

水素社会への移行に向けて

戦略調査事業部 副主任研究員 石倉 雅裕

はじめに

昨今、地球温暖化対策、大気汚染対策、エネルギーセキュリティ向上、産業競争力向上など多様な観点から、燃料電池／水素エネルギーの導入に期待がかかっており、様々な立場からこれらの普及を進める施策が検討されている。

また、産業界にとっても、既存のエネルギー業界や自動車業界、家電業界、各種部品メーカー等の勢力地図が一変する可能性がある重大な技術であり、各社とも大きな関心をもって開発を進めている。

一方、“水素社会への移行”という言葉により連想されるイメージは、立場や視点等によって様々なようである。“燃料として水素を使う”という点は、おそらく一致していると思われるが、供給燃料はこれまで通りで燃料電池本体の導入に集中している議論から、再生可能エネルギー起源等の水素を広く社会に行き渡らせるインフラを構築し、水素利用も燃料電池のみに限らないという議論まで様々である。

しかし、ターゲットとする時期や内容の如何にかかわらず、燃料電池／水素エネルギー利用に関する議論や事業が様々な立場で行われることはおおいに歓迎すべきことである。ITが社会やビジネスを変えたように、燃料電池も大きなインパクトのある技術であり、様々な立場から多数の議論を積み重ねることが、今後の水素社会移行には必要であろう。

水素社会移行のドライバー ～燃料電池～

水素社会移行へのドライバーは、何といてもPEM型（固体高分子形）の燃料電池車及び定置型燃料電池（家庭用、業務用）である。

1. 燃料電池自動車

燃料電池車の普及により自動車からのCO₂排出量が削減され、都市内の大気環境が改善される。

従来のガソリン自動車は、車両効率が16%と低く総合効率は14%程度である。即ち8割以上のエネルギーが排熱として捨てられている。

一方、燃料電池車は、車両効率が50～60%程度と見込まれている。水素を何からどのように作るかにより総合効率は異なるが、例えば、天然ガス由来の水素のケースで、将来的に42%程度（目標値）となっている。即ち、従来ガソリン車と比べCO₂排出量は約1/3程度まで削減することが十分可能である。

[表1] 燃料電池自動車の車両効率、総合効率

	燃料効率 (%) Well to Tank	車両効率 (%) Tank to Wheel	総合効率 (%) Well to Wheel
ガソリン車	88%	16%	14%
ガソリンHV	88%	37%	32%
高圧水素FCV (HV制御なし)	58%	38%	22%
FCHV-4 (HV制御あり)	58%	50%	29%
FCHV 目標	70%	60%	42%

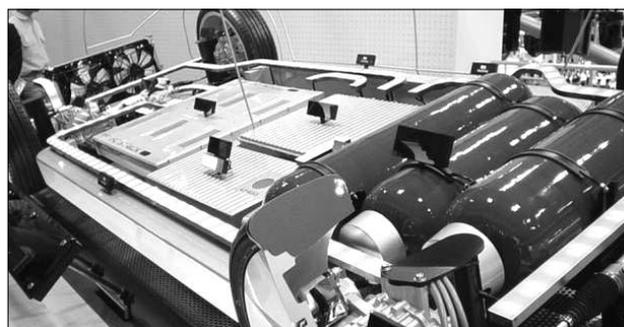
(注) F C Vの燃料は天然ガス由来の水素を想定

出所：TOYOTA FCHV BOOK

大気汚染対策としても、燃料電池車は水蒸気しか排出しないため、特に都市内では極めて有効である。

また、燃料電池車は、静粛性やスムーズな加速感など商品性が向上することに加え、エンジン車とは別種の新しい技術・コンセプトが満載である。例えば、燃料電池本体のほか、車載タンク、インホイールモーター、補助電池等の新技術、空間デザインの自由度向上などがある。日本の自動車産業・関連部品産業の浮沈がかかっているといえる。

[図1] トヨタ・燃料電池コンセプトカー Fine-N



出所：東京モーターショー（2003年）

2. 定置型燃料電池

定置型燃料電池は、PEM型のほかに、SOFC（固体酸化物形）、MCFC（熔融炭酸塩形）、PAFC（リン酸型）があるが、前2者は燃料として純水素を必要とせず、後者は既に実用化されているもののコストの問題からあまり普及していない。水素社会のドライバーとしてはPEM型燃料電池となろう。

定置型燃料電池は、発電時の排熱が有効利用でき、発電と熱利用を合わせ総合効率75%以上が確保できる。（参考文献 [1]）電力・熱を地域で融通する仕組みを構築すると、熱を使い切れるかが課題となるが、トータルで見ると省エネが可能となろう。

