

# 石油・化学業界の既存設備を活用した 高純度水素の供給可能性と石油業界の位置付け

早内 義隆<sup>\*1</sup>・石倉 雅裕<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 財団法人 石油産業活性化センター  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-9 住友新虎ノ門ビル

<sup>\*2</sup> 株式会社 価値総合研究所  
〒108-0014 東京都港区芝 5-31-19 田町全日空ビル

The Possibility of Supplying High Purity Hydrogen by Using Existing Facilities  
of the Petroleum Industry and the Chemical Industries,  
and the Positioning of the Petroleum Industry in the coming Hydrogen Economy

Yoshitaka HAYAUCHI <sup>\*1</sup> and Masahiro ISHIKURA <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> The Petroleum Energy Center (PEC)  
3-9 Toranomom 4-chome, Minato-ku, Tokyo, Japan

<sup>\*2</sup> Value Management Institute, Inc.  
5-31-19, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japan

When available hydrogen production capacity of the petroleum and ammonia industries as well as unused by-product gas of petrochemical industries and soda industries is fully utilized, hydrogen balance in the petroleum and chemical industries in Japan will be the surplus of 9.8 billion Nm<sup>3</sup>/year. Taking into consideration the loss caused by refining the surplus hydrogen to a purity level of 99.99% as well as the future outlook for the industries, the amount of high purity hydrogen supply available from the petroleum and chemical industries is expected to increase from the current 6.6 billion Nm<sup>3</sup>/year to 6.8 billion Nm<sup>3</sup>/year in 2010 and to 7.2 billion Nm<sup>3</sup>/year in 2020. (The amount available by using existing facilities and with a little additional investment.) The hydrogen demand of 5 million FCVs is estimated to be 3.8-6.2 billion Nm<sup>3</sup>/year in 2020. Therefore, the surplus hydrogen from the petroleum and chemical industries could satisfy the hydrogen demand in 2020 fully.

On the other side, the petroleum industry already has a completely established infrastructure for supplying oil energy, for example oil tanks, gas stations and distribution systems. We think that the petroleum industry has a major role as we shift into the hydrogen economy. The petroleum industry should be actively involved in the research and development initiatives for establishing the infrastructures necessary for supplying hydrogen energies.

## 1. はじめに

燃料電池自動車等の政府導入目標が示されるなど、水素社会が展望されているが、水素の具体的な供給策については十分な議論がされていないのが現状である。一方、石油業界は、製油所において大量の水

素を利用しており、その規模は我が国産業界の中で最大であると共に、石油製品生産から給油所を含む大規模なエネルギー供給インフラを既に構築済みである。

このような状況を踏まえ、(財)石油産業活性化センターでは、平成14年度、主として石油・化学業

界からの水素の供給方策に焦点をあてた調査「水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査」を実施した。[1]

本稿は、その調査成果をもとに作成したものである。

## 2. 燃料電池向けの新たな水素需要

2020年時点の燃料電池自動車の政府導入目標は500万台であり、その水素需要量は、燃料電池本体の効率向上やオンボード改質車の開発動向等によっても異なると思われるが、37.5億～61.7億Nm<sup>3</sup>/年と予測されている。[2] [3] [4] [5]

このような大量の純水素を新たに製造し、流通させることが社会として求められる。

水素燃料の要求スペック（水素純度等）は、今のところ明確に定められてはいないが、現時点では不純物の燃料電池への影響を排除するため99.99%以上の純水素が水素ステーションなどには要求されているのが実態である。燃料電池自動車が普及した段階でも、かなりの高純度の純水素が求められると予想される。[6]

なお、定置型燃料電池の水素需要も考えられるが、現時点では、純水素供給型の定置型燃料電池が本格普及することは考えづらく、定置型へは既存の燃料が供給される可能性が高いと考えられる。

## 3. 石油・化学業界の水素バランス

### 3.1 石油・化学業界の現状の水素バランス

石油業界では、原油を処理して硫黄分や窒素分の極めに少ない高品質の石油製品を得るために多量の水素を使っている。これらの水素はガソリンを生産する工程（ナフサ接触改質装置）で多量に副生する水素を主に使っているが、これだけでは水素需要を満たすことができないので、ブタンやナフサ等の炭化水素を水蒸気改質して水素を製造する装置（水素製造装置）を装備し、必要に応じてこの装置からの水素も併用している。水素製造装置の稼働率は、個々の製油所毎に大きな差異があるもののマクロで見ればそれほど高くないため、保有している水素製造装置をフル稼働させれば、大量の高純度水素を外部に供給することが可能である。

