

「固体酸化物形燃料電池等実用化 推進技術研究開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 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	2
I. 事業の位置付け・必要性について	11
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	11
1. 1 NEDO が関与することの意義	11
1. 2 実施の効果（費用対効果）	11
2. 事業の背景・目的・位置づけ	11
II. 研究開発マネジメントについて	14
1. 事業の目標	14
1. 1 研究開発の目標	14
1. 2 各研究開発項目の目標	16
2. 事業の計画内容	21
2. 1 研究開発の内容	21
2. 2 研究開発の実施体制	23
2. 3 研究の運営管理	24
2. 4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	24
3. 情勢変化への対応	25
4. 評価に関する事項	25
III. 研究開発成果について	26
1. 事業全体の成果	26
2. 研究開発項目別の成果	26
3. 研究開発成果の意義	33
4. 特許、論文、外部発表等の件数	35
5. 研究成果の最終目標の達成可能性について	36
IV. 実用化の見通しについて	46

(添付資料)

(添付-1) 各研究開発項目の詳細

(添付-2) プロジェクト用語集

(添付-3) プロジェクト基本計画

(添付-4) 事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

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、発電効率が高く、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

① アウトプット目標

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））

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。

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。

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。

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））

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。

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、

2020年度頃まで（初期導入）

「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

／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 システムの初期限導入を実現する。

(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、明確な機構はま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</p> <p>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。</p> <p>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</p> <p>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。</p> <p>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、システム性能評価を実施。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/cm²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応用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1×10⁻²S/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

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

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、交通量の多い都市部等における地域環境問題（NO_x、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や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、上記の課題解決に向けたキーテクノロジーとして、その実用化が強く期待されている。「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」（経済産業省、2008年3月）では、CO₂排出量の大幅削減を可能とする21の革新技術の一つとして、民生部門で定置用燃料電池が選定されている。加えて発電・送電部門においても、燃料電池-ガスタービンハイブリッド発電、石炭ガス化燃料電池複合発電が挙げられている。また、「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としている。数種類ある燃料電池の中でも固体酸化物形燃料電池は、発電効率高く、天然ガスや石炭ガス等の多様な燃料にも対応が可能で、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。家庭用燃料電池の更なる普及拡大、業務用・発電事業用燃料電池の実用化、燃料電池自動車の2015年の普及開始とその後の拡大に貢献するためには、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することが必要であるが、このような長期展望に基づいた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。

SOF型エネファームにより、日本は世界に先駆けてSOFシステムの商品化に成功したが、その本格普及のためには更なる低コスト化・高耐久化が必要不可欠である。一方、中～大容量システムの実用化、あるいは次世代燃料電池の開発には、極めて高い技術レベルと多大な開発ソースが必要となる。

1. 2 実施の効果（費用対効果）

当該事業を実施することにより、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省2014年6月、図表参照）等で試算される2030年の市場規模：日本1兆円程度、世界38兆円程度2050年の市場規模：日本8兆円程度、世界160兆円程度の成長に寄与することができる。また、燃料電池分野の特許出願数は現在でも世界1位で2位以下の欧米等の各国と比べ5倍以上となっており、本事業の推進が水素利活用分野での高い産業競争力を支えている。更には、前述の「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」において、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するためのエネルギー分野における21の革新的技術開発の中に選定され、温室効果ガスの削減にも大きな貢献をもたらすことが期待されている。

このような研究開発投資がもたらす効果として、水素エネルギーの社会への導入・普及は、省エネルギー効果、環境負荷低減効果、エネルギーの供給多様化、石油代替効果、分散型電源としての利用、産業競争力強化と新規産業・雇用の創出が期待される。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、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）（以下、前プロジェクト）の成果等により、2011年11月に固体酸化物形燃料電池（以下、SOF）を用いた家庭用コー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。また、燃料電池技術の応

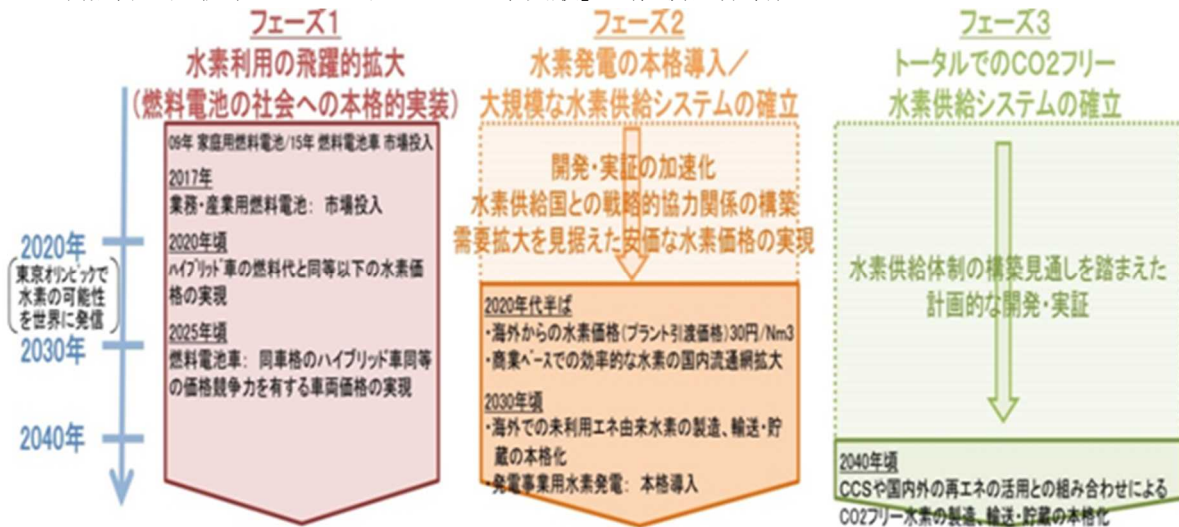
用である水電解水素製造技術、抜本的な低コスト化・高耐久化に有効な低温動作セル等は、現在も基礎研究段階である。

○各国の技術レベル

・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。米国では、石炭ガス化ガス発電を目標としたエネルギー省のプロジェクト「Solid State Energy Conversion alliance」が実施されている。また、Fuel Cell Energy 社、Versa Power Systems 社、Delphi 社、UTC 社、LG Fuel Cells 社等の企業が大規模システム開発とセルスタック開発を行っている。更に、Bloom Energy 社は、100kW級システムを用いたエネルギー供給サービスをカリフォルニア州で展開している。欧州では、豪企業CFCL 社や英Ceres Power 社が、家庭用SOFCシステムの商用化を目指しており、独Callux 実証プロジェクトでは、Vaillant 社、Hexis 社等が家庭用SOFCシステムの実証試験を行っている。また、特に欧州では固体酸化物形水電解セル（SOEC）開発が活発化しており、独Sunfire 社やSiemens 社等が開発を進めているほか、燃料電池技術を応用した水電解セルに関するプロジェクト（NEXPAL、EKOLYSER 等）が進行中である。

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。

「水素燃料電池戦略ロードマップ 2014 年度版」 (経済産業省)



「燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ)」によるシナリオ

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1. 1 研究開発の目標

② アウトプット目標

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））**

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SOFCセルスタック、SOFC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SOFC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。

NEDO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%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」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。

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いいため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。

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））**

家庭用SOFCシステムが2011年度に実用化された一方、業務用SOFC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SOFC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へ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100kWの中容量SOFC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。

NEDO技術開発ロードマップ（2010年度策定）における中容量（数～数100kW）定置用システムの目標、

2020年度頃まで（初期導入）

「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」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。

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。

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100kW）SOFCシステムの導入効果検証及び課題抽出を行う。

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

次世代技術開発（研究開発項目（d））

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. 2 各研究開発項目の目標

達成目標は下記の通り。

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

	中間目標	最終目標
プロジェクト全体		
	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
中温筒状平板形		
	2009年度機以降の2万時間以上運転した従来のセルスタック解体分析並びに性能変化の解析を行い、劣化要因毎の時間変化の予測と実機劣化挙動とが整合しているかを検討し、9万時間耐久が見通せるかを判断する。新たな劣化要因が見つかるかあるいは既知劣化要因の時間変化が予想から外れる場合には、その原因を究明し、耐久性迅速評価技術の開発に資する。2015年度より、低コスト検討用セルスタックについて、耐久性迅速評価へ向けた試験を開始する。	従来のセルスタックについて、9万時間耐久の見通しが得られている場合には、更に長期間運転を行い、さらなる検証に勤める。見通しが得られない場合には改善点を提案するとともに、耐久性迅速評価技術の課題抽出に供する。低コスト検討用セルスタックについて、9万時間耐久性を評価する。
高温円筒状横縞形		
	累計2万時間程度の長期運転実績データを入手したセルスタックについて、物質の拡散状態、三相界面近傍の組織変化に及ぼす影響、欠陥化学的变化を解析し、1万時間までの知見で得られた劣化要因と比較し、9万時間耐久性の見通しについて検討する。	長期運転セルスタックについて、新たな劣化要因がある場合には、劣化機構解明を従来の知見を基にして行い、改善策を検討する。新たな劣化要因がない場合には、更に運転時間を延長して、その挙動が寿命予測と整合するかを検証することで9万時間（電圧低下率0.1% / 1000時間）の見通しを行うための耐久性迅速評価技術が適切であるかを判断する。
低温小型円筒形		
	加速試験案の策定及び、数1000時間の連続運転結果の分析解析から9万時間耐久性の見通しが得られるか検証し、耐久性迅速評価技術の開発に資する。	開発された耐久性迅速評価技術が適切であった場合には、1-2万時間の運転実証により9万時間耐久性の見通しが得られるか検証する。見通しが得られない場合には、改善点を明確にするとともに、評価技術の改良に資する。
中温平板形		
	初期劣化挙動の解析・分析から、主要な劣化機構を想定し、改善部位を明確化する。次に、数1000時間の連続発電試験、及び熱サイクル試験を通じて詳細な劣化機構を解明する。さらに、初期劣化を改良したスタックにて、長期耐久性の見通しを検討する。また、この改良したスタックで性能表示式の構築を行う。	劣化機構解明とその改善策を適用したスタックにおいて耐久性迅速評価を適用し、9万時間耐久の見通しを検討する。
中温筒状横縞形		

	中間目標	最終目標
	<p>中温筒状横縞形セルスタック及びモジュールの5千時間程度の発電耐久試験と熱サイクル及び負荷サイクル試験を行う。試験後サンプルの基盤グループでの劣化機構解析結果をもとに改良したセルスタック及びモジュールの耐久試験を実施し、劣化機構解析結果および改良結果を検証する。本作業を数回繰り返して、9万時間耐久が達成するための改良点を明確にする。</p>	<p>中温筒状横縞セルスタックを使用したモジュールの9万時間耐久への見通しを検討する。</p>
中温一体焼結形		
	<p>初期および数千時間耐久試験後のセルの劣化機構を把握し、耐久性の改善策を抽出する。そして、耐久試験の結果より性能予測式を構築する。</p>	<p>耐久性迅速評価技術を適用して、性能予測式を検証し、9万時間耐久を評価する。</p>
熱力学的解析		
	<p>耐久試験したセルスタックにおいて、セル構成材料と不純物との反応性・材料間反応性を解析し、劣化要因分析・劣化メカニズム解明を行い、10% / 9万時間耐久のための見通しおよび劣化対策案を示す。さらに、加速劣化試験法を確立する。</p>	<p>劣化対策を施したセルスタックにおいて、セル構成材料と不純物との反応性・材料間反応性を解析し、劣化要因分析・劣化メカニズム解明をおこない、10% / 9万時間耐久を評価する。</p>
化学的解析		
	<p>各スタックに対して、化学的解析により劣化要因、劣化機構を解明し、9万時間耐久見通しを目指した改善の指針を導くとともに、化学的解析に関わる加速要因分析をおこない、耐久性迅速評価手法を開発に資する。</p>	<p>各スタックに対して、化学的解析により9万時間耐久の見通しに必要とされる劣化機構解明を行うとともに、化学的解析に係わる加速要因分析の高度化を図る。</p>
三相界面微構造解析		
	<p>各社のセルスタックについて、三相界面の微構造と電池性能との関連性を明確にし、より適した電池構成と運転条件を提言する。ボタンセルを用いて、様々な条件下における性能変化を観察し、微構造変化との相関を明らかとし、あらゆる劣化現象に対応可能なデータベースの構築を行う。</p>	<p>各社セルスタックについて、これまでのデータベースを活用して劣化要因・機構を解明し、適切な提案を行う。またボタンセルを用いた加速劣化手法を確立し、短時間の運転から長期運転時の性能を予測する。</p>
セル構造体解析		
	<p>セル構造体の信頼性に影響する現象として、非対称セルについては単セルの変形挙動、対称セルについては運転条件下での特定部材の物理化学的・機械的挙動をとりあげ、酸素ポテンシャル分布を考慮した解析により、短期・長期信頼性に影響する要因を分析する。</p>	<p>長期耐久性評価試験に供されたスタックの熱力学的・化学的および三相界面微構造の各解析の結果を取り入れて、これらが9万時間以上の運転後の信頼性に及ぼす影響を明らかにする。</p>
スタック性能劣化解析		

