

教養教育としての知識 2

－ 水素社会 －

Knowledge of Liberal Arts Education

－ Conversion to Hydrogen Society from Carbon Society －

松本治彦

Haruhiko Matsumoto

附属地域研究所

宇部フロンティア大学附属地域研究所年報 Vol.7 No.1 2016

要旨：自然科学の分野で社会教養として知っておくべき知識について、調査する研究を実施している。その第2弾として「水素社会」について調べた。その結果、「新聞に記載されている内容」の範囲で、次のような研究成果は知っておくべきであることが分かった。

水素社会の到来は、発電を全面的に水素に置き換える時期がポイントになる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも2070年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。その前の過渡期として「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電が主になる。

「水素社会」実現に向けて取り組む項目は、水素利用の飛躍的拡大、家庭用燃料電池のエアコン並みの価格、燃料電池自動車のコスト低減である。

**Key Words**：社会教養としての知識、自然科学、水素社会、燃料電池、燃料電池車、水素発電

## 1. はじめに

最近の新聞で話題となっていること、例えば「COP21、2020年以降の地球温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」を採択し、今世紀後半には二酸化炭素排出ゼロを目指す（2015年12月13日）」「燃料電池車の発売開始」「偏西風蛇行と北極振動」「火星に水？」「エルニーニョとMJ0？」「炭素革命から水素革命へ」「大気汚染とPM2.5」「ナノマシンとは？」などの記事が載っています。これらの内容をどのように理解すればよいのか？難しい世の中になりました。「理系の間だからこれくらいのことは理解しているでしょう」とか、「文系の間だから知らなくて当然です」と言いたくなるかもしれません。しかし、今の社会では、これら情報の理解度と真偽の判断が、各人のその後の人生に影響を及ぼすことがあります。

そこで、現在の社会教養として必要なこれら自然科学の知識について「新聞記事に掲載されている内容」を目安に、まとめることにしました。今回の研究では、その第2弾として「水素社会」について、チャレンジしてみました。

## 2. 概要

水素の供給量は燃料電池車への供給に限定すると現在の日本の供給能力で十分である。しかし、発電にも水素を利用すると追加の供給が必要になる。

水素の製造プロセスで生ずるCO<sub>2</sub>排出は、再生可能エネルギーを用いた水電解を行った場合には非常に少ない。汚泥による水素製造も有力である。副生水素（苛性ソーダ、鉄鋼）は、副次的に発生する点を踏まえると、CO<sub>2</sub>の排出は非常に少ない。また、光触媒による水素製造（人工光合成による方法）は二酸化炭素フリーであり、将来の理想的な製造方法と言える。

家庭用燃料電池は、50万円を切るときに大幅に普及する可能性が高い。さらに、エアコンと同じ程度の20万円台になると、全家庭への普及が進む。将来は水素を天然ガスの代わりにガス管を通じて供給することになる。

燃料電池車の市場は、2020 年が 1 つの契機となる。東京オリンピックをきっかけとした海外へのアピールで、燃料電池車の引き合いが広まる可能性が高い。日本では、大衆車（200 万円台）に燃料電池を搭載するようになれば、水素ステーションが整備され、大幅に普及が進む。

水素社会がいつ訪れるのか？そのキーポイントは、現在の火力発電の主力である天然ガスによる発電を全面的に水素にいつ、置き換えるのかによる。発電を全面的に水素で置き換えることにより、水素の生産コストは下がる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも 2070 年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。この時点で発電は「原子力」「再生可能エネルギー」「水素」の 3 つになる。日本のような火山国では「原子力発電」は不向きである。そうすると、「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電となる。再生可能エネルギーを使って水素を製造する、あるいは太陽光を使って直接水素を製造することで、家庭用の電力、自家用車は自給できる。大規模発電も水素になれば、完全に水素社会が実現できる。

### 3. 基本知識

#### 3-1 水素とは

水素は元素番号で 1 番目、記号は「H」です。全くの無色透明で臭いもしない。地球上で最も軽い気体、マイナス 253 度以下に冷やすと液体になり、体積は 800 分の 1 ほどになる性質がある。地球には豊富にあるが、水素分子「H<sub>2</sub>」単体ではほとんど存在しない。

#### 3-2 水素をどのように利用するのか

水素は以前より宇宙ロケットの燃料、石油精製・半導体工場に必要な産業用ガスとして使っている。また、バターの添加剤、口紅やビタミン剤の原料にもなっている。

この研究で取り上げる水素の利用方法は、燃料電池を使った家庭での発電（廃熱利用の給湯も含む）及び車の動力源としての利用です（この 2 つの利用方法はすでに実用化している）。またガス発電への利用は試験運用の段階です（後述）。

#### 3-3 電気の発生

電気とは、電荷という電気の性質を持った粒子のことです（世間一般には、電灯や電力のことを電気と言っている）。この粒子は、マイナスの電荷を帯びた電子とプラスの電荷を帯びた陽イオンです。この粒子の流れが電流、つまり電流は電荷の移動、電気量は電荷が持つ電気の量です。

電流はプラス側からマイナス側に流れる。このとき電子は、反対にマイナス側からプラス側に流れる。両者の向きが反対なのは、電流が電子の流れであることを発見する前に、電流の流れる向きをプラスからマイナスと決めてしまったからです。

### 3-4 電池の原理

化学電池は、プラス極、マイナス極の物質と電解質からなり、化学反応を利用して電気を取り出す仕組みで、様々な種類がある。

化学変化と電気を結びつけるにはイオンの存在が必要です。金属（陰極）を電解質溶液に入れると金属が溶解して正の電荷を持った金属原子（金属イオン（+））が電解質溶液中に広がり、金属（陰極）には電子が置き去りにされた（負の電荷の蓄積）状態になる。

もう一方の電極（陽極；電解液に溶けない金属を選ぶ）を電解質溶液に入れても電極が溶解しないので電子は発生しない。

そこで、この電極（陽極）と電子が蓄積された金属（陰極）を導線で接続すると、陽極側に導線を通じて電子が移動し、電解質溶液中に拡散している金属イオンが陽極に引き付け、陽極の表面で金属イオンは電子をもらって元の元素に戻る。

この過程で、溶解によって過剰になった金属（陰極）の電子は電極（陽極）に流され、溶解された金属イオンは電極（陽極）に移動する。これは金属（陰極）の溶解が続く限り金属（陰極）から電極（陽極）から電子が流れ続ける（電流は逆方向）ことなる。これが電池の原理です。

### 3-5 燃料電池

燃料電池は、水素と酸素の化学反応を利用して電気を作る発電装置です。水素を燃料電池のマイナス極に供給、空気をプラス極に供給すると電気が発生する。

水素はマイナス極の触媒で活性化され電子を放出し、水素から離れた電子がマイナス極から導線を通してプラス極に流れることで電気が発生する。電子を放出した水素は水素イオンとなり、マイナス極から高分子電解質膜を通りプラス極に移動する。プラス極の触媒で空気中の酸素と水素イオンと電子（マイナス極から導線を通してプラス極に到達した電子）が結合し、水が生成される。

燃料電池は、高分子電解質膜に触媒を塗った MEA (Membrane Electrode Assembly) をセパレーターで挟んだ「セル」で構成している。一つのセルの電圧は1V以下と小さいため、数百のセルを直列に接続し、電圧を高めている。セルを重ねて一つにまとめたものを燃料電池スタックまたはFCスタックと呼んでいる。燃料電池は、この燃料電池スタックのことを指している。

水素を利用した燃料電池の特徴は、エネルギー効率の良さです。水素を燃やすことなく直接、電気を取り出せるので、理論的には水素の持つエネルギーの83%を電気エネルギーに変えることができる。ガソリンエンジンと比較すると、およそ2倍以上の効率です。

### 3-6 電解質、触媒、電極、セパレーター

電解質は、水などの溶媒に溶け、電離して陰陽のイオンを生じる物質です。触媒は、特定の化学反応を速める物質です。その物質自身は反応の前後で変化しない。電極は、電流

を通す時の電気が流れ出る方（＝陽極）と流れ込む方（＝陰極）との両端につけた導体です。セパレーターは、燃料電池セル同士を区切る導電性平板で、一對のセパレーター間には発電に必要な電解質膜・電極等が納められている。

#### 4. 水素の製造

水素は化石燃料のように一部地域に限定されたエネルギー資源ではない。また様々なエネルギー源から、どんな場所でも製造できる。現在、水素は宇宙ロケットの燃料、石油精製や半導体工場に必要な産業用ガスに使われ、バターの添加剤、口紅やビタミン剤の原料の一部にも利用されている。国内では年間 150 億  $\text{N m}^3$ （ノルマルリューベ；0 度 1 気圧のガスの標準時の体積を表す単位）の水素が生産されているが、その 95%以上が石油精製や化学プラントなどの自家消費に使われている。

水素はクリーンなエネルギーと言われているが、「どんな方法で作られる」かがポイントとなる。例えば家庭用の燃料電池（エネファーム）は、都市ガスから水素を抽出することで、効率よく電気や温水にしようというエコ製品です。効率よくエネルギーを使う意味ではエコですが、利用する水素は天然ガス由来、つまり原料は二酸化炭素を排出する化石燃料です。一方で、製油所や化学プラントで発生する水素は、副次的に出るガスなので環境負荷は小さい。産油国から副生ガスを水素にして日本に運ぶ試みも始まっている。さらに、木材や汚泥などバイオマス資源から生まれる水素や、太陽光や風力など自然エネルギーで作る水素もある。究極的には光触媒パネルで水と光から製造する方法がある（図 1 参照）。

