

## 水素エネルギー時代の新電源「燃料電池」

カシオ計算機株式会社 広報部  
渡邊 彰

### 燃料電池の基本原則と特性

新しい電源として燃料電池が脚光を浴びている。より少ない量のエネルギー資源から長時間の連続使用ができ、二酸化炭素などの排出量が小さく、環境にかける負担も少ないことから、未来の電源として、発電装置や自動車、携帯情報機器への応用が進められている。

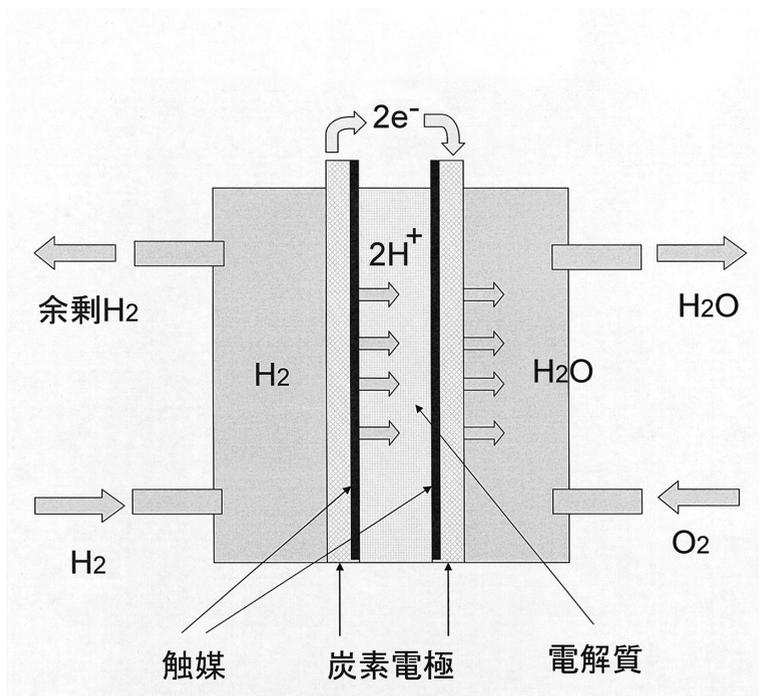
水を電気分解すると、水素と酸素に分かれることは知られているが、その逆の反応を起こし、水素と酸素を反応させて水にすることで、電気を生み出すのが燃料電池である。原理上は発電装置であり、蓄積された電気を放出する電池とは異なるものだが、英語の「Fuel Cell」を直訳して「燃料電池」と呼ばれている。

燃料電池はエネルギーを高効率で蓄積できるため、同じ大きさのリチウムイオン充電電池の数倍もの長時間、使い続けられる。また、製造から廃棄までの間に排出する有害物質がほとんどないことから、環境にかける負担が少ないこともメリットである。一方、デメリットとしては、化学反応を利用して少しずつ電気を生み出すため、急激に大きな電力を発生させることが難しい点が挙げられる。

### 燃料電池の構造と種類

燃料電池には、水素が触れる「燃料極」と酸素が触れる「空気極」があり、その間に「電解質」が隔てている。電解質は「イオンは通すが、電子は通さない」という性質を持つ物質である。一般的な燃料電池では、水素が燃料極で+イオン（電子を失った状態）となり、電解質の中を移動し、反対側の極へ流れていく。一方、水素分子から離れた電子は電解質に入れずに回路の方へ流れ、反対側の空気極へ流れる。これによって電流が発生する仕組みである。電解質は一定以上の温度にならないとイオンを通さない。使う電解質によって、この動作温度が異なる。

燃料電池には、使う電解質が異なるさまざまなタイプがある。電解質に熔融炭酸塩を用いるMCFCや固体酸化物を用いるSOFCは、高い発電効率を持つものの、電解質をイオンが通る状態にするために数百度から千度にも及ぶ高温が必要で、そのため大規模な装置になる。高温を保つため、急激な起動や停止は難しいので、継続的に動かす大規模発電に適しているとされる。電解質にリン酸を用いる



燃料電池の発電の仕組み（一例）

PAFCは、150度から200度の温度で動作する。

これらよりも効率は低いが、常温に近い温度で動作し、装置も小型化しやすいのが固体高分子形燃料電池（Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC）である。電解質が高分子物質（原子が長く連鎖して分子をつくっている物質）でできていることからこう呼ばれ、幅広い範囲への応用が見込まれている。

### 燃料の供給方法

燃料電池のエネルギー源は水素と酸素である。酸素は通常空気中から得るが、水素の供給にはさまざまな方法がある。宇宙船や自動車では主に、ポンプで純水素を供給する。純水素を用いれば反応後に残るのは水だけで、

有害物質は全く出ず、環境には一切負担がかからない（環境用語でいうゼロ・エミッション）。しかし水素は気体の状態では爆発しやすく、実際に使うには液体にする必要があり、高圧あるいは低温でタンクに封入するため装置も大型化しやすい。

