

事後評価書

1. 政策評価の対象とした施策

- ・ ファインセラミックス関連技術開発施策

2. 政策評価を担当した部局又は機関及びこれを実施した時期

(1) 担当

- ・ 経済産業省製造産業局ファインセラミックス室

(2) 時期

- ・ 平成14年9月～平成15年3月

3. 政策評価の観点

- ・ 必要性、有効性、効率性

4. 政策効果の把握の手法及びその結果

(1) 手法

- ・ 学識経験を有する者の知見を活用した評価の実施。

(2) 結果

- ・ 別紙「4. 施策の有効性、効率性の評価」に記述。

5. 学識経験を有する者の知見の活用に関する事項

評価を広い視点から可能な限り、客観的に行うため、省外の高い識見や知識を有する有識者の知見を活用することとした。具体的には、「ファインセラミックス関連技術開発施策」に関する事後評価委員会を開催し、意見を聴取した。委員会の構成員及び開催日は以下のとおり。

構成員

吉川 昌範 ものづくり大学技能工芸学部長
神崎 修三 独立行政法人産業技術総合研究所シナジーマテリアル研究センター長
佐々 正 石川島播磨重工業株式会社技術開発本部技師長
杉本 武巳 株式会社矢野経済研究所電子・システム産業調査本部第2・3部長
藤本 瞭一 日刊工業新聞社編集局科学技術部編集委員

開催日 平成14年9月・平成15年2月

6. 政策評価を行う過程において使用した資料その他の情報に関する事項

- ・ シナジーセラミックスの研究開発プロジェクト評価（中間）報告書（産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会シナジーセラミックス評価ワーキンググループ・平成14年7月）
- ・ 炭素系高機能材料技術の研究開発プロジェクト評価（中間）報告書（産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会炭素系高機能材料技術評価ワーキンググループ・平成14年2月） 等

7. 政策評価（事後評価）の結果

- ・ 別紙のとおり

**「ファインセラミックス関連技術開発施策」に関する
政策評価 (事後評価) 結果**

平成 15年 3月

経済産業省製造産業局ファインセラミックス室

< 目 次 >

1 . 施策の目的	2
2 . 施策の概要、目標達成状況	7
2 . 1 施策の概要	7
2 . 2 目標及び目標達成度	14
2 . 3 政策効果	23
3 . 施策の必要性	46
4 . 施策の有効性、効率性の評価	48
4 . 1 有効性	48
4 . 2 効率性	51
5 . 課題	59
参考1 用語の説明	63
参考2 関連団体等の概要	75
参考3 ファインセラミックス関連技術開発施策の技術・産業・社会への インパクトに関する調査インタビュー調査票	78
参考4 シナジーセラミックスの研究開発における各研究開発項目毎の 成果の実用化可能性・波及効果	85
参考5 「産業発掘戦略 - 技術戦略」4分野に関する戦略」概要	89
参考6 国家産業技術戦略・分野別産業技術戦略（材料分野） ファインセラミックス産業技術戦略（概要）（抜粋）	97
参考7 平成13年度素材産業技術対策調査（無機新素材産業の技術対策調 査研究）重点技術課題推進調査報告書（平成14年3月社団法人日本 ファインセラミックス協会作成）（抜粋）	98

1. 施策の目的

我が国の産業競争力は、全体で見ると90年代初めと比較して大幅に低下している。その原因としては、バブル崩壊後の経済環境悪化、製造コストの低減化を求めた海外への製造拠点流出による国内製造技術の空洞化といった外的要因とともに、内的要因として経営力の面での効率性や透明性が低いこと、基礎的科学技術の研究・開発の成果が産業化に結びついていないことなどがあげられる。我が国が引き続き豊かな国民生活を維持していくためには、21世紀の新しいフロンティアの拡大と生産資源のダイナミックな再配分を通じた産業競争力の再構築が必要となってきた。

このような状況の中で、政府は、平成14年12月に、環境・エネルギー、情報家電・ブロードバンド・IT、健康・バイオテクノロジー、ナノテクノロジー・材料の4分野の技術開発、知的財産・標準化、市場化等を内容とする「産業発掘戦略-技術革新」4分野に関する戦略」をとりまとめた。同戦略では、今後、我が国が目指すべき社会のイメージとして、「経済成長、雇用の安定、生活の充実の同時達成」等を挙げ、また、4分野の1つである「ナノテクノロジー・材料」分野においては、将来実現される社会像として「エネルギーの効率的利用と環境モニタリングの高度化により、豊かで美しい環境を持つ社会」等を実現することとした。ファインセラミックスは、このような社会の実現のために広範囲な産業の中で貢献できる可能性を持つ材料である。

(1) ファインセラミックスの概要

1989年12月のファインセラミックス産業基本問題懇談会（旧生活産業局長の私的懇談会）報告書において、ファインセラミックスとは、「セラミックスの持つ種々の機能のうち特定の機能に着目して、それを最大限に発揮するよう、精製・調整された原料を用い、制御された化学組成をもち、材料の微細組織・形態等を制御して製造加工した合目的な、主として多数の結晶粒子が結合し微細構造をもつ無機材料」と定義されている。また、日本工業規格（JIS）のファインセラミックス関連用語（R1600）においては、ファインセラミックスは、「目的の機能を十分に発現させるため、化学組成、微細組織、形状及び製造工程を精密に制御して製造したもので、主として非金属の無機物質から成るセラミックス」と定義されている。そもそもセラミックスは、陶磁器、ガラス、セメント等天然の無機物を焼き固めたものを指すのに対し、ファインセラミックスはアルミナ、ジルコニア、窒化ケイ素等の人工原料を用いて、特定の機能を最大限に引き出すように製造されたものであり、その原料、化学組成の選択、焼結方法、焼結条件等の製造方法により高硬度、耐摩耗性、圧電性、絶縁性、誘電性、耐熱性、伝熱性、耐食性、透光性等といった様々な特性を付与することができるものである。我が国では既にファインセラミックスという呼称が定着しているが、欧米においてはアドバンスセラミックス、アドバンステクニカルセラミックス等といった表現が使われているところもある。

(2) 現状・国家プロジェクトの取り組み

ファインセラミックスは、上述のように既存材料には無いような優れた各種特性を有することから、既に我々の生活の身近なところにおいて様々な形で浸透してきている。

現在までに、ファインセラミックスは着実にその用途範囲、市場規模を拡大してきており、平成13年には既に1.6兆円の市場規模に至っている（「ファインセラミックス産業動向調査」（社）日本ファインセラミックス協会調べ）。同調査によれば、ファインセラミックス部材の生産額に占める割合は、平成13年では、電磁気・光学用部材が69%（平成4年度69%）、機械的部材が15%（同22%）、熱的部材・原子力関連部材が6%（3%）、化学・生体、生活関連部材が10%（6%）であり、平成4年度と比較して、電磁気・光学用部材が圧倒的割合を占める状況は変わらないが、機械的部材の割合が減少し、熱的部材・原子力関連部材及び化学・生体、生活関連部材が増加傾向にある。

現在、我が国のファインセラミックス関連技術の水準は、国際的にもかなり高い水準にあるといわれているが、基礎的原理の解明、機能の高度化や新機能の創成、材料としての信頼性・経済性の克服が今後の発展の鍵である。このため、材料開発・利用技術開発等研究開発の推進、製造プロセスの研究、コストの低減、研究開発、利用・普及のための試験評価方法の確立とその標準化の推進、研究開発、標準化等における国際的リーダーシップの発揮、国際協力の推進が必要である。

このように、ファインセラミックスが様々な期待に応えていくためには、機能の高度化、新機能の創成等の技術シーズからのアプローチに留まらず、情報通信、環境、ライフサイエンス等の社会ニーズとのマッチングにより、研究開発を推進していくことが必要である。我が国におけるファインセラミックスの研究開発は、民間企業、大学、研究所、各地域における研究機関などにおいて材料開発、利用技術開発といった種々の観点から活発に行われている。（図1-1参照）

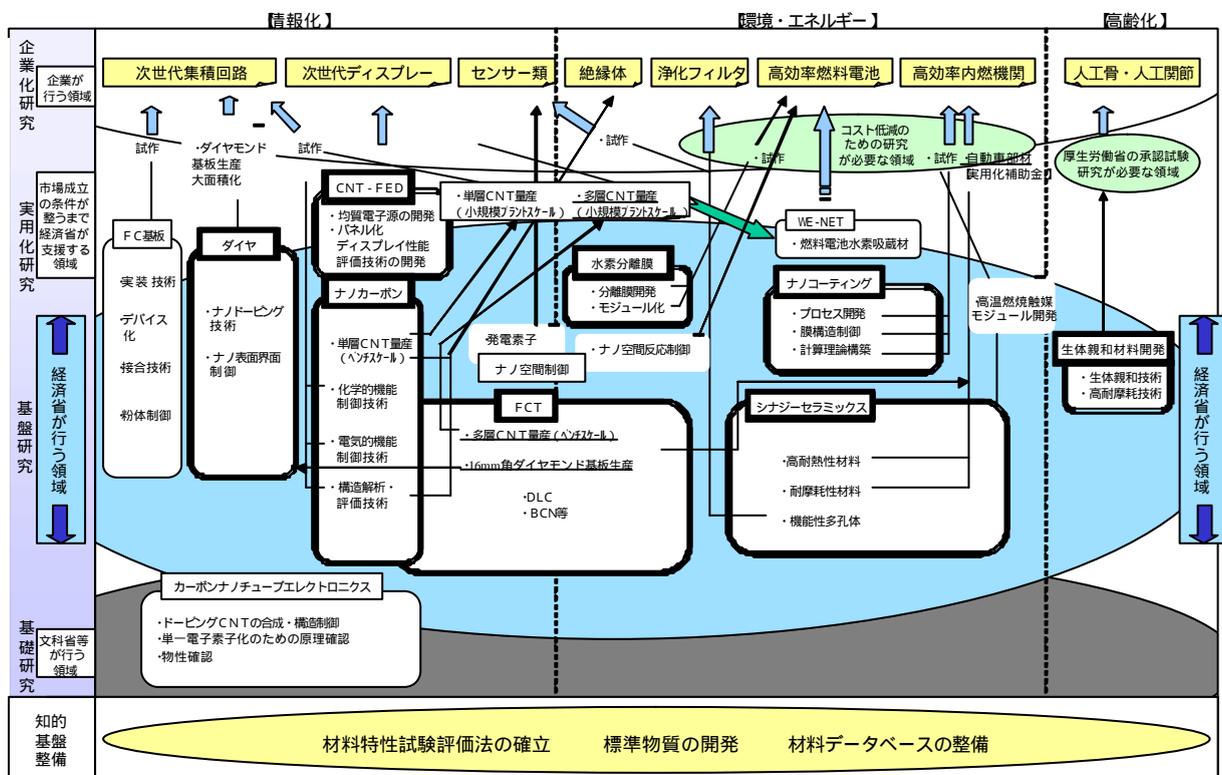


図1-1 ファインセラミックス（含むカーボン系）分野における重要技術と技術体系（経済産業省製造産業局ファインセラミックス室作成）

こうした状況の下、現在、経済産業省が取り組んでいる、または取り組み予定のファインセラミックスに関する国家プロジェクトのテーマは以下の9事業である。(図1-2参照)

シナジーセラミックスの研究開発(平成6年度~平成15年度)

(複数の機能を併せ持つセラミックスの開発)

炭素系高機能材料技術の研究開発(平成10年度~平成14年度)

(新炭素系物質の材料化技術の開発)

高効率高温水素分離膜の研究開発(平成14年度~平成18年度)

(高い水素選択透過性を持つ分離膜の開発)

ナノコーティング技術の研究開発(平成13年度~平成17年度)

(ナノレベルの構造制御技術を用いたコーティング技術の開発)

ナノカーボン技術の研究開発(平成14年度)

(単層カーボンナノチューブの材料化技術の開発)

(注:ナノカーボン応用製品創製プロジェクト(携帯用の高性能燃料電池等の部材の開発、平成15年度~平成17年度 予定)としてフォーカス21()化テーマ)

ダイヤモンド極限機能プロジェクト(平成15年度~平成17年度)()(予定)

(電子放出・高周波特性等において高い性能を発揮するダイヤモンド半導体を実用化する基盤技術の確立)

カーボンナノチューブFEDプロジェクト(平成15年度~平成17年度())(予定)

(カーボンナノチューブを電極等に用いた薄型、低消費電力、高輝度、高画質のフィールドエミッションディスプレイ(FED)の開発)

身体機能代替・修復システムの開発(平成13年度~平成16年度)

(生体親和性に優れた人工骨等の開発)

無機新素材産業技術対策(調査事業)(平成13年度~平成17年度)

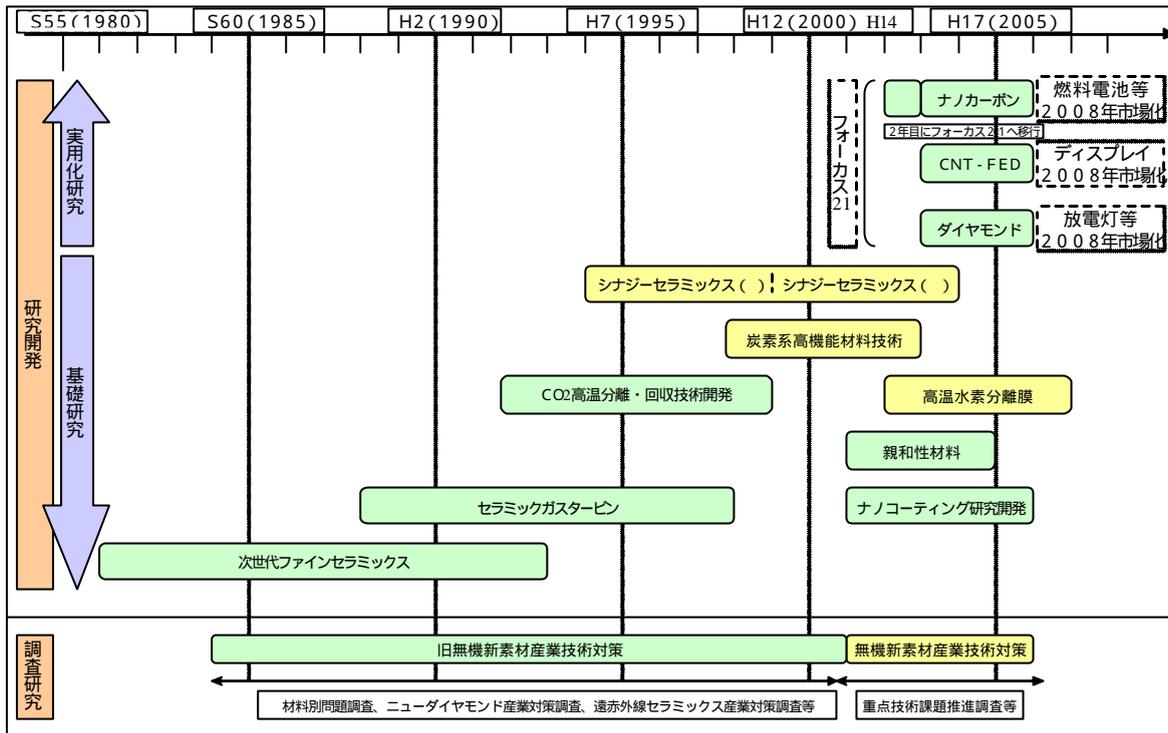
(無機新素材産業技術対策に関する調査事業)

():「フォーカス21」(経済活性化の研究開発プロジェクト)

研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結するものであり、以下の条件のもとで実施するもの。

- ・技術的革新性により競争力を強化できること。
- ・研究開発成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。
- ・比較的短期間で新たな市場が想定され、大きな成長と経済波及効果が期待できること。
- ・産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取組が示されること。

図1-2 ファインセラミックスに関する
研究開発及び調査研究の推移表



(3) 施策の目的

ファインセラミックス関連技術開発施策（以下「本施策」という。）は、耐熱性、耐摩耗性、電磁特性等について幅広い可能性を秘め、かつ、日本が世界シェア及び技術力の両方で、世界をリードするファインセラミックス等無機新素材産業分野において、電子デバイス用や環境・エネルギー部材用などの技術開発力の向上及び利用拡大を図るとともに、平成12年4月にとりまとめられた国家産業技術戦略・分野別産業技術戦略（材料分野）のファインセラミックス産業技術戦略の第1章（第1節：戦略の欠如、第2節：産学官連携の希薄さ、第3節：知的基盤の未整備、標準化推進に対する戦略的取り組みの遅れ）で指摘されている、これら技術革新の阻害要因を排除し、先端産業の成立に必要な多機能性、高強度、耐熱・耐食性、高精度、耐摩耗性といった優れた特性を持つファインセラミックスの広範な産業技術分野での実用化を促進し、我が国の産業競争力の源泉として、我が国経済の持続的発展に寄与する技術的基盤の構築を図ることを目的とするものである。

なお、本施策では、上記の9事業のうち、通商産業省工業技術院（当時）産業科学技術研究開発制度の下で平成6年度から研究開発を開始した「シナジーセラミックスの研究開発」、平成10年度から開始した「炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）」、平成14年度から開始し「革新的温暖化対策技術プログラム」にも位置付けられている「高効率高温水素分離膜の研究開発」の3つの研究開発プロジェクトと、ファインセラミックス分野における重要技術課題、技術革新の阻害要因の解決等を図る「無機新素材産業技術対策」（調査事業）の計4事業で構成され、これら4事業が相互に連携を図りながら新たな基盤技術の確立に向けた研究等を推進するものである。

【本施策の対象事業】

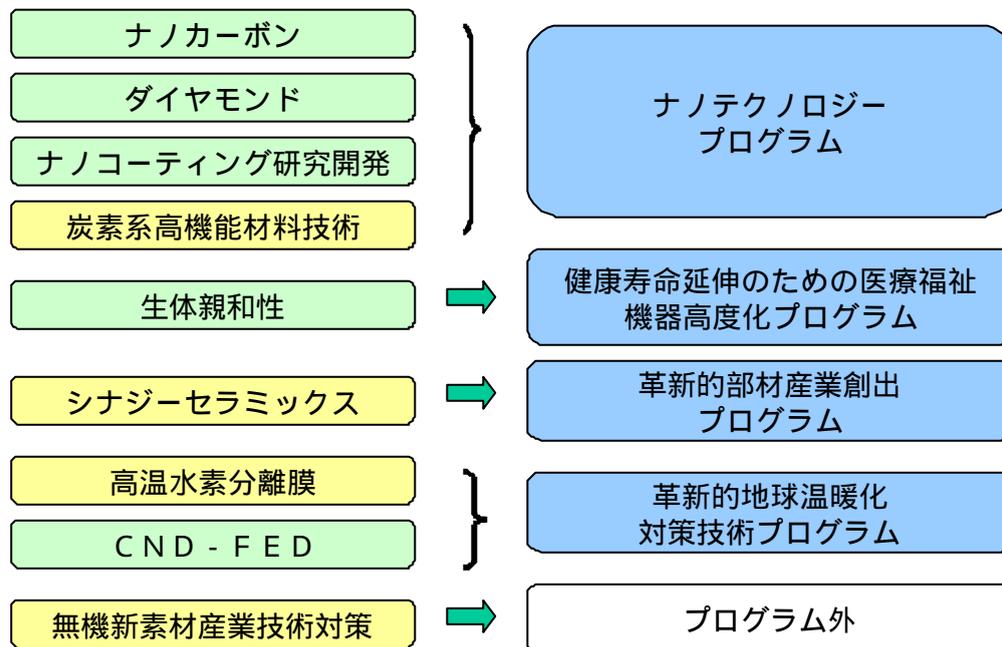
- シナジーセラミックスの研究開発
- 炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）
- 高効率高温水素分離膜の研究開発
- 無機新素材産業技術対策

平成13年1月の研究開発プログラム制度の創設以降、「シナジーセラミックスの研究開発」は本施策の他に「革新的部材産業創出プログラム」に、「炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）」は同じく本施策の他に「ナノテクノロジープログラム」にそれぞれ位置付けられている。

これら以外の「ナノコーティング技術の研究開発」「ナノカーボン技術の研究開発」等、研究開発プログラム制度創設以降に研究開発を開始した6事業については、本施策ではなく、主として「ナノテクノロジープログラム」に位置付けて事業を実施しており、今般の施策評価の対象外としている。（図1-3参照）

現時点では、本施策と研究開発プログラムとの関係が不明瞭な点も否めず整理が必要であるが、今後はファインセラミックスに関する研究開発事業は、研究開発プログラム制度に加え、あらためて本施策でも位置付け直して推進することが必要であろう。

図1-3 ファインセラミックスに関する研究開発等とプログラム制度との関係図



2. 施策の概要、目標達成状況

本施策は、(1) シナジーセラミックスの研究開発、(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発(フロンティアカーボンテクノロジー)、(3) 高効率高温水素分離膜の研究開発、(4) 無機新素材産業技術対策の各事業を重点的・一体的に推進することにより、世界をリードするファインセラミックス等無機新素材産業分野で、電子デバイス用などの機能材分野及び環境・エネルギー部材用などの構造材分野での技術開発力の向上及び利用拡大を図るものである。以下、各事業毎にその概要、目標達成状況を示す。

2.1 施策の概要

(1) シナジーセラミックスの研究開発

研究開発概要

多面的かつ精密な構造制御によって、従来のファインセラミックスの弱点である脆さを克服し、強くて金属に迫るほどしなやかな新しいセラミックスの合成技術を開発する(図2-1参照)。

a) 高温エネルギー材料技術

耐熱・耐食性、損傷・変形許容性、軽量性等を兼ね備えた高強度多孔材料(高耐性耐熱材料)並びに流体透過機能及び高温耐性機能を併せ持つ材料(流体透過機能材料)を開発する。

b) 超精密材料技術

機械強度が高く信頼性に優れるのみならず、繰り返し応力下で微小き裂が発生せず、相手材とのなじみが良く、高い熱伝導性を持ち、かつ摩擦抵抗が小さい高速・高荷重摺動材料を開発する。

c) 高機能能動材料技術

化学的、電気的機能が融合した構造を開発することにより、選択浄化機能と環境エネルギー変換利用機能を融合した、外部からの駆動電源を必要としない自己完結型浄化セラミックス材料を開発する。

d) 先端評価・設計技術

制御された不均質構造を有するセラミックスの微小領域における応力・歪み、破壊挙動を解析し、これらのマイクロ情報と部品形状を有するマクロな部材特性を関係づける技術(マイクロ・マクロブリッジング技術)を開発する。

研究開発目標

従来セラミックスでは実現できなかった相反する特性の調和(例えば強度と靱性)や種々の機能の付与による新しいガスタービン用セラミックス材料や長寿命セラミックス摺動材料等の合成技術を開発し、実用化する。

研究開発期間

平成6～15年度(10年間)

第 期（平成 6 ～ 1 0 年度：高次構造制御技術の基礎的研究開発と、支援技術としての解析・評価技術の開発）

第 期（平成 1 1 ～ 1 5 年度：第 期で開発された高次構造制御技術を駆使し、高耐性材料または多重機能材料たるシナジーセラミックスの創製技術の確立）

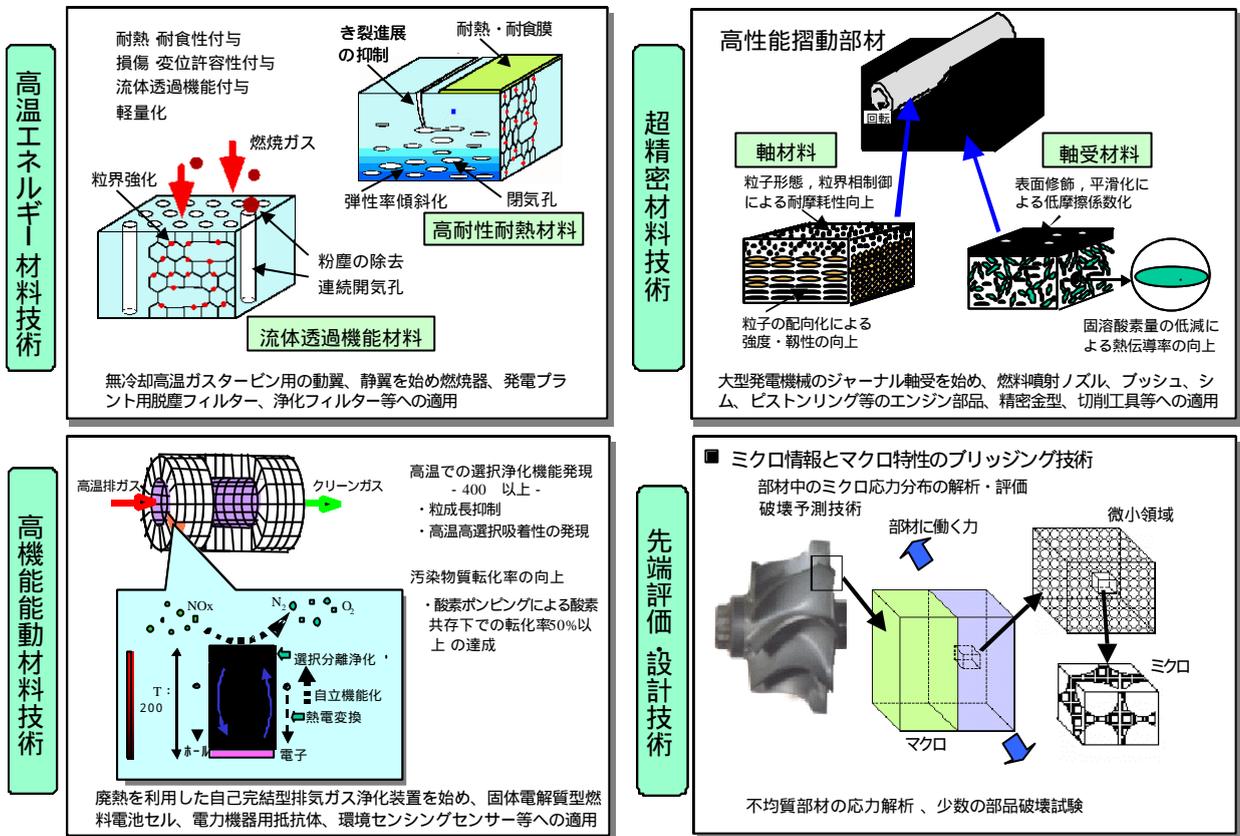


図2-1．研究開発テーマの概要

実施者：

ファインセラミックス技術研究組合

株式会社日立製作所、株式会社東芝、石川島播磨重工業株式会社、旭硝子株式会社、住友電気工業株式会社、トヨタ自動車株式会社、日産自動車株式会社、株式会社いすゞセラミック研究所、電気化学工業株式会社、日本ガイシ株式会社、新日本製鐵株式会社、財団法人ファインセラミックスセンター

（共同研究先）産業技術総合研究所シナジーマテリアル研究センター

大阪大学、東北大学、名古屋大学、横浜国立大学、ケンブリッジ大学、リムリック大学、ハンブルグ工科大学、ペンシルバニア州立大学、スウェーデンセラミック研究所

研究開発予算

（単位：千円）

6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度	15年度	合計
55,713	593,346	1,290,092	1,486,251	1,020,139	1,351,966	1,450,127	1,406,641	1,260,600	799,434	10,714,309

(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発 (フロンティアカーボンテクノロジー)

研究開発概要

フラーレン、カーボンナノチューブ等の新しい構造等を持った炭素系物質から高度な多様な機能を有する炭素系材料の合成技術を開発する (図2-2参照)。

a) 物質創製技術の開発

炭素を含む新物質の開発を行い、カーボンナノチューブ等の新炭素材料やBCN並びにCNから構成されるヘテロダイヤモンドの新プロセスの開発、新材料の開発や物性制御技術の開発を行う。

b) 電気的高機能材料の創製プロセス技術の開発

ダイヤモンド半導体デバイスの基礎開発を行うため、大型単結晶基板や成長形態を制御することによるヘテロエピタキシャルダイヤモンド基板の開発を行う。また、電子放出の制御技術および評価技術を開発することにより、ダイヤモンド電子放出素子の開発を行う。

c) 機械的高機能材料の創製プロセス技術の開発

ダイヤモンドライクカーボン膜 (DLC) や B_4C 溶射膜のプロセス技術の開発を行い、耐磨耗・低摩擦のトライボロジー材料の開発を行う。さらに、複雑形状試料への成膜や高温耐食技術の開発を行い実用化への応用研究も実施する。

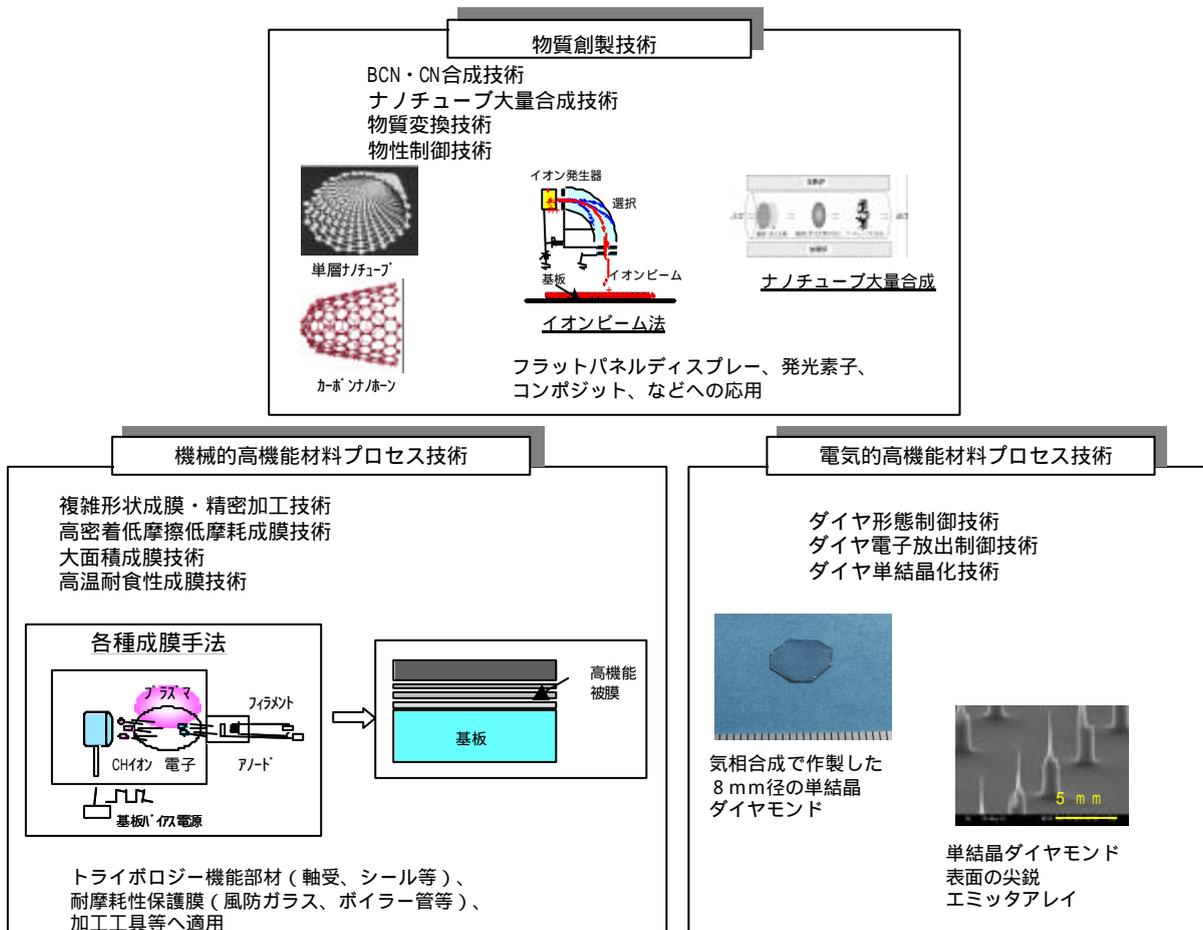


図2-2 研究開発目標と開発技術テーマ

研究開発目標

フラーレンやカーボンナノチューブといった新炭素系物質の創製とその材料化技術に関する研究開発を行い、電子放出特性、摺動特性等の電子的特性等で既存材料を凌駕する新しい炭素系材料の合成技術を開発し、フラットパネルディスプレイ等の電子材料分野、摺動部材等の機械部材分野において実用化する。