中間目標	最終目標
<p>すでに4万時間耐久性の見通しを得ているスタックに対しては、一定条件における2万時間程度の耐久性評価試験を実施する。本プロジェクトの中で初めて集学的な検討を行うスタックについては、2,000～5,000時間程度の長期試験を複数回行うと共に、性能表示式を開発して劣化要因の特定を行う。また、小型円筒形セルスタックに対し、熱サイクル試験および負荷サイクル試験を実施する。各サイクル試験での劣化に対して詳細な電気化学的評価を試み、各サイクルが劣化に与える影響を見通すための性能劣化解析手法を開発する。開発した性能劣化解析手法を一体焼結形、平板形、筒状横縞形のセルスタックへと展開することにより性能劣化解析手法を高度化して、各サイクルが9万時間の期間で劣化に与える影響を見通すためのサイクル耐久に関する耐久性迅速評価技術を開発する。</p>	<p>劣化要因改善策が施された各セルスタックに対して、逐次長期耐久性試験と性能解析(抵抗分離)を行なうことにより、抵抗成分毎の劣化率を定量化し、9万時間耐久の達成度を各スタック毎に明確化する。 開発したサイクル耐久に関する耐久性迅速評価技術を適用し、9万時間の耐久性確保に向けて劣化要因改善策が施された各セルスタックに対して、逐次効果検証を行うことにより、熱サイクルおよび負荷サイクルによる耐久性が9万時間の期間で十分であるかどうかの見通しを行う。</p>
シミュレーション技術の開発	
<p>FIB-SEM再構築手法とフェーズフィールド法を用いた燃料極のNi焼結に伴う形態変化の数値シミュレーションコードを開発し、有効三相界面密度や屈曲度ファクターの経時変化を予測する手法を構築する。また、得られた構造データを用いた分極シミュレーションを実施し、過電圧ならびに局所ポテンシャル分布や局所電流線等の3次元情報の予測手法を確立する。 一方、空気極に関しては、LSCF空気極の場合の過電圧の予測手法を構築した上で、LSCF空気極中に銀相が堆積した場合の気相拡散と空気極表面反応が阻害される影響、および銀相による電極活性の向上効果について予測可能な数値シミュレーション手法を構築する。</p>	<p>燃料極Ni焼結の数値シミュレーション手法を数万時間以上の劣化予測まで適用可能なレベルに高度化する。また、LSCF空気極と電解質間の反応防止層中に生成するSrZrO₃絶縁相が、中間層有効イオン導電率や空気極過電圧に及ぼす影響を評価可能な数値シミュレーション手法を構築する。</p>
<p>LSM電極と電解質界面近傍の酸素ポテンシャル分布の数値予測法を確立する。セルスタックシミュレーションプログラムの整備と局所劣化データの適用を行う。</p>	<p>LSM緻密化の進展と酸素ポテンシャル分布の相関を明確化する。セルスタックシミュレーションでの局所劣化モデルの高度化を図る。</p>
<p>セル、セル部材、微細構造中の酸素ポテンシャル分布の計算を、高性能ワークステーションを用いて、実用的な計算時間で実行することのできる計算プログラムを開発する。</p>	<p>酸素ポテンシャルの計算ルーチンをANSYS, FLUENTなどの汎用構造解析、熱流体解析ソフトウェアと連携させ、酸素ポテンシャル計算を基礎とする応力計算、信頼性の評価を実施できるようにする。</p>
<p>電解質におけるオーム抵抗増大・劣化現象をシミュレーションできる技術を確立する。セリア中間層/電解質界面におけるSrZrO₃等反応生成物の生成、セリア中間層/LaMnO₃系空気極界面における緻密化に関する基礎データを整理、提供を行う。空気極における被毒現象について、電極内への不純物投入量と性能劣化との関係を定式化する。</p>	<p>電解質、電極/電解質界面、電極における劣化現象をシミュレーションできる技術を確立し、9万時間耐久を確実にするための基盤データを提供する。</p>
耐久性迅速評価方法の開発	

	中間目標	最終目標
	耐久性迅速評価方法がスタック耐久性の評価方法として開発されていることを確認する。	開発された耐久性迅速評価方法が十分にスタック耐久性評価方法として機能しうることを、スタックメーカーと連携して検証し、改善点の抽出を行い、評価方法としての確立を図る。

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

	中間目標	最終目標
三浦工業		
		発電効率 ①スタック効率 57% ②燃料利用率 (Uf) 72% ③補機損失 400W ④PCS 効率 93% ⑤効率 50%の課題抽出
		総合効率 90%
		システム機での劣化率 0.25%/1000 h ①改質水供給圧力変動 ±1 kPa ②スタック温度むら ±20℃ ③運転温度 760℃
		システム機の確立 ワンパッケージ化 ①水自立機能 ②別置パージガス ③別置 PCS
三菱日立パワーシステムズ		
		システム安全性評価 ①「発電用火力設備」「電気設備」に関する技術基準に対する SOFC ハイブリッドシステムの設計への反映状況の再整理 ②家庭用燃料電池 (SOFC 型) を参考にしながらハザード分析、加圧特有のハザード分析
		SOFC ハイブリッドシステム実証機の運転試験 ①システムの長期耐久性検証 ②システム安全性検証 (システム異常模擬状態における安全性評価)
		机上検討および試験結果解析に基づく規制緩和の妥当性評価 ①検討・試験に基づく、初期導入促進に向けた課題に抽出 ②「常時監視に義務化の見直し」を第一の目的とする
富士電機		
	常圧型モジュールの開発 常圧型モジュールの設計/製作/評価 DC 発電効率 (定格) : 55%以上 (AC 発電効率: 50%相当)	

	中間目標	最終目標
	常圧型高効率システムの開発 モジュール評価装置の設計/製作 常圧システムの運転技術の確立	
	H28 年度以降実施予定 実証試験 実証機の設計/製作 実証機を通して、商品機の課題把握	
	H28 年度以降実施予定 商品機の設計	
日立造船		
	10kW 級ベンチ試験による性能確認、課題抽出 i) 安定運転 ii) 発電端 50% 達成 iii) 送電端 50% 見通し	
	20kW 級実証機の設計・製作	
	コンパクト化のための熱解析 i) モデル作成 ii) 0.3m ² /kW 達成 iii) プロセス最適化	

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

	中間目標	最終目標
		トリプルコンバインドシステムの要素技術の開発として、SOFC は高圧環境下での発電特性や耐久性の検証、 SOFC とガスタービンの連携技術の開発、ガスタービンはガスタービン本体 の構造検討や燃焼器の開発を行い実用化に向けた目処を得る。

次世代技術開発

	中間目標	最終目標
九州大学		
		セルの基本性能 <ul style="list-style-type: none"> • SORC 単セル発電性能：電流密度 10mA/cm² で 0.5V の端子電圧の達成 • SORC 単セル発電耐久性：電流密度 10mA/cm² で初期動作電圧の 2% 以下の劣化率@1000h • SORC 単セル水蒸気電解性能：1.3V の電解電圧において、電流密度 0.2A/cm² を達成。 • SORC 単セル水蒸気電解耐久性：電流密度 0.2A/cm² で初期動作電圧の 3% 劣化/1000h

	中間目標	最終目標
		円筒セル ・湿式法を用いた SOFC 作動が可能な円筒型セルの作成と動作確認。 ・理論起電力を示す LSGM 薄膜からなるセルの作成法、拡散抑制層の作成法の開発
		Fe 粉体 ・初期の水素供給・吸蔵速度 113.7 mmol H ₂ /kg Fe/min ・水素供給・吸蔵速度の耐久性 初期の水素供給・吸蔵速度に対して 70%/100cycle
岩谷産業、産業技術総合研究所、岩尾磁器工業		
		マイクロ SOFC 量産化に向けた技術開発
		性能低下が少ない材料構造、集電・結線方法の開発
		セルスタック、発電ユニット設計・製作および最適化検討、燃料ガス組成によるセルスタックへの影響の調査
		カートリッジガスの前処理方法の最適化
		マイクロ SOFC のスタック加熱システムの開発
		ポータブル電源システム要素技術の開発および検証機の製作
パナソニック		
		開発した混合イオン伝導体電解質材料に適したアノード、カソード材料の選定・開発を行う。
		電解質厚さ 5 μ m 以下でガスリーク、電子的リークのない、電解質薄膜の合成プロセスを確立し、革新的低コストが可能な平板型薄膜単セルを試作する。
		平板型薄膜セルの性能評価を実施し、分極の内訳等の評価結果を基に、出力密度 0.7 W/cm ² 程度を見通すための対策を提示する。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

事業の目標を達成するために、以下の研究開発項目について、研究開発を実施する。

① [研究開発項目 (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」

下記 (i) ~ (iv) の研究開発を実施する。

(i) 材料評価・性能評価・解析技術の高度化と劣化機構解明の迅速化

長時間稼働あるいは頻繁に起動停止したセルスタックの材料変化・性能変化を集学的に解析する技術を、微小な材料変化・微構造変化でも検出し性能変化との相関を検出できるように更に高度化し、セルスタック性能劣化の要因分析と劣化機構解明の迅速化を行う。

(ii) 劣化進展モデルの検討

運転条件 (温度、過電圧、電流密度等) と関連づけられる変数を変化させた加速劣化試験法の妥当性の検討を行うとともに稼働下での温度・酸素ポテンシャル分布などを考慮したシミュレーション技

術の適用が劣化挙動の進展の把握にどのように寄与できるかを検討し、耐久性迅速評価に必要なセルスタックの長期的挙動把握を実験的・解析的に行う。

(iii) 耐久性迅速評価法の開発

比較的短期間（数千から数万時間）の劣化挙動の観察と微小な変化の検出から9万時間レベルの長期耐久性を評価する手法を開発する。

(iv) セルスタック耐久試験の実施

参加企業が開発したセルスタックの耐久試験を実施し、劣化挙動に関するデータを収集する。耐久試験後のセルスタックは上記 (i) から (iii) の各項目の検討に供し、そこで得られた知見は、参加企業のセルスタック開発に供し、耐久性9万時間以上のセルスタックの改良につなげる。

②研究開発項目 (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」

数～数100kW級中容量SOFCシステムの実負荷条件下での実証試験を実施し、導入効果の検証及び技術課題の抽出を行い、中容量SOFCシステムの実用化に資する改良につなげる。

課題設定型産業技術開発費助成金交付規定に基づく助成事業として実施する。

③研究開発項目 (c) 「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」

下記 (i) ～ (iv) の研究開発を実施する。

(i) SOFCセルスタックの開発

ガスタービンとの連携運転が可能なSOFCセルスタックを開発する。大気圧～約3MPaの圧力で燃料・空気を供給可能な試験設備を用い、数10MW級のガスタービンとの連携運転を模擬した条件で、セルスタックの電流-電圧特性、圧力依存性、伝熱特性等を検証するとともに、1万時間レベルの長期耐久試験を実施し、9万時間の耐久性を見通す。また、セルスタックの低コスト生産技術を開発する。

(ii) SOFC-ガスタービン連携技術の開発

上記①で開発したセルスタックを実際に数10MW級のガスタービンに接続またはこれを模擬し、電流-電圧特性、圧力依存性及び伝熱特性等を検証する。また、起動停止、緊急停止等、ガスタービンの連携運転時に想定される各運転モード及び過渡的状態に対するセルスタックの応答を確認する。

(iii) 導入可能性の調査

平成24年度において、数10MW以上（100MW未満）のトリプルコンバインドサイクル発電システムの最適仕様、経済性、環境性等について検討し、国内外での導入可能性（市場性）を把握するとともに、実用化・事業化の道筋を整理する。

(iv) 実証システムの基本設計

上記 (i) から (iii) で取得したデータに基づき、実証システムの基本設計を行う。

なお、本項目の実施期間は平成26年度（2014年度）までの2年間（前事業からの通算で3年間）である。

④研究開発項目 (d) 「次世代技術開発」

提案公募により実施する。

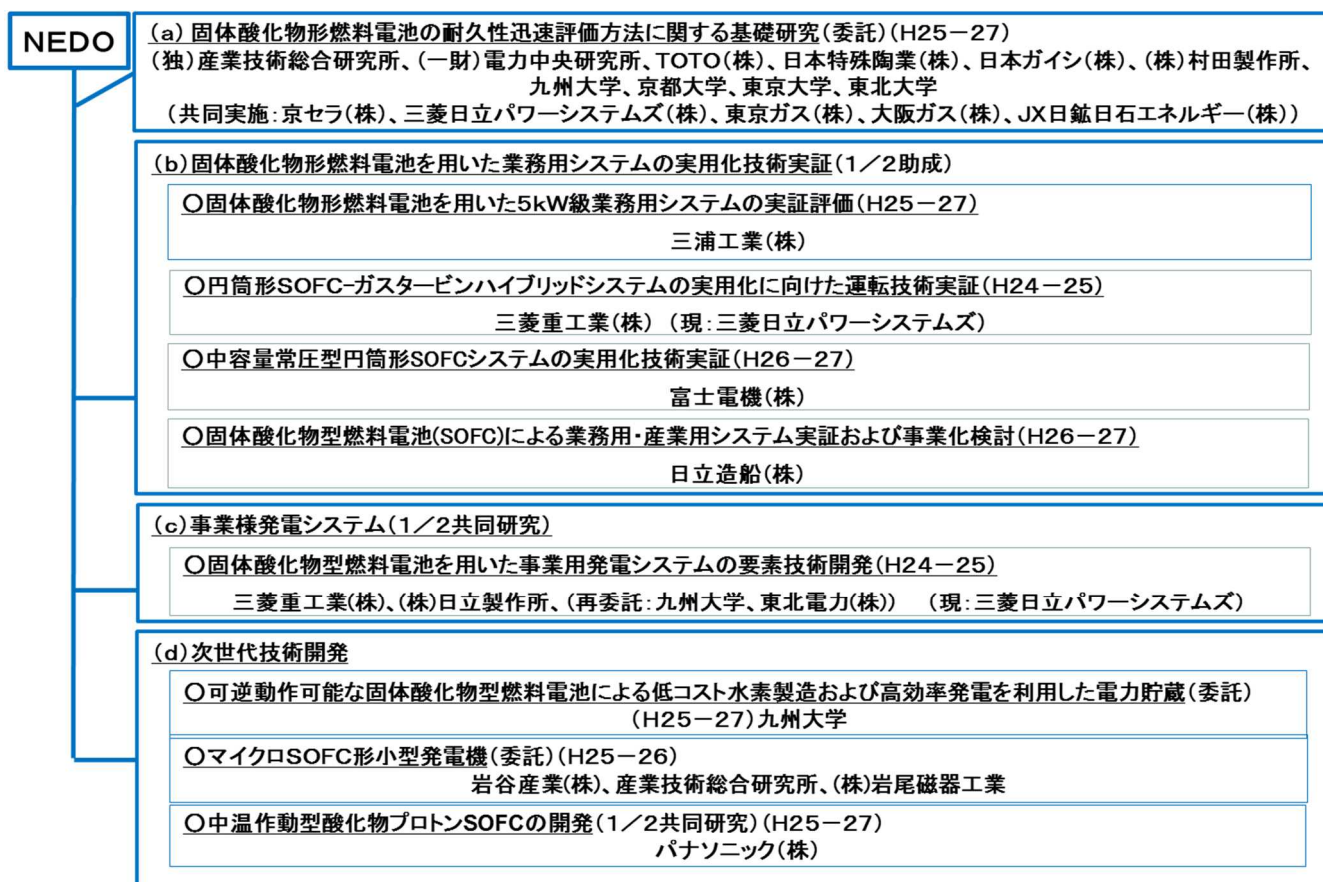
原則として委託事業として実施する。ただし、民間企業単独、民間企業のみでの連携場合は、共同研究事業 [NEDO負担率：1/2] として実施する。

2. 2 研究開発の実施体制

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募により実施者を選定して実施する。なお、研究開発項目（a）については、東京大学生産技術研究所特任教授 横川 晴美氏をプロジェクトリーダー（PL）とする。

