

# 平成26年度 制度評価書（事後評価）

作成日

平成27年4月17日

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推進技術開発	コード番号:P10001
担当推進部／担当者	新エネルギー部／大平、江川、金坂、堀内、菊池、高橋、中村、門脇 (平成27年2月時点)	

## 0. 事業概要

### (1) 目的

本事業では、固体高分子形燃料電池(PEFC)の本格商用化に要求される低コスト化・信頼性向上及び国際標準化の推進等に資する基盤技術開発、市場拡大・普及促進等に資する実用化技術開発、革新的な低コスト化・信頼性向上等に資する次世代技術開発を総合的に推進し、PEFCの普及に必要な要素技術を確立すること等を目的とする。

### (2) 事業期間

平成22～26年度(5年間)

### (3) 各研究開発項目の概要

#### ① 基盤技術開発(委託研究)

PEFCの本格商用化に求められるコストダウン、信頼性の向上を実現するためには、これまでに得られた基礎的メカニズムの知見を基に、産学連携またはシステム・材料・部品等の垂直型連携体制によって、燃料電池セルスタックを構成する革新的材料開発を行う必要がある。また、反応・劣化等の詳細なメカニズムを解明して、上記材料開発を支援する解析・計測技術の開発およびセル解析評価の共通基盤技術の開発を行う必要がある。

そこで、格段の低コスト化・高信頼性化を可能とするPEFCの「電解質膜・電極接合体(MEA)」および「電極触媒」に関する革新的かつ実用的な材料の開発を行う。また、反応・劣化等の詳細なメカニズムを解明することで上記の材料開発を支援する解析評価技術の開発およびセル解析評価の共通技術の開発を行う。さらに、我が国の国際市場での優位性の確立に資する国際標準化等を推進する。

(平成22年度に7テーマを採択、平成25年度に1テーマの内容を見直し、2テーマを追加公募で採択)

#### ② 実用化技術開発(助成事業) <テーマ公募型研究>

燃料電池の普及促進・市場拡大を図るためには、市場に広く受け入れられる魅力的な商品化を実現する必要があり、新たな用途の実用化、商品性の向上および低コスト化を推進することが極めて効果的である。そのため、これらに対応した生産技術、高付加価値化技術、安全技術等の実用化技術開発を行うことが必要である。

そこで、燃料多様化技術、多用途・高付加価値システム、低コスト生産技術および安全技術の開発等、PEFCシステムの普及促進・市場拡大に資する実用化技術開発を行う。この場合において、開発成果を

利用した製品・サービスのビジネスモデルも十分考慮したものとする。

(平成 22 年度に 2 テーマ、平成 24 年度に 1 テーマ、平成 25 年度に 2 テーマ、平成 26 年度に 1 テーマの計 6 テーマを採択。)

### ③次世代技術開発(委託研究、共同研究)＜テーマ公募型研究＞

2020 年以降の燃料電池自動車等の本格商用化に求められる PEFC の格段の高信頼性化・低コスト化のためには、現状技術の延長にない次世代技術に関する萌芽的かつ革新的なテーマを捉え、先導的に研究開発を行う必要がある。

そこで、新規電解質材料(電解質膜、アイオノマー)、白金代替触媒および MEA 等の先導的研究開発を行う。ただし、研究開発項目①「基盤技術開発」と重複しない開発とする。

(平成 22 年度に 8 テーマ、平成 25 年度に 5 テーマを採択)

### (4)開発予算(百万円)

	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	合計
基盤技術開発	4,485	3,869	3,916	2,896	2,798	17,964
実用化技術開発	51	57	54	137	159	458
次世代技術開発	121	114	0	125	132	492
合計	4,657	4,040	3,970	3,158	3,089	18,883

## I. 事業の位置付け・必要性(根拠、目的、目標)

### (1)背景・目的

#### ①政策上の位置付け

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub> PM 等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性・性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。

「新・国家エネルギー戦略」(経済産業省、2006 年 5 月)では、新エネルギーイノベーション計画として燃料電池を新たなエネルギー経済を支える基幹技術と位置づけて戦略的・重点的に技術開発や実証を推進するとしている。

「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(経済産業省、2008 年 3 月)では、世界全体の温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減するという目標の下、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅削減を可能とする 21 の革新技術が選定されているが、そのうち民生部門で定置用燃料電池が、運輸部門で燃料電池自動車を選定されている。

「環境エネルギー技術革新計画」(内閣府、2008 年 5 月)では、低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略において定置用燃料電池および燃料電池自動車を開発の必要な技術として位置付けている。

「低炭素社会づくり行動計画」(2008年7月)では、定置用燃料電池について2020～2030年頃にコスト40万円/kW、耐久性9万時間まで向上させ本格普及を目指すとしている。

「新成長戦略」(内閣府、2010 年 6 月)では、燃料電池分野において日本が技術的優位性を有しており、

戦略的な国際標準化を進めるとしている。

「日本再生戦略」(国家戦略室 2012年7月)では、燃料電池自動車などの次世代自動車について世界市場を獲得するため、他国を圧倒する性能・品質を実現し、世界的な潜在市場の掘り起こしを図っている。また、家庭用燃料電池の普及促進を図ると共に、燃料電池の低コスト化及び耐久性・信頼性向上を図るための技術開発を推進することとしている。

「エネルギー基本計画」(経済産業省、2014年4月)では、将来の社会を支える二次エネルギー構造の在り方を視野に入れて、定置用燃料電池(エネファーム等)の普及・拡大や燃料電池自動車の導入支援を積極的に行うとしている。

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(経済産業省、2014年6月)では、2050年までを3つのフェーズに分けており、その第1フェーズにおいて、家庭用燃料電池や燃料電池自動車等、足下で実現しつつある燃料電池技術の活用を拡大し、大幅な省エネの実現や世界市場の獲得を目指すとしている。

このように、「燃料電池」は継続して政策上の重要な技術分野となっている。

## ②研究開発政策上の位置付け

資源に乏しい我が国が将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」が2008年4月に制定された。「エネルギーイノベーションプログラム」は、以下の5つの柱で構成されている。

- a. 総合エネルギー効率の向上
- b. 運輸部門の燃料多様化
- c. 新エネルギー等の開発・導入促進
- d. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
- e. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

本事業で開発対象としている固体高分子形燃料電池(PEFC)は、高出力密度、低温作動等の特徴を活かした燃料電池自動車、定置用コージェネレーションシステム、可搬電源、情報機器用電源等としての普及が期待されており、本事業は、新エネルギー分野でのイノベーションを促進する高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発(上記a,b,cに該当)及び化石燃料の有効かつクリーンな利用(上記eに該当)の施策として、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に寄与するものである。

## ③事業の背景

我が国においては、家庭用PEFCシステムの普及を目指し、2002年度から2004年度まで「定置用燃料電池システム実証研究」が、2005年度より2009年度まで「定置用燃料電池大規模実証研究」がNEDO事業として実施し、日本全国に累計約3,300台の家庭用PEFCシステムの実運転を行い、省エネ性、信頼性、耐久性等を実証した。こうした成果を受け、業界の統一ネーミングが「エネファーム」と定められ、2009年度より経済産業省の導入支援補助金制度の下、世界初の一般販売がスタートした。2014年度9月末までの累計のメーカー販売台数は、約10万4千台に達している。

我が国の主要な燃料電池に関係するメーカー、エネルギー関係企業等が参加する燃料電池実用化

推進協議会(FCCJ)により導入・普及シナリオが策定された。2020年度以降には本格普及期として累積導入250万台以上の市場規模を目指しており、システムメーカー、材料メーカー、エネルギー事業者、住宅供給者等の民間先行投資も加えながら、市場拡大に向けた努力が進められている。

また、内閣府 内閣官房 国家戦略室が発表した革新的エネルギー・環境戦略(2012年9月)では、2030年の本格普及として累計台数530万台以上の市場規模を目指しており、システムメーカー、材料メーカー、エネルギー事業者、住宅供給者等の民間先行投資も加えながら、市場拡大に向けた努力が進められている。

FCVに関しては、市場への普及を目指し、2002年よりJHFCプロジェクト(水素・燃料電池実証プロジェクト:Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)が経済産業省の直轄事業として開始されており、FCVの公道走行試験や水素ステーションの運用等が行われてきた。その結果、FCVの燃料電池スタックや燃料電池システムの改良が進み、我が国自動車メーカーのFCVの航続距離は500km以上、最高速度150km/h以上となり、性能は内燃機関車と遜色ないレベルに到達している。

また、2008年7月にFCCJによって、2015年を商用の水素ステーションの設置を開始し、FCVの一般ユーザーへの普及開始を目指す年と位置付ける普及シナリオが発表され、さらに、2010年7月には、このシナリオをさらに発展させたものとして、2025年にはFCV累計200万台程度、水素ステーションを1,000箇所程度普及させていくというシナリオが発表されている。

さらに2011年1月には、自動車メーカー及び水素供給事業者13社が2015年からFCVの量産車を販売するとともに、これらFCVの販売に先立ち、エネルギー事業者が4大都市圏を中心として100箇所程度の水素ステーションを先行的に整備することを目指していくという共同声明の発表を行った。

2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画(第4次)」において、水素が将来の二次エネルギーの中核として位置づけられた。本計画では、水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会(水素社会)を目指した取り組みを加速することがうたわれ、“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定が示された。2014年6月23日には、経済産業省から水素エネルギーの製造、輸送・貯蔵、利用の各段階で目指すべき目標とその実現のための産官学の取り組みをまとめた「燃料電池・水素戦略ロードマップ」が公表された。

2014年12月15日にはトヨタからFCVの、「MIRAI」が日本国内で発売された。

以上のように家庭用燃料電池(エネファーム)を世界に先駆けて商用化する等、着実にPEFCに関する研究成果を上げているものの、更なる普及に向けては耐久性・信頼性の向上に加え大幅な低コスト化が不可欠であるとともに、国際的な市場拡大に向けた取り組みも必要である。また燃料電池自動車においても2015年の普及初期に向けて、各社で研究開発が進められているが、市場投入、さらには本格普及に向けては耐久性・信頼性を確保したうえで大幅な低コスト化を実現していくことが不可欠となる。

海外における取り組み状況としては、米国では出力が数kWから数十kWのフォークリフト、非常用電源等で数kWのPEFCが市場へ投入されつつある。また、FCVについてはカリフォルニア州の燃料電池パートナーシップを中心に実証試験が継続されており、2014年12月時点で10カ所の水素ステーションがオープンし、2016年までに68カ所の水素ステーションが必要で、2017年までに53,300台のFCVの導入を見込んでいる。米国エネルギー省(DOE)は水素・燃料電池に関する支援を材料の基礎研究から燃料電池システムや水素製造、供給までも含む広い範囲で継続して実施しており、水素・燃料電池に対する強い期待が伺える。(2010年 \$174M、2011年 \$98M、2012年 \$104M、2013年 \$96M、2014年 \$93M )

欧州では、2008年から2013年にかけて燃料電池・水素のEUプロジェクト(FCH JU)により燃料電池の研究開発が進められ、本プロジェクトには4億5000万ユーロ(2008～2013)の予算が投入された。2014年からは新たにFCH-JU2として新たなプロジェクトとが実施されている。EUプロジェクトとは別に、ドイツ政府は4省(交通建設住宅省、経済技術省、環境省、教育省)が協力した水素・燃料電池技術革新プログラム(NIP)を立ち上げ、官民がリスク負担し、FCV・水素エンジン車および水素供給インフラの技術開発、実証、規格・標準化等を推進している。また、2009年9月には、自動車メーカーと水素供給インフラ会社等が参加してドイツにおいて2015年以降のFCV市場普及のための水素ステーションインフラの整備拡大を目指したコンソーシアムが立ち上がり継続した活動を行っている。

このように燃料電池自動車についても我が国と同様に2015年以降の一般普及を目指して活発に研究開発がおこなわれており、我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。

定置用燃料電池の国際標準化については、1998年10月にIECの中に燃料電池発電技術の標準化に関するTC105(Technical Committee 105:第105専門委員会)が設立され、2014年現在では12のWorking Group(WG)が活動中である。我が国は全体議長、および6WGで主査(コンビナ)を務めるなど、主導的な役割を果たしており、エネファームなどのJIS規格の、国際規格への展開を図っている。

燃料電池自動車に関しては、普及開始に向けて必要となる国際標準は一通り揃いつつある段階になっている。またこの過程において日本は客観的なデータ蓄積に基づき標準案を提案するなどにより、主導的な役割を果たしてきている。次のステップとしては、燃料電池自動車の本格普及に必要な国際標準の整備を進めていく段階となる。

水素インフラの国際標準化については、1989年11月にISOの中に水素エネルギー技術の標準化に関するTC197(水素技術)が設立されている。そして2010年12月までに11のWGが設置され、国際標準作成を終了したWGもあるが、継続した活動を続けている。

#### ④目的

本事業では、以上のような動向や今までの実施事業の結果、成果を踏まえ、PEFCの本格商用化に要求される低コスト化・信頼性向上および国際標準化の推進等に資する基盤技術開発、市場拡大・普及促進等に資する実用化技術開発、革新的な低コスト化・信頼性向上等に資する次世代技術開発を総合的に推進し、PEFCの普及に必要な要素技術を確立することを目的とする。

PEFCに求められるコストダウン、信頼性の向上を実現するためには、

- 1) 実用化に向けた低コスト・耐久信頼性・性能向上の課題解決および、さらなる低コスト・性能向上・耐久信頼性向上を実現するための材料設計、燃料電池設計の設計指針につなげる燃料電池反応・劣化の詳細なメカニズムを解明する計測・解析技術開発
- 2) これまでの事業で得られた実用化に向けた課題を踏まえ、用途を広げ市場拡大に資する燃料電池システム開発、
- 3) 格段の低コスト化・高耐久信頼性を実現可能とするPEFCの「電解質膜・電極接合体(MEA)」および「電極触媒」に関する革新的かつ実用的な材料の開発を行う必要がある。

2010年4月改定の「NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」に記載されたFCV用PEFC

のロードマップや、定置用燃料電池システム用 PEFC のロードマップにおいて 2015 年頃の定置用の普及期、FCV の普及開始に向けた短期の技術課題、2020 年頃からの定置用の普及拡大期、FCV の普及期に向けた長期の技術課題に対応した技術開発を行い、技術確立を目指す必要がある。また、2014 年 6 月には、経済産業省の水素・燃料電池戦略協議会で策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」も公開され、PEFC 燃料電池に期待される目標も掲げられた。

本事業においては、上記を踏まえ、それぞれの課題実現時期も考慮し、適切な実施方策を加味したプロジェクト設定を行うことにより、PEFC の普及に必要な要素技術等の確立を目指す。

### ⑤NEDO 関与の必要性

「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」に示されているように、本事業での取り組みは短期的な目標だけでなく、中長期をにらんだ PEFC の本格普及を目指したものであり短期間で完成できるものではない。

