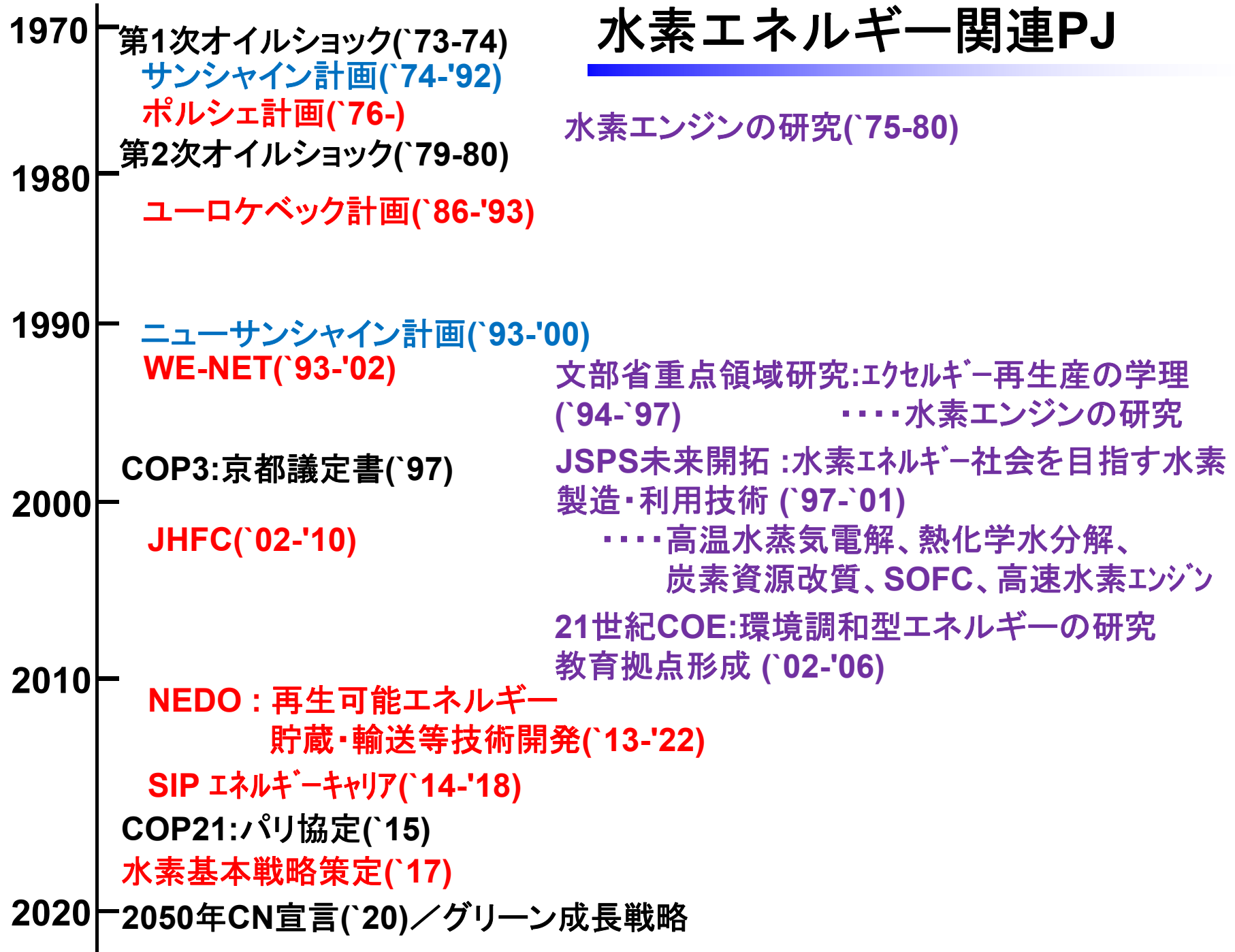


# 脱炭素社会における水素エネルギーの役割

京都大学名誉教授 塩路昌宏

- 1) エネルギー脱炭素化の潮流
  - パリ協定からの動向／COP26
  - 日本におけるカーボンニュートラル
- 2) 脱炭素社会のエネルギー
  - CCUS／カーボンリサイクル／合成燃料
  - NETゼロ排出／エネルギーシステム
- 3) 水素エネルギーの役割
  - 水素利用の意義
  - 水素製造技術／水素キャリア／水素利活用技術
- 4) 水素社会構築に向けた動向
  - 水素サプライチェーン／水素キャリアの特徴／P2G
  - NEDO事業／地域水素利活用・GI基金

# 水素エネルギー関連PJ



# 脱炭素化の発端となったパリ協定

- ・COP21(2015年12月)にて採択、2016年11月発効
- ・COP24(2018年12月)にて詳細ルール合意、COP26(1年延期、2021年11月)

## <世界全体の目標> **今世紀後半に正味の排出ゼロ(脱炭素社会)を目指す**

- ・長期気温目標:世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べ2度より十分低く保ち、1.5度に抑える努力を追求
- ・適応目標:気候変動の影響に対する適応能力と気候レジリエンスを強化
- ・資金目標:温室効果ガス(GHG)の排出が低く気候に対して強靱である発展に資金の流れを適合

## <グローバル・ストックテイク>

- ・2023年から5年毎に世界全体の目標に向けた進捗状況をチェック
- ・各国の目標改訂に反映

## <各国の行動>

- ・国情に合わせて自主的に温室効果ガス削減・抑制目標を設定(NDC)
- ・進捗状況を定期的に報告し、レビューを受ける(Pledge & Review)
- ・5年毎に目標を見直す
- ・2050年を念頭に長期戦略を策定

# 脱炭素化の潮流 ～パリ協定後の動向～

2015年12月：COP21においてパリ協定採択

2018年 7月：第5次エネルギー基本計画

10月：IPCC 1.5℃特別報告書

2019年 6月：パリ協定長期成長戦略(UNFCCC事務局へ提出)

10月：グリーンイノベーションウィーク(TCFDサミット、ICEF、RD20)

2020年 1月：革新的環境イノベーション戦略公表

7月：グリーンイノベーション戦略推進会議発足

10月：2050年カーボンニュートラル宣言

12月：グリーン成長戦略公表

2021年 4月：気候サミット(バイデン大統領主催)

6月：G7サミット(英・コーンウォール)、グリーン成長戦略具体化

7月：第6次エネルギー基本計画素案公表

9月：国連総会(ニューヨーク)

10月：第6次エネルギー基本計画閣議決定、G20サミット(ローマ)

11月：COP26(英・グラスゴー)

# 脱炭素化の潮流 ～各国におけるCO<sub>2</sub>排出削減目標(1)～

欧州は2050年に関する野心的なCO<sub>2</sub>排出削減目標を宣言  
EU及び英国はカーボンニュートラルを目指す／義務化

## <EU>

- ・2018年11月に2050年のカーボンニュートラル経済の実現を目指す「A clean planet for all」という「**ビジョン**」を公表
  - 複数の前提を置いた、80%（5つ）、90%（1つ）、100%削減（2つ）となる**8シナリオ**を分析
- ・2020年3月に長期戦略を提出：「**2050年までに気候中立達成**」を目指す
- ・CO<sub>2</sub>削減目標を**2030年に1990年比少なくとも55%**とすることを表明。本目標に関連した法案を2021年6月に提案
- ・コロナ復興計画を盛り込んだ**総額1.8兆ユーロ規模の中期予算枠組(MFF)**及びリカバリーファンドに合意。予算総額の30%（復興基金の37%）を気候変動に充当

## <英国>

- ・気候変動法（2019年6月改正）の中で、**2050年ゼロ目標を法制化**
- ・2021年4月に**2035年までに温室効果ガスを1990年比78%削減**すると発表
- ・長期戦略については、2021年提出に向けて準備中

## 脱炭素化の潮流 ～各国におけるCO2排出削減目標(2)～

米国: バイデン大統領は2035年の100%クリーン電源、2050年のカーボンニュートラルを目指すなど脱炭素化に積極姿勢

中国: カーボンニュートラルを目指すと表明

### <米国>

- ・気候変動の課題を最重要政策の一つに位置付け。
- ・2035年の電力脱炭素の達成、2050年以前のネット排出ゼロや、クリーンエネルギー等のインフラ投資に、**4年間で2兆ドル投資する計画**を発表。
- ・2021年4月の気候サミットにおいて、**2030年目標を2005年比50-52%**とすることを公表

### <中国>

- ・2020年9月の国連総会一般討論のビデオ演説で、習近平主席は**2060年カーボンニュートラル**を目指すと表明
- ・EVやFCV等の脱炭素技術に注力、**2020年のNEV(新エネ車)の補助金予算は4,500億円程度**
- ・石炭消費を14次5か年計画で厳しく制限し、15次計画(2026-2030年)で減少させ、**2030年までに炭素ピーク**を達成

# 国連気候変動条約第26回締約国会議(COP26)

## <概要>

- ・日程: 2021年10月31日(日)～11月13日(土) ※当初の予定より1日延期
- ・場所: 英国・グラスゴー(議長: アロック・シャルマCOP議長)
- ・首脳セッション参加者: 約130ヶ国以上の首脳: 日本(岸田総理)、英国(ジョンソン首相)、米国(バイデン大統領)、仏(マクロン大統領)、独(メルケル首相)、伊(ドラギ首相)、カナダ(トルドー首相)、EU(フォンデアライエン委員長)、インド(モディ首相)、韓国(文大統領)等

※主な不参加国: 中国(習近平主席)

※書面での挨拶、ロシア(プーチン大統領)、ブラジル(ボルソナロ大統領)、サウジアラビア(サルマン国王)等

○参加者はCOP史上最大の約4万人。

## <COP26の主要スケジュール>

| 10/31 (日)                      | 11/1 (月)                       | 11/2 (火)              | 11/3 (水)  | 11/4 (木)       | 11/5 (金)      | 11/6 (土)     |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------|----------------|---------------|--------------|
| COP26開幕                        | 世界リーダーズ・サミット<br>約130か国の首脳級スピーチ |                       | 気候資金      | エネルギー          | 若年層と<br>公共の強化 | 自然           |
| 11/7 (日)                       | 11/8 (月)                       | 11/9 (火)              | 11/10 (水) | 11/11 (木)      | 11/12 (金)     | 11/13 (土)    |
| 休日                             | 適応・損失・<br>損害                   | ①ジェンダー<br>②科学とイノベーション | 運輸        | 街・地域及び<br>建物環境 | クロージング        | COP26閉幕      |
| 閣僚級ステートメント<br>※首脳級スピーチを行った国は除く |                                |                       |           |                |               |              |
|                                |                                |                       |           |                |               | ※当初の予定より1日延期 |

# COP26における交渉結果

出典) RITE革新的環境技術シンポ(2021.12.1) 木原氏資料

## <COP全体決定>

最新の科学的知見に依拠しつつ、2050年カーボン・ニュートラル及びその経過点である2030年に向けて野心的な気候変動対策を締約国に求める内容。決定文書には、全ての国に対して、**排出削減対策が講じられていない石炭火力発電の逡減及び非効率な化石燃料補助金からのフェーズ・アウトを含む取組を加速**すること、先進国に対して、2025年までに途上国の適応支援のための資金を2019年比で最低2倍にすることを求める内容が盛り込まれた。

## <市場メカニズム>

パリ協定第6条に基づく市場メカニズムの実施指針が合意され、**当該合意により、パリルールブックが完成**した。実施指針のうち、二重計上の防止については、我が国が打開策の一つとして提案していた内容がルールに盛り込まれ、今回の合意に大きく貢献した。

## <透明性枠組み>

各国の温室効果ガス排出量の報告及びNDC達成に向けた取組の報告様式を全締約国共通の表形式に統一することが合意された。

## <共通の時間枠>

温室効果ガス削減目標を2025年に2035年目標、2030年に2040年目標を通報(以降、5年毎に同様)することを奨励。

## <気候資金>

2025年以降の新たな途上国支援の数値目標の議論を開始。新たな協議体を立ち上げ、2024年まで議論することとなった。

# グラスゴー・ブレイクスルー

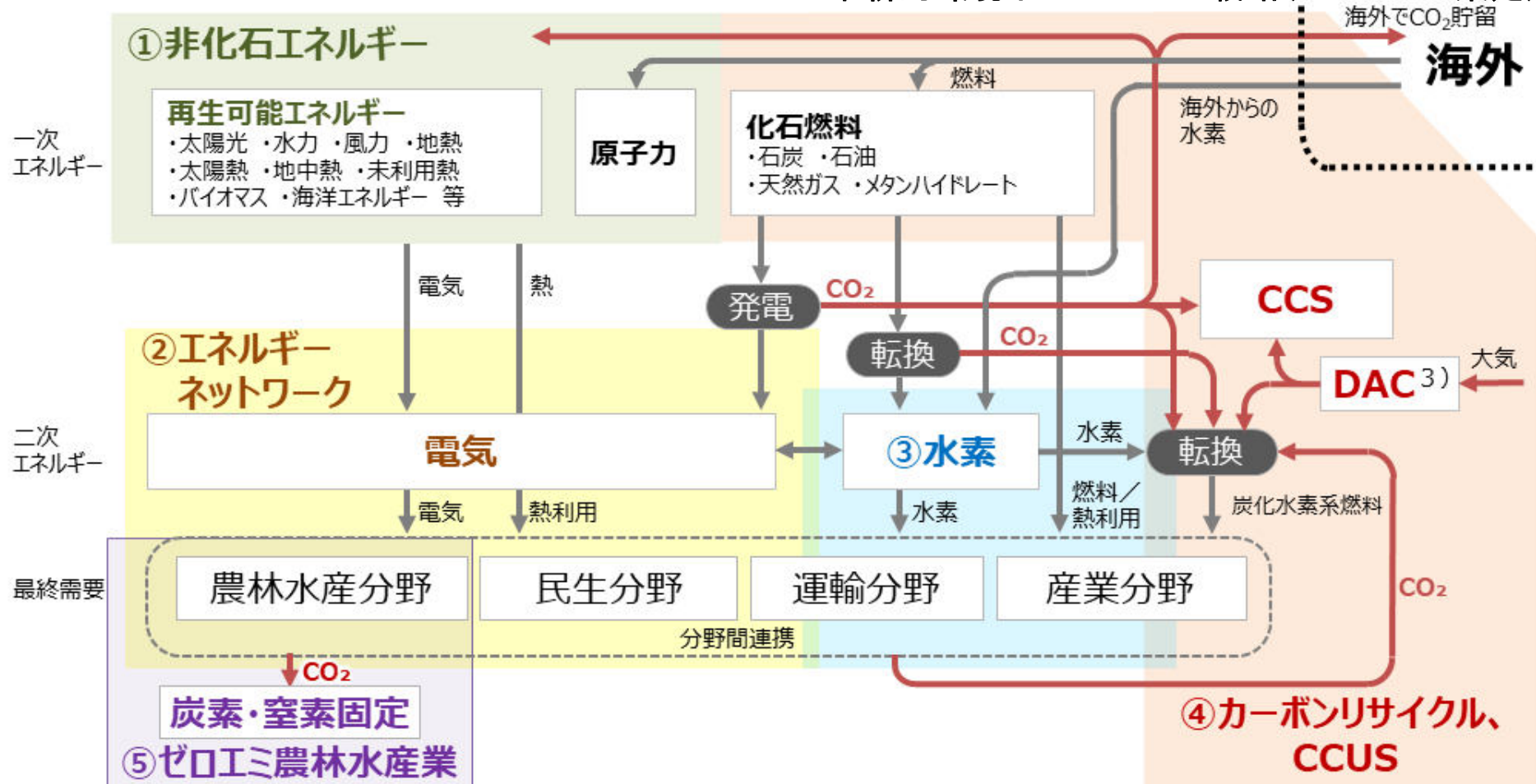
- ・グラスゴー・ブレイクスルーは、パリ協定の目標を達成するために必要なクリーン技術の開発・展開を加速させる ためにこの10年にかけて国際的に協調することを目指す英国のイニシアチブ。
- ・具体的には**電力・陸運・鉄・水素・農業**の分野で2030年に向けて世界全体が目指すべき方向性を提示。**日本は、全体に承認するとともに各国が招待を受けていた4分野(農業以外)に参加。**
- ・G7全加盟国、中国、豪州、インド、トルコ等、42カ国・地域が賛同

## <各セクターの内容>

- ①電力： 2030年までに全ての国の電力需要を効率的に満たすためには、クリーンな電力が最も安価で信頼できる選択肢となること。
- ②陸運： ZEVが日常的なものとなり、2030年までに全ての地域でアクセス可能・手頃・持続可能なものとなること。
- ③鉄： 2030年までにすべての地域で、効率的でゼロ排出に近い鉄鋼生産(near-zero emission steel)が確立され、世界市場ではそうした鉄鋼が望まれて選択されること。
- ④水素： 2030年までに、手頃な価格の再エネ由来・低炭素水素が世界的に利用可能になること。
- ⑤農業： 2030年までに、気候変動に強い持続可能な農業が世界中の農家に採用される選択肢となること。

# イノベーション・アクションプランにおける5つの重点領域

革新的環境イノベーション戦略(2020.1.21策定)



太陽光や風力など、CO2を排出しない「**非化石エネルギー**」(①)によってつくられたエネルギーは、**エネルギーネットワーク**(②)を通じて事業者や家庭に届けられる。なかでも**水素**(③)は、エネルギーとして利用できるだけでなく、日用品の生産など産業分野にも活用できる。一方、石油や石炭など「化石燃料」による発電や発電以外の熱利用など、エネルギー製造から利用までの過程や、産業分野から排出されるCO2は、「**カーボンリサイクル**」「**CCUS**」によって“回収・利用・貯留”する(④)とともに、**生態系を利用した農林水産業**(⑤)によって温室効果ガスの排出削減・吸収を目指すことが重要。

# 2050年カーボンニュートラルに向けた我が国の動向

- 内閣総理大臣所信表明演説(令和2年10月26日): 2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す**。
- 内閣総理大臣施政方針演説(令和3年1月18日): 環境対策はもはや経済の制約ではなく、社会経済を大きく変革し、投資を促し、生産性を向上させ、産業構造の大転換と力強い成長を生み出す鍵。**COP26までに、意欲的な2030年目標を表明し、各国との連携を深めつつ、世界の脱炭素化を前進させる。**
- 地球温暖化対策推進本部(令和3年4月22日): 2050年目標と整合的で、野心的な目標として、**2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減**することを目指す。さらに、**50%の高みに向けて、挑戦**を続ける。このあと、気候サミットにおいて、国際社会へも表明する。
- G7サミット2021首脳コミュニケ(令和3年6月13日): 雇用創出、排出削減、気温上昇1.5度抑制を追求する**グリーン革命を支援**して、我々の地球を守る。2030年までの20年間で我々全体の排出を半分に抑え、2025年までに気候資金を増加及び改善させつつ、**遅くとも2050年までのネット・ゼロにコミット**。

## 《関連計画等の見直し》

- **地球温暖化対策計画の見直し**
  - ・中期: 2030年度に2013年度比26%減
  - ・長期: 2050年までに80%減
- ★2021.11のCOP26に向け改定予定
- **エネルギー基本計画の見直し**
  - ・2030年エネルギーミックスの実現  
火力全体56%(77%)、原子力22~20%(6%)、  
再エネ22~24%(17%) ※(2018年度)
- ★地球温暖化対策計画と併せ改定予定
- **パリ協定長期成長戦略の見直し**
  - ・ビジネス主導の非連続なイノベーションを通じた「環境と成長の好循環」の実現
- ★2050年カーボンニュートラルに伴い見直し

## 《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(案)(R3.6.2)**
- ★革新的イノベーションに関わる重要分野について実行計画を策定(昨年末の内容を更に深掘り、そのエッセンスを成長戦略に位置付け閣議決定予定)
- ・「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略
- ・産業成長が期待され、2050年カーボンニュートラルを目指す上で不可欠な14の重要分野において、目標、研究開発・実証、制度整備等を盛り込んだ「実行計画」を策定
- ・2兆円のグリーンイノベーション基金を創設

