

家庭用固体高分子形燃料電池 コージェネレーションシステムの展望

本田 國昭

株式会社 ガスアンドパワー

〒541-0047 大阪府中央区淡路町4丁目4番11号

Prospect of Residential PEFC Cogeneration System

Kuniaki HONDA

Gas and Power Co., LTD.

4-4-11 Awajimachi Chuo-Ku Osaka 541-0047, Japan

Now we are confronted by the most difficult challenge on the global environmental protection, I think that the fuel cell (FC) is one of a few candidates which can contribute to an environmental protection and an energy security at same time. We should think much of commercialization on developing FC projects. That is to say, unless FC projects are focusing on commercialization, they will not be of help to our society realistically. The Japanese government has been subsidizing to demonstration projects to date in order to commercialize Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) cogeneration systems for residential use.

We have serious targets to reduce their manufacturing costs and enhance their durability significantly. If they are not achieved, real market of residential PEFC cogeneration systems is not made. It is not so easy to commercialize residential PEFC cogeneration systems, however, I believe we can overcome the challenges not only by well organized R&D programs in collaboration between the government, industries and universities, but also by their continuous efforts to realize clean hydrogen society in the future.

Keywords: fuel cell, commercialization, Residential, PEFC cogeneration system, hydrogen

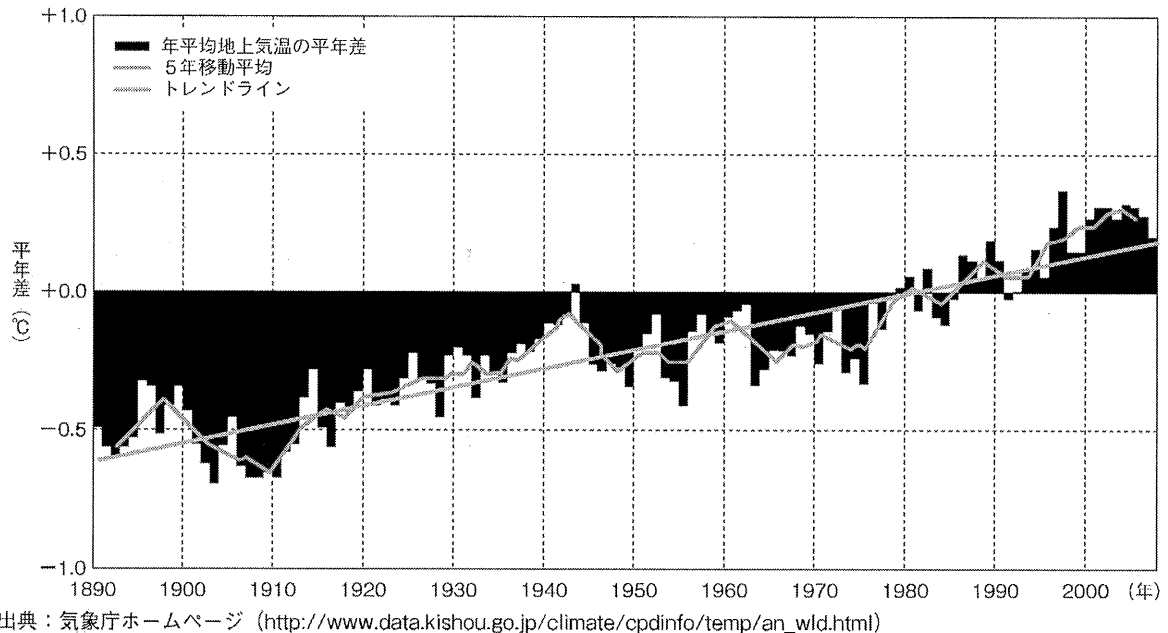
1. はじめに

アジアを中心にエネルギーの需要の急速な拡大等、国際エネルギー情勢は大変厳しい状況にある中、2008年から京都議定書に定める第一約束期間に入った。

2007年に取りまとめられた気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第4次の報告書の中にも、人類の活動が温暖化の原因になっていることはほぼ確実だとした報告もなされている[1]。さらに干ばつ、降雨量の増加などの異常気象、氷河や北極の氷の溶解、海面上昇などに見られるように、温暖化のスピードが加速していることが指摘されている。EUにおいては2020年にCO₂の削減量を20%とすることが表明された。日本においては第

