

# 携帯電子機器用燃料電池の DC/DC コンバータによる小型化

奥田和弘・伊原征治郎

日本工業大学システム工学科  
345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1

DC/DC Converter Assisted Miniaturization of Fuel Cell for Portable Electronic Devices

Kazuhiro OKUDA and Seijiro IHARA

Nippon Institute of Technology

Gakuendai 4-1, Miyashiro, Minami-Saitama, Saitama 345-8501

Fuel cell application for mobile electronic devices such as portable computer and cellular phone requires miniaturization of the cell system, not to mention the price reduction. While electronic devices in general are driven by a small electric current, a single fuel cell generates electric power of comparatively high electric current density at the voltage lower than 1 V. Boosting its output voltage with a dc/dc converter can therefore reduce the size of fuel cell power supply system. We have conducted a design study to assess the effectiveness of this scheme in reducing the size and cost of the fuel cell power source for a cellular phone. It was shown that 5 cells were required for the fuel cell to provide duty power of a cellular phone, and that an equivalent power was available with the fuel cell consisted of 2 cells and dc/dc voltage booster reducing the size by 36%, the cost by 35%, and increasing the energy efficiency by 20%.

**Key words:** fuel cell, portable device, cellular phone, miniaturization, dc/dc voltage booster

## 1. まえがき

携帯電話やノート型パソコンなど、さまざまな携帯電子機器の新しい電源として、PEM 燃料電池が注目されている。この燃料電池は、従来電池のような廃棄処理の問題は無く、二次電池に付随する充電器の待機電力という無駄なエネルギー消費も無く、さらに、現在の携帯機器電源に多く使用されているリチウムイオン電池に比べ、エネルギー密度が高いので、携帯機器の継続使用時間の向上が可能になる。

燃料電池を応用するには価格の低下はもとより、できる限り小型軽量化することが求められる。燃料電池単セルの出力特性は低電圧で電流密度が比較的大きいのに対して、携帯電子機器の消費電力特性は一般に大きな電流を必要としない。したがって、マイクロ燃料電池の出力を dc/dc コンバータを用いて

昇圧すれば、燃料電池セル数が節減されて小型化と価格低減が期待できる。

本報告では携帯電話機を事例として、この方式を採用した場合の小型化と価格低減の可能性を分析評価する。

## 2. 携帯電話機用燃料電池の構成

携帯電話機電源に要求される電力容量を把握するため、実際に使用されている携帯電話機 (NTT-DoCoMo デジタル・ムーバ N502i Hyper, NEC 製) の消費電力を実測した。電話機は利用モードによって消費電力が異なるので、待機、i-mode 接続、電話発信、電話受信、通話、メール受信、メール発信、メール入力、インターネット閲覧、及びデータ送信の各利用モード別に測定を行なった。測

定対象の電話機は、容量 550mAh、定格電圧 3.6V、連続通話時間 120 分のリチウムイオン電池を電源に使用するものであるが、直流安定化電源を使って駆動電圧を 4.8V, 4.2V, 3.6V, 及び 3.3V に変えて、それぞれ消費電流を測定した。

測定結果を図 1 に示す。携帯電話機が最も電力を消費するのは通話受信モードで、そのうち、バックライト、スピーカー、バイブレーターが一斉に電力を必要とする着信時である。また、駆動電圧が低い方が一般に消費電力が少ない特性があるが、携帯電話を安定に動作させるには 3.3V 以上の電源電圧が必要で、この電圧値での最大消費電流は 372mA であった。

