

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 28 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・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・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・研究グループ長	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

Cryo-SEM を用いたマイクロ氷形成分布観察技術と X 線 CT 観察による計測結果を相互比較する。一方、マイクロ温度計測によって得られた局所非定常温度変化と可視化観察結果を比較し、低温起動時の内部現象に関して意見交換を行う。また、ガス拡散層内の LBM 数値シミュレーションと、シリコンオイルと水を用いた拡大スケールモデル実験との比較を行う。このほか、実機応用で重要となる水分管理技術研究を開始する。

一方、低温起動時の非定常発電特性ならびに局所温度変化解析を可能とする数値シミュレーションモデルの開発は本研究成果技術の評価上で重要であり、シミュレーションの構造と用いるモデル、ならびに比較計測項目の策定を行う。

## 3. 日本側研究チームの実施概要

Cryo-SEM と X 線 CT 観察による計測結果を相互比較、ならびにマイクロ温度計測と可視化観察結果の比較をするまでには至らなかったが、Cryo-SEM 観察によって $-15^{\circ}\text{C}$ 前後を境として触媒層内の凍結挙動が大きく異なること、 $-10^{\circ}\text{C}$ 以上では過冷却状態で凝縮水移動が生じていることが明らかとなった。一方、 $-20^{\circ}\text{C}$ 以下では触媒層内に生じた凝縮水は直ちにその場で凍結し、わずかにイオノマー内を通して水の移動が可能であることが分かった。また、温度条件にかかわらず起動初期に生成された水は PEM 膜に吸収される期間があり、極低温起動ではこれを利用した触媒層内の温度上昇がまず鍵となることが分かった。さらに、過冷却状態で MPL 界面に移動した凝縮水の挙動は MPL の濡れ性によって大きく異なり、親水性 MPL を用いることによって、低温起動特性を改善し得る可能性を見出すことができた。

これらの知見から、低温起動性能を向上するには、①生成水の膜吸収期間を増加させるほか、この時間内に触媒層内温度を少なくとも $-10^{\circ}\text{C}$ 以上に上昇させる、② $-10^{\circ}\text{C}$ 以上となった触媒層内で引き続き生成する水を過冷却状態で MPL 側に効率的に輸送する、③MPL 界面に移動した水を積極的に GDL 側に輸送する、④この間に触媒層から MPL にかけての領域を $0^{\circ}\text{C}$ 以上にする、一連のプロセスが有効と考えられた。

MPL 層を超えて GDL 内に流入した凝縮水の移動を制御することは、低温起動のみならず常温運転時の性能向上に重要である。こうした研究に有用な解析法として、複雑なガス拡散層内の凝縮水挙動を許容範囲内の計算時間で解析可能とする LBM 数値計算法の開発を行うことができた。一方、計算では困難な程度の広領域の現象観察が可能なように、スケールモデル実験法の開発を行った。その結果、シリコンオイルを凝縮水に、水を空気に見立てることによって、キャピラリー数支配の相似現象を再現可能であることが分かった。

この他、今後の研究を進めていく上で必要な装置準備を確立することができた。まず、X 線 CT 観察装置において、氷点下における現象観察が可能なように装置の改良を行ったほか、分極特性の計測手法の確立を行った。一方、MPL 層の特性は低温起動性に大きな影響を及ぼすと考え、種々の MPL の作成手法の確立を行った。さらに、研究者間のデータを相互比較できるように、標準セルならびに実験手法の標準プロトコルの共通化を日中全体で行った。

また、低温起動中の電池部材内の温度変化シミュレーションは今後の低温起動改善法の方向性を考える上で重要であり、清華大学における解析結果に対する意見交換を行った。