一約束期間の6%削減さえもかなり困難視されている。一方、2007年のサミットの中で日本の総理大臣が2050年にCO₂を全世界で50%削減する「クールアース50」計画を提案した。

その後、2009年の9月に国内政権が自民党から民主党に変わったことで、政府は1990年比で2020年に温室効果ガス排出量を25%削減する目標を世界に向けて公表した。そして、政府は2010年3月に温暖化対策の基本方針を定めた地球温暖化対策基本法案を閣議決定した。法案には25%削減の条件として、すべての主要国が参加する国際的枠組みの合意を前提とすることが明記されているが、日本国民全体にとって非常に厳しい目標となる。また、2050年には80%減とする長期目標も併記されて



(平成 21 年度環境白書より引用)

図 1. 世界の年平均地上気温の年平均差

いる。

図 1 で示されているように、地球の平均気温は、2005 年までの過去百年間で平均気温が 0.74 ($0.56 \sim 0.92$) $^{\circ}\text{C}$ の上昇、日本の平均気温は 1°C の上昇そして、東京の平均気温は 3°C 上昇している[2]。この間道路がアスファルトになり、大きな建物が建設され多くの空調機器が使用されてきた。その結果、近年問題になっているヒートアイランド現象と地球温暖化とが相俟って、都市部の平均気温を押し上げていると言う状況である。

2. 資源エネルギーが抱える課題

石油や天然ガスの可採年数は、あと約 40 年や約 70 年と言われている。今から 40 年前に石油はあと 30 年～40 年と言われていた。それが今でも 40 年だと言われる。資源量とはどのようにになっているのか。採掘可能な年数(可採年数)とはどのように定義されるのか[3]。それは、現時点での確認可採埋蔵量を現時点での生産量で割ったものである。絶対的な数量ではなく、探査技術や採掘技術の進歩によって変化する相対的なものである。探査技術が進歩し確認できた埋蔵量が増加したり、採掘技術や精製技術の進歩によっても可採年数が延びることになる。一方、近年成長が著しいと言われる BRICs (ブラジル、ロシア、インド、中国) 4 カ国を中心としてエネルギー

の消費量が増加することによって、可採年数は小さくなることになる。石油、そして天然ガス、石炭、ウランなどエネルギー資源の確認可採埋蔵量は、衛星探査技術等の進歩で確認埋蔵量が増加し、自噴しにくい油田では水圧をかけたり、近年では CO_2 を油田に注入してエンリッチ化するなど採掘技術の進歩により増加し続けてきた。この技術の進歩が生産量の増加を上回り可採年数も減少せずに来た。その結果エネルギー消費に歯止めがかからず、地球温暖化を深刻化させると言う皮肉な結果をもたらしたと言えるのではないかと。

しかし、これらの技術がさらに 30 年後に、今までのように格段に進歩する可能性は今や少ない。従って、現時点で 40 年と言われる石油の可採年数は 40 年前に発表された「40 年」よりもかなり信憑性が高いと言える。消費量の増加と相俟って化石燃料の可採年数は明らかに減少していくと考えられる。何十年か後に、早ければ十数年後には、石油や天然ガスは枯渇に向かう(ピークアウト)可能性が高いのではないだろうか。一方、近年ではシェールガスの発見・利用やオイルサンドの採掘技術の進歩による利用率の向上そして、メタンハイドレードの経済的採掘技術の研究開発等によって、新たな化石燃料の拡大利用が期待され、エネルギーとしての全化石燃料は決して不安視されるものではないという意見も聞かれる。しかし、産業革命以後急増したエネルギー消費に

