



Title	無水高温型PEFCの出力向上のための流路構造とHDV走行シミュレーションに関する研究
Author(s)	市川, 亮輔
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16841号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16841
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99686
Type	doctoral thesis
File Information	Ryosuke_Ichikawa_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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 亮輔

審査担当者 主 査 教 授 田部 豊
副 査 教 授 村井 祐一
副 査 教 授 戸谷 剛
副 査 准教授 植村 豪

学位論文題名

無水高温型 PEFC の出力向上のための流路構造と HDV 走行シミュレーションに関する研究
(Study on Flow Field Structure for High Power Output and HDV Driving Simulation in
Non-humidified High-temperature PEFC)

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は, 運転中に二酸化炭素を排出せず高効率であり, 始動性と負荷追従性に優れていることから, 自動車などに利用されている. 近い将来, 大型商用車 (HDV) などへ広く採用されることが期待されている. しかし, HDV で高負荷運転が必要な場合, 電池の冷却能力不足が大きな問題となる. これは, 電池と外気との温度差が小さいために発生する. そこで本研究では, 従来型では運転が難しかった 100 °C 以上で動作可能である無水高温型 PEFC (以下, HT-PEFC) に着目した. HT-PEFC は電解質膜にプロトン伝導キャリアとしてリン酸をドーピングすることで無水環境下および高温 (~200 °C) での動作を可能にしている. 外気との温度差を大きくし, 冷却能力を向上させることができると考えられるが, 実車のパワートレインシステムにどのように適用できるかについての研究はほとんどない. 本研究では, HDV に HT-PEFC システムを採用した際の有用性を評価することを目的に, 実験による性能特性の明確化と高出力化のためのガス流路の検討, および走行シミュレーションによる冷却性を含めた有用性の評価を行った.

まず, 100 °C 以上での HT-PEFC 運転, HDV など要求される高負荷条件での発電特性を調べるための評価システムを構築した. 活性化過電圧, 抵抗過電圧, 濃度過電圧からなる 3 種の過電圧特性を, ターフェルの式を活用して過電圧分離した. また, 高負荷領域で大きくなる濃度過電圧の発生メカニズムを明確にするため, 限界電流密度法による酸素輸送抵抗の評価も行った. この手法により, 従来と異なる高温環境下における, 酸素モル濃度や酸素拡散性の影響を定量評価した. また, 出力向上のためのガス流路構造として, 2mm ピッチストレート流路を基準として, 1mm ピッチストレート流路, 多孔体流路, 櫛歯型流路の評価を実施した.

実験結果より, 高温・高圧になる程, 過電圧が減少し出力性能が向上する HT-PEFC の基本特性を明確化した. 活性化過電圧は, 高温での触媒活性の増大, 高圧での酸素モル濃度の増大で低減されることがわかった. 濃度過電圧は, 高温で酸素モル濃度低下の影響を受けるが, 高圧での酸素モル濃度増大, 高温での酸素輸送抵抗減少が支配的因子となり, 結果として低減されることがわかった. また, ガス流路構造によって, 濃度過電圧に大きな差が生じることがわかった. 2mm ピッチストレート流路では, リブ下における酸素輸送性の悪さが濃度過電圧の増大に寄与したと考えられる. 比較して, 他流路では酸素輸送性が改善され濃度過電圧を低減できることがわかった.

次に, HT-PEFC システムを用いた HDV 走行シミュレーションを構築した. シミュレーションに

は、トヨタ自動車の第2世代 MIRAI のシステムをモデル化した NEDO 産官学連携 FC シミュレータである FC-DynaMo を活用した。本研究では、登坂路を含む北米の高負荷パターンを用い、実験で得た HT-MEA 特性を同定して組み込むとともに、100 °C以上での冷却システムにも適用可能な油冷システムへの拡張を行った。本研究では、冷媒の物性、FC と外気の温度差、ラジエータサイズを用いて理論的に冷却能力を計算できる ε -NTU 法を導入することで、油冷システムを実装することを可能にした。水冷媒に比べて油冷媒は熱的物性が劣るが、高温化で物性が改善することで十分な冷却能力が発現することがわかった。

構築した HDV 走行シミュレーションにより、油冷 HT-PEFC システムの評価を行った。シミュレーション結果より、MIRAI のシステムをベースとした従来システムでは MIRAI サイズの大型のラジエータを使用することで、HD パターンを走破できた。しかし、ラジエータをエンジン HDV 同等に小さくすると、FC が 100 °Cを超えてしまい走行不能に陥ることがわかった。一方で新たに構築した油冷 HT-PEFC システムでは、エンジン HDV 同等のラジエータでも走破可能 (最高温度 183 °C) であることがわかった。外気との温度差を大きく取り冷却能力を向上させる HT-PEFC の有用性を確認することができた。一方で、従来システムに比べて、出力効率・燃費は劣るなどの各研究開発分野における課題も明確化することができた。

これを要するに、本研究は、固体高分子形燃料電池の大型商用車などへの適用において課題となる冷却性能向上のために、無水高温型燃料電池の出力特性に関する基礎的知見を得るとともに、冷却等を含めたシステム全体を評価できる走行シミュレーションを構築し、高温燃料電池システムの有用性に関する知見を得たものであり、エネルギー工学分野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。