

平成 22 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560301

研究課題名 (和文) ベローズ型ダイレクトメタノール燃料電池の研究

研究課題名 (英文) A New Direct Methanol Fuel Cell Employing a Bellows-Type Assembly

研究代表者

谷内 利明 (YACHI TOSHIAKI)

東京理科大学・工学部電気工学科・教授

研究者番号：90349845

研究成果の概要 (和文)：量産化に適したマイクロ燃料電池として、MEA (膜電極接合体) を蛇腹状に重ねて構成するベローズ型 DMFC を考案し、実際に製作してその安定な動作を確認した。ベローズ型 DMFC では、セル面内での出力の均一化を図るため空気拡散膜を挿入する構造とした。また、集電法として縫込み集電法を新たに開発した。さらに、ベローズ型 DMFC と同様の構成によるフレキシブル型 DMFC を提案し、その安定な動作も確認した。

研究成果の概要 (英文)：It has been proposed a new direct methanol fuel cell employing bellows type assembly that is suitable for mass production. It has been shown a steady operation of the bellows type DMFC with an inserting air diffusion layer and a sewing conductive wire. It has been also proposed a flexible type DMFC with high flexibility and measured its steady operation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：電気エネルギー工学、エネルギー発生、マイクロ燃料電池

1. 研究開始当初の背景

(1) いつでも、どこでも、誰でもが情報を自由に、安価に利用できるユビキタス情報社会を迎えているが、その要となる携帯電話、ノートパソコン、さらに各種ロボットなどのモバイル機器では、サービスの高度化、取り扱う情報量の増大に伴い消費電力は鰻上りに増大している。このため、従来のリチウムイオン二次電池に代えて、1桁大きいエネルギー密度が期待できる液体燃料 (特にメタノール) を用いたダイレクトメタノール型マイクロ燃料電池 (DMFC: Direct Methanol Fuel Cell) の研究開発が活発に進められている。

(2) 開発中の DMFC の構造は、全て数センチメートル角の平板を単セルとして、平面状に接続するかまたはバイポーラプレートを介して積み重ねる構造となっている。このため、出力電力や出力電圧を大きくするには複数の単セルを接続する工程を必要とするが、前

者では平面の表と裏を繋ぐ接続が必要であり、後者では燃料や空気が漏れないように多数の基板を平面前面でリークがないように重ね合わせる必要がある。したがって、これらの燃料電池セル構造では、製造コストが高くなると共に大量生産には不向きとなっている。

2. 研究の目的

(1) 量産化に適した DMFC として、新たに考案した膜電極接合体 (MEA: Membrane Electrode Assembly) を蛇腹状に重ねて構成するベローズ型 DMFC を実現する。

ベローズ型 DMFC は、中央に円形の小孔をあけた六角形または四角形に形成した複数の単セル MEA を、縁と小孔部を交互に繋ぎ合わせて提灯状の構造とし、全体をメタノール容器に浸して外側から燃料を供給すると共に、小孔を通じて内側から空気を供給する。これにより、MEA を繋ぎ合わせるだけという自動化に適した特徴を有すると共に、メタノール容器に全体を浸すことにより燃料を複数方向から大量に供給でき高出力化が期待できる。

(2) 高性能のベローズ型 DMFC の実現のため、以下の技術的な課題の解決を図る。①燃料および空気の平面内での供給メカニズムや生成物である CO_2 および水の排出メカニズムを解析して供給・排出の効率化を図る。②単セル MEA の寸法と出力電力の関係を明らかにしてその最適形状化を図る。③ベローズ型 DMFC を作製するための単セル MEA の最適な接続法 (集電法) を明らかにする。④ベローズ型 DMFC 内の出力分布 (温度分布) を解析し、空気および燃料の供給法を最適化して出力の均一化を図る。

