

燃料電池自動車の FUEL CHOICE と水素ステーションの課題

岡野一清

(財) エンジニアリング振興協会 WE-NET 推進室

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-4-6

Technical Issues on Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Stations

Kazukiyo OKANO

WE-NET Office, Engineering Advancement Association

1-4-6, Nishi-Shinbashi, Minato-Ku, Tokyo 105-0003

Direct hydrogen fuel cell vehicles and methanol fuel cell vehicles are being developed as a potential alternative to the internal combustion engine vehicles. Fuel choice for fuel cell vehicles is a matter of primary concern now in automobile industries. There are many technical and cost issues for the development of commercial vehicles. Fuel choice will affect a strategy for market introduction of hydrogen refueling stations. A local natural gas reforming station and a local PEM electrolyzer station have a high potential of market introduction in Japan. These two refueling stations will be developed and demonstrated in the WE-NET program by the year 2002.

1. はじめに

最近の自動車用エンジン技術の進歩は目覚ましく、圧縮天然ガス車、直噴エンジン車、ハイブリッドエンジン車など高効率で低公害の車が多数開発されている。これらは既に商用化されているが、現在開発途上にあるのが燃料電池自動車である。中でも純水素を燃料とする純水素燃料電池車は究極の ZEV(Zero Emission Vehicle)車と言われている。しかしながら現在水素のインフラがないことから、インフラの構築が容易なメタノール改質燃料電池車の方が実用化が早いとの判断でその開発が世界各国の自動車メーカーや部品メーカーで盛んに行われている。

メタノール改質燃料電池車は一般に予想されたほど技術やコストの課題解決が容易でないことがわかり、また、純水素燃料電池車も燃料搭載方法の選択が難しいなど、現在の技術レベルでは将来の方向が確定できない状況にある。一方、水素のインフラは米国、ドイツ、カナダなどにおける水素燃料電池車の市中におけるデモ運転の増加に伴って水素ステーションの設置数が増加しており、当初懸念されたほど大きい問題にはなっていない。しかしながら我が国において水素ステーションを普及させ市

中に設置するためには多くの課題の解決が必要となるのでその内容を以下に述べる。

現在、それに関して、米国、ドイツなどでは燃料電池自動車の燃料の選択“FUEL CHOICE”が水素関係者、燃料電池関係者そして自動車関係者の最大の関心事となっている。

WE-NET 第II期計画の中でも水素ステーションの開発を行う予定になっているが、短中期における燃料電池自動車の燃料と型式の主流がどのようになるか、車種別に燃料と型式が選択されて併用されるかなど今後の動向は水素ステーションの開発や普及に大きい影響を与えることになる。

本文は、そのような燃料電池自動車の状況を踏まえて“FUEL CHOICE”に関わる車の課題と、水素ステーションの課題を検討した。

2. 燃料電池自動車開発の現状

現在、燃料電池自動車は世界各国で開発が行われているが、純水素燃料電池車とメタノール改質車に分類して開発の状況を表1に示す。なお、米国で開発が行われているガソリン改質燃料電池車は、改質器の開発段階にあ

表1 燃料電池自動車(FCV)の開発状況

水素搭載方法：*印は液体水素、†印は水素吸蔵合金、その他は高圧ガス容器

型式	開発現状	車種・メーカー
純水素 FCV	デモ運転中	バス (Ballard, Daimler-Chrysler) 2人乗り車 (Shatz E.R.C)
	試作車発表	小型車 (Daimler-Chr. NECAR II, IV*) 小型車 (Ford, Renault*) 小型車 (トヨタ, マツダ), タクシ (ZEVCO)
	開発中	バス (MAN/Siemens) バス (Ansaldo/De Nora)* バス (Neoplan/De Nora) バス (ZEVCO/Robert)
メタノール FCV	デモ運転中	PAFC小型バス、大型バス (DOE)
	試作車発表	小型車 (DC- NECAR III, トヨタ, OPEL)
	開発中	大型バス (DOE) 小型車 (VW, トヨタ, 日産, ホンダ)

り試作車はまだ発表されていない。

純水素燃料電池車は Ballard 製のバスがシカゴとバンクーバーで市バスとして運行され実用レベルに達しているほか、Daimler-Chrysler の NEBUS や 1999 年 3 月に発表された液体水素燃料の小型車 NECAR IV など完成度の高い車が開発されている。さらに FORD や Renault など試作車を発表しているが、2000 年から 2003 年までに Daimler-Chrysler が NECAR IV を 15 台と NESUS を 25 台、FORD が乗用車を 5 台カリフォルニアでデモ運転を行うことが 4 月末に報じられている。

