

特集

燃料電池

燃料電池車用水素供給設備

Hydrogen Refueling Station

古田博貴^{*1}

Hiroki FURUTA

The movement toward market introduction of fuel cell electric vehicles is progressing quickly, which is believed to lead to the future hydrogen energy society. For this purpose, establishment of hydrogen supply infrastructure is critically important. Tokyo Gas is involved in the national project (JHFC: Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project) to demonstrate the technical feasibility of hydrogen stations for refueling the fuel cell vehicles. From the standpoint of energy utilities promoting the demonstrations, current status of hydrogen station is reviewed and future tasks to be pursued are identified. Technology for building and operation of hydrogen station facility has advanced and bears no technical hurdles in the present demonstration stage. For commercialization of the technology, however, further technology advancement is required to reduce the initial investment on the facility and make the system more compact and highly efficient.

Keywords: Fuel cell electric vehicle, Gaseous fuel, Hydrogen, JHFC, Refueling station.

1 緒言

近年地球環境問題が大きな社会問題となるなかで水素はクリーンなエネルギーとして注目されている。なかでも燃料電池自動車や燃料電池電車へは大きな期待が寄せられている。燃料電池車両の実用化のためには、車両側の技術とともに燃料水素を供給する水素ステーション設備に関する技術の確立が必要不可欠である。

本稿では、都市ガスを原料とする水素製造の原理や現状技術・装置、および水素ステーションでの実証試験の状況などを紹介する。あわせて、高効率でコンパクトなシステムを目指し開発を進めている新たな水素製造装置についても紹介する。

2 水素ステーションの種類と天然ガス改質方式

2.1 水素ステーションの方式

水素ステーションには大きく分けて、供給サイトで水素を製造する方式(オンサイト方式)と、水素基地で集中製造された圧縮水素または液体水素をタンクローリー等で輸送し、水素ステーションに供給する方式(オフサイト方式)の2つに分かれる。

オンサイト方式は、天然ガスやLPG、ナフサやガソ

リン、メタノールなどを改質する方法と、水を電気分解する方法がある。

オフサイト方式は水素源をソーダ電解の副生水素から得る方法、製鉄におけるコークス炉ガス、転炉ガスや高炉ガスから得る方法、石油化学、石油精製水素プラントでの余剰水素を利用する方法など様々な方法が検討されている。

2.2 天然ガス改質方式

水素を製造するための様々な原料の中でも、天然ガスは世界に豊富に存在するエネルギー源であり、その主成分はメタン(CH₄)であることから、他の一次エネルギーである液体または固体燃料に比べ、組成としての炭素:水素の比(CH₄の場合は1:4)が最も低く、水素を製造する際に生成する二酸化炭素量が少ない(環境負荷が少ない)優れた特性がある。

また、都市に張り巡らされた都市ガスのインフラを用いてオンサイトで必要なときに必要な量の水素を製造することは、交通の集中する都市内で大量の水素を運搬・貯蔵したり、新たな水素供給用配管を敷設したりする困難さを伴わない現実的な方法である。

東京ガスでは、これら優れた都市ガスの特性を活かした天然ガスオンサイト方式水素ステーションの実用化に向けた開発を行っている。

3 都市ガス改質水素製造の原理と装置

連絡先: 古田博貴, 〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20,
東京ガス(株) 水素ビジネスプロジェクト G,
e-mail: h-furuta@tokyo-gas.co.jp

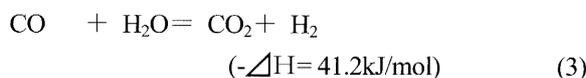
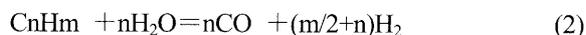
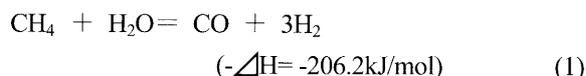
^{*1} 東京ガス(株)

3.1 都市ガス改質水素製造の一般的原理

3.1.1 改質工程

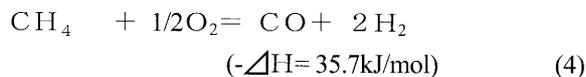
都市ガス/LPG から水素リッチガスを得る工程では、多くの場合水蒸気改質とCO変成反応を用いる。

都市ガス(13A)はメタンを主成分に、エタン、プロパン、ブタンまでの炭化水素を含むが、これら炭化水素は次の(1)、(2)式の水蒸気改質反応により水素と一酸化炭素に分解される。また生成した一酸化炭素の一部は(3)式のCO変成反応により水素と二酸化炭素に変換される。