ただし、定置型燃料電池へは都市ガス、灯油、LPGなど既存燃料が供給され、その場で水素を作りながら発電するという仕組みが主流であるため、その場でのCO₂や有害物質の発生は避けられない。将来的に、現在の都市ガス配管網のように、各家庭まで水素パイプラインが行き渡れば、各家庭等でのCO₂や有害物質発生はゼロになる。

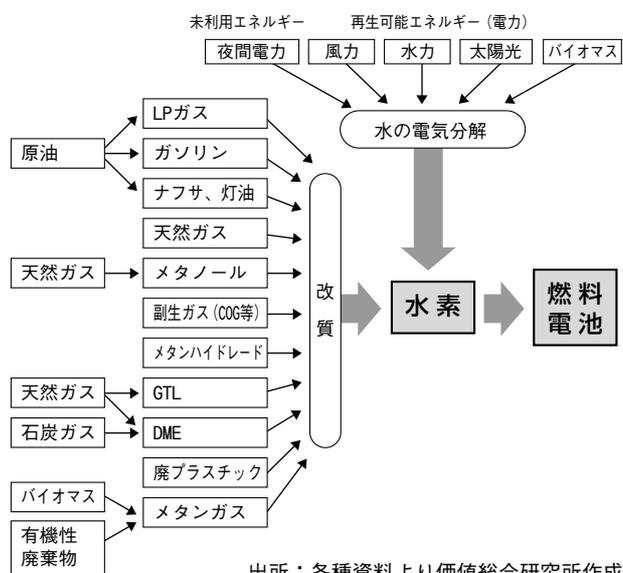
また、静粛性、クリーン性、高効率性等の利点をいかして、定置型燃料電池は、災害対応用の電源としても導入が期待されている。

水素社会の水素源

水素は、化石燃料等の改質や水を電解することにより得られる2次エネルギーである。

したがって、何を起源とする水素を使うかによって、水素社会の意義は異なる。

[図2] 様々な水素源



1. 副生水素の利用

エチレン製造やソーダ電解、コークス製造などの過程で副生水素が発生しているが、一部は十分活用されず燃料として燃やされている。

副生水素は、他の製品を製造するために出てきてしまう水素であり、これを有効活用することは、地球温暖化の観点、エネルギーセキュリティ面、化学産業等の付加価値向上のいずれの面でも意義があると考えられる。

2. 化石燃料の改質による水素製造

ナフサやブタン・天然ガスなどの水蒸気改質等により、炭化水素から水素を取り出すことができる。

現時点でも、石油製油所等には大規模な水素製造装置が設置されており、その余力を使えば大量の水素を外部供給可能である。

また、水素ステーションに小型の改質器を設置すれば、ナフサや天然ガスを改質して水素を供給することが可能になる。

このような化石燃料起源の水素に対しては、「結局は石油を使うのだから環境問題には寄与しないのではないか」といった批判を耳にする。しかし、石油起源の水素を使ったとしてもCO₂排出量は半減できる。なぜなら燃料電池の発電効率が非常に高いためである。

さらに、将来的には集中型プラントの水素製造装置にCO₂の分離・固定化装置を付加することも可能である。

なお、エネルギーセキュリティ向上の観点からは、石油から天然ガスへシフトする分だけ中東依存が緩和されることになる。

3. バイオガスや廃プラスチックからの水素製造

生ごみ・家畜糞尿・下水汚泥等から発生するメタンガスや廃材・木屑などからの木ガスなどのバイオガス、廃プラからの混合ガス等より、水素を取り出すことができる。

これらは廃棄物を原料としており、廃棄物の有効活用、およびCO₂ニュートラルであるという点で評価できる。

また、国内で原料が調達できることから、エネルギーセキュリティ向上にも寄与する。

4. 水電解による水素製造

水を電気分解すれば水素が発生する。

電力は、電力グリッドを通じどこでも入手できる便利なものであるという反面、貯蔵できない、高価であるといった難点がある。また、風力発電や太陽光発電は出力が安定せず貯蔵できないという難点がある。

そのような特性を考慮して、夜間の安価な電力を利用する移動式水電解装置や太陽光発電等と組み合わせた水素ステーションが開発されたり、清掃工場の廃熱由来の電力を利用して水素を供給する構想などが検討されている。

再生可能エネルギーを使った水素は、トータルでCO₂フリーであり、ある意味究極の姿といえる。既に、アイスランドではその豊富な水力・地熱エネルギーによる電力で水素を製造し、自国の運輸部門のエネルギーを全て賄う計画を進めている。

