

特集

クリーン自動車をめざして

## 水素自動車の現状と将来

The Present and Future Trends of Hydrogen-Powered Vehicle

濱 純\*

Jun Hama

## 1. はじめに

昨今、地球環境を保護するための様々な対策が推進される中、米国カリフォルニア州ではZEV (Zero Emission Vehicle) の導入を1998年から義務づける排出ガス規制が計画されており<sup>1)</sup>、自動車分野では、これまでの燃料の多様化、低燃費化に加えて、さらに厳しいクリーン化が求められている。この要請に対処できる自動車の一つとして、水素自動車が再び注目されてきている。

水素自動車の技術開発は、オイルショック以後、石油代替自動車の一候補として研究開発が進められてきた。しかし、水素の大量製造や貯蔵・輸送などの供給体制はその見通しすらたない状況であったため、水素自動車の開発に大きな進展はみられなかった。地球環境問題を契機に、水素を媒体として製造から利用までのエネルギーネットワークを構築することを目指した国際的なプロジェクトが開始され<sup>2~4)</sup>、水素の大量製造および貯蔵・輸送方法について具体的に提案されるようになり、利用技術の一つとしての水素自動車の研究開発が活発化してきている。

本報では、これまで研究開発が進められてきた水素エンジン自動車とともに、最近注目されてきた燃料電池自動車も含めて、その開発動向を紹介する。

## 2. 水素エンジン自動車の動向

## 2.1 開発現状

エンジン駆動方式の水素自動車は、エンジン、燃料タンクを含む水素供給システムなどの要素技術からシステムとしての水素自動車まで様々な研究開発が進められてきた<sup>5)</sup>。

## (1) エンジン

現用ガソリンおよびディーゼルエンジンに水素を燃料として利用する研究開発がこれまで数多く行なわれてきている。その大半を占める火花点火エンジンの研究について、代表的な水素供給方式の運転特性、課題と対策などが整理されている<sup>6)</sup>。その代表的な水素噴射方法の概略をそれぞれ図-1~3に示す。まず吸気管への定時噴射または混合器を用いる予混合方式では(図-1)、低負荷運転時にガソリンエンジンでは運転不可能な希薄混合比(空気過剰率 $\lambda \sim 5$ )まで吸気を絞らずに運転でき、熱効率の高い、NO<sub>x</sub>の排出が少ないクリーンな運転特性が得られる。しかし、高負荷運転では、逆火等の異常燃焼を生じ、 $\lambda < 2$ では混合気の単位体積当りの発熱量がガソリンよりも小さくなるので、出力はガソリンエンジンの50~60%と低下し、NO<sub>x</sub>の排出濃度も急激に増加する。このため、高負荷時に水噴射を行ない異常燃焼を防止する方法<sup>7)</sup>や、 $\lambda = 2$ の希薄混合比で異常燃焼を避けて過給により高出力化を図る方法<sup>8)</sup>などが試みられ、その有効性が実証されている。

筒内噴射方式では、図-2に示すように、10MPaの高圧水素を圧縮行程後期に噴射ノズルからシリンダ内へ直接噴射してディーゼルエンジンに近い燃焼をさせ<sup>9)</sup>、高負荷運転時の過早着火の防止や低NO<sub>x</sub>化、および高出力化が図られている。高負荷運転時の熱効率を向上させるためには、空気利用率を高めて未燃水素の放出を抑える必要があることが指摘されている<sup>10)</sup>。また、噴射時期と点火時期を最適化することにより燃焼時の急激な圧力振動を防止し、吸気管予混合方式やEGRを併用して低負荷におけるディーゼル燃焼特有なNO<sub>x</sub>の排出を低減するなどの改善が図られている<sup>11)</sup>。一方、0.4MPa程度の水素ガスを圧縮行程初期に筒内噴射し、水素と空気との混合を吸気のスワールにより促進してガソリンエンジンに近い燃焼をさせる方法は<sup>12)</sup>、比出力の向上や逆火防止に有効であることが実