研究開発期間

平成10～14年度

実施者

財団法人ファインセラミックスセンター

(再委託先) 昭和電工株式会社、NEC、株式会社東芝、石川島播磨重工業株式会社、住友電気工業株式会社、株式会社神戸製鋼所
三重大学、大阪市立大学、京都大学、サセックス大学
ウィーン工科大学、フラウンホーファ研究所

(共同研究先) 産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、大阪大学、東京工業大学、早稲田大学

研究開発予算

(単位：千円)

平成10年度	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	合計
1,920,140	1,572,610	1,364,141	1,283,855	1,036,007	7,176,753

(3) 高効率高温水素分離膜の研究開発

研究開発概要

高い耐熱性と、細孔径を高度に制御することによる高い水素選択透過性を併せ持つ高効率高温水素分離膜の開発と膜モジュール化要素技術開発を一体的に行う(図2-3参照)。

a) 分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術

水素分離膜の開発として、液相反応、気相反応等を用いた微細構造制御技術及び化学組成制御技術の開発を行う。

b) 膜モジュール化技術

分離膜集積化基盤技術、改質反応触媒との複合化技術等の各要素技術の開発を行う。

c) 小規模モジュール実証研究

高効率高温水素分離膜を集積化した小規模モジュールシステム、及び小規模モジュールシステムと改質反応触媒を複合化した膜反応器システムを開発し性能評価試験を実施する。

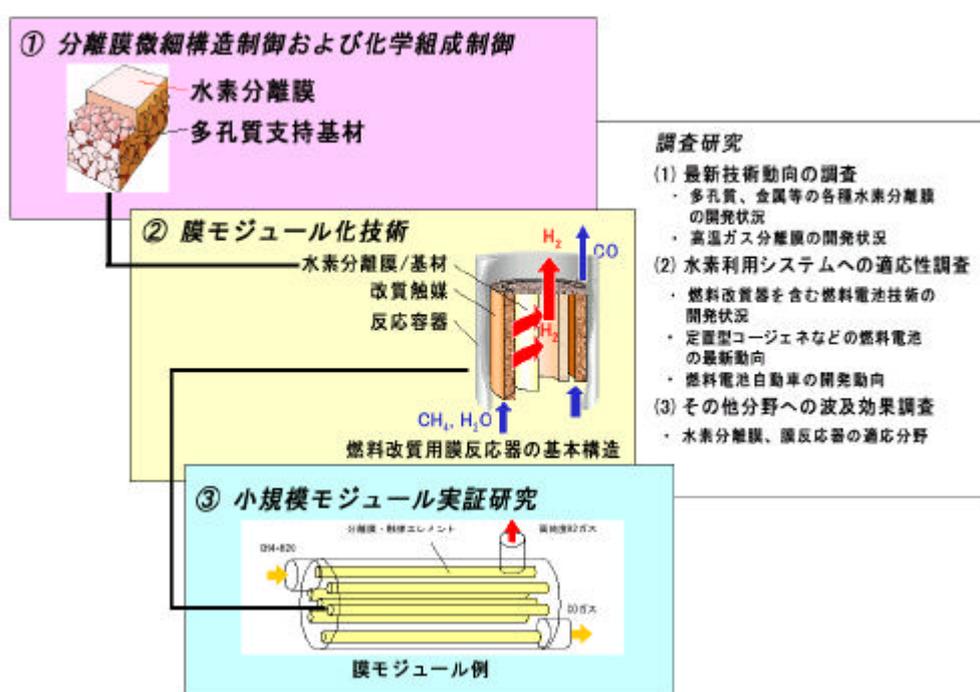


図2-3.研究開発テーマの概要

研究開発目標

高い耐熱性を有し、ナノメートルオーダーで細孔径を高度に制御することにより、高い水素選択透過性を併せ持つ高効率水素分離膜の開発と膜モジュール化要素技術開発を一体的に行う。これにより、エネルギー・環境及び運輸分野を対象に高効率燃料電池システムの開発・実用化を可能とする高効率水素分離システムの構築を目指す。

研究開発期間

平成14～18年度

実施者

財団法人ファインセラミックスセンター、産業技術総合研究所

(委託研究機関) 財団法人ファインセラミックスセンター(JFCC) 集中研究所、分
室企業：株式会社ノリタケカンパニーリミテド、NOK株式会社、日
本ガイシ株式会社

(再委託先) ダルムシュタット工科大学、社団法人日本ファインセラミックス協会

(共同研究先) 東京大学、広島大学、九州大学

研究開発予算

(単位：千円)

平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	合計
599,800	493,342	-	-	-	-

(4) 無機新素材産業技術対策

事業概要

国家産業技術戦略・分野別産業技術戦略において抽出された重要技術課題、技術革新の阻害要因の解決策を明確にするため、情報技術、環境問題等の社会ニーズや新素材産業動向調査、ネットワーク型研究所ワールドマテリアルセンター（WMC）構築に係る調査等を推進する。

【参考】WMC：我が国の伝統的な焼き物産業、ファインセラミックス産業の中核地である中京地区のメリットを生かす、無機材料を中心とした産学官連携による世界最高水準のネットワーク型研究所。

事業目標

社会ニーズに対応した材料開発の技術戦略を構築するため、社会ニーズと技術シーズのマッチングを図り、ロードマップ化し、ファインセラミックス等無機新素材に関する研究開発の方向性を示す。また、共通技術基盤情報（知的基盤情報）の収集、分類、整理を行い、WMC（ネットワーク型研究所）の構築に向けての基盤を整備する。

事業期間

平成13～17年度

事業実施者

重点技術課題調査及び共通技術基盤調査：（社）日本ファインセラミックス協会
ワールドマテリアルセンター構築調査：（財）ファインセラミックスセンター

研究開発予算

（単位：千円）

平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	合計
37,073	32,669	28,191	-	-	-

2.2 目標及び目標達成度 (平成13年度末時点)

(1) シナジーセラミックスの研究開発

目標

a) 高温エネルギー材料技術

高耐性耐熱材料

1500 における強度が緻密質の同質材料と同等で、かつ弾性率が緻密質の同質材料の1/2以下の耐熱性高強度多孔質セラミックス材料の材料化技術及び実部材への適用化技術を確立する。

流体透過機能材料

1200 以上の耐熱性を有し、かつ気孔率、平均細孔径がそれぞれ40%以上、50 μm以下の範囲で任意に制御可能な流体透過機能材料の材料化技術及び実部材への適用化技術を確立する。

b) 超精密材料技術

高速・大型回転機械の摺動部材への適用を想定し、第1期開発材料と同等の強度と靱性を持ち、かつ微小破壊抵抗を2倍以上に高めた材料、及び0.3以下の固体摩擦係数を有する高熱伝導材料の材料化技術並びに実部材への適用化技術を確立する。

c) 高機能能動材料技術

酸素共存下の酸窒化物気体を対象にして、400 以上の高温環境下で作動可能、かつ現在ほぼ0%の環境汚染物質の転化率を50%以上に高めた、環境汚染物質選択浄化機能とエネルギー変換機能とを融合した自己完結型浄化セラミックスの材料化技術及び実部材への適用化技術を確立する。

d) 先端評価・設計技術

部品形状を有するシナジーセラミックスのマクロ特性を評価・設計する技術の確立を目的として、ミクロンオーダーの材料特性情報を反映したミクロ・マクロブリッジング技術を開発し、構造が制御されたセンチメートルオーダーの不均質セラミックス部材を用いて開発技術の有用性を検証する。

(表2-1参照)

表2-1 シナジーセラミックスの研究開発の目標・指標・実績値

	目 標	指 標	実 績 値 (平成15年1月現在)
定量的目標・指標	<p>1500 における強度が緻密質の同質材料と同等で、かつ弾性率が緻密質の1/2以下の高耐性耐熱材料技術の確立。</p> <p>1200 以上の耐熱性を有し、かつ気孔率、平均細孔径がそれぞれ40%以上、50 μm以下の範囲で任意に制御可能な流体透過機能材料技術の確立。</p> <p>比摩耗量5×10^{-9}mm²/N及び固体摩耗係数0.3以下の超精密材料技術の確立。</p> <p>400 以上の高温環境下で作動可能かつ環境汚染物質の転化率を50%以上に向上する高機能能動材料技術の確立。</p> <p>部品形状を有するセラミックスのミクロ特性情報を基に、マクロ特性を評価・設計する技術の確立。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1500 における強度:450MPa ・弾性率:緻密質の1/2 ・耐熱性:1300 、気孔率:40～90%、かつ平均細孔径:15 μm以下又は30～50 μmの範囲で任意に制御可能 ・比摩耗量：従来材料の1/10以下 ・固体摩擦係数:0.3以下 ・400 以上の高温環境下での環境汚染物質のNOx転化率:3%酸素共存下で50%以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・450MPa以上 ・1/2以下 ・細孔径20～50 μmで制御に成功 ・従来材の1/20以下、5×10^{-10}mm²/N ・0.28 ・80%以上
定性的目標・指標	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能セラミックス材料の創製 ・新規プロセス技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能セラミックス材料の創製状況：3次元ネットワーク細孔構造を有するCaZrO₃/MgO多孔質複合体の開発。 ・耐酸化性、高温ガス耐食性等の腐食性を評価する技術の開発。 ・潤滑性や耐摩耗性向上を目指した表面修飾技術や表面加工技術の開発等 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐酸性に優れたCaZrO₃/MgAl₂O₄系材料でも同様の多孔体創製に成功。 ・評価装置の開発を完了し、試験片レベルで優れた高温ガス耐食性を確認。 ・イオン注入による表面アモルファス化及び表面への微小ディンプル加工による摩擦係数低減に成功。

目標の達成度

第 期研究開発の前半（平成11年度～13年度）では、「高温エネルギー材料技術」、「超精密材料技術」、及び「高機能能動材料技術」の3材料技術は、後半でのモデル化・部材化に不可欠な材料応用基盤技術の開発に、また、「先端評価・設計技術」は、不均質部材の破壊応力予測に不可欠な基盤技術の開発にそれぞれ注力している。これまでの研究成果から、材料技術では特性・機能の発現とその高度化及び基本プロセス技術の開発を、また、評価・設計技術では、基本アルゴリズム及び評価手法の開発をそれぞれ当初の計画どおりに進めている。

今後は、各技術とも引き続き要素技術の高度化を図りつつ、モデル化・部材化技術の開発へと重点を移し、技術の総合化と開発技術の実証・検証段階へと向かう予定である。

計画と比較した達成度については、最終目標に対してはかなりの努力を必要とするものも一部あるが、平成14年7月の産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会シナジーセラミックス評価ワーキンググループでの中間評価の段階における外部有識者の意見を見る限りにおいては、計画以上の高い成果を達成している。

また、中間目標に対する到達度は90%、最終目標のそれは60-70%程度であると判断されるが、この到達度に対する高い評価は実用上の良否を対象にしているのではなく、本研究開発の方向性やアプローチが正しいことを証明していることに対する継続過程であり、開発の一里塚としての意義は高い。

特に高温エネルギー材料技術と超精密材料が独自の成果を上げており、他の技術を含め今後の成果が期待される。どのテーマも完全に達成するまでには今一步の段階とも言えるが、最終目標達成のためにクリアすべき課題や重点の検討も進めていることから、プロジェクト終了時には多くのテーマで最終目標に到達する可能性は高いと期待される。

(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発 (フロンティアカーボンテクノロジー)

目標

a) 物質創製技術の開発

高度で多様な特性を有するヘテロダイヤモンド、窒化炭素等の新規な炭素系物質等を合成するとともに、カーボンナノチューブ等を大量合成する、原子間結合制御技術及び異種元素置換制御技術を確立する。また、炭素系物質の構造・組成と特性の相関関係の解明を図る。

b) 電気的高機能材料の創製プロセス技術の開発

結晶性や配向性等の形態制御及び電気伝導特性や表面・界面特性等の機能制御等の創製プロセス技術を確立し、駆動電圧が $0.5 \text{ V} / \mu\text{m}$ 以下で、かつ放出電流密度が $10 \text{ A} / \text{cm}^2$ 以上の電子放出能を有する材料を合成する。

c) 機械的高機能材料の創製プロセス技術の開発

組成傾斜化や複雑形状化等の成膜制御等の創製プロセス技術を確立し、摩擦係数が 0.1 以下でかつ、比摩耗量が $10^{-8} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ オーダーの低摩擦・耐摩耗性を有する表面積数 cm^2 程度の材料、及び空気中で 650 以上で安定な耐食性を有する表面積数 cm^2 程度の材料を合成する。

(表2-2参照)

表2-2 炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）の目標・指標・実績値

	目 標	指 標	実 績 値 (平成14年12月現在)
定量的目標・指標	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘテロダイヤモンド、窒化炭素等の創製技術、カーボンナノチューブの合成技術等物質創製の基盤技術の確立。 ・結晶性や電気伝導性の制御等電気的高機能材料のための材料化プロセスの基盤技術を確立し、高い電子放出能（駆動電界が、$0.5V/\mu m$以下で、放出電流密度が$10A/cm^2$以上の電子放出）を有する材料を合成する。 ・機械的高機能材料のための材料化プロセス技術の基盤技術を確立し、低摩耗材料、耐熱、耐食性（摩耗係数が0.1以下で、かつ、比摩耗量が$10^{-8}mm^3/Nm$オーダーの低摩耗・耐摩耗性を有する表面積数cm^2程度の材料、及び空気中で650以上で安定な耐食性を有する表面積数cm^2程度）材料を合成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・物質創製：多層カーボンナノチューブを合成する量産技術：$200g/h$ ・高品質気相成長多結晶ダイヤモンド膜の合成：$6\mu m$径 ・$8mm$径気相成長単結晶ダイヤモンドの合成：$8mm$径 ・高い電子放出能：駆動電界が、$0.5V/\mu m$以下で、放出電流密度が$10A/cm^2$以上の電子放出。 ・耐摩耗性：摩耗係数が0.1以下で、かつ、比摩耗量が$1.0 \times 10^{-8}mm^3/Nm$オーダー。 ・耐熱・耐食性：$650$以上で安定で、耐食性のある$B_4C$膜の成膜。 	<ul style="list-style-type: none"> ・$200g/h$以上 ・$6\mu m$径基板で形態制御技術を確立 ・$16mm$角、厚さ$1mm$の単結晶ダイヤモンド板を合成 ・ダイヤモンド粒子により$0.5V/\mu m$以下で、放出電流密度が$10A/cm^2$以上の電子放出を達成。 ・摩擦係数0.04、比摩耗量$3.0 \times 10^{-9}mm^3/Nm$を達成。 ・$650$以上で安定かつ、耐食性のある$B_4C$膜の成膜に成功。
定性的目標・指標	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能炭素材料の創製（原子間結合制御技術、異種元素置換制御技術の確立） ・新規プロセス技術の確立（複数形状成膜技術、組成傾斜化技術、高温耐食性成膜技術、大面積成膜技術の確立、形態制御技術、電子放出特性制御技術、単結晶化技術等の確立） 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能炭素材料の創製状況 ・新規プロセス技術の確立状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子間結合制御によるMWCVD法により$-C_3N_4$結晶の合成($50GPa$)を実現。単層カーボンナノチューブの高圧化によりダイヤモンドに匹敵する超高硬度（$62-150GPa$）を達成。単層カーボンナノチューブ融合の和法則をシミュレーションにより発見。C_{20}の超伝導理論予測。 ・複雑形状基材上に均一性の良い炭素被膜を成膜、組成傾斜化により密着性に優れた炭素被膜を成膜、耐熱性のあるB_4C膜とさらに耐熱性を上げるため$c-BN$幕の作製、大面積ガラス基板に光透過性の良いダイヤモンド膜

目標の達成度

外部有識者の意見を見る限りにおいては、物質創製技術の開発、材料化プロセス技術の開発とともにその成果は目標値をほぼクリアしていると判断されるが、事業化の可能性には差異が開いてきている。

カーボンナノチューブ合成技術での大量合成の成功は時代の期待に合致した成果として評価できる。その成果は、目標値をほぼクリアしているが、種々の合成の試みに一貫性が見られない。中でも、成長メカニズムなどの研究は集約し、効率化を追及すべきであったと考えられる。単なるシミュレーション研究でなく基礎実験と連携した有機的研究が必要であった。また、目先のエミッターだけでなく、工業材料全体を視野に入れた実用化研究が必要であろう。物質変換技術ではC₂₀フラレンの超伝導体になる可能性を理論的に予測する等先見性のある成果をあげている点は評価できる。BCN系（ヘテロダイヤモンド）の薄膜化の研究はきわめて基礎的研究と位置付けられ、膜成長までには大きなブレークスルーが必要で、ダイヤモンド、c-BN研究の先例に習う必要がある。また、イオンなどの利用法は間違っていないと考えられるが、現時点での目標達成度は不十分と考えられる。

ダイヤモンド研究開発においては、6インチ径ダイヤモンド膜の形状及び配向性制御技術を確認し、生産技術を確認するという当初目的を達成した。また、16mm角厚さ1mmという世界最大のダイヤモンド板の合成、異種基板（白金）上への無粒界ダイヤモンド膜の合成についても、技術を確認し、電子デバイス等、高付加価値製品を生み出す重要な材料プロセス創製技術を達成した。しかし、今後、再現性、コストダウンなど実用化研究を早急に進める必要がある。さらに、電子放出技術に関しては、世界初の高密度、ナノ先鋭先端を有する針状構造のアレイを単結晶ダイヤモンド表面に微細加工することに成功し、さらにダイヤモンド粒子から、ダイヤモンド特有の「負の電子親和力（NEA）」による電子放出が生じていることを確認した。この2つの技術は、ダイヤモンドを高効率の電子放出源として実用化する上で、不可欠の技術である。本プロジェクトにより、ダイヤモンド技術の大幅なステップアップが達成され、今後の電子情報、環境、医療、科学分野等での実用化を加速することができた。しかし、ダイヤモンドの電气的利用では良質の結晶成長、ドーピング技術の確立が求められており、N型半導体化は以前から報告されているが、効率化、良質化などの問題を解決することが求められる。

機械的材料プロセス研究も重要であるが、研究内容は多岐に渡り複雑である。目的を付着力などに絞るなどして研究を進める必要がある。

(3) 高効率高温水素分離膜の研究開発

目標

a) 分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術

水素分離無機膜と分離膜支持多孔質基材の開発及び評価技術を確立する。

b) 膜モジュール化技術

分離膜集積化基盤技術、分離膜モジュール製造プロセス技術、膜モジュールとメタン改質反応触媒の複合化及び膜反応器システム要素技術を確立する。

(表2-3参照)

表2-3 高効率高温水素分離膜の研究開発の目標・指標・実績値

	目 標	指 標	実 績 値 (平成14年12月現在)
定量的目標・指標	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱温度：500 以上 ・水素透過率：$10^{-7} \sim 10^{-6}$ mol/m²sPa ・透過係数比 (H₂/CO)：1000 以上 ・水素生成プロセス温度500 以上に応用可能な分離膜集積化基盤技術とモジュール設計技術を確立する。 ・メタン改質効率80%以上を可能とする分離膜と触媒との複合化技術を確立する。 ・CO低減化触媒膜の開発により、膜モジュールからの透過ガス中のCO濃度を10ppm以下まで低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱温度：約500 ・水素透過率：$10^{-8} \sim 10^{-7}$ mol/m²sPa ・透過係数比 (H₂/CO)：500 ~ 1000 ・多孔質セラミックス/金属接合体適応温度：350 以下 ・改質効率：約70% 	<ul style="list-style-type: none"> ・500 での安定性を評価中 ・5×10^{-7} mol/m²sPa ・300 ~ 500 ・500 での評価を継続中 ・現時点では、触媒の探索評価を実施中 膜・触媒複合体の評価は次年度以降に予定
定性的目標・指標	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能高温水素分離膜の創製 ・新規モジュール化技術の確立 ・従来型の水素製造システム容積に対して省スペース化を可能とする膜反応器の設計・製造基盤技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規高機能高温水素分離膜の創製状況 ・新規モジュール化技術の開発状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱性と水素透過能を合わせ持つ分離膜の開発研究を実施中 ・各要素技術開発とシステム設計支援技術の開発を継続中。H18年度に目標とする設計・製造基盤技術の確立を目指す

目標達成度

本研究開発は、平成14年9月より開始のため、達成度の評価は平成16年度の間評
 価の時点で実施する予定。

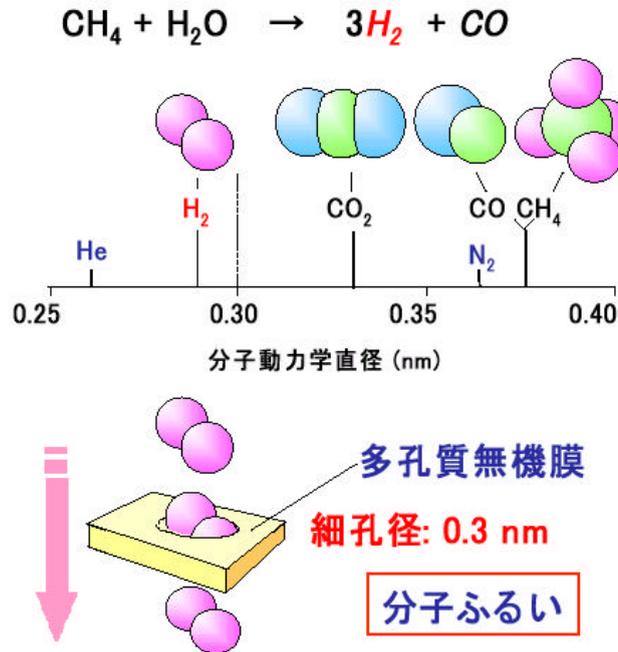


図2-4 多孔質無機膜による水素分離

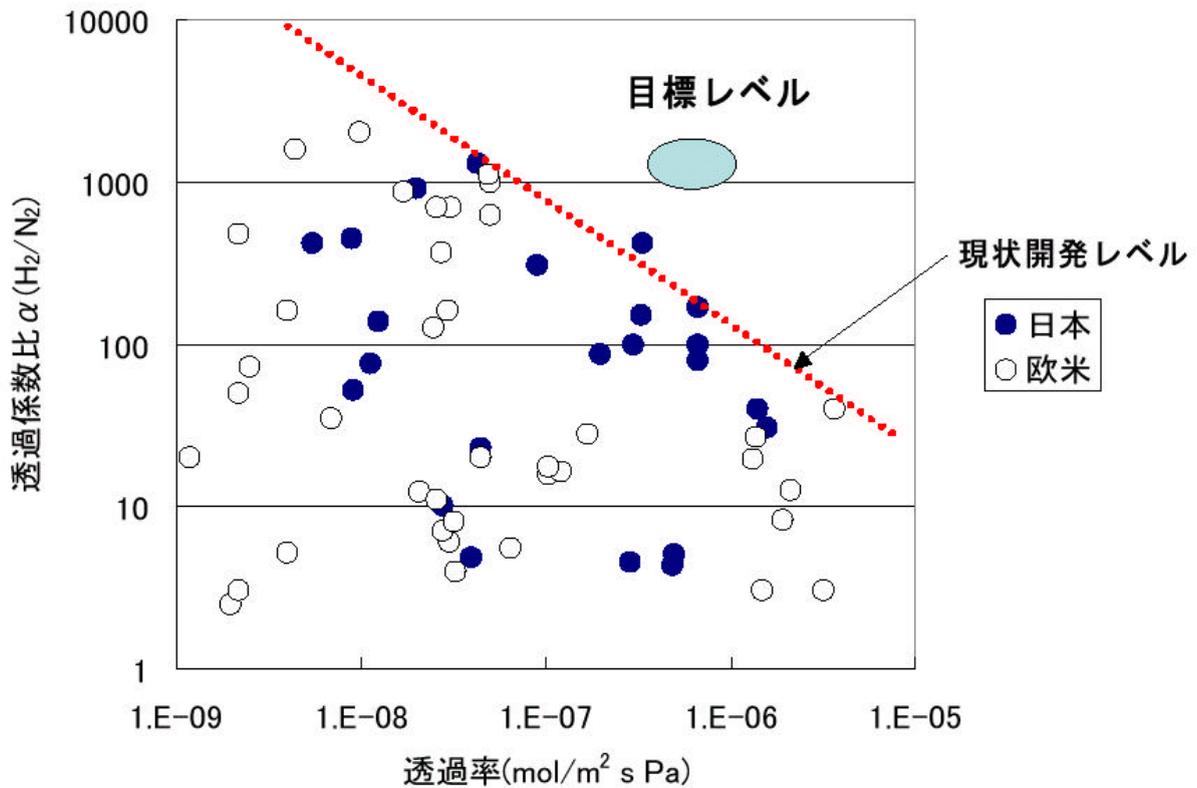


図2-5 多孔質水素分離無機膜の現状開発レベルと本プロジェクトの開発目標レベル

(4) 無機新素材産業技術対策

目標

表2-4 無機新素材産業技術対策の目標・指標

	目 標	指 標
定性的目標・指標	社会ニーズに対応した材料開発の技術戦略を構築するため、社会ニーズと技術シーズのマッチングを図り、ロードマップ化し、ファインセラミックス等無機新素材に関する研究開発の方向性を示す。また、共通技術基盤情報（知的基盤情報）の収集、分類、整理を行い、WMC（ネットワーク型研究所）の構築に向けての基盤を整備する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構築した技術戦略に基づく研究開発プロジェクトの企画・立案件数 ・ 技術革新阻害要因の解決策提案数 ・ 技術ロードマップの作成 ・ 共通技術基盤情報の整備状態（情報データ検索DBの稼働） ・ 共通技術基盤情報利用者の評価

目標達成度

本事業は、平成13年6月より開始し、当該年度末までに、技術適用分野と技術フェーズの観点からの位置付けを検討するとともに、関連する技術動向の調査を通じて、重要技術課題の絞り込みを行い、構造材料分野においては、高次・超精密空間制御技術（多孔体）及び繊維強化複合材料技術、電子機能材料分野においては、インテグレートエレクトロセラミクスデバイス技術及び非環境汚染物質機能材料技術、生体・生活材料分野においては、ナノメディカル及びナノポーラスセラミックス創製技術が特に重要であるとの結論を得た。更に、絞り込んだ重要技術課題について、中長期的視点でのロードマップを示し、開発要素技術、目標、研究開発スケジュール等を記述し、国家として重点的に取り組むべき方向を提案している。構築した技術戦略に基づく研究開発プロジェクトの企画・立案件数、技術革新阻害要因の解決策提案数は現時点ではないが、各分野の技術ロードマップの概略を作成するとともに、共通技術基盤情報の整備に着手している。今後、重要技術課題についての詳細な深掘り調査を行い、具体的な技術課題の検討を行うこととしている。なお、本事業の最終的な達成度の評価は事業終了年度の平成17年度の時点で実施する予定。

2.3 政策効果

本施策の技術波及効果、研究開発力向上効果、経済効果等の政策効果については、以下の表に示す項目について、具体的な指標に基づいて効果を検証した（表2-5参照）。

表2-5 政策効果の具体的な指標・指標の測定手法等

政策効果		具体的な指標	指標の測定手法等
技術波及効果 研究開発力向上効果	研究者	論文数・口頭発表数・新聞等	アンケート、ヒアリング調査、データ分析
	成果技術	特許	
	実用化 社会・産業上の要請	実用化の時期・市場規模 省エネルギー効果、低公害化、市場形成・拡大、他分野への展開性	
経済効果	経済性向上	実用化の時期・市場規模	
国民生活・社会レベルの向上効果	エネルギー・環境問題	省エネルギー効果	

(1) シナジーセラミックスの研究開発

技術波及効果及び研究開発力向上効果

本プロジェクトの主要な目的である、エネルギー・環境関連分野の社会・産業上の要請に対しては、中・長期的に大きな波及効果が期待できる。(表2-6参照)例えば、ガスタービン・エンジン関連分野で部材・システムが実用化されれば、高効率化、省エネルギー化、低公害化、燃料多様化などの面でのメリットが期待され、成果技術の実用化による製品の売上、利益の増加、生産業務の改善、エネルギー消費量・環境負荷の減少等、産業の活性化と社会的ニーズの充足の両面でのインパクトがある。電源の分散化と供給の規制緩和、地球環境問題への対応強化という事業環境変化の動向も、この分野での波及効果を拡大する要因である。

