

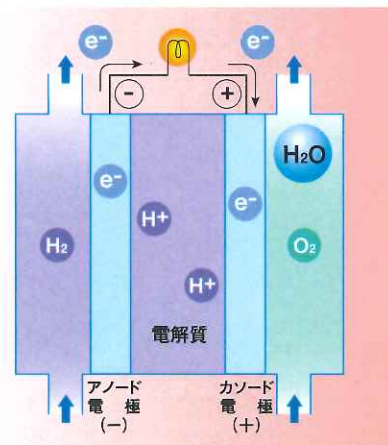


次世代のクリーンエネルギー車を支える材料技術

燃料電池自動車、いま発進

日本初の燃料電池の公道実験を行った「necar5 (前)」と「プレマシーFC-EV (後)」

■燃料電池の構成



地球環境と共生する自動車の開発は、自動車メーカーにとって最も大きな課題の一つである。すでに電気自動車やハイブリッド車が登場。そしていま、熱い視線を集めているのが燃料電池自動車だ。次世代のクリーンエネルギー源と期待される燃料電池を搭載した車は、いつ私たちの社会に現れるのか。現在各方面で進められている研究開発の一端を探ってみよう。

燃料電池で走る自動車がよいよ登場

2001年2月に、横浜市内で日本初の燃料電池自動車の公道走行実験が開始された。これは、石油産業活性化センターが官民合同プロジェクトとして行ったもので、走行したのはマツダ「プレマシーFC-EV」とダイムラークライスラー「necar5」の2台。未来のクリーンエネルギー自動車の本命と目される燃料電池自動車が初めて公道を走るということで、大きな話題となった。

これまで「地球にやさしい自動車」としては、発電所電力を

利用した電気自動車やエンジン動力と電気などの動力を組合わせたハイブリッド車などがすでに街を走っている。燃料電池の燃料は水素と酸素、これを電気化学反応によって発電し、排出するのは水だけ。燃料電池自動車は、これまでの自動車を超える、未来のクリーンエネルギー自動車といわれてきた。

燃料電池自体の歴史は意外に古い。1801年イギリスのデーヴィー卿は「石炭、木炭などの固体燃料から電気エネルギーが取り出せる」ことを原理的に予測し、1839年イギリスのグローブ卿は、常温で水素と酸素の電気化学反応から電気エネルギー

■燃料電池の種類と特徴

	リン酸型 (PAFC)	溶解炭酸塩型 (MCFC)	固体電解型 (SOFC)	固体高分子型 (PEFC)
電 解 型	リン酸水溶液	リチウムナトリウム系 炭酸塩 リチウムカリウム系 炭酸塩	ジルコニア系 セラミックス	高分子膜
作動温度	200℃	650～700℃	900～1000℃	70～90℃
燃 料	天然ガス(改質) メタノール (改質、直接)	天然ガス 石炭ガス化ガス	天然ガス 石炭ガス化ガス	水 素 メタノール (改質、直接) 天然ガス(改質)
発電効率	35～42% 程度	45%～60%	45%～65%	改質ガスを用いた 場合30%～40%
特 徴	ほぼ商用化段階	高発電効率 内部改質が可能	高発電効率 内部改質が可能	低音で作動 高出力密度 移動用動力源および 小容量電源に適している

を取り出すことに成功している。

世界で初めて実用化された燃料電池は、1965年、ジェミニ5号に搭載された。これにより宇宙船内で必要な電力を得るとともに、そこで生じる水を乗務員の飲料水として利用できるというメリットがあったという。

その後1970年代から1980年代にかけて、世界のエネルギー危機と環境破壊の問題が深刻化し、クリーンエネルギーシステムの一つとして燃料電池が注目され始めた。以後、電力供給や輸送などの分野で研究が進められてきたが、最近では二酸化炭素排出規制の世界的な動きが燃料電池開発に拍車をかけている。

現在、研究開発が行われている燃料電池は、電解質の違いにより大別してリン酸型、熔融炭酸塩型、固体電解型、固体高分子型の4種類に分類できる。ジェミニ5号に搭載されたのは、このうちの固体高分子型燃料電池(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)である。