また、NEDO では、「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」(平成 17 年度－21 年度)、において燃料電池、における劣化現象の解明、電解質膜、電極触媒の性能向上、定置用改質触媒等の開発を行った。「燃料電池先端科学研究事業(METI 事業)」(平成 17－19 年度)と引き続き実施した「燃料電池先端科学研究事業」(平成 20－21 年度)においては、燃料電池の反応・劣化現象のミクロな解明を行うための、新規の計測・解析技術開発を推進してきている。定置用燃料電池技術についても「定置用燃料電池大規模実証研究事業」(平成 17－20 年度)において、実用化に向けた課題抽出を行った。本事業では、これら関係する複数のプロジェクトの成果等を踏まえ、技術的な発展性も考慮し、総合的な判断の下、「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」に示されている短期的目標、中長期の目標達成に向けた開発を推進する必要がある。

また、低コスト・高耐久化は複数の大学研究機関等の学術的知見も結集して行う必要のある複雑かつ高度な研究であり、短期間で成果の適用が求められる民間企業単独では行い得ず、コスト的にも負担し難いものであり、国が関与しなければ、この分野の取り組みが行われぬか又は大きく遅延する恐れが高い。

一方、平成 21 年度に実施した(前倒し)事後評価委員会をはじめ学术界・産業界からは、2015 年以降の燃料電池自動車の普及初期並びに 2020～2030 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国が継続して行う必要性について提言を受けた。

従って、成果の適用が短期間から中長期に渡る期間的な広がりを持ち、かつ、研究開発フェーズの異なるテーマを取りまとめ、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトを推進するためには、産学連携コンソーシアムのマネジメント実績のある NEDO の関与が不可欠である。

なお、FCV・水素インフラおよび定置用燃料電池はこれまでにない製品・エネルギーの普及であることから技術開発に留まらず、技術実証、制度の整備(規制見直し)、標準化が必要であり、NEDO はこれらプロジェクトを産学官協調の下、一体的・総合的に推進している。

### ⑥経済効果

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で水素・燃料電池関連の市場規模は、日本国内だけで 2030 年に 1 兆円程度、2050 年に 8 兆円程度に拡大するとの試算が示されている。2013 年に(株)富士経済が実施した国内市場規模の予測によると、2025 年の市場規模は家庭用 PEFC が約 226 億円、燃料電池自

動車が約 1 兆円)と予測されている。

以上のように、燃料電池の市場規模は今後の大幅な拡大が見込まれその経済効果への期待は大きい。

### ⑦CO<sub>2</sub>削減効果

平均的な電力需要の一般家庭に PEFC システムを設置した際の CO<sub>2</sub>削減量は約 1.2 トン-CO<sub>2</sub>/年となる。これに上記した 2025 年の家庭用 PEFC の導入台数 70 万台/年を当てはめると、年間 84 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。また、FCV の CO<sub>2</sub>削減量は 1 台あたり約 2 トン-CO<sub>2</sub>/年となり、2025 年の FCV の導入台数 45 万台/年を当てはめると、年間 90 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

尚、「2009 年度 定置用燃料電池大規模実証事業報告書」では、約 1.33 トン-CO<sub>2</sub>/年、であり、「2013 年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)からの 2025 年の家庭用 PEFC の導入台数 60 万台/年を当てはめると、年間 80 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果となる。また、2014 年度の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」より、600 万台普及時の CO<sub>2</sub>削減量が約 390~760 万トン/年であることから、2025 年の FCV の導入台数 45 万台/年を当てはめると、年間 29~57 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果となる。

以上のことから、また、上記内容に関して外部有識者から、「民間企業単独ではコスト的にも技術難易度的にも実施し難いプロジェクトを NEDO がコントロールして産学連携を推進することは必要であり、本格普及に向けての貢献は大きい」等のコメントを受けていることから、NEDO で本事業を実施することは妥当と考えられる。

### (2)目標

本事業の目標は、基本計画において以下のように定めている。

自動車用燃料電池システム 車両効率	:60%LHV* <sup>1</sup> (10・15モード)
耐久性	:5,000時間
作動温度	:−30℃~90–100℃
スタック製造原価	:1万円/kW
定置用燃料電池システム 発電効率	:33%HHV* <sup>2</sup>
耐久性	:6万時間
作動温度	:80~90℃
システム価格* <sup>3</sup>	:50~70万円

(10万台/年/社 生産ケース)\*<sup>4</sup>

\*1:低位発熱量基準(Lower Heating Value)

\*2:高位発熱量基準(Higher Heating Value)

\*3:システム価格は、1kW 級家庭用燃料電池システムのメーカー出荷額を示す。

\*4:想定生産数はシステム価格試算のための仮定であり、市場規模ではない。

2014 年度(平成 26 年度)末において、基盤技術開発および実用化技術開発においては、上記目標

値の実現に資する要素技術を確立することとする。これらの目標値は、前記「I. 事業の位置付け・必要性について」に記載した我が国における PEFC の市場導入シナリオ、技術開発ロードマップ、海外技術の動向等から総合的に判断して決定した。すなわち、自動車用燃料電池システムの目標値は燃料電池自動車の普及開始に必要なスペックであり、定置用燃料電池システムの目標値はエネファームが自立的に本格普及するために必要なスペックとした。

一方、次世代技術開発においては、より将来的な目標として、最高作動温度 100℃以上またはスタック製造原価 4,000 円/kW 等を見通せる成果を得ることを目指す。

以上のことから、また、上記内容に関して外部有識者から、「本目標が達成できれば、我が国の国際的な技術の優位性が確保できるため、国が支援する必要性の高いプログラムである。」等のコメントを受けていることから、目標についても妥当と考えられる。

一方で、5 年前に掲げたチャレンジングな目標に対し、見かけ上計画通りに進捗したテーマの開発物であっても、目標数値を追い求める余り、限られた条件でのみ性能を発揮し、実機搭載にはさらなる開発を継続すべき開発物も散見された。5 年前に掲げた数値目標が、現在の技術ニーズの進化に対して適合しなくなっている点も否めず、後継事業においては、基盤技術開発／実用化技術開発／次世代技術開発という枠組み見直しや、進捗状況や社会状況を反映して目標を見直すことも検討すべき、との指摘もあった。

## II. 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>

本事業では、ニーズ・シーズを取り込んで、短期から中長期までの幅広い実用化時期を対象に戦略的かつ効率的な制度設計を行うため、事業の目的と内容に応じ、①基盤技術開発、②実用化技術開発、③次世代技術開発の 3 つの枠組みを設定した。それぞれ、①基盤技術開発は、PEFC の本格商用化に要求される低コスト化・信頼性向上及び国際標準化の推進等に資すること、②実用化技術開発は、市場拡大・普及促進等に資すること、③次世代技術開発は革新的な低コスト化・信頼性向上等に資することを目的とした。これらを総合的に推進することにより、PEFC の普及に必要な要素技術を確立することを目的として実施した。

以下に①②③の概要を説明する。

#### ①基盤技術開発(委託研究)

PEFC の本格商用化に求められるコストダウン、信頼性の向上を実現するためには、これまでに得られた基礎的メカニズムの知見を基に、産学連携またはシステム、材料・部品等の垂直型連携体制によって燃料電池セルスタックを構成する革新的材料開発を行う必要がある。また、反応・劣化等の詳細なメカニズムを解明して、上記材料開発を支援する解析・計測技術の開発およびセル解析評価の共通基盤技術の開発を行う必要がある。

そこで、格段の低コスト化・高信頼性化を可能とする PEFC の「電解質膜・電極接合体(MEA)」および「電極触媒」に関する革新的かつ実用的な材料の開発を行った。また、反応・劣化等の詳細なメカニズムを解明することで上記の材料開発を支援する解析評価技術の開発およびセル解析評価の共通技術の開発を行った。さらに、我が国の国際市場での優位性の確立に資する国際標準化等を推進した。

上記観点に基づき、当機構が下記に示す 7 つの具体的技術課題を設定した上で公募を行い、産学連携コンソーシアム形式により研究を推進した。実施期間は(テーマb)のみ平成 22～24 年度の 3 年間、他は平成 22～26 年度の 5 年間の予定で開始した。

テーマbについては、定置用燃料電池システムの低コスト化のための技術開発として電解質膜、電極触媒、改質触媒の開発を実施した。前倒し事後評価の結果と産業界の要望を受け、電解質膜の開発については初期の目標を達成したため平成 24 年度で終了とし、定置用燃料電池システムに特有の改質システムに関する技術開発について、平成 25 年度に公募を行い、実施内容を精査して、2 テーマに関して 2 年間実施した。

- a. 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
- b. 定置用燃料電池システムの低コスト化のための MEA 高性能化(平成 22～24 年度)
  - ①高耐久性 CO メタン化触媒の開発 (平成 25～26 年度)
  - ②高濃度 CO 耐性アノード触媒の開発 (平成 25～26 年度)
- c. 低白金化技術
- d. カーボンアロイ触媒
- e. 酸化物系非貴金属触媒
- f. MEA 材料の構造・反応・物質移動解析
- g. セル評価解析の共通基盤技術

上記基盤技術7テーマは、その技術的検討範囲が広く、かつ参加企業・研究機関も多数であるため、プロジェクトリーダー(PL)をテーマごとに委嘱した。PLは、各テーマの参加企業・研究機関が決定した後に、プロジェクトの統一かつ効率的な推進を行う上で最適な、当該分野に深い造詣を持つ第一人者を任命した。

なお、基盤研究開発は、基礎的な技術検討を含み、参加企業・研究機関にとって高リスクな技術開発項目であるため、全額を NEDO が負担する委託事業として実施した。

## ②実用化技術開発(助成事業)＜テーマ公募型研究＞

燃料電池の普及促進・市場拡大を図るためには、市場に広く受け入れられる魅力的な商品化を実現する必要があり、新たな用途の実用化、商品性の向上および低コスト化を推進することが極めて効果的である。そのため、これらに対応した生産技術、高付加価値化技術、安全技術等の実用化技術開発を行うことが必要である。

そこで実用化技術開発では、燃料多様化技術、多用途・高付加価値システム、低コスト生産技術および安全技術の開発等、PEFCシステムの普及促進・市場拡大に資する実用化技術開発を行った。この場合において、開発成果を利用した製品・サービスのビジネスモデルも十分考慮した。

上記観点に基づき、本研究開発は、燃料電池の普及促進・市場拡大に資するテーマを幅広く取り入れる必要があるため、テーマ公募型研究として実施し、平成24年度までに 3 テーマ、平成 26 年度までに追加で 5 テーマを採択した。

なお、実用化技術開発は、実用化に近いフェーズの技術を企業責任で事業化を目指すものであること等から、研究開発費の 1/2 を NEDO が負担する補助事業として実施した。

### ③次世代技術開発(委託研究、共同研究)〈テーマ公募型研究〉

2020年以降の燃料電池自動車等の本格商用化に求められるPEFCの格段の高信頼性化・低コスト化のためには、現状技術の延長にない次世代技術に関する萌芽的かつ革新的なテーマを捉え、先導的に研究開発を行う必要がある。

そこで、次世代技術開発においては、新規電解質材料(電解質膜、アイオノマー)、白金代替触媒およびMEA等の先導的研究開発を行った。ただし、研究開発項目①「基盤技術開発」と重複しない開発とした。

上記観点に基づき、本研究開発は、幅広くシーズを取り入れるため、テーマ公募型研究として実施し、平成22年度に8テーマを、平成25年度に5テーマを採択した。

なお、次世代技術開発は将来的に有望なシーズ技術の育成を目指すものであり、大きな開発リスクを負うことから、基本的には全額をNEDOが負担する委託事業として実施している。ただし、企業単独のテーマにおいては、受益の大きさを考慮して応分の負担を求めるものとし、2/3補助で行う場合もある。

上記①、②、③の全体体制を図Ⅱ-1に示す。また、年度別予算を表Ⅱ-1に示す。

平成22～26年度の事業全体の予算は約188億円であり、そのうち179億円は基盤技術開発に重点的に配分し、PEFCの本格商用化に向けた技術課題解決につなげる。中でも、燃料電池関連の世界的研究拠点となりえる山梨大学や最先端の評価計測設備となる時空間分解X線吸収微細構造(XAFS)計測技術の確立等に対して重点化している。

このように、本事業はニーズ・シーズを取り込んで、短期から中長期までの幅広い実用化時期を対象に戦略的かつ効率的な制度設計を行っていること、また、上記内容に関して外部有識者から、「基盤、実用化、次世代と、目的と内容に応じて3つの枠組みを設定し、更にそれぞれに対し解決すべき技術課題を分類することにより、きめ細かな対応が取れるように工夫されている。」等のコメントを受けていることから、制度の枠組みについて妥当と考えられる。また各フェーズのテーマ設定は、社会情勢に適応しており、適切であったと評価されている。

さらに、審査基準は公募要領に明示しており、審査委員の氏名等も採択テーマ公表時に併せて公表しており、透明性も確保されていると判断する。

基 盤 技 術 開 発	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 山梨大学、(株)カネカ、(株)東レリサーチセンター、富士電機(株)、田中貴金属工業(株)、(株)島津製作所、パナソニック(株)	実 用 化 技 術 開 発	天然ガス燃料組成変動による燃料電池システムへの影響評価及び耐久性向上に係る研究開発 パナソニック(株)、東芝燃料電池システム(株)、(株)ENEOSセルテック
	定置用燃料電池システムの低コスト化のためのMEA高性能化 パナソニック(株)、東京瓦斯(株)、JSR(株)、日本ゴア(株)、旭化成イマテリアルズ(株)、旭硝子(株)、住友化学(株)、東レ(株)、(株)ENEOSセルテック、東芝燃料電池システム(株)、JX日鉱日石エネルギー(株)、出光興産(株)、日揮ユニバ-サル(株)、山梨大学、筑波大学、北海道大学、(独)産業技術総合研究所、東京大学、成蹊大学、大同大学、東京工業大学		自立型燃料電池システムに関する研究開発 (株)ENEOSセルテック、JX日鉱日石エネルギー(株)、東京瓦斯(株)
	高活性・高耐久性・低S/C燃料改質触媒の開発と評価 山梨大学		自立型燃料電池システムの技術開発 東芝燃料電池システム(株)
	低白金化技術 同志社大学、千葉大学、大阪府立大学、京都大学、(株)豊田中央研究所、東北大学、信州大学、東芝燃料電池システム(株)、九州大学、(株)東レリサーチセンター、日産自動車(株)、アイシン精機(株)、石福金属興業(株)		極限構造化した炭化水素系高分子電解質の包括的研究開発 上智大学
	カーボンアロイ触媒 東京工業大学、東京大学、筑波大学、北陸先端科学技術大学院大学、東レ(株)、旭化成ケミカルズ(株)、帝人(株)、東芝燃料電池システム(株)		自動車用高温対応新規炭化水素系電解質膜の研究開発 東レ(株)
	酸化物系非貴金属触媒 横浜国立大学、北海道大学、日本電気(株)、日産自動車(株)、住友化学(株)、太陽化学(株)、凸版印刷(株)、旭硝子(株)		微細孔内精密マイクロ構造制御と界面高速プロトン伝導現象を用いた広温度・無加温型PEFCの開発 東京工業大学
MEA材料の構造・反応・物質移動解析 技術研究組合FC-Cubic、(独)日本原子力研究開発機構、電気通信大学、自然科学研究機構分子科学研究所、北海道大学、北陸先端科学技術大学院大学、京都大学、東京工業大学、東北大学、東京大学、上智大学	広い温度範囲で無加温運転が可能な固体高分子形燃料電池の電解質および電極設計 横浜国立大学		
セル評価解析の共通基盤技術 東京工業大学、大同大学、立命館大学、(財)日本自動車研究所	アニオン伝導無機層状酸化物型燃料電池の開発 北海道大学、富士電機(株)、(株)三徳		
	シリカでの被覆を応用したPEFC用新規非Pt系カソード触媒の開発 九州大学	次 世 代 技 術 開 発	固体高分子電解質膜の高感度劣化評価システムの研究開発 大阪大学
	次世代電解質膜の劣化特性評価シミュレータの開発 東北大学		

