

# 燃料電池の普及拡大と再生可能エネルギー

## Dissemination of Fuel cells and Renewable Energy

さとみ ともひで  
里見 知英

燃料電池実用化推進協議会 企画部 部長

### 要 旨

燃料電池は燃料の化学エネルギーを直接電気に変換する発電装置であり、再生可能エネルギーのような一次エネルギーではなく、その本質は省エネルギーと温室効果ガス削減等の環境性に寄与する次世代の高効率エネルギー変換システムである。開発開始から50年が経過し、ようやく家庭用燃料電池の分野から実用化・普及が始まりつつある。しかし、成熟したエネルギー分野で頼れる電源として本格普及していくためには、高性能化とともに低コスト化を追求するための基礎・基盤研究の継続的取組みが重要である。また、燃料とする水素は再生可能エネルギーの貯蔵・輸送手段として、また新たなエネルギーシステムとして期待が高まりつつあり、燃料電池は再生可能エネルギーの普及拡大のためにも重要性が高まっている。燃料電池自動車の普及開始に向けてそうした水素エネルギー供給システム整備が始まりつつある。

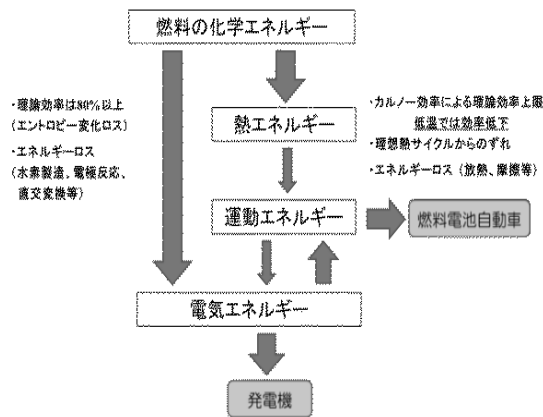
## I 燃料電池の概要

### 1 エネルギー体系における意義

燃料電池は、通常は燃焼により熱エネルギーとして利用されている物質の持つ化学エネルギーを電気化学反応を通して電気エネルギーとして取り出す仕組みで、一般的な電池と原理を同じくする発電装置である。電池（一次・二次）の場合は燃料となる化学物質が内蔵されているため供給できる電力に限りがあるが、その燃料となる化学物質を外部から連続的に供給することにより発電を継続的に可能にしたものが燃料電池となる。

燃焼による熱エネルギーからピストン・タービン等を通して動力に変換して発電する既存の発電方式（火力・内燃力等）に比べて変換過程が少ないことなどから高いエネルギー変換効率（発電効率）が期待されるところが最大のポイントであり、次世代の発電装置として1960年代から開発が進められてきている。（図1）

図1 エネルギー変換の過程



(出典) 筆者作成。

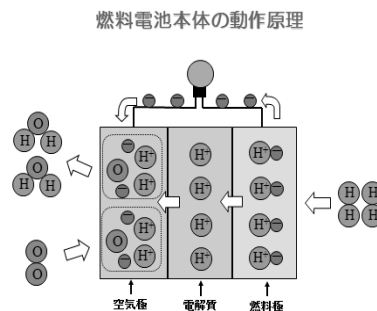
外部からの燃料供給を必要とすることから一次エネルギーではなく、我が国では省エネルギー政策（ムーンライト計画）の一環として1981年から国の研究開発の取り組みが開始された。その後1990年代には新エネルギーとしても位置付けられ、2000年代に実用機が登場すると新エネルギー導入補助金の対象とされていた時期もあるが、本質はエネルギー変換技術の位置付けであり、現在の再生可能エネルギーには含まれていない（韓国など政策的に再生可能エネルギーの延長上にくみ込まれている国もある）。ただし、燃料源に再生可能エネルギーとなるバイオ燃料と組み合わせて使用するシステムも開発されており、これらは再生可能エネルギー支援策の対象となっている。

いずれにしても燃料を高効率に電気エネルギーへ変換するシステム技術であり、省エネルギーを通して一次エネルギー消費削減と地球環境対策（CO<sub>2</sub>排出抑制）に貢献できる重要な技術である。

## 2 原理と特徴、適用分野

燃料電池は、通常の化学反応（燃焼）では燃料と酸化剤が直接反応して熱を発生するものを、電極と電解質を介して反応過程をイオンと電子に分離し、この電子を取り出すことで発電となる。（図2）

図2 燃料電池の同原理



(出典) 筆者作成。

一方のイオンを別のルートで電極間を移動させる電解質という媒体が重要な役割を果たしている。この電解質の材料を基本に様々な構成・種類が存在するが、現在商用機として導入されているものや実用化を目指して取り組みが進められている代表的な種類と主な特徴を表1に示す。

