



岐阜  
を考える

# 燃料電池

2005  
No. 121



# 岐阜を考える 2005 No. 121

## 特集 燃料電池

---

巻頭論文 燃料電池とは 本間 琢也……………2

特集論文 1 燃料電池の実用化に向けた課題と周辺技術の開発動向

－自動車用燃料電池について－ 高木 靖雄……………8

－家庭用燃料電池に何を期待するのか－ 石田 政義…………… 15

－業務用燃料電池について－ 西川 尚男…………… 24

調 査

レポート 燃料電池への取組と動向 長井 哲也…………… 29

特集論文 2 岐阜県における水素エネルギー利用策～燃料電池の活用面から～

守富 寛…………… 36

編集後記

---

## 燃料電池とは



### 本 間 琢 也

(燃料電池開発情報センター 常任理事)

#### 1. 燃料電池の歴史

燃料電池の発明は、1839年のイギリスのグローブ(William Grove)によるデモンストレーション実験にまで遡る。したがって、原理が実証されてから、現在まで160年以上が経過したことになる。燃料電池が世界で初めて実用に供されたのは宇宙においてであり、出力1kWの固体高分子形燃料電池(PEFC)が人工衛星ジェミニ5号に搭載された。

わが国独自の本格的な燃料電池開発プロジェクトは、ムーンライト計画の1課題として1981年に始まった。この80年代には、東京電力による出力11MWのような出力規模の大きいプラントによる実証運転実験、大阪のホテルプラザにおける200kW実証運転等、わが国においては研究開発が最も盛り上がった一時代であったように思われる。これらは全て第1世代と称されるリン酸形燃料電池(PAFC)であった。

90年代以降、燃料電池は小規模、小容量電源としてより適しているとの認識がますます強くなり、燃料電池は発電事業用としての大規模電源としてよりも、むしろ小中規模の電源としての実用化に人々の関心が寄せられ

るようになってきた。特に95年頃にPEFCの高性能化、コンパクト化が著しく向上した結果、自動車用動力源としての利用可能性が現実性を帯びて議論されるようになってきた。ダイムラークライスラー、トヨタ自動車など世界の主要なカーメーカーが、PEFCをエンジンとして組み込んだ燃料電池自動車(FCV)を試作・公表したのはこの頃である。

PEFCの市場は、自動車だけではない。数kWレベルの家庭用コージェネレーション電源を始め、コンピューターや携帯電話等、電子機器用マイクロ電源も今後大きく成長する市場として期待されている。特に端末用超小型燃料電池は、定置式コージェネレーション用や自動車用におけるように、環境やエネルギー問題への対応が目的ではなく、情報機器の利便性を向上させることが主要な目標となっている。したがって、燃料電池の市場での競争相手は、高価なりチウムイオン電池等の高出力密度の蓄電池であり、市場での競争は他分野の燃料電池に比べて、少なくともコストや耐久性においては容易であると考えられている。

## 2. 燃料電池の種類と動作原理

### 2.1 種類

燃料電池は水素（改質ガス）と酸素（空気）から、電気化学反応によって直接電力と熱を取り出す方式であることにおいて共通の原理であるが、イオンの通路である電解質の種類によって幾つかに分類されている。それらの中で現在開発が積極的に進められているのは、リン酸形（PAFC）、固体高分子形（PEFC）あるいはPEMFC）、アルカリ形（AFC）、直接メタノール変換形（DMFC）、熔融炭酸塩形（MCFC）、固体酸化物形（SOFC）の各燃料電池である。燃料電池はその種類によって、動作温度が大きく異なっており、それによって出力規模や利用分野、したがって予想されるユーザーは互いに異なったものとなっている。例えばPAFC、PEFCは比較的低温で動作するので、低温型燃料電池と呼ばれることがあり、分散型のコージェネレーション電源や自動車用動力源として市場開拓が行われている。これに対してMCFCおよびSOFCは、それぞれ600℃以上および800～1000℃の高温で動作するので、燃料電池ではあっても熱機関的な要素を兼ね備えており、コージェネレーションよりはむしろ中規模発電プラントとして位置付けられることが多い。DMFCは、自動車のエンジンとしての利用も考えられているが、最近注目されているのは携帯電話やラップトップ型コンピューター用電源としてこれを実用化しようとする意向が強くなっている。AFCはCO<sub>2</sub>によって著しい劣化を引き起こすため、純水素および純酸素を使う宇宙用以外の用途にはほとんど利用が考えられなかったが、発電効率が高くコストが大幅に低減されるというメリットがあり、将来実用化される可能性は

残されている。表1に各種燃料電池の性能比較を示す。

	PAFC	MCFC	SOFC	PEFC	AFC
電解質	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	熔融炭酸塩	セラミックス	高分子膜	KOH/H <sub>2</sub> O
作動温度(°C)	200	650	800-1000	80	60-80
燃料	H <sub>2</sub> / 改質ガス	H <sub>2</sub> /CO/ 改質ガス	H <sub>2</sub> /CO/CH <sub>4</sub> / 改質ガス	H <sub>2</sub> / 改質ガス	H <sub>2</sub>
改質方式	外部	外部/内部	外部/内部	外部	
酸化剤	O <sub>2</sub> /空気	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> / 空気	O <sub>2</sub> /空気	O <sub>2</sub> /空気	O <sub>2</sub> /空気
発電効率 (%LHV)	36-45	45-55	45-50	32-40	50-60

By Dr. J. Brouwer, November 18, 2002, Palm Springs

表1 各種燃料電池の比較<sup>1</sup>

### 2.2 セルの動作原理

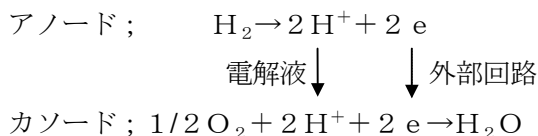
燃料電池の動作を司る基本的な最小単位はセルと呼ばれている。セルは燃料極および酸素極（空気極）と称される1対の電極、この1対の電極に挟まれて存在する薄い電解質、および両電極を結合する外部回路によって構成される。電解質はイオンの通路であり、電子は通過することができない。もし電解質が電子を通過させることになれば、それはリーク電流となるので、それだけ燃料電池の電気出力は低下することになる。既に述べたように、電解質の種類によって燃料電池の種類は異なるが、電極においては燃料電池の種類に応じて異なる電気化学的反応が進行する。

例えばPAFCやPEFCの場合、燃料極に水素が供給されると、電極表面において水素の酸化反応が進行し、水素原子から電子が解放され、水素イオンを生じる。このように燃料極で進行するのは、還元体（水素ガス）が電子を放出する酸化反応であり、したがって電気化学的にはアノードと称される。電子は外部回路を経てカソード（空気極）に到達する。この外部回路を通過する電子が外部に

仕事をするための電流を構成する。他方水素イオンは電解質中をアノードからカソードの方向に移動し、酸素極では水素イオン、電子、および外部から導入された酸素が結合して水を生成することになる。これは電子を受け取る還元反応であるから、酸素極はカソードとなる。したがって、電子電流はカソードからアノードの方向に流れることになる。

理論的にはカソードの電位は、アノードのそれに比べて1.23V高いが、電流が流れると電極上で分極現象が起こり、電位差（電池電圧）は1ボルト以下に低下する。こうして電子とイオンの流れにより燃料電池内に閉回路が形成されるわけである。燃料電池の種類によって電極反応は異なり、従って電解質を移動するイオンの種類も異なったものとなる。それらを以下に示す。

例えば、PAFCとPEFCについて、電極反応を式で示すと以下のようになる。



である。PEFCは80℃、PAFCは200℃で動作する。低温動作の燃料電池では、電極触媒には白金又は白金合金が用いられる。

### 3. 改質プロセス<sup>2</sup>

前節で述べたように、燃料電池では水素が基本的な燃料としての役割を果たすが、水素は天然には単独では存在しないため、一般に化石燃料やバイオガスのような炭化水素系燃料から、以下のような改質プロセスによって水素を生成する。改質プロセスには、水蒸気改質、部分酸化改質、および両者を併用した

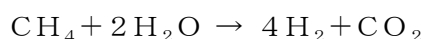
オートサーマル改質が存在する。改質プロセスに要求される条件は、以下に述べるように燃料電池の種類によって異なっている。

PAFCやPEFCのように、白金系触媒を電極に用いる低温動作燃料電池においては、触媒がCOによって被毒を受けてその性能を劣化させるため、改質ガス中のCO濃度を低く抑える必要があり、CO除去のためのプロセスが加えられる。この場合、改質プロセスは一般に脱硫、改質反応、シフト反応、選択酸化の各反応プロセスによって構成される。

他方MCFCやSOFCのような高温型燃料電池では、CO自身を燃料として利用できるので、CO除去プロセスを必要としない。又、燃料電池スタック内で改質反応を起こさせることが可能であり、このような改質方式を内部改質型とよんでいる。

#### 3.1. 水蒸気改質

メタンガスの場合には、改質反応とシフト反応を加えることにより、



となるので、1モルのメタンガスと2モルの水蒸気から4モルの水素と1モルの炭酸ガスが生成されるが、一般に水蒸気については、反応に必要な量よりも過剰に使用している。これはカーボンの析出を避けるためであるが、燃料電池システムの効率を高めるためにはS/Cは低い方が望ましい。

CO除去技術としては、上に述べた選択酸化法以外に、PSA (Pressure Swing Adsorption)の採用やPd系金属膜や高分子膜を用いた膜分離法が存在する。工業用水素を多量に生成する大型プロセスでは、専らPSAが使われている。

### 3.2 部分酸化改質

部分酸化（部分燃焼）を反応式で表せば、メタンガスの場合には  
$$\text{CH}_4 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2 \text{H}_2 \text{ (発熱反応)}$$
となる。部分酸化反応は発熱反応のため、温度上昇に外部から熱を加える必要が無いので、起動時間は水蒸気改質に比べて短くなる点に特長がある。しかし、水素の発生量および改質効率は水蒸気改質の方が高い。

### 3.3 オートサーマル改質

水蒸気改質と部分酸化改質を組み合わせると、片方が吸熱、他方が発熱のため、熱バランスが成立し、原理的には外部との間で熱を交換する必要がなくなる。このような改質法をオートサーマル(auto-thermal reforming)法と呼んでいる。

## 4. 燃料電池の特徴

### (1) スタックの構築

燃料電池セルは、基本的に低電圧の直流電源（理論的な起電力は1.23V、出力を取り出した時のセル電圧は1V以下）であり、実用的な電圧を得るためには、多くのセルを直列に接続しなければならない。このような目的で構築されたセルの集合体を、スタックと呼んでいる。定置式や自動車用燃料電池では、数百個のセルを積層してスタックを構成するのが一般的な方法である。例えば発電出力が1kW級の家庭用定置式PEFCでは、80セル程度のセルが積層されている。これに対して、携帯電話やノートパソコン用燃料電池では、燃料タンクの表面に平面的にセルを並べてスタックを構成する方法が採用されている。

### (2) 理想熱効率と現実の発電効率

燃料電池は、電気化学反応によって、化学エネルギーを電力に変換するので、火力発電のようにカルノー効率の制約がなく、特に低温において原理的に高い効率が可能である。化学反応が進行した場合、エンタルピーの減少分に対するギブス（自由）エネルギーの減少分の比を理想熱効率と称しているが、標準状態での理想熱効率は83%（HHV）および94%（LHV）のような高い値を示す。理想熱効率は温度の上昇とともに減少する。逆にカルノー効率は温度上昇とともに向上するので、高温においては燃料電池の効率よりもカルノー効率の方が高くなる。したがって、SOFCのように高温で動作する燃料電池は、排出される熱をガスタービンや蒸気タービンに導入することにより、総合的に60%を超えるような高い発電効率を実現することが可能である。

理想熱効率は、準静的変換（電流がゼロ）を仮定して求めた理論値であり、実際に電気出力を取り出す場合には電流が流れるので、電極における分極現象（活性化、抵抗、拡散分極）のため作動電圧が低下するとともに、発電効率も低下する。純水素によって燃料電池を動作させた時の発電効率は、改質効率を除いても通常40%から50%の範囲内にある。都市ガスやプロパン等を燃料とする出力1kWレベルの家庭用PEFCコージェネレーションシステムの場合は、出力規模が小さいため、空気供給ブロー等補機動力用消費電力が相対的に大きくなり、目下のところ燃料改質を含めて35%程度の発電効率（HHV）の実現が目標に置かれている。

### (3) コージェネレーション

燃料電池は電力と共に必然的に熱が発生するので、コージェネレーションに向いている。200℃で動作するPAFCは、出力が50kW、100kW、200kWのレベルであり、現在病院やスーパーマーケット、あるいはホテル等におけるコージェネレーション用に多く使用されている。又規模が小さく80℃の温度レベルで運転されるPEFCは、家庭での電力需要を賄うと共に熱湯を供給する役割を果たしている。又先に述べたように、高温で動作するMCFCおよびSOFCは、発生する熱をタービン等他の熱機関の熱源として役立てることができる。

#### (4) 環境適応性

反応生成物は原理的には水のみで、硫酸化物、窒素酸化物、煤塵などの有害な排気ガスを発生するとすれば、燃料改質プロセスにおいてのみであり、したがってそれらの排気量は極めて少ないか0である。又熱機関のように高速で動くコンポーネントを持たないので、騒音や振動が無く静かで、燃料電池は環境には極めて優しい発電手段といえる。炭化水素系の燃料を改質する過程でのCO<sub>2</sub>の排出は避けられないが、効率が高いので出力当たりのCO<sub>2</sub>発生量は小さくなる。

#### (5) スケールメリット

先に述べたように、燃料電池の発電単位は、極めて出力規模の小さいセルであり、したがって出力規模が小さい領域においても高い性能を維持することができる。すなわち、熱機関のように効率や経済性においてスケールメリットが基本的には存在しないため、小さい規模での利用において有利であり、分散型電源として適している。しかし、少なくとも改

質装置については、スケール法則が成立し、小容量においては単位出力当たりのコストは高くなる。

#### (6) 部分負荷での発電効率

一般に熱機関は定格出力条件から外れると効率は著しく低下するが、燃料電池は定格以外の負荷条件、特に低負荷での使用条件において高い効率を示す。この特性は負荷変動の激しい自動車のエンジンとしての利用に適している。自動車用動力源としての利用を目的とするPEFCの場合、出力が下がると発電効率は上昇する傾向にあるので、負荷の小さい範囲で燃料電池を常時動作させ、発進や加速等における負荷の大きい運転状態では、蓄電池からの放電で動力エネルギーを補給するハイブリッド方式が優れた燃費を可能にすると考えられている。

#### (7) 利用可能燃料の多様性

先に述べたように、燃料電池は水素で動作するが、水素は改質過程によって生成されるので、多種類の燃料が利用可能である。自動車用エンジンの場合には、純水素以外にメタノール、エタノール、ガソリン等が燃料の候補として挙げられている。定置式コージェネレーション用では、主として天然ガス、プロパン、バイオガス等が用いられる。又火力発電代替発電プラントとして開発が進められているMCFCやSOFCでは、水素のみならずCOも燃料として使えるので、石炭ガス化ガスの使用が想定されている。

再生可能エネルギーから水素を生成する方法としては、先に述べたバイオマスの改質以外に、太陽光発電や風力発電によって得られた電力によって水を電気分解し、水素を生成

する方法があるが、最近では高温ガス炉から水の熱化学分解により水素を生成する技術が研究されている。

### (8) 技術的問題点

燃料電池は非常に小さい規模のセルが多数集積された構造を持ち、セルやスタックでは化学反応の他、熱、流体（燃料や空気）、電気現象が複雑に共存しているため、高い性能や耐久性を持つ燃料電池の実現には、高度でかつ総合的な科学的知見と技術を必要とする。特に現存する発電や動力機関と競争するためには、コストを下げる事が重要な要件であり、これらの高いハードルの克服を目指して研究開発が進められている。

