

The image features a dark blue background with a glowing network of white lines and nodes, resembling a molecular or data structure. The word "TECHNOVA" is written in a bold, white, sans-serif font in the upper right corner.

TECHNOVA

京大特別シンポジウム

CNの主役風力、太陽光、水素は2030年、2050年にどう臨むか

水素はいかにカーボンニュートラルに 貢献するか

2021年12月10日 (株)テクノバ 丸田昭輝 maruta@technova.co.jp

目次

- 最初に：日本の水素目標（グリーン成長戦略）
- なぜカーボンニュートラルに水素が必要か
- IEAとIRENAの2050年シナリオ
- 世界はどう動いているか
- 水素の国際取引と国際連携
- ガスと電力の連携（水素パイプライン）
- まとめ & 日本はどうか

最初に：日本の水素目標（グリーン成長戦略）

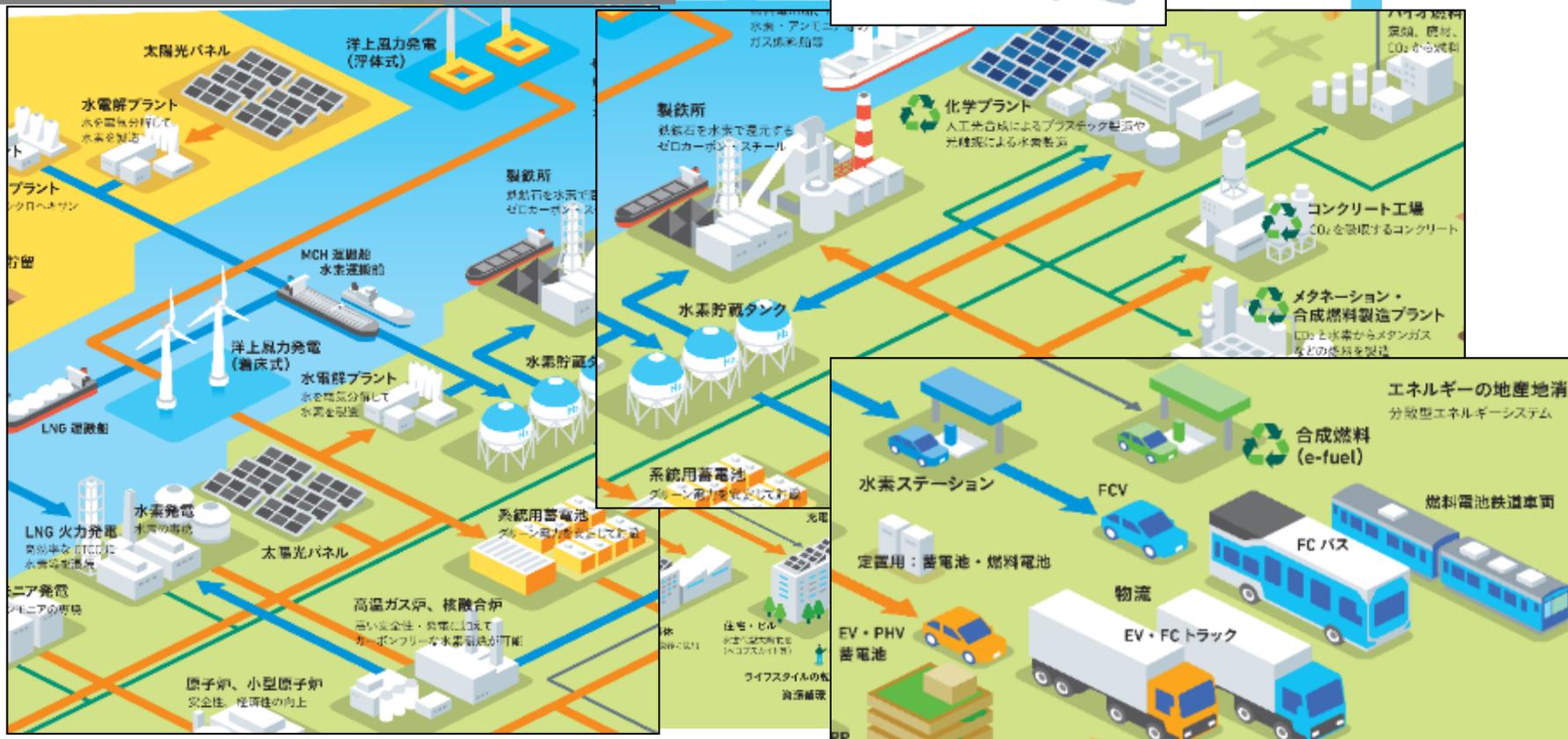
2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

2050年に水素は電気とともに重要な要素

電気はすべて脱炭素化し、産業部門の電化を進める
 水素は、発電・産業・運輸など幅広く活用されるキーテクノロジー
 CO₂は回収し、カーボンリサイクルや地中貯留(CCS)へ

水素航空機
 燃料に水素を用いる例、
 燃料電池を活用

経済産業省
 イギリス政府
 Hydrogen Hub



出所：経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定しました、広報資料①「カーボンニュートラルの産業イメージ」（2020年12月25日）
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-4.pdf>

- 水素の潜在需要は2030年に最大300万トン（新規需要分は100万トン）
- 水素供給コスト
 - 2030年：30円/Nm³（330円/kg）（現在の販売価格の1/3以下）
 - 2050年：20円/Nm³以下（220円/kg）（水素発電コストはガス火力以下）
- 水素需要（既存需要200万トン含む）
 - 2030年に最大300万トン（注：アンモニアの直接利用含む）
うち、グリーン水素（化石燃料+CCUS、再エネ水素）は約42万トン以上
 - 2050年に2,000万トン程度
 - 水素発電タービン：先行して市場を立ち上げ、アジア等に輸出（潜在国内需要約500～1,000万トン/年）
 - FCTトラック：世界と同時に国内市場を立ち上げ、各国にも輸出（潜在国内需要約600万トン/年）
 - 水素還元製鉄：世界に先駆けて技術を確立（潜在国内需要約700万トン/年）
 - 定置用燃料電池：更なる価値の深堀りと生産設備への投資支援により社会実装を推進
- 製造・輸送等
 - 水素運搬船等：世界に先駆け商用化し、機器・技術等を輸出
 - 水電解装置：再エネが安い海外市場に輸出し、その後国内導入

なぜカーボンニュートラルに水素が必要か

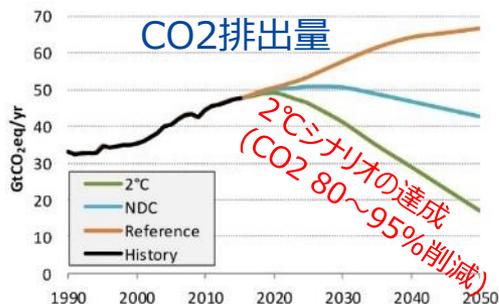
2018年11月の「Clean Planet for all」が欧州の認識を変えた

欧州連合は、2050年の気候中立経済実現を目指す長期ビジョン「A Clean Planet for all（万人のためのクリーンな地球）」を2018年11月に採択

- 2050年のGHG 80～95%削減のため、「気候変動中立経済」（climate-neutral economy）の実現をめざす
（注：水素に特化した検討ではなく、エネルギーシステムの検討）
- 8つのシナリオを分析し、移行戦略や戦略プライオリティを提示



