

グリーン水素モデル社会システムの実現に関する包括的研究	
題目	小型FCV(COMS)の開発
著者	大聖泰弘、草鹿仁、久保則夫、玉川晶子、北澤成、柿沼豊治、本間真、森根達也 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL:03-5286-3252

1 研究目的

本研究では、グリーン水素を利用した環境特性に優れたモビリティシステムの実現を目指し、特定拠点をベースとした短距離用途を想定した小型一人乗りFCVを開発する。本車両は、このような用途限定のもと、燃料電池と2次電池を用いたハイブリッドシステムを採用することで高いシステム効率を達成させるとともに、軽量なカートリッジ式水素容器を採用することで簡便かつ短時間での燃料補給の実現を目指す。さらに、各コンポーネントの性能データにもとづき走行性能と車両効率を最適化する制御方法をシミュレーションモデルによって検討するとともに、本学本庄キャンパスでの短距離移動を中心とした実証試験を行い、小型一人乗りFCVの有効性や適用性を実証することを本研究の目的とする。

2 車両およびシステム概要

特定拠点をベースとした短距離用途を想定した通勤用車として必要十分な性能として、目標性能を航続距離50kmと設定し、動力システムの変更ともなう車両重量の増加を最小限に抑えるため、2次電池仕様をベース車両の鉛バッテリーからNi-MHに変更し、動力性能目標の達成を図る。また、車両効率を最適化するハイブリッドシステムの最適な制御方法を確立することで、航続距離目標の達成を図る。その航続距離の目標を達成すべく、燃料電池と2次電池のハイブリッドシステムを採用した。必要電力の燃料電池出力と2次電池出力への配分は、燃料電池の出力端に接続されたDC/DCコンバータにより制御する。

3 コンポーネント諸元と特性

設定した目標性能を実現するため、ベース車両評価、車両性能シミュレーションによる結果に基づき、主要コンポーネント諸元を以下のとおり決定した。

(1) 制駆動モータ

動力性能目標を満足し、かつ限られた空間を有効活用するため、最大出力2kWのベース車両のインホイールモータを流用した。性能評価を行ったところ高速領域で高い効率となっていることがわかり、車速約30km/h、駆動力約90Nの運転条件で最高効率をとった。

(2) 燃料電池システム

定速巡航時の必要電力をできるだけ燃料電池で賄い、かつ目標巡航速度30km/hを確保するため、1.2kW(30km/h走行時の必要電力)を出力可能な燃料電池システムを採用した。

本車両には、定置用に開発された燃料電池を適用したため、高効率、低公害という特徴を持つ反面、負荷変動が頻繁に発生する使用をする場合には、負荷変動に対する応答性に劣り、またそれによる性能劣化の問題が解決されていない。そこで燃料電池システム「Nexa」の特性を把握してFCコントローラによる的確な制御を確立するために、これの定常試験ならびに負荷応答試験を行った。

a) 定常試験（一定負荷連続運転）

本研究は、平成17年度環境省地球温暖化対策技術開発事業「グリーン水素モデル社会システムの実現に関する包括的研究」の研究資金によって行われました。

運転時は消費電流に比例して常に一定量の水素が流れているが、スタックガス流路内のフラッシング現象や窒素ガス濃度の上昇により電圧が低下してくると、自動的にパーズを行うことにより性能の回復を行っていることがわかった。

b) 定常試験（負荷特性）

Nexa の基本性能を確認するために定常試験を行った。この試験により出力に対する効率を得た。実験結果より、定常運転での効率は全域にわたり 40%程度、最高効率は出力 700 W 付近において 45%であることがわかった。この効率は実際に利用可能な電力として Nexa から得られる正味出力から算出しており、非常に効率のよい FC システムとなっている。