\*工業技術院 機械技術研究所エネルギー部燃焼工学課課長  
〒305 つくば市並木1-2

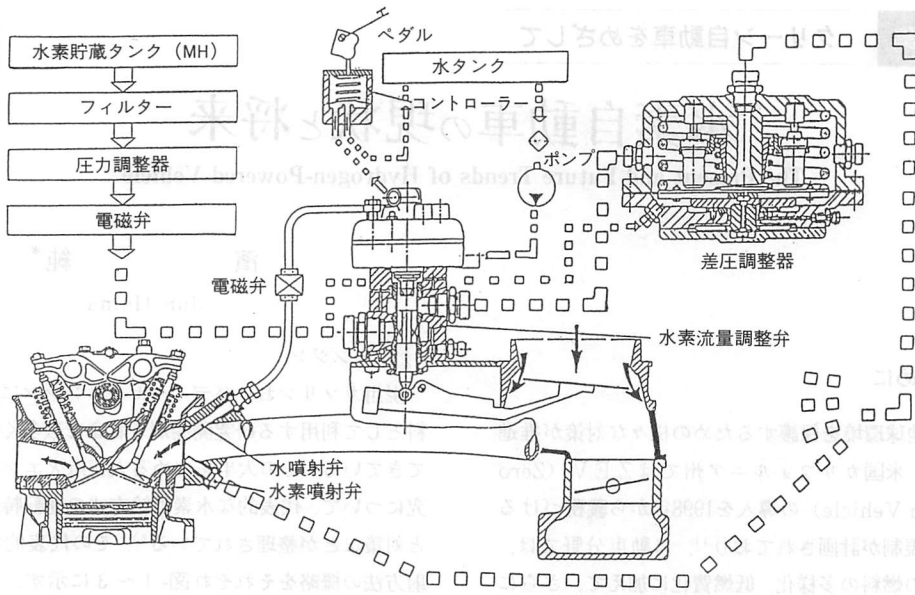


図-1 吸気管定時噴射方式の水素供給<sup>7)</sup>

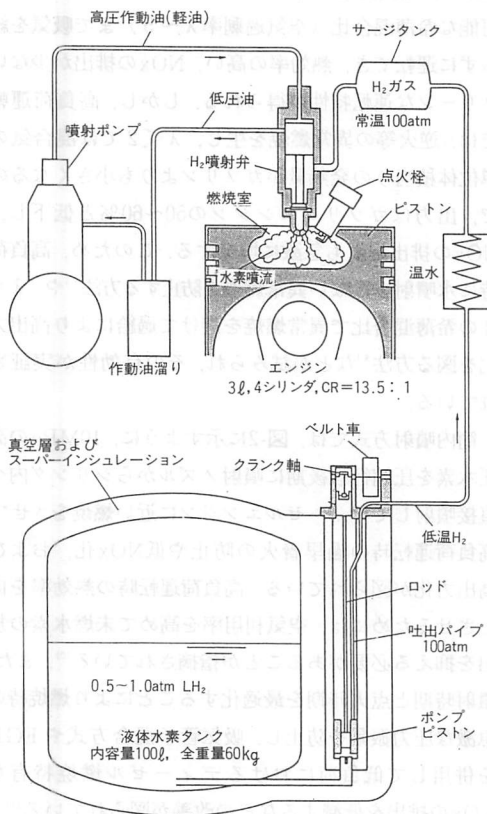


図-2 筒内高圧噴射方式の水素供給<sup>9)</sup>

証され、最高正味熱効率35%が得られている。しかし高負荷運転 ( $\lambda < 1.5$ ) では高濃度のNO<sub>x</sub>が排出され、

ノッキングを生じるなどの課題が指摘されてきた<sup>13)</sup>。これらの代表的なエンジンの熱効率を比出力（正味平均有効圧）で整理した結果を図-4に示す。最近、圧縮初期と圧縮後期の両筒内噴射方式についてインタークーラー、高過給機付き単気筒エンジンで比較性能試験が行われ、圧縮初期の噴射方式で $\lambda \sim 2.0$ のもとで、図-4に示す平均有効圧以上（0.8~1.3MPa）においても、熱効率34~35%、低NO<sub>x</sub>化（1~2g/kWh）が達成されている<sup>14)</sup>。

一方、ディーゼルエンジン本来の圧縮着火方式では、水素の非定常噴射の混合過程や自発火温度などの基礎研究からディーゼルエンジンの運転研究が行われ、水素燃料では圧縮着火が難しく<sup>15)</sup>、パイロット噴射<sup>16)</sup>などの方策を講じる必要があることが指摘されている。

上記したレシプロエンジンとは別に、ロータリーエンジンについても最近さかんに研究開発が進められている。ロータリーエンジンは、吸気および排気をポートから行うから、逆火等の異常燃焼の誘因とされる排気弁などの局所的な高温部を形成する確率が少ないために、点火プラグを高熱価のプラグに変更するだけで、吸気管予混合方式でも $\lambda = 1$ まで運転できることが報告されている<sup>17)</sup>。また1MPa以下の低圧筒内噴射方式を用いてガソリンエンジンの90%までの出力を達成している<sup>18)</sup>。

