

日本の新エネルギー政策

～環境に配慮した水素立国構築に向けて～

経営学部3年 佐藤恵介／吉野将人／矢口堯之

要旨

水素は次世代エネルギーのひとつとして、非常に大きな可能性を秘めている。理論的には、温室効果ガスを一切排出せず、天然資源の多寡にかかわらず世界各国で生産することができる。日本でも温暖化問題、エネルギー問題を解決する次世代エネルギーとして注目が集まっている。

天然エネルギー資源に乏しい日本は、エネルギーの多くを輸入に依存している。特に昨今では、原油価格をはじめとした資源価格の高騰を受け、実体経済にも徐々にマイナスの影響が出始めている。こういった問題は、短期的に解決できるものではない。だが、水素エネルギーを活用する社会システムを構築していくことは、この問題の抜本的な解決への糸口になるものである。

また、京都議定書の発効に伴い日本は、温室効果ガスを2012年までに90年比-6%削減しなくてはならない。そのため、目先は温室ガス取引などをつうじて、数値目標の達成をめざしている。しかし、これはあくまで「急場しのぎ」の策に他ならない。諸外国では代替エネルギーの開発に余念がない中、日本も手をこまねいている時間はない。日本の技術的、地理的な強みを生かしたエネルギー政策として、水素エネルギー技術の活用は非常に重要である。

なぜ、水素エネルギーは日本の新エネルギー政策のカギとなるのか。それは、水素が多様な方法で製造でき、特に水から電気分解で製造できることが大きいためである。さらに、水素エネルギー利用の際、排出されるのは水だけであり、環境に有害な物質を一切排出しないというメリットを活かせば、環境問題の解決にも繋がる効果がある。

水素エネルギーを利用した製品は、すでに燃料電池自動車・家庭用定置燃料電池など試験的に製造されているが、まだまだ課題は多い。たとえば、コストの面では燃料電池自動車は1台1億円以上といわれており、量産化に向けた技術開発にむけた官民一体での取り組みが必要不可欠であろう。

われわれが提言するのは、水素循環型社会である。その社会では、水力・風力・地熱・太陽光を使って水素を製造し、その水素エネルギーが社会全体で使われる。このような社会への道筋は長いものだが、実現に向けた取り組みの推進が望まれる。

日本の新エネルギー政策

～環境に配慮した水素立国構築に向けて～

経営学部3年 佐藤恵介／吉野将人／矢口堯之

はじめに

水素は次世代エネルギーのひとつとして、非常に大きな可能性を秘めたものである。理論的には、温室効果ガスを一切排出せず、天然資源の多寡にかかわらず世界各国で生産することができる。日本でも温暖化問題、エネルギー問題を解決しうる次世代エネルギーとして注目が集まっている。

地球温暖化は世界が直面する問題であり、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」第4次評価報告書（2007年）では、最悪の場合「21世紀末までに6.4℃気温が上昇する」可能性が示唆されている。また、京都議定書の発効によって、2012年までに1990年比-6%の温室効果ガスを削減しなくてはならない。

エネルギー問題については、よく知られるとおり、日本の1次エネルギー自給率は4%に過ぎない。また、海外から輸入しているエネルギーも、近年大きく価格が上昇している。石油の場合、WTI先物価格でみると2002年には1バレルあたり26.1ドルであったが、直近では80ドル超へと大きく上昇している。このような価格の急騰は、わが国経済への負のショックになることは自明であり、エネルギーの自給率が低い状況は、わが国経済のもっとも大きなダウンサイドリスクとなっている。

これらの問題を、水素エネルギーは解決しうるものであるが、課題も多い。わが国では、すでに燃料電池自動車、家庭用定置燃料電池など水素エネルギーを利用した製品が試験的に開発、販売されている。しかし、コスト面を始めとした問題点も諸々あり、一般的に利用されるまでにはいたっていない。

本稿では、水素エネルギーの有用性について言及した上で、水素エネルギーを普及させるにはどうすべきかについて考え、水素エネルギーの先進国としてわが国の果たしていける世界的な役割などについても論じていく。具体的には、わが国のエネルギーを巡る状況とエネルギー政策の現状を紹介し、その上で諸外国のエネルギー政策を概観する。そして、わが国にとって水素エネルギーがどのような意味で有効であるかを整理し、現在における水素エネルギー開発の実情と課題を提示する。そして、そういった課題の解決を果たせた場合の循環型社会の意義を明らかにしていく。

| 目次 | ページ |
|----------------------|-----|
| I 日本のエネルギー問題とエネルギー政策 | 3 |
| II 各国のエネルギー政策の特徴 | 6 |
| III 日本と水素エネルギー | 9 |
| IV 水素研究の現状と実用性及び普及度 | 11 |
| V 普及に向けて | 13 |
| VI 水素循環型社会 | 16 |
| VII 最後に | 18 |
| 参考文献 | 19 |

I 日本のエネルギー問題とエネルギー政策

エネルギー政策を策定する上で、地球温暖化、エネルギーの海外依存・多様化は、日本において重要な課題である。はじめに、その現状について簡単に触れ、あわせてこれまでのエネルギー政策の歴史を概観する。

1. 地球温暖化

太陽からの熱を地球に封じ込める効果（温室効果）のあるガスである温室効果ガスの排出増により、地球の気温は上昇傾向にある。これにより、地球の気候は変動し、各地で異常気象が発生している。将来的に、温室効果ガスの排出はさらに増え、表1にあるようなより深刻な気候変動がおこる可能性が指摘されている。

