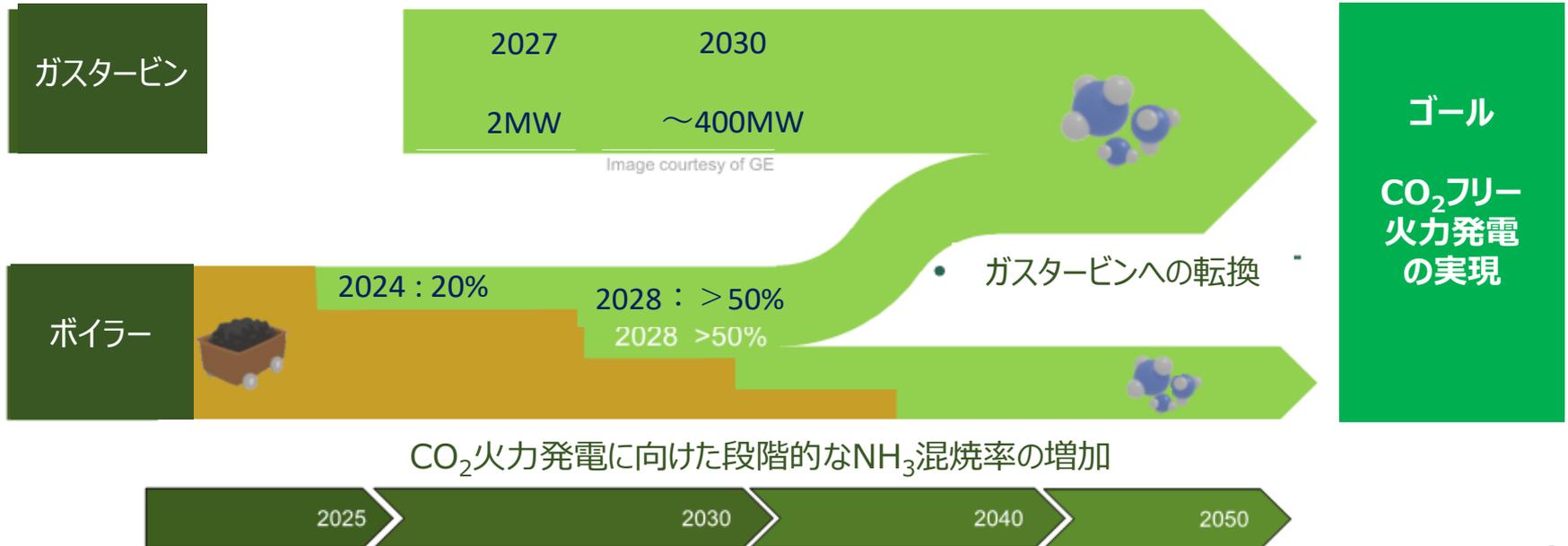
■ アンモニア専焼 (100%) バーナの開発 (MHI)

これらのバーナを用いた商業石炭火力発電所での石炭-アンモニア混焼 (50%以上) 発電の実施 (高混焼バーナ (全数) or 専焼バーナ+微粉炭バーナ) (IHI, MHI)

CO₂フリー(100% NH₃) 火力発電の実現に向けた技術ロードマップ (IHIの例)

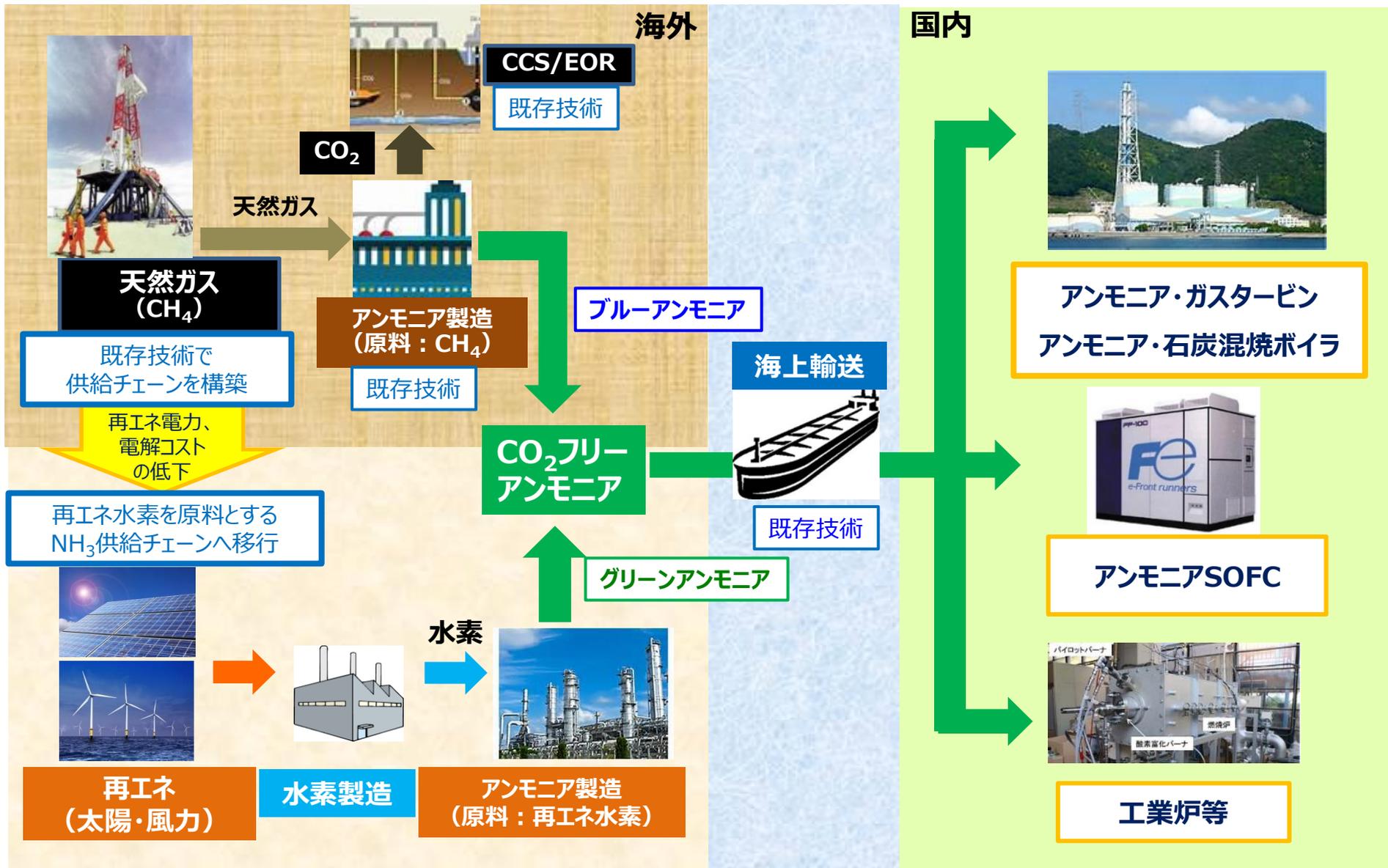
技術ロードマップ

NH₃ 燃焼機器の改造



【出典】 P6 of “Fuel Ammonia Value chains – The key to achieving carbon neutrality –,” Presented by Dr.Tokihiko Awano, IHI Corporation, at Japan Energy Summit & Exhibition 28 February – 2 March 2023. Slight modification was added to the original.