2013 年 8 月 6 日日経によると『「水素大国」日本の夜明け、余剰能力で 1500 万台分賄う。実は、日本は水素大国だ。製鉄などの副生成物として大量に発生するほか、ガソリンなどを精製する際、硫黄分を取り除くためにつくる大量の水素が今後は製油所の縮小で余剰になる。日本の生産能力は年間約 300 億  $\text{N m}^3$ 。これに対し、石化や産業ガス、ロケット燃料などで使われる総需要は約半分だ。余剰の能力を活かせないか。これを使えば例えば水素で動く燃料電池車が年間 1500 万台動かせる計算。日本は厳しい二酸化炭素の削減目標に挑み、東日本大震災の後には天然ガスの輸入増加で貿易収支の改善が課題になっている。』

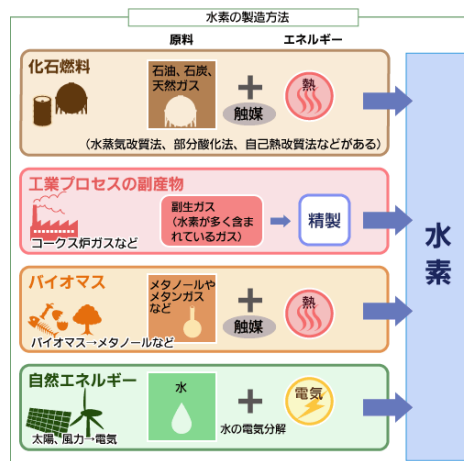


図1 水素の製造方法

(NEDO 水素エネルギー白書 2014 より抜粋)

NEDOエネルギー白書2014によると「現在、国内の水素供給は150億Nm<sup>3</sup>程度であり、その大半は製油所における脱硫プロセスや工場におけるボイラー等の燃料として自家消費されており、産業ガスとして外販されている水素は2億Nm<sup>3</sup>程度にとどまっている。しかしながら、製油所の水素製造装置を用いた追加的な水素製造や、苛性ソーダ製造に伴って発生する副生水素の外販、更には追加的に導入される水素製造設備による水素製造等によって、2030年頃の追加の供給ポテンシャルは120～180 億Nm<sup>3</sup> 程度になるとの試算がある。この追加的な水素供給量は、燃料電池自動車換算で900 万～1,300 万台程度であることから、当面の間は国内の水素供給能力で対応可能とも考えられる。しかし、水素発電が現実化すると、より大きな水素需要が発生することになる。仮に2030 年までに新設・リプレースされるLNG火力発電に50%の水素が混合された場合（混焼）、水素需要は最大で220 億Nm<sup>3</sup> が必要になり、我が国の供給ポテンシャルを超過する可能性があるとの試算もある。」

上記のように、水素の現在の日本の供給能力は燃料電池車への供給に限定すると十分であるが、発電にも水素を利用すると追加の供給が必要になる。

以下に水素の製造方法をまとめた。

#### 4.1 副産物としての水素

化学コンビナートでは、ソーダなどの製造過程で大量の水素が副産物として発生する。その量は年間約 32.9 億 Nm<sup>3</sup>です。水素は山口県の瀬戸内のコンビナートでも豊富に発生し、全国の約 1 割を占める。周南市のトクヤマなどがカセイソーダ製造時に出す水素は純度が高い。塩を水に溶かして電気分解すると、カセイソーダと水素ができる。

資源エネルギー庁によると「食塩電解により苛性ソーダを1トン製造する際に、副生物として水素が280Nm<sup>3</sup>発生する。苛性ソーダの生産量（平成24年度は357万トン）から見積もると、苛性ソーダ製造プロセスで発生する副生水素は約10億Nm<sup>3</sup>です。」

水素は石油精製や製鉄の生産過程でも生じる。鉄鋼の製造過程では一定量の水素を含む副生ガスが発生、これを精製して純度を上げることで水素ガスとして利用できる。特に石炭を乾留（蒸し焼き）してコークスを製造する過程で発生するガスのうち、約 55%は水素で、その量は資源エネルギー庁の試算で約 70 億 Nm<sup>3</sup>です。

石油精製の過程では、一部副生水素が発生するものの、全て脱硫等に用い、水素が不足するため主としてナフサ等から製造し追加投入している。この水素製造装置の稼働率を上げることで、外部へ供給する水素製造が可能。しかし、追加供給には追加の原料投入が必要であり、「副生」とは言えない

アンモニア製造は、水素に空気中の窒素を固定することで行う。この際に用いられる水素は、主として水素製造装置を用いて化石燃料等から製造される。このため、水素製造装置の製造余力を用いてさらに水素を製造することは可能である（これも追加供給には追加の原料投入が必要であり、「副生」とは言えない）。

#### 4.2 化石燃料から水素生産

天然ガス、LPG、ナフサ、石油などの炭化水素からの水素製造は、水蒸気を用いてガス化する水蒸気改質法などによって行われており、製油所やアンモニア製造所における水素製造装置にも用いられている。この他、工業用に小型の水素製造装置の販売も行われており、水素ステーション向けの水素製造装置も開発されている。家庭用燃料電池は都市ガスを燃料とし、水蒸気改質法による「改質」により水素を生成する方法を採用し、既存の都市ガス供給のインフラを活用している。

#### 4.3 再生可能エネルギーから製造

電力会社が受け入れ不可能なほど太陽光発電が各地で稼働すれば、せつかく作った電気でも、捨てるしかない。しかし、余った電気で水を電気分解して水素を作れば、エネルギーの「貯蔵」が可能になる。太陽光発電から作った水素は二酸化炭素フリーであり、地球環境問題の解決に寄与できる。

資源エネルギー庁によると「再生可能エネルギーなどにより発電された電力を用いて水素を製造する水電解システムについて、大型化するとともにより低コスト・高効率となるよう技術開発を行っている。」

以下に、新聞記事より明らかとなった取り組みを紹介する。

2014年8月25日読売によると『「余る再生エネで水素製造」環境省が乗り出す。土地が広く、太陽光パネルを設置しやすく、風力発電に適した風も吹きやすい北海道では、太陽光発電や風力発電を手掛けえる企業の進出が進み、再生可能エネルギーで得られる電気が余ることが予想されている。余剰分は本州に送電することも可能だが、北海道と本州をつなぐ海底送電線は容量が限られており、道内の再生可能エネルギーを十分に活用できない恐れがある。このため、環境省では、この地域の力を最大限に生かすため、余った

電気で水を分解して水素を作り、電力消費地の関東に燃料として運ぶ仕組みを設ける。来年度から数カ所でモデル事業を実施。水の電気分解装置、貯蔵するタンク、水素ステーションへの最適な輸送方法などを検討する。3年程度での本格実施を目指す。』

2015年9月25日の読売によると『「太陽光」需給調整に限界、契約済み設備完成相次ぐ、九電「一時停止指示」不可避か。九州電力が「太陽光発電が増えすぎ、停電の恐れがある」として、事業者との接続契約を中断して25日で1年。1月には無制限に発電停止を指示できる新ルールを導入し、契約を再開した。この結果、申請件数は減ったが、旧ルールで契約していた設備の完成が相次ぎ、供給過剰の懸念は払拭されないままだ。6月4日、正午からの1時間に管内の太陽光発電の平均出力が過去最高の407万kwに達した。原発4基分に相当し、この間の需要(1016万kw)の4割を賄った。だが、出力は夕方から急激に落ち、夜はゼロになった。電力は需要に対し、供給が多すぎたり少なすぎたりすると電圧が乱れ、停電を招く。』

また、2015年10月8日の日経によると『風力送電網「風」読み違え、北海道の新設計画凍結へ、かさむ投資、採算合わず、首都圏への送電整備も不足。三井物産、ソフトバンク傘下のSBエナジーなどが北海道北部での送電線の新設計画を凍結する。送電線の整備凍結により、SBエナジーが計画する最大出力60万kwの風力発電所建設もメドが立たなくなる見通し。』

2015年4月21日の読売によると『硫黄島(鹿児島三島村)では地熱発電で水素製造を行う計画が進んでいる。川重と大林組が実証プラントの建設に向け、今年度から掘削調査に入る。2020年までの実用化を目指す。硫黄島の活火山である硫黄岳(703m)に着目、山頂付近には多数の噴気孔があり、900℃程度の高温の火山ガスが常時噴出している。通常地熱発電と違い、深く掘削しなくても高温の火山ガスが得られる利点がある。

計画では、火山ガスで水を沸騰させ、蒸気でタービンを回して発電する。水素を取り出すための水は海水を淡水化して使う。製造した水素ガスはマイナス253度に冷却して液化し、タンクに貯蔵し、フェリーで島外にコンテナ輸送する。硫黄島では2013年度から基礎データの収集を始め、1日18トンの液体水素の製造が可能という。燃料電池車で3600台分を賄える計算となる。今年度はボーリング調査を行い、早ければ2016年度から実証プラントの整備に入る。』

地熱発電、風力発電、太陽光発電が有力な場所の多くは、送電網や遠隔地などのために直接我々が電力を利用するのに問題がある。このような地域では発電した電力で水素を製造し、それを貯蔵し、必要に応じて電力の燃料として供給するほうが適している。

以上のように、再生可能エネルギーを使った水素製造の取り組みは、水素利用拡大によって本格的な事業展開をする。

#### 4.4 汚泥から水素

全国に汚泥発酵でバイオガスをつくる下水処理場は約300か所ある。その約3割に当た



る 8500 万 m<sup>3</sup>が利用されずに空気中に放出されている。この国内の下水処理場の余剰エネルギーを使えば、FCV260 万台分の水素を作ることができる。

2015 年 4 月 1 日の読売によると『福岡市が九大などと連携して建設した水素製造・供給施設「水素ステーション」の完成式典が市中部水処理センターで行われた。下水の汚泥から水素を作り、燃料電池車に販売する世界初の施設となる。

