

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

成果報告書(平成25年度)

平成 26 年 3 月



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

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実現に向けたアクションプラン研究 成果報告書 目次

1 概要

2 達成目標

3 実施体制・メンバー

4 成果

4. 1 成果の総括

4. 2 CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見(追加調査)

4. 3 需要推算(シミュレーション)

4. 4 国内水素外販可能量

4. 5 CO2フリー水素チェーンの絵姿

4. 6 CO2フリー水素チェーンのロードマップ

4. 7 CO2フリー水素の多面的評価

4. 8 水素の大量需要を目指す技術開発プラン

5 課題

6 外部発表

7 水素に関する最近の政府の動向

8 おわりに

添付

資料4. 1: 2013年度の研究会活動の総括

資料4. 2: CO2フリー水素需要に関する追加意見調査結果

資料4. 3: CO2フリー水素の需要推算(シミュレーション)

資料4. 4: 国内水素外販可能量

資料4. 5: CO2フリー水素チェーンの絵姿

資料4. 6: CO2フリー水素チェーンのロードマップ

資料4. 7: CO2フリー水素の多面的評価

資料4. 8: 水素の大量需要を目指す技術開発プラン

資料6 : 外部発表

1 はじめに

本資料は、平成24年度よりエネルギー総合工学研究所が主催している自主研究会『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』（以下、アクションプラン研究会と称す）の平成25年度の成果報告書である。平成24年度に実施した CO2 フリー水素の許容コストや需要に関する意見調査、及びこれまで実施してきたシミュレーションによる需要推算等に基づき、将来の水素エネルギー社会における CO2 フリー水素チェーンの絵姿作成、ロードマップ作成、及びCO2フリー水素導入による多面的評価を行い、それらを「水素の大量需要を目指す技術開発プラン」（アクションプラン）としてまとめたものである。

2 達成目標

2010年度後半から実施してきたCO2フリー水素チェーン実現に向けたIAE主催の自主研究会の全体スケジュールを表2-1に示す。

表2-1 CO2フリー水素チェーン実現に向けたIAE主催の自主研究会

	2010年度	2011年度			2012年度	2013年度
構想研究会	(#1:3月)▼	▼(#2)	▼(#3)	▼(#4)		
1) 共通認識の醸成	エネ・環境に関する課題 (IPCC資料)	低炭素社会の貢献性 (IEA資料)	CO2フリー水素の貢献性 (GRAPE推算)			
2) チェーン構想立案&評価			・チェーンのリストアップ ・技術成熟度評価			
3) エネ政策反映提言			・国際ネットワーク形成要 ・一次エネの新構成要素			
AP研究会				(#1)▼ (#2)▼ (#3) ▼	▼(#4) ▼(#5) ▼(#6) ▼(#7)	
1) 需要意見調査				GRAPE需給推算 話題提供 (IAE) ・ETP2012 ・アンモニア	・GRAPE需給推算 ・絵姿 (まとめ)	
2) GRAPE推算						
3) 絵姿				・需要・許容コスト意見調査 ・活動紹介 (by 委員) ・千代田化工 ・川崎重工 ・岩谷産業	・ロードマップ (1・2次案→まとめ) ・多面的評価 ・供給安定性 ・環境性 ・経済性 ・安全性、等 (1・2次案→まとめ)	
4) ロードマップ						
5) 多面的評価				・GRAPE推算 ・絵姿 (1次案) ・多面的評価 (イメージ)		
6) 技術開発プラン					技術開発プラン作成	

今年度の AP 研究会で設定した達成目標は以下の通りである。

- 1) CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの追加意見調査
- 2) 需要推算 (シミュレーション)
- 3) CO2フリー水素チェーンの絵姿
- 4) CO2 フリー水素チェーンのロードマップ
- 5) CO2フリー水素の多面的評価
- 6) 水素の大量需要を目指す技術開発プラン

3 実施体制・メンバー

今年度の AP 研究会の体制・メンバーを表3－1に示す。

表3－1 アクションプラン研究会の体制・メンバー

<体制>

```

graph TD
    Chair[委員長] --- METI[METI/NEDO  
(オブザーバー)  
(6)]
    Chair --- IAE[IAE  
(事務局)  
(7)]
    IAE --- Group[団体  
(4)]
    IAE --- Private[民間  
(9)]
    IAE --- Univ[大学  
(4)]
    IAE --- IAEBox[IAE(事務局)  
・坂田興以下水素Gr6名  
・黒沢厚志]
        
```

() : 人数

IAE(事務局)

- ・坂田興以下水素Gr6名
- ・黒沢厚志

2013年度AP研究会メンバー @ 2014.3) (順不同 敬称略)

体制	氏名	所属
委員長	山地憲治	(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)
委員	太田健一郎	横浜国立大学
	岡崎健	東京工業大学
	佐々木一成	九州大学
	堂免一成	東京大学
	長谷川裕夫	(独)産業技術総合研究所(AIST)
	浅野浩志	(一財)電力中央研究所
	菊池和廣	(一財)石油エネルギー技術センター(JPEC)
	亀山秀雄	(一社)水素エネルギー協会(HESS)
	伊藤正	千代田化工建設(株)
	小林由則	三菱日立パワーシステムズ(株)
	廣瀬正典	JX日鉱日石エネルギー(株)
	重定宏明	大阪ガス(株)
	日比政昭	新日鐵住金(株)
	後藤耕一郎	新日鐵住金エンジニアリング(株)
	梶原昌高	岩谷産業(株)
	小池俊一	東京ガス(株)
新道憲二郎	川崎重工業(株)	
オブザーバー	資源エネ庁 総合政策課	
	資源エネ庁 省エネ・新エネ部 新エネ対策課	
	資源エネ庁 資源・燃料部 政策課	
	資源エネ庁 資源・燃料部 石炭課	
	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課	
	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 新エネルギー部 燃料電池・水素グループ	

4 成果

4.1 成果の総括

2013年度の AP 研究会成果の総括を以下に示す。

- ・資料4. 1: 2013年度的全研究会活動の概要と総括
- ・資料4. 2: CO2 フリー水素需要に関するエネルギーユーザの追加意見調査
- ・資料4. 3: 需要推算(シミュレーション)
- ・資料4. 4: 国内水素外販可能量
- ・資料4. 5: CO2 フリー水素チェーンの絵姿
- ・資料4. 6: CO2 フリー水素チェーンのロードマップ
- ・資料4. 7: CO2 フリー水素の多面的評価
- ・資料4. 8: 技術開発プログラム提案書

4. 2 CO₂フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見(追加調査)

FCV 以外で比較的多量の需要が期待できる分野とその条件等について追加意見調査を行った結果を資料4. 2に示す。

FCV 以外で量的に比較的多く利用される分野については、昨年度候補に挙げられた分野(発電部門、石油精製、化学プラント、ガスエンジンコジェネ、業務用水素 FC コジェネ、等)と基本的には同じであったが、新たな視点で、再生可能エネルギー電力貯蔵媒体としての水素利用が候補として挙げられた。

利用されるための条件については、

- ・カロリー当たりの価格が既存燃料(天然ガス等)より若干高い程度
- ・利用の為に設備投資・CO₂ 税等支出と燃料価格のトータル比較で水素利用が安くなること
- ・受入と利用のための施設/設備が経済的なレベルの技術水準となっており、初期投資及び運転・メンテの費用がリーズナブルなこと。
- ・スマートシティ等との組み合わせにより先進性や環境性が重視される場合、等の回答があった。

4. 3 需要推算(シミュレーション)

今年度実施した第4回 AP 研究会から第7回 AP 研究会の各回でシミュレーションを実施した。各回の概要(計算条件や結果に対するコメント)を添付資料4. 1に、計算条件と結果の詳細を資料4. 3に示す。

4. 4 国内水素外販可能量

現状の国内水素製造能力は、約 356 億 Nm³/年であり、自家消費が約 291 億 Nm³/年であり、その差約 65 億 Nm³/年が現状の国内水素外販可能量と推定される。詳細は添付4. 4参照。

4. 5 CO₂ フリー水素チェーンの絵姿

今年度まとめた CO₂ フリー水素チェーンの絵姿を資料4. 5に示す。これは、昨年度の素案を基に今年度の AP 研究会で出されたコメントを順次フォローしたものである。

今年度の AP 研究会で出されたコメントは資料4. 1参照。

4. 6 CO₂ フリー水素チェーンのロードマップ

今年度まとめた CO₂ フリー水素チェーンのロードマップを資料4. 6に示す。これは、今年度作成した素案に対して AP 研究会で出されたコメントを順次フォローしたものである。

今年度の AP 研究会で出されたコメントは資料4. 1参照。

4. 7 CO₂ フリー水素の多面的評価

今年度まとめた CO₂ フリー水素チェーンの多面的評価を資料4. 7に示す。これは、昨年度の素案を基に今年度の AP 研究会で出されたコメントを順次フォローしたものである。

今年度の AP 研究会で出されたコメントは資料4. 1 参照。

4. 8 水素の大量需要を目指す技術開発プラン

今年度まとめた「水素の大量需要を目指す技術開発プラン」を資料4. 8に示す。これは、今年度の AP 研究会活動の総括として、政府に対して「CO2 フリー水素推進協議会(仮称)設立」を提言することを主旨としたもので、今年度作成した素案に対して AP 研究会で出されたコメントを順次フォローしたものである。

今年度の AP 研究会で出されたコメントは資料4. 1 参照。

5 課題

CO2 フリー水素チェーン実現に向け、構想研究会及び AP 研究会を実施し、多くの成果を得ることができ、成果の総括として、政府への提言を主旨とした「水素の大量需要を目指す技術開発プラン」を作成した。しかし、CO2 フリー水素チェーン実現に向けて残された課題はまだ多くある。それらのいくつかを以下に示し、次年度以降における当研究会の検討事項(案)とした。

(担当: ○:主担当 △:補助)				IAE
	事務局	委員	外部講師	備考
<ビジネスモデル>				
1 製油所HPU代替 1.1 重油脱硫 1.2 水素化分解	△	○		・燃料としての利用でなく、水素でなければならない用途であるからテーマ対象としたい。
2 大規模火力発電 2.1 天然ガス・水素混焼 2.2 水素専焼	△	○		・CO2削減効果が非常に大きいので、テーマ対象としたい。 ・競争でなく、協調の範囲内で議論をする。
3 国内配送	○	△		・配送方法をリストアップし、利用(規模・場所、等)との関連づけ等、概念を整理する。 ・最適配送方式はプロジェクト領域に入るので、その検討は行わない。 ・水素に限らず、石油製品の国内配送方法も調べて、参考にする。
<その他>				
4 利用水素の等級分類・定義 (等級づけ)	○			・各ユーザーの要求仕様を整理する。 ・それを純度、圧力で整理する。
5 バリア解析	○			・CO2フリー水素チェーン実現における課題を、水素の製造、配送、貯蔵、利用、安全・コード・標準・規制、実証、等に分類して整理する。 ・対策の方向性を検討する
6 国富流失	△	△	○(商社)	・国富流失の定義を理解する ・LNGについて実例を学ぶ ・CO2フリー水素について一例として試算を試みる

6 外部発表

資料6は外部発表実績及び、現時点で決定している発表予定のリストである。

これまでの構想研究会及び AP 研究会の成果を基に、引き続き国内外で積極的に発表していく予定である。

7 水素に関する最近の政府の動向

1) 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会

(第12回会合:平成25年12月6日)「配布資料:エネルギー基本計画に対する意見(案)」

第3章(新たなエネルギー需給構造の実現に向けた取組み)、

第6節(流通/消費段階:安定供給と地球温暖化対策に貢献する二次エネルギーへの変革:電気の更なる有効活用と“水素社会の実現”)、

2(“水素社会”の実現に向けた取組みの加速)

(3)“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定、

に以下の記述が示されている。

水素社会の実現は、水素利用製品や関連技術・設備を製造する事業者のみならず、インフラ関係事業者、石油や都市ガス、LP ガスの供給を担う事業者なども巻き込みながら、国や地方自治体も新たな社会の担い手として、能動的に関与していくことで初めて可能となる大事業である。

このためには、様々な要素を包含している全体を俯瞰したロードマップの存在が不可欠である。

また、このような長期的・総合的なロードマップを実行していくためには、関係する様々な主体が、既存の利害関係を超えて参画することが重要である。

したがって、水素社会の実現に向けたロードマップを、2013年度末を目途に策定し、その実行を担う産学官からなる協議会を早期に立ち上げる。

2) 水素・燃料電池戦略協議会

(1) 第1回戦略協議会(H25 . 12 . 19)

<設置趣旨>

① これまでは遠い将来だと考えられていた水素エネルギー利活用について、約 30 年間の国家プロジェクト等を経て、2009 年に家庭用燃料電池が市場投入され、2015 年に燃料電池自動車市場投入される予定である等、世界に先駆けて水素エネルギー利活用に向けた入口が見え始めている。

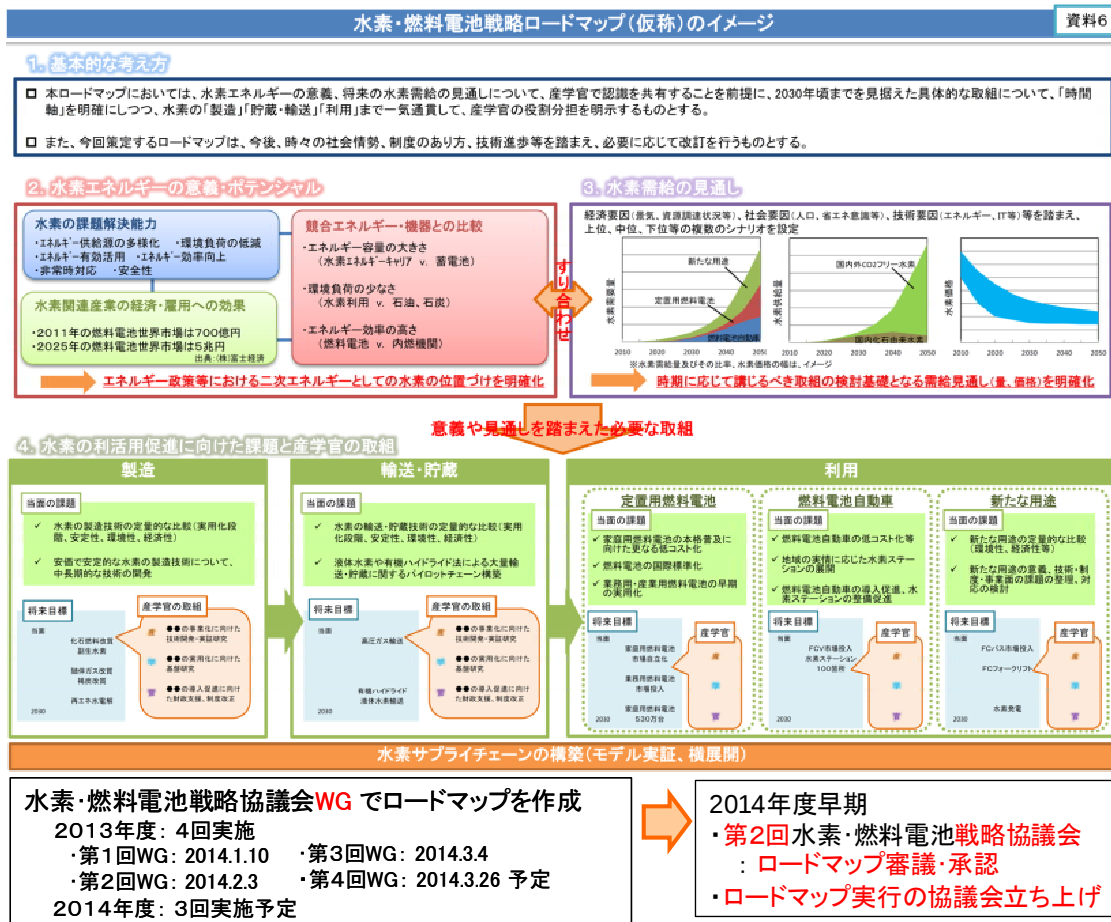
② 更に水素エネルギーの利活用を促進するためには、水素の需要を増加させるだけでなく、需要に見合った水素を安価で安定的に供給することが重要であり、水素の「製造」「輸送・貯蔵」「利用」の取組をバランスよく進めることが必要。ただし、その際には、水素エネルギーのコストも踏まえた意義や将来の水素需給の見通しを冷静に見極めることが必要。

③ このため、水素エネルギーの意義、将来の水素需給の見通しについて、産学官で認識を共有する。

④ この上で、水素エネルギーの意義を踏まえつつ、さらなる利活用に向けて、「時間軸」を明確にしつつ、水素の「製造」「貯蔵・輸送」「利用」まで一貫通貫して、官民の役割分担を明示し、事業者間でも共通認識を持てるような、2030 年頃までを見据えた具体的な取組に関するロードマップを策定する。

<水素・燃料電池戦略ロードマップ(仮称)のイメージ>

(出展:第1回 水素・燃料電池戦略協議会 資料6)



3) 水素社会推進小委員会

TBS News 2014年2月13日

Tokyo Broadcasting System, News Portal Site この記事を表示

自民が「水素社会」委員会設置、再生エネルギーの一環

政府の原発などに関する中長期的な政策を定める「エネルギー基本計画」に、再生エネルギーとして水素の活用を盛り込むため、自民党は新たに委員会を設置しました。

13日朝、初めて会合が開かれた自民党の「水素社会推進小委員会」は、水素エネルギーについて研究してきた議員連盟を党の正式な組織に格上げしたものです。

小委員会では政府が閣議決定する「エネルギー基本計画」に水素自動車の普及や水素発電の実用化など、水素エネルギーの活用を盛り込むため検討を加速する方針です。

「エネルギー基本計画」をめぐるのは、昨年末に経産省が作成した原案で原発を「重要なベース電源」としたことに対し、与党内から「原発の再稼働が前面に出過ぎている」と異議が出たことを受けて、再生エネルギーについて、より強調する狙いがあります。(13日10:14)

8 おわりに

C02 フリー水素チェーン導入の実現に向けた次ステップとしては、C02 フリー水素実用化推進協議会（仮称）のような組織が設立され、政府支援の下、民間主体での事業化展開がより一層加速されることを期待したい。我々は引き続き中立の立場で事業化支援を継続する所存である。

最後に、エネルギー総合工学研究所（IAE）の C02 フリー水素チェーンに関する研究会活動にご協力いただいているメンバー・オブザーバーの皆様に深甚なる謝意を表します。

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

2013年度の総括

2012年度立上時の目的・達成目標	2013年度の全体計画／第4回AP研究会(2013.6.11)	第5回AP研究会(2013.10.11)	第6回AP研究会(2014.1.22)	第7回AP研究会(2014.3.10)															
1 目的 構想研究会の成果を踏まえCO2フリー水素チェーン構想の具体的展開の基盤を形成する。 2 達成目標 ① CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見集約 ② 2050年までのCO2フリー水素エネルギーの需要推算(シミュレーション) ③ 2050年までの水素エネルギー社会の絵姿・シナリオの作成 ④ シナリオ実現に向けたロードマップ・アクションプランの作成 ⑤ CO2フリー水素の多面的評価 2012年度のAP研究会活動の総括 (達成度を ○ △ × で表示) 1 CO2フリー水素需要に関する意見集約(○ 但し、需要開拓調査要) ・国内CCS許容コスト: 約3千円/トンCO2 @2020 & 2050 ・CO2フリー水素 { 運輸以外用: 約30円/Nm3 @2030 & 2050 利用許容価格 運輸用 : 約40円/Nm3 @2050 ・CO2フリー水素 { 運輸以外用: 最大約1,770億Nm3 @2050 需要量 運輸用 : 最大約400億Nm3 @2050 2 水素需要推算(シミュレーション)(○ 但し、継続実施) ・2050年におけるCO2フリー水素需要量を推算 ・4ケース(水素価格とCCS有無の組合せ)実施<table><tr><th colspan="4">日本国内のCCS</th></tr><tr><th></th><th>有り</th><th>なし</th><th></th></tr><tr><td rowspan="4">輸入CO2フリー水素価格 @CIF</td><td>40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年</td><td>③CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3</td><td>②CCS無 発電 1,893 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3</td></tr><tr><td>50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3</td><td>③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3</td><td>④CCS無 発電 1,887 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3</td></tr></table> ・上記ケース①の場合(国内CCS有りで水素CIF価格が) ・運輸以外用:2,014億Nm3 (内大規模発電用:1,157億Nm3) ・運輸用:811億Nm3 3 水素エネルギー社会の絵姿(○ 但し、コメント盛込み要) 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・純酸素燃焼水素タービンはもっと強調すべき。 ・利用先として鉄道や船舶も入れる。 ・東芝のSOEC/SOFC(研究段階)を入れる。 ・安全・規制緩和の項目に水素事業法を示す。 ・地名は特定しない(場所の特定はシミュレーションの範疇) ・需要量と供給場所(国内のみ or 国内&海外)の整合 ・シミュレーションとの整合 ・絵姿(全体像)＋部分拡大図(PPで強調等)の組合せ 4 ロードマップ・アクションプラン(×) 1)ロードマップ:未着手 2)アクションプラン:実施要領(案)に対するコメントは以下の通り。 ・体制・政策も、ある程度最初から出てくるので、ステップを分けずに、同時並行で進める。 ・需要開拓からスタートすべきであり、その場合、燃料電池そして少し規模が大きい自家発電(分散型発電)が最初に来到と思われる。 ・原発は維持されるのではなからうか。 5 多面的評価(×) 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・擬一次エネと考え得るので化石燃料・原子力・再生可能エネ等の一次エネと比較してもいい。 ・対供給地支援(信頼関係)を項目に入れるべき。	日本国内のCCS					有り	なし		輸入CO2フリー水素価格 @CIF	40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,893 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3	50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3	③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,887 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3	I 2013年度の最終目標(アクションプラン) ① 『大規模発電事業における水素利用等水素の大量需要を目指す技術開発提案書』の作成 ・水素エネルギーによる総合効率向上の理論展開を試みる。 ・CO2フリー水素推進協議会設立を提言する。 ＜第4回AP研究会でいただいた主なコメント> ・題名は技術開発プログラム提案書とした方が良い。 ・課題では技術開発課題を同定してもらいたい。 ・車との連携も取った記述をする。 ② 成果の公表 FC EXPO 2014(2月@東京)への出展のみならずWHEC 2014(6月@韓国光州)、Grand RE 2014(7～8月@東京)等にも積極的に発表すること。 II AP研究会立上時の達成目標に対する実施計画 1. エネルギーユーザの意見集約 ・FCV以外で比較的多量の需要が期待できる分野とその条件等について追加意見調査を行う。 2. シミュレーション 第4回AP研究会でのコメントを反映し、以下を実施予定。 ベースケース ① 日本の中長期のエネルギー需給関連条件の改訂 ② 日本の中期のCO2制約の変更 ③ 世界の水素製造地域、水素資源の見直し(世界各地の包蔵水力の調査等) ④ 水素関連技術の精査(効率、コスト等のアップデート) 感度分析 ① 世界全体、日本のCO2制約 ② 資源価格の変化(石油、石炭、ガス、水素等)(シェールガス革命。水素が導入されるロバストな条件) ③ 日本の原子力発電量の比率等 ④ CCSに関連するパラメーター(日本国内CCS技術の適用可否、年間貯留量制約の考慮等) ⑤ 水素の国際輸送の制約(水素の調達が一地域に限定しない) ⑥ 水素関連技術の導入量をシナリオで与えた場合の振る舞い(エネファーム等) 3. 水素エネルギー社会の絵姿 ・High H2 シナリオとLow H2 シナリオの2ケースで第4回AP研究会で最終案として提示。以下主なコメント。 ・食塩電解水素をカーボンフリー水素と言えるかは疑問 ・今回以降皆さんの意見を盛り込んで徐々に良くなっていく 4. ロードマップ ・第4回AP研究で一次案を提示。以下主なコメント。 ・導入初期に焦点を当てた現実的なロードマップが必要。 導入初期ではノンカーボンフリー水素からカーボンフリー水素に移行する。 ・先ずは石油精製所で水素でしかできない所に使用される ・チェーンと要素は分けて記述する FCVや定置用FC、ST数等の水素の需要量は既存資料を参照すること ・CCSはRITEが作成したロードマップを参照すること。 ・エネルギーキャリアの絞り込みの工程を示す(結果ではなく) ・前提条件を明示すべきである。 5. 多面的評価 ・第4回AP研究で、CO2フリー水素導入についての定性的評価を行い、レーダーチャートによる比較はしないことで合意。	I 2013年度の最終目標(アクションプラン) ① 『水素の大量需要を目指す技術開発プログラム提案書』の作成 → 次回議論 ② 成果の公表 ・山地委員長の承諾を得て積極的に公表する ・公表済みのもの予定のものを整理し次回示す。 II AP研究会立上時の達成目標に対する実施計画 1. エネルギーユーザの意見集約 ・追加意見調査結果は昨年度実施結果に集約される。 2. シミュレーション シェールガスによる影響を考慮して、天然ガス価格を少し下げた条件での計算結果を中心に報告。 ＜第5回AP研究会でいただいた主なコメント> ・ロシア等の包蔵水力は計算可能か？ → 回答: 出来るようにするつもりです。 ・インドは天然ガス価格低下の影響が全くなく、パタゴニア風力水素が輸入されている。国内炭＋CCS等国内競合技術はないのか？ → 回答: 恣意的に化石燃料起源の水素は作れないと設定 ・ガソリン車を各次世代自動車で置き換えた際の追加的削減費用の図(スライド13)でEVとFCVの導入シェアの図があれば良い→回答: 前回とあまり変わっていません ・モデルでは水素大規模発電を電気事業用と産業用自家発電用に分けていますか？ → 回答: シェアを仮定すれば分けられますが、分けていません。 3. 水素エネルギー社会の絵姿 ・先ず、IPP等自家発電で導入され、事業用大規模発電にスケールアップされると想定。 ・千代田さん川重さん等最近の新聞報道を盛り込むこと。 ・オフガスに水素を加えてカーボン排出を減す形の水素導入が一番早い。 足元でCO2フリーでない水素の導入量が示され、それがCO2フリー水素の導入量に移行・拡大して行くことを示せれば、良いものになる。 ・委員からいい写真が提供されれば盛り込む 4. ロードマップ ・千代田さん川重さん等最近の新聞報道を備考欄に示す。 ・国内配送はパイプライン以外も線引きをすること。 ・要素技術の海外水素製造は千代田さんの計画を踏まえ、CCSなし化石燃料を2015年頃から示すこと。 ・エネルギーチェーン(グローバル)の表現を水素キャリアとする。地域は備考欄に一例として記述する。 ・新聞記事をロードマップに示す場合は発信源に確認すること。 ・需要から利用へのインタラクション(矢印)だけでなく、製造・供給から利用への矢印も示すこと。 ・太陽光発電水素も示すこと。 ・絵姿と整合を取ること。 ・アンモニア電解合成の表現は革新的合成にすること。 ・パイプラインは項目及び線引きを削除する。 ・最初何に導入され、どう水素社会が形成されるか議論要 5. 多面的評価 ・安全性の所で、正しい使い方をすれば、安全性に問題はない、の表現は修正要。 金属脆化には注意が必要の表現も修正要。 規制緩和との絡みを上手く書く。 水素爆発に絞って、簡潔に書く。 ・安心は削除する(安全と安心は全く異なる) ・環境性はもっとウエイトを高くて書くこと。 ・エネルギーキャリアの多様性は需要の多様性で検討すること。 ・国富流出防止計算のいいロジックが欲しい(事務局)	1 水素需要推算(GRAPE) 1) 事務局よりケーススタディー条件(一部下記)と結果を説明 ・水素の輸入は2020年以降海外14地域から可能と設定。 ・水素の需要先は、先進地域と中国、インド、ブラジル、ロシアの運輸(FCV,ICE)、発電(大規模発電)、定置(水素コジェネ、直接燃焼)。(BRICsは2030年から水素を利用) ・2020年の日本のCO2制約は1990年比約3.1%増加 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・あまり制約条件を置かない計算も考慮に入れてもらいたい。 ・CO2制約はあまり短期的に変化を追わない方がいいように思う。 ・大規模水素発電や天然ガス混焼発電により、燃料電池コジェネが全部追い出された結果となっているので、ある程度、現実的になるようにしてはどうか。 ・天然ガス混焼の追加コストをkW単価で入れた方が良い。 ・議論ではできるだけ制約条件を示すべきである。 ・最終的にどういう解釈をするかが大事で、今回は解釈を示し、それを合めて年度末のまとめをしてもらいたい。 2 水素エネルギー社会実現に向けた絵姿 1) 事務局よりHigh H2 シナリオ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・水素ステーションはFC STでなくH2 STと表現すべきである。 ・熱化学サイクルアンモニア合成を削除すべきである。 ・国内水素製造設備余力を数値の見直しも含め、より適切に表現すること。 ・水素の付加価値(CO2フリーの有無、純度・圧力等)を考慮した名称分類を検討してはどうか？(事務局) 3 CO2フリー水素チェーンのロードマップ 1) 事務局よりロードマップ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・国内配送でパイプラインは圧縮水素と並列に記述する。 ・ハイトランは備考欄に書く。 ・アンモニア(エネルギーキャリア)は文科省/経産省共同プロジェクトに一任、という主旨のことを付記する。 4 CO2フリー水素の多面的評価 1) 事務局より多面的評価(一次案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・供給源分布で不偏性は普遍性の方が適切ではないか？ ・安全性については、対象者を明確にし、適切で簡潔な文章にすること。 ・社会受容性の所は「初めて成り立つものです」で終わる。「安全と安心は全く別物であると思われる」は議論を知らないで読むと誤解を招く可能性があるので、削除する。 ・ビジネスモデルを上手く書ければいい。 ・規制を見直すことを必要に応じて検討してはどうか？ ⇒ 規制緩和は多面的評価の中で示すのは難しいかもしれない。⇒ 水素大量利用に関する規制そのものが無い状況に対して、何か検討が出来ればいい(事務局) 5 水素の大量需要を目指す 技術開発プラン 1) 事務局より技術開発プラン(一次案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・METIの戦略協議会が現在に向けた全体集合で、その補集合がAP研究会。エネ庁さんがやられる以外の所に注力した提案にする。 ・添付資料を作るよりも本文を分かりやすくまとめること。 ・業界のメリットは書くべきか否かも含めて、後日コメントをいただく。 6 成果の公表 ・WHEC 2014、Grand RE 2014等で積極的に発表する。 7 次年度研究会について ・内容は、国内配送等を含め次回協議する。	1 水素需要推算(GRAPE) 1) 事務局より計算条件(主要変更点下記)と結果を説明 ・再生可能エネルギー電力を用いる水電解コスト -水電解装置の設備利用率を水力の場合は、80%、風力30%、太陽光12%として水電解コスト -その他ラテンアメリカの風力発電のコストを他と同じに設定。 ・水素の域内配送コスト -産業、民生用は、トレーラーのコストのみ計上しており、需要者側の貯槽のコストを追加。 ・水素混焼発電 -0% (天然ガス火力)から100%まで20%刻みで考慮。 -コスト増加は、液化水素貯槽の容量で表現。 -混焼比率は固定。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・各種CCS付火力発電の電力単価と発電電力量の年次変化の関係を明確に説明できるようにすること。 2 CO2フリー水素チェーン実現に向けた絵姿 1) 事務局よりHigh H2 シナリオ(最終案)を提示・説明 ・今回、題名を「CO2フリー水素チェーン実現に向けた絵姿」に変更。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・FCVと水素ステーションの数はいつの時点かを示すこと。 ・水素ステーションの数が2030年に比べ2050年が少なくなっており、おかしい。確認する事。 ・FCV、ステーション、エネファームの数値の出典を明示すること。 ・国産の再生可能エネルギー由来水素で水力発電、バイオマス等を含めること。 ・国産のCO2フリー水素の行先は輸入CO2フリー水素とすること。 3 国内水素供給量 1) 事務局よりヒアリング等に基づきまとめた結果を説明 ・国内の水素供給可能量は約65億Nm3/年と推定。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・表現は供給可能量より外販可能量の方がいいのではないかな。 ・鉄鋼からの水素供給可能量は0とするが、外部で誤解されないよう注釈をつける。 4 CO2フリー水素チェーンのロードマップ 1) 事務局よりロードマップ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・エネルギーキャリアは文科省/経産省共同のプロジェクトとして、現在実施中と記述する。 5 CO2フリー水素の多面的評価 1) 事務局より多面的評価(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・水素爆発に関する参照記述は、最後に注として入れるか、コラム的に四角で囲んで記載する。 ・水素ステーションに限定せず、発電等を含めもう少し幅広い安全対策について国が補助をすべき状況に近づいていることを書き込めればいい。 ・燃焼利用時のNOx問題は対策可能、と記述する。 6 水素の大量需要を目指す 技術開発プラン 1) 事務局より技術開発プラン(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・シミュレーションの本文は例えばとして一次エネルギーへの貢献性を示す程度に簡略化し詳細は添付とすること。 ・水素供給の内訳は誤解を招かない様な表現・数値にした方が良い。 ・有機HDのオフサイト脱水素は実用化済、オンサイト脱水素は開発研究中。 ・課題は判断基準を統一し、できるだけ示す。 7 次年度研究会について ・事務局より事務局提案を示し・説明(議論の時間無し)
日本国内のCCS																			
	有り	なし																	
輸入CO2フリー水素価格 @CIF	40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,893 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3																
	50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3	③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,887 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3																

アタクションプラン研究会(略称)
CO2フリー水素の需要に関する追加意見調査結果

【資料4. 2】
2013.10.11
IAE

調査対象者の立場		個人		個人	
調査対象者					
対象者の所属					
質問		回答			
①FCV以外で量的に比較的多く利用される分野は何か？	①ガスエンジンコジェネ、業務用水素FCコジェネ等であらうと思われる。	1) コジェネ・分散発電(定置型燃料電池) 2) 再生可能エネルギー電力貯蔵媒体としての水素利用 直接の水素利用先は定置型燃料電池、小型エンジン・タービン発電(直接燃焼、ガス混燃) 3) 石油精製、化学プラント 但し、立地・製品構造的に水素を専用プロセスで作ったほうが経済メリットがある場合 特に、燃料中硫黄濃度の規制強化が進む地域で製油所での水素需要が増える可能性はあるかもしれない		発電部門	
②利用されるための条件は主として何か？ 供給価格だけなのか？ それ以外に何かがあるのか？	②コストの低減はもちろんであるが、スタートシナイ等との組み合わせにより、先進性や環境性が重視される場合に可能性がある。	1) 商業・工業利用の場合、コストメリットがあること 2) 静粛、無臭等水素利用機器の使用メリットがあること 3) クリーンイメージ等非心理的メリットを受入れるユーザーが対象であること		供給価格が他エネルギー価格(COCS等の環境費用含む)と同等であることと、受入と利用のための施設/設備が経済的なレベルの技術水準となっており、初期投資及び運転・メンテの費用がリーズナブルなこと。	
③供給価格についてはいくらであれば利用されるか？	③カロリー当たりの価格が、既存燃料(天然ガス等)より若干高い程度。	1) コストメリット重視の場合、利用の為の設備投資・CO2税等支出と、燃料価格のトータル比較で水素利用が安くなること ケースバイケースなので一概に幾らとは言えません。おそらく相対価格となると思います。 2) 他定量的評価が難しい付加価値については、尺度を設けることは困難。		具体的な数字は現在述べるのが難しい状態です。	
④所属先でCO2フリー水素さらにその利用先についてどのような議論がされているか？	議論は、ほとんどなされていないと思われる。				
⑥所属先でCO2フリー水素について前向きな議論がされている場合それはなぜか？	電気事業では、現在は将来技術である水素に関して議論する状況ではないため。				
⑤さらに前向きな議論がされるためにはどのような検討・資料が必要か？	CO2フリーという大前提に疑問がある。CO2フリーの実現性について、さらに納得のいく定量的な議論がなされないと、利用側の議論の深掘りが真剣なものとならない可能性が高い。 原子力再稼働により電力安定供給が達成されるまでは、議論の具体的な進展は厳しいと思われる。ただし、研究機関等では、CO2フリーの実現性がさらに定量化を持って示されれば、議論や調査に発展する可能性はあると思われる。				

CO₂ フリー水素の需要推算(シミュレーション)

2013年度実施した第4回 AP 研究会から第7回 AP 研究会の各回で実施したシミュレーションによる水素需要推算の計算条件、ケーススタディー、計算結果の概要を以下に示す。

4. 3. 1 第4回 AP 研究会での需要推算

1) 計算条件

<前回からの変更点>

《運輸需要の更新》

- ・2050 年の世界全体の乗用車保有台数が、文献値に近くなるよう変更。
- ・貨物自動車、バス、鉄道、航空(国内、国際)、のエネルギー需要のアップデート。
- ・車両寿命の増加。

《CCS 条件の改訂》

- ・帯水層の CCS ポテンシャル、コスト。
- ・日本の帯水層への貯留量の年あたりの最大値を設定。

<計算条件>

- ・CO₂ 制約は、2020 年は各地域のコミットの値、2050 年先進地域は 1990 年比 80%減、世界全体で 50%減。
- ・各原子力発電所の寿命は 40 年で新設なし(フェーズアウト)とした。フェーズアウトは日本のみで、寿命は 40 年(福島第一、第二は含めず、新設は、島根 3 号と大間のみ)。

2) ケーススタディー

海外 CO₂ フリー水素の CIF 価格と CCS の利用可能性でケース分けした。

ケーススタディー条件を表4. 3. 1-1に示す。

表4. 3. 1-1 ケーススタディー条件(第4回 AP 研究会)

		日本国内のCCS利用	
		有り	なし
輸入CO ₂ フリー水素価格設定	約38円/Nm ³ ～約32円/Nm ³	①CCS有、30円台/Nm ³ 今回報告	②CCS無、30円台/Nm ³ 今回報告(数値のみご紹介)
	約46円/Nm ³ ～約39円/Nm ³	③CCS有、40円台/Nm ³ 今回報告	-

