



持続性社会構築に対する 水素の貢献可能性

2017年10月19日(木)

(一財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部

sakata@iae.or.jp

<http://www.iae.or.jp>

本資料に含まれる意見、視点は、個人的なものを含みます。
必ずしもエネルギー総合工学研究所や他の組織の意見を代表
するものではありません。

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所のご紹介

基本認識

エネルギーの未来を拓くのは技術である

① 総合工学の視点

② エネルギー技術・環境技術を一体化

系統安定化技術
(DR等)
再生可能エネ

新エネルギー・
エネルギーシステム、
水素

地球環境

IPCCで引用
統合評価モデル

化石燃料

原子力、
安全解析

福島過酷
事故解析

産

③ 産官学の連携

資源エネルギー庁総合
政策課、他

官

学

1. 中長期的なエネルギー技術ビジョンの策定

- ・超長期エネルギービジョン策定
- ・エネルギー技術戦略マップ策定 など

2. 技術の調査・評価、社会的影響検討

- ・GRAPE、TIMESモデルによる将来動向検討

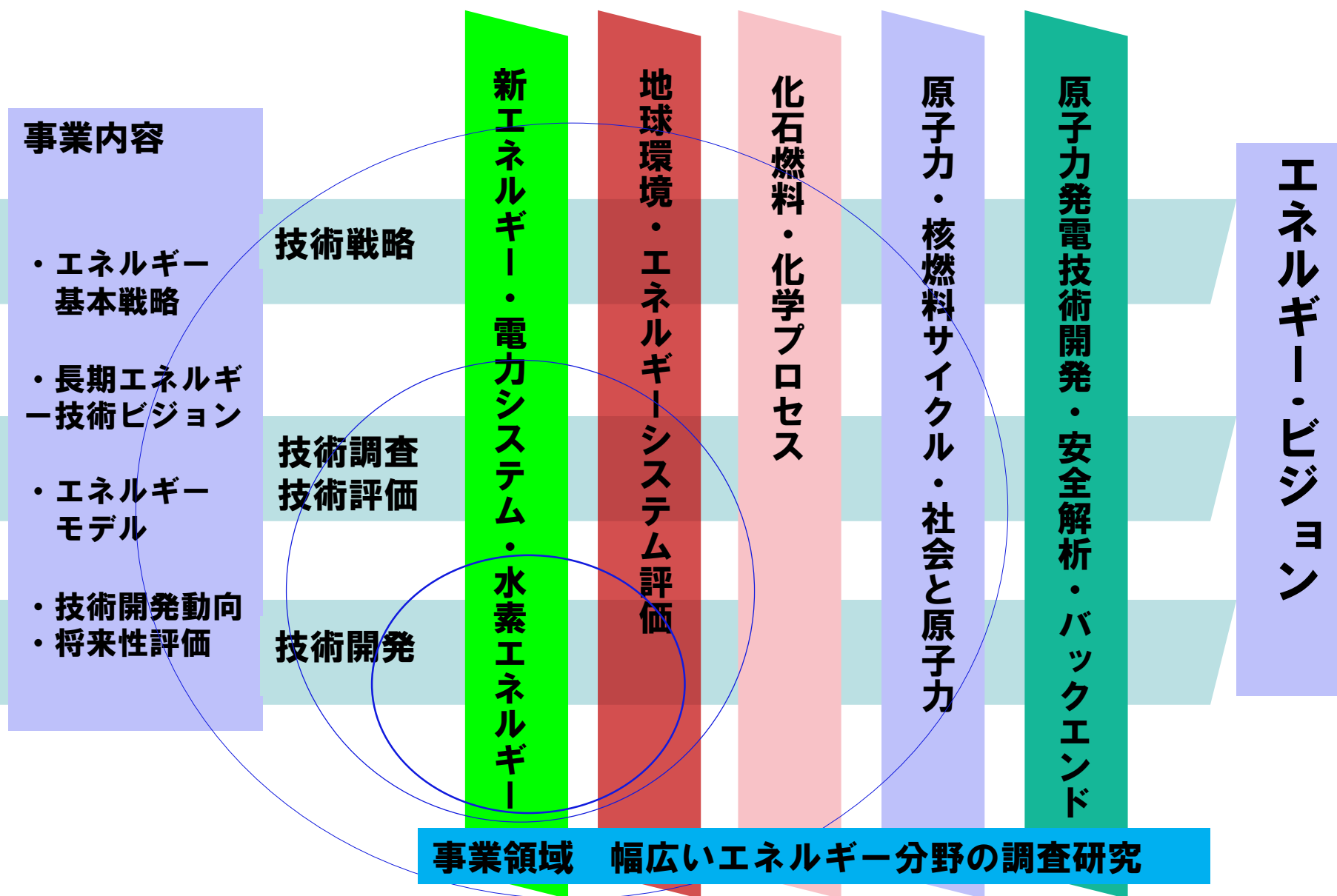
3. 研究開発

大学、国研、企業との共同研究

4. 沿革と研究体制

- ・1978年4月1日(財団法人)
- ・2013年4月1日(一般財団法人に移行)
- ・所員:106人(非常勤嘱託含む)
- ・収入:賛助会員費(約90社)、受託事業補助金等

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所のご紹介



説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果

COP21後の国内温暖化対策について

C O P 2 1 後の国内温暖化対策について

- ・COP21における新たな国際枠組みに関する合意の状況を踏まえ、できるだけ速やかに地球温暖化対策計画を策定する。計画は、地球温暖化対策推進法に基づき、地球温暖化対策推進本部（本部長：内閣総理大臣、副本部長：内閣官房長官、経済産業大臣、環境大臣）が計画案を策定、閣議決定。
- ・合わせて、抜本的な排出削減が見込める革新的技術を特定した「エネルギー・環境イノベーション戦略」、エネルギーミックスを念頭においた「エネルギー革新戦略」をとりまとめる。

1. 約束草案実現に向けた計画策定

地球温暖化対策推進計画 (中環審・産構審合同会議)

- 計画で定める主な内容（温対法8条）
 - ・計画期間
 - ・基本的方向性
 - ・温室効果ガスの排出抑制・吸収量の目標
 - ・目標達成のための対策・施策
 - ・特に排出量の多い事業者に期待される事項等

2. 革新的技術戦略の策定

エネルギー・環境イノベーション戦略 (総合科学技術・イノベーション会議)

- 戦略で定める主な内容
 - ・有望分野・技術の特定
 - ・期待CO2削減量、開発・運用コストの試算
 - ・技術開発の工程・方針
 - ・責任省庁の明確化等

3. エネルギーミックス実現に向けた戦略策定

エネルギー革新戦略 (総合エネルギー資源戦略調査会)

- 戦略で定める主な内容
 - ・徹底した省エネの実現のための方策
 - ・再生可能エネルギーの最大限導入
 - ・石炭火力の高効率化等

2016年春 目途 ◎とりまとめ・閣議決定 ◎とりまとめ

◎とりまとめ

経済産業省、20151218を一部改訂

国内対応-1 地球温暖化対策推進計画 (中環審・産構審合同会議)

地球温暖化対策の推進に関する基本的方向

○中期目標(2030年度削減目標)の達成に向けた取組

国内の排出削減・吸収量の確保により、**2030年度において、2013年度比26.0%減(2005年度比25.4%減)**の水準にすると**の中期目標の達成に向けて着実に取り組む。**

○長期的な目標を見据えた戦略的取組

パリ協定を踏まえ、全ての主要国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みのもと、主要排出国がその能力に応じた排出削減に取り組むよう国際社会を主導し、地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、**長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。**このような大幅な排出削減は、**従来の取組の延長では実現が困難**である。したがって、抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限に追求するとともに、国内投資を促し、国際競争力を高め、国民に広く知恵を求めつつ、長期的、戦略的な取組の中で大幅な排出削減を目指し、また、世界全体での削減にも貢献していくこととする。

国内対応-2 エネルギー・環境イノベーション戦略 (内閣府 総合科学技術・イノベーション会議)

- ①これまでの延長線の技術ではなく、非連続的でインパクトの大きい革新的な技術
- ②大規模に導入することが可能で、大きな排出削減ポテンシャルが期待できる技術
- ③実用化まで中長期を要し、且つ産学官の総力を結集すべき技術
- ④日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術

エネルギーシステム 統合技術

○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス (DR) を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。

システムを構成する コア技術

- 次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造
- 革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー
- 多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減

省エネルギー



- 1 革新的
生産プロセス
- 2 超軽量・
耐熱構造材料

- 高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術
➢ 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ
- 材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上
➢ 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用

蓄エネルギー



- 3 次世代
蓄電池
- 4 水素等製造・
貯蔵・利用

- リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池
➢ 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行
- 水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発
➢ CO₂を出さずに水素等製造、水素で発電

創エネルギー



- 5 次世代
太陽光発電
- 6 次世代
地熱発電

- 新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電
➢ 発電効率2倍、基幹電源並みの価格
- 現在は利用困難な新しい地熱資源を利用
➢ 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大

7 CO₂固定化・ 有効利用

- 排ガス等からCO₂を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用
➢ 分離回収エネルギー半減、CO₂削減

分野別革新技術

1. 政府一体とな

- ・総合科学技術
全体を統括し、
一体的に本戦略

2. 新たなシーズ

- ・先導的な研究
一体となって新
発掘し、戦略に
- ・ステージゲート

3. 産業界の研

- ・政府の長期的
産業界と研究開
- ・産学官研究体
切り出して事業
- ・産学官が協力し
整備

4. 国際連携・国

- ・G7関連会合や
携を主導
- ・国際共同研究開
- ・途上国、新興
標準化等の共同

内閣府 総合科学・イノベーション会議、2016. 4. 19

for Cool Earth F
する世界の産学官

国内対応-3 エネルギー革新戦略のおもな検討課題 (総合エネルギー資源調査会)

○FIT電気買取後は原則として市場取引を行う
→ **今常会に提出・審議**

<系統制約解消>

- 計画的な広域系統整備・運用ルール整備
- **地域間連系線の運用ルールの見直し**

<規制改革>

- 環境アセスメント手続き期間の半減
- **規模要件や参考項目の見直しの検討開始**

<研究開発>

- 世界最大の7MW浮体式洋上風力の運転開始(2015年12月)

<各府省庁連携プロジェクト>

- 再エネ閣僚会議(2016年3月)を受け、各府省庁連携プロジェクト推進

→ **電気事業低炭素社会協議会
立ち上げ(販売電力量99%を加へ)**

<後押しする制度整備>

- 省エネ法(発電効率向上)
- 高度化法(販売電力低炭素化)
- 透明性担保措置
- **高度化法・省エネ法の告示改正**
- **国内ガス流通インフラ整備等
(LNG・天然ガス市場の育成・発展)**

フォーラムを設置(2016年1月)
(民間企業約50社参加)

<アクションプランの実施(2016年度中)>

- エネルギー機器の通信規格の整備
- ネガワット取引市場創設(2017年中)のルール策定
- 新たな計量ルールの整理
- **専門検討WG等で検討開始**

地産地消型エネルギーシステムの構築

- 地域資源や熱の有効利用、高度なエネルギーマネジメント等の地域の先導的な取組を支援
- 特に、自治体主導プロジェクトを関係省庁連携で重点支援

(革新戦略による新たな展開)

低炭素電源市場の創出と 再エネ産業の再構築

低炭素電源の低コストな形での導入促進
持続的・安定的な再エネ関連事業実施の確保

2016年度中を目途に、ルール整備のあり方について一定の方向性

IoTを活用した エネルギー産業の革新

- ネガワット取引や蓄電池制御等の新技術を活用した新ビジネスの創出
- 2030年までに米国と同水準(最大需要の6%)のネガワット(節電電力量)活用

2016年度中に、蓄電池の価格低減を加速化する等、新たな支援の仕組みを構築

ポスト2030年に向けた 水素社会戦略の構築

- 水素ステーション、燃料電池自動車、エネファームの更なる普及
- 2030年頃の海外からの水素サプライチェーンの構築

2016年度中に、将来の再エネ由来の水素社会に向けた課題・対応策をとりまとめ

福島新エネ社会構想の実現

(未来の新エネ社会を先取りするモデル創出拠点)

- 風力発電のための重要送電線の整備(新たな事業体設立)

2016年夏頃までに、構想をとりまとめ、直ちに実行

- スマートコミュニティ構築の全県展開

経済産業省、2016.4

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果

- 温暖化ガス排出削減という国際的な重要課題を解決する技術として、水素エネルギーシステムに注目が集まることになった。
- CO₂排出削減に大幅に貢献するためには、**水素の大規模導入**が必要
- 「**FCV用の燃料**」から「**基幹エネルギー**」へと、期待される役割が変容

説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

2. 水素エネルギーシステムに関する基本的な視点(1)

水素によるCO2排出の大幅削減には、エネルギーシフトが必要

1. 国内外で、過去に複数回の水素ブーム(技術開発)があった → その後、沈静化

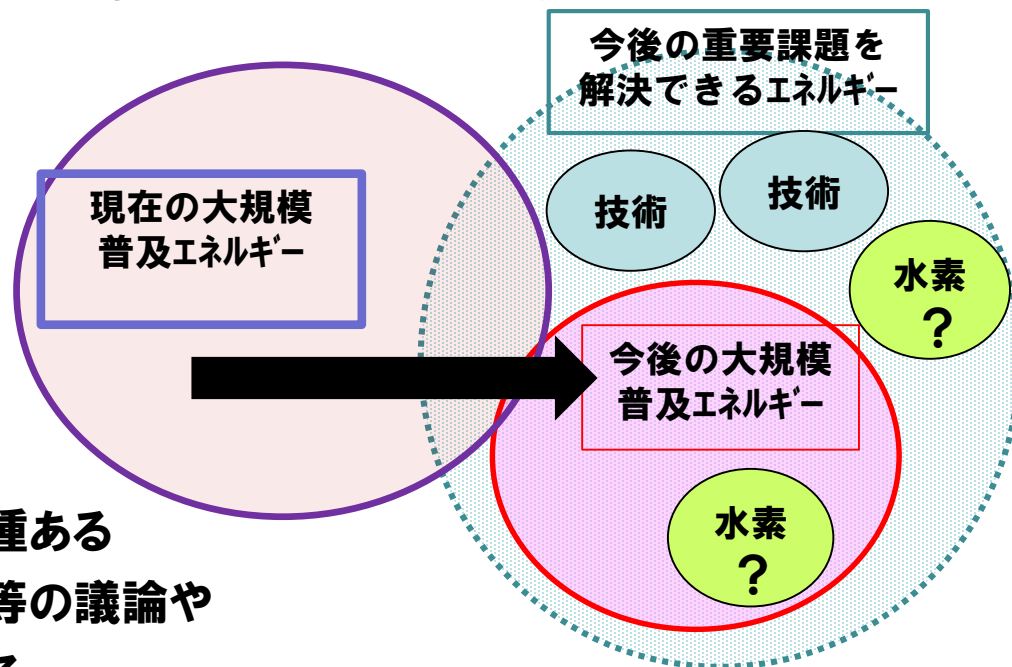
⇒今回はどうか? : 温暖化対応機運、水素・FCの**力量**増大、事業を目指す企業の参入

2. エネルギーの将来予測は、通常外れる。理由は、エネルギーシステムの普及が、**外部環境**に大きく依存するため。(例: 温暖化、資源、競合エネルギー、地政学)

⇒仮説: 普及するエネルギーは、その時点の重要課題(**外部環境**)を解決できるシステムである

その時々的重要課題の例

- ・世界レベル: **社会の持続可能性の確保**
- ・国レベル: エネルギー安全保障
国富増大
国際信義(温暖化抑制)確保
大気汚染
- ・企業レベル: 収益の確保



3. 重要課題を解決するエネルギーは、多種ある

⇒「**水素はCO2非排出なので普及する**」等の議論や

「**水素ありき**」の議論には**脆弱性**がある

重要課題解決のため、エネルギーシフトが生じた例はあるか？

LNG大規模普及の事例 (三菱商事様の資料)

当初対石油で割高ながらもLNG導入が決定された

1960年代
切迫した
重要課題

LNG導入の時代背景

環境

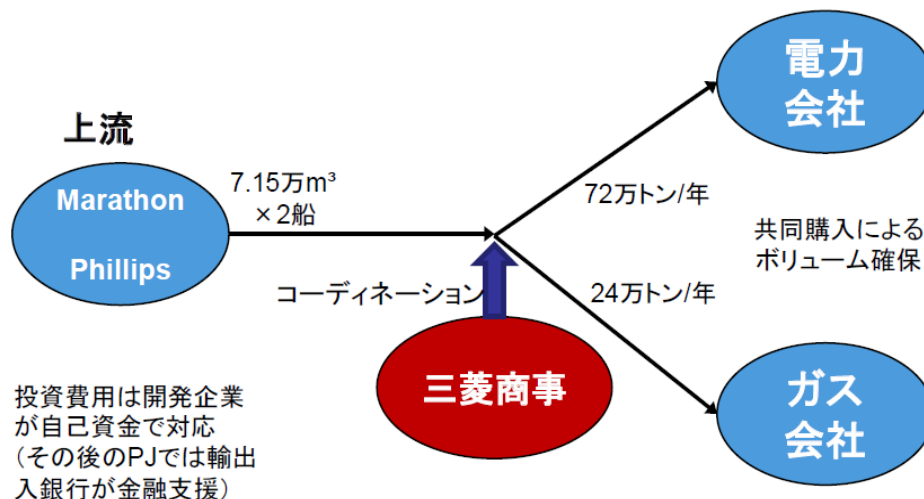
重要課題

エネルギー
セキュリティ

コスト
(価格)

