

ナノテク・部材イノベーションプログラム／エネルギーイノベーションプログラム

「セラミックリアクター開発」

(2005年度～2009年度 5年間)

事後評価 分科会説明資料

プロジェクトの概要説明

I. 事業の位置づけ・必要性

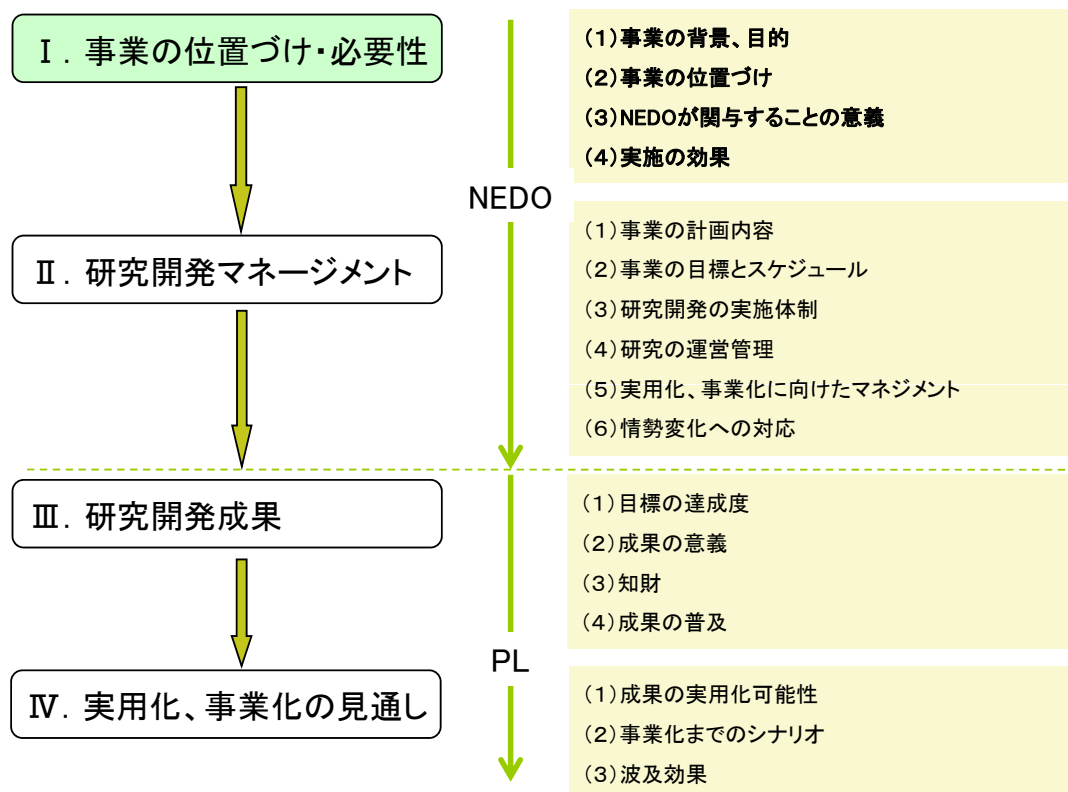
II. 研究開発マネジメント

平成22年10月4日

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

電子・材料・ナノテクノロジー部

概要説明・発表の流れ



- 環境・エネルギー問題解決のためには、エネルギー変換技術の高効率化が求められている。
→様々な社会ニーズに対し、固体酸化物形リアクターは優れた特徴を有する。

具体的には、

- 水素エネルギー社会へ向けてのオンサイト水素製造
- アイドリングストップに対応した数kWの小型電源(自動車補助電源(APU)等)
- ガソリンやディーゼル、バイオ燃料等様々な燃料でも発電可能
- 自動車が直面する環境問題である排ガスの浄化

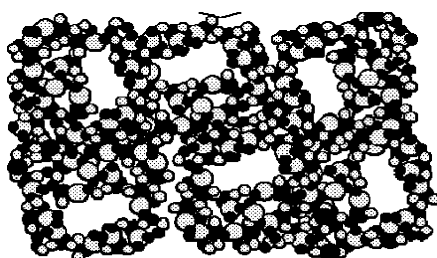
- しかし固体酸化物形リアクターは、

- 作動温度が高い
- 作動までの昇温に時間が必要
- 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・小型軽量化が必須。

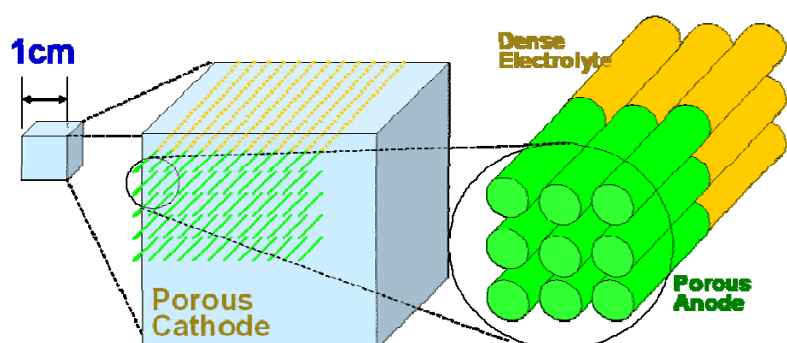
「セラミックリアクター」の概念を提案

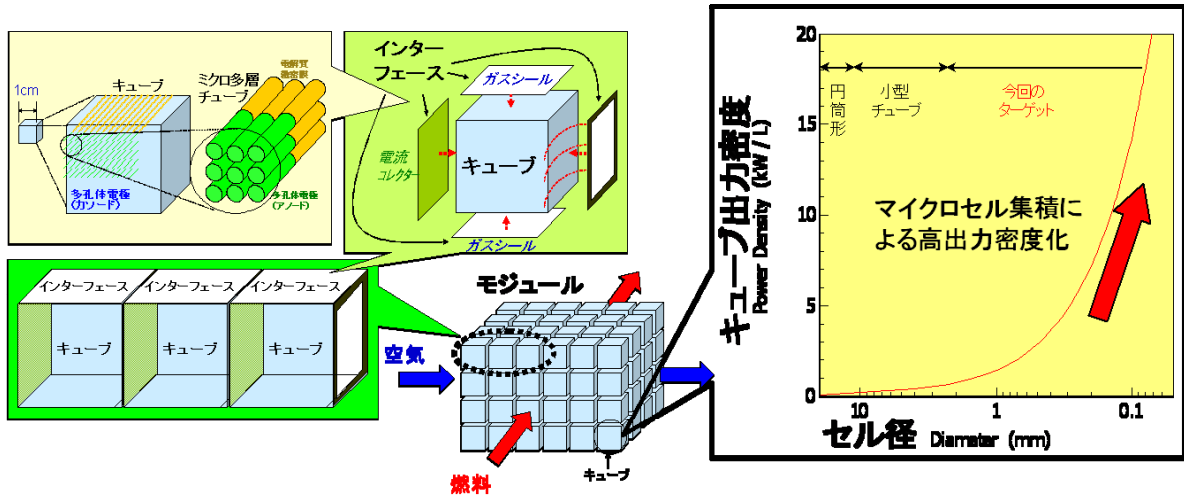
- 物質やエネルギーを高効率に変換する次世代型電気化学リアクターに焦点をあて、
 - 低温作動可能な材料・部材
 - マイクロチューブ型セルのマイクロキューブ中への集積配列等による
 - ①低温作動領域
 - ②温度管理(急速昇温、加熱冷却サイクルへの耐久性付与)
 - ③高出力密度
 を可能とする、これまでにない革新的なリアクターの開発を実施し、低温作動や頻繁な急速作動停止性能を実現する。これによって、我が国産業の競争力の強化を図ることを目的とする。

低温作動の材料・部材



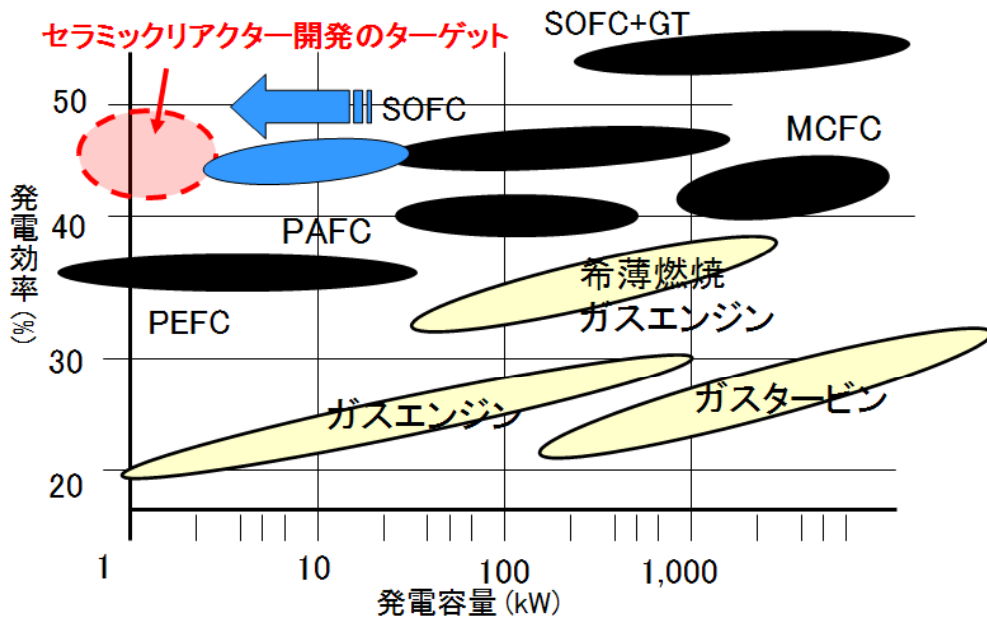
マイクロチューブ集積配列



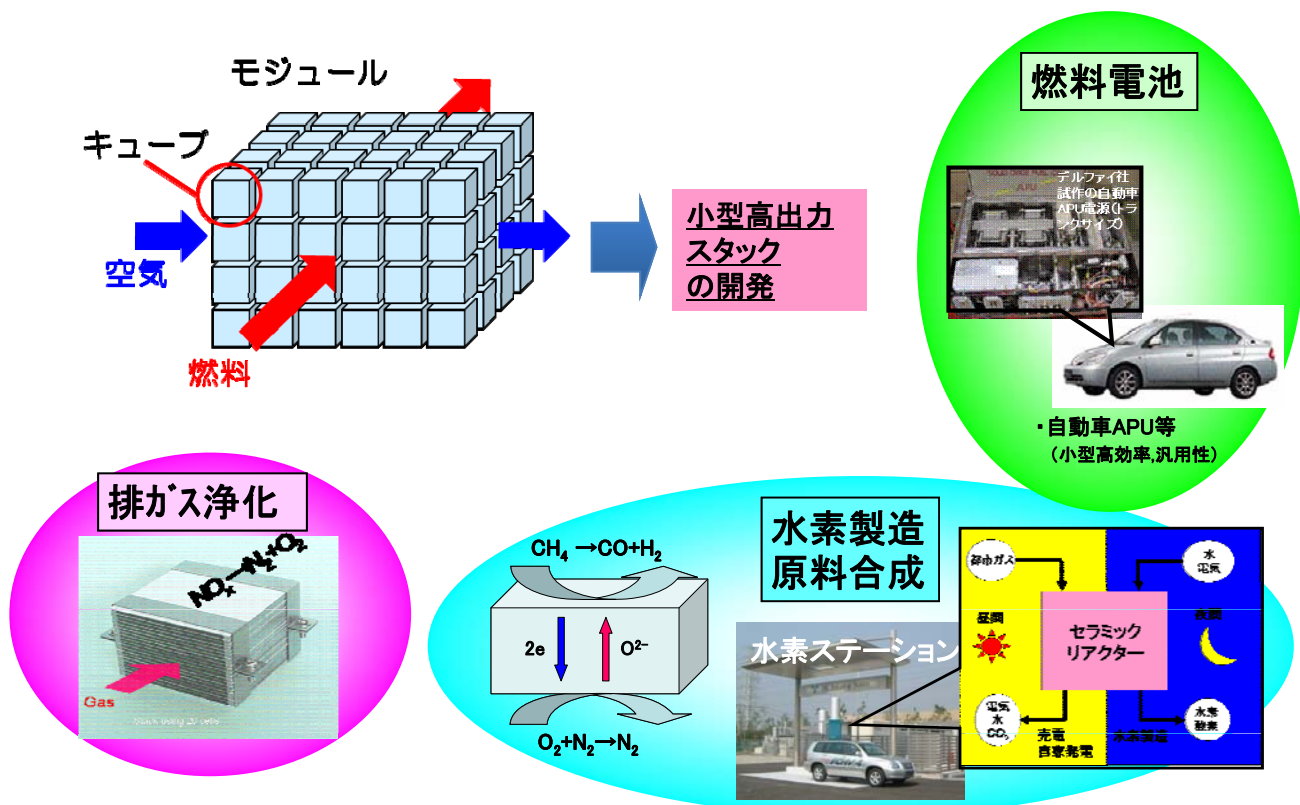


- 有効反応体積が飛躍的に増大
→小型高効率化：出力2kW/L
- 低温作動（500～650℃）を可能とする電極電解質材料の部材化
- 構成ユニットが細分化されている
→耐熱衝撃性向上、分・秒単位の急速起動が可能
- 必要に応じて自在な組み合わせが可能
→運転制御が容易