3) 計算結果

(1) ベースケースの水素需要量・供給量の時間変化

ベースケース(ケース①(CCS 有、30 円台/Nm³))の水素需要量の時間変化を図4. 3. 1-1に、

供給量の時間変化を図4. 3. 1－2に示す。

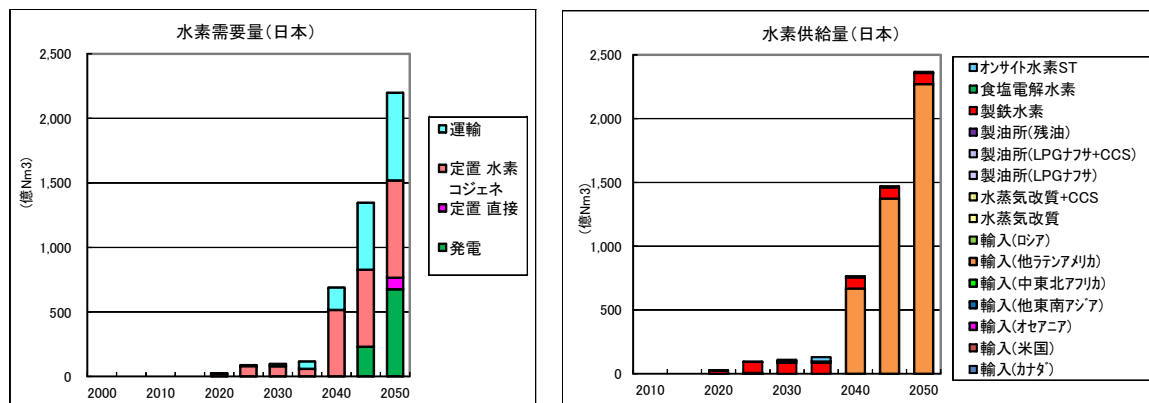


図4. 3. 1－1 ベースケースの水素需要量

図4. 3. 1－2 ベースケースの水素供給量

需要については以下の通りである。

- ・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、2199 億 Nm³ (7.3Mtoe)。

供給については以下の通りである。

- ・2035 年までは、主として国内で水素を調達するが、水素需要が伸びるそれ以降は海外からの輸入量が伸びる。

(2) 各ケースの水素需要の時間変化

各ケースの水素需要の時間変化を図4. 3. 1－3に示す。

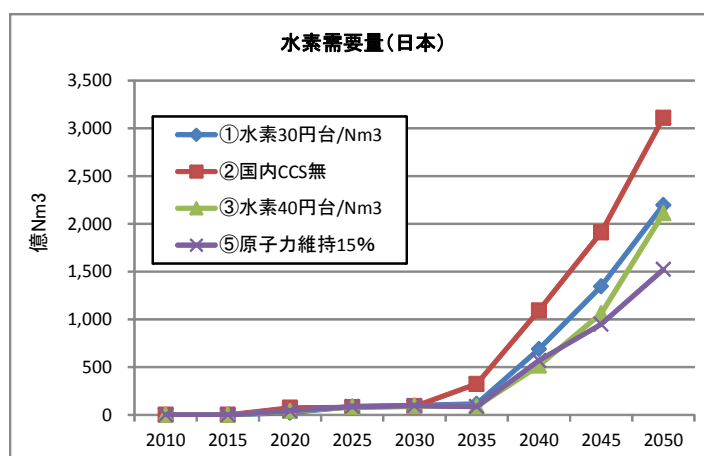


図4. 3. 1－3 各ケースの水素需要の時間変化

CO2 制約がある場合の結果は以下の通りである。

- ・CCS が最も水素需要に影響を与える
- ・原子力がフェーズアウトしない場合は、水素需要の多い大規模水素発電向けの水素需要が減少する結果、2050 年断面では水素需要もっとも小さい

・水素価格が上昇すると水素導入量は減少する。

(3) 2050 年での水素供給量・需要量

2050 年での水素供給量・需要量のケーススタディー結果を表4. 3. 1－2に示す。

表4. 3. 1－2 2050 年での水素供給量・需要量(第4回 AP 研究会)

ケース名	水素供給		水素需要			
	供給内訳	供給合計	発電	運輸	定置	需要合計
①CO2フリー水素 価格30円台/Nm ³	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリカ2270	2367	大規模発電675	FCV、トラック、バス等680	直接燃焼89 水素コジェネ753	2199
②CCS無	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリカ1876 ロシア1312	3188	大規模発電1547	FCV、トラック、バス等726	直接燃焼86 水素コジェネ753	3110
③CO2フリー水素 価格40円台/Nm ³	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリカ2182	2280	大規模発電587	FCV、トラック、バス等680	直接燃焼89 水素コジェネ753	2110
⑤原子力維持15%	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリカ1595	1691	大規模発電0	FCV、トラック、バス等663	直接燃焼87 水素コジェネ734	1524

・水素 CIF 価格が 30 円台/Nm³ のケースでは、CCS が利用可能な場合も大規模発電で水素が 675 億 Nm³ 利用され、40 円台/Nm³ の時よりも約 100 億 Nm³ 多くなっている。

・CO₂ 制約下では、国内の CCS の利用可能性や原子力発電の比率が大規模発電の水素利用に大きく影響を与え、水素需要が大きく変化する原因となっている。

(4) まとめ

①発電部門

- ・ベースケースでは、国内で CCS が利用できる場合でも、2020 年に水素コジェネ、2045 年に水素大規模発電が導入される。
- ・国内で CCS が利用できない場合は、CO₂ 排出制約を満たすために大規模水素発電の利用が増加する。国内で原子力発電を維持する場合、大規模水素発電は利用されない。

②定置用需要分野

- ・2020 年から水素ガスエンジンコジェネが導入、2050 年で約 753 億 Nm³ (19.4Mtoe)。
- ・2050 年には、水素は定置用燃料の約 8%を占める。

③運輸部門

- ・FCV、EV、PHEV が利用される。2050 年には FCV の保有台数が約 2600 万台、約 230 億 Nm³ の水素需要。
- ・2050 年では、CCSができない場合にEVが大幅に減少し、FCVとICEで代替されている。

④水素

- ・CO₂ 制約下では、水素需要の増減は発電部門での水素利用に大きく影響を受ける。

4. 3. 2 第5回 AP 研究会での需要推算

1) 計算条件(ケーススタディー条件)

今回の計算条件(ケーススタディー条件)は、4. 3. 1項(第4回 AP 研究会での需要推算)で示した表4. 3. 1-1のケース①(ベースケース)に対して、シェールガスを考慮して天然ガスの価格を低下させたケース(下表4. 3. 2-1の⑥)である。

表4. 3. 2-1 ケーススタディー条件(第5回 AP 研究会)

		日本国内のCCS利用	
		有り	なし
輸入CO ₂ フリー水素価格設定	約38円/Nm ³ ～約32円/Nm ³	①CCS有、30円台/Nm ³ 前回報告 ⑥天然ガス価格低下 今回報告	②CCS無、30円台/Nm ³ 前回報告(数値のみご紹介)
	約46円/Nm ³ ～約39円/Nm ³	③CCS有、40円台/Nm ³ 前回報告	-

2) 水素 CIF 価格

ベースケース(シェールガスを考慮しないケース)とシェールガスを考慮したケース(表4. 3. 2-1の⑥)の水素 CIF 価格(計算結果)を、各々、図4. 3. 2-1、図4. 3. 2-2に示す。

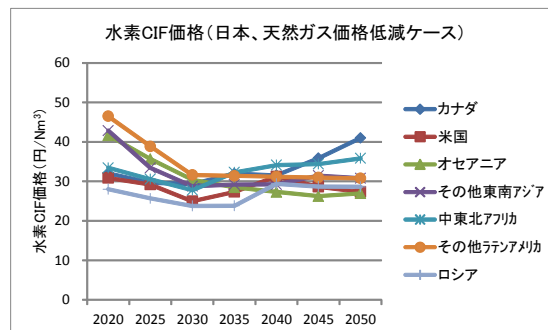
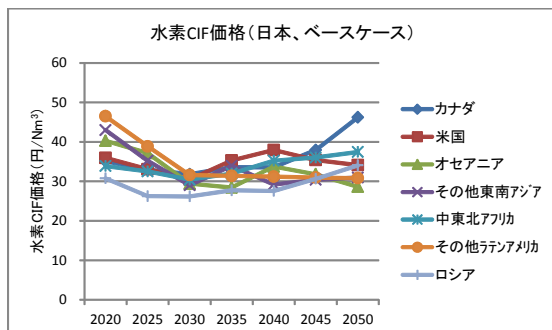


図4. 3. 2-1 水素CIF価格(ベースケース)

図4. 3. 2-2 水素CIF価格(シェールガス考慮)

シェールガスを考慮し、CIF 価格が2020年約30円/Nm³、2030年約25円/Nm³となるよう製造、輸送コストを設定した結果、天然ガスを用いた水素製造のコストの低下は以下の通りとなった。

- ・米国 : - 4 ~ - 8 円/Nm³
- ・カナダ: - 2 ~ - 3 円/Nm³

3) 計算結果

(1) シェールガスを考慮した場合の水素需要量の時間変化

シェールガスを考慮した場合(天然ガス価格を低下させた場合)の水素需要量の時間変化を図4. 3. 2-3に、ベースケース(シェールガスを考慮しない場合)との差分を図4. 3. 2-4に示す。

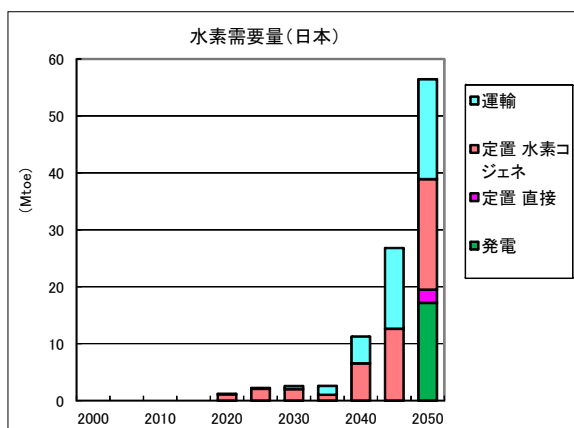


図4. 3. 2-3 水素需要量(シェールガス考慮)

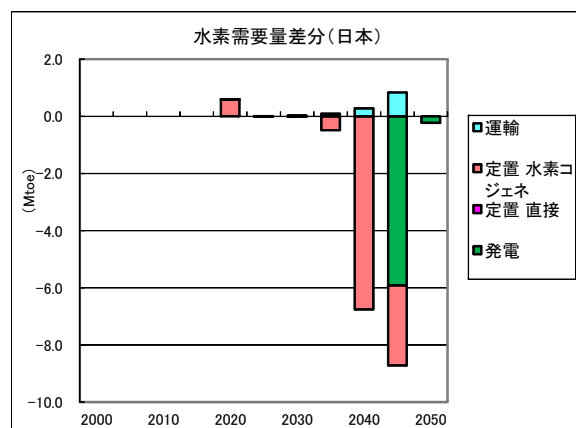


図4. 3. 2-4 水素供給量差分
(シェールガス考慮ケース-不考慮ケース)

差分は、シェールガスを考慮したケースから考慮しないケース(両ケースとも国内 CCS 有、30 円台/Nm³)の各期の値を引いた値である。

天然ガス価格が低下したため、水素コジェネと水素大規模発電が減少する 2045 年は約 9Mtoe (307 億 Nm³/年)の需要が減少する。

(2) 各ケースの水素需要の時間変化

各ケースの水素需要の時間変化を図4. 3. 2-5に示す。図4. 3. 2-5の中で⑥がシェールガスを考慮したケース(天然ガス価格低減ケース)である。

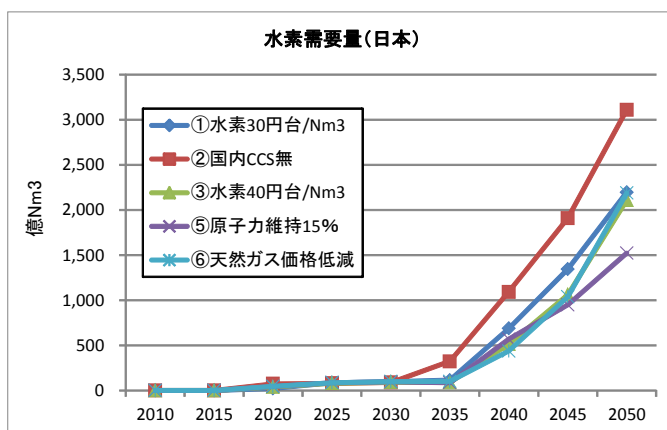


図4. 3. 2-5 各ケースの水素需要の時間変化

⑥の天然ガス価格低減ケース(シェールガスを考慮したケース)では、ベースケース(シェールガスを考慮しないケース)と比較して 2040、2045 年で水素需要が低下している。

前回報告分(図4. 3. 2-5の①~③、⑤)

- ・CCS が最も水素需要に影響を与える
- ・水素価格が上昇すると水素導入量は減少する。
- ・原子力発電を一定量(ここでは 15%)維持するケース⑤は、水素需要の多い大規模水素発電

- 向けの水素需要が減少する結果、2050 年断面では水素需要が最も小さい。
- ・特定の競合技術の動向など、水素需要量に大きな影響を与えるドライバーが存在する。

(3) 2050 年での水素供給量・需要量

2050 年での水素供給量・需要量のケーススタディー結果を表4. 3. 2-2に示す。

表4. 3. 2-2 2050 年での水素供給量・需要量(第5回 AP 研究会)

ケース名	水素供給		水素需要			
	供給内訳	供給合計	発電	運輸	定置	需要合計
①CO2フリー水素 価格30円台/Nm ³	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリ カ2270	2367	大規模発電675	FCV、トラック、バス 等680	直接燃焼89 水素コジェネ753	2199
②CCS無	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリ カ1876 ロシア1312	3188	大規模発電1547	FCV、トラック、バス 等726	直接燃焼86 水素コジェネ753	3110
③CO2フリー水素 価格40円台/Nm ³	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリ カ2182	2280	大規模発電587	FCV、トラック、バス 等680	直接燃焼89 水素コジェネ753	2110
⑤原子力維持15%	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリ カ1595	1691	大規模発電0	FCV、トラック、バス 等663	直接燃焼87 水素コジェネ734	1524
⑥天然ガス価格 低減	製鉄86 食塩電解11 その他ラテンアメリ カ2262	2358	大規模発電667	FCV、トラックバス等 680	直接燃焼89 水素コジェネ753	2191

- ・水素 CIF 価格が 30 円台/Nm³ のケースでは、CCS が利用可能な場合も大規模発電で水素が 675 億 Nm³ 利用され、40 円台/Nm³ の時よりも約 100 億 Nm³ 多くなっている。
- ・CO₂ 制約下では、国内の CCS の利用可能性や原子力発電の比率が大規模発電の水素利用に大きく影響を与え、水素需要量に大きな影響を与えるドライバーが存在する。
- ・天然ガスの価格が低下した場合も 2050 年は、①と大きな違いはない

(4) まとめ

ベースケースと天然ガスの価格が低下したケースを比較した。

①発電部門

- ・天然ガスの価格が下がるため、天然ガス火力、CCS 付天然ガス火力が高品位炭火力とバイオマス発電、水素大規模発電の一部を代替する。
- ・水素大規模発電は 2050 年から導入される。

②定置用需要分野

- ・2020 年から水素コジェネが導入されるが、天然ガスの価格が低下すると、ベースケースに比べて水素コジェネは最大で 6.8Mtoe(264 億 Nm³)の需要が減少する。
- ・2050 年には、水素は定置用燃料の約 8%を占める。

③運輸部門

- ・乗用車では FCV、EV、PHEV が利用される。2050 年には FCV の保有台数が約 2600 万台、約 240 億 Nm³ の水素需要がある。

④水素

- ・天然ガスの価格を低下させたケースでは、ベースケースと比較して 2040、2045 年で水素需要が低下している。

4. 3. 3 第6回 AP 研究会での需要推算

1) 計算条件

<主な変更点>

- ・ 日本の中期(2020 年)の CO2 制約の変更
 - 2005 年比 3.8%減(1990 年比 3.1%増)に改訂
- ・ 世界の水素製造地域、水素資源の追加(図4. 3. 3-1)
 - 世界 15 地域で 2020 年から水素製造・輸出が可能とした
 - 天然ガス、低品位炭、再エネ由来電力から水素を製造
 - ・ 資源価格は地域ごとの値を使用。
- ・ 包蔵水力調査
 - IASA の Global Energy Assessment を調査、現状と概ね同じであることを確認。また、これまで報告した結果では、水力には供給余力があることを確認。
- ・ 天然ガス火力発電所における水素混焼の追加
 - 既設の天然ガス火力発電所も 0%~100%で水素を混焼できるように追加。
- ・ 2030 年以降の FCV コスト改訂(図4. 3. 3-2)
- ・ トラック・バスの台数シナリオを追加
 - これまで燃料需要を満たすよう計算していたトラック、バスについて、統計データを基に車両の台数シナリオ作成し、車両コストを考慮。

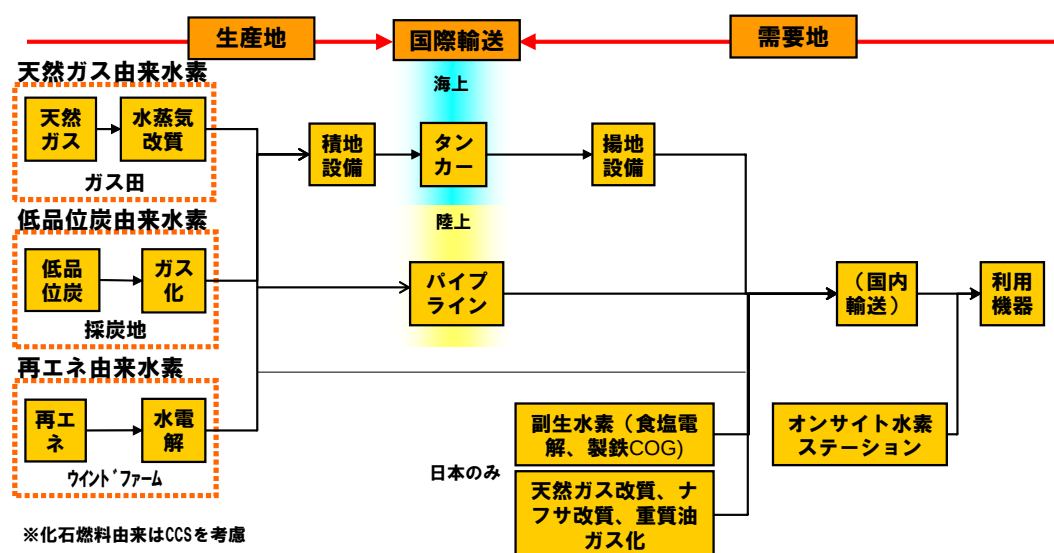
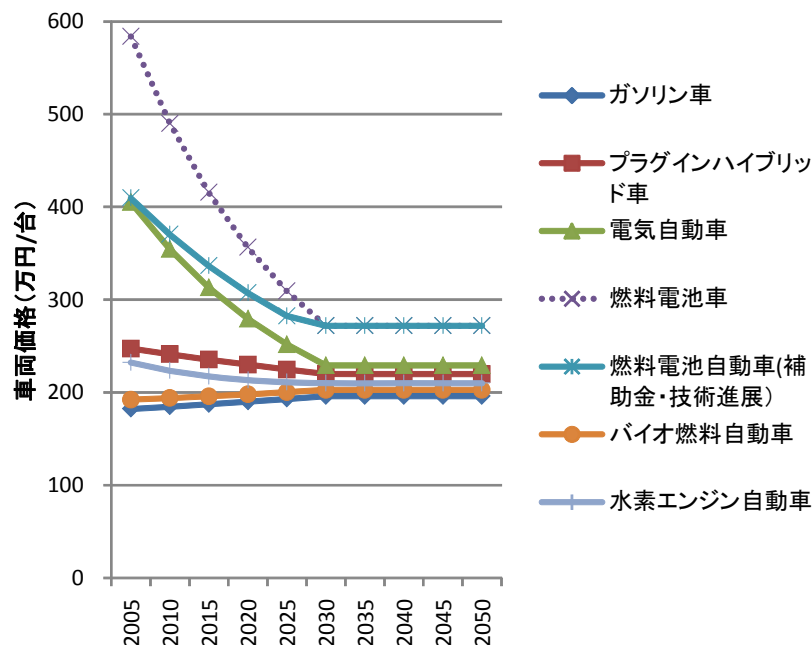


図4. 3. 3-1 世界の水素製造地域・水素資源



出典: IEA, Passenger light duty vehicle efficiencies and costs (2009)

注1: ※EVは2010年に補助金込みの日産リーフの値になるよう2005年を設定

注2: ※FCVは2015年に5万ドルとなるよう2005年を設定(補助金・技術進展考慮前)

図4. 3. 3-2 車両価格

<CO2 制約>

- ・ 最近の政策の動きをふまえ、日本の CO2 制約を変更
 - 平成 24 年 4 月の環境基本計画
 - ・ 2050 年に温室効果ガスの 80%減。
 - ・ 2020 年 25%減は、主要国の参加と公平・実効性のある国際的枠組みの構築・目標の合意など、条件つきで記載。
 - 平成 25 年 11 月の気候変動枠組条約締約国会議において表明された目標値
 - ・ 2020 年時点の温室効果ガスを 2005 年比 3.8%減(原子力発電による温室効果ガスの削減効果を含めずに設定)。
 - ・ 1990 年比 3.1%増に相当。
 - ・ その際の森林吸収源やクレジットの扱いは不明。
- ・ 2020 年の日本の CO2 制約は、上記を考慮し、**1990 年比約 3.1%増加**
 - CO2 以外の温室効果ガスも同比率で削減すると想定。
 - 参考: 前回報告時の設定は、90 年比 5%減。
- ・ 2025 年以降の制約は、変更なし
 - 先進地域は 2050 年 80%減、世界全体で 50%減。

2) 水素 CIF 価格

今回実施したシミュレーションでの水素 CIF 価格を図4. 3. 3-3に示す。

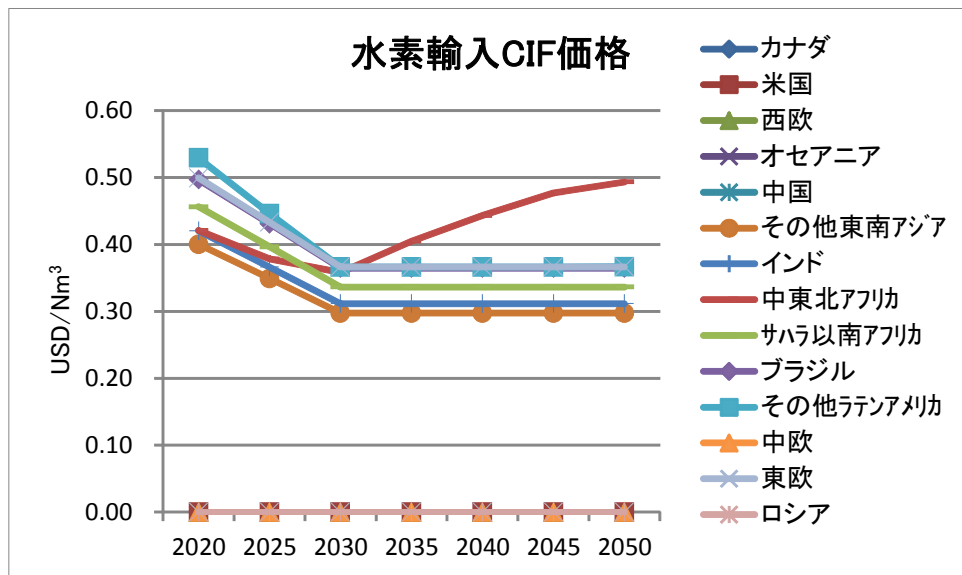


図4. 3. 3-3 水素輸入 CIF 価格

- ・ CIF 価格は、2020 年約 46～35 円/Nm³、2030 年以降約 44～26 円/Nm³ とに分布。
- ・ 中東からの水素が 2050 年にかけて上昇するのは、天然ガスの価格上昇を反映。
- ・ 水電解の水素の価格差は輸送コストの差が主。

3) 計算結果

(1) 水素需要量・供給量

今回実施したシミュレーションでの水素需要量の時間変化を図4. 3. 3-4に、供給量の時間変化を図4. 3. 3-5に示す。

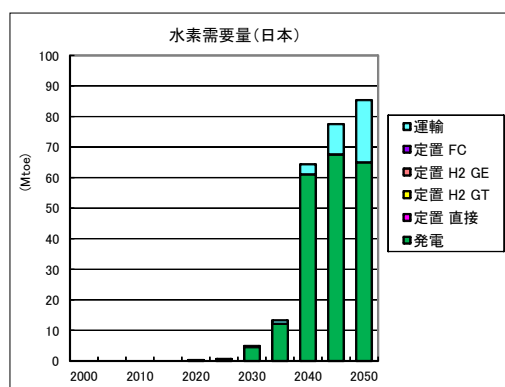


図4. 3. 3-4 水素需要量

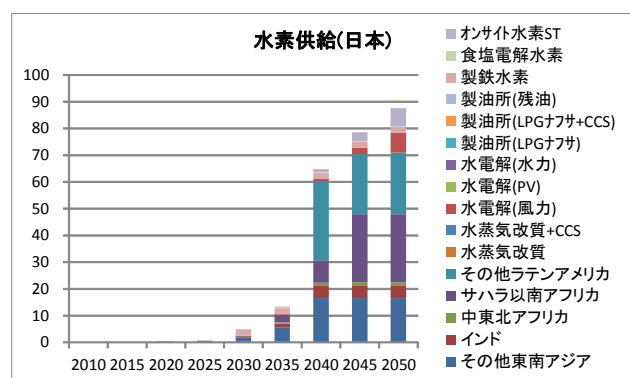


図4. 3. 3-5 水素供給量

需要については以下の通りである。

- ・ 2020 年から運輸部門の FCV で水素が利用される(2020 年は、1.6 億 Nm³)。
- ・ 2020 年に水素大規模発電が導入される(2020 年の 18.3 万 kW)。
- ・ 2050 年における水素需要は、3309 億 Nm³ (85.3Mtoe)。

供給については以下の通りである。

- ・ 平均約 80%を海外から調達する。
- ・ 2050 年の水素供給量は約 3397 億 Nm³ (87.6Mtoe)。

(2) CO₂ フリー水素の寄与

CO₂ フリー水素の一次エネルギーへの寄与を図4. 3. 3-6に、ゼロエミッション電源比率への寄与を図4. 3. 3-7に示す。

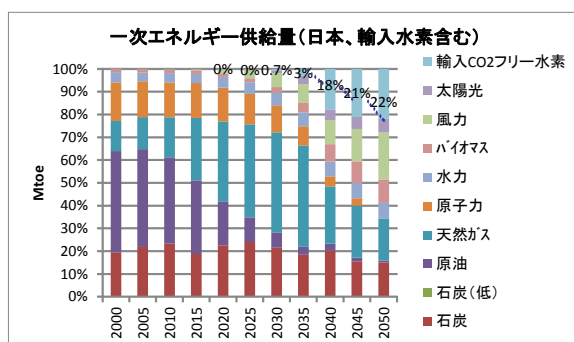


図4. 3. 3-6 一次エネルギーへの寄与

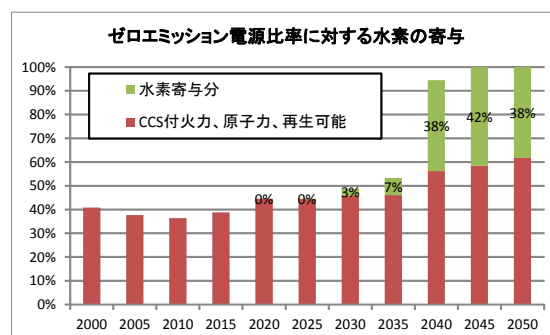


図4. 3. 3-7 ゼロエミッション電源比率への寄与

- ・ CO₂ フリー水素の一次エネルギーへの寄与は 2030 年で約 1%、2050 年で約 22%である。
- ・ CO₂ フリー水素のゼロエミッション電源比率は、2030 年で約 3%、2050 年で約 38%である。

(3) 発電電力量

発電電力量を図4. 3. 3-8に示す。

結果は以下の通りである。

- ・ 2020 年に水素大規模発電が導入される(2020 年の導入量 18.3 万 kW)。
- ・ 2040 年以降、天然ガス火力は水素専焼として用いられる。
- ・ 水素コジェネが用いられなくなったが、水素による発電が拡大したためと考えられる(建設した発電設備は有効に利用する想定)。

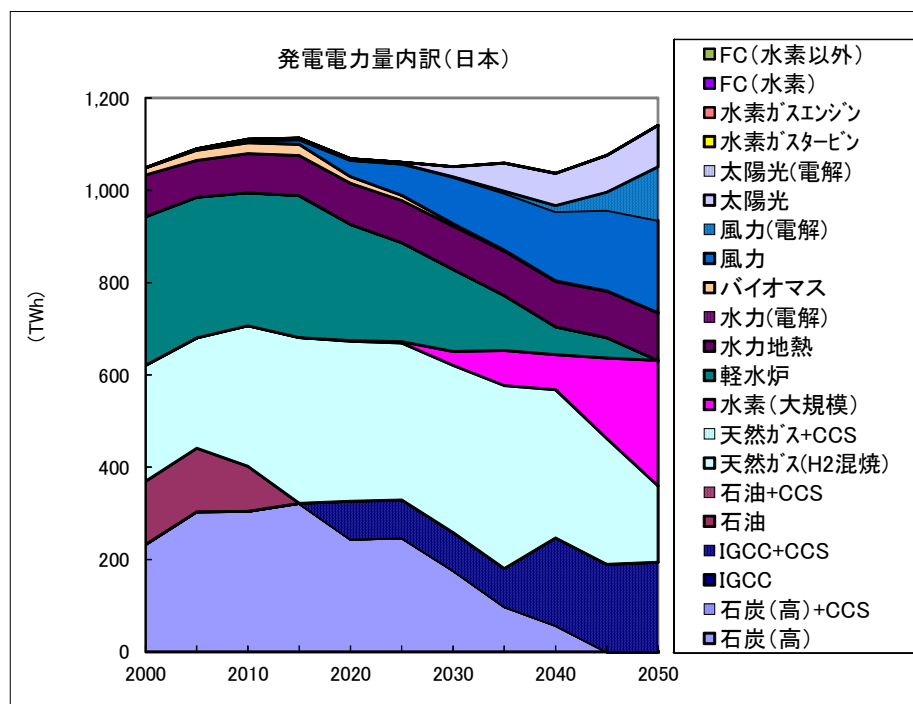


図4. 3. 3-8 発電電力量

(4) まとめ

①発電部門

- ・ 2020 年に水素大規模発電が導入される(2020 年の 18.3 万 kW)。
- ・ 水素コジェネが用いられなくなったが、水素による発電が拡大したためと考えられる(建設した発電設備は有効に利用する想定)。

②定置用需要分野

- ・ 水素コジェネ、直接燃焼が用いられなくなった。

③運輸部門

- ・ FCV、EV、PHEV が利用される。
- ・ FCV の普及台数は 2050 年で 2420 万台、EV は 1700 万台、PHEV1240 万台と推算された。
- ・ 運輸エネルギー消費全体では、2050 年に水素は 46%を占める。

④水素

・ 需要

- ・ 2020 年から運輸部門の FCV で水素が利用される(2020 年は、1.6 億 Nm³)。
- ・ 2020 年に水素大規模発電が導入される(2020 年の 18.3 万 kW)。
- ・ 2050 年における水素需要は、3309 億 Nm³ (85.3Mtoe)。

・ 供給

- ・ 平均約 80%を海外から調達する。
- ・ 2050 年の水素供給量は約 3397 億 Nm³ (87.6Mtoe)。

4. 3. 4 第7回 AP 研究会での需要推算

1) 計算条件

<主な変更点>

・水素製造コスト

ー再生可能エネルギー電力を用いる水電解コスト

・水電解装置の設備利用率を水力の場合は、80%、風力 30%、太陽光 12%として水電解コストを設定。

ーその他ラテンアメリカの風力発電のコストを他と同じに設定

・この地域が世界の水素需要の過半を担っており、非常に安価なコストで全域にウインドファームが建設できるかは調査が必要と考え、一旦他地域と同じとした。

ー地域ごとに風力コストが設定されることが望ましい。

・水素の域内配送コスト

ー産業、民生用は、トレーラーのコストのみ計上しており、需要者側の貯槽のコストを追加。

ーオフサイトステーションは、高圧水素輸送のステーションを代表地として取り扱っていたが、液化水素、有機ハイドライドの 3 つの平均値を採用した。

・水素混焼発電

ー0%(天然ガス火力)から 100%まで 20%刻みで考慮。

ーコスト増加は、液化水素貯槽の容量で表現。

ー混焼比率は固定。

<水電解コストの改訂>

・水電解コストについて利用する再生可能エネルギー電力の想定される設備利用率を考慮。

・水電解装置の設備利用率を水力 80%、風力 30%、太陽光 12%として水電解コストを設定。

今回の水素需要推算における国内水素製造コストを図4. 3. 4-1に示す

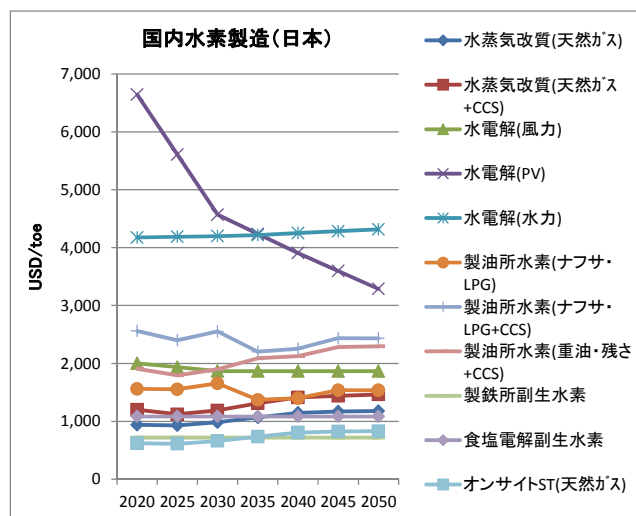


図4. 3. 4-1 国内水素製造コスト

＜国内水素インフラの設定＞

国内水素インフラの設定を図4. 3. 4－2に示す。

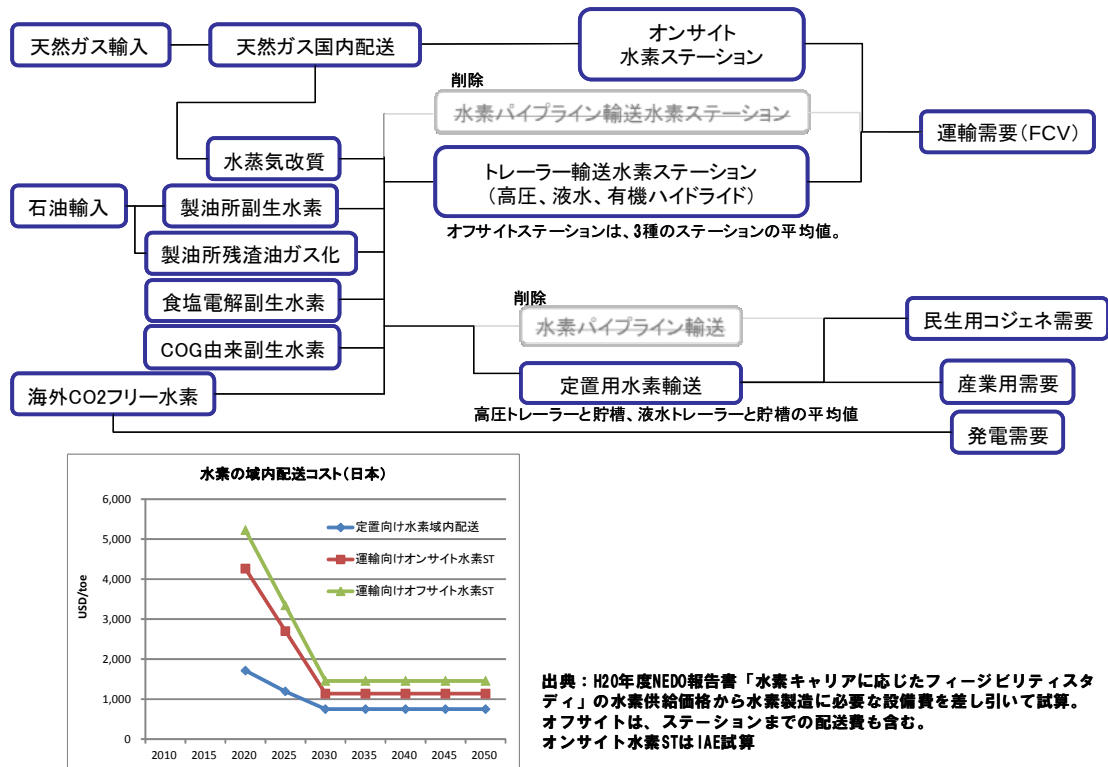


図4. 3. 4－2 国内水素インフラ

＜水素混焼発電＞

- ・水素混焼率を0%（天然ガス火力）から100%まで20%刻みで考慮（表4. 3. 4－1）。
- ・コスト増加は、液化水素の貯槽の容量で表現。
 - －7日分。考慮している揚地・気化費用[※]は、21日分と推定され、2011年の日本全体のLNGタンクの平均回転数から求めた貯蔵日数は、28日であり、その差を発電所側で準備する想定。
- ・混焼発電所は既存火力を改造するのではなく新設とし、混焼比率は導入時の割合で固定。
- ・2020年以降、混焼専焼ともすべて導入すると想定する「一斉導入」と、年代が進むにつれて混焼比率が上がっていく「段階的導入」を感度分析的に実施。

表4. 3. 4-1 天然ガス火力発電における水素混焼比率

※NEDO技術開発機構、「低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム（水素チェーンモデル）の実現可能性に関する調査研究」の設備容量から推定。

