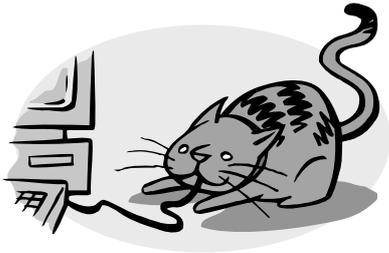


携帯機器用燃料電池



NEC基礎研究所

y-shimakawa@ah.jp.nec.com

島川 祐一

t-yoshitake@cd.jp.nec.com

吉武 務

y-kubo@bc.jp.nec.com

久保 佳実

モバイル環境における電池問題 —

携帯電話、ノートパソコン、PDAなどのいわゆる「携帯機器」は、ここ数年急速な発展を遂げている。特に第三世代携帯電話に代表される本格的モバイル時代の到来により、高速・大容量に対応したハードウェアとインフラも構築されつつある。さらに、機器そのものの低価格化に加えて、通信料金の大幅な値下げにより、まさに「いつでもどこでもだれでも」使える「モバイル環境」が実現しつつあるように思われる。

ところが、ここにきて大きな問題が浮かび上がってきた。携帯機器用電源である電池の寿命の決定的な不足が、モバイル時代の前に立ちだかるボトルネックとなっているのである。「軽量・長寿命」がウリであったリチウムイオン二次電池も「いつでもどこでも」という人々の要求に1日すら応えられない状況が起きているのである。リチウムイオン二次電池は、実用化から10年を経て、そのエネルギー容量は限界に近づいている。この限界を打ち破る可能性のあるものの最有力は「燃料電池」である。

燃料電池の原理と“既存”燃料電池 —

燃料電池の開発は今に始まったものではない。エネルギー・環境問題への意識の高まりとともに、自動車用電源や家庭用発電機器として20年以上も開発が続けられている。最近では大手自動車メーカーが燃料電池車（FCV: Fuel Cell Vehicle）を公道で走らせるまでになっ

ている。また、アメリカでは人工衛星の電源として搭載された実績もある。

はじめに、「燃料電池」の原理を説明し、開発の歴史が長い「自動車用」および「家庭用」といった“既存”燃料電池について簡単に紹介する。

「燃料電池」はその名の通り、「燃料」の持つ化学エネルギーを電気エネルギーに変換する「電池」であるが、一種の発電装置である。燃料として使えるものはいくつかあるが、一般的なものは「水素」である。基本的な原理は「水の電気分解の逆反応」であり、水素と酸素が反応して水ができる時に放出されるエネルギーを電気エネルギーとして取り出しているのである。



外部に電気を取り出す（電子が流れる）ためには、電池内部をイオン（この場合には水素イオン）が運ばなければならないが、このイオンを通す物質（電解質）として、リン酸、熔融炭酸塩、固体酸化物、固体高分子などがある。現在、自動車用、家庭用、そして携帯用に最も研究開発が進んでいるのが、「固体高分子」であり、これを使った燃料電池を一般に「固体高分子型燃料電池」（PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell）と呼んでいる。図-1に示すように、燃料である水素は電極にある触媒によって水素イオンとなり、固体高分子の電解質膜を通して、酸素極において酸素イオンと反応して水になる。この時、水素イオンと同時に生成した電子は外部で仕事をして、酸素極にやってくる。

自動車用燃料電池では、燃料である水素を高圧ガスボンベに充填したかたちで搭載する。充電に相当する燃料の補給はガソリンスタンドならぬ「水素ステーショ

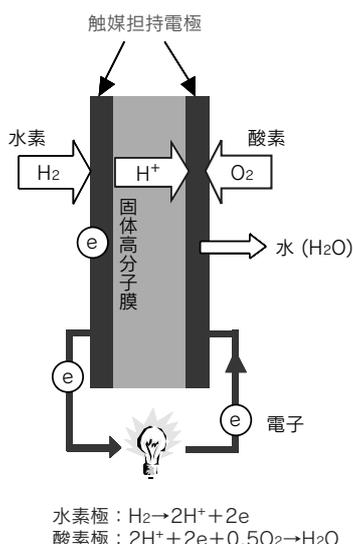


図-1 水素-酸素による燃料電池の原理図

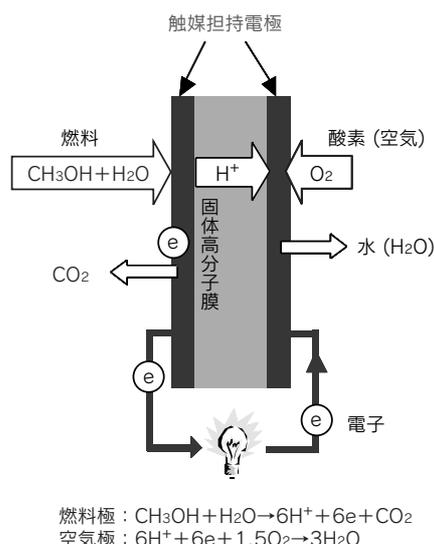


図-2 直接メタノール型携帯機器用燃料電池 (DMFC) の原理図

ン]で行う。また、自動車を動かすだけの電力を作るためには電池効率を高める必要があり、一般には電池の動作温度を80℃程度にしている。家庭用燃料電池では電極反応において同時に発生する熱も利用することで、電気と熱をともに供給する「コジェネレーションシステム」として開発されている。この場合には、家庭に行き渡っている都市ガスを「改質器」と呼ばれる前処理システムにおいて水素ガスに変えて、燃料として電池に送り込む。都市ガスなどから効率よく水素を作り出すにも高い温度が必要であり、さらに高純度の水素の改質にはかなり大掛かりなシステムが必要となる。