同市や九大、民間企業 2 社が共同で、下水を活用した技術の開発を進める国の事業を活用。総事業費約 13 億円の全額補助で建設。行政向けの供給を始める。センターで下水を処理した後に残る汚泥発酵でメタンガスを収集、水蒸気と反応させて水素を発生させ、隣接の供給設備で販売する仕組み。1 日あたり FCV65 台分の水素を製造可能で、供給設備での補充時間は 3 分程度という。市などは 4 月中の一般販売を目指す。国と協議して正式に販売金額が決定するまでは、行政が保有する FCV にのみ供給する。』

このように、メタンガスから水素を発生する仕組みも本格的になる。

#### 4.5 光触媒パネルで水から製造（人工光合成による製造）

光触媒に太陽光が当たることで、水から直接水素を取り出すことが可能となる。太陽光発電と同様に天候に左右されるものの、将来的に実用化されれば、二酸化炭素フリーで水素を製造することが可能となるため、期待される技術です。

資源エネルギー庁によると「水や二酸化炭素を原料に、太陽エネルギーを用いてプラスチック原料等の基幹化学品を製造するプロセス開発の一環として、水から水素を製造する光触媒の研究開発を行っている。」

2015 年 4 月 1 日の日経によると『東大・三菱化学などの研究チームは銅などが混ざった触媒を応用し、太陽光を使う効率を 2.2%とこれまでの最高にできたという。2021 年度末までに、実用化の目安となる 10%の変換効率を目指す。研究チームは銅やビスマスという材料を組み合わせた触媒を作った。水中に沈めて光を当てると、水素と酸素が出てくる。水素だけが通り抜ける膜で、水素だけをより分けた。これまでの効率は同チームで 0.2%。研究は産学が参加する新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）のプロジェクトの一環。将来は赤道直下で水素を大量に生産し、火力発電所などで排出した二酸化炭素と反応させて有用な物質に変えたいとしている。』

2015 年 7 月 4 日の日経によると『パナソニックは新エネルギーとして水素を家庭で簡単につくる技術を開発する。太陽光で水を分解して水素を得る仕組みで、パネル状の装置を屋根に敷き詰める。家庭で使う電気を全量賄える性能を視野に「ポスト太陽電池」として 2030 年ごろに実用化を狙う。同社が独自に開発した「ニオブ系窒化物触媒」は可視光でも水素を生み出せる。パナソニックは住宅を水素工場にする。』

2016 年 2 月 1 日の日経によると『豊田中央研究所が化学原料となるギ酸の合成に関し、エネルギー効率を 4.6%まで高めたと発表した。半導体基板の片面に貴金属のイリジウムを使った触媒、もう一方の面にルテニウムの触媒を張り付けた素子を開発。これを水の中に

入れ、二酸化炭素を吹き込みながら太陽光を当てると、高い効率で合成できた。人工光合成の性能は、照射した光エネルギーの何%を合成した有用物質のエネルギーに変換できるかで決まる。サトウキビの効率は約3%。』

上記した光触媒パネルで水素を作る試みは、人工光合成のことである。将来的には、この方法による水素製造が主体となれば本当の意味での水素社会の到来となる。

## 5. 家庭用燃料電池の普及状況

家庭用燃料電池の開発は2000年末ごろから急速に進んできた。現在（2015年）、この電池は累積販売台数で10万台を超えている。国の目標は2030年に全世帯（2008年10月総務省統計調査では住宅5759万戸、世帯数4997万世帯）の1割としている。つまり、普及数は約500万世帯を目標にしている。2015年4月の価格は160万円です。メーカーが2010年代後半に50万円台としている目標も現実味を帯びてきている。

NEDOエネルギー白書2014によると「2009年に世界に先駆けて家庭用燃料電池システムの市場導入を実現、政府は普及促進のため補助金による支援制度を実施。補助金の金額は技術開発の進捗によるコスト低減効果で、年ごとに減額、2015年度末で終了する予定。」

また、同報告書では「2013年度のエネファーム出荷台数は、固体高分子型燃料電池（PEFC）システムが32,431台、固体酸化物型燃料電池（SOFC）システムが1,434台であり、2014年4月末における普及台数は76,780台。2009年の市場投入当初は300万円程度であったユーザー負担額（設置工事費込み）は、国の補助金制度も含め、現在、概ね150万円程度で半減している。」

この電池普及のこれまでの経過を以下にまとめた。

2000年12月19日の読売によると『資源エネルギー庁が長期エネルギー需給見通し（1998年）では、2010年度には国内発電容量の1%、220万kwがこの電池で賄うと予測している。東京ガスの実験では、発電で生じる熱を給湯などに活用すれば発電効率は火力の2倍の80%になる。価格は50万円程度で5年後の実用化を目指す。』

2001年1月4日の日経によると『日石三菱は、この電池の発電システムを2004年を目処に、市場に本格投入すると発表。価格を100万円程度、最終的には20万円程度まで安くしたい』としている。

2002年6月13日の日経によると『三菱重工が都市ガスを燃料とする固体高分子型燃料電池の実用化にめどをつけたと発表。2005年に都市ガス会社を通じて販売予定。量産化が進む2010年ごろには20万～30万円と見込んでいる』と記載されている。

このように各社は燃料電池発売を2005年までに実現、価格も20～50万円とするような発表をしていたが、現実にはこの時点（2005年）では発売していない。

その後、この電池の開発には大阪ガス、西部ガス、日立、NEC、新日鉄、ホンダ、松下、荏原、出光、東芝、コスモ、積水ハウス、TOTO等の企業が参入し、2009年に入ってようやく価格、補助金などの設定に関する発表があり、発売が現実味を帯びてきた。

2009年1月29日の日経によると『東京ガス、新日本石油など都市ガス、LPGの大手6社が、2009年度からこの電池を1台320万円強で発売すると発表。政府の補助が140万円あるので個人負担は180万円強になる。初年度の販売目標は4000～5000台である。』

2009年2月21日の読売によると『大規模な実証実験が福岡県前原市で行われている。これは、福岡県が発足させた産学官の戦略会議が2008年10月～2009年2月にかけて、この電池システムを150世帯に設置し、4年かけて機能の改善点や光熱費の節約状況などを調べる。実証実験の費用は1戸につき、システム本体が300～400万円、工事費が100万円程度、国がシステム本体に220万円、県が工事費に40万円を補助、各家庭は基本的には光熱費のみを負担している。普及に向けてはコストダウンが最大の課題』としている。

2010年3月20日の日経によると『「燃料電池、酸化物型の研究進む、東ガス「家庭用」寿命5倍に」2010年代前半の実用化をめざし、固体酸化物型燃料電池の研究が加速。東京ガスなどは家庭用の寿命を従来の5倍に延ばす技術を開発し、実証実験を始めた。日立製作所なども業務用で長時間の連続稼働に成功。火力発電所よりも発電効率が高く、優れた商品として普及を狙う。

東京ガス、京セラ、リンナイ、ガスターが共同開発したSOFCの実証実験が昨年12月に始まり、「ほとんど劣化は見られず、5年間は持ちそうだ」。

2011年7月26日の日経によると『燃料電池、補助金底つく、家庭用の今年度分、電力不足懸念で販売急増、メーカー失速警戒』

東日本大震災の影響で全国の前発が停止し、電力不安により燃料電池が急激に売れ、補助金が底をつく事態となった。

2012年1月16日の日経によると『国内ガス大手が、都市ガスを使う家庭用燃料電池事業を拡大。原子力発電所の再稼働が不透明な中、家庭でも電力不足への対応や停電などの事態に備えるニーズが増すと判断、分譲地に一括提供する販売手法や価格を抑えた製品の投入で需要を喚起する。東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの家庭用燃料電池「エネファーム」の12年度の販売目標台数は1万4400台。11年度実績見込みの9250台を大幅に上回る。

エネファーム普及へのハードルのうち、導入価格は1台200万円以上で、国の補助金を受けても最低150万円程度の自己負担が必要となる。しかも今の補助金制度は15年度までに切れる。各社はメーカーと協力してコスト引き下げを急いでおり、東京ガスは「できるだけ早く100万円を切りたい」、大阪ガスも「10年代後半頃に50万～60万円に」と意気込む。』

2014年10月11日の日経によると『JX日鉱日石エネルギーは、10日、来年3月末で「エネファーム」の自社製品の開発と生産を終えると発表。製品は東芝から仕入れて販売する。』そして2015年2月5日の日経によると『東京ガス、パナソニックの「エネファーム」は現行より30万円安い、160万円で発売した。』

今後の展開としては、この製品が50万円を切るときに、大幅に普及する可能性が高い。さらに、エアコンと同じ程度の20万円台になると、全家庭への普及が進む。水素を天然ガ

スの代わりにガス管を通じて供給すれば全家庭に普及する。

## 6. 燃料電池車の普及状況

2014年12月、トヨタ自動車は燃料電池車（FCV）「ミライ」を発売した。世界初の市販車として注目を集めるが、燃料の水素を補給する水素ステーションの整備などの課題も多い。さらに、ホンダが2016年3月に燃費でミライを100キロ上回るFCVを発売する（720万円）。