エネルギー・環境分野以外への産業波及効果も期待が大きい。例えば、優れた摺動特性・潤滑機能を有する機械部品、ガス・液のファインな分離、触媒担体、センシング、生体機能代替材料などの分野で、機能複合的で特異な条件下でも耐性のある特性を生かした高付加価値の部材・システムが市場を形成・拡大する可能性が高い。実際、平成15年2月に経済産業省製造産業局ファインセラミックス室が実施者に対して実施したシナジーセラミックスの研究開発に関するインタビュー調査において、複数の企業が本プロジェクトの技術成果を用いた市場の参入・拡大を期待できると回答している。また、高熱伝導材料のように関連分野に大きな波及効果のある成果も上がっており、応力検知機能付与材料は、セレンデピティーともいふべきもので、既にソニーのAIBOの頭部に感触センサーとして搭載されている。

これまでの研究結果は、表2-7に示すように(平成15年1月31日現在)、特許出願129件、学術論文480報、口頭発表818件(内招待講演48件)、及び新聞報道113件に上っている。関連学会での発表は注目されており、例えば、多孔質材料に関する成果はオリジナルなもので、世界的にそれを追隨する研究が始められているなど世界的にも日本のシナジーとして認められ大きな刺激を与えている。

なお、平成14年7月の産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会シナジーセラミックス評価ワーキンググループにおける中間評価においては、各テーマとも関連分野に大きな影響を与えそうだが、新産業に結びつくまでには、なお、技術的なブレークスルーが必要と思われるとの意見や、成果は認めつつも意外性の点でやや物足りず、今後のプロジェクトの展開の中で積極的に掘り起こすべきとの見方もある。

目標達成を目指す過程で、すでに様々な形で技術の広がりを見せ始めているものや、将来的に波及効果が期待できそうなテーマが当該事業から生じてきている。

その事例としては一例を挙げるとすると、以下のようなものがある。

第 期研究開発における水素吸蔵部材の研究では、ナノカーボンの成長制御の過程でナノサイズの新たな触媒が開発されている。この触媒は同時にメタン等の燃料改質の有効性が確認されており、今後この触媒を使った燃料改質の研究を進めていく方向で検討がなされている。

遮熱材料の研究でもコーティング技術の研究が進められる過程で、従来のコストや評価時間を大幅に短縮するガスタービンの新たな評価試験装置が開発され、既に実用化されるに至っている。また、同コーティング技術を用いたガスタービンの開発で、稼働温度の高温化による高効率化と使用燃料の低減による経済効果、排出CO₂の削減による環境負荷の低減が最終的に可能となる。

その他にも選択分離ナノフィルターの研究から高活性触媒開発への応用展開や、NO_x浄化用電気化学セルとイオン伝導型リアクターの開発で確立されたナノサイズの制限空間とイオン伝導を駆使した反応メカニズムは革新的なもので、将来的に高効率の化学反応システムの創製と新たな産業創出が期待されている。

表2-6 シナジーセラミックスの技術的波及効果例（予測）

研究開発内容	技術的波及効果
選択分離ナノフィルター	高活性触媒などの開発
	電極材料、表面コーティング
遮熱材料(コーティング) ガスタービン部品、自動車エンジン部品	信頼性評価技術の多目的コーティングへの利用拡大 新規評価装置の開発
高耐性耐熱材料 高効率ガスタービン部品	小型分散型発電システムや高効率石炭発電用ガスタービンへの応用
低摩擦窒化ケイ素 自動車エンジン部品	さまざまな形で摩擦ロスを低減する省エネルギー技術への発展
高性能電力機器抵抗材料	一般的セラミックス抵抗体への展開。導電性をはじめとする電気的特性発現メカニズムの解明など、セラミックス固体物理の発展が期待できる
高機能能動材料 NO _x 浄化用電気化学セル イオン伝導型リアクター 熱電変換モジュール	ナノサイズの制限空間とイオン伝導を駆使した反応メカニズムは革新的原理であり、将来的に高効率の化学反応システムの創製と産業創出が期待できる
ハニカムセラミックス 二種材料共押し出し	三種材料の共押し出しの可能性も視野に入り、将来的にはハニカムセラミックスの用途拡大が期待できる

(出典：株式会社矢野経済研究所調査（平成14年12月）)

表2-7 成果状況一覧表

(平成15年1月31日現在)

(平成11年度～14年度)

研究開発項目	論文	口頭発表	特許	新聞等	小計
高温エネルギー材料技術	158	222(14)	44(公30,登2)	44	468(14)
超精密材料技術	187	278(18)	47(公29,登1)	45	557(18)
高機能能動材料技術	105	210(10)	37(公15)	15	367(10)
先端評価・設計技術	29	107(5)	1(公1)	8	145(5)
総合調査研究	1	1(1)	0	1	3(1)
総計	480	818(48)	129(公75,登3)	113	1,540(48)

口頭発表の()内は招待講演数

公：公開 登：登録

(出典：ファインセラミックス技術研究組合資料(平成15年2月))

- 1. 経済効果(成果の実用化可能性)

成果の実用化については、本技術開発は基盤的な性格が強いことから、直ちに実用化につながるものは必ずしも多いとは言えないが、既に実用化を想定したテーマもあり、かつ長期的に見て有益な成果が以下の表2-8のとおり見込まれることから、その可能性は高いものと判断される。

本成果の活用が期待される応用分野は広くあるが、実用化の進展・リードタイムは、応用分野におけるニーズの強さと、シーズの産業技術としての進展度とのマッチングにより異なる。本プロジェクトの実用化時期を短期・中期・長期に区分したことは妥当であり、前述のように成果の得られたテーマを新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の実用化技術開発へ移行したことも、産業技術としての見極めを適切に行っていると言える。

具体的には、超精密材料技術の一部においては、NEDOの実用化技術開発助成事業(ガスエンジン用ピストンリング、シリンダーライナー、動弁系システムバルブガイド、シールリング、窒化ケイ素高強度材料)へ移行し、産業技術としての見極めを行っている。

また、高温エネルギー材料技術においても、気孔制御による多孔体の力学特性向上技術のガスタービンへの適用、開気孔材料の触媒担体・選択分離フィルター・メンブレンリアクター・ナノテストチューブ等への適用可能性、自己潤滑機能材料の一部実用化の目処、自己完結型浄化機能材料の展開など、実用化が十分期待できるものである。

表2-8 シナジーセラミックス成果の実用化可能性とその時期

	材料	部材・部品	応用製品・装置	実用化 想定 時期
高温エネルギー材料技術	エネルギー吸蔵材料	水素燃料タンク	燃料電池自動車及び燃料供給システム	
	遮熱材料	燃焼器、シュラウド、動翼等	コージェネレーションガスタービン、小型ガスタービン	2006～
		燃焼器、シュラウド等	超高温ガスタービン	2008～
		エンジン部品	ディーゼルエンジン自動車	2008～
	相境界形成制御材料	燃焼器、シュラウド	超高温ガスタービン	
	選択分離ナノフィルター	セラミックスフィルターメンブレン	セラミックス限外濾過フィルター	2007～
	高温耐熱材料	ガスタービン用静止部品（静翼等）	高効率ガスタービン	2013
		ガスタービン用動翼	高効率ガスタービン	2018
製鋼装置用部品（ブレーキング等）		連続鋳造装置	2008	
流体透過機能材料	石炭発電用脱塵フィルター	高効率石炭発電システム(PEBC、IGCC)	2013～	
超精密材料技術	高熱伝導窒化ケイ素	インバータ用放熱基板	電気自動車・燃料電池自動車用インバータ	2008～
	低摩擦窒化ケイ素	自動車エンジン部品(油等動弁系部品)	自動車エンジン	2007～
	細孔配置分散相分布制御	ピストンリング、シリンダーライナー	自動車エンジン	
	自己潤滑機能材料	バルブブッシュ、バルブ、噴射ノズル	コージェネレーション用エンジン	
		軸受	工作機械	
	ナノ構造材料	微細構造を付与した金型	各種光関連微細加工部品	2006～
	高耐性超精密材料(B ₄ C)	金型、ノズル、治具	金属成型機、サドプラスト、半導体製造装置	2004～
	ミクロ・ナノ高次構造制御組成形成	粉砕用耐摩耗部品	各種機械部品	2005
		セラミックス工具	工作機械、金属加工機械	2005
	高熱伝導窒化ケイ素	放熱基板	IC	2006
		機械加工工具	金属加工機械	2006～
高耐摩耗性セラミックス	高温・無潤滑・低粘性潤滑油使用条件下摺動部品	高温搬送ライン、水中ポンプ、各種機械部品	2013	
軽量・耐摩耗材料	機械部品(エアスライド、粉体用ノズル)	粉体機器、半導体・液晶製造/検査装置	2008	
高機能能動材料技術	耐食性電気化学セル材料	固体電解質燃料電池セル	固体電解質燃料電池利用廃棄物発電システム	
	高性能電力機器抵抗材料	電気抵抗体	変電所設置電力機器	2006
	高機能能動材料	自動車NOx浄化用セル	自動車排ガス浄化装置	2009
		ガスエンジン用NOx浄化用セル	ガスエンジン用排ガス浄化装置	2008
		イオン伝導型リアクター	鮮度制御装置	2006～
		熱電変換モジュール	廃熱利用小型電源	2008
可とう性材料	鉄鋼材料との複合化鋼板	家電、電機、自動車、IT材料、環境等の部品	2006～	
先端評価・設計技術	組成形成設計	焼結・粒成長シュミレーションソフトウェア		2002
	ミクロ領域測定	多孔体ミクロ応力解析プログラム		2005
		ミクロ領域材料特性測定		2005
	界面破壊挙動	亀裂進行解析プログラム		

(出典：株式会社矢野経済研究所調べ(平成14年12月))

- 2. 波及効果

本プロジェクトの成果は多様な材料応用基盤技術であり、それぞれの要素技術毎に実用化を想定した目標値を設定し、特定の特性・機能を有する材料・部品の可能性を検証するものである。

高温エネルギー材料技術の開発成果は、小型タービンや超高温ガスタービンの燃焼器、1500 超高温ガスタービンの遮熱コーティング、石炭燃焼ガスフィルター等の高温集塵フィルター、石油化学プラントの分離フィルター等としての活用が想定され、熱効率の向上による省エネルギー化や有害物質の除去による低環境負荷などの効果が期待される(図2-6参照)。

また、超精密材料技術の開発成果は、ベアリング、ガスエンジン用部品、真空・高温系摺動部材、工作機械用軸受、及びシムを始めとする自動車エンジン部品など、各種摺動部品への活用が想定され、部品の長寿命化、メンテナンスコストの軽減、摩擦損失の低減が期待される(図2-7参照)。

さらに、高機能能動材料の開発成果は、自動車の排ガスを始め産業分野全般における種々の化石燃料の排ガス浄化システム、廃棄物発電用燃料電池セル、環境センシングシステム、小型高性能電力機器抵抗材料等としての活用が想定され、地球環境問題や都市環境の改善等の効果が期待される(図2-8参照)。

一方、評価・設計技術の開発成果は、部材の強度シミュレーションソフト、結晶粒子の格子歪み測定手法、多孔体の機械的特性解析システム等への活用が想定され、材料・部品開発期間の短縮化等への貢献が期待できる(図2-9参照)。

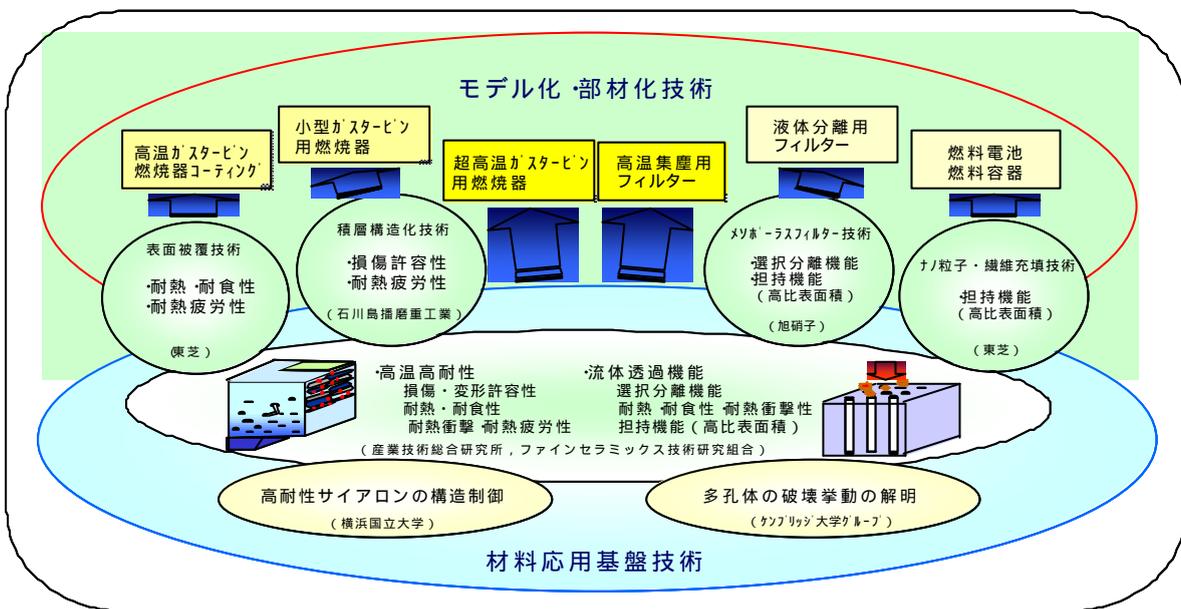


図2-6 高温エネルギー材料技術の研究開発展開

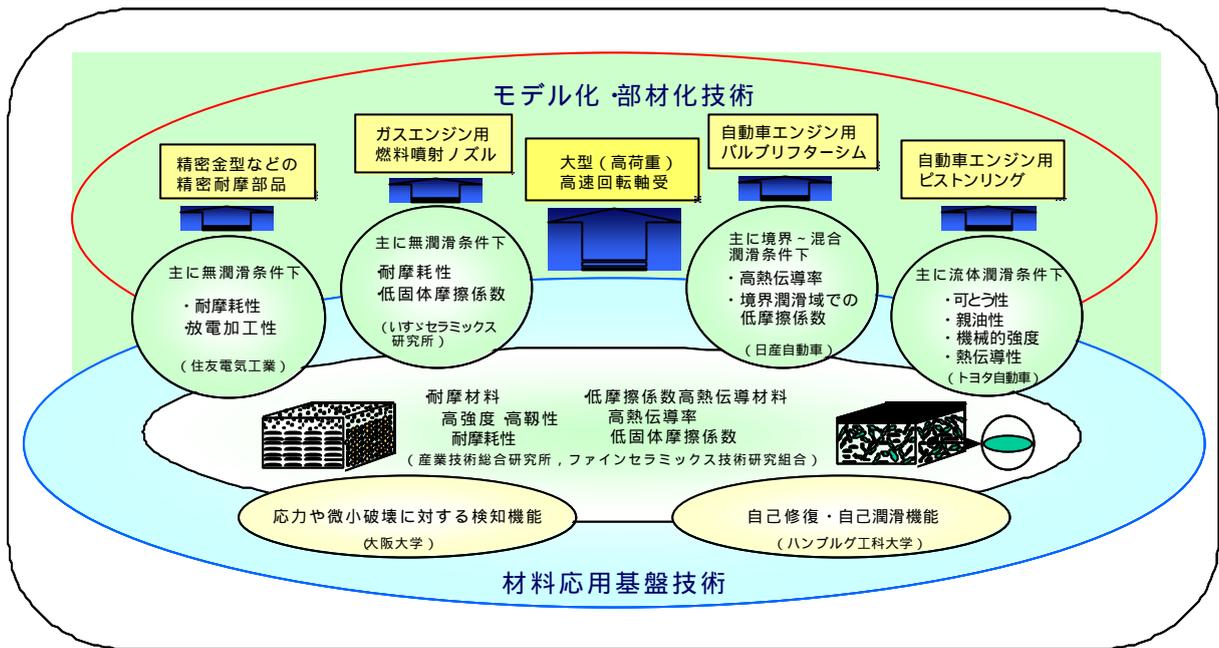


図2-7 超精密材料技術の研究開発展開

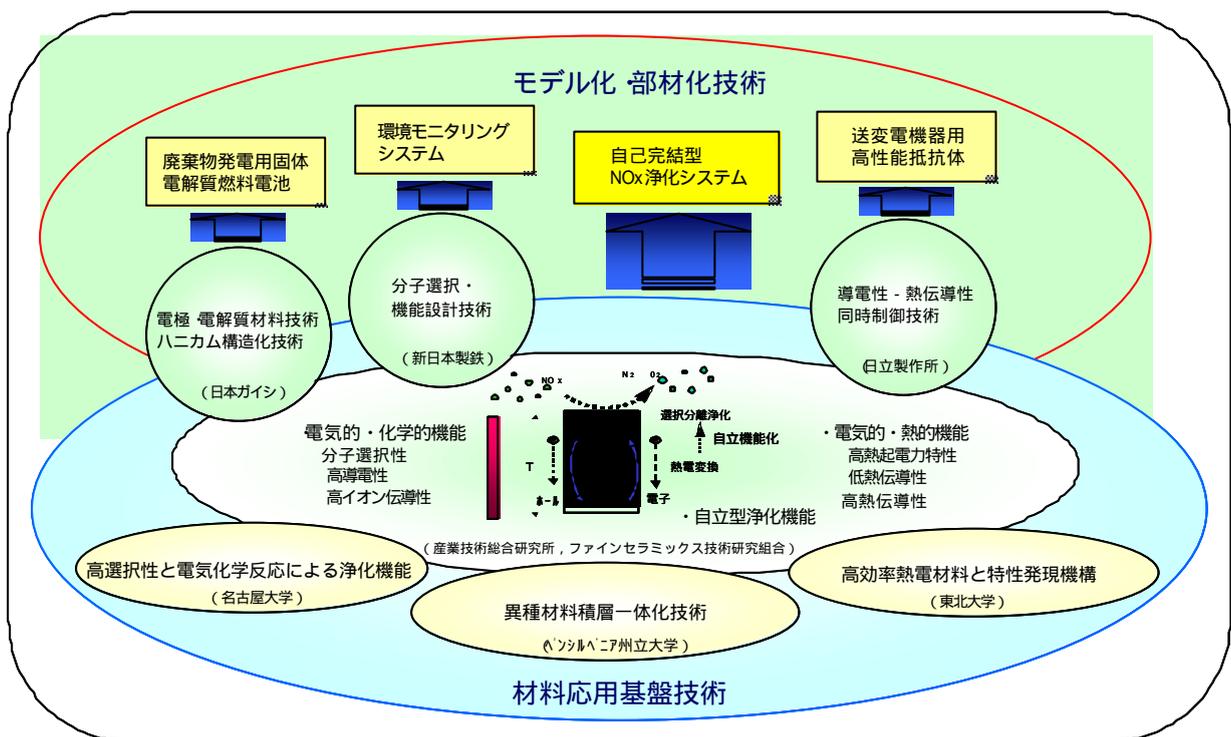


図2-8 高機能能動材料技術の研究開発展開

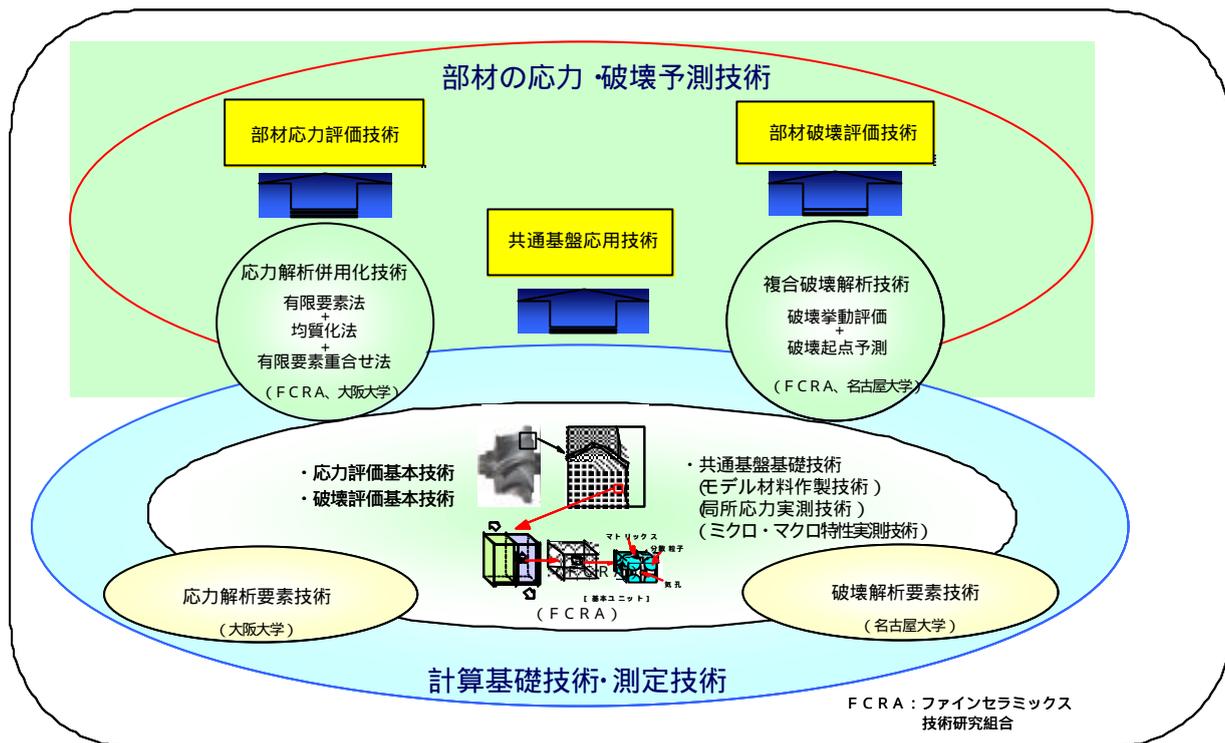


図2-9 先端評価・設計技術の研究開発展開

社会生活の向上効果

地球環境問題の深刻化により、これまでのエネルギー・資源の大量消費型技術から、省資源・省エネルギー効果に優れた技術や、環境負荷が少ないクリーンエネルギー技術など、環境に優しい技術への転換は世界的に切迫した問題となっている。資源・環境の制約条件下で我が国産業の持続的な成長を維持するため、省資源・省エネルギー効果に優れた技術や環境負荷低減技術等の開発は喫緊の課題である。セラミックス材料は他の金属材料や有機材料とともに、これらの問題解決のためのシステムや部品の革新を支える基盤技術を構成するものである。その中で熱機関の効率向上などに不可欠な高温強度、耐食性などに優れたセラミックス材料への期待は高く、従来にも増して過酷な環境下で優れた特性を安定して発揮することが可能となる。

本研究開発は、エネルギー、輸送、一般産業機器等への適用により、エネルギー効率の向上、エネルギー源の多様化、機器類の長寿命化、及び環境の高効率浄化等を可能とする、耐熱性・耐環境性に優れ、あるいは有害物質を効率的に分離・除去、浄化する革新的な高耐性材料や多重機能材料（シナジーセラミックス）の開発を目的としており、上記課題の解決に資するものである。

本研究開発における、省エネ効果とコストの関係に関する分析については、当該事業で確立した材料合成技術を、セラミックス天然ガスエンジンシステムにおける副室バルブガイド、燃料噴射ノズルへの自己潤滑機能を有するセラミックス部材へ適用すると想定し、節約原油の絶対量及び単位投入資源量に対する節約原油量で以下のような結果を得た（経済産業省製造産業局ファインセラミックス室調べ）。

- ・2010年時点：約 63万キロリットル/年
- ・2020年時点：約 146万キロリットル/年
- ・2030年時点：約 289万キロリットル/年

(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発(フロンティアカーボンテクノロジー) 技術波及効果及び研究開発力向上効果

本プロジェクトは最終年度を迎え、既に技術開発目標値を、全て達成している。前述のように物質創製分野では、カーボンナノチューブの開発が進捗し、具体的な製品化の案件が出現している。本プロジェクトのように材料開発からスタートする研究システムでは、独創性の高い製品が創製できるというメリットはあるものの、企業化までの時間が長いという欠点があるのが一般的である。カーボンナノチューブでは、高性能燃料電池とカーボンナノチューブピア配線に関して、企業化を目指した開発が始まり、本年度から「ナノカ・ボン技術プロジェクト」(平成15年度からフォーカス21へ移行)が開始された。

電気的高機能材料の創製プロセス技術においては、当初目標を超えて研究開発が進捗している。ダイヤモンドは様々な優れた物性を有しているため、基礎研究では幅広い分野で成果が得られており、応用面では、ダイヤモンドの多様な特性により、近い将来、情報通信、環境、バイオ、化学工業等、幅広い産業分野で利用されることが期待される。本プロジェクトでは、他の半導体には見られないダイヤモンドの「負の電子親和力(NEA)」に注目し、高効率の電子放出技術の開発を主要テーマとし、これに不可欠な技術として形態制御・高品質膜のCVD技術及び先鋭エミッタ加工技術の開発を実施した。この結果、低電界・高電流密度の目標値を達成するとともに、ナノメータ・オーダーの先鋭な先端を有する電子エミッタアレイの加工技術、6インチ基板上のダイヤモンド膜の形態制御、16mm角・1mm厚の単結晶ダイヤモンド板のCVD合成、白金基板上の無粒界膜のCVD合成技術を確立した。電子放出・エミッタ加工技術は、来年度より開始予定の「ダイヤモンド極限機能プロジェクト」に活用され、冷陰極放電灯や電子ビーム露光装置等の企業化を目指し、また、ダイヤモンド合成技術は電界効果トランジスタの開発に活かす。

機械的高機能材料の創製プロセス技術においては、低摩擦・耐摩耗性を持つダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜、複雑形状基材へ均一に成膜されたDLC膜、大面積のガラス基板上に均一に成膜された光透過性の良いダイヤモンド膜等が開発された。これらは、各種機器の摺動部材や耐摩耗性が要求される部材等へ適用されることで、機器の省エネルギー性、耐久性、信頼性の向上をもたらす。

以上述べたように、世界に先駆けて、新しい炭素系物質及びプロセスの創製と特性把握に関する開発を行ったことにより、本プロジェクトは、省エネ及び環境問題に対応できる新材料としての炭素系高機能材料技術の基盤を確立できた。この成果に基づき、平成15年2月に経済産業省製造産業局ファインセラミックス室が実施者に対して実施した炭素系高機能材料技術の研究開発(フロンティアカーボンテクノロジー)に関するインタビュー調査において、複数の企業が本プロジェクトの技術成果を用いた市場の参入・拡大を期待できると回答しており、具体的な製品化に向けた研究が加速されつつある。今後、さらに多岐に亘る製品において炭素系高機能材料が利用され、新産業分野として拡大していくものと思われる。

成果状況については、論文発表・口頭発表件数は十分であり、国内外にプロジェクトの成果を発表することができた。特許に関しても全体として開発成果を確保することができてお

り、さらに国際特許の出願がなされたテーマもある。中間評価時点では特許は64件であったが、最終年度の1月末時点では108件に増加し、知的財産の権利確保が強化されている。(表2-9参照)

表2-9 成果状況一覧表

(平成15年1月末現在)

(平成10年度～15年1月)

研究開発項目	論文	口頭発表	特許	新聞等	小計
物質創製技術の開発	281(241)	557(442)	53(33)	77(61)	968(777)
電気的高機能材料	151(91)	198(106)	44(27)	26(14)	419(238)
機械的高機能材料	63(34)	132(81)	11(4)	4(4)	210(123)
総計	495(366)	887(629)	108(64)	107(79)	1597(1138)

(出典：財団法人ファインセラミックセンター統計)

(カッコ内は平成14年2月の中間評価時点の件数)

- 1. 物質創製技術の開発

カーボンナノチューブ合成技術及び物質制御技術の2テーマはその論文、学会報告、特許出願共に旺盛である。但し、4テーマ全体で53件の国内特許出願に比し国外特許出願が10件と少ない点に関して再検討を要する。

- 2. 電気的高機能材料の創製プロセス技術

中間評価において、論文・学会報告等が物質創製技術の開発との人員比(物質創製技術約40名対当該技術約20名)に比し著しく少ない、ダイヤモンド形態制御技術に関しては研究の性格上、特許が主としてプロセス技術になり開発技術の特許化に工夫も必要であるが、開発成果をノウハウ開示を抑えた形で特許出願する必要がある、本テーマでの原著論文数が他テーマに比して少ない、との指摘があった。のアクティビティに関しては、実際のマンパワー(労務費)をベースに比較すべきであるが、いずれにしても上記表に見られるように、中間評価に比べ向上している。また、については6件の特許出願を行った。については、上記表に見られるように原著論文数についても向上している。本テーマでは海外特許出願が9件あり、積極的な特許対策は評価できる。

- 3. 機械的高機能材料の創製プロセス技術

中間評価において、論文、学会報告、特許出願等は物質創製技術の開発との人員比(物質創製技術約40名対当該技術約25名)に比し少ないこと、特許出願が全体で4件と他の技術に比し出願が少ないことの指摘があった。その後、論文投稿等の成果の発表や特許出願が行なわれることによりかなりの上積みがなされている。しかしながら、他のテーマに比べてまだ少なく最終年度での一層の奮起が望まれる。

- 1. 経済効果(成果の実用化可能性、波及効果)

研究成果は、波及効果も十分あるが、社会情勢、市場のニーズを基礎とした、成果の実用

化可能性に関して、具体的な道筋等は必ずしも明確ではなく、実用化の見通しがあいまいとなっている点が散見される。

しかしながら、本プロジェクトの意義は、発足当初、科学的物性研究が中心に行われていた炭素系高機能材料を、実用化のレベル、実用化が展望できるレベル、工業材料として利用できるレベルに引き上げたことにある。

また、経済効果については、電気、機械分野でのプロセス創製技術の目標が全て達成され、既に一部実用試験に入っているテーマもある。また、物質創製技術に関しても炭素系材料(B, C, Nの組み合わせ)による得意な物性を発見しており、実用化に向かう可能性が高い。

さらに、カーボンナノチューブの大量生産では産業化の可能性がある。カーボンナノチューブ合成技術での大量合成の成功により、用途開発のためのサンプル提供が可能になったことは、本プロジェクトの今後の展開を図る上で重要な点である。カーボンナノチューブの応用の基礎研究で欧米に先行されたにもかかわらず、このサンプル配布により、生産技術が係わる産業応用の開発、例えばフラットパネルディスプレイ用のカーボンナノチューブ電子源の作成技術や複合樹脂等、様々な分野での応用が促進された。これによりその用途開発が大手民間企業の他ベンチャー企業も参加できるように考慮されている点も重要である。カーボンナノチューブエミッタは省エネルギー化などに特徴があるが、競合関係を視野に入れた研究開発を考えなければならない。カーボンナノチューブと各種プラスチックとのブレンド等品質を問わないカーボンファイバー的な利用法により市場は広がるはずである。

