

「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」

中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	6

はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第31条に基づき研究評価委員会において設置された「固体酸化物燃料電池等実用化推進技術開発」（中間評価）の研究評価委員会分科会（平成27年11月6日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第46回研究評価委員会（平成28年1月27日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成28年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「固体酸化物燃料電池等実用化推進技術開発」分科会
（中間評価）

分科会長 山口 周

「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」（中間評価）

分科会委員名簿

(平成27年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	やまぐち しゅう 山口 周	東京大学 大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 教授
分科 会長 代理	やすだ かずあき 安田 和明	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 副研究部門長
委員	いとう ひびき 伊藤 響	中部大学 工学部 創造理工学実験教育科 応用化学科 教授
	いながき とおる 稲垣 亨	関西電力株式会社 研究開発室 技術研究所 基盤技術研究室 チーフリサーチャー
	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 部長
	すだ せいいち 須田 聖一	静岡大学 学術院工学領域 教授
	みずたに やすのぶ 水谷 安伸	東邦ガス株式会社 技術研究所 主席

敬称略、五十音順

「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」（中間評価）

評価概要（案）

1. 総合評価

固体酸化物形燃料電池（SOFC）は、小規模でも高効率な発電システムを実現できる可能性が期待され、国内外でもエネルギー・環境問題への解決策の一つとして開発が鋭意進められており、その高効率な特性が実証されつつある。この技術に対し、特に商用化に向けた大幅な低コスト化を意識しつつ耐久性の一層の向上を目指す本プロジェクトに NEDO が積極的に関与して、実用化の進展を図っていくことの意義は大きい。

本プロジェクトでは、助成事業による企業が進める実用システムの開発・実証支援にとどまらず、技術開発を補完する研究機関や大学で組織された基盤研究コンソーシアムとの連携が効率的に進められたことにより優れた成果が得られており、新しいタイプのプロジェクト推進形態のマネジメントの有効性を示したものとして高く評価できる。

プロジェクトの中核を構成する長期劣化に関する基礎的研究では、長期運転実機の部材の多面的な解析から新たな劣化原因の発見や、性能劣化に関するモデル化が進展するなど、特に優れた成果を上げている。業務用システムの実用化技術実証では、発電効率や劣化率等の中間目標はほぼすべてで達成できており、導入時の障壁となる加圧型システムの常時運転監視等にかかる規制見直しに必要な事項等を実証し、技術基準の改定が進められている。次世代技術開発では、新たなコンセプトに基づいた検討が行われ、技術的可能性や解決すべき課題が明らかになるとともに、今後の研究開発における課題・方向性が明らかにされてきた。

一方、業務用システムの実用化実証において、市場ニーズに基づく目標設定がやや不明確な部分が見受けられ、開発目標・計画の策定に際してより慎重で適切な検討が求められる。実証事業のセルスタック製造事業者の一部のみが性能劣化に関する基礎的コンソーシアム研究にも関係しており、全体としてみた時に実用化実証と基盤研究の関係がやや希薄に感じられ、より積極的な協力を組織的に行うことが望まれる。また、次世代技術開発では目的・目標の設定が曖昧なテーマもある等、マネジメント改善の余地が感じられた。

さらに、SOFC を市場競争力のある製品として普及・拡大させるには、技術的には現行プロジェクト終了後も一定期間は国が技術開発を継続的に支援する必要があると考える。しかし、一部製品の市場投入が計画されている最終年度以降では、現行プロジェクトの延長的な継続での実施は難しいと思われるので、残り 2 年間では実用化開発に注力するとともに、プロジェクト終了までに次期フェーズも視野に入れた方向性の検討が望まれる。また今後の課題ではあるが、寿命評価に関して単に解剖学的方法による課題の抽出だけでなく、システム工学的な検討を導入し「より上位の概念」にまで到達できることが理想であろう。特に欠陥解析の成果から、一般化や特性値化など、セルスタック設計の指針につながる知見の抽出がこれからの課題であり、意欲的な挑戦を期待する。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

SOFC は、燃料電池の中で化石燃料ベースでは最も高いシステム効率が達成できると期待されており、2017 年度に市場投入することが国の計画に謳われている。しかしながら、SOFC はセラミックスを中心材料とし、高温の反応性雰囲気で作動させる等、技術的難易度の高い開発であり、民間企業だけでは極めて困難かつリスクな開発内容であるため、NEDO 事業としての実施が妥当である。また、SOFC の実用化に向けた主な課題は低コスト化と高耐久化であるが、寿命評価やその対応技術の研究開発には長時間を要する。さらに、中容量や大容量システムについても事業化に至るまでには実証試験を含む長期間にわたる労力とコストが必要となる。このような SOFC 開発を加速し、実用化を進める本事業の目的は NEDO 事業として妥当である。さらに、SOFC 開発を支える基礎・基盤的分野における我が国アカデミアの優れた研究者と、定置用（家庭用）SOFC の事業化を世界に先駆けて進めた産業界が長期性能劣化の問題に協同して取り組むことは、まさに NEDO のプロジェクトマネジメント機能を発揮してはじめてできる産官学コンソーシアムと言える。

基盤研究から実用化実証まで広範フェーズの課題を取り込んだプログラム構成となっているため、一部のテーマが途中年度から追加、終了するなど、個々の事業が独立的で全体としての一貫性、連携が乏しい感がある。NEDO としてのより俯瞰的な全体計画、目標等を明確にしたロードマップの作成が必要ではないか。また、次世代技術開発に関しては、開発の目的と目標とする到達点の相違が大きく異なるものが混在しているように感じられ、プロジェクト内における位置づけが少し曖昧であると感じる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

国内外の種々の状況を踏まえ、適切な開発目標が策定されていると判断できる。事業計画に関して、劣化メカニズムの解明については、過去のプロジェクトからの技術蓄積を生かしており、業務用システム実証及び次世代技術開発では、個別に開発目標の設定を行いその実現に向けて個別にサポートする等評価できる。共通基盤技術について最適なプロジェクトリーダーと参加機関が選定されたコンソーシアムで行う形態であり、メーカーの開発成果を側面的に支援するとともに、研究機関の研究結果がメーカーでの改良開発に繋がっている点でも好ましい。