表1 地球温暖化の影響予測

| | 予測される影響 |
|----------|-----------------------------------|
| 平均気温 | 1990年から2100年までに1.4～5.8℃上昇 |
| 平均海面水位 | 1990年から2100年までに9～88cm上昇 |
| 気象現象への影響 | 洪水、干ばつの増大、台風の強力化 |
| 人の健康への影響 | 熱ストレスの増大、感染症の拡大 |
| 生態系への影響 | 一部の動植物の絶滅、生態系の移動 |
| 農業への影響 | 多くの地域で穀物生産量が減少。当面、一部地域では穀物生産量が増加。 |
| 水資源への影響 | 水の需給バランスの変化、水質への悪影響 |
| 市場への影響 | 特に1次産物中心の開発途上国で大きな経済損失 |

(出所)環境省「IPCC第3次評価報告要約」

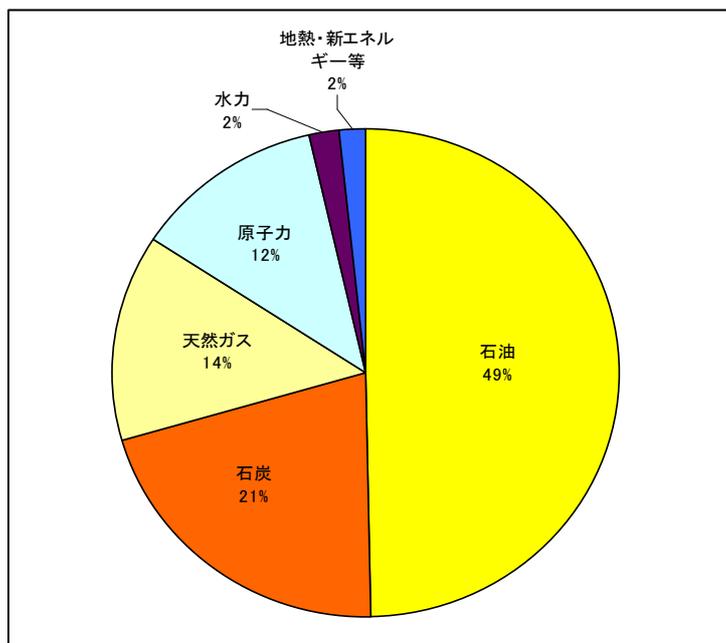
温室効果ガスの中でも、とくに二酸化炭素（CO₂）の排出量が多い。CO₂のほとんどは、化石燃料を燃焼させることで発生しており、地球温暖化の防止のためには、エネルギー消費に伴うCO₂の排出量をいかに抑えるかが重要な課題である。2005年の京都議定書発効により日本は温室効果ガスの排出量を1990年水準に比べて2008～2012年の間に6%削減が義務づけられた。それにもかかわらず2005年の温室効果ガス総排出量は90年比+14.8%と増えている。

2. エネルギーの海外依存・多様化とエネルギー政策

エネルギー資源に乏しい日本は、エネルギーの多くを海外からの輸入に依存している。国際エネルギー機関（IEA）の統計によると、日本のエネルギー自給率は、わずか4%（原

子力含まず¹⁾に過ぎない²⁾。主要なエネルギーの輸入依存度を見ると、石油 99.7% 石炭 100%、LNG 96.5%、ウラン 100% である。日本の 1 次エネルギー供給構造(図 1)をみると、石油がエネルギー供給の 50% を占め、その 90% 程度が中東から輸入されている。

図 1 日本の 1 次エネルギー供給構成 (2003 年)



(出所) 資源エネルギー庁『エネルギー白書 2006 年』

日本のエネルギー需要の歴史的構造をみると、主要エネルギーは戦後しばらく石炭であったが、タンカー等の発達などもあり、50 年代後半から石油へとシフトしていった。

だが、石油という単一のエネルギーへの依存の結果、わが国経済はオイルショックの影響を強く受けることになった。1973 年、石油依存度が 7 割を超えていた日本にオイルショックが襲った。原油価格は 4 倍となり、街のネオンを消す、エスカレーターを止めるなどの需要調整にせまられた。また、約 30% ものインフレを引き起こした「狂乱物価」にも見舞われることとなった。

オイルショックによりエネルギーの安定供給を確保することが重要課題とされた。このショックをきっかけとして、日本のエネルギー政策の大きな転換ははかられた。その反省を踏まえ、その後は省電力化の技術開発に注力、原子力・LNG の推進などエネルギー調達の多様化を進め、バランスのとれたエネルギー体系を実践してきた。特に、原子力は 1 度の

¹ 原子力の燃料ウランは 1 度輸入されると数年間使用できるため、準国産エネルギーと考えることもできる。原子力を含めた場合の、エネルギー自給率は約 16%。

² エネルギー自給率 = 1 次エネルギーの国内産出 / 1 次エネルギーの総供給。1 次エネルギーとは、国内で生産または、輸入されエネルギーの源となっている石炭や石油、天然ガス、また水力や原子力エネルギーなど。データは 2003 年ベース。

燃料購入で数年運用でき、核燃料サイクルを確立することでさらに運用期間を延ばすことができることから、積極的に推進されている。また、近年では化石燃料に比べ CO₂ の排出が少ないことから、環境面でも利用が推進されている。

