

300W 級中温燃料電池スタックの開発

庄山昌志* , 富村哲也*

Development of 300W-class stack of high temperature PEFC

Masashi SHOYAMA and Tetsuya TOMIMURA

300W class stack of high temperature polymer electrolyte fuel cell with PBI based membrane was successfully developed. The stack with 40 cells showed superior distribution of each cell voltages at 0.2A/cm², 140 . Fuel cell driving package of high temperature stack was also successfully developed, and it was able to generate 120VA(AC) for 2hrs with using hydrogen cartridge.

Keywords : high temperature fuel cell, PBI, 300W-class, 40cell stack, driving package

1. はじめに

現在主流の固体高分子形燃料電池(PEFC)は 75 前後で作動するため,利用可能な排熱温度が 60 前後に制限されることが課題となっており,その高効率駆動のため,100 を超える温度領域での作動が求められている.表 1 に従来型の PEFC と中温形 PEFC の比較を示す.ポリベンゾイミダゾール(PBI)を電解質とする中温形燃料電池は,下記の特徴を持つことから,次世代形燃料電池として期待されている¹⁻³⁾.

- ・ 動作温度が高い(120~180)
- ・ 燃料加湿が不要
- ・ CO 耐性が高い(数%)

今回我々は,この中温形燃料電池について,BASF 社製 Celtec-2100 を国内で始めてスタックに採用し,300W 級スタックおよびその駆動システムの開発を行った.図 1 に本研究で作製した燃料電池(FC)システム全体の概要を示す.本事業で開発した FC システムは,水素タンクカートリッジを使用し,独立駆動システムとした.また,燃料電池スタック出力は 280W(DC)とし,電動アシスト自転車のバッテリー充電用として 120W(AC)を外部出力が可能なように設計を行った.さらには,作製したシステムを

* 電子・機械研究課

電動アシスト自転車の後部架台に積載することで将来の移動体への応用を想定した実験を行った.

表 1 中温 PEFC と従来型の PEFC の比較

	固体高分子形燃料電池(PEFC)	
	低温形PEFC	中温PEFC
電解質膜	パーフルオロスルホン酸系高分子膜	リン酸添加PBI(ポリベンゾイミダゾール)系高分子膜
加湿	要	不要
運転圧力	大気圧	大気圧
作動温度	70~80	120~180
電極触媒	白金系触媒	白金系触媒
耐CO透過性	数十ppm	数%
セパレータ	複層炭-炭複合セパレータ	複層炭-炭複合セパレータ
発電効率	35%	40%
排熱利用	給湯	給湯, 蒸気, 冷却

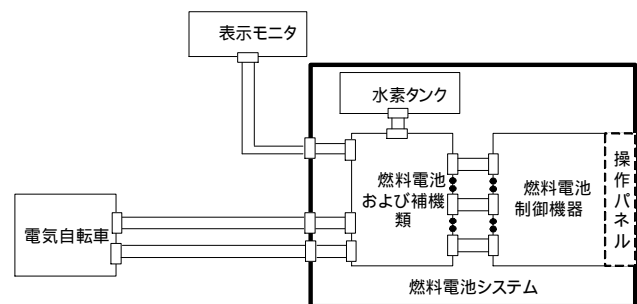


図 1 本事業で作製した燃料電池システムの概要

2. 中温燃料電池スタックの設計・製作

2.1 単セル性能試験

2.1.1 セル温度依存性

中温燃料電池スタックを作製するためには、単セルの出力特性の確認が必要となるため、まず中温燃料電池単セルによる発電評価を行った。発電膜(MEA)にはPBIにリン酸ドーブした水分加湿を必要としないBASF社製 Celtec-2100を採用し、電極面積 25cm^2 、作動温度は $120\sim 180$ とした。

図2に作動温度に対するI-V特性の変化を示す。また、図3に $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 出力時のセル電圧の温度依存性を示す。図2、3に示すとおり、セル温度が上昇するに従い、約 $1\text{mV}/$ の割合でセル電圧が上昇することが確認され、セル電圧が 140 の際に約 $0.63\text{V}(@0.2\text{A}/\text{cm}^2)$ を示すことが確認された。