以上、エンジンの研究開発では、既存エンジンをベースとした火花点火式筒内噴射型エンジンを採用し、高

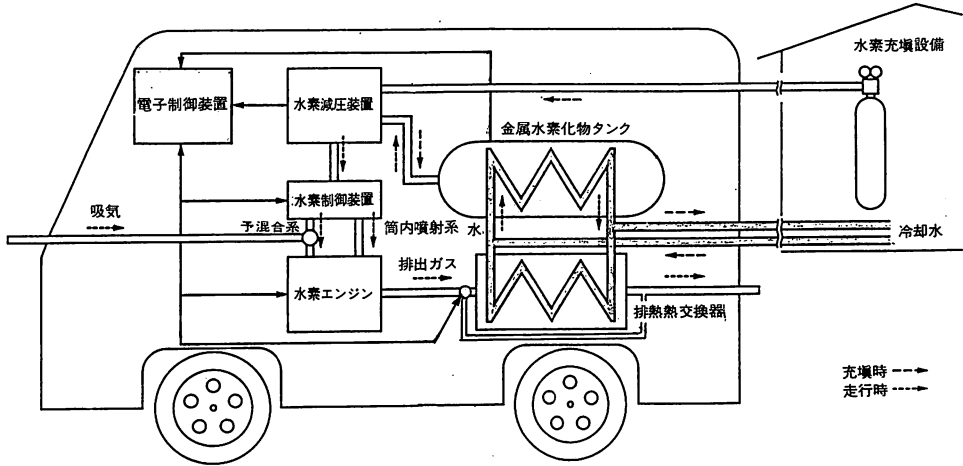


図-3 筒内低圧噴射方式の水素供給<sup>19)</sup>

出力、高効率、および低NOxが図られ、既存エンジン並みの性能が得られている。

(2) 燃料タンクと供給システム

水素の貯蔵形態は高圧ガス、液体水素および水素吸蔵合金 (MHと略) があるが、これらの燃料タンクを含めた重量および体積当たりのエネルギーの貯蔵密度を各種燃料と比較した結果の一例を図-5に示す<sup>19)</sup>。図から既存ディーゼル油およびガソリンの輸送性が如何に優れているかがわかる。また、水素は蓄電池よりもはるかに優れていることもわかる。

水素の貯蔵形態の中では液体水素が容積的にも、重量的にもエネルギー貯蔵密度が最も良く、輸送性に優れている。しかし、 $-253^{\circ}\text{C}$ の極低温であるので長期間の貯蔵に課題があり、現状では開発された自動車用真空断熱タンク(120 l 容器, 50 kg)で蒸発量が1.8%

／日程度まで達成されている<sup>20)</sup>。タンクからの水素供給のための小型液体水素ポンプの開発が進められており<sup>21)</sup>、自動車用ポンプとしての耐久性が課題となっている。さらに液体水素充填時の安全性の確保、ならびに蒸発損失や充填時間を短縮するための充填装置が開発されている<sup>22)</sup>。

