

「超ハイブリッド材料技術開発」  
中間評価報告書

平成21年9月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成21年9月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-14
2. 1 化学技術戦略推進機構・産総研グループ	
(1)相反機能発現のための基盤技術開発	
(2)相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	
(3)材料設計に資する総合評価・支援技術開発	
(4)超ハイブリッド材料創製技術開発	
2. 2 三菱化学・産総研グループ	
(1)相反機能発現のための基盤技術開発	
(2)相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	
(3)材料設計に資する総合評価・支援技術開発	
(4)超ハイブリッド材料創製技術開発	
2. 3 東レダウコーニンググループ	
(1)相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	
(2)超ハイブリッド材料創製技術開発	
3. 評点結果	1-39
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「超ハイブリッド材料技術開発」の中間評価報告書であり、第18回研究評価委員会において設置された「超ハイブリッド材料技術開発」(中間評価)研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第22回研究評価委員会(平成21年9月17日)に諮り、確定されたものである。

平成21年9月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「超ハイブリッド材料技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(平成21年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	えんどう たけし 遠藤 剛	近畿大学 副学長／分子工学研究所所長
分科会長 代理	つぼかわ のりお 坪川 紀夫	新潟大学 大学院自然科学研究科長・教授
委員	うすき ありみつ 臼杵 有光	株式会社豊田中央研究所 取締役 ／先端研究センター、研究部担当
	なかむら しゅうへい 中村 修平	三重大学 大学院工学研究科教授
	まえ かずひろ 前 一廣	京都大学 地球環境学堂地球親和技術学廊教授
	やすだ たけお 安田 武夫	安田ポリマーリサーチ 研究所所長
	よしなが こうじ 吉永 耕二	九州工業大学 大学院工学研究院物質工学系教授

敬称略、五十音順

## 審議経過

### ● 第1回 分科会（平成21年7月6日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

### ● 第22回研究評価委員会（平成21年9月17日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

情報通信、環境、エネルギー、ライフサイエンスの我が国の重点分野全領域の高度化に資する部材の基盤技術開発であり、国策に適合した公共性が十分ある。エコ・マテリアル創成に向けた耐熱性・放熱性・耐久性、熱・光に対する機能性付与は時宜を得たプロジェクトと考える。これを実現するための鍵となる要素技術について、その目標を的確に設定し、各専門分野の研究機関が有機的かつ競争的に研究を推進する体制で進められている。一部のテーマを除いて、成果は各項目ともほぼ中間目標に達しており、世界的に独創性のある一定以上の成果があると評価できる。また、最終目標達成にある程度目処が立っていることも評価できる。

今後は、超ハイブリッド材料設計の目的をはっきりさせ、今までにない新規性とコンセプトを力強く提案してほしい。また、工業化を目指すことを視野に入れて、コスト面を考慮した研究開発を進めてほしい。

プロセス技術に関しては、実用化を見据えて、プロジェクト期間中に生産技術としての課題を明確にしていくことが望まれる。すでに最終目標に達している項目もあるので、有望材料に特化して、生産するための課題の抽出と解決へとさらに加速していくことが望まれる。

#### 2) 今後に対する提言

本研究項目は今後の材料技術として重要と考えられるので、残り2年でナノ科学に立脚した基盤技術を体系化していくべきである。そのためにも、有機合成や高分子合成の専門家を交えて、精密に高分子材料設計を行うべきである。また、超ハイブリッド材料のマトリックスである高分子に関する検討は、未だ限定されたものになっており、本技術がより普遍的になるためには、適用される高分子の種類を増やせるような検討を望みたい。

### 2. 各論

#### 1) 事業の位置付け・必要性について

日本の国際競争力の強化、新しい部材の創成という課題に対して、本プロジェクトはその製造技術基盤を確立することを目的としており、時代を先読みしたプロジェクトとして、国策に適合し、かつ公共性の高い事業でもある。また、川上の材料開発において、複合体材料の構成要素であるバインダーとフィラーの各グループが、川下の高い要求スペックに向けて共同参加したことに意義がある。

しかし、基盤技術の応用に関して、現状の材料に留まらず、さらに広範囲な分野

への水平展開するための方策を考えていくことが望まれる。今後は、日本発の普遍的な技術として確立すべきである。

## 2) 研究開発マネジメントについて

事業の終了段階において予想される範囲で目標が設定されており、ほとんどが数値あるいは定量的な設定がなされている。また、数値目標は高く、十分戦略的になっている。新しい材料設計について基礎から製造プロセスまで一貫して推進できるように、各専門分野の研究機関を適切に配置し有機的に連携して研究を推進している点は大いに評価できる。

しかし、同一テーマでの実施者間の連携関係と、企業間の連携または競争、それらをどう調整するのかが明確でない。また、知的財産の保護を確保し、各研究グループの成果の相互利用も積極的に行い、より成果の拡大を図ることも必要である。グローバル事業が進む中、日本以外の他国でも特許を取得していただきたい。

## 3) 研究開発成果について

各課題とも、的確な課題設定がなされ、世界トップレベルでかつ、実用化レベルの目標値が定量的に明確になっている。これに対して、どの研究も中間目標をほぼ達成しており、本事業は順調な進捗にある。新製法の開発などにも顕著な成果が得られている。

しかし、参加企業により、検討される材料(特に有機系材料)が限定されている。より汎用性のある技術としていくためには、有機系材料の選択肢を広げることも必要である。また、放熱性材料開発が他と比べて遅れているので、改善が必要である。一部のテーマでは、知的財産権の取得や論文・学会発表が少ない状況にあるので、これも改善の必要がある。

更には、いくつかのテーマが最終目標を達成する方策を明確にしていないので、最終目標の達成のためにその可能性を具体的に示す必要がある。

今後は、すでに最終目標に達している項目もあるので、実用化への課題の解決へとさらに加速していくことが望まれる。

## 4) 実用化の見通しについて

産業技術として確立していくためのスキームは出来ている。具体的目標と出口は明確であり、実用化に対する課題の整理も的確でいくつかの材料は実用化に結びつくものと高く評価できる。研究成果による関連分野への波及効果も大きい。

しかし、現在想定している課題に加えて、スケールアップの際に非平衡(速度)過程の適切な制御と品質保証との関連性について注力しておくべきと考える。また、長期運転時に起こりうるトラブルを精査し、それを解決する方策もプロジェクト実施中に明らかにしておくことが肝要である。

技術の波及はそのコストで決まるので、今後コストを考慮に入れた開発が望まれる。また、当該分野における事業化の専門家等に意見を聞き、事業化シナリオの構築に努めてほしい。

## 研究評価委員会におけるコメント

第22回研究評価委員会（平成21年9月17日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパス株式会社 新規中核事業企画本部 ヘルスケア事業開発部 企画グループ コーディネーター
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 取締役社長
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	国立大学法人東北大学大学院 工学研究科 バイオリボティクス専攻 教授
	佐久間 一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	富田 房男	放送大学 北海道学習センター 所長
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

情報通信、環境、エネルギー、ライフサイエンスの我が国の重点分野全領域の高度化に資する部材の基盤技術開発であり、国策に適合した公共性が十分ある。エコ・マテリアル創成に向けた耐熱性・放熱性・耐久性、熱・光に対する機能性付与は時宜を得たプロジェクトと考える。これを実現するための鍵となる要素技術について、その目標を的確に設定し、各専門分野の研究機関が有機的かつ競争的に研究を推進する体制で進められている。一部のテーマを除いて、成果は各項目ともほぼ中間目標に達しており、世界的に独創性のある一定以上の成果があると評価できる。また、最終目標達成にある程度目処が立っていることも評価できる。

今後は、超ハイブリット材料設計の目的をはっきりさせ、今までにない新規性とコンセプトを力強く提案してほしい。また、工業化を目指すことを視野に入れて、コスト面を考慮した研究開発を進めてほしい。

プロセス技術に関しては、実用化を見据えて、プロジェクト期間中に生産技術としての課題を明確にしていくことが望まれる。すでに最終目標に達している項目もあるので、有望材料に特化して、生産するための課題の抽出と解決へとさらに加速していくことが望まれる。

#### <肯定的意見>

○世の中の製品・商品の材料・部材は、全てが複合材料と言っても過言ではない。エコ・マテリアル創成に向けた耐熱性・耐久性、熱・光に対する機能性付与は時宜を得たプロジェクトと考える。

中間評価段階にて、放熱部材、反射防止材など一部川下企業に試供できる部材が完成していることから、おおむね順調な進捗状況である。

○情報通信、環境、エネルギー、ライフサイエンスの我が国の重点分野全領域の高度化に資する部材の基盤技術開発であり、国策に適合した公共性が十分ある。また、これを実現するための鍵となる要素技術について、その目標を的確に設定し、各専門分野の研究機関が有機的かつ競争的に研究を推進する体制で進められている。成果は各項目ともほぼ中間目標に達しており、世界的に独創性のある一定以上の成果があると評価できる。また、一部は実用化へ向けた製造技術の開発まで視野に入れて実施している。最終目標達成も十分可能なレベルにあり、今後、本プロジェクトを推進することで、さらなる研究成果が期待できる。

○殆どの研究が中間目標をクリアし、最終目標達成にある程度目処が立っていることは評価できる。

○ほとんどのテーマが中間目標を達成しており、概ね順調に進捗していると思われる。すでに、最終目標を達成し、試作品作製を済ませているプロジェクトもあり、早急な実用化の検討が望まれる。

○全体的にみて順調に進行していると思う。しかし、具体性をもって挑戦してほしい部分もある。

○ほぼ、中間目標が達成されおり、このペースで研究を展開してほしい。

○興味ある成果が複数出ている。今後に期待できる。

#### <問題点・改善すべき点>

●本プロジェクトでは、フィラーについては新規フィラーと既存フィラーを対象としている。新規フィラーとして超臨界水熱合成によるその場作成フィラー、金属ナノロッド、セラミックナノワイヤー、金属ナノフィラーがある。また基盤技術として超臨界法、臨界法、メカノケミカル分散法、二段重合法などがあります。更には既存のカップリング剤を適用され豊富な技術が集結している。

今回、新規フィラーとしての「金属ナノロッド、セラミックナノワイヤー、金属ナノフィラー」を用いた機能性複合体への取り組みが見えない。この新規フィラーを活かす取り組みが強く望まれる。

●一部、遅れ気味のグループの研究に関しては、他グループも協力して支援していくことで、基盤技術の充実に努めることが望まれる。また、プロセス技術に関しては、実用化を見据えて、プロジェクト期間中に生産技術としての課題を明確にしていくことが望まれる。

