

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24年5月7日現在

機関番号：32678

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860060

研究課題名（和文） 燃料電池における電磁場逆解析を用いた無侵襲モニタリング手法の開発

研究課題名（英文） Development nondestructive monitoring method by inverse analysis of electromagnetic field for fuel cell

研究代表者

岸本 喜直 (KISHIMOTO YOSHINA0)

東京都市大学・工学部・助教

研究者番号：20581789

研究成果の概要（和文）：発電効率や耐久性に優れた最適な電極配置や燃料濃度分布を有する燃料電池を実現するため、燃料電池内の電流密度分布の可視化が必要となっている。本研究では燃料電池を対象に、電磁場逆解析を用いた無侵襲モニタリング手法として、(1) 燃料電池周辺に生じる磁場分布の効率的な計測手法、(2) 計測した磁場データの中で逆解析に有益な情報を抽出する手法、(3) (1) および (2) を用い、燃料電池内の電流密度分布を推定する逆解析手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：Visualization of current density distribution in fuel cell is necessary to actualize fuel cell which has optimized arrangement of electrodes and distribution of fuel concentration for high generating efficiency and long endurance. In this study, a nondestructive monitoring method by inverse analysis of electromagnetic field for fuel cell has been developed. The method consists of three techniques which are (1) an efficient technique in measurement of magnetic flux density distribution around fuel cell, (2) an extraction technique of valuable information in measured data of magnetic flux density for inverse analysis, and (3) an estimation method of current density distribution in fuel cell by using the techniques (1) and (2).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,250,000	375,000	1,625,000
2011年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：計算力学

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：計測工学, 燃料電池, スマートセンサ情報システム, 計算力学, 逆問題

1. 研究開始当初の背景

発電効率や耐久性に優れた最適な電極配置や燃料濃度分布を有する燃料電池を実現するため、燃料電池内の電流密度分布の可視

化が必要となっている。これに対し、従来の研究では、燃料電池周辺に生じる磁場を計測し、得られた磁場データを逆解析することで燃料電池内の電流密度分布を推定する手法

が検討されていた。しかし、従来の手法には以下のような課題があるため、本質的な解決には至っていなかった。

- (1) 最適化設計に十分な解像度で燃料電池内の電流密度分布を推定するには、従来の逆解析手法では膨大な数の磁場データを必要とする。
- (2) 磁場データの計測値に含まれる誤差は電流密度の推定値に大きな影響を与える。特に、磁場データの計測数の膨大化に伴い、電流密度の推定精度は著しく劣化する。

2. 研究の目的

本研究では燃料電池を対象に、電磁場逆解析を用いた無侵襲モニタリング手法として、

- (1) 燃料電池周辺に生じる磁場分布の効率的な計測手法
- (2) 計測した磁場データの中で逆解析に有益な情報を抽出する手法
- (3) (1) および (2) を用い、燃料電池内の電流密度分布を推定する逆解析手法

を開発することを目的とした。これにより、従来法では成し得なかった燃料電池の最適化設計ならびに健全性評価に十分な解像度と推定精度を有する電流密度分布の推定が可能になると考えられる。

さらに、計測技術や解析技術の発展は膨大な情報量をもたらすことから、本研究で開発する計測や解析の目的に沿った有益な情報を抽出し、可視化する技術は将来必須の技術になると考えられる。

3. 研究の方法

燃料電池における電磁場逆解析を用いた無侵襲モニタリング手法を実現するため、2. (1) ~ (3) に挙げた手法を開発し、コンピュータを用いたシミュレーション実験により、本手法の有効性を検証した。

コンピュータ・シミュレーション実験では、直方体型の燃料電池モデルを用いた。電流の流れない欠陥部を有する電池と欠陥部の無い電池の二通り対して本手法を適用し、欠陥の有無ならびにその位置の推定が可能かどうか検証した。また、推定時に本手法によって抽出される磁場計測点の数と位置についても検証した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究にて開発した燃料電池における電磁場逆解析を用いた無侵襲モニタリング手法の具体的な内容と成果を以下に示す。

- ① 図1に本逆解析手法のフローチャートを示す。本逆解析手法は逆解析に用いる観測方程式は境界要素法によって得られる。こうして得られた観測方程式の低感度成分を除去することで、逆解析に必要な計測データ点数と計算量を大幅に減少させる。

