

# 特集 水素エネルギー技術開発の最新動向および今後の展開～「水素製造」から「水素利用」まで～

2014年4月に政府が発表した「エネルギー基本計画」に水素利用が明記され、同年6月にMETIが発表した「水素・燃料電池ロードマップ」を、同年7月末にはNEDOが「水素エネルギー白書」を発行するなど、日本国内で水素エネルギーの大規模導入、普及に向けた動きが活発化している。また、燃料電池車など今後のモビリティ燃料としての水素利用に加えて、水素による発電を視野に入れての検討も行われている。本特集では、こうした水素をエネルギー源として活用すべく、「水素製造」、「水素輸送・貯蔵」、「水素利用」の各分野での開発の取り組みを紹介する。また、燃料電池自動車の今後の普及に向けた水素ステーション整備にあたって必要とされる技術基準整備に向けた動き、さらには水素エネルギーをめぐる海外の動向についても触れる。

(編集担当：平岡一高)†

## 水素エネルギー実現に向けた取り組み

大平 英二

### 1. 最近の政策動向

水素エネルギーに関する政策が本格化している。2013年6月14日に発表された新たな成長戦略である「日本再興戦略」<sup>1)</sup>において、成長実現に向けた具体的な取組みとして、「日本産業再興プラン」、「戦略市場創造プラン」及び「国際展開戦略」の3つのアクションプランを掲げた。このうち戦略市場創造プランにおいて、クリーン・経済的なエネルギー需給の実現のための取組みとして、2030年には家庭用燃料電池(エネファーム)について全世帯の1割に相当する530万台の市場導入という目標を設定するとともに、燃料電池自動車の世界最速の普及を目指し、規制の見直しや水素ステーション整備を促進することといった方向性が示されている。

2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」<sup>2)</sup>において、水素が電気・熱に次ぐ将来の二次エネルギーとして位置付けられるとともに、また水素社会の実現に向け

て、エネファームや燃料電池自動車の着実な導入に加え、水素の製造、大量貯蔵・長距離輸送、燃料電池や水素発電など利用に関わる様々な要素を包含した全体を俯瞰したロードマップの策定が求められた。

このロードマップの策定のため、経済産業省は産学官のメンバーから構成される「水素・燃料電池戦略協議会」(座長：柏木孝夫 東京工業大学 特命教授)を2013年12月に設置。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とともに、「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」ため、同協議会と、その下に設置されたワーキング・グループにより、取りまとめに向けた議論が進められた。この議論をもとに、2014年6月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が取りまとめられた。このロードマップでは水素社会の実現に向けて、水素の利活用に関する技術的課題の克服や経済性の確保に要する期間の長短に着目し、フェーズ1(水素利用の飛躍的拡大：現在～)、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)、フェーズ3(トータルでのCO<sub>2</sub>フリー水素供給システムの確立：2040年頃に実現)という、3つのフェーズによるステップ・バイ・ステップのアプローチ(図1)が示された。更にロードマッ



Current Policy and Activity on Hydrogen Energy  
Eiji OHIRA

1992年 東京理科大学理学部化学科卒業  
2006年 北陸先端科学技術大学院大学博士前期課程修了

現在 (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 燃料電池・水素グループ 主任研究員

連絡先：〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310

E-mail ohiraiej@nedo.go.jp

2016年4月5日受理

† Hiraoka, K. 平成27、28年度化工誌編集委員(7号特集主査) 日揮(株)プロセス技術本部技術イノベーションセンター

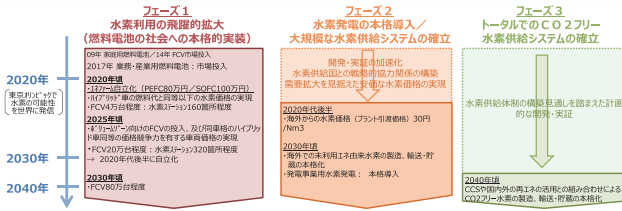


図1 水素・燃料電池戦略ロードマップの概要(2016年3月改訂)(経済産業省資料)

表1 水素・燃料電池戦略ロードマップにおける新たな目標

	目標
家庭用燃料電池 (価格目標)	PEFC (固体高分子形燃料電池) 型: 2019年までに80万円 SOFC (固体酸化物形燃料電池) 型: 2021年までに100万円
燃料電池自動車 (普及目標: 累計)	2020年までに4万台程度、2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度
水素ステーション (整備目標)	2020年度までに160箇所程度、2025年度までに320箇所程度