実施体制の全体図



2. 3 研究の運営管理

●研究開発の進捗管理の妥当性

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、事業の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。

具体的には、必要に応じて研究開発実施者が設置する WG 等における外部有識者の意見を実施計画に反映させると同時に、NEDO はオブザーバ出席を行い適切な助言を行う他、適時委託先から実施計画の進捗について報告を受ける等を行う。また、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者間での報告会を開催し、実施者間及び関係産業界等との情報の共有と共通認識を図ることとする。

●NEDO と実施者との面談及び意見交換について

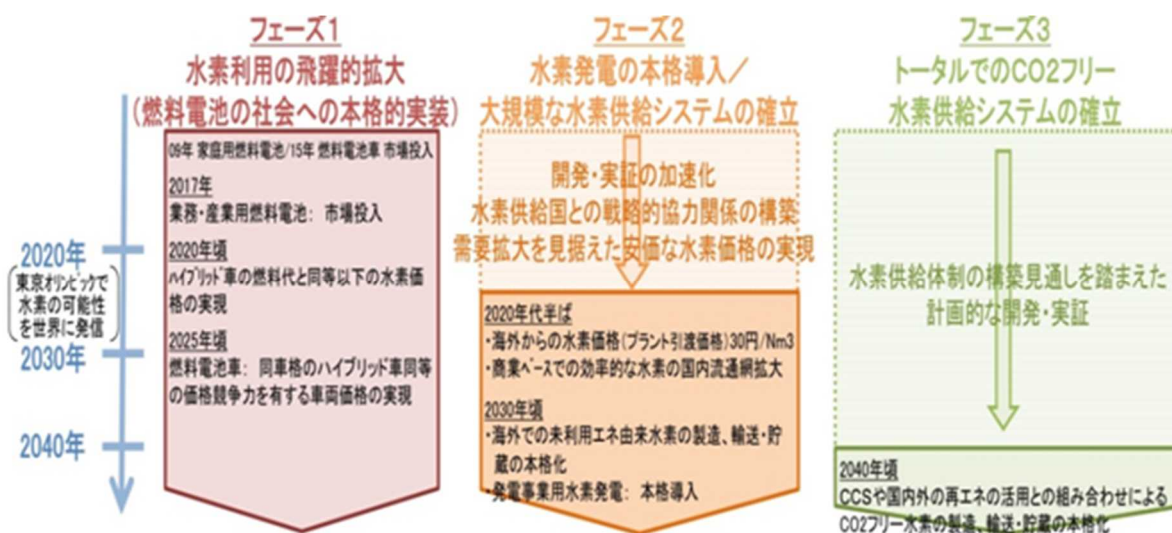
各実施者が設置する WG 等へのオブザーバ出席を通して、実施計画に基づく「進捗状況の報告、課題の抽出、今後の実用化に向けた見通し等」について聴取し状況把握と助言等を行った。また毎年の成果については、毎年度毎のマイルストーンを設け、毎 3 月提出される中間年報により確認をしている。また予算執行状況については実施計画と乖離が認められる場合については事業者個別に適切な予算運営を指導した。以上により今後の各テーマの課題等を把握し適切な方向付けを実施した。

●他事業及び事業内の連携体制について

また事業内については NEDO または PL が WG 等へのオブザーバ参加や、実施者との打合せを通じ、必要な場合は他事業の成果の紹介や他 WG への参加等を助言することで、連携を行っている。

2. 4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」フェーズ 1 では水素利用の飛躍拡大(燃料電池の社会への本格的実装)としており、2017 年(平成 29 年)から業務・産業用燃料電池：市場投入と位置付けられている。



3. 情勢変化への対応

SOFC システムの早期市場導入のに向けた課題抽出を実施するため、平成 25 年 6 月、平成 27 年 8 に実証事業に関する追加公募を実施。

4. 評価に関する事項

事前評価については、平成 25 年 2 月に NEDO 新エネルギー部が事前評価書としてまとめ、公開されている。また NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成 27 年度に、事後評価を平成 30 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

中間目標に対して概ね達成する見込みである。本事業の最終目標は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を確立する。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ことである。世界的に見ても日本は先駆者であり、最終目標を達成すれば地球温暖化防止等の対応のため、この成果は日本国内のみならず世界市場の拡大が期待できる。

SOFCシステムの導入が早期に開始されることで各機器の効率化、低コスト化等の技術開発の競争が促進されることが期待できる、

1. 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

参画機関の連携により、中間目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。

1. 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

各機関とともに課題解決の個別目標を明確にし、目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。試作機から実証機へのステップも進み、システム全体としての課題も出てきている。商品機のコンセプトを検討する段階の機関もあり機関毎の多少差はあるが順調に進んでいる。

1. 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

トリプルコンバインドシステムに向けたSOFCの発電特性、ガスタービンとの連携技術、低コスト化の要素技術レベル確立に目処を得ることができた。

1. 4 次世代技術開発

次世代技術に向けた取り組みであり、個別テーマとしては従来の目標設定のみではなく次世代に向けた課題も抽出されており、順調に進んでいる。

個別テーマではあるが、マイクロSOFC型小型発電機の開発については、新たな用途を目指した開発行ってきた。今後の課題抽出と要素技術開発、装置開発を並行して実施し成果を得られている。目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。

2. 研究開発項目別の成果

各テーマについての成果概要は以下のとおりである。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

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

耐久性迅速評価プロジェクトの達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
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	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。	1) 電中研方式の性能解析を全スタックに適用し、各寄与毎の劣化率を算出した。特に、電極劣化とオーム損増加との相関を見だし劣化解析に有効であるとの認識を得た。 2) 長期試験後の試料の集学的分析により、不純物レベル、微構造、化学変化などと性能劣化との相関を調べ、硫黄被毒において複雑な様相を示すことが明らかになった。 3) 従来より抽出されている課題については、劣化機構解明とその付随するデータの取得により、スタック性能変化を予測するシミュレーション技術の開発に着手し、幾つかの課題については、大きな進展をみた。	△	1) スタック耐久性では、第1グループスタックは寿命予測と検証に入る。第2グループは空気極劣化挙動についての解析を深化させる。第3グループについてはそれぞれの初期劣化・長期劣化についての考察・改良を進める。 2) 劣化機構解明では、硫黄に焦点を当てより深く理解する必要が認められた。更に電解質内現象と空気極特性についての理解を進める必要がある。 3) シミュレーション技術では、ボタンセルレベルの現象と実機レベルでの挙動の違いを克服する必要がある。

中温筒状平板形の間接目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-1 「中温筒状平板形の耐久性評価」	2009年度機以降の2万時間以上運転した従来のセルスタック解体分析並びに性能変化の解析を行い、劣化要因毎の時間変化の予測と実機劣化挙動とが整合しているかを検討し、9万時間耐久が見通せるかを判断する。新たな劣化要因が見つかるかあるいは既知劣化要因の時間変化が予想から外れる場合には、その原因を究明し、耐久性迅速評価技術の開発に資する。2015年度より、低コスト検討用セルスタックについて、耐久性迅速評価へ向けた試験を開始する。	前プロジェクトで2万時間電中研で運転した2008年度機を含め、2万時間超運転した従来のセルスタック解体分析を実施した。大阪ガスおよびJXにて運転されたセルスタックの劣化挙動は電中研で運転された2008年度機と比較して小さく、長期運転による新たな劣化要因は生じていないことが明らかとなった。セルスタックの仕様が新しいものほど長期運転後の不純物および電解質相変態の影響が小さいこと、電中研サイトで運転したセルスタックの劣化挙動がやや大きいことが明らかとなった。低コスト検討セルスタックについては、2014年度から、耐久性迅速評価へ向けた試験を電中研にて開始した。	○	従来セルスタックについては、長期運転を行ったセルスタックの分析個体数、箇所、運転時間を増やしてより詳細な劣化機構解明を推進し、9万時間耐久を確実なものにする。中間評価までの結果とあわせ、劣化予測の妥当性を検証、9万時間耐久性を評価する。 「低コスト検討用セルスタック」は引き続き長期耐久評価（電中研実施）を実施するとともに、必要に応じ加速試験も実施する。長期運転および加速試験後の「低コスト検討用セルスタック」の解体分析を実施、中間評価までに得られた知見を元に、9万時間耐久性を評価する。

高温円筒横筒形の間接目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-2 「高温円筒横筒形の耐久性評価」	累計2万時間程度の長期運転実績データを入手したセルスタックについて、物質の拡散状態、三相界面近傍の組織変化に及ぼす影響、欠陥化学的变化を解析し、1万時間までの知見で得られた劣化要因と比較し、9万時間耐久の見通しについて検討する。	累計2万時間以上の長期運転実績データを入手したセルスタックについて、物質の拡散状態、三相界面近傍の組織変化、欠陥化学的变化について解析を実施し、1万時間までに得られた知見と概ね一致することを確認している。また、電力中央研究所でのCr被毒量について、試験条件が実機換算で9万時間を超える加速条件であることから、当被毒種における耐久性の見通しは概ね達成している。	○	長期運転後の空気極/中間層間の緻密層形成メカニズム、Crの存在形態について各基盤機関によって得られた成果を集約し解明を実施する。また、実機搭載セルスタックの2万時間以上の運転実績データを更に取得し、推定メカニズムの確度を確認する。

低温小型円筒形の間目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-3 「低温小型円筒形の耐久性評価」	加速試験案の策定及び、数 1000 時間の連続運転結果の分析解析から 9 万時間耐久性の見通しが得られるか検証し、耐久性迅速評価技術の開発に資する。	前PJで劣化の主要因と認識された空気極のCr被毒の対策を実施した仕様のショートスタックについて、実機での運転を想定した環境下における耐久試験を行い、1万時間を超えて目標とする劣化率の範囲内において、安定に推移することを確認できた。対策前には空気極/電解質三相界面近傍のCr濃集が見られていたが、対策後セルに対してSIMS分析を行い、耐久試験後にCr濃集が見られないことから、対策効果を確認した。上記結果より9万時間耐久性の見通しが得られる可能性が高いことを確認した。 加速試験については、空気中のCr供給量を増やした単セル試験法を考案、実施し、活性化過電圧、Cr析出量の変化から、妥当な手法であることを検証した。	○	自社での耐久評価結果と電力中央研究所での評価結果に相違があり、硫黄成分の影響を解析し、その影響度を判断する。影響が無視できない場合には、製造プロセスおよび、運転環境下における許容度を明確化することで9万時間耐久性の見通しを確立する。

中温平板形の間目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-4 「中温平板形の耐久性評価」	初期劣化挙動の解析・分析から、主要な劣化機構を想定し、改善部位を明確化する。次に、数 1000 時間の連続発電試験、及び熱サイクル試験を通じて詳細な劣化機構を解明する。さらに、初期劣化を改良したスタックにて、長期耐久性の見通しを検討する。また、この改良したスタックで性能表示式の構築を行う。	連続発電試験及び熱サイクル試験を実施し、長期耐久性の見通しに対して初期劣化と 5000 時間以降の劣化増大が課題であることが分かった。上記課題を引き起こす劣化因子として、空気極でのKの増加、燃料極でのPの増加、燃料極の微構造変化が抽出された。	△	初期劣化と 5000 時間以降の劣化増大を引き起こす因子を抽出するため耐久解体品の分析を継続していく。抽出された因子に対して対策改良したスタックを試作し、順次耐久試験に投入し効果の確認を行う。

中温筒状横縞形の間目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-5 「中温筒状横縞形の耐久性評価」	中温筒状横縞形セルスタック及びモジュールの5千時間程度の発電耐久試験と熱サイクル及び負荷サイクル試験を行う。試験後サンプルの基盤グループでの劣化機構解析結果をもとに改良したセルスタック及びモジュールの耐久試験を実施し、劣化機構解析結果および改良結果を検証する。本作業を数回繰り返して、9万時間耐久が達成するための改良点を明確にする。	「2013年度仕様」の耐久試験を実施し、ガスリーク対策が急務であることを明らかにした。この対策を施した「2014年度仕様」の1万時間の発電耐久試験では、初期に急激な電圧低下が起こった後、電圧は緩やかに低下した。初期の変化はIR損と空気極過電圧の増加であり、その後はIR損の微増であった。解析結果から、YSZ電解質の相変態を確認しIR損増加要因と推定した。空気極過電圧増加要因はS被毒、微構造変化と推定し解析中である。	○	課題は、IR損増加の経時変化予測と空気極過電圧増加要因の解明と対策の実施である。 IR損の経時変化の9万時間耐久を見通すため、シミュレーション解析を実施する。また、「2014年度仕様」の解析を進め、空気極過電圧の増加要因を解明し、対策を実施するとともに、9万時間耐久を見通すため、シミュレーション解析を実施する。強制劣化後のサイクル耐性について、9万時間耐久に向けた影響の解析を行う。

中温一体焼結形の間目標と達成度

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1)-6 「中温一体焼結形の耐久性評価」	初期および数千時間耐久試験後のセルの劣化機構を把握し、耐久性の改善策を抽出する。そして、耐久試験の結果より性能予測式を構築する。	1) 性能表示式を決定し、性能分離が可能となった。 2) 各試験サイトにおける特性ばらつき要因が外部集電にあることを発見し、改良品では各試験サイト間の特性ばらつきを大幅に低減した。 3) 電力中央研究所における供給空気に硫黄成分が多く含まれることを明らかにした。 4) 経時劣化要因として、空気極のS被毒であることを明らかにした。また、種々の条件でS被毒試験を実施し、機構解明の知見を得た。 5) FIB-SEMによる解析により、 SrZrO_3 などの生成は抑制されていることが分かった。 6) 強制劣化要因を空気極の硫黄(S)被毒として、強制劣化試験+熱サイクル試験を開始した。	○	1) 特性ばらつきを改善した仕様のセルスタックで初期及び経時劣化機構を明らかにし、改善する。 2) 劣化機構の把握、必要に応じて過酷試験等から、10年後の劣化を予測し、10年耐久に資することを示す。 3) 初期劣化について、性能分離式、各種分析手法を活用して、要因把握と対策を進める。初期劣化の評価・対策のサイクルは比較的短時間で進めることができる。

