

水素エネルギー社会の実現に向けて¹

もしあなたの家庭に燃料電池があったなら

明治学院大学 西村万里子研究会 環境分科会

齋藤啓 坂上恵信 仁田脇佑司

日原由佳梨 堀友絵梨 八島大輔

2008年12月

¹本稿は、2008年12月20日、21日に開催される、ISFJ日本政策学生会議「政策フォーラム2008」のために作成したものである。本稿の作成にあたっては、西村教授（明治学院大学）をはじめ、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

第一章では問題意識と現在の技術や課題について触れる。産業革命以降、大量生産が可能になると引き換えに、地球温暖化問題が世界各国の重要課題として近年議論されてきた。地球温暖化に関して現在の状態（発電技術や運輸部門の排出）を説明する。

第二章では現在使われているエネルギーの現状分析を行う。エネルギーには大きく分けて二つのエネルギーが存在する。一つは化石燃料を燃焼させて得たエネルギーで、化石エネルギーと呼ぶ。もう一つは、太陽光や風力など自然現象を利用して転換したエネルギーを再生可能エネルギーと呼ぶ。それぞれのエネルギー源のメリット・デメリットをあげながら具体的な数値を提示して比較する。

第三章では、第二章を踏まえて、次世代のエネルギーとして何が得策であるかを検討する。ここで水素エネルギー社会に着目した。始めに、水素エネルギー社会の定義であるが、我々は、現在の都市ガスやガソリンのように、エネルギーの軸として燃料電池を利用することを水素エネルギー社会と定義した。その次にその資源となる水素の生成方法について触れる。現在では天然ガスなどといった化石燃料から水素を取り出す方法があるが、最も主流となるのは水の電気分解であろう。また水素の利用技術であるが、水素を利用するには先述のとおり、燃料電池に注目する必要がある。まず燃料電池の種類について触れ、その後家庭や自動車に普及させるにはどの種類の燃料電池が最適であるか検討する。また今日において、燃料電池が普及する際に抱える問題や障壁等も述べる。最後に、現在の水素エネルギー社会について政府や企業の取り組みをあげる。

第四章では、水素エネルギー社会の実験している団体や国の事例研究である。今日、水素エネルギー社会の実験としては世界各国で取り組みがなされているが、中でもアイスランドは国全体が水素経済社会へ移行するシナリオを組み、現在は燃料電池車の導入について実証中である。また日本でも北九州市が水素タウン構想を打ち出しており、水素の製造元からパイプラインを整備し、燃料電池を設置した家庭まで導入して、燃料電池による発電が家庭のエネルギーを賄うことができるかどうか、今現在実験中である。

第五章では、シミュレーションを行う。第一に、家庭用燃料電池の導入の効果について整理する。第二に、燃料電池車と電気自動車の比較をそれぞれのメリット・デメリットを考慮して優位をつける。第三に、ガソリン車と電気自動車（3パターン：電気自動車のみ、電源を燃料電池にした場合、太陽光発電と燃料電池を併用した場合）の導入した場合のCO₂削減効果について検討する。

第六章は、政策提言である。我々が提案する水素エネルギー社会の実現するために、第一章から第五章までを踏まえて、政策提言する。

目次

はじめに

第1章 現状と問題意識

- 第1節 問題意識
- 第2節 排出割合と現状
- 第3節 発電技術の現状
- 第4節 運輸部門の現状

第2章 エネルギーの現状分析

- 第1節 エネルギー概要
- 第2節 化石エネルギー
- 第3節 再生可能エネルギー

第3章 水素の現状分析

- 第1節 水素社会とは何か
- 第2節 水素の精製及び利用
- 第3節 燃料電池の技術
- 第4節 政府・企業の取り組み

第4章 事例研究

- 第1節 アイスランドの水素経済社会<国家事例>
- 第2節 福岡水素タウン構想<地域事例>

第5章 シミュレーション

第1節 家庭用燃料電池を導入した場合のCO₂削減効果

第2節 燃料電池車と電気自動車の導入効果比較

第3節 ガソリン車と電気自動車の導入効果比較

第6章 政策提言

第1節 利用者に負担を掛けない補助制度の確立

第2節 “水素”に市民権を

終わりに

参考文献・データ出典

はじめに

2008年7月、北海道の洞爺湖にて第三回首脳会議が開催された（通称：洞爺湖サミット）。この洞爺湖サミットでは、政治問題や世界経済等といった分野が話し合われたが、なんと言っても一番注目を浴びたのは環境問題、とりわけ地球温暖化対策であろう。1997年に京都議定書が採択され、先進国全体で1990年を基準年として温室効果ガス排出量をマイナス5%削減することを目標として制定された。その中でも日本は、マイナス6%削減することが求められた。その削減期間に該当するのが、2008年から2012年にかけての5年間である。つまり今年から削減期間に該当するため、どのような目標や政策を立てるのか期待された点が、特に注目された理由であると考えられる。

しかし日本で見ると、温室効果ガスのマイナス6%どころではなく、むしろ温室効果ガスの排出量は増加する一方である。温室効果ガスは、メタンや一酸化二窒素といった物質などで構成されるが、その中でも大部分の割合をしめるのが、二酸化炭素（以下CO₂）であろう。CO₂は、普段生活するうえで必ず排出されてしまう気体である。

CO₂を排出する主な要因として、エネルギー転換部門、産業部門、民生部門、運輸部門が挙げられる。日本におけるCO₂排出割合は、エネルギー転換部門が6.1%、産業部門が36.1%、民生部門が31.0%、運輸部門が19.9%と示されている。排出割合で見れば産業部門の排出が大きいですが、今までの推移やこれからの予測を分析すると、産業部門とエネルギー転換部門の割合は基準年と比較して大きな変化がないか、あるいは減少傾向にあることがわかった。

にもかかわらず、CO₂排出量が毎年増加傾向にあるのは、民生部門と運輸部門によるところが大きいと考えられる。民生部門のCO₂排出量の増加は、電化製品の普及が考えられる。電化製品は、我々の生活を利便性の向上等により豊かにする。しかし、普及により需要が増え、消費電力が大きくなったことから増加したものと思われる。

また運輸部門の増加であるが、1990年と比較すると「若者の車離れ」という言葉が叫ばれているものの、マイカー保有率は毎年増加している。したがって、CO₂排出量が大きく増加したものと思われる。

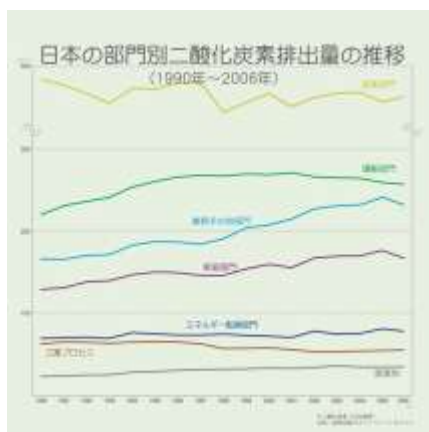
共通していえるのは、人類が利便性を追求するあまり、その代償としてCO₂が排出されてしまったということである。しかし、電化製品やマイカーといった今や生活必需品となった今、それらの使用を直ちに中止するわけにもいかない。

そこで我々は、民生部門と運輸部門におけるCO₂排出量の削減するために、現在の環境関連技術やコスト、エネルギー等を踏まえた上でそれぞれを比較・分析したところ、根本的なエネルギー供給の仕組みを変化させることでCO₂の削減を図ることが得策と考え、この論文にて政策を提言した次第である。

第1章 現状

第1節 問題意識

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第四次評価報告書によると、地球温暖化がこのまま推移すると21世紀末までに平均気温は1990年と比較して1.1～6.4℃の幅で上昇すると予測している。それによって私たちの生活に影響を及ぼす一つとして海面上昇の問題がある。例えば、仮に30cmの海面上昇があった場合には、砂浜の約60%以上が侵食され、干潟面積が減少するといった大きな影響を受けることが指摘されている。²また農業については、数℃以上の年平均気温の上昇に対し、一部の地域を除いて減収が予想されており、干ばつや洪水の増加などの極端な気象現象に伴い、水不足や水害が世界的に多発するおそれがある。



日本の部門別二酸化炭素排出量の推移

(出典)温室効果ガスインベントリオフィス

第2節 排出割合と現状

2006年におけるCO₂の総排出量は12億7400万tであった。主な排出要因としてはエネルギー転換、産業、民生、運輸等があげられる。排出割合はエネルギー転換部門が6.1%、産業部門が36.1%、民生部門が31.0%、運輸部門が19.9%の割合である。排出割合だけで見ると、一番大きな割合を占める産業部門の排出量の削減を試みれば手っ取り早い。京都議定書の削

² IPCC 第4次評価報告書

減目標値⁰（対 1990 年比）と比較すると、産業部門とエネルギー転換部門に関しては技術革新や企業努力の甲斐もあり、大きな変化は見られないか、あるいは減少傾向にある。

それに比べて運輸部門と民生部門においては一貫して CO2 排出量は上昇傾向にある。これはマイカー保有台数の増加や電化製品の使用に伴う消費電力の増大が主な要因として挙げられるだろう。

第3節 発電技術の現状

現在、発電所で行われている発電では多くのエネルギーロスが生じている。第一には発電に伴う際に生じる排熱が利用されずにいる。第二に、発電所でつくった電気を電柱や地中の電線によって工場や家庭など、遠く離れた場所に運ぶ際に数%の送電ロスが生じる点が挙げられる。つまり現状の発電では熱と電気エネルギーに無駄が生じている。

送電ロスでは発電所で作られた高圧電流に変電を繰り返すことで徐々に電圧を下がり、長距離の送電であっても送電ロスを低減する工夫がなされているが、それでも少なからずロスが生じてしまっている。また、作られた電力のうち実際利用されているエネルギーは 36%程度でしかなく、残りの発電によって生じる熱などのエネルギーの 64%あまりは海などに棄てられてしまっているのだ。



第4節 運輸部門での排出

第1項 部門別 CO2 排出量

1990 年から 2005 年での CO2 排出量の総量は約 11 億 4400 万 t から 12 億 9300 万 t まで増加している。主要部門で見ていくと、エネルギー転換部門で 1990 年比より 15.7%、家庭部門で 36.7%、運輸部門で 18.1%の CO2 の増加がみられる。このような現状が維持されていると、京都議定書で制定した CO2 を 6%削減することは到底困難であるといえる。

第2項 家庭部門の CO2 排出量

家庭部門の CO2 排出量の割合は全体の排出量の中で 13.0%を占めている。また家庭内での CO2 排出の主な燃料は電気とガソリンが占めている。つまり車や家庭用電気製品の使用が原因

⁰ 対 1990 年比 マイナス 6% ・ 京都議定書第三条

であるといえる。私たちの生活の中でこの 2 つはもはや欠かせない物であり、それを無くすことは不可能である。それ故に個人個人が環境やエコを自覚し、それぞれに節約を心がけるといった地道な活動が必要になってくる。

第3項 運輸部門 CO2 排出量

運輸部門では道路交通環境問題の現状として、自動車から排出される窒素酸化物や粒子状物質などによって生じる大気汚染が深刻である。また CO2 は自然環境にも人体にも悪影響を与えるといわれている。2006 年、日本の CO2 排出量の総数は 12 億 7400 万トンにおよぶ。そのうち運輸部門の排出量の割合は 19.9%になる。この割合は産業部門の 36.1%に次ぐ第 2 位となっている。これによって交通などがいかに地球温暖化に影響を与えているかが良く分かることとなった。また運輸部門に対して何らかの対策が必要不可欠であることは間違いない。国内では京都議定書において、温室効果ガスを基準年の 1990 年度比 6%削減することを約束した第一約束機関を迎えるにあたり、京都議定書目標達成計画の全部改訂が行われ 2008 年 3 月に閣議決定、記載された運輸部門における施策の概要は、CO2 排出量を 2005 年度実績の 2 億 5700 万トンから 2010 年度には 2 億 4000~2 億 4300 万トンに削減する計画が立てられている。³ハイブリットカーや低燃費自動車などを普及させることはもちろんのこと、燃料電池自動車や水素自動車といった新たな技術を駆使し、更なる低炭素社会に向けた努力が必要になってきている。

³ 環境庁 『京都議定書目標達成計画』

第2章 エネルギーの現状分析

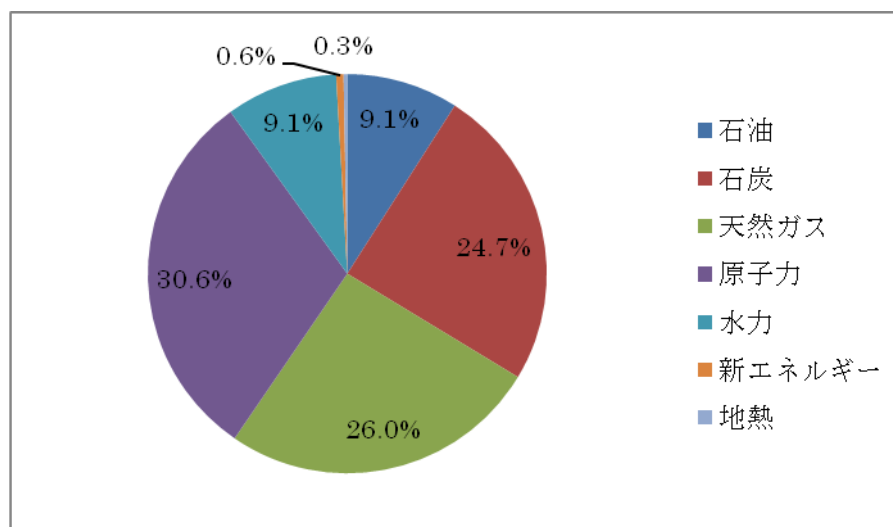
第1節 エネルギー概要

エネルギーは大きく分けて2つに分類される。

一つは化石燃料で、地中に埋蔵されている再生産のできない有限な資源である。化石燃料は、動植物の死骸が地中に堆積され、長年を経て有機的な燃料に変化する。石油・石炭・天然ガスやウランなどがこれにあたる。化石燃料は、後述する再生可能エネルギーと比較すると貯蔵・輸送の点で優れ、大きいエネルギーを取り出せることから、現在使われている総エネルギーの約90%を担っている。しかし、資源量が有限であるがゆえに可採年数が気にかかる。加えて、化石燃料を燃焼した際に発生するCO₂や窒素酸化物(以下NO_x)、硫黄酸化物(以下SO_x)等が地球環境に大気汚染をもたらす、大気中の水分と融合して酸性雨となり、植物の枯渇だけでなく人体にも影響を及ぼすほか、CO₂が温室効果ガスとなり地球全体の温度を上昇させる地球温暖化を引き起こす。