## 5. 燃料電池市場についての展望

燃料電池の側からその利用方法やマーケットを展望すると、大きく分けて3種類の市場に分類される。その第1は定置式コージェネレーション用燃料電池であり、最も小容量のタイプはPEFCを使う家庭用デバイスである。分散型電源としての産業用、あるいは病院、ホテル、店舗やオフィスビル用は、MCFCやSOFCなどの高温型燃料電池が使われることになろう。第2の市場は、自動車や船舶などの輸送機関用動力源としてのPEFCである。そして第3が、ノートパソコンや携帯電話などのモバイル機器用マイクロ（超小型）燃料電池と考えられる。

先ず第2の市場においては、燃料電池自動車の出現によって大きな期待が寄せられているが、現存するガソリンエンジンと競争しようとするならば、価格を現状に比べて2桁位は下げる必要があり、目標としては\$50/kWのような低い値が設定されている。又水素供給

ステーションの整備が不可欠である。

第1の分野では、価格面での障壁は自動車の場合ほど高くはないものの耐久性についての条件は厳しく、例えば家庭用であれば10年間程度、正味発電運転時間で4万時間の耐久性と高い信頼性が要求されている。これに対して第3の市場は、燃料電池にとって1番競争力を発揮できる分野であるように思われる。

第1および第2の分野における燃料電池導入の意義は、環境問題の解決やエネルギーの有効利用の促進にあり、したがって高効率等の性能が要求されるが、第3の分野における主要な目的はモバイル機器に対する利便性の追求であり、小型軽量化を除いて性能に関する競争条件はさほど厳しくはない。価格についても市場における競争相手は、高価なリチウム電池であり、第1および第2の分野に比較して、障壁は極めて低いと思われる。

以上燃料電池の原理と特徴、そして利用と市場展望について議論した。

---

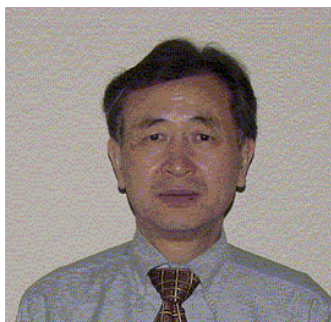
### 参考文献

<sup>1</sup> J.Brouwer; Fuel Cell Fundamentals, Fuel Cell Seminar Short-Course Outline, Nov.18, 2002

<sup>2</sup> 固体高分子形燃料電池の開発と応用、pp209-240、NTS、2000年4月

# 燃料電池の実用化に向けた課題と周辺技術の開発動向

## — 自動車用燃料電池について —



高 木 靖 雄

(武蔵工業大学工学部 教授)

### 1. まえがき

現在、地球レベルで解決すべく取り組まれている課題が、二酸化炭素による温暖化と大気環境の汚染を防止することおよび化石エネルギー枯渇対策である。これらの課題に対して、大きな影響を与えている自動車用原動機、家庭用電力などに燃料電池を用いようとする動きが活発である。その理由は、燃料電池はエネルギー利用効率が高く、かつ使用する燃料の選択によっては排出される成分は水のみであり、環境に悪影響を与える物質が一切排出されないためである。ここでは、自動車用原動機に向けて実用化が進められている燃料電池の開発の現状と課題につ

いて概説する。

### 2. 自動車用燃料電池の特徴

#### 2. 1 自動車用原動機に用いられている燃料電池

燃料電池の基本的な作動原理は、化学反応により燃料または酸化剤を電子とイオンに解離させ、正極と負極とを隔離している隔膜を兼ねた電解質層によりイオンを分離して対極に送り、電子を負荷電流として取り出すことである。この電解質に用いる材料により、作動温度や構成・構造が異なり、表1に示すように分類される。この中で、自動車用に用いられている燃料電池は固体高

FC種類 項目	AFC (アルカリ形)	PEFC (固体高分子形)	PAFC (リン酸形)	MCFC (熔融炭酸塩形)	SOFC (固体酸化物形)
電解質 材料	水酸化カリウム KOH(L <sup>(※1)</sup> )	フッ素樹脂系 高分子(S <sup>(※2)</sup> )	リン酸 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (L)	炭酸塩 Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (L)	YSZ ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (S)
保持状態	石棉等マトリクス に含浸	固体膜状	炭化珪素マトリクス に含浸	アルミン酸リチウム に含浸	固体板状
温度(°C)	80	100以下	190~210	650	800
燃料	純水素	水素	粗製水素	粗製水素	可燃性ガス
発電効率	50%~	45%	35~45%	45~55%	50%~

脚注<sup>※1, 2</sup>: L:液状, S:固体状

表1 使用する電解質による燃料電池の分類

分子形燃料電池(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, 以降 PEFC と略記)であり、電解質にイオン伝導性を持つ高分子の膜を用いている。このため PEFC は他の燃料電池のように、炭酸塩・燐酸・各種アルカリ物質など腐食性のある液体を用いる必要が無いことである。その結果、システムが簡単になりかつ信頼性が高いこと、また固体高分子膜は低温においても高い導伝性を有することから、100℃以下の作動温度で使えることが特長である。

また、燃料電池は電気化学的な反応により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できるため、熱機関を用いて動力を取り出す方式に比べて、機械的・熱的な制約が無いことからエネルギーの変換効率が非常に高い。さらに、エネルギー変換過程において高温を必要としないため窒素酸化物の生成が無いこと、および使用する燃料の選択によっては硫酸化物、微粒子状物質、二酸化炭素の排出が皆無である。これらの特長も、PEFC が自動車用に期待されている理由である。

## 2.2 固体高分子形燃料電池 PEFC の構成と構造

PEFC は図1に示すように、固体高分子でできている電解質膜、電極触媒、ガス拡散層およびセパレーター(別呼称バイポーラプレート)から成り立っている。PEFC の発生電圧は理論的に1.3V、実際の使用時には0.6~0.7V 近傍であり、使用時高電圧を得るため必要に応じて積層して使用する。このためこれは燃料電池スタックと呼ばれる(図2)。自動車用の PEFC スタックの場合、300から400セルで構成されることが多い。以下に、PEFC の基本構成と各要素の機能と必要要件を説明する。

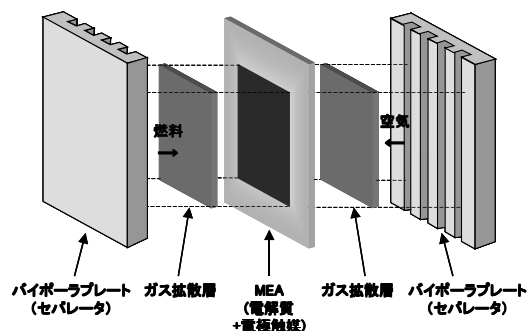


図1 PEFC の基本構成

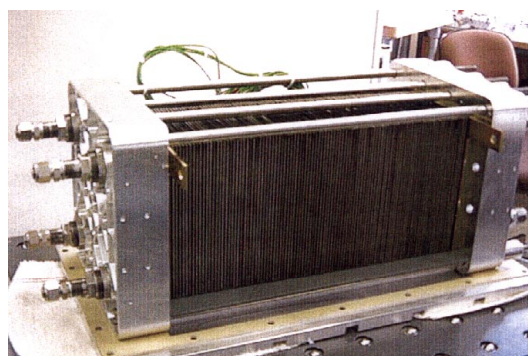
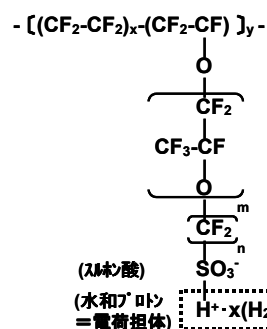


図2 スタックの形状例  
(De Nora 社広報資料から引用)

### 2.2.1 電解質膜

電解質膜は、水素イオンのみを燃料極アノードから空気極カソードへ通過移動させる機能を果たす。現在使用されている電解質膜は、パーフルオロスルホン酸系の高分子である。



Nafion®	:m ≥ 1, n=2, x=5~13.5, y=1,000
Dow膜	:m=0, n=2
Aciplex®	:m=0.3, n=2 ~5, x=1.5~14
Flemion®	:m=0.1, n=1~5
EW=850~1,200	

図3 パーフルオロスルホン酸系高分子の分子構造

この膜の分子構造は図3<sup>(1)</sup>の様に、テフロン類似の主鎖にエーテル結合を介して側鎖にスルホン酸基を持っている。これまでにデュポン社の Nafion<sup>®</sup>、旭硝子の Flemion<sup>®</sup>、旭化成の Aciplex<sup>®</sup>、Dow 膜などが公表されているが、いずれも基本構造は同じである。このスルホン酸基の親水性を利用して、水と結合させた水和プロトン  $H^+ \cdot x(H_2O)$  としてプロトンを伝導させる。

## 2. 2. 2 電極層と電解質膜の集合体

燃料電池の電極での反応は、電極触媒と電解質とが接する部分に反応ガス(燃料または酸化剤)が供給されることで起こる。そのため電極触媒と電解質とは一体化された構造となっている。このことから、この部位を膜電極集合体 (Membrane Electrode Assembly; MEA) とよんで

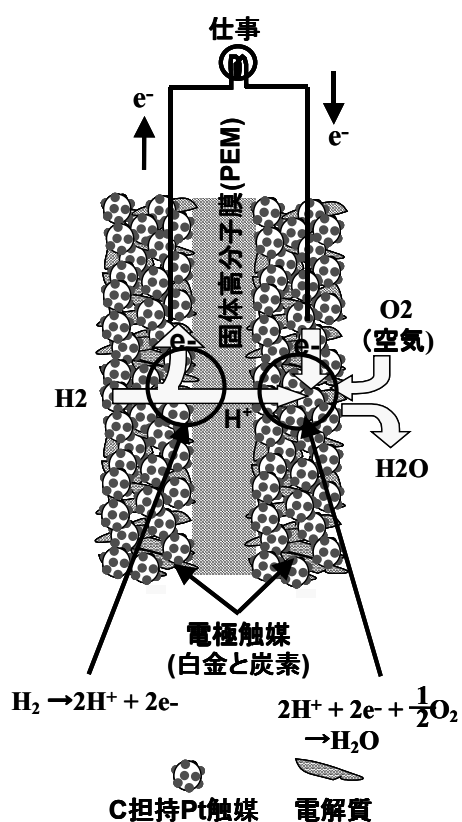


図4 PEFC の MEA(電解質膜電極集合体)の構造のモデル図

いる。実際の電極は数十ミクロンの厚みを持った層状であり、下記のような機能が要求され、多孔質炭素に触媒である白金などを担持させ、かつイオン導伝性を持たせるため、電解質膜と同様な電解質を混合させた物質から成り立つ図4に示すような構造になっている。

- ・水素の還元反応または水素イオンの酸化反応を低温で起こさせる触媒機能
- ・電子と水素イオンの分離と各々の導伝性
- ・反応ガスの供給と反応生成物の排出が容易に行えるような拡散性

## 2. 2. 3 ガス拡散層

電極に反応性ガス(燃料と空気)を二次元的に均一に供給するために、電極の外側にはガス拡散層が設けられている。この部位は電極で発生した電流を取り出す集電の役割も果たすために、多孔質炭素基材からできている。具体的には、炭素繊維をバインダーで固めたカーボンペーパー、布状に織ったカーボクロスまたはフェルト状に固めたものが現在多く用いられている。

## 2. 2. 4 セパレーター

ガス拡散層を経由して MEA に燃料と空気の反応性ガスを供給するため、ガスの流路を二次元面に配置したセパレーター(バイポーラプレート)が、さらにガス拡散層の外側に配置される。この部位は、スタックの場合は隣接するセルとの反応ガスの分離を行うこと以外に、ガス拡散層から電流を集める集電機能を果たす必要があることから、炭素系の基材で構成されている。複雑なガス流路を設けた上で厚みを最小とするため、現在は射出成形やプレスによる成形加工されているものが多い。さらに一層コンパクトにするため、金属セパレーターの開発が各界で進められている。

## 2. 3 自動車用燃料電池の水素の車載方法

PEFC に使用する燃料は水素である。水素はガソリンと違って常温では気体であるから、自動車に搭載する場合容積当りのエネルギー量が低い。車載するエネルギー量を大きくするために気体の高圧化、水素を吸蔵し金属合金化する方法および液体水素にする方法が検討されている。液体水素と吸蔵合金の技術は今後の技術として開発が進められており、現在ではボンベに充填した高圧ガスを車搭する方法を中心に燃料電池自動車の開発が進められている。使用圧力は3.5 MPa(35気圧)で車載されているものが多いが(図5)、さらにエネルギーを増すために、一層の高圧化が検討されている。

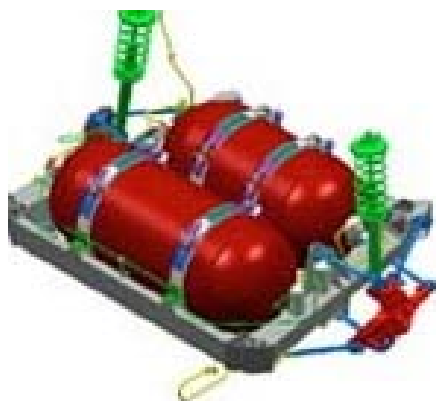


図5 高圧水素タンク形状例

(株)本田技術研究所ホームページから引用)

## 3. 固体高分子形燃料電池の性能と技術課題

### 3. 1 現時点におけるPEFCの性能

スタックの出力密度向上の変遷を図6に示すが、現時点では自動車用ガソリン機関の出力密度に近い値を示すまでに至っており、出力やサ

イズという観点からは、ガソリン機関に匹敵するレベルまで技術開発が進んでいるといえる。今後の課題は、さらに出力密度を高めることは勿論であるが、白金使用量の削減や水管理の問題である。この件に関しては後ほど触れる。

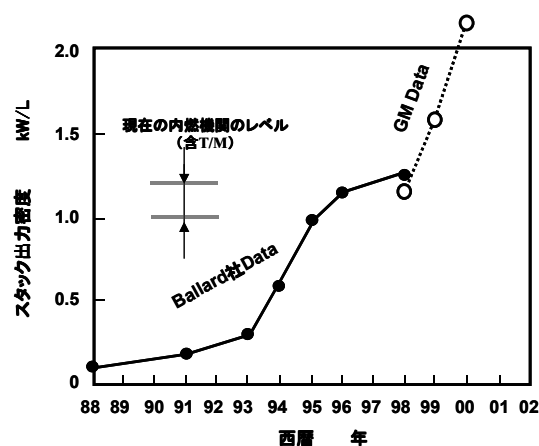


図6 乗用車用PEFCスタックの出力密度向上の推移

### 3. 2 今後の技術課題

表2に、自動車用にPEFCを適用するための国家プロジェクトである米国エネルギー庁(DOE)のFreedomCARプロジェクトが掲げている2005年と2010年における開発目標値<sup>(2)</sup>を示す。同表に2002年の時点における目標値の達成度の予測値を示すが、この値と目標値との間に大きな差がある項目は、

- ・コスト
- ・耐久性
- ・白金使用量低減(2002年達成度の記載はないが0.5mg/cm<sup>2</sup>前後のレベルと推定)

であり、これらが現時点における実用化を前提にした最大の課題であるといえる。特にコストの目標値は、現在用いられているガソリン機関のコストと太刀打ちできるレベルに設定されており、水素貯蔵装置を含めて\$45/kWという目標値を

項目	2002年での達成予測値	開発目標値	
		2005年	2010年
出力密度 (W/L)	400	500	650
出力密度 (W/kg)	400	500	650
効率@25%出力 (%)	59	60	60
効率@ピーク出力 (%)	50	50	50
貴金属使用量 (g/ピークkW)		0.9 (0.3 mg/cm <sup>2</sup> )	0.2 (0.1 mg/cm <sup>2</sup> )
過渡応答性 (0-90% (sec))	3	2	1
起動性 to F/P (秒)	@-20℃	120	60
	@+20℃	60	30
コスト(含H <sub>2</sub> storage) (\$/kW)	200	125	45
耐久性 (Hrs.)	1000	2000	5000
エミッションレベル	Zero	Zero	Zero

出力: 50kW  
前提生産台数: 50万台/年

表2 米国 DOE の FreedomCAR プロジェクトにおける乗用車用 PEFC の開発目標値と2002年における達成予測値<sup>(2)</sup>

実現するために開発資源の多くが振り向けられている。同表に示されている2002年での達成予測値の内訳を図7に示す<sup>(3)</sup>。DOEから内訳の詳細は公表されていないが、他の資料などから電解質膜、電極触媒およびガス拡散層(この図ではMEAにガス拡散層が含まれる)の各々がコスト高の要因となっている。単に使用する触媒量の軽減だけが課題でないことをここで付け加えておく。