ともなって、地球温暖化問題が深刻化していることは事実である。

また、図2に示されることから将来原油の価格は何時また高騰するかも分からない[4]。

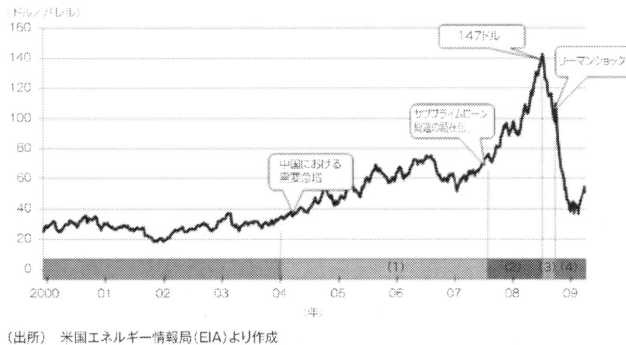


図2. ニューヨーク原油先物市場の推移 (WTI 原油価格)

人類はエネルギー・資源問題と合わせて地球環境問題の将来を真剣に展望する必要性が出てきている。

3. 家庭部門が抱える省エネルギー課題

1973年のオイルショック以降、産業部門では大幅な生産量の増加にも関わらず、日本のエネルギー消費量は殆ど増加していない。これは、省エネルギー技術が格段に進歩したことによる。他方、図3に示されるように家庭部門では核家族化による住宅戸数の増加や、電化製品の増加、大型化によりエネルギー消費量は飛躍的に増加している[5]。

表1に示されるように家庭部門においては、基準年度

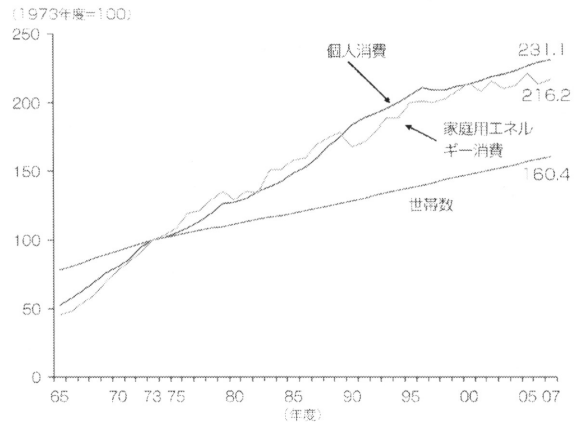


図3. 家庭部門におけるエネルギー消費の推移

(平成20年度エネルギー白書より引用)

(1990年度)において温室効果ガスの排出量が127百万トンCO₂であったものが、2007年度の実績では180百万トンCO₂と41.2%も増加している。

そして、2010年度には138~141百万トンCO₂へと大幅な温室効果ガスの排出削減が求められている[6]。

そこで、家庭部門での省エネルギーをどのように進めるべきかが大きな課題となっている。家庭部門については、トップランナー方式と呼ぶ政策誘導により、省エネルギー対応の家電製品が市場に出回るようになってきた。店頭表示でも必ず価格・機能に加えて省エネルギー性能が表示されるようになった。

表1. 温室効果ガスの排出状況及び2010年度の排出量の目安

温室効果ガスの排出状況及び2010年度の温室効果ガス排出量の目安

(単位: 百万トンCO₂)

	基準年度 (全体に占める割合)		2007年度実績 (基準年度増減)		2010年度の排出量 の目安(注2)	2007年度実績と 2010年度排出量目安との差	
						削減しなくては ならない量	2007年度実績に 対する割合(%)
エネルギー起源二酸化炭素	1,059	(84%)	1,219	+15.1%	1,076~1,089	144~131	11.8~10.7
産業部門	482	(38%)	471	-2.3%	424~428	47~43	10.0~9.2
業務その他部門	164	(13%)	236	+43.8%	208~210	28~26	12.0~11.1
家庭部門	127	(10%)	180	+41.2%	138~141	42~39	23.1~21.5
運輸部門	217	(17%)	249	+14.6%	240~243	9~6	3.8~2.4
エネルギー転換部門	67.9	(5%)	83.0	+22.2%	66.3	17	20.1
非エネルギー起源二酸化炭素	85.1	(7%)	84.5	-0.6%	84.5	-0.004	-0.01*
メタン	33.4	(3%)	22.6	-32.3%	22.6	0.003	0.01*
一酸化二窒素	32.6	(3%)	23.8	-27.1%	24.7	-0.948	-4.0
代替フロン等3ガス	51.2	(4%)	24.1	-53.0%	31.0	-6.9	-28.7
合計	1,261	(100%)	1,374	+9.0%	1,239~1,252	135~122	9.9~8.9

