

## 燃料電池自動車（FCV）の普及拡大に向けた開発と展望

神鋼リサーチ（株）鈴木 友成

「スマートエネルギーWeek 2018」の「水素燃料電池展 専門技術セミナー」に参加した。このセミナーで FCV の市場や技術動向の講演（9 件）を聴講し、それらの内容を「各自動車メーカーの FCV やその普及の取り組み」、「政府や業界の水素社会実現への取り組み」、「燃料電池材料・セルの開発課題、トピックス」の 3 つの観点から整理した。

- 「水素燃料電池展 専門技術セミナー」は、2018 年 2 月 28 日～3 月 2 日に東京ビッグサイトで開催された。その中の「燃料電池自動車（FCV）普及拡大に向けた開発と展望」、「海外メーカーの燃料電池自動車開発・普及の現状」、「燃料電池材料・セル開発の最前線」を聴講した。

- 「燃料電池自動車（FCV）普及拡大に向けた開発と展望」では、トヨタ自動車、日産自動車、本田技術研究所が FCV やその普及の取り組みについての講演を行った。また、「海外メーカーの燃料電池自動車開発・普及の現状」では、Daimler、Hyundai、Audi が講演を行った。

- 「燃料電池材料・セル開発の最前線」では、「PEFC（固体高分子形燃料電池）の正極材料」（横浜国立大学）、「PEFC の電解質膜」（日本ゴア）、「メタルサポート SOFC（固体酸化物形燃料電池）」（Ceres Power）の各々の技術課題や研究開発状況について講演が行われた。

### 1. 各自動車メーカーの FCV やその普及の取り組み

トヨタ自動車の「MIRAI」など、燃料電池に PEFC を用い水素ガスを燃料とする FCV が発売されている。これに対して日産自動車は、燃料電池に SOFC を用いたバイオエタノール燃料電池車「e-Bio Fuel Cell」の開発を発表した（2016 年）。

バス、フォークリフト、トラックなどでの FCV 普及にトヨタ自動車やダイムラーが取り組んでいる。また、本田技術研究所は、「スマート水素ステーション」（燃料電池の逆反応を用いた高圧水素のオンサイト製造設備）や「可搬型外部給電器」（FCV から家庭用電源などに給電する機器）など FCV 普及のための製品開発を行っている。

補足事項やその他の主なトピックスを以下に記載する。

- トヨタ自動車「MIRAI」は 2014 年に発売され、2017 年 10 月までに約 4500 台が販売された。燃料電池には PEFC を使用し、燃料には高圧タンクに充填した水素ガスを使用している。

- 「MIRAI」と同様な FCV として、「Clarity Fuel Cell」（本田技術研究所）、「B-Class F-Cell」（Daimler）、「Nexo」（Hyundai）などが発売されている。

- 日産自動車の「e-Bio Fuel Cell」では、100%エタノールまたはエタノール混合水を燃料とし、これを改質して水素を生成する。改質の際に CO<sub>2</sub> が発生するがカーボンニュートラルである。

- 水素ガス燃料の FCV では燃料補給のインフラ整備が課題である。これに対してエタノール燃料では大掛かりなインフラ整備を必要としない。但し、SOFC は作動温度が 500 °C 以上と高い。このため「e-Bio Fuel Cell」での燃料電池は EV のレンジエクステンダーの位置付けである。

- FCV は、バス、フォークリフト、トラックなど決まった区間や場所で使用される車や比較的高出力を必要とする車に適している。

- Hyundai は、燃料電池用パワートレインモジュール（燃料電池やモーターな

どのモジュール) 専用の量産 (3000 台/年) 工場を建設した。

- 本田技術研究所は GM と燃料電池システム量産の合弁会社設立の計画を発表、また、Hyundai は Audi と燃料電池技術分野の提携 (特許の共有など) を発表した。

- Daimler は外部充電可能なりチウムイオン電池を搭載したプラグインハイブリッド FCV 「GLC F-Cell」 を発表した。また、Audi は、燃料電池とリチウムイオン電池の両方により動力性能を増強したスポーツ車 (「A7 h-tron」、 「h-tron quattro」) を発表している。

