

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	一人乗り燃料電池自動車の開発・設計*
著者	玉川 晶子 ¹⁾ 加藤 誠 ²⁾ 日暮 克典 ³⁾ 大聖 泰弘 ⁴⁾ 久保 則夫 ⁵⁾ 草鹿 仁 ⁶⁾

1. まえがき

近年、クリーンかつ高効率な次世代自動車用の動力源として、固体高分子形燃料電池が注目を浴びているが、その実用化には数多くの課題解決が必要になっている。その中でも、燃料インフラの整備や燃料貯蔵密度の向上(航続距離の確保)が、燃料電池自動車の本格大量普及に際して重要である。

本研究では、特定地域での拠点をベースとした短距離用途を想定し、アラコ(株)製電気自動車“COMS”をベースとした、小型一人乗り燃料電池自動車の開発を行った。将来的には太陽光発電電力や、NaS 電池に蓄えられた夜間電力(昼間電力に比べて火力発電への依存が少ない)を用いた電解水素を燃料として利用することで、化石燃料への依存度が少ない、環境特性に優れたモビリティシステムの実現を目指している。



Fig.1 “COMS” for FC Vehicle

また、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するとともに、軽量のカートリッジ式水素容器を採用して、簡便な燃料補給を実現するものである。現在、主要コンポーネントの設計・試作を完了し、車両製作を進める同時に、それらの性能データに基づいて走行性能と車両効率の最適制御条件をシミュレーションモデルによって探っている。車両完成後は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、小型一人乗り燃料電池自動車の有効性及適用性を検証していく予定である。

2. 開発コンセプト

本車両は、以下のコンセプトに基づいて開発をした。

- (1) 容器交換方式(カートリッジ式):簡便に燃料補給が可能な燃料システムとする。
- (2) 実証試験車両:実証試験に際し、各システムの動作状況をモニターで監視、記録可能な車両とする。
- (3) クリーンエネルギーの活用:太陽光発電電力等を用いた電解水素利用を想定した車両とする。
- (4) カーシェアリングでの利用:本庄地域内での短距離移動用を想定し、車両を複数台製作し、中央サーバでの車両情報の管理を行い、配車管理、運転者支援を行う。
また、二人乗り化を視野にいれ、用途の拡大を図る。

*2004年10月27日自動車技術会秋季学術講演会において発表。
1)・2)・3)・4)・5)・6)早稲田大学(169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

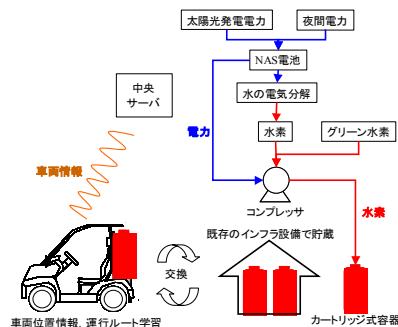


Fig.2 H₂ Supply and Storage System

3. 車両目標性能

動力性能目標は、ベース車両である“COMS”の走行試験にもとづき、表1のように決定した。航続距離目標は、本車両の地域内での用途を想定し50kmとし、その評価には10-15試験モード中の10モードをベースに最高速度を40km/hから30km/hに修正した10モード(以下、m-10modeと称す)を用いることとした。

Table 1 Target of Vehicle Performance

Vehicle Curb Mass	kg	295
Acceleration	sec	0-10 m
		0-30 m
Max. Speed	km/h	50
Cruising Speed	km/h	30
Gradability (tan θ)		0.194
Range(m-10mode)	km	50
	Tank to Well Efficiency	%
	Fuel Consumption	km/kg H ₂
	H ₂ Storage mass	kg

4. 燃料電池パワートレイン

4.1. システム構成と基本動作

上述の動力性能、航続距離目標を達成すべく、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、図3に示すDC/DCコンバータにより制御する。

- (1) 加速時(図3(a)):燃料電池と2次電池の双方から、モータに電力を供給し、車両の加速性能を確保する。
- (2) 減速時(図3(b)):回生制動電力を2次電池に貯蔵し、燃費の向上を図る。
- (3) 巡航時 SOC 高(図3(c)):燃料電池は最小出力(補機の消費電力のみを賄う)で運転し、2次電池が走行のための電力をモータに供給する。
- (4) 巡航時 SOC 低(図3(d)):燃料電池を所定出力(2値)で運転し、走行に必要な電力をモータに供給するとともに、2次電池への充電も行う。

