

高性能・低コスト FC スタックの開発



企業レポート

中路 宏弥*, 水野 誠司**, 吉川 大雄***

Development of High Performance and Low Cost FC Stack

Key Words : FC スタック, 出力密度, 加湿レス, セル流路構造, 電極
FC stack, power density, humidifier-less, cell flow field structure, electrodes

要旨

燃料電池車 (FCV) の普及に向け、FC スタックは画期的な高性能・小型化および低コスト化が必要である。

'08年に限定導入した TOYOTA FCHV-adv (SUV) の従来 FC スタックに対し、普及型 FCV 「MIRAI」の新型 FC スタックは、セル流路構造および電極の革新により世界初の加湿レスシステムを実現し、電流密度 2.4 倍の高性能化と体格 42% の小型・軽量化によって、従来比 2 倍以上の出力密度 3.1kW/L、2.0kW/kg (世界トップレベル) を達成した。一方、コストに関しては、電極触媒の Pt 量を 1/3 に低減、セパレータ表面処理の Au めっき廃止、スタック締結構造簡素化により大幅に低減した。



*Hiroya NAKAJI

1971年8月生
大阪大学大学院工学部精密工学専攻
(1996年)
現在、トヨタ自動車株式会社
FC技術・開発部 FC機能設計室
グループ長 修士
TEL : 0565-72-9178
FAX : 0565-72-9209
E-mail : hiroya_nakaji@mail.toyota.co.jp



*Seiji MIZUNO

1960年3月生
名古屋工業大学工学部無機材料工学科
(1982年)
現在、トヨタ自動車株式会社
FC技術・開発部 FC機能設計室
室長
TEL : 0565-72-9179
FAX : 0565-72-9209
E-mail : seiji_mizuno@mail.toyota.co.jp



*Hiroo YOSHIKAWA

1973年6月生
北海道大学大学院
(2001年)
現在、トヨタ自動車株式会社
FC技術・開発部 FC機能設計室
主幹 博士
TEL : 0565-72-9183
FAX : 0565-72-9209
E-mail : hiroo_yoshikawa@mail.toyota.co.jp

1 はじめに

燃料電池は水素を燃料とし、空気中の酸素とが電極触媒上で電気化学的な反応によって発電する。発電に伴って生成するのは水のみでクリーンかつ高効率であり、エネルギーおよび環境問題を解決する手段の一つとして期待されている。

自動車用燃料電池には、低温領域で起動・発電でき、応答性が早く電流密度が高いなどの理由から固体高分子形燃料電池 PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell) が採用されている (図 1)。

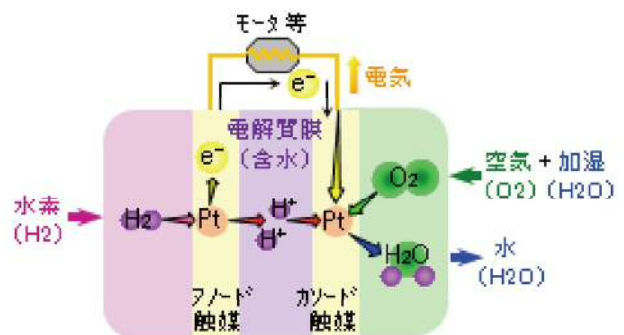


図 1 PEFC の発電原理

この PEFC は性能を発現する上で、電解質膜および触媒層のイオンノマを加湿含水させてプロトン伝

導抵抗を低く抑えることが重要であり、通常は外部加湿器によって空気を加湿してFCスタックに供給するシステムになっている⁽¹⁾。

トヨタの次世代量産型FCVでは、FCシステムの簡素化によるコンパクト化、低コスト化、信頼性向上の観点から、加湿器を廃止した世界初の加湿レスシステムで発電するFCスタックの開発にチャレンジして、世界トップレベルの出力密度3.1kW/Lを実現した。一方、コストに関しては、スタック締結構造簡素化による部品点数削減、電極触媒のPt量を1/3に低減とセパレータ表面処理のAuめっき廃止により貴金属使用量を大幅に低減し低コスト化した。