注1: 上記の表は四捨五入の割合上、各欄の合計は一致しない場合がある。
注2: 排出量の目安としては、対策が想定される最大の効果を上げた場合と、想定される最小の場合を設けている。当然ながら対策効果が最大となる場合を目指すものであるが、最小の場合でも京都議定書の目標を達成できるように目安を設けている。
注3: *は二酸化炭素換算を表す。
資料: 環境省

(平成21年度環境白書より引用)

省エネルギー設備としてコージェネレーションシステム（以下 CGS と称する）の普及が国策として進められている。中でも特に、燃料電池コージェネレーションシステムの開発・商品化に力を入れ、2010 年には 1999 年度の 180 倍以上の 210 万 kW の普及を目標にしていた。このうち家庭部門においては、120 万 kW の普及を目標としていた。残念ながらこの目標が今や未達成に終わることは明白となっているが、2020 年度の目標 570 万 kW（達成は困難視されるが）に向かって少しでも近づけられるように、産・官・学・民の努力が求められる。

ただし、国策で無理やり CGS を普及させると言うことは、必ずしも正しい国策とはいえない。CGS は効率の高いシステムとして注目を集めているが、何処でもどんな場合でも必ず省エネルギーにつながるわけではない。使い方、使う場所、目的によって省エネルギーにも増エネルギーにもなる。それを正しく認識しなければならない。

我が国では現在、産業部門や業務部門においては CGS の導入等により省エネルギー化が進んでいる。しかし、現在家庭部門での CGS の導入は表 2 に示すようにごくわずかである。

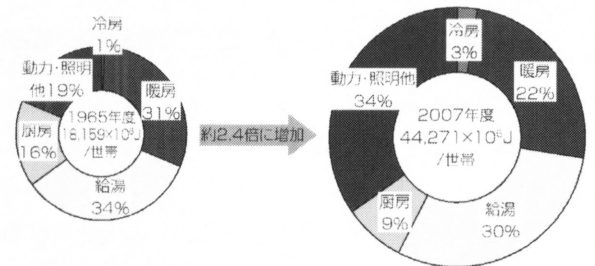
表 2. 家庭用ガスエンジンコージェネレーションシステムの普及台数

年度	普及台数 (台)
2003	2,465
2004	9,353
2005	13,434
2006	18,425
2007	19,442
累積台数 (台)	63,294

このような中でエネルギー需要密度が高く、エネルギーの利用形態が多様化している都市部の家庭においては、固体高分子形燃料電池（以下 PEFC と称する）や、マイクロガスエンジンを原動機としたマイクロ CGS の導入が、省エネルギー対策の有効な 1 つの手段として有望視されている。

CGS は電気と有用な熱を同時に生産・利用するシステムであることから、電気負荷と熱負荷が同じ場所で存在することがシステム導入には重要である。図 4 に示されるように 2007 年度の家庭におけるエネルギー別負荷量

は電力（動力・照明・冷房他）が 37% で熱（給湯・暖房）が 52% である。電力、熱の負荷パターンが PEFC コージェネレーションシステムの出力パターンに必ずしも一致しているわけではないが、これを熱電比（熱負荷/電気負荷）で表わすと約 1.41 となり、PEFC コージェネレーションシステムの熱電比 1.43（発電効率：35%、総合効率：85%）に非常に近い。これは、家庭用コージェネレーションシステムとして PEFC コージェネレーションシステムが適していることを示している理由の 1 つである[7]。