CO₂フリーアンモニアのバリューチェーン



CO₂フリー-NH₃のコスト：（一財）日本エネルギー経済研究所の分析結果

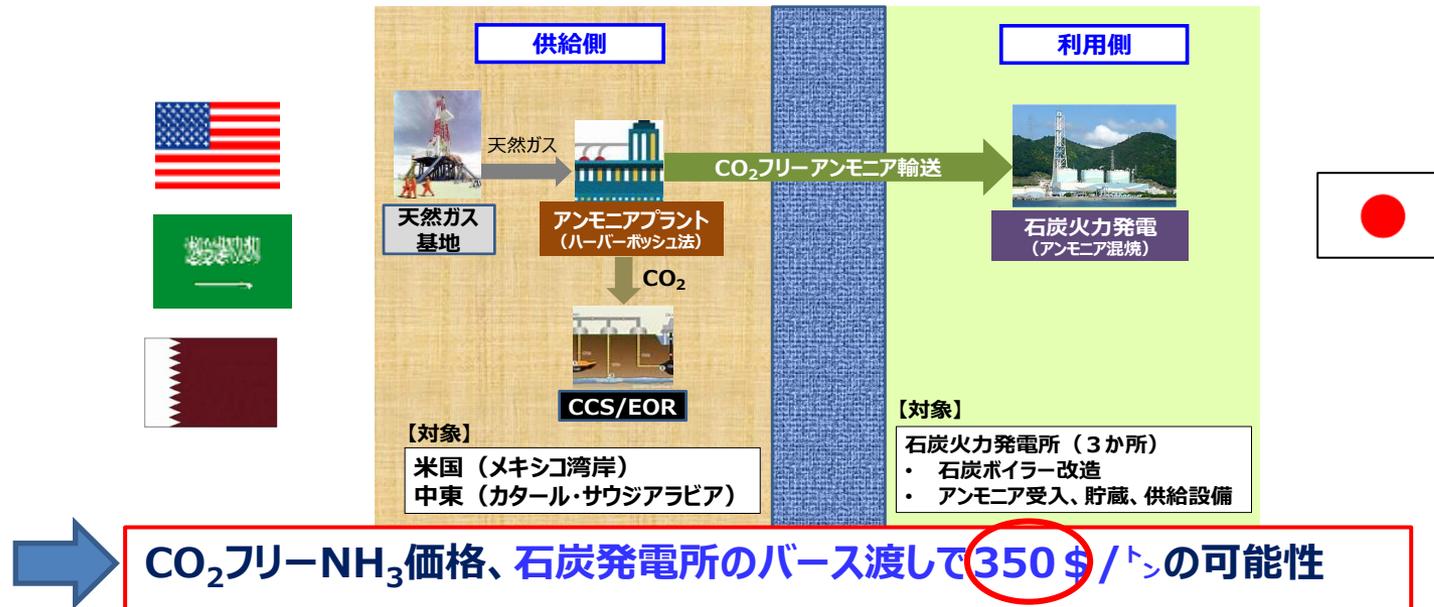
「CCS・EOR技術を軸としたCO₂フリーアンモニアの事業性評価」（2019.1）（一財）日本エネルギー経済研究所

■ 2020年代半ば～2030年頃を目指したCO₂フリー-NH₃バリューチェーン構築のためのスタディ

実施機関：（一財）日本エネルギー経済研究所が、エンジニアリング・メーカー、商社の協力を得て実施）。

前提： 輸出国（地域）、受け入れ発電所を具体的に特定し、設備整備等に要するコストを踏まえる。
（技術的前提）

- ・ 原料： 天然ガス（3\$/MMBtu）
- ・ NH₃製造能力： 3,300MTPD（1Train）
- ・ CO₂回収率： プロセス由来 100%，排ガス由来 90% 回収
- ・ CO₂フリー化： CO₂のCCS、または、EOR（石油増進回収）による利用



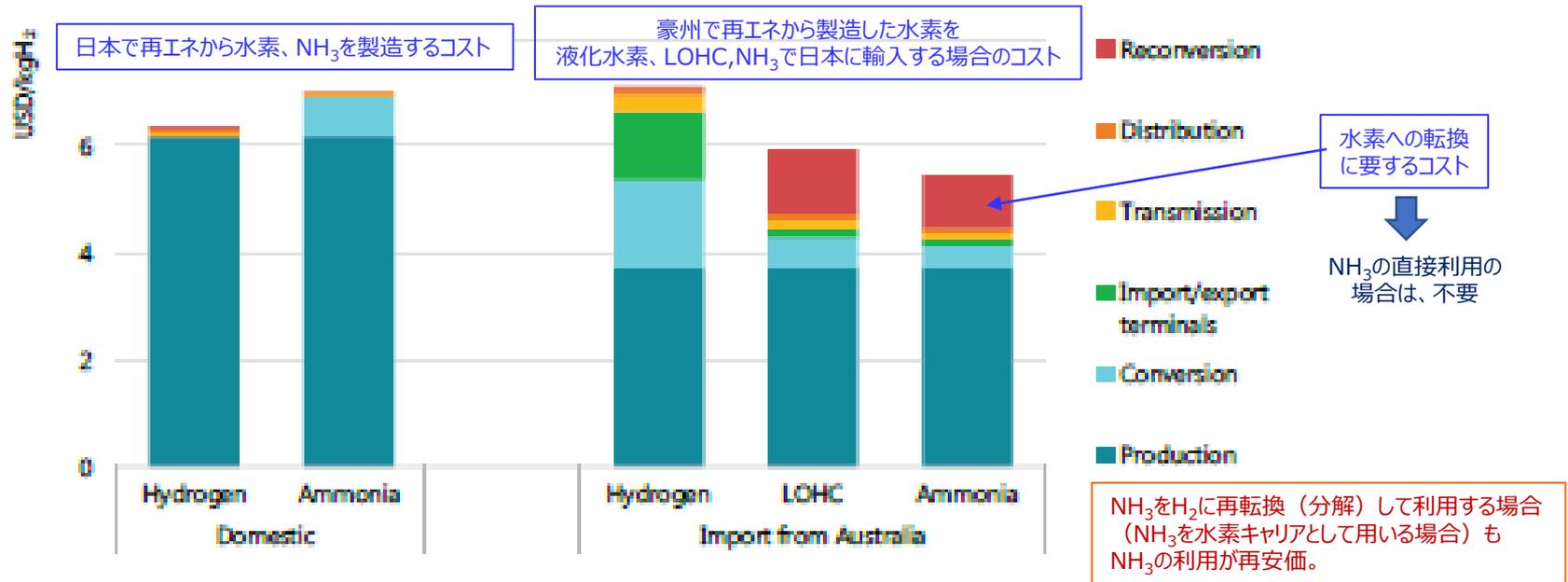
“350 \$/ton -NH₃”
 は、「水素基本戦略」の
 2050年の水素価格目標
 をクリアする水準。

「水素基本戦略」が掲げる水素価格目標	
目標年	H ₂ (\$/kg-H ₂)
2030年	3 (≒30円/Nm ³)
2050年	2 (≒20円/Nm ³)

水素と熱量等価のアンモニア価格
NH ₃ (\$/ton-NH ₃)
480
320

オーストラリアから日本へグリーン水素を輸送する場合の水素コスト (水素キャリアの種類別輸送コストの比較：IEAの分析結果)

Figure 30. Cost of delivering hydrogen or ammonia produced via electrolysis from Australia to an industrial customer in Japan in 2030
(出典) IEA “The Future of Hydrogen” June 2019



Notes: Assumes distribution of 300 tpd in a pipeline to an end-use site 50 km from the receiving terminal. Storage costs are included in the cost of import and export terminals. More information on the assumptions is available at www.iea.com/hydrogen2019.

Source: IEA analysis based on IAE (2009), “Economic Evaluation and Characteristic Analysis for Energy Carrier Systems” and Reuß (2017), “Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model”. All rights reserved.

The cost of transport from Australia to Japan could represent between 30% and 45% of the full cost of hydrogen; yet imports of electrolytic hydrogen could still be cheaper than domestic production.

