

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560299

研究課題名 (和文) 燃料電池電極面内の電流分布非接触計測に関する研究

研究課題名 (英文) Study on Non-contact Measurement of Current Distribution on Electrode of Fuel Cell

研究代表者

泉 政明 (IZUMI MASAOKI)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：50336939

研究成果の概要：

固体高分子形燃料電池 (PEFC) 内部の電流分布を非接触で測定できる技術を確立した。本技術は、PEFC が発電する時に発生する磁界強さを磁気センサで測定し、その値から PEFC 内部の電流分布を求める手法である。この技術で測定した PEFC 内部の電流分布の正しさを国内外において初めて検証した。本技術により、PEFC 内部において過負荷で発電している部分と余り発電していない部分を発電状態に影響を与えることなく測定でき、PEFC の性能・寿命向上のための有益な情報を提供できる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：エネルギー変換工学

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：燃料電池，電流分布，静磁界，磁気センサ，ジオサバールの法則，電磁界解析法，逆問題的解析法，発見的探索法

## 1. 研究開始当初の背景

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、小容量でも発電効率がよく、そのため、二酸化炭素排出量の削減が可能であり、更に、静粛性、多様な燃料利用および窒素酸化物や硫酸化物等の大気汚染物質の排出量削減などの利点から、近年、自動車や家庭用コージェネレーションの動力源として、大きな期待が寄せられている。

しかしながら、これら用途への PEFC の本格的導入には、更なる発電性能の向上、長寿命化およびコスト低減などの課題がある。なか

でも、PEFC の発電性能・寿命等の向上にとって、燃料電池内部の物質移動、その物質移動と密接に関連する電流分布を明らかにすることが重要かつ緊急の課題である。

図 1 に燃料電池の構成を示す。MEA (電解質膜と電極の接合体) に、ガス拡散層、セパレータ、集電板の順に積層されスタックを構成する。燃料ガスおよび空気は、セパレータに掘られたガス通路溝を流れ、MEA 電極面に供給される。

ガスがガス通路溝を流れている間に、水素と酸素が消費され水が生成するため、電極面

の各部でガス種の濃度が異なる。また、現在一般的に使用されているパーフルオロスルホン酸系電解質膜のイオン導電性は、その膜中の湿潤状態により変化する。更に発電時の発熱による温度上昇などが複雑に影響し、MEA面内では活発に発電反応が起こっている部分と、不活発な部分が共存している。つまり電極面内で不均一な電流分布が生じており、発電性能や耐久性の向上のためのデータとして、その電流分布を明らかにすることが必要である。

従来行われてきた電極面内における電流分布を測定する手法としては、電極あるいはセパレータを分割して、それぞれに直接端子を接触させて電流を取り出し、その電流を測定する方法が主流であった。しかし、端子の接触により電気的な接触抵抗が生じるため、測定により真の電流分布を乱す恐れがある。また、接触式では電極やセパレータの分割のため大幅な電池構造の改造が必要で、実際の発電状態で電流分布を測定することが出来ないといった課題があった。

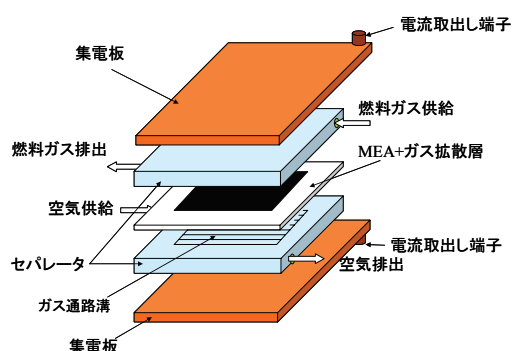


図1 PEMFCの構成

## 2. 研究の目的

本研究は、PEFC 発電中に発生する PEFC 周囲の磁界を磁気センサにより測定し、その値からビオ・サバルの法則を適用して、非接触で電池内部の電流分布を測定する技術の確立を目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) PEMFC 発電実験による検証

