

「燃料電池先端科学研究事業」
(事後評価)
資料5-1

「燃料電池先端科学研究事業」

事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

- 目 次 -

概要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義 I- 1

1.2 実施の効果 I- 5

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2.1 事業の背景 I- 7

2.2 事業の目的・位置づけ I-18

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

2. 事業の計画内容 II- 1

2.1 研究開発の内容 II- 1

2.2 研究開発の実施体制 II- 7

2.3 研究の運営管理 II- 8

2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性 II-14

3. 情勢変化への対応等 II-16

III. 研究開発成果について

1. コストポテンシャル向上との両立を目指した電極触媒の革新的性能向上のための

反応メカニズム解明 III- 1

2. コストポテンシャル向上との両立を目指した電解質材料の革新的性能向上のための

物質移動・反応メカニズム解明 III- 39

3. セル構成要素及び界面における物質移動速度向上のための

物質移動メカニズム解明 III- 73

4. まとめ III- 96

IV. 実用化の見通しについて

1. 実用化の見通しについて

1.1 成果展開 IV- 1

1.2 研究成果の実用化 IV- 2

2. 波及効果

2.1 関連分野への波及 IV- 4

2.2 人材育成 IV- 5

2.3 国内外連携の拠点 IV- 5

(添付資料)

- ・ 添付資料 1 エネルギーイノベーションプログラム基本計画（抜粋版） 1～14
- ・ 添付資料 2 「燃料電池先端科学研究事業」基本計画 1～ 4
- ・ 添付資料 3 PEFC ロードマップ詳細版 1～ 6
- ・ 添付資料 4 特許論文リスト 1～19

概要

		最終更新日	22年10月28日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	燃料電池先端科学研究事業	プロジェクト番号	P08001
担当推進部/担当者	新エネルギー部 担当者氏名 細井敬、小上泰司、飯尾雅俊（平成22年10月現在） 燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 細井敬、小上泰司、吉澤幸大（平成20年7月～22年3月）		
0. 事業の概要	<p>固体高分子形燃料電池（PEFC）は、高出力密度、起動停止性に優れる等の特長を有しており、燃料電池自動車（FCV）や家庭用コージェネレーションシステム（熱電併給）としての実用化が強く望まれているエネルギー革新技術である。しかしながら、本格普及には更なるコストの低減、性能、耐久性、信頼性の向上という多様な要素を満たす技術的ブレークスルーの実現が産業界より待望されており、そのためには基礎科学に立ち戻った研究開発が必要とされている。そこで、本事業ではPEFCの基幹技術である電極触媒、電解質材料、物質移動の3分野について、革新的な計測評価技術および解析技術を開発するとともに、開発した技術を用いてPEFCの反応・物質移動等のメカニズム解明を行う。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>(1) 政策上の位置付け</p> <p>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」が制定されている。本事業は、この「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施した。</p> <p>(2) NEDOが関与する意義</p> <p>FCVおよび家庭用PEFCシステム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、規制適正化、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。</p> <p>PEFCに関しては、本事業と並行し、FCVおよび家庭用PEFCシステムの電解質膜、電極触媒、周辺機器等に係る技術開発を行う「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」、「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」等を推進している。また、FCVの省エネルギー効果の明確化、社会認知度向上、実用化課題の抽出を目的としてFCVの公道走行試験や水素ステーションの運用を行う「燃料電池システム等実証研究」と、家庭用PEFCシステムの省エネルギー性、信頼性・耐久性等の実証と実用化課題の抽出を目的とした「定置用燃料電池大規模実証事業」を推進している。さらに、FCVおよび家庭用PEFCシステムに係る規制の再点検に必要なデータの収集・提供、国際標準化に向けた検討等を行う「水素社会構築基盤整備事業」を推進している。これら関係する複数のプロジェクトは連携・整合して進める必要があり、民間企業の活動のみでは効果的・効率的な研究開発が見込まれないことから、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントするNEDOの関与が不可欠である。</p> <p>とりわけ、本事業で開発された革新的な計測評価・解析技術、メカニズムの解明結果、新規材料の開発指針等を他の技術開発プロジェクトに対してタイムリーに提供・開示することでPEFCの効率的な研究開発が展開されると同時に、本事業の成果の効果や有用性の検証も可能</p>		

であり、NEDO が本事業をマネージメントすることは妥当である。

(3) 実施の効果

2010 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 2,730 億円 (70 万台/年)、FCV が約 9,900 億円 (45 万台/年) となっている。

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 CO₂ 削減量は約 1.2 トン・CO₂/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 CO₂ 削減効果が期待できる。また、FCV の CO₂ 削減量は 1 台あたり約 2 トン・CO₂/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 CO₂ 削減効果が期待できる。

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>PEFC の基幹技術である電極触媒、電解質材料、物質移動の 3 テーマについて、革新的な計測・解析手法を開発し、膜電極接合体 (MEA) における物質移動・反応メカニズムを根本的に理解し、ひいては、PEFC の基盤技術として確立することを目標とする。</p> <p>各研究開発項目とその最終目標 (平成 21 年度末) を以下に示す。</p> <p>(1) 電極触媒研究</p> <p>コストポテンシャル向上と両立した電極触媒の飛躍的性能向上のため、電極触媒における電気化学反応の速度論的測定手法を開発し、電極触媒・担体の構造 (電子構造を含む) と触媒活性・耐久性との相関性を把握する等の反応メカニズムを解明する。</p> <p>(2) 電解質材料研究</p> <p>コストポテンシャル向上と両立した電解質材料の飛躍的性能向上のため、実作動相当環境下での高次構造を解明する手段を確立するとともに、プロトン伝導、ガス透過および化学的耐久性との相関を定量的に把握する物質移動・反応メカニズムを解明する。</p> <p>(3) 物質移動研究</p> <p>セル構成要素及び界面における物質移動速度を向上のため、触媒層・ガス拡散層等の実作動相当環境下での構造解明と、これが物質移動や熱・電気伝導に及ぼす影響を定量的に把握する</p>					
-------	--	--	--	--	--	--

事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy				総額(百万円)
	電極触媒研究	337	283				620
	電解質材料研究	278	264				542
	物質移動研究	275	260				535
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位: 百万円) 契約種類: (委託 (○) 助成 () 共同研究 (負担率 ()	会計・勘定	H20fy	H21fy				総額
	一般会計						
	特別会計 (需給)	890	807				1,697
	加速予算 (加速 (補正))						
	総予算額	890	807				1,697
	(委託)	890	807				1,697

	(助成) : 助成率△/□						
	(共同研究) : 負担率 1/2						
開発体制	経産省担当原課	省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課 燃料電池推進室					
	プロジェクトリーダー	(独) 産業技術総合研究所 固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター 研究センター長 長谷川 弘					
	委託先	産業技術総合研究所 固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター 国立大学法人 お茶の水女子大学 国立大学法人 北陸先端科学技術大学院大学 学校法人 上智大学					
情勢変化への対応	特になし						
評価に関する事項	事前評価	なし					
	中間評価	なし					
	事後評価	22年度 事後評価予定					

III. 研究開発成果
について

(1) 電極触媒研究

時間分解振動分光法による速度論的計測技術の開発では、表面増強赤外反射吸収分光法を用い金電極触媒表面上の OOH 種の測定に成功した。触媒周辺の水挙動の解明では、金属電極/電解質溶液界面における和周波発生スペクトルの電位依存性を測定した。モデル触媒/担体の開発では、メソポーラスカーボン担体の合成と、その細孔内部に 1.5 ナノメートル以下の粒子径を有する白金触媒粒子を高密度に担持し、併せて Nafion アイオノマーを導入することに成功した。電極表面制御による白金量低減の研究では、異種金属基板に白金超薄膜を形成させ触媒機能発現の最適化を求め原子レベルの解析を行った。白金ナノ粒子（群）の調製では、2.5~10 ナノメートルの任意サイズの立方体形状の白金ナノ粒子の合成、及び平均 5 ナノメートルサイズの正四面体型白金ナノ粒子に成功し、さらに粒子間距離の制御技術を確立した。

(2) 電解質材料研究

水チャンネルとプロトン伝導性との相関性解明では、電気化学原子間力顕微鏡により膜中のプロトン伝導領域可視化技術を開発した。核磁気共鳴法により、膜中の水の易動性評価技術を確立した。各種ガス透過挙動の解明では、陽電子消滅法により膜中のサブナノメートル以下の空隙を評価しガス透過率測定結果との相関性解析により、ガス透過メカニズム解明に成功した。化学的耐久性の検討では、主としてフッ素系電解質膜で、側鎖分解に誘起される主鎖分子骨格の断裂を明らかにし、また化学発光法により電解質膜とラジカル化学種との反応をモニタリングする技術に目途付けを行った。機械的耐久性では、ナノインデンテーション法を活用して乾湿サイクルに伴う局所的な解析を行う技術を確立した。炭化水素系モデル電解質材料の開発では、必要な特性に合わせてブロック系電解質を設計するシステムを構築し、最適化を施して当初設定した目標値を達成する技術を開発した。

(3) 物質移動研究

ガス拡散層およびマイクロポーラス層における高温水蒸気、各種ガスの透過挙動では、細孔中に吸着した水蒸気が液体水である事を明らかにし、また水蒸気の脱着挙動の温度依存性を見出した。高温液体水の透過挙動では、面内方向での応力依存性、厚み方向でのガス拡散層/マイクロポーラス層の内部細孔径依存性を見出した。熱伝導率測定では、面内方向に高く、厚み方向に低い熱伝導率を計測、更に厚み方向での応力依存性も確認した。電気伝導率の測定では、ガス拡散層の厚み方向での大きな応力依存性を確認した。ガス拡散層付き MEA (MEGA) の応力分布測定では、高温 (120°C)・高加湿 (90%) での内部応力の面分布測定を可能にした。触媒層につき、触媒層中のアイオノマー観察のための超薄膜作成とその物性測定を行った。また、流体解析用シミュレーションソフトで、これらの測定値を用いた熱・物質移動シミュレーションを行い、律速因子の解析を行った。

投稿論文	37 件
特許	「出願済」2 件
その他の外部発表	「研究発表、講演」162 件、「新聞・雑誌等への掲載」2 件 「展示会への出展」3 件

IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本事業及び後継事業である「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」の研究成果により、PEFC システムのコストポテンシャルが向上し、高性能な MEA 材料の開発が加速し、2015 年頃の燃料電池自動車市場導入時期を迎えるものと予想される。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 20 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 21 年 3 月 改訂（研究項目名称の変更）

プロジェクト用語集

	用語	略号、英語表記 等	説明
C	Carbon Aerogel	CAG	導電性と非常に高い多孔率を有し、黒鉛粒子の代わりにカーボンナノチューブで作られたカーボンエアロゲルは、高弾性率を持つ。
	Catalyst Layer	CL	触媒、担体、アイオノマーで構成され、触媒による化学反応が生じている層。
E	Electrochemical Atomic Force Microscopy	e-AFM	原子力間顕微鏡。先端の鋭いカンチレバー（探針）を用いて、試料表面をなぞる、または試料表面と一定の間隔を保ってトレースし、その時のカンチレバーの上下方向への変位を計測することで試表面形状の評価を行う測定装置。
F	Fourier Transformed Infrared Spectroscopy	FT-IR	物質を透過した赤外線の強さを縦軸に波数（1 cm あたりの波の数）を横軸にして分子の赤外線吸収を調べ、そのパターンから化合物の定性、強度から定量を行う方法。特に化合物が有する官能基の判別に利用される。
G	Gas Diffusion Layer	GDL	燃料電池セルを構成する部材であり、触媒層とセパレータの間に位置し、電気を通す機能や化学反応に必要な空気と水素を効率よく導く機能を持つ。
I	Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry	ICP-MS	プラズマ（ICP）をイオン源として使用し、発生したイオンを質量分析部（MS）で検出する。
	Ion Exchange Capacity	IEC	プロトン伝導性を担うスルホン酸基の密度として定義され、 $IEC (\text{meq/g}) = 1000 / EW$ で算出される。なお「EW (equivalent weight, 等価質量)」は乾燥したナフィオン（プロトン型）1 グラム当たりのスルホン酸基のモル数である。
J	—	JARI	財団法人日本自動車研究所。自動車業界の研究機関として燃料電池研究を推進。
M	Membrane Electrode Assembly	MEA	燃料極（負極）、固体高分子膜（電解質）、空気極（正極）を貼り合わせて一体化した燃料電池システムの最少構成単位。
	Micro Porous Layer	MPL	ガス拡散層と触媒層の間に位置し、ガス拡散層の一部として物質移動の調整に利用されている層。
N	Nuclear Magnetic Resonance	NMR	外部静磁場に置かれた原子核は固有の周波数の電磁波と相互作用（核磁気共鳴）するが、この周波数が分子内での原子の環境によってわずかに変化することを利用し、化合物の化学構造を分析する方法。
O	Oxygen Reduction Reaction	ORR	カソード側触媒で生じる反応で、燃料電池の損失で最も大きい。
P	Polytetrafluoroethylene	PTFE	テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素原子と炭素原子のみからなるフッ素樹脂。テフロン® (Teflon®) の商品名で、化学的に安定で耐熱性、耐薬品性に優れる。
S	Surface Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy	SEIRAS	金などの微粒子の周辺にある分子の赤外吸収が増強される現象を利用する赤外分光。表面のみに非常に敏感であり、その場 (in situ) 分析ができる。

	Surface Enhanced Raman Scattering	SERS	金、銀などの表面で分子のラマン散乱光の強度が非常に大きくなる現象を利用する。
	Scanning Electron Microscope	SEM	走査電子顕微鏡。真空中に置かれた試料の表面を1～100nm程度に絞った電子線で2次元走査を行い、試料表面から発生する二次電子や反射電子を検出して試料表面の顕微鏡像を得る手法。光学顕微鏡に比べて焦点深度が2桁以上深く、nmスケールの分解能が得られる。
	Scanning Transmission Electron Microscopy	STEM	走査透過電子顕微鏡:試料位置で電子ビームを集光し、試料の各部位毎にその散乱強度を計測してイメージ化。ナノ粒子等の微細構造解析・観察ができる。
X	X線光電子分光	X-ray Photoelectron Spectroscopy ; XPS	サンプル表面にX線を照射し、生じる光電子のエネルギーを測定することで、サンプルの構成元素とその電子状態を分析することができる
	X線吸収分光	X-ray Absorption Near Edge Structure ; XANES	原子の配置の対称性や電子状態等を解析する。
	X線微細吸収分光	X-ray Absorption Fine Structure ; XAFS	特定原子付近の構造状態を知ることができる。
ア	アイオノマー	Ionomer	PEFCの触媒層において、触媒（担体）を結着するための電解質。バインダー、イオノマーと表現されることが多い。電解質膜とは異なる特性も求められる。
イ	イオン交換容量	Ion Exchange Capacity	プロトン伝導性を担うスルホン酸基の密度として定義され、IEC (meq/g) = 1000 / EW で算出される。なお「EW (equivalent weight, 等価質量)」は乾燥したナフィオン（プロトン型）1グラム当たりのスルホン酸基のモル数である。
ウ	ウルトラマイクロトーム	Ultramicrotome	顕微鏡での観察に用いる試料を極薄の切片にするために用いられる器具。樹脂等で試料を包埋し、ダイヤモンド等でカットする。
エ	エリプソメトリ	Ellipsometry	物質の表面で光が反射するときの偏光状態の変化（入射と反射）を観測し、そこから物質に関する情報を求める方法。
	液相還元法	Chemical Reduction in a Liquid-phase	金属塩溶液（水溶媒、非水溶媒）に還元剤を投入して還元する還元方法であり、溶液から一段で金属固体触媒を得る。
カ	開回路電圧	Open Circuit Voltage ; OCV	電流を取り出さない状態で生じる電圧。
	カーボンエアロゲル	Carbon Aerogel ; CAG	導電性と非常に高い多孔率を有し、黒鉛粒子の代わりにカーボンナノチューブで作られたカーボンエアロゲルは、高弾性率を持つ。
	核磁気共鳴法	Nuclear Magnetic Resonance ; NMR	外部静磁場に置かれた原子核は固有の周波数の電磁波と相互作用（核磁気共鳴）するが、この周波数が分子内での原子の環境によってわずかに変化することを利用し、化合物の化学構造を分析する方法。
	緩和時間	Relaxation Time	NMR から得られる情報の1つ。

