New Technology Reports

FOMA端末用のマイクロ燃料電池の試作

FOMA端末は，高機能化に伴い消費電力が増える傾向にあり，内蔵の電池の高容量化が求められている．そこで現状のリチウムイオン電池から高容量化が望めるマイクロ燃料電池に切り替えるための検討・試作を行った．

竹野 和彦（たけの かずひこ）　金井 孝之（かない たかゆき）　代田 玲美（しろた れみ）

1. まえがき

FOMA（Freedom Of Mobile multimedia Access）端末は，テレビ電話機能の搭載，パケ・ホーダイの導入に伴うi-motionやiアプリの利用増に伴い，消費電力が増える傾向にある．さらに，将来はディジタルテレビ対応などのアプリの導入も予定されており，消費電力が増加することが予想される．一方，移動端末に使われているリチウム（Li：Lithium）イオン電池は，高エネルギー密度電池で現在の移動端末の普及に大きく貢献してきたが，今以上の大幅な容量増加は見込めない．

近年，高容量化や環境負荷軽減に有効なマイクロ燃料電池をノートPCなどのモバイル機器に適用する検討が盛んになってきた．従来の燃料電池は，自家発電機（数百kW以上）などの装置として実用化してきたが，新しくDMFC（Direct Methanol Fuel Cell）型のマイクロ燃料電池が提案され，数W程度の小型化が実現できる可能性が出てきた．そこで，FOMA端末に最適な燃料電池の開発を目指して，その燃料電池に求められる性能に関する技術的な検討を行い，試作を実施した．

本稿では，従来の移動端末用のLiイオン電池や現状のマイクロ燃料電池の状況の紹介，検討・試作結果および今後の進め方について述べる．

2. 移動端末用の電池・充電器の現状

移動端末の電源系の構成を**図1**に示す[1]．移動端末の電池を充電する場合，交流電流（AC：Alternating Current）はACアダプタを介して直流電流（DC：Direct Current）へ変換され，移動端末へ入力される．その電力は，電池の充電制御を行う回路を介してLiイオン電池パックに入力され，充電に使われる．この電池は高エネルギー密度蓄積や高電圧（約3.6V）が特徴であり，移動端末の小型化に大き

く貢献してきた．しかし，ここ数年はこの電池の高エネルギー密度化は鈍化しており（**図2**），今後はこの電池に代わる新型電池の登場が必要とされている．その1つの有力な候補が燃料電池である．

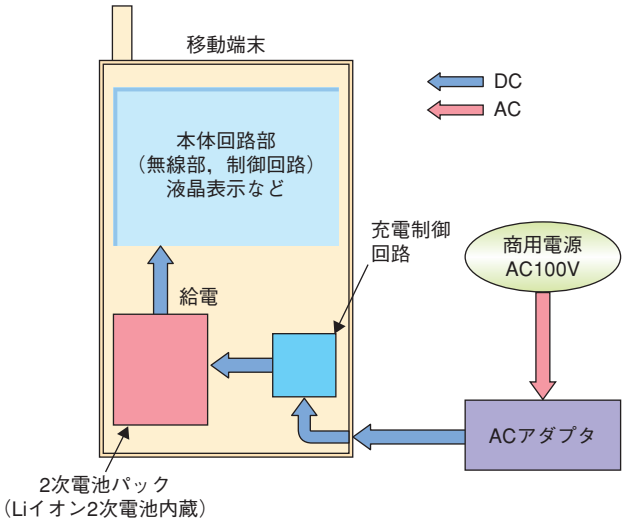


図1　移動端末の電源系構成

前述の移動端末用のACアダプタは，従来，移動端末の製造メーカごとに充電仕様や電池仕様が異なっていたので，端末の製造メーカごとに必要であった．しかし，ユーザの利便性やACアダプタのコスト低減を目的として，FOMA端末では充電仕様の共通化を実施した．その結果，今後すべてのFOMA端末に共通で使用できるACアダプタを実現している．

