

産業界における水素供給可能量と 供給に向けた課題

高野 香織

J X日鉱日石エネルギー株式会社 研究開発本部 中央技術研究所
水素・新エネルギー研究所 水素貯蔵・輸送グループ
〒231-0815 神奈川県横浜市中区千鳥町8番地

Hydrogen distribution from domestic refineries and factories; potential capacity and issues

Kaori Takano

JX Nippon oil & Energy Corporation
Hydrogen R & D Group, Hydrogen & New Energy Research Laboratory, Research & Development
Division
8 Chidoricho, Naka-ku, Yokohama 231-0815

Hydrogen is attracting attention as a clean fuel that produces no carbon dioxide emissions at the stage of use. However, CO₂ is emitted when hydrogen is produced from fossil fuels. Until the day comes when we can supply sufficient amounts of hydrogen from renewable energy sources, hydrogen could be produced from fossil fuels using existing equipment in oil refineries and other factories. In this paper, the author describes the potential hydrogen distribution capacity of industry in Japan. Studies indicate that sufficient amounts of hydrogen could be supplied for the initial stage of a hydrogen energy economy.

However, this hydrogen must be purified to 99.99% if it is to be used for fuel cell vehicles. When it is purified using current technology, 25-30% of the hydrogen is lost. Thus, new efficient technology for purifying hydrogen is needed.

Keywords: Hydrogen distribution, potential capacity, hydrogen from oil refineries, hydrogen from renewable energy

1. 緒言

地球温暖化につながる化石燃料由来のCO₂排出量を減らすため、水素をエネルギー媒体として利用することが期待されている。水素は使用時にCO₂を生成しないクリーンなエネルギーである。水素は将来的には太陽光や風力などの再生エネルギーを利用して製造することが理想だが、それらの技術の実用化やエネルギーの安定供給にはまだ時間を要するため、現時点では製油所などの既存設備から生成する余剰水素を利用して、水素製造から

供給に至るインフラの構築を行うことが先決である。本稿ではそのような水素エネルギー社会への移行期間において、既存設備から水素を供給しうる各業界について、その供給可能量を述べるとともに、その中でも供給可能量が大きい石油精製業について、その製造プロセスを概説する。また供給に向けた課題と、将来に向けた再生可能エネルギーを用いた水素製造の可能性について触れる。

2. 各業界の水素供給可能量

水素は主として、石油精製業界、石油化学業界、ソーダ業界、アンモニア業界、鉄鋼業界において製造されている。各業界で製造された水素のうち、自家消費を差し引いたものが水素供給可能量となる。なお、ここでいう水素製造量とは、水素製造設備を設計能力で稼働させた際に製造可能な水素量をあらわす。

各業界の水素製造量、消費量を表1に示す[1]。表1より、最も水素供給可能量が大きいの石油精製業界であることがわかる。水素47億Nm³はFCVに換算すると約650万台が一年間に消費する燃料分に相当する [2]。このことから、石油精製業界は水素供給において重要な役割を果たすと考えられる。次項では、製油所における水素製造・水素利用プロセスについて述べる。

表1. 国内各業界における水素製造・消費量[1]

単位：億Nm³/年

業界	製造	消費	供給可能量
石油精製	189	142	47
鉄鋼	86 (160※)	74	12 (40※)
石油化学	31	21	10
ソーダ	12	6	6
アンモニア	42	36	6
合計	360	279	81 (109※)

※新規な製鉄プロセスであるHOT-COG法が採用された場合に予想される数値

3. 石油精製業における水素製造プロセス

製油所における水素の製造および消費プロセスを図1に、水素製造量および消費量を表2に示す。

水素の製造装置は二種類ある。一方は、主体的に水素を製造する「水素製造装置」、もう一方は、水素の製造を目的とするわけではないが、副生物として水素が得られる「接触改質装置」である。まず、水素製造装置はLPGやナフサなどを原料として、水蒸気改質法や部分酸化法を利用して水素を製造する。国内の製油所ではもっぱら水蒸気改質法が採用されている[3]。水蒸気改質法は、脱硫工程、水蒸気改質工程、COシフト工程を経てH₂・CO₂リッチガスを作り、そこから洗浄工程でCO₂を除いてH₂を製造している。このときの水素純度は95～97%である。