	(電解質材料の) ガス透過率	Gas Permeability	単位体積・時間あたりに膜中を透過するガス(酸素や水素)の体積量。電解質膜においては、ガス透過(クロスリーク)に伴う副反応により触媒劣化が予想されるため、より低いガス透過率が望まれる。
	ガス拡散層	Gas Diffusion Layer ; GDL	燃料電池セルを構成する部材であり、触媒層とセパレータの間に位置し、電気を通す機能や化学反応に必要な空気と水素を効率よく導く機能を持つ。
キ	共重合体	Co-Polymer	2種類以上のモノマーを用いて行う重合のこと。
ク	クロスセクションポリッシャー	Cross-section Polishing	ブロードな Ar イオンビームを用いて顕微鏡用試料の断面の研磨を行う方法で、損傷が少ない。
ケ	ケルビンフォース顕微鏡	Kelvin probe Force Microscopy ; KFM	測定試料の表面形状像の取得と同時に、探針と試料の間にはたらく静電引力によるカンチレバーの変位を検出することによって試料の接触電位差を測定する。
	ゲルパーミエーションクロマトグラフィ-多角度光散乱検出器 (GPC-MALLS)	Gel Permeation Chromatography coupled with a Multiangle Laser Light Scattering Photometer	高分子の分子量測定方法。ゲルパーミエーションクロマトグラフ測定法に光散乱測定法を付した測定方法。
コ	固体高分子型燃料電池	Polymer Electrolyte Fuel Cell ; PEFC	電解質に固体のプロトン交換膜を用いる燃料電池で、電解質としてパーフルオロエチレンスルホン酸系膜などを用いる。電池作動温度は、常温～80℃である。
	高次構造	Conformation	高分子において高分子鎖を構成する単位の種類とその配列順序を一次構造と呼ぶのに対する、個々の高分子鎖の立体配置(二次構造)や折り畳み構造(三次構造)などの空間配置構造。
	コアシェル型触媒	Core-Shell Structured Catalyst	表面のみを活性の高い材料(白金)で形成した触媒材料。
	高配向性熱分解黒鉛	Highly Oriented Pyrolytic Graphite ; HOPG	静置基板発熱体上に生成させた熱分解炭素に高温、加圧処理を施して得る高配向性黒鉛を言う。
サ	酸素還元反応	Oxygen Reduction Reaction ; ORR	カソード側触媒で生じる反応で、燃料電池の損失で最も大きい。
シ	シンクロトロン光	Synchrotron Light	X線光源として他の光源より3~4桁強く、その他の特徴も蛍光X線分析に有利に働く。連続スペクトルである光を単色化することにより、特定の微量元素を検出することができる。
	小角エックス線散乱	Small Angle X-ray Scattering	X線を物質に照射して散乱するX線のうち、散乱角が小さいものを測定することにより物質の構造情報を得る手法である。
	触媒層	Catalyst Layer ; CL	触媒、担体、アイオノマーで構成され、触媒による化学反応が生じている層。
	触媒層付きガス拡散層	Gas Diffusion Electrode ; GDE	ガス拡散層に触媒層を形成したもの。

	親水・疎水部	Hydrophilic Part, Hydrophobic Part	水分子と親和性の良い部たとえばスルホン酸基などを親水部、一方水との親和性が悪い（一般には油との親和性が良い）部を疎水部と呼ぶ。
	時間分解高感度計測	Time-Resolved Measurement	時間分解能を高めた計測法。
	自立膜	Self-supported Membrane	薄膜において、それ自体で自立可能な機械的強度を有する膜をいう。
	自由体積	Free-volume	自由体積とは高分子の分子運動にともない瞬間的に生成消滅する固体内空隙。陽電子消滅法で測定が可能に。
ス	水晶振動子マイクロバランス法	Electrochemical Quartz Crystal Microbalance; EQCM	水晶振動子の電極表面に物質が付着するとその質量に応じて共振周波数が変動する（下がる）性質を利用し極めて微量な質量変化を計測する質量センサー。
	水蒸気透過	Water Vapor Permeability	各層および界面を透過する水蒸気の物質移動。
ソ	側鎖	Side Chain	鎖式化合物の分子構造で、最も長い炭素原子の主鎖から枝分かれした部分。
	走査型プローブ顕微鏡	Scanning Probe Microscope ; SPM	先端の鋭いカンチレバー（探針）を用いて、試料表面をなぞる、または試料表面と一定の間隔を保ってトレースし、その時のカンチレバーの上下方向への変位を計測することで試表面形状の評価を行う測定装置。
タ	炭化水素系電解質膜	Hydrocarbon Polymer Electrolyte Membrane	デュポン社の Nafion に代表される含フッ素系電解質と対照的に、フッ素をほとんど（または全く）含まず、炭素、水素、酸素、窒素、硫黄などを主な構成元素とする電解質膜。一般的には優れた耐熱性及び機械特性を有する芳香族炭化水素高分子、例えばポリイミド、ポリエーテル、ポリフェニレンなどが用いられる。
	担体	Support	触媒層でナノオーダーの白金触媒を保持する。
テ	（電解質）膜電極接合体	Membrane Electrode Assembly ; MEA	燃料極（負極）、固体高分子膜（電解質）、空気極（正極）を貼り合わせて一体化した燃料電池システムの最少構成単位。
	電極触媒	Electrode Catalyst	電極の電気化学反応の速度を促進させる触媒。
	電気化学原子間力顕微鏡	Electrochemical Atomic Force Microscopy ; e-AFM	原子力間顕微鏡。先端の鋭いカンチレバー（探針）を用いて、試料表面をなぞる、または試料表面と一定の間隔を保ってトレースし、その時のカンチレバーの上下方向への変位を計測することで試表面形状の評価を行う測定装置。
ナ	ナフィオン	Nafion	デュポン社の商標で、フッ素系電解質の代表的な膜として使用されている。
	軟 X 線発光分光法	Soft X-ray emission spectroscopy	シンクロトロン放射光を励起線として用いた軟 X 線発光分光法からは元素および電子軌道を選択した詳細な電子構造情報を得ることができる。
ハ	パーフルオロスルホン酸ポリマー	Perfluorosulfonic Acid Polymer	フッ素樹脂系のイオン交換膜。プロトン導伝性が高いのが特徴で、米 DuPont 社の Nafion 膜が有名である。
ヒ	表面増強赤外分光法	Surface Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy ; SEIRAS	金などの微粒子の周辺にある分子の赤外吸収が増強される現象を利用する赤外分光。表面のみに非常に敏感であり、その場（in situ）分析ができる。

	表面増強ラマン分光法	Surface Enhanced Raman Scattering ; SERS	金、銀などの表面で分子のラマン散乱光の強度が非常に大きくなる現象を利用する。
フ	フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR)	Fourier Transformed Infrared Spectroscopy	物質を透過した赤外線の高さを縦軸に波数 (1 cm あたりの波の数) を横軸にして分子の赤外線吸収を調べ、そのパターンから化合物の定性、強度から定量を行う方法。特に化合物が有する官能基の判別に利用される。
	ブロック共重合ポリマー	Block Co-Polymer ; bcp	同種類のポリマーが複数でブロックを形成し、異なる種類のポリマーからなるブロックと交互に結合したポリマー。
	プラズモニック結晶基板	Plasmonic Crystal	規則的凹凸を有する陰極表面での表面プラズモン共鳴を利用して光エネルギーの取り出す基板。
マ	マイクロポーラス層	Micro Porous Layer ; MPL	ガス拡散層と触媒層の間に位置し、ガス拡散層の一部として物質移動の調整に利用されている層。
メ	メソポーラス	Meso-Porous	1nm から数十 nm の大きさの孔 (メソポア、meso-pore) を多数持つ材料
モ	モルフォロジー	Morphology	形態のこと。高分子膜においては、その親水部・疎水部等によりマイクロな相分離構造が形成され、その形態のことを指す。
ヨ	陽電子消滅法	Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy ; PALS	陽電子消滅法は、物質内の原子空孔を直接的に検出できる評価手法で、正の電荷を持つ陽電子が、同じく正の電荷を持つ原子核が抜けた穴 (原子空孔) に捕獲されやすいという性質を利用しています。陽電子が消滅するとき発生する γ 線を検出する。
ラ	ラジカル化学種	Radical	不対電子を持つため極めて活性が高く反応性の高い化学種。
	ラングミュア・プロジェット法	Langmuir Blodgett ; LB	常温、常圧下において、水面上に単分子膜を形成する方法。
ワ	和周波発光	Sum Frequency Generation ; SFG	2次非線形振動分光法で、表面もしくは界面の分子振動を解析 (構造・配向) することができる。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1. 1 NEDO が関与することの意義

(1) エネルギー政策上の位置付け

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」(別添1)が2008年4月に制定された。「燃料電池先端科学研究事業」(以下、本事業という。)は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施した。

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(CO₂)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO_x、浮遊粒子等)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。また、総合資源確保戦略として石炭ガス化燃料電池複合発電の開発・普及を図るとしている。

「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」(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、CO₂排出量の大幅削減を可能とする21の革新技术が選定されているが、図1.1-1に示すように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(FCV)が選定されている。

「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FCV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。

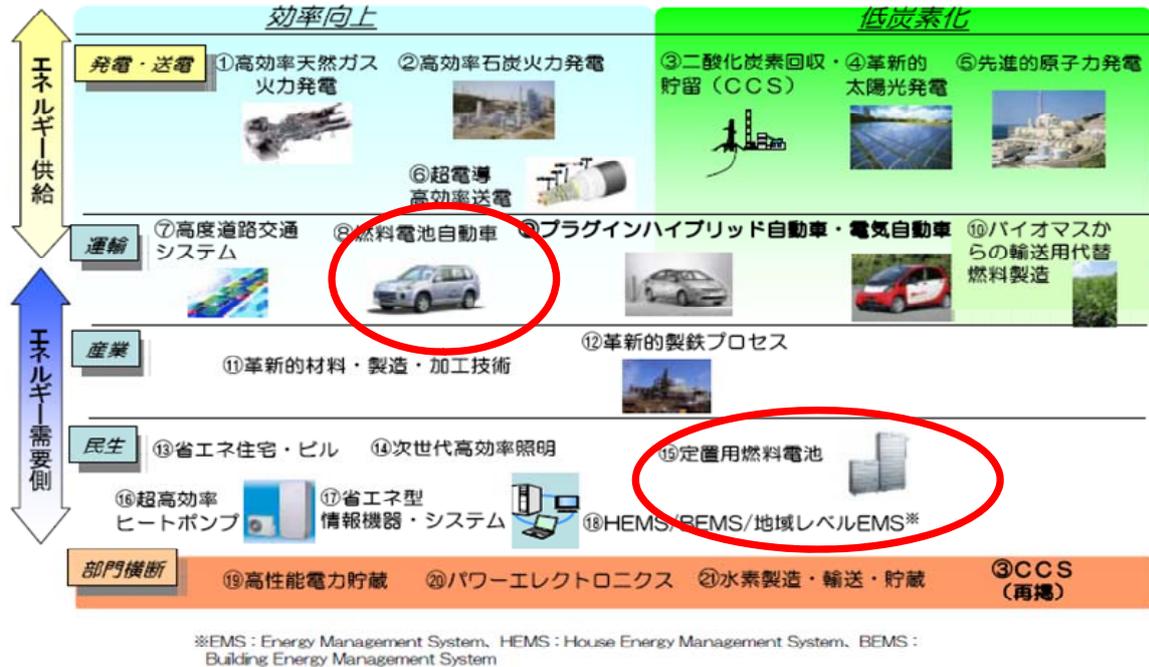
「エネルギー基本計画」(経済産業省、2010年6月)では、エネルギー源のベストミックスを確保するためには燃料電池の技術開発の促進と内外への普及拡大によって天然ガスシフトを推進すべきであること、燃料電池の普及に向けた最大の課題であるコストの低減に向けて基礎的な部分も含めた技術開発を推進するとしている。

「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。

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。

「Cool Earth－エネルギー革新技術 技術開発ロードマップ」 【出典：経済産業省】

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



出典：経済産業省「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」

図 1.1-1 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

(2) 研究開発政策上の位置付け

経済産業省は、政策を踏まえて、全ての研究開発プロジェクトを 7 つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進しているが、前記したように、本事業はそのうちの「エネルギーイノベーションプログラム」に含まれている。

我が国が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・普及により世界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むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。「エネルギーイノベーションプログラム」は、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有し、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを旨として制定されており、下記する 5 つの柱で構成される。

- ① 総合エネルギー効率の向上
- ② 運輸部門の燃料多様化
- ③ 新エネルギー等の開発・導入促進
- ④ 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

⑤ 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、電解質に固体高分子膜を使用し 80℃程度の比較的低い温度領域で作動するために、小型で起動時間が短いという特徴を持ち、FCV や家庭用コージェネレーションへの使用に適している。特に FCV は石油・天然ガス・水電解等の多様な燃料から製造できる水素を燃料として用いることで、運輸部門でのエネルギー多様化を可能とする。将来は、自然エネルギーを利用した電力による水電解による水素を利用することも考えられ、新エネルギー利用を大きく拡大する可能性を備えている。

このため産業界において普及に向けての開発が進んでいるが、本格普及には更なるコストの低減、性能・耐久性・信頼性の向上という多様な要件を満たす革新的なブレークスルーが必要で、既存技術の延長線上での改善では到達しえない部分がある。このため、本事業において基礎科学に立ち戻った PEFC の現象・反応の解明を行い、企業等への技術開発指針を示すための研究を行った。

以上のことから、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運輸部門の燃料多様化に資する技術（上記②に該当）、新エネルギー等の開発・導入促進（上記③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) NEDO の関与の必要性

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、図 1.1-2 に示すように、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。

