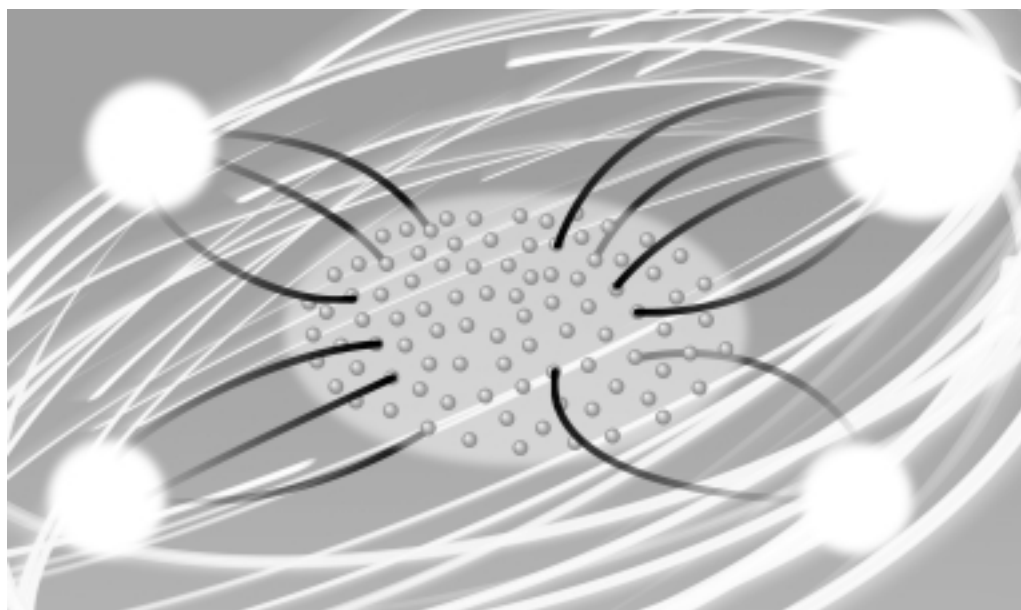


水素社会に向けたビジネスシナリオ

野口幸司



重田幸生



日米欧が志向している水素社会の実現は、2050年という超長期の時間軸で捉える必要がある。各国政府が目指す環境保護、エネルギー安全保障といった目的を達成するには水素をエネルギー媒体とした社会の構築が必要であり、そのためには莫大なコストと時間を要する水素の貯蔵、輸送に関するインフラの整備が不可欠である。

半世紀先になる水素社会への“過渡期”として、最も有力視されているのが天然ガス社会であり、燃料電池メーカーや大手都市ガス会社は、その社会での覇権を握るべく研究開発を行っている。

しかし、目先の事業性だけに目を奪われることなく、水素社会が近づくにつれて顕在化するさまざまな事業環境の変化を見極め、先手を打つことが重要である。加えて、官民一体となって、現在開発途上の水素関連技術の規格化、標準化を進めることが求められる。

I 日米欧はなぜ水素社会を志向するのか

1 注目を集める水素社会

米国のブッシュ大統領は、2003年の一般教書演説で「水素エネルギーイニシアチブ」を提案し、5年間で12億ドルを投じると発表した。また、同年2月の演説で、「われわれが燃料電池自動車を運転するようになるかどうかはわからないが、われわれの孫はそうになっているだろう」と述べた。これらにより、米国が水素社会の実現に向けて本気になったとして、それまでクリーンエネルギーの一部として認識されていた水素が、世界中の注目を集めた。

水素社会への取り組みについて、米国では古くはスパーク・マツナガ法まで遡ることができる。同法は、1990年にマツナガ上院議員が議員立法で提案し成立させた5年間の時限立法で、予算は2000万ドルと少額であった。しかし、このスパーク・マツナガ法に端を発し、1996年の「これからの水素に関する法律」や、98年の「DOE（エネルギー省）水素プログラム戦略計画」が続いている。

日本では、1993年度に通商産業省とNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が「WE-NET（水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発）プロジェクト」を発足させ、2002年度まで精力的に技術開発やシミュレーションを行い、水素インフラの確立に必要な知見を蓄積してきた。WE-NETプロジェクトは2003年度から「水素安全利用等基盤技術開発プロジェクト」に引き継がれ、現在に至っている。

