

水素社会への期待と課題

環境調査部

要 約

2013年9月に発表されたIPCCの報告書では、気候システムの温暖化について疑う余地のないことが示された。原因の一つとされる化石燃料に代わるエネルギー源として、水素の有効活用がある。

日本では、2009年から世界に先駆けて家庭用燃料電池の普及が始まった。海外では日本に次ぐとされるドイツでも、実証事業による数百台の導入にとどまっており、海外市場の獲得が期待される。今後2014年度中には、燃料電池自動車市場に投入されるとみられている。車両価格の低減と一定数の水素ステーション整備が普及の条件となるが、そのためには国や自治体による支援と民間企業の積極的な投資が重要になる。

取り組みが進められている水素エネルギーの活用だが、水素を得る一次エネルギーとして化石燃料を使用している現状では、環境性が確保された水素社会とは言えないであろう。製造法や今後の利用拡大に向けた課題はあるものの、水素は非資源国の日本にとって、「S+3E」達成に向けて有望なエネルギーであり、持続可能な社会の実現に向けて、有効に活用されることを期待する。

目 次

- 1章 水素への期待
- 2章 分散型電源における水素利用
- 3章 F C Vのある社会
- 4章 水素社会を支える技術展開
- 5章 将来展望

1章 水素への期待

1. 化石燃料への懸念と水素

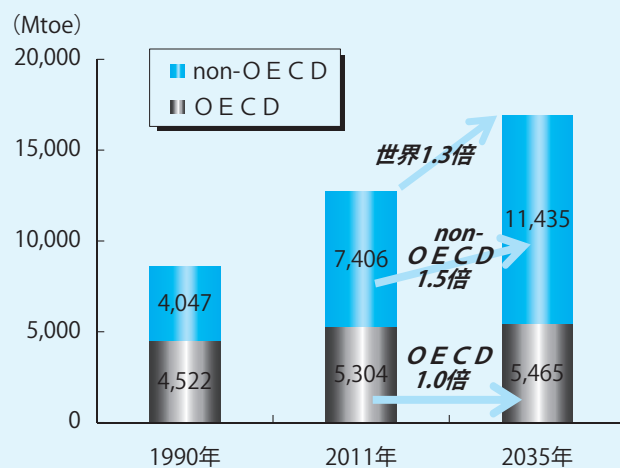
本年6月に発表された「エネルギー白書2014」（資源エネルギー庁）によると、2012年における日本のエネルギー自給率は6.0%（水力1.5%、天然ガス0.7%、原子力0.6%、原油0.1%、再生可能エネルギー等3.1%）まで低下し、日本のエネルギー供給における海外の化石燃料への依存が増している状況が示された。国際エネルギー機関（IEA）は、世界のエネルギー需要は2035年に2011年の約1.3倍になると予想しており、その多くは非OECD諸国の需要拡大によるものとされている（図表1-1）。昨今のエネルギー需要の高まりが、原油、ガスなどの資源価格の上昇をもたらし、さらに、資源国の政情不安などが不安定な価格変動を引き起こしている。米国のシェール革命等により、化石燃料の可採埋蔵量に増加がみられるものの、化石燃料は有限であり、海外依存度の高いわが国が、将来にわたって許容可能な価格で必要な量を確保することが困難になる可能性もある。

環境問題に目を向けると、世界の温室効果ガス排出量は増加の一途をたどっている。2013年9月に発表された「IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書」では、気候システムの温暖化について疑う余地のないことが示され、1986年～2005年を基準とした2081年～2100年における平均気温は0.3～4.8℃の範囲で上昇する可能性が高く、世界各地

にマイナスの影響を及ぼす懸念が示されている¹。化石燃料に代わるエネルギー源の確保は人類にとって喫緊の課題となっている。

こうした中、エネルギー政策の基本に「S+3E」（Safety, Energy Security, Economic Efficiency, Environment）を掲げている日本が、将来のエネルギー源の一つとして期待を高めているのが水素である。水素は、石油、石炭、天然ガスなど様々な化石燃料から生成することが可能であり、エネルギー供給源の多様化によるエネルギー安全保障に寄与し得る。また、地球上に無尽蔵に存在する水から効率的に生成することができれば、温室効果ガス削減にも大きく貢献するだろう。さらに、水素は気体・液体・固体（合金に吸蔵）の形で貯蔵・運搬が可能という特徴を持つため、再生可能エネルギーの大量導入時に出力変動を緩和する蓄電池としての役割にも期待がかかる。水素の利用段階で用いられる「燃料電池」が、分散型電源やモビリティとして広がれば、非常時の電源供給などレジリエンス向上にも役立つ。資源に恵まれな

図表1-1 世界のエネルギー需要予測



(出所) IEA "World Energy Outlook 2013"から大和総研作成

1) 環境省「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書第1作業部会報告書（自然科学的根拠）の公表について」（平成25年9月27日）

い日本にとって、「S + 3 E」達成に向けた貴重な選択肢の一つが水素なのである。

2. エネルギー政策における水素

日本のエネルギー政策の大きな方向性を定めた「エネルギー政策基本法」第12条では、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るため、「エネルギー基本計画」（以下、基本計画）を定めることが、政府に義務付けられている。

2014年4月に発表された第4次基本計画では、「技術革新が進んできていることから、水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている」として、水素の利活用について、個別技術の

開発段階から一歩先に進める姿勢を示している。また、水素というエネルギー源については、第3次基本計画(平成22年6月)で「有力なエネルギー源の一つとしての役割が期待される」としていたのに対し、第4次基本計画では「将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される」としており、“一つの”エネルギー源から“中心的な”エネルギー源へと期待感を強めている(図表1-2)。

こうした流れを受け、2013年12月に発足した「水素・燃料電池戦略協議会」において、水素社会の実現に向けたロードマップを策定するための議論が進められ、2014年6月24日に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(以下、水素ロードマップ)が公表された(図表1-3)。水素ロードマッ

図表1-2 エネルギー基本計画における“水素社会”に関する主な記述

第2章 エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針

第2節 各エネルギー源の位置付けと政策の時間軸

2. 二次エネルギー構造の在り方

また、技術革新が進んできていることから、水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている。

(3) 水素：“水素社会”の実現

将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される。水素は、取扱い時の安全性の確保が必要であるが、利便性やエネルギー効率が高く、また、利用段階で温室効果ガスの排出がなく、非常時対応にも効果を発揮することが期待されるなど、多くの優れた特徴を有している。

水素の導入に向けて、様々な要素技術の研究開発や実証事業が多くの主体によって取り組まれてきているが、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”を実現していくためには、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いる。このため、多様な技術開発や低コスト化を推進し、実現可能性の高い技術から社会に実装していくため、戦略的に制度やインフラの整備を進めていく。

