

2014年6月25日 全7頁

# 水素社会の兆し 第2回

## 分散型電源における水素の利活用

環境調査部 研究員 平田裕子

### [要約]

- 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CO<sub>2</sub>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。日本は、小型の家庭用燃料電池の分野ですで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。
- 家庭用燃料電池は、環境性や災害時電源としての価値が認識されつつあり、年々販売台数が増加している。今後もコストダウンによる経済性向上や付加価値を高めることで市場の広がりが期待される。海外進出の動きもあり日本の成長産業としての期待も大きい。
- 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、米国と韓国が市場をけん引している。日本では、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。
- 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。水素発電等により大量の水素需要を創出することは、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。今後の技術開発や運転データの蓄積が注目されている。

分散型電源の有用性としては、排熱利用（[コージェネレーション](#)）による環境性の向上、災害時等におけるエネルギー供給、電力ピークカット等系統電源の補完、地域内の資金循環による地域経済への貢献などがあげられる。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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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すで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。

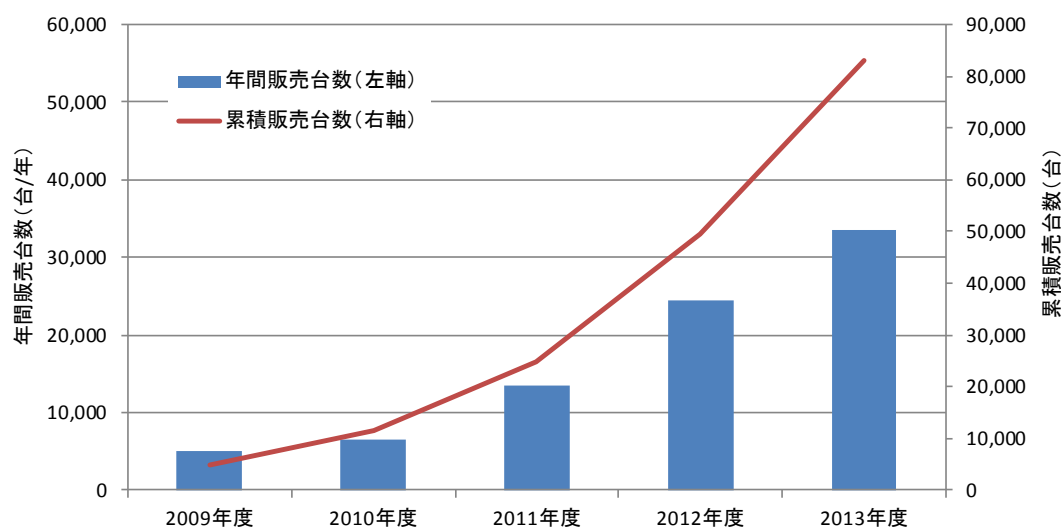
本稿では、我が国における家庭用燃料電池の現状と今後の課題について整理し、業務・産業用燃料電池および発電分野における水素利用（水素発電）の可能性について探る。

## 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

世界に先駆けて家庭用燃料電池の商用化を進めたのは日本である。日本では、2005 年度から「定置用燃料電池大規模実証事業」がスタート、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、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 台あたり 770 万円から 329 万円まで 57% のコストダウンに成功、機器発電効率 (HHV<sup>1</sup>) を 29.4% から 31.5% に 2.1 ポイント向上させ、予定外停止 (トラブル) を 1 台あたり年間 1 件以下に低下させた<sup>2</sup>。また、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が行われた。こうした成果を踏まえ、2009 年 1 月、「エネファーム」の統一名称で知られる家庭用燃料電池の販売が開始され、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 1)。最新機種では、1 台あたり 200 万円前後までコストダウンされ、発電効率は、実証事業で用いられた固体高分子形 (PEFC)<sup>3</sup> 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% など、さらに向上している<sup>4</sup>。

図表 1 エネファームメーカー販売台数 (2014 年 3 月末現在)



※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  
 ※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) 一般財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より大和総研作成

