

「セラミックリアクター開発」  
事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿 .....	1
プロジェクト概要 .....	2
評価概要（案） .....	1 3
評点結果 .....	2 1

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「セラミックリアクター開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成22年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	うえまつ けいぞう 植松 敬三	長岡技術科学大学 工学部 物質・材料系 教授
分科会長代理	おかだ きよし 岡田 清	東京工業大学 応用セラミックス研究所 所長/教授
委員	いしはら たつみ 石原 達己	九州大学 工学研究院 応用化学部門 教授
	いとう なおつぐ 伊藤 直次	宇都宮大学 大学院工学研究科 物質環境化学専攻 教授
	えぐち こういち 江口 浩一	京都大学 大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授
	おがさわら けい 小笠原 慶	東京ガス株式会社 商品開発部 SOFC プロジェクトグループ 開発推進チームリーダー
	もり としゆき 森 利之	独立行政法人 物質・材料研究機構 燃料電池材料センター 副センター長

敬称略、五十音順

## プロジェクトの概要

		最終更新日	平成 22 年 9 月 21 日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム／ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	セラミックリアクター開発	プロジェクト番号	P05022
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 川上信之（平成 22 年 8 月現在） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 清水孝浩（平成 17 年 6 月～平成 18 年 9 月） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 林和志（平成 18 年 10 月～平成 20 年 9 月） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 坂井数馬（平成 20 年 10 月～平成 21 年 3 月）		
0. 事業の概要	<p>電気化学的に物質やエネルギーを変換するセラミックリアクターは、高効率でありながら、作動温度が高く容積が大きいためその使用範囲が限定される等の課題を有している。特に作動温度が高いことは、リアクターのオン・オフを困難とし、システム化の際に周辺機器へ影響が懸念されるなど、幅広い分野への応用を阻害する要因となっている。次世代の SOFC（固体酸化物形燃料電池）として低温領域で作動し、頻繁なオン・オフ可能、小型高出力（高出力密度）を可能とするリアクターの実現を目指すためには、従来材料では 750℃程度で作動温度に限界があり、困難と考えられている。</p> <p>本事業では、次世代リアクターとしての新規ニーズに対応可能な 650℃レベルの作動温度領域を可能とする材料・部材を開発し、マイクロチューブ型セルとして、マイクロキューブ中に集積配列することにより、低温作動領域、温度管理（急速昇温、加熱冷却サイクルへの耐久性付与）、高出力密度、を可能にするリアクター化開発を行い、チューブ集積キューブモジュール化技術を確立し、プロトタイプ作製により性能実証を行う。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p><b>【NEDO が関与する意義】</b></p> <p>本プロジェクトは、我が国が国際優位性を有するファインセラミックス分野において、世界をリードし得る技術課題であり、これまで実用化が困難とされてきた電解質材料や新規材料を用いた微細形状加工制御技術の開発により、次世代部材の製造・利用促進を図るものである。本プロジェクトで取り扱う課題は、技術開発のリスクが高いこと等により民間企業独自での取り組みには限界がある。また、本プロジェクトの効果として期待される温室効果ガス排出量削減は、国家として取り組む課題であることに加え、応用分野として想定されるガス事業、電力事業や自動車分野はきわめて公共性が高いため、国及び NEDO として強力なイニシアティブを発揮して総合的に推進すべき課題である。産学官の連携に加え、柔軟かつ効果的な進捗管理の下、効率的に開発を進めていくためにも、国の予算措置によるプロジェクトとして NEDO が技術開発に関与することが必要と考えられる。</p> <p>なお、本プロジェクトは、平成 15 年度に終了した「シナジーセラミックスプロジェクト」の開発成果の一部を活用するものであり、同プロジェクトの事後評価委員会において「成果を活用した技術開発を国家プロジェクトとして進めるべき」旨が指摘されている。</p> <p><b>【実施の効果（費用対効果）】</b></p> <p>本プロジェクトで開発するセラミックリアクターは、省エネルギー化と CO2 削減への大きな貢献が期待される燃料電池の中でも、最も高効率で発電が可能な SOFC（固体酸化物形燃料電池：セラミックス製）を、小型高効率の定置及び移動型の各種ニーズ（自動車補助電源 APU・小型コージェネシステム・電動機器やロボット、極限環境用等）へと適用先を拡大するものであり、全体としての二酸化炭素排出削減量は多大となることが期待されている。</p> <p>早期の適用用途としては定置用小型コージェネが想定され、本プロジェクト技術を活用することで、特にこれまで適用が困難であった既築住宅、リフォーム用途、集合住宅等への普及が期待される。全世界の約 1/2 を占める少人数世帯を対象市場と想定すると、普及期（2020～2030 年）では 60～120 万台/年の導入ポテンシャルがある。すなわち、SOFC コージェネでの CO2 削減量 1ton/台・年と仮定すると、60～120 万 ton/年の CO2 削減効果が見積もられる。また普及期における 1 台あたりの価格 40 万円を想定すると、2400～4800 億円/年の市場規模が期待できる。</p> <p>一方、冷凍車、中大型トラック等のアイドリングストップに対応した補助電源（APU）として既存のオルタネータ代替の導入を想定すると、エネルギー効率 50%向上×オルタネータ発電分 10%＝5%の燃費向上が期待できる。トラック等の APU への適用に関しては、2023 年あたりから年間 8 万台程度が予測されている（トラックの年間生産台数約 100 万台とすると 8%に相当）。トラックが占める CO2 排出量 8,198 万トン（2008 年）を占めている。2023 年においても同レベルの排出量を仮定すると、本プロジェクト技術による APU で代替すると、8,198 万トン×燃費向上分 5%×普及台数 8%＝32.8 万トンの CO2 削減が見積もられる。</p> <p>また、本開発により移動体電源等への適用範囲が広がり、新たなエネルギー機器の実用普及が進むことで、市場規模予測として 2030 年 7000 億円～2050 年 1 兆円以上の経済効果が期待されており、本プロジェクトの予算規模（17-21 年度総額 22 億円＜交付金＞）に比ベ十分な効果が期待さ</p>		

	<p>れる。</p> <p><b>【事業の背景・目的・位置付け】</b>  環境・エネルギー問題解決のために、高効率リアクター開発が必須である。セラミックリアクターは、小型分散電源の発電部として用いられる固体酸化物形燃料電池（SOFC）等のエネルギー変換リアクターや、燃料製造のためのオンサイト型水素製造モジュール（水素スタンド）等、さらには環境浄化等の多様な社会ニーズに対して有効な技術として位置づけられる。</p> <p>一方、自動車補助電源（APU）等の数 kW の小型電源は、アイドリング時のエンジンストップなどを背景にした個別電力消費量の増大により、需要が増大している。加えて、2次電池（バッテリーやキャパシター）性能向上の限界により、ガソリンやディーゼル燃料でも発電可能なセラミックリアクターに期待が集まっている。家電品等の電源用途でも将来市場性が大きく、様々な研究開発が進められている。さらに、水素エネルギー社会へ向けてのオンサイト水素製造の需要増大への対応や、直面する環境問題の中で排ガス浄化にも有効な手段としてセラミックリアクターは期待されている。</p> <p>しかし、セラミックリアクターは作動温度が高く、作動までの昇温に時間が必要で、運転-停止サイクル時の熱衝撃に弱い、また移動機器搭載には高出力かつ小型軽量化が必須であるが、従来のセラミックリアクターでは十分な性能が得られていない。</p> <p>このため、低温作動、急速作動停止と小型高出力化を可能とする材料・部材化技術、マイクロスケールのユニット集積キューブ及びモジュール製造による実用性の高いセラミックリアクターを実現するための、プロセス技術の確立が必要不可欠となっている。</p> <p>本プロジェクトは、電気化学的に物質やエネルギーを変換する高効率の次世代型セラミックリアクターに焦点をあて、その汎用性を高めて低温作動や頻繁な急速作動停止性能を実現するために、低温作動可能な材料・部材の開発、マイクロチューブ型セルのマイクロキューブ中への集積配列等による①低温作動領域、②温度管理（急速昇温、加熱冷却サイクルへの耐久性付与）、③高出力密度を可能とするリアクター開発を実施し、我が国産業の競争力の強化を図ることを目的とする。本件技術開発により、プロトタイプ実証を行い、小型高効率リアクター実用化への目途をつける。</p>
--	--