それに対してメタノール改質燃料電池車は 1995 年に米国 DOE のリン酸型燃料電池バスプロジェクトで開発された 3 台の小型燃料電池バスが市内で 4000km 程度運転されたほか、1997 年に同じプロジェクトで大型バスが開発され、さらに引き続いて 1998 年には固体高分子型燃料電池 (PEFC) 搭載の大型バスも開発されている。これらはメタノール改質燃料電池車の先鞭をつけたものであるが、業務用であるため起動時間は問題にしている。

メタノール改質の小型車は Daimler-Chrysler の NECAR III、トヨタ、OPEL の各メーカーがバンの試作車を発表している。しかしながらこれらの試作車は起動時間の長さや機器の設置スペースの問題で実用車として販売できるレベルにはなく、現在も各自動車メーカーが実用車開発に取り組んでいる。

3. 燃料電池自動車に対する要求仕様

一般に燃料電池自動車の性能に関するユーザーの要求仕様は表 2 に示すようなものと考えられる。これらの仕

表 2 燃料電池自動車に対する要求仕様

項目	要求仕様
1. 起動時間	2分以内* (米国改質器製作者の目標値) 業務用車は 5~10分でも可
2. 走行距離	大型市内バス：250~300km 業務用車：250~300km 一般乗用車：300~500km
3. 使用温度	-40℃~80℃* (有り得る温度条件)
4. 燃料充填	10分以内
5. 耐久時間	5,000時間* (15万km走行に相当)
6. 保守	1年間無保守
7. 車両価格	既存車の1.2倍以下
8. 燃料費 (走行距離当たり)	既存車と同等かそれ以下

注：これらの仕様は*印を除いては明確な根拠のあるものではない。

様をすべての車種について完全に満足することは現在の技術レベルでは難しいので、初期の段階で燃料電池自動車の導入を早めるための対策としては、車種と用途を決めて実用に差し支えない範囲内である程度仕様を限定せざるを得ない。一方、燃料貯蔵、燃料電池、燃料改質、バッテリー、キャパシター技術など各関連技術が進歩すれば状況が様変わりする可能性も有している。

4. 燃料電池自動車のシステムと特長及び課題

燃料電池自動車の燃料として純水素かメタノールかガソリンかの論議が世界の関係者の最大の関心事になっているが、燃料搭載方法や燃料改質技術の開発が商品化が見通せるレベルに達しておらずまだ結論が出せない状況にある。

4.1 純水素燃料電池車のシステムと特長及び課題

純水素燃料電池車のシステムには 3 種類の燃料搭載方法 (圧縮ガス容器、液体水素タンク、水素吸蔵合金) と 2 種類の電源システム (燃料電池単独とハイブリッドシステム) がありそれらの組合せとなるが、それらの各方式にはそれぞれ特徴がありどの特長を重視するかで選択の基準が異なってくる。

図 1 参照。現状の燃料搭載方法にはいずれも難点があり、その解決が最大の課題である。

大型バスの燃料搭載方法については走行距離が 250km で十分であり車の天井に水素容器が搭載できるので、Ballard, Daimler-Chrysler, MAN/Siemens が圧縮ガス容器を採用しておりその方式が主流になると思われる。

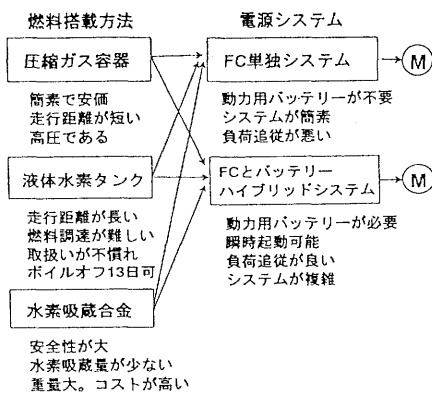


図1 純水素燃料電池車のシステム構成と特徴

4.2 メタノール改質燃料電池車のシステムと特長及び課題

メタノール改質燃料電池車のシステムには2種類の燃料搭載方法（メタノールと純水の予混合1タンク式と別々の2タンク方式）と2種類の改質方式（水蒸気改質と部分酸化改質及び水蒸気改質の組合せ方式）、2種類の電源システムがありそれらの組合せとなるが、それらの各方式にはそれぞれ特徴がある。