3. 燃料電池の概要と現状

表1に燃料電池の種類を示す．動作温度や燃料の種類や構造の簡易性より，移動端末の小型機器に適した方式としてDMFC型が候補である．この燃料電池の原理を**図3**に示す．従来の燃料電池は燃料に水素を用いてきたが，DMFC型ではメタノール（CH_3OH）を用いて，燃料極側の電極面で白金（Pt）触媒反応により，水素イオン（H^+）を発生させ，次式のように空気極側での発電反応を行っている．

燃料極：$CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$

空気極：$6H^+ + 3/2O_2 + 6e^- \rightarrow 3H_2O$

この燃料電池の方式は，燃料および空気（酸素）は自己

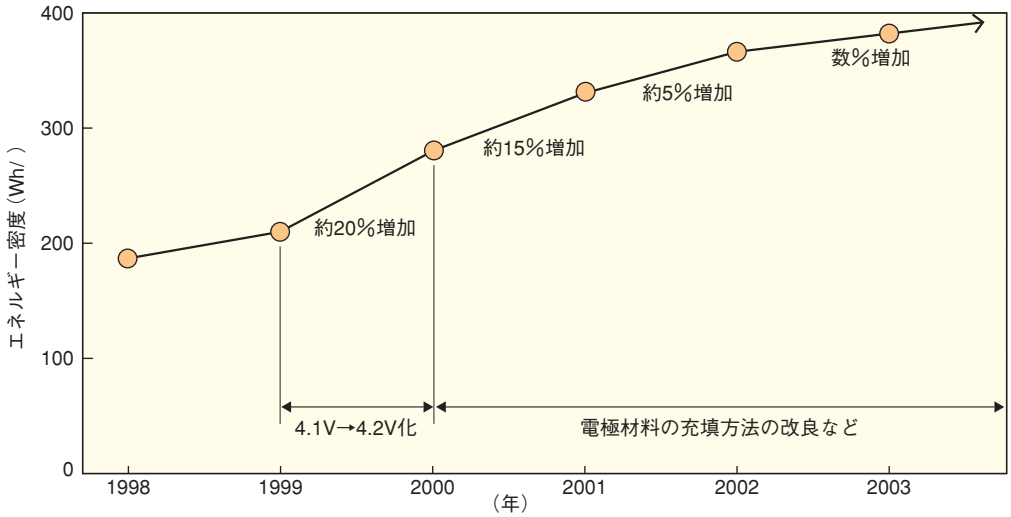


図2　Liイオン電池のエネルギー密度の変遷

表1　燃料電池の種類

	リン酸型（PAFC）	溶融炭酸塩型（MCFC）	固体電解質型（SOFC）	固体高分子型（PEFC）	ダイレクトメタノール型（DMFC）
燃料	水素（改質ガス）	水素（改質ガス），一酸化炭素（改質ガス）	水素（改質ガス），一酸化炭素（改質ガス）	水素（改質ガス）	メタノール水溶液
電解質	リン酸	炭酸リチウム／炭酸カリウム	安定化ジルコニア	イオン交換膜	イオン交換膜
イオン伝導種	水素イオン	炭酸イオン	酸素イオン	水素イオン	水素イオン
動作温度	約200℃	約650℃	約1,000℃	常温～約100℃	常温～約50℃

MCFC：Molten Carbonate Fuel Cell　　PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell
PAFC：Phosphoric Acid Fuel Cell　　SOFC：Solid Oxide Fuel Cell

