

## 自動車用燃料電池に関する研究：燃料電池の各種耐久試験による性能低下解析

高橋, 剛

<https://hdl.handle.net/2324/5068222>

---

出版情報：Kyushu University, 2022, 博士（工学）, 課程博士

バージョン：

権利関係：Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 高橋 剛

論 文 名 : 自動車用燃料電池に関する研究 ~燃料電池の各種耐久試験による性能低下解析~

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

燃料電池は水素社会実現に向けた重要なエネルギー技術として期待されている。水素の用途の一つが自動車などのモビリティであるため、自動車用の燃料電池システムは極めて重要な技術開発課題である。本研究は、乗用車用に開発された燃料電池の各種耐久試験における性能低下の現象を定量的に把握するとともに、その原因について解析して、燃料電池自動車の開発・製品化につなげることを目的としている。

第1章の序論においては、自動車用燃料電池の歴史についてまとめた。特に宇宙開発をきっかけとして、アルカリ形燃料電池と固体高分子形燃料電池が著しい性能向上を見せ、サイズやコスト等の課題を解決し、1990年代より各自動車メーカーが開発に鎬を削り、競争の中でどのような製品(乗用車)が市場に投入されてきたかについてまとめた。また、燃料電池の作動原理、構成、技術課題を明確化し、特に本研究の核である劣化部位とその基本的な劣化メカニズムに関する知見をまとめることによって、本研究の目的を提示した。また、カーボンニュートラルへの世界的な動きに伴う燃料電池技術への期待の変化についても考察し、乗用車用途以外のモビリティや、広く商用用途での活用が広がる可能性についても論じた。

第2章では、性能・耐久性の加速試験法として電圧変動サイクル試験法を提示し、燃料電池実スタックを用いて評価した結果について示した。これまで規格、標準化されてきた評価法の代わりに、実際の車両用の制御として織り込まれている上限電位を抑制した条件で実施した。これは、高電位にさらされることにより劣化が著しく進むことをシステム制御で回避することで、実用上、性能とコストを両立しながら耐久性を担保する手法である。材料開発とシステム制御の双方のアプローチにより、耐久性、性能、コストの最適化のめどを立てることができた。

第3章では、信頼性・耐久性を検討する中で自動車の実作動環境として最も厳しい条件の一つである極寒地を想定した低温始動繰返し耐久評価について示した。燃料電池の発電反応で生成した水が凍結し発電を阻害する現象は古くから技術課題として挙げられ、製品化された現在でも耐久性・信頼性の観点で重要な確認項目である。氷点下からの円滑な始動にはシステム終了時および始動時の適切な作動プロトコルが不可欠である。この新規作動プロトコルを適用することにより低温始動性と耐久性の確保を確認することができた。劣化メカニズムが、水の凍結に伴う局所的な水素欠乏に起因したカソード側の部分的な電極触媒層の薄層化、つまり電極触媒のカーボン担体の酸化現象であることを明らかにした。

第4章では、耐久性・信頼性の確保のためにクリティカルな、システム停止に至る可能性のある電解質膜のクロスオーバー(水素ガス透過)および、外部へのガスの漏洩(シール性)にフォーカスした研究についてまとめた。電解質膜の機械的疲労強度に着目し、電解質膜のS-N線図に基づく寿命推定を行った。また、複数の使用条件を想定し、マイナー則を用いることにより余寿命を推定するとともに、加速試験法として乾湿繰返し加速耐久試験を実発電を交えて実施した。また熱劣化

を検証するため、市場データに基づき高温連続耐久性評価を行った。外部リーク、シール性に関しては、温度差 90°C以上の冷熱繰返し耐久評価を実施することによって検証した。電解質膜に関しては、今後も様々な発電耐久評価や化学的劣化メカニズムの解明を進めていく必要があることを示した。

第5章では、乗用車の様々な走行パターンを模擬し、組み合わせた総合パターン耐久評価の結果を示した。具体的には、フルサイズ・フルスケールスタックの試作品を用い、各補機部品をシステムとして組み上げ、市場データから市街地走行、郊外路走行、登坂路・降坂路走行（山岳路）、高速道路走行、ハイスピード高道路速走行（欧州アウトバーン相当）等を組み合わせた実用条件を想定した環境下での、耐久評価を試みた。4,000hr、20万 km 走行相当におよぶ評価を実施することにより市場を想定した耐久評価結果を得ることができた。また、第2章で用いた加速試験法の妥当性に関して、触媒劣化を概ね再現できたが、本総合パターン耐久試験の方が入力（負荷）が高い（劣化度合いが大きい）結果となった。今後、結果の厳密性を追求するためには評価時間の違いによる熱、電位等の入力を補正する必要があることも示した。

第6章では、総括と今後の展望について記した。今後、商用用途への展開に伴う技術課題として、1) 3～10倍の耐久寿命が必要、2) 大量の積載物を運搬する必要がある商用用途のモビリティではより高い定格出力が必要、3) TCO（Total Cost of Ownership）の観点、つまり、初期費用と日々の運用費用の総合的費用の観点が重要、4) 様々な形の車両に搭載可能な汎用性やパッケージ化などが必要、であることを示した。

以上の研究で明らかにした評価手法・評価結果と、さらに多岐に渡る評価を経て、燃料電池自動車「新型 MIRAI」に搭載された第2世代燃料電池システムを世に送り出すことができた。しかし、今後様々なアプリケーション展開、商用への用途拡大を鑑みると、超えるべき技術課題のハードルが更に高くなってきていることも示した。

以上