しかし、日本のエネルギーの現状は、原子力を除いても 8 割以上を海外に依存しており、原子力も放射性廃棄物や地震による災害の問題は解決されていない。発電部門での多様化は進んだものの運輸部門においては、未だにガソリン等石油系燃料がその 9 割を占めており、運輸部門におけるエネルギー源の多様化があまり進んでいないのが実情である。

さらに近年では、これらのエネルギー価格が大きく上昇しており、わが国実態経済への影響が危惧されつつある。石油に関して言えば、上昇の原因は複合的であり、中国・インドなどの新興国をはじめとした世界的なエネルギー需要の増加基調、イラクやベネズエラのような産油国における供給能力の低下に伴う生産減少、商品市場における投機的な投資家行動などが指摘されている (Anderson and Buol (2005))。

以上から、わが国にとっては、一層のエネルギー調達の多様化、代替エネルギーの確保といった問題が、喫急の課題となっている。

II 各国のエネルギー政策の特徴

ここまで、日本の現在の状況やエネルギー政策を見てきた。実は、エネルギー調達の多様化、代替エネルギーの確保といった課題は他の非産油国にとっても共通の課題であるし、産油国ですら将来の枯渇化を見据えて、同様の政策課題を認識している。そこで、次に諸外国のエネルギー政策の実情をサーベイしていくことにしたい。現在、エネルギー政策に関しての先進国であるアメリカ・ブラジル・ドイツ・アイスランドを例に、各国のエネルギー政策にどのような特徴があるかを検証する（表2）³。

表2 アメリカ・ブラジル・ドイツ・アイスランドのエネルギー政策の特徴

| 国 | 各国の特徴 |
|--------|---|
| アメリカ | 原子力エネルギーの拡大 新たなエネルギー源としての水素エネルギーの開発 バイオマス燃料で作られるバイオマスエネルギー ⁴ の推進 |
| ブラジル | バイオマスエネルギーの世間的な普及 |
| ドイツ | 原子力発電の段階的廃止 独特の電力買い取り制度 風力発電が世界第1位 |
| アイスランド | 水素エネルギーを使用した水素社会の推進 豊富にある再生可能エネルギー |

（出所）資源エネルギー庁『エネルギー白書 2006』などから作成

1. アメリカ

アメリカは世界有数のエネルギー産出国であったが、経済成長に伴うエネルギー需要の拡大に国内エネルギー生産が追いつけなくなり、エネルギーの輸入拡大につながっていった。特に石油に関してその傾向が顕著となっていた。またアメリカでは、2度にわたり大規模な停電が発生したことから、エネルギーセキュリティー問題に関心が集まった。

このような経緯からアメリカは原子力エネルギーの拡大や新たなエネルギーとして水素エネルギーに注目した。原子力エネルギーは30年ぶりに新規の原発の立ち上げ、水素エネルギーに関してはその研究開発が進んでいる。またバイオマスエネルギーにも力を入れており、2005年エネルギー政策法により「2012年までに生物資源由来の燃料の使用を75億ガロンまで増やす」ことが定められ、そのかなりの部分をバイオマスエタノールでまかな

³ 本節で紹介している各国の事情については、アメリカ・ドイツ(2005)、アイスランド(2006)、ブラジル(2007)をもとづいている。

⁴ バイオマスエネルギーとは、バイオマスを原料として得ることができるエネルギー。バイオマスとはエネルギーとして再利用可能な動植物から生まれる有機性の資源。廃棄物系と栽培作物系の2つに大きく分けることができる。

うと見られている。

2. ブラジル

ブラジルではオイルショック以降石油依存率低下を目指し、対策としてプロアルコール・プログラムを立ち上げ、自動車燃料をガソリンからサトウキビ・エタノールへの代替を促進した。一時期は砂糖の国際価格上昇などによりエタノール生産が減少するものの、2000年代からエタノール生産が増加し、ガソリン・無水エタノールのブレンド燃料で走ることの出来るフレックス燃料車が導入された。このフレックス燃料車は導入の3年後にはブラジルで販売される車の4分の3を越えるシェアを持つになる。

このようにブラジルは、サトウキビなどのバイオマスを燃料とするバイオマスエタノールが世間的に普及している。そのためブラジルはバイオマス利用の先進国という自覚を持っている。ブラジルでは2004年エネルギーの約3割がアルコール、木質バイオマスが起源となっている。さらに約14%は水力発電からのエネルギー供給であり44%が再生可能エネルギーである。また2007年にブラジルの国家エネルギー政策審議会で承認した国家エネルギー計画では、ブラジルのエタノール生産は2007年の推定200億リットルから2030年にはほぼ3倍の666億リットルに増加する模様である。

3. ドイツ

ドイツでは石油依存軽減やエネルギー安全保障対策、温暖化物質削減のため、再生可能エネルギーが注目されており、特に風力発電の伸張が1990年代以降目覚しく、他のEU諸国と世界各国を圧倒し、世界第1位である。また近年では太陽光による発電や熱利用に積極的に取り組んでいる。2000年には原発の段階的廃止を連邦政府と電力業界が合意する。また再生可能エネルギーによって発電された電力が公共電力系統へ売電される場合、電気事業者がこの電力を買い取ることを義務付け、かつ最低買い取り価格を規定、これによりドイツのクリーン電力は大幅に成長し、風力発電の伸びが著しい。そして脱石油・脱原子力を目指し、2050年に全エネルギーの50%を自然エネルギーにすることを目標としている。