石油化学業界では、ポリエチレンやポリプロピレンな

どを生産する基礎原料としてエチレンやプロピレンを生産する設備（ナフサ分解装置又はエチレンプラント）の深冷分離工程から副生水素が回収されて、下流部門のプラントで必要とする水素を供給している。余剰となる水素は燃料用ガスとして消費されている。

ソーダ業界では、塩水を電気分解して苛性ソーダと塩素を得る過程で水素が副生する。水素の一部は工業ガスや合成塩酸原料に使われるが、半分程度は燃料として自家消費されている。

アンモニア業界では、アンモニアを作るために原料となる水素を製造している。目的生産物であるアンモニアの需要が減少すれば、保有している水素製造装置の稼働率が下がり、余力を活用して外部へ高純度水素を供給することが可能になる。

これら石油・化学業界の現状の水素バランスを表1に示す。石油、石油化学、ソーダ、アンモニアの4業界合計の水素バランスは、98億Nm<sup>3</sup>/年の余剰であり、そのうち石油業界は、64億Nm<sup>3</sup>/年と最大の比率を占めていることが分かる。

表1 石油・化学業界の現状の水素バランス  
(単位：億Nm<sup>3</sup>/年)

業界	供給	需要	バランス
石油	188	124	64
石油化学	31	18	13
ソーダ	12	1	11
アンモニア	42	32	10
合計	273	175	98

(注1) 石油、アンモニア業界の水素製造装置は、稼働率100%と仮定。

(注2) 石油業界の水素製造装置以外の装置は、稼働率85%と仮定。

(注3) 石油化学、ソーダ、アンモニア業界の装置は、実稼働ベース。(2001年、化学工業統計年報等)

(出所) 参考文献 [1]

製油所における水素バランスの詳細を表2に示す。軽油のサルファー規制が将来的に強化（硫黄含有量500ppm→10ppm）されると水素消費量は約15億Nm<sup>3</sup>/年増加するが、それでも約49億Nm<sup>3</sup>/年の余力があると試算される。

表2 製油所の水素バランス (軽油 500ppm 対応時)  
(単位: 百万 Nm<sup>3</sup>/年)

水素の発生・製造	接触改質装置	8,457
	水素製造装置	10,437
	発生・製造の合計	18,894
水素の消費	ナフサ脱硫装置	451
	灯軽油脱硫装置 (軽油 10ppm 対応時)	3,114 (4,636)
	間接脱硫装置	2,737
	直接脱硫装置	4,222
	水素化分解装置	1,924
	潤滑油水素化精製装置	21
	潤滑油脱ろう装置	2
	消費の合計 (軽油 10ppm 対応時)	12,471 (13,993)
	水素の発生・製造 - 消費 (軽油 10ppm 対応時)	6,423 (4,901)

(注) 推計に使用した水素発生・消費の原単位は、石油学会が発行するプロセスハンドブックの情報、及び石油精製各社への聞き取り調査をもとに、平均的な原単位を想定した [7]。

(出所) 参考文献 [1]

### 3. 2 石油・化学業界の水素供給ポテンシャルの将来見通し

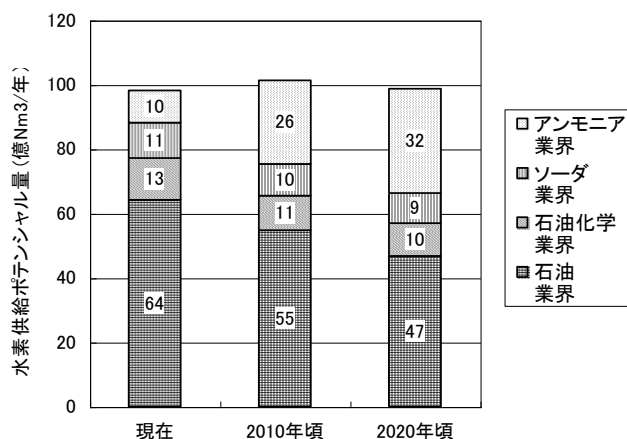
図1は、石油・化学業界の今後の水素供給ポテンシャルの見通しを示したものである。

石油業界の水素供給ポテンシャルは、主に軽油のサルファー規制 (硫黄含有量 10ppm) 対応に必要な脱流水素需要の増加や、ガソリン車の燃費改善に伴うガソリン需要の漸減による接触改質装置からの副生水素減少などが見込まれるため、現在の水素供給ポテンシャル 64 億 Nm<sup>3</sup>/年が、2010 年に 55 億 Nm<sup>3</sup>/年へ、2020 年に 47 億 Nm<sup>3</sup>/年と漸減すると予想される。