プロトタイプ実証までが
本プロジェクトのスコープ



- 燃料電池は他の発電技術に比べ効率が高い
- 中でもSOFCは高効率だが、数kW領域のニーズを満たすものはない。
→小型高出力SOFCの開発に位置づけられる



ナノテク・部材イノベーションプログラム IV. エネルギー・資源・環境領域 (i) エネルギー制約の克服

○目的

情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に我が国の強みであるナノテク関連産業・部材産業の競争力を強化する。

○達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した非連続な技術革新を実現する。
- ・我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに部材産業の付加価値の増大を図る。
- ・ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。

エネルギーイノベーションプログラム
 III. 新エネルギー等の開発・導入促進
 V. 燃料電池

○背景

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、**革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及**によって、各国に先んじて**次世代型のエネルギー利用社会**の構築に取り組んでいくことが不可欠である。

○目的

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、**更なる新エネルギーの普及を推進**する。

○達成目標

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や**燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進**することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、**エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献**する。

	(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	基盤研究、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て、その基盤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

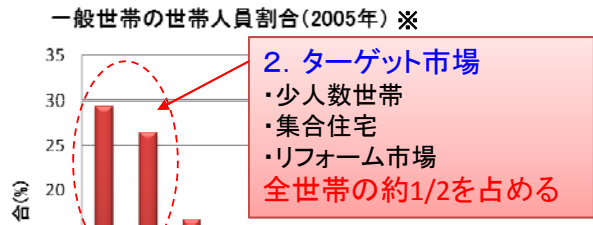
- エネルギー消費削減及びCO₂排出量低減は国家的課題である
- これまでにない革新的技術であり、研究開発の難易度が極めて高く、長期間、大規模投資が必要で、開発リスクが高い
 - 民間企業独自での取り組みには限界がある
- 応用分野として想定されるガス事業、電力事業や自動車分野
 - 極めて公共性が高い産業分野
- 基礎～応用技術まで、広範にわたる種々の要素技術を効率的に開発する必要がある
 - 産学を含めた垂直連携の下で実施

■ 国として強力なイニシアティブを発揮して実施するとともに、
 ■ NEDOがもつ「産学官連携コーディネイト」の知識、実績等を活かし、柔軟かつ効果的な進捗管理の下で、総合的に推進することが不可欠

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」の材料基盤に関する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。
 →終了事業の技術を発展展開する取り組みとして推進

- ### 1. 家庭用燃料電池の導入ポテンシャル
- ①住宅市場 ストック57百万戸(戸建60%、集合40%)
新築着工件数 戸建57万戸、集合61万戸/年
 - ②給湯器市場 450万台/年(最大導入ポテンシャル)
新築戸建50万台、新築集合50万台
既築戸建200万台、既築集合150万台
 - ③少子高齢化により世帯人数は減少傾向

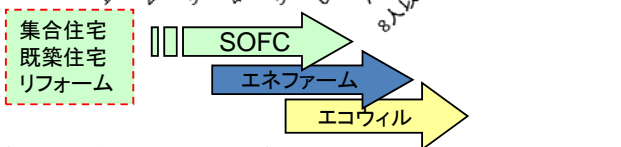
- ### 家庭用コージェネの動向
- ①日本ガス協会: 稼働実績(2009年度末)
ストック 9万件 (2009年度は15,635件増加+20.9%)
 - ②富士経済: 将来市場予測
2025年度 住宅分野で 5070億円/年の市場
2009→2025で35倍を見込む
 - ③プロジェクト内の総合調査研究(導入シナリオ)
2018年 50万円×5万台/年=250億円市場
2022年 40万円×50万台=2000億円/年の市場



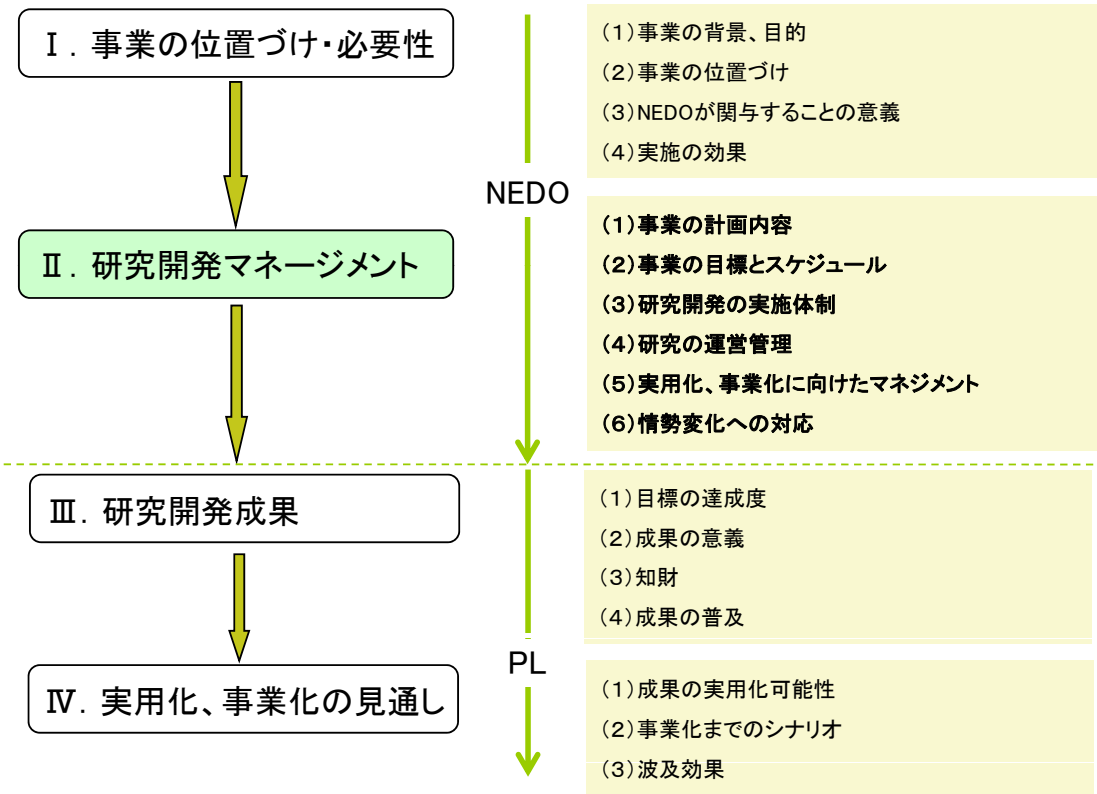
2. ターゲット市場
 ・少人数世帯
 ・集合住宅
 ・リフォーム市場
 全世帯の約1/2を占める

・ **市場規模：2000～5000億円/年**
 ・ **CO₂削減効果：60～120万t/年**
 (CO₂削減効果: 1ton/台・年と仮定)

3. 導入阻害要因
 ・スペース制約で入らないケース
 1/2～1/4



4. 普及期導入ポテンシャルは1.×2.×3.より
 450万×1/2×(1/2～1/4)
 =60～120万台/年 (2400～4800億円/年)

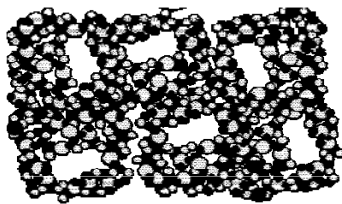


■低温作動可能な材料・部材

■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

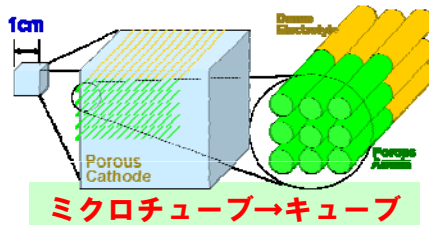
→最重要素技術から研究開発項目を設定：基本材料、プロセス、評価・解析

①高性能材料部材化技術

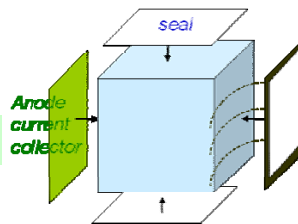


基盤材料、原料、部材化

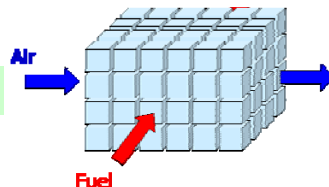
②マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術



インターフェースの付与

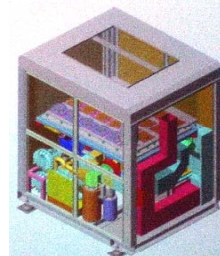


キューブ集積でモジュール化



③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証

定置用小型DG



自動車APU応用や定置小型DG、水素製造ST、高性能フィルタ等を想定



自動車 APU



研究開発目標

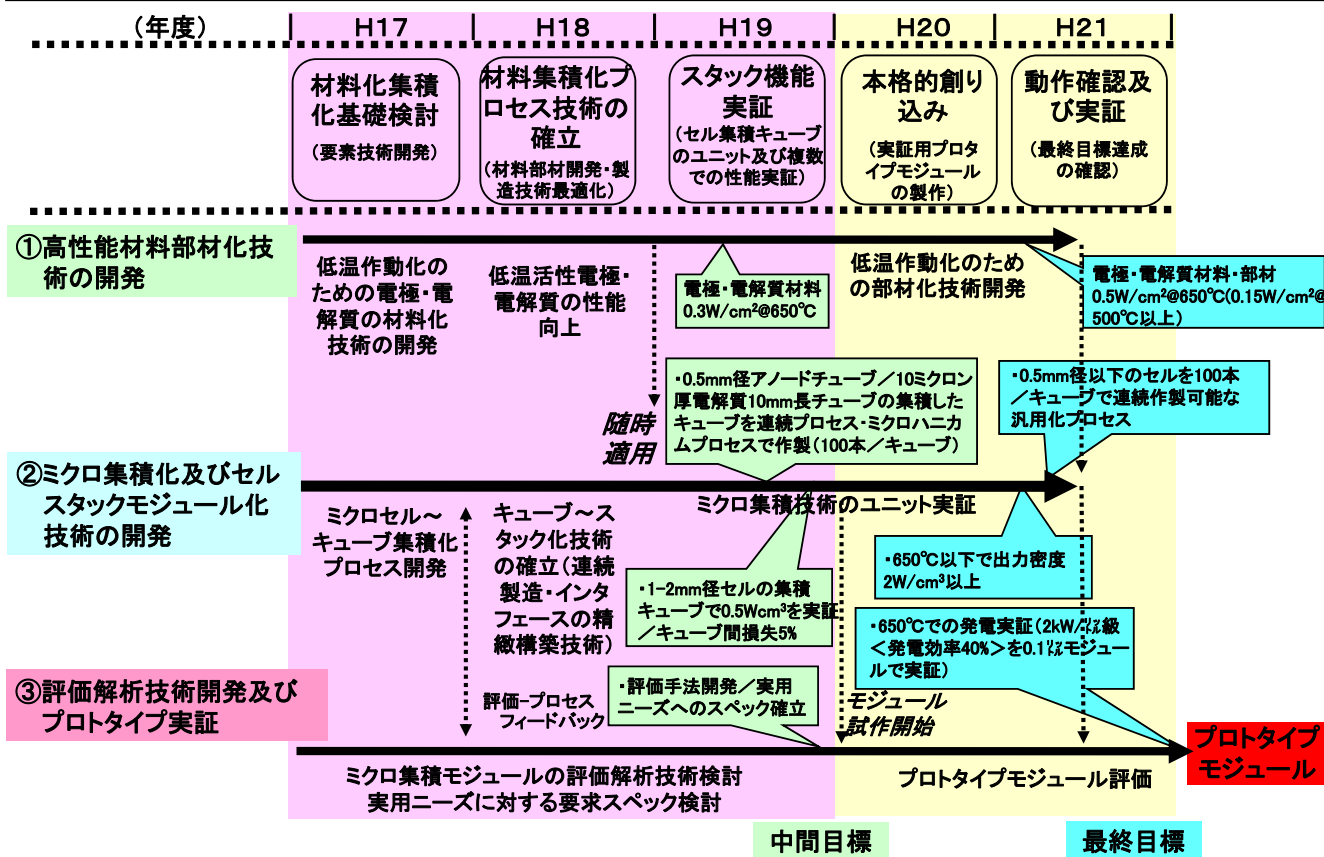
公開

- セラミックリアクターはこれまでにない革新的な技術であり、
 - プロジェクト開始時の世界最高性能を大きく凌駕する
 - 実用化に向けた基本性能確立
- の観点でチャレンジングな目標値を設定

研究開発項目	目標値	設定の根拠
①高性能材料部材化技術	<ul style="list-style-type: none"> ■単セル出力密度: ・$0.5W/cm^2@650^{\circ}C$ ・$0.15W/cm^2@500^{\circ}C$ 	<ul style="list-style-type: none"> ■プロジェクト開始時における最高出力性能に対し、2倍程度
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	<ul style="list-style-type: none"> ■マイクロ集積化: 100本以上/キューブを連続製造 ■出力密度:$>2W/cm^3$($650^{\circ}C$以下) 	<ul style="list-style-type: none"> ■プロセスの実用性 ■プロジェクト開始時における最高出力性能に対し、2倍程度
③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証	<ul style="list-style-type: none"> ■耐久性:繰り返し加熱冷却運転で実証 ■出力密度:$2kW/L$、効率$>40\%$($@0.1L$) ■連続運転性能:性能低下が実用検討の許容範囲内 	<ul style="list-style-type: none"> ■従来不可能であった加熱冷却の実証 ■実用で要求される出力密度の2倍程度、効率の低下無し ■実用検討に移行可能なレベル