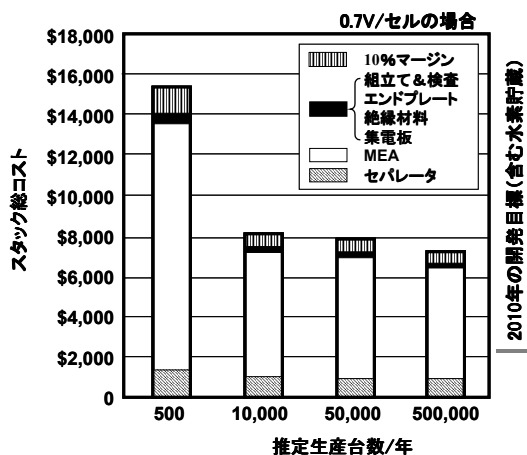


図7 米国 DOE の FreedomCAR プロジェクトにおける乗用車用 PEFC の2002年における達成予測値の内訳<sup>(3)</sup>

#### 4. 水素燃料供給インフラの現状

燃料電池自動車の実用化のためには、燃料である水素を製造し供給するインフラストラクチャーの存在が必須であり、これらの建設も燃料電池の技術開発と平行して進められている。

日本には現時点ですでに大阪と高松に2ヶ所、東京神奈川地区に経産省の燃料電池自動車実証試験 JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration) プロジェクト用に10ヶ所完成しており、数十台の燃料電池自動車の実証試験に用いられている(図8)。さらに愛知万博会場でも建設が進められている。これらの水素ステーションの大半は、天然ガス、ナフサや脱硫ガソリン、メタノールさらには水を原料としてステーションにて水素を製造しながら自動車に供給するオンサイト型と呼ばれる方式であるが、東京の晴海には、液体水素をタンクローリーで製造工場から運び、ステーションで液体水素のまま、または高圧

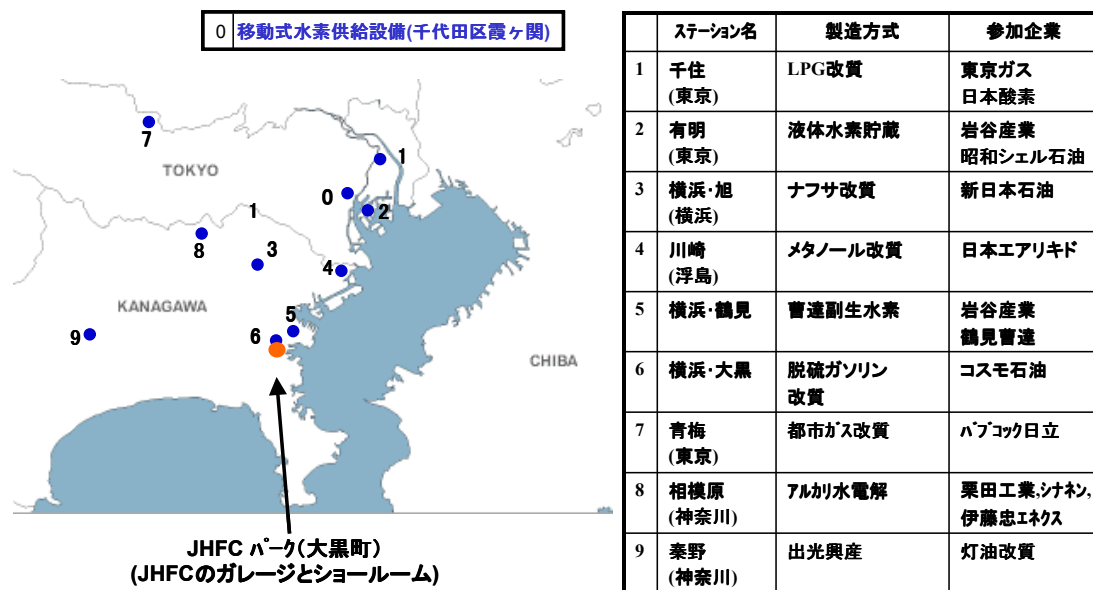


図8 JHFC プロジェクト用に東京都・神奈川県に建設されている水素ステーションの拠点

気体水素として自動車に供給する方式のものも含まれている。水素ステーションも将来の普及に備えて、安全性や製造コストなどに関する現場でのデータ取得が進められている。

## 5. まとめ

PEFC はクリーンでかつ高エネルギー変換効率である動力源であり、現在地球が直面している温暖化防止、大気空質保全、エネルギー資源枯渇対策という重要な課題を同時に解決する素質を持っている次世代の自動車用・家庭用発電機用の動力源に相応しいエネルギー変換機器である。近年の技術開発により、性能は内燃機関など他の熱機関に匹敵するレベルまで向上しており、残された技術課題であるコストの低減や耐久性の向上などを克服して、家庭用コジェネレーション機器として量産時の荷姿が見える状態にまで到達している。

また、本解説は紙面の制約のため岐阜県の中小企業が関心を持ってもらえる切り口では説明

をこななかったが、この点に関してもまとめてみる。燃料電池はこれまでのエネルギー変換システムとは全く異なる方法であり、全く異なる材料と技術を用いるシステムである。先に述べた固体高分子電解質膜、炭素系材料をベースにした電極・ガス拡散層とセパレーターが典型である。これ以外にセル間の燃料や水素の漏洩を防止するパッキンや燃料電池システムを構成するコンプレッサー、加湿器、調圧装置、電磁式切り替え弁、各種流量計や流量センサー、水素の漏洩検知器その他記載しきれないほど多い。これら燃料電池が必要としている技術は、大企業・中小企業、既存企業・ベンチャー企業、国内・外を問わず技術を持っているか今後開発をしようとする全ての企業に対して門戸を開いている。個々の技術に対する要求は、ここでは触れないが、他の機会があればそこで触れたい。

## 参考文献

(1) エヌ・ティー・エス社発行固体高分子型燃料

電池の開発と応用第2講

(2) EERE, U.S. DOE 2002 Annual Progress

Report for Hydrogen, Fuel Cells and

Infrastructure Technologies Program, Nov.

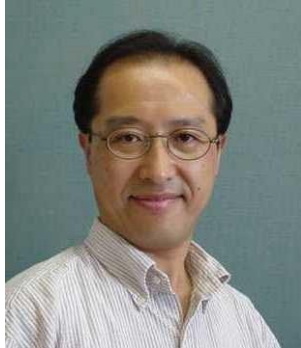
2002

(3) OAAT, U.S. DOE FY2000 Annual Progress

Report for Transportation Fuel Cell Power

Systems, Oct. 2000

# —家庭用燃料電池に何を期待するのか—



## 石田 政義

(筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授)

### 1. はじめに

エネルギーや環境問題を解決するであろう救世主として、燃料電池がもてはやされている。家庭用や自動車用に実用化すれば、石油資源を使わなくて済み、あまつさえ原子力発電はもはや不要になると論じる向きまで出る始末だ。どうしてこんな話になってしまったのだろうか。無理もない。連日のように燃料電池が採り挙げられ、水以外の廃棄物は一切出さないとか、夢のクリーンエネルギーだとかの枕詞がひしめいているのである。環境やエコロジーに取り組む企業イメージの向上や、世間に理解してもらい多額の研究開発予算を獲得するため等に使われた結果、誤った印象を与えてしまったのではないかと想像する。そんなに万能ではないし、本質的な能力を発揮し多くが身近に利用できるようになるまでには、ハードルが高くかつ相当数の困難な技術的課題をブレークスルーしつつ、長い道のりを経なければならぬのが実状である。

本論では実用化が間近とされる家庭用燃料電池について、何が期待でき、それを踏まえて今後何をすべきなのか考えてみたい。燃料電池技術に関心がある方において、何

らかの新たな理解や示唆に繋がれば幸いである。

### 2. 市販(?)される家庭用燃料電池

早いところで 2004 年度第 4 四半期、あるいは 2005 年度中には、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商用機が市場導入されると公言されている。いわば市販されるということだが、こと燃料電池に関しては商用の意味が普通のイメージとはかなり異なっている。商売が成り立つのは、提供されるものやサービスに対してリーズナブルな対価を支払うことでありそれによって生計をたててゆく、のができることが根本なのだ。いくらで売りに出されるか不明であるが、恐らく 1 千万円は超えると言われている。これでは誰も買ってくれないので国が補助金を準備するそうだ。こういう類の補助金は、その良さを知ってもらったり市場導入のきっかけをつくることで量産への好循環を産み出したりすることが本来の目的であろう。高々数百台出したところで効果が見込めるか甚だ疑問である。

特に外国に対して我が国の技術力を誇示

するという見方もできるものの、その先はどうするのであろうか。そう言えば首相が試乗した燃料電池自動車も月々のリース料は120万円もする。大衆車なら毎月新車を買える金額だ。試験導入という話もあり分からなくもないが、それならそれで税金を使っている以上データなどを国民にきちんと公表すべきだと思う。一方、買ったはずなのに分解してはいけないなどあれやこれやの制限が付いてくる。熾烈な競争をしている自動車、テレビ、パソコンなどでも市販品でそんな契約を結ぶものはない。故障や危険、保証の失効を覚悟すれば購入した者の自由である。ともあれこういうことを市販と称しているのだ。学校で市販の意味を、不合理に高価なものを国が補助して買っても自由にしてはいけないこと、などと書くと×を喰らうことはまず間違いない。もちろん値段を如何に高くつけようがそれは売る側の勝手である。しかし、得るサービスから見て不当に高い価格を提示することは売らないと言っていることと同義なのだ。

### 3. 家庭用燃料電池は環境対策に貢献できるか

製造コストの問題は、今後の技術開発や大量生産化によって何とかなるとする。それでは、燃料電池自身が環境負荷低減つまり温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出削減に寄与する手段であるか、という問いに答える必要が生じる。結論から先に言えば、慎重に検討すべきであるというのが著者の立場である。家庭用燃料電池に限ると、発電効率が高く、排出物は水だけで、騒音もないし、電気とお湯を作ってエネルギーの総合

効率は70~80%にもなるような宣伝文句が謳われている。嘘をついているとまでは言わないけど、これは一定の理想的な条件で使ったときだけあるいはある側面から捉えたときだけであることを理解しておいていただきたい。

簡単に述べれば、電気や熱を文字どおり湯水のように使っている家庭に適用すれば効果もあるだろう、ということである。燃料電池を始めコージェネレーションは発電時の損失分を熱として利用することで初めて能率が上がる。それゆえ、発電した分と同等の熱が使われることを前提にしないと成立しない。暑い季節や地域では熱はけっこう不要となり、あまり寒いところでは逆に熱が不足し別にヒーター装置を用意しなければならないように、必ずしも熱の需要と供給が一致できない硬直性を本質として持つ。原理的には発電量で調整できるが、先の需要量を完全に予測することは不可能なうえ余剰分は出せない一方で、設備利用率を高めて早期の投資回収を考えればできるだけ運転したいジレンマに陥る。万一、お湯が不足した場合は、瞬間湯沸器のようにすぐに給湯できないので、念のために追い炊き装置を付属させておくかしばらく待つしかない。機器特性上低い熱出力および電気と熱の需要が時間的にずれることから、貯湯槽なる大きなタンクも付属される。田舎ならともかく地価の高い都会では自ずと敬遠されるだろう。

発電効率については同規模の発電装置よりは高く32%程度が見込まれているものの、火力発電所の送電損失も考慮した受電端効率は36%以上であるとされている。また、現行の燃料電池システムの負荷追従能力は

それほど高くないためベースロード的な運用しかできず、その性格からすると火力代替にはならず原子力発電と競合することになる。原子力については放射能漏れに対する不安や核燃料廃棄物処理の問題もあり賛否はあろうが、少なくともCO<sub>2</sub>排出がないことに関して我々は多大な恩恵を被っている。コージェネレーションによって一次エネルギー利用率が高まるとしても、原子力発電の分を食いつぶしてしまうとCO<sub>2</sub>排出削減問題については本末転倒の事態になる。

筆者も含め一般の家庭では、工夫しつつ細々とエネルギー消費しながら生活を送っているのが現実である。普通の家庭での電力負荷パターンを測定してみると良く分かる。朝方と夕方の家族が揃って食事をしている時間帯だけは消費がそれなりに大きいですが、それ以外ではとても小さく、極端には燃料電池の効率も下がり運転も不安定になりがちな300W以下になる時間頻度が多いのである。家庭用燃料電池の定格である1kWを超過する時間は実に少ない。さらに深夜には電気も熱も使わないのでシステムを停止するような運用とすると、起動や停止にそれなりのエネルギーを費やしてしまうのでいっそう苦しくなる。つまり、大半の家庭は、現行の燃料電池システムを導入しても効率やコストのメリットが出にくいと言える。経済的に余裕があり光熱費を考慮する必要もなく、電気やガスを使っている家庭ではもちろん効果があるだろう。だが、燃料電池導入によって光熱費が下がればさらに無駄遣いするようになる可能性も高く、そのような家庭に対しては元より技術に頼らなくとも、意識改革だけすれば済む話であるとも考えられる。

家庭用燃料電池システムが環境に有益であるためには、大半の家庭に導入される必要があるし、それらが省エネルギーに関して意識が高いという条件を満たしていなければならない。燃料電池にすれば負荷変動に対してフレキシブルに対応し、部分負荷であっても高い発電効率を維持する極めて高い技術レベルを要求されることになる。このように過酷な要請であっても、ユーザーのコストインセンティブを満足させるには、できるだけ長期間耐久してもらう必要がある。これを化学プラントのような原燃料から水素を作る改質装置と不純物にアレルギーの強い電池スタックの組み合わせで、しかもエアコンの室外機程度の大きさに押し込めてしまおうとするのだから、傍目に見ていても気が遠くなる。1千万円かかっても領けてしまう。つまりところ燃料電池システムの現状の性能では、エネルギー工学から見ると実際のニーズとの間に大きなギャップあるいはコンセプトの矛盾を孕んでいると言える。

#### 4. 燃料電池をどう使う

しかしながら、批判しているだけなら単なる毒舌の評論家に過ぎないし、難しいからといって手を拱いているだけでは何の進展もありえない。当然、これまでの技術開発を無にしたいくはないし、無駄だったとは言いつもりもない。それではどうすれば良いのだろうか。筆者はこう思う。最初は多額の補助金を使ってもいいし、省エネルギーに貢献しなくてもいい。その代わりに、徹底的に燃料電池システム各要素の特性を把握するとともに、欠点を抽出することである。国が進めるプロジェクトは、往々にし

て書類上シナリオどおりに事が進展し成功したことになる。先の“市販”を目玉として掲げるのは良いが、それで開発成功としないこと、そして世間にそのような誤解を与えないことである。

今までのエネルギー技術開発でもパターンは同じだ。具体名は避けるとして、多額の研究開発予算を費やした割には、国内技術はあまり日の目を見ず、最終的に入ってきている製品は外国のものであったりする。各方面の関係者の生計をサポートする景気対策に過ぎないのかとさえ思ってしまう。この辺りに関して、欧米特にアメリカはさすがに展望が冷静で洞察力があり、比較すると合理的なシナリオで動いていると感じる。但し、単に真似をすることはむしろ反対だと言っておく。開発コンセプトとして参考になるのは、①市場の大きさだけで目標を定めず技術的に可能なところから押さえる、②無理をせず活動が具体的できちんと形にする、③技術をオープンにして独自技術を持つ他機関とパートナーシップをつくる、であろう。これらについては日本ではほとんどベクトルが逆であるのが実態だ。

批評ばかりもしているのも稚拙なので、考えているところの提案などを述べよう。燃料電池システムを実用化し、それを普及させるには確かに難しい点が多い。それらを解決してゆく牽引力となるものは、燃料電池にしかない特徴を遺憾なく発揮させる適用を先ず狙うことである。それは市場としては小さい特殊用途かもしれない。しかし、そこでの導入をきっかけとして市場をつくり技術を高め、最終的に家庭用や自動車など大規模市場を目指すことが望ましい。例えば、非常用電源である。公共施設や病

