

水素・燃料電池戦略ロードマップ

～水素社会の実現に向けた取組の加速～

平成 26 年 6 月 23 日

水素・燃料電池戦略協議会

水素・燃料電池戦略ロードマップ

～水素社会の実現に向けた取組の加速～

目次

第1章 総論	1
第1節 水素社会実現の意義	1
第2節 水素社会実現に向けた対応の方向性	4
第2章 各論	6
第1節 フェーズ1（水素利用の飛躍的拡大）	6
1. 定置用燃料電池	6
2. 燃料電池自動車（その他輸送用車両を含む）	16
第2節 フェーズ2（水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立）	35
第3節 フェーズ3（トータルでのCO ₂ フリー水素供給システムの確立）	47
第3章 本ロードマップの実効性を確保するための取組	52

【参考1】 委員等名簿

【参考2】 水素・燃料電池戦略協議会 開催経緯

第1章 総論

第1節 水素社会実現の意義

(1) 我が国の置かれている状況

我が国のエネルギー供給は、海外の資源に大きく依存しており、根本的な脆弱性を抱えている。また、新興国のエネルギー需要拡大等によって、資源価格が不安定化している。さらに、世界の温室効果ガス排出量は増大し続けている。

東京電力福島第一原子力発電所事故によって、原子力発電の安全性に対する懸念が増大し原子力発電が停止した結果、化石燃料への依存が増加し、これに伴って国富が流出し、また、エネルギー供給に係る制約が顕在化している。さらに、エネルギーコストや地球温暖化問題への対応に困難をもたらしている。

また、東京電力福島第一原子力発電所事故の前後から、中東・北アフリカ地域の不安定化等、資源供給地域の地政学的構造変化が生じている。

こうした状況を踏まえて、本年4月に策定された新たなエネルギー基本計画では、エネルギー政策の基本的視点として、「3E+S」、つまり、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、経済効率性の向上(Economic Efficiency)による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合(Environment)を図ることが確認され、多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築に向けて取り組んでいくこととされた。

(2) 水素の果たし得る役割

我が国においては、1981年のムーンライト計画から現在に至るまで、燃料電池の開発・実証を継続的に行った結果、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など、30年以上の官民の努力が、世界に先駆けてようやく実りつつある。

図表 水素・燃料電池の技術開発の歴史

1839年	イギリスのグローブ卿が世界で初めて燃料電池の実験に成功。
1965年	固体高分子形燃料電池(PEFC)がジェミニ5号に搭載。世界初の実用化。
1968年	アルカリ形燃料電池がアポロ7号に搭載。 GMが自動車産業初の走行可能な燃料電池自動車の試作・テストを実施。
1981年	通産省の「ムーンライト計画」(93年からは「ニューサンシャイン計画」)の下、燃料電池の開発を開始。
1987年	カナダのバラード社が、デュボン社が開発したナフィオン膜を用いた固体高分子形燃料電池を開発。
1994年	ダイムラー社(ドイツ)が、バラード社の燃料電池を搭載した燃料電池自動車「NECAR1」を発表。
90年代	国内自動車メーカー(トヨタ、日産、ホンダ)が、燃料電池自動車の開発に着手。 国内電機メーカー(三洋電機、松下電器産業、東芝など)が、家庭用燃料電池の開発に着手。
2002年	トヨタ及びホンダが、政府(内閣府及び内閣官房)へ燃料電池自動車を納入。 水素燃料電池実証プロジェクト(JHFC)における燃料電池自動車と水素ステーションの実証を開始。
2005年	NEDO・定置用燃料電池大規模実証事業を開始(4カ年で3,307台)。
2008年	民間の燃料電池推進団体である燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)が、燃料電池自動車の2015年からの一般ユーザーへの普及シナリオを作成。
2009年	大規模実証事業を経て、家庭用燃料電池(エネファーム)の一般市場への世界初の販売を開始。
2013年	水素ステーションの先行整備を開始。

もっとも、こうした水素利活用技術には、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在しており、社会に広く受容されるか否かは、まさにこれからの取組にかかっていると見える。

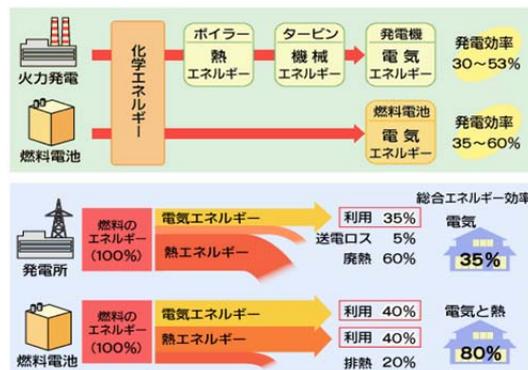
しかしながら、水素を日常生活や産業活動で利活用する社会、すなわち「水素社会」の実現を目指すことには、その価値が十二分にあると考えられる。なぜならば、水素利活用技術の適用可能性は幅広く、既に実用化段階にある定置用燃料電池や燃料電池自動車だけでなく、船舶や鉄道等を含む他の輸送分野、水素発電等、我が国のエネルギー消費分野の多くに対応し得る潜在的な可能性があるが、こうした多岐にわたる分野において、水素の利活用を抜本的に拡大することで、大幅な省エネルギー、エネルギーセキュリティの向上、環境負荷低減に大きく貢献できる可能性があるからである。

図表 水素利活用技術の適用可能性



省エネルギーについて言えば、燃料電池は、燃料である水素と、空気中の酸素の電気化学反応から電気エネルギーを直接取り出すため発電効率が高い。また、電気と熱の両方を有効利用することで、更に総合エネルギー効率を高めることが可能である。このため、燃料電池の活用を広げることで、大幅な省エネルギーにつながり得ると考えられる。

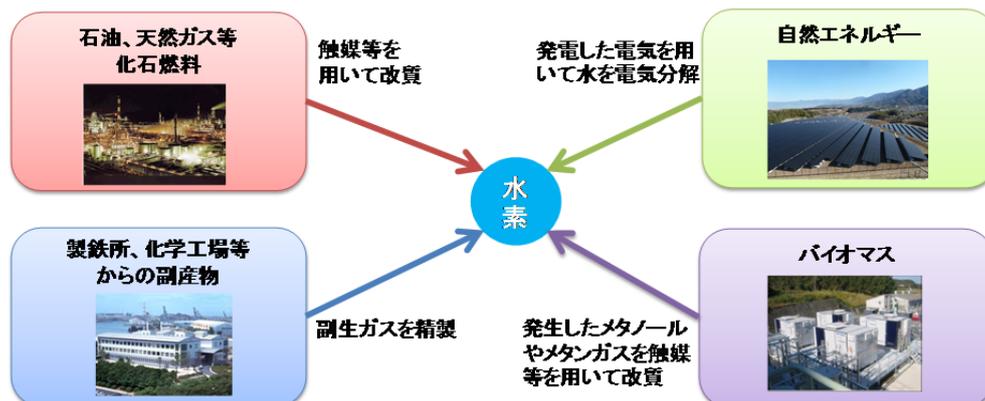
図表 燃料電池のエネルギー効率



[出典] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構HP

また、水素は、製造原料の代替性が高く、副生水素、原油随伴ガス、褐炭といった未利用エネルギーや、再生可能エネルギーを含む多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。しかも、こうした一次エネルギー源を地政学的リスクの低い地域等から安価に調達することも検討されている。国内では、将来的に再生可能エネルギーから製造された水素を利活用することで、エネルギー自給率向上につながる可能性もある。これらの利点を活かして水素の利活用を拡大することで、エネルギーセキュリティの向上に大きく貢献し得ると考えられる。

図表 水素の様々な製造方法

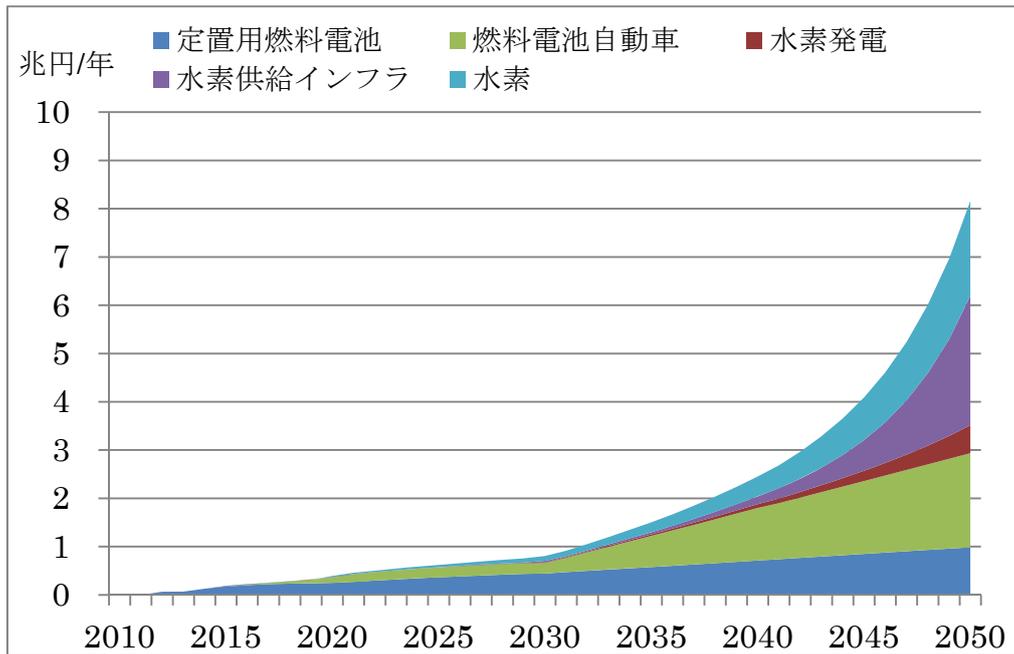


[出典] 資源エネルギー庁作成

さらに、燃料電池等の水素利活用技術は、利用段階では二酸化炭素を排出しないことから、水素の製造時に CCS（二酸化炭素回収・貯留技術）を組み合わせ、又は再生可能エネルギーから水素を製造するといった水素の製造方法次第では、二酸化炭素排出量を大幅に削減、更には二酸化炭素フリーのエネルギー源として水素を活用し得ると考えられる。なお、それまでの過渡期において化石燃料から水素を製造するなど、水素の供給過程で二酸化炭素を排出する場合であっても、高いエネルギー効率を有する燃料電池技術を活用することなどを通じて、エネルギー消費量や環境負荷の低減に大きく貢献し得ると考えられる。

以上のようなエネルギー政策の観点だけでなく、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。エネルギー基本計画でも、3E+Sに加え、国際的な視点と経済成長の視点の重要性が明記されているところであるが、水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも 2030 年に 1 兆円程度、2050 年に 8 兆円程度に拡大するとの試算もある。また、我が国の燃料電池分野の特許出願件数は世界一位で、二位以下の欧米をはじめとする各国と比べて 5 倍以上と、諸外国を大きく引き離しているなど、水素エネルギー利活用分野における我が国の競争力は高い。

図表 我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測



[出典] 日本エネルギー経済研究所

第2節 水素社会実現に向けた対応の方向性

水素利活用技術には、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在しており、社会に広く受容されるか否かは、まさにこれからの取組にかかっている。具体的には、燃料電池の耐久性や信頼性等の技術面の課題、現状では一般の許容額を超過するコスト面の課題、水素を日常生活や産業活動でエネルギー源として使用することを前提とした制度整備等の制度面の課題、水素ステーション整備といった水素供給体制等のインフラ面の課題であり、これらの課題を一体的に解決できるかが鍵となる。

これらを一体的に解決するためには、社会構造の変化を伴うような大規模な体制整備と長期の継続的な取組が求められる。また、様々な局面で、水素の需要側と供給側の双方の事業者の立場の違いを乗り越えつつ、水素の活用に向けて産学官で協力して積極的に取り組んでいくことが必要である。

このため、主として技術的課題の克服と経済性の確保に要する期間の長短に着目し、下記のとおりステップ・バイ・ステップで、水素社会の実現を目指す。

・ フェーズ1 (水素利用の飛躍的拡大) : 現在～

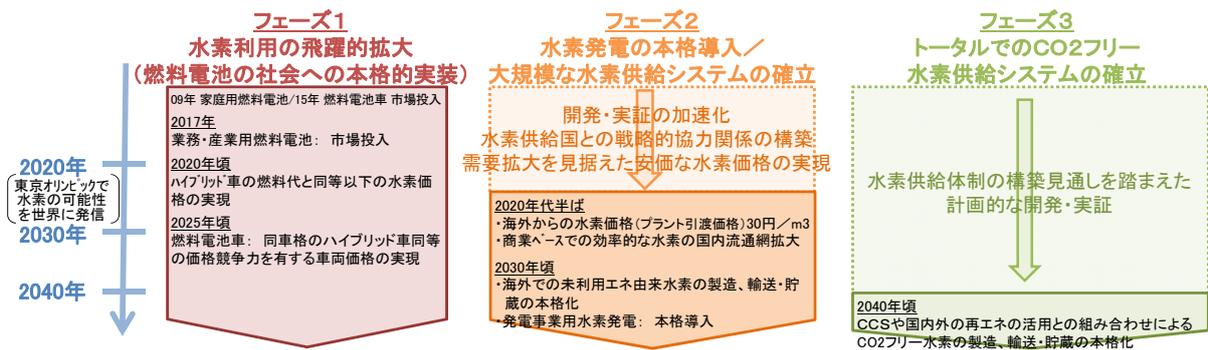
足元で実現しつつある、定置用燃料電池や燃料電池自動車の活用を大きく広げ、我が国が世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場を獲得する。

・ **フェーズ2（水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立）：2020年代後半に実現**

水素需要を更に拡大しつつ、水素源を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな二次エネルギー構造を確立する。

・ **フェーズ3（トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立）：2040年頃に実現**

水素製造にCCSを組み合わせ、又は再生可能エネルギー由来水素を活用し、トータルでのCO2フリー水素供給システムを確立する。



第2章 各論

第1節 フェーズ1（水素利用の飛躍的拡大）

1. 定置用燃料電池

定置用燃料電池は、都市ガスパイプライン又はLPガス容器により供給される都市ガス又はLPガスを機器内で改質した水素と、空気中の酸素を電気化学反応させて電気と熱を発生させるコージェネレーション・システムであり、我が国で最も社会的に受容されている水素利活用技術である。電気化学反応から電気エネルギーを直接取り出すためエネルギーロスが少なく、電気と熱の両方を有効利用することで更にエネルギー効率を高めることが可能となる。

図表 様々な定置用燃料電池

家庭用燃料電池

<戸建て住宅用>

2009年より販売開始



【出典】東芝燃料電池システム

<集合住宅用>

2014年4月より販売開始



【出典】パナソニック

業務・産業用燃料電池

<数百kWクラス>



【出典】三菱日立パワーシステム

<数kWクラス>



【出典】三浦工業

【主な目標】

<水素の利用>

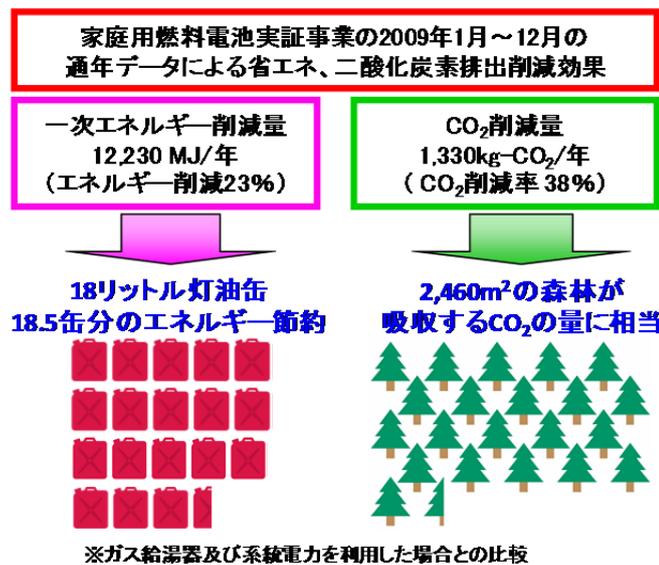
- ① 家庭用燃料電池（エネファーム）について、早期に市場を自立化し、2020年に140万台、2030年に530万台を普及させる。
- ② 家庭用燃料電池のエンドユーザーの負担額（設置工事費込み）については、2020年に7、8年で投資回収可能な金額を、2030年に5年で投資回収可能な金額を目指す。
- ③ また、業務・産業用燃料電池については、2017年に発電効率が比較的高いSOFC（固体酸化物形燃料電池）型の市場投入を目指す。

【普及の意義】

- 家庭用燃料電池が 530 万台（全世帯の約 1 割）普及すると、増加を続ける家庭部門におけるエネルギー消費量を約 3%削減、二酸化炭素排出量を約 4%（年間約 700 万トン）削減する効果が見込まれる（※）。家庭部門の省エネルギーの取組が求められ、住宅の省エネルギー基準が強化される中、家庭用燃料電池の導入も有効な省エネルギー対策である。

（※）平成 17 年度～平成 20 年度に実施した定置用燃料電池大規模実証事業において得られたデータを元にした試算。具体的には、実証時点においてトップの発電性能を有していた PEFC 型のエネファームを、電気の需要（負荷）に追従して運転して得たデータを元にした試算。）。

