

燃料電池・水素技術開発政策の概観

名久井 恒司

新エネルギー・産業技術開発機構
212-8554 川崎市幸区大宮町1310

Overview of the Fuel Cell and Hydrogen Technology Development Policies in Japan

Koji NAKUI

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)
1310 Ohmiyacho, Saiwaik-ku, Kawasaki 212-8554

Since the 1950s, research institutes and universities in Japan have been working on various types of fuel cells and hydrogen storage materials. Starting with the Sun Shine Project launched in 1974, a number of research activities were implemented as national projects. However, in the face of uncertainties regarding generation mechanism of fuel cells, characterization of materials and components of fuel cells, these research projects have not achieved scientific elucidation required for product development. It is only in recent years when the Japanese R&D program has promoted fundamental and scientific researches as a top priority. Degradation phenomena do not become clear until a certain length of operation and the analysis of the operation results have been done. Evaluation of a fuel cell stack or a system is insufficiently fed back to neither material development nor a mechanism elucidation. One of the most serious obstacles for active feedback between academic researches and commercialization of fuel cell has been a lack of system that enables academics and manufacturers to share information and cooperate among themselves. Those important lessons show us that what needed the most now is to execute basic researches extensively and to evaluate technologies in a cooperative manner.

Key words: hydrogen economy, polymer electrolyte fuel cells, fuel cell vehicles, road map

1. 緒言

本稿は、現行の燃料電池・水素政策の概要と今後進めべき技術開発課題について述べるものである。まず、現在実施中のプログラムを概観し、次に1960年代以降の技術開発政策を振り返り、諸外国における政策との比較を行う。最後に「NEDO燃料電池・水素シンポジウム」で集約した意見に基づく今後の技術開発の方向についての議論の展開を紹介する。

2. 現行の政策の概要

わが国における燃料電池の実用化に向けた開発は、2001年の経済産業省・資源エネルギー庁・燃料電池実用

化戦略研究会報告、2002年2月の小泉内閣総理大臣姿勢方針演説、同年5月の副大臣プロジェクトチームの報告書によりその政策的な重要性が認識され、それら提言、方針に基づく政策プログラムが実施されている。

現行の水素エネルギーおよび燃料電池に係る主要な施策は、2001年に制定された「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム」（現「新エネルギー技術開発プログラム」）の中に束ねられている。プログラムの下で実施される技術開発は主に新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）が運営を受け持つ。このプログラムの主な目的は、固体高分子形の燃料電池の普及にある。その施策内容は、それまで実施されてきた新エネルギー導入のためのニューサンシャイン計画に含まれていた既存の技術開発プロジェクトを継承するもの

パッケージと言ってもよい。個々のプロジェクトの実施期間は、2000年度から2007年度までの間にわたっているが、研究開発テーマとしては2004年度で終了するものが多い。これまで行ってきた研究の成果から多様な新規要素技術が開発され、システム技術、インフラ技術の整備とあわせて水素社会の実現、燃料電池実用化の期待が高まってきた。しかし、真の実用化には、なお触媒やセルの劣化機構の解明など基礎研究に基づく技術革新が不可欠で、短期的な問題解決に加え、長期的な取り組みが必要になることが明らかになってきた。そこでNEDOでは学界、産業界の意見を集約し、長期的に燃料電池技術実用化、水素のエネルギー利用拡大を図っていくため、関係者の意見を集約し2005年度以降に実施する技術開発課題の設定を行った。

このプログラムの他に、文部科学省によっても次世代に実現されるであろう革新的な技術の研究開発が推進されている。文部科学省は、電解質膜や触媒及びその複合体であるMEAなどの固体高分子形燃料電池の重要な要素技術について、高い研究目標を定め、産学連携による研究開発を支援している。また、科学研究費補助金や科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業等の競争的資金を利用して、シーズ志向の斬新的な研究にも取り組んでいる。

2.1 「新エネルギー技術開発プログラム」中の固体高分子形燃料電池・水素エネルギー関係プロジェクト概要

このプログラムの目的は、エネルギー供給の安定化・効率化、地球・地域環境問題の解決の手段として固体高分子形燃料電池の早期実用化及び普及を図ることにある。ここでは数値目標も掲げられており、燃料電池自動車については、2010年約5万台、2020年約500万台、定置用燃料電池については、2010年2.2GW、2020年約10GWの導入を目指すとしている。それらが実現すれば市場規模は、2010年約1兆円、2020年約8兆円、雇用規模は、2010年約2万人、2020年約18万人にまで成長すると推定されている。また、2030年にそれぞれ約1500万台、12.5GWという見通しも付け加えられていた。

このプログラムには次の4つの主要プロジェクトがあり、燃料電池自動車及び定置用燃料電池が商品化するために克服しなければならない課題を解決するための技術開発及び安全上の規制を技術的に見直すためのデータ取得が行われている。

(1) 固体高分子形燃料電池システム技術開発事業（実施期間2000-2004年度、2004年度予算額43.3億円）

ここでは、自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池の実用化・普及に向け、燃料電池を構成する各要素技術、素材技術等の開発を行うとともに、システム化技術、量産化技術及び低コスト化技術の開発を行う。