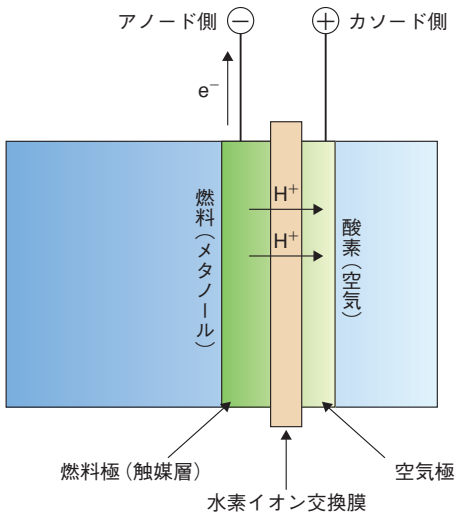


図3　DMFC型燃料電池の原理

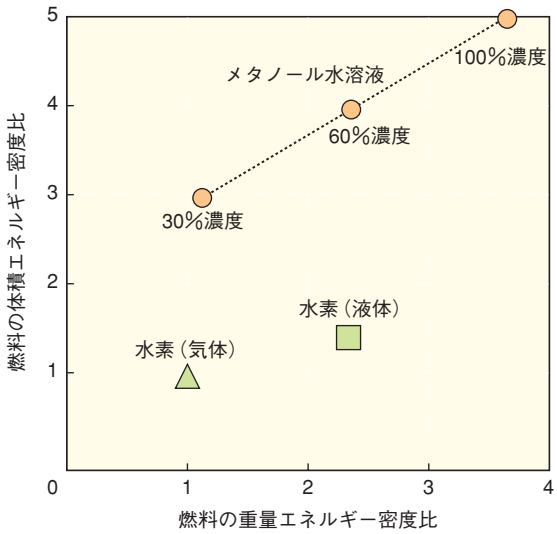


図4　各燃料のエネルギー密度

呼吸式と称して自然に燃料や空気が供給され，従来の燃料供給ポンプや改質器などの大規模な付加装置が必要であった燃料電池と比較して単純な構成であり，移動端末などの小型の電子機器に適している．さらに，危険で十分な管理が必要な水素ガスを取り扱う必要がないので，安全性という点でも優れている．また，**図4**のようにメタノールは水素（ガス，液体）と比較してエネルギー密度が高く，電池容量の大幅な増加が期待されている．

なお，メタノールを使った燃料電池の例として，ノートPC向け燃料電池の試作が発表されている．この燃料電池は，出力密度を高めるために燃料や空気を強制的に送り込むポンプなどの補助装置が組み込まれているタイプ（補機式DMFC型）である．FOMA端末用に開発しているものは，前述の自己呼吸式DMFC型が主流であるが，出力しにくいなどの課題が残されているため発表例は少ない[2, 3]．

4. 移動端末用マイクロ燃料電池の要求条件

現在，盛んに研究開発が行われているノートPC向けの燃料電池に比べ，移動端末向けの燃料電池は格段に高い要求条件が必要である．

表2に，主な移動端末向けの燃料電池の課題を示す．

表2の方向性フリー（任意の方向での動作可能性）に関しては，ノートPC用燃料電池では通常，机などに設置して使用するので，ほぼ一方向で動作することを想定して試作されているため，その方向以外では動作保証がされていない．しかし，移動端末は使用形態や保管形態に応じて，任意の方向で待受けや通話を想定する必要がある．そのため移動端末用燃料電池は，任意の方向での発電が必要である．さらに，燃料電池が発電した場合，若干の水蒸気が発生するが，この水蒸気が結露して水分が発生することを防ぐ必要がある．このために水分が発生しても，発生した水分を燃料電池の反応に再び使う工夫により，外部に水分が出ないことが必要である．

表2　移動端末用燃料電池の課題

開発項目		重要度
機構関係	方向性フリー	◎
	結露対策	◎
	小型軽量化	◎
イオン交換膜性能	寿命	◎
	出力密度	○
	温度特性	○
	起動時間	○
昇圧回路	共通充電仕様 高効率化	◎

電池の基本的特性である寿命（サイクル特性）については，通常のLiイオン電池と同程度の約500回の充放電まで持っていく必要がある．さらに，単位面積あたりの出力密度が燃料電池の容量となるので，その向上が求められている．一般的な自己呼吸式DMFC型燃料電池の試作例では出力密度は10～20mW/cm^{2}程度であるが，最低でも30～50mW/cm^{2}は必要であり，そのためにイオン交換膜の出力密度の向上が必須である．そのための開発要素としては，メタノールのクロスオーバー現象（水素イオン交換膜を水素イオンではなく，メタノールが通過してしまう現象）を抑えることである．そのために，水素イオンは透過するが，メタノールを透過しにくい膜の開発が必須である．

