

水と水素で循環する水素エネルギー社会

八木 一三

1. 水素社会とは

昨年、日本の自動車メーカーが燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle: FCV）を発売し、クリーンな水素社会という言葉が現実味を帯びてきました。また、2020年に予定されている東京オリンピックでも都内の会場に水素燃料電池や水素燃焼装置を導入し、FCVや燃料電池バスを利用した交通網を張り巡らすことで、水素の積極的な利用を計画しています。既に国内では2008年以降、家庭用燃料電池「エネファーム」が販売されており、ご家庭に導入している方もいらっしゃるかもしれません。一方で、水素社会に否定的な書籍や本格普及は2050年以降になる、といった記事をご覧になった方もいらっしゃると思います。実は、それら否定的な意見の主なポイントは、燃料となる水素ガスを完全にCO₂フリーで作れていないことやインフラ整備に巨額の費用がかかってしまうことに尽きます。これらは、水素エネルギー普及段階での問題であり、日本が目指す水素エネルギー社会に移行するために避けては通れない関門でもあります。もちろん、全てがうまく進めば、非常に優れた循環型エネルギー社会が実現できますが、中途半端に進んでしまうと、袋小路に入ってしまう、良く報道で目にするガラパゴス化という結果になりかねません。現時点での水素エネルギーはまだまだ選択肢の一つでしかありません。将来、より良い選択をするためには、水素エネルギーの長所と短所を把握し、どうして現在の日本が水素エネルギーに注力しているかを知ることが大事なのです。



図1 トヨタ自動車のFCV「MIRAI」

2. 水素は二次エネルギー

水素分子 H₂ は、水素原子が2個くっついた形をしています。水素原子は原子核に陽子を1個、その周辺に電子を1個持っています。太陽系における元素分布を調べると、質量比では70.7%、原子数比では実に90%が水素ということになります。なぜ質量比と原子数比で異なるかという、水素原子は非常に軽いからです。水素分子の質量は水素原子の倍になるとはいえ、他の元素と比べると軽いため、水素分子はすぐに大気圏外に放出され、地球上にはあまり存在しません。つまり天然ガスなどのように水素田を探し当てて大儲けできる可能性は皆無です。一方、私たちの周辺には、水素原子を含んだ

化合物が大量にあります。それは言うまでもなく H_2O 、水です。私たちの体もほとんどが水ですが、地球上には至る所に水が存在しています。水を電気分解すれば、正極から酸素ガス、負極から水素ガスが発生します。つまり水から水素ガスを作り出せば、ほぼ無尽蔵な水素燃料を私たちは得ることができるのです。しかし、水素ガスを得るためには、電気を流さなければなりません。他にも水素ガスを得る方法があり（図 2）、現在最も多用されている化石燃料改質はむろんのこと、原子力発電所や工場の副生成物として得る方法、そして光触媒を使って直接水素を得る方法も研究されています。水素ガスを何らかの方法で得る、ということは一次エネルギーを使って、水素分子という形で（二次的な）化学エネルギーに変換することに他ならないのです。当然、水素ガスを製造する際に、一次エネルギーの損失が必ず生じます。エネルギーは発生したそのままの状態で見ることが最も効率的で、例えば太陽光発電で得た電気は、電気エネルギーとしてそのまま利用することが最適です。しかし、余った電気は溜めておくことが難しいのです。二次電池に溜めるといっても考えられますが、二次電池は劣化が起きますし、急速かつ大量の充電が苦手です。水力発電所では、夜間の余った電気で水を上流のダムに汲み上げ、位置エネルギーとして蓄える揚水発電という方法を使ってエネルギーを蓄えています。同じように、水素エネルギーの場合は電気で水素を作り、化学エネルギーとして蓄えるのです。

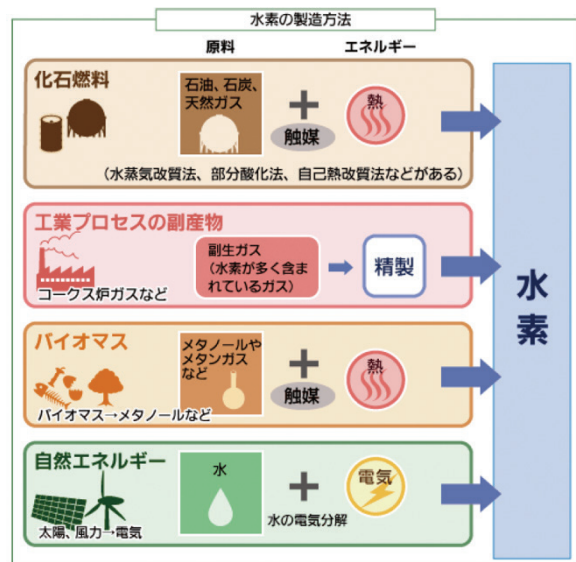


図 2 様々な水素の製造方法
NEDO『水素エネルギー白書』より

3. 「水素発生と燃料電池」は、「光合成と呼吸」に似てる？

製造した水素をどのように使うのでしょうか？水素には、水素燃焼と燃料電池の2つの用途があります。どちらも生成物は水です。水素燃焼では、水素の化学エネルギーが熱に変換され、燃料電池では電気に変換されます。燃料電池では発電中の反応で生じた熱を利用すること（コージェネレーション）もできるので、熱を回収して利用すれば、エネルギー効率は燃料電池の方が高くなります。水素-酸素燃料電池では、負極で水素ガスの酸化反応、正極で大気中の酸素ガスの還元反応が起こり、水が生成します（図 3）。これと似たような過程が、生体内の呼吸です。生体内の呼吸では、炭化水素（糖）の酸化反応によって、筋肉を動かすエネルギー源である ATP（アデノシン三リン酸）を作り

