

燃料電池技術の現状及び今後の展望

横浜国立大学 グリーン水素研究センター

日本学術振興会 特別研究員 大城 善郎

横浜国立大学 産学連携研究員 石原 顕光

横浜国立大学 特任教授 太田 健一郎

抄録

近年におけるエネルギー資源問題、環境問題の解決のために、より安全で効率の高いエネルギー変換装置が要求されている。燃料電池は燃料の持つ化学エネルギーを効率よく電気に変換でき、環境に優しいシステムとして期待され、開発が進められている。定置用のエネファームは2009年に世界に先駆けて我が国で販売が始まった。燃料電池自動車は2015年に日、米、欧を中心にして販売が開始される予定である。さらに、これからの豊かな社会の持続的成長に向けて期待されている、再生可能エネルギーをもととするグリーン水素エネルギーシステムでは、その特徴が最も発揮できるはずである。本稿ではこの燃料電池の種類、発電原理、特徴および技術開発の現状と今後への期待について紹介する。

1. はじめに

化石エネルギーの多消費による大気中の二酸化炭素濃度の上昇に基づく地球温暖化が深刻化している。これには異論を示す向きもあるが、どのモデルでも二酸化炭素濃度増大により地球の温度は上昇する。そのため、二酸化炭素排出量削減が叫ばれている。その一方で、2011年3月11日2時46分18秒に起きた東日本大震災、それに続く福島原発の未曾有の事故を機に、より安全で持続可能な新たなエネルギー供給源が求められている。人類のエネルギー消費量を大幅に減少させることなく、二酸化炭素の排出量を削減するためには、再生可能エネルギー利用の推進はもちろんのことであるが、当面は化石燃料の持つ化学エネルギーの徹底した有効利用が重要である。そのため、カルノー効率の制限を受けることなく、化学エネルギーを電気エネルギーに直接、高効率で変換可能な燃料電池がこれまでも増して注目されている。

燃料電池とは外部から燃料と酸化剤を連続的に補給しつつ、化学反応により得られるギブズエネルギー変化を電気エネルギーに変換するシステムである。研究の歴史は古く、1839年のスイスのシヨンバイン¹⁾あるいはイギリスのグローブ卿²⁾の実験に始まり、我が国でも1935年に田丸らの発表がある³⁾。民生用燃料電池の大規模開発は1960年代の米国のリン酸形燃料電池(PAFC)開発(TARGET計画)に始まる。その後の固体高分子形燃料電池(PEFC)開発の進展により、いままさに大規模実用化が始まろうとしている。

燃料電池は、理論的には高い発電効率が期待されるため、既存の電力システムに連係して分散型発電装置としての位置づけで主に開発されてきた。他方、自動車に代表される移動電源としての燃料電池は世界各国で開発競争が繰り返されている。また、携帯用の小型電源としては、充電の不要な電池として燃料電池が考えられている。ここでは、これらの燃料電池の原理をまず考え、さらに技術開発の現状とこれからの展望を示すことにする。

2. 燃料電池の原理と特徴

燃料電池では燃料と酸化剤から電気化学反応を用いて電気および熱エネルギーを取り出される。図1に燃料電池の基本構成を模式的に示す。燃料電池の基本要素は、電子伝導体である2つの電極(酸化反応が起こるアノードと還元反応が起こるカソード)とイオン伝導体である電解質の3つから主に構成される。ここでの特徴は、通常の化学反応は酸化反応と還元反応が同一の場所で起こるのに対し、燃料電池反応、すなわち電気化学反応は酸化反応(アノード反応)と還元反応(カソード反応)が別の場所で起こり、このアノードとカソードの間に電解質が介在することにある。図1には燃料に水素、酸化剤に空気(酸素)を用いた場合であるが、化石燃料をベースにした場合、通常では水蒸気改質反応を利用して水素が作られる。燃料電池の全反応は水素と酸素から水ができる反応である。

図2にはこの水生成反応のエネルギー変化を示す。この反応は自発的に起こる反応であり、反応の際に外部にエネ

1) C.F. Schoenbein, Philosophical Magazine, p.43, January (1839) .

2) W.R. Grove, Philosophical Magazine, p.129, February (1839) .