図2参照。メタノール改質の大きい課題は起動時間の短縮と改質用純水の凍結防止、改質装置のコスト低減である。

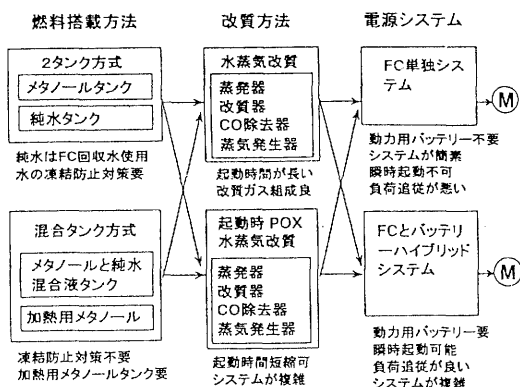


図2 メタノール改質燃料電池車のシステム構成と特徴

4.3 ガソリン改質燃料電池車の課題と開発現状

米国ではエネルギー省（DOE）のプロジェクトでガソリン改質用部分酸化改質器（POX: Partial Oxidation Reformer）の開発を行っている。ガソリン改質は不純物を除去する前処理装置が必要なこと、改質温度が600~800℃と高温であること、水素純度が低く40%程度であることなどによりメタノールより問題が多い。そ

表3 各燃料電池自動車の主要課題と対策

車種	課題	対策
純水素車	圧縮ガス容器搭載車の走行距離が短い	・充填圧力を350kg/cm ² ・容器の床下搭載（H ₂ 3.6kg）
	液体水素の取扱い不慣れ	ロボット自動充填
	水素吸蔵合金の吸蔵量小、重量大	新合金の開発（3wt%、<100℃）
	水素のインフラなし	スタンドでの水素製造
メタノール改質車	起動時間が長い	・起動時はPOX改質、定常時は水蒸気改質の切り替え ・バッテリー/グリッドシステム
	改質用純水凍結防止	水タンクのヒーター保温
	急激な負荷変化対応	バッテリー/グリッドシステム
	機器の低コスト化	最も困難な課題。量産期待

の開発の過程で通常のガソリンでない改質しやすいクリーンガソリンが要求され始めている。そのような事態になると現状のインフラがそのまま利用できる最大のメリットが無くなることになる。

ガソリン改質器の開発はまだ継続中で結論は出ていないが、技術的、コスト的にメタノール改質器と同等のレベルになるのは難しいと思われる。

以上の各燃料電池自動車の課題と対策を表3に示す。

5. 水素ステーションの現状と型式

5.1 海外の水素ステーションの現状

海外では米国、カナダ、ドイツですでに水素ステーションが実用化されているが、世界の水素ステーションの開発状況を表4に示す。水素ステーションの方式はその地域における水素の調達が可能で選択され、設置場所に最適のものが採用されているが用途によって規模が異なり多種多様となっている。

表4 世界の水素ステーションの開発現状

方式	設置場所	水素の調達
1. 高圧ガス貯蔵/ガス供給	Hamburg(W.E.I.T.) Augusta交通局	副生水素を輸送 工場から輸送
2. 液体水素貯蔵/ガス供給	Chicago交通局	工場から輸送
3. 太陽/水電解/高圧ガス貯蔵/ガス供給	Los Angeles (CAN/Xerox) Palm Desert	オンサイト製造
		オンサイト製造
4. 商用電力/水電解/高圧ガス貯蔵/ガス供給	Vancouver交通局	オンサイト製造
	Muenchen空港 Palm Springs(計画)	オンサイト製造 オンサイト製造
5. 液体水素貯蔵/液体水素供給	Muenchen空港	工場から輸送
6. 天然ガス改質(燃料電池兼用)	Las Vegas(計画)	オンサイト製造

電気料金が安価で家庭用でも 5 円/kWh 程度のカナダでは夜間に自動車に水素を充填できる家庭用の水電解装置の開発なども行われている。

5.2 水素ステーションの型式とその選択

水素自動車に水素を充填する水素ステーションは水素の製造方法と貯蔵方法の組み合わせにより 11 種類の型式がある。表 5 参照。

表 5 水素ステーションの型式

水素製造	貯蔵	水素供給	実績	
1. 外部工場生産(ガス)	圧縮ガス 液体水素 液体水素 副生水素の リサイクル 太陽電池・AL水電解 太陽電池・PEM水電解 商用電力・AL水電解 商用電力・PEM水電解 天然ガス(LPG)改質 メタノール改質 ランドフィルガス改質	圧縮ガス	○	
2. 外部工場生産(液体)		圧縮ガス	○	
3. 外部工場生産(液体)		液体水素	○	
4. 副生水素のリサイクル				
5. 太陽電池・AL水電解				○
6. 太陽電池・PEM水電解				
7. 商用電力・AL水電解		圧縮ガス	圧縮ガス	○
8. 商用電力・PEM水電解		or		
9. 天然ガス(LPG)改質		水素吸蔵合金		
10. メタノール改質				
11. ランドフィルガス改質				

即ちステーションにおけるオンサイト水素製造の源燃料として天然ガス、LPG、メタノール、廃棄物から発生するメタンガスなどがあり、水電解用電力源として太陽電池、商用電力などがある。水素の貯蔵では高圧ガス容器、液体水素タンク、水素吸蔵合金などの方式がある。

