

燃料電池・水素関連の技術開発 状況と対応の方向性

平成17年4月19日

燃料電池実用化戦略研究会事務局

燃料電池・水素関連の技術開発状況と対応の方向性について

現状の認識

(1) 燃料電池自動車

- ・対抗技術(ハイブリット車)の急成長
- ・燃料電池スタックの抜本的コスト削減の壁
- ・既存自動車と同等の航続距離を可能とする水素貯蔵技術が未発見
- ・自前主義・秘密主義型の研究開発体制の限界(先端サイエンス活用型探索が必要)

(2) 定置用燃料電池

- ・性能仕様では市場の要求をクリアしつつある
- ・技術開発: 耐久性向上とコストダウンに重点化
- ・この3年で量産開始を見極め
- ・非競争領域における企業間協力関係の構築
- ・系統連系の技術的、制度的問題
- ・SOFCの高いポテンシャル

(3) 携帯用、小型移動体、その他

- ・対抗技術である他種電池に比べ長時間駆動が可能で、大きな潜在マーケットが存在(PC、PDA端末、車椅子、鉄道等)
- ・経済性のみならず、強いニーズからの商品開発
- ・耐久性・価格ターゲットは比較的緩やか
- ・燃料(メタノール、水素等)の規制問題は少ない

政府の支援策の方向性

(1) 燃料電池自動車

- ・水素製造・輸送・貯蔵 - 革新的水素吸蔵材料等、液体水素・パイプライン輸送の課題検討等
- ・部品産業での研究開発の充実と活性化、産官学連携の強化
- ・実証試験とインフラ整備の展開
- ・先端基盤研究センターの活用

(2) 定置用燃料電池

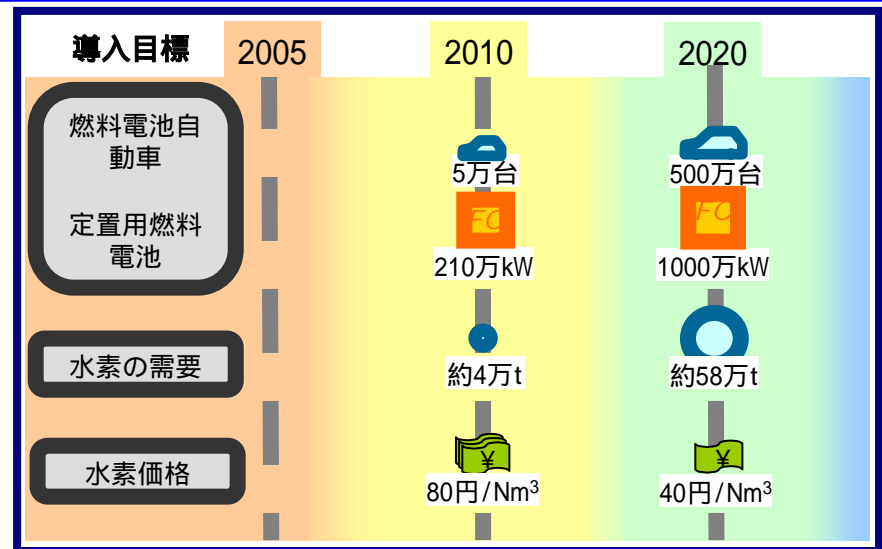
- ・大規模実証事業と量産化の見極め
- ・補機等のスペック整合化・共同開発の展開
- ・劣化要因解析と合理的対応
- ・円滑な系統連系
- ・SOFC、純水素型PEFCのオプション展開

(3) 携帯用機器、小型移動体

- ・国際的な基準・標準整備
- ・開発支援

(共通)

- ・予算配分の最適化と規制整備
- ・基盤技術 - 燃料電池先端基盤研究センター:「若手梁山泊」
- ・「水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)」等での国際協力
- ・イノベーション促進のためのシナリオ点検
- ・優秀な研究人材確保、異業種交流の促進と水素社会啓蒙のための戦略的広報展開



燃料電池・水素関連の技術開発状況と 対応の方向性について

経済産業省資源エネルギー庁
省エネルギー新エネルギー部政策課
燃料電池推進室

2005年4月

目次

1	はじめに	1
2	開発の動向と主な課題	2
3	技術マップ概観	5
4	政府の支援策	7
別紙	水素社会エネルギーに向けたシナリオ	12

1. はじめに

(1) 概観

我が国における燃料電池・水素関連の技術開発については、2001年1月の「燃料電池実用化戦略研究会報告書」(以下「戦略研報告」という。)が示した道筋に沿って、官民協力による様々な取組みが着実に進められてきている。同報告とりまとめから5年目に入った現時点で、今後の展望と政策の方向性について再度点検しておくことは、研究開発を着実に推進し、「水素社会」への展望を確実ならしめる上で極めて重要である。

(2) 燃料電池の意義

燃料電池導入の意義については、既に戦略研報告に詳述されている。省エネルギー、環境負荷低減、エネルギー供給の多様化・石油代替効果、分散型エネルギーとしての利点、産業競争力強化と新規産業創出という5つの観点から、重要技術として位置付けられている。現在まで、燃料電池の意義には些かの変更も無く、本年2月16日に京都議定書が発効し、地球環境問題、とりわけ二酸化炭素の排出削減が国際条約上の責務となったことから益々その重要性は増加してきている。

京都議定書に加入していない米国でも同様の認識があり、2002年には大統領教書において水素イニシアチブの強化を宣言し、2003年には初の国際閣僚会議である「水素経済のための国際パートナーシップ」(IPHE¹)をホスト国として首都ワシントンで開催するなどリーダーシップを発揮している。これは2001年9月の同時テロ以降のセキュリティ対策としての意味も併せ持っている。欧州では、環境負荷低減に重点を置き、水素製造についても極力化石燃料に依存せず、太陽光、風力を活用した再生可能エネルギーによる水素製造への道が真剣に模索されている。また、アイスランド等ではローカルな「水素社会」を目指す動きが活発化している。

こうした動向は、我が国が燃料電池導入を目指す立場と軌を一にしたものであり、日本としては、引き続き上記の5つの意義に即して燃料電池導入を目指していくことが肝要である。