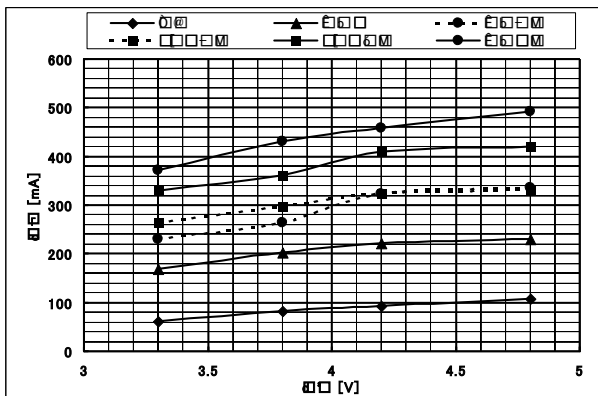


図 1. 携帯電話機の消費電力

PEM 燃料電池の電流電圧特性の代表的な数値として、Nafion®単セルのデータ[1]を図 2 に示す。図の特性と携帯電話機の作動電流・電圧を合わせて考察すると、セルの電流密度よりも電圧が、設計を決める優先要因になる。現状の単セルの実用的な出力電圧を 0.8V と見なせば、出力電流密度はおおよそ 0.25A/cm<sup>2</sup> と推定される。

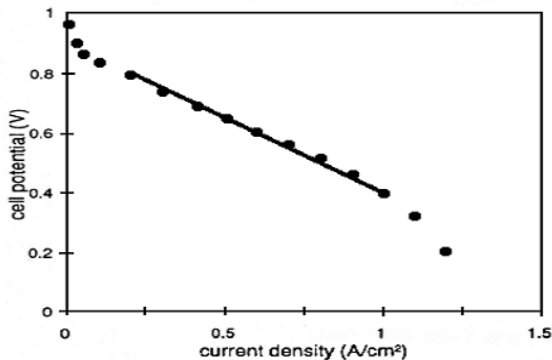


図 2. 燃料電池の電流電圧特性[1]

### 5 セルシステム

燃料電池で 3.3V 以上の出力電圧を得るには、5 セルを直列に積層する必要があり、結局 4V の出力電圧となる。この電圧での最大消費電流値は 450mA と測定された。出力電流密度を 250mA/cm<sup>2</sup> とすると、この電流を賄うのに必要な PEM 面積は 180mm<sup>2</sup> である。

PEM とセパレータで図 3 のようにセルを構成する。PEM 有効縦幅 70mm、セパレータ接着まち 5mm、合計縦幅は 80mm 一定とし、PEM 面積は膜の横幅 H を調整することによって得ることとする。

5 セルを積層するために 6 枚のセパレータを使用する。セパレータは機械的強度が要求され、現在の開発目標は片面に溝を彫ったもので 1.5mm 程度、両面に溝があるもので 2mm 弱である。また、PEM と電極膜の部分の厚さは 0.8mm 程度と推定した。したがって、5 セル燃料電池の厚みは 16mm 程度になり、現状のリチウムイオン電池が厚いもので約 7mm 程度であるから、携帯電話機への搭載には厚過ぎるといえる。薄くするために並列に配置すると、同じ面積の二層の燃料電池に比べ膜の有効面積が減少して、高価な白金触媒が無駄になり望ましくない。

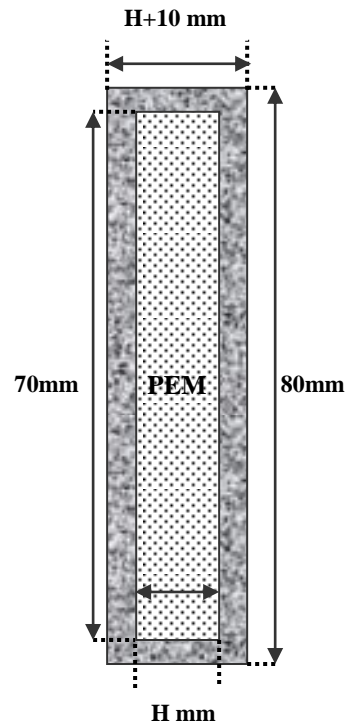


図 3. PEM 及びセパレータの寸法

上のように、セパレータの厚みはセル両端が 1.5 mm, 中間用が 2mm, PEM 及び電極厚み 0.8mm とし、燃料電池の体積を次の式で見積もる。

$$\text{体積} = \{(\text{セル数}-1) \times 2 \text{ mm} + 2 \times 1.5 \text{ mm} + \text{セル数} \times 0.8 \text{ mm}\} \times \text{セパレータ面積} \quad (1)$$