第3章 エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策

第8節 安定供給と地球温暖化対策に貢献する水素等の新たな二次エネルギー構造への変革

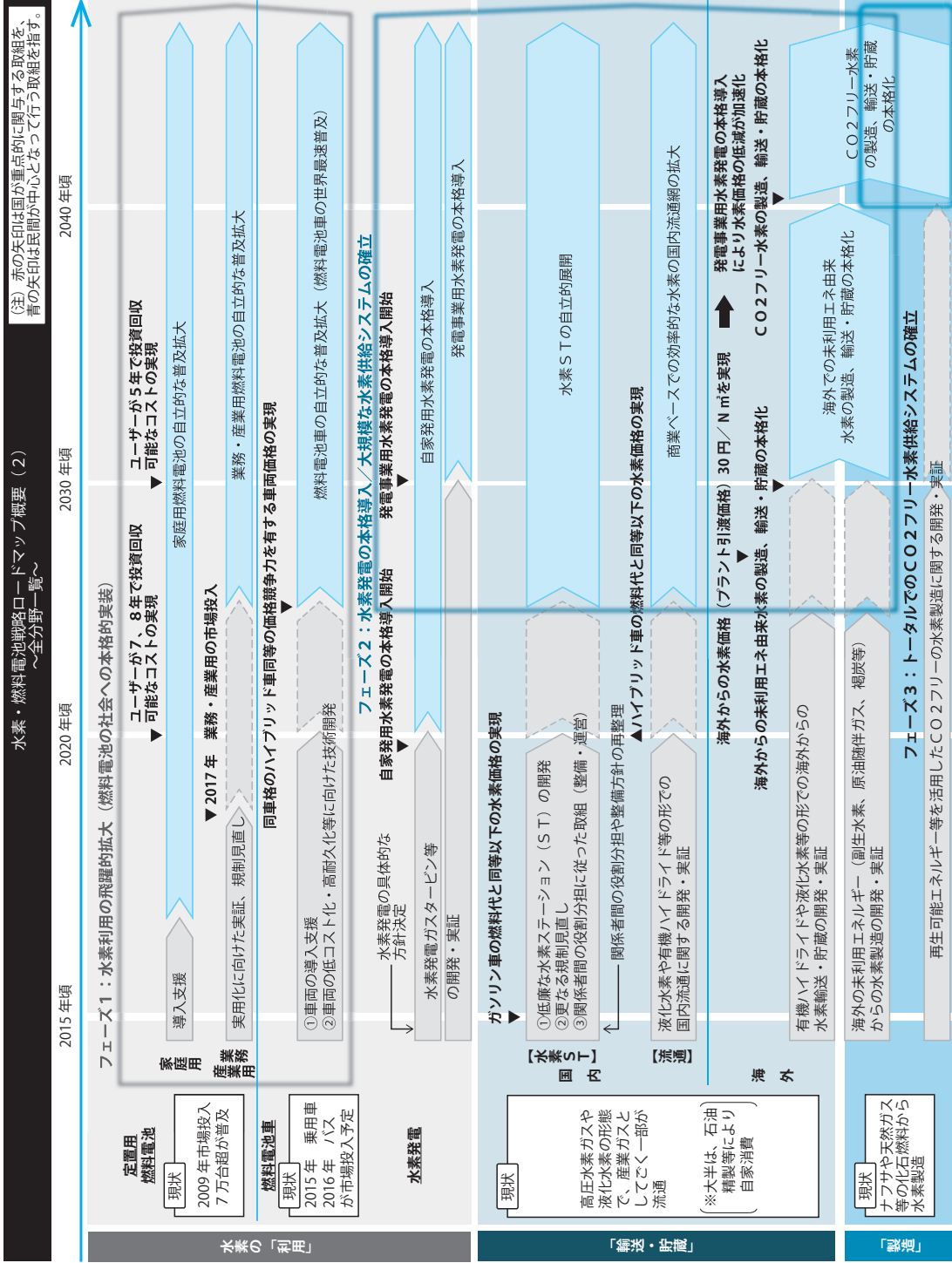
3. “水素社会”の実現に向けた取組の加速

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

(注) 下線は大和総研

(出所) 資源エネルギー庁「エネルギー基本計画」(2014)から大和総研作成

図表 1-3 水素・燃料電池戦略ロードマップ概要 ～全分野一覽～



(出所) 経済産業省水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ概要」（平成26年6月24日公表、原資料では、グレーの矢印部分は赤の矢印

プでは、3つのフェーズで戦略的に対応を進めていく方向性が示されている。

一方で、第4次基本計画では、「水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、すなわち“水素社会”を実現していくためには、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いる」という認識も示されている。水素が「S+3E」に資するエネルギー源となるには、いまだ多くの課題がある。そこで本稿では、“水素社会”実現に向けた各分野における取り組みの現状と課題について整理し、今後の展望について考察する。

2章 分散型電源における水素利用

水素社会の実現に向けて、最も先行する関連技術は「エネファーム」の統一名称で知られる家庭用燃料電池であろう。水素の化学反応により発電する「燃料電池」は、小規模でも発電効率が高く、利用時にCO₂を排出しないことから水素社会における分散型電源として期待されている。現在は、都市ガスを改質した水素を利用するケースがほとんどであるが、CO₂を排出しない水素製造が可能となれば、再生可能エネルギーなどと同じゼロエミッション電源になり得る。日本は、小型の家庭用燃料電池の分野では、既に世界をリードしている。一方で、中・大規模の業務・産業用燃料電池の分野では他国に後れを取っている状況にある。

1. 家庭用燃料電池エネファームの普及と海外戦略

1) 普及の経緯

日本は世界に先駆けて家庭用燃料電池（出力規模：0.7～0.75kW）の商用化を進めてきた。2005年度から「定置用燃料電池大規模実証事業」がスタートし、2008年度までに合計3,307台の燃料電池を実際の家庭に設置して、商用化に向けた課題抽出とシステム改良が行われた。同実証事業により、1台当たり770万円から329万円まで57%のコストダウンに成功している。また、機器発電効率を29.4%から31.5%に2.1ポイント向上させており、予定外停止（トラブル）を1台当たり年間1件以下に低下させた²。この実証事業には燃料供給会社と燃料電池メーカーが参加し、商用化に向けた製造準備やメンテナンス体制づくりも行われた。

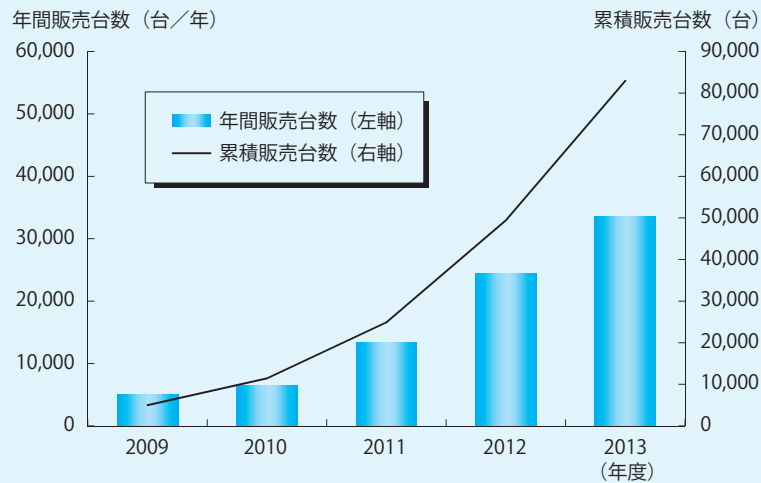
こうした成果を踏まえ、2009年1月、「エネファーム」の販売が開始され、商用化フェーズへと移行した。「民生用燃料電池導入支援補助金」などの後押しを受け、2014年3月末までのメーカー販売台数は累計8.3万台となっている（図表2-1）。最新機種のコストは、1台当たり200万円前後まで低下しており、発電効率は、実証事業で用いられた固体高分子形（PEFC）³で39.0%、2011年に新しく市場投入された固体酸化物形（SOFC）で46.5%となるなど、実証事業の頃よりさらに向上している⁴。また、排熱

2) 財団法人新エネルギー財団「平成21年度 定置用燃料電池大規模実証事業報告書」（平成22年3月）

3) 燃料電池は、使用する電解質の種類により形式が異なり、異なる特徴を持つ。現在、固体高分子形（PEFC）、リン酸形（PAFC）、熔融炭酸塩形（MCFC）、固体酸化物形（SOFC）の主に4つの形式の燃料電池について実用化が進められている。

4) 大阪ガス株式会社「家庭用燃料電池エネファーム（PEFC）の新製品発売について」（2013年12月18日）、「家庭用燃料電池エネファーム type S（SOFC）の新製品発売について」（2014年3月10日）

図表2-1 エネファームメーカー販売台数（2014年3月末現在）



(注1) エネファームメーカー販売台数とは、メーカーが出荷・納品したエネファームの台数
(注2) 台数カウントのタイミング（出荷・納品）はメーカーによる
(出所) 一般社団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター公表資料から
大和総研作成

を温水として家庭内で有効利用するため、総合効率率は90%近くとなり、従来のシステム（従来給湯暖房システム+火力発電の方式）と比較すると、一次エネルギー消費量を約37%削減することができ、CO₂排出量は約48%削減されるという試算もある⁵。

2) 今後の課題と新たな試み

これまで大幅なコストダウンが行われてきたものの、現在の価格帯では補助金を活用したとしても投資回収年数が10年以上になるなど、依然として導入にはハードルが高い。第4次基本計画では、2020年に140万台、2030年に530万台の導入目標を立てている。その目標達成に向け、水素ロードマップでは、2020年に7、8年で投資回収が可能な金額を、2030年には5年で可能な

金額を目指すことが示されている。今後は、各社とも技術開発によるコストダウンを進めると同時に、新規顧客開拓による量産効果や付加価値向上を狙う動きとなろう。例えば、従来のシステムは3～4名が居住する戸建住宅を主なターゲットとしてきたため、熱負荷の低い少人数の家庭や設置スペースが限られる集合住宅では導入が進まなかったが、熱電比⁶が低いSOFCでの商品展開や集合住宅向けのスリム型エネファームを市場に投入することで、顧客層を広げようとしている。また、東日本大震災以降、自立運転機能付きの新機種が開発され、災害時のニーズへの対応が図られている。

他方、システムの連携で相乗効果を狙う試みも行われている。静岡ガスでは、エネファームによるマンション内電力融通システム「T-グリッド」

5) 東芝燃料電池システム株式会社「エネファームカタログ」

6) 発電量に対する熱の発生量。SOFCは発電効率が高いため、PEFCと比較すると発電量が多く熱の発生量が少ない。

を開発、静岡県東部に建設予定のスマートタウンに導入するという⁷⁾。同システムは、各家庭における発電電力の余剰分を不足分に融通することでエネファームを効率的に稼働させ、省エネルギー、省コスト、エネルギーの自立化を図る。通常、家庭間で電力売買を行うことはできないが、マンションで電力の一括受電を行うことでマンション内における家庭間の電力売買を可能にしており、新たな知見が得られることが期待される。また、藤沢市南部で進められている「Fujisawa サステイナブル・スマートタウン」では、各戸に太陽光発電、蓄電池、エネファーム（またはエコキュート）を標準装備し、HEMS⁸⁾により最適運転を行う創蓄連携システムが導入されている。これにより、各戸の「CO₂ 排出量±0」⁹⁾を実現、非常時のエネルギー自給自足も可能になるという。