4. アイスランド

アイスランドは世界的に見ても早くから脱化石燃料化を推し進めてきた。なぜならばアイスランドには化石燃料が無く、その上寒冷な気候のため多くのエネルギーを必要とし、また燃料を大量に必要とする漁業に国民経済が依存しているため石油を海外に頼らざるを得ず、結果としてオイルショックのときに多くの損害を被った。

現在、アイスランドでは2050年を目標とした、化石燃料を一切使わずエネルギーを全面的に水素に置き換える水素エネルギー社会を目指しており、政府や大学、技術研究所が積極的に協力している。そして2001年から2005年の間に、燃料電池バスのデモンストレーションや水素を燃料として用いることの経験の蓄積、バスや水素ステーション等の評価、社

会的受容性の調査を目的とする ECTOS (Ecological City Transport System) プロジェクトが行われ、一定の成果を挙げた。またアイスランドは地熱や水力など再生可能エネルギーに恵まれており、全エネルギーの 70%程が再生可能エネルギーによってまかなわれている。全発電電力量の 82%が水力発電で、残りの 18%が地熱発電である。

以上、各国のエネルギー政策の特徴を概観してきた。国によりエネルギーを巡る状況はまちまちではあるが、共通して観察されるのは、

- ① 原油への過度の依存を脱却する必要性を強く意識していること、
 - ② 新たなエネルギーの発見・開発が喫急の課題として認識されていること、
 - ③ その国の環境や状況に適したエネルギーの開発、利用を目指していること、
- の 3 点である。

Ⅲ 日本と水素エネルギー

各国のエネルギー政策の特徴に鑑みると、日本の採るべきエネルギー政策として望ましいシステムはどのようなものになるだろうか？

提案1：アメリカやブラジルのようなバイオマスエネルギーの導入。

提案1の問題点：バイオマスエネルギーは、それを生産するために広大な土地が必要となるので、日本にあってはいいがたい。

提案2：ドイツやアイスランドのように風力発電などの再生可能エネルギーの導入。

提案2の問題点：日本においては恒常的に風が吹いているわけでもなく、また太陽光エネルギーなどの再生可能エネルギーにおいても、エネルギー供給が安定しないという問題がある。

では、日本のとるべきエネルギー戦略はどういったものだろうか。本稿ではエネルギー問題を解決することが可能なエネルギーとして、水素エネルギーに注目をしたい。以下では、水素エネルギーの基本的特徴を説明していくことにしよう。

1. 水素とは

水素とは無色、無臭の地球上で最も軽い気体で、燃えると水のみが発生し、有害なガスは一切発生しないクリーンなエネルギーである。水素は軽く、単独ではほとんど地球上に存在せず、水や有機化合物⁵の形で広範囲に存在している。また燃焼時に炎の見えない物質である。このように水素は燃えても水しか出ず、また広範囲にわたって存在しているので、日本のような国土的な制約のある国でも活用可能な新エネルギーとして期待できる。

しかし水素は自然界にそのままエネルギーとして利用できる形では存在しておらず熱や電気などのエネルギーを投入して、化石燃料や水、バイオマス等から製造する必要がある。例えば、水を電気分解・熱化学分解、熱によってバイオマスや化石燃料から製造すると水素は発生する。

水素を利用するメリットは主に3つある。まず、水素はそれ自体がCO₂を排出しないクリーンなエネルギーであり、水などがあればどこでも作れるという利点を持つことである。また、日本が水素を作りそれを使っていくことでエネルギーの海外依存の減少も見込めることも、重要なメリットであろう。更に、後述するとおり、水素は様々な生産活動の副産物として発生することから、それを再利用することも可能であることも、わが国のような製造業が発達している国にとってはメリットと考えられよう。

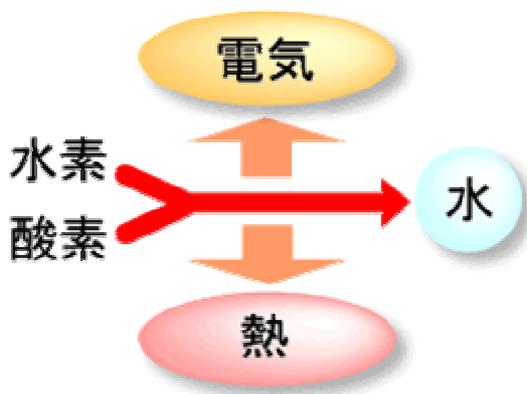
2. 発電原理

水素をエネルギーとして使う場合、水素自体をそのまま使うのではなく、水素を電気に換

⁵化石燃料の石炭、石油、天然ガスなど

えて使う。反応としては水の電気分解と逆の原理で、水素と酸素を化学反応させて電気を作り出す。またその際には熱と水も発生する。

図2 水素を使った発電原理



(出所)富士電機グループ「燃料電池とは」

3. 燃料電池

図2のような原理で発電されるが、このような原理を使い発電をする発電システムが燃料電池である。燃料電池の特徴は水素を使うことによってクリーンに電気を作り出せることである。また高いエネルギー効率が上げられる。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換することが出来る。ガソリンエンジンの最高効率 40%と比べると非常に効率的なエネルギーである。

