

水素エネルギー社会構築に向けた課題と展望

—NEDO 技術開発機構の推進する燃料電池・水素エネルギー技術開発の展開—

池谷知彦

NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部

〒212-8554 川崎市幸区大宮町1 3 1 0 ミューザ川崎セントラルタワー

Prospective of R&D hydrogen and fuel cell technology for Hydrogen Energy Society
The activities of R&D of hydrogen and fuel cell technologies promoted by NEDO

Tomohiko IKEYA

Fuel cell and hydrogen Technology Department

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)

20F Muza Kawasaki Building, 1310, Omiya-cho, Saiwai-ku, Kawasaki Kanagawa 212-8554

NEDO has been promoting national projects for R&D of fuel cell and hydrogen energy technologies to commercialize FC systems for hydrogen energy economy. Until the past March 2005, review and modification of codes & standards and regulations had been completed to commercialization and popularization of FC vehicles, FC co-generation systems and hydrogen refilling stations. In 2005, NEDO has launched new projects to research and develop PEFC technologies, and to propose measurement methods and collect the data for establishment of C&S and regulations in order to accelerate commercialization. Especially, NEDO coordinates new schemes in these projects. One consortium tries to study and clarify fuel cell basic reaction and degradation mechanisms to prolong lifetime and create a new break-through technology. Another, which consists with system and material manufactures and energy supply companies, focuses the robust technology for new type PEFC systems operating around 100 degrees. And the other consortium of five system manufactures carries out R&D of BOP for PEFC stationary system in order to enhance durability and reduce cost in cooperation with BOP manufactures. It is very important to estimate the performance of hydrogen energy as the secondary energy converted from the primary energy sources, and discuss the scenario to R&D hydrogen and FC technologies for hydrogen energy economy.

1. 緒言

水素は、低環境負荷・高効率に利用できるエネルギーとして近年脚光をあびている。特に石油などの化石燃料はもとより太陽光、風力、バイオガスなどの再生可能エネルギーからも製造でき、水以外を排出しないゼロエミッションシステムとして、地球温暖化対策にも期待されている。さらに、燃料電池により、エネルギーの高効率利用が期待できる。水素エネルギー社会構築は、我が国のエネルギー利用に

おいて、地球上に局在化する石油資源依存からの脱却、エネルギー多様化などエネルギーセキュリティの意味合いの点からも注目されている。

水素エネルギー社会の構築に向けた活動は、2002年2月の第154回国会での小泉首相の施政方針演説において、燃料電池を3ヵ年以内に実用化することが盛り込まれ、その後、国策に後押しされる形で、燃料電池・水素技術は加速的に開発を進めながら進展してきた。しかし、この数年での研究開発において、燃料電池及び水素エネルギー利用の実用化には

まだまだ多くの課題があることが明らかになってきた。早期実用化のためには、新たな大きなブレークスルーが期待され、燃料電池の基本的反応、及び、劣化メカニズムなど基礎・基盤研究を改めて実施する必要があると認識され、“Back to the Basic”が求められている。加えて、水素エネルギー利用では、水素の液体や高圧状態の特殊環境下での水素特性と利用する材料の物性など基本特性研究の必要性も認識する。

NEDO 技術開発機構では、経済産業省の指導を受けながら、「新エネルギー技術開発プログラム」において、燃料電池・水素エネルギー技術開発を推進している。2002年10月には、関係業界からの要望を受けた形で、政府に設置された関係省庁連絡会議から燃料電池普及に向けた規制再点検 28 項目が提示された。NEDO 技術開発機構で推進した「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）」と「水素安全利用等基盤技術開発事業」を中心に、産学官の関係各位の協力を得て、期限である 2005 年 3 月末までに規制再点検を完了することができた[1]。燃料電池・水素エネルギー導入に向けたインフラ整備が一歩進み、燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの実用化が待たれる。NEDO 技術開発機構では 2005 年 4 月からは、水素エネルギー社会の実現に向けて、新規事業をはじめとして、燃料電池・水素エネルギー技術開発事業において、基本的な研究から実用化のための技術開発・実証導入事業・早期実用化を支援する基準標準作りを協調させながら各事業を展開している。