一方、目標として劣化率が何%/1000h のみで表されており、商品化に近い段階の SOFC 開発であることを考えると、起動停止に対する耐久性評価の充実も必要と思われる。実証試験を目指す大型 SOFC の開発をスピードアップするためにも、基盤コンソーシアムの知見を共有することが重要である。このコンソーシアム事業については基盤的知見の効率的な活用や知財管理が問題なく行われているかという点が気にかかる。実用化技術実証では同時に複数の実証機を運用しているなかで、目標達成が未達となる事項があることや、事業用発電システムの要素技術開発・運転技術実証では、実用化は実施企業の将来課題とするなど NEDO 事業成果の実用化への展望が不透明な点も見受けられた。また、実用化技術実証に

おける知的財産に関する成果が希薄であるように感じた。出願に関しては開発者側に一任されているとのことであり、企業戦略上の理由があるであろうことが想定されるが、国際的な競争力の確保や国益の保護などを勘案して基本的な戦略などを再度検討し、その戦略に沿った対応を進めるべきと考える。

コンソーシアムの形態は、遅れている企業にとっては有り難いがトップを走る企業については必ずしもそうではない面もあると思う。本来はトップもしくはそれに近い者を伸ばすべきであり、遅れた企業の支援に傾かないようバランスや情報管理に注意して推進していただきたい。また、実際に長期運転を行った試料の解析結果には多くの知財に繋がる情報が埋もれており、その公開には注意が必要である。プロジェクトマネジングにおいて、より「積極的に非公開」など適切な原則の下に情報を管理して、日本の産業界、引いては国民にその利益が還元されるように情報公開の最も効率的で柔軟な運営方法を実施して欲しい。今後の研究開発においては、現在並行して行われている各種方式のスタック開発をこのまま基盤研究や実証研究を通じて支援し、次世代のセルスタック開発、セルデザインに反映できる設計指針や将来的に有望な方式を見極めることが重要である。

2. 3 研究開発成果について

中間評価時点での目標は、ほぼ達成されていると判断する。特に、基盤研究における SOFC の耐久性迅速評価法の開発では、複雑で複合的な現象が絡み合っ様々な影響が現れる事象に対して、ともすれば対症療法的な「傾向と対策」に終始する機会が多いなか、本プロジェクトにおいては個別要素の基礎解析からはじめて全体像を明らかにして行く解剖学的な「欠陥解析」が高度に進展した点は高く評価される。その結果、これまでの劣化機構の解明で得られた成果も包含しつつ、専門グループによる解析とその領域連携による情報の発信と交換により、世界的にも顕著な成果を上げていると考える。また、シミュレーション技術の開発にも着手しており、今後の成果が期待できる。次世代技術開発では今後の電力貯蔵技術につながるリバーシブル SOFC、日本のセラミックス製造技術を活用したマイクロチューブ SOFC、日本発の材料であるプロトン伝導 SOFC に取り組んでおり、いずれも新たな市場開拓が期待できる技術開発が進んだ。

一方、業務用システム実用化技術実証では、本事業の対象外のセル・スタックベースの技術的課題で目標達成が遅れたものもあり、結果として多数のシステム実証による成果の位置づけが曖昧となっている点が懸念される。要素技術の検証をしっかりと進めたのちにシステム実証に進められるよう、対応が望まれる。次世代 SOFC の開発事業については、中低温化、内部改質化や新しい SOFC 応用を拓くための機能探索など狙いを明確化して、課題抽出や開発目標の検討を行う必要があるように思う。

SOFC の広範な普及には、現状設定されている9万時間を凌ぐ、より長期間の耐久性が望まれており、耐久性迅速評価方法のような企業と研究機関の適切な役割分担が有効に機能した基盤研究での取り組みは、今後も継続的にかつ着実に実施・推進が望まれる。さらに、欠陥解析に基づいたシステム工学的な劣化問題の整理が今後必要になってくるものと思われる。このようなシステム工学的な考え方は、様々な規模の SOFC システムに関しても適用

可能であり、どのようにして複合システムの信頼性を維持する設計を行うかなどについて、これまで得られているミクロな機構に基づいた解析結果を利用した展開が期待される。

2. 4 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

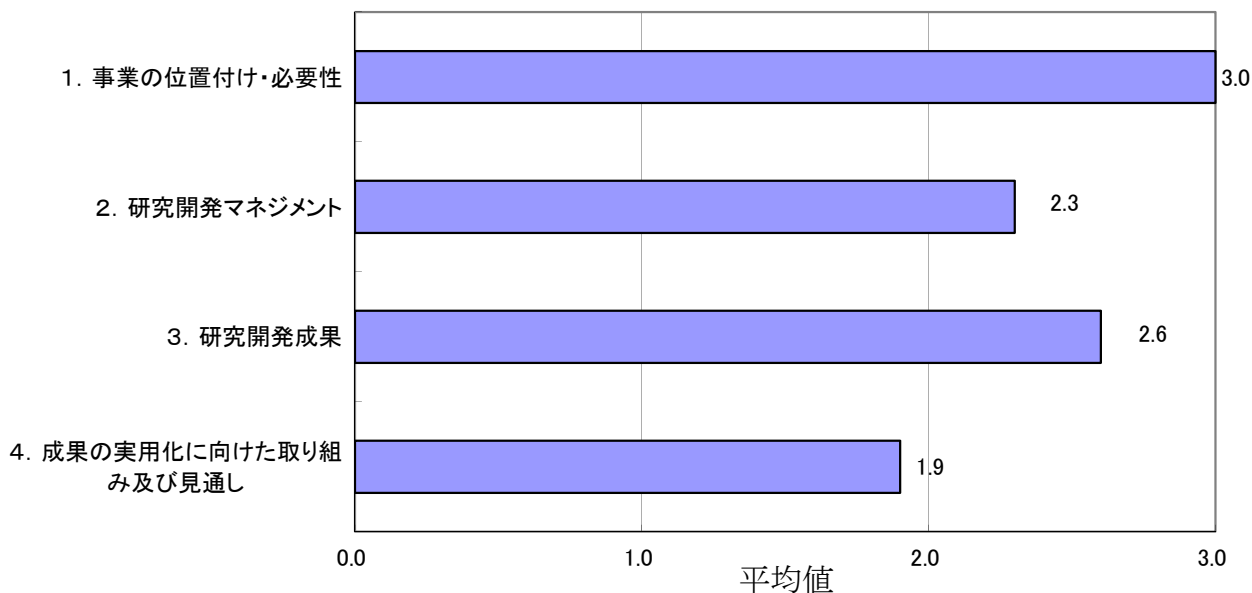
SOFC の実用化への最大の課題は耐久性であり、長期劣化に関するコンソーシアムによる劣化機構の解明と加速試験手法開発は、SOFC の実用化を効果的に支援するものである。本事業における基盤的研究の成果がメーカーの実用化開発に生かされるようになっていることから、本事業の成果が商品化を確実に推進するものと言える。また、実用化実証事業では、中型から大型までの幅広いレンジのシステムの実証試験が着実に進んでいることも確認できた。