この燃料電池車普及のこれまでの経過を以下にまとめた。

### 6-1 燃料電池車の創成期

2000年5月7日の日経によると『エンジンの代わりに燃料電池を動力源に使う電気自動車が期待を集めている。化石燃料を燃やすと有害物質の発生や地球温暖化などの環境問題が避けられないが、水素と酸素を反応させる燃料電池なら無害な水ができるだけだ。ただ問題は、その水素をどう供給するか。未来の低公害車を目指し、様々な知恵が絞られている。燃料電池は水の電気分解とちょうど逆の反応を起こしてエネルギーを取り出す発電装置だ。酸素は空気中にあるが、水素は人為的に供給する必要がある。最も単純な方法は、水素そのものを自動車に積んでしまう方法。2002年にダイムラー・クライスラーが欧州で発売する予定の燃料電池バスがこの方式。燃料電池自動車の実用化第1号となる。天井に巨大なボンベを積み、圧縮した水素ガスを蓄える。』と、私は初めて燃料電池車の紹介記事を読んだ。

2000年8月12日の日経によると『GMとエクソン・モービルが燃料電池車の普及型技術を開発したと発表。同時に水素をガソリンから取り出す技術を確認し、一般普及にメドをつけた。米フォード・モーターもこの技術を採用する公算が大きく、燃料電池車はガソリンスタンドと言う既存インフラを活用した形で広がる可能性が強まっている。2003年前期の実用化に向けて公道などでの走行試験に乗り出す。フォードもほぼ同様の技術を使うと見られる。GMとエクソンが開発したシステムは改質器と呼ばれる装置を使ってガソリンから水素を取り出す。化学反応が始まる温度を千℃前後まで下げられるようにし、装置の軽量小型化で燃料電池車価格の大幅引き下げにつながるうえ、燃費効果の向上も可能にした。GMによると、燃費効率は通常ガソリンエンジンの二倍、二酸化炭素や窒素酸化物の排出量も大幅に減少する。』ここでは、ガソリンを改質する案が有力になっている。

2000年11月27日の日経によると『三菱重工業、三菱自動車工業が燃料電池の開発でダイムラー・クライスラーと提携し、4年から5年以内に小型軽量の燃料電池車を共同開発して量産化すると発表。開発ではトヨタ自動車とGM、ルノーと日産自動車がそれぞれ提携している。三菱重工業は、メタノール改質技術に強みを持ち、技術を共有しやすい。これに対し、米GMはガソリンの改質技術を本命視している。ダイムラー・クライスラーの日本法人はすでに日石三菱と燃料電池車の燃料供給インフラの共同研究を始めている。』ここでは、メタノールVSガソリンとなっている。

2000年12月12日の日経によると『燃料電池の技術開発で先行するのがカナダのバラード・パワー・システム社である。ダイムラー・クライスラーとフォード・モーターの両社は、いち早くこの技術に目を付け、バラード社と提携した。このグループで燃料電池車市場をリードすることを狙っている。これに対する勢力が、電気モーターとガソリンエンジンを効率よく組み合わせて走るハイブリッド車を、いち早く市場に投入したトヨタ自動車である。トヨタ自動車は、独自の技術開発を進めると共に、GMとも燃料電池車の開発で提携している』。ここでは、燃料電池車 VS ハイブリッド車となっている。

燃料電池車に水素を供給方式は、純水素を供給、メタノール、天然ガス、ガソリンのそれぞれを改質して取り出した水素を供給する方法の4つがある。純水素を供給する方式はさらに、水素吸蔵合金を使う方法、高圧でガス充填した水素を使う方法、千代田化工建設の有機ハイドライド方法の3つに分けられる。

2001年1月1日の日経によると『トヨタ、GM、エクソン・モービルの3社が燃料電池車を共同開発する方向で最終調整に入った。ガソリンから取り出した水素を化学反応させて電気を作り、車を動かす仕組みだ。燃料電池車は世界的な統一規格が定まっていないが「トヨタ・GM・エクソン連合」は世界標準の確立を目指し、主導権を握る考え。米カリフォルニア州が2003年から市販車の10%を二酸化炭素を出さない無公害車とするように自動車メーカーに義務付けるなど、世界各地で環境規制が強まっており、自動車メーカーは動力源としてガソリンを燃焼させる現在の方式からの転換を迫られている。』ここでは、トヨタ、GM、エクソン・モービルが共同でガソリンを使った燃料電池車の開発に乗り出したことが掲載されている。

2001年2月14日の日経によると『ダイムラー・クライスラーとマツダは、走行試験を始めると発表。ホンダも独自開発した電池を使って、米国で公道試験を始めた。三社のほか、トヨタ自動車、GMなども性能テストを急いでおり、各社は1年から3年後をメドに実用化に踏み切る。電池に必要な水素の供給方法や装置のコスト削減など課題が克服されれば、将来は自動車だけでなく家庭の電源など幅広い用途が期待される。』

2002年7月12日の日経によると『「燃料電池車 GM、日本で公道実験、トヨタは年内発売 主導権争いに熱」』

2002年7月18日の日経によると『燃料電池の実用化へ向け、官民共同プロジェクトが始動する。経済産業省が17日発表した計画概要によると、「燃料電池自動車」「水素供給施設」「自家発電設備」の実証試験にトヨタ自動車、新日石など26社・団体が関与、3年かけて課題を探る。』

## 6-2 燃料電池車、発売へ

2002年7月26日の日経によると『「トヨタ・ホンダ、燃料電池車発売へ、究極の低公害車「実用化」幕開け」』

2002年7月31日の日経によると『燃料電池車、来年度中に発売、日産、2年前倒し、日

本限定』

2002年11月19日の日経によると『燃料電池車を来月発売、トヨタ国内初、まず省庁へ。トヨタは国内初の燃料電池車を12月2日から内閣官房、経産省、国土交通省、環境省に各1台リース方式で販売、1回の水素充填で300km、リース料は月額120万円。』これが、当時の内閣総理大臣小泉首相が乗っていた1億円とも言われた、国産初の燃料電池車で直接、水素を燃料としている。

2004年6月4日の日経によると『エタノールなどの代替エネルギー、利用や開発、米で急加速、GM・フォード対応車種を拡大、シェブロン・BP燃料電池で攻勢』

### 6-3 燃料電池車の低迷期

これ以後、新聞紙上から燃料電池車に関する話題はほとんどなくなった。代わって家庭用燃料電池の話題が多くなった。次に燃料電池車に関する記事が掲載されたのは、2007年になってからである。

2007年9月15日の日経によると『白金使わず燃料電池、ダイハツ、軽自動車搭載目指す、コバルトやニッケル利用、低コスト技術、環境車需要で希少金属高騰、日産・ホンダも技術開発競う』

2007年10月12日の日経によると『燃料電池車、国際基準10年までに、国連部会で各国合意、日本案軸に作成』

2008年8月9日の日経によると『燃料電池車、より安く、九大が基礎技術開発、触媒にニッケル使う』

2009年3月9日の日経によると『東北大学 水素吸着の炭素物質、日産と燃料電池に利用へ』と言ったように燃料電池車の各部分の改良に関する記事が目につく。

そして当初、政府が目標としていた2010年度までに5万台普及の実現は不可能となった。2009年6月27日の読売によると『「燃料電池車普及策 効果なし、197億円投入も台数は減少」総務省は26日、総務、経済産業、国土交通、環境の4省に対し、燃料電池自動車普及策の改善を勧告した。政府として2004～2007年度に総額約197億円を投入したが、2003年度末に49台だった全国の普及台数は2007年度末で42台と全く効果が上がっていないことを指摘した。燃料電池自動車は、水素と酸素を反応させてつくった電気で走る車だ。走行時に二酸化炭素を排出しないことなどから、「次世代低公害車の本命」とされる。政府は10年度の時点で5万台普及を目標に掲げており、4省は基本的な研究開発や水素充填設備の実証試験、政府調達などに予算を投入してきた。』

### 6-4 燃料電池車の実用段階

この政府の改善勧告から1年後にトヨタが具体的な発売年度と価格を発表した。2010年6月16日の読売によると『「燃料電池車500万円前後、トヨタ、コスト1億円から圧縮」トヨタ自動車は15日、2015年に本格販売を目指している燃料電池車の製造コストが、500万

円前後になる見通しを明らかにした。普及促進のため、販売価格は製造コストに近い水準に抑えることを検討している。2000年代初頭は、製造コストが1台1億円以上とされたが、技術革新で大幅なコスト削減にメドをつけ、高級車並みの価格での販売を目指す。燃料電池車は、二酸化炭素を全く排出しない「究極のエコカー」と言われているが、現在は製造コストが極端に高く、普及の壁となっていた。トヨタは、燃料の水素と酸素を反応させて電気を作り出す燃料電池に使われるプラチナなど貴金属の使用量や部品点数を減らすことに成功し、価格低下に道筋をつけたという。燃料電池車は、ホンダや米ゼネラル・モーターズ（GM）、独ダイムラーなども開発に力を入れている。500万円程度の価格が実現すれば、普及に一気に弾みが付く可能性もあり、各社の戦略にも大きな影響を与えそうだ。』

2012年6月30日の日経によると『「燃料電池車で先行狙う、BMWと提携拡大、トヨタ、ハイブリッドと並ぶ柱に、世界で陣営構築」トヨタ自動車とBMWが29日、長期的な協力関係の構築で合意した。トヨタがハイブリッド車（HV）に加え、燃料電池車の技術まで含めて包括的に手を組むのは初めて。次の市場となる燃料電池で先手を打つことになる。環境技術では日産自動車や独ダイムラーなども他社との技術連携を積極的に進めており、自動車大手を巡る陣営作りの動きが激しくなる。

トヨタが広範囲に手を組むのは、先進国を中心に環境規制の強化でエコカーが市場の中心になってきたことが背景にある。最新のエコカーの研究開発費は数千億円規模に膨らみ、負担は高い。トヨタは15年以降のエコカーについて、多目的スポーツ車（SUV）やバス、トラックなどの大型車は燃料電池、プリウスに代表される中小型の乗用車はHV、2～4人乗りの近距離移動用は電気自動車（EV）と、車の大きさで駆動方式を分ける戦略をとる。日米欧の3極で普及を進めれば、シェア拡大やコスト競争力の強化に弾みがつく。』