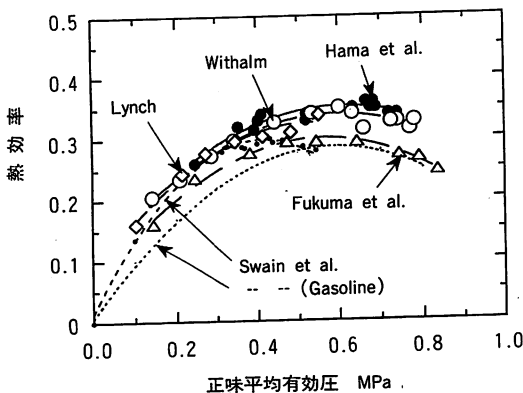


図-4 エンジンの熱効率<sup>6)</sup>

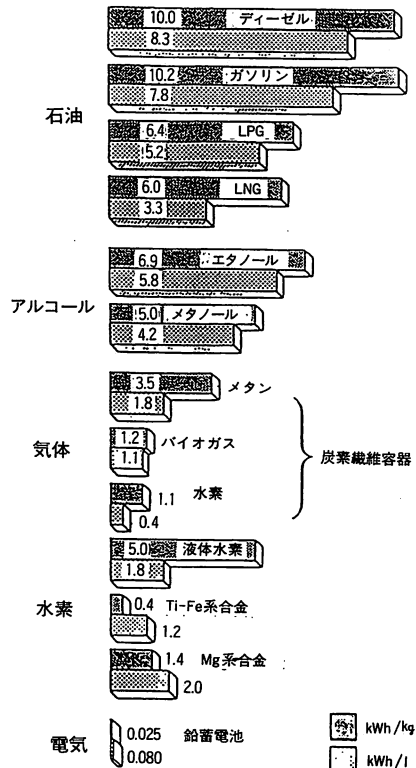
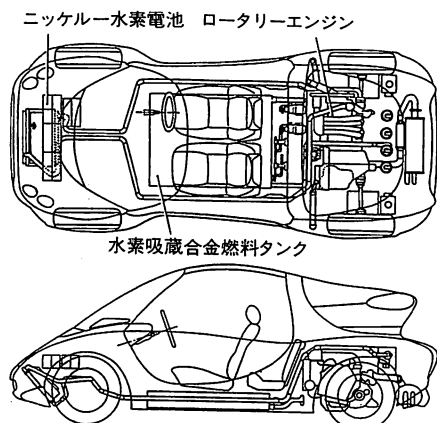


図-5 燃料タンクのエネルギー貯蔵密度の比較<sup>19)</sup>

表1 水素エンジン自動車の構成と特徴

エンジン			水素タンク				自動車の特徴		
噴射方式	課題	対策	貯蔵形態	供給方式	課題	対策	形式	特徴	車種
吸気管 定時噴射 or予混合	高負荷運転時 異常燃焼 低出力 高NO <sub>x</sub> 排出	水噴射  過給	液体  MH	ポンプ  加熱	.....	.....	LH2車  MH車	高効率 低出力車	乗用車 バン
シリンダ内 低圧噴射	ノッキング 高NO <sub>x</sub> 排出	始動時 予混合 併用	MH	加熱	運搬性	軽量化	MH車	中出力車	ミニバス, バン フォークリフト, 乗用車
シリンダ 高圧噴射	未燃水素の放出 圧力振動	予混合 併用	液体	ポンプ	貯蔵性	真空断熱	LH2車	高出力車	乗用車 都市バス

図-6 ロータリーエンジン水素自動車<sup>27)</sup>

一方、MH貯蔵では長期間の貯蔵性能はよいが、重量的にはるかに劣り、輸送性に課題がある。現状の自動車用MHタンクではその総重量の約1%の水素重量が貯蔵できる程度である。MH貯蔵の場合、図-3に示すように、MHタンク自体が熱交換機能を有する水素発生装置であるので、エンジン廃熱によるMHタンクへの加熱量を制御してMHタンク内のガス圧を調整することにより、ポンプを使用せずに水素を直接供給している。したがって、エンジンの必要とする水素量を迅速に供給するために、熱伝達特性の良い、コンパクトな構造のタンクの開発<sup>28)</sup>、また水素発生量を制御するためのエンジンとMHタンクとの協調制御<sup>29)</sup>が行われている。

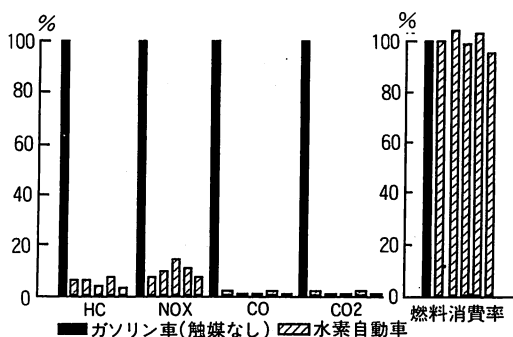
重量的にも、容積的にもエネルギー密度の低い高圧ガスでの貯蔵は、水素自動車の開発初期に用いられていた。最近、高圧容器には、アルミとアラミド繊維との複合構造材などが用いられて軽量化や高圧化が図られ、30MPa、147lの高圧容器例では<sup>25)</sup>、その重量貯

蔵密度は3%を越える。

### (3) 水素自動車

水素自動車は前記したエンジンおよび水素供給システムの要素技術が組み合わせて試作されているが、これまで試作された自動車の代表的なシステム構成を表1に示す。表からわかるように、液体水素自動車では吸気管定時噴射方式ならびに圧縮後期の筒内高圧噴射方式エンジンが採用されている。液体水素の輸送性が良いことから全般的に乗用車が多い試作されてきたが、欧州とカナダ・ケベック州との国際共同プロジェクト(EQHHP)では高圧噴射方式のエンジンを搭載した都市バスの開発が計画されている<sup>26)</sup>。