石油化学業界は、今後エチレン生産量の減少が予想されており、これに伴って副生水素の発生が減少し、同様に、ソーダ業界も苛性ソーダの生産減少により副生水素の発生が少なくなっていくと予想される。

また、アンモニア業界は、アンモニアの国際競争力が低下していることから、今後国内生産量が大幅に減少していくと予測される。アンモニア合成用水素需要が低下

した分だけ水素生産能力に余裕が出てくることから、水素供給ポテンシャルは将来的に増加していくと考えられる。



(出所) 参考文献 [1]

図1 石油・化学業界の水素供給ポテンシャル

### 4. 石油・化学業界の既存設備を活用した純水素供給の可能性

#### 4. 1 石油・化学業界における高純度水素の供給可能量

石油・化学業界における水素源からの水素純度は 70% ~ 98% の範囲であり、自動車向けに水素を供給することを想定すると、99.99% 程度まで純度を高めるプロセスが必要となる。高純度精製装置としては、PSA (Pressure Swing Absorption) プロセスが主に使われており、この装置を用いると、一般的に 25% から 30% の水素回収ロスが発生する。この回収ロスと各業界の将来ポテンシャルを勘案し、各業界別の高純度水素供給可能量の見通しを試算した。結果を表3に示す。

石油業界からの水素供給可能量は 2020 年に向けてやや低下するものの依然として大きな位置を占めると予想される。また石油・化学業界の合計では、やや水素供給可能量は増加すると思われる。

2020 年時点の石油・化学業界合計の高純度水素の供給可能量は 72 億 Nm<sup>3</sup>/年と試算され、これは燃料電池自動車の水素需要 37.5 億 ~ 61.7 億 Nm<sup>3</sup>/年の全てを賄うことが可能な量に相当するものである。

表3 石油・化学業界からの高純度水素供給可能量  
(単位:億Nm<sup>3</sup>/年)

業界	現状のポテンシャル	現状の回収率	供給可能量(注2)		
			現在	2010	2020
石油	64	70%	45	38	35
石油化学	13	70%	9	7	8
ソーダ	(注1) 5	85%	5	4	4
アンモニア	10	70%	7	18	24
合計	93	-	66	68	72

(注1)ソーダ業界の副生水素は現在51%が外販等により有効利用されているため、残る49%を実際のポテンシャルとし  
(注2)水素精製装置は、ソーダ業界はドライヤー、その他の業界はPSAを想定した。回収率は、2020年では現状より5%プラスと仮定した。  
(出所) 参考文献 [1]

#### 4. 2 石油業界における高純度水素製造コスト

石油業界が既に保有している水素製造装置を有効活用し、PSA プロセスを追加装備して、燃料電池自動車向けに 99.99%以上の高純度水素を製造するとした場合のコストを試算した。

能力 100 万 Nm<sup>3</sup>/年規模のプラントを想定すると、水素製造装置の残存取得価額約 13 億円(※)、PSA 追加改修費約 10 億円と見積もられ、製品水素の製造コスト(固定費・変動費込み)は約 11.1 円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> と試算された。

(※)水素製造装置の新規建設費を約 47 億円と想定し、石油精製業における有形固定資産償却累計率が 73.5% (2001 年度、8 社平均) であることから、残存評価率を 26.5%として算出した。[8]

水素を高純度に精製するためのコストは、フィードガスの水素濃度と圧力による影響が大きく、石油が保有する水素製造装置からの水素は水素濃度約 97%、圧力 1.6MPa であるため精製にかかるコストは小さいと思われる。

#### 4. 3 高純度水素のデリバードコスト

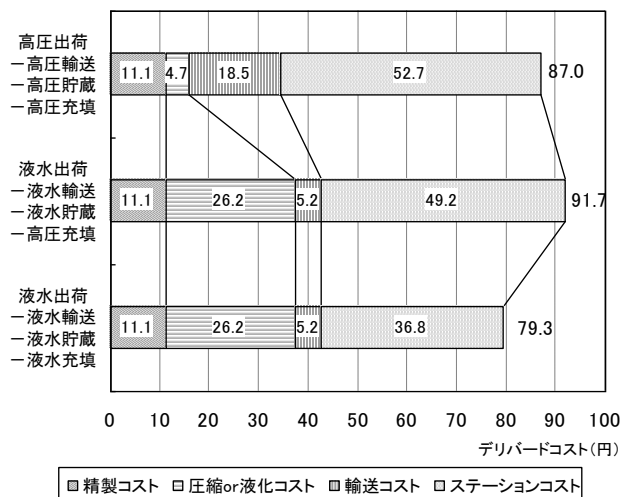
製油所等からの純水素を流通させるには、水素の製造コストに加え、水素の圧縮/液化、輸送、ステーションの各コストが追加される。平成 13 年度「WE-NET 第 II 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究」における検討結果を準用して、これらのコストを加算したデリバードコストを試算した [5]。

