

2022年2月7日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
独立行政法人国立高等専門学校機構小山工業高等専門学校

燃料電池の不具合を回避する非破壊診断制御手法を開発

燃料電池は、発電時には二酸化炭素を発生せず、水しか出さないクリーンな発電技術として注目されています。しかし、この水によって発電性能が低下してしまうという問題があり、水が電池内部に滞留し発電の邪魔をする「フラッディング」と、水を除去しすぎて水素イオンが透過する高分子膜が乾燥してしまう「ドライアウト」という2つの相反する現象が生じます。このような不具合を検知するため、従来、多くの装置やセンサを用いたり、機械学習など大量のデータに基づいた手法が試みられてきました。本研究では、磁気センサでこれら2つの不具合を検知し、制御により回避する手法を開発しました。一定の電流で運転している燃料電池においては、これまで数十から百以上必要だったセンサ計測点を最低2つ、また、数分以上必要だった計算時間を1秒以内に短縮し、制御により不具合を回避可能にしました。

本手法に関して実証実験を行い、その有効性が明らかになりました。今後、電流が変動する場合への本手法の応用を検討するとともに、本研究グループがすでに開発している理論式に基づいた診断制御手法との組み合わせによる、燃料電池の不具合現象の予防や燃料電池の内部のリアルタイムな可視化など、燃料電池の総合的な診断手法の確立を目指します。

研究代表者

筑波大学システム情報系

秋元 祐太郎 助教

小山工業高等専門学校

鈴木 真ノ介 教授

研究の背景

燃料電池は、発電時には二酸化炭素を発生せず、水しか出さないクリーンな発電技術として注目されています。しかし、この水によって発電性能が低下するという問題があり、生成水が電池内部に滞留する「フラッディング」と水素イオンが透過する高分子膜が乾燥する「ドライアウト」という 2 つの相反する不具合が生じます。そのため、水管理は重要です。これらの不具合は、数秒以内に制御すれば問題にはならないため、これまで、多くの装置やセンサなどを用いて検知が試みられてきました。また、機械学習など大量のデータを必要とし経験則に基づく不具合検知手法も提案されましたが、このような多くのセンサや学習データを使うことは、燃料電池システムのコストを増加させます。コストを下げつつ不具合を回避するためには、最小限のセンサや少ないデータで不具合を検知できることが重要です。そこで、本研究では、これまで非破壊な評価手法として用いられてきた磁気センサによる電流分布評価手法を基に、センサと計算時間を減らすことにより、制御に適応させる手法を開発しました。

研究内容と成果

図 1 に燃料電池の構成について示します。燃料電池は高分子膜を隔て、水素側、酸素側に分かります。化学反応により発電時に生じる水は酸素側で生じます。燃料電池の空気の通り道（流路）にはさまざまありますが、図 2 のような蛇状（サーペントイン）流路では入口から出口にかけて一本道であるために、フラッディング時は水が空気出口付近に滞留しやすく、図 2 の(a)-(c)のように空気出口側から徐々に電流分布が減ることが予想されます。

本研究で開発した手法は、電流分布の絶対的な値ではなく、運転初期状態からの差分という相対的な値を算出することで、センサ計測数と計算時間の削減を可能としています。つまり、運転初期状態は健全な運転をしている想定の下、健全状態と不具合状態との差を予想することに着目しています。

手法の概要としては、まず、運転初期の磁束密度を測定し、システム内に保持します。続いて、制御の基準となるセル電圧（制御電圧）を下回った時に計測した磁束密度とシステム内に保持した磁束密度から運転初期状態との電流分布の差分を予測します。電流分布予測がフラッディングやドライアウトなどの不具合に当てはまる場合には回避制御を行います。これを制御電圧に達するまで繰り返します。どちらの不具合とも当てはまらない場合には燃料電池の運転を停止します。

一定の電流下では、減少部分以外の電流分布が相対的に増加します。磁気センサ計測点数を 4 点として計測した結果、フラッディング時には図 2 (b)の電流分布となる磁場が計測され、計測点数を 2 点に減らしても制御できることが分かりました。そこで、この 2 点の計測点を制御指標として組み込み、フラッディング運転を行ったところ、図 3 のように、不具合の回避制御により電圧が回復し、運転を継続して行うことができました。同様に、ドライアウト時にも磁気センサ計測点数を 2 点まで減らして制御できることを明らかにしました。