(3) 主な経緯

戦略研報告以降、燃料電池開発に向けた日本の官民の力強い取組みは、世界のトップランナーの一角として、各国の燃料電池開発をリードしてきた。

例えば、同報告からほどなく、2001年3月には、民間企業100社以上が参画する「燃料電池実用化推進協議会」(FCCJ²)が、燃料電池の実用化に向けた具体的な課題解決を検討・協議する場として創設された。2002年2月には、第154回国会における内閣総理大臣施政方針演説で、「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。」と言及され、政府が一丸となって燃料電池の開発を進めることが宣言された。5月には、経済産業、国土交通及び環境の3省副大臣の燃料電池プロジェクトチームが、従来の省庁間の縦割りの壁を超えて大きな方針を示した。7月には、燃料電池自動車と水素ステーションに関する「水素・燃料電池実証プロジェクト」(JHFC³プロジェクト)及びコジェネレーションに関する「定置用燃料電池実証研究」がスタートした。10月には、燃料電池実用化に向けた規制再点検について異例の早さでとりまとめられ、規制緩和・規制改革でも、2004年度末までに28項目にわたる規制の再点検

と整備が行われることとされた。12月には、早くも世界に先駆けた燃料電池自動車の試験的市販の第一号として政府が率先して5台を導入し、各省庁での日常の公務に利用が始められた。

このように2002年には矢継ぎ早に政策面での対応が行われ、技術開発の強化、実証試験、規制の再点検が三位一体で展開されることになった。総理の施政方針演説からちょうど3年を迎えた現在、総理新公邸竣工に合わせ、家庭用燃料電池の商用第一号機が世界に先駆けて導入されることとなった。

一見順調そうに見えるこうした一連の取り組みも、官民の関係者の多大な努力を抜きに語ることとはできない。いわば人類と地球を救う大プロジェクトとも言える燃料電池開発と水素社会の実現に向けて、多くの情熱と努力が注ぎ込まれてきた。

次節では、水素・燃料電池にかかわる様々な分野に即して、開発の現状と課題を概観していくこととしたい。

2. 開発の動向と主な課題

(1) 自動車用

自動車企業にとっての燃料電池自動車の開発は、企業イメージの向上とともに、将来の生き残りをかけての開発プロジェクトとして位置付けられる。世界の主要メーカーが凌ぎを削っているが、膨大な開発費と水素インフラの不確実性のために、独自開発を躊躇する企業も存在している。

これまでの燃料電池自動車の開発競争を振り返ると、90年代の世界の燃料電池自動車の研究開発をリードしてきたのはダイムラー・クライスラーであった。1990年に自動車用に燃料電池を採用し、バラードと提携して、94年にはNECAR1を発表し、NECAR5まで累次の開発を進めてきた。この間、2004年には燃料電池自動車を10万台売り出すとの計画を発表し、世界の自動車メーカーを震撼させ、刺激し続けてきた。ライバル各社でも、究極のエコカーである燃料電池自動車の開発を急加速させてきた。そうした中で戦略研報告の2010年5万台との目標は、むしろ控え目な数字であった。しかし、同社が目標としていた2004年を待たずに燃料電池車開発の統括責任者が解任され、次第に状況の変化も明らかになってきている。

第一に、この間に対抗技術であるハイブリッド自動車の開発が急速に進み、現状では燃料電池車にも見劣りしない高効率を達成し、現実の市場でも熱狂を持って受け入れられている。第二に、燃料電池の研究開発が進展するに従って、より本質的な壁が顕在化してきている。100年以上かけて熟成されてきた自動車は、カイゼンを含むイノベーションの蓄積によって、今日では極めて完成度の高いものとなっている。考えつくありとあらゆる生産上の無駄が排除され、今日では素材そのものの価格とさして変わらない1g当たり1円を切る自動車もあり、更に進化を続けている。こうした完成度の高い既存の自動車に互して、燃料電池自動車が市場に浸透していくには、**燃料電池の価格を現状の100分の1程度まで低減**させなければならない。これには、当初イメージされていたような単純な量産効果や従前からの原価低減手法では、到達できないと見られるようになってきており、そのため、サイエンスの基本に立ち戻った根本的な研究開発が求められるに至っている。

こうした事情を背景に、**従来想定されていた燃料電池の内部構成も電解質膜、触媒、セパレータを含め全面的な見直しと革新的な材料開発が求められている**。これには、自動車産業が得意としてきたような洗練され極め尽くされてきた完成されたエンジニアリング手法とはやや異なる**先端科学を駆使した根本的な物理限界の突破が必須**となる。この点で、自動車メーカーの一部では、**原点回帰、つまり“Back to the basic”**への展開も指向されつつある。

現状で大きなブレークスルーが求められているのは、第一に、電解質膜、触媒構成、セパレータの選択と劣化につながる相互依存関係の解明であり、第二に、既存の自動車に匹敵する航続距離を可能とする燃料（水素）貯蔵技術である。もちろん、耐久性、コスト、品質安定性といった課題が付随することは言うまでもない。

水素貯蔵問題に関しては、現在では純水素方式が主流となっており、水素ステーションでも純水素供給を前提に様々な選択肢が追求されている。我が国でも、各種化石燃料の改質、副生水素の利用及び電気分解による水素製造と、圧縮水素及び液体水素による水素貯蔵に関して、実証試験が行われている。しかし、現状では必ずしも一方式に絞り込まれるような状況にはなく、今後の自動車側の研究開発の動向を見定めながら、当面は、それぞれの技術オプションについて、改善・改良に向けた研究開発が進められている。こうした中で、更なる高圧化（700気圧）なども指向されているが、水素脆化の問題も含めデータ蓄積、新材料開発はその途上にある。

（２）定置用

定置用燃料電池には複数の種類が存在する。近年注目を集めているのが、低温で動作し輸送用途とのシナジー効果も発揮できる固体高分子形（PEFC⁴）と、高温だが発電効率に優れる固体酸化物形（SOFC⁵）である。