今後はエネファーム単体の性能向上だけでなく、環境配慮型の自立した街づくりを実現する中で、より高い機能を発揮することを示していく必要がある。

3) 海外進出

家庭用燃料電池の分野では日本に次ぐとされるドイツでも、2008年から始まった実証事業（Callux プロジェクト）の導入台数が350台程度（2012年末）にとどまっており、本格的な商用化

はこれからである¹⁰⁾。2013年10月、パナソニックは欧州で暖房システムの販売を手掛ける（独）フィスマンとともに欧州市場向けの新商品を開発することを発表した¹¹⁾。続いて2014年3月、東芝燃料電池システムも欧州市場への参入を発表しており、欧州の暖房機器メーカーである（独）BDRサーメア社のグループ開発会社とともに欧州市場向けの新商品を開発、同社の販売網を活用して市場獲得を目指している¹²⁾。海外では、燃料となるガスの組成が異なるうえ、気候や生活習慣の違いから電力・熱の需要パターンが大きく異なる。現地用のカスタマイズが必要であることや、現地における知名度、販売・メンテナンス網なども考慮し、現地企業との提携による市場参入が有効と判断されたものとみられる。

家庭用燃料電池は、環境性や非常時の電源としての価値が認識されつつあり、今後もコストダウンによる経済性向上に伴って、国内外の市場が広がるとみられる。また、現在日本が世界をリードしている分野であるために、成長産業としての期待も大きい。

2. 業務用・産業用燃料電池の可能性

業務・産業用燃料電池の分野では、特に米国系企業が商用化に成功しており（図表2-2）、主に米国と韓国が市場をけん引している。米国では、カリ

7) 静岡瓦斯株式会社「マンション内電力融通システム『T-グリッドシステム』採用のスマートタウン計画について」（2014年1月30日）

8) Home Energy Management System の略称。家庭内のエネルギー管理をするシステム。

9) パナホーム株式会社『Fujisawa サステイナブル・スマートタウン』（2013年9月19日）では、「家庭内においてエネルギーを使って排出するCO₂と、創エネによって削減されるCO₂を年間トータルでプラスマイナス0にすることを『CO₂ 排出量±0』といいます（注：CO₂ ±0は『CO₂を排出しない』ということではありません）」とある。

10) “The Fuel Cell Industry Review 2013”, Fuel Cell Today

11) パナソニック株式会社「パナソニックが欧州初となる家庭用燃料電池コージェネレーションシステムを発売」（2013年9月17日）

12) 東芝燃料電池システム株式会社「欧州地域における家庭用燃料電池システム事業の参入について－欧州の大手暖房機器メーカー傘下の開発会社と提携－」（2014年3月14日）

図表 2-2 海外の業務用・産業用燃料電池参入企業

企業	Clear Edge Power		Bloom Energy	Fuel Cell Energy	Ballard Power Systems	LG Fuel Cell Systems	G E
開発国	米		米 (日)	米 (韓)	加	米 (韓)	米
形式	PAFC	PEFC	SOFC	MCFC	PEFC	SOFC	SOFC
発電容量	400kW	5 kW	200kW	300kW 1.4MW 2.8MW	1 MW	—	—
現状	販売	販売	販売	販売	実証	開発	開発
運用方法	コジェネ	コジェネ	モノジェネ	モノジェネ	モノジェネ	—	—
発電効率	41%	40%	50-60%	47%	40%	—	—
総合効率	90%	90%	—	—	—	—	—
備考	米UTCを吸収 (2013年)	連結で25kWまで拡張可	連結で拡張可 日本ではソフトバンクと合併	韓 Posco にライセンスング	—	Rolls Royce と合併	ガスエンジン・ハイブリッド

(出典) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

(出所) 資源エネルギー庁 水素・燃料電池協議会ワーキンググループ(第2回)資料2「業務・産業用燃料電池について」(平成26年2月3日)を基に大和総研作成

フォルニア州の自家発電設備導入支援事業 (SGIP: Self-Generation Incentive Program) が導入を後押ししてきた。SGIPは、2000年夏から翌年にかけて起きたカリフォルニア大停電を契機にスタートし、当初は自家発電による電源増強が主目的であったが、2009年頃からは温室効果ガス削減に主眼が置かれるようになり、燃料電池の導入が拡大した。SGIPにより、2012年末までに195件、合計70MWの燃料電池が導入されている¹³⁾。

韓国では、燃料電池を「新エネルギー」と位置付け、RPS制度の対象電源として政策的に導入を進めている。華城市で60MW規模の燃料電池発電所が建設されるなど、今後もMW級の燃料電池発電所の建設が進むとみられている。韓国の鉄鋼会社であるポスコは、子会社のポスコエナ

ジーを通じて米 Fuel Cell Energy と熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) のライセンス契約を締結している。韓国内に生産能力が最大140MW/年となるMCFCの工場を設立、2014年後半から2015年前半には製造を開始する計画であり¹⁴⁾、製造現地化への動きも見られている。地域別の燃料電池出荷数を見ると、台数では、エネファームの貢献によりアジアのシェアが大きいですが、量 (MW) では、韓国の大規模導入を背景に北米とアジアがシェアを二分しており、今後もこの傾向が続くことが予想されている¹⁵⁾ (図表2-3、2-4)。

日本では、1990年代からリン酸形燃料電池 (PAFC) が商用化され、導入が進んできたが、現在は限定的な利用にとどまっている。日本は電力価格と比較して燃料価格が相対的に高いため、

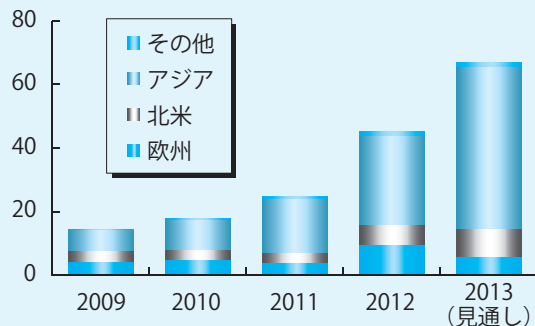
13) California Public Utilities Commission “2012 SGIP Impact Evaluation and Program Outlook”

14) FuelCell Energy “FuelCell Energy Announces Manufacturing Agreement With Partner, POSCO Energy”, November 5, 2012

15) “The Fuel Cell Industry Review 2013”, Fuel Cell Today

図表2-3 燃料電池の地域別年間出荷量（台数）

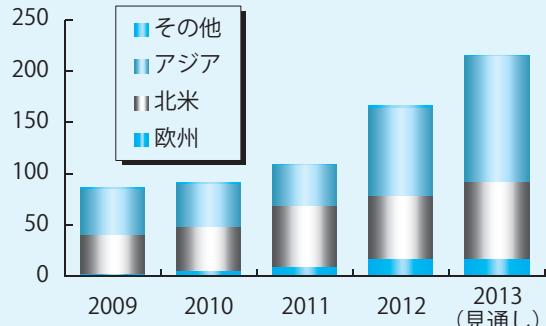
（千台／年）



（出所）Fuel Cell Today “The Fuel Cell Industry Review 2013”

図表2-4 燃料電池の地域別年間出荷量（MW）

（MW／年）



（出所）Fuel Cell Today “The Fuel Cell Industry Review 2013”

コージェネレーションシステム全体の導入が停滞していることが背景にある。また、ガスエンジンの技術が向上し、環境面、経済面での優位性が出しにくくなっていることも一因となっている。

2013年7月、米 Bloom Energy は、ソフトバンクと折半出資の Bloom Energy Japan を設立、発電効率の高い SOFC により日本市場に参入した¹⁶。SOFC では、三菱日立パワーシステムズによる SOFC 複合発電システム（SOFC とマイクロガスタービンの 2 段階で発電するシステム）の開発が行われており、商用化のめどが立ちつつあるという¹⁷。環境面、経済面の優位性をどこまで出せるかが普及の鍵を握ることになる。昨今の BCP 意識の高まりや電力自由化、地域経済活性化等の流れを受けて、分散型電源を再評価する動きもある。優位性が明らかになれば、政策的な支援により普及に弾みがつく可能性もある。

3章 FCVのある社会

水素社会の実現に向けた第一歩として、家庭用燃料電池という形でスタートが切られ、その次に来るものとして、2014 年度中¹⁸に国内市場への導入（乗用車）が予定されている燃料電池自動車（以下、FCV）への注目度が高まっている。FCV は、その名の通り燃料電池を動力とする一種の電気自動車（以下、EV）のことである。FCV には、走行中に CO₂ を排出せず、窒素酸化物などの有害物質もほとんど出さない、エンジンがないので静か、小型から大型まで多様な用途に対応できる、といった特徴がある。

1. FCVの可能性

1) 自動車に求めるもの

一般社団法人日本自動車工業会のアンケート調査¹⁹

16) ソフトバンク株式会社「ソフトバンクと Bloom Energy が、日本でクリーン・安定的・分散型の電力供給を行う合併会社を設立～ Bloom エナジーサーバーは、すでに米国内において、オフィスビル、病院、データセンター、市庁舎やその他大規模商業施設に設置され、分散型電源として、継続して安定的に電力を供給しています～」(2013年7月18日)