プラント規模、ステーション規模の大小により、デリ

バードコストは大きく異なってくるが、ここでは、水素製造プラント、圧縮/液化設備については大規模なものを想定、水素ステーションの規模は現行の大型ガソリンスタンド程度の規模 (500 Nm<sup>3</sup>/h) を想定した。

結果を図 2 に示す。デリバードコストは、圧縮水素で流通かつ自動車へ高圧充填のケースで 87.0 円/Nm<sup>3</sup>、液体水素で流通かつ自動車へ高圧充填のケースで 91.7 円/Nm<sup>3</sup> と試算された。

ただし、この試算は現時点でのものであり、将来ローコストで効率的な水素の輸送方法が開発されれば、流通段階におけるコストはかなり低下する余地があることに留意すべきであろう。



(出所) 参考文献 [1]

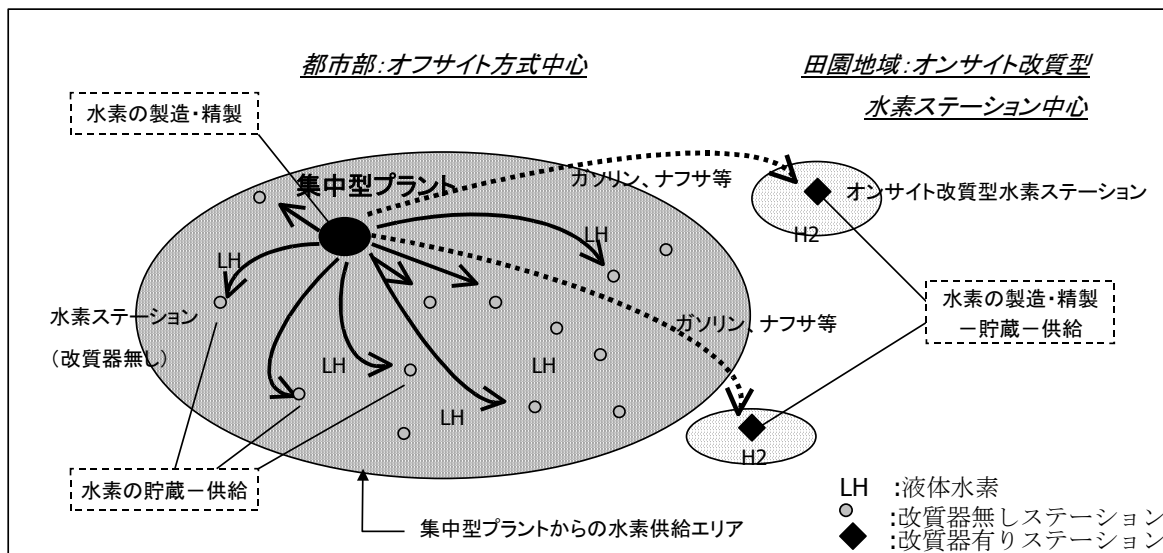
図2 高純度水素のデリバードコスト試算

### 5. 水素社会に向けた石油業界の役割と期待

#### 5. 1 中長期的な水素供給システムイメージ

自動車への水素供給システムは、オフサイト方式/オンサイト型/オンボード改質のいずれのシステムが最適であるか、また、オフサイト方式の場合に水素の輸送方法は、パイプライン/液水ローリー/圧縮水素トレーラー/その他のいずれの方法が最適であるか、現時点では判断ができず、将来的な水素の貯蔵・輸送技術や改質器の技術開発状況に加えて、水素需要量、既存の燃料供給インフラ、立地環境などの各要因により、最適なシステムが決まってくると考えられる。

図3は、現時点の情報から実現可能性のある中長期的



(出所) 参考文献 [1] をもとに価値総合研究所にて加筆

図3 中長期的な水素供給システムイメージ

な水素供給システムイメージを描いたものである。

中長期的な水素供給システムのイメージは、オフサイト方式とオンサイト型が並列したシステムである。

オフサイト方式は、全体の水素需要量が多くなれば、基本的にコスト競争力が高い方式であると考えられるため、石油化学コンビナートなどの集中型プラントを中心とした周辺地域においては、オフサイト方式が中心的な位置を占めるのではないかと考えられる。その場合の水素の流通形態は、液体水素（ローリーによる輸送）が相対的に有利であり、集中型プラントからの供給エリアもかなり拡大できると思われる。ただし、長期的に、水素が中心的エネルギーとなった場合などには、幹線として水素パイプラインを敷設し、そこから、水素を配給するシステムも考えられる。