除去する成分の個数を決定するための基準には観測方程式の特異値から得られる計測量である磁束密度と未知量である電流密度の誤差率の比を用いた。これにより、燃料電池内の電流密度分布に対して SN 比が高い磁場計測点の選定と注目する領域の電流密度をピンポイントで推定することを可能とした。

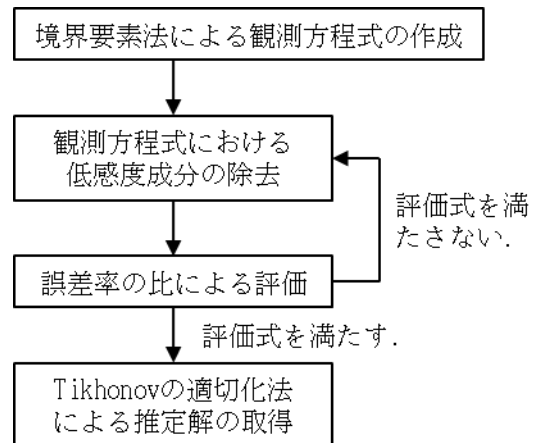


図1. 本逆解析手法のフローチャート

また、本手法によって選択される計測点ならびに推定対象の境界要素と同時に推定する境界要素の組合せは観測方程式の構成で決まる。すなわち、計測データには依存せず、計測点の候補が決まった段階で電流密度の推定対象とする境界要素に必要な計測点の位置と数が決まる。

したがって、本手法では電流密度の推定を行う度に従来法のように全体に渡る計測を行う必要は無く、推定に必要な計測点での計測データを取得するだけでよいため、計測を効率化できる。また、計算面においても観測方程式のサイズを縮小できるため、大規模になる傾向がある電流密度分布の三次元推定を高速で行うことができる。

本逆解析手法は電磁場逆解析に限らず、他の大規模逆問題に対しても応用できると考えられる。

- ② 本逆解析手法の有効性を検証するため、電磁場解析シミュレータを用いたシミュレーション実験を実施した。図2にシミュレーション実験に用いた燃料電池の境界要素法モデルの一例を示す。モデル上面をアノード、モデル下面をカソードとし、総電流量を1 A（平均電流密度 625 A/m^2 ）とした。本シミュレーション実験では電流密度の正解値を電磁場解析シミュレータに与え、磁束密度の疑似測定データを得た。得られた磁束密度の疑似計測データに本逆解析手法を適用した。

図2に示すように、カソード面中央近傍に電流の流れない欠陥部を与えたときの、電流密度分布の正解値と本手法による推定結果を図3に示す。ここで、推定対象の要素をカソード面中心近傍 $((X, Y, Z) = (0.5, 0.5, 0.0) \text{ [mm]})$ とした。図3より、推定対象とした要素近傍 $(x = 0.0 \text{ [mm]})$ において、正解の電流密度分布と推定された電流密度分布がよく合うことがわかる。

また、図3において、本手法によって抽出された磁場計測点および推定対象の境界要素と同時に推定する境界要素の一例を図4に示す。図4に示すように、本手法によって、推定に必要な磁場計測点数ならびに推定対象となる境界要素の個数が大幅に減少していることがわかる。ここで、磁場計測点が $X < 0 \text{ [mm]}$ に、推定対象となる境界要素が $X > 0 \text{ [mm]}$ に集中しているのは、電位の基準点を $(X, Y, Z) = (-19.5, -20.0, 1.9) \text{ [mm]}$ に置いているためと考えられ、詳細については今後の検討課題としたい。

- ③ 本研究の成果を研究代表者のこれまでの研究であるLSI製造における電場逆解析を用いた無侵襲リアルタイムモニタリング手法に対しても適用した。

図5は検証に用いた電気めっき槽の境界要素法モデルであり、図6はカソード面上の電流密度分布の一例である。図6中において、電流密度の推定分布は推定対象とする境界要素をX軸にそって順次変更して得られたものである。図6より、解析対象が変わっても、電流密度分布の正解値と本手法による推定結果がよく合うことがわかる。