だし、最終的には二酸化炭素（CO₂）と水として排出します。燃料電池では水素の酸化反応によって電気エネルギーを作りだし、水を排出するのです。一方、植物は太陽（光）エネルギーを受けて、CO₂を炭化水素に変換し、酸素を発生します。これが光合成です。太陽電池で得た電気を使って水素発生をさせると、正極からは酸素が発生します。このように、太陽電池を用いた「水素発生と燃料電池による電気エネルギー生成」は、生体（植物）内における「光合成と呼吸」との関係によく似ています。水から太陽エネルギーを使って水素と酸素を発生し、それらを使って電気エネルギーを作り出し、水だけを排出する。つまり水と水素（と酸素）だけで循環できるのが、目指すべき真の水素社会なのです。

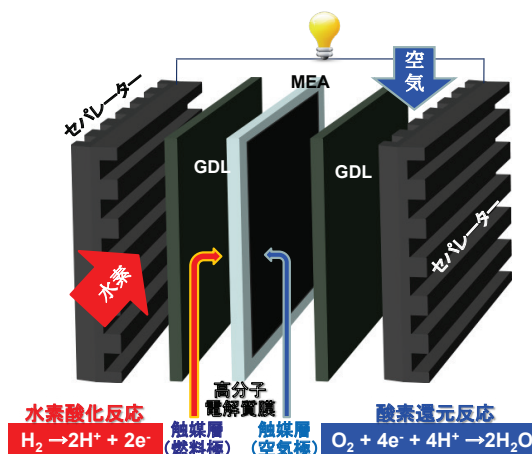


図3 固体高分子形燃料電池の構造

4. エネファームとFCVのエコロジー

残念ながら、現在のエネファームは、家庭に届く天然ガスやプロパンガスを改質して水素を製造して燃料電池を運転しています。天然ガスを燃焼して熱エネルギーとしてのみ取り出すよりも、一旦水素ガスを生成して、それによって燃料電池で発電し、排熱を使って温水を得る方が全体のエネルギー変換効率は高くなります。しかし、天然ガスの主成分はメタン（CH₄）であり、プロパンガス（C₃H₈）も炭素を含んでいますので、化石燃料ガスから水素ガスへの改質段階ではCO₂の発生を避けられません。したがって、本質的にCO₂フリーとは言い難い状況が存在しています。FCVについても、水素ステーションの水素ガスが何処でどのように作られ、何処まで運ばれたのかを知っておく必要があるでしょう。例えば、火力発電所で作られた電気を使って、水の電気分解で水素を製造し、その水素をタンクローリーで長距離運搬し、液化水素としてタンクに充填される場合、実際には発電時の化石燃料、運搬時の化石燃料、保管時の電気など、それぞれの過程で大量のCO₂を発生していることとなります（これは電気自動車（EV）の場合も同じで、EVを充電するときの電気がどのように作られたかが重要です）。水素ステーションから先のことだけではなく、水素発生時のエネルギー源からFCVに充填するまで、つまりwell-to-wheel（井戸から車輪まで）のCO₂発生量を含めて考えなければなりません。

5. 水素社会のサステナビリティ

先程までの話で、結局水素エネルギーも CO₂ 発生させてるじゃないか、と悲観的になった方もいらっしゃるかもしれません。しかしながら、現在、既にオンサイト型水素ステーション、つまり太陽電池で水電解を行って、そこに水素を溜めておき、FCV や FC バスが充填しにくる、という地産地消の水素エネルギー利用が先進国では始まっています。この場合はまさに太陽光エネルギーベースの CO₂ フリーなエネルギー循環が実現され、水素社会のサステナビリティが試されています。

日本でもメガソーラーと水素発生装置を組み合わせた CO₂ フリー水素のプラントが複数計画されています。さらに、水素ガスに関する規制を緩めて、将来的にはセルフ方式の水素ステーションを関東以西にネットワーク的に構築してゆくことが進められています。残念ながら北海道・東北地方には定置型水素ステーションが設置される時期が未だ白紙の状態ですが、2016年3月、室蘭市に移動型水素ステーションが導入されました。北海道では、これを皮切りに、2016年から2040年までの整備計画を発表しています。機会があれば、北海道庁のホームページ (http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/tot/suiso_vision.htm) から「北海道水素社会実現戦略ビジョン」をご覧になってみて下さい。



図4 MIRAIの水素ガス充填口。現在は高圧ガス取扱免許が必要でセルフ注入できないが、将来は規制緩和される見込みです。さらに、この規格が世界標準になるかもしれません。