一方、開発・実証された技術レベルとコスト見直しから、市場投入に適切かの判断が困難なケースもある。技術開発・実証成果とともに、適用分野のニーズ、市場からの要求を適切に判断して、個別の実用化努力も積みあげた取り組みが重要である。業務用・産業用燃料電池のコスト目標については、機器本体の価格 100 万円/kW だけでなく、設置工事費、メンテナンス費も含めたトータルコストや、ランニングコストを考慮した投資回収年数などの経済性についても、本事業の実証研究を通して明らかにしていく必要がある。

参加したメーカーによって開発段階に違いがあり、また、開発ターゲットも異なるため、実用化時期が異なるのは理解できる。しかしながら、開発期間の相異が原因と思われるが、プロジェクト成果あるいはアウトカムについての認識が異なるように感じられるので、それぞれの実用化への道筋・ロードマップを、再度 NEDO と実施者間で共有して、着実に開発を進める努力が必要である。

実証に関する事業では、目標の絞り込みや事業化に関する課題の抽出が進んだが、具体的な成果はこれからの開発に負うところが大きい。これまでの SOFC 開発における経験や準備状況からその実用化の期待値は高く、着実に前進することを期待する。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	B	A	A	B	C	A	B	
3. 研究開発成果について	2.6	A	B	A	B	B	A	A	
4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	1.9	B	B	A	B	C	C	B	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

研究評価委員会「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」
(中間評価) 分科会

日時：平成27年11月6日(金) 9:30～17:55
場所：芝パークビル地下1階 AP浜松町 B/C室

議事次第
(公開セッション)

- | | | |
|---------------------------------|-------------|-------|
| 1. 開会、資料の確認 | 9:30～ 9:35 | (5分) |
| 2. 分科会の設置について | 9:35～ 9:40 | (5分) |
| 3. 分科会の公開について | 9:40～ 9:45 | (5分) |
| 4. 評価の実施方法について | 9:45～ 9:55 | (10分) |
| 5. プロジェクトの概要説明 | | |
| 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント | 9:55～10:25 | (30分) |
| 5.2 研究開発成果、成果の実用化 に向けた取り組み及び見通し | | |
| 5.3 質疑応答 | 10:25～10:45 | (20分) |
| 入替 | 10:45～10:50 | (5分) |

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
- 6.1 固体酸化物形燃料電池実用化推進技術開発－基盤技術開発
 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究
 (発表 50分/質疑 30分) 10:50～12:10 (80分)
- 休憩(昼食) 12:10～13:00 (50分)
- 6.2 固体酸化物形燃料電池実用化推進技術開発－実用化技術開発
- (a) 固体酸化物形燃料電池を用いた5kW級業務用システムの実証評価
 (発表 15分/質疑 15分) 13:00～13:30 (30分)
- (b) 中容量常圧型円筒形SOFCシステムの実用化技術実証
 (発表 15分/質疑 15分) 13:30～14:00 (30分)
- (c) 固体酸化物型燃料電池(SOFC)による業務用・産業用システム実証
 および事業化検討 (発表 15分/質疑 15分) 14:00～14:30 (30分)
- (d) 円筒形SOFC-ガスタービンハイブリッドシステムの実用化に向けた

運転技術実証	(発表 15 分／質疑 15 分)	14:30～15:00	(30 分)
休憩		15:00～15:15	(15 分)
6.3 固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発			
固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発	(発表 15 分／質疑 15 分)	15:15～15:45	(30 分)
6.4 固体酸化物形燃料電池実用化推進技術開発一次世代技術開発			
(a) 可逆動作可能な固体酸化物型燃料電池による低コスト水素製造および 高効率発電を利用した電力貯蔵	(発表 15 分／質疑 15 分)	15:45～16:15	(30 分)
(b) マイクロ SOFC 型小型発電機	(発表 15 分／質疑 15 分)	16:15～16:45	(30 分)
(c) 中温作動型酸化物プロトン SOFC の開発	(発表 15 分／質疑 15 分)	16:14～17:15	(30 分)
7. 全体を通しての質疑		17:15～17:30	(15 分)
	(入替)		
(公開セッション)			
8. まとめ・講評		17:35～17:50	(15 分)
9. 今後の予定		17:50～17:55	(5 分)
10. 閉会		17:55	