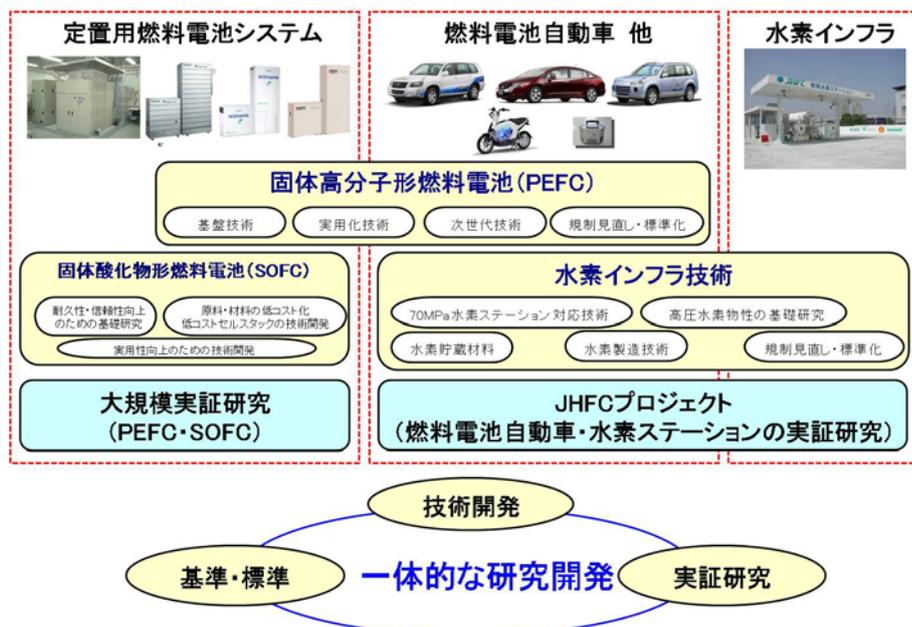
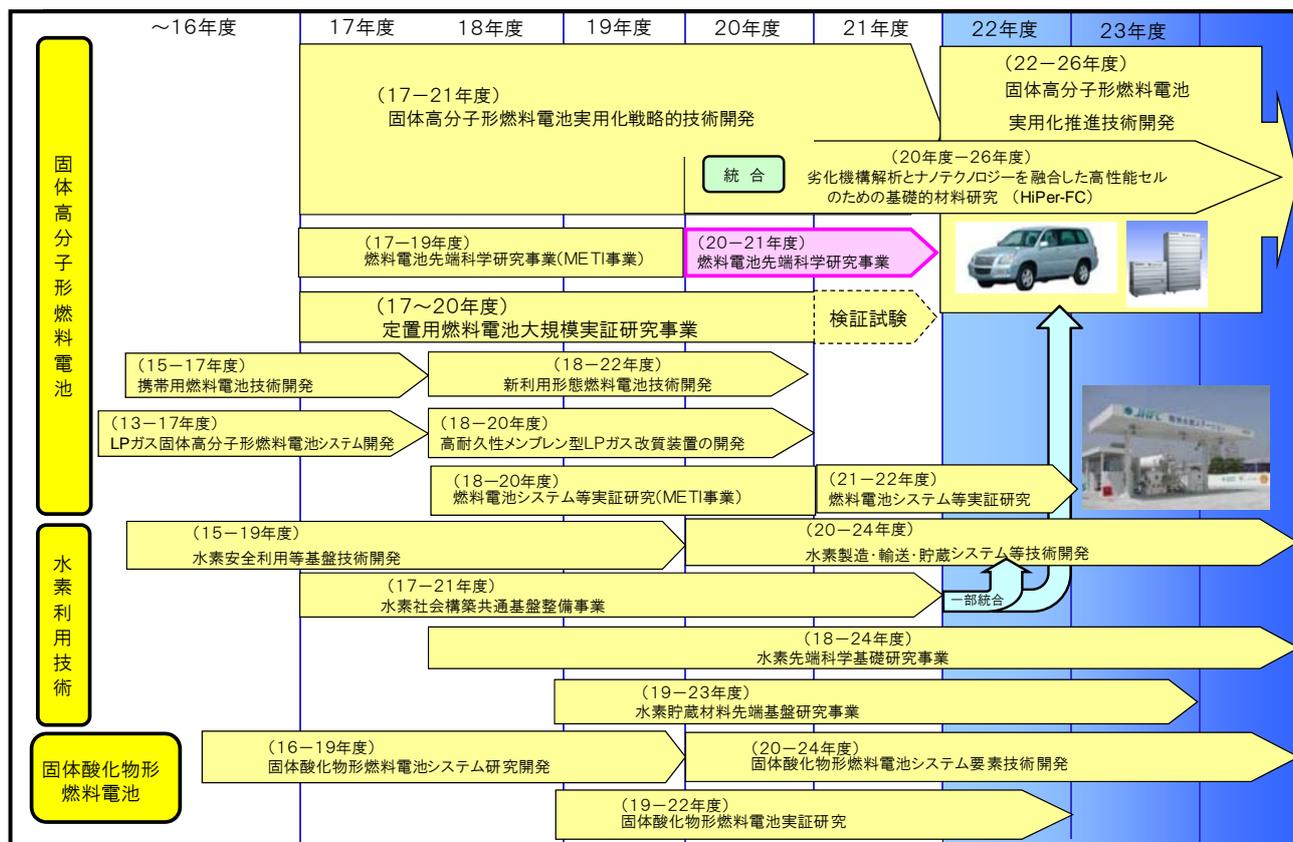


図 1.1-2 NEDO における燃料電池・水素分野の取り組みの概要

表 1.1-1 に NEDO の燃料電池・水素技術分野のプロジェクトの年度展開を示す。

PEFC に関しては、本事業と並行し、FCV および定置用燃料電池システムの電解質膜、電極触媒、周辺機器、改質器等に係る技術開発を行う「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」(2005～2009 年度)、「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」(2008～2014 年度)を推進している。また、FCV の省エネルギー効果・環境負荷低減効果の明確化、社会認知度向上、実用化における技術課題の抽出を目的として FCV の公道走行試験や水素ステーションの運用を行う「燃料電池システム等実証研究」(2009～2010 年度)と、家庭用 PEFC システムの省エネルギー性、信頼性、耐久性等の実証と実用化課題の抽出を目的として累計約 3,300 台の PEFC システムを全国に設置した「定置用燃料電池大規模実証事業」(2005～2009 年度)を推進している。さらに、FCV および家庭用 PEFC システムに係る規制の再点検に必要なデータの収集・提供、国際標準化に向けた検討等を行う「水素社会構築基盤整備事業」(2005～2009 年度)を推進している。これら関係する複数のプロジェクトは連携・整合して進める必要があり、民間企業の活動のみでは効果的・効率的な研究開発が見込まれないことから、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントする NEDO の関与が不可欠である。

表 1.1-1 NEDO 燃料電池・水素技術分野のプロジェクトの年度展開



1. 2 実施の効果

(1) 経済効果

2010年に㈱富士経済が実施した国内市場規模の予測を、FCVについて図1.2-1に、家庭用PEFCについて図1.2-2に示す。市場は2015年頃から立ち上がり、2020～2025年に普及が拡大すると予測されている。2025年の市場規模は、自動車用PEFCが約9,900億円（45万台/年）、家庭用PEFCが約2,730億円（70万台/年）と予測されている。

このように、PEFCの市場規模はFCVと家庭用PEFCを合わせて2025年で約1兆2,600億円となっており、その経済効果への期待は大きい。なお、欧米で既に市場が確立しつつあるPEFCフォークリフトや非常用電源、モバイル機器用の小型電源についても今後、市場が立ち上がる可能性がある。

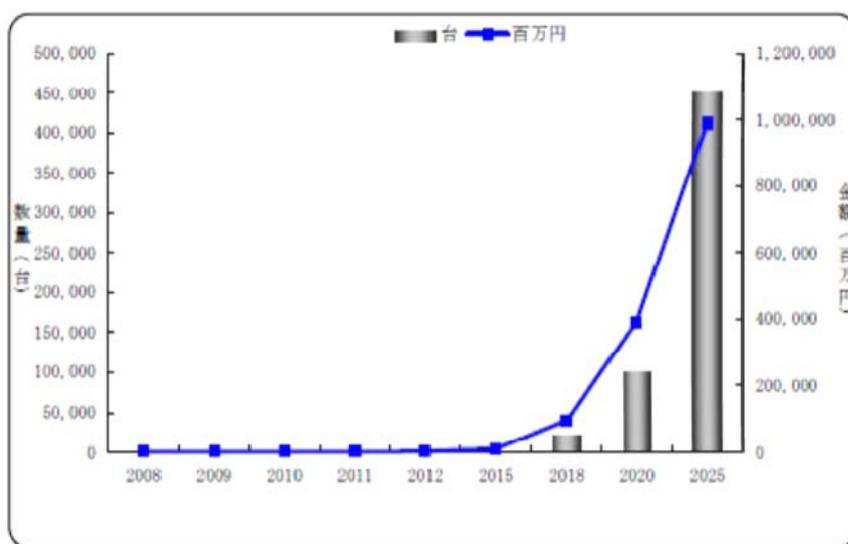


図 1.2-1 2025年のFCVの市場規模

出典：「2010年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望 上巻」(株式会社富士経済)

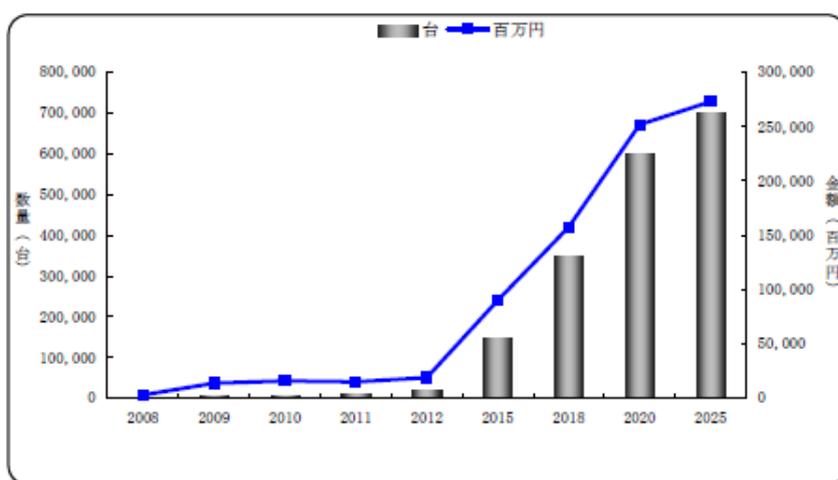


図 1.2-2 2025年の家庭用PEFCの市場規模

出典：「2010年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望 上巻」(株式会社富士経済)

(2) CO₂削減効果

「燃料電池システム等実証研究」における試算結果では、図 1.2-3 に示すように、FCV の CO₂ 排出量（1 次エネルギーの採掘から車両走行に至る全エネルギーを考慮した際の CO₂ 排出量）はガソリン車の約 1/3 となっている。一方、運輸部門の CO₂ 排出量を 257 百万トン/年（2005 年度：「長期エネルギー需給見通し」による）の 9 割が自動車によるものとし、保有台数を約 7,500 万台とすれば、自動車 1 台当たりの約 3 トン・CO₂/年となる。したがって、FCV 1 台当たりの CO₂ 削減量は約 2 トン・CO₂/年となる。これに前記した 2025 年の FCV の市場規模（導入台数 45 万台/年）を当てはめると、年間 90 万トンの CO₂ 削減効果が期待できることになる。

また、「定置用燃料電池大規模実証研究」において実測された家庭用 PEFC システムの CO₂ 削減量は、系統電力とガス給湯器の組み合わせに対して 1 台当たり約 1.2 トン・CO₂/年となっている。これに前記した 2025 年の家庭用 PEFC の市場規模（導入台数 70 万台/年）を当てはめると、年間 84 万トンの CO₂ 削減効果が期待できる。

FCV と家庭用 PEFC を合わせると、2025 年における CO₂ 削減効果は年間約 174 万トンとなる。

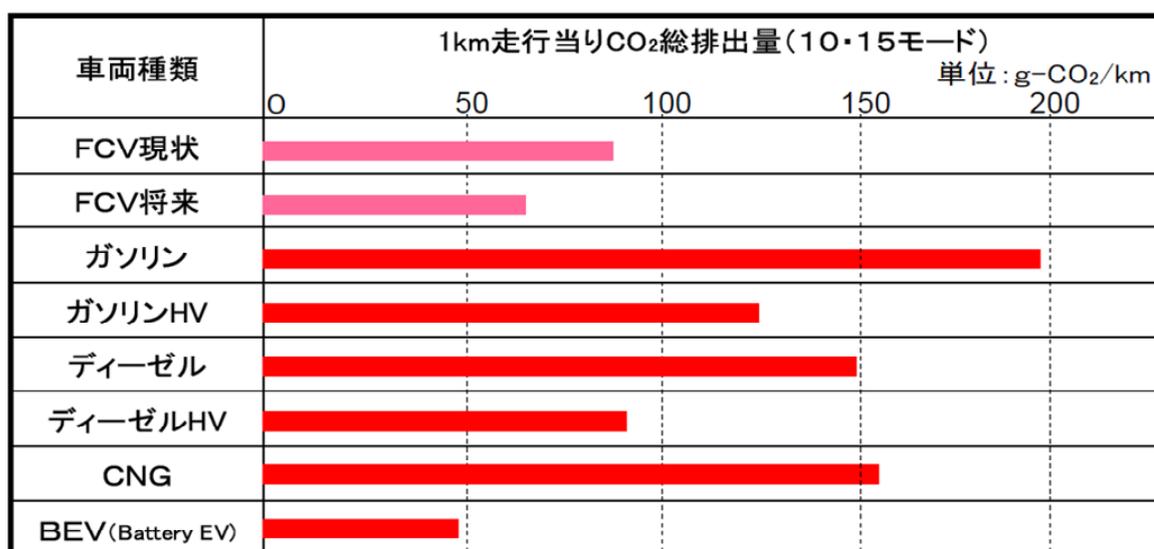


図 1.2-3 各種車両の Well to Wheel の CO₂ 排出量

2. 事業の背景・目的・位置付け

2. 1 事業の背景

(1) 我が国における FCV の動向

我が国においては FCV 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。図 2.1-1 に JHFC プロジェクトの概要を示す。

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、表 2.1-1 に示すように、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。



図 2.1-1 JHFC プロジェクトの概要

表 2.1-1 各自動車メーカーの FCV

	トヨタ FCHV-adv	ホンダ FCX Clarity	日産 X-TRAIL FCV 2005モデル	GM Chevrolet Equinox	Daimler B-class F-cell
車両重量	1,880 kg	1,625 kg	1,860 kg	2,010 kg	
航続距離	830 km	620 km	500 km以上	320 km	400 km
最高速度	155 km/h	160 km/h	150 km/h	160 km/h	174 km/h
燃料電池出力	90 kW	100 kW	90 kW	93 kW	80 kW
水素充填圧力	70 MPa	35 MPa	70 MPa	70 MPa	70 MPa

トヨタ自動車は2008年6月にFCHV-advの型式認証を取得し、9月よりリース販売開始している。本田は2008年6月にFCXクラリティの第1号車（米国仕様）をラインオフし、日米合わせた販売計画台数として年間数十台、3年間で200台程度を予定していることを公表している。日産自動車は2008年8月に新開発の燃料電池スタックを発表し、出力を従来の90kWから130kWに向上させながら、体積を3/4にして高出力密度化を実現している。

また、2008年7月、我が国の主要な自動車メーカー、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）によって、2015年に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という普及シナリオ（図2.1-2）が発表されている。さらに、2010年7月には、このシナリオをさらに発展させものとして、2025年時点でFCVを200万台程度、水素ステーションを1,000箇所程度普及させ、その後は経済原理に基づいて自立的に普及させていくとのシナリオ（図2.1-3）が発表されている。

