



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Numerical Simulation of Gas Flow with Electrochemical Reaction in a Polymer Electrolyte Fuel Cell [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	K.M. Salah Uddin
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11126号
Issue Date	2013-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53852
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	K.M._Salahuddin_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 K.M. Salahuddin

審査担当者 主 査 教 授 大島 伸行
 副 査 教 授 渡部 正夫
 副 査 教 授 村井 祐一
 副 査 准教授 田部 豊

学位論文題名

Numerical Simulation of Gas Flow with Electrochemical Reaction in a Polymer Electrolyte Fuel Cell
(高分子形燃料電池内の電気化学反応を伴うガス流れの数値シミュレーション)

高分子形燃料電池は高効率, 低エミッションかつ小型可搬性に優れるなどの利点から従来の燃焼機関に替わりうる車両や家庭用のエネルギー源として注目を集めている。本研究論文では, 高分子形燃料電池の数値シミュレーション技術の確立と実用化を目標とし、特に、高分子形燃料電池の主要構成要素である微小流路と多孔質ガス拡散層における流動および物質輸送に着目して、それらの数値解析に基づき、多孔質ガス拡散層に生じるクロスフロー (漏れ流れ) の流動特性と燃料電池性能への寄与メカニズムを明らかにすることを目的としている。

第一章では、高分子形燃料電池とその数値シミュレーションに関する研究状況を概観し、本研究の目的を述べている。

第二章では、高分子形燃料電池の動作原理を概説し、特に多孔質ガス拡散層に生じるクロスフロー (漏れ流れ) に関わる課題を示した。

第三章では、高分子形燃料電池に多用される折り返し流路 (serpentine channel) と多孔質ガス拡散層の 3 次元流れ数値シミュレーションを高精度に実行するために改良された流動場数値シミュレーション法を導入し、流路ピッチや多孔質厚さなど形状パラメータや多孔率や透過率など多孔質の流動特性パラメータによる流動場への影響を系統的に解析した。その結果、多孔質層クロスフロー (漏れ流れ) と流路曲がり形状による流路損失へのそれぞれの寄与分を明らかにするとともに、折り返し流路の様々な設計条件に伴う多孔質層クロスフローの定量的予測を示した。

第四章では、多孔質層クロスフローによる高分子形燃料電池性能に与える寄与を明らかにするため、流動場に加えて、化学種輸送と電流場および電気化学反応を連成した数値シミュレーションを開発して、高分子形燃料電池の発電性能の予測を行った。ここでは、特に多孔質層流動と化学種輸送の関係に着目し、液水生成に伴う二相流や温度変化の影響を除くため、化学種輸送が律速となりやすい低電流条件のもとで解析を行っている。まず、多孔質クロスフローを生じない条件において、流路直下に最大の酸素勾配とそれに伴う高い電流密度分布が生じること、また、供給流量や多孔質厚さなどによる酸素拡散特性と発電性能の変化などを予測解析示した。さらに、前章のクロスフロー生成メカニズム考察に従って、隣接する平行流路に異なる流量を供給することで圧力差によりクロスフローを生成させる条件を与え、酸素拡散特性および発電性能へ影響を予測解析した。その結果、クロスフローによりリブ (流路壁) 下への酸素供給が大幅に促進され、リブ下に電流密度分布の最大部が移動し総発電量も増大し、これはクロスフローによる燃料電池性能への寄与とし

て、酸素の総供給量を増やすことなく限界 (最大) 電流密度を向上させるメカニズムを与えることが明らかとなった。

第五章では、高分子形燃料電池の発電性能に影響を与える大きな因子として電解質膜の含水分布の予測解析を試みた。ここでは、津島らにより MRI を用いて行われた発電状態の高分子形燃料電池内の動的な水分量計測を参照し、上記に述べた数値シミュレーションにさらに水分子輸送モデルを連成した数値解析法を構築し検証を行った。ここでは、多孔質、触媒層、電解質膜の異なる 3 層において流体相 (蒸気・液水) と固体相 (電解質内含水) の異なるメカニズムが連動して生じる水分子輸送モデルを薄い触媒層において連成するカップリング数値解析法を新たに構築して、複雑な現象の数値シミュレーションを効率よく実行することに成功した。その結果、水輸送効果の比較的小さい低電流密度条件では電解質含水の緩和時間過程や内部分布などの実験データを良く再現する予測を得ることができた。また、水輸送効果が生じる中程度の電流密度条件では電解質内部の含水分布の特徴を概ね再現し、また、実験では観測できない流路断面での 2 次元分布の予測をしめすことができた。最後に定量的予測精度の向上および高電流密度条件への適用に向けて、本解析では扱っていない多孔質層での液水生成の影響モデルの導入が必要となることが指摘されている。

第六章では、上記成果のもとづく本研究の結論を述べ、高分子形燃料電池の流動・物質輸送に着目した数値シミュレーションの有用性、および、予測精度向上に向けて今後の技術的指針を示している。

以上のように本論文では、高分子形燃料電池内の複雑な流動・物質輸送の連成数値シミュレーション法を構築し、電池性能予測の実用性を実証した。この成果は、高分子形燃料電池の開発設計に大きな寄与であるとともに、複雑な流動現象の連成数値シミュレーション技術における有用な新規知見を与えている。それらは機械工学、特に、計算流体力学の発展に寄与するところ大である。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。