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

三浦工業

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
発電効率	発電効率 48% ①スタック効率 57% ②燃料利用率 (Uf) 72% ③補機損失 400W ④PCS 効率 93% ⑤効率 50%の課題抽出	44.69% ①52.8% ②66% ③485W ④94.1% ⑤抽出中	○	要素試験は完了。実証機への適用をすることで達成可能
総合効率	90%	90~92%	○	
システム機検証	劣化率 0.25%/1000 h ①改質水供給圧力変動 ± 1 kPa ②スタック温度むら $\pm 20^\circ\text{C}$ ③運転温度 760°C	0.24~4.9% ① ± 0.58 kPa ② $\pm 20^\circ\text{C}$ ③ 730°C	△	現状分析、解析、改良を行いながら改善を行う。
システム機の確立	①水自立機能 ②別置パージガス ③別置 PCS	①初期確認済み ②達成 ③達成	○	水自立：耐久性確認することで達成可能

MHPS

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
システム安全性評価	①「発電用火力設備」「電気設備」に関する技術基準に対する SOFC ハイブリッドシステムの設計への反映状況の再整理 ② 家庭用燃料電池 (SOFC 型) を参考にし	SOFC ハイブリッドシステムの設計が、火技や電技の基準に適合していることを確認した。 ・また、加圧特有の異常事態、幅広い異常事態 (火災、感電、酸欠、損壊、転倒等) を想定したハザード分析を実施	○	

	ながらハザード分析、 加圧特有のハザード分 析	し、本システムの安全対策 を確認した。 ・ なお、ハザード分析は今 後開発され得る加圧型燃料 電池システムも想定した汎 用性の高いものとしてい る。		
SOFC ハイ ブリッド システム 実証機の 運転試験	①システムの長期耐久 性検証 ②システム安全性検証 (システム異常模擬状 態における安全性評 価)	・ 定格負荷にて、連続発電 時間 4,100h 、累積運転時間 5,067h を達成 ・ 定格負荷でのユニット運 転状態 出力 (AC 発電端ベース) : 206kW (SOFC : 183kW/MGT : 23kW) 発電効率 (AC 発電端 LHV ベース) : 50.2%、総合効 率 : 75% ・ 定格負荷一定条件におい て経時劣化は見られず、電 圧低下率 0%/1000h で安定し ていることを確認 ・ 起動及び負荷上昇におい て良好に自動制御できている ことを確認 ・ 長時間の運転において も、圧力・温度共に安定し た挙動を示している。	○	
机上検討 および試 験結果解 析に基づ く規制緩 和の妥当 性評価	①検討・試験に基づ く、初期導入促進に向 けた課題に抽出 ②「常時監視に義務化 の見直し」を第一の目 的とする	日本ガス協会 (JGA) 、 日本電機工業会 (JEMA)、燃料電池実用 化推進協議会 (FCCJ) に 評価頂き、常時監視しな い発電設備の対象を圧力 0.1MPa から 1.0MPa に拡 大しても、電技第 46 条 【常時監視をしない発電 所等の施設】で定める 「異常が生じた場合に安 全かつ確実に停止するこ とができる」ことを確認 した。	○	

富士電機

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
常圧型モ ジュールの 開発	常圧型モジュールの設計/製作/ 評価 DC 発電効率 (定格) : 55%以上 (AC 発電効率 : 50%相当)	実証機に向けた常圧型モ ジュールの設計データを取 得 DC 発電効率 55%以上を確認	○	
常圧型高効 率システム の開発	モジュール評価装置の設計/製 作 常圧システムの運転技術の確立	実証機に向けた常圧システ ム設計技術を習得。 発電実験を通して、安定運 転方法を確立 (累積発電 600 時間)	○	

実証試験	実証機の設計/製作 実証機を通して、商品機の課題把握	H28 年度以降実施予定	-	
商品機の設計	商品機の設計	H28 年度以降実施予定	-	

日立造船

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
10kW 級ベンチ試験による性能確認、課題抽出	i) 安定運転 ii) 発電端 50%達成 iii) 送電端 50%見通し	i) 安定した起動昇温〜発電運転確認 ii) スタック端 55%達成 iii) 課題抽出し、送電端 55%への対策を立案した	○	<ul style="list-style-type: none"> 起動昇温効率化 送電端 55%達成(温度管理、流量分配の高精度化) ヒートサイクルの耐久性への影響
20kW 級実証機の設計・製作	i) 製作完了	i) 製作完了 ⇒年度内に試運転予定	△	<ul style="list-style-type: none"> 性能確認 社内実証において、実負荷環境下での課題抽出
コンパクト化のための熱解析	i) モデル作成 ii) 0.3m ² /kW 達成 iii) プロセス最適化	i) 10kW 級モデル作成 ii) 実証機: 0.35m ² /kW iii) 熱、プロセスシミュレーターで最適プロセス決定	△ (商品機試設計ベースでは達成)	<ul style="list-style-type: none"> 低熱伝導率の断熱材採用 スタック取合いマニホールド化 熱解析継続(温度管理状況の予測)

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

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
	トリプルコンバインドシステムの要素技術の開発として、SOFC は高圧環境下での発電特性や耐久性の検証、SOFC とガスタービンの連携技術の開発、ガスタービンはガスタービン本体の構造検討や燃焼器の開発を行い実用化に向けた目処を得る。	高効率化に必要な SOFC 高圧運転に関する要素試験を行い、電圧の向上及び数千時間の耐久性を確認した。 また、低カロリーな SOFC 排燃料の燃焼性の確認、SOFC-GT の連携模擬試験を行い、制御等問題ない事を確認した。	○	

次世代技術開発

九州大学

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① セルの基本性能	<ul style="list-style-type: none"> SORC 単セル 10mA/cm²・0.5V・SORC 単セル 10mA/cm²、2%以下の劣化率@1000h SORC 単セル水蒸気電解性能: 1.3V、0.2A/cm² SORC 単セル水蒸気電解耐久性 0.2A/cm² で 3%劣化/1000h 	500°Cにおいて SOFC モードで 0.5V, 250mA/cm ² , SOEC モードで 1.3V, 175mA/cm ² を達成 0.1A/cm ² で 30 サイクルの劣化率 2.5%	○ 平成 28 年 3 月 達成見込み	長期安定性の評価と燃料極、空気極の作成条件の最適化による安定性の向上
② 円筒セル	<ul style="list-style-type: none"> 湿式法を用いた SORC 作動が可能な円筒型セルの作成と動作確認。 	500°Cで 125mW/cm ² を示す小型円筒型セル (f10xL30mm)セルの作成	平成 29 年 3 月こ	成膜条件と干渉層の最適化による単セルの性能の向上 組セルの試作と評価

	・理論起電力を示す LSGM 薄膜からなるセルの作成法、拡散抑制層の作成法の開発	に成功	る 達成見込み	
③鉄粉体	初期の水素供給・吸蔵速度 113.7 mmol H ₂ /kg Fe/min ・水素供給・吸蔵速度の耐久性 初期の水素供給・吸蔵速度に対し 70%/100cycle	PrBaMn ₂ O ₅ で修飾した Fe 粉体で 350℃で 765mmol/kg-Fe/min の達成	○ 平成 28 年 3 月達成済み	さらにサイクル数の多い、繰り返し酸化還元特性を評価する。現状で、課題が見いだされないため、達成見込み

岩谷産業、産業技術総合研究所、岩尾磁器工業

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
マイクロ SOFC 量産化に向けた技術開発	1 本あたりの発電量が 0.59W 以上であるマイクロ SOFC チューブを不良率を 10%以内に抑える量産製法を構築する。	燃料極チューブ (Ni-GDC) の成形条件、各種スラリーの塗布条件の最適化を行い、独自開発の検査方法で不良品製造率が 10%以内であることを確認した。	○	顧客の求めに応じたサイズのセルチューブの製造技術開発
性能低下が少ない材料構造、集電・結線方法の開発	さらなる発電性能の向上と製造の機械化が見通せるマイクロ SOFC の製造方法を確立し、1 本あたり 0.59W 以上の電力が取り出せる技術を開発する。	中間層およびインターコネクターの膜厚最適化、均一な膜厚を得る塗布方法を開発するとともに、空気極への集電用 Ag ペーストの塗布と特殊な金属部材による結線方法を確立し、マイクロ SOFC 1 本あたりから 0.59W の電力を取り出せることを確認した。	○	結線用金属部材のコストダウン
セルスタック、発電ユニット設計・製作および最適化検討、燃料ガス組成によるセルスタックへの影響の調査	200W 以上の出力が見込めるマイクロ SOFC スタック、発電ユニットを製作する。また単セル発電試験で 100 時間の発電でも燃料極表面に炭素が析出しない燃料ガス条件を確立する。	8x8 セルスタックを製作し、水素燃料で 600℃で 16W (計画では 37.8W) の出力を確認した。燃料ガスはカートリッジガスの改質ガスであれば 100 時間の耐久性があることを確認した。	△	出力を向上すべくセルスタックを固定する金属マニホールドの構造見直し、および 650℃の高温に耐え得るセルスタック構成部材の再検討
カートリッジガスの前処理方法の最適化	マイクロ SOFC スタックで 200W 以上の安定した発電に必要なカートリッジガスの改質ガスを C2 以上の HC を除去した状態で延べ 100 時間得る。	カートリッジガス (ブタン) の改質条件の最適化検討を行い、200W 以上の安定した発電に必要な燃料ガス (ガス量 : 420L/h、H ₂ =17%、CO=15%、≧C ₂ =0%) を延べ 100 時間 (25 回起動) 得られることを確認した。	○	
マイクロ SOFC のスタック加熱システムの開発	マイクロ SOFC スタックを 5 分以内に 550℃以上に加熱するとともに、発電用ガスと合わせてカートリッジガス 1 本で 2 時間以上発電できるよう保温させる。	燃焼開始から 5 分でセルスタックを平均 600℃に昇温し、43.5g/h のカートリッジガスで保温できることを確認した。	○	セルスタックの導入部の入口と出口で 200℃の温度差が発生した。温度差を縮小するよう炉内構造の修正を行う。
ポータブル電源システム要素技術の開発および	脱硫、CO 除去等で 100 時間の耐久性の確保、商品化に対する課題抽出のための発電試験、検証機の製作。	脱硫、CO 除去で延べ 100 時間の耐久性を確認した。発電試験では 3 分で開回路電圧が起つことを	○	発電試験における目標値以下の出力であった (③で検討)。検証機を内燃機関式レベルにまで小さく軽くする必要がある。

ひ検証機の製作		確認した。カートリッジガス、ガス供給部、加熱炉、電力変換システムを一体化した検証機を製作した。		
---------	--	---	--	--

パナソニック

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A 混合イオン伝導体(電解質)の材料開発	600°Cで 1×10^{-2} S/cm程度の混合イオン伝導体(電解質)の開発	CO ₂ 耐久性を有する混合イオン伝導体として、BaZr _{0.8} In _{0.2} O ₃ を開発	○	
B 電極材料開発	開発した混合イオン伝導体電解質材料に適したアノード、カソード材料の選定・開発	実使用環境下での 1000h 耐久を確認。電極材料候補の提示	○	
C 混合イオン伝導体の薄膜化、基板材への接合	ガスリーク、電子的リークのない、電解質薄膜の合成プロセスを確立し、革新的低コストが可能な平板型薄膜単セルを試作	薄膜セルを作製	○	
D 薄膜セル評価	出力 0.7 W/cm ² を見通すための対策の提示	電解質抵抗の低減と電極抵抗の低減が必要であることを提示	○	

3. 研究開発成果の意義

(1) 成果の市場性

SOFC は発電効率 50%以上の効率であり分散電源として新たな市場を創成することが可能である。また、家庭用、産業用をはじめとする SOFC システムの導入により 2020 年の国内市場は 1128 億円、2030 年には 3000 億円と予想されている (*1)。

技術課題の解決、システムコスト低減が今後の SOFC 市場の重要なテーマであり、これらの課題が目標値に達することで本格的な市場拡大が期待される。

(*1: 富士経済「2015 年版燃料関連技術・市場の将来展望」)

(2) 成果の水準

成果は、SOFC の評価手法、業務用システム等技術的には世界トップ水準である。また、特に評価手法においては固体酸化物型燃料電池の研究などで議論をリードしている。引き続き日本が議論をリードするためには、単に個別要素技術の成果(チャンピオンデータ)を求めるだけでなく、市場で受け入れられるシステムとしての完成度を高めていく必要がある。そのために情報収集を始め国内関係者との連携などの仕組みの維持・継続が必要である。引き続き、要素開発と技術開発、規制見直しなどを並行して推進することが重要である。

(3) 成果の汎用性

SOFC 開発の基礎基盤技術で得られた成果は、燃料電池、電気化学、材料開発などの分野に利活用できるものと考えられる。特にシュミレーションによる劣化予測、劣化解析はセルスタック企業の開発に利用することが可能となり、開発の加速に貢献できる。また劣化要因となる作動条件などを予測でき業務用システム開発の運転管理手法への展開が可能である。

(4) 他の競合技術と比較しての優位性

発電効率が高く、熱需要の小さい事業者にも適用可能であること、排気ガス（NO_x）が非常に少ないこと、静音性に優れていること等の優位性がある。エネルギーの多様化の面からも優位である。ただし現時点では普及規模が小さいため経済性が課題である。

4. 特許、論文、外部発表等の件数

本事業での特許、論文、外部発表等の件数は H27 年 7 月末で以下の表のとおりである。論文発表、研究発表等は順調に成果をあげ、特許出願については今年度までに 3 件。

研究開発項目 I「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文	8	11	9	-	-	28
研究発表・講演	39	103	40	-	-	182
受賞実績	0	2	0	-	-	2
新聞・雑誌等への掲載	2	4	24	-	-	30
展示会へ出展	4	4	2	-	-	10
特許出願	0	2	1	-	-	3
うち外国出願	0	0	0	-	-	0

※詳細は各項目の成果詳細に記載

5. 研究成果の最終目標の達成可能性について

最終年度である平成 29 年度末までの達成見通しは以下のとおりである。

研究開発項目 I : 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

プロジェクト全体の達成見通し並びに各研究項目における達成可能性を以下の表にまとめて示す。

表 3-3.1 プロジェクト全体の達成見通し

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
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	<p>1) スタック耐久性：第 1 グループの耐久性はほぼ確立された。第 2 グループについては空気極劣化を左右する因子を明確化する必要がある。第 3 グループについては初期劣化を決めている空気極劣化の要因を明確化する必要がある。</p> <p>2) 劣化機構解明では空気極硫黄被毒の詳細を解明する必要がある。燃料極の劣化について、リンの影響を明らかにする必要がある。Ni の焼結の支配因子を明確にする必要がある。</p> <p>3) シミュレーション技術：ボタンセルレベルのシミュレーション技術を実機セルレベルで有効なものにする必要がある。</p>	<p>固体酸化物形燃料電池の 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。</p>	<p>1) 試験サイトに起因すると思われる劣化要因の分析・解析が成功すれば、9 万時間耐久への見通しが得られるスタックが多い。個別なスタック課題については更に検討が必要となる。</p> <p>2) 本プロジェクト以外の基礎研究成果を広く取り入れることで劣化機構解明ができると思われる。</p> <p>3) 実験室レベルでも実機セルの劣化現象を再現出来るようになってきているので実機セルに役立つシミュレーション技術として確立できそうである。</p>