- SOx等の大気汚染公害への対応
 - ガス会社: ガス需要増を背景に高カロリーかつ低環境負荷燃料を模索
 - 電力会社: 公害問題により南横浜火力が不認可
- 中東依存からの脱却
- 「余剰」であったガスの有効活用
- 当初は対石油で割高(熱量ベース)
- 公害防止対策費用の低減

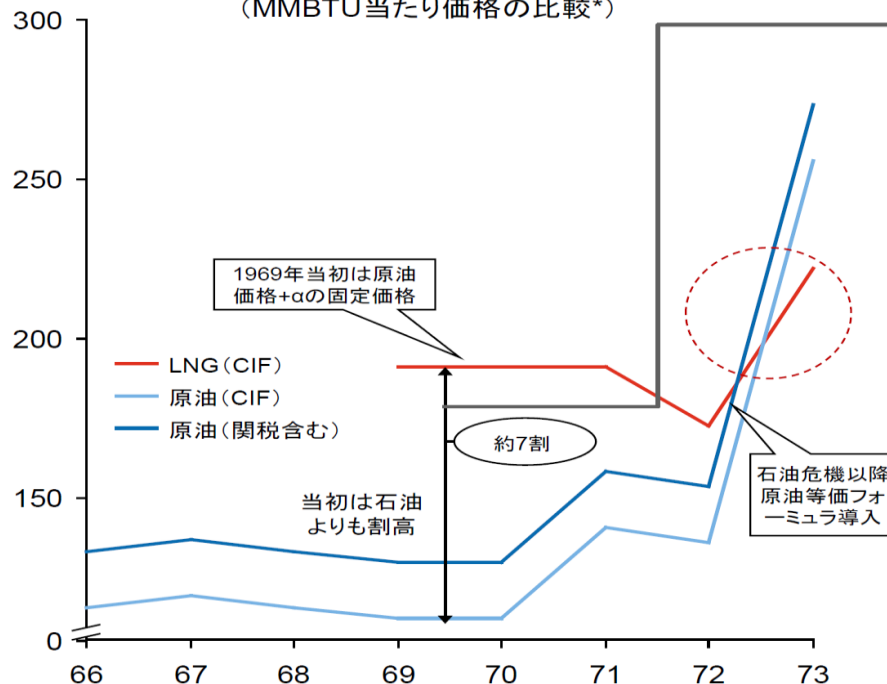
アラスカLNGのケース



重要課題解決のため、エネルギーシフトが生じた例はあるか？

税制優遇・融資支援や石油危機により、LNGは対石油熱量対比で優位に転換し
その後はほぼ均衡して推移

円/MMBTU LNGと原油の輸入価格推移
(MMBTU当たり価格の比較*)



価格格差是正に向けた補助金・政府支援

税制優遇

- 石油税(現:石油・石炭税)について暫定無税化
- 当局への働きかけにより、当初20%を予定したLNG輸入関税を無関税化

補助金

- 熱量変更によるガス器具調整に対する補助金(天然ガス化促進対策補助金)

融資支援

- 第2号のブルネイ案件以降においては、日本輸出入銀行を通じたPJ資金調達・政府保証
- LNG火力発電設備・受入貯蔵設備・気化設備を対象とした日本開発銀行による液化天然ガス発電融資制度(1972年~)
 - 1971年には先行して根岸LNG地下貯蔵タンク建設向け融資を実施
- 上流開発・液化に関する石油公団(現:石油天然ガス金属鉱物資源機構)を通じた融資

* 発電時の効率性の差異については非考慮
出所: 資源エネルギー庁「エネルギー白書2007」・「エネルギー白書2013」、DBJ資料、IEEJ資料、文献調査、内部分析

LNGは、環境問題・エネルギーセキュリティの課題を解決できるとの見通し →

①大規模導入決断・導入実施→②官民の努力→③大規模普及→④エネルギーシフトが生起

2. 水素エネルギーシステムに関する基本的な視点(2)

水素システムの規模により、大きな差異が生じる

システム	サプライチェーン	普及範囲	水素源	主要用途例／大義名分
大規模	海外製造 輸入して国内消費	国	再エネ 褐炭等の未 利用資源	水素発電／CO2削減パリ条約遵守
中規模	国内で製造 国内で消費	地域	再エネ	F C V／再エネ導入促進 企業収益、雇用創出
小規模	域内で製造 域内で消費	小地域 離島等	再エネ	地域電源／安価な電力供給

- ・ システムのサイズにより、CO2フリー水素導入の意義が異なる
- ・ ビジネスモデル・ステークホルダーも、システムサイズに大きく依存する
- ・ 投資額も、システムサイズに大きく依存する

2. 水素エネルギーシステムに関する基本的な視点(3)

長いサプライチェーン→多様な技術→全体をインテグレートする機能が必要

『CO2フリー水素チェーン実現に向けた
アクションプラン研究会』
CO2フリー水素チェーンの絵姿
High-H2 シナリオ(水素利用:最早&最大)

水素CIFコスト(製造事業者の FS)
= 30 円/Nm3 弱 @2020~2025
⇒目標CIFコスト = 30~25 円/Nm3 @2025
= 25~20 円/Nm3 @2050

意見調査での許容水素コスト @2050
・運輸用 = 40 円/Nm3
・運輸以外用 = 30 円/Nm3

【資料7-6】
2014.3.10
IAE

2050年における期待水素需要量
運輸用: 520 億 Nm3(CO2CN)
運輸以外用: 400 億 Nm3(意見調査)
運輸以外用: 1770 億 Nm3(意見調査)

<利用>

<資源(海外)>

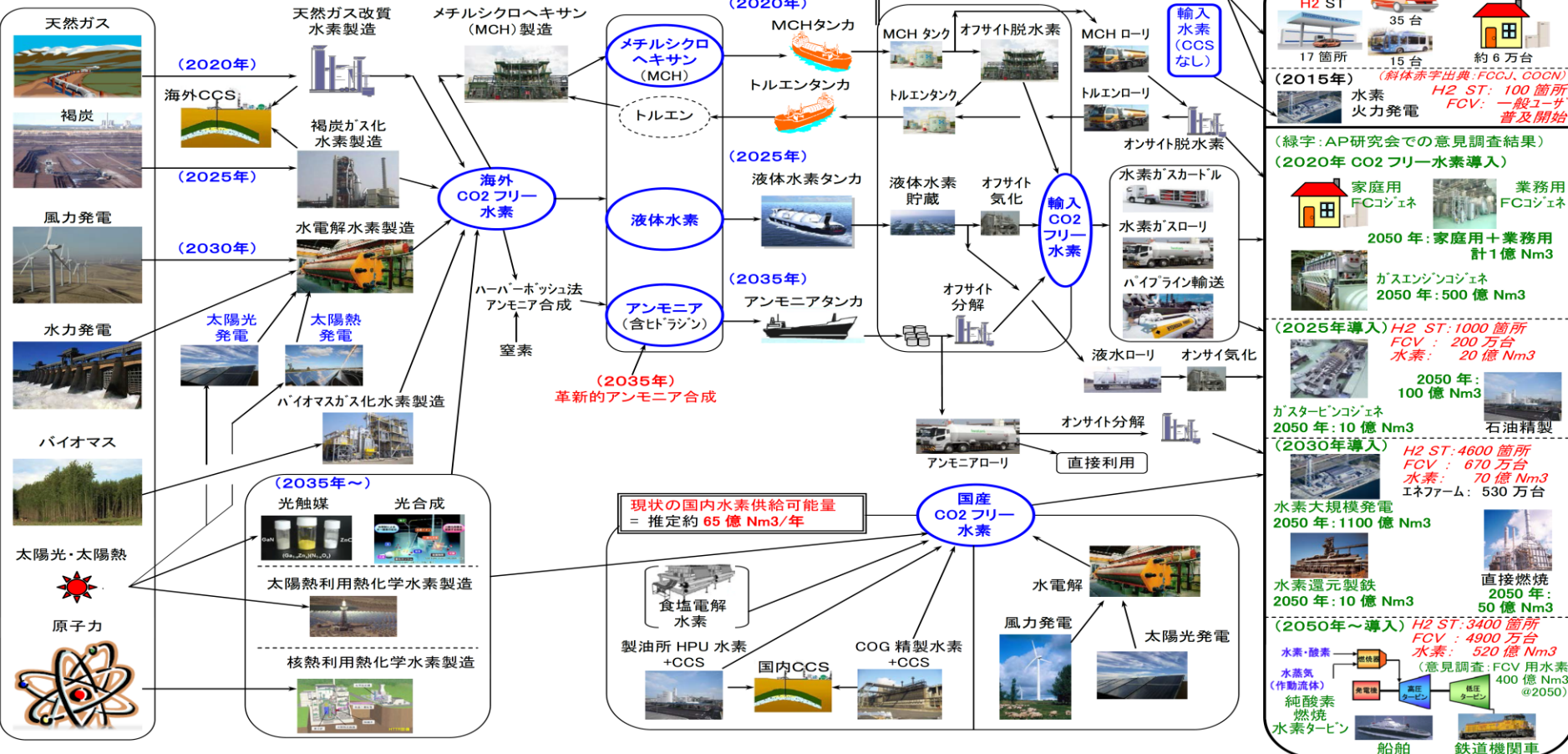
<変換プロセス(海外)>

<エネルギー
キャリア>

<海上輸送>

<貯蔵(国内)>

<輸送・変換>

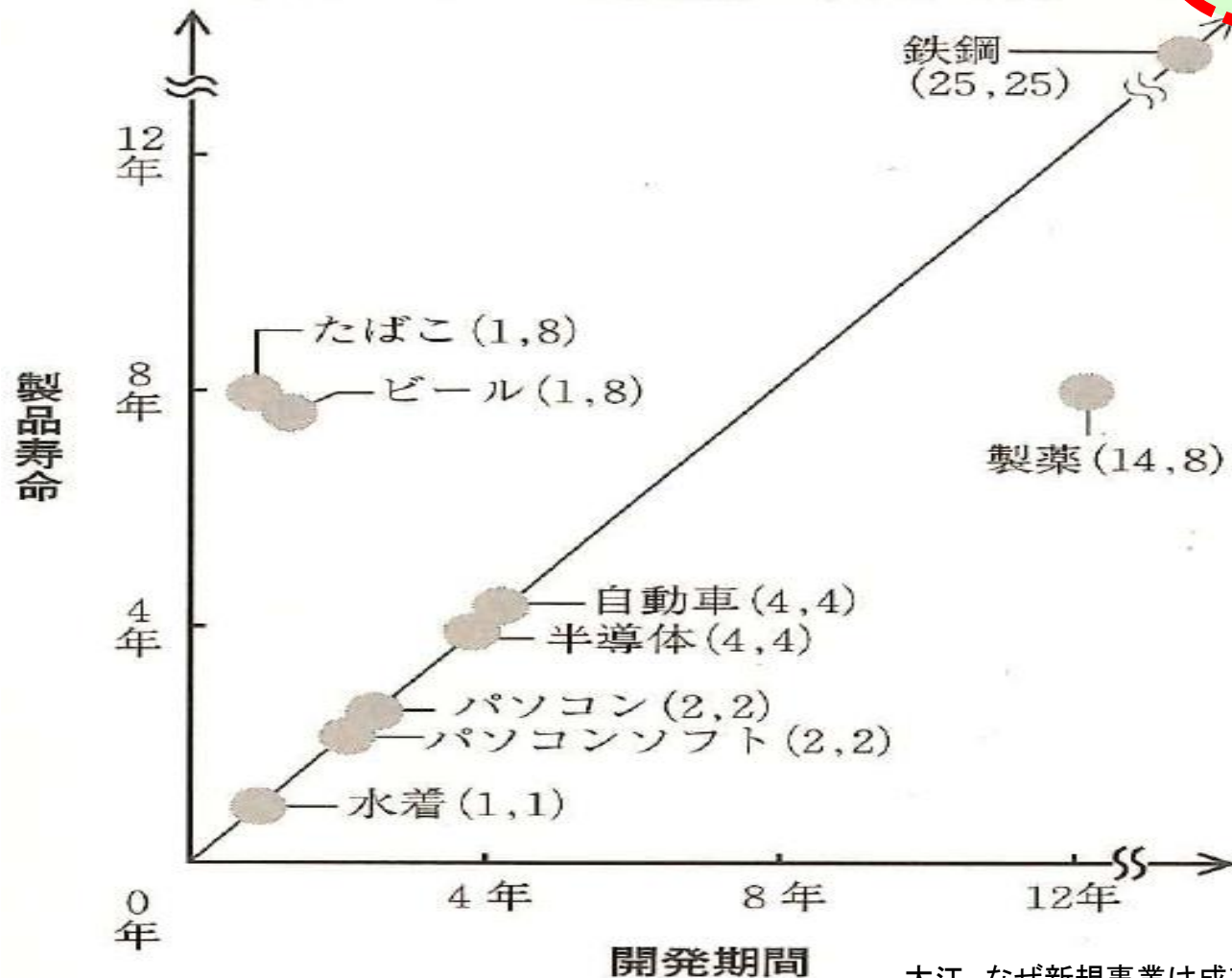


出典:エネルギー総合工研究所

2. 水素エネルギーシステムに関する基本的な視点(4)

長期の開発期間と製品寿命 → 他分野と異なるマネジメントが必要

主な業界の固有時間



大江、なぜ新規事業は成功しないのか、2005

説明内容

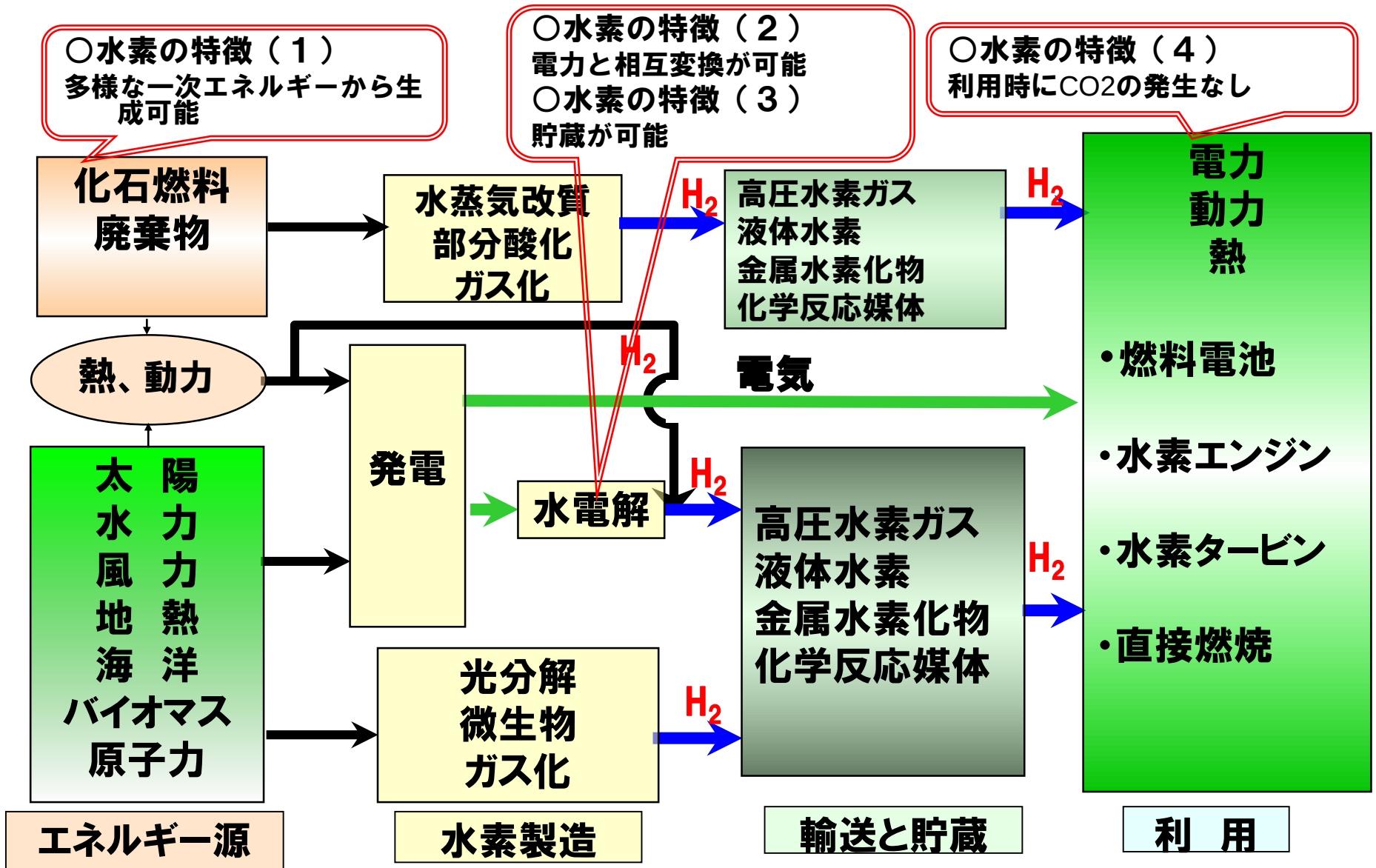
1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