II. 研究開発マネジメントについて

<p>事業の目標</p>	<p>平成 21 年度までに、従来に比べて飛躍的な低温作動（650℃以下）を可能とする電解質・電極材料の開発や界面構造の制御等による部材化、マイクロ（ミリ以下）の単位構造をセル～キューブ～モジュールへ配列、集積化するための製造プロセス技術の開発を行い、これらを総合したプロトタイプモジュールを構築し、燃料電池等のエネルギー変換、水素等の合成、環境汚染物質の分解浄化フィルター等の具体的なニーズを想定した、セラミックリアクターの性能実証を図る。具体的目標値は以下の通りである。</p> <p><b>研究開発項目①「高性能材料部材化技術の開発」</b>  低温作動を可能とする電解質材料の適用性検討及び薄膜化技術の高度化、低温で反応活性の高い空気極・燃料極材料の開発及びナノ-マイクロスケールを中心とした内部構造制御、電極-電解質及びインターコネクタとの界面構造ならびに組成制御による部材性能向上の検討等の材料・部材化技術開発を進める。  （中間達成目標）  電気化学セルの性能評価測定を、電解質を電極マトリックスに配置した構造で、かつ電極の特性が評価可能な面積の電気化学セルを用いて行う際に、650℃にて、0.3W/cm<sup>2</sup> の単位出力密度を達成するための、電極及び電解質の開発を行う。  （最終達成目標）  同様の性能評価において、650℃で 0.5W/cm<sup>2</sup> の単位出力密度を達成する。また 500℃でも現在の性能（0.15W/cm<sup>2</sup>）を超え、将来のさらなる低温作動化による SOFC や高機能フィルタの実用性能向上に資することの可能なレベルの特性向上を達成するための、電極及び電解質の開発と部材化を行う。</p> <p><b>研究開発項目②「マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発」</b>  マイクロチューブ-キューブ化-インターフェース付与（セルからの集電機能、マニホールド及びガスシール等）-モジュール化の一連の製造プロセス技術を開発し、サブミリサイズの反応基本ユニットの集積化による、セラミックリアクターのプロトタイプ作製に至る、連続製造プロセス技術として確立する。具体的には、3次元複雑構造の連続造形技術（1次元（紡糸）-2次元（平面配列）-3次元（積層化）造形技術及びマイクロハニカム造形技術）、自己組織化造形技術等のマイクロ集積構造化を可能とする製造プロセス技術を開発する。  また、ミリサイズチューブによるキューブ化～モジュール化を実用的な製造プロセス技術として</p>
--------------	--

確立するため、マイクロ集積モジュール化プロセス技術開発で発生が予想される技術的な諸課題（インターフェースの電気抵抗及びガス拡散抵抗の低減技術等）を解決する。さらに、小型高効率化・低温作動及び急速起動停止性能に関し、キューブあたりの性能評価で実証する。

（中間達成目標）

径 0.5mm の多孔質アノード／膜厚 10 ミクロン以下のセリア等低温作動電解質の緻密膜／10mm 長の多層チューブの組合せで構成される電気化学セルとして同時連続作成し、さらに多孔体マトリックス中に 100 本／キューブで導入、またはマイクロハニカムにより同等の微細構造化を可能なプロセス技術として確立する。

また、微細押出成形法等により、ミリサイズチューブを用いてキューブを作製し、径 1-2mm 以下の単セルを用いたキューブにより、発電出力密度 0.5W/cm<sup>3</sup> を実証する。また、各キューブにおける電極の接続抵抗損失を 5%以下とすることが可能な、インターフェース（セルからの集電構造、マニホールド及びガスシール構造による単キューブの端面修飾等）の構築プロセス技術を開発する。

（最終達成目標）

径 0.5mm 以下のセルをキューブ当り 100 本以上で一回の連続行程により形成することが可能な製造プロセス技術を開発し、セラミックリアクターとしての汎用性を実現するための最適構造化プロセス技術として確立する。

さらに製造プロセス技術の適用性実証として、マイクロ集積化セラミックリアクターの物質－エネルギー変換機能における高効率化を実現（作動温度 650℃以下での発電出力密度 2W/cm<sup>3</sup> 以上を達成）する。

研究開発項目③「評価解析技術開発及びプロトタイプ実証」

最終的なモジュールにおける発電性能等、反応効率向上による飛躍的な特性向上を実現するために、構成単位であるマイクロセルやキューブ及びモジュールに対し、構成部材や界面における電気特性及び機械的な応力解析などの評価技術を開発し、またはマイクロ特性評価法の開発による局所特性の最適化や、マクロ発電性能の解析技術の向上を図り、プロセス技術の改良へとフィードバックする。

また、実用モジュールとしての性能評価のために、想定される用途におけるシステム設計条件から、要求性能を明確にしてマクロ性能評価を行う。例えば負荷変動に対する出力コントロール条件を、熱コントロールや集電性能及びキューブ作動制御等の観点から検討し、実際のモジュール作動条件に対する適合性を検討する。

（中間達成目標）

本技術開発で新たに必要とされる電氣的・熱機械的な評価手法を開発し、マイクロ・マクロ特性解析手法を開発する。同時に、実用ニーズに対するスペックの検討及び実証試験条件を明確にする。

（最終達成目標）

650℃以下での作動時における発電性能実証を行い、低温作動における小型高効率化を実証する。キューブ集積プロトタイプモジュールを作製し、急速作動停止特性を実現するために必要な、室温～作動温度における実機想定によるシミュレーションから設定する、繰り返し加熱冷却条件に対する耐久性を実証する。また、発電モジュール構築プロセス技術の実証として、1-2mm 径以下の単セル使用モジュールによる 2kW/L レベルの出力密度及び発電効率 40%以上の実証を、キューブ複合モジュールにより行うと共に、モジュール容積 0.1L について達成する。想定される用途に対する、モデル条件における性能実証試験を行い、さらに連続運転時の性能低下が、実用化を検討する上での許容範囲内であることを確認する。

事業の計画内容	主な実施事項	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
	①高性能材料部材化技術の開発						→
	②マイクロ集積化及びセルスタックモジュール						→
	③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証						→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万)	会計・勘定	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計(需給)	196	588	441	450	350	2,025
	加速予算(成果普及費を含む)	32	103	96	18	0	249
	総予算額	228	691	537	468	350	2,274

円)	(委託)	228	691	537	468	350	2,274
	(助成)						
開発体制	経産省担当原課	製造産業局ファインセラミックス室					
	プロジェクトリーダー	独立行政法人産業技術総合研究所 淡野正信					
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載）	ファインセラミックス技術研究組合（日本ガイシ、日本特殊陶業）、ホソカワミクロン（株）、（財）ファインセラミックスセンター、東邦ガス（株）、（株）デンソー ・再委託先：（独）産業技術総合研究所、名古屋大学、（財）電力中央研究所、コロラド鉱山大学、三重大学、京セラ（株）					
情勢変化への対応	<p>進捗状況や推進委員会等の結果、指摘をふまえ、適時研究開発を加速させ推進している。具体的には以下の対応を実施した。</p> <p><b>【加速財源】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 17 年度：複合粒子処理装置を導入し、高活性電極／電解質作製に必要な、電極／電解質複合粒子に対して最適構造化を図った。また、マイクロハニカム多孔質電極キューブにおける多孔構造制御技術の基礎検討に着手すべく、セル内表面成膜装置を導入した。押出集積プロセスによるセルキューブ化に関しては、縦型押出成形機を導入し、空気極へのチューブ配列プロセス検討を行う上で必要となる、材料検討及び物性検討を促進した。</li> <li>・平成 18 年度：量産型粒子処理装置を導入することにより、モジュール化技術開発への低温高活性電極・電解質材料など早期供給体制を確立することができた。また、プロジェクトの中で明確になった加工上の課題に対応するために、マイクロハニカム構造化による3次元集積製造プロセスの確立促進のためのマイクロ～マクロ集積加工装置の導入を行うとともに、ガス流れの均一化と高出力化の課題を抽出するためにキューブ間集電及びガスシール等インターフェース構築技術の開発促進のための差圧式ガス透過率評価装置の導入を行った。</li> <li>・平成 19 年度：低温作動電極構造制御技術の加速に向け、実運転条件を想定した長時間の暴露及び導電性連続測定が可能な部材長時間安定性評価装置を導入した。また、熱流体特性を考慮したモデルモジュールにおいて電氣的・機械的な構造影響因子を明確化するための熱流体機能評価装置、及びキューブを連結しモデルモジュール構造での作動検証を可能とするための接合構造安定性評価装置を導入し開発を加速した。インターフェース技術の課題に対応すべく、微細加工による導電パス－キューブ間の位置精度向上のための微細放電加工装置、及び温度やガス雰囲気を変えてシール材の融着挙動把握のための粘弾性評価装置を導入した。</li> <li>・平成 20 年度：インターフェース界面における導電性及び絶縁性とガスシール性を高精度に評価するための雰囲気制御型インターフェース界面評価装置を導入した。液体燃料系発電システムにおける炭化水素系燃料の電極及び部材への影響を確認べく、炭化水素系燃料セルスタック評価装置を導入し、制御条件を最適化した。マイクロチューブ等の同時構造化を図るため、リアクター評価加熱・過失装置共焼結による部材の評価技術の開発を促進した。</li> </ul> <p><b>【連携施策群】</b></p> <p>内閣府主催「連携施策群会議」に 17 年度は「ナノテク・材料」、18 年度は「水素利用／燃料電池」として参加し、他の燃料電池関連事業との連携検討及び開発内容の重複排除のチェックを受けた。また事業内容のプレゼンを行い、PJ の価値を説明し、応用分野の明確化と仕様の検討を行うよう指摘を受けたため、自動車応用の検討及びプロトタイプ実証を前倒しで実施した。</p> <p><b>【調査研究】</b></p> <p>プロジェクト開始時には、軍事用のニーズしかなかったため、プロジェクトの目標としては組み入れなかったポータブル電源について、民間ニーズが急速に高まっていることを受けて、総合調査により米国調査を実施するとともに、ポータブル電源への応用を念頭に評価項目の修正を行った。</p>						
中間評価への対応	<p>1) 実施体制について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○指摘点：材料、部材化技術、実証までの各実施者間のさらなる連携が、十分に行えるような体制とすることが望ましい。</li> <li>○対応：実施体制を再編した（材料開発－モジュール構築－実証の各々の責任分担明確化と連携強化。一部機関を再委託に変更）。</li> </ul> <p>2) 評価技術の開発について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○指摘点：特性評価解析の条件を統一化すること。</li> <li>○対応：実施者が個別に設定していたセル・スタック・モジュールの評価解析条件を、モデルモジュールを基準として統一した。</li> </ul> <p>3) スタック化、モジュール化について</p>						