3) 田丸節郎、落合和男、日本化学会誌、56, 92, 103 (1935) .

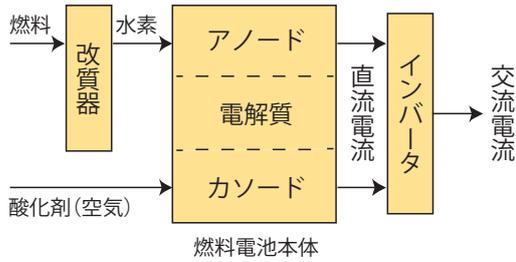


図1 燃料電池の基本構成

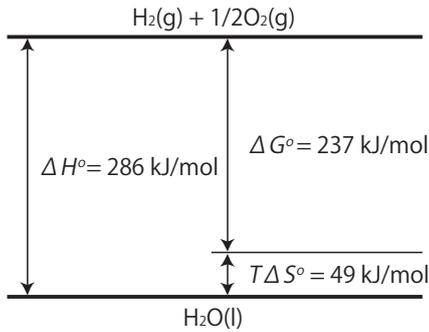


図2 水生成反応のエネルギー (25°C)

ルギーを放出する。この放出されるエネルギー (ΔH 、エンタルピー) は仕事 (ΔG 、ギブズエネルギー) と熱 ($T\Delta S$) に分けられる。原理的には、この仕事 (ΔG) の減少分が燃料電池 (電気化学システム) を用いると電気エネルギーとして外部に取り出される。この図で示す数値は 25°C において水 (液体) が生成するときの値 (HHV) である。原理的には、25°C で得られるエネルギーの大部分が電気エネルギーに変換できる。燃料電池では化学エネルギーの変化を直接電気エネルギーに変換するため、乾電池、二次電池と異なり電池容量に制約はない。エネルギー源となる燃料を外部から連続的に供給することで半永久的に電気エネルギーを取り出すことが可能である。密閉型の乾電池が電気エネルギーを蓄える装置だとすると、燃料電池は電気エネルギーを得るエネルギー変換デバイスと考えることができる。

原理的に炭素を含む炭化水素は燃料電池の燃料となる。表1には燃料電池に関係しそうな燃料の酸化反応の 25°C における熱化学データおよび燃料電池で作動させたときの理論起電力、電気エネルギーへの変換の理論効率を示す。

表1 各種燃料の酸化反応、理論起電力、理論効率 (25°C)

燃料	反応	ΔH° [kJ/mol]	ΔG° [kJ/mol]	起電力 [V]	効率 [%]
水素	$H_2(g) + 1/2O_2(g) = H_2O(l)$	-286	-237	1.23	83
メタン	$CH_4(g) + 2O_2(g) = CO_2(g) + 2H_2O(l)$	-890	-817	1.06	92
一酸化炭素	$CO(g) + 1/2O_2(g) = CO_2(g)$	-283	-257	1.33	91
炭素 (グラファイト)	$C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$	-394	-394	1.02	100
メタノール	$CH_3OH(l) + 1/2O_2(g) = CO_2(g) + 2H_2O(l)$	-727	-703	1.21	97
ヒドラジン	$N_2H_4(l) + O_2(g) = N_2(g) + 2H_2O(l)$	-622	-623	1.61	100
エタノール	$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$	-1367	-1325	1.18	96
ジメチルエーテル	$CH_3OCH_3(g) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$	-1460	-1390	1.20	95

ここで挙げた燃料に関して、いずれも理論起電力は約 1 V であるが、電気エネルギーへの変換効率は大半が 90% 以上であり、室温のシステムとして非常に高い値である。注目すべきはこれらが室温付近で可能であることである。熱機関は室温の熱のみでは作動させることは出来ない。

しかし、これらの燃料の中で、白金などの高価な触媒を多量に用いても常温で十分な電気化学的な活性を示すものは水素のみである。若干の反応を示すものはメタノール、ヒドラジン、ジメチルエーテルまでで、他の燃料は電池として利用できる速さでは反応しない。良好な電極触媒がない現状では、メタノールを燃料とする場合でもいったん水素に改質して利用した方が総合エネルギー効率は高くなる。