17) 三菱日立パワーシステムズ株式会社 SOFC の開発状況より (2014年6月30日閲覧)

18) トヨタ自動車「トヨタ自動車、セダンタイプの燃料電池自動車を、日本で 2014 年度内に 700 万円程度の価格*1で販売開始—トヨタ店・トヨペット店で販売。米欧では 2015 年夏頃から販売—」

*1 消費税を含まない車両本体のメーカー希望小売価格の目途。

19) 一般社団法人 日本自動車工業会「2013 年度 乗用車市場動向調査」(2014年3月)

によると、次世代自動車（ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車）の購入意向は3割以上となっており、決して低くはない。全体と比べて購入意欲は首都圏で高く、地方圏では低いという差がある。一方でFCVの認知度は低く、現時点で「次世代自動車」として認識されているとは言い難い（図表3-1）。普及を促すためには、まずは首都圏に対して、先行的にFCVを次世代自動車としてアピールする必要があるかもしれない。

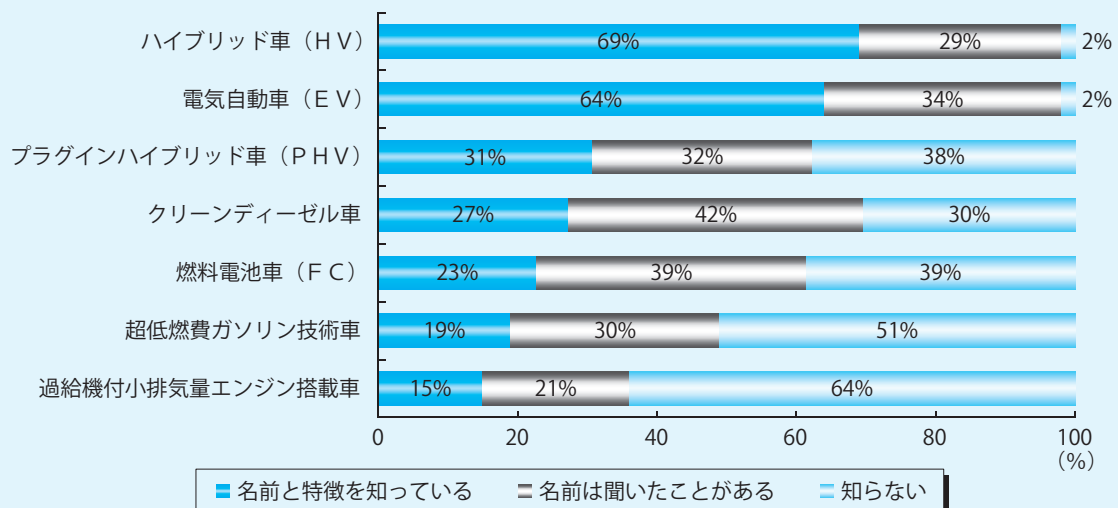
同アンケートによると、何らかの車の購入意向のある人が希望するサイズは、現在、保有しているものより小さくなる傾向が続いており、特に高齢者では顕著となっている。一方、家族形成期では、むしろ大きい車を購入する意欲を持つ人が多い。家族構成によって乗車人数が変わることや、高齢者の場合は、高齢化（視力や反射機能の衰え）に伴う運転技術の低下も関係している可能性がある。これらのアンケート結果から分かるように、

自動車に対する意向は多様であり、居住地域や家族構成に影響されることに注意が必要である。

また、国土交通省の白書²⁰によると、自動車を保有していない理由は、公共交通機関や自転車など、その他の手段による移動で十分であることなどが上位にある（図表3-2）。近年はカーシェアリングやコミュニティサイクルの利用者も増加している。この変化が、乗り物における「所有から利用へ」（シェア社会化）を促すかどうか、現時点では判断が難しいが、便利であると感じているからこそ、利用者が増加していると考えられる。これらのことから、自動車を保有するかどうかについては、公共交通や自転車など他の交通手段の整備状況も関係していることが分かる。

さらに、水素ステーション設置の面でも需給のミスマッチが見えてくる。次世代自動車の購入意欲の高い都市圏では、土地代の高さが水素ステーション設置のネックとなる一方、地方圏では居住範囲が広がっていることと次世代自動車の購入意

図表3-1 次世代自動車の認知状況



(出所) 一般社団法人日本自動車工業会「2013年度 乗用車市場動向調査」から大和総研作成

20) 国土交通白書「平成24年度国土交通白書」

図表 3-2 車を保有しない理由

	20～30代 [N=705]	40～60代 [N=137]
公共交通機関で十分だから	56.2%	63.5%
自転車、バイク、徒歩などで十分だから	42.7%	49.6%
購入価格が高いから	38.0%	19.7%
ガソリンや税金等の維持費が高いから	39.1%	31.4%
駐車場代などの費用が高いから	33.5%	25.5%
いずれ購入したいと思っているが、今は費用や保管場所などが確保できないから	9.1%	3.6%
いずれ購入したいと思っているが、今は欲しいと思う商品がないから	1.8%	1.5%
環境に悪いから	6.4%	13.9%
その他	18.2%	18.2%

(資料) 国土交通省「国民意識調査」

(出所) 国土交通白書「平成 24 年度国土交通白書」

向が高くないことから、需要が分散してしまう懸念がある。分散した需要に対応して水素ステーションを設置するのは非効率であるため、以前から指摘があるような、コンパクトタウン化による生活機能の集約化とともに考えていく必要がある。つまり「街づくり」において、FCVインフラである水素ステーションをどう位置付けるか、が問われることになる。

2) 社会環境の変化

今後、需要がどのように変わっていくかを検討するために、「高齢化」「ICT活用」「低炭素化」という社会環境の変化による影響を考察する。

(イ) 高齢化

交通事故による死者数は年々、減少してはいるものの、高齢者の割合は増加している。65歳以上の死者数は歩行中に次いで自動車乗車中が多

く、この2種類で全死者数の4割以上となっている²¹。また、高齢者の運転免許返上数（申請による運転免許の取り消し数）は、年々、増加しており、年間10万人以上となっている²²。今後、ますます高齢化が進んでいくことが予想されており、人口減少も起きていることから、日本では免許保有者の絶対数が減る可能性がある。

(ロ) ICT活用

近年、一定の速度以下という条件はあるが、前方の障害物（自動車、ヒトなど）に衝突しないように、センサーを活用して自動ブレーキがかかる仕組みが人気である。また、運転手の健康状態や覚醒状態を検知して、問題があれば停止するなど安全性向上のための開発も進められている。このように自動車とICTは密接に結びついているが、その究極の形ともいえるものが自動運転である。自動運転は、事故防止だけでなく渋滞緩和や

21) 警察庁「交通事故統計〔平成26年3月末〕」

22) 警察庁「運転免許統計 平成25年版」

エコドライブの実現にも有効なことから、環境負荷低減や燃費改善をもたらすものと考えられる。

また、高齢者や障がい者をはじめ、自動車は必要だが運転に不安を覚えるような層にも、自動運転への期待は大きいであろう。スーパーや病院など、行きたい場所が限定的な場合、従来のガソリン車のようにスピードが出て、何百キロも継続して走行できる必要はないため、行き先を告げれば勝手に走ってくれることの方に魅力を感じるかもしれない。この点では、1～2人用の超小型モビリティ（パーソナルモビリティ）といわれる、新しいカテゴリの自動車の動向も見逃せない。

（ハ）低炭素化

欧州ではCO₂の排出量規制、米国では燃費規制などを厳しくしており、今後も強化される可能性がある。日本でも、以前より高いレベルの燃費改善が求められている。F C Vは走行中にCO₂を排出しないため、E Vと並んで、こうした規制への有力な対応策となり得る。ただし、将来的には燃料の由来を含めた Well to Wheel²³での低炭素化が問われる可能性も否定できない。その場合、現在の主流である天然ガスから製造される水素を使ったF C Vよりも、E Vやプラグインハイブリッド車の方が評価が高くなるだろう。なお、どのような電気で充電するかによって評価が変わる

ので、E Vなども電気の由来を問われるようになるかもしれない²⁴。また、国土交通省が平成24年6月に公表した「超小型モビリティ導入に向けたガイドライン」では、超小型モビリティの定義として「環境性能に優れ」ていることも挙げており、今後の自動車は大きさに関わらず、CO₂の排出量が少ないことが求められることになる。

「高齢化」と「ICT活用」のどちらの視点でも、移動に対するニーズが変化する可能性が示唆される。F C Vは、マイカーに対するこうした多様なニーズに対応するための新しい選択肢の一つとなるのか、他の次世代自動車もある中でどういう位置付けを目指すのかが問われるだろう。また、「低炭素化」への規制強化が将来的に厳しくなると予想されることもあり、走行時のCO₂の排出量以外の点でも対応が求められよう。

3) 輸送車両としての可能性

水素ロードマップでは、現在のF C Vは、乗用車として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としている。しかし、安定的に大きな水素需要を生み出すことが期待されるバスやタクシーなどの業務車両については、乗用車より長い走行距離（耐久性）と経済性が要求されることを課題として指摘して