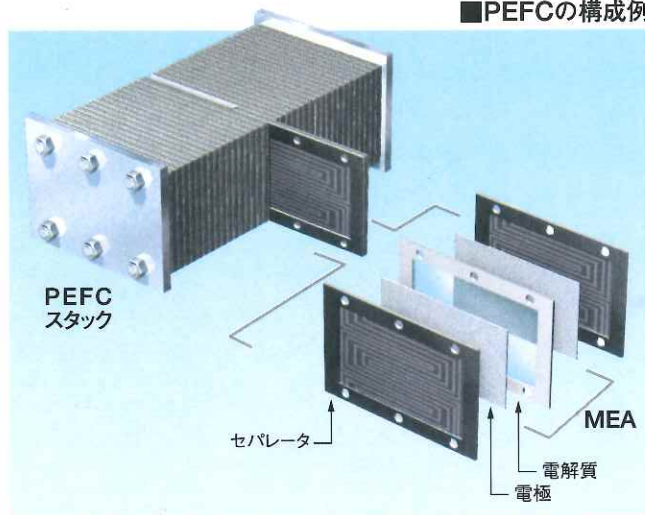
いま、このPEFCが、自動車用燃料電池として有望視されている。その理由は、他の燃料電池に比べ、出力密度が高く小型化が可能、比較的低温で作動するため起動停止が容易など、自動車のエネルギー源として有利な特徴を持っているからだ。ただしこれを実用化するとすると、解決すべき課題は多く残っている。

PEFCで期待される金属セパレータ

PEFCは各種の材料が積層されて構成されている。電解質にはイオン交換膜などが使われ、電極は触媒粒子をカーボンブラックに付着させたもので、これらを接合したものが膜・電極接合体(MEA: Membrane Electrolyte Assembly)である。

触媒粒子はアノード側に白金や白金・ルテニウム合金を、カソード側に白金を使用する。この両側からセパレータ(集電体)を押

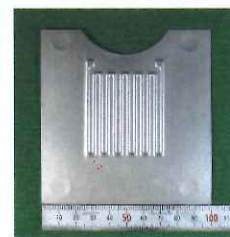
■PEFCの構成例



「金属セパレータの開発例」



5,000時間の耐久性が確認されたステンレス製セパレータサンプル



量産化技術の研究が進むステンレス製セパレータ(プレス試作例、オーステナイト系開発材使用)

し当て、さらにこれを積層してセルスタックを作る。ここに水素と空気を供給して、水素と酸素を反応させて電力を得る。

これまでセパレータには、主にカーボンが使用されているが、最近になって、金属材料の適用が研究されている。これは、セパレータに、導電性、機械的強度、ガス流路のための成形加工時に自由度があることなどの特性が求められるからである。従来のカーボンでは薄肉化すると割れやすく、厚いと重量、体積が増す。実用化を視野に入れば、セパレータを金属材料に変更することにより、軽量化やコスト削減効果が期待できることも重要である。

日本では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)により、1992(平成4)年度から「固体高分子型燃料電池の研究開発」プロジェクト*が進められてきた。このプロジェクトの中で、1996(平成8)年度より金属セパレータの研究が行われている(委託先:アイシン精機(株))。ここでは、ステンレス、アルミニウム、チタンなどの基板の表面に、自然電位が高く、酸化しても導電性があるなどの特性を持つ材料を被覆し、それぞれの性能評価を行ってきた。これまでのところ、SUS304(板厚0.2mm、空気流路部絞り0.9～1.3mm)に金めっき(厚さ0.05μm)を施したセパレータで、5,000時間の耐久性を確認することができた。さらに今後の課題として、空気流路を確保できるような形状とすること、生成水の滞留による腐食を防止することなどが挙げられる。

*平成11年度に「運輸・民生用高効率エネルギーシステム技術開発」に名称変更(～平成12年度)

また、金属セパレータの量産化技術の研究も行われている（委託先：住友金属工業（株））。量産時のコスト高や資源確保などの問題点がある金などの貴金属を使用せず、これに替わるものを開発しようという研究である。ここでは、めっきではなく、鋼中の導電性金属析出物を表面に露出させる方法に着目した。これは、ステンレス板の表面に露出した導電性金属析出物が、いわば「電気の通り道」を作ることにより導電性が確保でき、その結果、接触抵抗が低く保たれるというものである。実験では、析出物が分散するフェライト系開発材およびオーステナイト系開発材で板厚0.2mmの薄板を製造し、これを酸洗して頭出し処理を行った。この方法により、 $20\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 以下の接触抵抗値が得られ、必要な性能が得られることを確認している。

