

平成20年度 制度評価書

作成日 平成20年9月

制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発	コード番号：P05011
担当推進部	燃料電池・水素技術開発部	

0. 事業概要

定置用及び自動車用の固体高分子形燃料電池について、初期導入段階のための実用化技術開発、導入期のための要素技術開発から本格的普及期のための次世代技術開発までを一体的、総合的に推進するとともに、これらの技術・研究開発における一層のブレイクスルーを促すため、燃料電池の反応・劣化メカニズムの解明、計測評価技術等の基礎的・共通的研究を推進し、固体高分子形燃料電池実用化のための要素技術を確立する。

(制度の実施期間)：平成17～21年度(5年間)

(各研究分野の概要)：

(1) 基礎的・共通的研究に関する技術開発(100%委託研究)

固体高分子形燃料電池の高効率化・高信頼性化・低コスト化に向けた燃料電池セル・スタックの反応・劣化メカニズムの解明、計測評価技術の開発。(産学連携コンソーシアム型4件実施中)

(2) 要素技術開発(100%委託研究)

格段の経済性、耐久性及び効率の向上を可能とする固体高分子形燃料電池の電極、電解質膜(膜・電極接合体を含む。)、セパレータ、周辺機器、改質器等における高リスクな要素技術の開発。(産学連携コンソーシアム型7件、企業単独型4件実施中)

(3) 実用化技術開発(50%共同研究)

定置用燃料電池の市場形成を確実にするための、固体高分子形燃料電池の高効率化・高信頼性化・低コスト化に向けた燃料電池用セパレータの基礎的生産技術等の実用化技術開発。(企業単独型4件実施中)

※上記3研究分野は、状況に応じ事業期間中に複数回公募を行う。

(4) 次世代技術開発(100%委託研究)

将来の燃料電池自動車の普及期における燃料電池の格段の高効率化・低コスト化・信頼性向上に資する新規電解質膜・白金代替触媒等の先導的・基礎的研究開発、先進的な解析評価技術等の基盤的研究。なお、本テーマについては原則、毎年度公募を実施。

「次世代技術開発」の研究期間、採択件数等

研究期間	原則2年、ただし外部有識者による技術評価を踏まえ3年若しくは5年まで延長可
委託額	10～20百万円/年
20年度予算額	約600百万円 (制度全体の予算額：5,300百万円)
採択件数	H17年度：31テーマ、H18年度：9テーマ、 H19年度：12テーマ、H20年度：15テーマ
実施件数	43件(20年度新規採択テーマ含む)

1. 位置付け・必要性（根拠、目的、目標）

（1）根拠

我が国における革新的なエネルギー技術の開発等に関し、長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示した「エネルギーイノベーションプログラム」が経済産業省により策定されており、本制度は同プログラムの一環として実施するものである。

また、第3期科学技術基本計画（2006年3月）においては「先進燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定され、新・国家エネルギー戦略（2006年5月）では燃料電池自動車に関する技術開発の推進が記され、経済成長戦略大綱（2006年7月）において運輸エネルギーの次世代技術開発が重点分野として位置付けられている。

エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年5月）においても燃料電池技術開発の重要性が述べられ、さらには、Cool Earth—エネルギー革新技術計画に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が重要技術として位置付けられている。

以上のとおり、本制度は政府の計画・方針に位置づけられている重要技術の開発に資するものであり、その実施は妥当と考えられる。

（2）目的

燃料電池は、発電効率が高く、二酸化炭素の排出を大きく削減することが可能である。また天然ガス、メタノール等の多様な燃料の使用が可能であり、石油代替の促進にも寄与する。さらに、静粛性に優れ、大気汚染の原因となる窒素酸化物や硫黄酸化物の排出量が少ないことから、環境保全上の効果も大きい。燃料電池の中でも固体高分子形燃料電池は、高出力密度、低温作動等の特徴を活かした家庭用、可搬型電源、及び自動車用電源としての普及が期待されている。