図 3 で PEM 面積を上記の値 180mm<sup>2</sup> とすると、セル面積 1,006mm<sup>2</sup> で、体積は 15,090mm<sup>3</sup> になる。

### 2 セル昇圧システム

セルの厚みと体積の大部分を占めるセパレータの枚数を最少にすれば、燃料電池は小型になり、価格も低減することが期待できる。燃料電池単セルの電流密度は携帯電話を駆動するのに十分な大きさであるが、電圧はかなり不足する。したがって、セル数を必要最小限にして、電圧を要求される値に昇圧すれば良いと考えられる。昇圧器 (booster) に使用する dc/dc コンバータには、ごく小型のものが安価に量産されている。

dc/dc コンバータは、昇圧比を高く選ぶと価格が高くなり、変換効率は低下するので、この場合、2 セルで 1.6V の起電力を得て、所要電源電圧 3.3V に昇圧する設計で試算を行う。昇圧比は、したがって、2.06 とする。

電源電圧 3.3V で測定された電話機の最大消費電流は 370mA であるが、余裕を見込んで、コンバータの最大出力電流を 400mA とする。

試算には、リニアテクノロジー社製 dc/dc コンバータ LTC3402 のデータ[2]を用いた。作動電圧範囲 0.5~5V, スイッチ電流定格 2A, 可変出力電圧 2.6~5V で、寸法は高さ 1mm, 幅 3mm, 奥行き 4.9mm であるが、周辺回路を含めた大きさをそれぞれ 5mm, 9mm, 15mm とし、これに携帯電話機へ搭載する際の占積余裕を見込み、昇圧器の体積を 1,000mm<sup>3</sup> とした。昇圧器変換効率  $\eta_c$  は最大 97% であるが、昇圧電圧と出力電流によって変化する。1.2V から 3.3V に昇圧する場合の効率は、製品カタログ掲載の出力電流対変換効率の曲線から、75% と推定された。コンバータの 1 次電流と、2 次電流すなわち電話機への供給電流との関係式、

$$1\text{次電流} = \frac{2\text{次電流}}{\eta_c} \times \text{昇圧比} \quad (2)$$

によって、1 次電流すなわち電池の供給電流を計算すると  $(400\text{mA} / 0.75) \times 2.06 = 1,098\text{mA}$  が得られる。

この電流を供給するのに必要なセルの膜面積は 440mm<sup>2</sup> で、セパレータの面積は 1,303mm<sup>2</sup> となる。したがって、式(1)より燃料電池体積は 8,600mm<sup>3</sup> になり、これに昇圧器体積 1,000mm<sup>3</sup> を加え、合計 9,600mm<sup>3</sup> となる。