水電解水素に対しては、「発電のロス、水素製造のための電解のロス、燃料電池での発電のロスなど、多くのロスがあり、無駄ではないか」という批判がある。確かに、一般的な批判としてはあてはまるが、電力は貯蔵できないという欠点を補う一つの方法として、また再生可能な水素を製造する方法としては有効である。

また、他の水素源との比較で考えると、水素を使う場所でクリーンに水素を製造できるというメリットも大きい。

5. まとめ

このように、経済性を別にすれば潜在的に水素の供給ポテンシャルはかなりあるが、各水素源が持つ意義は異なることに留意しておく必要がある。

これらのポテンシャルと意義を踏まえつつ、経済的な水素供給システムの構築に知恵を絞っていくことが必要である。

水素輸送の問題

現時点では、水素の安全で経済的・効率的な輸送方法は確立されておらず、水素の発生場所から水素の使用場所までの配給方法が問題である。

水素の輸送・貯蔵方法としては、圧縮水素（トラック、パイプライン）、液体水素、水素吸蔵合金、水素吸蔵材料（カーボンナノチューブ、グラファイト等）などが挙げられる。しかし、現時点における現実的な技術は、圧縮水素か液体水素に限られ、それらも課題を抱えている。

【表2】圧縮水素、及び液体水素輸送の課題

圧縮水素	液体水素
<ul style="list-style-type: none"> 圧縮水素は、エネルギー密度が小さいため、一度に運べる量が限られること（トラック輸送のケース）。 パイプラインは、建設コストが高いこと。 ステーションでの貯蔵場所を広くとる必要があること。 	<ul style="list-style-type: none"> 液化エネルギーが大きい（水素自体がもつエネルギーの約1/3）。 ボイルオフによるロス（輸送時、貯蔵時、容器の移し替え時など）が大きく、不可避であること。

出所：価値総合研究所作成

水素輸送技術に関し、技術的なブレークスルーが強く望まれるところであり、例えば、将来水素を缶入り固体（粉末）として扱えるようになれば、コンビニなどで入手可能となり、燃料の流通形態が様変わりする可能性もあろう。

また、ガス体の輸送には、パイプラインが優れており、どの地方でも容易に水素を入手できるよう、新たな国家的公共事業として、水素幹線パイプライン網構築も視野に入れる必要がある。

将来の水素供給システム

水素を輸送・貯蔵することが容易でないことから、水素を輸送する必要がないオンサイト方式（ステーションなどで水素を製造する方法）も選択肢の一つであり、また定置型燃料電池では、都市ガスや灯油等を供給しその場で水素を製造する方法が主流になっている。

平成14年度より実施されているJHFCプロジェクト（燃料電池車のデモプロジェクト）では、様々な方式による水素ステーションの実証試験を実施中である。

【表3】日本に存在する主な水素ステーション

設置者	設置場所	稼働時期	水素製造（貯蔵方式）
東邦ガス	愛知県・東邦ガス	01/2	都市ガス改質（オンサイト）
岩谷産業	大阪市・大阪ガス	02/2	天然ガス改質（オンサイト）
日本酸素	高松市・四国総研	02/2	水電解（オンサイト）
岩谷産業/鶴見曹達	横浜市・鶴見曹達	02/8	副生水素（圧縮水素）
日本酸素	経済作業省	02/12	移動式ボンベ（移動式）
コスモ石油	横浜・大黒町	03/3	脱硫ガソリン改質（オンサイト）
新日本石油	横浜・旭区	03/4	ナフサ改質（オンサイト）
東京ガス/日本酸素	東京都・千住	03/5	LPG改質（オンサイト）
岩谷産業/昭和シェル	東京都・有明	03/6	副生水素（液体・圧縮）
ジャパンエアガシス	神奈川県・川崎市	03/9	メタノール改質（オンサイト）
出光興産	神奈川県・秦野市	04/3	灯油改質（オンサイト）
栗田工業/シナネン/伊藤忠エネクス	神奈川県・相模原市	04/3	アルカリ水電解（移動式）
パブコック日立	東京都・青梅市	04/4	都市ガス改質（移動式）

出所：各種資料より価値総合研究所作成

【図3】東京都 有明水素ステーション（オフサイト型）



出所：価値総合研究所

将来の水素供給システムの行方は、現時点では誰も分からない。もし水素の貯蔵・輸送技術が格段に進歩すればオフサイト方式が経済性を持ち、自動車はもとより定置型燃料電池へも純水素が供給されるシステムとなることもあろう。一方、小型で安価・効率的な改質器や水電解装置の技術開発が進めばオンサイト方式や改質器付き燃料電池が経済性を持ち、既存の燃料供給インフラがかなりの部分活用できるシステムとなるだろう。

