

# 新たな価値を提供するモバイル機器用小型燃料電池

Mobile Fuel Cell Providing New Advantages for Mobile Electronic Appliances

森 寧

■ MORI Yasushi

携帯電話機やノートパソコン(PC)などのモバイル機器では、高機能・多機能化が急速に進んだ結果、内蔵する二次電池の容量、充電時間に対する一般ユーザーの不満が高まっている。

東芝が開発を進めている、メタノール燃料の電気化学反応で直接発電するダイレクトメタノール形燃料電池(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)は、燃料つぎ足しによる継続使用を特徴としており、従来の二次電池に代わる次世代電源として期待されているばかりでなく、発電に伴う排出物に窒素酸化物や硫黄酸化物などの大気汚染物質を含まないため、環境にやさしい電源でもある。

Many new and advanced functions are now being implemented on mobile electronic appliances such as cellular phones and notebook PCs. These newly implemented functions consume so much energy that there is strong demand among end users for higher energy capacity and shorter charging time of the rechargeable batteries inside these appliances.

The direct methanol fuel cell (DMFC), which generates electricity through an electrochemical reaction of methanol fuel, has been attracting attention as a new energy source for mobile electronic appliances. It enables virtually continuous operation of the appliance by the addition of methanol fuel. The DMFC is also environmentally friendly because it discharges only clean substances containing no atmospheric pollutants such as nitrogen oxides and sulfur oxides.

## 1 まえがき

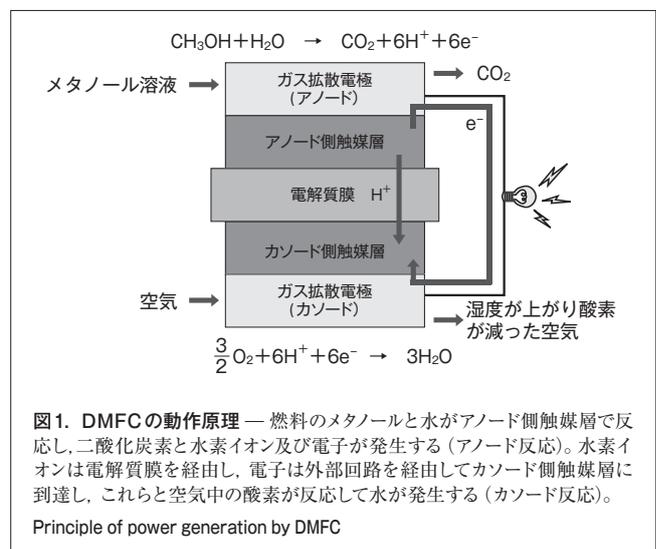
携帯電話機、携帯オーディオプレーヤ、ノートPCなどのモバイル機器の高機能・多機能化はとどまるところを知らず、それに伴って、機器の消費電力は増大している。エネルギー供給源である二次電池の容量は消費電力増大に対応はしているものの、一般ユーザーからは、より長い動作時間の要求や充電時間への不満が多く寄せられている。モバイル機器用の二次電池のほとんどはリチウムイオン電池(LIB: Lithium Ion Battery)であるが、LIBの容量を飛躍的に増大するには材料面でのブレイクスルー、すなわち正極材料及び負極材料の全面変更が必要であり、技術的困難が大きい。

メタノール(CH<sub>3</sub>OH)を燃料とし、電極での電気化学反応で発電するダイレクトメタノール形燃料電池(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)は、燃料のつぎ足しで継続的に機器を動作でき、燃料のエネルギー密度が高いために機器の小型化に適しているなどの特長から、モバイル機器用の新たな電源として注目されている。更に、DMFCは、窒素酸化物や硫黄酸化物などの大気汚染物質を排出しないことでクリーンなエネルギー源としての特長も持っており、利便性と環境調和性を併せ持つ次世代の電源である。

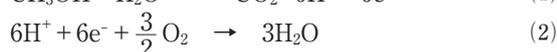
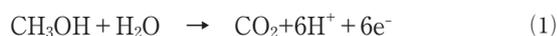
ここでは、DMFCの原理と特長、東芝での開発状況、及び規格化と規制緩和について述べる。

## 2 DMFCの基本原理

DMFCの発電原理を図1に示す。DMFCの発電部は、膜電極複合体(MEA: Membrane Electrode Assembly)と呼ばれ、電解質膜とその両側に設置した触媒層、及びガス拡散電極から構成されている。アノード(陽極)側のガス拡散電極を通して供給されたメタノールと水(H<sub>2</sub>O)は、アノード側触媒の作用で式(1)に示す反応を起こし、水素イオン(H<sup>+</sup>)、電子(e<sup>-</sup>)、及び二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が発生する。水素イオンは電解