<sup>1</sup> 高位発熱量基準。燃料の発熱量に燃焼により生成される水分の蒸発潜熱を含む。低位発熱量基準と比較して発電効率が低く表示される。本文では、特に表記がない限り低位発熱量基準による発電効率を用いている。

<sup>2</sup> 「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)、財団法人新エネルギー財団

<sup>3</sup> 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。

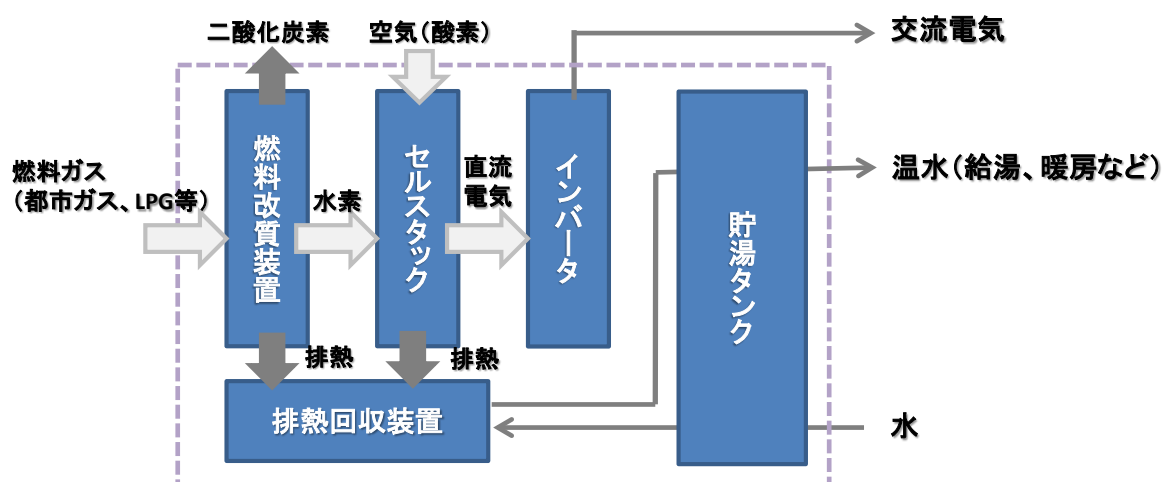
<sup>4</sup> 大阪ガス株式会社「[家庭用燃料電池エネファーム\(PEFC\)の新製品発売について](#)」(2013年12月18日)、「[家庭用燃料電池エネファーム type S\(SOFC\)の新製品発売について](#)」(2014年3月10日)

## (2) エネファームの仕組みと特徴

家庭用燃料電池「エネファーム」は、都市ガス・LP ガスから取り出した水素と、空気中の酸素を化学反応させて電気と熱を発生させる出力 0.7～0.75kW 規模のコージェネレーションシステムである。仕組みを図表 2 に示す。まず、燃料ガスが燃料改質装置に供給され、二酸化炭素と水素に分解される。水素は、燃料電池の心臓部であるセルスタックに送られ、空気中の酸素と反応し電気を発生させる。発生した直流電気はインバータを介して交流電気として家庭内に送られる。一方で、上記の反応により生じる排熱は、排熱回収装置で水と熱交換され温水として貯湯槽に貯えられ家庭で利用される。

このように燃料電池は、燃料の持つ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため発電効率が<sup>5</sup>高い。また、設備規模に関わらず一定の発電効率が得られるため、特に家庭用など小規模発電において優位性を持つ。さらに、家庭の敷地内（オンサイト）に設置して排熱を有効利用するため、総合効率が高いことが大きな特徴となっている。従来システム（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で約 37%削減となり CO<sub>2</sub> 排出量が約 48%削減されるという試算もある<sup>6</sup>。

図表 2 家庭用燃料電池の仕組み



（出所）各種資料より大和総研作成

## (3) 今後の課題と新たな試み

実証事業開始から大幅なコストダウンが行われてきたが、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ハードルが高い。2014 年 4 月に発表された「[エネルギー基本計画](#)」（経済産業省・資源エネルギー庁）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が、そのためには、戸建住宅で普及が見込まれると