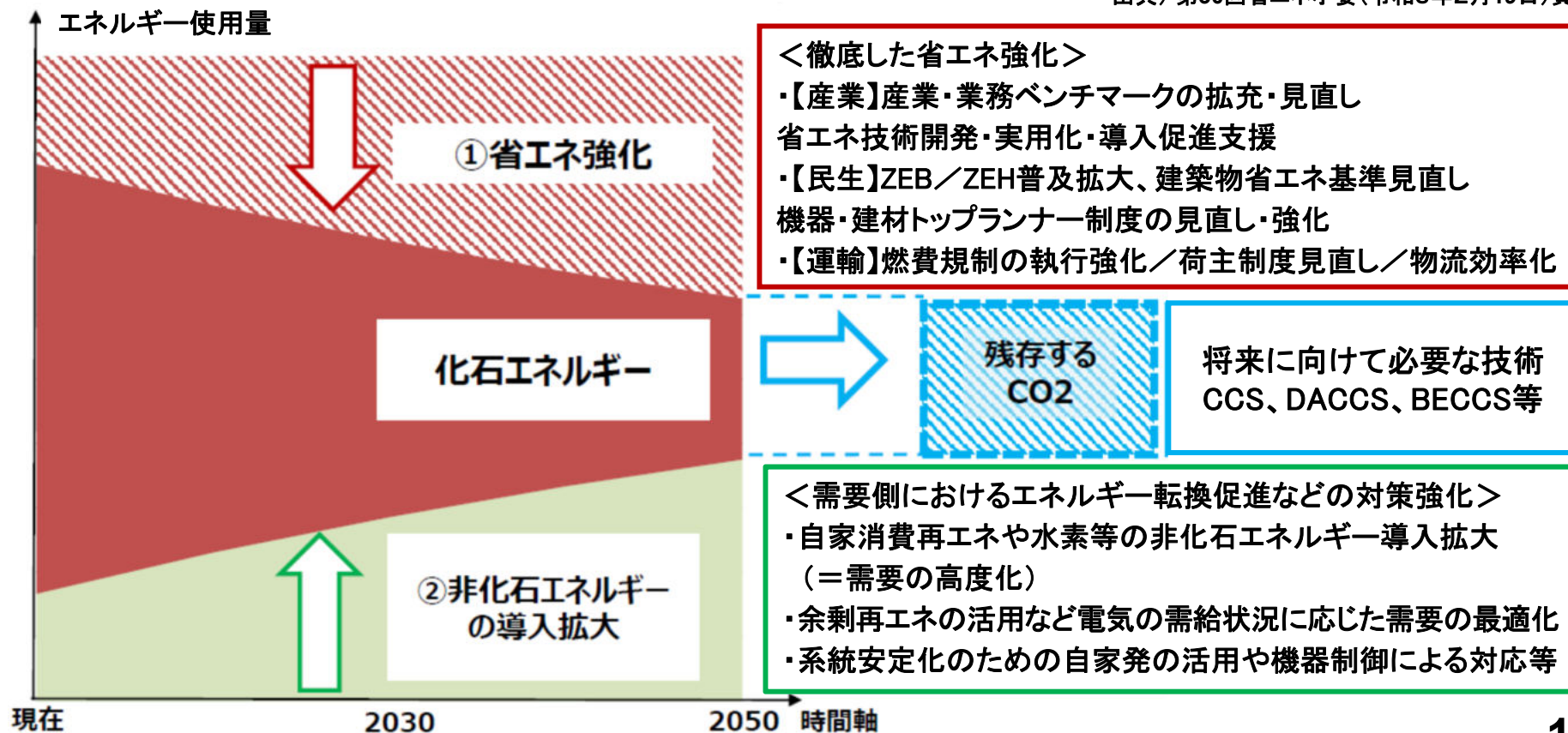
## 《地域脱炭素ロードマップ》

- **国・地方脱炭素実現会議の設置(R2.12.25)**
- ★議長: 官房長官、副議長: 環境、総務大臣、委員: 地方創生担当、農水、経産、国交の各大臣+6自治体の長
- ★国・地方が協働する地域脱炭素ロードマップを策定(R3.6.9)
  - ① 脱炭素先行地域(100か所以上)
  - ② 脱炭素の基盤となる重点対策の全国実施(各地の創意工夫を横展開)
- 参考) ゼロカーボンシティの拡大
  - ・東京都、京都市、横浜市を始めとする399自治体が「2050年までにCO2排出実質ゼロ」を表明(R3.6.4時点)

# 日本におけるCNに向けた需要側の取組の方向性

- ・徹底した省エネ①を進めるとともに、非化石電気や水素等の**非化石エネルギーの導入拡大②**に向けた対策を強化
- ・省エネ法に基づく規制の見直し・強化や、支援措置等を通じた**省エネ対策を強化**
- ・供給側の非化石拡大を踏まえ、**需要側における電化・水素化等のエネルギー転換の促進**などに向けた対策を強化

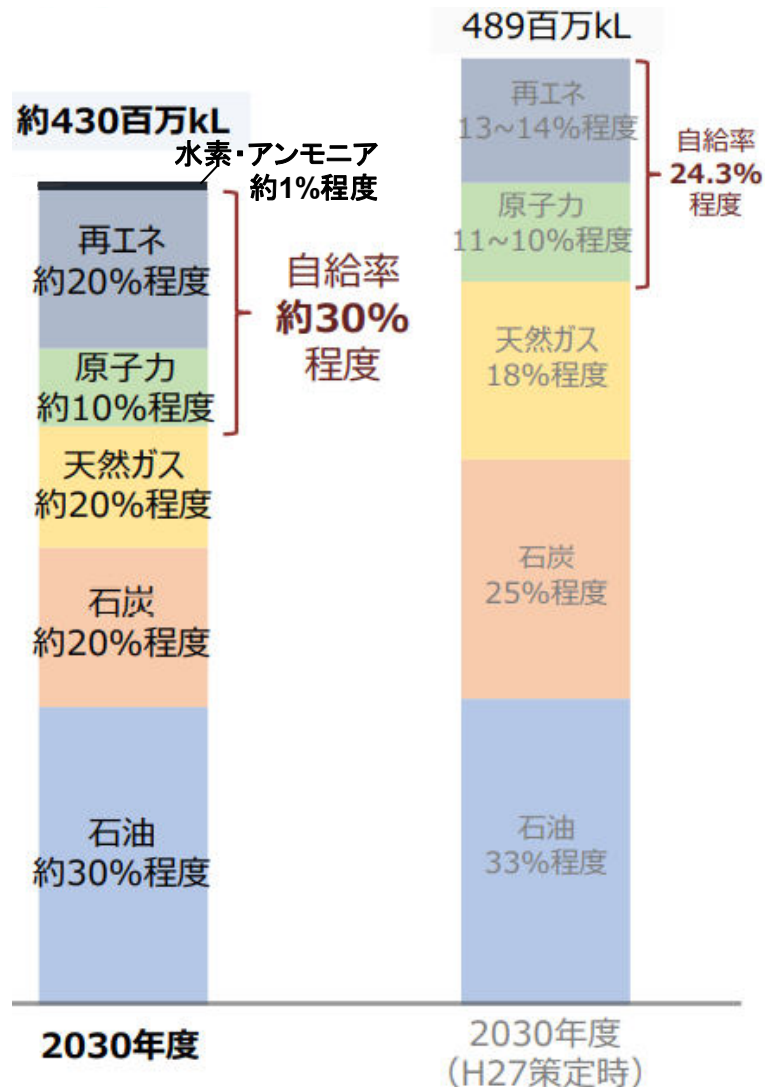
出典) 第30回省エネ小委(令和3年2月19日)資料



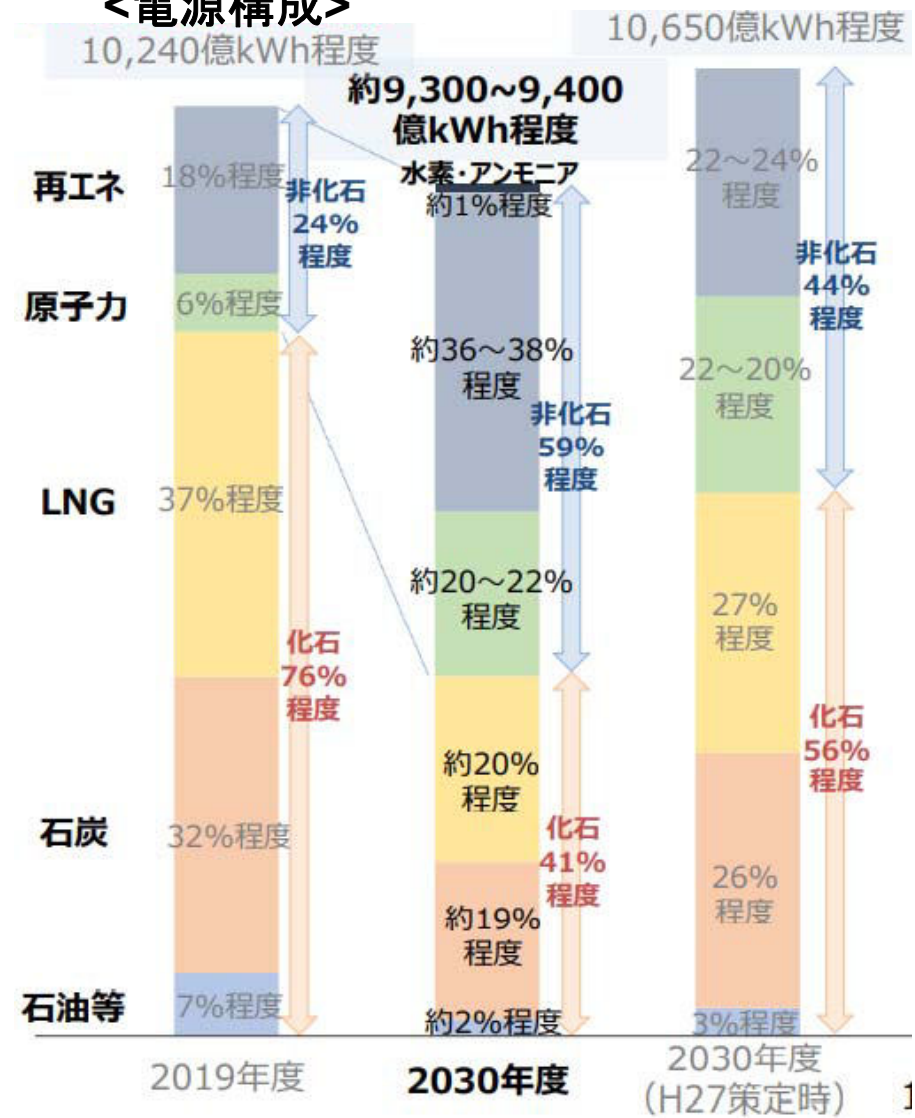
# 第6次エネルギー基本計画

2021.10.22 閣議決定

## <一次エネルギー供給>



## <電源構成>



- ・基本方針は脱炭素化を重視、再エネを主力電源と位置付け
- ・再エネは太陽光と風力を軸に導入量拡大／原子力の建替・新規増設を明記せず
- ・火力は新技術を併用して脱炭素化を促進、安定供給を強調

# 安定的なエネルギー需給構造の確立を図るための エネルギーの使用の合理化等に関する法律等の 一部を改正する法律案

エネルギー関連法(省エネ法、高度化法、JOGMEC法、鉱業法、  
電事法)との束ね改正

2022年3月1日閣議決定

<背景> 第6次エネルギー基本計画を踏まえ、「2050年カーボンニュートラル」や2030年度の野心的な温室効果ガス削減目標の実現に向け、日本のエネルギー需給構造の転換を後押しすると同時に、安定的なエネルギー供給を確保するための制度整備が必要

- <概要>
- (1) 需要構造の転換(エネルギーの使用の合理化等に関する法律)
    - ①非化石エネルギーを含むエネルギー全体の使用の合理化
    - ②非化石エネルギーへの転換の促進
    - ③ディマンドリスポンス等の電気の需要の最適化
  - (2) 供給構造の転換(エネルギー供給構造高度化法、JOGMEC\*法、鉱業法)
    - ①水素・アンモニア等の脱炭素燃料の利用促進
    - ②CCSの利用促進
    - ③再生可能エネルギーの導入促進
    - ④レアアース・レアメタル等の権益確保
  - (3) 安定的なエネルギー供給の確保(電気事業法)
    - ①必要な供給力(電源)の確保
    - ②電力システムの柔軟性向上

\*; 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

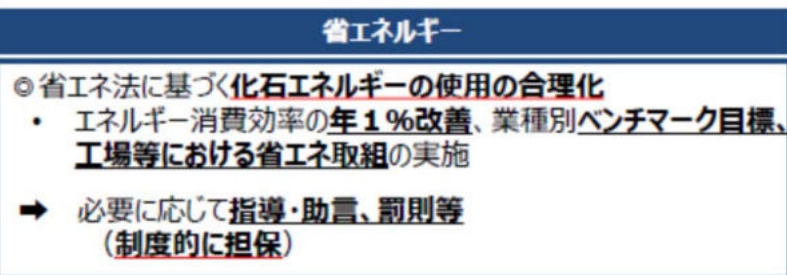
# 1. 需要構造の転換

## 省エネ法の改正

### エネルギーの定義の見直しと非化石エネルギーへの転換

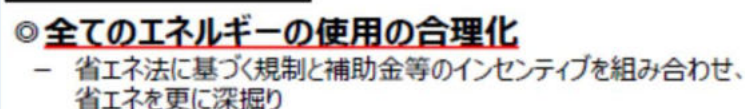
- 化石エネルギーのみならず、非化石エネルギー（水素・アンモニア等）の使用も合理化することで、エネルギーの安定供給の維持につなげていくことが必要。このため、現行省エネ法の「エネルギー」の定義を見直し、使用の合理化の対象を非化石エネルギーを含む全てのエネルギーに拡大する。
- カーボンニュートラルの実現に向けては、供給サイドのみならず、需要サイドでの非化石エネルギーへの転換を進めていくことが必要。このため、エネルギー多消費事業者に対し、非化石エネルギーへの転換に関する中長期計画の作成や、非化石エネルギーの使用状況の定期報告等を求める。

現行

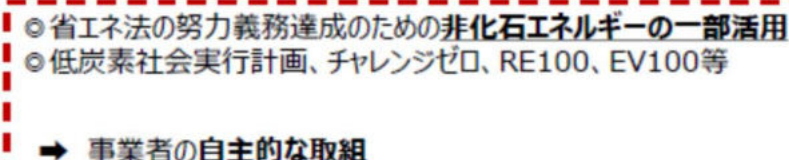


【見直し事項①】  
エネルギーの定義の見直し

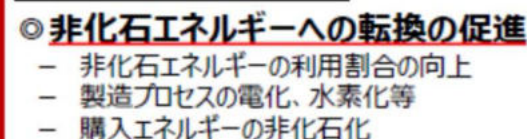
改正後



### 非化石エネルギーへの転換



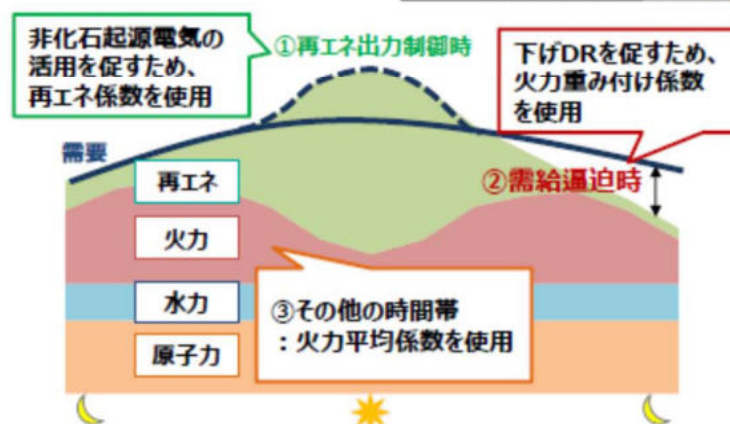
【見直し事項②】  
非化石エネルギーへの転換に関する中長期計画の作成 等



### ディマンドリスポンス等の電気の需要の最適化

スキーム（イメージ）

- 太陽光発電等の変動型再エネの普及拡大を踏まえ、再エネ出力制御時の電気需要量の増加や、需給逼迫時の電気需要量の抑制など、季節又は時間帯の電気の需給状況に応じた需要のシフトを促す。
- また、電気事業者に対し、電気需要最適化に資する取組を促すための電気料金等の整備を求める。



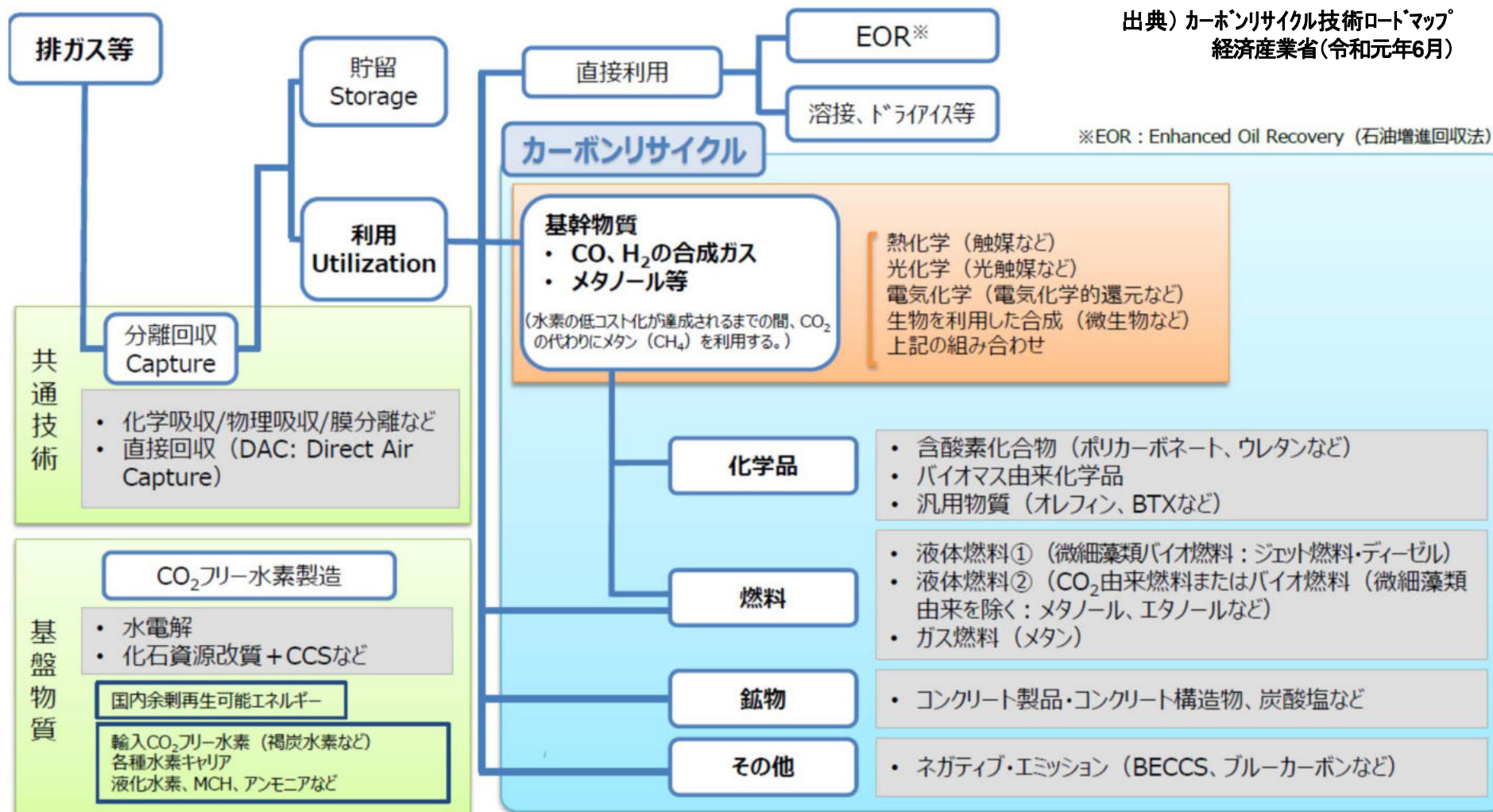
※数値は暫定値

| 需給状況      | 一次エネルギー換算係数<br>(1kWhの電気使用した際のエネルギー使用量) |
|-----------|----------------------------------------|
| ①再エネ出力制御時 | 3.6 MJ/kWh<br>【再エネ係数】                  |
| ②需給逼迫時    | (9.5×α) MJ/kWh<br>【火力重み付け係数】           |
| ③その他の時間帯  | 9.5 MJ/kWh<br>【火力平均係数】                 |

再エネ出力制御時に需要をシフトすることで、省エネ法上のエネルギー使用量を削減することが可能。（省エネと評価される。）

# CCUS／カーボンリサイクル

カーボンリサイクル: CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制



共通課題: 熱・圧力・物質等の全体最適化(低コスト化など)、LCA(現行プロセスとの比較)