	<p>○指摘点：モジュール化及びスタック化する場合の集電・シール技術開発と、量産を睨んだプロセス開発は、本プロジェクトの重要課題であるので、さらに加速させて検証するべきである。</p> <p>○対応：集電・シール技術と量産化を睨んだプロセス開発の性能実証を平成 20 年度中に実施し（加速予算投入）、平成 21 年度実施の各適用対象へのプロトタイプ実証へ反映させる。</p> <p>4) 実用化への取り組みに対して</p> <p>○指摘点：熱自立・起動停止および改質法などにも配慮した発電装置としての最終仕様を、早期に設定すべきである。また、システムとしての解析が不十分である。</p> <p>○対応：小型コジェネ・自動車 APU・ポータブル電源等の各ニーズ、スペックを明確化し、開発技術を適用した場合の有効性を評価した。また、システム検討ワーキンググループを設置し、システム設計とシミュレーションにより、小型コジェネシステム・自動車 APU システム・水素製造における優位性を明確化した。</p> <p>5) 競合技術との比較に関して</p> <p>○指摘点：1 kW クラスの SOFC が実証試験の段階に入っている状況下、本研究開発との関係を明確にしておく必要がある。</p> <p>○対応：SOFC の最新の開発動向について調査を行い、従来技術比較して、低温動作・小型高効率性・機動停止特性の優位性及び実用化スケジュールの差異等を明確にした。</p>						
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="403 813 523 846">事前評価</td> <td data-bbox="531 813 1364 846">平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部</td> </tr> <tr> <td data-bbox="403 857 523 891">中間評価</td> <td data-bbox="531 857 1364 891">平成 19 年度 中間評価実施</td> </tr> <tr> <td data-bbox="403 902 523 943">事後評価</td> <td data-bbox="531 902 1364 943">平成 22 年度 事後評価実施予定</td> </tr> </table>	事前評価	平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部	中間評価	平成 19 年度 中間評価実施	事後評価	平成 22 年度 事後評価実施予定
事前評価	平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部						
中間評価	平成 19 年度 中間評価実施						
事後評価	平成 22 年度 事後評価実施予定						
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>研究開発項目①高性能材料部材化技術の開発</p> <p>○研究開発目標</p> <p>本研究開発項目では、従来の電解質を用いた SOFC では低温作動化には 750℃程度で限界となっている現状から、小型高効率 SOFC の実用化のために、作動温度領域を 650℃以下～500℃に低減させることを目的に、低温作動化を可能とする高性能の材料・部材開発を進める。そのため、従来の系に替わる低温作動化が可能な電解質材料の材料特性向上、低温でも高い反応活性を発現することが可能な電極材料の開発及び内部構造制御等、電極・電解質の材料特性及び部材化における諸問題を解決し、マイクロ集積モジュールへの低温作動部材の適用を図る。</p> <p>研究開発内容としては、低温作動を可能とする電解質材料の適用性検討及び薄膜化技術の高度化、低温で反応活性の高い空気極・燃料極材料の開発及びナノ・ミクロスケールを中心とした内部構造制御、電極-電解質及びインターコネクタとの界面構造ならびに組成制御による部材性能向上の検討等の材料・部材化技術開発を進める。</p> <p>その達成目標として、「中間達成目標」では、低温高活性の電極・電解質材料を開発し、モジュール製造プロセスにも適用可能なように、高品質で得るためのプロセス技術の確立を目指し、「電気化学セルの性能評価測定を、電解質を電極マトリックスに配置した構造で、かつ電極の特性が評価可能な面積の電気化学セルを用いて行う際に、650℃にて、0.3W/cm<sup>2</sup>の単位出力密度を達成するための、電極及び電解質の開発を行う。」ことを設定している。また、「最終達成目標」としても同様の意味でさらなる材料部材の性能向上を図り、低温作動化として考慮すべき様々な得失（燃料自己改質性能等）をも含めて、実用性に富む開発成果を目指し、「同様の性能評価において、650℃で 0.5W/cm<sup>2</sup>の単位出力密度を達成する。また 500℃でも現在の性能（0.15W/cm<sup>2</sup>）を超え、将来のさらなる低温作動化による SOFC や高機能フィルタの実用性能向上に資することの可能なレベルの特性向上を達成するための、電極及び電解質の開発と部材化を行う。」ことを指標として設定した。</p> <p>○研究開発成果</p> <p>飛躍的な低温作動化を可能とするための材料技術開発として、実用構造で出力密度 0.5W/cm<sup>2</sup>（650℃）の実現へ向け、低温で活性の高い電極の開発や、イオン伝導のしやすい電解質の実用化を図るために、革新的な材料の探索及びナノ・ミクロスケールを中心とした内部構造制御や薄膜化技術の高度化、電極-電解質やインターコネクタの界面制御等による部材性能の向上を図った。その結果、電極部材でのエネルギー損失を従来の 1/10 に低減する（500℃での性能が従来の 650℃での性能とほぼ同等）等、造り込み技術に用いるための材料・部材開発の成果が挙げられた。また、Ag 系材料の適用が低温域での電極性能向上に効果があることを見出し、材料複合化により、様々な優れた特性の両立にも成功した。</p> <p>最終目標で設定した、650℃で 0.5W/cm<sup>2</sup>の単位出力密度を達成し、500℃でも現在の性能（0.15W/cm<sup>2</sup>）を超えており、電極及び電解質の開発と部材化により、将来のさらなる低温作動化による SOFC や高機能フィルタの実用性能向上に資することの可能なレベルの特性向上を達成した。</p>						

研究開発項目②マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発

○研究開発目標

セラミック電気化学リアクターの小型高効率化と急速作動停止性能を実現するために最も重要な点は、マイクロセルの高度集積配列とモジュール化を可能とするプロセス技術開発と高出力密度や急速作動と加熱冷却サイクルへの耐久性付与（マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発）である。