中温筒状平板形の達成見通し

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
1)-1「中温筒状平板形の耐久性評価」	<p>前プロジェクトで 2 万時間電中研で運転した 2008 年度機を含め、2 万時間超運転した従来のセルスタック解体分析を実施した。大阪ガスおよび JX にて運転されたセルスタックの劣化挙動は電中研で運転された 2008 年度機と比較して小さく、長期運転による新たな劣化要因は生じていないことが明らかとなった。セルスタックの様子が新しいものほど長期運転後の不純物および電解質相変態の影響が小さいこと、電中研サイトで運転したセルスタックの劣化挙動がやや大きいことが明らかとなった。</p> <p>低コスト検討セルスタックについては、2014 年度から、耐久性迅速評価へ向けた試験を電中研にて開始した。</p>	<p>従来のセルスタックについて、9 万時間耐久の見通しが得られている場合には、更に長期間運転を行い、さらなる検証に勤める。見通しが得られない場合には改善点を提案するとともに、耐久性迅速評価技術の課題抽出に供する。低コスト検討用セルスタックについて、9 万時間耐久性を評価する。</p>	<p>従来のセルスタックについて、9 万時間耐久の見通しが得られつつあり、これまでの手法を踏襲し、さらなる検証に努めるとともに、寿命予測を行う。低コスト検討用セルスタックについて、9 万時間耐久性を評価する。試験サイトに起因すると思われる劣化要因を明らかとすることが、9 万時間耐久への見通しを得るうえで重要となる。</p>

① 高温円筒横縞形の耐久性評価

高温円筒横縞形の達成見通し

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
------	----	---------------------	-------

1)-2 「高温円筒横縞形の耐久性評価」	累計 2 万時間以上の長期運転実績データを入力したセルスタックについて、物質の拡散状態、三相界面近傍の組織変化、欠陥化学的变化について解析を実施し、1 万時間までに得られた知見と概ね一致することを確認している。また、電力中央研究所での Cr 被毒量について、試験条件が実機換算で 9 万時間を超える加速条件であることから、当被毒種における耐久性の見通しは概ね達成している。さらに 2 万時間以上運転実績データを更に取得中である。	長期運転セルスタックについて、新たな劣化要因がある場合には、劣化機構解明を従来の知見を基にして行い、改善策を検討する。新たな劣化要因がない場合には、更に運転時間を延長して、その挙動が寿命予測と整合するかを検証することで 9 万時間（電圧低下率 0.1 % / 1000 時間）の見通しを行うための耐久性迅速評価技術が適切であるかを判断する。	更に運転時間を延長したセルの評価を行い、挙動が寿命予測と整合するかの検証を実施することで、達成見込みは可能と判断している。
----------------------	--	--	---

② 低温小型円筒形の耐久性評価（TOTO 株式会社）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
1)-3 「低温小型円筒形の耐久性評価」	劣化の主要因と認識された空気極の Cr 被毒の対策を実施した仕様のショートスタックについて、実機での運転を想定した環境下における耐久試験を行い、1 万時間を超えて目標とする劣化率の範囲内において、安定に推移することを確認した。耐久試験後セルの SIMS 分析結果などからも劣化メカニズム、対策の妥当性を確認した。Cr 析出を加速する評価方法を考案、実施し、実開発に資する手法を開発した。	開発された耐久性迅速評価技術が適切であった場合には、1-2 万時間の運転実証により 9 万時間耐久性の見通しが得られるか検証する。見通しが得られない場合には、改善点を明確にするとともに、評価技術の改良に資する。	懸念されている硫黄成分の影響度を明確にすることにより、9 万時間耐久性を実現できる見通しである。開発した劣化メカニズム、および、加速試験方法を用いて、低コスト品の開発へ展開する。

③ 中温平板形の耐久性評価（日本特殊陶業株式会社）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
1)-4 「中温平板形の耐久性評価」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 12 年仕様の連続発電試験にて劣化の飽和傾向が見られたものの 5000 時間以降で劣化が増大した。熱サイクル試験では初期劣化の他に大きな劣化は見られなかった。 ・ 初期劣化挙動の解析分析にて、初期劣化の主要因は内部抵抗および反応抵抗であった。解体分析にて、空気極での K の増加、燃料極での P の増加、燃料極の微構造変化が劣化因子として抽出された。 ・ 解析分析にて抽出された劣化因子に対する対策を一部盛り込んだ 14 年仕様スタックを耐久評価中。 	劣化機構解明とその改善策を適用したスタックにおいて耐久性迅速評価を適用し、9 万時間耐久の見通しを検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長期耐久性への課題は初期劣化と 5000 時間以降の劣化増大であり、課題を引き起こす劣化因子の特定と、劣化因子に対する対策改良スタックの評価にて 9 万時間耐久の見通しを立てる。 ・ 長期耐久においては金属インターコネクターの酸化被膜増大で引き起こされる不具合が懸念されるため、金属インターコネクターを強制劣化させたスタックのサイクル耐性を実施し、長期劣化への影響を評価する。

④ 中温筒状横縞形の耐久性評価（日本ガイシ株式会社）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
------	----	---------------------	-------

<p>1)-5 「中温筒状横縞形の耐久性評価」</p>	<p>「2014 年度仕様」の 1 万時間の発電耐久試験から、劣化因子は初期の空気極過電圧増加と IR 損増加であることを明らかにした。IR 損増大は、YSZ 電解質の相変態が要因と推定したが、その経時変化を明確にする必要がある。空気極過電圧増加は要因解明が必要であり、さらにその経時変化を明確にする必要がある。強制劣化後のサイクル耐久性試験を実施中であり、今後解析が必要である。</p>	<p>中温筒状横縞セルスタックを使用したモジュールの 9 万時間耐久への見通しを検討する。</p>	<p>IR 損増大は、酸素ポテンシャル分布解析を用いた経時変化をシミュレーション解析することにより 9 万時間耐久への寄与が見通せると思われる。空気極過電圧増大は、1 万時間の発電耐久試験品の解析を進めることで要因を明らかにし、経時変化をシミュレーション解析することで 9 万時間耐久への寄与が見通せると思われる。サイクル耐久性は、試験品の解析を進めることで 9 万時間耐久への寄与が見通せると思われる。以上から、9 万時間耐久への見通しが得られ、その改良点が明確になると思われる。</p>
-----------------------------	--	---	---

⑤ 中温一体焼結形の耐久性評価（株式会社村田製作所）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
1)-6 「中温一体焼結形の耐久性評価」	1) 初期劣化が比較的大きく対策が急務である。一方、経時劣化は比較的良好な結果が得られており、その要因としては、空気極の S 被毒を挙げており、その機構解明に取り組み中である。	耐久性迅速評価技術を適用して、性能予測式を検証し、9 万時間耐久を評価する。	1) 評価に時間を要する経時劣化要因を空気極の S 被毒と推定できており、機構解明にも着手している。また、課題である初期劣化は評価・対策のサイクルが比較的短いいため、9 万時間耐久の評価・見積が可能である。

(2) 劣化機構の解明

① 熱力学的解析による劣化機構解明、加速要因分析（産業技術総合研究所）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
2)-1 「熱力学的解析による劣化機構解明、加速要因分析」	<ul style="list-style-type: none"> セルスタックの劣化挙動解析において、Cr 被毒についてはほぼ解決、S 被毒については新規セルスタックを中心に劣化要因として確認、電解質相変態もセルスタックにより進行を確認。 劣化基礎データの収集において、電解質相変態については追加データを収集、SrZrO₃ 生成については通電時の影響を確認。 加速試験において、Cr 被毒については実験手法はほぼ確立、現在データ取得中。S 被毒についてはメカニズム解明に向け、温度など条件を変えて試験を実施。 	劣化対策を施したセルスタックにおいて、セル構成材料と不純物との反応性・材料間反応性を解析し、劣化要因分析・劣化メカニズム解明をおこない、10 % / 9 万時間耐久を評価する。	<ul style="list-style-type: none"> 第 1 グループについては数万時間の運転後も劣化対策が効果的であることを確認、試験サイトによる影響を評価、10 % / 9 万時間耐久を評価する。 第 2・第 3 グループについては順次見つかった劣化機構に対応した改良セルスタックの長期運転、解体分析を実施することで、10 % / 9 万時間耐久を評価する。 劣化基礎データの収集、加速試験については、電解質相変態と Cr 被毒については見通しが立つ一方、空気極硫黄被毒メカニズムの解明や新たな課題への取り組みに注力する必要がある。

② 化学的解析による劣化機構解明、加速要因分析（九州大学）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
2)-2 「化学的解析による劣化機構解明、加速要因分析」	<ul style="list-style-type: none"> 各スタックを STEM 分析し劣化要因として Cr 等の被毒種の影響を明確化し改善につなげた。 共通の課題である SrZrO₃ について、セル作製時の熱処理条件が生成状態に及ぼす影響を明確化した。セル発電による成長を確認した。電子線回折を用いて生成・成長メカニズムを解析した。 	各スタックに対して、化学的解析により 9 万時間耐久の見通しに必要とされる劣化機構解明を行うとともに、化学的解析に係わる加速要因分析の高度化を図る。	<ul style="list-style-type: none"> 各スタックに対して、Cr 以外にも S などの劣化要因の影響を STEM 分析により明確化し、9 万時間の耐久性実現に貢献する。 STEM 分析・解析の高度化により、SrZrO₃ 生成開始場所、Sr 拡散経路、発電反応に伴う SrZrO₃ 成長メカニズム、運転条件・時間の影響を明らかにし、耐久性迅速評価を可能にする。

③ 三相界面微構造解析による劣化機構解明、加速要因分析（京都大学・東京大学）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
2)-3 「三相界面微構造解析による劣化機構解明、加速要因分析」	<p>1) 長期耐久試験に供した各社セルスタックの電極微構造変化を FIB-SEM を用いて定量的に解析し、劣化部位や因子の特定を継続的に実施している。また一部のセルでは、実電極微構造を用いた性能シミュレーションに取り組んでいる。</p> <p>2) 実機でも想定される条件でボタンセルやスタックを運転し、微構造変化と性能変化の相関に関する様々なデータを収集している。</p>	<p>各社セルスタックについて、これまでのデータベースを活用して劣化要因・機構を解明し、適切な提案を行う。またボタンセルを用いた加速劣化手法を確立し、短時間の運転から長期運転時の性能を予測する。</p>	<p>1) 各社セルの電極微構造変化を定量的に解析することにより、劣化部位や因子を特定することが可能であるため、機構解明に留まらず、各社セルのウィークポイント改善に大きく寄与できそうである。</p> <p>2) 様々な劣化現象の解析例を増やすことで、実機セルで起こる現象の理解や改善への提言が可能である。</p>

④ セル構造体解析による劣化機構解明、加速要因分析（東北大学）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
2)-4 「セル構造体解析による劣化機構解明、加速要因分析」	<p>各種セル・スタックごとに、その特徴に応じて、必要なデータの取得・セル挙動の検証を行った。取得したデータと開発したシミュレーションツールを実セルの応力解析に適用する段階にある。</p> <p>また、研究を進める過程で新たにいくつかの課題が抽出されており、長期信頼性への影響を見極める必要がある。</p>	<p>長期耐久性評価試験に供されたスタックの熱力学的・化学的および三相界面微構造の各解析の結果を取り入れて、これらが9万時間以上の運転後の信頼性に及ぼす影響を明らかにする。</p>	<p>開発した手法を長期の信頼性の評価に生かすためには、長時間運転後の各部材の組成・結晶相・微構造を明らかにし、これらの情報を組み込む必要がある。これらの情報は、本プロジェクトで実施している熱力学的・化学的および三相界面微構造の各解析で行う、長期試験後のセルの解析結果から得ることができる。必要に応じて、長期使用を模擬した材料の物理化学的・機械的特性の測定・シミュレーションを行うことで、これらを物性定数として持つセルの解析が可能となり、これにより、セルの長期信頼性を予測することができる。研究途上で見出される課題についても短期長期信頼性への影響度を評価し、総合的な検討を加える。</p>

(3) 耐久性迅速評価方法の開発

① スタック性能劣化解析とその高度化（電力中央研究所、共同実施先：東京ガス株式会社）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
3)-1 スタック性能劣化解析とその高度化	<p>第1 グループについては、新たな劣化要因は抽出されなかったため、さらに運転時間を延長して長期データの蓄積を図る。</p> <p>第2 グループについては、空気極劣化挙動が試験サイトにより異なっていることが新たな課題として挙げられた。</p> <p>第3 グループについては、初期劣化に対する対策や外部由来の不純物として硫黄被毒による空気極過電圧の増加とそれに伴う IR 損の増加が新たな課題として挙げられた。</p> <p>強制劣化を用いたサイクル耐性の迅速評価手法のスキームを提案し、スキームに基づき、劣化前のスタック評価及び劣化要因の抽出、強制劣化サンプルの試作に成功した。</p>	<p>劣化要因改善策が施された各セルスタックに対して、逐次長期耐久性試験と性能解析(抵抗分離)を行なうことにより、抵抗成分毎の劣化率を定量化し、9万時間耐久の達成度を各スタック毎に明確化する。</p> <p>開発したサイクル耐久に関する耐久性迅速評価技術を適用し、9万時間の耐久性確保に向けて劣化要因改善策が施された各セルスタックに対して、逐次効果検証を行うことにより、熱サイクルおよび負荷サイクルによる耐久性が9万時間の期間で十分であるかどうかの見直しを行う。</p>	<p>筒状平板形、円筒横溝形のように劣化が少なくスタックの耐久性が高いスタックについては、2万時間程度の耐久試験データを蓄積し、9万時間耐久への達成度を明確化できるであろう。</p> <p>比較的劣化が大きいスタックについては、逐次改良されたスタックの抵抗成分毎の劣化率を定量化し、対策効果の検証と、9万時間耐久へ向けての課題抽出を行う。</p> <p>強制劣化後のサンプルについて、サイクル試験を実施し、強制劣化前後のサイクル耐性を比較することで、各スタックが、9万時間の期間においてサイクルに対する耐性を有するかを見通す。</p>