●一部のことで、目標が未達・検討中止があった。未達のものは今後の検討で目標達成を望みたい。

●いくつかのプロジェクトにおいて、中間目標を達成した手法の展開によって最終目標が達成できるかどうかの見通しがなされていないように思われた。

・技術水準が、世界の水準と比べてどうであるか、という評価も今後入れていくべきである。

●超ハイブリット材料設計の目的をはっきりさせ、今までにない新規性とコンセプトを力強く提案してほしい。

●工業化を目指すにはコスト面を考慮した研究開発を進めてほしい。

有機合成、高分子合成の専門家を交えて、精密に高分子材料設計を行うことにより、研究のさらなる発展が期待できる。

#### <その他の意見>

・すでに最終目標に達している項目もあるので、有望材料に特化して、生産するための課題の抽出と解決へとさらに加速していくことが望まれる。

- ・今後 2 年間で事業では、コスト面の考慮も含めての技術の多様化が望まれる。
- ・日本の得意分野であるハイブリッド材料に関して、技術優位性を明確にして進めていただきたい。

## 2) 今後に対する提言

本研究項目は今後の材料技術として重要と考えられるので、残り2年でナノ科学に立脚した基盤技術を体系化していくべきである。そのためにも、有機合成や高分子合成の専門家を交えて、精密に高分子材料設計を行うべきである。また、超ハイブリッド材料のマトリックスである高分子に関する検討は、未だ限定されたものになっており、本技術がより普遍的になるためには、適用される高分子の種類を増やせるような検討を望みたい。

### <今後に対する提言>

#### ○②-2 液晶性エポキシ樹脂の開発

従来型エポキシの数倍の熱伝導率が高いことが期待でき極めて望ましいことである。重さ1kg当り数万円を越えるエポキシ材料の実用化は難しいと考える。さらに研究を続行するには、コストの低減に関する検討をする、またはどの程度までコストの低減化が図れるかを説明する必要があると思う。ジャンプアップ型プロジェクトとして、次世代機能化樹脂として肝要である。

○各個別項目とも一定量の成果を収めており、実用化に関しては、今後は企業を中心に開発を推進していくことが望まれ、実用化研究と基盤研究のさらなる連携を進めることが望まれる。また、本研究項目は今後の材料技術として重要と考えられるので、残り2年でナノ科学に立脚した基盤技術を体系化していくことを強く望む。

○基盤技術の確立という面から無機ナノ粒子の表面改質という意味では、目標がかなり達成されたと思う。但し、超ハイブリッド材料のマトリックスである高分子に関する検討は、未だ限定されたものになっており、本技術がより普遍的になるためには、適用される高分子の種類を増やせるような検討を望みたい。

超ハイブリッド材料のマトリックスとなりうる透明性熱可塑性樹脂、耐熱性熱可塑性樹脂もかなりの市場であることを考慮するとマトリックス材料の使用範囲の拡大は必要不可欠と思われる。(参加企業の制約から難しいと思われるが)

○・「超ハイブリッド材料創製技術開発」は、ほとんどのグループで概ね順調に進んでいるように思える。今後の技術の幅広い普及のために、展開の拡大が望まれる。

・東レ・ダウコーニンググループの①と②のテーマの区別がつかない。統合または縮小の方向での検討が必要と思われる。

○内容的には規模としては現状でよいと思うが、残りの時間を一つでも多くのサクセスストーリーを構築してほしい。

○有機合成や高分子合成の専門家を交えて、精密に高分子材料設計を行うことにより、研究のさらなる発展が期待できる。

○個々の技術課題に対して進捗のバラツキがあるので、完成度の高いものから早くニーズ企業での実用化検討に進むと良いと思う。

<その他の意見>

・本 PJ は世界的にも良いレベルにあると思います。この分野で日本がリードし続けるために、東北大に超ハイブリッド材料設計、製造技術の拠点を置き、不断の技術革新、人材育成をできるような体制の立ち上げを国が支援することも今後の展開として考えていくことが望まれる。

## 1. 2 各 論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

日本の国際競争力の強化、新しい部材の創成という課題に対して、本プロジェクトはその製造技術基盤を確立することを目的としており、時代を先読みしたプロジェクトとして、国策に適合し、かつ公共性の高い事業でもある。また、川上の材料開発において、複合体材料の構成要素であるバインダーとフィラーの各グループが、川下の高い要求スペックに向けて共同参加したことに意義がある。

しかし、基盤技術の応用に関して、現状の材料に留まらず、さらに広範囲な分野への水平展開するための方策を考えていくことが望まれる。今後は、日本発の普遍的な技術として確立すべきである。

#### <肯定的意見>

○川上の材料開発において、複合体材料の構成要素であるバインダーとフィラーの各グループが、川下の高い要求スペックに向けて共同参加したことに意義がある。

○今後の日本の国際競争力の強化、4大重点領域に適用可能な新しい部材を創成という国の根幹として取り組まねばならない課題に対して、本プロジェクトは、その製造技術基盤を確立することを目的としており、十分、国策に適合したものと判断できる。また、本研究開発は、世界的にみても革新性に富んでいると同時に次世代社会・新産業基盤の創出に密接に関係しており、公共性の高い事業である。

○現在の日本の産業界の状況を鑑みて、革新的新規材料として超ハイブリッド材料を選定したこと、近年のナノテクノロジーの技術進歩と日本の材料技術の進展のため非常に良いことと思う。これが、普遍的な技術として確立できれば日本発技術として注目されると思う。また、このような技術開発は、やはり、国家プロジェクト的に行うことは不可欠であり、NEDOの事業とするべきであろう。

○本事業は、ナノテクノロジーを駆使して高機能性材料の開発を行い、世界のトップ技術を創成する目的として位置づけられており、またナノテク・部材イノベーションプログラムにおける他事業と差別化が図られており、NEDOの事業として妥当であると思われる。また、この事業は人材育成、技術高度化および国際競争力の向上という意図も含まれており、極めて公共性が高いと評価される。

○事業の位置付け・必要性についての評価基準に沿ってプロジェクトは進めていると思う。当該分野における内外の技術開発状況から見て、工業化を見据えたオリジナリティーのある開発が重要と考える。この観点からは開発内容が十分とはいえない。

○ナノテク・部材イノベーションプログラムの下で、その目標達成のために寄与すると思われる。したがって、事業の目的は概ね適切と思われる。

○時代を先読みしたプロジェクトだと思う。必ず成功させていただきたい。

<問題点・改善すべき点>

●CO<sub>2</sub>削減が異様に強調されているが、それに加えて、環境調和型高機能材料を工業製品として世の中に提供していくことで、低炭素社会インフラの材料技術基盤を構築していくということも強調すべきと考える。

●当然ながら、現在の参加企業、機関は限られているが、今後はこの技術の普及を考慮して、参加者の拡大も考慮されたら如何と思う。

●工業化を見据えたオリジナリティーのある開発を推進するための検討をすべきである。

<その他の意見>

・基盤技術の応用に関して、現状の材料に留まらず、さらに広範囲な分野への水平展開するための方策を考えていくことが望まれる。

・産業のグローバル化が進む中、どこの国でも製造できる技術にしていきたい。

## 2) 研究開発マネジメントについて

事業の終了段階において予想される範囲で目標が設定されており、ほとんどが数値あるいは定量的な設定がなされている。また、数値目標は高く、十分戦略的になっている。新しい材料設計について基礎から製造プロセスまで一貫して推進できるように、各専門分野の研究機関を適切に配置し有機的に連携して研究を推進している点は大いに評価できる。

しかし、同一テーマでの実施者間の連携関係と、企業間の連携または競争、それらをどう調整するのかが明確でない。また、知的財産の保護を確保し、各研究グループの成果の相互利用も積極的に行い、より成果の拡大を図ることも必要である。グローバル事業が進む中、日本以外の他国でも特許を取得していただきたい。

### <肯定的意見>

- 数値目標は高く、十分戦略的になっている。
- 新しい材料設計について基礎から製造プロセスまで一貫して推進できるように、各専門分野の研究機関を適切に配置し有機的に連携して研究を推進している点は大いに評価できる。また、各研究における目標、役割も明確である。
- 事業目標全般は時代の要請に沿うものであり、その研究開発計画は、妥当と思われる。この技術の根幹技術が超臨界技術であることを考慮すると東北大の方を PL とし、これを産学官の協力で運営・実行することは良い体制である。
- 事業の終了段階において予想される範囲で目標が設定されており、ほとんどが数値あるいは定量的な設定がなされている。研究計画やスケジュールなども明確にされている。
- 研究開発マネジメントについての評価基準に沿って戦略的に目的は設定されている。
- 研究開発目標の設定、研究開発計画、研究開発実施の事業体制は概ね妥当と思われる。社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に対して、研究加速財源を配分している。

### <問題点・改善すべき点>

- 会議の中で議論になったが、知的財産の保護を確保し、各研究グループの成果の相互利用も積極的に行い、より成果の拡大を図ることも必要である。
- 同一テーマでの実施者間の連携関係と、企業間の連携または競争、それを調整する組織としての役割が明確でない。
  - ・世界のトップ技術の水準について明確にされていない。
  - ・テーマが分散しているように思える。

- 実用化のシナリオ、情勢変化への対応が少し甘い。この辺を強くして本プロジェクトをサポートしてほしい。
- グローバル事業が進む中、日本以外の他国でも特許を取得していただきたい。

<その他の意見>

・今以上に各研究機関の具体的な情報交換を行い、知識のハイブリッド化させることが望まれる。また、今後技術展開可能な各応用分野との対比表（各技術スペックから見た最適な応用分野の一覧表のようなもの）を整理すれば、本研究開発の成果の普及が促進されると考えられる。

一方、外資系企業の参画に関しては、プロジェクトの趣旨が日本の産業基盤強化への税金の投入という点から鑑みて、知財権を共同日本企業のみにする、共同日本企業の意向が優先される等を考えていく必要があると思われる。

### 3) 研究開発成果について

各課題とも、的確な課題設定がなされ、世界トップレベルでかつ、実用化レベルの目標値が定量的に明確になっている。これに対して、どの研究も中間目標をほぼ達成しており、本事業は順調な進捗にある。新製法の開発などにも顕著な成果が得られている。

しかし、参加企業により、検討される材料(特に有機系材料)が限定されている。より汎用性のある技術としていくためには、有機系材料の選択肢を広げることも必要である。また、放熱性材料開発が他と比べて遅れているので、改善が必要である。一部のテーマでは、知的財産権の取得や論文・学会発表が少ない状況にあるので、これも改善の必要がある。