これらの選択は設置場所におけるエネルギー事情とコスト、ステーションの規模、周囲の環境などの条件を考慮しそれぞれの特長を生かした最適の方式が選択される。

海外の例でも多種多様の方式が採用されているが、水素ステーションがガソリンスタンドと異なるのは、天然ガス、LPG、メタノール、電力などを利用してその場で水素を製造できるため、設置者のニーズに合った規模や方式が選択される多様性を有していることである。各方式の中で我が国に適していると思われる天然ガス改質型、メタノール改質型、固体高分子水電解型の特徴を表 6 に示す。

我が国のエネルギー事情を考慮すると、水素の製造は原燃料のインフラが完備している天然ガス改質方式が水素コストも安価で最も有望と思われる。

また、オフピーク電力を利用する固体高分子水電解方式は天然ガス改質方式にない特長があるほか、電力の負荷平準化にも効果的であるので将来有望と思われる。WE-NET 計画では 2003 年までに両方式の水素ステ

表 6 水素ステーションの特徴

型式	原料燃料	代表的特徴
天然ガス改質型	都市ガス13Aの配管利用	・水素コストが他よりも安価 ・改質装置の技術は実績豊富 ・全ての規模のステーションに適す ・起動時間3~4時間
メタノール改質型	配送と貯蔵設備の新設を要す	・改質温度が300℃で天然ガスより有利 ・改質装置の技術は実績あり ・全ての規模のステーションに適す ・起動時間1.5~2時間
水電解型	全国すべての地域に設置可能	・運転温度が80℃で低温 ・起動時間1分で運転の自由度大 ・加圧型の製作が容易 ・水素が高純度で精製は不要。除塵要 ・中小規模に適す ・夜間電力利用電力により負荷平準化に貢献

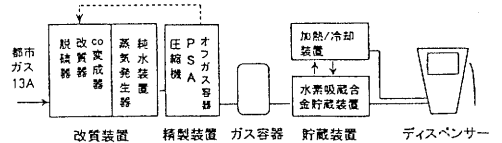
ーションの開発(大規模ステーションの 1/10 の容量の実用モデル)を行う予定である。それらのシステムを図 3 に示す。

1日に約 300 台程度に水素を供給するステーションにおいては、夜間 12 時間に製造する水素を貯蔵するため、約 3,600Nm³ の貯蔵設備が必要となる。水素の貯蔵は安全性が高く 1 MPa 以下の低圧で水素の吸蔵・貯蔵・放出ができることから水素吸蔵合金貯蔵システムが水素吸蔵合金搭載車用として最適と思われる。それによって高圧ガス保安規則の適用を免れ、ステーションの高圧ガス取扱主任技術者資格が不要、設置認可などが容易になるほか、高圧ガス取締り法による機器の検査が不要となる。

水素吸蔵合金は水素吸蔵時には発熱するため冷却が必要となり、放出時には吸熱反応なので加熱が必要となる。それらの温度は水素吸蔵合金の種類によって異なるが、加熱、冷却を効率良く行うことが必要となる。

水素製造能力 300Nm³/h、貯蔵量 3600Nm³、水素純度 99.999%

天然ガス改質型ステーション



固体高分子水電解型ステーション

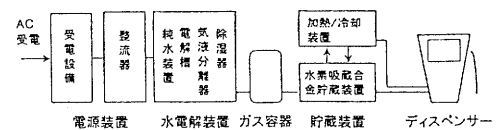


図 3 水素ステーションのシステム

6. 水素ステーション用水素製造技術

6.1 天然ガス改質装置

天然ガスの水蒸気改質技術は化学プラントや最近では燃料電池発電装置内の水素発生に広く用いられており技術的問題はないが、改質装置は水素ステーションの要求仕様に最適のものを設計製作する必要がある。

1) 燃料電池用改質器

天然ガス改質器は設計の自由度が大きく多種多様の容量や構造のものが作られている。

水素ステーション用としては、燃料電池用に開発され、豊富な実績のある常圧型の二重円筒式か多管式が起動特性も良く、コンパクト、低コストで最適と思われる。改質触媒はコストの安い Ni 系が使用されている。天然ガス改質リン酸型燃料電池用の 50kW 用(水素発生量約 50Nm³/h)、100kW 用(約 100Nm³/h)、200kW 用(約 200Nm³/h)、500kW 用(約 500Nm³/h)などの改質器は実績が豊富で長時間運転の信頼性も確立されている。実際の水素ステーションでは 100Nm³/h から 500Nm³/h 程度の改質器が使用されると思われる。