図表 家庭用燃料電池の省エネ・CO₂削減効果（一台当たり）



[出典] 2009 年度定置用燃料電池大規模実証事業報告書

- また、停電時に運転している場合に自立的に運転継続可能な家庭用燃料電池が市場投入されており、今後、停電時に停止中の場合にも起動可能な家庭用燃料電池が開発されれば、BLCF（業務・生活継続計画）の観点からも有効に機能できる。
- 家庭用燃料電池は 500～1,000 点程度の機器・部材から構成されており、関連産業も、素材産業を含む製造業、ガス・石油・電気等のエネルギー産業と多岐にわたる。また、特に補機（ポンプ、ブロワ等）については、中小企業を含む多数の企業が参画している。
- 業務・産業用燃料電池についても、家庭用燃料電池と同様に、エネルギー消費量削減効果や二酸化炭素排出量削減効果等が期待される。

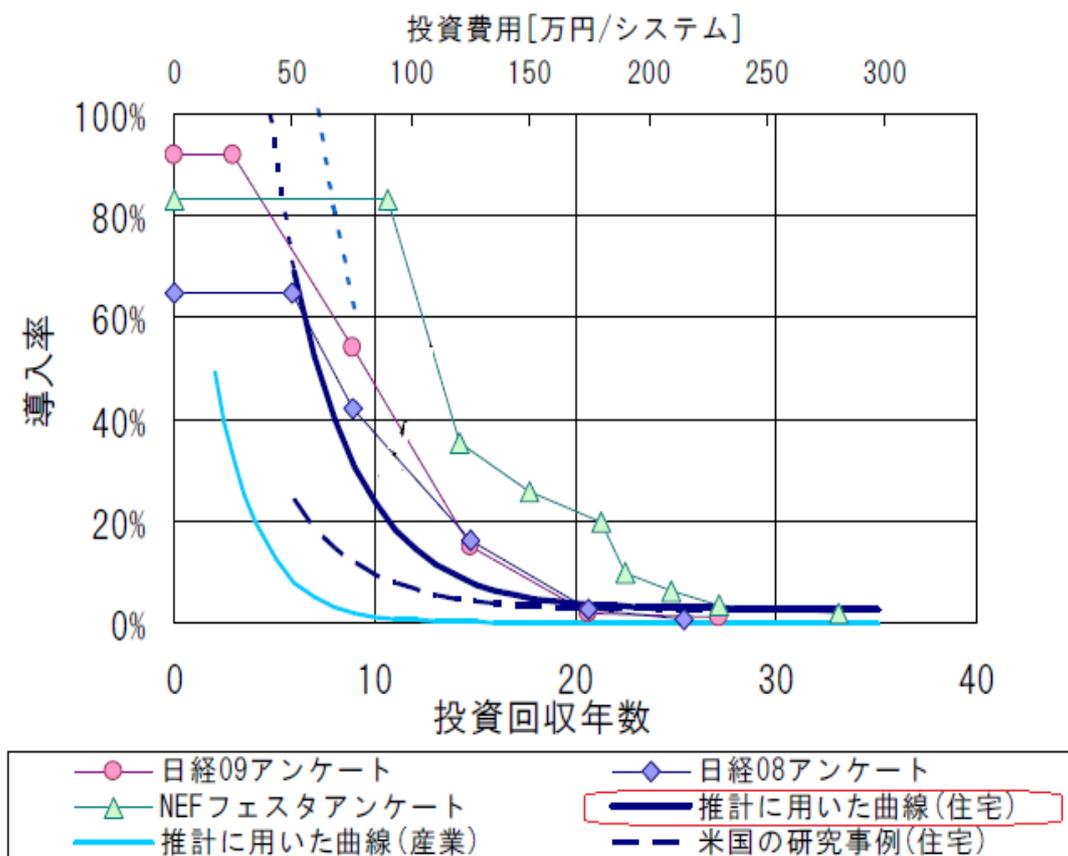
(1) 目標設定の考え方

<水素の利用>

我が国においては、2009年に世界に先駆けて家庭用燃料電池が市場投入され、その後も順調に普及台数を拡大しており、昨年度だけで約3.4万台が販売され、本年4月末時点で約7.6万台が普及している。エネルギー基本計画においても確認されたとおり、2020年に140万台、2030年に530万台の導入を引き続き目標として掲げる。ただし、集合住宅等のユーザーが密集している施設においては、個々の住居に小型の家庭用燃料電池を配置するよりも、複数のユーザーに電気と熱を供給する大型の燃料電池を配置するという選択肢も出てき得る。

現在、家庭用燃料電池のエンドユーザーの負担額（設置工事費込み）は、ケースによって違いはあるが、概ね150万円程度であり、4人世帯で年間5～6万円程度の光熱費削減が可能である。本格的な普及に向けては、エンドユーザーの投資回収期間を短縮することが重要となる。このため、家庭における太陽光発電について許容可能な投資回収年数を参考に、半数程度のエンドユーザーが許容可能と考えられている7、8年程度の投資回収を2020年に、大多数のエンドユーザーが許容可能と考えられている5年程度の投資回収を2030年に、それぞれ達成することを目標とする。

図表 太陽光発電に対する投資回収年数受容曲線



[出典] 環境省「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言」(平成22年3月)

また、業務・産業用燃料電池については、現在、開発・実証中の SOFC 型のイニシヤルコストやランニングメリットではユーザーへの訴求力が不十分である（特にイニシヤルコストの問題が大きい）一方、家庭用燃料電池と同様に、高いエネルギー効率からエネルギー消費量削減効果や二酸化炭素排出量削減効果等が期待されているため、特に高い発電効率等から将来の普及拡大が有力視されている SOFC 型を早期に市場投入することが重要である。具体的には、市場投入に向けた実証を集中的に行い、2017 年には SOFC 型の市場投入を目指すこととする。

(2) 主な課題と取組の方向性

<水素の利用>

家庭用燃料電池の更なる普及を進めるためには、他の家庭用高効率給湯器等の競合機器との比較で家庭用燃料電池の経済性を向上させることが最優先の課題である（→「課題 1：家庭用燃料電池の経済性の向上が必要」）。また、経済性を向上させるためには、対象ユーザーを拡大することで量産効果を高めることも重要である（→「課題 2：家庭用燃料電池の対象ユーザーの拡大が必要」、「課題 3：家庭用燃料電池の海外展開が必要」）。

業務・産業用燃料電池（SOFC 型）については、欧米で市場が立ち上がりつつある状況も踏まえ、まずは早期に我が国市場に製品を投入することが重要であり、このために必要な経済性や耐久性等の向上を図ることが必要である（→「課題 4：業務・産業用燃料電池の経済性や耐久性等の向上が必要」）。

<水素の製造、輸送・貯蔵>

現在、家庭用燃料電池や業務・産業用燃料電池は、都市ガスパイプライン又は LP ガス容器によって供給する都市ガス又は LP ガスから機器内で水素に改質し、燃料電池を介して電気・熱を発生させている。

より直接的に水素の利活用を進めるために、都市ガスパイプラインに水素を数%混合することは現在でも可能ではあるが、ガスを使用する機器は他にも存在すること、長年継続的に高熱量化の取組を進めてきている都市ガスに水素を混合することは体積当たりの熱量を減らす結果になること等を踏まえると、燃料電池の活用の幅が限られている当面の間は現実的ではないと考えられる。また、水素ガスパイプラインの新設についても、都市ガスパイプラインの敷設には 100 年以上の歳月と莫大な投資がかかっていること等を踏まえると、同様に現実的ではないと考えられる。

ただし、燃料電池自動車用の水素ステーションから、近隣の施設に設置された定置

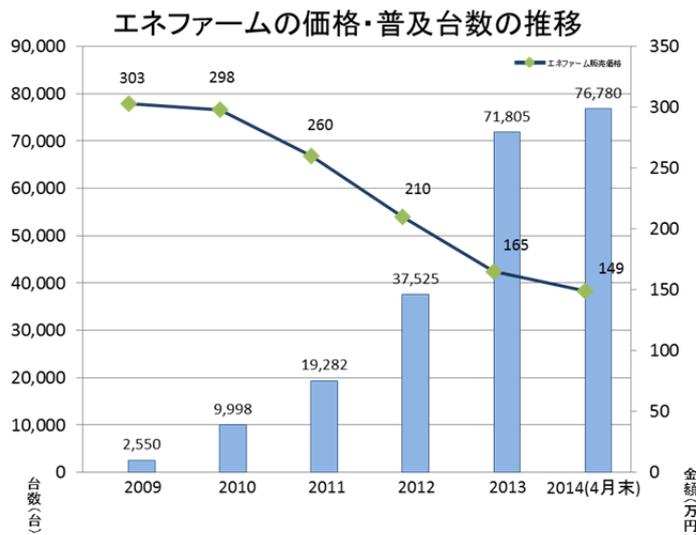
用燃料電池に水素を供給する場合など、水素供給源の近傍への水素供給に水素ガスパイプラインを活用することはあり得、欧米では水素ガスパイプラインに関する実証も存在することから、その可能性については、具体の事案に応じて適宜検討を行うことが必要である（→「課題5：純水素型の定置用燃料電池の利活用に関する継続的な取組が必要」）。

【取組の方向性】

●課題1：家庭用燃料電池の経済性の向上が必要

既述のとおり、家庭用燃料電池の本格的な普及に向けては、エンドユーザーの投資回収期間を短縮することが重要である。2009年の市場投入当初は300万円程度であったユーザー負担額（設置工事費込み）は、現在、概ね150万円程度にまで半減しているが、より一層の低減が必要である。

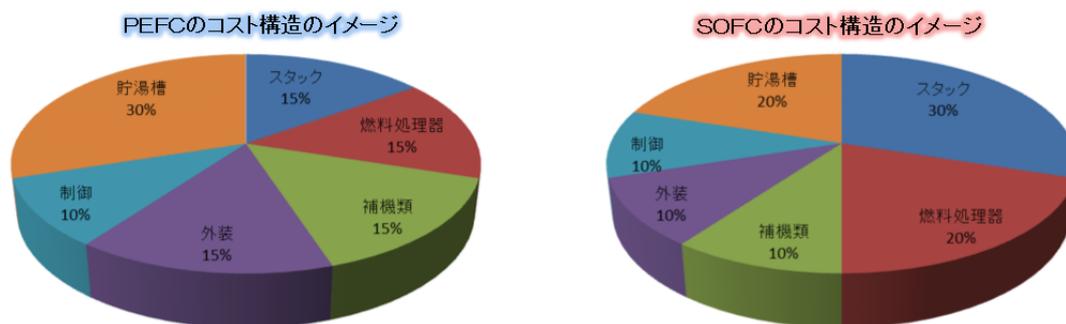
図表 エネファームの価格・台数の推移



[出典] 資源エネルギー庁作成

その際、例えばPEFC（固体高分子形燃料電池）型については燃料電池スタックの低コスト化が進んでおり、全体に占める燃料電池スタックの割合が15%であるのに対し、SOFC型については30%となっていることや、コスト低減余地等を踏まえ、SOFC型における燃料電池スタックやPEFC型における燃料処理器等のコスト低減効果が大きい分野に集中して取組を進めることが重要である。

図表 家庭用燃料電池のコスト構造



[出典] 資源エネルギー庁作成

また、コスト低減の手法としては、量産化や技術開発だけでなく、新たな技術を有する新規事業者の参入を促進することで競争原理を働かせることも大きな効果を有する。

こうしたイニシャルコストの低減に加えて、4人世帯で年間5～6万円程度のランニングコストを向上させるために、発電効率や耐久性を更に高めることも重要である。

① イニシャルコストの低減

a) 家庭用燃料電池の導入支援 <当面：国が重点的に関与>

- ・ 2015年度までは家庭用燃料電池の量産効果を下支えする導入補助を国は継続して行う。
- ・ それ以降については、早期の自立的な普及拡大を目指すこととし、家庭用燃料電池のコスト低減の進捗状況や普及状況等を踏まえ、省エネルギー施策全体の中で取扱いを検討する。

b) SOFC型等の低コスト化・高耐久化等に向けた技術開発

<～2017年：国が重点的に関与>

- ・ PEFC型よりも遅れて市場投入されたSOFC型は、理論上はより高い発電効率を有し、改質器等の構造から部品点数が少なく済むため、小型化も比較的容易であるものの、コストや耐久性等の点で課題が残っている。このため、燃料電池スタックの劣化機構の解析、耐久性迅速評価手法等、燃料電池に関する基盤的な技術開発を行う。
- ・ また、経済性を向上させるため、発電効率の更なる向上や高電流密度化等に資する先端計測解析手法等の技術開発を行う。
- ・ 改質器における触媒コスト等を低減するため、低コストな高活性触媒に関する技術開発を行う。

c) 部品点数削減や部品共通化等によるコスト低減 <民間主体の取組>

- ・ 構成部品のブロック化や制御の単純化等によって、引き続き部品点数を削減する。
- ・ 2016年までに既設給湯器をバックアップボイラーとして活用できるよう、貯湯槽との通信連携の見直しを行う。
- ・ 燃料電池スタックや補機について、新たな技術を有する新規事業者の参入を促進することで競争原理を働かせ、コストを低減させるため、現在の主要事業者は新規事業者との連携を引き続き模索する。これに対して、国はビジネスマッチング等の支援を行う。

d) 家庭用燃料電池の設置工事やメンテナンスに係るコスト低減、期間短縮等

<民間主体の取組>

- ・ 設置工事やメンテナンスにかかる期間を短縮するとともに、標準的な工程を確立する。また、配管や工事関連部品等の共通化を行う。
- ・ 具体的には、2016年までに設置工事の際の試運転を簡素化する。また、2017年までに脱硫剤やフィルター交換等の定期メンテナンスを不要又は簡素化する。

② ランニングメリットの向上

a) 家庭用燃料電池の発電電力の取引円滑化の検討

<2014年度中：国が重点的に関与>

- ・ 家庭用燃料電池の電気と熱の融通の在り方について国は検討を行い、技術的、制度的課題への対応について早期に結論を得る。

b) SOFC型等の低コスト化・高耐久化等に向けた技術開発 <再掲>

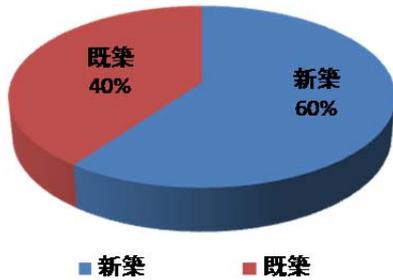
●課題2：家庭用燃料電池の対象ユーザーの拡大が必要

現在、家庭用燃料電池が対象としている主なユーザーは、大都市を中心とする都市ガス使用地域における、新築の戸建て住宅のユーザーである。

この対象ユーザーを拡大することが必要である。特に、戸建て住宅と集合住宅の比率は、住居形態として集合住宅が4割を占めるにもかかわらず、集合住宅への設置はほとんど行われていないことから、集合住宅のユーザーへの訴求が重要となる。

図表 家庭用燃料電池の設置先の状況

■新築・既築



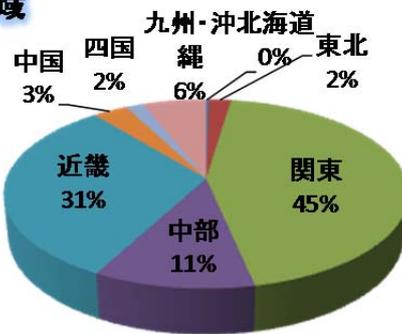
■戸建・集合



■エネルギー源



■地域



(注) 2009年4月～2013年12月の累積補助金交付台数

[出典] 民生用燃料電池導入支援補助金交付実績

a) 集合住宅等に対応する家庭用燃料電池の在り方の検討 <民間主体の取組>

- ・ 集合住宅等に対応する家庭用燃料電池の在り方について、戸建住宅と比較し、エネルギー消費が少ない傾向にある集合住宅のエネルギー需要に対応した発電量・熱量、容積率不算入等の有効活用、ユーザー負担のない形でメンテナンス等を行うための手法等、具体的な設計についてディベロッパー等の中間ユーザーを交えて検討を行い、技術的、制度的課題への対応について早期に結論を得る。

b) SOFC 型等の低コスト化・高耐久化等に向けた技術開発 <再掲>

c) 排熱の新たな用途の開発 <民間主体の取組>

- ・ 乾燥機やデシカント空調等、従来の給湯以外の排熱の新たな用途を開発、普及させる。

d) 家庭用燃料電池の設置工事やメンテナンスに係るコスト低減、期間短縮等

＜再掲＞

e) 販売チャネルの拡大 ＜民間主体の取組＞

- ・ 現在の販売チャネルがガス事業者やハウスメーカー等に限定されていることから、ディベロッパー等の新たな販売チャネルを開拓する。
- ・ 従来の給湯器と比べて複雑な構造を有し、取扱いに電気とガスの双方の専門技能を必要とする家庭用燃料電池について、日本全国で施工やメンテナンス等に対応できるよう、施工やメンテナンス等に関するマニュアルを作成、配付するとともに、専門人材の育成を行う。

f) 東京オリンピック・パラリンピック競技大会での活用

＜～2020年：国が重点的に関与＞

- ・ 2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピック競技大会において、選手村等での定置用燃料電池の活用に向けた環境を整備すべく、本年5月に東京都に設置された「水素社会の実現に向けた東京戦略会議」（座長：橘川武郎（一橋大学教授））等と連携しつつ、選手村等の開発に合わせて必要な取組を計画的に行う。