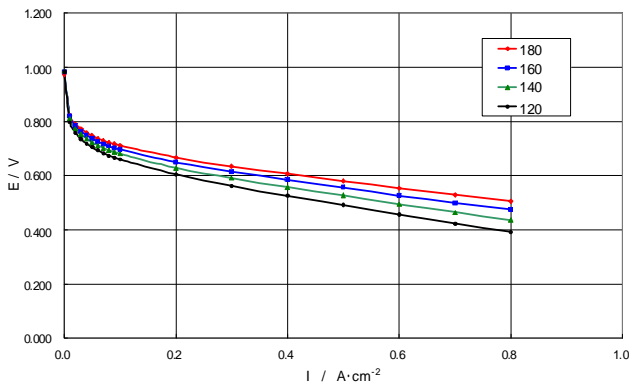


図2 中温 PEFC 単セルの I-V 温度依存性

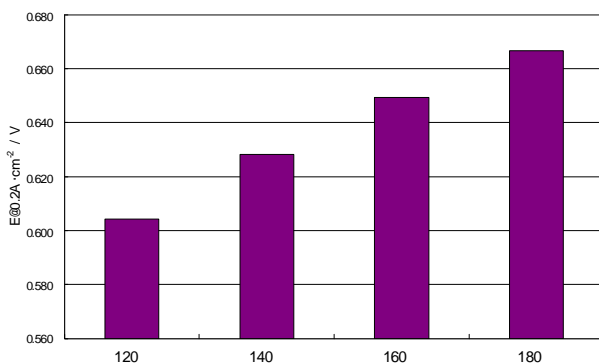


図3 $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 出力時のセル電圧温度依存性

2.1.2 ガス利用率依存性

図4-1にセル温度 140 における水素ガスの利用率を変化させた場合のI-V特性の変化を示す。水素ガスの利用率は、 $50\sim 90\%$ の間で変化させ、カソード側空気の利用率は 40% で固定とし。また、図4-2に $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 出力時のセル電圧の変化を示す。その結果、水素利用率の上昇に伴いセル電圧が低下することが確認されたものの、その低下幅はわずかであり、通常の固体高分子形燃料電池(PEFC)同様、水素の利用率に対しては、特に大きなセル電圧低下は認められなかった。このため、水素ガスの利用率は 80% 以上としても問題ないことが確認された。

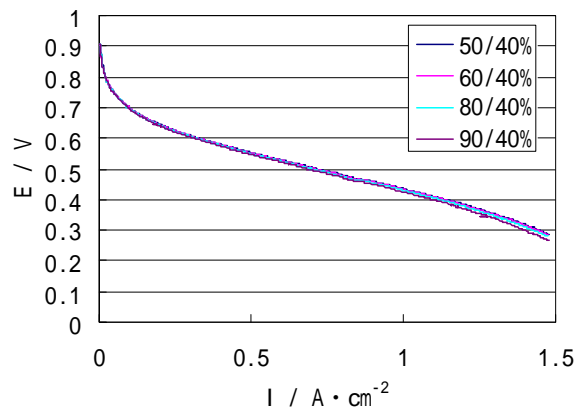


図4-1 水素利用率を変化させた場合のI-V特性

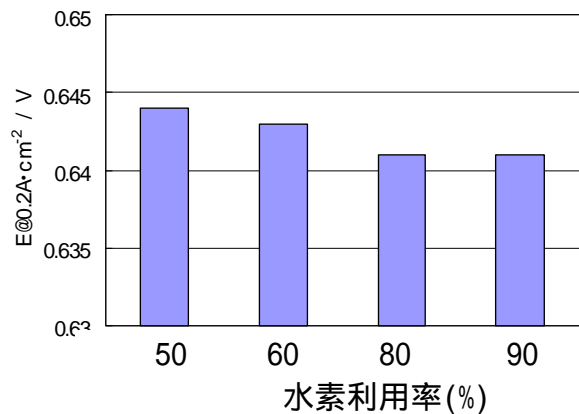


図4-2 水素利用率を変化させた場合のセル電圧変化 ($0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 出力時)