本プロジェクトでは、ダイヤモンドの実用化に不可欠な基盤技術が確立できた。ダイヤモンド合成技術に関しては、6インチ径多結晶ダイヤモンド膜の形態制御技術、16mm角の大型単結晶ダイヤモンド合成技術、白金基板上の10mm径の無粒界ダイヤモンド膜合成技術が確立された。この成果を基に、数年内に、数インチ径の基板上に単結晶ダイヤモンド膜を合成する技術が確立されると思われる。また、ダイヤモンド尖鋭ナノエミッターの形成技術については、世界を大きくリードする微細加工技術が確立された。今日では、当初の単結晶表面への先鋭エミッタ形成技術を超えて、2インチ径の多結晶膜、高配向膜表面でも先鋭エミッタ加工を実証した。この技術は次期プロジェクトの電子放出利用デバイスの実用化に利用できる。さらに電子放出機構についても解明が進み、ダイヤモンドの他材料にない「負の電子親和力」による電子放出が確認できたことは、今後、電子放出効率を向上させるための大きな成果である。ダイヤモンドの応用分野は広く、既にSAWフィルター、紫外線センサ、ヒートシンク等が実用化されており、さらに、本プロジェクトにより技術進捗が得られたので、今後も他の製品への波及が期待される。

機械的高機能材料に関しては、他のテーマのように華々しい成果は少ないが、各種機器の下支えをする重要技術である。例えば、世界のトップレベルに位置付けられる摩擦係数0.04、比摩耗量 $3 \times 10^{-9} \text{mm}^3/\text{Nm}$ のDLC膜の合成等は企業から大いに注目される成果であり、実用化が間近いものである。

この事業の成果の関連分野へのインパクトは高いが、分かりやすい成果の公開が必要で、それなくしてはインパクトはありえない。国のプロジェクトである限り、研究内容のできる限りの公開は国民に対する義務であろう。

高度で多様な特性を有する新規な炭素系物質の優れた機能を発現させるための基盤技術の確立は、我が国の将来の戦略基幹物質・材料を確保するために重要である。これらの物質は、フラットパネルディスプレイ等の新産業の育成と市場の創出につながるものであると期待さ

れる。

- 2. 波及効果

- 2 - 1. 物質創製技術の開発

物質創製技術で得られた成果の中で、産業技術として最も実用化に近いのは、カーボンナノチューブを利用した製品開発である（表2-10参照）。特に、用途は多岐に亘っているが、カーボンナノチューブの大量合成技術がほぼ確立したこともあって、複合樹脂による強化プラスチックや導電性プラスチックであると考えられる。本プロジェクトにおいて開発された触媒技術と、連続式反応装置技術を組み合わせることにより、新たに開発した流動気相合成法によって、平成11年12月末に、1時間当たり200 gの多層カーボンナノチューブの生成を可能にした。更に、反応時間の精密制御による多層カーボンナノチューブの径の制御や装置の大型化及び黒鉛化度の上昇を行い、高品質かつ大量生産技術の開発を継続している。また、触媒の改良についてもこの大型連続式反応装置で検討を行っている。さらに、多層カーボンナノチューブの品質を制御し種々の用途に向けた品質の多層カーボンナノチューブの合成を可能とするために、黒鉛化処理装置を平成11年度の補正予算により導入した。これらの合成法で作製したカーボンナノチューブを試作提供し、特性の把握やさらなる用途展開を進めているところである。

他の用途で立ち上がり早いと期待されるものとして、電子放出材料が想定される。カーボンナノチューブの持つ良好な電子放出特性の成果は、世界で最初のカーボンナノチューブ電子源を用いた面光源の開発に受け継がれ、この面光源の開発の成果は、NEDOの産業技術研究開発成果実用化補助事業としての薄型壁掛けテレビ用電子源の開発、及び平成15年度から開始予定の「カーボンナノチューブFEDプロジェクト」へと発展している。本プロジェクト終了後は、多層カーボンナノチューブ電子源を用いた薄型壁掛けテレビへの開発が期待される。そして、カーボンナノチューブの種々の特性（電子放出特性、ガス吸蔵特性、電気化学的特性、化学的特性、機械的特性）が明らかにされつつあり、多方面にわたる応用の可能性が期待されている。また、カーボンナノチューブの持つ多彩な特性を確認することが促進できた背景には、大型連続式反応装置で製造した多層カーボンナノチューブを、国内の企業、大学に幅広く提供したことが挙げられる。我が国の飯島博士によって発見されたカーボンナノチューブの特性をいち早く確認し、量産技術開発と応用技術開発により世界のイニシアチブをとることは、日本の固有技術の競争力を強化し新分野における技術立国となるための有効な戦略であると考えられる。表2-10はカーボンナノチューブの応用製品の市場予測（日立総研調査資料）をまとめたものである。これらのカーボンナノチューブ製品が企業化されることにより、環境・エネルギー、IT・エレクトロニクス及び新素材の各分野への波及効果が予想される。具体的には、燃料電池（触媒担持用電極）及び平面パネルディスプレイの普及に伴う、省エネ効果とCO₂削減により、環境破壊やエネルギー削減が期待できる。

表2-10 カーボンナノチューブ(CNT)応用製品例

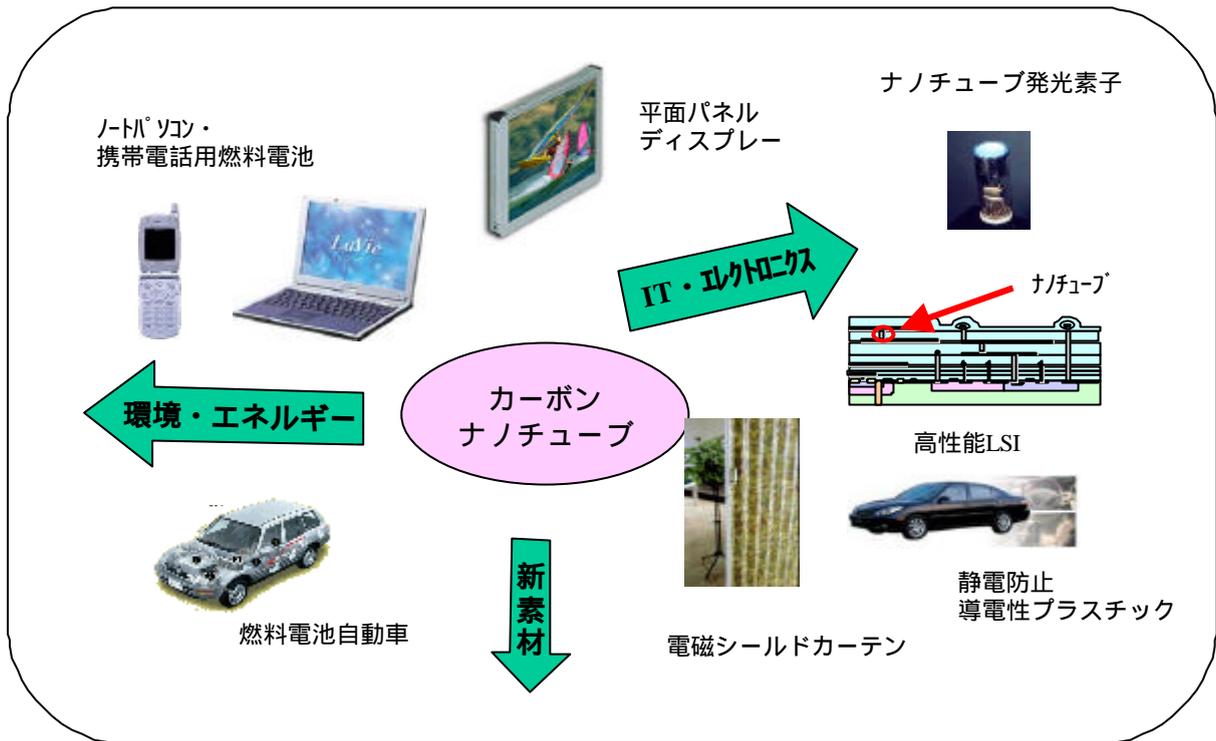
分野	想定製品	内容
素材・プロセス	新材料 CNT繊維	CNT(含フラーレン) CNT繊維
エレクトロニクス	有機EL 無機EL FED	小型・軽量・薄型ディスプレイ(ポ ストLCD技術)
	新構造デバイス	作動領域にCNTや自己組織構造を利用したデバイス
エネルギー・輸送	燃料電池	ナノ電極材料やナノ水素吸蔵材を用いた燃料電池
計測・加工	計測・加工システム	ナノスケール計測・加工装置
バイオ	バイオセンサ、ラボチップ等	生体反応をナノレベル構造体の特性変化により検出

(出典：日立総合研究所調査資料)

また、エレクトロニクス分野では、高性能LSI等の微細なビア配線が技術開発の1つの障壁となっているが、カーボンナノチューブを用いれば微細なビア配線が可能となり、日本の微細加工技術の優位性が顕著となる他、高性能LSIのみならずパソコンのCPUやメモリーに関しても国際競争力を発揮できると期待されている。

新素材の分野では、カーボンナノチューブと樹脂を混合させた静電防止あるいは導電性プラスチックが、自動車部品に展開すると考えられ、新市場の創出と雇用が期待されている。また、カーテンなどの繊維の中に混ぜて、磁気シールドを行い、病院等で医療用品としての応用が考えられている(図2-10参照)。

図2-10 カーボンナノチューブ応用製品と社会的効果



- 2 - 2. 電気的高機能材料の創製プロセス技術

ダイヤモンドは他の半導体材料を大きく凌ぐ半導体特性を有しており、シリコン等既存の半導体では到達できない電子デバイス用材料としての期待が大きい。従って一定の品質と面積を有するウエハが開発されれば、次世代の電子情報の中核となる通信用半導体デバイスを始め、環境・化学工業・医療等の広範囲の分野で新産業創出が進むと考えられる。

本プロジェクトでは産学官が結集してダイヤモンドに関する共通基盤技術の開発を実施しているが、阪大集中研究所における 形態制御技術、電子放出特性制御技術、先鋭エミッタ加工技術、大型単結晶合成技術、配向成長技術に加え、(a)シリコン半導体並みの結晶性をもつダイヤモンド膜の合成と機能実証、(b) GHz 対応のダイヤモンド電界効果トランジスタの開発、(c)量子トランジスタの実証、(d)室温での紫外線発光の発見、(e)SAW フィルター・紫外線センサ等の製品化等が達成された。これらの技術開発の進展を考慮すると、表 2-11 に示した製品や、ダイヤモンドをキーデバイスとした装置・システムが近い将来、実現すると考えられる。

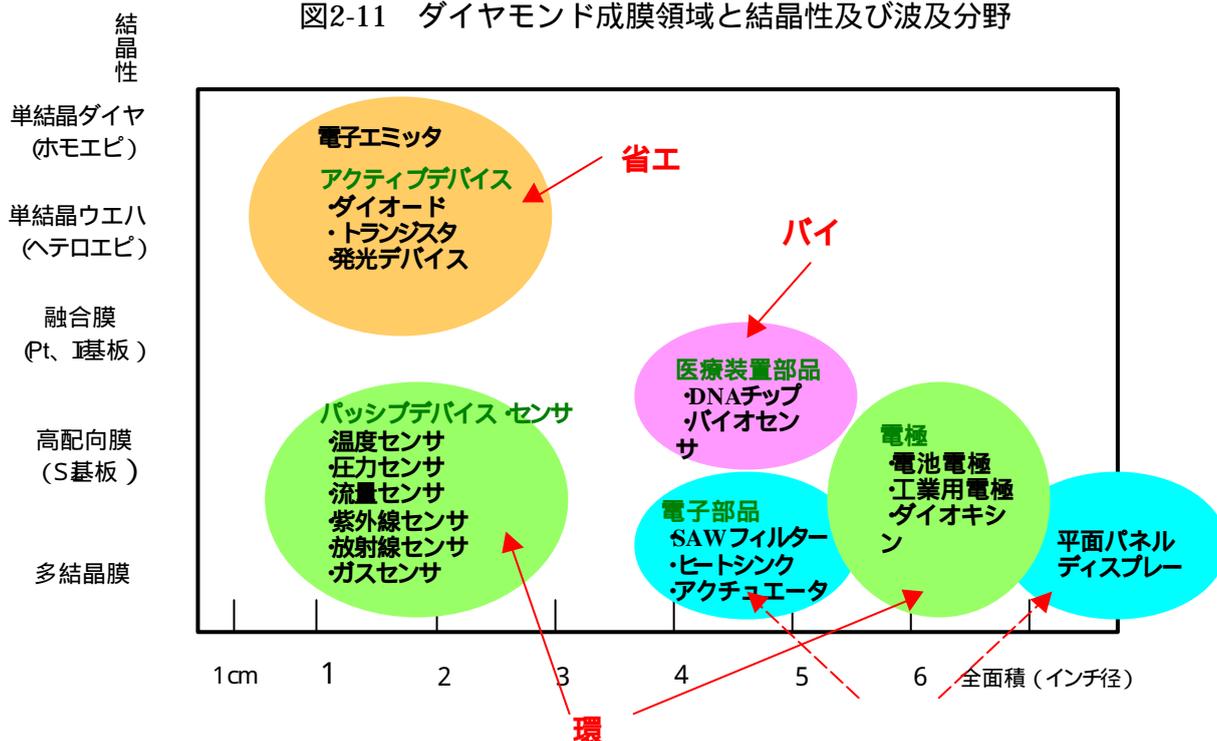
電子放出デバイスに関しては、ダイヤモンドの「負の電子親和力」を活かすことが必要である。また、他の半導体材料（シリコン、GaAs, SiC等）では実現が難しい電子デバイス分野で、ダイヤモンド半導体材料を用いて新市場が創出されることが期待される。

表 2-11 ダイヤモンド製品の実用化案件

分野	製品化案件
アクティブデバイス	紫外線発光素子（高品位結晶） 高周波デバイス パワーデバイス ナノデバイス 整流ダイオード
電子放出デバイス	真空マイクロデバイス フラットパネルディスプレイ エミッタ利用デバイス 微細加工電子源、蛍光表示管、高周波トランジスタ、衛星通信用トランジスタ、高耐圧トランジスタ STM、AFMの探針、DVD/CDの金型、表面印字・フォログラフィー探針、医療用探針、次世代光メモリ・電子メモリ用探針、携帯殺菌灯、次世代光メモリ用光源
アクチュエータ	アクチュエータ
センサ	センサ 温度、圧力、流量、ガス、紫外線、放射線
化学電極	化学電極 バイオセンサ、有害物質分解、工業用電極
医療関連部品	医療関係部品 DNAチップ、マイクロ医療
ダイヤモンド合成	6インチ多結晶ウエハ 1インチ単結晶ウエハ 生産用ダイヤモンド気相合成装置
微細加工	リソグラフィーマスク
機械加工	研磨装置 3次元形状加工装置

（出典：産業構造審議会炭素系機能材料技術評価ワーキンググループ中間評価報告書（平成14年2月））

図2-11 ダイヤモンド成膜領域と結晶性及び波及分野



ダイヤモンド電子デバイス(電子エミッタやトランジスタ)は、一般に高効率であるため、省エネ効果が大きい。また、電子部品や平面パネルディスプレイ等のエレクトロニクス製品やIT関連製品への進出により新製品の創出、既存製品の高度化が期待できる。SAWフィルター、ヒートシンクといったIT関連部品や紫外線センサは既に市販されており、特性の優位さは実証されている。今後はさらなるコスト低減技術、量産化技術の開発が必要である。

さらに、ダイヤモンドは生体から拒否反応を受けないので、バイオ関連のセンサ等に適用している。現在はバイオ分野への適用について研究が開始されたばかりであるが、既に化学センサ、DNAチップは製品化されている。この分野の将来性は高いので、ダイヤモンドを基本材料とした装置・デバイスの開発・製品化も期待される(図2-11参照)。

- 2 - 3. 機械的高機能材料の創製プロセス技術

複雑形状成膜技術の開発において、従来のイオンビームを用いた成膜法と比べて、マスクの設置や処理基材の3次元的な移動を必要とせず立体形状に機械的的特性の優れたDLC膜を合成できることが明らかであり、さらに処理時間が大幅に短縮されて、コスト面からイオンビーム成膜技術の実用化には大きな前進が見られた。このような成果は、表2-12に示される分野に適用されることが予想される。ただし、実用化のためには、DLC膜のみならず、炭素・異種元素間の結合制御により、硬さ、高温耐食性の向上が期待されるCN、BCN系薄膜の開発を行う必要がある。さらに、その複雑な形状(実機部材形状)に対する均一成膜技術の開発、実用部材への密着性向上、対象とする機械部品に対する性能評価等を経て、対象部品の大きさ、コストに見合う処理能力を有するプラズマイオン注入装置の開発に移行する必要があると考えられる。また、広範な実用化の観点からは、DLC膜のみならず、炭素・異種元素間の結合制御により、硬さ、高温耐食性の向上が期待されるCN、BCN系薄膜の開発を行う必要がある。

表2-12 適用が予想される分野

応用分野（対象製品）	効果（利用する特性）
耐食・耐摩耗機械部品 （一般産業機械、次世代製造システム、自動車・航空・宇宙製品）	・耐食・耐摩耗性向上による高性能化 ・オイルフリー化 ・メンテナンスフリー化
ゼロエミッション工具・金型	・長寿命化、高速化によるコスト削減 ・ドライ加工化
タービンブレード等の回転翼	・耐食・耐環境性能向上による高性能化 ・長寿命化

（出典：産業構造審議会炭素系機能材料技術評価ワーキンググループ中間評価報告書（平成14年2月））

組成傾斜化成膜等によるトライボロジー技術の開発においては、密着性の良い炭素被膜や優れた低摩擦性・耐摩耗性を持つ被膜の得られる見通しがついたが、この成果は、産業用機械、輸送用機械等の広範な機器における軸受やシールを始めとするトライボロジー部品に適用できるもので、それにより部品の長寿命化、重大損傷の防止、摩擦損失の低下を達成することが可能となる。例えば、車両用部品（過給機の軸、ピストン、カム、シム）や産業用圧縮機の軸受やシール、プレス加工機、成形加工機の摺動部品等の高面圧環境、液体環境、低温環境、異物混入しやすい環境等で使用されるトライボロジー部品への適用が挙げられる。これら部品の数は膨大であり、それらへの本プロジェクトでの成果の適用の持つ波及効果は大きいものである。なお、真の実用化へのプロセスとしては、以下のようなものが考えられる。

実用化へのプロセス（研究開発後のプロセス）

a) プロトタイプでの特性評価

実部材のプロトタイプへのコーティングと適用環境下での模擬試験（特に実機に即した稼働状態での安定性試験）

b) 実機試験

コーティング部材を実機に組み込み実機試験の実施（安定性、安全性試験）

c) 量産化のための大型処理装置の開発

処理面積が大きく成膜速度の早いCVD成膜法の確立等大型化、大電流化を考慮した機器開発

d) 量産化

請負コーティングによる技術の普及、あるいはコーティング装置の販売による技術の普及

社会生活の向上効果

技術革新による新産業の創出が求められている今日、我が国が、今後とも持続的発展を維持していくためには、革新的な技術開発が望まれている。具体的には、高度情報化社会を迎え、情報通信分野での新たな産業創出 エネルギー・環境等の制約条件の下で、環境調和型・資源創出型社会の実現に向けて、環境への負荷を低く、かつ資源低消費型の新たな技術開発 産業の国際競争力が求められており、次世代の産業の死活を握る我が国の基盤技術開

発が強く求められている。

炭素系材料は、無害・軽量・省エネ・豊富な資源等の条件を満たす環境に適合した材料であるとともに、高度な機能を有している。また、炭素繊維やCCコンジット開発に見られるように、歴史的に我が国が優位性を有してきた分野である。さらに、新規炭素系物質として、フラーレンの理論予測やカーボンナノチューブの発見等、我が国は、本分野で世界をリードしてきた。

高度で多様な特性を有する新規な炭素系物質合成の優れた機能を発現させるための基盤技術の確立は、我が国の将来の戦略基幹物質・材料を確保するために重要である。さらにこれらの炭素系物質を電気的高機能材料及び機械的高機能材料へと展開するための材料化プロセス技術の確立は、フラットパネルディスプレイやメンテナンスフリーシステム等の新産業の育成と市場の創出に繋がるものであり、21世紀の我が国の産業の中核を担うべき基盤技術と考えられる。さらに、我が国の材料分野における技術的優位性が維持でき、国際競争力の確保が可能となることが期待される。

本研究開発における、省エネ効果とコストの関係に関する分析については、当該事業で確立した材料合成技術を、ディスプレイ分野（テレビ、パソコン、携帯電話等の高精細画面等）へ適用すると想定し、節約原油の絶対量及び単位投入資源量に対する節約原油量で以下のような結果を得た（経済産業省製造産業局ファインセラミックス室調べ）。

- ・2010年時点：約 49万キロリットル/年
- ・2020年時点：約 157万キロリットル/年
- ・2030年時点：約 370万キロリットル/年

(3) 高効率高温水素分離膜の研究開発

技術波及効果及び研究開発力向上効果

本事業により開発する高効率高温水素分離膜及びモジュール開発技術は、燃料改質反応プロセスの高効率化と省エネ化及び省スペース化に大きく貢献することが期待され、燃料電池システムの早期実用化、特に一般家庭用、あるいは店舗を対象とした分散型電源となる定置型の早期実用化が期待できる。また、実用化においては種々の要素技術開発が必要となるが、車載型燃料電池システムの実用化においても大きく貢献できることが期待される（図2-12）。

さらに、水素は基幹化学物質の合成原料、石油精製、石油化学等における反応剤としての利用など、広範な産業分野において大量に使用されていることから、本事業による高性能な高温水素分離無機膜開発で培われた基盤技術は、以下の分野で多大な波及効果をもたらすものと期待される（図2-13）。

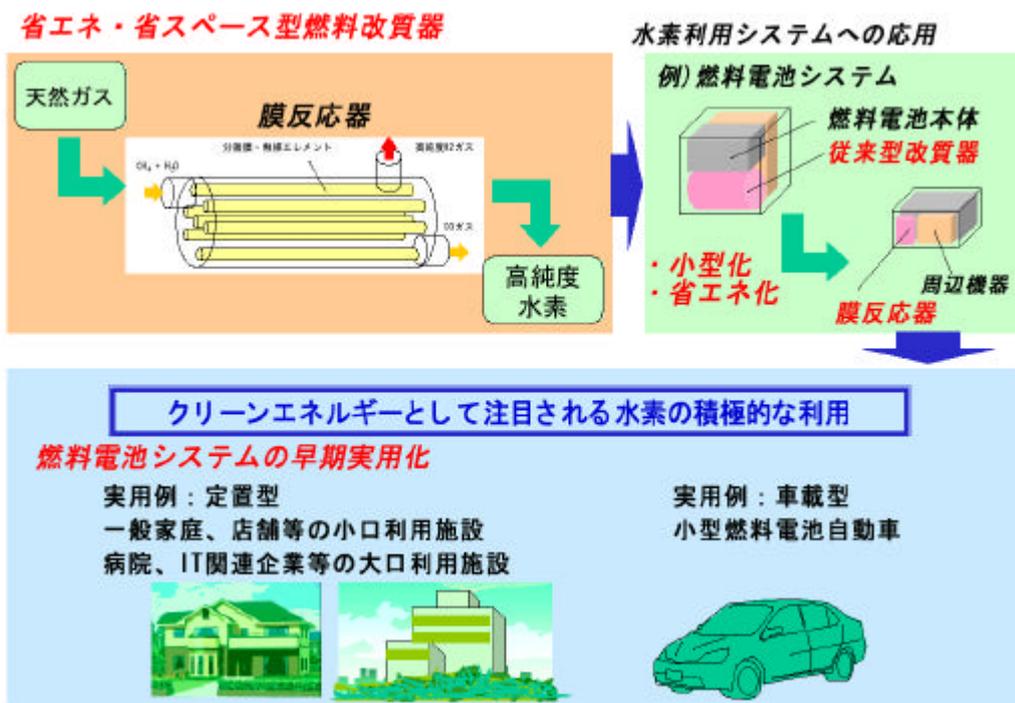


図2-12 水素分離膜の燃料電池システムへの応用と実用化

従来技術への適用 ~高効率・省エネ、省資源、CO₂削減、設備簡略化~

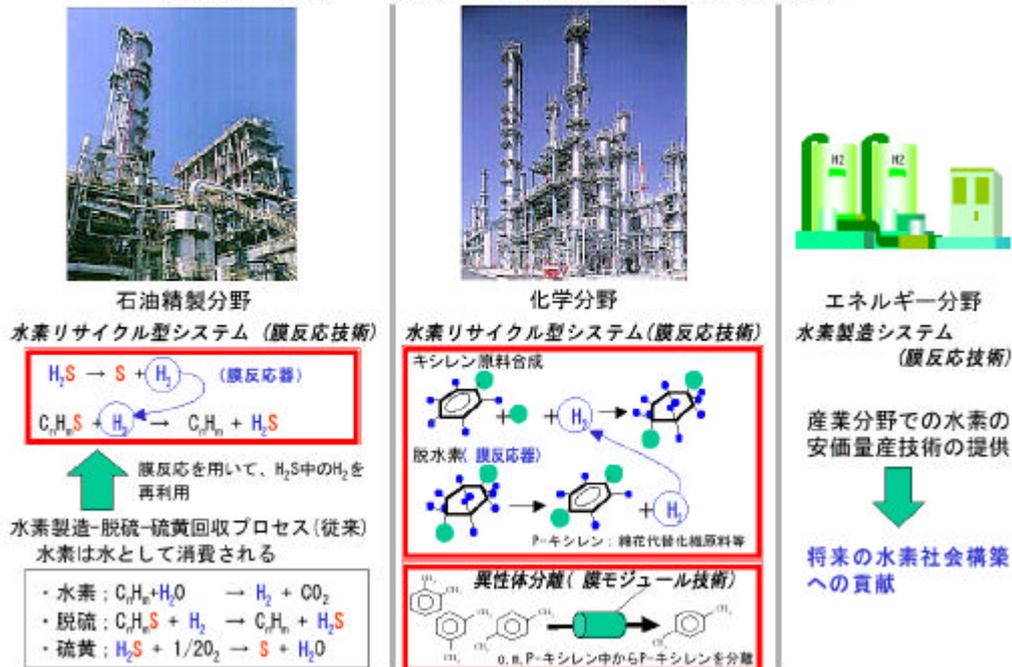


図2-13 開発技術の波及効果

- 1. 精製・石油化学分野

この分野でも水素分離膜の適用によって、下記のような新規な省エネプロセスが創出される。また、本分野への波及効果によって期待される省エネ効果、及びCO₂削減量は、それぞれ100万kl/年(石油換算)、120万t-C/年と予想される(財団法人ファインセラミックスセンター調べ)。

- ・石油精製水添脱硫プロセス
 既存技術では、脱硫に使用された水素の回収は不可能。
 水素のリサイクルによって、水素製造用ナフサ量を大幅に低減化できる。
- ・石油化学p - キシレン製造プロセス
 触媒充填層型異性化反応器の代替。
 反応温度低下 (600 → 350) による省エネ効果。

- 2. 新規水素エネルギー製造と貯蔵・供給システムの実用化

近年、高性能ゼオライト触媒を利用して、メタンから水素とベンゼン等の芳香族化合物を高効率で合成するプロセス技術が開発されている。この合成方法では、

- 1) メタンは安価な天然ガスやバイオマス等から容易に供給可能であること、
- 2) クリーンエネルギーの水素と、高効率水素貯蔵・供給媒体として注目されているベンゼンなどのケミカルハライドを同時に効率良く合成できる、

という利点を有しており、新規な水素エネルギー製造と貯蔵・供給システムとしての実用化が期待されている。高性能な高温分離無機膜の適応とその波及効果としては、

- 1) メタンからの合成プロセスに適応することにより、水素及びケミカルハライドの製造効率が飛躍的に向上することが期待できる。
- 2) ケミカルハライドからの水素引き抜き反応プロセスに適応することにより、高効率水素貯蔵・供給媒体としてのケミカルハライドの早期実用化が期待できる。

- 3. エネルギー転換分野

当該分野では、高温水素分離無機膜の適応が可能な大規模プラントが全国広範囲に設置されていることから、全国規模で大きなCO₂の排出抑制と省エネの波及効果が期待できる。燃料電池用水素分離膜の他に、近い将来において特に大きな波及効果が期待されるエネルギー変換システムを以下に示す。中でも近い将来において大規模な応用が期待される対象としては、燃料電池用水素分離膜の他に、以下のシステムが挙げられる。

- ・石炭ガス化複合発電(IGCC)
- ・天然ガス圧力を分離の推進力として利用した低質天然ガスのアップグレード

次世代型高効率発電システムであるIGCCへの適用においては、CO₂無排出と40%台の送電端効率が同時に実現できると期待される(なお、本技術は「二酸化炭素処理を伴う化石燃料改質型発電システムのフィージビリティ・スタディ」の上流技術に位置する)。

これらの波及効果を含めて、本事業による開発技術は、我が国の将来の水素を積極的に利用したクリーンエネルギー社会の構築と、安心して安全な社会に大きく貢献できるものと期待される。

本事業により開発する高効率高温水素分離膜及びモジュール開発技術は、燃料改質反応プロセスの高効率化と省エネ化及び省スペース化に大きく貢献することが期待され、燃料電池システムの早期実用化、特に一般家庭用、あるいは店舗を対象とした分散型電源となる定置型の早期実用化が期待できる。また、実用化においては種々の要素技術開発が必要となるが、車載型燃料電池システムの実用化においても大きく貢献できることが期待される。

水素は基幹化学物質の合成原料、石油精製、石油化学等における反応剤としての利用など、広範な産業分野において大量に使用されていることから、本事業による高性能な高温水素分離無機膜開発で培われた基盤技術は、様々な分野で多大な波及効果をもたらすものと期待される。

経済効果

現在、分離膜としては、高分子系材料を用いた有機膜、Pd系合金膜、セラミックス材料による多孔質無機膜が存在する。水素製造プロセスへの応用には、耐熱温度100 程度の有機膜では実質的に困難であり、Pdのような貴金属を主成分とする合金膜は、高い水素選択透過性を示すが、水素脆性劣化、硫黄成分等による被毒・劣化の不安要素がある上、特に、高価であるためにその実用化に難点があるとされている。一方、多孔質無機膜は耐熱性・耐薬品性に優れており、Pd系合金膜と比較して被毒性やコスト面でも有望であることから、水素製造プロセスへの応用が期待できる。