一方、MH自動車では、MHタンクからの水素供給圧を高くできないことから、吸気管予混合方式および圧縮初期の筒内低圧噴射方式のエンジンを用い、そのタンク重量の重さをカバーできる、車体総重量の大きいミニバスや重量を逆に必要とするフォークリフトなどの商用および産業用車両が試作されてきた。しかし、図-6に示すロータリーエンジン搭載車<sup>27)</sup>は既存自動車

図-7 水素自動車の排気と燃費<sup>28)</sup>

の改造を主体とするこれまでの開発とは異なり、将来型の水素自動車の提案として注目されている。

これらの水素自動車の性能評価には、モード運転試験が各種行われ<sup>28)</sup>、本格的な市街地走行試験は、唯一、ドイツで5台のMH自動車を用いて3年半かけて実施されている<sup>29)</sup>。その報告結果の一例を図-7に示す。図から水素自動車の排気がクリーンであることがわかる。また燃費は、車重が30%増加しているにもかかわらず、図に示す市街地モード（ECEテスト）ではガソリン車と同等であり、これらの影響の少ない定速走行燃費（90, 120 km/h）では25%改善されている。

2.2 今後の開発動向

水素エンジン駆動自動車は、従来の石油代替車の開発と同じような、既存自動車を水素用に改造するアプローチでは、すでに改造指針や技術的な課題は把握されている。しかし、水素の優位性を強調できる水素自動車を追求するには、未だ多くの開発課題や目標とすべきキーワードがある。これらを整理して表2に示す。

(1) 燃料タンク性能の向上

自動車用燃料タンクは、各貯蔵形態で改良が進められているが、その貯蔵性や輸送性だけをとってみても、両方を満足する性能は得られておらず、この課題解決が水素自動車の実用化の鍵を握っている。そこで各貯蔵形態における具体的な課題と、この課題を各貯蔵形態の特徴を利用してカバーする方法について検討してみる。

液体水素の場合、まずは極低温の水素を長期間、安全に貯蔵できる超断熱タンクの開発が不可欠である。通常の民生用自動車では燃料の蒸発量は無視できる程

度であることから、少なくとも1%/日以下にすることが必要となろう。しかし、液水タンクは小型にするほど達成することは難しく、タンク容量の大きいバス等の事業用車両への適用が計画されており、さらには液水の冷熱を最大限利用する保冷車が開発されている<sup>30)</sup>。これらの適用車両の検討に加え、冷熱でエンジン吸入空気温度を低下させて吸入空気の充填効率の向上や燃焼最高温度の低下を図り、エンジンの比出力の著しい向上を図ることも実践する必要があろう。

一方、MH貯蔵における重量の軽量化には、Mg系吸蔵合金など重量当たり3%以上の高い貯蔵密度をもつ吸蔵合金をエンジン廃熱で容易に吸蔵・放出できるような合金特性に改善することが必要である。また、水素の充填・放出時のMHタンクでの熱交換機能を利用して、フロン対策が進められているクーラーやラジエーターを代用させるなどの自動車部品への転用も考えられる。さらに、無冷却型のセラミックエンジンとすることにより排気温度を高めて、作動温度の高いMg系吸蔵合金を使用できるようにする方法など、燃料タンクとエンジンの相互の改造で解決する方法の検討、さらには、自動車システム全体からの重量軽減法も検討する必要があろう。

水素の貯蔵形態は未だ決定的な方法が定まらないが、最近、米国エネルギー省（DOE）の水素貯蔵技術開発計画では、図-8に示すように、活性炭を貯蔵形態として重量当たりの貯蔵密度7%の目標値を設定している<sup>31)</sup>。自動車用燃料タンクは、貯蔵性や輸送性に加えて、充填時間、充填ロス、充填・放出に必要なエネルギー、取り扱いの容易さ、安全性など多くの項目