直接メタノール型携帯機器用燃料電池

このような特徴を見ると、「携帯機器用燃料電池」は自動車用や家庭用とは大きく異なり、まったく違った技術ベースが必要となってくるのが分かる。高压水素ガスボンベをカバンに入れて持ち歩いたり、高温の大きな改質器と一緒に携帯することは現実的ではない。携帯用機器用燃料電池として最も有望であると考えられているのが、室温動作の直接メタノール型燃料電池

(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell) である。

DMFCの基本原理は自動車用や家庭用の燃料電池と同じである。ただし、燃料としてメタノール水溶液を用いることで、燃料極において、水とメタノールから水素イオンと電子、および二酸化炭素が生成される。酸素極(携帯燃料電池では空気中の酸素を使う)では水素の場合と同様に水素イオンと酸素イオンから水が生成され、全体としてはメタノールの燃焼反応になる(図-2)。現在のところ、電解質はやはり固体高分子膜が最適である。

DMFCを携帯機器用の電源として用いる場合の実効的な電圧は0.5ボルト程度である。現在、多くの携帯機器は3ボルト、ノートパソコンでも15ボルト程度の入力電圧で設計されているので、実際には燃料電池を直列につないで(スタックといわれる)使用することになる。0.5ボルトの電圧を仮定した場合、DMFCの重量エネルギー密度(単位重量当たり電池の蓄えるエネルギー)は1,600Wh/kgに達する^{☆1}。燃料電池はその単純な構造上、将来的には電池セルの大部分は燃料容器になると考えられているが、大雑把に電池の8割を燃料が占めると仮定しても、1,300Wh/kgのエネルギーを蓄えることができる。これは現在のリチウムイオン二次電池の値

☆1 図-2の化学式に従えば、メタノールと水の1分子ずつの混合溶液から6個の電子が流れることになる。電子は1個当たり1.6×10⁻¹⁹C(クーロン：1クーロンは1A(アンペア)の電流が1秒間に運ぶ電気と定義され、電流・時間(A・s)と同じで単位である)の電荷を運ぶことができるので、メタノール1モル(32g)と水1モル(18g)からなる燃料(合計50g)からは3,200Ah/kgの電流量が取り出せることになる。実効的な電圧を0.5ボルトと仮定すれば、重量エネルギー密度は1,600Wh/kgとなる。

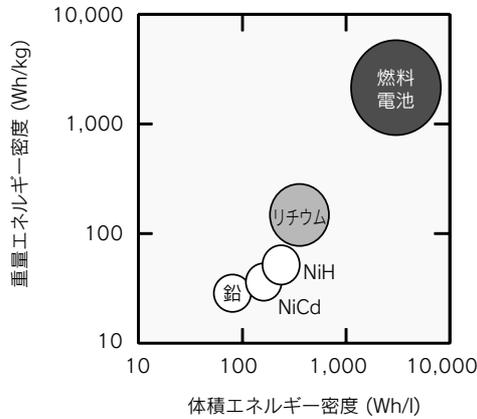


図-3 各種携帯機器用二次電池のエネルギー密度の比較

(130Wh/kg)の10倍に相当するが、もう少し具体的な例で考えてみる。ノートパソコンの13インチディスプレイ(およそ20cm×20cm)の背面に厚さが1cm(燃料容積400cm³)の燃料電池を取り付けるとする。このDMFCはおよそ450Whのエネルギーを蓄えていることになるので、パソコンの消費電力が20Wならば22時間以上の連続使用が可能ということになる。これならば出張の際の往復の新幹線はもとより、海外へ行く国際線のフライト中ずっとパソコンを使い続けることも可能になる。このエネルギー容量の大ききこそ、携帯燃料電池がモバイル時代のボトルネック解消の切り札として期待される所以である(図-3)。

DMFC携帯燃料電池のもう1つの大きな利点は、充電に相当する燃料補給の便利さと速さである。通常、携帯機器の充電には一晩近くかかるが、DMFCでは燃料カートリッジやガスライターの補充ボンベのようなもので燃料を補給すればすぐに使用可能となる。駅の売店などで取り扱えるようになれば、充電器を同時に持ち歩く必要もなくなるし、万が一、電池切れが起こったとしてもすぐに「電池フル」の状態が再現できるのである。