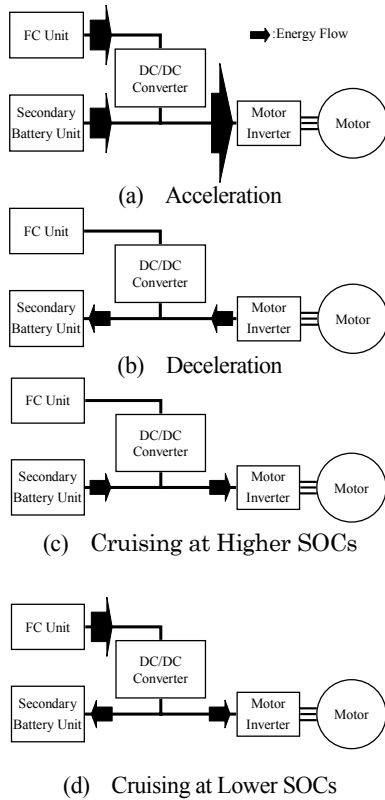


Fig.3 Energy Flow for Each Mode

4.2. システムレイアウト

システムレイアウトを図4に示す。電気系統は車両の床下へまとめ、水素供給系は車両後方にまとめて配置し、燃料補給を容易に行えるようにした。

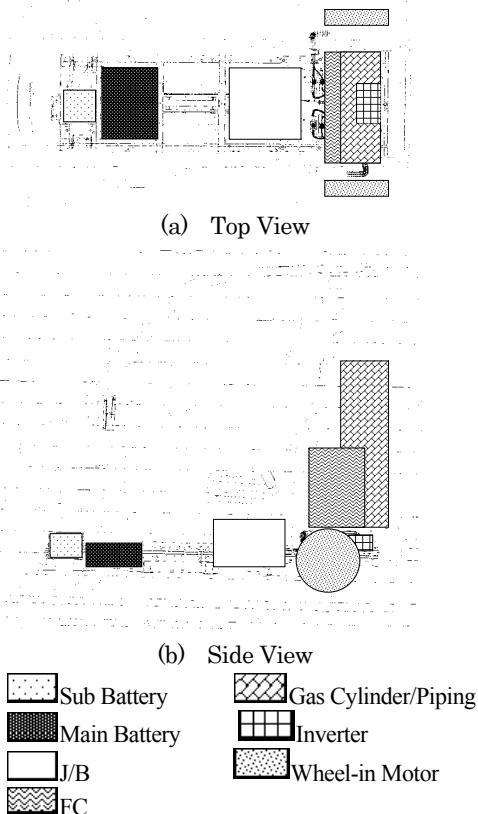


Fig.4 FC System Layout

4.3. 各種コンポーネントの諸元

表1に示した目標性能を実現するため、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、限られた空間を有効活用するため、表2に示す諸元のインホイールモータを採用した。

Table 2 Specifications of the Motor

Type	PM-rotor Synchronous Motor
Max. Power kW	2
Max. Torque Nm	100
Max. rpm rpm	580
Regeneration Torque Nm	50

(2) 燃料電池

定速巡航時の必要電力をできるだけ燃料電池により賄い、かつ、目標巡航速度 30 km/h を確保するため、1.2 kW(30 km/h 走行時の必要電力)を出力可能な、表3に示す燃料電池システムを採用した。

Table 3 Specifications of the Fuel Cell

Type	PEM
Rated Output Power kW	1.2
Rated Output Current A	46
Output Voltage V	26~43
Size(L×W×H) mm	560×250×330
Weight kg	13

(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、表4に示す Ni-MH 電池を採用した。

Table 4 Specifications of the Main Battery Unit

Type	Ni-MH
Nominal Voltage V	72
Nominal Capacity Ah	6.5
Available Voltage Range V	60~98
Size(L×W×H) mm	240×290×145
Weight kg	14.1

(4) 水素貯蔵システム

簡便な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(JFE コンテナ(株)製)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となった。

Table 5 Specifications of the Hydrogen Cylinders

Material	Aluminum Alloy Liner/ Carbon FRP
Volume L	2.8
Filling Pressure MPa	19.6
Capacity kg	0.048
Capacity (gasoline) L	0.15
Size(D×H) mm	111×510
Weight kg	2.0

(5) ジャンクションボックス

表6に示すジャンクションボックスは、燃料電池の出力電圧を昇圧し、燃料電池と2次電池の電力配分を制御する燃料電池用 DC/DC コンバータ、および補機電力供給用電池への電力供給(含、降圧)を行える補機電力供給電池用 DC/DC コンバータ、コンダクタおよびヒューズを格納している。

Table 6 Specifications of the Junction Box

DC/DC Converter (For FC)	Input Voltage V	22~50
	Output Voltage V	60~98
	Limit of Current A	60
DC/DC Converter (For Sub Battery)	Input Voltage V	60~100
	Output Voltage V	24
	Limit of Current A	20
Size(L×W×H) mm		320×380×170
Weight kg		20