定置用PEFCでは、元々は自動車分野での急速な技術開発から極めて安価な燃料電池スタックが一般的に供給されるとの前提の下に研究開発を進めてきた企業も多い。しかし、現状では上記の事情から、我が国では、定置用燃料電池、特に**1kW級家庭用燃料電池コジェネでは、独自路線で急速な技術開発が進展してきている。**自動車用と比較すると耐久面で一桁上の4～9万時間、つまり10年以上の稼働を前提とし、非常に厳しい制約条件を課されている反面、作動環境が比較的安定的で、容積・重量面でも相対的に自由度がある。特に、**コストダウンのターゲットが概ね20分の1程度**であることから、現状の燃料電池スタック構成を前提に、性能向上、耐久性、信頼性及びコストダウンの各方面からエンジニアリング手法を駆使した技術開発が集中的に行われてきている。これまでの関係企業のたゆまぬ努力と実証試験での経験蓄積によって、急激かつ目覚ましい性能向上が見られる。例えば、発電効率も31%（HHV⁶）を超えてくるなど、**既に初期性能においては、エネルギー企業が求める水準をクリアしつつある。**5kW級以上の中大型機ではこれほどまでの激しい競争はなく、1kW級での急速な進化は、まさに、日本がこれまでものづくり能力を磨いてきたライバル間の激しい競争（有効競争）こそがイノベーションへの最上の良薬であることを示している。2005年には市場投入を発表したエネルギー企業が登場し、総理新公邸にも2台の家庭用燃料電池が設置されることとなった。**技術開発の焦点は、性能向上よりもむしろ耐久性向上とコストダウンにシフトしてきており、関係企業間で2008年の量産開始をマイルストーンとして激しい開発競争が行われている。**その一方で、コストダウン・耐久性向上の面では、本質的な競争領域と非競争領域を明確に区分し、非競争領域として整理された分野においては、トップ企業間での前向きな協力関係の構築も模索されている。海外からも、最も早くリアルな市場が日本で立ち上がるのではないかと注目を集めている。

SOFCは、高温で作動し、純水素のみならず様々な燃料源を活用⁷でき、発電効率が高く、高価な白金触媒を必要とせず、日本が蓄積してきたセラミック技術を活用できるという優れた特長を持つ。プロセス・イノベーションの面でもスクリーン印刷を活用した大量生産が見込まれるなど、大きなコスト削減ポテンシャルを有している。現状でPEFCと比較すると耐久性を始めとする実証データ面の蓄積が乏しく、未知数の部分も多く残っているが、小型の家庭用から大型の産業用まで、熱心な研究開発が進められている。課題としては、セル・スタックについて信頼性確立が急務であり、基本性能及び耐久性の向上に加え、作動温度の適正化による構造材料への負担低減、インターコネクタ部の材料安定性、負荷低減時の出力安定性、システム化といった技術面での課題とともに、急速なコストダウンが挙げられる。加えて、セルがガス雰囲気急変・熱衝撃に弱いこと、トラブル時にセル・スタックにダメージを及ぼさない制御システムの構築が必要である。他方で、プロセス・イノベーションによる大きな量産効果が見込まれる分だけ、耐久面では、モジュール交換等の設計上の工夫によって、より現実的なレベルまでいち早く到達する可能性もあると見られている。また、SOFCは、作動温度が高いため起動時間が比較的長く、また、頻繁な起動・停止を伴う用途には適用し難いという短所を

持つが、ポータブル型で15分での起動を可能としたとする海外ベンチャー企業も現れてきている。起動時間の点で自動車用等には向かないとされているが、高い発電性能と相俟って、二次電池との適切なハイブリッド化等が実現できれば、自動車、鉄道といった輸送用への応用も期待できないわけではない。また、小型化が進めば、介護ロボット用電源のようにクリーンな環境が求められる独立電源としての応用も期待できる。

(3) 携帯用

近年の携帯用情報機器市場の急速な拡大と高性能化と相俟って、消費電力の増大に対応できるバッテリー開発が重要な課題になっている。こうした中で、リチウム電池、ニッケル水素電池、キャパシタ等の移動用電源に対して、燃料供給により長時間駆動を可能とする燃料電池への期待も高まっている。PC、携帯電話、情報端末、デジカメ等への応用が期待されており、メタノール型(DMFC⁸)又は純水素型が追求されている。この場合に、既存技術で提供される商品と比較すると、燃料電池に求められる耐久性・価格ターゲットも、前述の自動車及び定置用に比べ、相対的に穏やかと見込まれている。各企業は、前述の各種電池等と比較しつつ技術開発を進めているが、燃料電池の場合にボトルネックとなるのが航空機への搭載可能性である。現在、国連危険輸送物委員会等の国際機関で、可燃物であるメタノールをどのような基準を満たせば航空機搭載が可能となるのかが議論され、早ければ2007年には搭載可能となるよう検討されている。これが可能となれば、潜在的なマーケットが一気に顕在化してくる可能性がある」と期待されている。

(4) 小型移動体

小型移動体では、車椅子、シルバーカー、スクーター等の試作品が既に発表されている。相対的には限定的なマーケットだが、既存バッテリーの限界を打破するニーズが強く、容積密度、重量密度、航続時間、航続距離、耐久性、コスト等の要求スペックも他の分野と比較して相対的に有利、つまりイノベーション上の壁も他用途と比較して低くなっている。また、基本的に定点からのフリート利用となるため水素供給インフラとの接続も比較的具體化しやすい。加えて、医療福祉制度によるサポートも期待でき、燃料電池開発の観点からは、ニッチではあるが、リアルなビジネスへの早期の立上げが期待できる有望分野でもある。特に、身障者、高齢者といった「必要に迫られた」利用者の生活範囲を広げるといった観点からは切実なニーズと期待があり、開発者にとっても強い動機付けとなる。同時に、コスト目標が、エネルギー利用機器としての経済性だけではなく、こうした強いニーズも大きな要因となるため、他の分野よりも素早く普及する可能性が高いと見込まれる。日本においては、今後急速な高齢化が進展してくるため、手軽に健康な高齢者の足代わりとなる安全で使いやすい電動式移動体の開発が求められており、燃料電池の応用への期待も高い。

開発に取り組む企業の中では、積極的な国際的アライアンスによって、最適な部材をグローバル調達する企業も見受けられ、数年以内の市場展開の可能性も含め、その動向が注目される。

(5) 鉄道等

鉄道での燃料電池利用についても様々な研究開発が進められている。現状では、外部調達したスタックを活用して、主に非電化区間の気動車の代替用としてリチウム電池等との比較検討が行われている。燃料電池開発の観点からは、重量・容積面での自由度は相対的にある一方で、耐久性では公共輸送用としてバスと同等以上の性能が求められる。研究開発の事例としては、2両編成で、定員140名/両、最高速度130km/hでの運行を想定し、耐久性4万時間、800kWを前提としている。現行のディーゼルが約1万円/kWであり、これがコストダウン目標となる。自動車用に比べれば市場規模は限定される⁹が、燃料電池にとっては有望な応用分野である。また、全国に張り巡らされる鉄道網については、電化区間では送電距離も長く、燃料電池にとっては、将来的には、効率の向上と相俟って単に非電化区間のみならず電化区間への適用も期待できる。その際には、単に動力源のみならず、鉄道業務全体に必要な電力を賄

う発電機として利活用される可能性もあり、鉄道事業としてのCO₂削減と都市部での架線投資の効率化にも繋がるため、PEFCのみならずSOFCにとっても十分魅力的な市場となりうる。