(注) 「総合エネルギー統計」では、1990年度以降、数値の算出方法が変更されている。

(出所) 財団法人エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」をもとに作成

(平成 20 年度エネルギー白書より引用)

図 4. 世帯当たりのエネルギー消費原単位と用途別エネルギー消費の推移

4. 家庭用 PEFC コージェネレーションシステム

家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの代表的仕様を表 3 に示す。

表 3. PEFC・HCGS の仕様例

項目	仕様
燃料種別	都市ガス、LPG、灯油
発電出力 (kW)	0.7~1.0
発電効率 (% : LHV)	35~39
総合効率 (% : LHV)	85~90
排熱温度 (°C)	65~70
貯湯温度 (°C)	60~65
貯湯タンク容量 (l)	200
補助熱源	有

PEFC の燃料電池本体は図 5 に示す単セルユニットを積層することによって構成されている。単セルユニットは固体高分子膜、Pt-Ru 触媒が塗布された燃料極（ア

ノード極)、最近では多くの場合 Pt-Co 触媒が塗布された空気極 (カソード極)、燃料の水素や酸素 (空気) を触媒表面上に満遍なく供給するためのガス拡散層 (ガス拡散層はカーボンペーパーやカーボンクロスが用いられる)、そして燃料ガスや空気の漏れを防ぐためのガスケットにより構成されている 7Layers といわれるものを、カーボンまたは金属で作られたセパレータまたはバイポーラープレートと呼ばれるもので挟まれた構成となっている。ここで、燃料電池本体 (セルスタック) の概観写真を図 6 に示す。ここで示すように、燃料電池本体は積層した単セルを両エンドプレートにて挟んで、ガス漏れが発生しないように締め付ける構造とされている。

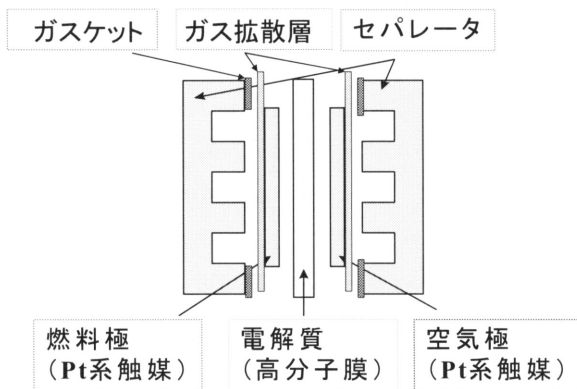


図 5. 単セルユニットの模式図

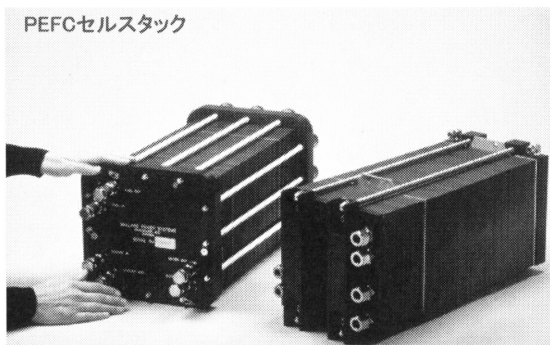


図 6. セルスタックの概観写真 (大阪ガス (株) 提供)

5. 家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの歴史

2000 年代の初めには主に日本・米国・カナダで PEFC コージェネレーションシステムの実用化研究が精力的に進められていた。近年では、台湾、韓国等でも政府の支援を得て海外技術の導入と自国技術の組み合わせで、研究開発が進められている。