概 要

		最終更新日	平成 27 年 7 月 28 日
プロジェクト名	固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発事業	プロジェクト番号	P13001
担当推進部/PM または担当者	新エネルギー部 大平英二（平成 25 年 4 月～）		
0. 事業の概要	<p>我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題等の解決のためには、新エネルギー技術の開発・コスト削減及び利便性や性能の向上への取り組みが極めて重要である。固体酸化物形燃料電池（以下、SOFC）は、発電効率が、多様な燃料にも対応が可能であり、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持つことから、その実用化が強く望まれている。SOFC型エネファームは2011年に実用化されたが、2016年以降を見込む本格普及に向けては大幅なコストダウンと耐久性の両立が必須である。また、業務用、発電事業用のSOFCシステムは研究開発段階である。</p> <p>SOFCシステム等の本格普及へ向け、低コスト・高耐久性を両立したセルスタック開発に寄与する耐久性迅速評価技術確立する。また、業務用中容量（数～数100kW）から発電事業用大型システムの実用化へ向けた技術実証と要素技術開発を実施するとともに、SOFCの用途拡大を目指す。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>（１）政策上の位置付け 「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。</p> <p>（２）NEDO が関与する意義 「固体酸化物形燃料電池実証研究」（平成19～22年度）及び「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」（平成20～24年度）の成果等により、2011年1月に固体酸化物形燃料電池（以下、SOFC）を用いた家庭用コジェネレーションシステム「エネファーム・タイプS」が世界で初めて実用化され、高い発電効率を実証した。しかし、その本格普及のためには低コスト化と高耐久化の両立が喫緊の課題となっている。一方、数～数100kWの中容量システム、それ以上の大容量システムは、未だに技術開発の途上にある。高効率発電システムとして期待の高いSOFCは、世界中で精力的な研究開発が行われている。米国・欧州において、家庭用から発電事業用まで様々な用途・規模の燃料電池について技術開発及び実証研究が進められており、我が国の国際競争力強化等の観点から、引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。基礎研究・実証研究を一体化して推進することが必要で、総合的な取組は企業単独では実施困難なため、NEDOの関与が必要不可欠である。</p> <p>（３）実施の効果 SOFCセルスタック及びシステム関連の技術は、セラミクス材料、金属材料、電気化学、空力学、熱力学、燃焼、電機等の広範囲で高度な科学技術の裾野を必要とし、かつ高度な設計・製造</p>		

技術も必要となることから、本事業を通じて当該分野の研究開発、並びに若手研究者・工学技術者の育成を促進できる。

S O F Cシステムの普及が進めば、市場創出効果と温室効果ガス排出削減効果は大きい。セラミクス、金属、電子、発電等と当該分野に関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できる。世界に先駆けて実用化を進めることで、当該分野の国際競争力を強化できる。

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>① アウトプット目標</p> <p>① 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究（研究開発項目（a））</p> <p>エネファームの本格普及期を想定し、その実現に必要な低コストと高耐久性を両立したS O F Cセルスタック、S O F Cシステムの開発が民間企業において進められている。本研究開発項目（a）では、この開発を加速するため、耐久性迅速評価方法の確立を行う。前プロジェクトで開発した熱力学的解析、化学的解析、機械的解析、三相界面微細構造解析、耐久性評価方法等を高度化し、劣化要因に応じて有効な場合には加速劣化試験やシミュレーション技術等と複合させることにより、比較的短時間の耐久試験におけるS O F Cの微小な劣化現象を的確に評価・解析し、実用レベルの耐久性を迅速かつ高精度に検証する。この耐久性迅速評価方法の確立により、セルスタック開発サイクルの短縮と効率化を図る。</p> <p>N E D O技術開発ロードマップ（2010年度策定）における小容量定置用システムの目標、2020年度以降（普及～本格普及段階）「発電効率55% L H V以上、9万時間以上の耐久性見通し、システム価格40万円/k W以下」に照らし、本研究では、「9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を確立する」ことを最終目標（平成29年度（2017年度））とする。また、中間目標（平成27年度（2015年度））は、「9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を開発する。また、この評価方法を耐久試験後の実セルスタックに適用し、その妥当性の検証及び課題抽出を行う。」こととする。</p> <p>なお、効率とコストに関しては、システム設計等による部分が大きいために本項目では特に目標値を設定しないが、産業界との継続的な意見交換により、上記ロードマップ目標値から逸脱しないよう適切にマネジメントを行う。</p> <p>② 固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証（研究開発項目（b））</p> <p>家庭用S O F Cシステムが2011年度に実用化された一方、業務用S O F Cシステムについては民間企業において開発が鋭意行われており、その実用化が期待されている。本研究開発項目（b）では、業務用S O F Cシステムの実証試験を実施し、その導入効果の検証及び実用化に向けた課題抽出を行うことにより、これらシステムの開発及び初期導入を加速させる。業務用として数～数100 k Wの中容量S O F Cシステムの実負荷条件下での実証試験等を対象とする。本実証は、提案公募として実施するため、目標はテーマ毎に決定する。</p> <p>N E D O技術開発ロードマップ（2010年度策定）における中容量（数～数100 k W）定置用システムの目標、</p> <p>2020年度頃まで（初期導入）</p> <p>「発電効率45% L H V以上、4万時間以上の耐久性見通し、発電システム価格約100万円</p>
-------	--

／kW)に照らし、発電効率について家庭用システムでは45%LHVが実現されていることから、「発電効率50%LHV以上、4万時間以上の耐久性見通し、発電システム価格約100万円／kW以下」の実現に資するべく、本実用化技術実証において、「中容量(数～数100kW)SOFCシステムの導入効果検証及び課題抽出を行う」ことを本研究開発項目(b)の最終目標(平成29年(2017年)度)とする。

③固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発(研究開発項目(c))

我が国が有する世界最高水準の火力発電技術*¹を更に革新する高効率化技術であるSOFC、ガスタービン及び蒸気タービンを組み合わせたトリプルコンバインドサイクル発電システム*²の早期実用化を図るためには官民一体となった取り組みが必要である。そこで本研究開発項目(c)では、民間企業によるシステム開発を促すため、当該システムに適用するSOFCセルスタック、SOFCとガスタービンとの連携技術等の要素技術開発を行う。

*1: 1500℃級ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた複合発電システムにおいて、天然ガス燃料で送電端効率58%LHV(低位発熱量基準: Lower Heating Value)が得られている。

*2: SOFC、ガスタービン、蒸気タービンの順に化石燃料の持つエネルギーをカスケード利用することにより、数百MW級規模のシステムにおいて天然ガス燃料で送電端効率70%LHV以上、石炭ガス化ガス燃料で送電端効率60%LHV以上が得られる。

NEDO技術開発ロードマップ(2010年度策定)における大容量コンバインドシステムの目標、

2020年度頃(初期導入)

「発電効率65%LHV以上、4万時間以上の耐久性見通し、発電システム価格数10万～約100万円／kW以下」に照らし、また耐久性については前PJにおいて4万時間の耐久性をほぼ見通すことができたため、本研究では初期導入への第1ステップとして、以下に示すトリプルコンバインドサイクル発電システムの実用化に資する要素技術としてこのシステムに必要なSOFCセルスタック及びSOFCとガスタービン連携技術を開発することを最終目標(平成25年度(2013年度))とする。また、燃料は天然ガスとする。