鉄道以外の輸送用途でも、様々な取組みが行われている。船舶や潜水艇への搭載、飛行機の補助電源としての利用、飛行船用電源として太陽光発電との組合せといった研究開発が進められている。応用用途によって燃料電池に求められるスペックも異なるが、燃料電池自体のイノベーションを進める上では、小さくとも見逃せない重要マーケットである。

3. 技術マップ概観

上記のような各分野での開発の動向と課題を踏まえた上で、技術マップの現状を概観しておきたい。そこで、これまでの各種の技術マップを統合・整理したものを提示したい。

1. 燃料電池実用化・普及への課題

2020年に向けた課題は次のとおりである。

(1) 燃料電池の基本性能の向上

燃料電池スタック、改質器、水素燃料貯蔵、全体システム等について、高効率化、耐久性等の向上が必要である。

(2) 経済性と性能の向上

自動車用燃料電池では、現在の自動車エンジンのコストと同程度(車両価格で既存の内燃機関自動車比1.2倍)が必要で、1kW当たり4千円が目標となる。水素燃料一回充填あたりの航続距離でも、従来の自動車と同程度以上(800km)が必要で、水素車載量7kgの実現が必須である。

定置用燃料電池では、エンドユーザー負担を50万円/台以下にすることが目標であり、耐久性では、9万時間、4千回の起動停止が必須である。

(3) 燃料開発と水素価格

燃料電池で利用する水素の製造、貯蔵、輸送方法が供給インフラ整備と併せて大きな課題となる。今後の技術革新に期待される部分が多いが、現時点では、多様な方式について開発競争が進められている。

水素の価格としては、現在のガソリン価格と同水準となる40円/Nm³が目標となる。

(4) 基準・標準等のソフトインフラの整備

安全性・耐久性等の基準や機器等の基準・標準について、国内的・国際的整備に積極的に取り組む必要がある。

2. 実用化・普及に向けての技術シナリオ

(1) 2005～2010年頃(開発・導入段階)

[期待される導入目標2010年:自動車用約5万台、定置用約2.1百万kW、水素価格80円/Nm³]

燃料電池自動車

- ・車両効率54%を実現するため、電解質膜の低加湿・高温運転(>80℃)用のフッ素系膜の改良、電極触媒における利用効率向上、高活性化。
- ・起動停止(3千時間、3万回)を目標に、既存電解質膜の機械的強度の改良やイオン伝導機構の解明、電極触媒における加速劣化試験方法の開発。
- ・普及期における5千円/kWのスタックの価格目標実現のため、電極触媒、ガス拡散層/電極接合体(GDL/MEA)の製造技術・量産化技術の開発。セパレータの生成加工技術の開発。

定置用燃料電池

- ・発電効率(HHV)目標32%を達成するため、電解質膜についてはパーフルオロ・スルホン酸膜の改良や電極触媒の利用効率の向上。

- ・耐久性目標（7万時間、3千回）を目標に、イオン伝導機構の解明、加速劣化試験方法の確立に基づく、既存電解質膜・電極触媒の機械的・化学的強度の向上。
- ・電池スタック部材等の量産化技術の確立、低コスト補機類等の開発により、120万円/台のシステム価格を実現（2008年頃）。

水素製造・輸送・貯蔵

- ・水素製造方式は、多様な方式について開発を進める。
- ・化石燃料改質では、水素供給能力300Nm³/h、高性能改質触媒の開発により改質効率80%以上。
- ・副生水素では、現行の輸送コストの半分10円/Nm³。精製効率向上による原価低減。
- ・アルカリ水電解やPEM電解などの高効率水電解技術では、効率向上及び設備コスト低減のため、セラミックス膜の改良、脱圧縮技術機技術の開発。
- ・水素輸送・貯蔵では、5kgの水素車載量を目標に350気圧/吸蔵材料ハイブリットタンクの開発、高強度材の開発、水素吸蔵合金やケミカルハライド等の研究・開発。液体水素輸送コストの低減を図るため、液化技術の高性能化、ボイルオフ低減技術の開発。
- ・水素パイプラインの安全性について検討。

(2) 2010年頃以降（普及段階）

[期待される導入目標2020年：自動車用約5百万台、定置用約10百万kW、水素価格40円/Nm³]

燃料電池自動車

- ・スタック効率向上（目標64%（LHV））を図り、電解質膜の低加湿・高温運転（>120）のため高温動作耐熱電解質膜の開発や白金代替等新規触媒材料の開発。
- ・起動停止（5千時間、6万回）を目標に、電解質膜劣化機構の解明、電極触媒の耐非毒新触媒の開発。
- ・白金量低減・白金代替技術開発、金属セパレータの開発などにより4千円/kWのスタック価格を実現。

定置用燃料電池

- ・発電効率36%（HHV）達成に向けた非フッ素系、部分フッ素化電解質膜の開発による高温・低加湿動作の向上。
- ・耐久性向上のための電解質膜劣化機構の解明や耐CO被毒新触媒の開発。
- ・白金量低減・白金代替技術や金属セパレータの開発、電池スタックの高口バスト化等によるシステム簡素化により、40万円/台のシステム価格を実現。

水素製造・輸送・貯蔵

- ・化石燃料改質の水素供給能力は、製造プラントの大型化・規格化により500Nm³/h。改質効率85%以上。プラント大型化に伴うCO₂分離回収技術の適用。
- ・副生水素の輸送コストは7円/Nm³を目指し、更なる精製効率向上により低コスト化。
- ・高効率水電解技術では、設備コスト50万円/Nm³/hを達成すると共に、更なる製造効率の向上。
- ・再生可能エネルギーを利用した水素製造技術開発の検討。
- ・水素輸送・貯蔵では、7kgの水素車載量を目標に350気圧ならびに700気圧/ハイブリットタンクの開発を図るため、革新的水素貯蔵法の開発。液化技術の高性能化、容器の大型化により液体水素輸送コスト3円/Nm³を実現。
- ・水素パイプラインの経済性・実現可能性について検討。

注：上記の各種の目標は、必ずしも相互に独立したのではなく、実際には相互連関を伴う蓋然性が高い。例えば、高温化は触媒層の白金溶出を加速するといったトレードオフが生じることが近年得られた経験により予想されている。

4. 政府の支援策

(1) これまでの成果

二つの実証試験

戦略研報告を踏まえ、2002年度から燃料電池自動車と水素ステーションに関するJHFCプロジェクトと定置用燃料電池の実証試験が、それぞれ日本自動車研究所及びエンジニアリング振興協会並びに新エネルギー財団によって実施されてきた。

