九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

極細熱電対アレイによる温度計測に基づいた固体高分子形燃料電池内部の熱・水挙動解析

水谷，千晶

https://hdl.handle.net/2324/1654883

出版情報：九州大学，2015，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

（様式２）

氏　　名　：水谷　千晶

論文題名　：極細熱電対アレイによる温度計測に基づいた固体高分子形燃料電池内部の熱・水挙動解析

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

固体高分子形燃料電池（PEFC）の更なる導入に向けて，より一層のコスト低減が必須である．PEFC では，内部の湿潤状態がセル性能を左右するため適切な水管理が重要であるが，このような水管理に関わる補機がコストの約半分を占める．水管理に関わるコストの低減を目指して，内部の水挙動の解析や，解析結果に基づいた補機の簡素化，撥水性を付与した機能材料の開発などが進められてきた．今後，湿潤環境に対する一層のロバスト性強化，あるいは機能材料の高度化を進めてコスト低減するには，セル内部の複雑な水挙動をその場で捕らえる必要がある．本論文では以上を背景に，温度センサを新規に開発し，これをセル内部にアレイ配置し，温度分布とその時間変化を介して内部の局所水挙動を捉えることに挑戦する．特に，代表的な運転条件である相対湿度や利用率に対する水挙動，あるいは水管理に資する機能的部材である Micro Porous Layer（MPL）の有無に対する水挙動，及びセル性能との関係を，温度計測を介して解析することに挑戦する．

1 章では，セル内部の水挙動解析の必要性を説明し，観察手法をレビューし，現状，水挙動を捕らえる目的に対して十分な空間・時間分解能を有する観察手法がないことを先ず示した．その上で，極細の温度センサをセル内部にアレイ配置し，得られる温度分布とその時間変化を介してセル内部の水挙動を解析する新しい手法を提案した．

2 章では，セル内部での温度を計測する温度センサに必要な仕様を明らかにした．センサ及び計測点が小さく，計測点の位置決めが容易であること，耐腐食性があること，セル内の締結応力に耐える機械的強度を有すること，セルと電気的な絶縁性を有することなどの仕様を明らかにした．その上で，このような仕様を満足するセンサすなわちインライン型熱電

対を，極細（直径 50 μm）の熱電対素線の突合せ溶接技術，ポリイミドの被覆技術とともに開発した．更に，この熱電対をセル内に高い精度で位置決め配置できる治具も開発した．

3 章では，市販されている燃料電池を考慮しながら，温度計測，および水挙動解析の対象となるセル構造，セル部材を決定した．すなわちセルを長尺型とし，SUS316 に金メッキ，あるいは樹脂を含浸したカーボンを材料にしたセパレータ，MPL を施した，施さないカソード触媒層を組み込んだセルを計測対象にすることにした．これらセパレータ材料の差異や，MPL の有無は，ぬれ性や熱伝導率を介して温度，水挙動に大きな影響を与えることも示唆した．

4 章では，実験的にあるいは数値計算により，挿入したインライン型熱電対がセル性能，あるいはセル内部の物質，熱，電荷輸送へ及ぼす影響を解析し，計測手法としての健全性を評価した．インライン型熱電対を挿入してもセル電圧には 70 mV 程度の，局所温度には 0.1 K 以下の影響にとどまり，開発した熱電対の挿入と温度計測に基づいた解析には一定の健全性を有することを明らかにした．他方で市販のシース熱電対を挿入すると，特に，熱輸送への影響が大きいことが判明し，本研究で開発したインライン型熱電対の優位性を示唆した．

5 章では，インライン型熱電対により得られた 3 次元の温度計測の結果に基づいて，運転条件の違いが水挙動，セル電圧に及ぼす影響を等価電気回路とともに解析した．負荷電流，ガスの相対湿度，利用率を変化させ，厚さ方向，流れ方向，リブ・流路方向の温度分布を計測し，得られた温度分布がセル内の不均一な乾燥，湿潤，フラッディングに起因することを明らかにした．また水滴の排出に伴うセル電圧の急激な変化が温度の時間変化と連動することも明らかにし，温度計測を介したセル内部の水挙動解析の有効性を示すことができた．

6 章では，セル構成材料の違いが水挙動，セル性能に及ぼす影響を温度分布計測に基づいて解析した．MPL が組み込まれる場合にはオーム損が低下しセル電圧が高く，セル全体の温度が低くなった． MPL がない場合には厚さ方向の温度分布においてカソード触媒層で極小となった．前者に対しては MPL の多孔質構造，ぬれ性に起因する PEM 内の湿潤，後者に対してはカソード触媒層における水の蒸発をメカニズムにして説明することができた．従来から一部示唆されていた水の相変化にともなう局所温度変化の可能性を確認できた．

セパレータの材質の違いでは，材料の熱伝導率に起因してセル内の全体温度の高低が決まることを明らかにした．カーボン製セパレータを組み込んだ高加湿の条件の運転では，不安定かつ大きな温度分布を生じ，カーボン製セパレータ表面の撥水性による水滴排出の妨げを示唆した．

以上を 7 章で総括し，今後の課題も示した．