これまで実施したテーマは、①高温耐熱性電解質膜、触媒層2層化MEA、熱硬化系・熱可塑性材料によるカーボン樹脂モールドセパレータの試作及び評価、②新規素材による無加湿で高伝導度の電解質膜及び触媒の構造の研究、③低白金担持電極のルテニウム合金化による耐一酸化炭素被毒性の向上、④炭化水素系高分子膜の耐久性向上、⑤金属セパレータの薄板化、耐食性向上、都市ガス改質システムの貴金属触媒使用量低減、信頼性向上、⑥PSA改質システムの小型化などである。

(2) 水素安全利用等基盤技術開発事業（実施期間2003-2007年度、2004年度予算額66億円）

ここでは、燃料電池の初期段階の普及を睨み、安全かつ低コストな水素の製造・利用に係る技術を確立するため、水素の安全性の検証に必要なデータの取得等安全技術の確立及び水素燃料インフラに必要な圧縮機等の関連機器の開発を行う。WE-NETプロジェクト（後述）のタスクの多くはここに引き継がれている。

この事業の中では、水素の利用拡大に必要な安全技術基準の見直しのためのデータ取得も行っている。これは、政府が安全基準に関し、2002年10月に28項目の規制再点検実施を決定したことに対応するものである。水素インフラ関連が11項目、燃料電池自動車関連が12項目、定置用燃料電池関連が5項目で、高圧ガス保安法、建築基準法、消防法、電気事業法、道路法及び道路運送車両法に基づく規制を見直すことになっている。2004年度未までにこれらの規制を見直すために必要なデータを収集し、関係省庁に提出する。収集すべきデータの中には、新たに大規模な実験装置を作らなければならないものもあり、集中的な努力が行われてきた。2004年9月までに水素供給ステーション、車載高圧タンクの技術基準案が作成された。

(3) 固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 (ミレニアムプロジェクト) (実施期間2000-2004年度、 2004年度予算額25億円)

このプロジェクトでは、上記(2)事業と並び、安全性・信頼性等の基準・標準等の普及基盤を整備するため、データ収集、試験評価手法の確立及び基準・標準案の提案を行う。これら2プロジェクトの事業は、2005年度からは「水素社会構築基盤整備事業」に一本化され実施される。

燃費計測手法の検討では、簡便かつ精度が期待できる計測手法として電流法、圧力法、質量法、流量法などについて検討した。本事業で提案する標準セルを用いて、水素燃料性状に関しては、アンモニア、ベンゼンなどの不純物の影響調査を行った。安全性試験に関しては、ガス漏れ探知のために、数種類の水素用付臭剤を検討し、濃縮による性能低下及び回復などを評価した。また、衝撃時の燃料漏れ許容量の検討、高圧容器などの衝突・火災安全性の検討、容器破裂のメカニズム解析を行った。標準化関係では、国内標準と国際標準を整合させるために、本事業の成果を基にISO/TC22/SC21 (電気自動車)、ISO/TC197 (水素技術)、IEC/TC105 (燃料電池) に対して、標準化提案を行った。

基本性能試験として、負荷追従試験に係る計測・評価手法、評価パラメータの検討、電磁波イミュニティ試験、騒音測定法の検討、耐環境性能試験としてNaCl影響試験法検討及び燃料である都市ガスに窒素が混入した場合の影響の検討を行った。

本プロジェクトで特筆すべきは、車両、高圧容器の火災等の安全性を屋内で評価できる施設を世界で初めて建設し、2004年5月に竣工したことである。ここでは充填最高圧力70MPa、最大容量260Lまでの高圧水素容器の火災試験、高圧容器の水素ガスサイクル試験(95MPa)、ガス透過試験、水加圧破裂試験(300MPa)、水加圧サイクル試験(100MPa)などが実施可能である。これまでの車両火災安全試験は、山中あるいは砂漠のオープンスペースを利用してきたため、地理的条件、天候等の自然条件により、再現性のあるデータの取得や、効率的な研究実施が困難であった。今回、全天候型の燃料電池自動車安全性評価試験棟 (Hy-SEF) を財団法人日本自動車研究所 (JARI) の敷地内に建設したことにより、今後安全性の研究が飛躍的に加速され、国際標準化や規制整備の場に於いても日本が主導的な役割を果たすことに

貢献することが期待される。

(4) 固体高分子形燃料電池システム実証等研究事業 (実施期間2002-2005年度、2004年度予算額30億円)

本プロジェクトでは、環境性能、エネルギー総合効率等のデータや技術的課題など開発・普及に必要となる基礎的情報を得るため、水素供給ステーションの実証を含む燃料電池自動車の走行実証試験、定置用燃料電池の実使用条件での運転試験を行う。

水素供給ステーションの実証実験は、JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) として2005年度までの予定で行われている。燃料電池自動車実証走行に関しては財団法人日本自動車研究所が、水素供給設備実証に関しては財団法人エンジニアリング振興協会が実施主体となっている。インフラメーカー14社、自動車メーカー8社が参加し、京浜地区の10箇所に設置した水素製造、供給方式の異なる水素供給ステーションでの水素供給試験及び燃料電池自動車、燃料電池バスの走行研究を行っている。

また、財団法人新エネルギー財団は「定置用燃料電池実証研究」として、環境条件等の異なる複数の試験サイトに固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムを設置し、種々の実使用条件下で運転した場合の各種データを収集する「運転試験」や、電力系統への影響評価データを収集する「系統連系影響評価試験」を実施している。ここでは、直接水素を供給する燃料電池を用いた実使用条件下での運転試験を実施している。2004年度は前年度に開始した全32試験サイトでの運転試験等の継続実施に加え、2箇所に新たに試験サイトを設置した。