④次世代技術開発(研究開発項目(d))

固体高分子形燃料電池(PEFC)、固体酸化物形燃料電池(SOFC)等の従来型燃料電池と異なる次世代燃料電池の開発及びSOFCの新たな用途の実用化、商品性の向上、低コスト化等に関する技術開発を行う。

本項目は、提案公募として実施するため、目標はテーマ毎に決定する。

なお、本項目は、前半3年間(平成25～27年度(2013～2015年度))、後半2年間(平成28～29年度(2016～2017年度))に分けて段階的に実施する。前半の成果を踏まえて中間評価を行い、後半で継続するか否かを判断する。

以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。

① 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究(研究開発項目(a))

『最終目標』(平成 29 年度)

9 万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を確立する。

『中間目標』(平成 27 年度)

9 万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を開発する。また、この評価方法を耐久試験後の実セルスタックに適用し、その妥当性の検証及び課題抽出を行う。

② 固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証 (研究開発項目 (b))

『最終目標』(平成 29 年度)

中容量 (数~数 100 kW) SOFC システムの導入効果検証及び課題抽出を行う。

③ 固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発 (研究開発項目 (c))

『最終目標』(平成 25 年度)

以下に示すトリプルコンバインドサイクル発電システムの SOFC セルスタック及び SOFC とガスタービン連携技術を開発する。

<トリプルコンバインドサイクル発電システム>

発電規模 (送電端) : 数 10 MW 以上 (100 MW 未満)

発電効率 (送電端) : 60% LHV 以上

建設コスト : 25 万円 / kW 以下

<上記のうち SOFC システム>

発電規模 : 10 ~ 20 MW

運転圧力範囲 : 大気圧 ~ 約 3 MPa

耐久性 : 9 万時間 (電圧低下率 0.1% / 1000 時間以下)

製造コスト : 30 万円 / kW 以下

④ 次世代技術開発 (研究開発項目 (d))

本項目は、提案公募として実施するため、目標はテーマ毎に決定する。

① **アウトカム目標**

(研究開発項目 (a))

「発電効率 55% LHV 以上、9 万時間以上の耐久性見通し、システム価格 40 万円 / kW 以下」の達成により、2020 年以降家庭用システムの本格普及を実現する。

(研究開発項目 (b))

「発電効率 45% LHV 以上、4 万時間以上の耐久性見通し、発電システム価格約 100 万円 / kW」の達成により、2020 年頃までに業務用 SOFC システムの初期導入を実現する。

(研究開発項目 (c))

「発電効率 65% LHV 以上、4 万時間以上の耐久性見通し、発電システム価格数 10 万 ~ 約

	<p>100万円/kW以下」の達成により、2020年頃までに発電事業用SOFCシステムの実用化を実現する。</p> <p>(研究開発項目(d))</p> <p>燃料電池技術の用途拡大を実現する。</p> <p>② アウトカム目標達成に向けての取り組み</p> <p>(研究開発項目(a)(b)(c))</p> <p>本事業で抽出される課題を、産業界を中心に実施されるセルスタック、システム開発に反映させる。</p> <p>(研究開発項目(d))</p> <p>提案公募として実施するため、テーマごとに検討する。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	研究開発項目(a) 耐久性迅速評価法方法に関する基盤研究	9万時間以上の耐久性を見通すことができる評価方法の開発				
	研究開発項目(b) 業務用システム実証	発電効率45%LHV以上、4万時間以上の耐久性見通し、 発電システム価格約100万円/kW				
	研究開発項目(c) 事業用発電システム			—	—	—
	研究開発項目(d) 次世代技術開発	燃料電池技術の用途拡大を実現する。				
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)	会計・勘定	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	一般会計					
	特別会計(需給)	994	999	1,061		
	開発成果促進財源					
	総予算額	994	999	1,061		
	(委託)	267	639	792		
	(共同研究): 負担率1/2	673	191	8		
(助成): 助成率1/2	54	169	261			
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 燃料電池推進室				
	プロジェクトリーダー	研究開発項目(a)のみ該当(東京大学 横川 晴美)				
	委託先 (委託先が管理法人の場合は参加企業数)	国立研究開発法人産業技術総合研究所/一般財団法人 電力中央研究所 /国立大学法人 東北大学 /国立大学法人東京大学 / 国立大学法人京都大学 /国立大学法人九州大学 /				

	及び参加企業名も記載)	TOTO(株) / 日本特殊陶業 (株) / 日本ガイシ (株) / (株) 村田製作所/三菱日立パワーシステムズ (株) /三浦工業 (株) /富士電機 (株) /日立造船 (株) /岩尾磁器工業 (株) /岩谷産業 (株) /パナソニック (株)
情勢変化への対応	H25.05 研究開発項目 (b) 追加公募 H27.08 研究開発項目 (b) 追加公募	
中間評価結果への対応	(中間評価を実施した事業のみ)	
評価に関する事項	事前評価	平成 25 年度実施 担当部 新エネルギー部
	中間評価	平成 27 年度 中間評価実施
	事後評価	平成 30 年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<p>(研究開発項目 (a))</p> <p>1) 6 スタック (MHPS 機製円筒構造形、京セラ製筒状平板形、TOTO 製小型円筒形、日本特殊陶業製平板形、日本ガイシ製筒状構造形、村田製作所製一括焼結形) の性能評価を行い、空気極過電圧、燃料極過電圧、オーム損などに分離してその時間変化を導出した。高耐久性を実現している MHPS 機、京セラ機を除いた 4 スタックで、改善すべき空気極過電圧の増加とオーム損の増加が観測された。</p> <p>2) 6 スタック全てでオーム損と空気極過電圧の劣化に相関があることを見だし、その原因を考察するとともに、劣化機構解明、劣化要因特定に利用可能かの検討を行った。</p> <p>3) MHPS 機はクロム被毒を克服し、京セラ機では合金のコーティングで Cr 被毒を抑制することに成功していることが確認された。それ以外の劣化要因は見いだされていない。</p> <p>4) TOTO 機と新規参画 3 スタックでは、空気極に硫黄が蓄積していることが判明し、劣化率が大きいことの原因と想定されるが、明確な機構は未だ解明されていない。</p> <p>5) 複雑な空気極挙動を把握するために、抵抗-過電圧相関、セリア中間層の微構造、不純物の複合効果などの新たな視点から考察して、原因究明に努めた。</p> <p>6) 9 万時間耐久検証用のシミュレーション技術として、電解質の伝導度低下の予測法などを開発・検討するとともに、劣化機構解明にもシミュレーション技術の適用をこころみている。</p> <p>(研究開発項目 (b))</p> <p>三菱日立パワーシステムズ (SOFC+ガスタービンハイブリッド)</p> <p>① 技術基準との適合評価 加圧特有 (0.1MPa 以上) に関する技術基準の項目を抽出し、SOFC-MGT 複合発電システムの設計との適合を評価した。 いずれも、技術基準に適合しており問題ない事を確認している。</p> <p>② リスク評価 現状の電技解釈の【第 47 条 常時監視をしない発電所の施設】には、燃料・改質系統設備の圧力が 0.1MPa 未満であることと定義されている。 燃料・改質系統設備の圧力の基準を 0.1MPa 未満から 1MPa 未満へ変更することに対して図 2 に示す想定リスクを抽出し、表 2 により安全性の評価を実施し、問題ないことを確認した。</p> <p>③ システム長期耐久性検証</p>	