(中間評価まで)

基 盤 技 術 開 発	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 (Hyper-FCプロジェクト) PL: 山梨大学 渡辺氏 山梨大学、(株)カネカ、(株)東レリサーチセンター、富士電機(株)、田中貴金属工業(株)、(株)島津製作所、パナソニック(株)	実 用 化 技 術 開 発	自立型燃料電池システムの技術開発 東芝燃料電池システム(株)
	定置用燃料電池システムの低コストのためのMEA高性能化 (a)高濃度CO耐性アノード触媒の開発 山梨大学、北海道大学、産業技術総合研究所、信州大学、東北大学 (b)高耐久性CO選択メタン化触媒の開発 パナソニック(株)、山梨大学、三井金属鉱業(株)、東京濾器(株)		定置用燃料電池システムの低コスト化を実現する高性能電解質材料の実用化技術開発 旭化成イマテリアルズ(株)
	低白金化技術 PL: 同志社大学 稲葉氏 同志社大学、千葉大学、大阪府立大学、京都大学、(株)豊田中央研究所、東北大学、信州大学、東芝燃料電池システム(株)、九州大学、(株)東レリサーチセンター、アイシン精機(株)、石福金属興業(株)		直接塗工法を用いた低コストMEA量産製造装置の技術開発 大同大学、大日本スクリーン製造(株)
	カーボンアロイ触媒 東京工業大学、東京大学、筑波大学、東レ(株)、旭化成ケミカルズ(株)、帝人(株)、東芝燃料電池システム(株)		固体水素燃料電池を用いた充電機能付き非常用電源の開発と実証 ローム(株)、アクアフェアリー(株)、京都大学
	酸化物系非貴金属触媒 PL: 横浜国立大学 太田氏 横浜国立大学、北海道大学、住友化学(株)、太陽化学(株)、凸版印刷(株)、旭硝子(株)、(株)日産アーク		欧州向け家庭用燃料電池の商用機開発とシステム検証 東芝燃料電池システム(株)
	MEA材料の構造・反応・物質移動解析 PL: 技術研究組合FCCubic 長谷川氏 技術研究組合FC-Cubic、電気通信大学、自然科学研究機構分子科学研究所、北海道大学、北陸先端科学技術大学院大学、京都大学、東京工業大学、東北大学、東京大学、上智大学		車載用革新的フッ素系新規電解質膜に関する研究開発 旭化成イマテリアルズ(株)
セル評価解析の共通基盤技術 PL: 大同大学 大丸氏 東京工業大学、大同大学、立命館大学、(財)日本自動車研究所	低加湿下作動型新規ナノファイバー含有電解質超薄膜の研究開発 首都大学東京、日本バイリーン(株)	次 世 代 技 術 開 発	スルホン酸基密度の最適設計と複合化による機能分担設計により、PEFCの高性能化と高信頼性を両立する新規炭化水素系電解質膜の研究開発 東洋紡(株)
	高信頼性炭化水素系電解質膜の研究開発 東レ(株)		高効率・低貴金属の固体高分子燃料電池型水素製造セルの研究開発 山梨大学、神鋼環境ソリューション(株)

(平成 26 年度体制)

図 II-1 本事業の全体体制図

表Ⅱ-1 開発予算(再掲)

	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	合計
①基盤技術開発 (委託)	4,485	3,869	3,916	2,896	2,798	17,964
②実用化技術開発 (1/2 助成)	51	57	54	137	159	458
③次世代技術開発 (委託または 2/3 補助)	121	114	0	125	132	492
合計	4,657	4,040	3,970	3,158	3,089	18,883

<テーマの採択審査>

外部専門家による事前審査において、本事業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、厳正かつ公平である。

<制度の運営・管理>

①事業全体に関して

NEDO は、経済産業省及び、各テーマのプロジェクトリーダー(基盤技術開発のみ)と密接な連携を持って、目的及び目標に照らし、適切に運営管理することを目指している。

本事業を推進していく上で、PEFCの市場ニーズの把握と今後の開発課題を明確にするため、企業や FCCJ 等の各種業界団体と適宜情報交換を行い、市場ニーズや今後の開発課題について理解するとともに、2010年に改訂したNEDO燃料電池・水素ロードマップを活用して現事業の運営が妥当であるかを確認した。

さらに、海外の技術動向についても把握するため、NEDO 担当者、もしくは実施者が海外動向の把握に努めると共に、調査結果を広く普及するため、調査報告会の開催も行った。

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込む観点から事業全体の研究成果報告会を毎年実施した。

なお、「基盤技術開発」、「次世代技術開発」においては、テーマ毎に実施内容や直面する技術課題に対して、多面的な意見を収集、実施内容改善の参考とすることを目的として、NEDO が委嘱した技術委員(専門知識を有する第三者)による技術委員会を設置し、進捗の確認を行うとともに、必要に応じて実施内容の改善を行った。その技術委員の中には、メーカーサイドの意見を含めるために自動車メーカー等の技術担当者を入れている。「実用化技術開発」については、民間企業の事業戦略に基づき事業化を目指すものであるため、技術委員会の設置はしていない。ただし、成果発表会や訪問での聴取など定期的に進捗を確認した。

各テーマの中間評価および事後評価では、専門的な外部有識者の意見を取り入れた。本事業下で実施したテーマの技術は着実に進歩しており、最終成果だけでなく事業の過程で得られた知見も評価委員会においても高い評価を得ている。

## ②基盤技術開発における産学連携コンソーシアム形式のテーマについて

テーマ毎に実施内容や直面する技術課題に対して、外部の技術・産業分野から多面的な意見を収集し、実施内容改善の参考とすることを目的として、NEDO が委嘱した技術委員(専門知識を有する第三者)による技術委員会を設置した。技術委員の選定については、技術的・実用的観点を加味して、適切な指導・助言を行うことで、研究開発の加速につながる様、企業や大学、業界団体等のバランスを配慮した上で、各テーマに適した委員を選定した。テーマ毎の技術委員会を年2回開催して、進捗の確認を行い、必要に応じて実施内容の改善を行った。

技術委員会では、立ち上げ初年度を除き、実質1年程度ではあるが、例えば以下のような指摘を受けて、テーマ毎の研究計画等に反映させた(表Ⅱ-2)。

表Ⅱ-2 技術委員会での指摘とその対応

対象 テーマ	指摘内容	NEDO の対応	対応による効果
MEA 材 料の構造・ 反応・物 質移動解 析	24 年度の XAFS の 新ビームライン完成 後の有効活用に向け た対応を検討するこ と。	産業界のニーズを取り入れるため、 自動車会社をメンバーに入れ XAFS 技術委員会を立ち上げ、検 討を開始。	自動車会社から他テーマとの連携も 含めた、新ビームラインで解析すべき 実験内容の提案をもらい、試験計画の 作成に着手した。
低白金化 技術	ブルックヘヴン基礎 特許を回避できる、 知財権利化の方法を 検討すること。	次回の技術委員会までに回答作 成を依頼。実施者と共に対策検討 会を開催し、状況の整理と対応策 を議論した。	当該特許が米国限定であること、製造 特許等で対抗できる可能性を見い だし、実際に Pt シェル構造最適化法等 を出願。また、BNL 特許に抵触しない One-Pot 合成方法等の検討を実施。
セル評価 解析の共 通基盤技 術	水素中不純物に関 する国際規格は自動 車メーカーとして非 常に重要視してい る。	水素循環用燃料電池発電評価装 置を日本自動車研究所に追加導 入し、研究開発の加速を図った。 実施体制強化のため、大同大学を 加えた日本自動車研究所との共同 実施体制に変更した。	FCV の実際のシステムと運転パター ンを考慮した発電試験で、CO の被 毒・回復現象を明らかにし、現象支配 要因の影響を示した。これにより、ISO 規格改定を日本が主導できる技術 データの蓄積ができた。
セル評価 解析の共 通基盤技 術	1cm角セルのセル構 造を評価の位置づけ を明確にして、必要 なら構造を見直すべ き。	1cm角セルの目的が、新規少量材 料を評価することであることより、 100%加湿下でもセル評価可能な 1cm角セルを開発する様、指示し た。	セルの溝構造を検討し、従来の、直線 型からサーペンタイン型に変更する ことで、新規少量材料の初期評価に必 要な 100%加湿下での試験が可能と なった。
セル評価 解析の共 通基盤技 術	他テーマとの連携 について、材料提供者 にメリットが解るよう な連携スキーム/仕組 みの構築を行うべき。	MEA 評価手法や、本評価による 材料提供者への貢献内容を記載し た材料開発テーマとの連携に係る 冊子を作成する様、指示するととも に、資料内容について指導・助言 を行った。	小冊子「セル評価解析プロトコル」を発 行・配布した(日本語版、英語版)。本 資料に基づいて打合せを行うことで、 スムーズな連携につながった。 また、MEA 作製マニュアル、触媒解 析マニュアルを作製し、MEA 化の工 数削減につながる指針を示した。
酸化物系 非貴金属 触媒	酸化物触媒のメカニ ズムの解明を行うべ き。	評価解析グループの日産アークに 指示すると共に、結果の確認を 行った。	間接的ではあるが、酸素欠損が活性 点であることを示せた。また、「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」の 放射光を用いた試験を行うきっかけに もなった。
酸化物系 非貴金属 触媒	水素と空気とで性能を 測ること。 5000 時間と 60000 サイクルの性能も明 確にすること。	自動車用触媒としての特性を出す という目標の再確認を PL も交えて 行い、MEA 評価は酸素/水素で はなく、空気/水素も行うことを促し た。	MEA 評価グループの凸版印刷、旭 硝子において、左記評価を行い、その 値を示し、課題を明らかにすることが 出来た。
カーボン アロイ触媒	研究フェーズに合わ せた目標の見直しを 行う。 N や Fe の関与、メカ ニズムを明確に。	設定目標値の達成にこだわらず、 反応メカニズム解明のための触媒 中量生産、モデル触媒製作など、 開発 Gr と解明 Gr の連携を依頼。	反応メカニズム解明が進み、k <sub>2</sub> ステ ップは N が関与、k <sub>3</sub> ステップは FeNx が活性点の可能性が高いことを見い だした。

テーマ毎のマネジメントとして、技術委員会の指摘に応じ加速予算を投入し、量産化を見据えた委託先や高度な評価解析が可能な委託先の追加公募を行い、必要な評価体制を構築するなど、技術進捗に応じた実施体制の対応を行った。これらの対応により、開発スピードを維持しながら、メカニズム解明にも注力できる体制を整えた。

「セル評価解析の共通基盤技術」(以下、「セル評価」テーマ)では、ユーザーである自動車メーカー・材料メーカーで共有化し使えるセル評価手法とするため、技術委員会とは別でテーマ内に自動車会社のエキスパートおよび FCCJ によるステアリング・ワーキングを設置した。本ワーキングの定期的な開催によりユーザー企業の意見を常に反映する機会を提供することで、自動車会社の知見を折り込んだセル評価マニュアルが作成できた。

### ③実用化技術開発について

燃料電池の更なる普及促進・市場拡大を図るため、平成 24 年度に追加公募を行い、1 件の採択を行った。本技術開発では、平成 22 年度から 23 年度にかけ、停電対応時に系統電力から自立しての運転が可能な家庭用 PEFC システム及びその要素技術開発を目的として「自立型燃料電池システムに関する研究開発」を実施してきた。しかしながら、今般の東日本大震災等により、非常時あるいは停電時の家庭用電源や、非常用電源としての定置用燃料電池の必要性が高まってきたことがあり、平成 24 年度の追加公募にて、系統停電時に燃料電池システム単独で起動を可能とするための蓄電池を組み込み、より実用化の普及に向けた「自立型燃料電池システムの技術開発」を採択した。また、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で家庭用燃料電池についても世界市場の獲得が目標として示されており、それを受けて、平成 26 年度に追加公募を実施し、「欧州向け家庭用燃料電池の商用機開発とシステム検証」テーマを採択した。

### ④次世代技術開発について

次世代技術開発については、各テーマの実用化に向けた観点を意識し、マネジメントを実施している。例えば、NEDO が設置した技術委員会については、各テーマの実用化可能性や実用化に向けた課題についてより多くの意見を取り入れるため、技術の受け取り手であるユーザー(自動車、定置用)企業から委員を選定している。技術委員会は年 2 回、各テーマの進捗の確認を行い、必要に応じて実施内容の改善を行っている。

先述の 8 テーマは平成 22 年～23 年の 2 年間で実施した。平成 24 年度は、今後、本技術開発で取り組むべきテーマについて、中間評価、事後評価等にて、学会・産業界等の外部有識者と意見交換を行い、現状の技術レベルや解決すべき課題を明確化した上で、次年度以降の実施を検討している。尚、平成 22 年～23 年に実施したテーマについては、得られた成果を活用して、産業界を中心とする実用化に向けた取り組みを模索するとともに、各テーマの事後評価の結果を参考にして、平成 25 年度以降のテーマ化等を検討する予定である。

平成 25～26 年度で取り組んだテーマについては、前期で実施した取組みの反省(目標設定が不十分、技術の中核化に向けたマネジメントが不十分だった)を踏まえ、電解質膜の開発 4 件、PEM 水電解 1 件を実施した。この際、目標設定は実用レベル、次ステップのクライテリアとなるように設定を行い、成果

の受取手が明確になるよう民間企業を参画させる体制で運営した。電解質膜の開発に関するテーマにおいては評価条件を統一し、「セル評価」テーマにおいて共通の耐久性評価を実施することで横並びに到達レベルが評価できるようにし、課題抽出と開発へのフィードバックを行えるよう運営した。

#### ⑤テーマ間の連携について

「基盤技術開発」では、テーマ間の連携強化を目的として、各テーマの PL 全員が出席する PL 会議を平成 22 年度、及び平成 24 年度に実施した。具体的には、各テーマの研究内容について意見交換を行うとともに、各材料開発テーマで開発された新規触媒、電解質膜の[セル評価]テーマでのセル評価実施について、および「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」で当時建設中であった SPring-8 ビームラインの活用方法について意見交換を行った。その結果、例えば、「セル評価」テーマとの連携において、「研究成果」および「知的財産」の取り扱いについては、開発担当側テーマの主体性を尊重して連携を進めていくことで、各テーマ間での合意を得た。本合意により、「セル評価」テーマと材料開発テーマの連携が実現できた。

