

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
筑波大学 システム情報系	助教	秋元 祐太郎

研究テーマ

水素社会実現のための燃料電池スタックの自動診断制御システムの確立

研究報告

1. 研究の背景と目的

固体高分子形燃料電池は自動車用や非常用電源など多用途での利用が検討されており、多くの研究開発が行われている。しかし、他の動力システムに比べ複数の要因により出力が不安定になるなど信頼性に課題がある。燃料電池システムとしての信頼性を向上させるためには、システムの診断・解析手法の高度化やシミュレーション技術の向上によりシステム停止要因を明らかにすることが必要不可欠である。

燃料電池の診断手法の1つに電流分布計測がある。発電は最小の発電単位であるセルの面内で行われ、自動車などのシステムにはセルを直列に積層したスタックが搭載される。一般的に、燃料供給は単一方向から行われるため、セル面内および積層方向で燃料ガス濃度や温度などの条件が異なる。それら複合要因によって発電量が局所的にばらつき、電流分布が一様にならない。偏りのある電流分布は局所的な劣化を引き起こし、部分的に短絡状態になることでセルが発電不可能になる。そして、セルを直列に接続する構造からシステム全体の不具合につながるため、電流分布を計測し、制御することが重要である。この電流分布の計測はセル面を複数の領域に分割しそれぞれに計測用回路を接続する手法が一般的であるが、既存のセルを測定用に改造する必要がある。したがって、システムに搭載するスタックへ適用した場合、接触抵抗など電氣的な影響に加えて高コスト化やスタックの大型化につながる。このことから、システム診断には非破壊・非接触かつスタックに適用可能な手法が必須である。

そこで、申請者らは非破壊・非接触な計測手法として磁気センサを用いたセル面電流分布手法を開発した。また、燃料電池の出力低下要因を特定するための分極評価手法もあわせて開発し、計測だけではなく診断・評価・制御する手法として確立を目指している。その中で、燃料電池の診断および制御を自動で行うシステムの開発について主眼を置き、そのために必要な制御指標の確立および実際の制御に関する実証を行った。

2. 研究成果および考察

2-1 磁場診断指標による不具合回避制御

面内電流分布に起因する磁場分布より制御する方法を確立するために、生成水過多状態であるフラッドイングと膜乾燥状態であるドライアウトの2つの不具合を再現した。制御フローとしては、まずセル電圧が規定値を下回ったときに、非破壊磁場計測に基づく電流分布診断を行う。その磁場計測値、電流分布の傾向がフラッドイングあるいはドライアウトかを判別し、それぞれに対して制御を行う。今回、定常状態からフラッドイング条件、ドライアウト条件を繰り返すよう運転を行い、2つの磁気センサ計測値により制御を計1時間繰り返した。

図1に空気流量出口側における磁場推移と電圧降下の起こった各セルとの比較結果を示す。フラッディング条件においては B_x が初期値から低下し B_y は上昇していく。制御後に B_y は上昇するが、ドライアウト条件において B_x が減少、 B_y も減少していくことを繰り返す。これは、セル内部で電流分布が変化することに起因して磁場が変化した結果生じる。つまり、フラッディングでは B_y に関連する地点である空気出口側の電流が変化し、ドライアウトでは B_x に関連する地点である空気入り口側の電流が変化すると予測される。これは空気入り口側では理論的に高流量時はドライアウトが生じやすく、空気出口側では低流量、低温下にてフラッディングが生じやすいことと一致する。この結果から、磁場とセル電圧の変化を用いた指標による不具合の判別制御の可能性を示した。