冷やすと水素を吸収し、熱すると放出する「水素吸蔵合金」という特殊な金属を用いて水素を蓄積する方法も研究されている。水素吸蔵合金は、液体水素に近い高密度で水素を蓄積する能力を持つが、水素放出時に温度が下がるため、熱を加える必要があるなどの問題も存在する。

純水素を使わず、より安定性が高く扱いやすい物質から水素を取り出す方式も研究されている。特にアルコール類は多くの水素原子

を含み、製造・入手も容易であることから、燃料電池のエネルギー源に適している。中でもメタノール（ $\text{CH}_3\text{OH}$ ）は、炭素原子1つ当たりの水素原子の量が多く、比較的容易に多量の水素が取り出せることから、こんにちの燃料電池の代表的エネルギー源となっている。メタノールには水素以外に炭素も含まれているため、反応の過程で水のほかに、微量ながら二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）が発生し、ゼロ・エミッションとはならない。しかし燃料を直接燃やしてエネルギーを得る方法に比べ、その発生量は非常に少なく抑えられるため、地球温暖化防止に寄与できる。

アルコール以外に都市ガスやガソリンからも水素を取り出すことができる。酵素の働きで糖分から水素を取り出すバイオ燃料電池の研究も進められており、実用化されれば人間の血液中の糖分を使い、体内で動作する電子機器も実現可能となる。これらの物質から水素を取り出すことを「改質」といい、これをおこなう装置を「改質器」と呼ぶ。

## 燃料電池の歴史

燃料電池の起源は200年以上も前にさかのぼることができる。イタリアのボルタが動作する電池を発明した翌年の1801年に、英国のデービー卿が燃料電池の原理を発見し、1839年には同じく英国のグローブ卿が実際に動作する燃料電池を製作した。ただし当時のものは発電力が非常に小さく、実用にたえるものではなかった。また当時は蒸気機関が全盛期を迎える途上にあり、電気に対する関心は低く、しばらくは脚光を浴びることもなかった。

燃料電池が科学の表舞台に再登場したのは宇宙開発の分野であった。1965年、米国の有人宇宙飛行船ジェミニ5号に燃料電池が搭載され、さらに後のアポロ計画にも使われて、

月着陸にも貢献した。有害物質が全く排出されないこと、生成された水を飲料水などにも転用できることが、採用される理由となった。

その後、発電の分野での燃料電池の利用が始まる。これは現在の発電システムのエネルギー効率が見直され始めたためである。たとえば火力発電所では、燃やした燃料の何割かが熱となって失われ、さらに送電線を伝わる間にも数%の電力が失われる。また需要に応えられる余裕を持って発電する以上、使われない電気も発生し得る。このように、限られた場所で集中発電して遠方へ送る方法には効率面で問題がある。また発電施設がストップした場合、停電の被害が広範囲に及ぶリスクもある。

そこで小規模な発電装置を分散して配置する考え方が生まれた。各施設で必要な時だけ発電をおこなうことで無駄を避け、送電ロスも防げる。しかし人の住む施設の近くでは有害物質の発生は最低限に抑えねばならず、かつ比較的小さな規模で継続的に大きな電力を得る必要がある。エネルギー源から長時間にわたり電力を取り出せ、有害物質もほとんど発生しない燃料電池は、こうした用途に適している。人命に関わる装置が動作する一部の病院では、燃料電池による自家発電装置の導入もおこなわれている。

また、燃料電池は発電時に熱を発生することから、この熱を利用し、電気と同時に熱エネルギーを得て、給湯などに用いる「コージェネレーション」への応用も進められている。電力と熱を別の方法で得るよりもエネルギーの消費量が小さくなり、トータル利用コストも下がることから家庭への応用が期待されている。

二酸化炭素による地球温暖化に対する危機意識の高まりから、燃料電池は自動車の動力源としても注目され、研究開発が進められて

いる。既にトヨタ自動車と本田技研工業が実用化に成功し、2002年末に第一号車を首相官邸に納入した。エンジンを使わないため音も静かで、騒音公害の低減にも役立っている。

現在の自動車用燃料電池は、純水素の詰まった高圧ボンベを用いて水素を供給している。重い車体を発達させたり、急加速するには短時間に大量の電力を使うので、少しずつの電気を生み出していく燃料電池には大きな負担がかかる。そこで瞬時の充放電が可能なキャパシタという装置に電気を蓄積し、不足時にはこれを引き出して使うなどの対策がとられている。他にも製造コストの低減や、ガソリンと同じように水素を供給する水素ステーションの整備など、普及に向けて取り組みが進められている。