<sup>5</sup> 通常の火力発電においては、燃料を燃焼して熱エネルギーに変換し、さらにタービンやエンジンなどの運動エネルギーに変えて電気エネルギーを得るため、エネルギー変換ロスが多い。

<sup>6</sup> 東芝燃料電池システム株式会社 [エネファームカタログ](#)

される 70～80 万円/台<sup>7</sup>まで更なるコストダウンが必要とみられている。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、付加価値向上による新規顧客開拓で量産効果を狙う方向だ。たとえば、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、ニーズは拡大した。また、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<sup>8</sup>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、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」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<sup>9</sup>。同システムは、各家庭における電力の余剰分と不足分を融通し合う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、HEMS<sup>10</sup>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「CO<sub>2</sub>排出量±0」<sup>11</sup>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なかで、より高い機能を発揮することを示していく必要がある。

#### (4) 海外戦略

海外市場にも目が向けられている。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<sup>12</sup>。2013 年 10 月、パナソニックは家庭用燃料電池の欧州市場への参入を発表した。欧州で暖房システムの販売を手掛ける (独) フィス

<sup>7</sup> 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ (第 2 回、平成 26 年 2 月 3 日) の資料 1 資源エネルギー庁「[家庭用燃料電池について](#)」では、「4人世帯の場合、エネファームの導入により光熱費を年間 5～6 万円程度削減 (東京ガス試算) できるため、従来型の給湯器が 20 万円程度であることを踏まえると、70～80 万円まで低減できれば自立普及が可能。」とある。

<sup>8</sup> 発電量に対する熱の発生量。SOFC は発電効率が高いために、PEFC と比較すると発電量が多く熱の発生量が少ない。

<sup>9</sup> 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)

<sup>10</sup> 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。

<sup>11</sup> 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 CO<sub>2</sub> と、創エネによって削減される CO<sub>2</sub> を年間トータルでプラスマイナスにすることを「CO<sub>2</sub>排出量±0」といいます (注: CO<sub>2</sub>±0 は「CO<sub>2</sub>を排出しない」ということではありません)』とある。

<sup>12</sup> “[The Fuel Cell Industry Review 2013](#)”, Fuel Cell Today

マンとともに欧州市場向けの新商品を開発する<sup>13</sup>。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た。欧州の暖房機器メーカーである(独)BDRサーマ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狙う<sup>14</sup>。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進められている。

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とともに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・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3)、米国と韓国が市場をけん引している。米国では、カリ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。本事業は、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目的であったが、2009年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。本事業により、2012年末までに195件、合計70MWの燃料電池が導入されている<sup>15</sup>。

図表3 海外の参入企業

| 企業   | Clear Edge Power |              | Bloom Energy            | Fuel Cell Energy        | Ballard Power Systems | LG Fuel Cell Systems | GE            |
|------|------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------|
| 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            | 5kW          | 200kW                   | 300kW<br>1.4MW<br>2.8MW | 1MW                   | -                    | -             |
| 現状   | 販売               | 販売           | 販売                      | 販売                      | 実証                    | 開発                   | 開発            |
| タイプ  | コージェネ            | コージェネ        | 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<br>日本ではソフトバンクと合併 | 韓Poscoにライセンス            | -                     | Rolls Royceと合併       | ガスエンジン・ハイブリッド |

(出所) 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ(第2回、平成26年2月3日)の資料2 資源エネルギー庁「業務・産業用燃料電池について」