今のところ主に研究開発が進んでいる燃料電池が2つある。自動車用の燃料電池自動車と家庭定置用燃料電池である。燃料電池自動車は燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気エネルギーを使い、モーターを回して走る自動車である。ガソリンスタンドでガソリンを給油する普通の自動車のように、燃料電池自動車は水素ステーションで水素を補給する。燃料電池自動車のメリットとして、水素のメリットの有害な排出ガスがないことやエネルギー効率が低い以外にも、普通の自動車と比べ騒音が少ない、また電気自動車と違い充電の不要などがあげられる。家庭定置用燃料電池は一般家庭に取り付ける物で、発電システムなどは燃料電池自動車と同じである。家庭定置用燃料電池のメリットは、燃料自動車と同じようなCO₂を排出せず環境にやさしいことや、エネルギー効率が低い以外に、その発電システムが省エネルギー仕様になっていることだ。家庭定置用燃料電池は1つのエネルギーから電気や熱などの2つ以上のエネルギーを取り出すコージェネレーションシステムになっていて、発電と同時に排出した排熱を利用することが出来るシステムである。それにより使用するLPガスや灯油の使用量は増加するが、電力会社からの購入電力を減少させることが出来るので、トータルの光熱費を定置用燃料電池導入前から約20%削減と省エネルギーを実現できる。

究極的にはガスや化石燃料からの水素生産をではなく、水から再生可能エネルギーを使いクリーンな水素を生産するのが目標となる。

IV 水素研究の現状と実用性及び普及度

さて、今回あがった水素の話であるが、わが国にとってはとくに魅力的なエネルギーであることがわかっていただけたのではないだろうか。本節では現在水素の研究がどの程度まで発達し、実用段階に迫っているのかを普及度の実情を紹介していく。また、大変有力な燃料電池であるが、まだまだ克服しなければならない課題も残っている。

1 水素研究の現状

現在まで経済産業省や企業、大学などの研究機関が数々の実証実験を行い、実用化に向けた努力をしてきた。しかし燃料電池の実用化、更に普及に関しては、製品の機能性とコスト、安全性といった点で改良が求められており、技術開発の壁に当たっている状況にある。経済産業省は「燃料電池、特に固体高分子形燃料電池の各構成要素はそれぞれ複雑で多岐に絡み合っていることから、技術革新のためには極めて広範囲なイノベーション・マネジメントが必要不可欠である」としている。2007年、新エネルギー・省エネルギー設備導入促進指導事業（燃料電池導入促進戦略広報等事業）として、「事業者、研究者、地方公共団体、一般国民等に対し、燃料電池の技術開発、政策及び導入実績等に係る情報を戦略的に広報し、技術等交流の場を設け、燃料電池に対する理解を深めるとともに、異業種連携等によるイノベーションを促進し、燃料電池の加速的導入の実現を図る」としている。

2 現状の普及度と今後の見通し

①燃料電池自動車

日本を代表する本田技研工業株式会社（HONDA）を例に、燃料電池自動車の普及度を見てみる。2002年にHONDAは国内販売認定と米国販売認定をうけ、日本の首相官邸と米国ロサンゼルス市長に燃料電池自動車を納車した。それまで何年も実験を重ねてきたが、ついに実用化することになる。翌年の2003年HONDAは世界初となる民間企業へのリース販売をする。相手は水素の国内トップメーカー岩谷産業株式会社である。その後もサンフランシスコ、カリフォルニア、冬には氷点下となるニューヨークでのリース販売をし、氷点下での活動もアピールした。また国内では出光興産株式会社へのリース販売や、北海道庁への納車などを果たした。2005年には世界で初めて燃料電池自動車を個人客に販売された。2年間のリース契約を結び、通勤をはじめ学校の送り迎えや買い物などで使用されることになった。日常的な使われ方のデータや一般ユーザーの視点でのフィードバックが可能となり、燃料電池自動車のさらなる進化へ向けて大きく前進した。

経済産業省では燃料電池自動車の導入目標を、2010年度までに5万台、2020年度までに500万台としている。燃料電池自動車はすでにリース販売として実用化がスタートしたが、本格的な普及にはまだ程遠い。

②家庭定置用燃料電池

家庭用燃料電池については、財団法人新エネルギー財団（NEF）が2007年独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から助成金を受け、定置用燃料電池大規模実証事業を行っている。大手ガス会社や石油会社が参画し、設置を希望する家庭に向けた各社が取り付けることになる。その際、電力の半分を燃料電池でまかなうため電気代は安くなるが、水素製造には都市ガス、LPガス、灯油等が使われるためその料金が発生する。しかし総合的に光熱費は低下すると説明を行っている。また燃料電池は2年間家庭に設置され、データの取得に協力することになる。燃料電池システムそのものはエネルギー供給事業者の所有なので、設置先の家庭に負担はない。ただし設置工事費用、メンテナンス費用等の負担については、エネルギー供給事業者と設置先のとの契約等の内容により異なる。

全国の設置台数は、北海道18、東北24、関東642、中部138、近畿201、中国69、四国50、九州113、沖縄2の、全国計1257台が設置されている（2007年3月時点）。政府の導入目標としては、2005年から2010年を導入段階とし、2010年に定置用燃料電池約220万kW、2020年までを普及段階とし2020年までに1000万kWを目標としている。家庭用定置燃料電池は1台＝1kWなので、今後の普及目標としてはかなり高いハードルとなっている。

以上、水素エネルギーの現状の普及度と今後の見通しについて概観してきたが、まだ本格的な普及には、相当の時間が必要であるし、各方面の協力的な体制が必要不可欠であると考えられる。