なお，昇圧回路については，FOMA共通充電仕様に準拠

するように電圧・電流を制御する動作が必要であり，スイッチング電源技術を用いて高効率に動作させる回路構成が考えられる．

5. マイクロ燃料電池の試作結果

前章での移動端末用マイクロ燃料電池の課題に対して検討を行い，FOMA端末向けの燃料電池の試作結果を述べる．

図5に試作機のブロック図，**写真1**に試作機の外観，**表3**に仕様を示す．図5に示すように，反応セルは6直列2並列の構成になっており，中央部分に燃料層を配置して，燃料層を挟むように反応セルの燃料極を配置する．反応セルの空気極側は外側（上側と下側）に配置して，空気（酸素）が供給されるように配置する．また，1つの反応セルで約0.6Vの起電力が発生するので，6直列2並列の場合，約3.6Vの電圧が発生する．この電圧をFOMA端末が必要とする5.4Vまで昇圧するために，高効率で安定した電力を出力することができる昇圧型スイッチング電源（DC/DCコンバータ）を採用した．

今回のFOMA端末用の燃料電池は，FOMA端末の充電用および通話時の電力アシストを目的として設計されている．この両方の機能を実現するために，写真1のように燃料電池をFOMA端末にドッキングさせて充電および通話が可能なクレードルタイプ（置き台タイプ）の形状とした．また，本試作は30％濃度のメタノール水溶液を燃料カートリッジから反応セル部分に供給する方式を取っている．1個のカートリッジには約22ccの燃料が入っており，約3Whの発電（800mAhのLiイオン電池パックを1回充電する電力量）が可能である．なお，燃料が無くなった場合は，燃料カートリッジの交換のみでよく，短時間（数分）に発電開始が可能であり，従来のLiイオン電池の90分程度の充電時間と比較して，大幅な改善が図れる．

図6は，本試作機の1つの反応セルの発電時の出力特性

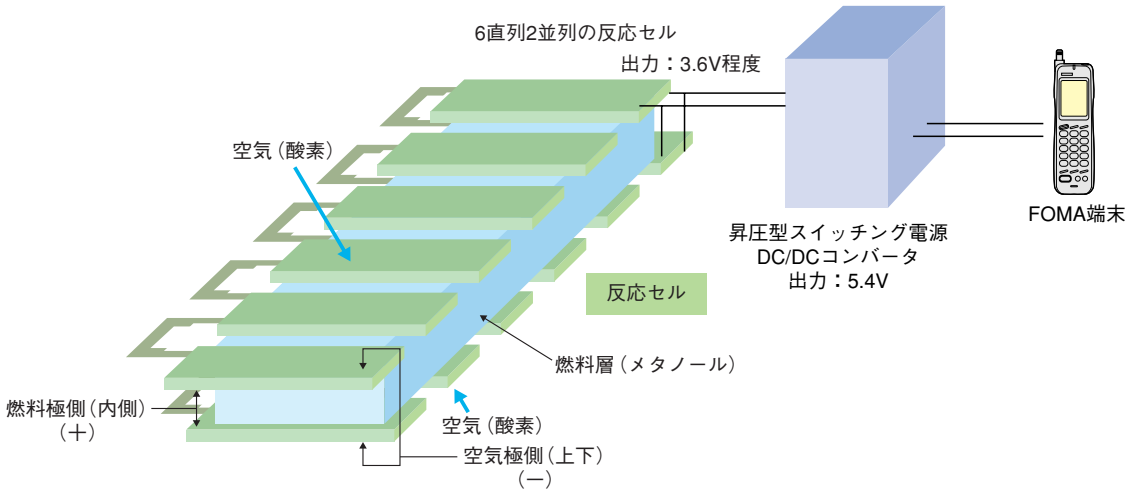


図5　FOMA端末用燃料電池の試作機のブロック図

写真1　燃料電池の試作機外観

を示している．電流密度の増加とともに電圧が低下する特性であることが分かる．その際，電流と電圧の積である出力密度はある値で最大値を示す．今回採用した反応セルの出力密度は約50mW/cm^{2}となり，前章で想定した条件である30～50mW/cm^{2}の目標を達成した．