目標

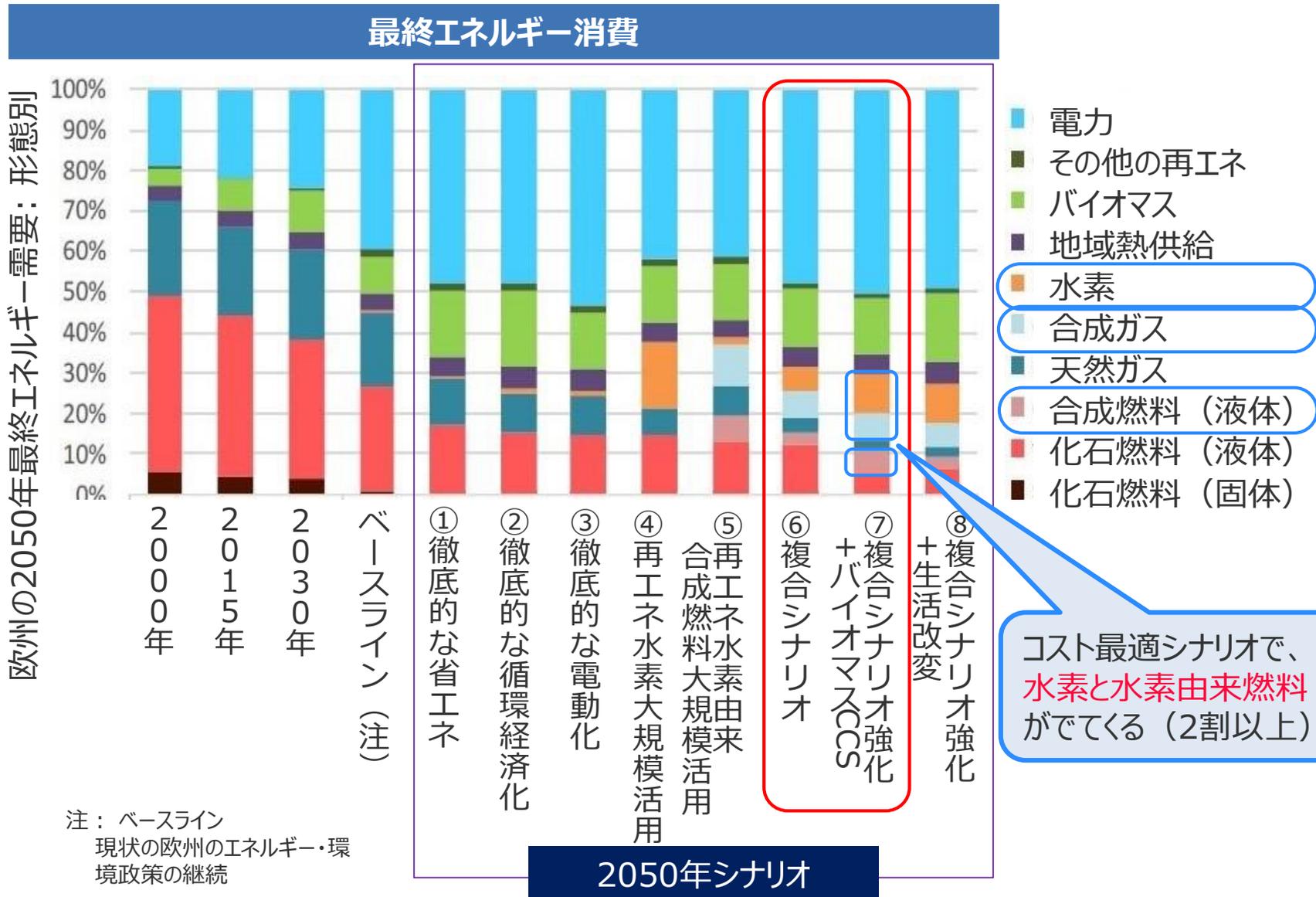


2050年シナリオ

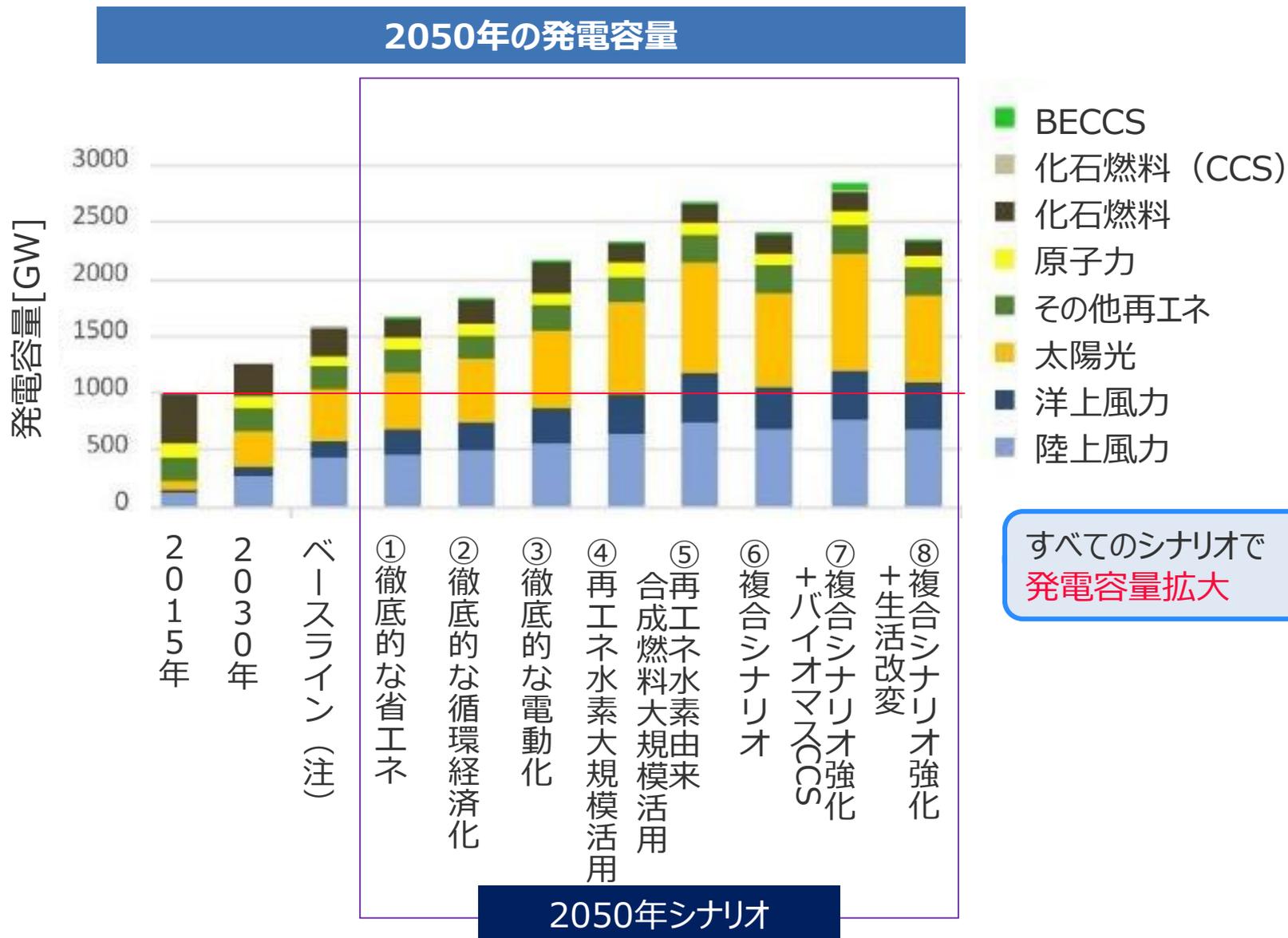
基本シナリオ	複合シナリオ
① 徹底的な省エネ	⑥ 複合シナリオ（①、③、④、⑤のシナリオをコスト最小で複合）
② 徹底的な循環経済化	⑦ 複合シナリオの強化+バイオマスCCS（1.5°Cシナリオ達成）
③ 徹底的な電動化	⑧ 複合シナリオの強化+循環による生活スタイル改変（1.5°Cシナリオ達成）
④ 再エネ水素大規模活用	
⑤ 再エネ水素由来合成燃料大規模活用	

出所：European Commission「2050 long-term strategy In-depth analysis accompanying the Communication」
<https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050>

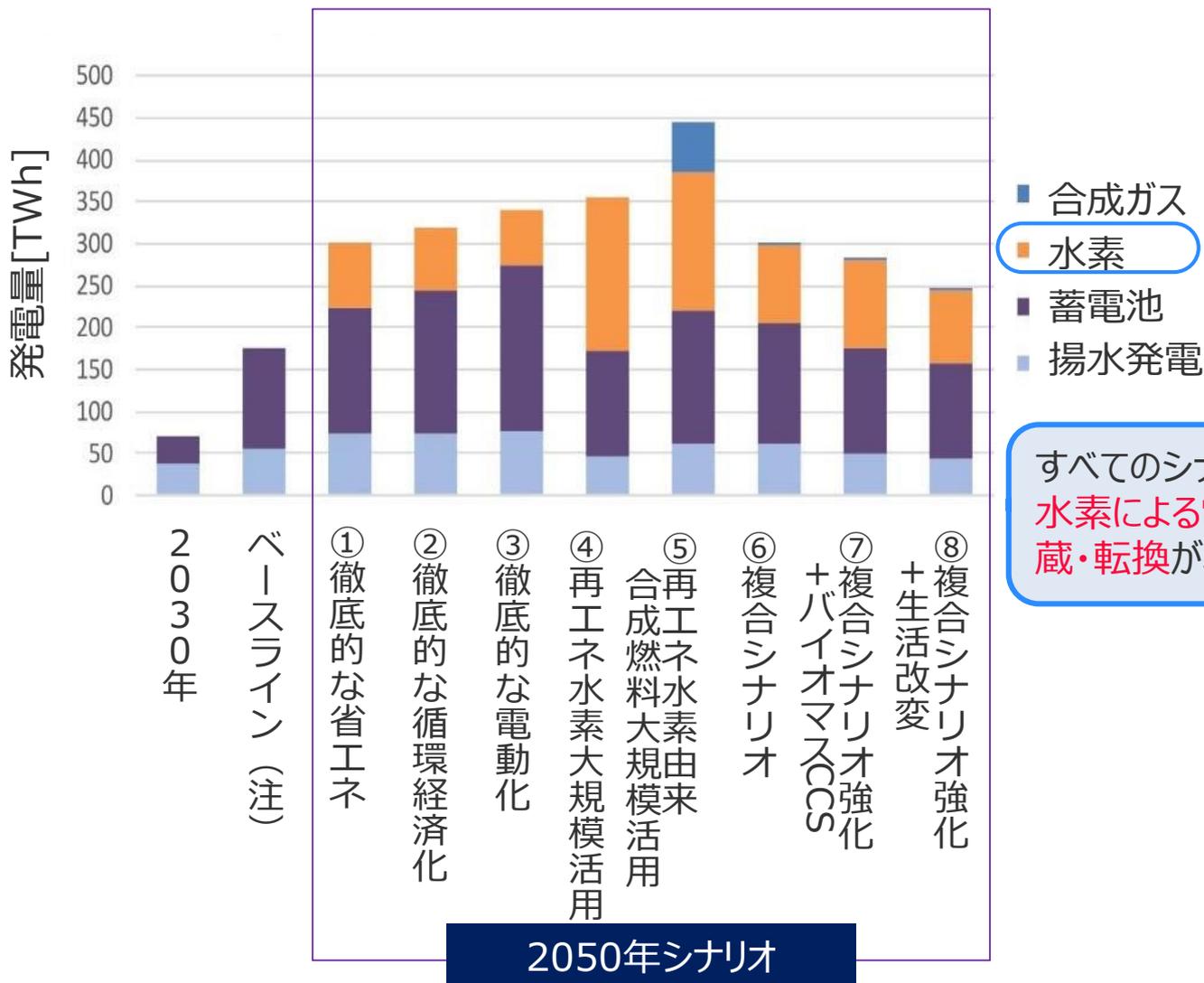
なぜ水素か：EUの2050年ビジョン（2018年11月）



なぜ水素か：EUの2050年ビジョン（2018年11月）

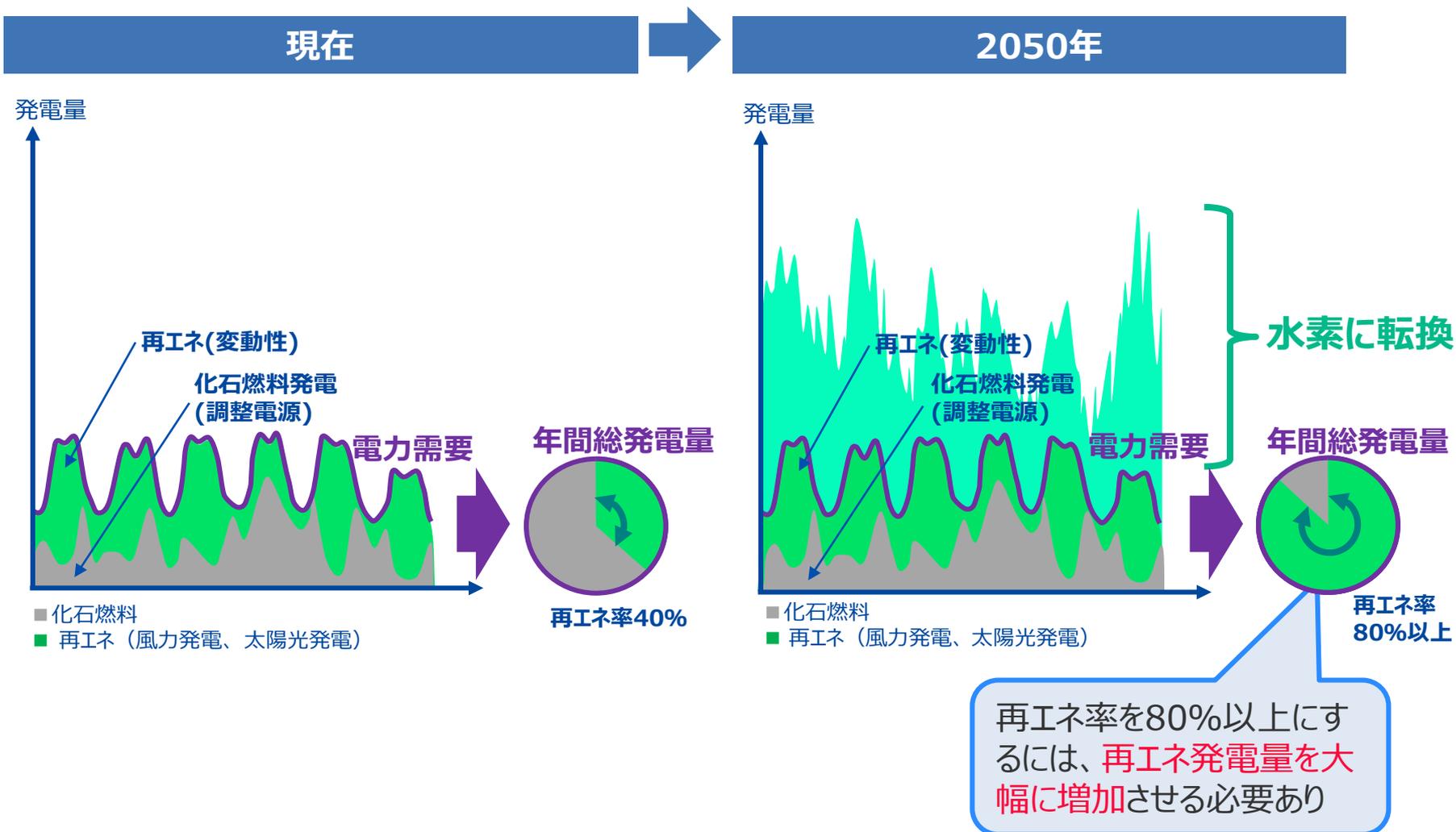


2050年の電力貯蔵・転換形態



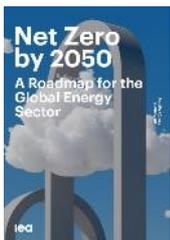
なぜ水素か：EUの2050年ビジョン（2018年11月）

- 再エネ割合を2050年に80%に増大するには、再エネ発電容量の大幅拡大が必要



IEAとIRENAの2050年シナリオ

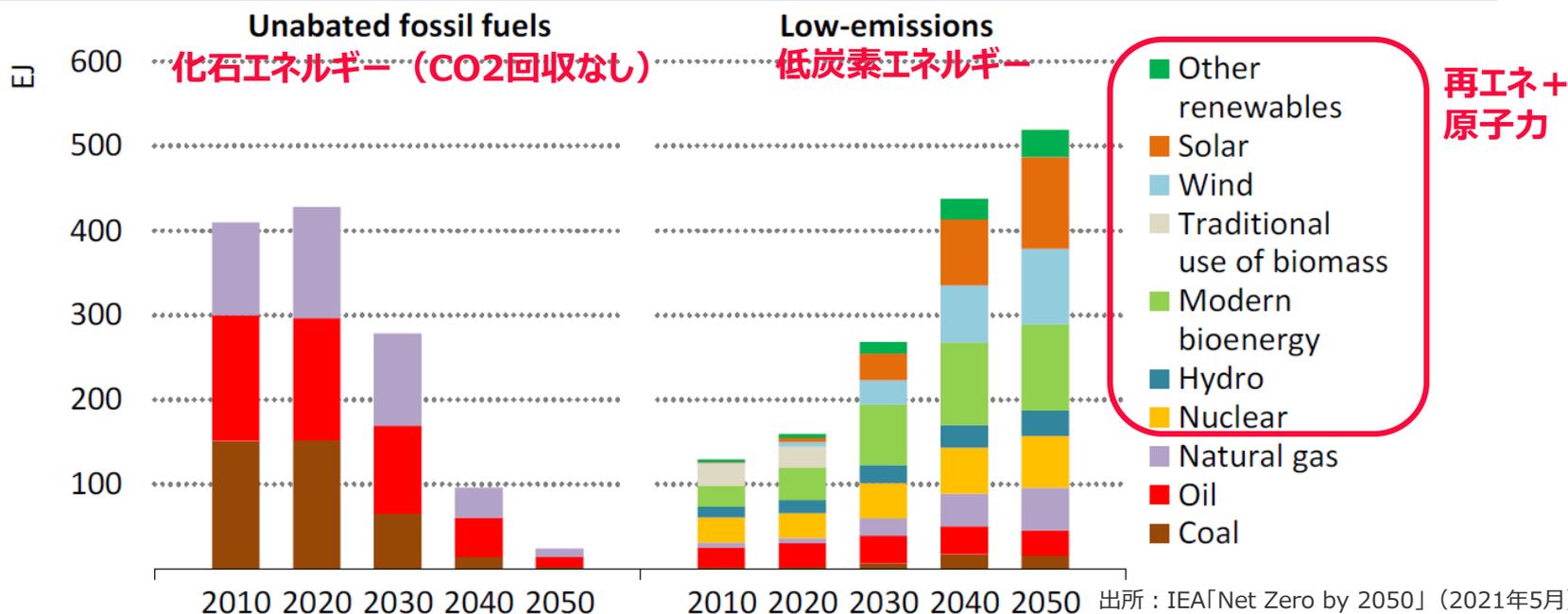
• Net Zero by 2050 : IEAとしては初めての2050年までの詳細シナリオ