水素の代表的な性質

	水素 H_2	メタン CH_4	メタノール CH_3OH
分子量	2.016	16.04	32.04
沸点/ $^{\circ}C$	-252.89 (para)	-161.5	64.7
熱伝導率/ $Jcm^{-1}s^{-1}K^{-1} \times 10^4$	15.9 ($0^{\circ}C$)	2.94 ($0^{\circ}C$)	20.9 ($20^{\circ}C$)
空気中の燃焼範囲/%	4.1 - 74.2	5 - 15	6 - 50
火炎温度/ $^{\circ}C$ (air, $18^{\circ}C$)	2200	1980	----
着火温度/ $^{\circ}C$	571	632	470

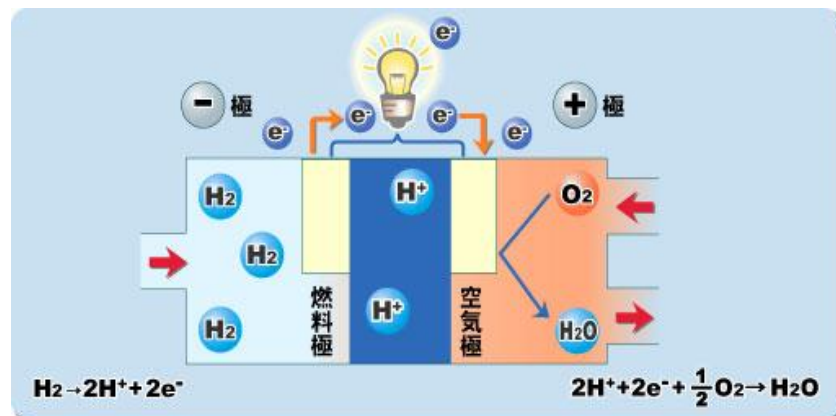
- 沸点が低い ($-252.89^{\circ}C$)
- 通常の温度で気体、極低温 ($-252.89^{\circ}C$ 以下) で液体
- 爆発限界が広い
- 燃焼速度が速い
- 拡散が早い
- 体積当たり燃焼エネルギーは都市ガスより小さい

3. 水素エネルギーシステムの概要と特徴



水素の利用技術の例(エネルギー用途)

(1) 燃料電池の燃料→発電 (中小規模)



燃料電池自動車 (FCV)

24時間おうち発電システム エネファーム

ENE-FARM



定置式燃料電池

(3) 化学用途等 (製油所等)

(2) 燃焼用燃料→火力発電 (大規模)

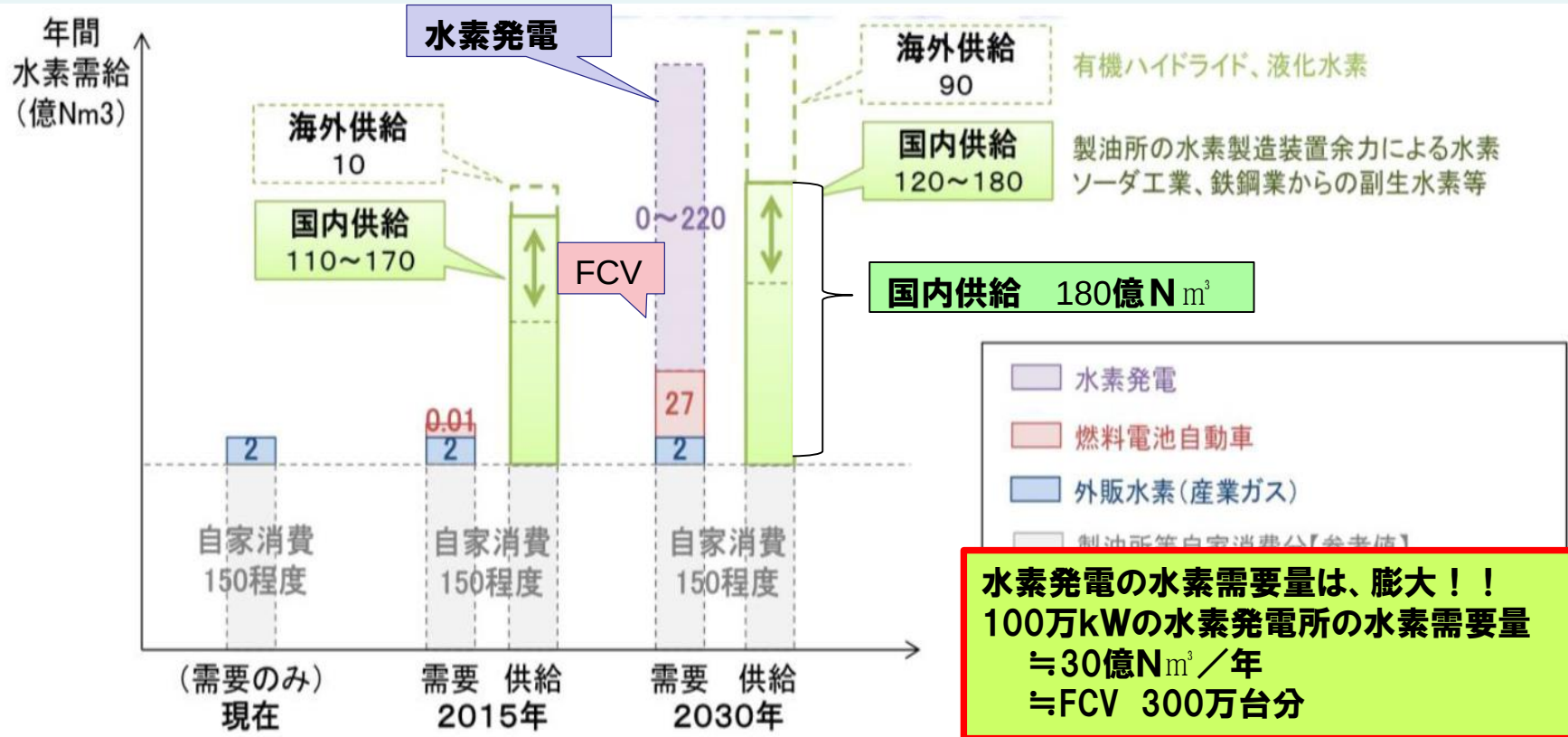


ガスタービン



水素火力発電所

水素利用が水素発電に拡大すると需要量が増大 →海外供給が必要になる



(※1) 外販水素(産業ガス)の主な用途は、半導体生産や金属熱処理等であり、2030 年までの需要量に大きな変化はないと仮定。

(※2) FCV は、2015 年に 1000 台、2030 年に 200 万台普及すると仮定。

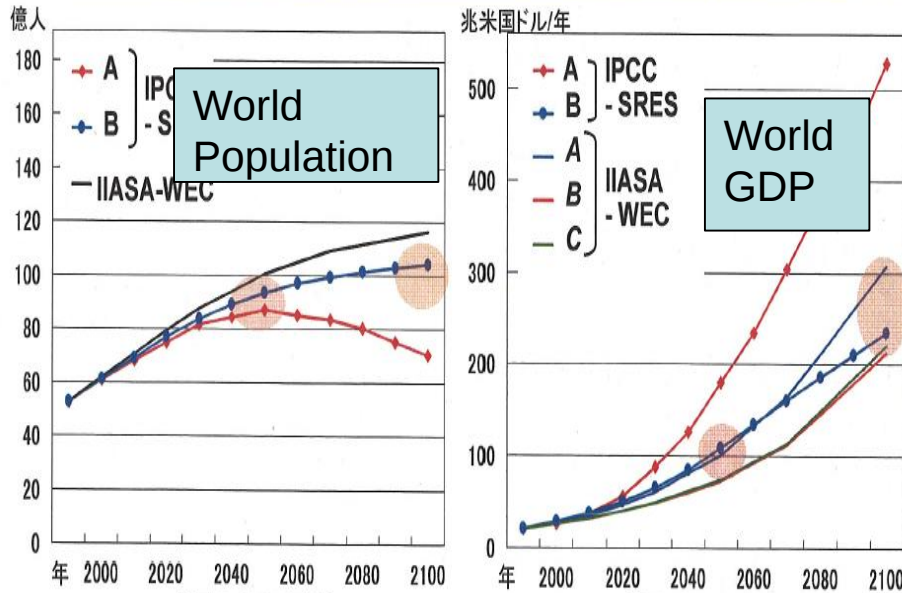
(※3) 水素発電は、水素と LNG の混焼によるものであり、2015 年時点での導入は想定せず、今から 2030 年までに新設・リプレイスされる LNG 火力発電に最大で 50%の水素が混合されると仮定。

説明内容

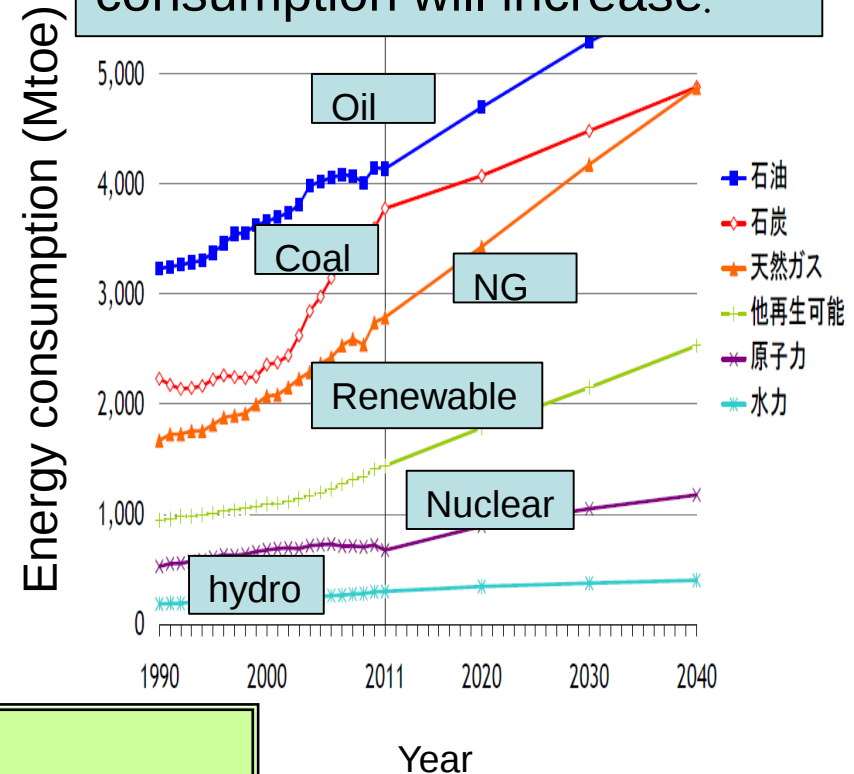
1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

世界のエネルギー消費の増大

World population and GDP are prospected to increase continuously



Accordingly, world energy consumption will increase.



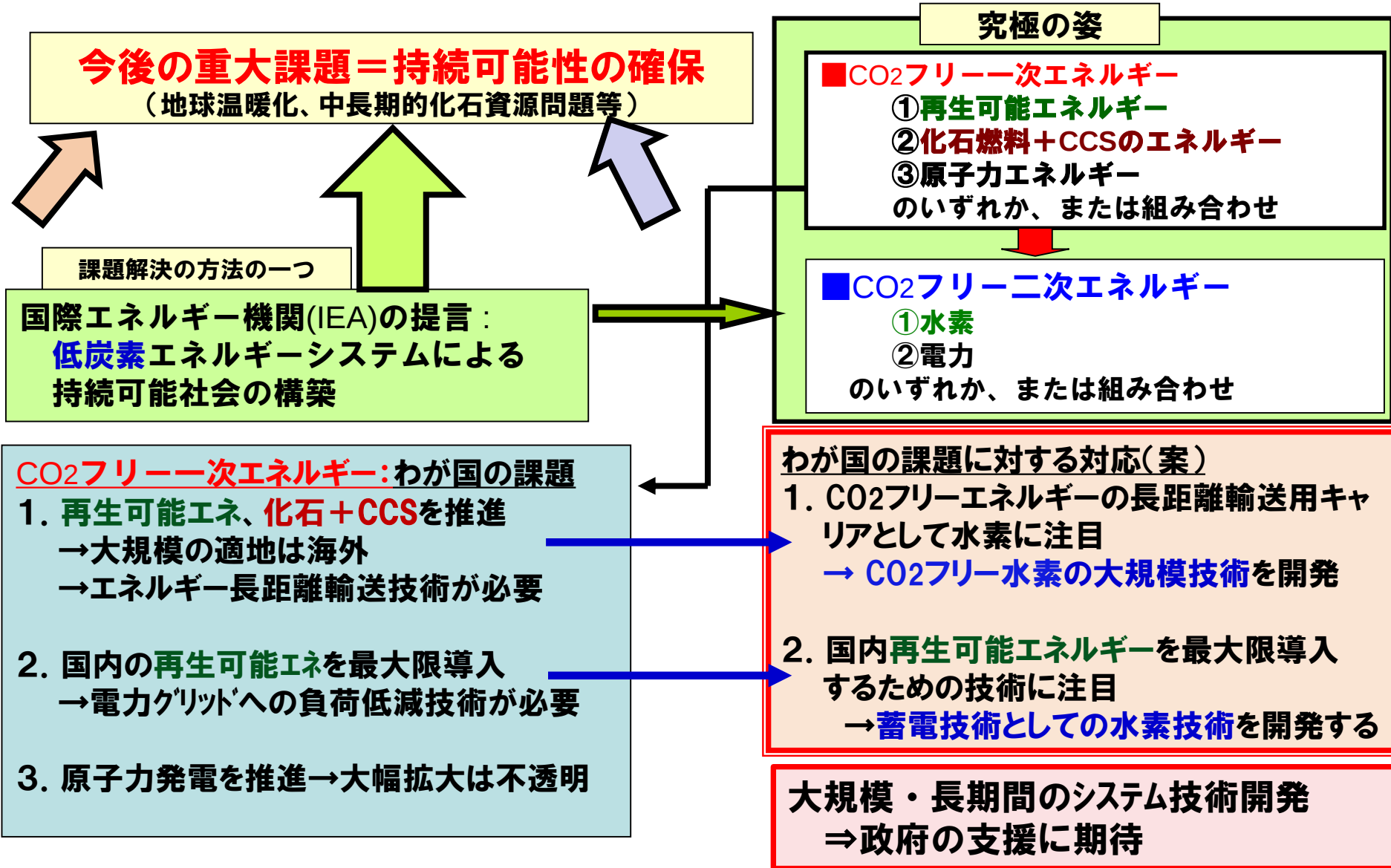
IEEJ, Asia/World Energy Outlook 2013

BAUシナリオ
持続可能性の危機

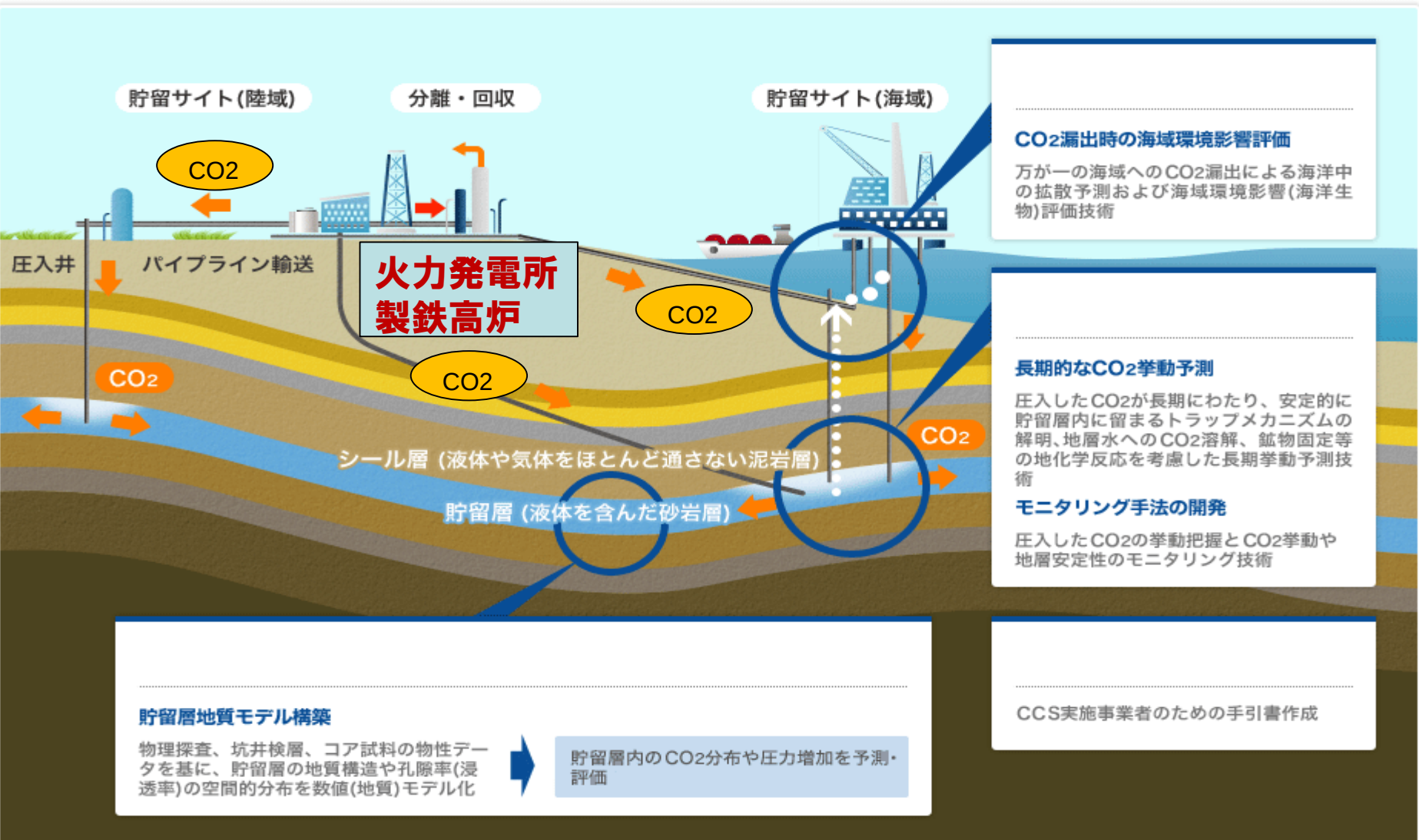
Message of IEA :