JHFCプロジェクトには、国内外の23企業（自動車8社、水素ステーション15社）が参加し、首都圏で10カ所、愛・地球博で2カ所の水素ステーションを設置し、燃料電池自動車の実証データの取得を行っている。2004年度までに**燃料電池自動車が通常のカソリン車に比べ約3倍の効率を実際に発揮すること**などを確認している。本プロジェクトの中では、都バスの営業運転とタイアップして、晴海地区の2系統で実証試験を2004年12月まで行っている。2005年3月からは、愛知万博では計8台の燃料電池バスが、2つの会場の輸送手段として走行している。

定置用燃料電池の実証試験では、国内外の37企業（設置・運転試験者23社、システム提供者14社）が参加し、日本全国で、のべ45カ所のサイトで2002～2004年度まで3年間実施されてきた。この実証期間中に、取得データ等からフィードバックを行い改善・改良を進めることで著しい性能向上に貢献してきた。**1kW級家庭用燃料電池では、エネルギー企業が求める基本性能を概ねクリア**するに至っており、イノベーションの焦点も耐久性とコストダウンに絞り込まれてきている。また、実証試験において、機器メーカーとエネルギー企業等の機器設置運用者がタッグを組んでデータを取得してきたことから、燃料電池が性能をフルに発揮するためには、素材としての機器性能の良さに加えて、適切なユーザーの選定と実サイトでの実需要に即した運用制御が揃ったときに初めて高い省エネルギー効果、CO₂削減効果を示すことが確認されている。その観点では、メーカーが努力するのみならず、エネルギー企業、住宅メーカー等の関係企業が密接に連携して、少しでも性能と実運用効率を向上させるよう努力を重ね合わせることが大切であることが、実証データそのものによって再認識された意義は大きい。

技術開発支援

PEFC、SOFCの開発への政策支援は積極的に進められており、例えば、NEDOが行ってきた開発支援においても、高性能カーボンセパレータや低温作動を容易にする金属セパレータなどの開発成果が挙げられている。また、水素の製造、貯蔵及び輸送に関する技術開発も着実に実施してきている。加えて、規制の再点検や国際的な基準・標準の策定に資する安全面でのデータの取得等も行い、こうした各種の議論に反映させてきている。

2004年度からは、科学面での探索を強化していくために、異分野の優れた研究者の新規参入を意図的に強化している。例えば、NEDOが実施する「先導的基礎技術基盤研究開発」では、採択された25件のうち、これまでNEDOでの採択実績のない研究者が全体の5分の4である20件、さらに、燃料電池関係での研究実績が無かった異分野の研究者が全体の5分の3である15件を数えている。この点は、既存科学の「常識」の外側、あるいは異分野での経験を積んだ研究者の斬新な研究に新たな可能性を見出したいという強い意欲の表出でもある。総合科学技術会議の場でも、同様に新たな研究者の発掘を強く求められてきたこともあり、それを併せ実現するものでもある。こうした取組みを行う中では、新たな工夫も実施している¹⁰。

科学面での研究開発で特筆すべきなのは、2005年度から東京・お台場に固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター（Fuel Cell Cutting-edge Research Center 略称FC-cubic）が創設されている。燃料電池の基本反応メカニズムを科学的に解明し、知見を蓄積することを目指す新センターでは、民間企業のトップサイエンティストをセンター長に迎え、国立研究機関や大学から優秀かつ情熱溢れる若手研究者を集め、産業界の有識者を顧問に据えている。将来的には、海外からも優秀な研究員を招聘し、日本を代表するナショナルラボとして、世界の一流

ラボに互して、先端的な研究を産業界のニーズに即して突き進めていくことが期待されている。また、同センターには次世代の研究人材の育成機能や、政策形成への科学的アドバイス、啓蒙普及に関しても一定の機能を果たしていくことが期待される。

規制再点検

2004年度末までに当初予定されていた6法律、28項目の規制項目の再点検が完全に終了し、初期市場創造に向けた法規制による障害は取り除かれている。家庭用燃料電池では、主任技術者の選任や建物からの離隔距離といった各種の規制が緩和され、一般家庭への導入上の障害が取り除かれた。これを前提に、2005年には、家庭用燃料電池の市場導入への動きが一気に加速化されつつある。また、自動車分野でも、水素ステーションの住宅地や商業地での設置や水底トンネル等の通行が可能になり、燃料電池自動車の型式認証などの制度も整い、更なる研究開発の礎を提供することになった。

(2) 今後の方向性

これまで概観してきたような燃料電池・水素関連の技術開発の課題とこれまでの取組みを踏まえると、今後の対応に関しては、次のような論点が存在している。そこで、分野別に論点を整理してみたい。

< 共通 >

1) 適切な予算配分及び規制整備

燃料電池開発の状況は時々刻々と変化しており、産業界が目指す技術開発の方向性とスピード感に即して不断の見直しと適切な再配分が求められるのではないか？

現時点では300億円を超える予算が投入されていることから、**今後は単に予算規模の増加を追うことなく、むしろ質的な充実を図っていくことが重要ではないか？**

水素社会の実現に向けて、安全確保は欠かすことはできない。既に2004年度末の規制再点検において一定の成果は得られているが、**安全性追求への取組みには終わりはなく、考え得る最悪のシナリオを多面的に想定しつつ、丹念に検証していくべきではないか？**

2) 国際協力

IPHEやIEAでの国際協力が急速に立ち上がりつつあり、国際的なネットワークに入り、貢献を重ねることで、様々な知見と仲間を得ることができる。こうしたネットワークは、国際的な基準・標準作りの側面でも極めて重要となる。また、研究開発面での先端的探索でも広範囲な国際協力から得られるものも多い。このため、**win-winとなる可能性のある国際協力プロジェクトについては、我が国として積極的に対応すべきではないか？**

3) シナリオの見直し

不確実性と対峙する研究開発においては、実務面でも政策面でも絶えず適切なシナリオを持ち、不断に見直ししていくことが求められる。**燃料電池実用化戦略研究会等の場を通じ、絶えずシナリオを練り直していくべきではないか？**その際には、IPHEやIEAで検討が進められる**国際的なシナリオ又は技術ロードマップとも整合性・接続性を常に意識しておくべきではないか？**