事業の目標とスケジュール

公開



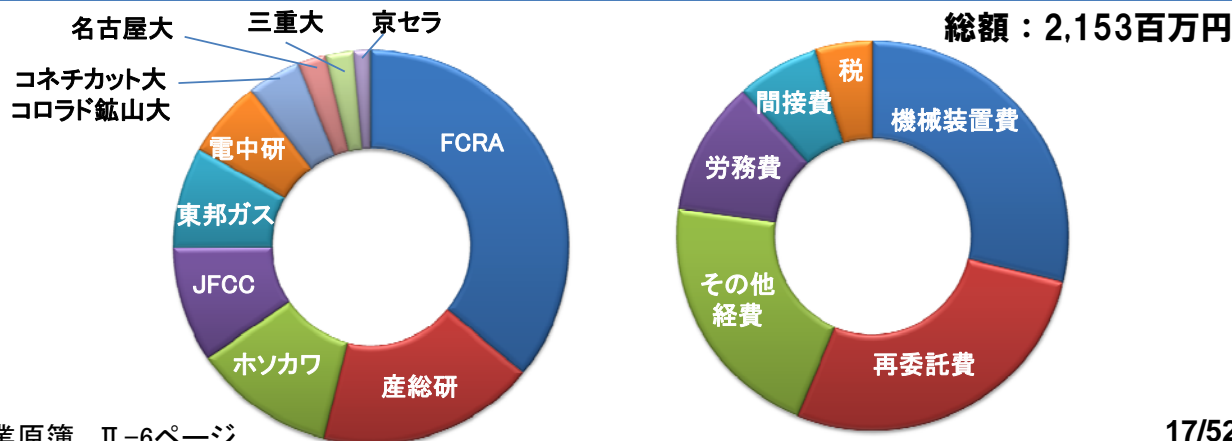
研究開発予算

公開

柔軟かつ効果的な進捗管理（各種委員会活用）により機動性を持たせた予算配分

単位：百万円

研究開発項目	H17	H18	H19	H20	H21
①高性能材料部材化技術	52	112	66	58	36
②マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術	98	418	358	292	244
③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証	61	131	97	74	49
合計	212	662	523	426	330
() 内は加速財源	(32)	(103)	(96)	(18)	(0)



17/52

研究開発の運営管理

公開

プロジェクトリーダー（PL）

産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門 淡野正信副研究部門長をPLに任命



- 研究組織構成の決定
- 所属研究者の選任
- 予算の配分
- 年度毎の概算要求案の策定
- 研究計画の見直し、変更
- 研究経過の報告
- 知的財産権取扱管理
- 論文、学会発表管理
- 各種関係会議への対応、総括
- 事業計画の策定及び実施

委員会設置

垂直連携による研究開発を円滑に実施するために3つの委員会を設置

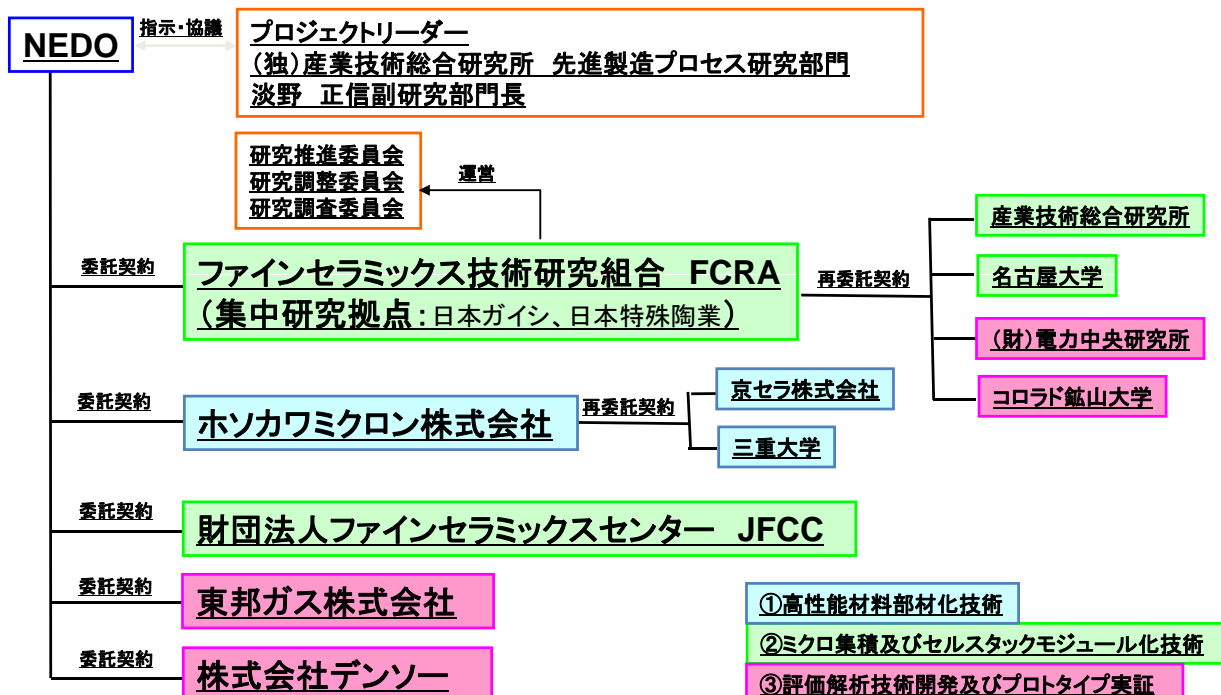
- ・ 研究調整委員会：実施者によるPJ推進上の問題点、およびその対策をPL他と協議
- ・ 研究推進委員会：外部委員を入れて研究成果の発表とその後の推進内容を議論
- ・ 研究調査委員会：実施者および外部委員を入れて新規ニーズなどの研究調査を実施

委員会開催実績

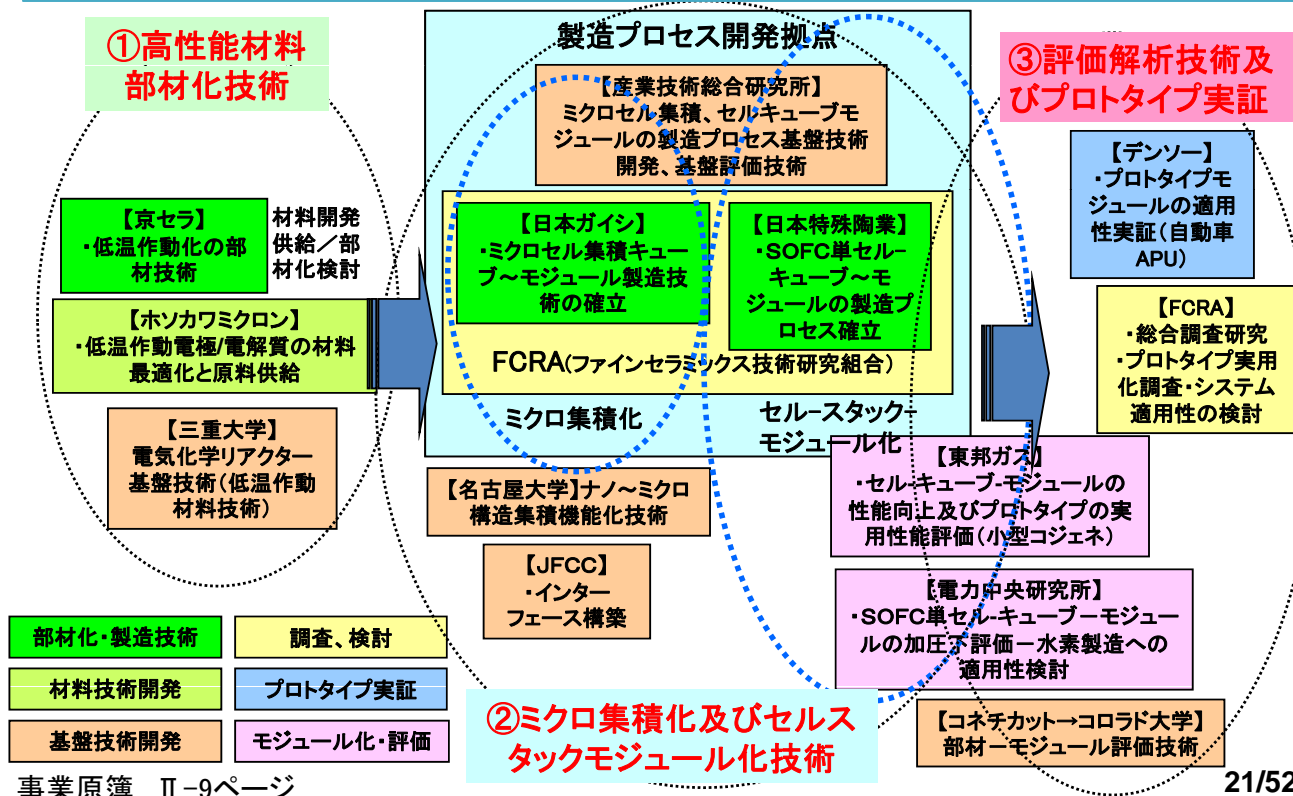
年度	委員会名	実施月、回数
平成17年度	研究推進委員会	8月、3月：2回
	研究調整委員会	12月、3月：2回
平成18年度	研究調整委員会	5月、11月、1月：3回
	研究調査委員会	9月、3月：2回
	研究推進委員会	3月：1回
平成19年度	研究調整委員会	4月、5月、10月、1月：4回
	研究調査委員会	11月、3月：2回
	研究推進委員会	3月：1回
平成20年度	研究調整委員会	4月、9月、1月：3回
	システム検討ワーキンググループ	5月～1月：6回
	研究推進委員会	3月：1回
	研究調査委員会	3月：1回
平成21年度	研究調整委員会	4月、10月、1月：3回
	システム検討ワーキンググループ	4月～2月：9回
	研究推進委員会	3月：1回
	研究調査委員会	3月：1回

・研究推進委員会では、外部専門委員が個別テーマ毎に技術を俯瞰し、プロジェクト推進の方向性について示唆、研究調整委員会にて実施計画に反映。

- 海外連携も含め高い技術力を有するメンバーを厳選
- 民間各社の高度なノウハウも最大活用



- **共通基盤となる基本製造プロセスの開発拠点として集中研を設置**
- **実用化・事業化時のサプライチェーン（材料～部材～アプリ）を考慮した垂直連携**



実用化、事業化に向けた戦略方針

- **出口アプリケーションを明確に想定し、実証まで俯瞰した総合技術開発**
 - **川上川下企業間（材料メーカー～セットアップメーカー等）実用化課題を共有**
 - **独自の総合調査により潜在的応用分野を機動的かつタイムリーに探索**
 - **システム化に関して専門ワーキンググループを設置、机上での仕様検討**
- **開発技術はプロジェクトメンバー内で優先的に展開し効率的に実用化探索。**
- **事業終了後の実用化に向け、実施者と連携して戦略、シナリオを検討。**
 - **日本特殊陶業-東邦ガス：事業終了後コージェネ開発に関しNEDO継続研究**
- **対外発表、展示会等で技術先進性を積極PR推進し、技術波及展開に取り組む**
 - **独自シンポジウム「セラミックリアクター開発シンポジウム」を年1回開催**

知的財産戦略

- ・ **独自技術であるマイクロチューブ、集積化構造、さらに作り込み技術等、競争力の基盤となる技術を中心に権利出願を推進。**

セラミックリアクター開発シンポジウム開催実績

名称	開催日時	場所	参加者数	招待講演者
第1回	平成18年2月24日	メルパルク東京	65名	名古屋工業大学副学長 高橋 実 教授 カールスルーエ工科大学（独）Ellen Tiffée教授
第2回	平成19年3月14日	浜松町 東京會館	97名	東京工業大学 山崎 陽太郎 教授 McMaster大学（カナダ）Anthony Petric教授
第3回	平成20年3月4日	浜松町 東京會館	81名	京都大学 江口 浩一 教授 PNNL (USA) Dr.Prabhakar Singh
第4回	平成21年3月11日	浜松町 東京會館	67名	山梨大学 内田 裕之 教授 Northwestern大学 (USA) Scott Barnett教授
第5回	平成22年3月8日	浜松町 東京會館	68名	九州大学 佐々木 一成 教授 Sandia National Laboratories (USA) Dr.Whitney Colella

加速財源による技術開発の促進

年度	主な内容	研究開発項目
H17	・電極部材の低温活性化検討の促進	①
H18	・低温高活性電極・電解質材料の量産、モジュール化技術開発への早期供給体制確立	①
	・ハニカム構造化による3次元集積製造プロセス確立	②
	・キューブ間集電、ガスシールのインターフェース安定性検討	②
H19	・実発電条件での部材長時間安定性評価技術開発の促進	①
	・モデルモジュール接合構造安定性評価技術開発の促進	②
	・キューブ間集電・ガスシールインターフェース高精度加工技術開発の促進	②