また、図7に推定対象をカソード面の縁近傍としたときの、本手法によって抽出された電位計測点と同時に推定する

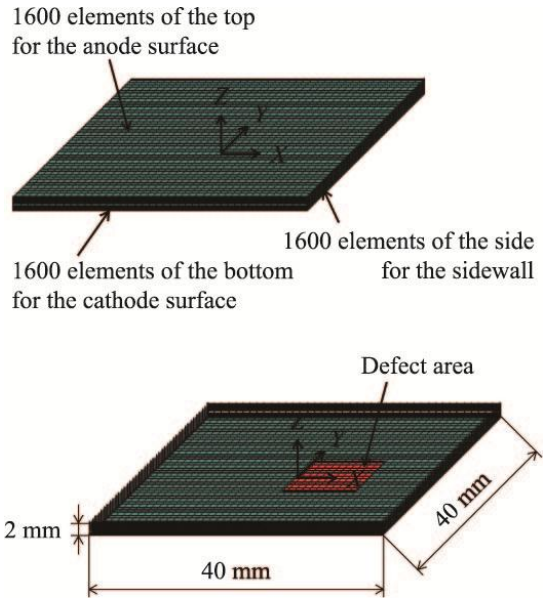


図2. 検証用燃料電池の境界要素モデル：モデルにおける要素数の内訳（上）と欠陥部等の構成（下）

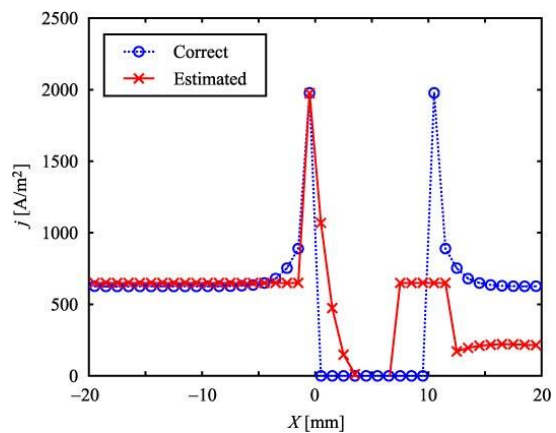


図3. カソード面 ($Z = 0 \text{ [mm]}$), $Y = 0 \text{ [mm]}$ における電流密度分布

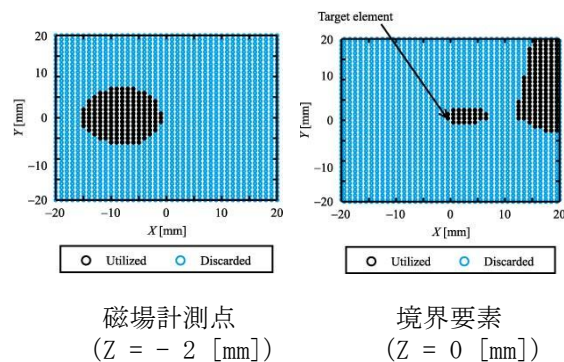


図4. 本手法によって抽出された磁場計測点（左）および推定対象の境界要素と同時に推定する境界要素（右）

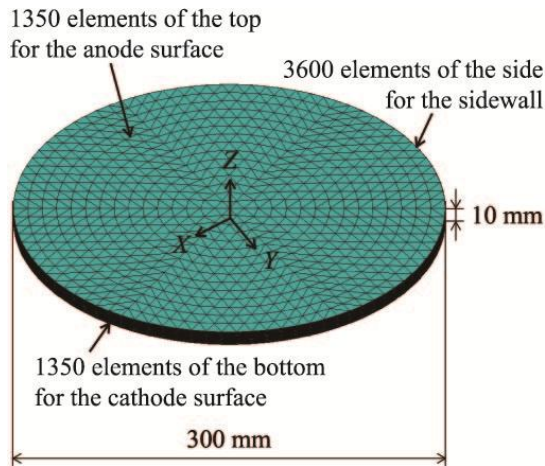


図5. 電気めっき槽の境界要素モデル

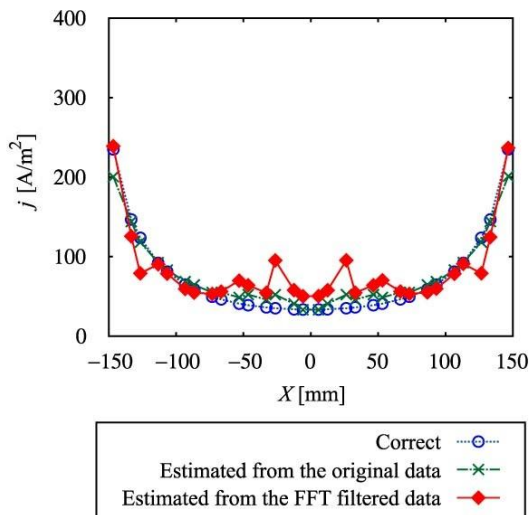


図6. カソード面 ($Z = 0$ [mm]), $Y = 0$ [mm] における電流密度分布

境界要素を示す. この場合においても, 本手法によって, 推定に必要な電位計測点数ならびに推定対象となる境界要素の個数が大幅に減少していることがわかる.