策定以降の状況を踏まえて、2016年3月にロードマップが改訂された。改訂されたロードマップでは、エネファームの将来的な価格目標、燃料電池自動車の普及目標、水素ステーションの整備目標が設定されるとともに(表1)、再生可能エネルギー由来水素の利活用に関し、技術面・経済面の課題の検討を開始するなど、具体的な行動が示されている。

## 2. 水素エネルギーの導入状況

### 2.1 家庭用燃料電池(エネファーム)

定置用燃料電池は、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活用することで更にエネルギー効率を向上させることができる。

日本では2009年に世界に先駆けて家庭用の燃料電池システムの一般販売が開始された。国や地方自治体による導入のための補助金による効果と相まって、現在までに約15万台が市場投入されている。この間、販売価格も2009年の販売開始時と比較して半額程度まで低下している(図2)。

現在、エネファーム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を主なユーザーとしている。本格的な普及に向けては、この対象ユーザーを拡大していくことが必要であり、この市場拡大の取り組みが民間企業主体で進められている。例えば、集合住宅向けにコンパクトになったタイプや、既設住宅向けとして、使用中のガス給湯器をそのまま利用し、発電ユニットを後付するタイプが近年開発、導入が進められている。また、電力価格に比べてガス価格が比較的安価であり、また熱需要が多いことから、家庭用燃料電池のニーズが高いと考えられる欧

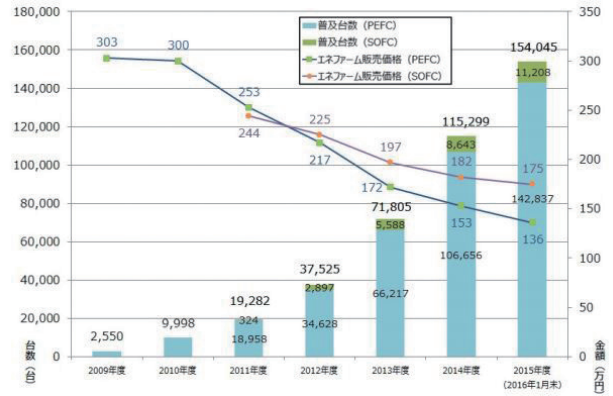


図2 エネファームの販売台数及び価格推移(経済産業省資料)

州等の地域において、現地ボイラーメーカーと提携した海外展開が開始されている。

また一部エネルギー事業者は、エネファームで発電された電力量のうち、自家消費分を除く余剰電力の買い取り制度をスタートした。このような制度面の整備も含め、市場の拡大は価格低下にも繋がることから、今後ともこのような積極的な市場拡大への取り組みが期待される。

### 2.2 燃料電池自動車

燃料電池自動車は、車載のタンクに充填された水素と、空気中の酸素とを燃料電池で反応させ発電、モーターを駆動させる電気自動車である。エネルギー効率が高いため、Well to Wheel (一次エネルギーの採掘から車両走行まで)でCO<sub>2</sub>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。加えて、走行時に大気汚染の原因となる窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、一酸化炭素(CO)、浮遊粒子状物質(SPM)の排出がなく大気汚染抑制に効果を有する、またその燃料である水素を、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あることからエネルギーセキュリティの確保の観点からも有効であるという特徴を有する。

日本においては、2002年から公道における実証研究など本格的な取り組みを開始。燃料電池自動車の本格的量産と普及の道筋を整えるため、各種原料からの水素製造方法、現実の使用条件下での燃料電池自動車の性能、環境特性、エネルギー総合効率や安全性などに関する基礎データを収集するとともに、そのデータの共有化を進めるための研究・活動をおこなってきた。この中で、燃料電池自動車は、車両効率、燃料充填時間、耐久性、寒冷地対応などの面で実用水準を達成し、基本性能は満足する技術レベルに到達している。このような技術的な進展を背景に、2014年12月に燃料電池自動車が市場に投入された。