今後の展開

本研究では、燃料電池の不具合を検知・制御する新しい手法を提案し、一定の電流で運転している状態の燃料電池において実証実験を行い、その有効性を明らかにしました。今後、電流が変動する場合への応用を検討するとともに、本研究グループがすでに開発している理論式に基づいた診断制御手法との組み合わせによる、燃料電池の不具合現象の予防や燃料電池の内部のリアルタイムな可視化など、燃料電池の総合的な診断手法の確立を目指します。

参考図

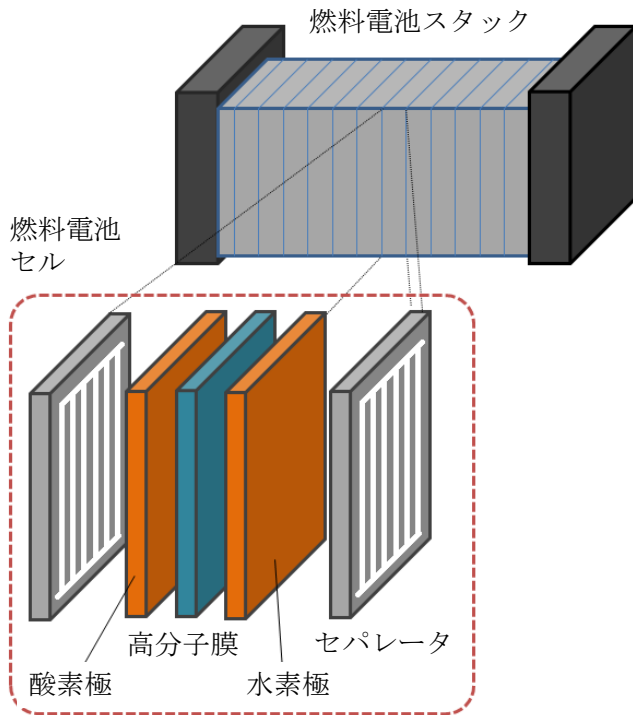


図1 燃料電池スタックとセルの構成

燃料電池はセルという発電の最小単位と、スタックというセルを積層したものがあり、燃料電池自動車などのシステムには、その規模に応じてセルを積層したスタックが搭載される。セルは高分子膜、水素極、酸素極から構成される膜電極接合体と、水素や酸素が流れるセパレータから構成される。

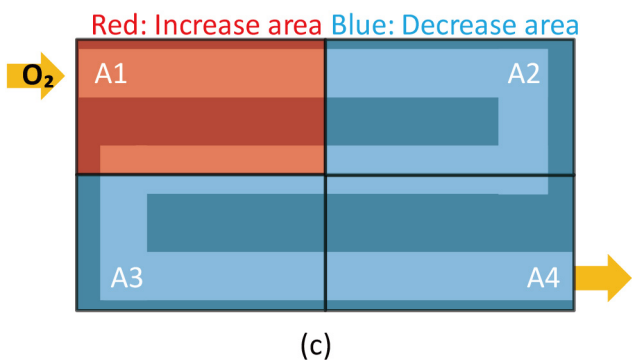
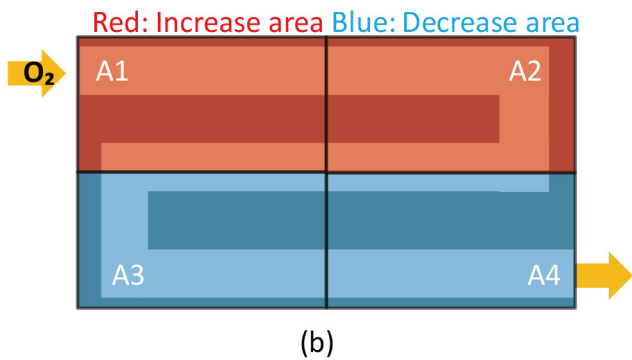
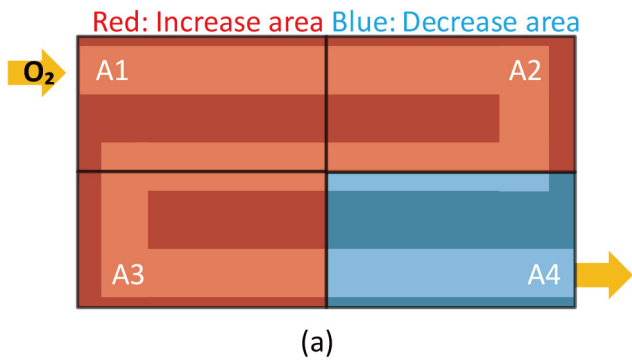