●課題3：家庭用燃料電池の海外展開が必要

我が国では既に7万台以上が普及している家庭用燃料電池は、海外では未だ実証段階の域を脱していない。しかしながら、電力価格に比べてガス価格が比較的安く、熱需要が多い、欧州等の地域においては、ガスから取り出した水素を活用して、高い効率で電気と熱を発生させる家庭用燃料電池の潜在的なニーズは高いと考えられる。

本年4月に一部の事業者は欧州進出を開始したところであるが、我が国が技術的に大きく先行しているこの時期にこそ、海外展開を更に積極的に進めることが重要である。海外展開によって、家庭用燃料電池の量産効果が生じ、国内製品の低コスト化にもつながると考えられる。

図表 欧州向けに販売された家庭用燃料電池



〔出典〕 パナソニック

a) 国際標準化の推進 <民間主体の取組>

- ・ 海外展開を有利にするため、引き続き積極的に国際標準化活動を行うとともに、世界で唯一市場化されている我が国の技術を国際規格とすべく国際規格原案の提案を引き続き積極的に行う。

b) 海外展開に必要な基盤環境の整備 <民間主体の取組>

- ・ 需要が見込まれる欧州を中心とする地域における海外展開の足がかりを構築すべく、我が国と組成の異なる海外のガスでも運転可能といった現地の状況に適合した定置用燃料電池の開発を進めるとともに、海外のガス事業者やガス機器メーカー等との連携を推進する。その際、国内向け製品とのシナジー効果を得られるよう、可能な限り部品の共通化等に取り組む。
- ・ また、具体的な案件の組成やその後の普及展開について、国は必要な支援を行う。

●課題4：業務・産業用燃料電池の経済性や耐久性等の向上が必要

SOFC型の業務・産業用燃料電池は、燃料電池以外の既存のコージェネレーション・システムに比べて発電効率が高いため、熱需要が豊富にある病院やホテル等に加えて、熱需要が少なく、現在は分散型エネルギーの活用が比較的進んでいないデータセンター等の施設での活用も期待されている。

このため、実用化に向けた技術実証が行われているところであるが、現在のインシヤルコストやランニングメリットではユーザーへの訴求力が不十分である（特にインシヤルコストの問題が大きい）ことから、一層の経済性の向上が必要である。加えて、耐久性の更なる向上や、既存のコージェネレーションと同様に活用することができる環境の整備を行うこと等も必要である。

a) 実用化に向けた実証、規制見直し <～2017年：国が重点的に関与>

- ・ 想定ユーザーとの意見交換を密に行い、市場投入に当たって最低限満たすべき要件を整理した上で、様々な電力負荷パターンや気候等の実際の使用を想定した実証を集中的に行い、これに対して国は必要な支援を行う。
- ・ その際、熱利用が困難なユーザーも取り込むため、北米で普及しているモノジェネレーション・システムについても、活用の可能性を検討する。
- ・ 業務・産業用燃料電池の普及に向けて、運転状態の監視に係る規制について、民間が行っている技術評価も踏まえ、必要な安全性を確保できるというデータの提示を前提に、必要な見直しを検討する。

b) SOFC型等の低コスト化・高耐久化等に向けた技術開発 <再掲>

●課題5：純水素型の定置用燃料電池の利活用に関する継続的な取組が必要

純水素型 PEFC は、改質器が不要なためコンパクト化・低コスト化が図られるだけでなく、高効率かつ負荷応答性の高い分散型電源となり得る。他方、水素を直接供給する必要があることから、北九州市など一部の水素供給インフラが整っている地域における実証事業での利用にとどまっている。

副生水素の活用に加えて、今後の水素ステーション整備の進展に伴い、水素ステーション近傍への水素パイプラインでの水素供給等が行われ、純水素型燃料電池の利用が拡大していく地域も出てくると考えられるため、水素供給網の構築状況等を見極めつつ、必要な技術開発を行っていく必要がある。

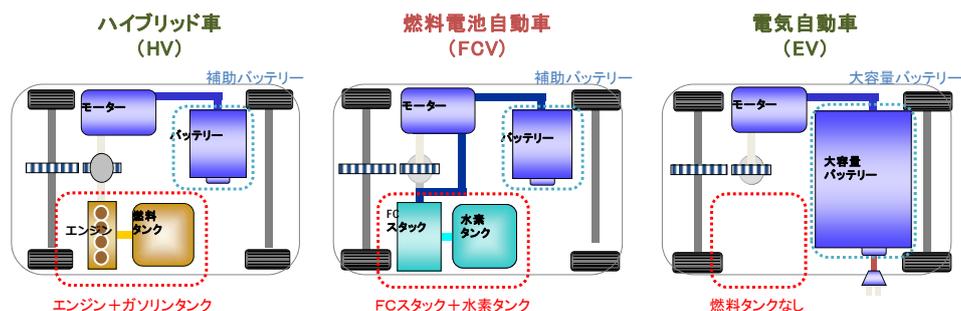
a) 純水素型定置用燃料電池に関する技術開発・実証 <時機に応じて：国も関与>

- ・ 都市ガスやLP ガスを機器内で改質した水素ではなく、機器に直接供給される水素を燃料とする純水素型定置用燃料電池は、水素利用率 80%程度 of 現行機と比べて高い水素利用率が想定されることから、耐久性を維持させつつ、高い水素利用を可能とする燃料電池の開発・実証を行う。
- ・ 純水素型燃料電池ユニットと組み合わせ可能な、水素を用いたバックアップボイラー（水素バーナー等）の開発・実証を行う。
- ・ 水素漏えい事故防止の観点から必要とされる水素付臭剤等の措置について、必要な開発・実証を行う。

2. 燃料電池自動車（その他輸送用車両を含む）

燃料電池自動車は、水素ステーションから車載タンクに充填された水素と、空気中の酸素の電気化学反応によって発生する電気を使ってモーターを駆動させる自動車であり、一般ユーザーが初めて水素を直接取り扱うことになる水素利活用技術である。エネルギー効率が高いために、Well to Wheel（一次エネルギーの採掘から車両走行まで）で二酸化炭素排出量を低減できることに加えて、実航続距離が500km超と長く、燃料充填時間が3分程度と短いなど、ガソリン自動車並みの性能を有している。

図表 燃料電池自動車の基本的な仕組み



[出典] 資源エネルギー庁作成

【主な目標】

＜水素の利用＞

- ① 燃料電池自動車について、2015年までに市場投入する。また、2016年には燃料電池バスを市場投入する。さらに、燃料電池の適用分野を、フォークリフトや船舶等に拡大する。
- ② 燃料電池自動車の車両価格については、2025年頃に、同車格のハイブリッド車同等の価格競争力を有する車両価格の実現を目指す。

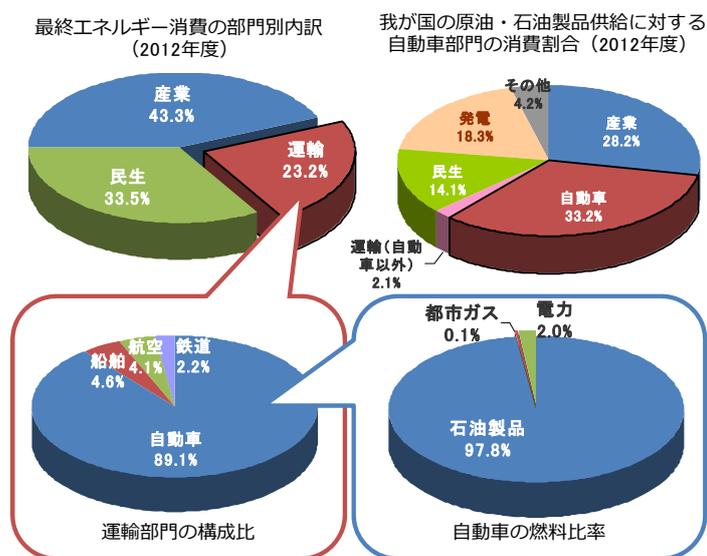
＜水素の製造、輸送・貯蔵＞

- ① 2015年度内に四大都市圏を中心に100箇所程度の水素供給場所を確保する。
- ② 水素価格については、2015年の燃料電池自動車の市場投入当初からガソリン車の燃料代と同等以下となることを、2020年頃にハイブリッド車の燃料代と同等以下となることを、それぞれ実現することを目指す。

【普及の意義】

- ・ 輸送部門は、我が国のエネルギー使用量の約2割を占め、そのほぼ全てを原油・石油製品に頼っている。燃料電池自動車の燃料となる水素は、当面の間は主にナフサや都市ガス等の化石燃料からの改質によるものが中心となるが、将来的には海外の褐炭や原油随伴ガス等の未利用エネルギーや、国内外の再生可能エネルギーを用いて製造できる可能性がある。このように、輸送部門が長らく依存してきた石油からの多様化によるエネルギーセキュリティの向上が図られる可能性がある。

図表 輸送部門のエネルギー消費の現状

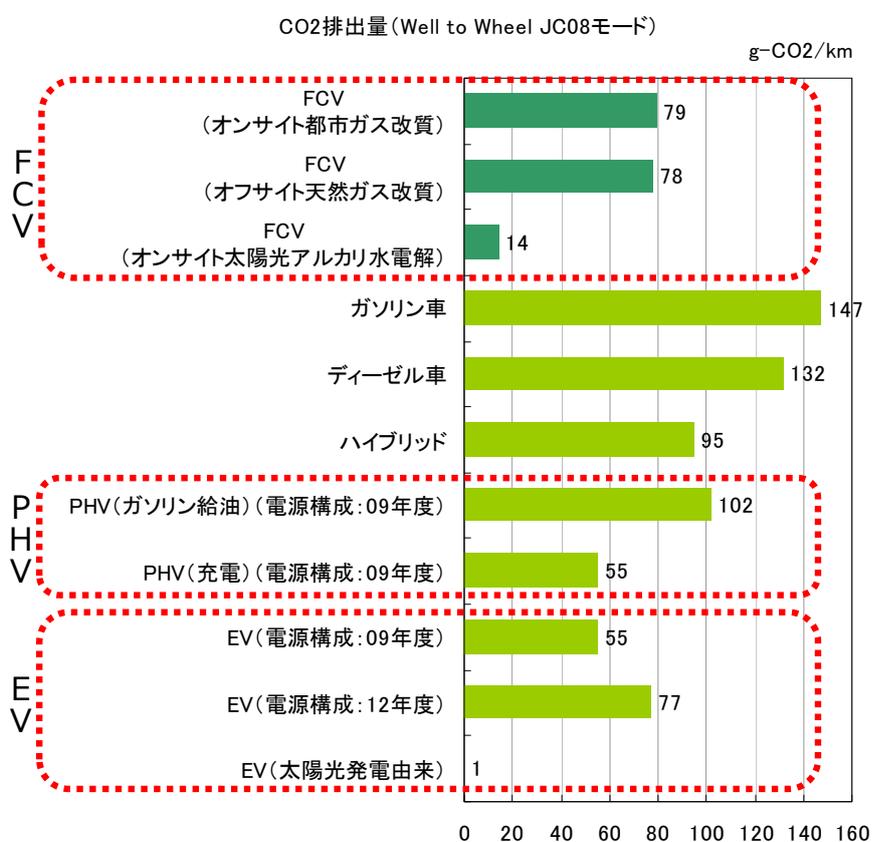


[出典] 総合エネルギー統計より作成

- 燃料電池自動車（FCV）が仮に 600 万台（自家用普通乗用車の全保有台数の約 1 割）普及すると、輸送部門のうちの旅客部門における二酸化炭素排出量を約 9%程度削減する効果が見込まれる。化石燃料等から水素を製造する際に発生する二酸化炭素排出量も考慮した Well to Wheel ベースでも、二酸化炭素排出量を年間 390～760 万トン程度削減する効果が見込まれる（※）。

（※）ガソリン車からの置換えの効果。燃料電池自動車（FCV）が使用する水素の製造方法によって二酸化炭素排出量の削減効果は異なり、ナフサや都市ガスから改質された場合には年間 390 万トン程度、太陽光アルカリ水電解によって製造された場合には年間 760 万トン程度、それぞれ削減される。

図表 二酸化炭素排出量（Well to Wheel）の比較



[出典]「総合効率と GHG 排出の分析報告書」(財団法人 日本自動車研究所、平成 23 年 3 月)

- また、燃料電池自動車は、従来の移動手段としての機能に加えて、分散電源としても機能し得る。つまり、燃料電池自動車は発電した電力を外部に供給することも可能であり (FCV2H)、電気自動車に比べて 5 倍以上の供給能力を持つ。このため、災害等の非常時において避難所などに対して電力供給を行うことや、電力需給ひっ迫時にピークカットを行うことが期待されており、これを実現するための実証実験が各地で行われている。

図表 燃料電池自動車の外部給電能力

	非常時 電力消費	非常時1日間 維持に必要な FCバス (455kWh/台)	非常時1日間 維持に必要な FCV (120kWh/台)	非常時1日間 維持に必要な EV (24kWh/台)
病院	963kWh/日 平時の10% (緊急医療が 行える設備のみ)	2台 	8台 	40台 
コンビニ	235kWh/日 平時の47% (冷蔵機器のみ)	0.5台 	2台 	10台 
ガソリン スタンド	16kWh/日 平時の19% (給油機器のみ)	0.03台 	0.15台 	0.7台 
災害時 避難所 (学校)	100kWh/日 (照明、給湯 200人分)	0.22台 	0.83台 	4台 

[出典] トヨタ自動車資料等から作成

- 燃料電池自動車は、燃料電池スタックや炭素繊維等の我が国が技術力を有する機器・部材から構成されている。また、燃料電池への水素供給、燃料電池の化学反応に関わる空気、水素、生成水等の高度な制御が必要なため、製品のコモディティ化が進みにくいと考えられる。

(1) 目標設定の考え方

<水素の利用>

国内の主要自動車メーカーは、2015年に燃料電池自動車を市場投入することを発表しており、2015年の市場投入に向けて着実に技術開発等の取組が進められている。

しかしながら、従来のガソリン自動車と全く異なる、水素を燃料とする燃料電池自動車の普及は、燃料電池自動車の性能や水素ステーションの整備状況に加えて、個々のユーザーの嗜好や水素に対する社会的な受容性等の外的要因に大きな影響を受けることなどから、今回の協議会では普及目標台数に関する合意には至らなかった。このため、自動車メーカー、インフラ事業者、国等の関係者においては、継続的な検討を行い、早期に具体的な普及目標台数を設定することが必要である。

他方、今後の技術革新等の見通しを踏まえつつ、個々のユーザーの受容可能性とい

う観点から、燃料電池自動車の価格に関する目標については、関係者間の合意を得た。具体的には、2015年の第一世代モデルと比べて、第二世代モデルの市場投入を想定している2020年頃に燃料電池システムのコストを半減し、一般ユーザーへの本格的普及を目指す第三世代モデルの市場投入を想定している2025年頃に燃料電池システムのコストを更に半減する。こうして、2025年頃には同車格のハイブリッド車同等の価格競争力を有する車両価格の実現を目指す。

<水素の製造、輸送・貯蔵>

我が国においては、2013年度から商用の水素ステーションの整備を開始し、これまでに31件を決定している。エネルギー基本計画においても確認されたとおり、2015年度内に四大都市圏を中心に100箇所程度の水素供給場所を確保することを目指す。

それ以降の水素ステーションの整備目標については、燃料電池自動車の普及台数と同様に、今回の協議会では合意には至らなかった。このため、自動車メーカー、インフラ事業者、国等の関係者においては、継続的な検討を行い、早期に具体的な整備目標を設定することが必要である。

なお、ユーザーが許容できる水素供給場所までの距離は、自動車による走行により10分程度で到達できることと考えられている。四大都市圏を中心に100箇所程度の水素供給場所を合理的に配置することによって、四大都市圏の多くの地域において、この間隔に近い水準で水素供給場所を確保できると考えられる。まずは、100箇所の水素供給場所を適切に配置することが、燃料電池自動車の普及に向けた次のステップに移行するための最低限満たすべき要件となる。

他方、今後の技術革新等の見通しを踏まえつつ、個々のユーザーの受容可能性という観点から、水素価格に関する目標については、関係者間の合意を得た。具体的には、車両の燃費性能も勘案しつつ、燃料電池自動車が市場投入される2015年に同車格のガソリン車の燃料代と同等以下の水素価格を、2020年頃に同車格のハイブリッド車の燃料代と同等以下の水素価格の実現を目指す。インフラ事業者に加えて、自動車メーカーや国等の関係者が適切な役割分担をすることで、この目標を少しでも前倒しして実現していくことが重要である。

(2) 主な課題と取組の方向性

<水素の利用>

燃料電池自動車は、市販される自動車の中で初めて水素を燃料として効率的に使用する次世代自動車であり、環境性能や新規性を特に重視する消費者、いわゆるイノベ

ーターにとって魅力的なものになり得ると考えられる。しかしながら、更に一般的なユーザーを巻き込んで市場を広く拡大していくためには、こうした新たな魅力に加えて、一定の経済性を確保することが重要である（→「課題1：燃料電池システム等の更なるコスト低減が必要」）。