国際エネルギー機関（IEA）はネットゼロ達成のシナリオ「**Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector**」を発表（2021年5月）

- ネットゼロは達成可能だが、そのパスは「狭く、チャレンジングであり、すべてのステークホルダが今から継続的に行動する必要あり」
- ネットゼロのためには**再エネ + 原子力**で8割のエネルギーを供給

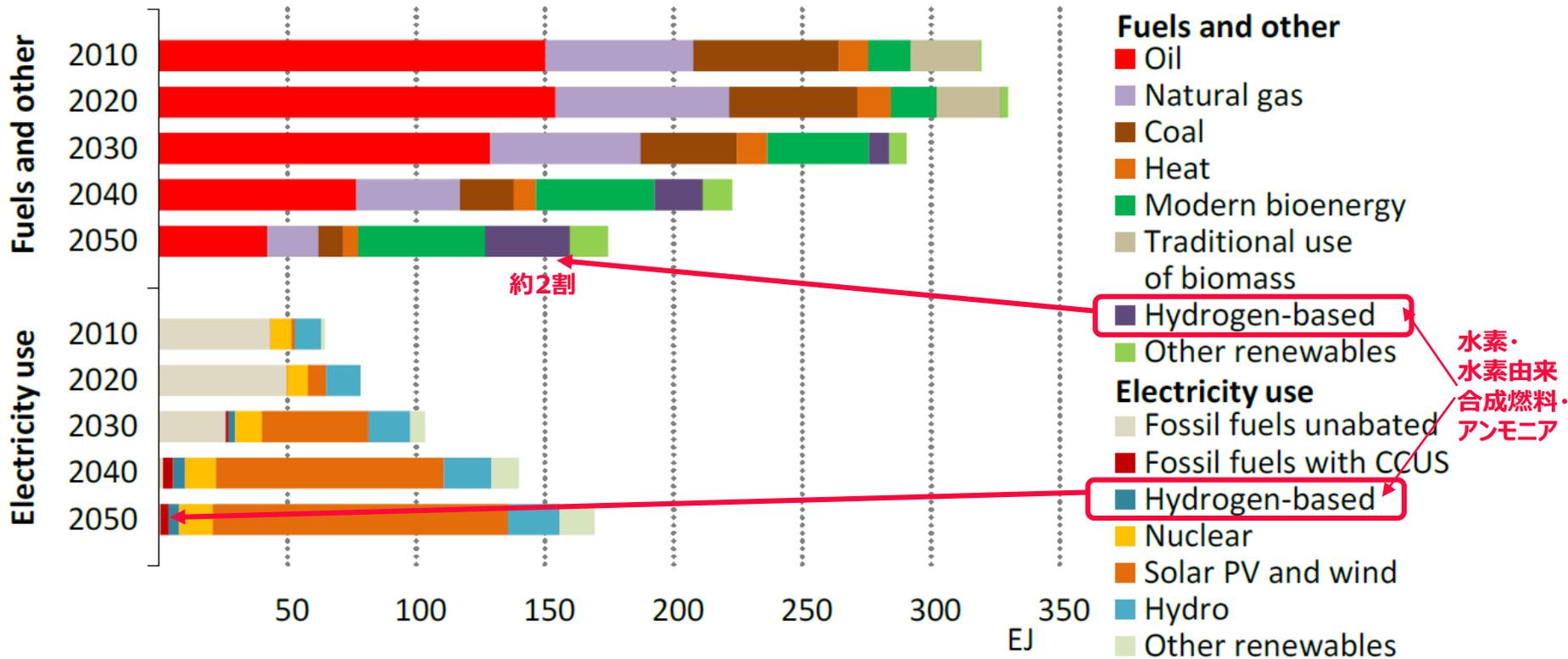
エネルギー供給（世界）



出所 : IEA「Net Zero by 2050」(2021年5月)
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

- IEA予測：2050年に水素・水素由来合成燃料・アンモニアが最終消費（電力以外）の約2割を占める（最終エネ需要の約1割）

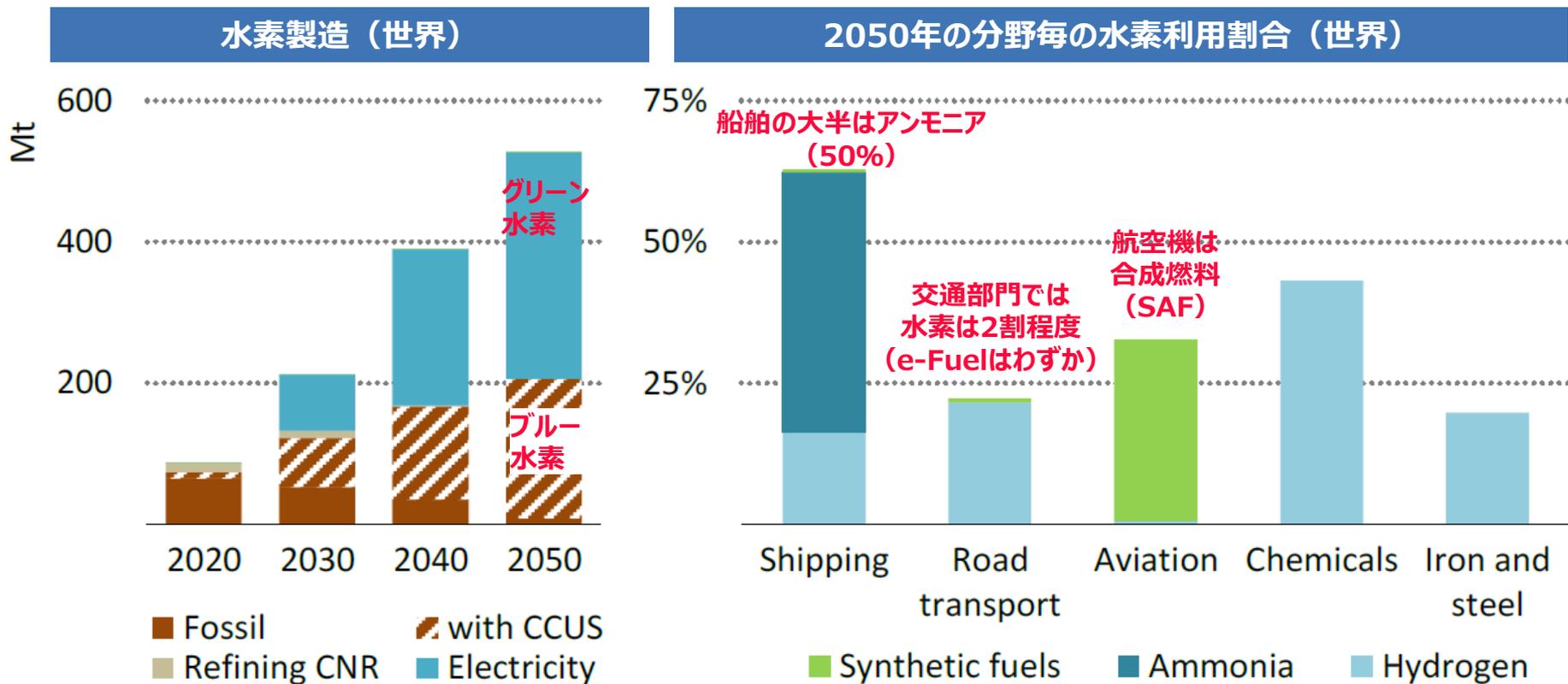
最終エネルギー消費（世界）



出所：IEA「Net Zero by 2050」（2021年5月）
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IEAの2050年シナリオ

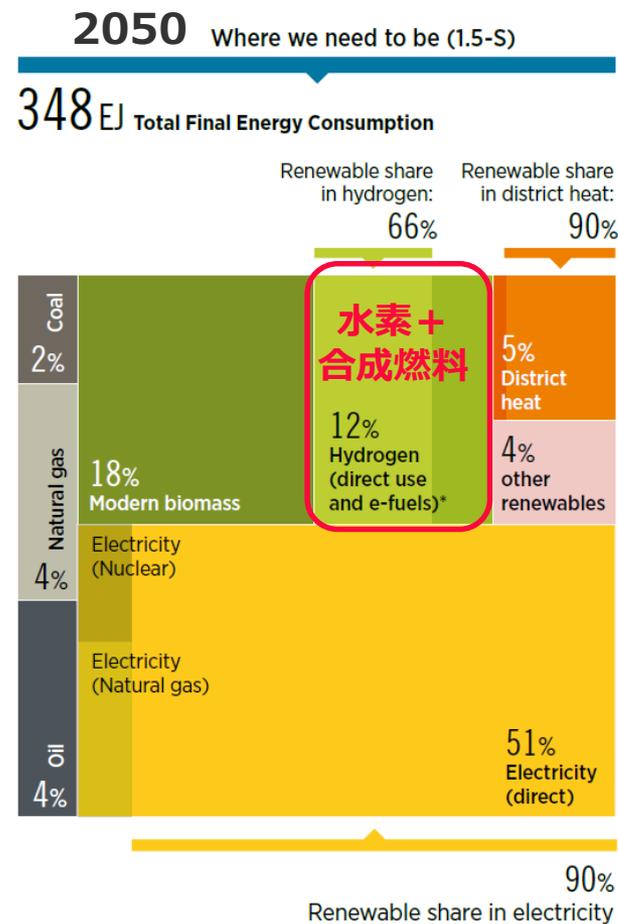
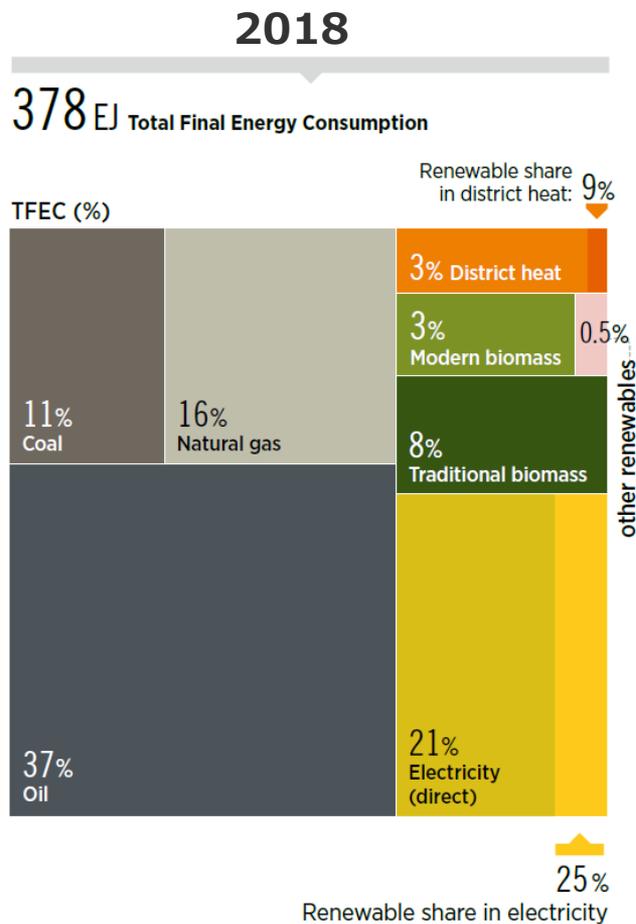
- IEA予測：2050年には水素（含 合成燃料・アンモニア）は現在の6倍必要
- 水素の大部分はグリーン水素とブルー水素



