



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	固体高分子型燃料電池のアノード燃料ガス供給に関する非定常物質輸送解析 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	市川, 靖
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12018号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59922
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yasushi_Ichikawa_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 市川 靖

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

固体高分子型燃料電池のアノード燃料ガス供給に関する非定常物質輸送解析
(Transient mass transfer analysis on gas supply for anode flow field of polymer electrolyte membrane fuel cells)

燃料電池自動車の普及のためには、車載される燃料電池発電システムの 1 台あたりのコストを現在よりさらに下げる必要があり、世界市場を視野に入れた際、極めて大きな問題である。本研究では、燃料電池発電システムの補機類簡素化の方針としてアノード側のガス供給システムに着目し、高価な補機である水素循環ブロワを排したデッドエンド型形態において生じる発電不安定などの課題を取り上げ、特に水素欠乏による触媒劣化を防ぐ流動場設計を目的として主に数値シミュレーションを用いた流動場の詳細解析を示した。

第 1 章にて車載燃料電池の普及動向と技術的課題について概説して特に流動場設計の観点から本研究の目的を述べたのち、第 2 章では特に水素循環ブロワを排したデッドエンド型形態での燃料電池運転に際して生じる水素欠乏による発電不安定と触媒劣化の問題を提起し、その発生機構として、カソード側から膜を透過して窒素などの不純物がアノード側に侵入し残留することにより水素欠乏状態が生じること、触媒周辺の構造物に用いられているカーボンが水素の代りに消費されるため構造物が破壊されてゆき回復不能な破壊モードとなることを説明している。さらに、解決方法として水素の変動圧力供給方式の提案と、その際の非定常流動場の詳細解析の必要性を述べている。併せて、起動時の積層セルへの水素供給開始時にも同様の問題が生じうることを指摘している。

第 3 章では、デッドエンド型形態の燃料電池の定常運転時について、従来の一定圧力供給方式のデッドエンド型アノード供給方式に対し、本研究で示す変動圧力供給方式において 発電不能となる原因の水素欠乏状態が解消され安定した発電が継続可能であることを、実用相当の燃料電池単セルにて実験および数値解析により確認した。具体的には、発電状態の確認にはセルの発電面に対し上流から下流にわたる 8 点にて電流およびガス分析を時間連続的に計測し、また 計算では 1 対のアノードチャンネルとカソードチャンネルをモデル化し固体高分子膜と触媒層を多孔体として簡易化、カソードとアノードでのガス反応を簡易的なアレニウス反応モデルとし、非定常計算を行った。実験と計算結果を分析し、従来の一定圧力供給方式と変動圧力供給方式では、デッドエンド状態が開始されてからの発電分布とガス濃度分布が異なり、前者ではアクティブエリア下流から水素欠乏の原因となる窒素ガスの高濃度領域が発生し時間の経過とともに上流側へ拡大していくのに対し、後者では圧力変動周期に合わせて窒素ガスの高濃度領域が生成と消滅を繰り返すがその最高濃度値は、前者の最高濃度値体積 75 パーセントに較べると 6 体積パーセント程度とはるかに低い状態であるこ

とを明らかにした

第4章では、燃料電池の起動時においてガス投入時には燃料電池単セルが複数積層された燃料電池スタックに水素ガスが等分配されない場合の水素欠乏状態が懸念されることから、最大200枚の燃料電池単セルが積層されたスタックを模擬し、各単セルへガスを分配/集合するマニフォールド、アノードガスチャネル形状を詳細に再現し、初期状態の非水素ガスが充填された状態からマニフォールドの上流側へ水素ガスを投入し、水素ガスがアノード系内に置換されてゆく過程を、ガス流路方向のガス濃度分布の変化として捉えた。計算によりマニフォールド内部での流れ場を詳細に調査し、ガスが均等に分配されない原因として、入口側マニフォールド内で剥離旋回流が発生することと圧力分布が発生することに相関関係があることを捉えた。実験ではアクリルによりアノード流路相当のチャネルを設けた模擬セルによりスタックを構成し、スタック両端部のセルからガスチャネル流れ方向の起動後相当のガス濃度分布を計測し検証を行った。これにより入口側マニフォールド内で適切な流れ場をつくる必要性を設計指針として得ている。

第5章では、上記研究成果のまとめとして、燃料電池自動車に搭載される燃料電池システム用水素循環プロアを簡略化することにより発生し易くなる水素欠乏という致命的な課題に対し、これを回避する解決案が定量的かつ非定常的な流体解析により示されたことを述べている。

以上のように本論文では、車載燃料電池内での水素欠乏による発電不安定と触媒劣化の問題に対して流動場の詳細解析を用いてその解決策を与えた。これは、燃料電池の流動場設計に重要な指針を示すとともに、複雑な微小流動場シミュレーション法の代表的な工学応用事例として価値ある成果といえる。これらは機械工学、特に、計算流体工学の発展に寄与するところ大であり、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。