V 普及に向けて

未来の世界に不可欠な水素社会。その模範となるべく日本はその優れた技術を元に研究開発し、普及に向けて努力を重ねてきた。政府は2010年から2020年までを水素・燃料電池技術の「普及段階」としているが、どのようにして、広く世間一般にまで普及することができるのか。

本節では、前節で取り上げたような、諸々の課題をクリアし、水素社会にスムーズにシフトしていくためのシナリオをいかにして作り上げるか、ということを考えていきたい。ここでは課題のポイントを整理し、水素社会成立のための方策を導いてみたい。

1 技術課題

①コスト

普及に向けては、コストの削減が第一の課題として挙げられる。例えば、2003年にリース販売が開始されたトヨタ自動車株式会社、本田技研工業株式会社のリース価格は月80～120万円、実際に製造に要したコストは1台1億円以上とも言われている。燃料電池を構成する電解質膜やセパレータ、触媒といった部品を、いかに量産に向けた材質や構造で開発するかが低コスト化の鍵となる。

②水素製造

水しか出さないといわれる水素だが、そのままの形で自然界にはほとんど存在せず、多様な燃料から製造しなくてはならない。しかし、現在の状況では、燃料となる水素を化石燃料から製造することで機器を運用するというシステム設計がほとんどであり、相当量の炭素やその他環境汚染物質を排出してしまう。水素の有効性を100%利用するためにも、環境に負荷のない資源、つまり最終的には水・海水から水素を製造できた方が望ましい。

また、水素を電気分解する際の電力供給も太陽光や風力などのクリーン資源でまかなう必要があるだろう。

③貯蔵及び運搬

水素を貯蔵、運搬するための技術もより高性能なものが求められている。現段階での燃料電池自動車の航続距離は約300kmとされており、ガソリン車よりも劣っている。水素の貯蔵量をアップし、航続距離をガソリン車並みに伸ばせるよう、高圧ボンベの最高充填圧力上昇や、水素吸蔵合金の開発が進められている。また液体水素にすることで、液体で運ぶことも可能である。企業・大学や研究機関は、国からの支援を得て、水素製造から貯蔵・輸送のための技術開発に力を入れなくてはならない。ガソリン車に性能が追いつかないようでは、購入者は目を背けてしまうだろう。

④安全性

水素の安全性確保のため、現在、さまざまな研究や試験が行われている。水素を身近に安心して使っていくためには水素が安全であることを証明し、それを広く伝えなければな

らない。「水素＝危険」というイメージは、いわば誤解である。水素には、空気と適度に混ぜると燃えやすいという性質を持つてはいるが、それは燃料としての好条件ともいえる。燃料である以上、取り扱いに注意が必要なのは、ガソリンや灯油、天然ガスやLPガスも同じであり、それらの燃料と水素は安全性において大差なく、日常的に安心して利用できるものと言える⁶。しかし多くの人々は「水素＝危険」というイメージから抜け出していない。まずはこれを改善することからはじめなくてはならない。

2 政策課題

①水素ステーション

燃料電池自動車の普及させるためには自動車自体の問題と、もうひとつは自動車に水素を充填するためガソリンスタンドのようなものが必要になる。経済産業省が実施している水素・燃料電池実証プロジェクト（JHFC）では、様々な異なる燃料・製造方式で計9ヵ所の水素ステーション⁷を設置し、どの方式がどれだけのパフォーマンスを出すかということ进行调查している。

既存のガソリンスタンドがそのまま水素ステーションに移り変われば、経済的なメリットは大きいですが、その応用はそう簡単ではない。どんな形で供給するにせよ、インフラの設備が遅ればそれだけ普及も遅くなってしまふ。官民一体となり拡大していく必要があるだろう。

②国際協力

水素社会はまさに地球とともに生きるための究極の社会システムだが、エネルギーに関連した技術開発というものは安全保障的側面もあり各国のエネルギー政策による影響が極めて大きい。そのため異なる政策を採る国にいくら水素の有効性を訴えてもその国の協力なくして普及はない。グローバル化する現代社会では自国だけの身勝手な行動などできない。

例えば韓国など資源に乏しく、日本と同じような状況にある国と連携し、技術開発をすることができる。水素先進国であるアイスランドとの技術提携も有意義なものとなるであろう。また、EU やアメリカ、南米などの異なるエネルギー政策を主軸としている国にも水素の有用性をよりアピールし、多国間の連携によって問題を解決していける体制を作ることが望ましいのではないだろうか。

③技術開発における国の支援

多彩な新エネルギーの研究・開発を行っている日本であるが研究開発には民間に頼る部分が多く、水素研究は十分とは言えない。政府、民間での研究をさらに進めるためには、新技術が様々ななかで、有用及び実用化すべき技術を政府がある程度選定し積極的に研究を進めなければならない。企業は動学的利潤最大化を行う主体であり、長期的な目線で

⁶ 「JHFC 水素・燃料電池実証プロジェクト」より。

⁷ 脱硫ガソリン改質、ナフサ改質、LPG改質、液体水素貯蔵、メタノール改質、高圧水素貯蔵、アルカリ水電解、灯油改質、都市ガス改質の9方式。

見た利益を無視して研究開発投資を行うことは難しい。エネルギーのような国家の政策的面のある技術の開発は大規模になり、また政策変更のリスクも伴う。そのような状況では企業は有用性を認識したとしても大規模に研究を行うことが難しい。政府が積極的・競争的な研究援助を行うことで、技術開発の意思を示すことになり当然民間での研究も盛んになるであろう。企業は水素の将来性を認識し、一部であるが水素エネルギーを利用した製品が市販されている。官民を挙げて、水素・燃料電池分野の有用性をアピールし、政策的に資金を充てる努力が必要である。