3. 研究の方法

(1) ベローズ型 DMFC を作製して実験によりその特性を把握した。セルは、8cm 四方の Nafion117 電解質膜の表裏に 6cm 四方のカーボンプラーク電極を持つ MEA を 2 枚用いた。カーボンプラーク電極の中央には 3cm 四方の穴を設けた。燃料極には Pt-Ru を空気極には Pt をそれぞれ $3\text{mg}/\text{cm}^2$ 担持した。集電にはカーボンプラークに導線を縫いこんだ縫込み集電法を新たに用いた。空気供給にはエアポンプを用いた。空気流量は $0\sim 1.5\text{l}/\text{分}$ とした。出力特性の測定にはデータロガーを用いた。測定は室温で行った。

(2) 汎用シミュレータ COMSOL を使い、ベローズ型 DMFC のシミュレーションモデルを作成して、その形状と空気供給条件による電気的特性との関係を解析した。電池モデルは、カソードのみの半電池モデルを用いた。空気

輸送は、ナビエ・ストークスの方程式および連続の式で表した。カーボンプラーク内の空気輸送については、ブリンクマン方程式に従うとした。質量保存則は、マクスウェル・ステファン方程式を適用した。

4. 研究成果

(1) ベローズ型 DMFC による発電特性を確認した。低出力では従来の平面セル構造と同等の特性が得られるが、高出力では電極外周部での出力低下が著しいことが明らかとなった。これは、セル外周部への空気拡散が不十分なためと推察された。

(2) ベローズ型 DMFC のセル外周部での出力向上のため、セル内に空気拡散膜 (ADL: Air Diffusion Layer) を挿入することを提案し、各種 ADL 形状とセル面内の酸素濃度および出力特性との関係をシミュレーションより求めた。適切な ADL を挿入することにより、図 1 に示すようにセル面内の出力を均一化でき、酸素量を化学量論比の 2 倍供給することで 5セル直列のモジュールにおいても単セルと同等の出力密度を維持できることが示された。

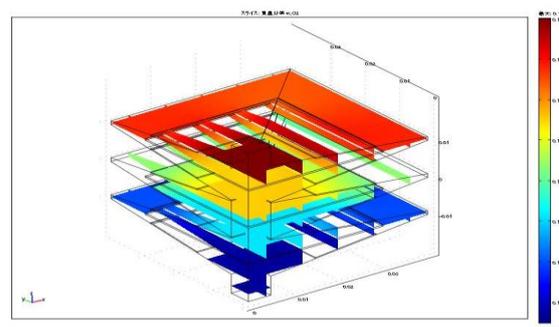


図 1 ADL を持つベローズ型 DMFC セルの酸素濃度分布

(3) シミュレーションで求めた適切な ADL を挿入したベローズ型 DMFC を作製し、その I-V 特性を測定した。図 2 に示すように ADL を用いることにより、ベローズ型 DMFC の特性は平板型 DMFC と同等になる。空気流量は $0.3\text{l}/\text{分}$ である。

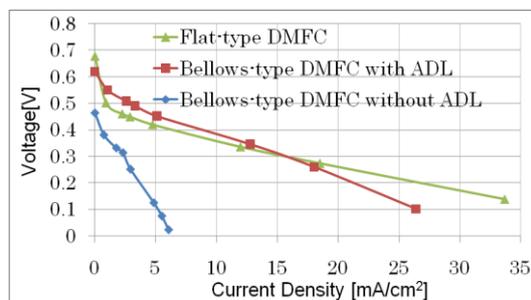


図 2 ADL を持つベローズ型 DMFC の I-V 特性

(4) ベローズ型 DMFC では、メタノール容器にセルをひたして燃料供給するため、一般的に圧着して集電することが困難である。そこで新たにカーボクロスに導線を縫込み集電する“縫込み終電法”を提案した。セル出力は導線の縫込み間隔に比例して低下するが、0.5cm 程度の間隔とすれば、従来の圧着による集電と同等の特性が得られることが明らかになった。図 3 に縫込み間隔 0.5cm のベローズ型 DMFC と圧着法による平板型 DMFC の出力電圧-時間特性を示す。両セルはほぼ同じ特性を示す。