改質器で(1)(2)(3)式の反応を、CO変成器では主として(3)式の反応を利用する。

改質により水素リッチガスを得る方法には水蒸気改質以外にも(4)式に示す部分酸化反応を用いる方法(部燃法)や水蒸気改質と部分酸化の両方の反応を利用するオートサーマル法が利用される場合もある。



しかし純水素を得る事を目的とする場合水蒸気改質法が最も一般的に採用される。これは、次項に述べる水素精製工程で副生するオフガスを水蒸気改質反応(吸熱反応)の熱源として有効に利用できることなどから総合的に高効率を得やすいためである。

これに対し部燃法やオートサーマル法は、部分酸化反応が発熱反応であることによる起動性のよさや反応器が比較的簡素にしやすいことなどの特徴を活かせる設備に適しており、燃料電池自動車の車上改質用などにも適用が検討されている。

3.1.2 精製工程

改質工程で得られた水素リッチガスから純水素を取り出す生成工程ではPSA法(Pressure Swing Adsorption)が最も一般的である。PSAの原理は不純物を吸着する吸着剤を用い改質ガス中の不純物を吸着除去し純水素を得るものであり、吸着剤には活性炭、アルミナ、ゼオライトなどが組み合わせて使用される。PSAシステムは複数の吸着塔を用い、1塔が吸着操作を行う間に他の塔が減圧による脱着(再生)を行い、

連続運転を行うものである。通常3塔以上の吸着塔と吸着/再生の制御システムから構成される。

PSAに導入されたガスは、水素以外の成分(二酸化炭素、一酸化炭素、メタン、水分等)が吸着塔内の充填物に吸着除去され、高純度水素となる。一方、吸着された不純物は脱着工程で吸着塔が常圧程度まで減圧された際、脱着してオフガスとして排出される。脱着したオフガスは、可燃性ガスであるためオフガスホルダに集め、改質炉の燃料として有効利用する。

3.2 既存水素ステーション用水素製造装置

現在水素ステーションにおける水素製造技術・装置は、既存工業用オンサイト水素製造装置をベースとしているものがほとんどである。この理由は、①求められる水素製造能力が数十から数百Nm³/h程度、②パッケージ型で設置しやすい装置が求められる、③自動運転機能など運転の容易性が求められる、など水素ステ

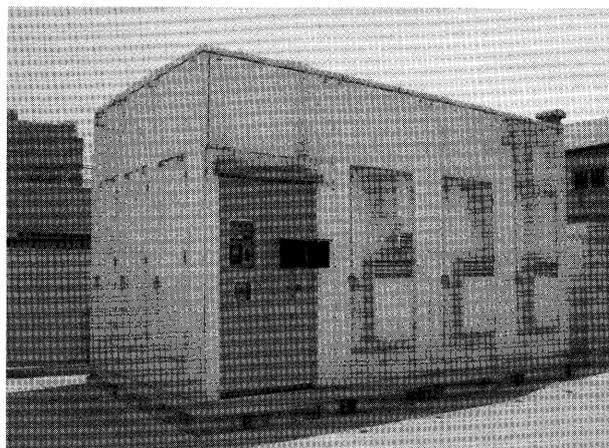


Fig. 1 Steam reformer of JHFC Senjyu hydrogen refueling station.

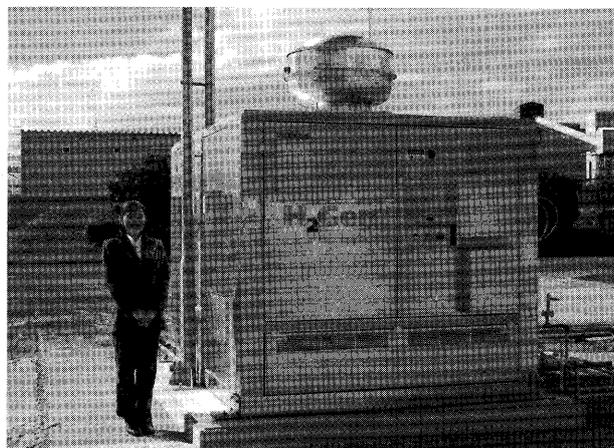


Fig. 2 H₂Gen steam reformer under demonstration. (At Tokyo gas Negishi LNG terminal)

ーション用酸素製造装置に求められる要件が工業用酸素製造装置と類似しているためである。LPG 改質酸素ステーションとして JHFC 事業 (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) で実証を行っている千住酸素ステーション(後述)に設置されている酸素製造装置も工業用用途に商品化されている LPG/都市ガス用の酸素製造装置をベースとしている。千住酸素ステーションの酸素製造装置(能力 50Nm³/h)を Fig. 1 に示す。