出所：IEA「Net Zero by 2050」（2021年5月）
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

・ IRENA予想 : 2050年に水素・水素由来合成燃料が最終消費の12%を占める

最終エネルギー消費
(世界)



出所 : IRENA「World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway」
<https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>

世界はどう動いているか

• COP26でBreakthrough Agendaが決定

- 11月1～2日に英国主催で、各国首脳による「ワールド・リーダーズ・サミット」を開催
- 4つのBreakthrough Agenda（2030年までのクリーン技術普及の国際協力）を決定
 - 電力：
2030年までにクリーン電力をすべての国において最も安価で信頼できる選択肢にする
 - 道路輸送：
2030年までに、ゼロエミッション車をすべての地域にとって安価で、持続可能なニューノーマルとする
 - 鉄鋼：
2030年までに、すべての地域で効率的でゼロエミッションに近い鉄鋼生産を確立し、それがグローバル市場で好ましい選択肢とする
 - 水素：
2030年までに、再エネ・低炭素で安価な水素を広く入手可能にする



出所 : The World Leaders Summit at COP 26

<https://unfccc.int/cop26/world-leaders-summit>

COP26 World Leaders Summit: Statement on the Breakthrough Agenda

<https://ukcop26.org/cop26-world-leaders-summit-statement-on-the-breakthrough-agenda/>

・ COP26でも世界のリーダーが水素に言及



ジョー・バイデン米国大統領

現在の技術だけではネットゼロは到達できない。イノベーションである**グリーン水素**、長期エネルギー貯蔵、次世代原子力、CCS、持続可能な農業などが重要である。米国はグリーンエネルギーR&Dを今後4年間で4倍にする。



ウルズラ・フォン・デア・ライエン欧州委員会委員長

欧州委員会はBreakthrough Agenda（電力、道路交通、鉄鋼、**水素**）を支持する。

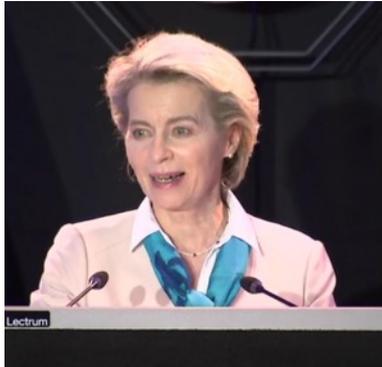
欧州のグリーンディールはイノベーション推進のドライビングフォースである。カutting技術（DAC、ゼロエミ船舶）や、現在取り組んでいる技術（**再エネ水素**、カーボンファームing）の推進に、民間投資が重要である。



ビル・ゲイツ Breakthrough Energyファウンダー

グリーン製品と既存製品の差額（グリーンプレミアム）を削減する必要がある。そのため、Breakthrough Energyは**Catalystプログラム**^注を開始した。15億ドルをグリーンプロダクトに投資するが、その10倍の誘因効果がある。

(注) The Catalyst Program : 投資対象はDirect air capture (DAC)、**Green hydrogen**、Long-duration energy storage (LDS)、Sustainable aviation fuel (SAF)で、すでに**EC**、**米国**、**英国**とは**パートナー締結済み**



ウルズラ・フォン・デア・ライエン 欧州委員会委員長

- EUは欧州投資銀行とともに、ビル・ゲイツのBreakthrough Energy Catalystとのパートナーシップを立ち上げた。特にクリーン水素にフォーカスしている。
- 今年に入ってから世界で200以上の新しい水素プロジェクトが開始されているが、その55%は欧州である。欧州は現在、水素技術の特許と論文で世界リーダーである。
- ガス価格の高騰により、グリーン水素はグレー水素よりも安価になっている。欧州の目標は2030年に1.8ユーロ/kgである。
- 2030年までに、グリーン水素製造量を1000万トン/年に拡大する。
- 昨年に立ち上げたEuropean Clean Hydrogen Allianceには1500メンバーが加盟している。
- ECはアフリカの水素セクターに投資する。地中海の両岸でグリーン水素市場を創出する。これは欧州にクリーンエネルギーをもたらし、アフリカ大陸に持続可能な開発をもたらす。

出所 : European Commission「Opening keynote by President von der Leyen at the European Hydrogen Week 2021」(2021年11月29日)
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_21_6421



ジェニファー・グランホルム DOE長官

- DOEグランホルム長官は、脱炭素化で米国が世界をリードすることを目指す
 - 2030年までにGHG排出量を50～52%削減 (2005年比)
 - 2035年までにクリーン電力100%にシフト
注：クリーン電力=再エネ、原子力、火力+CCS
 - 2050年までにGHG排出量ネットゼロ



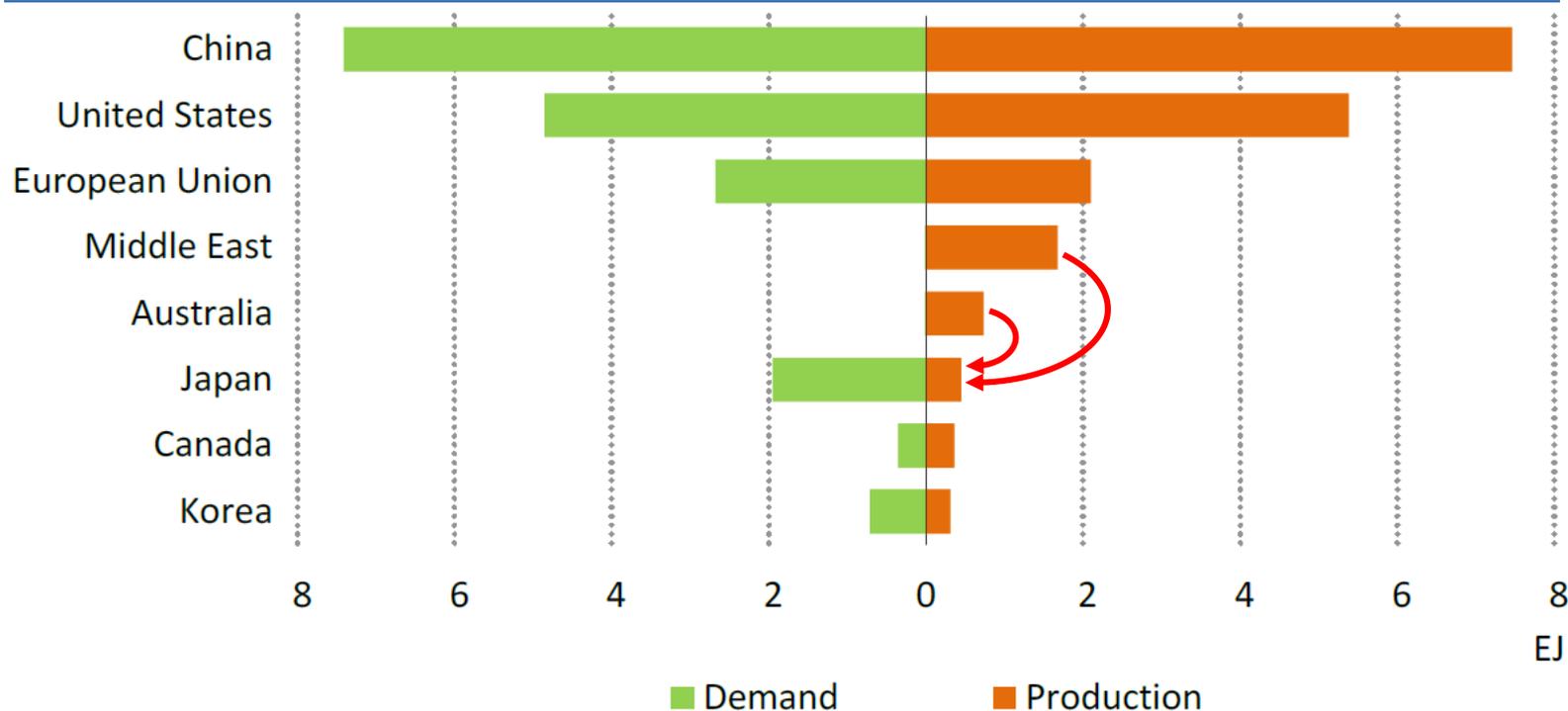
Hydrogen Shot

- 現在、再エネ由来の水素製造コストは約5ドル/kg。
- 「Hydrogen Shot」イニシアティブを通じて、80%コスト削減を達成することで、再エネ、原子力、熱分解などによるクリーン水素製造を増加させ、需要を5倍増とする。
(10年以内に水素製造コスト 1ドル/kg達成)
- これにより多くのグリーンエネルギー雇用が創出され、GHG排出量が削減され、米国が世界規模でグリーンエネルギー市場で競争力を有する。

水素の国際取引と国際連携

・ 日本はアンバランスだが？

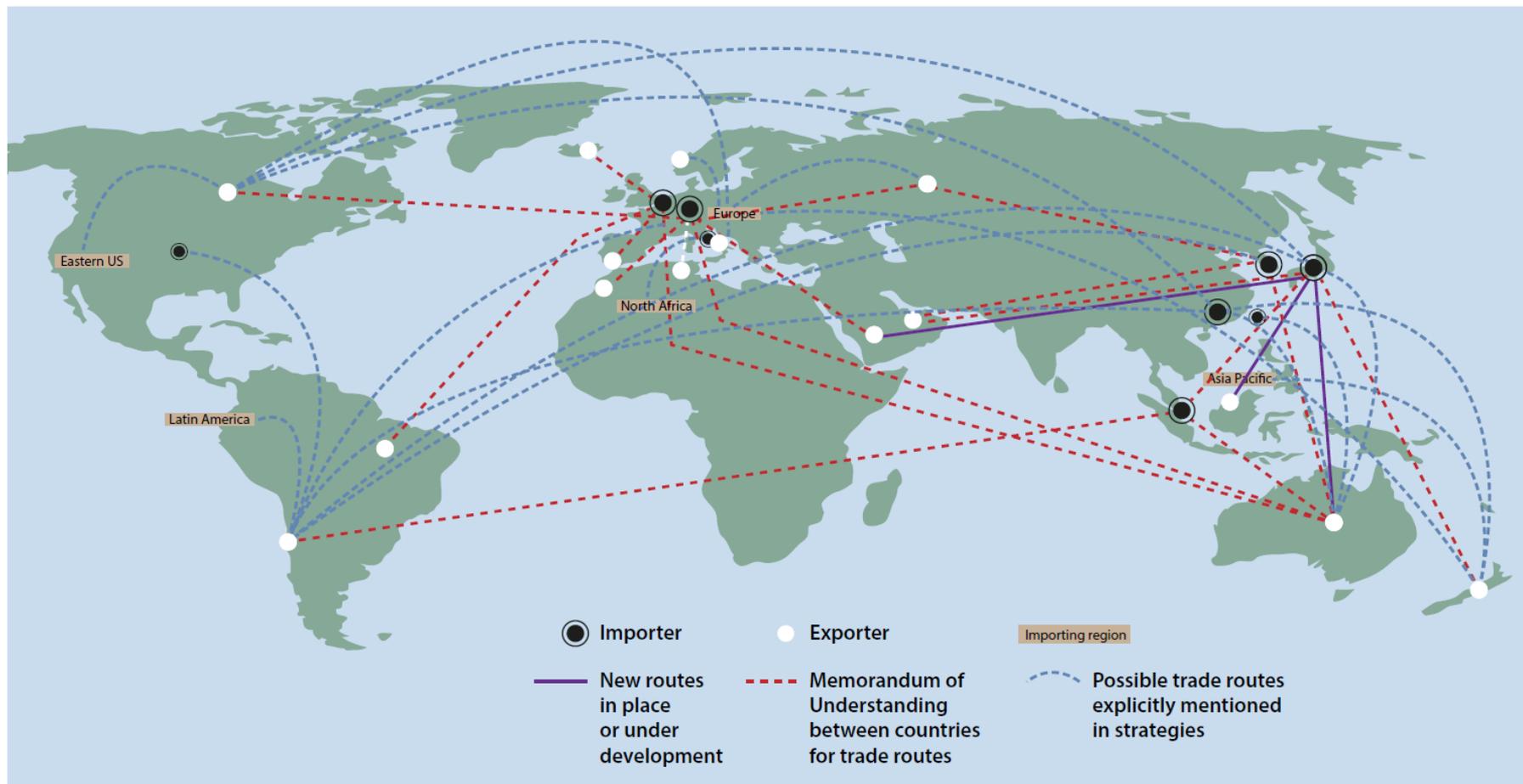
低炭素水素の需要と供給（2050年、表明公約シナリオ, APS）



出所：IEA「World Energy Outlook 2021」（2021年10月）

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/888004cf-1a38-4716-9e0c-3b0e3fdbf609/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