- Business-as-Usual scenario: clearly **unsustainable**
- **Low carbon policies** : enhance energy security and economic development

持続可能性の確保 水素技術による課題解決の可能性



CCS: Carbon Capture and Storage (炭酸ガス回収隔離)



C02フリーエネルギーの我が国への大量輸送方法

1、C02フリーエネルギーを利用する場合、場所の選択が重要

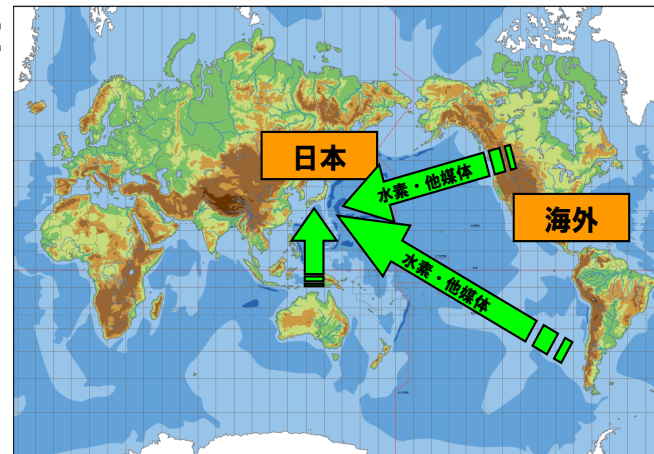
⇒賦存量およびコスト見通しに決定的な影響

C02フリーエネルギー＝再生可能エネルギー
化石＋CCS

例： 再エネ好適サイト：アルゼンチン・パタゴニアの風力発電
豪州の太陽光発電

CCS好適サイト：豪州

中東（石油三次回収EORとの組合せ）



2. 再生可能エネルギーは、通常、電力として得られる

⇒電力の長距離・大量輸送技術は、検討課題

（海に囲まれた我が国固有の問題）

再生可能エネルギー電力の長距離、大量輸送技術の候補

- ・電気エネルギー：送電線による送電
- ・化学エネルギー：水素（または水素キャリア物質）



3. 再生可能エネルギーによる水素に基づく国際的な水素エネルギーシステムの構築の検討例

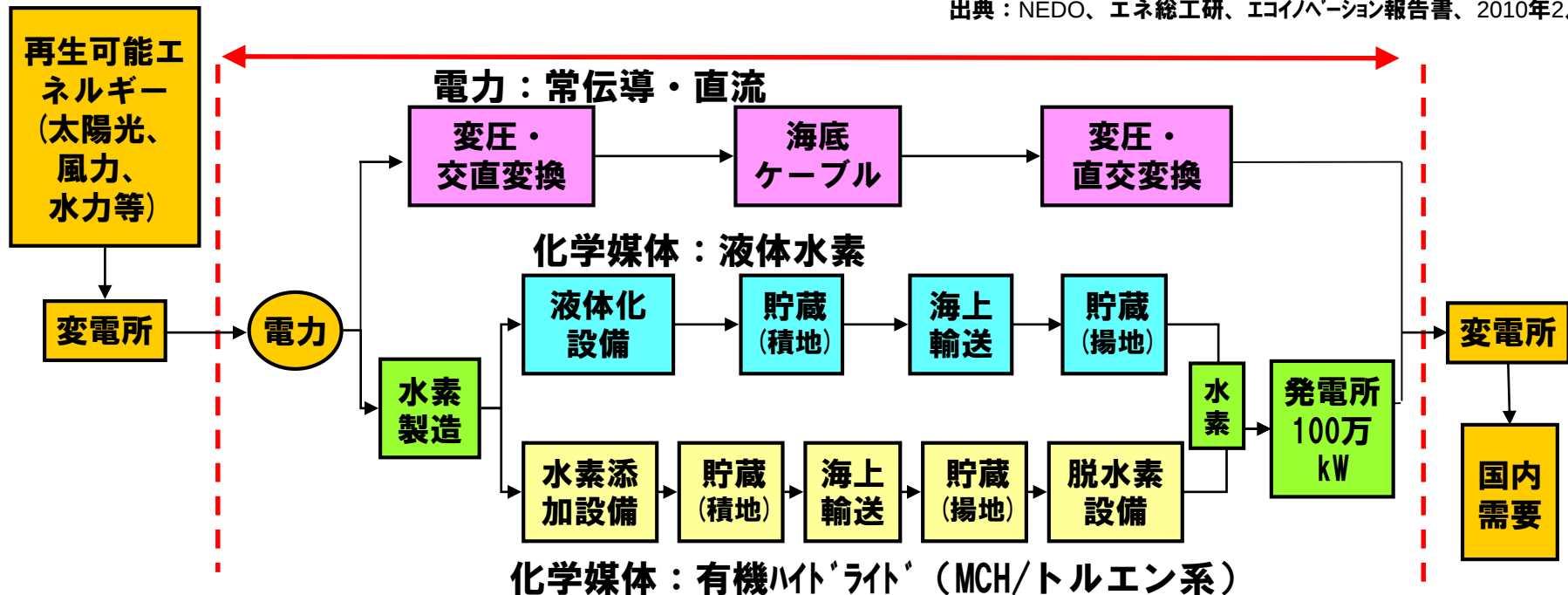
- 水素エネルギー協会 (HESS) 調査団（団長：太田健一郎横浜国立大学教授）のNEDO技術開発機構からの委託による報告（2006）
- 日本のWE-NET（1993-2003）
- EU-CANADAのEURO-QUEBEC

海外再生可能エネルギーの国内への輸送手段の比較ー

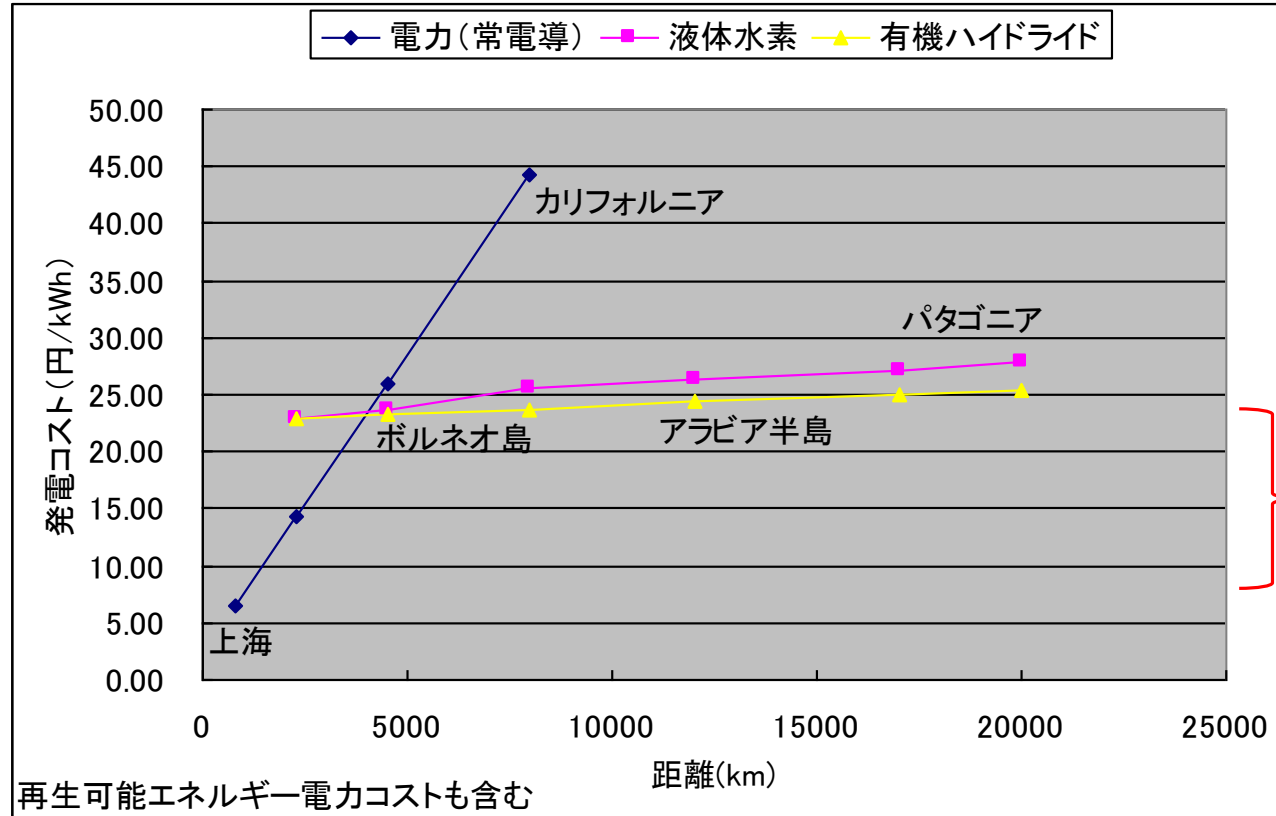
ー電力 vs. 水素ー

- 供給される再生可能エネルギー由来電力は、ある出力、ある稼働率で稼働している発電所で置き換えて評価する。
 - 単位システムあたり100万kWの発電所が稼働率90%で稼働した場合の電力を供給（80億kWh/年）
- 評価する再生可能エネルギーの設備の規模として、国内の送電網に入る直前で、年間の発電電力量約80億kWhを供給できる設備構成
 - 入力側に必要な電力量は、出力側の電力量をそれぞれのキャリアの総合的エネルギー効率で割った値として算出される。

出典：NEDO、エネ総工研、エコイノベーション報告書、2010年2月



再生可能エネ輸送コストの距離依存性（円/kWh）



風力発電（陸上、洋上）
@2030年

出典：NEDO、エネ総工研、エコイノベーション報告書、2010年2月

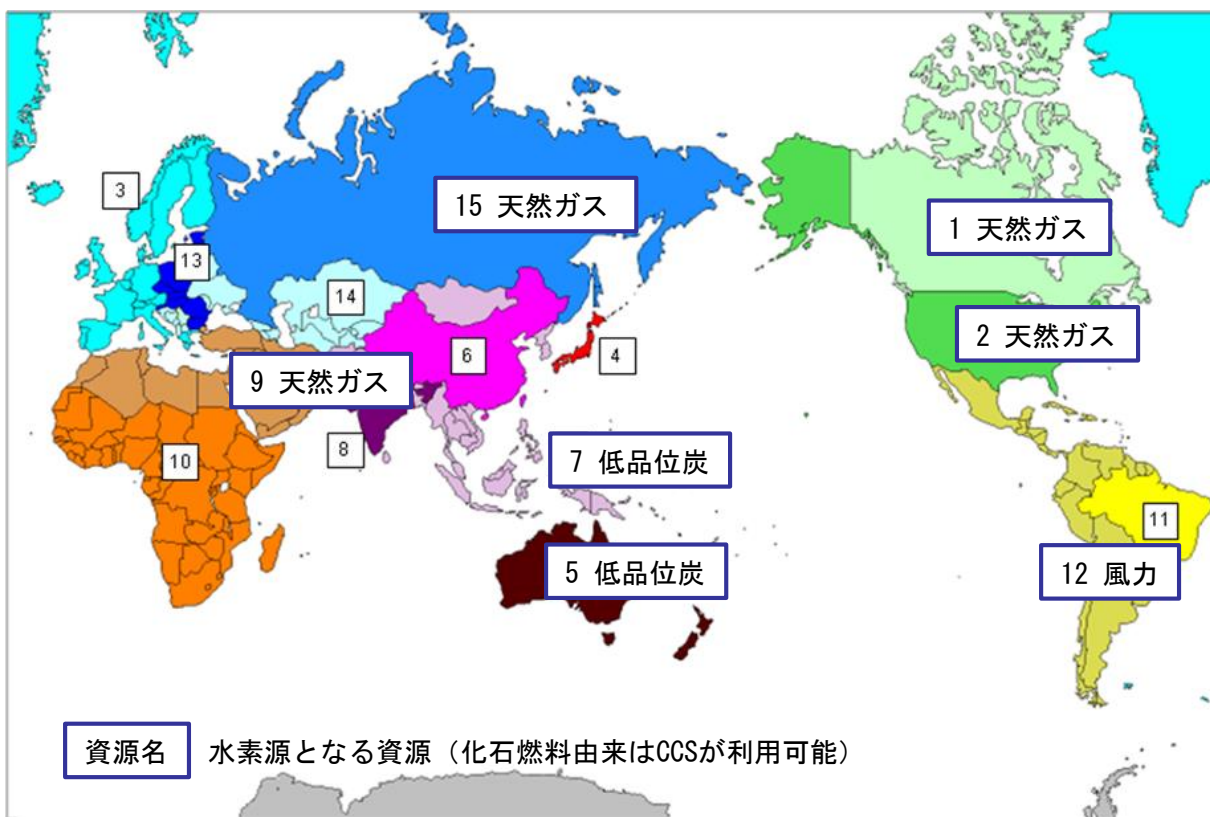
- ・ 発電コストの距離依存性は、電力の方が、化学媒体よりも大きい。
- ・ その結果、日本から数千キロメートルにおいて、電力と化学媒体によるコストのブレイクイーブンポイントが発生する。
- ・ 化学媒体の場合、コストの距離依存性に大差なく、同傾向を与えた
 - 4000～8000kmで液体水素の発電コストの傾きがやや急になっているのは、距離の増加に伴う揚地側貯蔵設備の増加による。

説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

5. CO2フリー水素の普及可能性

- ・ 統合評価モデルGRAPEのエネルギーモジュールを用いて、2050年までの日本の水素需要を評価。
- ・ 水素製造は2020年から日本国内の他、海外7か所からの輸入が可能と設定。
- ・ 水素の需要先は、運輸（FCV, ICE）、発電（大規模発電）、定置（水素コジェネ、直接燃焼）。

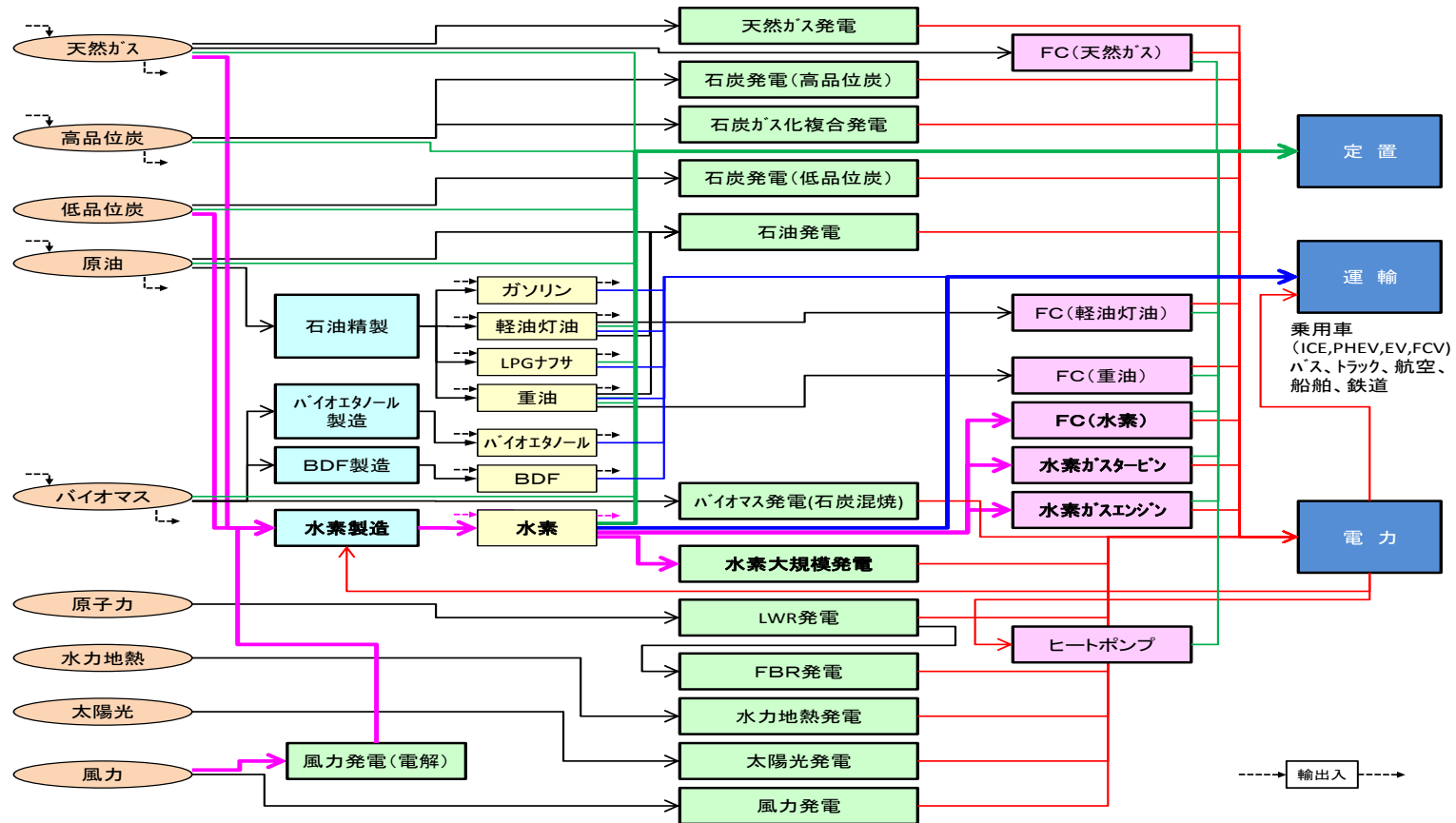


- | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------------|---------------|
| 1: カナダ | 2: USA | 3: 西欧 | 4: 日本 | 5: オセアニア |
| 6: 中国 | 7: その他アジア | 8: インド | 9: 中東・北アフリカ | 10: サハラ以南アフリカ |
| 11: ブラジル | 12: その他ラテンアメリカ | 13: 中欧 | 14: 東欧 | 15: ロシア |