燃料電池用天然ガス改質器として代表的な二重円筒式と多管式の構造例を図 4 に示す[1]。

2) 天然ガス改質技術

天然ガス(都市ガス 13A)の改質では付臭剤に含まれている有機硫黄を水添脱硫するが、超高次脱硫法を採用して、硫黄を完全に除去して改質触媒の硫黄被毒を防ぐことにより改質触媒の活性低下やカーボン析出を防止できる。そのため低S/C運転が可能となり効率の向上とガス量の低減効果で改質器がコンパクトになる。改質温度は約 700~850°Cであるので起動時は改質器内のバ

ナーで天然ガスを燃焼させて加熱し、改質が開始されたら発生した改質ガスの一部をバーナーに返して加熱用燃料として使用する。

実用的ステーションに利用する容量 300Nm³/h 程度の改質器の場合は起動に約 3~4 時間程度を要するが、起動時間を短縮するために急激な加熱昇温を行うと改質器の各部の温度が不均一になり、熱変形を起こしたり触媒の圧壊を起こす危険がある。従って頻繁な起動停止を行うような運転は適当でない。

3) 改質器の型式

改質方式：水蒸気改質常圧型(加圧型)

構造型式：バーナー燃焼方式の二重円筒式 or 多管式

4) 水素ステーション用改質器の仕様

・水素発生容量：300Nm³/h

(24 時間運転で夜間 12 時間運転分を貯蔵。1 日約 300 台~400 台充填)

・起動特性：起動時間 4 時間以内。頻繁な起動停止に耐えられること。

・寸法・重量：小型軽量、高さ 2.5m 以下

改質装置のパッケージには改質用機器として脱硫器、改質器、CO 変成器、CO 選択酸化反応器、純水装置、蒸気発生器を収納し、工場で試験終了後装置全体をそのまま陸送できるようパッケージの外形寸法は輸送限界内の寸法とする。

また、パッケージ内は強制換気を行って水素の滞留を防ぎ、防爆構造を不要とする。

5) 改質ガス組成の例

H₂:69%, CO₂:18%, CO:0.5%, CH₄:1.5%, H₂O:11%

改質装置を燃料電池仕様の常圧型にするか、加圧型にするかはステーション全体のどの部分で加圧するのが最

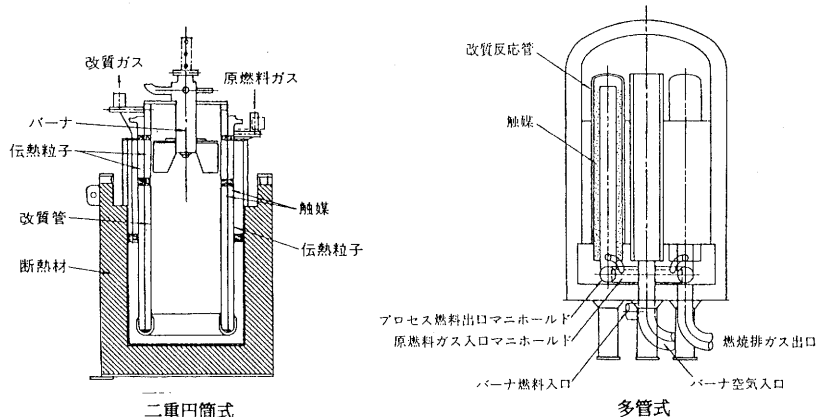


図 4 代表的改質器の構造例

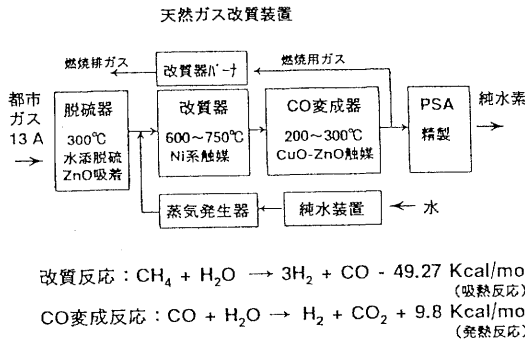


図5 天然ガス改質システム

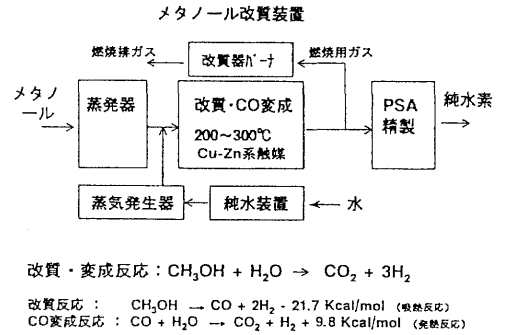


図6 メタノール改質システム

も経済的であるかにより決められる。

改質ガスは水素以外の不純物を多量に含んでいるので PSA 精製装置を使用して水素純度を 99.999%以上にして貯蔵する。

原燃料に LPG を使用する場合は改質触媒に Ru 系を使用し、燃料の発熱量の差に応じてガス量を調整すれば同じ設計の改質器を使用することができる。

天然ガス改質のシステムを図5に示す。

6.2 メタノール改質装置

メタノールの水蒸気改質技術は化学プラントや燃料電池で実績があり特に問題はない。しかしながら天然ガス改質型と同様にステーション用には燃料電池で開発したコンパクトな構造が適している。