また、水素源についても同時に考えなければならない。当面は、経済性の点から化石燃料起源の水素が中心となるだろうが、石油枯渇化が顕在化してくるに伴って、再生可能エネルギー起源の水素（風力発電・太陽光発電、バイオマス由来等）にシフトしていくものと思われる。

石油化学コンビナートからの水素供給システム

弊社では平成14年度（財）石油産業活性化センターからの委託により、石油化学コンビナートからの水素供給可能性について調査を行った。当面の水素供給システムとして有望なものと考えられるが、以下にその概要を紹介したい。（参考文献 [2]、[3]）

石油・化学業界からの水素供給可能量は、2020年時点想定すると、全部で72億Nm³/年と試算された。これは2020年の導入目標である燃料電池車500万台（全体の約7%）の水素需要38億~62億Nm³/年の全てを賄うことが可能な量に相当する。

〔表4〕石油・化学業界からの高純度水素供給可能量

（単位：億Nm³/年）

	現状のポテンシャル	現状の回収率	供給可能量		
			現在	2010	2020
石油	49	70%	34	38	35
石油化学	13	70%	9	7	8
ソーダ	11	85%	5	4	4
アンモニア	10	70%	7	18	24
合計	83	—	55	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た。

（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。回収率は、2020年では現状より5%プラスと仮定。

出所：参考文献 [2] より価値総合研究所にて修正

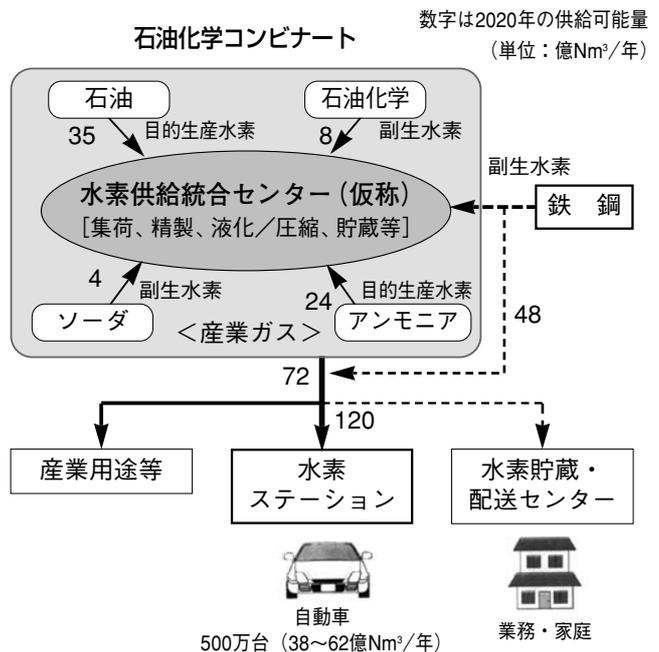
また、水素のコストは、約11円/Nm³（精製後、輸送コストやステーションコストは含まず）と試算され、かなり安価である。よって、量的にもコスト的にも有望な水素源であると考えられる。

一方、石油、石油化学、ソーダ、アンモニアの各工場

は大部分がコンビナート内に位置しており、相互にパイプラインで結ばれているなど緊密な関係にあることから、各業界が連携して水素を外部に供給していく仕組みが有効と考えられる。

また、石油業界は、これまで構築してきたエネルギー供給インフラ・拠点ネットワークを有効活用すれば、今後の水素社会構築において大きな役割を果たすことができる。

〔図4〕石油化学コンビナートからの水素供給システムの概念図



出所：参考文献 [2]

おわりに

水素/燃料電池の普及には、将来のビジョンを示しつつ、導入初期、導入期、普及期などの各段階毎に適切な施策や事業を実施していくことが必要である。

環境や経済へ多大なインパクトを与えるこの燃料電池/水素エネルギーが離陸するためには、官と民の適切なパートナーシップのもとに、水素に関する共通的な技術開発や水素インフラ整備を進めていくことが重要であろう。

参考文献

- [1] 平成14年3月「燃料電池コージェネレーションシステムのエネルギー転換効率評価に関する調査」NEDO
- [2] 平成15年3月「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」（財）石油産業活性化センター
- [3] 水素エネルギーシステムVOL.28 NO.1 2003「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・石倉雅裕