2013年1月23日の日経では『技術の供与を正式合意。トヨタが15年に一般販売を目指す燃料電池車の関連技術を供与、BMWは20年にも市販車を投入する計画。』

2013年3月20日の日経では『燃料電池車が変わる、1億円の車、今や500万円』

2013年4月5日の読売によると『トヨタは2015年に年700台を目標に一般販売を開始する』と発表している。

2013年6月23日の日経によると『この車の安全基準に日本の案が採用されることが国連分会で決まった。』

2013年7月2日の日経によると『ホンダがGMと連携、独自路線を転換した。』

さらに、2014年1月27日の読売によると『トヨタ、本社工場で6日、燃料電池の生産ラインが動き始めた。部品にほこりなどが混入すると発電能力を損なうため、生産ラインは巨大なクリーンルームの中に設置した。生産現場では半導体工場に並ぶ徹底した管理が求められる。トヨタは当面、燃料電池車を1日1台のペースで生産する。生産効率を見極めながら今夏に試作車の量産体制を本格的に開始し、12月には年間1000台の生産体制を築く計画。燃料電池車の普及には、燃料電池システムの小型・軽量化と、コスト削減が壁になっていた。10年前に1台1億円とされた価格は、技術開発によって1000万円を下回る水準

に下がった。ホンダも、燃料電池車を2015年に一般向けに発売する予定。20年を目標に、より安価で小型の燃料電池を開発するため、米GMとの共同開発を進めており、トヨタに対抗する考え。

政府は燃料電池車とEVの両にらみで普及を目指す構えで、設備を作る商業施設などへの支援を継続する。現在進めているEV向けの充電機器や工事費への一部補助に加え、燃料電池車に水素を供給する「水素ステーション」を15年度中に全国100か所に整備する計画。EV向けの充電設備も全5000か所以上に増えたが、マンションの駐車場などでの設置は進んでいない。最初から作る必要がある水素ステーションは「整備に手間がかかる（カルロスゴーン）」との声もある。ガソリンスタンド並みのネットワークを全国に張り巡らすのは容易ではない。水素ステーションや充電設備の整備がどこまで進むかも、自動車メーカーのエコカー戦略の成否を左右する。』

2014年5月29日の日経によると『経産省は、5月中に燃料タンクの規制を緩め、1回の充填で走る距離を今よりも2割長くする。2016年には、安全審査を国際基準にそろえ、日本製の燃料電池車を海外へ輸出しやすくする。規制緩和を受け、トヨタは速ければ年内にも車両の市販に乗り出す。1回で充填できる水素の圧力を700気圧から875気圧に高める。』

2014年6月19日の日経によると『政府は水素を燃料とする車や家庭用電池の普及に向けた工程表を策定。2015年の燃料電池車購入時の補助金を導入。500万～1千万円とみられる販売価格に対し、1台あたり200万～300万円の補助金を出す検討に入った。30年代には水素を活用した発電所の実用化をめざす。地球温暖化ガスを排出しない水素を新しいエネルギー源と位置づけ、関連産業の拡大を急ぐ。』

政府は、25年までにハイブリッド車並みの1台200万円台まで引き下げたい考え。量産によるコスト削減。販売先行の家庭用燃料電池は、15年度まで40万円前後の購入補助金を続行。輸出による販売増も見込み、20年に現行価格の半分の70万～80万円、30年には3分の1の50万～60万円まで下げることが目標とする。』

2014年6月26日の日経によると『トヨタは 年度内発売へ、700万円、補助金で負担減も。』

2014年7月19日の日経によると『燃料電池車「200万円補助」首相、普及へ支援表明』

2014年9月6日の日経によると『燃料電池車、名は「ミライ」』

2014年9月7日の読売によると『2020年東京五輪、水素活用、基本計画に、燃料電池車で選手送迎』

2014年12月6日の日経によると『「燃料電池車、増産へ200億円、トヨタ、国内2工場に、生産能力3倍、VWは20年にも投入』

トヨタはFCVミライの年産能力を2015年度末に現在の3倍に引き上げる。国内2工場に200億円程度投資する。国内の引き合いが強いほか、米国などへの輸出に充てるため、増産体制を早期に整える。VWも20年にも日米欧で投入する。世界2強の増産や参入でFCVの普及期が早まりそうだ。』



2014年12月16日の日経によると『「ミライ」販促 静かな出足、「トヨタ燃料電池車、少量生産、納車、1~2年待ちも」トヨタ自動車は15日、燃料電池車（FCV）「MIRAI（ミライ）」を発売した。当初は年産台数が限られるため販売店に実車はなく、納車まで1~2年待ちと案内する店もある。世界初の市販車として注目を集めるが、燃料の水素を補給する水素ステーションの整備などの課題も多く、「究極のエコカー」といわれるFCVの商戦は静かに幕を開けた。

トヨタは今月から年間700台の予定で生産を始めた。2015年末までの国内の販売目標は約400台だが、企業や官公庁の注文が予想以上に多く、販売店によると受注台数は約1千台にのぼる。トヨタは15年末に増産することを決めたが、納車されてもガソリン車と同じ感覚で乗り回れるわけではない。商用の水素ステーションは兵庫県尼崎市と福岡県北九州市の2か所、補助金で整備が決まっているステーションは43か所。約3万5千のガソリンスタンドと比べ、脆弱。ミライの価格は723万6千円。』

2015年1月7日の読売によると『トヨタ異例の無償提供、燃料電池車特許、普及へ他社参入促す。世界で保有する特許約5680件を全て無償提供する。無償提供の期限は、20年までの予定。水素ステーション関係は無期限。』

2015年6月23日の読売によると『最長750キロ走行、燃料電池車、ホンダが来春発売に、トヨタ、ミライを100キロ上回る。2016年3月に発売、価格は720万円でミライとほぼ同額。』

今後の展開としては、2020年が1つの契機となる。東京オリンピックをきっかけとした海外へのアピールにより、燃料電池車の引き合いが広まる可能性が高い。日本では、大衆車（200万円台）に燃料電池を搭載するようになれば、水素ステーションが整備され、大幅に普及が進むと考える。

## 7. 水素の貯蔵・運搬・インフラ

### 7.1 水素ステーション

水素ステーション設置に関する取り組みは、トヨタが先導している。水素ステーションの話題が初めて目に留まったのは、2008年7月5日の日経の記事で『燃料電池実用化推進協議会が2010年までに標準仕様を決める』と発表したものである。

その後、2012年5月11日の日経によると『トヨタ自動車が、米カリフォルニア州で燃料電池車用の水素ステーションの稼働を始めた』と発表した。遠隔地で生成した水素をパイプ経由で供給する「パイプライン型」としては全米初である。

2013年4月20日の日経によると『JXエネが初の併設スタンド（水素とガソリン）との情報。』

2014年1月15日の日経の記事で下記のように、本格的な整備計画の情報が掲載されている。『ガソリンスタンド最大手のJXホールディングは燃料電池車向けに低コストの水素供給に乗り出す。水素を安全で大量に輸送できる技術を開発。2020年をメドに新技術を使っ

た供給網を整備する。供給コストを3割程度削減、ガソリン並みに利用できる価格実現を目指す。石油元売り最大手の同社が水素の低価格化に動くことで、燃料電池車の普及に弾みがつきそうだ。

政府も15年度までにガソリンスタンドに相当する水素ステーションを国内100か所に整備する計画。ただ、同じ走行距離に換算した価格がガソリンの2倍以上とされるコストの高さと、1か所当り3億～5億円かかる水素ステーションの建設費の高さが普及の課題になっていた。

グループの中核のJX日鉱日石エネルギーが製油所で自社生産している水素をトルエンに溶かして液体化、常温・常圧の状態ですトレーラーで水素ステーションに運ぶ技術を開発した。車に充填する時点で、独自開発した触媒を使って気体に戻す。現在は気体の水素を高圧で圧縮して専用トレーラーで輸送、貯蔵している。液化すれば高強度の炭素繊維製ボンベや爆発を防ぐ設備なども不要になり、ガソリン用のトレーラーやタンクを転用できる。ステーション建設費は2億円と現行よりほぼ半減する。液化で体積を小さくして輸送量も2倍に増やせる。現状の水素の生産・流通コストは1立方メートル当たり、145円。今回開発した低コストの水素供給体制が整うと、燃料電池車の普及の目安とされる同100円以下が実現する。ステーション整備などで水素の生産量を増やすことでさらにコストを引き下げ、同じ走行距離でガソリン並みとなる同約60円に近づける計画。JXは国内の約3分の1に相当する1万1100店の系列ガソリンスタンドを持つ。すでに神奈川県海老名市など5か所に水素ステーションを開設。15年度までに40か所に増やす計画。この段階では従来技術を使うが、燃料電池車が普及期に入るとみられる20年から液体輸送を実用化。一気に供給網を広げる方針。燃料電池車は1回の燃料充てんで走れる走行距離はガソリン車並みだが15年時点の車両価格は500万円前後の見込み。水素供給量が増え価格が下がれば車両の需要が増え車両価格の一段の引き下げにつながる好循環が期待できる。トルエンで水素を液化する技術は千代田化工建設も開発を進めており、関連インフラの技術開発でも日本勢が世界をリードしている。』

2014年4月9日の日経によると『岩谷産業は周南市に液化水素ステーションを開設する。同社とトクヤマは昨年、トクヤマの徳山製造所に液化水素工場を完成させた。同工場で生産した液化水素をステーションに運び、再び気体に戻して燃料電池車の燃料として供給する。2015年春に運用開始。』