院などでは停電や災害に備えて非常用電源が装備されているが、毎年の点検時あるいはわずかの緊急時にしか動いていない。それに対して多額の設備費を投入しているはずである。これをコージェネレーション設備として普段も有益に利用しつつ、万一の停電時でも最小限の電源確保ができるようにすれば一挙両得の効果が得られる。多様な燃料が選択できることは燃料電池システムの重要なメリットだ。通常は都市ガスで運用しつつも、非常時は保管してある LP ガスに切り換えることは可能である。

その他、燃料電池の最大の特徴は小さくとも発電効率が低いこと、部分負荷でもあるいはむしろその方が効率は高いことであると考えている。こうした特性は、これまで用いられてきた内燃機関などの熱機関と発電機との組み合わせでは得られない。熱機関は効率の良い運転条件があり、その状態で一定運転することが最も経済的である。自動車が高速道路で定速走行すると燃費が高まることで実感できるだろう。燃料電池は文字どおり電池であることから、本来は出力を絞って使う方が高効率となるのだ。一般に使用されている乾電池を考えてみると分かる。乾電池は使わなければけっこう持つし、徐々に使えば思いの外長持ちする。これに燃料さえ投入すれば何度でも繰り返し使えるのが燃料電池というわけだが、実はこの燃料がやっかいなのである。家庭用燃料電池の場合、低温での反応をするために燃料は水素に限定されてしまう。水素は天然には単体で存在しないため、燃料と水から製造しようというのが改質装置である。この改質装置は都市ガス、LP ガス、灯油といった一般の燃料では反応温度が 700℃程

度と高く、熱機関と同じ特性つまり低い負荷では効率が著しく劣るのである。エネルギーシステムとして燃料電池発電を捉えた場合、せっかくの燃料電池のメリットを改質装置が失わせてしまっているというのが筆者の持論だ。

燃料電池は燃料を投入すればいつでも使えることと、小さくてもちよろちよろ使っても効率が高いということが他にはない特徴なのである。すると携帯電話やパソコンなどモバイル機器で用いられているリチウムイオン電池が競合相手になる。しかし、充電時間の長さや直流電力を得るためのACアダプターを持たなければならないことを思い起こすと、コンビニエンスストアなどで入手可能な燃料でいつでも動かせるとしたら多少高額でも欲しいと考える人は多いに違いない。ここには、軽装備で行動範囲が広がる付加価値が増しているのである。話を戻すと、電気に限っては家庭ではそのような使い方をしていることを思い出してほしい。実をいうと燃料電池本体自身は、省エネルギーに励む家庭に相応しい特性を持っているのである。だから、筆者個人は各家庭に1台ずつ改質装置があるような形は適切ではなく、望ましくは純水素あるいは粗製水素である改質燃料でもいいが、需要地付近でプロバイダーとして原燃料から変換して供給する方式が良いと考えている。大型になる分だけ熱プロセスとしてのスケールメリットで効率が高まるし、設備的にも管理が行き届く分だけメンテナンスが確実になる。さらに負荷が集まることで、水素燃料供給が平準化され運用が楽になる。それなら最初から水素を送ればいいではないかと思う向きもいるかもしれない。水素

のためのインフラ整備と水素の体積エネルギー密度が低いことを考慮すると、現実的ではないと反論させてもらおう。

電池本来の特性を利用すると、さらに付加価値がのってくる。太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの導入である。これらは自然エネルギーであるのでいくらかでも伸ばしたいところであるが、困ることは必ずしも必要なときに出力が得られる保証がないことだ。現在は系統に接続されており、電気事業者が負荷調整をしているので使う方は何も意識しなくて良い。いわば系統がバッテリーの役割をしていると解釈できる。特に太陽光発電は夏の日射が強い時は冷房需要と重なるので、電気事業者にとっても余剰電力購入のメリットはある。全発電電力に対して無視できる程度の量で、ピーク負荷対策に貢献できる内は売値と同じ価格で買い取ってもらえる。だが、将来これらが大量に導入されるようになってくると話は違う。誰が需給調整をするのかということになる。極端な話、電気事業者が不要だといって買値が下がったり購入を拒否したりすれば、再生可能エネルギーの利用は根底から崩れるかもしれない。また、系統自身が不安定になるとして、接続そのものを断られるようになるかもしれない。それならバッテリーを入れれば良いだろうということになるが、そもそもお天気任せの出力は発電計画に算入できないし、リスクを下げようとすればするほどバッテリー容量が増大することになり、現実的とは言えない。

そこで、先ほどの燃料電池が本来電池である特性を用いれば解決することを提案したい。例えば、再生可能エネルギー発電装

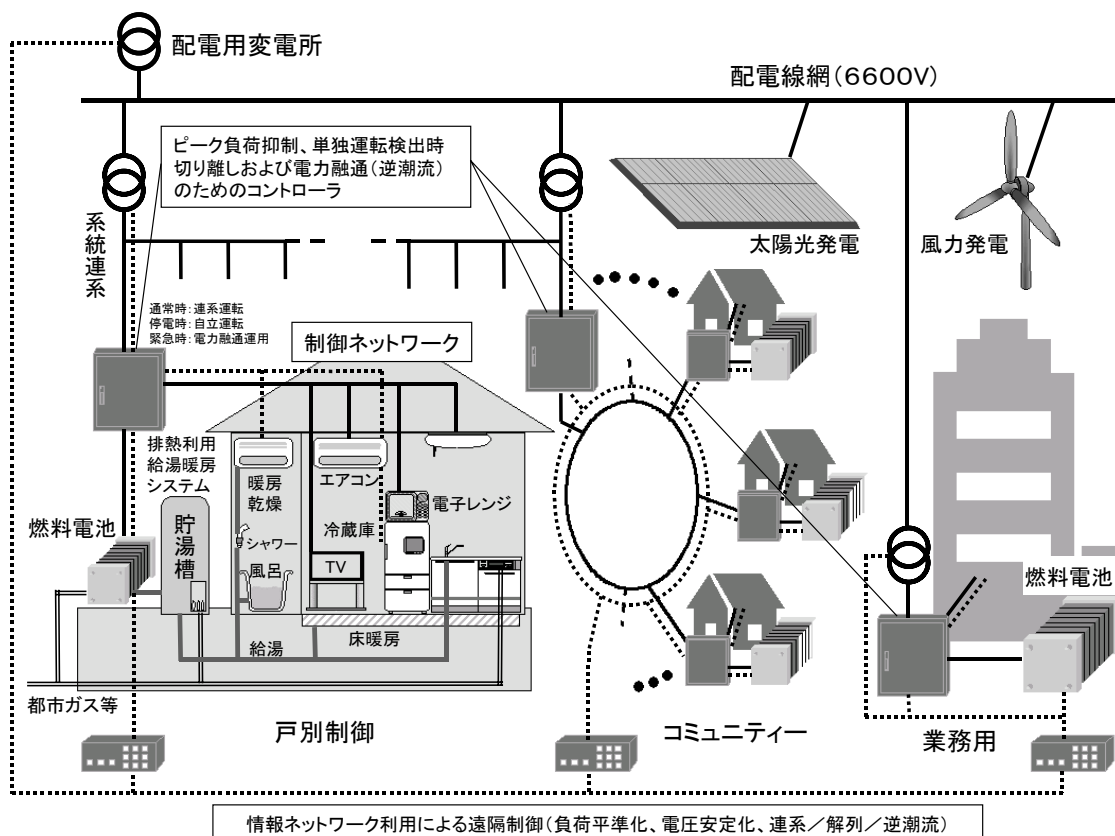


図1 情報技術を活用した分散型電源としての燃料電池の適用イメージ

置の発電容量と、燃料電池の発電容量とを同じ程度にしておく。再生可能エネルギー発電装置は出力があるときはそのまま利用し、電池である燃料電池発電出力は不足分だけを常に補うとする。燃料電池は単なる電池ではなく燃料によっていつでもバックアップされているので、その容量までは常に調整して供給される。電気二重層キャパシタなどの最低限の電力バッファを入れても良いだろう。すなわち、できるだけ再生可能エネルギーを利用しつつ供給を保証する概念である。燃料電池に疑似バッテリー機能を持たせて、再生可能エネルギー導入にも寄与させようということだ。自然エネルギーをどんどん導入しつつ電気事業者に一方向的に負担を負わせない。さらにコージェネレーションも活用して、徹底的に出力

を使い果たす。このような仕組みが歓迎されないはずはない。燃料電池ならではのひとつの可能性だと考えている。図1は、筆者が理想的と考える情報技術も活用した燃料電池導入イメージである。各家庭では、燃料電池の利用率を高めながらピーク負荷を系統に依存しない負荷調整を行う。水素と電力と給湯のネットワークを組むことで、水素製造効率を高めるとともに、電力負荷平準化と給湯の利用効率を向上させる。これらの目的は、需給マネジメントをすることで、系統と分散型電源とがお互いを補完する関係とすることにある。

ここでは、紙面の制約上詳細説明を割愛するが、深夜の余剰水素をマイクロビークルのような性能を限定した運輸手段に供給することで、水素供給の平準化を加えて全

体のエネルギー効率を高めることも提案している。

## 5. 燃料電池実用化のために自治体が貢献すべきこと

以上述べてきたように、エネルギー技術の目玉になっている燃料電池は、その特徴から可能性はあるものの、開発者の思惑によって必ずしも理想的な方向に進んでいるわけではないと筆者自身は考えている。先のような議論をしてすぐ言われることは、既に定まった社会システムそのものを変えていくことは現実的ではないということだ。確かにそのとおりであろう。都市ガス配管にいついつから水素を供給しますから機器を全て買い直して下さい、と言っても反発を受けるだけに違いない。他方、家庭用燃料電池だって事情は同じである。既に給湯設備を買った家庭が、まだ使えるのに燃料電池に買い換える魅力があるとは思えない。先行投資が、生活スタイルの変化によって回収不能になる事態も想定できるのだ。ましてや、もう少し待てば技術はもっと進歩すると考えれば余計である。民間の購買力が期待できないとすれば、自治体を含む行政の出番だ。以下にポイントを簡単に列挙してみよう。

### (1) オリジナルで可能な燃料電池プロジェクトを考える

実は、提案するようなエネルギーシステムを導入するきっかけはいくらでもある。マンションや新しい住宅地は、津々浦々いつでも建設しているのではないか。そういう場で新しいエネルギーシステムモデルを試行し、可能性を追求する計画を立案するの

である。燃料電池に関する自治体のこれまでの取り組みを眺めると、話題性があるものに関してすぐに飛び付く傾向はあり、新しいけれども一般的でもあるキーワードは十分に並んでいる。しかし、各キーワードそれぞれをリンクするコンセプトや独自のアイデアを加えようとか、他よりもひとつ上を目指そうとする心意気はあまり感じられなかったのが今までである。分散型電源である燃料電池は、文字どおり地方での適用に向いている。それぞれの地域性に合わせた上手な使い方を思案してもらいたい。

### (2) 地場の得意な産業技術を活かす

燃料電池は、ハイテクでそれこそ大企業しかできないイメージがあるかもしれない。しかし、それは間違っている。外国では、ほとんどがベンチャーの小さい企業で研究開発を行っているし、むしろそちらの方がある意味優れたものを実現しつつある。また、燃料電池は極めて広範囲の技術が集積、統合されたものであり、優れたものにしてゆくことにおいてはまだまだ大いにビジネスチャンスがある。既に市販されている部品ひとつひとつにしても、燃料電池用に改良されるべき要素は多々存在する。何が求められているかを把握し、開発に名乗りを挙げてほしい。内外を見ても、国家プロジェクトで大船に乗って進んでいる企業よりは、独自のコンセプトや技術をもって活動している企業の方が元気はいい。所詮国の予算に頼っているということは、商売にならないと考えていると解釈できなくもない。一方で、自動車会社を含め自己資金でちゃんとやっているところもあるのだから、こ

れまでの国が進めたエネルギー関連研究と違って、燃料電池が期待される所以でもある。課題が残る家庭用燃料電池関連技術は、筆者が監修した「家庭用燃料電池の開発と課題（シーエムシー出版）」を参照していただく具体的な記述がある。加えて、新しい考え方の示唆が見出されるかもしれない。

### （3）何よりもエネルギーと環境との関係を認識する

最近、大型台風などによる自然災害が多くなっていることを実感されている方も多いただろう。これらが、地球温暖化のせいかどうかは分からない。しかし、少なくとも環境負荷を与えない方が望ましいことはいうまでもない。他方、エネルギー文明に支えられた我々の生活が、それを失うことによって成り立たなくなっている事態も否応なく感じさせられた昨今である。エネルギー利用効率を格段に向上させるとともに、巨大エネルギーシステムの脆さを補う上では、燃料電池は可能性のあるひとつの技術であることは間違いない。だが、全ての万能な解ではないことを理解しなければならない。我々は、今そして将来何をしなければならないのか、この答えを求めるには、我々の行っていることが自分たちひいては次世代の人たちにどんな影響があるかしっかりと認識することが先である。そのためには、子供を含む人々への教育啓蒙活動が最も重要である。将来の有能な人材を育てる上でも欠かせない。このことは、正に地方とか学校とか家庭のような小さな組織単位の場合、効力を発揮するのである。

## 6. おわりに

日頃、執筆する学術論文とは大きく性格や論調を異にってしまった感があるが、期待されている家庭用燃料電池に関する考えを述べてみた。未来技術としてこれが肯定的であるのか、あるいは否定的であると解釈するのかは読者各自の感覚に委ねたい。いずれにしても、燃料電池に関わる人たちは、全てそれぞれの立場で良いものを実現したいという思いには変わりはないだろう。燃料電池は単純な仕組みとは裏腹に、極めて多くの英知を結集しなければ実現しない未来技術なのだ。その意味では、まだまだ解決すべき課題は材料技術にしてもシステム技術にしても残されているし、コスト削減や信頼性の確保に関しても相当多くの時間を必要としている。表向きは相変わらず、成功したとか実用化の目処を得たなどバラ色の文言だけが踊っている。本当かどうかは別として、そんなことではなく正直に弱点をさらけ出して、広く知識を集めることから困難を乗り越えてゆく姿勢が最も大切なのだ。人類共通の目的のために、公平に門戸を開き、協力しつつときには競争しながらみんな議論する、そんな研究開発体制が燃料電池に関しては必要である。

燃料電池実用化戦略研究会が 2001 年 1 月に提示した予測では、家庭用燃料電池が 2010 年に 120 万台（120 万 kW）、2020 年に 570 万台（570 万 kW）が導入されることになっている。これらは楽観を著しく超えた数字だと思われるものの、重要な問題はその後ほとんど容量増加の見込みがないことを示したことにある。少なくとも、現在進められている燃料電池導入による経済メリットの効果を狙っただけでは、頭打ちになるということだ。もっと柔軟な発想の

転換が求められている。国レベルでは構造的になかなか無理があるようなので、自治体辺りでは是非そうした試みをやってもらいたいと思う。燃料電池発電システムこそ、我が国の中小企業が持つ独自技術を集大成することで真に実現されるのだ。得意とするものづくりの底力が国際競争力を強化し、新規産業を育成することで好循環を産み出すことに期待したい。

# —業務用燃料電池について—



## 西川 尚 男

(東京電機大学工学部 教授)

現代社会では、多種多様なエネルギーが大量に消費され、その結果化石燃料の枯渇とCO<sub>2</sub>濃度増大による地球温暖化が着実に進行している。人類が生存していくためには、解決していかなければならない大きな課題である。太陽光発電、風力発電等再生可能エネルギーの利用はその解決策の一つであり、急速にその適用が進められているが、自然まかせで、エネルギー密度が希薄であり、コスト高である等の理由によりまだエネルギー源の主流にはなっていない。一方省エネルギー効果があり、環境負荷低減に役立つ燃料電池は、最近自動車の駆動源として、また家庭用の電源として注目されている。ここでは燃料電池の業務用への適用について、実用化状況、課題などについて記述する。