本事業は、固体高分子形燃料電池の高効率化・高信頼性化・低コスト化に向けて、固体高分子形燃料電池の初期導入段階のための実用化技術開発、導入期のための要素技術開発、本格的普及期のための次世代技術開発までを一体的、総合的に推進するとともに、これらの技術・研究開発における一層のブレイクスルーを促すため、燃料電池の反応・劣化メカニズムの解明、計測評価技術等の基礎的・共通的研究を推進し、本格的な固体高分子形燃料電池実用化のための要素技術を確立することを目指して実施している。

以上から、本制度は、社会の情勢・要求に適合したものであり、実施することは妥当と考えられる。

（3）目標

本制度の目標は、基本計画において以下のように定めている。

『2009年（平成21年）において以下の技術目標を達成するため、基礎的・共通課題に関する技術開発、要素技術開発、実用化技術開発、次世代技術開発を実施する。技術目標は、本格普及期〔2020年～2030年頃〕における技術レベルを念頭に置き、以下の技術レベルを実現し得る要素技術を確立することとする。なお、各研究項目の開発目標及び実施内容の詳細については、提案書に記載されたものを踏まえ、採択が決定した後、NEDO技術開発機構と提案者との間で協議の上、実施計画上で定めるものとする。』

自動車用燃料電池システム 高性能化：車両効率60％程度（LHV）

耐久性：3,000時間

低コスト化：10,000円／kW程度（スタックコスト）

定置用燃料電池システム 高性能化：発電効率40％程度（HHV）

耐久性：4万時間

低コスト化：25万円／kW程度

(参考) 本格普及期〔2020年～2030年頃〕における期待技術レベル
自動車用燃料電池システム 高性能化：車両効率60%以上(LHV)
耐久性：5,000時間
低コスト化：4,000円/kW(スタックコスト)

定置用燃料電池システム 高性能化：発電効率40%以上(HHV)
耐久性：9万時間
低コスト化：20万円/kW』

このプロジェクト全体の目標は、NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップにおいて固体高分子形燃料電池の本格普及期〔2020年～2030年頃〕に必要とされている技術レベルを、導入開始想定時期である2010年の断面にブレイクダウン(展開)して、導入開始時期に必要な性能として示したものであり、位置づけとして適切である。なお、コスト目標等は当該技術分野の進展及び競合技術の進捗等により適宜見直す必要がある。例えば、本年度策定した燃料電池・水素技術開発ロードマップ2008と整合を図るなど、技術動向に応じて最適化を図っていくことが重要と考える。

2. マネジメント(制度の枠組み、テーマの採択審査、制度の運営・管理)

<制度の枠組み>

本事業は、固体高分子形燃料電池の高効率化・高信頼性化・低コスト化に向けて、大きくは課題設定型研究とテーマ公募型研究の2つの枠組みにより実施している。

①基礎的・共通的課題に関する技術開発、②要素技術開発、③実用化技術開発については、大学や産業界の技術動向やニーズ等を踏まえ、当機構が具体的な技術開発課題を設定して公募により実施者を選定し、主に産学連携コンソーシアムの体制により研究を推進している。

一方、④次世代技術開発については、将来の燃料電池自動車の普及期に向け燃料電池の格段の高効率化・低コスト化・信頼性向上に資する先進的研究を促進するために、テーマ公募型により広く技術シーズを大学、公的研究機関等から発掘し、成果を挙げているテーマについては研究の継続、さらには課題設定型研究(①～③)へのステップアップを行うスキームとしている。

なお、制度全体の研究成果報告会を毎年実施することや、次世代技術開発については研究開始当初に研究内容を広く公開する等、各研究テーマ間の情報交換やディスカッションの場を積極的に設けることによりその連携強化を図っている。

このように、本制度は産業界のニーズや大学等のシーズを十分に取り込み、技術開発の内容に応じて適切なスキームを設定し効率的・効果的に推進する制度設計を行っており、制度の枠組みとして妥当と考える。