② シミュレーション技術の開発

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
3)-2 シミュレーション技術の開発			
①東京大学	<p>Ni 焼結シミュレーション技術に関しては、計算負荷が大きいことが課題であるが、GPU を用いることで計算が高速化され、数万時間に相当する計算ができる見通しが得られた。</p> <p>空気極反応防止層に生成する SrZrO₃ 層の影響に関しては、SrZrO₃ 層を絶縁と仮定した電解質-反応防止セラミクス-LSCF 空気極を練成させた計算コードを開発した。こちらも計算負荷が大きく、構造によっては計算時間が非常にかかる場合がある。</p>	<p>燃料極 Ni 焼結の数値シミュレーション手法を数万時間以上の劣化予測まで適用可能なレベルに高度化する。また、LSCF 空気極と電解質間の反応防止層中に生成する SrZrO₃ 絶縁相が、中間層有効イオン導電率や空気極過電圧に及ぼす影響を評価可能な数値シミュレーション手法を構築する。</p>	<p>Ni 焼結シミュレーション技術に関して、解像度が不足することによる小径の粒子が拡散してしまう影響を補正するアルゴリズムを開発しており、実用上に耐えうるコードとして完成できる見通しである。</p> <p>空気極反応防止層に生成する SrZrO₃ 層の影響に関しても、メッシュ数を減らすなどより計算負荷を減らすアルゴリズムを工夫することで、実用評価に耐えうるコードを開発できる予定である。</p>
②京都大学	<p>Ni-YSZ 燃料極や LSM 空気極あるいは Ni-YSZ 燃料極/電解質/LSM 空気極の三層を含めた電極過電圧解析が可能である。さらに LSCF 空気極の解析に対応するようプログラムの開発を進めている。また電極微構造を考慮できる単セルやショートスタック解析プログラムの開発がおおむね完了している。これらの解析プログラムに適用するべく、反応サイトにおける活性の低下として局所劣化をモデル化しつつある。</p>	<p>LSM 緻密化の進展と酸素ポテンシャル分布の相関を明確化する。セルスタックシミュレーションでの局所劣化モデルの高度化を図る。</p>	<p>1) LSM 電極の数値解析結果から酸素ポテンシャル分布を取得し、LSM 緻密層が形成した実験結果と比較することで、両者の相関の明確化が見込める。</p> <p>2) 微構造に基づく局所劣化モデルを適用することで、各スケールにおける劣化進行の数値予測が可能となるのみならず、さらにそれらを比較することで、局所劣化とそれが及ぼすセル・スタック劣化挙動の関係について推察することが可能となる。</p>
③東北大学	<p>非定常酸素ポテンシャル分布の影響を考慮した応力解析を Abaqus/ Abaqus CAE と連携して実施する事が可能となった。</p> <p>産総研と共同で、YSZ の正方晶への相転移と酸素ポテンシャル分布の相関をシミュレーションするプログラムを開発した。</p>	<p>酸素ポテンシャルの計算ルーチンを ANSYS, FLUENT などの汎用構造解析、熱流体解析ソフトウェアと連携させ、酸素ポテンシャル計算を基礎とする応力計算、信頼性の評価を実施できるようにする。</p>	<p>東京ガスなど、すでに Abaqus/Abaqus CAE を用いた構造解析を実施しているプロジェクト参加企業と協力することでプログラム動作の検証と改良を行う。入出力の形式の対応により ANSYS への対応も比較的早期に実現できる見込みである。その後、MARC/MENTAT との連携もすすめる。各企業・機関での使用により、信頼性評価に必要な物性値テーブルの整備を進める。</p>
④産業技術研究所	<p>・東北大との連携の下、酸素ポテンシャル分布のソフトの開発の中で、YSZ の相変態と伝導度低下現象への適用に関する成果をあげることができた。</p> <p>・硫黄被毒について、オーム損と空気極過電圧劣化の相関によって解析することによってその様相を明らかにした。</p>	<p>電解質、電極/電解質界面、電極における劣化現象をシミュレーションできる技術を確立し、9 万時間耐久を確実にするための基盤データを提供する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ジルコニア系電解質の相変態による伝導度低下のシミュレーションは期待以上に進展している。 ・SrZrO₃ 生成に伴う伝導度低下については YSZ との界面での現象の理解が必要と判断、同位体交換による試験など追加実施。 ・空気極クロム被毒は堆積状態と劣化率との相関として定式化する。 ・空気極硫黄被毒は定式化に向け更に物理化学的理解を目指す。

③ 耐久性迅速評価方法の開発（電力中央研究所、東京大学、京都大学、東北大学、産業技術総合研究所）

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
3)-3 「耐久性迅速評価方法の開発」	<p>1) スタック性能評価とシミュレーション技術と同じ開発項目の中で行ったが予想以上に有効な成果を次のように得た。</p> <p>i) セルのシミュレーションではいち早く、性能評価解析で導出されたオーム損と空気極過電圧劣化の相関に対し、3D 再構築した系での電気化学的妥当性を示した。</p> <p>ii) 同じく硫黄被毒の複雑さを前出相関によって解析することによってその様相を明らかにした。</p> <p>Iii) 酸素ポテンシャル分布のソフトの開発は YSZ の相変態と伝導度低下現象への適用は大きな成果をあげ、今後の様々シミュレーションの展開を期待される。</p>	<p>開発された耐久性迅速評価方法が十分にスタック耐久性評価方法として機能しうることを、スタックメーカーと連携して検証し、改善点の抽出を行い、評価方法としての確立を図る。</p>	<p>1) オーム損と電極過電圧との相関によってスタックの性能変化をより物理化学的に把握できる基盤が得られた。</p> <p>2) ジルコニア系電解質の相変態による伝導度低下は各スタックに対して予測できるレベルに達すると思われる。</p> <p>3) SrZrO₃ 生成に伴う伝導度低下の理解は進みが、スタック毎の違いの検討の余地はのこらう。</p> <p>4) 空気極クロム被毒はほぼ予想できる。硫黄被毒は更に物理化学的な理解の進展が必要であるが、その全体像は明らかになり、材料・セル/スタック、システムのどのレベルが対処すべきか各スタックごとに明らかにできると思われる。</p> <p>5) 燃料極の劣化現象(数例)についても対策がとれると思われる。</p>

研究開発項目Ⅱ：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

三浦工業

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
	<p>44.69%</p> <p>①52.8%</p> <p>②66%</p> <p>③485W</p> <p>④94.1%</p> <p>⑤抽出中</p>	<p>発電効率 48%</p> <p>①スタック効率 57%</p> <p>②燃料利用率 (Uf) 72%</p> <p>③補機損失 400W</p> <p>④PCS 効率 93%</p> <p>⑤効率 50%の課題抽出</p>	<p>要素試験で確認された運転パラメータ設定にて、実証運転を行い、その妥当性を確認することで、目標値を達成することは可能</p>
	<p>90～92%</p>	<p>総合効率 90%</p>	
	<p>0.24～4.9%</p> <p>①±0.58 kPa</p> <p>②±20℃</p> <p>③730℃</p>	<p>劣化率 0.25%/1000 h</p> <p>①改質水供給圧力変動 ±1 kPa</p> <p>②スタック温度むら ±20℃</p> <p>③運転温度 760℃</p>	
	<p>①初期確認済み</p> <p>②達成</p> <p>③達成</p>	<p>①水自立機能</p> <p>②別置パージガス</p> <p>③別置 PCS</p>	

日立造船

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①実証機での発電効率確認	DC 発電端で 55%程度	AC 端 50%以上 (LHV) 達成	補機動力、送電ロスに対する対策実施中で、H27 年度内に AC 端 48%は達成見込み。パワコン等補機類の仕様適正化により達成可能。
②実証機での耐久性確認	ヒートサイクルの影響のみ確認	耐久性 40,000h の見通し	スタック単体では 40,000h クリア。運転条件を踏襲、温度管理・流量分配の高精度化対策で達成可能。
③商品機検討	実証機製作完了(見込)	商品機の試設計完了	商品機 = 実証機であり、H28 年度中には設計完了予定。
④装置コストダウン	実証機ベースで装置単価 400 万円/kW	装置単価 100 万円/kW の見通し	セルスタック、補機類など大量生産前のコストダウンが難しい状況。導入初期時の戦略的な価格交渉を行う。
⑤事業化計画	社内採算性検討実施	ビジネスモデル精査	導入初期~事業自立までのシナリオを検討済。補助金、燃料代、電力料金など変動値予測を追加し、達成。

富士電機

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
常圧型モジュールの開発	実証機に向けた常圧型モジュールの設計データを取得 DC 発電効率 55%以上を確認	常圧型モジュールの設計/製作/評価 DC 発電効率 (定格) : 55%以上 (AC 発電効率 : 50%相当)	小容量でも発電効率が高く、数十 KW 規模でも発電効率 50%以上が見込める
常圧型高効率システムの開発	実証機に向けた常圧システム設計技術を習得。 発電実験を通して、安定運転方法を確立 (累積発電 600 時間)	モジュール評価装置の設計/製作 常圧システムの運転技術の確立	
実証試験	H28 年度以降実施予定	実証機の設計/製作 実証機を通して、商品機の課題把握	
商品機の設計	H28 年度以降実施予定	商品機の設計	

研究開発項目Ⅲ：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

開発項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
	<p>高効率化に必要な SOFC 高圧運転に関する要素試験を行い、電圧の向上及び数千時間の耐久性を確認した。</p> <p>また、低カロリーな SOFC 排燃料の燃焼性の確認、SOFC-GT の連携模擬試験を行い、制御等問題ない事を確認した。</p>	<p>トリプルコンバインドシステムの要素技術の開発として、SOFC は高圧環境下での発電特性や耐久性の検証、SOFC とガスタービンの連携技術の開発、ガスタービンはガスタービン本体の構造検討や燃焼器の開発を行い実用化に向けた目処を得る。</p>	—

研究開発項目Ⅳ：次世代技術開発

九州大学

開発項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
①セルの基本性能	<p>500℃において SOFC モードで 0.5V, 250mA/cm², SOEC モードで 1.3V, 175mA/cm² を達成</p> <p>0.1A/cm² で 30 サイクルの劣化率 2.5%</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ SORC 単セル 10mA/cm²0.5V・SORC 単セル 10mA/cm²、2%以下の劣化率@1000h ・ SORC 単セル水蒸気電解性能：1.3V、0.2A/cm² ・ SORC 単セル水蒸気電解耐久性 0.2A/cm²で 3%劣化/1000h 	
②円筒セル	<p>500℃で 125mW/cm² を示す小型円筒型セル (φ10xL30mm)セルの作成に成功</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 湿式法を用いた SORC 作動が可能な円筒型セルの作成と動作確認。 ・ 理論起電力を示す LSGM 薄膜からなるセルの作成法、拡散抑制層の作成法の開発 	
③鉄粉体	<p>PrBaMn₂O₅ で修飾した Fe 粉体で 350℃で 765mmol/kg-Fe/min の達成</p>	<p>初期の水素供給・吸蔵速度 113.7 mmol H₂/kg Fe/min</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水素供給・吸蔵速度の耐久性 初期の水素供給・吸蔵速度に対し 70%/100cycle 	<p>さらにサイクル数の多い、繰り返し酸化還元特性を評価する。現状で、課題が見いだされないので、達成見込み</p>

岩谷産業、産業技術総合研究所、岩尾磁器工業

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
マイクロ SOFC 量産化に向けた技術開発	燃料極チューブ (Ni-GDC) の成形条件、各種スラリーの塗布条件の最適化を行い、独自開発の検査方法で不良品製造率が 10%以内であることを確認した。	1 本あたりの発電量が 0.59W 以上であるマイクロ SOFC チューブを不良率を 10%以内に抑える量産製法を構築する。	
性能低下が少ない材料構造、集電・結線方法の開発	中間層およびインターコネクタの膜厚最適化、均一な膜厚を得る塗布方法を開発するとともに、空気極への集電用 Agペーストの塗布と特殊な金属部材による結線方法を確立し、マイクロ SOFC 1 本あたりから 0.59W の電力を取り出せることを確認した。	さらなる発電性能の向上と製造の機械化が見通せるマイクロ SOFC の製造方法を確立し、1 本あたり 0.59W 以上の電力が取り出せる技術を開発する。	
セルスタック、発電ユニット設計・製作および最適化検討、燃料ガス組成によるセルスタックへの影響の調査	8x8 セルスタックを製作し、水素燃料で 600°C で 16W (計画では 37.8W) の出力を確認した。燃料ガスはカートリッジガスの改質ガスであれば 100 時間の耐久性があることを確認した。	200W 以上の出力が見込めるマイクロ SOFC スタック、発電ユニットを製作する。また単セル発電試験で 100 時間の発電でも燃料極表面に炭素が析出しない燃料ガス条件を確立する。	
カートリッジガスの前処理方法の最適化	カートリッジガス (ブタン) の改質条件の最適化検討を行い、200W 以上の安定した発電に必要な燃料ガス (ガス量: 420L/h, H ₂ =17%, CO=15%, ≥C ₂ =0%) を延べ 100 時間 (25 回起動) 得られることを確認した。	マイクロ SOFC スタックで 200W 以上の安定した発電に必要なカートリッジガスの改質ガスを C ₂ 以上の HC を除去した状態で延べ 100 時間得る。	
マイクロ SOFC のスタック加熱システムの開発	燃焼開始から 5 分でセルスタックを平均 600°C に昇温し、43.5g/h のカートリッジガスで保温できることを確認した。	マイクロ SOFC スタックを 5 分以内に 550°C 以上に加熱するとともに、発電用ガスと合わせてカートリッジガス 1 本で 2 時間以上発電できるよう保温させる。	
ポータブル電源システム要素技術の開発および検証機の製作	脱硫、CO 除去で延べ 100 時間の耐久性を確認した。発電試験では 3 分で開回路電圧が起つことを確認した。カートリッジガス、ガス供給部、加熱炉、電力変換システムを一体化した検証機を製作した。	脱硫、CO 除去等で 100 時間の耐久性の確保、商品化に対する課題抽出のための発電試験、検証機の製作。	

パナソニック

開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
A 混合イオン伝導体(電解質)の材料開発	CO ₂ 耐久性を有する混合イオン伝導体として、BaZr _{0.8} In _{0.2} O ₃ を開発	600°C で 1×10^{-2} S/cm 程度の混合イオン伝導体 (電解質) の開発	達成見込み
B 電極材料開発	実使用環境下での 1000h 耐久を確認。電極材料候補の提示	開発した混合イオン伝導体電解質材料に適したアノード、カソード材料の選定・開発	