### 1. 業務用燃料電池

どこの場所でもプラントの運転ができるように燃料インフラが整備されている都市ガス、プロパンガスを燃料とし、改質器と呼ばれる燃料処理装置で水素リッチなガスを製造し、燃料電池本体に供給して直流電力を発生させ、インバータで交流に変換して交流電源として使用している。一方、燃料電池本体と燃料処理装置で発生した熱は回収されて、蒸気、温

水として利用するコージェネレーションシステムとして適用されている。

業務用燃料電池の基本構成を、図1に示す。

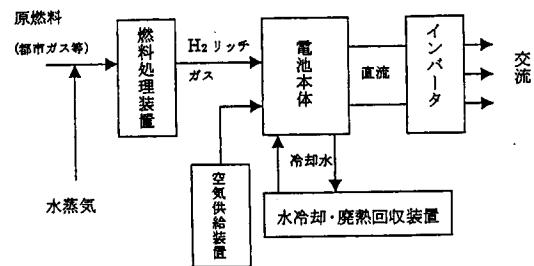


図1 業務用燃料電池システム

実用化されている200kWりん酸形燃料電池(PAFC)プラントの例を、図2に示す。



図2 200kWりん酸形燃料電池(PAFC)プラント

このプラントの中に、燃料電池本体、燃料処理装置、インバータ等が収納されている。プラントの電圧は 400-440V, 3相電力を供給し、電気効率 40%、熱効率 41%、総合

効率 81%である。図 3 に示すように、高効率であるため CO<sub>2</sub>削減に寄与するのみでなく、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排出量も極めて少なく、環境負荷低減に有効である。

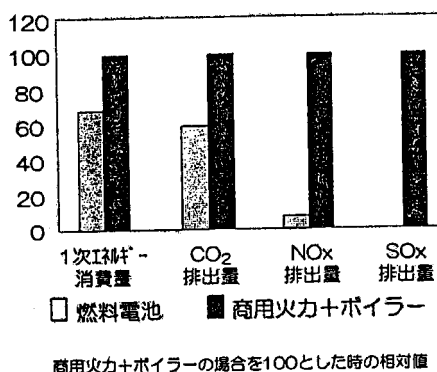


図3 燃料電池の環境負荷低減例<sup>(1)</sup>

国内では、100kWと 200kWの P A F C プラントが、電気と熱を同時に必要とするホテル、病院、工場等を中心に適用されている。これまで国内で適用された P A F C プラントの台数は 200 台を超えており、あるガス会社が適用した燃料電池の最近の運転実績例では、表 1 に示すように、4 万時間以上の運転実績を有するプラントが 10 台を越え、また最大で 7 万時間を越えているものもある。このように運転実績面から、P A F C は実用化レベルに達している唯一の燃料電池といえる。

設置先	メーカー・型式	出力 [kW]	運転時間 [Hr]
東京ガス 田町地区	ONSI PC25A	200	72,504
東京ガス 袖ヶ浦工場	東芝 IFC PC25C (商用機)	200	48,849
東京都水道局三園浄水場	東芝 IFC PC25C (商用機)	200	48,590
立川都市センター	東芝 IFC PC25C (商用機)	200	43,142
東京ガス環境エネルギー館	東芝 IFC PC25C (商用機)	200	42,775
東京ガス 千住営業技術センター	ONSI PC25A	200	41,610
NTT 研修センター	東芝 IFC PC25C (商用機)	200	41,249
東京ガス 袖ヶ浦工場	ONSI PC25A	200	40,574
東京イースト 21	ONSI PC25A	200	40,400
TG 赤羽ビル	富士電機 FP-50	50	40,142
東京ガス 田町地区	ONSI PC25A	200	40,043

表1 プラントの運転実績例<sup>(1)</sup>

## 2. 他の分野への適用

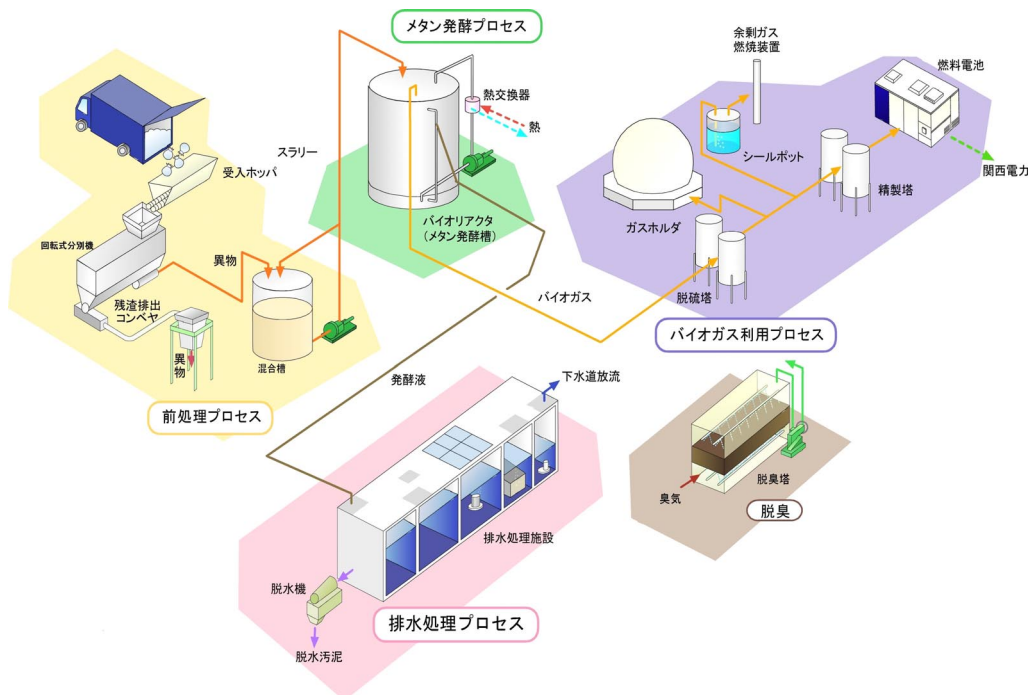
燃料電池プラントは、水素を製造して燃料電池へ供給すれば電気と熱が出る装置であるため、燃料として都市ガス、プロパンガスの他、最近ではビール工場の廃液、豚、牛等の家畜の糞尿、生ごみ等からメタン菌を利用してバイオガスを発生させ、硫化水素、アンモニア等を取り除いて燃料電池へ供給して、電気を発生させるシステムが開発され適用されている。生ごみ発電プラントの例を、図 4-



図4-1 生ごみ発電プラント<sup>(1)</sup>



## 神戸生ごみバイオガス化燃料電池発電施設(フローシート)



1

図4-2 生ごみ発電プラント(フローシート)<sup>(1)</sup>

1 及び図 4-2 に示す。

生ごみ 1 トンからバイオガスが 240Nm<sup>3</sup>発生し、これで発電すると 520 kWh の電力を発生することが出来る。日本全体の生ごみの総量は年間 1.8×10<sup>7</sup>トンのため、これを全て利用して発電すると 9.4×10<sup>6</sup> MWh の電力を発生し、発電所の容量に換算すると約 100 万 kW に相当する。廃棄物を使用したエネルギー利用システムとして、有効な手段といえる。

一方、停電が発生すると大きな損害が発生するので、対策として無停電システムが導入されている。これは停電が発生した時、バッテリーからインバータを介して電力が

供給され、その後発電機を起動して、停電が復帰するまで電力を供給するシステムである。燃料電池プラントはもともと直流を発生し、長時間運転が可能のため、この無停電システムを構成するのに適しており、高品質電源として利用されている。また、地震等の災害が発生した時、図 5 に示すように、都市ガスの供給が停止しても瞬時にプロパンガスに燃料を切り替えて発電を継続するとともに、燃料電池の電力を使って飲料水を造るといった機能を従来の燃料電池プラントに付加することにより、防災対応電源として利用することが出来、既にこのシステムも適用されている。

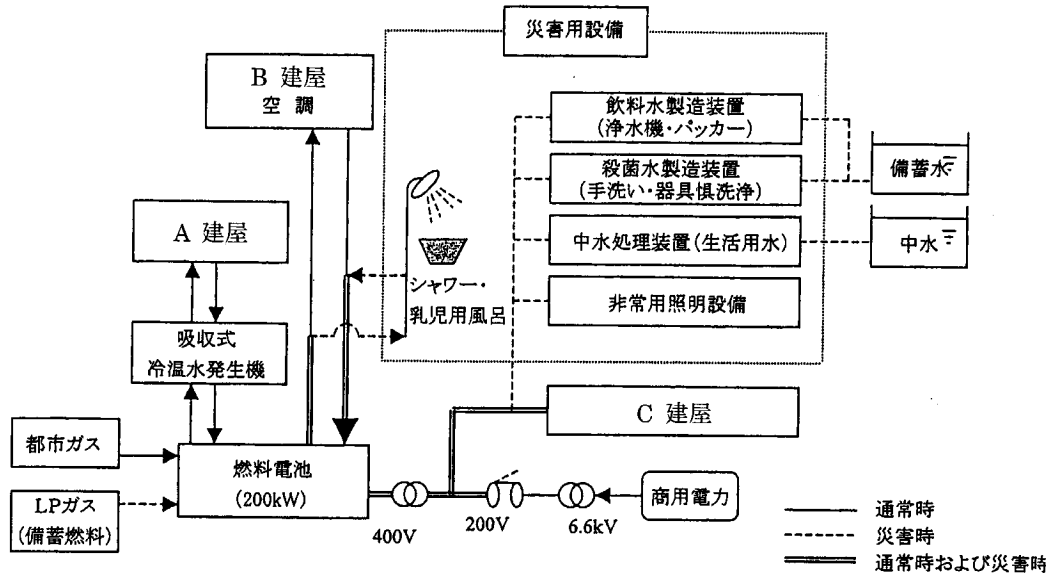


図5 防災対応電源の例<sup>(1)</sup>

### 3. リン酸形燃料電池の課題

最近のPAFCプラントの新規導入発電容量を、図6に示す。生産台数が少ないこともあって、コスト低減に行き詰まりが見られ、適用台数が年々低下している。PAFCプラ

ントは数々の運転実績を有し、実用化している唯一の燃料電池であるため、上記に示した新しい適用分野であるバイオガス利用の環境対応電源として、また地震災害等の防災対応電源としての更なる適用が望まれる。

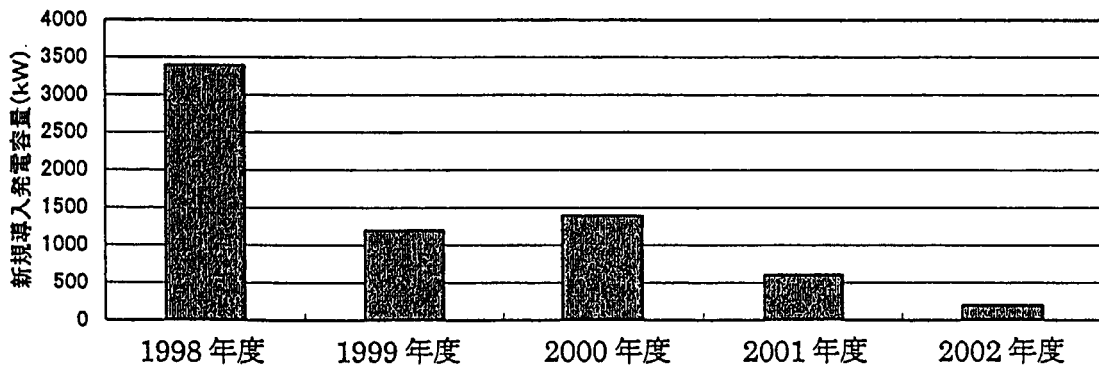


図6 PAFCプラントの新規導入発電容量<sup>(2)</sup>

### 4. その他の燃料電池

PAFCの他に、燃料電池として熔融炭酸塩形燃料電池(MCFC)、固体高分子形燃料電池(PEFC)、固体酸化物形燃料電池(SOFC)が開発されている。これらの燃料電

池の業務用への適用状況を、以下に記述する。

高温作動のMCFCプラントの実証試験が、最近世界各地で実施されている。国内のビール工場に設置したMCFCプラントの適用例を、図7に示す。発電効率は47%、総合効率

70-75%と、PAFCより発電効率が低い。MCFCプラントは運転温度が650℃と高く、都市ガス、プロパンガス、バイオガス、石炭ガス、軽油、メタノール等多様な燃料を使用できるので、PAFCと同様に業務用に適用できるのみならず、温度が高いためガスタービンと組み合わせることにより、更に発電効率を高めることが期待できる。



図7 MCFCプラントの適用例<sup>(3)</sup>

PEFCは現在自動車の駆動装置として、また家庭用電源として開発が急速に進められている燃料電池であり、業務用への適用も試みられている。今後燃料電池自動車、家庭用電源が数多く生産されると、業務用へも量産化効果が浸透し、コスト低減が期待される。

900-1000℃で運転するSOFCも着実に開発が進められ、既に発電効率の高い電池が試作されている。これらの業務用への適用も今後具体化していくものと思われる。

このように新しいタイプの燃料電池が活発に開発されているが、PAFCと比べまだ運転実績はない。今後開発の過程で耐久性の検証がなされ、その後商品化へと進展していくものと予想される。

## 5. 周辺技術の動向

燃料電池プラントは電池本体の他に、燃料処理装置、インバータ、排熱回収装置等から構成されており、電池本体および燃料処理装置以外は比較的既存技術から成り立っている。また、プラントを稼働させるため、例えば空気供給用あるいは水循環用ポンプ、ガスの流れを制御する各種バルブ、ガス流量、温度、圧力等の計測機器等多くの部品が使用されている。プラントの信頼性、コスト低減にはこれらの信頼性向上、コスト低減が欠かせない。また、プラントをコンパクト化するため、機器の複合化も大きな課題である。

### 参考文献

- (1) 燃料電池. Vol. 3、No. 3、2004
- (2) “燃料電池開発及び実用化（商品化）の経緯と発展への課題に関する調査”、財団法人 大阪科学技術センター H15年度調査報告書、2004
- (3) 燃料電池. Vol. 3、No. 1、2003

# 燃料電池への取組と動向

長 井 哲 也

(財) 岐阜県産業経済振興センター 主任研究員

## 1. まえがき

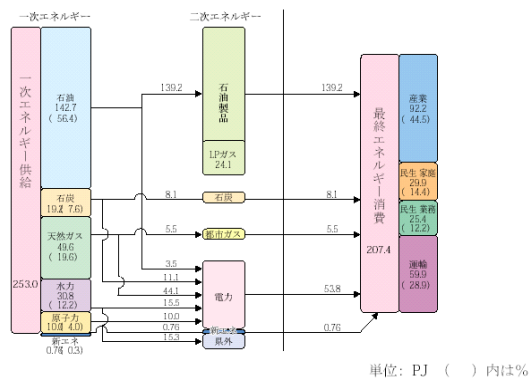
燃料電池は、地球調和型のエネルギー変換システムとして期待されており、特に次世代自動車の動力源、家庭用の分散電源として注目を集めている。また、一部を除き研究開発段階にあるものの、大手の自動車会社・電機会社・エネルギー会社は開発を本格化させており、将来的に実用化される可能性が高いと見られている。

燃料電池が実用化した場合、現在の自動車関連産業は大きく変化し、自動車関連の事業者が多い岐阜県に大きな影響が及ぶものと考えられる。また、据置型小型住宅用燃料電池は、大手企業から市場導入が開始されるなど実用化が近いと見ることができ、県内中小企業に新たなビジネスチャンスがあると想定できる。

そこで、本調査レポートでは、燃料電池への取組や活用、必要とする技術の動向などについて取り上げる。

県内のエネルギーの他県からの移入依存度は92.2%と極めて高く、県内で消費するエネルギーの大部分を他県に依存している状況となっている。

一方、県内の燃料種別エネルギー（一次エネルギー分）供給量に占める石油の割合は56.4%であり、最も多くなっている。他県の発電により供給を受けているエネルギーも、化石燃料の枯渇等により将来的に安定して供給されるとは限らない。そのため、県内においてもエネルギーの安定供給の方策の1つとして、新エネルギーの導入が求められている。



(出所: 岐阜県エネルギー長期需要計画 概要版より)