2.2 その他の燃料電池開発プロジェクト

2004年度までの固体酸化物形燃料電池の開発では、湿式円筒形及び一体積層形での熱自立モジュール開発、耐熱衝撃性平板型セル・スタック及びアドバンス円筒形セルでの適用性拡大に関する研究が進められている。さらに2004年度からは4年計画で10kWから200kW級のコージェネレーションシステム及び数百kWの高効率コンバインドサイクル発電システム及びシステム評価技術の開発を始めたところである。

また、熔融炭酸塩形燃料電池の開発においては、2004年度を最終年度とする第III期実用技術開発において熔融炭酸塩燃料電池発電システム技術研究組合及び参加企業等が12気圧加圧による高性能モジュールの基本

モジュール開発、4気圧加圧小型発電システムの開発、ショートスタックによる信頼性評価、次世代材料の研究などに取り組んでいる。

さらに携帯機器用燃料電池として固体高分子膜を用いた直接メタノール燃料電池の実用化の期待が高まっているが、その高性能化、安全性の確保と向上、標準化及び規制見直しのための技術開発を2003年度から2005年度までの計画で実施している。

なおNEDOは2005年度から定置用燃料電池の大規模実証事業を3カ年の予定で実施する。

3. ニューサンシャイン計画以前の燃料電池開発政策

上記技術開発プロジェクトに含まれる課題の多くは、5年程度の実施期間内のみで解決されるものではない。燃料電池開発の歴史の中で、現時点は「これまでの長期にわたる技術開発の積み重ねが、固体高分子型燃料電池が特定の応用分野で商品化されることへの期待が高まった時期」と位置付けることができる。また、水素の製造、貯蔵及び供給に関する技術開発による一連の成果が水素利用燃料電池の現実味をもたらしたことは言うまでもない。

そこで、以下に固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム以前の政策、技術開発プログラム及び2003年度まで実施されたWE-NETプロジェクトを概観する。

3.1 国立研究所等における先行的研究開発

1950年代に国立大学の中では、京都大学、大阪大学、名古屋大学などが、また、民間企業においても三洋電機、日立製作所、富士電機などが各種燃料電池の研究を開始した。また、国立研究所では通商産業省に属する大阪工業技術試験所、電子技術総合研究所、東京工業技術試験所（いずれも現産業技術総合研究所）などでも先行的な研究が始まった。これらの研究所では1974年のサンシャイン計画開始以前に水素-酸素燃料電池、メタノール溶解形燃料電池、ヒドラジン溶解形燃料電池、固体電解質燃料電池、水素吸蔵合金などの研究が行われていた。

3.2 国家プロジェクトにおける研究開発の始まり

国家プロジェクトとして最初の燃料電池技術開発は、1956年にアメリカNASAによって始められたもので、世界で初めて燃料電池が実用化された例も1965年の有人宇宙船ジェミニ5号へのGE (General Electric) 社製

固体高分子形燃料電池の搭載である。しかし、1966年に始まるアポロ計画の有人宇宙飛行船（アポロ7号、1968年）及び1981年以降に最初に打ち上げられたスペースシャトルにはユナイテッド・テクノロジー（UT社）のアルカリ形燃料電池が採用された。

1977年にはEnergy Research and Development Administration (ERDA、後の米国エネルギー省DOE)は、第一世代のリン酸形に続く第二世代の熔融炭酸塩形、第三世代の固体電解質形（固体酸化物形）の開発計画を開始した。

3.3 本格的民生用燃料電池開発の始まり

1960年代、米国では民生用燃料電池開発が本格化し、まずリン酸形燃料電池(PAFC)の研究開発が始められた。1967年には、UT社が資金負担をし、ガス、ガス/電気会社のコンソーシアムが加わったTARGET (Team to Advance Research for Gas Energy Transformation)による小型の燃料電池開発プログラム”On-site Program”が始まり、1971年には9電力会社とUT社が大型燃料電池の開発に取り組んだFCG-1 (Fuel Cell Generator-1)計画が始まった。日本でも実証実験が行われ、前者では、東京ガスが筑波万博会場内と鶴見の温水プールに各1台、大阪ガスがレストランに2台導入した。その後EPR I (Electric Power Research Institute)はERDAとともにFCG-1での開発成果を基に実証試験を行った。ニューヨークでの失敗の後改良されたセルによるUT社製4.5MW実証プラントが東京電力五井火力発電所で定格運転に成功した(1984年)。また、1979年にはDOEとEPR Iの資金負担により、GE社とUT社が大型熔融炭酸塩形燃料電池の要素技術開発に着手した。

国内メーカーでは、1970年代初めからムーンライト計画の始まった1981年にかけて、三洋電機、富士電機、東芝、日立製作所、三菱電機が電力会社、ガス会社とともにリン酸形燃料電池の本格的開発を開始した。1980年代になって熔融炭酸塩形、固体高分子形の本格的開発が始まり、石川島播磨重工業、三菱重工業などが加わった。