以上より, 本逆解析手法が燃料電池以外の電流密度分布推定に対しても有効であることを示した.

- (2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト, および今後の展望を以下に示す.
- ① 本手法は燃料電池周辺の磁場分布を効率的に計測し, その中で燃料電池内の電流密度推定に有益な情報を抽出する点に特徴がある. これにより, 従来法では

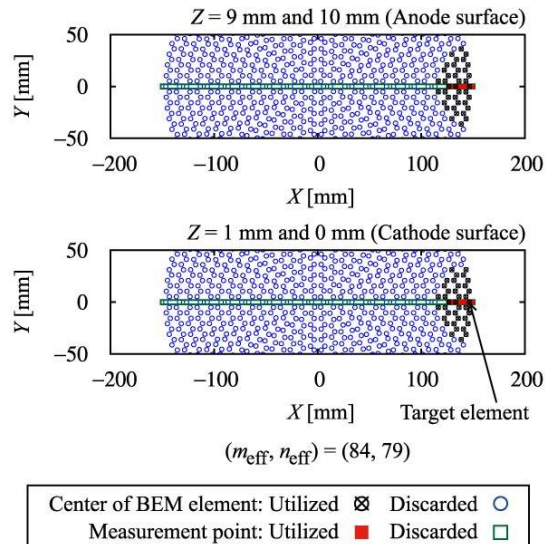


図7. 本手法によって抽出された電位計測点および推定対象の境界要素と同時に推定する境界要素

成し得なかった最適化設計に十分な解像度と推定精度を有する電流密度分布の推定が可能になる.

- ② 本手法によってリアルタイムでの電流密度分布の推定が容易になり, 自動車をはじめとする厳しい使用環境におかれた燃料電池の健全性評価に応用できる.
- ③ 本研究を脳磁図や心磁図などの電磁場を用いた医療技術に応用することで, 医療診断の高速化や低コスト化, 低侵襲手術の実現などに貢献できる.
- ④ 本研究で開発した手法は電磁場逆解析を用いた無侵襲計測技術に限らず, 超音波探傷試験による構造材料の非破壊評価など他分野での計測技術に対しても応用できる. 特に, 計測技術や解析技術の発展は膨大な情報量をもたらすことから, 本手法のように計測や解析の目的に沿った有益な情報を抽出し, 可視化する技術は将来必須の技術になると考えられる.

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2件)

- ① Y. Kishimoto, Y. Kobayashi, T. Ohtsuka, Development of an Efficient Inverse Analysis Technique for Monitoring of

Electroplating Current Density on Target Region in LSI Fabrication, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 査読有, Vol.5, 2011年, pp.656-668,

DOI: 10.1299/jmmp.5.656

- ② 岸本喜直, 安部勇仁, 小林志好, 大塚年久, 天谷賢治, 槽内電位の効率的逆解析によるLSIめっき電流密度分布の推定, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, Vol.77, 2011年, pp.1671-1686, DOI: 10.1299/kikaia.77.1671

[学会発表] (計3件)

- ① Y. Kishimoto, Y. Abe, Y. Kobayashi, T. Ohtsuka, K. Amaya, An Efficient Estimation Technique of Electroplating Current Density in LSI Fabrication Technology, International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011, 2011年9月20日, Kobe (Japan).
- ② 石井一弥, 岸本喜直, 小林志好, 大塚年久, 電磁場逆解析によるリチウムイオン電池内の電流密度分布推定法の開発, 日本機械学会 2011年度年次大会, 2011年9月12日, 東京.
- ③ Y. Kishimoto, Y. Kobayashi, T. Ohtsuka, Development of an Efficient Inverse Analysis Technique for Monitoring of Electroplating Current Density on Target Region in LSI Fabrication, JSME/ASME 2011 International Conference on Materials and Processing (ICM&P2011), 2011年6月16日, Oregon (USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 喜直 (KISHIMOTO YOSHINAO)

東京都市大学・工学部・助教

研究者番号: 20581789