その他

実施事項	変化点	対応内容
連携施策群（水素利用／燃料電池）	応用分野の明確化と仕様の検討について指摘	自動車応用の検討及びプロトタイプ実証を前倒して実施した。
応用展開の追加調査	ポータブル電源の民間ニーズが急増	総合調査研究で米国の調査を実施、ポータブル電源への応用を念頭に評価内容の修正・追加

項目	指摘点	対処
実施体制	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。	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）
技術開発 ・評価技術	特性評価解析の条件を統一化すること	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。
技術開発 ・モジュール化 ・スタック化	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	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。
実用化	<ul style="list-style-type: none"> 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。 システムとしての解析が不十分である。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
実用化 ・競合技術比較	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。	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。

ナノテク・部材イノベーションプログラム／エネルギーイノベーションプログラム

「セラミックリアクター開発」

(2005年度～2009年度 5年間)
事後評価 分科会説明資料

プロジェクトの概要説明

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて

平成22年10月4日

(独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
プロジェクトリーダー 淡野 正信

Ⅲ. 研究開発成果について (1)目標の達成度

プロジェクト(事業)の目標(目的)、及びプロジェクトとしての達成状況

●プロジェクトの意義と目標達成状況

1. 材料及び部材製造プロセス技術開発として

- ①低温作動(650～500℃)を可能とする電極電解質材料の部材化
- ②有効反応体積を飛躍的に増大させる高機能部材の高度集積プロセス
→革新的な“セラミックリアクター“のプロトタイプモジュールを創製

・小型高効率化(出力2kW/1ℓ)
 ・構成ユニット細分で耐熱衝撃性向上→分-秒単位の急速起動が可能
 ・運転制御が容易、低コスト化

2. 性能面におけるモジュール実証

- (1)優れた低温作動特性
- (2)コンパクトで高い出力密度
- (3)高い発電効率

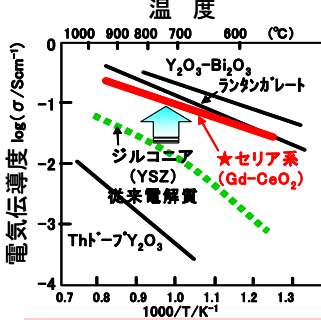
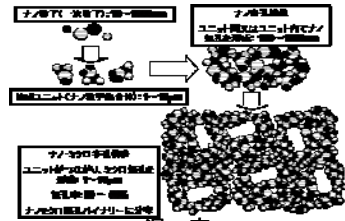
→ 後述のベンチマークを参照

燃料電池 特にSOFCの高効率性に期待
 →小型高出力化による新規ニーズ対応
 →急速起動停止性能等の付与が必要

↓
マイクロSOFC部材集積化の実現
 …高度セラミック製造プロセス技術の適用

セラミックリアクターの開発内容(研究開発の流れと技術連携)

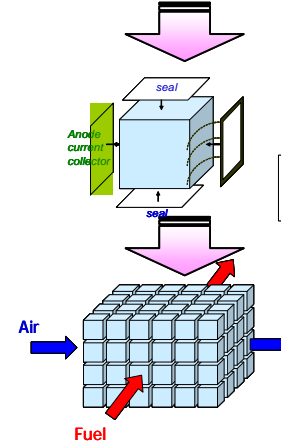
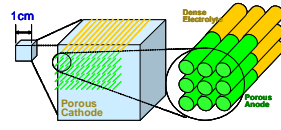
①高性能材料部材化技術



低温高活性電極・電解質材料開発と部材化

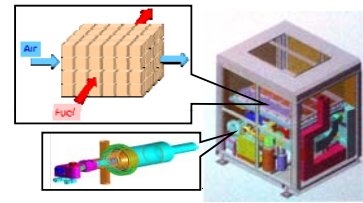
(革新材料探索<三重大>-材料部材化<ホソカワ>-適用性<京セラ>)

②マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術



革新的な高性能部材の高度集積化実現へのプロセス技術開発 [高性能モジュール実現(セル集積)/高集積製造技術開発(ハニカム)] (プロセス基盤技術<名大>-高性能高集積化(セル集積/ハニカム)<産総研・FCRA>-インターフェース開発<JFCC>)

③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証



プロトタイプモジュールの適用性実証・評価技術開発とシステム適用性検証及び調査

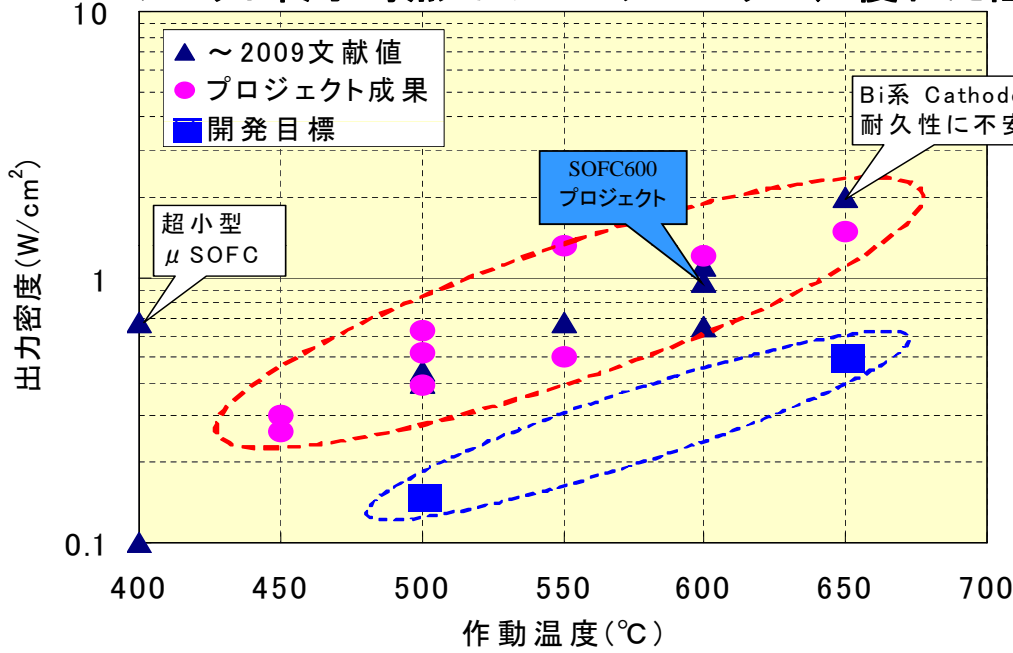
(評価モジュール(FCRA・産総研)-評価技術(コネテカット-コロラド鉱山大)-適用性実証[小型コジェネ<東邦ガス>・自動車APU<デンソー>・水素製造<電中研>])

個別研究開発項目の目標と達成状況

研究開発課題名	技術課題	目標	成果	達成度	今後の課題
① 高性能材料部材化技術	低温高活性電極・電解質材料開発と部材化	電極及び電解質の開発と部材化により、単セルの出力密度として [0.5 W/cm ² @650°C:0.15 W/cm ² @500°C] を実用性評価が可能な条件・サイズにて実現	[0.75 W/cm ² @650°C:0.22 W/cm ² @500°C]を電解質厚 10 μmScSZ及びGDCを用い、有効電極面積2.8cm ² 燃料利用率75%以上で達成	◎	開発材料・部材の実用性確立と適用普及
② ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術	革新的な高性能部材の高度集積化実現へのプロセス技術開発	径0.5mm以下のセルを100本以上/キューブとして連続製造するプロセス技術を開発・発電出力密度 2W/cm ³ 以上@650°C以下を達成	マイクロハニカムプロセスで燃料電池セルが250以上/cm ³ の高集積度を実現・チューブセル集積で2.8W/cm ³ @600°Cを達成	◎	モジュール信頼性確保、低コスト化可能なプロセス
③ 評価解析技術開発及びプロトタイプ実証	プロトタイプモジュールの適用性実証・評価技術開発とシステム適用性検証及び調査	プロトタイプモジュール性能実証 [2mm径以下単セル使用モジュールで出力密度2kW/ℓ及び発電効率40%以上@0.1ℓ容積]と実機想定シミュレーション-繰返し加熱冷却-連続運転への耐久性実証で許容範囲内	発電出力密度:最大 250W/0.12L 発電効率:最高200W級 40%,50W級 47% 熱サイクル耐性:実機想定条件の熱サイクル堅牢性(620⇄70°C; 76回) 連続運転耐久性:単セル・モジュール初期耐久性確認(単セル1000hr/モジュール80hr程度)	○	実用条件下の長期的耐久性・信頼性の検証と確立

達成度 ◎:目標を大幅超過 ○目標をクリア △一部未達成 ×目標を下回る成果

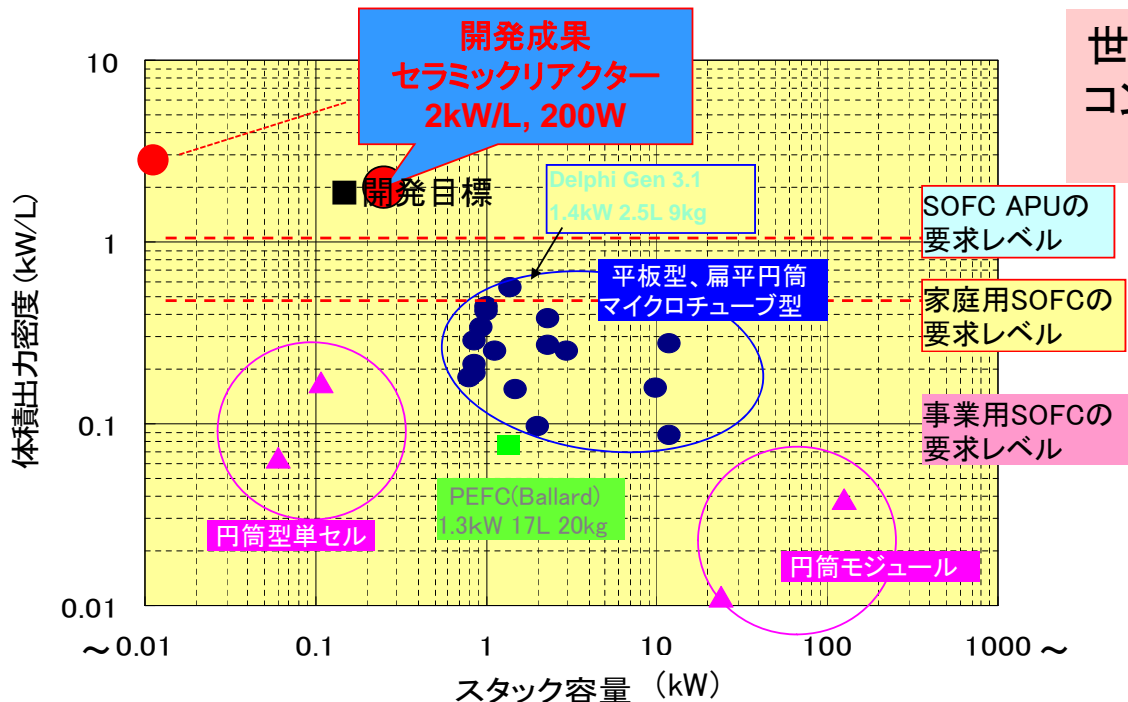
プロジェクト終了時点でのベンチマーク (1.優れた低温作動特性)



世界最高の性能を実証

- ・当初設定した開発目標の2倍を超える性能を達成した
- ・最新の文献値と比較してもトップレベルの性能
- ・同時期に実施のEU低温作動SOFCプロジェクト「SOFC600」を上回る性能
- ・GDC電解質だけでなく、ScSZ電解質でも低温作動化に成功した

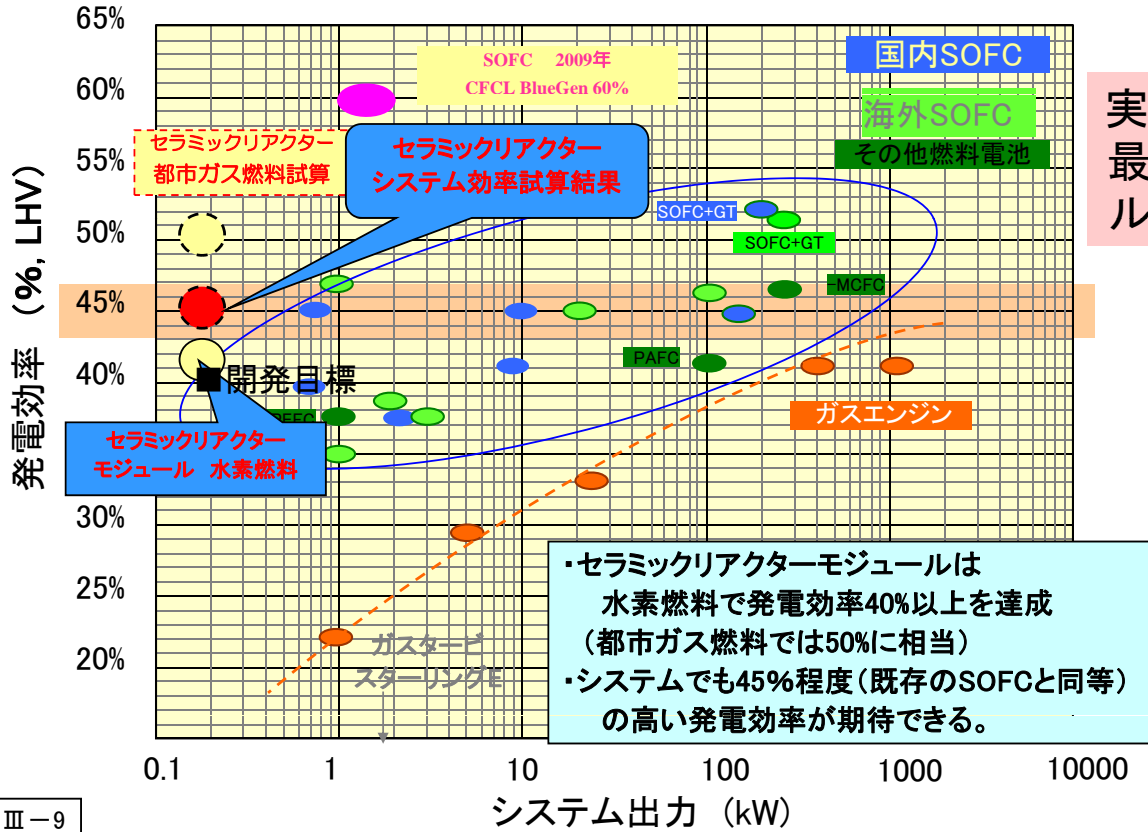
プロジェクト終了時点でのベンチマーク (2. コンパクトで高い出力密度)