二つ目の接触改質装置では、重質ナフサから改質ガソリンと呼ばれる高オクタン価のガソリン成分を製造する際に水素が副生する。このとき主反応のひとつが脱水素反応であるため多量に生成する。しかしこの装置では、水素製造が目的ではないため、水素の製造量は処理量や処理条件、重質ナフサの性状などに依存する。そのため、製油所全体で不足する水素は、水素製造装置の稼働でバランスされる。なお、製造された水素は主に石油製品の脱硫反応や水素化分解のために利用されている。

一方、表2の水素供給可能量には含まれていないが、水素を消費している装置（脱硫装置など）から排出され

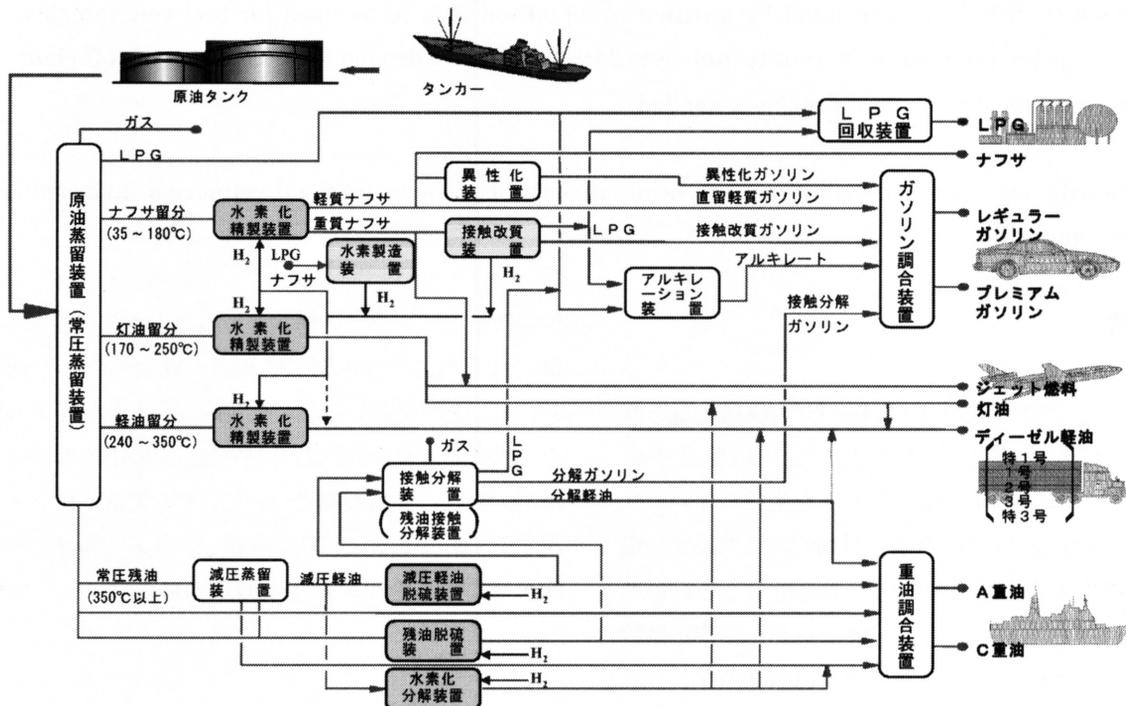


図1. 石油精製フロー図

るオフガスには、低濃度ではあるが未利用の水素が含まれている。この水素はブリード水素と呼ばれるが、純度および圧力が低いために現状では水素としては精製・回収されず、その他のガス（メタンやエタンなど）と混合した状態のまま製油所ガスとしてボイラー等で燃料として使用されている。水素の社会的需要が増した際にはこのブリード水素も精製して利用するスキームも考えるため、その場合の水素製造コストも研究されている。[4]

表2. 製油所における水素製造・消費量内訳 (2004年) [1]

単位：億Nm³/年

	水素量	装置 (内訳)	水素量 (内訳)
水素発生	189	水素製造	103(実績56)
		接触改質	86
水素の自家消費	142	ナフサ灯軽油脱硫	51
		重油脱硫 (直脱)	33
		重油脱硫 (間脱)	39
		水素化分解装置	19
水素供給能力	47		