メタノール、水素、どれが最適な選択か

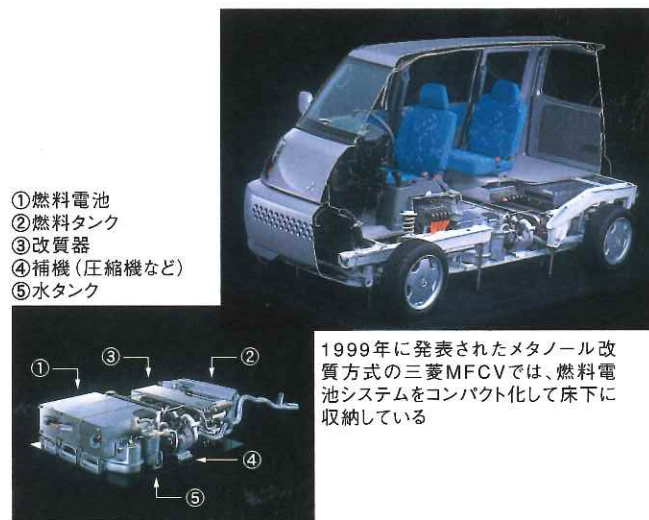
さてPEFCを自動車に載せるためには、最適な燃料電池システムが必要であり、構成要素ごとに、使用燃料、燃料貯蔵方式、改質方式、燃料電池、補助電源などの検討が必要となる。このなかで、使用燃料の種類とそれに合った燃料貯蔵方式の選択は、燃料電池自動車の性能を左右する最も重要な部分である。

燃料電池自動車に使われる燃料の種類には、水素、メタノール、ガソリン、天然ガスなどがある。このうちメタノールは、液体で改質温度が低く、比較的容易に改質できることから早期実用化が期待されている。メタノールの場合は、改質器によって水素に変換して使用するが、水素に比べエネルギー密度が高く、一回充填での走行距離もガソリンエンジン車と同等であるなどの利点がある。最近では、改質器を使わず電極表面上で直接水素イオンに変換するダイレクトメタノール方式の研究もさかんである。

また、ガソリンや天然ガスの場合は、既存のインフラが活用できるため導入しやすいが、改質温度が高い（ガソリンは 800°C 、メタノールは $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）ことや、ガソリンに含まれる硫黄分による触媒被毒などの問題があり、これらの問題を解決しなければ、他の燃料に比べそれほど有利とはいえないとみられている。

当然のことだが、直接、水素を使用すれば効率がよい。メタノールやガソリンでは水素を取り出すための改質器が必要だが、水素そのものならそれは不要になる。また他の燃料に比べ、始動性や応答性にすぐれ出力性能も良好である。

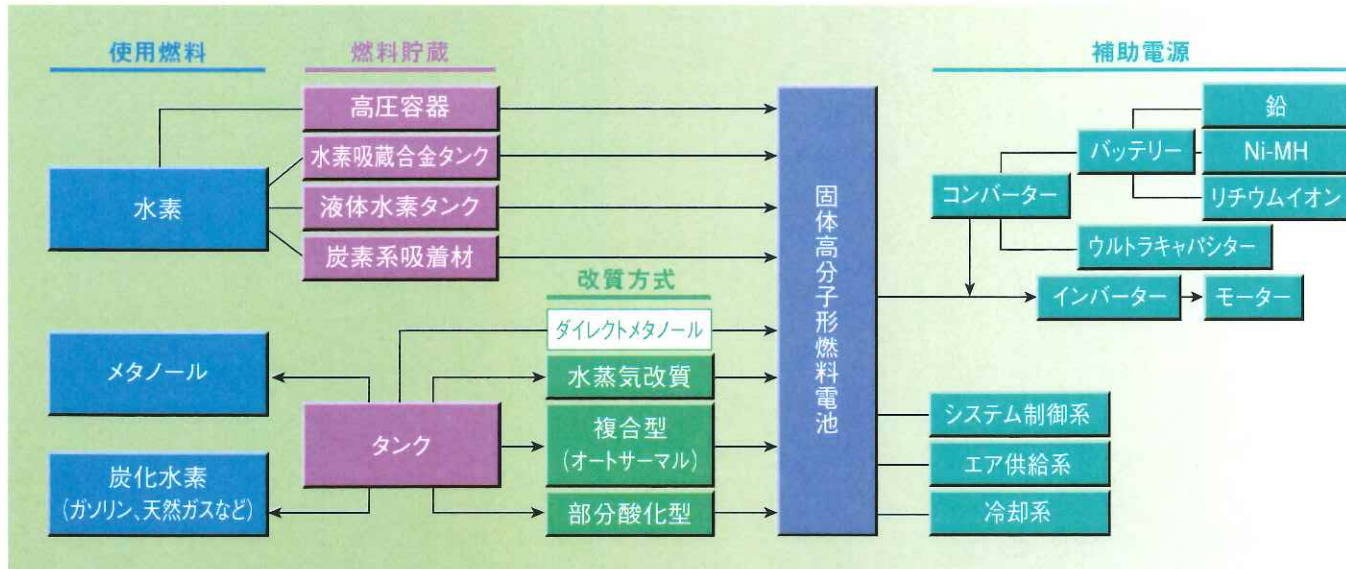
よく知られているように、水素は無色無臭で、自然発火しにくく、燃えても炭酸ガスや硫黄酸化物が出ないなどの特徴があり、自動車以外でもクリーンエネルギーとしての可能性が期待されている。ただし、常温ではガスであるためエネルギー密度が小さく、車載するには高密度化しなければならない。そこで、高圧水素タンク、液体水素タンク、水素吸蔵合金など、最適な水素貯蔵方式の選択が必要となる。