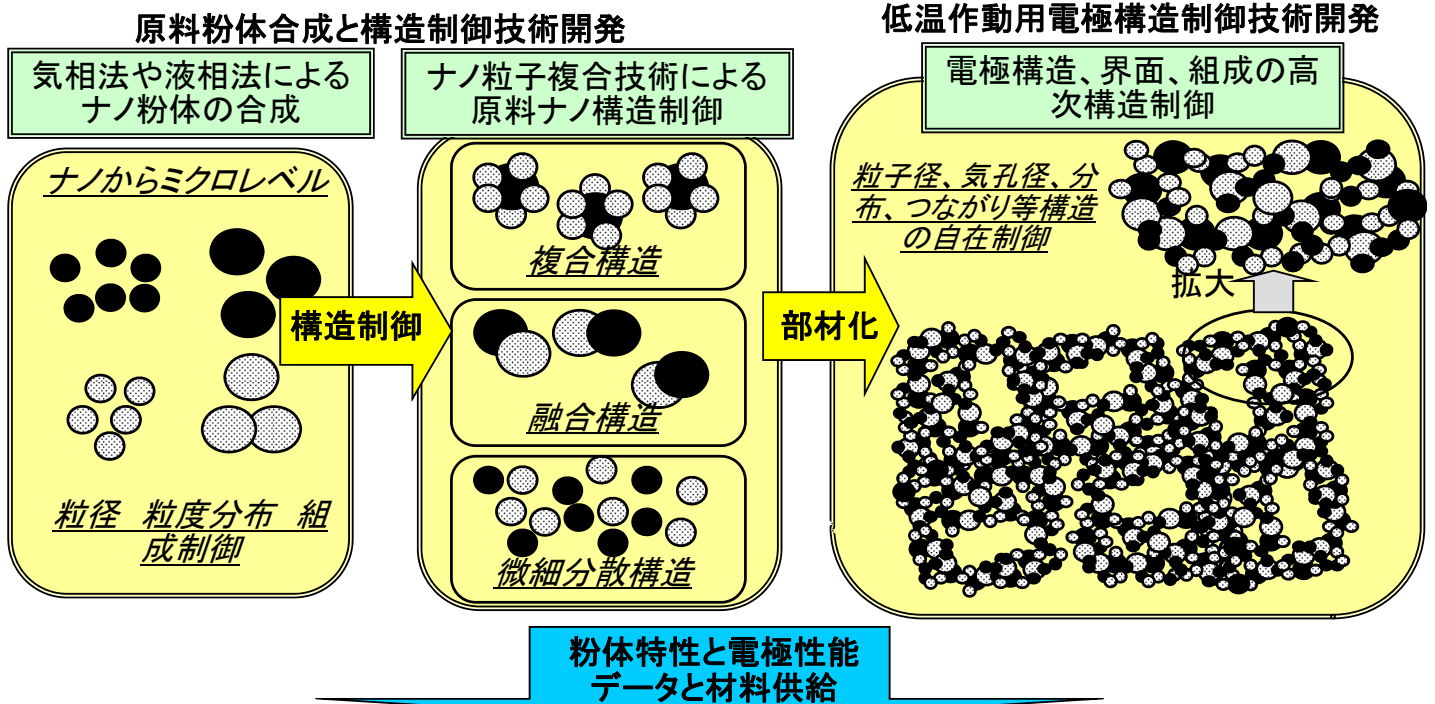
世界最高のコンパクト化を実現

- ・既存のSOFCスタック、モジュールと比較して画期的な高出力密度(コンパクト)を達成
- ・小型=軽量=熱容量が小さいため、急速起動にも適している

プロジェクト終了時点でのベンチマーク(3. 高い発電効率)



①高性能材料部材化技術の成果



②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高性能材料部材化技術 の成果

①-2 低温作動高活性電極部材の開発

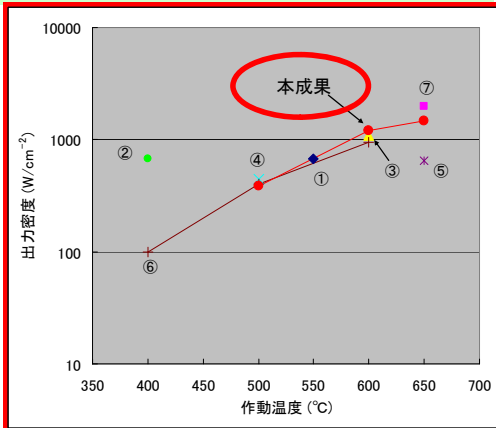
粒子複合化技術による原料粒子の構造制御



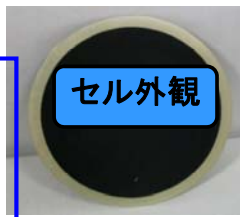
作用の概念

高速回転する特殊ロータと容器の隙間にて複合化処理が生じる。

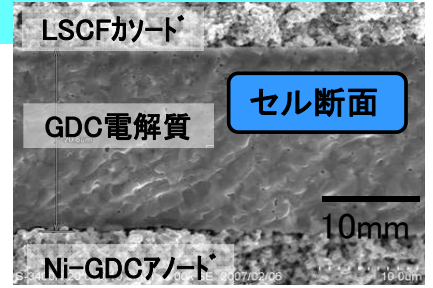
粒子間に圧密・せん断・衝撃作用をバランス良く加えることにより、原料複合粒子を製造



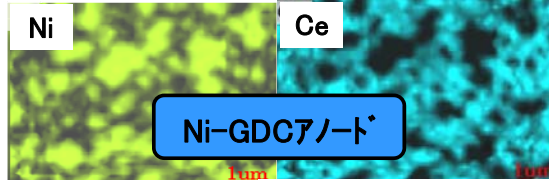
アノード材料 (NiO-GDC複合粉体) の開発事例



セル外観



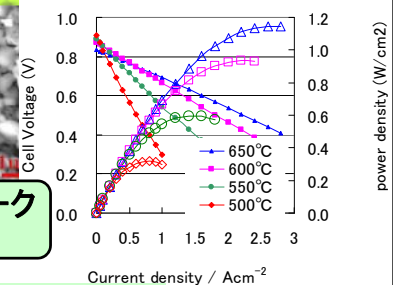
セル断面



Ni-GDCアノード

SEM像

微細化とネットワーク構造を達成

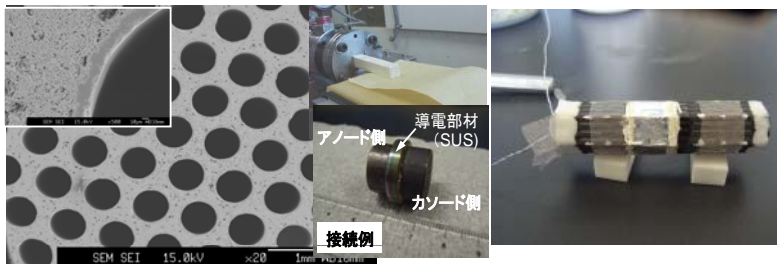


低温域でも高出力を実証

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 の成果

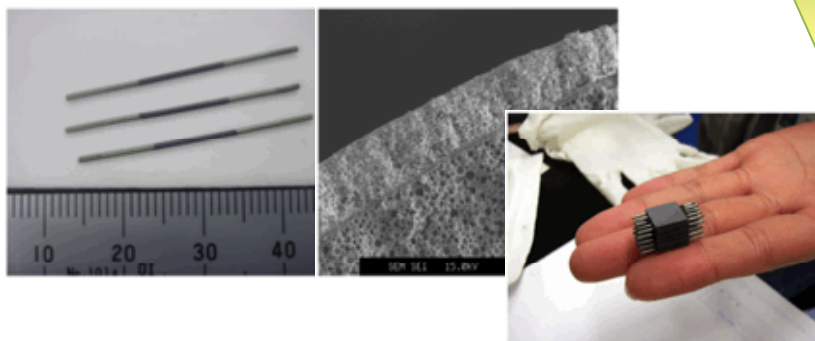
②-2マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化製造プロセス技術開発

(1)マイクロハニカム構造化プロセス



ハニカム押出とサブミリ孔への多層塗布プロセスで、連続的な集積モジュール形成を実現 (構造制御、共焼結、接続・絶縁技術等)

(2)セルスタックモジュール化プロセス



②-1: マイクロ集積化におけるヘテロ構造等の基盤技術開発 <将来技術>

②-3: インターフェース材料・プロセス技術 <集積モジュールの複数連結・ガスシール>

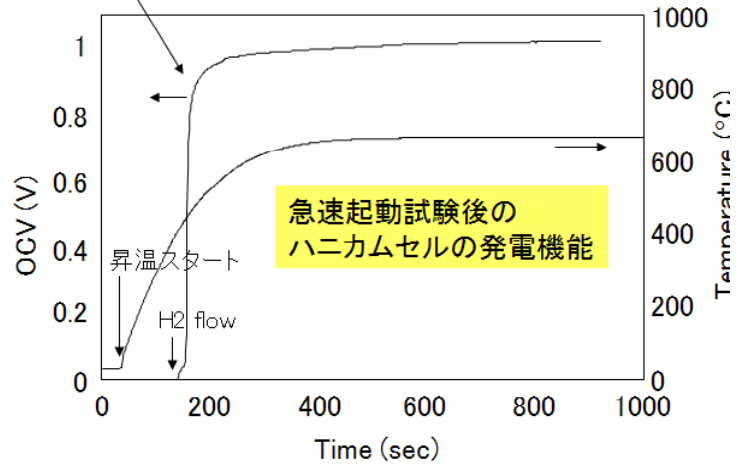
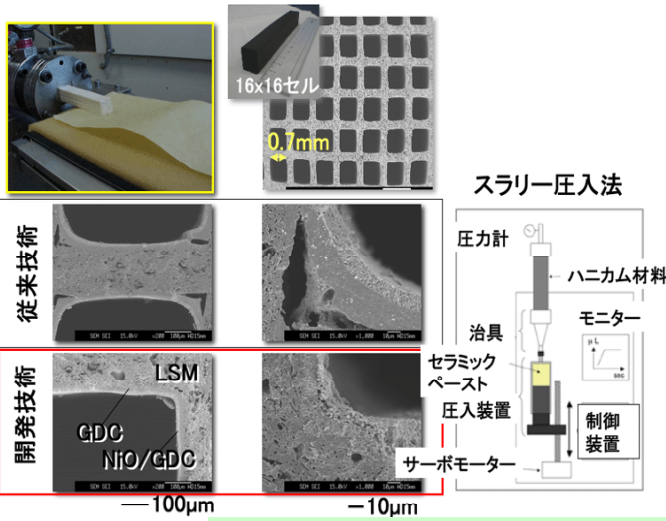
小さく集積化が容易、低温域での高い発電性能を実現 (成形、ナノ〜マイクロ構造制御、薄膜電解質、集積・接合技術等)

② ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発 の成果

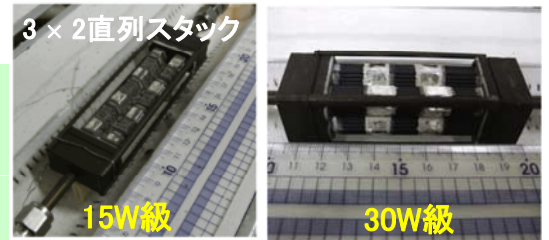
②-2 ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化製造プロセス技術開発