更には、いくつかのテーマが最終目標を達成する方策を明確にしていけないので、最終目標の達成のためにその可能性を具体的に示す必要がある。

今後は、すでに最終目標に達している項目もあるので、実用化への課題の解決へとさらに加速していくことが望まれる。

#### <肯定的意見>

○(1)中間目標の達成度はほとんどクリアしている。

(2)成果の意義は期待でき、数値目標の高さから技術的優位性がある。

○各課題とも、的確な課題設定がなされ、世界トップレベル、実用化価値が十分ある目標値が定量的に明確になっている。これに対して、どの研究も中間目標をほぼ達成されており、新製法の開発などに顕著な成果が得られており、十二分の成果が得られている。また、成果の権利化、論文の発表も十分できている。

○殆どのプロジェクトが中間目標を達成し、最終目標も視野に入れているように感じられた。超臨界法による無機物の表面処理を核としたことは、代表的な日本発の技術の普及にはずみがつけばという感がある。知的財産の取得、論文発表も順調と思われる。

○21年度の間評価段階での目標達成度は高く、本事業は順調な進捗にあるといえる。

○中間目標はほぼ達成していると思う。しかし、最終目標の達成のためにその可能性を具体的に示す必要がある。

○中間目標は概ね達成されている。

#### <問題点・改善すべき点>

●現時点で中間目標に達成していない一部の項目については、さらなる研究の推進が求められる。

●各種検討の進捗は順調である。当然ながら、参加企業により、検討される材料(特

に有機系材料)が限定されている印象があった。今回は基盤技術の確立中心のため、このことは避けられなかったのは理解できる。しかし、今後、より汎用的技術としていくためには、有機系材料の選択肢を広げることも必要と思われる。

●一部のテーマでは、知的財産権の取得や論文・学会発表が少ない状況にあるので、今後改善の必要がある。一般への情報発信も含めて、活発な公表・発表が望まれる。すでに、最終目標をクリアしているテーマもあるが、いくつかのテーマが最終目標を達成する方策を明確にしていない。

●今までの達成項目をベースにして選択と集中を行ない、最終目標を達してほしい。

●放熱性材料開発が他と比べて遅れている感があり、改善が必要。

#### <その他の意見>

・すでに最終目標に達している項目もあるので、実用化への課題の解決へとさらに加速していくことが望まれる。

・各社間の壁があるので難しいと思うが、他のチームの技術も幅広く使用して検討進めることはできないでしょうか。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

産業技術として確立していくためのスキームは出来ている。具体的目標と出口は明確であり、実用化に対する課題の整理も的確でいくつかの材料は実用化に結びつくものと高く評価できる。研究成果による関連分野への波及効果も大きい。

しかし、現在想定している課題に加えて、スケールアップの際に非平衡（速度）過程の適切な制御と品質保証との関連性について注力しておくべきと考える。また、長期運転時に起こりうるトラブルを精査し、それを解決する方策もプロジェクト実施中に明らかにしておくことが肝要である。

技術の波及はそのコストで決まるので、今後コストを考慮に入れた開発が望まれる。また、当該分野における事業化の専門家等に意見を聞き、事業化シナリオの構築に努めてほしい。

#### <肯定的意見>

○(1)実用化、出口は明確であり、高熱伝導性材料、光機能性材料は実用化、事業化へ展開可能であると考えられる。

(2)経済的・社会的波及効果はある。

○産業技術として確立していくためのスキームは出来ていると思われる。実用化に対する課題の整理も的確でいくつかの材料は実用化に結びつくものと高く評価できる。また、基盤研究の成果の種々の分野への波及効果も大きいと判断できる。

○開発目標材料の実用化の分野別目標の設定は妥当と思われる。各種目標をクリアした材料を開発し、実際に市場評価を開始され、目標市場の妥当性、目標以外の大きな市場が見出されることを期待したい。

○ほとんどのテーマは実用化と波及的応用拡大を目指しており、具体的目標と出口は明確であり、継続的な研究計画がなされている。

いくつかの研究成果は、最終目標に達しているものがあり、事業化の検討を始める段階にあるものもある。

○半分程度は明確になっていると考えられる。

もう少し具体的なシナリオを書く必要がある。

○研究成果は関連分野への波及効果があると思われる。

#### <問題点・改善すべき点>

●現在想定している課題に加えて、スケールアップの際に非平衡（速度）過程の適切な制御と品質保証との関連性について注力しておくべきと考える。また、長期運転時に起こりうるトラブルを精査し、それを解決する方策もプロジェクト実施中に明らかにしておくことが望まれる。

- 他の委員からの意見もあったが、目標達成が確立した技術から、市場評価を始め、それをフィードバックして更なる研究の進展の糧とする必要がある。
- 技術の波及はそのコストで決まるので、今後コストを考慮に入れた開発が望まれる。
- 当該分野における事業化の専門家等に意見を聞き、事業化シナリオの構築に努めてほしい。
- 本プロジェクトの実施が当該分野の人材育成に寄与することを期待する。

<その他の意見>

- ・大量生産プロセス技術をさらに進化させるために、プロジェクト内に留まらず、プロジェクト外の有識者との意見交換などを、さらに積極的に推進していくべきと思われる。
- ・超臨界技術により、大量合成技術を一日でも早く確立し、当該研究以外の技術開発にも応用開発が進むことを期待したい。(裾野の広がりという意味で)
- ・100%の完成度を目指さなくても、ニーズがあれば実用化検討へ進むようにしてください。

- 2. 個別テーマに関する評価
- 2. 1 化学技術戦略推進機構・産総研グループ
- 2. 1. 1 ②相反機能発現のための基盤技術開発
- (1) 成果に関する評価

相反する機能を発現するための3種類の制御の視点を明確にし、それに対して、超臨界水という反応場を利用した各速度過程の制御、二段階重合によるナノ構造制御など非常に斬新かつ独創的な方法を開発している点は新規性に富む。しかも、超臨界水熱合成法を利用したナノ粒子の in-situ 表面修飾法を開発し、表面修飾ナノ粒子の量産にある程度を目途を付けたことは評価できる。

今後は、表面処理剤の分子設計を行うことにより、多彩な機能を持つナノ粒子の合成に展開すると共に、ハイブリッド材料研究開発は企業、大学で多くの成果が創出されていることを考慮して、差別化される真の基盤技術を創り出してほしい。また、超臨界以外の他の手法と比べた時のメリットを明確にして欲しい。

#### <肯定的意見>

- 設定目標成果をクリアしている。
- 相反する機能を発現するための3種類の制御の視点を明確にし、それに対して、超臨界水という反応場を利用した各速度過程の制御、二段階重合によるナノ構造制御など非常に斬新かつ独創的な方法を開発している点は新規性に富む。また、その成果は世界でもトップレベルと判断できる。さらに、手法だけでなく、実際の部材の試作にも成功しており、中間目標を大きく上回る特筆すべき成果と評価できる。
- 各基盤の開発は、無機ナノ粒子の界面改質を中心に各種方法で確実に進んでおり、高熱伝導材料、屈折率制御材料開発技術ともに成果が得られている感じがした。屈折率制御材料、高熱伝導材料の超ハイブリッド材料化もそれぞれの手法は異なるが着実に目標を達成している。
- 中間目標は、ほとんどの実施項目で達成されており、多くの論文や学会発表がおこなわれ、研究成果が順調に公表されている。
- 基盤技術開発としては評価出来るが、他に類のないインパクトのある成果とはいえない。
- 超臨界水熱合成法を利用したナノ粒子の in-situ 表面修飾法を開発し、表面修飾ナノ粒子の量産にある程度を目途を付けたことは評価できる。
- ナノ粒子を作る基盤技術は世界に誇れる技術ができていると思う。

#### <問題点・改善すべき点>

- 本技術関連のプロセス開発は、Ⅲ-1-2 で主として行われるはずであるが、高分子

に無機粒子をハイブリッド化する検討については、未だ、ビーカースケールの段階と思われる。超ハイブリッド材料の量産化技術について、今後検討する必要がある。

●開発技術の実用化と拡大に向けた展開をはかるためには、ナノ粒子の修飾分子の多様性を図る必要がある。つまり、脂肪酸だけでなく、高分子を含めた修飾分子の検討が望まれる。

●ハイブリッド材料研究開発は企業、大学で多くの成果が創出されている。差別化される真の基盤技術を創り出してほしい。

●表面処理剤の分子設計を行うことにより、多彩な機能を持つナノ粒子の合成に展開してほしい。

●粒子のキャラクタリゼーションが不足している。処理、ブレンドする以前の材料としての粒子の特性をきちんと見極めて欲しい。

<その他の意見>

・今回開発した製造法を種々の材料へ展開するために、工学として利用できる体系化の研究も推進して頂きたい。

・超臨界以外の他の手法と比べた時のメリットを明確にして欲しい。

## 2. 1. 2③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

### (1) 成果に関する評価

超臨界方法で行う官能基導入無機ナノ粒子を回分式から流通式反応装置に移行してプロセス技術開発に目処が立ったことは評価できる。実用化に向けた課題の抽出もしっかり行われており、中間目標は達成されている。今後の研究で最終目標は十分達成できるものと推察される。

しかし、プロセス技術に関して、スケールアップした場合に起こりうる諸問題を解決する手段を現在想定しているものに加えて、より厳密な熱制御、混合制御が可能な形式を検討することも視野に入れておくべきであろう。酸処理が工業化するときの高コストの原因と考えられるので、酸を使用しないプロセスをぜひ考えて欲しい。また、分離手法も提案して欲しい。

#### <肯定的意見>

- 全ての課題目標をクリアしている。
- 相反機能材料を製造するプロセス基盤技術に関して、構造形成にポイントとなる点を的確に捉え、これを実現する手法に対して一定量の見通しをつけている点で評価できる。実用化に向けた課題の抽出もしっかり行われており、中間目標は達成されており、今後の研究で最終目標は十分達成できるものと推察される。
- 超臨界方法で行う官能基導入無機ナノ粒子を回分式から流通式反応装置に移行してプロセス技術開発に目処が立ったことは評価される。その他高分子中のナノ粒子配向技術も順調に進んでいる感じがした。
- 成果の発表と知的財産権取得については、高く評価できる。
- 基盤技術開発の中間評価としては妥当性があります。
- ナノ秒パルス場におけるナノ粒子の配向制御は、異方性ナノ材料の配向制御に展開できる可能性がある。

#### <問題点・改善すべき点>

- 図 2.5 2-14「超臨界ジルコニアが屈折率に及ぼす影響」において、不純物を低減した超臨界条件 c においても、90%ZrO<sub>2</sub>(wt%)で屈折率が低下している。超臨界ジルコニウム作製時不純物以外の原因があるかもしれない。単にプロセスからの不純物とは決めつけられないかも知れない。この充填量 (wt%) 付近で別の要因があるのではないか？
- プロセス技術に関して、スケールアップした場合に起こりうる諸問題を解決する手段を現在想定しているものに加えて、より厳密な熱制御、混合制御が可能な形式を検討することも視野に入れておくべきであろう。