# CO<sub>2</sub>分離回収技術

| 分離回収技術 | 技術概要                                                                                                      | 適用先                         |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 化学吸収法  | ・CO <sub>2</sub> と液体との化学反応を利用して分離回収する方法。                                                                  | 火力・セメント・鉄鋼・石油精製・化学工業・天然ガス採取 |
| 物理吸収法  | ・CO <sub>2</sub> を液体中に溶解させて分離回収する方法。<br>・吸収能は液体に対するCO <sub>2</sub> の溶解度に依存する。                             | 火力(高圧)・石油精製・化学工業・天然ガス採取     |
| 固体吸収法  | ・固体吸収材によるCO <sub>2</sub> 分離回収技術。<br>・アミン等を含浸させた多孔質材(低温分離用)や、CO <sub>2</sub> 吸収能のある固体剤(高温分離用)に吸収させる方法等がある。 | 火力・セメント・石油精製・化学工業           |
| 物理吸着法  | ・ゼオライトなどの多孔質固体への昇圧・降圧(圧カスイング)や昇温・降温(温度スイング)などによる吸着・再生操作                                                   | 火力・鉄鋼・セメント・石油精製・化学工業        |
| 膜分離法   | ・分離機能を持つ薄膜を利用し、その透過選択性を利用して混合ガスの中から対象ガス(CO <sub>2</sub> )を分離する方法。                                         | 火力(高圧)・石油精製・化学工業・天然ガス採取     |

**技術課題**

- ・設備・運転コスト及び所要エネルギーの削減:  
新しい基材(吸収材、吸着材、分離膜)の開発  
(選択性、容量、耐久性の向上)  
基材の製造コストの低減  
プロセスの最適化(熱、物質、動力等)など

- ・排出源、用途に応じた分離回収法の選定
- ・発生源と需要・供給先を連携させたカーボンリサイクルに適合するCO<sub>2</sub>分離回収システムの構築(コプロダクション)
- ・輸送、貯蔵

# CCUSの特徴・役割

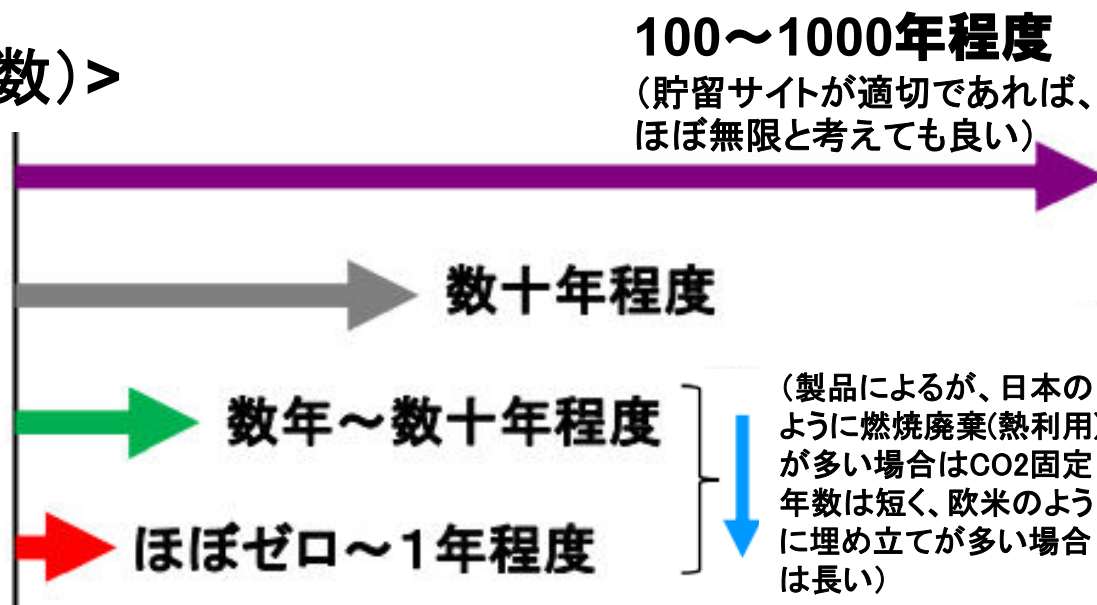
## <CO<sub>2</sub>固定効果(固定年数)>

■ CO<sub>2</sub>貯留

■ コンクリート(鉱物化)

■ 化学品

■ 燃料利用



出典) RITE革新的環境技術シンポ(令和2年12月9日)秋元氏資料

CO<sub>2</sub>固定効果ではなく、水素による  
化石燃料代替効果によるCO<sub>2</sub>削減

・CCUの場合、燃料利用ではCO<sub>2</sub>固定効果はほぼゼロ、化学品でもライフタイムを仮に3年とすると、化学品のCCUはCCSに比べ、CO<sub>2</sub>の固定効果は1/100となる。コンクリートでの鉱物化を除けば、多くのCCUはCO<sub>2</sub>固定効果はあまり見込めない。

・とくに燃焼利用等では、**カーボンフリー水素利用の利便性を増すためにCCUの役割がある**。よって、CO<sub>2</sub>削減効果という点では水素利用の拡大という点での評価が必要で、エネルギーシステム全体での総合的な分析が必要。

# 合成燃料について

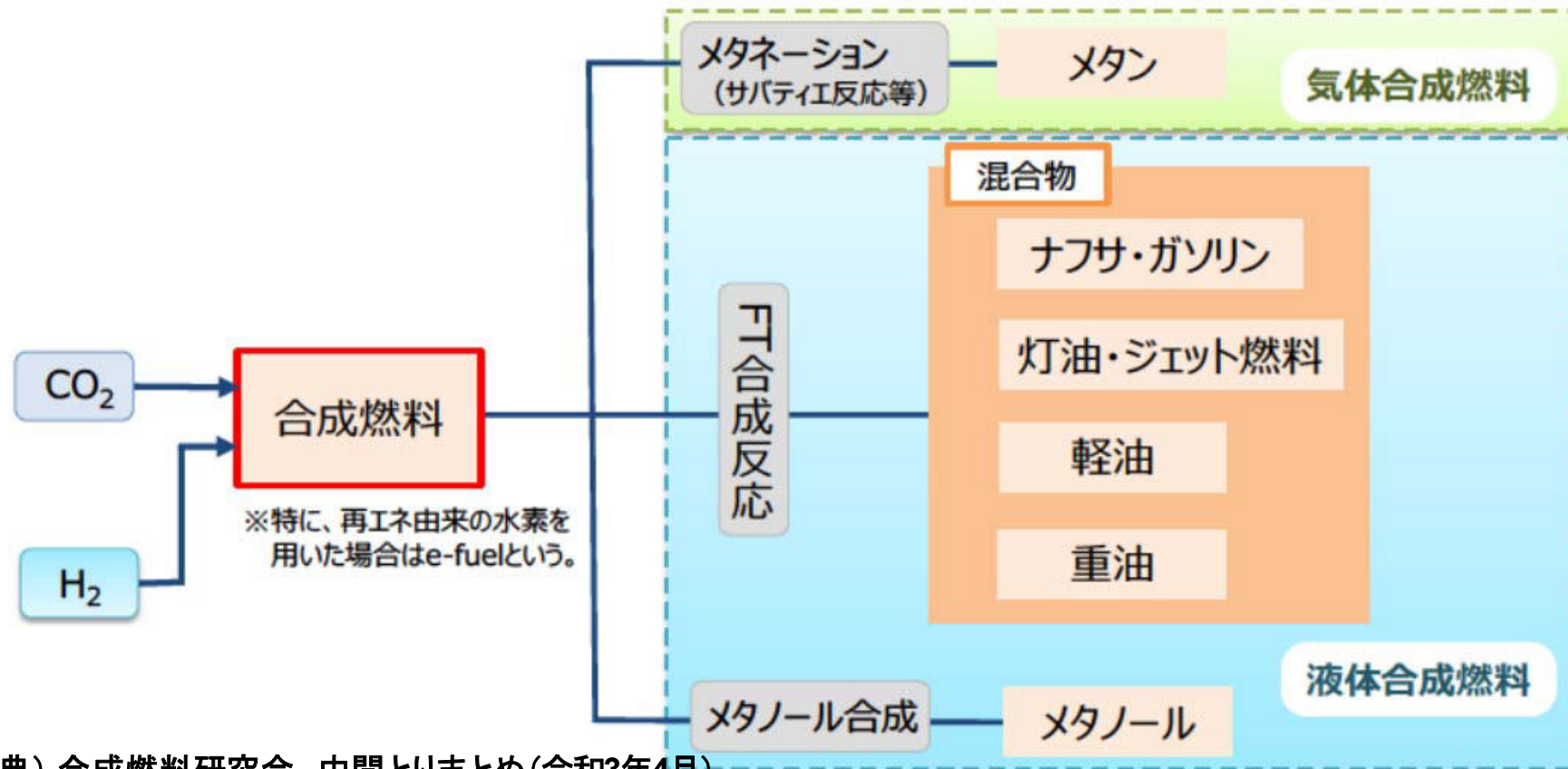
<合成燃料とは、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を合成して製造される燃料>

気体合成燃料：サバティエ反応等のメタネーションによって製造される合成メタン  
FT合成反応の副生物とされるプロパンやブタンを狙った合成（フーバー・アンダーソン反応）

液体合成燃料：FT合成反応等によって製造されるガソリン・灯油・軽油等の混合物  
・・・複数の炭化水素化合物の集合体（いわば、人工的な原油）

メタノール合成によるメタノール等の多くの含酸素化合物

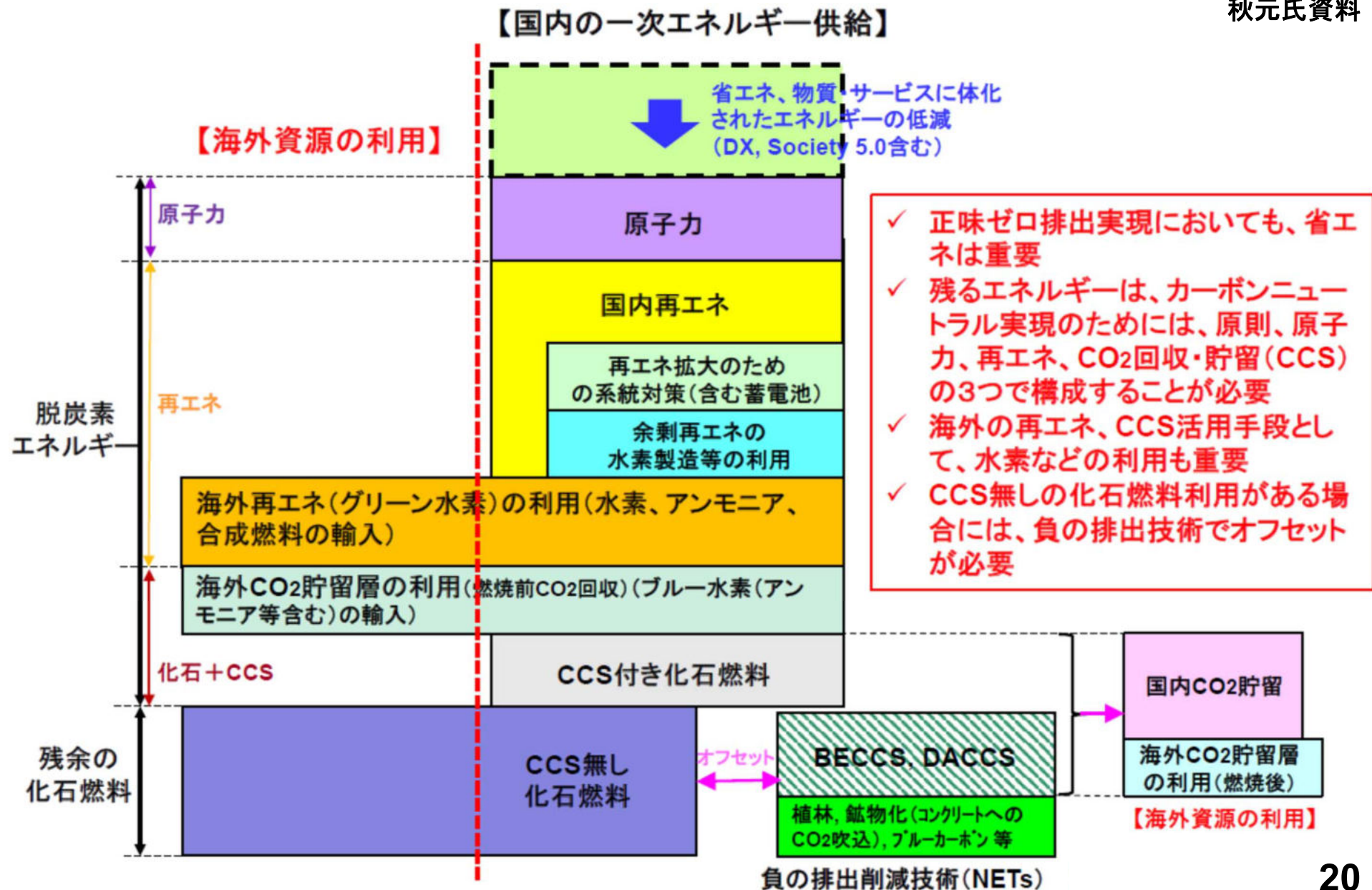
・・・メタノールはMTGプロセスによってガソリンにも転換可能



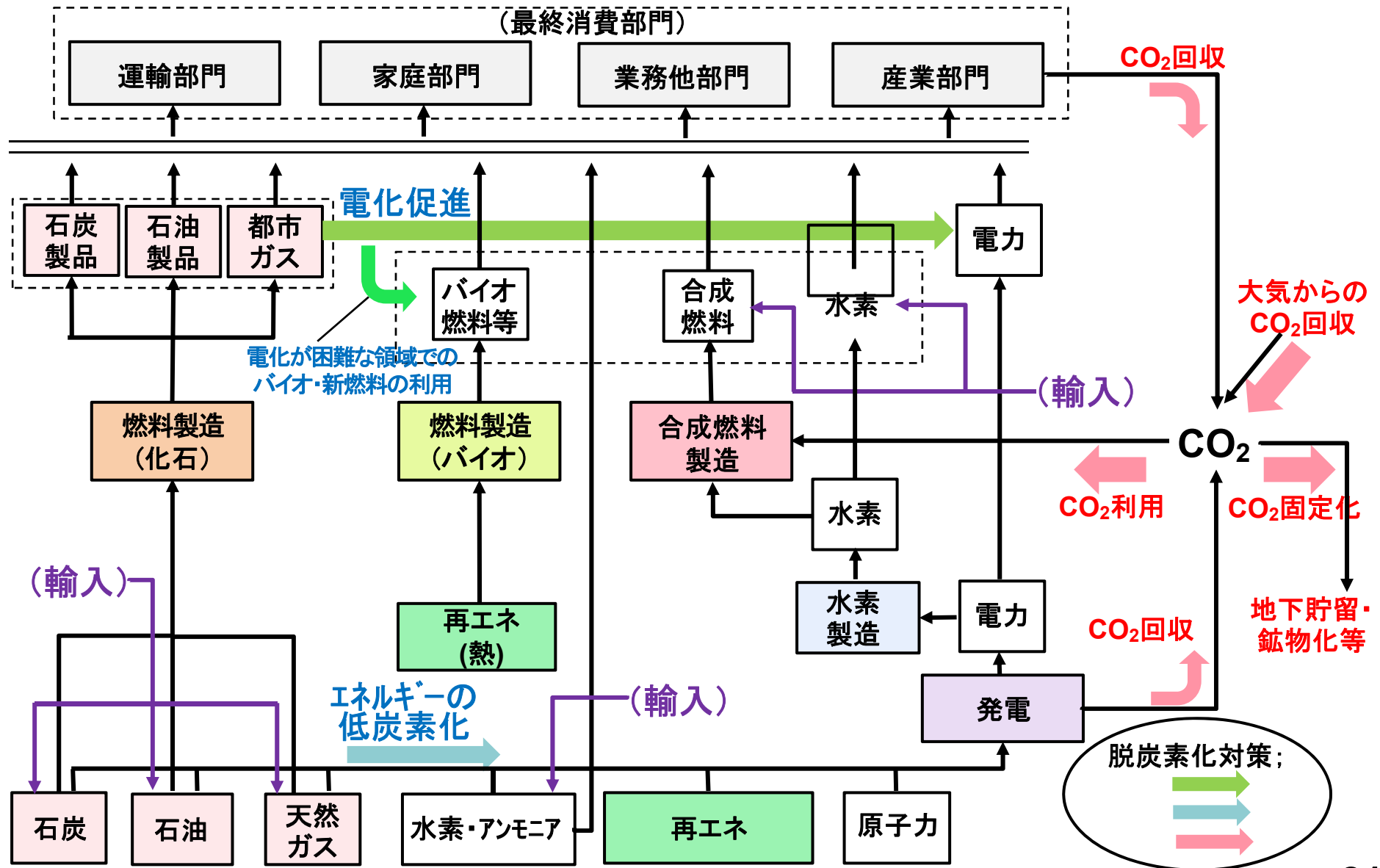
# 日本の正味ゼロ排出のイメージ

出典) RITE革新的環境技術シンポ(2021.12.1)

