

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2006～2009

課題番号：18206023

研究課題名 (和文) 磁気共鳴・レーザ計測の先進化による発電モードでの燃料電池の物質移動・劣化機構解明

研究課題名 (英文) Elucidation of mass transport and material degradation mechanisms in PEFC by advanced diagnostics using magnetic resonance imaging and laser techniques

研究代表者

平井 秀一郎 (HIRAI SHUICHIRO)

東京工業大学・炭素循環エネルギー研究センター・教授

研究者番号：10173204

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：燃料電池，水分輸送，磁気共鳴イメージング，レーザ計測

### 1. 研究計画の概要

燃料電池の電解質膜は、水分を十分に含んでプロトン伝導性を高く保つ必要があるため、水分制御技術の確立が不可欠である。そのためには、電解質膜、触媒層、拡散層における水分輸送現象を基礎的に明らかにする必要がある。本研究課題においては、電解質膜内に存在する水分が、水素を起源とする生成水、水素に加湿される水分、ならびに酸素に加湿される水分のどの入力経路からの寄与が支配的であるのか、高度化した MRI 計測技術を新たに開発する。その方法として、分子に“印”をつける方法、すなわち磁気共鳴イメージング (MRI) は水素 ( $H_2$ )、水 ( $H_2O$ ) からの信号を取得できるが、重水素 ( $D_2$ )、重水 ( $D_2O$ ) はできないことを用いて、水素の代わりに重水素を、水で加湿する代わりに重水を使用する実験をさまざまな組み合わせで行うことにより、膜内の水分の入力経路を明らかにし、水分制御の知見を得る。

### 2. 研究の進捗状況

発電時の高分子電解質膜内水分流入経路の解明を行い、以下の知見が明らかになった。

- (1) アノード・カソード加湿水量が同等の場合、相対湿度を 84% と高く設定したとしても加湿水は電解質膜内には流入せず、電解質膜内水分のほとんどが発電生成水に起因するものとなる。
- (2) アノードの相対湿度をカソードに比べ高く設定することでアノードの加湿水を積極的に電解質膜内に取り込むことが可能である。
- (3) アノード無加湿・カソードフル加湿条件の場合、カソード加湿水は電解質膜内に

直接取り込まれないが、カソード加湿水は発電生成水を液水に保ち、カソードからアノードへの水の流れを助長する重要な役割を担っている。

- (4) 膜電極複合体 (MEA) への微細孔層 (MPL) の挿入は、酸素極側加湿水の膜湿潤への寄与を減少させるが、発電生成水の膜湿潤への寄与については MPL によって増加する。このことから、酸素極側の MPL は低加湿運転下における膜湿潤の確保に向けて効果があるといえる。

### 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

本研究課題では、電解質膜内に存在する水分が、水素を起源とする生成水、水素に加湿される水分、ならびに酸素に加湿される水分のどの入力経路からの寄与が支配的であるのかを基礎的に明らかにするために、核ラベリング磁気共鳴イメージング (NL-MRI) 計測技術の開発を行ってきた。ここまでの研究により、高分子電解質膜内水分の入力経路の可視化により、加湿水が電解質膜に直接取り込まれる条件は非常に少ないこと、ならびに、微細孔層が水分輸送へ及ぼす影響などを基礎的に明らかにすることができた。加えて、アノード触媒上での酸化還元反応により水素原子核が膜内へ流入する過程の可視化にも成功するなど、申請時には予想していない新たな発展的知見も獲得できており、ここまで、研究は順調に進展しているといえる。

### 4. 今後の研究の推進方策

今後は、燃料電池における物質移動と劣化機構を基礎的に明らかにすることを目的に、これまでの研究により開発した核ラベリング計測技術の触媒反応解析への拡張と水分輸送と密接に関係するマイクロ多孔質構造の評価を行っていく。具体的には、以下の研究項目を推進する。

- (1) NL-MRI を用いた交換電流密度の定量的評価技術の開発
- (2) X 線 CT 三次元可視化による燃料電池における多孔質材料マイクロ構造の評価

## 5. 代表的な研究成果

(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 S. Hirai, S. Tsushima, Water Transport and Degradation Analysis in PEMFC by in-situ MRI Visualization, ECS Transactions, 16(2), 1337-1343, 2008, 査読有.

② T. Kotaka, S. Tsushima, S. Hirai, Visualization of Membrane Hydration Path in an Operating PEMFC by Nuclei-Labeling MRI, ECS Transactions, 11, 445-450, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 3 件)

① 津島将司, 小高敏和, 吉田瑞穂, 宮岡陽介, 平井秀一郎, MRI 計測技術の高度化による PEFC 水分輸送・劣化解析, 第 15 回燃料電池シンポジウム, 2008 年 5 月 15 日, 東京

② 津島将司, 小高敏和, 平井秀一郎, PEFC 発電特性と水分輸送に及ぼすマイクロ多孔質層の効果, 第 45 回伝熱シンポジウム, 2008 年 5 月 21 日, つくば

③ 小高敏和, 津島将司, 平井秀一郎, 核ラベリング MRI を用いた発電時における PEFC 電解質膜内水分パスの可視化, 第 48 回電池討論会, 2007 年 11 月 15 日, 福岡