## 2. 政府や業界の水素社会実現への取り組み

経済産業省は、水素社会実現のための産学官の取り組み計画を「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に取りまとめ、また、2016 年 3 月に改訂して目標値などを設定した。これを受けて日本政府は、水素社会実現への施策展開の方針である「水素基本戦略」を「再生可能エネルギー・水素等閣僚会議」で決定した (2017 年 12 月)。これは 2050 年を視野に入れた将来ビジョンと 2030 年までの行動計画である。

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の水素ステーション整備に関する目標を推進するために、インフラ事業者、自動車メーカー、金融機関の 18 社が協業して「水素ステーション運営会社」を設立した (2018 年 3 月)。また、自動車、エネルギー、化学、機械などの国際的な企業の経営者が水素社会実現の推進を目的として活動するための会議体である

「Hydrogen Council」が発足し、これには 39 の企業が参画している。

- 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」は 3 つのフェーズから構成され、最終的には「CO<sub>2</sub>フリー水素供給システム」を 2040 年頃の実現することを目指す。具体的目標値として、FCV の普及台数や水素ステーション数などを設定している。

- 「水素基本戦略」は、「海外の未利用エネルギーと CCS との組合せによる水素の低コスト化」、「水素サプライチェーン開発のためのキャリアー技術 (液化水素、有機ハイドライド、アンモニア) の確立」、「Power-to-gas 技術のための水電解システムのコスト削減」などを含んでいる。

- 「水素ステーション運営会社」(JHyM: ジェイハイム) では、1) インフラ事業者は水素ステーションの建設コストを負担し、水素ステーションの運営業務を受託、2) 自動車メーカーはインフラ業者に水素ステーションの運営を委託し、FCV を普及拡大、3) 金融機関は資金を拠出してインフラ事業者の初期投資負担を軽減する。

- 「Hydrogen Council」は 2017 年 1 月にダボスで開催された世界経済フォーラムで発足した。会議体を構成する企業の経営者が、政治家、投資家、国際機関、市民団体に対して水素化社会実現のための投資促進の働きかけを行う。トヨタ自動車、BMW、Daimler、Shell Oil、3M などが参画しており、「2050 年にエネルギー需要の 18% を水素化し、年間 6 Gt の CO<sub>2</sub> 削減、年間 2.5 兆ドルの水素関連市場と 3000 万人の雇用を創出すること」をビジョンとしている。

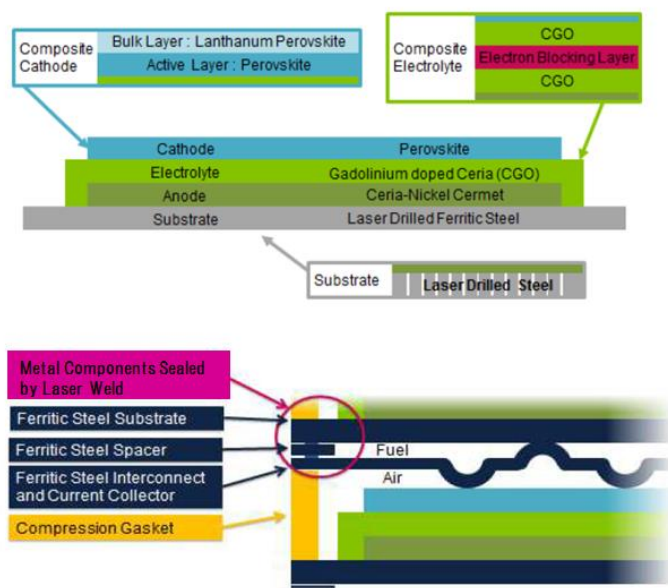
## 3. 燃料電池材料・セルの開発課題、トピックス

「PEFC の正極材料」では、「触媒である Pt が高価で資源的に希少」、「酸素還元過電圧が大きく、発電効率が低い」、「正極は酸性かつ酸化性の過酷な環境のため多くの物質 (炭素材料を含めて) が不安定」などが技術課題である。横浜国立大学 (石原彰光教授) では、高耐食性で導電性である 4 族・5 族遷移金属の酸化物を活性物質 (触媒) に用いた PEFC の正極を開発している。また、触媒の担体として通常使用される炭素材料も、正極では酸性かつ酸化雰囲気のため酸化消失する。このため 4 族・5 族遷移金属の酸化物の担体への適用も検討している。その結果、正極