2. 水素エネルギー社会構築に向けて

水素エネルギー社会の構築に向け、燃料電池・水素エネルギー利用技術の実用化は、地球温暖化対策の一環である二酸化炭素排出量の低減、及び、エネルギーの多様化・高効率利用を理由に水素を将来のエネルギーと位置づけて期待している。しかし、この時忘れてならないのが、水素は“二次エネルギー”であるということである。水素は、地球上に水素単体の状態ではほとんど存在せず、エネルギー媒体としての利用であり、化石燃料や再生可能エネルギーなどから製造・変換される二次エネルギーである。

今日までに既に利用している“二次エネルギー”としては“電気”がある。我が国においては、既に“電気”インフラは整っており、多少のロスはあるものの高い効率で輸送（送配電）されている。瞬時電圧低下などの事故もほとんどなく、高信頼な電力輸送システムがある。しかし、さらなる高効率な輸送や電力貯蔵には、技術的な課題があり、“電気”技術のみの単独で対応するには限界レベルにあるとの認識がある。電力貯蔵では、揚水発電や二次電池を実用化し、利用しているが、揚水発電では、自然保護などから立地が困難であり、また、需要地から離れており、高効率化の面では利便性に乏しい。二次電池もかなり実用化が進んだが、大容量化、急速充放電、耐久性、低コスト化など、まだ課題が多い。特に、電気自動車においては、“二次電池は、嵩張る、重い”との点から一充電走行距離が伸ばせず、さらに、充電時間が短縮できないなどの短所があり、本格的な普及に至っていない[2]。

地球温暖化に向けた対策として、新規の“水素”は、その特徴を活かし、適正な利用が求められている。一次エネルギーからのエネルギー変換、エネルギー輸送・貯蔵、及び、それを利用する機器の利便性、コスト、効率、さらに、使用する材料を含めた経済性評価・比較が必要である。さらには、技術的な開発進展の見込みと期待を考慮した将来性も加味することが肝要である。

我が国の二酸化炭素排出量は、産業、エネルギー変換、輸送の三分野が大部分を占める。産業界での削減は、この数年の高効率化・省エネ化の努力により、既に限界近くまで進んできている。今後は、エネルギー変換（発電など）、輸送部門（自動車など）での削減努力が必須である。燃料電池は、より高効率な発電と熱利用を提供するより高効率なコジェネレーションシステムと、ゼロエミッションで、高効率に走行する自動車を実現化でき、二酸化炭素排出量削減のキーテクノロジーとして期待できる。

水素エネルギー社会に向けて、各国、幅広い分野で賛否が論じられている[3]。特に、一次エネルギーからの水素製造技術、高圧化・液化による高エネルギー密度化技術、貯蔵・輸送技術において、効率・コスト、インフラ整備、実用化の面で、多くの課題が示されている（図 1）。これからの投資効果を含め

たインフラ整備および技術・技術見直しにおける課題展開を検討していく必要がある。

人類は、地球上に誕生してからエネルギーを使用するために、木・木炭や、石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料およびウランなどの埋蔵資源を消費してきた。今日では、二酸化炭素にニュートラルな太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーの利用が求められるが、石油、天然ガスなどの化石燃料を置き換えるには、現在の技術力から評価すると、供給できる量は極わずかである。又、二酸化炭素分離隔離技術は期待されているが、まだ、実用化は見えてこない。二次エネルギーと位置づけられる“水素”を如何に上手に、エネルギー変換、及び、利用方法、効率向上、二酸化炭素排出抑制のための新規技術を、エネルギーに多少なりとも余裕のある今日に先手を打っておくことは、次世代につなげる意味で、我々の義務と考える。その点において、技術開発すべき分野・項目に優先順位を付けた展開スケジュールを設定する必要がある。

題を十分に評価し、本当に必要な課題解決に向けたと電機モーターを利用したハイブリット技術はエネルギー利用効率 30%以上に達している。今後期待される技術としては燃料となるガソリン、化石燃料の利用の高効率化、再生可能エネルギーを含む燃料・エネルギー源の多様化対応が挙げられる。最終的には、バイオマスや太陽光・風力などの再生可能エネルギーへの転換が望まれる。その時、バイオ燃料をそのまま利用するのか、水素や電気などの二次エネルギーに変換して利用するのか。インフラストラクチャー整備も含めて考慮する必要がある。

