

東邦ガスにおける水素エネルギー開発の取り組み

片岡 明博・石川秀征

東邦ガス株式会社 都市エネルギー技術開発部 燃料電池技術グループ
〒476-8501 愛知県東海市新宝町507番地の2

Development of Hydrogen Energy Technologies at Toho Gas

Akihiro KATAOKA and Hideyuki ISHIKAWA

Fuel Cell Technology Group, Urban Energy R&D Department, Toho Gas Co., Ltd.
507-2 Shinpo-Machi, Tokai-City, Aichi 476-8501

Toho Gas has constructed a hydrogen refueling station that uses natural gas reforming technology to supply hydrogen to fuel cell vehicles. We have been conducting demonstration tests to develop hydrogen supply infrastructures for fuel cell powered vehicles as an energy supplier. This presentation includes the outline of hydrogen refueling station we constructed and the results of its demonstration tests. Besides, our activities on hydrogen related technologies such as residential fuel cell system developments are introduced.

Key words: hydrogen refueling station, natural gas reforming, fuel cell vehicle

1. はじめに

燃料電池自動車は、高効率、クリーン、石油代替燃料対応の観点から国内外の自動車メーカーを中心に、その実現に向けた技術開発が行われている。トヨタ自動車や本田技研工業が、2002年に限定的ではあるもの燃料電池自動車を発売するなどし、燃料電池自動車普及に向けた第一歩が踏み出された。

このように燃料電池自動車の本格的な普及への期待が高まる中、燃料供給インフラの整備が重要な課題となり、燃料電池自動車に対する燃料選択に関する議論が活発化してきている。

2. 燃料電池自動車への燃料供給

2.1 燃料電池自動車の燃料選択

図1に示すように燃料電池自動車への燃料供給方式には、純水素を直接車両に供給する方式（オフボード方式）と、メタノールやガソリンなどを供給し車上で改質して水素を取り出す方式（オンボード方式）に大別される。

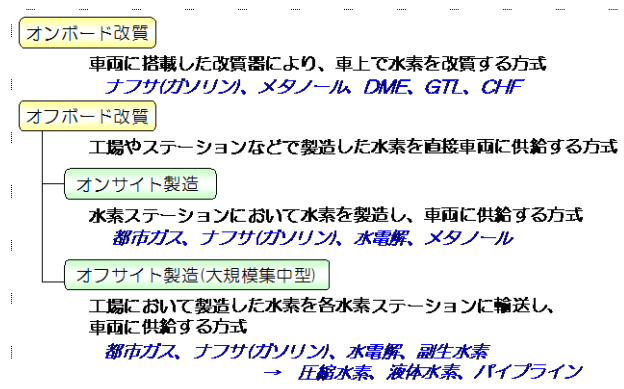


図1 燃料電池自動車への各種燃料供給方式

水素を直接搭載する燃料電池自動車は、ゼロエミッション車であり、究極のクリーンエネルギー車と考えられる。また、改質器を車載する必要なく、システムが簡素化できるため、重量、容積、エネルギー効率、始動性およびコストの面において優れる。さらに、燃料となる水素は、製鉄所や苛性ソーダ工場において副生水素として得られるほか、水の電気分解や、天然ガスやガソリンなどの改質反応によっても得られ、エネルギー源の多様化も期待できる。

一方、水素供給ステーションの形態としては、ス

ーションで水素を製造し車両に供給する方式（オンサイト方式）と、工場等で大規模かつ集中的に水素を製造しそれを個々のステーションに輸送し車両に供給する方式（オフサイト方式）に分類される。

2. 2 天然ガスの優位性

天然ガスは、エネルギー資源として基本的に重要となる①資源量（供給と価格の安定性など）、②エネルギー資源としての特性（エネルギー密度、燃焼性または反応性、使用の利便性など）、③石油代替エネルギー、④環境適合性を満たし、水素の原料としての有力候補となりうる。