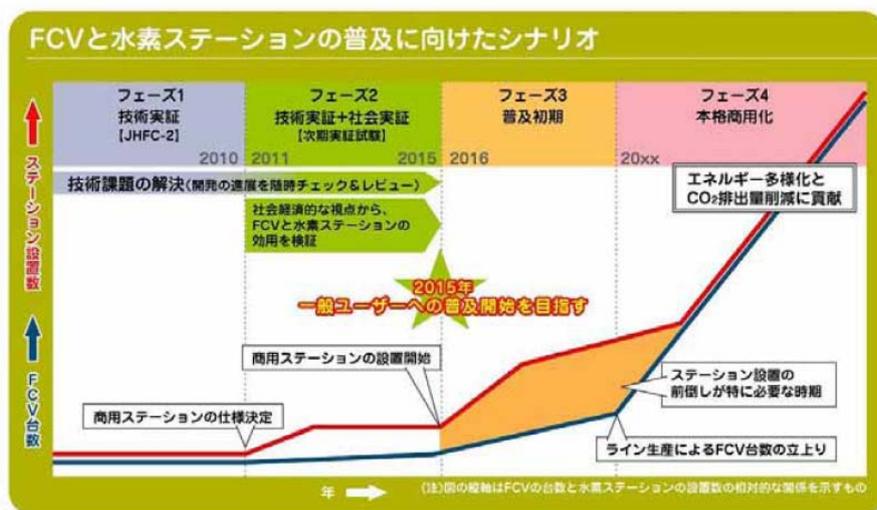


図 2.1-2 FCV と水素ステーションの普及シナリオ（2008年7月 FCCJ 発表）

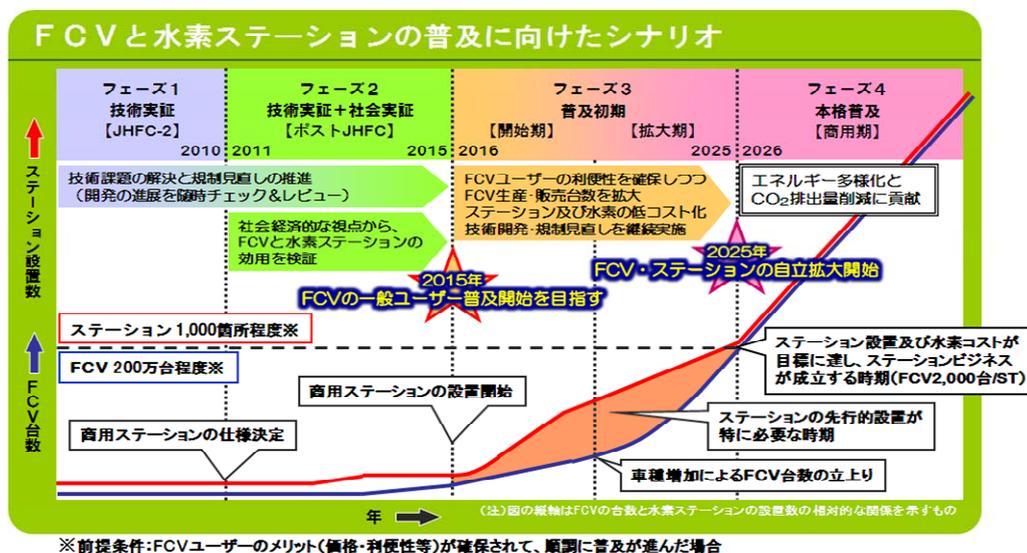


図 2.1-3 FCV と水素ステーションの普及シナリオ（2010年7月 FCCJ 発表）

(2) 我が国における定置用システムの動向

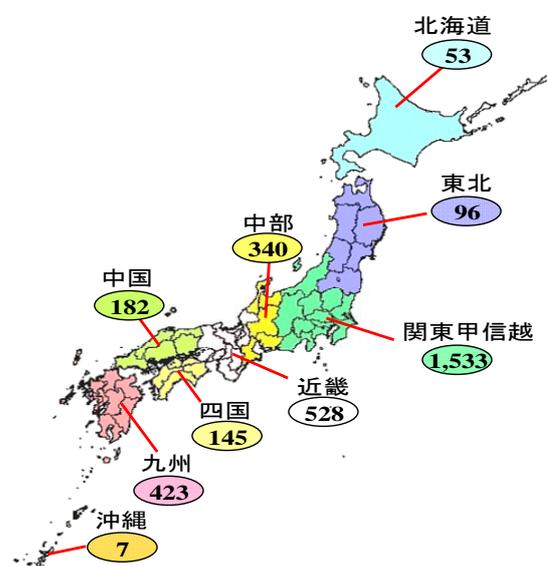
我が国においては家庭用 PEFC システムの普及を目指し、2002 年度から 2004 年度まで「定置用燃料電池システム実証研究」が、2005 年度より 2009 年度まで「定置用燃料電池大規模実証研究」が NEDO 事業として実施されてきている。

「定置用燃料電池大規模実証研究」では、表 2.1-2 に示すように、日本全国に累計約 3,300 台の家庭用 PEFC システムを設置して実運転を行い、省エネ性、信頼性、耐久性等を実証した。この事業で確認された一次エネルギー削減量と CO₂ 削減量はトップ機種で 12,180MJ/年（省エネ率 25%）、1.3 トン/年（CO₂ 削減率 39%）である。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ている。市場導入初年度の販売実績は 5,258 台であり、今後 5 年間で 4 万台以上が導入される見込みである。

FCCJ の導入・普及シナリオを図 2.1-4 に示す。2020 年度に累積導入 250 万台、年間約 300 万トンの CO₂ 削減を目指している。現在は、景気低迷という厳しい環境の中、システムメカ、材料メカ、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、市場形成に向けた努力が進められている。

表 2.1-2 「定置用燃料電池大規模実証研究」の概要

実施者	燃料種	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	計
東京ガス	都市ガス	150	160	210	276	796
大阪ガス	都市ガス	63	80	81	141	365
東邦ガス	都市ガス	12	40	38	34	124
西部ガス	都市ガス	10	10	13	10	43
北海道ガス	都市ガス	-	10	10	5	25
日本瓦斯	都市ガス	-	3	4	3	30
	LPガス	-	7	6	7	
新日本石油	都市ガス	-	-	-	11	
	LPガス	134	226	250	403	1328
	灯油	-	75	146	83	
出光興産	LPガス	33	40	50	28	151
ジャパンエナジー	LPガス	30	40	34	40	144
岩谷産業	LPガス	10	34	29	10	83
コスモ石油	LPガス	10	19	14	13	
	灯油	-	-	5	5	66
太陽石油	都市ガス	-	-	-	2	50
	LPガス	8	13	18	9	
九州石油	LPガス	8	10	12	10	40
昭和シェル石油	LPガス	6	10	10	10	36
レモンガス	LPガス	6	-	-	-	6
エネアージュ	LPガス	-	-	-	10	10
サイサン	都市ガス	-	-	-	2	
	LPガス	-	-	-	8	10
計		480	777	930	1120	3307



システムメカ	LPG	都市ガス	灯油	合計
ENEOSセルテック	1062	191	0	1253
荏原製作所	0	396	314	710
東芝燃料電池システム	554	194	0	748
パナソニック	0	520	0	520
トヨタ自動車	0	76	0	76
合計	1,614	1,379	314	3,307



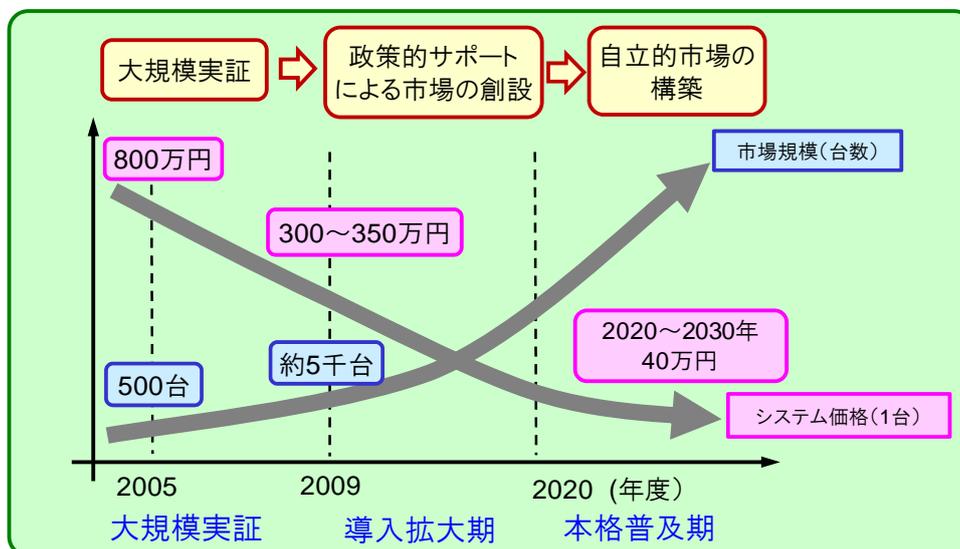


図 2.1-4 家庭用 PEFC システム (エネファーム) の普及シナリオ

(3) PEFC 普及に向けた技術開発課題

FCV 普及に向けての最大の課題は、現在、1 台数千万と言われているコストの低減である。2010 年に NEDO が実施したコスト分析結果では、FCV を年間 50 万台生産した時の燃料電池システム (100kW クラス) のコストは 100 万円と内燃機関の数倍になっている。これに車両コストが上乗せされるので、一般ユーザーへの普及は難しく、更なる技術改良が必要である。

家庭用 PEFC システムについても同様に、普及に向けた最大の課題はコスト低減である。前記「定置用燃料電池大規模実証研究」開始当初に比べて 1/3 程度に低減されたが、現状のシステム価格は 300~350 万円台と依然高価である。CO₂ 削減に貢献する規模の市場形成には、図 2.1-4 に示したように、システム価格は 2015 年頃に 50~70 万円、2020 年以降 40 万円まで低減する必要がある。

コストダウンに向けては、次の 2 つの技術改良が重要である。

① 材料コストの低減

MEA (膜-電極接合体) の出力電圧を高く保ちつつ電流密度を高めて、セルの使用面積を低減し、電解質膜や白金触媒等の使用量を削減する。

② システムの簡素化

MEA のロバスト性を向上させ、周辺機器への依存を軽減し、システムを簡素化する。具体的には、加湿器の削減および空気供給系・水素循環系等の簡素化。

これら技術改良を進めるには、MEA を構成する電解質膜と電極触媒の高性能化、高耐久化および低コスト化が求められる。電解質膜はプロトン伝導、電子遮断、ガス遮断といった機能を担っており、MEA の高温作動化・低加湿作動化・高耐久化を図る際に性能向上が最も求められる材料である。また、コストも本格普及期の目標（1,000 円/m²）と隔たりがあり、低減する必要がある。電極触媒に関しては、現状の FCV での白金使用量が 0.5~1.0g/kW（FCV1 台で約 50~100g）となっており、地金コストだけでも大きな負担である。また、本格普及期に資源面の制約を招く可能性がある。さらに、FCV の加減速運転とアイドル運転で白金の一部が溶出し、MEA の性能が低下することも確認されている。そのため、白金使用量を現状の 1/10 レベルまで低減し、かつ耐久性を確保する低白金化技術、あるいは白金を全く使用しない新規触媒の開発が求められている。こうした新規材料の開発を効率的に進めるには、FCV の各運転条件下において MEA 内で起きている現象とそのメカニズムの根本を理解する必要がある。そのためには、実験解析と数値解析の両面での手法開発と適用が重要である。

2007 年 1 月、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」に記載された MEA の発電環境イメージを表 2.1-3 に、膜・触媒目標達成のためのアプローチを図 2.1-5 に示す。FCV の低コスト化のためには「高温化」、「低加湿化」、「低圧化」、「低ストイキ化」が必要であり、これらを実現するためには従来のエンジニアリング的アプローチだけでは限界があり、反応と物質移動のメカニズム、機能・制御パラメータをより深く理解して新しいアイデアを創出する必要があるとされている。

表 2.1-3 FCV 用 MEA の発電環境イメージ

出典：FCCJ「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」

I-1 発電環境(自動車用PEFC作動環境)イメージ					
・自動車用MEAの発電環境は燃料電池車両の実用性向上、発電システム全体の小型、低コスト化を鑑み、以下のような方向性となる。					
「高温化」、「低湿度化」、「低圧化」、「低ストイキ化」					
分類	No	項目	2010	2015~20	最終目標
作動条件	1	セル作動温度 (始動含む、冷庫出口温度)	-30~90℃	-30~100℃	-40~120℃以上
	2	作動ガス入り口 下限相対湿度	40%	30%	加湿器レス
	3	作動ガス出口圧力 (kPa:絶対圧)	140	120	100
	4	作動ガス ストイキ	空気	1.5	1.3
		水素	1.3	1.1	1.0(循環無し)
本作動条件は各年代における燃料電池車両での運転環境を想定したものであり、将来における技術の選択・開発に制約を与えるものではない。					

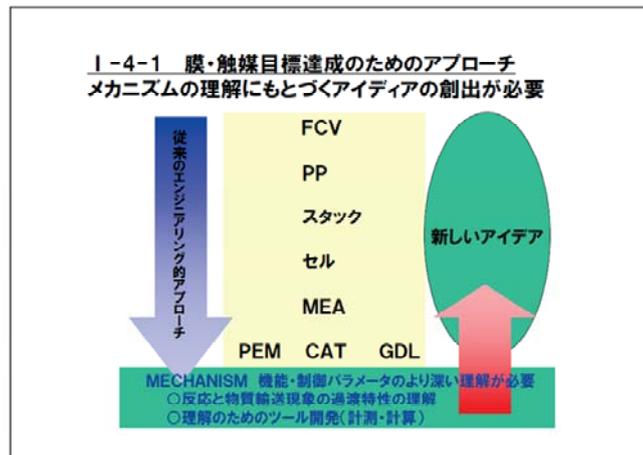


図 2.1-5 膜・触媒目標達成のためのアプローチ

出典： FCCJ 「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」

(4) 海外における PEFC 開発動向

a. 米国の動向

米国ではPlug Power社、Ballard Power System社、Hydrogenics社、Nuvera社等がPEFCを商品化しており、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から市場が形成されつつある。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、2010年時点で州内に26カ所の水素ステーションの設置と250台のFCVを導入した。2014年までに46カ所の水素ステーションと4,300台のFCVの導入を見込んでい

る。

図2.1-6に示すように、米国エネルギー省（DOE）は2004年から水素・燃料電池に関する支援を継続して強化しており、水素・燃料電池に対する強い期待が伺える。また、図2.1-7に示すように、燃料電池のプログラムでは電解質膜研究開発に13.3M\$、触媒研究開発に10.4M\$と全体予算の約4割を割いており、この分野に力を入れていることが分かる。

また、表2.1-4に、DOEの燃料電池研究開発戦略（出典：「平成19年度 欧米における燃料電池自動車の政策動向 技術動向調査報告書」平成20年3月日本自動車研究所）を示す。これによると、DOEにおいても電解質膜、触媒・触媒層、水マネージメント等、我が国と同様に共通課題を設定して研究が進められている。