電気自動車は、数十年前にカリフォルニアで発表された「ZEV 規制 (Zero Emission Vehicle mandate)」を受けて、大幅にその性能はレベルアップし、乗れる自動車になった。二次電池の密閉化、高エネルギー密度・高出力化、非接触充電、急速充電などが開発され、車内居住空間も充実したものになった。しかし、一充電走行距離 200 km 以上までの延伸を求めるために、電池搭載量を増やしたがために、車両重量が増えて、長い充電時間を要することになった。加えて、車両のコストアップももたらすことになった。そのため、一充電走行距離 200 km 以上を達成できず、本格的な実用化には至っていない。

究極のゼロエミッション自動車として燃料電池自動車と電気自動車、水素エンジン自動車などの実用化が期待される。すなわち、エネルギーとして水素で供給するか、電気で供給するかである。燃料電池自動車でも水素エンジン自動車でも高効率化のためにはハイブリット化が不可欠であり、二次電池及びその制御技術向上は常に望まれる。ガソリンエンジン自動車の利用からゼロエミッション自動車時代に向けた遷移期間の今日でもハイブリット技術の高度化は需要である。

現在、JHFC (Japan Hydrogen Fuel Cell) 実証事業において、燃料電池自動車の実走行試験が行われているが、本格的な普及には、コスト、耐久性などで実用化にはまだ技術的な課題が多く時間を要する。燃料である水素技術と本体の燃料電池技術の両方にある。燃料電池自動車は、35MPa の高圧圧縮水素を利用して、一充填走行距離 200km を達成している。しかし、ガソリン自動車並みの走行距離



図1 水素社会構築に向けた課題

3. 燃料電池自動車

輸送部門、特に、今後、継続的な増加が予想される自動車からの二酸化炭素排出量の削減が求められる。エネルギー利用の高効率化とゼロエミッション化に向かわざるを得ない。現在、ガソリンエンジン

500km以上を求めるために、搭載水素量の増加による延伸が要求されている。さらに、エアコン等のアクセサリーのエネルギー消費が加わる。コンパクトに水素搭載量を増やすためには、さらに高压に圧縮した水素のタンクへの充填が検討されている。安全性、経済性を考慮しながら、一充填走行距離 200km以上を越えることができるかが、実用化へのハードルである。

このように実用化まで多くの技術課題が残されているが、全てを解決してから水素エネルギー社会に移行するほど、環境問題も待ってはくれない。地球温暖化、化石燃料の枯渇は着実に進んでいる。これらの技術課題の完全な解決を待たずに、ハイブリット技術、特に二次電池及び、制御技術で FC 技術の未成熟なポイントをカバーしながら、実用化への道を模索する必要があるのかもしれない。

4. 分散型電源・定置用燃料電池システム

分散化コジェネレーションシステムとして期待される燃料電池システムは、10kW 未満の小型システムは一般家庭への導入、それ以上は大型コジェネレーションシステムとして、ホテル、病院などの事業所などに設置する集中型分散型電源がある。一般家庭に導入する省エネシステムとしては、エンジンコジェネ、二酸化炭素ヒートポンプ、潜熱型給湯器など、高効率で、コストも抑えられた省エネ機器が既に市場にある。これらを追いかける PEFC コジェネレーションシステムは、性能、コスト、省エネ性などの長所・短所を評価し、技術開発、導入の方針を検討する必要がある。京都議定書の発行を受けて、議長国である我が国にとって、2008 年の二酸化炭素削減は必須であり、時間もあまり残されていない。さらに、期日までの目標達成に向けた努力以上に、その後、如何に継続していくかも重要である。一般家庭でのエネルギー消費は、機器の省エネ化が進む中、年々増加している。一般家庭での二酸化炭素の削減が急務であり、効果的な省エネ技術導入が促進されている。一般家庭に導入されるには、省エネ効果以上に、魅力ある商品である必要がある。電気、温水の高効率利用は、燃料電池コジェネシステム以外の機器でもあるエンジン・コジェネシステム（エ

コウシル）や二酸化炭素ヒートポンプ（エコキュート）でも利用でき、供給される。一般家庭で、率先的に導入する魅力ある燃料電池システムへの開発の段階にある。

一方、大型分散型電源としての燃料電池システムは、事業所などでコジェネレーションシステムとして、都市ガスを燃料にしたものが利用されている。また、下水処理場などの消化ガス、ゴミなどを利用したバイオガスを燃料に利用したものも導入されている。

バイオガスなどの利用は、一般家庭に導入する小型燃料電池には、立地条件などで難しい。むしろ、バイオガスの発生がある箇所での温水や電力を利用する大型システムに適している。たとえば、消化ガス発生を促すための熱や、施設の電力消費に活用することができる。ただ、下水・ゴミ利用では、ゴミの安定した収集、季節変動への対応、硫化物、窒化物の除去などの課題がある。さらには、畜産から排出される糞尿が利用できれば、産廃処理と一石二鳥である。