EU（欧州連合）では、ドイツのミュンヘ

ン空港での水素エンジンバス、自動車の実証試験などが行われてきた。EU以外でも、アイスランドは1999年に水素立国宣言を行い、自国内での交通機関の燃料を水素に変換する計画を立てている。

このように、水素社会に対する取り組みは以前からなされていた。しかし、2003年のブッシュ大統領の一般教書演説により、水素への関心が一気に高まった。

2 水素社会の定義

本稿では、水素社会への移行の目的に鑑み、水素社会像を次のように定義する。

自動車：水素を搭載した燃料電池自動車が、オンサイトあるいはオフサイトで製造された水素を燃料として走行する。

定置用：各家庭に水素が直接供給され、燃料電池を通して発電および熱の供給がなされる。

3 水素社会の目的は安全保障、環境保護、産業育成

各国政府が水素社会へ移行する目的として、①エネルギー供給源を多様化することによるエネルギー安全保障の確保、②排出物が水だけという水素エネルギーを使用することによる環境負荷の低減、③新規産業・雇用の創出など産業競争力の強化——の3つがあげられる。

（1）エネルギー安全保障の確保

エネルギー安全保障を脅かす要因として、化石燃料の枯渇、化石燃料の埋蔵地の偏在、大規模発電設備の故障、および破壊行為によ

るダウンなどが考えられる。これらの脅威に対して、エネルギー媒体としての水素は、解決策を与える。

水素は、化石燃料、非化石燃料を問わず、種々の一次エネルギーから製造することが可能なため、化石燃料が枯渇しても、水素をエネルギー媒体に使用していれば、非化石燃料へスムーズに移行できる。現在研究されている水素の原料としては、改質用燃料として天然ガス、石油、石炭、バイオマスがある。また、水の電気分解の電力源として太陽光、風力、水力、原子力による発電があり、水の熱分解の熱源として高温ガス炉などがある。さらに、将来の技術ではあるが、光触媒を用いた太陽光による水の分解などもあげられる。

天然ガス、石油、石炭以外は非化石燃料であるため、化石燃料の枯渇や化石燃料の埋蔵地が偏在していることによるリスクから、エネルギー安全保障を守ることができる。

一方、水素を燃料として用いる燃料電池は、熱機関と異なり化学反応を利用しているため、カルノーサイクルの制約を受けず、理

論的にはより高い発電効率を得ることができる。さらに、燃料電池は小型にしても発電効率の低下が少ないことから、小型の分散電源として利用できる。

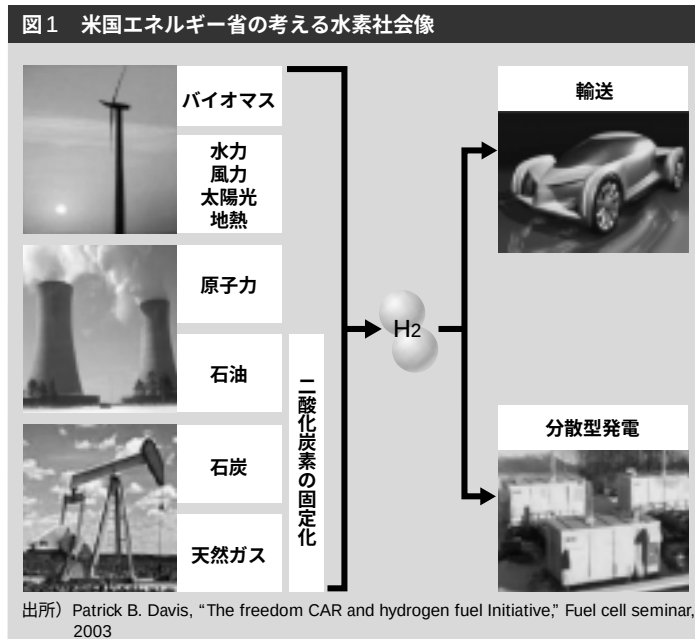
2001年9月11日の同時多発テロや、2003年8月14日のニューヨーク大停電を機に、特に米国を中心に、大規模発電所やそれに付随する広域送電網をテロや事故から防衛する必要性が高まっている。分散化した発電システムは、あたかもインターネットのように、外部からの攻撃や事故に対する防衛力が高い。