米国・カナダにおいては 1~5kW クラスのシステム開

発が主流であった。主な参画メーカーは UTC Power、Hpower、PlugPower、NUVERA、Dais-Analytic そして、NORTHWEST POWER SYSTEMS の各社。そして、200kW クラスで BALLARD が試作機を製造し商品化に向けて競争していた。しかし、継続した官・民の十分な支援が得られず現在においても PEFC コージェネレーションシステムの商品化を目指しているメーカーは上記 7 社のうち、NORTHWEST POWER SYSTEMS の流れを汲む IDATECH と同じく Hpower の流れを汲む HYTEON の 2 社とヨーロッパにおいては旧 european fuel cell gmbh の BAXI INNOTECH の 3 社のみである。

日本においては、家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの実用化そして商用化に向けて、経済産業省 (METI) の絶大な支援により産・官・学の連携の下に研究開発が進められてきた。METI が燃料電池関連の研究開発に支援してきた金額は、2003 年度からは年間 300 億円を超える規模である。その中で、METI は 2002 年度より家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの実用化を目指して 3 年間のフィールドテストを実施した後、2005 年度より当初予定していた 3 年間の大規模実証事業を 1 年間延長して 2008 年度末までの 4 年間実施した。そして 2008 年度末には累計で全国において 3,307 台が設置され、商用化に向けて大きな成果が得られた。

その結果、2009 年度初めからメーカー 3 社 (東芝燃料電池システム (株) : 図 7、パナソニック (株) ホームアプライアンス社、新日本石油 (株) : 図 8) と連携して、都市ガス会社 (東京ガス (株)、大阪ガス (株)、東邦ガス (株) 他) や石油会社 (新日本石油 (株)、コスモ石油 (株) 他) が統一商品名を“エネファーム”として一般販売を開始した。政府は普及促進策として補助金を付けた。2009 年度の補助金は上限一台当たり 140 万円とされており、一般社団法人燃料電池普及促進協会からの発表によると、2009 年度の補助金申請受理数の累計は全国で 5,258 台である。なお、実際の設置台数は年度末までの程度になるかはまだ不明であるが、かなりの台数が設置されるものと期待できる。

しかし、一方では 2000 年代初めに商品化を目指して研究開発を続けていたメーカーの中には、未だ商品化の発表をしていない会社や、商品化を断念またはその方向にある会社が少なからずあることも事実である。これら

のことからも分かるように、PEFC コージェネレーションシステムの商品化のハードルは決して低いものではない。本当に商品として大量普及するためにはまだ多くの課題を含んでいるといえる。

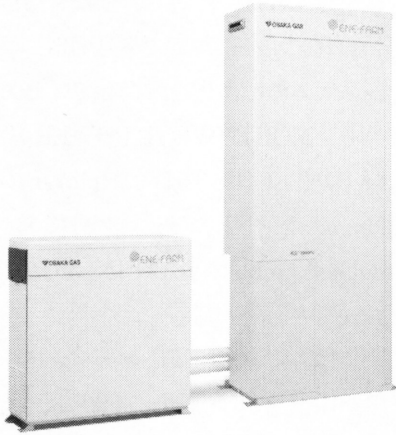


図7. 東芝燃料電池システム (株) のエネファーム
(大阪ガス (株) のカタログより引用)

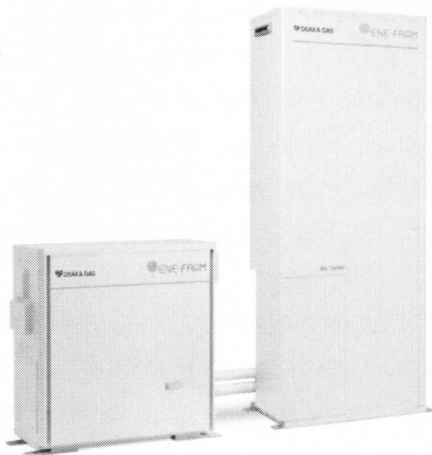


図8. 新日本石油 (株) のエネファーム
(大阪ガス (株) のカタログより引用)