<テーマの採択審査>

外部専門家による事前審査において、本制度の目的及び開発目標との整合性、研究計画の妥当性、実現可能性、提案者の遂行能力・体制及び開発実績等について審査を実施し、その結果を踏まえて、最終的に当機構の契約・助成審査委員会で採択テーマを決定しており、厳正かつ公平にテーマ採択を行っている。

また、審査基準を公募要領にて明示し、審査委員の氏名等を採択テーマ公表時に併せて公表しており、透明性も十分に確保している。

<制度の運営・管理>

本制度においては、固体高分子形燃料電池に関する基礎から実用化技術までを一体的、総合的に推進している。運営・管理上の特徴として、「特定分野の研究開発の企画及び運営について、産業技術等に係る国の政策、内外の動向等を踏まえた高度な専門的調整を行う」プログラムマネジャーのうち、「特に高度な学識及び経験を有する者」である、シニアプログラムマネジャー(以下、「SPM」という。)を設置していることがあげられる。また、各研究テーマの連携や情報発信の強化、産業界からの意見を積極的に取り組む観点から制度全体の

研究成果報告会を毎年実施している。

以下、研究分野毎の運営・管理について述べる。

①基礎的・共通的課題に関する技術開発／②要素技術開発（産学連携コンソーシアム形式）

各テーマにおける研究進捗会議（年4～6回程度）及び全体の運営会議（年1～2回）に、SPM及び当機構担当者が出席し、研究進捗状況を把握するとともに、技術開発上の助言等を定期的に行っている。加えて、①基礎的・共通的課題の4テーマにおけるそれぞれのPL（プロジェクトリーダー）、本制度とは別プロジェクトである「劣化機構解析とナノテクノロジーを融合した高性能セルのための基礎的材料研究（H20-26）」、「燃料電池先端科学研究事業（H20-21）」のPLによる「PL会議」をSPM主催で開催し、燃料電池の劣化メカニズムや評価技術等に係るプロジェクト間連携や情報共有を促進している。

また、NEDOシンポジウム「固体高分子形燃料電池の高性能化・高耐久化への展望と今後の技術開発の重点課題」を毎年度開催し、劣化メカニズム解明等の基礎的研究成果を産業界、学术界の研究者等に効果的に発信している。その際、NEDO・実施者からの一方的な情報発信に陥ることなく、広く燃料電池開発関係者とのディスカッションの場を設け、最新技術成果、今後の技術課題の共有に努めている。

なお、平成19年度に実施した外部有識者による中間評価結果を踏まえ、平成20年度以降取り組むべき技術課題として5つのテーマを選定し、研究開発に着手した。具体的には、基礎的・共通的課題に関する技術開発の1テーマとして燃料電池内部の水移動現象の基礎的解明を目指す「物質輸送現象の可視化技術」、要素技術開発のテーマとして、コストダウンを目的に白金の量を革新的に低減する又は使用しないことを目標にした「低白金化技術」、「カーボンアロイ型電極触媒」、「酸化物非貴金属触媒」の3件及び定置用燃料電池システムの燃料改質系の簡素化を目的とした「高濃度CO耐性アノード触媒」を採択した。

②要素技術開発（単独実施のテーマ）／③実用化技術開発について

当機構の担当者が各テーマの進捗状況を随時フォローし、個別に技術開発上の助言等を行っている。なお、研究フェーズに応じ適切に予算配賦を行う観点から、③実用化技術開発については研究に要する費用の5割を研究実施先負担としている。

④次世代技術開発について

幅広い技術シーズについて時期を逸することなく取り上げるため原則、毎年度公募を実施するとともに、企業等からの当該研究に対するニーズを把握すること等を目的に、SPMをコーディネーターとする研究計画発表会を行うことにより、研究の方向付けをさらに明確化し、研究の効率化が図られるよう努めている。加えて、SPM主催でシーズ懇話会等を開催し、研究を実施している研究者と当該研究分野の関連企業による意見交換を定期的に行っている。

また、研究開始後2年目及び3年目に外部有識者による中間評価を実施し、継続の可否を判断している。その結果、継続研究（20年度：28件）を行うものに加え、課題研究型研究へステップアップを行ったもの（20年度：15件）等がある。