表1 燃料電池種類（電解質の分類による）

	リン酸形 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)	固体高分子形 (PEFC)
燃料	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> C O	H <sub>2</sub> C O	H <sub>2</sub>
電解質	リン酸	炭酸リチウム/ 炭酸カリウム	安定化ジルコニア	陽イオン交換膜
イオン伝導種	H <sup>+</sup>	C O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>	H <sup>+</sup>
運転温度	160~200℃	約650℃	600~900℃	常温~100℃
発電効率 (HHV) (注)	35~45%	40~55%	40~60%	30~40%
開発段階	商用段階	商用~実証段階	商用~実証段階	商用~実証段階
発電容量	百~数百 kW	数百~数千 kW	1~数千 kW	1~百 kW
適用用途	業務用 産業用	産業用、分散電源用	家庭用、業務用 産業用、分散電源用	家庭用、業務用 自動車用

(注) HHV：高熱量基準

(出典) (一財) 新エネルギー財団「事業用燃料電池発電システム導入検討の手引き 平成20年度版」2008, p.7. <<http://www.nef.or.jp/info/pdf/200809.pdf>> を基に筆者作成。

燃料電池は原理的に電池であり、基本単位となるユニット（セル）の起電力は1ボルト前後であることから、大きな出力を得るためにはこの単セルを多数組み合わせたモジュール（スタック）を構成することになる。また、原理的には様々な燃料（化学物質）と酸化剤（酸素等）の組み合わせが可能であるが、現状技術で発電システムとする際に最も効果的かつ効率的な燃料は水素である。水素も一次エネルギーとして天然には存在せず、また燃料としての供給システムも確立されていないことから、通常は化石燃料等の他の一次エネルギーから水素を製造・供給するシステムを組み合わせた発電設備が開発され実用化されている。

こうした発電原理と現状技術レベルから、発電設備を構成した場合、表2のような特徴がある。これらの特性を考慮し、利用・需要形態に合わせた最適な設計仕様が重要となる。

表2 燃料電池の特徴

	長所	短所
効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>原理的に高効率</li> <li>システムコスト、特性を考慮した最適ポイントで設計可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度を上げると内部抵抗が増加して漸次効率が低下</li> <li>水素を燃料とする場合、水素製造の分の効率が低下する</li> <li>高効率を目指すセル数が増加してコスト増</li> </ul>
規模の効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位セルの性能が基本で小規模でも高効率が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型化してもセルとしての効率は向上しないが、システムベースでの効率改善効果がある</li> </ul>
部品数	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位セルの積み上げ、リピー部品を使用のため、種類は少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位セルを積み上げて出力を上げるため、規模が大きくなるとセル部品数が比例して増加</li> </ul>
燃料	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料と酸化材の組み合わせで多様な燃料が使用可</li> <li>コスト・効率から水素が最も効果的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素は天然には存在せず、他の一次エネルギー（燃料）からの変換設備が必要</li> <li>電極を劣化させる被毒物質を除去する必要がある</li> </ul>
小形化	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料の水素があればセルスタック本体は小さくできる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量の設備ではスケールメリットがなく、既存の発電設備よりも大型化する可能性がある</li> </ul>
寿命	<ul style="list-style-type: none"> <li>一定条件での使用においては耐久性は高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電極触媒や電解質の劣化で出力が漸次低下する</li> <li>構造的に部分的な補修がしにくい</li> </ul>
排気ガス	<ul style="list-style-type: none"> <li>選択的な電気化学反応なので副生物が殆どない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素の生成に化石燃料を用いた場合、CO<sub>2</sub>の排出は削減できるが、排出自体は避けられない</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>リピー部品は量産効果が出やすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セルスタックだけでなく周辺機器・部品のコストが大きい</li> </ul>

(出典) 筆者作成。

### 3 開発から実用化への経緯

燃料電池は実用化を目指した研究開発の取り組みが始められてから半世紀に及ぶ長い開発の歴史がある。そもそもの実用化は宇宙開発分野で始まった。宇宙空間の限られた状況下において、コンパクトで高効率の電源として1960年代から米国NASAの下で開発・実用化され、最近まで利用されてきた（アルカリ形）。

1970年代になると、この技術を民生用に移転し当時蒸気タービンが主流の火力発電に代替する高効率電源としてリン酸形燃料電池（宇宙用に開発されたアルカリ型はCO<sub>2</sub>を含む地上の空気では長期使用が困難なため）の開発が米国で開始され、1980年代には我が国でもNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）や民間のプロジェクトで電力会社が積極的に開発・実証を推進してきた。しかし既存の燃焼技術をベースに発展させた今日主役となっているガスタービン・コンバインドサイクルが登場し、その発電効率向上が目覚ましかったこと、一方燃料電池は化学反応がベースであることから劣化による耐久性に課題が大きかったことなどから、電気事業用の火力代替技術としての燃料電池は次第に関心が低下し、1990年代にはより高効率を目指した熔融炭酸塩型形を含めて火力発電所代替用電源としての開発は実用化に至ることなく終了した。