水素混焼比率	設備費 (USD/kW)	導入年 (段階的導入の場合)
0% (天然ガス火力)	900	-
20%	1112	2020年
40%	1324	2025年
60%	1536	2030年
80%	1748	2035年
100% (水素燃焼火力)	1960	2040年

2) 燃料価格・水素価格

今回実施したシミュレーションでの燃料価格、水素価格の時間変化を各々、図4. 3. 4-3、図4. 3. 4-4に示す。

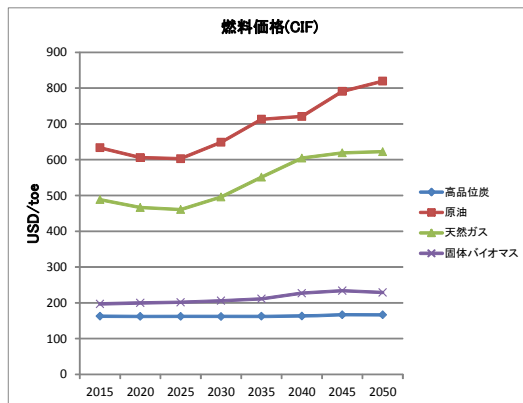


図4. 3. 4-3 燃料価格(CIF)

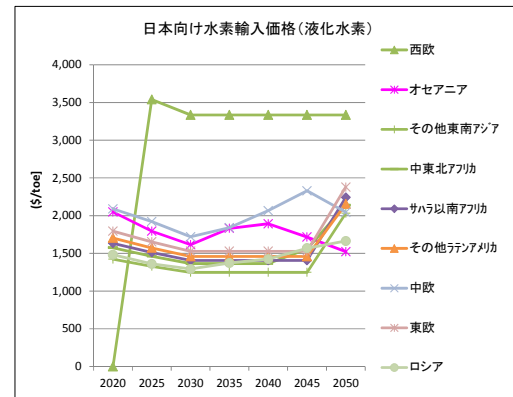


図4. 3. 4-4 日本向け水素輸入価格(液化水素)

- ・CIF 価格は西欧を除いて2020年約47～32円/Nm³、2030年以降約54～34円/Nm³とに分布。
- ・その他東南アジア等、水力発電の電力によって水電解からの水素製造を行う地域のコストが2045-2050年にかけて上昇するのは、水力発電のグレードが上がったことによる。
- ・水電解の水素の価格差は輸送コストの差が主である。

3) 計算結果

(1) 水素需要量・供給量

今回実施したシミュレーションでの水素需要量、水素供給量の時間変化を各々、図4. 3. 4-5、図4. 3. 4-6に示す。

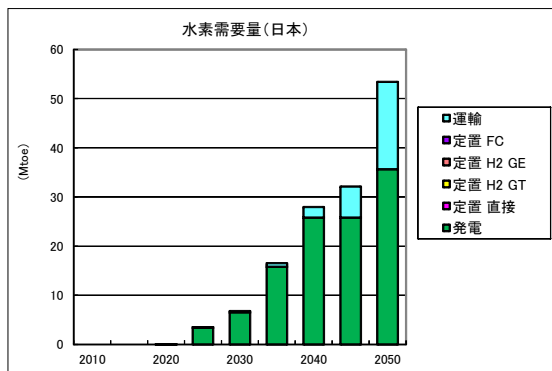


図4. 3. 4-5 水素需要量

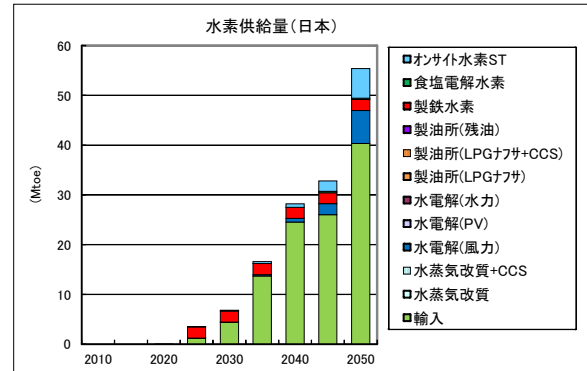


図4. 3. 4-6 水素供給量

需要については以下の通りである。

- ・2020 年から運輸部門の FCV で水素が利用される(2020 年は、3 万台、1 億 Nm³)。
- ・2020 年に水素大規模発電が導入される(2020 年 0.27 万 kW、0.12 Nm³)。
- ・2050 年における水素需要は、3309 億 Nm³ (53.4Mtoe)。

供給については以下の通りである。

- ・平均約 70%を海外から調達する。
- ・2050 年の水素供給量は約 2148 億 Nm³ (55.4Mtoe)である。

注: 定置向け、運輸向けは配送ロス(10%)を含めているため、需要量の合計より総量が大きくなっている。

(2) CO₂ フリー水素の寄与

CO₂ フリー水素のゼロエミッション電源比率への寄与を図4. 3. 4-7に、ゼロエミッション電源比率への寄与を図4. 3. 4-8に示す。

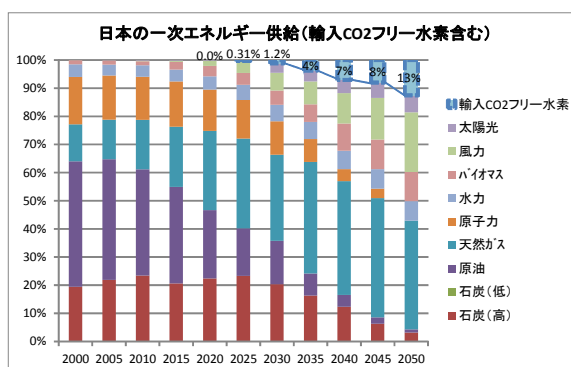


図4. 3. 4-7 ゼロエミッション電源比率への寄与

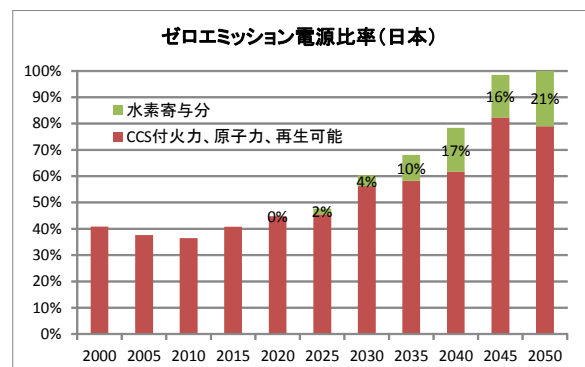


図4. 3. 4-8 ゼロエミッション電源比率への寄与

- ・2030 年における CO₂ フリー水素の一次エネルギーへの寄与は 1%(2050 年には 13%)である。
- ・2030 年における CO₂ フリー水素のゼロエミッション電源比率は、約 4%(2050 年には 21%)である。
- ・2040 年にゼロエミッション電源比率 70%を超える。

(3) 発電電力量

発電電力量と電力単価を各々、図4. 3. 4-9、図4. 3. 4-10に示す。

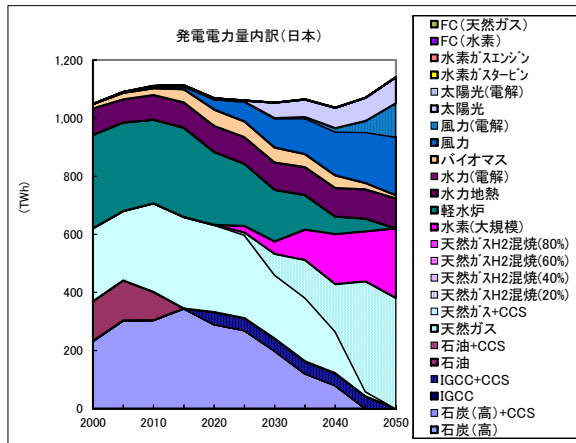


図4. 3. 4-9 発電電力量

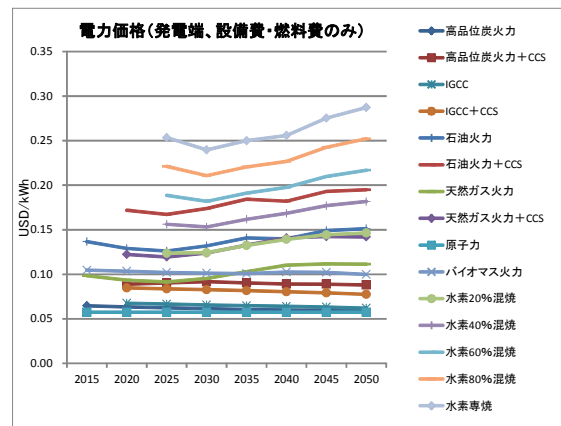


図4. 3. 4-10 電力単価

- ・2020年に水素大規模発電が導入される（2020年の導入量18.3万kW）。
- ・水素混焼発電は新設（前は天然ガス火力がフレキシブルに水素を利用できるとしていた）のみとすると混焼は用いられない。
- ・日本全体で見ると、天然ガス火力と水素発電が共存しており、混焼しているともいえる。
- ・CCS付天然ガス火力（CO₂輸送貯留費用は別）と石油火力、20%水素混焼が凡そ同額である。
- ・石油火力以外の火力発電の設備利用率はほぼ85%、石油火力、原子力は60～80%である。

(4) まとめ

世界15地域のエネルギー需給を表現するモデルを用い、世界のエネルギーシステムコスト最小化、2度目標相当の厳しいCO₂排出量制約の下で最適解として得られるエネルギー需給構造の水素に関する定性的な記述をまとめる。

注：主として世界モデルであることに起因した、モデルで取り扱っていない要素が特定の技術の導入・選択に影響を与える可能性も排除できない。イノベーションにより技術のコストが大幅に低減するなど前提が大きく変わる際には別の結果が得られる可能性もある。

①水素導入全体

- ・世界が2度目標を達成するような低炭素社会に向かうこと（CO₂制約があること）が水素導入にとって極めて重要なドライバー
- ・RCP4.5（ETP2012の2DSと4DSの間だが4DSよりの温度上昇）相当の目標では、水素は導入されない。
- ・例外：CO₂制約がなくとも水素が非常に安く製造できる場合（例：化石燃料由来の水素もCCSのコストも不要になる）は、FCVの高い車両効率により、域内の運輸部門で水素が導入される可能性がある。

②発電部門

- ・水素を燃料とする発電は、長期的に主要な電源となりえる。
- ・水素専焼発電は CCS 付き火力、原子力発電のゼロエミ電源の導入量に大きな影響を受ける。
- ・水素混焼発電は、CCS が利用できず混焼濃度が段階的に上がるという仮定を置いたケースにおいて導入されたが、天然ガス火力と水素専焼発電が共存している場合は、日本全体では、水素と天然ガスが混焼していると思なせる。

③定置用需要分野

- ・CO₂ フリーの熱を供給できる燃料・技術として水素が導入される可能性がある。モデルではトップダウン的に産業及び民生非電力需要を与えており、事業所や家計の熱電比等によって単位で導入の意思決定がされることが多いコジェネ導入と同じ結果にならない場合もある。

④運輸部門

- ・CO₂ 制約の下で FCV や FCトラック、FC バスが導入される。国内で CCS が利用できない場合、電力コストの上昇と電力の CO₂ 原単位の上昇により、FCV の競争力が増す。
- ・このモデルでは、車への燃料供給インフラのコストは、熱量あたりのコストとして与えている。したがって、その普及や慣性は厳密に反映されていないため、既存車両の寿命(10 年または 15 年)が変化の時定数的なものになっている。

⑤水素製造

<化石燃料>

- ・天然ガス由来の水素は、化石燃料の中では製造水素あたりの CO₂ 排出が最も少ないが、中長期的にコストが上昇し、他原料由来の水素と比べて競争力が十分でない地域もある。
- ・低品位炭由来の水素は、CCS を用いることで CO₂ 制約下で主要な水素源の1つとなる。

<再生可能エネルギー>

《水力発電》

- ・他電源と比べて安価に開発できる範囲までは、設備利用率が高く水電解コストが抑えられるため再生可能エネルギー由来の水素の中では最もコスト競争力がある。開発の障害になる要因(環境問題、水利権等)は明示的には取り扱われていないため、導入量には不確実性が存在する。

《風力発電》

- ・最も安価な範囲の電力価格を用いる水力由来の水素よりも高コストだが、水力資源が限られている地域で風力由来の水素も導入される。

《太陽光発電》

- ・設備利用率が低いため、太陽光発電のみと同期した水電解による水素コストは高く、導入されない。現在の想定である特定の電源のみと同期した水素製造プラントの蓋然性についても検討する必要がある。

2014.3.24

国内水素外販可能量

IAE

1 まとめ

- 現状の国内水素製造設備をベースとした水素供給外販量は100%水素として約65億 Nm³/年と推定される。

	水素製造能力 ¹ (億 Nm ³ /年)	水素外販可能量 ² (億 Nm ³ /年)
石油精製	185 ³	43 ³ (装置をフル稼働した場合の生産余力) (軽油の硫黄分規制値=10ppm)
鉄鋼	86	0 (参照文献2では回収率 70%、内外販 20%と仮定して 12 億 Nm ³ /年という値が示されているが、今回、業界関係者にヒアリングをした結果、現状、全て有効利用されており、積極的に外販できる状態ではないという結果を踏まえ、外販可能量は0とした)
石油化学	31 (今回、業界関係者にヒアリングの結果、数値の妥当性を確認)	10 (参照文献の算出根拠: 31 × 0.7 (回収率) × 0.5 (外販率) = 10)
ソーダ工業	12	6 (参照文献の算出根拠: 12 × 1 (回収率) × 0.5 (外販率) = 6)
アンモニア	42	6 (参照文献の算出根拠: 不明)
合計	356	65

現状の国内水素製造能力は、約 356 億 Nm³/年であり、自家消費が約 291 億 Nm³/年であり、その差約 65 億 Nm³/年が現状の国内水素外販可能量と推定される。

この外販可能量の今後の見通しは、石油製品需要の大幅な落ち込みにより、余剰設備能力は一見増大するかに見えるが、設備廃棄の進展と原油の重質化、重油の硫黄分規制強化など、国内製油所からの水素外販可能量が拡大・増加されることは考えにくい。

また、副生水素は現在熱源や外販で既に利用されている。そもそも目的となる物質を生産する際に副生するものであるため、水素需要の増加に柔軟に対応するのは難しい。今後、経済成長の動向、日本の産業構造転換などによっても影響されるため、副生水素による外販可能量の維持についても見通しがあるとは言い難い。

以上より、現状の国内水素製造設備をベースとする限り、今後の水素外販可能量の拡大は見込めない。

¹ 水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査、PEC 企画調査部

早内 義隆、(株)価値総合研究所 石倉 雅裕

² 産業競争力懇談会(COCON)【産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告】燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト、2009年3月6日

³ 「製油所からの水素供給能力評価」調査報告書 JPEC-2012LP-01、平成 25 年 3 月

2 参考資料

1) 産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告²

以下、水素外販可能量に関連する記述を引用する(一部加筆)。

4.3 水素原料と製造・供給方法

「FCV の普及環境整備のため、安定供給がコミットできる水素製造・供給方法を柱とする。」水素生産、供給は2030年FCVの自立的普及を目指した「普及型」の水素供給と、2050年低炭素社会完成を目指した「低炭素型」の水素供給がある。いずれの場合もエネルギー供給という観点からは、安定供給が一義である。

<普及型水素供給>

普及型の水素供給においては、FCVの普及環境を早急に整える必要があることから、現時点で安定供給がコミットできる水素供給方法を柱とすべきである。この観点により、石油産業活性化センター(現在は石油エネルギー技術センター)の調査報告書(PEC-2006T-15 及び JPEC 2012LP-01 等)に基づき、現在の水素生産について表4.3-1と4.3-2に整理した。表4.3-1にまとめた石油精製とアンモニアは、自身で利用するだけの水素を生産しているため、副生はすべて優先して消費されるが、水素製造装置はフル稼働でないため、生産「余力」がある。鉄鋼業のCOG改質は、生産量を拡大していった場合に、最終的にはコークス生産見合いとなるため、副生水素的な性格も残しているが、水素生産を目的としたプロセスとして、目的生産水素に整理した。

<表4.3-1 目的生産水素>

関連業界	製造方法			生産能力	
	原料	製造のためのエネルギー	プロセス	現状余力	将来
鉄鋼	石炭	石炭	COG改質	設備無し	
石油	石油	石油	改質	47	
アンモニア	石炭、石油、天然ガス等から様々な方法で製造			6	設備新設、増強次第
ガス	天然ガス	天然ガス	改質	設備無し	
電力	水	原子力	熱分解		
特定業界無し	水	(電力)	電気分解		

出典:石油産業活性化センター

最新の参考資料2)に基づき 43 億 Nm³ に修正。

<表4.3-2 副生水素>

業種	製造方法				副生水素		
	原料	製造エネルギー	発生プロセス	目的生産物	発生量 億Nm ³	用途	ポテンシャル 億Nm ³
鉄鋼	石炭	石炭	乾留	コークス	86	COGとして 所内燃料に利用	12 水素回収率70% 現在の「外販」分、20%と推定
石油化学	石油	石油	熱分解	エチレン	31	水源、燃料用に 所内利用	10 水素回収率70% 外販余力50%と推定 (燃料分を余力とした)
ソーダ	水	(電力)	電解ソーダ法 (電気分解)	苛性ソーダ	12	化学原料、燃料	6 水素回収率100% 外販余力50%と推定 (燃料分を余力とした)

出典:石油産業活性化センター

ヒアリングの結果、COGは全量有効活用しており、12を0に変更する。

ヒアリングの結果、数値の妥当性が確認できた。

² 産業競争力懇談会(COCN)【産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告】燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト, 2009年3月6日、

2) 「製油所からの水素供給能力評価」調査報告書(JPEC-2012LP-01, 平成 25 年 3 月)

接触改質装置(リフォーマー)から副生する水素量が約 85 億 Nm^3 /年、水素製造装置(炭化水素の水蒸気改質装置)で生産可能な水素量が約 100 億 Nm^3 /年で合計 185 億 Nm^3 /年と推定されている。一方、水素消費(需要)の現状は、主に重油脱硫用、水素化分解用併せて約 142 億 Nm^3 /年と推定されている。その結果、現在の推定水素需給バランスは約 43 億 Nm^3 /年である。

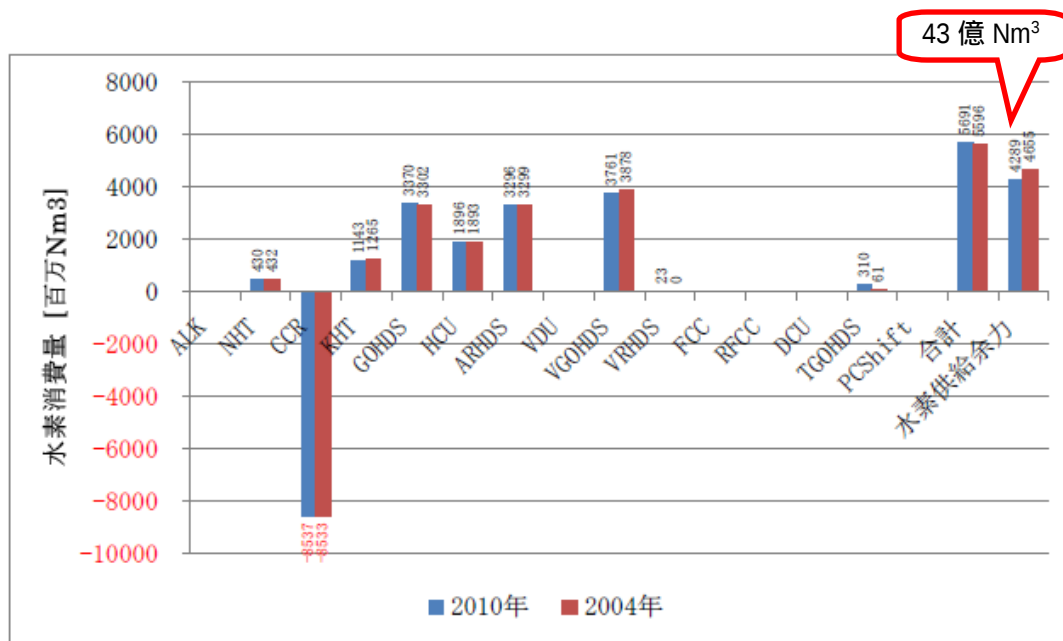


図 3.4.4 水素供給余力

『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4. 5】
2014.3.31
IAE

2050 年における期待水素需要量
運輸用: 520 億 Nm3(CO2N)
運輸用: 400 億 Nm3(意見調査)
運輸以外用: 1770 億 Nm3(意見調査)

<資源(海外)>

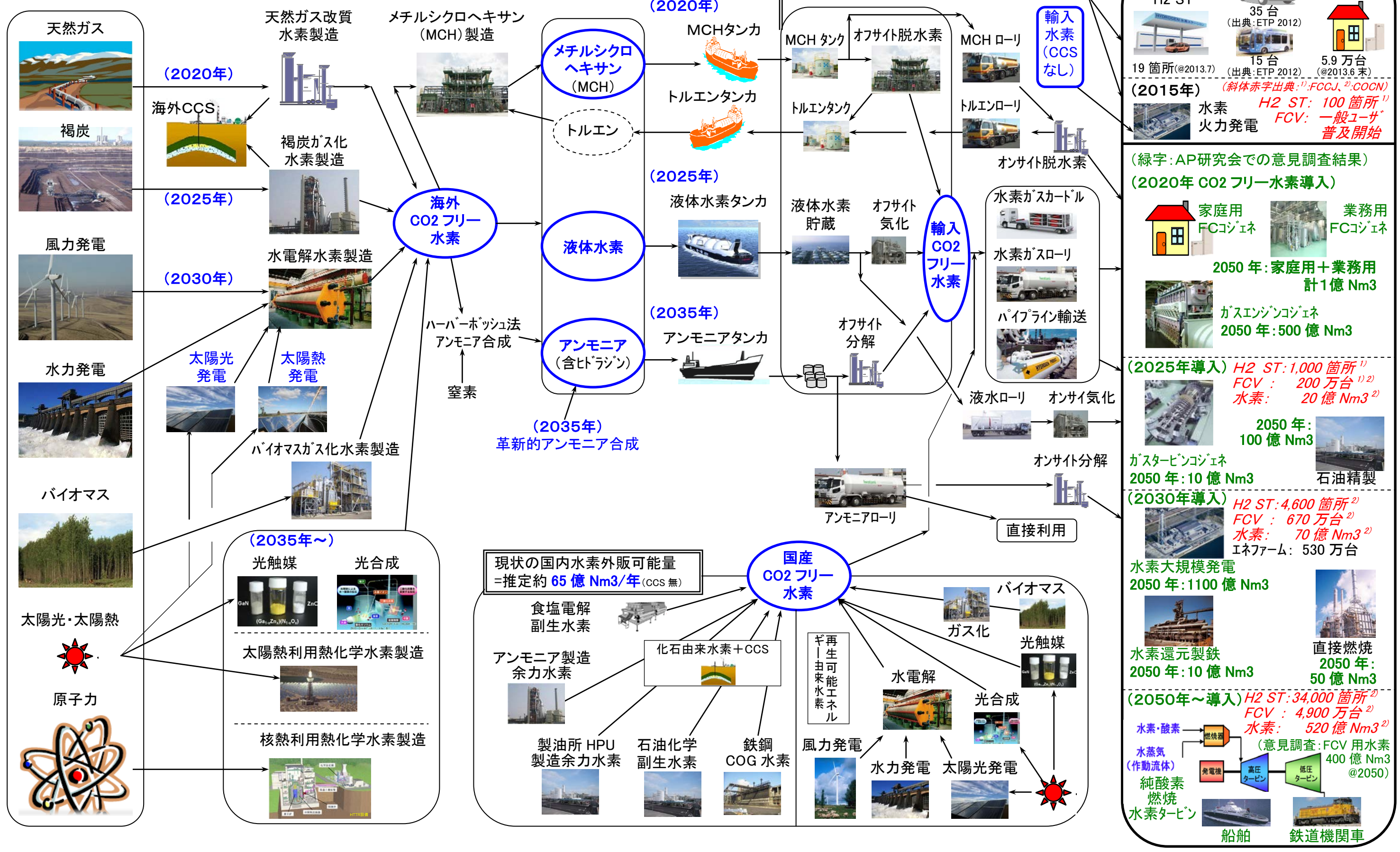
<変換プロセス(海外)>

<エネルギー
キャリア>

<海上輸送>

<貯蔵(国内)>

<輸送・変換>



		現状	2015年	2020年	2025年	2030年	2040年	2050年	備考	
● エンドユースコスト									注記：環エネ技術革新計画のロードマップ、科学技術イノベーション総合戦略は参考情報として記載。 為替レート=100円/USD	
①運輸	AP研究意見調査 (円/Nm3) NEDO RM 2010 (円/Nm3) IEA's ETP 2012 Fig 7.19(2DS high H2) (円/Nm3)	120 100	80 90 100	60 60 90 40		40 60~40 70 30		40 40 30		
②運輸以外	AP研究意見調査 (円/Nm3)									
● 国内配送コスト									鋼管径：500mm、圧力：100bar	
	IEA's ETP 2012 P263 (円/Nm3) IEA's ETP 2012 P242 (百万円/km)	125						5~10		
● 輸入CIFコスト										
	AP研設定目標 (円/Nm3)			35~30	30~25	25~20		25~20		
● 利用(需要量)										
①運輸			普及開始期	普及拡大期	自立拡大開始・本格普及					
FCV累計台数(乗用車)	出典：(万台)		0.5	15.5	166	556	2201	4101	出典：産業競争力懇談会 (2009.3.6)	
" (貨物)	産業競争力懇談会 (万台)		0.0	0.0	30	110	440	820		
" (合計)	(CO2CN) (万台)		0.5	20.0	196	666	2641	4921		
水素需要量(合計)	(億Nm3/年)		0.04	1.1	20	70	277	517		
" (") (AP研究意見調査)	(億Nm3/年)							400		
" (") (AP研計算)	(億Nm3/年)			3	8	23	206	811	国内CCS有り、CIF30円/Nm3@2050	
②エネファーム(化石燃料)										
実績	(万台)	5.9 (@2013.6末)								
予測累計台数	(万台)					250			出典：長期エネ需給見通し	
"	(万台)					500			出典：日本ガス協会	
"	(万台)			140		530			出典：革新的エネ環戦略	
③運輸以外										
<化学利用>										
石油精製(水添脱硫・水素化分解)	(億Nm3/年)							100		
水素還元製鉄(コークス代替)	(億Nm3/年)							10	環エネ技術革新計画のロードマップ ・水素還元製鉄：実用化@2030	
<燃料利用>										
大規模水素火力発電	(億Nm3/年)							1100	出典：AP研究意見調査	
<分散>										
家庭用・業務用純水素FCコンジェネ	(億Nm3/年)							1		
ガスエンジンコジェネ	(億Nm3/年)							500		
ガスタービンコジェネ	(億Nm3/年)							10		
直接燃焼	(億Nm3/年)							50		
その他(純酸素燃焼水素タービン・船舶・鉄道機関車・等)	(億Nm3/年)							導入開始		
運輸以外の合計 (AP研究意見調査)	(億Nm3/年)			42	75	78	1635	1771	国内CCS有り、CIF30円/Nm3@2050	
" (AP研計算)	(億Nm3/年)							2014		
● 供給									RITE作成のCCSロードマップ参照のこと	
			国内既設化石水素(副生・目的生産)：CCSなし	国内既設化石水素：CCSあり						
			国内再生可能エネルギー							
			輸入水素(化石CCSなし)	輸入CO2フリー水素(化石・再エ)					環エネ技術革新計画のロードマップ	
● 要素技術開発		課題	(METI未来開拓研究PJ「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」の水素製造・貯蔵・エネルギーキャリアシステム研究等と整合実施)							
(1) 海外水素製造										
①化石燃料			化石燃料(CCS無し)	化石燃料(CCS有り)					千代田化工：中東随伴ガスステーション、水素基地建設&水素混燃発電 in川崎市 @2015(日経新聞)	
天然ガス	コストダウン									
石炭(褐炭)										
②再生可能エネルギー								再生可能エネ(大規模)		
風力発電水電解	効率向上 大型化 コストダウン								(パナソニック風力の課題：風況マップの作成、強風対応風車の設計、高効率・耐入力変動水電解技術の開発)	
水力発電水電解										
太陽光発電水電解										
太陽熱発電水電解										
バイオマスガス化										
太陽光光触媒水分解 その他(核熱利用)									(光触媒水分解の課題：600~700nmで作動する光触媒・助触媒の開発、分離膜の材料特定、等)	
(2) 海上輸送(エネルギーキャリア変換・貯蔵)										
①有機ハイドライド			国内実証中	実用化	事業化					
合成	最適化									
脱水素	最適化									
②液体水素			開発研究	パイロット実証	実用化	商用実証	事業化			
液化	液化の大型化&効率向上 貯槽の大型化と断熱性能向上 ローディング設備の開発 液化水素船の開発									
貯蔵										
積荷&揚荷										
海上輸送										
③アンモニア			基礎研究	開発研究	実証研究	実用化	事業化			
革新的合成	実用化									
(3) 国内配送										
①有機ハイドライドローリー									欧米のパイプライン輸送：ETP 2012 ・現在の純水素パイプライン輸送 欧州：約1500km、 米国：約1000km 国内のパイプライン輸送(想定) 純水素パイプライン導入は大量需要を前提に早くて2035~2040と想定、 その前に天然ガスへの混合(ハイタンク)の可能性もある。	
②-1圧縮水素カードル・トレーラー										
②-2液化水素ローリー										
②-3水素ガスパイプライン										
③アンモニアローリー										
(4) 国内水素製造(オフサイト)			化石燃料(CCS無し)	化石燃料(CCS有り)					環エネ技術革新計画のロードマップ ・太陽光発電：7円/kWh@2030 ・水素製造：40円/Nm3@2020 ・CCS：実用化@2020頃 科学技術イノベーション総合戦略	
				再生可能エネルギー						
(5) 国内水素製造(オンサイト)			化石燃料(CCS無し)	化石燃料(CCS有り)						
				再生可能エネルギー						
● 水素キャリア			(METI未来開拓研究PJ「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」の(5)トータルシステム導入シナリオ検討と整合実施)							
			チェーンの評価：▽(一次評価)▽(二次評価)▽(三次評価)							
①有機ハイドライドチェーン		システム実証	随伴ガス水素商用実証 商用製造(随伴ガス、その他)							千代田化工：中東随伴ガスステーション、水素基地建設&水素混燃発電 in川崎市 @2015(日経新聞)
②液体水素チェーン		システム実証	水力水素(実証) 水力水素工場 風力水素商用製造 光触媒水素 褐炭水素パイロット実証 商用製造(褐炭、その他)							川崎重工：豪州褐炭液化水素チェーン実証 @2017、ロシア水力水素実証 @2017(日経新聞)
③アンモニアチェーン		システム実証	商用実証 商用製造							(IAEの想定)

CO₂フリー水素の多面的評価 ～ CO₂フリー水素の国際ネットワーク形成を中心に ～

IAE

ここで言うCO₂フリー水素国際ネットワークは、海外の化石燃料や再生可能エネルギーを利用して海外で水素を製造し、CO₂は海外でCCS等により処理し、製造した水素は、各種キャリア(液体水素・有機ハイドライド・アンモニア等)に転換後、海上輸送し、わが国で水素に戻した後、水素燃料電池自動車(FCV)、定置型燃料電池(家庭用・業務用・事業用)、火力発電などで利用するシステムである。

このCO₂フリー水素国際ネットワークは政府のエネルギーに関する基本方針として議論されている「3E+S」に以下の通り貢献できる。

1) Energy Security(エネルギーの安全保障)

供給可能量

水素は自然界には単体としてはほとんど存在しないが、種々の一次エネルギーから容易に生成できる二次エネルギーである。具体的には水素は石油・石炭・天然ガス等の化石燃料の改質等から、あるいはバイオマス等の再生可能資源から、あるいは風力・太陽光等の自然エネルギーにより発電した電力を利用した水の電気分解により、あるいは太陽光を直接利用した光触媒による水分解により、容易に製造できる。従って、供給可能量は無限に近い。

供給源分布(普遍性)

化石燃料に関しては、シェールガスの商業利用が本格化していること、石炭に関しては、現在商取引されていない褐炭が世界(ドイツ・豪州・米国・中国・カザフスタン・中国等)に大量に広く分布している。

自然エネルギーのうち風力に関しては、一定風向で台風がない、常時強風が吹いている、面積が広大である等、風況に恵まれた所が世界(南氷洋:パタゴニア・タスマニア・ニュージーランド南島。北太平洋:アリューシャン列島。北極海:アイスランド・アイルランド・スコットランド。)に広く分布している。

太陽光についても、米南西部・豪州・南スペイン・中東・北アフリカ等、太陽日射の豊富な地域(いわゆるサンベルト地域)が世界に分布している。

従って、CO₂フリー水素製造の供給源は世界に広く分布しており、供給源は普遍である。

多様な用途への適用性及びキャリアの多様性

水素は、各種工業用(石油精製・アンモニア合成)、エネルギー用(燃料電池自動車・定置型燃料電池・火力発電)、その他(雰囲気ガス・水素吸蔵合金)等、多様な用途への適用性がある¹。さらに、キャリア(液体水素・有機ハイドライド・アンモニア等)としての多様性も有していることから、製造・輸送・貯蔵・利用に関するベストミックスの水素サプライチェーンを構築できる。

¹ ニューサンシャイン計画「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)研究開発・第一期」最終報告書

価格安定性

化石燃料のうち、褐炭については取扱が難しい(水分が非常に多い。褐炭は乾燥すると発火の危険性がある。)ことから、現在商取引されておらず、公表価格がない状況である。従って、将来も原油価格に連動しない安価な褐炭の入手が期待できる。

風力については、一例として、アルゼンチンのパタゴニアには年間平均風速が10m/s を超える所があり、風力エネルギーのポテンシャルは莫大であるが、南米最南端等の地理的条件や、風が強すぎる等の理由で、ほとんど利用されていないのが現状である。従って、水電解水素製造に必要な電力が風力発電により、将来も安価で得られることが期待できる。

国富流出低減

褐炭の場合、将来も原油価格に連動せず、安価で安定した褐炭の入手が期待できるので、褐炭購入費用はエネルギー等価の石油やLNGの購入費用に比べ大幅に低減可能である。さらに、現状取引されていないため、権益を低価格で取得できる可能性があり、大幅な国富流出の低減が期待できる。

パタゴニアでの風力に関しては、現状未利用であることから、権益を低価格で取得できる可能性がある。土地を借用し(借地料のみ支払い)、全て日本企業が日本技術で行うとした場合、さらに大幅な国富流出の低減が期待できる。

2) Economic Efficiency (経済性 / 成長)

国際競争力(革新性)

CO2 フリー水素チェーンは新しい事業形態であり、そのものに革新性があることから、知的所有権を通して、日本が最初に事業化すれば長期にわたって国際競争力を維持できる。

液体水素チェーンの革新的要素技術としては、大型で高効率の液化機、高断熱の専用液化水素船、大型で高断熱の液水貯槽等である。

有機ハイドライドチェーンは、脱水素触媒に革新性があり、メチルシクロヘキサン/トルエンによるCO2 フリー水素チェーンのトータルシステムは初めてである。

水素利用に関する革新的技術としては、酸素燃焼の水素ガスタービンが挙げられる。

成長性(産業育成)

CO2 フリー水素チェーンの事業化は、水素インフラ整備事業の先行実施と相まって LNG 初導入時と同様、製造、輸送・貯蔵、利用の各分野において、従来にない新しい産業の育成、そして雇用拡大をもたらす。

さらに、日本と同様一次エネルギー資源が乏しい外国向けに事業展開することが可能である。

3) Environment (環境適合性)

再生可能エネルギー大量導入に伴う余剰電力の水素による貯蔵

温暖化対策やエネルギーセキュリティの向上などの理由から、今後、再生可能エネルギーによる発電が大規模に導入されることが想定される。その場合、需給アンバランスに起因する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。送配電システムや火力発電所による対策、電力貯蔵による対策に加え、再生可能エネルギーによる余剰電力を利用して水電解で水素を製造し、水素をバッファー

(緩衝器)として貯蔵することも有力な対策と考えられている。水素で貯蔵することにより、利用には、発電してグリッドに戻すほか、水素としてFCV等水素利用機器への供給、天然ガスパイプラインに混入し都市ガスのグリーン化を図るなど、多様な対応が可能となる。貯蔵時間が長くなるほど、水素による貯蔵がコスト競争力を持つと考えられている。

環境性

水素を燃焼させて利用する時にはCO₂や有害ガスであるSO_xの排出がないメリットがあるが、NO_xが増える。この問題に対しては、燃焼器への水噴射・水蒸気噴射・ドライ方式等により通常の天然ガスと同様のNO_x量にする対策が可能である。

化石燃料から水素を製造する時、原料由来のCO₂をCCSすれば、製造時もプロセスからのCO₂排出はなくなる。同時に、水素製造時におけるユーティリティとしての電力や熱を、製品のCO₂フリー水素で発生させることにより、製造工程全体からのCO₂排出をほとんど無くすることができる。

さらに、液体水素船の場合、船の推進力にボイルオフした水素を使うことにより、海上輸送も含めたCO₂フリー水素チェーン全体でからのCO₂排出を究極的に減らせる。

4) Safety(安全性)

安全性²

既存燃料と比較して燃焼範囲が広くて(空気との混合気で4～75 vol.%)燃えやすいが、拡散が早く滞留しにくいので、一般的に開放空間に漏れた場合はすぐに希薄になり燃焼範囲外になる。

室内や容器・装置内などの閉じた空間においては、漏えいした可燃性気体の濃度が上がりやすく燃焼範囲内の濃度の可燃性混合気が形成されやすい。また、着火後も空間内の圧力が上がりやすく大きな被害が発生しやすい。正しい理解をし、特性に合わせた正しい使い方をすることが大事である。

産業分野では化学利用等で水素の利用が確立されているが、民生分野では未確立であり、利用実態を踏まえた適切な安全規定に向けた検討が必要である。産業分野でも今後、大規模発電発電等、色々な所で水素が使われる可能性があることから、水素ステーションに限らず、より幅広い安全対策について国が更なる支援をすべき状況に近づいていると思われる。