5. NEDO 技術開発機構の推進するプロジェクト

NEDO 技術開発機構では、固体高分子形燃料電池（PEFC）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）、水素社会構築のための基準・標準作り、定置用燃料電池の実証研究、燃料電池自動車用リチウム電池など、燃料電池・水素エネルギー技術開発を推進している（図 2）。2004 年 4 月に開催された燃料電池実用化戦略会議では、基礎・基盤研究を重視して、“Back to the basic”、新たな技術、ブレークスルーが生まれる土壌作りが重要であるとの提案がされた。NEDO 技術開発機構では、2004 年 5 月頃から、2005 年以降の燃料電池・水素技術開発に関する事業展開のために、公開シンポジウムなどを開催し、広く各産業分野から意見を拝聴した。頂いた主な意見は、「基礎的な反応・劣化メカニズムの解明」、「産学官間でのシーズ・ニーズの明確化、共通認識化」、「システムの簡素化・低コスト化」、「縦・横型連携による技術開発」、「競争を意識した性能向上」などである。さらに、各分野の有識者・メーカーや研究所の技術開発者からのヒアリングを経て、NEDO 技術開発ロード

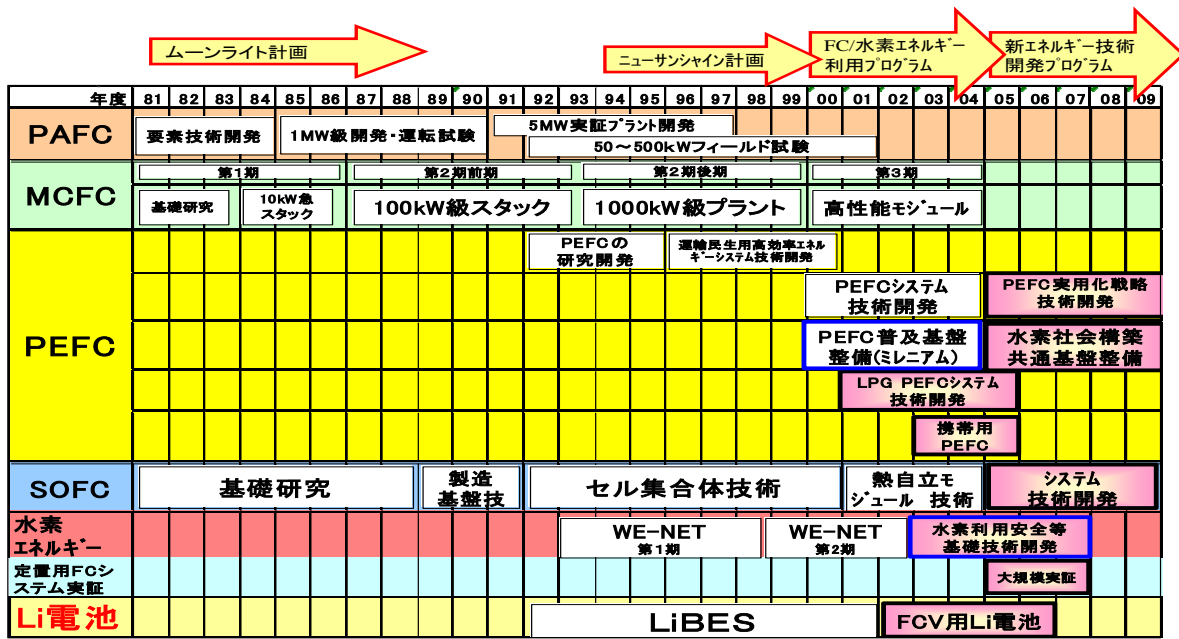


図2 NEDO 技術開発機構が推進する燃料電池・水素エネルギー技術開発の展開

マップ(ターゲットマップ)(図3、図4)、および、各事業の目標などを設定してきた[4]。固体高分子形燃料電池(自動車、定置用システム、ダイレクトメタノール)、固体酸化物形燃料電池、水素技術について、個別に目標を設定した。今後、技術開発の展開、市場からの要求に合わせて適宜修正していく。取りまとめたターゲットマップに基づき、固体高分子形燃料電池の要素技術・実用化を目指す「固体高分子形燃料電池戦略的実用化技術開発」(平成17年から5ヵ年計画)、燃料電池の普及促進を目的とした「水素社会構築基盤共通整備事業」(平成17年から5ヵ年計画)を新規に開始した。また、「水素安全利用等基盤技術開発」(平成15年から5ヵ年計画)や「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年から4ヵ年計画)を方針修正しながら展開している。