一方、物性面から、水素は最も軽いガスで、液化させるためには絶対零度に近い-253℃までの冷却が求められ、膨大なエネルギーが必要となる。また、ボイルオフガスの発生をいかに抑えるかも課題である。さらに、水素は他の燃料に比べて、単位容積当たりのエネルギー密度が極めて低い。従って、一般的に水素は大量の輸送や貯蔵が困難な物質とされている。

このことから燃料電池自動車用の燃料としては、水素の大規模かつ集中製造と輸送のシステムの組合せは実現困難であり、燃料電池自動車に水素を供給するオンサイトに原料を運び、天然ガス等を原料としてこれを改質して水素を取り出す方式が合理的と考えられる。

オンサイト改質用の燃料の特性として重要なのは、水素を運ぶハイドロジェン・キャリアとして含有する水素量が多いこと、および改質反応等で容易に水素を取り出せることである。天然ガスは、既に都市ガスとして広域にわたる輸送インフラが整備されており、また、他の石油系炭化水素に比べて水素含有量の指標となるH/C比も極めて高い。天然ガス改質技術は、工業用水素の製造技術として、既に実用化されている。製造された水素は、半導体工場やガラス製造工場などにおいて、幅広くプロセスガスとして使用されており、技術の完成度は極めて高い。

また、燃料電池自動車への燃料供給方式については、安全上の課題、インフラ整備の困難度合いなど種々の項目についてトータルで議論する必要がある。表1に各種燃料供給方式の特徴を示す。

表1 各種燃料供給方式の特徴

方式	燃料	長所	短所
オンボード	ナフサ(ガソリン)	・現行インフラの活用が可能 ・安全性・取扱い上優位	・硫黄除去が課題 ・改質が困難 ・石油代替燃料 ¹⁾ ではない
	メタノール	・比較的改質が容易 ・液体燃料で取扱いが容易	・インフラに投資が必要 ・毒性および腐食性
オンサイト	水素(都市ガス)	・改質器不要で車両軽量化 ・走行時ゼロエミッション ・改質技術の成熟度が高い	・水素供給インフラが未整備 ・現状技術では車上での水素貯蔵量は不十分 ・水素燃料の取扱い不慣れ
	水素(水電解)	・改質器不要で車両軽量化 ・走行時ゼロエミッション ・自然エネルギーと組合せが可能	・水素供給インフラが未整備 ・現状技術では車上での水素貯蔵量は不十分 ・水素燃料の取扱い不慣れ
オフサイト	水素(都市ガス、水電解)	・「オンサイト」に同じ	・輸送コスト
	副生水素	・水素の製造コストが安価 ・ステーション側に大きな水素貯蔵設備が必要	・輸送コスト

2. 3 フュエルサイクル分析

各種燃料供給方式について優位性を明確にするためには、井戸元から燃料タンクまでの効率(Well to Tank)、燃料タンクから車輪までの効率(Tank to Wheel)を算出し、総合エネルギー効率(Well to Wheel)として比較評価する方法(フュエルサイクル分析)が用いられる。

当社は、三菱総合研究所と共同で、商用サイズの水素供給ステーションの実現可能性を評価するために、一次エネルギー(原料)の採掘、各種方式による水素製造、および燃料電池自動車における利用に至る30種類のパスについてフュエルサイクル分析を行った。結果の一例を図2に示す。