4. わが国の国家プロジェクトにおける研究開発

前述のようにわが国の国家プロジェクトが始まる以前に工業技術院・大阪工業技術試験所、電子技術総合研究所、東京工業技術試験所等の先行的研究開発があった。

本格的な国家的水素プロジェクトの始まりは、1973年の第1次石油危機を契機として1974年に開始されたサンシャイン計画（新エネルギー技術開発計画）の中の水素エネルギー有効利用技術開発である。ここでは、①電気分解、熱化学法及び直接熱分解法・その他の水素製造、②水素ガス、液体水素及び水素化物による水素の輸送・貯蔵技術、③燃焼利用、燃料電池利用、動力利用及び化学利用技術、④水素の保安技術及び⑤水素エネルギーシステムといったテーマが取り上げられた。

その後1981年に始まったムーンライト計画（省エネルギー技術開発計画）においては、米国と同様に第一世代のリン酸形、第二世代の溶融炭酸塩形、第三世代の固体電解質形（固体酸化物形）の本格的開発が行われた。

1993年には、サンシャイン計画、ムーンライト計画に地球環境技術開発計画が加わり、ニューサンシャイン計画に統合され、3分野の技術開発が総合的に推進されることになった。ここでは太陽、地熱、石炭及び水素エネルギー技術の4大重点技術の研究開発が各々の実施計画の下に進められた。水素エネルギー技術分野には、燃料電池技術の開発及び水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）構想も含まれていた。

4.1 サンシャイン計画からニューサンシャイン計画に至るプログラムの主な成果

水素製造においては、アルカリ水電解法による水素製造パイロットプラントの開発、水素吸蔵合金、筒内噴射エンジンシステムを搭載した水素自動車の試作走行実験、石炭利用水素製造20t/dパイロットプラント研究が実施された。燃料電池においては、200kW級リン酸形燃料電池システムプラントの試作運転研究（1990年）、100kW級（1992年）までスケールアップした加圧溶融炭酸塩形燃料電池システムの定格発電試験（1992年）、1kW級固体酸化物形燃料電池モジュールの発電（1995年）、1kWアルカリ形燃料電池の発電及び連続運転（1984年）で成果を収めた。

前述のように2001年以降、経済産業省の研究開発は、「研究開発プログラム方式」で実施されることとなり「ニューサンシャイン計画」にある研究開発テーマの多くは、WE-NETプロジェクトを経て「新エネルギー技術開発プログラム」に引き継がれ実施されている。

4.2 WE-NETプロジェクトと水素エネルギー導入の考え方

1993年から2003年にかけて実施されたWE-NETプロジェクト（水素エネルギー利用技術開発）は、「21世紀中ごろまでに再生可能エネルギー起源の水素を利用したエネルギー体系を実用化すること」を目的にした国家プロジェクトである。

システム評価に関する調査・研究として、将来、水素の大量生産が可能となった場合のコスト低下の分析、2020年までのエネルギー需給モデルによる水素導入シナリオ分析、水素の漏えい、着火性、拡散、爆発等の実験を行うとともにシミュレーションモデルを構築して、災害規模の推測などを行った。

水素製造、輸送関係では、水素供給ステーションでの水電解装置製造、ボイルオフ（蒸発による損失）を低減した液体水素コンテナの製造、金属材料の低温靱性向上を行った。

水素吸蔵材料関係では、水素吸蔵合金タンクシステムの設計、製造、V系水素吸蔵合金の開発・評価、Ti-Cr系水素吸蔵合金、ナノ複合化多層薄膜（Pd/Mg/Pd）の合成、Ca-Mg系新合金について種々の元素添加による特性改善、無機系水素貯蔵材料ではアラネート（ NaAlH_4 ）、シクロヘキサンやメチルシクロヘキサンなどのナフテン系有機系水素貯蔵材料、ナノ構造化黒鉛の開発などを行った。

水素利用に関しては、オンサイト方式、オフサイト方式合わせて3ヶ所の水素供給ステーションを建設し、充填試験を行った。また水素ディーゼルエンジンの熱効率向上試験、排ガス NO_x 濃度低減研究を行った。

WE-NET期間中の1993年、カナダのバラード・パワー・システムズ社が、世界初の燃料電池バス走行を政府プログラムとして行った。これが固体高分子形燃料電池の自動車への応用が俄然注目されるきっかけとなった。しかし、海外では水素内燃機関、固体高分子形及び他のタイプの燃料電池を船舶、航空機用等に応用するニッチマーケットの研究も行われている。ところが、WE-NETでは、さらに広い視野から、最適な場所で水素を製造して消費地まで輸送する世界的なシステムを作ることが想定されていた。本格的な水素社会実現にはなお数十年要するが、そこに至る筋道の見通しとそのために必要な要素技術の開発を進めてきたのである。

現在生産されている水素の主な用途は、石油精製や工業用途であるが、エネルギー源としてはほとんど用いられていない。しかし、前述の政府による2030年における固体高分子形燃料電池の普及見通しが実現すれば、460億Nm³、日本の全エネルギー需要の5%近くに当たる水素が追加的に需要されることになる。それだけの量、要求される純度、圧力等の性状をみたす水素を供給するためには、製造、供給インフラに加えて、適切な安全基準の策定が必要となる。