燃料に水素、酸化剤に酸素を用いる場合、生成するのは水のみであるため、騒音、振動、環境汚染物質などは全く何もない。燃料電池がスペースシャトルなど宇宙空間での人間活動に無くてはならない理由の一つである。水素が安価で容易に手に入る時代になると、より期待できる発電システムとなる。

燃料電池による発電の主な特徴は次に示す通りである。

●特徴

- (1) 理論発電効率が特に低温で高い
- (2) 単セルの電圧が 1 V 以下の直流電源
(大出力化には、大量の物質を遅滞なく反応させる工夫が必要)
- (3) 二次元反応装置であるため、体積当たりの利用効率が悪い
- (4) スケールメリットが少ない代わりに、小型でも効率低下は小さい
- (5) 小さい環境負荷、低騒音・低公害発電システム
(特に窒素酸化物の排出はほとんどない)

この中で、発電効率の高さは燃料電池の特徴として最も注目されている点である。理論的なエネルギー変換効率としては

$$\text{変換効率} = (\text{得られた電気エネルギー}) / (\text{投入した燃料のエネルギー})$$

と考えられる。今、単純に燃料として水素、酸化剤として酸素を用いる燃料電池を考えると、25℃では理論的にHHVで83%の効率が得られる。燃料電池が環境に優しいシステムと呼ばれる最も大きな理由は常温付近におけるこの高い理論効率である。燃料電池の理論効率は電池の作動温度で異なってくる。先に述べた水素・酸素燃料電池の反応は発熱反応であり、高温になると得られる理論電気エネルギーは減少する。燃料電池の効率は温度上昇とともに低下するが、カルノー効率は向上する。

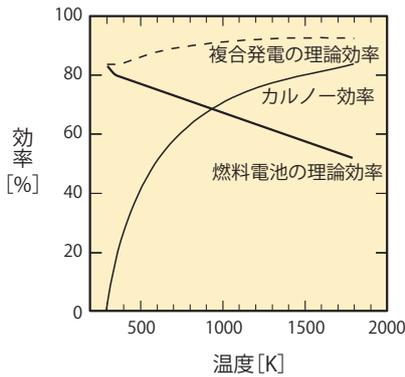


図3 燃料電池理論効率の温度依存性

図3に示すとおり、常圧の水素・酸素燃料電池では1000 K以上では熱機関の方が理論効率は高くなる。理想的には燃料電池は常温作動の方が電気エネルギーを最大限に取り出しうるが、実際には高い反応速度を得るには良好な電極触媒とある程度の温度が必要である。

燃料電池の理論効率は高い値を示すが、実際に運転すると種々の要因によりエネルギー損失が起こる。エネルギー損失には改質器、インバータの効率も関係するが、これらの効率は非常に高い。燃料電池システムのボトルネックは燃料電池本体にある。電圧は電池内での各種抵抗による電圧損失による低下を起こす。図4にはこれを模式的に示した。抵抗成分にはカソードおよびアノードでの反応抵抗、物質移動の抵抗、電解質抵抗、電極あるいは導体の抵抗があり、電圧損失は電流増大とともに大きくなる。燃料電池の種類や運転状態によるが、これら4つの抵抗成分のうち、

カソード反応抵抗や電解質抵抗の低減が高效率燃料電池開発上の大きな技術課題となっている。

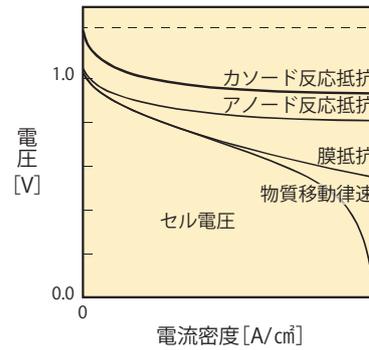


図4 燃料電池の電圧と電流の関係

3. 燃料電池の種類

燃料電池にはいくつかの種類があり、主に電解質により分類されている。表2にはその特徴をまとめて示す。200℃以下の低温で作動させる燃料電池の場合、一般的に用いられる電極触媒はアルカリ形燃料電池 (AFC) を除き白金系触媒である。白金電極の場合、燃料を改質して含まれてくる一酸化炭素 (CO) による被毒、失活を配慮せざるを得ない。本来、低温作動させる燃料電池では材料選択性が広いはずだが、リン酸形燃料電池 (PAFC)、固体高分子形燃料電池 (PEFC) に関して、電解質は酸性であるため、高耐食性および高い触媒活性を有する白金などの希少金属が用いられる。これは燃料電池のコストダウンが進まない大きな理由となっている。