もう一つは、再生可能エネルギーとよばれ、自然環境で起こる現象から取り出すことできるエネルギーをいう。具体的には、太陽光、地熱、水力、風力、波力といったものが該当する。それゆえに資源量が無限であり、資源が有限である化石燃料の代替エネルギーとなりうるのではないかという議論がある。しかし、再生可能エネルギーは化石燃料と比較するとエネルギー密度が低く、今の科学技術ではエネルギーを生成するコストが高い。また、自然現象に影響されるため、エネルギー供給が不安定であるため、化石燃料の代替となることができるとは言い難い。

ではここで、これらの二つのエネルギーをより具体的にみていくこととする⁴。



⁴ 以降具体的な数値は、内閣府 原子力委員会 各電源特性比較表より

第2節 化石エネルギー

第1項 石油火力発電

第一に、化石燃料を源としているのは、主に火力発電と原子力発電である。火力発電は、燃料の石油や石炭、天然ガスを燃焼させた時に出る蒸気のでタービンを回し、その運動エネルギーが電気を作るしくみである。現在の日本の発電量 108 億 124 万 kWh のうちの約 50% の 51 億 4517 万 kWh を、この火力発電占めている。火力発電は主に 3 つの燃料を使用し、その燃料ごとに発電所は異なる。その燃料の一つは石油である。

2006 年現在、総発電量の約 9.1% を石油火力発電でまかなっている。石油火力発電は、燃料が石油故に貯蔵と輸送に優れ、電力需要に対応しやすいことから、1980 年においては、総発電量の 43% を占めていた。しかし、日本の原油は主に中東地域から調達しており、原油価格は中央の政治情勢が大きく左右する。つまり、価格が安定していない。オイルショック以降、その代替として石炭や天然ガスへのシフトが進み、2006 年現在では 9.1% にとどまった。また、可採年数は 41 年と推定されており、資源量も気になる。加えて、化石燃料ゆえに温室効果ガスや大気汚染に影響する物質を排出する。1kWh あたりの CO₂ 排出量は 700~800g/kWh、NO_x 排出量は 1.0~1.5g/kWh、また SO_x 排出量は 1.0~3.6g/kWh とのデータがある。発電コストは 1kWh あたり 10.0~17.3 円と試算されており、後述するエネルギーと比較すると全体的にいい数字とは言えない。電力変換される際の発電効率は、37.2% である。

第2項 石炭火力発電

第二に、石炭火力発電について述べる。石炭火力発電は、2006 年では 24.7% を占める。オイルショック以降、石油の代替として石炭や天然ガスの割合が高くなってきたが、当時は天然ガスを使った火力発電の技術が進歩していないこともあり、90 年後半の電力自由化の要因も踏まえると、必然的に石炭の割合が高くなっていった。他のエネルギーと比較すると、石炭の魅力はその資源にある。石炭は石油と違い、政情が安定している世界各国に存在することから、資源価格が安定しており、発電コストは 5.0~6.5 円/1kWh である。また可採年数も 155 年と石油・天然ガス・ウランと比較するとはるかに長い。しかし、石油と比較すると発電効率は約半分になり、CO₂ 排出量も 1kWh あたり 800~1100g/kWh と高い。また、NO_x 排出量は 0.5~2.2g/1kWh、Sox 排出量は 0.4~1.4g/kWh であり、環境負荷が高い資源と言える。

第3項 LNG 火力発電

第三に、天然ガス (LNG) よる火力発電を述べる。天然ガスは石油や石炭と比較すると、環境負荷が低い化石燃料である。NO_x 排出量は 0.1~1.4g/1kWh できほど大差ないと思われるが、CO₂ 排出量は 400~500g/kWh である。加えて Sox は 0~0.3g/kWh とほぼ 0 に近い数値であり、非常に魅力的な燃料である。また、資源も石油ほど産出国が偏っておらず価格も安定しており、5.8~7.1 円/1kWh と計算される。加えて、発電効率も最新技術のコンバインドサイクル発電(ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電する方式)⁵を活用すれば 50% を超える。しかし、ガスを効率よく運搬・貯蔵するには液化が必要であり、そのためにはガス自身を冷却する方法がとられているが、冷却するのに必要なエネルギーがかかること。また、石油と同様に可採年数が 2006 年では 65 年という結果が出ている。ただ、先述のように火力発電の燃料としては石油、石炭と比較すると優れている化石燃料といえよう。

次に、原子力発電について述べる。2006 年度、全発電量に占める原子力発電の割合は約 40% で、現代の電力としては欠かせない電源となっている。原子力発電の CO₂ 排出量は、0~40g/kWh

⁵ TEPCO 電気・電力辞典より

であるが、発電過程ではCO₂は発生させない。また、NO_x排出量は0.0～0.2g/1kwh、SO_x排出量は0.0～0.2g/1kwhと、化石燃料を使用した発電方法の中では環境負荷の側面だけで考えると最良の手段である。また、発電効率は約35%にとどまるものの、発電コストは、4.8～6.2円/kWhで他の発電方法と変わりが無い。しかし、原子力発電はいざ事故が起きた時のリスクが高く、発電所設置の際にも近隣住民の反発を受けるなど課題も大きい。また、ウランニウムの可採年数は2006年現在約85年と試算されているが、プルサーマル計画(使用済み燃料を再処理して取り出したプルトニウムとウランを混ぜて加工し生成されたMOX燃料原子力発電所で燃料として使用すること)⁶を考慮するとその核燃料の量は大きく伸びる。

第3節 再生可能エネルギー

ここで、再生可能エネルギーについての詳細を述べる。再生可能エネルギーについては、発電過程ではCO₂、NO_x、SO_x排出量ともに0g/kWhということが分かっている。

第1項 水力発電

水力発電とはダムを利用した発電方法で、水の落下エネルギーを発電用の水車を利用することで電気に変換する発電方法である。CO₂排出量は0～120g/kWh、NO_x排出量は0g/kWh、SO_x排出量は0～0.1g/kWhである。また発電コストも、化石燃料を使用した発電方法よりは若干劣るが、8.2～13.3円/kWhである。そして需要には落水量を調節すればいいだけなので供給安定性にも優れていることから、他の再生可能エネルギーと比較すると圧倒的に勝る。だが、ダム建設は大規模工事にならざるを得ないため、建設時の環境負荷が大きなものとなる。したがってダムを立すればいいとは一概に言えない。

第2項 太陽光発電

次に、太陽光発電について述べる。太陽光発電とは、太陽電池を使い、太陽光を電気に変換して利用する発電方法であり、太陽光さえあればどこでも発電できることから、太陽電池は家庭用を中心に普及し始めている。CO₂排出量は40～100g/kWh、NO_x排出量は0.1～1.3g/kWh、SO_x排出量は0.1～0.3g/kWhである。発電効率は約10～20%程度にとどまり、また太陽電池コストがいまだに高価であるため、その購入コストを踏まえると46円/kWhと非常に高価な数値がでる。

第3項 風力発電

次に、風力発電について述べる。風力発電とは、風力で風車を回し、その回転エネルギーを発電機に伝えて電気を起こす発電方法である。CO₂排出量は10～20g/kWh、NO_x排出量は0～0.1g/kWh、SO_x排出量は0～0.1g/kWhである。発電コストも約10～14円/kWhと再生可能エネルギーの中では比較的安価であるが、風力は気象による変化が激しいために安定した供給量は見込めない。また、風車の設置場所による景観や騒音、野生動物への影響などの他の問題も発生する。加えて、発電効率は約25%でありあまり高いとはいえない。

■各電源別特性比較表⁷

	可採年数	CO ₂ 排出量※	NO _x 排出量※	SO _x 排出量※	効率	発電コスト
石油	41年	700～800g/kWh	1.0～1.5g/kWh	1.0～3.6g/kWh	37%	10～17.3円/kWh
石炭	155年	800～1100g/kWh	0.5～2.2g/kWh	0.1～1.4g/kWh	20%	5～6.5円/kWh
LNG	65年	400～500g/kWh	0.1～1.4g/kWh	0～0.3g/kWh	55%	5.8～7.1円/kWh
原子力	85年	0～40g/kWh	0～0.2g/kWh	0～0.2g/kWh	35%	4.8～6.2円/kWh
水力	∞	0～120g/kWh	0g/kWh	0～0.1g/kWh	80%	8.2～13.3円/kWh
太陽光	∞	40～100g/kWh	0.1～1.3g/kWh	0.1～0.3g/kWh	10%～20%	46円/kWh
風力	∞	10～20g/kWh	0～0.1g/kWh	0～0.1g/kWh	25%	10～14円/kWh

※各排出量は、ライフサイクルを通じたその排出量(発電所建設、燃料取得、運転、廃止措置を考慮)

発電割合：統計局データにより独自で算出

第3章 水素の現状分析

第1節 水素社会とは何か

第1項 水素社会の定義

現代社会において、経済活動を行なうにしても、一般の生活を営むにしてもガソリン、都市ガス、電気といったエネルギーを用いなくてはならない。私たちがこれらのエネルギーを大量に消費することによって、地球温暖化の原因となる CO2 排出が自然環境で補えないほど増加している。地球環境を考えると CO2 を排出してしまう、これらのエネルギーの利用を、減らす方向に向けていかななくてはならないはずである。しかし現段階では、クリーンなエネルギー、エネルギー媒体は存在するものの、石油、都市ガスなどに変わる中心的な役割を担うエネルギーとなる目途は立っていない⁸。

ここで、再生可能エネルギーが安定的にかつ大量に供給されるということの難しさを解決するために、現在利用されている中心的なエネルギーとあわせて用いることによって、CO2 の排出を相対的に減らすことができるという重要な点と、現在用いられているエネルギーと同様に幅のある利用ができるように目指すことを考える。複数あるクリーンなエネルギーと言われるものの中から、我々が最も優れていると考える水素をエネルギーの媒体として、利用を目指すことが理想である。また水素を用いる際に、燃料電池を利用することがより効率的であると考え。現在、利用されているエネルギーの中から燃料電池を家庭に、また自動車に用いることによって、利用するエネルギーの軸となるガソリン、都市ガスなどと同様に利用、普及されるように広めていくこと、以上のような、現在使われているエネルギーとともに水素をエネルギーの媒体として利用することを水素エネルギー社会の定義としたい。

第2項 燃料電池の歴史

燃料電池の原理の発見は、約 200 年も前のことであり、古くから存在するものとされているが、実際に利用されるようになるのは、1960 年代の宇宙計画における宇宙船などの電源装置として用いられるようになってからである。宇宙船での利用が考えられるようになったのは、水しか発生させないクリーンな燃料電池が注目されたからである。また、発生した水は、飲み水としても利用することが考えられており、特に有人宇宙船の電源として利用されることとなる。宇宙船などで用いられるように研究を進める一方で、一般での利用のために研究も進められてきた。電力事業を担うため、電力会社によって大型燃料電池を、ガス会社による小型化を目指した研究とそれぞれが並行して行われていた。日本においても、大容量であるリン酸型燃料電池の開発が進められ、1992 年に実用化テストを行い、現在までに、209 プラント、約 5 万 kW が導入されている。さらに、それまでの大型、高コストに対する研究より、自動車、家庭、モバイルなどに利用するための小型、低コストの燃料電池の開発が進められるようになる。

⁸ 日本経済新聞 2005 年 5 月 11 日付「新エネルギーって何？」

第2節 水素の精製及び利用

本節ではクリーンなエネルギーの媒介として、我々が着目した水素について、様々な精製方法と利用方法について、具体的な種類や方法について探り、現在、水素を最も有効に利用できる燃料電池について述べたい。

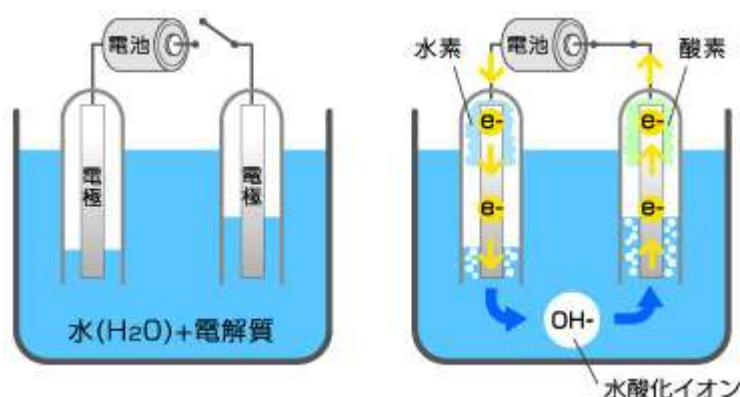
第1項 水素の精製方法

水素というものは、石油、石炭などのように採掘されるものではなく、単独の元素として存在していない。水素を用いたエネルギー社会を構築するためには、水素を精製しなくてはならず、そのために複数の精製方法がある。現状の研究、試験の進捗状況も含め、より実用性の高いものを見出さなくてはならない。まず、精製方法として化石燃料を用いた水蒸気改質、部分酸化、オートサーマル、石炭ガス化があげられる。次にバイオマスエネルギーによるものであり、微生物の発酵、光合成を利用した方法があげられる。この方法は、一切のCO₂を排出しないクリーンな方法であり画期的なものであるが、まだ研究開発中の技術である。

