

水素エネルギー

岩本隆志

地球温暖化問題はかつてない水素ブームを引起こしている。これは水素からエネルギーを取出す過程で、温室効果ガスである CO₂ を排出しないクリーンなエネルギーのためである。日本でも京都議定書の後押しにより、多額の国家予算が水素エネルギー関連プロジェクトに投入されている。燃料電池は水素から高い効率で電力を作ることが可能で、水素エネルギー社会を構築する鍵を握っている。

本報文では、燃料電池自動車と家庭用燃料電池システムの技術開発と、安全性評価や基準作りなどの基盤整備の状況を紹介します。水素エネルギー社会実現への可能性について考える。

キーワード：水素エネルギー、燃料電池、地球温暖化、水素、燃料電池自動車、家庭用燃料電池システム

1. はじめに

最近、世界中で異常気象が話題になる。日本では台風勢力が以前より増し、欧米から熱波のニュースが入ってくる。私が在住する北海道でも降雪量が随分と少なくなっている。気候変動が本格的に議論されるようになったのは10年以上前で、CO₂ を始めとした大気中の温室効果ガスによる地球温暖化が原因と考えられている。

地球温暖化対策の切り札として、現在、水素エネルギーが注目を集めている。これは、水素が燃焼により CO₂ を排出しない究極のエネルギーのためである。水素エネルギー社会の実現は、水素を燃料として、低温で高効率な発電が可能な燃料電池の実用化が鍵と言われている。欧米、日本などでは、国を挙げて燃料電池の開発に取り組んでいる。

実は、水素エネルギーへの注目は今回が初めてではない。1970年代の2度にわたる石油危機を背景に、1980年代に現在と同じような水素ブームがあった。日本では通商産業省工業技術院サンシャイン計画で水素社会構築が検討され、燃料電池の開発も盛んに行われていた。

何故、エネルギーに関する問題が起こると水素エネルギーが注目を浴びるのか、水素エネルギー社会は本当に実現可能なのか。本報文では、まず第一に、水素エネルギーの必要性について、エネルギーの持続性の観点、さらには地球環境問題と日本が置かれている状況から再確認する。そのうえで、その実現に向けた技術開発の動向と課題を整理し、水素エネルギー社会の

可能性を考えて行きたい。

2. 化石燃料から水素エネルギーへ

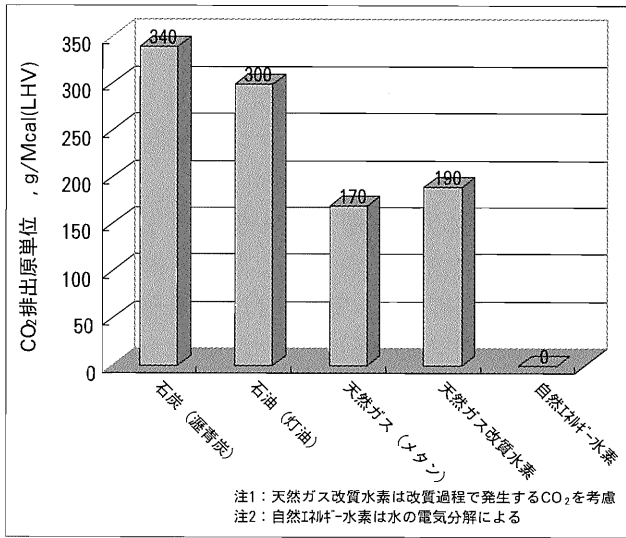
イギリスで蒸気機関が発明されて産業革命が起こって以来、文明の急速な発展は化石燃料、とりわけ石油の恩恵によることは疑いのない事実である。しかし、石炭や石油といったC量を多く含む燃料の大量消費はCO₂の大量排出を招き、産業革命以来わずか100年のうちに、大気中のCO₂濃度は280ppmから360ppmに増加し、地球の平均気温は約1°C上昇するに至っている。この傾向が続くと生態系の破壊や海面上昇などの深刻な事態が起こると懸念されている。