図表 3-3 用途ごとに求められる耐久性（走行距離）

乗用車	タクシー	路線バス	トラック	現在の燃料電池自動車
10～20万km程度	100万km程度	75万km～	100万km程度	約20万km

（出所）資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップ」と水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ（第4回）資料1「燃料電池の新たな用途について」（平成26年3月26日）を基に大和総研作成

23) 各燃料の製造段階（Well to Tank）と走行段階（Tank to Wheel）をトータルした、ライフサイクルでのエネルギー消費量やCO₂排出量のこと。

24) 例えば中国はE Vの普及に熱心ではあるが、石炭火力発電の割合が高いため、ライフサイクルで見ると低炭素化に貢献するとは言い難いという指摘がある。

いる（図表 3-3）。

また、トラックなどの輸送用車両は用途が多岐にわたるため多くの車種が必要であり、安全性確保のための保守体制構築が求められるなど、乗用車とは別の観点での課題が少なくないという指摘もある。

なお、バスなど大型車両の場合は、搭載する燃料電池が乗用車に比べて大きいため、避難所 4～5 日分の電力供給が可能とされており、地域の防災対策として活用できるという期待が高い。こうした防災機能を評価することで、まずは公的な機関への導入を進め、普及の足掛かりとすることも考えられる。

輸送車両に関連する今後の社会環境の変化として、エネルギー安全保障への懸念の高まりと低炭素化への規制強化の 2 点が挙げられる。エネルギー安全保障の点から、低燃費化と石油依存の軽減は必須となっているが、低燃費化と石油依存の軽減は低炭素化にもつながることから、エネルギー安全保障の確保と低炭素化と

いう変化へ対応する方向は一致しているといっていだろう。こうした中、輸送部門の低炭素化対策として、走行中に CO₂ を排出しない F C V は、ガソリン車より優位性を持つと考えられる。

なお、輸送部門の低炭素化対策には、自動車による陸上輸送から海上輸送や鉄道輸送への転換を図るモーダルシフトという方法もある。また、1 台のトラックに複数の企業の荷物を混載

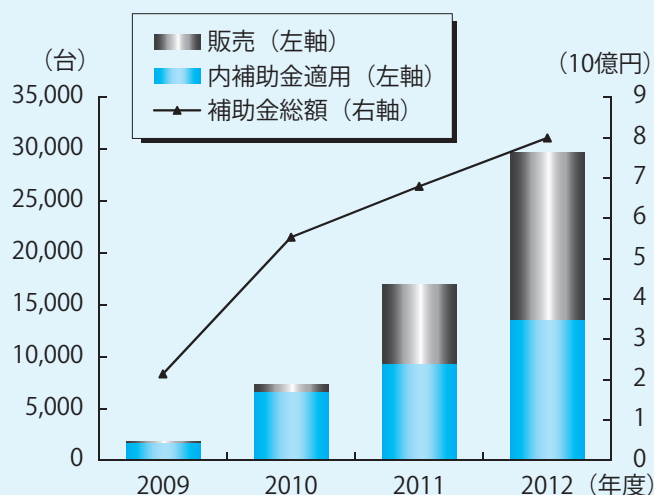
したり、往復で異なる企業の荷物を載せることで、走行する台数を減らしたりする取り組みなどもある。輸送部門の低炭素化を実現するには、車両そのものの低炭素化とともに、こうした制度や業界慣行の見直しといった物流の仕組み全体で考えることも求められよう。

2. E V 市場形成の経緯

F C V と E V は、主となる電力源が燃料電池と蓄電池で異なるため、走行可能距離やエネルギー充填に要する時間などに違いはあるものの、新しい社会インフラ（充電スタンドや水素ステーション）が必要である点は共通している。そのため、F C V にとって E V は参考とするべき点があると考えられる。

E V は、2009 年から本格的に一般向け市販車両が発売されている。2012 年度末時点における E V ・ P H V（プラグインハイブリッド車）の累計販売台数は約 6 万台となっており、経済産業省

図表3-4 E V ・ P H V 販売台数と補助金適用台数・金額の推移



(注) 2012年度の補助金総額は2012年12月26日現在のものを利用
(出所) 一般社団法人次世代自動車振興センター「電気自動車等販売台数統計」「補助事業の進捗状況」から大和総研作成

「クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金」の適用を受けてのことが多い。(図表 3-4)。

また、別途実施されている国土交通省「電気自動車による地域交通のグリーン化事業」(2014年度予算額約3億円)では、貨物や旅客の運送事業者によるEV等(EVバス、EVタクシー、EVトラックなど)の集中的導入などを対象に、最大で車両本体価格の半額を補助するほか、各自治体において個別に助成制度を整備している地域もある。

クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金では、補助対象となるEV銘柄ごとに定められた基準額(同車格のガソリン車両価格に調整を加えたもの)を基に補助金額が決められている。その一覧(2014年6月9日時点)から、各EVの定価と基準額の差分を平均すると、約89万円となっている。このように比較的高額なEV車両価格に対しては、上述のような国や自治体による各種補助金が重要な役割を果たしていると言える。

一方で、充電インフラの整備では、限られたエリアで集中的にインフラ整備を行い、そこからベストプラクティスを心得て横展開を図ることを目指した「EV・PHVタウン構想」²⁵による取り組みがある。モデルとなる地域を「EV・PHVタウン」とし、全国の自治体からの公募により、2009年3月に第1期として8地域(青森県、新潟県、福井県、東京都、神奈川県、愛知県、京都府、長崎県)、2010年12月に第2期として追加で10地域(大阪府、岡山県、沖縄県、岐阜県、熊本県、埼玉県、佐賀県、静岡県、栃木県、鳥取県)を選定した。これらの地域での取り組みは、第2

期で選定された地域を合わせて、2012年1月に「EV・PHVタウン構想ベストプラクティス集Ⅱ」として取りまとめられており、他の地域における整備計画立案への活用が可能となっている。

そのような活動を経て、国は1,000億円規模の「次世代自動車充電インフラ整備促進事業」²⁶(2013年3月19日受付開始)を実施し、充電インフラのさらなる拡充を推進している。また、民間においても、国内自動車メーカー4社が独自の支援策として「【PHV・PHEV・EV】充電インフラ普及支援プロジェクト」(2013年11月12日受付開始)を実施している。2014年5月26日には「合同会社日本充電サービス」を立ち上げ、充電インフラネットワークを構築・運営する体制を整えた。国と民間両方の補助を受けられることができれば、充電インフラの設置および運営のほとんどを実質的に負担することが無くなるため、今後充電インフラの数が大きく伸びる可能性がある。

「次世代自動車戦略2010」²⁷では、2020年までに新車販売台数に占めるEV・PHVの割合を15~20%とし、普通充電器200万基、急速充電器5,000基を設置することが目標に掲げられている。経済産業省「日本経済の新たな成長の実現を考える自動車戦略研究会」の中間とりまとめ(2011年)²⁸においても、その方向性を確認している。国や民間による充電インフラ普及のための事業は、そのような目標に向けた布石として期待されている。

このようにEV市場においては、車両購入・イ

25) 経済産業省「EV・PHVタウンの取組」

26) 経済産業省「『次世代自動車充電インフラ整備促進事業』の公募を開始します」(平成25年3月19日)

27) 経済産業省「次世代自動車戦略研究会『次世代自動車戦略2010』」(平成22年4月12日公表)

28) 経済産業省「『日本経済の新たな成長の実現を考える自動車戦略研究会』中間とりまとめの公表について」(平成23年6月15日)

ンフラ整備の両方において補助や支援が大きな役割を果たしている。特に充電インフラについては、地域の特徴に合った取り組みを策定できるようにしたうえで、先行投資による一定数の整備を官民連携で推進することで、普及の環境が整いつつある。

3. F C Vの取り組みと課題

F C Vが普及するためには、新たな社会インフラとして圧縮水素を供給する水素ステーションが必要であり、E Vと同様、水素ステーションの十分な整備が課題とされる。2014年4月時点で、全国の水素ステーションはおよそ20カ所とみられる（図表3-5）。

民間では2011年1月に、自動車メーカー3社

とガス・石油会社10社の合計13社が、2015年までに主に四大都市圏で100カ所程度の水素供給インフラを先行整備する旨の共同声明を发出し、F C Vを活用した水素社会の実現に向けた意思を表明した²⁹。

国もそれを後押ししており、2013年5月17日の安倍首相による成長戦略第2弾のスピーチでは、F C Vに実装されている水素タンクや水素ステーションに関する規制の一举見直しが発表された³⁰。水素ステーション整備に関しては、第4次基本計画でも「四大都市圏を中心に2015年内に100カ所程度の水素ステーションの整備をする」とされている。