アンモニアの特長（まとめ）

- アンモニアは水素エネルギーキャリアの中で最も水素エネルギー密度が大きい。
⇒ 輸送、貯蔵インフラの規模を比較的小さくできる。
- アンモニアの輸送・貯蔵技術が確立している。
 - アンモニアは年間2,000万トンが国際間で流通。（年間生産量：2億トン）
 - アンモニアの液化条件は、LPGとほぼ同様のため、LPG用のインフラの活用が可能。
- アンモニアはCO₂フリーの水素エネルギー燃料として用いることが可能で、燃料として利用する際に脱水素を必要としない。（コストの低下、プロセスの簡略化）
 - アンモニアは、そのまま燃料として用いることができる。
 - NO_xの発生も抑制可能。
- ガス火力での混焼/専焼、石炭火力での混焼が可能。既存火力発電設備の大きな変更なく、CO₂の発生を削減することが可能。
- アンモニアは、専門家による適切な管理のもとで取り扱われる必要があるが、19世紀初頭から一世紀以上の長きにわたり大量に使用されているので、工業分野では取り扱い経験が豊富に蓄積されている。また、タンカーによる海上輸送など、アンモニアの長距離の輸送・貯蔵は日常的に行われている。
- アンモニアの製造コストの構造は明確で、安価な原料（天然ガス、水素）の入手により、経済性に優れたCO₂フリーエネルギーを入手することが可能。
- 日本のアンモニアの直接利用技術のレベルは、世界最高水準にあり、我が国の関連産業の国際市場が拓ける。

JERA と IHI による商用石炭火力発電所でのNH₃-石炭混焼発電実証 (NEDO支援事業)

事業内容： JERAの碧南火力発電所4号機（出力：100万kW）で燃料の20%（熱量比）をアンモニアに転換する実証事業。

実証事業期間： 2021年6月～2025年3月
（アンモニア20%混焼発電の実機実証期間は2024年度末までの約2か月間）
バーナ設計のため、2021年度10月から5号機で少量アンモニア混焼を実施中。



⇒ 2023年内に20%混焼を開始する方向で
実証試験計画を前倒し。

JERA碧南火力発電所
（愛知県碧南市）

【出典】「2050年におけるゼロエミッションへの挑戦」
2021年9月 JERA

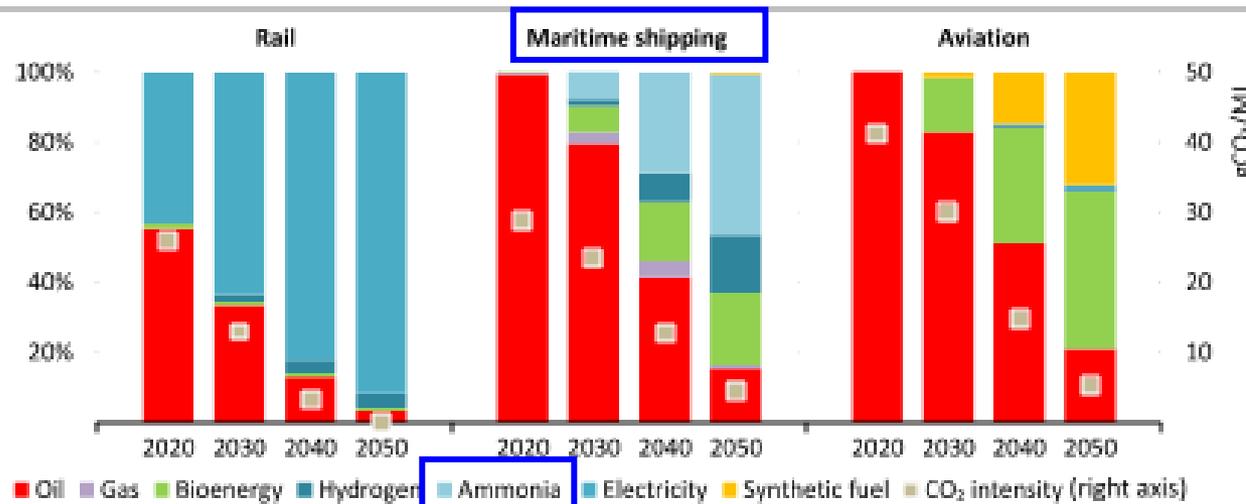
燃料アンモニア調達：

- ①米国ルイジアナ州のCF Industriesから、クリーンアンモニア（通常のアンモニアよりも最低でも60% Carbon Footprintの小さいアンモニア）を2027年から50万トン/年輸入。
この契約には 同社が計画しているGreenfield ammonia production plantへのJERAからの出資オプションを含む。
- ②Yara Clean Ammoniaを燃料アンモニア供給企業に指名。2027年以降、追加的に50万トン/年の調達を視野。
また、同社とは、米国メキシコ湾岸でのブルーアンモニア製造プロジェクトに共同で取り組む。



“Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector –” IEA (2021.7) が示した海運分野の脱炭素化シナリオ

Figure 3.25 ▶ Global energy consumption by fuel and CO₂ intensity in non-road sectors in the NZE



アンモニア燃料パナマックスバルクキャリアの概念設計開発



アンモニア燃料パナマックスバルクキャリア
概念設計イメージ

IEA. All rights reserved.

Railways rely heavily on electricity to decarbonise, while shipping and aviation curb emissions mainly by switching to low-emissions fuels

Note: Synthetic fuel = low-emissions synthetic hydrogen-based fuels.

海上輸送用燃料の転換に関する予測

	アンモニア	水素	バイオ燃料
2030年	8%	2%	7%
2050年	46%	17%	21%

第6次エネルギー基本計画での水素・アンモニア発電の位置づけと「グリーン成長戦略」(2021.6)におけるNH₃関係ロードマップ

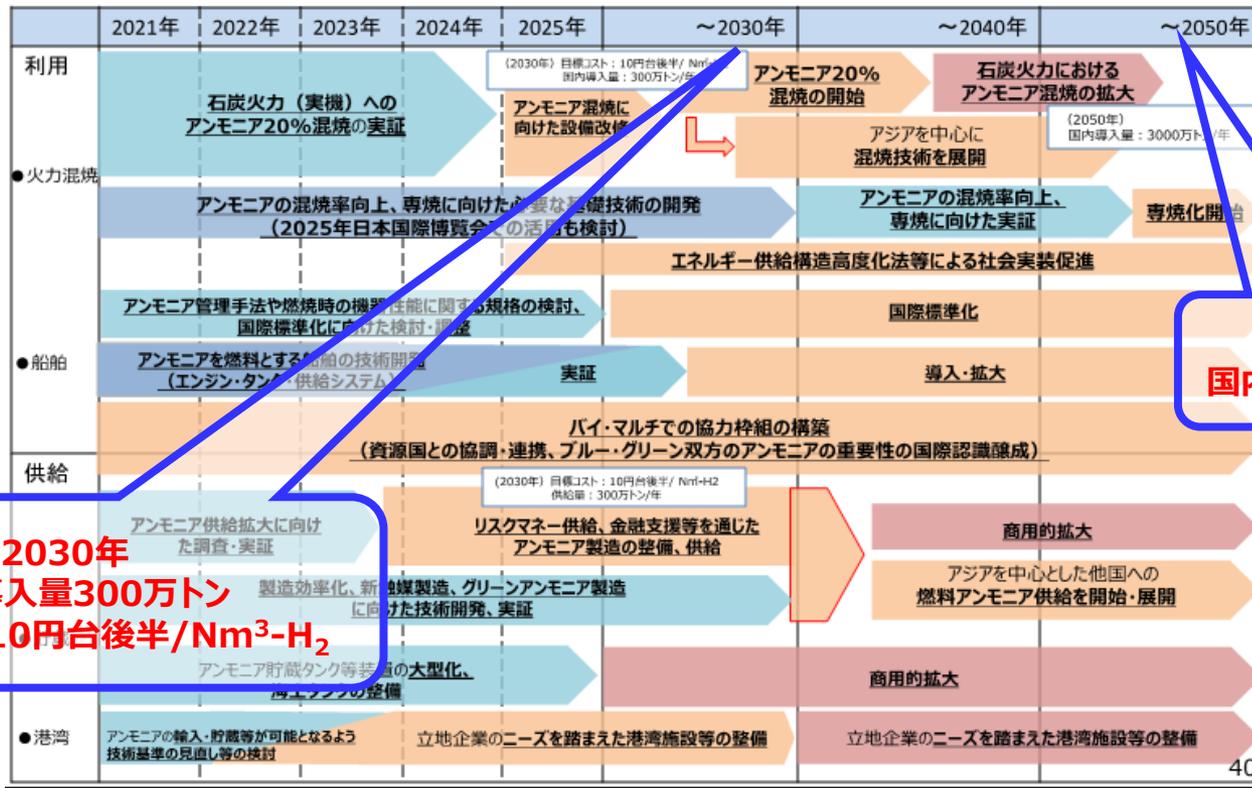


第6次エネルギー基本計画に反映

・電源構成に占める水素・アンモニア発電量：
2030年：1%程度
2050年：10%程度（参考値）

②水素・燃料アンモニア産業 (燃料アンモニア)の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
 ●具体化する政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