本プロジェクトは、多孔質無機膜を対象として、約500 以上の高温での化学反応プロセスを利用した水素生成と水素分離を一体的に行うことを特徴とする高効率高温水素分離膜の開発と膜モジュール化技術開発を行うものであり、本プロジェクトで創出する高性能な高温

水素分離無機膜開発における基盤技術は、エネルギー・環境分野、石油精製・石油化学分野等で多大な効果をもたらすものと期待されている。

また、本プロジェクトにおいて中心技術の一つとなる化学的手法を駆使した無機膜の合成技術を、これまで培ったファインセラミックスの材料技術、計算設計、微細構造解析、特性評価技術と深く関連させて開発を進めることにより、精密でかつ実用的な無機膜技術へ発展できる。

社会生活の向上効果

クリーンエネルギーとして注目される水素は、小型燃料電池自動車、一般家庭、店舗等の小口利用、病院、IT関連企業等の大口利用施設等の燃料電池システムに積極的に利用されることが期待される。また、本プロジェクトで開発される水素分離膜は、エネルギー転換分野、石油精製分野及び運輸分野を対象に、水素の安価大量生産技術の提供と高効率燃料電池システムの開発・実用化を可能とする高効率水素分離システム技術を構築するものである。これにより、従来技術では昇圧工程・分離精製工程等の数段の動力を要する改質システムを簡略化することが可能となり、高効率化による高い省エネ効果・CO₂排出削減効果が期待される。

当該事業における、省エネ効果とコストの関係に関する分析については、当該事業で確立した材料合成技術及びモジュール化技術を、燃料電池向け水素製造装置へ適用すると想定し、節約原油の絶対量及び単位投入資源量に対する節約原油量で以下のような結果を得た。

- ・2010年時点：約 72万キロリットル/年
- ・2020年時点：約 270万キロリットル/年
- ・2030年時点：約1,340万キロリットル/年

(4) 無機新素材産業技術対策

本事業は、平成13年度から5年間の予定で開始されたものであり、事業の政策効果については平成17年度の時点で検証する予定。

3 . 施策の必要性

我が国産業競争力は、90年代初めと比べて大幅に低下した。その原因は、経営力の面での効率性や透明性が低いこと、基礎的科学技術の研究・開発の成果が産業化に結びついていないこと、平等主義、年功序列といった硬直的な仕組みや慣習の中で個性や能力のある人材を十分に活かしきれていないことにあると言われている。一方で、新たな需要を創造する力も低下しており、消費者の国民生活に対する満足度も低い。

このような状況の中で、政府は、平成14年6月に、「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」（以下「基本方針」という。）を策定し、経済と財政の改善傾向をさらに確実なものとするとともに、国民が将来を安心できる確固とした経済社会の構築を目指すこととした。

基本方針においては、産業競争力を再構築し、経済を活性化する戦略として、6つの重点課題に着目し、個々の戦略の下で具体的な30のアクションプログラムを実施することとしたが、本施策は、上記基本方針における「技術力戦略」の中の「戦略分野への選択と集中」において重要な位置を占めると考えられ、欧米と伍して競争できる技術基盤を強化・保護し、世界の第1走者たり続けることを目指すこととされた。

また、基本方針においては、「6つの戦略、30のアクションプログラム」として、「産業発掘戦略（技術革新が拓く21世紀の新たな需要）」策定の必要性が盛り込まれ、政府は、平成14年12月に、環境・エネルギー、情報家電・ブロードバンド・IT、健康・バイオテクノロジー、ナノテクノロジー・材料の4分野の材料開発、知的財産・標準化、市場化等を内容とする戦略を「産業発掘戦略 - 技術革新」4分野に関する戦略」としてとりまとめた。経済の見通しが不透明で、かつ、世界的な規模で競争力の地殻変動がおきている中、同戦略では、今後我が国が目指すべき社会のイメージとして、「経済成長、雇用の安定、生活の充実の同時達成」等を挙げ、また、4分野の1つである「ナノテクノロジー・材料」分野の産業発掘戦略においては、将来実現される社会像として「ナノテクを駆使した使いやすいインターフェイスを持つ端末により、いつでもどこでも誰でも情報通信が簡単・安全にできる社会」「エネルギーの効率的利用と環境モニタリングの高度化により、豊かで美しい環境を持つ社会」等を実現することとした。

ファインセラミックスは、このような社会の実現において、ナノ環境エネルギー産業、次世代ディスプレイ関連事業、生体適合材料関連事業等の新規産業の中で広範囲に実用化する可能性を持つ材料である。

近年、欧米諸国においてもファインセラミックスの持つ優れた潜在能力に対する注目度は今まで以上に高まってきている。米国ではエネルギー省(DOE)や国防総省(DOD)、国立科学財団(NSF)を中心に政府支援型の研究開発が産学官連携の下に積極的に進められている。また、米国のエネルギー政策の一環として現在進められている大型プログラム「Vision21(長期エネルギー技術開発戦略)プログラム」や「Solid State Energy Conversion Alliance(SECA)(低コスト燃料電池開発プログラム)」では、ファインセラミックスがそのプログラムの成否の鍵を握る重要技術として位置付けられ、膨大な規模の研究開発予算がそれぞれ長期にわたって計上されている。

一方、欧州においても、EUが直接資金援助する助成プログラムの中でファインセラミックス関連の研究開発テーマは数多く見られる。特にエネルギーや環境に関連した研究

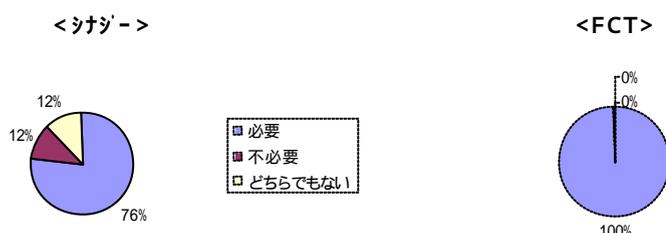
開発テーマが数多く見られるのが特徴的である。さらに、このEUとは別に、現在、ドイツ、英国などを中心に各国政府支援の下でファインセラミックス関連の研究開発が積極的に進められている。

一般に、新しい機能を持った材料が開発されると、それを利用した応用分野が拓け新しい産業が興る、ということから新材料の開発が注目されるようになり、このような新材料の一つとして、他にはない特殊な性質を有するファインセラミックスが注目されるようになってから既に四半世紀以上になる。しかし、この分野は固体化学を基礎とし、また、多様かつ複雑な領域でのプロセスを必要とするので、基礎研究にも工業化にも多くの困難が伴い、これを新しい産業として発展させるためには広い分野の協力が必要であった。これに対応するため、これまでに様々な組織形態の下に、様々な事業が実施されてきた。

ファインセラミックスは、多様な機能を有しているが、その優れた機能・特性により、産業の活性化・高度化のキー・マテリアルとして各方面から注目され、情報通信、交通、エレクトロニクス、エネルギー、環境、バイオといった基幹産業及び先端産業を支える新素材として、また、それ自身が新たな先端産業を形成しつつあるが、今後の発展のためには様々な形態での事業、基盤の整備・充実が重要な課題である。

上述のような状況の中で、本施策において実施された研究開発プロジェクトは、国が主導して、基礎、基盤的な研究さらには知的基盤の整備を図りながら、その成果の普及に努めたことにより、これまでのところ企業の研究開発が円滑に行われ、その結果、世界的にも我が国の技術優位が確保されているという観点からも意義があると言える。実際、平成15年2月に経済産業省製造産業局ファインセラミックス室が実施者に対して実施したシナジーセラミックスの研究開発に関するインタビュー調査（以下「シナジーインタビュー調査」という。）、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）に関するインタビュー調査（以下「FCTインタビュー調査」という。）においても、約9割の実施企業が国の関与の必要性を認めている。

Q. プロジェクトに国が関与する必要はあったか。



本施策は、ファインセラミックスの広範な産業技術分野での実用化を促進し、国際競争力の維持拡大を図ることと、我が国の産業競争力の源泉として、我が国経済の持続的発展に寄与する技術的基盤の構築を図ることを目的とするものであり、今後とも、経済産業省において積極的に政策を展開すべきものである。

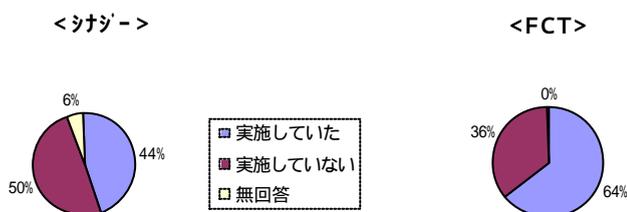
4. 施策の有効性、効率性の評価

4. 1 有効性

我が国経済低迷の打破、産業競争力の強化に対応し、我が国が世界シェア及び技術力の両方において世界をリードしてきたファインセラミックスの中で、本施策では、その代表的な技術領域であるシナジーセラミックスの研究開発や、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）を取り上げて施策を実施してきた。シナジーインタビュー調査、FCTインタビュー調査では、約9割の実施企業が国の関与の必要性を認めるとともに、4～5割の企業が、国家プロジェクトの実施がなければ研究は実施していなかったと回答しており、半数以上の実施者が国家プロジェクトの必要性を認識している。また、達成された主要技術成果を活用した部材・部品・応用製品等の現在の市場はまだないが、プロジェクトの実施により、2005年の市場規模は10～300億円、2010年には10～500億円が見込まれるものも多くあり、投入した費用（国家プロジェクト予算及び企業自主負担費用、企業当たり平均数億～十数億円程度）を上回るものである。

また、シナジーセラミックスの研究開発及び炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）による経済効果については、産業連関表に基づき2008年頃の生産誘発額、誘発就業者数を試算すると、生産誘発額は約330億円、誘発就業者数は約2,000人となる。

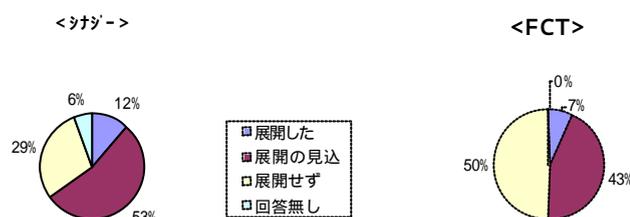
Q. プロジェクトの実施がなかった場合、研究は実施していたか。



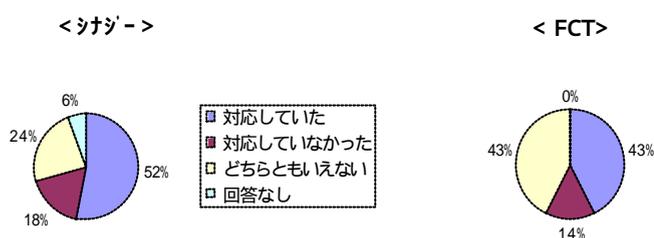
ファインセラミックスに係る技術の確立には、産官学のそれぞれの機関が有する叡知を結集することを念頭に置いた事業形態が必要であり、本施策の中で実施された研究開発プロジェクトの事業形態は、現時点でも優れていると考えられる。

本施策の下で実施した国家プロジェクトでは、市場への参入・拡大、研究者の育成、研究資金の調達、研究開発の期間短縮効果等の技術的な成果以外の成果も挙げられるとともに、直接の成果技術が他の研究開発で応用され別の技術へ展開・派生したと言える成果も多くあり、当初予見されていなかった効果も得られている。実際、シナジーインタビュー調査、FCTインタビュー調査では、派生技術を生み出したと回答する企業が5～7割を占め、そのうち半数が派生技術を数年後には実用化するとしている。さらに、同調査では、社会経済情勢などの周囲の状況変化に柔軟に対応しながら実施していたと回答する企業が4～5割程度を占めている。

Q. プロジェクトの成果は別の技術へ展開したか。



Q. プロジェクトは社会情勢など周囲の状況変化に対応して実施していたか。

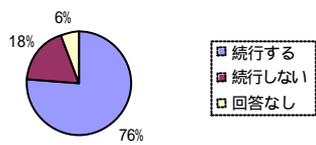


また、シナジーセラミックスの研究開発はファインセラミックス技術研究組合が、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）は財団法人ファインセラミックスセンターが、それぞれ研究開発プロジェクトの管理・運営をとりまとめ、各プロジェクトの個別事業項目毎の目的に対する進捗状況、今後の課題等を適切に把握し事業を推進してきている。特に、シナジーセラミックスの研究開発は、実用化技術開発助成事業に移行したテーマが複数立ち上がっており、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）は、後継プロジェクトに研究成果が引き継がれるなど本施策の有効性は高いと考えられる。

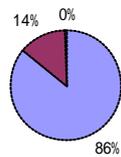
一方、現時点では、成果の開示や運用において、明確な方針を持っているとはいえない面も指摘できる。シナジーインタビュー調査、FCTインタビュー調査によると、プロジェクト終了後に研究開発を続行するものの、研究者数、予算配分が、これまでと同じまたは減少すると回答する企業が7～8割を占めるとともに、成果の開示方法、運用に関しては、成果を技術で整理し、実用化に近い用途への展開を図ることが必要であるといった意見や、実用化を目指して開発を継続していく企業や研究機関の技術の進化の状況を完成度の高いホームページ等を通じて随時わかるようにすべきといった意見もあり、また、成果普及のためには、実用化に至るまでの研究資金の提供体制、特許成果の利用、市場調査の支援等、国のサポートが必要であるとの意見もあるなど、プロジェクト終了後の成果の帰属等のフォローアップについて、今後さらなる検討を要すると言える。

Q. プロジェクト終了後も当該研究開発を続行する予定か。

<シナジ>

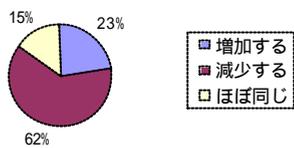


<FCT>

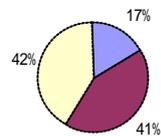


Q. プロジェクト終了後、研究者数は実施時と比較してどうなるか。

<シナジ>

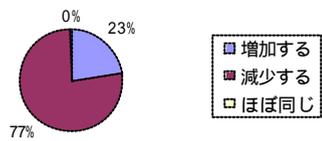


<FCT>

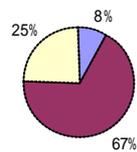


Q. プロジェクト終了後、予算配分はどう変化するか。

<シナジ>



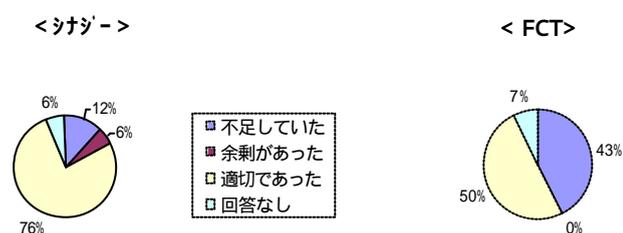
<FCT>



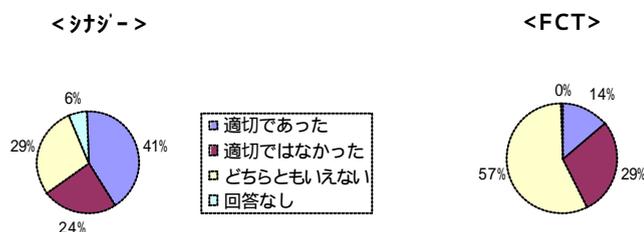
4. 2 効率性

本施策において実施した事業のうち、シナジーセラミックスの研究開発、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）の平成14年度末までの研究開発予算額の総計は17,092百万円となるが、民間企業が独自に実施した研究開発費の総額は約3,575百万円（内訳 シナジーセラミックスの研究開発：約2,321百万円、炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）：約1,254百万円）であり、国からの資金の割合は82.7%に達している。これは、民間企業が独自に多額の資金を要する課題に取り組む困難性を克服するための国の施策を積極的に推進してきた結果であるが、ファインセラミックスの広範な産業技術分野での実用化の促進、技術的基盤の構築という本施策の目的、性質によるものであり、また、通商産業省工業技術院（当時）産業科学技術研究開発制度に位置付けて開始した2事業の研究ステージの位置付けを省みれば、国対民間企業の費用の負担割合は適当と考えられる。実際、シナジーインタビュー調査でも、予算配分は適切であったとの回答が約7割、官民の役割分担、参加企業・研究所は適切であったとの回答が約5割に達し、また、FCTインタビュー調査でも、予算配分は適切であったとの回答が約5割、参加企業・研究所は適切であったとの回答も約5割あり、これまでの国と民間企業との役割分担は概ね適切であったと考えてよいであろう。

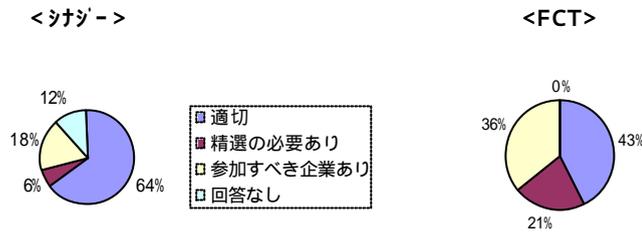
Q. プロジェクトの予算配分は目標達成のために過不足などなかったか。



Q. プロジェクトは官民の役割分担が適切であったか。

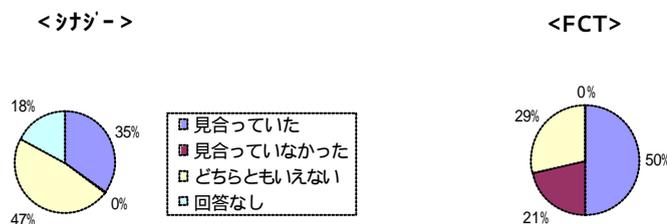


Q. プロジェクトに参加している企業・研究所等は適当だったか。



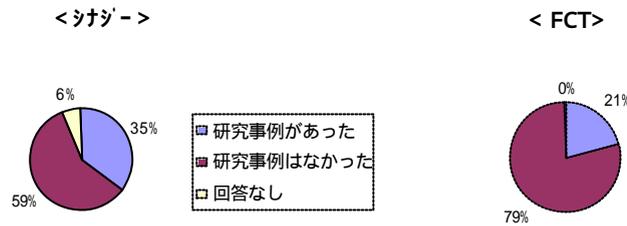
一方、シナジーインタビュー調査によると、達成された成果が投入された資源量に見合っていた（同等の成果をより少ない資源量では得られない）と回答する企業は、3割程度にとどまり、どちらともいえないとの回答が5割近くを占め、また、FCTインタビュー調査における同様の問いでも、見合っていたとの回答と見合っていない、またはどちらともいえないとの回答が同程度あり、達成された成果に対して過剰な資源配分があるのではないかといった点や、より少ない資源量でも同様な成果が得られた可能性もあった点は否めない。

Q. 達成された成果は投入された資源量に見合っていたか。

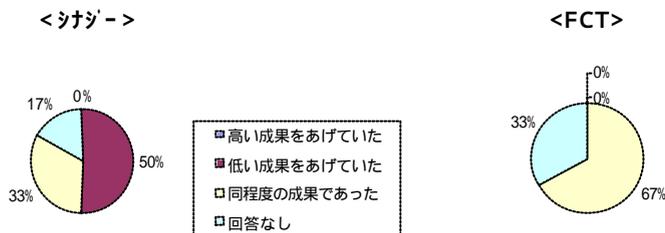


また、インタビュー調査では、プロジェクトに参加していない他の民間企業、公的研究機関、大学等において類似の研究事例があったとの回答も一部にあったが、すべての回答者が本施策でのプロジェクトと比較して技術的な成果は同程度または低いと回答した。さらに、費用対効果も同程度または低いと回答しており、本施策で実施したプロジェクトの技術的な成果、費用対効果は類似研究との比較においても適切であり、施策の重複や非効率は見られないと考えて差し支えないであろう。このことは、プロジェクトの適正さを示すと言えるものだが、反面では我が国の同分野における研究者の層が薄いと考えられるということでは反省材料でもある。

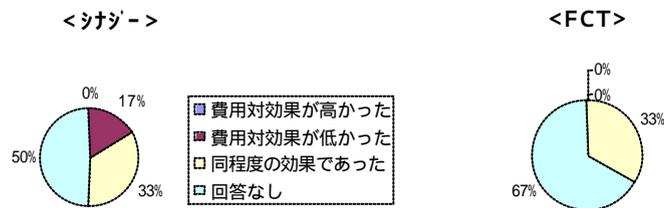
Q. プロジェクトに参加していない企業等において類似の研究事例はなかったか。



Q. (あった場合) プロジェクトと比較して技術的な成果はどうか。



Q. (あった場合) プロジェクトと比較して費用対効果はどうか。



以下、個別研究開発プロジェクトの市場規模予測を示す。

(1) シナジーセラミックスの研究開発

シナジーセラミックスの研究開発は、対象とする技術領域が広範囲におよび、実用化が想定される部材や部品の形態も様々である。以下の表4-1は現時点で研究開発が進められ、実用化が想定される部材・部品の範囲内でその市場規模を予測したものである。表4-2にはシナジーセラミックス実用化部材・部品と応用機器・装置を示す。

当該事業終了1年後の2005年度は、当然のことながら実用化される部材・部品は少ないが、その後2010年度にかけて高温エネルギー材料では遮熱材料やセラミックスフィルターで実用化が進み、また、超精密材料分野でも幅広い分野にまたがって実用化が

順次なされ、それに伴い新たな市場が形成されていくことが予測される。高機能能動材料に関しては、NO_x浄化用セルやイオン伝導型リアクター、固体電解質燃料電池セルなど、実用化のタイミングは数年遅れ気味となりそうであるが、2010年度以降市場は順調に拡大していくことが予測される。

これら部材・部品の市場規模は2010年度で約600億円、2015年度で約1,500億円、2020年度で約2,120億円、2025年度で約2,520億円と予測される。

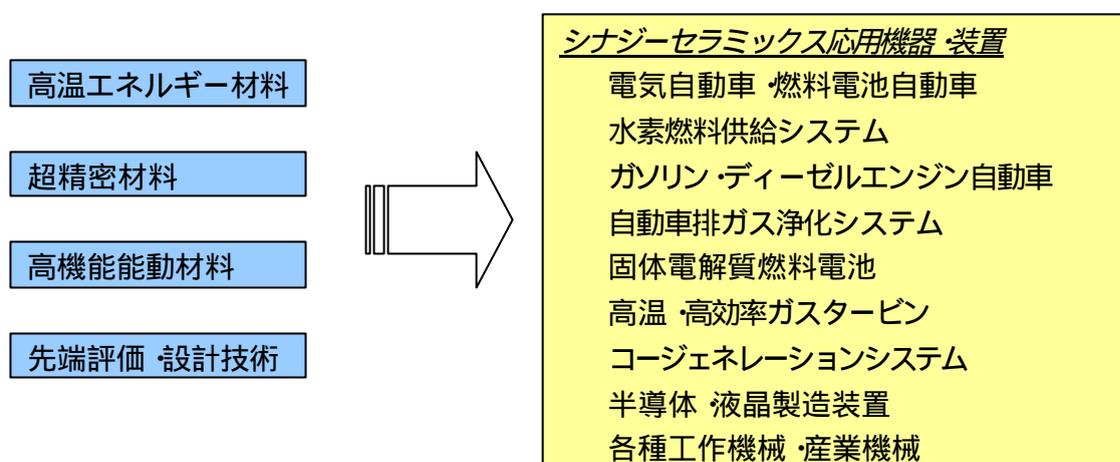
表4-1 シナジーセラミックス市場規模予測(部材・部品)

(単位：億円)

年 度	2005	2010	2015	2020	2025
高温エネルギー材料技術	0	260	600	880	970
超精密材料技術	20	320	760	960	1,050
高機能能動材料技術	0	20	140	280	500
合 計	20	600	1,500	2,120	2,520

(出典：株式会社矢野経済研究所調査(平成15年1月))

表4-2 シナジーセラミックス実用化部材・部品と応用機器・装置



当然のことながらこれらの数字は部材・部品レベルでとらえたものであり、最終的にこれらが使用される機器・装置レベルで評価した場合、その市場規模は数十倍の規模に達することが考えられる。また、これらは単に市場の大きさだけでなく、特にこれらの部材・部品の中には将来的に燃料電池自動車や高温・高効率ガスタービン、固体電解質燃料電池、自動車用排ガス浄化システムなどにおけるキーデバイスとして重要な役割を演じるものが数多くある。

さらに、本事業による成果が適用されると予想される市場規模は2010年で600億円と試算され、国及び民間企業が研究開発に投入した開発資金の総額13,035百万円を

上回る。

このように、本事業の成果・知見は、金属材料分野や有機材料分野へも展開したり、様々な分野に大きな影響を与える産業基盤技術であり、今後も、我が国の産業競争力の維持、技術力向上に寄与し続けるとともに、より新しいセラミックス材料技術を確立するために、産官学の役割分担を明確にしつつ相互に連携により、重点的な研究開発を推進していくことが必要である。

(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発(フロンティアカーボンテクノロジー)

物質創製技術で得られた成果の中で、産業技術として最も実用化に近いのは、カーボンナノチューブの大量生産に関するものであると思われる。多層カーボンナノチューブは、電子放出材料としての有望性が確認され、その成果は、世界で最初のカーボンナノチューブ電子源を用いた画光源の開発に受け継がれている。そして、カーボンナノチューブの種々の特性(電子放出特性、ガス吸蔵特性、電気化学的特性、化学的特性、機械的特性)が明らかにされつつあり、多方面にわたる応用の可能性が期待されている。また、電気的高機能材料の創製プロセス技術では、産学官が結集してダイヤモンドに関する共通基盤技術の開発を実施したが、研究開発の結果を指針として、アクティブデバイス分野における高周波デバイス製品や、電子放出デバイス分野におけるトランジスタ、これらをキーデバイスとして組み込んだ装置・システムが近い将来実現すると考えられる。さらに、機械的高機能材料の創製プロセス技術では、マスクの設置や処理基材の3次元的な移動を必要とせずに立体形状に機械的特性の優れたDLC膜を合成できることが明らかになり、コスト面からイオンビーム成膜技術の実用化には大きな前進が見られた。また、低摩擦性・耐摩耗性に優れたDLC膜も合成できることが明らかになった。このような成果は、一般産業機械や次世代製造システム、自動車・航空・宇宙製品等における耐食・耐摩耗機械部品の高性能化、オイルフリー化、メンテナンスフリー化、ゼロエミッション工具・金型の長寿命化、高速化によるコスト削減、省エネルギー化・省資源化等の効果をもたらすものである。

本プロジェクトによる成果が適用されると予想される分野は幅広く、その市場規模を具体的に計算するのは困難である。市場をある程度明確にすることが可能なものは、カーボンナノチューブ、ダイヤモンドデバイス及び耐摩耗(DLCトライポロジー)関係のみであり、2010年度におけるこれらの市場予想規模を、表4-3にそれぞれ示す。

表4-3 炭素系高機能材料の想定市場（応用製品ベース）

材料名	想定製品	市場規模（億円/年）	合計（億円/年）
カーボン ナノチューブ	CNT 繊維等	805	49,750
	エレクトロニクス用途 （FED、有機EL等）	46,715	
	燃料電池	2,230	
ダイヤモンド デバイス	パワーデバイス、高耐圧ダイオード等	1,600	5,100
	CRT電子銃、平面パネルディスプレイ等	3,500	
ダイヤモンド ライクカーボン等（DLC）	耐食・耐摩耗機械部品	72,600	89,200
	ゼロエミッション工具及び金型	16,600	

（出典：株式会社矢野経済研究所、財団法人ファインセラミックスセンター調べ（平成15年1月））

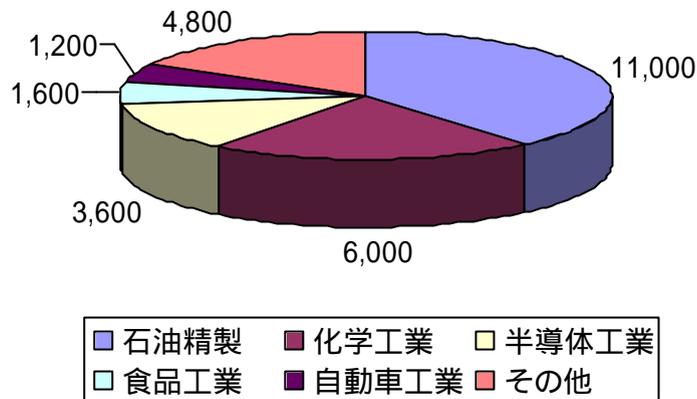
炭素系高機能材料による応用製品の想定市場規模は2010年で約1兆4,050億円と試算され、国及び民間企業が研究開発に投入した開発資金の総額8,431百万円を大きく上回る。

今後も、我が国の産業競争力、技術力向上、技術革新の阻害要因の排除に資する研究開発を重点的に推進していくことが必要であろう。

（3）高効率高温水素分離膜の研究開発

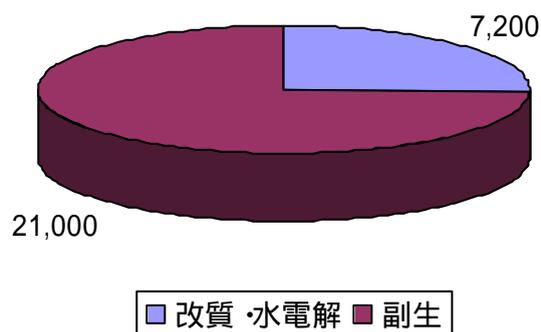
本研究開発プロジェクトで開発が進められている高効率高温水素分離膜及びモジュールは、高効率化と省エネ性、省スペース性に優れ、今後、実用化が期待される燃料電池自動車や定置型燃料電池システム向けに注目される。また、水素ガスは、現状、石油精製や化学工業、半導体、食品工業、自動車などの分野において大量に使用されており、これらの分野においても耐環境性や省エネ性に優れた当該技術により精製された水素の利用拡大が進められていくものと思われる（図4-1参照）。

図4 - 1 水素ガスの用途別需要数量(2001年、単位：百万Nm³)



資料：矢野経済研究所推定値（平成15年1月）

図4 - 2 水素製造方法別市場規模(2001年、単位：百万Nm³)



資料：矢野経済研究所推定値（平成15年1月）

我が国で使用される水素ガスは2001年ベースで282億Nm³程と推定され、その量は膨大である。製造方法別で見た場合、石油精製やコークス炉等から排出される副生ガスによるものが4分の3程度と多く210億Nm³、また、改質・水電解によるも