図7は，FOMA端末のLiイオン電池を本試作機で充電した場合の電流・電圧特性のデータを示している．本発電は800mAh程度の発電量に相当し，電池パック1個が充電可能な性能を保持している．

FOMA端末用の燃料電池の課題の1つである方向性フリーに関して，**図8**に反応セルの構成図を示す．6直列2並列の反応セルにおいて，設置方向や燃料自体の量が変化した場合，燃料の液面が変化する可能性があるが，反応セルを分割（6直列2並列）して，液面が変化しても，最低限必要な燃料が反応セルに接する面積を確保するための最適な配置（液面と燃料極の最適設置構造）を行って発電量を確保している．さらに，液面の変化によって出力電圧は変化するが，DC/DCコンバータによって電圧変化分を補う構成になっている．したがって，図8(b)のように燃料が少なく

表3　試作燃料電池の仕様

タイプ	DMFC型（ダイレクトメタノール）
サイズ	約180cc
燃料	メタノール水溶液22cc（30％濃度時）
燃料供給方法	カートリッジ式
出力容量	約3Wh（22cc時）
出力電圧	5.4V

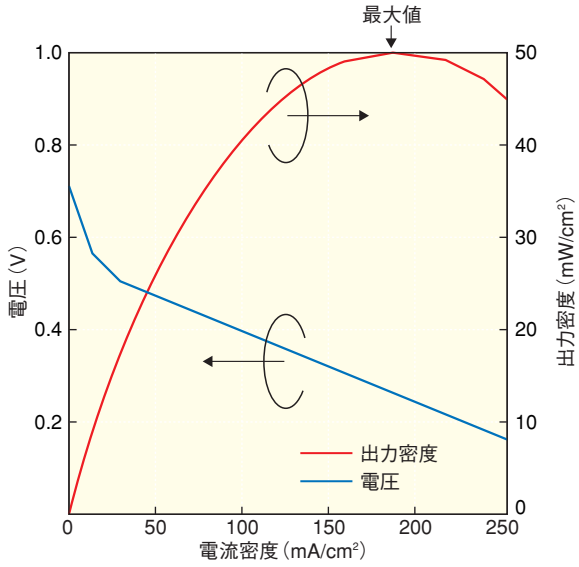


図6　試作機の出力特性

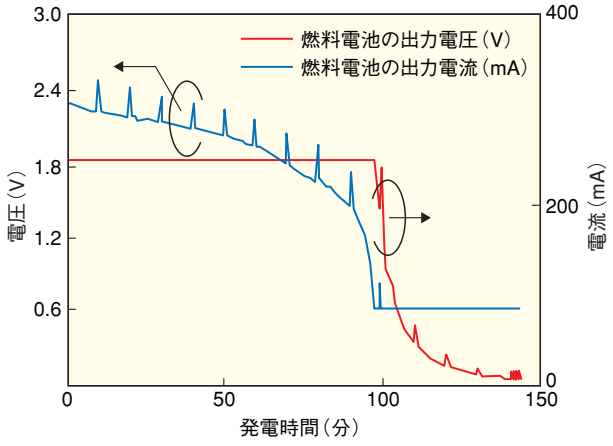
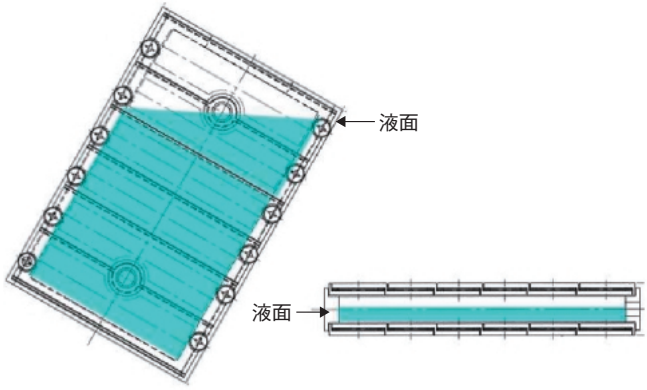