秋元氏資料



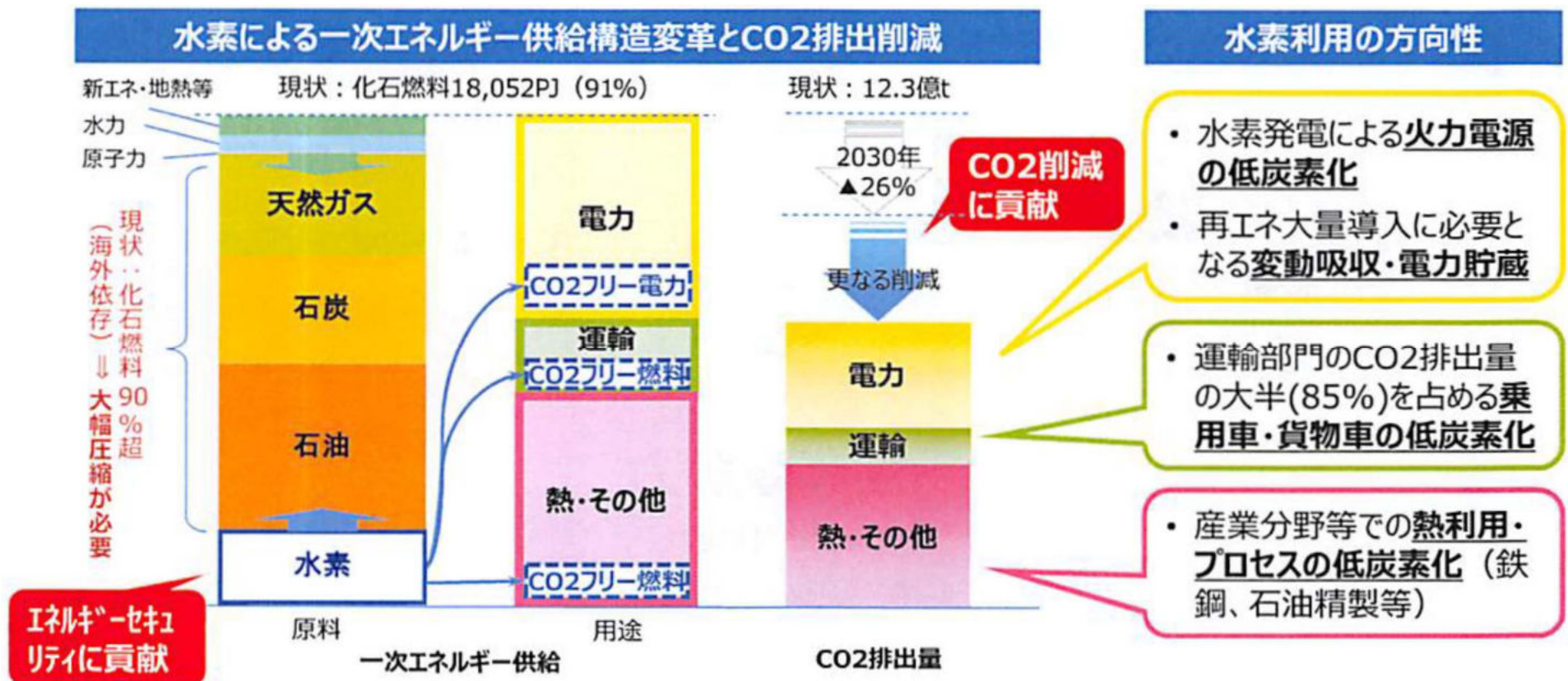
# 脱炭素社会におけるエネルギーシステムの例



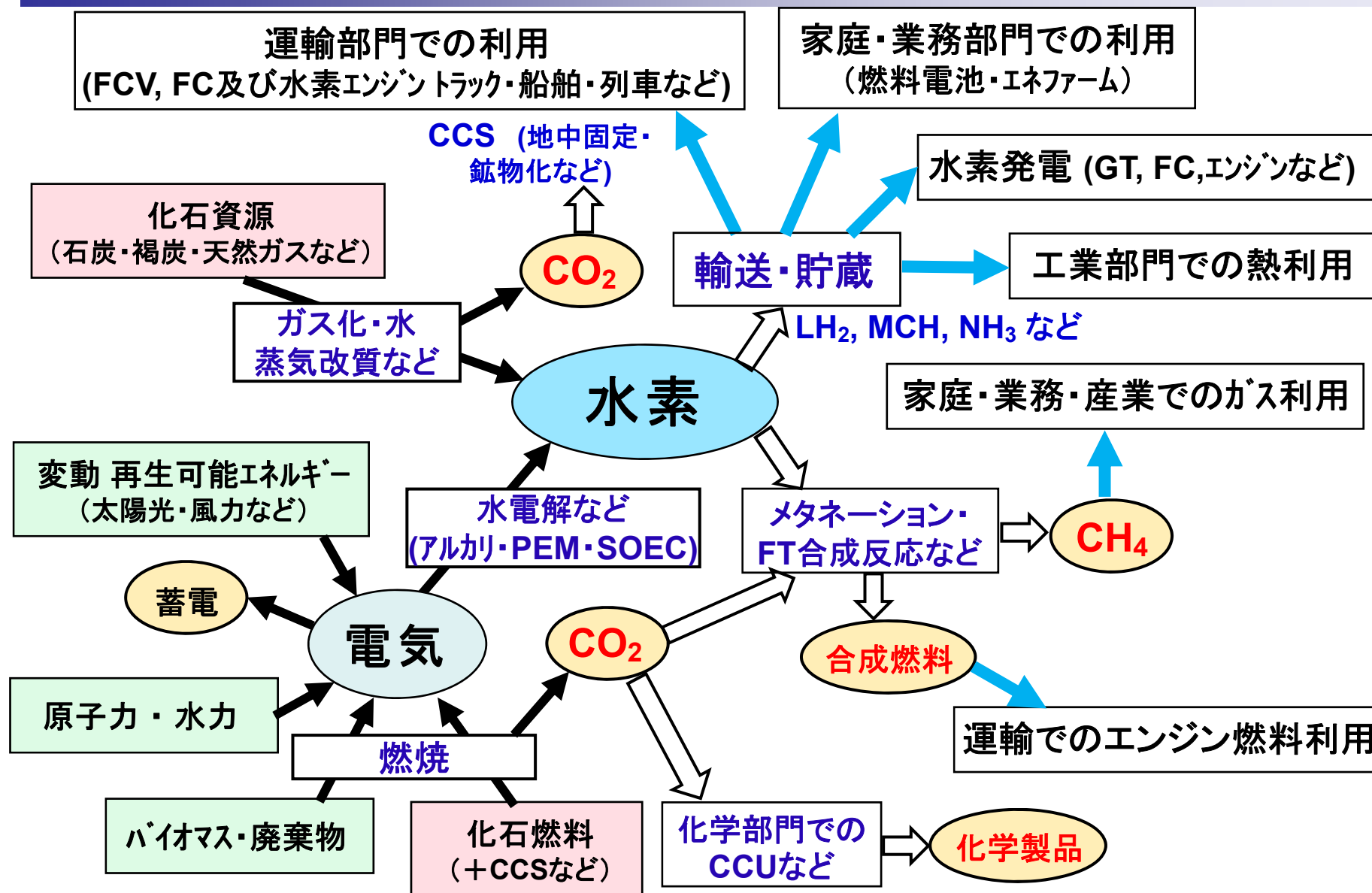
# 水素エネルギー利用の意義／エネルギー政策上の位置付け

水素エネルギー利用は、90%以上の一次エネルギーを海外化石燃料に依存する日本のエネルギー供給構造を変革・多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する。

- ・化石燃料を水素に代替することによる**エネルギー源の多様化・エネルギーセキュリティの向上**
- ・水素発電やFCV・産業分野での水素利用(熱、プロセス)による**エネルギー利用の低炭素化**



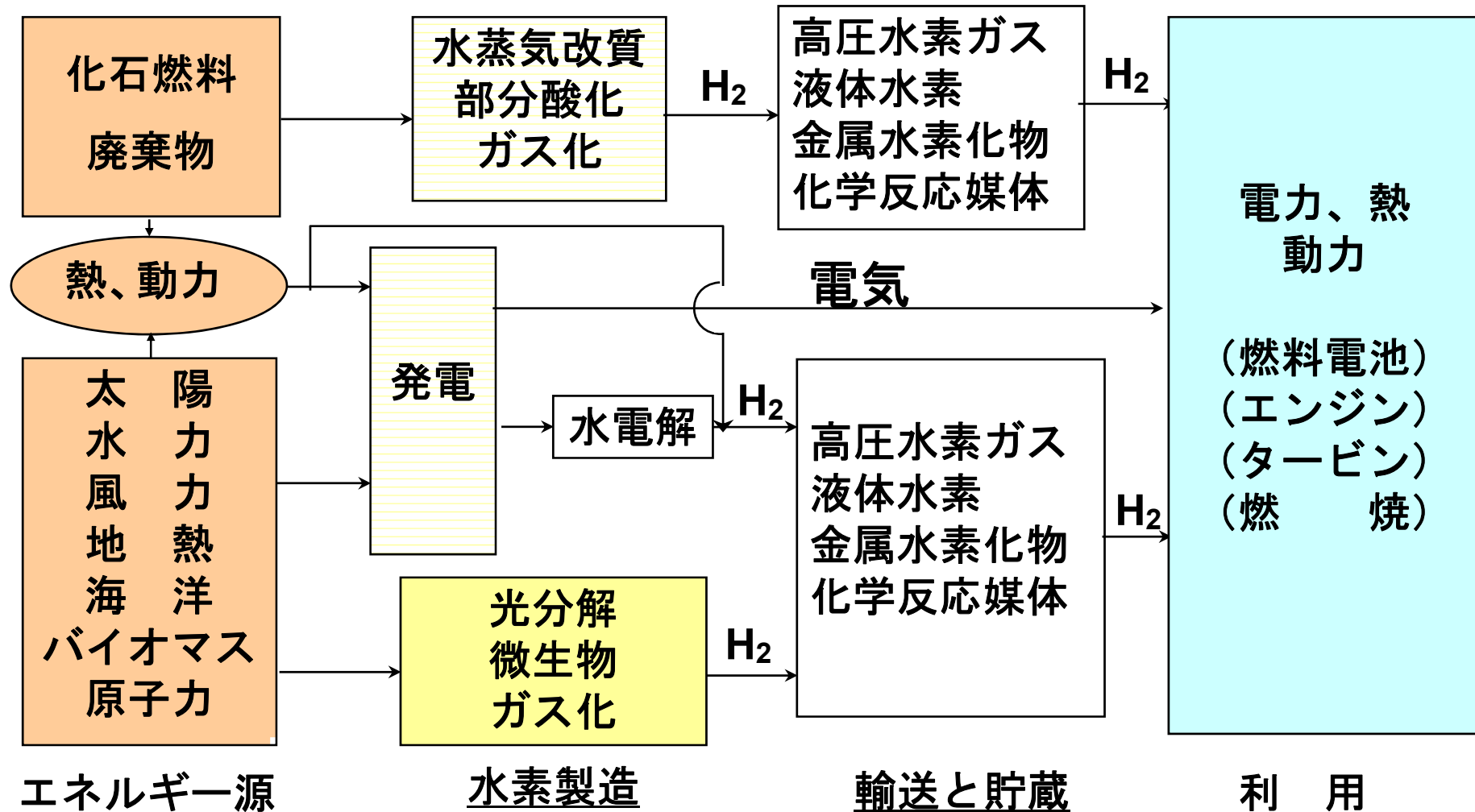
# 脱炭素社会における水素の役割



燃焼利用等では、**カーボンフリー水素利用の利便性を増すためにCCUの役割がある!!**

# 水素エネルギーシステムの基本構成

## <化石燃料高効率利用 環境対応>



## <再生エネルギー利用 環境対応>

# 水素製造技術

|             | 製造技術  | 内容・特徴                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 接触水素<br>化反応 | 部分酸化  | $(\text{CH}_2)_n + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ ; 石油化学工業で使用<br>原油残渣などを原料とし, 触媒無しで粗ガスを製造                                                                                                                  |
|             | 石炭ガス化 | $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ / $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$<br>コークス炉ガス(COG), $\text{H}_2$ は約60%                                            |
|             | 水蒸気改質 | $\text{C}_m\text{H}_n + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow (n/2 + m)\text{H}_2 + m\text{CO}$ (吸熱)<br>$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41.2 \text{ kJ}$ (発熱)<br>主にメタンを使用, バイオマス, 廃棄物資源も可 |
| 水を原料        | 水電解   | 原子力, 再生可能エネルギーからの電気を利用<br>アルカリ水 / 固体高分子型 / 高温水蒸気                                                                                                                                                                           |
|             | 熱化学分解 | プロセス排熱, 高温ガス炉, 太陽熱を利用<br>多段化学反応サイクル(UT-3, ISプロセス)                                                                                                                                                                          |
|             | 光分解   | 太陽の光エネルギーを利用<br>湿式太陽電池 / 光触媒反応 / 微生物水素生産                                                                                                                                                                                   |

# 水素の製造方法評価(イメージ)

|          | 実用化段階                   | 安定性                   | 環境性(CO2排出)                 | 経済性                     |
|----------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 副生水素     | 種類によるが既に導入されているものが多い。   | 本来の目的となる製品の生産量に左右される。 | CO2は排出されるが追加的な環境負荷は無い。     | 副次的に生産されるものを活用するため経済的。  |
| 化石燃料改質   | 既に導入されており実用化段階          | 安定的かつ大規模に生産が可能。       | CCS等を用いない限り、CO2が排出される。     | 技術的に確立しており、比較的安価に製造が可能。 |
| 水電解(火力)  | 既に導入されており実用化段階          | 安定的かつ大規模に生産が可能。       | CCS等を用いない限り、発電時にCO2が排出される。 | 改質に比べると高コストだが比較的安価。     |
| 水電解(再エネ) | 技術的には確立。再エネ発電の低コスト化が課題。 | 再エネの種類によっては出力変動が存在。   | CO2は排出されない。                | 再エネ電力を活用するため一般的にコストは高い。 |
| バイオマス    | 技術的には確立しているが低コスト化が課題。   | 供給地が分散している。           | CO2排出量はゼロとみなすことができる。       | 現段階ではコストは高い。            |
| 熱分解      | 研究開発段階(一部実証研究も実施)       | 安定的な供給が可能。            | 利用する熱を何から取るかによって異なる。       | N. A.                   |
| 光触媒      | 基礎研究段階(現在の変換効率は0.5%程度)  | 気象条件に左右される。           | CO2は排出されない。                | N. A.                   |

- ・ 水素エネルギーの評価(水素供給量、製造コスト、環境負荷低減の度合い等)は、水素製造方法により大きく異なる。
- ・ 各製造方法の定量的な比較は現時点では困難(有識者ヒヤリング、等による)

# 未利用エネルギーからの水素製造

| 製造源       | 製造方法                                                                                                                        | 利用状況                                                                                                     | 利点(○)と課題(×)                                                                                                                           | 利用の展望                                                                                          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 副生水素      | <ul style="list-style-type: none"> <li>プラントから副次的に様々なガス組成で発生。</li> <li>不純物を除去し水素の純度を高める。</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>国内では水素は熱源等にほとんど自家消費されている。</li> <li>海外は有効活用されていない水素が存在。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○初期投資を抑えられる。</li> <li>×水素の発生量は、目的生産物の生産により、プラントごとに調達可能な水素は限られる。</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素供給の初期段階における水素源として有望。</li> </ul>                       |
| 原油随伴ガス    | <ul style="list-style-type: none"> <li>水蒸気改質反応を利用し、ともに得られるCO<sub>2</sub>を除去。</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>油田に原油随伴ガスの一定量が再圧入されているが、未活用のガスが相当量存在。</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○燃焼廃棄エネルギーの有効活用。</li> <li>×現地での大規模な水素製造装置を設ける費用と期間、及びCCSが必要。</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>中長期的な将来の大量供給に向けた水素源として開発を進める必要がある。</li> </ul>           |
| 褐炭        | <ul style="list-style-type: none"> <li>微粉をガス化し、酸素、水蒸気と反応させてCO<sub>2</sub>とともに製造。</li> <li>不純物やCO<sub>2</sub>を除去。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>商用事例は少ないが、可採埋蔵量が豊富。</li> <li>発火の懸念から長距離輸送や貯蔵に不適。</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○安価。</li> <li>×現地での大規模な水素製造装置を設ける費用と期間、及びCCSが必要。</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>中長期的な将来の大量供給に向けた水素源として開発を進める必要がある。</li> </ul>           |
| 再生可能エネルギー | <ul style="list-style-type: none"> <li>風力、太陽光、水力等の電力によって水を電気分解。</li> <li>大量製造にはアルカリ水電解法が現時点では想定。</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>基礎的な研究開発段階。</li> </ul>                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○再生可能エネルギーの偏在性を吸収する手段として有効であり、製造段階でもCO<sub>2</sub>フリー。</li> <li>×出力変動を伴い供給地が偏在している。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>安価で安定的な水素の大量供給を行うためには長期的視野のもとで取組を進めていく必要がある。</li> </ul> |

# 水素の貯蔵・輸送方法

## 高圧ガス

水素を高圧に圧縮しポンプ等で貯蔵・輸送



- ✓ 既に実用化されており、国内での水素流通でも活用されている。
- ✓ ただし、圧縮機や、高圧で貯蔵するタンクなどについて低コスト化に向けた技術開発が必要。
- ✓ また、大規模な貯蔵・輸送には適さない。

## 液体水素

水素を-253℃の極低温で液化させ、液体の状態で貯蔵・輸送



- ✓ 既に実用化されており、ロケット燃料や国内の水素流通でも活用。
- ✓ 液化工程に多くのエネルギーを必要とするが、貯蔵密度が高く体積比でより多くの水素を貯蔵・輸送することが可能。
- ✓ 船舶等による、より大規模な貯蔵・輸送については技術開発段階。

## パイプライン

水素を気体のままガス配管に流すことで輸送



- ✓ 大規模なインフラ投資が必要となるが、安定的に大量の水素を輸送することが可能。
- ✓ 日本国内では一定範囲での限定的な活用にとどまるが、欧米では古くから長距離パイプラインも実用化。
- ✓ 大量の水素需給が見込める場合には有効か。

## 有機ハイドライド

水素をトルエンと反応させ、メチルシクロヘキサンとすることで貯蔵・輸送



- ✓ 常温・常圧の液体での貯蔵・輸送が可能。
- ✓ 既に確立されているガソリン等の化学品と同様に取り扱うことが可能。
- ✓ 既存の化学品用タンクや輸送船を用いることができる。

## 水素吸蔵合金

合金に水素原子を吸蔵させることで水素を貯蔵・輸送



- ✓ 体積当たりではより多くの水素を貯蔵・輸送することが可能。
- ✓ ただし、合金自体が重量が重いため、現段階での用途は重量が重い方がよい潜水艦や潜水艇など限定的。
- ✓ このため、より広く活用するためには、重量当たりの水素貯蔵量をより多くする技術開発が必要。

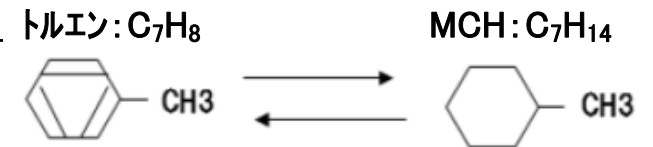
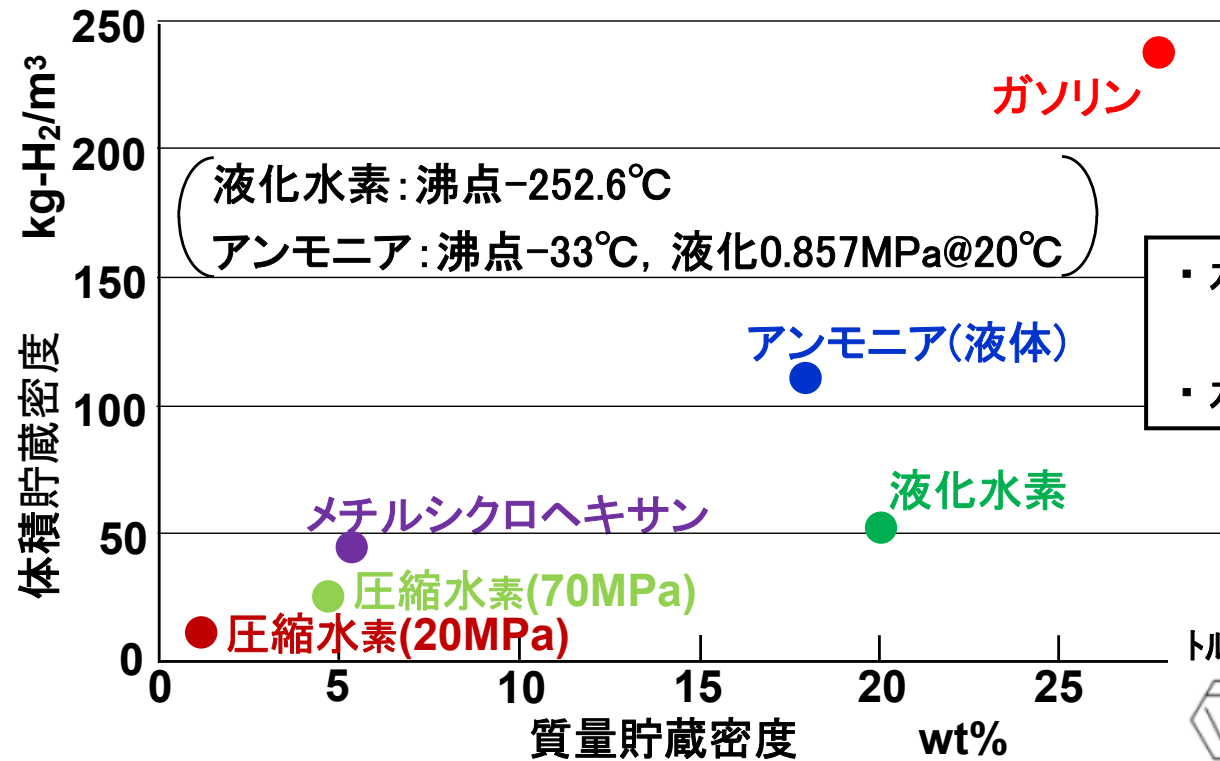
- ・ 水素の製造・利用方法、供給地と需要地の距離などにより、様々な方法を検討
- ・ 需要規模や、需要の方法等に合わせた技術開発が必要

# 水素キャリアの特徴

- ・水素キャリアの選定は、水素社会の在り方を決める重要な論点であるが、それぞれ異なる課題を抱えており、長期的にどれが総じて優位となるか現時点で見極めることは不可能。
- ・加えて、化学的な特性や既存インフラ等の活用可否により、用途等の棲み分けも長期的に行われると考えられるため、現時点でキャリアを絞り込まず、競争を促しつつも各々の技術的課題克服等を支援。
- ・また、キャリアの評価に当たっては、水素化、脱水素かのコストに加えて、輸送(国際輸送)、配送(国内配送)のコストなども加味し、総合的に評価することが重要。

| キャリア              | 液化水素                               | MCH                  | アンモニア                                 | メタネーション                        |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 体積(対常圧水素)         | 約1/800                             | 約1/500               | 約1/1300                               | 約1/600                         |
| 液体となる条件、<br>毒性    | -253℃、常圧<br>毒性無                    | 常温常圧<br>トルエンは毒性有     | -33℃、常圧等<br>毒性、腐食性有                   | -162℃、常圧<br>毒性無                |
| 直接利用の可否           | N.A.(化学特性変化無)                      | 現状不可                 | 可(石炭火力混焼等)                            | 可(都市ガス代替)                      |
| 高純度化のための<br>追加設備  | 不要                                 | 必要(脱水素時)             |                                       |                                |
| 特性変化等の<br>エネルギーロス | 現在:25-35%<br>将来:18%                | 現在:35-40%<br>将来:25%  | 水素化:7-18%<br>脱水素:20%以下                | 現在:-32%                        |
| 既存インフラ活用、<br>活用可否 | 国際輸送は不可(要新<br>設)。国内配送は可            | 可(ケミカルタンカー<br>等)     | 可(ケミカルタンカー<br>等)                      | 可(LNGタンカー、<br>都市ガス管等)          |
| 技術的課題等            | 大型海上輸送技術(大<br>型液化器、運搬船等)<br>の開発が必要 | エネルギーロスの更<br>なる削減が必要 | 直接利用先拡大のため<br>の技術開発、脱水素設<br>備の技術開発が必要 | 原則、グリーン水素<br>を利用、CO2供給<br>が不可欠 |

# 各水素キャリアの貯蔵密度



20 MPa トレーラー  
2300~3000 m<sup>3</sup>/台



液化水素ローリー  
2万~3.2万 m<sup>3</sup>/台



ケミカルローリー  
1万 m<sup>3</sup>/台

# 水素利活用技術の適用可能性



- ・ これまで水素は、主として石油精製過程における水素化脱硫や、各種工業プロセスにおける産業ガスとして利用されてきたが、定置用燃料電池や燃料電池自動車の形での活用が実用化されている。
- ・ 将来的には、これらの用途以外にも代替エネルギーとして水素を利用するため、国内外で実証研究等が行われている。

# 水素利用システムを考える際のポイント

水素ありきではないことに注意!!