以上のような理由から、エネルギー安全保障を強く意識する国にとって、水素社会は非常に魅力的なものとなる。図1は米国エネルギー省の考える水素社会像であり、水素の供給源がさまざまなエネルギー源からなっている。

(2) 環境負荷の低減

CO₂（二酸化炭素）やSO_x（硫黄酸化物）、NO_x（窒素酸化物）は、地球温暖化、環境汚染の代表的な原因物質である。水素を燃料として燃料電池で発電を行った場合は、こうした物質を全く排出しないため、発電時には完璧にクリーンな燃料といえる。ただし、化石燃料や原子力発電の電力や熱を用いて水素を製造した場合は、CO₂、SO_x、NO_xや核廃棄物が発生してしまう。

一方、再生可能エネルギーから水素を製造している限りでは、水素はクリーンなエネルギー媒体といえる。再生可能エネルギーは、発電出力が日照時間や風況などに左右されやすいため、電力が必要なときに必要な量だけ得ることが難しい。そのため、発電した電力を何らかの形で貯蔵する必要がある。



しかし、電気は貯蔵が困難なエネルギーであるため、再生可能エネルギーが電力の中心を担うことは難しい。一方、再生可能エネルギーで発電した電力を用いて、水を電気分解することで水素を製造し、電力を水素の形式で貯蔵しておけば、電力を貯蔵しておくことが可能となる。このように水素は、再生可能エネルギーとの相性が非常に良い。

このように、環境保護を考える国にとって水素は魅力的なエネルギー媒体である。

(3) 産業競争力の強化

水素は産業育成政策上も重要である。

世界の水素はその99%がアンモニア工場、製鉄所や石油化学プラントで自家消費されており、外販市場は非常に小さい。産業用水素の国内市場は100~200億円である。また、燃料電池はリース、試作品にとどまっており、市場はまだ顕在化していない。

しかし、近年の環境意識の高まり、CSR（企業の社会的責任）活動の強化とともに、環境負荷の低い製品に対する消費者のニーズは高まっている。そのため、クリーンな水素をエネルギー媒体として用いた製品を販売した場合、世界的な競争力を持つ可能性は十分にある。また、水素がガソリンを代替した場合、既存のガソリン内燃機関だけを販売している自動車メーカーやガソリンの卸売業者は売上高を大きく落とすことになる。

このように、水素社会の実現が市場に与えるインパクトは計り知れない。そのため、水素関連の研究開発で先行している国や、市場の変化に乗り遅れまいとする企業などは、産業競争力の強化・維持を目指して水素社会への移行を進めようとしている。

4 米国はエネルギー安全保障のために水素社会を目指す

米国は世界最大の石油消費国、石油輸入国であり、その大部分を輸送部門が消費している。米国は、石油を中東をはじめ多くの国から輸入しており、エネルギーの安定確保が脅かされる可能性をはらんでいる。特に、9.11のテロ以降、米国はエネルギー安全保障も含めた国家安全保障を重視するようになった。さまざまな一次エネルギーから製造することができる水素を、エネルギー安全保障上、重要なツールと考えるようになった。

米国では、隣国カナダからの天然ガスの輸入量が減少しており、石油、天然ガスともにより遠い地域から輸入する必要がある。そのため、唯一自国内での可採埋蔵量が豊富な石炭に注目している。米国エネルギー関連予算の中でも石炭関連の「フューチャージェン」は、2003年から2013年までの10年間で10億ドルと、予算規模が比較的大きい。

2005年の大統領予算で、水素エネルギーイニシアチブは2億3000万ドル、その他の水素・燃料電池関連予算を合わせて合計3億1900万ドルが計上されている。これは、エネルギー省予算の1.3%に相当する。

5 EUは環境保護のために水素社会を目指す

EUの燃料電池関連予算は、研究開発プログラムであるフレームワーク計画（FP）に従って配分されている。2002年から2005年までのFP6では、エネルギー分野の予算として20.4億ユーロ（1ユーロは約130円）が計上されている。そのうち、持続可能なエネルギーシステムの分は8.1億ユーロである。水素エ

エネルギー関連予算としては、燃料電池開発プログラムや、エネルギーの新しい輸送・貯蔵技術（特に水素）に関するプログラムなどがあげられている。

1999～2002年のFP5では、水素・燃料電池関連予算は1.4億ユーロであった。また、加盟各国が独自に国内で行っている研究開発プログラムの予算は、FP予算の2～3倍と考えられている。1.4億ユーロは5年間累計での予算額なので、この金額は日本、米国と比較すると非常に少ない。こうした点から、EUは当初、水素社会に米国や日本ほどの予算を計上していなかったことがわかる。