そして、我々が着目した精製方法は水の電気分解であり、水素を水から電気を用いて精製する方法で、外部から電気エネルギーを流すことによって、本来の水の水素と酸素が結合している状態から分解され、水素と酸素を得ることができるというものである。このとき、電気を水の中で流しやすくするように、電解質と呼ばれる水酸化ナトリウムなどを加える。以上のような方法で、水素を精製することが可能となる。原理としての水の電気分解については、水に電解質を加えて、陰極と陽極のそれぞれの電極に電池をつなげると、陰極では、電極によって電子が流れ、水と反応することで水素、水酸化イオンが発生し、陽極では、水、酸素、電子が発生する。発生した電子は、陽極から電池へと流れる仕組みとなっており、これらの電気分解の反応を式で表すと $H_2O \rightarrow H_2 + 1/2O_2$ というものである。

まず、水素の精製方法として、化石燃料から水蒸気改質を行なうというもので、この方法が最も広く用いられており、天然ガス、灯油などの化石燃料に水蒸気を反応させる方法である。この方法では、1日に100万m³を超える大量の水素生産が可能である。その他にも、オートサーマル、石炭ガス化、化石燃料の部分酸化など、化石燃料を用いた方法があげられる。

水の電気分解の図解

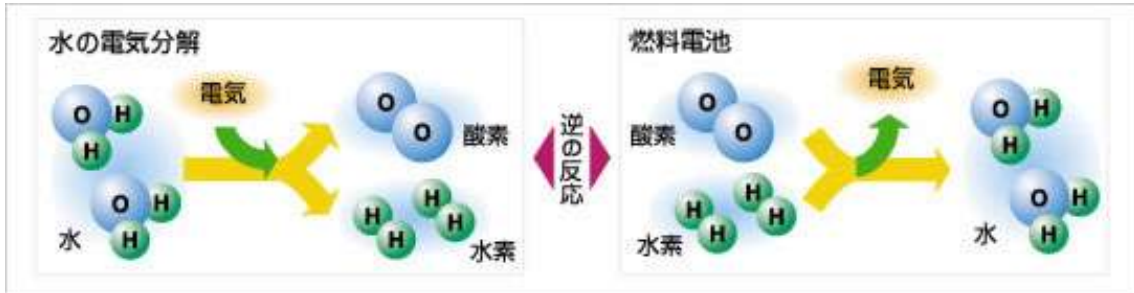


資料：東京ガス HP

第2項 水素の利用方法

前述した水の電気分解を応用することで、水素と酸素を電気化学反応させ、逆に水素と酸素が結合し水となり、電気エネルギー作り出すことが可能となる。この原理を用いたものが燃料電池であり、燃料電池を用いることで水素をエネルギーの媒介として使うことができ、効率的なエネルギーの利用が可能となるのである。

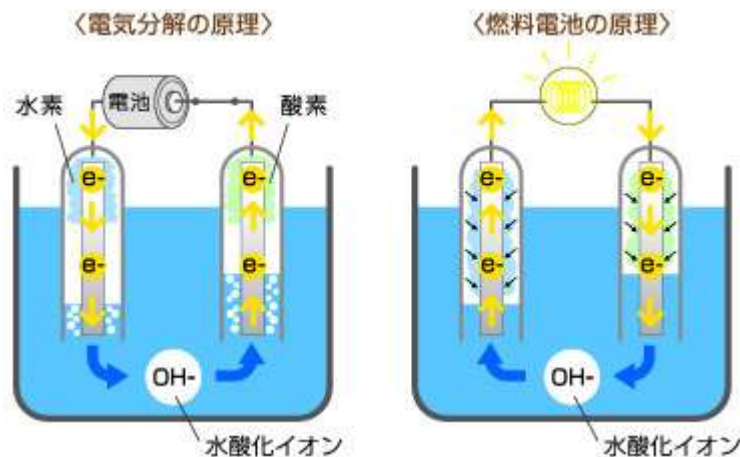
水の電気分解と燃料電池の図解 (1)



資料：NBS 株式会社 HP

原理として水の電気分解と燃料電池については、水の電気分解では電解質を水に加え、電極として白金黒を水の中に入れる。その後、電池をつなげることで陰極に水素、陽極に酸素が発生する。電池の代わりに豆電球をつけ、電極にたまった水素、酸素の反応によって豆電球が点灯する。陰極では、水素と水酸化イオンが反応して、電子が発生することで豆電球が点灯する。反応を式で表すと $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ であり、一方で、陽極では、水と酸素が電子と反応して、水酸化イオンを発生させるのであり、反応式では $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ となる。つまり、陽極で発生した水酸化イオンを陰極で水素と反応することで、電子を得られるということで、水の電気分解の逆となると言えるのである。

水の電気分解と燃料電池の図解 (2)



資料：東京ガス HP

燃料電池の種類として、リン酸形、固体高分子形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形、固体高分子形などの種類があり、これらの燃料電池は、低い場合でも 35 パーセント、固形酸化物形などでは、60 パーセントと発電効率が高く、使用する際に排熱を発生させる。こちらも低いもので 60℃、高いものになると 1000℃に達する。この廃熱を利用したコージェネレーションシステム⁹を用いて、無駄なく給湯、暖房などに利用することが可能となる。実用化に向け、研究段階のものもあるが、操作性の容易さ、安全性も含めて家庭用として利用されることを想定している

⁹ コージェネレーションシステムとは、ガスを用いて電気と熱を取り出す仕組みであり、取り出した電気とともに、排出した熱をエネルギーとして、給湯、暖房などに利用するシステムのことである。

ものから、大型の発電施設として利用することも考えられている。これらの燃料電池の燃料となるのは、天然ガス、ナフサなどの化石燃料を用いる場合が多い。

燃料電池の種類・特徴

種類	リン酸形	熔融炭酸塩形	固体酸化物形	固体高分子形
電解質	リン酸水溶液	炭酸リチウム/炭酸カリウム	ジルコニア系セラミック	高分子電解質膜
運転温度	160～210℃	600～700℃	900～1000℃	60～80℃
発電効率	35～40%	45～60%	45～60%	35～45%
開発状況	実用化	実用化	開発段階	実証段階
主な用途	産業用 業務用	産業用 業務用	産業用 業務用	家庭用 自動車用

資料：日本燃料電池株式会社 HP

第3項 水素の安全性

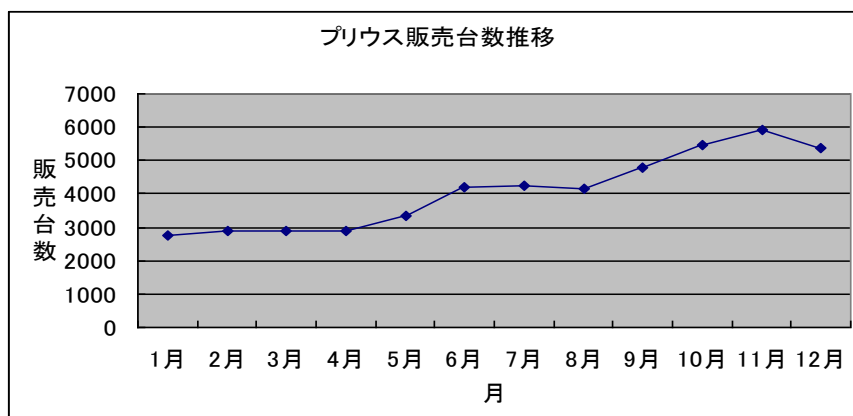
水素を用いた燃料電池を利用することを考えた場合、安全性という点について述べなくてはならない。もともとは、水素を飛行船に利用することが 20 世紀前半にひろまっていたが、1937 年に起きた大型飛行船のヒンデンブルグ号の炎上事故により、水素が危険であるというイメージが定着していくようになった。しかし、現在に至り、その事故発生の原因が水素の爆発ではなく、別に原因があるというようになった。燃料となるものは、ガソリン、天然ガスも取り扱いにある程度の配慮が必要なものであり、それは水素も同様である。また、ガソリン、灯油などは、液状であるため、漏れて発火した場合、燃え広がってしまう。そこで水素は、大気中に拡散するだけであり、発火しても垂直に燃えるだけである。水素が危険と言えるのは、タンクなどで密閉された中で酸素などと混ざり合い、火が点くという特殊な条件のもとで起こる状況である。

燃料電池として用いる場合でも、十分な安全対策を行っており、水素が外部に漏れることもなく、さらに安全基準が策定されていることから、実用となる場合は、その基準に則った安全な燃料電池を利用することが可能であるため、安全性は高いと考える。

第3節 燃料電池の技術

第一項 燃料電池車

今現在地球温暖化や化石燃料の枯渇問題などを懸念してか、自動車メーカーが特にしのぎを削って次世代自動車を研究・開発を行っている。特に近年においてトヨタ自動車のハイブリッドカー、プリウス販売台数が著しく増加傾向にあるのは、先の問題や燃料価格の高騰のあおりを受けてのことであると予想できる。



資料：日本自動車販売教会連合会 HP

次世代自動車として主に電気自動車が期待されているが、電気自動車はバッテリー車と燃料電池自動車に分別することが出来る。バッテリー車は自宅や施設にて自動車に積載されている電池に充電をした電気を使用し走行するが、燃料電池車は従来のガソリン車のように水素ステーションで水素を補給し、自動車の燃料電池で酸素と化学反応を起こし電気を作り、その電気を使用して走行する仕組みである。

現在開発されている燃料電池車の一例として、本田技研工業の FCX クラリティ¹⁰に注目する。次世代自動車の課題として挙げられるのは、航続走行距離と価格であろう。航続走行距離は 10・15 モード走行において、620km の数値が出ている。タンク容量が 171L という事から、約 3.63km/L という燃費が算出できる。また、モーター出力が 100kw という数値が出ている。

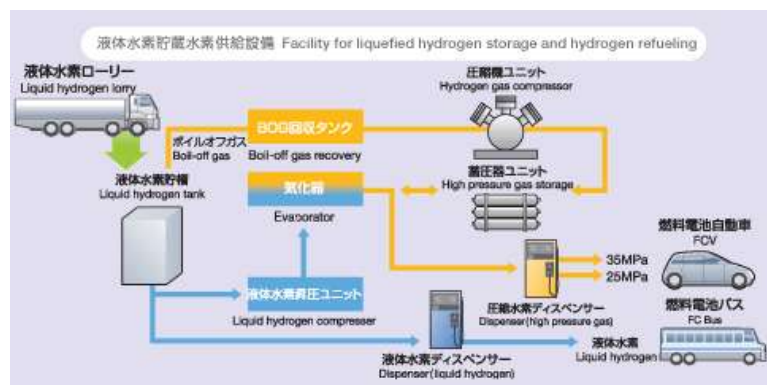
本田は、1999 年より燃料電池車の研究・開発に手を入れている。2001 年では、FCX-V3 という試験車を公開したが、モーターの出力が 60kw で、航続距離も約 180km 程であった。対 1999 年比で FCX クラリティを比較すると、かなりの技術進歩が見られるであろう。

今現在、FCX クラリティは米国において月額 600 ドル(3 年契約)でリース販売しているが、あくまでもこの価格は採算割れの価格である。その価格ゆえに現在では、個人へのリース販売はなく、リース対象はあくまでも公官庁や企業が対象である。

第2項 水素ステーション

燃料電池自動車が普及するに当たっては、水素の供給場所の存在が欠かせない。JHFC は現在、日本各地に 11 基の水素ステーションを整備している。

水素ステーションは、昭和シェルやコスモ石油といったエネルギー産業が水素の生成から供給まで各自運用している。有明水素ステーションを例にとると、昭和シェルと岩谷産業が水素製造工場より液体水素をタンクローリーで運搬し、タンクに貯蔵している。



資料：JHFC HP

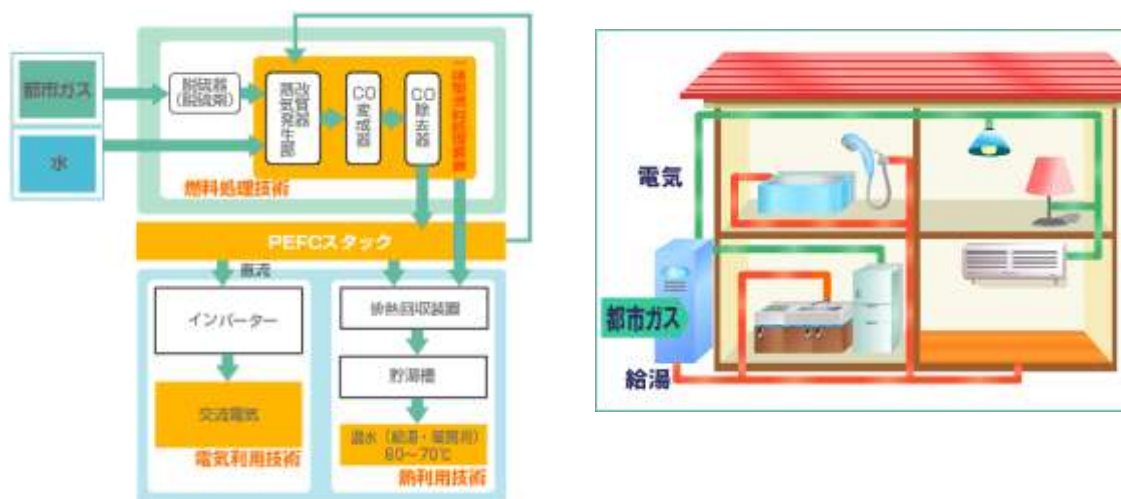
¹⁰ 本田技研工業株式会社 FCX クラリティ HP より

水素ステーションは、ガソリンスタンドと同じように、水素を供給する拠点となる場所であるが、今現在水素ステーションの整備は進んでいない。燃料電池自動車が普及するには水素の供給場所の確保が前提条件となる為、インフラ整備が課題となる。水素ステーションの建設は、約2～3億円¹¹かかるとされている。

