

氏名	黒田 英二
授与学位	博士(工学)
学位記番号	博甲第158号
学位授与年月日	平成29年3月17日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学位論文題目	燃料電池自動車(FCEV)の燃費計測手法の研究開発
論文審査委員	主査 教授 佐々木 正史 教授 山田 貴延 准教授 林田 和宏 教授 羽二生 博之 教授 小原 伸哉

学位論文内容の要旨

燃料電池自動車は次世代車の本命として市場導入が活発化してきたものの、従来の内燃機関自動車とは燃料や動力機構が全く異なることから、円滑な導入に向けては試験法標準化、基準策定、規制見直し等が不可欠となっている。特に、燃費評価においては従来のカーボンバランス法を適用できないことから、定量的に計測できないという課題があった。そこで本研究では、従来と同等レベルの精度、簡便性を有する新たな計測手法として、質量法、圧力法、流量法、酸素バランス法を考案し開発を進めた。

質量法は、燃料容器を試験前後で秤量することで水素消費量を求める方法である。水素消費による容器質量の微小な変化を正確に計測するため、最小表示0.01g(水素約0.1NL相当)、最大秤量52kgの精密天秤に除振台や風防により振動や気流、周囲温度の影響を抑制した環境を整え、さらに天秤の偏置誤差を低減して高い繰り返し性を維持するため、試験容器の移送機構を設けた。その結果、質量法で求めた水素消費量は広い流量範囲に対し常に±1%以下の誤差となり、計測手法として有効であることが確認された。

圧力法は、高压容器内のガス圧力・温度から気体の状態方程式により水素消費量を算出する方法である。高压容器から水素が放出される際、圧力の低下とともにガス温度が低下する。この時、容器内部では流動や伝熱により容器上部より下部のガスが低温となっており、この温度分布が圧力法の計測を困難にしている。この挙動を実験とシミュレーションで観察し、放出流量が大きいほど温度低下は大きく、温度の高い水素は容器壁面付近から上昇し、温度の低い水素は容器中央部を下降することがわかった。この知見をもとに試験容器を製作し、容器表面の温度を1点計測するだけでも測定点とソーク時間を適切に選べば高精度に水素消費量を算出できることを明らかにした。

流量法は、燃料配管中を流れる水素の流量をガス流量計により計測、積算する方法である。水素流量計には様々な種類があるが、燃料電池自動車の燃費計測への適用性は明らかではなかった。本研究では、熱式、超音波式、差圧式流量計について流量範囲の拡大、サンプリングレート向上、高分解能化などの改良を進めると同時に、流量計の脈動影響を解析した。その結果、脈動振幅が大きくなるほど誤差が増大すること、脈動減衰器の容量に応じて減衰効果が高くなり、内部に隔壁や挿入管などの構造を持つ消音器が最も高い減衰効果を示すことを明らかにした。また、燃料供給圧の調整に用いる減圧弁も絞り弁と同様の特性を示し、脈動減衰に効果的であることがわかった。これらの検討により、高精度・高応答の水素流量計開発とともに燃料流量の脈動に対応した測定系を構築した。

酸素バランス法は、燃料電池の発電にともなう酸素消費量を吸入酸素量と排出酸素量の差分から求め、電池反応の化学量論比から水素消費量を算出する手法である。内燃機関自動車のカーボンバランス法のようにテールパイプの排気組成のみから燃費を求めるため、車両の改造が不要という利点がある。誤差要因を解析した結果、演算手法や計測手法が結果に大きく影響を及ぼすこと、吸入酸素量の推算、サンプリング配管容積の低減や酸素濃度の時間補正により実時間の計測特性を改善できることがわかった。

本研究で開発した燃費計測手法を実機に適用した結果、燃料電池自動車6台の試験では質量法、圧力法、流量法の相対誤差が全ての車両において±1%以下となり、高精度かつ安定して測定できることを実証した。また、燃料流量に脈動波形が見られる燃料電池自動車では、本研究の知見を活かし燃料配管中にバッファや減圧弁を設置することで脈動波形が減衰され、流量法の誤差が低減されることを確認した。酸素バランス法では、燃料電池システムでJC08モードの走行を模擬して水素消費量を計測した結果、流量法の結果に対し-3%~+1%の誤差となり、開発当初の誤差から大幅に改善した。

知見や成果は自動車メーカーや測定機器メーカー、研究機関などに広く公開され、試験や開発において同種の計測方法、機器が利用されデータが取得されている。これより、燃料電池自動車の環境性能、エネルギー効率改善効果を定量的に評価することが可能となった。また、国際標準化会議 (ISO/TC22/SC21 WG2 電動車両の性能・燃費) の議論にも随時活用され、燃料電池自動車の燃費試験法が国際規格 (ISO 23828:2008 Fuel cell road vehicles -- Energy consumption measurement -- Vehicles fuelled with compressed hydrogen) として発行されるに至った。具体的なデータをもとに議論を展開することで、日本が試験法の国際標準化でリーダーシップを取るなど本研究の成果が大きく貢献している。

論文審査結果の要旨

純水素を燃料とした燃料電池自動車（以下FCV）はエネルギー効率が高く、排出されるのは水だけであるため将来の社会受容性が著しく高い自動車として期待されている。FCVが社会で実用化されるには先ず公的機関による燃費の認証が必要であるが、水素の燃料消費量を従来と同様の高精度で計測する手段は世界的に確立されていない。そこで本研究では、従来と同等レベルの精度を有する新たな計測手法として、先ず質量法、圧力法、流量法を考案し開発を進めた。それらの一部はFCVの燃料試験法の国際規格（ISO）として発行されるなど、我が国の国際標準化作業におけるリーダーシップを維持する上で大きく貢献した。

しかしながら、質量法、圧力法、流量法では燃料供給系統（場合によっては制御アルゴリズム）を試験用に改造する必要があり、当該車両のメーカーの協力が不可欠であった。一方、我が国では2015年以降FCVが相次いで市販された。これに伴い、様々な機関や企業が独自にこれらのFCVの燃費を測定する機会が増えることが予想される。この場合、もはやそのたびにメーカーの協力を得て車両を改造するのは不可能であり、車両改造不要な燃費測定手法がどうしても必要となる。

この要求に応えられる手法として、新たに「酸素バランス法」を開発、当初実車による測定では場合により大きな誤差が生じたが、改良を重ねた結果、精度を大きく向上することに成功し、実用化に向けて大きな進展が得られた。

以上を要するに、申請者はFCVの燃費計測技術を複数開発することにより、工学の発展ばかりでなくFCV開発の進展とFCV普及にも著しく貢献した。よって申請者は北見工業大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。