のは4分の1程度で72億Nm³といった内訳である。当然のことながら、これらの水素ガスが全て今後高効率高温水素分離膜の対象となる訳ではないが、燃料電池自動車を始めとしてより高品質な水素ガスが必要とされる需要分野を中心に、順次、高効率高温水素分離膜の検討がなされていく可能性は高いものがあると考えられることはできよう。

ちなみに、現状の水素ガス需要規模を高効率高温水素分離膜の潜在需要規模として算出した場合、その規模は、水素ガス全体（280億Nm³）では約50万m²、改質・水電解による水素（72億Nm³）だけでも約15万m²の膜需要が潜在的に存在することになる。金額ベースで評価した場合、水素ガス全体では2兆658億円、改質・水電解水素ガスが5,281億円（分離膜の初期導入時の予想価格を350万円/m²で算出）と推計することができる（図4-2、表4-4参照）。

表4-4 高効率高温水素分離膜国内潜在需要規模

	潜在需要規模	
	膜面積	金額
水素ガスTOTAL 282億Nm ³	約50万m ²	2兆658億円
改質・水電解水素 72億Nm ³	約15万m ²	5,281億円

（4）無機新素材産業技術対策

本事業は、国家産業技術戦略・分野別産業技術戦略において抽出された重要技術課題、技術革新の阻害要因の解決策を明確にするため、情報技術、環境問題等の社会ニーズや新素材産業動向調査、ネットワーク型研究所ワールドマテリアルセンター（WMC）構築に係る調査等を推進するものであり、ファイナセラムックスに関する研究開発の方向性を示す調査事業であることから、市場規模予測の対象から除外する。

5. 課題

大競争時代を迎え、経済のグローバル化の進展に伴う産業の空洞化が懸念されている。このような中において、21世紀においても我が国が持続的な成長を遂げていくためには、技術者や研究者にとって魅力ある事業環境を整備するとともに、成長を牽引する新規産業の創出が不可欠である。

ファインセラミックスは、金属系や高分子系と異なり、開発の歴史が浅く、過去の歴史が無いに等しいことから材料開発、産業基盤の整備が進められている、まさに新規産業に他ならない。機能材料については40数年、構造材料については20年余りの開発の歴史を有するが、生体・生活材料にあってはまだ開発途上にある。これらの歴史の中で機能材料では、ICパッケージやセラミックコンデンサ、通信機用セラミックス等が世界市場で圧倒的なシェアを占めるに至り、我が国の電子・情報産業を支えてきた。また、構造材料についても、セラミックスガスタービンの研究開発に代表されるように、世界トップレベルの技術水準を達成している。一方、生体・生活材料では、セラミックスは人工関節材料、歯科材料、がん治療材料、抗菌材料、バイオセンサ材料などとして大きな役割を果たしうると期待されている。しかしながら、近年のアジア諸国の急速な成長や米国及びEU諸国の基礎研究の充実、さらには実用化を強力に全面に打ち出した大型のプロジェクトの推進は、このような我が国の優位性を脅かす原因となっている。また、地球環境問題やエネルギー問題の深刻化、高度情報化社会の変化は、先端技術を支える基礎基盤としてのファインセラミックスにも影響を与えかねない。

ファインセラミックスは、着実にその用途範囲、市場規模を拡大してきており、部品・部材として、環境・エネルギー、自動車、電子・通信機器等幅広い産業分野で利用されている。特に、電磁気・光学用部材は、ファインセラミックス部材の生産額全体の70%を占め、その需要はエレクトロニクス産業及び自動車産業の市場動向に大きく左右されることになる。また、これまでのところファインセラミックスは優れた材料・生産技術を供給し、世界的にも高いシェアと高い競争力を持っている。一方、市場規模は、国内で1.6兆円（平成13年度）と大きくはない。

今後は、ファインセラミックスの発展を図る上で、循環型社会の実現、生活の質的向上、安全で安心な社会の実現等、社会の質的転換に貢献できる材料・プロセス技術の開発が重要である。このような観点も視野に入れた技術革新による新規市場の拡大が産業技術戦略の中心課題である。その際、環境に調和した材料・プロセス技術の開発が技術革新のメルクマールとなる。したがって、今後の材料・プロセス技術としては、素材産業は世界的にリードしているものであり、これをさらに強化していくという観点の下で、ファインセラミックスの部品・部材としての生産動向を十分に見極め、素材の製品ユーザーとの関係を深化させ、ユーザーニーズを的確に把握しつつ、中長期的視点でのロードマップを示し、開発要素技術、目標、研究開発スケジュール等に基づいて、国として取り組むことが重要である。特に、機能集積化材料、高度制御多孔体材料、ポイズンフリー材料、省エネルギー型製造技術等を重点に開発していくことが必要であり、ナノからマイクロのレベルで制御した材料及びプロセス技術の開発が当該分野の技術革新を加速するものと思われる。

このため、短期的に大きな市場が期待できる産業の発展に資する実用化研究を重点的に

実施していくことに加え、ファインセラミックスの特徴である分野横断的な基盤技術を活かしつつ、中長期的な技術蓄積等の重要性を考慮し、基礎基盤的な研究開発を、明確な官民の役割分担や目的・目標設定の下で現時点から着実に実施し、国の産業基盤、知的基盤を構築していくことが必要である。

この際、現在実施している、または今後実施する予定の合計9つのファインセラミックスに関する研究開発プロジェクト（1.（2）現状・国家プロジェクトの取り組み参照）のみならず、これまでに実施し、既に終了している研究開発プロジェクトも含めて、その研究成果を例えば専門技術や専門家に関するデータバンクといったデータベースのような形で継続的に維持管理し、今後の研究開発の効率的な運営に反映させていくような体制を構築していくことが必要不可欠である。

なお、本施策でとりあげている事業のうち、「シナジーセラミックス研究開発」及び「炭素系高機能材料（フロンティアカーボンテクノロジー）」は、通商産業省工業技術院（当時）産業科学技術研究開発制度の下で研究開発を開始しているが、現在は、「シナジーセラミックス研究開発」は「革新的部材産業創出プログラム」、「炭素系高機能材料材料（フロンティアカーボンテクノロジー）」は「ナノテクノロジープログラム」にも位置付けられているとともに、また、「高効率高温水素分離膜の開発」は「革新的温暖化対策技術プログラム」にも位置付けられ、各研究開発プログラムの中で戦略的な研究開発が実施されている（図1-3参照）。今後、本施策とこれら研究開発プログラム等の施策との関係については、引き続きその合理的なあり方について考慮する必要がある。

以下、個別研究開発プロジェクトの展望と課題を示す。

（1）シナジーセラミックスの研究開発

シナジーセラミックスの研究開発は、現在、研究開発を実施している最中であり、今後の課題については、プロジェクトのあり方とプロジェクト終了後の研究開発の方向等に分けて記載することとする。

プロジェクトのあり方

本プロジェクトは、コンセプト、推進体制、期待される成果とも素晴らしいものがあり、基本的には現状の形態を維持しつつ継続・発展させるべきである。そのためには将来の実用化を念頭において得られたシーズ技術を更に発展させるとともに、体系的な技術に仕上げることが重視すべきである。短期的な視野から見た場合は、実用的な、優れた材料を生み出す技術を開発する必要があり、コスト及びコスト削減のための可能性の検討や、工業的プロセス確立のための技術開発にも注力する必要がある。長期的な視野からは、種々のシーズを生み出し、将来の我が国独自の材料技術を生み出す核とする必要がある。

また、本プロジェクトは、研究開発が後半に差しかかっているため、コストダウンとともに実用化技術としてのブレークダウンを実現し、課題によっては早めに民間企業に実用化研究を委ねるなど、ケースバイケースの運用を検討すべきである。また、コスト等の短期的視野を見据えつつ、長期的視野も念頭に置いた種々のシーズを見いだす努力にも力を注ぐなど、短期的視野と長期的視野をバランスよく進める必要がある。シナジーセラミックスが適用される可能性のある分野については、現在想定されている部材・システムについて、適用条件を更に精査して絞りこむ必要があると同時に、適用対象として、エネルギー

ギー・環境関連以外にも目を向け、シナジーセラミックス関連市場を更に広げる試みもあってよい。

また、我が国の中小企業の競争力向上と底辺の下支えを図るために、開発成果やノウハウを中小のメーカーに開示することも必要であり、そのためには、プロジェクト参加機関の中でも特に産業技術総合研究所等の公的研究機関の役割が重要であり、また、広報活動をグローバルに展開する工夫や、開示される側との積極的な情報交換などを行うことが必要であろう。技術普及のために技術的円熟度を高める努力も期待される。

さらに、本プロジェクトの成果を活用して世界の産業をリードしていくために、シナジーセラミックスの製造プロセスを標準化し、規格を広めることにより、国際的な標準化をリードしていく必要がある。また、標準化、ライフサイクルアセスメント（LCA）などでの国際的なイニシアティブをとることがプロジェクトリーダーに求められている。

プロジェクト終了後の研究開発の方向等について

これまで、委託事業の中では、どちらかといえば新しい機能発現に重点を置いた研究開発が主体であったが、それだけではなく賦形化技術や部品化レベルでのコスト低減技術等が実用化に向けて必要であるため、今後は継続的に本研究成果を活用した応用・実用化研究を行うことも念頭に置き、個別テーマの選択と集中を図っていくことが肝要である。

また、本プロジェクトの取り組みは分散研究と集中研究に分かれるが、分散研究に関しては、プロジェクト終了後、研究を継続するか中断するかはそれぞれの企業の手委ねられることになるため、中断した場合においては、その成果の維持・利用をいかにして行うかの工夫が必要であり、集中研究に関してはこれまでの成果と構築した技術基盤が消滅しないように、何らかの形で今後とも継続維持を図っていくことが必要である。当該事業で得られた技術レベルは、世界的に見て高いものであり、特許や論文での蓄積は可能であるが、ノウハウに関しては研究者個人に帰属する部分が多く、プロジェクト解散後分散消滅の心配が懸念される。また、設備機器においても最新鋭のものが揃っており、今後はこの設備機器の有効活用を同時に検討していく必要がある。分散研究に関しては今後それぞれの企業毎、社内で実用化研究が進められるケースが多いと考えられるが、当該企業の事業範囲と競合しない部分に関して、当該事業で得られた成果を参加企業以外へも利用拡大する方策が検討できれば、その成果のさらなる利用拡大を期待することができる。

さらに、シナジーセラミックスという概念を提唱し、材料開発及び実用化を考慮した研究を進める本プロジェクトが、他の国にない独自の研究開発成果を上げたことは、国際競争力の高い次世代産業の芽となりうることから、このようなプロジェクトが今後とも増加することが期待されるとともに、本プロジェクトで得られた基礎研究の成果やシーズ技術をより発展させ、「シナジーセラミックス」という体系的技術に仕上げ、民間での実用化という大きな花を咲かせることにつなげるために、更なる段階の研究開発を推進すべきである。

(2) 炭素系高機能材料技術の研究開発（フロンティアカーボンテクノロジー）

用途開発は、製品を想定し、その要求特性と商品価値の主要構成要素を適切に分析すべきであり、また、検査や周辺サービス等、中小ベンチャー企業が参入可能な領域、スピン

アウトの可能性等について、国益という観点から今後、プロジェクトと並行して配慮すべきである。

我が国の限られた資源を増やすという観点からも、特許という無形な資源の生産体制を本事業と並行して強化すべきであり、特に、特許という資源が世界に通用する金銭的な価値を発生させるために、また、この商用目的とともに、21世紀の我が国の戦略技術分野であることから、米国特許出願（一部サブマリン特許存在に留意）や国際出願特許（PCT番号）の出願戦略部門を設立し強化すべきであると考えられる。

物質創製という観点からは、本プロジェクトは成功であると言えるが、実用化にまで結びつけるという観点から見ると、まだコスト等の面での改善が不可欠である。炭素系材料の開発は、リスク、かつ、資金を要する点で、開発した成果の普遍化、コストダウンまで、国の事業として継続しないと、せっかくの成果が実用化に結びつかない恐れがある。そういった意味では、本プロジェクトが、その終了後、産学官の連携を視点に入れ実用化を主眼としたプロジェクトであるフォーカス21に移行したことは、評価に値すると言える。

また、今後の研究開発の方向にも関係するが、プロジェクト途中で、当初研究グループに属さないグループが画期的成果を出した場合、当該グループが望むならば、研究体に迎え入れたり、資金援助するなどの柔軟な運営ができる体制を検討すべきである。

さらに、国のプロジェクトのあり方については、今後、これまでと異なるシステムを導入する、いわゆる構造改革が必要と考えられる。例えば、省外研究者との連携、導入された装置のオープン化などが行なわれるべきであると考えられる。また、これからも世界の先頭を走るためには、我が国がリーダーシップを取った国際的共同研究による難問解決を図っていくべきであろう。

（3）高効率高温水素分離膜の研究開発

本研究開発は、平成14年度から5年間の予定で開始されたものであり、プロジェクトの展望と課題については平成16年度の間評価の時点で実施する予定。

（4）無機新素材産業技術対策

本事業は、社会ニーズに対応した材料開発の技術戦略を構築するため、社会ニーズと技術シーズのマッチングを図り、ロードマップ化し、ファインセラミックス等無機新素材に関する研究開発の方向性を示すとともに、共通技術基盤情報（知的基盤情報）の収集、分類、整理を行い、ネットワーク型研究所の構築に向けての基盤を整備するものである。したがって、今後の事業の進め方は、事業に関連する研究開発プロジェクトの推進状況等を的確に把握しつつ、効率的な事業推進を図ることが必要である。なお、詳細な事業の展望と課題については事業終了年度の平成17年度の時点で実施する予定。

用語の説明

1. シナジーセラミックスの研究開発

シナジーセラミックス

特定のセラミックス材料の中で微細構造制御により複数の相反する特性の両立や調和が計られ、従来にない多重機能(シナジー効果)を備えた革新的セラミックスの総称。

破壊靱性

臨界応力拡大係数のことであり、セラミックスの機械的機能性を評価するのに重要となる材料定数の一つである。一般的には、セラミックスの脆さの尺度として用いられており、この値が小さいほど脆い。

水素吸蔵能

物質が水素を取り込むことができる能力のこと、水素吸蔵合金が一般的に良く知られている。最近、カーボンナノチューブに水素吸蔵能があるとの報告がある。

遮熱被覆あるいは遮熱コーティング

高温雰囲気下で使用する部材を熱から保護するために、部材の表面に部材とは異なる物質で覆う技術。これは、塗布法、溶射法、物理蒸着法、化学蒸着法などがある。

触媒担体

触媒の分野で使う用語で、化学反応を促進させる物質を付ける基体であり、例えば、自動車の排気対策では、コーディライト製ハニカム担体に白金やロジウムを担持した触媒が使われている。

凍結乾燥

液体を凍結させ、冷凍室を備えた真空装置で凍結状態のまま直接昇華させて乾燥する方法。

開気孔と閉気孔

気孔の内、外気に通じている気孔を開気孔、外気から閉ざされている気孔を閉気孔。

摺動特性(材料)

接触する二つの固体を無潤滑あるいは潤滑下で相対運動させるときの、速度、負荷、摩擦力などの相対的關係。あるいは相対運動時における材料の摩擦摩耗特性。摺動材料は、摺動条件下で使用することを目的とした材料。

比摩耗量

単位荷重・単位摺動距離当たりの摩耗量。一般に、この値は荷重値、摺動距離などの試験条件によらず、材料によって一定の値を示すとされている。（実際には同じ材料であっても試験条件によって変化することがある。）

自己潤滑機能

潤滑油、固体潤滑剤などを用いることなく材料自身が摺動中に潤滑作用を発現する機能。

選択浄化機能

ある化学反応だけを選択的（特異的）に進行させることにより、対象とする環境汚染物質を浄化させる機能及びその浄化能力。

触媒

少量で反応速度を著しく増加させ、自身は反応の前後で変わらない物質。

自己完結型NO_x浄化触媒

外部から電解の印加を必要とせず、触媒材料自身のNO_x浄化機能に加え、電気化学的なNO_x浄化機能も同時に利用した触媒システム。

物質選択性

対象とする物質に対する選択性。

環境センシング

計測対象となる環境を信号として検出すること。

マイクロ・マクロブリッジング技術

材料のマイクロサイズの範囲における各種情報を全体的な巨視的領域で扱う情報量に関連付けることであり、これにより材料設計技術の高度化や、信頼性が高まる。

賦形化技術

材料（セラミックスは粉末の場合が多い）から部品となる形を作り出すための、プロセスを含めた製造技術。

2. 炭素系高機能材料技術（フロンティアカーボンテクノロジー）

アクチュエータ

モータなどの運動要素で、センサが取り込む情報を判断し、対象にはたらきかけることで運動の制御を行うもの。

イオン

原子・分子から1個あるいはそれ以上の電子が取り除かれて正の電荷を帯びるか、逆に電子が加わって負の電荷を帯びた状態にあるもの。前者を正イオン、後者を負イオンという。

イオンビーム法

指向性を持つイオンの流れであるイオンビームを利用した材料合成法。薄膜堆積においては原料物質のイオンビームを基板に照射する場合と、原料物質とは別に希ガスイオンビームを基板に照射する場合とがある。一般には前者を指す場合が多い。イオンの運動エネルギーやイオン電流密度の制御性に優れる。

A F M

Atomic Force Microscopy.原子間力顕微鏡。G.Binnig等の走査型トンネル顕微鏡の発明に伴って開発された。探針と試料表面の間に働く原子間力（ファンデルワールス力など）をカンチレバーのたわみで検知。絶縁体に有効。

S T M

Scanning Tunneling Microscopy：走査型トンネル顕微鏡。物質の表面～1nmに極めて尖鋭度の高いプローブを近づけるとトンネル電流（極めて幅の狭いポテンシャル障壁を電子が壁を乗り越えることなく浸透する）が生ずる。これを走査モニターし原子レベルの凹凸を知る。

エンジンブレード

エンジンのガスタービン内にある羽。

オイルフリーシステム

摩擦を低減し、無給油で使用することを目的としたシステム。

カム

軸の回転運動を色々な運動にかえて伝える装置。

GPa

ギガパスカル。圧力の単位。1GPaは約1万気圧。

CVD法

化学気相堆積法また、は化学蒸着法、気相成長法などともよぶ。Chemical Vapor Deposition法の略。目的とする元素を含むガスを高温、電磁波、電子ビームなどで分解して、膜を生成する方法。

駆動電界、放出電流密度

ダイヤモンド等の炭素系高機能材料に真空中で負電圧を印加すると、数V / μm の低電圧で電子が真空中に放出される。一般に金属では電圧が数100 V / μm でなければ電子放出が生じない。

CCコンポジット

炭素繊維で補強した炭素材料。

C N

C (炭素)とN (窒素)から成る物質。

CBN

立方晶窒化ほう素 (Cubic Boron Nitride)のこと。窒素原子とほう素原子が1:1からなる結晶で、ダイヤモンドと似た構造を有し、ダイヤモンドに次ぐ高硬度物質として知られている。

紫外線センサ

紫外線を検出する素子のこと。

ダイヤモンドからの紫外線発光

ダイヤモンドのバンドギャップ (価電子帯と電導帯のエネルギー差) は5.5 eVあり (Siでは1.1 eV)、電子が電導帯から価電子帯に遷移する際に、バンドギャップに対応したエネルギーの紫外線を放出する。

紫外発光デバイス

ダイヤモンドはバンド幅が広いので、エネルギーの高い短波長即ち紫外線領域の発光デバイスが期待できる。pn接合を想定した発光デバイスを作製するためには良質な接合、オーミックコンタクト、高光遷移確率の実現など課題は多い。

シム

カムの相手材として用いられる板。

真空マイクロデバイス

電子エミッタを用いた真空管に替わるデバイス。

ゼロエミッション

産業から放出されるごみをゼロにする考え。例えば、ごみの出ない生産方法、資源の有効活用、新しい産業など。

SAWフィルター

ダイヤモンドは物質中、最も硬い材料であり、その表面を伝播する表面波(SAW, Surface Acoustic Wave)の速度も速い。そこで、ダイヤモンドを用いれば高速の信号処理が可能となる。また、印加電圧に対する耐久性にも優れている。

組成傾斜化

コーティング材において熱応力や残留応力による剥離を抑えるため、基板からコーティング層にかけて組成が連続的変化する構造にすること。

耐エロージョン性

流体中の粒子が流動中に起こす切削作用に対する耐性。

耐熱性

高熱に耐えて、その質が変化しない性質。

耐摩耗性

材料の摩耗に対する耐性。

ダイヤモンドライクカーボン

ダイヤモンドやグラファイトと同じように炭素元素(C)から構成される非晶質(アモルファス)の炭素材料。

タベット

カム表面に接触し、カムにあわせて上下に動き給排気弁を動かす。

炭素結合(sp, sp², sp³)

有機系炭素化合物にはアセチレンにおける三重結合、エチレンにおける二重結合、メタンにおける単結合が見られる。それぞれs電子とp電子が混成軌道を造り2本、3本、4本の結合を形成する。無機系材料ではそれぞれカルビン、グラファイト、ダイヤモンドが対応する。

DNAチップ

多数の遺伝子に対応するDNA断片を、基板上に、微量ずつ遺伝子発現や遺伝子配列情報を大量に効率的に解析するためのもので、顕微鏡スライドガラス等の上に、小さな区画ごとにDNA断片を微量ずつ整列・固定化したもの。多数の遺伝子について、多数のサンプルを調べることができ、遺伝子診断や遺伝子の発現制御機構の解析などに威力を発揮する。

DLC

Diamond Like Carbon. ダイヤモンドやグラファイトと同じように炭素元素(C)から構成される非晶質(アモルファス)の炭素材料。物質はその原子の配列が長距離にわたって周期的であるか否かによって結晶質、非晶質に分けられる。ダイヤモンドは立方晶系に属する結晶であるが成膜条件によっては非晶質DLCになる。潤滑性に優れる。

DVD/CD

それぞれデジタルビデオディスク(DVD)、コンパクトディスク(CD)の略で、光によって読み書きができる大容量記録媒体あるいは機器のことである。音楽情報の記憶から動画の記憶まで用途が広がっている。パソコンの記憶装置としても注目されている。

電界効果トランジスタ

半導体などの表面の電位を外部からの電圧で変化させ、電子や正孔の通る道(チャンネル)の抵抗を変化させることができる3端子素子。制御するための電極をゲート(門)といい、電流を流すための電極2つをソース(供給側)とドレイン(排出側)という。

負の電子親和力(NEA)

ダイヤモンドでは電子を電導帯に励起すると、自然に真空中に放出される。これはnegative electron affinity(NEA)と呼ばれる。電導帯に励起する簡便な方法が発見されれば、ダイヤモンドは優れた電子放出源となる。

電子エミッタ

電子を放出するための突起。例えば、非常に尖鋭な先端を持つダイヤモンド突起。

電子ビーム露光装置

集積回路やトランジスタ等の電子デバイスのパターンを形成する際に、基板表面に感光剤(レジスト)を塗布して、これにマスクを通して可視光、紫外光、X線等を照射して感光剤を固化させ、マスクのパターンを転写する。これに対し、電子ビーム露光では、収束した電子ビームを直接に感光剤に当て、直接にパターンを描く。他の方式に比較して微細なパターンが描ける。

ドーピング

半導体化するためにキャリアの供給源として、ドナーあるいはアクセプターとして不純物を導入すること。ダイヤモンドは4価であるから5価のPをドーピングすると余分の電子1個が自由電子として振る舞いn型の導電性を示す。

トライボロジー

摩擦, 摩耗, 潤滑の科学と技術を総合的に研究する学問。

ナノ構造

1~1000ナノメートル(10億分の1メートル)程度の微細な構造。カーボンナノチューブ、フラーレン、量子井戸、量子細線などはナノ構造を有する。

ナノチューブ

カーボンナノチューブの場合はグラファイトシートが管状に丸まったもの。先端部は sp^2 以外の結合も含まれる。1991年飯島澄男氏が発見。単層ナノチューブは径1~2nm、多層ナノチューブは径数十nm。炭素以外の原子から構成されたナノチューブも発見されている。

二次電池

充電により再使用可能な電池。蓄電池。

バイオセンサ

生体活動に関する物質のセンサであり、体内に存在するドーパミン、ホルモン、糖などを検出する素子のこと。

配向制御

多結晶物質において、各結晶をある特定の方位に揃える技術。

ハイパワー高周波デバイス

高周波用途の高出力アンプに必要な素子で、無線通信の大容量化にともなって、搬送電波が高周波となり、基地局や衛星局の送信用として高周波、高出力の素子が必要となってきた。車載レーダーや光通信用のデバイスなども高周波動作を必要とする。移動体通信に用いられるキーデバイス。

p型、n型半導体

半導体特性の説明において電子供与体で半導体化したものをn型(negative, 電子の電荷負)、正孔供与体で半導体化したものをp型(positive, 正孔の電荷正)と称する。ダイヤモンドの場合n型にはS、Pが、p型にはBが使われる。

比誘電率

物質中に電界が加わると、内部に分極が生じ、物質内部の電界が変化する。分極の生じやすさは物質によって異なっており、真空中の値(分極が生じないもの)を1として、その比をいう。2乗すれば、屈折率となる。真空中の屈折率は1である。

BCN

B(ホウ素)、C(炭素)、N(窒素)からなる物質。

フィールドエミッションディスプレイ(FED)

強電界によって電子が引き出される事を電界放出(フィールドエミッション)と呼んで

いる。ナノチューブ先端や、先鋭化したダイヤモンドチップでは形状から局所的強電界が生ずる。この放出電子を蛍光体に照射して可視化する。

フラーレン

グラファイト(黒鉛)・ダイヤモンドに次ぐ第三の炭素の総称。60個以上の炭素原子が強く結合して球状に閉じたネットワーク構造を形成している。フラーレンの代表であるC₆₀はサッカーボールと同じ形をした球形分子で、直径は約0.7ナノメートル(1ナノは10億分の1メートル)。

プラズマ

気体を高温に熱すると、原子、分子の運動エネルギーが増大し、原子、分子が激しく衝突するようになり、ついには原子の電子がはぎとられ、電子と正イオンが乱雑に飛び回る電離状態になる。この電離した気体をプラズマという。

フラット(平面)パネルディスプレイ

Flat Panel Display. 電子機器の表示デバイスとして平面型のものの総称。CRT(Cathode Ray Tube)に代わるものとして、液晶、プラズマディスプレイ、有機EL等と競合する電子放出型平面表示デバイスの素材として炭素系材料が有望。

プロトタイプ

Prototype:試作品、第一号機のこと。研究開発の段階で素材をデバイス化、あるいは部材を実用機に組み上げるなど実用化の段階に入ったときの最初の成果を言う。それまでの研究において気のつかなかった特長、欠点が顕在化し、また、他の研究者への波及効果も大きい。

ヘテロダイヤモンド

炭素と異なる(ヘテロ)原子を含んだダイヤモンド構造を持った結晶の総称。異種原子としてB、Nを指すことが多い。ダイヤモンドにない高温耐熱性、耐鉄反応性を持った高硬度物質としてBCN系が研究されている。現在ヘテロダイヤモンドは高温高圧法で合成されたものしか確認されていない。

ベンチプラント

商用プラントを目標とした実験室規模のプラント。通常、開発過程においてはベンチプラント、パイロットプラント、商用プラントの順に進む。

摩擦係数

摩擦力を垂直荷重で割った値。

mm³/Nm

比摩耗量の単位。単位荷重下で、単位長さ移動させたときの物質の削られた体積。

メンテナンスフリーシステム

従来から必要とされる機器や装置のメンテナンスを半永久的にすることなしに稼働できるシステム。

有機EL

電子を運ぶ性質の有機物（n型導電性ポリマー）と正孔を運ぶ性質の有機物（p型導電性ポリマー）を接合させ、電気がよく流れる方向に電流を流すと光を発する素子あるいはその現象をいう。この現象はエレクトロルミネッセンス（EL）と呼ばれている。

ラボチップ

これまでは、試験管内で反応、分析、評価が行なわれてきたが、微量の物質で評価でき、多種類の分析を行う必要になるに従い、ガラス板上などの微小のセルでこれを行い、実験室の機能をチップ上に集約できるようにしたもの。遺伝子の分野で発展した。

リソグラフィー技術

Lithography:石版印刷のことを言う。半導体デバイス、集積回路の製造において微細かつ複雑な配線パターンを基板上に転写する必要がある。マスクと呼ばれる転写パターンをX線、電子ビームで露光して焼き付ける。ダイヤモンド膜のマスクへの応用が考えられている。

量子トランジスタ

デバイスのサイズが小さくなってくると電子（正孔）の振る舞いが量子的になり、不連続の抵抗、電子（正孔）の移動度の向上など、量子化に特有な現象が現れ、トランジスタのON、OFFだけでなく多値機能を持たせたり、高速動作が実現する。

6インチ基板

1インチは2.5 cm。6インチ基板の直径は15 cmとなる

冷陰極放電灯

蛍光灯内部には金属線のフィラメントがあり、これを加熱することによって電子が飛び出し、水銀イオンに衝突して紫外線が生じ、さらにこれがガラス管内部の蛍光材に当たって可視光が出る。これに対し、冷陰極放電灯ではフィラメントの代わりに炭素系高機能材料を用いることにより、低電圧でフィラメント加熱なしに電子を飛び出させることができる。これにより、優れた省エネ効果が得られる。

3. 高効率高温水素分離膜の研究開発

ナノメートル

1メートルの100億分の1のスケール。

分子ふるい効果

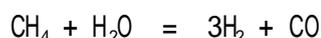
ガス分子はその種に応じて固有の分子直径を有する。ガス分子がその径よりも小さな空間には進入できない性質を利用することによって、複数のガス種からなる混合物中から特定のガス種のみをふるい分けることができる。本事業では、下記に示すメタン改質反応によって生じる多成分燃料ガスの中から水素分子のみを透過させる膜を開発するもの。

細孔径

水素分離膜内に存在する極微細な穴の直径を指す。ナノが10億分の1のスケールであることに対して、サブナノはその10分の1を指す。この領域はガス分子の大きさに相当し、例えば水素分子とメタン分子はそれぞれ0.26、0.38ナノメートルの直径を有する。本事業では、改質ガス中から水素分子のみをふるい分けるために、細孔径のサブナノメートルスケールでの制御技術を開発するもの。