SOFC-MGT 複合発電システムを起動後、定格負荷にて 4,100h の連続運転（出力(AC 発電端ベース)：206kW(SOFC：183kW/MGT：23kW)を行った結果、定格負荷一定条件において経時劣化は見られず、圧力・温度共に安定した挙動を示しているとともに、電圧低下率 0%/1,000h で安定していることを確認した。

④ システム安全性検証

システムの異常時を想定した非常停止試験を実施し、温度、電圧や圧力の変化を確認した結果、異常は見られず、安全かつ確実に停止できることを確認した

三浦工業

・H25 年度に実証機 5 台を稼働させ、運転を開始、H26 年度には、入替等を行い、最新のモデルでの実証運転を実施、各種データを得ることができた。

・H26 年度には性能、品質向上評価機を計 8 台設置して要素試験を開始、実証機への反映データを取得した。

富士電機

・常圧型モジュールの設計データ取得、常圧特性の把握、DC 発電効率 55%以上を確認

・常圧型システムの設計技術習得、安定運転方法の確立、常圧システムの発電実験を実施
(累積発電：600 時間以上)

日立造船

平板型家庭用セルスタック 12 基を搭載した 10kW 級ベンチ試験により、システム性能確認を実施。安定した起動昇温から発電までの運転を実現するとともに、各スタック毎のガス流量分配や温度分布など、実証機および商品機の設計に資するデータを取得した。またスタック間で 9kW(55%相当)以上の性能を確認するとともに、送電ロスなどの課題抽出・対策検討を実施した。得られた知見を基に、20kW 級実証装置の設計を完了し、また H28 年 2 月に製作完了予定である。なお実証および初期商品機の容量に関しては、研究開始時には 50kW 級としていたが、市場性、事業採算性を考慮して 20kW 級に変更した。

(研究開発項目 (c))

三菱日立パワーシステムズ (事業用発電システム)

(i) 円筒形 SOFC セルスタック・カートリッジの製作及び検証

SOFC の設計方針は、セルスタックは小径長尺化、カートリッジへのセルスタックの充填密度を向上させることとし、セルスタックの試作、密充填カートリッジの計画及び試作を実施し、当初計画のセルスタック・カートリッジが製造できた。

(ii) 低コスト化量産化技術

低コスト材料を組合せ適用したセルスタックにて発電試験を行い、初期特性及び耐久性に問題ない事を確認した。

ガス焼成炉の要素技術を検証できる試験炉 (ガス焼成検証装置) を導入し、セルスタックを試作した。製造状況、初期性能及び耐久性ともに問題なく、ガス焼成を適用した量産化の目処を得た。

(iii) SOFC セルスタック発電試験

1.5MPaG にて発電を行った場合、 $0.45A/cm^2$ の時の電圧は 0.82V となり、常圧での電圧

(0.72V)に比べ 10%程度、電圧が向上した。また、電圧が 0.85V の時の電流密度は 0.48A/cm²となり、常圧での電流密度 0.25A/cm²に比べ 2 倍程度、発電性能が向上した。この結果から、高圧で発電することは、燃料電池の性能向上やシステムのコンパクト化や低コスト化に対して極めて有効であることを確認できた。

(iv) SOFC カートリッジ発電試験・ガスタービン連携模擬試験

常圧から MGT の圧力レベル (0.3MPaG) を想定して開発された現状仕様のカートリッジを用いて、1.0MPaG での発電試験を実施したところ、同一温度条件/同一カートリッジ電流にて 5%性能が向上 (セル電圧が上昇) し、予想通りの性能を確認する事ができた

(v) ガスタービン・燃焼器の開発

平成 25 年度は、要素試験結果、燃焼解析結果をもとに、実機実寸大の燃焼器を試作し、単缶での燃焼試験が可能な実寸単缶燃焼装置で燃焼特性を検討した。

試作した 2 重旋回バーナ及び中カロリバーナは、高い燃焼効率を示し、何れのバーナも定格条件では、各燃料条件において燃焼効率 99.9%以上であることを確認した。

また、燃焼振動特性も試験で確認した範囲において、管理値に対し低いレベルであり、燃焼安定性も良好であることを確認した。

(vi) 導入可能性の調査

数十 MW 以上 (百 MW 未満) のトリプルコンバインドシステムの仕様等について検討し、導入可能性 (市場性) を把握する事を目的とし検討を行った。

(研究開発項目 (d))

可逆動作可能な固体酸化物型燃料電池による低コスト水素製造および高効率発電を利用した電力貯蔵 (九州大学)

・MiFe-SDC, NiFe-CMF 燃料極を用いるセルにおいて長期安定性を除いて、ほぼ目標を達成し、500°Cにおいて、SOFC モードでは 0.5V, 250mA/cm², SOEC モードで 1.3V, 175mA/cm²を達成した。