AFCは性能も良く、材料もNi系の金属が利用可能であるが、電解質の維持を考えると純水素と純酸素しか利用できない。酸化剤に空気を用いると、そこに含まれる二酸化炭素により電解質の維持が困難となり、電解液の再生が必要になる。これまでは宇宙用などの特殊用途しか考えていなかったが、水素エネルギー時代に向けて、純水素、純酸素が利用できるようになると地上での民生用として最も安価に出来る可能性があり、現代技術でもう一度見直しても良い燃料電池である。

表2 燃料電池の種類

種類	ヒドラジン形	直接メタノール形 DMFC	アルカリ形 AFC	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
温度 [°C]	5 ~ 60	5 ~ 150	5 ~ 150	5 ~ 150	160 ~ 210	600 ~ 700	700 ~ 1000
燃料 酸化剤	ヒドラジン 空気, H ₂ O ₂	メタノール 空気	H ₂ (不含 CO ₂) O ₂ (不含 CO ₂)	H ₂ 空気	H ₂ 空気	H ₂ , CO 空気	H ₂ , CO 空気
電解質	KOH水溶液	陽イオン交換膜, 硫酸水溶液	KOH水溶液	陽イオン 交換膜	高濃度H ₃ PO ₄ 水溶液	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ , Li ₂ CO ₃ /Na ₂ CO ₃	ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)
電荷担体	OH ⁻	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
電極	アノード カソード	Pd/Ni Pt/C	Pt/C	Raney Ni/Ni	Pt/C	Pt/C	Ni NiO LaNiOx

高温動作させる燃料電池である溶融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) および固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は高価な白金触媒が不用であり、COも燃料として利用することができる。しかし、材料の安定性、特に熱衝撃に対する耐性が問題となる。MCFCはアルカリ金属の炭酸塩を電解質に用い、650°C程度で運転される。米国、欧州では200 kWクラスのもの数十台のレベルで順調に稼働しており、その燃料多様性、高いエネルギー効率をもっと注目すべきである。世界的に見ると、現在、燃料電池として最も設置容量の大きいものはこのMCFCである。ここではSOFCも同様であるが、高温を利用した内部改質が可能である。これは燃料改質を燃料電池内で行うもので、吸熱反応である改質反応へ燃料電池の廃熱が有効利用できる。総合効率を高めるのに有利である。また、電解質中を炭酸イオンが移動して電気を運ぶので、炭酸ガスの濃縮が簡単に行える。さらに、構成材料から考えて最も安価な燃料電池となる可能性がある。污水处理場などで発生するメタンを燃料として発電する200～300 kWサイズのMCFCは今後の展開が期待される。我が国では開発が停止されているが、欧米、それに韓国では大規模な開発が進められつつある。

SOFCは酸化物イオン伝導性を持つ固体酸化物を電解質に用い、800°Cから1000°Cで動作させる。これには大きく平板型と円筒型がある。平板型は主として欧州で開発が進められている。内部抵抗が小さく、高効率となるがシール剤に適切なものが無く、大型化の大きな障害となっている。円筒型はガスシール剤が不要であり、我が国をはじめ実用に近いものは、いずれもこのタイプである。大型のものはガスタービンのトッピングサイクルとして超高効率化技術への活用が期待されている。近年、我が国で開発された、扁平平板型は、小型で高効率を得られるSOFCとして注目されている。昨年末に販売が開始されたが、震災の影響もあってか、当初の予想よりも多くの家庭用定置型SOFCの普及が進んでいる。

PEFCは電解質膜にイオン交換膜を利用する。かつてジェミニ衛星の電源としてこの固体高分子電解質とする燃料電池が用いられたが、これは炭化水素系のイオン交換膜で耐久性が無かった。その後フッ素樹脂系イオン交換膜の発表もあったが、その後開発の進んだAFCに宇宙用は取って代わられている。

