

氏名	秋元 祐太郎		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 7931 号		
学位授与年月日	平成 28年 9月 23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	空冷固体高分子形燃料電池スタックの分極特性および 磁場解析による非破壊診断手法に関する研究		
主査	筑波大学 准教授	博士(工学)	岡島 敬一
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	羽田野 祐子
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	石田 政義
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	藤野 貴康
副査	筑波大学 名誉教授	工学博士	内山 洋司

## 論文の要旨

審査対象論文は、燃料電池システムの信頼性向上に関する問題に、非破壊診断手法構築の観点から検討を加えたものである。本論文は8つの章から構成され、第1章は緒言・導入部として燃料電池およびシステムの基本情報の説明に加え、本論文で取り扱う問題の範囲および研究のフレームワークならびに研究のフローが記されている。続く第2章では既往研究のレビューを通し、燃料電池システム診断における対象とすべき現象、事象、ならびに既往研究についての問題点を洗い出し、本研究の意義と独自性を明確にした。

第3章では、分極解析手法を新たに提案し原理を説明した。さらに、独自開発の磁場計測による電流分布測定手法と統合化による診断手法を提案した。この提案した電流電圧特性フィッティング評価モデルを用いた手法について、理論式に基づく過電圧をもたらす各分極項の導出手法を示している。Nernst-Planck 方程式、Butler-Volmer 式、Tafel 式などを用い、従来省略されていた温度項を理論電圧、活性化分極、抵抗分極、濃度分極の各項に含むモデルを構築した。

第4章では、この提案フィッティング評価モデルを用いた分極解析手法を用い、燃料電池の運転温度を考慮可能な提案式の評価および内部状況診断への適応について検討している。同一の実験データに対して提案式と先行研究式のパラメータ比較を行い精度についての議論をすすめた。実測値とフィッティング式とでは高い一致が得られ、燃料電池の運転温度が変化する場合において、提案式の有効性を検証した。異なるスタック温度での運転試験の結果からも、提案式は先行研究の式に比べ運転温度に対してより正確に分極を分離でき、カソードガスや運転温度が変化する場合においても適応可能であることが示されている。

第5章では、定常状態における磁気センサによる電流分布計測評価についてまとめられている。計

測磁場分布と巨視的な電流の関係はアンペールの法則により磁場に直交方向に燃料電池中を流れる電流の方向となり一致した。また定常状態においても電流は両端に偏る分布を示した。この要因を特定するために、3次元有限要素法シミュレーションの構築がなされ、面圧計測の結果とあわせて、磁場が両端に偏ることが再現され、磁気センサによる電流分布計測評価結果の妥当性が示された。第6章では、不具合状態における電流分布測定、評価手法を示し、不具合診断への適応についてまとめられている。フラiddiing状態をもたらす燃料電池スタック運転条件における、磁場、電流分布を計測評価した結果、フラiddiingを生じる箇所での電流低下が生じ、積層方向磁場の増大が明示された。このように、電流分布の差分によって出力低下箇所の特定を可能とした。

第7章では、提案するフィッティング評価モデル式による分極特性解析と磁気センサと用いた電流分布測定評価の2手法を統合させることにより可能となるセル面内評価に関して述べられている。電流電圧特性を計測する際に同時に各部の電流分布を測定することで、面内各部において部分電流電圧曲線を取得する方法が提案された。加えて、フィッティング評価モデルによって分極が解析され、各出力低下要因が示された。フラiddiing状態においても電流電圧曲線および面内電流分布計測により分極が評価でき、フラiddiing状態において増加する濃度分極が定量的に示された。最後の第8章では、本論文の総括ならびに将来的な課題を論じている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本論文は固体高分子形燃料電池スタックの信頼性向上を目的とし、新たな電流電圧特性曲線フィッティングモデル式による分極評価手法ならびに、磁場測定によるセル面内電流分布計測およびそれらの統合を提案し、燃料電池スタック非破壊診断手法の検討をすすめたものである。燃料電池の運転温度を考慮可能な提案式の評価および内部状況診断への適応について、理論面に基づいた上での手法の有効性を論じ、結果・考察について定量的に考察がなされている。本提案式を用いるフィッティング手法は試験用単セルのみならず、実際の燃料電池システムに搭載できるため In-situ による燃料電池の出力低下要因の特定や性能評価を可能とするもので、新規性・独創性が十分ある先駆的な研究を遂行した。今後の燃料電池普及に対し信頼性向上・特性向上および保守管理面での多大な貢献が期待できる成果である。以上より、本論文は博士（工学）学位論文に値する。

### 【最終試験の結果】

平成28年8月5日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とリスク工学専攻における達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。