④水素エネルギーへの認知の向上

技術研究は実用段階にせまり、求められる更なる技術の向上とインフラなどの社会システムの整備、そして国際協力の必要性を取り上げてきた。しかしこれらの情報、水素エネルギーの仕組みや有用性を一部の学識者たちの間だけでなく、最終消費者である市民にこれを伝え、共感してもらわなくてはならない。現在も環境フォーラムや燃料電池自動車の試乗会に案内するという事は行われている。しかし時間がなく参加できない人もいるだろうし、その存在すら知らない人も少なくないはずだ。

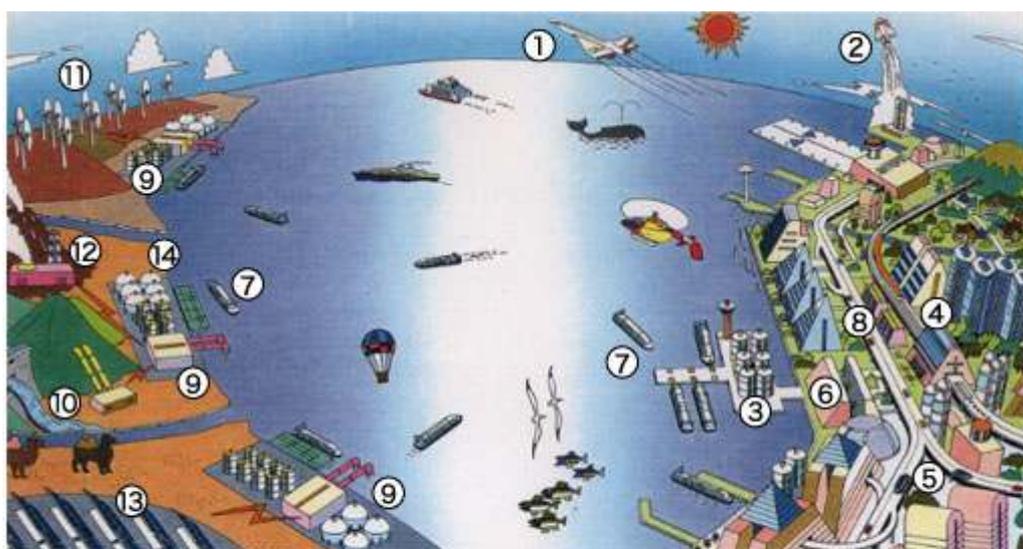
水素エネルギーの有用性、また水素エネルギーの構築を軸として、日本が海外依存から脱却することは、一般市民にとってどれだけメリットがあるのか。それを市民に理解してもらえなければ、当然市民は水素エネルギーを求めるはずもない。水素・燃料電池に関連した番組の制作、CMの制作を推進など方法はいろいろあるが、消費者である市民の水素エネルギーの認知向上に努めなければならない。

VI 水素循環型社会 *Hydrogen Society* の実現に向けて

水素の導入・普及段階では、最終的な目標である「究極的な水素社会」に比べ、CO₂を排出する化石燃料からの水素製造などの劣る面や、発展余地を残しているがための水素燃料・水素製品の規格変更のリスクなどの要素があってもしかたがない。水素社会への移行に伴い、様々な想定外の問題点も出ることだろう。しかし現在克服できないデメリットばかりに目を向けて、いつまでも手を打たずにいれば、資源の枯渇はやがて訪れることになる。目指すべき水素社会を実現するために、なんとかしてでも乗り越えなければならないと、そういう強い気持ちで取り組む必要があるだろう。

「究極的な水素社会」として、現在考えられているのが図3のような究極の循環型社会である。

図3 水素循環型社会



- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| ① 水素飛行機 | ⑤ 水素バス | ⑨ 水素製造プラント | ⑬ 太陽光発電所 |
| ② 水素ロケット | ⑥ 水素燃焼発電所 | ⑩ 水力発電所 | ⑭ エネルギー供給地 |
| ③ 水素貯蔵タンク | ⑦ 水素輸送タンカー | ⑪ 風力発電所 | |
| ④ エネルギー消費地 | ⑧ 水素自動車 | ⑫ 地熱発電所 | |

(出所) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構『わかる！水素エネルギー社会』

図3をみると、まずエネルギー供給地での水素製造が行われる。水力・風力・地熱・太陽光などの自然エネルギーを利用して電気を発生させている。この電力を直接全国へ供給するとなると、供給にムラができてしまい効率が悪い。そこで、発生させた電気を一度水

素製造プラントへと流し、プラントでくみ上げた海水を利用して水素を作り出す。こうすることで天候に左右されず恒常的に水素（電気）を生産、貯蔵、運搬できるようになる。水素と同時に出た酸素は、そのまま空気中に排出される。こうして自国内で、CO₂を排出することなくして作られた水素は、水素タンカーで水素の消費地へと送られる。また陸運、空運なども考えられる。タンカーで運ばれてきた水素の利用方法はいくつか考えられる。例えば運ばれてきた水素を一度水素貯蔵タンクに入れ、その後個別のニーズに適した大きさ・量に分けてから、各地水素ステーションやビルや工場、各家庭に供給させる。もしくは現在の発電所のような、大規模な供給設備に一度供給され、そこからパイプを利用して各地に水素供給がされる。一度水素発電所のようなものを作り、そこで反応させて各地へ電力供給をするといった形になるかもしれない。この場合、電線を伝っての供給となる点で現在と同じである。インフラの設置と、予想される運輸量の増加による交通量の増加など課題が多いため、段階的に供給方法は変化するかもしれない。いずれにせよ、供給された水素は各地で酸素と反応させ電気を発生させる。このときの反応では電気のほかにも熱と水が発生する。熱は貯めてお風呂を沸かせたりするのに使え、工場などでも熱エネルギーとして利用されるだろう。水はそのまま大気に吸収されるか、何らかの利用手段を考えて有効に活用することもできる。