図 5-1 にセル温度 140°Cにおける空気の利用率を変化させた場合の I-V 特性の変化を示す。空気の利用率は、50~90%の間で変化させ、アノード水素ガスの利用率は 40%で固定とした。その結果、空気利用率の上昇に伴い、特に高電流負荷時においてセル電圧が大幅に低下することが確認された。また、図 4-2 に 0.2A/cm² 出力時のセル電圧の変化を示す。図より、低負荷側においても PEFC 同様、水素ガスよりも利用率の影響が大きいことが明らかとなった。以上の結果より、空気利用率としては、50%以下とすることとした。

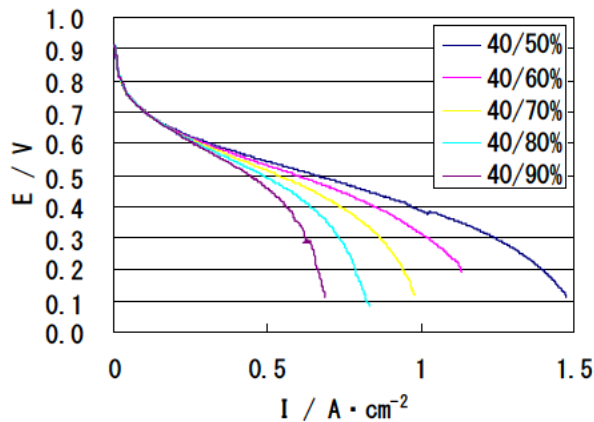


図 5-1 空気利用率を変化させた場合の I-V 特性 (140°C)

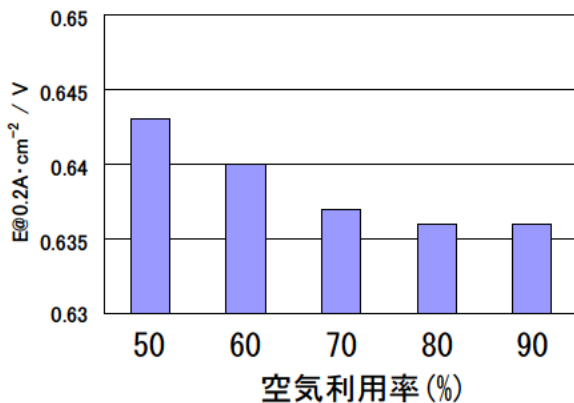


図 5-2 空気利用率を変化させた場合のセル電圧変化 (0.2A/cm², 140°C)

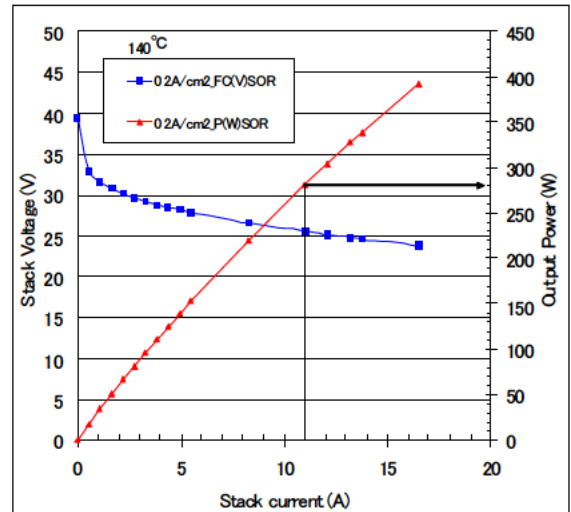


図 6 中温 FC スタックの設計出力 (40 セル)