19年度テーマ数	継続実施	ステップアップ	継続不可	研究終了
53	28	15	6	4

以上から、制度の運営管理については、①～④の技術開発において、いずれも適切に行われているものと考えられる。

3. 成果

平成20年度における主な成果は下記のとおりであり、固体高分子形燃料電池の高効率化、高信頼性化、低コスト化に向けた成果が着実に得られている。

①基礎的・共通的課題に関する技術開発

・水管理によるセル劣化対策の研究

発電可能領域の拡大について、電解質膜、GDL等の部材の改良により、従来型電池のドライアップ耐性、フラッディング耐性を向上させ、50～100℃の運転温度範囲において低加湿から高加湿の条件で安定した電池運転が可能であることを示した。また、凍結温度領域におけるセル劣化機構解明および対策検討を実施した。

・固体高分子形燃料電池セルの劣化メカニズム解析と余寿命評価手法の開発

大気中にはセル性能を低下させる不純物が含まれていること、そのうち硫黄化合物によるセル性能低下は供給量に依存し不可逆的であり、窒素化合物によるセル性能低下はその濃度に依存し可逆的であることを明らかにした。また、SO₂、Cl⁻の添加や、高酸素分圧により白金溶解度が増加すること、硫黄化合物の添加により触媒活性が低下し過酸化水素の発生が促進され、そこから生じるラジカルにより電解質膜が分解されることを明らかにした。また、加圧運転により白金触媒の劣化が加速することがわかり、加速試験法としての検討を進めた。さらに、カソード酸素拡散項を導入した、表示精度の高い性能表示式を完成させ、余寿命評価方法を検討した。

・セル劣化要因の基礎研究とMEA耐久性の解析

三相界面における劣化現象の解明、部分水素化したフッ素系電解質の合成手法開発とその耐久性評価、硫酸濃度の白金溶解に及ぼす影響等を調査した。また、NMR、ESRによる実測と第一原理計算によるイオノマーの分解機構に関する知見を基に、三相界面における触媒とイオノマーの劣化機構の解明をそれぞれ進めた。

・物質輸送現象可視化技術開発

スタック内部の水分布の可視化・計測法に関して、「次世代技術開発」等にて中性子イメージングや核磁気共鳴イメージングの開発を進めてきたが、19年度に実施した中間評価結果や産業界からの要望を踏まえ、基礎的・共通的課題に係る1テーマとして「物質輸送現象の可視化技術」を立ち上げ研究体制を再構築し、イメージングの空間分解能の向上を中心とした技術開発・高度化に関する研究に着手した。

②要素技術開発

・定置用燃料電池システムの低コスト化・高性能化のための電池スタック主要部材に関する基盤技術開発

電解質膜およびMEAの高信頼化を図る改良を進め、電解質膜に起因する突発的劣化、ならびに経時的電圧低下を大幅に抑制することに成功した。また、電解質膜およびMEAの高ロバスト化を図る改良を進め、運転温度および加湿度許容範囲の拡大に見通しを得るとともに、空気中の無機不純物や内部有機不純物の混入がMEAに及ぼす影響を把握した。さらに、電池スタックの高温低加湿運転において影響を与える水分・不純物の挙動ならびに触媒層の劣化に関し、(i)排ガス中の水分・不純物精密計測技術、(ii)反応・水分輸送挙動の数値モデル、(iii)電解質膜内の水分分布のin-situ高分解能計測技術、(iv)MEA配列分割セルを用いた電気化学特性計測技術、(v)触媒層の微細構造観察技術等の学術的知見を蓄積した。加えて、炭化水素系電解質膜・MEAの高信頼化・高ロバスト化の検討、不純物影響度のデータベース化と劣化メカニズムの解明に係わる検討を行なった。