質膜内を拡散移動してカソード側触媒層に到達し、電子は外部回路及びカソード（陰極）側ガス拡散電極を通してカソード側触媒層に到達する。カソード側触媒層では、水素イオン、電子及びガス拡散電極を通して到達した空気中の酸素（O<sub>2</sub>）が式(2)に示す反応を起こし、結果的に水が発生する。アノード側触媒で発生する二酸化炭素と、カソード側触媒で発生する水は、ガス拡散電極を通じて系外に排出される。



DMFCの理論的起電力は1.2 Vであるが、触媒反応の活性度、反応原料の供給速度、反応生成物の排出速度、電気抵抗、及びメタノールがアノードで反応せず直接カソードに到達して酸化されること（メタノールクロスオーバー）などが阻害要因になり、実際の発電電圧は理論値の半分以下である。このため、DMFCを電子機器に適用する場合は、複数個の発電部分（セル）を直列に接続し、必要に応じて直列接続の出力をDC/DC（直流/直流）コンバータによって所望の電圧に変換している。

電解質膜には水素イオンの伝導性に優れたフッ素系高分子材料や炭化水素系高分子材料が、また、アノード触媒には白金とルテニウムの合金が、カソード触媒には白金が、ガス拡散電極には炭素繊維材料が一般的に使用される。

式(1)、(2)に示す反応原料（メタノール、水、酸素）と反応生成物（二酸化炭素、水）をポンプやファン（補機）を用いて供給及び排出する方式をアクティブ型と呼び、補機を用いず自然拡散を用いて原料と生成物の供給及び排出を行う方法をパッシブ型と呼び、大別される。アクティブ型は数W～数十W程度の消費電力を持つ機器（例えばノートPC）に、パッシブ型は1 W程度以下の消費電力で設置空間の小さな機器（例えば携帯電話機、携帯音楽プレーヤ）に向けて開発が進められている。

### 3 DMFCの特長

燃料電池には、用いる燃料の種類や、電解質材料、動作温度により多くの種類があり、用途に応じた開発が進められている。例えば、東芝燃料電池システム（株）などが開発している家庭用燃料電池（1 kW級）では、天然ガスや液化石油ガス、灯油など既に供給インフラの整った燃料を用い、これらから水素ガスを生成して電力と同時に温水を供給する高い総合エネルギー効率を特長にしている。また、多くの自動車メーカーが開発中の数十 kW級の自動車用燃料電池では、高出力重視の観点から圧縮水素ガスを燃料に用いている。

DMFCが発電で排出する物質は、式(1)、(2)に示すように水（水蒸気）と二酸化炭素だけであるため、DMFCは大気汚染

のおそれのないクリーンな発電機と言える。DMFCから排出される二酸化炭素の理論値は1 kWh当り230 gで、LNG（液化天然ガス）複合火力発電からの排出量407 g<sup>(1)</sup>に比べて小さく、地球温暖化への負荷が軽い点でもDMFCに期待されている。メタノールは現在、化学合成の原料として利用され、その大部分は天然ガスを原料に製造されているが、これまで油田で燃やされている随伴ガスや再生可能なバイオマスから製造することも可能なため、DMFCは資源の有効活用にも効果があると考えられる。

DMFC以外の燃料電池や現在広く携帯用電子機器に用いられているLIBに比較した特長は、燃料であるメタノールのエネルギー密度（質量、体積両面）の高さである。常温で気体である水素燃料を高圧（300気圧）容器や水素吸蔵合金に収容した場合のエネルギー密度が0.2 kW/kg程度であるのに対して、メタノールではタンク込みでも5.26 kW/kgになる<sup>(2)</sup>。一方、LIBのなかでもっともエネルギー密度が高い円筒型でも、最近報告されている最大値は0.2 kW/kgである。LIBとの比較では、燃料のほかに発電部及び補機の体積と質量を加味し、更に、燃料利用効率を考慮する必要があるため、現在開発途上のDMFCは、質量エネルギー密度ではLIBに劣るものの、今後の開発によりLIBよりも高いエネルギー密度のDMFCが実現できると確信している。

LIBを用いた電子機器に対する不満の一つは、充電時間の長さである。携帯電話機の場合、一般的には充電警告表示後、満充電するまでに2時間程度を必要とする。一方、DMFCの場合は、燃料を携行していれば、燃料の再充填（じゅうてん）を瞬時に行え、継続して電子機器を使用できる。LIBの充電には充電器とAC（交流）コンセントが必要であるが、DMFCの場合、燃料を携行しさえすれば場所の制約がなく充電が可能になる。

## 4 東芝の最近の開発状況

当社の研究開発センターで開発した要素技術を基にして、ノートPC用（アクティブ型）とより小型の携帯機器用（パッシブ型）の両面でDMFCの開発を進めている。このDMFCの特長は、ナノテクノロジーや高度なプロセス技術を用いて形成した触媒及び触媒層による高効率発電や、独自構造による高濃度（98%）メタノールの利用（パッシブ型）、温度・燃料濃度の高精度制御による安定した運転（アクティブ型）などである。これまでの試作機及び近い将来に期待されるモックアップ（原寸模型）の用途展開を図2に示す。