最近では、地政学的な観点からの石油依存脱却と地球温暖化防止の観点から、CO₂排出を抑制するため、C量の割合が少ない天然ガスの利用が推進されている。一方、現時点で埋蔵が確認されている化石燃料の可採年数は、石油が約40年、天然ガスが約60年、そして石炭が約210年と逼迫した状況にあり、代替エネルギーへの期待が高まっている。

代替エネルギーの最有力候補として水素エネルギーが注目されているが、残念ながら水素は地球上に単独ではほとんど存在しない。したがって、水素は電気と同様に何らかのエネルギーを投入して生成しなければならない2次エネルギーである。国内では水素の90%以上を天然ガスの水蒸気改質で生産しているが、その生成過程でCO₂が排出されている。

これに対して、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーで作られた電力により、水を電気分解することで、CO₂を排出せずに水素を作ることができる。各

種燃料の低位発熱量当たりの CO₂ 排出量を比較し図一1に示すが、水素エネルギー社会は自然エネルギーからの水素製造が基盤となるべきである。



図一1 各燃料の CO₂ 排出原単位

ところで、水素エネルギーが持つもう一つの重要な側面は短時間で物質循環ができる点である。化石燃料の場合、燃焼して排出された CO₂ が植物から動物に取込まれ、再び化石燃料になるためには、数千万年の歳月を必要とする。これに対して、水素は燃焼により水が生成され、これを容易に分解して水素を得ることが可能である。したがって、物質の循環に時間を要しない。

この観点から自然エネルギーで水電解した水素を二次エネルギーとして利用することで持続可能なエネルギー社会が構築される。このような概念を具現化するために、1993～2002年にニューサンシャイン計画のWE-NET (World Energy Network) 事業で、関連した要素技術開発が行われた。

3. 京都議定書の発効

化石燃料の急速な消費は、酸性雨、オゾン層破壊と地球温暖化を招き、地球環境問題が深刻化したことを受け、気候変動枠組条約が1994年に発効された。1997年には京都で開催された第3回同条約締約国会議COP3で京都議定書が採択され、温室効果ガスの排出削減目標が各先進国に割当てられた。その後、2005年2月に正式に発効している。

日本に割当てられた総排出量は、1990年の排出量を基準に6%削減した量となっており、2010年から2012年の間に達成することが国際公約となっている。

しかし、2004年度時点で、1990年より7.4%増加しているため、目標達成には現状より13%以上の削減を行わなければならない厳しい状況にある。議長国としての責任の重さに加えて、石油危機以来、省エネルギー技術が進んでいる日本としては、この目標値は非常にハードルの高いものである。

これらを背景に、日本にとって水素エネルギーへの取り組みは避けては通れない状況になり、2000年度から経済産業省において、燃料電池技術関連の事業が立上がり、新エネルギー総合技術開発機構 (NEDO; New Energy and Industrial Technology Development Organization) が推進している。経済産業省が実施する燃料電池関連事業の予算は2003年以降300億円以上で推移し、2006年度は340億円の予算案が計上されている。このような額から見ても、国が如何に切実な問題として捉えているかが窺える。

4. 燃料電池

水素エネルギーを利用するための重要な機器として燃料電池がある。燃料電池は水素を燃料とし、酸素を酸化剤として電気化学反応によって、化学エネルギーから直接電気を取出すものである。

使用する電解質の違いにより、りん酸型、熔融炭酸塩型、アルカリ型、固体高分子型、固体酸化膜型などがある。これらは、内燃機関や蒸気機関などで熱エネルギーを動力に変換して、さらに発電機で電気を取出すプロセスに比べて、単純で高効率である点が特長である。通常の内燃機関を動力とした発電機の効率が30%前後であるのに対し、燃料電池の効率は40～60%である。