## <水素源・製造方法(どのような素性の水素を利用するか)>

- 原料は何か? ; 水／化石燃料(石炭/天然ガス)／バイオマス／副生水素、等  
→ グリーン水素／ブルー水素／グレー水素
- 製造方法は? ; 電気分解(アルカリ/PEEC/SOEC)／水蒸気改質／部分酸化、等

## <貯蔵・輸送方法(どのような形態で水素を貯蔵して運ぶか)>

- 水素キャリアの選択; 圧縮ガス／MCH／アンモニア／液化水素、等
- 輸送方法は? ; ボンベ輸送／パイプライン／ケミカルローリー／吸蔵合金／アンモニア、等

## <水素利用の目的(水素を使って何をしたいか)>

- 使用機器は何か? ; 燃料電池(PEFC/SOFC)／エンジン／ガスタービン／バーナ、等  
→ 発電／機械駆動／熱利用(ボイラー)、等
- 何故、水素を使うのか? ; CO2削減／省エネ(効率向上)／省エネ、等

価値(CO2削減量、使用エネルギー原単位、コスト)を明確にする!!

# 水素社会構築に向けた最近の動向

## 水素基本戦略（2017年12月）:

2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有する大きな**方向性・ビジョン**を示し、**国内再生由来水素の利用拡大、国際水素サプライチェーン、モビリティ、電力分野での利用拡大**を目指す。

## エネルギー基本計画（第5次、2018年7月）:

水素基本戦略等に基づき、水素が、自国技術を活かした中長期的なエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となるよう、戦略的に**制度やインフラ整備を進めるとともに**、多様な**技術開発や低コスト化を推進**し、実現可能性の高い技術から社会に実装していく。

## 水素・燃料電池戦略ロードマップ 改訂（2019年3月）:

水素閣僚会議（2018年10月）に発表された「Tokyo Statement」の内容を反映し、水素サプライチェーンの実現及び低コスト化に必要な**基盤技術および要素技術開発の継続実施**。

## 水素・燃料電池プロジェクト評価・課題共有ウィーク（2019年6月）:

事業の取組評価による、ユーザー側からのニーズの提示、新たなシーズの発掘により、産学官全体の活性化を図る。**技術開発の課題を洗い出し、重点分野を設定**した。

## 水素・燃料電池技術開発戦略（2019年9月）:

ロードマップの改定及び課題共有ウィークの議論を受けて、**具体的な技術開発事項**を定めたもの。

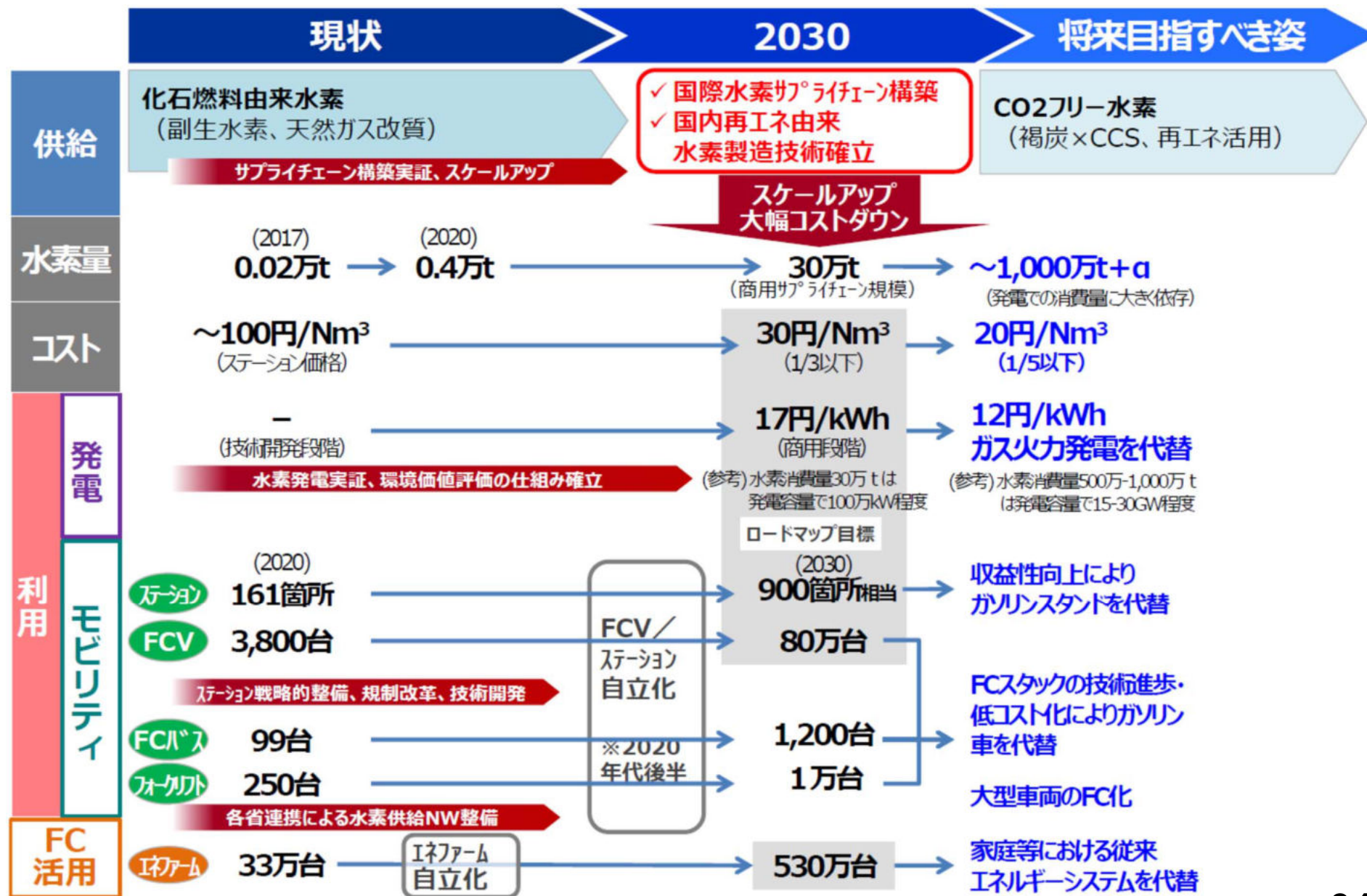
## NEDO水素・燃料電池プロジェクトレビュー（2021年6-7月）:

**プロジェクト成果を発表**するとともに課題を共有し、それらに対する新たなシーズ提供者とのマッチングを図る。また、各分野の有識者からコメントを収集し、研究開発マネジメントの参考とする。

## グリーンイノベーション基金（大規模水素サプライチェーンの構築、2021年8月）

## エネルギー基本計画（第6次、2021年10月）

# 水素基本戦略のシナリオ



# 競争的な水素サプライチェーンの構築

- 水素の社会実装は、水素がその需要地に対して、化石燃料を含む他エネルギー源に対してコスト競争力のある形で供給されない限り、自立的には進展しない

↳ より**競争的な水素サプライチェーン(SC)の構築**が必要不可欠

- ただし、最適な水素SCは一義的には決まらないため、製造・輸送・貯蔵・利用の各断面の外的要因を考慮した上で、社会実装モデルの構築を通じて**システム全体での徹底的な合理化**を行い、**水素供給コストを最小化**していくことが重要。

## 水素サプライチェーンを構築時に考慮すべき外的要因

### 水素需要の大きさと分布

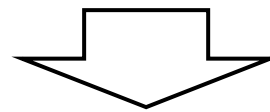
- 各需要地がどの程度離れているか
- 大規模な需要地が存在するか
- 需要はどのように変動するか等

### 製造源の競争力

- 再エネ電源、化石燃料+CCUSコスト
- 域内余剰電力量(卸電力価格に反映)
- 需要エリアまでの距離等

### 既存インフラ活用可否

- 系統立地とその空き容量
- 水素パイプラインの敷設状況(コンビナート内)等



## 水素供給コストが最小となる最適な水素サプライチェーンの決定

- 水素供給コスト = 水素製造コスト + 水素輸送等コスト  
(水素化、脱水素化、貯蔵コスト等を含む)
- 供給コスト最小化のための選択肢(例):  
水素製造方法、水電解等設置場所、水素キャリア、各設備スペック等

# 水素サプライチェーン構築事業(NEDO)

商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm<sup>3</sup>換算）のサプライチェーンを構築しシステム技術を確立

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

液水サプライチェーン



MCHサプライチェーン



実証

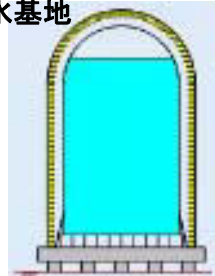
水素混焼・専焼発電技術およびエネルギーシステム市場化に必要な技術を確立

(ロ)水素エネルギー利用システム開発

水素CGS



液水基地



液水バルブ  
大型化

開発

水素GT・ボイラ・エンジン



NH<sub>3</sub>利用



海外  
(供給国)



輸送



荷役・貯蔵



水素発電



発電事業

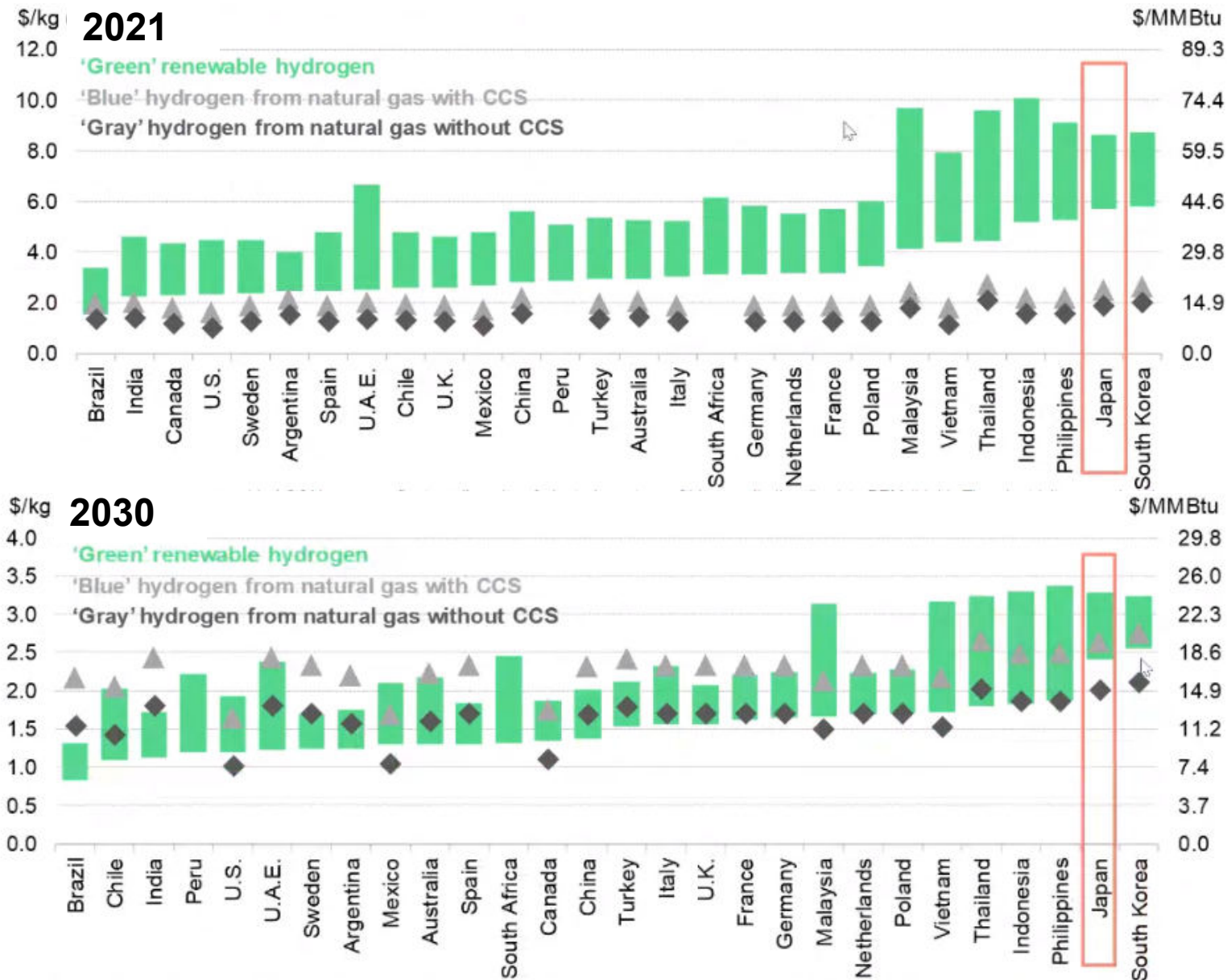
日本  
(利用国)

# 脱炭素社会に向けた水素供給の道筋

- ・水素は多様なエネルギー源から製造可能であるが、日本は国内の資源ポテンシャルが限定的であるため、大規模な社会実装には**価格競争力のある海外水素の活用**が必要。
- ・また、エネルギー安全保障向上の観点から、その調達源の多様化、調達先の多角化を推進するとともに、余剰再エネ等を活用した**国内水素製造基盤を有すること**も重要。
- ・さらに、水素の大規模輸入が実現するまでは、**副生水素など、既存の水素供給源を最大限活用**することが必要不可欠。

|                     | 短期(~2025年頃)                    | 中期(~2030年頃)                      | 長期(~2050年)                    |
|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 実績・目標量              | 約200万トン                        | 最大300万トン                         | 2000万トン程度                     |
| 既存供給源<br>(副生水素等)    | 主要な水素供給源<br>として最大限活用           | 供給源のクリーン化(CCUSの活用等)              |                               |
| 輸入水素                | 実証・準商用化等<br>を通じた知見蓄積、<br>コスト低減 | 商用ベースの大規模<br>国際水素サプライ<br>チェーンの構築 | 調達源多様化・調達先<br>多角化を通じた規模拡<br>大 |
| 新たな国内供給源<br>(電解水素等) | 実証を通じた知見<br>蓄積、コスト低減           | 余剰再エネ等を活用<br>した水電解の立ち上<br>がり     | 電解水素の規模拡大・<br>新たな製造技術の台<br>頭  |

# 各国における水素製造コストの比較



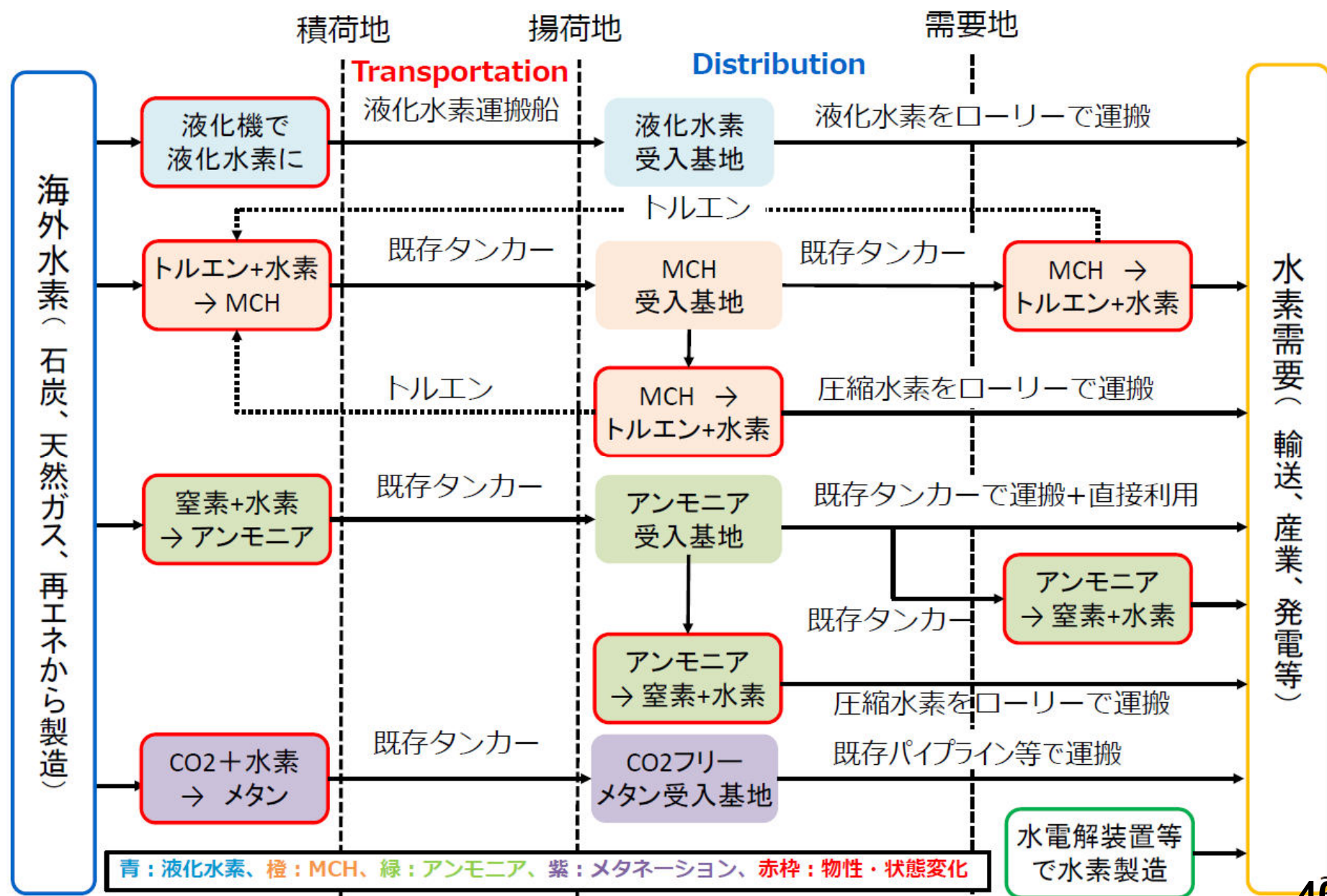
Source: BloombergNEF. Renewable LCOH<sub>2</sub> range reflects a diversity of electrolyzer type, Chinese alkaline (low) to PEM (high). The electricity powering the electrolyzer is either PV or onshore wind, whichever is cheaper. Assumes equal CCS costs in all countries. For more information on hydrogen with CCS, refer to Hydrogen: The Economics of Production From Fossil Fuels ([web](#) | [terminal](#)).