・家庭用燃料電池システムの周辺機器の技術開発

家庭用燃料電池システムの補機について量産化を前提とした性能・耐久性の向上およびコストダウンに係わる技術開発を行った。その結果、ポンプ・ブローヤ類、弁およびセンサー類について、補機動力損に対する性能目標および4万時間耐久性の初期商用化目標を満足する開発を完了させた。また、コストについても当初見込みの41万円(1万台生産時)に対し、約11万円までの顕著なコストダウンの見通しを得た。さらに、当該補機の製造体制が整備され、大規模実証事業に供される家庭用燃料電池システムへの搭載が開始された。平成20年度からは、水処理装置、熱交換器および電力変換装置を開発対象とした技術開発

を行なうこととし、これら補機の仕様の共通化を図るための検討を行なった。

- ・定置用燃料電池改質系触媒の基盤要素技術開発

定置用燃料電池の改質器に用いられる3種類の触媒（CO変成触媒、改質触媒、CO除去触媒）の技術開発を進め、(i)耐久性：1万時間、(ii)起動停止（DSS運転）：1千回、(iii)コスト：1万円の各目標を達成できる見通しを得るとともに、各触媒を組み合わせた連結運転評価を行い、DSS運転および連続運転で安定した性能を維持することを確認した。また、CO変成触媒と改質触媒については量産化技術の開発を進め、CO除去触媒は開発対象を選択酸化触媒から選択メタン化触媒に変更して更なる低コスト化を目指す検討を行なった。

- ・カーボンアロイ触媒

現状の白金系貴金属触媒に代替し得る性能と耐久性を有するカーボンアロイ触媒を世界に先駆けて開発することを目的として、カーボンアロイ触媒の活性発現に関わる因子の解明と、活性発現因子の導入手法の検討に係る技術開発を合成・解析・理論の三位一体の体制により平成20年度から開始した。

- ・酸化物系非貴金属触媒

自動車、家庭用等を目的とした固体高分子形燃料電池の白金に替わる非貴金属カソード触媒実現のため、窒素や炭素を含む遷移金属酸化物を用い、高性能と耐久性を有する触媒材料の探索、高機能化、機能発現メカニズムの解析、触媒生産技術の開発、燃料電池用電極の作成と最適化、セルでの実証に係わる研究開発を平成20年度から開始した。

- ・低白金化技術

5年程度の研究開発期間で「白金使用量を現状の1/10レベルへ低減可能な触媒技術を開発する」ことを長期目標として捉え、白金量を飛躍的に低減しても性能・耐久性を維持する電極触媒材料の開発、および開発した電極触媒の耐久性向上や低コスト化等に係わる研究開発を平成20年度から開始した。白金の活性向上方法として有望視されるマルチレイヤーコアシェル化、単結晶高指数面を用いた構造規制ナノ微粒子化および多核錯体を前駆体に用いた構造制御単分散化等の技術開発を進めた。

- ・高濃度CO耐性アノード触媒

定置用燃料電池システムの低コスト化に資する燃料改質系の簡素化を図ることを目的として、CO選択酸化のプロセスを省略した場合に想定されるCO濃度500ppm（過渡時には2,000ppm程度）の改質ガスでも運転可能なアノード触媒およびMEAの研究開発を平成20年度から開始した。触媒の組成と構造を最適化して担体との相互作用を積極的に活用する高CO耐性・高水素酸化活性触媒の開発、低過電圧でCOを酸化できるRh-ポルフィリン系触媒の開発、高濃度COを含む改質燃料での最適運転条件の検討を進めた。

- ・新規高温耐久膜の開発

化学耐性を向上させたフッ素系電解質膜でセル温度110℃の起動停止試験で2,000時間、起動停止3万回以上の耐久性を確認した。また、物理的強度の向上を目的に高耐熱芯材に電解質を埋め込んだ高耐熱芯材補強膜では、従来膜に比べて低いフッ素溶出量を示し、耐久性が向上することを確認した。

- ・高性能炭化水素系電解質膜の開発

ポリマー高次構造制御コンセプトに基づいた強靱性を有する電解質膜についてセル温度80℃で化学的耐久性（OCV評価）1,500時間、連続発電時間2,000時間、起動停止5,000回以上を確認した。