なお、参考として、水素の爆発に関する詳細情報を本書の末尾(次頁)に注記する。

社会受容性

社会受容性は設備仕様としての「安全」の上に心理的な「安心」が醸成されて、始めて成り立つものである。安心は一方的な押し付けでは得られず、社会実証の成果、実体験、正しい知識の取得、等の積み重ねとその成果をあまねく社会に公開し、社会の利益をも含めた理解を通して、不安を小さくしていくことにより醸成されるものである。

典型例として、「北九州水素タウン」の実証実験では、水素ステーションを起点に、製鉄所の副生水素が約1.2kmのパイプラインで市街地に供給され、一般家庭・商業施設・公共施設に設置された純水素型燃料電池で発電、給湯が行われ、社会受容性の向上が図られている。

以上

² NEDO / IAE 水素社会構築共通基盤整備事業、水素有効利用ガイドブック

【注記：水素の爆発について】

(出典：NEDO / IAE 水素社会構築共通基盤整備事業、水素有効利用ガイドブック)

大きな被害の発生した実際のガス爆発事故も閉じた系が多い。閉じた空間の中でも、ダクトやパイプなど細長い空間の場合には、燃焼による気体の膨張の効果が八方(周囲全方向)に放散せずダクトやパイプの方向に気体の流動が集中するため、火炎の速度がより速くなる傾向がある。さらに、火炎がダクトやパイプ中を伝ばする時に、壁面で生じる乱れによって乱流状態となり火炎が加速され、状況により伝ば速度が音速を超える爆ごうに転移することがあることが知られている。また、可燃性気体が漏えいしても、漏えい直後に着火した場合には漏えい箇所に着火する拡散火炎が形成され燃え続ける。これは噴流火炎であり、この場合は火炎が燃え続ける火災現象の一種となり、爆発現象とはならない。

典型的な爆発災害である、閉じた空間でのガス爆発の過程については、最初の過程は燃焼限界内の濃度の可燃性混合気が形成される過程となるが、例えば配管の亀裂などから可燃性気体が漏えいし空間内へ拡散、混合してゆくことにより可燃性混合気が形成される。この時、可燃性気体の密度が空気より小さければ可燃性気体は上方に、逆に大きければ下方に移動することとなる。水素の密度は空気よりかなり小さいため上方に移動し、天井付近にたまりやすい傾向がある。次に可燃性混合気に着火が起こればガス爆発が開始する。着火は、電気火花、静電気火花、火炎、高温熱面などにより発生する。着火後、火炎は可燃性混合気中を伝ばしてゆく。これは予混合火炎の伝ば現象であり、燃焼速度と気体の流れにより火炎伝ば挙動が決まってくる。火炎が伝ばすると、燃焼した気体は高温となり膨張しようとするために空間内の圧力が上昇する。圧力の上昇により空間を形成する壁や天井などの構造物に力がかかり変形や破壊を起こす。通常は強度の弱い窓や扉などが破壊し開口を生じる。破壊時に内外の圧力差が瞬間的に開放されるために、開口部から周囲に圧力波(爆風)が伝ばする。また開口部を通した気体の流動により空間内を伝ばする火炎にも乱れが生じる。その後、空間内の可燃物に燃え移った場合には火炎に転移するが、火炎は短時間で通過するため、条件によっては可燃物に着火しないこともある。また、爆発発生後の空間内は高温で酸素濃度が低いガスが存在しているため人体には有害である。燃焼生成ガスに有害成分を含む場合もあるが、水素の場合は有害成分を含まない。

水素の大量需要を目指す 技術開発プラン

平成 26 年 3 月

 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

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

水素の大量需要を目指す技術開発プラン

目次

- 1 はじめに
- 2 技術開発プラン
 - 2.1 技術開発プランの位置づけ
 - 2.2 CO₂ フリー水素の目標コスト
 - 2.2.1 末端利用での目標コスト
 - 2.2.2 国内配送の目標コスト
 - 2.2.3 輸入水素の目標コスト(目標CIFコスト)
 - 2.3 水素の需給バランスと CO₂ フリー水素の貢献性
 - 2.3.1 水素の需給バランス
 - 2.3.2 一次エネルギーへの CO₂ フリー水素の貢献性
 - 2.3.3 ゼロエミッション電源への CO₂ フリー水素の貢献性
 - 2.4 課題と対策
 - 2.4.1 課題
 - 2.4.2 対策
- 3 協議会設立への協力について

【添付資料】

- A 水素の特徴・水素に期待されるもの、水素導入の意義
- B 構想研究会 & AP 研究会の成果
 - B1 構想研究会の総括(2011年度)
 - B2 AP研究会の総括(2012年度)
 - B3 AP研究会の総括(2013年度)
 - B4 CCS 及び CO₂ フリー水素のコスト及び需要に関する意見調査結果
 - B5 CO₂ フリー水素の需要推算(シミュレーション結果:一例)
 - B6 国内水素外販可能量
 - B7 CO₂ フリー水素チェーンの絵姿
 - B8 CO₂ フリー水素チェーンのロードマップ
 - B9 CO₂ フリー水素の多面的評価
- C 水素エネルギー社会実現に向けた国内民間企業、団体の主な動向
- D 水素・再生可能エネルギー導入に関する海外の動向

1 はじめに

我々IAEは、自主研究会「CO₂フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会」(略称: **構想研究会**)、及び、「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」(略称: **アクションプラン研究会**)を主催し、CO₂フリー水素チェーンに焦点を当てた検討を行ってきた。具体的には、**ゼロエミッション電源比率向上へのCO₂フリー水素の貢献性等についての共通認識を醸成**可能性のあるCO₂フリー水素チェーンをリストアップし**技術成熟度評価**(現状を基に、実証研究や**実用化等の時期評価**)を実施
弊所保有ソフト(GRAPE)を使った**シミュレーション**による水素の**需給量推算**
要業界の専門家への**意見調査**によるCO₂フリー水素の**許容コストと想定需要量**
等を行い、これら成果を基に、

2050年頃のCO₂フリー水素チェーンの**絵姿**作成

2050年までのCO₂フリー水素チェーンの**ロードマップ**作成

CO₂フリー水素チェーンの**多面的評価**

等を実施した。

ここでは、以下に示す政府の最近の動向を踏まえ、上記自主研究会の成果を基に、**CO₂フリー水素チェーン実現に向けた官民のアクションを加速するために、「水素の大量需要を目指す技術開発プラン」を策定する。**

< 政府の最近の動向 >

文部科学省と経産省産業技術環境局の共同プロジェクト「エネルギーキャリアプロジェクト」が**平成25年度よりスタート**し、経産省は「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」として、国内外の再生可能エネルギー等の大規模利用を可能とするために、以下の研究開発を推進中である。

低コスト水素製造システムの研究

高効率水素製造技術の研究開発(次世代水電解システムの研究、高温水蒸気電解システムの研究)

周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

エネルギーキャリアシステム研究

トータルシステム導入シナリオ研究

また、経済産業省**資源エネルギー庁**により、以下の設置趣旨のもと、平成25年12月、**第1回「水素・燃料電池戦略協議会」が開催された。**

これまでは遠い将来だと考えられていた水素エネルギー利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池が市場投入され、2015年に燃料電池自動車が市場投入される予定である等、世界に先駆けて水素エネルギー利活用に向けた入口が見え始めている。

更に水素エネルギーの利活用を促進するためには、水素の需要を増加させるだけでなく、需要に見合った水素を安価で安定的に供給することが重要であり、水素の「製造」「輸送・貯蔵」「利用」の取組をバランスよく進めることが必要。ただし、その際には、水素エネルギーのコストも踏まえた意義や将来の水素需給の見通しを冷静に見極めることが必要。

このため、水素エネルギーの意義、将来の水素需給の見通しについて、産学官で認識を共有する。

この上で、水素エネルギーの意義を踏まえつつ、さらなる利活用に向けて、「時間軸」を明確にしつつ、水素の「製造」「貯蔵・輸送」「利用」まで一気通貫して、官民の役割分担を明示し、事業者間でも共通認識を持てるような、2030 年頃までを見据えた具体的な取組に関するロードマップを策定する。

上記「水素・燃料電池戦略協議会」の開催を受けて、「水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ(WG)」が結成され、第1回WGが2014年1月10日、第2回WGが2014年2月3日に開催され、水素エネルギーの利活用に関する協議・検討がされている。WGは今後数回行われる予定で、水素サプライチェーンの構築(モデル実証、横展開)等を示したロードマップが作成される。それらWGの活動成果が第2回「水素・燃料電池戦略協議会」で報告され、承認を経て、ロードマップの具体的展開が図られることになっている。

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、平成24年度、家庭用・産業用燃料電池、燃料電池自動車、水素インフラ、水素製造・輸送分野に関して以下の調査等を実施し、現在、「燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」を改訂中である。

グローバルな市場動向調査(市場規模、産業競争力の見積もり)

日本企業の世界での立ち位置

国外のプレイヤーとの連携

ビジネスモデルの検討等

2 技術開発プラン

技術開発プランの概要を図1に示す。

2.1 技術開発プランの位置づけ

ここで示す技術開発プランは、個別プロジェクト展開の前段階までのプランであり、個別プロジェクト展開は別途、民間企業が主導して実施されることを前提としている。

また、本プランは水素の**大量需要を目指すもの**であり、用途としては、燃料電池自動車(FCV)や定置型燃料電池(家庭用・業務用・商業用)に加え、**新たな用途を目指すもの**である。

新たな用途への水素の導入は2030年頃以降と想定されることから、技術開発プランで示す**年次展開は2050年までとする**。

2.2 CO₂フリー水素の目標コスト

構想研究会やアクションプラン研究会で定義しているCO₂フリー水素コストは、原料に含まれるカーボンを捕集・貯留(CCS)処理するコストを含む。

2.2.1 末端利用での目標コスト

アクションプラン研究会で実施したCO₂フリー水素の許容コストに関する関連主要業界の**専門家への意見調査結果**(詳細は添付資料B-4参照)を基に設定したCO₂フリー水素の目標コストを表2.2.1に示す。

表2.2.1 末端利用での水素目標コスト

	2020年	2030年	2050年
運輸用	60 円/Nm ³	50 円/Nm ³	40 円/Nm ³
運輸以外用	40 円/Nm ³	30 円/Nm ³	30 円/Nm ³

この末端利用での水素の目標コストを達成すれば、2050年頃には水素の大規模需要が見込まれる。

NEDO「燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」やIEA(International Energy Agency)のETP 2012(Energy Technology Perspectives 2012)において運輸用の水素コスト目標(必ずしもCO₂フリーではない)が示されているが、それらに比べて上記運輸用CO₂フリー水素の末端利用での目標コストは同等かより厳しい値である。

2.2.2 国内配送の目標コスト

国内配送コスト(末端利用への昇圧を含む)は配送方法や配送距離等に依存してかなり変動するので明確に示すことは難しいが、参考資料を基に目標コストを示す。それにより、次項で示すグローバルCO₂フリー水素のグローバルチェーンにおける輸入水素の目標コスト(目標CIFコスト)の設定に繋げる。

参考資料としてIEA(International Energy Agency)の**ETP 2012**の記述を以下紹介する。

『水素製造コスト(正味の炭素排出量と同様)は各々のエネルギー源に依存する。製造コストは低炭素水素が他の燃料に対し競争力あるまで著しく低下する必要がある。米国エネルギー省(US DOE)は FCEVs が他の効率の良い乗り物-特にハイブリッド電気自動車-と競争力があるためには、末端利用での水素コストは 4USD/kg(約 1USD/リットルガソリンと同等)以下に低下する必要があると推測している。

成熟市場での水素輸送と配送は約 2USD/kg までになる、それは需要量と距離および必要貯蔵圧力による、そして将来の製造コストは 2USD/kg 以下になる。』(中略)『パイプライン輸送ネットワーク開発の需要が大きくなった時には、更に大きな投資が必要になる。現在のモデルでは、これは大部分の地域で 2035 年から 2040 年の間で起こる。これは難しい障壁であろうが、輸送距離を 150 km と仮定した場合、0.5 USD/g から 1 USD/g (流量が多い場合)の平準化輸送コストはパイプライン無しでは達成出来ないだろう。約 4 USD/kg の水素製造と流通の目標トータルコストを達成する為に、安い輸送コストが不可欠である。』

即ち、ETP 2012 では、成熟市場での水素の配送コストは燃料電池自動車用として約 18 円/Nm³(1USD = 100 円換算)と想定し、パイプライン輸送コストを 4.5 円/Nm³ ~ 9 円/Nm³ と想定していることから、国内配送の目標コストを表 2.2.2 の通りとした。

表 2.2.2 国内配送の目標コスト

	2020年	2030年	2050年
運輸用	30 ~ 25 円/Nm ³	30 ~ 25 円/Nm ³	20 ~ 15 円/Nm ³
運輸以外用	10 ~ 5 円/Nm ³	10 ~ 5 円/Nm ³	10 ~ 5 円/Nm ³

2.2.3 輸入水素の目標コスト(目標 CIF コスト)

上記1)末端利用での目標コストを達成するためには CO₂ フリー水素を安価に製造する必要がある。その有力なオプションの一つとして、海外で大量に CO₂ フリー水素を製造し、輸入する方法がある。そこで、水素製造事業者が海外で CO₂ フリー水素を製造し、海上輸送して日本に輸入する場合の、日本港着の水素の目標コスト(目標 CIF コスト)を表 2.2.3 に示す。この目標 CIF コストは、上記1)末端利用での目標コストと ETP 2012 で示されている配送コストを参考に設定した。目標 CIF コストはキャリア(液化水素あるいは有機ハイドライド)及び海外での製造地域により異なるため、範囲で示している。

表 2.2.3 輸入水素の目標コスト(目標 CIF コスト)

	2020年	2030年	2050年
目標 CIF コスト	35 ~ 30 円/Nm ³	25 ~ 20 円/Nm ³	25 ~ 20 円/Nm ³

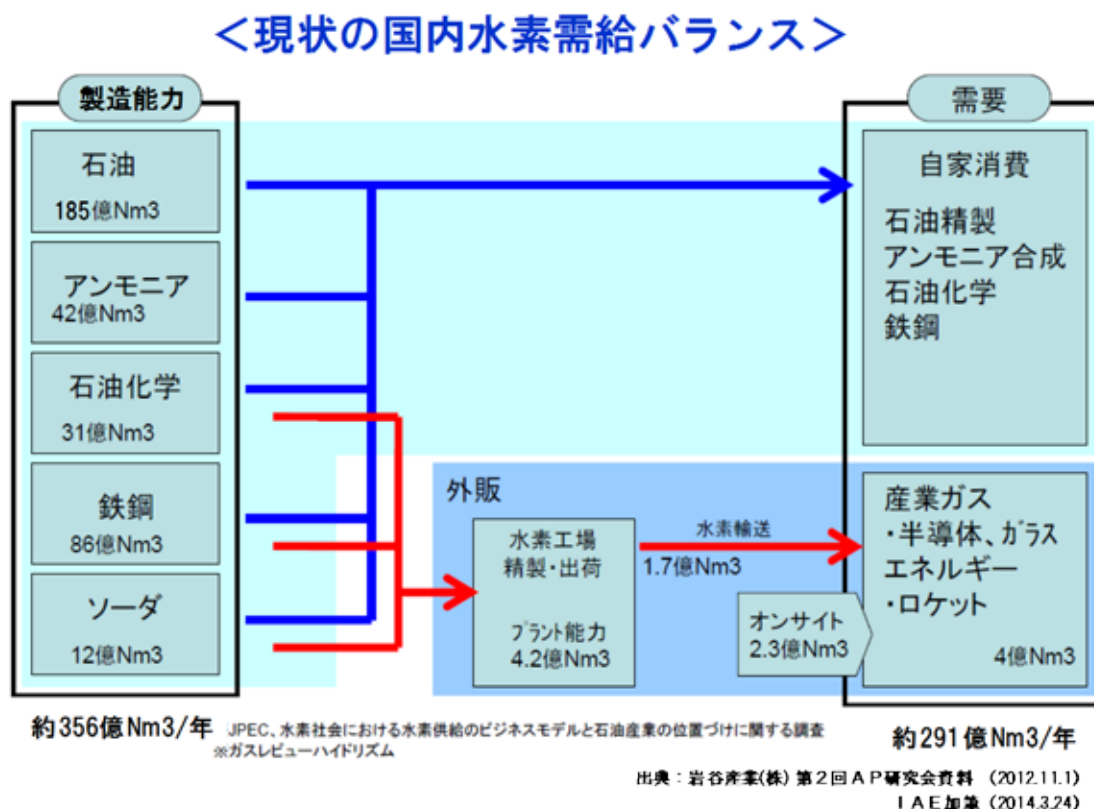
なお、アクションプラン研究会で示された、水素製造・供給事業者による FS(フィージビリティスタディー)結果によれば、上記目標は達成可能とのことであるが、政府による財政支援の下、着実な要素技術開発、そしてチェーンの技術実証・社会実証が必要不可欠である。

2.3 水素の需給バランスとCO₂フリー水素の貢献性

2.3.1 水素の需給バランス

1) 現状の国内水素需給バランス

現状の国内水素需給バランスを図2.3.1に示す。現状の国内水素製造能力は、約 356 億 Nm³/年であり、自家消費が約 291 億 Nm³/年であり、その差約 65 億 Nm³/年が現状の国内水素外販可能量と推定される。



● **水素外販可能量 = 約65億Nm³/年 (CCSなし)**

図2.3.1 現状の国内水素需給バランス

2) 2050年における水素需要量

2050年におけるCO₂フリー水素の需要量は、以下に示すとおり**意見調査結果**では合計**約2170億Nm³/年**、**シミュレーション結果(一例)**では**約2800億Nm³/年～3300億Nm³/年**であった。

(1) 水素需要量に関する意見調査

アクションプラン研究会で実施したCO₂フリー水素の2050年における需要量に関する関連主要業界の専門家への意見調査結果を表2.3.1に示す。

表2.3.1 2050年におけるCO₂フリー水素の需要量(意見調査結果)

	導入時期	2050年における需要量
運輸	2015年	約 400 億 Nm ³ /年
運輸以外	2020年	約 1770 億 Nm ³ /年
合計	-	約 2170 億 Nm ³ /年
運輸以外の内訳		
ガスエンジンコージェネ	2020年	500 億 Nm ³ /年
家庭用+業務用燃料電池コージェネ	2020年	1 億 Nm ³ /年
石油精製	2025年	100 億 Nm ³ /年
ガスタービンコージェネ	2025年	10 億 Nm ³ /年
大規模水素発電	2030年	1100 億 Nm ³ /年
工業炉(直接燃焼)	2030年	50 億 Nm ³ /年
水素還元製鉄	2030年	10 億 Nm ³ /年
運輸以外の合計	-	1771 億 Nm ³ /年

(2)シミュレーション

現在、政府にて実施されているCO₂制約目標設定やエネルギー基本計画が決定した段階で、シミュレーションをし直す必要があると思われるが、これまで実施したIAE保有ソフト(GRAPE)によるシミュレーションの一例として、以下に主な計算条件と水素需要量の推算結果を示す。

主な計算条件

- ・CO₂ 制約
 - 2020年に1990年比約5%削減
 - 2050年に1990年比80%削減
- ・各原子力発電所の寿命は40年で新設なし(フェーズアウト)
- ・海外及び国内の水素製造、水素利用技術の導入は2020年以降
- ・輸入CO₂フリー水素価格(CIF価格): 40円/Nm³@2020年、30円/Nm³@2050年
- ・国内CCSはありとなしの2ケースで計算

計算結果

2050年における水素需要量を表2.3.2に示す。ケース1は国内CCSあり、ケース2は国内CCSなしである。

表2.3.2 2050年における水素需要量

		日本国内のCCS	
		あり	なし
輸入CO ₂ フリー水素価格(CIF価格)	40円/Nm ³ @2020年	Case ①	Case ②
	~	発電 1,157 億Nm ³	発電 1,693 億Nm ³
		定置 857 億Nm ³	定置 784 億Nm ³
	30円/Nm ³ @2050年	運輸 811 億Nm ³	運輸 855 億Nm ³
		合計 2,825 億Nm ³	合計 3,332 億Nm ³

輸入 CO2 フリー水素の価格(CIF 価格)が目標コストより約10～5 円/Nm3 高い条件)であるが、以下のことが言える。

- 2050年における水素需要量は約2800億 Nm3/年(ケース)～3300億 Nm3/年(ケース :国内 CCS なしの場合)である。
- その内大規模発電用の需要量は約1100億 Nm3/年(ケース)～1700億 Nm3/年(ケース)である。

3) 2050年における水素供給

シミュレーションによれば、輸入 CO2 フリー水素の価格(CIF 価格)が2050年に 30 円/Nm3 程度であれば、上記(2) で示した2050年における水素需要量に対する供給は、大半が輸入 CO2 フリー水素で賄われ、国内 CCS ありの場合でも水蒸気改質は行われない、という結果が得られている。

2.3.2 一次エネルギーへのCO₂フリー水素の貢献性

輸入CO₂フリー水素をLNGと同様、擬一次エネルギーとみなした場合、CO₂フリー水素の一次エネルギーへの貢献性(一次エネルギーの比率の推移)を図2.3.2に示す。

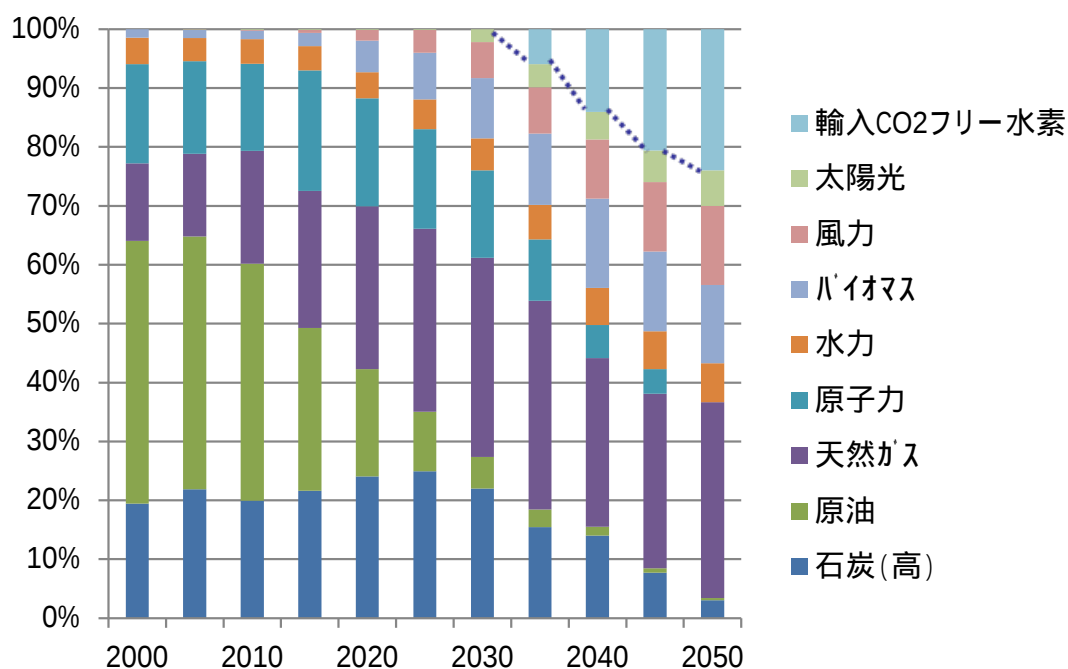


図2.3.2 CO₂フリー水素の一次エネルギーへの貢献性

図2.3.2から以下のことが言える。

- ・CO₂フリー水素は2035年頃から擬一次エネルギーとして本格的に貢献し初める。
- ・2050年にはCO₂フリー水素の擬一次エネルギーとしての貢献度はさらに増え、一次エネルギーに占める割合は約23%となる。

2.3.3 ゼロエミッション電源へのCO₂フリー水素の貢献性

CO₂フリー水素のゼロエミッション電源への貢献性(ゼロエミッション電源比率の推移)を図2.3.3に示す。

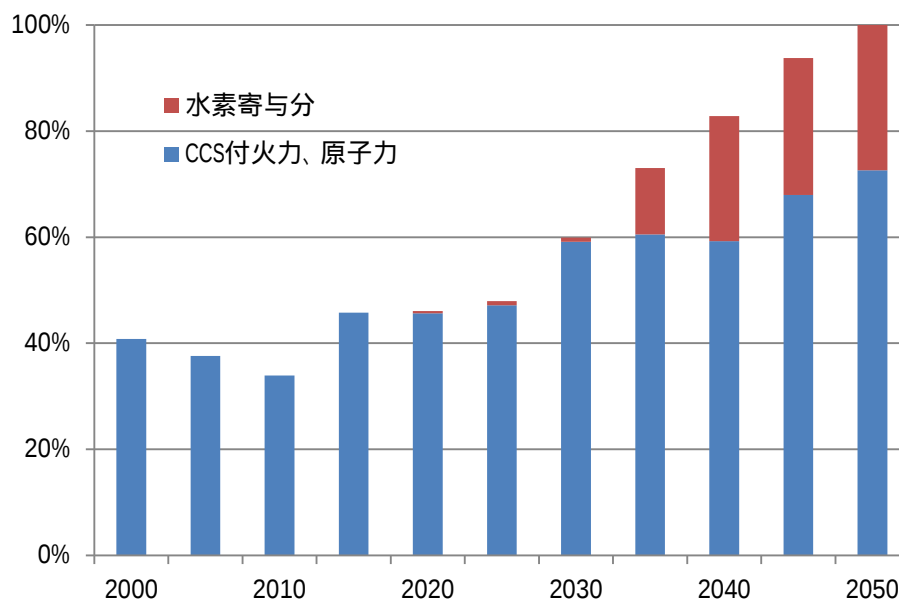


図2.3.3 CO₂フリー水素のゼロエミッション電源への貢献性

図2.3.3から以下のことが言える。

- ・CO₂フリー水素は2035年頃からゼロエミッション電源比率向上に本格的に貢献し初め、その結果、2035年にゼロエミッション電源比率は現在の政府目標である70%を超える。
- ・2050年にはCO₂フリー水素の貢献度はさらに増え、ゼロエミッション電源比率に占める割合は約27%となる。

2.4 課題と対策

2.4.1 課題

CO₂ フリー水素の目標コスト及び想定水素需要量達成における主な課題を表2.4.1～表2.4.2に示す。ここに示す課題は主として構想研究会での技術成熟度評価で示されたものであり、来年度の研究会で整理し直す予定である。

表2.4.1 水素製造技術の現状レベル・実用化時期・課題

要素技術	資源・プロセス・工程		現状レベル	実用化時期	課題	
水素の製造	化石燃料	石油随伴ガス		実用化済み	-	
		石炭	脱水(褐炭)	実用化済み	効率向上	
			ガス化	実用化済み	効率向上、国産技術の確立	
			COシフト反応	実用化済み	-	
			H2-PSA(水素製造)	実用化済み	-	
			システム	実用化済み	効率向上、コストダウン	
		天然ガス	改質水素製造	実用化済み	-	
		LPG・ナフサ	膜分離	開発研究	2020	性能向上
		重質油	ガス化	実用化済み		効率向上、コストダウン
		COG	圧縮・ガス精製・PSA	実用化済み		-
			COG中水素増幅	開発研究	2025	触媒開発、プロセス開発
		石油化学副生ガス	圧縮・ガス精製・PSA	実用化済み		-
	苛性ソーダ製造副生水素	水分除去・圧縮	実用化済み		-	
	再エネ (再生可能エネルギー)	風力発電 + 水電解(海外・国内)	風況測定 風車	実用化済み 開発研究	- 2020	正確な風況測定、 耐強風風車設計、
			水電解	開発研究	2020	高効率、耐入力変動、
		再生可能エネルギー発電 + 水電解	水電解水素製造(海外)	実用化済み	-	効率向上、コストダウン
			水電解水素製造(国内)	実用化済み	-	効率向上、コストダウン
		太陽光触媒 (国内・国外)	光触媒	基礎研究	2030	600～700 nm作動光触媒の開発
			水素分離技術	基礎研究	2030	分離膜の特定と調製法の開発
			反応器	基礎研究	2030	
			システム	基礎研究	2030	

表2.4.2 水素の変換・貯蔵・輸送技術(キャリア)の現状レベル・実用化時期・課題

要素技術	キャリア	プロセス・工程	現状レベル	実用化時期	課題
水素の 変換・ 輸送・ 貯蔵	液化水素	液化	開発研究	2020	大型化、効率向上、冷熱利用
		積荷貯蔵	開発研究	2020	大型化、薄型断熱層
		払出	開発研究	2020	大型化
		海上輸送	開発研究	2020	国際規則コード、低蒸発率、大型水素専用船
		揚荷貯蔵	開発研究	2020	大型化、薄型断熱層
		荷役	開発研究		大型化
		国内配送	実用化済み	-	-
		気化	実用化済み	-	-
		システム	開発研究		実証
	有機ハイドライド	有機HD合成	実用化済み	-	-
		積荷貯蔵	実用化済み	-	-
		払出	実用化済み	-	-
		海上輸送	実用化済み	-	-
		揚荷貯蔵	実用化済み	-	-
		脱水素	実用化済み	最適化	-
		国内配送	実用化済み	-	-
		脱水素(オンサイト)	実証研究	最適化	-
		システム	実証研究		最適化

表2.4.3 水素の国内配送の現状レベル・実用化時期・課題

要素技術	国内配送	方式	現状レベル	実用化時期	課題
国内配送	圧縮水素	シリンダー	実用化済み	-	-
		カードル	実用化済み	-	-
		トレーラー	実用化済み	-	-
		移動式水素ステーション	実用化済み	-	-
	液化水素	コンテナ	実用化済み	-	-
		ローリー	実用化済み	-	-
		鉄道貨車	コンテナ同等	-	-
		内航船(コンテナ積載)	コンテナ同等	-	-
	パイプライン	天然ガス混合	実用化済み	(2020)	-
		純水素	実証研究	(2050)	耐水素脆化材料開発
	有機ハイドライド	コンテナ	実用化済み	-	-
		ローリー	実用化済み	-	-
		鉄道貨車	実用化済み	-	-
		内航船(コンテナ積載)	実用化済み	-	-
		内航船(専用船)	実用化済み	-	-

表2.4.4 水素の利用技術の現状レベル・実用化時期・課題

要素技術	種類	形式	燃料	現状レベル	実用化時期	課題
水素の利用	FCV(燃料電池自動車)	PEFC (固体高分子形)	純水素	社会実証	2015市販	コスト、信頼性、品質保証
	家庭用FC	PEFC	都市ガス・LPG	実用化済み	市販済み	経済性(インシャル×ランニング)、コンパクト化、ユーザー拡大、海外展開
			純水素	実証研究	純水素の価格次第	純水素価格
		SOFC (固体高分子形)	都市ガス・LPG	実用化済み	市販済み	経済性(インシャル×ランニング)、コンパクト化、ユーザー拡大、海外展開
			純水素	純水素の場合はSOFCよりPEFCの方が適している。理由:改質が必要になる分コンパクトになるが、改質排熱がなくなるので、SOFCの高温作動温度(約800℃)維持のために水素の一部を燃焼させる必要があり、その分発電効率が低下するから。		
	業務用FC	PEFC (~10kW)	都市ガス・LPG	家庭用PEFCを拡張できる範囲の小規模で、電気よりも湯を比較的多く必要とする業務用。	純水素の価格次第	
		PAFC (105kW)	都市ガス・LPG・消化ガス	実用化済み	市販済み	更なるコストダウン、効率向上、PAFCの場合、部分負荷になると発電効率が低くなる。理由は補機の電気使用量が少ないため。
			純水素	実証研究	純水素の価格次第	純水素の価格次第であり、技術的には問題なし。
		SOFC (3~250kW)	都市ガス・LPG	実証研究	2015~2017	コスト、性能向上(耐久性・BCP対応)、信頼性、運用性検証
	産業用FC	SOFC(1MW級) (SOFC+MG(MGT(マイクロタービン)のハイブリッド))	都市ガス・LPG・石炭ガス	計画中	2018	性能検証、システム検証、ガス分配・温度制御性の検証
			純水素	純水素だと高温作動SOFCの長所がフルには活かされない(家庭用SOFCで記述した理由と同じ)。		
		トリプルコンバインドサイクル	天然ガス・石炭ガス	実証研究	2020	要素技術:高コストの要因分析と対策、SOFCとGTの連携、運用性の検証、燃焼器の開発、高圧環境下(~2MPaG)での発電性能、伝熱特性、ガス/熱の分配、寿命予測、量産技術、システム:小型実証、大型実証
		GTコンバインドサイクル	水素湿焼	水素リッチガス燃焼のGTCC(ガス・タービン・コンバインドサイクル)発電が多数商用化されている。		
	ガスタービンコジェネ	空気燃焼	純水素	実証研究	2030	水素気噴霧等によるNOx低減対応等技術的には確立済み。
			純水素	実証研究	2025	水素気噴霧等によるNOx低減対応等技術的には確立済み。
		酸素燃焼	純水素	基礎研究	2050	HHV効率65%以上のタービン材料、1700℃で使用可能なタービン材料、水素・酸素燃焼器・燃焼制御技術、新規耐熱材料を用いるタービン翼製造技術、タービン翼冷却構造、高温熱交換器
		空気燃焼	純水素	基礎研究	2020	水素エンジン自動車用として、技術的には実用化段階、コジェネ用は耐久性、最適化等が課題。
	ディーゼル機関	空気燃焼	純水素	基礎研究	?	燃焼制御技術、耐熱材料、コジェネ技術
	製鉄	水素還元製鉄		実証研究	2030	効率化、反応制御技術・熱管理技術の確立、全体システムの最適化
	石油精製	重油脱硫・水素化分解		現状、製油所で主として重油脱硫と水素化分解用に水素が約142億トン/年消費されている。		
	直接燃焼	水素混焼・水素専焼		水素混焼用工業炉は商用化済み		水素専焼バーナーの開発
	船舶	水素燃料船・燃料電池船		基礎研究	2050以降	要確認
		潜水艦(燃料電池搭載)		燃料電池は潜水艦に搭載済み		
	鉄道機関車	燃料電池鉄道車両		過去実証	2050以降	当時の課題:小型化、寿命、燃料供給方式。
	航空機	水素ジェット飛行機・燃料電池飛行機		過去実証	?	要確認
	ロケット	液体燃料(液体水素・液体酸素)ロケット		日本ではH-ロケットで液体燃料を使用、H-ロケットでも液体燃料の使用が決定。		

2.4.2 対策

CO₂ フリー水素チェーンをタイムリーに実現するためには、上記の課題を解決することが必要である。

列挙した課題に対処するためには、対象がエネルギーのサプライチェーンであることを考慮して、水素製造から利用までを一気通貫で技術実証する必要があると考えられる。

そのため、下記のような取り組みを実施することが望ましい。一例を表2.4.5に示した。

- 1) チェーンを構成する全ての個別技術の現状レベルが「実用化済み」の場合は、サプライシステムの技術実証を行い、技術評価、経済的成立性および課題抽出を行う。
- 2) 特定の個別技術の技術レベルが低いために、サプライチェーンシステム全体としての評価ができない場合には、その個別技術の完成を加速させる。
- 3) 将来の飛躍的なブレークスルーを目指すハイリスク・ハイリターン技術は、研究を加速させてタイムリーに実用化研究に移行させる。

この技術開発は、次の特性を有する。

- 1) サプライチェーンの実証は、個別の企業ではなく業界横断的な取り組みにより、初めて実現する。
- 2) サプライチェーンを前提とする個別技術の加速には、個別企業を超えた目的の共有および技術の連携が必要である。
- 3) ハイリスク・ハイリターン技術の実用には、個別企業の経営資源を超える長期間にわたる技術開発が必要である。

以上の観点から、コスト競争力のある CO₂ フリー水素チェーンの実現を図るためには基礎研究・開発研究・実証研究等の各段階でのタイムリーな政府の財政支援と規格・基準の見直しが必要である。

これら政府の財政支援と規格・基準の見直しがされ、産学官連携の下、はじめて、着実な要素技術開発、そしてチェーンの技術実証・社会実証が可能となる。その結果、水素コストの低減効果に伴って2050年頃には安価で安定した輸入CO₂フリー水素の大量導入が実現され、政府のエネルギー基本計画やCO₂削減に貢献できる。

表 2.4.5 課題に対する対策

要素技術開発プラン				現状	2015年	2020年	2025年	2030年	2040年	2050年
< 水素の製造 >										
・大量の水素を安価・安定に製造する要素技術開発										
課題										
随伴ガス + EOR	なし			(実用化済)						
褐炭 + CCS	脱水効率向上	ガス化効率向上		開発研究	実証研究	(実用化予定)				
風力発電 + 水電解	強風対応風車設計	高効率水電解	入力変動対応水電解	基礎研究	開発研究	実証研究	(実用化予定)			
太陽光 + 光触媒	600 ~ 700nm作動する光触媒・助触媒の開発	分離膜材料開発		基礎研究	開発研究	実証研究	(実用化予定)			
< 水素の貯蔵・輸送 >										
・大量の水素を安価・安定に貯蔵・輸送する要素技術開発										
課題										
有機Hドライト	なし			(実用化済)						
液化水素	大型化	効率向上		開発研究	実証研究	(実用化予定)				
Hドライト(天然ガス混合)						(実用化予定)				
Hドライト(純水素)										(実用化予定)
< 水素の利用 >										
・大量の水素を利用する要素技術開発										
定置用燃料電池										
産業用燃料電池	長期耐久性	システムの簡素化		開発研究	実証研究	(実用化予定)				
その他										
課題										
水素火力発電(空気燃焼)	なし			(実用化済)						
水素火力発電(酸素燃焼)	水素・酸素タービン	高温材料	高温水蒸気熱交換器			(実用化予定)				(実用化予定)
水素ガスタービンコジェネ						(実用化予定)				
水素ガスタービンコジェネ						(実用化予定)				
石油精製(既存HPU代替)	なし					(実用化予定)				
水素還元製鉄										(実用化予定)
水素サプライチェーン実用化のモデル実証プラン										
課題										
有機Hドライトチェーン	システムの最適化	コンソーシアム形成		実証研究	(実用化予定)					
	資金調達									
液化水素チェーン	システムの最適化	コンソーシアム形成		開発研究	実証研究	(実用化予定)				
	資金調達									
風力水電解水素チェーン	システムの最適化	コンソーシアム形成		基礎研究	開発研究	実証研究	(実用化予定)			
	資金調達									
光触媒水素チェーン	システムの最適化	コンソーシアム形成		基礎研究	開発研究	実証研究	(実用化予定)			
	資金調達									