その中で図3に示すパッシブ型DMFCは、2006年版ギネスブックに“世界最小のDMFC”として登録されたものである。

直近の開発成果（試作品）を図4、図5に示す。図4は、市販のハードディスク装置（HDD）内蔵の携帯オーディオプレー



やにパッシブ型DMFCを装着したものである。メタノール（濃度98%）1回の充填で、携帯オーディオプレーヤの動作時間を2から3倍に延長できる。図5は、DMFC（アクティブ型）一体型のB5サイズのノートPCである<sup>(3)</sup>。これらの試作品は、2007年1月に米国で開催されたCES（Consumer Electronics Show）や、2007年3月にドイツで開催されたCeBIT2007などの展示会で公開展示され、一般ユーザーを含めた潜在顧客の要求を収集する目的に利用されている。当社は、これら顧客要

(注1) Bluetoothは、その商標権者が所有しており、東芝はライセンスに基づき使用。



求に応えた製品をできるだけ早く市場に投入するために、開発を加速させている。

また、現在、種々のモバイル機器を持ち運ぶ際には、機器独自の充電器を携帯する必要がある、機器の数が増えると煩雑さを増す。当社は、燃料容器（カートリッジ）の共通化を提案しており、携帯電話機など比較的小型機器に対して、機器側とカートリッジ側の接合部（カップラ）の標準化が実現すると、複数のモバイル機器に対して1本のカートリッジで燃料供給ができることになり、モバイル環境での利便性向上が期待できる。更に、このカートリッジを使うことで、これまで機器ごとに必要だった充電器やACアダプタが不要になり、資源の有効活用の観点から環境負荷の低減に寄与できる。

これまでに示した試作品のうち、ノートPC以外の機器ではコネクタを共通化している。展示会では共通のカートリッジからの燃料注入を実演して、多くの見学者にカートリッジ共通化

の利便性を実感してもらった。試作したカートリッジを図6に示す。このカートリッジは、大きさが122(高さ)×62(幅)×30(厚み)mm、内容量が50ccで、次章で述べる安全性規格に適合させるために、材料や構造、強度、漏液対策、誤使用対策など多くの開発要素があるため、容器専門メーカーと共同開発したものである。



## 5 規格化と規制緩和

メタノールは、アルコールランプに用いられていることからわかるように可燃性液体である。このため、その輸送や貯蔵には安全上の配慮からいくつかの規制が課せられている。そのなかでも、携帯用電子機器にDMFCを適用する際に大きな障害になるのが、航空機内への持ち込み規制であった。

当社は、経済産業省の指導の下、日本電機工業会並びに国際電気標準会議(IEC: International Electrotechnical Commission)において他の国内外メーカーとともに小型電子機器用燃料電池の安全性規格策定を進め、IECでの暫定規格が2005年11月に決定した。2006年11月には国際民間航空機関(ICAO: International Civil Aviation Organization)

で、この暫定規格に準拠した燃料電池搭載の電子機器及び燃料容器を航空機内に持ち込むことが、いくつかの付帯条件は付くものの、2007年1月から認められた。ICAOの決定に基づき、2006年12月には国内規則も改定されている。

## 6 あとがき

DMFCは、モバイル機器の動作時間の短さや充電時間の長さに対する一般ユーザーの不満を低減できるばかりでなく、窒素酸化物や硫黄酸化物などの大気汚染物質を排出しない環境負荷の小さな新しい電源である。当社では、携帯オーディオプレーヤやノートPCへのDMFCの搭載を目指して開発を進めており、各種展示会での試作品の展示により技術の先進性を示すとともに、潜在顧客の要求を収集して早期の製品化を目指している。

また、当社が提案している共通燃料カートリッジは、1本の燃料カートリッジで複数のDMFC搭載機器に燃料を充填できるため、従来は機器ごとに必要だった充電器やACアダプタが不要になり、省資源の観点から環境負荷の低減に寄与する。

DMFC搭載機器及び燃料カートリッジは、民間航空機の客室内持ち込みが、いくつかの付帯条件が付くものの2007年1月から国際民間航空機関によって認められたこともあり、今後の普及が期待でき、更に開発を進めていく。

## 文 献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁編. 原子力立国計画 日本の選択. 東京, (社)日本電気協会新聞部, 2006, 383p.
- (2) J.Larminie; A. Dicks. 植屋治紀訳. 解説燃料電池システム. 東京, オーム社, 2004, 525p.
- (3) 小型燃料電池/PC一体型DMFC技術の開発. 東芝レビュー. 62, 3, 2007, p.12.



森 寧 MORI Yasushi D.Eng.

ディスプレイ・部品材料統括 マイクロ燃料電池開発センター長、  
工博。マイクロ燃料電池の技術、事業開発に従事。応用物理学会会員。

Micro Fuel Cell Development Center