# 水素キャリアの特徴

- ・水素キャリアの選定は、水素社会の在り方を決める重要な論点であるが、それぞれ異なる課題を抱えており、長期的にどれが総じて優位となるか現時点で見極めることは不可能。
- ・加えて、化学的な特性や既存インフラ等の活用可否により、用途等の棲み分けも長期的に行われると考えられるため、現時点でキャリアを絞り込まず、競争を促しつつも各々の技術的課題克服等を支援。
- ・また、キャリアの評価に当たっては、水素化、脱水素かのコストに加えて、輸送(国際輸送)、配送(国内配送)のコストなども加味し、総合的に評価することが重要。

| キャリア              | 液化水素                               | MCH                  | アンモニア                                 | メタネーション                        |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 体積(対常圧水素)         | 約1/800                             | 約1/500               | 約1/1300                               | 約1/600                         |
| 液体となる条件、<br>毒性    | -253℃、常圧<br>毒性無                    | 常温常圧<br>トルエンは毒性有     | -33℃、常圧等<br>毒性、腐食性有                   | -162℃、常圧<br>毒性無                |
| 直接利用の可否           | N.A.(化学特性変化無)                      | 現状不可                 | 可(石炭火力混焼等)                            | 可(都市ガス代替)                      |
| 高純度化のための<br>追加設備  | 不要                                 | 必要(脱水素時)             |                                       |                                |
| 特性変化等の<br>エネルギーロス | 現在:25-35%<br>将来:18%                | 現在:35-40%<br>将来:25%  | 水素化:7-18%<br>脱水素:20%以下                | 現在:-32%                        |
| 既存インフラ活用、<br>活用可否 | 国際輸送は不可(要新<br>設)。国内配送は可            | 可(ケミカルタンカー<br>等)     | 可(ケミカルタンカー<br>等)                      | 可(LNGタンカー、<br>都市ガス管等)          |
| 技術的課題等            | 大型海上輸送技術(大<br>型液化器、運搬船等)<br>の開発が必要 | エネルギーロスの更<br>なる削減が必要 | 直接利用先拡大のため<br>の技術開発、脱水素設<br>備の技術開発が必要 | 原則、グリーン水素<br>を利用、CO2供給<br>が不可欠 |

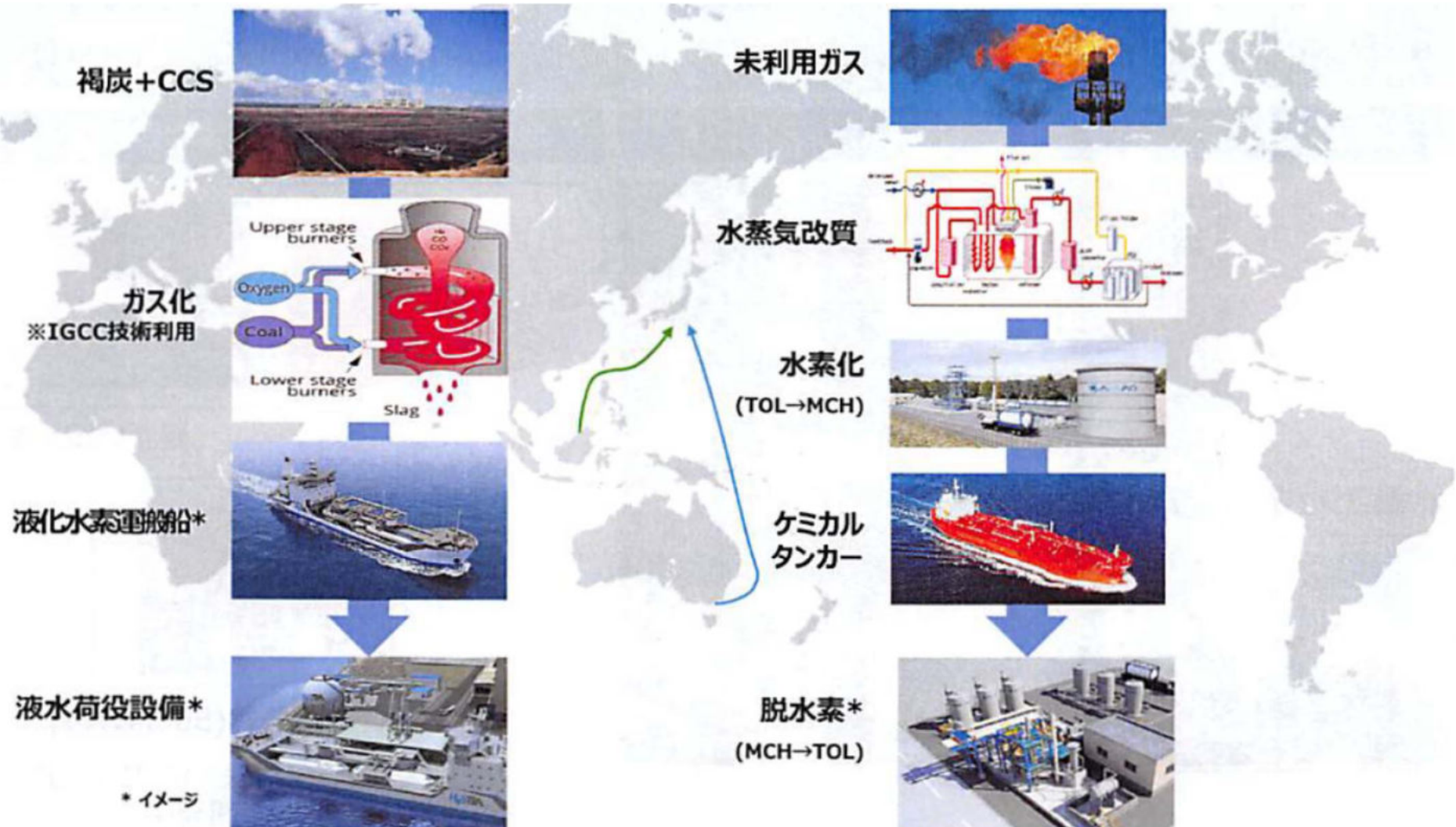
# 国際輸送と国内配送の一体的なインフラ整備の例



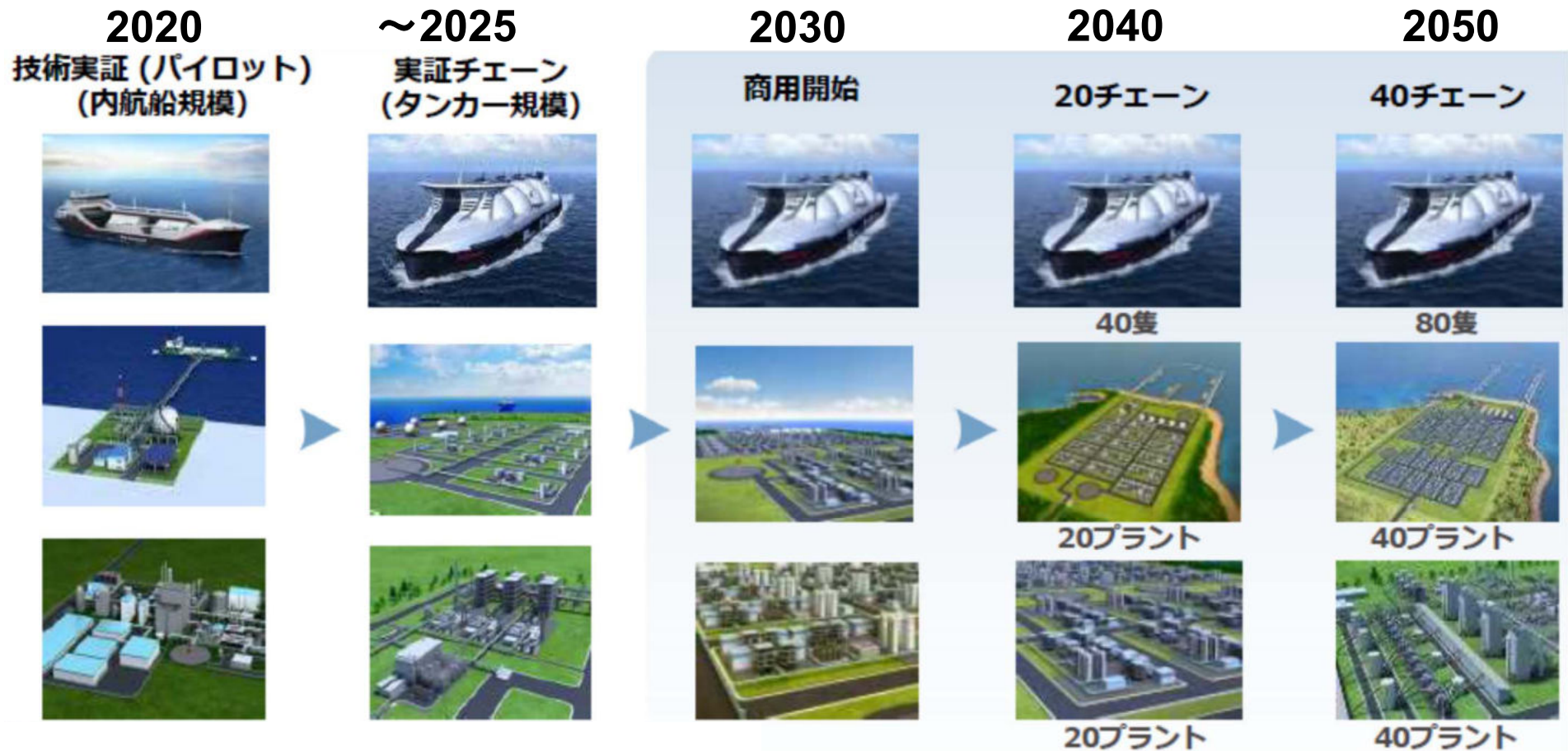
# 国際間水素サプライチェーン実証 <グローバル水素>

日豪褐炭水素SCPJ  
—液化水素—  
<HYSTRA>

日ブルネイ水素SCPJ  
—液化水素—  
<AHEAD>



# 日豪褐炭水素(液化水素)SC事業の将来像



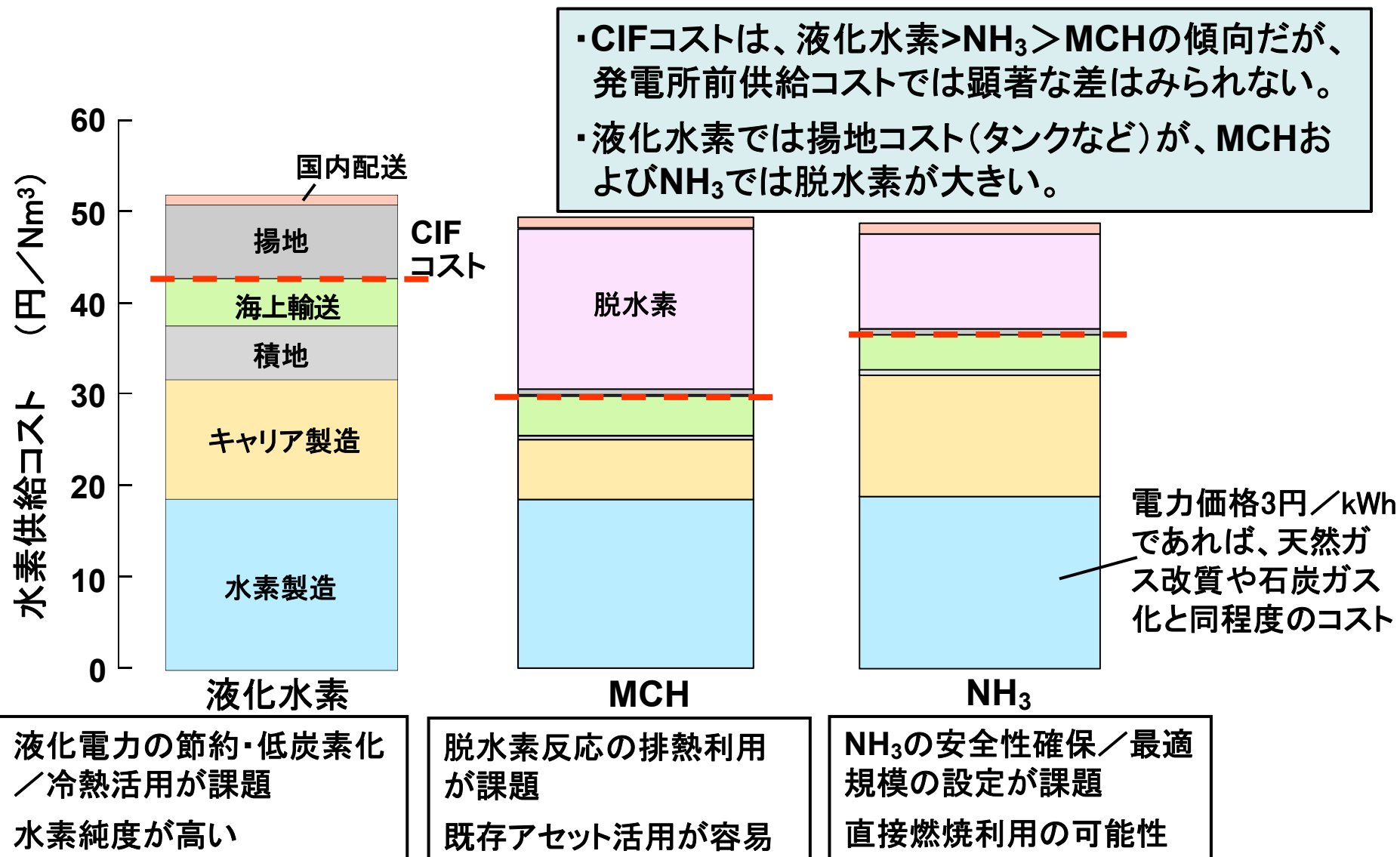
|                      |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 水素輸送量                | 22.5万トン／年 | 450万トン／年  | 900万トン／年  |
| 発電容量                 | 650 MW    | 13,000 MW | 26,000 MW |
| 日本の総発電量に占める割合        | 0.5 %     | 10 %      | 20 %      |
| ≒CO <sub>2</sub> 削減量 | 300万トン    | 6千万トン     | 1.2億トン    |

※既設火力（設備利用率57%,CO2排出原単位600g/kWh）のうち、一部が水素発電に置き換わったと想定した試算

# 水素供給コスト(発電所前) の試算例

海外再エネ(主に風力電力)による水電解水素製造を想定

研究開発ケース2030年・水電解電力価格3円/kWh・水電解設備利用率50%



# グローバル水素の特徴

水素キャリアである液化水素、MCH、NH<sub>3</sub>にはそれぞれ特徴があり、CO<sub>2</sub>制約の強さ、技術の成熟度、関連インフラの整備状況、安全性、など時間軸および規模によって優位性に違いがある。

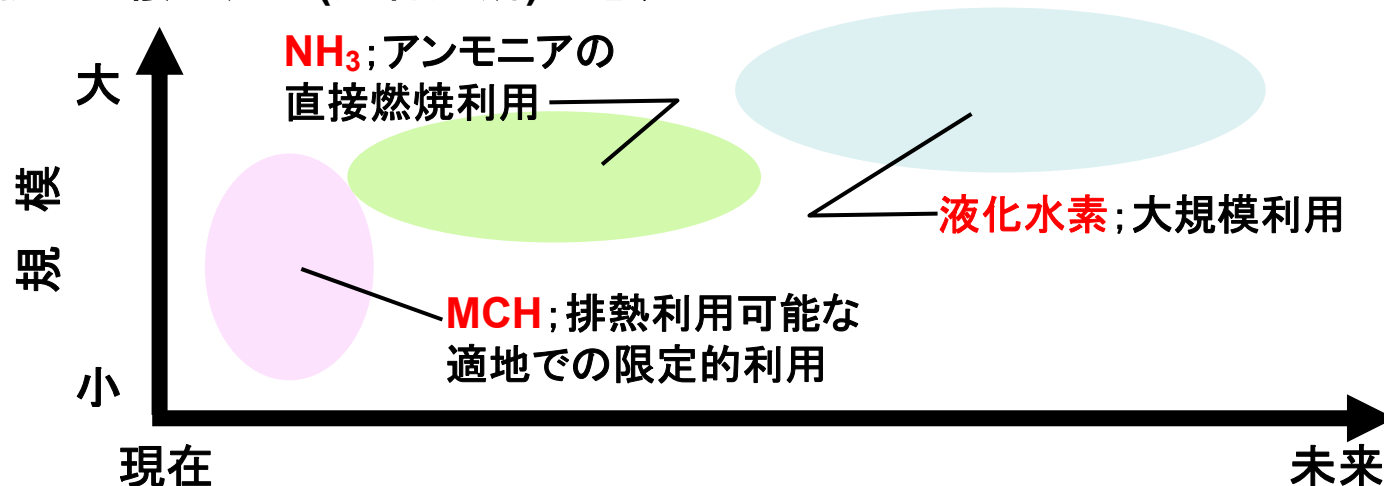
<各キャリアの課題 (研究開発による基本的な要素技術課題以外のもの)>

液化水素: 液化に必要な電力の低炭素化／地域に適合するプロセス設計  
サプライチェーン全体の設計／ポテンシャル調査・検討  
冷熱の活用検討(空気深冷分離、等)