4) 戦略的な広報展開

燃料電池・水素社会を現実にするには、リスクと不確実性を伴うイノベーション・プロセスに対して、意図的にイノベーション確率を高め、読めないリスクを可視化することが重要となる。そこで、**異業種の先端産業、異分野の尖った研究者、優れたベンチャー・中小企業関係者との交流や情報発信の機会を増やすことが重要ではないか？**また、プロ向け戦略的広報のみならず、次世代を担い燃料電池のユーザーとなる**若い世代への教育・普及啓蒙も重要ではないか？**

< 定置用 >

1) 大規模実証事業

制度設計としては新しい試みであり、その**実効性について絶えず点検し、公平・公正な有効競争を加速させるよう配慮すべきではないか？**また、**可能な限り情報開示に努め、モラルハザード等が生じないよう細心の注意を払うべきではないか？**さらに、**本制度は2007年度までの制度とし、最長でも2008年度中には廃止することを基本とすべきではないか？**

2) 劣化要因解析

本プロジェクト(劣化解析基盤研究プロジェクト)は、トップ企業間で情報共有し、劣化要因のプライオリティ付けと合理的対策を行う基盤的共同研究であり、参加者間で守秘義務契約が締結され、腹を割った共同研究が信頼関係の下で進められつつある。今後は、**進捗を十分フォローし、量産開始が見込まれる2008年度機以降への反映を促すとともに、得られた知見は可能な限り情報開示していくべきではないか？**

3) 補機等スペック整合化と共同開発

最重要課題であるコストダウンを達成するためには、競争領域では自社単独で徹底的に努力しつつも、非競争領域では適切な協調戦略をとることも重要な視点となる。**「定置用燃料電池市場化戦略検討会」で別途報告書がまとめられているが、こうした取組みを官民挙げて実施し、市場創造を目指す商品化に反映していくべきではないか？**

4) 系統連系等

系統連系については、既に電気事業法上の技術基準や、電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドラインにより、系統連系に際して必要となる技術的要件が定められている。今後とも、送配電等業務支援機関の機能も活用しつつ、**系統アクセスに係る一層の公平性・透明性を確保することが必要ではないか？**また、分散型電源等を接続することに伴う系統への悪影響を最小限にとどめる一方、その特性を最大限に生かすべく、**より合理的な系統アクセスに係る継続的な技術的検討が望まれるのではないか？**

2004年度未完了の規制の再点検で整備されたもののうち、例えば、センサーや安全弁の設置に関して、所要の構造上の配慮をすることで、安全面での実効性を損なわずに、コストダウンに資する改善の余地も見受けられる。こうした点では、**規制の趣旨を活かし、安全性を確保しながら、経済性も考慮した適切な運用をすべきではないか？**

5) SOFC

要素技術等の支援では重点を絞りつつ着実に実施するとともに、PEFC型定置用燃料電池で実施されたと同様の規制の再点検を適切なタイミングで実施することが必要ではないか？

< 自動車用 >

1) 基盤技術

新たに創設された**固体高分子形燃料電池先端基盤研究センターの早期・円滑な立上げと研究陣の一層の充実が必要ではないか？**また、同センターには、**国際レベルで通用する研究人材育成の場としての機能も求められるのではないか？**

先端科学を駆使する探索型イノベーションでは、研究開発における競争領域と非競争領域を明確に意識し、**先端異業種企業とのアライアンスも含めたオープン・イノベーション手法も念頭に置きながら新規の材料創製・探索を行うことも重要ではないか？**また、その際に**本格的な技術ロードマップの活用も新たなイノベーション手法として考慮すべきではないか？**

2) 水素製造

我が国には、燃料電池自動車500万台分以上に供給可能な副生水素が大都市周辺に大量に存在し、いわば「準国産資源」として**副生水素を活用していくことが、当面、最も重要な基本戦略となるのではないか？**

水素製造には多様性があり、世界的にも政策的なプライオリティ付けの違いから様々なスタンスが取られている。クリーンエネルギーの切り札である燃料電池に供給される水素製造については、経済性、環境特性、供給安定性といった諸点に十分考慮して、適切な開発政策を進めていくべきではないか？

3) 水素貯蔵

700気圧が最終解にならないとの議論がある中で、水素貯蔵に関してどのような取り組みを進めるべきか？

金属貯蔵材料では、我が国は世界最先端の研究開発を進めており、見識ある優れた研究者の下に緊密な情報交換と協働の「場」が形成されてきている。今後は、NEDO補助事業を中心に、異種材料間でも同様の情報交換ネットワークを形成すべきではないか？また、アメリカ、中国等の先進的研究に取り組む諸外国の一流ラボとも知的ネットワークを拡大すべきではないか？さらに、近年、様々な貯蔵オプションの組合せ（ハイブリッド水素貯蔵）を探索する動きも活発化している。政府としても、知的な情報交流の場の創造に積極的に対応すべきではないか？

4) 水素脆化、水素材料

水素の利用を安全・確実に行うには実証データが必要であるが、高圧、極低温化での長期的な材料特性については、研究・解析はその緒についたばかりである。こうした安全性に関するデータを引き続き蓄積していくことが重要ではないか？水素タンクの安全性では、燃料電池自動車安全性評価試験棟（Hy-SEF¹¹）が建設され、防爆構造を有する実験室内で超高压での耐久試験等が精力的に実施されているが、データ蓄積を進め、実用開発に応用するには、Hy-SEFのオープンな利用を進めていくことが重要ではないか？さらに、水素タンク製造でも科学的知見に基づき、長期安定性を持つものの製造能力を蓄えることが重要な戦略となる。日本国内において、材料科学の内外の知見と英知を結集していく仕組み作りを行うべきではないか？

5) 水素輸送

効率的な水素輸送方法が登場すれば、再生エネルギーの本格的活用を含め、世界のエネルギー供給構造を変革する潜在力がある。輸送面での固有の課題解決についても多面的に取り組むべきではないか？

6) 実証試験とインフラ整備

- 21 燃料電池自動車の実証試験は、企業間及び異業種間の情報交換プラットフォームであり、次世代技術についても共同でチャレンジする場である。今後は、次世代貯蔵方式なども適切に組み込んでいくべきではないか？また、水素ステーションは、地域コミュニティにおける良質な水素供給拠点であり、定置用燃料電池とのミニラインによるハブリッド利用などもチャレンジすべきではないか？実証試験においては、計測モードの標準化の面でも十分にデータ蓄積を行い、適切な測定方法や認定基準の確立につなげるべきではないか？