c) 負荷応答試験

Nexa は出力電圧 23V が下限電圧となっている。したがって、車両の動力源として用いる場合にも、この電圧以上で運転しなければならない。特に、急激な負荷上昇操作を行った場合、効率の低下や過渡的に電圧が低下することが考えられるため、過渡特性を確認した。試験は各出力での定常状態から、負荷変化率を変化させて負荷を上昇させ、そのときの FC 効率ならびに電圧挙動を確認した。この結果より、負荷変動にともなう効率の変化は、ほとんど無いことが分かった。しかし、負荷変化速度が高い条件において水素利用率 100%を超えていることがわかった。水素利用率 100%を超えた場合には、燃料電池の燃料極で水素欠乏が起きていると考えられ、FC の劣化が懸念される。この FC の劣化を防止するため、出力変化率に制限を設けて FC の出力制御を行うこととした。水素利用率 100%を超えない最大出力変化率として $105 \text{ W/sec}=(1200-150)/10$ を採用する。また、長期間での劣化抑止のため、FC は可能な限り一定出力で制御することとし、SOC の状態などから出力を変化させる際にこの変化速度をとることとした。

(3) 2次電池

加速時におけるアシスト電力を供給でき、かつ減速時の回生電力を受け入れ可能な入出力特性と容量を持つ、定格電圧 72V、定格容量 6.5Ah の Ni-MH 電池を採用した。

(4) 水素貯蔵システム

簡便かつ短時間での燃料補給を可能にするため、小型軽量カートリッジ式容器を四本搭載した。貯蔵される水素量を等価のガソリンに換算すると 0.15 L である。

(5) 制御システム

本車両の制御は、ハイブリッドコントローラ、燃料電池コントローラ、2次電池コントローラおよびセルコントローラの4つのコントローラで行う。なお、車両とモータは、ベース車両のVCUで制御される。一方、本車両に採用した燃料電池、自動車用途を前提として設計されたものではないため、頻繁に変化する加減速時においては、2次電池による過渡的な電力補償が必要となる。その対応として、本車両では燃料電池は、下記の3出力水準で運転し、車両の要求電力と燃料電池出力の差分は、2次電池の入出力で補償する、ハイブリッド制御を基本とした。燃料電池出力は、燃料電池の要求出力演算値およびSOCの推定値に基づいて決定する。

(1) 最小出力：補機類が定常時に消費する最小電力のみ賄う。

(2) 最大出力：最高巡航速度で走行時の必要電力までを賄う。

(3) 中間出力：車両効率が最高になる(1)、(2)の中間の出力。

4 評価モードの策定

本研究は、平成 17 年度環境省地球温暖化対策技術開発事業「グリーン水素モデル社会システムの実現に関する包括的研究」の研究資金によって行われました。

昨年度までは、10モードの車両速度を3/4倍したM10モード（市街地走行を想定）のみで評価を行っていたが、通勤カーとして想定されるさまざまな走行条件を網羅するため、市街地での渋滞走行を想定したMCDモードと、本庄キャンパス内での走行を想定した本庄モードを評価対象に加えた。MCDモードはCDモードにおける低速度域を抽出したモードであり、本庄モードは本庄キャンパス内での走行を想定して新たに作成したものである。各評価モードを図1～図3に示す。

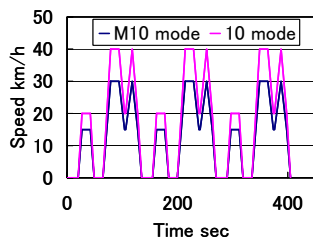


図1 M10モード

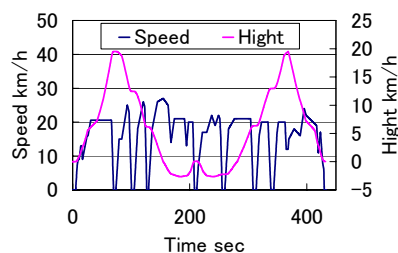


図2 本庄モード

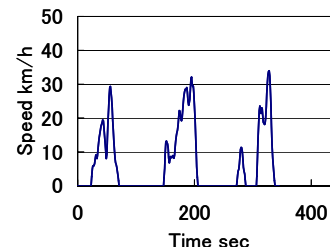


図3 MCDモード

5 制御の改良による燃費向上の検討

(1) 三値制御(従来制御)の燃費計算結果

従来制御では、燃料電池出力を一定出力で運転するために、3出力水準で運転し、その切り替えを2次電池の充電状態によって切り替えていた。そして車両要求出力に対する燃料電池出力との差分を2次電池による過渡的な電力補償を基本とする三値制御を行っていた。その三値制御における燃費のシミュレーション結果を以下の表1に示す。