この小型酸素製造装置はスキッド組み立て方式と呼ばれ、メーカー工場でスキッド上にパッケージ型で製作され、現地での設置工事が軽減されている。また、酸素使用量に応じて負荷追従する自動シーケンスが組込まれ、純度 99.999%以上、露点-70℃以下、圧力 0.64MPa 以上の酸素ガスが無人運転で得られる。

3.3 開発中の新たな酸素製造装置

酸素ステーションの普及に向けて、現在の酸素製造装置よりさらに小型、高効率、安価な装置の開発が進められている。次に 2 つの装置について紹介する。

3.3.1 米国 H₂Gen 社製酸素製造装置

米国 H₂Gen Innovation Inc.社はコンパクトで高性能なオンサイト型酸素製造装置の開発を手がける米国企業である。同社が開発中の酸素製造装置は、一般的な水蒸気改質+PSA 再生方式であるが、大きさ、性能、価格面で優れた特長を有しており、東京ガス等が商品化に向けた実証試験を行っている。

この装置は、酸素製造能力 50 Nm³/h と前出千住ステーション設置酸素製造装置と同等ながら、装置の大きさは約 1/3 にコンパクト化されている。また、従来の一般的な装置では 5~6 時間程度かかっていた起動時間が、1 時間以内となる点も優れている。このため、毎日起動停止を行う運転方法も可能で、実用酸素ステーションでも使いやすいものと考えられる。H₂Gen 社では将来酸素ステーション用途への本格展開を睨んだ大容量モデル(容量; 265 Nm³/h)も順次開発する計画とされている。

3.3.2 酸素分離型酸素製造装置

東京ガスはさらに、PSA 精製方式とは異なる原理の次世代酸素製造技術を開発中である。この技術は酸素分離型改質器と呼ばれ、改質器の中に組み込まれた酸素分離管により、改質反応と酸素分離を同時におこなうシステムである。(Fig. 3)

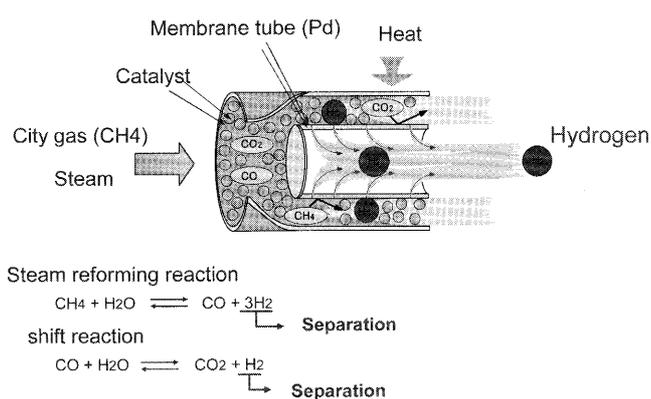


Fig. 3 Principle of membrane reformer system.

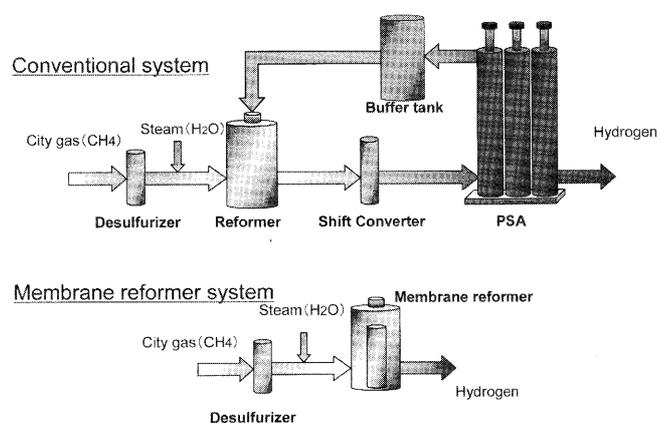


Fig. 4 Conventional system and membrane reformer system.