メタノール改質システムは天然ガス改質と比較して、脱硫器が不要、CO 変成反応が改質器内で同時に行われるので変成器が不要となりシステムが簡単になる。また、改質触媒は Cu-Zn 系を使用し 200~300℃と低い温度で改質できる。改質器の型式、要求仕様、改質ガスの組成などは天然ガス改質の場合とほぼ同じである。改質装置のパッケージには蒸発器、改質器、純水装置、蒸気発生器を収納する。

水素のインフラがないのでメタノール改質燃料電池車の方が早期に導入できるとの考え方でメタノール改質燃料電池車が開発されているが、メタノールステーションの設置に際しては専用のメタノールタンクとディスペンサーを設置する必要がある。また全国へタンクローリーで配送する設備も必要となる。

このようにスタンドにメタノールを貯蔵するならメタノール改質装置をスタンドに設置して水素を製造し純水素燃料電池車に水素を供給する方が合理的と思われる。

メタノール改質システムを図6に示す。

6.3 固体高分子水電解装置

1) 固体高分子水電解技術

商用電力を利用する固体高分子水電解水素製造装置は前述のように天然ガス改質方式にない特長を持っている。将来大々的に利用すれば夜間に水素を製造・貯蔵できるので電力の負荷平準化の効果が出せる。現在の我が国の電力料金では天然ガス改質の方が水素のコストは安価であるが、電力負荷平準化の効果が評価できれば水素利用のメリットが別の面で評価されよう。

海外ではアルカリ水電解式の水素ステーションが主流となっているが、エネルギー変換効率が 70% 台である。それに対して固体高分子水電解式は 90%以上の効率で加圧型が容易に製作できる。加圧型を使用すれば水素を水素吸蔵合金に貯蔵する場合はコンプレッサが不要となるメリットがある。固体高分子水電解の原理とシステムを図7に示す。

固体高分子水電解で得られる水素ガス中の不純物は酸素が約 100ppm 以下、窒素が 10ppm 以下のレベルであ

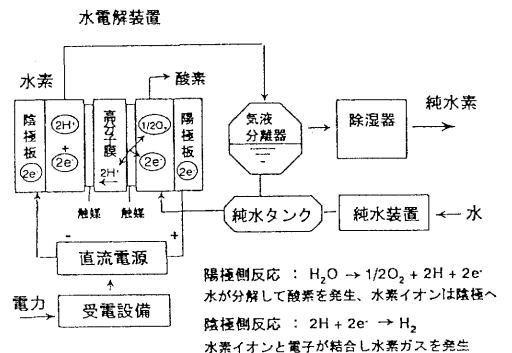


図7 固体高分子水電解の原理とシステム

る。従って水素の精製装置は必要ないが水分が含まれているので貯蔵前に除湿器で水分を除去する必要がある。

2) 水電解装置の仕様例

水素ステーション用水電解装置の仕様の例を以下に示す。

- ・水素発生容量：300Nm³/h 水素純度 99.999%以上 (24 時間運転で夜間 12 時間分は貯蔵する。1 日約 300~400 台充填)
- ・運転条件: 圧力 10kg/cm² 以下、80°C、電流密度 2.0A/cm²
- ・エネルギー効率: 90%
- ・セルスタック: 2500cm²、75 セル 2 スタック
- ・起動時間: 1 分以内
 - ・電源: 直流電源 DC 1500kW。受電設備 AC 6kV。1600kVA

電源は別置きで、高さ 3m 以下のパッケージに水電解セルスタック、気液分離器、除湿器、純水装置を収納する。

7. 水素ステーションの課題

7.1 技術開発の課題

水素ステーションの開発課題は、設置場所や時間帯により大きく変化する負荷パターンに対応できる最も経済的なシステムや機器構成の設定、ステーションの要求仕様の合った水素製造、精製、貯蔵、ディスペンサーなどの構成機器の開発、水素の消費状況に適切に対応する全体のシステム制御技術の開発、急速充填技術の開発および安全対策などである。表7に技術開発課題を示す。