2. 2 スタックの設計・製作

図 6 にスタック数を 40セルとした場合のスタック設計出力を示す。前項までの単セルの発電特性を参考として、スタックの出力、積層枚数、電極面積の設計を行った。その結果、0.2A/cm² 出力時の各セルの定格出力電圧を 0.635V と設定し、スタック数を 40 セル、電極面積 55cm² と設定することで、スタックの定格出力として、下式のとおり 280W(DC)を設計出力とした。

$$0.635V \times 40 \text{セル} \times 0.2A/cm^2 \times 55cm^2 = 280W$$

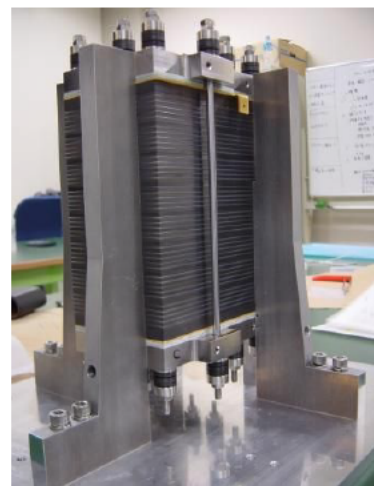


図 7 中温 FC スタックの外観

図7に今回作製した中温 FC スタックの外観を示す。MEAには単セル同様、BASF社製 Celtec-2100を国内で始めてスタックに採用した。また、上記設計に従い電極面積 55cm^2 、40スタックとし、作動温度は起動時間と発電特性のバランスから 140°C を採用した。採用したセパレータの最大厚みは 2.8mm とし、この厚みのなかで水素ガス及び空気流路を確保した。特に空気側の溝深さは、電池の冷却空気 $60\text{L}/\text{min.}\sim 100\text{L}/\text{min.}$ の空気流量を想定して設計を行った。各ガス流路は面内で平行流とし、水素と空気流路は対向流とした。MEAのセルシール方法はハードシール方式に加え極細Oリングを使用したソフトシール方式を採用した。

作製したスタックの外観寸法は、 $154\text{mm}\times 102\text{mm}\times 290\text{mm}$ であり、重量は 11kg となった。セル冷却方式については、本スタックでは特別な流路を設定せず、反応空気の増量による冷却機構を採用した。スタックのアノード側を1番セル、カソード側を40番セルとし、設計出力は定格 $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 時に 280W と設定した。スタックの起動時間短縮のために 80°C で発電を開始し、自己発熱で 140°C の定格温度まで昇温、その後反応空気量の調整で温度制御をしている。今回初めて適用した 80°C での発電を開始する方式については、事前に問題ないことをショートスタック（5セルスタック）で確認した。

2.3 スタック発電特性

図8に40セルスタックの 140°C における発電特性を示す。燃料には水素ガスおよび空気を用い、利用率をそれぞれ 83% および 50% とした。燃料導入後、OCVが素早く立ち上がり、 38.6V (各セル平均: 0.96V)の開回路電圧(OCV)を示した。また、負荷

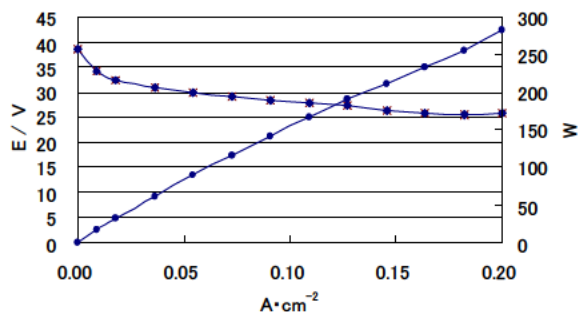


図8 40セルスタック発電特性 (140°C)

$0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 時に、スタック電圧 25.7V (各セル平均: 0.64V)が得られ、定格 280W 以上の出力を確認した。この出力特性は、図6に示す設計どおりの結果であり、今回作製したスタックの設計、ガス配流等が問題なく機能したことを示しており、スタックの設計および製作が成功したことを表している。

図9に定格 $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ 、 140°C における各セルの電圧分布を示す。1~37番の各セルともほぼ $0.64\sim 0.66\text{V}$ の間の電圧を示しており、良好なセル特性が得られた。しかしながら、カソード空気入り口付近のスタック端部(セルNo.38~40)においては、 0.6V 程度までセル電圧の低下が観察された。

図10に同条件下でのセルNo.1, 10, 15, 25, 30, 40の各セルの温度分布を示す。スタック温度は中央付近で制御しているため、ほぼ 140°C を示しているものの、カソード入り口(40番セル)付近では、約 100°C であり、大きな温度差がついていることが確認された。