本稿では、高性能化のキー技術であるセル流路構造および電極の革新、スタック締結構造簡素化による小型化、低コスト化技術について述べる。

2 FCスタックの高性能化

発電性能の向上を図る上で、触媒層へのO₂拡散性とプロトン伝導性を促進するために、セルの水マネジメントが重要である。新型スタックでは、生成水による自己加湿のみで性能を発現するためのセル流路構造および電極の革新技術を開発した。

2.1 セル流路構造の革新

従来スタックのセル流路構造は、一般的な溝流路であり電極と接する流路リブ下は生成水が滞留し易く、O₂拡散が悪いため発電が不均一となる⁽²⁾。

一方溝流路に対し、発泡焼結体などの多孔体では細孔による毛管力で電極から生成水を吸い出し、O₂拡散を確保して高性能化する検討がなされているが、高圧損や製造品質、コストなどの課題がある⁽³⁾。

新型スタックでは、空気流路として革新的な3Dファインメッシュ流路を開発、3次元的な微細格子流路であり、空気の乱流的な流れを電極に当る方向に流すことで、触媒層へのO₂拡散を促進している。また、流路の表裏形状最適化と流路表面を親水化することにより、電極から排出される生成水を速やかに流路表面に引き寄せて、流路の水詰りによるガス流れの阻害を防止し、セル面内の均一発電とスタックのセル間電圧ばらつき低減を図っている⁽⁴⁾。更にセル面内で3Dメッシュ流路パターンを変えるこ

とが可能であり、空気上流では乱流を緩和して、ドライ空気による電極の乾きを抑制している(図2)。

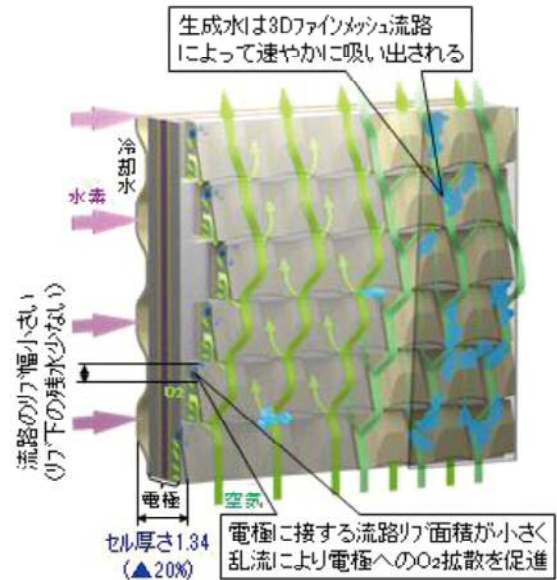


図2 新型セルの3Dファインメッシュ流路構造

一方、水素流路は冷却水流路と表裏一体の溝流路であり、2ターン3段のカスケード構造で、水素と空気は電極を挟んでマクロ的には対向流になっており、空気下流の生成水を活用して導入水素を加湿し、水素循環ポンプにより水素下流に水蒸気を運び、電極が乾き易い空気上流を加湿する仕組みで、生成水のセル内部循環による自己加湿を実現している。また、冷却水が空気下流よりも乾き易い上流側に多く流れる流路構造とし、電極から水分が蒸散するのを抑制しており、加湿レスでも高温性能が発現できるようにしている(図3、図4)。