2030年
 国内導入量300万トン
 目標コスト：10円台後半/Nm³-H₂

2050年
 国内導入量3,000万トン

水素政策小委員会/アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議 中間整理の概要

資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部/資源・燃料部

背景

- ✓ **脱炭素燃料である水素・アンモニアは、カーボンニュートラル（CN）達成に必要な不可欠なエネルギー源。** 昨年に関議決定されたエネルギー基本計画でも、2030年の電源構成に初めて位置づけられるなど、2050年のCN達成に向け、**強靱な大規模サプライチェーンの構築と社会実装の加速化が求められている。**
- ✓ また、ロシアによるウクライナ侵略をきっかけに世界のエネルギー情勢は一変。グローバルなエネルギー需給構造に大きな地殻変動が起こっている中、**脱炭素とエネルギーの安定供給を両立する、踏み込んだ方策を進めることが急務。**
- ✓ 我が国は水素・アンモニア発電や海上輸送技術などの分野で世界をリード。これらの**蓄積した技術を最大限活用**して今後も**世界の成長市場を獲得**するためには、水素・アンモニア**商用サプライチェーンの世界に先駆けた構築とその導入拡大、大規模需要が存在するCN燃料拠点の整備を進める必要がある。**
- ✓ **上流権益獲得競争が加速**する中、**早期に投資決断を行いたいという事業者の動きもあり、国際競争力を確保しながら、早急な制度整備を進めていく必要がある。**

需要の拡大の現状

水素・アンモニアは燃焼時にCO₂を排出しない脱炭素燃料として発電・輸送・産業用熱需要などの分野を中心に今後利用拡大が見込まれる。

① 発電分野

- 2030年までの商用化に向けて、天然ガス火力への水素混焼・専焼や石炭火力へのアンモニア混焼の実機での実証試験を実施中。
- 米国、シンガポール、ベルギーで先行受注、今後、商用実機を導入予定。

② 輸送分野

- FCV約7500台、ステーション179箇所を整備。2023年より数百台規模でトラックを始めとする商用車等でも水素の活用がスタート。
- 水素・アンモニア等を燃料として利用した次世代船舶のコア技術となるエンジン、燃料タンク・燃料供給システム等の開発・実証が行われている。

③ 産業分野

- 電化による代替が難しい工業炉やバーナーの熱源として水素・アンモニアを検討。グリーンイノベーション基金等を通じて商用規模で実証・導入が進みつつある。
- 水素還元製鉄や基礎化学品の原料など様々な用途で利用出来るポテンシャルを有する。

⇒港湾やコンビナートといったエネルギーの需要・供給の双方が集積する地域でも、水素・アンモニアの具体的利用に向け検討が進められている。

サプライチェーン構築の現状

得将来的な国際市場の立ち上がりが期待される中、水素・アンモニア社会の実現に向け、強靱な大規模サプライチェーンの構築が必要。

① 水素

- グリーンイノベーション基金により、商用スケールで液化水素やメチルシクロヘキサン（MCH）を用いた輸送技術を開発。2027年頃の実証を経て、30年頃に大量輸入が可能に。
- 供給コストを2030年に30円/Nm³、2050年に20円/Nm³以下（化石燃料と同等程度）とすることを目指している。
- ロッテルダム港（欧州最大の港）に輸入される水素の輸送手段としてMCHの導入に向けたFSを実施中。

② アンモニア

- グリーンイノベーション基金を活用し、製造面では大規模化・コスト削減・CO₂排出量低減に資する製造方法の開発・実証を実施中。
- 潜在的な供給国との覚書締結による連携やサプライチェーン構築に向けたFS等の支援を実施中。
- 2030年にアンモニア供給コスト10円台後半/Nm³-H₂の達成を目指す。

※水素・アンモニアの現在の供給コストは既存燃料に比べて高く、サプライチェーンの大規模化や技術革新を通じたコスト低減が課題。

海外の状況

- IEAのNet Zero Emissions by 2050シナリオでは、2030年は発電部門が需要拡大を牽引。輸送部門は乗用車に加え、商用車（FCトラック等）でも水素の導入が拡大する見込み。また、2050年は現在の約6倍弱の5億トン/年程度の需要を見込む。
- 様々な国や地域で水素・アンモニアの大規模な社会実装に向けた支援策導入が活発化。米国（インフレ削減法におけるタックスクレジット付与発表（22年8月））、イギリス（CfD制度適用案件募集開始（22年7月））、ドイツ（H2Global入札開始（22年12月））、EU（水素バンク構想発表（22年9月））など。
- 各地域の支援制度では製造する水素等の原料やCO₂排出量による閾値を設定し、支援対象を限定。

1. 強靱な大規模サプライチェーン構築に向けた支援制度

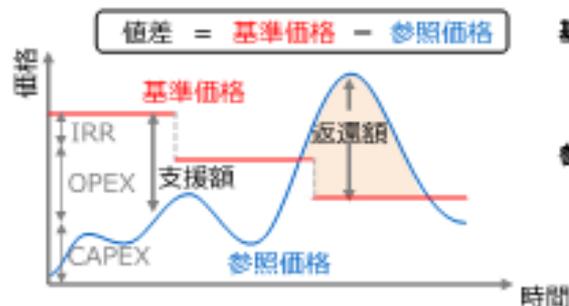
強靱な大規模サプライチェーン構築に向けた基本的な考え方

- 本制度では、現在供給コストが高価である水素・アンモニアに対し、市場型の支援策を講じることで、強靱な大規模サプライチェーンの構築を通じ、水素・アンモニアの自立した市場の形成を目指す。
- 第6次エネルギー基本計画において、S+3Eを原則としたエネルギー政策の重要性が確認されたところ、我が国の次世代エネルギーである水素・アンモニアサプライチェーンの構築に向けた基本的な考え方もこれに則り、安全性、安定供給、環境性、経済性を前提とした制度とする。
- 水素・アンモニアをとりまく将来の見通しが不透明な状況においても、他の事業者在先立って自らリスクを取り投資を行い、2030年頃までに水素・アンモニア供給を開始する予定である事業者（ファーストムーバー）をS+3Eの観点から選定し、優先して後押ししていく。彼らの事業の予見性を高め、大規模な投資を促す。

値差補填支援

支援制度イメージ

- 事業者が供給する水素に対し、基準価格と参照価格の差額（の一部または全部）を支援。また、一定年数経過時点ごと基準価格を実績と見通しに合わせて見直す機会（例：5年）を設ける。