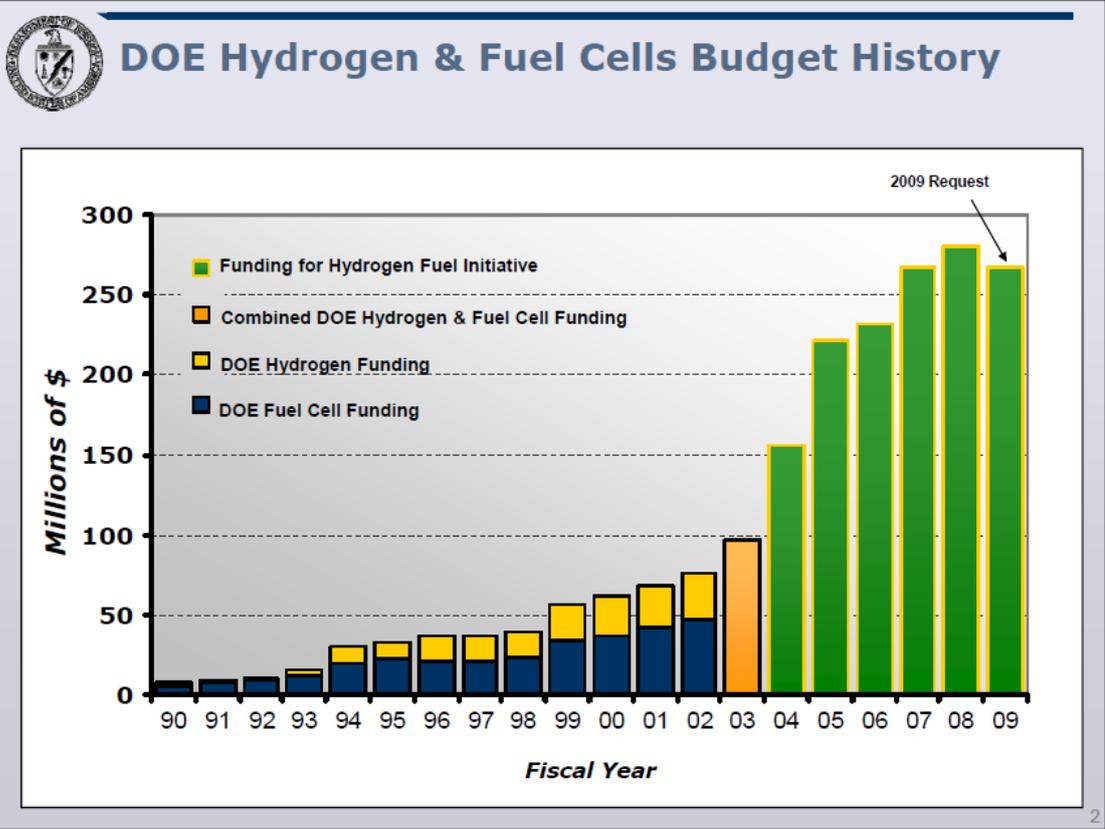


図2.1-6 DOEの水素・燃料電池プログラムの予算推移

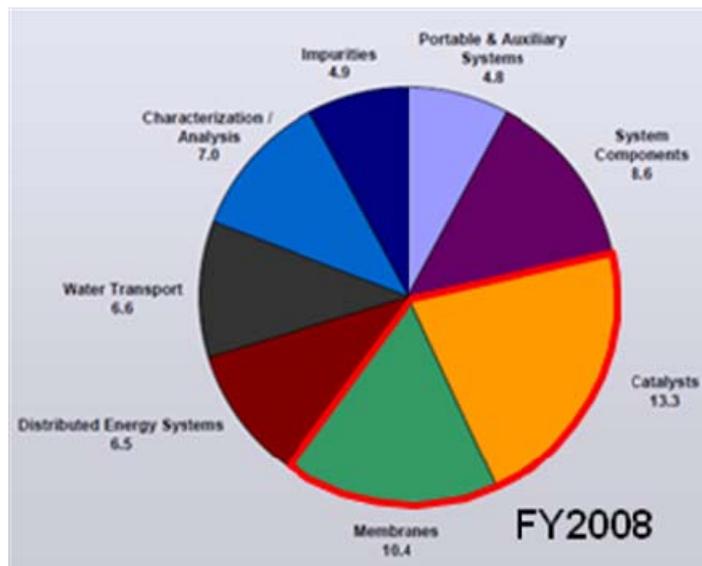


図2.1-7 DOEの燃料電池プログラムの予算内訳

表2.4-1 DOE の燃料電池研究開発戦略

出典：「平成19年度 欧米における燃料電池自動車の政策動向 技術動向調査報告書」平成20年3月日本自動車研究所

<p>メンブレン</p>	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スタックの性能と耐久性はメンブレンの特性に依存 ・ メンブレンが、主たるコスト要因 ・ メンブレンにおける制約がシステムの複雑さの原因 <p>高温メンブレンの R&D</p> <p>戦略 1: 相分離(ポリマーとメンブレン)の抑制 戦略 2: 非水溶性の伝導体 戦略 3: 親水性の添加物の採用</p>
<p>触媒及びサポート</p>	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全スタックコストの 80%が白金コスト ・ 触媒の耐久性向上が必要 <p>戦略的な触媒・サポート材の R&D</p> <p>戦略 1: 白金族の担持量の低減 戦略 2: 白金合金の採用 戦略 3: 斬新なサポート材の構造 戦略 4: 非白金触媒</p>
<p>水管理</p>	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低温下における水の挙動の理解 ・ 高出力時のフラディング抑制のための水マネジメント ・ メンブレンのドライアウトの抑制のための水マネジメント
<p>分析</p>	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料電池内の水挙動の分析(光学的分析、中性子の利用) ・ 理論的なモデリング ・ 凍結状況の分析 ・ 氷点下での起動・停止のプロトコル

b. 欧州の動向

欧州では、燃料電池・水素の EU プロジェクト (FCH JTI) により燃料電池の研究開発が進められており、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。実証の中心的な事業はベルリンおよびハンブルグ市の公共交通機関、国内主要自動車メーカー、エネルギー事業者が参加して 2002 年にスタートしたクリーンエネルギー・パートナーシップ (CEP) であり、2008 年々に水素動力車両の走行距離は 50 万 km に達している。

NIP の予算規模は 10 年間で 14 億ユーロとなっている。図 2.1-8 に示すように、特に自動車分野に多くの予算を割り当てている。また、NIP の FCV（自動車）分野のロードマップを図 2.1-9 に示す。2010 年までの第 1 期が既存技術の改良発展段階、それ以降 2015 年までの第 2 期が市場向け製品開発のための実証期間とされている。

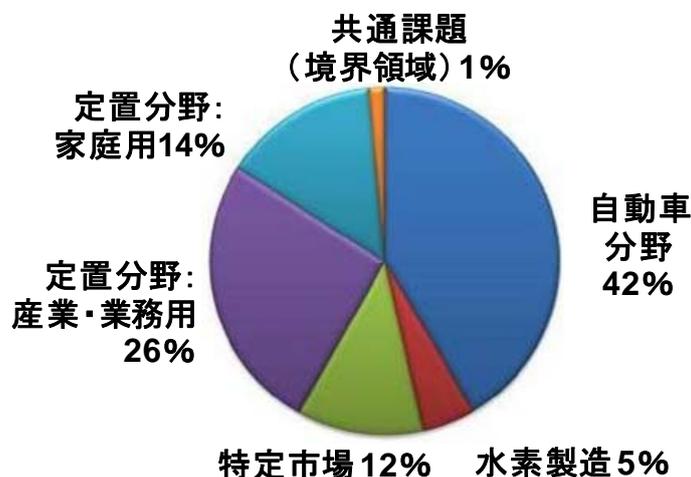


図2.1-8 独NIPの燃料電池・水素関係の予算内訳

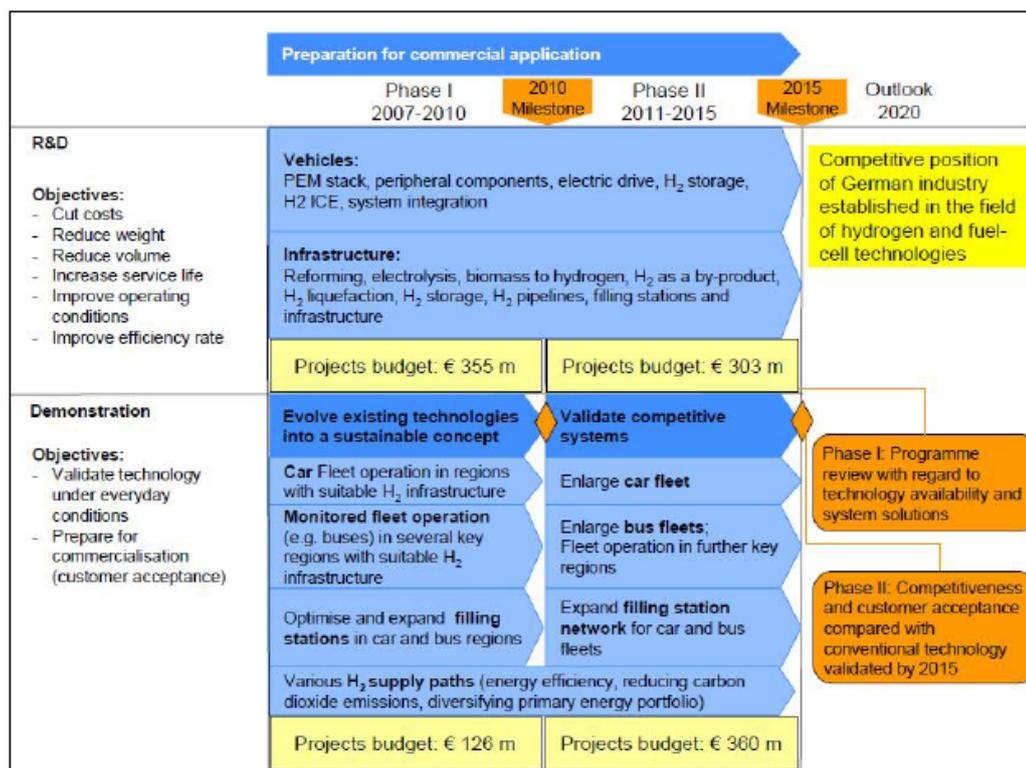


図2.1-9 独NIPのFCV分野ロードマップ

(4) 標準・規格・基準に係る状況

a. 定置用燃料電池の状況

定置用燃料電池の国際標準化については、1998年にIEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に設置されたTC105（Technical Committee 105：第105専門委員会）で進められている。規格化の活動についてはTC105の中に設置された11のWG（作業会）の中で検討が行われている。日本からは、TC105の議長および4つのWGでコンビナを出しており、この分野で中心的な役割を果たしている。

IEC規格として、これまでに8件（IEC62282シリーズ：WG2燃料電池モジュール、定置用燃料電池システム－WG2安全要件・WG4性能試験法・WG5設置要件、ポータブル燃料電池システム－WG7安全要件、マイクロ燃料電池－WG8安全性・WG9性能試験法・WG10互換性）のIS（International Standard：国際規格）が発行されている。また、2件（WG1用語と定義、WG11単セル試験法）のTS（Technical Specification：技術仕様書）が発行されている。さらに、WG4小型PEFC性能試験方法については平成21年度に審議を開始し、CD（Committee Draft）第1版を審議中である。

また、国内の標準規格であるJIS規格の制定は、2008年7月に安全基準など8件のJIS規格が発行され、一通り規格体系として整備された。今後は、本格的普及に向けて国際認証制度なども念頭に入れながら、より詳細な内容を盛り込んだ技術内容を国際標準化していくことが重要となっている。現在、定置用PEFCシステムの普及期において国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化を図るために、IEC62282シリーズの改訂作業の実施、国際標準化（IEC/TC105への新規提案）等に資する基準案の作成に取り組んでいる。

定置用燃料電池の国内規制見直しについては、電気事業法関連、消防法関連での8項目（電気事業法関連：常時監視の不要化・不活性ガス置換義務の省略・一般用電気工作物化・加圧防止装置の省略・可燃ガス検知機の省略・消防法関連：設置届出義務の不要化・設置保有距離の省略・逆火防止装置の省略）について規制適正化が推進され、固体高分子形燃料電池については、本格的普及期に向けた規制適正化をほぼ完了した。

b. FCVの状況

FCVの国際標準化についてはISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）の中に設置されたTC22（Technical Committee 22：第22専門委員会）/SC21（Sub-committees 21：分科委員会）およびTC197で進められている。規格化の活動についてはISO/TC22/SC21（電気自動車）の中に設置されたWG1（安全）とWG2（性能）の2つのWG（作業会）およびTC197（水素技術）の中に設置されたWG5（水素充填コネクタ）、WG6（車載用圧縮水素容器）、WG12（FCV用水素製品仕様）の3つのWG中でそれぞれ検討が行われている。日本は前記のWGのうちWG2（性能）およびWG12（FCV用水素製品仕様）のコンビナを担当しており、ISOの審議において日本がリードし国際標準化を進めている。ISO規格として、これまでに6件（WG1：3件（電池・機能・電気）、WG2：2件（燃費・EV排ガス

燃費試験法)、WG5:1件(水素充填コネクタ 35MPa)のIS(International Standard:国際規格)が発行されている。

また、2件(WG6、WG12)のTSおよび1件(WG2/TF1:最高速)のTR(Technical Report:技術報告書)が発行されている。今後も、NEDOで取得する技術データを活用する等、産学官連携による国際標準化活動を推進し、日本が国際会議の議論をリード等してゆくことが益々重要となる。

FCVの国内規制見直しについては、FCVに搭載する車載用圧縮水素容器および付属品について、貯蔵圧力のさらなる高圧化(70MPa)および軽量・低コスト化のために技術基準の見直しを検討し、規制適正化を進めている。

c. 水素インフラの状況

水素インフラの国際標準化についてはISOの中に設置されたTC197(水素技術)で進められている。規格化の活動についてはTC197の中に設置されたWG5からWG15の10のWG、および1つのAd-Hoc(水素部品)グループの中でそれぞれ検討が行われている。水素インフラ関連の国際標準化の取り組みは比較的遅れていたが、近年3つのWG(WG12:FCV用水素製品仕様、WG13:水素検知器、WG14:定置用FC水素製品仕様)で日本がコンビナとなり、国際標準化を推進している。

ISO規格として、これまでに4件(WG8:水電解水素製造装置、WG9:改質器、WG10:MH容器、WG13:水素検知器)のISが発行されている。今後も、NEDOで取得する技術データの活用や水素インフラ関連業界との連携強化等、産学官連携による国際標準化活動を推進し、国際会議の議論に日本の意見を反映させてゆくことが益々重要となる。

水素インフラの国内規制見直しについては、FCVの導入に向けて35MPa充填対応水素スタンド等の水素インフラに係わる規制見直しが実施されている。今後のFCVの普及拡大に向けて更なる高圧化(70MPa)への対応が必須であり、70MPa充填対応水素スタンドの技術基準策定のためのデータ取得が実施されている。

2. 2 事業の目的・位置づけ

(1) 事業の目的

本事業は PEFC の基幹技術である電極触媒、電解質材料、物質移動に関して、革新的な計測・評価・解析技術等を開発して、材料・物質移動および反応メカニズムを根本的に理解し、ひいては、PEFC の基盤技術として確立することを目的としている。なお、本事業は平成 17 年度から平成 19 年度までの 3 年間、経済産業省直轄の事業として実施された後、NEDO 事業として平成 20 年度から平成 21 年度まで実施している。

本事業における研究項目とその最終目標（平成 21 年度末）を以下に示す。

① 電極触媒 研究

コストポテンシャル向上と両立した電極触媒の革新的性能向上のため、電極触媒における電気化学反応の速度論的測定手法を確立するとともに、電極触媒並びに担体の構造（電子構造を含む）と触媒活性・耐久性との相関性を定量的に把握する等の反応メカニズムを解明する。

② 電解質材料研究

コストポテンシャル向上と両立した電解質材料の革新的性能向上のため、実作動相当環境下での高次構造を解明する手段を確立するとともに、プロトン伝導、ガス透過並びに化学的耐久性との相関を定量的に把握する等の物質移動・反応メカニズムを解明する。

③ 物質移動研究

セル構成要素及び界面における物質移動速度向上を図るため、触媒層、ガス拡散層等の実作動相当環境下での構造解明と、これが物質移動並びに熱・電気伝導に及ぼす影響を定量的に把握する等の物質移動メカニズムを解明する。

上記①～③の研究項目は、その何れもが PEFC の低コスト化および性能・耐久性の向上を実現する上で重要度の高いものであり、前記 2.1 で示した事業の背景（開発動向、普及に向けた課題、海外動向、標準化・規格化の状況等）に照らし合わせて見て妥当であると判断される。

(2) 事業の位置づけ

NEDO は、燃料電池・水素技術開発事業の推進機関として、産学官協調の下で研究開発を実施している。この技術開発事業を効率的・効果的に推進するには、常にステークホルダー（利害関係者）間で「技術開発シナリオ」を共有する必要がある。そのため、NEDO は、我が国の燃料電池・水素技術開発で取り組むべき技術課題を明確にして技術開発の方向性を示すと共に、本分野における産業界、大学各層の的確な研究開発への取り組みを先導することを目的として、2005 年に燃料電池・水素技術開発ロードマップを策定し、その後 2 年毎に改定作業を行っている。

2008 年 6 月改定の「燃料電池・水素技術開発ロードマップ」に記載された PEFC のロードマップを FCV について図 2.2-1 に、定置用燃料電池システムについて図 2.2-2 に示す。本事業は、これらのロードマップにおいて FCV と定置用燃料電池システムに共通の課題である「長期的基礎・基盤技術の強化」のうち、「セル内電極触媒・電解質膜・界面の反応メカニズム・物質移動現象の解明」に該当している。

次に、本事業と他の関係する NEDO プロジェクトの連携関係を図 2.2-3 に示す。前記したように、NEDO は本事業と並行して「燃料電池システム等実証研究」および「定置用燃料電池大規模実証事業」を実施しており、これら事業において民間企業が開発した FCV および家庭用 PEFC システムの実使用環境下における各種運転データが蓄積される。これらデータを分析することで性能、耐久性・信頼性、コストに関する具体的な課題とその重要度が把握されるので、それらを本事業および本事業と並行する技術開発プロジェクト（「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」、「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」等）の取組み内容にその優先度も含めて反映することができる。一方、本事業で開発された革新的な計測評価・解析技術、メカニズムの解明結果および新規材料の開発指針を、本事業と並行する他の技術開発プロジェクトに対してタイムリーに提供・開示することで PEFC の効率的な研究開発が展開されると同時に、本事業の開発技術や知見の効果・有用性に関する検証も可能となるといったシナジー効果が得られる。