これらの結果より、図9における38番セル以降のセル電圧低下は、セル温度が低下していることが原因と考えられる。

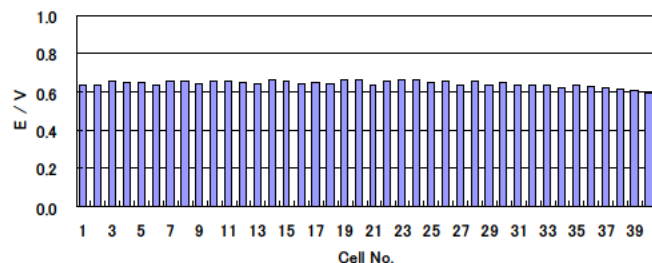


図9 スタックにおける各セルの電圧分布 ($0.2\text{A}/\text{cm}^2$, 140°C)

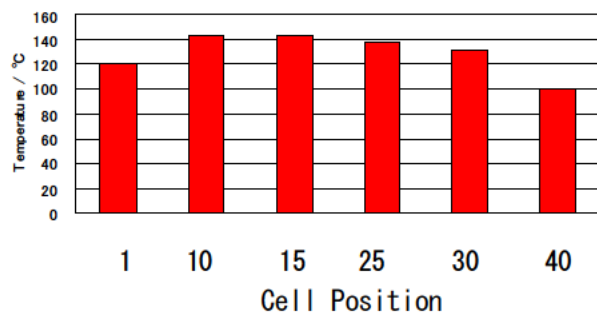


図10 スタックにおける各セルの温度分布

3. 燃料電池駆動システムの設計・製作

3. 1 スタック駆動システムの設計

図 11 に今回作製した燃料電池システムのフロー図を示す。水素燃料には、前述の水素吸蔵合金のカートリッジを用いた。カソードには、空気ブローを用いスタック導入直前に空気をヒーター加熱可能な構造とした。また、本システムではスタック冷却に特殊な冷却構造をとらずに反応空気の供給量を増すだけのシンプルな反応空気冷却方式を採用した。この方式により、定格発電（280W）時の空気量を反応空気量の 1.5 倍とすることにより、ほぼ 140℃での一定運転が持続可能な事が確認された。