一方、燃料電池自動車普及に向けたカギとなるインフラ

である水素ステーションについても実証研究を通じて技術開発が進められてきた。特に70 MPa（約700気圧）という超高压水素を取り扱うという技術的に高いハードルをクリアするための要素技術の開発を進めつつ、商用運用を想定して、場所の選定からレイアウト設計、設備仕様検討、許認可手続き、建設に至るまでの一貫した取り組みが進められてきた。併せて、水素ステーション整備を円滑に進めるための規制の見直しや、整備費や運営費の一部を助成する制度により、現在までに81か所の水素ステーション整備が決定された（図3）。このうち、2016年3月末時点で、66か所の水素ステーションが運用をおこなっている。

2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指すというロードマップの目標を達成するため、燃料電池自動車の大幅な普及拡大や、欧米と同等水準の水素ステーションの整備・運営費の達成のための取り組みが不可欠である。

### 3. NEDOにおける取り組み

NEDOは、これまで家庭用燃料電池システムによる燃料電池市場の創造、燃料電池自動車と水素ステーションによる水素インフラの整備を通じて、水素社会の立ち上げに貢献してきた。今後は更に、水素発電といった新たな用途の開拓やサプライチェーンの構築を一体的に進めることにより、水素をエネルギー・ミックスの一翼を担う存在に押し上げ、究極的には、カーボン・フリーの水素社会の実現を目指す。この際、技術開発課題について産学官の叡智を結集してその解決を図るとともに、規制の見直しや基準・標準といった、新技術の導入に不可欠な社会基盤の整備についても並行的に推進している。ここでは、ロードマップに

基づく、最近の技術開発の取り組みについて紹介する。

#### 3.1 定置用燃料電池

エネファームに次ぐ新たなアプリケーションとして、固体酸化物形燃料電池(SOFC)を活用した、数kWから数百kWの発電能力を持つ業務・産業燃料電池の開発が進められている。NEDOでは2013年度より商用タイプのSOFCシステムを用いた実環境下での実証研究を進めている（図4）。この実証研究では、SOFCシステムの信頼性の確認や運用方法などの検証を進め製品としての完成度を高め、2017年以降の商品化を確実なものとするを狙いとしている。

また、SOFCの本格普及レベルの低コスト・高耐久性の両立に向けた企業におけるセルスタックの開発サイクルの効率化のため、セルスタック耐久性迅速評価技術といった基盤的研究開発を産学連携で推進している。

#### 3.2 燃料電池自動車と水素ステーション

2025年から2030年頃のFCVの本格的な普及に向けた主な課題は、固体高分子形燃料電池(PEFC)の更なる高効率化(含む触媒中の白金量削減)や商用車への展開を想定した高耐久性化といったPEFCの性能向上、PEFCの生産性の大幅な向上であり、NEDOではこれら課題に対応すべく、PEFCの研究開発に取り組んでいる。

PEFCの性能向上については、企業における材料・設計技術開発を促進するため、PEFCの高効率・高耐久・低コスト化を同時に実現する「電極触媒」、「電解質膜」、「膜電極接合体(MEA)」、「MEA構成材料」に関する反応現象や物質移動現象の解析・制御技術や50,000時間の長期耐久性評価技術などの共通基盤技術の開発をおこなうとともに、新材料やその構造に関する理論的解明(コンセプト創出)のための研究開発をおこなっている。また生産性を10倍程度に向上することを目指した、様々なプロセス技術開発（図5）に取り組んでいる。



図3 水素ステーション整備の状況(経済産業省資料)

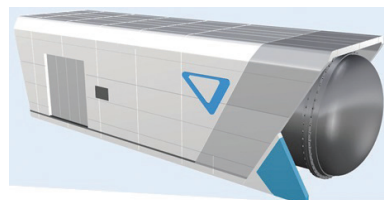


図4 250 kW級業務・産業用燃料電池実証機イメージ

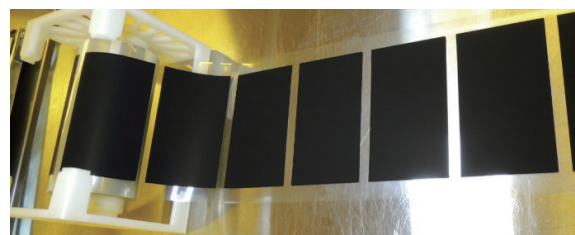


図5 プロセス技術の例(膜-触媒層接合体連続製造技術)