中間評価においてさらにテーマ間連携を進め、効果的なプロジェクト運営を行うよう指摘をうけ、テーマ毎で実施している技術委員会に他のプロジェクトの PL が相互に参加する運営を行った。開発時の秘密保持も考慮して、材料開発に関するテーマについては評価・解析テーマの PL が参加し、評価・解析テーマには他テーマの PL が参加することとした。これにより技術開発とメカニズム解明を並行して進め、相互に情報を共有することが可能となった。この取り組みについては、テーマ横断的な議論の場を設ける等、NEDO、PL、有識者、実施者が一体となった柔軟なプロジェクトマネジメントとして高く評価された。後継事業における体制立案時にも、実用化に向けた低コスト化や量産化を視野に入れたメーカーの参画について留意し、開発成果の情報共有・連携を図ることが重要であることが示唆された。その際は、ポジティブデータだけでなく、埋もれている数多くのジャンクデータの公表・共有化によるネガティブデータの原因究明等、最終成果だけでなく研究過程での知見の共有も重要であるとの指摘もあった。

以下に具体例を示す。

「低白金化技術」において耐久性向上のための要素技術として検討されていた RuO<sub>2</sub> ナノシートに関して「セル評価」テーマでも別途検討を行い、電池性能の向上に役立つ知見が得られたため、さらなる技術開発の可能性について検討した。

触媒開発テーマ（「低白金化技術」、「カーボンアロイ触媒」、「酸化物系非貴金属触媒」）とセル評価テーマのテーマ間連携に関しては、NEDO 事業等で開発された材料を系統的（統一的）な評価手法で評価すること、また、得られた結果を材料開発者にフィードバックし、材料開発の加速につなげることを目的とした。具体的には、各触媒開発テーマで開発した新規触媒について「セル評価」テーマで実セルでの評価解析を行っている。今後も継続的な連携により、各新規触媒の系統的な評価解析を行うとともに、評価結果を各実施機関へフィードバックし、触媒開発の加速につなげる。本連携を円滑に進めるため、NEDO は各触媒開発テーマと「セル評価」テーマとの連携打合せを主催し、各機関の要望を踏まえ、連携を進める様に促した。また、連携の進捗を随時把握し、秘密保持契約の締結や、材料の提供方法や提供時期に関して調整を行った。

その結果、第三者機関として、各テーマでの評価結果が適切であることを確認するとともに、材料開発の課題を提示した。具体的例として、「低白金化技術」には、コアシェル触媒 MEA 化時の金属イオン溶出抑制方法、「カーボンアロイ触媒」には、実運転に近い環境での耐久性についてフィードバックを行っ

た。

一方、「酸化物系非貴金属触媒」と「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」解析連携も実施した。具体的には「酸化物系非貴金属触媒」で開発された酸化物系触媒を「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」で開発した SPring-8 ビームラインをもちいた HAXPES 解析を行いその活性メカニズムの解明の一助となっている。

「定置用燃料電池システムの低コスト化のための MEA 高性能化」(以下、「定置用」テーマ)で開発された電解質膜開発の加速を目的として、「定置用」テーマで開発した電解質膜の評価を「セル評価」テーマで開発した水移動評価装置を用いて行っている。さらに、「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」で実施している触媒層中の物質移動の原理解明加速のため、「セル評価」テーマで開発した集束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)による MEA 断面観察手法を活用し、触媒層の物理構造と物質移動性の関係性の解明に活用した。

「次世代技術開発」では、8 件のテーマの内、6 件の材料開発テーマについては、開発した新規材料を系統的(統一的)な評価手法で評価すること、また、実セルでの発電評価により、実用化に向けた課題を明確にするとともに、材料開発の加速につなげることを目的として、「基盤技術開発/セル評価解析の共通基盤技術」との連携を行った。本連携を円滑に進めるため、NEDO は各触媒開発テーマと「セル評価」テーマとの連携打合せを主催し、各機関の要望を踏まえ、連携を進める様に促した。また、連携の進捗を随時把握し、秘密保持契約の締結や、材料の提供方法・時期に関して調整を行った。

その結果、実用化を念頭においた現状レベルの確認と材料開発課題を提示した。具体例としては、「極限構造化した炭化水素系電解質膜の包括的研究開発(上智大学)」より炭化水素系電解質膜(膜厚: 28 $\mu\text{m}$ )の提供を受け、一次評価を実施し、提供を受けた材料はガス透過しにくい電解質膜であることが確認できた。そこで、MEA としての性能向上のため、薄膜化を提案し、再提供を受けた電解質膜(膜厚: 10 $\mu\text{m}$ )の評価を実施したところ、高電流密度側での MEA 性能向上が見られた。

2 件の電解質膜劣化評価手法の開発については、各評価手法の妥当性を確認することを目的として、「HiPer-FC」と連携を実施した。具体的には、「HiPer-FC」において山梨大学で開発した電解質膜やその分子構造情報の提供を受け、各評価手法の検討を行うとともに、得られた結果について、山梨大学で実施した実発電による電解質膜劣化との整合性を確認し、評価手法の妥当性を検討した。本連携を円滑に進めるため、NEDO は、各テーマの進捗状況を随時把握し、連携打合せを主導した。また、テーマ終了時には、次世代技術開発 2 機関(東北大学、大阪大学)と山梨大学の連携打合せを主催し、各評価手法の妥当性と今後の研究開発の方向性について議論を行った。その結果、東北大学で実施していた「固体高分子電解質膜の高感度劣化評価システムの研究開発」については、本手法が山梨大学で実施している電解質膜の開発に有効であるため、平成 24 年度から「HiPer-FC」において活用されている。

平成 25 年度から実施した「次世代技術開発」での電解質膜開発テーマ 4 件においては、「基盤技術開発/セル評価解析の共通基盤技術」と連携を実施した。具体的には、次世代技術開発で開発された電解質膜を「セル評価」テーマにもちこみ、MEA 化、単セルとしての評価を実施、横並びの評価を行うことで、各機関、技術の現在のポテンシャルを一律に評価、課題などを抽出し各実施期間にフィードバック

をかけることができた。

一方、各電解質膜テーマでの成果膜の化学的耐久性については、本事業の前半で行われた「定置用PJ」で策定されたものをベースに定めた方法で行うことを採択条件としていた。しかし、実際に行うと、標準膜である Nafion HP 膜の耐久時間が委託先毎で大きくばらつくことが判明した。このため実施先へのヒアリングを実施し、その結果を含め「セル評価」の PL、大同大担当と議論した結果、原因を推定できた。この結果と対応案を、技術委員会に報告、了承され、各実施機関に横展開をすることができた。これにより、電解質膜に関してより精度のある化学的耐久性試験結果が得られるようになった。

## ⑥実用化に向けたマネジメント

フェーズ毎に最終目標は異なるが、いずれも得られた成果が実用化に結びつくよう、目標設定や運営管理を行った。

基盤技術開発のうち、「HiPer-FC」、「低白金化技術」、「カーボンアロイ触媒」、「酸化物系非貴金属触媒」については、大学等が主体となって研究を進めている材料を早期に実用化できるよう、材料開発メーカーを各テーマに参画（「HiPer-FC」（田中貴金属工業、カネカ）、「低白金化技術」（石福金属興業）、「カーボンアロイ触媒」（帝人、旭化成ケミカルズ）、「酸化物系非貴金属触媒」（住友化学、太陽化学））させ、実用化を促進するテーマ体制を編成した。「低白金化技術」では、コアシェル触媒技術の早期量産化技術の確立が重要と判断し、当初予定を1年前倒して平成24年度に触媒メーカーの追加公募を行い、研究体制に組み込んだ。この結果、100g/バッチの Pt/Pd/C コアシェル触媒の製造に必要な Pd/C の量産技術を開発し、Pt モノレーヤー形成法（改良 Cu-UPD 法）での 10g/バッチまでのスケールアップに成功するなど、量産化目標の達成に大きく貢献する成果を得ている。

実用化フェーズに近い材料については、「セル評価」テーマやユーザー企業での第三者による評価で、実際の適用に向けての課題を明確にする取組みを推進した。この一環で、「HiPer-FC」で開発された触媒を自動車メーカーに提供し、評価を実施し課題を明らかにし、対応を進めた。

定置用テーマでは、電解質膜等を開発する材料メーカーとシステムメーカーが主体となる編成を行い、実用化に向けた開発を推進するマネジメントを実施した。

解析評価技術、反応・劣化メカニズムに係るテーマについては、開発した解析評価技術や、その知見から得られる材料開発指針が広く産業界で活用されることで、新規材料の実用化の加速に貢献することが狙いである。そこで、研究体制としては、大学・研究機関が主体であるが、PL 等をユーザー企業からの出身者とし、産業界の要望を反映した解析評価技術の確立や、材料開発指針が作成可能な体制とした。

実用化技術開発では、各テーマについて定置用燃料電池システムメーカーが主体となり、実用化に資する技術開発を行っている。

また、助成申請時に企業化計画書の提出を受け、実用化時期を確認の上、採択を行った。さらに、事業終了後には、企業化報告書の提出を受けるとともに、必要に応じて追跡調査・バイドールフォローアップ調査を活用して事業化のトレースを行い、実用化につながるようになっている。

## ⑦知財マネジメント

知的財産権(以下、知財)については、各テーマ毎に実施している課題の技術フェーズが基盤的な技術から材料開発の実用化に近い技術までと多岐に渡り、知財マネジメントに対する運営方針が違ってくるため、各テーマの PL を中心に運営・管理を実施した。

例えば、新規材料開発を行う「HiPer-FC」では、特許庁の知財プロデューサー制度を活用して、本テーマ専門の担当者を置いて出願を推進している。また、材料関係でノウハウに関わる部分は特許出願を行わず、強力な特許は国際出願し、効率的に権利確保するように進めた。

また、「カーボンアロイ触媒」では、テーマ内に特許担当者を配置し、特許担当者が会議に参加して、開発された技術の特許化するのが妥当かを判断した上で特許出願を行った。企業が共同出願に合意しない提案は、特許権価値が低いと判断し特許出願を見合わせるなど、有効な特許出願が行えるようマネジメントを行った。特許権の持分等については別途討議し、寄与度に対して持分等が公平になるよう決定した。

一方、「酸化物系非貴金属触媒」では、PJ 内で知財合意書を作ったうえで、各委託先が特許を提出する際、必ず PL を通すことによって、一元的に管理し、各委託先の持分が重ならないように配慮している。また、NEDO 知財マネジメント基本方針についても開示し活用して頂いている。加えて、平成 24 年度までで日本電気が委託先から抜けた後、その日本電気が当時出願した特許等を共同出願者や PL の所属先である横浜国立大学に権利を委譲した。これによって、酸化物系非貴金属で得られた知財を放棄することなく活用するようにしている。

さらに、他テーマ等で開発された電極触媒や電解質膜等の材料をセルで評価を行い、実用化に向けた材料課題の抽出を行う「セル評価」テーマでは、「セル評価」テーマから得た評価・解析結果からは特許出願を行わないというマネジメントを行っている。これにより材料開発機関から特許出願前でもサンプル提供が可能となり、素早いフィードバックを行って開発を促進するとともに、材料提供先の特許出願の推進に結びつけた。

また、「定置用」テーマの不純物影響度予測手法の開発で取得したデータは実用上極めて重要であり、我が国共通の財産として産業界の発展に寄与すると考えられるため、プロジェクト外の利用については、参加委託者間の同意を得た上で、秘匿契約を締結後に開示する運用とした。

## ⑧中間評価の反映

中間評価時、外部有識者から、「NEDO 自身によるプロジェクト全体の取り纏めに加え、各テーマ技術委員会を設置して外部意見を取り入れ、プロジェクト全体の PL 会議などを開催し、その都度進展し事態が変わるプロジェクト全体の整合性を図ってきたマネジメントは、良かったと評価したい。」、「NEDO は経産省、各テーマのプロジェクトリーダーと密接な連携を持って、目的及び目標に照らし、適切にマネジメントしている。」等、制度の運営管理について概ね適切との評価を受けた一方、下記のような指摘も受けており、一部については改善を進めた。

「テーマ間連携は一部で行われているものの、全体的には不足気味である。テーマ間交流を活性化させ、共有できる課題をテーマ間で分担できるようになれば、さらに開発効率が向上すると思われる。」との指摘に関しては、評価、解析テーマと材料開発テーマの間で相互に技術委員会に PL が参加する体制に改めることにより、解析評価手法の相互活用や、新規材料の解析への適用等の促進を進めた。この結果、上述のように、「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」にて開発された触媒層の解析手法を「セル

評価」テーマの解析への適用や、「低白金触媒」で開発された Ru 触媒シートを「セル評価」テーマで解析評価を行い、プロジェクト全体の開発促進につなげた。

「成果を活用する時期が 2020 年のテーマと 2025 年以降のテーマに分かれているので、活用時期に応じた予算の付け方に工夫が必要と思う」、「触媒関連として、低白金化に関する開発と非白金系に関する開発を同時に進めているが、前者は早期解決型、後者は将来基礎重視など、今少しメリハリをつけても良いのではないか？」との中間評価における指摘に関しては、基盤技術開発において比較的早期に実用化(2020 年頃)を目指したテーマ(「HiPer-FC」、「低白金化技術」)について、さらなる開発の加速を検討するとともに、実用化まで中長期(2025 年頃)を必要とされるテーマ(「カーボンアロイ触媒」、「酸化物系非貴金属触媒」)については、目標設定の見直しを検討する等、各テーマの目標・実施内容・体制等の見直しを実施した。具体的には、「HiPer-FC」については、開発された触媒を想定ユーザーの自動車メーカーでのより実用に近い条件での評価を促進し、「低白金化触媒」は評価解析サイクルを加速するために企業による 1 回あたりの試作量を増強した。「カーボンアロイ触媒」においては目標値について論議を行い、目標値は従来通りとする進め方とし、触媒本来の反応活性の発現機構のメカニズム、その向上策により注力した取組みを実施するようにマネジメントを行った。「酸化物系非貴金属触媒」では、より実際の使用条件に近い空気雰囲気中での評価結果を随時提示し、現状の達成レベルの比較がテーマ間で客観的かつ公平に行えるように進めた。

「今回の成果が世界のレベルからみてトップクラスなのかどうかはわかりづらいので、改善してほしい。特に企業がすぐ使えるとは限らない成果について、他国と比べてもこのまま続けていくことでトップレベルが維持できるのかどうか、わかるようになると良い。」との指摘に関しては、各テーマについて、得られた成果が世界と比較し、トップレベルにあるかを常にベンチマークし、我が国の技術水準が高いレベルで維持されていることを継続的に確認していくために、技術委員会の都度、世界の最新研究状況と比較したベンチマークを行うようマネジメントを行った。その結果、各テーマともに世界の技術レベルに対しどの程度の水準にあるかが明瞭に示され、開発方針の効果的な改善・見直しに寄与した。