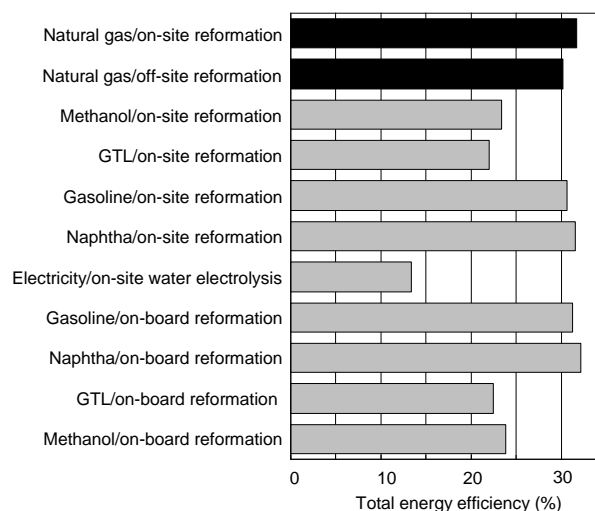


図2 フュエルサイクル分析結果 (圧縮水素)

図2に示すように、天然ガスを原料としてオンサ

イトで製造した水素を燃料電池自動車に供給する方式が、総合エネルギー効率において優れる結果が得られた。

また、この方式と同様に、オンサイト方式の水素供給ステーションでは、原料にガソリンやナフサを用いる方式も高い総合エネルギー効率を示すことが明らかとなった。既存インフラをそのまま活用して燃料電池自動車にガソリンやナフサを供給して車上で水素を取り出す方式も類似する結果となった。

以上のことから、天然ガス（都市ガス）は、エネルギー資源として求められる重要な項目を満たし、かつ水素を製造するための燃料としての他燃料に対して優位性をもつ可能性があると考えられる。しかし、水素供給ステーション用に最適化された天然ガス改質水素製造装置の開発を含め、天然ガス改質型水素ステーションの実用化およびインフラ整備のためには、乗り越えなければならない技術的課題が非常に多い。

そこで、東邦ガスは、現状技術を組合せた天然ガス改質型水素ステーションを建設し、都市ガス供給事業者としての立場から、燃料電池自動車用の水素供給インフラの整備に必要な技術開発に着手した。

3. 日本国内の水素供給ステーション建設状況

日本国内においては、新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）によって進められてきたWE-NET計画において、平成14年2月に天然ガス改質型（大阪）と固体高分子電解質水電解型（高松）の2方式の水素供給ステーションが始動した。これらの水素供給ステーションは、ステーション内部で水素を製造する、所謂、オンサイト方式と呼ばれるものである。

また、平成14年8月には、水素源の多様化への対応として、国内第3番目となる副生水素利用型水素供給ステーション（横浜）が完成した。これは、苛性ソーダ工場において副生ガスとして得られる水素をステーションに輸送して利用するもので、所謂、オフサイト方式と呼ばれるものである。

一方、平成15年には、固体高分子形燃料電池システム実証等研究事業において、東京・横浜地区に新たに5ヶ所の水素供給ステーションの建設が計画

されている。これらの水素供給ステーションでは、実際に燃料電池自動車に水素を供給し、ステーションとしてのエネルギー効率や二酸化炭素削減率などが定量的に解析される予定である。

このように、日本国内では、国主導による水素供給ステーションの技術開発とインフラ整備が進められている。この中で、図3に示すように、東邦ガスが中部地区において水素供給ステーションを建設することにより、関東地区および関西地区における既設の水素供給ステーションと合わせて、燃料電池自動車の走行範囲を大きく広げる役割を果たすことができると期待している。また、この水素供給ステーションは、初めて民間事業者が独自で建設するものであり、自動車メーカーや一般のユーザーが、自由に利用可能な水素供給ステーションとして運用していく考えである。