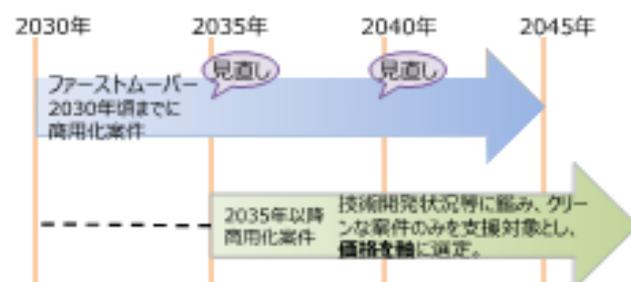


基準価格： 単位販売量あたりの対価として、その水準での収入があれば事業継続に要するコストを合理的に回収でき、かつ適正な収益を得ることが期待される価格。

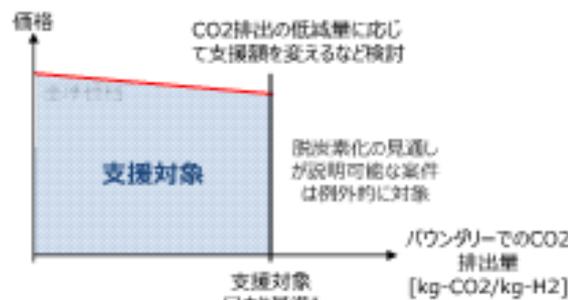
参照価格： 既存燃料のバリエーション*を基礎として設定される価格。水素はLNG価格、アンモニアは石炭価格をそれぞれ参照する。

*バリエーション：水素等と比較して、同じ熱量もしくは仕事をするのに必要な燃料の市場価格

- 選定されたファーストムーバーについて、支援期間は15年（状況に応じて20年）とする。

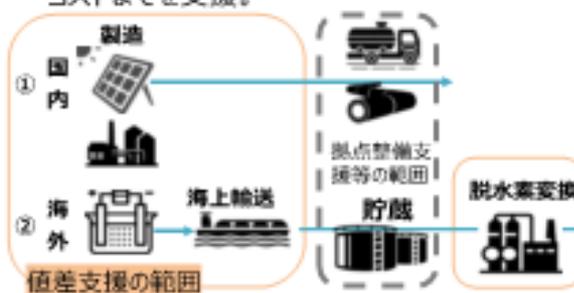


- 原則としてクリーンな水素・アンモニアが支援の対象。



支援範囲

- ①国内製造、②海外製造・海上輸送に加え、国内貯蔵後の脱水素設備等での交換コストまでを支援。



案件の選定

- ファーストムーバーの選定に際しては、中立性、透明性が担保される環境で、S+3Eを前提とした総合的な評価軸のもと、戦略的に案件の選定を行う。

国内事業の支援

- エネルギー安全保障の観点から、国内においても大規模にサプライチェーンを構築し、価格低減が見込まれる案件については、自治体等のコミットを要件とした上で、優先して支援することとする。

2. 効率的な水素・アンモニア供給インフラの整備支援制度

基本的な考え方

- カーボンニュートラル実現に向けて、燃料や原料として利用される水素・アンモニアの安定・安価な供給を可能にする**大規模な需要創出と効率的なサプライチェーン構築**を実現するため、国際競争力ある産業集積を促す拠点を整備

＜今後10年間程度で整備する拠点数＞

大規模拠点：大都市圏を中心に3か所程度

中規模拠点：地域に分散して5か所程度



インフラ整備支援

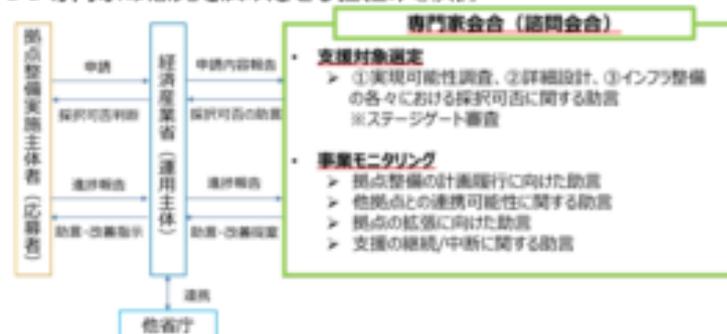
支援制度イメージ

- ①拠点整備の事業性調査 (FS) ②詳細設計 (FEED) ③インフラ整備の3段階に分けて支援。GI基金の例を参考に、**ステージゲート**を設け、有望な地点を重点的に支援
- 利用される技術の**技術成熟度レベル (TRL)** が実装段階を超えてから一定の期間内に③インフラ整備の支援を行うものとし、それ以前に①FS支援、②詳細設計支援の期間を用意



制度運用

- モニタリングや審査の際に専門性、中立性が必要となるため、**政府が主体を担いつつ専門家の意見を反映させる仕組み**を検討



支援範囲

- 多数の事業者の水素・アンモニア利用に資する**タンク、パイプライン等の共用インフラ**を中心に支援



案件選定

- 拠点の採択やステージゲートの審査にあたっては、**実現可能性や地域の産業構造転換・地域経済への貢献度合い、水素・アンモニア取引量（見込み含む）、CO2削減量、イノベーション性**などの項目を中心に評価

他制度との連携

- 水素・アンモニアの大規模な商用サプライチェーン構築のためには、**サプライチェーン構築支援から拠点整備支援まで連携して支援を行うことが効果的**。そのため拠点整備を活用する際には、**サプライチェーン構築支援においても優遇**するなど、制度間の連携を図る。
- 国交省で推進する**カーボンニュートラルポート**や、GX実行会議において検討されている**製造業の燃料転換**等の支援策とも連携し、水素・アンモニアのサプライチェーン構築に向け、切れ目のない支援を実現する。

3. 水素社会は、日本と世界をどのように変えていくのか？

- ① 日本の産業構造、経済への影響
- ② 地域社会への影響
- ③ 国際政治、経済への影響
 - －新たな経済発展のチャンスとリスク
 - －エネルギー地政学の変化

① 日本の産業構造、経済への影響

エネルギー価格の上昇 → 産業競争力への影響 → 産業構造の大転換

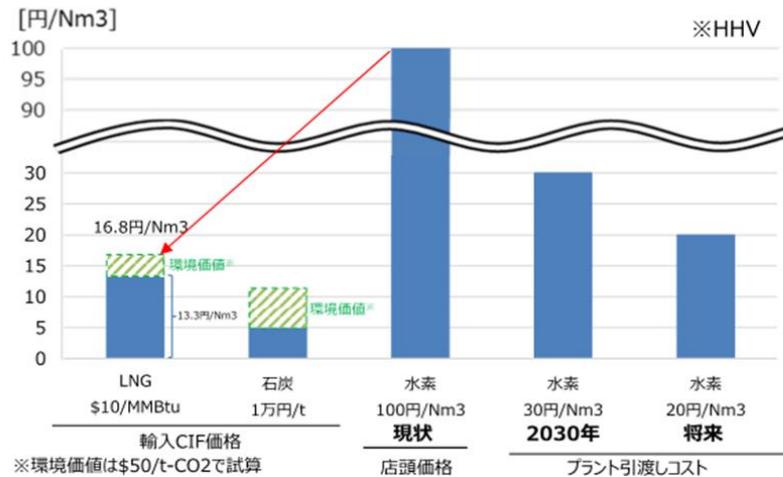
○ 影響の強さに関する問題

- ・ Carbon Pricingの導入
- ・ 国境調整措置の導入 (EU-CBAM等)

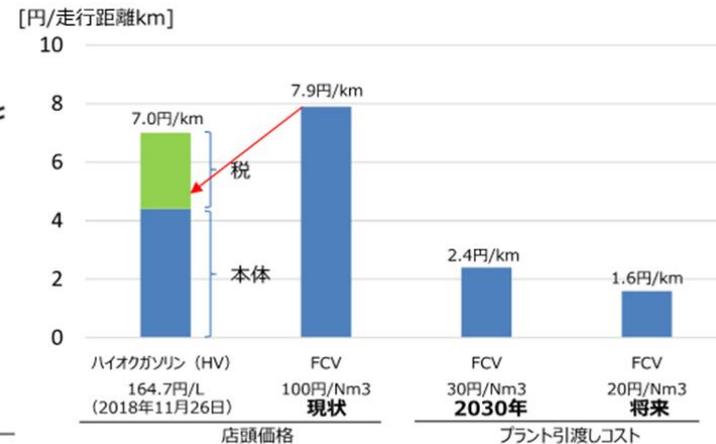
○ プラスの影響

- ・ 気候変動の防止
- ・ エネルギーセキュリティの向上

既存エネルギーと水素コストの比較 (発電用燃料・熱量等価)