本実験で使用した PEMFC (固体高分子形燃料電池) は、電極面積  $25\text{cm}^2$  ( $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ ) の MEA1 枚を 2 枚の GDL (ガス拡散層) とセパレータで挟み、更に 2 枚の銅製の集電板で挟んだ構造である (図 1 参照)。燃料ガス側を上面にして水平に配置して発電した。

1 個あるいは 25 個の MI (Magneto - Impedance) センサを用いて電池周囲の磁界を測定した。1 個の MI センサを使用する場合は、図 2 に示すように  $x$ - $y$  ステージを用いて、PEFC の集電板上を 5mm ピッチで磁気セン

サを移動させながら 121 点の磁界強さを測定した。また、25 個の MI センサを使用する場合は、図 3 に示すように PEMFC 側面に MI センサを固定して磁界強さを測定した。なお、この場合隣接する磁気センサ間の距離は 10mm、電流取り出し端子は集電板の中央の位置とした。

PEFC 発電時に測定した磁界から得られた電流分布の妥当性を検証するため、図 4 に示すような特殊なセパレータを燃料側に用いて、その厚さ方向の電流値を測定した。アクリル製セパレータの電極に接する領域に 10mm ピッチで 25 本のカーボン導電体をセパレータの厚さ方向に挿入し、そのカーボン導電体の両端間の電圧から電流を測定した。なお、予め各カーボン導電体の抵抗値は測定している。カーボン導電体で測定した電流分布と磁界測定から求めた電流分布を比較することにより、本手法を検証した。

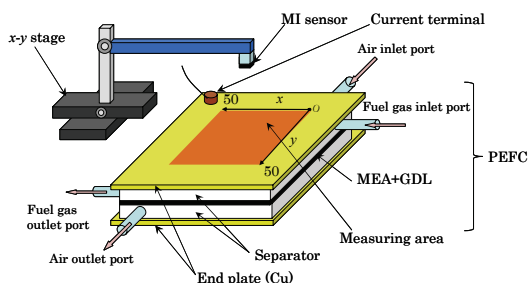


図2 PEMFCの集電板(エンドプレート)上で1個のMIセンサを走査して磁界強さ測定の概略図

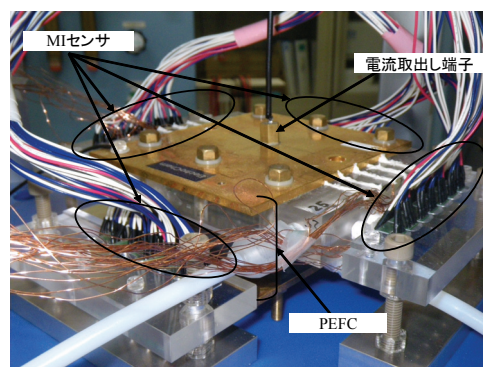


図3 PEMFC側面に25個のMIセンサを配置した状態

PEFCは発電電流2.85~2.86Aで室温にて発電を行った。水素ガス(燃料利用率43%, 71%)および空気(空気利用率24%)の両ガスともバブラー加湿器で加湿する場合と、どちらか一方のガスを未加湿とした3条件で発電実験を行った。

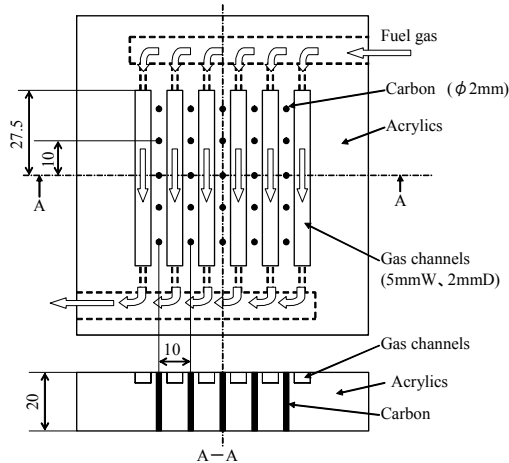


図4 燃料側セパレータ

(2)PEFC 周囲の磁界解析と内部電流解析

磁界分布から電流分布を求めるための精度を向上させるため、六面体辺要素を使用した三次元有限要素法を用いた逆問題的解析法の検討を行った。PEFC 内の電流分布と、電流分布から生じる磁界分布を三次元で算出する電磁界解析法を開発し、PEFC 周囲の空間磁界分布から、MEA 内の発電電流分布を逆算する。