3 協議会設立への協力について

我々は研究会を通して、水素社会実現に向けた努力を結集するために、何らかの民間企業を主体とする事業化推進協議会的な組織を作りたいと念願してきた(第4回 AP 研究会(2013年6月開催)で合意)。

一方、平成25年12月に開催された総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の第12回会合、及び第13回会合で示された資料:エネルギー基本計画に対する意見(案)、の第3章(新たなエネルギー需給構造の実現に向けた取組み)、

第6節(流通/消費段階:安定供給と地球温暖化対策に貢献する二次エネルギー構造への変革:電気の更なる有効活用と“水素社会の実現”)、

2(“水素社会”の実現に向けた取組みの加速)

(3)“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定、

に以下の記述が示されている。

水素社会の実現は、水素利用製品や関連技術・設備を製造する事業者のみならず、インフラ関係事業者、石油や都市ガス、LP ガスの供給を担う事業者なども巻き込みながら、国や地方自治体も新たな社会の担い手として、能動的に関与していくことで初めて可能となる大事業である。

このためには、様々な要素を包含している全体を俯瞰したロードマップの存在が不可欠である。また、このような長期的・総合的なロードマップを実行していくためには、関係する様々な主体が、既存の利害関係を超えて参画することが重要である。

したがって、水素社会の実現に向けたロードマップを、2013年度末を目途に策定し、その実行を担う産学官からなる協議会を早期に立ち上げる。

以上の基本政策分科会の資料の記述は、我々の期待する所と軌を一にするものである。我々としては、上記記述にある「協議会」設立に積極的に協力する意思を表明する。

A 水素の特徴・水素に期待されるもの、水素導入の意義

A1 水素の特徴・水素に期待されるもの¹

水素は様々な一次エネルギーから生産できるクリーンな二次エネルギー媒体として電気との共通点が多いが、一方で、化学エネルギーであることによる独自の特徴を持っている。つまり、電気と比べて水素は貯蔵・輸送性に優れており、特に長距離の大規模エネルギー輸送や自動車・航空機など移動体の燃料に利用できるという特徴がある。このため水素の本格的な利用は、電気と同じようにあるいはそれ以上に、我々の生活や社会を大きく変える可能性を持っている。

また、化学エネルギーとしても水素は現在利用されている化石燃料と較べて独自の特長がある。水素は重量あたりの発熱量が燃料の中で最も大きい(一般的な化石燃料の約3倍)ことに加えて、燃料電池によって熱を経由せずに化学エネルギーを電気に直接変換でき、その理論効率率は80%以上と高効率である。また、化石燃料に限らず廃棄物等の物質に含まれる化学エネルギーを水素に変換する(化学エネルギー間での変換は一般に高効率である)ことによって物質からクリーンなエネルギーを回収することが出来る。つまり、水素はその特異な化学エネルギーとしての特性によって、物質とエネルギーを連携するシステムにおいて重要な役割を果たす可能性がある。しかし、水素は自然界から採取できる天然資源ではないため、その利用において製造から変換、輸送・貯蔵、利用にいたる水素エネルギーシステム全体を構築しなければその大きな潜在的役割を現実のものにすることが出来ない。つまり、水素エネルギーの供給力や環境上のメリットはエネルギーシステム全体の構成を考慮しなければ特定することが出来ない。

エネルギーシステムの展開の中で水素はどのように位置づけられるだろうか。水素は化学エネルギー源であるという点で石炭や石油、天然ガスと同類であり、様々なエネルギー資源から生産されるクリーンな二次エネルギーという点では電気の同類である。このような水素の特徴を踏まえると、資源と環境の両面から持続可能なエネルギーシステムという視点から見た水素に期待されるメリットは以下のように様々に考えられる。

- 1) 燃料として利用時点でクリーン(生成物が水)であること。
- 2) 多様なエネルギー資源から製造できるため特定資源の供給制約を避けられること。
- 3) 小規模でも高効率で電気に変換されること。
- 4) 原子力や各種再生可能エネルギーからも生産できるため製造時にも CO2 排出を避けられること。
- 5) CO2 回収貯留(CCS: CO2 Capture and Storage)と組み合わせれば大量に貯蔵する石炭資源からも CO2 排出を伴わずに水素を製造できること。
- 6) 製鉄や石油精製、ソーダ工業など種々の産業プロセスで副生される水素を有効利用できること。
- 7) 長距離大量輸送が可能であるため僻地の自然エネルギー資源を水素に変換して利用できること。
- 8) 廃アルミなどエネルギーを含む廃棄物を利用して製造できるため循環型社会形成に寄与でき

¹ 山地恵治 編著: 水素エネルギー社会, エネルギー・資源学会, (2008 年 5 月)

ること。

9) 廃熱を利用して必ずしもクリーンでない他の化学物質から製造できること。

10) 水素の電気化学特性を利用した蓄電池やヒートポンプなどを通してエネルギーシステムの効率化に寄与できること。

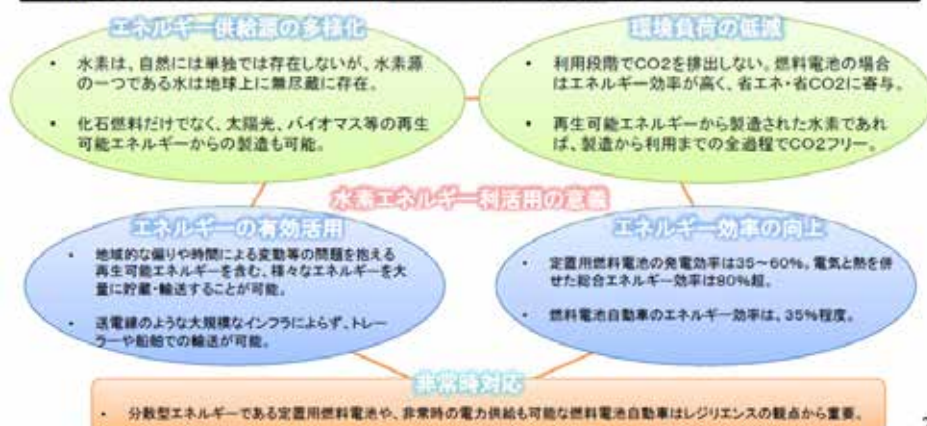
A2 水素導入の意義²³

1) エネルギー政策の観点

平成25年10月に開催された、総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第8回会合の資料2-2『水素・燃料電池について』において、水素エネルギーの意義～エネルギー政策の観点～として以下の通り記述されている。

1-1. 水素エネルギーの意義～エネルギー政策の観点①～

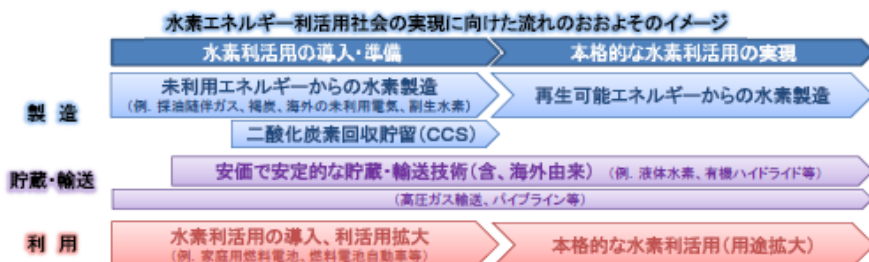
- 将来的に化石燃料が枯渇する危険性、近年の地球温暖化等のエネルギーを巡る問題が深刻化の中で、将来的なエネルギーとして水素の利活用が注目されている。
- 国内に資源が乏しく、エネルギーの大部分を海外の化石燃料に依存している日本にとって、水素は、「エネルギーの有効活用」や「エネルギー効率の向上」を通じて「エネルギー供給源の多様化」や「環境負荷の低減」に資すると考えられる。また、利用用途によっては「非常時対応」の観点からも有益。



2

1-2. 水素エネルギーの意義～エネルギー政策の観点②～

- これまでは遠い将来だと考えられていた水素エネルギー利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池が市場投入され、2015年に燃料電池自動車が市場投入される予定であるなど、世界に先駆けて水素エネルギー利活用に向けた入口が見え始めている。
- しかしながら、現時点においては、安価で安定的な水素供給システム(製造・輸送・貯蔵)は確立できていない。また、環境負荷のない形で水素を安価で大量に製造することもできず、水素を安価に効率よく利用できる用途も限られている。供給がなければ用途が広がらず、また需要がなければ供給システムについても検討されないため、水素の製造関係者、貯蔵・輸送関係者、利用関係者の三者が三すくみとなった場合、水素エネルギーの利活用が本格化しないおそれ。
- したがって、水素エネルギー利活用社会の実現に向けて、時間軸を明確化しつつ、水素の「製造」「貯蔵・輸送」「利用」まで一貫通貫して、課題を検討することが必要ではないか。



3

² 水素・燃料電池について:総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会第8回会合 資料2-2 平成25年10月

³ エネルギー基本計画に対する意見(案):総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会第12回会合 資料1-2 平成25年10月

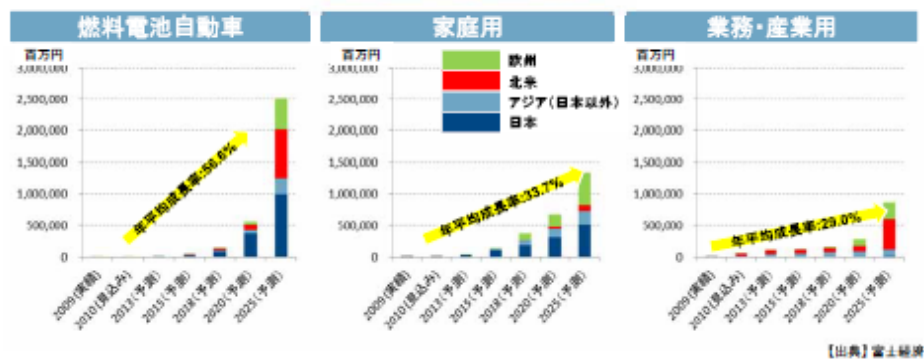
2) 産業政策の観点

平成25年10月に開催された、総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第8回会合の資料2-2『水素・燃料電池について』において、水素エネルギーの意義 ～産業政策の観点～として以下の通り記述されている。

1-3. 水素エネルギーの意義 ～産業政策の観点～

- 水素をエネルギー源とする燃料電池の市場規模は、2025年に世界で5兆円規模に拡大するとの試算もある。
- また、日本の燃料電池分野の特許出願件数は諸外国と比べると5倍以上であり、諸外国を大きく引き離している。
- このため、日本が競争力を持つ分野として、産業政策の観点からも水素エネルギー利活用の意義は大きいと考えられる。

燃料電池の市場規模(予測)



4

3) 3E+S への貢献

平成25年12月に開催された、総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第12回会合の資料1-2『エネルギー基本計画に対する意見(案)』において、(1)エネルギー政策の基本視点(3E+S)の確認、として以下の通り記述されている。

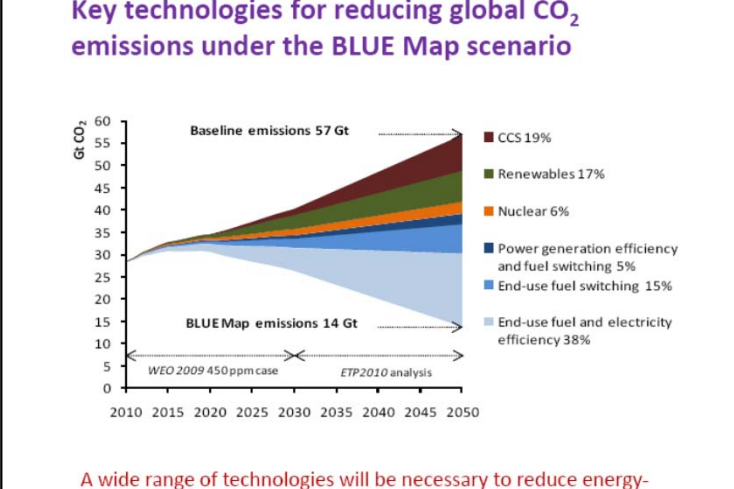
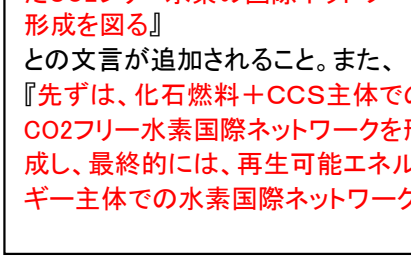
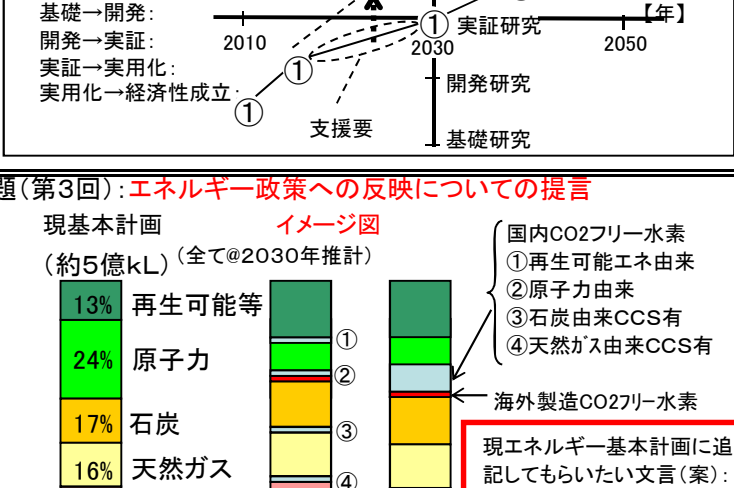
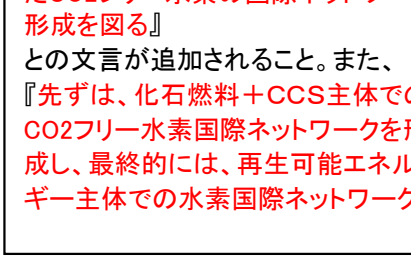
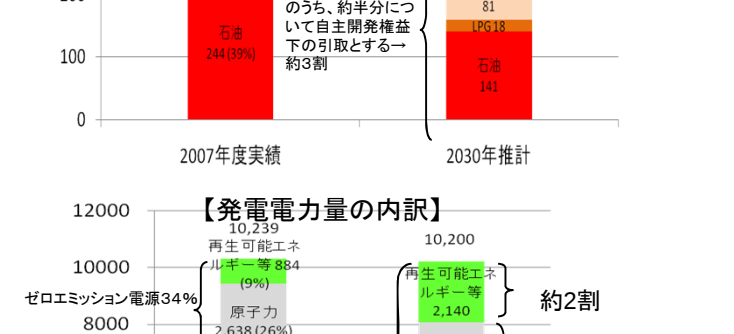
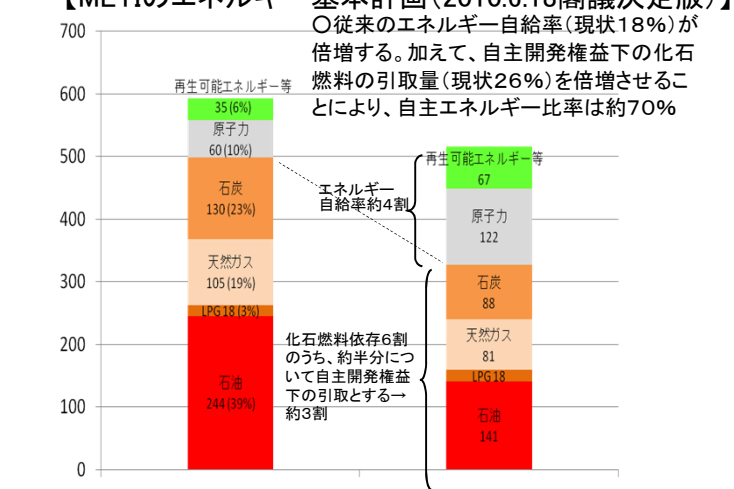
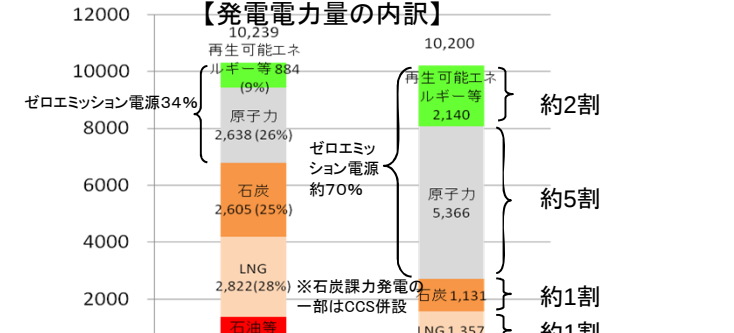
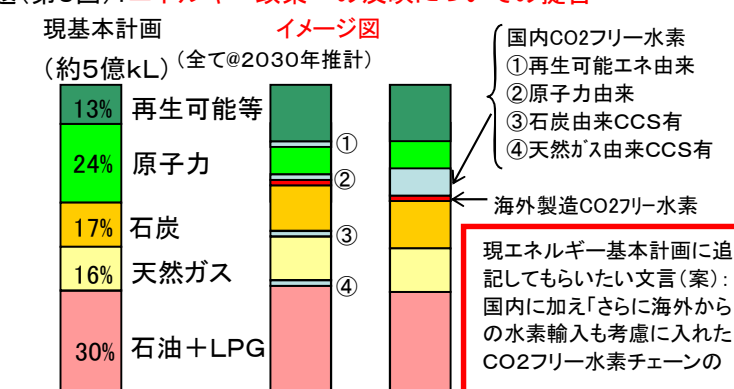
エネルギーは人間のあらゆる活動を支える基盤である。

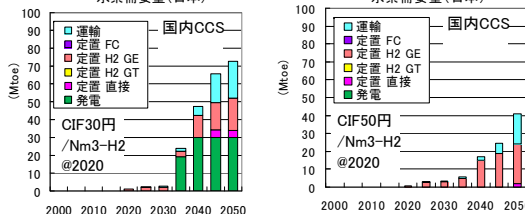
安定的で社会の負担の少ないエネルギー供給体制の実現は、我が国が更なる発展を遂げていくための前提条件である。

しかしながら、第1章で述べたとおり、我が国のエネルギー供給構造は脆弱性を抱えており、特に、東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故後に直面している課題を克服していくためには、エネルギー需給構造の改革をだいたんに進めていくことが不可避となっている。

エネルギー政策の推進に当たっては、生産・調達から流通、消費までのエネルギーのサプライチェーン全体を俯瞰し、基本的な視点を明確にして中長期に取り組んでいくことが重要である。

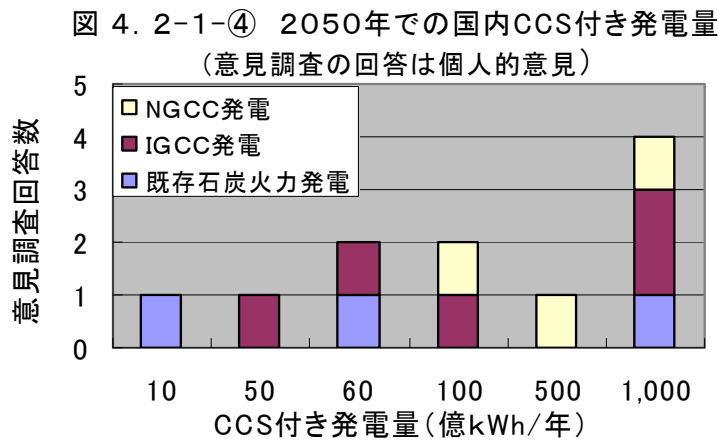
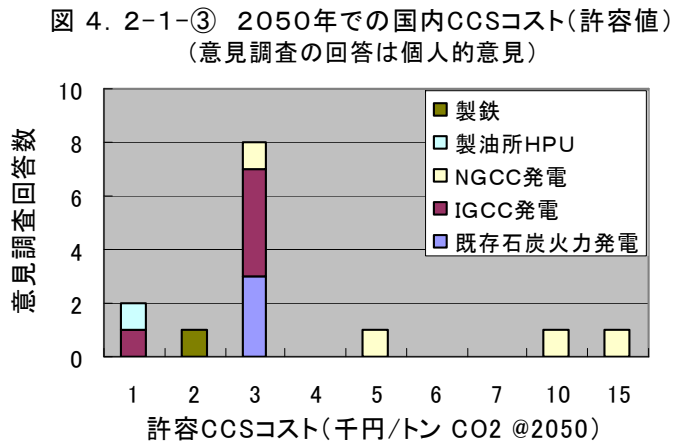
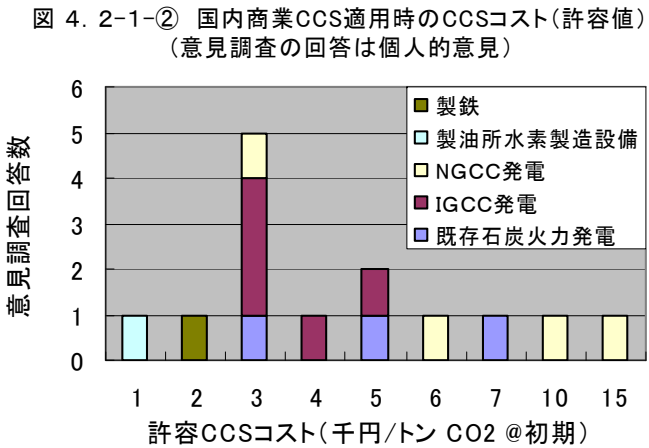
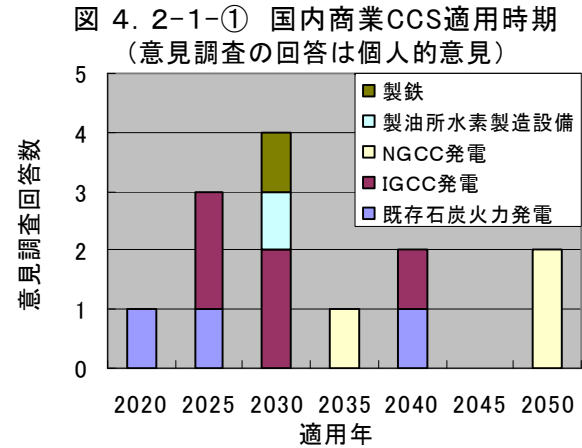
エネルギー政策の要諦は、安全性(Safety)を前提とした上で、エネルギーの安定供給(Energy Security)を第一とし、最小の経済負担(Economic Efficiency)で実現することである。あわせて、エネルギー供給に伴って発生する環境負荷(Environment)を可能な限り抑制するよう、最大限の取組を行うことが重要である。

達成目標と成果物	第1回(2011.3.11)	第2回(2011.7.14) & 第3回(2011.10.27)	第4回(2012.2.16)
1 達成目標 1) 共通認識の醸成 ①エネルギー・環境に関する課題(第1回で達成) ②低炭素社会実現による課題解決への貢献(第1回で達成) ③CO₂フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献(第4回で達成) 2) 水素チェーン構想立案(具体的には下記②パスと③マッピング)	第1回は課題および対策に関する従来議論の説明を行い、目標の①②について共通認識を得た。 課題：①エネルギーの安全保障 ②気候変動対応(CO₂削減) IPCCのSRESシナリオやIIASAのWEC試算：経済成長は2050年に約3倍 対策：政策シナリオ⇒ IEA: WEO2010(現行政策シナリオ・新政策シナリオ・450シナリオ) ⇒ METI: エネルギー基本計画・新成長戦略(2010.6.18 閣議決定) ：技術シナリオ⇒ IEA: ETP 2010(ベースラインシナリオ・ブルーマップシナリオ) ベースラインシナリオでは明らかに持続不可能であり、低炭素の未来がエネルギー安全保障と経済発展を高める強力なツールでもある。 ⇒ METI: 新たなエネルギー革新技術(2010.6時、策定中) 	第2回 & 第3回はCO₂フリー水素に焦点を当て、活発な議論を行った。 議題(第2回 & 第3回) : GRAPEによるシミュレーション 第2回 : IAEの構築モデル、設定条件で計算を実施 設定条件(一部) ・一次エネルギー価格、水素CIF価格(25、35、45円/Nm³) ・CO₂削減目標(1990年比80%削減@2050年) 結果(一部) ・水素需要予測 ・一次エネルギー自給率の政府目標(40%@2030年)を2025年に達成 ・ゼロエミ電源比率の政府目標(70%@2030年)を2025年に達成 モデル、設定条件に関し多くのコメントをいただいた(水素が安すぎる等)。 第3回 : モデル、設定条件の一部を見直し、想定ケーススタディーの内1ケース計算を実施 ・ケーススタディーの想定パラメータ : CO₂制約と原子力発電の容量 ・水素CIF価格の設定 : 50円/Nm³ ・積上による水素のCIF価格は30円/Nm³以下になるという報告が2社から出た。 ・FCVの設定効率が少し低い。見直すべきというコメントが出た。 議題(第2回) : チェーンの技術実証・社会実証の必要性 実証の必要性は、CO₂フリー水素の貢献性を共通認識できた後議論することとなった。	CO₂フリー水素エネルギーシステムの貢献性について共通認識を得る。 【シミュレーション：議題2】  CO₂フリー水素のゼロエミッション電源比率：約3% @2030 ↓ 自給率への寄与： 約1% @2030 約34% @2050 CO₂フリー水素の貢献性について共通認識を醸成
2 成果物 ①シミュレーション結果(来年度も継続) ②CO₂フリー水素チェーンパス(可能性のあるパスを提示) ③CO₂フリー水素チェーンのマッピング(今年度は試行を実施) ④エネルギー政策への反映についての提言(政策提言と一般提言に分けて実施)		議題(第2回 & 第3回) : 低炭素エネルギーサプライチェーン可能性のあるチェーンのブロックフローを提示 ⇒ 各位俯瞰 議題(第3回) : チェーンの評価マッピング 	【マッピング試行結果：議題3】 ・マッピングの目的は優劣を比較するためでなく技術成熟度推移の把握である。  短中長期のパス、化石燃料パスと再生可能エネルギーパスが上手<ミツ>
CO₂フリー水素とは 国内製造CO₂フリー水素 ○目的生産水素(石油精製、アンモニア等) ○副生産水素(鉄鋼、ソーダ等) ○化石+CCS水素 海外製造CO₂フリー水素(イメージ)  CO₂フリー水素の特徴 ○利用時ゼロエミ ○製造時ゼロエミ(化石+CCS、再生可能資源) ○多様性(製造・輸送・貯蔵・利用) ○新概念：擬一次エネルギーの可能性	【METIのエネルギー基本計画(2010.6.18閣議決定版)】 ○従来のエネルギー自給率(現状18%)が倍増する。加えて、自主開発権益下の化石燃料の引取量(現状26%)を増加させることにより、自主エネルギー比率は約70%  【発電電力量の内訳】 	議題(第3回) : エネルギー政策への反映についての提言 現基本計画(約5億kL)(全て@2030年推計)  国内CO₂フリー水素 ①再生可能エネ由来 ②原子力由来 ③石炭由来CCS有 ④天然ガス由来CCS有 海外製造CO₂フリー水素 現エネルギー基本計画に追加していただきたい文言(案) : 国内に加え「さらに海外からの水素輸入も考慮に入れたCO₂フリー水素チェーンの 主なコメント ・提言についてはヒアリングのような機会が出てくると思う。 ・水素は分散型設置や燃料電池自動車に関連して出てきており、CO₂フリー水素に結びつくのはなかなか難しいのが現状。 ・少し先を見た場合、CO₂フリー水素の輸入は十分考えられる。 ・2050年を見据えて2030年は通過点として、水素調達のある部分は海外に依存することはあり得るかも知れない。 ・再生可能Eを強調し、制約がある日本では一部海外調達という絵を示す。 ・国内CCSが2030年に本当にカウントされる量になるのかどうか。 ・CCS水素のパスが本当に良いか、水素は溜置きが難しい。 ・日本の資金流出を少なくするという説明が重要。 ・3Eの基本方針は不変で、その線に沿った提案が必要。例えば、供給	【エネルギー政策への反映についての提言：議題4】 ・研究会の成果を活用し、エネ総によるMETIへの政策提言と一般提言(エネ総HP)に分ける。 <政策提言②> 「水素」という項目が <政策提言①> 水素エネルギー社会実現について：現在の文章は活かし、加えて『海外からの水素輸入も考慮に入れたCO₂フリー水素の国際ネットワーク形成を図る』との文言を追加されること。また、『まずは、化石燃料+CCS主体でのCO₂フリー水素国際ネットワークを形成し、最終的には、再生可能エネルギー主体での水素国際ネットワーク』 【次年度について】 ⇒ 継続する。略称『アクションプラン研究会』(暫定) ⇒ エネルギーユーザの意見を集積し、需要面をもっとつめる。 ・幅広に将来を見据えて、日本のあるべき姿を描いて、アクションプランを作成する。 ・事務局が各位の意見を聞き、どのような体制で行うかを提案し、協議・決定する。 ・年3回程度実施する。