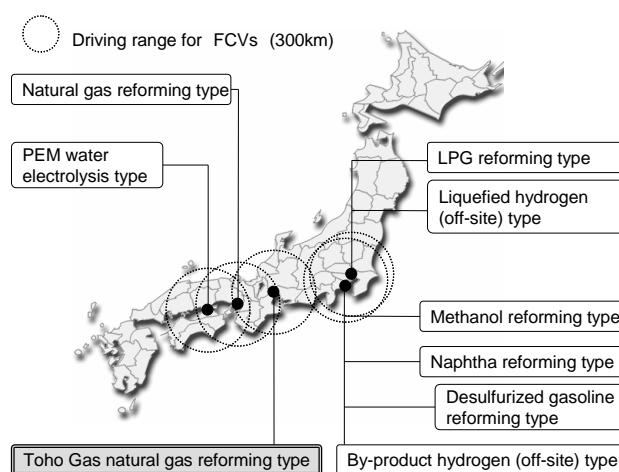


図3 水素供給インフラと燃料電池自動車の走行範囲

また、当社は、建設した天然ガス改質型水素ステーションを利用し具体的に以下の検討を行っている。

- 1) 実用規模の10分の1の天然ガス改質型水素供給ステーションの建設と実証運転
- 2) 水素供給ステーションに求められる天然ガス改質水素製造装置の技術課題抽出
- 3) 水素供給ステーションにおける水素吸蔵合金式水素貯蔵の実用可能性評価
- 4) 市販燃料電池自動車への水素供給
- 5) 水素原料における天然ガスの優位性の検証
- 6) 天然ガス改質型水素供給ステーションに関するエンジニアリング技術の確立並びに安全性の実証

7) 水素ステーションに関する普及啓蒙活動

4. 天然ガス改質型水素供給ステーションの概略仕様

ンのシステム構成は、①天然ガスから水素を製造する水素製造設備の他、②水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵設備、ならびに圧縮機、蓄ガス器およびディスペンサーからなる③高圧水素充填設備から構成される。表2に概略仕様を、図5に外観を示す。

図4に示すように、天然ガス改質水素ステーション

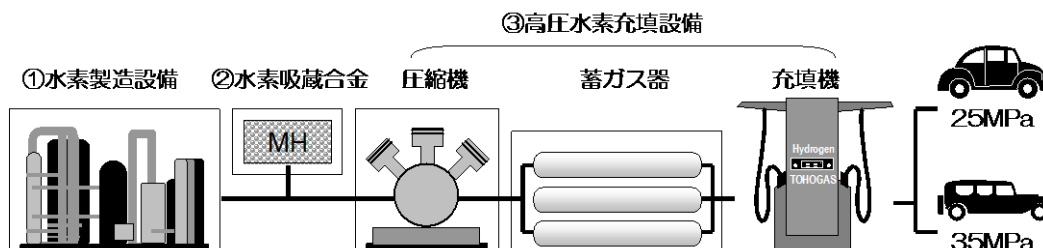


図4 天然ガス改質型水素供給ステーションのシステム構成

表2 天然ガス改質型水素供給ステーションの仕様

構成機器	項目	仕様
水素製造装置	原料ガス	都市ガス13A (CH ₄ : 88%, C ₂ H ₆ : 6%ほか)
	水素製造能力	40Nm ³ /h (定格)
	負荷変動幅	30~100%
	水素純度	99.99%以上 (CO: <1ppm, CO ₂ : <1ppmほか)
水素貯蔵装置	水素貯蔵容量	15Nm ³
	合金組成	AB2系
	貯蔵条件	圧力: 0.65MPaG, 冷却水温度: 30℃以下
	放出条件	圧力: 0.8MPaG, 温水温度: 80℃以上
圧縮機	形式	レシプロ3段+ダイヤフラム
	処理容量	30Nm ³ /h (吸入圧力: 0.5MPa)
	吐出圧力	40MPa
	定格モーター容量	15kW
蓄ガス器	内容積	750L (250L×3本)
	材質	SCM435 (Cr-Mo鋼)
	蓄ガス圧力	40MPa
	バンク切替	2バンクカスケード
ディスペンサー	充填圧力	25MPa/35MPa
	充填能力	25Nm ³ を5分以内