第3項 家庭用燃料電池

家庭に用いる燃料電池は、都市ガスと水を用い、都市ガスを供給することで、燃料処理をして硫黄成分の除去を行い、燃料電池の燃料となり電気と熱を取り出す。取り出した電気と熱を家庭内の電力として用いることと、熱を温水として風呂、水道での給湯や床暖房などに利用することが可能となるのである。また、家庭用燃料電池として、継続的にガスが供給されていることで安定した発電が可能となる。しかし、ごくまれではあるが、排出した温水で貯湯槽が満水になっている場合は発電することができないため、恒常的な発電が可能なものではないと言える。

燃料電池の仕組みと流れ

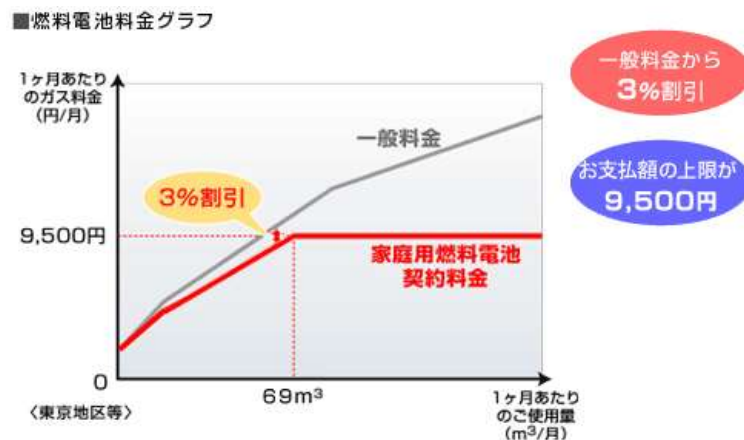


資料：東京ガス

¹¹ 関西電力 HP より

第 2 節で述べたように燃料電池にも複数の種類の電解質を用いたものが存在する。その中でも、家庭用燃料電池として期待されているのが、固体高分子形を用いるものである。固体高分子形燃料電池は、作動温度が他の燃料電池と比べて 60～80℃と低く、起動時間が短い故に、電源のオンオフに柔軟に対応でき、かつ排熱をコージェネレーションシステムにより効率よく使うことが出来るために、家庭での発電機として期待されている。

東京ガスは試験的に、家庭用燃料電池「エネファーム」の使用実験を、有償でモニターを募り実験している。このモニター実験であるが、モニター側は FC パートナーシップ契約を東京ガスと結び(4年間)、費用負担を 40 万円負担し、運転データの報告やアンケートに協力をする。それとガス代の割引や定額料金と言ったインセンティブを与えると云うものである。その他にも現在では、家庭用に燃料電池を 10 年 100 万円での契約で利用が可能となり、電気代を約半額まで減らすことができるとされている。一方で、ガス使用量は、約 1.5 倍になると考えられている。しかし、一定の使用量を超えるとガス料金は 9500 円に固定され、ガス代としての負担は増えることはない。



資料：東京ガス HP

第4節 政府・企業の取り組み

本節ではこれまでの水素、燃料電池の仕組み、有効性などがわかった上で、日本における水素、燃料電池についての研究、開発について探ることで、政府、企業によって、現在までにどのような方針、取り組みが行われているかについて述べる。

水素を用いたエネルギー社会の構築のための燃料電池について、近年の政府の方針、取り組みについては、経済産業省が主導となり、研究機関、企業などと共同で、実用化に向けた研究、開発を進めている。1999 年 12 月に資源エネルギー庁長官の私的研究会として、「燃料電池実用化戦略研究会」が設置された。2001 年 1 月の報告では¹³、燃料電池導入による省エネルギー、環境負荷低減、エネルギーの石油からの代替などの導入意義、実用化、普及のための技術面、経済面の課題について、3 段階による課題解決に向けたシナリオが描かれている。その内容としては、第 1 段階を基盤整備、技術実証段階とし、第 2 段階を導入段階として、市場導入の加速化、燃料電池を自動車用約 5 万台、定置用約 210 万 kW を目標と定めた。第 3 段階は普及段階であり、自立的な市場の拡大、さらに公共関連のみでなく、一般の民間部門への進展し、2020 年までには、自動車用が約 500 万台、定置用が約 1000 万 kW を目標とするというものである。

また、このシナリオに即すように、2002 年から「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)」という経済産業省が実施する燃料電池システム等実証試験研究補助事業に含まれる「燃料電池

¹³ 経済産業省 (2001 年) 『燃料電池実用化戦略研究会報告』

自動車実証研究」、「水素インフラ等実証研究」から構成されるプロジェクトを実施している。各種原料からの水素製造方法、現在の使用条件下での燃料電池自動車の性能、環境特性、エネルギー総合効率や安全性などに関する基礎的な情報を収集、共有化していき、本格的な燃料電池自動車の生産、普及を目指すためのプロジェクトとなっている。

その中で、2002 年度から 2005 年度を第一期として、燃料電池自動車の自動車としてのエネルギー効率の高さ、燃料電池自動車、水素ステーションの実証データから、エネルギーの採掘から、精製、実用することでの消費などを含めた総合的なエネルギー効率を明らかにしたことが成果としてあげられる。次に、2006 年度から 2010 年度を第二期として、現在の取り組みとなっているおり、燃料電池自動車等、水素製造・供給設備の実用化に向けた課題の明確化、規格、法規、基準作成のためのデータ取得、普及促進のための広報・教育戦略の策定実施、省エネルギー効果、環境負荷低減効果の確認や技術、政策動向の把握というものが目的としてあげられる¹⁴。

JHFC には、国内外の自動車メーカー、石油元売り企業、都市ガス、電気事業などの企業が参加している。水素、燃料電池の普及のために、自動車メーカーによる燃料電池自動車等の研究、石油元売り企業による首都圏、中部地区、関西地区で 11 基の水素ステーション、1 基の液体水素製造設備の整備など、実証実験を行っており、ガソリン、ガスなどに代わるエネルギーとしてのインフラの整備も進められているのである。

また、JHFC では 2003 年から毎年、広報活動の一環として、環境問題、燃料電池自動車、水素などの認知度について調査している。そのうちの 2007 年の調査結果から水素と JHFC プロジェクトの対する意識について見てみると¹⁵、爆発、危険などというネガティブな意見が多く、他のクリーンエネルギーと混同するなど十分な知識が持たれていない。その反面、水素の将来性に期待している人は、多いということがわかる。JHFC の認知度については、年度別に比較して、徐々にひろまってきている。しかし、このような広報活動というものの認知度は低く、まだ、このプロジェクトの認知がされていないことがわかる。

資源エネルギー庁の毎年発表する、『エネルギー白書』の中から 2004 年に重要事項として取り上げられた内容によって¹⁶、現在の日本政府の水素に対する方針、取り組みを見ることが出来る。その『エネルギー白書』では、「水素エネルギー導入に向けた機運」として以下のように取り上げられている。その内容としては、技術的、制度的課題に対し、民間との実証試験について、研究、基準、枠組みの策定と基礎の段階であり、政府の方針、取り組みというものに具体性がなく、また、実行性も乏しいものであると言え、国内においては、水素を用いた燃料電池自動車の実験に留まる。そして、世界的には、「水素経済のための国際パートナーシップ」という会合において、燃料電池などの水素技術の研究、商業化に向けた実証、世界共通の基準の策定、水素の生産、輸送における国際協力の足がかりとなる枠組み文書の作成となっている。さらには、2002 年 2 月の国会での内閣総理大臣の施政方針演説において、当時の小泉総理大臣が「燃料電池は、水素をエネルギーとして利用する時代の扉を開く鍵です。自動車の動力や家庭の電源として、3 年以内の実用化を目指します。」と宣言している¹⁷。これらから、現段階における政府の方針として、水素をエネルギーの媒体として用いることは近い将来に可能であると考えられる。

しかし、現在の日本政府の、水素エネルギーの実用化に向けた方針、取り組みは、研究、実証による報告での上記のような目標値などが立てられているが、実行性に乏しく、現状の研究、実証中という段階に留まっているものもある。もともと、水素というものは、都市ガスなどで天然ガスなどが利用される以前に用いられていたこともあり、エネルギーの媒体としての価値は、ずっと古くから認められているものである。しかし、実際には、安価に取引、精製される

¹⁴ JHFC (2006 年) 『固体高分子形燃料電池システム実証等研究 (第 1 期 J HFC プロジェクト) 報告書』

¹⁵ JHFC (2008 年) 『2007 年 FCV に関する Web アンケート調査結果報告』

¹⁶ 資源エネルギー庁 (2004 年) 『エネルギー白書』

¹⁷ 小泉純一郎 (2002 年) 「第 154 回国会における小泉内閣総理大臣施政方針演説」

天然ガスが利用され、水素の安全性への疑問も投げかけられているということも含め、一般的なエネルギーとしての認知度も低いのが現状である。しかし、その天然ガスとともに水素を用いた燃料電池を利用することで新しいよりクリーンなエネルギーへとつながるものとなる。このような画期的な開発も含め、現代の科学技術の急速な発展というものも著しい中で、この10年の間だけを見ても数多くのもものが開発されている。その中で水素ということに関しては、約10年の間、技術の研究は進められるが、大きな進展というものもなく、画期的でかつ石油の代替エネルギーに成りうると言われ続けているだけという状況である。

第4章 事例研究

第1節 アイスランド

第1項 水素社会を目指すに至った過程

アイスランドという国は、同国で消費される一次エネルギーの約 77%を地熱発電や水力発電などの再生可能エネルギーで賄っている国である。残りの約 23%を化石燃料である石油に依存しているが、そのほとんどが陸上交通車両用燃料と漁船用燃料である。また、巨大な氷河をもつアイスランドは、「地球温暖化」に対する意識が高いのではと考えられる。そこで、温室効果ガスの原因である化石燃料の使用を減らすため、アイスランドは自国に豊富にある再生可能エネルギーを利用し、一次エネルギー自給率 100%を目指すこととなった。そのような背景もあり、1998年にアイスランド政府は「2050年までにすべての化石燃料を、水の電気分解で得る水素に切り替え、国内で発生する温室効果ガスをゼロにし、世界規模での気候変動対策に貢献する」と宣言することとなった。ここから、アイスランドの水素社会計画が始まったのである。

第2項 I N E 社

アイスランドの水素社会計画の大きな特徴は、国が宣言したにも関わらず、「I N E 社」¹⁸ という会社を中心になって行っているところである。また、政府からの出資が少ないということも一つの特徴であるといえる。

政府からの出資の少なさは、I N E 社の株式のうち、51%をアイスランド国内の民・官・学の各セクターが共同で出資している VistOrka 社が所有し、残りの 49%を Shell Hydrogen 社¹⁹、Norsk Hydro 社²⁰、DaimlerChrysler 社²¹ の 3 社が 3 分の 1 ずつ所有し、政府の出資割合は 1 パーセント程度に留まっていることから分かる。これは、I N E 社自身が政府の関与を望まなかった結果ともいえる。I N E 社の主な役割は、後に述べるプロジェクト管理と研究成果レポートのみであり、宣伝活動は一切行わない。また、プロジェクトの実施においても水素バス導入のプロジェクトであれば、バス会社が担当するなど、外部企業の協力によって行われている。よって、I N E 社自体の運営にはさほど人数は要しないのである。

第3項 水素社会を目指す理由

再生可能エネルギーは多々あるなか、なぜアイスランドは「水素」を選択したのであろうか。

¹⁸ アイスランド大学の研究部門が独立し、Iceland New Energy (アイスランド新エネルギー会社) となった。1999年に創設。

¹⁹ エネルギー流通面を分担。1999年に水素・燃料電池開発会社として創設された。

²⁰ 電気分解による水素製造を分担。

²¹ 電気分解による水素製造を分担。

第一に、豊富な水力と地熱によって支えられる国内の再生可能エネルギーシステムと上手く適合するというのである。「水素」は水を電気分解することによって得られる二次エネルギーである。この「水素」自体はクリーンなものといえるが、それを生産する際の電気は、化石燃料に頼ってしまうので、結果としてクリーンではなくなってしまう。しかし、アイスランドの場合は、水力発電・地熱発電のクリーンな電気を素に水素を作るので、極めてクリーンな水素を作り出すことが可能なのである。第二に、人口約 29 万人（2001 年）という小国であるがゆえに、1 つの取り組みが大きなインパクトを持つということが挙げられる。例えば、首都レイキャビク市内に、3 台の水素バスを導入しただけで、全車両の約 4% に相当するのである。第三に、アイスランドが外国からの投資の受け入れに積極的であるところである。先に述べた INE 社もほぼ半数が外国企業からの出資である。また、燃料電池バス・自動車もアイスランド製のものではなく、日本のトヨタや三菱など外国メーカーのものが多く見られる。さらに、アイスランド政府が自国内で使用される燃料を再生可能エネルギーによる代替えに積極的であるということも一つの理由といえるだろう。