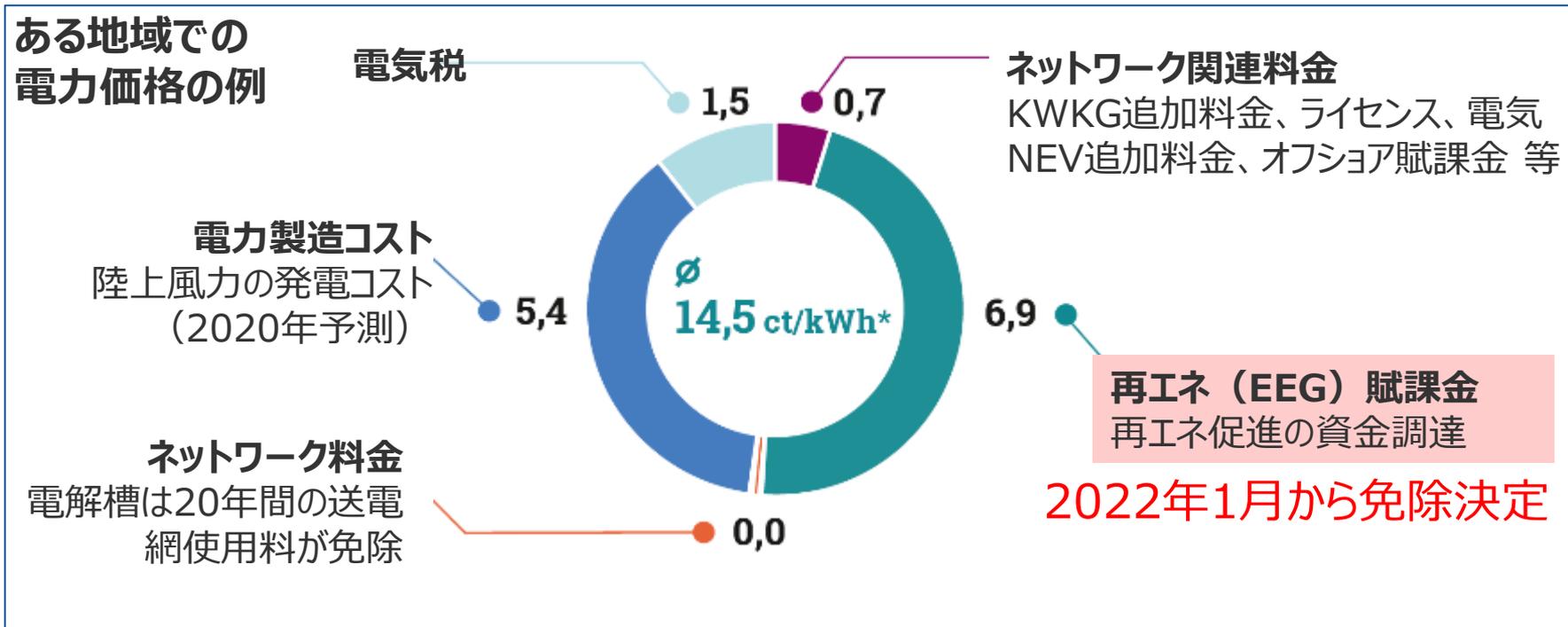
- 他に水素輸入が想定されるのは米、独、伊、蘭、韓、中、台、シンガポール



出所 : IRENA「Green Hydrogen Supply: A Guide to Policy Making」(2021年5月)
<https://irena.org/publications/2021/May/Green-Hydrogen-Supply-A-Guide-To-Policy-Making>

ドイツにおける水素向けの電力コスト

- 水電解での水素コストはほぼ電気代→電気コストの低減が必要
- 水素製造効率を50kWh/kg-H₂、電気コストを20円/kWhとすると、**変動費だけで1000円/kg-H₂**（=現在の水素ステーションでの販売価格）
- 水電解向け電力では**再エネ（EEG）賦課金を免除（2022年1月開始予定）**

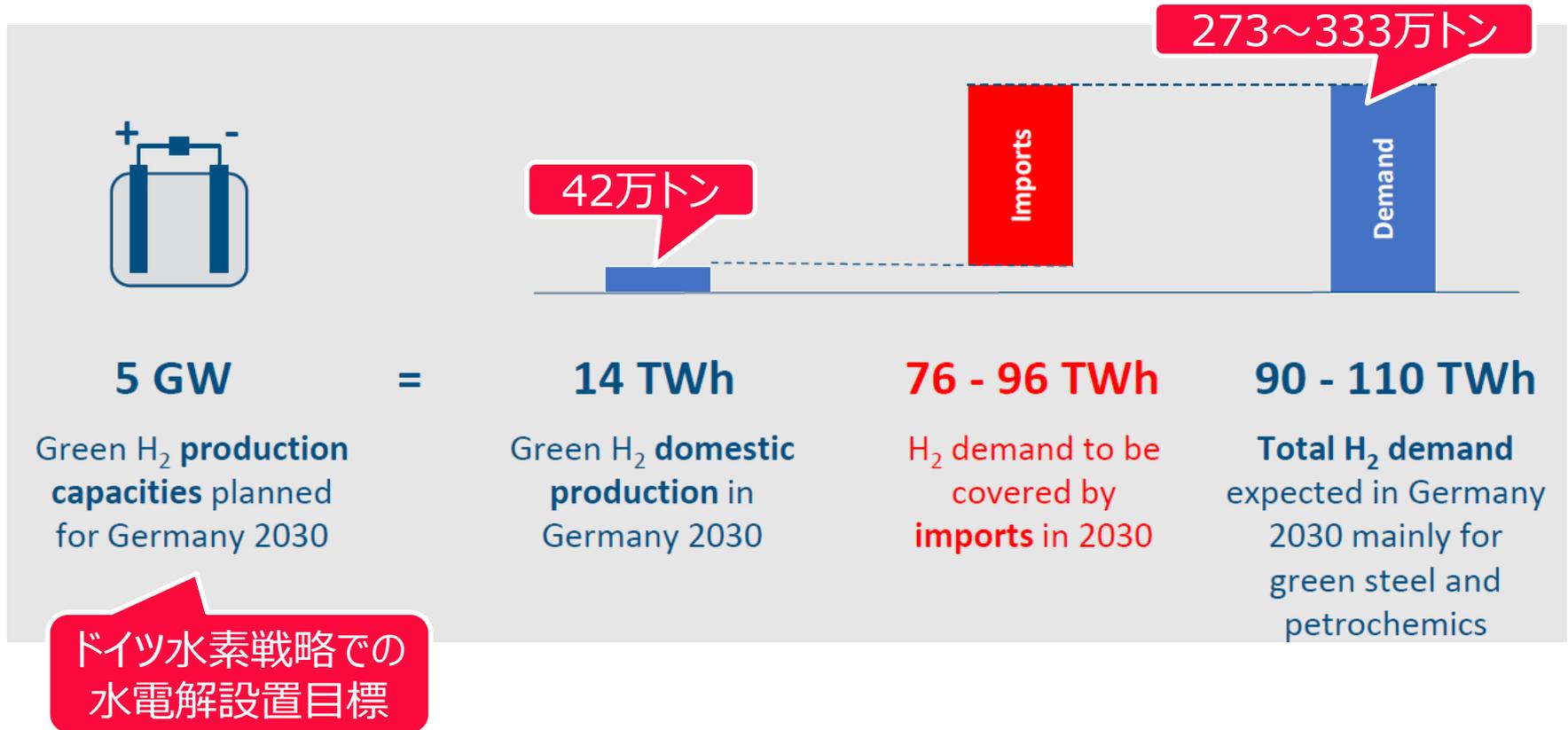


出所：dena「Power to X: Strombezug」

https://www.powertogas.info/fileadmin/Power_To_Gas/Dokumente/Factsheets/DENA-Factsheet1_Power_to_X_Strombezug.pdf

ドイツ：H2Global

- 2030年では、ドイツが必要なグリーン水素の大部分は海外製になる



出所：Federal Ministry for Economic Affairs and Energy「Germany's Green Hydrogen Strategy」(The Indo-German Energy Forum、2021年11月8日)
https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Presentations/2021108_German_funding_schemes_for_Green_Hydrogen_Projects/20211108_tw_Overview.pdf

ドイツ：H2Global

• H2Global：海外でのグリーン水素製造・輸入の資金調達プログラムを立ち上げ

- ドイツ国際協力公社（GIZ）と民間組織（ドイツ水素燃料電池協会等）が協力し、**H2Global**を2021年6月に立ち上げ

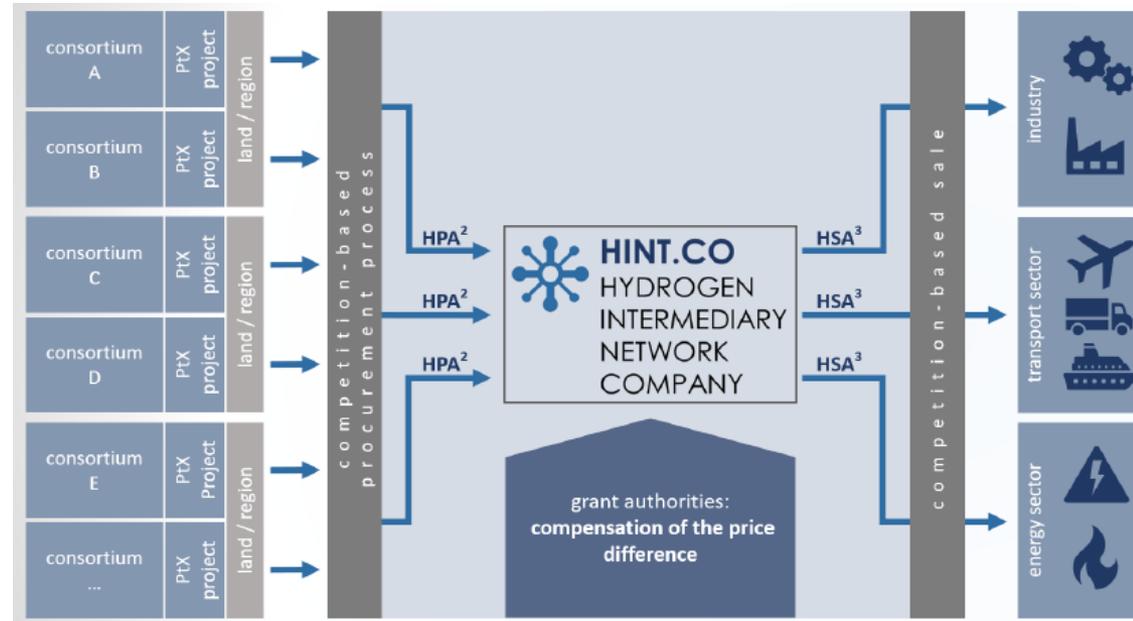
設立メンバー：Siemens Energy、Thyssenkrupp、VNG、Deutsche Bank、Salzgitter、Uniper、Hamburger Hafen und Logistik、Neuman & Esser、Reederei F. Laeisz、Viridi RE、Enertrag、Nordex、Green Enesys、MAN Energy Solutions、Hydrogenious LOHC Technologies GmbH、Linde

- 支援制度：

- **供給側オークション**：
長期購入契約（10年間）
- **需要側オークション**：
短期再販契約

- プロジェクト要件：

- 水電解規模
100~150MW ×4~5件
- 2021年度は約500MWを予定
- 2024年から供給開始)



出所：H2 Global「Shaping the global energy transition」(The Indo-German Energy Forum、2021年11月8日)

https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Presentations/20211108_German_funding_schemes_for_Green_Hydrogen_Projects/20211108_H2Global.pdf

・ ドイツは多くの国と水素サプライチェーン構築を狙う

Germany - Australia	Formulate new initiatives to accelerate development of a hydrogen industry, including a hydrogen supply chain between the two countries. Focus on technology research and identification of barriers.
Germany - Canada	Form a partnership to integrate renewable energy sources, technological innovation and co-operation, with a focus on hydrogen.
Germany - Chile	Strengthen co-operation in renewable hydrogen and identify viable projects.
Germany - Morocco	Develop clean hydrogen production, research projects and investments across the entire supply chain (two projects have already been announced by the Moroccan agencies MASEN and IRESEN).
Germany - Saudi Arabia	Co-operate on the production, processing and transport of hydrogen from renewable energy sources.
Morocco - Portugal	Examine opportunities and actions needed to develop hydrogen from renewable energy sources.
Netherlands - Chile	Establish a structured dialogue on the development of import-export corridors for green hydrogen, aligning investment agendas and facilitating collaboration among private parties.
Netherlands - Portugal	Co-operate to advance the strategic value chain for producing and transporting renewables-based hydrogen, connecting the hydrogen plans of the two countries.
Japan - UAE	Co-operate on technology development, regulatory frameworks and standards to create an international hydrogen supply chain.
Japan - Argentina	Strengthen collaboration on the use of clean fuels and promote investments to deploy large-scale hydrogen production from renewable energy sources.
Japan - Australia	Issue a joint statement highlighting the commitment already in place between the two countries and recognising the importance of co-operation on an international hydrogen supply chain.
Singapore - New Zealand	Boost collaboration on establishing supply chains for low-carbon hydrogen and its derivatives, and strengthen joint R&D, networks and partnerships.
Singapore - Chile	Foster co-operation on projects and initiatives to advance hydrogen deployment through information exchange and the establishment of supply chains and partnerships.
Australia - Korea	Develop joint hydrogen co-operation projects with specific action plans.