全体計画		第2回(2012.11.1)		第3回(2013.2.28)		2012年度の総括																																																																																																																																																																																																																											
1 目的 構想研究会の成果を踏まえCO2フリー水素チェーン構想の具体的展開の基盤を形成する		1 第1回の総括:本紙「第1回(2012.6.26)」の記述を基に、第1回の総括を実施。 2 CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見集約 1) 調査の目的 ・リアリティーの高い水素エネ社会の絵姿、シナリオ作成につなげる。 2 調査方法 ・関連セクターの適切な方を訪問し、調査への協力を依頼。 ・GRAPEシミュレーションの条件と結果を関連情報として提供。 3) 調査結果 ⇒ 次頁のグラフ参照 ＜CCS関係＞ ①国内商業CCS適用時期 有意回答数17に対し2030年頃が4件(23%)、2025年頃が3件(18%)、不適用が4件(23%) ②国内商業CCS適用時のCCSコスト(許容値) 有意回答数14に対し、3千円/トンCO2が5件(36%)、5千円/トンCO2が2件(14%) ③2050年での国内CCSコスト(許容値) 有意回答総数14に対し3千円/トンCO2が8件(57%) ④2050年での国内CCS付き発電量		1 第2回の総括:本紙を基に第2回を総括。 意見調査結果をグラフ化(次頁)。CO2フリー水素関係のグラフは運輸と運輸以外に分類。 2 水素需要推算 1)計算条件:水素CIF価格50円⇒30円/Nm3 @2020 2)計算結果(一部):発電部門 国内CCS有りでも水素CIF価格が30円/Nm3以下になると2035年以降水素大規模発電が導入。  3 水素エネルギー社会の絵姿(1次案) 意見調査結果を基にCO2フリー水素チェーンに焦点を当てHigh H2シナリオとLow H2シナリオについて絵姿を作 1)High H2シナリオ:最早技術導入・最大水素利用ケース 2020年頃からCO2フリー水素の国内利用が多分野で開始。2050年頃には国内パイプラインで大規模水素発電に供給され、水素ハイウェイやスマートコミュニティー(スマコミ)でCO2フリー水素が利用されている。 2)Low H2シナリオ:最遅技術導入・最少水素利用ケース High H2シナリオに比べ、特に2020年でのCO2フリー水素の国内利用が極端に少なく、後年にシフトする。海外製造・海上輸送・国内製造の事業化可能性はHigh H2シナリオと同。国内パイプライン輸送は未実施で、スマコミでのCO2フリー水素は未利用。 4 アクションプラン(議論のたたき台) 1) 目的 CO2フリー水素チェーン実現の共通のボトルネックを特定し、解決に繋がるアクションをとる。 2)展開計画:STEP I、STEP IIの2段階で展開 3)共通のボトルネック (1)需要開拓:STEP Iで実施(アクション1) ①利用機器(FCV以外)の技術課題の明確化&解決のロードマップ作成 ②利用水素(FCV以外)の許容価格設定 &達成のロードマップ作成 ③エネルギー事業者向け資料作成(含FS) (2)社会受容性:STEP Iで実施(アクション2) ①CO2フリー水素導入のメリットをまとめる ②広報活動の実施 ③社会実証の全体構想立案 (3)体制・政策:STEP IIで実施(アクション3) CO2フリー水素協議会を設立し、民間企業と団体の調整を行う。 5 CO2フリー水素の多面的評価(議論のたたき台) 1)評価手順:2段階で評価する (1)STEP I:総括評価 CO2フリー水素導入の効果を多面的に評価する。 (2)STEP II:個別チェーンの評価 チェーンの優劣評価ではなく各チェーンの貢献性と多様なチェーンの必要性を強調する。 6 AP研究会の成果物の公開 意見調査結果は統計処理データに限定し公開。 成果物は社内外で積極的に活用願いたい。 7 情報提供 METI 新エネ対策課 FC推進室と産技環境局 研究開発課よりH25年度予算案の説明をしていただい 8 2013年度の活動継続提案:異論なく承諾された。		1 CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見集約 ・国内CCS及びCO2フリー水素の適用時期・許容コスト・想定発電量等に関する貴重な意見が得られた。 ⇒ 次年度は需要開拓に繋げる。 2 水素需要推算(シミュレーション) ・2050年におけるCO2フリー水素需要量推算を、水素価格とCCS有無の組合せで4ケース実施し、比較した。 <table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">日本国内のCCS</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th>有り</th><th>なし</th></tr><tr><td rowspan="2">輸入CO2</td><td>40円/Nm3 @2020年</td><td>①CCS有 発電 1,157 億Nm3 定置 857 億Nm3 定置 811 億Nm3</td><td>②CCS無 発電 1,693 億Nm3 定置 784 億Nm3 定置 855 億Nm3</td></tr><tr><td>30円/Nm3 @2050年</td><td>③CCS有 発電 0 億Nm3 定置 926 億Nm3 定置 668 億Nm3</td><td>④CCS無 発電 1,687 億Nm3 定置 928 億Nm3 定置 788 億Nm3</td></tr></table> ※運輸は乗用車の保有台数シナリオを変更し、保有台数が2050年で2割ほど増えていることも影響している。 ・国内CCS有りの場合でも水素CIF価格が2020年で40円/Nm3以下になると2050年には水素大規模発電に1,157億Nm3/年のCO2フリー水素が使用される。 ⇒ 次年度は以下を予定 1)第3回AP研究会で出されたコメントの反映検討 ・現実の導入シナリオとの整合(定置用燃料電池等) ・再生可能エネルギー電力を送電網を拡張して利用する場合と自家発電利用の総コストの比較 2)事務局提案の感度分析の実施(下記、順不同) ・日本のCCS有無、 ・日本の原子力比率の変化(例 15シナリオ) ・CO2フリー水素CIF価格変化(約40円/Nm3) ・燃料価格の変化 ・水素導入の遅延(10年程度) ・FCV補助金等の低減 3 水素エネルギー社会の絵姿 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・純酸素燃焼水素タービンはもっと強調すべき。 ・利用先として鉄道や船舶も入れる。 ・東芝のSOEC/SOFC(研究段階)を入れる。 ・安全・規制緩和の項目に水素事業法を示す。 ・地名は特定しない(場所の特定はシミュレーションの範疇) ・需要量と供給場所(国内のみ or 国内&海外)の整合 ・シミュレーションとの整合() ・絵姿(全体像)+部分拡大図(PPで強調等)の組合せ 上記コメントを盛り込んだ修正一次案:図4-4-1 & 4-4-2 ⇒ 次年度も引き続き検討し、充実した絵姿にする。 4 アクションプラン 第3回AP研究会での主なコメント(以下)をフォローし、次年度推進する。 ・体制・政策も、ある程度最初から出てくるので、ステップを分けずに、同時並行で進める。 ・需要開拓からスタートすべきであり、その場合、燃料電池そして少し規模が大きい自家発電(分散型発電)が最初に来ると思われる。 ・原発は維持されるのではなかろうか。				日本国内のCCS				有り	なし	輸入CO2	40円/Nm3 @2020年	①CCS有 発電 1,157 億Nm3 定置 857 億Nm3 定置 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,693 億Nm3 定置 784 億Nm3 定置 855 億Nm3	30円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 0 億Nm3 定置 926 億Nm3 定置 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,687 億Nm3 定置 928 億Nm3 定置 788 億Nm3																																																																																																																																																																																																											
		日本国内のCCS																																																																																																																																																																																																																															
		有り	なし																																																																																																																																																																																																																														
輸入CO2	40円/Nm3 @2020年	①CCS有 発電 1,157 億Nm3 定置 857 億Nm3 定置 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,693 億Nm3 定置 784 億Nm3 定置 855 億Nm3																																																																																																																																																																																																																														
	30円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 0 億Nm3 定置 926 億Nm3 定置 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,687 億Nm3 定置 928 億Nm3 定置 788 億Nm3																																																																																																																																																																																																																														
第1回(2012.6.26)		<table><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="8">2050年での国内CCS付き発電量(億kWh/年)</th><th rowspan="2">不明</th><th rowspan="2">回答数</th></tr><tr><th>10</th><th>50</th><th>60</th><th>100</th><th>500</th><th>1,000</th><th>2,000</th><th></th></tr><tr><td>既存の石炭火力発電(微粉炭火力発電)</td><td>1</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>IGCC発電(石炭ガス化複合発電)</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>2</td><td></td><td>1</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>NGCC発電(天然ガス複合発電)</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>2</td><td>5</td><td></td></tr><tr><td>合計</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>0</td><td>4</td><td>15</td><td></td></tr></table> ＜CO2フリー水素関係＞ ①商業CO2フリー水素の適用時期 有意回答数34に対し2030年頃が11件(32%)、2040年頃が5件(15%) ②商業CO2フリー水素適用時の水素コスト 有意回答数35に対し30円/Nm3-H2が11件(31%)、35円と40円が各5件(14%) ③2050年におけるCO2フリー水素コスト 有意回答総数34に対し30円/Nm3-H2が15件(約44%)、35円が6件(18%)、40円が5件(15%) ④2050年におけるCO2フリー水素需要量			2050年での国内CCS付き発電量(億kWh/年)								不明	回答数	10	50	60	100	500	1,000	2,000		既存の石炭火力発電(微粉炭火力発電)	1		1			1		1	4		IGCC発電(石炭ガス化複合発電)		1	1	1		2		1	6		NGCC発電(天然ガス複合発電)				1	1	1		2	5		合計	1	1	2	2	1	4	0	4	15		<table><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="11">2050年におけるCO2フリー水素需要量(億Nm3/年)</th><th rowspan="2">回答数</th></tr><tr><th>1</th><th>10</th><th>20</th><th>30</th><th>50</th><th>100</th><th>150</th><th>300</th><th>400</th><th>500</th><th>1100</th><th>不明</th></tr><tr><td>大規模発電</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>2</td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr><tr><td>製油所HPU</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr><tr><td>ガスタービン</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td><td>6</td></tr><tr><td>ガスエンジン</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>家庭・業務用純水素燃料電池</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>5</td></tr><tr><td>直接燃焼</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td><td>6</td></tr><tr><td>製鉄</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr><tr><td>運輸</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr><tr><td>合計</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>14</td><td>36</td></tr></table> ＜主なコメント＞ ・今後示す絵姿、情報量を増やした時点でご意見を伺う。 ・今までやられていない有用な調査結果なので有効活用していただきたい。			2050年におけるCO2フリー水素需要量(億Nm3/年)											回答数	1	10	20	30	50	100	150	300	400	500	1100	不明	大規模発電					1			2		1	2	3	9	製油所HPU				1	1								2	ガスタービン	2	1										3	6	ガスエンジン			1							1		3	5	家庭・業務用純水素燃料電池	3											2	5	直接燃焼				1	2							3	6	製鉄		1											1	運輸							1		1				2	合計	5	2	1	2	3	1	1	2	1	2	2	14	36	3 GRAPEにより実施すべき水素需要のケーススタディー条件について 1) ベースケースの条件改訂 ・日本のCO2制約:最近の政策動向(環境計画、革新的環境・エネ戦略)の反映を検討 ⇒ 1990年比 10%減 @2020、20%減 @2030、80%減 @2050 に変更 2) ベースケースの計算:厳CO2制約、国内CCS有り・無しの2ケース 3) 感度分析/パラメータ ・日本での水素導入に影響を与え、かつ不確実性大のパラメータを優先考慮 ⇒ 世界全体のCO2制約、資源価格変化、日本の原発比率、CCS関連 4 2050年における水素エネルギー社会の絵姿(素案) ・CO2フリー水素チェーンの構成要素は構想研究会の成果(技術成熟度評価)を踏まえ、年次展開 ・2050年におけるCO2フリー水素の年間最大需要量の推算比較: GRAPE=約3,400億Nm3/年、意見調査=約2,200億Nm3/年(オーダー一致) ＜主なコメント＞ ・競合技術にもふれること。・安全性確保や社会受容性に関わるコストも考慮すべき。 ・CO2フリー水素コストのGRAPE設定値と意見調査結果(要求値)を比較すべき。		5 話題提供 1) 千代田化工建設:中東天然ガス由来CO2フリー水素の供給コストについて ・中東で8万m3/h-H2規模でMCHを製造した場合、日本着CIF価格は約27円/Nm3-H2。 ・2020年にはCIF20円/Nm3-H2以下にしたい(23万kLVLCC船で輸送距離5千km) 2) 川崎重工: 豪州褐炭由来CO2フリー水素のFS結果報告 ・770ton-H2/日(16万m3液水タンク2隻の豪州水素チェーン)で日本着CIF価格は約30円/Nm3-H2。 ・2017年パイロットチェーン実証(規模は商用の1/77)、2025年商用チェーン実証、2030年商用チェーン事業化。 3) 岩谷産業: 国内水素製造・需要の現状 ・国内の水素製造設備規模は約360億m3、需要は180億m3程度。 ・2025年にFCVが200万台ほど出てくると、ステーションへは液化水素での供給が現実的。		5 多面的評価 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・擬一次エネと考え得るので化石燃料・原子力・再生可能エネ等の一次エネと比較してもいい。 ・対供給地支援(信頼関係)を項目に入れるべき。	
	2050年での国内CCS付き発電量(億kWh/年)								不明	回答数																																																																																																																																																																																																																							
	10	50	60	100	500	1,000	2,000																																																																																																																																																																																																																										
既存の石炭火力発電(微粉炭火力発電)	1		1			1		1	4																																																																																																																																																																																																																								
IGCC発電(石炭ガス化複合発電)		1	1	1		2		1	6																																																																																																																																																																																																																								
NGCC発電(天然ガス複合発電)				1	1	1		2	5																																																																																																																																																																																																																								
合計	1	1	2	2	1	4	0	4	15																																																																																																																																																																																																																								
	2050年におけるCO2フリー水素需要量(億Nm3/年)											回答数																																																																																																																																																																																																																					
	1	10	20	30	50	100	150	300	400	500	1100		不明																																																																																																																																																																																																																				
大規模発電					1			2		1	2	3	9																																																																																																																																																																																																																				
製油所HPU				1	1								2																																																																																																																																																																																																																				
ガスタービン	2	1										3	6																																																																																																																																																																																																																				
ガスエンジン			1							1		3	5																																																																																																																																																																																																																				
家庭・業務用純水素燃料電池	3											2	5																																																																																																																																																																																																																				
直接燃焼				1	2							3	6																																																																																																																																																																																																																				
製鉄		1											1																																																																																																																																																																																																																				
運輸							1		1				2																																																																																																																																																																																																																				
合計	5	2	1	2	3	1	1	2	1	2	2	14	36																																																																																																																																																																																																																				
1 全体計画の説明 2 絵姿・シナリオの作成(論点を提示し協議) 1) 水素エネ社会の位置付け ・エネ・環境システムの中の1システム ・構想研究会の成果を反映させる。 ・マイナス要因も議論・整理する。 2) 作成の目的 ・ロードマップ、アクションプラン作成に落とし込む。 ・メンバーが内部、外部で有効活用する。(水素に中立の立場の方々に理解してもらう) 3) 絵姿・シナリオのイメージ ・年次展開(2020、2030、2050年)を示す。 ・新しいエネ基本計画やCO2削減目標の見直し結果を反映させる。 ・シミュレーション、意見調査、現地調査等によりリアリティーを高める。 4) 各位の係わり ・事務局:素案作成&まとめ ・メンバー:素案のチェック&レビュー ・メンバー:盛り込むべきキーワードの提示 ・オブザーバ:アドバイス		1 エネユーザの意見集約(考え方を提示し議論) ・アンケート調査方式とする(訪問主旨説明を行う) ・目的は絵姿やシナリオのリアリティーを高めること ・シミュレーションのケーススタディーに活用する可能性有り ・水素への置換条件、置換量等を聞く ・シミュレーション条件と結果を提示し、意見を聞く 2 需要予測(ケーススタディー結果を提示し議論)		1 評価手順:2段階で評価する (1)STEP I:総括評価 CO2フリー水素導入の効果を多面的に評価する。 (2)STEP II:個別チェーンの評価 チェーンの優劣評価ではなく各チェーンの貢献性と多様なチェーンの必要性を強調する。 6 AP研究会の成果物の公開 意見調査結果は統計処理データに限定し公開。 成果物は社内外で積極的に活用願いたい。 7 情報提供 METI 新エネ対策課 FC推進室と産技環境局 研究開発課よりH25年度予算案の説明をしていただい 8 2013年度の活動継続提案:異論なく承諾された。		3 水素エネルギー社会の絵姿 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・純酸素燃焼水素タービンはもっと強調すべき。 ・利用先として鉄道や船舶も入れる。 ・東芝のSOEC/SOFC(研究段階)を入れる。 ・安全・規制緩和の項目に水素事業法を示す。 ・地名は特定しない(場所の特定はシミュレーションの範疇) ・需要量と供給場所(国内のみ or 国内&海外)の整合 ・シミュレーションとの整合() ・絵姿(全体像)+部分拡大図(PPで強調等)の組合せ 上記コメントを盛り込んだ修正一次案:図4-4-1 & 4-4-2 ⇒ 次年度も引き続き検討し、充実した絵姿にする。 4 アクションプラン 第3回AP研究会での主なコメント(以下)をフォローし、次年度推進する。 ・体制・政策も、ある程度最初から出てくるので、ステップを分けずに、同時並行で進める。 ・需要開拓からスタートすべきであり、その場合、燃料電池そして少し規模が大きい自家発電(分散型発電)が最初に来ると思われる。 ・原発は維持されるのではなかろうか。																																																																																																																																																																																																																											
成果の公表 ・研究会の成果であることを明示すれば公表可 ・IAEの月例研究会で構想研究会の活動概要を発表予定		6 話題提供(事務局) 1) ETP2012 ・ETPの背景と構成、・水素の扱いを概説 ・水素がPart 2 Energy SystemsのChapter 7で取上げられ、3つのシナリオ(2℃・4℃・6℃シナリオ)について需要推算結果等が示されている。 2) アンモニア燃料 ・IAE村田の投稿資料等を参考資料として提示		6 成果報告書 ・意見調査回答者には、4月中旬以降、印刷物を持参し、活動概要を説明する。		6 成果報告書 ・意見調査回答者には、4月中旬以降、印刷物を持参し、活動概要を説明する。																																																																																																																																																																																																																											

2012年度立上時の目的・達成目標	2013年度の全体計画／第4回AP研究会(2013.6.11)	第5回AP研究会(2013.10.11)	第6回AP研究会(2014.1.22)	第7回AP研究会(2014.3.10)															
1 目的 構想研究会の成果を踏まえCO2フリー水素チェーン構想の具体的展開の基盤を形成する。 2 達成目標 ① CO2フリー水素需要に関するエネルギーユーザの意見集約 ② 2050年までのCO2フリー水素エネルギーの需要推算(シミュレーション) ③ 2050年までの水素エネルギー社会の絵姿・シナリオの作成 ④ シナリオ実現に向けたロードマップ・アクションプランの作成 ⑤ CO2フリー水素の多面的評価 2012年度のAP研究会活動の総括 (達成度を ○ △ × で表示) 1 CO2フリー水素需要に関する意見集約(○ 但し、需要開拓調査要) ・国内CCS許容コスト: 約3千円/トンCO2 @2020 & 2050 ・CO2フリー水素 { 運輸以外用: 約30円/Nm3 @2030 & 2050 利用許容価格 { 運輸用 : 約40円/Nm3 @2050 ・CO2フリー水素 { 運輸以外用: 最大約1,770億Nm3 @2050 需要量 { 運輸用 : 最大約400億Nm3 @2050 2 水素需要推算(シミュレーション)(○ 但し、継続実施) ・2050年におけるCO2フリー水素需要量を推算 ・4ケース(水素価格とCCS有無の組合せ)実施 <table><tr><th colspan="4">日本国内のCCS</th></tr><tr><th></th><th>有り</th><th colspan="2">なし</th></tr><tr><td rowspan="2">輸入CO2フリー水素価格 @CIF</td><td>40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年</td><td>①CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3</td><td>②CCS無 発電 1,693 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3</td></tr><tr><td>50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3 @2050年</td><td>③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3</td><td>④CCS無 発電 1,687 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3</td></tr></table> ・上記ケース①の場合(国内CCS有りで水素CIF価格が) ・運輸以外用:2,014億Nm3 (内大規模発電用:1,157億Nm3) ・運輸用:811億Nm3 3 水素エネルギー社会の絵姿(○ 但し、コメント盛込み要) 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・純酸素燃焼水素タービンはもっと強調すべき。 ・利用先として鉄道や船舶も入れる。 ・東芝のSOEC/SOFC(研究段階)を入れる。 ・安全・規制緩和の項目に水素事業法を示す。 ・地名は特定しない(場所の特定はシミュレーションの範疇) ・需要量と供給場所(国内のみ or 国内&海外)の整合 ・シミュレーションとの整合 ・絵姿(全体像)＋部分拡大図(PPで強調等)の組合せ 4 ロードマップ・アクションプラン(×) 1)ロードマップ:未着手 2)アクションプラン:実施要領(案)に対するコメントは以下の通り。 ・体制・政策も、ある程度最初から出てくるので、ステップを分けずに、同時並行で進める。 ・需要開拓からスタートすべきであり、その場合、燃料電池そして少し規模が大きい自家発電(分散型発電)が最初に来ると思われる。 ・原発は維持されるのではなからうか。 5 多面的評価(×) 第3回AP研究会での主なコメントは以下の通り。 ・擬一次エネと考え得るので化石燃料・原子力・再生可能エネ等の一次エネと比較してもいい。 ・対供給地支援(信頼関係)を項目に入れるべき。	日本国内のCCS					有り	なし		輸入CO2フリー水素価格 @CIF	40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年	①CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,693 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3	50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,687 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3	I 2013年度の最終目標(アクションプラン) ① 『大規模発電事業における水素利用等水素の大量需要を目指す技術開発提案書』の作成 ・水素エネルギーによる総合効率向上の理論展開を試みる。 ・CO2フリー水素推進協議会設立を提言する。 ＜第4回AP研究会でいただいた主なコメント> ・題名は技術開発プログラム提案書とした方が良い。 ・課題では技術開発課題を同定してもらいたい。 ・車との連携も取った記述をする。 ② 成果の公表 FC EXPO 2014(2月@東京)への出展のみならずWHEC 2014(6月@韓国光州)、Grand RE 2014(7～8月@東京)等にも積極的に発表すること。 II AP研究会立上時の達成目標に対する実施計画 1. エネルギーユーザの意見集約 ・FCV以外で比較的多量の需要が期待できる分野とその条件等について追加意見調査を行う。 2. シミュレーション 第4回AP研究会でのコメントを反映し、以下を実施予定。 ベースケース ① 日本の中長期のエネルギー需給関連条件の改訂 ② 日本の中期のCO2制約の変更 ③ 世界の水素製造地域、水素資源の見直し(世界各地の包蔵水力の調査等) ④ 水素関連技術の精査(効率、コスト等のアップデート) 感度分析 ① 世界全体、日本のCO2制約 ② 資源価格の変化(石油、石炭、ガス、水素等)(シェールガス革命。水素が導入されるロバストな条件) ③ 日本の原子力発電量の比率等 ④ CCSに関連するパラメーター(日本国内CCS技術の適用可否、年間貯留量制約の考慮等) ⑤ 水素の国際輸送の制約(水素の調達が一地域に限定しない) ⑥ 水素関連技術の導入量をシナリオで与えた場合の振る舞い(エネファーム等) 3. 水素エネルギー社会の絵姿 ・High H2 シナリオとLow H2 シナリオの2ケースで第4回AP研究会で最終案として提示。以下主なコメント。 ・食塩電解水素をカーボンフリー水素と言えるかは疑問 ・今回以降皆さんの意見を盛り込んで徐々に良くなっていく 4. ロードマップ ・第4回AP研究で一次案を提示。以下主なコメント。 ・導入初期に焦点を当てた現実的なロードマップが必要。 導入初期ではノンカーボンフリー水素からカーボンフリー水素に移行する。 ・先ずは石油精製所で水素でしかできない所に使用される ・チェーンと要素は分けて記述する FCVや定置用FC、ST数等の水素の需要量は既存資料を参照すること ・CCSはRITEが作成したロードマップを参照すること。 ・エネルギーキャリアの絞り込みの工程を示す(結果ではなく) ・前提条件を明示すべきである。 5. 多面的評価 ・第4回AP研究で、CO2フリー水素導入についての定性的評価を行い、レーダーチャートによる比較はしないことで合意。	I 2013年度の最終目標(アクションプラン) ① 『水素の大量需要を目指す技術開発プログラム提案書』の作成 → 次回議論 ② 成果の公表 ・山地委員長の承諾を得て積極的に公表する ・公表済みのもの予定のものを整理し次回示す。 II AP研究会立上時の達成目標に対する実施計画 1. エネルギーユーザの意見集約 ・追加意見調査結果は昨年度実施結果に集約される。 2. シミュレーション シェールガスによる影響を考慮して、天然ガス価格を少し下げた条件での計算結果を中心に報告。 ＜第5回AP研究会でいただいた主なコメント> ・ロシア等の包蔵水力は計算可能か？ → 回答: 出来るようにするつもりです。 ・インドは天然ガス価格低下の影響が全くなく、パタゴニア風力水素が輸入されている。国内炭＋CCS等国内競合技術はないのか？ → 回答: 恣意的に化石燃料起源の水素は作れないと設定 ・ガソリン車を各次世代自動車で置き換えた際の追加的削減費用の図(スライド13)でEVとFCVの導入シェアの図があれば良い→回答: 前回とあまり変わっていません ・モデルでは水素大規模発電を電気事業用と産業用自家発電用に分けていますか？ → 回答: シェアを仮定すれば分けられますが、分けていません。 3. 水素エネルギー社会の絵姿 ・先ず、IPP等自家発電で導入され、事業用大規模発電にスケールアップされると想定。 ・千代田さん川重さん等最近の新聞報道を盛り込むこと。 ・オフガスに水素を加えてカーボン排出を減す形の水素導入が一番早い。 足元でCO2フリーでない水素の導入量が示され、それがCO2フリー水素の導入量に移行・拡大して行くことを示せれば、良いものになる。 ・委員からいい写真が提供されれば盛り込む 4. ロードマップ ・千代田さん川重さん等最近の新聞報道を備考欄に示す。 ・国内配送はパイプライン以外も線引きをすること。 ・要素技術の海外水素製造は千代田さんの計画を踏まえ、CCSなし化石燃料を2015年頃から示すこと。 ・エネルギーチェーン(グローバル)の表現を水素キャリアとする。地域は備考欄に一例として記述する。 ・新聞記事をロードマップに示す場合は発信源に確認すること。 ・需要から利用へのインタラクション(矢印)だけでなく、製造・供給から利用への矢印も示すこと。 ・太陽光発電水素も示すこと。 ・絵姿と整合を取ること。 ・アンモニア電解合成の表現は革新的合成にすること。 ・パイプラインは項目及び線引きを削除する。 ・最初何に導入され、どう水素社会が形成されるか議論要 5. 多面的評価 ・安全性の所で、正しい使い方をすれば、安全性に問題はない、の表現は修正要。 金属脆化には注意が必要の表現も修正要。 規制緩和との絡みを上手く書く。 水素爆発に絞って、簡潔に書く。 ・安心は削除する(安全と安心は全く異なる) ・環境性はもっとウエイトを高くて書くこと。 ・エネルギーキャリアの多様性は需要の多様性で検討すること。 ・国富流出防止計算のいいロジックが欲しい(事務局)	1 水素需要推算(GRAPE) 1) 事務局よりケーススタディー条件(一部下記)と結果を説明 ・水素の輸入は2020年以降海外14地域から可能と設定。 ・水素の需要先は、先進地域と中国、インド、ブラジル、ロシアの運輸(FCV,ICE)、発電(大規模発電)、定置(水素コジェネ、直接燃焼)。(BRICsは2030年から水素を利用) ・2020年の日本のCO2制約は1990年比約3.1%増加 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・あまり制約条件を置かない計算も考慮に入れてもらいたい。 ・CO2制約はあまり短期的に変化を追わない方がいいように思う。 ・大規模水素発電や天然ガス混焼発電により、燃料電池コジェネが全部追い出された結果となっているので、ある程度、現実的になるようにしてはどうか。 ・天然ガス混焼の追加コストをkW単価で入れた方がよい。 ・議論ではできるだけ制約条件を示すべきである。 ・最終的にどういう解釈をするかが大事で、今回は解釈を示し、それを含めて年度末のまとめをしてもらいたい。 2 水素エネルギー社会実現に向けた絵姿 1) 事務局よりHigh H2 シナリオ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・水素ステーションはFC STでなくH2 STと表現すべきである。 ・熱化学サイクルアンモニア合成を削除すべきである。 ・国内水素製造設備余力を数値の見直しも含め、より適切に表現すること。 ・水素の付加価値(CO2フリーの有無、純度・圧力等)を考慮した名称分類を検討してはどうか？(事務局) 3 CO2フリー水素チェーンのロードマップ 1) 事務局よりロードマップ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・国内配送でパイプラインは圧縮水素と並列に記述する。 ・ハイタンは備考欄に書く。 ・アンモニア(エネルギーキャリア)は文科省/経産省共同プロジェクトに一任、という主旨のことを付記する。 4 CO2フリー水素の多面的評価 1) 事務局より多面的評価(一次案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・供給源分布で不偏性は普遍性の方が適切ではないか？ ・安全性については、対象者を明確にし、適切で簡潔な文章にすること。 ・社会受容性の所は「初めて成り立つものです」で終わる。「安全と安心は全く別物であると思われる」は議論を知らないで読むと誤解を招く可能性があるので、削除する。 ・ビジネスモデルを上手く書ければいい。 ・規制を見直すことを必要に応じて検討してはどうか？ ⇒ 規制緩和は多面的評価の中で示すのは難しいかもしれない。⇒ 水素大量利用に関する規制そのものが無い状況に対して、何か検討が出来ればよい(事務局) 5 水素の大量需要を目指す技術開発プラン 1) 事務局より技術開発プラン(一次案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・METIの戦略協議会が現在に向けた全体集合で、その補集合がAP研究会。エネ庁さんがやられる以外の所に注力した提案にする。 ・添付資料を作るよりも本文を分かりやすくまとめること。 ・業界のメリットは書くべきか否かも含めて、後日コメントをいただく。 6 成果の公表 ・WHEC 2014、Grand RE 2014等で積極的に発表する。 7 次年度研究会について ・情報共有、共通認識醸成の場として次年度も実施する。 ・内容は、国内配送等を含め次回協議する。	1 水素需要推算(GRAPE) 1) 事務局より計算条件(主要変更点下記)と結果を説明 ・再生可能エネルギー電力を用いる水電解コスト -水電解装置の設備利用率を水力の場合は、80%、風力30%、太陽光12%として水電解コスト -その他ラテンアメリカの風力発電のコストを他と同じに設定。 ・水素の域内配送コスト -産業、民生用は、トレーラーのコストのみ計上しており、需要者側の貯槽のコストを追加。 ・水素混焼発電 -0% (天然ガス火力)から100%まで20%刻みで考慮。 -コスト増加は、液化水素貯槽の容量で表現。 -混焼比率は固定。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・各種CCS付火力発電の電力単価と発電電力量の年次変化の関係を明確に説明できるようにすること。 2 CO2フリー水素チェーン実現に向けた絵姿 1) 事務局よりHigh H2 シナリオ(最終案)を提示・説明 ・今回、題名を「CO2フリー水素チェーン実現に向けた絵姿」に変更。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・FCVと水素ステーションの数はいつの時点かを示すこと。 ・水素ステーションの数が2030年に比べ2050年が少なくなっており、おかしい。確認する事。 ・FCV、ステーション、エネファームの数値の出典を明示すること。 ・国産の再生可能エネルギー由来水素で水力発電、バイオマス等を含めること。 ・国産のCO2フリー水素の行先は輸入CO2フリー水素とすること。 3 国内水素供給量 1) 事務局よりヒアリング等に基づきまとめた結果を説明 ・国内の水素供給可能量は約65億Nm3/年と推定。 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・表現は供給可能量より外販可能量の方がいいのではないかと。 ・鉄鋼からの水素供給可能量は0とするが、外部で誤解されないよう注釈をつける。 4 CO2フリー水素チェーンのロードマップ 1) 事務局よりロードマップ(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・エネルギーキャリアは文科省/経産省共同のプロジェクトとして、現在実施中と記述する。 5 CO2フリー水素の多面的評価 1) 事務局より多面的評価(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・水素爆発に関する参照記述は、最後に注として入れるか、コラム的に四角で囲んで記載する。 ・水素ステーションに限定せず、発電等を含めもう少し幅広い安全対策について国が補助をすべき状況に近づいていることを書き込めればよい。 ・燃焼利用時のNOx問題は対策可能、と記述する。 6 水素の大量需要を目指す技術開発プラン 1) 事務局より技術開発プラン(最終案)を提示・説明 2) 出席者の主なコメント(事務局の課題)は以下の通り。 ・シミュレーションの本文は例えばとして一次エネルギーへの貢献性を示す程度に簡略化し詳細は添付は添付とすること。 ・水素供給の内訳は誤解を招かない様な表現・数値にした方がよい。 ・有機HDのオフサイト脱水素は実用化済、オンサイト脱水素は開発研究中。 ・課題は判断基準を統一し、できるだけ示す。 7 次年度研究会について ・事務局より事務局提案を示し・説明(議論の時間無し)
日本国内のCCS																			
	有り	なし																	
輸入CO2フリー水素価格 @CIF	40円/Nm3 @2020年 ～ 30円/Nm3 @2050年	①CCS有 発電 1,157 億Nm3 合計 2,825 億Nm3 定置 857 億Nm3 運輸 811 億Nm3	②CCS無 発電 1,693 億Nm3 合計 3,332 億Nm3 定置 784 億Nm3 運輸 855 億Nm3																
	50円/Nm3 @2020年 ～ 40円/Nm3 @2050年	③CCS有 発電 0 億Nm3 合計 1,594 億Nm3 定置 926 億Nm3 運輸 668 億Nm3	④CCS無 発電 1,687 億Nm3 合計 3,403 億Nm3 定置 928 億Nm3 運輸 788 億Nm3																

<CCS関連>

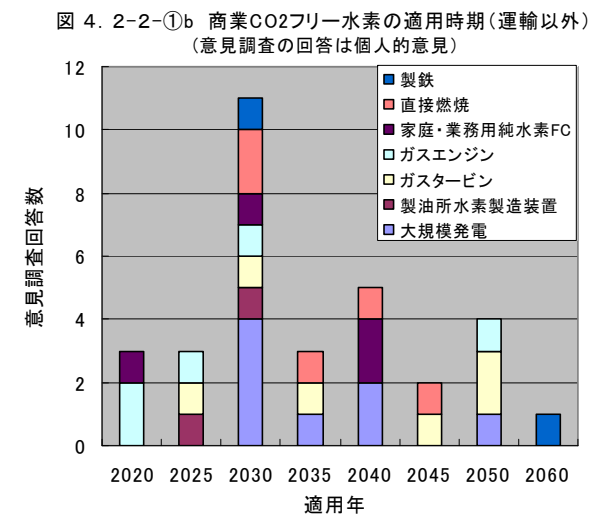


<CO2フリー水素関連>

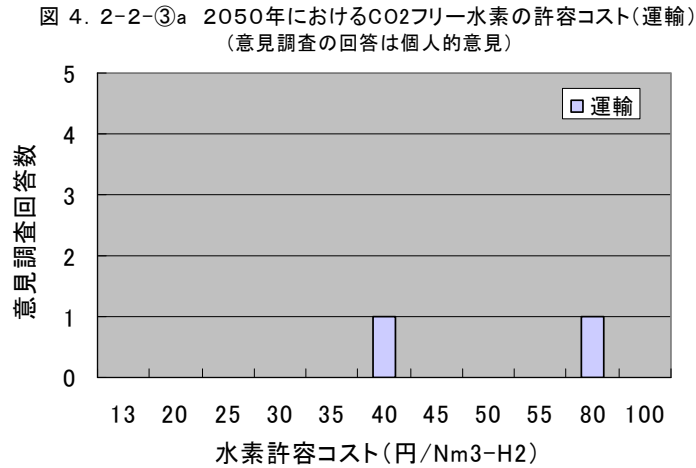
《運輸》

運輸について商業CO2フリー水素の適用時期は意見調査せず。

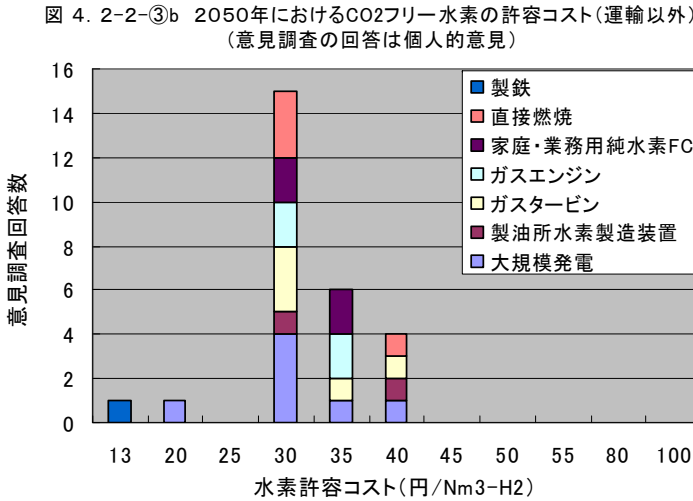
《運輸以外》



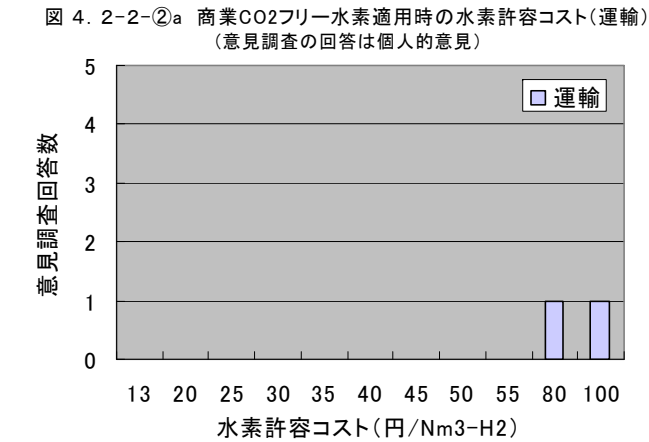
《運輸》



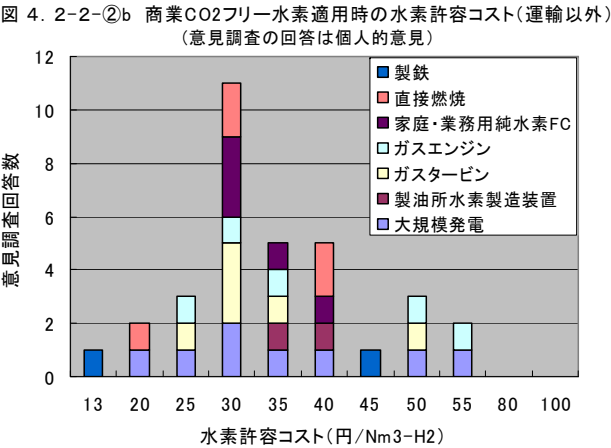
《運輸以外》



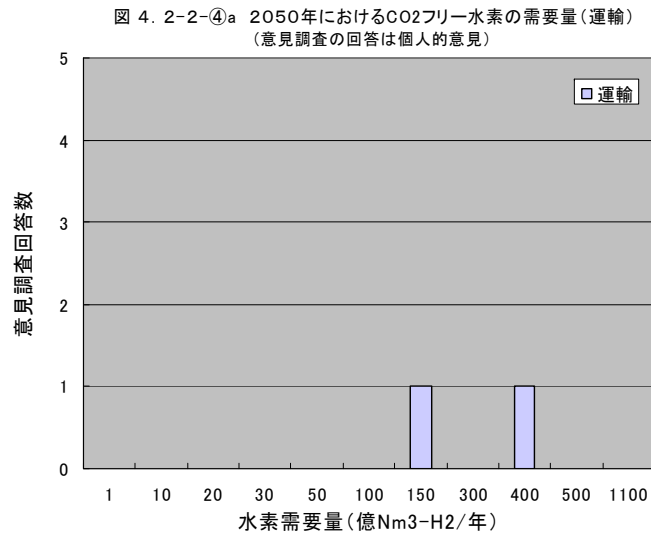
《運輸》



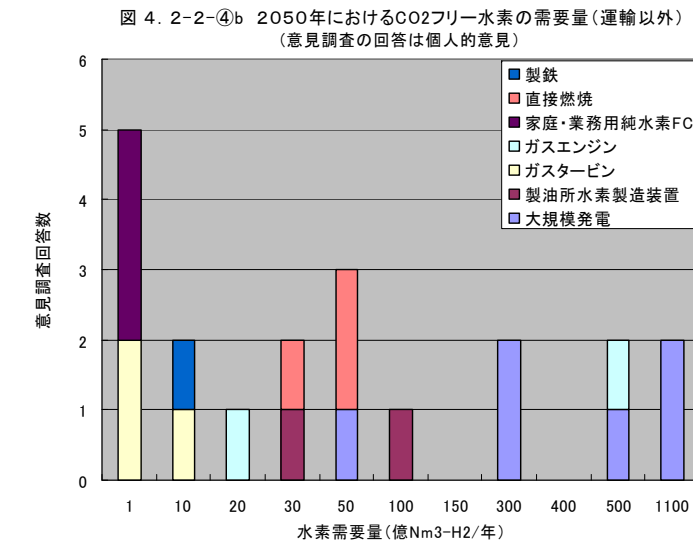
《運輸以外》



《運輸》



《運輸以外》



CO2フリー水素の需要推算(シミュレーション結果:一例)

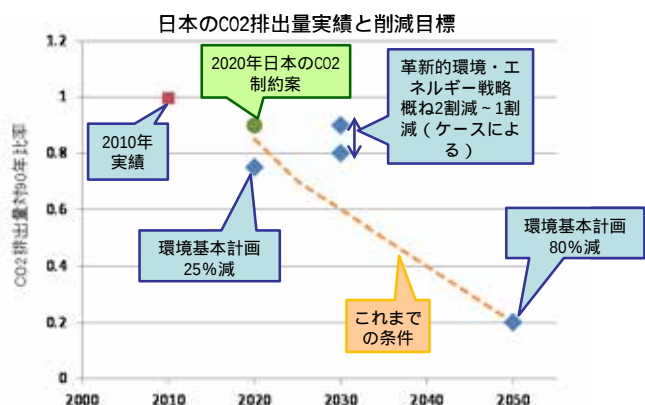
【計算条件】

- ・ 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。
 - 日本及び世界各地に厳しいCO2制約を課した（日本については、下記参照）。
 - 海外及び国内の水素製造、水素利用技術の導入は2020年以降。
 - 各原子力発電所の寿命は40年で新設なし（フェーズアウト）
 - ・ フェーズアウトは日本のみ、寿命は40年（福島第一、第二は含めず、新設は、島根3号と大間のみ）

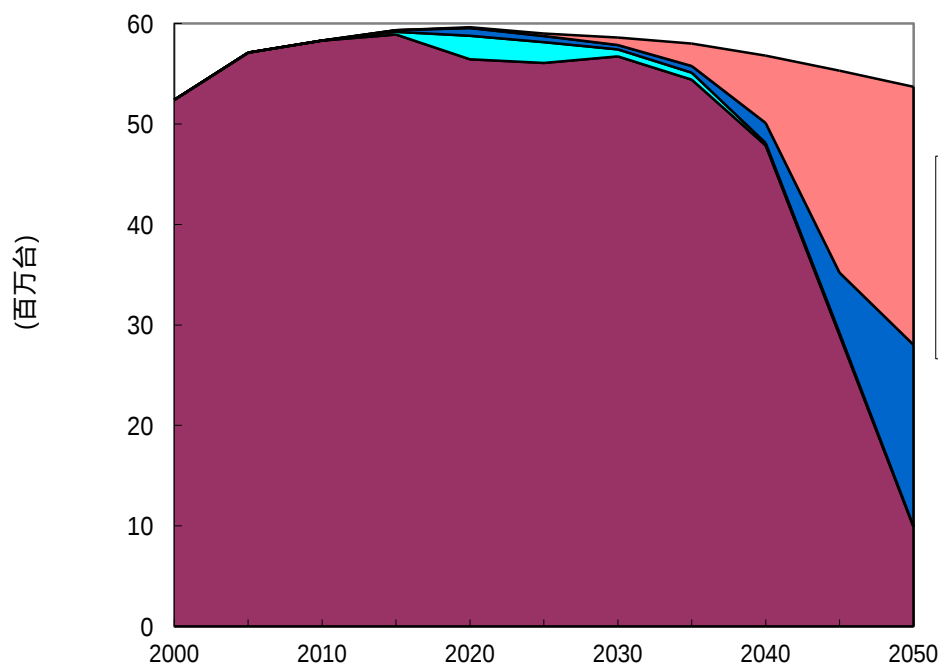
<日本のCO2制約>

- ・ 最近の政策の動きをふまえ、日本のCO2制約を以下の通りとした。
 - 平成24年4月の環境基本計画
 - ・ 2050年に温室効果ガスの80%減。
 - ・ 2020年25%減は、主要国の参加と公平・実効性のある国際的枠組みの構築・目標の合意など、条件つきで記載。
 - 平成24年9月革新的環境・エネルギー戦略
 - ・ 2030年時点の温室効果ガスを1990年比概ね2割減を目指す。
 - ・ 2020年時点の排出量は、計算した値として5~9%減（成長ケースで2~5%減）となっている。
 - ・ 森林吸収源は、2020年で3%程度。
 - 総合資源エネルギー調査会の総合部会で、エネルギー基本計画の策定の議論が3月から開始の見込み。
- ・ 2020年の日本のCO2制約は、2010年実績と2030年目標（概ね2割減）の内挿値とし、実際の制約は森林吸収分（3.9%）と海外クレジット（1%）を考慮。
 - 1990年比約5%削減
 - CO2以外の温室効果ガスと燃料の燃焼以外のCO2は、横ばいを仮定。
- ・ 2025年以降は、先進地域全体の制約を適用

《国内 CCS 有り》
《水素 CIF 価格= 40 円/Nm3 @2020 年、
約 30 円/Nm3@2050 年》
《水素国産価格= 16 ~ 25 円/Nm3 @2020 年、
約 16 ~ 30 円/Nm3@2050 年》