- ① 発電、運輸、定置の各部門のエネルギー需要を推計
- ② 想定するエネルギーフロー、利用可能な技術オプションのパラメータを設定
- ③ CO2制約等の制約を満たし世界全体のエネルギーシステムコストが最小になるようなエネルギー需給構造を探索・決定
- ④ 世界地域別エネルギー需給、CO2排出などを出力
 - エネルギー供給構成
 - 需要構成
 - 転換構成（発電等）
 - CO2排出量、CCS量
 - 等

出典：石本（エネ総工研）日本エネルギー学会大会 2013年8月5日

エネルギーフローと前提



○本検討例で用いた前提

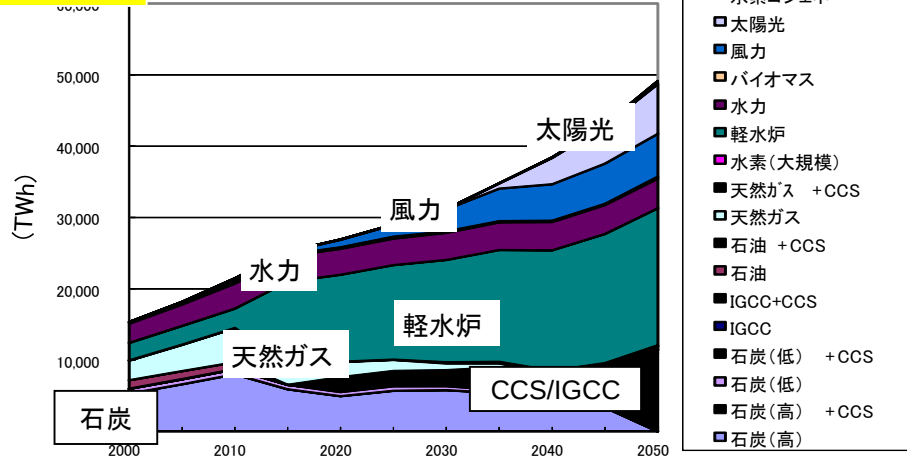
- 1) CO2排出削減割合（2050年）：世界▲50%、日本▲80%
- 2) 日本の原子力発電：新增設なし、炉寿命40年でフェーズアウト
- 3) 日本の炭酸ガス回収隔離（CCS）：2億トン-CO2／年（@2050年）

計算結果

発電部門

世界

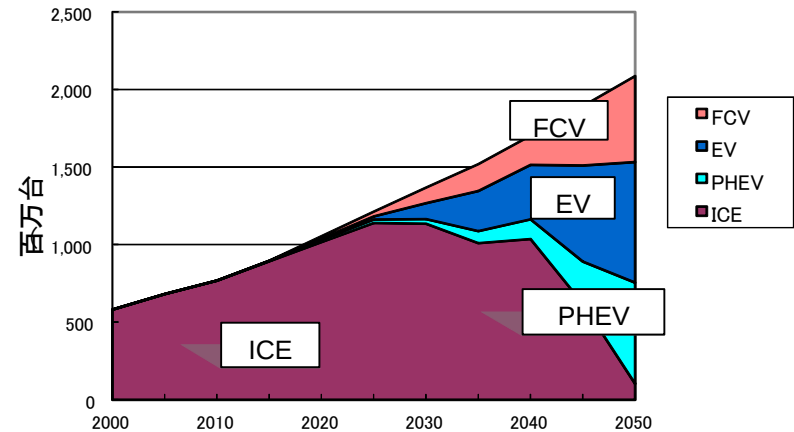
発電電力量内訳(世界計)



運輸部門

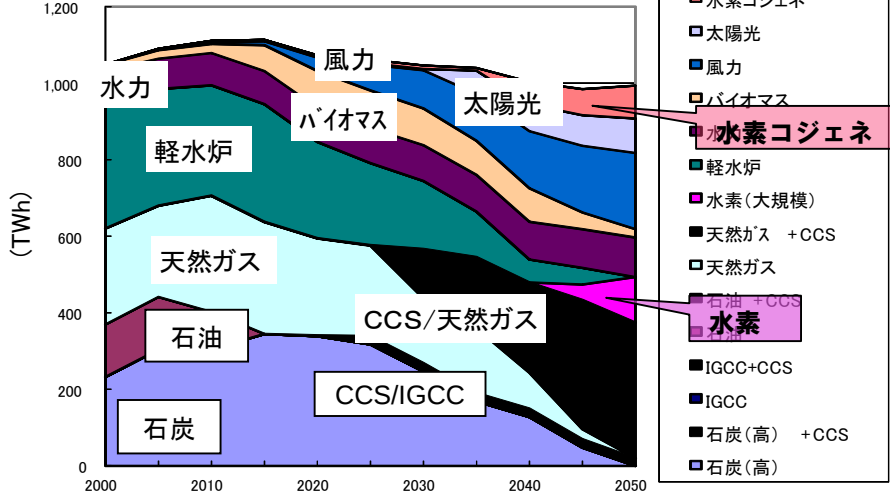
世界

乗用車保有台数(世界計)



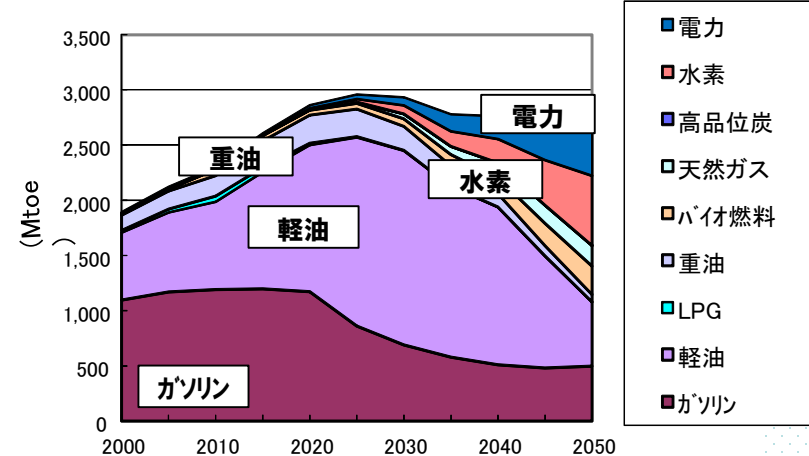
日本

発電電力量内訳(日本)



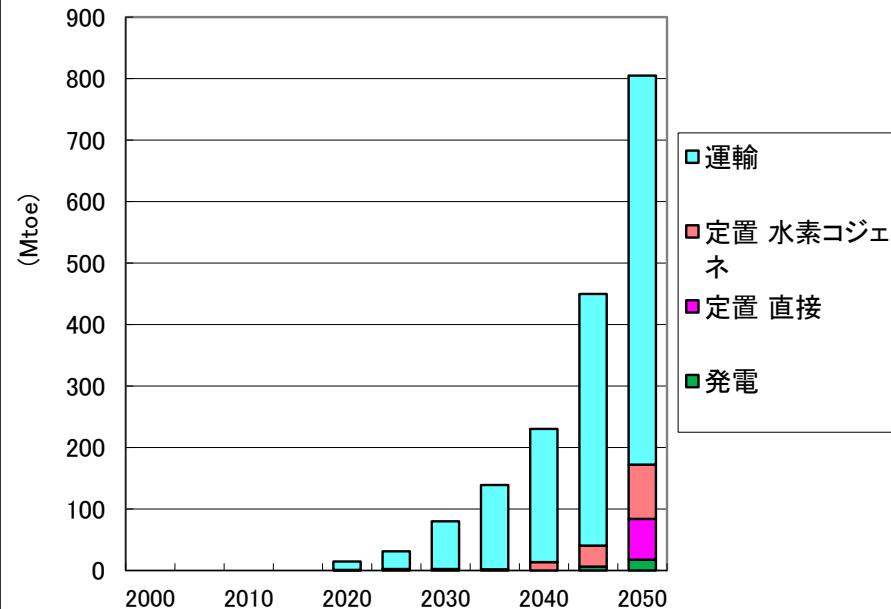
世界

運輸用エネルギー消費量・燃料別(世界計)

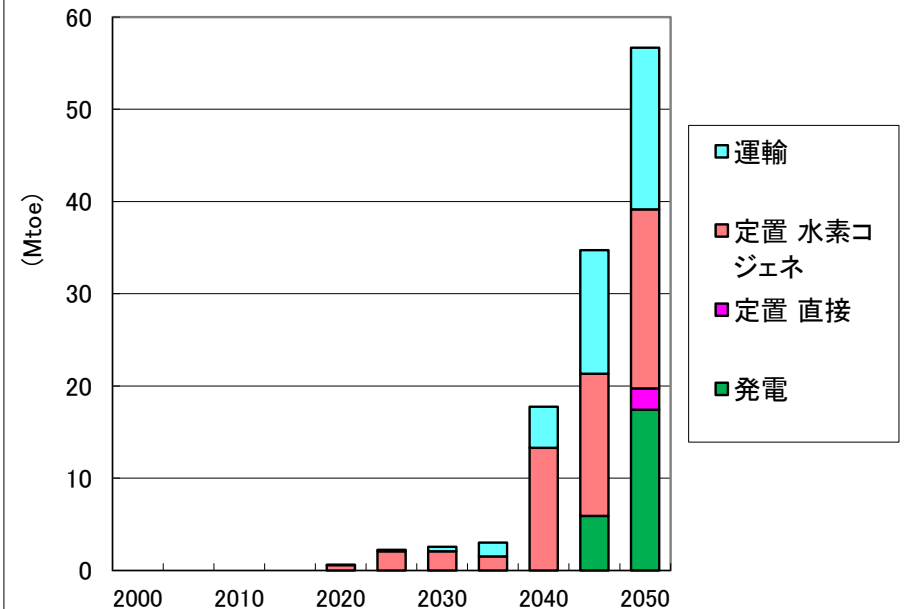


計算結果(水素需要量)

水素需要量(世界計)



水素需要量(日本)



計算結果は、前提により変動する。

■世界

・運輸需要が大半で、2050年に約800Mtoe (3.12兆Nm³) の水素が必要される。

■日本

・2045年以降に水素大規模発電が導入される。

・2050年における水素需要は、57Mtoe (2223億Nm³)。

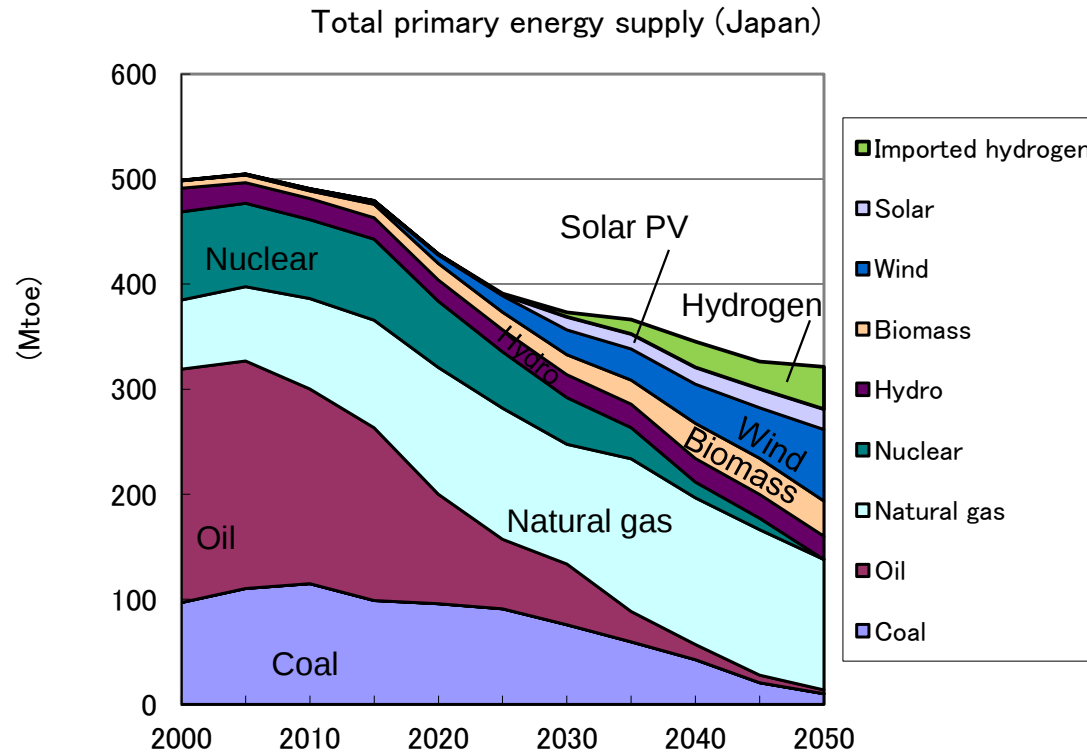
・日本でのみ大規模発電が導入されるのは、CCSの年間貯留量の制約や原子力発電の制約により、電力におけるCO₂排出量を低減させるためであると考えられる。

(参考)国内水素供給量

・現在 150億Nm³/年(内 外販2億Nm³/年)

・2030年 270億~330億Nm³/年

計算結果 我が国の一次エネルギー供給



○本検討例で用いた前提

- 1) CO₂排出削減割合（2050年）：世界▲50%、日本▲80%
- 2) 日本の原子力発電：新增設なし、炉寿命40年でフェーズアウト
- 3) 日本の炭酸ガス回収隔離（CCS）：2億トン-CO₂/年（@2050年）

- 2050年における一次エネルギー供給に占める水素の割合は、13%である。
- 厳しいCO₂排出制約条件の下では、水素は基幹エネルギー源になる可能性がある。

説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

2. 水素エネルギーシステムに関する基本的な視点(2)

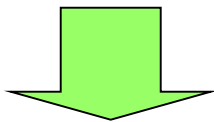
水素システムの規模により、大きな差異が生じる

システム	サプライチェーン	普及範囲	水素源	主要用途例／大義名分
大規模	海外製造 輸入して国内消費	国	再エネ 褐炭等の未 利用資源	水素発電／CO2削減パリ条約遵守
中規模	国内で製造 国内で消費	地域	再エネ	F C V／再エネ導入促進 企業収益、雇用創出
小規模	域内で製造 域内で消費	小地域 離島等	再エネ	地域電源／安価な電力供給