一方で需要サイドにおけるエネルギー効率改善の観点から、発電と同時に発生する排熱を利用することで高い総合効率を達成できるコージェネレーションの活用が注目され、小規模でも発電効率が高いという特徴を活かして分散電源としての開発が並行して推進されてきた。1990年代には百kWクラスの燃料電池コージェネレーションの実証導入が日米欧で盛んに進められ、1990年代後半には商品機の販売が開始され日本と米国のメーカーにおいて今日の商品化に至っている（リン酸形、米国では熔融炭酸塩形・固体酸化物形も）。こうした高温作動の燃料電池とは別に、1990年代に化学メーカーにより作動温度が低く出力密度が高い固体高分子電解質膜が新たに開発されたことにより、それまでは困難であった自動車や小型の家庭用といった新たな用途向けの開発が加速されてきた。我が国では2000年からの国の集中的な実用化を目指した研究開発政策の牽引により、当初計画よりも期間がかかったが2009年には家庭用の小型燃料電池（商品名エネファーム）が世界に先駆けて商品化された。また、輸送分野の燃料電池自動車（乗用車）もまさに2015年から世界の先端企業とともに普及が開始されようとしている。燃料電池実用化に向けた開発の経緯を図3に示す。

図3 燃料電池実用化開発の経緯



(出典) 筆者作成。

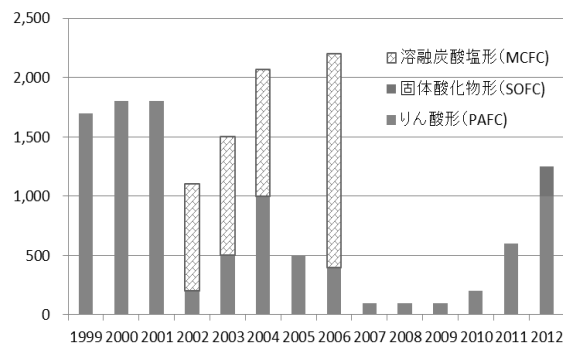
## II 普及の現状

現在、実用化・商品化が達成され普及が開始されている、あるいは開始されようとしている燃料電池の現状は以下のとおりである。

### 1 分散型電源／業務用燃料電池コージェネレーション

1990年代後半から2000年代にかけて、産業・商業用コージェネレーションとして日本・米国のメーカーから100kW～250kWの業務用燃料電池（リン酸形・熔融炭酸塩型）が商品化され、導入普及が始まってきた。図4に業務用燃料電池の出荷状況を示す。

図4 業務用燃料電池の出荷状況（国内）



(出典) 一般社団法人日本電機工業会のデータを基に筆者作成。

日本では、2010年まで新エネルギー設備としての補助金（補助率は設備費等の1/3。2012年からは天然ガスコージェネレーション設備として補助）が設定されており、当初は導入展開が進展したが、業務用分野で要求される投資回収期間が3～5年と短期なこと、コスト低減が進まないこと、5年ごとのオーバーホール（セルスタック等交換）が高額なこと等に加え、燃料価格が高騰したことから2000年代半ばからは普及が進んでいない。一部メーカーは撤退し、初期の設計寿命が到達した設備のオーバーホール・更新も進まず、稼働中の設備は減少傾向となった。その後メーカーの開発努力によりコスト低減と耐久性が向上したこと、2011年以降の逼迫した電源状況や災害時の自立した電源ニーズから分散電源として再び注目されつつある。2012年度末の我が国における稼働状況は100kW機30台の3,000kWとなっている。<sup>(1)</sup>

一方、国や州の手厚い支援策がある米国や韓国では設備容量で数万kW規模の導入が進んでいる。米国では連邦政府の投資減税（設備費の1/3または1,000ドル/kW）やカリフォルニア州の自家発電推進策（SGI）に代表される州レベルの支援策により、200kW～2MWのシステムが既に数万kW導入されている。韓国では、燃料電池を国家産業として育成する国家政策の下、米国からの技術導入を進めるメーカーへの開発支援や、燃料電池をRPS（Renewable Portfolio Standard）の対象として位置付ける施策により、1万kWを越える燃料電池が導入され稼働している。<sup>(2)</sup>

なお、100kWの燃料電池1台の導入により、排熱を有効に活用できると年間200トン程度のCO<sub>2</sub>削減効果が期待される（天然ガス燃料。消化ガスや複製水素等の場合は600トン程度）。

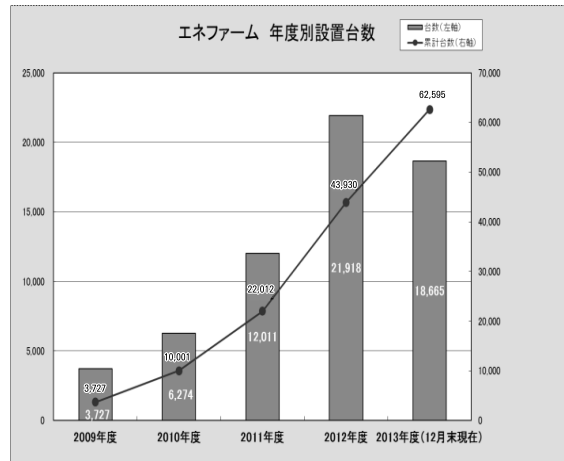
## 2 分散型電源／家庭用（住宅用）燃料電池

2000年頃から開発が進められてきた固体高分子形の家庭用燃料電池（700W～1kW級）は2009年にエネファームという共通名称で商品化された。住宅での電力と給湯需要の1/2～2/3程度を賄うこのシステムは、依然価格・コスト高の障壁はあるが、自立した商品化へのシナリオに基づく国の強力な普及支援政策により順調に普及拡大が進んでいる。また、2011年からは、より発電効率の高い固体酸化物形（SOFC）のエネファームも商品化されている。