第 4 項 国民の「水素」認識

アイスランド政府が水素社会計画に積極的になれた大きな要因に、「国民の環境に対する高い「意識と協力」が挙げられる。2004 年 3 月のある調査によると、水素バス走行に関して、「否定的」と答えた人はわずか 1.0% しかおらず、「肯定的（とても良い・良い）」と答えた人は 92% と、圧倒的に肯定派が上回った結果であった。

また、バス・自動車・船舶の主要燃料として、石油の代わりに「水素」を利用することに関して「否定的（反対・やや反対）」が 2.5% であったのに対し、「肯定的（賛成・大いに賛成）」が 86.0% であり、これも肯定派が大きく上回った結果となった。さらに、水素のイメージについては、「クリーンな燃料」47.7%、「水」39.1% と全体の 7 割以上を占め、「飛行船の炎上」²² はわずか 2.0% と、水素に対して中立もしくは良いイメージが大半を占めたことから国民の水素に対する高い意識が見受けられる。

第 5 項 水素社会計画

1998 年の宣言を受けて、INE 社は第一段階として 2001 年 3 月～2005 年秋まで、『ECTOS プロジェクト』²³ を実施し、首都レイキャビク市内で水素燃料バス 3 台を公共輸送手段として試験運行を行い『バス燃料としての水素の信頼性・有効性』『コスト効率と水素輸入プロセス』『水素ステーションを水素製造サイトの選択及び安全対策』という 3 つの点を調査し、結果稼働率は 90% 程度と予想以上に高く、配管やバスでのモニタリングなど若干の技術的問題も生じたが、全て対応でき、十分な成功を収めた。

現在は 2007 年 3 月よりスタートした第二段階の『SMART-H2 プロジェクト』の実験段階にある。そのプロジェクトの内容は、『ECTOS より規模を拡大した陸上車両の実験（乗用車の参入・水素ステーションの増設）』『船舶へ搭載する予備動力としての燃料電池の設計・研究』『陸上車両プロジェクト・船舶プロジェクトのデモンストレーションデータに基づく社会経済及び環境に及ぼす影響の調査・研究』である。2009 年末には 40 台まで燃料電池車を増やし、代替燃料資源や代替車両の評価を実施する予定である。

また、船舶の実験ではレイキャビク市を母港とする鯨観察船に燃料電池を搭載し、北大西洋を舞台に 2008 年 5 月から 18 ヶ月間の運行テストが行われている。

²² 1937 年の飛行船ヒンデンブルグ号爆発事故のこと。

²³ Ecological City Transport System の略称 INE が取り組む 3 段階のプロジェクトで、第 1 段階が燃料電池バスの実証、第 2 段階は燃料電池自動車の実証、第 3 段階は燃料電池を動力とする漁船の実証試験からなる研究のこと。

今後は、第三段階「燃料電池自家用車の導入」・第四段階「燃料電池船のデモンストレーション（試験船1隻）」・第五段階「漁船フリートの順次燃料電池化」を控えている。

第6項 今後の課題・日本への応用

アイスランドが水素社会を目指すにあたって行われている様々な取り組みの中で、浮かび上がった課題がいくつかある。まず、技術的な課題としては、水素の製造段階から実際の乗り物を動かすまでのエネルギー効率の向上や、燃料電池の利用などが挙げられる。燃料電池車に関しては、本体価格の低下と、併せて水素ステーションなどのインフラ整備など、まだまだ多くの予算と実験・研究が必要である段階といえる。

ここで仮に、アイスランドの水素社会計画を日本で行おうとしたとする。結果は不可能だといわれて良いであろう。なぜなら、日本とアイスランドでは条件が違いすぎるからである。その理由の一つは、アイスランドは豊富な再生エネルギーを持っているが、日本の場合は地熱発電0.3%、水力発電は9.1%（2006年度 経済産業省調べ）と、クリーンに水素を発生させる為の再生エネルギーに極めて乏しい土地柄にある。また人口約29万人のアイスランドに対して、日本の人口は約1億3000万人と、約450倍の大きく異なる人口の差も「実験の影響力」や「国民の認知度」の差が生じる原因となる事が考えられる。よって、一会社が主導となっても大きな影響力を与えられるアイスランドとは違い、日本では、政府のような大きな組織が主導となっていくことができるかどうかのキーポイントとなるのではないだろうか。



〔水素バス〕 24



〔水素ステーション〕 25

²⁴ Cold Nature より <http://www.coldnature.is/data/hydrogen/hydrogen.html>

²⁵ アイスランドブログより <http://icelandia1.exblog.jp/9087566/>

第2節 福岡県水素タウン構想

第1項 福岡県としての取り組み

福岡県の一部では、実際に水素をエネルギーとして使う為の実験に着手している。この実験は2008年からスタートした「福岡水素タウン構想」のことである。この実験は「究極のクリーンエネルギー」として注目されている水素を実用化する為のものである。この実験の目的の一つが、環境にやさしい水素利用社会の実現を先導する地域の形成である。水素を実用化する為にも安全面など、実証を通じた社会的受容性の向上が必要とされているからである。

福岡県では近年、水素研究の開発拠点を目指す取り組みを続けており、九州大学や民間企業と連携し、水素エネルギーの活用について研究支援や人材育成を進めている。また、県内には燃料電池自動車の生産拠点となりうる自動車産業や、副生水素を保有する企業が集積している。地球温暖化が深刻化している中で、CO₂の排出量を削減するという事も重視されている。この課題解決の有効なテクノロジーとして期待されているのが高い省エネ性と優れた環境特性をもつ燃料電池である。また、その関連産業の市場規模は2020年には100兆円に達するとも言われている。水素エネルギーの分野は裾野が広い産業分野であり、様々な技術の研究開発が期待されている。

第2項 「水素タウン」実験

ではこの「水素タウン」とは具体的にどのようなものであろうか。実験は新日本石油や西部ガスエネルギーと共同で行われている。水素タウンづくりでは福岡県内にある既存の一戸建て住宅地、南風台と美咲が丘をモデル地区に指定し、その団地中に集中的に家庭用燃料電池を設置する。対象となったのは両団地内でLPガスの供給を受ける一戸建て住宅1174戸である。その中から一定以上のガス使用量が見込める四大家族を目安に150戸を募る。対象の家庭に家庭用ガスから水素を取り出し、空気中の酸素と化学反応させて電気や熱を発生させる家庭用燃料装置を配備する。そしてエネルギーを自家発電や給湯に利用してもらい、CO₂の削減や光熱費の抑制などの効果を確認する。水素タウンでは企業が燃料電池を、協力家庭とリース契約を結んで設置する。設置料は企業側が負担し、その半額約40万円を県が助成する。設置家庭は、使用電気、給湯料を企業に支払う。発電量を毎日自動測定し、去年の電気、ガスの使用量と比較して省エネ効果を測定する。これを三年間データとして収集する。

第3項 実験としての特性

「水素タウン」で注目すべき点として、家庭用燃料電池システムは国が全国約2000世帯で実証実験を行っているが、100戸以上がまとまり「水素タウン」を形成する大型規模の試みは全国初である。設置家庭を募る説明会でも、15世帯の募集に対し220世帯の家庭が説明会に訪れた。また、そのうち215世帯の家庭が応募したという。設置した市民からは『以前と変わらず普通の生活が出来る』また、設置した家庭以外の家庭でも問い合わせが事業部に寄せられており、『他の団地でもやって欲しい』など反応がある。

現時点では家庭用燃料電池は化石燃料の使用をゼロにすることは出来ないが、送電によるロスが従来のシステムの約半分となるため、CO₂排出量は従来より三割減らすことが出来る。光熱費も安価となる。一般的な家庭の場合、電気使用量の約六割、給湯の約八割を賄うことが出来る。問題となっているのはシステムの価格が高いことであるが、企業としてもそれを問題視し、現時点から半分に価格を下げるという目標を掲げて研究を行っている。

第4項 実験からの社会的効果

企業は「水素タウン」を通して実際に使用した機器の開発、改良などの課題探していくことが出来る。何か問題が発生した場合の対処や改善も期待できる。県の力を借りたことによりこのように大規模な実験を行うことができたのである。市民にとっては水素エネルギー社会を見ることが出来ることから水素が身近になり、今まで触れることのなかった水素を知る機会に繋がっていく。代替エネルギーを模索している中でこのような実験が行われ、安全性に問題がないとなると水素に注目が集まることになる。「福岡水素タウン」により企業の研究に加え、市民への宣伝も行うことができています。

しかし一方で課題もある。水素は常温で気体であり、軽く、漏れやすく貯蔵が難しい。家庭や自動車向けの製品では軽量の容器で多量の水素を安全に貯蔵しなければならない。輸送も問題である。

第5項 考察

水素を次世代エネルギーとすることについて考えると、多方面からのアプローチが必要である。まず、水素は未知のエネルギーであるため、安全性や使用方法などを考えなければいけない。しかし未知であるため可能性も大きいというのも事実である。実験を多く行うことが必要である。そこで実際水素を日常生活で使用するためには何が必要であるかを知ることが必要である。企業は課題も多く出てくるため改良にも力を入れなければいけない。

まず、国や自治体が主導して進めることが必要である。実験を行うにはもちろんモデルとしての市民の協力が必要である。そのため「水素タウン」の事例のように県や市などと提携しての活動が有効である。モデルも集まりやすく、マスコミからの注目が得られる。そしてマスコミなどを通すことにより実験内容に不透明な部分が減少するため、安全性も増す。このことから、都市や国の協力は必要なのである。

次に水素社会を構築するためには水素新エネルギー産業の育成が必要である。現在水素が次世代エネルギーとして着目されておりつつも足踏みをしている理由の一つに産業としての注目が小さいことが挙げられる。新エネルギーの使用が漠然としていることから水素産業から得られる利益が現時点では少ないと考えられ、出資などに多くの企業が慎重であるからである。「福岡水素タウン」では産学官 440 の団体が参加している。しかし、この実験も水素産業を発展させたい、福岡を水素産業の本拠地としたい、という企業が発端で始まったものである。産業界からの積極的な働きかけが必要である。

またその使用者となる市民の水素についての知識が必要である。水素が安全でかつクリーンなエネルギーであることへの理解や水素を使用することのメリットがなくてはならない。個人としての興味で国民がエネルギーに着目するというのは一般的に少数である。実際に「水素タウン」が開始されてから市民が反応を示したように、国民は環境問題には興味を持ちつつも受動的である。国民も共同で活動することも水素社会が近づく一歩である。

第5章 シミュレーション

本章では、今まで紹介してきた水素と言うエネルギー媒介を社会に導入する際にどのような使い方が、我が国の現状において最も適切なのかを考えることとする。

第1節 家庭用燃料電池を導入した場合の CO2 削減効果

北九州市の事例にて導入事例を紹介した家庭用燃料電池であるが、CO₂ の削減における効果を明らかにするために簡単なシミュレーションを行う。比較は「電力会社から供給される電気の場合」、「家庭用燃料電池を介在させた場合（ガスを電力源とした場合）」、「家庭用燃料電池を介在させた場合（太陽光発電を電力源とした場合）」の3パターンで行う。その際に用いる家庭用燃料電池についてのデータは株式会社東京ガスが行った試算を参考にする。

東京ガスによると、家庭用燃料電池を用いた場合、CO₂ の排出量は約 45%削減され（1kWh 発電、1.4kWh 排熱回収の場合）、条件によって異なるが、家庭で年間に使用する電力の約 5 割を家庭用燃料電池で発電することができる。各家庭により使用する熱と電力との比率は幅があるので、一概には言えないが、平均的には家庭で使う電力のおおよそ 50%程度を家庭用燃料電池でまかない、残りは電力会社から購入することになるのだという。そのため、一般的な家庭の年間ガス使用量が 800m³ から 1,200m³ に、電力購入量（電力会社から購入する分）が 6,500kWh から 3,500kWh に減らすことが可能だという。

また、家庭用燃料電池ではまかないきれない 3,500kWh 分の電力、及び家庭用燃料電池を動かす際に必要な都市ガスといったものの利用過程や発電過程で生じる CO₂ を軽減させるものとして、家庭用の太陽光発電を家庭用燃料電池と併用して用いた場合を考えて見たいと思う。なぜここで家庭での CO₂ を軽減させるために自然エネルギーの中で、太陽光発電を併用させたかということ、2つの利点があるからである。まず1つは、太陽光発電自体が持つ特性であるが、電気を用いる場所で発電するため、送電ロスが生じないことである。この送電ロスは、先にも述べたが、発電所から家庭まで送電される間におおよそ 5%（発電を 100 とした場合）もあり、それほど電気がムダに捨てられているのである。この送電ロスを無駄にしない太陽光発電は風力、水力と比べ、設置場所にもかなりの余裕があり、家庭用燃料電池と併用し、CO₂ 削減に貢献させるのに適しているのである。