<乗用車保有台数(日本)>

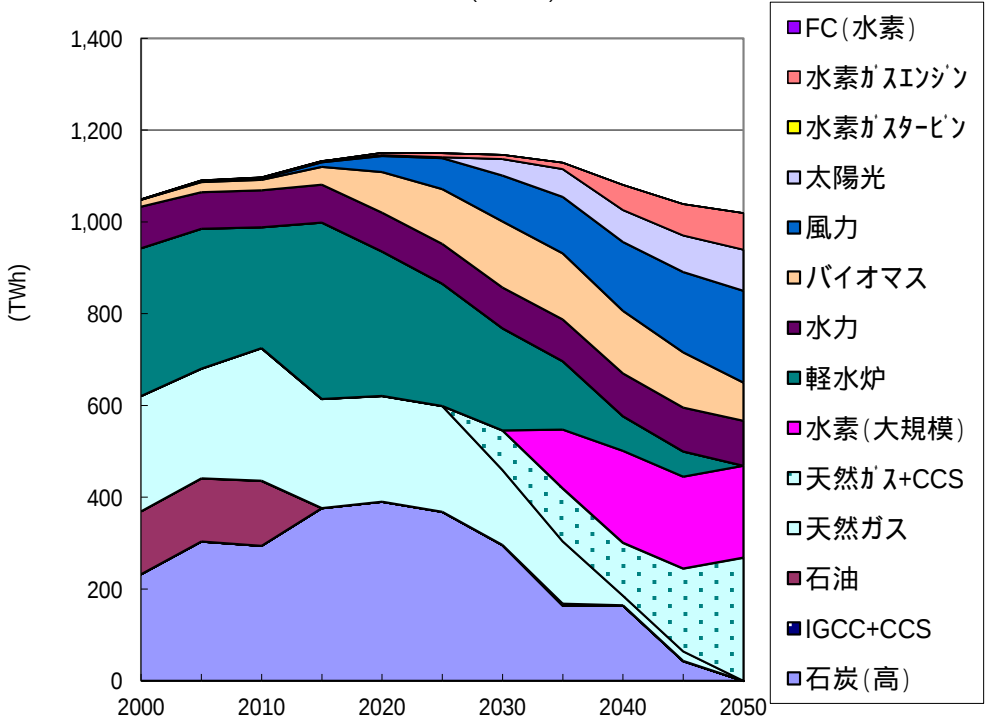


- ・ FCV, EV, PHEV が利用される。
- ・ 2050 年には FCV の保有台数は約 2600 万台、水素需要は約 230 億 Nm3 となる。

【計算結果】

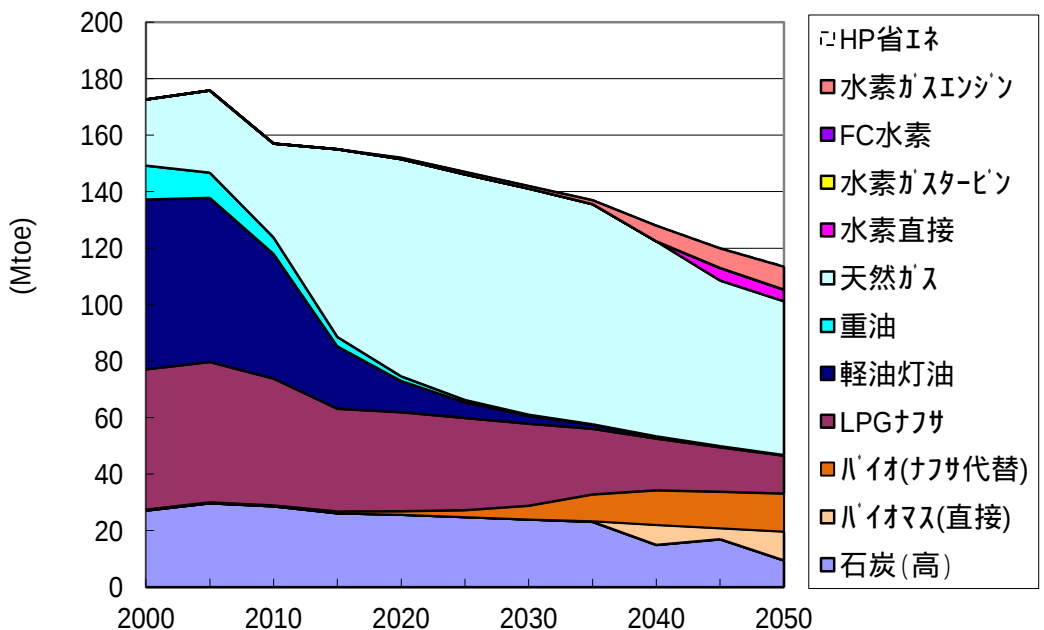
計算結果の一例として、国内 CCS 有りで、2020年における水素 CIF 価格(日本の港着の価格)が 40 円/Nm3 の場合の、日本の発電電力量・乗用車保有台数・定置用エネルギー消費量・水素需要量・水素供給量、及び、一次エネルギーの比率の推移・ゼロエミッション電源を以下に示す。

<発電電力量(日本)>



- ・ 国内で CCS が利用できる場合でも、水素 CIF 価格= 40 円/Nm3 @2020 年、約 30 円/Nm3@2050 年になると、2035 年以降に水素大規模発電が導入される。
- ・ バイオマス発電の一部と CCS 付 IGCC を水素大規模発電が置き換わる。
- ・ 水素ガスエンジンコジェネが 2025 年から導入される。

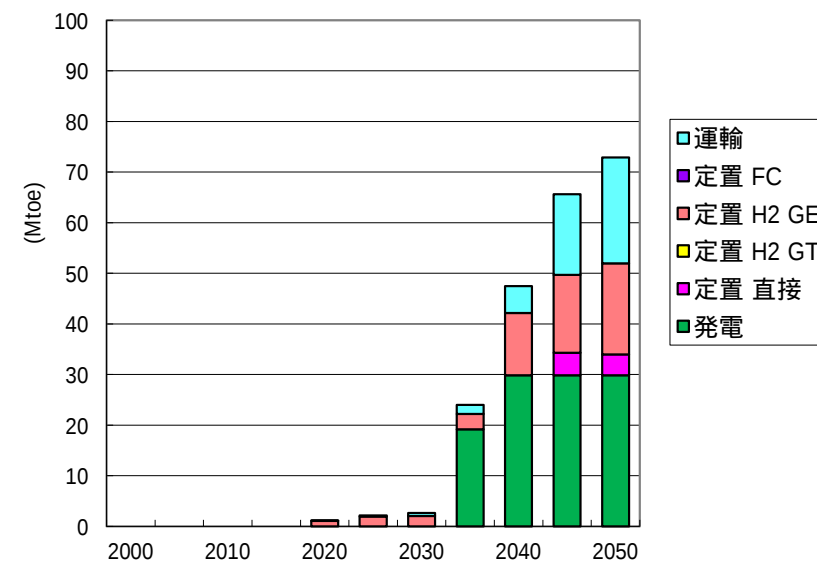
<定置用エネルギー消費量(日本)>



- ・ 2025 年から水素ガスエンジンコジェネが導入され、2050 年で 8Mtoe(約 310 億 Nm3) となる。
- ・ 2020 年から水素直接燃焼で 2050 年断面で 4Mtoe(155 億 Nm3) が利用される。ヒートポンプを天然ガスが代替したため、混入できる水素が増加する。
- ・ 2050 年には、水素は定置用燃料の約 8% を占める。

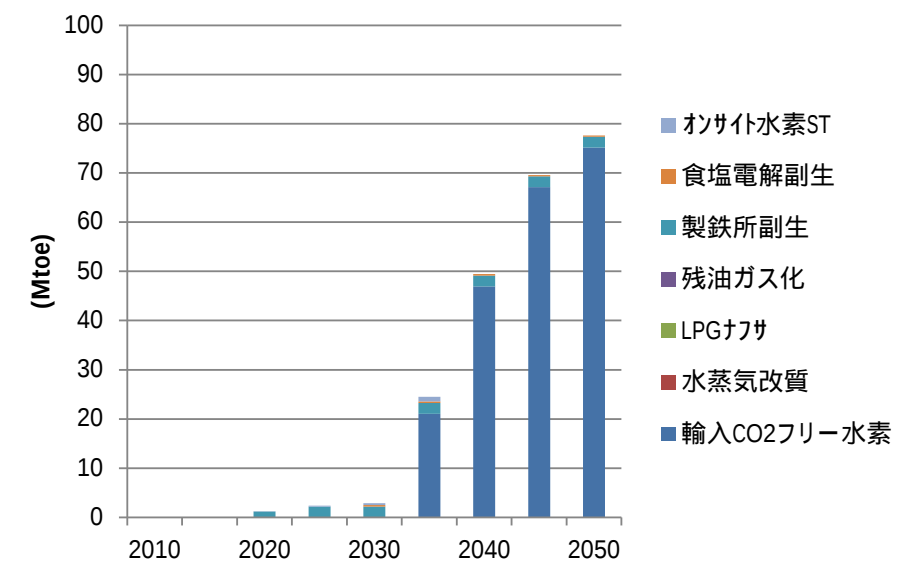
CO₂フリー水素の需要推算(シミュレーション結果:一例)

< 水素需要量(日本) >



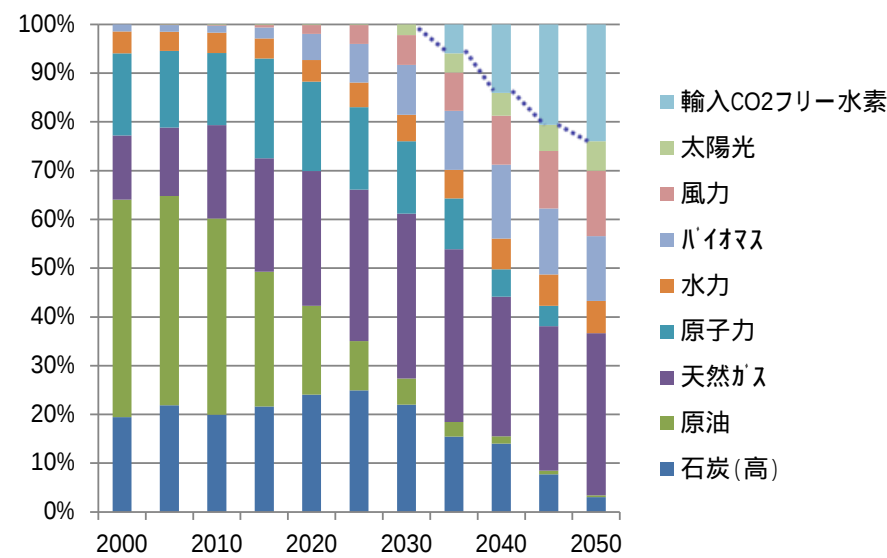
- ・国内で CCS が利用できる場合でも、水素 CIF 価格= 40 円/Nm³ @2020 年、約 30 円/Nm³@2050 年では、2035 年以降に水素大規模発電が導入される。
- ・2050 年における水素需要は、73Mtoe(約 2800 億 Nm³) である。

< 水素供給量(日本) >



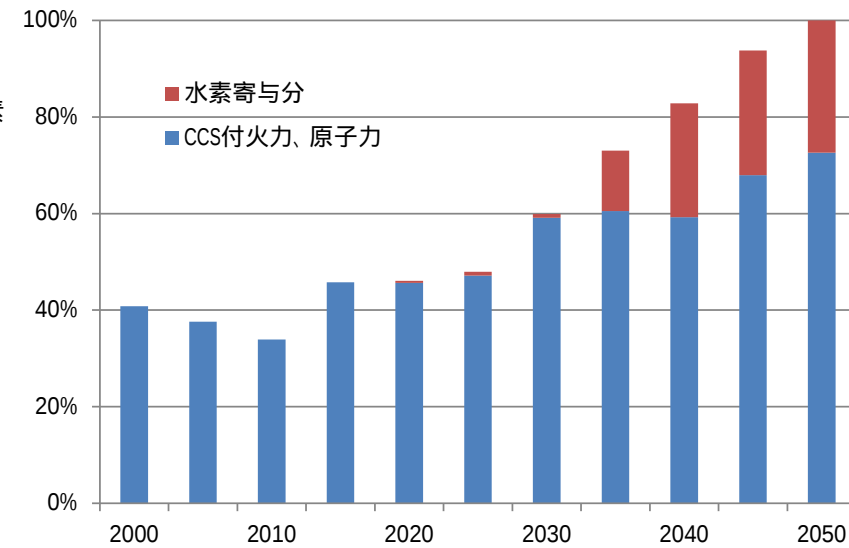
- ・輸入水素の価格競争力が増すと国内の水蒸気改質は行われなくなる。
- ・2050 年の水素供給量は 78Mtoe(約 3000 億 Nm³) である。

< 一次エネルギーの比率の推移 >



- ・CO₂ フリー水素は 2035 年頃から擬一次エネルギーとして本格的に貢献し初める。
- ・2050 年には CO₂ フリー水素の擬一次エネルギーとしての貢献度はさらに増え、一次エネルギーに占める割合は約 23%となる。

< ゼロエミッション電源比率 >



- ・CO₂ フリー水素は 2035 年頃からゼロエミッション電源比率向上に本格的に貢献し初め、その結果、2035 年にゼロエミッション電源比率は政府目標 (at 計算当時) である 70%を超える。
- ・2050 年には CO₂ フリー水素の貢献度はさらに増え、ゼロエミッション電源比率に占める割合は約 27%となる。

< 計算結果の総括 >
2050 年の水素需要量

		日本国内のCCS	
		あり	なし
輸入CO ₂ フリー水素価格 (CIF価格)	40円/Nm ³ @2020年	Case ①	Case ②
	~	発電 1,157 億Nm ³	発電 1,693 億Nm ³
	30円/Nm ³ @2050年	定置 857 億Nm ³	定置 784 億Nm ³
		運輸 811 億Nm ³	運輸 855 億Nm ³
		合計 2,825 億Nm ³	合計 3,332 億Nm ³

- ・統合評価モデル GRAPE のエネルギーモジュールを用いて、水素 CIF 価格= 40 円/Nm³ @2020 年、約 30 円/Nm³@2050 年の条件で 2050 年までの日本の水素需要を評価した。
- ・この水素 CIF 価格では、CCS が利用可能な場合でも、2035 年以降大規模発電で水素が本格的に利用される。

2014.3.24

国内水素外販可能量

I A E

1 まとめ

- 現状の国内水素製造設備をベースとした水素供給外販量は100%水素として約65億 Nm³/年と推定される。

	水素製造能力 ¹ (億 Nm ³ /年)	水素外販可能量 ² (億 Nm ³ /年)
石油精製	185 ³	43 ³ (装置をフル稼働した場合の生産余力) (軽油の硫黄分規制値=10ppm)
鉄鋼	86	0 (参照文献2では回収率 70%、内外販 20%と仮定して 12 億 Nm ³ /年という値が示されているが、今回、業界関係者にヒアリングをした結果、現状、全て有効利用されており、積極的に外販できる状態ではないという結果を踏まえ、外販可能量は0とした)
石油化学	31 (今回、業界関係者にヒアリングの結果、数値の妥当性を確認)	10 (参照文献の算出根拠: 31 × 0.7 (回収率) × 0.5 (外販率) = 10)
ソーダ工業	12	6 (参照文献の算出根拠: 12 × 1 (回収率) × 0.5 (外販率) = 6)
アンモニア	42	6 (参照文献の算出根拠: 不明)
合計	356	65

現状の国内水素製造能力は、約 356 億 Nm³/年であり、自家消費が約 291 億 Nm³/年であり、その差約 65 億 Nm³/年が現状の国内水素外販可能量と推定される。

この外販可能量の今後の見通しは、石油製品需要の大幅な落ち込みにより、余剰設備能力は一見増大するかに見えるが、設備廃棄の進展と原油の重質化、重油の硫黄分規制強化など、国内製油所からの水素外販可能量が拡大・増加されることは考えにくい。

また、副生水素は現在熱源や外販で既に利用されている。そもそも目的となる物質を生産する際に副生するものであるため、水素需要の増加に柔軟に対応するのは難しい。今後、経済成長の動向、日本の産業構造転換などによっても影響されるため、副生水素による外販可能量の維持についても見通しがあるとは言い難い。

以上より、現状の国内水素製造設備をベースとする限り、今後の水素外販可能量の拡大は見込めない。

¹ 水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査、PEC 企画調査部

早内 義隆、(株)価値総合研究所 石倉 雅裕

² 産業競争力懇談会(COCON)【産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告】燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト、2009年3月6日

³ 「製油所からの水素供給能力評価」調査報告書 JPEC-2012LP-01、平成 25 年 3 月

2 参考資料

1) 産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告²

以下、水素外販可能量に関連する記述を引用する(一部加筆)。

4.3 水素原料と製造・供給方法

「FCV の普及環境整備のため、安定供給がコミットできる水素製造・供給方法を柱とする。」水素生産、供給は2030年FCVの自立的普及を目指した「普及型」の水素供給と、2050年低炭素社会完成を目指した「低炭素型」の水素供給がある。いずれの場合もエネルギー供給という観点からは、安定供給が一義である。

<普及型水素供給>

普及型の水素供給においては、FCVの普及環境を早急に整える必要があることから、現時点で安定供給がコミットできる水素供給方法を柱とすべきである。この観点により、石油産業活性化センター(現在は石油エネルギー技術センター)の調査報告書(PEC-2006T-15 及び JPEC 2012LP-01 等)に基づき、現在の水素生産について表4.3-1と4.3-2に整理した。表4.3-1にまとめた石油精製とアンモニアは、自身で利用するだけの水素を生産しているため、副生はすべて優先して消費されるが、水素製造装置はフル稼働でないため、生産「余力」がある。鉄鋼業のCOG改質は、生産量を拡大していった場合に、最終的にはコークス生産見合いとなるため、副生水素的な性格も残しているが、水素生産を目的としたプロセスとして、目的生産水素に整理した。

<表4.3-1 目的生産水素>

関連業界	製造方法			生産能力	
	原料	製造のためのエネルギー	プロセス	現状余力	将来
鉄鋼	石炭	石炭	COG改質	設備無し	
石油	石油	石油	改質	47	
アンモニア	石炭、石油、天然ガス等から様々な方法で製造			6	設備新設、増強次第
ガス	天然ガス	天然ガス	改質	設備無し	
電力	水	原子力	熱分解		
特定業界無し	水	(電力)	電気分解		

出典:石油産業活性化センター

最新の参考資料2)に基づき43億Nm³に修正。

<表4.3-2 副生水素>

業種	製造方法				副生水素		
	原料	製造エネルギー	発生プロセス	目的生産物	発生量 億Nm ³	用途	ポテンシャル 億Nm ³
鉄鋼	石炭	石炭	乾留	コークス	86	COGとして 所内燃料に利用	12 水素回収率70% 現在の「外販」分、20%と推定
石油化学	石油	石油	熱分解	エチレン	31	水源、燃料用に 所内利用	10 水素回収率70% 外販余力50%と推定 (燃料分を余力とした)
ソーダ	水	(電力)	電解ソーダ法 (電気分解)	苛性ソーダ	12	化学原料、燃料	6 水素回収率100% 外販余力50%と推定 (燃料分を余力とした)

出典:石油産業活性化センター

ヒアリングの結果、COGは全量有効活用しており、12を0に変更する。

ヒアリングの結果、数値の妥当性が確認できた。

² 産業競争力懇談会(COCN)【産業競争力懇談会2008年度推進テーマ報告】燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト, 2009年3月6日、

2) 「製油所からの水素供給能力評価」調査報告書(JPEC-2012LP-01, 平成 25 年 3 月)

接触改質装置(リフォーマー)から副生する水素量が約 85 億 Nm^3 /年、水素製造装置(炭化水素の水蒸気改質装置)で生産可能な水素量が約 100 億 Nm^3 /年で合計 185 億 Nm^3 /年と推定されている。一方、水素消費(需要)の現状は、主に重油脱硫用、水素化分解用併せて約 142 億 Nm^3 /年と推定されている。その結果、現在の推定水素需給バランスは約 43 億 Nm^3 /年である。

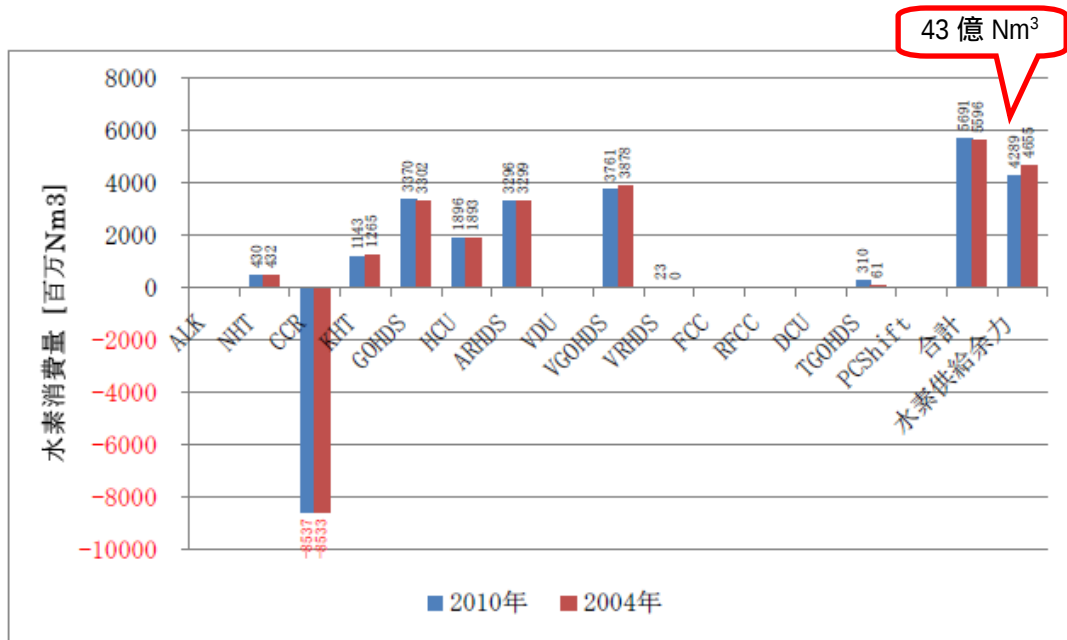


図 3.4.4 水素供給余力

『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

<利用>

【添付資料 B7】
2014.3.20
IAE

2050 年における期待水素需要量
運輸用: 520 億 Nm3(CO2N)
運輸用: 400 億 Nm3(意見調査)
運輸以外用: 1770 億 Nm3(意見調査)

<資源(海外)>

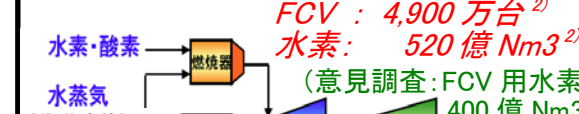
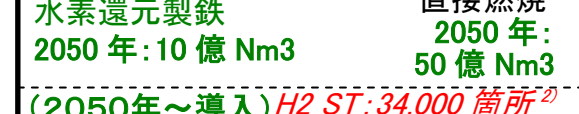
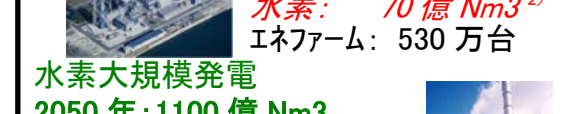
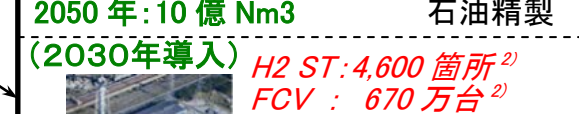
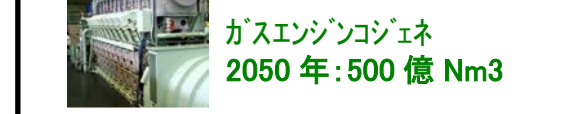
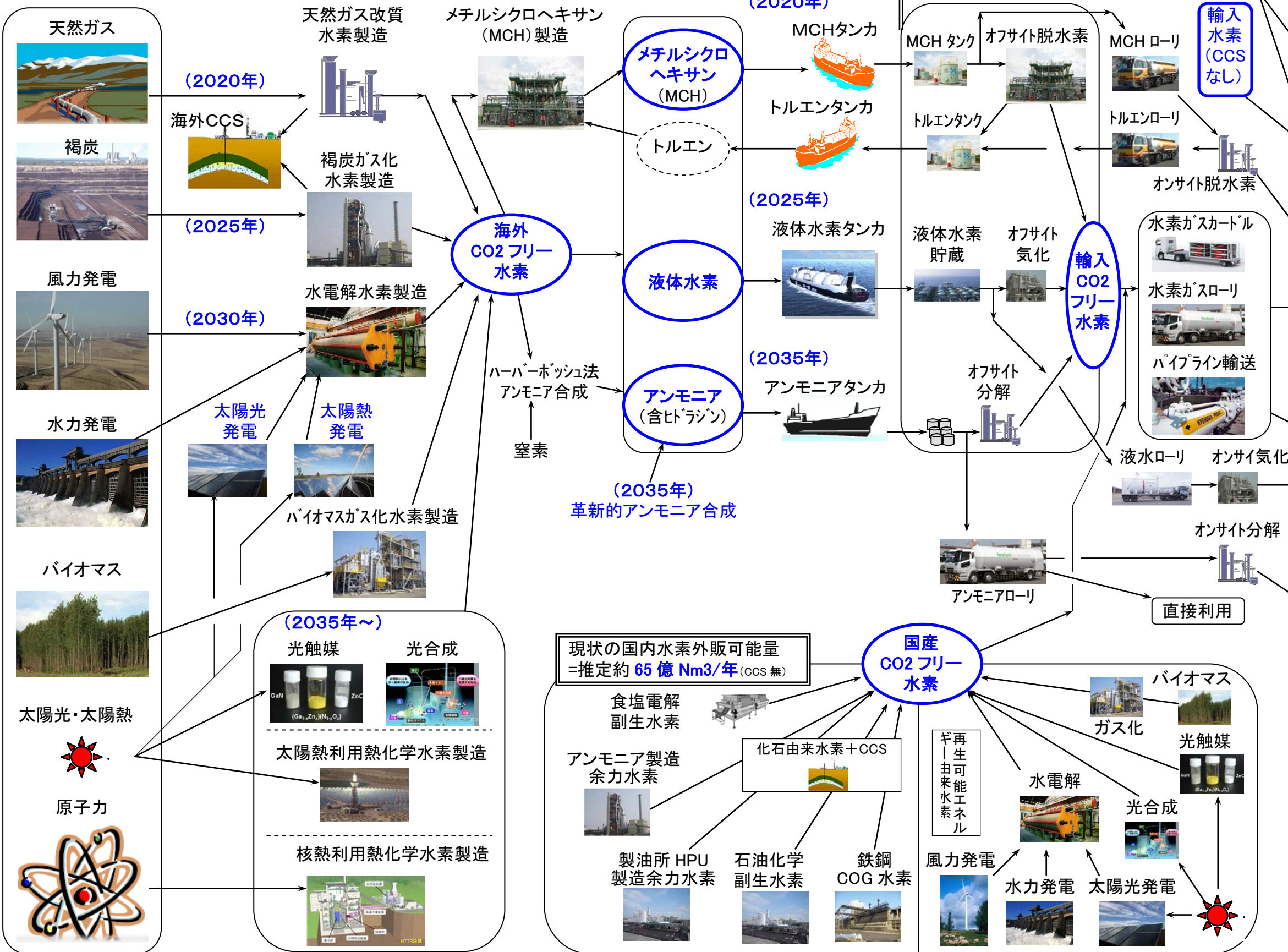
<変換プロセス(海外)>

<エネルギー
キャリア>

<海上輸送>

<貯蔵(国内)>

<輸送・変換>



		現状	2015年	2020年	2025年	2030年	2040年	2050年	備考	
● エンドユースコスト									注記：環エネ技術革新計画のロードマップ、科学技術イノベーション総合戦略は参考情報として記載。 為替レート=100円/USD	
① 運輸	AP研究意見調査 (円/Nm3) NEDO RM 2010 (円/Nm3) IEA's ETP 2012 Fig 7.19(2DS high H2) (円/Nm3)	120 100	80 90 100	60 60 90 40		40 60~40 70 30	50	40 30		
② 運輸以外	AP研究意見調査 (円/Nm3)									
● 国内配送コスト									鋼管径：500mm、圧力：100bar	
	IEA's ETP 2012 P263 (円/Nm3) IEA's ETP 2012 P242 (百万円/km)	125		35~30	30 ~ 25	25~20		5~10 25~20		
● 輸入CIFコスト										
● 利用(需要量)										
① 運輸			普及開始期	普及拡大期	自立拡大開始・本格普及					
FCV累計台数(乗用車)	出典：(万台)		0.5	15.5	166	556	2201	4101	出典：産業競争力懇談会 (2009.3.6)	
" (貨物)	産業競争力懇談会(万台)		0.0	0.0	30	110	440	820		
" (合計)	(COCN)(万台)		0.5	20.0	196	666	2641	4921		
水素需要量(合計)	(億Nm3/年)		0.04	1.1	20	70	277	517		
" (") (AP研究意見調査)	(億Nm3/年)							400		
" (") (AP研計算)	(億Nm3/年)			3	8	23	206	811	国内CCS有り、CIF30円/Nm3@2050	
② エネファーム(化石燃料)										
実績	(万台)	5.9(@2013.6末)								
予測累計台数	(万台)					250			出典：長期エネ需給見通し	
"	(万台)					500			出典：日本ガス協会	
"	(万台)			140		530			出典：革新的エネ環戦略	
③ 運輸以外										
< 化学利用 >					大規模集中利用					
石油精製(水添脱硫・水素化分解)	(億Nm3/年)				導入開始				100	環エネ技術革新計画のロードマップ ・水素還元製鉄：実用化@2030
水素還元製鉄(コークス代替)	(億Nm3/年)					導入開始			10	
< 燃料利用 >										
大規模水素火力発電	(億Nm3/年)					大規模集中利用			1100	出典：AP研究意見調査
《分散》					小中規模分散	導入開始				
家庭用・業務用純水素FCコジェネ	(億Nm3/年)			導入開始					1	
ガスエンジンコジェネ	(億Nm3/年)			導入開始					500	
ガスタービンコジェネ	(億Nm3/年)				導入開始				10	
直接燃焼	(億Nm3/年)					導入開始			50	
その他(純酸素燃焼水素タービン・船舶・鉄道機関車・等)	(億Nm3/年)						導入開始			
運輸以外の合計	(AP研究意見調査)(億Nm3/年)			42	75	78	1635	1771		
"	(AP研計算)(億Nm3/年)							2014	国内CCS有り、CIF30円/Nm3@2050	
● 供給									RITE作成のCCSロードマップ参照のこと	
● 要素技術開発										
(1) 海外水素製造										
① 化石燃料										
天然ガス	コストダウン									
石炭(褐炭)										
② 再生可能エネルギー										
風力発電水電解	効率向上 大型化 コストダウン									
水力発電水電解										
太陽光発電水電解										
太陽熱発電水電解										
バイオマスガス化										
太陽光光触媒水分解										
その他(核熱利用)										
(2) 海上輸送(エネルギーキャリア変換・貯蔵)										
① 有機ハイドライド										
合成	最適化 最適化	国内実証中	実用化	事業化						
脱水素										
② 液体水素										
液化	液化の大型化&効率向上 貯槽の大型化と断熱性能向上 ローディング設備の開発 液化水素船の開発	開発研究		パイロット実証	実用化	商用実証	事業化			
貯蔵										
積荷&揚荷										
海上輸送										
③ アンモニア										
革新的合成	実用化	基礎研究		開発研究	実証研究	実用化	事業化			
(3) 国内配送										
① 有機ハイドライドローリー										
②-1 圧縮水素	カードル・トレーラー									
②-2 液化水素	ローリー									
②-3 水素ガス	パイプライン									
③ アンモニア	ローリー									
(4) 国内水素製造(オフサイト)										
化石燃料(CCS無し)						化石燃料(CCS有り)				
再生可能エネルギー										
(5) 国内水素製造(オンサイト)										
化石燃料(CCS無し)						化石燃料(CCS有り)				
再生可能エネルギー										
● 水素キャリア										
(METI未来開拓研究PJ「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」の(5)トータルシステム導入シナリオ検討と整合実施)										
チェーンの評価：▽(一次評価)▽(二次評価)▽(三次評価)										
① 有機ハイドライドチェーン	システム実証		随伴ガス水素商用実証	商用製造(随伴ガス、その他)					千代田化工：中東随伴ガスチェーン、水素基地建設&水素混燃発電 in川崎市 @2015(日経新聞)	
② 液化水素チェーン	システム実証		水力水素(実証)	水力水素工場 風力水素商用製造 光触媒水素					川崎重工：豪州褐炭液化水素チェーン実証 @2017、ロシア水力水素実証 @2017(日経新聞)	
③ アンモニアチェーン	システム実証		褐炭水素パイロット実証	商用製造(褐炭、その板)					(IAEの想定)	

2014.3.24

CO₂フリー水素の多面的評価 ～ CO₂フリー水素の国際ネットワーク形成を中心に ～

IAE

ここで言うCO₂フリー水素国際ネットワークは、海外の化石燃料や再生可能エネルギーを利用して海外で水素を製造し、CO₂は海外でCCS等により処理し、製造した水素は、各種キャリア（液体水素・有機ハイドライド・アンモニア等）に転換後、海上輸送し、わが国で水素に戻した後、水素燃料電池自動車（FCV）、定置型燃料電池（家庭用・業務用・事業用）、火力発電などで利用するシステムである。

このCO₂フリー水素国際ネットワークは政府のエネルギーに関する基本方針として議論されている「3E+S」に以下の通り貢献できる。

1) Energy Security (エネルギーの安全保障)

供給可能量

水素は自然界には単体としてはほとんど存在しないが、種々の一次エネルギーから容易に生成できる二次エネルギーである。具体的には水素は石油・石炭・天然ガス等の化石燃料の改質等から、あるいはバイオマス等の再生可能資源から、あるいは風力・太陽光等の自然エネルギーにより発電した電力を利用した水の電気分解により、あるいは太陽光を直接利用した光触媒による水分解により、容易に製造できる。従って、供給可能量は無限に近い。

供給源分布（普遍性）

化石燃料に関しては、シェールガスの商業利用が本格化していること、石炭に関しては、現在商取引されていない褐炭が世界（ドイツ・豪州・米国・中国・カザフスタン・中国等）に大量に広く分布している。

自然エネルギーのうち風力に関しては、一定風向で台風がない、常時強風が吹いている、面積が広大である等、風況に恵まれた所が世界（南氷洋：パタゴニア・タスマニア・ニュージーランド南島。北太平洋：アリューシャン列島。北極海：アイスランド・アイルランド・スコットランド。）に広く分布している。

太陽光についても、米南西部・豪州・南スペイン・中東・北アフリカ等、太陽日射の豊富な地域（いわゆるサンベルト地域）が世界に分布している。

従って、CO₂フリー水素製造の供給源は世界に広く分布しており、供給源は普遍である。

多様な用途への適用性及びキャリアの多様性

水素は、各種工業用（石油精製・アンモニア合成）、エネルギー用（燃料電池自動車・定置型燃料電池・火力発電）、その他（雰囲気ガス・水素吸蔵合金）等、多様な用途への適用性がある¹。さらに、キャリア（液体水素・有機ハイドライド・アンモニア等）としての多様性も有していることから、製造・輸送・貯蔵・利用に関するベストミックスの水素サプライチェーンを構築できる。

¹ ニューサンシャイン計画「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）研究開発・第一期」最終報告書

価格安定性

化石燃料のうち、褐炭については取扱が難しい(水分が非常に多い。褐炭は乾燥すると発火の危険性がある。)ことから、現在商取引されておらず、公表価格がない状況である。従って、将来も原油価格に連動しない安価な褐炭の入手が期待できる。

風力については、一例として、アルゼンチンのパタゴニアには年間平均風速が10m/s を超える所があり、風力エネルギーのポテンシャルは莫大であるが、南米最南端等の地理的条件や、風が強すぎる等の理由で、ほとんど利用されていないのが現状である。従って、水電解水素製造に必要な電力が風力発電により、将来も安価で得られることが期待できる。

国富流出低減

褐炭の場合、将来も原油価格に連動せず、安価で安定した褐炭の入手が期待できるので、褐炭購入費用はエネルギー等価の石油やLNGの購入費用に比べ大幅に低減可能である。さらに、現状取引されていないため、権益を低価格で取得できる可能性があり、大幅な国富流出の低減が期待できる。

パタゴニアでの風力に関しては、現状未利用であることから、権益を低価格で取得できる可能性がある。土地を借用し(借地料のみ支払い)、全て日本企業が日本技術で行うとした場合、さらに大幅な国富流出の低減が期待できる。

2) Economic Efficiency (経済性 / 成長)

国際競争力(革新性)

CO₂ フリー水素チェーンは新しい事業形態であり、そのものに革新性があることから、知的所有権を通して、日本が最初に事業化すれば長期にわたって国際競争力を維持できる。

液体水素チェーンの革新的要素技術としては、大型で高効率の液化機、高断熱の専用液化水素船、大型で高断熱の液水貯槽等である。

有機ハイドライドチェーンは、脱水素触媒に革新性があり、メチルシクロヘキサン/トルエンによるCO₂ フリー水素チェーンのトータルシステムは初めてである。

水素利用に関する革新的技術としては、酸素燃焼の水素ガスタービンが挙げられる。

成長性(産業育成)

CO₂ フリー水素チェーンの事業化は、水素インフラ整備事業の先行実施と相まって LNG 初導入時と同様、製造、輸送・貯蔵、利用の各分野において、従来にない新しい産業の育成、そして雇用拡大をもたらす。

さらに、日本と同様一次エネルギー資源が乏しい外国向けに事業展開することが可能である。

3) Environment (環境適合性)

再生可能エネルギー大量導入に伴う余剰電力の水素による貯蔵

温暖化対策やエネルギーセキュリティの向上などの理由から、今後、再生可能エネルギーによる発電が大規模に導入されることが想定される。その場合、需給アンバランスに起因する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。送配電システムや火力発電所による対策、電力貯蔵による対策に加え、再生可能エネルギーによる余剰電力を利用して水電解で水素を製造し、水素をバッファー