7) 部品産業での研究開発の充実・活性化、産学官連携の強化

- 22 コストダウンの観点からは、サポーター・インダストリーである部品メーカーにおける対応と周到的な準備も必要となる。今後は、「研究開発型」に移行しきれていない部品メーカーの掘り起こしも重要であり、経営者への政策説明会や意欲ある部品メーカー間の連携・交流を促すべきではないか？
- 23 産官学連携の面では、大学、産総研等でコーディネータが十分に機能せず、研究者の研究内容が十分に把握されていないことや、企業のニーズが機密上传えきれないといった問題が指摘されている。燃料電池の効率的な研究開発の観点から産学官連携が円滑に機能していくことが重要であり、各研究機関においても効果的な連携研究の道を探るべきではないか？

< 携帯用機器、小型移動体 >

24 マーケットサイズを規定しきれない国際的な基準・標準作りを適切に進めていくことが重要ではないか？官民が協力して、普段から国際的な人的ネットワークを構築していくとともに関係国際機関とのコンタクトを強化すべきではないか？携帯用燃料電池については、航空機内への持込みを可能とする適切な国際的規制枠組みを早急かつ着実に整えるべきではないか？

¹ International Partnership for the Hydrogen Economy の略。

² The Fuel Cell Commercialization Conference of Japan の略。

³ Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project の略。

⁴ Polymer Electrolyte Fuel Cell の略。

⁵ Solid Oxide Fuel Cell の略。

⁶ Higher Heating Value の略。高位発熱量。ちなみに、LHVはLower Heat Value の略で、低位発熱量のこと。

⁷ 純水素以外にも一酸化炭素(CO)を燃料にできるほか、メタン等を直接改質して利用できる。

⁸ Direct Methanol Fuel Cell の略。

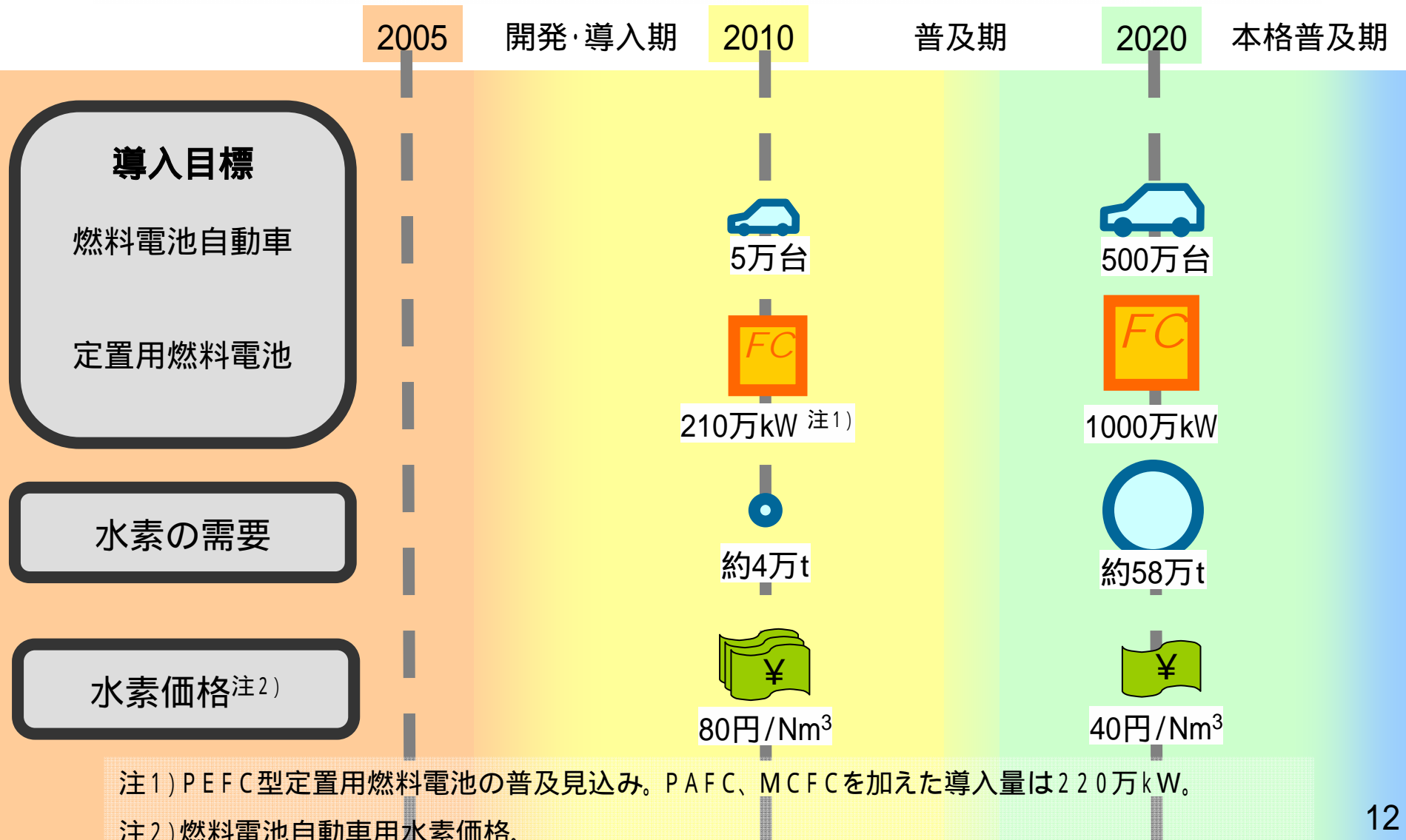
⁹ 非電化区間は全体の約3割で、ディーゼル車両数は全体の約1割。鉄道車両の市場規模は、2002年度には約3,100億円。

¹⁰ NEDO関係者の尽力により、その研究開始に先だってワークショップを開催し、各研究者からそれぞれの研究の狙いを発表し、所期の成果・目標へのコミットメントしてもらおうという試みが行われた。これは、単に事後評価によって成果を把握するという「済んでしまった動かせない研究結果」についての事後管理に頼るのではなく、むしろ、採択された受託研究の開始前に一定のコミットメントを行って頂くことによって、国費による研究開発プロジェクトの一翼を担っていることを再認識いただき、採択された研究テーマへのモチベーションを高めていただくとともに、同じ分野でのブレークスルーを目指す、ある意味で志と苦勞を分かち合う仲間とも言えるものの互いに接点がなかった優れた研究者間の情報交換とネットワーク形成の「場」を意図的に事前に提供することによって、自分の今後の研究内容へのヒントを得たり、問題解決の際に融合分野でのコラボレーションを行ったりという、それぞれの研究開発を行う上でイノベーションを効率的に加速させる「場」の創造を目指したものである。この初の試みが成功するかどうかは今後の判断が待たれるが、新たな優秀な研究者の発掘とその人的ネットワークの構築という一種のチャレンジを、事務手続上の多くの困難の中で敢えて実施しているのは、サイエンス領域では、オープンなナレッジの交換・蓄積によって、更なる飛躍が期待でき、それが結局は真のイノベーションに接近する近道ではないかと考えているからである。