- ・高温熱利用型MEAの開発

カソード側アイオノマーの保水性、ガス拡散層の排水性、セパレータの面内温度分布の改善に取り組み、1kW級スタック試験で初期性能0.72V、電圧低下率4mV/1,000hrを達成した。また、高温での耐久性向上に向け、耐酸化性の強い酸化スズ担体触媒を試作し、MEAに組み込んで性能評価を行うとともに、今後の課題を抽出した。

- ・高出力高耐久炭化水素系MEAの開発

高プロトン伝導性新規バインダーを開発するとともに、電極構造の改良やセル抵抗低減を進め、初期電圧0.75V、連続発電500時間、起動停止5,000回を達成した。

③実用化技術開発

中間評価結果を踏まえて、カーボン系セパレータ（2テーマ）および金属系セパレータ（2テーマ）において、コスト見通しを得るための基礎的生産技術等の実用化技術開発を実施している。

- ・カーボン系セパレータについては、成形時間短縮等の基礎検討を実施した。
- ・金属系セパレータに関しては、コスト見通しを得るためのプロセス改良を検討するとともに実用想定条件下での耐久性検証を開始した。

④次世代技術開発

前年度に引き続き、固体高分子形燃料電池の本格普及期に必要と考えられる要素技術を支える革新的基礎・基盤技術の充実、高性能・低コストな次世代燃料電池のための新規材料の開発等を実施した。また、公募を実施し、新規研究テーマ15件を採択した。

- ・新材料の開発においては、脱白金触媒の開発について、新規なカーボンアロイ触媒および卑金属カーボン複合触媒の開発を行った。また、分子篩炭素を用いた高CO耐性触媒の可能性を検討した。
- ・電解質材料については、新規なイオン液体系電解質膜、炭化水素系電解質材料等の開発に加え、新規なアニオン型電解質材料の開発を行った。
- ・計測評価技術においては、時間分解XAFSによる燃料電池触媒素反応のIN-SITU観察、極細金属線埋込みによる発電セルの水・熱移動挙動の計測、軟X線による水分測定とガルバニ電池による酸素拡散性測定を併用したGDLの性能評価等を検討した。
- ・計算科学による電極反応機構の解析では、第一原理計算による電極/電解質界面のプロトン伝導エネルギー障壁解析、時間分解XAFSデータからの触媒素反応解析、マルチスケールシミュレーションによるセル内水発生・移動メカニズムの解析を行った。

4. 総合評価

①総括

地球温暖化問題解決やエネルギーセキュリティ確保に向け、燃料電池は極めて有効な技術の1つであり、その技術開発の政策的意義は極めて高い。本制度は、固体高分子形燃料電池の高効率化・高信頼性化・低コスト化に向けて、初期導入段階のための実用化技術開発、本格的導入期のための要素技術開発、基礎的・共通的課題の解決を図るための技術開発、革新的技術テーマに取り組む次世代技術開発を一体的、総合的に推進するものであり、SPMによる技術指導やシーズの発掘・育成、研究成果報告会等による積極的な情報発信や研究分野間の連携促進等、適切なマネジメントを行っている。結果、技術成果は着実に得られており、本制度の実施者からも、本制度が燃料電池に係る競争力強化や活性化に大きく貢献しているとの意見が多数寄せられている。

以上から、本制度並びにその運営・管理は妥当と判断し、今後も着実に実施していく。

②今後の展開

本制度による技術成果は着実に出ていく一方、2015年以降の燃料電池自動車の普及初期並びに2020年～2030年頃の本格普及に向け、さらなるコスト低減や耐久性向上等に向けた技術開発を継続していく必要性があり、本制度終了後も引き続き国（NEDO技術開発機構）の関与が必要である。

本年度から平成21年度にかけて本制度の技術成果を整理するとともに、平成22年（2010年）以降の後継事業について取り組むべき具体的な技術開発課題、スキーム等について産業界のニーズ、学術界のシーズ等を踏まえ検討していく。

※ HP掲載の際には、最新の基本計画・実施方針を併せて掲載すること。