- 流通法に関して、プロセス的な面での完成度のアップ及び更なるスケールアップに関する検討がこれから重要となるであろう。
- 今年度中に達成予定の開発項目がある。数値的目標設定が困難な課題であるので、方針の変更も含めた検討が必要ではないか。
- 民間のプロセス技術者と情報交換してほしい。  
(コスト、時間 factor、情報収集など)
- 表面処理ナノ粒子の大量合成には幾つかの解決すべき課題があるが、最終年度には解決してほしい。
- 酸処理が工業化するときの高コストの原因と考えられるので、酸を使用しないプロセスをぜひ考えて欲しい。また、分離手法も提案して欲しい。

<その他の意見>

- ・可能なら、長期連続運転の製品品質の安定性についての検討があればよいと思われる。

## 2. 1. 3④材料設計に資する統合評価・支援技術開発 (1) 成果に関する評価

TEM、固体 NMR により、ナノ粒子表面修飾、結合上状態、粒子分布状態の評価・支援技術が確立され、材料設計に利用されていることは評価できる。また、データ収集、選定指針、処理に関する基本的なフレームも出来つつあり、中間目標はほぼ達成していると考えられる。

しかし、計測、解析結果は部材設計のための設計条件、反応操作条件を提示するところまで明確にすべきである。現在のスケジュールを前倒しにして、他グループに指針を提示できるように進めることを希望する。

### <肯定的意見>

○部材の機能の評価する分析方法をほぼ確立しており、新しい視点も提示され、成果が出ていると評価できる。また、データ収集、選定指針、処理に関する基本的なフレームも出来つつあり、中間目標はほぼ達成していると考えられる。知財に関しても戦略的に取得できている点も良い。

○電気・電子材料、光学材料ともに TEM、固体 NMR、PEEM などの機器により計測・解析を行い、結果の確認と改良検討を行う手法となったことは研究の進捗に寄与した。

○ナノハイブリッド材料の開発と材料の評価の連携体制の確立、および計測・測定データの階層的な統合と解析法の開発を目指して点は評価できる。

○中間評価としてはおおむね達していると思う。

○TEM、固体 NMR により、ナノ粒子表面修飾、結合上状態、粒子分布状態の評価・支援技術が確立され、材料設計に利用されていることは評価できる。

知的財産の修得が 5 件あることも評価できる。

### <問題点・改善すべき点>

●本プロジェクトでの位置づけから考えると、計測、解析結果は部材設計のための設計条件、反応操作条件を提示するところまで明確にすべきである。現在のスケジュールを前倒しにして、他グループに指針を提示できるように進めることが望まれる。

●本事業の中でのこのプロジェクトの位置づけが明確でない。評価対象の物性または現象の選別と材料開発グループとの連携がはっきりしない。

●目的達成のためにもう少し“厳しいつめ”があってほしい。

●論文及び国際会議発表が 1 件しかない。今後はさらなる努力をして頂きたい。

●単一の結合状態がなぜできるのか？原理を明確にしてプロセスの更なる最適化を

して欲しい。

<その他の意見>

・超臨界で製造したものかどうか、粒子を見ただけで判別できるのか？特許の観点でこれがあると強いと思う。ぜひ提案いただきたい。

## 2. 1. 4①超ハイブリッド材料創製技術開発

### (1) 成果に関する評価

パワーデバイスに関しては、重要なものは中間目標を達成している。トレードオフを解消するための材料開発のロジックも明確で、これを現実を実現する新材料開発の目処が立ったものと判断できる。また、ICデバイスに関しても、相反機能発現のための種々の新手法に成功しており、熱伝導率を除いて中間目標を達成している点は評価できる。

しかし、マトリックスの高分子が限定され、特に熱可塑性樹脂での検討が少ない。高耐熱性が必要な場合、どうしても熱硬化性樹脂(エポキシ樹脂)中心であろうが、耐熱性が必要でないものは、成形性等を考慮し熱可塑性樹脂のマトリックスの検討が重要となる。ICデバイスの熱伝導率に関しては、最終目標に対して、まだかなりのハードルがあると考えられる。現在、実施予定の高充填化という加工プロセスの向上だけでなく、粒子そのものの形状設計などと連携しながら進めることが必要と考えられる。超ハイブリッド材料の評価の際に、目標物性を目指して開発することは大事なことはあるが、全般的な物性バランスについても考慮することも必要である。今後は、世の中のハイブリット材料に関する情報収集を徹底的に行い、差別化された材料を提案してほしい。

#### <肯定的意見>

- 全ての課題において、数値目標はクリアしています。
- パワーデバイスに関しては、重要なものは中間目標を達成している。トレードオフを解消するための材料開発のロジックも明確で、これを現実を実現する新材料開発の目処が立ったものと判断できる。また、ICデバイスに関しても、相反機能発現のための種々の新手法に成功しており、熱伝導率を除いて中間目標を達成している点は評価できる。一方、光学材料に関しては、ほぼ目処が立っていると判断でき、本プロジェクトで新規に開発した材料創製基盤技術が優れていることを示しているといえよう。
- 材料開発は順調に進み、中間段階の目標を達成ないし達成可能との感触である。最終目標達成も方向性は見えていると思われる。各材料開発の際の種々の検討は、プロジェクトの今後の発展のために必要な要素技術と思われた。
- 中間目標がほとんど達成されており、順調に進んでいる。特に、高熱伝導性シートと透明性高・低屈折性フィルムは試作段階まで来ており、早急な事業家検討が望まれる。
- 中間評価としてはほぼ達していると思うが…。
- 二段重合法による透明高屈折率材料開発に成功している。中間目標も達成されて

いる。

○完成度の高い技術ができていると思う。

#### <問題点・改善すべき点>

●IC デバイスの熱伝導率に関しては、最終目標に対して、まだかなりのハードルがあると考えられる。現在、実施予定の高充填化という加工プロセスの向上だけでなく、粒子そのものの形状設計などと連携しながら進めることが必要と考えられる。

●マトリックスの高分子が限定され、特に熱可塑性樹脂での検討が少ない。高耐熱性が必要な場合、どうしても熱硬化性樹脂(エポキシ樹脂)中心であろうが、耐熱性が必要でないものは、成形性等を考慮し熱可塑性樹脂のマトリックスの検討が重要となる。このような材料でも利用可能の方向も考慮すべきである。

●今後の事業の波及的展開のために、修飾有機分子の多様化が望まれる。また、電場配向による高熱伝導性シートの開発において、この手法での最終目標が達成できるかどうかの見極めが必要ではないか。

●世の中のハイブリッド材料に関する情報収集を徹底的に行い、差別化されたプロポーザルを提案してほしい。

●表面処理剤の分子設計により、さらなる性能の向上が期待されるので、この観点からの研究開発を希望する。

●たくさんの技術があるので特性、工業化を視野に入れて整理する必要があると思う。

#### <その他の意見>

・基盤研究 Gr とより緊密な連携を持って、粒子とそのパッケージという二元制御を最適化する研究の推進が重要と考える。

・屈折率制御材料で無機ナノ粒子と高い親和性をもつノニオン性高分子界面活性剤を使用した検討は非常に興味あるものである。この高分子は吸水性がかなり高いと思われ、マトリックスの屈折率がかなり変化する可能性がある。PMMA を光学材料に使用する際、吸水性が問題になることがあり、この材料も注意する必要がある。超ハイブリッド材料の評価の際に、目標物性を目指して開発することは大事なことであるが、全般的な物性バランスについても考慮することも必要である。

・相分離技術では界面の剥離の問題もあるので注意すること。高熱伝導になっているが、バルクとしての材料強度も必要である。

## (2) 実用化に関する評価

実用化のターゲットが明確で、既存製品を凌駕するための具体的な数値目標も掲げられている。これに対して、現在の成果でも十分実用化を期待できるレベルにあると判断できる。また、超臨界水ナノ粒子表面修飾装置によるナノ粒子合成に目途が立ちつつあり、ユーザーへの試料提供に目途が立ちつつあることは評価できる。

今後、実用化に際して、ユーザーの意見をフィードバックし、材料の改良と応用面の拡大を図るシステムとして材料評価分科会（連携体仕組み）をさらにうまく活用することが肝要である。

### <肯定的意見>

○実用化のターゲットが明確で、既存製品を凌駕するための具体的な数値目標も掲げられている。これに対して、現在の成果でも十分実用化を期待できるレベルにあると判断できる。各部材とも実用化までのスキームも矛盾ないと判断される。ここで開発されようとしている部材の波及効果も大きく、今後、各企業での実用化研究の加速が望まれる。

○実用化を考慮して研究開発体制を組み、民間企業参加を選定したことは、次のステップのサンプル提供段階も考慮すると妥当なやり方と思う。

超臨界プロセスによる表面改質ナノ粒子のスケールアップにある程度見通しが得られたのは評価できる。

○実用化にかなり近い技術があり、早急にその検討が望まれる。

○中間評価での提案としては評価出来る。

○超臨界水ナノ粒子表面修飾装置によるナノ粒子合成に目途が立ちつつあり、ユーザーへの試料提供に目途が立ちつつあることは評価できる。

### <問題点・改善すべき点>

●実用化に際して、ユーザーの意見をフィードバックし、材料の改良と応用面の拡大を図るシステムとして材料評価分科会（連携体仕組み）をさらにうまく活用すること。

●情報収集、市場調査など、新規材料の実用化はかなりのエネルギーが必要である。選択と集中をもって後半にかけてほしい。

●今後はユーザー企業と連携を取り、さらなる改良を加えてほしい。

●光学材料では耐スリ傷性（表面硬度など）も必要である。ハードコート不要ならそれもメリットになると思う。

### (3) 今後に対する提言

実験室レベルでは発現している機能を大量生産プロセスでも担保できるかが最大のポイントとなる。これに対応するためには、基盤研究段階において、できるだけ多くの基礎データの蓄積が必要のみならず、できるだけ早く連続大量生産プロセスを立ち上げ、プロジェクト中に課題をもれなく抽出しておくことが重要と考える。

- ・実験室レベルでは発現している機能を大量生産プロセスでも担保できるかが最大のポイントとなる。よって、できるだけ早く連続大量生産プロセスを立ち上げ、プロジェクト中に課題をもれなく抽出しておくことが重要と考える。
- ・最終目標のクリアを目指すとともに、ある程度目標が達成されたら、評価サンプルを作成し、市場評価を始める必要がある。
- ・基盤研究から実用化まで至るまでの開発研究において、その技術がスケールアップやポリマーマトリックスの多様化への対応ができないことがある。これに対応するためには、基盤研究段階において、できるだけ多くの基礎データの蓄積が必要と思われる。
- ・膨大な報告の中から差別化された材料を創出するには何が必要か英知を出してほしい(研究当事者で)。