そもそも、燃料電池の歴史は古く、1839年にイギリスのグローブ卿が希硫酸を電解質に使用して実験したことに始まる。1960年代に米国のNASAの開発で実用化され、1965年に人工衛星のジェミニ5号に1kWの燃料電池が搭載された。日本でも1981年にムーンライト計画で燃料電池の開発プロジェクトが始まった。当時は、りん酸型や熔融炭酸塩型の数百kW規模のものが開発された。その後、メーカーにより50～200kWのりん酸型燃料電池の分散電源が商用化されている。その後、2001年からWE-NET事業で固体高分子型燃料電池 (PEFC; Polymer Electrolyte Fuel Cell) の要素技術開発がスタートした。

現在の水素ブームの主役を担っているのはPEFCで、数kW～数十kWの比較的小型のものである。このブームは、カナダのベンチャー企業バラード・パワー・

システムズ社が2001年にPEFCの商用機NEXAを市場投入したことに端を発している。折りしも、大気汚染で悩む米国カリフォルニア州が自動車の排出ガスを規制するCAFE規制（企業別平均燃費規制）を行ったことで、フォードやダイムラー・クライスラーなどの自動車メーカーがバラード社の技術を導入して、燃料電池自動車（FCV；Fuel Cell Vehicle）の開発にしのぎを削ることになった。

日本では2001年に資源エネルギー庁長官の私的研究会である燃料電池実用化戦略研究会の報告を受けて、NEDOがPEFC技術を基盤として、FCVと家庭用を初めとした定置用燃料電池システムの技術開発を推進している。これはCO₂排出量の割合が民生部門と運輸部門でそれぞれ約25%、約20%と高いことが理由のひとつとして挙げられる。また、2005年から、天然ガスや石炭ガスなどを直接燃料とすることが可能で、発電効率の高い固体酸化物型燃料電池の開発プロジェクトがスタートしている。

国が策定した燃料電池の導入シナリオによると、FCVと定置用燃料電池の本格的な普及は表1の通り2030年頃としており、導入目標値はFCVが1,500万台で、定置用燃料電池が1,250万kWとなっている。

表1 燃料電池の導入シナリオ

		2010年	2020年	2030年
燃料電池自動車	台数	5万台	500万台	1,500万台
	水素ステーション	500箇所	3,500箇所	8,500箇所
定置用燃料電池	発電能力	220万kW	1,000万kW	1,250万kW

5. FCVの開発状況

日本の自動車メーカーのほとんどがFCVの開発を行っているが、PEFCとニッケル水素電池やリチウムイオン電池の2次電池からウルトラキャパシタ（電気二重層キャパシタ）を組合せたハイブリッド方式が特徴である。性能は、出力が90kW前後で、最高速度が毎時150km、航続距離が250~300kmに達している。これらの開発は実証試験段階に入っていて、国土交通省大臣認定を取得して公道テストを展開している。各メーカー認定車の累積台数は2005年9月までに83台となっている。また、トヨタは、2005年9月までに7台の型式認定を取得している。FCVのコストは1億円以上と言われ、内閣官房、経済産業省など4省庁を始め、自治体などへのリース販売も行われているが、リース料は月額100万円前後と依然として高額である。

FCVの普及には水素インフラストラクチャが不可欠であるため、NEDOが実施する水素社会構築共通基盤整備事業の一環で水素・燃料電池実証プロジェクト（JHFC；Japan Hydrogen Fuel Cell Demonstration Project）が2002年よりスタートした（<http://www.jhfc.jp>）。これは、都内10箇所に、都市ガス、ナフサ、水や液体水素など、考え得る様々な原料から水素を製造し供給する水素スタンドを設置し、FCVを公道で走らせるプロジェクトである。

2005年に開催された愛・地球博では、2つの会場にJHFCが水素スタンドを設置して、燃料電池ハイブリッドバスを運行した（写真1）。閉会後は中部国際空港に移設され空港内循環バスの一部に利用されている。水素スタンドの建設コストは、現状では3億円程度と言われているが、普及するには1/3以下に低減して、ガソリンスタンド並みにすることが必要である。