具体的な支援策として、国は「水素供給設備整

図表 3-5 次世代自動車の補給施設比較

	ガソリンスタンド	充電ステーション(通常)	充電ステーション(急速)	水素ステーション(オンサイト)	水素ステーション(オフサイト)
対象車両	I C E V	P H V、E V	E V	F C V	F C V
配給方式	ガソリンを調達・備蓄して配給	系統電力と接続して配給	系統電力と接続して配給	メタノール・天然ガス等を調達し水素に改質して配給	圧縮水素等を調達・備蓄して配給
補填時間	2～3分	P H V：4時間 E V：8時間	20～30分	3分	3分
施設設置費用	8,000万円	1,083万円	1,432万円	5.6億円	4.8億円
施設数	36,349カ所 (2012年)	5,519カ所 (2012年)	1,381カ所 (2012年)	10カ所 (2014年)	10カ所 (2014年)
特記事項	ピークは1994年の60,421カ所。充電インフラ等を併設するところもある。	2011年初期は通常約2,600カ所、急速約500カ所。「次世代自動車戦略2010」における2020年の充電器設置目標は、通常200万基、急速5,000基となっている。		「燃料電池自動車用水素供給設備 設置補助事業」において、平成25年度予算で19カ所、平成26年度予算で13カ所の交付が決定している。2015年までに100カ所程度の整備を目指している。	

(注1) 充電ステーションの施設設置費用は、認定充電設備の平均価格と、工事区分に応じた補助上限額より支払費用に案分した額を合算
(注2) 水素ステーションの施設設置費用は、パッケージを含まない中規模施設の補助上限額より支払費用に案分して算出
(出所) 水素・燃料電池実証プロジェクト「燃料電池システム等実証研究(第2期)H F Cプロジェクト」報告書、経済産業省エネルギービジネス戦略研究会(第7回)配布資料4「中間とりまとめ(案)」(平成25年6月27日)、一般社団法人次世代自動車振興センター「次世代自動車充電インフラ整備促進事業」「燃料電池自動車用水素供給設備 設置補助事業」(2014年4月23日閲覧)、「電気自動車・充電インフラ等の普及に関する調査(要約)」、資源エネルギー庁「揮発油販売業者数及び給油所数の推移(登録ベース)」(平成24年度末)、水素供給・利用技術研究組合ウェブサイト(2014年4月23日閲覧)を基に大和総研作成

29) 資源エネルギー庁「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係る民間事業者による共同声明について」(平成23年1月13日)

30) 首相官邸「平成25年5月17日 安倍総理『成長戦略第2弾スピーチ』」

備事業費補助金」を実施しており、2013年度に45.9億円、2014年度には増額して72億円の予算を組んでいる。しかしながら、2014年6月30日時点で交付先として42件が決定しているものの、2014年度予算分は三次公募まで実施しており、一挙に整備が進んでいるとはいえないであろう。そこには規制見直しの他に、二つの課題があると考えられる。

一つは、水素ステーションの設置費用が、充電インフラやガソリンスタンドと比較して非常に高価な点である。「水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ」では、圧縮機・蓄圧器・プレクーラー・ディスペンサーといった水素ステーションならではの構成機器について、仕様の標準化による製造の汎用化、全体設計によるコンパクト化、量産効果、などによるコスト低減が検討されている³¹。水素ロードマップでは、これまでの規制見直しや技術開発を引き続き推進するとともに、2020年までは限定的と考えられるF C V普及台数に見合う最適な規模の水素ステーションの仕様とすることで、コストが低減できる可能性も示されている。

もう一つは、F C Vがある程度普及するまでの期間、水素ステーションの稼働率は低い状態が続いてしまうため、水素ステーションの事業性が厳しくなる可能性が高い点である。この点については、第4次基本計画でも言及されており、「普及初期においては、水素ステーションの運営は容易ではなく、(中略)本格的な水素社会の幕開けを確実なものとするため、燃料電池自動車の導入を円滑に進めるための支援を積極的に行う。」としている。水素ロードマップでは、インフラ事業者、

自動車メーカー、国、自治体等の関係者が連携したうえで、水素ステーションの効率的な整備に適切な地域の選定と整備を促す仕組みの検討について、早期に結論を得る方針が示されている。

F C Vの導入を円滑に進めるには、四大都市圏でも特に需要の見込める中心部などに集中的に水素ステーションを設置し、着実に利用される車両から導入することで、F C Vの普及を促進する環境を整えることが重要であると考えられる。ただしそのような場所は過密で空きが少なく、地価も高いことが想定される。水素ステーションは充電インフラより構成機器が多く場所を取るため、用地取得に係るコスト負担は水素ステーションを運営するうえで、他の地域以上に懸念される点である。

そのような問題に対する国や自治体の支援としては、例えば次のようなものが考えられる。

・用地取得に関する支援

公用の土地の供用、公開空地の転用、行政が把握している空き地と水素ステーション事業者のマッチングなど

・運営への支援

既存ガソリンスタンドやC N G (圧縮天然ガス) スタンドの転換、または併用への支援、特に普及初期における水素ステーション運営事業者に対する助成など

・民間からの用地提供を後押しする支援

オフィスビル・マンション・ホテル・観光施設等の駐車場への移動式水素ステーションの間借り設置に対する貸主への優遇など

E V市場においては、官民双方による補助事業

31) 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ (第3回) 配布資料「(株) 神戸製鋼所プレゼン資料」(平成26年3月4日)

によって普及の環境が整いつつある。F C V市場においても、官民が緊密に連携して、特に普及初期における水素ステーション設置事業者の負担を和らげつつ整備していくことが重要となる。2015年までに四大都市圏で一定数の水素ステーション整備を実現するには、設置を後押しするような規制改革の実施と、設置・運営の両面で強力に支援するような取り組みが必要になると考えられる。

4章 水素社会を支える技術展開

1. 水素のサプライチェーン

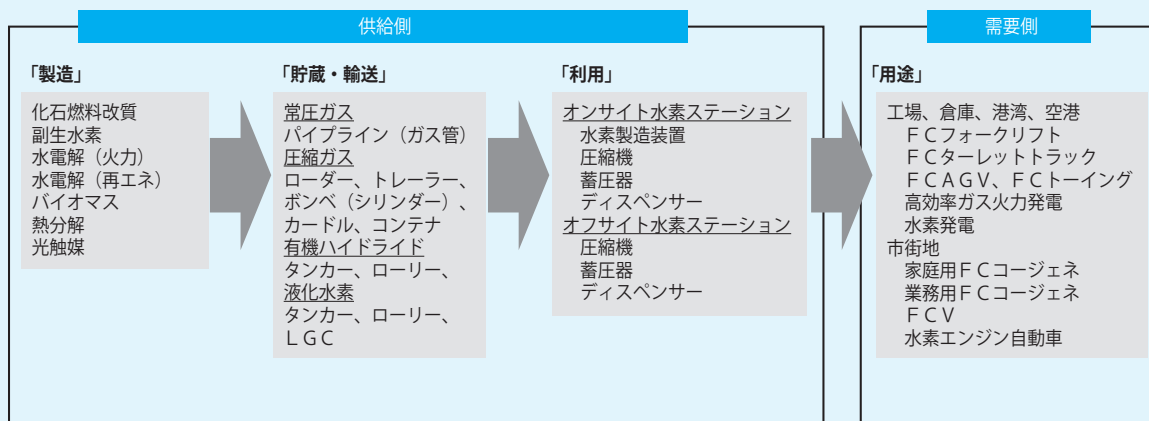
水素社会を支える技術上の課題をサプライチェーンの段階に分けて整理し、今後の展開を考察してみる。水素のサプライチェーン(供給連鎖)は、「製造」「貯蔵・輸送」「利用」に分けられる。需要側では、主に燃料電池で電気エネルギーに変換されて消費される(図表4-1)。

2. 化石燃料に依存する水素製造技術

現在の水素製造では、需要量を経済効率的に確保する観点から、主に天然ガスや液化石油ガス(L P G)あるいはナフサを1次エネルギーとして利用する化石燃料改質と、製鉄や石油精製等の重化学プロセスから発生する副生水素を利用する方法が採用されている。天然ガスの改質は、高温の蒸気をメタンに当てて分解し、水素とCO₂を得る方法である。製鉄の副生水素は、製鉄所で鉄鉱石を還元するためのコークスの製造段階で発生する各種ガスから水素だけを分離回収する方法である。

両方に共通する課題は、製造時にCO₂が排出されてしまう環境性の低さである。解決策として現場でCO₂を回収して地中に貯留するCO₂回収・貯留技術(C C S)が提案されている。C C Sは国連の気候変動に関する政府間パネル(I P C C)の報告書³²でもその導入の重要性が認められている技術の一つである。国内では2020年度まで

図表4-1 水素エネルギーのサプライチェーン



(注) カードル：シリンダー集結供給装置、有機ハイドライド：水素化/脱水素が可能な炭化水素化合物、L G C (Liquid Gas Container)：可搬式超低温容器、ディスベンサー：充填装置、A G V (Automatic Guided Vehicle)：無人搬送車、トーイング：牽引車、ターレットトラック：構内運搬車、高効率ガス火力発電：既存のガスタービン複合発電システムに燃料電池を組み合わせたトリプルコンバインドサイクル発電システム(出所) 大和総研作成

32) “Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Summary for Policymakers”, Intergovernmental Panel on Climate Change.

