

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：57701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560291

研究課題名（和文） 燃料電池の磁場分布・電流分布解析装置の開発

研究課題名（英文） Development of Magnetic Field Distribution and Current Distribution Analysis Device for Fuel Cell.

研究代表者

楠原 良人 (KUSUHARA YOSHITO)

鹿児島工業高等専門学校・電気電子工学科・教授

研究者番号：50551694

研究成果の概要（和文）：

固体高分子形燃料電池は水素と酸素を反応させる原理により、発電時に発電ムラが発生する。このために、固体高分子形燃料電池の発電効率を高くするために膜電極接合体の発電電流分布を知ることは重要である。本研究では、固体高分子形燃料電池単セルの電極の周囲に発生する発電磁場を磁気センサを用いて非接触で磁場分布を測定した。これにビオ・サバルの法則及び最小二乗法を適用して、発電電流密度分布を推定することを行った。その結果、燃料電池発電の電流密度の推定に有効であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

The power generation current distribution of Polymer Electrolyte Fuel Cell was non-uniform due to generate electric power through reaction of hydrogen and oxygen. The power generation current distribution of Membrane Electrode Assembly is important to increase power generation efficiency of PEFC. We measured the magnetic fields of PEFC with magneto-impedance sensor. We estimated the power generation current distribution by least-squares method and Bio-Savart's law. Accordingly, we confirmed effectiveness of the method.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2010年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 2011年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2012年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 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：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギー工学，パワーエレクトロニクス，電気有効利用

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災を受けてエネルギー政策の見直しが行われ、再生可能エネルギーが注目されている。燃料電池はCO₂、NO_xなどの大気汚染物質の排出がなく、クリーンな電源として注目を集めている。特に固体高分子形燃

料電池（PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell 以下、PEFC と略称）は、低温での発電、短時間起動が可能などの長所を有し、家庭用定置型電源、電気自動車用電源など実用化が進んでいる。また、小型・軽量なため災害発生時の非常用電源、可搬型電源としても期待

されている。しかしながら、PEFCは水素と空気中の酸素を反応させる原理から運転時に発電ムラが発生する。燃料電池開発において、発電効率の向上を目指すとき、燃料電池の構成部としてその発電に重要な膜電極接合体 (MEA: Membrane Electrode Assembly, 以下 MEA) における発電状態を知ることは、重要な要素となる。発電中に発生する磁場を測定し、発電電流を求める計測法が提案されているが、電流分布を求めるまでは至っていない。

2. 研究の目的

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、小容量でも発電効率が高く、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黄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、その実用化にあたっては、ガス拡散などにより発生する発電ムラの低減が発電効率の重要な課題となっており、PEFCの本格的導入には更なる発電効率の向上、長寿命化および製造コスト削減などの課題がある。なかでも、PEFCの発電効率・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極面内の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。以上の内容から、固体高分子形燃料電池 (PEFC) の発電時に発生する発電磁場を磁気センサ (MI: Magneto-Impedance sensor) を用いて非接触で計測する装置を開発する。磁場分布を電流分布へ変換することにより、電池内部の発電状態を可視化し、作動状態を解析できる装置開発を目指すとともに燃料電池開発における性能・寿命等の向上に資することを目的とする。

3. 研究の方法

研究方法として、図1に示すような燃料電池セルにおける集電板上の空間磁場を測定する原理に基づいた図2に示す磁気センサボードを開発する。非接触で発電磁場を測定する装置を開発し、さらに、図3に示すような、FPGAをコントローラとした高速処理可能な計測システムを開発する。本装置は磁気センサを取り付けた基板を燃料電池の起電力の発生源であるセルに接近させて電極板の磁束密度を測定するものである。FPGAを用いて磁気センサを切り換え、取り込んだ磁気データを A/D 変換して、データの送受信は USB 通信にて行い、自動計測用パソコンでデータ処理を行うシステムを設計・開発する。さらに、磁場分布を3次元で表示し、燃料電池の発電状態を可視化する装置を開発する。