もう1つとして、家庭用燃料電池としての「電池」としての特性が、太陽光発電の安定供給の難しさという欠点を補い、その効果を向上させるからである。太陽光発電は日の出ているときに発電を行うが、多くの家庭は日中の電気使用量はさほど高くなく、需要が供給を大きく超えるため、その分の電気は電力会社に買い取ってもらうというのが一般的であった。しかし、家庭から電力会社に電気を送る際にも当然送電ロスは発生し、多くの電気をムダにさせ、また現状では電力会社はその送られてきた電気を買取る価格は売る時の価格と一緒にあるのが一般的で、その価格は太陽光パネルの設置費用を考えると決して高いものであるとは言えず、太陽光発電の設置

を促すようなものではなかったのである。ここで注目したいのが、家庭用燃料電池の“電池”としての能力である。電池と言う名の通り、家庭用燃料電池は外部で発電させた電気を蓄電させる能力もっており、そこを利用すれば、今まで使用量を越える発電を電力会社に売る際に生じていた送電ロスを損なうことなく、家庭で発電したクリーンな電気を使用することが可能なのである。

上の2点から燃料電池を用いる最大の効力・利点であるクリーンさを生かすものとして太陽光発電を家庭用燃料電池と併用することを考えたのである。太陽光発電は、たとえば東京都の家庭に太陽光発電(3.7kW システム)²⁶を設置した場合、年間予測約3,842kWhの電力を発電できる²⁷。これにより一般家庭の年間CO₂排出量(約1,980kg/CO₂)の61%以上にあたる約1,208kg/CO₂を削減できるのである²⁸。つまり、太陽光発電を設置した場合、条件さえ満たせば、家庭で使用する電気の約61%をここからまかなうことが出来、これに更に家庭用燃料電池を併用したならば、それによってガス使用量が1.5倍に増加するが、家庭で使用する電気6,500kWhの内、3,000kWhを燃料電池から供給し、残りの3,500kWhを太陽光発電から供給でき、大型発電所で作られる電気にほとんど頼ることなく家庭の使用電気がまかなえるのである。

また家庭からのCO₂の排出は、家庭用燃料電池と太陽光発電を併用させた場合、ガス使用の際に排出される一般的な家庭の年間ガス使用量1,200m³が排出する約2830kg/年のみで、1世帯当たりのCO₂排出量(2006年)約5200kg/年²⁹の約54%に抑えることが出来るのである。

第2節 燃料電池車と電気自動車の導入効果比較

運輸部門のCO₂排出量を減らすべく、現在では各自動車メーカーや研究所が次世代自動車の開発に力を注いでいる。次世代自動車は、電気自動車や水素自動車、またバイオディーゼル車などがあげられる。従来の自動車は、燃料をエンジンで燃焼させ動力を得る構造である。それに対して、電気自動車は、電気を使用してモーターを回し動力を得る構造である。動力機関の構造が根本的に違うため、電気自動車の研究・開発には時間とコストを要することとなった。

その電気自動車であるが、蓄電池に充電してモーターを回すバッテリー車、蓄電池に充電しつつガソリンと併用して走るプラグインハイブリッドカー、水素燃焼電池から電力を取り出しモーターを回す燃料電池車といった電池を要する電池式電気自動車と、バッテリーを持たず架線から電力を得る架線集電式電気自動車に分別される。現在自動車各社が研究を進めているのは前者の電池式電気自動車であり、インフラ整備等の観点からも実用化の可能性もこちらが高いと判断した。よってここでは、電池式電気自動車に着眼することにする。

電池式電気自動車は大きく分けて3つに分類される。一つ目は予め充電が必要なバッテリー型電気自動車、二つ目はトヨタ・プリウスやホンダ・シビックに見るようなガソリンエンジンとモーターを併用するハイブリッドカー、三つ目は、自動車に燃料を投入して自動車の中で発電する燃料電池車である。ここではCO₂を一切排出しないバッテリー車と燃料電池車に特化して比較する。

²⁶ 三菱電機株式会社HPより

²⁷ 新エネルギー産業技術総合開発機構(財)日本気象協会「日射関連データの作成調査」(平成10年3月)の日射量データを用いて算出

²⁸ 平成18年度版JPEA表示に関する業界自主ルールに基づき、一般家庭の消費電力量における年間CO₂排出量は、0.36kg-CO₂/kWh×5,500kWh/年(年間消費電力量)とし、太陽光発電システムのCO₂削減効果は、0.3145kg-CO₂/kWh×3,842kWh/年(年間予測発電量)とする

²⁹ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の1990~2006年度の温室効果ガス排出量データ」(2008.7.9発表)より排出量の単位は[キログラム・二酸化炭素(CO₂)換算]

バッテリー車は、自宅や施設等で蓄電池に充電し街中を走る仕組みである。バッテリー車の特徴としては、燃料電池車よりインフラ整備を要しないという点である。三菱自動車は 2009 年度にバッテリー車である i-M i V E を市場に送り込む³⁰。その際に東京電力と提携し、自宅のコンセントを使用して充電できる仕組みを開発している。

イオン株式会社は、埼玉県越谷市にイオンレイクタウンという商業施設をオープンさせたが、そのレイクタウンにはバッテリー車用の充電装置を設置した³¹。また、日本郵政グループの郵便事業会社は、集配用の自動車を順次バッテリー車に置き換えるとしている。その際にバッテリー車は各郵便局で充電することとなるが、設備を一般に開放し、電気自動車の「電気ステーション」として利用してもらう案も検討している。

このように、インフラ整備には多大なコストや労力を必要としないが、中には発電ロス・送電ロスを考慮するとあまり CO2 削減にはならないという意見もある。また現在の技術では、バッテリー車が燃料電池車より電池体積と重量が大きくなってしまいうようであり、出先で気軽に充電できるわけでもないの、既存のインフラが使えるというメリットもあまり目立たないといったデメリットもある。

燃料電池車は、先述のとおり水素を酸素と反応させて、そこで得た電気を動力に変える仕組みである。水素を供給するインフラ整備が充実すれば、従来のガソリン車と同じように出先で水素を補充することができる。したがって電気自動車より航続走行距離は延びるといえる。また現在では、バッテリー車の電池より燃料電池の電池が電池体積と重量を小さくできるという。

しかしこれはインフラ整備ができてきている前提の話であるから、燃料電池車を普及させるためには、全国に水素ステーションといったインフラを整備しなければならない。インフラ整備には莫大なコスト³²がかかるという。使用用途によって一長一短あるが、日本では近所への買い物など近距離使用が多い³³ことから、インフラ整備が比較的少なくても済むバッテリー車が優位性を持つと判断できる

第3節 ガソリン車と電気自動車の導入効果比較

今までの議論を踏まえ、紹介してきた燃料電池などの環境負荷を大きく減らすことのできる技術を用いた場合、私たちの生活にどのような影響もたらされるかについて、運輸部門に視点を置き、述べていくこととする。

どのようなシミュレーションを行うかという、水素を用いるために家庭用燃料電池を設置することとし、それを用いても依然通常の電力に頼っている電力分を賄うものとして太陽光発電を設置する。そしてそこから得られたクリーンなエネルギーをより多くのところで用いる手段として電気自動車を用いる。この導入過程を段階的に分割し、その段階ごとでの「乗用車の CO2 排出量から見る環境負荷の比較」を行うこととする。

具体的には、

- ① 電気自動車
- ② 電気自動車の電力源を家庭用燃料電池から生み出される電気に依存
- ③ 電気自動車の電力源を、太陽光発電と家庭用燃料電池から生み出された電気に依存

の 3 段階で運輸部門における導入の効果を見ることとする。

³⁰ 三菱自動車 HP より

³¹ 2005 年 8 月 19 日付 読売新聞

³² 水素ステーション 1 基の設置費用は約 3 億円と試算されている-富士電機/Response 2007 年 7 月 16 日付

³³ 北九州市立大学 筒井保孝氏論文より

第一項 問題整理

環境負荷を比較するに際して、我が国の乗用車が環境にどのような負荷を与えているかについて整理する。

そこで、「乗用車が多いほど CO₂ が多い」という大前提ともいえる仮説を検証する。その仮説を検証する上で、環境自治体会議が出版している環境自治体白書 2007 年度版特別資料、全国市区町村の 90・00・03 年 CO₂ 排出量推計より、都道府県別の自動車保有数、および CO₂ の排出量をデータとして用い、これを回帰分析することとする。

乗用車の排出する CO₂ を求める式は

$$Y = \text{ガソリン車数 (0.90\%)} + \text{ディーゼル車数 (0.10\%)} + \text{電気自動車数 (0.0001\%)}$$

とする。

表 1 がその結果であるが、モデルの説明力は 0.931 と、十分な値を示しており、また有意確率も満たしているため、仮説は採択されたといつてよいだろう。言い換えるならば、図 1 から分かるように自動車の保有数が増えるほど CO₂ の排出が増えていることがわかり、自動車の数を減らすことが CO₂ の排出量を削減するためには必要と分かるであろう。

ただ、CO₂ を減らすために私たちの今の便利さを犠牲にしると言うのもうまくいくものではないだろう。そこでこの節では、乗用車、つまりガソリン車を減らせないかという議論をすることにする。そこで乗用車の多くを占めるガソリン車（ここではガソリン車を基準とする）を電気自動車に転換させていった場合の 2020 年後の CO₂ の排出量の推計値を見ていくこととする。またこの電気自動車の電力源を「大規模発電が生み出した通常の電気を用いた場合」、「燃料電池を家庭に設置した家庭で、かつ家庭で充電を行う場合」、「太陽光パネルと燃料電池を家庭に設置した家庭で、かつ家庭で充電を行う場合」と変化させることとする。

環境自治体会議 環境自治体白書 2007 年度版 特別資料 全国市区町村の 90・00・03 年 CO₂ 排出量推計より

(表 1) 自家用車保有数—乗用車の回帰分析 (モデルの要約とパラメータ推定値)

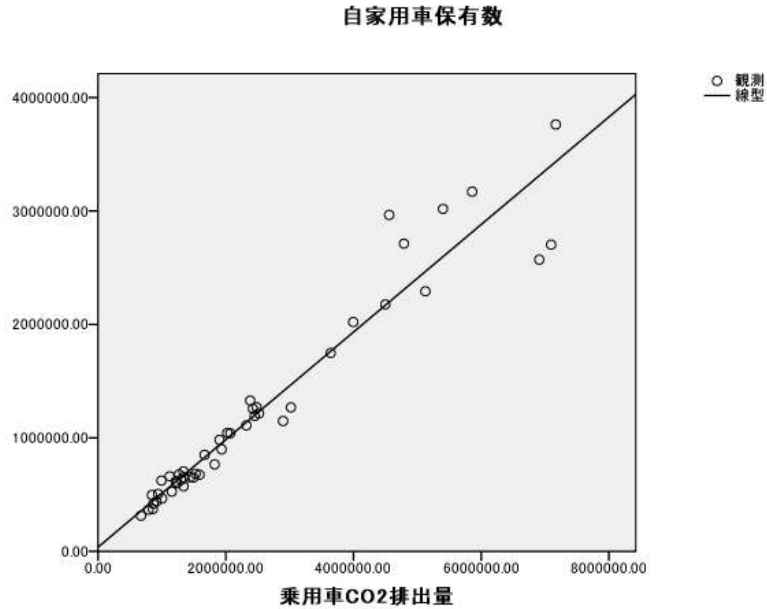
モデルの要約とパラメータ推定値

従属変数:自家用車保有数

方程式(等式)	モデルの要約					パラメータ推定値	
	R ² 乗(決定係数)	F	df1	df2	有意確率	定数	b1
線型(1次)	.931	607.735	1	45	.000	37359.459	.474

独立変数は乗用車CO₂排出量です。

(図 1) 自家用車保有数—乗用車の CO2 排出量の回帰曲線

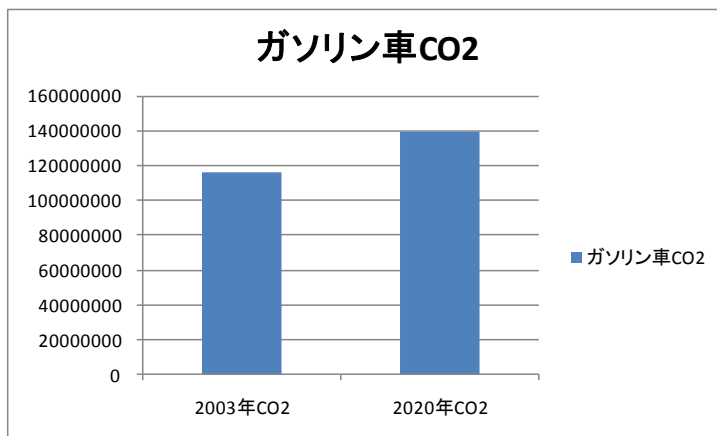


第 2 項 ガソリン車と電気自動車の比較

2003 年の乗用車の保有台数 5447 万 1376 台であり、国土交通省の推計によれば、2020 年には乗用車の保有台数は 6540 万台になり、ここを境に減少傾向になるとされている。そこで本稿では乗用車から出される CO2 の排出量が最大になると予想される 2020 年を現在と比較することとする。

乗用車から出される CO2 の国内総排出量は 1 億 1620 万 2877 t で、乗用車の台数が国土交通省の推算のように増加するとするのならば、2020 年の排出量は 1 億 3951 万 6728 t となることが推計され、その増加量は約 2300 万 t と 20% 近く増加することが見込まれている。このままガソリン車がほとんどを占める状態のままなら、この CO2 の増加が自然環境に大きな影響を与えることが予想される。

(図 2)



では本稿で紹介している家庭用燃料電池、電気自動車、太陽光パネルを用いた場合、2020年の乗用車のCO2排出量にはどのような変化が見られるのだろうか。

仮定① 電気自動車

電気自動車はガソリン車と比較して約70%のCO2しか排出しない³⁴ものとする

仮定② 電気自動車の電力源を家庭用燃料電池から生み出される電気に依存する場合

家庭用燃料電池は家庭の消費電力の約45%を削減することが出来るため、家庭のプラグから電力を供給したとき、ガソリン車として31.5%のCO2しか排出されないものとする。