以上のことから、本事業は技術開発ロードマップおよび他の NEDO 事業との関係において、位置づけおよび役割分担も明確かつ適切なものとなっている。



図 2.2-1 PEFC 技術開発ロードマップ (FCV) 2008年版

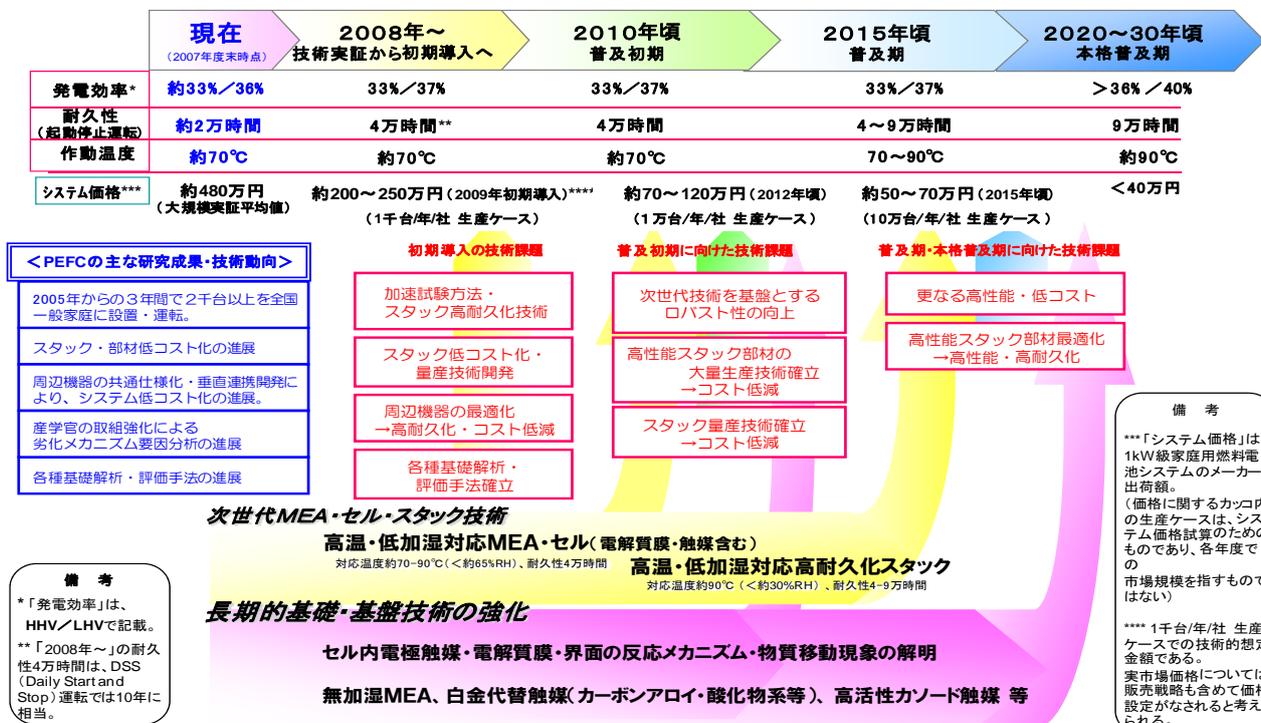


図 2.2-2 PEFC 技術開発ロードマップ (定置用システム) 2008年版

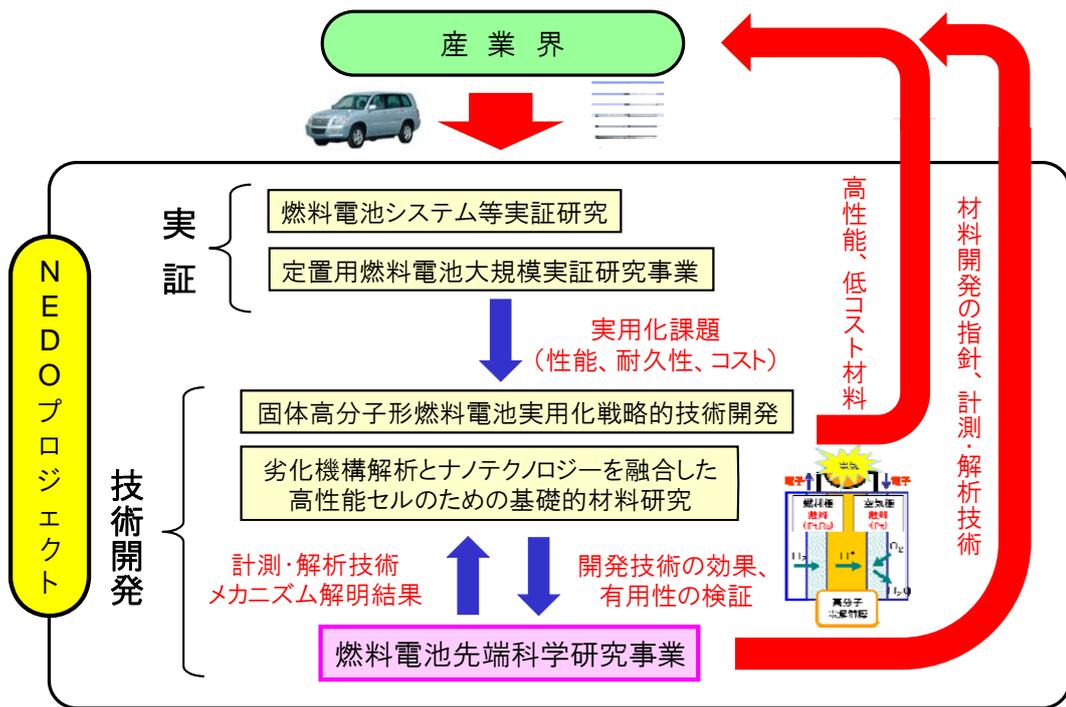


図 2.2-3 NEDO の PEFC 技術開発における本事業のポジション

(3) 計測・解析技術に関する海外との比較

本事業において電極触媒・電解質膜・界面の反応メカニズム・物質移動現象の解明のため必要となる計測・解析手法は、産業総合技術研究所・固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター（以下、FC-Cubic と略す。）が中心となって開発した。広く産業界においても使用できるように、汎用測定装置の改造と組み合わせによる各種計測・解析技術を開発し、世界初、あるいは世界的に高レベルの解析結果を得ている。これらの計測・解析技術の開発成果について、海外および国内研究機関の技術との比較を以下に述べる。

表 2.2-1 に、電解質のプロトン伝導パスの観察に用いる原子間力顕微鏡の技術の比較を示す。FC-Cubic の開発技術は、PEFC の運転温度に相当する 90°C の温度、加湿状態での観察が可能で、空間分解能が 5nm と他に比べて高く、図 2.2-4 に示すように詳細な構造が観察可能である。

表 2.2-1 電解質膜のプロトン伝導パスの観察技術（原子間力顕微鏡）の比較

研究機関	名称 国名 研究者	産総研FC-Cubic 日本 滝本/黒田/大平	Univ. Stuttgart Germany	Univ. California US	Univ. Kansas US
	空間分解能	5nm	20nm	20nm	200nm
温度	最高	90°C	室温のみ	室温のみ	室温のみ
	最低	25°C			
湿度	最高	90%RH(80°C)、50%RH(90°C)	大気環境	大気環境	大気環境
	最低	大気環境			

・高温/高加湿環境可能
・高分解能

※因みに水チャネルの
サイズは数nm程度

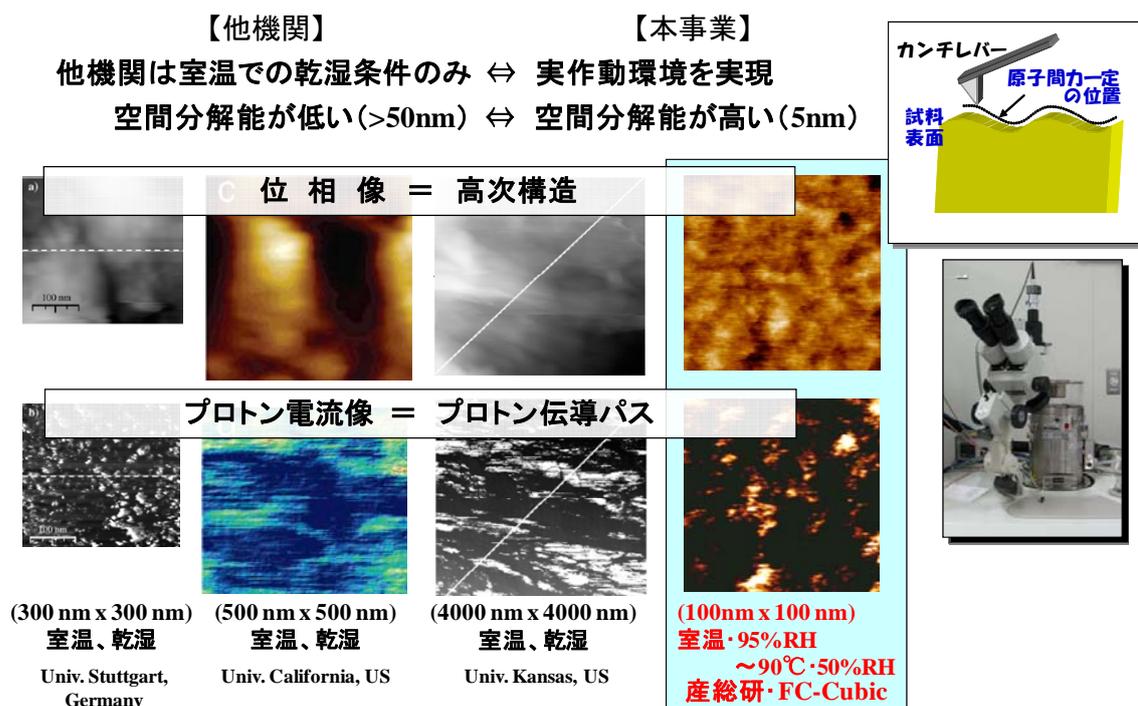


図2.2-4 電解質膜のプロトン伝導パスの観察像の比較

表2.2-2に、電解質のガス透過挙動の観察に用いる陽電子消滅法に関する技術の比較を示す。FC-Cubicの開発技術では、120℃までの高温での測定が可能であり、また深さ方向の空間分解能が数nmと高いため、アイオノマーの解析に有効な技術となっている。

表2.2-2 電解質膜のガス透過挙動の観察技術（陽電子消滅法）の比較

研究機関	名称	産総研FC-Cubic	大阪大学	Tiajin University
	国名	日本	日本	China
	研究者	Mohamedo/大平/小林	西島	J. Wang/ Z. Jiang
電解質膜		フッ素系、HC系	Nafion	Nafion
空間分解能(深さ)		深さ方向数nm	深さ方向は平均値	深さ方向は平均値
温度	最高	~120℃	80℃	室温のみ
	最低	室温	25℃	
湿度	最高	95%RH	85%RH(80℃)	大気環境
	最低	大気環境	5%RH(25℃)	

- ・深さ方向の解析が出来る
点が最大の特徴
⇒アイオノマーの解析に有効

表2.2-3にMEA、ガス拡散層（GDL）等の親・疎水性評価に用いる接触角測定技術に関する比較を示す。FC-Cubicの開発技術はPEFCの運転状態に近い温度80℃、加湿度90%RHにおいてミリ秒オーダーで測定が可能であり、運転状態の違いによる変化を追跡可能となっている。

表2.2-3 MEA、ガス拡散層の親・疎水性評価技術（接触角測定技術）の比較

研究機関	名称	産総研FC-Cubic	Penn- State Univ.	Michigan Tech Univ.
	国名	日本	US	US
	研究者	横山/山本	C. Lim/C. Y. Wang	R. Stacy
空間分解能		0.010~1.0mm	1.0~2.0mm	約2.0mm
時間分解能		ミリ秒	数秒	-
温度	最高	80℃	80℃	室温のみ
	最低	30℃	25℃	
湿度	最高	90%RH	大気環境	大気環境
	最低	大気環境		

- ・微小領域の計測が可
- ・時間分解能が高い
⇒過渡状態の追跡可

表2.2-4にMEA、ガス拡散層（GDL）等の熱伝導度測定技術に関する比較を示す。FC-Cubicの技術は温度120℃、加湿度70%RHでの測定が可能であり、PEFCの運転温度を高温化した場合の熱移動状態が把握可能とするデータを取得できる。

表2.2-4 MEA、ガス拡散層の熱伝導度測定技術の比較

研究機関	名称	産総研FC-Cubic	Univ. Waterloo	Rochester Inst. Tech.
	国名	日本	Canada	US
	研究者	大山/宮本/山本	P. Teertstr	A. Radhakrishnan
異方性分離		可	可	不可
温度	最高	120°C	70°C	73°C
	最低	30°C	25°C	28°C
湿度	最高	70%RH(120°C),80%RH	大気環境	大気環境
	最低	35%RH		
応力	最高	0.9MPa	1.4MPa	1.2MPa
	最低	0.3MPa	0.07MPa	0.04MPa

・実作動相当環境でのデータ取得可

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

本事業の全体目的は、固体高分子形燃料電池の基幹技術である電極触媒、電解質材料、物質移動に関して、革新的な計測・評価・解析技術等を開発して、材料、物質移動及び反応メカニズムを根本的に理解し、ひいては、固体高分子形燃料電池の基盤として、これらの革新的技術等を提供することである。

本事業における研究項目・研究テーマとその最終目標（平成 20 年度末）を以下に示す。

①電極触媒研究

コストポテンシャル向上と両立した電極触媒の飛躍的性能向上のため、電極触媒における電気化学反応の速度論的測定手法を開発し、電極触媒・担体の構造（電子構造を含む）と触媒活性・耐久性との相関性を把握する等の反応メカニズムを解明する。

②電解質材料研究

コストポテンシャル向上と両立した電解質材料の飛躍的性能向上のため、実作動相当環境下での高次構造を解明する手段を確立するとともに、プロトン伝導、ガス透過および化学的耐久性との相関を定量的に把握する物質移動・反応メカニズムを解明する。

③物質移動研究

セル構成要素及び界面における物質移動速度を向上のため、触媒層・ガス拡散層等の実作動相当環境下での構造解明と、これが物質移動や熱・電気伝導に及ぼす影響を定量的に把握する等の物質移動メカニズムを解明する。

上記に示した目標は、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（I 章の図 2.2-1 および図 2.2-2 参照）、海外技術の動向等に照らし合わせて見て妥当であると判断される。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

(1) 研究の 3 領域

固体高分子形燃料電池の普及に向けて課題となっているコスト低減、性能および信頼性、耐久性向上のために、基礎科学に立ち戻った研究開発を行う。革新的なブレークスルーに必須となる 3 テーマ、①電極触媒の反応メカニズム解明、②電解質材料の物質移動と反応メカニズム解明、③セル構成要素及び界面における物質移動メカニズム解明について、実運転状況を想定した in-situ 状態での緻密な計測と解析を行い、計測・解析技術を確立すると共に、産業界に向けて革

新的ブレークスルーへの指針を提示する。

(2) 研究内容詳細

a. 電極触媒の反応メカニズム解明

前記 I に示した電極触媒に関する研究目標に対して、図 2.1-1 に示すように、目標に沿った研究内容を設定した。この研究結果からの知見より触媒反応加速パラメータと触媒劣化抑制パラメータを特定し、産業界の要望である触媒量の低減、性能向上、溶解抑制への提言を可能とし、コストポテンシャル向上と両立した電極触媒の革新的性能向上に貢献する。各機関の取り組みの概要を以下に示す。