2014年5月24日の日経によると『トヨタが2015年にトレーラーに水素タンクを積んだ移動型ステーションをまず5基、自前で用意すると発表。』

2014年7月6日の日経によると『JXが水素ステーション100か所、政府、補助金で普及後押し、18年度めど発表。』

2014年12月10日日経によると『水素スタンド設置費半減』燃料電池車 普及へ規制緩和、セブン、コンビニ併設20店、政府は燃料を供給する水素ステーションの規制緩和に乗り出す。建築基準や保安規制の緩和で設置コストを半減する。エネルギー各社などの設置

計画を後押しし、2015 年度中に全国 100 か所の整備を目指す。セブンイレブンも来年度から水素ステーションを併設したコンビニを出す。高圧ガス保安法や建築基準法の関連 12 省令を 14~15 年度中に見直す。タンクに貯められる水素を増やせるように、水素の圧縮率を高め、現在は燃料電池車 7 台分しかためられない 1 か所あたりの水素の貯蔵量の上限もなくす。より多くの客を受け入れられ、採算がとりやすくなる。水素をタンクに貯める際に圧力をかける圧縮器の保安検査も簡素化する。安全を考慮し水素の充填機と公道との距離は現在 8 メートル以上が原則だが 4 メートル以上にする案が有力。太陽光発電で発電した電力を使い、その場で水から水素を生成して充填する簡易版ステーションの建設も許可する。水素ステーションの建設費は 1 か所あたり 4 億~5 億円と、欧米の 2 倍の水準だが、規制緩和によって 20 年ごろに半減を目指す。一般のガソリンスタンドの建設費（1 億円）の 2 倍程度で済むようにする。規制緩和は水素ステーション建設を加速させそうだ。セブンイレブンは岩谷産業と組み、水素ステーションを併設したコンビニを出店する。まず、15 年秋にも東京都と愛知県の 2 か所で新規開業し、17 年度までに 20 店に広げる。水素ステーションの設置費用は岩谷産業が負担し、同社が運営する。コンビニは 24 時間営業し、水素ステーションは平日の日中に営業する。岩谷産業はセブンの持つ不動産情報や店舗開発ノウハウを活用して立地条件の良い土地を効率よく探す。交通量の多い郊外の幹線道路沿いを中心に出店する予定だ。JX エネルギーは 15 年度末までに全国 40 か所、岩谷産業は 20 か所の設置を計画しているが、公道から 8 メートル離すなどの規制を満たす土地を探すのは難しい。「特に都市部で用地選定が難航している」（JX）という。建設条件の緩和でコストを抑制し適地を見つけやすくなり、計画を前倒しで達成できる可能性がある。燃料電池車はトヨタが 15 日にミライを発売し、15 年度中にはホンダも商品化する予定。普及には水素インフラの整備が欠かせないため、経済産業省は規制緩和に加えて来年度予算で建設費の 3 分の 2 程度を補助する予算 110 億円を要求している。』

2014 年 12 月 19 日の日経によると『「自由化」航海、東ガスに荒波、水素スタンド、新収益源に、首都圏草刈り場、強敵続々。2~3 年後に迫った電力・ガス小売りの全面自由化をにらみ、東京ガスが収益力の再構築を進めている。16 日には関東地方で初となる水素ステーションを開設。電気販売では 2020 年に首都圏需要の 1 割を担うと宣言する。ただ、有望市場である首都圏にライバル社が殺到するのは必至で、自由化は東京ガスにとっても荒波となる。矢継ぎ早の戦略は強い危機感の表れだ。「水素社会の実現に大きな期待と関心を持っている」。東京ガスの求仁副社長は 18 日、一般向け水素ステーションの開所式で力説。』

2014 年 12 月 22 日の日経によると『JX, 全国で水素供給、2000 スタンドに導入、低コストで生産・輸送。JX 日鉱日石エネルギーは燃料電池車（FCV）の燃料となる水素を全国に供給する体制を整える。2020 年をめどに国内 10 拠点で水素を生産し、より低コストで運ぶ技術も確立する。販売面では幹線道路沿いにある主要な約 2000 店を対象に順次水素スタンドを導入する。全国規模の供給体制が整うことで、課題とされる地方での水素スタンドの新設に弾みが付きそうだ。』

JX は 12 月下旬に第 1 号の水素スタンドを海老名市の給油所内に開く。首都圏を中心に 15 年度末までに 40 か所を整備する計画。今後、FCV の普及動向をにらみながら水素の貯蔵タンクや充填機などが設置可能な約 2 千店を対象に順次、水素スタンドの併設を進めていく。製造・輸送では新技術の導入でコストを現行の半分以下に抑える。18 年度をめどに低コストで水素を製造する技術を開発する。国内の全 7 製油所を含む 10 拠点に順次導入し、北海道から九州まで全国に供給できるようにする。

現在、水素は石油や天然ガスなどから取り出すほか、鉄鋼や化学品の製造過程で出る排ガスの中に多く含まれる。排ガスからは触媒などを使って不純物を分離し、水素を取り出している。新技術では特殊な膜で不純物を効率的に取り除き、水素の回収率を現行の約 7 割から 9 割近くに高める。水素を液体で運ぶ新技術も実用化する。高圧で圧縮し、ガス状態で運ぶ現行方式に比べタンクローリー 1 台あたり 2.5 倍の量を運べる。液状にするとガソリンや軽油を運ぶ既存のタンクローリーや内航船を活用できるため、輸送のための投資も減らせる。燃料を供給する水素スタンドは JX エネのほかに岩谷産業なども設置を進めている。現状では 100 か所程度が建設・計画されている。兵庫県尼崎市と北九州市に水素スタンドを設けている岩谷産業は水素 1 キログラム当たり 100 円で販売。1 キロメートル走るのに 10 円かかる。計算で、高級セダンベースのハイブリッド車とほぼ同等になる。このため、政府は水素スタンドの規制緩和で設置費用、20 年をめどに半減させる方針を打ち出し、FCV の普及を後押しする。』

2014 年 12 月 26 日の日経によると『水素スタンド、導入費半減、太陽日酸、移動式で GS 並み。2016~17 年を目処にガソリンスタンドに近い 1 億円台に引き下げる。25 年までに 300 台程度をスタンド運営業者に供給。』

2015 年 3 月 11 日の日経によると『「水素スタンド審査迅速に、燃料電池車普及促す、経産省、1 カ月から半月に短縮」安全審査を緩和。国が認めたメーカーは、従来は約 1 カ月だった都道府県による審査期間を半月に縮める。低コストの小型スタンドの設置も促し、2015 年度中に 100 か所の整備を目指す。4 月以降に高圧ガス保安法の制度を改正してメーカーを認定する。まず、小型の水素スタンドの設置を促す（1 億円前後）。小型には安全基準がないのがネックとなっており、経産省は 15 年度中に基準を作る。ホンダと岩谷産業は太陽光発電などで水を電気分解して水素を取り出す小型スタンドを開発済み。』

2015 年 4 月 1 日の日経によると『水素供給は赤字覚悟、燃料電池車、HV 並み費用に。燃料電池車の普及を目指して水素ステーションが各地に設置され始めた。政府は 2015 年度に全国で 100 か所の設置を目指す。水素の供給事業者は価格をかなり抑え、赤字覚悟で市場の拡大に臨む。3 月末、東京タワーの近くに水素ステーションが完成した。店頭の水素価格は 1kg1100 円。運営する岩谷産業は現在、国内で 2 か所を運用中。支社長は「原料費などの」コストを積み上げて店頭価格を計算しているわけではないと明かす。練馬区で水素ステーションを運営する東京ガスも、同 1100 円。海老名市など約 10 か所に置く JX 日鉱日石エネルギーは 1000 円で、少し安い。各社は今回、水素の価格を決める際に FCV が現行のハ

イブリッド車と同等の燃費になるよう逆算して設定している。「ミライ」と同格の中型ハイブリッド車の燃費を1ℓ当たり約19kmと想定。14年12月のガソリン価格（138円）から1km走るのにかかる燃料費を算出すると同7.3円になる。ミライは1kgの水素で151km走るため、7.3円と151kmを掛けた約1100円を目処とした。政府が策定する工程表は燃料費をハイブリッド車と同等水準まで引き下げる時期を20年ごろとしている。現状の店頭価格は予定を5年前倒しで実行している計算になる。「各社は相当な努力をしている」（エネルギー庁）。資源エネルギー庁が作成した資料は「将来的にFCVが普及した場合の見通し」を前提として水素の店頭価格の内訳を説明する。ステーションの建設、運営に関わる費用が全体の62%、輸送費などを含んだ水素自体のコストが38%。』

2015年6月17日の日経によると『水素スタンド、セルフ式も、経産省方針 普及へ規制緩和。利用者が自分で水素を入れる「セルフ式スタンド」を解禁するほか、狭い土地でも建設を進められるよう、省令や保安規制を改正する。』

## 7.2 水素の貯蔵・運搬

NEDOエネルギー白書2014によると「水素は体積当たりのエネルギー密度が低く（天然ガスの1/3程度）、これをどのような手段で高い密度に維持しつつ、輸送・貯蔵するかが課題となる。これに加え、水素の製造方法や利用方法、供給地と需要地の距離等によって、様々な方法が考えられる。輸送分野では、すでに高压ガス輸送、液化水素輸送が実用化されており、これに加えて新規の技術として有機ハイドライド輸送が実証されている。長期的には、国内でもエリアによっては水素パイプラインが施設されることも考えられる。水素貯蔵技術のうちでも、燃料電池自動車のようなスペースに制限のある用途に対しては、体積エネルギー密度が高い水素吸蔵合金の活用も期待されるが、現状ではまだ研究開発段階であり、一層の低コスト化が必要とされている。