図5に発売開始からの商品機の導入展開（設置台数ベース）を示す。

(1) 海外メーカーは日本市場から撤退し国内メーカー機のみが稼働中。ただし2013年11月に新たな海外メーカー機の導入が再開された。  
 (2) (一財)新エネルギー財団「事業用燃料電池発電システム導入検討の手引き 平成20年度版」2008, p.7. <<http://www.nef.or.jp/info/pdf/200809.pdf>>

図5 家庭用燃料電池の設置台数の推移

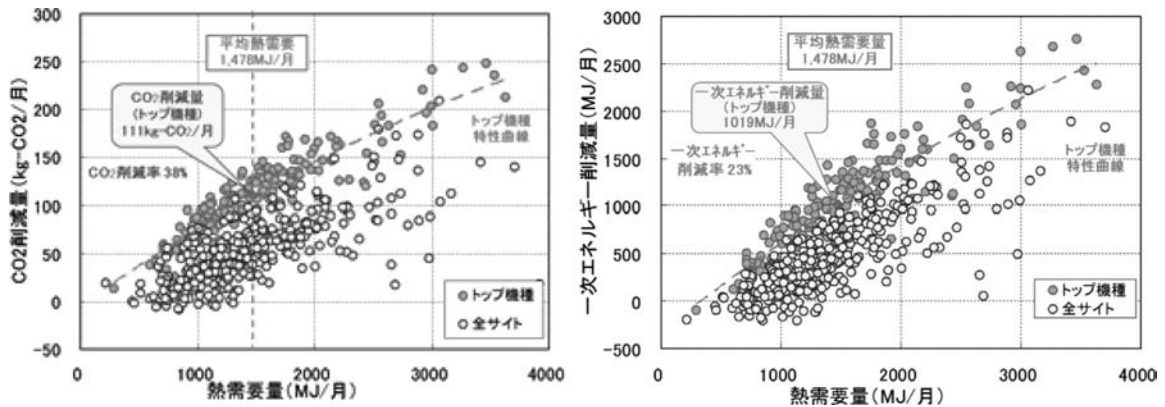


(出典) 一般社団法人燃料電池普及促進協会のデータを基に筆者作成。

初年度である2009年度に4,000台程度から始まった普及は、2011年の東日本大震災以降の電力供給事情への不安もあいまって、2013年度末には累積7万台を超える状況にある。2012年9月に発表された政府の「革新的エネルギー・環境戦略」<sup>(3)</sup>では、2020年140万台、2030年には530万台の普及を目指すとしている。

普及に先立つ2005～08年にかけてNEDOが実施した3,000件に及ぶ実住宅での大規模実証事業の成果では、平均的な熱需要のある戸建住宅で年間1.3トン程度のCO<sub>2</sub>削減と20%程度の一次エネルギー削減効果を実証された。(図6)

図6 家庭用燃料電池のCO<sub>2</sub>と一次エネルギー削減効果



(出典) 財団法人新エネルギー財団『平成20年度定置用燃料電池大規模実証事業報告会』平成21年3月10日, p.18. <<http://www.nef.or.jp/happyfc/pdf/20fc.pdf>>

(3) エネルギー・環境会議「革新的エネルギー・環境戦略」平成24年9月14日, p.9. <[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20120914/20120914\\_1.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20120914/20120914_1.pdf)>

### 3 移動体用動力源

燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle：FCV）は1980年代に革新的な固体高分子電解質膜が開発されたのを受け、1990年代から自動車メーカーでの研究開発が始まり、2002年に大臣特認の乗用車での公道試験走行が国家プロジェクト（Japan Hydrogen & Fuel Cell（以下「JHFC」）Demonstration Project I～Ⅲ）で開始された。2004年には型式承認を得た燃料電池自動車の限定的なリース販売が官公庁や特定の企業向けに始められた。また、乗用車用に開発された燃料電池システムを複数（2機）搭載した燃料電池バスも開発され、2005年の愛知万国博覧会を始め路線バスやリムジンバス等での実証も進められてきている。これまでに国内で海外メーカーも含めて100台程度、全世界で600台程度の導入実績があるが、商品化を目指した開発成果の検証と広報目的の実証導入の段階である。これらの実証をとおして、耐久性を始めとして航続距離など一般のエンジン車と同等の実用性が実証されてきており、コスト（価格）の壁は残されているものの普及開始が目前となっている。燃料電池自動車の開発は燃料電池とともにその車両開発にも多額の費用がかかることから2010年以降は新規の実証車両の導入は進んでいないが、日本の先行メーカーは2015年からの量産商用車の販売開始を公表し、一部メーカーからは初期商用車のコンセプトモデルも発表されている。