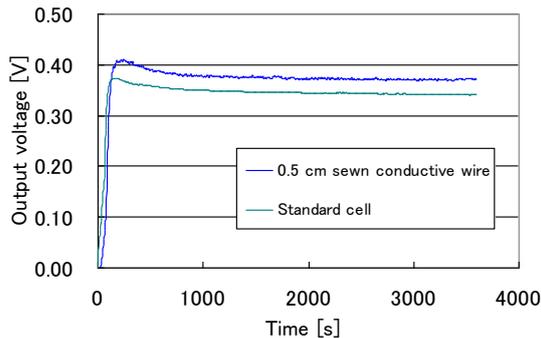


図 3 縫込み集電法によるセルの出力電圧-時間特性

(5) ベローズ型 DMFC のセル構造、集電法を応用して、どのような形状にも適用できるフレキシブル型 DMFC を新たに提案した。フレキシブル型 DMFC では MEA を袋状にし、ポンプによりメタノールを供給して発電を行う。メタノールの流入口と流出口を同方向とし、セル内に隔壁を設けてメタノールを循環させた。図 4 に示すように隔壁を設けることによって流入側セルと流出側セルの出力電圧はほぼ同一となり、セル面内全体で均一な発電が行われることが示された。

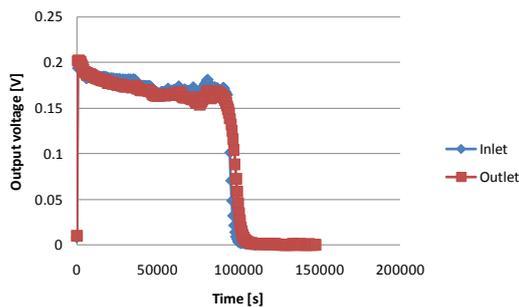


図 4 フレキシブル型 DMFC の出力電圧-時間特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

① 今井龍則、谷内利明、3次元流体シミュ

レーションを用いたベローズ型ダイレクトメタノール燃料電池における空気供給法の検討、信学技報、査読無、Vol. 109、No. 409、2010、63-68

② 秋山翔太、谷内利明、セミアクティブジグザグ型 DMFC の研究、信学技報、査読無、Vol. 109、No. 409、2010、69-74

③ 今井龍則、谷内利明、流体シミュレーションによるベローズ型ダイレクトメタノール燃料電池の空気供給法の検討、信学技報、査読無、Vol. 109、No. 70、2009、29-34

④ Tatsunori Imai、Daisuke Watanabe、Toshiaki Yachi、Analysis of Air Supply in Bellows-Type DMFC by Three-Dimensional Simulation、ECS Transactions、査読無、Vol. 17、2009、491-497

⑤ Masayuki Tsuchiya、Tatsunori Imai、Toshiaki Yachi、A New Fuel Supply Method with Flexible Type DMFC、ECS Transactions、査読無、Vol. 17、2009、467-475

⑥ 土屋匡之、谷内利明、フレキシブル型 DMFC のセミアクティブ化の検討、信学技報、査読無、Vol. 108、No. 150、2008、25-30

⑦ 今井龍則、谷内利明、ベローズ型ダイレクトメタノール燃料電池における流体シミュレーション解析、信学技報、査読無、Vol. 108、No. 150、2008、31-36

⑧ 松村直則、谷内利明、ジグザグ型 DMFC における燃料供給法の研究、信学技報、査読無、Vol. 107、No. 492、2008、25-30

⑨ 土屋匡之、西村英晃、谷内利明、フレキシブル型ダイレクトメタノール燃料電池の研究、信学技報、査読無、Vol. 107、No. 53、2007、1-6

⑩ 今井龍則、植竹順士、谷内利明、ベローズ型ダイレクトメタノール燃料電池の空気供給法の検討、信学技報、査読無、Vol. 107、No. 53、2007、7-12

[学会発表] (計 26 件)