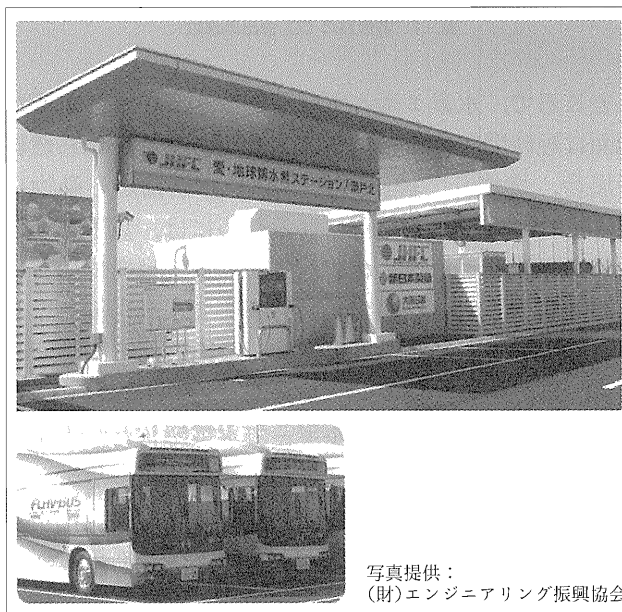


写真1 愛・地球博の水素ステーションと燃料電池ハイブリッドバス

FCVの水素タンクは35MPaの高圧タンクを使用しているため、40MPa水素スタンドが水素を供給している。しかし、FCVの航続距離は300km程度で、目標の500kmを達成するためには、充填圧力を70MPaに高圧化することが必要である。欧米では先行して70MPa水素スタンドが設置され実証試験が行われているが、日本では2007年度にJHFCが70MPa水素スタンドの実証テストを行う予定である。

安全性確保に向けた活動は、NEDOが実施する水素安全利用等基盤技術開発事業で進められている。高圧水素雰囲気下では、金属材料の水素脆化が懸念されるため、車載用水素タンク、および高圧水素圧縮機や

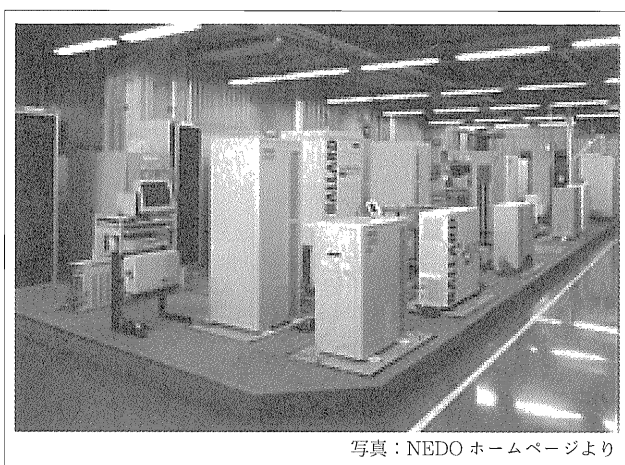
蓄圧器など水素スタンドに使用される構造材料の適正化を図ることが重要である。そこで、35 MPa の高圧水素雰囲気下での材料の機械的性質の研究や安全性評価試験などが実施されている。これらの活動を通じて、35 MPa 車載用水素タンクや 35 MPa 水素スタンドの法規制の再点検、および関連する法律が改正され、2005 年 4 月より施行されている。例示基準、自主基準については現在審議中で、2006 年度に施行される予定である。

また、70 MPa の高圧化に向けては、材料や安全性の評価が今後進められる予定だが、法整備までには数年掛かると考えられる。

6. 定置用燃料電池の開発状況

定置用燃料電池の開発は 2004 年度まで NEDO が実施する固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業で各メーカーのシステム評価が行われた（写真—2）。定置用燃料電池は発電出力が 1 kW 前後の家庭用燃料電池システムに特化しており、都市ガス、LPG または灯油を改質器で改質し、得られた水素を PEFC に供給して発電し、燃料電池の排熱で同時に給湯も行うコージェネレーションシステムである。