また、2015年に市場投入される燃料電池自動車については、主に自家用普通自動車（個人が所有する乗用車に加えて、公用車や社用車を含む）を想定して開発が進められているところであるが、自動車には車種、用途、サイズ等に応じて様々な種類があることから、これらの様々な種類に対応し、市場のすそ野を広げていくことも重要である（→「課題2：燃料電池自動車の基本性能等の向上が必要」）。

さらに、欧米においても自動車に対する環境規制が年々厳しくなっており、こうした傾向が継続される見通しであることに鑑みれば、少なくとも先進諸国においては燃料電池自動車を含む次世代自動車の普及拡大が期待される。海外展開の際に車両や部品の共通化等を行うことで、量産効果による低コスト化も期待されることから、国内外のシナジー効果を意識した上で海外展開も行っていくことが重要である（→「課題3：燃料電池自動車の海外展開が必要」）。

以上の取組の前提としては、燃料電池自動車を幅広い潜在的なユーザーに認知、理解してもらうことが必要である（→「課題4：燃料電池自動車の認知度や理解度の向上が必要」）。

将来的にはこうした燃料電池技術を、欧米では既に導入が始まりつつある燃料電池フォークリフトや燃料電池船舶など、他の輸送用途に活用していくことも期待される（→「課題5：燃料電池の利用用途の拡大」）。

<水素の製造、輸送・貯蔵>

既述のとおり、一般的なユーザーにまで市場を拡大するためには一定の経済性を確保することが重要である。これは、車両価格自体だけでなく、燃料代についても同様である。つまり、燃料電池自動車の燃料である水素についても、従来のガソリン車やハイブリッド車と遜色のない経済性が求められる（→「課題6：従来のガソリン車等と遜色のない燃料代となる水素価格の設定が必要」）。

また、水素という新たな燃料を供給する水素ステーションを適切に配置することが必要である。特に初期の段階においては、ガソリン車等と比べて過度に不便を感じることをないように、適切に水素ステーションを整備していくことが重要である（→「課題7：水素ステーションの戦略的な整備が必要」）。

なお、以上の課題に取り組んでいく上では、燃料電池自動車の普及が、自動車メーカー又はインフラ事業者のいずれか一方だけでは成し得ないことを改めて認識する

ことが必要である。つまり、燃料電池自動車の販売は、自動車メーカーが直接に取り組むことが困難な水素ステーションの整備状況に大きな影響を受ける。他方、水素ステーションの運営は、インフラ事業者が直接に取り組むことが困難な燃料電池自動車の販売状況に大きな影響を受ける。

こうした状況においては、自動車メーカー又はインフラ事業者の一方が他方に負担を寄せることなく、自動車メーカーとインフラ事業者が双方の知恵を絞り合うという姿勢が重要である。例えば、市場投入直後においては、公用車、社用車、業務用車両等の使用場所が比較的限られている車両が主な販売先として想定されているところ、当該車両の販売を一定の地域で集中的に行うとともに、当該地域に水素ステーションを集中的に整備することも有効であろう。そして、このような形で水素ステーションの整備を一つ一つ進めていくことで、使用場所が分散している一般車等の車両の販売の促進につながり得る。このように、自動車メーカーとインフラ事業者との具体的な協力関係を積み上げていくことが重要である。

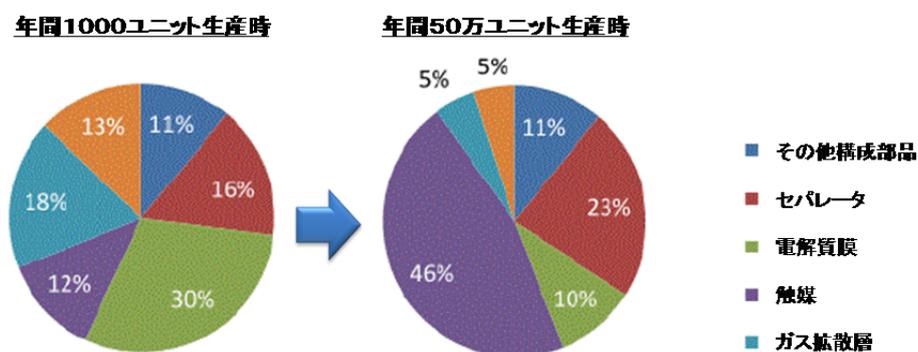
【取組の方向性】

<水素の利用>

●課題1：燃料電池システム等の更なるコスト低減が必要

燃料電池自動車の燃料電池システムは、2000年頃の開発初期には1億円超であったが、2015年の市場投入時には500万円程度にまで低減する見通しとなっている。しかしながら、依然としてユーザーの許容額を超過すると考えられるため、燃料電池システム等の更なるコスト低減が必要となる。具体的には、燃料電池システムについて、初期段階では電解質膜のコストが、普及段階では触媒やセパレータが、それぞれ大きな割合を占めると考えられ、量産化された後も見通しつつ、これらの部材を中心に低コスト化を進めることが重要である。また、車載水素タンクについても、高強度の炭素繊維に係るコストが高く、低コスト化を進めることが重要である。

図表 燃料電池自動車における燃料電池システム（水素タンクを除く）のコスト構造



[出典] 2013年 Annual Merit Review Meeting 報告 (米DOE)

a) 燃料電池自動車の導入支援 <～2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 初期需要創出の観点から、国は燃料電池自動車の量産効果を下支えする導入補助や税制優遇を行う。バスやタクシー等の業務用車両についても、同様に導入補助や税制優遇を行う。
- ・ 上記に加えて、海外における次世代自動車に対する優遇措置の事例も踏まえつつ、多面的なインセンティブの付与の在り方を速やかに検討する。

b) 車両の低コスト化・高耐久化・燃費性能向上等の技術開発

<～2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 初期段階において特に大きなコストを占めると考えられている電解質膜について、クロスリーク（燃料極の水素や空気極の酸素が電解質膜を通過すること）を防止しつつ、電解質膜を薄膜化するための技術開発等を行う。
- ・ 一定の量産化によって車両全体のコスト低減が図られた後も大きなコストを占めると考えられている、触媒として使用されているプラチナについて、性能や耐久性を維持・向上させつつ、使用量を低減させ（例．コアシェル触媒の量産技術の確立等）、又は他の触媒へ代替するための技術開発を行う。
- ・ 構成材料（触媒、電解質膜、MEA、セパレータなど）のより低コスト化、高性能化、高耐久化のための機構解析等を行う。
- ・ 車載水素タンクについて、大きなコストを占める炭素繊維の使用量低減、効率的な巻きつけ等に関する技術開発を行う。
- ・ 国がこれらの技術開発を実施（支援）するに当たっては、自動車製造におけるニーズを踏まえ、当該技術開発が低コスト化や性能向上等にとって有益なものであるか否かを特に慎重に検討するものとする。

●課題2：燃料電池自動車の基本性能等の向上が必要

現状でも、燃料電池自動車は、航続距離や燃料充填時間等についてガソリン自動車並みの性能を達成しているが、現対応可能な車格は比較的大型の普通乗用車に限られている。初期段階においては、特に安定的に大きな水素需要の期待されるバスやタクシー等の業務車両へ適用分野を拡大することが重要であるところ、これら業務用車両は特に長い走行距離を保証する耐久性と経済性が要求される。また、普及本格期においては、比較的小型の普通乗用車等のマーケットニーズに合った車種へ適用分野を拡大することも重要である。

	乗用車	タクシー	路線バス	トラック
走行距離	10～20万 km 程度	100万 km 程度	75万 km～	100万 km 程度

a) 車両の低コスト化・高耐久化・燃費性能向上等の技術開発 <再掲>

●課題3：燃料電池自動車の海外展開が必要

燃料電池自動車については、国連の枠組みの下、自動車の安全性能等に関する世界統一基準策定のための活動や、ある国の政府が認証した自動車の装置は他国もこれを認める相互承認の実現に向けた国連協定規則策定のための活動が行われているところである。2013年6月には、「水素及び燃料電池の自動車に関する世界技術規則 (gtr: global technical regulation)」のフェーズ1が採択された。

こうした取組によって、我が国が競争力を有する燃料電池自動車分野において、輸出の拡大や自動車メーカー等のコスト低減に繋がることが期待されることから、引き続き、積極的に議論に参加、主導していくことが重要である。

a) 燃料電池自動車の世界統一基準と国内法令の調和や相互承認

<～2020年頃：国が重点的に関与>

- ・ 世界技術規則（フェーズ1）を国内法令へ導入するため、高圧ガス保安法に基づく容器保安規則等の改正作業を、2014年5月末に実施。
- ・ フェーズ1に続き、フェーズ1で合意できなかった圧縮水素自動車燃料装置用容器等の使用可能鋼材に係る性能基準等の議論（フェーズ2）を進める。
- ・ 相互承認の実現に向けた国連の枠組みにおける議論を継続的に実施するとともに、関係する国連協定規則が我が国にとって安全上問題ないものとして発効された場合には、1年後を目途に国内法令への導入に向けた措置を講じる。

●課題4：燃料電池自動車の認知度や理解度の向上が必要

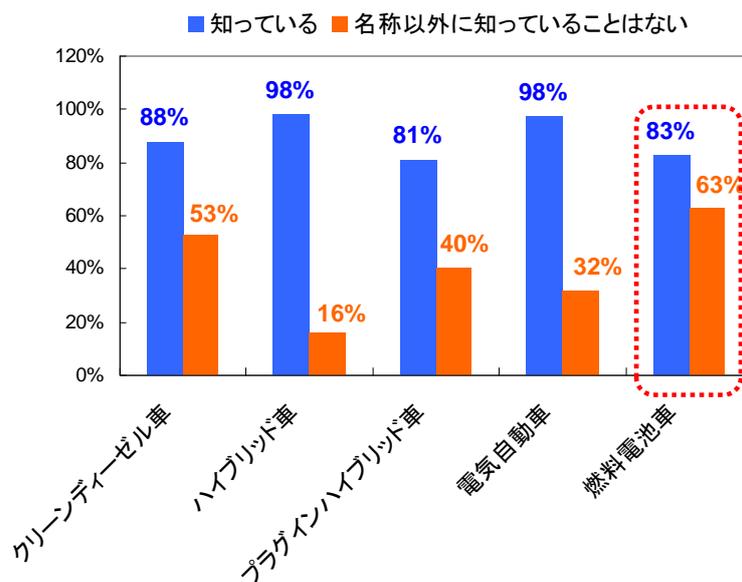
燃料電池自動車の認知度は他の次世代自動車に比べると低く、基本的な仕組みや性能等に関する理解も低い。工業用途など限られた用途でしか用いられてこなかった水素が新たに日常の生活でも用いられることを踏まえると、市場投入直後に円滑に普及を拡大するためには、社会一般にとっての水素に対する認知度や理解度を向上させることが必要である。

まず、水素の安全性に関する一般の理解を促すことが重要である。水素の安全性については、2003年に日本自動車研究所（JARI）が設置した、水素・燃料電池自動車安

全評価試験施設（Hy-SEF）において、様々な車両衝突試験や耐爆火災試験等を実施しており、水素脆化を受けにくい金属 SUS316L 等の使用、充填回数の制限、衝突後の高圧水素・高電圧の自動的遮断等の措置を講じているところである。また、そもそも水素は最も軽い気体であるため空気拡散性が高く、空気中に漏れてもすぐに拡散して燃焼可能濃度よりも低い濃度になるといった性質もある。このように、水素は 70MPa 以上といった高圧状態で取り扱うことに伴い、爆発等のリスクを有しているが、設計技術や適切な管理等を施すことで安全に利用することは可能である。水素に対する一般的な危険というイメージを払しょくするためには、リスクコミュニケーションを含む安全・安心の取組を進めることが重要である。

また、市場投入直後については公用車、社用車、業務用車両等としての購入が多くを占め、その後の普及期においては一般車としての購入が多くを占めると考えられることから、時期に応じて効果的な普及啓発を行うことが重要となる。その際、2020 年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会において、大会運用の輸送手段の一つとして燃料電池自動車を活用することができれば、世界が燃料電池自動車の可能性を確信するための絶好の機会となることを意識した取組を行うことも重要である。

図表 次世代自動車の認知度



[出典] マクロミル日刊自動車新聞共同調査次世代車に関する調査（2013年11月）

a) 水素に係る安全・安心の確保に向けた取組

<～2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 2002～2013年度の約10年間行ってきた水素・燃料電池実証（JHFC）においては、人身傷害を伴う事故は生じていないが、実証水素ステーションで発生したトラブルと対処策等の情報をデータベース化するとともに、水素ステーシ

ョン運営事業者が運用やメンテナンスのために活用できるツールを早期に作成、供与する。また、当該データベースに、水素ステーションの商用運営開始後のトラブル及び対処策等に関する情報が蓄積される仕組みを早期に確立する。

- ・ 都道府県、地域住民、警察・消防、自動車販売店、エネルギー供給施設等の職員に対して、燃料電池自動車や水素ステーションに関する情報提供や人材育成を行う。

b) マスメディアを活用した広報活動 <民間主体の取組>

- ・ 燃料電池自動車は水素を燃料とするなど、従来のガソリン自動車と全く異なるものであることを踏まえ、これまでの慣行にとらわれず、市場投入前から、燃料電池自動車の価格・性能、水素ステーションの整備状況等に関する情報提供を、テレビ、新聞、インターネット等を活用して積極的に行う。

c) 地域と連携した水素サプライチェーン構築実証

<～2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 特に市場初期においては、想定される車両価格等から一般ユーザーへの訴求は容易ではないと考えられるため、一定量の水素需要が見込める地域（例、市街地、空港、湾港、工場等）や地域資源（例、下水汚泥消化ガス等）の周辺において、自治体、地元企業、公共交通事業者等が連携して、公用車、社用車、タクシー、バス、フォークリフト等を集中的に導入し、一般ユーザーへの普及啓発を含めて効率的・効果的な水素サプライチェーンの構築及び横展開、運営等の在り方を確立する。

d) 東京オリンピック・パラリンピック競技大会での活用

<～2020年：国が重点的に関与>

- ・ 東京オリンピック・パラリンピック競技大会の輸送手段の一つとして燃料電池自動車を活用すべく、「水素社会の実現に向けた東京戦略会議」等と連携しつつ、燃料電池バスの投入、水素ステーションの整備等の取組を計画的に行う。
- ・ その際、東京オリンピック・パラリンピック競技大会だけでなく、大会終了後の活用も念頭に、例えば水素ステーションを一般ユーザーの利便性の高い地域に整備する等の取組を行う。

●課題5：燃料電池の適用分野の拡大

燃料電池自動車に活用される燃料電池の用途は、乗用車やバス向けのみならず、フォークリフトなどの産業用車両、船舶などにも広がっていくことが期待される。例えば、燃料電池フォークリフトについては、フォークリフトの電動化が進む中で、電動フォークリフトの稼働時間の短さや充電時間の長さ等の課題の解決が可能であることもあり、欧米で既に普及が進みつつあり、我が国でも実証が進められている。また、燃料電池船舶についても、海外では実証が進められており、2020年に強化が予定されるSOx規制や、CO2対策として導入が進む可能性がある。その他、燃料電池スクーターや燃料電池鉄道車両など、多様な輸送用途について国内外で研究開発が進められている。

図表 燃料電池の用途・適用車種の拡大

用途の拡大						
乗用車	業務用車両	二輪車	バス	トラック	特殊自動車	鉄道
普通車  実用化水準	タクシーハイヤー 	スクーター 	路線バス リムジンバス  実証・開発中	配送車  海外で 実証・開発中	フォークリフト  実証・開発中	鉄道車両 
小型車  未定	実証・開発中	実証・開発中	コミュバス  未定	トラック  海外で 実証・開発中	農業機械  海外で 実証・開発中	船舶 
大型車  海外で 実証・開発中		中・大型バイク  未定	都市間高速バス 大型観光バス  未定	トレーラー  未定	建設機械  未定	船舶  海外で 実証・開発中