①燃料電池
②燃料タンク
③改質器
④補機（圧縮機など）
⑤水タンク

1999年に発表されたメタノール改質方式の三菱MFCVでは、燃料電池システムをコンパクト化して床下に収納している

■燃料電池自動車システムの分類（日本自動車研究所資料）





高圧水素タンク(25MPa)方式のトヨタ「FCHV-4」(2001年発表)は、燃料電池のほか二次電池を搭載したハイブリッドシステムを採用し、公道走行試験を開始した。燃料電池システム(右)はボンネット下に収められている。



©日経BP社 AUTOMOTIVE TECHNOLOGY

開発が進む高圧水素タンク方式

水素貯蔵方法のうち高圧水素タンク方式では、水素を25MPa程度の高圧にして搭載する。従来の天然ガス自動車でも同様な容器が適用されており、安全基準は確立されているといわれる。しかしタンクを搭載するために必要なスペースが比較的大きいため、一層の高圧化のニーズが高い。先頃アメリカで、70MPa、水素貯蔵量が従来比80%増という高圧水素タンクも開発されている。タンクの高圧化にともない、水素脆化などが少ない材料の開発やシステム全体の安全性への配慮は、今後も重要な課題である。

一方、液体水素を搭載する方式では、重量エネルギー密度が大きく、同じ重量のタンクでガソリンエンジン車以上の長距離

走行も実現可能であるとされている。しかし、長期貯蔵すると1日あたり数%のボイルオフ(蒸発)があること、水素を20K(−253℃)の極低温に冷却、貯蔵するには水素エネルギーの約30%という大きなエネルギー量が必要であることなど、経済性やエネルギー効率の点で不利となる。液体水素タンクは極低温から常温の範囲で使用されるため、低温脆化や水素脆化を起さず、とくに溶接部の脆化が少ない材料が要求され、ステンレスやアルミニウムなどが有望と見られている。

コンパクトに水素を貯蔵する水素吸蔵合金

水素を貯蔵する3つ目の方法は、水素吸蔵合金の利用である。これは、ランタンなど水素と化合物を作りやすい金属と、鉄やニッケルなどで作られる合金で、これまでに100種類以上の水素吸蔵合金が開発されている。この合金は圧力を上げるか、常温程度に冷やすと水素を吸い、圧力を下げるか、加熱すると水素を吐き出す。



水素吸蔵量の大きい合金開発が求められている

水素吸蔵合金タンクは、体積エネルギー密度が大きく、車載時にタンクのレイアウトがしやすいという特徴がある。また、水素放出が吸熱反応であることから、衝突事故などによりタンクや配管が破損しても、熱源の供給停止により水素の放出が自然に停止するので、安全性が高い。

水素利用に関する研究として、平成5年度から開始されNEDOが推進してきた「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発(WE-NET)」プロジェクトがある。この中で水素吸蔵合金については、「有効水素吸蔵量3wt%以上、

水素も気軽に燃料補給できる 水素供給ステーション



2001年10月に完成予定の水素供給ステーション(実用化時のイメージ)

日本初の水素供給ステーションがもうすぐお目見えする。これはWE-NET(本文参照)の重点プロジェクトとして、水素利用の安全性確保、および社会的認知度の向上を目指して実施されるもので、2001年10月に大阪市、2001年12月に高松市にそれぞれ違う方式のステーションが完成する。