EUは、環境に対する意識の高い国情に加え、石油の対外依存度の高まりから、環境負荷低減とエネルギー安全保障を水素社会の目的としている。このため、EUの水素社会シナリオでは「炭素ゼロの水素」の利用が強調されている。炭素ゼロの水素とは、再生可能エネルギーまたは原子力など非化石燃料から製造された水素を指し、温暖化ガスの排出量がほぼゼロの水素燃料である。

EUでは、2003年6月にEUハイレベル専門家グループが報告書を策定し、2030年までに燃料電池による分散型電源の普及、2040年までに脱炭素化の水素製造装置の増加、2050年までに水素型経済の構築を目指している。

6 日本の目的は新規産業育成

2004年度の日本の水素関連予算は329億円で、エネルギー関連予算の3.4%を占める。日本の水素・燃料電池関連の予算額は世界トップクラスであり、米国と双璧をなす。

トヨタ自動車とHondaは、世界に先駆けて燃料電池自動車をリース販売したため、同分

野で世界的に競争力が高いと認識されている。また、日本は定置用燃料電池の技術開発で先行している。日本では相対的に電気料金が高く、都市ガスが安いいため、燃料電池の導入に対するハードルが諸外国と比べて低い。そのため、東京ガスや大阪ガスなどのガス会社を中心となって、定置用燃料電池の商品化を積極的に進めており、世界的にも高いレベルにあると考えられている。

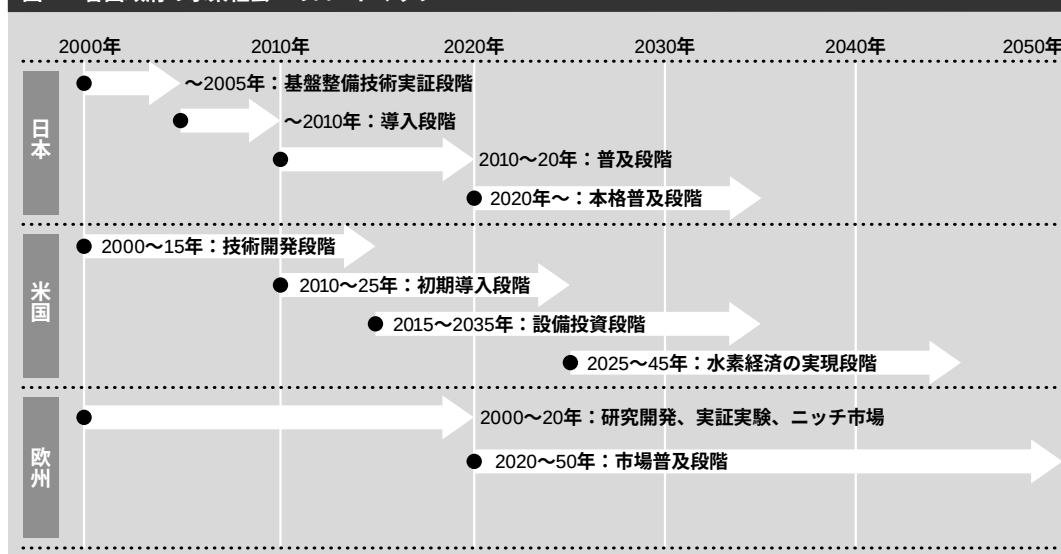
こうした現状から経済産業省を中心とする政府の目的も、産業競争力の強化に重点が置かれている。たとえば、製鉄プロセスガス利用水素製造技術（製鉄所からの副生水素で注目される水素製造法）の開発や、燃料電池自動車等用リチウム電池技術の開発など、比較的短期に達成可能で、かつ個別、具体的なプロジェクトが存在するのが特徴である。

そのため、日本政府が描く水素社会に向けたシナリオは、諸外国と比較して短期的なものとなっている。たとえば、燃料電池自動車は2010年の5万台から2020年に500万台、2030年には1500万台の普及が描かれている。また定置用燃料電池については、同期間に220万kWから1000万kW、さらに1250万kWという推移が目標されている。一般家庭用の燃料電池は最大出力1kWで設計されている例が多いことから、急速な普及が想定されていることがわかる。