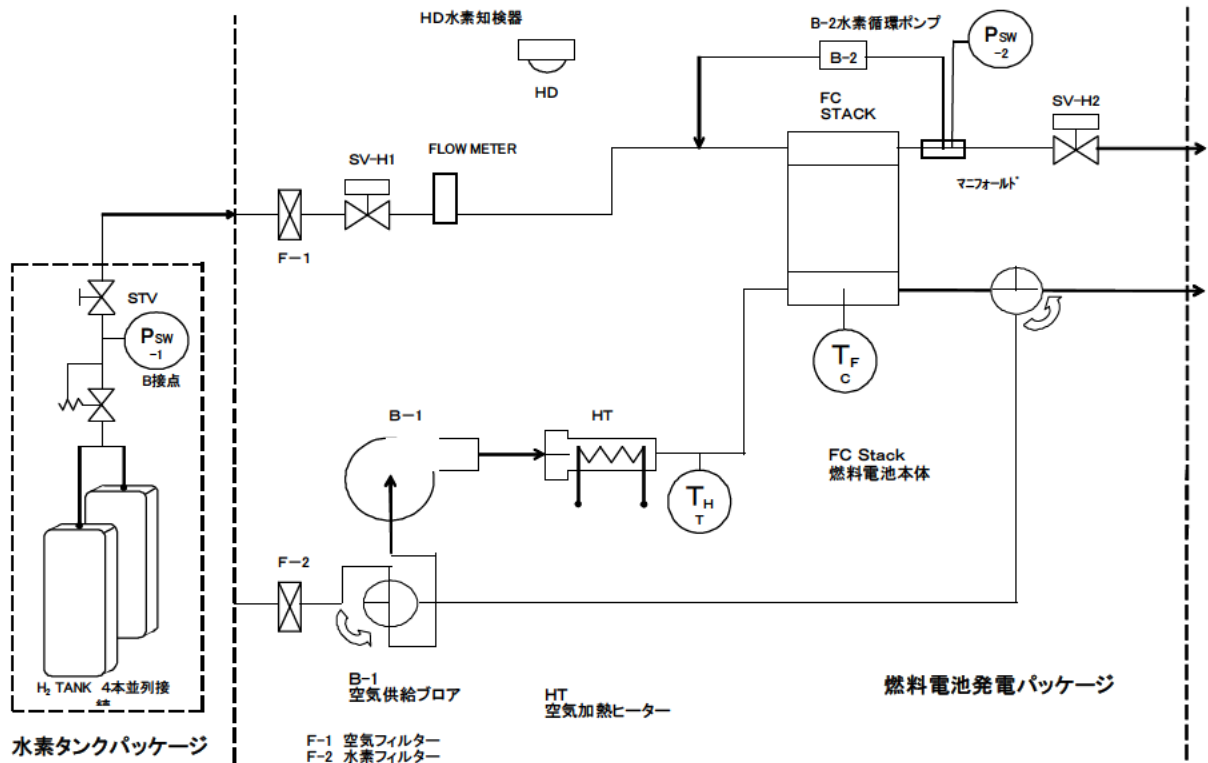


図 11 燃料電池システムフロー

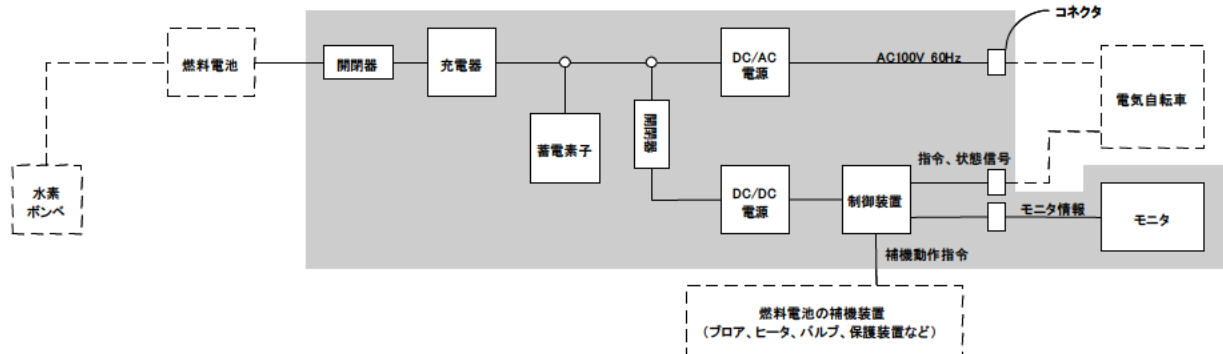


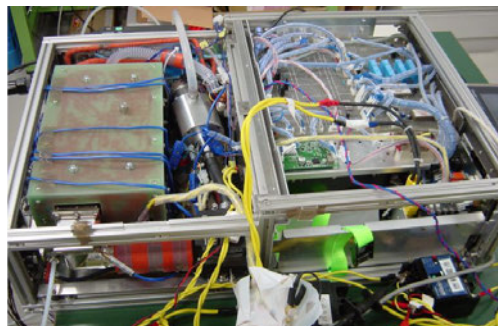
図 12 燃料電池パッケージのシステム

図 12 に燃料電池パッケージのシステムを示す。燃料電池とシステム内に設置した補助バッテリーは充電器 (DC/DC コンバーター) を介して接続され、更にその補助バッテリーと充電器は直流を交流 AC100V に変換するためのインバーターとシステム機器 (電磁弁, ブロー, 流量コントローラー等及び電気制御部) の電源として直流の安定化電源 (別の DC/DC コンバーター) に接続される構造とした。これらインバーターと安定化電源には燃料電池と補助バッテリーから電力が供給される。補助バッテリーは急激な負荷要求に対応できるが、燃料電池は瞬時負荷には応答できないために充電器が発電量指令に