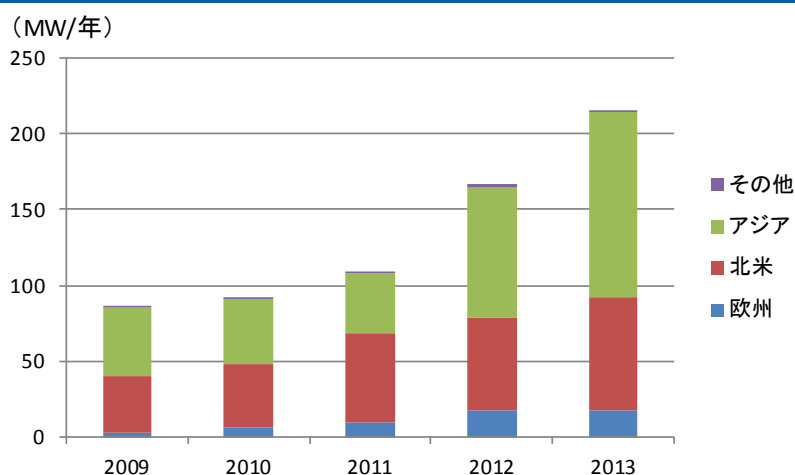
<sup>13</sup> パナソニック株式会社「[パナソニックが欧州発となる家庭用燃料電池コージェネレーションシステムを開発](#)」(2013年9月17日)

<sup>14</sup> 東芝燃料電池システム株式会社プレスリリース「[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)

<sup>15</sup> California Public Utilities Commission “2012 SGIP Impact Evaluation and Program Outlook”

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 FuelCell 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<sup>16</sup>、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量（MW）を見ると（図表 4）、北米とアジアが堅調に伸びており、今後も韓国の大規模導入を背景にこの傾向が続くことが予想されている<sup>17</sup>。

図表 4 燃料電池の地域別年間出荷数（MW）



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

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。日本は電力価格に対して燃料価格が高く、コージェネレーションシステム自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（図表 4）。

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<sup>18</sup>。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、2017 年の市場投入が予定されている。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。優位性を明らかにすることで、政策的な支援により普及に弾みがつく可能性もある。

<sup>16</sup> FuelCell Energy “[FuelCell Energy Announces Manufacturing Agreement With Partner, POSCO Energy](#)”, November 5, 2012

<sup>17</sup> “The Fuel Cell Industry Review 2013”, Fuel Cell Today

<sup>18</sup> 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弁会社を設立～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）

### 3. 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水素の混焼発電が広く行われている。しかし、水素のみを用いた専焼発電ではイタリアで実証例があるものの国内ではまだ実施されていない。水素は、天然ガスと比較して、発熱量が低い、燃焼速度が速い、火炎温度が高い等の特徴があると言われる。たとえば、火炎温度が高いことにより、局所的にホットスポットが生じNO<sub>x</sub>（窒素酸化物）が発生することなどが指摘されており、課題解決が必要である<sup>19</sup>。2014年2月、川崎重工株式会社は、体積当たり60%の水素ガス混焼時においても、NO<sub>x</sub>発生量を抑えることのできる技術を開発したと発表した<sup>20</sup>。また、川崎市と千代田化工建設が構想中の水素関連プロジェクトでは、2015年を目途に世界初の商用水素発電所（90MW）の建設を計画している。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<sup>21</sup>。技術開発と実証データの蓄積により、課題解決が進むことが期待されている。

水素発電は、CO<sub>2</sub>を排出しない水素製造が可能となれば大規模なゼロエミッション電源となる可能性がある。さらに、水素発電による水素需要創出が、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。たとえば、発電事業用の100万kWの水素専焼発電所では年間23.7億Nm<sup>3</sup>の水素需要が生まれる試算だが、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<sup>22</sup>。エネルギー基本計画においても「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」（第3章第8節）の必要性が述べられている。水素発電は水素社会における重要な技術として認識されており、今後も研究・開発・実証が進むとみられる。

<sup>19</sup> 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ（第4回、平成26年3月26日）の資料2 資源エネルギー庁「[水素発電について](#)」

<sup>20</sup> 川崎重工業株式会社『[低NO<sub>x</sub>ガス燃焼技術を開発 30MW級高効率ガスタービン「L30A」に適用・営業活動開始](#)』（2014年2月20日）

<sup>21</sup> 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）

<sup>22</sup> 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ（第4回、平成26年3月26日）の資料2 資源エネルギー庁「[水素発電について](#)」