## 2. 2 三菱化学・産総研グループ

### 2. 2. 1 ②相反機能発現のための基盤技術開発

#### (1) 成果に関する評価

フィラーの表面改質、低粘度化のためのエポキシ樹脂の無機、有機材料の開発に加えて、無機粒子／樹脂のハイブリッド化の新コンセプトの有用性を明らかにしており、中間評価までの目標がすべて達成されており、高く評価できる。

しかし、部材を構成する粒子、樹脂を如何に高性能部材として作り上げていくかの製造法に関して、現在、推進しようとしている凝集粉碎法は、実験室での試料調製の域を出ておらず既存技術範囲である。よって、一次粒子製造法の観点からの改善も求めていくことを希望する。また、新規フィラーとしての「金属ナノロッド、セラミックナノワイヤー、金属ナノフィラー」を用いた機能性複合体への取り組みが見えない。この新規フィラーを活かす取り組みが強く望まれる。

#### <肯定的意見>

- 設定目標値を達成している。
- フィラー、フィラーの表面改質、低粘度化のためのエポキシ樹脂の無機、有機材料の開発に加えて、無機粒子／樹脂のハイブリッド化の新コンセプトの有用性を明らかにしており、計画どおり研究が進捗していると判断できる。
- 目標とする材料(高電熱性ナノフィラー合成とその表面修飾、液晶性エポキシ樹脂の合成)の基盤技術開発は順調であること、無機ナノフィラーの表面修飾によるハイブリッド効果も検証されていたことは評価できる。
- 中間目標の達成状況では、開発事業は順調に進んでいる。
- 中間評価段階としては一応評価出来る。
- 相反機能実現のための基盤技術開発において、中間評価までの目標がすべて達成されており、高く評価できる。ターフェニル型ツインメソゲンエポキシ樹脂、高結晶性BNナノ粒子合成は興味深い。
- 高結晶性BNナノ粒子を合成する基盤技術は進捗している。

#### <問題点・改善すべき点>

##### ●②-3 無機材料による表面修飾技術

修飾BNを用いても、粘度低減が僅かであり、熱伝導率も2W/mK程度です。ハニカム構造を採用しても、高い熱伝導率が期待できないようなので、縮小されるほうがよいのではないかと？

●部材を構成する粒子、樹脂を如何に高性能部材として作り上げていくかの製造法に関して、現在、推進しようとしている凝集粉碎法は、実験室での試料調製の域を

出ておらず既存技術範囲である。よって、一次粒子製造法の観点からの改善も求めていくことが望まれる。

- 本手法によって、最終目標がクリアできるかどうかの見極めと方針変更の検討が必要である。
- 有機ポリマー探しが不足している。新規性を求めて新規材料を用いてほしい。
- 論文発表件数が少ない感がある。
- 無機材料の合成、修飾、エポキシ樹脂の合成の3つの技術を早急に合わせてそれぞれの寄与度、課題を明確にして次へ進むと良いと思う。

<その他の意見>

- ・②-2 液晶性エポキシ樹脂の開発については、「I-2 今後の提言」を参照されたい。
- ・②-1 絶縁性と高熱伝導性を有する無機材料の開発におけるナノワイヤー、ナノロッドを出口へと導く複合化体制についてはI-1.総合評価<問題点・改善すべき点>を参照されたい。

## 2. 2. 2③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

### (1) 成果に関する評価

ナノ被覆プロセスが技術的に困難と判断し、高フィラー充填への早期の変更をしたことは評価できる。また、ターフェニル型エポキシ樹脂の磁場配向と流動配向制御、およびハニカム構造形成による高熱伝導化が達成されたことも評価できる。

しかし、磁場が利く大きさ等を考えると、生産プロセスとして確立するには、いくつかの課題があると考えられる。この点を意識した課題設定と解決を進めるべきである。最終目標はあくまで大量生産技術もセットで材料開発を指向しなければならない。

成果の発表数が少ないので、今後改善が望まれる。また、最終目標達成へのシナリオを明確にする必要がある。

#### <肯定的意見>

○磁場を利用した流動配向制御法の基礎を確立し、この方法によって熱伝導率を向上させるとともに異方性をもたらすことに成功した点は大いに評価できる。また、低充填法での見通しが困難なことを客観的に自己評価し、これを中断し、流動配向法に集中させる判断も適切であると判断できる。

○新しいコンセプト(低充填-高熱伝導、流動配向制御、液晶性エポキシの磁場配向)による熱伝導性の改良に挑戦し、効果が確認できたことは評価できる。

○ナノ被覆プロセスが技術的に困難であり、高フィラー充填への早期の変更は評価される。

○中間評価段階としては評価出来る。

○ターフェニル型エポキシ樹脂の磁場配向と流動配向制御、およびハニカム構造形成による高熱伝導化が達成されたことは評価できる。

○材料の延伸紡糸について技術的に見切りをつけて、一方のテーマに注力する判断は的確と思う。

#### <問題点・改善すべき点>

●磁場が利く大きさ等を考えると、生産プロセスとして確立するには、いくつかの課題があると考えられる。この点を意識した課題設定と解決を進めるべきである。最終目標はあくまで大量生産技術もセットで材料開発を指向しなければならない。

●成果の発表数が少ないので、今後改善が望まれる。また、最終目標達成へのシナリオを明確にする必要がある。

●差別化された材料開発の成功後にプロセス開発があることをストーリーに書いて

ほしい。

●発表件数が少ない。迅速に特許出願を行い、研究成果を論文等で公表してほしい。

●磁場配向による手法は興味深いですが、実用プロセスとしての可能性判断が早く欲しい。

## 2. 2. 3④材料設計に資する統合評価・支援技術開発

### (1) 成果に関する評価

熱物性測定のために多くの種類の測定法について、比較検討し、最適な測定法として熱物性顕微鏡を選択し、さらに今後の研究のためこの測定法の高度化を進めたことは、今後の本事業の進捗に寄与する。

しかし、物性評価の対象とプロジェクト内の位置づけが明確でない。また、研究成果の公表が遅れている。実用化されることを考慮し、差別化された材料設計の目標をはっきりしてほしい。

#### <肯定的意見>

○熱物性測定技術、データ解析の基礎は確立されており、一応、中間目標は達成されていると判断できる。

○熱物性測定のために多くの種類の測定法について、比較検討し、最適な測定法として熱物性顕微鏡を選択し、さらに今後の研究のためこの測定法の高度化を進めたことは、今後の本事業の進捗に寄与するものと思われる。

○マトリックスの熱伝導性評価のための熱ゆらぎ測定装置の開発は、ユニークであり、興味深い。今後、熱伝導度評価における標準化が望まれる。

○この段階としては問題ない。後半部分に期待したい。

○熱物性分布計測装置開発を前倒しで進め、ハイブリッドの局所的な熱物性分布状況を可能にしたことは、今後材料開発に活用できるものと思われる。

#### <問題点・改善すべき点>

●物性評価の対象とプロジェクト内の位置づけが明確でない。成果発表がなされていない。今後、その改善が望まれる。

●差別化された材料設計の目標をはっきりしてほしい。

●研究成果の公表が遅れている。

●材料開発へフィードバックするには材料の達成目標よりも早く完成させる必要があり、急いで欲しい。

#### <その他の意見>

・評価した物性パラメータと製造条件との関連性を定量的に明らかにする研究を推進し、超ハイブリッド材料の製造法を明示できる体系化を進めるべきである。そのようにすることで、初めて実用化、事業化に対して有用な研究項目となる。

## 2. 2. 4①超ハイブリッド材料創製技術開発

### (1) 成果に関する評価

中間評価までの目標が達成されていることは評価できる。分散混合プロセス中に凝集粒子が崩壊して、高充填構造に達することを発見されたことは注目に値する。プロセスがシンプルであるので、実用化が期待できる。

しかし、多くを指向せず、確実に実用化できる部材を抽出して、集中して実用化研究を推進することが望まれる。また、具体的な製品イメージ（サイズ、形）をもとに部材製造法を考えていくことも重要である。有機材料の範囲、用いる材料の精製度など再現性のある材料創成を望む。

#### <肯定的意見>

○目標とする材料物性の中間目標を全てクリアしており、顕著な成果が出ている。また、知財も取得しつつ、ユーザーヒヤリングなども平行して実施しており、今後、実用化のための課題も明確になっている点も良い。

○新しいコンセプト(1 低充填-高熱伝導、2 高充填-高熱伝導)に基づき、従来技術と異なる発想により、中間目標は達成し、最終目標の達成もある程度見込みが立っている。

○分散混合プロセス中に凝集粒子が崩壊して、高充填構造に達することが発見されたことは注目に値する。プロセスがシンプルであるので、実用化が期待される。

○現時点では問題ありません。

○中間評価までの目標が達成されており、評価できる。特に、新しいコンセプトによる高熱伝導化を達成している。

○順調に進んでいると思う。

#### <問題点・改善すべき点>

●多くを指向せず、確実に実用化できる部材を抽出して、集中して実用化研究を推進することが望まれる。また、具体的な製品イメージ（サイズ、形）をもとに部材製造法を考えていくことも重要である。

●熱伝導度の最終目標値 40 W/mK を達成可能であるかどうかを見極める必要がある。

●有機材料の範囲、用いる材料の精製度など再現性の材料創生を望む。

●無機ナノ粒子の表面処理効果について検討を進めてほしい。

●②、③、④でできた技術をいつ、どのように①の方へ入れ込むのか明確にして欲しい。

<その他の意見>

- ・最終目標達成には、検討中の超ハイブリッド材料の物性バランスをよく考慮して検討する必要がある。

## (2) 実用化に関する評価

対象としている分野でのニーズは高く波及効果も大きい。また、段階的にターゲットを考えて開発容易なシート製品から着手している点も実用化、事業化の確率を上げていると考えられ評価できる。

しかし、ニーズのヒヤリングを進め、動向を分析して実用性のある提案をしてほしい。特に、性能とコスト面から他の材料との差別化できる提案を希望する。

### <肯定的意見>

○対象としている分野でのニーズは高く波及効果も大きい。また、段階的にターゲットを考えて開発容易なシート製品から着手している点も実用化、事業化の確率を上げていると考えられ評価できる。