C 混合イオン伝導体の薄膜化、基板材への接合	薄膜セルを作製	ガスリーク、電子的リークのない、電解質薄膜の合成プロセスを確立し、革新的低コストが可能な平板型薄膜単セルを試作	
D 薄膜セル評価	電解質抵抗の低減と電極抵抗の低減が必要であることを提示	出力 0.7 W/cm^2 を見通すための対策の提示	

IV. 実用化の見通しについて

平成 22 年(2010 年)に策定した NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 では、2015 年頃、2020 年頃、2030 年頃それぞれについて燃料電池実用化に向けた開発課題とシステムの導入目標を明確化した。SOFC 実用化については、小容量定置用、中容量定置用、中容量ハイブリッド、大容量コンバインドシステムの 4 つに分類している。家庭用燃料電池(エネファーム SOFC)は 2011 年(平成 23 年)に販売が開始された。中容量定置用も耐久性向上に向けた課題解決のため現在実証事業で取り組んでいる。

SOFC システムの実用化を実現するために基礎研究における耐久性評価と実証研究が連携し検証中である。初期導入時には 4 万時間耐久の装置としての完成を目指している。さらに本格普及には量産化技術の構築、セルスタックの耐久性、出力向上などが必要である。

プロジェクト終了となる平成 29 年度からユーザーへの提供を予定している。今後は燃料電池市場の有るべき姿について議論し、必要な技術開発について追加公募を行う予定である。

SOFC システムの実用化にはいくつかの課題が残されているが、残り 2 年での最終目標が達成されることで、実用化・普及に向け大きく前進するものと考えられる。

各研究開発項目での実用化、事業化の見通しについて以下に詳述する。

1.1 研究開発項目Ⅰ：「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」の実用化、事業化の見通しについて

耐久性迅速評価法本評価手法を有効活用し、SOFC システムでの耐久性評価に利用されることで、企業のシステム開発の加速となることが期待される。

企業でのセルスタック開発→研究機関での評価・解析と連携が進むことで開発もスムーズに進むことが可能となる。

SOFC システムが市場への導入が始まれば、参画機関個別のセルスタック研究開発の内容は知財関連においても重要な戦略となる。

1.2 研究開発項目Ⅱ：「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」の実用化、事業化の見通しについて

他のシステムと比較しても高効率である SOFC の市場導入は期待されている。

4 万時間耐久性を達成により、初期の目標はクリアされる。より信頼性を高めていく必要がある。本格普及の段階ではコストも重要な要素となるので、現状 100 万円/kW から更なるコストダウンが求められてくる。材料開発、システム開発の循環によって商品機としての価値を上げていかなければならない。

そのためには、耐久性迅速評価手法との密な連携が必要である。

市場で受け入れられるシステムとなるために、実証事業の完遂が求められる。

1.3 研究開発項目Ⅲ：「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」の実用化の見通し等について

トリプルコンバインドシステムの前に、250kW システムの導入を目指している。

1.4 研究開発項目Ⅳ：「次世代技術開発」の実用化、事業化の見通しについて

本項目は、実用化・事業化を目的としたものでないが、さらなる研究開発を進めることで事業化への道筋が見えることを期待する。

マイクロ SOFC 型小型発電器機の開発：ポータブル発電機としてのコンセプトは明確に示されている。同様な他システムの市場を見ても市場性が高いと思われる。商品機の完成度、コストが市場への戦略のひとつとなると考えられる。

プロトン伝導 SOFC：次世代セルコンセプトであり、今後作動温度、効率、耐久性を向上させていく必要がある。実用まではセル開発からスタック開発へステップアップさせ、さらにシステム開発への展開となる。実用化までは多くのハードルがあり平成 37 年頃をひとつのターゲットとしている。

添付1 各研究開発項目の詳細

基盤技術開発

- a-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

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

- b-1) 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
- b-2) 固体酸化物形燃料電池を用いた 5 kW 級業務用システムの実用化実証
- b-3) 中容量常圧型円筒形 SOFC システムの実用化実証
- b-4) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) による業務用・産業用システム実証および事業化検討

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

- c-1) 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

次世代技術開発

- d-1) 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
- d-2) マイクロ SOFC 型小型発電機
- d-3) 中温作動型酸化物プロトン SOFC の開発

プロジェクト用語集

用語	説明
圧力容器	円筒形セルを加圧状態にする容器。
カートリッジ	円筒形セルを集合させて燃料/空気の供給/集電を行う最小ユニット。
カレントインターラプター法	電池の発電状態から高速電流遮断器を用いて負荷を遮断し、測定電圧の時間応答特性により電気抵抗成分と物質移動抵抗成分に分離する方法。
界面抵抗	燃料電池構成材料間で生じる抵抗。
ガス焼成炉	高温の燃焼ガスを利用して電池材料を焼成するための設備。
起動バーナ	モジュールの昇降温時に使用し、燃焼ガスを供給する燃焼器。
共焼結	電極や電解質など構成部材の前駆体を同時に焼成（焼結）すること。
凝縮器	発電運転中に発生する燃料ガス中の水分を除去し、燃料再循環ガス中の水分を調整するための熱交換器。
金属管板	円筒形セルを吊り下げ支持する板材。
空気ブロウ	電池への空気および燃焼室への燃焼用空気を送風するためのブロウ。
空気予熱器	電池に供給する空気を高温の排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
グリーン	焼成前の構成材料の前駆体、造孔材、バインダーなどが混合された状態のもの。
シール性	電池性能に要求される緻密性を評価する指標。
支持膜式セル	電極または支持体の基板上に電解質が薄膜状に構成されるセル。逆に電解質が厚膜で自ら構造体になるものを自立膜式セルと呼ぶ。
焼成炉	電池材料の粉末または成形品を高温で焼成するための電池製造設備。
出力密度	単位面積辺りの出力。SOFCの性能を示すパラメータとして活用。
純水気化器	純水を水蒸気に変える装置。
水蒸気/炭素比 (S/C 比)	反応ガス中の水蒸気と炭素のモル比。
スラリーコート	構成材料の前駆体スラリーを塗布すること。スラリーの溶液中に浸漬するディップコート法やスクリーン印刷法などが含まれる。
接合強度	円筒形セルと異材を接合させた時の強度の指標。
セル	燃料電池の最小単位。TOTOの湿式円筒形SOFCの場合は空気極支持管、空気極、電解質、燃料極から構成される。
セルサポートフォイル	合金薄板からなり、接合シール材により単セル単部と接合され、マニホールドに組み込まれる。単セルがマニホールド内に強固に固定されるのを防ぎ、合金と単セルの熱膨張率の違いに基づき発生する応力を（自身の変形により）緩和する。

用語	説明
脱硫器	燃料ガスとして使用する都市ガスに付臭材として含有している硫黄分は燃料電極の触媒毒となるため、硫黄分を除去する装置。
炭素析出	反応ガス中の炭素化合物の分解によって固体の炭素が系統内にたい積する現象。
電圧低下率	発電時間に対するセル電圧の低下の割合。
電気式燃料予熱器	モジュール入口の燃料ガスを補助的に電気ヒータで予熱するための熱交換器。
ドレンポット	発電時に発生するドレンを回収する容器。
内部改質	セルモジュール内で自己の発熱を利用して原燃料の改質を行うこと。
熱自立	発電システムの運転に適した温度の状態を、発電部分等からの発熱で維持でき、外部からの加熱が必要でない状態をいう。本プロジェクトではモジュールだけでなく燃料発生部である水蒸気改質部を組み合わせた構成での熱自立性の評価を行った。
燃焼式燃料予熱器	電池入口温度を燃焼ガスにより調整するための熱交換器。
燃料再循環ブロウ	燃料ガスを再循環し、電池に燃料ガスを供給するためのブロウ。
燃料利用率	供給燃料の内、燃料電池内で消費される燃料の割合。
燃料予熱器	電池に供給する燃料ガスを電池からの燃料系排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
パラメータ設計	複数のパラメータをもとにバラツキを低減させる条件を見出し、更に最適化を行う手法。
バンドル	セルを数本から十数本を接続し一体化したもの。モジュールを構成するための基本単位となる。現状のTOTO製湿式円筒形SOFCの場合は2並列×6直列構造となっている。
モジュール	発電システムにおける発電容量に合わせて複数のバンドルまたはセルスタックを接続したもの。
連続焼成炉	搬出・搬入ラックと連続焼成炉から構成され、被熱物は搬出ラックから連続焼成炉へ自動で搬出され、さらに焼成された被熱物は自動で搬入ラックに保管される設備。
DSS	Daily Startup and Shutdown。
EPMA	電子プローブマイクロアナライザ。
LSCF	(La,Sr)(Co,Fe)O ₃ 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSCO	(La,Sr)CoO ₃ 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSM	(La,Sr)MnO ₃ 。ペロブスカイト型複合酸化物。
OCV	Open Circuit Voltage。開回路電圧。
SDC	(Sm,Ce)O ₂ 。サマリア添加セリア。 (サマリア：酸化サマリウム、セリア：酸化セリウム)
SEM	走査型電子顕微鏡。
SOFC発電室	SOFC本体を収納するための容器。
YSZ	Y ₂ O ₃ -ZrO ₂ 。イットリア安定化ジルコニア。 (イットリア：酸化イットリウム、ジルコニア：酸化ジルコニウム)

「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

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、交通量の多い都市部等における地域環境問題（NO_x、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や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、上記の課題解決に向けたキーテクノロジーとして、その実用化が強く期待されている。「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（経済産業省、2008年3月）では、CO₂排出量の大幅削減を可能とする21の革新技術の一つとして、民生部門で定置用燃料電池が選定されている。加えて発電・送電部門においても、燃料電池-ガスタービンハイブリッド発電、石炭ガス化燃料電池複合発電が挙げられている。また、「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。数種類ある燃料電池の中でも固体酸化物形燃料電池は、発電効率が高く、天然ガスや石炭ガス等の多様な燃料にも対応が可能で、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。

②我が国の状況

上述の期待を背景に実施した「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）（以下、前プロジェクト）の成果等により、2011年11月に固体酸化物形燃料電池（以下、SOFC）を用いた家庭用コー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。また、燃料電池技術の応用である水電解水素製造技術、抜本的な低コスト化・高耐久化に有効な低温動作セル等は、現在も基礎研究段階である。

③世界の取り組み状況

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。米国では、石炭ガス化ガス発電を目標としたエネルギー省のプロジェクト「Solid State Energy Conversion alliance」が実施されている。また、Fuel Cell Energy社、Versa Power Systems社、Delphi社、UTC社、LG Fuel Cells社等の企業が大規模システム開発とセルスタック開発を行っている。更に、Bloom Energy社は、100kW級システムを用いたエネルギー供給サービスをカリフォルニア州で展開している。欧州では、豪企業CFCL社や英Ceres Power社が、家庭用SOFCシステムの商用化を目指しており、独Callux実証プロジェクトでは、Vaillant社、Hexis社等が家庭用SOFCシステムの実証試験を行っている。また、特に欧州では固体酸化物形水電解セル（SOEC）開発が活発化しており、独Sunfire社やSiemens社等が開発を進めているほか、燃料電池技術を応用した水電解セルに関するプロジ

ェクト（NEXPAL、EKOLYSER等）が進行中である。

このように、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。

（2）研究開発の目標

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））

1）アウトプット目標

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SOFCセルスタック、SOFC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SOFC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。

NEDO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%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」

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。

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。

[最終目標（平成29年度（2017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（2015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）アウトカム目標達成に向けての取り組み

固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を産業界を中心に実施されるセルスタック、システム開発等に積極的に適用する。

3）アウトカム目標

「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。

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））

1) アウトプット目標

家庭用SOFCシステムが2011年度に実用化された一方、業務用SOFC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SOFC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へ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100kWの中容量SOFC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。

NEDO技術開発ロードマップ（2010年度策定）における中容量（数～数100kW）定置用システムの目標、

2020年度頃まで（初期導入）

「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」

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。

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。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

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。

2) アウトカム目標達成に向けての取り組み

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。

3) アウトカム目標

「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。

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））

1) アウトプット目標

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26年度（2014年度））とする。また、燃料は天然ガスとする。

[最終目標（平成26年度（2014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

2) アウトカム目標達成に向けての取り組み

本事業で得られる成果を、産業界を中心に実施されるシステム開発等に反映させる。

3) アウトカム目標

「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」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。

④次世代技術開発（研究開発項目（d））

1) アウトプット目標

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。

2) アウトカム目標達成に向けての取り組み

提案公募として実施するため、テーマごとに検討する。

3) アウトカム目標

燃料電池技術の用途拡大を実現する。

(3) 研究開発内容

前記目標を達成するために、各研究開発項目について以下のとおり実施する。

①〔委託事業（NEDO負担率：1/1）または共同研究事業（NEDO負担率：1/2）〕

研究開発項目（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」

下記（i）～（iv）の研究開発を実施する。

本研究開発項目は、（1）実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業、又は（2）試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、（1）については、民間企業単独、民間企業のみでの連携の場合は、共同研究事業（NEDO負担率：1/2）として実施する。

(i) 材料評価・性能評価・解析技術の高度化と劣化機構解明の迅速化

長時間稼働あるいは頻繁に起動停止したセルスタックの材料変化・性能変化を集学的に解析する技術を、微小な材料変化・微構造変化でも検出し性能変化との相関を検出できるように更に高度化し、セルスタック性能劣化の要因分析と劣化機構解明の迅速化を行う。

(ii) 劣化進展モデルの検討

運転条件（温度、過電圧、電流密度等）と関連づけられる変数を変化させた加速劣化試験法の妥当性の検討を行うとともに稼働下での温度・酸素ポテンシャル分布などを考慮したシミュレーション技術の適用が劣化挙動の進展の把握にどのように寄与できるかを検討し、耐久性迅速評価に必要なセルスタックの長期的挙動把握を実験的・解析的に行う。

(iii) 耐久性迅速評価法の開発

比較的短期間（数千から数万時間）の劣化挙動の観察と微小な変化の検出から9万時間レベルの長期耐久性を評価する手法を開発する。

(iv) セルスタック耐久試験の実施

参加企業が開発したセルスタックの耐久試験を実施し、劣化挙動に関するデータを収集する。耐久試験後のセルスタックは上記（i）から（iii）の各項目の検討に供し、そこで得られた知見は、参加企業のセルスタック開発に供し、耐久性9万時間以上のセルスタックの改良につなげる。

②〔助成事業（助成率：1/2）〕

研究開発項目（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」

数～数100kW級中容量SOFCシステムの実負荷条件下での実証試験を実施し、導入効果の検証及び技術課題の抽出を行い、中容量SOFCシステムの実用化に資する改良につなげる。