ここでは、発見的探索法 (Heuristic Search Method)による逆問題的解析法を開発を行い、PEFC 周囲の空間磁界分布から、MEA 面内の電流分布を逆算する手法の検討を行った。発電現象を単純化するため、25 分割した MEA 内の各分割要素内の発電電流が ON か OFF の 2 パターンでの判断を行うことにした。PEFC による発電電流が 3A で、25 分割の MEA 内に発電されない OFF 領域が 4 要素存在する場合(図 5 参照)を想定した。

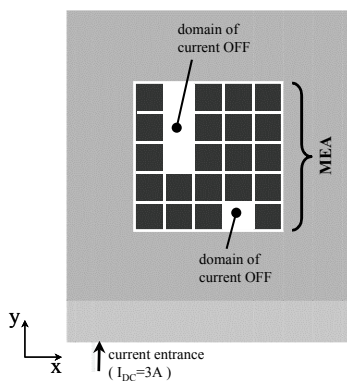


図5 MEA 内の未発電領域分布(上面図)

4. 研究成果

(1) PEFC 発電実験による検証

1 個の MI センサを使用した場合、1 点あたり約 30 秒の測定時間を要したが、25 個の磁気センサによる磁界測定は 2 分 30 秒で行え、磁界測定時間を 1 点あたり 6 秒に短縮できた。

①集電板上での磁界測定の結果

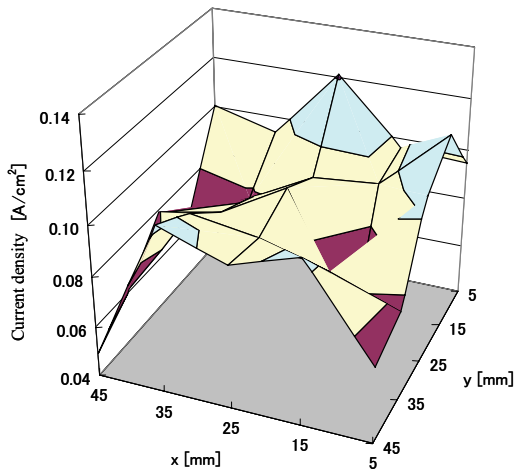
MEA で発生した電流はセパレータ、集電板と流れ、電流取り出し端子で集められ外部へと取り出される。集電板上の磁気センサで測定される磁界は、主に集電板を流れる電流により誘起される。測定された磁界強さからビオサバルの法則を用いて集電板を流れる電流を求める。更に、この電流を差分することによりセパレータ厚さ方向に流れる電流値を求め、この値を MEA 面電流とした。

得られた電流分布を図 6(a)に示す。この電流分布とカーボン導電体で測定した電流分布(b)と比較すると、磁界から求めた電流値がやや低いものの、カーボン導電体で測定した電流分布と同一の傾向を示している。1 個の MI センサを用いたこの測定は約 1 時間を要し、その間に PEFC の発電状態が変化していた。この点を考慮すると、良い一致を示したと判断できる。

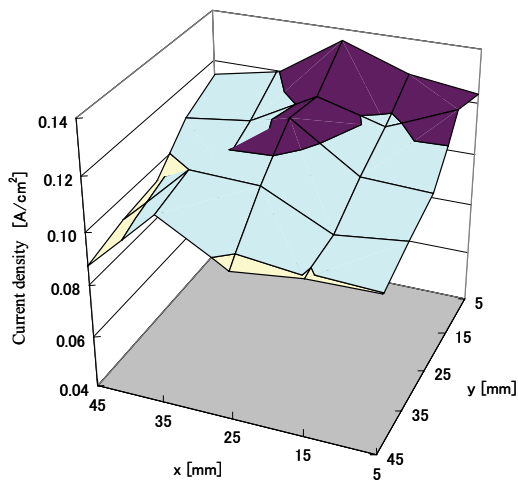
②PEFC 側面での磁界測定の結果

25 個の MI センサを PEFC 側面に固定し測定した磁界強さから求めた電流分布を図 7 に示す。図 6 に比べて、磁界から求めた電流分布がカーボン導電体で測定した電流分布、つまり真実の電流分布に近づいている。これは、多点測定により測定時間を大幅に短縮し、PEFC 発電状態が比較的一定の間に磁界測定が出来たため考えている。