〔出典〕 各種資料より日本エネルギー経済研究所作成

こうした燃料電池の新たな用途開発については、民間の取組を基本としつつ、実機による実証や燃料電池の耐久性向上などの基盤的な技術開発に関し、国としても支援を行っていく必要がある。

a) 新たな用途の開発

- ・ 既に民間を中心とした取組が進みつつある燃料電池フォークリフトや燃料電池スクーターなどについては、水素供給の方法も含めて、引き続き必要な取組を継続していく。
- ・ 燃料電池船舶については、導入に向けた実証事業の推進等について検討していく。
- ・ また、上記の他の用途についても、燃料電池の技術動向等を踏まえつつ、必要に応じて取組を進めていく。

b) 燃料電池の耐久性等の性能向上

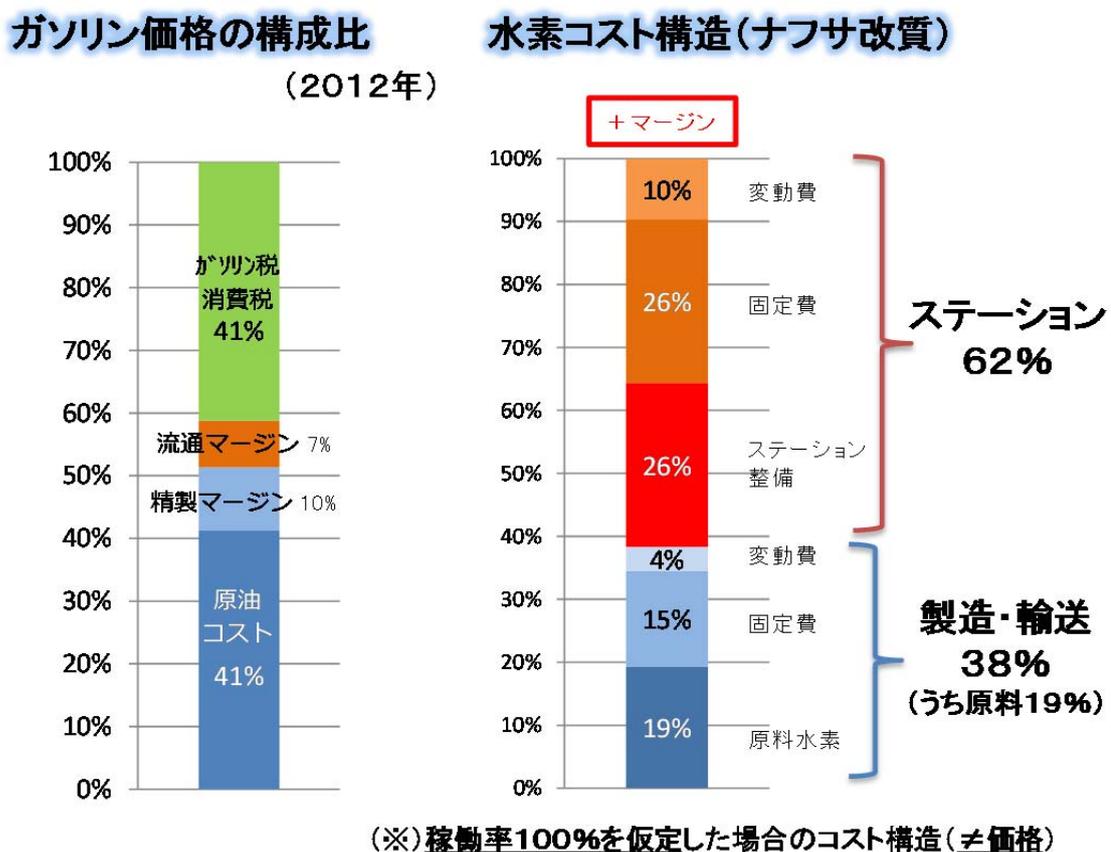
- 燃料電池の用途の拡大に向けては、それぞれの用途に合わせた技術開発が必要であることに加え、主として業務用の用途に活用が可能となるよう、耐久性等の基盤的な性能の向上も必要となる。

＜水素の製造、輸送・貯蔵＞

●課題6：従来のガソリン車等と遜色のない燃料代となる水素価格の設定が必要

現状では、燃料電池自動車向け水素のコストの約6割を水素ステーションの整備・運営費が占めている。

図表 燃料電池自動車向け水素のコスト構造



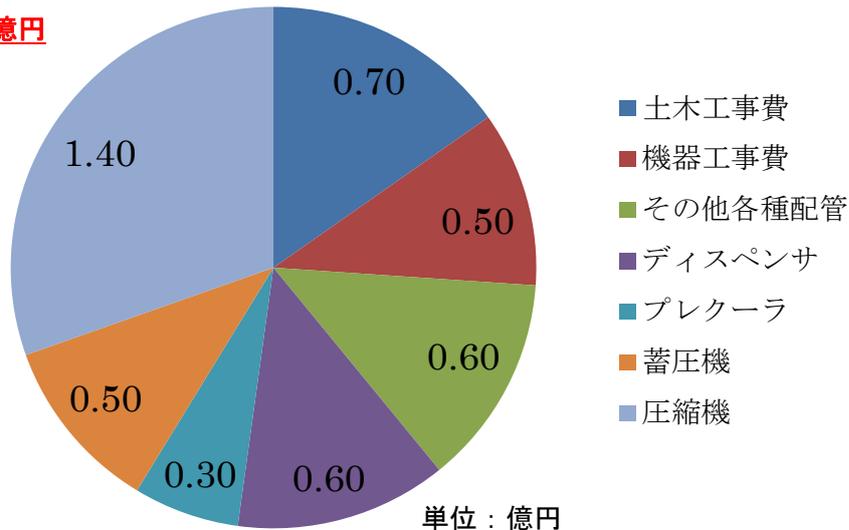
[出典] ガソリン価格については、日本エネルギー経済研究所

水素コスト構造については、JHFC試算の各種前提条件を現状に合わせて再計算

現在の水素ステーションの整備費（毎時 300Nm³ の供給能力を有する固定式のステーションの場合）は、4～5 億円程度であり、一般的なガソリンスタンドの整備費が 1 億円を下回るのと比べると、非常に高額となっている。

図表 水素ステーションの整備費の内訳

合計 4.6 億円



(※) 平成 25 年度水素供給設備整備補助金申請額の平均値

[出典] 次世代自動車振興センター資料から作成

欧米においても水素ステーションの整備が進められているところ、欧米における水素ステーションは我が国のものとは規模も仕様も異なることから単純な比較は困難であるものの、同一の水素供給能力の水素ステーションに揃えた場合でも、日本は欧州よりも約 1.5 億円高いとの試算がある。なお、国内構成機器メーカーの中には、量産化や仕様統一化等を実施することで、欧米との価格差を圧縮することができるとの意見もある。

図表 水素ステーションの構成機器に関する日本と欧州の比較

※ 水素供給能力を340Nm³/hに揃えた場合

(単位:億円)

費目	日本	欧州	差異の理由
圧縮機	1.3	0.8	-0.5 ・欧州は量産を見込んだ価格設定 ・使用材料、設計基準の差
蓄圧機	0.6	0.1	-0.5 ・欧州は安価なtype2容器の使用 ・欧州は汎用材を使用
プレクーラ	0.4	0.2	-0.2 ・欧州は量産を見込んだ価格設定
ディスペンサー	0.5	0.2	-0.3 ・欧州は汎用材を使用
合計	2.8	1.3	-1.5

(注1) 各国の商慣行等によって工事費は大きく異なるため、上記表は工事費を含まない金額。
(注2) ()内は、日本との比較。

[出典] 燃料電池実用化推進協議会

このように、国内の他のエネルギー供給設備よりも割高で、他国の水素ステーションよりも割高な整備費を大幅に低減することが必要である。具体的には、2020年頃に現在の半額程度の整備費となることを目指す。また、構成機器メーカーは、欧米の構成機器メーカーと競争力を有する機器費の実現を目指す。

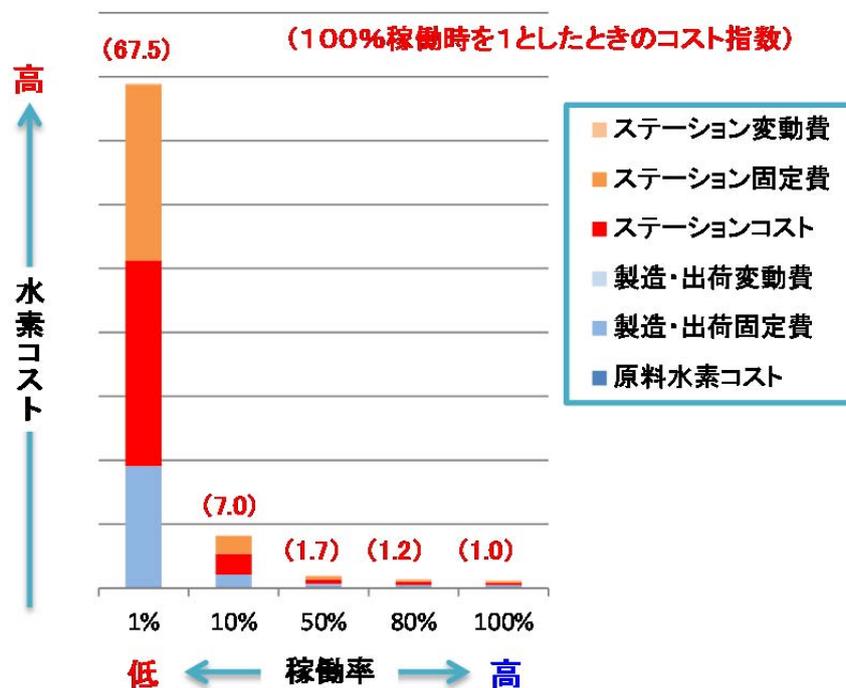
また、水素ステーションの運営費（減価償却費を除く）についても、年間4千万円

強との試算もある一方で、同じく高圧ガスを取り扱う天然ガスステーションはより少ない人員、小さな面積で運営しているため年間 2 千万円強と安価である。このため、水素ステーションの運営費についてもこの水準に近づけていくことを目指す。

このように、水素ステーションの整備費及び運営費を現在の半額程度まで低減することができれば、燃料電池自動車の普及によって、十分に自立的に商用展開することが可能となる。

さらに、水素ステーションの稼働率の高低によって水素コストは大きく変動することから、市場初期の稼働率が低い期間の水素ステーションを如何に下支えし、稼働率を如何に早期に高めていくかが重要となる。

図表 燃料電池自動車向け水素のコストと稼働率



[出典] J H F C 試算の各種前提条件を現状に合わせて再計算

その際、地域の実情に応じてきめ細かな独自の支援措置を講じている自治体も存在することから、地域におけるこうした取組を促すことも重要である。

図表 自治体の取組例



[出典] 資源エネルギー庁作成

① 水素ステーションの整備・運営コストの低減

a) 関係者間の役割分担及び整備方針の再整理、取組の実施

＜～2020年頃：国が重点的に関与＞

- ・ 2013年度～2015年度を水素ステーションの先行整備期間として位置づけ、これまで1年強にわたり先行整備を進めているところであるが、施工期間の長期化や、東京23区等の潜在的な高需要地における高い地価、用地不足等の問題が顕在化しつつある。また、水素ステーションの先行整備期間とそれに続く燃料電池自動車の市場初期においては、水素ステーションの運営は容易ではないと考えられる。そうした状況下であっても、必要な水素ステーション整備を進められるよう、そして、ユーザーが許容し得る水素価格を当初から確保できるよう、2014年度中に水素ステーション整備・運営に関する関係者間の役割分担を再整理し、当該整理に従って、インフラ事業者、自動車メーカー、国等の関係者は取組を進める。
- ・ 特に、インフラ事業者、自動車メーカー、国等で、水素ステーションの効率的な整備に適切な地域を戦略的に決定し、当該地域への水素ステーションの整備を促す仕組みを検討し、早期に結論を得る。その際、地域の実情を理解し、地域の関係事業者等の利害調整に役割を発揮することが期待されている自治体と緊密に連携する。

b) 燃料電池自動車の普及状況に見合った仕様の確立

<当面：国が重点的に関与>

- ・ 少なくとも2020年までの燃料電池自動車の普及台数は限定的であると考えられることから、これに見合った最適な規模の水素ステーションの仕様を確立するとともに、新たに確立される仕様に必要となる技術を開発する。
- ・ 例えば、3分と短い水素充填時間を多少犠牲にすることで、水素ステーションの整備費を大きく低減できる可能性がある。このようにコストや利便性等を踏まえて最適な仕様を確立することが重要である。

c) 水素ステーションに関する規制見直し <～2020年頃：国が重点的に関与>

- ・ 「規制改革実施計画」(平成25年6月14日閣議決定)に基づく規制見直しについて、引き続き計画どおり見直しを推進する。
- ・ また、新たな技術の導入による一層のコスト低減は引き続き重要な課題であり、民間事業者による新たな技術の提案内容や、その評価を踏まえつつ、新たな技術の活用のための安全基準の早期確立等に向けた取組を進める。
- ・ 例えば、新たな技術を活用した液化水素ポンプや、新たなタイプの容器(フープラップ式複合容器)の活用に向けて、安全性について検討した上で、必要な規制見直しのための取組を行う。

d) 地方公共団体との協力体制の構築 <～2020年頃：国が重点的に関与>

- ・ 水素ステーションの立地を促進するためには、これまで以上にステーションが立地する自治体の理解と協力が必要であることから、水素ステーションの整備・運営方針の再整理の方向性も踏まえつつ、住民理解の向上のための取組や規制・制度に関する情報共有などを行うため、自治体と、国・民間事業者の協力体制を構築する。

② 水素ステーションの低稼働率期間への対応

a) 地域と連携した水素サプライチェーン構築実証 <再掲>

b) 関係者間の役割分担及び整備方針の再整理 <再掲>

c) パッケージ型や移動式水素ステーション等の活用

<当面：国が重点的に関与>

- ・ 省スペースかつ低コストなパッケージ型水素ステーション(圧縮機、蓄圧器、冷凍機等の主要設備を一又は二の筐体に内包したもの)を積極的に活用する。パッケージ型水素ステーションの活用は、施工期間の短縮にもつながり、ガソリンスタンド併設の場合には、施工期間中のガソリンスタンドの休業期間

を短縮することができる。

- ・ 市場初期においては、燃料電池自動車の販売状況に応じて、水素ステーションの位置を柔軟に変更でき、一つの設備で複数地域での営業が可能となる移動式水素ステーションも有用であることから、移動式水素ステーションも積極的に活用する。ただし、移動式水素ステーションは本格的な普及に向けた過渡期の対応に過ぎないことから、燃料電池自動車の普及が一定程度進んだ地域においては固定式水素ステーションへの移行を早期に検討し、不要となった移動式水素ステーションについては、市場初期にある地域で活用することとする。
- ・ 水素の充填圧力が 35MPa である等の水素供給能力の劣る簡易型の水素ステーションについても、初期の水素ステーションの不足を安価に補える可能性があることから、その可能性について積極的に検討を行い、早期に結論を得る。

③ 水素の安価で効率的な国内流通システムの確立

a) 液化水素や有機ハイドライド等の国内流通に関する開発・実証

＜～2020 年代頃まで：国が重点的に関与＞

- ・ 技術的には実用化段階にある液化水素について、低稼働率の水素ステーションにおいて特に発生し得る、ボイルオフによるエネルギーロス回避のための技術又は運営方法に関する実証等を行う。
- ・ 既存のガソリンスタンドに係るローリーやタンク等の設備を活用し得る有機ハイドライドについて、水素ステーションで脱水素できるよう、脱水素装置の小型化や脱水素に必要な効率的な熱源確保等に向けた開発・実証等を行う。

●課題 7：水素ステーションの戦略的な整備が必要

2013 年度から商用水素ステーションの先行整備を進めているが、四大都市圏の間で整備箇所数に格差がある。

図表 先行整備の状況①

全国:31箇所

関西圏:3箇所
 兵庫県 尼崎市
 大阪府 泉佐野市
 茨木市

北部九州圏:4箇所
 福岡県 北九州市(2)
 福岡市
 山口県 周南市



中京圏:8箇所
 愛知県 豊田市
 名古屋市(2)
 岡崎市(2)
 刈谷市
 みよし市
 日進市

首都圏:16箇所

東京都 練馬区
 杉並区
 港区
 八王子市

埼玉県 狭山市
 さいたま市(2)
 春日部市
 戸田市

千葉県 千葉市

神奈川県 横浜市(3)
 海老名市
 相模原市

山梨県 甲府市

[出典] 資源エネルギー庁作成

また、東京 23 区内等の燃料電池自動車の高い需要が見込まれる地域や、四大都市圏を結ぶ高速道路沿いにおいて、水素ステーションが求められている。

図表 先行整備の状況②



[出典] 資源エネルギー庁作成

a) 関係者間の役割分担及び整備方針の再整理 <再掲>

b) パッケージ型や移動式水素ステーション等の活用 <再掲>

c) 水素に係る安全・安心の確保に向けた取組 <再掲>

d) 次世代エネルギー供給インフラとしての魅力の向上 <民間主体の取組>

- ・ 水素ステーションにおいては、次世代自動車である燃料電池自動車のエネルギー供給インフラにふさわしい、防災拠点機能の確保等の先進的な取組や工夫を施す。
- ・ 例えば、非常用電源として燃料電池自動車を活用可能な設備等の整備や、純水素型定置用燃料電池の活用等の先進的な取組を行う。また、水素ステーションを運営すること自体が、燃料電池自動車をはじめとする水素社会の可能性に関する広報活動を兼ねる運営方法となるような工夫を施す。

e) 水素ステーションの設置場所に関する情報提供等 <民間主体の取組>

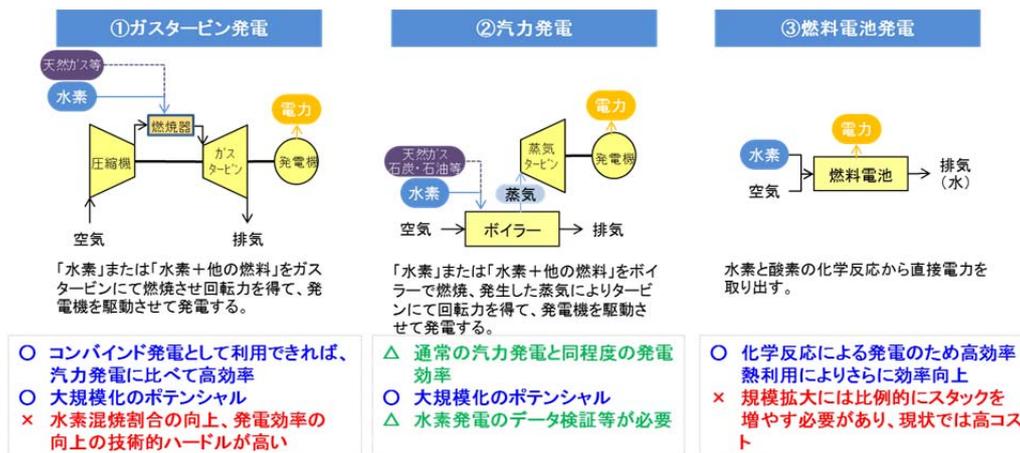
- ・ 水素ステーションの設置場所について、カーナビゲーションや携帯情報端末等を介して最新の情報を提供できるシステムを早期に確立する。
- ・ 水素ステーションであることを一目で認知できるよう、業界統一のロゴ等を早期に策定、掲示する。