○各種用途に応じ、要求レベルが異なることを前提とした市場へのアプローチ姿勢が見られた。今後の各分野別の市場予測の精度向上を願いたい。

全般的には、各技術とも実用化への見通しが立っているように見える。

○ここで開発されている材料は、比較的簡単なプロセスから作製されているので、実用化の可能性は大であると期待される。

○基盤研究を基に企業化（実用化）の見通しのプロポーザルは評価出来る。

### <問題点・改善すべき点>

●最もニーズの高い超ハイブリッド材料までの開発期間が長すぎる。2015年ころに導入できるようなシナリオ、技術戦略を考えることが望まれる。

●性能とコスト面から他の材料との差別化が望まれる。

●情報収集、動向を分析して実用性のある提案をしてほしい。

●用途に応じた熱伝導率を持つ材料開発と実用化に向けて努力が必要。

●ニーズのヒヤリングを進めて欲しい。

### (3) 今後に対する提言

最終目標のクリアを目指すとともに、ニーズにマッチした材料は実用化を目指して、評価サンプルを作成し、市場評価を始める必要がある。

#### <今後に対する提言>

- ・最終目標のクリアを目指すとともに、ある程度目標が達成されたら、評価サンプルを作成し、市場評価を始める必要がある。
- ・有機材料の設計の方法
- ・研究試料の純度 → 再現性のあるデータ
- ・差別化された材料設計
- ・全ての技術が完成しなくても欲しいユーザーはいるはずである。ニーズにマッチした材料はどんどん実用化を目指して欲しい。

## 2. 3 東レ・ダウコーニンググループ

### 2. 3. 1 ③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

#### (1) 成果に関する評価

高温高压水の特徴を、ナノ粒子の表面処理とポリシロキサン合成に利用し、耐熱材料や放熱性材料開発へ展開したことは評価できる。反応がシンプルであり、実用化には有利であると考えられる。

しかし、ポリシロキサン修飾粒子の界面構造解析が行われていない。今後、高性能化を目指すためには、粒子表面と界面構造の解析は必要である。また、従前の材料との比較及び差別化が望まれる。位置づけ、差別化された材料設計指針など、もう一度見直してほしい。

#### <肯定的意見>

○超臨界水反応技術を上手に利用した有機・無機ハイブリッド粒子によって、目的の耐熱性、放熱性材料を作製する基礎技術を確認しており、十分な成果を得ていると思われる。また、知財も戦略的に取得している。さらに、生産を意識したプロセス開発にも着手している点は評価できる。

○基盤技術としての耐熱性材料、放熱性材料ともに関連材料の合成に成功し、プロセス的にも確立の目処が立っている。

○反応がシンプルであり、実用化には有利である。

○現時点では問題ありません。

○高温高压水の特徴を、ナノ粒子の表面処理とポリシロキサンの合成に利用し、耐熱材料や放熱性材料開発へ展開したことは評価できる。

#### <問題点・改善すべき点>

●「高放熱性、高耐熱性材料技術開発」の数値目標が熱膨張係数のみになっています。高放熱性と高耐熱性に関する数値目標から熱膨張係数に変わっていますが、高放熱性と耐熱性材料への取り組みが失われたのでしょうか？

●流通式反応装置には、もっと掘り下げた検討が必要と考えられる。例えば昇温速度の厳密な制御など、より細やかな検討をⅢ-1のグループと協調して実施していくことが望まれる。

●ポリシロキサン修飾粒子の界面構造解析が行われていない。今後、高性能化を目指すためには、粒子表面と界面構造の解析は必要である。また、従前の材料との比較および差別化が望まれる。

●位置づけ、差別化された材料設計指針など、もう一度見直してほしい。

●基盤技術開発の数値目標を明確にしてほしい。透明耐熱材料の開発を目指しては

しい。

<その他の意見>

- ・さらなる粒子径、晶癖の制御を高度化することで、さらに物性を向上させることも考えていくべきと思われる。これには、さらに、プロセス技術にさらなる注力が必要である。
- ・ポリシロキサン以外の材料へも適用できるか判断して欲しい。

## 2. 3. 2 ①超ハイブリッド材料創製技術開発

### (1) 成果に関する評価

具体的に対象製品を決めて、その物性に及ぼす因子の明確化などの基礎的な検討には一定量の成果は認められる。

しかし、全体的に中間目標に対して遅れ気味である。しかも、中間・最終目標クリアのための方策の説明が不十分であった。現時点で目標すべき物性に到達していない項目が多く、早急な開発が必要である。現在、想定している解決の方向性だけで十分かどうか、見直しを強化していく必要がある。

#### <肯定的意見>

- 具体的に対象製品を決めて、その物性に及ぼす因子の明確化などの基礎的な検討には一定量の成果は認められる。
- 現時点では後半に期待したい。

#### <問題点・改善すべき点>

##### ●①-3 高放熱性材料

技術開発の意義が不明です。結果として、熱抵抗値  $0.03[\text{Kcm}^2/\text{W}]$  に対して  $0.79[\text{Kcm}^2/\text{W}]$  です。プロジェクト全体の標榜であるジャンプアップ技術になり得るのか？

##### ①-4 高耐熱性材料（ポリシロキサン系超ハイブリッド材料創成技術開発）

アエロジル表面にシリコーン修飾し、フィラーとしてシリコーンゴムに混練した系の耐熱性は  $250^\circ\text{C}\times 100\text{h}$  で評価されています。 $250^\circ\text{C}\times 100\text{h}$  はジャンプアップ技術になり得るのか？シリコーンは  $250^\circ\text{C}$  保持により劣化が進行するので、長期劣化評価が必要に思う。

●全体的に中間目標に対して遅れ気味である。現時点で目標すべき物性に到達していない項目が多く、早急な開発が必要である。現在、想定している解決の方向性だけで十分かどうか、見直し強化していく必要がある。

●中間・最終目標クリアのための方策の説明が不十分であった。

●③の相反機能材料創製のテーマとの違いが不明瞭である。従来方法との差異と差別化を図る必要がある。

●新しいハイブリット材料を設計するのにグループとして何が必要か議論してほしい。

●放熱性材料開発の達成状況が△である。目標達成にさらなる努力が必要。

●アルミナ微粒子ができれば放熱性材料も狙ったほうが良いと思う。

<その他の意見>

- ・放熱性材料は今後の検討を待ちたいが、耐熱性材料の中間目標の達成もハードルが高い印象を得た。会議でも話したが、長期耐熱性に関する定義の説明、測定法については、もう一度検討されるべきである。

## (2) 実用化に関する評価

高耐熱封止剤のニーズ、市場の大きさ、ターゲットすべき物性目標は明確化されている。また、プロセスはシンプルであるので、実用化には有利である。

しかし、実用化のシナリオに具体性がなく、現状では実現性に関して見通しが判断できない。技術的な課題を整理し、至急、具体的な解決手段を明確にすべきである。コストと性能面での、他の材料との差別化が必要である。

### <肯定的意見>

- 高耐熱封止剤のニーズ、市場の大きさ、ターゲットすべき物性目標は明確化されている。
- ③のプロセスはシンプルであるので、実用化には有利である。
- 現時点では実用化の見通しの計画は評価できるが、具体的なつめがほしい。

### <問題点・改善すべき点>

- 実用化のシナリオに具体性がなく、現状では実現性に関して見通しが判断できない。技術的な課題を整理し、至急、具体的な解決手段を明確にすべきである。
- 内容の説明が少なく、用途展開に関する具体的な未来像が描かれていなかった。
- コストと性能面での、他の材料との差別化が必要である。
- 今までの成果を抽出して実用化の見通しを提案するのに何が必要か考えてみよう。
- 実用化については、研究開発のさらなる飛躍が必要と思われる。

### (3) 今後に対する提言

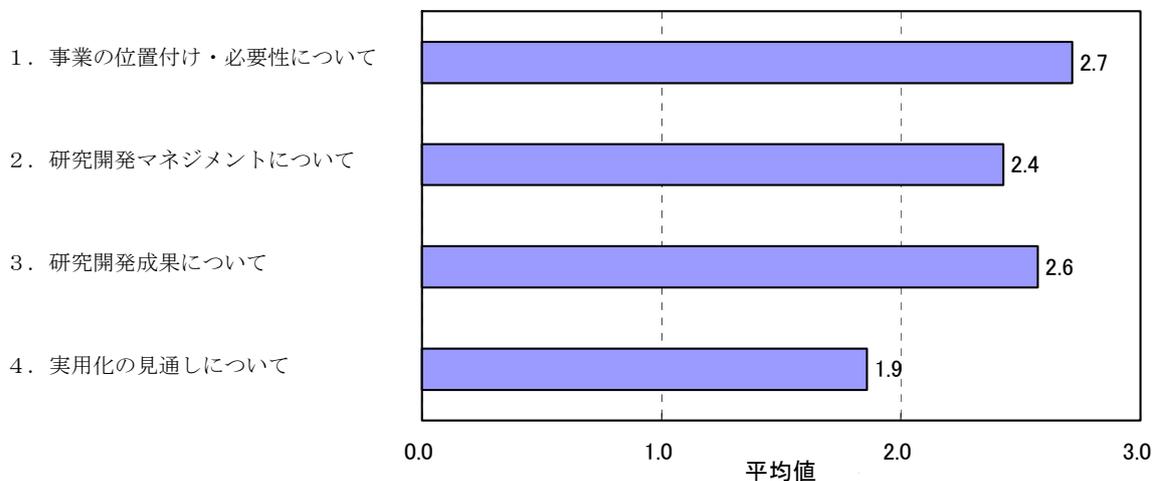
中間目標が達成できない場合は、他のグループの実用化に集中、加速することも考慮すべきであろう。その場合であっても基盤技術としては特筆すべきものがあるので、基盤技術体系化の観点で研究は推進すべきである。

#### <今後に対する提言>

- ・ 中間目標が達成できない場合は、他のグループの実用化に集中、加速することも考慮すべきであろう。その場合であっても基盤技術としては特筆すべきものがあるので、基盤技術体系化の観点で研究は推進すべきである。
- ・ 基盤研究に基づき、目標に近づくための検討に力を注いで欲しい。
- ・ 粒子修飾剤をポリシロキサンに特化しているのは、最終製品を絞って、応用の特定化または特殊化を目指していることがうかがえる。今後、コスト面と波及効果を考慮した開発が望まれる。
- ・ 工業化・コストを見据えた開発という観点から、今後コスト、市場調査まで踏み込んだ展開をしてほしい。
- ・ 現状より少しでも改善できたのならユーザーに提供して判断していただくよう進めて欲しい。

### 3. 評点結果

#### (1) プロジェクトに全体に対する評価



評価項目	平均値	素点 (注)						
		A	A	A	A	B	B	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	A	B	B	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	B	B	B	A
4. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	C	B	B