既存エネルギーと水素コストの比較 (モビリティ・燃費等価)

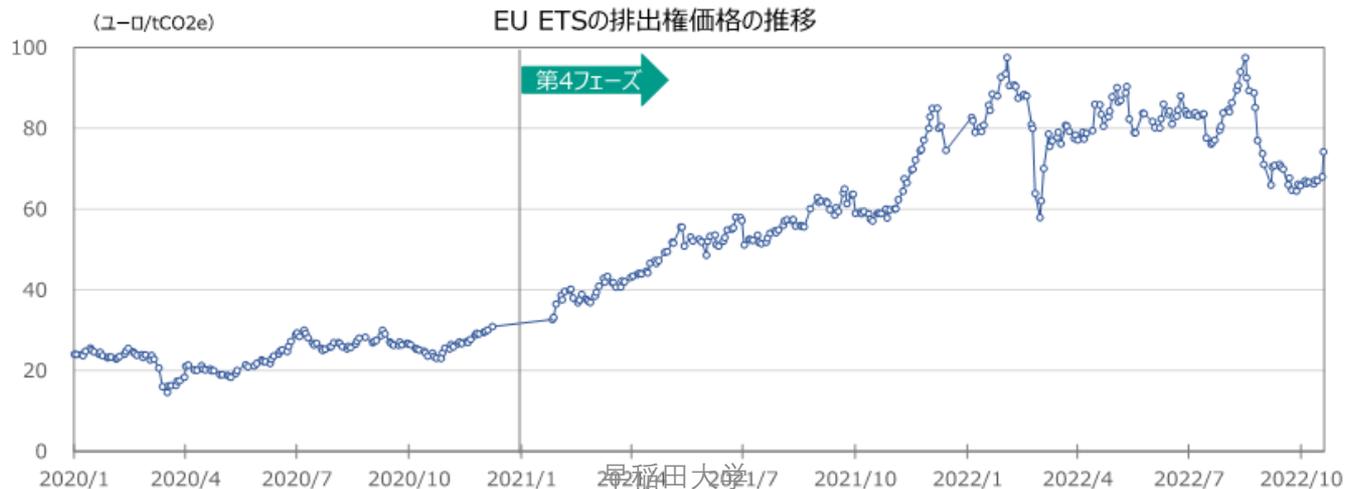


各国の脱炭素化対策は、将来の脱炭素社会に向けた国家の競争力強化対策。

- ・ 脱炭素社会を支える産業構造への転換が必要
- ・ 日本経済を支える新たな産業群とは？

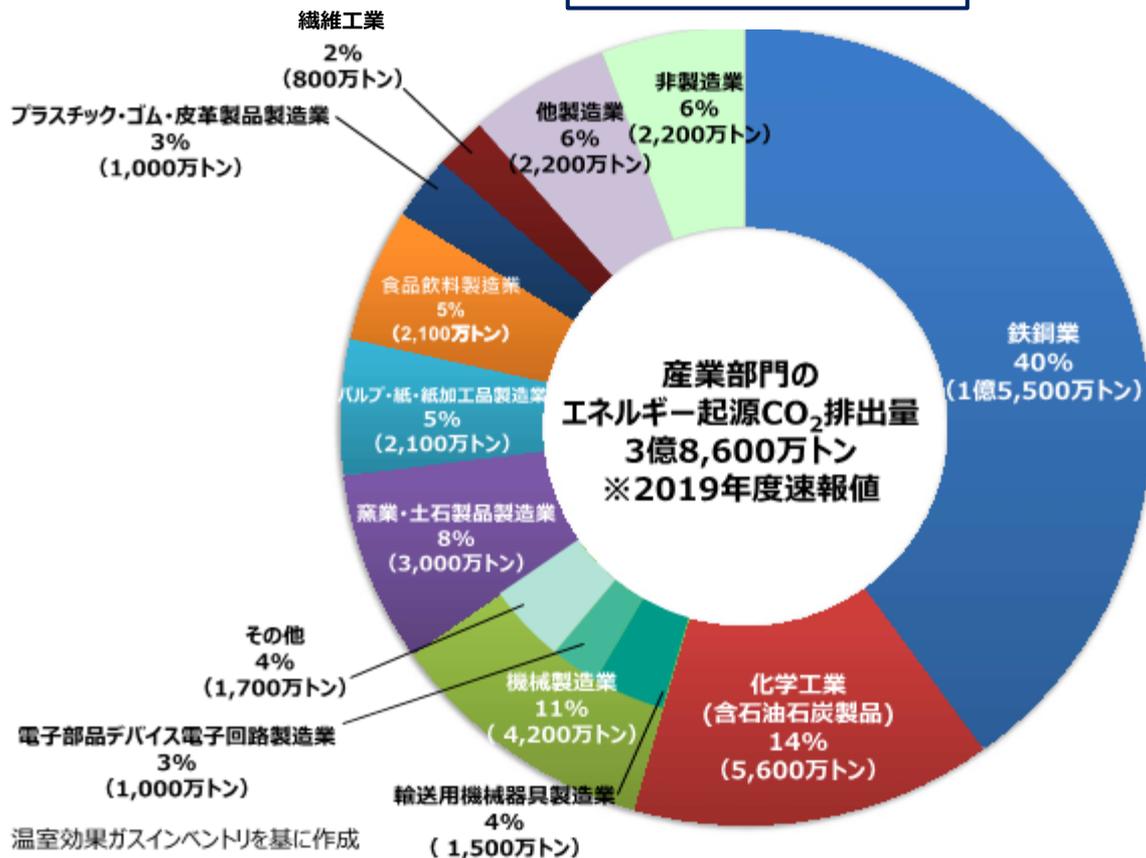
CO₂コスト

- 「水素基本戦略」（2023.6改定）に掲げられている2050年の水素価格目標：
20円/Nm³ の背景にあるCO₂コスト： 44 USD/t-CO₂
- IEA “World Economic Outlook 2020”の将来の炭素価格の見通し（持続可能な開発シナリオ）：
2025年 63 USD/ t-CO₂
2040年 140 USD/ t-CO₂
- IMF（2020）“World Economic Outlook”における2050年 ▲80%実現のための炭素価格の試算値：
2030年 10~40 USD/ t-CO₂
2050年 40~150 USD/ t-CO₂
- 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 発電コスト検証WG（2021.7.12）で発電コスト試算に用いたCO₂コスト：
2030年 約40 USD/t-CO₂
2050年 約63 USD/t-CO₂
- RITE（2015年）によるCO₂限界削減費用の試算値： 2030年 260 USD / t-CO₂
- EU-ETS価格推移： 2023年6月7日現在 83€/t-CO₂

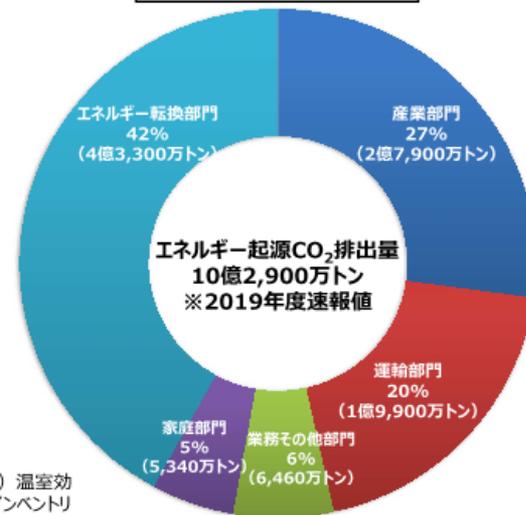


産業部門からの業種別エネルギー起源CO₂排出量 (2019年) (電気・熱配分後排出量)