に実用化を検証するための実証試験が、日本に広く分布する新第三紀の帯水層を対象に苫小牧沖で実施されている³³。ただし、CO₂を貯留するだけでは事業性が低く、貯留場所も限定されるため、本格導入には排出量取引制度等の政策の導入や先行している欧米地域との連携などが必要とされる。

製造時にCO₂が発生しにくい方法としては、太陽光や風力による再生可能エネルギーで水を電気分解する方法やバイオマスの加熱処理等を通して水素を製造する方法が実用化されている。水はほぼ無尽蔵に存在し、国産エネルギーでもあることからエネルギーの安定供給および安全保障上、本格生産を期待したいところだが、化石燃料や副生水素を利用する方法に比べて製造コストが高い。そのため、今のところは電力貯蔵の特定用途で事業化が図られている（後述）。この他、未来技術としては、太陽光を利用した光触媒による水分解水素製造法等が大学を中心とした研究機関で研究されている³⁴。

3. 応用が期待できる貯蔵・輸送技術

工場地域で生産される水素の量は、製品製造のために生産される水素と石油精製や製鉄時に副生される水素を合わせて年間約360億Nm³に達する³⁵。これらの自家消費以外に国内で販売される水素は、およそ1億m³とされている³⁶。水素は既に代表的な産業ガスの一つとして、主に工業地域

で化石燃料改質法等によって量産されており、パイプラインやボンベ、ローリー等の貯蔵・輸送技術基盤は整っていると見える。「貯蔵・輸送」における技術上の課題としては、住宅地域や商業地域における安全技術の確立と大量輸送技術の低コスト化が挙げられる。

住宅地域や商業地域における試みとして、工業地域に隣接した「北九州水素タウン」³⁷で、市中に敷設したパイプラインを用いて、実証データの収集、技術的課題や運用面での課題抽出が行われている。後述のように地域特性をうまく活かし、産官学が一体となって取り組んでいる。水素の新しい貯蔵方法としては、FCVに搭載される高圧水素タンクの開発が進められている。FCVは長距離走行を可能にするため、大量の水素が充填できる70MPa（約700気圧）の高圧水素タンクが搭載されるが、水素分子はサイズが小さく透過能が高いため、漏出を防止するための金属や樹脂等の材料の性能向上と低コストの両立が進められている³⁸。

水素の大規模輸送技術の低コスト化とは、体積密度を高めて輸送コストを削減することである。ガス状態よりも有機ハイドライド（水素を可逆的に放出するメチルシクロヘキサン等の炭化水素）や液体の方が体積密度は高い。将来の水素輸入をにらみ、極低温でも劣化しない特殊材料を用いた液化水素の長距離海上輸送技術開発³⁹や、既存

33) 経済産業省ニュースリリース「苫小牧地点における二酸化炭素回収・貯留（CCS）実証試験の開始について」（平成24年2月8日）

34) 例えば、堂免一成・東京大学教授「エネルギー変換型光触媒の開発」（2014年6月20日閲覧）

35) (財)石油産業活性化センター（現・一般財団法人石油エネルギー技術センター）「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」（2003年）
Nm³（ノルマル立米）は0℃、1気圧の標準状態の体積単位のこと。

36) 一般社団法人 日本産業・医療ガス協会「圧縮水素出荷実績5年推移（暦年：2008年～2012年）」

37) 水素供給・利用技術研究組合（HySUT）「北九州水素タウンを活用した実証研究」

38) 例えば、トヨタ自動車 テクノロジーファイル「高圧水素タンク」（2014年6月20日閲覧）

39) 川崎重工業株式会社 プレスリリース「液化水素運搬船用貨物格納設備の基本承認を日本海事協会より取得」、2014年2月6日

のタンカー技術で輸送できる有機ハイドライドの常温・常圧貯蔵技術の実証実験⁴⁰が行われている。有機ハイドライドは国内の大規模貯蔵や輸送にも応用できる技術であり、水素社会の基盤技術の一つに位置付けられる可能性がある。

4. 規制見直しが進む水素ステーション

水素をFCVに充填する水素ステーションの課題の一つに、設備等に関する規制の見直しがある。国は事業者が安全性を確保しつつ経済的に水素ステーションを設置できるよう、立地、距離、材料、輸送、運営等の分野において高圧ガス保安法、建築基準法、消防法、都市計画法等の規制の見直しを進めてきた。2002年に関係省庁はFCVおよび水素インフラ関連について「安全基準の整備等」により規制の再点検を行い、2004年度末までに6法律28項目に関する改正等を行って基本的な安全規制等を整備した。また、2010年には、2012年度までに16項目の規制の合理化を完了するための「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」を公表している。さらに2013年には「規制改革実施計画」で新たに9項目の規制見直しが追加された⁴¹（図表4-2）。

事業者等の強い要望で規制見直しは進んでいるものの、設置申請に係る法令の主務官庁が複数の省庁にまたがって調整に時間が必要なことや立地開発と建設投資の課題もあり、着工はあまり進んでいないのが実情である。国は2015年までに四大都市圏で100カ所程度の整備を目指している

が、達成時期には数年の猶予が必要かもしれない。

5章 将来展望

1. 水素社会の実現を目指す先進的事例

いくつかの地域では、それぞれの特色を活かした積極的な取り組みがなされている。水素社会の構成要素をFCVに限定せず、さらに拡張したビジョンを持った取り組みなどもあり、特に官民がしっかりと連携して強力に推進している点が共通している。水素社会の実現はエネルギーの在り方を大きく変えることになるが、それまでの生活や利便性への影響が少なくすむように進める必要がある。自治体の地域コミュニティへの調整力や影響力と企業の推進力やスピード感を有効に機能させることが、いずれの事例でも欠かせないものとなっている。

1) 水素グリッドエアポートを志向する関西国際空港

2011年12月に総合特区制度の適用を受けた「関西イノベーション国際戦略総合特区」の一環として、関西国際空港の「スマート愛ランド推進計画」が進められており、その施策の一つが水素グリッド⁴²計画である。水素グリッド計画では、空港内の貨物上屋におけるFCフォークリフトと水素供給用インフラの運用、およびターミナルビル近隣に水素ステーションを設置してFCバス、FCVの運用を、3年間にわたって実証することになっている。

40) 岡田 佳巳、安井 誠「水素エネルギーの大量貯蔵輸送技術」『化学工学』VOL.77（2013）No.1

41) 経済産業省「燃料電池自動車・水素ステーション等に関する規制見直しの進捗状況について」、平成25年11月14日

42) 新関西国際空港株式会社「世界最大級・アジア初！水素グリッドエアポートの実現に向けて～環境先進空港の実現と水素関連産業の世界市場獲得へ～」（2014年5月20日）

図表 4-2 燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制見直し

規制分野	法令名	関係省庁	検討事項	見直し実施時期
立地の規制	高	経産省	70MPa 水素スタンドに対応した技術上の基準や例示基準の整備	2012 年 12 月
	建	国交省	市街地における水素保有量の増加	2013 年度結論、措置準備中
	建	国交省	市街地における水素保有量の上限撤廃 (●)	2013 年度結論、措置準備中
	高、建、 高、建、 消	経産省、国交省、 消防庁	液化水素型水素スタンド規制・基準の整備 (●)	2014 年度結論。結論を得次第措置
	高、建	経産省、国交省	市街地に設置可能な小規模水素充填装置の基準整備 (●)	2014 年度結論、結論を得次第措置
距離の規制	都	国交省	市街化調整区域への水素スタンド設置許可基準の設定 (●)	2013 年 6 月
	高	経産省	CNG スタンドとの併設をより容易にするための設備間距離規制の緩和	2014 年 4 月
	消	消防庁	水素ステーション併設に係る給油取扱所の規制の合理化	2014 年 5 月
	高	経産省	公道とディスプレイセンサーとの距離に係る障壁等の代替措置の創設	2015 年まで
	高	経産省	水素ディスプレイセンサー周辺の防爆ゾーン基準の明確化 ブレイクアラームに供する冷凍設備の保安距離の合理化 (10m → 8 m) (●)	2013 年 3 月 2013 年度結論、措置準備中
材料の規制	高	経産省	保安検査の簡略化に向けた保安検査基準の策定と保安検査方法告示での指定	2014 年度中
	高	経産省	設計係数の低い特定設備、配管等の技術基準適合手続きの簡略化	2015 年まで
	高	経産省	例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大	2015 年まで
	高	経産省	使用可能鋼材に係る性能基準の整備 (●)	2014 年 4 月
	高	経産省	水素スタンド蓄圧器への複合容器使用に向けた技術基準適合手続きの簡略化 複合容器蓄圧器の使用 (●)	2013 年度結論、措置準備中 2015 年まで
輸送の規制	高	経産省	圧縮水素運送自動車用複合容器の最高充填圧力引上げ (35MPa → 45MPa 程度) のための例示基準の改正	2014 年 3 月
	高	経産省	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に熱作動式安全弁 (ガラス球式) を追加するための附属品の例示基準の改正	2015 年まで
	高	経産省	圧縮水素運送自動車用複合容器・附属品に対する刻印方式の特例の創設	2012 年 3 月
	高	経産省	水素運送トレーラー容器の上限温度見直し (40℃ → 85℃) (●)	2014 年度結論、結論を得次第措置
	高	経産省	セルブ充填式水素スタンド実現に向けた高圧ガス製造の許可を受けた者以外による水素の充填行為の許可	2013 年 2 月
運営の規制	高	経産省	フル充填に向けた最高充填圧力の変更と例示基準の改正	2014 年 5 月
	高	経産省	公道でのガス欠対応のための充填場所の確保	2015 年まで
その他の規制	高	経産省	水電解機能を有する昇圧装置の定義 (●)	2014 年 3 月