しかし、水素の輸送コストは既存の石油系燃料に比べるとまだ高く、したがって、純水素を輸送するよりも既存燃料（ガソリン、ナフサ等）を消費地まで輸送し、オンサイト改質型ステーションにて水素を製造・供給したほうが経済的となる地域もあると考えられる。即ち、水素供給システムとしてはオフサイト型とオンサイト型のシステムが併用されると考えられよう。

なお、集中型プラントからの水素供給エリアの具体的な範囲や距離、オンサイト改質型ステーションの立地地域や箇所数などについては、今後具体的に検討する必要がある。

## 5. 2 石油業界の役割と期待

オフサイト方式の水素供給システムにおける水素源として、石油・化学業界の既存設備からの水素は量的にも多く重要な位置を占めると考えられる。なかでも石油業界は、石油化学コンビナート内において最大の水素供給ポテンシャルを有しており、かつ水素製造装置を保有していることから需要に合わせた水素生産が可能である。

また、石油業界は、生産から流通、小売販売に至るまで、大規模で一貫したエネルギー供給インフラ・拠点ネットワークを保有しており（表4）、自動車への水素流通・小売システム、ネットワークを比較的容易に構築できるポジションにあると考えられる。

石油業界は、石油化学コンビナートからの水素供給ポテンシャルの高さ、石油化学コンビナート内での位置付け、水素の流通・小売システムを構築していくためのインフラ・拠点を既に保有していることなど、水素社会に向けて重要なポジションにあることを認識して、将来の純水素の供給システム構築に向けて積極的に貢献していくことが望まれる。

具体的には、例えば、石油化学コンビナート内の各業界からの余剰・余力水素を集約し、精製、圧縮/液化、輸送・貯蔵、小売販売を行う一連の仕組みを構築することにより、安価で効率的な水素エネルギー供給システムを構築していくことが考えられるが、その仕組みの構築に向けて石油業界がリーダーシップを発揮していくことが望まれる。

表4 石油業界が保有する水素／  
エネルギー供給インフラ

生産設備	・大規模な水素製造装置（既存設備）
流通設備	・油槽所 600 ヶ所、タンク約 4000 ヶ所 ・内航タンカー約 800 隻、ローリー約 53,000 台、セミトレーラー約 3,700 台 ・全国規模の大規模配送システム ・LPG 充填所約 2,700 ヶ所
小売設備	・小売店約 24,000 店 ・サービスステーション約 45,000 ヶ所 ・LPG スタンド約 1,900 ヶ所 ・消費者ブランドイメージ

（出所）参考文献 [1]

- ためのエンジンを開発せよ」～」、平成 14 年 5 月 27 日
- [5] 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）第Ⅱ期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究」、平成 14 年 3 月
- [6] 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用成果報告会 予稿集 ー固体高分子形燃料電池に関する技術開発ー」“固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業ー自動車用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備ー”、平成 15 年 3 月 11 日
- [7] （社）石油学会編、「石油精製プロセス」、講談社、1998 年
- [8] 日本政策投資銀行、「産業別財務データハンドブック 2002 年版」、2003 年

## 6. まとめ

石油・化学業界は、既に保有する設備を有効活用すれば、大きな投資をすることなく 2020 年時点で 72 億 Nm<sup>3</sup>/年の高純度水素を供給することができると見込まれ、燃料電池自動車 500 万台分の水素需要の全量を十分に賄うことが可能である。

また、石油業界は、燃料油の生産から流通、小売まで一貫したエネルギー供給インフラ・拠点ネットワークを保有している。

石油業界は、このような重要な位置付けにあることを認識し、水素社会への移行に向けて、水素供給システム・ネットワークを社会の中に構築していくにあたり、積極的に貢献していくことが望まれる。

## 参考文献

- [1] （財）石油産業活性化センター、平成 14 年度環境対応型石油関連調査事業「水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査」、平成 15 年 3 月
- [2] 燃料電池実用化戦略研究会、「燃料電池実用化戦略研究会報告」、2001 年 1 月 22 日
- [3] 燃料電池実用化戦略研究会、「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」、2001 年 8 月 8 日
- [4] 副大臣会議燃料電池プロジェクトチーム「燃料電池プロジェクトチーム報告書～日本発プロジェクト X「地球再生の