なお我が国は、将来において水素発電事業などの用途で大量の水素需要が生じることも想定されるため、有機ハイドライド技術や液化水素技術を用いた世界的な水素供給チェーンの構築・実用化が期待されている（図2参照）。経産省の水素・燃料電池戦略ロードマップでは、このような水素供給チェーンの実用化（海外の未利用エネルギー由来水素や再生可能エネルギー由来水素の輸送・貯蔵）の本格化は2030年頃とされているが、同時に我が国におけるLNG導入の歴史を考えると、要素技術の確立から導入までに15年程度の準備期間を要したため、水素の輸入においても今から必要な取組に着手することを必要としている。将来的に水素ステーションへの輸送・貯蔵が想定される高压ガス、液化水素、有機ハイドライドと比較すると、高压ガスに比べて液化水素や有機ハイドライドが貯蔵性に優れている。他方で、液化水素の水素への変換までを含めた総合的なエネルギー効率は現時点では高いものではなく、有機ハイドライドについても、現段階で小型の脱水素装置が実用化していないため、将来に向けて技術開発等を行っていく必要がある。」

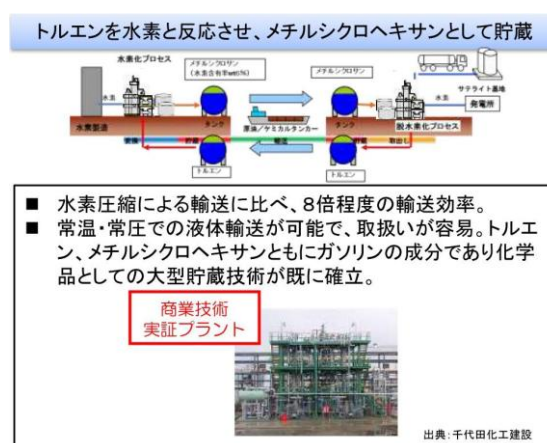
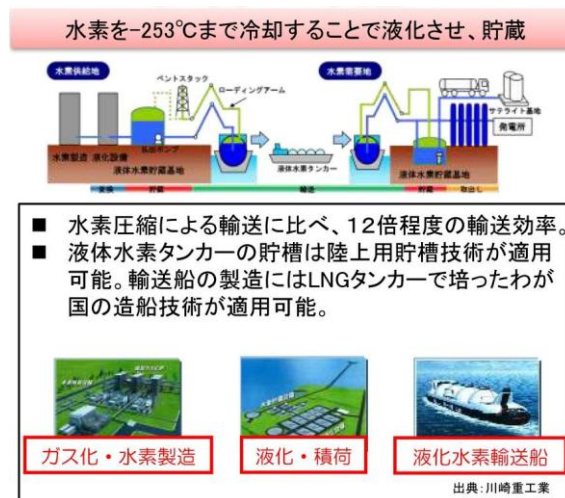


図2 液化水素や有機ハイドライドによる水素輸送（海外からの水素輸入）

（NEDO エネルギー白書 2014 より抜粋）

水素の貯蔵・運搬に関する情報としては、2002年7月21日の日経によると『新日本石油（旧日石三菱）が、水素を有機物質に結び付け、持ち運びや貯蔵をしやすくする世界初の技術の開発に取り掛かることを明らかにした。2010年までに基礎技術を確立し、2020年の実用化を目指す。ガソリンなどから水素を取り出すこれまでの方式は、化学反応の過程で地球温暖化の原因となる二酸化炭素が出る欠点があったが、新技術が実用化されれば二酸化炭素の排出を抑えることができ、燃料電池の普及を大きく後押しすることが期待される。新日石が開発するのは、必要に応じて水素を結び付けたり、切り離したりして水素の「運搬役」となる特殊な有機物質だ。この技術が確立すれば、例えば赤道直下で太陽光発電を行って水素を作り、「運搬役」に結び付けて日本に持ち込むといったことも可能になる。そのため、エネルギーの安定供給にもつながる。』

しかし、この情報については、その後、続報は掲載されていない。ようやく2013年1月26日の日経で次のように取り上げられている。『「水素大量にためる合金、燃料電池車の普及後押し、神鋼・筑波大、タンク向けに開発」神鋼は筑波大学と大量の水素を効率的に

ためられる合金を開発した。温度設定を変えるだけで水素を大量に吸収したり、放出したりする働きを持つ。水素はクリーンなエネルギー源として注目されているが、爆発の危険性があるため安全な貯蔵方法が課題だった。合金を貯蔵タンクとして使えば、通常の金属材料に比べて3~4倍の水素をためられる。

主に、次世代エコカーとして期待される燃料電池車（FCV）の水素燃料の貯蔵用に2015年の商品化を目指す。開発したのは鉄とチタンジルコニウム、マンガン、クロムを混ぜた合金。配合比率を工夫することなどで水素の吸収性能を高めた。合金を摂氏20度以下にすると水素を吸収し、80℃以上に加熱すると放出する仕組み。水素タンクの内部に使えば貯蔵量を増やせる。水素は酸素と反応させるとことで電気を発生する。電気発生時に排出するのは水だけなためクリーンエネルギーとして期待されている。ただ気体のため大きな貯蔵施設が必要。いまは高圧で体積を圧縮しタンクに蓄える方法が一般的だが、専用装置が必要でコストが高い。新合金のタンクは通常気圧で使えるためコストを抑えられる。最近普及が進んでいる家庭用の燃料電池に続いて、これからは工場や事業所などで使う大型の燃料電池や、燃料電池車の普及も見込まれる。燃料として使う水素の貯蔵タンクの開発が進めば普及を後押ししそうだ。』

2013年6月2日の日経によると『水素発電所、実用化へ、千代田化工、燃料安く生産。千代田化工建設は水素発電所の実用化に必要な技術を開発した。燃料の水素を低コストで供給できるようになる。国内外の企業と設備の商談に入っており、2~3年で世界初の水素発電所が稼働する可能性がある。水素発電は、二酸化炭素を発生しないうえ、国内で燃料を自給できる。輸入の化石燃料に頼る日本にとって重要な電源になりそうだ。』

千代田化工建設によると、水素だけを燃料とする商用の発電設備は実用化されていない。発電用ガスタービンで水素を燃焼させられるが、燃料で使うには一定量を常にマイナス253℃以下と言う極低温で液化するなどして貯蔵する必要があり、巨額の費用がかかる。同社は液化した水素を常温で貯蔵・輸送し、その後効率的に抽出できる設備を開発した。水素は製油所や石油化学プラントなどで大量に発生するために容易に確保できる。同社の設備は出力10万キロワット程度の小規模な発電所に水素燃料を供給できる能力がある。価格は100億円規模とみられる。国内外の石油や電力などエネルギー関連会社と商談している。石化プラントなどに千代田化工の設備と、ガスタービンを導入すれば水素発電を始められる。千代田化工は装置販売のほか、燃料の供給事業も手掛ける。水素は有機化合物のトルエンと混合すれば、常温で貯蔵可能な液体になるが、そこから水素だけを取り出すことが難しかった。千代田化工の新設備では98%以上の高効率で取り出せる。プラチナを細かく砕いた「ナノ粒子」と呼ばれる独自開発の触媒を使う。今後、設備の大型化や低コスト化に取り組み、現在はガス火力よりも高い発電コストの抑制を急ぐ。』

2013年9月28日の日経によると『川重、水素輸入へ専用船、豪から17年にも、国内より5割安』

2013年9月30日の日経によると『世界初の大型水素基地、千代田化工、燃料電池車向け、1日に4万台分、コスト3割安』

2013年11月18日の日経によると『千代田化工建設が画期的な輸送・保管の技術革新を成し遂げたことが大きい。千代田化工建設は画期的な技術を世界に先駆けて開発した。川崎市内では世界初となる水素基地の建設計画も進めており、水素社会の到来が現実味を帯びてきた。

液体から抽出；無色透明な液体、一見普通の水と変わらない、メチルシクロヘキサンは「修正液にも使われている溶剤」。この液体から水素を取り出せば、体積で約500倍になる。水素は、酸素と反応させて電気や熱を生み出し、天然ガスに混ぜて燃やすことができる。ただ体積がかさばるので運搬するには容積を小さくしなくてはならない。このため、水素をトルエンと化学反応させて液体にするのだが、この技術は既に確立されていた。だが、逆に、液体から水素を取り出す技術がなかったため商用化できなかった。

同社は2002年からその技術開発に着手。10年には、酸化アルミニウムの上に微細な白金の粒子を分散させた触媒を使って、液体から再び水素を取り出す技術を開発した。水素の保管は、マイナス253℃の極低温で液化したり、高圧でボンベに詰めたりするのが一般的だ。新技術を使えば化学反応させた液体を常温・常圧で保管できる。「難しい管理は必要なく、既存のタンカーや石油タンクも転用できる。水素はエネルギーの世界地図を変える可能性を秘めている」。

エネルギー自給国に；同社は、3段階で水素生産の戦略を練っている。第1段階は、中東や東南アジアなどの天然ガス産出国で水素を作り、これをトルエンと化学反応させて液体にし、タンカーで日本に運ぶ。水素を作る過程で発生した二酸化炭素は、地中深いガス田に貯留し、大気への排出を防ぐ。こうした国々と商談を進めるには、液体にしてそこから水素を取り出す技術を見せる必要がある。同社の敷地には、鉄骨や配管に囲まれた3階建てのビルくらいの実証プラントが設置されている。今年4月から運転を続け、既に十数か国の政府関係者らが視察に訪れたという。