2010年4月に公表された政府の「次世代自動車戦略2010」<sup>(4)</sup>では、新車販売台数に占める燃料電池自動車の割合として、2020年1%、2030年3%を目標に掲げている。

自動車等の移動体はその車内空間に限られることから、燃料電池自動車の燃料となる水素は車上で製造するのではなく、燃料電池で直接利用可能な水素が選択され搭載されている。そのため燃料電池自動車は走行時にはその生成物である水しか排出しないことから、バッテリー駆動の電気自動車とともにゼロエミッションビークル（車）として、地上運輸部門の地域的な大気環境対策とともに地球的な気候変動対策に大きく貢献することが期待される。

2002年から開始された3期12年にわたるJHFC実証試験において、最新の燃料電池自動車（乗用車）では既存エンジン車に比較してwell to wheel（燃料の井戸元から実走行時まで）の総合効率向上によるCO<sub>2</sub>削減効果で同クラスの内燃機関自動車に比べて30～50%程度の削減が検証されている。

### 4 その他の用途

定置用電源としては、携帯基地局や無停電電源装置（Uninterruptible Power Systems：UPS）等のバックアップ用（バッテリー代替）、移動式ポータブル用電源等が開発・実証され、技術的にはほぼ実用化のレベルに到達している。これら用途の燃料電池は、海外では電力系統の脆弱な地域等の状況とニーズに応じて一部普及が始まっているが、コスト・信頼性面での課題もあり、日本では開発メーカーも撤退し検証段階に留まっている。しかし、最近では、大震災・災害時等に際して避難所や通信施設維持の観点から再び関心が高まりつつある。

移動体用電源としては、乗用車・バス用以外として、二輪車用、フォークリフト用等の開発

(4) 次世代自動車戦略研究会「次世代自動車戦略2010」2010.4.12, p.11. <<http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf>>



が進められている。二輪車は最近では海外の燃料電池メーカーと日本の二輪車メーカーの共同開発が始められたが、二輪車の極めて限られた空間に燃料電池と水素タンクを搭載することが大きな課題になっている。また、蓄電池による電動二輪車と比較した場合の利点の明確化が重要である。一方、フォークリフト用は従来のバッテリー駆動に対して充電時間が大幅に短縮できること、エンジン駆動に比較して排気がクリーンなことから24時間稼働の大規模な倉庫が多い北米で普及が始まっている。日本の先進メーカーでも開発が始められているが、技術実証の段階となっている。日本では北米のような大型倉庫がないなど市場の相違も今後の普及上の課題と考えられる。

### Ⅲ 世界と日本の技術

我が国は早くから省エネルギー技術として燃料電池の研究開発に取り組んできており、定置用燃料電池ならびに燃料電池自動車ともにその技術は実用化の域に到達し、家庭用燃料電池では普及が開始されるなど、技術・市場面ともにいずれの主要用途において世界をリードする状況にある。とりわけ家庭用燃料電池の分野では商品化から5年が経過し各メーカーのモデルチェンジも進み、既に実用上求められる高い信頼性（故障率の低さ）と10年程度の寿命展望を可能にするなど海外メーカーに対する優位性は大きい。

海外では開発の祖である北米と欧州での取り組みが先行している。分散型電源の業務用燃料電池の分野では、開発経験が長く技術蓄積の進んだ米国メーカーがリン酸形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形それぞれのタイプの燃料電池システムを販売しており、米国内では、環境意識が高く支援策の充実したカリフォルニア州や東部の州で商用機の導入・普及が進んでいる。技術的には性能、耐久性、コスト面で日本のメーカーと同レベルといえる。欧州ではドイツ、イタリアなどで2000年代に実証試験が進められてきたが、開発メーカーが撤退するなどして、2013年現在商用機を販売するメーカーは無い。

一方、欧州では住宅用のボイラー用途と組み合わせた $\mu$ -CHP（1～数kW級の熱電併給システム。日本の家庭用燃料電池エネファームが該当）の開発がPEFC形やSOFC形の燃料電池メーカーで精力的に取り組まれている。現在EUやドイツでene.field、calluxといった実証プロジェクトが進められおり、数百～千台規模で実住宅に設置が進められている。性能的には先行する日本メーカーと同等のシステムも実証されているものの、耐久性で1～2万時間程度、コスト面でも日本製の数倍程度と推定され、信頼性も含めて技術的には開発実証段階である。これは、日本の大規模実証期に相当し、5年程度のビハインドとみられ、2015年頃からの本格市場化が計画されている。

### Ⅳ 燃料電池の普及拡大に向けて

燃料電池は高効率の発電技術として研究開発が始められてから50年が経過し、ようやくエネルギーシステムの一翼を担える技術に成長してきた。今後、その潜在機能を発揮しエネルギー体系の基幹を担える技術として本格普及に向けて、次のような課題が整理される。