「固体高分子形燃料電池戦略的実用化技術開発」では、①要素技術開発、②実用化技術開発、③共通課題、④次世代技術開発の4項目に分け、それぞれに特徴を持って展開している。競争的に技術開発すべき項目、国内技術を集約して進めるべき項目、早期実用化に向けた項目など、ターゲットマップに合わせ、項目に濃淡をつけて設定した。特に、「④次世代技術開発」では、2020年以降の次世代を睨んだ技術の揺籃培養を目指す。

”①要素技術“では、固体高分子形燃料電池の心臓部となる固体高分子膜(PEM)とMEA(膜電極接合体)の性能向上、すなわち、高温化と耐久性向上を中心に研究開発を実施する。PEMの技術開発では、低コスト化・高温化の点からフッ素系膜の見込みを否定する考えもあるが、PEFCの高性能化を目指して、フッ素系・非フッ素系膜に関わらず、低コスト・高耐久・高温化の目標値を設定して、競争的に技術開発を進める。具体的には、フッ素系(2件)、フッ素系改良(1件)、炭化水素系(3件)を競争的に進め、進展を見ながら方針修正を実施する。また、高ロバスロ化・高温化を目指した、膜メーカ、システムメーカ、エネルギー供給会社の垂直連携型プロジェクトを設定した。技術を集約して、制御の簡易化、膜の高耐久化により、100℃近い高温で作動し、システムの簡素化を進める。周辺機器・部品の共通化によるシステムの低コスト化を目指して、システムメーカによる横型連携プロジェクトを設定した。メーカ各社間の周辺機器・部品の共通化・共同開発により、低コスト化を目指す。特に、昇圧ポンプ、ブロワー、電磁バルブなどに10年以上の耐久性と省エネを目指す。また、家庭用システムでは、都市ガスやLPGを利用して水素を製造するため、小型の改質器が組み込まれる。改質器では、大きく