MCH: 脱炭素反応に必要な熱供給を低環境負荷で行うプロセス・システムの設計  
水素化反応の発熱の活用検討／ポテンシャル調査・検討

NH<sub>3</sub>: 安全性確保と適正規模の設定／直接燃焼法の適用と利用価値の検討

<現時点での棲み分け(適材適所)の想定>

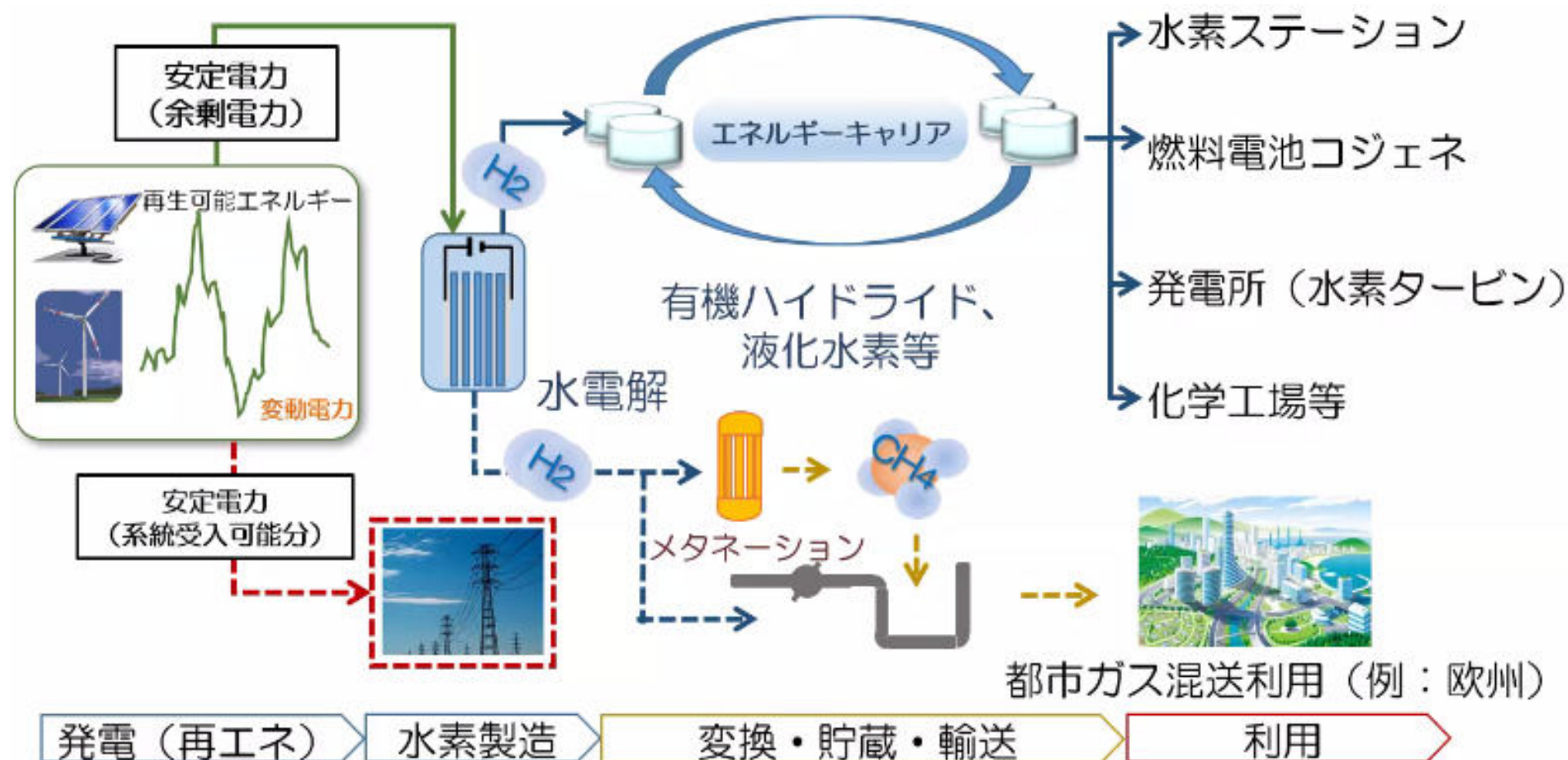


# 余剰電力のエネルギー貯蔵

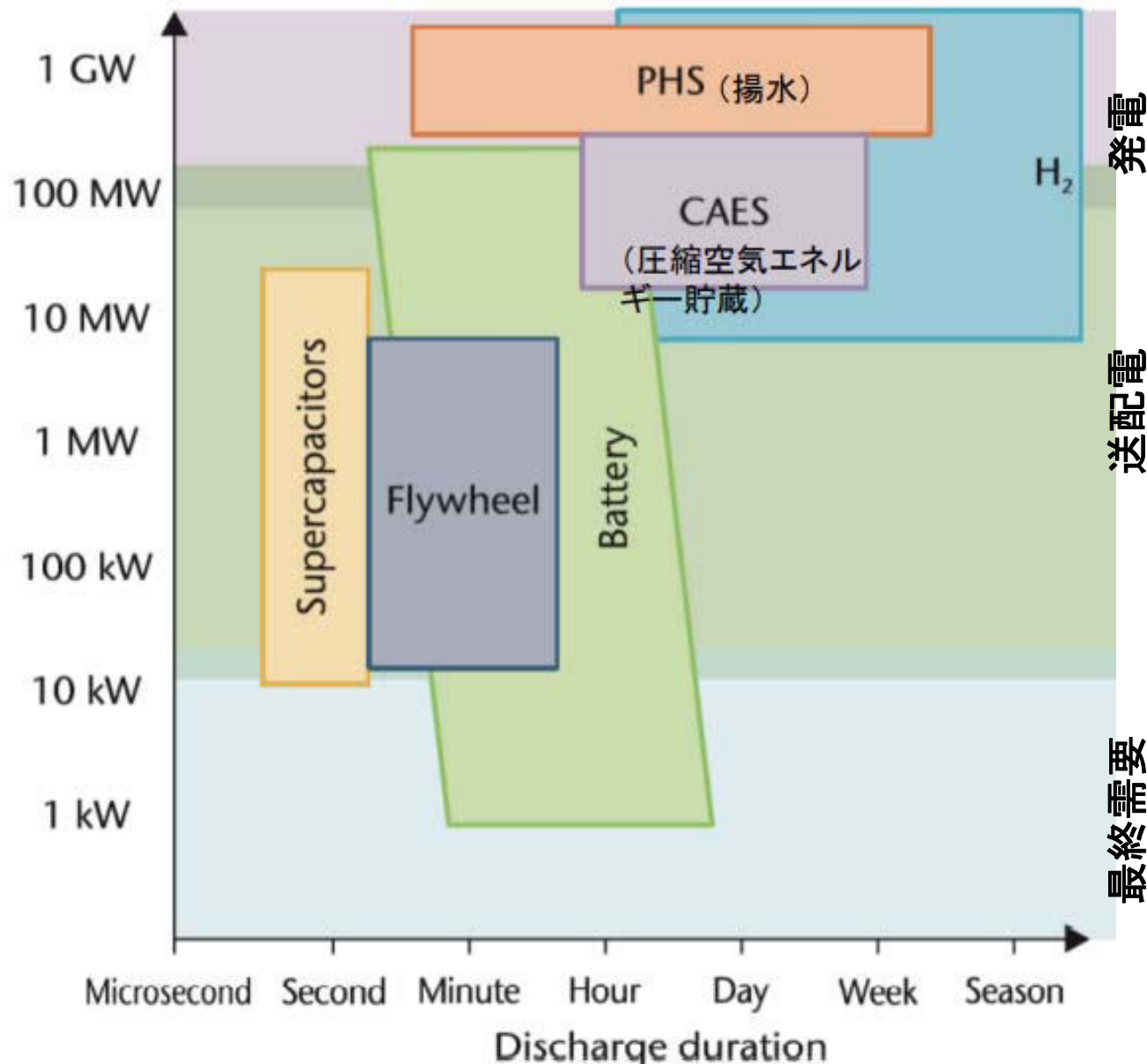
## <ローカル水素>

### (Power to Gas)

- ・再エネからの電力を水素に転換し利用するシステム(P2G)を開発し、再エネ拡大時の課題解決と、水素の最大限の活用を図る。



# 様々なエネルギー貯蔵形態の特徴



技術、エネルギー種によって、エネルギー貯蔵における得意領域は異なる。



適材適所の蓄エネルギーの選択

# Power to Gas プロジェクト の例 (NEDO)

- ・再エネの大量導入は調整力確保とともに余剰の活用策が必要.
- ・「季節を超える長周期の変動」に対しては有効水素利用のポテンシャルは大.

└→ 地域の再エネを最大限活用

福島県浪江町(FH2R)

10MW アルカリ水電解



実施者：東芝エネルギーシステムズ株式会社、東北電力株式会社、  
東北電力ネットワーク株式会社、岩谷産業株式会社、  
旭化成株式会社

山梨県甲府市米倉山

1.5MW PEM水電解



実施者：山梨県企業局、東レ株式会社、  
東京電力ホールディングス株式会社、株式会社東光高岳

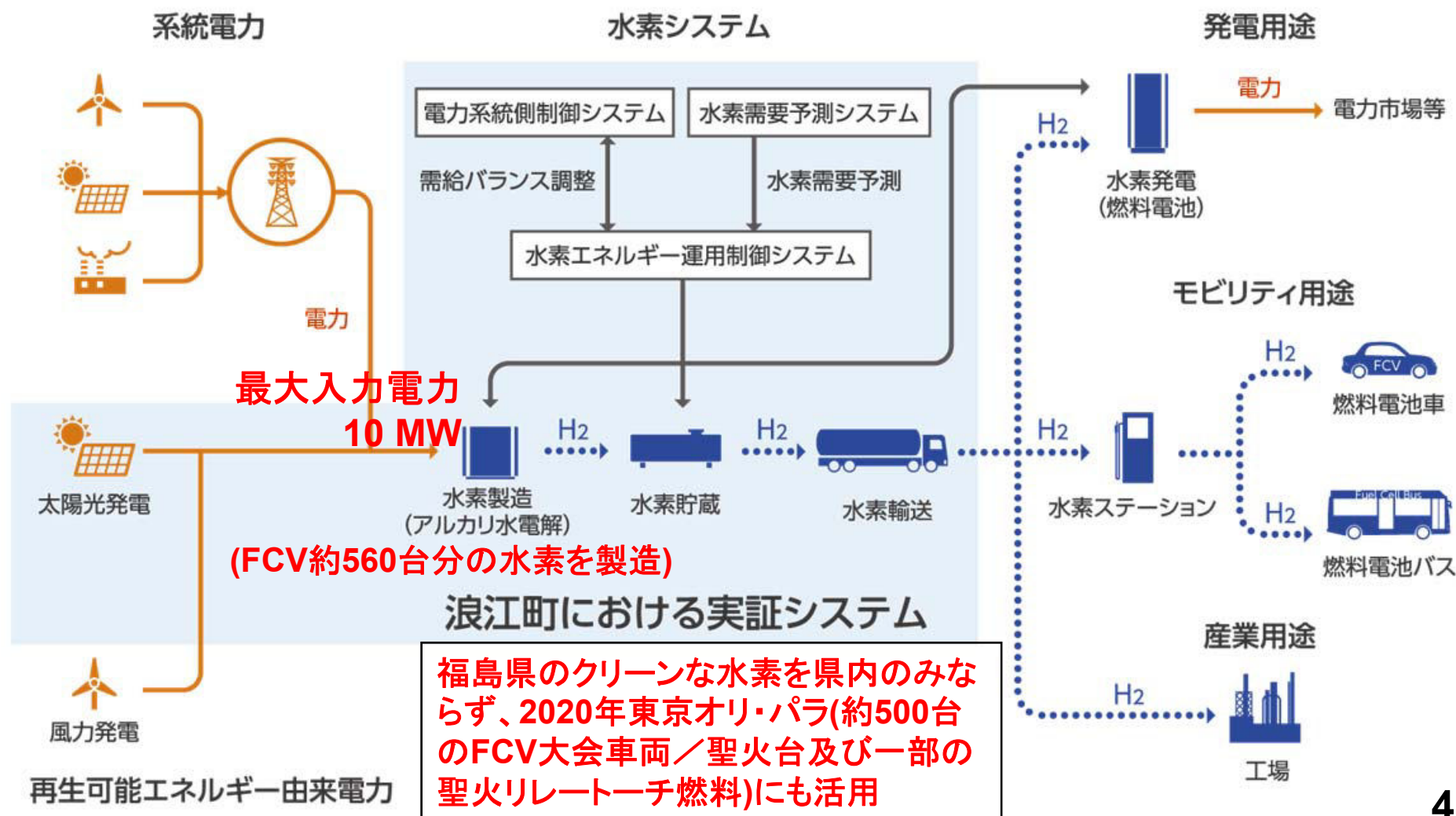
# 福島水素エネルギー研究フィールド「FH2R」の計画内容

- ・2020年に水素製造・輸送プロジェクトの実証運用を開始
- ・NEDO事業(実施者:東芝エネルギーシステムズ, 東北電力, 岩谷産業)

製造・貯蔵

輸送

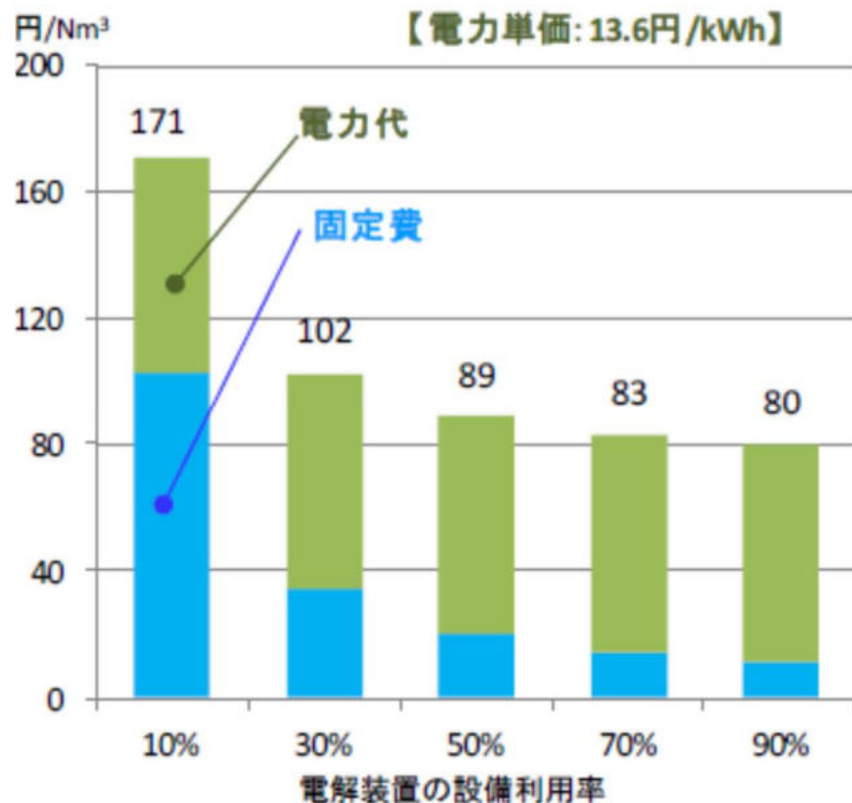
供給・利活用



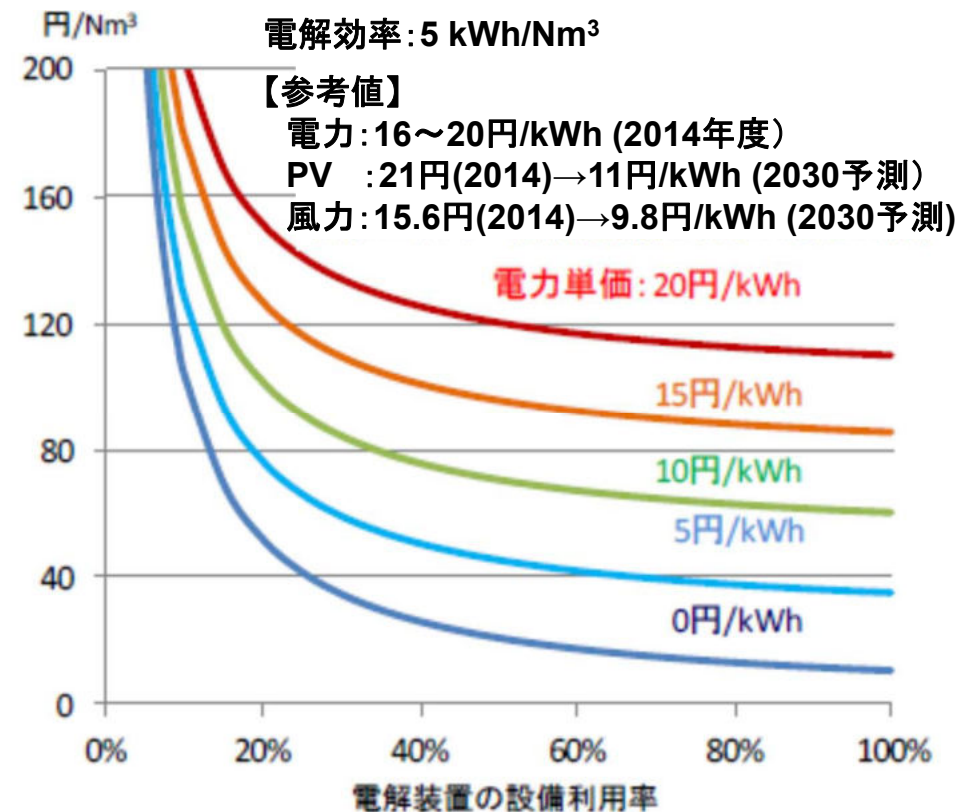
# 再エネ利用ローカル水素の課題

- ・現在1Nm<sup>3</sup>の水素製造に最低でも 5 kWh の電力投入が必要であり、電力代だけで100円/Nm<sup>3</sup>を超える可能性もある。
- ・投入電力単価の低減、電解水素製造原単位の低減、電解設備費の削減の全てが必要。また、電解装置の設備利用率向上も課題。

<電解設備利用率による水素コスト内訳の変化>



<水素コストに対する電力単価と電解設備利用率の影響>



変動再エネ余剰電力の利用で電力代は安くなるが、設備利用率が低下して水電解設備の寄与が増し、結果的に水素製造コストは増大。**グローバル水素**では、海外の豊富な再エネ電力を利用し、高い設備利用率で運転できるが、国内の**ローカル水素**製造では余剰電力利用のため設備利用率は低くなる。49

# CNまでの水素需要先拡大の道筋

- ・現在、需要はFCVやFCバスなどの輸送部門と、原油の脱硫用途などの産業部門などに水素の直接利用は限定され、いずれもグレー水素が活用されている。
- ・今後は、FCTラックなどの商用車、水素船などが順次市場投入され、2030年頃に国際水素SC商用化のタイミングで、発電部門(タービン混焼、専焼)などでの地域の実装を見込む。
- ・また、技術的課題の解決に加え、SCの大型化等を通じた水素供給コスト削減、インフラ整備に伴い、鉄鋼や化学、航空等の脱炭素化が困難な分野でも水素利用が拡大。
- ・なお、各地に分散する家庭・業務部門も含む熱需要については、既存ガス管を含む供給インフラの脱炭素化や、水電解装置と再エネ導入の更なる進展、純水素燃料電池の導入等により段階的に脱炭素化。

|                    | 短期(~2025年頃)                                 | 中期(~2030年頃)          | 長期(~2050年)            |
|--------------------|---------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 部門・目標量             | 約200万トン                                     | 最大300万トン             | 2000万トン程度             |
| 輸送部門               | FCV、FCバスに加え、FCTラック等への拡大                     | 船舶(FC船等)等の市場投入       | 航空機等への水素等(合成燃料等)の利用   |
| 発電部門               | 定置用FC、小型タービンを中心に地域的に展開                      | 大規模水素発電GTの商用化(SCと一体) | 電力の調整力等として機能          |
| 産業部門<br>(工業用原料)    | 原油の脱硫工程で利用する水素のクリーン化、製鉄、化学分野の製造プロセス実証等の実施   |                      | 水素還元製鉄、グリーンケミカル等      |
| 産業・業務・家庭<br>部門の熱需要 | 水電解装置の導入や、既存ガス管を含む供給インフラの脱炭素化等に伴い化石燃料を代替等する |                      | インフラ整備や水素コスト低減による供給拡大 |

# グリーン成長戦略

2021年6月18日 経済産業省

- 2050年カーボンニュートラル実現のため、エネルギー・産業部門の構造転換、大胆な投資によるイノベーションの創出といった取組を、大きく加速
- そのため、グリーン成長戦略に基づき、予算、税、金融、規制改革・標準化、国際連携など、政策を総動員する。これにより大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった企業の前向きな挑戦を後押しし、産業構造や経済社会の変革を実現

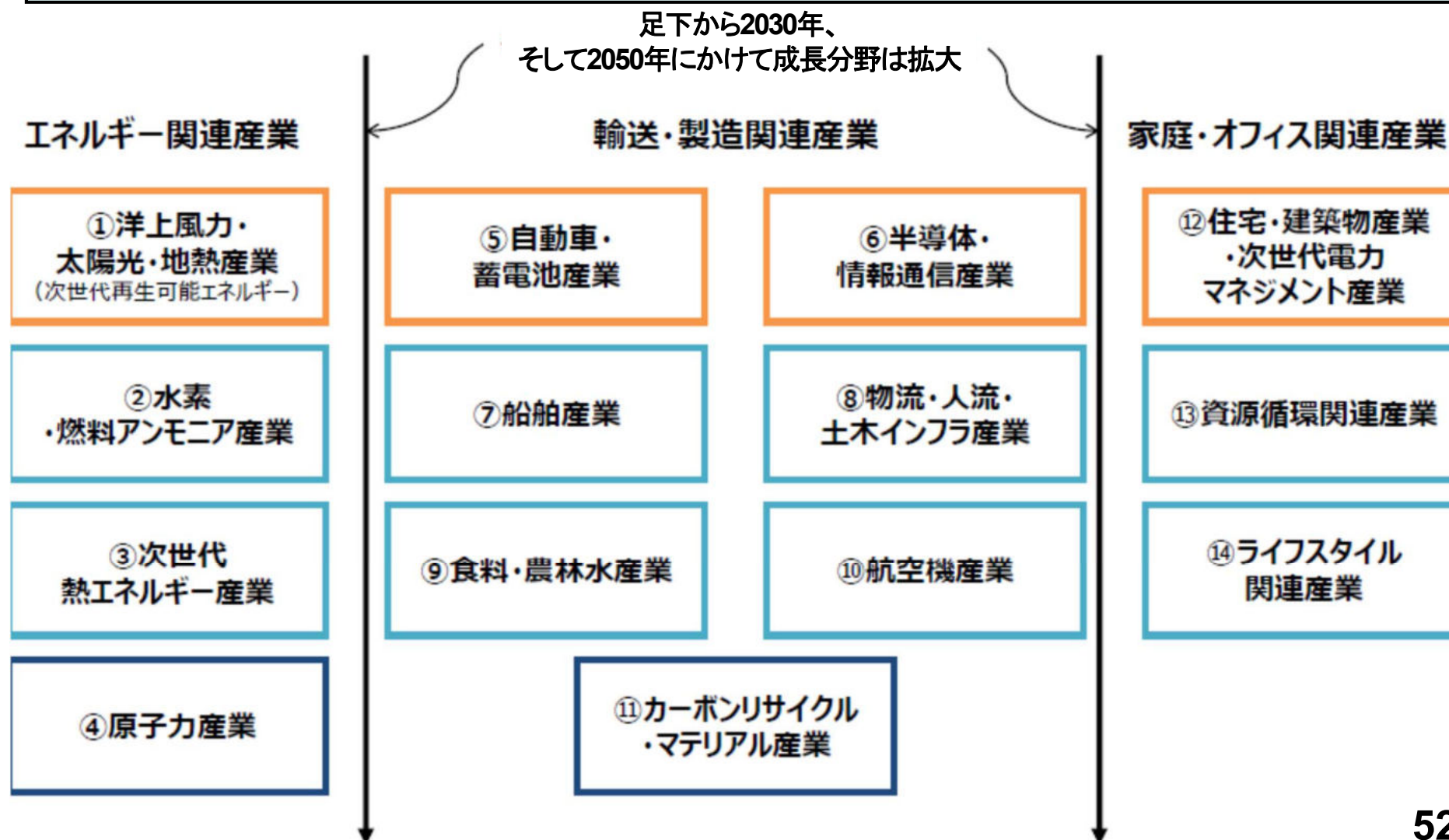
## <分野横断的な主要政策ツール>

- (1) 予算: **NEDOに10年間で2兆円の基金を造成**／民間企業の研究開発・設備投資(15兆円)を誘発
- (2) 税制: 大胆な税制支援を措置／10年間で約1.7兆円の**民間投資創出効果**を見込む
- (3) 金融: **グリーンボンド**発行支援体制の整備／成果連動型の**利子補給制度** (3年間で1兆円規模)  
**ソーシャルボンド**を円滑に発行できる環境整備／**ESG金融**の取組を促進
- (4) 規制改革・標準化: 規制強化・規制緩和・国際標準化／経済的手法(**カーボンプライシング**等)に取り組む
- (5) 国際連携: **J-Bridge**の活用、海外実証・海外インフラPJの組成支援、貿易保険の機能強化
- (6) 大学における取組の推進等: **CNに資する学位プログラム**の設定／**STEAM教育**の充実
- (7) 2025年日本国際博覧会: 革新的イノベーション**技術実証の場**／社会実装に役立つ形で発信
- (8) グリーン成長に関する若手WG: **政策提言の実現**に向けて議論を継続