6. 家庭用PEFC コージェネレーションシステムの今後

3 節で述べた 2020 年度の当初目標 570 万 kW (業務用を含む) を達成することはかなり困難と思われる。しかし、少しでも目標に近づけるためには現在の耐久性：3~4 万時間程度、そしてシステム価格 (市販価格)：320~370 万円程度 (設置費除く) から更なる耐久性の向上と、コストダウンが求められる。2010 年度機と 2020 年度機 (目標) の仕様の比較を表 4 に示す。

表 4. 2010 年度機と 2020 年度機 (目標) の仕様比較

	2010 年度機	2020 年度機
耐久性 (h)	40,000	100,000
発電効率 (%:LHV 基準)	35	40 以上
製造コスト (万円/台)	200 以上	50 以下
製造規模 (千台/年・全国)	5	500

METI は 2009 年度末まで進めてきた NEDO プロジェクト“固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発”の後継プロジェクトとして、“固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発”を新たに NEDO プロジェクトとして 2010 年度から 5 カ年の計画で推進することとしている。

また、コストダウンのためには生産量の拡大が大きな要素の一つであることから政府は導入・普及支援策として“民生用燃料電池導入支援補助金”を 2009 年度から 5 カ年程度を計画している。これによって、2010 年度の政府補助金は上限 130 万円となる模様。そこで、2010 年度には NEDO プロジェクトの成果を踏まえて、メーカー、エネルギー会社の努力によりコストダウンが進められ、2009 年度を倍する機器の設置が期待される。関係者は当面の目標として耐久性の倍増と製造コストの半減を目指している。コストダウンと耐久性はトレードオフの一面を持つが、ともに大きく向上させることが大量普及のためには必要不可欠である。

コストダウンの主要要素としては、①セルスタックの性能向上、②補機の簡素化・共通化、③触媒用白金の低減等が上げられる。

①セルスタックの性能向上

セル電流密度においては 2000 年代の初めには 300mA/cm²を目指して研究開発されていたが、実用機でこれを達成できるメーカーは無く、多くのメーカーにおいては 100mA/cm²台であった。その後研究開発が精力的に進められ現在では、300mA/cm²近辺に達していると思われる。今後も更なる高電流密度化が求められる。

次に、単セル電圧においては 2000 年代初めには多くのメーカーにおいて、実用機では 700mV に達していなかったが、現在では 730~750mV まで来ていると思われる。これによって、1kW クラスのスタックで 2000 年代初めには 70 枚前後のセルが積層されていたが、近年ではインバーターの高性能化と相俟って、積層枚数は 30~40 枚程度となり、コストダウン、小型化に貢献している。

②補機の共通化

初期商品化時においてシステムコストのうち 50%に近いコストが予想された補機類のコストダウンのため、METI の主導の下に 5 社の大手システムメーカーが参画した、NEDO プロジェクトが 2005 年度～2007 年度までの 3 ヶ年実施され大きな成果を得た。その後更なる共通化とコストダウンを目指して、2008 年度から第二次の NEDO プロジェクトが実施されている。

③白金の使用量

研究開発当初の 2000 年代初めは 1kW 当たり 10g 近い量であったと思われる白金使用量は、近年では約半分の 4～5g/kW 程度になっていると推測される。白金の資源量並びにコストの面から今後は更にこれを半減した 2g/kW 程度が求められる。そして将来的には非白金系の触媒の開発が期待される。

家庭用 PEFC コージェネレーションシステムを温暖化対策とエネルギー資源対策の観点から大規模に普及拡大させるためには、産・官・学・民の一層の連携強化が求められる。

そこで、住宅用太陽光発電からの電力に類似して、サステナブル水素を燃料とした家庭用 PEFC コージェネレーションシステムからの電力に対して、フィードインタリフ (Feed-in Tariff: 固定価格買い取り制度) の考えの導入について検討することを提案したい。