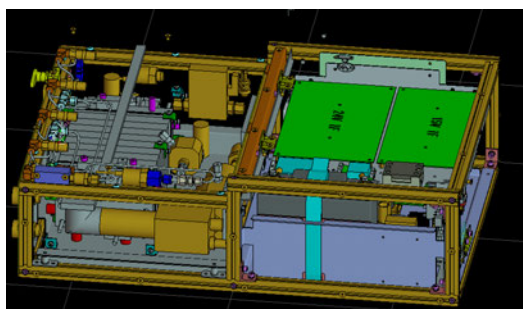
従って一定制御された電力を供給する制御方式とした。燃料電池の発電量制御は補助バッテリーの充電状態に合わせてゆっくりと制御を行った。充電状態が満充電近くなった場合は燃料電池の発電指令を徐々に下げ、逆に充電が必要なときは燃料電池の出力を上げる制御を行った。そして燃料電池の要求発電電力から負荷電流を計算して燃料電池に供給する空気量及び水素ガス量を決定する仕様とした。

3.2 燃料電池パッケージの作製

図13に作製した燃料電池パッケージの外観と3D設計図を示す。装置寸法は、高さ205mm、幅470mm、長さ700mmであり、パッケージ全重量は約68kgとなった。その内訳は、燃料電池本体：11kg、電気制御系（補助バッテリー込み）：19kg、水素タンク：8.4kg、その他補機、配管、フレームケース：30kgであった。パッケージに燃料電池スタックを組み込んだ状態での発電の結果、120VA(AC)の出力が2時間以上安定して出力可能であることが確認された。



(a) FCパッケージの外観



(b) FCパッケージの3D図

図13 燃料電池パッケージの外観と3D設計図

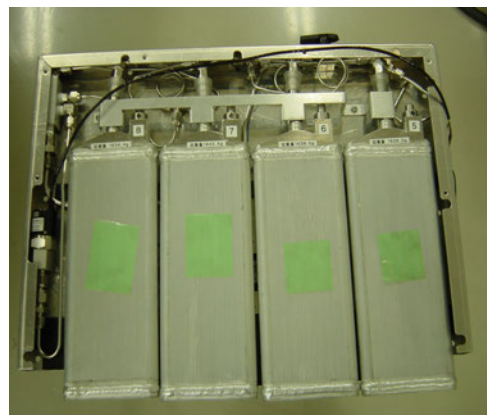
3.3 水素カートリッジの概要

燃料電池駆動用の水素燃料供給には、水素吸蔵合金カートリッジを採用し、水素ガス貯蔵量120L/本を1組4本構成で、約3.6~4.0L/minでの使用を前提とした。

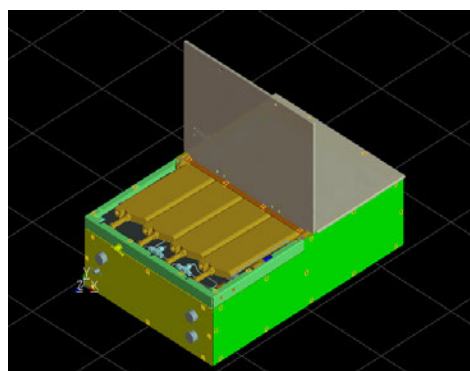
図14(a)に水素カートリッジの外観を示す。パッケージ内部において、4本の水素カートリッジは図14(b)に示すとおり、スタックの上部に設置することで、スタック排熱を利用できる構造とした。

本研究で用いた水素吸蔵方式による水素カートリッジは、水素放出に伴う冷却熱により容器全体が冷却されると、水素放出量が減少することが確認された。そのため、本システムにおいては、140で駆動している燃料電池スタックの直近上部に水素カートリッジを設置することにより、その環境温度を一定温度以上に保つ設計とした。また、さらに、水素カートリッジ設置板下部にファンを設置することで、効率よくスタックの排熱を誘導・利用できる構造とした。

これらの設計・配置により、水素ガスを約1.0L/minで約2時間連続放出可能なことが確認でき、最終的に280Wスタックを約2時間にわたり継続運転可能なことが確認された。