1980年代に米国にてイオン伝導性の高い新たなフッ素樹脂系のイオン交換膜が発表されて以来、これを用いた燃料電池は電流密度が1 A/cm²以上も容易に可能であることが分かり、飛躍的に性能を伸ばしている⁴⁾。自動車用燃料電池の出力密度が2 kW/L以上となると自動車用エンジンとほぼ同程度かそれ以上である。この電解質膜は、側鎖が短く、イオン交換容量が大きい。一つの材料開発が、燃料

電池の大きい展開を促した良い例と言える。

この燃料電池は今日の自動車をはじめとする移動用、あるいは小型家庭用にと最も精力的に開発が進められている。コストはまず大きな問題であるが、それ以外にも技術的に次のような課題がある。

●技術課題

- (i) 燃料由来COによる電極被毒：COは白金と強く吸着し活性点を潰すため、CO濃度は10ppm以下にする必要あり
- (ii) 水分管理：イオン交換膜に適度な湿り気がなければ、膜抵抗上昇、あるいは多すぎれば反応抵抗増大とその水分制御が難しい
- (iii) 白金またはイオン交換膜材料であるフッ素源に資源的制約があり、大量普及に向けてコストとともに資源量を考える必要あり

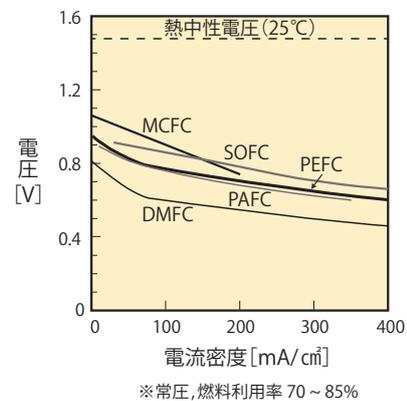


図5 燃料電池の電流電圧特性

図5にはこれら各種燃料電池の電流—電圧特性を示す。PEFC、直接形メタノール燃料電池 (DMFC) では本来最も高い開回路電圧 (OCV) を示すはずであるが、実際にはかなり低くなっている。この要因は、用いる電極触媒の触媒活性が不足であることと共に、電解質膜を通して燃料がアノード側からカソード側へと移動し、カソード電位を酸素還元と燃料酸化の混成電位にしていることが大きく効いていると思われる。このような燃料の移動は電圧と電流効率の両方に影響を与えるので、大きく効率低下を招くことになる。

図5にあるMCFCのOCVはほぼ理論通りの値を示している。定格点 (150 mA/cm²) での電圧も0.9 Vを越え、開発中の燃料電池の中で最も高い電圧が得られており、最も発電効率の良い燃料電池として期待できる。650°C付近の温度を考えると、理論電圧はそこそこに高く、かつ電極反応も白金触媒に頼らなくても進めることが出来る。燃料電池にとって理想に近い温度であると言える。しかし、MCFCでは液体系の溶融塩電解質を用いるので、その厚さ

4) S.Srinivasan et al; Proc.1st International Fuel Cell Workshop, p.119, Sept.16 (1989) Tokyo, Japan.

が1 mm程度と最も厚く、電解質抵抗が大きくなり高い電流密度、高い出力密度での運転では損失が大きくなる。

PAFCと比較して、PEFCはPAFCとほぼ同程度の性能を示しているが、さらに高い電流密度で運転することが可能である。PEFCにおいて二次元反応装置の燃料電池の欠点である出力密度の向上が実現できたことは素晴らしい。図5でPEFCをはじめとして、低温作動の燃料電池ではOCVから低電流密度において、電圧の低下が著しい。この原因は電極過電圧、電極/電解質界面における電荷移動反応抵抗に起因している。前述の図4にあるように、空気極の反応抵抗は非常に大きい。燃料電池に不可逆性をもたらしているのは白金表面上で起こる酸素還元反応の遅さにあり、現在一般的に用いられている白金触媒でも活性は不十分と言える。白金の資源的制約および触媒としての活性の不十分さを鑑みれば、白金代替触媒の開発はこの燃料電池の大量普及に向けて是非とも必要である。PEFC用カソード触媒として筆者らが提案している周期律の4族、5族の金属酸化物をベースに、炭素、窒素を適量含ませたものは、白金より酸性電解質中で安定であり、酸素還元触媒能も白金に近づきつつある⁵⁾。