「次世代事業はその成果の今後の展開等の評価・検討がないまま当初の 2 年間で終了してその後の対応が見られず、体系的・総合的なマネジメントが必要。」との指摘に関しては、NEDO 内で検討を行い、本技術開発がシーズを発掘し、先導的開発を行うことが主旨となっており、実用化に向けた課題が必ずしも明確でないことを課題として認識した。この認識のもと、平成 25 年度の公募時には採択後に、採択委員の意見等も参考に同じ技術領域では、共通の目標値設定、評価手法の実施を実施計画に織り込んだ。また同一の外部有識者メンバーによる技術委員会も実施し、体系的、系統的なマネジメントが行えるように運営した。

### III. 成果

基盤技術開発については、チャレンジングなテーマ内容および目標を設定し、テーマ毎に原理が明らかにされつつあり、開発成果が学術的成果を越えて、より実践的な産業技術の基盤として確立されつつある。

実用化技術開発については、地方都市ガス燃料対応、および停電時自立継続運転可能なエネファー

ムの実用化、直接塗工法 MEA 量産装置の実用化、非常用電源の実証等、市場に出せる段階に到達した成果が得られた。

次世代技術開発については、最終目標の達成が困難であるものや、基礎研究を更に十分に行うべきテーマの指摘もあり、進め方に課題が残ったが、フッ素系電解質膜および炭化水素系電解質の実用化検討に向けた成果が得られた等、基盤技術開発や実用化技術開発に移行し得るテーマが見られ、開発の段階は着実に進歩した。

各研究開発項目の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得られている。

### ①基盤技術開発

・テーマa: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開発

(PL:山梨大学/渡辺 政廣)

(最終目標)

-30℃で起動し、最高100℃での作動が30%RH(相対湿度)で可能であり、効率は定格の25%で64%LHV、耐久性は5,000時間作動および6万回の起動停止が見通せるMEAを開発する。なお、自動車を想定した条件においては、電解質は量産時に1,000円/m<sup>2</sup>を見通すものとし、電極触媒の白金等の貴金属使用量は0.1g/kW以下とする。

(主な成果)

劣化機構解析、高活性・高耐久性の触媒開発、広温度範囲・低加湿対応の電解質材料開発、自動車MEAの高性能・高信頼化研究の各研究開発を実施することにより、最終目標を達成の見込みである。なお、実際の自動車への適用に当たっては、各社設計思想等が異なるため、今後、自動車会社との連携を更に深める。

・テーマb:定置用燃料電池システムの低コスト化のためのMEA高性能化

(PL:パナソニック(株)/小原 英夫)(平成22年-平成24年度)

(最終目標)高温低加湿下(80~90℃、RH30%~無加湿)で、システム発電効率33%HHV、耐久性6万時間を確保できる電解質膜及びアイオノマーを開発する。また、改質ガスのCO濃度500ppm条件下においてMEAの電圧低下が20mV以下となるアノード触媒及びMEA化技術を確立する。さらに、システムの全運転条件において、改質ガスのCO濃度をCO変成で2,000ppm以下、CO選択メタン化で500ppm以下とできる低コスト改質系触媒を開発する。開発触媒に関しては、性能及び6万時間の耐久性の見通しを実規模の改質器で検証し、CO除去プロセスを確立する。

(主な成果)家庭定置用PEFCの本格普及への最重要課題であるシステムコストの低減と性能・耐久性向上を両立するために必要な革新的な技術開発を実施した。「高温低加湿条件で、現行運転条件と同等のセル性能および6万時間耐久性を見通せる電解質材料」、「燃料、空気、システム構成部材等から混入する可能性のある不純物種の影響を見極めることができる予測手法」、「燃料改質器のコスト低減を可能にするCO選択メタン化触媒を用いたCO低減機構、および、500ppmCOを含む改質ガスにおいて電圧低下を抑制できるアノード触媒とスタック運転方法」の見通しを得た。

・テーマb: 定置用燃料電池システムの低コスト化のためのMEA高性能化(高耐久性CO選択メタン化触媒の開発)(平成25年度・平成26年度)

(責任者:山梨大学/東山 和寿(平成25年度)、パナソニック(株)/麻生 智倫(平成26年度))

(最終目標)入口CO濃度0.5%において、出口CO濃度10ppm以下を6万時間継続することが可能なCOメタン化触媒を開発し、燃料改質機に6万時間の耐久を反映させたCO除去プロセスを確立する。燃料改質システムにおいては、耐久評価を熱バランス成立性を見極め、高濃度CO耐久触媒自身においては、性能達成、劣化機構解明に取り組む。また粉末・粒状触媒の量産技術、メタルハニカム触媒の改質機適用の可能性を探索する。

(主な成果)燃料改質システムにおける耐久評価においては、出口CO濃度10ppmの達成にはいかなかった。しかしながら、CO選択メタン化反応を取り入れた燃料改質器の解析手法を確立した。開発したメソポーラスシリカ(MS)被覆触媒の劣化が炭素析出に依ることを解明し、触媒の寿命予測法を提示した。MS被覆触媒の2kg/バッチの製造プロセスを確立し、低コストを図ったコアシェル触媒を開発。セル壁に微少孔を有するハニカム基材をMS被覆触媒に採用したことによりCO浄化率向上を実現した。

・テーマb: 定置用燃料電池システムの低コスト化のためのMEA高性能化(高濃度CO耐性アノード触媒の開発)(平成25年度・平成26年度)

(責任者:山梨大学/内田 裕之(平成25年度))

(最終目標)CO濃度500ppmの改質ガスで電圧低下が20mV以下で使用できることに加え、高温低加湿条件(80℃、40%RH以下、または90℃、30%RH以下程度)でCO濃度300ppmの改質ガスでも使用可能で、6万時間の耐久性が見通せる高濃度CO耐性アノード触媒を開発する。

(主な成果)新規な高濃度CO耐性アノード触媒、助触媒、ならびにこれらの複合触媒の調製法を確立できた。(メソ・マイクロ細孔構造を制御した炭素担体にPt-Ru合金を高分散した触媒/Pt-Ru合金組成・粒径を精密制御し、炭素担体や導電性Sb-SnO<sub>2</sub>に高分散した触媒/高温低加湿条件でもCO酸化活性を有する錯体系CO酸化助触媒とPt-Ru触媒との複合触媒/RuO<sub>2</sub>ナノシートと各種炭素担持Ptおよびプロジェクト内の開発触媒との複合触媒)

マルチチャンネルフローセル法におけるCO耐性評価の有効性を確認できた。数種の開発触媒が、市販触媒よりもCO耐性と耐久性が高いことを明らかにできた。

協力機関であるシステムメーカーでの高温低加湿CO濃度300ppmでのMEA試験により、開発触媒のCO耐性の目標達成が見通せた。

・テーマc: 低白金化技術(PL:同志社大学/稲葉 稔)

(最終目標)電池セルとして、白金使用量0.1g/kW以下で、耐久性は5,000時間作動および6万回の起動停止を見通す高活性・高耐久性電極触媒を開発する。また、実用化を見据えた大量生産方法を確立する。

(主な成果)100g/バッチのPt/Pd/Cの製造に必要なPd/Cの量産技術を開発した。Ptモノレーヤー形成法(改良Cu-UPD法)を開発し、10g/バッチまでのスケールアップに成功した。年度末までに100g/バッチの開発を見通している。さらに、電位サイクル条件を最適化することにより、市販Pt/C触媒の約6倍の高活性化が可能になり、白金使用量0.1g/kW以下(活性10倍)への見通しをつけた。高活性化後には、Pdの大幅な溶出、小粒径化、球形化が見られ、Ptシェルの再構築による低配位数Pt原子数

の減少および Pt-Pt 結合距離の減少による適切な圧縮効果が高活性化の原因であることが示された。MEA での電位サイクル処理は Pd 溶出の問題があり、実用化時の採用は困難と思われるため、電位サイクルを模擬した高活性化法 (Cu-air 処理法) を開発し、RDE 試験で高活性化が確認できたが、MEA での実証が課題として残った。また、Pt/Pd/C の耐久性に関しては、現状で RDE では市販 Pt/C と同等以上であるが、5,000 時間作動および 6 万回の起動停止を見通すには至っていない。

基礎研究からは、コアシェル触媒の活性がシェルの Pt-Pt 結合長の依存性を有し、Pt-Pt 結合長を最適化することにより、比活性で Pt/C 触媒の 20 倍の活性が得られる可能性が示された。さらに、コアシェル触媒の表面 Pt 原子配置として(111)面が活性・耐久性の両面で好ましいこと、また耐久性の観点からは Pt スキン層は 3 層以上とする必要があるなど、コアシェル触媒の設計に有用な指針が数多く得られた。

・テーマd:カーボンアロイ触媒(PL:東京工業大学/宮田 清蔵)(平成 24 年 3 月委嘱解除)

(最終目標)「自動車用燃料電池を想定した単セル発電において、電流密度  $1.0\text{A}/\text{cm}^2$  で電圧  $0.6\text{V}$  以上の性能を示すカーボンアロイ触媒を開発する。耐久性は 5,000 時間の作動及び起動停止 6 万回を見通すものとする。」という最終目標を達成し得る高出力化及び高耐久化技術を開発すると共に、カーボンアロイ触媒(CAC)による酸素還元反応のメカニズムを解明する。

(主な成果)加圧純酸素下において  $1.0\text{ A}/\text{cm}^2$  で  $0.6\text{ V}$  の電圧を観測した。さらに改良を施した CAC は、加圧空気下において同  $0.45\text{ V}$  を得た。FCCJ 推奨の加速劣化試験を通じ、負荷応答モードでは副生する過酸化水素に、起動停止モードでは CAC の腐食に、それぞれ起因した性能低下を確認した。単セルの連続運転試験では、出力低下を伴いながらも 3000 時間の運転を実証した。

CAC 上での酸素還元反応(ORR)は、主に  $k_2(\text{O}_{2,\text{ad}}\rightarrow\text{H}_2\text{O}_{2,\text{ad}})$ 、 $k_3(\text{H}_2\text{O}_{2,\text{ad}}\rightarrow\text{H}_2\text{O})$  を経由する 2+2 電子還元反応により進行すること、C と N から成る活性点では前段の 2 電子還元が選択的に進行すること、および  $\text{FeN}_x$  サイトが反応電子数を向上させることを明らかにした。ピリジン型窒素、およびエッジに存在するグラファイト型窒素が ORR を促進することが示された。実触媒では明確にピリジン型窒素が観測されており、上述の C と N から成る活性点は、ピリジン型窒素近傍にある可能性が高いことを見いだした。

・テーマe:酸化物系非貴金属触媒(PL:横浜国立大学/太田 健一郎)

(最終目標)「自動車用燃料電池を想定した単セル発電において、電流密度  $1.0\text{A}/\text{cm}^2$  で電圧  $0.6\text{V}$  以上の性能を示す酸化物系非貴金属触媒を開発する。耐久性は 5,000 時間の作動及び起動停止 6 万回を見通すものとする。」という最終目標を達成し得る高出力化及び高耐久化技術を開発する。

(主な成果)

触媒開発

酸化物の高分散化、ナノ化に成功、アンモニア焼成による活性点増加が実現できた。また電子伝導パスの最適化も実現できた。これらにより、ジルコニウム系酸化物をカソード電極として使用した MEA 評価で、酸素・加圧下で電圧  $0.6\text{V}$  で電流密度  $0.82\text{ A}/\text{cm}^2$  (IR補正: $1.2\text{ A}/\text{cm}^2$ )、空気加圧下で電圧  $0.6\text{V}$  で電流密度  $0.32\text{ A}/\text{cm}^2$  (IR補正: $0.38\text{ A}/\text{cm}^2$ ) を確認した。また、ジルコニウム系酸化物をカソード触媒として用いた MEA で、 $0.1\text{ A}/\text{cm}^2$  の定電流耐久試験で、1000 時間以上の運転を確認した。

理論計算、解析

一方、このように活性が上がった触媒について活性メカニズムを解明するために分析や理論計算を行った。理論計算においては、 $ZrO_2$  表面で、OH が還元されて再び酸素空孔を生成する過程が律速であることや、窒素不純物が酸素空孔を安定化させて反応障壁を下げるのがわかった。一方、放射光 X 線吸収スペクトル測定、中性子回折法、光電子分光測定により、酸素空孔が活性点であることを見出し、触媒活性点の定量評価と触媒活性の関連付が可能となった。また、電気化学光電子分光測定により酸素空孔上での酸素還元反応を直接的に証明した。さらに、酸化物系触媒の主たる劣化因子は、触媒粒子の肥大化、析出カーボンの消失であることを突き止めた。

#### 将来技術の開発

これらの結果を踏まえ、究極の耐久性を持つと思われる世界初の脱貴金属・脱炭素、オール酸化物系酸素還元触媒を開発、その耐久性は起動停止試験及び負荷応答試験で 20,000 サイクルでも劣化挙動は観察されなかった。

- ・テーマf:MEA 材料の構造・反応・物質移動解析 (PL:技術研究組合 FC-Cubic/長谷川 弘)

(最終目標)

本格商用化における低コスト、性能向上に資する新規材料等の設計指針を提示する

(各種制御因子を特定し、その感度を明示する)。

(主な成果)

燃料電池の高性能化検討に必要とする計測・解析手法を開発し、性能への影響が大きいと想定されるメカニズムを明らかにし、開発に資する設計指針として、下記事項を提示した。

#### 電解質材料:

- ・高温・低加湿条件下における電解質のプロトン伝導の主要因子と感度を提示(水チャンネルの連結性>酸強度>IEC>酸近傍の環境)し、モデル材料で妥当性を検証。
- ・主要因子の制御には、電解質材料をブロック共重合体で構成し、親水・疎水性、酸性基等の機能を発現する各ブロックの化学構造、構成順序の精密制御が重要であることを提示。
- ・高いガス透過性は、電解質材料の化学構造と高次構造により制御範囲を拡張可能。

#### 電極反応

- ・酸素還元反応と触媒材料の酸化・還元に伴う速度定数の関係性を例示および表面修飾剤による活性向上および耐久性の方向性を提示。

#### 物質移動

- ・GDL、MPL の究極構造を例示し、微細多孔体構造におけるガス輸送の理論限界を明示。
- ・白金担持量低減時に見かけの酸素輸送低下の抑制には触媒表面積の増大が効果的。
- ・MEA 全体モデリングより、性能に対する材料、構造の制御因子を絞り込み、定性的な感度を提示。

- ・テーマg:セル評価解析の共通基盤技術 (PL:大同大学/大丸 明正)

(最終目標)当該事業で開発された新規材料及び産業界で開発された新規材料を実セルで評価し、その技術課題(MEA 作製、MEA 性能・耐久性等の課題)を提示する。また、国際標準となり得る標準 MEA 評価手法を確立する。

(主な成果)多くの新規材料評価実績に基づき材料種別の MEA 化条件を体系化し、MEA 化についての指針をまとめた。新規材料として触媒21種類と電解質膜17種を評価し、開発者と評価結果の議論、

材料改良の方向性を協議・提案した。また、燃料電池技術の国際標準化を推進している IEC/TC105 で検討されている「PEFC 用単セル試験法」の改訂において、触媒、電解質膜の耐久性試験方法を提案。現在審議を行っている。