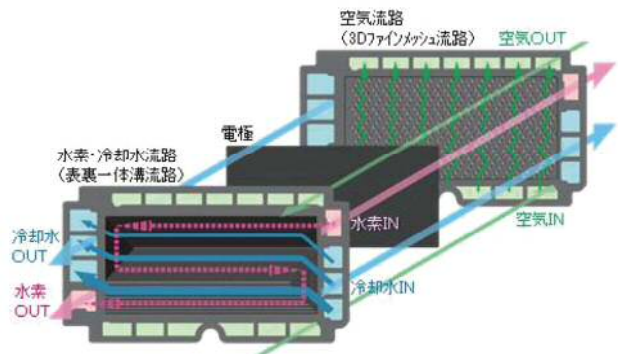


図3 新型セルの流路構造

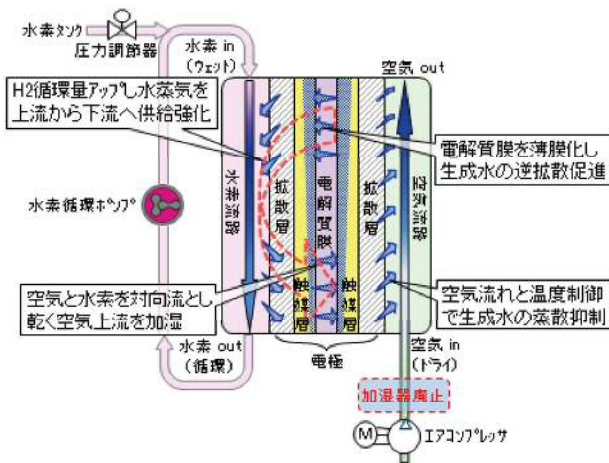


図4 セル面内の自己加湿概念図

2.2 電極の革新

加湿レスで高性能化を図るために、電解質膜は従来の1/3に薄膜化して生成水の逆拡散を促進しプロトン伝導性を3倍に向上した。一方、低加湿運転における反応副生成物である過酸化水素やヒドロキシルラジカルの濃化による電解質膜の化学劣化抑制のため、電極中にラジカルクエンチャ添加によりクロスオーバー寿命を確保している。

触媒層は、アイオノマの低EW化（官能基増）とアイオノマ比率適正化によりプロトン伝導性とガス拡散性の両立を図った。触媒は、Pt/Co合金比率の最適化と酸処理により活性を1.8倍に向上、担体カーボンは中空から中実タイプにすることでPt触媒をカーボン表面に担持しO₂拡散抵抗を低減、反応に寄与する有効なPt利用率を約2倍に向上した。

拡散層は、カーボンペーパー基材のカーボンファイバーとバインダとの比率最適化および低目付化（45%低減）することで、ガス拡散性向上を図った。更に、カーボンペーパー基材の薄層化や基材と触媒層の界面に形成する撥水層MPL（Micro Porous Layer）のカーボンブラック粗粒化による透水圧低減でガス拡散性を2倍に向上させた（図5、図6）。

3 FC スタックの小型・軽量化

新型スタックの最大出力は、従来の90kWから114kWに27%アップ、セル当りの出力は36%アップしている。一方、セルの体格は高電流密度化（2.4倍）および薄型化（20%低減）により24%縮小した。

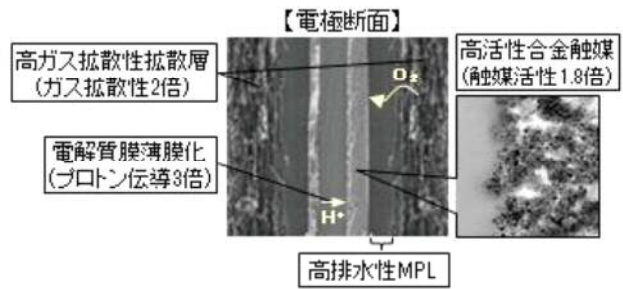


図5 新型セルの電極断面

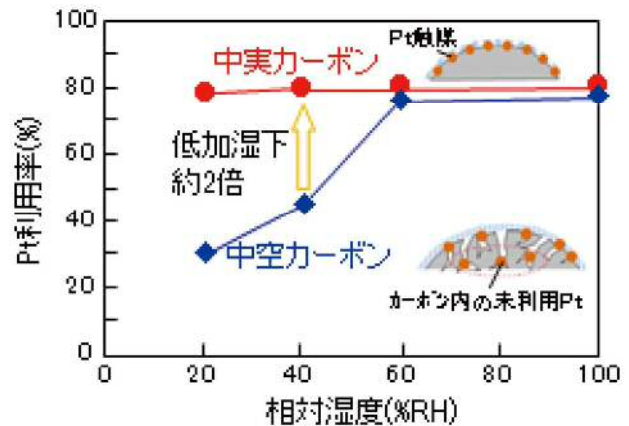


図6 電極の物性向上

また、セパレータ流路の材質をステンレスから比重の小さいチタンにして、セルの質量を39%低減した。スタックケースは、プレス品からアルミ鋳造品にすることで、締結強度部材としての機能を兼ね備えて、締結部品点数を削減し、体格を42%低減（64⇒37L、108⇒56kg）した（図7）。