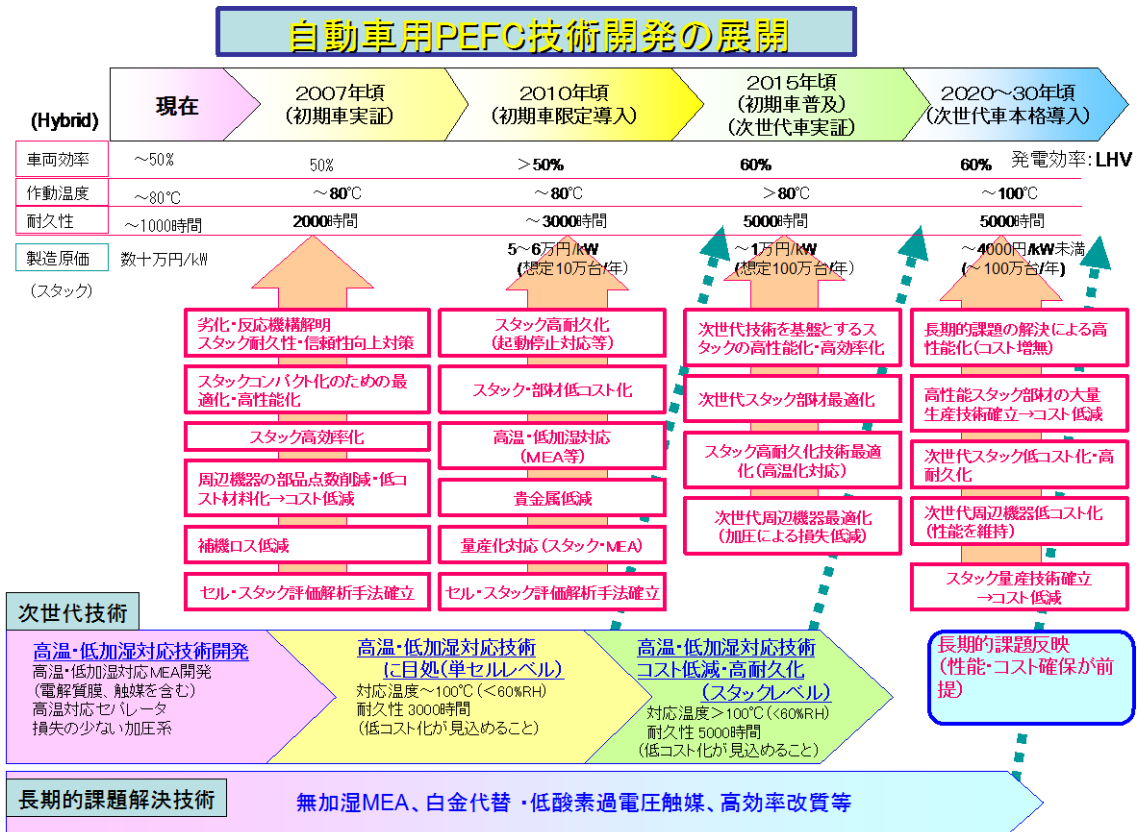


図3 自動車用燃料電池の技術課題 (ターゲットマップ)

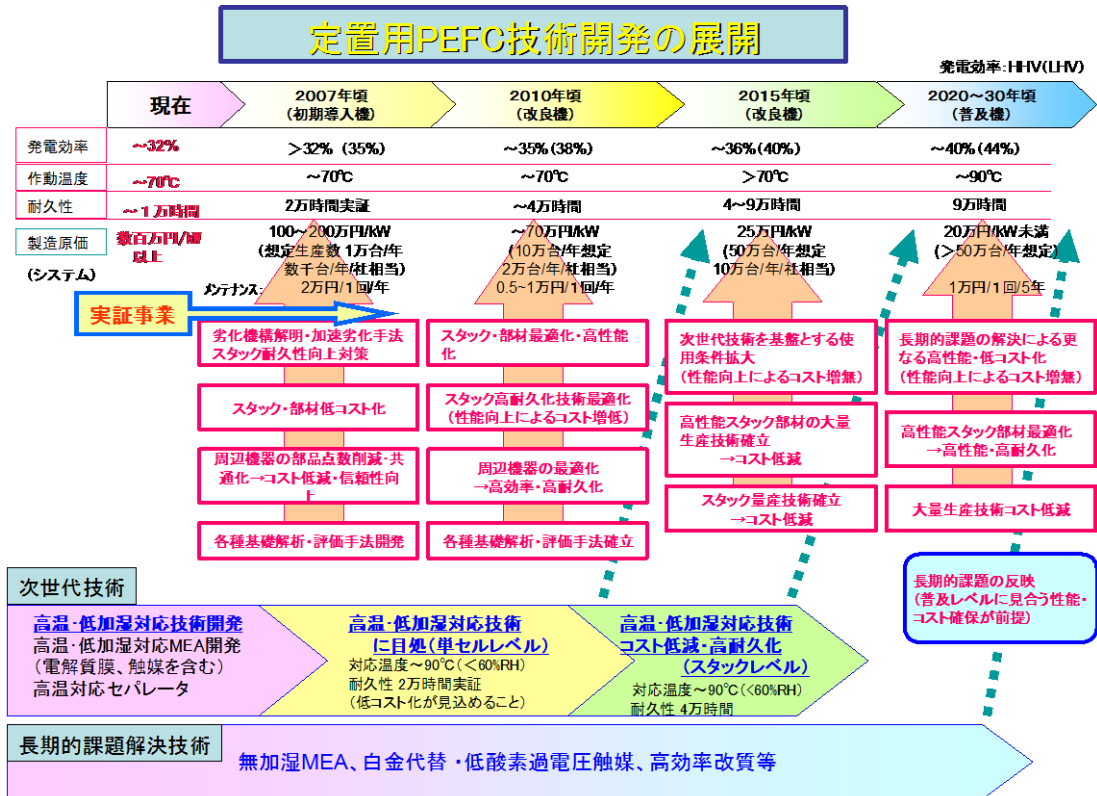


図4 定置用システムの技術課題 (ターゲットマップ)