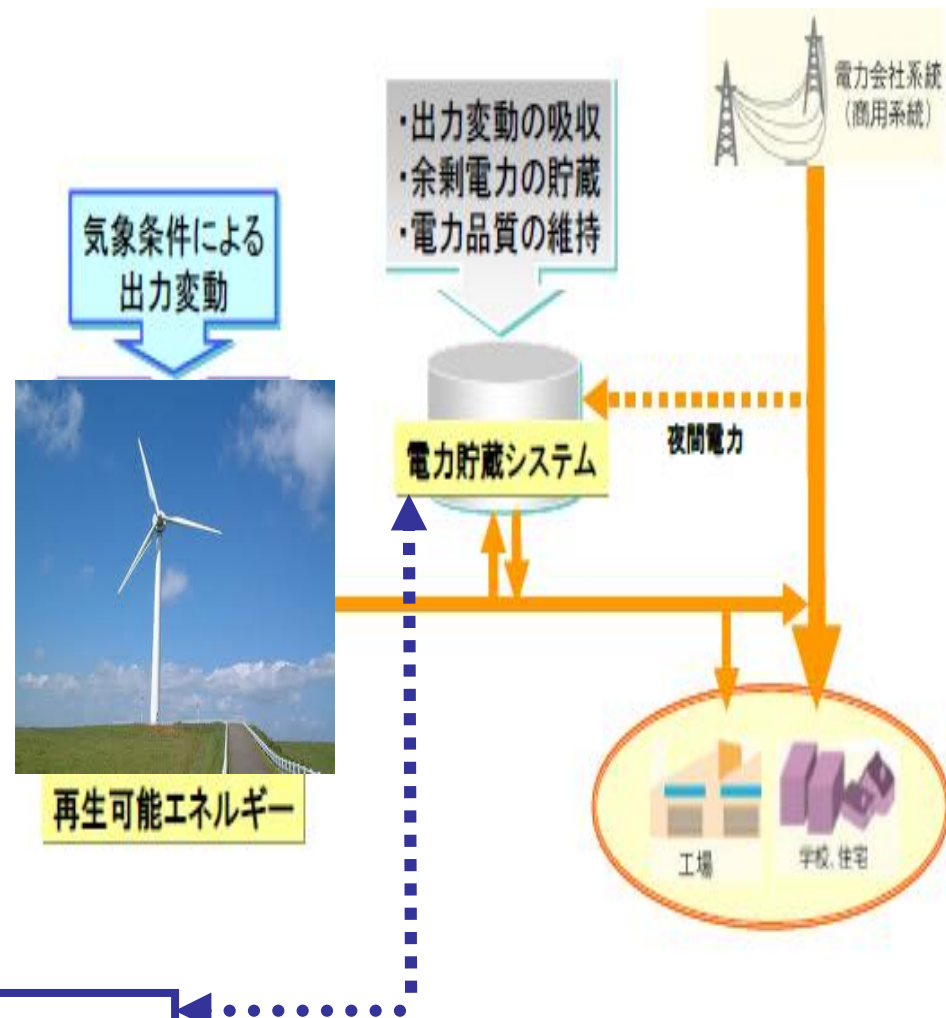
- ・ システムのサイズにより、CO2フリー水素導入の意義が異なる
- ・ ビジネスモデル・ステークホルダーも、システムサイズに大きく依存する
- ・ 投資額も、システムサイズに大きく依存する

6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献

- ・再生可能エネルギーの大量導入が必要となる



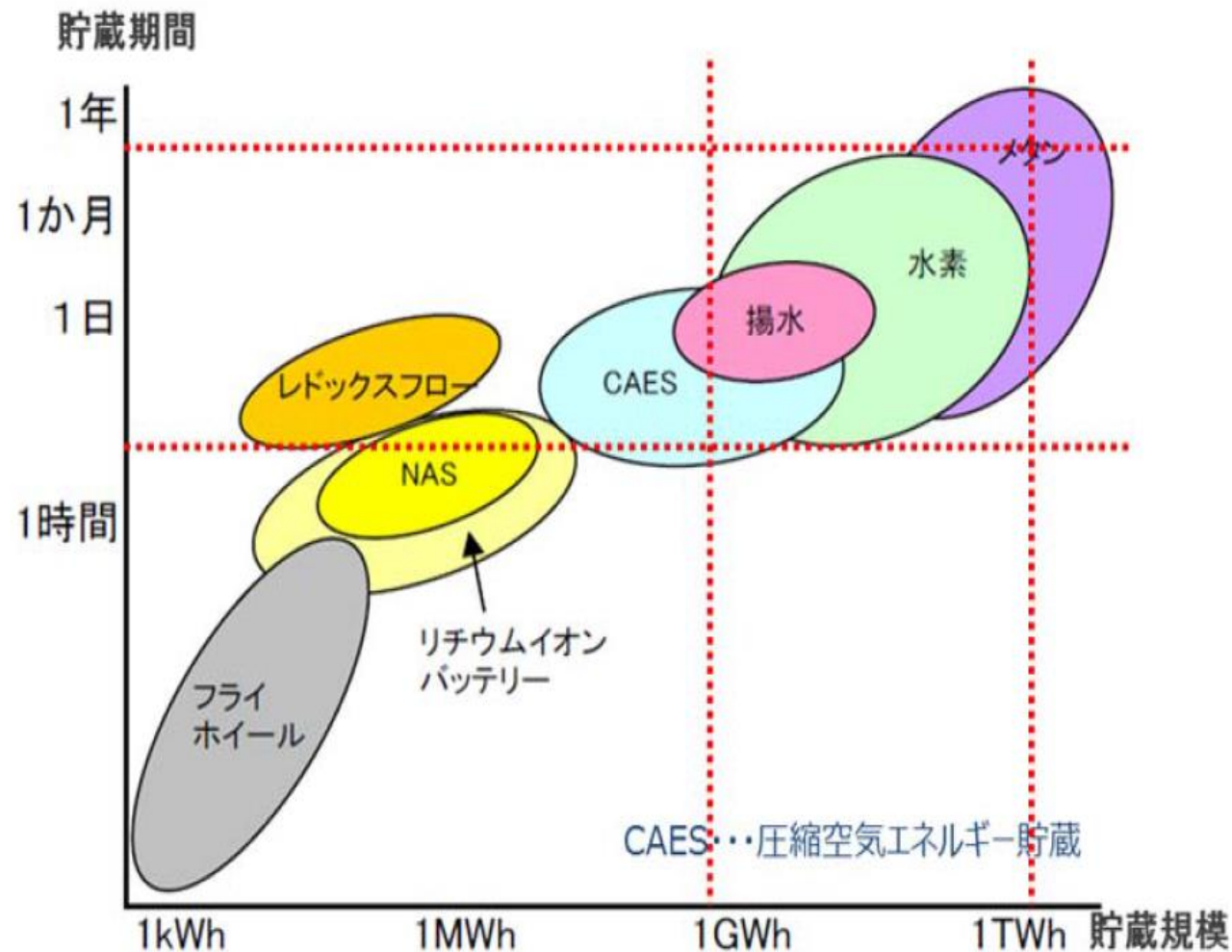
- ・大規模電力貯蔵の技術として、化学エネルギー(水素)も候補として考慮されている。
- ・再エネ電力由来の水素の利用目的
 - 1) 電力系統の安定化(上記)
 - 2) 分散型エネルギーシステム確立
再エネ電力→水素→FCV、FC、熱、その他



電力貯蔵システムの例
電力→(水電解)→水素(貯蔵)→(発電)→電力

NEDO技術開発機構(東芝委託)、再生可能エネルギーの水素電力貯蔵・充放電システムに関する検討、2013.2に加筆

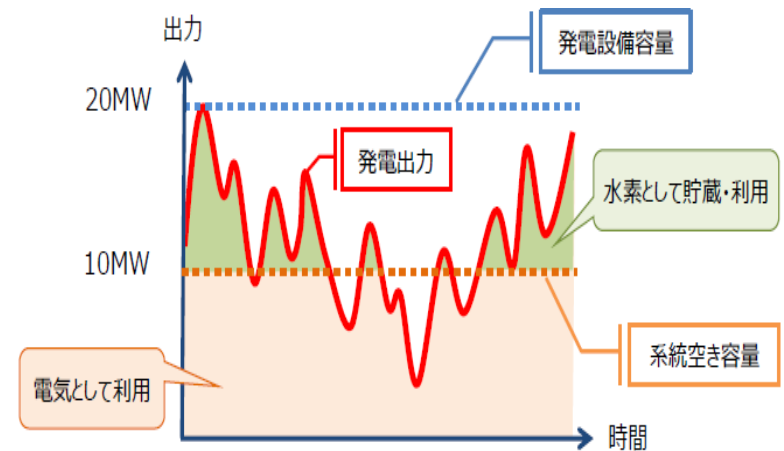
各種電力貯蔵技術の位置付け



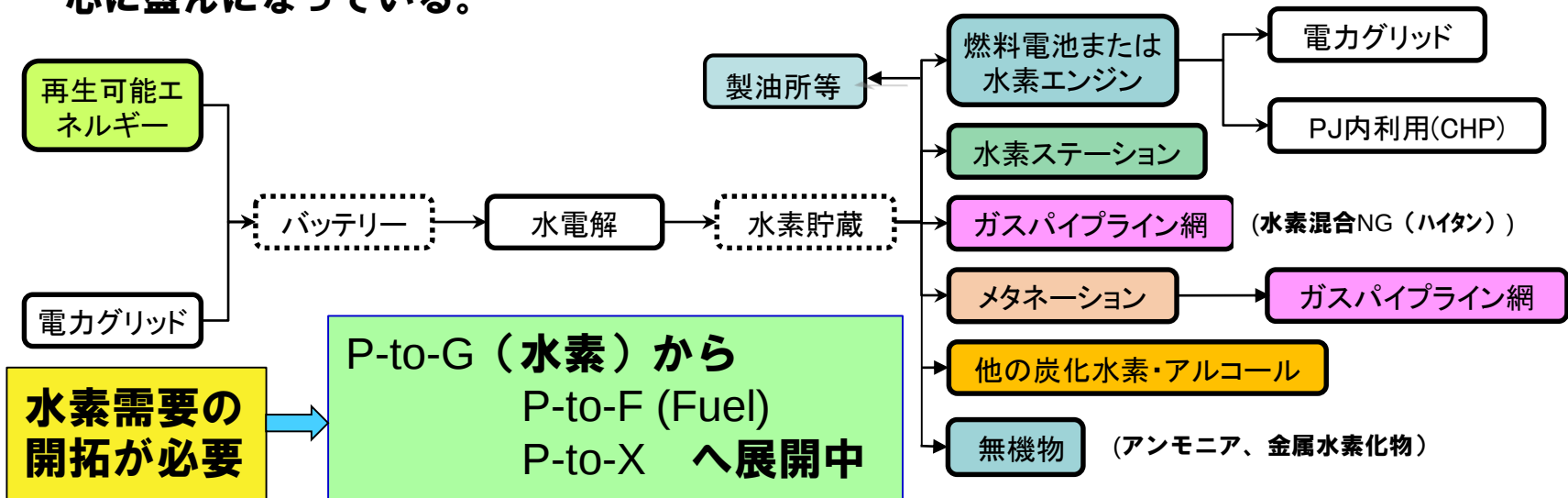
[出典] "Energieträger der Zukunft – Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg (ZSW,2012)"を基に資源エネルギー庁作成

余剰電力の水素による貯蔵(Power to Gas)

- 再エネによる発電が大規模に導入された場合、余剰電力や出力の急激な変動による課題が生じると考えられている。
- 余剰電力＝本来の発電ポテンシャルを発揮できていない未利用のエネルギー
- 送配電系統や火力発電所による対策も可能
- 再エネの変動性を水素で吸収・補完するようなプロジェクトやそのための技術開発が海外を中心に盛んになっている。



[出典] 資源エネルギー庁作成



説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

7. 我が国政府の施策動向（抜粋）

1) 経済産業省 「エネルギー基本計画」

2) 経済産業省 資源エネルギー庁

水素・燃料電池戦略協議会

- ・戦略ロードマップ策定(後掲)

- ・水素発電検討会(水素発電)

- ・CO2フリー水素ワーキング(再エネ水素、Power to Gas中心)

3) 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課

- ・再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」(研究開発課)

- ↳ ・NEDO「水素利用等先導研究開発事業」(水素専焼発電)

4) NEDO 「水素社会構築技術開発事業」

- ・研究開発Ⅰ:「水素エネルギーシステム技術開発」(再エネ水素、Power to Gas中心)

- ・研究開発Ⅱ:「大規模水素エネルギー利用技術開発」(水素混焼発電)

5) 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室

- ・「地域連携・低炭素水素技術実証事業」(再エネ水素、Power to Gas中心)

6) 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(アンモニア直接発電)

1) エネルギー基本計画 (水素関連部分の抜粋)

エネルギー基本計画：2014年4月11日閣議決定

1. 二次エネルギー構造の在り方

将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される。

2. “水素社会”の実現に向けた取組の加速

- (1) 定置用燃料電池(エネファーム等)の普及・拡大
- (2) 燃料電池自動車の導入加速に向けた環境の整備
- (3) 水素の本格的な利活用に向けた水素発電等の新たな技術の実現
- (4) 水素の安定的な供給に向けた製造、貯蔵・輸送技術の開発の推進
- (5) “水素社会”の実現に向けたロードマップの策定

○コメント

1. 「水素発電」に初めて言及(→実現すると大量の水素の調達が必要になる)
2. 水素の大量調達のための技術開発に言及(大量貯蔵、長距離輸送等の技術が必要になる)
3. 具体的な数値目標を記載
 - ・ 家庭用燃料電池(エネファーム)：530万台@2030年
 - ・ 燃料電池自動車(FCV)用の水素ステーション：100ヶ所程度@2015年
4. ロードマップの策定に言及

追加情報 1

第193回国会冒頭の安倍総理の施政方針演説（2017年1月20日）の抜粋

- 水素エネルギーは、エネルギー安全保障と温暖化対策の切り札です。これまでの規制改革により、ここ日本で、未来の水素社会がいよいよ幕を開けます。三月、東京で、世界で初めて、大容量の燃料電池を備えたバスが運行を始めます。来年春には、全国で百か所の水素ステーションが整備され、神戸で水素発電による世界初の電力供給が行われます。
- 二〇二〇年には、現在の四十倍、四万台規模で燃料電池自動車の普及を目指します。世界初の液化水素船による大量水素輸送にも挑戦します。生産から輸送、消費まで、世界に先駆け、国際的な水素サプライチェーンを構築します。その目標の下に、各省庁にまたがる様々な規制を全て洗い出し、改革を進めます。
- 再生可能エネルギーから大規模に水素を製造する。最先端の実証プロジェクトが、福島で動き出しました。

追加情報 2

第1回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議における安倍総理の指示(2017年4月11日)

1. 日本は、世界に先駆けて、水素社会を実現させていきます。関係大臣は、政府一体となって取り組むための「**基本戦略**」を**年内に策定**してください。

2. 特に、

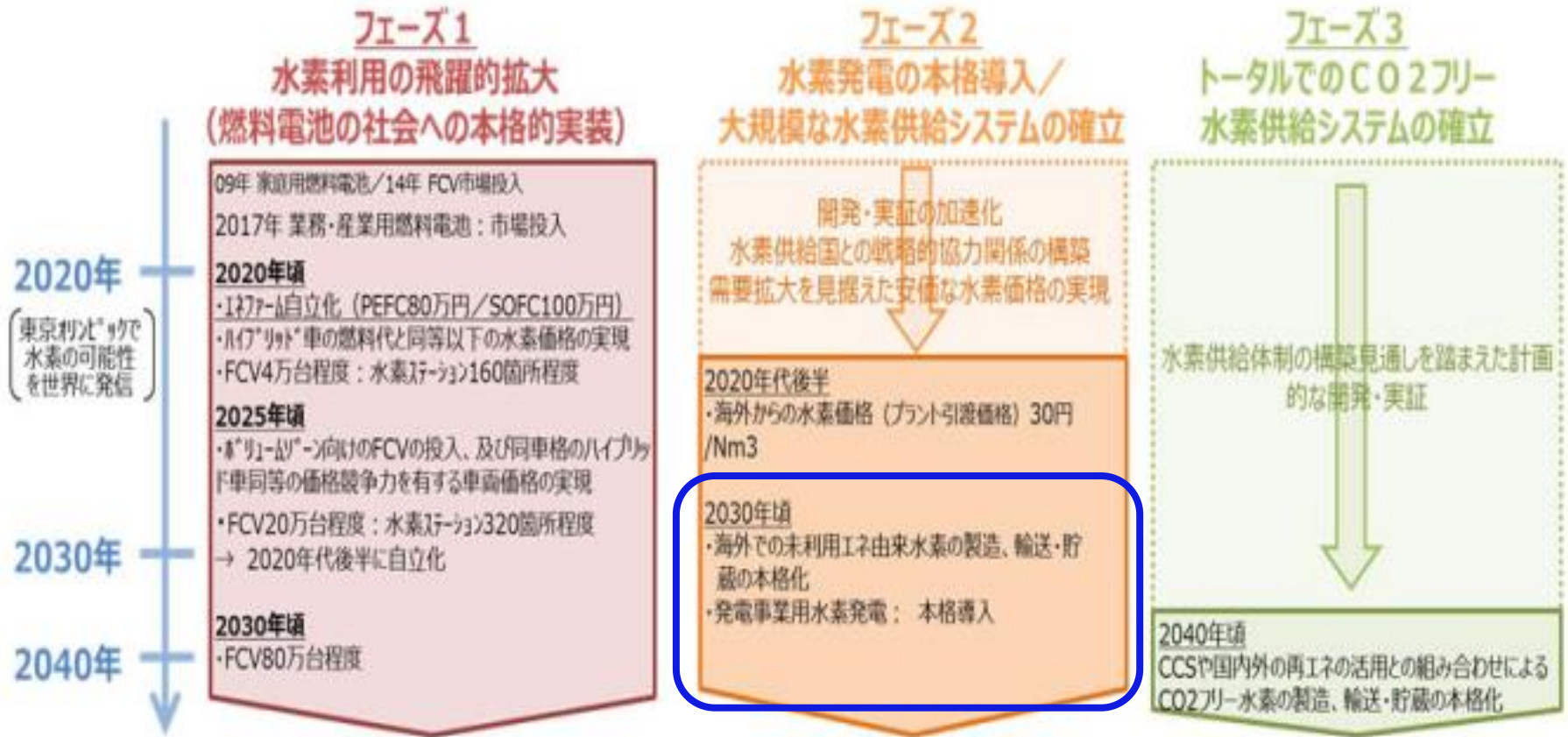
①2020年に4万台規模で燃料電池自動車を普及させるため、**水素ステーションの整備**を加速させる仕組みを作るとともに、水素ステーションに関する規制を合理化するため、海外の規制や国内のガソリンスタンドとの比較も念頭に置いて、総点検してください。