以上が理想的な水素循環型社会の説明である。温暖化の要因となる化石燃料を使用せずに電気を発生し、何よりそれらの化石燃料を海外から輸入していない。水素を作る段階から使用した後まで、環境に負荷がかかるようなものは排出されていない。また、また何度でも作り出すことが可能なエネルギーとして、水素が活用されている姿となっている。

Ⅶ 最後に

エネルギー分野における海外依存の軽減、資源の分散化、そして環境問題。それらに有効な水素エネルギーの普及促進には、国や企業といった枠組みを超えた連携が求められることになる。これらの連携が拡大し、総合的な技術開発・研究開発につながり、実用化への歩みを一層加速させることは間違いない。日本という国にとって非常に有効な政策であるだけでなく、これは世界共通の課題を克服するための道である。

日本はこれまでエネルギーのほとんどを海外に依存し続けてきた。水素社会が日本にもたらしてくれるのは、注意すべきは、そうした海外への依存を「軽減させること」に過ぎない点である。石油や石炭、天然ガスなどはエネルギーであるとともに、それ自体が鉄やゴム、プラスチックや医薬品の原料である。その意味では、水素循環型社会が実現したからと言って、海外からの石油の輸入がなくなると言うことではない。

結局日本が資源に乏しい国であることは事実であり、海外からの輸入なくしては立ち行かない。しかしそうした国だからこそ、水素社会に取り組もうという問題意識を持つことになり、なすべき理由がある。

やがて水素社会となった日本は、環境問題を飛躍的に解決し、その完成された技術を海外に輸出することになるだろう。化石燃料社会から、水素社会へのシフトで培ったノウハウを惜しみなく海外に提供することで、世界全体が水素社会へとスムーズにシフトすることができるだろう。

世界中が水素社会システムを要求したときの、水素インフラ・燃料電池自動車や家庭用燃料電池、一連の水素技術で日本は協力できるのではないか。とくに、エネルギー効率の悪いとされる新興国は目先の経済成長を追求する傾向が強い。こういった国に対して、ODA的な仕組みで、水素エネルギー関連の技術供与をしていけるようになれば、世界における日本のプレゼンスも高まるだろう。資源に乏しい日本らしさを活かして、エネルギー分野で社会に貢献できると言うことの意味は非常に大きいだろう。

地球の危機を誰もが感じている中、各国はこぞって理想的な未来の社会を模索している。環境に優しい車づくり、環境に優しい発電システム。水素社会は今の世界が抱えている悩みを多く解決してくれる。理想的な循環型水素社会はまだ遠く、当面は海外からの輸入エネルギーを利用した水素社会の構築・基盤作りになるだろう。そのため日本は今後とも資源国との関係を密に、水素社会システムの構築を計画していかななくてはならない。このような社会システムの構築は、まさに21世紀型の産業革命といえるかもしれない。日本を筆頭に、世界的な取り組みにしなければならない。

参考文献

書籍・論文・統計

温室効果ガスインベントリオフィス（1990～2005）『日本の温室効果ガス排出量データ』
環境省（2005）『温室効果ガス排出量（確定値）』

_____（各年）『環境白書』

資源エネルギー庁（各年）『エネルギー白書』

_____（2005）『エネルギーバランス表』

清水和夫・平田賢（2000）『燃料電池とは何か 水素エネルギーが拓く新世紀』 NHKブ
ックス

松井賢一編著（1995）『エネルギー 戦後 50 年の検証』 電力新報社

Anderson, Richard G. and Jason J. Buol, (2005) “What Is Driving Oil Prices?” *FRB of St.
Louis Regional Economist*, January 2005.

W e b

NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク BIN (<http://www.npobin.net/>)

温室効果ガスインベントリオフィス (<http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>)

株式会社 N T T データ (<http://www.nttdata.co.jp/>)

環境省 (<http://www.env.go.jp/>)

経済産業省 (<http://www.meti.go.jp/>)

財団法人新エネルギー財団 (<http://www.nef.or.jp/>)

資源エネルギー庁 (<http://www.enecho.meti.go.jp/>)

新日本石油株式会社 (<http://www.eneos.co.jp/>)

水素・燃料電池実証プロジェクト（J H F C）(<http://www.jhfc.jp/>)

中部電力株式会社 (<http://www.chuden.co.jp/>)

東京ガス株式会社 (<http://www.tokyo-gas.co.jp/>)

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（N E D O）(<http://www.nedo.go.jp/>)

フォーラム・エネルギーを考える ETT (<http://www.ett.gr.jp/>)

富士電機ホールディングス株式会社 (<http://www.fujielectric.co.jp/>)

北海道大学学術成果コレクション (<http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/>)

本田技研工業株式会社 (<http://www.honda.co.jp/>)

IEA (<http://www.iea.org/>)