① Tatsunori Imai、Toshiaki Yachi、Analysis of Air Supply in Multi-Cells Connecting Bellows Type DMFCs by Three-Dimensional Simulation、Fuel Cell Seminar & Exposition、2009.11.16-20、Palm Springs Convention Center

② Hiroto Kasuya、Toshiaki Yachi、Improved Fuel and Air Supply Method for a Zigzag-type DMFC、Fuel Cell Seminar & Exposition、2009.11.16-20、Palm Springs Convention Center

③ Yuji Asai、Masayuki Tsuchiya、Toshiaki Yachi、New Flexible-type DMFCs with Interfolding Assembly、Fuel Cell Seminar & Exposition、2009.11.16-20、Palm Springs Convention Center

④ Shouta Akiyama、Toshiaki Yachi、Improvements in Zigzag-Type DMFC Characteristics Using an Active Fuel Supply、Fuel Cell Seminar & Exposition、2009.11.16-20、Palm Springs Convention Center

⑤ Hiroto Kasuya、Toshiaki Yachi、Improvement of Fuel and Air Supply Method for a Zigzag-Type DMFC、International Telecommunication Energy Conference、2009.10.18-22、Songdo Convensia、Incheon

⑥ Hiroto Kasuya、Naonori Matsumura、Toshiaki Yachi、Fuel Supply Methods for a Zigzag-Type DMFC、PowerMEMS 2008 + microEMS 2008、2008.11.9-12、Sendai Mediatheque

⑦ Tatsunori Imai、Toshiaki Yachi、Analysis of Air Supply in Bellows-Type DMFC by Three-Dimensional Simulation、Fuel Cell Seminar & Exposition、2008.10.28-30、Phoenix Convention Center

⑧ Masayuki Tsuchiya、Toshiaki Yachi、New Fuel Supply Method for a Flexible-Type DMFC、Fuel Cell Seminar & Exposition、2008.10.28-30、Phoenix Convention Center

⑨ Junji Uetake、Toshiaki Yachi、Air Supply Method for Bellows-Type DMFC、Fuel Cell Seminar & Exposition、2008.10.28-30、Phoenix Convention Center

⑩ Masayuki Tsuchiya、Toshiaki Yachi、A New Direct Methanol Fuel Cell Employing a Flexible Type Assembly for Telecommunication Applications、Fuel Cell Seminar & Exposition、2008.10.28-30、Phoenix Convention Center

⑪ 谷内利明(招待講演)、マイクロエネルギー技術、東北大学マイクロ/ナノエネルギー研究グループシンポジウム、2007.12.18、東北大学、仙台

⑫ 谷内利明(招待講演)、マイクロ燃料電池技術の現状と課題、崇城大学エネルギーエレクトロニクス研究所第13回公開セミナー、2007.10.19、アルカディア市ヶ谷、東京

⑬ Naonori Matsumura、Toshiaki Yachi、Fuel Supply Conditions to Increase Power Density in a Zigzag-Type DMFC、Fuel Cell Seminar & Exposition、2007.10.15-19、Henry B. Gonzales Convention Center, San Antonio

⑭ Masayuki Tsuchiya、Toshiaki Yachi、A New Direct Methanol Fuel Cell Employing a Flexible Type Assembly、Fuel Cell Seminar & Exposition、2007.10.15-19、Henry B. Gonzales Convention Center, San Antonio

⑮ Tatsunori Imai、Junji Uetake、Toshiaki Yachi、Air Supply Method in the Bellows-type DMFC、Fuel Cell Seminar & Exposition、2007.10.15-19、Henry B.

Gonzales Convention Center, San Antonio
他

〔産業財産権〕
○出願状況(計1件)

名称: 燃料電池
発明者: 谷内利明、土屋匡之
権利者: 東京理科大学
種類: 特許
出願番号: 2008-053434
出願年月日: 2008年3月4日
国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.ee.kagu.tus.ac.jp/2bu/lab/yachi-lab.html>

6. 研究組織
(1) 研究代表者

谷内利明 (YACHI TOSHIAKI)
東京理科大学・工学部電気工学科・教授
研究者番号: 90349845