図 6 の発電では両ガスを室温加湿しているが、図 7 では水素ガスのみ加湿し、空気は乾燥空気を使用した。このように加湿の有無により電流分布が大きく影響を受けることが明らかとなった。因みに、水素ガスを未加湿、空気を加湿した場合の電流分布は、両ガスを加湿した場合の電流分布に近かった。



(a) 磁界から求めた電流分布



(b) カーボン導電体で測定した電流分布

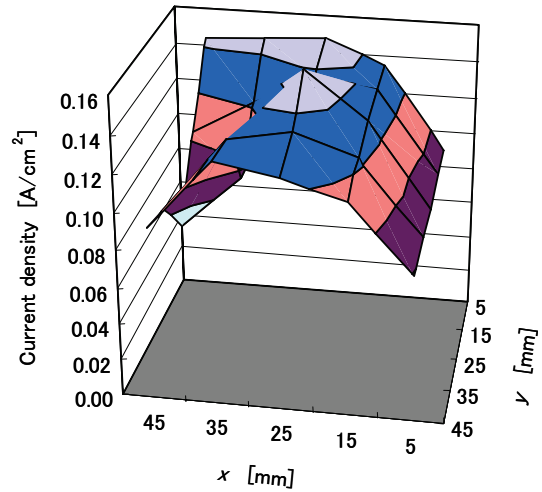
図6 電流分布 (発電電流 2.85A, 燃料利用率 71%, 空気利用率 24%, 水素ガス, 空気: 室温加湿)

(2) PEFC 周囲の磁界解析と内部電流解析

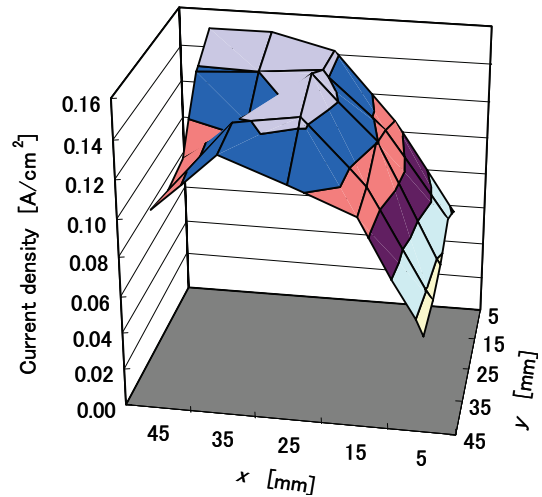
逆問題解析による目的関数  $W$  の計算過程を図8に示す。なお図の横軸は反復計算回数を示し、縦軸は次式で得られる目的関数  $W$  を示している。

$$W = \sum_{i=1}^n \left\{ (B_{ix} - B_{0x})^2 + (B_{iy} - B_{0y})^2 + (B_{iz} - B_{0z})^2 \right\}$$

ここで  $n$  は空間磁界要素の個数,  $B_i$  は逆問題計算値,  $B_0$  は順問題計算値をそれぞれ示している。図8から, 反復計算回数が402回で, 急激に収束判定値に近づき, 527回の反復計算で収束した。この527回目の計算結果を図9(a)に示す。なお同図(b)には順問題解析によるMEA内の電流分布も比較のために示している。図から, 逆問題解析で得られたMEA内の電流密度は, 順問題解析で得られたものと,



(a) 磁界から求めた電流分布



(b) カーボン導電体で測定した電流分布

図7 電流分布 (発電電流 2.86A, 燃料利用率 43%, 空気利用率 24%, 水素ガス: 室温加湿, 空気: 未加湿 (乾燥空気))