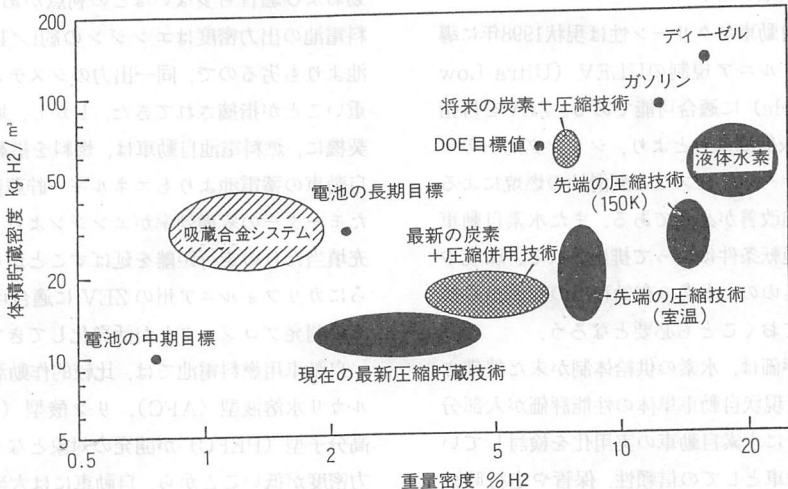


図-8 水素貯蔵システムの現状と将来<sup>31)</sup>

表2 水素エンジン自動車の今後の課題と対策

要素	課題	具体的なエンジンのテーマ
エンジン	比出力の向上…異常燃焼防止 熱効率の向上 NO <sub>x</sub> 排出	近未来 クリーン、高効率重視型 高圧縮比、希薄予混合、高回転エンジン 出力重視型 高過給（給気冷却含む）、小ボア/多気筒 攪拌燃焼型筒内噴射エンジン、
タンク	燃料搭載性の向上 LH2：貯蔵性…断熱性の改善 MH：輸送性…軽量化 貯蔵密度の向上 合金の特性改善 安全性、耐久性の実証評価	遠未来 小型軽量、シンプル、ユニット型 予混合型、空冷、水潤滑型セラミックエンジン 理想型 無排気、低騒音、高効率、密閉型エンジン
システム	エネルギーの有効利用 自動車部品への適用、代替化 走行試験による安全性評価 システムの最適化	究極の水素エンジンイメージ…3SCエンジン
周辺技術 その他	耐熱材料の利用+新潤滑法 電子制御技術等の応用	シンプルな燃焼で、シンプルな制御で、 シンプルな燃焼器をもつ動力装置

から総合的に判断される必要があり、活性炭での貯蔵形態の自動車への適用性は検討が開始されたばかりで<sup>32)</sup>実証例はないが、貯蔵・輸送形態の方向性を占う意味で今後の成果が目される。

### (2) エンジンの性能改善

水素燃料エンジン駆動車の特徴は従来の自動車性能と同等以上の性能を発揮したクリーン車を達成することが目標となる。したがって、さらに、高出力化・高効率化、低NO<sub>x</sub>化を図るためには、表2に示すような、極端なエンジン諸元や運転条件でのエンジン性能の検証も興味深い。また、レシプロエンジンだけでなく、スターリングエンジン<sup>36)</sup>、ガスタービン、さらには水素-酸素エンジン<sup>38)</sup>など幅広く見直しておく必要がある。

### (3) 水素自動車システム

水素エンジン自動車のクリーン性は現状1998年に導入予定のカリフォルニア規制のULEV (Ultra Low Emission Vehicle) に適合可能である。ZEVを目指すためには、NO<sub>x</sub>低減はもとより、シリンダ内へのオイル上がりやブローバイガスなど潤滑油の燃焼によるカーボン系の排出改善が必要である。また水素自動車では水素ガスも運転条件によって排出される。環境や人的に害はないものの、水素の有効利用の観点から排出特性を把握しておくことも必要となろう。

水素自動車の評価は、水素の供給体制が未だ整備されていないため、現状自動車単体の性能評価が大部分である。今後さらに水素自動車の実用化を検討していくためには、自動車としての信頼性、保管や走行時の安全性などについて、フリーテストで実証評価を行

うとともに、水素充填所などの水素供給体制も検討していく必要がある。

## 3. 燃料電池自動車

### 3.1 開発現状

燃料電池自動車は、燃料の水素と酸化剤の酸素または空気との電気化学反応から発生する電気でもータを駆動して走行する自動車であるから、モーター駆動の観点から見れば電気自動車であり、水素の燃料利用の観点からすれば、水素自動車とみなすことができる。

この駆動源である燃料電池は、一般に、カルノー効率によって規定される熱機関と比べてエネルギー変換効率が高く、エンジンのように燃焼反応によるNO<sub>x</sub>などの有害ガスの排出がなく、可動部がないために振動および騒音も少ないなどの利点がある<sup>39)</sup>。反面、燃料電池の出力密度はエンジンの約1/10であり、蓄電池よりも劣るので、同一出力のシステム重量が非常に重いことが指摘されてきた。しかし、地球環境問題を契機に、燃料電池自動車は、燃料を搭載するので電気自動車の蓄電池よりもエネルギー貯蔵密度が高く、またモーターの変換効率がエンジンよりも高いから、一充填当たりの走行距離を延ばすことが可能であり、さらにカリフォルニア州のZEVに適合可能なことから、その開発プロジェクトが活発化してきている。