なお、表2は2004年に調査されたものであるが、将来の水素供給可能量についても試算が行われている。製油所で処理する原油が重質成分の多い原油にシフトした場合、水素化分解や脱硫などによる水素の自家消費量が増えることが想定される。一方で石油の需要減に伴う処理量の減少から水素の自家消費量の減少も予想されている。それらを総合した場合の2030年における石油精製業界からの水素供給可能量は59～62Nm³と推定されているが、これを産業競争力懇談会 (COCN) のFCV/水素インフラ普及シナリオに基づく水素需要量と比較する(表3) [1][2]。表3によると、2030年におけるFCV普及台数累計666万台に対する水素需要量に対して、石油精製業界からの水素供給可能量は八割を超える。このことから、将来にわたって製油所が水素供給において果たす役割は非常に大きいものであることがわかる。

表3. 2030年における水素供給量と需要量

	億Nm ³ /年	備考	出典資料
供給量	59～62	—	[1]
需要量	70	FCV (乗用・貨物) 累計666万台 普及前提	[2]

4. 水素供給に向けた課題—高効率高純度水素製造技術—

上記のとおり、水素は既存の設備を用いて十分に製造可能であるが、ここで課題となるのは純度である。水素エネルギー社会で要求されるFCV向け水素の純度は99.99%以上 (以下高純度水素という) であるが、製油所で現在使用されている水素は純度が高いものでも99.9%であるため、水素エネルギー社会に対して高純度水素を供給するためには別途精製を行う必要がある。しかし精製の段階で水素をロスすると、供給可能量が低下してしまう。また精製に多量のエネルギーを消費すると、コストも上がりエネルギーとしての競争力が低下する。そのため、より少ないエネルギーで効率的に水素を精製する技術が求められる。高純度水素の製造方法としては、PSA、膜分離などが知られている。以下ではそれらの方法を概説し、その課題を述べる。

(1) PSAによる高純度水素製造

多くの製油所では、水素製造装置からの出口ガスを精製する洗浄工程として、アミン吸収法やPSAを用いている。そのためこれらの装置を用いれば、装置を新設することなく高純度水素を製造することができると思われる。しかし、アミン吸収法ではCO₂などの酸性ガスを除去することはできるがCOやCH₄などのガスを取り除くことができないため、単独使用での高純度水素製造は難しい。またPSAでは、水素純度を99.99%まで上げることは可能であるが、吸着剤に吸着したメタンやCO₂をパーズするために製造した高純度水素を使用しなければならぬため、結果として水素を25～30%ロスすることになる[5]。そのため製造効率が下がることが課題である。

(2) 膜分離による高純度水素製造

パラジウム合金膜を用いた高純度水素製造方法が知られている。この分離方法は、水素分子が原子に開裂して金属の結晶格子内を拡散することによって行われる。そのとき金属中の水素原子の拡散係数が他の原子よりもはるかに大きいため、膜にピンホールがなければ、極めて100%に近い高純度の水素が得られる。この方法は半導体製造など高純度水素を必要とする業界で既に実用化されているが、原料であるパラジウムが高価であることから使用範囲が制限されている[6]。より幅広い業界でこの技術を利用するためには、得られる透過ガス量 (高純度水素量) あたりのパラジウム使用量を削減する必要がある。ここで膜厚を薄くすることでガス透過速度

を高めることができるため、パラジウム合金膜の薄膜化が検討されている。一方で、膜厚を薄くすると強度の低下を招くため、多孔質支持体の表面にパラジウム合金膜をメッキするなどの研究も行われている。しかし、成膜法で厚さ数マイクロメートル以下の薄膜を作成する際、ピンポールの発生を完全に抑制することが難しく、実用化には更なるブレークスルーが必要といえる[7]。

一方、より水素回収効率を上げるために水素分離膜をCO₂分離膜と併用するシステムの開発も行われている[8][9]。この方法では一段目の水素分離膜単独では回収しきれなかった水素を、CO₂分離膜でCO₂を取り除くことによって昇圧することなしに再び水素分圧を上げることで、極限まで搾り取ろうというものである(図2)。

このシステムを用いた場合、PSA等比べて高い高純度水素回収効率、高いエネルギー効率が得られる(表4)。さらに、このとき分離したCO₂も高濃度であるため、いずれCCS (Carbon dioxide Capture and Storage) などに適用することも可能であると思われる。

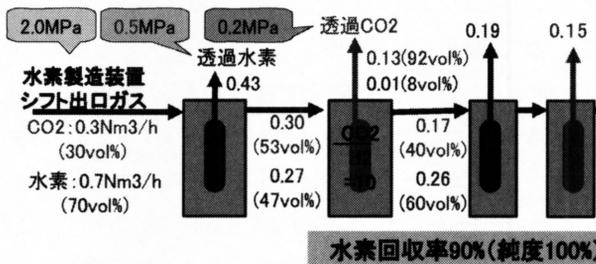


図2. ハイブリッド分離膜型水素精製装置[8]