この装置は、改質と酸素精製が一つの反応器で行えるため、設備構成がシンプルでコンパクトとなる。また水蒸気改質反応は反応器内の温度と圧力で決まる化学平衡により反応の転化率が制約されるため、一般の水蒸気改質反応器では十分な転化率を得るために 700℃程度以上の高温で反応を行うのに対し、酸素分離型反応器では反応場から生成物である酸素のみを引き抜くため、非平衡状態を保ったまま反応を進めることができ、このため 550℃程度の低温度で高い反応転化率を得ることが可能となる。これらの特長により、原理的に小型・高効率化が可能である(Fig. 4)。

固体高分子型燃料電池システム技術開発事業 (NEDO, 日本ガス協会) のプロジェクトにより平成 17 年度までに 40 Nm³/h 級の試験機が開発され、酸素製造効率 72%, 酸素純度 99.999%が達成された。

さらに平成 17 年度からは、NEDO 酸素安全基盤事業高効率酸素製造メンブレン技術の開発により実用化に向けた開発が進められている。

3.4 電力と熱を同時に供給する水素供給システム

水素ステーションのインフラが普及する過程において、比較的少量の水素を必要とする使用者に導入しやすい水素供給システムとして、既存リン酸型燃料電池の改質部から一部の水素を取り出し水素を供給するアイデアもある。このシステムは、定置用の燃料電池を利用し、通常のコージェネレーションシステムとして電気・熱を供給するだけでなく、燃料電池車等に使用する水素も供給可能なシステムである。

本システムの概要を Fig. 5 に示す。定置用燃料電池内の改質ガスの一部を燃料電池ユニット外に取り出し、水素精製装置で純水素に精製した後、蓄ガス器（高圧水素タンク）に圧縮貯蔵する。そこから、燃料電池車等の水素需要に応じてディスペンサーより水素を供給する。外部に取り出さない改質ガスについては、通常の燃料電池と同様に電池本体に供給することにより、コージェネレーションシステムとして電気と熱を生み出す。このように、本システムは、電気・熱・水素の3つのエネルギーを需要に合わせて供給することが可能なシステムとして開発が行われている。

このシステムのねらいを次に示す。

(1) 経済的な水素供給の実現

電気・熱・水素の需要に合わせて、常に設備を運転することができるため、設備を最大限に活用することができる。比較的電気・熱の需要が少ない夜間を中心に水素製造を行い、昼間の電力ピークの時には電気出力を優先させ水素製造は行わない、という柔軟な運転も可能である。さらに、システムの起動/停止を行う必要がないため、起動/停止に伴う電力、燃料、時間が不要となる。このように、システムを水素供給のみでなくコージェネレーションシステムとしても活用できるため、電気・熱を利用することにより生み出されるメリットによって、経済的な水素供給の実現が可能となる。

(2) 利便性のある水素供給形態の実現

国や自治体、企業などの燃料電池車の導入者が、水素の需要箇所本システムを設置することにより、自前で水素を得ることが可能となる。このように、水素の利用者に対して、利便性のある水素供給形態を実現でき、例えば、自治体等で水素社会の実現に向けた取り組みを行う地域において、地域内の主要な需要拠点に本システムを設置することで、水素を容易に自給することが可能となる。

このようなシステムを活用することによって、水素需要が少ない段階や水素需要が少ない地域において、利便性がありかつ経済的な水素供給を実現することが期待される。また、その後の水素需要の拡大段階においても、需要に合わせてシステムの導入台数を増加させていくことによって対応できると考えられる。

4 JHFC プロジェクトによる水素ステーションの実証

平成14年度から、経済産業省の補助事業(固体高分子形燃料電池システム実証等研究費補助事業)として、(財)エンジニアリング振興協会および(財)日本自動車研究所のもと、「水素・燃料電池実証プロジェクト Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project」(JHFC プロジェクト)が実施されている。実証試験では、実際のステーション運用に近い条件で運転を行い技術的な課題を明らかにすると同時に、環境特性、エネルギー総合効率、燃料性状、安全性等に関するデータ取得・評価を行っている。

東京ガスは、このプロジェクトに参画し、千住水素ステーションを担当している。千住水素ステーションの諸元を Table 1 に、構成を Fig. 6 に示す。また、外観写真を Fig. 7 に示す。

千住水素ステーションは、平成15年より運転を開始し、原則として平日昼間(月～金曜の9:00～17:00)オープンし、車両充填を行っている。水素製造装置は、WSS(月曜起動、金曜停止)とし、週末または一定期間

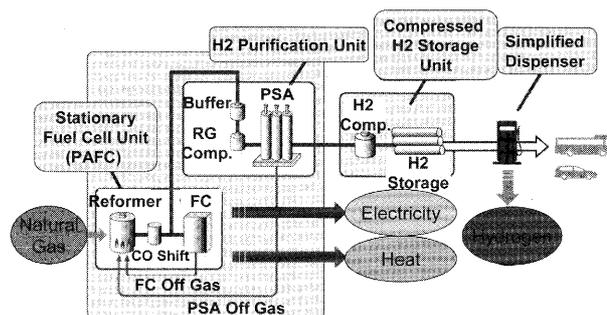


Fig. 5 Small hydrogen supply system.

Table 1 Outline of JHFC Senju hydrogen station.