第2段階は20年ごろの開始を目指し、再生可能エネルギーの電力で水を分離して水素を作る。この方法では、夜間に余る風力発電の電力などを活用でき、再生エネルギーの不安定な発電で送電線に負担をかけることもない。石原環境相も10月29日の閣議後の記者会見で「洋上風力発電の余った電力を使って水素を作る実証実験を行う」と表明した。また、触媒で太陽光と水を反応させて水素を取り出す技術開発も進む。これが、第3段階で、海外では40年ごろの導入が見込まれる。将来的には、使用済み核燃料の処分が課題の原子力発電や発電コストが高い再生エネに頼らず、日本はエネルギーを自給できる。

温室効果ガスも削減；水素社会の足掛かりとして、同社は16年春を目標に、川崎市内に世界から水素を運び込む基地を建設する。周囲のコンビナートに水素を供給し、数万キロワット級の水素を混ぜた火力発電所も併設する。燃料電池車に水素を充填する「水素ステーション」への供給も視野に入れる。川崎市スマートシティ戦略室は「世界初の水素基地



は郊外で知られた街のイメージを新しくできる」と期待する。水素は温室効果ガス削減にも貢献する。東日本大震災前に作られた現行の「エネルギー基本計画」では、二酸化炭素を排出しない原子力発電所の比率を約5割、再生エネを約2割まで高めることになっていた。原発分を水素で補えば、二酸化炭素削減を維持しつつ、十分にエネルギーを確保できる。発電コストは将来的に1kw時あたり12～13円を目指す。「発電コストは既に太陽光や石油火力よりも安く、天然ガスとほぼ同等になる。水素の普及は日本にとって最善の策になる」。』

2014年2月28日の日経によると『水素貯蔵の特許競争力、トヨタやホンダ上位、世界ランク、燃料電池車に応用。燃やしても二酸化炭素を排出しない水素は、枯渇しない夢のエネルギー源。大規模な貯蔵や運搬の技術がないのが課題だったが、千代田化工建設はこの技術を世界に先駆けて開発した。川崎市内では世界初となる水素基地の建設計画も進めており、水素社会の到来が現実味を帯びてきた。』

2014年7月29日の日経によると『水素半値へ開発アクセル、燃料電池車用「ガソリンより安く」岩谷は圧縮機ない供給装置、千代田化工は低コストの常温輸送』

2014年8月3日の日経によると『水素タンク大容量に、川重、開発へ、燃料電池車5万台分』

2014年11月20日の日経によると『水素液化設備を開発、川重、大量輸送しやすく。川崎重工業は19日、水素を液化する設備を開発したと発表した。FCVの燃料などになる水素の体積を800分の1に縮小し、大量輸送しやすくする。2016年度に商品化し、水素を製造する石油化学や液化天然ガスプラントなどに供給する。日本メーカーが開発するのは初めて。兵庫県播磨町の同社工場内に実験設備を設けた。1日約5トンの水素を摂氏マイナス253度に冷やして液化できる。水素5トンはFCV1000台分の燃料に相当する。同等の能力で商品化するが、販売価格は未定。水素の製造拠点で液化設備を使って液化水素にすれば、FCVに燃料を供給する水素ステーションまで専用のタンクローリーで大量輸送できる。川重は専用の大量運搬船も開発中で、将来は海外で安価に作った水素を液化し、国内に大量輸送することも目指している。』

2015年1月16日の日経によると『東芝、水素を使い電力貯蔵、長期・大量保管しやすく、再生エネ事業者など向け。東芝は水素を使い電力を大量貯蔵するシステムを2020年にも実用化。水素を使う電気の貯蔵は既存の蓄電池に比べて長期間、大量保存しやすい。設置・運用費を半減できるし、再生可能エネルギーの発電事業者や自治体などによって蓄電方式が広がりそうだ。エネルギー変換効率は8割に達する。揚水発電の7割を上回る。』

2015年1月27日の日経によると『水素値下げへ量産技術、千代田化工や川重、20年メド、燃料電池車HV並みコストに。千代田化工は天然ガスから水素を取り出す技術の開発を始めた。川重は低品位の石炭から水素を取り出すプラントの実用化でJパワーと協業。2020年を目処に実用化を目指す。水素スタンドの整備とともに、水素を安価に量産する技術を確立し、FCVの普及を後押しする。』

2015年6月10日の日経によると『水素、海外で生産・輸入へ、川重など、運搬などで実証事業。川重や千代田化工建設などは9日、低品質のために使われていない海外の資源から水素を安価に製造して日本に運び、発電などに使うことを想定した実証事業を始めることを発表した。使用時に二酸化炭素を出さない水素の大量製造と長距離輸送を可能にし、普及を後押しする。事業は新エネルギー・産業技術総合開発機構の助成を受けて、2020年度までの6年計画で進める。川重、Jパワー、岩谷産業はオーストラリアの褐炭の石炭で水素を作り、液化して運搬する専用船の開発と実証を進める。千代田化工建設は石油精製プラントなどで副産物として出るガスから作った水素を化学処理し、常温で消費地に運ぶ技術を実証する。このほか、三菱重工などが天然ガスと水素を混ぜて発電する設備の開発を進める。』

水素を輸入する国内初の拠点づくりが始まった。2016年1月26日の日経によると『水素エネ普及へ拠点、川重・岩谷産業、液化し輸入、神戸港で。高圧・低温で液化した水素を特殊なタンカーで輸入して貯蔵し、国内各地に出荷する設備を神戸港に新設する。2020年度をメドに稼働させる計画。水素普及が加速しそうな20年代には不足する懸念があるため。輸入する水素は「褐炭」が豊富なオーストラリアで生産する案が有力』。

## 8. ガス発電への利用状況

NEDOエネルギー白書2014によると「天然ガス火力発電において水素を混焼させることで発電時のCO<sub>2</sub>排出量を直接的に削減可能である。水素と他の燃料ガスと混合して発電（混焼発電）については実証が進められている。また水素のみで発電する専焼発電については世界的に事例が少なく、今後さらに検討が必要であるが、発電段階ではCO<sub>2</sub>を排出せず、水素の製造方法によっては、CO<sub>2</sub>フリーの電源となる。また、従来のガスタービンと同様に大規模化が可能であり、安定・安価かつ大量の水素供給と結びつけることで、大規模かつ安定的で低環境負荷な電源となる。水素発電の導入により恒需的かつ大規模な水素需要が生じるため、水素価格の低下や燃料電池自動車など他の水素利活用分野においても波及効果が期待される。」。

2013年10月24日の日経によると『世界初の水素発電所、石炭火力並みコスト視野』

2014年2月16日の日経によると『「川崎重工業が水素発電設備、工場向け、世界初の量産、17年メド」川崎重工業は2017年をメドに、水素を燃料とする火力発電設備を開発、世界に先駆けて販売する。水素は燃やしても二酸化炭素を排出しないほか、長期的に発電コストが天然ガス並みに下がるとされる。川重は工場など自家発電に使う中小設備を日本の他、温暖化ガスの削減を急ぐ欧州などで売り込む。三菱重工業など発電設備世界大手も開発を急いでおり、水素発電は新たな電源として20年以降に普及しそうだ。川重は火力発電の中核設備であるガスタービンの大手。水素燃料を100%使うタービンを世界で初めて実用化する。標準家庭で2000世帯分を賄える出力7000キロワット級など中小型機を明石工場で量産する計画。価格は未定だが、従来の設備と比べ1~2割程度高い水準に設定する見通

し。水素はガスに比べて熱量が大きいために 100%燃料として使う場合、タービン内の燃焼温度が非常に高くなり故障の原因となる。川重は専用の冷却装置を取り付け、タービン内部の設計も改良し耐久性を高めた。水素発電は燃料のコストの高さと安定調達が課題であった。ただ、トヨタ自動車などが水素を燃料とする量販タイプの燃料電池車を相次ぎ投入、20 年以降に先進国で普及する見通し。水素が大量生産されることで、燃料価格が現在の 3 分の 1 程度に下がり、発電コストも石炭やガスを使う火力発電に対抗できる可能性がある。』

2014 年 2 月 20 日の日経によると『ガス発電、環境・効率両立、川重、燃料の水素含有率を高める。川重は、2015 年度から、燃料の 6 割まで水素を投入できるガス発電設備を販売。水素をガス発電の燃料に使うと大気汚染につながるガスを多く出す。独自の燃焼方式を採用。天然ガスのみを燃料に使う場合と大気汚染ガスの発生量を同等に抑える。工場の自家発電などに売り込む。』

資源エネルギー庁の試算では、100 万キロワットの水素専焼の発電所で 1 年に使う水素は燃料電池車 223 万台分にあたる。発電での利用が進めば量産効果で、石炭や天然ガスより割高な水素価格を下げる道が見えてくる。

## 9. 炭素社会はいつ訪れるのか？

水素社会はいつ訪れるのか？そのキーポイントは、現在の火力発電の主力である天然ガスによる発電を全面的に水素にいつ、置き換えるのかです。発電を全面的に水素で置き換えることにより、水素の生産コストは下がる。

二酸化炭素による温暖化が深刻化しており、少なくとも 2070 年代には化石燃料を電力に使うことはなくなる。この時点で発電は「原子力」「再生可能エネルギー」「水素」の 3 つに絞られる。日本のような火山国では「原子力発電」は不向きである。そうすると、「再生可能エネルギー」と「水素」のコラボレーションによる発電が有力になる。有力になるというよりも、必然的にそうなる。

問題は、水素利用の飛躍的拡大、家庭用燃料電池のエアコン並みの価格、燃料電池自動車のコスト低減が必要である。

## 参考文献

1. NEDO、NEDO エネルギー白書 2014、2014.
2. 経済産業省、エネルギー基本計画、2014.