の活性物質に Nb-doped TiO<sub>2</sub>、担体に Ti<sub>4</sub>O<sub>7</sub> を用いて、オンセット電位（酸素還元開始電圧）が 1.1 V と高い電極を開発した。また、酸素還元触媒活性の機構解明に取り組んでいる。この正極は電流密度が低く、今後、電流密度が高く実用化できる正極の開発に取り組む。

「PEFC の電解質膜」では、「電解質膜の性能向上」が技術課題である。電解質膜の要求特性は「水素イオンによる電気伝導性が高い」、「水の移動性が高い」、「化学的に安定」、「機械的強度が高い」、「水素ガス、酸素ガスの透過性が低い」などである。これらの要求特性を満足し、燃料電池の高出力化（高電流密度化）のためにさらに「水素イオンによる電気伝導性」、「水の移動性」が改善された電解質膜の開発が具体的な技術課題である。ゴア社（W. L. Gore & Associates, Inc：米国）では、「パーフルオロスルホン酸ポリマー」（フッ素系のカチオン交換膜）を「延伸ポリテトラフルオロエチレン」（ePTEF）に含浸した構造の電解質膜を開発し製品化した。また、この電解質膜のさらなる薄膜化を進め、高電流密度の電解質膜の開発に取り組んでいる。薄膜化を進めると「水素ガス、酸素ガスの透過性の増加」、「物理的・化学的耐久性の低下」が起る。これらに対して「ePTEF の最適化」や「添加剤技術」で対応している。

「メタルサポート SOFC」では、「メタルサポート SOFC の開発、実用化」が技術課題である。メタルサポート SOFC は、従来のサーメット負極を支持体とした SOFC に比較して熱衝撃に強く（急冷・急熱が可能）、また低コストである。しかしながら、鉄・クロムの合金紛体の成型体やステンレス箔などを支持基板に使用するため酸化雰囲気での熱処理ができない。このため、電解質膜や電極の従来とは異なる材料開発やプロセス開発が必要である。Ceres Power 社（英国）は、電解質膜に Gd-doped セリア、負極に Ni セリアサーメット、支持基板にレーザー加工で多数の穴を開けたステンレス箔を使用した SOFC（商品名：SteelCell）を開発した（図 1）。SteelCell の発電効率は従来の SOFC を上回っており、Ceres Power 社はこれを使用したマイクロ CHP（家庭向けの Combined Heat and Power）を開発し、また、KD Navien（韓国のガスボイラーメーカー）、Cummins（米国のエンジン、発電機メーカー）、本田技研、日産自動車などと提携して用途開発を進めている。



- Ceres Power（英国）は、左の図のような構造のメタルサポートSOFCを開発（商品名：SteelCell）。
- 支持基板にはレーザー加工で多数の穴を開けたステンレス（フェライト鋼）箔を使用。
- 電解質膜はGd-dopedセリア（CGO）、負極はNiセリアサーメット、正極はペロブスカイト。
- Gd-dopedセリア、Niセリアサーメット、ペロブスカイトはスクリーン印刷法で成膜。
- Gd-dopedセリアは電子の伝導性が高いため短絡電流による出力電圧低下の問題がある。このため、電解質膜中に電子のブロック層を挟んでいる。

- セリアは熱処理温度が1000℃以下と低く、支持基板、スペーサーや集電板に安価なステンレス箔（フェライト鋼）の使用が可能。
- 支持基板、スペーサー、集電板はステンレス箔で、これらの間のシールに信頼性の高いレーザー溶接の使用が可能。
- Gd-dopedセリアの電解質膜では、燃料電池の動作温度を450～600℃に下げることができ、セル間のシール材に信頼性の高い圧縮ガスケットの使用が可能。

図の出所：「水素・燃料電池展 専門技術セミナー」のテキスト

図 1 Ceres Power 社のメタルサポート SOFC（SteelCell）の構造

#### **4. 所感**

セミナーの聴講とその内容の整理、報告を行うことにより、燃料電池やFCVの技術や市場に関する知識を得ることができ非常に有意義であった。とくに、報告するために内容を整理する作業により、知識を深める、広める、また、正しく理解することができたと感じる。

以上