図1 岐阜県におけるエネルギー受給フロー

## 2. 岐阜県における新エネルギーへの取組

### (1) 岐阜県内のエネルギーの現状

県内のエネルギー消費量の伸び率は、「岐阜県新エネルギービジョン(概要版)」によると、1985年から1995年の10年間で32.5%であり全国とほぼ同水準で伸びている。また、「岐阜県エネルギー長期需要計画 概要版」では、

一次エネルギー	PJ	構成比	二次エネルギー	PJ	構成比
石油	142.7	56.4%	石油製品	139.2	67.1%
石炭	19.2	7.6%	石炭	8.1	3.9%
天然ガス	49.6	19.6%	都市ガス	5.5	2.7%
水力	30.8	12.2%	電力	53.8	26.0%
原子力	10.0	4.0%	県内水力発電	15.5	7.4%
新エネルギー	0.76	0.3%	新エネルギー	0.76	0.4%
合計	253.0	100.0%	合計	207.4	100.0%

(出所: 岐阜県エネルギー長期需要計画 概要版より)

表1 岐阜県におけるエネルギー受給の概要

新エネルギーの種類は、次のように分けられる。

- ①自然エネルギー（再生可能エネルギー）
  - ・太陽エネルギー（太陽光発電、太陽熱利用）
  - ・風力エネルギー（風力発電）
  - ・地熱エネルギー（地熱発電）
- ②リサイクル型エネルギー
  - ・バイオマスエネルギー（有機物利用）
  - ・廃棄物エネルギー（廃棄物焼却熱）
- ③エネルギーの新利用形態
  - ・コージェネレーション（電力と熱の利用）
  - ・クリーンエネルギー自動車（電気・水素自動車、ハイブリッド車など）
  - ・燃料電池（水素と酸素の化学反応による発電）

## （２）岐阜県新エネルギービジョン

岐阜県では、「岐阜県新エネルギービジョン」を策定し、新エネルギーの円滑な導入を進めている。

- ①導入方針
  - ・県内の地域特性や恵まれた地域資源を活用した新エネルギーの導入を目指す。
  - ・地球環境保全の重要性、エネルギー安定供給の重要性に関して意識の向上を図る。
  - ・新エネルギー技術・設備を供給する新エネルギー関連産業の市場性等を調査し、育成を図る。
- ②効果

岐阜県における 2010 年の新エネルギー導入目標量（全世帯の約 10%の消費量）が達成された場合、少なくとも炭素換算で 0.099[Mt-C/年]の削減効果を期待している。これは、一般乗用車約 20 万台が 1 年間で排出する量に相当する。
- ③岐阜県新エネルギー導入行動計画（指針）

岐阜県新エネルギービジョン推進協議会にて行動計画を策定。趣旨としては、ビジョンの実現に向けて、県民、各種団体、民間事業者、教育機関、地方公共団体等の各機関が、協働して具体的な行動を徹底するものであり、行動の柱として「普及啓発」、「助成支援」、「調査研究」を据えている。

## （３）燃料電池への取組

燃料電池は、岐阜県が導入を促進している新エネルギーの 1 つである。岐阜県では民間事業者、学識経験者及び市町村などの実務担当者で、「岐阜県新エネルギー導入研究会／燃料電池部会」を設置し、燃料電池の最新技術動向を踏まえて、岐阜県の特性を活かしたより実践的かつ効率的な調査研究を実施している。

また、次のような燃料電池の普及啓発のほか、調査研究の一環として実証実験も行っている。

- ①新エネルギー地域フォーラム

地域に密着した新エネルギー導入に関する講演会及び説明会を開催している。燃料電池については、大垣市(H14)及び中津川市(H15)で開催し、燃料電池の意義や将来性、来るべき水素エネルギー社会について理解を深めている。
- ②ホームページによる情報提供

ホームページを開設し、情報提供を行っている。

URL <http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11343/new/index.htm>
- ③アクティブGでの実証実験(H14.11～終了)

燃料電池を広く一般の方々に知っていただくために、不特定多数の人々に利用されている施設（アクティブG）のエネルギー源とし

て実証実験を兼ねて導入し、公開運転を実施した。

#### ④中津川駅前での実証研究(H16.3～H17.2)

燃料電池システムを体感していただくために、燃料電池システムから作られるお湯や電気を「ふれあいサロン（中津川駅前の多目的施設『にぎわいプラザ』1F）」内の足湯や電気に利用した。

### 3. 燃料電池の可能性

#### (1) 水素エネルギーの活用

水素エネルギーは、水素と酸素（一般的には空気）を反応させた場合に発生するエネルギーである。反応時に二酸化炭素を排出しないなど、環境にやさしいエネルギー源として検討されており、水素エネルギーシステムの実用化も進んでいると思われる。なかでも燃料電池は水素を燃料として高効率な発電を行うことのできる装置であり、水素エネルギーを活用するための1つの方策と捉えることができる。

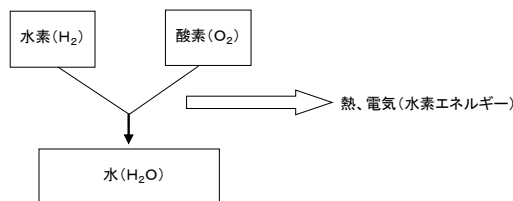


図2 水素エネルギーの概念図

水素エネルギーを利用するためには水素が必要であるが、水素は単体で存在しないため何らかの方法により製造しなければならない。現在、石油・石炭・天然ガスなどの化石資源から水素を製造することは可能であるが、環境問題の点から今後活用が難しくなると思われる。そこで、水やバイオマスといった非化

石資源から水素を製造することが期待される。また、その場合に太陽光や風力などによる電気エネルギーの活用も考えられる。

貯蔵や輸送する場合にも、水素は沸点がきわめて低く(-253℃)爆発しやすい性質のため、安全や管理面での技術が必要である。この点を踏まえて、水素を保存し取り出すシステムも検討されている。

#### (2) 水素エネルギーの効果

水素エネルギーは2次エネルギーであり、様々な原料から水素を製造してこれをエネルギーキャリアとし、産業・民生・運輸部門で消費することが考えられている。また、水素と電力の関係では同じ2次エネルギーであり、お互いに容易に変換することが可能であることから、エネルギーシステムの中心的な役割が期待されている。

##### ①省エネルギー効果

水素エネルギーは、燃料電池を使用することにより、直接電気エネルギーに変換することができるため発電効率が非常に高い。その結果、運輸部門はもちろんのこと、産業・民生部門における省エネルギー効果が期待されている。

##### ②環境への対応効果

水素は分子中に炭素を含まないため、酸素との化学反応により二酸化炭素を発生せず水のみを生成する。従って、水素を製造する際に、原料やエネルギーとして化石資源を用いなければ、二酸化炭素の発生は実質的にゼロとなり、環境への対応を図ることが期待されている。

##### ③エネルギーの多様化効果

水素は様々な原料から製造することが可能であることから、エネルギーの多様化を図ることが期待される。

### (3) 分散型電源としての活用

分散型電源は、現在主流となっている大規模集中型発電（送配電線網を活用し電力を供給する形態）に対して、需要地（消費地）側で電源を設置し発電する形態である。なかでも燃料電池は、a)発電効率が低い、b)熱の有効利用ができる、c)環境に優しい、d)低騒音・低振動などの特徴をもつことから、定置式発電設備として利用した場合、従来の火力発電のような大規模集中型発電ではなく、分散型電源としての活用が検討されている。

#### ①小規模施設への普及

分散型電源は、施設単体でのエネルギー消費が電力・熱共に小さい小規模民生分野へと広がりつつあり、将来普及が見込まれる分野としては個別住宅が考えられる。また、災害時において最も重要な問題は、電気・ガス・水などのライフラインの確保であり、燃料電池は前述した特徴を持つほか、電力と熱、水を供給することが可能な発電設備であることから、分散型電源としての活用が期待されている。

#### ②他のシステムとの併用

燃料電池の活用により、分散型電源が小規模施設へと普及する反面、施設の規模が小さくなるほど施設単体のみではエネルギーを使い切れない、電気と熱との利用時間が合わないなどの問題が発生する。そこで、各施設がエネルギーを共有し、負荷やバランスを標準化するような分散型電源のシステムを構築することが求められている。

### (4) 分散型電源のメリット

#### ①総合効率が低い

コージェネレーションによる排熱を回収す

ることにより、エネルギーの総合効率を高めることがあげられる。熱需要の多い需用者には効果が期待される。

#### ②投資リスクの分散

事業への投資リスクは事業者ごとに異なるため、投資リスクも分散することがあげられる。

#### ③供給安定性の向上

商用電源との二重化による供給安定性の向上があげられる。常用防災用との兼用として非常時に備える事が期待されている。

#### ④競争性の高まり

発電機能については新規参入により競争性が促されることから、分散型電源が普及するほど、エネルギー市場の競争性が高まることが期待される。

## 4. 燃料電池が必要とする技術の動向

燃料電池が必要とする技術は数え切れないほど多く、技術課題の解決に向けて開発が進められているが、大企業に限らずその技術に取り組もうとするすべての企業に、取り組むチャンスがあると思われる。ここでは、燃料電池が必要とする技術の動向について述べる。

### (1) 要素技術について

要素技術は燃料電池システムを実用化するための基礎的な技術分野であり、今後画期的な技術開発が求められている。

#### ①基礎・主要部材及び装置

エネルギー変換の中心装置であり、変換効率の向上がポイントとしてあげられる。必要とされる技術は、「膜材料開発」「膜精密加工技術」「水素貯蔵技術」などが考えられる。

#### ②補助部材及び装置

エネルギー変換を具体化するための周辺装

置である。必要とされる技術は、「ユニット化技術」「部材共通化」などが考えられる。

③システム装置

エネルギーの利便性を向上させる仕組みである。必要とされる技術は、「共同利用システム技術」「電力貯蔵標準化」などが考えられる。

④設備設置

装置・システムをユーザーへ提供する方法である。必要とされる技術は、「熱新利用技術」「蓄熱ユニット開発」などが考えられる。

⑤制御・コントロール

使用状態によってシステムを制御する方法である。必要な技術として、「寿命予測システム」「需要予測システム」などが考えられる。

⑥設備保守・メンテナンス

システム効率維持のための保守である。必要な技術として、「メンテナンスの標準化」「漏れ検知システム」などが考えられる。  
(以上、『びわ湖環境ビジネスメッセ2004共催セミナー「新エネルギーの普及に向けたビジネス&技術ソリューション」』より)

(2) 周辺装置技術について

要素技術の1つである周辺装置（補助部材及び装置）は、燃料電池本体とあわせて燃料電池システムを構成しており、燃料電池の実用化のためには、様々な技術課題の解決が求められている。

①空気供給システム（コンプレッサー）

燃料電池の本体スタックへ、空気を送り込むために使用される。開発には技術レベルが問題であり、燃料電池専用のコンパクトで安く能力の高いものが必要となると思われる。

②電力変換システム（インバータ）

本体スタックから取り出される電気は直流であるため、一般の用途に利用可能な交流に

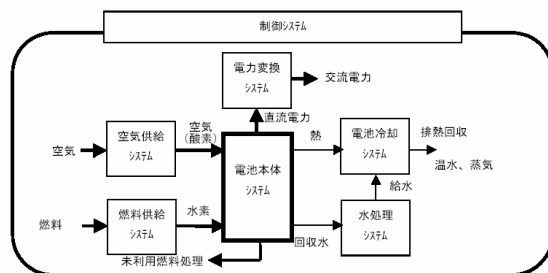
変換するためのシステムとして使用される。系統電力へ接続するため、技術的なトラブルの解決が求められている。

③燃料供給システム（燃料改質装置）

燃料電池の燃料となる水素を、都市ガスやガソリンなどから作り出すために使用される。燃料から純水素を作り出すことは難しく、水素を効率よく作るための技術開発が期待されている。

④電池冷却システム（排熱回収装置）

燃料改質装置や本体スタックから出る熱を回収し、温水として取り出している。燃料電池は電気と熱の両方が利用できる装置ではあるが、その標準化が難しく熱（温水）の利用策が検討されている。



(出所: 特許庁総務部技術調査課『燃料電池に関する技術動向調査』より)

図3 燃料電池システム

(3) 技術・部品開発への動き

①大阪商工会議所の取組

大阪商工会議所では、平成14年から、燃料電池システムメーカーと会員の中小企業・ベンチャー企業などとのマッチングを試みている。周辺機器や材料・部品関係を中心にリストを作成し、会員限定で紹介している。

②経済産業省の取組

経済産業省では、燃料電池開発に中小企業の参画を支援する取組をはじめている。燃料

電池メーカーが必要とする部品や加工技術の具体的なリストを作成し、製造する技術やチャレンジする意欲のある中小企業に、共同開発や受注を促す取組である。

これら双方のニーズとシーズを合わせ、大手企業だけでは困難な低コストの燃料電池の開発促進を目的としている。

<燃料電池に必要と考えられる部品>

- ・空気用ブロア、ガス昇圧ブロア、水ポンプ
- ・電磁弁、流量制御弁、リリーフ弁、
- ・熱交換機
- ・センサー（温度、圧力、レベル、ガス濃度など）
- ・水処理装置（イオン交換樹脂、排水処理装置）
- ・配管部材、ガスケット、フィルターなど

（以上、『2004水素エネルギーフォーラム「暮らしとビジネスを変える燃料電池」』より）

### ③愛・地球博後の産業振興策（愛知県の取組）

愛知県では、次世代産業の育成策に新エネルギーの1つである燃料電池を位置付けて、燃料電池に関わる中小企業の支援や産学との連携強化を計画している。

燃料電池の開発に関わる産業は素材や電機、化学など裾野が広く、課題とされるコストダウンを図るには、これらの分野に関連する中小企業の強化が不可欠と考えられる。そこで、県産業技術研究所を拠点として、生産技術確立のための開発支援のほか、産学官ネットワークづくりの協議会の設置を進めている。

## 5. 岐阜県中小企業の取組への期待

岐阜県中小企業は製造業に特化した産業構造であり、地域資源を活用した地場産業のほか、電気機器・輸送用機器・一般機器などの機械関連産業により担われ、優れた技術力に

よりオンリーワン・ナンバーワンを目指して取り組んできた。

燃料電池が必要とする技術は、大企業に限らず技術力のある企業に対して広く求められている。そこで、岐阜県中小企業はその技術力を活かして、燃料電池の技術課題に取り組むことが期待される。

### （1）コストダウンのための技術分野

燃料電池実用化の一番の課題はコストダウンへの対応であり、岐阜県中小企業にとって、次のような分野への取組が考えられる。

#### ①セパレータの材料開発

燃料電池本体の構成部品であるセパレータには、電子伝導性が高いこと、ガス雰囲気において金属イオンを出さないこと及び耐食性が必要であるため、材料はカーボンまたは金属が使われている。使用する材料によって加工の難しさや適応条件の違いなどがあり、コストダウンを図るための材料開発を必要としている。岐阜県中小企業の材料開発への取組が期待される。

#### ②機械加工の技術開発

燃料電池のコンパクト化とコストダウンを図るために、セパレータは可能な限り薄くすることが要求されている。カーボン材を使用した場合には、表面に流路を機械加工で形成する必要がありコストダウンが難しい。また、金属材を使用した場合には、表面処理（金メッキなど）をしたうえでナノ加工の技術などが必要とされている。ほかにも様々な機械加工技術を必要としており、機械関連企業が多い岐阜県中小企業の取組が期待される。

### （2）新たな市場に向けた技術分野

携帯用燃料電池は長時間の使用が可能であ

り、充電式に比べ短時間で燃料の充填ができることから、燃料電池の新たな市場として開発が進められているが、それに使用される燃料用カートリッジの開発が併せて進められている。

燃料用カートリッジはプラスチックによる開発が考えられるが、製品の形態や軽量化のほか燃料に対する安全性への対応のための技術開発を必要としている。プラスチック産業は岐阜県の地場産業の1つであり、今後の技術開発への取組が期待される分野と考えられる。

### (3) 燃料電池の実用化に向けて

燃料電池は、その実用化に向けて多くの技術課題の解決を必要としているが、将来我々の生活を大きく変える可能性があるものと思われる。また、コストダウンやモバイル機器への利用などから小型軽量化も必要であり、中小企業が取り組む分野はますます広がるものと思われる。