水素製造原料に関しては、エネルギーセキュリティ及び地球環境重視といった長期的観点から化石燃料起源、再生可能エネルギーを含めた製造原料の多様化を図るべきである。一方、輸送やオフサイト/オンサイトといった供給の形態については方式を絞っていくことが必要である。それは産業を創成すべきとの観点からであって、水素を中心としたクリーンエネルギー体系に産業構造を転換するために必要なインフラ整備に係る投資は合理化しなければならないからである。そのためにWE-NETに至る開発プログラムでは技術アセスメントと実証実験による検証が行われてきたのである。今後はそれらの成果に基づいてインフラ建設のための政策的意思決定、投資の意思決定が行なわれることになる。

5. 燃料電池・水素技術開発政策の将来展望

ここではまず、これからの燃料電池・水素政策のあり方を考える上で前提として欠かせない諸点の分析を行う。分析対象は、諸外国の水素エネルギー導入政策、燃料電池・水素エネルギーの需要に関すること、また、供給面では技術開発の主体となる産業界の動向である。その上で、前節で述べた開発の歴史の中から学ぶべき点を重視しつつ技術開発プロジェクト運営のあり方を考察する。

5.1 諸外国の水素技術開発政策との比較

主要先進各国は、競うように水素エネルギー導入計画を作成し、ロードマップ策定などをエネルギー・環境政策あるいは産業政策に盛り込みつつある。こうした動きが今後長期的な燃料電池技術競争力に与える影響は大きいものと考えられる。

(1) 米国政策

米国エネルギー省(DOE)は、「2030年まで及び以降の水素経済への移行に関する国家ビジョン」(2002年

2月)及び「国家水素エネルギーロードマップ」(同11月)を発表し、長期的な水素・燃料電池推進政策の重要性を打ち出した。さらに2003年1月にはブッシュ大統領が「水素燃料イニシャティブ」を提唱した。この計画は、2002年に開始されたFreedomCAR(Cooperative Automobile Research)とあいまって水素燃料電池自動車を2020年までに普及させることを目的とする。FreedomCARは、米国3大自動車メーカーとDOEの共同高性能自動車開発プログラムで、低公害車開発・導入を目指したPNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles)を継承するものである。そのための今後5年間の予算要求総額は17億ドル、うち燃料電池自動車及び水素供給インフラ構築を目的とするものが12億ドルで、2004年度には2.7億ドルを要求した。このブッシュ・イニシャティブは化石燃料から炭素を分離・隔離し二酸化炭素排出フリーとする予算規模10億ドルの”Futuregen Initiative”(2003年3月発表)とも関連している。これによって国内資源によって自動車燃料の安定供給確保を図ること及び国際条約の枠組みとは別に自国内で温暖化効果ガスの排出削減を実現することも狙っている。この計画の下で水素の供給ポテンシャルが最大限に発揮されれば、2040年に11万バレル/日の原油消費を節減できるとしている。

また、DOEのプログラムにおける研究開発においては、国立研究所の持つ高い基礎研究ポテンシャルと、プロジェクト・フォーメーションにおけるプライム・コントラクターとサブ・コントラクターの組み合わせが技術ブレークスルーに有効な垂直連携をもたらしているとして注目する向きがある。これらの研究が真に質の高い成果を生む有効なスキームであるかについては更に調査を要する。

同じくDOEのSECA(Solid State Energy Conversion Alliance)は、高性能SOFCシステム開発を目指すものである。傘下の2国立研究所がコーディネートする3期計10年間にわたる総額1.4億ドルのプログラムである。3から10kWの発電システムのプロトタイプと長期研究に重点を置いた「コアテクノロジープロセス」から成る。

(2) 多国間協力の提唱

米国は、このように長期の環境対策及びエネルギー安全保障政策の1つの柱として燃料電池自動車及び水素供給インフラの構築を位置付けているが、国際協力のイニシャティブも発揮している。2003年6月にDOEは、

欧州委員会と燃料電池技術協力協定を締結した。さらに、多国間協力の枠組として「水素経済のための国際パートナーシップ」を日本など14カ国及びEUに呼びかけ、同年11月には大臣会合を主催した。

また、国際エネルギー機関 (IEA) では、1978年の水素実施協定締結、1990年の燃料電池実施協定締結以来、数多くのタスクによる研究情報交換などの協力を進めてきた。さらに、2003年には水素調整委員会 (HCG) を結成し、これらタスク及び関係実施協定との調整、協力を図っている。

(3) EU政策

EUでも、2003年6月に欧州委員会と産業界のリーダーが「水素エネルギーと燃料電池ビジョン」(Hydrogen Energy and Fuel Cells - A Vision for Our Future) を取りまとめ、技術プラットフォームの構築によってパートナーシップを構築するなど政策支援を強化する動きが見られる。メンバー国の研究機関等が実施する水素インフラ、水素安全、高温作動固体高分子形燃料電池など各種の研究プロジェクトは、2002年11月に開始された現行の第6次フレームワークプログラムによる財政支援を受けている。

CUTE (Clean Urban Transport for Europe) は、EU横断的な燃料電池バス走行実証プロジェクトで、オランダ、スペイン、ドイツ、英国、ルクセンブルク、スペイン、ポルトガル及びスウェーデンに水素供給ステーションが設置されている。Citaroと呼ばれるタイプの全長12mのバスが、2003年5月の最初の導入以来これまでに累計30台走行試験を行ってきた。

(4) その他各国の燃料電池・水素政策

上述のようにカナダは、燃料電池バス及び乗用車の走行実証を国内及び外国で実施している。アイスランド、ドイツ、中国などでも燃料電池バスの走行実証を中心としたプロジェクトが実施中または計画されている。また、バラード・パワー・システムズ社との高温作動高分子膜開発など国内有力企業との研究開発も行われている。