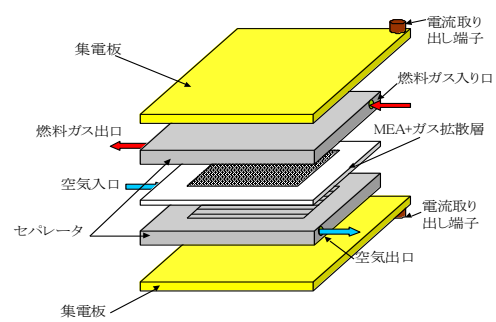


図1 燃料電池セルと計測原理

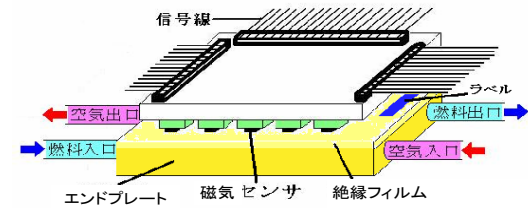


図2 磁気センサボードの構成

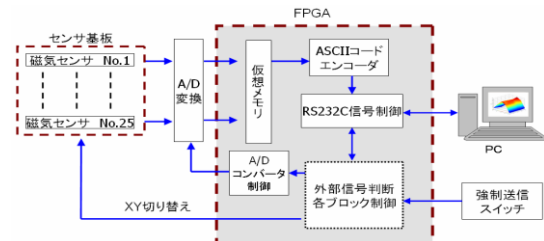


図3 計測装置のシステム構成

4. 研究成果

研究成果を以下に示す。まず、ビオ・サールの法則と最小二乗法による電流分布推定が有効であるかを検証するために、直流電流と円形電流による推定実験を行った。

MIセンサで測定した100個の磁束密度から、数値解析ソフトウェアのMATLABを用いて線電流の計算を行った。軟銅線で巻数20回、直径4[cm]のコイルを製作し、電流は0.4[A]とした。図4に円形電流の回路とコイルを示す。図5に磁束密度の3次元ベクトル図、図6に電流密度のベクトル図を示す。図5のベクトル図から円形電流の発生する3次元磁場は中心部に向かって強くなっていることが分かった。さらに図6から電流分布の状態が明らかとなった。このことから最小二乗法による線電流の推定が有効であることを確認した。

本研究により開発したPEFC単セルの実験装置のブロック図を図7に示す。空気はエアポンプ、水素は水素吸蔵合金からPEFC単セルに、圧力レギュレータ、圧力モニタコントローラ、流量モニタを介して供給する。発電に使用されなかった空気と水素は流量モニタコントローラを通して排出される。実験は水素の供給圧力40[kPa]、流量20[mL/min]、

空気流量 100[mL/min], セルの端子電圧 0.4[V], 出力電流 2[A]で行った. 図 8 に PEFC の発電磁場測定領域を示す.

磁場測定と電流推定の結果として, 図 9 に磁束密度のコンター図, 図 10 に電流密度のコンター図を示す. 磁束密度は+極付近で最も大きく, +極から離れるほど小さくなっている. また, 電流密度についても+極付近で最も大きく, +極から離れるほど小さくなっている. 発電した電流が+極に向かって流れるため, +極付近で電流密度が小さくなっていることが分かる.

この結果, 空気の流れの中流付近で, 発電磁場密度および電流密度が大きく, 空気の出口付近では, 小さくなっていることが分かる. 水素と空気の出口付近での発電の低下は, 反応によって生成された水分が, 空気極の出口付近に溜り, 水滴を形成し, それが水素と空気の流れを妨げ, 反応が阻害されたためであると考えられる. さらに, 水素の流れの上流から下流に進むに従って電流密度が小さくなっていく傾向が見られる. これは, 水素の流れの上流では, 水素密度が高く反応が強いが, 下流に行くに従って水素が消費され, 水素密度が薄くなるためと考えられる. このことから水素燃料の入口付近で反応が強く, 出口へ向かうにつれて徐々に弱くなっていることが分かった.

燃料電池発電による集電板の空間磁場測定用装置を開発し, PEFC の発電磁場から, ビオ・サバルの法則と最小二乗法による電流推定法について円形電流の実験によりその有効性を検証した. そして, PEFC 内部の発電電流分布を実験により明らかにし, その有効性を確認した.

PEFC 単セルでは磁束密度・電流密度ともに+極付近で大きいことを確認した. このことから, 反応は水素燃料の入口付近で強く, 出口へ向かうにつれて徐々に弱くなることが分かった. 今後の課題として, 水素燃料の圧力, 流量の変化による電流密度の変化, 負荷電流によるその変化の解析を行うことが挙げられる.