(1) ミクロハニカム構造化プロセス

起動開始 3min



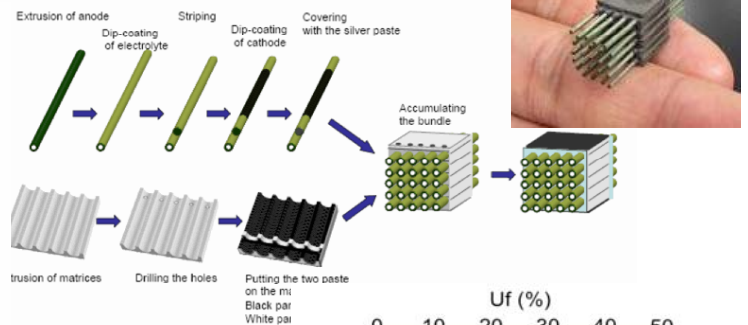
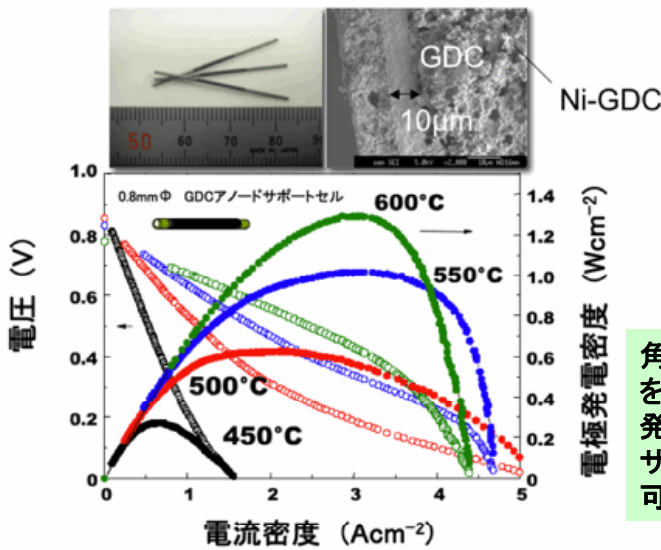
- ・サブミリ径のハニカムモジュール製造に成功(世界初)
- ・容易な製造プロセスで100~256セル/cm³の高集積化
- ・室温から5分以内の起動~定常運転を確認
- ・100回超の急速起動試験後もセル劣化無し
- ・ハニカム直列モジュールで2.8W/cm³@650°Cの発電性能達成、30Wモジュール試作



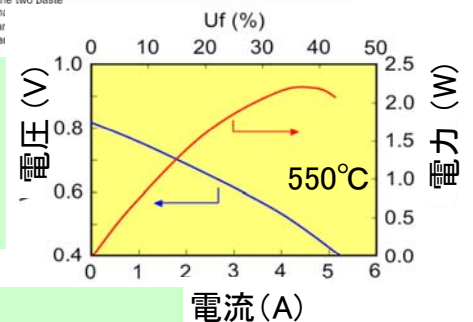
② ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発 の成果

②-2 ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化製造プロセス技術開発

(2) セルスタックモジュール化プロセス



角砂糖サイズにチューブを集積して1個で3Wの発電出力を実現... 掌サイズで数kWの発電が可能に

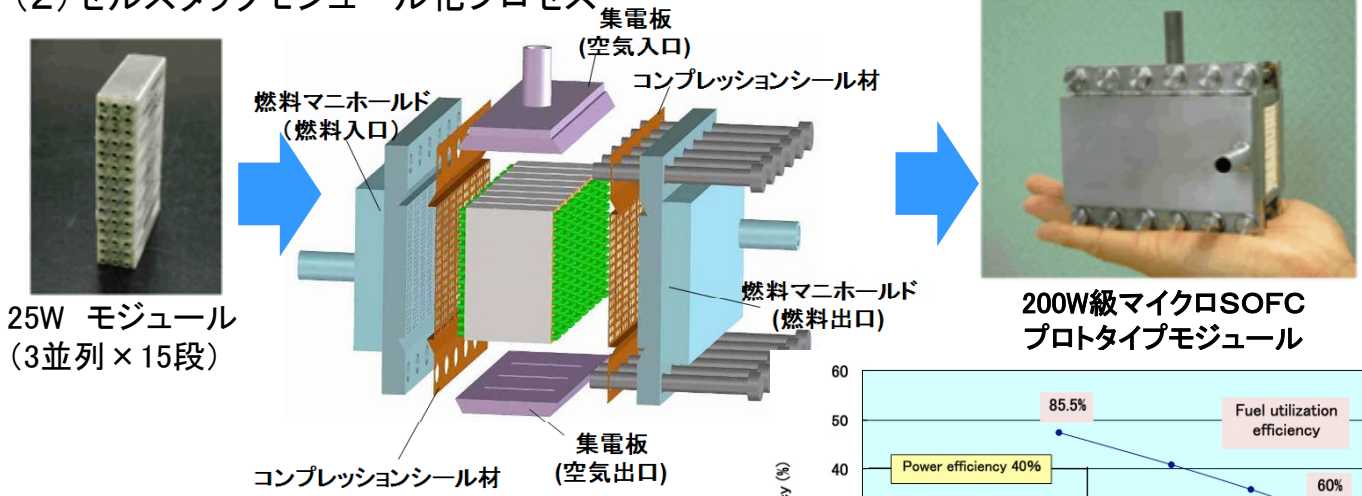


- ・量産製造可能な押し出しプロセスによるサブミリ径のアノード支持型セル
- セリア系で世界最高の発電出力密度@600°C:
- ・ジルコニア系セルの薄膜電解質と燃料極構造制御: 2009年8月14日“Science”誌掲載
- 600°C以下ではアノード電極反応抵抗の減少が重要

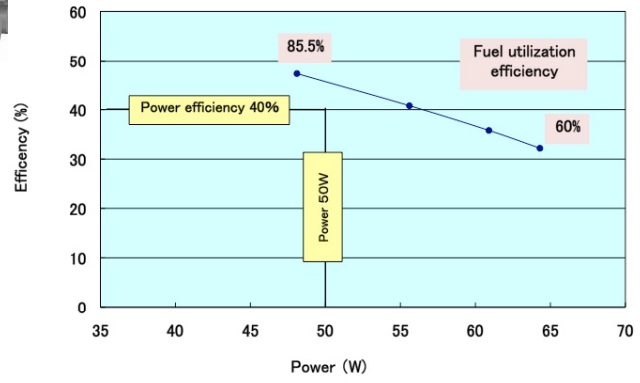
② ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発 の成果

②-₂ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化製造プロセス技術開発

(2)セルスタックモジュール化プロセス



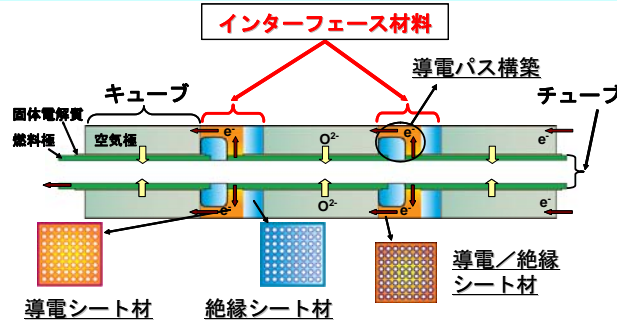
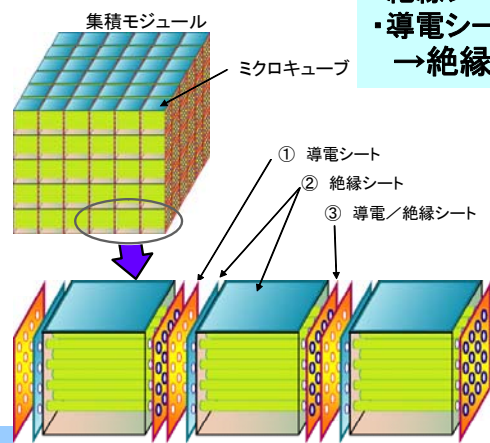
集電・ガス流路形成を同時に可能とする構造を考案100cm³スケールのプロトタイプ実証用の高性能モジュールを実現—目標性能を達成



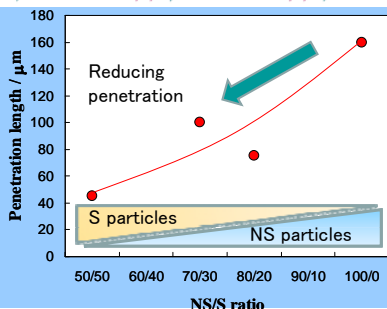
② ミクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発 の成果

②-₃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

- ・絶縁シール部材 --- 高い絶縁性とガス遮断性
 - ・導電シール部材 --- 高い導電性と優れた耐酸化性
- 絶縁シート材/導電シート材を組み合わせたインターフェースの開発

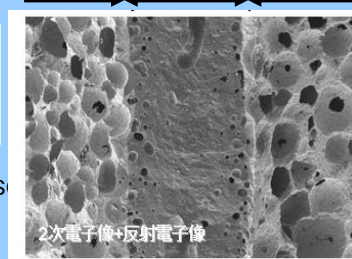


電極 (LSCF) 開発材 電極 (LSCF)



絶縁シール材の複合割合を制御することで浸入量を抑制

絶縁シート材の組成と多孔質LSへの侵入量との関係

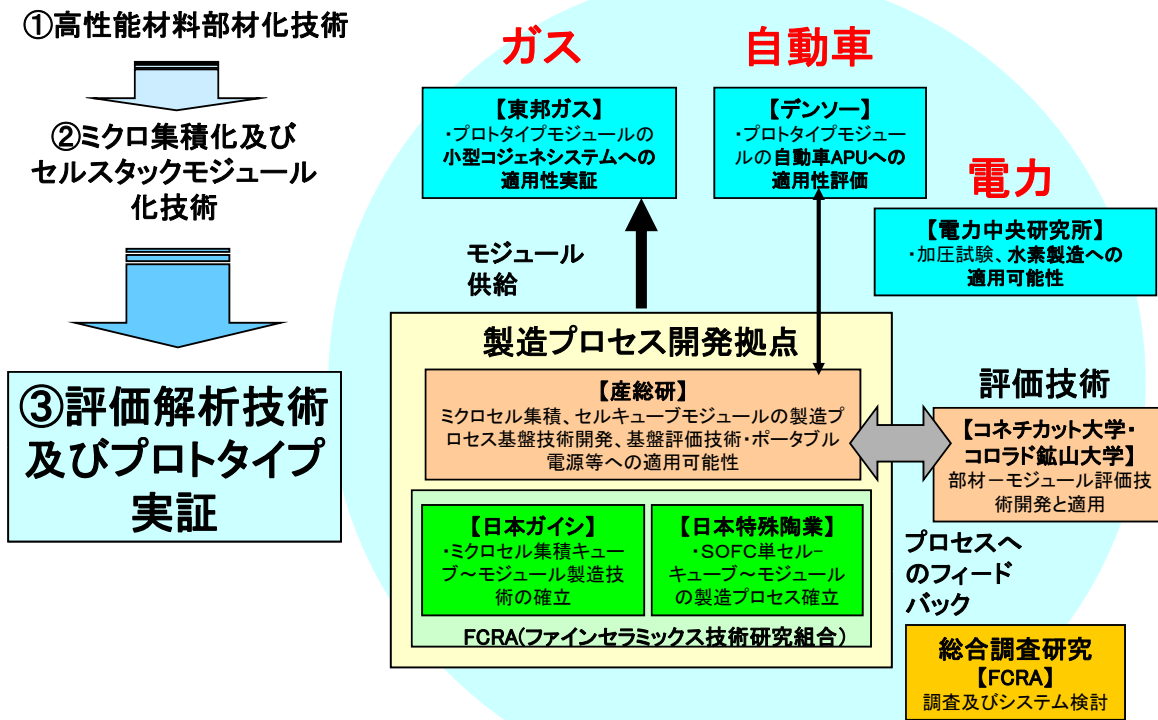


融着後のシール材の気泡を大幅に抑制

高いシール性を実現

空气中800°Cで融着した試料の断面SEM像

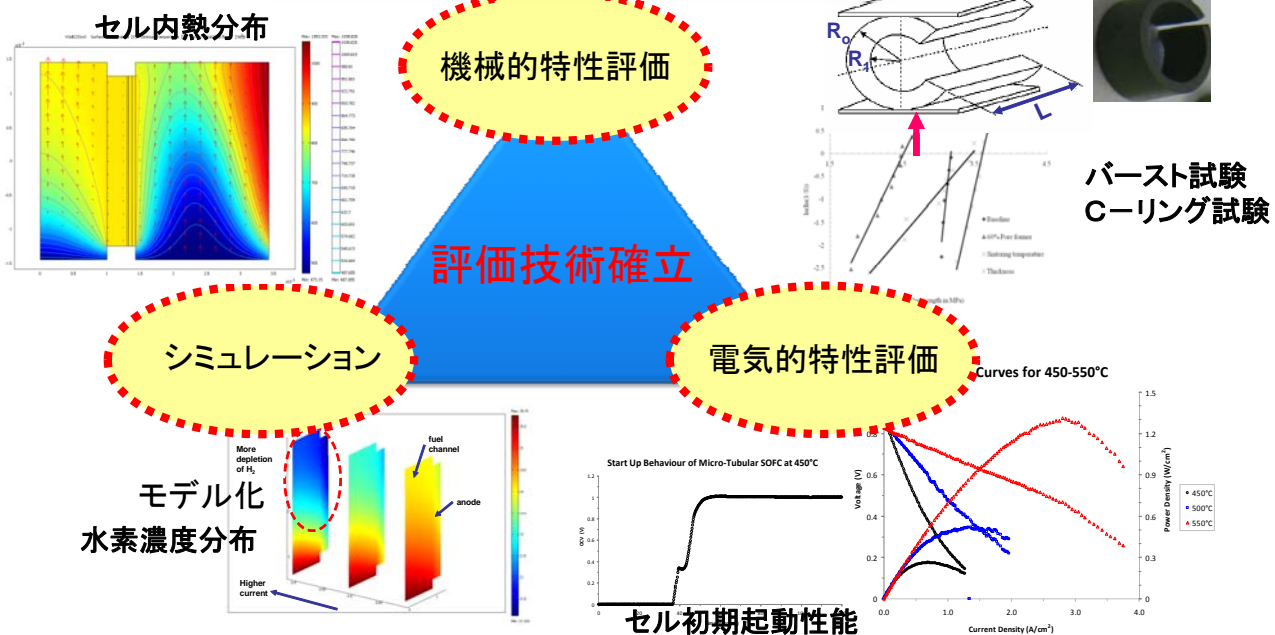
③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果