5. 制御システム

5.1. 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(HCU)、燃料電池コントローラ(FCU)、2次電池コントローラ(BCU)およびセルコントローラ(CC)の4つのコントローラで行う。コントローラ間の通信にはCANを採用し、通信ラインの合理化を図った。なお、車両とモータの制御は、VCU(Vehicle Control Unit)で行われる。

(1) 燃料電池コントローラ(FCU)

燃料電池システムの状態量検出値にもとづき、出力可能電力をリアルタイムに算出する。

(2) 2次電池コントローラ・セルコントローラ(BCU,CC)

2次電池の状態量検出値にもとづき、2次電池の入出力可能電力やSOCをリアルタイムに算出する。

(3) ハイブリッドコントローラ(HCU)

車両の要求電力を演算するとともに、燃料電池システムの出力可能電力や2次電池の入出力可能電力およびSOCにもとづき、電力配分制御を行う。

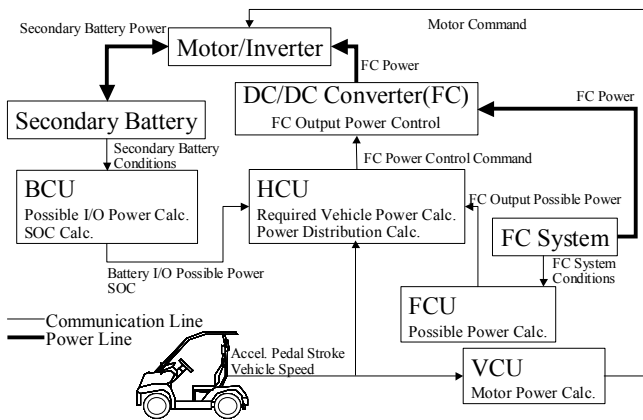


Fig.5 Control System

5.2. 出力配分制御

本車両に採用した燃料電池は、自動車用途を前提として設計されたものでないため、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、シリーズハイブリッド制御を基本とした。

- (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。

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(図6)。また、燃料電池の出力配分は、図7に示すフローで演算される。

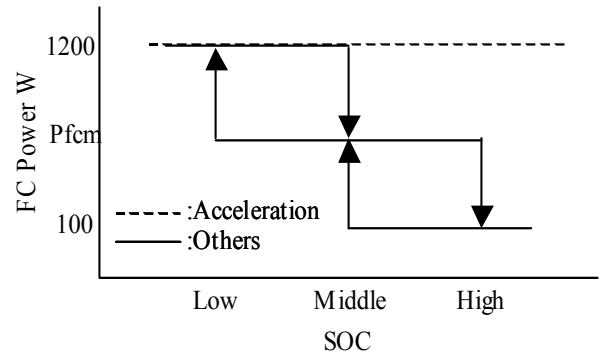


Fig.6 FC Power Control Logics

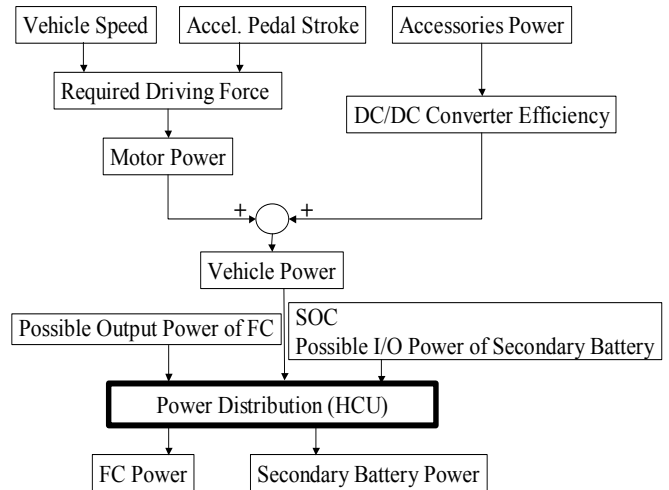


Fig.7 Power Distribution Control

5.3. 車両効率, 燃費予測

前述の制御を組み込んだ車両性能シミュレーションにより、車両効率および燃費予測計算を行った。前節に述べた燃料電池の中間出力をパラメータとした計算に基づき、中間出力値を最適化することにより、車両効率42%、燃費280 km/kgH₂、航続距離50 kmを達成する見込みを得た。このときの車速、SOC、燃料電池出力の時間推移(m-10mode)を図8に示す。