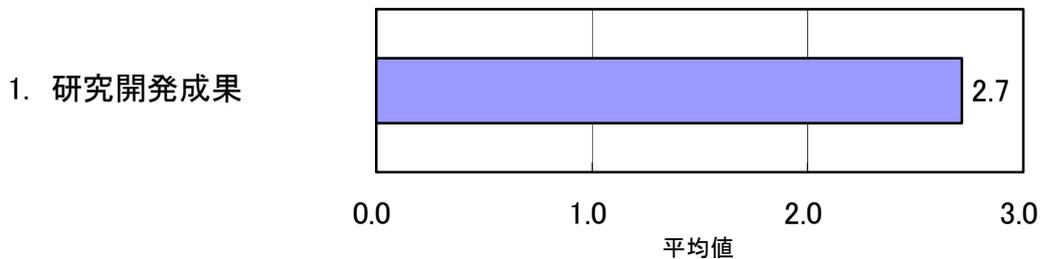
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### <判定基準>

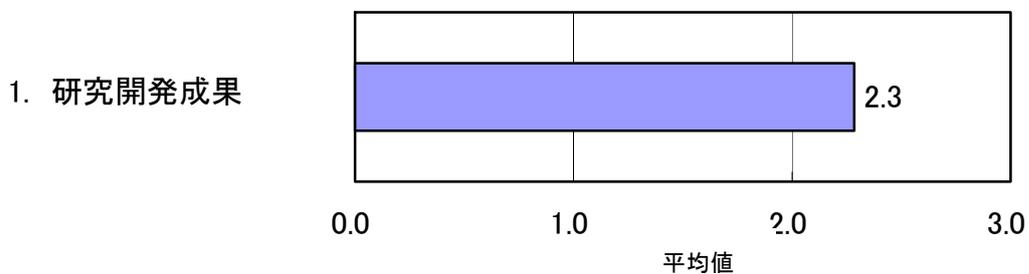
1. 事業の位置づけ・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・妥当であるが課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

(2) 個別テーマに対する評価  
化学技術戦略推進機構・産総研グループ

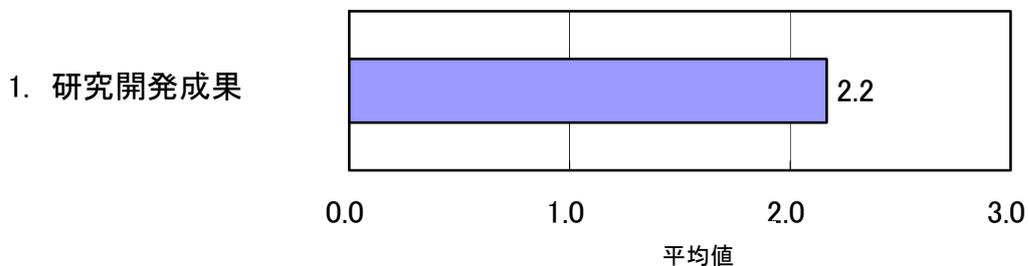
1.②相反機能のための基盤技術開発



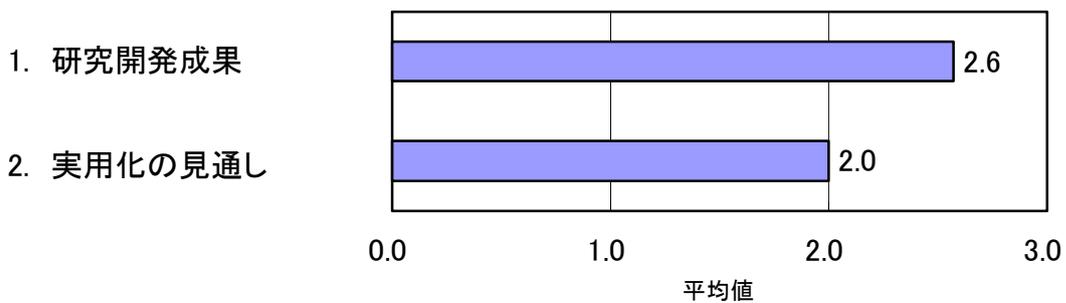
2.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発



3.④材料設計に資する統合評価・支援技術開発

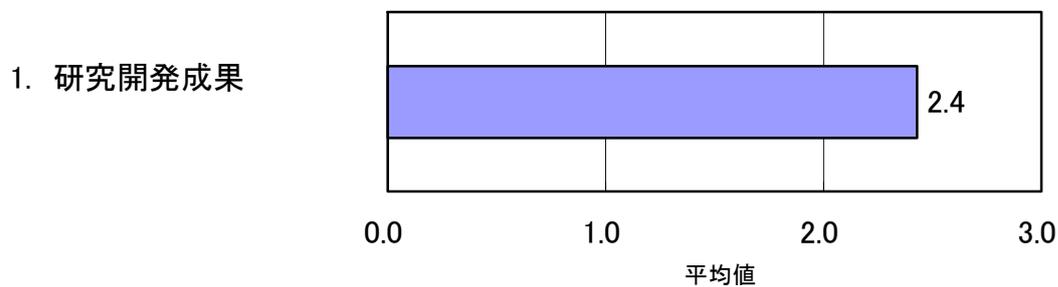


4.超ハイブリッド材料創成技術

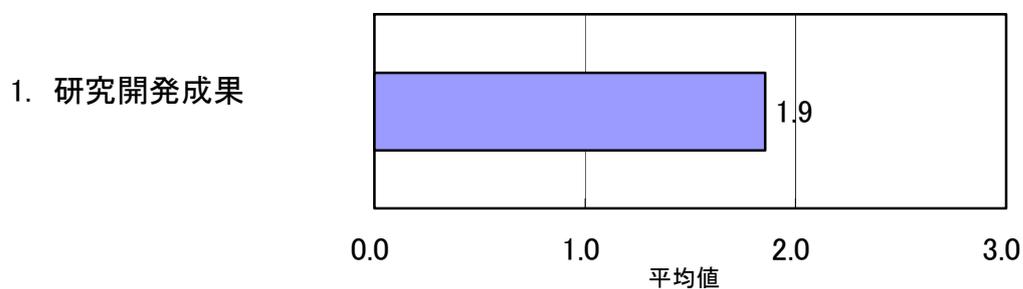


三菱化学・産総研グループ

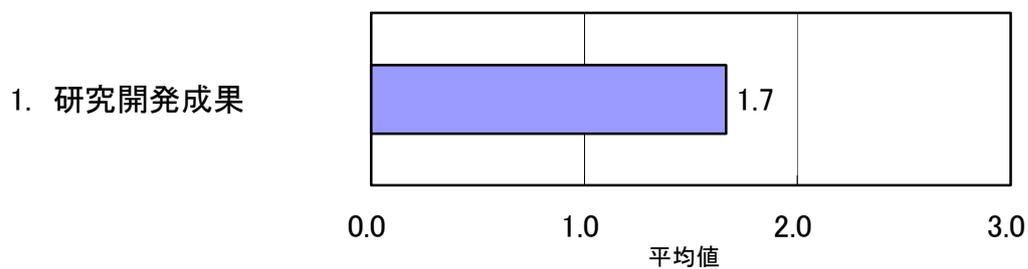
1.②相反機能のための基盤技術開発



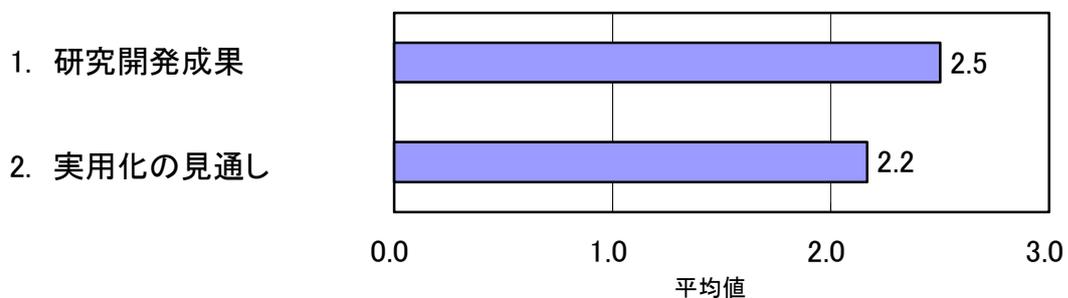
2.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発



3.④材料設計に資する統合評価・支援技術開発

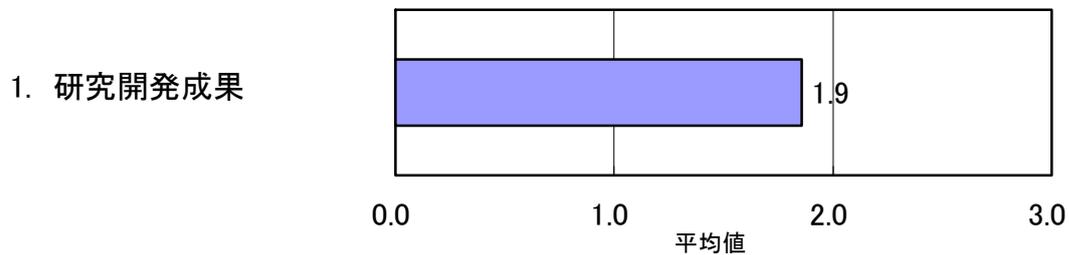


4.超ハイブリッド材料創成技術

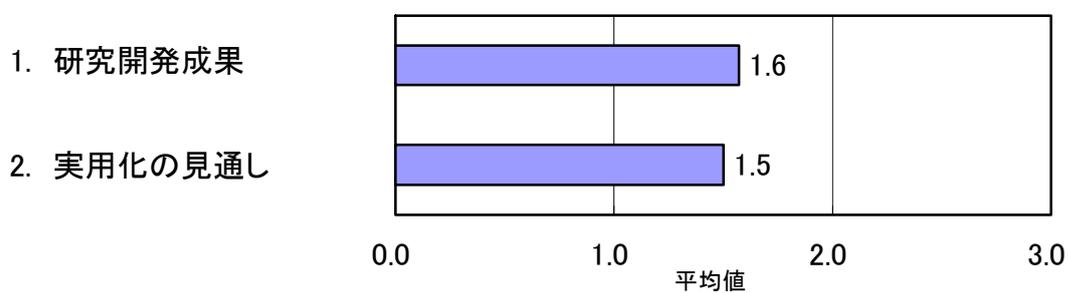


東レ・ダウコーニンググループ

1.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発



2.超ハイブリッド材料創成技術



個別テーマ	平均値	素点(注2)							
化学技術戦略推進機構・産総研グループ									
1.②相反機能のための基盤技術開発									
1. 研究開発成果	2.7	A	A	A	B	B	A	A	
2.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発									
1. 研究開発成果	2.3	A	A	A	C	B	B	B	
3.④材料設計に資する統合評価・支援技術開発									
1. 研究開発成果	2.2		B	A	C	B	A	B	
4.超ハイブリッド材料創成技術									
1. 研究開発成果	2.6	A	A	A	B	B	B	A	
2. 実用化の見通し	2.0		A	B	B	C	B	B	
三菱化学・産総研グループ									
1.②相反機能のための基盤技術開発									
1. 研究開発成果	2.4	B	A	A	C	B	A	A	
2.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発									
1. 研究開発成果	1.9	C	B	B	B	B	B	B	
3.④材料設計に資する統合評価・支援技術開発									
1. 研究開発成果	1.7		B	B	C	B	B	C	
4.超ハイブリッド材料創成技術									
1. 研究開発成果	2.5		A	A	B	B	B	A	
2. 実用化の見通し	2.2		A	B	B	B	B	B	
東レ・ダウコーニンググループ									
1.③相反機能材料創成プロセス基盤技術開発									
1. 研究開発成果	1.9	C	A	B	C	B	B	B	
2.超ハイブリッド材料創成技術									
1. 研究開発成果	1.6	C	B	B	D	B	B	B	
2. 実用化の見通し	1.5		C	B	C	C	B	B	