図7　試作機の電流・電圧特性



（a）燃料不足時（斜め方向）　（b）燃料不足時（横方向）

図8　方向性フリーの反応セル構成

表4　燃料電池の水素イオン交換膜の特徴

イオン交換膜	メタノール透過速度	平均出力電圧（V）
ナフィオン（従来例）	1	0.45
芳香族炭化水素系膜（今回使用材料）	0.1	0.39

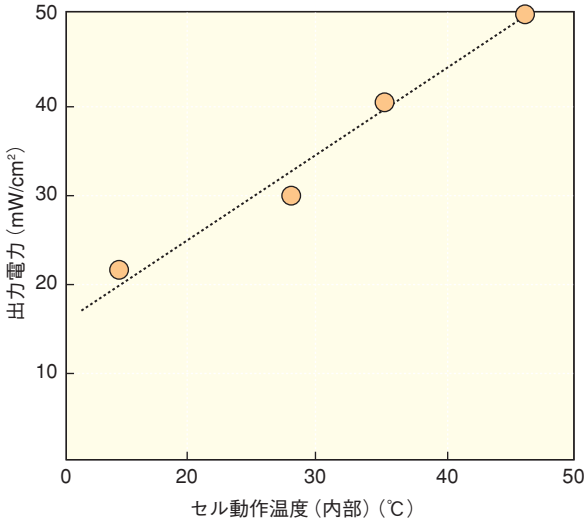


図9　燃料電池の温度特性

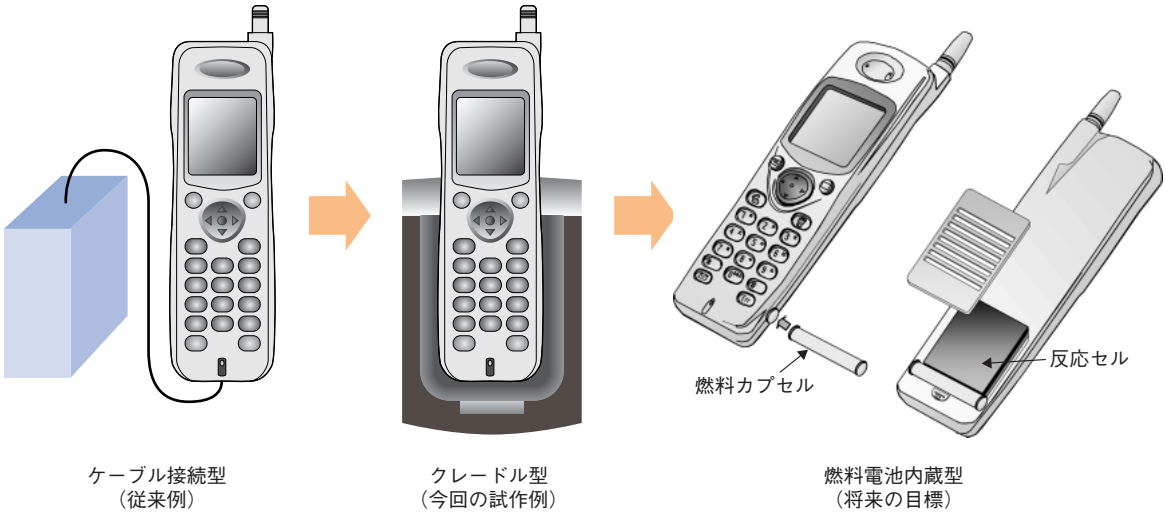


図10　燃料電池の開発方針

表5　燃料電池の安全性の評価案

安全性の確認項目（案）	確認内容	判断基準（案）
機構的項目	破壊，圧壊	加熱，発火，破裂が無いこと
	落下，振動	加熱，発火，破裂が無いこと
電気的項目	内部，外部短絡	加熱，発火，破裂が無いこと
	過電流，過放電	保護回路が動作すること
環境的項目	高温，低温試験	加熱，発火，破裂が無いこと
	水没，漏液確認	正常に動作すること