自動車用燃料電池では、比較的作動温度の低い、アルカリ水溶液型(AFC)、リン酸型(PAFC)、固体高分子型(PEFC)が開発の対象となっているが、出力密度が低いことから、自動車には大半が蓄電池とのハイブリッド駆動方式が採用されている。具体的な開

発状況を二、三紹介する。

アルカリ水溶液型 (AFC) 自動車では、CO<sub>2</sub>による電解質劣化が起きるため高純度の水素と酸素を必要とするが、出力密度が大きく、構成材料も比較的安価であるから古くから研究開発が進められ、最近ではEU REKA プログラムの一環として、液体水素を燃料とする AFC と Ni/Cd 蓄電池とを併用した都市バスの開発が進められている<sup>35)</sup>。

リン酸型 (PAFC) 燃料電池自動車では、作動温度が約200°Cと比較的高いため、起動時間が長く出力も小さいが、メタノールを改質して得られる水素を直接使用できる利点があることから、米国 DOE では PAFC/蓄電池ハイブリッド駆動方式の市内路線バスの開発プロジェクトを進めている<sup>36)</sup>。

固体高分子型燃料電池 (PEFC) 自動車では、出力密度が大きく、常温から作動可能であり、COを除けば改質燃料も使用できることから、研究開発が数多く進められている。米国では、DOE が一般の乗用車と同等の性能を持つ PEFC 自動車の開発計画<sup>37)</sup>を進めており、カナダでは、トランジットバスの開発計画<sup>38)</sup>が1990年から開始され、ZEVとして商品化を目指している (図-9)。一方、ヨーロッパでは、EQHHPPの一環としてバスの開発計画が開始されている<sup>39)</sup>。わが国でも小型実験車両で走行評価試験が開始されている<sup>40)</sup>。

### 3.2 今後の開発動向

燃料電池自動車の開発および実証試験は、未だ開始されたばかりであり、燃料としての貯蔵形態、燃料電池形式、出力密度を補完する他の駆動方式および車種まで、そのシステムの構成は様々である。今後、出力密度、寿命、始動を含む負荷応答性ならびに実走行距

離などの性能評価項目が実際に把握され、ZEVとしての具体的な燃料電池自動車の性能イメージが明らかにされてこよう。

## 4. おわりに

水素は電力と同じクリーンな二次エネルギーであり、豊富な燃料として地上に存在しない。したがって、従来の豊富で低コストの燃料への転換・利用普及のエネルギーの歴史の変遷からすれば、水素はまさに夢の燃料といえる。しかし、水素は二次エネルギーであるが燃料として貯蔵できる。そのエネルギー貯蔵密度は、重量が重いとされる水素吸蔵合金でも電池と比較して重量基準ではるかに高い。また、化石燃料がその蓄積に超長期間要するのに対し、水素は、太陽などから地球に供給されるエネルギーを用いて多種多様な方法で極めて短期間にかつ容易に生成できるため、その時代に供給されるエネルギーでその時代のエネルギーを賄うエネルギー体系を可能にする媒体でもある。

今日、この水素を媒体としたエネルギー技術開発が国際的に様々な形で推進される中、わが国でも水素国際クリーンエネルギー利用技術開発プロジェクト (WE-NET) が発足し<sup>41)</sup>、大量製造、貯蔵・輸送技術などの水素の供給体制と連携した利用技術開発が推進されるようになり、水素の利用技術開発は実証段階を迎えたといえる。

このエネルギー利用体系を実現していくうえでも、水素燃料の優位性を強調できる技術開発が益々重要となっており、自動車分野では、ZEVとしての水素自動車像が明確にされ、具現化されることを期待したい。

