

日本—中国 国際共同研究（都市における環境問題または都市におけるエネルギー問題に関する研究） 平成 29 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	大型バス用燃料電池の水管理と低温起動性に関する研究
研究課題名（英文）	Study of water management and low temperature start-up of fuel cell stack in bus application
日本側研究代表者氏名	近久 武美
所属・役職	北海道大学・特任教授
研究期間	平成 28 年 8 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
近久 武美	北海道大学・工学研究院・特任教授	Cryo-SEM による氷形成挙動観察と GDL スケールモデル実験
田部 豊	北海道大学・工学研究院・准教授	触媒層内モデル解析および LBM 数値計算による GDL 内凝縮水挙動解析
荒木 拓人	横浜国立大学・工学研究院・准教授	WP 総括. 氷・液水の in situ X 線 CT 可視化手法開発
松本 裕昭	横浜国立大学・工学研究院・教授	セル内温度分布 数値解析手法開発
諸隈 崇幸	横浜国立大学・工学研究院・助教	セル内温度分布 数値解析手法開発
宗像 鉄雄	産業技術総合研究所・省エネルギー研究部門・研究部門長	統括
伊藤 博	産業技術総合研究所・省エネルギー研究部門・主任研究員	燃料電池内水分バランスの最適化研究
染矢 聡	産業技術総合研究所・省エネルギー研究部門・研究部門付	燃料電池内水分バランスの最適化研究

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

昨年度に準備した標準セルを用いて、低温起動実験プロトコルの標準化を行う。一方、X線 CT 観察ならびに中性子観察を低温環境下で行えるよう改良する他、得られた結果を Cryo-SEM 観察と比較する。この際、特に MPL 構造に着目した観察を行う。また、部材構造および運転条件と昇温特性の関係を解析可能なマクロスケール数値シミュレーションを作成し、起動許容時間の把握を目指す。一方、触媒層近傍の現象に関して、氷の存在による各種物性値変化を考慮した数値解析モデルを開発する他、プロトン伝導度や活性化過電圧などの推定を行う。また、ガス拡散層内の LBM 数値シミュレーションならびにシリコンオイル・水による拡大スケールモデル実験によって、GDL 繊維の配列構造による凝縮水排出特性の差異を明らかにする。

3. 日本側研究チームの実施概要

触媒層からセパレータまでの全部材の温度変化について詳細な数値解析を行った。その結果、発熱部の触媒層と他の部材との温度差はわずかであり、触媒層内で生成された水が氷結する前に、発生した熱によって部材全体を 0℃以上に昇温しなければならないことを把握した。この結果に基づき、-20℃の条件において、0.5A/cm²で 40s 以上の運転を目標とすることを、研究者全体で確認した。次に、スタック構造を想定した周期断熱境界を模擬できる燃料電池実験装置を作成し、低温起動実験を行った。その結果、0.5A/cm²の電流密度を負荷するには電解質膜の含水率が高くなる必要があり、膜の湿潤状態に応じて電圧をモニターしながら電流を制御する緻密な運転手法の研究が今後必要であることが示された。

一方、発電セルを氷点下域に保持し、発電による生成水の凍結氷を X 線 CT により in Situ で可視化する装置を完成させた。カーボン繊維と氷は同様に X 線を吸収するが、氷形成時の画像から起動前のカーボン繊維のみの画像を差し引くことにより、氷部分のみを抽出することが可能となる。検証実験を行った結果、実発電状態での生成氷の可視化が実現できていることを確認できたほか、リブおよびチャンネル下の氷形成状態の差異をある程度明らかにすることができた。

このほか、燃料電池内の水移動の把握は重要である。そこで、アノードとカソード間の水分移動を計測するために、アノード側水素供給ラインに水素循環ラインを増設し、アノード/カソード両ライン内の露点を測定することで、両者間の水分移動量を定量的に把握できるようにした。また、MPL (Micro-Porous Layer)は触媒層内で生成された凝縮水の排出に対して特に重要な役割を持っている。そこで、厚みや撥水性をより高い精度で再現可能な自立型 MPL 単独層の作製方法を確立し、MPL-GDL 接合体構造と自立型 MPL のみの構造による性能比較を行った。このほか、凝縮水による酸素拡散影響を把握するために、異なったスケール（分子拡散支配とクヌツセン拡散支配の 2 スケール領域）における酸素拡散特性を解析可能とする手法を開発した。本手法を用いて異なった MPL 構造について解析を行った結果、触媒層領域と GDL 領域における酸素拡散特性の MPL 構造による差異について明らかにすることができた。

一方、凝縮水排出特性に優れた GDL 構造に関して、格子ボルツマン法(LBM 法)による数値計算と、3D プリンターで形成した拡大スケールモデルを用いた凝縮水挙動観察実験法による解析を行った。その結果、通常用いられているランダムな配向性を持つ GDL 繊維構造よりも指向性のある構造とし、流路に対して直角方向に主たる繊維を配向させるのが、スムーズな凝縮水排出に適切であることが示された。