### 携帯情報機器に応用される燃料電池

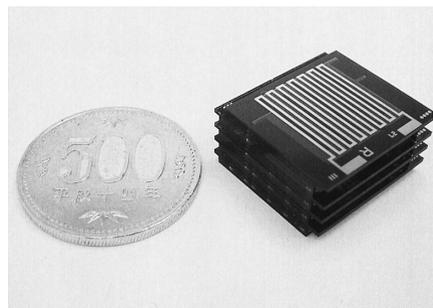
小型で長時間使える燃料電池の特質を活かし、近年、急速に開発が進んできたのが携帯情報機器の分野である。ノートパソコンや携帯電話などの携帯情報機器が新しい機能を備え、性能を高めるにつれ、動画を再生したり、複数のプログラムを同時に動かすといった負荷の高い処理が増えてきた。特に電波を使ったデジタル通信は多くの電力を消費するので、小型・長寿命の電源の必要性がかつてなく高まっている。

携帯情報機器に応用される燃料電池の方式として、多くの企業が研究しているのがDMFC (Direct Methanol Fuel Cell, 直接メタノール型) と呼ばれる燃料電池である。原理上は固体高分子型燃料電池の一種だが、最近では独立した方式として扱われている。DMFCは燃料極と空気極がイオン交換膜によって隔てられた構造になっている。この膜の表面にある触媒にメタノールの分子が触れて水素イオンと

電子を放出する。水素イオンは交換膜を通過して空気極へ伝わり、酸素と反応し水となるが、電子は膜を通らずに回路へと流れ、電流となる。

DMFCは改質器を必要としないので構造がシンプルで小型化しやすく、携帯情報機器に適するとされる。DMFCには、一定以上メタノールを水で薄めない、メタノールの分子が触媒に反応しないままイオン交換膜を通過して発電効率が下がってしまう「クロスオーバー現象」を起こす問題があるが、素材の改良により、高濃度のメタノールでもクロスオーバー現象を起こさないような工夫が進められている。

カシオ計算機では1997年頃から、携帯機器の電源として燃料電池に着目し、研究開発を進めてきた。カシオは、改質器を用いてメタノールから水素を取り出し、発電部へ送り込む「改質型」に着目した。改質型はDMFCよりも発電効率高く、高出力が得られるが、改質器は複雑な仕組みが必要であるため、携帯情報機器への搭載は不可能とされていた。カシオは半導体加工技術を用いて基板に微細な溝を彫り、その壁面に触媒を付着させることで「マイクロリアクター」と呼ばれる小さな反応器を構成した。メタノールが溝の中を通る間に壁面の触媒と反応し、水素が発生す



カシオの改質器モジュール

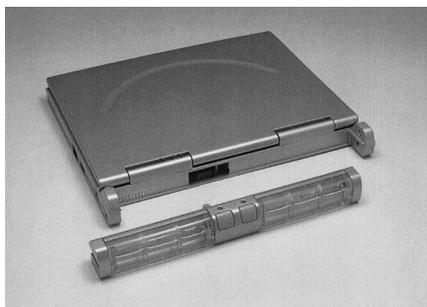
る。この仕組みにより、超小型でありながら高純度の水素を取り出せる超小型改質器が実現した。

この改質型の場合、連続使用時間は、現在のリチウムイオン充電電池の約4倍となる。標準的なノートパソコンならば、20時間以上の連続使用が可能となる。燃料カートリッジはペットボトルと同じ素材で製作可能なので、使用後もリサイクルが容易で、環境にかかる負担が小さい。このカートリッジをコンビニなどで誰でも買えるようにすれば、電源の心配なく長時間情報機器を使うことができる。

### 今後の課題

燃料電池の実用化に向けては、まだいくつかの課題が残されている。まず、法律面の問題である。可燃性で人体にとっては毒物であるメタノールは危険物として指定されており、飛行機の客室に持ち込めない、また販売できる場所が限られるなどの規制がかけられている。しかし燃料電池の実用化にあたりルールの見直しがおこなわれており、2007年をめどに法律が整備される予定である。これに備えた安全テスト方法などの策定も進んでおり、将来はメタノールの濃度や出力の規格化も進められる見通しである。

実用化にあたって、誰もが買える適正な価格にすることも求められる。燃料電池は触媒に白金などの高価な金属を用いるため、現時



燃料電池の実用化イメージ

点で自動車の場合、1台に1億円以上のコストがかかる。コスト低減のため、より安価な代替材料の研究が進められている。

携帯機器の場合は、発電時に発生した水の処理も課題となる。情報機器程度の発電量であれば、水の生成ペースは大人が吐く息に含まれる程度である。ノートパソコンの場合は机の上で使い、使用時だけ発電するため、水を蒸発するに任せても支障はない。しかし携帯電話のような、常に稼働状態にあり、しかもポケットやバッグに入れて使うものでは、水が外に出ないようにすることが必要である。この問題の解決にもさまざまなアプローチがとられている。

今後、燃料電池は既存の充電電池やキャパシタ、太陽電池などの電源とともに、用途別に分かれて共存しながら、水素エネルギー時代の先鞭をつけるクリーンな電源として、確固たる地位を築いていくと考えられる。

Jikkyo Web renewal

<http://www.jikkyo.co.jp/>

よりつかいやすく、充実したコンテンツ

- ・「工業教育資料」のバックナンバーもご覧いただけます
- ・観点別評価・年間指導計画案も掲載しています