メタン改質反応

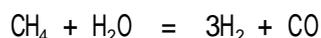
天然ガスなどの主成分であるメタンを水素の豊富な燃料ガスに改質する反応。例えば、下式に記す代表的な水蒸気改質反応において、3つの水素分子(H₂)を得ることができる。



この反応を効率良く進行させるために触媒（メタン改質触媒）が用いられる。そして、この触媒反応による水素の生成効率を、メタン改質効率として評価する。

CO低減化触媒膜

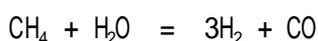
メタン改質反応では下式のように水素とともに燃料電池に有害なCOも同時に発生する。



本事業では、この水素とCOの混合ガス中のCOガスのみを選択的に酸化して燃料電池に無害なCO₂ガスに改質するための触媒膜をCO低減化触媒膜と呼ぶ。本事業では、このCO低減化触媒膜の開発を実施して、更なる水素の高純度化を目指す。

膜反応器

メタン改質反応では下式の反応が生じる。



この反応は右方向及び左方向共に進行しており、一定の温度・圧力条件下において反応系内は一定の組成にて均衡を保っている。

この反応系から水素のみを水素分離膜を用いて系外に引き抜くことができれば、平衡が右方向に大きく移動することが期待される。これは「釣り合い（平衡）の状態にあるものに外部から作用を加えた時、その作用を和らげる方向に、釣り合い（平衡）が移動する

」というルシャトリエの原理による。本事業では、改質反応に水素分離膜を応用した膜反応器を開発する。これにより、水素分離膜による水素の引き抜き効果を利用した改質反応の低温下と高効率化の達成を目指す。

モジュール化

水素分離膜とメタン改質触媒とを用いた水素製造器の装置(モジュール)化工程を指す。水素製造のためには、水素分離膜単体とメタン改質触媒とを高度に組み合わせる必要がある。さらに、所望の水素製造量を満たすためには、必要に応じた規模にて装置化する必要がある。

燃料電池

水素や天然ガス(メタンなど)などの燃料は、空気中で「燃え」て熱を発生する。これは水素やメタンが、酸素と化合するときに多量のエネルギーが熱として放出される、という現象である。燃料電池(Fuel Cell)はこの、燃料を酸化するときに出てくるエネルギー(化学エネルギーという)を、熱ではなく、電気として取り出す装置である。

「電池」と名前がついているが、乾電池やリチウム電池などのように電気を貯蔵したり放出したりするバッテリーとは根本的に異なる。火力発電(熱エネルギー 機械エネルギー 電気)や太陽電池(光エネルギー 電気)のように、他のエネルギーを電気エネルギーに変換する働きをもった発電装置。

IGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle)/石炭ガス化複合発電

IGCCは高効率で環境にやさしい新しいタイプの火力発電システム。埋蔵量の豊富な石炭や重質油のような低質燃料をクリーンなガスに変換して高効率ガスタービンにて発電を行なう。廃棄物も燃料として利用でき、ダイオキシンの発生を限りなくゼロにすることができる。

水素脆化

金属材料内に水素が侵入して材料強度が低下する現象。水素侵食によって主として粒界にマイクロ割れが生じ、鋼中の非金属介在物にそって割れが発達する。水素侵食に影響する主要環境因子は温度と水素であり、一般に温度が高いほど、また、水素分圧が高いほど脆化し、割れやすくなる。一方、材料因子としては、安定な炭化物を生成する元素の添加は脆化を防ぐのに有効であり、Cr < Mo < W < V < Ti < Zr < Nb の順に耐水素侵食性の向上に寄与するといわれている。

硫黄被毒

貴金属系触媒では反応成分に含まれる微量の硫黄成分によって触媒活性が低下することが知られている。このため、現行の商業プロセスでは、触媒反応の前に脱硫装置により原料中の硫黄化合物をppbオーダーまで除去する必要がある。

4. 無機新素材産業技術対策

高次・超精密空間制御技術

気孔を重要な構造因子として位置付け、気孔形態と表面構造を原子・分子、ナノ、ミクロからマクロに至り積極的に利用して新機能を発現することを目標とする技術開発。

繊維強化複合材料技術

母材を繊維と複合化させることで変形や衝撃に対する損傷許容性を向上させる技術で、繊維強化セラミックス材料が自動車、航空機、宇宙機器などの部品につながる高付加価値材料として検討されている。

インテグレートエレクトロセラミックデバイス技術

コンデンサ、センサ、フィルターなど単一機能部品技術では、近年急速に電子産業競争力をつけてきた諸外国に容易に追隨されるのは必至であり、超高集積セラミックデバイス、高温動作型セラミックデバイスの創製などインテグレーションによる革新的技術の確立が不可欠と見られている。

非環境汚染物質機能材料技術

家電製品に使用されている圧電素子には鉛が含まれており、将来環境汚染が問題となることは必至であり、欧州で使用が禁止される動きもあり、主要生産国である日本に対して生産者責任による回収等の重い負担が要求されることも予想され、対応技術の開発が課題となっている。

ナノメディカルマテリアル

高齢化社会を迎え身体機能を代替し、支援する医療技術はきわめて重要であり、この中で人工関節等において骨形成を誘導するナノスケールの分子生物学的な機能を果たす医用材料の開発が望まれている。

ナノポーラスセラミックス創製技術

都市環境浄化、省エネ、高齢化社会における安全・快適化において、ナノレベルの多孔体の機能を利用したナノ粒子捕捉フィルターや触媒などの技術が求められている。

関連団体等の概要

独立行政法人産業技術総合研究所シナジーマテリアル研究センター

Homepage Address :<http://unit.aist.go.jp/synergy/index-j.html>

概要：エネルギーや環境に関連する機器に使われる優れた特性や機能を発現する材料の開発を目指し「シナジーセラミックス」プロジェクトを含めた技術開発を重点的に実施。

ファインセラミックス技術研究組合

Homepage Address : <http://www.synergy.or.jp/>

- 事業：1. 組合員のためにファインセラミックスに関する試験研究を行うこと。
2. 組合員のために事業の成果を管理すること。
3. 組合員に対する技術指導を行うこと。
4. 試験研究のための施設を組合員に使用させること。
5. その他以上に関連する付帯事業を行うこと。

研究内容 「シナジーセラミックス」の研究開発

財団法人ファインセラミックスセンター

Homepage Address :<http://www.jfcc.or.jp>

概要：ファインセラミックスに関する我が国唯一の「研究・試験・評価」を行う公益法人として、ファインセラミックス産業振興の中心的役割を担うべく各種事業を展開。炭素系高機能材料技術（フロンティア・カーボン・テクノロジー）、シナジーセラミックス等の研究開発プロジェクトを実施しているほか、知的基盤整備等を精力的に推進中。

社団法人日本ファインセラミックス協会

Homepage Address :<http://www.jfca-net.or.jp/>

事業：ファインセラミックス産業に関する情報の収集及び提供

ファインセラミックス産業に関する調査研究

ファインセラミックスに関する標準化及び規格化についての調査

ファインセラミックスに関する国際協力の促進

ファインセラミックスに関する市場動向、技術開発に関する講演会などの開催

国内外の関係機関、団体、学官との連携及び協調

ファインセラミックス産業の振興に顕著な業績があった個人、企業、団体の表彰

会員数：正会員70、賛助会員14

社団法人日本セラミックス協会

Homepage Address : <http://www.ceramic.or.jp/>

日本セラミックス学会を管理・運営する他、日本のセラミックス界全体の元締めの役割を担う。組織として、編集委員会等12の委員会、高温・構造材料部会等10の部会があり、会員数は約6,000人。

事業：年2回の日本セラミックス学会年会、シンポジウム、PAC RIM、国際セラミックス総合展等を開催

出版：セラミックス誌、学術論文誌、その他の出版物

NDF（ニューダイヤモンドフォーラム）

Homepage Address : <http://homepage3.nifty.com/NDF/>

概要：ダイヤモンド、DLC、ナノチューブ等炭素関連に関わる研究団体。企業、大学、公的機関が会員。毎年、NDFシンポジウムを開催。

ファインセラミックス関連団体連絡協議会

概要：（社）日本ファインセラミックス協会、（財）ファインセラミックスセンター、ニューセラミックス懇話会など、産業の発展・地域の振興に寄与することを目的として、ファインセラミックスに関係する北海道から九州まで18の団体が情報の交換を行っている。

日本トライボロジー学会

Homepage Address : <http://www.tribology.jp/>

概要：摩擦、摩耗、潤滑等に関する学術・技術分野の学会

日本機械学会

Homepage Address : <http://www.jsme.or.jp/>

概要：機械工学にかかわる学術・技術分野の学会

社団法人化学工学会

Homepage Address : <http://www.scej.org/>

概要：本会は化学工学の学術的水準の進展を支え、人材を育成し、それらの成果を社会に有機的に還元するための中心的学会として活動することを目的として、1936年に化学機会協会として創立。1989年に化学工学に改名。現在、法人・個人会員1万人超。

日本膜学会

Homepage Address : <http://wwwsoc.nii.ac.jp/membrane/>

概要：本会は生体膜や人工膜、無機膜の各々の分野の交流を目的として、1978年に設立された。さらに北米膜学会、ヨーロッパ膜学会との交流も深く、それぞれの地域で開催される国際会議を共催するとともに、1987年と1996年には日本で開催を主

催した。

A D C / F C T 国際会議

概要：隔年ごとに国際会議の開催を実施。1999年（つくば開催）、2001年（米国Auburn開催）、2003年（つくば開催予定）でF C T関係者による国際会議を開催。

アメリカセラミックス協会

Homepage Address :<http://www.ceramics.org/>

アメリカのセラミックス界全体の元締めの役割を担うと共に、世界のセラミックス学会をリード。Engineering Ceramics等10の部会が有り、会員数は約10,000人。

事業：年2回のアメリカセラミックス学会年会、シンポジウム、各部会ミーティング、PAC RIM、国際セラミックス総合展等を開催

出版：Journal of the American Ceramic Society
AMERICAN CERAMIC SOCIETY BULLETINその他の出版物

ヨーロッパセラミックス協会

Homepage Address :<http://www.chem..tue.nl/ecers>

ヨーロッパのセラミックス界全体の元締めの役割を担う。Education、R&D、Editorial、Communicationの4つの委員会を中心に活動している。

N D F F C T 誌（欧文誌）：New Diamond and Frontier Carbon Technology

概要：4回/年発行 MYU社）吉川正範（編集者）

ファイナミックス関連技術開発施策の技術・産業・社会へのイノベーションに関する調査
インタビュー調査票

貴社名：
住所：
電話番号：
御担当者名：
E-mailアドレス

1. プロジェクトの背景・目的について

本プロジェクトは現段階から見て、社会的ニーズに適合していたか。

1. 適合していた 2. 適合していなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトは現段階から見て、国が関与する必要があったか。

1. 必要があった 2. 必要がなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトで設定した要素技術は現段階から見て、過不足はなかったか。

1. 過不足はなかった 2. 必要ない技術があった 3. 必要な技術がなかった

本プロジェクトで設定した目標は現段階から見て、その方向性やレベルは妥当であったか。

1. 妥当であった 2. 妥当でなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクト参加のメリット・デメリットとして参加当時は何を想定していたか。

(複数回答可)

[メリット]

1. 技術力の向上 2. 国際競争力の強化 3. 市場への参入・拡大
4. 研究者の育成 5. 研究資金の調達 6. 他企業との連携
7. その他 ()

[デメリット]

1. 技術レベルの標準化 2. 市場の縮小 3. 研究者の提供
4. その他 ()

もし、このプロジェクトがなかったら、この研究を実施していたか。

1. 実施していた 2. 実施していない

[1. 実施していた 場合] 研究のアプローチは別のものになったと思うか。

1. 同じアプローチ 2. 別のアプローチ

[1. 実施していた 場合] 成果は同じようにでていたと思うか。

1. 同じ成果 2. 別の成果

プロジェクト参加の目的として、技術的な成果以外に何かあったか。(複数回答可)

1. 国際競争力の強化 2. 市場への参入・拡大 3. 研究者の育成
4. 研究資金の調達 5. 他企業との連携
6. その他 ()

その他、プロジェクトの背景・目的について意見、感想、要望、反省などはあるか。
()

2. プロジェクトの実施について

本プロジェクトのスケジュール設定は現段階から見て、目標達成等のために妥当であったか。

1. 妥当であった 2. 妥当でなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトの参加開始時から終了時までの間に本プロジェクトへの従事者はどのように推移したか(する予定か)。

開始時 約()人 終了時 約()人

本プロジェクトの従事者数は現段階から見て、目標達成等のために妥当であったか。

1. 妥当であった 2. 妥当でなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトの実施に投入した(する)貴社独自の金額はおおよそいくらか(直接的な費用のみならず間接的な費用を含む)。

約 百万円

本プロジェクトの実施に対して支出された(されている)国からの予算はいくらか。

約 百万円

本プロジェクトの予算配分は現段階から見て、目標達成等のために過不足などはなかったか。

1. 不足していた 2. 余剰があった 3. 適切であった

本プロジェクトは現段階から見て、官民の役割分担が適切であったか。

1. 適切であった 2. 適切ではなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトは現段階から見て、参加している企業・研究所等が適切であったか。

1. 適切であった 2. 精選する必要があった 3. 参加すべき企業があった

本プロジェクトの事業体制・運営方法は現段階から見て、目標達成等のために適切であったか。

1. 適切であった 2. 適切ではなかった 3. どちらともいえない

本プロジェクトは現段階から見て、社会経済情勢など周囲の状況変化に柔軟に対応しながら実施していたか。

1. 対応していた 2. 対応していなかった 3. どちらともいえない

その他、プロジェクトの実施について意見、感想、要望、反省などはあるか。

()

3. プロジェクトの成果について

プロジェクトで得た具体的な主要技術成果は何か？

()

その技術レベルはどのようなレベルであったか？

1. 自社がこれまで手がけてきていない事業分野もしくは全く新規の技術領域のもので、その技術レベルは非常に高い。
2. 自社がこれまで手がけてきた事業分野もしくは技術領域の延長線上のもので、その技術レベルは非常に高い。

3. 全く新規の事業分野、技術領域のもので、その技術レベルは非常に高いとはいえない。
4. 既存の技術の延長線上のものであるが、その技術レベルは非常に高いとはいえない。
5. その他 ()
 達成された成果を活用した(する)部材・部品・応用製品・装置等は具体的に何か?
 ()
 の実用化想定時期はいつ頃か。
 (年頃)
 の現在(2003年)の市場規模はどれくらいか。
 (約 億円)
 が実用化(2005年及び2010年)した場合の市場規模はどれくらいか。
 (2005年 約 億円)
 (2010年 約 億円)
 市場創出効果(-)はいくらか。
 (約 億円)
 投入された(する)費用(2. の金額+2. の金額)に対する の市場創出効果はどれくらいか。
 (約 %)
 達成された成果は投入された資源量に見合っていたか(同等の成果をより少ない資源量で得られたものはなかったか)。
 1. 見合っていた 2. 見合っていなかった 3. どちらともいえない
 本プロジェクト参加のメリット・デメリットとして何があったか。(複数回答可)
 [メリット]
 1. 技術力の向上 2. 国際競争力の強化 3. 市場への参入・拡大
 4. 研究者の育成 5. 研究資金の調達 6. 他企業との連携
 7. その他 ()
 [デメリット]
 1. 技術レベルの標準化 2. 市場の縮小 3. 研究者の提供
 その他 ()
 技術的な成果以外に達成された成果が何かあったか。(複数回答可)
 1. 国際競争力の強化 2. 市場への参入・拡大 3. 研究者の育成
 4. 研究資金の調達 5. 他企業との連携
 6. その他 ()
 本プロジェクトに参加していない企業等において、貴社と類似の研究事例はなかったか。
 1. 研究事例があった 2. 研究事例はなかった
 [1. 研究事例があった場合] 類似事例を実施していた(いる)主体はどこか(複数回答)。
 1. 民間企業 2. 公的研究機関 3. 大学 4. その他 ()
 [1. 研究事例があった場合] 類似研究に対して国からの予算的支援はあったか(あるか)
 1. ある(省庁名) 2. ない
 [1. 研究事例があった場合] 本プロジェクトと比較して技術的な成果はどうか。

1. 高い成果をあげていた 2. 低い成果をあげていた 3. 同程度の成果であった
- [1. 研究事例があった場合] 本プロジェクトと比較して費用対効果はどうか。
1. 費用対効果が高かった 2. 費用対効果が低かった 3. 同程度の効果であった
- これまでに関わった本プロジェクト以外のプロジェクトはあるか。ある場合そのプロジェクト名及び成果は？
- ()
- 実用化を想定した場合、最もポイントとなる課題（技術的課題、経済的側面、社会環境的側面等）は何か？
- ()
- 材料ベースで特定の成果が得られ、それをもって特定の製品を実用化する場合、部品化、量産化へと段階を経て初めて実用化されることとなるが、その際の開発リスクの内容としてどのようなものがあるか？
- ()
- のリスクの負担を民間と国で今後どう分担するのが適切と考えるか？
- ()
- その他、プロジェクトの成果について意見、感想、要望、反省などはあるか。
- ()

4. プロジェクト終了後のフォローアップについて

プロジェクト終了後、当該技術分野の研究開発を続行する予定か。

1. 続行する 2. 続行しない

(研究開発を続行する場合) 研究者数はプロジェクト実施時と比較してどのように変化するか。

1. 増加する 2. 減少する 3. ほぼ同じ

(研究開発を続行する場合) 予算配分はプロジェクト実施時と比較してどのように変化するか。

1. 増加する 2. 減少する 3. ほぼ同じ

(研究開発を続行する場合) プロジェクト参加による成果や反省点などが研究開発のテーマ選定・目標設定・体制構築などに反映されるか。

1. 反映される 2. 反映されない

(研究開発を続行しない場合) なぜ当該技術分野の研究開発を続行しないのか。

1. 研究者の不足 2. 研究資金の不足 3. 市場の縮小

4. 社内の状況変化

5. その他 ()

プロジェクト終了後の成果の開示方法とその運用をどのようにすべきか？

()

プロジェクト終了後、成果普及のための国のサポート体制はどのようなものがあれば良いか？

その他、プロジェクト終了後のフォローアップについて意見、感想、要望、反省などはあるか。

()

5. プロジェクトの波及効果について

5.1. 技術波及効果について

直接の成果技術は他の研究開発で応用され別の技術へ展開した(している)か(派生技術を生み出したか)。

1. 展開した
2. 展開する見込み
3. 展開していない

[1. 展開した または 2. 展開する見込みの場合] その技術が派生した(する)のはいつ頃か。

1. プロジェクト期間中
2. 約()年後

直接の成果技術を実用化した事例(製品やサービス)はあったか。

1. 実用化事例あり
2. 実用化する見込み
3. 実用化事例なし

[1. 実用化事例あり または 2. 実用化する見込みの場合] その製品またはサービスが発生した(する)のはいつ頃か。

1. プロジェクト期間中
2. 約()年後

派生技術を実用化した事例(製品やサービス)はあったか。

1. 実用化事例あり
2. 実用化する見込み
3. 実用化事例なし

[1. 実用化事例あり または 2. 実用化する見込みの場合] その製品またはサービスが発生した(する)のはいつ頃か。

1. プロジェクト期間中
2. 約()年後

本プロジェクトにより、当該技術分野の研究者数は変化したか。

1. 増加した
2. 減少した
3. ほぼ同じ

本プロジェクトの参加により、研究者の能力が向上されたか。

1. 向上した
2. 特に向上していない

本プロジェクトにより、当該技術分野の研究交流基盤(学会、フォーラム等)が整備されたか。

1. 整備された
2. 特に整備されていない

本プロジェクトの参加により、参加企業間の共同研究が実施されるようになったか。

1. 実施した
2. 特に実施していない

本プロジェクトの参加により、研究開発予算規模は変化したか。

1. 増加した
2. 減少した
3. ほぼ同じ

本プロジェクトによる研究開発の期間短縮効果はあったか。

1. あった
2. 特になかった

[1. あった場合] 期間短縮効果はどのくらいか。

- 約()年

プロジェクトの実施結果(直接の成果技術と派生技術、見込みも含む)により当該技術分野の国際競争力(技術レベルの向上、国際規格の決定や外国の技術政策への影響など)はどうなったか。

1. 向上した
2. 低下した
3. ほぼ同じ

直接の成果技術で国際標準化されたものはあったか。

1. 国際標準化された
2. 国際標準化の見込み
3. 国際標準化はなかった

[1. 国際標準化された または 2. 国際標準化の見込みの場合] その技術が国際標準化した(する)のはいつ頃か。

1. プロジェクト期間中 2. 約()年後

派生技術で国際標準化されたものはあったか。

1. 国際標準化された 2. 国際標準化の見込み 3. 国際標準化はなかった

[1. 国際標準化された または 2. 国際標準化の見込みの場合] その技術が国際標準化した(する)のはいつ頃か。

1. プロジェクト期間中 2. 約()年後

その他、技術波及効果としてどのようなものがあるか。また、その具体的な指標は何か。

()

5.2. 経済効果

(直接の成果技術の実用化事例がある、または実用化の見込みがある場合) 直接の成果技術の実用化による、製品またはサービスの売り上げ、利益の増加はどのくらい(見込み)か。

売り上げの増加 約()万円

利益の増加 約()万円

(派生技術の実用化事例がある、または実用化の見込みがある場合) 派生技術の実用化による、製品またはサービスの売り上げ、利益の増加はどのくらい(見込み)か。

売り上げの増加 約()万円

利益の増加 約()万円

直接の成果技術が生産業務の改善や更新に結び付いたことによる価格やコストの低減はどのくらい(見込み)か。

価格の低減 約()万円

コストの低減 約()万円

(派生技術がある、または発生見込みがある場合) 派生技術が生産業務の改善や更新に結び付いたことによる価格やコストの低減はどのくらい(見込み)か。

価格の低減 約()万円

コストの低減 約()万円

直接の成果技術による雇用の増減があった(または今後ある)か。

1. 増加 2. 減少 3. ほぼ同じ

また、それはどのくらいか。

約()人

(派生技術がある、または発生見込みがある場合) 派生技術による雇用の増減があった(または今後ある)か。

1. 増加 2. 減少 3. ほぼ同じ

また、それはどのくらいか。

約()人

その他、経済効果としてどのようなものがあるか。また、その具体的な指標は何か。

()

5.3. 国民生活・社会レベルの向上効果

直接の成果技術によりエネルギー消費量はどうか変化した（または今後どうか変化する）か。

1. エネルギー消費量増加 2. エネルギー消費量減少 3. ほぼ同じ

（派生技術がある、または発生見込みがある場合）派生技術によりエネルギー消費量はどうか変化した（または今後どうか変化する）か。

1. エネルギー消費量増加 2. エネルギー消費量減少 3. ほぼ同じ

直接の成果技術により環境への負荷はどうか変化した（または今後どうか変化する）か。

1. 環境負荷増加 2. 環境負荷減少 3. ほぼ同じ

（派生技術がある、または発生見込みがある場合）派生技術により環境への負荷はどうか変化した（または今後どうか変化する）か。

1. 環境負荷増加 2. 環境負荷減少 3. ほぼ同じ

直接の成果技術により利便性向上効果があった（または今後ある）か。

1. 向上効果があった 2. 向上効果はなかった

（派生技術がある、または発生見込みがある場合）派生技術により利便性向上効果があった（または今後ある）か。

1. 向上効果があった 2. 向上効果はなかった

直接の成果技術により安全性向上効果があった（または今後ある）か。

1. 向上効果があった 2. 向上効果はなかった

（派生技術がある、または発生見込みがある場合）派生技術により安全性向上効果があった（または今後ある）か。

1. 向上効果があった 2. 向上効果はなかった

その他、国民生活・社会レベルの向上効果としてどのようなものがあるか。また、その具体的な指標は何か。

（ ）

6. その他

研究開発の申請段階における企業内基準（競合性・市場性等の指標）があるか。

1. ある 2. ない

研究開発の終了段階における企業内基準（競合性・市場性等の指標）があるか。

1. ある 2. ない

投資回収後における企業内基準（競合性・市場性等の指標）があるか。

1. ある 2. ない

シナジーセラミックスの研究開発における各研究開発項目毎の成果の実用化可能性・波及効果

1. 高温エネルギー材料技術

< 成果の実用化可能性 >

高耐性耐熱材料として開発される、耐熱・耐食性、損傷・変形許容性に優れたセラミックス材料は、1400 級の分散型電力供給用などの小型タービン燃焼器あるいは1500 超級の次世代ガスタービン燃焼器などの高温構造部材への適用が期待できる。

これにより、作動温度の向上が可能となるとともに、金属製タービン部材に必要な冷却空気の省略または低減が可能となることから、設計上の自由度が増加し、熱効率の向上と同時にシステム全体の簡略化が可能となる。この実現のためには、部品としての耐久性・信頼性の確保、コスト低減等の課題を解決することが不可欠であり、内外の関連分野における技術開発経緯から推察して、部品が小型で作動温度が低い小型ガスタービン燃焼器では 10 年程度、また、部品が大型で作動温度が高い次世代ガスタービン燃焼器ではより長期の開発期間が必要である。一方、遮熱・耐食コーティング技術は、火力発電において、CO₂、NO_x 排出の低減、稼働温度の高温化を可能とする次世代の高温高効率プラントの一つとして位置付けられているが、現行のガスタービンの補修期間の延長技術としても活用でき、性能検証や周辺技術の確立に必要な 3~5 年程度の開発期間を経て実用化が見込まれる。

流体透過機能材料として開発されるセラミックス多孔体は、石炭燃焼ガス発電システムやゴミ焼却炉などの高温集塵フィルター、有機溶剤回収や石油化学プラントの分離フィルター、触媒担体、吸着材、エネルギー吸蔵材など幅広い応用が期待される。

高温集塵フィルターでは、大型の製造技術、モジュール化を含めたシステム化技術、フィルターの多機能化等の課題が残されており、5~7年の開発期間が必要と考えられる。有機溶剤分離フィルターでは、耐熱性、耐薬品性、低膨潤性等のセラミック固有特性が利用できコスト的にも有利と考えられるため、比較的早期(3~5年)に有機溶剤中のコロイド粒子除去などへの実用化が見込まれる。また、ガス種の化学吸着選択性付与等、ガス分離膜などへの応用も可能であるが、新たな材料技術の開発が必要であり、実用化には10年程度かかると考える。エネルギー吸蔵材で開発される技術は、燃料電池技術の周辺技術として位置付けられ、実用化には水素吸蔵能等の燃料電池技術の完成が必須である。燃料電池技術が完成すれば、3~5年のシステム技術の開発により燃料電池用エネルギー貯蔵タンクとして実用化される可能性は大きい。

< 波及効果 >

高耐性耐熱材料では、従来セラミックスの機械的特性を損なうものと考えられてきた気孔の形態を制御することにより、損傷許容性や変形許容性などの新たな特性の発現や、緻密質層と多孔質層との積層構造化により力学特性を損なうことなく高信頼性の実現の可能性が示され、航空機用等ガスタービン等への適用に期待が持たれている。

また、遮熱コーティングへの信頼性付与技術は、例えば、現行の1300 ガスタービン燃焼器におけるリコーティングメンテナンス期間の延長を可能とする技術である。

流体透過機能材料として開発した酸化物系複合多孔体は、試料提供を通じ、人工歯科材料（補綴材料）としての実用化が検討されている。

凍結乾燥法による一方向連続貫通多孔体も試料提供を通して触媒担体、フィルター、吸着材等幅広い用途への実用化が検討されている。

選択分離ナノフィルターは、ガス選択分離、パーベイパーレイションなどへ、また、機能性ナノ貫通気孔膜の応用として、メンブレンリアクター、ナノテストチューブとして応用される可能性がある。

エネルギー吸蔵材料の触媒分散技術は新たな均一・微細触媒分散法として、燃料改質材料等の触媒技術への展開が考えられている。

2. 超精密材料技術

< 成果の実用化可能性 >

比較的短期（3～7年程度）に実用化が期待される部材として、高性能ベアリング、ガスエンジン用バルブプッシュ、燃料噴射ノズル、真空・高温系摺動部材、工作機械用軸受、及び、シム、ロッカーアームフォロア、スウィングアームフォロア等のエンジン部品が挙げられる。

このうち、ガスエンジン用部材については、マイクロガスタービンなどの競合技術に対する優位性を明らかにすることが、システムの普及・実用化に不可欠である。本プロジェクトで開発課題として設定した摩擦係数、比摩耗量低減は基本性能として重要であるが、さらに部材に固有の技術課題を明らかにし克服することが実用化の鍵となる。

一方、各種部材の実用化に向けた一般的な課題として、(1)賦形技術、(2)信頼性、(3)コストが挙げられる。賦形技術については、モデル部品の製作を通じて基本技術を本プロジェクトの中で検討しているが、得られた結果を基に実部品に対する問題点の抽出と解決を図る必要がある。信頼性については、本プロジェクトでも具体的な用途を念頭に置いた材料開発を行い、必要な特性値をクリアすべく検討しているが、今後、部品の使用条件も考慮に入れた信頼性の確保及びその評価方法を継続的に検討する必要がある。コスト面では、性能面、メンテナンスインターバルの長期化及び長寿命化などの効果と、その価値を見極め、価値に見合うコストで安定した製品供給ができるための技術開発が必要不可欠である。

以上の課題はあるが、いずれも解決可能な内容であると考えられ、本プロジェクトで開発された材料は、摺動機械部品を中心としてその応用が着実に進められていくものと期待される。

< 波及効果 >

自己潤滑機能材料の成果の一部に関連して、NEDOの実用化助成事業が立ち上がった。この事業では、バルブ、バルブガイド、シールリングなどコージェネレーション用エンジン部品の試作と実機エンジンへの搭載実験を既に行っており、既にある程度の実用化の目処をつけている。また、応力検知機能の付与に関連して開発された指先の圧力により電気抵抗が3～4桁直線的に変化する無機/有機系ナノコンポジットは、ソニーのAIBOロボットの頭部に感触セ