1) 最適構成機器の開発

水素製造、精製、貯蔵装置は類似品の実績があるが、水素ステーション用に最適の装置設計をする必要がある。

表7 水素ステーションの技術開発課題

項目	技術開発課題
ステーションの最適構成・仕様	・設置場所、天候、曜日、時間帯により変化するステーションの運転パターンに対応出来る最も経済的な機器構成と仕様、運転制御方法
最適構成機器の開発	・仕様にあったコンパクトな水素製造装置 (燃料改質装置、水電解装置) ・高さ2.5m以下、安価な小型PSA精製装置 ・低放出温度、低コストの水素吸蔵合金貯蔵装置及びエネルギー消費の少ない加熱・冷却装置 ・冷却装置付き急速充填ディスペンサー ・ワンタッチ標準充填コネクタ
システム制御	・各構成機器を連携して起動、運転、待機、緊急停止などを行う全体運転制御システム ・充填圧力、充填量制御、急速充填システム
安全管理	・ステーション全体の安全管理システム

特に小型で安価な PSA 精製装置と、水素の計量、圧力制御ができ、急速充填ができる冷却装置を備えた特殊なディスペンサーの開発が必要である。また、車両と接続する水素ガス、安全のための接地、冷却水循環ノズル等のコネクタの開発と標準化が必要となるが、急速充填法とコネクタは自動車の設計者と共同開発を行う必要がある。

2) 制御システムの開発

各構成機器を連携して起動、運転、待機、緊急停止させる総合的運転制御システム、水素吸蔵合金貯蔵装置の効率的加熱、冷却の制御、車への充填時のディスペンサーでの圧力、充填量の制御、安全のためのインターロックなどの制御システムの開発が課題となる。

7.2 水素ステーションの安全対策

一般に水素は危険なガスであるとの社会通念があるが、圧縮天然ガスやプロパンガスなど他の可燃性ガスと同様に適切な運転管理をすれば安全に利用できる。しかしながら水素製造装置を持つ水素ステーションは機器固有の安全対策が必要である。例えば 700°C の高温になり起動停止の繰り返しによるヒートサイクルを受ける天然ガス改質器や配管は、フランジ構造を無くして溶接構造を採用する漏洩防止対策、改質器バーナーの失火検知システム、運転停止時の窒素パージシステム、パッケージ内の強制換気と漏洩検知システム、緊急遮断システムなどが必要となる。水素は比重が 0.0695 と非常に軽くすぐに大気中に拡散するので換気に注意して滞留を防止すれば、重くて拡散しにくい他の可燃性ガスよりもむしろ安全である。

シカゴの市バス用に設置されている水素ステーションの安全対策の例を表8に示す。

表8 水素ステーションの安全対策

- I. 設備の安全対策
 - 1) 配管を溶接で接続
 - 2) 水素充填口開口時のバスの電気系統自動遮断
 - 3) 車両の水素ポンプへの過剰圧充填防止システム
 - 4) 操作盤への運転状況、アラームの表示
 - 5) 火焰検知器、緊急遮断ボタンを複数設置
- II. 水素充填中の事故防止対策
 - 1) バスの停車定位置床面に1インチのくぼみをつける
 - 2) 充填口開口時のバスの自動インターロック
 - 3) 充填時の警告灯設置
 - 4) 充填ホースに Breakaway double shut-off fitting を使用
- III. 作業中の安全作業
 - 1) 漏洩検知器によるガス漏れのチェック
 - 2) 水素充填時のバスの接地
 - 3) 充填作業員の安全教育とチェック項目の指示
 - 4) 雷雨時の充填停止

7.3 水素ステーションに関わる法規制[2]

高圧ガスや可燃性ガスについては下記のような種々の規制があるが、CNG の場合と同様に水素に対しても貯蔵量や設備距離の規制緩和が必要である。

水素ステーションの立地に関する規則は現在ないが、CNG や LPG などの例から一般高圧ガス保安規則に「水素スタンドに係る技術上の基準」を新たに制定する必要がある。また、給油所と隣接して建設する場合は消防法の規制を受ける。

1) 水素の法的取り扱い

圧縮水素：可燃性ガス（常温又は 35°C において 1MPa 以上が対象）

液体水素：液化ガス

2) 貯蔵・貯槽容器に関する規制と施設の敷地に関する規制

建築基準法により都市計画法が定める用途地域ごとに表 9 に示すような数量規制がある。また、施設距離として貯蔵設備又は処理設備から保安物件に対する距離の規制がある。1 日約 300 台程度の水素供給能力を持つ 3600Nm³ の水素貯蔵設備の場合、第一種保安物件（学校、病院等人の集まる場所）に対する設備距離は 17m、第二種保安物件（住居等）に対しては 11.3m となる。また、火気施設距離は 8 m となる。CNG は現在これらの距離が半分程度に緩和されている。