MEA 作製手法としては、従来の JARI 標準セルに加えて、少量触媒評価用 1×1cm セル、電解質膜評価用 3×5cm 均一場セルを開発し、市販化した。材料種別の MEA 化条件、解析手法を体系化した、『MEA 作製マニュアル』、『触媒解析マニュアル』を作成した。MEA 評価手法の確立をすすめ、小冊子“セル評価解析プロトコル”（日本語版・英語版）を発行・配布。また、解析評価技術として、耐久後の電解質膜の面内の強度分布を穿孔試験機で測定し、膜劣化度をマップ化する技術、サンプルの細孔埋設処理を行い、FIB-SEM により触媒層断面構造を観察する技術に取り組んだ。MEA 中の水移動物性（水透過係数、電気浸透係数）についての評価技術を確立した。

## ②実用化技術開発

- ・天然ガス燃料組成変動による燃料電池システムへの影響評価及び耐性向上に係る研究開発（平成 22 年度～平成 24 年度）

（最終目標）窒素や酸素を含んだ国内地産天然ガスに対応可能な家庭用 PEFC システムを開発し、フィールドテストにより性能・耐久性等を実証する。また、高濃度の酸素を含む国内地産天然ガスや海外で供給される天然ガス組成に対応する場合の実用化課題を抽出すると共に、その対応の方向性を明らかにする。

（主な成果）窒素を含む国内都市ガスに対応可能な家庭用システムを設計・製作し、窒素濃度が約 1%、2%、4%の 3 地点に設置し、実ガスによる性能検証試験を進め、窒素に起因する性能低下が無いことを確認した。また、高濃度窒素（最大約 20%）を含む海外の都市ガスに対応可能なシステムの設計・製作及び模擬ガスでの性能検証試験、酸素を含む都市ガスに対応可能なシステムの設計・製作及び実ガスでの性能検証試験を進めた。

- ・自立型燃料電池システムに関する研究開発（平成 22 年度～平成 23 年度）

（最終目標）停電対応時において系統電力から自立しての運転が可能な家庭用 PEFC システム及びその要素技術を開発し、一般家庭での実使用を想定した検証試験を行い、実用化課題を抽出すると共に、その対応の方向性を明らかにする。

（主な成果）新規開発したパワーコンディショナーを搭載した家庭用システムを設計・製作し、実際の家庭用電化製品を用いた検証試験を行って、停電後 1 時間以内の自立起動、自立運転時の負荷追従性等を確認した。

- ・自立型燃料電池システムの技術開発（平成 24 年度～平成 25 年度）

（最終目標）

系統が停電の状態においても、燃料電池単独で起動可能となるように蓄電池を組み込んだインバータシステムの共有化を図った燃料電池システムの開発。

燃料電池出力以上のピーク負荷への電力供給に対応可能とし、かつインバータシステムの効率低下を防止し、小出力と高出力で運転台数を可変とするインバータシステムの開発。

燃料電池システムに組み込む蓄電池の種類などの仕様について、性能、サイズおよびコストを検討し仕

様を決定。

(主な成果)

停電時にエネファームの起動を可能とする回路構成を開発し、容量を 1kWh とした蓄電池による起動電力供給でエネファームの自立運転システムの開発を完了した。

連系運転時および自立運転時の供給電力の範囲を拡大し、かつ、量産技術を適用した高効率&低コストのインバータを並列で構成したパワコンの開発を完了した。

エネファームの停電時の起動ならびに連系運転時および自立運転時の電力バックアップに適した蓄電池の仕様を決定した。

・直接塗工法を用いた低コスト MEA 量産製造設備の技術開発(平成 25 年度～平成 26 年度)

(最終目標)MEA の量産製造として、電解質膜への直接塗工技術を開発し、ロール to ロール対応型の MEA 量産製造装置を試作する。その際、マスキング無しで電極触媒(面積 300cm<sup>2</sup>)を形成し、触媒インク使用量の 30%を削減。および、1セル当たりの生産タクトを 5 秒とした。

(主な成果)ロール to ロール対応型装置を試作し、精密間欠塗工技術を確立した。マスクレスで所定寸法の電極触媒を直接塗工で形成できるようになった。インク使用量の 30%削減も達成。また、片面塗工時は、電解質膜のバックシートを吸着方式で支持していたが、対面塗工では、吸着ローラを利用してバックシートを剥離した電解質膜に直接塗工及び乾燥を行うことを実現した。

・定置用燃料電池システムの低コスト化を実現する高性能電解質材料の実用化技術開発

(平成 22 年度～平成 24 年度)

(最終目標)定置用燃料電池システムの無加湿運転条件(80～90℃、RH30%～無加湿)において、MEA の耐久性として 6 万時間でセル電圧低下を 20%以内に抑えることを目標に、フッ素系高分子電解質膜の開発に取り組んだ。また、コスト面では製造原価が¥5000/m<sup>2</sup>以下の可能性を実証する。

(主な成果)耐久向上策として、補強芯材技術の開発を行い、市販品と比べて約 2 倍の高引張強度・引張弾性率を有する試作芯材を開発した。また、電解質材料についても、高温低加湿条件で高性能、高耐久を満ち、かつ低コスト化を実現できる材料設計を行ない、補強芯材との複合化を行った。性能評価により初期目標値をクリアし、耐久性試験を継続している。今後はシステムメーカーとの連携により、ロバスト特性も含めた実証が必要になる。

コストについては、電解質エマルジョン技術を用いたコストダウンの見通しを立てた。広幅塗工技術、塗工ドープ化技術をあわせて確立し、低コスト化の見通しを得た。

・固体水素源燃料電池を用いた充電機能付き非常用電源の開発と実証実験

(平成 25 年度～平成 26 年度)

(最終目標)水素化カルシウムを燃料に用いて、可搬性:10kg 以内のシステム総重量、起動性:1 分以内でシステム起動、連続運転:燃料カートリッジ交換時間 3 分以内、持続時間:燃料カートリッジの容量 200Whr 以上、出力性能:総合出力(燃料電池+内蔵電池)200W以上を満ちす燃料電池を開発する。

(主な成果)システム総重量 10kg を達成。燃料電池発電部の起動には 5 分程度かかるが、その間は内部 2 次電池により出力できるように回路変更を行ったことで起動時間を 1 分以内に短縮した。燃料カートリッジ交換は 30 秒以下で可能であることを確認。水素化カルシウムの充填方法の検討・改良により、安

全性を確保しつつ容量 200Whr を達成。燃料電池出力 100W を達成し、内部 2 次電池と合わせ、総合出力 200W を達成した。

地方自治体の防災訓練にも参加し、本システムを提案すると共に、自治体のニーズについても調査を行った。

・欧州向け家庭用燃料電池の商用機開発とシステム検証(平成 26 年度)

(最終目標)家庭用燃料電池の大量普及の段階として、欧州への展開を重要視しているが、欧州においてはガスの組成変動および設置環境の違いに対応する必要がある。

本助成事業では、欧州の都市ガス燃料組成変動に対応した制御システムの確立、また、欧州においては屋内設置仕様を含めたシール性向上、吸換気構成の確立を行う。またシステムによる CE 認証および、ボイラを含む全体システムの運転検証に取り組む。

(主な成果)燃料組成変動に関しては、既開発の変動制御ソフトへのパラメータ最適化を終了する予定である。屋内設置仕様に関しては、二重ダクトを介した吸排気構造を検討、開発した。また、CE 認証対応として、システム設計、制御設計を終了し、期間内で認証機関での試験を実施する。ボイラを含む全体システムの設計も終了し、期間内で、全体システムでの検証運転を実施する。3 月の ISH ショーには完成した製品を発表予定。

### ③次世代技術開発

・シリカでの被覆を応用した PEFC 用新規非Pt系カソード触媒の開発

(平成 22 年度～平成 23 年度)

(最終目標)シリカ被覆炭素担持Pt触媒について、PEFC 作動条件下での Pt の幾何学的構造及び電子状態を検討し、触媒機能の発現機構を明らかにする。また、高い酸素還元活性と優れた耐久性を有するシリカ被覆カーボンナノチューブ担持 Pd 合金触媒を開発する。

(主な成果)MEA 耐久試験に供したシリカ被覆 Pt 触媒の X 線吸収スペクトルを測定し、シリカ層がPt の溶出を物理的に抑制していることを確認した。また、電圧 0.85V で 0.17A/mg-Pd の酸素還元活性が得られる Pd-Co 合金触媒を開発し、シリカの被覆効果を電位サイクル試験で評価した。シリカ未被覆の場合は 700 サイクルで失活するのに対し、シリカ被覆の場合は 1,000 サイクルでも初期の約 60%の性能を維持できることを確認した。

・アニオン伝導無機層状酸化物型燃料電池の開発(平成 22 年度～平成 23 年度)

(最終目標)卑金属触媒を用いて、セル温度 100°C以上で PEFC と同程度のセル特性が見通せるアニオン伝導無機層状酸化物形燃料電池セルを開発する。

(主な成果)アニオン伝導酸化物型電解質(NaCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)の改良を進め、100°C、相対湿度 31%RH において 0.2S/cm と高いイオン伝導性を得た。また、厚さ約 100μmの薄膜電解質を作製する技術、有効反応面積を増大させる三次元電極構造等を開発した。

・極限構造化した炭化水素系高分子電解質の包括的研究開発(平成 22 年度～平成 23 年度)

(最終目標)ブロック共重合体構造からなる炭化水素系電解質膜について、高密度化、ブロック構造等の極限化により、膜厚 5μm以下、膜抵抗 0.125Ω・cm<sup>2</sup>(-20°C)、0.075Ω・cm<sup>2</sup>(95°C、30%RH)以下、

イオン交換容量 3meq/g 以上を得る。

(主な成果)ブロック共重合体構造の炭化水素系電解質膜について、高密度化、ブロック構造等の極限化を進め、膜厚 2 $\mu$ mで膜抵抗 0.075 $\Omega$ ·cm<sup>2</sup>(80 $^{\circ}$ C、相対湿度 30%RH)、イオン交換容量 2.36meq/gを得た。また、ジブロック共重合体構造の炭化水素系アイオノマーについても構造の極限化を進め、80 $^{\circ}$ C、90%RHにおいて0.1S/cm以上の導電率を有する材料を得た。このアイオノマーと市販のフッ素系電解質膜を用いたMEA発電試験においては、80 $^{\circ}$ C、90%RHの条件で600mW/cm<sup>2</sup>の電気出力が得られた。

- ・微細孔内精密マイクロ構造制御と界面高速プロトン伝導現象を用いた広温度・無加湿型PEFCの開発(平成22年度～平成23年度)

(最終目標)キャッピング電解質を機械的強度の高い多孔質基材に充填した細孔フィリング膜電解質膜について、-30 $^{\circ}$ Cで0.01 S/cm、温度範囲60～100 $^{\circ}$ C、加湿度範囲20%(無加湿運転相当)～90%で0.05 S/cmのプロトン伝導性を得る。また、この電解質膜を用い、常温～100 $^{\circ}$ Cの温度、無加湿～90%の加湿度で作動可能なMEAを開発し、無加湿・電流密度300mA/cm<sup>2</sup>においてセル電圧0.7Vを得る。

(主な成果)キャッピング電解質を機械的強度の高い多孔質基材に充填した細孔フィリング膜の開発を進め、90 $^{\circ}$ C、20%RHで0.05 S/cm以上のプロトン伝導性が得た。この電解質のプロトン伝導機構を解明するため、量子化学計算を行って、無機材料結晶表面とポリマースルホン酸基との界面では少ない固定水を介してプロトンが高速に伝導する界面効果があることを明らかにした。

- ・広い温度範囲で無加湿運転が可能な固体高分子形燃料電池の電解質及び電極設計(平成22年度～平成23年度)

(最終目標)プロトン性イオン液体を用いた広い温度範囲で作動可能な無加湿型燃料電池を開発し、無加湿条件・120 $^{\circ}$ Cで500mA/cm<sup>2</sup>、-20 $^{\circ}$ Cで200mA/cm<sup>2</sup>の電流密度を得る。

(主な成果)プロトン性イオン液体を用いた無加湿型燃料電池の触媒層に適用するスルホン酸基をアンモニウム型とした新規のフッ素系アイオノマーを開発した。これを用いた単セル発電試験において、120 $^{\circ}$ C、無加湿の条件で出力密度510 mA/cm<sup>2</sup>を得た。

- ・自動車用高温対応新規炭化水素系電解質膜の研究開発(平成22年度～平成23年度)

(最終目標)高温低加湿条件(セル温度:100 $^{\circ}$ C以上、加湿度:30%RH以下)において、セル発電性能として0.4VV以上(電流密度1A/cm<sup>2</sup>)、耐久性として乾湿サイクル1万回、連続OCV発電1,000時間以上の高耐久性を持つ炭化水素系電解質膜を開発する。

(主な成果)高イオン交換容量ポリマー電解質膜の改良に取り組み、ポリマー鎖間相互作用を強化して物理的耐久性を向上させた。この改良膜を用いたMEA発電試験を行い、101 $^{\circ}$ C、30%RH以下の条件で電流密度1A/cm<sup>2</sup>(電圧0.4V)を得るとともに、乾湿サイクル試験で1万サイクル以上の耐久性を確認した。

- ・次世代電解質膜の劣化特性評価シミュレータの開発(平成22年度～平成23年度)

(最終目標)陽電子消滅法、溶液分析法を組み合わせることで、劣化による電解質膜の分子構造の

変化を予測可能な劣化評価システムを構築する。

(主な成果)陽電子消滅法と溶液分析法を組み合わせることにより、燃料電池反応で発生する各種ラジカルに起因した電解質膜の劣化を予測可能な評価システムを開発した。この評価システムを用いてフッ素系電解質膜を評価した結果、電解質膜のクラスター構造の破壊にはOHラジカルよりもH、O<sub>2</sub>・のラジカルの方が強く寄与していることを明らかにした。

・固体高分子電解質膜の高感度劣化評価システムの研究開発(平成22年度～平成23年度)

(最終目標)固体高分子電解質膜の分子構造情報を基に、燃料電池の発電に伴い発生する各種ラジカルによる電解質膜劣化量と、この劣化による燃料電池発電特性への影響を予測するシミュレータを開発する。

(主な成果)電解質膜の分子構造情報を基に、燃料電池反応に伴い発生する各種ラジカルによる電解質膜劣化量(分子量、プロトン伝導度の変化)と、この劣化が発電特性に及ぼす影響を予測可能なシミュレータを開発した。ポリイミド系電解質膜及びポリエーテル系電解質膜について計算結果と実験結果の比較を行い、本シミュレーションの妥当性を検証した。

・車載用革新的フッ素系新規電解質材料に関する研究開発(平成25年度～平成26年度)

(最終目標)車載を前提として金属不純物耐性のあるフッ素系電解質材料と高ガスバリア性を有する薄膜状電解質膜を複合化させることで、金属セパレーターからの不純物に対して耐性が高く、薄膜でもガス透過性が低い電解質膜を開発する。また、高負荷運転に対応できる高酸素ガス透過性を有したフッ素系アイオノマーを開発する。