方向(-z方向)や値が共に良く一致する結果が得られた。

以上, PEFC 発電時に発生する磁界強さを磁気センサで測定し, その値から PEFC 内部の電流分布を求めることに成功した。この測定法により得られた電流分布の妥当性を検証した研究報告は, 国内外において初めてである。今後は, 測定精度を高め, 更に測定時間の短縮を図りたい。また, 本研究では1枚のMEAにおける測定であったが, MEAを複数枚積層したスタックにおける電流分布測定へと発展させる予定である。



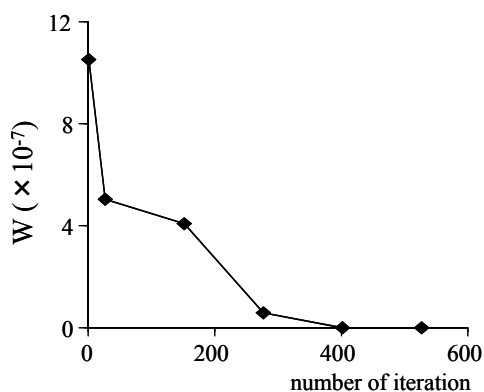
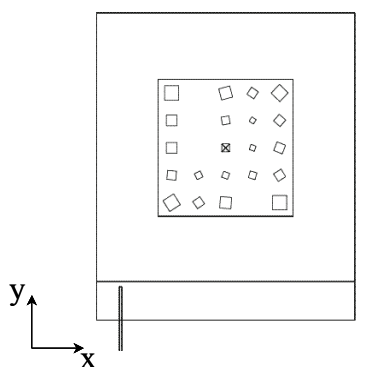
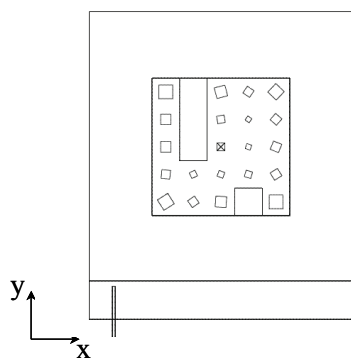


図8 逆問題推定計算過程



(a) 逆問題解析



(b) 順問題解析

図9 発見的探索法による逆問題推定結果

## 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1件)

- (1) M. Izumi, Y. Gotoh, T. Yamanaka, Verification of Measurement Method of Current Distribution in Polymer Electrolyte Fuel Cells, The Electrochemical Society Transactions, 査読有, Vol.17, 2009, pp.401-409.

[学会発表] (計6件)

- (1) M. Izumi, Y. Gotoh, T. Yamanaka, Verification of Measuring Method with Magnetic Sensor of Current Distribution in Polymer Electrolyte Fuel Cell, 2008 Fuel Cell Seminar & Exposition, October 29, 2009, Phoenix, USA.
- (2) Y. Gotoh, N. Takahashi, M. Izumi, Examination of the non-contacting measurement method of generation current inside polymer electrolyte fuel cell using heuristic search, 10th Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism, September, 2008, Ilmenau, Germany.
- (3) 山中, 泉, 兼子, 草野, 後藤, Magneto-Impedanceセンサによる固体高分子形燃料電池内部の電流分布計測法の検証”, 第13回動力・エネルギー技術シンポジウム, 平成20年6月19日, 北海道大学.
- (4) 後藤, 加藤, 泉, 鈴木, 高橋, 静磁界測定を使用した固体高分子形燃料電池内部の発電電流非接触評価法の検討, 日本AEM学会, 第20回 電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 平成20年5月22日, 別府国際コンベンションセンター.
- (5) 泉, 山中, 兼子, 草野, 森田, 後藤, 他4名, PEFCにおける発電電流分布測定, 第15回燃料電池シンポジウム, 2008年5月14日, タワーホール船堀, 東京.
- (6) 後藤, 加藤, 泉, 高橋, 鈴木, 固体高分子形燃料電池の発電電流分布評価方法の提案, 日本非破壊検査協会 表面探傷分科会, 2007年11月9日, 大分大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

泉 政明 (IZUMI MASA AKI)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：50336939

(2) 研究分担者

後藤 雄治 (GOTOH YUJI)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：00373184

(3) 連携研究者

なし