(5) ロードマップ策定の動き

米国には、2002年から2004年にかけてDOEが発表した「水素ビジョン」(A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy - To 2030 and Beyond)、 「水素ロードマップ」(National Hydrogen Energy Roadmap, November 2002)、 「水素導入方針」(Hydrogen Posture Plan February, 2004 Plan) 及び改訂

中の「研究開発・実証計画」(Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan Planned activities for 2003-2010) があり、これらが一体となって国の水素プログラムとして運営されている。また、EUの上記ビジョンには2050年にいたる水素・燃料電池ロードマップ提案が含まれる。カナダ政府は、2003年3月に発表された産業界主導の「燃料電池商業化ロードマップ」

(Canadian Fuel Cell Commercialization Roadmap) 作成を支援した。英国では2003年2月のエネルギー白書「低炭素社会の設立」(2003年2月) に続き、DTI が財政支援をするFuel Cell UKは2003年5月、「英国の燃料電池の展望」(A fuel cell vision for the UK - the first step) を発表、2023年までの燃料電池導・普及見通しを示した。他にも韓国、ノルウェー、オーストラリア、フランス、インドなどが水素政策を国家計画中に位置付けている。インドでは政府がロードマップ作成を行っている。カリフォルニア州では2004年4月にシュワツェネガー知事が水素交通社会の創成を目指す「Hydrogen Highway Network」を発表した。さらに、2004年7月に提出されたUC Berkeleyなどの執筆による「An Integrated Hydrogen Vision for California」は水素社会実現のために必要な研究開発や水素導入の経済・環境の側面を論じている。オハイオ州政府は、同州の科学技術促進プログラムである第3期フロンティアプログラムの中に燃料電池産業育成5カ年計画を置いている。2004年9月には向こう5年間の「オハイオ州燃料電池ロードマップ」を発表した。

このように近年世界各地で、ロードマップに基づき、計画的な水素・燃料電池の開発、導入及び普及を図る政策が急速に立案されている。

5.2 需要面で考慮すべき諸点

わが国の固体高分子形燃料電池開発については、前述の「プログラム」で対象とされている自動車用及び家庭用定置形での実用化に向けて、高性能化、コスト低減及び耐久性の向上を目指した開発が行われている。プログラムの前提となっている供給見通しが実現されるためには開発される製品に対する需要の創出も必要である。そのためには、ガソリン自動車やハイブリッド自動車との性能・経済性比較あるいは燃料電池コージェネシステム導入による電力、ガス使用量の節約を消費者がどう評価するかが鍵である。

高温形燃料電池である固体酸化物形、熔融炭酸塩形は、自家発電、分散型電源での使用が当面の応用分野とみな

されている。それらの普及は、小規模・分散電力需要の伸びに大きく左右されるが、長期的には電力の再生可能エネルギー使用比率を高めていくための担い手として期待される。海外では電力の自由化に伴う新たな電気事業（IPPなど）の進展や発電への再生可能エネルギー使用義務などによる需要面からの牽引がある。また、水素エネルギー導入による温暖化ガス排出抑制策の効果が評価されることによって燃料電池導入が推進されている状況も参考になるだろう。

5.3 考慮すべき産業界の動向

欧米には、ベンチャーや大手企業の一部門として固体高分子形のみならず多種の燃料電池の製造・販売及び水素供給を事業とする企業が数多く存在する。それらの企業の売上げ収入額は伸びてきてはいるが、販売先は政府等の研究機関や一部の大手企業に限られている。また、大部分の企業は巨額の研究開発費支出により収支は赤字となっており、キャッシュフローがマイナスになっている企業も多い。北米主要企業の財務状況を分析しているPricewaterhouseCoopers社は、2003年に2001年以降初めて営業収入が研究開発費支出をかるうじて上回ったと報じた。また、長期的な市場創成を確信する投資市場が中心となってこれら企業の事業を支援していると分析している。

一方、我が国は燃料電池産業や水素供給産業が発達しているとは言えない状況にある。しかし、近年のNEDOプロジェクトの充実もあり、産学における研究開発は近年急速に進展している。また我が国に多く存在する材料や部品、研究開発用の実験装置や測定装置を供給する企業が成長し、今後の産業の発展に寄与する地盤を形成することも重要である。

長年にわたって燃料電池の研究開発、商業化に向けた実証が数多く行われて来た結果、燃料電池システム普及への期待が高まっている。それに伴って要素技術開発は大きく進展した。しかし、実用的な規模のスタックあるいはシステムを開発する段階では、耐久性不足、コスト高が商業化への極めて高いハードルとなっている。こうした課題の解決には、運転時のセル内挙動の可視化、劣化機構の解明などの基礎的な研究も必要と考えられている。一方、これらの課題は材料開発や発電機構の研究など基礎研究の段階で出現するものでなく、セル、スタックあるいはシステムを長時間運転して初めて問題が明らかになる場合が多い。したがって、スタック、シス

テムメーカーと素材、部品メーカーあるいは大学等の研究機関の間で製品データ、評価データを交換できなければ、開発課題を明確にし、有効な研究課題を集中的に研究することが可能にはならない。それが可能になれば技術ハードルをブレークスルーする道が開けてくる。しかし、燃料電池産業が確立されていない現在、システムメーカーも材料メーカーも互いにビジネス上のパートナーシップが長期的に固定されていないので、技術情報の開示範囲を狭いものに限定あるいはカタログデータ以外はまったく示さないといったことが通例である。