(a)水素カートリッジの外観



(b)水素カートリッジの配置図

図14 水素カートリッジの外観と配置

4. 電動アシスト自転車への中温 FC システムの積載

図 15 に前述までに開発した中温燃料電池スタックシステムを積載した次世代電動アシスト自転車の概要を示す。次世代自転車は、本プロジェクトにおいて、別グループにより開発された 3 輪型のものである。

図 16 に自転車積載時の燃料電池スタックの各セルの出力を示す。図 9 における定格 $0.2A/cm^2$ 、140 における各セルの電圧分布と同様、各セルともほぼ均一のセル電圧を示し、良好なセル特性が得られた。しかしながら、図 9 同様、カソード空気入り口付近のスタック端部（セル No.38～40）においては、若干のセル電圧の低下が観察された。

図 17 に同じく自転車走行中でのセル No.1, 10, 15, 25, 30, 40 の各セルの温度分布を示す。スタック温度は、システム起動後約 2 時間で 140 を示し、その後はほぼ 140 一定での制御が可能なが確認された。しかしながら、カソード入り口（40 番セル）付近では、約 100 であり、スタック単独運転時（図 10）と同様、スタック中央と大きな温度差がついていることが確認された。

これらの結果より、スタックの起動時間の短縮及び温度分布の改善が今後の課題と考えられる。

4. まとめ

- 1) PBI ベースの中温動作形 MEA を用いて燃料電池スタック（40 セル）を作製し、設計通り 280W(DC)の発電性能が得られた。
- 2) 上記スタックを用い、120VA(AC)出力が可能な中温燃料電池駆動システムの開発に成功した。
- 3) 作製したスタックでは、スタック方向の温度分布及び起動時間の短縮化の改善が必要であることが明かとなった。
- 4) 水素吸蔵合金タイプのカートリッジを採用した結果、実際の自転車での運用の結果、280W スタックを 2 時間にわたり駆動可能なが確認され、その実用可能性を示すことができた。
- 5) 発電装置パッケージのサイズ及び重量は積載用として大きく、軽量・コンパクト化が課題となった。



図 15 燃料電池積載次世代アシスト自転車の概要

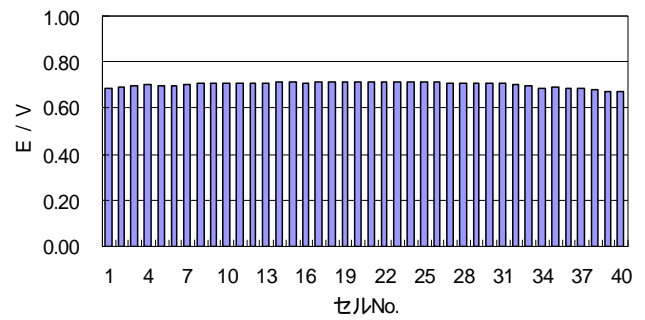


図 16 次世代自転車運転中における中温燃料電池スタックの各セルの発電特性

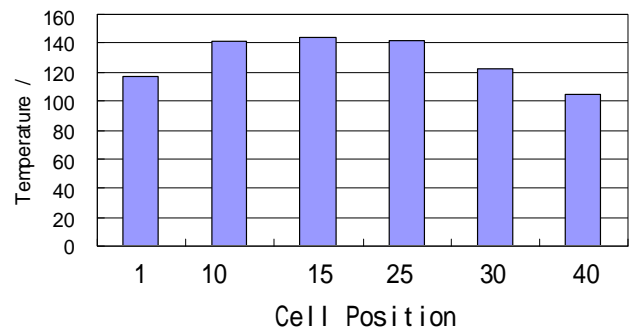


図 17 次世代自転車運転中におけるスタックの温度分布

参考文献

- 1) Thomas J. Schmidt, 214th ECS Meeting, B8-PEM Fuel Cells 8, Abs#785(2008)
- 2) 小野智之,山本 修,Thomas J. Schmidt, 第16回燃料電池シンポジウム講演予稿集 P90 (2009)
- 3) 庄山他,第17回燃料電池シンポジウム予稿集, B23, p.165

謝辞

本研究は、経済産業省「平成20年度低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業」により実施されました。関係各位に感謝します。