7 水素社会の到来は半世紀後

日米欧は、それぞれ異なった目的を持ちながらも、多くの研究開発予算を計上して、水素社会に向けた研究開発を推進している。このような政府の積極的な姿勢のために、一部の人は水素社会到来の時期を実際よりも早

図2 各国政府の水素社会へのロードマップ



く考えているように思われる。

最近、全米科学アカデミーと米国物理学会が相次いでブッシュ政権の水素エネルギーイニシアチブを分析し、科学的なブレイクスルーの必要性を報告した。この報告以来、米国のメディアは水素社会への移行の困難性を訴えている。また、筆者らは多くの研究者などから、水素社会への移行は当面は難しいとの声を聞いている。

実際に、政府のロードマップを見ると、産業育成のために短期的な目標を掲げる日本は例外だが、米国、EU共に2040～50年に及ぶ長期的なスパンでロードマップを描いている(図2)。それぞれの国によりロードマップは異なっているが、全体的に見ると水素社会への移行は2050年前後と考えられよう。

水素社会のキープレーヤーを目指す企業は、長期に及ぶ研究開発が必要なことを十分認識して、研究開始の意思決定をすべきである。一方、水素をエネルギー媒体として利用する社会は、エネルギー安全保障、環境保

護、産業競争力の観点から必要である。そのため各国政府は、強い意思をもって長期に及ぶ水素社会への移行を進める必要がある。

II ボトルネックとなるインフラの整備

1 先行するアプリケーション開発

水素社会の花形となるであろう燃料電池システムに関して、日本のメーカーは世界的に見ても最高水準の技術を有していると考えられる。現在、最も実用化に近いとされるPEFC(固体高分子型燃料電池)のコア部品であるセルの生産では、カナダのパラード社が先頭を走っている。しかし、自動車用燃料電池ではトヨタ自動車やホンダが世界をリードしており、パソコンや携帯電話への搭載が期待されている携帯機器向け燃料電池ではNEC、日立製作所、東芝、カシオ計算機などが市場での主導権を握るべく研究開発に取り組んでいる。

日本メーカーが主導権を握りつつ、商用化の兆しが見えてきた燃料電池だが、その普及イコール水素社会の到来とはならない。前述のとおり理想的な水素社会とは、太陽光、風力といった多様なリソースから得られるエネルギーを、水素を媒体として貯蔵・輸送する社会である。このため、水素社会の実現のためには、水素の貯蔵・輸送技術の開発が、燃料電池などの水素消費アプリケーションの開発と並んで、極めて重要な意味合いを持つ。

2 家庭まで届かない水素

最終消費者への普及の最初のアプリケーションといわれる家庭用燃料電池については、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスといった大手都市ガス会社が戦略商品として位置づけ、一般家庭への普及を狙っている。ところが、このシステムについても、各家庭において都市ガスから水素を製造（改質）し、定置型燃料電池によって発電するシステムを想定している。これは、従来の天然ガスベースのエネルギー消費に代わるものではなく、化石燃料依存という現代のエネルギー需給構造の延長線上に位置づけられるものである。

このような天然ガスをベースとしたものではなく、水素をベースとしたエネルギーシステム、すなわち水素を直接消費地へ供給するシステムの構築は可能だろうか。

実は、水素は従来の都市ガスに比べて体積エネルギー密度が約3分の1と小さい。そのため、都市ガスと同じエネルギーを水素で供給しようとする3倍の圧力が必要となり、配管そのものや結合部分が耐えきれない。また水素には、金属に吸蔵されてその金属を脆くする水素脆化という物性があり、既存のガ

ス供給インフラを使っただけの水素供給は極めて困難というのが現状である。

では、水素と都市ガスを混在させて供給することはできないだろうか。燃料電池で消費される水素と、一般のガス器具で消費される都市ガスを適当な割合で混在させて各家庭に供給し、必要に応じて水素または都市ガスを利用すればよい。ところが、水素と都市ガスを分離する技術の実用化には時間がかかる、水素はエネルギー密度が低いため、混合ガスでは既存のガス器具によって想定する火力を出すことが困難である、といった問題が山積している。