すなわち、電気化学リアクターの構成部材をマイクロ集積化するための、革新的な部材製造プロセスの開発が必須である。それによって、体積反応効率の飛躍的な向上による小型軽量化と、ユニット部材の小型化による、セラミックス系材料の欠点である熱機械的特性の改善が可能となる。その際の、ユニット部材サイズについては、特に高反応効率の観点から期待される、ミリメートル以下（特に0.5mm程度）のユニットセルに対して、高集積化するための連続製造プロセス技術の開発が重要となる。利便性の高いプロセス技術の適用により、セラミックモジュールの製造におけるコストが、材料面での小型化のみならず、微小な構造の集積化を同時あるいは連続で行うことにより、製造プロセスコストの大幅低減が期待される。同時に、いわゆる SOFC の熱自立の問題についても、マイクロ SOFC ではさらに発熱制御等のサーマルコントロールの形で様々な状況が想定されるため、本技術開発のコンセプト実証を通して、これらの解決を図って行く必要がある。また、モジュール性能を左右する重要な因子として、キューブ接続時のインターフェースにおける集電技術や、キューブへの燃料ガス及び空気供給を低損失で行うための、材料特性や部材・モジュールの構造設計が重要な要因となる。これらのマイクロ部材集積化においては、合理的なプロセスの追求と共に、異種材料・材質の集合体により構成されることから、界面制御を可能とするプロセス技術開発等が期待される所以である。

そこで、本研究開発項目では、マイクロチューブ・キューブ化インターフェース付与モジュール化の一連の製造プロセス技術の開発と高度化が求められる。すなわち、3次元複雑構造の連続造形技術、自己組織化造形技術等のマイクロ集積構造化を可能とする製造プロセス技術を開発すると同時に、このようなマイクロ集積モジュール化プロセス技術開発で発生が予想される技術的な諸課題を解決し、小型高効率化・低温作動及び急速起動停止性能を評価実証する。

その達成目標として、「中間達成目標」では、マイクロ部材集積技術をマイクロ SOFC として実証するための必要スペックとして、「径0.5mmの多孔質アノード/膜厚10ミクロン以下のセリア等低温作動電解質の緻密膜/10mm長の多層チューブの組合せで構成される電気化学セルとして同時連続作成し、さらに多孔体マトリックス中に100本/キューブで導入、またはマイクロハニカムにより同等の微細構造化を可能なプロセス技術として確立する。」ことを設定している。ここでは、小型高効率リアクター実現に向けた2つのアプローチとして、マイクロチューブの規則配列による構造の積み上げ手法と、同時連続成型等の製造プロセスの合理性を優先した手法の両方を検討している。

性能実証のレベルとしては「また、微細押出成形法等により、ミリサイズチューブを用いてキューブを作製し、1-2mm以下の単セルを用いたキューブにより、発電出力密度0.5W/cm<sup>3</sup>を実証する」ことで新規性を示し、さらにインターフェースを介したモジュール構成において、「また、各キューブにおける電極の接続抵抗損失を5%以下とすることが可能な、インターフェース（セルからの集電構造、マニホールド及びガスシール構造による単キューブの端面修飾等）の構築プロセス技術を開発する」として、実用的な出力密度を得るための具体的な目標設定をしている。

さらに「最終達成目標」として、連続製造と高精度集積化の両プロセス技術のマッチングを図り、「径0.5mm以下のセルをキューブ当たり100本以上で一回の連続行程により形成することが可能な製造プロセス技術を開発し、セラミックリアクターとしての汎用性を実現するための最適構造化プロセス技術として確立する。」と共に、必要スペックから求められた目標値を加味して、「さらに製造プロセス技術の適用性実証として、マイクロ集積セラミックリアクターの物質-エネルギー変換機能における高効率化を実現（作動温度650℃以下での発電出力密度2W/cm<sup>3</sup>以上を達成）する」ことを目標設定している。

○研究開発成果

各種の小型可搬型あるいは定置分散型の電源ニーズへの対応に必要な、出力2kW/100L以上の小型高効率化や、セラミックスが従来劣っている熱衝撃条件にも耐える急速起動停止性能（分～秒単位）の実現のため、ミリメートル以下のセル構造を単位として、規則正しく並べて集積することにより、高性能のキューブやモジュールを創る革新的製造プロセス技術の開発や、モジュールの加熱や放熱制御、各キューブへの燃料供給や集電を司るインターフェースの構築技術の確立を図った。その結果、世界最高の低温高出力密度（1W/cm<sup>2</sup>@570℃）の発電が可能なサブミリチューブ型 SOFC の開発に成功し、マイクロ SOFC セルスタックとして作動させるための微細部材の集積化を達成した。また、従来材料のジルコニアでも、世界最高となる低温作動マイクロチューブ SOFC や、自立構造でガス透過可能なマイクロ SOFC を実現している。角砂糖1個の大きさの中に250以上のセルが集積したキューブの連続作製プロセスを確立、サブミリサイズのセルが規則配列したハニカム構造のマイクロ SOFC として世界で初めて実証し、室温から5分以内の急速起動や起動停止の繰り返しにも強いことを確認した。また、ハニカムを次々とつなげて出力を増大する技術も実証している。そして、550℃でも1cm<sup>3</sup>当たり2~3Wの小型高出力化が可能な、セル集積によるキューブの作製と出力実証に成功し、プロトタイプモジュールを実現しました。一方、キューブ接続に必要なイ

ンターフェース用の導電性／絶縁性及びガスシール特性に優れた材料開発に成功した。  
最終目標の、径 0.5mm 以下のセルをキューブ当り 100 本以上で一回の連続行程により形成することが可能な製造プロセス技術をハニカムプロセスで実現し、セラミックリアクターとしての汎用性を実現するための最適構造化プロセス技術として、従来に比べて桁違いの燃料電池セルの高集積化を達成した。さらに製造プロセス技術の適用性実証として、マイクロ集積化セラミックリアクターの物質－エネルギー変換機能における高効率化の実現を、作動温度 650℃以下での発電出力密度 2W/cm<sup>3</sup>以上 (3W/cm<sup>3</sup>以上に到達) で示した。

#### 研究開発項目③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証

##### ○研究開発目標

本研究開発項目では、セラミック電気化学リアクターの小型高効率化、低温作動や急速作動停止性能を実現して、高性能リアクターとしての自動車 APU や小型分散電源等への適用性実証及び必要な評価技術開発を実施する。

研究開発項目①で開発された材料部材を用い、②で開発されたモジュール化プロセス技術を駆使してプロトタイプモジュールを作製し、自動車 APU あるいは小型分散電源 (家庭用小型コジェネ等) のニーズへの適用課題を抽出し、実用化へ向けての課題解決を図ることが必須である。

そのための研究開発内容として、モジュールを構成するマイクロセル、キューブ及びモジュールに対する電気化学特性及び熱機械的特性に対する評価解析技術を確立し、プロセス技術向上へとフィードバックすることが不可欠となる。さらに、実用モジュールとしての性能実証として、想定される用途におけるシステム設計条件から、要求性能を明確にして適用性評価を行う。

達成目標として「中間達成目標」では、開発マイクロセル、キューブ、モジュールへと開発が進むに従って「本技術開発で新たに必要とされる電氣的・熱機械的な評価手法を開発し、マイクロ・マクロ特性解析手法を確立する。」ことが先ず必要となる。従来にはない微細な SOFC リアクター部材あるいはアセンブリに対し、発電特性のみならず様々な条件での作動特性や安定性・耐久性 (レドックス特性等)、燃料適応性あるいは耐熱衝撃性等の基本特性に関する、従来から蓄積された知見も活用しながら、マクロな性能評価及びミクロスコピックな性能・状態の評価解析が求められる。さらに「同時に、実用ニーズに対するスペックの検討及び実証試験条件を明確にする」ことで、プロジェクト後半でのモジュール実証に向けた評価解析が適切に進められるようになる。また、「最終達成目標」としては、ターゲットである自動車 APU や小型分散電源 (家庭用コジェネシステム) への適用を想定して、「650℃以下での作動時における発電性能実証を行い、低温作動における小型高効率化を実証する。キューブ集積プロトタイプモジュールを作製し、急速作動停止性能を実現するために必要な、室温～作動温度における実機想定によるシミュレーションから設定する、繰返し加熱冷却条件に対する耐久性能を実証する」ことで、セラミックリアクターの特長である、小型高効率化、低温作動や急速作動停止性能を実証し、具体的な実用条件での適用性を検証する。プロジェクトではシステム開発は対象としていないが、机上設計検討や実地調査等の手段により、プロジェクト終了後の実用化実証段階へ速やかに移行できるように努める。プロトタイプモジュールの実証については、次の数値目標を設定し、上記の特長を示すことでプロジェクト成果の優位性を明らかにする。「発電モジュール構築プロセス技術の実証として、1-2mm 径以下の単セル使用モジュールによる 2kW/L レベルの出力密度及び発電効率 40%以上の実証を、キューブ複合モジュールにより行うと共に、モジュール容積 0.1L について達成する。加えて「想定される用途に対する、モデル条件における性能実証試験を行い、さらに連続運転時の性能低下が、実用化を検討する上での許容範囲内であることを確認する」ことで、上記の実用化実証に移行する際のニーズへの適用性の判断材料とした。