• Indo-German Energy Forum (IGEF)で、水素セッションを複数実施



2021年11月24日
2021年11月8日
2021年8月26日
2021年7月14日
2021年6月2日

Certification of Green Hydrogen
German funding schemes for international green hydrogen projects
Knowledge Session: Transport of Green Hydrogen
Knowledge Session: Large Scale Green Hydrogen Production
Knowledge Session: Decentralised Green Hydrogen Production

出所 : the Indo-German Energy Forum (IGEF)
<https://www.energyforum.in/home/>

ガスと電力の連携（水素パイプライン）

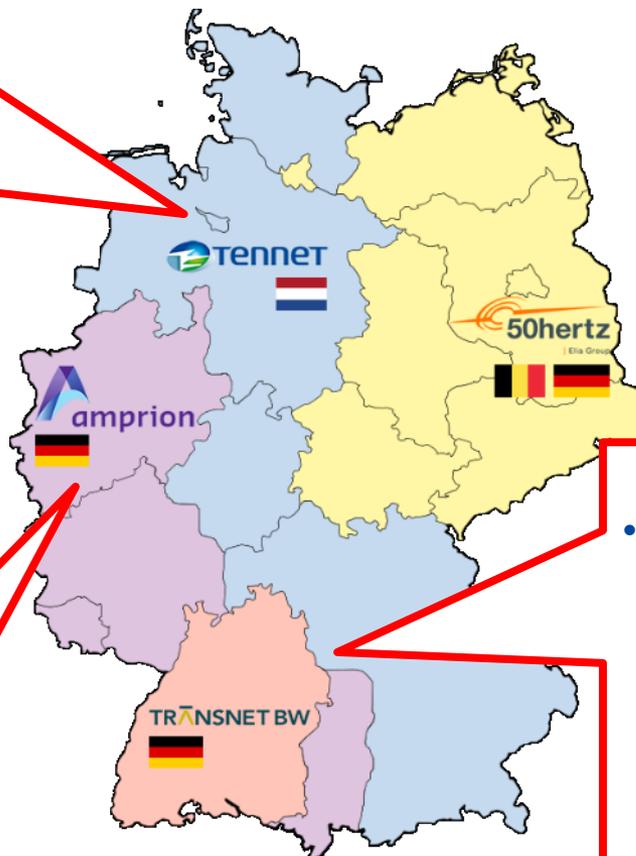
複数のドイツTSOが水素化オプションを検討

TenneT

- Gasunie（蘭・独 ガス網運用会社）、Tyssengas（独 ガス網運用会社）と ElementEins（Element One）プロジェクトを開始
- 100MW水電解を2022年稼働予定
- 水素を天然ガス網に混入

Amprion

- Open Grid Europe（独 ガス網運用会社）とhybridgeプロジェクトを開始。
- 100MW水電解を2023年稼働予定
- 水素を天然ガス網に混入



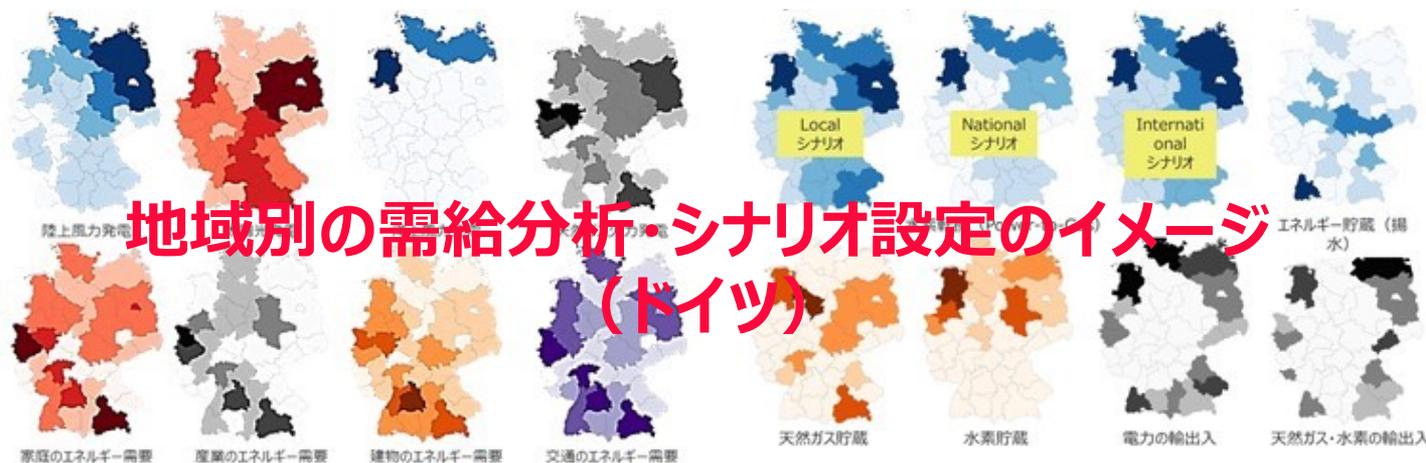
TransnetBW

- terranetz BW（ガス網・通信網運用会社）、太陽エネルギー水素研究センター（ZSW）とともに、バーデン＝ヴュルテンベルク州での脱炭素化のためのPtG研究を実施（2018年）
- 水素や合成メタンのガス網注入の有効性を検討

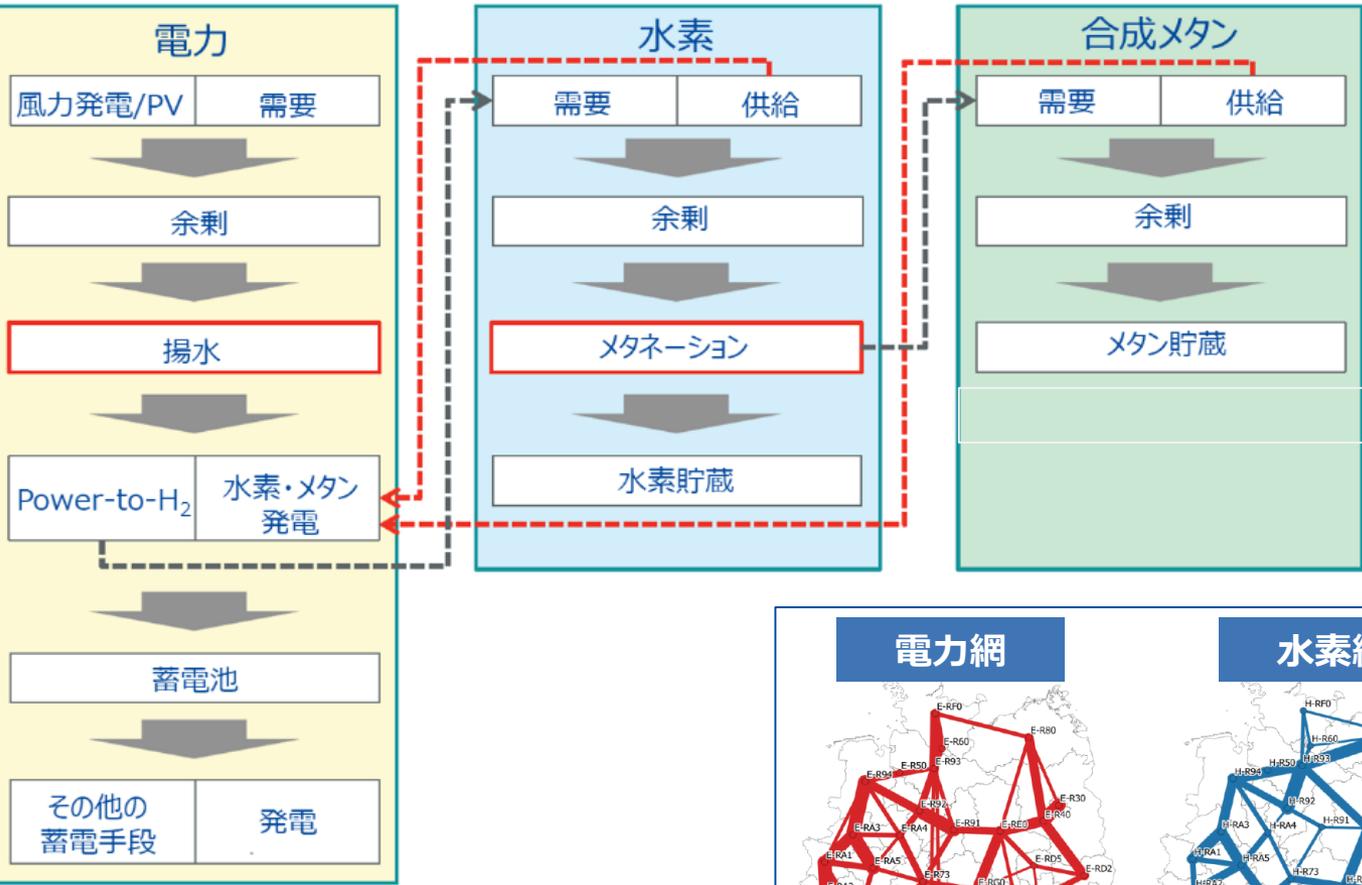
独・蘭の電力とガスTSOが将来の電力・ガスインフラの在り方を検討

TenneT (独・蘭の電力網運営会社)
Gasunie (独・蘭の天然ガス網運営会社)

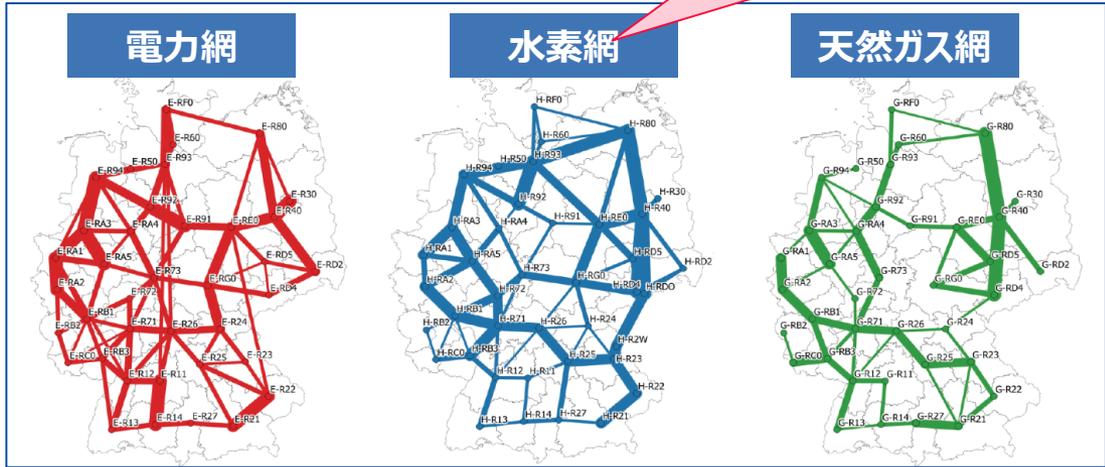
- ドイツとオランダにおける送電線・ガス網の将来像検討
- 仮定
 - 2050年のCO₂ 95%削減のためのシナリオ (3パターン)
 - Local: 地域レベルでの最適シナリオ
 - National: 国レベルでの最適シナリオ
 - International: 国際電力融通を活用したシナリオ
 - シミュレーションは1時間毎に実施



