HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	固体高分子形燃料電池のマイクロ水輸送現象と耐フラッティング性を有するGDL構造に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	境田, 悟志
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13208号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69941
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Satoshi_Sakaida_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　境田 悟志

審査担当者　主　査　特任教授　近久 武美
副　査　教　授　大島 伸行
副　査　教　授　小川 英之
副　査　准教授　田部 豊

学位論文題名

固体高分子形燃料電池のマイクロ水輸送現象と耐フラッティング性を有する GDL 構造に関する研究
(Study on Microscopic Water Transport Phenomena and Structure of Gas Diffusion Layer Tolerant to Flooding in Polymer Electrolyte Fuel Cell)

多様な一次エネルギーから生成可能な水素を使用し, 環境特性にも優れた PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell (固体高分子形燃料電池) は今後, 更なる普及が期待されている. しかし, 本格普及には PEFC の高出力密度化を実現し, コスト低減, 市場競争力の強化が不可欠である. 高出力密度運転を実現するには発電時に副産物として生成される水を効率的に排水する必要があるが, 微細な構造を有する PEFC の最適な排水機構の構築は未だ実現できていない. とりわけ GDL: Gas Diffusion Layer (ガス拡散層) 内部に滞留する水の排水は重要である. しかし,GDL はミクロスケールの微細構造であり,X 線や中性子を用いた可視化手法には多くの困難をともなうため,GDL の水輸送機構の解明および水輸送を最適化する構造条件には不明点が数多くある. そのため,LBM: Lattice Boltzmann Method (格子ボルツマン法) に代表される数値解析が有望であるが, 計算負荷の低減が課題として存在する. 本論文では LBM を用いた高速解析手法を構築し, 従来では難しかった大規模領域を用いた GDL 内水輸送解析に取り組んでいる. また, 観察が難しい GDL 内部の水輸送現象を GDL の数百倍のスケールで再現する新しい実験手法を確立しており, 解析と実験を併用した独自の研究アプローチによって効率的な排水を実現する GDL 構造の提案を行っている.

得られた結果のうち, 第 3 章では水と空気のように密度比が大きい条件を取り扱える LDR-LBM: Large Density Ratio - Lattice Boltzmann Method (高密度比 LBM), および 2 相の密度を等しい値として扱う SD-LBM: Same Density - Lattice Boltzmann Method (等密度 LBM) を用いた GDL 内水輸送解析を比較し,(1) アルゴリズムが LDR-LBM に比べシンプルな SD-LBM を GDL 内水輸送解析に用いることが妥当性であること,(2) 計算負荷の低減に有効であることを明らかにしている.

第 4 章では本論文で開発した GDL 内部の水輸送現象を GDL の数百倍のスケールで再現する実験手法「スケールモデル実験」について述べるとともに,GDL 内部の水輸送を再現する条件についてキャピラリー数 (粘性力と毛細管力の比), 粘度比 (液相と気相), ウェーバー数 (慣性力と毛細管力の比) を用いて議論している. 一般的に,GDL 内部の水輸送は粘性力や慣性力が毛細管力に比べ非常に弱く, 毛細管力が大きな流れである. 解析およびスケールモデル実験を用いて慣性力, 粘性力および毛細管力の影響を検証した結果, キャピラリー数を 10^{-3} 以下, 粘度比を水と空気の粘度比と同じ 18 程度とすることで粘性力を毛細管力と比べ十分小さくし, ウェーバー数を 10^{-1} 以下とし慣性力

も同様に小さくすることで,GDL の数百倍スケールであっても GDL 内部の水輸送と同じ毛細管力が大きな流れを再現することが可能であることを明らかにしている.

第 5 章では計算負荷を低減するため, 疎水および親水 GDL における流入速度の上限について検証している. その結果, 疎水・親水ともにキャピラリー数を 10^{-3} に相当する速度であっても PEFC 運転下における GDL 内のキャピラリー数 10^{-8}〜10^{-5} と同じ水分布が得られることを示すとともに, 従来では難しかったチャネルを含んだ大規模 GDL 内水輸送解析を実現している.

第 6 章では耐フラッディング性を持つスムーズな水輸送を実現するため, 指向性のある繊維配向を有する GDL の水輸送について LBM とスケールモデル実験によって検討している. その結果, 若干の指向性を与えた GDL において, 一般的に用いられる指向性のない GDL や指向性が強く一列に繊維が配向された GDL に比べて, スムーズな水輸送を実現できることを明らかにした.

以上, 本研究では LBM を用いた大規模 GDL 内水輸送解析手法およびスケールモデルを用いた実験手法を確立し,LBM とスケールモデル実験を組合わせた新しい研究アプローチを提案するとともに, 耐フラッディング性を持つ GDL 構造を明らかにした.

これを要するに, 本研究は固体高分子形燃料電池の GDL 内水輸送特性を明らかにする新しい手法を提示したほか,GDL 構造に関する最適設計指針を示していることから, 熱工学およびエネルギー工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある. 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.