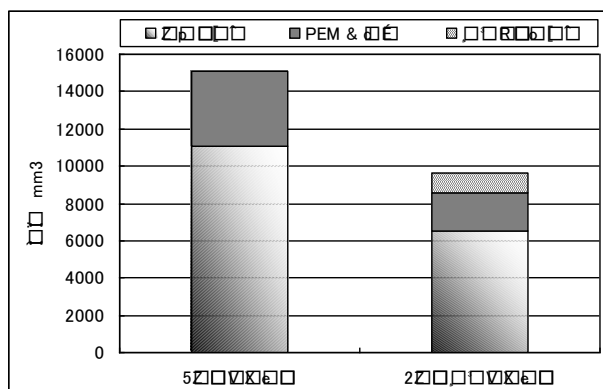


図 4. 燃料電池電源システムの体積

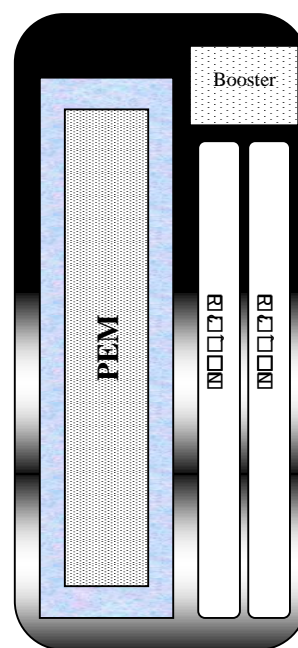


図 5. 燃料電池電源システムの電話機内配置例

5セルシステムと2セル昇圧システムの体積の比較を図4に示す。2セル昇圧システムの体積は、5セルシステムのそれより約36%小さくなる。

2セル昇圧電源システムの電話機内の配置は、例えば、図5に示すようになる。電話回路、スピーカなどは、主として、PEMの裏側に納められる。電話機躯体を薄く保つために、水素貯蔵用の円筒形圧力容器は2本に分割して、直径10ミリとする。

### 3. 連続通話時間

燃料電池を電源に使用する携帯電話機の連続通話可能時間は、通話電流と燃料電池の水素消費量との関係から、以下のように、簡単に見積ることができる。

直列セル数  $N$  の燃料電池が、電流  $I$  [A] を1分間発生するときに消費する水素の量  $Q$  [cm<sup>3</sup>/min] は、

$$Q = \frac{6.969IN}{\eta} \quad (3)$$

の関係式で表せる。ここで  $\eta$  は燃料電池の変換効率で、以下の試算では0.52と仮定する。

通話中の電流値は、5セル4Vシステムの場合210mAである(図1)から、式(3)より、水素消費量は毎分14 cm<sup>3</sup>となる。2セル3.3V昇圧システムの通話電流は170mAであるが、これを供給する燃料電池出力電流値は式(2)より412mAであり、通話の水素消費量は毎分11 cm<sup>3</sup>になる。水素消費量は  $IN$  に比例するので、式(2)で算出される燃料電池出力電流が525mA以下になれば、2セルシステムの方が水素消費量は少ない。

図5のように配置した燃料タンクは、Booster(昇圧器)が薄いので、長さは少なくとも80mm程度にできる。したがって、直径約10mmの円筒2本で、容積合計約12 cm<sup>3</sup>の水素貯蔵空間を設けることが可能である。貯蔵方式を圧縮水素ガスとすると圧力に比例する水素貯蔵量が得られ、上記の通話毎分の水素消費量から、連続通話時間が算出される。また、貯蔵方式をミッシュメタル系の水素吸蔵合金とすると、体積比(H<sub>2</sub>/M)300~700が可能であり[3]、同様に連続通話時間が算出される。

圧縮水素ガスの圧力(8~40 MPa)及び水素吸蔵合

金の水素貯蔵体積比(MH300~700)に対する、連続通話可能時間を図6に示す。圧縮水素貯蔵の場合、現在のリチウムイオン電池の連続通話時間約2時間より長い通話時間が、貯蔵圧力15 MPa以上で得られる。一般的に言えば、燃料電池電源システムは、携帯電話の通話時間を従来電池の2~6倍程度長くすることが可能である。

燃料電池電源の間での比較としては、この事例の場合、5セルシステムよりも2セル昇圧システムの方が約20%長い通話時間が得られる。

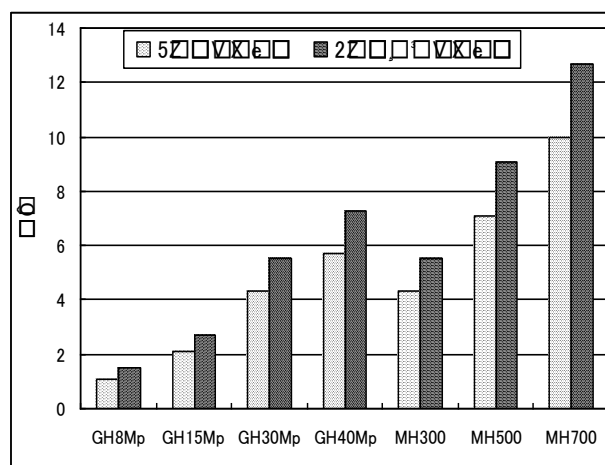


図6. 水素貯蔵方式と連続通話時間

### 4. コスト比較

燃料電池価格の現状と将来予測については詳細な分析の報告[4]があり、セパレータ、電極、及びPEMなどの構成素材価格が、ある程度の確度で把握されている。それらを参照して、電極とNafion®の1m<sup>2</sup>当たりの価格を、それぞれ170,000円、60,000円とする。携帯電話機用小形燃料電池のセパレータは、現在は特注でのみ存在し得る状況にあるため、初期価格を10,000円、量産開始時の生産量を44万枚と仮定して、次の学習曲線を用いて概算した。