図2 フラッディング時の燃料電池セル電流分布

図のようなサーペンタイン流路の燃料電池の場合、運転初期状態に比べ、発電領域 A4、A3、A2 のように徐々に電流分布が減少する。(a)は水が出口近傍のみに滞留することで予想される電流分布であり、一定の電流下では、発電減少領域 A4 以外の領域 A1 から A3 の電流分布が相対的に増加する。(b)はさらに水が溜まり、発電減少領域が A3、A4 と広がる。(c)は(b)以上に広がった時の予想電流分布であり、この状態に至ると発電できなくなっている（電圧 0V 以下）可能性が高い。

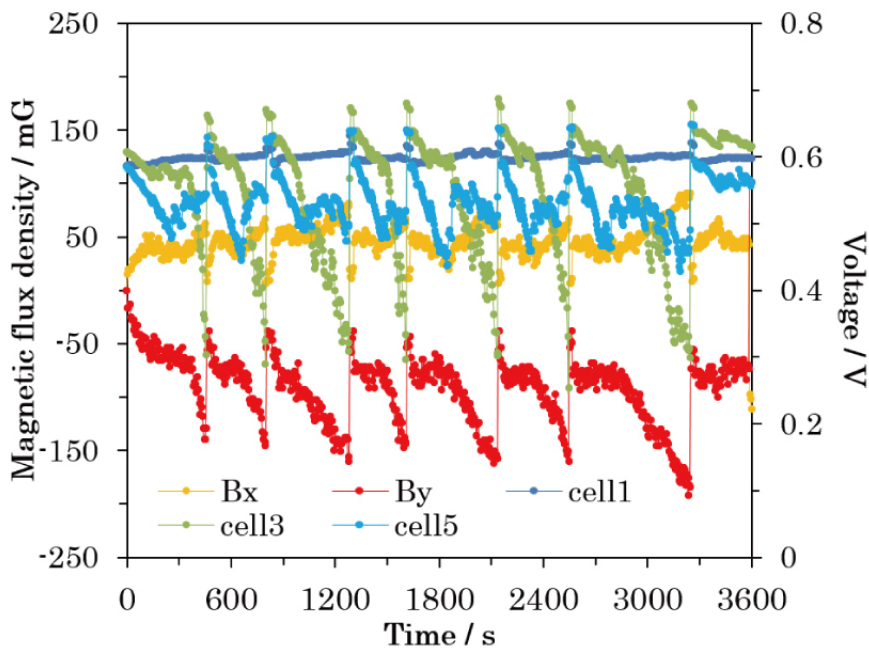


図3 フラッシング時のセル電圧と空気出口付近の磁束密度

1時間の運転のうち、制御電圧である0.3Vを7回、下回ったが、すべて回避制御により電圧が上昇した。

研究資金等

本研究は、科研費若手研究(B)、東電記念財団研究助成、八洲環境技術振興財団、マツダ研究助成の一環として実施されました。

なお本研究成果の一部は、特許出願済みです。（「燃料電池システム、燃料電池の制御およびプログラム」2021年2月24出願、出願番号：特願2021-27061、出願人：国立大学法人筑波大学（秋元祐太郎、岡島敬一））

掲載論文

【題名】 Experimental investigation of stable PEMFC control using magnetic sensor probes
 （磁気センサプローブを用いた燃料電池の安定制御手法の開発）

【著者名】 秋元祐太郎、伊澤優太、鈴木真ノ介、岡島敬一

【掲載誌】 Fuel cells

【掲載日】 2022年1月

【DOI】 <http://doi.org/10.1002/fuce.202100057>

問い合わせ先

【研究に関すること】

秋元 祐太郎（あきもと ゆうたろう）

筑波大学システム情報系 助教

URL: <https://sites.google.com/view/akimotolab-tsukuba>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

小山工業高等専門学校総務課企画係

TEL: 0285-20-2861

E-mail: hyoken@oyama-ct.ac.jp