表1 従来制御における燃費のシミュレーション結果

モード	燃費 km/kgH ₂	航続距離 km	車両効率 %
M10	312	59.3	24.0
本庄	264	50.2	19.0
MCD	198	37.6	14.9

(2) ハイブリッド制御の改良による燃費向上の検討

ハイブリッド制御の最適化により燃費向上を図るため、FCとバッテリーの損失の削減を検討した。FCの三値の時間頻度をみると、登降坂の多い本庄モードでは効率の悪い高負荷での運転頻度が高いことがわかる。一方で、本庄モードの平均消費電力は約800Wであり、この出力で一定負荷運転を行えば、三値制御での運転時より平均効率や燃費を向上することができると考えられる。

また、バッテリーの損失を減らすためには、できるだけバッテリーへの入出力電力を抑えることが重要となる。車両要求出力の平均値で一定出力運転したほうが、FC出力を三値で変化させるよりも、バッテリーのエネルギーが小さいことが分かる。これにより、バッテリーの損失を減少できると考えられる。そこで、平均消費電力でFCを出力すれば、バッテリーの入出力電力を低減することが可能となる。

(3) 従来制御と改良制御による燃費の比較

前述したように、走行に要する平均消費電力を何らかの手段で予測し、その平均消費電力に相当する負荷を三値制御の中間負荷としたときの燃費向上の計従来制御との比較を図4に示す。全てのモードで燃費が向上することが確認された。特に、平均消費電力の高い本庄モードでは、燃料電池の平均効率向
本研究は、平成17年度環境省地球温暖化対策技術開発事業「グリーン水素モデル社会システムの実現に関する包括的研究」の研究資金によって行われました。

上、バッテリーに充電損失の低減により、大幅な燃費が可能となる。

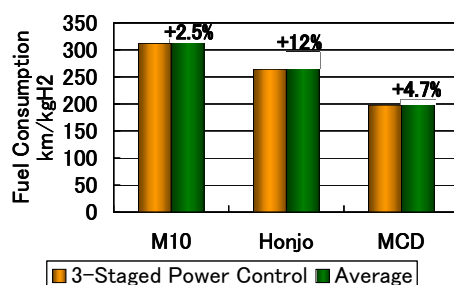


図4 燃費の比較

(4) GPS搭載の可能性による制御実現の検討

しかし、この制御を行うためには、予め車両の平均消費電力を予測することが必要となる。その手段としては、走行ルート毎の消費電力予測値を車両制御装置が記憶し、車両の使用開始時に目的地を入力するなどの方法が考えられる。

6 完成車両の燃費測定

(1) M10モード燃費測定結果

完成車両を用いて従来の三値制御で M10 モードを運転し、燃費、航続距離、車両効率を測定し、シミュレーションによる計算結果値を比較したものを表 2 に示す。

表 2 燃費結果比較

	燃費 km/kgH ₂	航続距離 km	車両効率 %
目標	280	50	20
計算	312	59.3	24.0
走行試験	294	56.8	21.0

(2) M10モード走行時におけるエネルギー分析結果

性能評価結果よりも FC 効率、メインバッテリー効率共に低下している。そこで、これらの効率を性能評価から得られた値で補正すると、車両効率 27%になり、サブバッテリーの影響をなくしてシミュレーションを行うと、29%となった。ほぼ一致したため燃費向上の指標として使えると考えた。この乖離の原因の解明は今後の課題である。

7 二人乗り化の検討

現在、一人乗りの燃料電池自動車を対象として進めているが、ユーザーの潜在要望を調査するため、本庄市においてアンケートを行った。その結果、普段一人で自動車を利用することが多い人でも、荷物をのせたり送迎に利用したりする場合があります。二人乗りや荷物を積むスペースがある車両の需要が高いことが確認された。今後は、二人乗り車両の検討が必要であると考えられる。