3 水素スタンドは安全か

水素社会の象徴的な存在である燃料電池自動車は、水素をガソリンから作るのか、都市ガスから作るのかという議論は残るものの、水素を圧縮する形で燃料として搭載し、燃料電池によって発電、走行するシステムであり、水素の可搬性を活かした“水素社会的”エネルギーシステムであるといえる。

トヨタ自動車が実用化した燃料電池自動車は、350気圧に圧縮した水素を搭載し、走行距離は約300km（同社のホームページより）。これはカローラのセダンの約800km（同社発表の仕様より推計）の半分以下であり、製造コストの高さと並んで改善すべき大きな課題となっている。現在、750気圧の高圧水素タンクの研究が進められており、約500kmの走行距離が実現するといわれている。

ここで問題となるのは、750気圧という高圧に水素を圧縮して充填する機能を持たなくてはならない水素スタンドである。車載タンクの圧力が750気圧であれば、当然、充填設

備にはそれ以上の圧力が必要となる。実際には、神戸製鋼所が1000気圧の昇圧設備の開発に成功し、三菱商事も圧縮機なしで350気圧の高圧水素を生成するシステムを開発するなど、技術的な進歩は目覚ましいが、商用化となると安全性、安定性といった要因をクリアしなければならない。

たとえば、高圧水素を充填している最中に車が動き出し、接続部分が外れてしまったらどうするのか。タンク内のガス圧が高まることによる温度上昇をどうコントロールするのか。単純に貯蔵するだけの安全性では不十分である。水素製造から消費までの一連の活動における安全性の確立が求められており、そのためには長期間にわたる試行錯誤が必要と考えられる。

4 当面は天然ガススペースの “過渡期”の水素社会

水素をエネルギー媒体として用いるインフラの整備は非常に困難であるため、当面はインフラが整備されているエネルギーを用いることが予想される。

このような燃料の代表例は天然ガスである。天然ガスはすでに都市ガスとして日本の約半分の世帯で使われている。定置用燃料電池で最も開発が先行しているのは、オンサイトで天然ガスを改質して水素を得るタイプである。一般に、天然ガスよりLPG（液化石油ガス）、LPGよりガソリン（ナフサ）の方が、改質が困難だといわれている。

各国政府の水素社会像を詳細に見ると、日本は業務用、産業用の一部で水素パイプラインの整備を想定しているが、家庭用では天然ガス、灯油やLPGなどから水素をオンサイ

トで改質することを想定している。また、自動車用には種々の水素供給源を考えており、化石燃料のオンサイト改質、水の電気分解、タンクローリーによる輸送があがっている。

米国は、大規模水素製造工場からの長距離の水素輸送は2030年以降と考えている。短期的には天然ガスの改質を計画している。EUも、2030年以降にようやく長距離の水素輸送が可能になると想定している。また、再生可能エネルギーに強くこだわるEUは、再生可能エネルギーで作る水素が水素エネルギーの主流になるのを2050年と考えている。短期的には、米国と同様に天然ガスの改質による水素製造を有望視している。

このように、現実的には水素社会は一足飛びに到来するのではなく、すでに供給インフラが確保されている天然ガスが当面のつなぎとして考えられている。天然ガスは、すでにインフラが整備されていることに加えて、改質が容易である、可採年数が石油より多い、CO₂の排出量がガソリンより少ないなどの理由から、ガソリンなど他燃料よりも燃料電池用の燃料として好まれている。

III 水素社会が生むビジネス チャンスへの挑戦

1 エネルギー業界の挑戦

天然ガス社会から水素社会への過程には、さまざまなエネルギー供給事業者にとって大きなビジネスチャンスが眠っており、また全く別の事業者が新たなエネルギー供給主体となる可能性が秘められている。

これまでエネルギー供給事業は、大手電力事業者、大手ガス事業者、石油会社がほぼ独

占に近い状態で行ってきた。近年、電力とガスの相互参入、および新規発電事業者の誕生によってその独占性は崩れつつあるものの、限られたプレーヤーによるパイの取り合いであることに変わりはない。

ところが、水素の流通インフラが整備された瞬間に、たとえば副生水素を生産している製鉄事業者、石油化学・石油精製事業者が、電力会社やガス会社に匹敵するエネルギー供給事業者となる可能性がある。もちろん、その前提として、タンクローリーやガスボンベによる輸送のコスト削減、および一般家庭や商業施設におけるボンベ設置場所の確保、あるいは主要需要家に対する水素管の敷設など、解決すべき課題は多い。しかし、政府による環境負荷軽減の後押しという意味での補助金の拠出や、工場団地や学園都市などの特定エリアでの先端的取り組みといった可能性は、否定しきれものではない。