なり下部の反応セルにしか接しなくなった場合でも，必要な発電力を確保できる．

次の課題のメタノールクロスオーバー低減の対策については，従来の多くのDMFC型燃料電池で使われているフッ素系の固体電解質膜（ナフィオン）[2]の代わりに新素材である芳香族炭化水素系膜[4]を採用した（**表4**）．本膜の採用により従来の膜と比較してメタノールの透過速度が約1/10であるので，クロスオーバーを抑えて，無駄な燃料ロスを抑えることができるので，出力密度の向上に寄与できた．

図9は，燃料電池の課題である今回の試作機の温度特性を示している．今回の試作機では内部の反応セルの動作温度を約45℃程度に保ち動作させたが，動作初期や低温環境下では，出力が低下することが分かる．この温度変化に対する対策として，反応時に発生する熱を反応セルの保温に使う機構（断熱材の導入など）が必要である．これは，外部への熱拡散を防ぐことであり，その別効果として外部筐体温度上昇を抑える効果がある．

本試作機では，1回の燃料の充填で，FOMA端末の内蔵電池の1個分の容量を持っているので，通話時の電力のアシストを行わせる場合，端末の内蔵電池とあわせ，2倍の通話時間が確保できる．さらに，今後はエネルギー密度の改良を実施し，1回の充電で3個分の容量を達成し，FOMA端末の内蔵の電池とあわせ，4倍の通話時間を実現し，商品化を目指す．

6. 今後の課題と動向

今回の試作機はFOMA端末を外付けにするマイクロ燃料電池を開発した．今後の方針としては，**図10**に示すようにクレードル型燃料電池の商品性向上の取組みと，燃料電池をFOMA端末に内蔵する取組みを進めていく．燃料電池をFOMA端末の内蔵電池に置き換えるためには，燃料電池の小型化，高効率化，大容量化，燃料供給の方式，発熱・排ガス対策など，多くの課題がある．

さらに，燃料電池の安全性の問題も重要であり，上記の取組みを進めると同時に，従来の電池の安全評価[5]を参考にして，燃料電池の安全性評価方法の確立を進めていく．**表5**はFOMA端末用の燃料電池として考慮すべき安全性評価の案を示す．機構的，電気的，環境的な試験項目をFOMA端末の使用形態に沿って策定していく方針である．

その他の燃料電池の課題として，燃料カートリッジの規格・商品化の推進や，燃料電池自体の航空機持込み規制に関する世界的な規制緩和の状況を見極めていく．

7. あとがき

本稿では，マイクロ燃料電池の状況やFOMA端末に適した燃料電池の要求仕様や，それに基づいた試作結果について述べた．今後の方針としては，本試作機の充電回数の性能向上に取り組むとともに，内蔵化や安全性に関する検討を実施する予定である．

文　献

[1] K.Takeno, et al: “Methods of energy conversion and management for commercial Li-ion battery packs of mobile phones,” Proceeding of Intelec03, pp.310-316, 2003.

[2] 市村：“携帯型燃料電池の技術動向,” NTT Building Technology Institute, pp.1-6, 2003.

[3] 2004年度燃料電池材料研究講座：“メタノールを燃料とする携帯用燃料電池,” 講演要旨集（高分子学会），2004年10月.

[4] 富士通研究所：“高濃度燃料で長時間駆動可能なマイクロ燃料電池を開発,” 富士通プレスリリース，2004年1月26日付報道資料.

[5] 竹野，興梠：“携帯電話用バッテリーの評価技術,” 本誌，pp.42-46，Vol.10，No.2，Jul.2002.

用 語 一 覧

AC：Alternating Current（交流電流）
DC：Direct Current（直流電流）
DMFC：Direct Methanol Fuel Cell
FOMA：Freedom Of Mobile multimedia Access
MCFC：Molten Carbonate Fuel Cell
PAFC：Phosphoric Acid Fuel Cell
PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell
SOFC：Solid Oxide Fuel Cell