②生産から輸送、消費に至る、国際的な「**水素サプライチェーン**」の構築を牽引するのは、大量かつ安定的な水素需要を生む「**水素発電**」です。サプライチェーンの構築と水素発電の本格導入に向けて、多様な関係者の連携の基礎となる「**共通シナリオ**」を**策定**してください。

3. **再生可能エネルギー**については、その導入を一層強力に推進していきます。関係大臣は連携して、本日、決定した「アクション・プラン」を着実に実行してください。

2) 水素・燃料電池戦略ロードマップ

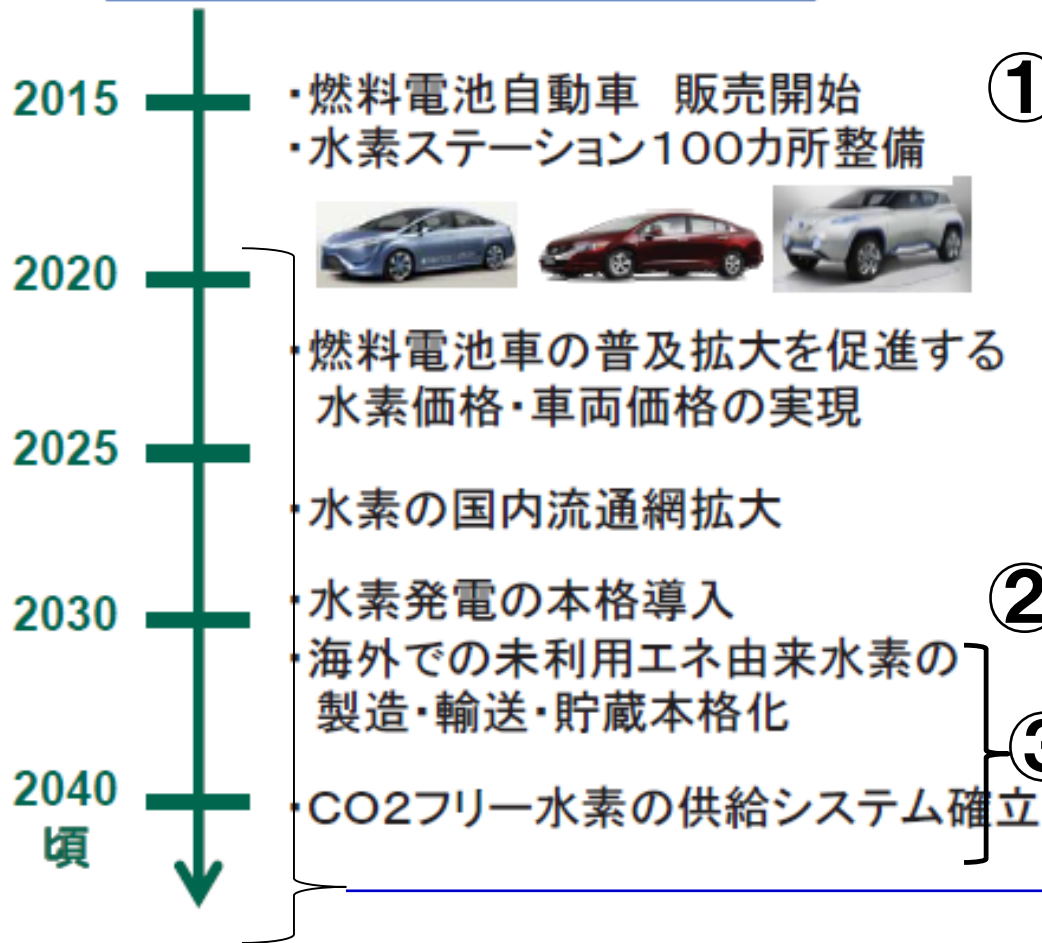
2014年6月23日策定、2016年3月22日改訂(資源エネルギー庁)



- ・ 2014年ロードマップは、大規模な水素エネルギーシステムに言及している。
- ・ 2016年改訂版は、FCV、水素ステーション、家庭用燃料電池(エネファーム)の目標値を記載
- ・ 上記に加え、①水素発電の記載の具体化、②再生可能エネルギー由来水素の利活用に関し、技術面・経済面の課題について検討の実施を記載

3) 4) NEDOの水素関連事業

水素社会実現に向けたロードマップ



地域水素供給インフラ技術・社会実証
(平成25年度終了)

①

水素利用技術研究開発事業

- ・規制の適正化・標準化
- ・水素利用機器の低コスト化
- ・安全基盤整備
- ・国際機関動向等の調査研究

②

水素社会構築技術開発事業

③

水素利用等先導研究開発事業

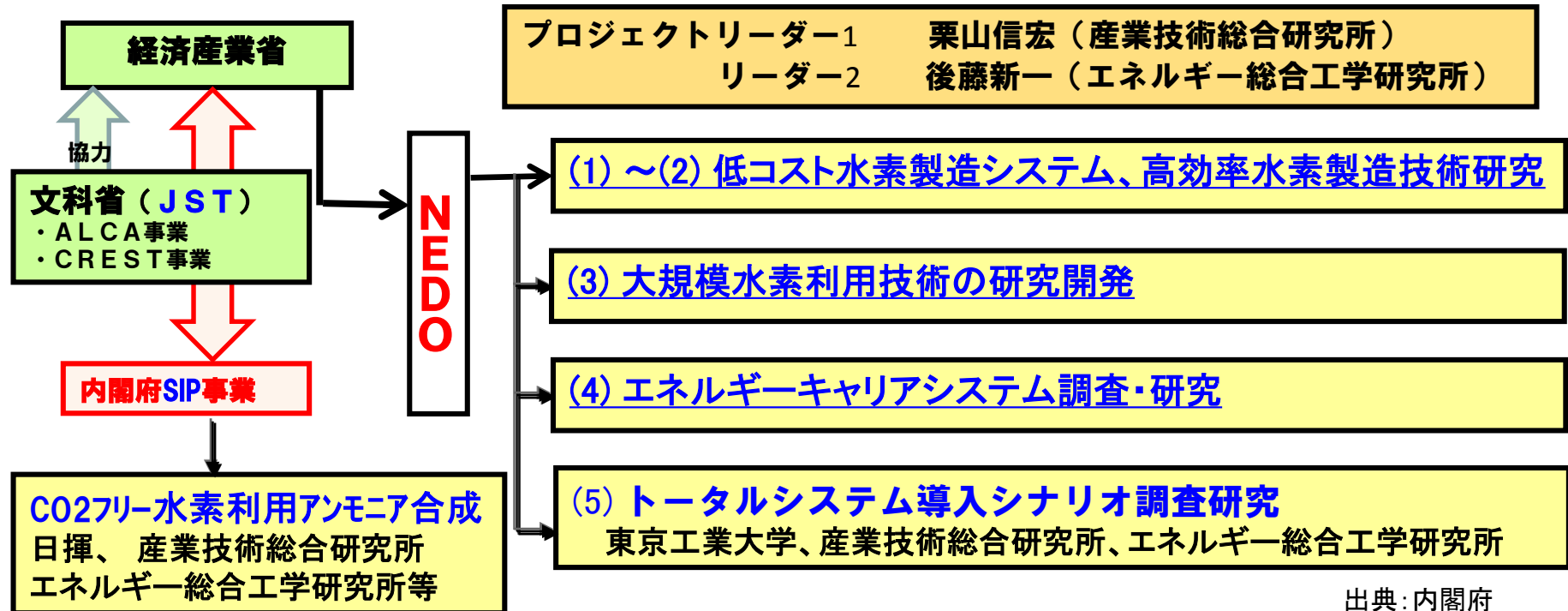
内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

NEDO 水素利用等先導研究開発事業とSIP

○NEDO 水素利用等先導研究開発事業の目標

二次エネルギーとしての水素等を最大限に活用するため、2030年といった長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現を目指す。このため、再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術ならびに水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術の先導的な研究開発に取り組む。

2. 研究開発の実施体制(2016年度以降)



6) 内閣府 SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

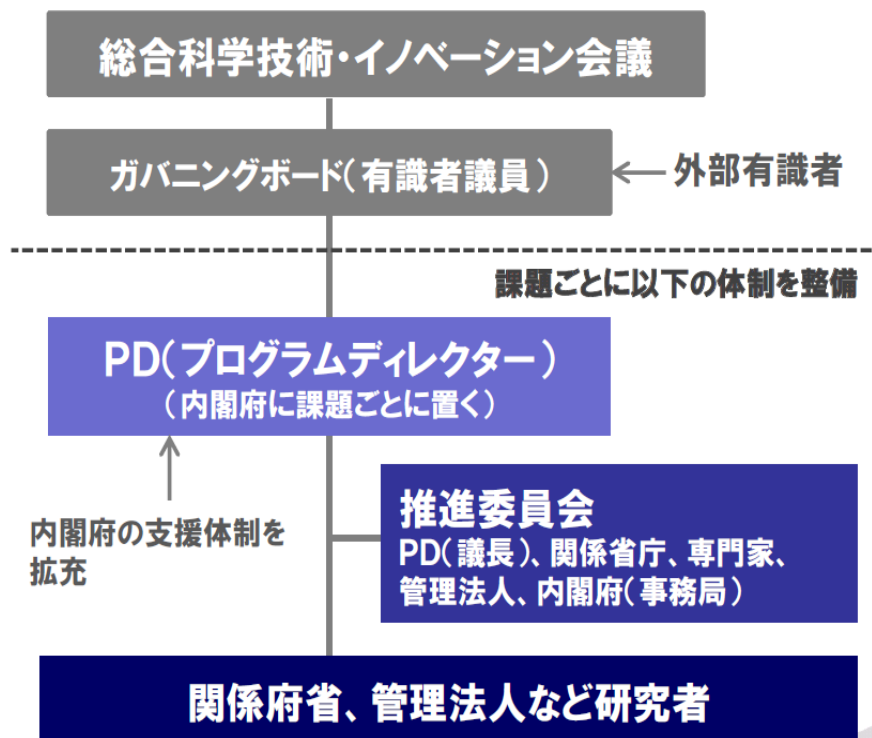
＜実施体制＞

- 課題ごとにPD（プログラムディレクター）⁺を選定。

⁺ 平成26年5月までは政策参与。

- PDは関係府省の縦割りを打破し、府省を横断する視点からプログラムを推進。

- ガバニングボード（構成員：総合科学技術・イノベーション会議有識者議員）が評価・助言を行う。



公募により、産学からトップクラスのリーダーを
PDとして選出

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)の対象課題、PD、26年度配分額



革新的燃焼技術 (配分額 20億円)

杉山雅則 トヨタ自動車 エンジン技術領域 領域長

若手エンジン研究者が激減する中、研究を再興し、最大熱効率50%の革新的燃焼技術(現在は40%程度)を実現し、省エネ、CO₂削減に寄与。日本の自動車産業の競争力を維持・強化。



革新的構造材料 (配分額 35億円)

岸 輝雄 東京大学名誉教授、物質・材料研究機構顧問

軽量で耐熱・耐環境性等に優れた画期的な材料の開発及び航空機等への実機適用を加速し、省エネ、CO₂削減に寄与。併せて、日本の部素材産業の競争力を維持・強化。



次世代海洋資源調査技術 (配分額 60億円)

浦辺徹郎 東京大学名誉教授、国際資源開発研修センター顧問

レアメタル等を含む海底熱水鉱床やコバルトリッチクラストなど海洋資源を高効率に調査する技術を世界に先駆けて実現し、資源制約の克服に寄与。海洋資源調査産業を創出。



インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 (配分額 34.5億円)

藤野陽三 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター特任教授

インフラ高齢化による重大事故リスクの顕在化・維持費用の不足が懸念される中、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現。併せて、継続的な維持管理市場の創造、海外展開を推進。



次世代農林水産業創造技術 (配分額 35億円)

西尾 健 法政大学生命科学部教授

農政改革と一体的に、革新的生産システム、新たな育種・植物保護、新機能開拓を実現し、新規就農者、農業・農村の所得の増大に寄与。併せて、生活の質の向上、関連産業の拡大、世界的食料問題に貢献。



次世代パワーエレクトロニクス (配分額 22億円)

大森達夫 三菱電機 開発本部 役員技監

現状比で損失1/2、体積1/4の画期的なパワーエレクトロニクスを実現し、省エネ、再生可能エネルギーの導入拡大に寄与。併せて、大規模市場を創出、世界シェアを拡大。



エネルギーキャリア(水素社会) (配分額 29億円)

村木 茂 東京ガス取締役副会長

再生可能エネルギー等を起源とする電気・水素等により、グリーンかつ経済的でセキュリティレベルも高い社会を構築し、世界に向けて発信。



自動走行(自動運転)システム (配分額 24.5億円)

渡邊浩之 トヨタ自動車顧問

自動走行(自動運転)も含めた交通システムを実現。事故や渋滞を抜本的に削減し、利便性を飛躍的に向上。



レジリエントな防災・減災機能 (配分額 24.5億円)

中島正愛 京都大学防災研究所 教授

大地震・津波、豪雨・竜巻等自然災害に備え、官民挙げて災害情報をリアルタイムで防力の向上と対応力の強化を



革新的設計生産技術 (配分額 35億円)

佐々木直哉 日立製作所 日立製作所 主管研究員

地域の企業や個人のアイディアを地域に還元し、地域的なものづくりを確立。地域の競争力を強化。



「エネルギーキャリア(水素社会)」がSIPテーマとして採用された

※配分留保額及び上記10課題への配分以外の内閣府執行分の合計は、15億円である

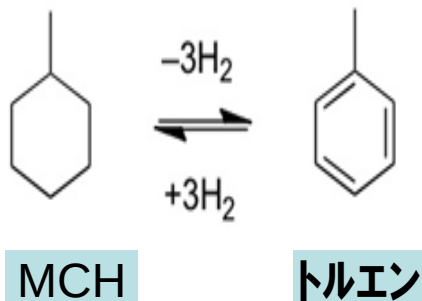
CO2フリー水素に対する民間の取り組み動向

<千代田化工>

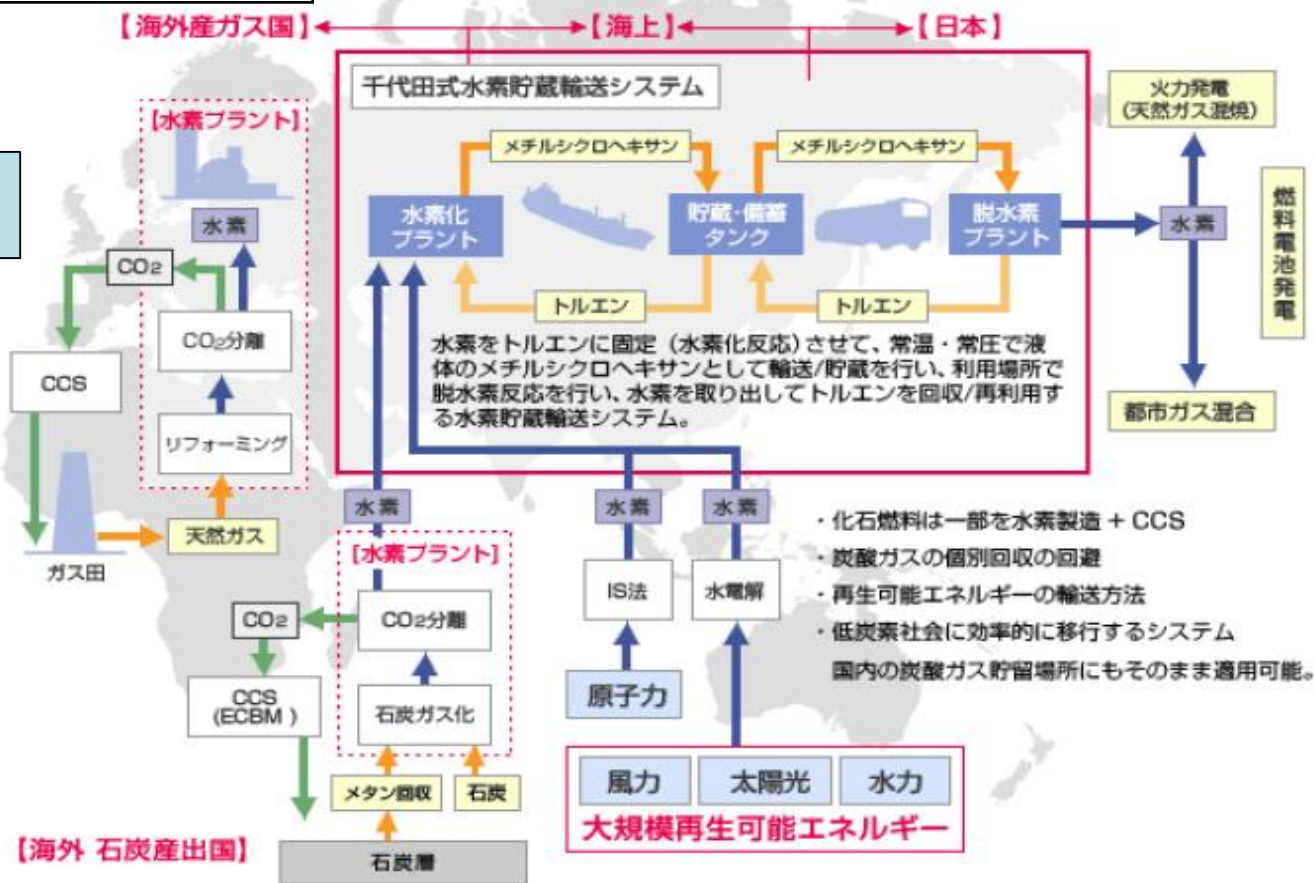


メチルシクロヘキサン (MCH) による
輸送・貯蔵に基づく
CO2フリー水素の国際ネットワーク展開

SPERA水素



水素サプライチェーン構想



CO₂フリー水素に対する民間の 取り組み動向

<川崎重工>

2010年4月に当時の社長が経営計画を発表され、
資源国と消費国を水素で結ぶエネルギーチェーン
を築きたいと述べられている。

液体水素による輸送・貯蔵

事業化の目標

対象資源：豪州褐炭、等

KHIのCO₂フリー水素コンセプト

技術研究組合 CO₂フリー水素 サプライチェーン推進機構 (HySTRA)