電気・熱配分後排出量



電気・熱配分前排出量*1



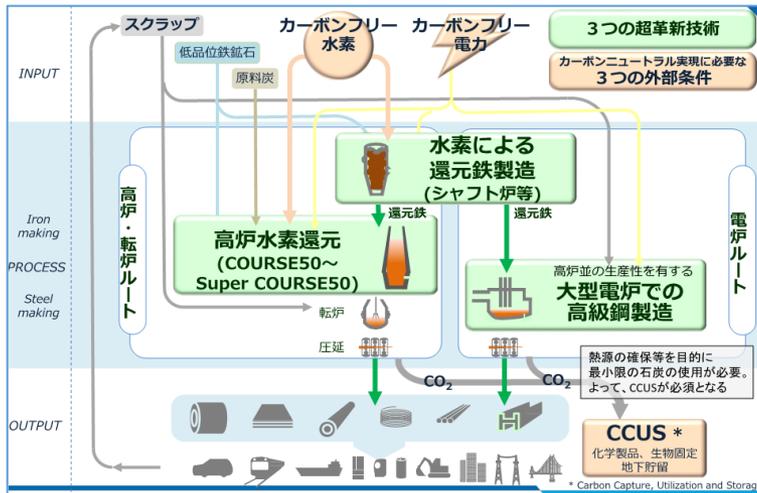
産業分野の脱炭素化に必要な水素の量（例）

■ 鉄鋼、化学工業の脱炭素化に必要なCO₂フリー水素量とコスト水準

鉄鋼業：	約 700万トン	8 円/Nm ³
化学工業：	約 600万トン	10 円/Nm ³

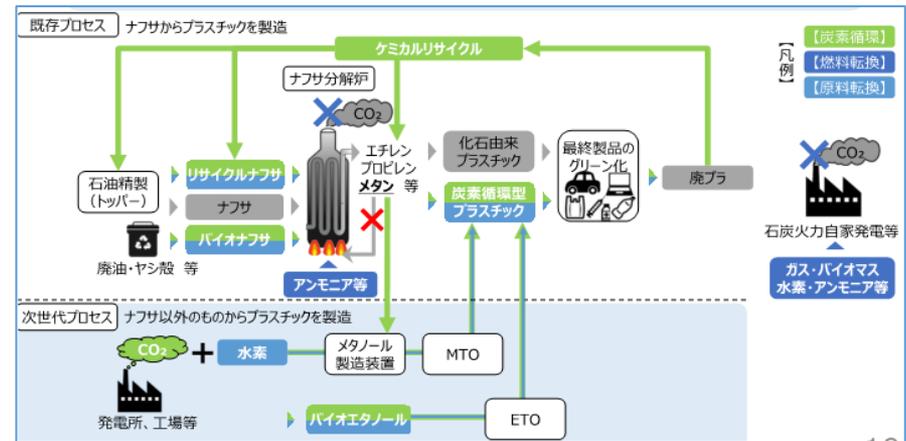
- 【参考】 ・1,400万トンの水素を電気分解により製造するためには、約6,500億kWh (原発90基分) の電力*が必要。
 (* : CO₂フリー電力)
 ・天然ガス輸入量の規模： 8,500万トン/年

鉄鋼業の脱炭素化に必要な水素、アンモニア



(出所) 2022年10月7日 総合資源エネルギー調査会
 第5回アンモニア等脱炭素燃料政策委員会
 日本製鉄提出資料

化学工業の脱炭素化に必要な水素、アンモニア



(出所) 2022年11月17日 総合資源エネルギー調査会
 第6回アンモニア等脱炭素燃料政策委員会
 日本化学工業協会提出資料

② 地域社会への影響



カーボンニュートラルポート（CNP）検討会の状況

○目的：各港湾においてCNPを形成していくための具体的な検討等を行う。

○構成：国土交通省地方整備局、港湾管理者、地元自治体、港湾利用・立地企業、地元経済・業界団体 等



地域エネルギーシステム改革

■ 地域エネルギーシステムの改革に必要な検討事項

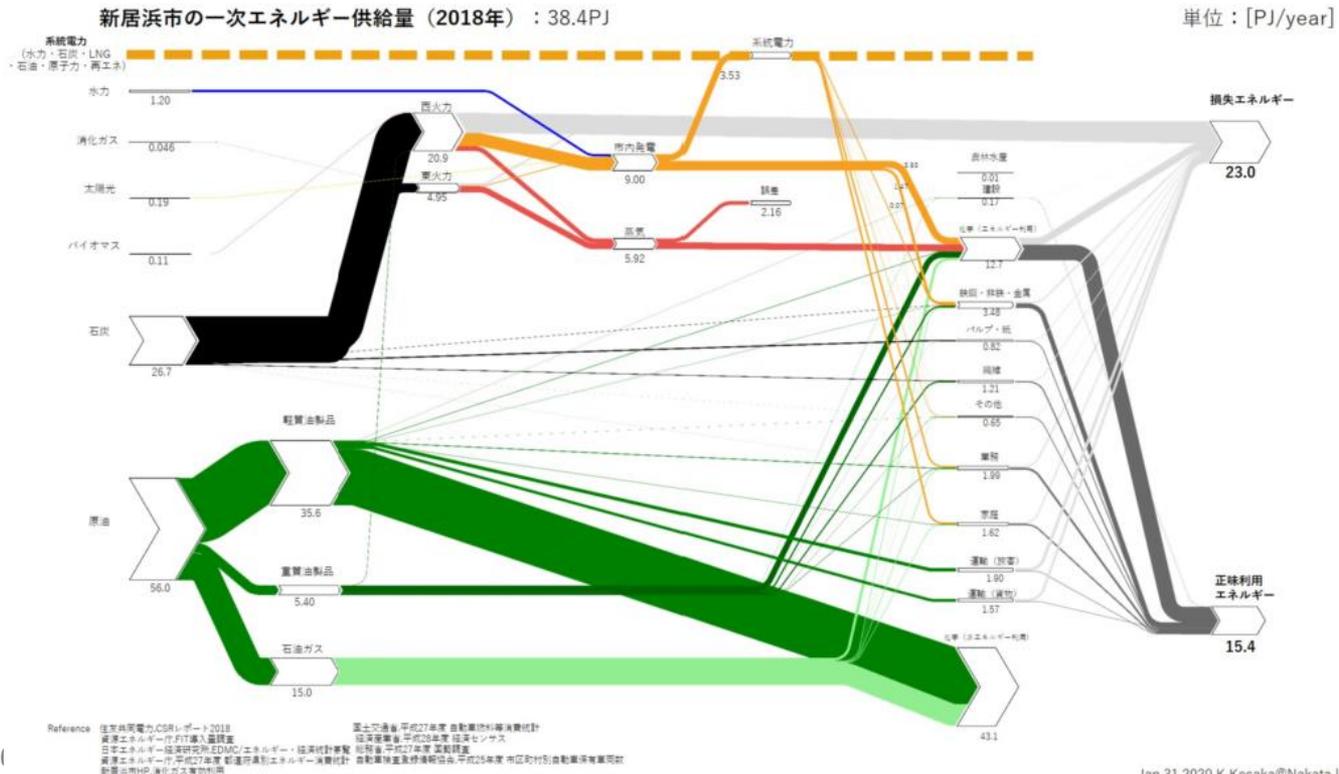
- ・セクターカップリングのあり方
 - 産業、業務・家庭、運輸の部門間
 - エネルギーの種別間 (ex. 電力系統⇔EV)
- ・地域間連携・統合のあり方
- ・地域分散型システム (再エネの地産地消) ⇔ 集中型システム との調和
- ・産業と行政の関係 (ex.“脱炭素先行地域”、カーボンニュートラル・ポート構想)



- ・地方自治体の人材の養成
- ・地域のエネルギー需給データ整備

「地域エネルギー需給データベース」
<https://energy-sustainability.jp/>

ある地方産業都市のエネルギーフロー (2018)