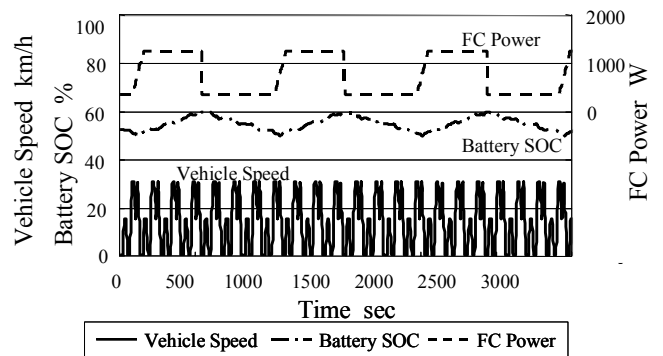


Fig.8 Simulated FC Power and Battery SOC

6. 評価モードの作成

昨年度までは、m-10modeによる車両性能評価を行っていたが、コンピュータとしての用途を想定したモードを作成し、CH-DY上で再現できる実用途にかなった性能評価を行えるようにする。第一段階として、キャンパス内で最も距離、起伏のある、図9のIOCから新研究棟までのルートを行って、そこから得られたデータから評価用本庄モードを作成する。



Fig.9 Honjo Mode

車両の位置情報, 勾配の測定には, ハンディ GPS を用いる. 試験的に大久保キャンパス周辺で測定を行ったが, ほぼ正確な値を取ることがわかった. 勾配は走行距離, 高度差から, 算出することができるが, ハンディ GPS 搭載の気圧高度計によって測定を行ったところ, 1 m 程度の精度のため, GIS を利用した値とも比較してみる必要がある.



Fig.10 GPS



Fig.11 Vehicular Swept Path

7. 燃料電池出力切り替え値の再検討

新たに導入した GPS による, 車両位置情報をパラメータとして新たに導入し, 燃料電池出力切り替え制御の再検討をする. GPS による位置情報を新たにパラメータとして加えることで, 出発点と目的地を設定することで, 車両の要求出力を予測することができるため, SOC の状態以外でも, 回生電力を無駄にしないように燃料電池出力の切り替えを判断する.

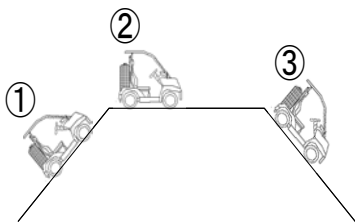


Fig.12 Model

GPS 導入前

- ① バッテリーの SOC が減少
- ② 減少した SOC を回復するために FC を最大出力にする
- ③ 回生電力が充電限界を超えて無駄になってしまう

GPS 導入後

- ① バッテリーの SOC が減少
- ② 坂道での回生を予測し, FC 出力を最大にしない
- ③ 回生電力を無駄にしない

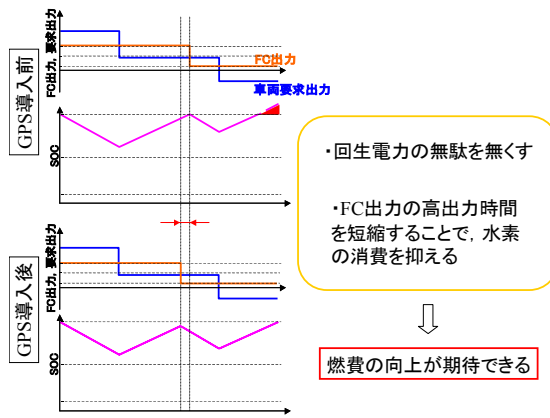


Fig.13 Saving of Electricity

8. まとめ

- (1) 車両のコンセプトと目標性能を達成するためのシステム構成および, コンポーネントの諸元を決定し, 主要コンポーネントの試作を完了した.
- (2) 数値シミュレーションを活用して, 車両効率, 燃費目標を達成するための車両制御システム構成およびその制御方法を検討し, 車両効率42%, 燃費 280 km/kgH₂, 航続距離 50 km を達成するの目標を得た.
- (3) 今後は, 同車両を完成させて性能測定を行うとともに, 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, 小型一人乗り燃料電池自動車の有効性及び適用性を検証していく予定である.



Fig.14 Prototype Micro FC Vehicle with a Single Seat

謝 辞

本研究は, 環境省「温暖化対策技術開発事業 - G 水素利用製品とシステムの開発」の一環として展開中のプロジェクトであり, 同省の多大なるご支援を賜ったことを記し謝意を表す. また, ベース車両と水素容器についてそれぞれご支援を得たアラコ(株)と JFE コンテナ(株)に厚く御礼申し上げます.

参考文献

- (1) 日本電池株式会社編: 最新実用二次電池, 東京, 日刊工業新聞社, 1995, 330p
- (2) 大聖泰弘ほか: 電気自動車ハンドブック, 東京, 丸善, 2001, 575p