家庭では電力負荷変動が大きいので、系統連系して利用される。また、余剰電力は電力会社に売電するより、停止したほうが維持費低減の経済効果が勝るので、昼間運転し、夜間停止する DSS（Daily Start & Stop）運転に対応する耐久性が求められる。



写真：NEDO ホームページより

写真—2 評価中の定置用燃料電池システム

性能は、発電効率が 30%、排熱回収率が 40% と高い効率を達成し、1 次エネルギー消費量は約 15% 削減されている。また、耐久性については、数年前は数千時間しかなく燃料電池の課題とされていたが、最近

では 40,000 時間の耐久性を有するスタックがメーカーより発表され、家庭用燃料電池の耐久性目標をクリアするレベルに来ている。

実証試験については、NEDO が実施する定置用燃料電池大規模実証事業が、国内メーカー 6 社が参加して 2002 年から展開されている。北海道など寒冷地区の凍結問題や沿岸地区の塩害など、様々な環境の影響を調査するため、実験サイトは全国にわたっている。2005 年度は 480 台の試験を実施し、2006 年度は 700 台を目指している。また、環境省や国土交通省では、日本の住宅の 50% を占める集合住宅における燃料電池コージェネレーションのプロジェクトを実施している。これは、都市ガスを集中して改質し、配管で集合住宅内の各戸の燃料電池に水素を供給するもので、集合住宅内に電力系統を構築して電力の融通を図る試みも検討されている。

一方、コストについては、1 台 800 万円程度と家庭用システムとしては高額であり、商用化の最大の課題となっている。これに対して NEDO では、コスト低減に資する規制緩和や周辺機器の低コスト化の開発などにより、2008 年に 120 万円とする目標を掲げている。しかし、経済産業省が発表している 2010 年以降の普及期の目標である 30 万円にはかなりのコスト低減努力が求められる。

7. 水素エネルギー社会の実現に向けて

水素エネルギー社会実現の最大の課題は燃料電池システムのコストである。FCV と家庭用燃料電池システムは共に、普及可能なコストレベルにする見通しが得られていないのが現状で、今後、革新的なコスト低減が必要とされる。また、FCV の車載水素タンクを 70 MPa に高圧化することは、安全性、効率およびコストについて精査が必要であり、新たな水素貯蔵材料や水素貯蔵システムも視野に入れた適正な貯蔵方法の選択も課題として残っている。

しかしながら、京都議定書の採択、発効により、かつてない多額の開発予算が投入され、技術開発、標準化、基準化と法規制見直し、そして大規模な実証事業が同時並行で展開されている。これらにより水素エネルギー社会の基盤は着実に整備されつつある。また、企業の取組みはメーカーのみでなく、石油、ガスなどのエネルギー関連企業も積極的に参加しているため、インフラストラクチャ整備が比較的スムーズに進む環境にある。

したがって、短期的に見て水素エネルギーが普及す

るとは考えにくいですが、国の技術開発事業が継続し、環境税や助成金などの導入促進政策が展開されれば、徐々に普及していくものと考えられる。

8. おわりに

水素エネルギー社会の実現について、燃料電池システムを中心に国の政策と技術動向を見てきたが、他にもクリーンなエネルギーへの様々な取り組み方がある。本報文では紹介しなかったが、既存のエンジンを水素で動かす水素自動車（マツダ）が開発され、今春からリリースが始まっている。また、バイオマスからアルコール（バイオエタノール）を製造し、燃料に添加して使

用する試みも行われている。できることから徐々に始めて実績を積んでいくことは、社会の仕組みや意識を変えていくために重要である。

私もこの分野に係るもの一人として微力ながら、水素エネルギー社会の実現に貢献して行きたい。

JCM A

【筆者紹介】

岩本 隆志（いわもと たかし）
株式会社日本製鋼所
研究開発本部
室蘭研究所
機器システム開発部
部長



建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論（土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判、340頁、表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289