図5 水素供給ステーションの外観

4.1 水素製造設備

天然ガス改質水素製造設備には、工業分野のプロセス水素用として実績のあるオンサイト型水素製造装置を採用した。本装置は、水素製造に天然ガス水蒸気改質方式、水素精製に圧力スウィング吸着 (PSA) 方式を採用し、純度99.99%以上の水素を最大40Nm³/hで製造することができる。

天然ガス改質水素製造設備は、脱硫器、改質器、変成器からなる水素製造装置と圧力スウィング吸着 (PSA) 精製装置から構成される。原料である天

然ガス（都市ガス）は、脱硫器により硫黄分（付臭剤）を除去した後、水蒸気と共に改質器に導入され、改質温度約700℃、スチーム／カーボン比約3.0において、水蒸気改質反応により水素を主成分とする改質ガスとなる。また、改質ガス中には約10%の一酸化炭素が含まれるため、後段の変成器において、CO変成反応によりさらに水素濃度の高い改質ガスとなる。この水素リッチガスは、PSA装置に導かれ精製され、高純度の水素ガスとなる。

4. 2 水素吸蔵合金方式水素貯蔵設備

水素吸蔵合金を充填した水素貯蔵タンクを中心に構成されており、水素吸蔵合金としては、水素吸蔵量が大きく、また耐久性に優れたチタン系（AB2型）の合金を選択した。タンク構造は、この装置の重要な機能を担っており、急速な貯蔵と放出に対応するため非常に熱交換性能が高く、さらにタンクのコンパクト化が図れるプレートフィンタイプのアルミニウム（A1）製タンクを採用した。合金重量は103kgである。実用条件における水素貯蔵容量は15Nm³である。

4. 3 高圧水素充填設備

高圧水素充填設備は、圧縮機、蓄ガス器並びにディスペンサーにより構成される。

圧縮機には、将来のスケールアップに対しても小型化が期待できることから、国内製ハイブリット方式（V型レシプロ3段＋ダイヤフラム1段）のものを採用した。本圧縮機は、0.5MPaの水素を40MPaに圧縮し、1時間当たり30Nm³の処理能力を有する。水素圧縮機に求められる性能としては、40MPa以上の高圧縮率が得られること、静粛性に優れること、コンパクトであること、電力消費量が少ないこと、さらに市街地でも使用するため安全性が最優先されることを考慮し、本圧縮機を採用した。

蓄ガス器には、充填を行う車載燃料タンクの容量150L程度を想定し、充填圧力35MPaで燃料電池自動車1台を充填できる蓄ガス量を保有している。また、蓄ガス容量の低減と充填時間の短縮のため、

2バンクによるカスケード充填を採用した。

ディスペンサーは、想定される水素の流量領域から流量計やコントロールバルブの選定を行っている。また、蓄ガス器と併せた充填制御方式には、圧力制御、流量制御、圧力・流量同時制御のいずれも設定可能であり、異なる車両（燃料タンク容量、残水素ガス量など）に対して充填方式の最適化が可能である。充填ノズルにおける車両との接続部には、国産のカプラーを採用した。

全ての構成機器は、パッケージユニットとして製作され、完全屋外仕様とするだけでなく、コンパクト化を図ると共に、現場における設置性や施工性を向上させている。

4. 4 水素供給ステーションの安全対策

ステーションの設計段階において各種安全対策への配慮を行っている。日本国内の現行法規制においては、水素供給ステーションに対する基準はまだ整備されていないが、適用法規である高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第6条（定置式製造設備に係る技術上の基準）に準拠するとともに、第7条（圧縮天然ガススタンドに係る技術上の基準）を参照しながら各種の安全対策を施している。

主なものとしては、各機器へのガス漏洩検知器の設置、可燃性ガスの通ずる機器への接地（静電接地）とボンディング、感震装置、緊急停止スイッチ、車両衝突防止等の措置があげられる。また、集中制御による機器故障時のインターロックがある。