##### ○研究開発成果

自動車 APU や家庭用コジェネシステム、あるいはポータブル電源等、小型高効率 SOFC などのニーズへの適用を図る上では、セル・スタック・モジュールの性能評価に必要な基盤技術を確立し、マイクロ集積モジュール・小型プロトタイプへのユーザーズペックに基づくデザイン提示・性能評価を進め、プロトタイプモジュールとしての実用化検討に足る性能を実証が必要となるため、マイクロセルやキューブ及びモジュールの構成部材や、界面における電気特性及び機械的な応力解析などの評価技術を確立して、プロセス技術の改良へのフィードバックを進めた。さらに、想定される用途におけるシステム設計条件に基づき、例えば負荷変動に対する出力コントロール条件を、熱コントロールや集電性能及びキューブ作動制御等の観点から検討する等、実際のモジュール作動条件に対する適合性の検討を進めた。

その結果、マイクロチューブを多数組み合わせ、体積数 10cm<sup>3</sup> 程度のスケルトン型モデルキューブ・スタックによる先行出力実証 (出力 40W 程度) に成功し、マイクロ SOFC として作動させる上での集電・ガス流・熱制御等、モジュール化への課題抽出を進め、高性能化に必要な加圧モジュールや水素製造への適用可能性を実証した。さらに、プロトタイプモジュールとして作動温度 650℃以下で 2kW/L レベルの出力を 1/10 スケールで実現、小型モジュールで発電効率 40%や急速作動性能を確認し、これらの成果を基に、小型コジェネシステムや自動車 APU への適用性検討を進め、明らかにした。

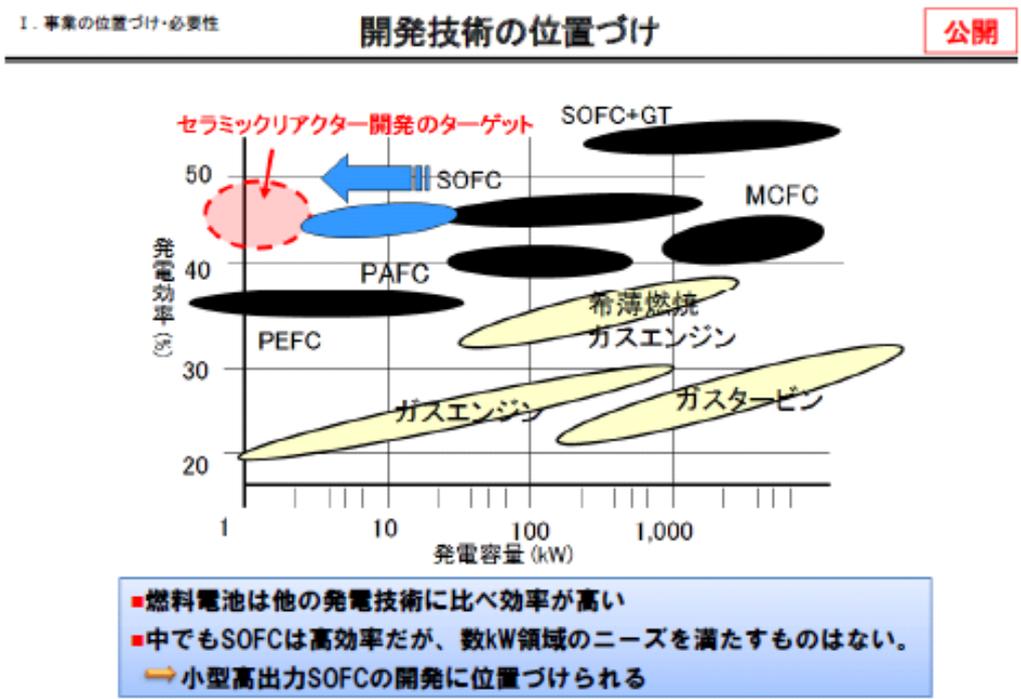
最終目標については、650℃以下での作動時における発電性能実証を行い低温作動における小型

	<p>高効率化の実証に成功した。キューブ集積プロトタイプモジュールを作製し、急速作動停止特性を実現するために必要な、室温～作動温度における小形コジェネシステムを想定した、繰返し加熱冷却等のモデル条件を設定し耐久性実証を行い十分なレベルの性能を示した。また、発電モジュール構築プロセス技術の実証として、2kW/L レベルの出力密度及び発電効率 40%以上の実証を、モジュール容積 0.1L について行うために、2mm 径の単セルを使用したチューブ集積モジュール（発電出力 200W 級）を作製し性能評価を実施した結果、目標値の達成が確認された。さらに連続運転時の性能低下が、実用化を検討する上での許容範囲内であることを確認した。</p>	
	投稿論文	「査読付き」113 件
	特 許	「出願済」39 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 3 件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	「研究発表・講演」304 件、「展示会」10 件、「新聞等」17 件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本プロジェクトは、革新的な次世代リアクターの創製を図り、新規ニーズに対応可能な低温作動化による材料・部材開発の成果を適用して、マイクロセル～キューブ（セルスタック）～モジュール化することにより、低温作動化・急速加熱冷却サイクルへの耐久化・小型高出力密度が可能なリアクターを実現する。プロジェクトの実施期間内では、プロトタイプモジュールの製造プロセス確立と、モジュールの実用性に関する基本性能実証を行ったものである。</p> <p>本プロジェクト成果の実用化・事業化については、中間評価（2007 年度に実施）時点から、材料・部材開発からモジュール製造に至る垂直連携による研究開発成果の実用化として、小型定置用コジェネレーションシステム（家庭用コジェネ応用等）、自動車用補助電源（APU）等の電源システムへの組み込みが期待されている。例えば、小型車のオルタネータ（発電機）代替や大型・特装車の電力供給システム等、その高効率性や燃料適応性等の特長から、実用化への期待は高い。これらのニーズは本プロジェクトの総合調査研究でも精査を行っているが、特に中間評価以降で、自動車 APU 用途への開発機運が高まっている状況にある。それは、ここ数年の「地球温暖化対策」「石油等資源問題」が社会的に大きな影響を及ぼして来たことから、いわゆる「次世代自動車」等として、ハイブリッド車から電気自動車への期待が高まったことにより、蓄電池と組み合わせた充電用発電機として燃料電池を捉える視点がクローズアップされて来たことにも影響されている。</p> <p>また、一方で、本プロジェクトにおける製造プロセス技術開発の成果として、材料・部材の供給面からの実用化は近い将来に期待される。すなわち、低温項活性材料開発による新規高性能電極材料や導電部材、あるいは発電ユニットのインターフェース材料は、高温の電気化学モジュールへの適用が期待されるものであり、従来型燃料電池の改良等で導入されることも見込まれる。</p> <p>これらの実用化・事業化の進展により、2050 年には 1 兆円を超えるような大きな市場効果も当初から期待されているところである。この状況は中間評価時点から大きな変化は無く、家庭用小型コジェネについては、固体高分子型燃料電池（PEFC）によるシステムが上市される段階に至り、今後の新エネルギー／省エネルギー関連の各種システムの開発や実用化の進展により、単純予測は容易ではないが、概ね現在の方向性は維持あるいは加速されているものと考えられる。</p> <p>中間評価段階から、本プロジェクトで主要な応用対象として設定されている小型コジェネレーションシステムや、自動車補助電源システム（APU）に加えて、ポータブル電源や小型駆動機器用電源へのいわゆる“マイクロ SOFC”の適用性への期待が急速に高まっている背景状況があり、当時その研究開発分野が盛んであった米国の動向調査を行ったが、その後の各開発実施者の変遷等の推移はあるが、周辺システムの開発状況を踏まえ、高性能のコアモジュールを供給することにより、比較的早期の市場化も益々期待される状況にあるといえる。野外活動や工事現場及び遠隔地等でのポータブル電源へのニーズは、その利便性に対して、高効率性・清浄性・静謐性から大いに期待される。同様に、移動型の電気機器、電動車椅子等の小型電動駆動型機器における蓄電池の代替や補充、さらには将来的にはロボットの電源としても期待される。今後、上記のポータブル電源等へのニーズ対応の努力により、応用展開と実用化の加速が期待されるものである。</p> <p>また一方で、夜間電力利用等のエネルギー需給平準化の効果を期待した、水素製造の分散型プラント（水素ステーション）への適用も期待される。本プロジェクトの検討結果からは、適用システムとしての規模や運転条件等の検討をさらに進めて最適化を図る必要が認められた。さらに、都市環境保全への取り組みとして、ニアゼロエミッション化を可能とするような、自動車等の輸送分野や分散型エネルギーシステム等におけるエンジン排気ガス浄化（特にディーゼルエンジン排ガス）についても、次世代自動車あるいはディーゼルハイブリッド車の開発動向に大きく影響されるが、2010 年代の後半以降での新規適用可能性の有る技術として、電気化学リアクターは相変わらず注目されているところである。</p>	
V. 基本計画に関	作成時期	平成 17 年 3 月 作成