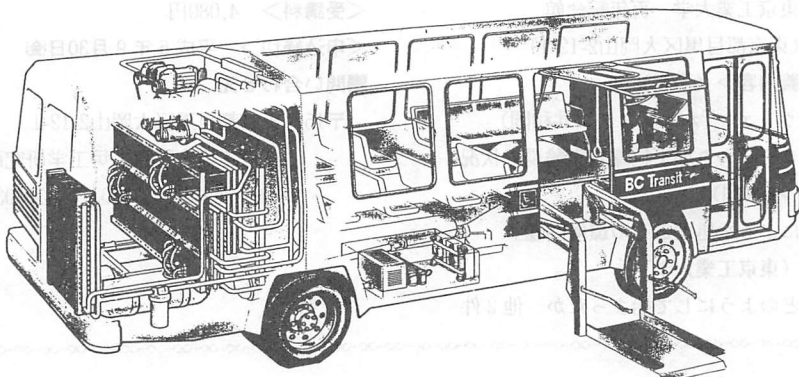


図-9 水素燃料電池都市バスの開発予想図<sup>38)</sup>

## 参考文献

- 1) C. A. Amann, SAE Paper 902099
- 2) C.-J. Winter, 6th World Hydrogen Energy Conference, (1986) 9 (WHEC と略)
- 3) D. Neil et al., 8th WHEC, (1990) 71
- 4) 小林博行, エネルギー・資源14-4, (1993) 332
- 5) 濱 純, 自動車技術, 45-8 (1991) 51
- 6) 濱, 日本機械学会, 第2回 デザイン・エンジニアリング・ブラザ 920-48, (1992) 44
- 7) R. Povel et al., 5th WHEC (1984) 1563
- 8) R. E. Lynch, 4th WHEC (1982) 1033
- 9) 古濱庄一, 水素自動車, 東京電機大出版 (1992)
- 10) ビチャン・ビチャイナロン他2名 内燃機関合同シンポジウム (1989) 435
- 11) K. Koyanagi, SAE Paper 930757
- 12) J. Hama et al. SAE Paper 880036
- 13) 濱 純, 自動車技術会, シンポジウム「新型原動機の現状」, (1987-12) 39
- 14) R. Jorach, et al., 10th WHEC (1994) 1857
- 15) S. Takahashi, I. J. Hydrogen Energy 7-7 (1982) 589
- 16) 池上 詢他2名, 機論 45-399 (1979) 1766
- 17) K. Morimoto, et al., SAE Paper 920302
- 18) 八木 寿郎他1名, 内燃機関 32-405 (1993) 25
- 19) H. Quadflieg, Proc. 6th WHEC (1986) 65
- 20) W. Peschka, I. J. Hydrogen Energy 12-7 (1987) 481
- 21) K. Yamane, et al., 10th WHEC (1994) 1919
- 22) W. Peschka, SAE Paper 931812
- 23) 清水 勉, 日本金属学会第2回水素機能研究会要旨集, (1992)
- 24) 濱 純, 自動車技術 40-2 (1986) 232
- 25) J. Zieger, 10th WHEC, (1994) 1367
- 26) B. Drolet, et. al., 10th WHEC (1994) 23
- 27) E. Takano, et. al., 9th WHEC (1992) 1235
- 28) 例えば, H. C. Watson, et al., 5th WHEC (1984) 1549
- 29) K. Feucht, et al., Int. J. of Hydrogen Energy vol. 13-4 (1988) 243
- 30) K. Yamane, et al., 10th WHEC (1994) 1825
- 31) J. E. Sinor Consultants Inc. ed, The Clean Energy Report, 5-1 (1993) 149
- 32) S. Hirano et al., 1st New Energy System and Conversions, (1993-6) 67
- 33) P. L. Underwood, et al., SAE Paper 719046
- 34) 宮崎義憲, 奥山博信, エネルギー・資源, 13-3, (1992-5) 14
- 35) E. D. Geeter, et al., 10th WHEC (1994) 1457
- 36) R. J. Keevala, SAE Paper 921542
- 37) H. E. Helms, et al., SAE Paper 921541
- 38) P. F. Howard, et al., SAE Paper 931817
- 39) B. G. Marcenaro, et al., 10th WHEC (1994) 1447
- 40) 長谷川泰明他, マツダ技報, 12 (1994) 103

ごあんない

平成6年度東京工業大学公開講座

## 「地球環境と原子力」開催について

&lt;日時&gt; 平成6年10月28日(金)10:00~17:00

<場所> 東京工業大学 百年記念館  
(東京都目黒区大岡山2-12-1)

&lt;講師及び講義内容&gt; (予定)

- ・ E.S. タキヴェーフ(カザフスタン共和国)  
 / セミパラチンスク地下核爆発実験場の状況
- ・ G. ゴードン(米国)  
 / オゾンによる水処理とその環境問題
- ・ 大島泰郎(東京工業大学)  
 / 生命はどのようにして始まったか 他2件

&lt;定員&gt; 80名(先着順)

&lt;受講料&gt; 4,080円

&lt;申込締切&gt; 平成6年9月30日(金)

■問い合わせ先

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学原子炉工学研究所 矢野豊彦

TEL 03-5734-3380, FAX 03-5734-2959