(主な成果)高不純物耐性並びに高ガスバリア性を有する成果膜を開発した。Fe<sup>2+</sup>を300ppm配合した成果膜について性能評価を行い、Nafion HPと同等以上の性能を得た。物性評価は一部未達。高酸素ガス透過性アイオノマーについては、ポリマー構造の最適化を行い、Nafion DE2020CSと比較して、約5倍の酸素ガス透過性を得た。電池評価でも高い性能を示した。

・高信頼性炭化水素系電解質膜の研究開発(平成25年度～平成26年度)

(最終目標)MEAでの評価で初期性能がNafion211、耐久性がNafion HPと同等以上となる炭化水素系電解質膜の開発を行う。また、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)発行の固体高分子形燃料電池の目標・研究開発課題と評価方法の提案(平成23年1月発行)に記載の2015年電解質膜の目標性能を達成する。

(主な成果)新開発の有機系過酸化分解触媒を適用した開発膜により、化学的耐久性をNafion HP比2～5.2倍以上に向上し、平成26年度最終目標の初期性能と化学的・機械的耐久性を達成した。分子レベルからの新素材開発・革新重合技術により創出した検討膜は、膜抵抗の平成26年度最終目標25mΩ・cm<sup>2</sup>達成の見通しを得た。低コスト量産技術を確立できれば、低材料コストであり、量産時コスト1,000円/m<sup>2</sup>を達成できる見通しを得た。

・スルホン酸基密度の最適設計と複合化による機能分担設計により、PEFCの高性能化と高信頼性化とを両立する新規炭化水素系電解質膜の研究開発(平成25年度～平成26年度)

(最終目標)MEAでの評価で初期性能がNafion211、耐久性がNafion HPと同等以上となる炭化水

素系電解質膜の開発を行う。また、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)発行の固体高分子形燃料電池の目標・研究開発課題と評価方法の提案(平成23年1月発行)に記載の2015年電解質膜の目標性能を達成する。加えて、水輸送性がNafion HPと比較し、1.2倍になるような電解質膜を開発する。(主な成果)多孔フィルムに設計した電解質を含浸させることによって、電解質膜を開発した。これによって、機械的耐久性は目標値を達成した。また、水透過性についてもNafion HPと同等以上のものが開発できた。しかし、化学的耐久性については、開発した電解質の影響によって、Nafion HPを超えるような特性は得られなかった。耐ラジカル性能をもつ添加物等の検討が必要と考える。

- ・低加湿下作動型新規ナノファイバー含有電解質超薄膜の研究開発(平成25年度～平成26年度)  
(最終目標)広い温度域かつ低加湿において優れた膜抵抗を示す電解質膜として、酸ドープしたポリベンズイミダゾールナノファイバー(PBINF)を基本骨格とした酸ドープ型-PBINF/PE複合膜を開発する。ドープした酸の溶出抑制と薄膜化(5 $\mu\text{m}$ 程度)に取り組み、MEAでの評価でNafion HPと同等以上の初期性能・耐久性を得る。  
(主な成果)ナノファイバーへのドープ酸としてフィチン酸(Phy)を選択し、Nafionとの複合膜を開発した。得られたPhy-PBINF/Nafion複合膜(膜厚22 $\mu\text{m}$ )の膜抵抗は、低温域および、高温高湿条件において、ナノファイバーを含有しないNafion Recast膜より優れた膜抵抗値を示した。スルホン酸ポリマーとしてNafionを用いたため、ガスバリア性は達成できなかった。ラボサイズではあるがナノファイバー含有電解質超薄膜(5 $\mu\text{m}$ )も作製できるようになり、今後はサンプル提供による評価も可能となった。

- ・高効率・低貴金属固体高分子燃料電池型水素製造セルの研究開発(平成25年度～平成26年度)  
(最終目標)  
電解面積25 $\text{cm}^2$ 以上のPEFC型MEAにおいて、触媒の貴金属量を全体で0.4 $\text{mg}/\text{cm}^2$ 以下とし、80 $^{\circ}\text{C}$ 、1.0 $\text{A}/\text{cm}^2$ で90%(HHV)以上の電解効率を得る。また、電解面積25 $\text{cm}^2$ 以上のPEFC型MEAにおいて、触媒の貴金属量を全体で0.8 $\text{mg}/\text{cm}^2$ 以下とし、80 $^{\circ}\text{C}$ 、3.0 $\text{A}/\text{cm}^2$ で85%(HHV)以上の電解効率を得る。さらに、MEAのスケールアップ(電解面積50 $\text{cm}^2$ 以上)を行い、実機レベル(水素発生量1 $\text{Nm}^3/\text{h}$ )で5年相当の耐久性を得るための課題を抽出する。  
(主な成果)  
ナノカプセル法により、酸素発生極用Pt-Ir/Nb-SnO<sub>2</sub>およびIr/Nb-SnO<sub>2</sub>触媒の合成に成功し、それらの触媒が酸素発生反応(OER)に対して極めて高い質量活性を持つことを見出した。コロイド法を用いることで、ナノカプセル法に比べ、より粒径制御されたIrO<sub>x</sub>ナノ粒子の均一な高分散担持に成功した。また、Ir担持率も増大した。コロイド法IrO<sub>x</sub>/Nb-SnO<sub>2</sub>触媒は、従来触媒に比べ40倍以上もの著しく高いOER活性を示した。

以上、基盤技術開発テーマでは、技術的・学術的進展に資する成果が得られ、取り組みは高く評価できる。一方で、実用化に即した目標設定やメーカーにおける量産化に向けた意見の反映、第三者による客観的な開発物の評価においては課題が残るテーマもあり、実用化を見通すには、さらなる基盤技術開発や実用化技術開発が必要である。複数のテーマで実施した、計算科学を用いたシミュレーションに

については、現段階では実験値との整合を図るレベルに到達しつつあるのが実情であり、今後はさらに進化した活用方法を考慮し、通常の実験では得ることのできない特定の因子の影響を解析するなど、設計指針の立案に活用できるツールとして適用する事が望まれる。実用化を見据えて設定した数値目標についても、ピンポイントで数値目標を達成した成果物では、実際の商品に活用できないことも指摘されており、設定目標の条件の規定なども重要であることを認識した。

実用化技術開発では、市場に出せる段階に到達した十分な成果が得られた一方で、次世代技術開発では、最終目標の達成が困難であるものもあり、進め方に課題が残った

開発や機構解明の過程で得られた知見については、家庭用燃料電池や燃料電池車の開発に活用されている。このため、後継事業においては、単なる数値目標を追い求めるだけに留まらないように、設計の方向性を打診できるようなコンセプト立案を目標とするテーマが必要であると考えます。

#### IV. 総合評価

「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発」事業を、以下の視点にて評価を実施した。

- ① 研究開発マネジメント
- ② 研究開発成果
- ③ 実用化の見通し

評価においては、専門的な外部有識者の意見を取り入れるため、評価委員会を設置し、意見を集約した。評価委員会における意見を元に、上記3視点により、本事業の評価を集約した。

総合的には、本事業下で実施したテーマの技術は着実に進歩しており、最終成果だけでなく開発過程で得られた知見も、各メーカーでの自社開発品に活用されており、評価委員会においても高い評価を得ている。

##### (1) 視点別評価

###### ① 研究開発マネジメント

本事業では、基盤技術開発、実用化技術開発、次世代技術開発の枠組みを適用し、幅広いフェーズの異なる研究を実施した。各フェーズのテーマ設定は、社会情勢に適応しており、適切であったと評価されている。またフェーズ毎に技術委員会を活用した緊密な産学連携体制や、PLによるマネジメント体制、更に技術委員会の場で他テーマのPLに参加して頂き、テーマ横断的な議論の場を設ける等、NEDO、PL、有識者、実施者が一体となった柔軟なプロジェクトマネジメントが高く評価された。

一方で、各フェーズにおける目標や体制の違いの明確化や、目標設定の具体化が指摘されており、目標のブレイクダウンや各フェーズに適した体制構築に、より吟味が必要だった。また、テーマ間連携だけでなく、他機関との連携を密にすることで、全体として基礎から実用化まで繋がるような体制作りも必要との指摘があった。

###### ② 研究開発成果

基盤技術開発テーマにおいては、チャレンジングなテーマ内容および目標を設定し、テーマ毎に原理が明らかにされつつあり、開発成果が学術的成果を越えて、より実践的な産業技術の基盤として

確立されつつある。一方、メーカーにおける量産化に向けた意見の反映、第三者による客観的な開発物の評価、成果の産業界への適用においては課題が残り、開発材料ではなく材料開発に必要な基礎的な技術・知見の適用について考慮する必要がある。

実用化技術開発では、市場に出せる段階に到達した成果が出る等、十分な成果が得られた。一方で、次世代技術開発では、最終目標の達成が困難であるものもあり、進め方に課題が残った。

### ③ 実用化の見通し

基盤技術開発テーマでは、技術的・学術的進展に資する成果が得られ、取り組みは高く評価できる。一方で、実用化に即した目標設定やメーカーにおける量産化に向けた意見の反映、第三者による客観的な開発物の評価においては課題が残るテーマもあり、成果物の実用化に向けては、さらなる基盤技術開発や実用化技術開発が必要である。

実用化を見据え目標を達成した成果物でも、そのままでは活用できないことも指摘され、設定目標の条件の規定なども重要であることを認識した。このため、後継事業においては、制度の見直しを行い、成果が活用しやすい仕組み作りが必要であると考えます。

## (2) 総括

家庭用燃料電池エネファームの発売開始が2009年であり、本事業はその翌年である2010年に5年間の計画でスタートした。エネファーム発売前には、NEDO事業の成果は順次商品に反映される機会が多かったが、発売されたあとは、商品の設計・仕様を簡単に変更できないため、NEDO成果を反映する機会が限られるようになった。また、5年前に掲げたチャレンジングな目標に対し、見かけ上計画通りに進捗したテーマの開発物であっても、目標数値を追い求める余り、限られた条件でのみ性能を発揮し、実機搭載にはさらなる開発を継続すべき開発物も散見された。5年前に掲げた数値目標が、現在の技術ニーズの進化に対して適合しなくなっている点も否めないが、本事業下で実施したテーマの技術は着実に進歩しており、事業の過程で得られた知見は技術委員会や評価委員会においても高い評価を頂いている。

この5年間の推移を振り返ると、基盤技術開発におけるモノとしての開発物を直接商品に投入できる機会は減っているが、その開発過程で得られた知見は、各メーカーでの自社開発品に活用されている。評価委員会で頂いたコメントにおいても、基盤技術開発においては、実施内容が産業に貢献できる事、目標の設定そのものの妥当性も随時確認し、設定目標の見直しも行うべきであるとの意見を頂いている。このため、杓子定規に目標数値を追い求める開発ではなく、物作りに必要な因子やその水準が与える影響等を、メカニズム解明と共に明確に示すべきである。ひいては、その影響度合いやメカニズムが、製造工程上の品質管理項目を明確にするきっかけにも繋がり、品質管理項目の低減によるコストダウンにも寄与可能であると考えられる。

実用化技術開発においては、商品化に直結し得る成果を上げており、次世代技術開発テーマの多くは基盤技術開発や実用化技術開発に移行し得るテーマが見られ、開発の段階が着実に進歩している。

2014年12月には燃料電池自動車の発売も開始され、燃料電池の開発においては、さらなる次のステージを見据えた開発が必要である。後継事業立案の際には、これまでの経緯を踏まえつつ、今後の計画を立案する。

## (3) 今後の展開

各テーマ評価の結果、評価委員会でのコメントを受け、後継事業においては、以下の改善を図りたい。

- ・基盤技術開発／実用化技術開発／次世代技術開発という枠組みの再編
- ・実用化の見通しを意識した目標設定や体制構築
- ・本格普及に要求される高性能材料のコンセプト創出
- ・反応機構や物質移動現象の評価・解析・制御技術の深耕、共有化
- ・大量生産を可能とする量産プロセス品質管理の確立に資する技術の拡充
- ・セル評価解析による材料開発へのフィードバック
- ・第三者機関を活用した成果の評価と課題の共有化

また後継事業では、テーマ横断的なPLの議論の場だけでなく、実施者の技術交流を図る場を設けるなど、さらなるテーマ間連携を推進する。また、各実施機関で保有する分析・解析に使用する装置の相互作用についても、事業全体の成果を見据えて検討を行う。

企業や FCCJ 等の各種業界団体との情報交換を行い、現行事業以外のニーズも取り入れ、引き続き、情勢変化に対応したタイムリーな運営管理を行う。

以上

## 「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発」(制度評価) 総合評価コメント

「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発」に係る制度評価について審議を行うために、当該事業の外部有識者等によって構成される制度評価委員会を平成 26 年度に設置した。本資料は同制度評価委員会におけるコメントを記載したものである。

※ 回答者が特定され得る情報や一部の用語については、文意を変えない範囲で事務局にて修正した。

### 【 I . 各論】

#### I-1 研究開発マネジメントについて

##### <肯定的意見>

- 基盤技術開発、実用化技術開発、次世代技術開発と幅広いフェーズの研究対象に対して、それぞれのフェーズに対して技術委員会を活用した緊密な産学連携体制、社会情勢に適切に対応したテーマ選定、先導的テーマ設定と柔軟な研究マネジメントを行ったことを評価する。特に、基盤技術開発は、とかく学術的な価値の発見に偏りがちであるが、社会のニーズを把握している技術委員により学術的な価値を経済的な価値に変換する助言が与えられ、研究の成果が社会のニーズに合うように PCDA サイクルが動いていることを高く評価する。
- PEFC のカソード触媒、電解質膜について、我が国の最高水準の研究機関と世界的にリードする第一線級の企業が結集して、高性能・低コスト・高耐久化を大きく推進する研究開発が実施されてきた。
- 基盤技術開発は、PL を置くことでプロジェクト内の推進が円滑に進んだと思う。
- 次世代技術開発および実用化技術開発は、目標にあと一步のところ、あるいは達成できるレベルまで前進できているので、取り上げた狙いが正しかったように思う。
- 定置用 PEFC、FCV は日本で初めて商用化され、国内の PEFC 技術は国際的に優位に立つ。定置用・自動車に関わらず、低コスト化・高耐久化により本格商業化が求められるとともに、今後もこの産業技術の国際競争力を保つことが望まれる。この点で、基盤・実用化・次世代技術開発全体として、取り組むべきテーマが選定されており、NEDO・PL・技術委員会が一体となって実効性の高い成果が得られるように運用されている。特に基盤技術開発では、1企業では取り組むことができないテーマを産学連携体制のもと進められている。
- 民間企業単独ではコスト的にも技術難易度的にも実施し難いプロジェクトをNEDOがコントロールして産学連携を推進することは必要であり、本格普及に向けての貢献は大きい。
- NEDOは、経産省、各テーマのプロジェクトリーダーと密接な連携を持って、目的及び目標に照らし、適切にマネジメントしている。また、技術委員会も有効に機能している。
- 実用化を加速させるために、材料開発メーカーを各テーマに参画させていたり、産業界からの意見を積極的に取り込むための数々の施策を打っているなど、産学連携が十分にできている。
- 全体的に参画者の多いプロジェクトだったが、NEDO・PL・技術委員会がよく機能していた。