ンサーとして搭載されている。

3. 高機能能動材料技術

< 成果の実用化可能性 >

浄化機能の基本技術を具現化するため、プロジェクト終了時点で自動車排ガス浄化への実用化検討に必要なプロトタイプモデル（実用材の約1/50モデルを想定）を作製する予定である。開発中の浄化材料及び熱電材料について、これまで得られた特性を基にエネルギー収支を検討すると、酸素共存下50%NO_x分解時の浄化セルへの必要電力70mW/cm²に対し熱電セルの供給電力は15mW/cm²となり、実用搭載モデルとしては不十分である。しかし、現状性能に加えて、(1)還元触媒の利用により消費電力を数分の1～10分の1以上に低減可能であること、(2)排ガスと外気の化学ポテンシャル差を利用したエネルギー変換により、10数mW/cm²の電力供給と積層による高出力化が可能であることが既に確認されており、モデルによる性能実証についてはほぼ見通しが得られている。実用化に向けては、スケールアップ技術やコスト・耐久性等の検討が必要である。安全性の面からは毒性元素を含まず安定化合物で構成されるため、実用上の問題はない。実用化により環境浄化と同時に、NO_xの連続浄化による燃費向上(16%)や浄化システムへの外部供給エネルギーの削減効果(10%)が期待される。

粗悪燃料が利用可能な耐食性電気化学セルは、他の電池システムと競合しない耐食性を必要とする廃棄物発電等、独自の応用展開が期待される。高導電性や高耐食性の材料開発と同時に、独自技術である積層八ニカム構造化による反応面積増大の成否が実用化の鍵を握るため、薄膜隔壁のピッチ最小化と欠陥の抑制が最大課題である。既に設計上求められる3mmピッチの八ニカムセル化技術の開発に成功しており、既存の燃料電池セルに比べて2倍の出力密度が得られることが明らかになっている。従って、残された課題である耐食性の付与により、実用化が可能となる見通しで、従来型廃棄物発電における発電効率(30%)を上回る高効率発電(40%)が期待される。

また、環境センシング等に利用可能な物質・光選択機能材料については、電磁ノイズに対する安定性が要求される高感度センシングの可能性が実証されている。目標とする物質選択性3に対し、現状は1.4であるが、分子構造制御による向上が見込まれており、従来にないセンサーの実現が早期に図られる見通しである。サンプリング不要であり遠隔モニタリングが可能な環境計測システム等、実用化へのニーズは大きい。

送変電システム機器の小型化・高効率化を可能とする高性能電力機器用抵抗材料は、中間目標レベルの性能を達成しているが、実用化するには更に特性の向上と熱安定性についての検討が必要である。結晶粒界や分散材の組成・形状の最適化により熱安定性の向上が見込まれる。素子注入許容エネルギーが現状材料の1.5倍を達成すれば、機器サイズを2/3に低減することが可能となり、送変電系統などの都市環境における設置条件の大幅な緩和が期待される。

< 波及効果 >

自己完結型浄化機能材料の開発において、従来困難であった高温域での選択浄化の発現を実証したことにより、広範な有害ガスの選択分離・除去技術としての応用展開の可能性が拓かれた。また、耐食性電気化学セル材料は分散型コジェネレーションシステムや水素製造の

化学リアクターとして、物質・光選択機能材料は重金属や環境ホルモンなどの有害物質に対する水質環境センサー及び除去・分析システムとして、また、高性能電力機器抵抗材料は小型高圧送電システム機器部品や自動車用センサー等として、それぞれ幅広い応用展開が想定される。

4. 先端評価・設計技術

< 成果の実用化可能性 >

セラミックス多孔体の弾性解析システムにより、従来の手法では扱えなかった、複雑な気孔形態を有する多孔体の三次元気孔形態を反映した弾性解析が可能となる。また、微視き裂発生モデルに基づく破壊シミュレーション手法は、従来から提案されている、巨視的なき裂の伝播シミュレーションでは説明不可能な、き裂伝播にともなう伝播抵抗の増加に対応した新しい手法として期待される。

マイクロ・マクロ実測評価技術としては、弱ビーム暗視野法及び収束電子線回折法による結晶粒/界面マイクロ構造解析法により、セラミックス結晶粒界近傍の格子欠陥分布と、7nmの分解能での残留応力分布が実測可能となった。X線によるマイクロ応力実測技術は、これまでシンクロトロンで行われていた測定を、実験室で可能とした。

開発技術は、脱塵フィルター、燃料電池を始めとして、材料の機械的特性が最も重視される多孔体を代表とする不均質材料の開発に条件付適用が見込まれる。長期的には、材料のマイクロ構造を反映したマクロな特性予測による、実部材の試作及び破壊試験回数の減少や、部材設計指針等、適用範囲が広がることが期待される。

< 波及効果 >

不均質部の材料特性情報を反映させたマイクロ・マクロブリッジング技術による部材設計では、破壊予測が正確になり、実破壊把握のために従来行われていた実部材を用いた破壊試験を削減できる。このため、部品の研究開発に要する時間と費用が大幅に低減できる。

また、開発技術である多孔体の三次元気孔形態を反映した弾性率の解析技術は、熱伝導や流体の透過特性等、他の物性やこれらの物性間の連成解析にも展開可能である。その他、セラミックスの結晶粒界近傍の格子欠陥や、残留応力、結晶粒子ごとのマイクロ応力及び物性値測定技術も、材料開発の効率化に貢献すると期待される。

(参考5)

「産業発掘戦略 - 技術戦略」4分野に関する戦略」概要

「産業発掘戦略 - 技術革新」4分野に関する戦略

平成14年12月5日

内閣官房

戦略策定に係る経緯

「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」(平成14年6月25日閣議決定)において、「6つの戦略、30のアクションプログラム」として、「産業発掘戦略(技術革新が拓く21世紀の新たな需要)」が盛り込まれ、関係本部・会議及び府省は、環境・エネルギー、情報家電・ブロードバンド・IT、健康・バイオテクノロジー、ナノテクノロジー・材料の4分野の技術開発、知的財産・標準化、市場化等を内容とする戦略を平成14年中に策定し、内閣官房がこれを取りまとめることとされた。

これを受けて、本年8月末、民間有識者の参画を得て、官民合同のタスクフォースを設け、観点を供給側ではなく需要側において、戦略の策定作業を精力的に進めてきた。

今般、各分野毎の関係本部・会議等の議を経て、各分野の戦略を取りまとめた。それらを、4分野に共通する問題意識・政策課題を取りまとめた総論とともに、以下に報告する。

4分野の産業発掘戦略 総論の概要

1. 4分野の意義

4分野は、

21世紀の社会や生活を抜本的に変革し、停滞している需要の拡大をもたらす可能性が高い領域

我が国が世界的に見て相応の強みを有しており、国際市場での競争力の源泉となる可能性が高い領域

・日本の国際競争力は1位(89年から3年) 30位(2002年)

2. 産業発掘戦略の意義と視点

産業発掘戦略は、従来の技術開発戦略と異なり、次のような視点の下に作成。

技術開発サイドからではなく、需要面から、まず、新たな社会のイメージを構築

このような社会イメージを実現するための、戦略的な目標を設定

目標を実現する上でのさまざまな課題とその克服のための方法を提示

3. 我が国が目指すべき社会のイメージ

経済の見通しが不透明で、かつ、世界的な規模で競争力の地殻変動がおきているなか、今後我が国が目指すべき社会のイメージとしては、次のようなものが考えられる。

経済成長、雇用の安定、生活の充実の同時達成

国際社会を1歩も2歩もリードする競争力ある貿易産業構造の形成

具体的には、

- ・製品の生産・流通・廃棄など産業活動のあらゆる局面に環境・エネルギー配慮がくみこまれ、それが社会システムとして自立的に回っていく社会
- ・情報の質と量が飛躍的に高まり、知識の入手・共有、発信等が大幅に増大することにより、高齢者などにもやさしい豊かな国民生活の実現。
- ・人間生活の基本～生きる、食べる、暮らす～が質的に向上する社会
- ・幅ひろい分野で新たな生産プロセスや製造技術、製品機能を生み出すことにより、産業技術のパラダイム転換（第二の産業革命）が実現。

3. 共通政策課題

上記「目指すべき社会イメージ」に向かうにあたって、以下に示す4分野共通の政策課題について、官民適切な役割分担を図りつつ、重点的に取り組んでいくことが必要。

需要の創出

- (1) モデル実証事業の推進
- (2) 政府調達 of 戦略的活用
- (3) 早期市場化を促す規制改革

研究開発段階

- (1) 公的支援の充実
- (2) 産学官連携の推進
- (3) 人材の育成と人材の流動化の促進

実用化段階

- (1) 知的財産戦略の推進
- (2) 国際標準化の推進
- (3) 循環型社会構築に資する規格（環境JIS）の策定
- (4) 産業再編及び創業・新規事業支援のための環境整備

「環境・エネルギー」産業発掘戦略の概要

- ・「メイド・イン・ジャパン」を環境配慮型製品・サービスの代名詞（環境ブランド）として国際的に定着させ、競争力を強化。
- ・2010年に燃料電池自動車5万台の普及を目指す。

1. 将来実現される社会像

遅くとも概ね10～20年後までに、次の三点で特色のある社会の実現が図られるよう、直ちに全力で取り組む。

創る：産業活動のあらゆる局面に環境・エネルギー配慮が組み込まれ、環境・エネルギー問題の解決に資する技術、製品、サービスの創出・発展を通じ、環境の保全を図りつつ経済の活性化が図られる産業社会

暮らす：環境・エネルギー産業の発展を背景にして、環境配慮を内在したライフスタイルが定着し、豊かな自然に囲まれ、環境リスクに対する不安のない、エネルギーの安定供給が確保された安心・安全な生活を送れる社会

知る：各企業の取組状況、環境・エネルギーに配慮した製品・サービスに関する情報を誰もがどこでも入手でき、そうした情報が活かされる情報社会

2. 戦略目標及び具体的行動計画

(1) 戦略目標

「環境・エネルギー技術へのチャレンジを産業競争力の源泉に」(技術のグリーン化)

環境・エネルギー技術の革新に向けての高い目標を乗り越えようとする産業界のチャレンジを産業競争力の源泉とし、環境・エネルギー産業の発展につなげていく。

「メイド・イン・ジャパン」の環境ブランド化(産業のグリーン化)

製品・サービスの環境配慮化と環境経営の全産業への浸透を徹底的に押し進め、「メイド・イン・ジャパン」を環境配慮型製品・サービスの代名詞として国際的に認知させ、世界市場における競争力を強化。

「日本市場を世界のエコ市場の登竜門に」(市場のグリーン化)

製品・サービスや企業に関する環境情報の開示・提供の一層の推進と、消費者等への環境・エネルギー教育・学習の飛躍的拡充により、日本市場を、環境配慮の度合いで製品・サービスや企業を厳しく選別するグリーン市場に創り変え、日本を制するものが世界を制するような環境整備を推進。

(2) 具体的行動計画

技術のグリーン化

技術革新を促すような高い目標を設定し、産学官連携を進めつつ研究開発を推進。また、幅広い人材を育成。

産業のグリーン化

強固な環境経営の実践が企業の競争力に寄与するような基盤を整備。日本発の製品・サービスや新たな取組をモデルとして発信。

市場のグリーン化

市場での競争を促進する環境整備、環境配慮型の製品・サービスの消費促進のための環境JIS等の標準化や規制改革、環境配慮を考慮した投資先選定、情報提供及び環境・エネルギー教育等の推進。

上記3つの戦略を踏まえ、環境・エネルギー産業の発掘を推進。

地球温暖化対策推進大綱を基礎としつつ、新エネルギー、省エネルギー、系統システム、原子力、次世代自動車、効率的な物流、天然ガスソフトなど産業の創出・拡大のための技術開発や普及促進に取り組む。

循環型社会の構築に向けた環境を整備。産業間連携や地域と産業との連携による物質・エネルギー循環の促進、技術革新によるグリーン・インダストリー、バイオマスの利活用等を推進。

その他、様々な形態のエコ・サービスの拡大、汚染された環境を浄化する事業などを推進。

「情報家電・ブロードバンド・IT」産業発掘戦略の概要

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・ 現行ブラウン管に比べ消費電力が1/3以下の壁掛テレビの実用化・ 高齢者・障害者等にとって使いやすい先端機器の実用化 |
|--|

1. 将来実現される社会像

ITを活用して多様な情報・知識の入手・共有・発信等の国民の潜在需要に応えることにより、経済的・文化的・精神的に豊かな国民生活が実現（「ITライフスタイル革命」）
また、我が国の人口の急速な高齢化の進展に対応して、高齢者等が活躍できるIT環境が世界に先駆けて実現

上記を支える共通基盤としての「自由かつ安全な情報空間」が実現

< 将来実現される社会像（抜粋） >

- ・ 個々の家庭や個人（高齢者も含む）の多様な嗜好に応じて、家庭にしながらショッピングや映画鑑賞ができる。
- ・ インターネットによる対話型の学習など、知的・文化的創造力の向上等が得られる学習環境が実現する。
- ・ 在宅勤務の普及や労働に関する意識等の変革により、通勤から解放されたワークスタイルの選択が可能となる。
- ・ どこでも又は移動しながら、情報入手・発信・利用ができる。
- ・ ITを活用したグローバルかつ高度なビジネス環境、経営・組織・業務の構造改革、大幅な効率化が実現する。
- ・ 患者の自由な選択による質の高い医療、在宅・テーラーメイド医療、地理的条件に制約されない遠隔医療・介護が実現する。
- ・ 多様な機器が無線・有線を含めてスムーズに接続し、自由かつ安全に多様な情報をやりとりできる“情報空間Japan”が実現する。
- ・ アジアにおける自由かつ安全な情報空間が実現する。

2. 戦略目標及び具体的行動計画

(1) 戦略目標

国民、産業界、政府等共有の目標により、国民の潜在需要を発掘

< 戦略目標（3～5年）（抜粋） >

- ・ 現行のブラウン管に比べ消費電力が3分の1以下の壁掛テレビの実用化、高齢者・障害者等にとって使いやすい技術の実用化
- ・ テレワーク人口の拡大（2007年：560万人）
- ・ 自由な情報空間におけるセキュリティ技術の確立
- ・ 在庫・物流管理等へのiCチップの活用や、経営情報等の把握・分析に資する統合業務ソフトの普及

- ・ビジネス用多言語自動翻訳システムの実用化
- ・遠隔医療や介護支援等の技術革新とシステムの全都道府県導入
- ・I P v 6（注）の普及等による情報通信関連市場の拡大
- ・インターネットのグローバル・ガバナンスへの貢献とアジアにおけるインフラ空間の開発
（注）I P v 6（アイ・ピー・バージョン・シックス）：インターネット上の通信契約の次期規格の名称。アドレス数の格段の増大等、セキュリティ機能の充実等が計られる。

（２）具体的行動計画

戦略技術への政策資源の重点投入

（a）政府調達・実証・技術開発支援

- ・政府調達による新技術の先導等

（新技術に係る市場の立ち上げにおいて政府調達が有効）

<例> 高齢者等に配慮した先進機器、政府の会議におけるテレビ電話システム

- ・技術の実証等

<例> I P v 6 関連技術、超高速ネットワーク

- ・重要なシステム・技術の開発支援

<例> 大画面・薄型・省電力テレビ、音声自動翻訳技術

（b）中長期的な研究開発投資

（c）融合技術開発等

（d）I T 投資減税・研究開発税制

産官学の連携

国際標準化活動に向けた対応

知的財産権問題への対応

環境整備

人材育成等の推進

「健康・バイオテクノロジー」産業発掘戦略の概要

- ・テイラーメイド医療、健康増進型作物の開発などの研究開発の圧倒的充実
- ・医薬品・医療機器、機能性食品・農業バイオ、バイオプロセス利用製品・バイオエネルギーに関するインセンティブの抜本的強化
- ・国民理解に資する国民との双方向コミュニケーションの充実強化

1. 将来実現される社会像

（１）我が国産業の国際競争力の向上と新産業の創出

既存産業分野でのバイオテクノロジー（B T）の積極的活用とバイオツール、バイオインフォマティクス等の発展による産業競争力の強化

ゲノム創薬、バイオプロセス等による従来の産業構造の大きな変革

健康情報ネットワーク産業などの新産業創出

（２）B T 産業の発展による国民生活の向上（2010年）

健康と長寿の達成（よりよく生きる）

- がん患者の5年生存率（治癒率）20ポイント改善
- 生活習慣病に対し画期的な治療を可能とする新薬等の開発
- 食料安全性、機能性の向上（よりよく食べる）
- 食料自給率40%から45%の向上にB Tとしても貢献
- 消費者メリットの高い遺伝子組換え作物の実現
- 持続可能な快適社会の実現（よりよく暮らす）
- 原油代替効果約1100万リットル/年(CO₂排出量換算で約2%に相当)
- 環境配慮型バイオマス由来プラスチックの利用が大いに進展

2. 戦略目標及び具体的行動計画

研究開発の圧倒的充実 - いつも世界の一步先の研究に力を尽くす -

< 行動計画概要 >

- ・研究開発予算の充実・強化を図るとともに、戦略的な予算編成と効率的な執行（研究開発予算の一体的な企画、立案、総合調整）と競争的研究資金の効果的運用を実施
- ・基礎研究の充実・強化、経済活性化のための研究開発プロジェクトの推進
- ・B Tを支える人材供給の抜本的充実
- ・医療・医薬品、微生物・バイオプロセス、機能性食品・農業バイオ分野への集中的投資
- ・B TとIT、NT等異分野との連携の推進
- ・バイオツール、バイオインフォマティクスへの重点投資
- ・テラメド医療、健康増進型作物の開発、バイオマス技術、B Tを活用した環境修復技術の開発など、医療・健康分野、食料分野、環境・エネルギー分野の研究開発の充実 等

産業化プロセスの抜本的強化 - B Tの成果を国民全体が享受するために産業化プロセスを確固たるものにする -

< 行動計画概要 >

- ・医薬品・医療機器、機能性食品・農業バイオ、バイオプロセス利用製品・バイオマスエネルギーに関するインセンティブの抜本的な強化
- ・B T関連企業等がその能力を最大限生かすことができる環境の創出に向けた取組（産業再生法の改正の検討等）
- ・創業に関する規制、手続等についての見直し等を通じたベンチャー企業の活性化
- ・先端医療研究の成果が医療現場で早く広く活用されるよう、研究開発と臨床との橋渡し体制の整備
- ・B T産業の集積する拠点を整備し、地域から競争力を強化
- ・植物新品種の権利侵害対策のための法整備の検討や品種識別技術向上等による農業・種苗産業の活性化
- ・バイオマスの有効活用、円滑な導入のための措置の実施
- ・生分解性プラスチック等B T関連製品普及のための環境整備等

国民理解の徹底的浸透 - 国民が適切に判断し、選択できるシステムを作る -

< 行動計画概要 >

- ・各府省連携のもと国民との双方向のコミュニケーションの充実強化
- ・安全・倫理に関する取組に万全を期すとともに、その取組を国民に積極的に開示・提供
- ・学校教育、社会教育等の充実等

- ・審査期間の短縮化、審査プロセスの透明化、優先審査体制の拡充等の医薬品・医療機器に関する安全確保の強化 等

「ナノテクノロジー・材料」産業発掘戦略の概要

- ・ナノカーボン、有機材料等を用いた次世代ディスプレイを市場に投入
- ・マイクロチップや医療用マイクロマシン技術を用いた医療機器等を実現
- ・世界最先端のナノ計測・加工装置の実現、革新的材料の市場投入

1. 将来実現される社会像

ナノテクノロジー・材料技術を核とした「21世紀の産業革命」により、“夢”に過ぎなかった社会を今後10年程度の間の実現する。あわせて、既存産業の融合等により生まれる新たな産業のイメージを示す。

ナノテクを駆使した使いやすいインターフェイスを持つ端末により、いつでもどこでも誰でも情報通信が簡単・安全にできる社会が実現

ネットワーク・ナノデバイス産業：次世代半導体、部品関連、記憶装置、光・通信網、次世代ディスプレイ関連事業等で構成

簡便な健康管理と高度な治療により、健康・高齢化に万全の対応をした安心・安全な社会が実現

ナノバイオニック産業：バイオチップ、薬物送達システム・医療用微小機械、生体適合材料関連事業等で構成

エネルギーの効率的利用と環境モニタリングの高度化により、豊かで美しい環境を持つ社会が実現

ナノ環境エネルギー産業：燃料電池、革新的材料を用いた輸送機器・電力関連、環境モニタリング等関連事業等で構成

新構造材料等の革新的材料により、生活基盤の信頼性が一層向上し安全で安心できる社会が実現

革新的材料産業：高信頼性構造材料、維持・補修関連事業等で構成

ナノレベルの計測・分析・加工技術の高度化が我が国で実現することにより、最先端の科学技術・新産業が生まれ発展する社会が実現

ナノ計測・加工産業：微小電気機械システム(MEMS)・ナノ加工、微小化学反応器、ナノ計測・評価関連事業等で構成

2. 戦略目標及び具体的行動計画

(1) 戦略目標

「10年後に、世界市場を主導できる我が国発の企業をナノテクノロジー・材料分野の‘5つの産業’で創出する。」

(2) 具体的行動計画

戦略目標の達成のために、当面3～5年で、ナノテクノロジー・材料分野の新技术を‘5つの産業’それぞれの市場に投入する。

<横断的な行動計画>

融合を加速する戦略的プロジェクトの推進

- ・ 内閣府が主導する府省の壁を越えた一体的プロジェクトの推進
（産業発掘のための関連研究開発と環境整備の一体的な企画・推進）
- ・ 実用化の目標に向けナノテクの種々の可能性を競争的に実証
（早期実用化を目指す研究開発に技術コンペ方式を採用）
- ・ 提案公募型ナノテクノロジー商品化推進ファンド
- ・ 融合研究を加速する研究開発環境整備
即戦力となる幅広い視野を持つ人材の育成
- ・ 専門性に加え学際的な知識を有する研究者、目利きの育成
- ・ 大学と産業との間の研究人材の流動化
- ・ 優れた技術者・技能者の養成と確保 等
- 市場化を促進する環境整備
- ・ 受託製造機関(ファウンドリー)支援等による試作機能等の充実
（シーズの円滑な市場化を促進する試作等サポート体制の整備）
- ・ 知的財産権の取得・活用に対する支援等知的財産戦略の強化
- ・ 性能評価法の国際標準化支援等ナノ固有の標準化戦略強化
- ・ ビジネスベースのグローバルなネットワーク整備等

< 各産業の行動計画例 >

- (1) ネットワーク・ナノデバイス産業：企業・大学との連携強化
- (2) ナノバイオニック産業：医療機器審査体制の充実・強化
- (3) ナノ環境エネルギー産業：超小型環境モニタリング機器導入促進
- (4) 革新的材料産業：公共工事の技術活用の促進や設計・許認可基準等の見直し
- (5) ナノ計測・加工産業：MEMS拠点、ナノテクセンターの整備・充実

国家産業技術戦略・分野別産業技術戦略(材料分野)
ファインセラミックス産業技術戦略(概要)(抜粋)

i. ファインセラミックス産業技術戦略(概要)

(中略)

・当該技術分野において技術革新を阻害している問題点

1. 戦略の欠如

ファインセラミックスの研究開発については、産学官が戦略的に連携して取り組んでいる状況にはなく、各々個別に進められている。ニーズや技術動向等を踏まえた総合的な技術戦略の構築が求められている。

2. 産学官連携の希薄さ

産学官の研究者が、連携を強化し、効率的な研究開発を行うことが望まれるが、大学のシーズと企業のニーズ等の情報は十分に共有されていない。また、共通した研究開発課題を効率的に取り組むために必要な研究公務員と民間企業間の人的交流が制約されている。大学のシーズを育成し、実用化を促進させる組織的な取り組みが求められている。

3. 知的基盤の整備、標準化推進に対する戦略的取り組みの遅れ

ファインセラミックスの知的基盤整備に関し、我が国は、データベース数、標準物質等については、欧米に比べ充分でない。一方、試験評価方法の標準化は進展しつつあり、国際標準化に対しても我が国が先導的役割を果たしている。今後ともリーダーシップを取って推進するため、試験評価手法の開発及びその標準化を更に促進させる総合的・戦略的な知的基盤整備計画が必要である。

(後略)

平成13年度素材産業技術対策調査(無機新素材産業の技術対策調査研究)
重点技術課題推進調査報告書
(平成14年3月社団法人日本ファインセラミックス協会作成)(抜粋)

(前略)

第5章 重要技術課題による産業展望

5.1 ファインセラミックス産業の現状と目標

経済産業省は今後の産業技術の発展をはかる上でより強固な産業技術戦略の策定が不可欠であるとの観点から、平成12年度、各産業分野の産業技術戦略を産学官の共同作業により策定した。以下にその概要を紹介する。

ファインセラミックス産業に関しては、現状では高付加価値産業であり、部品・部材として自動車、電子・通信機器等幅広い産業分野で利用されている。特に、電磁気・光学用部材はファインセラミックス産業全体の70%を占め、今後の需要はエレクトロニクス産業及び自動車産業の市場動向に大きく左右されることになる。他のファインセラミックス分野も、この二つの産業動向に大きく影響される。また、本産業は、優れた材料・生産技術を供給し、世界的にも高いシェアと高い競争力を持っている。一方、市場規模は、国内で1.9兆円(平成12年度)と小さい。

今後、ファインセラミックス産業の発展をはかる上で、循環型社会の実現、生活の質的向上、安全で安心な社会の実現等、社会の質的転換に貢献できる材料・プロセス技術の開発がきわめて重要である。このような観点も視野に入れた技術革新による新規市場の拡大が産業技術戦略の中心課題である。その際、環境に調和した材料・プロセス技術の開発が技術革新のメルクマークとなる。

今後の材料・プロセス技術としては、機能集積化材料、高度制御多孔体材料、ポイズンフリー材料、省エネルギー型製造技術等が重要である。その際、ナノからミクロのレベルで制御した材料及びプロセス技術の開発が当該分野の技術革新を加速する可能性を有するものと思われる。

5.2 分野別重要技術課題の産業展望

各産業界から発表されている2005年度までの予測数値によれば、2001(平成13)年度は1兆7,786億円と、IT関連産業の崩壊により、二桁程度のマイナス成長であったが、自動車関連部材は安定した需要にあった。今後、ファインセラミックス全体の需要は上昇基調で推移することが予測され、年率4~6%であると思われる。2005年以降も年率5~6%で市場は拡大していくものと思われ、2010年には、3兆円を越える規模に達すると予測されている(付録図4.1)。尚、各分野の伸びは付録表4-1に示されている。

5.2.1 構造材料分野の重要技術課題の産業展望

同分野に大きな大きな影響を及ぼす産業としては自動車と半導体があげられる。自動車が横ばいから微増傾向の伸びとなっており、半導体は長期的には右肩上がりで推移すると予測されている。

このような2つの産業の市場動向から重要技術課題を見た場合、高次・超精密空間制御技術分野では排ガス浄化システム技術が注目される。背景には2005年度からスタートする、車に適用される新しい排ガス基準では、浮遊粒子状物質（SPM）は現行の規制よりも75～85%の削減、NO_xも41～50%の削減をすることが求められている。ディーゼル対策で先行する欧州をものぐさしい規制となる。これを早期に解決する技術として、当該排ガス浄化システム技術の開発が急がれる。当該技術の開発により自動車の輸出が促進されるのみならず、ぜん息、アレルギー疾患、発ガン性の原因物質も取り除かれ、光化学スモッグの低減も実現されるなど、社会・産業に及ぼすインパクトは極めて大きい。

尚、当該技術は生体・生活分野の化学的部材とも密接な関係にある。対象になるのが、触媒・触媒担体（2000年度、483億円）である。今後、ディーゼルエンジンへの浄化装置の適用拡大が期待され、高い伸び率での成長が予測できる。

繊維強化複合材料技術に関しては、高付加価値化が要求される次世代航空・宇宙機器用材料ならびに部材化技術の開発が注目できる。また、セラミック長繊維に光触媒機能を付与した高温で使用可能な環境浄化材料の開発も注目できる。特に、この分野は生体・生活分野とも密接な関係にあり、市場規模は2005年で2～3兆円と言われ、今後、年平均8%以上の高い水準で伸びることが期待されている。

5.2.2 電子機能材料分野の重要技術課題の産業展望

電子機能を利用した電磁気・光学用部材は今後、年平均5%と高い水準で推移すると予測される。ファインセラミックス産業全体の70%を占めるこの電子機能材料はあらゆる産業分野で使用されている。その中でも、特に大きいのが「半導体産業」、「情報機器」、「電子機器」、「通信」等のエレクトロニクス産業である。この市場の拡大を支えるのが、光ファイバや光電変換素子等の光学用部材である。この分野は年率10%前後の成長が世界的レベルで予測されており、同分野向けファインセラミックス部材も高い水準での伸びが期待できる。

このような高い伸び率を実現するためには、セラミックスをコア材料とした電子部品については、我が国が世界をリードしてきた実績をベースに積極的に部品、モジュールを超えた概念のインテグレートエレクトロセラミックデバイス技術の開発が不可欠である。また、光機能と電磁気機能との融合を可能とする、三次元電子回路を内包するセラミックデバイス創製技術、耐環境性モジュール技術等の開発が期待される。新しい市場として3,000～5,000億円程度期待できる分野である。

5.2.3 生体・生活材料分野の重要技術課題の産業展望

生体材料に関しては、現状の人工関節、人工歯根を中心に、今後は人工骨・軟骨の市場

拡大、新材料の開発が行われる。生活材料については、酸化チタンによる光触媒機能を利用した各種抗菌製品や環境浄化材料として年平均8%以上の高い伸びが期待できる。

化学的部材については、生活材料及び構造用材料としても位置付けることができ、セラミックスの多孔性を利用した濃度センサー、触媒担体、フィルター（気体、粒子）、調湿材料等としてあらゆる産業の中で幅広い利用が進むものと予測される。

このような予測を実現あるいは更に上回るためには、生体材料に関しては「ナノメディカルマテリアルの研究開発」を実施することが望まれる。具体的にはセラミックス、高分子、金属のそれぞれ、あるいはそれらをナノレベルで融合化させた材料プロセス技術の確立により、生体機能再生部材を開発するとともに、これら新医用材料の活用を促進する社会・産業体制を構築することが不可欠である。この結果、現状では輸入品が8割を占める当該分野の製品の国産化率が高まるとともに、医療費の低減にもつながり、更には海外への供給も可能となる。当該分野の2010年における市場規模は2,000～3,000億円程度が見込まれる。当該分野の材料開発により、直接的な市場規模のみならず、医療費の低減という点からは1兆円程度の効果が期待できる。

生活材料分野においては「ナノ空間制御セラミックス材料の開発」が期待される。当該開発技術は構造材料分野にも共通する課題であり、耐熱性触媒担体、微粒子フィルター、調湿材料、電波吸収体等、都市空間の環境浄化材料、省エネルギー材料等として広く利用できる。当該分野の2010年における市場規模は3,000～5,000億円と大きな需要が予測できる。