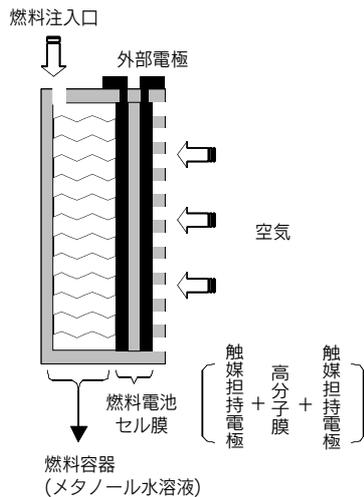


図-4 携帯機器用燃料電池の構造と試作品。30×4×5mmの大ききでコンパクトフラッシュカードよりもひとまわり小さい。

携帯機器用燃料電池の進展と課題

この1年ほどの間に電気メーカを中心に携帯燃料電池開発への参入，試作発表が相次いだ。燃料電池自動車や家庭用コジェネシステムがコストや耐久性，インフラ整備の問題から本格的な普及見通しが先延ばしになるのに反して，携帯燃料電池は比較的早く市場に出回るといった意見が多くなってきている。実際に，携帯燃料電池の試作器とも呼べるものがいくつか報告されている。

たとえば，我々が試作した小型燃料電池の一例を図-4の写真に示す。大きさが30×40×5mmの容器内にメタノール燃料を入れ，前面に高分子と触媒担持電極からなる燃料電池セル膜が取り付けられており，外側から空気を取り入れることにより発電する。構造はきわめて単純であり，燃料電池の主要部であるセル膜自体の厚さは0.3mm程度なので，小型化も容易であることが大きな特徴である。

また，DMFCの高出力化の試みとして，電極材料にカーボンナノホーンと呼ばれる新しいナノ材料を用いて触媒活性を上げることも行っている。カーボンナノホーンはカーボンナノチューブの一種で，先端の閉じ

たカーボンのチューブが放射状に伸びた構造からなる凝集体である¹⁾。詳しいメカニズムは分かっていないが，カーボンナノホーンに担持された触媒金属は，非常に細かく，また均一に分散することが確認された(図-5)。メタノールや水素が水素イオンに分解する触媒反応は，いわば表面反応であるので，触媒金属の粒子をできるだけ細かくして表面積を大きくすることで，同じ量の触媒でもより有効に働くわけである。

一方，携帯機器用燃料電池が実際にポストリチウムイオン電池として市場に出回るまでにはまだいくつかの解決すべき技術課題もある。たとえば，電解質である高分子膜を燃料であるメタノールの一部が透過してしまうという問題(「メタノールクロスオーバー」と呼ばれている)の解決は急務である。透過したメタノールは酸素極でも分解反応を起こし逆向きの起電力を発生させるため，電池から取り出せる電圧が低くなってしまふ。現状では燃料のメタノール水溶液を10%以下の濃度に下げることで凌いでいるが，それによってエネルギー容量(電池全体の重さや容積を基準として単位当たりに取り出せるエネルギー量)は低いレベルにとどまっている。また，室温付近でのメタノールの分解に適した触媒の開発は，自動車用や家庭用での開発とはまったく異なる領域であるため，今後，研究開発をすべき余地が大いにあると思われる。

携帯機器用燃料電池は自動車用燃料電池や家庭用発電システムとは異なる技術ベースがあり，それ故に，この分野の研究開発はまだ始まったばかりの初期段階にある。しかし，携帯燃料電池の原理は図-2に示したようにきわめて単純であり，主要な技術課題領域は，電極，触媒，高分子電解質膜などの「材料開発」と「小型化とシステムインテグレーション」とはっきりとしている。しかも，DMFCのポテンシャルは前述のように大きなものであり，何とんでもこの技術に対する市場からの強力な要請がある。電気メーカのみならず，材料メーカ，化学メーカも参入して急速に立ち上がりつつある開発競争環境によって，携帯機器用燃料電池は今までにない早さで市場に登場するかもしれない²⁾。

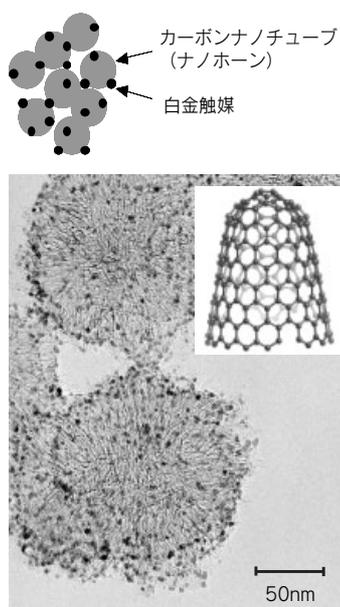


図-5 カーボンナノホーンに担持された白金触媒の様子。灰色の大きな球状に見えるのがカーボンナノホーン凝集体であり，ナノメートルサイズのホーン(角)状のカーボンがイガクリやウニのような構造をとっている。黒色の細かい粒子が担持された白金の触媒である。

参考文献
 1) Iijima, S. et al.: Nature 354, 56 (1991), Chem. Phys. Lett. 309, 165 (1999).
 2) 「日経エレクトロニクス」(2001年10月22日号), 「日経マイクロデバイス」(2002年4月号)などに燃料電池開発の特集がある。(平成14年7月8日受付)