$$Y = aX^{-r} \quad (4)$$

ここで、 $Y$ は単位生産コスト、 $a$ は単位生産コストの初期値、 $X$ は累積生産量を意味する。指数 $r$ は累積生産に伴うコストの減少割合を表す指数で、進歩指数 $F$

のデータを用いて  $|r| = \frac{\log F}{\log 2}$  の関係式で算出される。現在の PEM 燃料電池セパレータは  $F = 0.78$ , したがって  $r = 0.358$  と推定されているが, ここでは新たな構造のセパレータの量産開始を考慮して, 高めの価格となるように  $F = 0.86$ ,  $r = 0.271$  とした。セパレータ価格は, 量産開始直後 596 円/枚になる。また, 昇圧用 dc/dc コンバータの小ロット販売価格は, 現在 400 円/個である。

これらのデータから, 両システムを構成する各部品のコストが以下のように推定される。

### 5 セルシステム

PEM	180 mm <sup>2</sup> × 5 枚	54 円
電極	180 mm <sup>2</sup> × 10 枚	306 円
セパレータ	6 枚	<u>3,576 円</u>
合計		3,936 円

### 2 セル昇圧システム

PEM	440 mm <sup>2</sup> × 2 枚	53 円
電極	440 mm <sup>2</sup> × 4 枚	299 円
セパレータ	3 枚	1,788 円
dc/dc コンバータ	1 個	<u>400 円</u>
合計		2,540 円

すなわち, 昇圧することによって, 量産初期段階の価格は 35 % の低減が期待できる。

## 5. おわりに

携帯電子機器は一般に大きな電流を必要とすることが少なく, 小形の燃料電池単セルで対応できる範囲にある。しかし, 燃料電池単セルの実用的な出力電圧は原理上 1 V 以下であるために, 複数のセルを積層して用いることになる。このセルの数は, 出力電圧を昇圧することによって節減される可能性がある。

本報告では携帯電話機を事例として, 燃料電池の起電力を昇圧した場合の, 小型化と価格低減の可能性を分析評価した。試算の結果, 昇圧システムを採用することによって, 燃料電池電源システムは約 36 % 小型化され, 同時に約 20 % の効率向上と, 約 35 % の価格低減の効果が期待できることを示した。

PEM セルの出力電流密度は, 出力電圧 0.8 V のとき, 現状は約 0.25 A/cm<sup>2</sup> であるが, 研究開発の趨勢では 0.5 A/cm<sup>2</sup> 程度が可能になる期待がある。本文では現状値を採用して, 2 セル昇圧システムの体積は 9.6 cm<sup>3</sup> となったが, 将来はこの半分程度になる可能性がある。

燃料電池単セルの特徴である低い出力電圧と, 比較的高い電流密度の特性は, 本来的に, 携帯電子機器の電源に適合する。昇圧システムを設けることによって, より小型化, 低コスト化した燃料電池が, 携帯電子機器用電源として普及すると予想される。

## 参考文献

1. F. Barbir and T. Gómez: Efficiency and Economics of Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell, Int. J. Hydrogen Energy, **21**, 891-901 (1996)
2. Linear Technology 製品速報, LTC.3402, 2000 年 9 月
3. 大角泰章: “水素吸蔵合金の話”, アグネ叢書 1, 1990, p81
4. 榎屋紀治, 小林紀: 学習曲線による燃料電池のコスト分析, エネルギー資源, **24**, 273-278 (2003)