電力・水素・合成メタンの統合の考え



現在のガス網を前提に、その一部を純水素化 (水素網は将来の水素需要を満たすように設計)

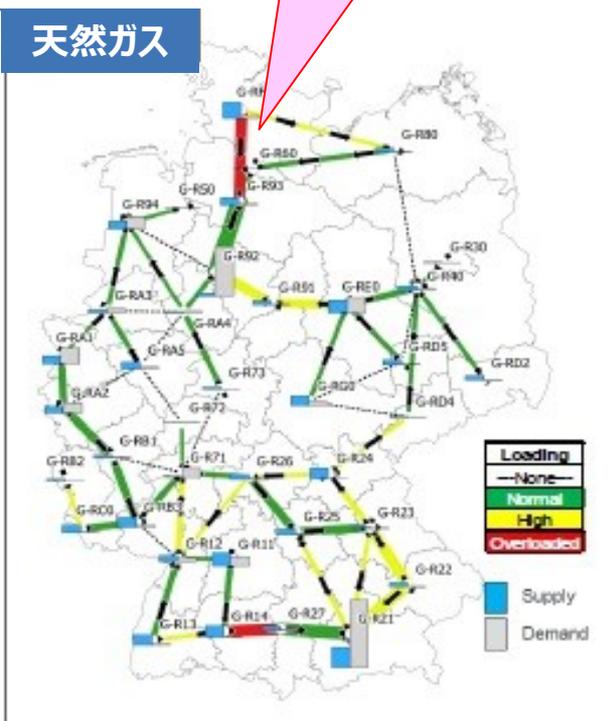
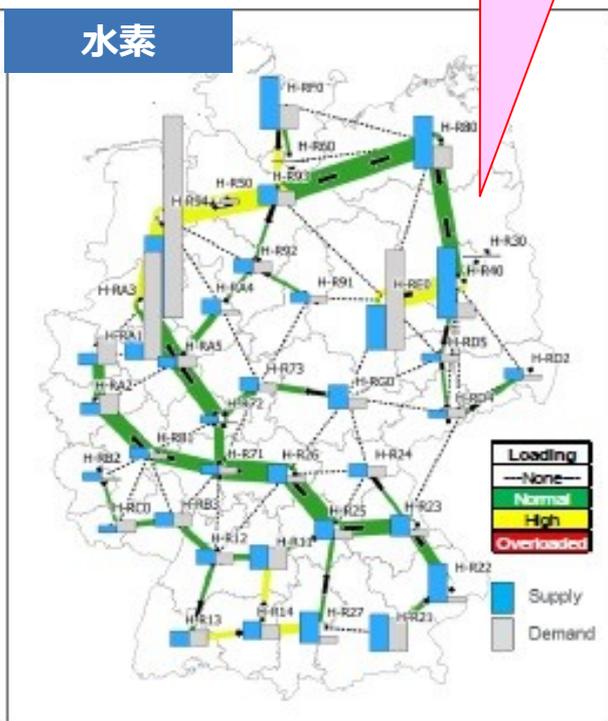
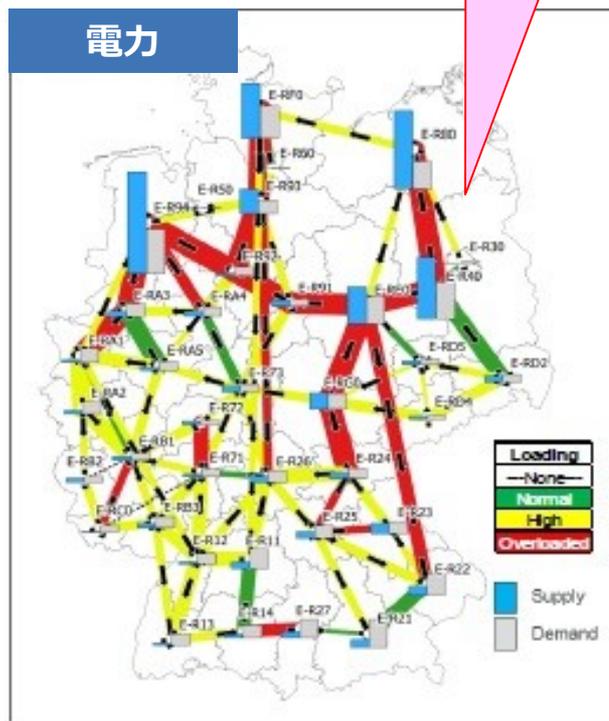


- ドイツでは、あくまでも系統の混雑したところで水電解を行う

系統が混雑しているところで水素製造

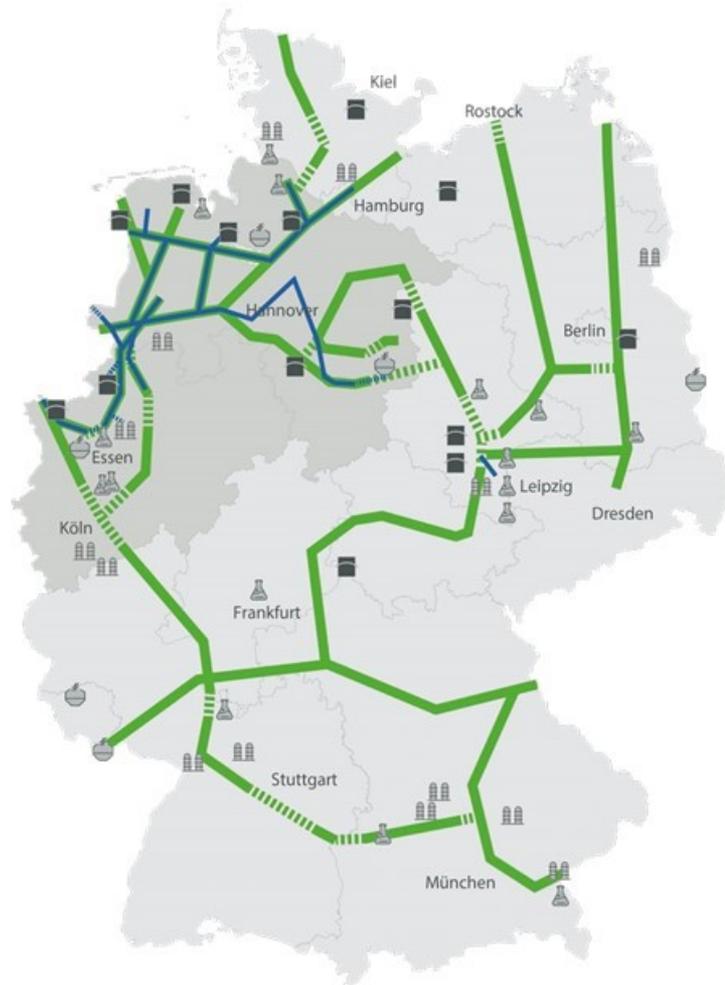
製造した水素は純水素網に流す

水素の一部はメタン転換しガス網に注入



- 2030年までに1200km超のH2スターターネットワークを整備（NRW州、NI州）

- H2スターターネットワーク建設の投資額：
 - 2025年末までに約2億9000万ユーロ
 - 2030年末までに約6億6000万ユーロ
- 輸送料金の値上げ幅：2031年に1%未満



- 岩塩ドームでの地下貯蔵
- 製油所
- 製鉄所
- 化学産業

H2スターターネットワーク2030

- 天然ガスパイプラインを転換した水素パイプライン（2030年までに設置）
- 新規水素パイプライン（2030年までに設置）

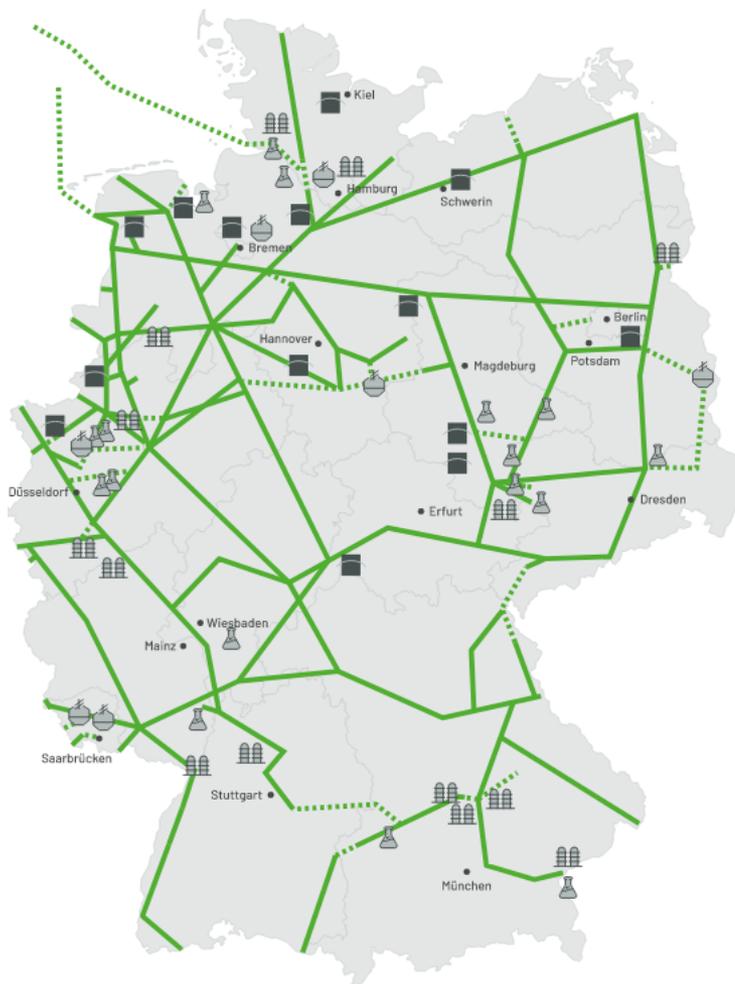
ビジョナリーH2ネットワーク

- 初期的な転換後に転換される水素パイプライン
- 新規建設される水素パイプライン

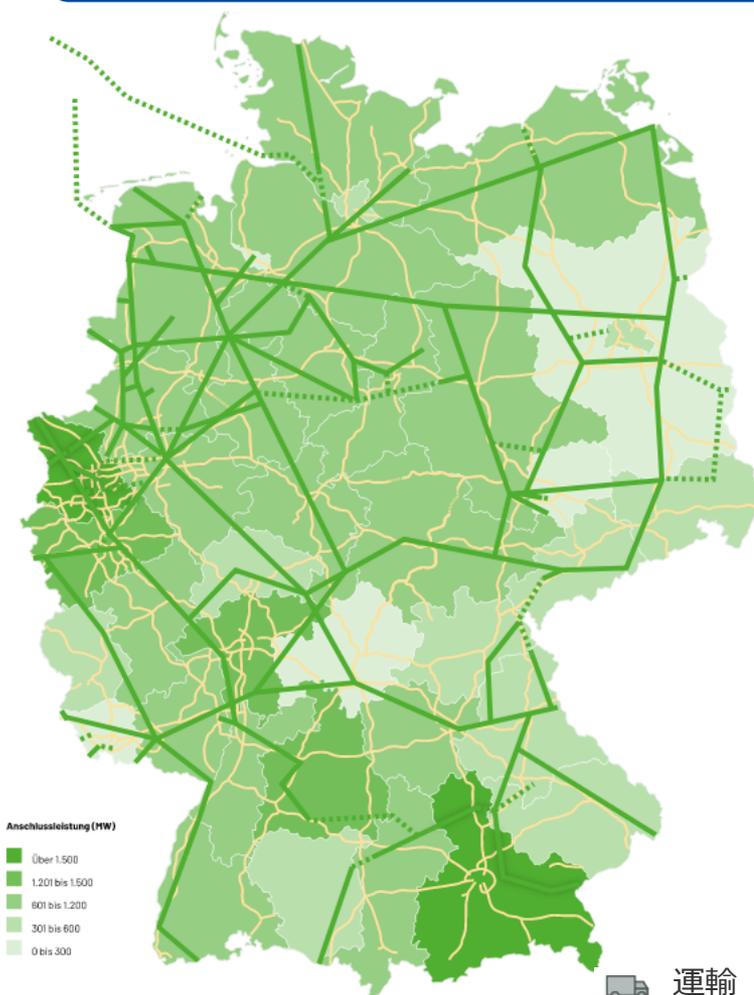
・ 2050年までの水素ネットワークは13,000km超

- H2ネットワーク2050
 - 総延長約**13,300km**
(**11,000km**は天然ガスパイプラインの転換)
- 2050年までの投資コスト：**約180億ユーロ**
- 水素インフラ整備は電力網拡張を補完
(2035年までの投資コスト：72～765億ユーロ)
- 想定総需要：**1,560万トン/年**