仮定③ 電気自動車の電力源を、太陽光発電と家庭用燃料電池から生み出された電気に依存する場合

太陽光発電と家庭用燃料電池は併用して用いれば、太陽光発電が安定して稼動すれば家庭で使用する電気の約105%の電力量³⁵を生み出すことが出来、CO2を排出しないで生み出した電気を用いると考えられるが、太陽光発電の安定供給や家庭用燃料電池の貯水槽の限界による発電不可時のことを考慮し、大規模発電で生み出された電気が10%使用されるものとする

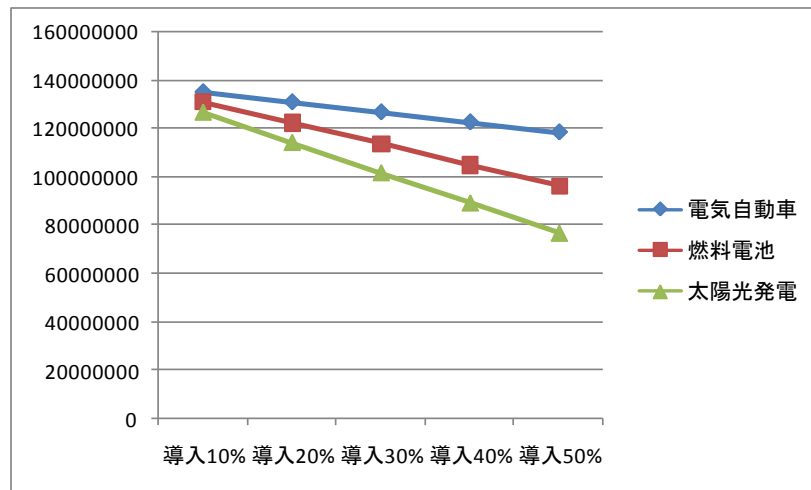
この仮定のもと比較を行った結果は以下の通りである。

(表2) ³⁶

単位 (t-CO2)

	導入10%	導入20%	導入30%	導入40%	導入50%
電気自動車	135331226	131145724	126960223	122774721	118589219
	燃電10	燃電20	燃電30	燃電40	燃電50
燃料電池	130936449	122356171	113775892	105195613	96615334
	太陽光10%	太陽光20%	太陽光30%	太陽光40%	太陽光50%
太陽光発電	126960223	114403717	101847211	89290706	76734200

(図3)



³⁴ 三菱自動車 HP より

³⁵ 一般家庭が用いる電力量の45%を家庭用燃料電池、61%を太陽光発電が発電できることから推計

³⁶ ①電気自動車・・・ガソリン車 x % × 乗用車 CO2 排出量 + (100 - x) × 乗用車 CO2 排出量 × 0.7
 ②+燃料電池・・・ガソリン車 x % × 乗用車 CO2 排出量 + (100 - x) × 乗用車 CO2 排出量 × 0.7 × 0.55
 ③+太陽光発電・・・ガソリン車 x % × 乗用車 CO2 排出量 + (100 - x) × 乗用車 CO2 排出量 × 0.1

電気自動車を導入した場合、10%導入されるごとにCO₂は約420万t削減され、さらに燃料電池も併用した場合は10%導入されるごとに860万tのCO₂が削減される。さらに太陽光電池も併用した場合には、10%導入されるごとに1260万tのCO₂が削減される。削減効果は大まかにいって、②は①の2倍の削減効果を生み出し、③は①の3倍の削減効果を生んでいるといえよう。

以上のように①電気自動車②電気自動車の電力源を家庭用燃料電池から生み出される電気に依存③電気自動車の電力源を、太陽光発電と家庭用燃料電池から生み出された電気に依存という3つのパターンで社会に導入を進めた場合、CO₂は最大で約6278万t削減可能であることが試算できる。

3項 供給に際して発生するCO₂を加味した上でのCO₂排出量比較

2項では家庭用燃料電池、電気自動車、太陽光パネルといった環境負荷の低い技術を用いた場合の段階別の乗用車のCO₂の排出量について検証を行った。この検証結果だけを見るとかなり大きな効果が得られるものと思われるであろう。

だが、実際に電気自動車を用いる場合、電気自動車を動かすのに必要な新たに求められる電気の供給と、それによって生み出されるCO₂があり、ここで発生するCO₂を踏まえ排出量を推定しなければ、その環境負荷の程度は分からないのである。

そこで、電気自動車の走行させる際に用いる電力であるが、まずこれは火力発電から供給されるものとする。なぜならば、原子力、水力などCO₂をあまり発生させない発電方法は存在しているが、新たな発電所を作るうえでの制約は非常に大きく、需要にこたえるだけの新たな発電所の増設が難しいと考えられるからだ。それに対して、火力発電所は増設が比較的用意であるため、電気自動車の普及による電気量の増加に対応しやすいと考えるからである。

では、火力発電から得られた電気をを用いた電気自動車の場合、供給面でどの程度のCO₂を生み出しているのか。一台あたりの電気自動車は年間充電量(21kwh×62.5回)³⁷×火力発電1kwh時のco₂排出量(0.425kg³⁸)から求められ、558kgのCO₂を排出することが分かる。これはガソリン車1台のCO₂排出量2045kg³⁹の約25%ということであり、これより電気自動車を導入した場合、火力発電で電力を供給したときのCO₂排出量を考慮しても、ガソリン車より環境負荷が少なくなると言うことが分かる。

(表3) ⁴⁰

	導入10%	導入20%	導入30%	導入40%	導入50%
電気自動車	138370729	137224730	136078731	134932732	133786733

	燃電10	燃電20	燃電30	燃電40	燃電50
燃料電池	132608176	125699624	118791072	111882519	104973964

	太陽光10%	太陽光20%	太陽光30%	太陽光40%	太陽光50%
太陽光発電	126960223	114403717	101847211	89290706	76734200

³⁷ 年間走行量を10000kmと仮定して、「i-miev」諸元表より10・15モードでの燃費で割った数値

³⁸ 東京電力一環境行動レポートより

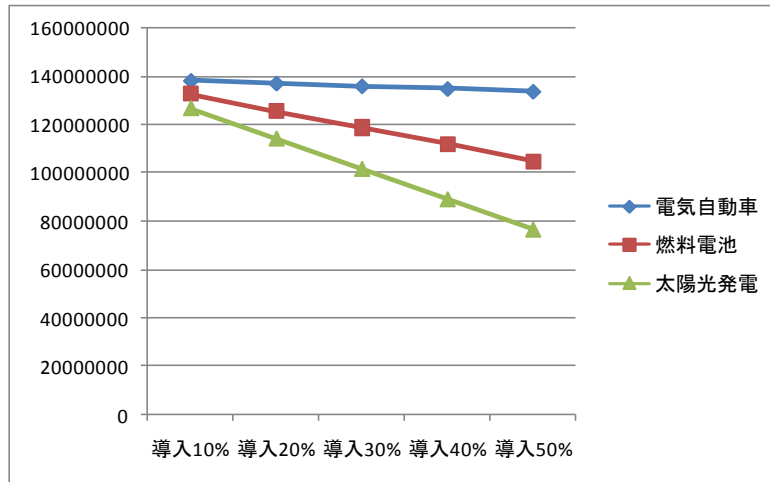
³⁹ 環境自治体会議一環境自治体白書2007年度版一特別資料・全国市区町村の90・00・03年CO₂排出量推計より算出

⁴⁰ ①電気自動車・・・ガソリン車x%×乗用車CO₂排出量 + (100-x)×乗用車CO₂排出量×0.7 + 0.558×乗用車保有台数/x

②+燃料電池・・・ガソリン車x%×乗用車CO₂排出量 + (100-x)×乗用車CO₂排出量×0.7×0.55 + 0.558×0.55×乗用車保有台数/x

③+太陽光発電・・・ガソリン車x%×乗用車CO₂排出量 + (100-x)×乗用車CO₂排出量×0.1

(図 4)



①、②、③の導入段階ごとの具体的な数値を見ると、興味深いことが分かる。表 3、図 4 を見ると分かるように、ただ電気自動車だけを導入した場合、確かに環境負荷は少なくなるということはあるのだが、その導入による環境負荷削減への効果は非常に低いものとなり、ほぼ横ばいの様相を示しているのである。それに比べ、燃料電池、さらに太陽光を併用した場合は、その CO2 の削減度にほとんど影響はなかったと言える。

供給の CO2 を考慮した場合において、電気自動車を導入した場合、10%導入されるごとに CO2 は約 110 万 t 削減され、さらに燃料電池も併用した場合は 10%導入されるごとに 700 万 t の CO2 が削減される。さらに太陽光電池も併用した場合には、10%導入されるごとに 1260 万 t の CO2 が削減される。削減効果には大きく差があり、②は①の 6 倍の削減効果を生み出し、③は①の 11 倍の削減効果を生んでいるといえよう。これより、電気自動車単独での導入を進めることは、もともとの目的である環境負荷の低下を促すものとしての効果が十分であるとは言えないことが推測される。また、電気自動車の環境負荷の低下を促すものとして、家庭用燃料電池、太陽光発電との併用は有益なものであることが分かる。

第6章 政策提言

本稿では、水素というクリーンなエネルギー媒体の有用性について紹介してきた。そしてそれを用いるための技術をいくつか紹介し、その長所・短所を整理してきた。その中で、水素エネルギー社会を実現する上で障害となっているものが 2 つあることがわかった。1 つは補助制度などが不十分であるため高価格になっているという「価格面の問題」、もう 1 つは燃料電池・水素というクリーンな技術、エネルギー媒体が多くの人に知られていないということである。この 2 点は水素エネルギー社会というほどに社会で水素技術を用いていく際には、大きな障害となることが予想される。そこで本稿では以上の 2 点を改善する政策提言を行う。

- 1、利用者に負担の掛けない補助金制度の確立
- 2、水素の認知度の向上

この提言は、水素エネルギー社会の実現を導くものであり得ることを政策の第一とするため、具体的な予算額などを明確に示すこととする。

そして、本章では水素エネルギー社会を「家庭用燃料電池、電気自動車、太陽光パネル」がひとくくりで、社会で用いられている社会と定義することとし、その普及度は約 10 年後の 2020 年時に 10% 程度の家庭でこの 3 つのクリーン技術が用いられている状態にすることを政策提言の目的とする。

第1節 利用者に負担のかけない補助制度の確立

環境負荷の少ない社会を形成するためには、前章の検証で用いた家庭用燃料電池、電気自動車、太陽光パネルの導入を積極的にすべきである。

その理由としては、家庭用燃料電池は送電ロスが発生させない、CO₂の排出量を45%抑えることができるという点から、電気自動車は運輸部門のCO₂排出量の約9割を自動車、特に約5割を自家用乗用車が占めている現状を考え、また家庭用燃料電池・太陽光発電との併用可能な点を踏まえると、そして太陽光発電は、CO₂の排出量を61%抑えることができ、現在補助金制度の拡充やパネル価格の低下など普及への好条件が揃っていつある現状があることがそれぞれ挙げられる。またその効果は、前章でも証明できているであろう。よって、環境負荷の少ない社会を作り上げるためには、この3つの技術を一つのパックにして導入するべきと考える。

では、導入させるには何が大きな阻害要因となるのであろうか。本稿では、その 1 つとして「価格の問題」が挙げたい。

ここでこれらの導入にさいし、どの程度のコストが発生するかを整理する。

① 電気自動車

電気自動車とガソリン車をコストの面で比較する。年間 10000km 走行すると仮定した場合、10・15 モードでフル充電で km 走行することが出来る「i-Miev」が必要な電力は 1312.5Kwh。22 円/1kWh で計算すると、28875 円という数値が算出される。10・15 モードで 19.2km/L 走行

する「i」は、521Lのガソリンを消費する。ガソリン価格を120円/Lと仮定した場合、1年間にかかる走行コストは、65125円という値が算出される。年間ガソリン代から電気代を差し引くと3万6250円の経済効果を生むと推計される。車体本体価格が国からの補助金100万円、都道府県からの補助金50万円を差し引いた250万円であり、同規格の車(106万円)と比較した場合、50年間近く乗り続けなければ、ガソリン車より割安にはならないのである¹。

② 燃料電池

現在10年100万円でのリース契約で手に入る家庭用燃料電池であるが、家庭用燃料電池単独で電気代約半額、ガス使用量は1.5倍になるが1カ月のガス使用量が69m³(平均的な1家庭のガス使用量)を超える場合は9,500円に固定されるため、家計が負担するガス代は変わらない²。一方、電気代は今まで60A契約で6500kw16万3620円(月540kwで13635円)であったのが、年3000kwを燃料電池からまかなえるので、3500kwで9万1392円(月290kwで7616円)³となり、年で7万2228円分の電気・ガス・光熱費削減となる。つまり、設置にかかる費用の年10万円と比較すると2万7772円分だけ今までより多い負担となっていることが分かる。

③ 太陽光発電

2008年より福田前首相が太陽光発電の補助金、優遇税制などの援助を行うこととし、政府が太陽光発電機器を購入する世帯に約20万円を補助し、標準的な機器(約200万円)が約1割安く買えるようになっている。年間の発電量を使用量から節約される電気代と電力会社への販売額を考えると年間10万円前後の経済効果が発生すること⁴。また政府は、優遇税制などで現在一戸あたり230万円程度する住宅用発電システムを3~5年後で110万円強にすることができるとしており、今の水準で元をとるのに18年前後、3~5年後の機器価格で10年前後になるといえる。