今後、岐阜県中小企業においては、大阪商工会議所や経済産業省などの取組のように、燃料電池メーカーとの技術マッチングを行うことも考えられる。そこでは、各々が得意とする技術分野において、燃料電池には何が必要なのかを探り、技術開発に取り組むことが期待される。そうすることで、燃料電池の実用化が進み、岐阜県の中小企業にとっても大きなビジネスチャンスにつながることを期待される。

### —参考文献・資料—

○岐阜県農林商工部商工局エネルギー室HP  
『新エネルギー利用のすすめ』

○文部科学省科学技術政策研究所、科学技術動向研究センター 編著『図解 水素エネルギー最前線』（工業調査会、2003年）

○駒橋 徐『燃料電池革命』（日刊工業新聞社、2000年）

○山本 寛『水素経済革命—燃料電池が世界を変える』（新泉社、2002年）

○江戸 雄介『ITの次は「これだ」燃料電池の時代』（創芸社、2001年）

○WIRESLESSプラス 本間 琢也『解説 燃料電池の仕組み 第1回～第6回』

○監修 本間 琢也『図解 燃料電池のすべて』（工業調査会、2003年）

○井熊 均『図解 よくわかる分散型エネルギー』（日刊工業新聞社、2004年）

○池田 宏之助『入門ビジュアルテクノロジー 燃料電池のすべて』（日本実業出版社、2001年）

○特許庁総務部技術調査課『燃料電池に関する技術動向調査』（2001年5月）

○『びわ湖環境ビジネスメッセ2004共催セミナー「新エネルギーの普及に向けたビジネス&技術ソリューション」』（2004年10月）

○『2004水素エネルギーフォーラム「暮らしとビジネスを変える燃料電池」』（2004年12月）

## 岐阜県における水素エネルギー利用策

### ～燃料電池の活用面から～



守 富 寛

(岐阜大学大学院工学研究科 教授)

#### 1. はじめに

「燃料電池」は水素と酸素を電気化学的に反応させて電力を発生させる発電器であり、火力発電のように硫黄酸化物も窒素酸化物の発生がなく、安定した高い発電効率が得られることから、二酸化炭素などの温室効果ガスの削減の切り札と目されている<sup>1)</sup>。その燃料電池の燃料となる水素は、石油精製、石油化学、アンモニア、メタノール合成を含む化学工業で大量に生産され、消費されている。水素は1960年代より将来のエネルギーとして太陽光発電とともに注目されていたが<sup>2)</sup>、国内で大きく脚光を浴び出したのは、1993年度に発足したニューサンシャイン計画の国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)の中で、水素の製造、輸送、貯蔵、利用に係わる広範な技術開発プロジェクトが取り上げられてからであろう。1999年度の第2期では固体高分子膜形燃料電池(PEFC)開発に重点が置かれるようになった。発足当初のWE-NET構想

では、カナダの水力発電で得られる低廉な電力(1990年、約2.5円/kWh)を用いて水素を製造し、液体水素で国内へ輸送するという壮大な計画であった。

人類の歴史でみると主要エネルギー源として利用されてきたのは薪であり、薪から作られた炭は炭素と水素原子のモル比率で約10:1、その後主要エネルギー源の座を占めた石炭は1:1、石油が1:2、天然ガス1:4であり、新たなエネルギー源が登場するたびに、二酸化炭素の排出量は減らしてきている。世界中で消費されている一次エネルギーの単位量あたりの炭素排出量は、140年前から毎年0.3%ずつ減少し続けているとの説もある。この「脱炭素化」の究極に水素がある。ただし自然界には水素のみ単体では存在しないことから、エネルギー媒体(キャリア)としての水素を単体で生成し、流通、利用を実現することがエネルギー開発の新しい流れである。水素をエネルギーキャリアとして高効率発電を実現す

る燃料電池は、そのひとつの応用例である。水素は化石燃料資源ばかりでなく、バイオマスなどの有機物の水蒸気改質、核燃料を利用した高温水熱化学分解や高温水蒸気電気分解、不安定な太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーから得られる電力による水の電気分解により製造できる。すなわち水素は、“多様な一次エネルギー源”を活用して製造できかつ貯蔵できる。電気も同じくエネルギーキャリアであり、電池により「蓄エネルギー」が可能ではあるが大容量化が困難である。それに対し、水素は化学エネルギーとして大容量の「蓄エネルギー」が可能で大きく異なる。

本稿では、水素エネルギーがもつこの「多様かつ不安定な一次エネルギー源を均一なエネルギーキャリアに変換し蓄エネルギー後、二次エネルギーとして使用できる」特長を活かした利用策について考えてみることにする。

## 2. エネルギービジョン

### 2.1 世界のエネルギー

西暦元年ごろには約3億人であった世界の人口は、緩やかな増加を続け1804年に10億人に達した。その後増加の勢いが次第に強まり、1927年には20億人、1960年には30億人、1974年には40億人、そして1987年には50億人に達した。人口増加率は今後次第に低下するものの、人口そのものは引き続き増加し、2050年には89億人を超え、2200年頃には100億人に達するものと推定されている。この人口増加に伴い、世界の一次エネルギー消費量は産業革命以降ずっと増え続け、特に第二次世界大戦後からは著しく増加し、利用エネルギーの種類も産

業革命当時の石炭中心から、現在では、石油を中心として、石炭、天然ガス、原子力、水力に加え、風力・太陽エネルギー等の再生可能エネルギーも加わって多様化している。しかしその約9割は依然として化石燃料である。一人当たりのエネルギー消費量を2001年で比較すると、先進国は開発途上国の7.7倍、世界平均の3.4倍と圧倒的に大きく、人口は世界の約19%程度であるのに対し、一次エネルギー消費は65%近くを占めている<sup>1)</sup>。しかし、今後は開発途上国において、人口の増加や生活レベルの向上によって一次エネルギー消費量は拡大するものと予想される。特に中国の消費量は急激であり、2030年には現在の石油消費量の2.4倍、輸入量は6倍になるといわれている。最近の報道でも中国高速道路網の確立は車社会の到来と石油消費量の拡大が予想される。

今確認されている石油の埋蔵量は、富士山を大きなカップと考えると、約0.5杯分、1600億キロリットルほどしかなく、その85%が中東である<sup>2)</sup>。今日生産されている石油の80%は1973年以前に発見された油井であり、既に確認資源量の半分以上を生産した老朽油井であり、新しく発見される油井が減ってきていることなどから、石油は2010年より前に、世界の石油生産量の減産が始まるとされる<sup>3)</sup>。化石燃料の究極埋蔵量からの予測でも石油・天然ガスは2030年から2050年の間にピークを迎え、供給量は落ち込むと予想されている<sup>4)</sup>。

ここで考えなくてはならないことは島国日本のエネルギー自給であり、岐阜県のエネルギー自給である。我が国のエネルギー自給率は水力、地熱、太陽光、風力、バイ

オマスなど純粋に国内資源だけの一次エネルギー源を合計してわずかに4%である。先進国のエネルギーと食料の自給率比較を図1に示す。核燃料サイクルなどの原子力エネルギーを加味するとおおよそ20%であり、最低限に生活するための**自給率33%**を確保しようとする、少なくとも「13%分は新エネルギーや省エネルギーで確保せよ」と言うことになる。

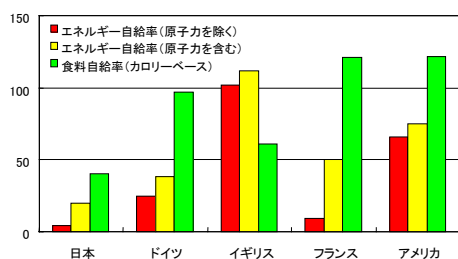


図1 エネルギーと食料の自給率比較 (2001年)

## 2.2 国と岐阜県のエネルギービジョン

我が国と岐阜県の一次エネルギー供給見通しと岐阜県のエネルギー需給概要は、「岐阜県エネルギー長期需給計画(概要版)」<sup>5)</sup>で紹介されているように、我が国の2000年度の二次(最終)エネルギー消費量は15,729PJ、1990年度比では16.4%の増加、一次エネルギー供給量は23,385PJ、(原油換算60,394.9万kL)で、1990年度比では14.9%の増加となっているが、発電効率の向上などにより、二次に対して一次エネルギー供給量の伸び率が下がっている。また、「長期エネルギー需給見通し」(2001年度経済産業省諮問機関総合資源エネルギー調査会)では、二次エネルギー消費については、

基準ケースと目標ケースとも1990年度比で民生部門が大幅に増加すると見込んでいる。目標ケースでは、新エネルギーの占める割合が2000年度の約3倍に当たる3%程度になると見込んでいる。それに対し、岐阜県では2000年度の二次エネルギー供給量は207.4PJ(原油換算535.6万kL)、エネルギー種別では石油製品が139.2PJと最も多く、水力以外の自給エネルギーである新エネルギーは0.76PJである。一次エネルギー供給量は253.0PJ(原油換算653.4万kL)となり、石油(原油と石油製品の合計)が142.7PJとなり最も多い。自給率で見ると、県内で生産され県内へ供給されるエネルギー(自給エネルギー)は16.3PJ(7.8%)(新エネルギー0.76PJ+水力発電県内自給分15.5PJ)、県外へ供給される県内生産エネルギーは15.3PJであり、これに2.48PJ(130,843kW)のコジェネレーション導入分を加えると準自給エネルギーは34.3(=16.3+15.5+2.5)PJであり、県内総生産エネルギーによる自給率は16.4%、県外供給分を差し引いても9.0%と比較的高い数値となっている。しかしながら、圏域別の自給率で見ると東濃圏域、西濃圏域、岐阜圏域、中濃圏域では1.5%、3.4%、5.6%、8.3%であり県全体の自給率を下回る。飛騨圏域の自給率は54.1%と高いのは水力発電量が多く、二次エネルギー消費量が少ないためである。

岐阜県としては、2025年までに新エネルギーを9.18PJ、水力を18.51PJにまで伸ばし、自給エネルギーを27.69PJ(自給率13.9%)、コジェネレーション9.12PJ、県外供給分の15.53PJを加えて県内総生産エネルギー52.34PJとし、準自給率を26.3%まで高めよ

うとしている。この自給率目標は上述した最低限に生活するための自給率33%に近づけることでもある。

ここで興味深いのは、図2に示すように新エネルギーとコジェネレーションの内訳であり、コジェネレーションと燃料電池への期待が大きいことがわかる。

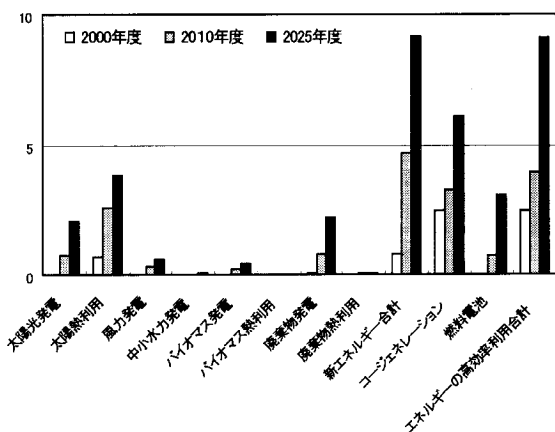


図2 岐阜県新エネルギー導入目標(PJ)

### 3. 水素エネルギー

#### 3. 1 政策的位置づけ

1945-1960	水力から火力へ
1960-1975	石炭から石油（火力） 大量輸送、大量生産 高度成長、消費拡大
1975-1990	オイルショック、狂乱物価、長期不況 エネルギー政策の大幅変更（石油代替） エネルギー資源の多様化（石炭期待）
1974	サンシャイン計画：新エネ（液化やガス化）
1978	ムーンライト計画：省エネ技術開発
1989	地球環境技術開発
1993-200X	ニューサンシャイン計画 持続的発展可能な経済成長、エネルギー、 環境保全を三位一体化したエネルギー開発

表1 戦後のエネルギー政策

我が国の戦後のエネルギー政策は表1に示すように、1945年以降の水力から火力へ、1960年代からは石炭から石油へ、そして

1973年と1978年のオイルショックを契機に、1974年には通産省工業技術院により「新エネルギー技術開発」を目指したサンシャイン計画が主導され、石油代替エネルギーとしてのエネルギー多様化と石炭液化・ガス化の技術開発が推進されることになった。

その後1978年には「省エネルギー技術開発」を目指したムーンライト計画が、1989年には地球温暖化やオゾン層破壊問題が浮上し、「地球環境技術開発」が推進され、1993年にはサンシャイン計画、ムーンライト計画、地球環境技術開発が一体化し、「ニューサンシャイン計画」が立ち上がるが、その後の2001年の省庁再編時に工業技術院傘下から資源エネルギー庁主導へと移行している。ここで興味深いのは1945年以降15年周期で大幅なエネルギー政策転換が行われていること、そして1990年の次の政策転換が2005年の今年であり、「京都議定書の発効年」に当たることである。二酸化炭素削減を義務づけた促進政策が多々打ち出されるものと思われる。

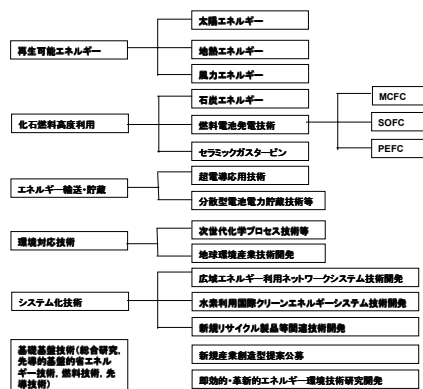


図3 ニューサンシャイン計画における全体プロジェクト

前述のニューサンシャイン計画の全体プロジェクトを図3に示す。表中の燃料電池発電技術プロジェクトは、国（国立試験研究所）、産業界、学界（大学等）の3者の協力により進められ、国立試験研究所（現在の（独）産業技術総合研究所）がその実績を生かし研究開発を進めるほか、民間のポテンシャルを活用するため新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を通じて民間への委託研究を行ない、「固体高分子膜形燃料電池（PEFC）」の技術開発の促進を図ってきている。また冒頭で述べたように、水素エネルギーに関しては、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（通称WE-NET）の中で、再生可能エネルギーの導入量の拡大を目指して、水素の製造、輸送、貯蔵、利用に係わる広範な技術開発プロジェクトを推進されてきた。言い換えると「直ぐには使用しないエネルギーを水素に変えて貯蔵、輸送を行なおう」とするプロジェクトである。

### 3. 2 水素製造

水素原子は宇宙の質量の75%、構成分子数の9割を占め、地球の地表の7割は水か水素を含む有機物で構成されている。ただし、水素は石炭や石油、天然ガスのように単独で存在せず、何かから作りださなければならない二次エネルギーであり、何らかのエネルギーが必要になる。水素を製造するための一次エネルギー（水素エネルギー源）としては、ガソリン、ナフサ、天然ガス、LPG、灯油などの化石燃料のほか、GTL(Gas to Liquid)、バイオガスなど合成燃料が使用できる。化石燃料系からの水素製造には化石燃料がもつ熱エネルギーを水

蒸気改質、部分酸化、接触改質、コークス炉ガス、あるいは化石燃料起源の電力を利用して水を電気分解する方法が実用化されている。非化石燃料系としては原子力や再生可能エネルギー（太陽光、風力、バイオマス等）から電気を取り出して水を電気分解する方法がある。これも実用化段階と考えるとよい。実験段階の方法ではあるが、核エネルギー（原子力）や太陽熱エネルギーを利用して水を熱化学分解、バイオマスを微生物発酵、太陽光エネルギーを利用して水を光分解する方法があげられる。一次エネルギーからの水素製造法を図4にまとめて示す<sup>3)</sup>。水素への変換は、1) 水を分解する、2) 化石燃料から取り出す、3) メタノールから取り出す、三つ方法があげられる。