<問題点・改善すべき点>

- ・次世代技術開発については、原理原則の探求が十分でない状態で高い数値目標が設定されたため、目標未達の研究項目が多数見られたことは、基盤研究的な色彩で研究マネジメントが行われていた感がある。次世代ならではの革新的なテーマ選定と原理原則に基づいた研究目標を技術の進度に応じた段階的な目標にするなど、工夫が求められる。
- ・基盤技術開発、実用化技術開発、次世代技術開発の三つの枠組みに分類して実施されてきたが、各項目の目標・課題設定、進め方等について制度上の位置づけ、違いが明確でなく、また採択根拠も曖昧になっている(補助率の違いだけと捉えられる)。CO 選択メタン化触媒開発などはコンソーシアムで実施する基盤技術開発よりも産学共同提案の実用化技術開発として取り上げる課題内容と判断される。
- ・性格・目的の異なる課題をやや強引に一つのコンソーシアム型基盤技術テーマに取り込んでいるプロジェクトもあり、必ずしも効果的な推進体系が形成されていない。たとえば、セル評価における不純物の影響評価解析と、燃料仕様標準化のためのデータ取得は目的、研究手法が異なっており、燃料標準化データ取得は水素標準化事業で取り組むべき課題と考えられる。
- ・本事業の基本計画に示される目標がシステム全体としての目標であり、これから各テーマの個別課題への展開に際しての仕様・時間軸等の関連性、前提条件等が明確にされておらず、個別テーマの必要性、貢献度等がわかりにくい。
- ・基盤技術開発は、PL がプロジェクトを横断する取り組みでより大きな成果が得られる、あるいはより普遍的な結論が出せる可能性があるという視点での動きがなかった点が残念。
- ・次世代技術開発は、基盤技術開発でできた MEA 評価や解析手法を使えば、より材料開発が推進されると思われるが、制度が違うことで視野にまったく入っていないように思う。
- ・基盤技術開発の中にも、長期的に基礎研究が必要なテーマが含まれており、次世代技術開発と重なる部分があります。また、文科省の JST プロジェクトと重なる部分もある。NEDO 事業にすることの妥当性と、目標とする実用化時期の更なる吟味が必要。
- ・関連するテーマ間の連携をもっと強化すべき。特に、基盤技術開発においては、その中心テーマである HiPer-FC と、FC-Cubic、セル評価テーマの連携をもっと強化すべき。
- ・新規開発技術の企業側へのフィードバック、具体的利用方法などの構築をお願いしたい。また、新規材料のサンプル供給体制確立をお願いしたい。
- ・すぐには答えの出ない基礎研究が続かなかった例があるが、JST との連携を密にして、吟味の上、総合的に基礎から実用化まで繋がるような体制作りが必要。

<その他の意見>

- ・イノベーションを実現させるためには、学術的・技術的価値の発見を重視し、それをスタートとして経済的な価値の発見を見いだす技術委員会の存在が重要であり、さらに経済的な価値を実現するための開発研究が行われ、最後に経済的な価値がしっかりと獲得できるビジネスモデルが存在することが大切である。そのような、構想、システム、サービスの一連の流れで研究開発マネジメントを総合的に行うことが求められている。
- ・基盤技術開発においても NEDO のテーマ設定のみでなく、テーマ提案公募の枠があってもよかったのではないかと。次世代技術開発も必ずしも燃料電池自動車向けに限ることが効果的とは限らず、定置用燃料電池等も含めた広く次世代を見通すための革新的技術を目標に取り組んでもよかったのではないかと。(定置用燃料電池も実用化されているのは家庭用(エネファーム)だけでそれも緒についた段階で本格普及に向けてはコスト・耐久性等の課題は以前多く残されている)。
- ・セル評価テーマは他のテーマとの連携を更に強化するのが良いと思われる。

## I-2 研究開発成果

### <肯定的意見>

- 実用化技術開発は、市場に出せる段階に到達した成果が出されている。基盤技術開発については、原理が明らかにされつつあり、その延長にあるチャレンジングな目標が達成できる手応えのある研究成果が得られており、さらに加速支援をする意義を感じており、実用化推進技術開発制度として十分な成果が得られたと評価できる。
- 基盤技術開発では、各テーマの大学・研究機関での材料開発研究成果を産業界からの企業をメンバーに加えて工業的製法への移転と実用的 MEA での評価を取組み実施することにより、開発成果が学術的成果を超えてより実践的な産業技術の基盤として確立できてきている。
- 目標を達成できなかった開発項目があるものの、PEFC の本格普及に向けて貴重な開発物や知見が得られている。継続的に研究開発を進め、実用化に結びつけてほしい。
- ほぼ最終目標を達成しているテーマが多いが、一部テーマにおいては、最終目標の達成が困難であることが予想されるために、今後の進め方の議論が必要であるものも見受けられた。

### <問題点・改善すべき点>

- 次世代技術開発は、学術的な価値の発見と実用化になる価値の追求が曖昧であり、目標未達の項目も多いことは、制度設計に検討の余地があると思われる。
- 触媒・電解質膜それぞれの材料として、以前に比べて格段に高性能で高耐久な実用的候補材料が開発されてきたと評価されるが、実用化フェーズの MEA・セルベースでの高耐久化については十分検証が進められるまでには至っていない。
- 次世代技術開発では、成果報告において完了後の次フェーズへの展開をより明確に評価・提言することが望まれる。
- 実用化技術開発は、公開された特許については技術内容を記載してほしい。
- 国費を使った先端研究であり、ノウハウの保護は当然として、或る程度は内容を開示することも必要では無いかと思われる。

### <その他の意見>

- ビームラインは他のテーマからのニーズ研究に重点を移した方が良いと思われる。
- 解析・評価に関わる資源(装置・人)は可能な範囲で相互利用される方向を目指して頂きたい。

### I-3 実用化の見通し

#### <肯定的意見>

- ・実用化技術開発の成果は明確な実用化プランが出されており、目的を達成していると評価する。
- ・基盤技術開発については、チャレンジングな実用化目標に向かって着実に成果が出されており、実用化の可能性を見いだせる成果が出たと評価できる。
- ・実用化技術開発の採択テーマでは、現実的な商用化ニーズを適切に反映させた着実な対応課題に取組み実用化を着実に推進できたテーマが認められる。
- ・基盤技術開発の各テーマでは、企業のメンバーを加えて、工業的製法としての検討と実用条件を想定した評価・解析によるフィードバックを行うことで実用化のステップを促進できている。
- ・テーマ毎に進捗に差があるが、産業界からの要望も反映できており、残課題を解決してもらえれば、実用化の見通しが高い。

#### <問題点・改善すべき点>

- ・次世代技術開発については、実用化の可能性を見いだせたものもあるが、ほとんどはまだ基礎研究を十分に行わなければならない段階にとどまっている。
- ・実用化技術開発のテーマの中には、実用化の目標仕様とそのため課題が必ずしも適切に設定・実施されておらず、実用性に乏しい機器の試作・実証に留まる事例も見受けられ、応募テーマの採択・実施計画策定時のプログラムマネジメントが適切に機能していないと評価されるものがある。

#### <その他の意見>

- ・今は、エネファームが上市されて数年経過し、FCVは発売された段階。次に大きく市場を拡大・普及させるためには、一段の低コスト化と高機能化の両立が求められ、技術革新が必要だと思う。
- ・自動車用として開発された触媒であっても定置用に適用できる可能性がある。低コスト化が求められているのはFCVだけではないので、NEDOプロジェクトの成果物が定置用に適用できるかどうか検討してほしい。

## 【Ⅱ. 総論】

### Ⅱ-1.総合評価

#### <肯定的意見>

- NEDO の研究開発マネジメントは評価できる。特に基盤技術開発、実用化技術開発は本来の目的を達成する成果が得られたと高く評価できる。
- 2015年普及開始の次のフェーズにつながるPEFC基盤技術として、白金系触媒と電解質膜については、実用化に向けた着実な進展が得られてきた。また、本格普及期を目指した非貴金属系電極触媒についても性能面で当初の目標としたレベルに近い進展が得られた。
- 基盤技術開発として取り上げたテーマはMEAの低コストと性能向上を狙ったテーマが選定されておりよかった。ただ、基盤技術開発のテーマのなかには、次世代技術開発、あるいは実用化技術開発のプロジェクトにフェーズを変えて推進してもよいテーマがあるようだ。MEA評価をプロジェクト共通に担当するテーマを設定したことで、データの比較評価ができるようになっている点もよい。
- PEFC本格商用化に向けて低コスト・信頼性向上に焦点を絞り、基盤・実用化・次世代技術開発と短期から中長期までの幅広い技術に対応して産業界のニーズに合致したとても価値が高い制度である。

#### <問題点・改善すべき点>

- 次世代技術開発については、成果と目標に乖離が見られるテーマもあり、テーマ設計、目標設定について本来の次世代技術で狙っているものを再度検討する必要があると思われる。
- 基盤技術開発では、材料として電極触媒と炭化水素系電解質膜のみが取り上げられてきたが、セパレーターや炭素系材料等については取組みがなく偏りのあるプロジェクト構成となっており、PEFCスタック全体の低コスト・高耐久化には十分貢献できたとはいえない。アイオノマーについても物質移動や非白金触媒に特化した部分的な取組は見られるが、体系的な取組には至っていない。
- 基盤技術開発のコンソーシアムはいずれも設定課題と構成員が大きく、効果的に連携・成果の反映が進められたものばかりではないと判断される。一方で他のコンソーシアムと共通的な課題でありながら、コンソーシアム間で閉鎖的となってしまう連携を阻害している面も見うけられる。
- 基盤・次世代・実用化技術開発のすべてを俯瞰してみると、実用化にも電解質膜のテーマが、次世代、基盤にも電解質膜のテーマがあり、各テーマに分散しており、成果報告会でも全面にはでてこないテーマとなっている。また、アイオノマーのテーマ数は大変少ない。将来の燃料電池特性向上にはアイオノマーの特性向上も大変重要なので、こうした取り組みを横断的に行うことが重要。MEAの評価手法は今後も必要な機能なので、プロジェクト終了後も機能を残すことが必要。また、成果の中に触媒層の塗り方により耐久性が変わるデータがあり、NEDOプロジェクトでこれまで作ってきた解析手法だけでは不足していることを示している。MEAの特性の良し悪しを解析することも新たな課題になっている。

#### <その他の意見>

- コンソーシアム形態のプロジェクトは有機的に連携できる必要最小限の構成メンバーで進めることが望ましい。
- 基盤技術開発は、資料の構成に重複感があり、報告書を読むことに苦勞した。特にプロジェクト全体を俯瞰するまとめが無いものが多く、各研究機関の成果をまとめている資料は、プロジェクト全体で目標が達成できたのかどうか分かりづらい。また、これだけの内容を短期間に文章だけで理解・評価することには限界がある。
- 実用化技術開発は、技術内容の記載が少なく抽象的な内容のため判断が難しい。
- 基盤・実用化・次世代技術開発にテーマ分けされているが、実用化に要する開発期間の長さで整理できていない。第三者からは分かりにくいので、テーマの分け方を再考したほうが良い。

## II-2.今後の提言

### <今後に対する提言>

- 2025年に実用化するためには、2020年には技術が完成している必要があり、次世代技術は2030年以降の実用化を目指すことを目標にするチャレンジングなテーマ設定にすることが求められると思われるので、実用化推進技術開発のテーマにはふさわしくない。NEDOが平成26年度から始めたエネルギー・環境新技術先導プログラムの中に組み込んで行うことが望まれる。
- 白金系電極触媒については、低コスト化、高耐久化の観点から研究開発ペースで大きな進展がみられてきており、今後はこれをベースに工業的実用化技術としての確立の取組を継続して進めることが望まれる。
- 関連するテーマの実施者間の連携は、コンソーシアム内・間に制約されることなく、有効と推測される必要性に応じて全プログラム間ベースでNEDOがコーディネートして推進することが望まれる。
- 次世代、基盤、実用化技術開発の3本建ての制度は問題ないが、膜・触媒・アイオノマー・GDLのMEAを構成する部材は基盤として一体的に取り上げることが良い。Hi-Per-FCのシーズ創製と触媒評価指標開発、触媒作製ノウハウの蓄積は、触媒開発センターの機能として重要。FC-CubicはMEAのそれぞれの部材の解析ツールの創製と活用、MEAの特性解析などのモノサシづくりが重要。大同大学のMEA評価法は標準方法として広く第三者評価機関として今後も継続していくことを期待。
- 製品開発や製造技術開発は実用化技術として重要視されるべきと考える。次世代技術の位置づけは難しく、新規挑戦テーマと位置付けるか、更に30年以降も睨んだ新規FC動作原理まで視野に入れた取り組みにするか、今後議論検討されるとよい。
- 他国に模倣されずに、常に高い技術の競争力を維持するには、中長期にわたる基礎研究成果の積み上げが必要であるが、またその技術を製品化する開発も必要である。それらは逐次的に進めるのではなく、極力並行的に進めて開発期間の短縮を図らなくてはならない。そのためには基礎共通部分をNEDOプロジェクトで、製品化技術を民間で、と切り分けるのではなく、ある程度プロジェクト内で進める必要性を感じる。また触媒や膜などの要素技術だけ開発に成功しても、海外に対して技術の切り売りにつながる可能性がある。MEAやセル、システムといった複合物としての技術力を高めて、セットで海外展開できる必要があると思われる。
- プロジェクトの中心であるHiPer-FC、FC-Cubic、セル評価テーマの連携を強化するに当たり、統合プロジェクトリーダーがコントロールするくらいでも良いのではないか。
- 今後実用化のステージが重要となると思われるが、ステージ毎にプロジェクトリーダーを見直していく制度を設けては如何か。

### <その他の意見>

- テーマごとに、実施計画策定時と完了時に、燃料電池の実用化推進に具体的にどのように貢献するか、そしてできたかの自己評価を報告として義務付けることにより、より実用化を意識した取組が促進されるのではないか。
- 開発の進捗状況や他テーマの進捗状況により、方針や優先度の変更される場合があるが、最終報告だけを聞いても経緯等を理解するのが難しく、評価しにくい部分がある。

「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発」  
 制度評価委員会 委員名簿

(敬称略)

	氏 名	所 属
委員長	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学大学院 工学府産業技術専攻 教授
委員	あべ たけし 安部 武志	京都大学 大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻
	さとみ ともひで 里見 知英	燃料電池実用化推進協議会 企画部長
	よしたけ まさる 吉武 優	燃料電池開発情報センター 常任理事・事務局長
	こじま こういち 小島 康一	トヨタ自動車株式会社 F C技術・開発部 主査
	やまざき おさむ 山崎 修	大阪ガス株式会社 リビング事業部 商品技術開発部 部長付 シニアリサーチャー
	わりいし よしのり 割石 義典	株式会社本田技術研究所 四輪R&Dセンター 第五技術開発室 第4ブロック 主任研究員