表4. 高純度水素回収率と製造効率[9]

水素精製装置	水素純度	回収率	製造効率※	
			LHV	HHV
PSA(脱硫用)	99%	81%	71%	81%
PSA (FC用)	99.99%	70%	61%	70%
アミン吸収+PSA	99.99%	80%	55%	63%
ハイブリッド分離膜型	100%	90%	72%	83%

※オフガス回収、熱回収を含む。

5. 将来に向けて-再生可能エネルギーからの水素製造-

再生可能エネルギーから水素を製造することは、供給量・コスト両面からまだ課題は多い。ここでいずれの問

題にも対応しうる方法として、海外で大規模風力発電を行ってその場で水素を製造し、日本に輸入する、というシステムが研究されている[10]。この研究では、大規模風力発電を行うのに適したアルゼンチン・パタゴニア地方でウインドファームを設け、この電力によって水を電気分解して水素を製造し、有機ハイドライドを水素キャリアーとしてタンカーでの長距離輸送を行った場合のコストが試算されている(図3)。図3によると、この方法で製造した水素(以下輸入風力水素)は、原油輸入価格が90ドル/バレルよりも上昇すると、製油所で製造した水素(以下製油所水素)に対してコスト優位性が出てくる。さらに、CCSが義務化された際には、60ドル/バレル程度から優位性が出る。この研究は、風力の代わりにサンベルト地帯での大規模太陽光発電で得た電力を用いて水素を製造するという可能性も示唆している。このようにいずれは再生可能エネルギーからの大規模水素製造によって、CO₂排出に繋がらない水素エネルギー社会が到来することを期待する。

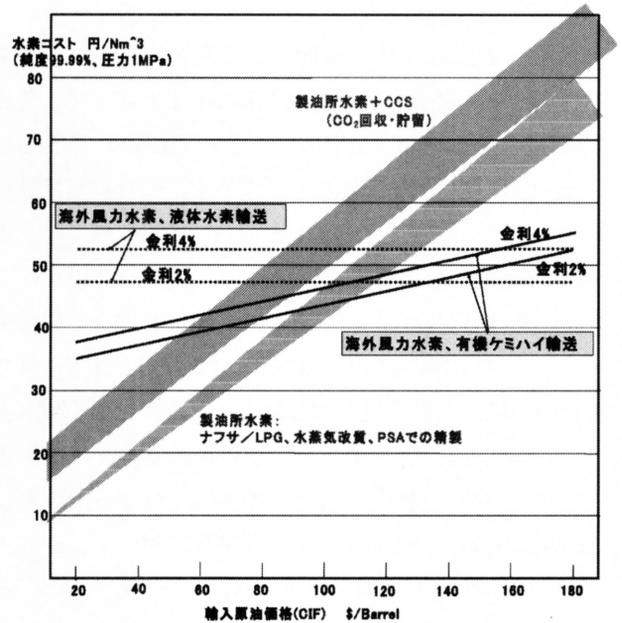


図3. 各種水素コストへの輸入原油価格の影響[10]

参考文献

- 財団法人石油産業活性化センター, “将来の製油所における高純度水素供給能力の動向に関する調査報告書(PEC2006T-15)”, 2007
- 産業競争力懇談会, “燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト”, 2009

3. JX日鉱日石エネルギー, “石油便覧”,
<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part04/chapter04/section08.html>
4. 財団法人石油産業活性化センター, “水素社会における製油所水素の位置づけに関する調査報告書 (PEC-2008L-03)”, 2008
5. 財団法人石油産業活性化センター, “環境対応型石油関連調査の概要 (PEC-2002P-11)”, 2003
6. 上宮成之, “表面技術”, Vol.59, No.1, P6~12, 2008
7. 岡野一清他 “水素利用技術集成Vol.3”, (株)エヌ・ティー・エス, 2007
8. 財団法人石油産業活性化センター, “将来型燃料高度利用技術開発報告書 (PEC-2008L-01)”, 2008
9. 財団法人石油産業活性化センター, 平成22年度成果報告会予稿集, “製油所における高効率高純度水素製造技術開発”, 2010
10. 村田謙二, 渡部朝史, 坂田興, “再生可能エネルギー由来水素の長距離輸送の経済性”, 第19回日本エネルギー学会大会予稿集, 2010