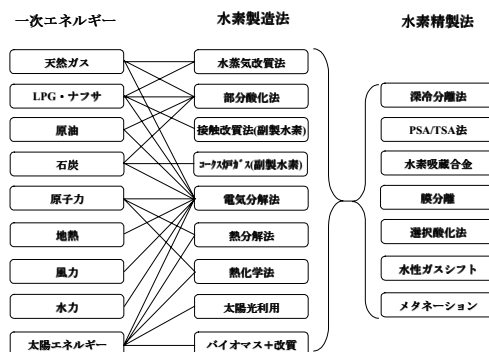


図4 一次エネルギーと水素製造法

究極の水素製造法は光触媒（本田・藤嶋効果）による水の分解であり、最近ではナノ物質を触媒にしたタンデム・セル技術は、8%の効率で太陽光エネルギーを水素燃料に変換できるところまで来ている。10%までいけば化石燃料とコストで競争でき、家庭の車庫の屋根に効率10%のシステムを設

置すれば、燃料電池自動車で年間約18,000kmを走行できるだけの水素を作り出せるという。あるいは電気分解も白金やパラジウムなどの高価な物質からナノテクに基づく光電気化学物質へ移行させ、水素生産のコストダウンを図る研究もされているが、現状の化石燃料と競争するためにはまだ先と思われる。

### 3.3 水素エネルギー利用策

先述したWE-NETプロジェクト<sup>7)</sup>では、水素の利用技術の一つの柱として作動媒体循環型の発電用水素燃焼タービンを検討していた。このシステムは、水素ガスと酸素ガスを理論混合比で作動媒体中に供給し燃焼させて作動媒体を加熱し、この高温作動媒体でタービンを駆動・発電し、燃焼生成物である水蒸気を水に戻してから排出することからクリーンな発電システムといえる。水素燃焼タービンでは作動媒体を水蒸気とし、ガスタービン入口温度を1700℃としたときには、熱効率（発電端で）が60%を超える高効率発電が可能となる。この技術は、図5に示すガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた高効率複合発電であり、実験段階にとどまっている。通常の化石燃料などの化学物質の熱エネルギーを利用した発電システムでは、小型では放熱などの熱損失が大きく、大型化によるスケールメリットを活かして高効率化を図っている。いわゆる火力発電では発電出力が100MW以上でなければ、30%以上の効率は困難であろう。一方、分散型電源として最近注目を浴びているのは廃棄物やバイオマスガス化向けの低カロリー燃料用ガスエンジン、あるいはスターリングエンジンである。都市ガス利

用ではマイクロガスタービンがある。

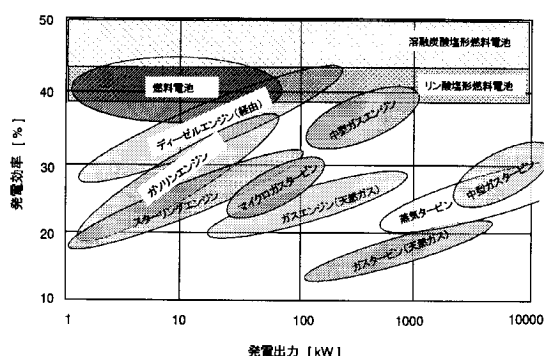


図5 発電機器の規模と発電効率

燃料電池は小型分散型から大型まで規模によらず40%近い発電効率が得られることはメリットであるが、燃料は水素であり、一次エネルギーを何らかの方法で水素に変換しなくてはならない。東京ガス(株)は、荏原バラード(株)、松下電器産業(株)と共同開発を行っているPEFCを用いて家庭用燃料電池コージェネレーションシステムを2005年2月から限定的に市場投入を開始する<sup>8)</sup>。これはモデル事業であり、家庭用燃料電池向けのガス料金を新設している。当面は都市ガス(天然ガス、メタン)を水素に改質して利用するとしても、実際に投入される2010年あたりでは、世界のエネルギー事情で述べたように天然ガスも石油も価格が大幅上昇する可能性がある。長期的視野からは、石炭が安定供給の面からは主要一次エネルギーならざるをえない。2030年以降では、エネルギーの必要量を満たすだけの十分な石油や天然ガス、場合によっては石炭さえもなくなる。石炭が安価に入手できたとしても各家庭に持ち込むことはないので、大規模石炭ガス化施設で合成ガ

スを都市ガスレベルのメタン純度に精製して供給するか、水素に改質して水素ステーションから供給することになる。この場合硫化水素や塩素など不純物を多く含む石炭ガス化ガスについては、燃料電池用に高純度（通常1 ppm以下）に精製する技術が必要となる。再生可能エネルギーの利用が進んだとして、バイオマスや廃棄物のガス化については同様に高純度の水素精製技術が要求される。

岐阜県の場合でも、当面は都市ガスかプロパンを一次エネルギー源とする家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの普及は自然体ケースとしてあり得るが、2025年までに約200MW程度まで普及させようとする1kW級燃料電池として20万世帯分である。それに見合う都市ガス供給あるいは水素供給が現在量と価格で維持できるかは疑問が残る。また、準自給率の目標値に加算されている燃料電池による3.06PJは省エネルギーによる効果分と思われるが、一次エネルギー（水素源）が天然ガス（都市ガス）、LPGなどの化石燃料資源であれば、供給が難しくなるように思われる。自給率を高めるには、県外から供給される二次エネルギー（ガス、電気）の一次エネルギー源を国内で産出（自給）できる資源でなければならない。しかしこの想定が厳しいことは言うまでもないが、国のエネルギー政策とリンクすることだけは間違いなく、広域エネルギーネットワークを形成しなくてはならないであろう。県内産の一次エネルギーで何%かを自給しようとするのであれば、水素源となる一次エネルギー源を確保する必要がある。しかしながら、図2に示したように新エネルギー合計と省エネルギ

ー合計（エネルギーの高効率利用合計）は同程度であり、燃料電池普及分の一次エネルギーを新エネルギーで供給するためには、新エネルギー合計の半分以上を上さらに乗せしなくてはならない。

### 3.4 分散型電源の利用

一般に「分散型電源（Distributed Generation）」とは、システムの一部として、あるいは独立して、最終需要地（工場、民間企業、公共施設、住宅区域、個人の住宅など）またはその近くに設置される小型の発電設備を指す。現在普及している小型発電技術は、図5に示したディーゼル燃料か天然ガスで動くレシプロエンジンである。化石燃料を原料とするガスタービンやマイクロタービンも、小型発電市場でシェアを拡大しつつあるが、将来は、水素燃料電池が主流となると予想される<sup>9)</sup>。燃料電池の魅力はユニット製造が可能であり、発電需要にあわせてシステムを組めること、必要に応じて燃料電池ユニットを買い足せばよく、追加コストもわずかと予想される。もうひとつの分散型電源の魅力は、電力負荷平準化（ピークカット）使用に対応できることである。すなわち分散型電源を有する消費者はピーク時（昼間）に商用電力系統から自家用発電に切り替えて料金を軽減できる。電力会社は一定の出力運転ができ、またトップピーク（最大電力）用の発電施設の維持管理が不要となり経費節減できるメリットがある。経済産業省が2002年7月に発表した「燃料電池実用化・普及に向けた取り組みの現状」によると、システム価格：30万円/台以下等であり、普及時期の目標は2010年以降とされていた。メーカ

一が掲げている当面の目標は、システム価格：30万～50万円/kW。現在給湯器の価格は20万円ないし30万円であることから、政府の補助制度が半額負担として、固体高分子型燃料電池コージェネレーションプラントの正味の販売価格を100万円程度にまで下げることが、市場参入のための最低条件となる。このシステムは、**都市ガス（あるいは宅配LPG）→改質水素→燃料電池→水**であり、ガス供給量が十分であり、インフラが整備され、低コストであれば、将来とも導入は進むであろう。

一方、中規模の業務用システムとしては、低価格の夜間電力を利用して水を電気分解し、水素を貯蔵、昼間に燃料電池発電を行う電力負荷平準化システム（図6）が有望であり、可逆セルスタックが開発されている<sup>11)</sup>。このシステムは、**電気→燃料電池→水**であり、インテリジェントビルや地域エネルギー供給用としての普及が見込まれる。安い夜間電力を利用することからエネルギー総コストの低減は可能であり、総合エネルギー利用率は氷蓄熱と同程度であるが、電気と熱を利用できる点からは揚水発電や新型二次電池と競合できる値と試算している。

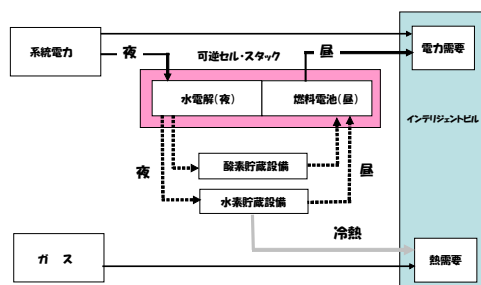


図6 水素燃料電池による電力負荷平準化

## システム

以上はすでにガスや電気のインフラが整っている都市部や工業地区での省エネルギーの意味はあるが、県外の二次エネルギーに依存するため自給率への貢献度は低い。岐阜県が抱える中山間地や人口過疎化対象地区に対しては、自給可能な新エネルギー（再生可能エネルギー）を一次エネルギーとした中規模「自立分散型」コージェネレーションシステムの導入を促進すべきである。図6に示した系統電力利用による燃料電池発電施設が建設できるのであれば、自然条件に合わせて時代とともに夜間の供給が可能な風力、水力、バイオマス発電などに置き換える方法がひとつであろう。十分な敷地と日射量があるのであれば、太陽光を含め、風力、水力、バイオマスの自然エネルギーを利用した自立分散とし、昼間は直接電力供給し、夜間は水を電気分解し水素製造・貯蔵を行い、その貯蔵水素を昼間に地域内で輸送・利用する方法があげられる。特に岐阜県では地域特性を活かした中小規模水力やバイオマス発電は有望であり、単に新エネルギーの普及というのではなく、水素をエネルギーキャリアとするエネルギーネットワークを形成し、里山の再生、災害時の非常用電源、また燃料電池自動車用の水素ステーション基地としての機能を持たせるべきと思われる。このシステムであれば、**自然エネルギー→燃料電池→水**であり、自給率の観点では申し分ない。

## 4. おわりに

水素は二次エネルギーであり、何らかのエネルギーが必要になる。電力利用では送

電端電力コストを 6~7 円/kWh とし、水素の理論発電量 2.833kWh/Nm<sup>3</sup> とすると、水素の価値は 20 円/Nm<sup>3</sup> となる。水電解による水素の理論最低価格も 20 円/Nm<sup>3</sup> 程度とされる<sup>12)</sup>。熱量換算した化石燃料の価格は、石炭 0.18 円/MJ(26.62MJ/kg)、軽油末端は 1.78 円/MJ(38.23MJ/L)、ガソリン 3.08 円/MJ(34.63 MJ/L)、天然ガス 0.52 円/MJ(40.94MJ/Nm<sup>3</sup>)、LPG 家庭用 5.51 円/MJ(50.25MJ/L) であり、水素熱量は 10.80MJ/Nm<sup>3</sup> なので、ガソリン熱量等価で 33 円/Nm<sup>3</sup>、天然ガス熱量等価で 5.6 円/Nm<sup>3</sup> であり、この数値は一次エネルギーとしての化石燃料の熱量が全量水素に移行した場合の価格であり、化石燃料と競合する場合の最低ベース価格である。現状の市販水素ボンベ (7Nm<sup>3</sup>, 15MPa) は 170~300 円/Nm<sup>3</sup> である。原油価格が高騰すれば、高くなるのは必然である。化石燃料価格からは将来とも安定供給が可能な石炭が一次エネルギーの最有力候補であり、石炭を核とする広域エネルギーネットワークもひとつのオプションである。再生可能エネルギーの発電実績は増えつつあり、NEDO が平成 13 年度に報告している国内賦存量を全て水素製造に割り当てた場合には年間 1800 億 Nm<sup>3</sup> (2300 万 Nm<sup>3</sup>/h) 程度の水素生産が可能としている。岐阜県が目標にしている 2025 年度の水力を除く新エネルギー量の約 10PJ を全て水素に転換できたとして、2.78x10<sup>9</sup>kWh/年、水素 10 億 Nm<sup>3</sup>/年相当であり、1kW 燃料電池の効率が 30%程度としても 30 万台分は可能である。エネルギーの高効率利用分の一次エネルギーも新エネルギーでまかなう水素燃料電池により自給率向上を目指すのであれば、現在の目標値の倍の

新エネルギー導入策および水力を活用した水電解燃料電池システムの技術開発促進策が有効と思われる。

#### 参考文献

- 1) コールサイエンスブック 2004, (財) 石炭利用総合センター
- 2) 中日新聞 2005 年 1 月 15 日: 私たちの暮らしとこれからのエネルギー (快適な生活と私たちが考えること)
- 3) 西尾茂文 (東京大学生産技術研究所所長) 講演資料
- 4) 志鷹義明 ((財) 石炭利用総合センター) 講演資料
- 5) 岐阜県エネルギー長期需給計画 (概要版)  
<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/sl1343/chouki/choukigaiyo.pdf>
- 6) 第 26 回総合科学技術会議資料(2003)  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu26/siryo5.pdf>
- 7) <http://www.ena.or.jp/WE-NET/>
- 8) 東京ガス :  
<http://home.tokyo-gas.co.jp/pefc/>
- 9) 「図解 燃料電池のすべて」: 工業調査会(2003)
- 10) 燃料電池プロジェクトチーム (第 1 回会合) 配付資料  
<http://www.meti.go.jp/kohosys/gather/0000277/0001.html>
- 11) 小澤由行: 水素利用技術集成 (製造・貯蔵・エネルギー利用), NTS, 516-541(2003)
- 12) 大竹正之, 触媒, 47(1), 42-46(2003)

## 編集後記

- 「燃料電池」は、次世代の自動車の動力源、家庭用の分散型電源として注目を集めており、大手の自動車会社・電機会社・エネルギー会社は開発を本格化させています。中でも据置型小型燃料電池は、大手企業から市場導入されるなど実用化が近いと見られています。
- こうした動きの中、今年度の「岐阜を考える」はテーマとして「燃料電池」を取り上げました。当初、「燃料電池」がどのようなものか解らず戸惑いましたが、調査を進めていく内に、将来我々の生活を大きく変える可能性があるものと理解できるようになりました。
- 調査レポートを作成するため情報収集の一環として、「燃料電池」に関するシンポジウム、セミナー等に参加しましたが、どこの会場も多くの研究者や企業関係者で満席になり、「燃料電池」への関心の高さを実感しました。
- 今回の論文では、様々な立場から貴重なご意見をいただきました。こうしたご意見が、本誌読者の皆様にとって燃料電池の理解を深める一助となれば幸いです。

(主任研究員 長井 哲也)

本誌に関するご意見やご要望は、下記宛へお願いいたします。

平成17年(2005)3月発行

編集発行 財団法人岐阜県産業経済振興センター  
〒500-8384 岐阜市藪田南5丁目14番53号  
岐阜県民ふれあい会館10階

TEL : 058-277-1085 (企画研究部)

FAX (058) 273-5961 または (058) 277-1095

URL : <http://www.gpc.pref.gifu.jp>

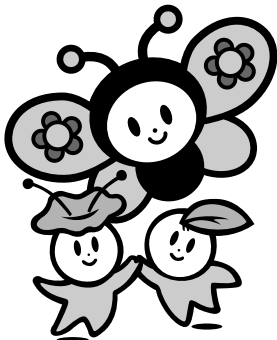
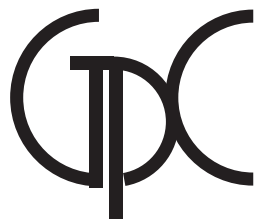
E-mail : [kikaku@gpc.pref.gifu.jp](mailto:kikaku@gpc.pref.gifu.jp)

定価 300円(税込み) ●落丁本、乱丁本はお取り替えます。●無断で本書の全体または一部の複写、複製を禁じます。

この機関誌は、岐阜県からの補助金を  
受けています。

平成17年3月28日

財団法人岐阜県産業経済振興センター



花の都ぎふ運動15周年記念

# 花フェスタ2005ぎふ

会期：2005年3月1日◎→6月12日◎(104日間)  
会場：花フェスタ記念公園(岐阜県可児市瀬田)



古紙配合率100%再生紙を使用しています