DMFCはメタノールを直接電気化学反応に利用する燃料電池である。液体燃料であるメタノールを改質器なしに利用できる利点がある。しかし、白金触媒を用いてもメタノールの酸化反応の反応速度が遅く、反応副生成物による白金触媒の被毒による性能低下が著しい。最近ではイオン交換膜を改良し、150℃程度で作動させることにより高い出力密度が得られるようになった。図5に示すように、0.3 W/cm²近い出力が得られている⁶⁾のはかつての硫酸電解質中での結果と比較して驚異的といえる。しかし、水素の場合に比べて多量の白金触媒を用いること、電解質を通してのメタノールの移動が大きく、大きなエネルギー損失となっている。近年では、同じアルコール類でもバイオ燃料としてのエタノールに注目されている。液体としてエネルギー密度が高く、バイオ燃料として作られると二酸化炭素フリーの燃料となる。さらに白金上ではそこそこの速度で反応する。しかし、炭素—炭素間の結合を電気化学的に切断するのが困難であり、生成物の主体がアルデヒドになってしまう。完全酸化を行うには100℃以上の高温が必要である。これらの電池は効率を優先に考えるシステムには向いていないが、燃料補給を含めて原理的に簡便なシステムが可能であるので、二次電池代替の超小型燃料電池(micro fuel cell)には向いている。

4. 燃料電池の用途

燃料電池は小型でこそ、その特徴が最大に引き出せる。民生用の燃料電池としては、古くはPAFC中心に、50 kW

から200 kWクラスを主に考えられてきた。現在でも、このサイズでの商用機が日米で販売されている。しかしながら、その高いコストと電力変換の効率が充分に高くないことから、普及は限られた範囲となっている。しかし、福島原発の事故以来、非常用電源、あるいは災害対策の電源として再び注目を浴びようとしている。特に、9.11以来の米国のシンボルであるフリーダムタワーの電源の30%はこのPAFCでまかなわれる計画であり、その成果が注目される。

PEFCに関して、導電性に優れた新しいイオン交換膜の出現は、燃料電池の大きな欠点であった出力密度の向上に寄与し、自動車エンジンと対抗しうるまでになった。さらに、PEFCの電解質として固体高分子の利用は、これまでのPAFC、AFC等の液体電解質と異なり、その形状に大きな自由度を与えることになって、燃料電池の用途を広げることになりつつある。

分散型電源として我が国ではPEFCの1 kW級の家庭用燃料電池が大規模実証の成果をもとに2009年から実用化に入った。震災後の計画停電などが影響してか、平成23年度における民生用燃料電池導入補助金は約15,000台までのぼり、予想より早く補助金を使いきってしまった。3,000台の実証から始まり、耐久性も10年が見込めるようになり、まさに燃料電池開発にとって画期的なこととなった。コストに関して問題が残るが、大量普及によりかなりのコスト低下が見込めるはずで、化石燃料の超高効率利用の先陣として意義が深い。

移動用、電気自動車用電源としての燃料電池は世界各国の自動車メーカーが開発競争をしているところである。1980年代の高性能イオン交換膜の出現により、燃料電池の出力密度が実用域に近づいたことが大きい。電気自動車との競合を考える向きもあるが、原子力発電に期待できなくなった現状では、再生可能エネルギーを用いて作られたグリーン水素を用いる燃料電池車が究極の環境対応車となることは間違いない。世界中の自動車メーカーは2015年に実用的な燃料電池自動車を市場に出す宣言を発している。当初はドイツから燃料電池車の早期実用化宣言がなされたが現在では世界で協調した動きとなっている。このためのインフラ整備も重要であるが、これに関して我が国では、まず、東京、名古屋、大阪、九州北部の4大都市圏を中心に水素ステーションを100カ所程度、2015年度までに、これは国が主体となって進める準備がなされている。

他の燃料電池の用途として、数μWから10 W程度の出力の超小型燃料電池がある。これは発電装置と言うよりは、二次電池の代替と考えることが出来る。メタノール燃料を用いた小型燃料電池が安全性をクリアして航空機でも持ち運べるようになってきている。この超小型燃料電池の燃料としてはメタノール、エタノール等のアルコール類あるいは水

5) 太田健一郎, 石原顕光, 燃料電池, 8, 89-93 (2008) .