以上のように、これらの導入に際してはかなりの先行投資が必要であり、その高額な先行投資こそが水素・クリーン技術を活用していく際の障害となりうるのである。

このコスト面での利用者の負担を取り除く政策提言として以下の3つを掲げる。

- ① 利用者に負担のかからない補助金制度の整備
- ② 無利子出の貸出をするクリーンローンの設置
- ③ これらの施策を実現するための予算枠の拡充

(1) 利用者に負担のかからない補助金制度の整備

上の通りであるが、導入の時に発生する先行投資の額が大きすぎるため、利用者に負担のかからない額での購入を容易にするように、利用者がある程度補助金の額を設定することとする。そこで、本稿としては、10年間継続してこれらの機器を用いれば、利用者が得をすることの出来る制度を作りたいと考える。その理由としては、危機の寿命を考えると10年はちょうどよい期間と考えられるし、長い期間使用してもらってこそ、その機器の環境への付与が高いものとなり、大きな効果を生むものであるからだ。

¹ 三菱自動車「i」より

² 東京ガス試算

³ 東京電力 TEPCO 電気料金シミュレーションを用い計算

⁴ サンヨウ株式会社より

富山市S邸 5.2kw (SHARP 製) 設置の場合 (東 3.12kw、南 1.04kw、西 1.04kw 平成14年設置) 平成15年度1月~12月の一年間の設置をし、14年度の1年間で95155円の電気代を出した家庭が、電気代50498円で、太陽光発電で生み出した電気の売額が81286円であったため実質支払った電気代が-30788円であった。つまり、太陽光発電設置後1年間で125,94円の経済効果があった。

では具体的に家庭用燃料電池、電気自動車、太陽光パネルの購入の際に与える補助金について提言する。

家庭用燃料電池 : リース契約という特徴に注目し、家庭用燃料電池のリース代金から、国が毎年3万5千円の補助金を出すものとする。そうすることで、確実に毎年家庭用燃料電池を設置するだけのメリットが生み出され、また各家庭は純取得額を増やすため積極的に節電を進めることが期待できる。

電気自動車 : 10年間電気自動車に乗り続けたとすると、36万2500円の経済効果が推定され、この時点で同じ規格の車を買った場合と比べ、108万円損をしていることになる。そのためこの損を生じさせないために、購入時に新たに110万円の補助金を支給することとする。(ただし、本体価格が下がった場合、上の計算と同じやり方で10年後の時点の推定損益額のみを補助することとする)

太陽光発電パネル : 太陽光パネル (パネル価格10%の補助金+年間の経済効果×10年分) で算出されたものを、国に補助金として請求できるものとする。

またこの3つの機器は、3つで1つの機器として用いる時に最も大きな環境負荷の低下を実現できるので、家庭用燃料電池のみの導入より、それと太陽光発電/電気自動車、そしてそれよりすべてを導入するもの、と言った形でより好条件の補助金額にする。

(2) 無利子出の貸出をするクリーンローンの設置

補助金制度で、電気自動車と太陽光パネルは10年後には得するような枠組みの中で用いることが出来るようになる。だが、先行投資が巨額になってしまう問題については完全に答えたとはいえないであろう。なぜならその大きな購入金額を用意すること自体容易なこととはいえないからである。そこで、国が無利子でこれら3つの機器を買う場合に限り、購入に必要な金額分だけ融資すると言う「クリーンローン」を新たに設置することを提言する。もし実現すれば、電気自動車、太陽光発電の導入に大きな影響を与えるであろう。

(3) これらの施策を実現するための予算枠の拡充

平成18年時には京都議定書目標達成計画関係予算として9457億円も通しており、我が国の環境分野にかける予算額は年々上昇している。3つの機器全て、10%の普及率が実現された場合、家庭用燃料電池、太陽光発電は全国の住宅の10%¹である461万世帯に普及することを目標とし、1615億円及び3688億円(ただ3~5年後は415億円)、そして電気自動車の場合は²5991億円8518万円の補助金が必要になる。総額で年1兆1294億円(8021億円)の補助金費用がかかる計算となる。電気自動車の補助金額は膨大になってしまっているが、技術革新を早急に進め、車両価格を引き下げる努力をすることでその負担を低くする努力が必要であろう。ただ、数年後、家庭用燃料電池と太陽光発電の2つに限るならば、2030億円と、現在の環境対策費の約20%とそこまで法外な予算額ではないと言えよう。

¹ 住宅数 = 1億2000万人 / 2.6

² 電気自動車の補助金額 = 110万円 × 544万7138(台数) / 10(年)

第2節 “水素” に市民権を

この論文の中で水素を用いたクリーン社会の実現について模索してきたが、我が国の水素に対しての認知度・理解度はきわめて低いと言える。ここでそれを示す、先ほども紹介した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（燃料電池車の実証プロジェクト）の調査報告を見てもらいたいと思う。

以下一部抜粋する。

■燃料のイメージ

・水素はガソリンに比べ身近なイメージをもたれていない。自由記述で燃料のイメージを記述させる設問では、「ガソリン」については身近であり、価格の高騰などの生活に密着したイメージや、環境への悪影響などが多く挙げられた。水素のイメージは「爆発」「危険」などが3割と、生活からかけ離れた危険なイメージを持たれていることがわかる。また「環境にいい」と答えた人は、1割にも満たなかった。

■水素の利用意向

・利用したい（全体の90.8%）。しかし、積極的な利用理由が不明瞭。水素の利用意向について、「積極的に利用したい」が35%、「利用したい」を合わせると9割となる。利用意向の理由としては、CO₂を発生しない、有害なガスを発生しない、石油の利用を減らせるなどが7割挙げられている。非利用意向の理由については、爆発、燃えやすいなどが多く挙げており、危険なイメージが相変わらず高くなっている。

■JHFCプロジェクト

・関心の高い「試乗会」の積極的取り組みが必要。JHFCプロジェクト認知率は、昨年度より10%以上上がったものの、全体で4割弱であった。認知内容は「ホームページ」「試乗会」「イベント協力」などが多く挙げられている。昨年度より挙げられている項目が多いものの、「試乗会」については昨年度を大きく下回っている。広報活動への興味では「試乗会」への興味が最も高く、積極的な取り組みが必要である⁴²。

以上のように、日本では、水素について「危険」「爆発」といったようなネガティブなイメージが持たれており、またそもそも水素について多くの人が正確、また多くの情報を持っていないということが分かる。ただ、環境面に注目し今後利用してみたいと考える人は非常に多いということも分かる。

燃料電池の普及などを進めるには、以上のような日本人の誤った水素への認識を変える必要があることは、アイスランドの事例を見ればわかると思う。そこで、政府が積極的に水素関連の技術開発や導入に取り組む必要があると考える。そのために、水素というエネルギー媒体の有用性を、国民また企業に訴えていく必要があると考える。アイスランドの事例にもあったが、新エネルギーをバスに導入するという取り組みは、日本でもバスやトラックの燃料に天然ガスを用いた車やハイブリット車を使用することを政府は進めており、それは、それらの新エネルギーで自動車を走らせることができる社会になったことを社会に広く知らしめるのに成功している取り組みであるといえよう。また、上で紹介したJHFCプロジェクトのアンケートの中で試乗会を積極的に行うことが強い関心を引き付けるとも紹介してあった。

そこで、水素に市民権を与えるために、以下のような政策を行うべきと考える。これらによって水素だけでなく多くのクリーン新技術などにも関心を持つきっかけになることが、低炭素社会に社会を導くことになるであろうと考える。

⁴² JHFC—水素・燃料電池（自動車）実証プロジェクト・「FCV」に関するWEBアンケート調査 結果報告より

- ・バス、トラックを燃料電池から得た電気を用いる電気自動車に、また水素燃料電池車を広告塔として試験的に走らせることを積極的に進める
- ・J H F C の調査からもわかるように認知内容の高い「ホームページ」「試乗会」「イベント協力」の継続的な普及活動を実施する。特に以前小泉元首相が行ったような、著名人やブランド力の高いファッション業界などのコラボレーションを活用した試乗会を積極的に行う
- ・そもそも水素について詳しく知られていないので、科学的知識・関心の少ない層にわかりやすい、他エネルギー源自動車との対比による水素、FCVの簡潔な説明や、家庭用燃料電池を用いた場合の現在の生活との変化をわかりやすく示す展示場の設置を行う。

終わりに

私たちは CO₂ をあまり排出することのない低炭素社会を目指す上で、水素に注目をし、家庭に燃料電池を設置することを提言してきた。また、その家庭用燃料電池をよりクリーンな技術とするために「太陽光発電」、「電気自動車」を併用して導入することを提言した。

しかし、家庭用燃料電池と太陽光発電だけで電気自動車の走行に必要な電力を 100% 供給することは現実の問題不可能である。しかし、わたしたちがその「電気自動車」をあえて提言したのは、100% でなくてもかなりの部分の電力を賄えることができるという点、そして、水素燃料電池車の導入には大きなインフラ整備への費用が発生するからである。

ただ、この水素燃料電池車も負担が大きくなる形では長期的にインフラ整備が進めば、実現可能性のあるクリーン技術である。家庭用燃料電池は都市ガスを発電の際に用いるが、その都市ガスを運ぶパイプラインは、多少の改良で水素ガスの運搬にも用いることができ、もしそうなれば、家庭用燃料電池はガスを用いて水素を生み出してから発電するという従来のような方法ではなく、パイプラインから送られてくる水素を用いて発電するわけで、その水素ガスを家庭から、または水素ステーションから取り込むことができれば、私たちの提言した「家庭用燃料電池」、「太陽光発電」を生かしながら、燃料電池車の導入が可能なのである。そして年々電池車の導入が進むまで、またそれを補う形で電気自動車がいれば、この待った！の利かない地球温暖化に対する対策がとれるのである。

参考文献・データ出典

《先行論文》

- NEDO 海外レポート No.1015 (2008 年) 『アイスランドの水素社会計画』
 技術開発ニュース No.12 (2006 年) 『水素エネルギー社会とアイスランド』
 三菱総合研究所 (2003 年) 『所報 環境とエネルギー』
 三原 功・松本 安生・原科 幸彦 (2006 年) 『燃料電池自動車の社会的受容のための啓発活動に
 関わる要因について』 環境情報科学
 松本安生 (2007 年) 『アイスランドにおける燃料電池車の普及政策に対する大学生の態度とそ
 の意思決定要因』 神奈川大学人間科学研究年報

《参考文献》

- 笠井秀明・津田宗幸 (2008 年) 『固体高分子形燃料電池要素材料・水素貯蔵材料の知的設計』 大
 阪大学出版会
 新エネルギー・産業技術総合開発機構・水素エネルギー協会 (2008 年) 『トコトンやさしい水素
 の本』 日刊工業新聞社出版
 堤敦司・榎屋治紀 (2007 年) 『燃料電池－実用化への挑戦－』 工業調査会
 市川勝 (2007 年) 『水素エネルギーがわかる本 水素社会と水素ビジネス』 オーム社
 水素エネルギー協会 (2007 年) 『水素エネルギー読本』 オーム社
 平田賢 (2006 年) 『燃料電池コージェネレーションシステム』 シーエムシー出版
 本間琢也・西村晃尚 (2005 年) 『水素は石油に代われるか』 オーム社
 小波秀雄 (2005 年) 『水素がわかる本』 工業調査会
 小林光一・高橋政志 (2004 年) 『燃料電池』 ナツメ社
 文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター (2003 年) 『図解水素エネルギー最
 前線』 工業調査会
 本間琢也 (2003 年) 『図解燃料電池のすべて』 工業調査会
 榎屋治紀・榎屋治紀 『燃料電池』 筑摩書房
 駒橋徐 (2002 年) 『水素エネルギー革命』 日刊工業新聞社
 秋元格・千葉三樹男・山本寛 (2001 年) 『すぐわかる！燃料電池の仕組み－21 世紀の世界を
 変えるテクノロジー』 かんき出版
 燃料電池研究会 (2001 年) 『トコトンやさしい燃料電池の本』 日刊工業新聞社出版
 山本寛 (2001 年) 『さようなら原発水素エネルギーこんにちは 燃料電池・常温核融合の新世界』
 東洋経済新報社
 清水和夫・平田賢 (2000 年) 『燃料電池とは何か』 日本放送出版協会
 市村憲司 (1999 年) 『水素 エネルギーの切り札となるか』 研成社

《データ出典》

- 経済産業省 (2001 年) 『燃料電池実用化戦略研究会報告』
 環境省 (2005 年) 『京都議定書目標達成計画』
 資源エネルギー庁 (2004 年) 『エネルギー白書』
 資源エネルギー庁 (2007 年) 『エネルギー技術戦略 (技術戦略マップ 2007)』

東京ガス HP

日本燃料電池株式会社 HP

関西電力

NBS 株式会社 HP

国土交通省 (2008 年) 交通需要推計

環境自治体会議 (2007 年) 『環境自治体白書』

東京電力 TEPCO 電気料金シミュレーション

東京電力 環境行動レポート

東京都議会 「2007 年度海外調査報告」

福岡水素エネルギー戦略会議 「水素ハイウェイ」を構築 2008 年

福岡水素エネルギー戦略会議 『福岡水素戦略 ～Hy-Life プロジェクト～』

自動車検査登録情報協会 (2003 年) 『自動車保有台数統計データ』

JHFC (2008 年) 『2007 年「FCV」に関する Web アンケート調査結果報告』

内閣府 (2008 年) 『各電源特性比較表』