<p>する事項</p>	<p>変更履歴</p>	<p>平成 18 年 3 月 改訂（知的財産、成果についての取り扱いについて記載するとともに、プログラム変更に伴い改訂）  平成 20 年 7 月 改訂（イノベーションプログラム基本計画の制定により、「（1）研究開発の目的」の記載を改訂）</p>
-------------	-------------	---

# 技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6より抜粋)

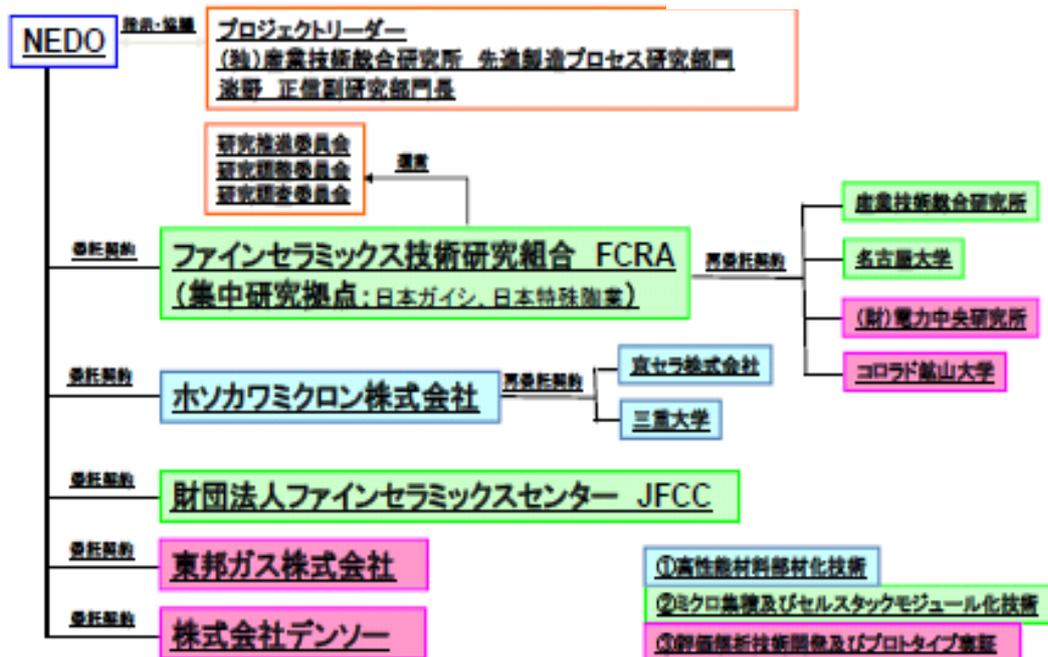


1. 事業の位置づけ・必要性 **SOFC開発プロジェクトとの対比** 公開

	(1) 固体酸化物形燃料電池 実証研究	(2) 固体酸化物形燃料電池 システム技術開発	(3) 固体酸化物形燃料電池 システム要素技術開発	(4) セラミックリアクター開発
開発期間	H19～H22	H16～H19	H20～H24	H17～H21
研究開発の特徴	実証研究	システム開発	基礎研究、要素技術開発	スタック開発
研究開発の内容	製品化を想定した実証運転研究(耐久性を始めとしたデータ取得、課題抽出のための実証)	コージェネシステム開発 コンバインドサイクル開発 性能評価技術 要素技術開発(信頼性向上、高出力化、適用性拡大)	(2)の後継プロジェクト 基礎的・共通的研究開発(耐久性、信頼性向上、低コスト化) 実用性向上の技術開発(起動停止、高圧運転)	低温作動材料開発 革新モジュール製造プロセス開発(集積モジュール化) 評価解析技術開発 プロトタイプ実証
研究開発の目的	SOFC実用化の促進を図るために、SOFCシステムの実負荷環境下における実証データの収集及び評価分析を実施し、今後のSOFC技術開発の開発課題を抽出すること。	小・中規模分散型電源市場等に投入できるSOFCシステムの開発、設計、製作および運転実証による性能確認ならびにシステム性能の評価基準を確立するためのシステム性能評価技術の開発を行うこと。	SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施し、その基礎技術を確立すること。	低温作動(500～650℃)、頻繁な起動停止運転性能、高出力密度を可能とするリアクターを開発し、新規適用性を拡大すること。
想定される適用先と発電出力レベル	定置用(戸建て住宅) 1kW級が中心	定置用 (小・中規模分散型電源) 数10kW級～数100kW級	定置用 (小・中規模分散型電源) 数10kW級～数100kW級	定置用 (既築、リフォーム、集合住宅) 移動用 (自動車APU、ポータブル) 数100W～数kW

「セラミックリアクター開発」

全体の研究開発実施体制



## 「セラミックリアクター開発」(事後評価)

### 評価概要(案)

#### 1. 総論

##### 1) 総合評価

我が国のものづくりの高度な技術を結集し、エネルギー需要の一層の増大、省エネの重要性とそれへの対応を、このような国プロの形で進めることができたことは重要である。

プロジェクト開始時の目標が非常に高いレベルに設定され、困難な課題であったが、それらの目標をほとんどクリアしており、十分に評価できる内容といえる。セラミックス系の部材を複合化して構造体にまで組み立てる技術で、製造が困難と予想された目標物の作製に成功し、マイクロ燃料電池デバイスの高性能化を達成したことは、高く評価できる。

また、高温セラミックデバイスとして精細な加工・作製技術が進展したことは将来技術としても重要である。

その一方で実用への展開には競合もあり、まだまだハードルが高く、また、種々の応用の可能性については網羅的に検討がなされていない。波及効果の分まで含めて、さらなる検討を望む。さらに、得られた成果について“なぜ”という部分が欠如していると感じる。今後をさらに展開する上で、課題や成果の詳細な解析が求められる。

##### 2) 今後に対する提言

将来の技術に結び付くような形で、材料情報やセラミック加工ノウハウ、各種応用分野へ適応性評価結果が引き継がれることが必要である。提案された事業化プランを実現するためには、現時点、終了というよりも、実用化に至る開発の始点にあるという認識が必要である。実用化には、信頼性、安定性に関するデータの蓄積、コストなどまだ多くの課題が残されており、これからが大変である。参画企業を中心に、事業化に向けた開発を継続することを強く望むとともに、そのための積極的な支援が必要と考えられる。セラミックリアクターの応用先は多岐に渡ると考えられ、本事業で検討した以外にも用途が拡大する可能性がある。有用なものについては国際標準化を先導するなどして国産技術の優位性を高めていくことが重要である。

今後は、得られた成果をサイエンスやエンジニアリングの面からより深く掘り下げて、後に続く者にも役立つ知見として整理し、公表をしてほしい。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

本事業は、高効率な SOFC の用途拡大を通じての革新的エネルギー高度利用に資するものであり、また部材産業技術の環境、エネルギーへの付加価値増大を促進するものであり、エネルギーイノベーションプログラムおよびナノテク・部材イノベーションプログラムのいずれの目標達成にも寄与するものである。

エネルギー需要の一層の増大、省エネの重要性とそれへの対応、世界に冠たる我国のセラミックス技術、超小型高効率燃料電池分野における初めての市場への対応、政策等あらゆる観点から見て本事業は妥当である。

新規性が高く、高難度の開発要素が多岐に渡っており、応用分野の公共性も高いため、NEDO の関与のもと各方面の専門家が結集して開発を実施している。

一方、他の SOFC 関連の NEDO プロジェクトとの目標の棲み分けはなされているものの、逆に、共通基盤技術における相互の連携、情報共有などがプロジェクト全体を通じて希薄である。