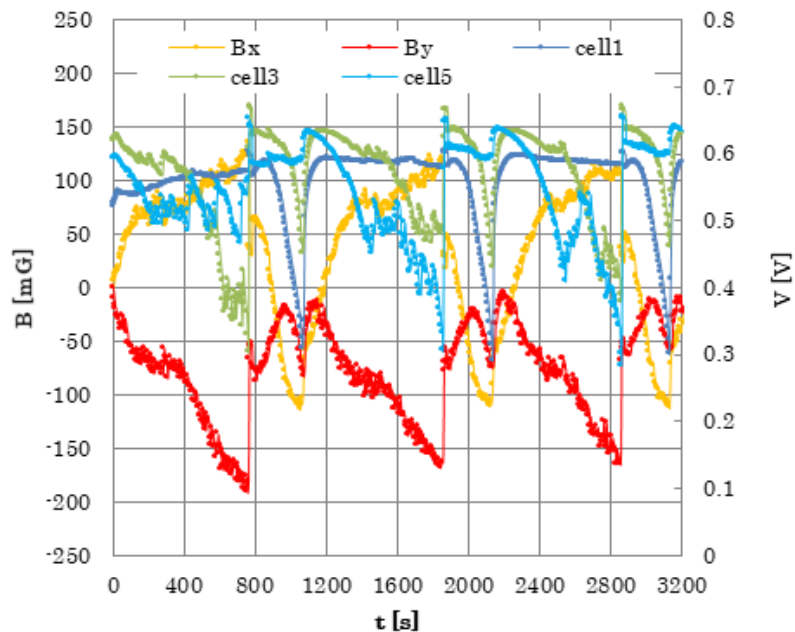


Fig 1. 磁気センサ出力およびセル1, 3, 5における電圧推移

2. 2 分極診断指標による不具合回避制御

リアルタイムにフィッティング式から分極を評価することで、出力低下要因を導き出し、自動制御を行う。今回は、PEMFCスタックのセル電圧 V_a の制御閾値を0.25 Vに設定し、20 A定電流運転を行う。電圧が制御閾値 V_a を下回ると、分極比較による制御を行う。

図2にフラッディング条件におけるセル電圧と濃度分極を示す。セル電圧は徐々に低下し、濃度分極が上昇している。運転時間が546秒のとき、実験ではセル5の電圧が0.244 Vであったため、ページ制御が行われた。その後、濃度分極が低下し、セル5の電圧が回復した。図3は、546秒後の初期分極と濃度分極の差を示しており、抵抗分極(Ohmic)は減少し、活性化分極(Activation)と濃度分極(Concentration)は増加している。546秒では、濃度分極が他の分極よりも大きくなり、ページが行われ、出力電圧が回復した。これらの結果から、提案手法では、フラッディングなどの障害を除去し、制御により運転を継続可能であることがわかった。

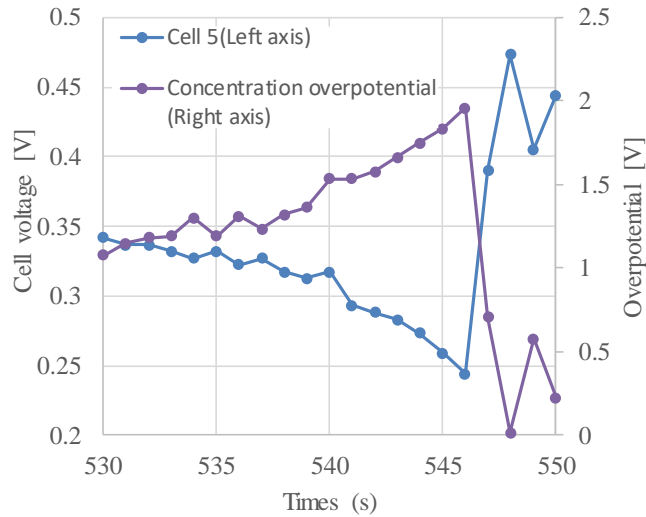


Fig. 2 セル 5 の電圧および計算された濃度分極推移

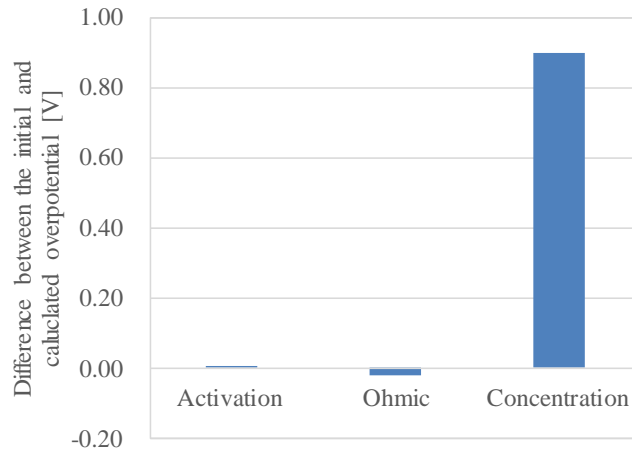


Fig. 3 初期値と 546 秒における分極の差

3. 将来展望

本研究により、燃料電池の診断および制御を自動で行うために必要な制御指標を導くことができた。今後は、不具合時だけでなく、出力向上や燃料消費率最小な運転方法に向けて、制御手法を検討していく。

4. 研究発表

査読付き学術論文（投稿中） 2件

査読付き国際会議論文 1件

・ **Yutaro Akimoto**, Keiichi Okajima, "Study of Control Method for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stacks Using Overpotential Calculated from Curve Fitting", Proceeding of International Conference on Applied Energy – ICAE2020, vol. 09, 83, pp.1-4

国内学会発表 1件

・ **秋元祐太郎**, 伊澤優太, 岩崎周馬, 鈴木真ノ介, 岡島敬一, 「非破壊磁場計測に基づく燃料電池簡易電流分布診断による不具合制御の検討」, 『電気学会全国大会(オンライン)』, Vol.4, 137, pp.231, 2021年3月