## 1 技術課題、研究開発課題

性能・耐久性の面では初期の実用的な商品化技術レベルに到達し、エネファームや燃料電池自動車として国や自治体等の導入支援策を得て商品化が開始あるいはされ始めようとしている段階にある。今後、自立的な商品として普及拡大を推進していくためには商品性を向上させる取組みとして、これまで達成された性能と耐久性レベルを維持・向上させつつ、価格・コスト低減を図ることが喫緊の最重要課題である。

コスト低減は市場拡大による量産化、製造技術の習熟・改良によるところも大きいですが、本格普及を見通すためには既存の競合技術に対する経済性における優位も必要であり、本質的なコスト低減に係る研究・開発が重要である。当面の普及拡大に向けた課題としては、材料あるいはシステムメーカーでの材料・部品、スタック構造の低コスト化や部品数の削減等の取組みが重要である。一方、将来の本格普及に向けては技術を支える基礎科学に立ち返った高性能化、高耐久化、低コスト化を可能にする取組みの継続も不可欠である。すなわち、燃料電池は当初から産業界主導で開発が進められ、エンジニアリング的観点と経験を積み上げた取組みにより初期実用化レベルに漕ぎつけたが、今後、他の競合技術と比較して真に競合力のある技術に仕上げていくためには、電池電極での反応機構やセル構造・物質移動等の基本に立ち返ったサイエンスに基づく基礎・基盤研究開発からの解明・知見が極めて重要である。また、燃料電池を構成する主要材料についても、現状技術の発展だけでは限界も予見され、これまでの概念にとらわれない革新的・飛躍的な開発が必要となってくる。そのためには実用化技術の視点に立った大学・研究機関と連携した基盤研究の推進が極めて重要である。

## 2 実用化・普及促進のための課題、政策、社会制度・規制・環境等

我が国の政策における燃料電池推進の意義は、エネルギー政策面と産業育成・振興面がある。1980年代からこれまでの取組みは、石油危機や大気汚染に対する省エネルギー・クリーンエネルギー技術の開発から今日の地球温暖化対応のCO<sub>2</sub>削減対策まで、主としてエネルギー技術政策の一環として進められてきた。エネルギーは国民の社会活動に不可欠のものであり、その供給の信頼性と低廉な価格が強く求められている。燃料電池は高効率でクリーンなエネルギー変換の発電技術であるが、我が国の電力供給体系は信頼性が高く、また海外に比べて高価と言われつつも長い歴史の中で安定した供給価格で提供されている。

大規模発電所から近年注目される分散電源まで、スチーム・ガスタービンやエンジン等の確立された既存技術に対して、どのように燃料電池の魅力・優位性を示せるかが燃料電池普及のための条件となってくる。成熟した既存技術と競合して市場へ広く普及させるためには、高効率化を達成するだけでは不十分である。初期コストから、耐久性・信頼性、そして燃料価格といったランニングコストを含めたトータルコストで同等以上の高効率を達成する技術開発が重要になる。

技術開発に続く普及政策も極めて重要である。環境性も普及に向けた重要な要因ではある。強力な環境誘導政策があれば、ユーザーの選択に際して経済性にのみ還元したコスト効果ではない評価が可能になる。また、歴史の浅い技術ゆえ、実用レベルの性能と耐久性を維持したうえでコスト低減への更なる技術開発も必要であり、エネルギー技術としての開発から本格普

及化までを俯瞰した一体的な政策・施策が重要である。

これまでの燃料電池開発に対する取り組みの経緯を振り返ると、真に実用化のために必要な条件を目標として設定してきたか問われる面がある。燃料電池は開発当初から目標寿命が4万時間（約4.6年）と設定されてきた。これは革新的な技術開発としてその困難さから基盤技術であるセルスタック開発の目標として設定されたものであったが、実用化に移行する段階でもその目標がそのまま判断指標とされた。しかし、既存の発電設備の耐久性は10年以上が確立されており、また発電設備の償却年数は15年という市場環境において、セルスタックが5年という目標寿命を達成しても、実運用では5年ごとに基幹部品の交換が必要となり、その手間とコストが導入に際して障壁となってきたのが実情である。民間での開発戦略・計画はもとより、国の政策の立案においてもユーザー視点、市場要求レベルに立った適切な実用化・商品化目標を設定した開発計画・戦略が肝心である。

実用化が開始された技術のコスト低減は生産増加による習熟効果・量産効果によるところが大きい。その普及拡大の速度はユーザーの選択が大きく影響する。コストでの優位性が出現する以前の段階では国の政策による支援策に頼るだけでなく、ユーザーの関心を獲得する商品としての魅力、セールスポイント、競合技術と比較したユーザー利便性の創出も重要である。

燃料電池自動車はその燃料としてこれまでと異なり水素の直接供給を必要とする。水素は産業用途の化学原料としての流通体系は確立しているが、自動車という一般ユーザーに対するガソリンスタンドのような供給インフラが存在せず、普及開始にあたっては水素スタンドという新たな社会インフラの整備が不可欠であり大前提となる。また、その水素価格も燃費として既存のエンジン車よりも魅力的となることが普及拡大には重要な要因である。燃料電池自動車の普及にはそのための水素供給インフラの整備を国の大きな政策として一体的に推進することが必要である。