③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-2 セル・スタックの電氣的・機械的評価

チューブ型マイクロSOFCの新評価技術開発

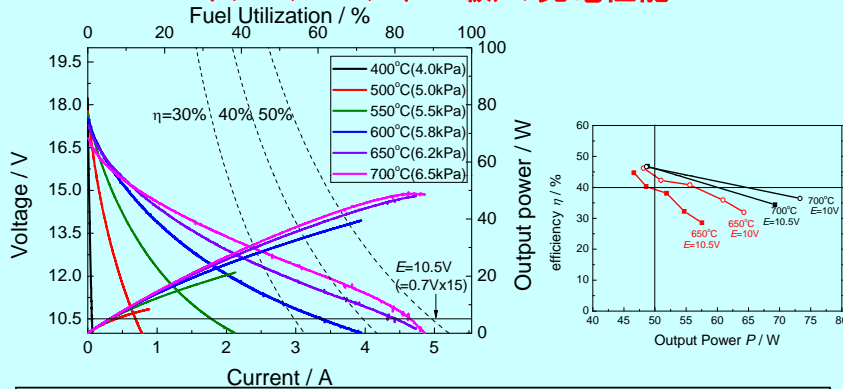


- ・燃料極内部集電効果:最大電力 1.3W/cm²@550°Cを確認
- ・チューブ構造と機械的強度の関係を明確化
- ・モデル化によりセル内の熱分布や燃料濃度分布の可視化や利用率等の予測可能に

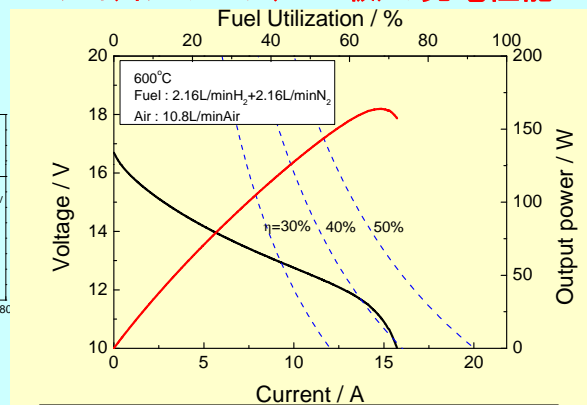
③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-3 モジュールの実用性評価及び定置用分散電源用途への適用性検討

モデルモジュール(50W級)の発電性能



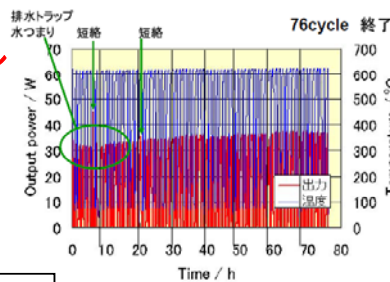
プロトタイプモジュール(200W級)の発電性能



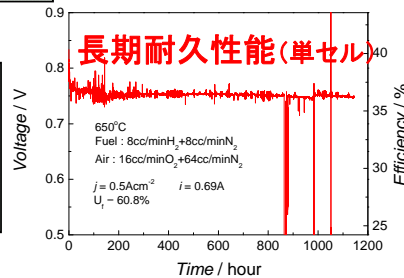
・最終目標:50W (2W/cm³相当) &40%を確認 (炉温650°C以下)
→高効率な家庭用燃料電池が構成できる可能性が示された

・発電出力160W、発電効率40%を確認

熱サイクル試験結果



76回の熱サイクル試験で出力低下が見られず耐久性能は良好

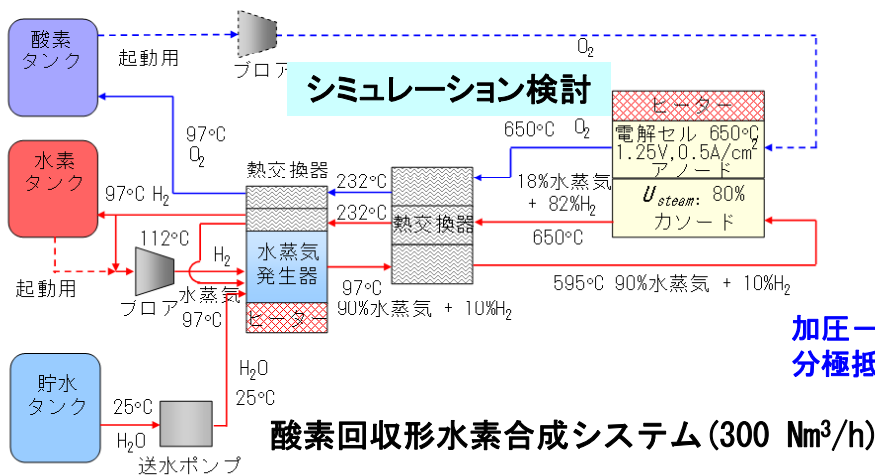


長期耐久性能(単セル)

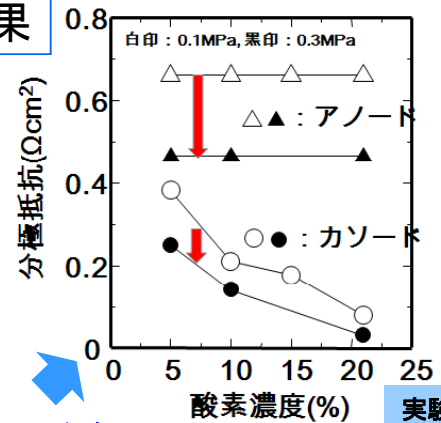
1,000時間以上の耐久性能を確認

③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-4 水素合成及びモジュール適用性評価

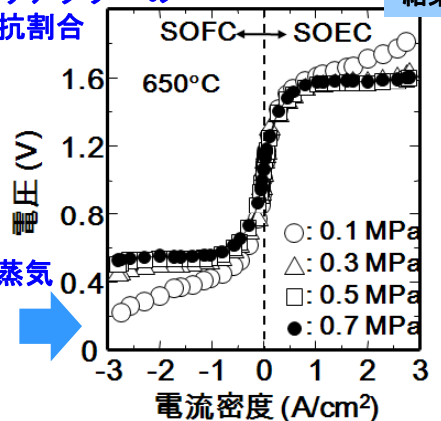


・加圧運転が高い優位性をもつことを、計算により実証 (0.7MPa運転:98%, 0.1 MPa運転+昇圧機:89%)
・電解条件で供給ガス条件,集電方法を適正化し、世界最高性能を得た(650°C、1.32 V、0.57 A/cm²時)



加圧-リアクターの分極抵抗割合

実験結果

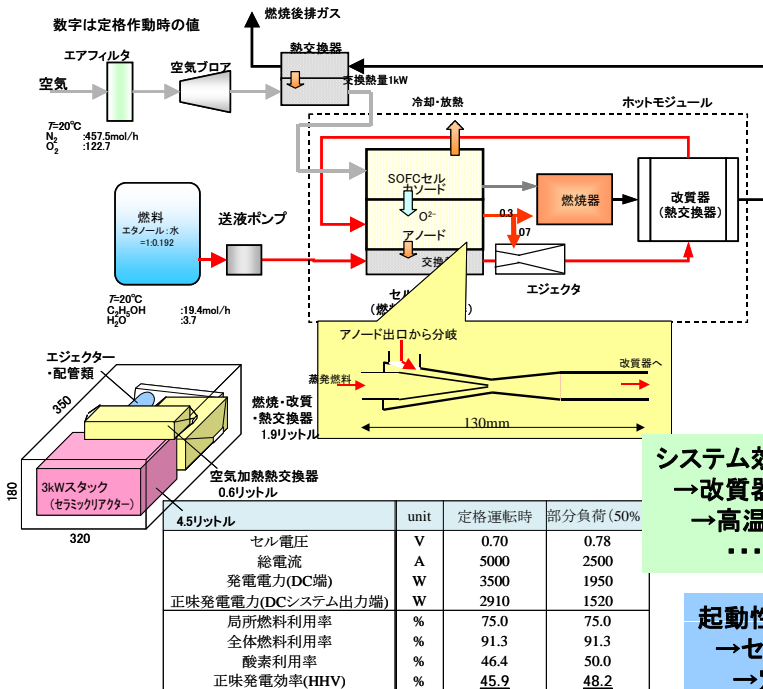


加圧-水蒸気電解特性

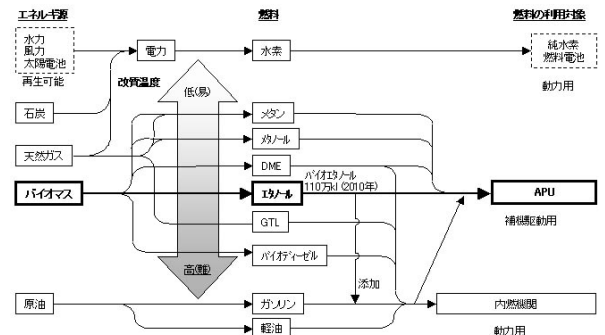
③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-5 自動車応用の検討及びプロトタイプ実証

自動車APU定常運転時のシステム効率解析



自動車用の燃料検討



～バイオエタノールを燃料とした3kWの商用車用APUのシステム検討

システム効率解析

- 改質器・熱交換器等の補機仕様
- 高温部(ホットボックス)の容量を推定
- ・・・20リットル程度:トラック等で十分搭載可能

起動性の検討

- セラミックリアクター・補機類の熱容量
- 定格発電時と同等に加熱、発電開始(550℃)まで15分程度

③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-6 総合調査研究

目的と実施内容

1. セラミックリアクター開発プロジェクトの成果創出に資することを目的として、市場面等から見た調査研究を実施
2. セラミックリアクターの開発成果普及につなげるため、家庭用コージェネおよび自動車用APUへの適用を技術的に検討する「システム検討WG」を運営

総合調査研究 研究調査委員会 委員

- 委員長 : 淡野正信 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門副研究部門長
 副委員長: 水谷安伸 東邦ガス(株) 技術研究所主席
 委員 : 川田達也 東北大学大学院環境科学研究科教授
 委員 : 藤正智 名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター教授
 委員 : 関野徹 東北大学多元物質科学研究所 准教授
 委員 : 藤代芳伸 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門グループ長
 委員 : 村田憲司 ホソカワミクロン(株) 環境・エネルギー材料開発室室長
 委員 : 青木猛 東邦ガス(株) 基盤技術研究所燃焼・材料技術次長
 委員 : 竹井勝仁(財) 電力中央研究所材料科学研究所領域リーダー
 委員 : 情野香(財) ファインセラミックスセンター材料技術研究所副主任研究員
 委員 : 菊地哲郎(株) デンソー技術開発センター企画室主任部長
 委員 : 菊田浩一 名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻 准教授
 委員 : 武田保雄 三重大学大学院工学研究科分子素材工学専攻教授
 委員 : 一木武典 日本ガイシ(株) 材料技術センターFCグループマネージャー
 委員 : 島森融 日本特殊陶業(株) 技術開発本部開発企画部長
 委員 : 二宮伸雄 ファインセラミックス技術研究組合管理部長・技術部長

総合調査研究 システム検討WG 委員

- 部会長 : 恩田和夫 豊橋技術科学大学 名誉教授・客員教授
 副部会長: 水谷安伸 東邦ガス(株) 技術研究所主席
 委員 : 荒木拓人 横浜国立大学大学院工学研究院 准教授
 委員 : 淡野正信 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門副研究部門長
 委員 : 藤代芳伸 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門グループ長
 委員 : 鈴木俊男 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門研究員
 委員 : 岡田文男 東邦ガス(株) 技術研究所課長
 委員 : 森昌史(財) 電力中央研究所材料科学研究所上席研究員
 委員 : 王瑛偉(財) 電力中央研究所材料科学研究所特別契約研究員
 委員 : 菊地哲郎(株) デンソー技術開発センター企画室主任部長
 委員 : 二宮伸雄 ファインセラミックス技術研究組合管理部長・技術部長

本プロジェクトではシステム実機開発は実施しないため、中間評価等を踏まえ、開発モジュールの適用性を机上検討により評価

③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果 ③-6 総合調査研究

1. 市場面等からの調査研究		
	実施内容	成果概要
①市場調査	セラミックリアクターの適応性に関する概略調査	自動車用、分散型電源、ポータブル用途のそれぞれについてセラミックリアクターに対する概略ニーズおよびポテンシャル市場をまとめた。
②市場調査	セラミックリアクターに対するニーズの明確化、市場規模・社会的波及効果の調査	セラミックリアクターに対するニーズを掘り下げ、また、それぞれの市場規模をまとめた。
③開発動向調査	米国のポータブル等燃料電池開発動向調査 欧州におけるSOFCの小型高効率化あるいは低温作動化に関する研究動向調査	米国主要メーカーを含む5機関の開発状況を調査し、その動向をまとめた。 欧州における低温作動化等の研究開発動向調査しまとめた。
④実用化シナリオ検討	セラミックリアクターの実用化シナリオ調査	ニーズおよび技術的難易度、コスト要件などを勘案し、セラミックリアクターの普及シナリオを描いた。