第2節 フェーズ2（水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立）

水素発電（水素の専焼及び混焼）は、ガスタービン又はボイラーで水素を燃焼させることによって行う発電である。水素発電の段階では二酸化炭素を排出しないため、水素の製造時に CCS 等を組み合わせ、又は再生可能エネルギー由来の水素を活用することで、二酸化炭素排出量を低減することができれば、経済性を考慮することは必要であるものの、クリーンな発電が可能となる。また、海外の副生水素、原油随伴ガス、褐炭等の未利用エネルギーを水素源とすることが可能であり、我が国の電源構成に新たな選択肢を提供できる可能性がある。

さらに、水素発電の導入により、安定的かつ大規模な水素需要が生じ、これに対応するための大規模な水素サプライチェーンが構築されることによって水素コストが下がり、燃料電池自動車等の他の水素利活用分野への波及効果も期待される。

図表 水素を用いる発電の種類



[出典] 資源エネルギー庁作成

【主な目標】

<水素の利用>

- ① 2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を開始することを目指す。

<水素の製造、輸送・貯蔵>

- ① 2030年頃に海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素供給のサプライチェーンの本格導入を開始することを目指す。
- ② 目標とすべき水素供給コストについては、今後、専門的な検討を行うこととするが、2020年代後半にプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度(※)を下回ることを目指す。
(※) コスト等検証委員会(2011年)のLNG火力の計算方式(発電効率57%)を用いた場合。なお、水素発電は発電時点で二酸化炭素を排出しないことから、CO₂対策費は考慮していない。
- ③ 水素の製造については、まずは海外の未利用エネルギーである、副生水素、原油随伴ガス、褐炭等から、安価で、安定的に、環境負荷の少ない形で行うことを基本とする。
- ④ 水素の輸送・貯蔵については、まずは現在有望と考えられている、有機ヒドライド及び液化水素の形で行うことを基本とする。

【普及の意義】

- 二酸化炭素フリーの水素を燃料とする発電方式の導入が進めば、発電部門における二酸化炭素の排出削減効果が見込まれる。
- 水素発電の導入によって、副生水素、原油随伴ガス、褐炭等の我が国が十分に活用できていないエネルギー源を活用することが可能となり、エネルギー供給源の多様化に資する。
- CO₂ 排出の観点から見ると、フェーズ2の段階では、副生水素や原油随伴ガスからの水素の利活用（主に発電）は排出量の減少にはつながらない。一方、CCSを伴わない褐炭由来の水素を利活用（主に発電）することは、天然ガスや原油を発電に利用する場合に比べてCO₂ 排出量が増加するものの、原油をボイラー焚きする場合に比べると、水素発電コストは低いというメリットがある（水素コストが30円/Nm³だと発電コストは17円/kWh。石油火力の発電コストは36円/kWh（※））。
（※）設備利用率10%の場合の発電コスト【出典：コスト等検証委員会（2011年）】
- 世界に先駆けて、水素発電を導入するとともに、大規模な水素サプライチェーンを構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、安価な調達が可能となればLNG等と比べて国富流出の少ない形でエネルギーの利活用が可能となる。
- 欧米においても水素の長距離輸送・大量貯蔵への関心が高まりつつある中で、我が国が脱水素（有機化合物から水素を脱離させること）や水素輸送船等の核となる分野で先んじることができれば、水素の調達を有利に進めることができる。

（1）目標設定の考え方

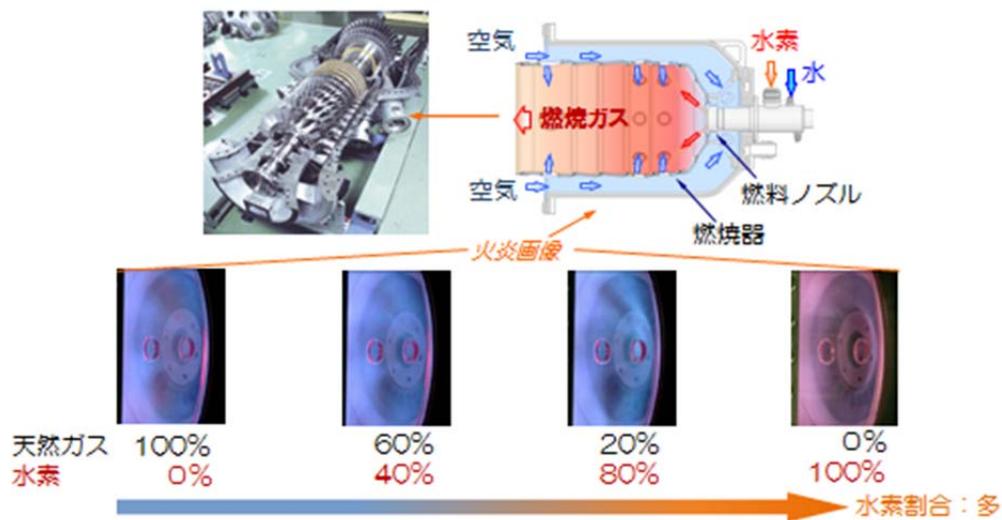
＜水素の利用＞

工場等で発生する副生水素の中には、他に用途がないためにボイラー等の燃料として必ずしも効率的に利用されていないものもあるが、これをより効率よく活用するための手段として、自家発電用水素発電（※比較的小規模なものを想定）を活用しようとするニーズが顕在化しつつある。このニーズに応える形で、2015年頃には一定の実用性能を有する水素発電ガスタービン用燃焼器（例えば、NO_x発生を低減するためのデュアル水噴射型）が投入される予定である。

こうした取組を後押しすべく、当該燃焼器等を組み込んだ水素発電ガスタービンの

実証を集中的に行い、東京オリンピック・パラリンピック競技大会での活用も視野に、2020年頃からの自家発電用水素発電の本格導入を目指す。

図表 デュアル水噴射型水素ガスタービン



[出典] 川崎重工

発電事業用水素発電（※比較的大規模なものを想定）については、特に燃料となる水素の調達に関する経済面の課題の解決に一定の目途がつけば、環境負荷の低減及びエネルギー供給源の多様化等に資するものとして、導入に向けた本格的な検討が進んでいくことが期待される。

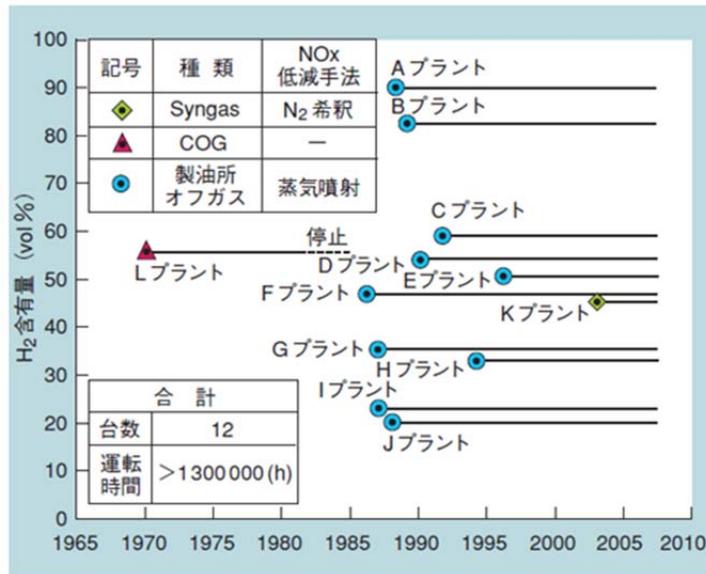
図表 水素と化石燃料の熱量当たりの単価（比較）

CIFコスト	燃料価格（円/MJ）	熱量等価水素価格（円/Nm ³ ）
石炭	0.4	5.2
LPG	1.6	20.1
原油	1.6	19.8
天然ガス	1.3	16.7

[出典] 財務省「日本貿易月報」（平成24年度）より日本エネルギー経済研究所作成

発電事業用水素発電を行うために必要なガスタービン等については、実運転による検証等が行われていないため、電力の安定供給の観点から水素発電の導入を不安視する意見もあるが、自家発電用水素発電では既に相当な水素混合割合での水素混焼が実際に行われているケースもある。

図表 水素発電の技術的達成状況



(注) Syngas : 一酸化炭素と水素の混合ガス

COG: コークス炉ガス。石炭をコークス炉で乾留したときに得られる水素等から成るガス。

[出典] 三菱日立パワーシステムズ

また、発電事業用水素発電を行うためには、水素の安価で安定的な供給が必要であるところ、実際の水素供給チェーンは構築されていないものの、その基礎となる要素技術は一定程度確立されている。

図表 有機ハイドライドと液化水素

液化水素による水素輸送

水素を-253℃まで冷却することで液化させ、貯蔵

- 常圧のガス状態に比べて800分の1程度に圧縮することが可能。
- 液化水素タンカーの貯槽は陸上用貯槽技術が適用可能。輸送船の製造にはLNGタンカーで培ったわが国の造船技術が適用可能。

ガス化・水素製造

液化・積荷

液化水素輸送船

【出典】川崎重工業

有機ハイドライドによる水素輸送

トルエンを水素と反応させ、メチルシクロヘキサンとして貯蔵

- 常圧のガス状態に比べて500分の1程度に圧縮することが可能。
- 常温・常圧での液体輸送が可能で、取扱いが容易。トルエン、メチルシクロヘキサンともにガソリンの成分であり化学用品としての大型貯蔵技術が既に確立。

商業技術
実証プラント

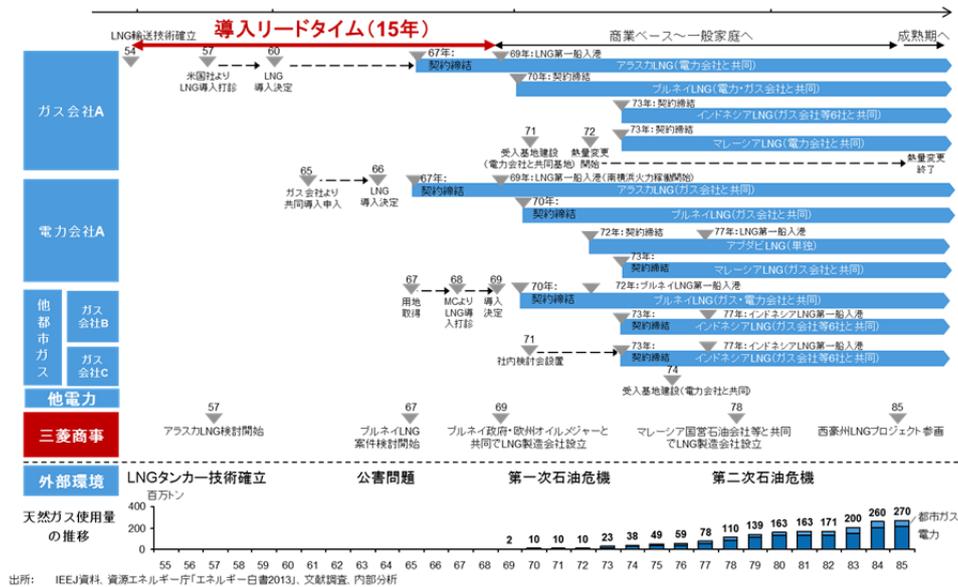
【出典】千代田化工建設

[出典] 資源エネルギー庁作成

こうした状況との対比で、我が国における LNG 導入の歴史を振り返ると、LNG 火力

発電及びLNG輸送・貯蔵に関する要素技術が確立されてから、実際に導入されるまでに15年程度の準備期間を要した。水素の大量輸送についても、今から必要な取組に着手することで、現在から概ね15年後の2030年頃からの発電事業用水素発電への本格供給を目指す。

図表 LNG導入の歴史



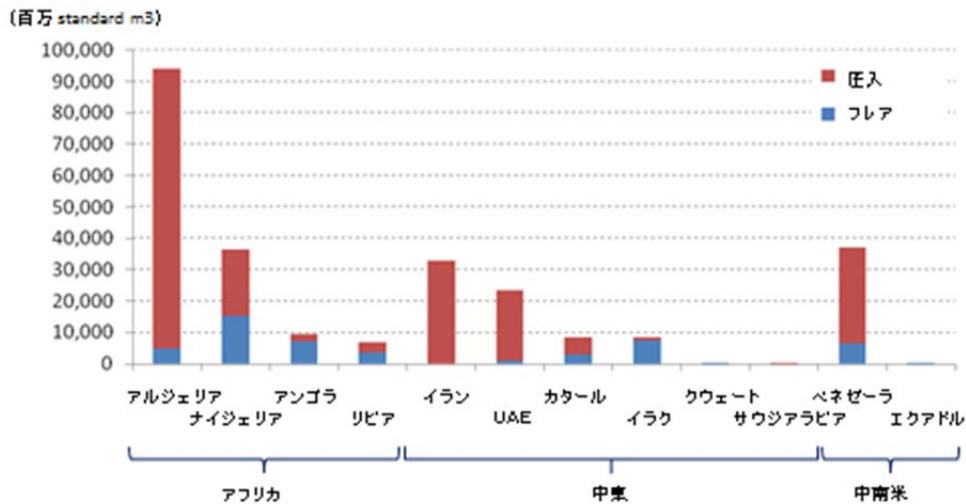
[出典] 三菱商事資料を一部加工

なお、燃料電池は、発電効率には優れるものの、規模拡大に伴うコストの低減が現時点では容易ではないことから、SOFC とガスタービンを組み合わせたハイブリッドシステムや、これに更に蒸気タービンを組み合わせたトリプルコンバインド等を発電事業用として用いるには、技術開発等によるコストの低減について引き続き更なる検討が必要であると考えられる。

<水素の製造、輸送・貯蔵>

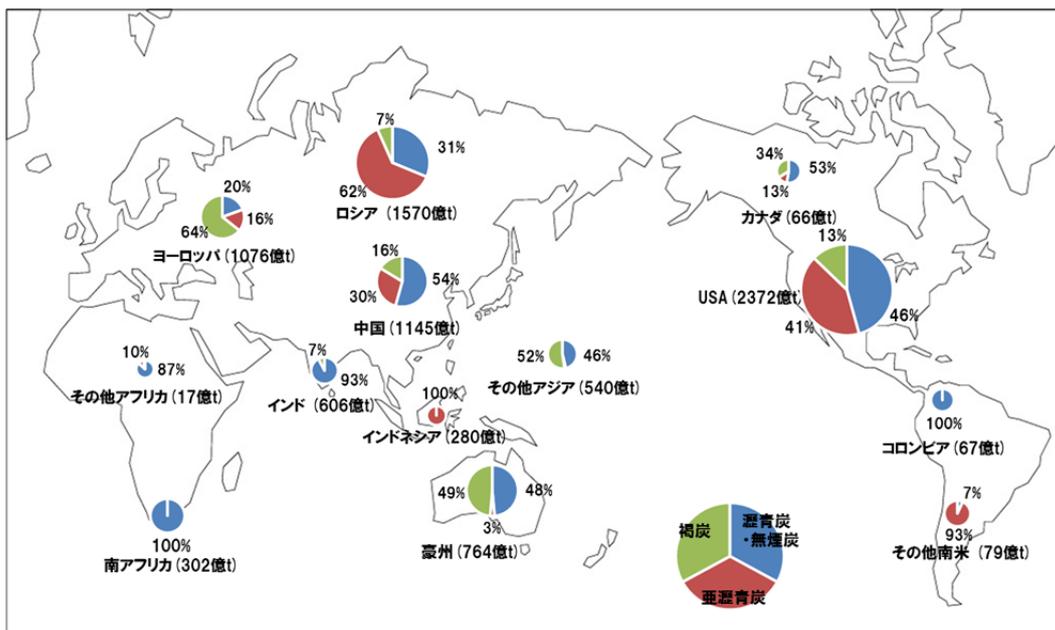
水素の製造については、海外の未利用エネルギーである、副生水素、原油随伴ガス、褐炭から水素を製造することが、将来的なコストと賦存量の両面から有望視されている。

図表 原油随伴ガスの利用状況



[出典] OPEC “Annual Statistical Bulletin 2010/2011”

図表 褐炭の賦存量



[出典] WEC2013 Survey of Energy Resources 2013 より作成

水力発電を含む再生可能エネルギーを活用した水素製造についても、海外では、例えば水力発電が地理的な要因等によって大規模需要地と系統連系していないために用途のない余剰電力が生じている場合や、系統制約等により再生可能エネルギーのポテンシャルを十分に活かしていない場合等には、将来的に当該電力を活用して安価に水素を製造することができる可能性がある。