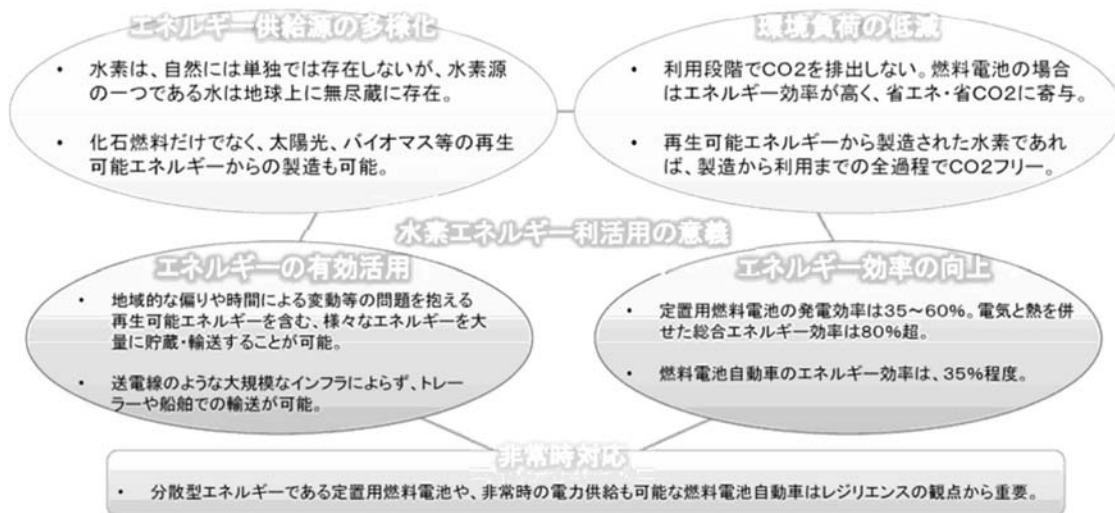
燃料電池は政府の長期にわたる開発支援と民間企業の継続的な努力により、我が国の民間企業の国際的な技術的優位性が確立してきている。優れた環境技術は世界的にも普及が期待される分野であり、技術開発のみならずこうした国際競争力のある新規産業を育成する観点での国の政策も重要である。

## V 再生可能エネルギーと水素・燃料電池の活用

昨今、水素エネルギー社会という用語が広く用いられるようになってきた。水素エネルギーは利用に際して温室効果ガスのCO<sub>2</sub>を排出しない、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）や硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）等も発生しない、そして種々のソースから生産が可能で供給源の多様化に資すること、燃料電池と組み合わせた利用時の高いエネルギー効率等の特徴が挙げられており、将来のエネルギーとしての位置付けが総合資源エネルギー調査会基本政策分科会でも議論されている。<sup>(5)</sup>

(5) 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会「(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) 水素・燃料電池について」平成25年10月、p.2. <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonseisaku/8th/8th-2-2.pdf>>

図7 水素エネルギー利活用の意義



(出典) 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会「(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) 水素・燃料電池について」平成25年10月, p.2. <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonseisaku/8th/8th-2-2.pdf>>

水素エネルギーを検討する際の最も重要な視点は、水素エネルギーは、地球上に自ずと存在する資源、一次エネルギーではないということにある。水素をエネルギーとして利用するためには、必ず他の一次エネルギーあるいは電力等の二次エネルギーから変換・生産して使用しなければならない。すなわち必ず一次エネルギーとも合わせた製造・供給・利用方法を総合的に検討することが肝心である。また、このようなエネルギー変換・供給の過程では必ずロスが生じることから、水素の製造から水素を利用して発電・燃焼してエネルギーを取り出す過程が増えるほど効率は落ちることをしっかり基本認識しておく必要がある。

水素をエネルギーとして理解する上で重要な点は、このように電力と同様の二次エネルギーであることで、水素の主たる機能はエネルギーの輸送・貯蔵にある。またその効果的・効率的な利用には製造・利用の変換技術と貯蔵技術が重要な役割を果たしている。水素エネルギーの構想は以前から提唱されていたが、この水素を電気に変換する効率が高い燃料電池の実用化が進展する中でエネルギーキャリア、二次エネルギー<sup>(6)</sup>としての水素の活用が現実的に注目されてきている。水素はエネルギー資源としては再生可能エネルギーのようなエネルギーを生み出す機能は期待できないが、再生可能エネルギーと組み合わせることでその活用をより効果的・効率的に発展させることが可能である。

電力と比較して水素のエネルギーキャリアとしての特徴は、貯蔵が比較的容易なこと、需要に応じて柔軟な輸送体系が可能なことにある。通常直接発電に供された再生可能エネルギーは電力として輸送・供給され利用されるのが最も効率的ではあるが、電力は発電と需要は同時同量が原則であり、変動要因の大きい再生可能エネルギーの活用には貯蔵・補完等の対応が必要になる。貯蔵には蓄電池や揚水等の技術があるが、いずれも貯蔵できるエネルギー密度が小