### 2) 研究開発マネジメントについて

従来にない超小型燃料電池とその集合による大型装置への対応を目指しており、戦略的に適切である。プロジェクト立ち上げ時の世界最高性能を凌駕する目標値を意欲的に設定していることは評価できる。また基礎検討から実証までの開発ステップ、期間の設定も妥当である。多くの出口の可能性を探るという点でよいチーム構成となっており産学間や異種業種間の連携も良好であり、結果的に効率的なプロジェクト運営がなされたものと判断できる。

プロジェクト期間中における軌道修正など、内外の技術動向に対応したマネジメントが行われ、ある程度成功したと評価できる。しかし、5年間で SOFC の技術は大きく展開し、家庭用 SOFC が実用化の直前にあるが、5年前の目標の達成に終始し、サイズを含めて再度検討する必要がある。

### 3) 研究開発成果について

当初の目標は達成されており、かつ多くの点で目標を大幅に超えている。得られた成果の多くは世界トップレベルといえる。目標性能を達成するために新規材料、プロセスの開発を行っており、他用途への展開も期待できる汎用性を有する成果が得られている。成果は今後の SOFC のためのものづくりという観点で高く評価でき、新しい展開も予想され、市場の創造が期待される。

その一方で、他プロジェクトや海外との比較条件設定は、世界最高であるという点ばかりが強調され、単セルあるいは小規模モジュールで実施され、実用化を直接判断できるサイズやモジュールでの試験が少ない。特許、論文、講演などの発表件数は多く、成果の公

表にも努めているが、海外特許や権利化された特許数という観点では知的所有権の確保がやや少ない。有用技術の国際特許取得や国際標準化の先導など、成果の戦略的な活用を期待する。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

マイクロチューブでスタックの成果は極めてユニークで、新しい展開が期待でき、作製技術として高いレベルにあり、分野を選ぶと実用化が十分期待できる技術と判断される。

技術開発の出口として複数の適用先を選定して実用化への課題と解決策を示しており、実用化への道筋を明らかにしたことは評価できるが、実用化にはコスト、信頼性の確保等、未確定部分が残る。やってみないと分からない点があり、チャレンジをするか企業の判断が不明である。

## 個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
高性能材料部材技術の開発	<p>目標値は達成しており、一部は目標を大幅に越えている。成果は世界的に見ても十分高いレベルにあり、実用化が可能な新技術、新素材が開発されている。電極、電解質の様々な組み合わせで材料選択の指針が明確にされており、粒子複合化技術による原料粒子の構造制御は、セラミックリアクターに留まらず広い分野における材料特性向上の可能性を秘めており、今後の展開が期待される。</p> <p>各機関が得意とする技術を駆使して目標を上回る成果が得られたことは評価できるものの、横の連携やシナジー効果という面では、せっかく開発した電極材料がセルへ反映しなかったのが残念である。また、性能の評価方法</p>	<p>粉体製造と製造装置、新規電極材料の開発などで、実用化の可能性が見いだせる。スケールアップによる実用化への課題は明確にされており、従来の中高温用SOFCでの採用も可能である。セラミックリアクター以外への適用可能性も示され、本技術は種々の材料に適用可能であり、波及効果は大きい。また、粒子複合化技術としては新規であり、生産性も高い。他の機能性材料への応用も可能である。粒子複合化装置としては十分商品化のレベルに達している。</p> <p>素材の製造面に関しては、事業化に対するネックはあまり見当たらないが、参画企業は装置メーカーなので、製造装置を販売すると、高性能な粉体が容易に第三者</p>	<p>本技術が適用可能な材料系の見極め、混合状態の模式図による有効性の表示だけでなく物性値として混合状態の有意性を判断する材料の提示、他の入手可能な原料粉体との比較、微細ネットワーク化に関するなお一層の精密制御など、今後さらなる改良にプロジェクト終了後も、継続して、取り組むことを期待する。</p> <p>事業化については、他の製造法や材料に対する優位性をきちんと示し、実用化に向けてのためのシナリオを描く必要がある。とくに、コストに関しても試算を行い、優位性を示すと良いと考えられる。</p> <p>また、二次電池など関連分野の事業化スピードはセラミックリアクターより高速かつ大規模と</p>

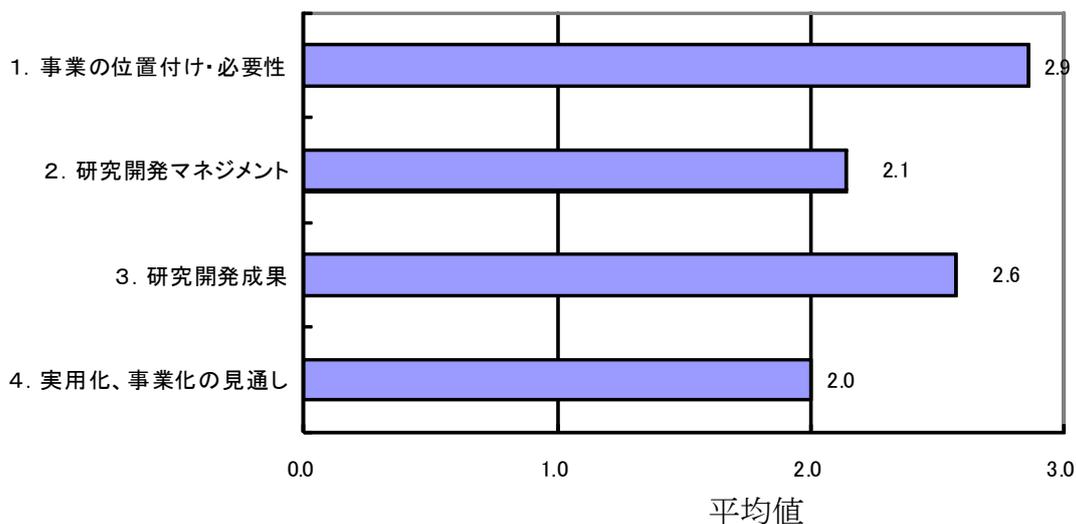
	は機関により統一が取れていると言えず、条件を統一しておけば、各改良手法の相対比較や、組み合わせ時の性能予測など議論ができる。	でも製造できる。実用化をにらんで、きちんとした戦略が必要である 望ましい結果は出ているが、何故そうなるかは未解明である。高性能形成メカニズムを解明して、さらなる高性能化を期待する。	なる可能性もある。それら動向を注視し、本技術をいち早く普及させるためになすべきことを常に意識して事業化を進めていただきたい。
マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術開発	マイクロ集積化およびハニカム構造化、セルスタックモジュール製造は世界的にも極めて新規性が高く、技術的なハードルも高い。これらの構造に対して高度なセラミックの技術を駆使して、セルを集積した構造の成功に至った功績は評価できる。従来にない急速動作、低温作動が実現できている。他にないこれらの特色は、SOFC 応用に留まらず各種電気化学モジュールへの展開が可能な汎用性を持っており、新しい応用の可能性に繋がる。本事業で開発したセラミックリアクターで	ユニークな構造のセラミック SOFC が開発でき、分野を選ぶと優れた優位性が期待できる。また、セラミックマイクロリアクターは、別の分野への展開も可能であり、燃料電池だけでなく基礎技術としても波及効果大きい。インクジェットパターンニング技術や、ゲルキャスティング技術による性能の大幅な改善、薄い固体電解質膜を多孔体の上に形成する量産技術を開発したことも、高く評価できる。 一方、事業化までの道筋を明確化し、見通しを立てることは現時点	セラミックの加工集積技術としてはこれまで例を見ないものであり、継続的に開発を進めて実用化に結び付けてほしい。 また、コスト低減は共通の課題であり、その実現への方針は示されているが、実際に可能か未知である。製造価格を実質ベースで評価して、本技術の優位性を主張すべきである。 事業化については、実用化された際の世界的な需要を正確に見極め、マイクロチューブセルの優位な分野を選定して、シナリオを再構築する必要がある。