7. 最後に

産業部門や業務部門の大型機器として発電効率が高く、分散型電源としても期待される固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の実用化を目指して METI の支援の下に、NEDO プロジェクト“固体酸化物形燃料電池システム技術開発”が 2007 年度末まで推進されていたが実用化までにはハードルが高く、引き続き素材研究や要素技術開発に重点を置いて実施することが重要であるとの指摘がなされた。そこで、耐久性・信頼性向上、低コスト化などの課題を解決するための劣化要因解明や材料開発など基盤的な要素技術の研究を行うため、METI の支援の下に、NEDO プロジェクト“固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発”が 2008 年度から 5 年の計画で推進されている。

一方、家庭用燃料電池コージェネレーションシステムで現在商品化されているのは PEFC 形のみであるが、

PEFC と比較して発電効率が約 10 ポイント程度高い 45%と言われる SOFC 形家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの商品化に向けた民間の研究開発の成果として、早期実用化の見通しが出てきたのを受けて、METI の支援の下に、家庭用 SOFC コージェネレーションシステムの実用化を目指した NEDO プロジェクト“固体酸化物形燃料電池実証研究”が 2007 年度から 2010 年度までの計画で進行している。2007 年度と 2008 年度でフィールドテストとして計 65 台が全国で設置され、2009 年度からは実証事業の段階に進んでいる。2009 年度末で累計 132 台が全国に設置された。2010 年度も 100 台弱の設置が予定されている模様。参画しているメーカーは主として大阪ガス・京セラ・トヨタ・アイシンの企業グループである。他に TOTO グループ、新日本石油グループ等がある。

大阪ガス (株) が 2009 年度に設置したシステムの概観写真を図 9 に示す。左側のパワーユニットは PEFC に比べてひとまわり小型になっている。右側の排熱回収ユニットにおいても貯湯タンクが小容量 (70 リットル) になっていることから、こちらも PEFC に比べて小型になっている。



図 9. 家庭用 SOFC コージェネレーションシステム
(大阪ガス (株) 提供)

今のところ発電効率が高いことと、PEFC と比較して単独の燃料改質器とセルスタックの性能維持のためのウォーターマネジメントが不必要なこと、加えて白金等の貴金属が不必要なことからシステムコストが安価になると期待されている。一方、当システムは耐久性の検証がまだ十分でないことと、起動停止に時間を要する等、

PEFC に比べて劣っている点も見受けられる。

関係者の間では 2010 年代の早い時期の商品化が検討されている模様である。また、海外における家庭用 SOFC コージェネレーションシステムの開発企業としては、CERAMIC FUEL CELLS LIMITED や Ceres Power Limited 等があるが、日本の企業グループが 1 歩も 2 歩も先行していると思われる。

記 号

- IPCC : IPCC とは Intergovernmental Panel on Climate Change の略で、気候変動に関する政府間パネルのこと
- METI : METI とは Ministry of Economy, Trade and Industry の略で、経済産業省のこと
- NEDO : NEDO とは New Energy and Industrial Technology development Organization の略で新エネルギー・産業技術総合開発機構のこと
- SOFC : SOFC とは Solid Oxide Fuel Cell の略で、固体酸化物形燃料電池のこと

参考文献

- [1] 気候変動に関する政府間パネル ;
「IPCC 第 4 次評価報告書、統合報告書 概要」、p.33、(2007)
- [2] 平成 21 年版 図で見る環境・循環型社会・生物多様性白書 (PDF 版) ;
「第 1 部第 1 章」、pp.2-3、(2009)
- [3] 藤野純一 ; 「なぜ長期的視点が必要か : 脱温暖化社会構築に向けた挑戦」、
「エネルギー・資源学会 サマールワークショップ」、エネルギー・資源学会、p.4、(2006)
- [4] 平成 20 年度 エネルギー白書 ;
「第 1 部」、pp.10-11、(2009)
- [5] 平成 20 年度 エネルギー白書
「第 2 部」、pp.106-107、(2009)
- [6] 平成 21 年版 図で見る環境・循環型社会・生物多様性白書 (PDF 版) ;
「第 1 部第 3 章」、pp.20-21、(2009)
- [7] 平成 20 年度 エネルギー白書
「第 2 部」、pp.106-107、(2009)