¹¹ Hydrogen and Fuel Cell Vehicle Safety Evaluation Facility の略。

水素エネルギー社会に向けたシナリオ

標記の各種の目標は、必ずしも相互に独立したものではなく、実際には相互関連を伴う蓋然性が高い。例えば、高温化は触媒層の白金溶出を加速するといったトレードオフが生じることが近年得られた経験により予想されている。



燃料電池自動車

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

車両特性

【航続距離】

300km

400km

800km

【車両価格(ICV比)】

2.0倍

3 - 5倍

1.2倍

【車両効率(LHV)】

50%

54%

60%

【スタック効率(LHV)】

5.8%(730mV)

6.1%(770mV)

6.4%(810mV)

効率

〔電解質膜〕

80

高温運転化(>80)

高温運転化(>120)

フッ素系膜の改良(低加湿作動)

高温作動膜(耐熱型フッ素系膜、非フッ素系膜)の開発

〔電極触媒〕

触媒利用率の向上、触媒高活性化

現状白金系触媒以上の活性を有する新触媒材料の開発

燃料電池自動車

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

耐久性

【耐久性目標】

2千時間

2万回起動停止

3千時間(5年)

3万回

5千時間(10年)

6万回

{電解質膜}

既存膜の改良(機械的強度など)、イオン伝導機構、劣化機構の解明

{電極触媒}

加速劣化試験方法の開発、評価手法の開発、構造改良、耐非毒触媒(新材料)の開発

コスト

【コスト目標】

数百万円/kW (スタックコスト)

5千円/kW

4千円/kW

{電極触媒、GDL/MEA}

製造技術開発、量産化技術開発、白金量低減技術の開発、白金代替触媒の開発

{セパレータ}

成形加工技術開発、量産化技術開発、金属セパレータの開発

定置用燃料電池

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

システム
特性

【省エネルギー性（住宅全体）】^{注3)}

10%

15%

20%

注3) 実住宅での運転では、電力・熱需要パターンにより、部分負荷運転や起動停止に起因するエネルギー効率の低下、運転休止による寄与率の低下が生ずる。ここではこれらを全て含む、平均的住宅での全一次エネルギー消費に対する省エネルギー率を記載。

効率

【システム発電効率(HHV)】

31%

32%

36%

【スタック効率(HHV)】

53% (740mV)

55% (760mV)

57% (800mV)

〔電解質膜〕

80

パーフルオロスルホン酸膜

高温運転化(>80)

非フッ素系膜、部分フッ素膜

低加湿・高伝導膜(>120)

0.1 S/cm

〔電極触媒〕

触媒利用率の向上、触媒高活性化

現状白金系触媒以上の活性を有する新触媒材料の開発

定置用燃料電池

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

耐久性

【耐久性目標】注4)

運転時間

2万時間あるいは3年

→ 7万時間あるいは8年

→ 9万時間あるいは10年

起動停止回数

3000回

→ 4000回

〔電解質膜〕

既存膜の改良(機械的強度など)、イオン伝導機構、劣化機構の解明

〔電極触媒〕

加速劣化試験方法の開発、評価手法の開発、構造改良、耐非毒触媒(新材料)の開発

注4) 運転時間はより連続的運転を指向した場合の目標値、一方、起動停止回数はよりDSS的運転を指向した場合の目標値である。

システム
・コスト

【システム製造価格】

800万円

→ 120万円 (2008年)

→ 40万円

〔電極触媒、GDL/MEA〕

製造技術開発、量産化技術開発、白金量低減技術の開発、白金代替触媒の開発

〔セパレータ〕

成形加工技術開発、量産化技術開発、金属セパレータの開発

〔システム簡素化〕

電池スタックの高口バスタ化等

水素(製造)

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

【水素の価格目標】

150円/Nm³

80円/Nm³

40円/Nm³

〔化石燃料改質(天然ガス、石油系、石炭等)〕

水素供給能力100Nm³/h

300Nm³/h

500Nm³/h

改質効率75~80%

85%以上

高機能改質触媒の開発、製造プラントの大型化、規格化

〔高効率水電解技術〕

アルカリ水電解

効率5.5kW/Nm³@1MPa

4kW/Nm³@3.5MPa

4kW/Nm³@7.0MPa

設備コスト100万円/Nm³/h

50万円/Nm³/h

PEM電解 電両密度1.5A/cm²

2A/cm²

設備コスト100万円/Nm³/h

50万円/Nm³/h

セラミックス膜、製造の高効率化、脱圧縮機技術

再生可能エネルギーを利用した水素製造

水素製造

水素(輸送・供給)

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

水素輸送

【水素輸送の目標】

圧縮水素

20円/Nm³

10円/Nm³

7円/Nm³

液体水素

6円/Nm³

3円/Nm³

〔圧縮水素〕

容器の高圧・軽量化

〔液体水素〕

容器の大型化、BOG低減技術

水素パイプライン

水素供給

【水素ステーションの目標】

実証段階(100Nm³/h)

500箇所(300Nm³/h)

3600箇所(500Nm³/h)

昇圧機(圧縮機、ポンプ)の効率・信頼性の向上、コストの低減

蓄ガス器、ディスペンサーおよび水素検知器、圧力計測、流量計測技術の信頼性向上、コスト低減

水素(貯蔵)

2005

開発・導入期

2010

普及期

2020

本格普及期

【水素車載量の目標】

3kg

5kg

7kg

(現行技術では、水素1kgで燃料電池自動車が約100km走行可能)

〔高圧水素タンク〕

350気圧

350気圧/
ハイブリッド

350気圧/700気圧
/ハイブリッド

規制の再点検、
耐久性の向上、高強度材料の開発、圧縮機の開発

〔液体水素タンク〕

蒸発率 3%/day

1%/day

0.5%/day

断熱性能の向上、容器の軽量化・コンパクト化

〔水素貯蔵材料〕

2.2wt%

6wt%

9wt%

水素貯蔵合金、ケミカルハイドライド、有機系、
貯蔵圧力の低減、吸蔵 - 脱離システムの高性能化

革新的水素貯蔵法の開発

水素貯蔵