(注) ●は、「規制改革実施計画」(2013年6月14日閣議決定)に基づき追加項目。法令名、高は高圧ガス保安法、建は建築基準法、消は消防法、都は都市計画法。斜体は既に規制の見直しを実施済み、青字は措置中、または近く対応予定、黒字は検討中。
(出所) 経済産業省、国土交通省、消防庁「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」(2010年12月公表)、「規制改革実施計画」(2013年6月14日閣議決定) から大和総研作成

貨物上屋において、屋内へ水素供給用ディスプレイを設置することを目指している点が特徴的であり、総合特区制度の活用による規制緩和措置の適用を想定している。また、将来的には風力・太陽光などの再生可能エネルギーを活用した水素製造と、その水素から燃料電池を用いて発電した電力もターミナルビルに供給することが計画に盛り込まれている。

総合特区制度を活用した規制緩和措置による事例を通じた規制・制度の在り方についての提案、空港を中心とした水素サプライチェーンと既存の熱・電力とのエネルギー・マネジメントのモデル確立、将来構想にある再生可能エネルギーによる水素製造・発電システムの実証面における課題抽出などの成果が期待される。

2) 将来的な水素社会のモデルタウンと期待される福岡県

産官学連携で設立した「福岡水素エネルギー戦略会議」が推進する福岡水素戦略（Hy-Life プロジェクト）において、2011年4月より取り組んでいるのが「北九州水素タウン」⁴³である。

北九州の事例で特徴的なのは、近隣の工場において主生成物の製造過程で副次的に発生する水素（副生水素）を水素パイプラインによって供給している点である。副生水素は化石燃料を改質して水素を製造するよりもCO₂排出量が圧倒的に少ない。また、水素パイプラインを用いる水素の輸送方法は、将来的に水素社会を実現するうえで、その基盤を支える重要なインフラ技術となる可能性

もあるだけに、意義深い実証研究といえよう。

今後はさらに規模を拡大し、水素エネルギーの様々な利用形態に関する幅広い提案や水素エネルギーを用いることによる実社会と環境への影響の把握などについての成果が期待される。

3) 積極的に水素ステーション整備を推進する愛知県

愛知県では、2005年に官民連携による「あいちFCV普及促進協議会」を立ち上げ、2014年2月に「愛知県水素ステーション整備・配置計画」⁴⁴を策定・公開して、本格的に水素ステーションの整備を推進している。その計画は、2015年度末に20基、2025年度末に100基程度の水素ステーションを整備し、2025年度に累計20万台のFCVを普及させることを目標に掲げている。また、愛知県が2014年3月に決定した「平成26年度電力・エネルギー政策パッケージ」では、「水素ステーション向け用地情報の収集、紹介」が施策の一つとされている⁴⁵。過密で空き地が少ない都市部においては、このような自治体の支援が水素ステーションの整備推進にとって重要となろう。

自動車保有台数が2014年3月末現在で約500万台⁴⁶と都道府県別の統計で全国第一位⁴⁷である愛知県では、FCVの普及がいち早く進む可能性もある。日常生活においてFCVがどのように選択され利用されるかの調査、FCVの活用および普及による実社会への影響の把握、水素インフラの事業性の実証などについての成果が期待される。

43) 福岡水素エネルギー戦略会議「北九州水素タウン」

44) 愛知県「『愛知県水素ステーション整備・配置計画』を策定しました」（2014年2月17日）

45) 愛知県「『平成26年度電力・エネルギー政策パッケージ』を決定しました。」（2014年3月17日）

46) 一般財団法人自動車検査登録情報協会「都道府県別・車種別保有台数表」（平成26年3月末現在）

47) 46) と同様

2. 発電所における水素利用～水素発電～

発電所における水素利用では、燃料電池を用いずに直接水素を燃焼する水素発電がある。現状でも、工場の製造工程で生成される副生水素を天然ガス等に混合してガスタービンで発電する混焼発電が広く行われている。水素のみを用いた専焼発電はイタリアで実証例があるものの、国内ではこれからである。川崎市と千代田化工建設株式会社が2013年9月に公表した水素関連プロジェクトでは、2015年をめどに世界初の商用水素発電所(90MW級)の建設を計画している⁴⁸。水素混焼データの収集と燃焼ノウハウを蓄積し、他地域のLNG火力発電所に水素混焼発電の展開を図る計画である。技術開発と実証データの蓄積により、実用化が進むことが期待されている。

水素発電による水素需要創出は、水素供給体制の構築や水素価格の低下・安定化を図るうえで重要になる。例えば、発電事業用の100万kWの水素専焼発電所では年間23.7億Nm³の水素需要が生まれる試算だが、この量は家庭用燃料電池(純水素形)では105万台分、燃料電池自動車では223万台分の需要に相当する⁴⁹。水素発電は、第4次基本計画において水素社会における重要な技術として認識されており、また、水素ロードマップでも2030年頃の本格導入が見込まれていることから、今後も積極的な研究・開発・実証が進むとみられる。

3. 持続可能な社会に向けて

これまで水素は、産業ガスとして石油や鉄鋼などの業界を中心に利用されてきたが、エネファームの普及やFCVの一般販売を控え、一般向けのガスとして広く社会で利用される見通しが立ってきた。政策主導でインフラの整備が進み、安全で経済的な水素ガスの安定供給が始まれば、新たな用途開発やより安全で効率的な貯蔵・輸送技術の開発等が促進されて、自立した市場の形成につながるだろう。そうなれば、電力需要者の二次エネルギーの選択肢が広がり、これまで以上に効率的なエネルギー消費と国民生活全体の質の向上につながるかと期待される。

ただし、現在のように水素の一次エネルギーとして大量のCO₂を排出する化石燃料を使用している限り、環境性が確保された水素社会とはいえないだろう。確かに、エネファームの排熱利用やFCVの回生ブレーキは、単位国内総生産当たりのエネルギー消費量(エネルギー強度)の低減につながるが、単位エネルギー消費量当たりのCO₂排出量(炭素強度)の改善には直接寄与しないからである。経済性と環境性を確保する技術を今のところわれわれは持ち合わせていない。しかし、水素の持つ電力貯蔵機能を利用した用途が本質的にクリーンなエネルギーの普及に役立つ可能性も指摘しておきたい。ドイツでは、電源構成に占める再エネ割合が23.4%(2013年)⁵⁰に拡大している一方、系統連系に課題を抱えており、このよう

48) 川崎市市長会見資料「水素エネルギーフロンティア国家戦略特区による新たな成長戦略への提案について」(平成25年9月10日)

49) 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ(第4回)資料2「水素発電について」(平成26年3月26日)

50) ドイツエネルギー・水管理事業者協会(BDEW)資料(2014年1月14日)

な地域では、電力をガスに変換して貯蔵する技術（Power to Gas）として取り組みが始まっている⁵¹。日本の送配電網の状況はドイツとは異なるが、発電量が天候に左右される再生可能エネルギーの変動性を改善したり、災害等の緊急用独立分散電源として利用したりすれば、地域エネルギーのレジリエンス向上につながるであろう。弘前市では災害時の電力自給に向けて、下水汚泥を無機紛体と混合・加熱して製造される水素を発電媒体として貯蔵するプロジェクトが始まっている⁵²。水素ロードマップでは、2040年頃に、CCSとの組み合わせや再生可能エネルギー由来水素の活用により、トータルでのCO₂フリー水素の製造、輸送・貯蔵を目指している。

水素は非資源国の日本にとって、「S + 3E」達成に向けて有望なエネルギーに位置付けられている。製造法や今後の利用拡大に向けた課題はあるものの、持続可能な社会の実現に向けて、有効に活用されることを期待する。

51) E.ON Press Release “Power-to-gas unit injects hydrogen into natural gas system for first time” (2013年6月13日)

52) 国土交通省ウェブサイト「PPP / PFIの具体的な案件形成推進 調査・検討の概要」「下水道資源を活用した水素製造・販売・供給体制整備検討調査」

[著者]

大澤 秀一（おおさわ しゅういち）



環境調査部
主任研究員
担当は、資源エネルギー、
排出量取引

小黑 由貴子（おぐろ ゆきこ）



環境調査部
主任研究員
担当は、再生可能エネルギー、
情報セキュリティ、ICT 活用

町井 克至（まちい かつゆき）



環境調査部
主任研究員
担当は、エネルギー、
ICT インフラ

平田 裕子（ひらた ゆうこ）



環境調査部
研究員
担当は、エネルギー問題、
地球温暖化対策