また、燃料電池自動車に対しては、設定圧力を超えて車両に充填しないように、ディスペンサーの圧力調整弁による過充填防止機構が設けられているほか、車両がもつ静電気や水素充填時に発生が予想される静電気を除去するためのディスペンサーと車両を接続する接地線を有している。

5. 試験タンクへの水素充填試験

各構成機器の試運転後、燃料電池自動車の高圧水素燃料タンクを模擬した試験タンクを使用し、各種条件で試験を行った。図6に外観を示す。タンクの容積は135Lであり、タンクの内部と表面に熱電

対を装備し、水素充填時のガス温度およびタンク表面温度を計測することができる。充填カプラーの接続口であるレセプタクルは、国内外二つのメーカーのものをそれぞれ2.5 MPaと3.5 MPaの二つの圧力仕様で装備し、信頼性と耐久性に関する評価も併せて実施している。

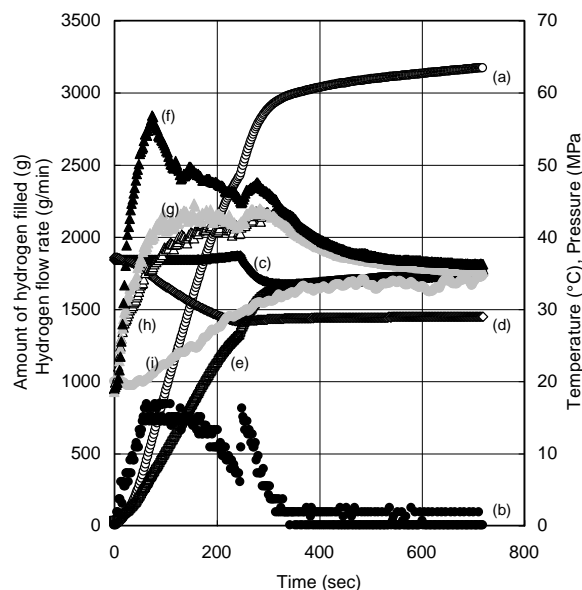


図6 試験タンク

空の試験タンクに対して、3.5 MPaまで水素を充填する試験を実施した結果の一例を図7に示す。

図7は、充填時にディスペンサー内のコントロール弁の開度を一定として充填した結果である。図7に示すように、水素充填時の温度上昇は、タンクの充填口から最も遠い部分で大きくなることが明らかになった。タンク内の温度上昇は、最大で5.7℃程度であり、ISOの規格案における設計温度（-40～82℃）を満足しながら、約6分で安全に高圧水素を燃料タンク内に充填できることを確認した。また、この時の水素充填流量は、最大で900 g/min程度あり、制約される温度に対して余裕があるためさらに短い充填時間での急速充填が可能と考えられる。

また、これまでに自動車メーカーが開発中の燃料電池自動車への水素充填を行い、安全に水素を供給できることを確認した。



- (a) ...Amount of hydrogen filled (g)
- (b) ...Hydrogen flow rate (g/min)
- (c)...High-pressure bank gas storage unit pressure (MPa)
- (d) ...Low-pressure bank gas storage unit pressure (MPa)
- (e) ...Fuel tank pressure (MPa)
- (f)...Fuel tank surface temperature (°C)
- (g) ...Fuel tank internal temperature (inlet) (°C)
- (h) ...Fuel tank internal temperature (middle) (°C)
- (i) ...Fuel tank internal temperature (bottom) (°C)

図7 充填試験結果の一例

6. おわりに

地球環境及びエネルギー問題に対する対策として、燃料電池自動車が究極のパワートレインと位置付けられ、その技術開発が進められる中、東邦ガスは、その燃料を供給すべく水素供給インフラの開発を進めている。これまでに、実用規模の10の1の天然ガス改質型水素供給ステーションを完成させ、燃料電池自動車に安全に水素を充填できることを確認した。今後は、市販される燃料電池自動車への充填により実運用を通してシステムの更なる性能向上を図っていく計画である。