	<p>モジュールの発電まで実証できたことは、SOFCの適用可能性を広げる点で大きな意義がある。</p> <p>今後、ガスシール、大型化などの技術的課題のほかに原理原則的なレベルにまで掘り下げた検討、得られた成果の妥当性、目標の妥当性の検証や解析、今後に向けての課題の明確化、より大きなモジュールで世界最高の成績が達成されるかの確認が実用化の判断には必要である。</p>	<p>では、まだなかなか困難な段階である。特にSOFCは、家庭用が実用化直前であり、システム開発と信頼性の確保には時間がかかるので、SOFCにこだわらず、または適用分野を良く吟味して実用化のロードマップを作成し、展開すべきである。先行する各社のSOFCも進化を続けており、現状想定している市場においても将来の競合技術となる可能性がある。それらのコストも含めた技術動向をさらに精査すると共に、SOFCにこだわらず、または適応分野をよく吟味して実用化のロードマップを作成し、展開するべきと考える。</p>	<p>その際、排ガス浄化に応用するなどの具体的な取り組みプランや、明確な将来の市場を想定できる場合は、国際特許の出願は必須である。</p>
<p>評価解析技術開発及びプロトタイプ実証</p>	<p>発電効率、熱サイクル試験、連続耐久性試験、起動時間など目標は十分に達成されており、これまで概念的にしか得られていなかった実使用条件下の適応性情報</p>	<p>モジュールまでの開発が行えた点は高く評価でき、今後のある程度の実用性は見渡せる。家庭用コジェネ、自動車用APUへの適用可能性および課題を明らかに</p>	<p>ぜひ継続して実用化を目指すべきである。実用化を視野に入れて、着実に開発を行うために、マイクロチューブに適した応用分野を明確にして、開発を加速する</p>

	<p>が開示され、全体的な達成度は高い。プロトタイプを用いて、内部の温度解析や安定性評価などを行っており、実用上、貴重なデータが数多く得られ、また、据え置き型発電装置としてモジュールを作製できた点は高く評価される。</p> <p>電力需要の少ない家庭用としては従来よりも優位である、また従来の固体型燃料電池ではできなかった水素製造、自動車 APU など、市場の拡大が期待される。</p> <p>しかしながら、信頼性、コスト面での課題は残る。耐久性評価についてはまだ不十分であり、至急さらに長期の耐久性評価に取り組むべきである。出力、熱サイクル性など個々の項目については目標を達成しているが、それらがすべてひとつのモジュールで両立できるか判断できる材料に乏しい。また、多数のチューブやチ</p>	<p>しており、運転制御等を含めて実用化への開発課題も明確にされている。また、実用化へのステップとして NEDO 継続プロジェクトを活用して課題解決を図っている。</p> <p>家庭用コジェネについては他の NEDO プロジェクトで間もなく実証から商品化に至る段階であり、それに歩調を合わせて本プロジェクトの成果を世に送り出すべきである。その他の応用分野についても有効性が十分あることが今回の評価で明らかにされている。</p> <p>今後は、コストダウン、実際に使用するモジュールサイズにおける評価、競合技術との差別化、他の NEDO 内で SOFC 実証研究プロジェクトに参加している他の先行グループとは異なる優位性確保などが必要である。</p>	<p>体制を整える必要がある。SOFC として考えた場合、セラミックリアクターは SOFC の多様な形態の一つと捉え、他 NEDO プロジェクトでの SOFC 開発と有機的に連携、相互の知見を高度に活用できる仕組みで開発を進めるのが有効である。また、価格が本当に目標通りになるかは疑問であり、現状のコスト試算をしっかりと、今後の開発の妥当性を見通すべきである。</p>
--	--	--	--

	<p>ヤネルからのガスマニフォールドや電氣的接続は設計上かなり無理があり、大きいほど効率がかえって落ちてくるのではないかなどと危惧される。ぜひ、プロジェクト終了後も、継続して開発を行っていただきたい。</p>		
--	--	--	--

## 評点結果 [プロジェクト全体]



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	B	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	B	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	B	B	B	B	A	C	A	
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	B	B	A	
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	B	B	B	C	C	A	

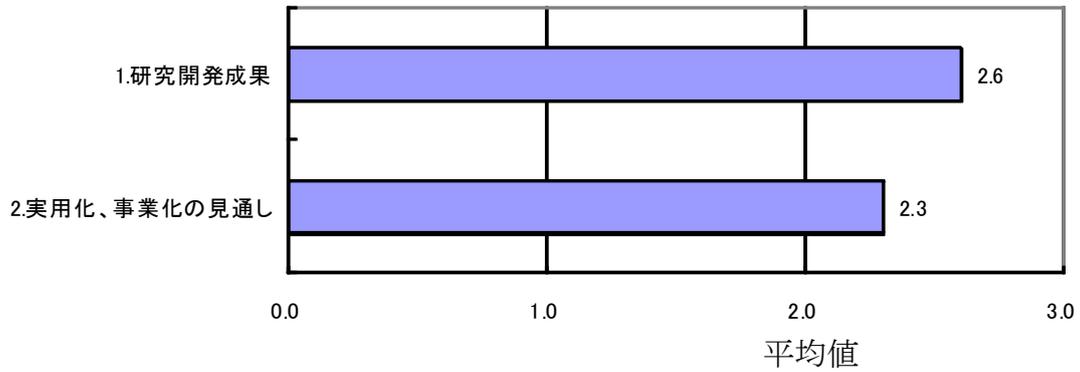
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

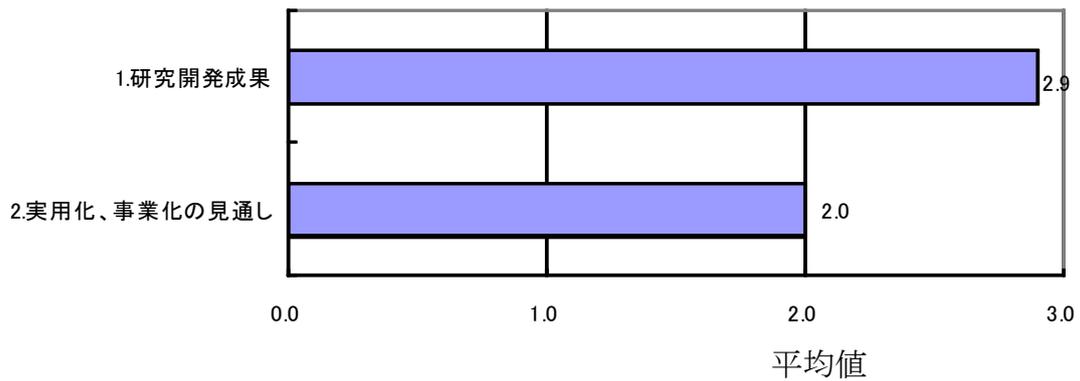
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 評点結果 [個別テーマ]

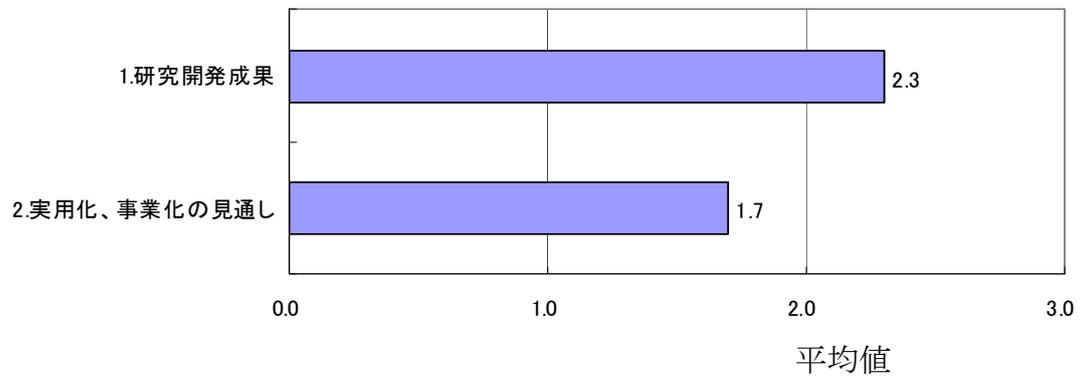
### 高性能材料部材化技術の開発



### マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術開発



### 評価解析技術開発及びプロトタイプ実証



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
高性能材料部材化技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	A	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.3	A	A	B	B	B	B	B	B
マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術開発									
1. 研究開発成果について	2.9	B	A	A	A	A	A	A	A
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	C	B	B	B	B	B	A	B
評価解析技術開発及びプロトタイプ実証									
1. 研究開発成果について	2.3	A	A	B	B	B	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	C	C	B	C	C	A

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について		2. 実用化、事業化の見通しについて	
・非常によい	→A	・明確	→A
・よい	→B	・妥当	→B
・概ね適切	→C	・概ね妥当であるが、課題あり	→C
・適切とはいえない	→D	・見通しが不明	→D