# 14重要産業分野の実行計画

(革新的環境イノベーションの社会実装)

産業競争力の基盤となる重点分野ごとに、2050年CN目標につながる、意欲的な2030年目標(性能・導入量・価格・CO<sub>2</sub>削減率等)を設定し、民のイノベーションを、官が規制及び制度面で支援



# グリーンイノベーション基金

2050年CN実現に向け、NEDOに2兆円の基金を 造成し、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続支援

|                       |                                        |             |
|-----------------------|----------------------------------------|-------------|
| <グリーン電力の普及促進分野 (WG1)> | ①洋上風力発電の低コスト化                          | (上限1,195億円) |
|                       | ②次世代型太陽電池の開発                           | (498億円)     |
| <エネルギー構造転換分野 (WG2)>   | ③大規模水素サプライチェーンの構築                      | (3,000億円)   |
|                       | ④再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造              | (700億円)     |
|                       | ⑤製鉄プロセスにおける水素活用                        | (1,935億円)   |
|                       | ⑥燃料アンモニアサプライチェーンの構築                    | (688億円)     |
|                       | ⑦CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発                | (1,262億円)   |
|                       | ⑧CO2等を用いた燃料製造技術開発                      | (調整中)       |
|                       | ⑨CO2を用いたコンクリート等製造技術開発                  | (567.8億円)   |
|                       | ⑩CO2の分離・回収等技術開発                        | (調整中)       |
|                       | ⑪廃棄物処理の CO2削減技術開発                      | (調整中)       |
|                       | ⑫次世代蓄電池・次世代モータの開発                      | (1,510億円)   |
| <産業構造転換分野 (WG3)>      | ⑬電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発 |             |
|                       | ⑭スマートモビリティ社会の構築                        | (調整中)       |
|                       | ⑮次世代デジタルインフラの構築                        | (1,410億円)   |
|                       | ⑯次世代航空機の開発                             | (210.8億円)   |
|                       | ⑰次世代船舶の開発                              | (350億円)     |
|                       | ⑱食料・農林水産業のCO2削減・吸収技術の開発                | (調整中)       |

# 大規模水素サプライチェーンの構築

2021年8月26日公表

<https://www.nedo.go.jp/content/100936315.pdf>

国際水素サプライチェーンの構築を通じて、水素供給コストを低減し、供給される水素を水素発電等で大規模に利活用することで、目指すべき社会実装モデルを構築する

## 【研究開発項目 1】国際水素サプライチェーン技術の確立及び液化水素関連機器の評価基盤の整備

| 研究開発内容                                 | テーマ名                           | 提案者                                     |
|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 研究開発内容①<br>水素輸送技術等の大型化・高効率化<br>技術開発・実証 | MCHサプライチェーン実証                  | ENEOS 株式会社                              |
|                                        | 液化水素サプライチェーンの商用化実証             | 日本水素エネルギー株式会社<br>ENEOS 株式会社<br>岩谷産業株式会社 |
| 研究開発内容②<br>液化水素関連材料評価基盤の整備             | 液化水素関連機器の研究開発を支える材料<br>評価基盤の整備 | 国立研究開発法人物質・材料研究機構                       |
| 研究開発内容③<br>革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発         | 直接 MCH 電解合成(Direct MCH)技術開発    | ENEOS 株式会社                              |
|                                        | 水素液化機向け大型高効率機器の開発              | 川崎重工業株式会社                               |

## 【研究開発項目 2】水素発電技術(混焼、専焼)を実現するための技術の確立

| 研究開発内容                        | テーマ名                              | 提案者        |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 研究開発内容①<br>水素発電技術(混焼、専焼)の実機実証 | 大規模水素サプライチェーン構築に係る水素<br>混焼発電の技術検証 | 株式会社 JERA  |
|                               | 既設火力発電所を活用した水素混焼/専焼発<br>電実証       | 関西電力株式会社   |
|                               | CO <sub>2</sub> フリー水素発電実証         | ENEOS 株式会社 |

# 再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造

2021年8月26日公表

<https://www.nedo.go.jp/content/100936315.pdf>

水電解装置を用いた水素製造コストを削減し、製造された水素を有効活用し、目指すべき社会実装モデルを構築する

## 【研究開発項目 1】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証

| 研究開発内容                | テーマ名                                          | 提案者                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| ①水電解装置の大型化・モジュール化技術開発 | 大規模アルカリ水電解水素製造システムの開発およびグリーンケミカルプラントの実証       | 旭化成株式会社<br>日揮ホールディングス株式会社                                     |
| ②優れた新部材の装置への実装技術開発    | カーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換・利用技術開発 | 山梨県企業局<br>東京電力ホールディングス株式会社・東京電力エナジーパートナー株式会社                  |
| ③熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証   |                                               | 東レ株式会社<br>日立造船株式会社<br>シーメンス・エナジー株式会社<br>三浦工業株式会社<br>株式会社加地テック |

## 【研究開発項目 2】水電解装置の性能評価技術の確立

| テーマ名                          | 提案者               |
|-------------------------------|-------------------|
| 再生可能エネルギーシステム環境下での水電解評価技術基盤構築 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-1

<https://www.nedo.go.jp/content/100935300.pdf>

2021年7月28日公表

## (ア)水素製造・利活用ポテンシャル調査：最大2年間(2021年度～2022年度)

### [1]水素利活用トータルシステム調査

水素社会の実現に向け、再生可能エネルギーや副生ガスなどの資源を活用した水素製造と、輸送・貯蔵・供給を含めた業務・産業分野等での水素利活用を複合的に組み合わせた統合的なエネルギーシステムモデルの実現可能性を国内外において調査する。

### [2]国内における海外水素の大規模受入基地に関する可能性調査

将来の商用規模での水素サプライチェーン構築を見据え、日本国内における海外水素の大規模受入基地の構築に関する可能性を調査する。

| テーマ名                                         | 実施予定先                                                         |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 水素CGSの事業モデル確立に関する調査                          | 川崎重工業(株)、(株)大林組<br>関西電力(株)                                    |
| 関西圏の臨海エリアにおける水素供給モデルに関する調査                   | 丸紅(株)、岩谷産業(株)、<br>デロイト・マツコンサルティング(合)、<br>日鉄パイプライン&エンジニアリング(株) |
| ハイドロエッジを活用したCO2フリー水素・カーボンニュートラルメタン製造供給に関する調査 | 関西電力(株)、岩谷産業(株)                                               |
| 夢洲EXPO'25会場を中心とした水素利活用トータルシステム調査             | (一社)都市環境エネルギー協会、日<br>本環境技研(株)                                 |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-2

| テーマ名                                       | 実施予定先                                                                             |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 道東地域における家畜ふん尿由来水素利活用トータルシステムに関する調査         | (株)ドーコン                                                                           |
| 横浜港におけるカーボンニュートラルポート形成に向けた水素利活用システム検討調査    | 横浜川崎国際港湾(株)、横浜市、横浜港埠頭(株)                                                          |
| 中部圏における海外輸入水素の受入・配送事業に関する実現可能性調査           | 住友商事(株)、千代田化工建設(株)、トヨタ自動車(株)、(株)日本総合研究所、(株)三井住友銀行                                 |
| 東京湾岸エリアにおけるCO2フリー水素供給モデルに関する調査             | ENEOS(株)、ENEOS総研(株)、川崎市                                                           |
| むつ小川原地区と東北エリアにおける水素製造・利活用ポテンシャルに関する調査      | ENEOS(株)、デロイト・トーマツコンサルティング(合)、新むつ小川原(株)                                           |
| 石狩湾新港洋上風力の余剰電力を活用した水素サプライチェーンに関する調査        | (株)グリーンパワーインベストメント、北海道電力(株)、日鉄エンジニアリング(株)、井本商運(株)、エア・ウォーター(株)、京セラコミュニケーションシステム(株) |
| 副生水素等による大規模水素供給・利活用モデル(周南モデル)の構築と定量化に関する調査 | (株)トクヤマ、(株)テクノバ                                                                   |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-3

## (イ)地域モデル構築技術開発：最大5年間(2021年度～2025年度)

水素利活用モデルの自立化を目指し、業務・産業等の様々な分野において水素をコンビナート、工場や港湾等を中心としたエリアで複合的な利活用のみならず、水素の製造・輸送・貯蔵を含めた統合的なエネルギーシステムの技術開発を行います。

| テーマ名                                       | 実施予定先           |
|--------------------------------------------|-----------------|
| 水素エネルギーの地産地消と、工業的熱利用による温室効果ガスの総合的削減効果の実証研究 | 住友ゴム工業(株)       |
| 水素CGSの地域モデル確立に向けた技術開発・研究                   | 川崎重工業(株)、(株)大林組 |
| 分散電源等を用いた福島地域における工場への再生可能エネルギー導入率向上技術の開発   | (株)デンソー         |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-4

2021年12月3日公表

<https://www.nedo.go.jp/content/100940635.pdf>

## (ア)水素製造・利活用ポテンシャル調査：最大2年間(2021年度～2022年度)

| テーマ名                                                | 実施予定先                                                         |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 熱によるエネルギー消費が主体の工場の脱炭素化に向けた水素利活用モデルに関する調査            | (株)神戸製鋼所<br>(株)神戸製鋼エンジニアリング&メンテナンス                            |
| 大分コンビナート水素を活用した停泊船舶への海上給電と港湾荷役機器への水素供給の可能性調査        | (株)三井E&Sマシナリー<br>(株)ユニバーサルエネルギー研究所<br>(株)商船三井<br>大分県<br>大分市   |
| 沖縄エリアの吉の浦マルチガスタービン発電所を核とした地域水素利活用トータルシステムの構築に関する調査  | 沖縄電力(株)<br>エア・ウォーター(株)<br>(株)日本総合研究所                          |
| 名古屋南部工業地帯を中核とした水素利活用による脱炭素化と中部圏の産業発展、活性化ポテンシャルに係る調査 | (株)野村総合研究所                                                    |
| 小名浜港を中心とした地方都市の物流・人流のFC化モデル構築に向けた調査                 | 豊田通商(株)<br>一般社団法人いわきバッテリーバレー推進機構<br>日本環境技研(株)                 |
| 名古屋港を中心とした地域における水素利活用モデル構築に関する調査                    | 豊田通商(株)<br>(株)豊田自動織機<br>東邦瓦斯(株)<br>名古屋四日市国際港湾(株)<br>日本環境技研(株) |
| 水素混合LPガスの供給利用に関する調査                                 | 岩谷産業(株)<br>相馬ガスホールディングス(株)<br>相馬ガス(株)                         |
| 国際拠点港湾新潟港における水素の調達・利活用に関する調査                        | (株)新潟国際貿易ターミナル                                                |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-5

| テーマ名                                                              | 実施予定先                                             |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| グリーン水素の燃料利用高度化に関する調査                                              | 三菱重工業(株)<br>九州電力(株)<br>九電みらいエナジー(株)               |
| 都市部における廃プラスチックガス化リサイクルによる<br>地域低炭素水素モデル構築に向けた調査                   | 岩谷産業(株)<br>豊田通商(株)<br>日揮ホールディングス(株)               |
| 首都圏の湾岸および内陸エリアにおけるCO2フリー水素の需要ポテンシャル<br>および最適供給システム調査              | 東京瓦斯(株)<br>(株)野村総合研究所                             |
| やまなし地産地消型グリーン水素製造・利活用トータルシステムに関する調査                               | 山梨県企業局<br>東京電力エナジーパートナー(株)<br>(株)巴商会<br>山梨県       |
| グリーン水素・人工合成メタンの製造と次世代燃料の海運業界等での<br>利活用に関する調査                      | (株)北拓<br>(株)商船三井<br>西日本プラント工業(株)<br>シーメンス・エナジー(株) |
| 福島県小名浜港の大規模受入基地の基本検討及び<br>利活用トータルシステムの実現可能性検討調査                   | スターリングパートナーズ合同会社<br>常磐共同ガス(株)                     |
| 神戸港カーボンニュートラルポート形成に向けた水素利活用モデル調査                                  | 丸紅(株)<br>神戸市<br>阪神国際港湾(株)<br>岩谷産業(株)              |
| 木質バイオマスと未利用石炭の石炭地下ガス化による<br>CO <sub>2</sub> フリー水素サプライチェーン構築に関する調査 | 太平洋興発(株)<br>室蘭工業大学<br>三笠市<br>大日本コンサルタント(株)        |
| 伏木富山港の脱炭素化に向けた水素利活用トータルシステム調査                                     | 日本エヌ・ユー・エス(株)<br>北酸(株)                            |

# 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発-6

## (イ) 地域モデル構築技術開発：最大5年間(2021年度～2025年度)

| テーマ名                                       | 実施予定先                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 北米LA港における港湾水素モデルの事業化に向けた実証事業               | 豊田通商(株)<br>(株)三井E & Sマシナリー<br>日野自動車(株)<br>Toyota Tsusho America, Inc. (TAI)<br>PACECO CORP.<br>Hino Motors Manufacturing U.S.A., Inc. |
| 水素を熱源とした脱炭素エネルギーネットワークやまなしモデルの技術開発         | 山梨県企業局<br>東京電力エナジーパートナー(株)<br>(株)巴商会<br>UCC上島珈琲(株)<br>東レ(株)                                                                           |
| 水素のオンサイト製造と燃焼利用による工場脱炭素化技術の開発と地域展開原単位の提案   | (株)デンソー<br>トヨタ自動車(株)                                                                                                                  |
| 九州における余剰再エネ等ゼロエミ電源を用いた水素社会地域モデルの構築に向けた技術開発 | 九州電力(株)<br>東芝エネルギーシステムズ(株)                                                                                                            |

# 水素エネルギーシステムの対象

～水素製造・利活用ポテンシャル調査を通じて

## <製造>

海外輸入H<sub>2</sub>  
(ブルーH<sub>2</sub>・グリーンH<sub>2</sub>)  
(余剰)再エネ水電解H<sub>2</sub>  
(グリーンH<sub>2</sub>)

LNG水蒸気改質H<sub>2</sub>  
(グレーH<sub>2</sub>・ブルーH<sub>2</sub>)  
メタン直接改質H<sub>2</sub>  
(ターコイズH<sub>2</sub>)

副生H<sub>2</sub>  
(グレーH<sub>2</sub>・ブルーH<sub>2</sub>)

廃プラガス化(EUP)H<sub>2</sub>  
(グレーH<sub>2</sub>)

石炭地下ガス化H<sub>2</sub>  
(グレーH<sub>2</sub>・ブルーH<sub>2</sub>)

原子力活用  
(グリーンH<sub>2</sub>)

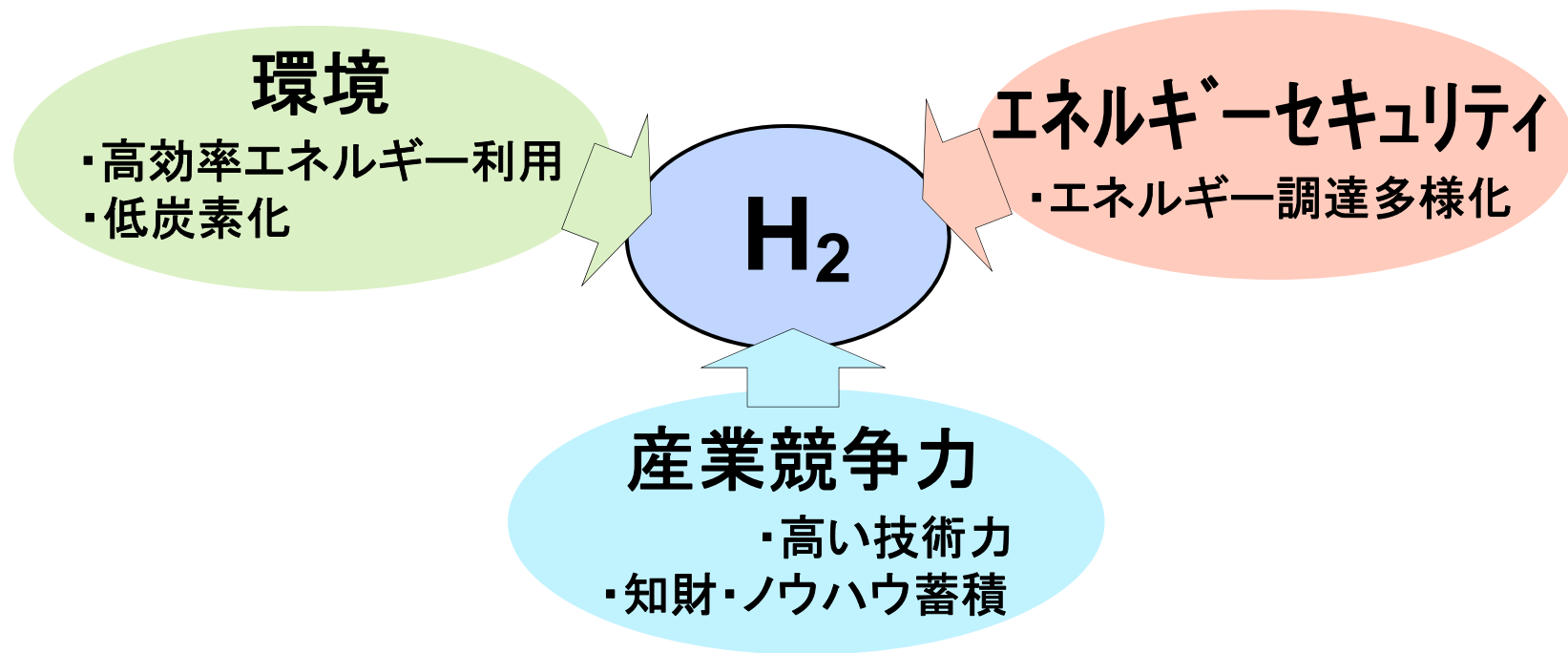
## <貯蔵・輸送>

|                     |          |
|---------------------|----------|
| 圧縮H <sub>2</sub>    | ボンベ・ローリー |
| 液化H <sub>2</sub>    | タンクコンテナ  |
| MCH                 | パイプライン   |
| アンモニア               | ケミカルタンカー |
| メタネーションメタン          |          |
| H <sub>2</sub> 吸蔵合金 |          |
| 合成燃料                |          |

## <利用>

定置用FC  
H<sub>2</sub>ステーション  
FCV・FCモビリティ  
港湾荷役機械(CNP)  
GT発電／火力発電  
GT・エンジンコゼネ  
製鉄所／製油所  
化学工場  
工業炉／ボイラー

# まとめ ～脱炭素社会における水素エネルギーの役割～



- ・エネルギーシステム
  - …… 水素・合成燃料・アンモニアもやはり輸入が主
- ・省エネ強化／非化石エネルギー導入拡大／CCU
  - …… 何れも水素利用が鍵
- ・燃烧利用等のCCU
  - …… カーボンフリー水素利用の利便性を増す役割

# むすび ～水素社会構築に向けた取り組み～

- ・水素利活用の可能性  
..... 輸送・民生・工業プロセス・宇宙・発電・レジリエンス対応
- ・基本戦略・ロードマップ  
..... 技術戦略の焦点は燃料電池・サプライチェーン・水電解
- ・水素供給コスト低減  
..... サプライチェーン構築が急務  
価格競争力のある海外水素(グローバル水素)の活用  
余剰再エネ等を活用した国内水素(ローカル水素)製造基盤の確立
- ・水素キャリアの選定  
..... 液化水素・MCH・アンモニア・メタネーションの棲み分け  
液化水素は大規模利用／MCHは排熱利用可能なサイト  
アンモニアの直接燃焼利用／事業所内でのパイプライン活用
- ・水素関連プロジェクトが活発化  
..... NEDO事業／地域水素利活用・GI基金

## <今後、求められる展開>

- ・水素の環境価値の顕在化と取引の制度化; 水素の普及拡大の一助
- ・国際連携の強化; 各国における環境条件・国情に応じた戦略との連携