従来、これらの海外の未利用のエネルギーを、そのままの形で我が国に輸送するこ

とは困難であった。例えば、褐炭は、水分が重量の半分以上を占めることから、重くかさばり輸送コストがかかるにもかかわらず、燃料としてのエネルギー効率が悪い。また、空気中の酸素と化学変化して自然発火するおそれがあるため、輸送・貯蔵が困難であった。

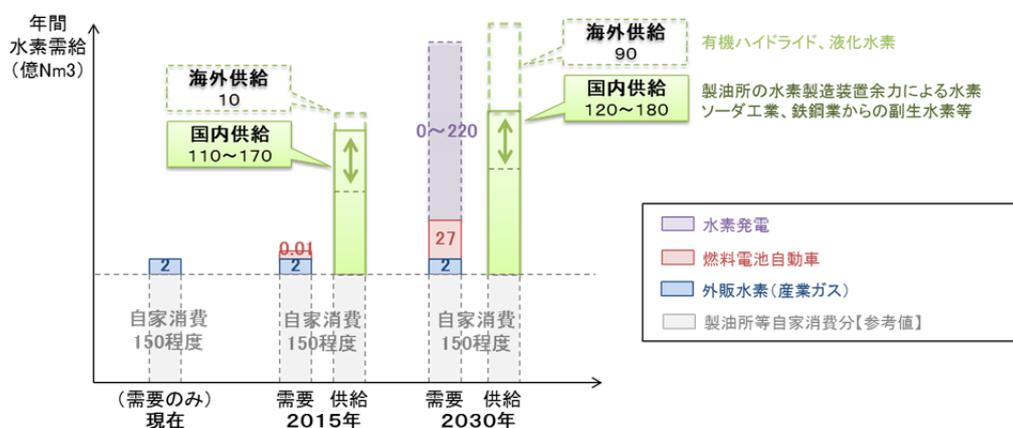
しかしながら、水素の輸送・貯蔵に関する技術の進展によって、当該未利用エネルギーを、水素に改質し、輸送・貯蔵することで、我が国において有効に活用できる可能性が現実のものとなりつつある。例えば、有機ハイドライドは、一部について実用化に向けた課題はあるが、既に実用段階に到達しつつあり、我が国においては 2015 年度から実証チェーンの構築に着手すべく検討が進められている。また、より高い輸送効率が期待される液化水素も、一部について技術的な課題等があるものの、実用段階に近づきつつある。

こうした技術を磨き、早期に実用化することで、海外の未利用エネルギーを安価なうちに安定的に確保するような戦略的な取組が重要である。

しかも、我が国の水素需要は、将来的に国内の水素供給能力を超過する可能性もある。現在、国内の水素供給は 150 億 Nm³ 程度であり、その大半は製油所における脱硫プロセスや工場におけるボイラー等の燃料として自家消費されており、産業ガスとして外販されている水素は 2 億 Nm³ 程度にとどまっている。しかしながら、製油所の水素製造装置を用いた追加的な水素製造や、苛性ソーダ製造に伴って発生する副生水素の外販、更には追加的に導入される水素製造設備による水素製造等によって、2030 年頃の追加の供給ポテンシャルは 120～180 億 Nm³ 程度になるとの試算がある。

この追加的な水素供給量は、燃料電池自動車換算で 900 万～1,300 万台程度に対応することができることから、当面の間は国内の水素供給能力で対応可能とも考えられる。しかしながら、仮に今から 2030 年までに新設・リプレースされる LNG 火力発電に 50%の水素が混合された場合、水素需要は最大で 220 億 Nm³ と我が国の供給ポテンシャルを超過する可能性があるとの試算もある。

図表 水素需給ポテンシャル（試算の一例）



(※1) 外販水素（産業ガス）の主な用途は、半導体生産や金属熱処理等であり、2030年までの需要量

に大きな変化はないと仮定。

(※2) 燃料電池自動車は、2015年に1000台、2030年に200万台普及すると仮定。

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

[出典] NEDO 委託調査 (委託先: みずほ情報総研)

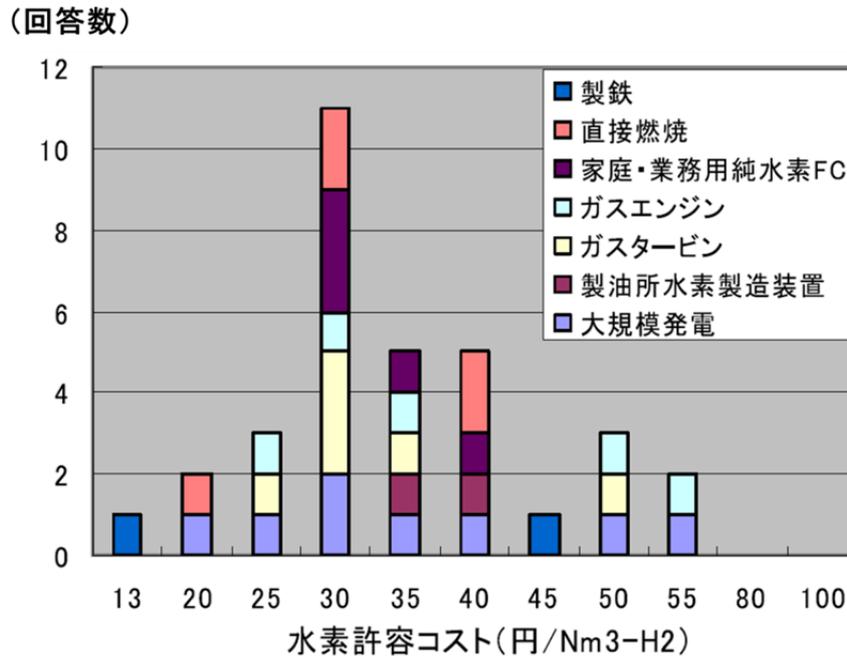
「水素需給の現状と将来見通しに関する検討」(2012年)等より資源エネルギー庁作成

以上の状況を踏まえ、未利用エネルギーを用いて水素を製造し、更に有機ハイドライドや液化水素の形で水素を我が国に輸送するという、一連の未利用エネルギー由来水素供給システムの構築について、今から計画的に取り組み、水素供給チェーンを徐々に拡大し、2030年頃の発電事業用水素発電の本格導入に対応できる体制の整備を目指す。

なお、我が国の現在の発電コストは、LNG火力が10.7円/kWh、石炭火力が9.5円/kWh、石油火力が20.8~36.0円/kWhであるところ(※)、発電事業用水素発電の導入当初(2030年頃)においては、水素のプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を下回れば許容できるとの調査結果がある。ただし、この点については、発電事業者も交えた専門的な検討を改めて行うこととする。

(※) LNG火力及び石炭火力については設備利用率80%の場合、石油火力については80%(20.8円/kWh)~10%(36.0円/kWh)の発電コスト【出典: コスト等検証委員会(2011年)】

図表 許容コスト



[出典] 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成果報告書(平成24年度)」

(2) 主な課題と取組の方向性

【取組の方向性】

＜水素の利用＞

●課題1：発電事業用水素発電の導入に関する具体的な検討が必要

水素発電及びそれに必要な海外からの水素供給については、後者に関する検討は積極的に行われている一方、前者に関する検討は相対的に遅れている。我が国におけるLNGの導入に当たっては、需要サイドと供給サイドの取りまとめを一体的に行うことでLNGの導入を実現したことを踏まえれば、水素発電の導入に当たっても、水素の供給サイドだけでなく、発電事業者等の需要サイドも巻き込んで一体的に取り組んでいくことが必要である。

a) 発電事業用水素発電の導入に関する検討

＜2014年度中：国が重点的に関与＞

- 水素発電の導入に関する技術面、制度面、経済面の具体的な課題について、国内の主要な発電設備メーカー、発電事業者、水素供給事業者等が参加して検討を行い、2014年度中に具体的な課題及び必要な取組について結論を得る。

●課題2：水素発電ガスタービンに関する制度的・技術的な環境整備が必要

自家発電用水素発電については、2015年頃に一定の実用性能を有する水素発電ガスタービン用燃焼器が投入される予定であるが、本格的な普及には、NO_xの排出量を抑えつつ、水素混合割合や発電効率を更に向上させること等が必要である。

図表 水素発電の課題

	既存ガスタービン		新規開発ガスタービン
	拡散方式(水蒸気噴射)	予混合方式(ドライ型※)	ドライ型※
水素混焼	国内においても導入多数	5%程度まで可(実例なし)	一部メーカーで開発
水素専焼	イタリアで実証例あり	×(不可)	未開発

多様な燃料に対応
水素燃焼の実績多数

⇕

水・蒸気噴射により
効率が低下

水・蒸気噴射しないため
効率が低下しない

⇕

多様な燃料種への
対応は困難

ドライ型(水・蒸気噴射しない)
水素リッチガスに対応した
ガスタービンの開発が今後必要

(※)ドライ(DLE: Dry Low Emission)型
水や蒸気の噴射によらず燃焼温度を低く
制御することでNO_x排出量を低減したもの

[出典] 資源エネルギー庁作成

また、発電事業用水素発電については、理論上は一定程度の水素混焼が可能であり、自家発電用であれば水素混焼の実績もあるものの、実運転による検証等が行われておらず、水素発電に関する技術基準等も確立されていない。

a) 自家発電用水素発電ガスタービン等の技術開発・実証

＜～2020年頃：国が重点的に関与＞

- ・ 2018年度までに、水素直接噴射式エンジンの大出力化や高効率化に向けて、大幅な熱効率向上を達成するための基盤技術開発等を行う。
- ・ 2018年度までに、蒸気や水を噴射することなしにNOxの排出量を抑制できる、ドライ型水素専焼発電ガスタービン用燃焼器の開発等を行う。

b) 発電事業用水素発電ガスタービン等の技術開発・実証

＜～2020年代頃：国が重点的に関与＞

- ・ 発電事業用に水素発電を行うことについて、課題1の検討結果も踏まえた上で既存の火力発電設備の活用を含め、発電事業用水素発電に関する技術的・制度的な開発・実証を行う。
- ・ 具体的には、水素ガスの特性（燃料発熱量、燃焼速度、断熱火炎温度、火炎可視性、NOx排出特性、水素脆化等）を踏まえた、安定的な燃焼方法、NOx等の排出量の制御方法等に関する実証を行う。また、失火・漏洩対策、火災爆発回避策等の安全の確保策等を検討する。
- ・ 電気事業法等の関係法令（技術基準等を含む）における水素発電の取扱いを確認し、必要な制度的手当を行う。

＜水素の製造、輸送・貯蔵＞

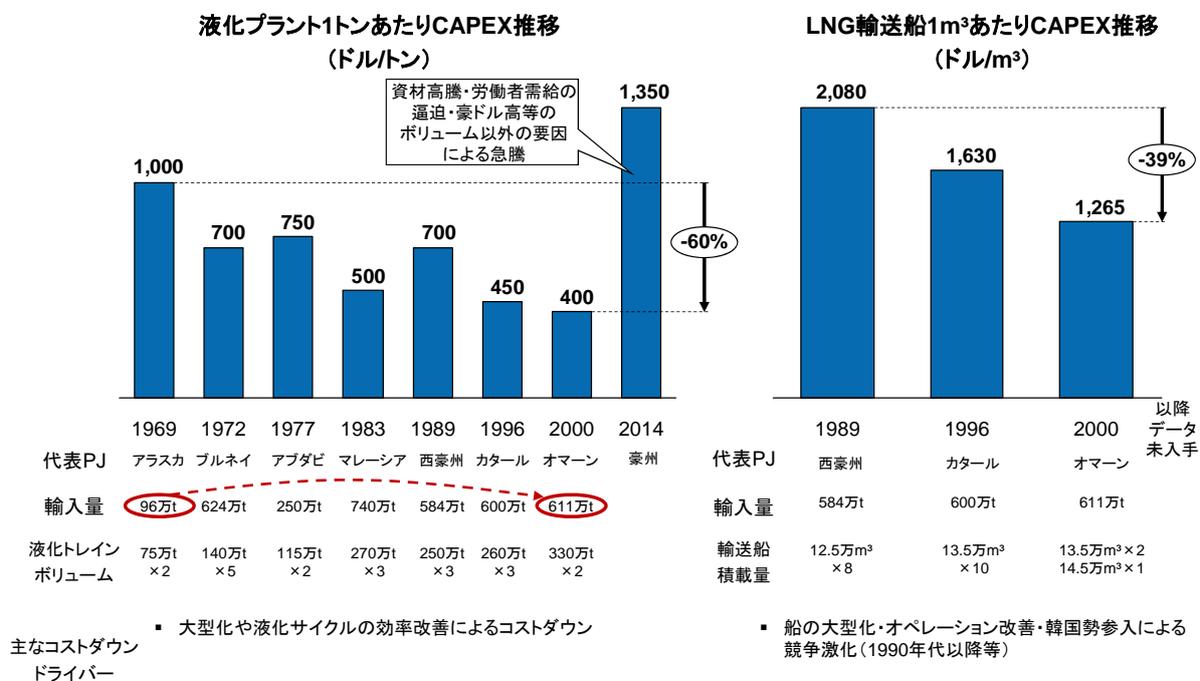
●課題3：海外からの水素供給に関する制度的・技術的な環境整備等が必要

海外からの水素供給については、有機ハイドライドは技術的には実用段階にあるが、トルエンを循環的に使用するなど従来の制度が想定していなかった事態への制度的な対応を行うことが必要である。液化水素は実用段階に近づいているものの、液化水素のローディングや運搬船等に関する技術的、制度的な課題があることから、当該課題への対応に取り組むことが必要である。

いずれの方法についても、導入当初は小ロットで効率が悪く、プラント引渡しコストで国内水素（20～40円/Nm³程度）と比較すると高い水準となる見込みだが、供給

規模の拡大によって、設備機器の大型化や大量輸送等によるコストダウンが見込まれる。ただし、燃料代替が加速して、市場が自律的に拡大していくまで多くの投資と時間を要することが予想されることから、この間の下支えを如何に行うべきかが重要である。

図表 LNG 受入規模拡大に伴うコスト低減の推移



[出典] 三菱商事資料

a) 海外からの水素供給に関する技術開発・実証等

<~2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 褐炭等の未利用エネルギーを用いた、安価で安定的な水素の製造方法の確立に向けて、必要な開発・実証等を行う。
- ・ 有機ヒドライドによる水素海外輸送について、2020年頃までにファーストチェーンの運用を開始し、実際のチェーン構築及び運用の中で制度的・技術的な課題（例えば、通関制度、トルエンの輸送外使用の管理等）を洗い出し、適時必要な対応を行う。
- ・ 2018年度までに、メチルシクロヘキサン等の水素エネルギー・キャリアについて、漏洩などの事故解析や大気拡散シミュレーション等を用いたリスク評価を実施し、許認可（消防法、高圧ガス保安法等）、安全対策、リスクコミュニケーション等のための基盤情報を収集、整備する。
- ・ 液化水素の荷役を行うために必要となるローディングシステムについて、 -253°C の超低温性等の特性に対応した要素技術（液化水素配管のジョイント、緊急離脱機構等）の研究開発を行う。併せて、液化水素の荷役に関するルールを整備し、国際標準化を図る。

- ・ 2020年頃までに、液化水素を運搬する船舶について、船舶用の液化水素タンクや水素という軽量の貨物に合った船舶製造等に関する実証等を行う。さらに、将来の液化水素の大量輸送に向け、大型化に向けた技術開発等を行う。併せて、液化水素の船舶輸送に関するルールを整備し、国際標準化を図る。

b) 水素供給チェーンの自立化に向けた支援 <～2020年代頃：国が重点的に関与>

- ・ 水素海外輸送事業の立上げ当初の運営を下支えすべく、輸送された水素を水素発電ガスタービン等の技術開発・実証等で使用するなど、水素の需要と供給のバランスを取りつつ一体的に取り組む。

第3節 フェーズ3（トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立）

水素は、燃料電池技術の活用により省エネルギーに資することに加え、未利用エネルギー由来の水素を活用することでエネルギーセキュリティの向上にも資すると考えられる。しかしながら、化石燃料由来の水素を用いる場合には、水素の製造段階で二酸化炭素が発生することから、地球規模の問題である地球温暖化への対応を考えた場合には、必ずしも十分ではない。

したがって、将来的にはCCS等の二酸化炭素排出を低減する技術や、再生可能エネルギーを活用することで、より二酸化炭素の排出が少ない水素供給構造を実現していくことが必要となる。

【主な目標】

<水素の製造、輸送・貯蔵>

- ① 2040年頃に、安価で安定的に、かつ低環境負荷で水素を製造する技術を確立し、トータルでCO2フリーな水素供給システムを確立することを目指す。

【普及の意義】

- ・ 利用段階で二酸化炭素を排出しない水素について、水素供給の手法をより低環境負荷なものに変更していくことで、地球温暖化対策に大きく貢献することが可能となる。

（1）目標設定の考え方

<水素の製造、輸送・貯蔵>

ナフサや都市ガス等の化石燃料の水素改質等の技術については、工業用途等で多数の実績があり、安価で安定的な水素の製造方法は既に一定程度確立している。他方、安価で安定的で、かつ低環境負荷の水素製造技術については、基礎的な研究開発段階にとどまっている。