(緩衝器)として貯蔵することも有力な対策と考えられている。水素で貯蔵することにより、利用には、発電してグリッドに戻すほか、水素としてFCV等水素利用機器への供給、天然ガスパイプラインに混入し都市ガスのグリーン化を図るなど、多様な対応が可能となる。貯蔵時間が長くなるほど、水素による貯蔵がコスト競争力を持つと考えられている。

環境性

水素を燃焼させて利用する時にはCO₂や有害ガスであるSO_xの排出がないメリットがあるが、NO_xが増える。この問題に対しては、燃焼器への水噴射・水蒸気噴射・ドライ方式等により通常の天然ガスと同様のNO_x量にする対策が可能である。

化石燃料から水素を製造する時、原料由来のCO₂をCCSすれば、製造時もプロセスからのCO₂排出はなくなる。同時に、水素製造時におけるユーティリティとしての電力や熱を、製品のCO₂フリー水素で発生させることにより、製造工程全体からのCO₂排出をほとんど無くすることができる。

さらに、液体水素船の場合、船の推進力にボイルオフした水素を使うことにより、海上輸送も含めたCO₂フリー水素チェーン全体でからのCO₂排出を究極的に減らせる。

4) Safety(安全性)

安全性²

既存燃料と比較して燃焼範囲が広くて(空気との混合気で4～75 vol.%)燃えやすいが、拡散が早く滞留しにくいので、一般的に開放空間に漏れた場合はすぐに希薄になり燃焼範囲外になる。

室内や容器・装置内などの閉じた空間においては、漏えいした可燃性気体の濃度が上がりやすく燃焼範囲内の濃度の可燃性混合気が形成されやすい。また、着火後も空間内の圧力が上がりやすく大きな被害が発生しやすい。正しい理解をし、特性に合わせた正しい使い方をすることが大事である。

産業分野では化学利用等で水素の利用が確立されているが、民生分野では未確立であり、利用実態を踏まえた適切な安全規定に向けた検討が必要である。産業分野でも今後、大規模発電発電等、色々な所で水素が使われる可能性があることから、水素ステーションに限らず、より幅広い安全対策について国が更なる支援をすべき状況に近づいていると思われる。

なお、参考として、水素の爆発に関する詳細情報を本書の末尾(次頁)に注記する。

社会受容性

社会受容性は設備仕様としての「安全」の上に心理的な「安心」が醸成されて、始めて成り立つものである。安心は一方的な押し付けでは得られず、社会実証の成果、実体験、正しい知識の取得、等の積み重ねとその成果をあまねく社会に公開し、社会の利益をも含めた理解を通して、不安を小さくしていくことにより醸成されるものである。

典型例として、「北九州水素タウン」の実証実験では、水素ステーションを起点に、製鉄所の副生水素が約1.2kmのパイプラインで市街地に供給され、一般家庭・商業施設・公共施設に設置された純水素型燃料電池で発電、給湯が行われ、社会受容性の向上が図られている。

以上

² NEDO / IAE 水素社会構築共通基盤整備事業、水素有効利用ガイドブック

【注記：水素の爆発について】

(出典：NEDO / IAE 水素社会構築共通基盤整備事業、水素有効利用ガイドブック)

大きな被害の発生した実際のガス爆発事故も閉じた系が多い。閉じた空間の中でも、ダクトやパイプなど細長い空間の場合には、燃焼による気体の膨張の効果が八方(周囲全方向)に放散せずダクトやパイプの方向に気体の流動が集中するため、火炎の速度がより速くなる傾向がある。さらに、火炎がダクトやパイプ中を伝ばする時に、壁面で生じる乱れによって乱流状態となり火炎が加速され、状況により伝ば速度が音速を超える爆ごうに転移することがあることが知られている。また、可燃性気体が漏えいしても、漏えい直後に着火した場合には漏えい箇所に着火する拡散火炎が形成され燃え続ける。これは噴流火炎であり、この場合は火炎が燃え続ける火災現象の一種となり、爆発現象とはならない。

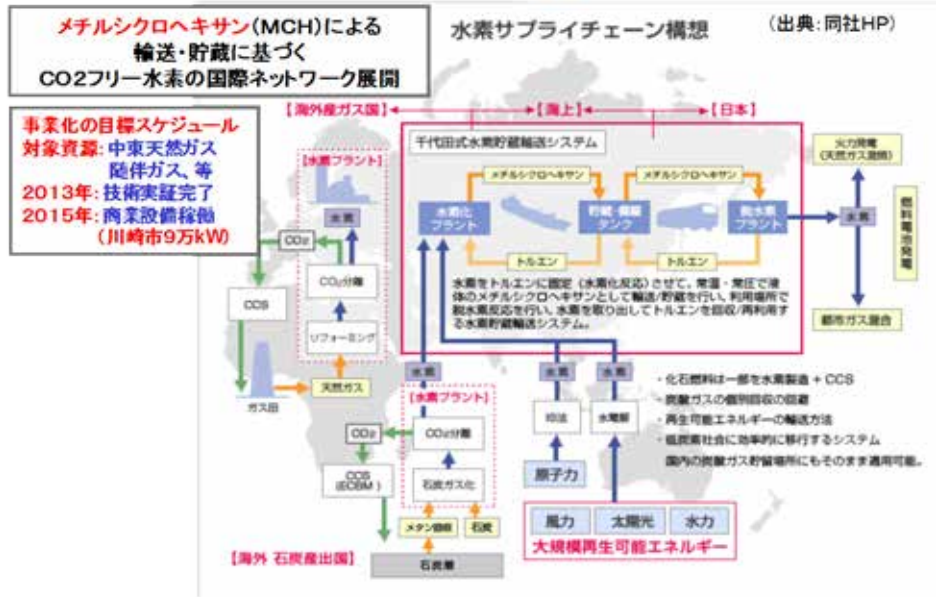
典型的な爆発災害である、閉じた空間でのガス爆発の過程については、最初の過程は燃焼限界内の濃度の可燃性混合気が形成される過程となるが、例えば配管の亀裂などから可燃性気体が漏えいし空間内へ拡散、混合してゆくことにより可燃性混合気が形成される。この時、可燃性気体の密度が空気より小さければ可燃性気体は上方に、逆に大きければ下方に移動することとなる。水素の密度は空気よりかなり小さいため上方に移動し、天井付近にたまりやすい傾向がある。次に可燃性混合気に着火が起こればガス爆発が開始する。着火は、電気火花、静電気火花、火炎、高温熱面などにより発生する。着火後、火炎は可燃性混合気中を伝ばしてゆく。これは予混合火炎の伝ば現象であり、燃焼速度と気体の流れにより火炎伝ば挙動が決まってくる。火炎が伝ばすると、燃焼した気体は高温となり膨張しようとするために空間内の圧力が上昇する。圧力の上昇により空間を形成する壁や天井などの構造物に力がかかり変形や破壊を起こす。通常は強度の弱い窓や扉などが破壊し開口を生じる。破壊時に内外の圧力差が瞬間的に開放されるために、開口部から周囲に圧力波(爆風)が伝ばする。また開口部を通した気体の流動により空間内を伝ばする火炎にも乱れが生じる。その後、空間内の可燃物に燃え移った場合には火炎に転移するが、火炎は短時間で通過するため、条件によっては可燃物に着火しないこともある。また、爆発発生後の空間内は高温で酸素濃度が低いガスが存在しているため人体には有害である。燃焼生成ガスに有害成分を含む場合もあるが、水素の場合は有害成分を含まない。

C 水素エネルギー社会実現に向けた国内民間企業、団体の主な動向

C1 国内民間企業の主な動向

< 千代田化工建設 >

< 民間の動向: 千代田化工 >



< 川崎重工業 >

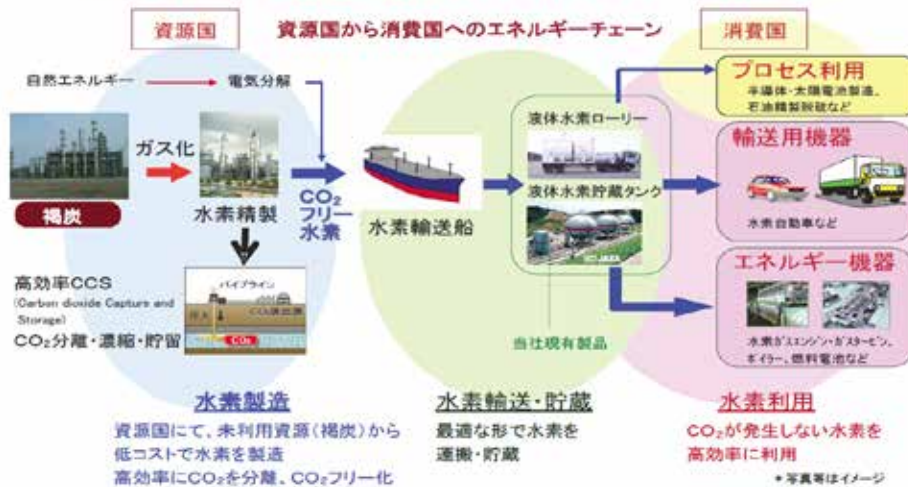
< 民間の動向: KHI >

液体水素による輸送・貯蔵

事業化の目標スケジュール
対象資源: 豪州褐炭、等
2017年: パイロットチェーンの運用
2025年: 商用チェーンの運用
ロシアでの水力水素液化事業も同時進行

KHI のCO₂フリー水素コンセプト

(出典: 同社HP)



-製造拠点



C2 国内団体の主な動向

(1) 一般ガス業界

< 日本ガス協会の検討例 >

都市ガス業界が考える水素エネルギー社会の姿について

～ 水素は大幅な CO2 削減に貢献するための重要なオプション ～

一般社団法人 日本ガス協会 技術開発部(平成25年12月3日)



(参考)水素の価値について

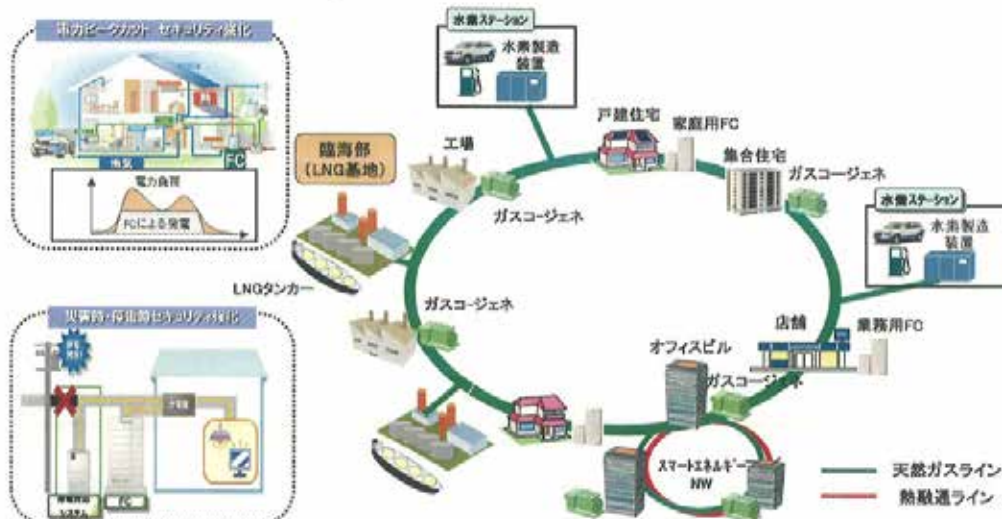
- 低炭素、エネルギー・セキュリティ、再生可能エネに対する期待は大きい、実用化には技術開発および低コスト化などが必要
- エネルギー効率の向上については、天然ガス改質による定置用FC、水素STの導入により推進中

価値項目	価値項目の政策等の位置付け	水素に対する評価(水素以外の手段の有無など)
①低炭素	中長期的には、新たな国際的枠組みの構築や、地球温暖化の進展も予想され、位置付けは高まると考えられる。	大幅なCO2削減には再生可能エネ、CCSなど手段が限られており、現実的手段としてCO2フリー水素への期待が大きい。ただし、水素の製造から利活用に至る各段階での技術開発や低コスト化などが必要。
②エネルギー・セキュリティ (燃料多様化)	中長期的には、LNGの需給タイト、石油枯渇などの進展が予想され、位置付けが高まると考えられる。	化石燃料、バイオマス、再生可能エネなど多様な原料から製造可能な特徴は、水素以外には見当たらず期待は大きい。ただし、海外も含めた水素製造、輸送など安定・安価なサプライチェーンの確立が必要。
③再生可能エネとの親和性	再生可能エネルギーの導入拡大は社会的要請が強く、導入に資する手段の位置付けは高い。	再生可能エネの余剰電力の貯蔵・輸送は、蓄電池など手段が限られており、安定貯蔵が可能な水素のエネルギーキャリアとしての期待は大きい。ただし、高効率、低コストな電力変換、貯蔵などの技術開発が必要。
④エネルギー効率の向上	資源の少ない我が国では、化石燃料などエネルギーの有効利用に対する位置づけは非常に高い。	水素と燃料電池の組合せは非常に高効率。現状でも、需要先で天然ガス改質(水素製造)により、定置用燃料電池コージェネや、水素STからFCVへの水素供給を、高効率に行っている。
⑤非常時電源	震災以降に、BCP対応など非常時の電力供給などにおける位置付けは高まっている。	非常用発電機(コージェネ含む)、蓄電池など代替手段は多いが、純水素燃料電池などの起動停止性、負荷追従性の高さを生かした利用が考えられる。



①FCVと水素STの普及開始(2015年頃の様子)

- ・2015年のFCV普及開始に合わせ、4大都市圏を中心に水素STが整備される。
- ・都市ガスエリアにおいて、スマートハウスでのW発電や停電対応型燃料電池が普及している。



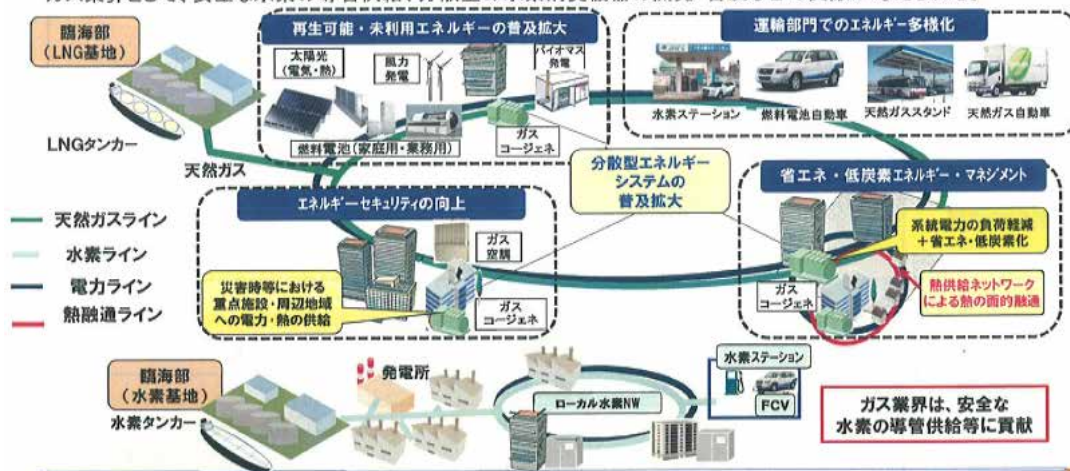
②CO2フリー水素の供給開始(2050年に向けて)

【社会の姿】

- ・天然ガスエリアでは2030年ビジョンが実現し、スマートエネルギーNWの構築により再生可能・未利用エネルギーの普及拡大、エネルギーセキュリティの向上、運輸部門でのエネルギー多様化、省エネ・低炭素エネルギー・マネジメントが展開されている。
- ・国の施策などによる大幅なCO2削減の求めに対し、臨海部では、安定・安価なCO2フリー海外水素が輸入され、水素基地から近隣の発電所や工場(原料として水素を利用)に対して、導管により水素が供給される。
- ・都市部では、エネルギー密度の高いエリアでローカル水素NWが構築され、オフィスビル、業務用店舗、集合住宅などへ水素が供給される。なお、当初は水素基地から近い都市部から出現する。

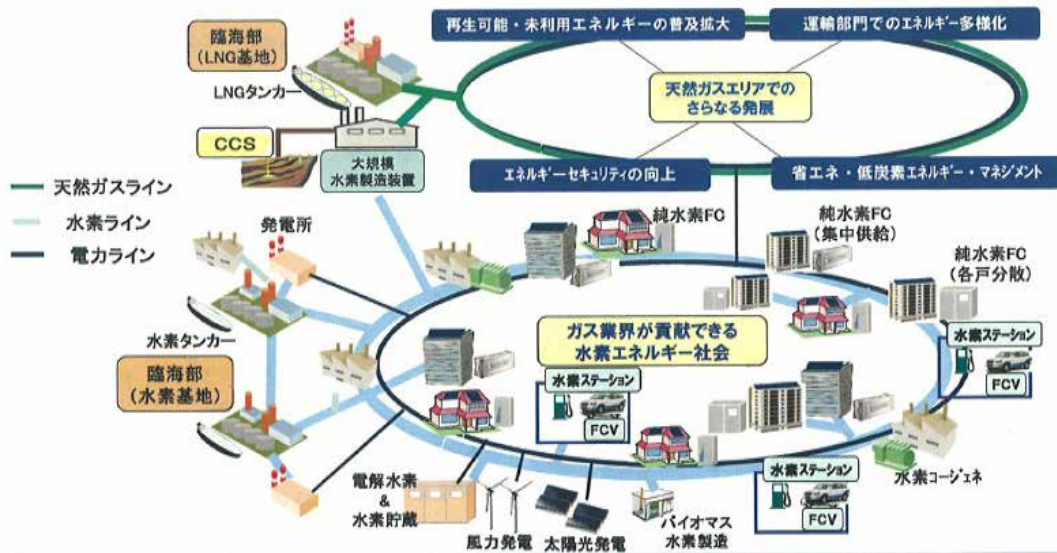
【ガス業界の貢献】

ガス業界として、安全な水素の導管供給、分散型の水素消費機器の開発・普及などの貢献が考えられる。



③大幅なCO2削減に貢献する社会(2050年頃の姿)

- ・各臨海部の水素NWは、パイプラインなどにより連結され、より大きな水素NWへと発展していく。
- ・水素NWは、都市部へも延伸し、さらに業務用分野から家庭用分野へと供給範囲が拡大していく。
- ・再生可能エネルギー由来の余剰電力は、水素に変換・貯蔵され、電力システムの安定にも貢献している。
- ・天然ガスエリアにおいても、スマートエネルギーNWの拡大発展の中で、高度に高効率化された機器やシステムの普及により、低炭素化への貢献が継続されている。



(2) 石油業界

水素の問題については、石油業界として合意された構想を公表するに到っていない。これは、石油業界が自動車産業等と極めて強い相互依存関係があったため、常に自動車業界等との連携のもとに、水素問題を議論してきた経緯がある。このような経緯から石油産業の将来構想を見る上で、第一に挙げられるのが、2011年1月の「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」である。

< 燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明 >

2011年1月、自動車会社・石油会社・都市ガス会社・産業ガス会社の計13社は、2011年1月、「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」を发出し、その中で、水素供給事業者は、FCV 量産車の初期市場創出のため、2015年までにFCV 量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指す、と明示されている。

(3) 製鉄業界

< 革新的製鉄技術開発 (COURSE 50) >

日本の鉄鋼業界は、現在 NEDO プロジェクトとして、「革新的製鉄技術開発」(COURSE 50)を実施中であり、現在、高炉に還元剤および燃料として供給しているコークスの一部を、水素増幅コークス炉ガスで代替することにより、約30%のCO₂削減を達成すべく、2030年技術確立、2050年実用化・普及を目指して技術開発中である。

水素エネルギーへの産官の取り組み初期には、コークス炉ガスから抽出した水素が水素ステーション等へ供給可能との想定で、業界全体で80～90億Nm³/年の供給ポテンシャルがあると評価されていたが、COURSE 50の検討が開始されて以降、外部への供給可能性については再検討が必要となっていると考えられる。

(4) 自動車業界

< 燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明 >

2011年1月、自動車会社・石油会社・都市ガス会社・産業ガス会社の計13社は、2011年1月、「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」と題して、以下の共同声明を発出している。

1. 自動車メーカーは、技術開発の進展により燃料電池システム的大幅なコストダウンを進めつつあり、FCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めている。導入以降、エネルギー・環境問題に対応するため、更なる普及拡大を目指す。
2. 水素供給事業者は、FCV量産車の初期市場創出のため、2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指す。
3. 自動車メーカーと水素供給事業者は、運輸部門の大幅なCO₂排出量削減に資するため、全国的なFCVの導入拡大と水素供給インフラ網の整備に共同で取組む。これら実現に向け、普及支援策や社会受容性向上策等を含む普及戦略^(注)について官民共同で構築することを、政府に対して要望する。

上記声明の背景として、以下の記述が示されている。

地球温暖化問題への対応、環境・資源制約の克服は世界共通の喫緊の最重要課題である。とりわけ自動車分野においては、化石燃料が大量に消費され、温室効果ガスであるCO₂の大量排出の大きな要因となっている。2008年度の日本のCO₂総排出量は12億8千万tであったが、このうち16%にあたる2億tが自動車から排出されている。政府はCO₂を含む温室効果ガスの排出量を1990年対比で2020年までに25%、2050年までに80%の削減目標を設定しようとし

ており、限りある化石燃料を有効に使う省エネルギーとCO₂排出量の大幅削減を実現する次世代自動車の早期実用化が期待されている。

次世代自動車としては、既に、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車の市場導入が開始されているが、更なる選択肢の一つである燃料電池自動車(FCV)の投入により、次世代自動車の導入拡大を一層加速することができる。

FCVは一般の内燃機関自動車と比べ、エネルギー効率が高く、走行時に水しか排出しないなどの利点がある。FCVの燃料となる水素は、石油、天然ガス、石炭など様々な種類の化石エネルギー資源からの転換や、太陽光や風力、バイオマスなど再生可能エネルギーの利用によっても製造が可能で、多様なエネルギー源を利用できる利点がある。

加えて、わが国が世界に先駆けてFCVの本格的な普及市場を構築することは、わが国産業の国際競争力の強化と雇用創出に寄与し、資源・環境制約の克服と経済成長の両立を実現できるものである。

以上の観点から、**FCVの市場導入と、水素の自立的かつ安定的なエネルギー供給構造の実現は、持続的成長可能な低炭素社会の実現に寄与するものと言える。**

(5) 素材・装置製造業界¹

素材・装置製造業界は、将来の水素社会に向けて、高圧水素ガスや極低温液体水素対応の材料の耐久性向上や経済性向上等に関する開発研究を行っている。一例であるが、愛知製鋼(株)・新日鐵住金(株)・新日鐵住金ステンレス(株)・(株)日本製鋼所は、NEDO「水素利用技術研究開発事業」の中で、高圧水素ガス用のステンレス鋼や低合金鋼の適用鋼種拡大によるコストダウンの研究開発を行っている。同じNEDO事業の中で、NOK(株)は高圧水素ガスシール用Oリングの開発を、日本合成化学(株)は高圧水素バリア材の開発を行っている。

(6) 産業競争力懇談会、燃料電池実用化推進協議会、水素供給・利用技術研究組合

燃料電池自動車(FCV)の市場導入に関しては、インフラ(水素ステーション)整備が先かFCVが先かという、鶏と卵論が長い間関係者を悩ませてきた。この事態を打破することを念頭に、産業競争力懇談会(COCN)は、2009年3月に、FCV普及台数と水素需要量の見通しを示し、水素供給側(ステーション)整備を先行するためには公的支援が望ましいとの見解を公表した。

このような動きを受けて、自動車・石油業界等が横断的に燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)を組織し(平成25年11月18日現在104社・団体(個人2名を含む))、水素ステーションの先行整備を前提としたFCV市場導入シナリオを提示した。

そして、水素供給インフラの構築とビジネス環境の整備を目的として、2009年7月に、水素供給による低炭素社会を実現しようとするエネルギー関連企業13社により水素供給・利用技術研究組合(HySUT)が設立された。現在は、自動車会社なども加え、19社・団体を組合員として、官

¹ 水素エネルギーシステム, VOL. 38 NO.4 2013, 水素エネルギー協会(HESS)学誌

民あげて、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)によって策定された『FCV・水素供給インフラ普及シナリオ』(2015年水素ステーション100か所)の実現に向けて活動している。

< 産業競争力懇談会(COCN) >

産業競争力懇談会(COCN)は、2009年3月に、報告書「燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト」の中で、FCV(乗用車と貨物車の合計)累積普及台数と年間水素需要量を、2030年で、各々666万台、70億Nm³、2050年で4,921万台、517億Nm³としている。

< 燃料電池実用化推進協議会(FCCJ) >

燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)は、2010年3月に、「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」を発表し、2015年にFCVの一般ユーザー普及開始、2025年にFCV・ステーションの自立拡大開始(FCV200万台程度、ステーション1,000箇所程度)の目標を示し、現在、関連事業者により、このシナリオ実現に向けた取り組みがされている。

< 水素供給・利用技術研究組合(HySUT) >

水素供給・利用技術研究組合(HySUT)は、2009年7月に設立され、現在、フェーズ2として、「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業(1)技術・社会実証研究」、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業 / 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発」、及「北九州水素タウンを活用した実証研究」の3事業を進めている。

D 水素・再生可能エネルギー導入に関する海外の動向

<水素エネルギーの意義 ～諸外国の動向～>

平成25年10月に開催された、総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第8回会合の資料2-2『水素・燃料電池について』において、水素エネルギーの意義 ～産業政策の観点～として以下の通り記述されている。

1-4. 水素エネルギーの意義 ～諸外国の動向～

■ 欧米等においても、水素エネルギー利活用の促進に向けて、必要な技術開発や導入支援等の支援策が積極的に講じられている。

	最近の動向
欧州連合	○ 欧州委員会の研究総局において燃料電池・水素分野を重点5分野の一つに位置づけ ^(※) 、燃料電池水素共同実施機構(FCH JU)を中心に、官民連携のもと研究開発・実証等を実施。 ※重点5分野:燃料電池・水素、革新的医療、ナノエレクトロニクス、組込システム、航空宇宙
ドイツ	○ 2004年に水素・燃料電池技術革新プログラム(NIP)を採択。2007年から2016年の10年間で14億ユーロを水素・燃料電池技術開発に(※官民負担は、50:50)。 ○ NIP実施のために、国立水素燃料電池機構(NOW)を設置。
アメリカ	○ エネルギー省(DOE)を中心に燃料電池・水素プログラムを推進。 ○ 2013年5月に、インフラメーカーや自動車メーカー参画のもと、水素インフラの検討組織としてH2USAを設置。
韓国	○ 知識経済部(MKE)を中心に水素・燃料電池プログラムを推進。 ○ 2009年に水素・FCロードマップを策定。 (目標:2020年までにFCV5万台、水素ステーション500箇所)

D2 米国

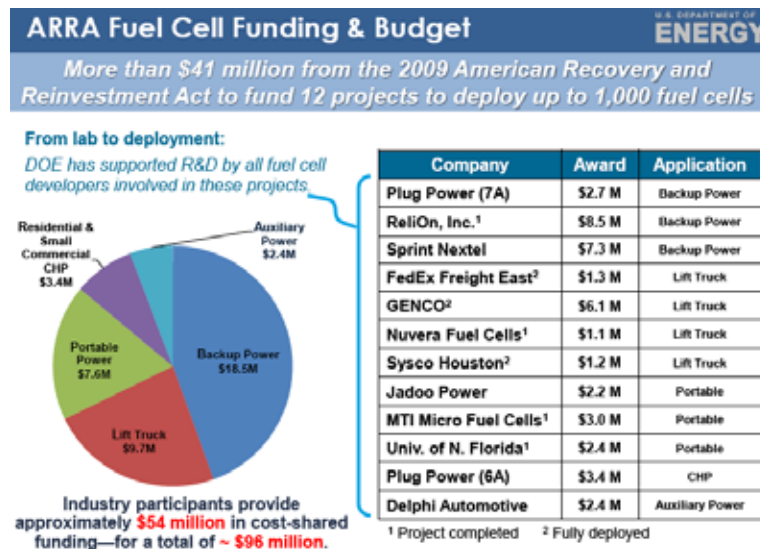
< 再生可能エネルギー電力による水素導入シナリオ：米国 >

米国再生・再投資法の燃料電池関連の資金と予算

2009 年 2 月に成立した米国再生・再投資法は、フォークリフト等の特殊車両やバックアップ電源、燃料電池コジェネ等を利用する企業に補助金として交付する形式。

本法案の 2012 年 5 月時点での燃料電池水素関連の DOE 予算は 4,160 万\$であり、予算の 45% がバックアップ電源、23% が特殊車両、18% が可搬電源、8% が家庭用及び小型業務用 FC コジェネレーション、6% が補助電源に計上されている。

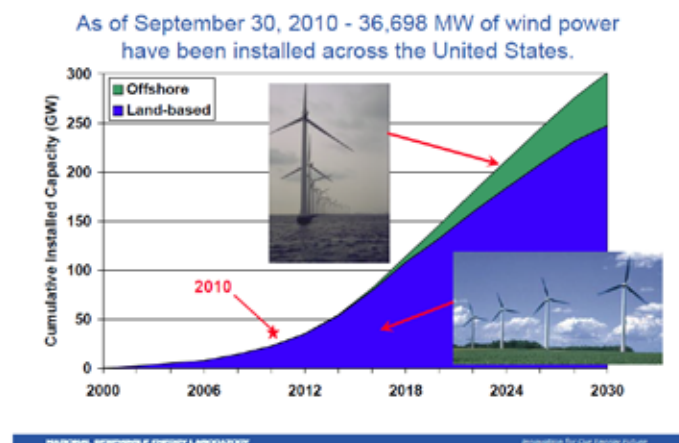
産業界が 5,400 万\$を負担しており、総予算は 9,600 万\$。



米国における再生可能エネルギーの利用拡大については、風力と太陽光を利用した水電解水素製造・圧縮・貯蔵・供給システム（再電力化による電力系統への供給と燃料電池自動車用水素ステーションへの供給）の経済性向上、最適実用化に向けた実証試験の必要性が認識されている。

風力発電は 2020 年 9 月 30 日現在、約 37GW の設備が設置されており、2030 年までに風力発電の割合を 20%にするシナリオベースに基づくと、2030 年の風力発電設備容量は 300GW となる。

20% Wind by 2030 Scenario



D3 欧州

<再生可能エネルギー電力による水素導入シナリオ:ドイツ>

再生可能エネルギー法 (EEG) (2000 年制定、2004 年全面改訂、2011-12 年改訂)

電力の固定価格買取制度 (FIT)

エネルギー計画:「エネルギーコンセプト」 Energie Konzept (2010 年策定、2011 年改訂)

「再生可能エネルギー利用の促進」

「エネルギー消費の削減」

気候変動・エネルギー政策にかかわる 2050 年までの長期政策ロードマップ。

政府のエネルギー構想として初の再生可能エネルギー時代への移行シナリオ

2050 年を目標に、世界で最もエネルギー効率が高く、技術革新性が最も高く、最も環境負荷の少ない国民経済を目指す。化石燃料を使い GHG を排出することにより経済成長を実現してきた従来の経済構造を根本的に見直す。

ドイツ連邦第 6 次エネルギー研究プログラム (2011 年～2014 年 35 億€)

「エネルギーと気候基金」

3 分野の省庁間連携研究イニシアティブ

「Energy Storage」2 億€ 60 の革新的プロジェクト

「Electricity Grid」

「Solar Building-Energy Efficient Cities」

温室効果ガス	・2020年までに40%、2050年までに80%削減（1990年比）
1次エネルギー消費	・2020年までに20%、2050年までに50%削減（2008年比）、すべての面における効率エネルギー効率改善ポテンシャルを可能な限り利用する。
熱需要	・2020年までに20%、2050年までに80%削減
エネルギー改築	・エネルギーを高めるための改築の実施率を現在の1%から2%に倍増させる。2050年までに建築ストックにおける二酸化炭素収支をゼロに近づける。
電力消費	・2020年までに10%、2050年までに25%削減（2008年比）
電気自動車	・2020年までに100万台、2030年までに500万台導入
再生可能エネルギー	・最終エネルギー消費における割合を2020年までに35%、2050年までに80%に引き上げ
電力輸入	・30%を輸入
オフショア風力	・2030年までに25GWに拡大。南北をつなぐ送電線を整備
2011年に追加された項目	・送電線インフラ整備を加速 ・2022年までに原子力発電から撤退

D4 カナダ

< 再生可能エネルギー電力による水素導入シナリオ:カナダ >

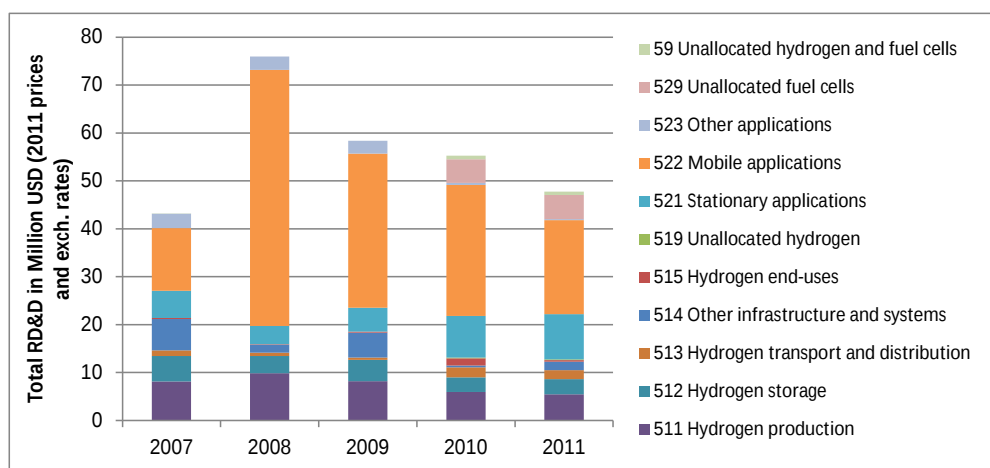
水素燃料電池関連予算は、日本のおよそ1/3程度の規模であり、GDP当たりの投資額としては概ね同額。

カナダ政府の出資する Sustainable Development Technology Canada の発行したレポートでは、2015 年に年間 650,000 トン(約 73 億 Nm³)を余剰として廃棄されている水素及び新設の再生可能エネルギー由来の水素とする目標値を設定

カナダ産業省の下部組織であるカナダ自然科学・工学研究会議(NSERC)が2008年9月に設立した研究ネットワークである H2Can はこの値をビジョンに掲げて R&D を実施

FCV、FC バスや水素村などの実証事業と要素技術開発の支援が中心。

商業化前の技術を政府調達で利用する Canadian Innovation Commercialization Program に燃料電池水素技術も含まれ、2013 年から 3 年間にわたり 9500 万ドル、以降 4000 万ドル/年。



IEA statistics の直近 5 年の水素燃料電池関連予算の推移

外部発表

CO2 フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会 & アクションプラン研究会

IAE

1 IAE ホームページへの掲載

- ・構想研究会の成果報告書(2011年度)
- ・アクションプラン研究会の成果報告書(1)(2012年度)
- ・アクションプラン研究会の成果報告書(2)(2013年度)

2 発表

1) 海外学会誌投稿

- ① Journal of Chemistry and Chemical Engineering (2月25日発刊: J. Chem. Chem. Eng. 8 (2014) 163-170)

2) 国内投稿:

- ① 日本原子力学会誌(2012.2):「解説」(シミュレーション)
- ② IAE 季報(2013年4月号):「構想研究」
- ③ 日本動力協会誌『エネルギーと動力』(H25年 秋季号):「構想研究」
- ④ エネルギー・資源学会誌『エネルギー・資源』(平成26年1月号):「特集:水素エネルギー利用社会に向けた取り組み」の中で「将来エネルギーとしての水素の可能性」(構想研究 & アクションプラン研究)について執筆(山地先生・笹倉)

< 予定 >

- ① 日本エネルギー学会誌(平成26年5月号):「特集:エネルギーキャリアの研究開発の現状と将来展望」の中で「エネルギーキャリアとしての水素の研究開発の現状と将来展望」について執筆

3) 国際発表

- ① WHEC 2012(シミュレーション:ポスター)(2012.6.4~7 @カナダ)
- ② EA HIA Task 28(構想研究:口頭)(2012.10.1 @東京)
- ③ IEA HIA Task 30(構想研究:口頭)(2012.10 @オスロ by 東ガス 安田委員)
- ④ EFCF 2013(構想研究:ポスター)(2013.7.2~5 @スイス)

< 予定 >

- ① WHEC 2014(構想 & AP研究:口頭発表)(2014.6.15~20 @韓国):要旨受理
- ② Grand RE 2014(構想 & AP研究:口頭発表)(2014.7.27~8.1 @東京):要旨受理

4)国内発表

- ①HESS 大会(シミュレーション:口頭)(2011.12.1 @東京)
- ②IAE 月例研究会(構想研究:口頭)(2012.7.27 @東京)
- ③HESS 特別講演会(構想研究:口頭)(2012.10.1 @東京)
- ④HESS 大会(シミュレーション:口頭)(2012.12.7 @広島)
- ⑤FC EXPO 2013(構想研究:口頭 & ポスター)(2013.2.27～3.1 @東京)
- ⑥東洋エンジニアリング社内講演(構想 & AP研究:口頭)(2013.6.24)
- ⑦原子力水素研究会(構想 & AP研究:口頭)(2013.7.11～12)
- ⑧FCDIC 2012 年度総会後の講演会(構想 & AP研究:口頭)(2013.7.24)
- ⑨RE 2013 国際フォーラム(構想 & AP研究:口頭)(2013.7.25 @東京)
- ⑩日本エネルギー学会(シミュレーション)(2013.8.5～6:口頭)
- ⑪東京ガス横浜研究所(構想 & AP研究:口頭)(2013.11.7)
- ⑫西いぶりシンビオタウン研究会(構想 & AP研究:口頭)(2013.11.15)
- ⑬日本機械学会北海道支部(構想 & AP研究:口頭)(2013.3.5)