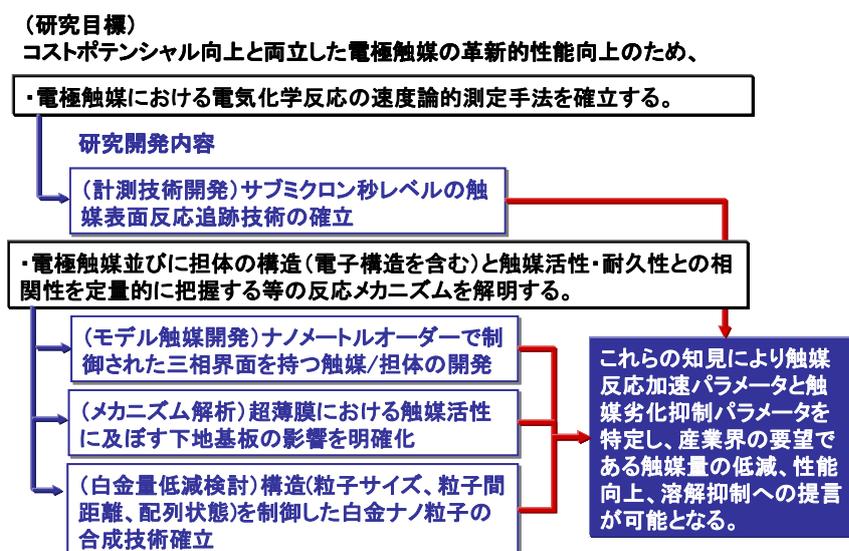


図 2.1-1 電極触媒に関する研究開発内容

① 時間分解高感度振動分光法による電極反応の速度論的計測技術開発、

モデル触媒/担体の開発等 (産業総合研究所 FC-Cubic)

電極触媒反応モデルとして水溶液中の金属電極表面における ORR を *in situ* 追跡するため、水溶液系に適用出来る振動分光法である表面増強赤外分光法と表面増強ラマン分光法の安定化と高感度化を図り、これらを用いて電極触媒表面に吸着している OH 基、OOH 基、HOOH、HOH 等の化学種の定量解析技術の確立に取り組む。これらの反応素過程解析で、電極触媒反応では実現されたことのない、サブマイクロ秒レベルの時間分解能に取り組む。さらに、触媒表面に吸着する化学種の第一配位圏に位置する水分子の配位情報を取得できる解析技術として、表面和周波発生 (SFG) 分光法や軟 X 線発光分光法を確立する。

また、触媒自体の高活性を、触媒層としての高活性にスケールアップするために有効と考えられる構造化モデル触媒担体として、高精度に構造制御したメソポーラス担体を開発し、メソ孔内への白金微粒子とイオノマーの高度な分散を図り、反応解析に有効な理想的モデル反応場を創製する。

② 電極表面制御による白金触媒量低減化に関する研究開発と白金溶解メカニズムの解析

(お茶の水女子大学)

白金超薄膜構築のための下地基板として、Au(111)、Au(100)、Au(110)を用い、下地基板材料／下地基板原子配列と触媒活性との関係についての解明し、ORR に最適なナノ粒子の（白金皮膜の厚みを含めた）構造及び表面原子配列と、その配列からくる表面の d バンドの電子エネルギーと ORR 活性との関係の明確化に取り組む。

また、白金触媒溶解プロセスを水晶振動子マイクロバランスシステムにより 0.1 ng オーダーで詳細に追跡し、白金溶解メカニズムを解明に取り組む。

③ 緻密に構造制御した白金ナノ粒子の合成と評価による電極触媒の革新的性能向上

(北陸先端技術大学院大学)

構造(粒子サイズ、粒子間距離、配列状態)を制御した白金ナノ粒子の合成技術確立に取り組む。サイズ・形状、さらに、その空間配置や長周期構造をも制御した白金ナノ粒子(群)の調製方法開発に取り組む。さらに、こうして構造制御した保護剤付き白金ナノ粒子(群)をキャラクタリゼーションして、有機保護剤の除去方法や安定保存技術を開発すると共に、安定化して電極表面や分光用試料表面に転写する方法の開発に取り組む。

b. 電解質材料の物質移動と反応メカニズム解明

前記 I に示した電解質材料に関する研究目標に対して、図 2.1-2 に示すように、目標に沿った研究内容を設定した。この研究結果からの知見より実運転環境下で、これらの特性を解明し高温低加湿用電解質材料の開発に有用な指針の提示を可能とし、コストポテンシャル向上と両立した電解質材料の革新的性能向上に貢献する。

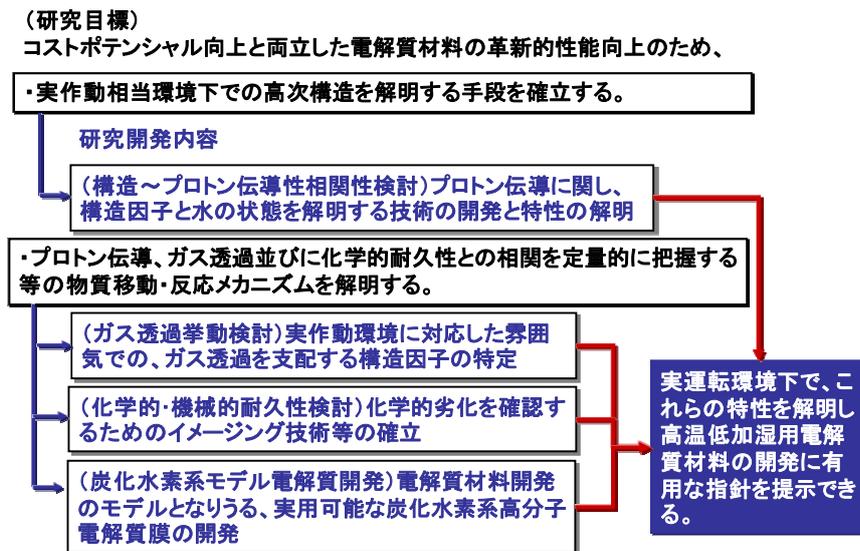


図 2.1-2 電解質材料に関する研究開発内容

① 構造～プロトン伝導性相関性検討及びガス透過挙動検討（産業総合研究所 FC-Cubic）

水チャンネルとプロトン伝導性との相関性解明として、プロトン伝導度・含水率計測に加えて、雰囲気制御可能な電気化学原子間力顕微鏡による電解質材料の高次構造観察、核磁気共鳴による電解質材料中の水挙動解析、小角エックス線散乱による水チャンネル構造解析技術を確立し、併せて分子動力学計算による実験結果の検証に取り組む。

各種ガス透過挙動の解明として、ガス透過率計測と陽電子消滅法による電解質材料中の自由体積計測技術の確立に取り組む。

化学的劣化を確認するためのイメージング技術を確立し、また機械的耐久性については、局所的な破断等の劣化を評価する手法の確立に取り組む。

② 炭化水素系モデル電解質材料開発（上智大学）

電解質材料開発のモデルとなりうる、実用可能な炭化水素系高分子電解質膜の開発に取り組む。FC-Cubic との連携で各種の検討に供するため、一次構造および高次構造が制御され、かつ実用性の高い優れたパフォーマンスを示す炭化水素系モデル電解質材料の開発に取り組む。

c. セル構成要素及び界面における物質移動メカニズム解明

前記 I に示した物質移動メカニズム解明に関する研究目標に対して、図 2.1-3 に示すように、目標に沿った研究内容を設定した。この研究結果からの知見より実運転環境下で、物質の挙動と移動現象を解明することで燃料電池の技術開発に有用な指針の提示を可能とし、セル構成要素及び界面における物質移動速度向上に貢献する。

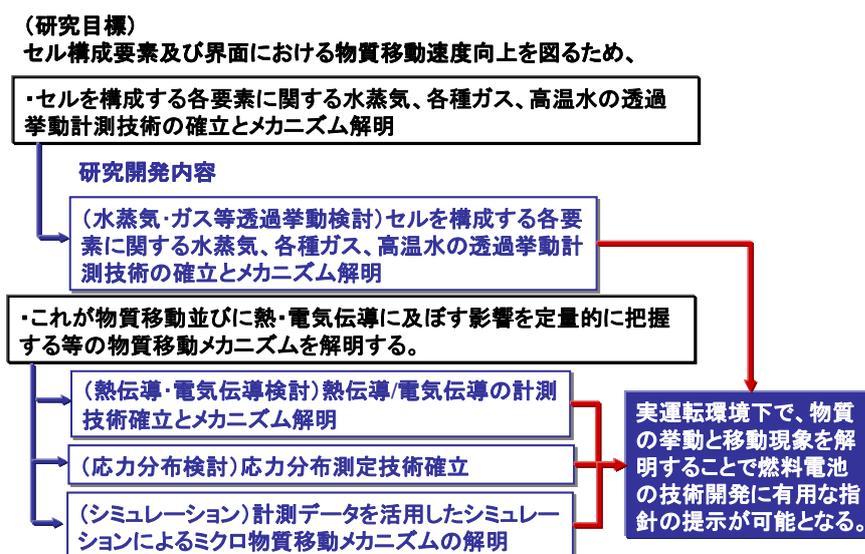


図 2.1-3 物質移動に関する研究開発内容

・セル構成各要素に関する高温水蒸気・各種ガス・高温水の透過挙動計測技術の確立とメカニズム解析（産業総合研究所 FC-Cubic、テキサス大学オースチン校（The University of Texas at Austin））

80℃まで、120℃までの2段階の温度下で、面内方向（in-plane）、厚み方向（through-plane）での異方性を考慮し、ガス拡散層および触媒層において、発電環境に相等しい温度、湿度、締結圧での計測技術の開発に取り組む。水蒸気・各種ガス、高温液体水、熱伝導性、電気伝導性、応力分布の計測結果に基づき、熱・物質シミュレーションを実施し、メカニズム解析に取り組む。さらに、実測値を利用した計算モデルを開発し、理論解析による更に精緻なメカニズム解明を検討する。

テキサス大学オースチン校は、特に高温作動環境下における触媒層のモデリングに取り組む。

（3）研究開発スケジュール

本事業の主な研究開発スケジュールを表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 研究開発スケジュール

研究開発項目 (テーマ)	H20年度	H21年度
①電極触媒 研究	計測技術開発(速度論的反応追跡、水挙動等)	→
	モデル触媒開発(触媒/担体、構造制御白金ナノ粒子等)	→
	メカニズム解析(電気化学反応、触媒劣化)	→
	白金量低減検討(表面制御)	→
②電解質材料 研究	構造～プロトン伝導性相関性検討(計測技術、メカニズム)	→
	ガス透過挙動検討(計測技術、メカニズム)	→
	化学的・機械的耐久性検討(計測技術等)	→
	炭化水素系モデル電解質開発(合成法、評価等)	→
③物質移動 研究	水蒸気・ガス等透過挙動検討(計測技術、メカニズム)	→
	熱伝導・電気伝導検討(計測技術等)	→
	応力分布検討(計測技術等)	→
	シミュレーション(モデリング等)	→

(4) 研究開発予算の推移

本事業の研究開発予算（NEDO 負担額）の推移を表 2.1-2 に、予算の内訳を表 2.1-3 に示す。

表 2.2-2 研究開発予算（NEDO 負担額）の推移

(単位:百万円)

		2008年	2009年	2008-2009年 合計
		H20年	H21年	
産業総合 研究所 FC-Cubic	全体	833	744	1,577
	①電極触媒	(35%)	(31%)	
	②電解質材料	(32%)	(34%)	
	③物質移動	(33%)	(35%)	
お茶の水女子大学		27	19	47
北陸先端大		19	33	52
上智大学		11	11	21
合計		890	807	1,697

表 2.2-3 研究開発予算の内訳

(単位:百万円)

	機械 装置	労務費	その他 経費	間接費	共同 実施費	合計
産業総合 研究所 FC-Cubic	644	342	302	193	21	1,577
お茶の水女子大学	21	6	14	6	0	47
北陸先端大	22	11	12	7	0	52
上智大学	10	3	6	2	0	21
合計	697	362	334	208	21	1,697

2. 2 研究開発の実施体制

図 2.2-1 に本事業の実施体制を示す。

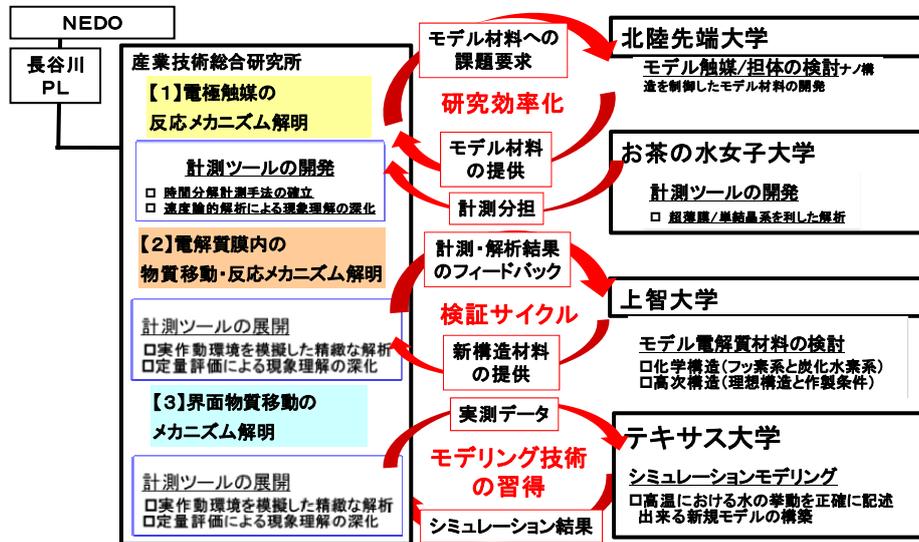


図 2.2-1 実施体制図

本事業は NEDO がプロジェクトリーダー（PL）として委嘱した、産業技術総合研究所・固体高分子燃料電池先端基盤研究センター 研究センター長の長谷川 弘氏の下で実施する。長谷川氏は、トヨタ自動車(株)において、平成 8 年から平成 16 年までに 8 年間に渡り、固体高分子形燃料電池の研究開発に従事し、特に MEA の設計に関して、材料開発から性能実証に関する最先端の研究を行い、燃料電池自動車の市場導入に大きく貢献された。

また、燃料電池の本格的な普及には革新的なブレークスルーが不可欠であり、サイエンスに立ち戻った研究開発の必要性を早くから訴え、平成 17 年からは経済産業省の「燃料電池先端科学研究委託事業」を実施すべく、産業技術総合研究所内の組織として、固体高分子形燃料電池先端基盤研究センターの立ち上げに尽力された。

研究センター立ち上げ後は、研究センター長として前記事業を推進し、高い知見と指導力を発揮し、優れた成果を挙げられた。上記の理由により、長谷川弘氏が本事業の PL として最もふさわしい者と判断している。

また、平成 19 年度に、それまで行われていた METI の事業から NEDO 事業へ変更する際に、モデル触媒・単体で北陸先端大学、超薄膜・単結晶でお茶の水女子大学、モデル電解質材料で上智大学、物質移動でのシミュレーションモデリングでテキサス大学といった、それぞれ技術を有する 4 大学を体制に加え、研究の効率化、あるいは仮説と検証のサイクルができることにより、有効な研究内容が実施できる体制に変更した。

2. 3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切に運営管理を実施するものとしている。その具体的な取組みを以下に示す。

図 2.3-1 に示すように、プロジェクト内連携強化による研究効率化、他のプロジェクト間の連携、有識者によるプロジェクト実施内容への示唆、海外有力研究所との連携による研究レベルアップを図れるよう、目的に応じた委員会体制を構築した。