6) S.Gottesfeld et al, Hydrogen Energy Progress XI, p.1637, Intl. Assoc. Hydrogen Energy (1996) .

素が考えられている。水素を燃料に用いるには貯蔵が大きな問題となるが、これには金属水素化物、あるいはケミカルハイドライドが考えられている。ここではエネルギー変換効率はそれほど問題ではない。使用に当たっての簡便さと1回の燃料補給で何時間持つかの方が重要である。

表3 燃料の電気エネルギー密度*

燃料	体積密度 [kJ/mL]	重量密度 [kJ/g]
H ₂ (l)	8.3	117.6
LaNi ₅ H ₆	10.6	1.6
CH ₃ OH	17.5	22.1
N ₂ H ₄	19.9	19.7
Li	21.8	40.8
Zn	34.3	4.8

*燃料の酸素による酸化反応のΔG (25℃) より計算

表3にはいくつかの燃料の酸素による酸化反応を想定したときの燃料の持つ電気エネルギーの密度を示した。小型化の意味では、体積密度が大きく影響するが、メタノールはかなり大きな値であり、金属水素化物もそこそこである。一方、携帯用を考えると、その重さも重要な因子になる。金属水素化物は金属の重さが影響して、重量当たりではエネルギー密度は小さい。デカリン、シクロヘキサンなどの炭化水素の脱水素反応、水素化ホウ素ナトリウムの加水分解反応を利用する場合は水素密度が高くなるが、回収、再生を考えたシステムを考える必要がある。

5. おわりに

燃料電池の原理が見いだされて170年が過ぎようとしている。その間に内燃機関は大きな発展を見た。燃料電池に関してはいままさに実用化の段階に入りつつあるとあって良いであろう。家庭用燃料電池を見れば、排熱を有効利用してエネルギー利用効率が80%を越えるまでになった。これまでの自動車が生動の往復運動を回転運動に替えて車輪を回すシステムから、燃料電池自動車では電線でモーターを回す時代が変わりつつある。使い易く、環境に優しい燃料電池であるが、いずれの用途においてもコストが大きな問題である。自動車用においてはコストを2桁、定置用においては1桁のコストダウンが要求されている。しかし、大量生産が実現できれば必ずしも実現不可能ではないと思っている。

再生可能エネルギーをもととするグリーン水素エネルギーシステムは人類が持続型成長を達成できる唯一のエネルギーシステムである。長い目で見て、非枯渇エネルギーを用いて水から水素を大量に安価に得られれば、理想のエネルギーシステムが出来るはずである。この水素時代の水素を最も有効に活かせるのは燃料電池のほずである。燃料電池は原理的には高効率で、排ガスもクリーンであり、環

境に優しい発電システムである。とくに、水素エネルギーシステムが実現し、水から容易に水素が得られる時代が来ると大いに実力を発揮することであろう。

燃料電池の特性を生かすには、その構成要素たるアノード、カソード、電解質、セパレータ(集電体)の機能向上は欠かすことが出来ない。コスト高をうち消すためにも、一段とした性能向上が必要であり、そのためには、基礎から始まる材料に関する着実な研究が常に望まれている。

profile

大城 善郎 (おおぎ よしろう)

2011年3月 横浜国立大学大学院 工学府 博士課程後期 修了
2011年4月 (独)日本学術振興会 特別研究員
2012年4月～ 熊本県産業技術センター 研究員



profile

石原 顕光 (いしはら あきみつ)

1993年3月 横浜国立大学大学院工学研究科博士課程修了
1993年4月 横浜国立大学非常勤講師
2001年4月 科学技術振興機構 研究員
2006年4月～ 横浜国立大学 産学連携研究員



profile

太田 健一郎 (おた けんいちろう)

1973年3月 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了
1973年10月 東京大学工学部助手
1979年4月 横浜国立大学工学部助教授
1994年4月 横浜国立大学工学部教授
2011年4月～ 横浜国立大学名誉教授、特任教授