このうち高松のステーションは、高圧水素タンク型あるいは水素吸蔵合金タンク型の燃料電池自動車での使用を想定したもので、「固体高分子水電解型」と呼ばれる。設備的には①固体高分子電解質水電解装置による水素の製造、②製造した水素の貯蔵、③燃料電池自動車への水素充填・計量を行う設備、で構成される。今回は、実用規模の水素供給能力の10分の1にあたる30Nm³/時のシステムの開発と実証を行う予定。また、水素吸蔵合金への急速充填やステーションと自動車とのインターフェイスの開発なども、同時に進められる。この設置を皮切りに、いよいよ日本でも「水素ステーション」の実用化に向けた動きが本格化する。

冷却温水利用が可能な水素放出温度100℃以下、5,000サイクル時の吸蔵放出能力が初期の90%以上の繰り返し特性」を目標として研究が行われてきた(委託先:(財)大阪科学技術センター)。平成12年度までの成果として、新開発のバナジウム合金が現時点で世界最高レベルの2.6wt%の有効水素量を達成した。このほかチタンクロム系、チタンクロム-バナジウム系合金など水素吸蔵能力にすぐれた合金を開発している。

すでに1996年、トヨタ自動車(株)では水素吸蔵合金タンク搭載車を開発している。使用されたのはチタン系の新合金100kgで、約2kgの水素(常温、常圧のガスでは2万リットル以上に相当)を貯蔵できた。重量は、燃料電池スタック120kg、水素吸蔵合金タンク100kgで合わせると220kgで、これは同社電気自動車「RAV4L EV」のバッテリーの重量(450kg)に比べると半分であった。

最近では水素吸蔵合金だけでなく、水素貯蔵化学物質(ケミカルハイドライド)にも注目が集まっている。理論的には7~10wt%の貯蔵能力が期待されるが、水素発生能力などの点でさらに技術開発が必要とされている。

実用化に向けたインフラ整備の進展

1999年4月に発足したCaFCP(California Fuel Cell Partnership)は、2000年から2003年にかけて約50台の燃料電池車の走行試験を行うプロジェクトである。これはCARB(カリフォルニア大気資源局)や自動車メーカー、燃料供給メーカーなどが参画し、インフラ技術、市場導入、社会の啓蒙などを図ることを目的としており、日本からはホンダ、日産およびトヨタが参画している。

海外では、燃料電池自動車の公道実験、水素供給ステーションの設置など、市場導入に向けた動きが活発になっている。一例として、走行距離の限られた都市内路線バスに燃料電池車を導入する試みは、アメリカ、カナダ、ドイツなどですでに行われている。バスと

いう公共交通の環境対策であり、市民へのPR効果もあるので導入しやすかったという背景はあったものの、燃料電池車の市場導入の先駆けとなっていることは事実である。

また水素供給のインフラ整備についても、海外ではアメリカ、ドイツ、イギリス、カナダなどで、高圧ボンベ、液体水素、水素吸蔵合金の各貯蔵方式のステーションが、地域の条件を考慮して設置されている。

日本における燃料電池の将来展望について、燃料電池実用化戦略研究会(資源エネルギー庁長官の私的研究会)が2001年1月に報告書を発表した。その中で「2010年の燃料電池自動車の導入目標(累積値)は約5万台、定置型(発電装置)約210万kW、2020年目標はそれぞれ約500万台、約1,000万kW」と予測された。燃料選択については、当面は圧縮水素、メタノールが有望だが、近い将来はクリーンガソリン(既存のガソリン原料から硫黄等の不純物を除去したもの)の可能性が高いとしている。さらに将来的には水素が有望だと考えられるが、車両への貯蔵技術が未確立、水素供給インフラが未整備、などの理由から「長期的将来にならざるを得ない」とされている。しかしこの報告書は、開発競争の進む現時点での一つの予測であるに過ぎない、との見方も多い。

自動車メーカーや周辺業界だけでなく、社会的な要請も日に日に高まる燃料電池自動車。2001年10月に開催される東京モーターショーでも、国内、海外の多くの燃料電池自動車が出展されるのはほぼ確実だ。2003年には第1号が発売開始という見方もある。燃料電池自動車が、社会にどのように受け入れられ、私たちの生活をどのように変化させるのか、その興味は尽きない。

●取材協力

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、トヨタ自動車(株)、本田技研工業(株)、日産自動車(株)、三菱自動車工業(株)、マツダ(株)、日本重化学工業(株)、時事通信、読売新聞社



2001年2月からカリフォルニアの市内で公道走行実験を開始した高圧水素方式のホンダ「FCX-V3」と独自開発の燃料電池スタック

2001年4月から実験を開始したメタノール改質式ハイブリッド車の日産「Xterra FCV」