・CMF は還元状態では電子伝導が発現し、水蒸気電解のカソードに 응용できることを見出した。

・500°Cで 125mW/cm²を示す小型円筒型セル(f10xL30mm)セルの作成に成功した。

・還元 PrBaMn₂O₅ で修飾することで、350°Cでも 90%の酸化・還元を繰り返し行えることが分かった。

・PrBaMn₂O₅ で修飾した Fe 粉体は繰り返し酸化・還元特性はさらに大きく安定しており、酸化速度は 350°Cで 765mmol/kg-Fe/min と見積もられ、目標を達成できた。

・LSGM 電解質支持管を用いて、350°Cで鉄-空気電池を試作して作動特性を検討した。放電電位 1.05V, 充電電位 1.13V を示し、充放電効率 89%で、600mh/g-Fe で充放電が繰り返し行えることを示した。

マイクロ SOFC 形小型発電機の開発 (産業技術総合研究所・岩谷産業・岩尾磁器工業)

・) 産総研が開発した低温・急速起動型マイクロ SOFC を不良率 10%以内で 1 日に 5,000 本製造する量産技術を確立した。

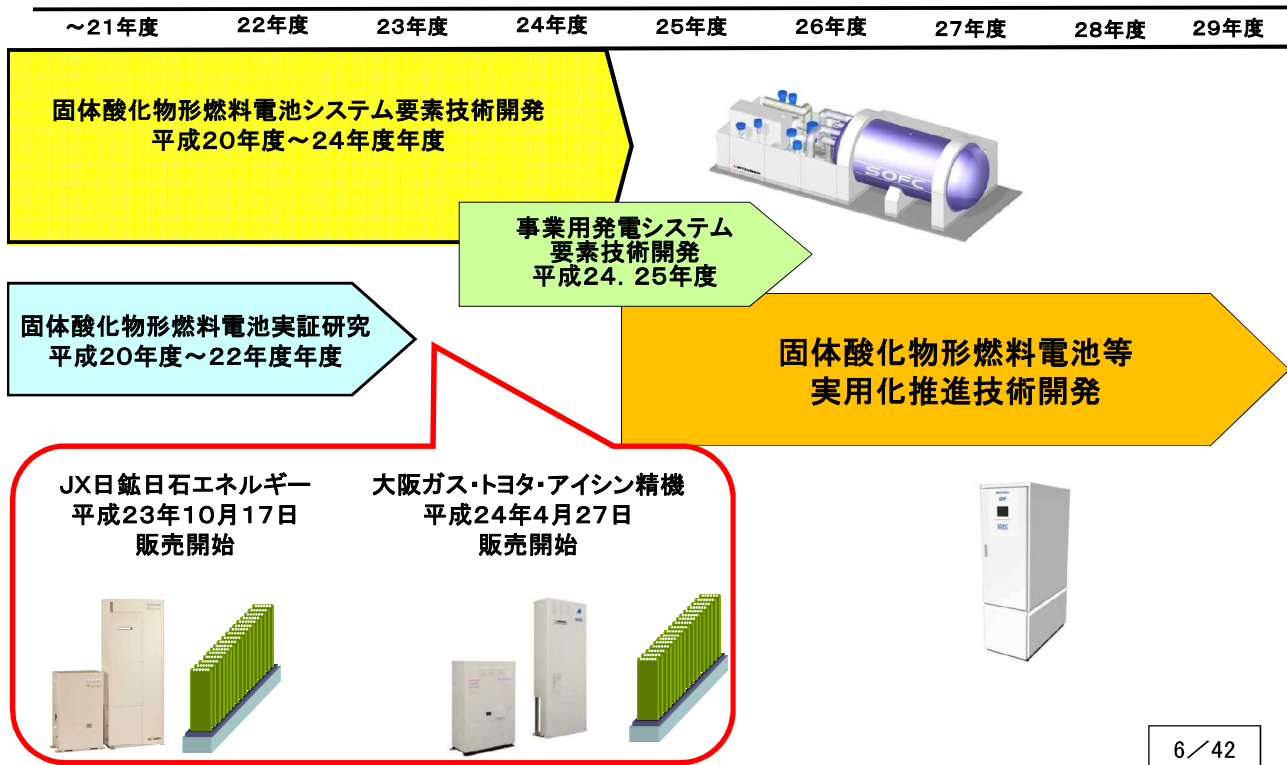
・マイクロ SOFC1 本から 0.59W の電力が取り出せる機械的な量産製造が見通せる 材料構造、集電・結線方法を確立した。

・カートリッジガスから 200W 以上の出力が得られるセルスタック (発電ユニット) を構築した。

	<ul style="list-style-type: none"> ・200W 以上の発電に必要な改質ガスを延べ 100 時間に渡り得られた ・着火から 5 分以内でセルスタックを平均 600℃に昇温する加熱炉を製作した。 ・脱硫、CO 除去で延べ 100 時間の耐久性を確保した。また、カートリッジガスから AC インバーターまで全てを内蔵した検証機を製作した。 <p>中温作動型酸化物プロトン SOFC に開発 (パナソニック)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・BaZrO₃ 系材料および BaZrCeO₃ 系材料候補の中から、燃料ガス耐久性、特に CO₂ 耐久性に着目し、目標作動温度の 600℃での耐久性を確認。BaZr_{0.8}Y_{0.2}O₃、BaZr_{0.8}In_{0.2}O₃ の CO₂ 耐久性がそれぞれ 5300h、12000h の時間で安定であることを確認。また、導電率評価においては、BaZr_{0.8}Y_{0.2}O₃ が開発目標性能である 600℃で 1×10⁻² S/cm に到達。 ・アノード及びカソードは、SOFC で一般的な電極材料の Ni 及び LSCF を BaZrO₃ 系材料と組合せ、実使用状況を想定した燃料電池雰囲気中で、開回路状態での 1000h 耐久試験を実施。電極並びに電解質材料に著しい劣化が見られなかったことから実使用環境下における初期耐久性を有することを確認。また、カソードについてはさらに材料候補を絞込むため、開回路状態での抵抗測定を実施し、特に LSC が好適であることを確認。 	
	投稿論文	84 件(平成 27 年 9 月 15 日現在)
	特許	「出願済」2 件、「登録」0 件、「実施」0 件(うち国際出願 0 件) (同上) 特記事項：
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演(296 件)／新聞・雑誌等への掲載(10 件)／ 展示会へ出展(9 件) (同上)
4. 実用化・事業化の見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> ・基盤研究において 9 万時間運転の見通し ・実証研究で得られた知見をベースに 2017 年市場導入を計画している。 	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 25 年 2 月制定
	変更履歴	なし