5.4 今後の技術開発プロジェクト運営のあり方

前節に述べた状況に鑑み、政策上のプロジェクト運営は長期的に技術開発課題を適切に捉えたものでなければならず、次の諸点に留意すべきである。

(1) 燃料電池導入シナリオを踏まえた技術開発の推進（ロードマップ化）

政府が示した燃料電池導入シナリオでの技術目標を大枠として、技術的ブレークスルーを実現するための具体的な研究開発プログラム作りを行う。このため、現行のプロジェクトから明らかにされつつある課題、あるいはこれまで開示されなかった技術上の問題からも研究開発テーマを設定する必要がある。また、実施中にも継続的レビュー、目標の見直し及び適切な技術選択を行うことをあらかじめプログラム化しておく。

(2) 国際的優位の確立に向けた技術開発レベルの確保

燃料電池は、エネルギー・環境分野のキーテクノロジーとして各国共通の関心分野であり、技術力の優位を目指した先進国間の開発競争が激化してきている。米国等の技術開発動向を把握し、国際協力の枠組みの中核を占めることに注力する。

(3) 評価技術の確立及び標準化のための技術開発の推進

評価データ、製品データの非開示が技術ブレークスルーの障害になっているが、これを解決あるいは緩和するために有効な手段は、統一的な評価方法の確立や材料、部品等の性能、試験方法等の標準化を進めることである。公的評価機関ないし基礎研究を実施する中立的な研究機関による評価、解析にも技術開発の進捗を促す効果が期待できる。何故ならばこれらによって、供給先あるいは供給元からのデータ提供によらなくても自社で評価が可能となる範囲が拡大し、機密とすべき技術情報の範囲は真に企業間競争上必要な範囲に限定され、共有できる情報量が増すとともに研究資源を未踏査分野に集中で

きるからである。さらに、公的機関を介在して材料メーカーとシステムメーカーの垂直連携を促すことも考慮する。こうした連携の実例は、リチウムイオン電池の性能・寿命評価（電池総合特性評価及び耐用年数加速評価技術）と要素技術開発の連携における産業技術総合研究所、財団法人電力中央研究所が電池メーカーに対して果たしている役割に見られる。

現行プログラムの中核にある固体高分子形燃料電池開発は、リン酸形燃料電池等が欧米技術のキャッチアップから始まったのと同じく、北米の技術のキャッチアップから始まった。そのため、まず外形的なエンジニアリングの習得が多分に先行し、次に要素技術の開発が続き、劣化やコストダウンといった技術上の課題のブレークスルーを図るために必要な基礎科学に立ち返った研究の着手が後になった、というリン酸形燃料電池開発と同じ歴史を辿っている。固体高分子形については、既存のNEDOプロジェクトでもそうした基礎科学の分野も既に着手しているが、研究開発体制については、過去の教訓に習う必要がある。すなわち、システムサイドから出てくる課題を適切に科学的研究にフィードバックする共同研究体制を構築すること及び学術的研究機関、公的研究機関を適切に活用するということである。

5.5 今後の技術開発政策の役割

水素を利用する固体高分子形燃料電池の実用化は、自動車用、定置用、携帯情報機器用の分野において燃料電池技術開発が活発化していることから、早晚、初期の市場投入が可能な技術レベルに到達するものと見込まれる。一方、本格的実用化の実現のためには、さらに抜本的なコストダウン並びに耐久性、性能及び信頼性の向上を図ることが不可欠である。既にいくつかの企業にとっては研究開発期間が長期化し、投資回収が遅れることが財務上の負担となってきている。国全体として効率的な研究開発投資となるよう、国と産業レベルの研究開発の役割分担を整理しながら、国家レベルの技術開発内容、技術開発目標の最適化を図ることが必要である。

そのため、NEDOでは渡辺政廣氏（山梨大学大学院教授、クリーンエネルギー研究センター長）を委員長とする「燃料電池・水素技術委員会」を設置し、2005年度以降の技術開発の方向性について有識者の意見集約を行った。

まず、技術開発課題設定については、「NEDOが産学との認識共有化を図り、産業界のニーズに則した技術

開発プロジェクトを実行するとともに社会全体としての効率的な投資が行われることが必要」との認識のもとで検討を行った。その結果、技術マップを作成、共有することとし、「技術開発ロードマップ産学会議開催」等により戦略的な技術開発ロードマップの共有化を図り、「シンポジウム開催」によって具体的な技術開発課題、技術開発目標を設定する一連のプロセスを提案した。

次に、プロジェクトの形成過程についての検討を行った。NEDOの技術開発委託事業は、公募が原則であるものの、早期に確実な成果を出すとともに技術開発を核とした国内産業形成によって産業の自立的な発展を促すためには「プロジェクト・メイキングの段階においても関係者の積極的関与が有効ではないか」との認識が示された。具体的には、大学、企業、公的研究所からなる共同研究、システムメーカーと部品、材料等メーカーとの連携及び中小規模の企業の技術開発への参画を促進するための仕組み、産学連携強化のための仕組み作りといった一連のプロジェクト形成プロセスを提案した。