アンモニアを石炭火力CO2削減に応用

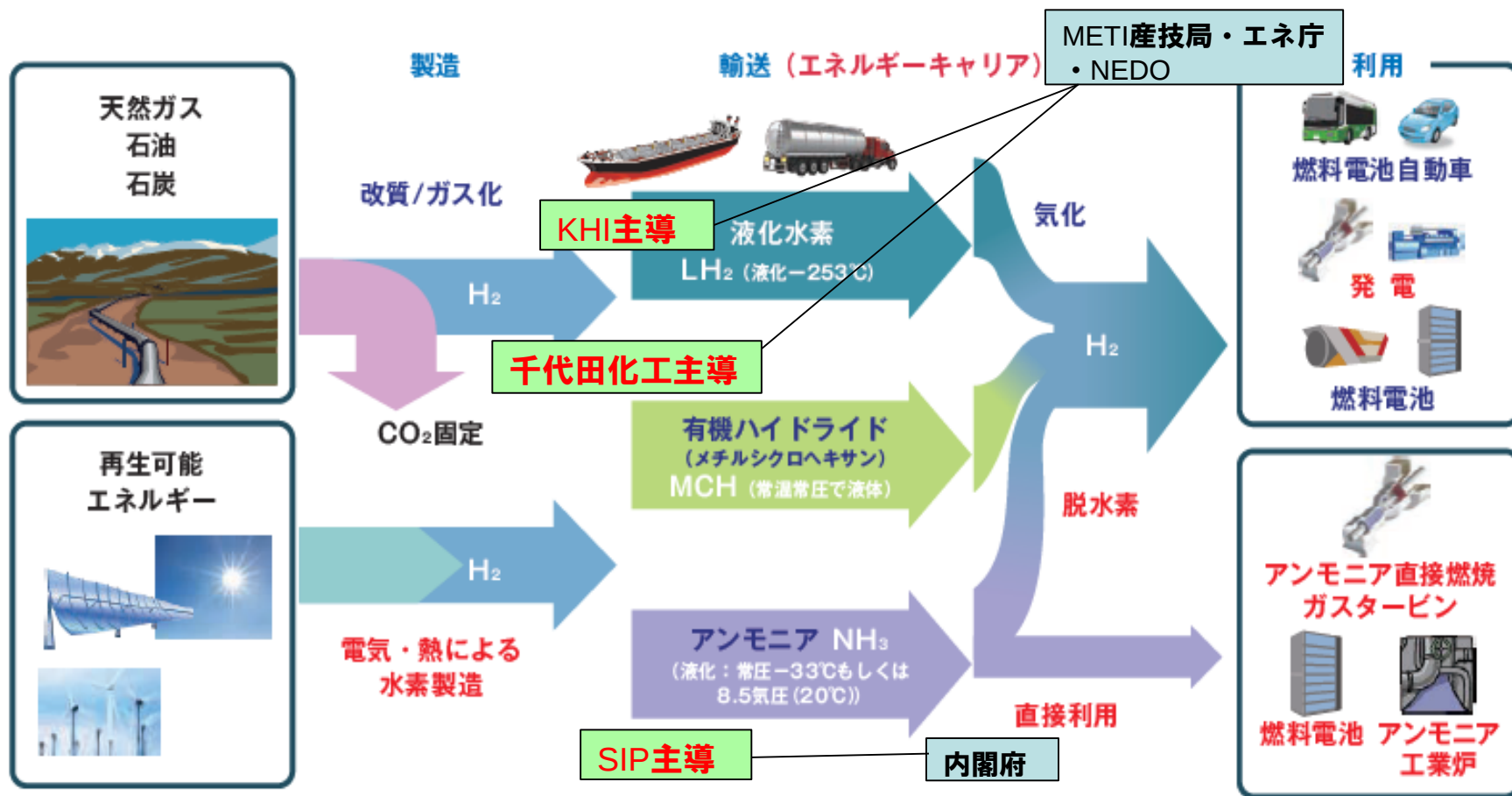
- 関西電力や中部電力、大阪ガスなど6社は、石炭火力発電所が出す二酸化炭素（CO₂）を2割以上減らす技術の実用化で連携する。アンモニアを混ぜて燃やすことで石炭の使用を減らす。既存設備の改修が必要で発電コストは3割ほど上昇するが、他の電源よりも安いという。2017年に実証実験を始め、20年代初めの実用化を目指す。
- アンモニアは炭素を含まず、燃やしてもCO₂が出ない。新技術を老朽施設に採用すれば、開発中の次世代石炭火力並みに排出量を減らし、投資も抑えられる。電力などが保有する70基に導入すると日本の年間排出量の約3%に相当する4000万トンを減らせると試算している。
- 北海道、東北、中国の電力3社も含む6社は、アンモニアのエネルギー利用を進める**政府の研究プロジェクト(SIP)**に参加。東北大学などの成果を応用し、アンモニアを石炭と混ぜて効率よく燃やす技術の確立を目指す。アンモニアが燃えたときに出る大気汚染物質の窒素酸化物（NO_x）を極力抑え、既存の浄化設備で対応できるようにする。
- CO₂の排出が多い**老朽施設を改修した場合、発電単価は1キロワット時あたり約7円**になる見通し。原子力発電の約10円や天然ガス火力の約14円などよりも安いとみる。
- 石炭火力は安価だがCO₂の排出が多く、欧州では規制を強めている。日本では全発電量の3割を占めており、原発の再稼働に時間がかかる中、政府は安定電源と位置づけている。

出典：日本経済新聞（2017.03.02）、一部加筆

説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

エネルギーキャリアの取組み〈CO₂フリー水素バリューチェーンの構築〉

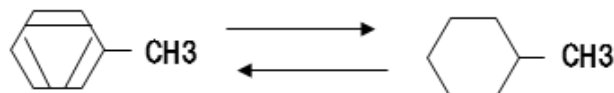


- 水素は様々なエネルギー源から製造可能で、燃料にも電気にもなる。(大幅なCO₂排出削減が可能)
- 水素は低熱量の気体であり、運搬・貯蔵が困難。水素を大量輸送する技術(エネルギーキャリア)や水素をエネルギー源として利用する関連技術の開発が重要。

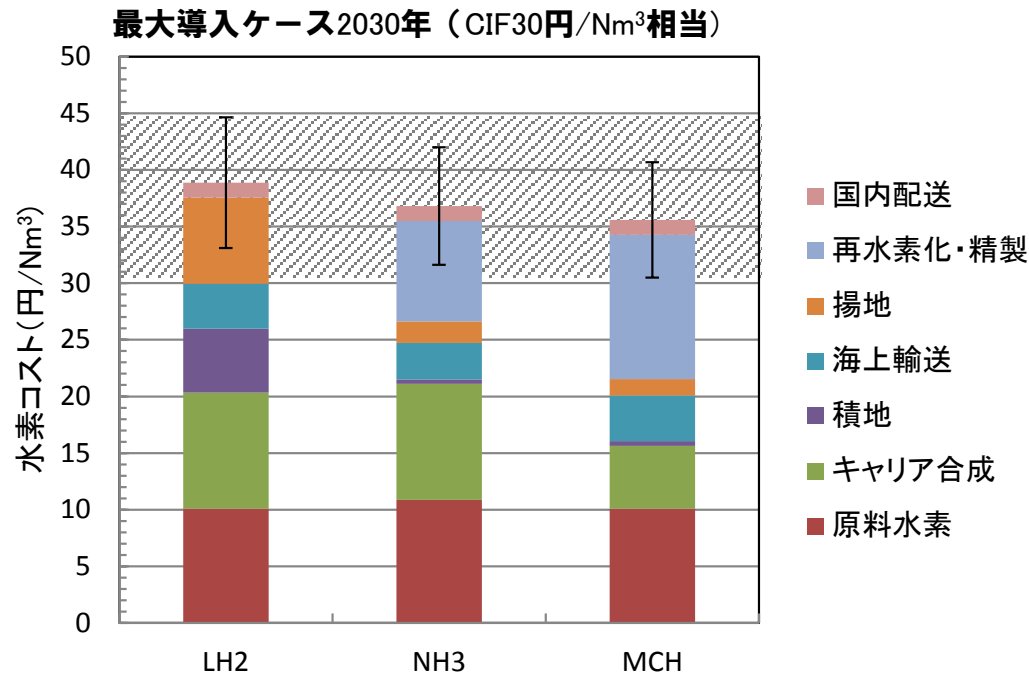
エネルギーキャリアの種類と特性

	気体水素との 体積水素密度の比 ($\text{kg-H}_2/\text{m}^3$)	必要な インフラ	用途		課題等	その他
MCH*	・ 常温で500倍の 体積水素密度	・ ガソリン 用のイン フラの利用が可能。	発電	・ 脱水素が必要。 (他は液体水素 と同じ)	・ 脱水素の際に400℃の熱源とエネ ルギーが必要。 ・ そのエネルギー量はMCHが運ぶこ とのできる水素エネルギーの約 30%になる。 ・ 分子量98のMCHで3分子の水素を 運ぶため、取扱いのためのインフ ラの規模が大きくなりがち。	・ 実証段階
			水素 ST	・ 脱水素+精製が 必要。		
液体水素	・ 800倍の体積 水素密度 ・ -253℃の冷却 が不可欠	・ 液体水素 用のイン フラを整 備する必 要あり。	発電	・ 70%までの混焼 は商業化済み。 ・ 専焼は技術開発 が必要。	・ 液化効率の改善(液化コストの低 減)が必要。 ・ 液化の際に、最低でも水素の持つ エネルギーの約15%の損失が避け られない。 ・ ボイルオフの抑制が必要。 (長期備蓄は困難)	・ 小規模で は既に実 用化済み。 ・ 大規模利 用に向け たインフ ラ整備は これから。
			水素 ST	・ 利用の際の精製 不要		
アンモニア	・ -33℃または8 気圧の圧力下で 約1,200倍の体 積水素密度	・ プロパン ガスと同 様のイン フラで取 扱い可能。	発電	・ 直接利用ができ る可能性(実証 研究が必要)	・ 毒性と臭気の管理が必要。 ・ 専門家による取扱い、管理が必要。 ・ 脱水素して利用する場合にはエネ ルギーが必要。 ・ エネルギー・キャリアの中では最 も安価な可能性。	・ 研究開発 段階 ・ 一部実証 段階
			水素 ST	・ 脱水素+精製が 必要。		
			その他	・ 工業炉、セメン トキルン等での 直接利用可能性		

* : MCH トルエン (C_7H_8) とMCH (メチルシクロヘキサン) (C_7H_{14}) の水素の差により水素を運ぶ



エネルギーキャリアごとの水素のコスト分析結果



※誤差棒はエネルギーキャリアの固定費・変動費を±20%した範囲。
ハッチングは、誤差棒の最大・最小の範囲を示す

- キャリアそれぞれにコストに寄与する部分が異なるため、重点的にコスト低減を検討する技術分野が異なる。
 - 液体水素(LH2): 液化水素関連技術
 - アンモニア(NH3): アンモニア合成、分解
 - MCH: 脱水素の反応熱(現状想定は都市ガス)供給の低コスト化
- 原料水素コストのさらなる低減も水素コストの低減に有効。
 - グラフの原料水素コストは、下記出典の調査結果で最も安価であった中東におけるCCS付天然ガス改質8.87円/Nm³(プラント出口)にキャリア毎の変換損失を考慮し算出。 ※円/Nm³は、最終精製水素単位量当たり

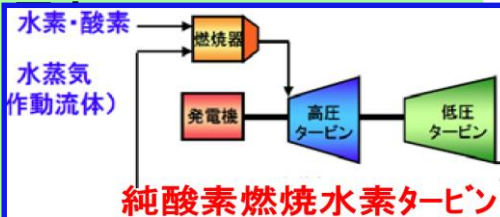
水素コストの出典： 嘉藤、再生可能エネルギーからの水素製造の可能性、日エネ学会誌、第 94巻1号、pp.7-18

出典：石本、エネルギー・資源学会、2016.06.07

説明内容

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果
2. 水素システムに対する4つの視点
3. 水素の性質・特徴
4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性
5. CO2フリー水素の普及可能性
6. 国内再エネ導入に対する水素の貢献
7. 我が国政府の施策動向
8. エネルギーキャリアを巡る動向
9. 今後の技術課題とまとめ

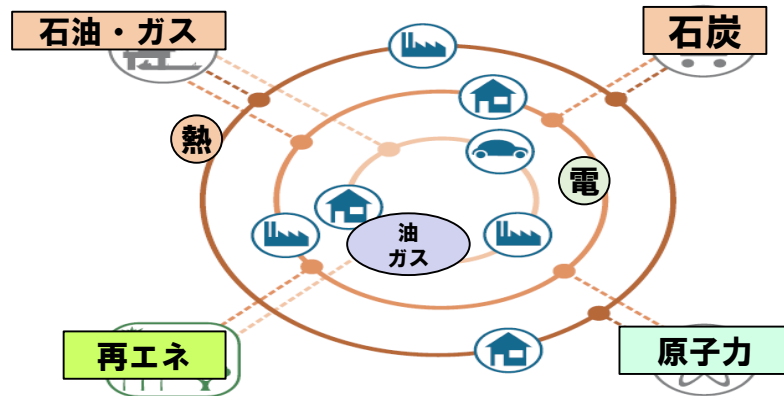
今後の技術発課題

システム	サプライチェーン	短期	中期	長期
大規模	海外製造 国内消費	● H2大量製造技術 - 褐炭ガス化 - 電解コストダウン アルカリ・PEM型 ● H2大量輸送技術 - 水素キャリア技術 LH2, MCH, アンモニア ● H2大量利用技術 - 水素NG混焼発電 - アンモニア微粉炭発電 ● チェーンシステム技術	● 電解技術の高度化 脱水素反応用 - 高温水蒸気電解 ● 水素専焼発電 ● アンモニア混焼タービン発電 ● 新規水素利用技術 ● チェーンシステム技術 ● 水素分離膜(無機)	● 光触媒水素製造 ● アンモニア電解合成 ● 純酸素燃焼水素タービン発電 (下図) - 高効率 CO2排出なし
中規模	国内製造 国内消費	● 電解コストダウン技術 ● 再エネ電力と系統電力との統合制御技術 ● Power-to-Gas技術 ● PtF, PtX技術 ● 水素貯蔵技術 ● 事業用燃料電池技術	同上 ● CO2フリー熱利用技術 ● 新規水素利用技術 ● 国内水素輸送技術	
小規模	域内製造 域内消費	同上	同上	

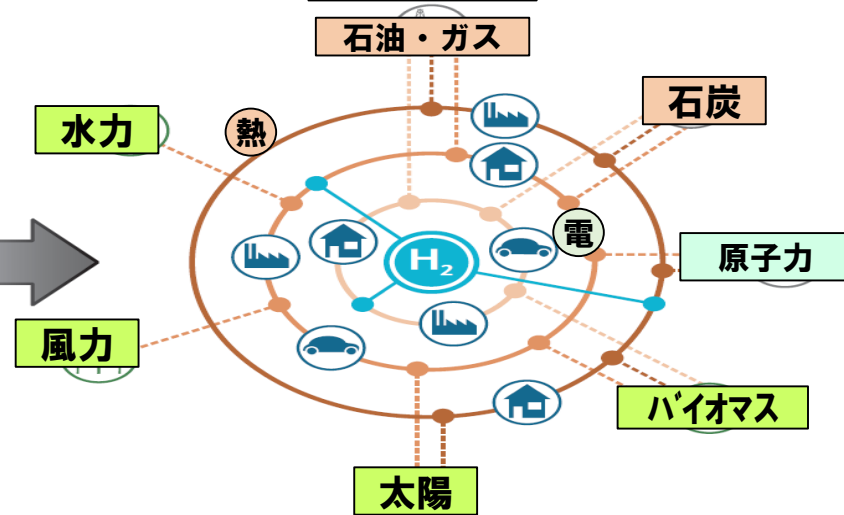
9. まとめ

1. 水素は**持続可能社会構築に貢献できる可能性**あり→条件により大量導入が実現
⇒水素社会実現の成否は、今後の水素技術の発展と外部条件で決まる
2. 海外CO₂フリー水素、国内再エネ水素は、サプライチェーンの**イノベーションを誘発**

現在



未来



IEA, Technology Roadmap, Hydrogen and Fuel Cells, 2015

3. **多様な未来に備えて、将来技術のポートフォリオに水素エネルギーをプロットし、不断の技術開発・システム開発と、ビジネスモデルの探索を行うことが重要である**

ありがとうございました。



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所
The Institute of Applied Energy