このような変化は、大型の副生水素を生産する事業者にとって大きなビジネスチャンスであると同時に、既存の電力事業者やガス会社には大きな脅威となる。産業ガス大手の岩谷産業はそのような視点での技術開発、基盤強化を進めており、将来における水素ステーション建設の20%の案件に関与することを目標に掲げているだけでなく、トヨタ自動車の燃料電池自動車をリース購入するなど、新しい社会でのリーディングカンパニーを目指して着々と布石を打ちつつある。

2 アプリケーションに求められる 安全性の強化

今日までは、最終消費者が直接使用する燃料は天然ガスやLPG、ガソリン、灯油、デ

ィーゼルといった可燃性の気体、液体であったため、当然その貯蔵、輸送、充填には十分な安全措置がとられてきた。天然ガス社会、水素社会となっても、その必要性が変わることはなく、これまで以上の安全性が求められるようになるだろう。

たとえば、自動車各社が目指している車載高圧水素タンクのガス圧は700気圧である。これはスキューバダイビングなどで用いられる圧縮空気ボンベの200気圧と比べても3倍以上と、非常に高圧の状態にある。開口部に他の器具を取り付ける必要がある水素ステーションでの充填作業では、振動や熱に対する安全措置はもちろん、さまざまな安全措置がとられる必要がある。

流量計や計装関係機器の製造会社であるトキコは、日本にある天然ガスステーションのディスペンサー（供給設備）の7割を手掛けており、そのノウハウを活かして水素ステーション用ディスペンサーの製品化に着手している。これは、気体である水素を充填する際に、充填中にホースが外れても気体がもれないようにする緊急離脱カップリングという機能が必要とされるため、液体であるガソリンのディスペンサーとは異なるノウハウが求められる設備である。従来型のガソリンスタンドでは必要とされないものが、水素社会の到来によってビジネスチャンスを生むという好例であろう。

そのほか、水素という気体を取り扱ううえで極めて重要なセンサー、流量計、圧力計といった各種計装機器、監視・制御機器についても、精度の向上やコストの削減が求められている。また、水素センサーには凸版印刷などが参入を検討するなど、これまでとは異な

るノウハウ、技術が必要とされる領域もあり、さまざまな業種・業態によるビジネスチャンス獲得の可能性を秘めている。

Ⅳ キープレーヤー不在の水素関連技術で主導権を握るために

最後に、水素関連技術では、これといった絶対的な優位性を持つ技術、あるいはプレーヤーはまだ確定していず、それぞれのプレーヤーが主導権をとるべく、しのぎを削っている状態にある。このような状態では、規格化、標準化が重要な役割を果たす。たとえば、水素燃料の規格は燃料電池の性能要件を決定するし、同時に水素の製造原料や方法も規定してしまう可能性がある。

技術の優劣がつかないなかでは、自国が優位な技術方式に規格・標準を合わせることが可能となり、自国が開発した技術に有利な規格化、標準化によって燃料電池・水素関連技術で主導権を握ることができる。

そのようななか、2003年末に米国が世界15カ国に呼びかけて開催した「国際水素経済パートナーシップ」は、規格化、標準化で優位

に立とうとする米国戦略が透けて見える。

また、燃料電池の規格化、標準化に関する国際的な会議である「IEC/TC105」でも、米国は主導権を握ろうと考えている。同会議のワーキンググループは全部で7つあり、ワーキンググループの調整役であるコンビナーは、米国が3つ、ドイツが2つ、カナダと日本がそれぞれ1つ担当している。米国が最も多くのワーキンググループでコンビナーを担当していることから、規格化、標準化で米国が主導権を握ろうとしていることがわかる。

水素社会に向けた長期的な研究開発では、技術的な優位性もさることながら、規格化、標準化で主導権を握ることが重要となるため、日本の体制強化が望まれる。

著者

野口幸司（のぐちこうじ）

技術・産業コンサルティング部副主任コンサルタント

専門はユーティリティ企業の事業・R&D戦略策定

重田幸生（しげたゆきお）

技術・産業コンサルティング部コンサルタント

専門はエネルギー企業・メーカーのR&D戦略策定