このため、安価で安定的で、かつ低環境負荷の水素製造技術について、今から将来を見据えた研究開発等を計画的に実施していく必要がある。

(2) 主な課題と取組の方向性

【取組の方向性】

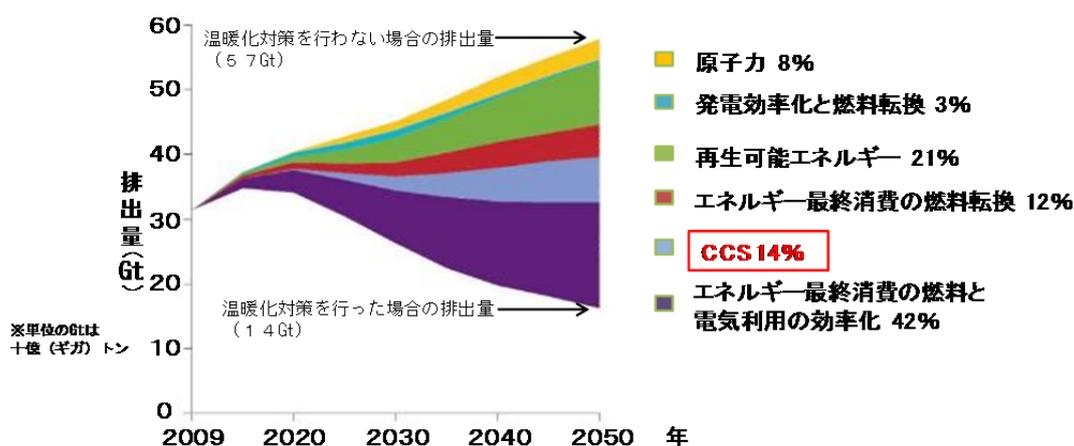
<水素の製造、輸送・貯蔵>

●課題1：水素供給国におけるCCS

海外の副生水素、原油随伴ガス、褐炭等の未利用エネルギーから製造された水素を国内に輸送する場合、地球大での二酸化炭素排出量削減を目指すためには、水素供給国において排出される二酸化炭素を回収・貯留するCCS等を行うことが必要である。

なお、全世界のCCSのCO₂削減ポテンシャルは約2兆トン（＝現在のCO₂排出量の約70年分相当）とされており【出典：IPCC「CCSに関する特別報告書」】、2050年までにCO₂を半減させる場合、CO₂排出削減量の14%はCCSにより達成されると評価されている【出典：IEA「エネルギー技術展望2012」】。

図表 地球温暖化対策への各技術の貢献度



[出典] IEA「エネルギー技術展望2012」

a) CCS を用いた水素製造技術開発・実証等

- ・ 石油随伴ガスや褐炭等の未利用エネルギーを用いた水素供給システムに関する技術開発・実証と一体となって、二酸化炭素分離・回収プロセスの効率向上、コスト低減等の CCS に関する技術開発・実証を行う。
- ・ なお、2011 年に設置された ISO/TC265 において、二酸化炭素回収、輸送、および地中貯留 (CCS) 分野における設計、建設、操業、環境計画とマネジメント、リスクマネジメント、定量化、モニタリングと検証、および関連活動の標準化に関する検討が進められており、我が国も引き続き CCS の標準化に向けて積極的に議論に参加、主導していく。
- ・ 上記取組については、未利用エネルギーの賦存量や水素供給可能量、二酸化炭素貯蔵可能量、我が国への水素輸送コスト等を踏まえ事業化可能性を十分に見極めた上で、相手国との協力のもとで行う。

●課題 2 : 再生可能エネルギー由来の水素製造等に関する技術開発・実証等

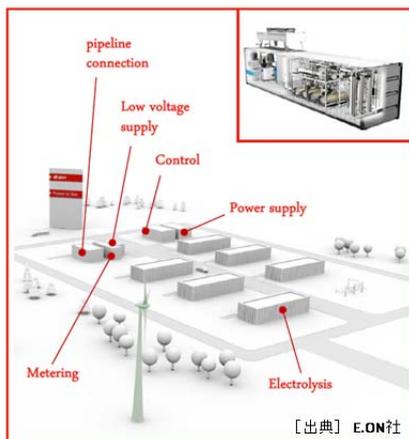
水電解による水素製造は、小規模な工業用として一定程度は行われてきているものの、水電解による大規模な水素製造はほとんど行われていない。このため、大規模で安定かつ安価に水素製造をできる技術開発が必要となる。また、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーは天候の変化等に伴い発電量が変動することから、出力変動に対応することも必要となる。

他方、上記の技術が実用化すれば、再生可能エネルギーの時間変動を水素に変換することで吸収することも可能となり、再生可能エネルギーの導入量拡大に資する可能性がある。ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換する Power to Gas の取組が積極的に行われており、メタネーションなども含め、再生エネ由来水素を有効活用するための技術開発・実証を行っていくべきである。

図表 ドイツにおける Power to Gas プロジェクトの例

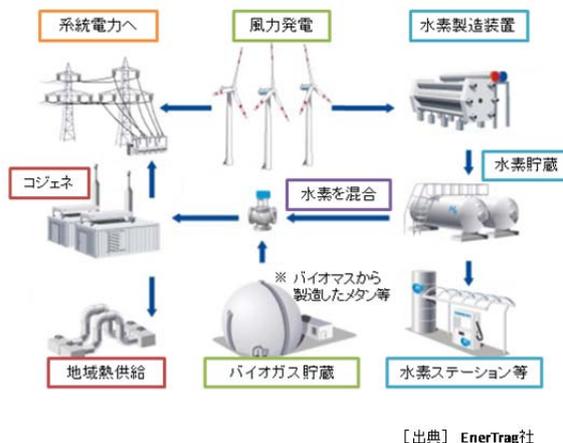
ドイツ・ファルケンハーヘンでのPower to Gasプロジェクト

- ▶ ドイツのファルケンハーヘンでは、風力発電の電力を用いて製造した水素をそのまま天然ガスパイプラインに供給するプロジェクトも実施されている(2013年8月に供給開始)。
- ▶ 2,000kWの風力から360Nm³/hの水素を製造して、2%の割合でパイプラインに混入する実証を行っており、技術的な課題(風力変動性や水素製造等)を明らかにする。



ドイツ・プレッツフラウでのPower to Gasプロジェクト

- ▶ ドイツのプレッツフラウでは、風力発電の余剰電力(夜間など)を水素化し、貯蔵・利用する実証プロジェクトを実施(2011年に開始)。
- ▶ 作られた水素は、水素ステーション等に供給されるとともに、バイオガスと混合されてコジェネの燃料となり、電力及び熱の供給に活用される。



[出典] 各種公開資料より資源エネルギー庁作成

a) 再生可能エネルギーからの安価・安定・高効率な水電解技術の開発

- ・ 再生可能エネルギーの大きな出力変動に対応して、安価で、安定的、かつ高効率な水電解技術を確立すべく研究開発を行う。
- ・ 具体的には、電解電流密度の向上や電解セル大型化等による設備コストの低減、変動する再生可能エネルギーへの追従等の研究開発を行う。

b) 再生可能エネルギー由来水素導入を目指したシステムの開発・実証

- ・ 再生可能エネルギーは本質的に短長期的な出力変動を伴い、国内外同様に供給地が偏在している。こうした時間的、地理的な偏在性を吸収する手段として、再生可能エネルギーからの水素製造から輸送・貯蔵、利用まで含めた技術開発・実証を計画的に行う。

●課題3：その他の中長期的な技術開発

CCS や再生可能エネルギー由来電気の活用に加え、現時点ではより基礎的な技術開発段階ではあるものの、将来的に CO₂ フリー水素供給システムの実現に資する技術としては、光触媒による水素製造技術、高温ガス炉等の熱を活用した IS プロセスによる水素製造技術、アンモニアの水素エネルギー・キャリアとしての活用などが検討されている。

こうした技術は、実現までは一定程度の時間を要すると考えられるものの、将来のより安定、安価かつ低環境負荷な水素供給システムの実現に資する可能性があることから、技術開発も含めて必要な取組を行っていくべきである。

a) 将来の水素利活用を見据えた技術開発等

- ・ 光触媒や、高温ガス炉等の熱を活用した IS プロセスによる水素製造技術については、将来的に安定・安価かつ低環境負荷な水素供給を担いうる技術として期待されることから、引き続き取組を進める。
- ・ 水素エネルギー・キャリアとしてアンモニアを活用するため、再生可能エネルギーからのアンモニア製造、アンモニアからの水素分離・生成、アンモニアを利用する燃料電池及びアンモニア直接燃焼技術等の基盤的研究を引き続き行う。

第3章 本ロードマップの実効性を確保するための取組

家庭用燃料電池が既に市場投入され、燃料電池自動車市場投入されようとしていることから、現在は水素社会の実現に向けたフェーズ1（水素利用の飛躍的拡大）の入口にあると言える。こうした状況においては、今回のロードマップ策定過程で、関係者間の共通目標や共通認識が一定程度醸成されたことをもって満足するのではなく、ロードマップの迅速かつ着実な実行に即座に取り組んでいく必要がある。

また、本ロードマップの内容は、水素の製造、輸送・貯蔵、利用という段階、そして短期、中期、長期という時間軸等、様々な要因が絡み合っている。こうした取組を適切に行っていく上では、産学官の連携は勿論のこと、各産業内、学界内、政府部内のそれぞれの中で、様々な関係者が本ロードマップに記載した内容の実現に向けて、個々のプロジェクトで積極的に協力して取り組んでいくことが求められる。

さらに、これまで工業用途を中心として用いられてきた水素が、エネルギーとして日常生活でも用いるようになることを踏まえると、関係者のみならず、一般の市民も含めた社会の様々な構成員の理解に向けた適切な情報発信を行っていくべきであり、こうした裾野の広い水素社会を担う人材の育成を含めた取組も重要である。

このため、本協議会については、必要に応じて体制の拡充・改組も行った上で、本ロードマップの進捗状況を定期的に確認するとともに、時々の社会情勢、規制見直しや技術開発等の進捗状況等を踏まえ、進捗が遅れているものについては取組の中止を含めて改善策を検討するものとする。その際、本ロードマップは2040年頃までの超長期の取組を描いたものであることから、本ロードマップの内容に過度に固執することは適当ではないが、方針転換が必要な場合には、そのような事態が生じた原因を真摯に追及し、十分な反省のもとで方針転換を含めて取り組んでいくことが重要である。

引き続き、様々な局面で、水素の需要側と供給側の双方の事業者の立場の違いを乗り越え、積極的に取り組んでいき、2040年までに3つの段階を踏んで、「水素社会」の実現に向けて取り組んでいく。

委員等名簿

協議会

＜委員＞

(敬称略)

浅見 孝雄	日産自動車(株) 専務執行役員
(中畔 邦雄)	(日産自動車(株) 執行役員総合研究所所長)
有賀 敬記	太陽日酸(株) 常務取締役
伊勢 清貴	トヨタ自動車(株) 取締役・専務役員
(奥平 総一郎)	(トヨタ自動車(株) 専務役員)
市江 正彦	(株)日本政策投資銀行 取締役常務執行役員
上羽 尚登	岩谷産業(株) 取締役副社長
内田 幸雄	JX 日鉱日石エネルギー(株) 取締役副社長執行役員
小川 洋	福岡県知事
座長 柏木 孝夫	東京工業大学 特命教授
上地 崇夫	千代田化工建設(株) 常務執行役員
亀山 秀雄	(一社)水素エネルギー協会 会長
久徳 博文	大阪ガス(株) 代表取締役副社長執行役員
久米 雄二	電気事業連合会 専務理事
倉田 健児	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 副理事長
小林 裕明	東京ガス(株) 常務執行役員
(広瀬 道明)	(東京ガス(株) 代表取締役副社長執行役員)
崎田 裕子	ジャーナリスト・環境カウンセラー
	NPO法人持続可能な社会をつくる元気ネット 理事長
佐々木 一成	九州大学 次世代燃料電池産学連携研究センター長
高田 廣	川崎重工業(株) 代表取締役副社長
中尾 正文	旭化成(株) 取締役上席執行役員
福尾 幸一	本田技研工業(株) 常務執行役員
前川 治	(株)東芝 執行役上席常務
(北村 秀夫)	(株)東芝 代表執行役副社長
馬淵 洋三郎	三菱日立パワーシステムズ(株) 副社長執行役員
吉田 守	パナソニック(株) 常務取締役
渡辺 政廣	山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター長

(※五十音順)

※ () 内は交代前の委員。役職は委員就任当時。

<オブザーバー>

燃料電池実用化推進協議会

(独) 産業技術総合研究所

文部科学省研究開発局環境エネルギー課

国土交通省総合政策局環境政策課

国土交通省総合政策局環境政策課地球環境政策室

国土交通省自動車局環境政策課

国土交通省海事局海洋・環境政策課

経済産業省産業技術環境局研究開発課

経済産業省製造産業局化学課

経済産業省製造産業局自動車課電池・次世代技術・ITS推進室

経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室

資源エネルギー庁資源・燃料部政策課燃料政策企画室

資源エネルギー庁電力・ガス事業部ガス市場整備課

資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課電力需給・流通政策室

<事務局>

資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部燃料電池推進室

ワーキンググループ

<委員>

(敬称略)

穴水 孝	東京ガス(株) 燃料電池事業推進部長
今村 修二	福岡県 商工部長
今村 等	大陽日酸(株) 水素プロジェクト部長
臼井 健敏	旭化成(株) エネルギー材料開発グループ長
遠藤 英樹	千代田化工建設(株) 水素チェーン事業推進ユニット GM
亀山 秀雄	(一社) 水素エネルギー協会 会長
河合 大洋	トヨタ自動車(株) 技術統括部担当部長
小林 由則	三菱日立パワーシステムズ(株) 燃料電池事業室長
斎藤 健一郎	JX日鉱日石エネルギー(株) 上席フェロー
佐々木 一成	九州大学 次世代燃料電池産学連携研究センター長
清水 雄一	パナソニック(株) R&D 本部 新規領域担当理事
(小原 英夫)	パナソニック(株) エネルギーシステム開発室長
田畑 健	大阪ガス(株) 商品技術開発部長
玉越 茂	(株)日本政策投資銀行 ソリューション企画室長
永田 裕二	東芝燃料電池システム(株) 取締役
西村 元彦	川崎重工業(株) 水素プロジェクト部長
橋本 道雄	(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部長
宮崎 淳	岩谷産業(株) 常務執行役員水素エネルギー部長
森 春仁	日産自動車(株) EV システム研究所長
守谷 隆史	(株)本田技術研究所 第5技術開発室 上席研究員
山中 芳之	電気事業連合会 技術開発部副部長
渡辺 政廣	山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター長

(※五十音順)

※ () 内は交代前の委員。役職は委員就任当時。

<外部有識者>

石田 建一	積水ハウス(株) 執行役員環境推進部長 【第2回WG】
三浦 真一	(株)神戸製鋼所 営業企画部担当次長 【第3回WG】
松川 徹	日野自動車(株) 総合企画部長 【第4回WG】
一条 恒	(株)豊田自動織機 産車システム開発プロジェクトリーダー 【第4回WG】
高木 仁史	シェルジャパン(株) 事業開発部長 【第5回WG】
大槻 晃嗣	三菱商事(株) 環境事業本部環境R&D事業部長 【第5回WG】
丸田 昭輝	Hygri d研究会 事務局 【第6回WG】
柴田 善朗	(一財) 日本エネルギー経済研究所 【第6回WG】

<オブザーバー>

(独) 産業技術総合研究所
燃料電池実用化推進協議会
文部科学省研究開発局環境エネルギー課
国土交通省総合政策局環境政策課
国土交通省総合政策局環境政策課地球環境政策室
国土交通省自動車局環境政策課
国土交通省海事局海洋・環境政策課
経済産業省産業技術環境局研究開発課
経済産業省製造産業局化学課
経済産業省製造産業局自動車課電池・次世代技術・ITS推進室
経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室
資源エネルギー庁資源・燃料部政策課燃料政策企画室
資源エネルギー庁電力・ガス事業部ガス市場整備課
資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課電力需給・流通政策室

<事務局>

資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部燃料電池推進室

水素・燃料電池戦略協議会 開催経緯

協議会

- <第1回> 平成25年12月19日
議題：「水素・燃料電池について」「水素・燃料電池戦略協議会の主な論点」
- <第2回> 平成26年5月28日
議題：「取りまとめに向けた議論」
- <第3回> 平成26年6月19日
議題：「取りまとめに向けた議論」

ワーキンググループ

- <第1回> 平成26年1月10日
議題：「今後の議論のポイント」
- <第2回> 平成26年2月3日
議題：「家庭用燃料電池について」「業務・産業用燃料電池について」
- <第3回> 平成26年3月4日
議題：「燃料電池自動車について」
- <第4回> 平成26年3月26日
議題：「燃料電池の新たな用途について」「水素発電について」
- <第5回> 平成26年4月14日
議題：「水素の製造、輸送・貯蔵について」
- <第6回> 平成26年4月23日
議題：「横断的取組等について」
- <第7回> 平成26年5月9日
議題：「取りまとめに向けた議論」