(6) エネルギーキャリアとは、エネルギーの輸送、貯蔵のための担体。二次エネルギーとは、自然界に存在しているエネルギー源（一次エネルギー）を変換したものの。

さく施設・設備が大がかりとなり効率的でない。輸送の送電線は長距離になると損失が大きく、また送電規模が小さいと輸送コストが上昇してしまう。一方、水素自身はエネルギーとしてガス体や液体、あるいは吸蔵材料等で容易に貯蔵可能であり、その輸送も規模に応じて小形の容器から大容量のパイプラインまで用途に合わせた選択肢がある。こうした特徴を活かして再生可能エネルギーと組み合わせ、その時間的・地域的変動・偏在を効率的に需要につなげるエネルギー媒体として活用することが水素エネルギーに期待される大きな役割となってきた。

最近、再生可能エネルギーの導入が進む欧州では、時間変動が大きく需要を上回る太陽光発電や風力発電の電力を一時的に水素に変換・貯蔵し、需要の大きい時間帯に、あるいは需要地域に輸送して燃料電池で電力に再変換・発電して活用する実証が始められている。また我が国でもスマートコミュニティ・エネルギーネットワークにおいて柔軟な対応が可能な燃料電池を再生可能エネルギーの補完的システムとして活用する検討・実証も開始されてきている。こうした電力の需給ニーズを的確にとらえ、燃料電池とあわせて電力システムと協調した再生可能エネルギーを効率的に活用する水素エネルギー社会・インフラを構築していくことが理想的である。しかし、再生可能エネルギー自身がまだまだコスト高の状況にある中、さらに新たな水素インフラを構築するのは一層の困難に直面するのが現実である。

実用化の段階に到達した定置用燃料電池においては、これまでにエネルギーとしての水素供給体系・インフラが未整備であったことから、エネルギーインフラの整備された天然ガス等の供給を受けて自ら水素を製造する形で水素の利用が開始された。一方、自動車用の燃料電池の開発過程においては、車上で既存の燃料から実用的に水素を製造することが耐久性・経済性また実用性の面で技術的に著しく困難であったため、水素を燃料として搭載することが必要とされてきた。燃料電池自動車は同じ化石燃料から水素を製造して供給しても既存のエンジン駆動の自動車に比べて総合効率に優れCO<sub>2</sub>の排出削減に寄与することが実証されてきている。自動車は移動体であるため、そのエネルギー供給インフラの構築は水素スタンドの拠点展開で可能である。2015年からの普及開始に向けて燃料電池自動車用の水素供給ステーションの整備が2013年から開始されており、限定的ではあるがこうした優位性を発揮できる分野から着実に水素エネルギーシステム構築の緒につけることが、将来の再生可能エネルギーの効果的活用と普及拡大に向けた取り組みの過程として重要と考えられる。

## 参考文献

- (1) エネルギー・環境会議『革新的エネルギー・環境戦略』平成24年9月14日。<[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/kagaku\\_bio/ondanka\\_fron/pdf/004\\_s01\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/kagaku_bio/ondanka_fron/pdf/004_s01_02.pdf)>
- (2) 一般社団法人日本電機工業会 燃料電池発電システム技術専門委員会「2012年度 燃料電池出荷量統計調査報告」『電機』2013.12, pp.69-72。<<http://www.jema-net.or.jp/Japanese/res/fuel/images/chousakekka.pdf>>
- (3) 一般社団法人燃料電池普及促進協会「民生用燃料電池導入支援補助金 交付決定台数」各年版 <<http://www.fca-enefarm.org/kinkyutaisaku/data/index.html>>
- (4) 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。<<http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf>>
- (5) 財団法人新エネルギー財団「事業用燃料電池発電システム導入検討の手引き 平成20年度版」平成20年9月。<<http://www.nef.or.jp/info/pdf/200809.pdf>>

- (6) 財団法人新エネルギー財団「平成20年度定置用燃料電池大規模実証事業報告会」平成21年3月10日, p.18. <<http://www.nef.or.jp/happyfc/pdf/20fc.pdf>>
- (7) 財団法人石油産業活性化センターほか「燃料電池システム等実証研究（第2期 J H F C プロジェクト）報告書」平成23年3月. <[http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/pdf/tuuki\\_phase2\\_01.pdf](http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/pdf/tuuki_phase2_01.pdf)>
- (8) 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会「(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) 水素・燃料電池について」平成25年10月, p.2. <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonseisaku/8th/8th-2-2.pdf>>
- (9) California Stationary Fuel Cell Collaborative, “Stationary Fuel Cell Installations in California.” <[http://www.casfcc.org/STATIONARY\\_FC\\_MAP/default.aspx](http://www.casfcc.org/STATIONARY_FC_MAP/default.aspx)> callux, “Interaktive Projektkarte.” <<http://www.callux.net/projektkarte.html>> ene.field, “Field Trials.” <<http://enefield.eu/field-trials/stationary-applications/>>