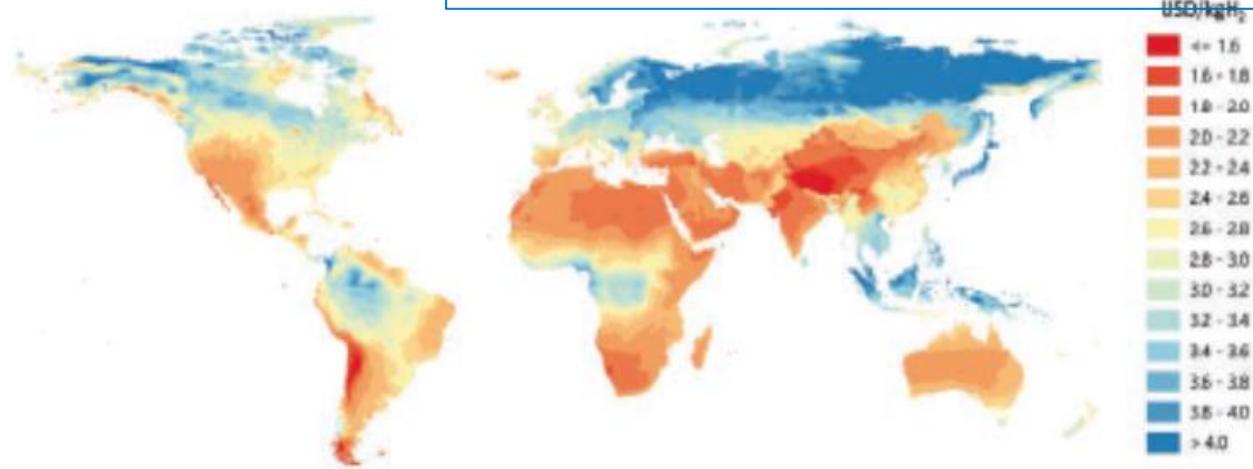


③ 国際政治、経済への影響

- 新たな経済発展のチャンスとリスク
- エネルギー地政学の変化

再エネによる地域別水素製造コスト（再掲）

1.6 USD/kg-H₂ = 15.8 Yen/Nm³ (1USD = 110Yen)



Notes: This map is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area. Electrolyser CAPEX = USD 450/kW_e, efficiency (LHV) = 74%; solar PV CAPEX and onshore wind CAPEX = between USD 400-1 000/kW and USD 900-1 500/kW depending on the region; discount rate = 8%.

Source: IEA analysis based on wind data from Rife et al. (2014), NCAR Global Climate Four-Dimensional Data Assimilation (CFDDA) Hourly 40 km Reanalysis and solar data from renewables.ninja (2019).

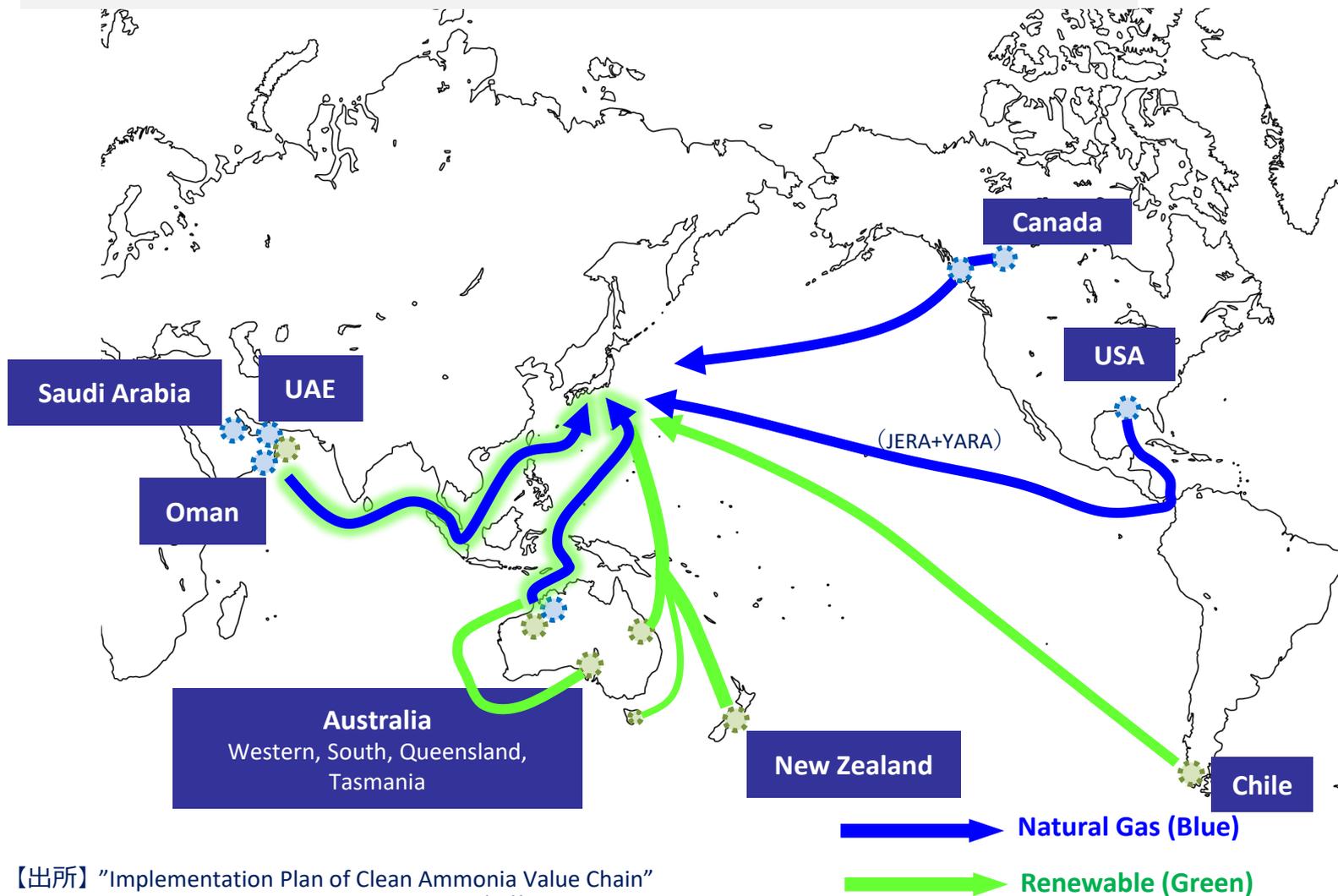
The declining costs of solar PV and wind could make them a low-cost source for hydrogen production in regions with favourable resource conditions.

【出典】 IEA、The Future of Hydrogen, 2019.6

早稲田大学

燃料アンモニアのサプライチェーンの構築プロジェクト

(2022年7月の時点)

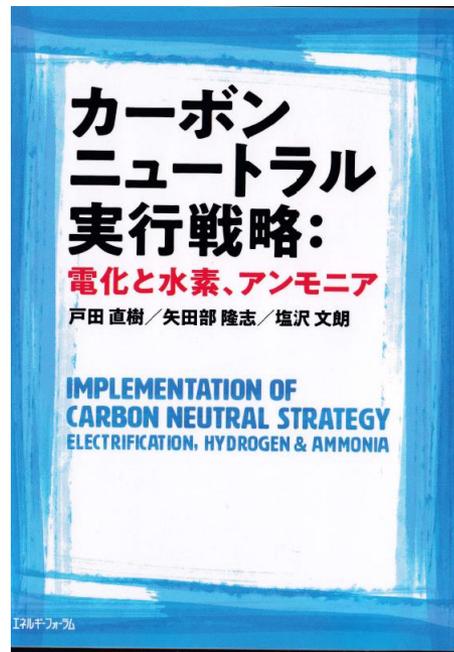


【出所】 "Implementation Plan of Clean Ammonia Value Chain"
by Shigeru Muraki, July 27, 2022 から転載。

ご静聴、ありがとうございました。

ご質問等は以下にお願いします。

bunro@n07.itscom.net



(2021.3 エネルギーフォーラム社)

amazon 売れ筋ランキング 第1位

「エネルギー一般関連書籍部門」(2021年3月12日~24日)

第42回エネルギーフォーラム賞「普及啓発賞」受賞

(2022.2.24)