図6 水素ステーション規制適正化取り組み状況

また水素ステーションの本格普及に向け、水素ステーションの設置・運用等における国内規制の適正化(図6)に関する研究開発、水素ガス品質管理方法等の国際標準化の研究開発、水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発をおこなうとともに、水素ステーションの運転・管理手法の高度化を図るため、運用データベースの整備や研修ツールの開発等をおこなっている。

### 3.3 水素発電とサプライチェーン

新たな水素エネルギー需要を創出し、利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービンをを用いた発電システムの技術開発をおこなうとともに、将来の需要に対応する水素の安定的な供給システムの確立のため、海外の未利用資源を活用した水素サプライチェーンを構築するための技術開発をおこなう。

現在、水素利用技術については、1 MW級水素・天然ガス混焼ガスタービンによる発電設備を用いた地域レベルでの熱電併給システムの技術開発、既存の発電所に適用可能な数百MW級水素・天然ガス混焼ガスタービン燃焼器の開発及び水素混焼プラントの基本設計に取り組んでいる。

水素サプライチェーンについては、豪州の褐炭など未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライドや液化水素により国内まで輸送し、供給するための技術開発に取り組んでいる。

### 3.4 再生可能エネルギーを活用した水素製造・利用

再生可能エネルギーの導入が進展する中、電力需給のアンバランスや再生可能エネルギーの出力変動などによる系統制約問題が顕在化している。この課題への対応策の一つとして、余剰電力を一旦水素に変換、貯蔵(輸送)し利用する方法であるPower to Gas(図8)の考え方がいま注目を集めている。

NEDOではPower to Gasの実現に向けて、システムを構

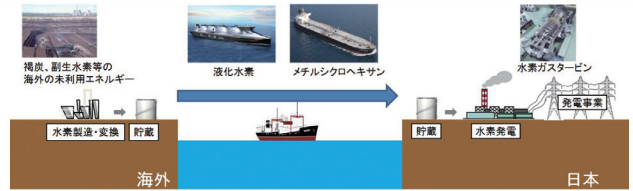


図7 大規模水素エネルギー利用システムイメージ図

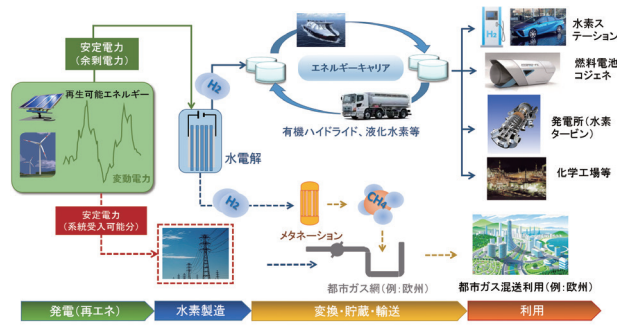


図8 Power to Gas概念図

成する要素技術である水素製造(水電解)技術、水素キャリア転換技術などの開発に取り組むとともに、システムとして効率的に運用するための制御技術の開発をおこなっている。

## 4. おわりに

現在、エネファームの普及拡大やFCVの一般販売開始により、水素エネルギーが現実のものとして受け止められ始めている。また2020年に開催予定の東京オリンピック/パラリンピックにおいて水素を積極的に活用する方向性が示されている中で、社会からの注目度も高まっている。

一方、水素エネルギーの利用については、長年に渡る研究開発の取り組みにより、ようやく個々の技術の導入が始まったところである。今後は、エネルギーシステムとして利用するため技術開発に取り組むことが求められる。

水素は利用時にクリーンなエネルギーであるということのみならず、これまで十分に利活用できていなかった資源を水素に転換することにより有効に活用する、すなわち資源の持つポテンシャルを最大化できるという特徴を有する。様々な資源・エネルギーとの統合による、持続可能な新たなエネルギーシステムの創造に向け、長期的観点を持って取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 新たな成長戦略 ~「日本再興戦略-JAPAN is BACK-」を策定!~  
[http://www.kantei.go.jp/jp/headline/seicho\\_senryaku2013.html](http://www.kantei.go.jp/jp/headline/seicho_senryaku2013.html)
- 2) 水素・燃料電池戦略ロードマップ(平成28年3月改訂)  
<http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160322009/20160322009-c.pdf>