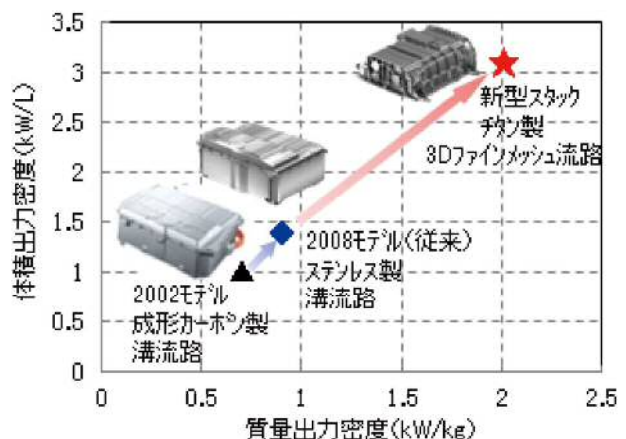


図7 スタックの体積・質量出力密度

4 FC スタックの低コスト化

スタックのコストは、FC固有材料である電極の

電解質膜と量産効果が得られない電極触媒のPtおよびセパレータ表面処理のAuめっき（接触抵抗低減と耐食性の機能）が高価である。

新型スタックは、セル流路構造および電極の革新による高性能化（電流密度2.4倍）とFC昇圧コンバータの採用によるスタック積層セル数の削減（400⇒370セル）によって、出力当たりの電極面積を59%低減した。

更に、電解質膜の膜厚を1/3に薄膜化したことによる高価な電解質ポリマの使用量低減、触媒の高活性化とPt利用率アップによりPt量1/3に低減し、単位面積当たりの電極材料費を削減した。

一方、セパレータに関しては基材を従来のステンレスから耐食性に優れるチタンにすることで、表面処理を接触抵抗低減の機能だけに簡略化、従来のAuめっきから新規開発したカーボンナノコートPAC (π -Conjugated Amorphous Carbon) の採用により貴金属を廃止して大幅にコストを低減した⁽⁵⁾。

5 まとめ

新型FCスタックは、セル流路構造の革新（3Dファインメッシュ流路）および電極の革新（プロトン伝導性、ガス拡散性、触媒活性の向上）により、2.4倍の高電流密度化を図ることができた。合わせて、スタック締結構造の機能統合により、従来比2倍以上の出力密度3.1kW/L、2.0kW/kgを達成した。

また、高価な貴金属使用量削減（触媒Pt量1/3、表面処理Auレス化）により、大幅な低コスト化を図った。更に、耐久信頼性も従来比3倍に向上して

おり、FCV普及に向けた量産型スタックに進化することができた。

6 おわりに

世界初の加湿器レスシステムで高性能化と低コスト化を両立する高い目標に果敢にチャレンジし、革新的なFCスタックの実現に向けてご尽力いただいた各社サプライヤー、豊田中央研究所、日本自動車部品総合研究所の方々に深く感謝の意を表する。

■参考文献

- (1) 大仲英巳：燃料電池研究開発を取り巻く動向—FCV市販化を中心に—。シリコンテクノロジー分科会, No.164 (2013)
- (2) 前田正史, 磯貝, 塩澤, 手嶋, 濱田：X線CTを用いた燃料電池内部の水挙動解析。デンソーテクニカルレビュー, Vol.13, No.1(2008)
- (3) 濱田成孝, 後藤, 佐野, 塩澤, 近藤：多孔体流路を用いた燃料電池セルの高出力化。自動車技術会秋季学術講演会, 219-20115664(2011)
- (4) 庄山昌志, 水谷, 富村：PEFC水管理によるセル劣化対策—ガス流路親水特性のセル水管理に及ぼす影響—。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, No.32(2008)
- (5) 植田雅巳, 森, 棚瀬ほか：固体高分子型燃料電池用炭素被覆ステンレス製セパレータの開発とその発電特性。日本金属学会誌第71巻, 第7号 (2007)