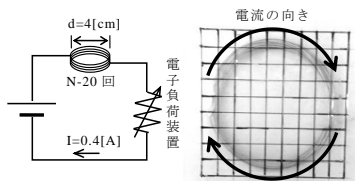


図 4 円形電流磁場測定回路

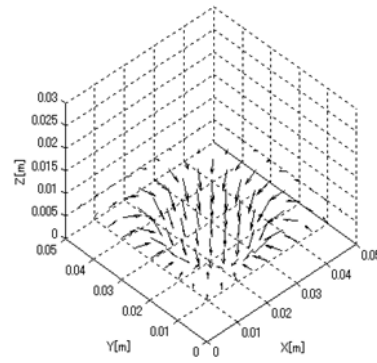


図 5 円形電流による磁束密度の 3 次元ベクトル図

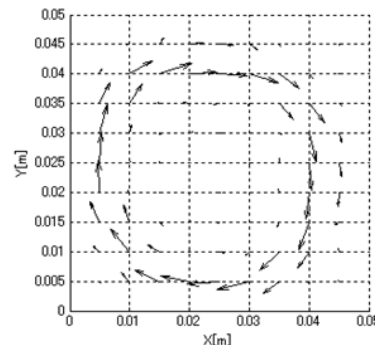


図 6 円形電流の推定電流密度のベクトル図

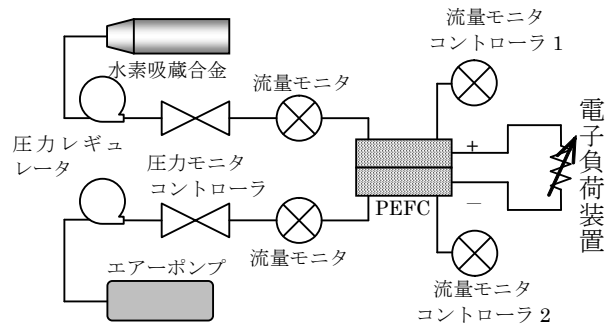


図 7 PEFC 単セルの実験装置のブロック図



図 8 PEFC の発電磁場測定領域

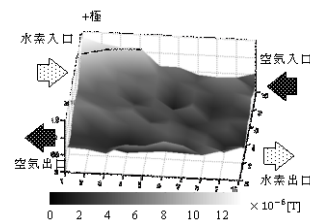


図 9 PEFC の磁束密度のコンター図

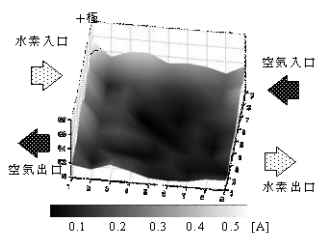


図 10 PEMFC の電流密度分布のコンター図

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 3 件)

①増山翔, 楠原良人, 清水勇喜, 後藤雄治, 泉政明: 固体高分子形燃料電池の発電磁場を利用した電流分布の推定, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112No.396, pp.111-115, 2013.

②T. Katou, Y. Gotoh, N. Takahashi, M. Izumi: Measurement Technique of Distribution of Power Generation Current Using Static Magnetic Field around Polymer Electrolyte Fuel Cell by 3D Inverse Problem FEM, Materials Transactions, vol.53, no.2 pp.279-284, 2012.

③Y. Gotoh, N. Takahashi, M. Izumi, Y. Kusuhara
Proposal of Non-contacting Static Magnetic Measurement Method of Generation Current inside Membrane Electrode Assembly in Polymer Electrolyte Fuel Cell”, Digests of IEEE International Magnetism Conference, 2012.

[学会発表] (計 8 件)

①山梨龍, 後藤雄治, 泉政明, 高橋則雄: 三次元有限要素法逆問題解析による個体高分子形燃料電池 (PEFC) の膜電極接合体 (MEA) 内の電流分布解析, 第 16 回表面探傷シンポジウム日本非破壊検査協会, 2013. 3. 19, 京都.

②増山翔, 楠原良人: 固体高分子形燃料電池の発電磁場を利用した電流分布の推定, 電気学会九州支部高専部会, 2013. 3. 9, 長崎.

③米盛諒, 楠原良人, 清水 勇喜: パルスリンク方式 DC-AC コンバータを用いた燃料電池発電装置の開発, 平成 24 年度電気学会産業応用部門大会, 2012. 8. 21, 千葉県.

④田中孝幸, 後藤雄治, 泉政明, 高橋則雄, 楠原良人: 固体高分子形燃料電池の周囲の磁

界を用いた膜電極接合体内の電流分布推定, 平成 23 年度秋季講演大会、日本非破壊検査協会, 2011. 10. 19, 兵庫県.

⑤森元雄大, 田中孝幸, 後藤雄治, 泉政明, 高橋則雄: 固体高分子形燃料電池周囲の静磁界測定を利用した膜電極接合体内の電流分布推定法, 九州支部研究発表会、日本非破壊検査協会, 2011. 4. 15, 北九州.

⑥森元雄大, 田中孝幸, 後藤雄治, 泉政明, 高橋則雄: 固体高分子形燃料電池の周回方向静磁界を利用した膜電極接合体内の発電電流分布推定法, 日本非破壊検査協会, 2011. 3. 12, 京都.

⑦松木健太, 楠原良人, 清水勇喜: 磁気センサを用いた燃料電池磁場計測装置の開発, 日本産業技術教育学会九州支部大会, 2010. 10. 6, 鹿児島.

⑧松木健太, 清水勇喜, 楠原良人: 固体高分子形燃料電池における発電磁場分布の非接触測定法の検討, 電気関係学会九州支部連合大会, 2010. 9. 25, 福岡.

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

楠原 良人 (KUSUHARA YOSHITO)

鹿児島工業高等専門学校・

電気電子工学科・教授

研究者番号: 50551694

(2) 研究分担者

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

後藤 雄治 (GOTO YUUJI)

大分大学・工学部

機械・エネルギーシステム工学科・准教授

研究者番号: 00373184