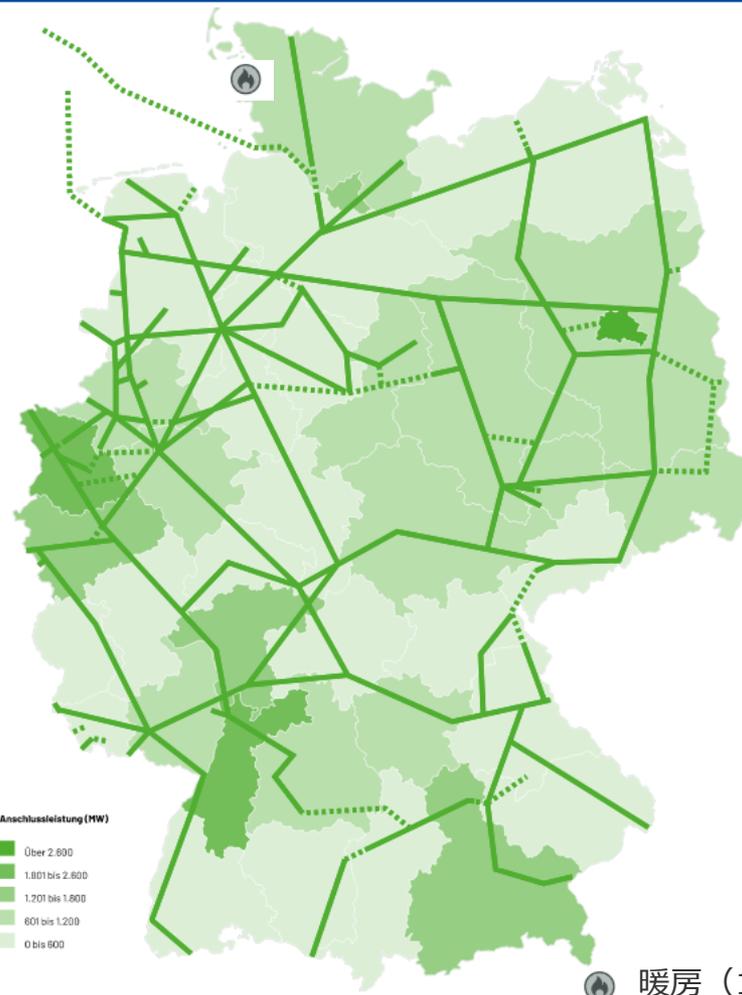
-  岩塩ドームでの地下貯蔵（96万トン）
-  製油所（11万トン）
-  製鉄所（280万トン）
-  化学産業（730万トン）



・ 2050年の運輸需要は約270万トン/年（MIRAI換算 2700万台分）

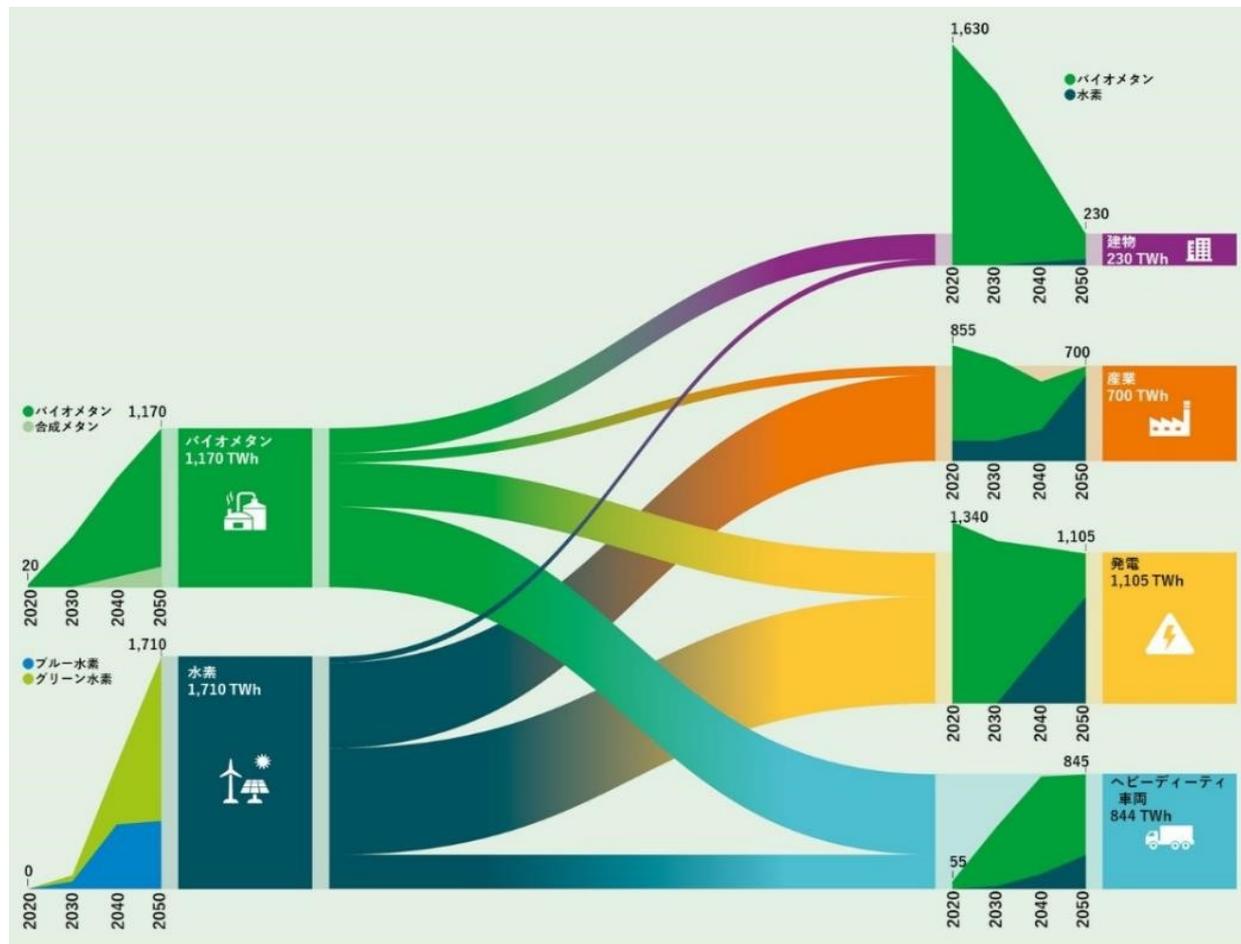
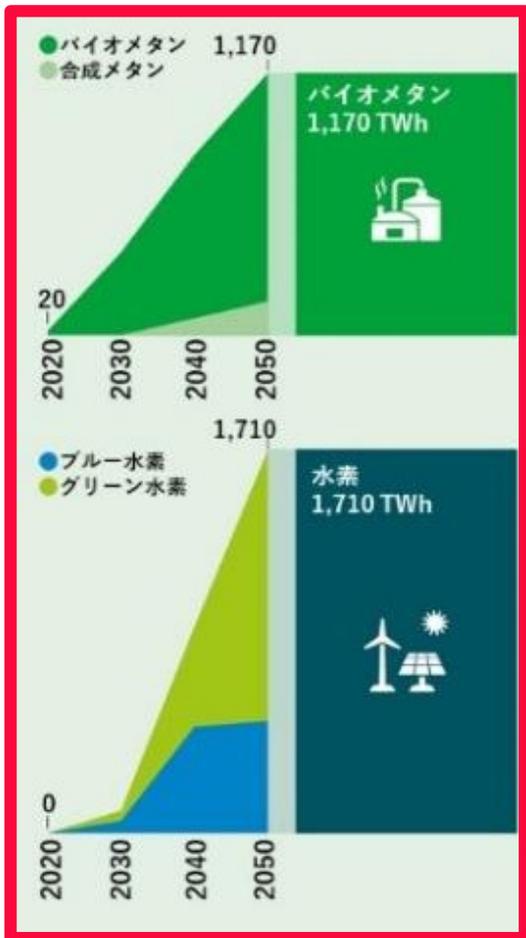


 運輸 (268万トン)
— 高速道路



 暖房 (174万トン)

- ・ 欧州の主要ガスTSOが、脱炭素ガス網シナリオを発表
- ・ 合成メタン（メタネーション）の役割は少なく、そのCO2はバイオ由来とする



欧州「水素・脱炭素ガス市場パッケージ」

- 独欧州連合は、純水素パイプライン構築を制度化する
- 欧州委員会は今年12月14日に「水素・脱炭素ガス市場パッケージ（Hydrogen and decarbonised gas market package）」を発表予定
 - 従来的には天然ガスのみを想定してきた一連のガスインフラ政策を改訂し、水素やバイオガス、バイオメタンを統合することを目指す
- **2021年3月のパブコメ文書：**
 - 費用効果の高い水素インフラ整備と競争的な水素市場の創出
 - 再エネ・低炭素ガスの分散型製造の促進（バイオメタン、合成メタン）
 - 消費者の権利の明確化と、より競争的・透明な供給の確保
 - 包括的なインフラ計画の策定（特にガス、水素、電気、冷暖房市場）
 - 天然ガス需要の固定（高止まり）の抑制
 - 予想：2050年にはガスの2/3がバイオガス、バイオメタン、水素（再エネ由来水素、低炭素水素）になり、1/3はCCS/Uを適用した化石燃料由来ガス
 - 水素に関して：
水素市場の構築、水素パイプライン構築、水素の欧州域内輸入の準備、低炭素水素の定義に対する提案

日本でも水素パイプラインの可能性？

- ・ ガス網のほうが、電力網よりも巨大かつ長時間のエネルギー供給が可能

田中伸男（元IEA事務局長）

日刊工業新聞 2021年9月27日



北から南まで3000kmを結ぶ水素パイプライン構想

日本でも再生可能エネルギーを可能な限り増やすには電力市場の本格的な発送電分離と連系線拡大が必要と考えられた。しかし、元トヨタ自動車技術統括部でプリウスの生みの親である**広瀬雄彦氏**はむしろ、電力システムの同時同量の制約を乗り越えるために**水素を単なる輸送貯蔵の手段でなく社会のバックボーンとなる水素ダム、水素ラインを建設すべきと提案する。**

私は未来は電化の時代になるので電力システム改革にこだわったが、間違いだったかもしれない。まだ**ガスには全国的なネットワークはないが**、できた暁には東北、北海道の風力や九州の太陽光は水素パイプラインで全国の消費地域につながる。**海外から輸入される水素もこのパイプラインに流し込む**、ロシアから海底パイプラインで直接輸入しても良い。燃料電池車用の水素供給も容易になる。ガス供給会社は既存のガスインフラ活用のための**メタネーション**（クリーン水素と回収炭素によるメタン合成）にこだわるが、**将来脱炭素が進めば化石燃料からの炭素はなくなりDAC（空中炭素固定）からの高価格炭素しか使えなくなる**。既存インフラを活用しつつ、徐々に水素経済の基盤プレーヤーになるチャンスだと思う。国の投資も必要だ。

まとめ & 日本はどうか

- 水素はエネルギービジネス、エネルギー安全保障、脱炭素化の準主役と認識すべき
- 欧州から「脱炭素化に水素は必須」の流れ
 - 当面は世界の主役は欧州か？
フォン・デア・ライエン欧州委員会委員長が積極的
 - 「再エネ指令」の改定と「水素・低炭素ガス市場パッケージ」に注目
 - 水素パイプライン建設が進む
 - 国内（域内水素製造）＋輸入支援のスキーム
- 目覚めた米国は？
 - グランホルムDOE長官も積極的
 - 2022年のClean Energy Ministerial/Mission Innovation会合のホスト
- 米国、欧州連合、英国はビル・ゲイツと連携
- 水素パイプラインは、脱炭素エネルギーの準主役になるか？
 - 欧州は、電力会社とガス会社が連携

日本はどうすべきか

- 多くの国と対話 & MoUを締結
 - 民間（商社等）のイニシアティブに期待
 - 国際枠組みの活用
 - アジア・アフリカとの連携（水素、合成液体燃料、合成メタン etc）
- 今こそ大胆な投資・支援を
 - 水素は「官製市場」
 - ビル・ゲイツと組むのも一案
 - スキーム、スキーム、スキーム（水素コストの低減）
- 水素インフラ
 - 日本でも水素パイプラインの議論をすべき段階か