2. システム検討WG		
	実施内容	成果概要
①家庭用コージェネシステム	家庭用コージェネシステムのシステム検討、ホットモジュールの概念設計	500W級家庭用コージェネシステムのサイクル解析、効率試算サイズ、起動時間、メリットの定量的試算
②自動車用APU	自動車用APUのシステム検討	エタノール燃料自動車用APUシステムの構成検討、効率試算
③水素製造	水素製造システムの検討	水蒸気電解による水素製造システムの構成検討及び効率試算
④セラミックリアクターモジュール	温度分布および熱応力検討	システム運転条件におけるセラミックリアクターモジュールの温度分布および熱応力を試算

③評価解析技術開発及びプロトタイプ実証 の成果

③-6 総合調査研究

セラミックリアクター開発プロジェクトの成果創出に資するべく、市場面から見た調査研究を実施
米国開発動向調査(2007年6月)における研究事例

調査対象機関	タイプ	開発品及び概要
Materials and Systems Research, Inc.	チューブ型	チューブ型セル:0.92W/cm ²
		チューブ型スタック:300W
	平板型	平板型セル:3.1W/cm ² @800°C
		平板型スタック:0.68W/cm ²
Protonex Technology, LLC/ Mesoscopic Devices, LLC	チューブ型	250W・75Wのポータブル電源
Asent Power Systems, Inc. / ITN energy Systems, Inc.	平板型	平板型セル:1.45W/cm ² @800°C
		20Wのポータブル電源
NanoDynamics Energy, Inc.	チューブ型	チューブ型セル:2.6-2.7W/セル
		チューブ型スタック:115W@800°C・85W@700°C
		50Wのポータブル電源

・国外開発動向調査:

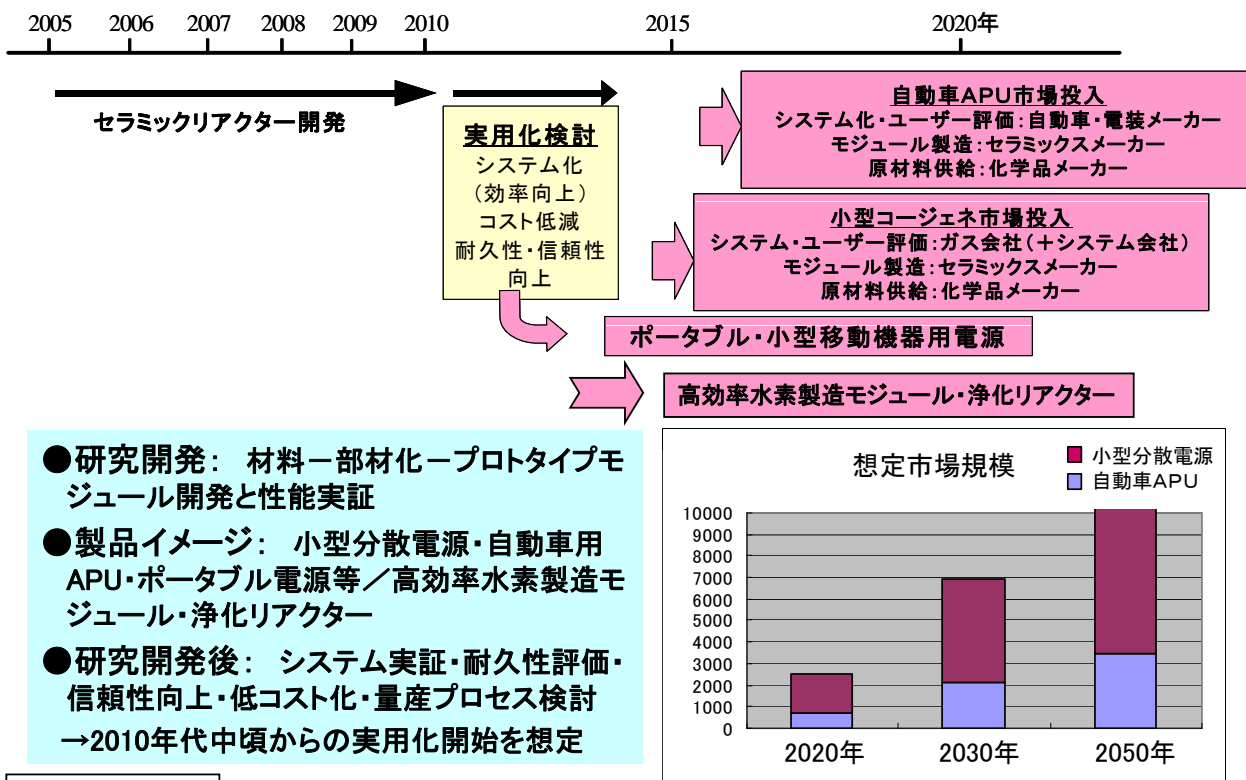
- > 米国では小型可搬電源(軍事ニーズ等を含む)として政府資金によりベンチャー企業等で加速推進
- > 欧州では低温作動-小型化によりコージェネやAPU適用の検討を研究プロジェクトで推進

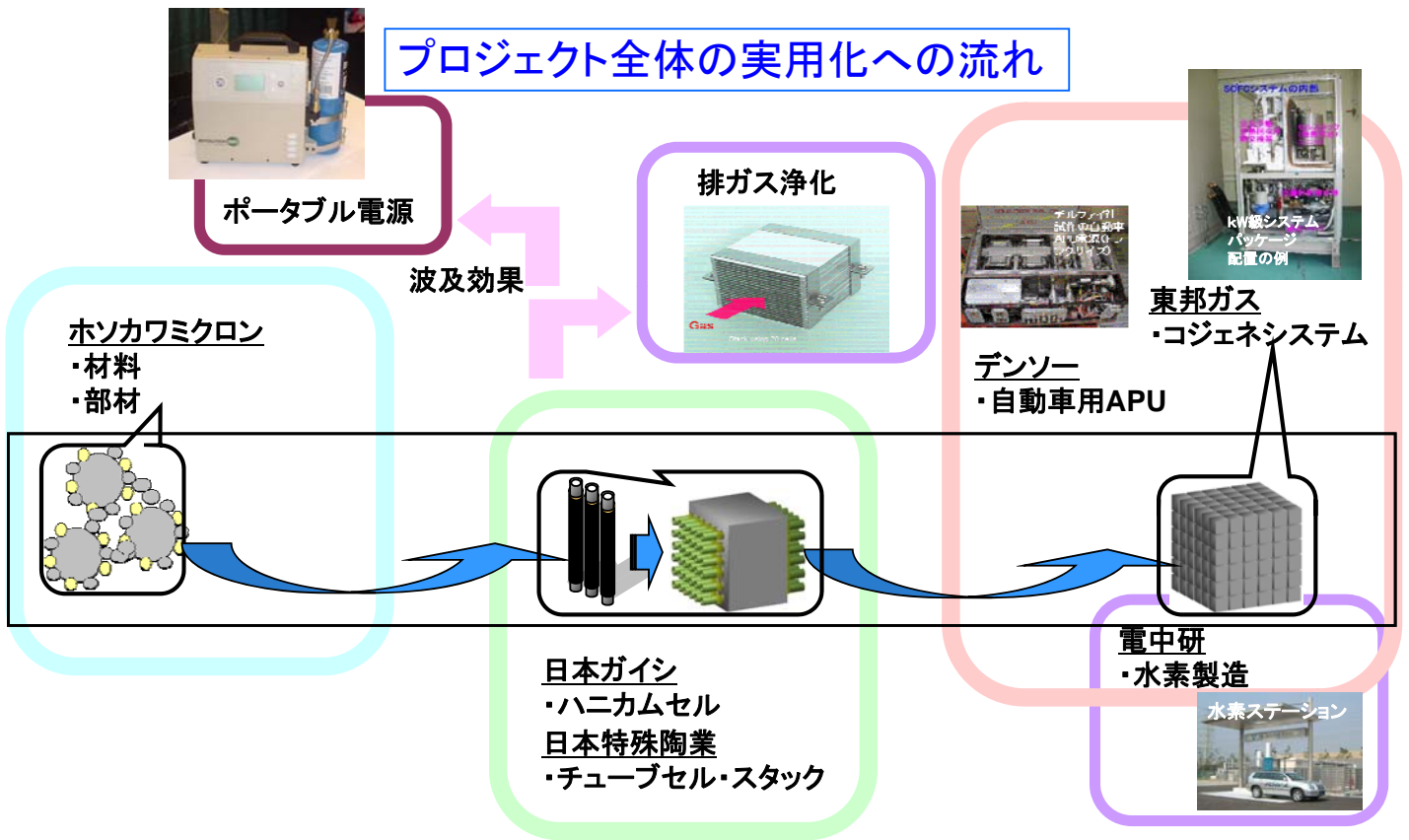
(3) 知的財産権、成果の普及

	H17	H18	H19	H20	H21	合計
特許出願	7	10	10	6	6	39件
論文(査読付き)	0	4	20	40	49	113件
研究発表・講演	12	45	81	97	69	304件
受賞実績	0	2	0	2	2	6件
新聞・雑誌等への掲載	2	6	2	1	6	17件
展示会への出展	0	3	2	3	2	10件

※ : 平成22年6月30日現在

プロジェクト全体の実用化・事業化の見通し

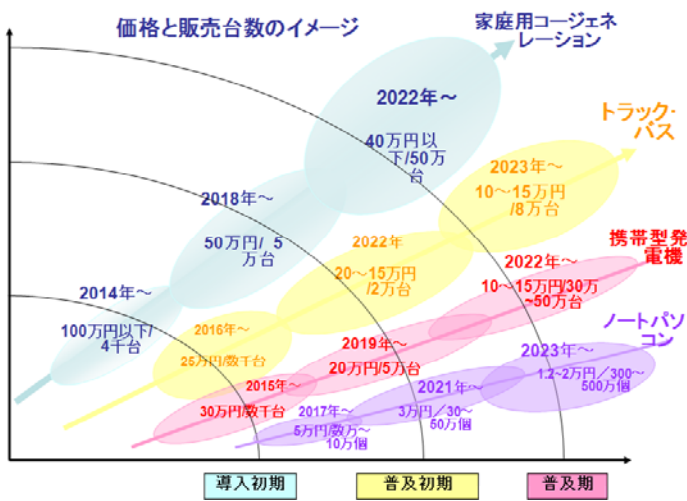




小型定置用コージェネレーション事業化のロードマップ

年度	H15	16	17 2005	18	19	20	21	22 2010	23	24	25	26	27 2015	
ガスエンジン (エコウィル)	第一世代機市場導入 (発電効率20%)		第二世代機市場導入 (発電効率22.5%)					第三世代機市場導入予定 (発電効率25%級)						
エネファーム (PEFC)	実証研究	大規模実証事業					市場導入 (発電効率37%)							
SOFC (従来形式)	システム開発		実証研究 規制緩和 29台/年 ~ 101台/年					市場導入予定 (発電効率45%級)						
セラミックリアクター	セラミックリアクター開発プロジェクト (本研究開発)							NEDO継続研究 (実用モジュール)			0.5kW級SOFCコージェネシステムの実用化開発 (コンパクト、高効率、起動停止)			2015以降市場導入

セラミックリアクターの様々な適用シナリオ



セラミックリアクターの様々な波及適用における技術的難易度

用途分野	定格出力	要求機能	
自動車	既存乗用車(ガソリン車)	1~3kW	起動時間の短縮、発電効率、繰返し安定性
	HEV・PHEV・EV	300W~500W, 10kW~20kW	電力密度と発電効率
	冷凍車(中小型)	小型1.5kW, 中型3kW	寿命、発電効率、繰返し安定性
	冷凍車(大型)	10kWクラス	
	バス	マイクロバス5kW程、大型10kW以上、大型観光バス最大で15kW	
	特装車・特殊車	キャンピングカー、救急車は3kW、道路作業車、電源車、照明車は10kW以上	
発電機	家庭用コージェネ	1kW前後	長期信頼性、メンテナンスフリー
	業務用コージェネ	数kW~100kW程度	長期信頼性
	発電機(携帯型)	レジャー用500~1kW、業務用1~3kW	安全性
	発電機(可搬型)	20~50kW	耐振動、耐湿
電動車両	電動車いす	500W以下	安全性、排熱対策
	電動3/4輪車、自転車	500W以下	安全性、排熱対策
	電動2輪車	500W以上	耐振動、耐湿
ノートパソコン	数十W~100W	安全性、排熱対策	
介護福祉用ロボット、サービス代行ロボット	数Wクラスから数kW	安全性、排熱対策	

・家庭用コージェネシステム・自動車補助電源(APU)・小型可搬電源・小型移動体電源 等
 > 市場規模予測、市場化のタイムスケジュール ... 競合技術(二次電池・太陽電池等)の開発