Feedstock	Natural gas or LPG
Process	Steam reforming + PSA
Production capacity	50Nm ³ /h
Hydrogen Purity	More than 99.99%
Refueling Capacity	Capable to refuel 10 passenger vehicles continuously

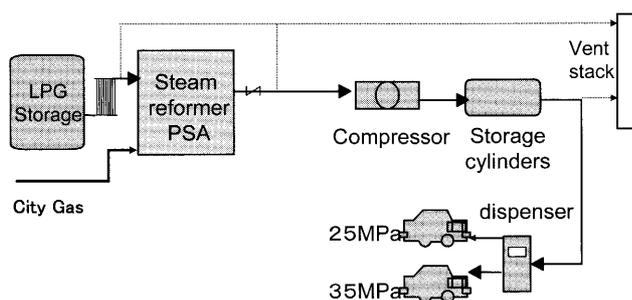


Fig. 6 Equipment composition.



Fig. 7 Appearance of JHFC Senjyu station.

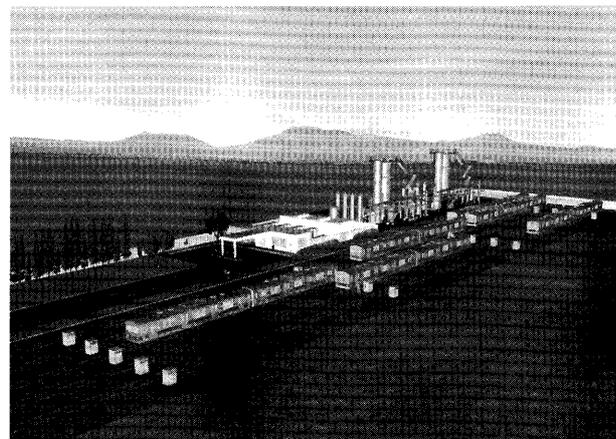


Fig. 8 Illustration of a test plan of a railway hydrogen station.

Table 2 Specification of a test plan of a railway hydrogen station.

Production capacity	3100Nm ³ /h
Hydrogen Purity	More than 99.99%
Utilities	City gas, Electric power, Pneumatic air, City water
Storage capacity	7000Nm ³
Refueling pressure	35Mpa
Dispenser	40
Area	1262m ²
Cost of construction	1,700 million yen(approx.)

充填計画がない期間は水素製造装置を停止している。運転開始以降、平成18年3月末までに述べ1,110kg(863台)の水素充填を行った。平成18年4月からはJHFC第2期として実証運転を継続している。

5 鉄道用水素ステーションの検討

燃料電池電車は、環境性・低騒音・低振動・架線メンテナンス低減などのメリットから、ディーゼルカー代替、電車代替、保線車両への適用、路面電車への適用などが期待されている。東京ガスは(財)鉄道総合技術研究所(鉄道総研)と共同で鉄道用燃料電池電車に水素を供給する鉄道用水素供給ステーションのフィジビリティスタディー(FS)を実施した。このFSでは80両の燃料電池電車を保有する基地を想定し、都市ガスを改質して製造した水素を充填する設備の試設計を行った。鉄道用ステーションは車両側の運用形態の違いなどにより自動車用とは異なった特徴を有する。主な相違点として、急速充填の必要がない(操車場にて長時間充填可能)ため、蓄ガス容器を大幅に小型化可能なこと、朝夕のラッシュ時を除き1日中充填を行うことができるため、水素製造装置を平均的に高稼働率で運転でき高効率な運転ができること、自動車用よりも規模が大きいため、水素製造装置の設備効率が高く、製造能力あたりの建設費も安いこと、ステーション1箇所から実用可能なことなどが上げられる。Table 2に試設計の結果得られた水素供給設備設計仕様と諸元を示す。

6 結言

燃料電池車用水素供給設備は、実証段階として実用に耐える技術に達したと考えられる。しかし実用化に向けては、設備のコスト低減、小型化、高効率化など一層の技術の進展が望まれる。

参考文献

- [1] I.Yasuda, Y.Shirasaki, T.Tuneki, T.Kataoka, H.Shinkai and R.Yamaguchi, Development of membrane reformer for highly-efficient hydrogen production from natural gas. proceedings of WHEC15, Yokohama Japan, 2004.
- [2] T.Mori, RD&D for Launching Initial Market by H2 from NG, proceedings of International Hydrogen Energy Congress and Exhibition 2005, 2005.
- [3] JHFC プロジェクト, HP, <http://www.jhfc.jp/>
- [4] 宮本岳史他, 鉄道車両用水素ステーションの検討, 鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail2004) 論文集, 2004.