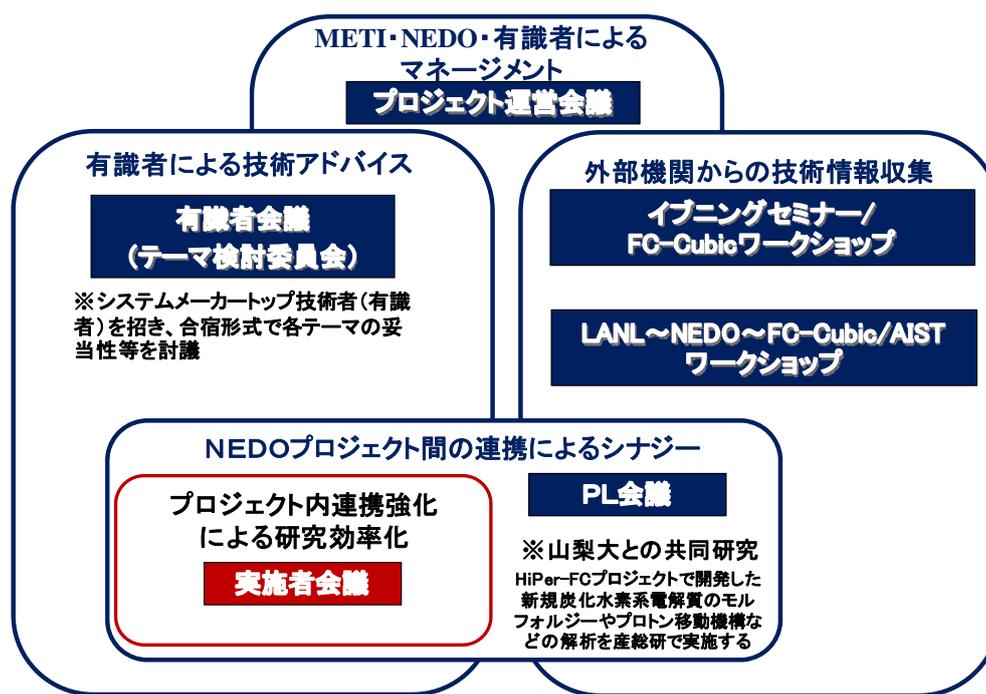


図 2.3-1 本事業の委員会等の体制図

(1) NEDO が運営する委員会

a. プロジェクトリーダー (PL) 会議

NEDO 宮田シニアプログラムマネージャーの下、表 II-2.3-2 に示す固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業における基礎的・共通的課題の4つのプロジェクトのリーダーと HiPer-FC プロジェクト「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」のプロジェクトリーダーを集めた会議を開催し、各回の技術課題テーマ（例：電極触媒劣化メカニズムについて（09年3月））と各プロジェクトの技術課題について、論議を行うことで、プロジェクト間の課題認識と協力関係の構築による研究成果の拡大を図った。

この結果、後述する本事業の産業総合研究所 FC-Cubic と、HiPer-FC プロジェクトの山梨大学燃料電池ナノ材料研究センター間による情報交換会（平成21年2月及び4月）実施や、共同研究実現に繋がった。

表 2.3-1 プロジェクトリーダー会議 出席者

	氏 名	所属、役職等	
委員長	宮田シニアプロジェクトマネージャー	東工大 教授	委員長
委員	長谷川 PL	産総研センター長	燃料電池先端科学研究事業
委員	渡辺 PL	山梨大教授	H i P e r - F C
委員	内本 PL	京大教授	セル劣化要因の基礎研究プ
委員	藤井 PL	原研部門長	物質移動現象可視化技術開発
委員	太田 PL	横国大教授	セルの余寿命評価手法の開発
委員	堀 PL	大同工大教授	水管理によるセル劣化対策の研究

b. プロジェクト運営会議

本事業の全委託先の関係者と表 2.3-2 に示す METI、NEDO、有識者が参加して「プロジェクト運営会議」を開催した。プロジェクト運営会議では、本事業で得られた技術データや実施方針に対し、産業界・大学のアドバイザーから詳細な技術的アドバイスや要望が提示され、事業計画に対する課題についても論議された。また、政策上の意向も反映するために、経済産業省もオブザーバとして参加している。

表 2.3-2 プロジェクト運営会議の出席者

氏名	所属、役職等
川原 誠	経産省 燃料電池推進室 室長
廣瀬 浩二	経産省 燃料電池推進室 課長補佐
安芸 裕久	経産省 燃料電池推進室 課長補佐
山本 淳	経産省 燃料電池推進室 課長補佐
鶴木 茂周	経産省 燃料電池推進室 係長
千田 知宏	経産省 燃料電池推進室 係長
石谷 久	慶応大 教授
太田健一郎	横国大 教授
山崎陽太郎	東工大 教授
山口 猛央	東工大 教授
里見 知英	FCCJ 部長
行天 久朗	パナソニック 主管研究員
篠原 和彦	日産自動車 主管研究員
宮田 清蔵	NEDO シニアプロジェクトマネージャー
佐藤 嘉晃	NEDO 燃料電池・水素技術開発部 部長
桜井 敬	NEDO 燃料電池・水素技術開発部 主研
小上 泰司	NEDO 燃料電池・水素技術開発部 主査
坂本 滋	NEDO 燃料電池・水素技術開発部 主査
吉澤 幸大	NEDO 燃料電池・水素技術開発部 主査

(2) 委託先が運営する委員会等

a. テーマ検討委員会

燃料電池システムを開発する企業の技術者（有識者）を招き、合宿形式で各研究項目（テーマ）が、産業界の要望に添ったものとなっているかについて討議し、プロジェクトの実施内容への反映を図った。

第1回（2009年4月/5月）

テーマ：プロジェクトの進むべき方向 産業界からの要望

車載向け、定置型、双方燃料電池の開発課題と FC-Cubic に望む開発内容をヒヤリングし、2009年度プロジェクト研究開発内容の方針、修正事項等を議論した。

第2回（2009年8月）

テーマ：プロジェクトの進むべき方向 研究成果の出口として何を成すべきか

車載向け、定置型、双方の研究者より開発課題をヒヤリングし、FC-Cubicの研究態勢を合わせ考えて、プロジェクト最終年度として何を成果として出して行くべきかを議論した。

b. HiPer-FCプロジェクトとの連携：産総研 FC-Cubic と山梨大との合同のイブニングセミナー

本事業の産業総合研究所 FC-Cubic と HiPer-FC プロジェクトの山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センターの協賛で、口頭発表及びポスター発表による計 3 回のイブニングセミナーにより、技術情報交換を行った。

第1回：2008年7月15日

(議題)

- ・ FC-Cubic 全体説明会 長谷川 弘 (FC-Cubic 研究センター長)
- ・ 物質移動チーム発表 宮本 淳一 (FC-Cubic 物質移動研究グループ研究員)
- ・ 電解質チーム発表 大平 昭博 (FC-Cubic 電解質研究グループ長)
- ・ 触媒チーム発表及びポスター発表の概略紹介
八木一三 (FC-Cubic 触媒研究グループ長)
- ・ ラボツアー

第2回：2008年11月17日

(議題)

- ・ FC-Cubic 全体説明 長谷川 弘 (FC-Cubic 研究センター長)
- ・ 山梨大 学燃料電池ナノ材料研究センター全体説明
小俣 富男 (山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター教授)
- ・ 「ポリエーテル系電解質膜における分子構造と物性の相関」
Byungchan Bae (山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター助教)
- ・ 「ポリフェニレン系高分子電解質の高次構造制御と PEFC 評価」
竹岡 裕子 (上智大学 理工学部講師)
- ・ 「炭化水素系電解質膜の第一原理分子動力学シミュレーション」
池庄司 民夫 (産総研 計算科学研究部門長)
- ・ 「FC-Cubic 電解質研究チーム紹介とポスター概要」
大平 昭博 (FC-Cubic 電解質研究チーム長)
- ・ ポスター討論会

2009年11月10日(火)

(議題)

- ・ FC-Cubic 全体説明 長谷川 弘 (FC-Cubic 研究センター長)
- ・ 「自動車用燃料電池の技術課題」篠原和彦 (日産自動車(株) 主管研究員)

- ・「家庭用燃料電池の技術課題」
辻庸一郎（パナソニック(株)FC事業開発室グループマネージャー）
- ・「FC-Cubic 界面物質移動研究チーム紹介とポスター概要」
山本義明（FC-Cubic 副研究センター長／界面物質移動研究チーム長）
- ・ポスター討論会

c. LANL～NEDO～FC-Cubic/AIST ワークショップ

本ワークショップは、NEDO技術開発機構、独立行政法人産業技術総合研究所、及び米国ロスアラモス国立研究所の水素・燃料電池研究所の間で締結した「燃料電池・水素分野における技術情報交流を行う覚書（2006年5月25日プレス発表）」に基づき、平成18年度より毎年「日米燃料電池・水素技術ワークショップ」を開催している。

本ワークショップは、燃料電池・水素技術開発分野における基礎研究レベルの底上げを図り、早期の実用化に向けた技術を確立することを目的としたものであり、これまで、第1回 米国ニューメキシコ州・サンタフェ（平成18年8月）、第2回 都内会議場（平成19年10月）および第3回米国カリフォルニア州・サンディエゴ（平成20年9月）で開催してきた。

本事業機関中においても、第3回、第4回（2回の分科会に分けて開催）のワークショップを開催し、日米両国の最新の研究成果に関する情報交換及び、現状の技術レベルと今後取り組むべき課題の共有化を図った。

第3回 米国カリフォルニア州・サンディエゴ（2008年9月8日～11日）

技術領域：電極触媒、電解質膜、物質移動

参加者：日米合計 62名

第4回（触媒分科会）（2009年8月26日、27日）

開催地：東京お台場

参加者：日米合計 20名（FC触媒分科会）

第4回（膜&物質移動分科会）（2009年11月19日、20日）

開催地：米国カリフォルニア州パーム・スプリング

参加者：日米 30名

前記（１）および（２）に示した各種委員会等の開催実績をまとめて表 2.3-4 に示す。

表 2.3-4 各種委員会等の開催実績

	2008年度												2009年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①プロジェクトリーダー(PL)会議																								○
②プロジェクト運営会議										○					○									
③テーマ検討委員会													○				○							
④HiPer-FCプロジェクトとの連携(イブニング・セミナー)				○				○												○				
⑤LANL～NEDO～FC-Cubic/AISTワークショップ						○											○			○				

2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

(1) 実用化、事業化に向けたマネジメント

本事業で開発した高度な評価手法及び計測技術を、材料メーカ・燃料電池システムメーカ等の産業分野で利用してもらいことで、新規材料開発の加速に貢献するため、技術移管先を公募し、技術移管を行った。（平成20年、21年の2回実施）

(2) 知財マネジメント

本事業で開発した高度な評価手法は、多くの計測ノウハウの固まりであり、これらを上記公募により、産業界に展開を図った。

(3) H22年開始PEFC新規事業における後継テーマ検討

本事業に対する前倒し事後評価を、平成21年10月に旧燃料電池・水素部主催で実施し、

図 2.4-1 に示すように、本事業で開発された高度な計測技術及びこれまでにない評価手法を進展させると共に、他プロジェクト及び本事業の次世代テーマで開発された有望な計測手法シーズである XAFS、軟 X 線、SAMS、熱解析を追加することにより計測手法を強化し、さらに MD 計算、FP 計算、メソ計算、マクロ計算の計算解析を加えることで、計測解析に計算解析を融合することによる解析の強化を図った。また、物質移動に関しては、特に触媒層に対して産業界のニーズが高いことが判ったため、物質移動研究については、これまでのセル構成各要素全てを対象とした内容から、触媒層中心にシフトした内容に変更した。

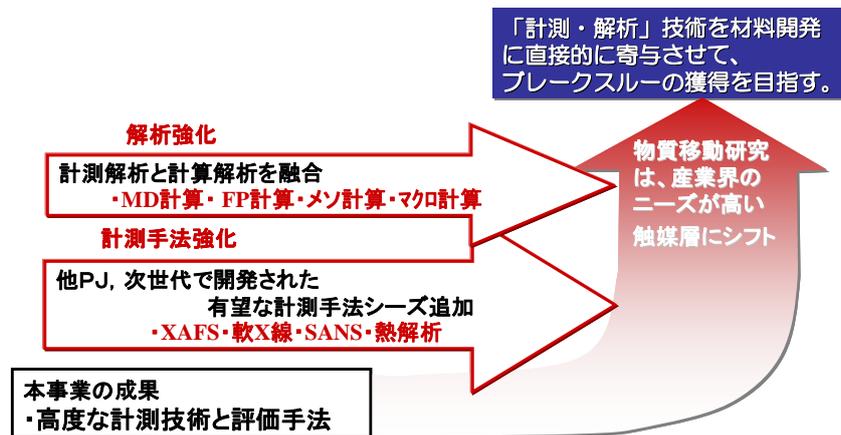


図 2.4-1 H22 年開始 PEFC 新規事業

後継テーマは、図 2.4-2 に示す固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業における基礎技術開発の中で、「MEA 材料の構造・反応・物質移動解析」テーマ（図中、下から 2 番目）として、図 2.4-3 のような研究開発体制により上述した内容の強化を図り、平成 22 年度より開始している。

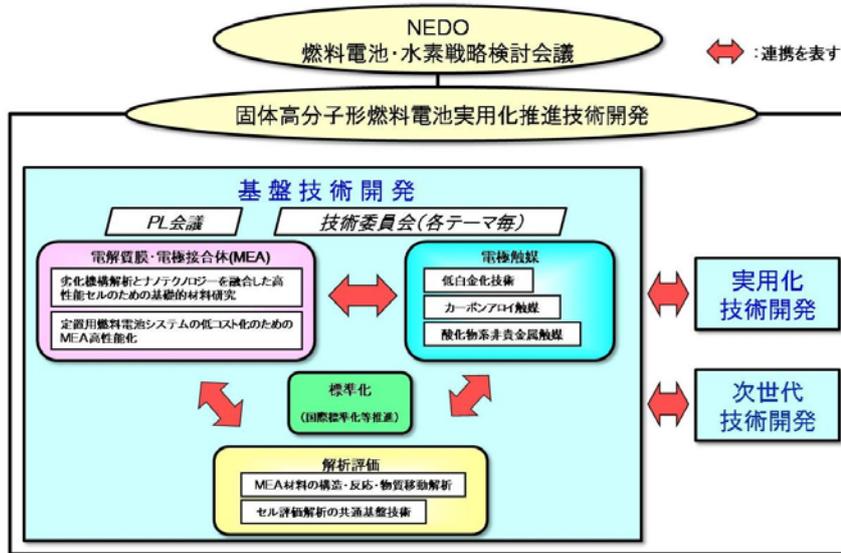


図 2.4-2 H22 年開始 PEFC 新規事業

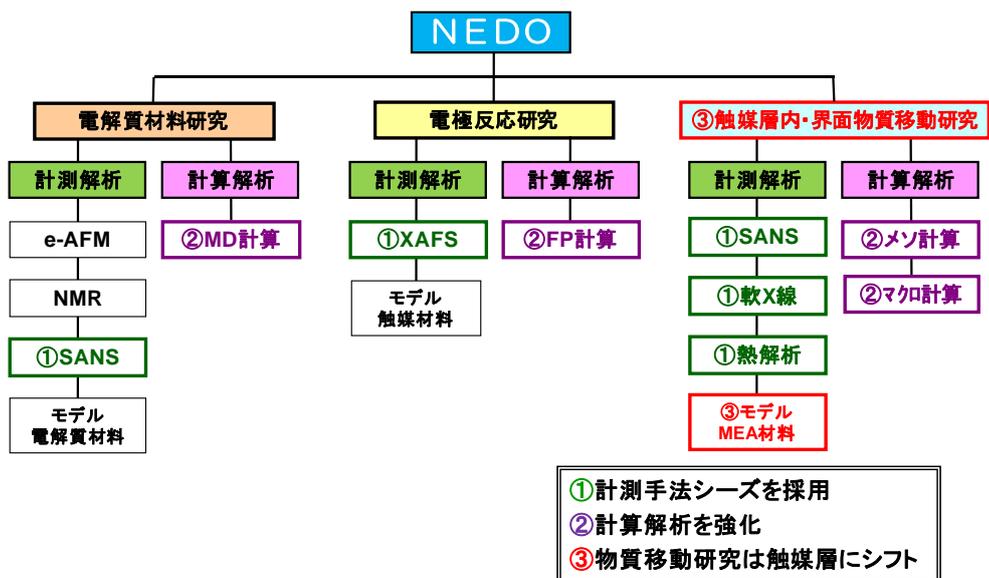


図 2.4-3 H22 年開始後継テーマ実施体制

3. 情勢変化への対応等

特になし。