分けて、燃料改質、CO 変性、CO 除去の 3 段階を経て、燃料が水素に改質される。定置用システムに 10 年以上の耐久性を求めるには、触媒の耐久性を向上させる必要がある。特に、PEFC は電極に白金触媒を利用することから、除去触媒には、一酸化炭素を数 ppm 以下まで除去する性能を要求している。固体高分子形燃料電池よりも先行して開発してきたリン酸形 (PAFC) では、作動温度が高いため除去反応は不要であり、熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) では、一酸化炭素を燃料に利用できる。そのため、除去触媒の研究開発経験が、燃料改質や CO 変性触媒に比べて乏しく、データ蓄積がほとんどない。システム・エネルギー供給会社、大学と連携したコンソーシャムでデータベースを構築して、触媒の改良、新規触媒の研究開発を行う。

“②実用化技術開発”では、早期実用化を目的に量産化・低コスト化のための技術開発を共同研究の形で実施する (NEDO 技術開発機構からの 50% 委託の共同研究)。セパレータについては、モールドカーボン系と金属系のセパレータを 2 件ずつ、計 4 件を競争的に実施している。カーボンと金属とでそれぞれの特徴を活かしながら、競争的に推進する。また、量産化のために、MEA、ガス拡散層、シールなどを一体型に量産できる技術開発などを実施する。

“③共通課題”では、燃料電池での基礎的な反応、劣化メカニズムの解明を目的に、それぞれ特徴を持たせて、複数のコンソーシャムで実施する。固体高分子形燃料電池の劣化は、種々の要因が複雑に相互に関連して起きていると考えられる。自動車・定置用システムのそれぞれの運用方法に合わせて解明していく (図 5、6)。

また、水素社会構築共通基盤整備事業では、定置用では、PEFC システムのコスト低減と SOFC 普及に向けた規制緩和を、自動車用では、水素貯蔵システム・車両の安全確保、インフラでは安全確保とコスト低減のための材料選定を中心に、評価方法の提案、データ収集を実施している。さらに、水素エネルギー社会に向け、水素貯蔵システムなどを長期に利用するために、水素の高圧および液体状態環境下での材料の特性、特に脆性特性を検討しておく必要がある。特に、材料の脆化進行を評価する試験方法

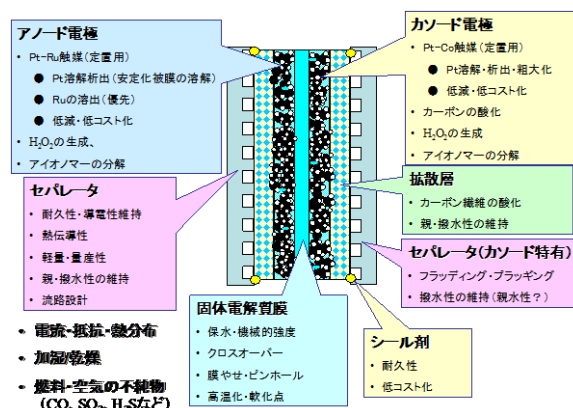


図 5 固体高分子形燃料電池の劣化要因例



図 6 自動車・定置用システムの運用からの課題

などが成立すれば、機器・部品などの交換時期が的確に分かり、より安価な材料の利用も望める。金属材料などの「水素脆化」をテーマにした高圧および液体水素環境下での機器の長期使用やトライポロジーに関する研究開発も合わせて展開する必要がある。

6. おわりに

技術開発、実証事業、基準標準作りを協調しながら各事業を実施する。基準・標準作りでは、世界市場戦略を考慮しながら、展開していく。

また、燃料電池技術を中心とした水素経済社会に向けて、未成熟な技術を育てながら遷移期をどう乗り切るかが重要である。ただ、水素だけの経済社会作りが重要ではなく、再生可能エネルギーをより有効に利用する環境負荷ゼロ経済社会作りが目的である。電気技術などと協調・共存したハイブリッド社会も視野に入れた大局的なエネルギー活用が必要で

ある。

参考文献

- [1] 池谷知彦：『NEDO プロジェクトと規制緩和の推進』
水素エネルギー協会・特別講演会予稿集「水素・燃料電池
の規制緩和と安全技術研究」平成 17 年 10 月 6 日、東京。
- [2] 池谷知彦：『電池技術の変遷』エンジンテクノロジー
第 39 号 25 ページ 2005 年
- [3] U. Bossel ら, "The Future of the Hydrogen Economy:
Bright or Bleak? Final Report" European Fuel Cell
Forum, October 2003, や National Academy of Sciences
(NAS), "Hydrogen economy study" 2004. など
- [4] 栗山信宏：『NEDO 燃料電池技術ロードマップについ
て』燃料電池 vol.5, No.1, 89 ページ、2005.