その他、ガス水素（300m³ 以上の高圧ガス）の貯蔵については一般高圧ガス保安規則第 22 条、26 条、液体水素の貯蔵については同規則第 23 条の適用を受ける。また、液体水素の移充填に対しては同規則第 6 条の適用を受ける。

表 9 燃料貯蔵・処理に関する現在の法規制

水素及び自動車用燃料の貯蔵に対する建築基準法施行令第116条及び第113条の9により、地域ごとに処理・貯蔵数量が規制されている。

	住居地域	商業地域	準工業地域	工業地域
圧縮水素 (可燃性ガス)	35Nm ³	70Nm ³	350Nm ³	無制限
液体水素 (液化ガス)	3.5 t	7 t	35 t	無制限
CNG (圧縮ガス)	350Nm ³	700Nm ³	3500Nm ³	無制限
LPG (液化ガス)	3.5 t	7 t	35 t	無制限
ガソリン (石油類)	500 L [50,000 L]	1000 L [50,000 L]	5000 L [50,000 L]	無制限

注：ガソリンの[]内数値は地下貯蔵槽についての特別

7.4 水素のコスト[3]

WE-NET の構想における将来の液体水素の大量輸入時の水素コストは CIF で 27.9 円/Nm³ と試算されている。水素ステーションで製造する水素コストは第一次試算では表 10 の通りである。そのコスト試算には多くの仮定条件が使用されているが、設備費などは今後の技術の進展や量産により低減できる余地がある。現状では天然ガス改質方式が最も安価であるが、この試算は将来の確定的コストではないのでその取り扱いには注意を要する。

8. 水素ステーションの導入・普及と将来の展望

水素ステーションは純水素エンジン車または純水素燃料電池車の導入と合わせて導入・普及が図られる。現在これらの水素自動車の開発が行われているが市販できる車はまだ完成していない。自動車メーカーの計画では 2004 年頃の発売を目標にしているが、車が完成すれば水素ステーションが設置されるようになり水素のインフラ整備が進むであろう。しかしながら我が国では水素を製造する水素ステーションの実績がなく、技術が確立されていないほか、現在一般市民には水素ステーションに対する知識や理解がないので、早期に水素ステーションのデモ運転を行い、技術の検証と水素が安全かつ容易に供給できることを実証する必要がある。WE-NET 第 II 期計画では 2002 年度から水素自動車と水素ステーションの実証運転を行う予定である。

水素ステーションの設置に関しては現在の法規制では水素ステーションにおける許容貯蔵量などに問題があるので規制緩和が必要となる。また、水素ステーションの

表 10 水素のコスト試算例

第一次試算コスト（将来低減される可能性がある）（単位：円/Nm³）

	外部製造・配送型		オンサイト水素製造型		
	液体水素	高圧水素	天然ガス	メタノール	水電解
水素製造	45.7	22.9	24.4	37.3	53.1
水素輸送	9.7	17.3	0	0	0
水素貯蔵	0	0	6.8	6.8	6.8
充填ほか	9.4	9.1	8.7	8.7	8.0
コスト計	64.8	49.3	39.9	52.8	67.9

コスト試算の条件
都市ガス料金(円/Nm³): 39.3、メタノール価格(円/kg): 40.0
電力料金(円/kWh): 昼間 11.14、夜間 6.15、基本料金 1650円/kWh
エネルギー効率(%): 天然ガス改質 75.7、メタノール改質 80.1、固体高分子水電解 90.5
工場生産高圧水素ガス 58.1、工場生産液体水素 49.5

技術基準を事前に作成し認可を容易にするなどの準備が必要である。

我が国では天然ガス改質型と水電解型が有望と思われるが、メタノール改質車と純水素車が共存しメタノールインフラが整備されれば、メタノール改質型のステーションも設置される可能性がある。水素ステーションの導入・普及に当たっては、導入初期には1カ所2億円程度の設備費がかかるのが問題と思われるが、今後の設備コストの低減努力、国の補助金支給による奨励策、電力、都市ガス、石油、工業ガスなどのエネルギー関連業界、自動車業界による導入支援、クリーンカーの導入政策などがどのように行われるかで展開が変わるであろう。全国約6万のガソリンスタンドの10%に水素ステーションを併設するには1.2兆円程度の投資が必要となるので、水素ステーション設備のコスト低減が普及のための重要な課題となるであろう。

参考文献

- 1) 燃料電池発電システム OHM10 月別冊 平成4年10月燃料電池発電システム編集委員会編 P59
- 2) 平成9年度 WE-NET 成果報告書 (NEDO-WE-NET 977) 平成10年3月サブタスク7水素利用技術に関する調査・検討 P72~80
- 3) WE-NET 水素エネルギーシンポジウム講演予稿集 平成11年2月水素供給ステーションの検討とその課題 P219~220