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業立ち上げの経緯



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標(中間)	研究開発目標(最終)	根拠
固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究(研究開発項目(a))	9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を開発する。また、この評価方法を耐久試験後の実セルスタックに適用し、その妥当性の検証及び課題抽出を行う。	9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を確立する。	ヒアリング、意見交換会などを通じ、家庭用エネファーム(SOFCタイプ)等が商品として10年以上の耐久性を実現させるために必要な手法。「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」における2020年度以降(普及～本格普及段階)の目標値と合致しており、戦略的な目標設定。
固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証(研究開発項目(b))		中容量(数～数100kW)SOFCシステムの導入効果検証及び課題抽出を行う。	戦略的な目標「発電効率50% LHV以上、4万時間の耐久性見通し、発電システム価格100万円/kW」の実現に資するべく、「中容量(数～数100kW)SOFCシステムの導入効果検証及び課題抽出を行う」ことを最終目標(2017年度)としている。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標(中間)	研究開発目標(最終)	根拠
固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発(研究開発項目(c))	平成24年、25年度実施 26年は追加研究実施	トリプルコンバインドサイクル発電システムのSOFCセルスタック及びSOFCとガスタービン連携技術を開発する。 <トリプルコンバインドサイクル発電システム> 発電規模(送電端): 数10MW以上(100MW未満) 発電効率(送電端): 60%LHV以上 建設コスト: 25万円/kW以下 <上記のうちSOFCシステム> 発電規模: 10~20MW 運転圧力範囲: 大気圧~約3MPa 耐久性: 9万時間(電圧低下率0.1%/1000時間以下) 製造コスト: 30万円/kW以下	複合発電システムで得られている効率(58%LHV)を超えることを目標としている。SOFC単体の性能も耐久性(9万時間)及び製造コスト(30万円/kW以下)の開発目標は「耐久性で4万時間見通し、コストで数10万~約100万円/kW」と比較して、戦略的な設定。
次世代技術開発(研究開発項目(d))	個別にて設定		

12/42

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

	H25 2013	H26 2014	H27 2015	H28 2016	H29 2017
(a) 耐久性迅速性評価に関する基礎研究	中間評価 ▲ 耐久性迅速評価方法の妥当性検証及び課題抽出			事後評価 ▲ 耐久性迅速評価方法確立	
(b) 業務用システム	実証試験・課題抽出			有望テーマ継続	
(c) 事業用発電システム	要素技術確立	要素技術確立			
(d) 次世代技術開発	SORC・ポータブル・中低温動作			有望テーマ継続	

13/42

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制(全体)

NEDO

(a) 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究(委託)(H25-27)
 (独)産業技術総合研究所、(一財)電力中央研究所、TOTO(株)、日本特殊陶業(株)、日本ガイシ(株)、(株)村田製作所、九州大学、京都大学、東京大学、東北大学
 (共同実施:京セラ(株)、三菱日立パワーシステムズ(株)、東京ガス(株)、大阪ガス(株)、JX日鉱日石エネルギー(株))

(b) 固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証(1/2助成)

○ 固体酸化物形燃料電池を用いた5kW級業務用システムの実証評価(H25-27)

三浦工業(株)

○ 円筒形SOFC-ガスタービンハイブリッドシステムの実用化に向けた運転技術実証(H24-25)

三菱重工業(株) (現:三菱日立パワーシステムズ)

○ 中容量常圧型円筒形SOFCシステムの実用化技術実証(H26-27)

富士電機(株)

○ 固体酸化物型燃料電池(SOFC)による業務用・産業用システム実証および事業化検討(H26-27)

日立造船(株)

(c) 事業様発電システム(1/2共同研究)

○ 固体酸化物型燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発(H24-25)26年度追加研究

三菱重工業(株)、(株)日立製作所、(再委託:九州大学、東北電力(株)) (現:三菱日立パワーシステムズ)

(d) 次世代技術開発

○ 可逆動作可能な固体酸化物型燃料電池による低コスト水素製造および高効率発電を利用した電力貯蔵(委託)(H25-27)九州大学

○ マイクロSOFC形小型発電機(委託)(H25-26)

岩谷産業(株)、産業技術総合研究所、(株)岩尾磁器工業

○ 中温作動型酸化物プロトンSOFCの開発(1/2共同研究)(H25-27)

パナソニック(株)

15/42

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

基礎研究 (a) 実施体制

プロジェクトリーダー: 横川晴美(東大)

セルスタックメーカー

(1) 産総研 - 京セラ - JX日鉱日石、大阪ガス: 筒状平板形



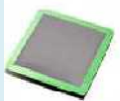
(2) 電中研 - MHP S: 円筒横縞形



(3) TOTO: 小型円筒形



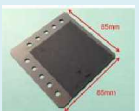
(4) 日本特殊陶業 平板形



(5) 日本ガイシ 筒状横縞形



(6) 村田製作所 一体焼結形



基盤コンソーシアム

(1) 産総研 熱力学的解析

(2) 九州大学 化学的解析

(3) 京都大学 東京大学 三相界面微構造解析

(4) 東北大学 機械的解析

シミュレーション技術の開発

(1) 電中研 - 東京ガス 劣化要因分析

(2) 東京大学 京都大学 東北大学 産総研 耐久性迅速評価方法の開発

16/42

◆プロジェクト費用

事業費(NEDO負担分)

(単位:百万円)

研究開発項目	平成25 年度	平成26 年度	平成27 年度	平成28 年度	平成29 年度	合計
(a) 耐久性迅速性評価に関する基礎研究 (委託1/1)	208 (208)	600 (600)	761 (761)			1,569 (1,569)
(b) 業務用システム(助成1/2)	108 (54)	338 (169)	520 (260)			966 (483)
(c) 事業用発電システム(P12002) (共同研究1/2)	1,330 (665)	366 (183)	-			848
(d) 次世代技術開発 (委託1/1・共同研究1/2)	73 (67)	75 (66)	45 (38)			193 (171)
合計	1,719 (994)	1,379 (1,018)	1,326 (1,059)			4,424 (3,071)