さらに、技術開発実施体制についても、垂直連携型、並行開発型、競争的公募型等を用意し、自動車、電気機器、エネルギー供給といった応用分野毎の産業界の実状に応じた研究開発実施体制を採用することも提案した。

今後、公的な燃料電池・水素技術開発事業において、こうした産業育成を積極的に推進することになる。

また、具体的な研究課題については、NEDOが原案を提示する一方、関係企業、産業界、大学、国研等の研究機関からの提案を受けてプログラムを策定することとした。2004年7月に開催したシンポジウムには各界から200を超える数の提案がNEDOに寄せられ、今後の技術開発方針についての討論を行った。シンポジウムは、固体高分子形燃料電池、高温形燃料電池及び水素技術の3つのセッションからなり、それぞれ本間琢也氏（燃料電池技術開発情報センター常任理事）、江口浩一氏（京都大学大学院教授）及び福田健三氏（財団法人エネルギー総合工学研究所プロジェクトリーダー）が座長を務めた。

その結果、飛躍的な技術進歩につながる科学の領域の研究開発に取り組む必要性やこれまでにない連携による共同研究のあるべきとの考え方が共有された。具体的には次のとおり。

固体高分子形燃料電池の分野では、①産業技術総合研究所、財団法人日本自動車研究所及び評価や分析に必要

な能力を有する大学等の研究機関を中心とした劣化要因/スタック性能評価ネットワーク作り、②研究開発のためのロードマップ作り及び高温作動を可能とする材料開発等の高性能燃料電池の要素技術開発が提唱された。また、固体酸化物形燃料電池に関しては、セル・スタック劣化メカニズムを早期に解明し、解決すべきことを、水素利用技術に関しては、有望な新規貯蔵材料開発への重点化を図るべきとの議論が展開された。また、研究開発スキームとしては、①垂直連携型等課題を意識した研究開発・フォーメーションの組成、②材料メーカー、スタックメーカーなどでのデータの共有とその活用を図るべきとの議論が展開された。

具体的な提案例にはNMR、中性子線などを用いた燃料電池運転中の水の挙動を観察する新規計測技術、解析技術に基づく横断的劣化解明や発電・劣化機構解明のためのシミュレーション解析、触媒、電解質膜の新材料探索研究などがある。これら科学分野の研究テーマの提案は技術ブレークスルーをもたらす技術開発プロジェクトにつながる可能性がある。また、基礎的研究分野では、他の科学領域の研究や海外の研究の先進的事例から進展の可能性を模索することが欠かせない。したがってこうしたテーマの提案は、分野横断的共同研究や国際共同研究といった形態も含め、2005年度以降の新規プロジェクトとして発展することが期待される。

6. まとめ

(1) 燃料電池の特徴とポテンシャルの発揮

燃料電池には、高効率発電が可能で環境特性に優れるという特徴がある。そのポテンシャルの発揮のためには、耐久性向上と低コスト化が要求されるが、それらの実現のために技術上のブレークスルーが必要であり、その方策は、基礎に立ち返った科学研究を行うことである。

(2) 技術開発の現況の把握

技術的課題を克服するには劣化現象解明など基礎研究を充実させる必要性が高い。しかし、関係機関に技術囲い込み、評価データの非開示の傾向が強いため連携が不十分であること、研究開発を実施する機関における研究開発資金、人材不足といった問題が障害になっている。

(3) 国際競争と国際協力

世界各国で燃料電池・水素技術開発国家プログラムの策定が行われており、国際的競争激化と国際協力が同時

に進展している。IEAや多国間協力枠組みの利用に加え、二国間、研究機関間の研究協力も模索していくことが必要である。

(4) 水素導入ロードマップと技術開発プログラム

燃料電池の実用化、普及と水素経済社会の実現のためには長期プログラムを策定し、明確な政策意思決定に基づく技術開発計画が実行され、開発支援が行われなければならない。同時に技術開発主体間の連携体制の構築が不可欠で、科学的研究へのフィードバックが有効になされるよう関係者間の連携を図っていくべきである。

参考文献

1. 笛木和雄/高橋正雄監修、城上保、他：燃料電池設計技術 (1987)
2. 笛木和雄、田村英雄、小久見善八、太田健一郎、池田宏之助、岡野一清、他：燃料電池開発及び実用化の経緯と発展への課題に関する調査 財団法人大阪科学技術センター (2003及び2004)
3. 田村英雄監修、上原斎、他：水素吸蔵合金 (1998)
4. 増田俊久、野崎健、伊原征治郎：エネルギーシステムにおける燃料電池導入の可能性 電子技術総合研究所集報第47巻第1号 (1983)
5. 高橋武彦、他：燃料電池発電技術の展望 電気学会技術報告(II部)第141号 (1982)
6. 電気学会・燃料電池運転性調査専門委員会編、堤泰行、福田隆三、堀内長之、他：燃料電池発電 (1994)
7. 燃料電池発電システム編集委員会編：燃料電池発電システム (1993)
8. Kessler, Joe. "Fuel Cell Operation and History"; A Publication of The Engineering Society of Western New York, No.7, Volume 75 (2003)
9. Hug, Frederic, et al. Evaluation et analyse technico-economique des systemes piles a combustible (2001)
10. PricewaterhouseCoopers. 2004 Fuel Cell Industry Survey
11. PricewaterhouseCoopers. 2004 Worldwide Fuel Cell Industry Survey