課題設定型産業技術開発費助成金交付規定に基づく助成事業として実施する。

③〔共同研究事業（NEDO負担率：1/2）〕

研究開発項目（c）「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」

下記（i）～（iv）の研究開発を実施する。

(i) SOFCセルスタックの開発

ガスタービンとの連携運転が可能なSOFCセルスタックを開発する。大気圧～約3MPaの圧力で燃料・空気を供給可能な試験設備を用い、数10MW級のガスタービンとの連携運転を模擬した条件で、セルスタックの電流-電圧特性、圧力依存性、伝熱特性等を検証するとともに、1万時間レベルの長期耐久試験を実施し、9万時間の耐久性を見通す。また、セルスタックの低コスト生産技術を開発する。

(ii) SOFC-ガスタービン連携技術の開発

上記①で開発したセルスタックを実際に数10MW級のガスタービンに接続またはこれを模擬し、電流-電圧特性、圧力依存性及び伝熱特性等を検証する。また、起動停止、緊急停止等、ガスタービンの連携運転時に想定される各運転モード及び過渡的状态に対するセルスタックの応答を確認する。

(iii) 導入可能性の調査

平成24年度において、数10MW以上(100MW未満)のトリプルコンバインドサイクル発電システムの最適仕様、経済性、環境性等について検討し、国内外での導入可能性(市場性)を把握するとともに、実用化・事業化の道筋を整理する。

(iv) 実証システムの基本設計

上記(i)から(iii)で取得したデータに基づき、実証システムの基本設計を行う。

なお、本項目の実施期間は平成26年度(2014年度)までの2年間(前事業からの通算で3年間)である。

④〔委託事業(NEDO負担率:1/1)または共同研究事業(NEDO負担率:1/2)〕

研究開発項目(d)「次世代技術開発」

提案公募により実施する。

原則として委託事業として実施する。ただし、民間企業単独、民間企業のみでの連携場合は、共同研究事業〔NEDO負担率:1/2〕として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。)から公募により実施者を選定して実施する。なお、研究開発項目(a)については、東京大学生産技術研究所特任教授 横川 晴美氏をプロジェクトリーダー(PL)とする。

(2) 研究開発の運営管理

経済産業省、PL、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、研究進捗把握等のマネジメントを行う。

3. 研究開発の実施期間

本事業の期間は、平成25年度(2013年度)から平成29年度(2017年度)までの5年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成27年度、事後評価を平成30年度に実施する。ただし研究開発項目(c)「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」のみ、平成27年度に事後評価を実施する。また、中間評価

結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究開発の成果については、機構及び実施者ともに普及に努める。

②知的基盤整備事業または標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、市場導入を見据えた国内外の標準化活動や規制見直し活動への情報提供等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に係る知的財産権については、「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業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて事業者に帰属させる。

なお、開発したシステムの事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

(2) 基本計画の変更

研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、エネルギー政策動向、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や契約等の方式をはじめ基本計画の見直しを弾力的に行う。

(3) 根拠法

本事業は、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第15条第1項第1号二、第三号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成25年 2月 制定

(2) 平成25年12月 研究開発項目(a)のプロジェクトリーダー(PL)の明記及び研究開発項目(c)の実施期間変更により改訂。

以上

事前評価書

	作成日	平成25年2月6日
1. 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	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要 (予定)		
(1) 概要		
1) 背景		
<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、発電効率が高く、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>		
2) 目的		
<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を確立する。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>		
3) 実施内容		
<p>本事業では、以下（a）～（d）の4項目を実施する。</p>		
（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		
<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SOFCの開発を加速するために、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、さらに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SOFC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。</p>		
[中間目標（平成27年度（2015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		

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。

[最終目標（平成29年度（2017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。

(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

燃料電池の用途・市場拡大を目的として、業務用の燃料電池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へ向けた課題抽出を行う。数～数100kW級中容量SOFCシステム（コジェネレーションシステムを含む）の実負荷条件下での実証試験を主要な対象とする。

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。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

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。

(c) 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

トリプルコンバインドサイクル発電システムは、SOFCにガスタービン及び蒸気タービンを組み合わせた、超高効率事業用発電システムである。平成25年度（2013年度）末において、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SOFCセルスタック及びSOFCとガスタービンの連携技術を開発する。なお、燃料は天然ガスとする。

○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：
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%/1,000時間以下)
製造コスト：30万円/kW以下

[最終目標（平成25年度（2013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。

(d) 次世代技術開発

固体高分子形燃料電池、固体酸化物形燃料電池等の従来型燃料電池と異なる次世代燃料電池に関する技術開発を行う。ただし研究項目（a）（b）（c）とは重複しない内容とする。

本項目は提案公募として実施するため、目標はテーマごとに、NEDOロードマップ等と照らし合わせて適宜決定する。

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。

(2) 規模 事業費 12.35億円（平成25年度想定）

(a) 委託事業または1/2共同研究

(b) 1/2助成

(c) 1/2共同研究

(d) 委託事業または1/2共同研究

(3) 期間 平成25～29年度（5年間）

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

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、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や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、その実用化が強く期待されている。

家庭用燃料電池の更なる普及拡大、業務用・発電事業用燃料電池の実用化、燃料電池自動車の2015年の普及開始とその後の拡大に貢献するためには、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することが必要であるが、このような長期展望に基づいた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。

SOF_C型エネファームにより、日本は世界に先駆けてSOF_Cシステムの商品化に成功したが、その本格普及のためには更なる低コスト化・高耐久化が必要不可欠である。一方、中～大容量システムの実用化、あるいは次世代燃料電池の開発には、極めて高い技術レベルと多大な開発ソースが必要とな

る。本プロジェクトによるSOFCや次世代燃料電池の研究開発に対する支援を継続しない場合、その実用化・本格普及が大幅に遅れるリスクが大きい。)

2) 目的の妥当性

2011年3月の東日本大震災の影響により、今後の電力供給体制が見直されることが予測される中で、分散電源の有用性、新設及び既設の発電機器の高効率化、燃料多様化等に資するSOFCの早期実用化と本格普及が強く望まれている。

SOFCエネファームは2011年に実用化されたが、2016年以降の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り、業務用から発電事業用のSOFCシステムやSOECは研究開発段階である。本プロジェクトの目標は世界最先端レベルであると同時に、「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」における2020年目標とも整合しており、適正である。

(2) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、我が国のエネルギーセキュリティ向上、CO₂排出量削減、国際競争力の強化等に大きく寄与することになり、位置付け・必要性は妥当である。

(3) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

(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

「9万時間以上の耐久性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」という最終目標値は、ユーザー企業ヒアリング、意見交換会等を通じ、SOFCエネファーム等が商品として要求される10年以上の耐久性を実現するために必要な手法として、産業界と合意している。

また、前プロジェクトで達成された世界最高水準の「4万時間耐久見通し(劣化率0.25%/1000時間)」を上回り、「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、戦略的な目標設定と判断している。

(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

産業界との合意の基に策定された「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」における中容量(数～数100kW)定置用SOFCの目

標は、2020年頃（初期導入）において「発電効率45%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」となっている。本項目では、家庭用システムで発電効率45%LHVが実現されていることから、これを上回る戦略的な目標「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。

これまでに国内外で行われた数～数100kW級SOFCシステムの実証試験は、数1000時間レベルの耐久性に留まっている。項目（a）で述べたように本格普及には9万時間の耐久性が必要とされるが、そこに至るマイルストーンとして4万時間耐久性見通しという目標は十分な意義を有する。

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。

（c）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

トリプルコンバインドサイクル発電システムに関して掲げた性能、耐久性、コストの設定値は、ガスタービン－蒸気タービン複合発電等、既に実用化されている競合技術に対して優位性を確保できる値となっている。

システムの発電効率の設定値（60%LHV以上）は、最新鋭の1500℃級ガスタービンと蒸気タービンの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。また、SOFCの耐久性（9万時間）及び製造コスト（30万円/kW以下）についても、「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」に記載されている2020年頃（初期導入）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、戦略的な設定がなされている。

項目（c）ではこのシステムの実用化に資する要素技術として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。

（d）次世代技術開発

提案公募として実施するため、目標はテーマごとに、NEDOロードマップ等と照らし合わせて適宜決定する。

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。

2) 実施計画の想定と妥当性

(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

前半3年間でSOFCセルスタックの主要劣化要因内訳を解明し、9万時間以上の耐久性を見通すことができる耐久性迅速評価方法を開発し、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。後半2年間で、この耐久性迅速評価方法を確立する。

SOFCの耐久性迅速評価技術は、前プロジェクトで開発した各種解析評価方法を高度化し、さらに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て確立を目指すものである。同種の試みはEUプロジェクト（SOFC-LIFE）等で始まっているが、その耐久性レベルは1%/1,000時間程度であるのに対し、本項目ではその1/10という高い目標値であり、単なる改良や外部調達では達成し得ない世界最先端の取り組みである。また、本項目で要素技術として想定している熱力学的解析、化学的解析、機械的解析、三相界面微細構造解析、耐久性評価方法は、前プロジェクトにおいてその有効性が実証され、かつ継続して重要と判断できる項目を網羅している。これらを並行的に検討し、総合的に開発を進めることは、本項目の目標達成に不可欠である。

前事業「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）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、さらに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、耐久性迅速評価方法の確立を目指す。開発セルスタックの耐久性向上のためには、これら評価分析技術を総合的に適用することが極めて有効であるため、最大限の活用を図る。

(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

採択テーマごとに、前半3年間では中容量システムの試作品を作製し、実負荷環境下での実証試験を行う。ここで有望な結果を得たテーマを絞り込んで後半2年間も継続し、さらに実用化への段階を進めたシステム実証試験（実証システム数増、または発電容量増等）を行う。

これまで中容量SOFCシステムの性能や耐久性は十分に検証されていないため、その実証試験評価は重要である。実負荷環境下における技術的課題を抽出し、改善策を検討することは実用化のために不可欠だが、その技術的難易度は高い。従って本事業での取り組みが必須である。

(c) 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

トリプルコンバインドサイクル発電システムの要素技術開発を前事業（平成24年度（2012年度）開始）から継続し、本事業の初年度である平成25年度（2013年度）に加速的に開発を実施して完了する。トリプルコンバインドサイクル発電システムのうち、ガスタービン及び蒸気タービンの技術は既存のものが適用可能である。当該システムの実用化に向けた課題は大容量SOFCの開発であり、そのうち最も重要度の高い要素技術であるSOFCセルスタックとSOFC-ガスタービン連携技術の開発を本事業で行うこととしている。

また、平成24年度（2012年度）にラボ試験で高圧条件下におけるSOFCセルスタックの特性を的確に把握した上で、平成25年度（2013年度）よりSOFC-ガスタービン連携模擬試験を行うこととしており、開発の進め方は妥当である。

(d) 次世代技術開発

有望な次世代技術を継続的に支援し、シーズの発掘に努めるために一定額を確保している。提案公募であり、実施計画は提案ごとに適切に判断する。

なお、家庭用SOFCシステムの法規制等の問題に関しては、2010年度に一通り対応が完了している。中・大容量システムに関しては、対処の必要性が明確になった時点で実施者と協議する予定である。

3) 評価実施の想定と妥当性

(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

研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による中間評価を平成27年度（2015年度）に、事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

(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

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。平成27年度（2015年度）に採用テーマごとの中間評価をスクリーニング的に行い、後半も継続するか否かを判断する。後半に進んだテーマに関しては、外部有識者による事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

(c) 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

研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による事後評価を平成26年度（2014年度）に実施する。

(d) 次世代技術開発

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。平成27年度（2015年度）に採用テーマごとの中間評価をスクリーニング的に行い、後半も継続するか否かを判断する。後半に進んだテーマに関しては、外部有識者による事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

4) 実施体制の想定と妥当性

(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

前プロジェクトから継続して強固な産学連携による実施体制を構築する。セルスタック開発メーカー、システムメーカー、ユーザー企業、研究機関等の参画を見込んでいる。

(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

提案公募による。業務用ボイラー、発電システム等の有力企業がインフラ企業、スタックメーカー等と連携して参画すると予測している。

(c) 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

継続プロジェクトであり、三菱重工業（株）、（株）日立製作所、東北電力（株）、九州大学が引き続き参画する。三菱重工業（株）におけるセルスタック開発は、項目（a）と密接な連携の下に推進する。

(d) 次世代技術開発

提案公募による。

5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

(1) 2)、(2) 1) に記載の通り、マーケット規模、ユーザーニーズを的確に把握した上で、ユーザー企業も含めた体制を構築し、実用化・事業化につなげる戦略を想定している。

6) 知財戦略の想定と妥当性

項目（a）（b）（c）はいずれも事業化を企図する企業が主体で進める事業であるため、S O F Cセルスタック及びシステム設計技術を中心に適切な知財化を促進する。全体として、将来の海外展開を見据え、大市場が見込まれる北米、欧州等の先進国での海外出願を促進するとともに、必要に応じてB R I C S等の振興国への海外出願を検討する。

なお、項目（a）は耐久性迅速評価方法の確立及びそのためのセルスタック耐久試験が本事業範囲であり、その知見に基づいた各企業でのセルスタック改良・開発は範囲外としている。従ってセルスタックの材料・構造・製法等に関する出願は本事業の枠外だが、その技術的な重要性に鑑みて、各企業からの国際出願を積極的に促進する。

7) 標準化戦略の想定と妥当性

S O F Cを含む定置用燃料電池の国際標準化は、一般社団法人 日本電機工業会が主体となって進めている。N E D Oはその各WGにオブザーバとして参加してデータ取得等のニーズに対応するとともに、水素技術を含めた全体マネジメントを行う戦略会議での事務局を務めている。本事業では、その期間中に得られた成果の国際標準化の可能性に関して改めて検討を行う予定である。

(4) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等は、S O F Cシステムの早期本格普及または実用化を図る取り組みとして適切である。

(5) 成果の実用化・事業化の見通しについて

1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

下記のように項目ごとに具体的な製品想定があり、成果の実用化・事業化可能性は明確である。

- (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
主として家庭用S O F Cシステム（エネファーム）
- (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
業務用S O F Cシステム（数～数100kW）（設置先としては、工場、コンビニエンスストア、病院、ビル、集合住宅等）
- (c) 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

トリプルコンバインドサイクル発電システム

(d) 次世代技術開発

提案公募であり、提案ごとに異なる

2) 成果の波及効果

S O F C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。

(6) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

アウトプット（製品等）想定は具体的であり、具体的な技術課題とその解決方針、事業化へのマイルストーン等も明確なことから、本事業成果の実用化・事業化の見通しは十分高い