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

### <判定基準>

#### (1) 研究開発成果について

- ・ 非常によい
- ・ よい
- ・ 概ね妥当
- ・ 妥当とはいえない

- A
- B
- C
- D

#### (2) 実用化の見通しについて

- ・ 明確
- ・ 妥当
- ・ 概ね妥当であるが課題あり
- ・ 見通しが不明

- A
- B
- C
- D

## 第2章 評価対象プロジェクト

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

超ハイブリッド材料技術開発  
(中間評価)分科会  
資料5-1-1

# 「超ハイブリッド材料技術開発」

## 事業原簿 (公開版)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ナノテクノロジー・材料技術開発部
-----	---

# 目次

## 概要

プログラム・プロジェクト基本計画

技術戦略マップ

プロジェクト用語集

## I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 . . . . . I - 1
  1. 1 NEDO が関与することの意義
  1. 2 実施の効果（費用対効果）
2. 事業の背景・目的・位置づけ . . . . . I - 3
  2. 1 事業の背景
  2. 2 事業の目的及び意義
  2. 3 事業の位置付け

## II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標 . . . . . II - 1
2. 事業の計画内容 . . . . . II - 1
  2. 1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算
  2. 2 研究開発の実施体制
  2. 3 研究の運営管理
3. 情勢変化への対応 . . . . . II - 1 7

## III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果 . . . . . III - 1 - 1
2. 研究開発項目毎の成果（(財)化学技術戦略推進機構・(独)産業技術総合研究所）
  2. 1 概要 . . . . . III - 2 - 1
  2. 2 ②相反機能発現基盤技術開発 . . . . . III - 2 - 7
  2. 3 ③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発 . . . . . III - 2 - 1 6
  2. 4 ④材料設計に資する統合評価・支援技術開発 . . . . . III - 2 - 2 1
  2. 5 ①超ハイブリッド材料創製技術開発 . . . . . III - 2 - 5 3
3. 研究開発項目毎の成果（三菱化学(株)・(独)産業技術総合研究所）
  3. 1 概要 . . . . . III - 3 - 1
  3. 2 ②相反機能発現基盤技術開発 . . . . . III - 3 - 8
  3. 3 ③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発 . . . . . III - 3 - 1 8

3. 4	④材料設計に資する統合評価・支援技術開発	III-3-25
3. 5	①超ハイブリッド材料創製技術開発	III-3-42
4.	研究開発項目毎の成果 (東レ・ダウコーニング (株))	
4. 1	概要	III-4-1
4. 2	③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	III-4-1
4. 3	①超ハイブリッド材料創製技術開発	III-4-6

#### IV. 実用化の見通しについて

1.	実用化見通し	IV-1-1
1. 1	(財) 化学技術戦略推進機構	IV-1-1
1. 2	三菱化学 (株)	IV-1-8
1. 3	東レ・ダウコーニング (株)	IV-1-12

#### V. 成果資料

1.	各種展示会での成果の発表	V-1
2.	新聞、雑誌記事	V-3
3.	論文リスト	V-3
4.	口頭発表リスト	V-20
5.	特許	V-49
6.	受賞	V-53

VI.	参考文献	VI-1
-----	------	------

概要

		最終更新日	平成21年6月25日
プログラム(又は施策)名	ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	超ハイブリッド材料技術開発	プロジェクト番号	P08022
担当推進部/担当者	ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 田谷昌人(平成21年6月現在) ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 小林和仁(平成20年4月～平成21年3月) 経済産業省 製造産業局 化学課(平成19年4月～平成20年3月)		
0. 事業の概要	<p>従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能(トレードオフ機能)を両立できる材料を、異種素材の組合せ(ハイブリッド化)により実現するための技術を開発する。</p> <p>要素技術として、異種材料間の界面挙動の制御と最適化により、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、電気・電子材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。</p> <p>ユーザーニーズに対応した総合的機能を発現し得る異種素材のハイブリッド化を設計、提案できる能力養成プログラムを研究開発プロジェクト実施と並行して実施することにより、我が国材料産業の人材育成にもつなげる。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>1. 事業の位置付け</p> <p>本プロジェクトは、『情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどあらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新(ジャンプアップ)をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能にすること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として取り組むものである(図3-1)。極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携(川上・川下連携)を促進するプロジェクト体制(垂直連携)で実施することで、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。</p> <p>2. 必要性</p> <p>我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、経済社会の発展を支えている。しかし、川下産業との取引のオープンに伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術力向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化(川上川下の垂直連携、材料創製と加工の水平連携など)を図ることと、次世代の材料分野での高付加価値化に資する高度な技術開発が、今後のイノベーション促進に必要な不可欠な課題となっている。すなわち、材料技術の高度化・高付加価値が、国際競争力を強化し、新たな市場や雇用を創出する厳選として期待されている。</p> <p>材料産業の急速な発展を背景に、部材分野における半導体関連部材(パワーデバイス材料)、光学部材(空間光制御部材)、ディスプレイ部材(低屈折率材料)などの位置付けられる有機・無機ハイブリッド材料は大幅な性能向上が期待されている。しかしながら、有機材料に無機材料を混ぜていくと、無機材料の性質が付加されるものの、有機材料の長所が失われる。したがって、単なるハイブリッド化ではなく、従来材料ではなし得なかったトレードオフ(相反機能)をナノレベルでの制御・実現する難易度の高い技術開発が必要である。また、産業界の強いニーズである新規製品・サービスを創造するためには、従来の試行錯誤的な材料開発手法ではリソースの投資効率鈍化やエネルギーや環境への負荷増大が避けられなかった。</p> <p>この背景、理由により民間投資のみに任せるのではなく、NEDOにて産学の科学的知見、研究開発力を結集して、新しいパラダイムに基づく、有機・無機ハイブリッド材料の開発を推進し、これを産業技術へ繋げていくと共に、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて科学的知見の基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図る事業方針に基づき、国家的、集中的プロジェクト実施が必要である。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

①超ハイブリッド材料創製技術、②相反機能発現基盤技術、③相反機能材料創製プロセス基盤技術、④材料設計に資する総合評価・支援技術の4技術を確立し、これまでにない相反機能の両立を可能にした超ハイブリッド材料を実現し、我が国材料産業発展に大きく貢献する。

以下、最終目標（平成23年度末）の概要を記載する。

① 超ハイブリッド材料創製技術開発

研究開発項目②相反機能発現基盤技術開発、研究開発項目③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、研究開発項目④材料設計に資する総合評価・支援技術開発の成果をもとに、具体的ないくつかの部材について従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的実用化研究課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

② 相反機能発現基盤技術開発

従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するため、相反機能発現に必要な界面制御、分散、配向制御等の基盤技術を開発・確立する。

③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

官能基導入ナノ粒子等の高効率合成プロセス及び均一分散・配向・配列プロセス基盤技術を開発し、これらプロセスが連動した相反機能材料創製プロセス基盤技術を開発・確立する。

④ 材料設計に資する総合評価・支援技術開発

相反機能を発現する、材料・部材の基本構造の特性解析及び設計に関する総合評価・支援技術を開発・確立する。

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」

[中間目標（平成21年度末）]

(I) 電気・電子材料分野

[1]パワーデバイス周辺材料（モーター、自動車電装品）

熱伝導率 $\geq 3.0$  W/mK、耐熱性 $\geq 300$  °C、絶縁破壊電圧 $\geq 3.0$  kV/mm、易成型性であること。

[2]ICパッケージ周辺材料（熱伝導材料、封止材）

〈非絶縁タイプ〉熱伝導率 $\geq 4.0$  W/mK、

接着強度（熱サイクル1000回後） $\geq 1$  MPa (at 260°C)

〈絶縁タイプ〉熱伝導率 $\geq 7.0$  W/mK、体積抵抗率 $\geq 10^{11}$   $\Omega \cdot \text{cm}$  (at 150°C)、

接着強度（熱サイクル1000回後） $\geq 1$  MPa (at 260°C)

[3]高放熱性材料

熱抵抗値 $\leq 0.03$  °C $\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ （厚さ10–100 $\mu\text{m}$ ）、硬化前粘度 $\leq 200$  Pa $\cdot\text{s}$

[4]高耐熱材料

貯蔵弾性率の低下率（室温と300°Cでの値の比較） $\leq 10\%$

熱膨張係数 $\leq 2.0 \times 10^{-6}$  K $^{-1}$ 、硬化前粘度 $\leq 200$  Pa $\cdot\text{s}$

(II) 光学材料分野

[1]低屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、光導波路）

屈折率 $\leq 1.42$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3$ H、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成型性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10$ g/10min

[2]高屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、レンズ）

屈折率 $\geq 1.6$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3$ H、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成型性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10$ g/10min

(III) その他工業材料分野

[1]放熱性材料（液晶画面用LED放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用）

熱伝導率 $\geq 2.0$  W/mK、成形粘度 $\leq 1000$  Pa $\cdot\text{s}$ 、耐衝撃性 $\geq 15$  J/m、

比重 $\leq 3.5$ 、体積抵抗率 $\geq 10^{12}$   $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

市場評価可能とする成果物の供試

上記の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件（形態・数量）を明らかにし、成果物を供試する。市場評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。

[最終目標（平成23年度末）]

(I) 電気・電子材料分野

[1]パワーデバイス周辺材料（モーター、自動車電装品）

熱伝導率 $\geq 4.0$  W/mK、耐熱性 $\geq 400$  °C、絶縁破壊電圧 $\geq 5.0$  kV/mm、易成型性であること。

[2]ICパッケージ周辺材料（熱伝導材料、封止材）

〈非絶縁タイプ〉熱伝導率 $\geq 6.0$  W/mK、

接着強度（熱サイクル1000回後） $\geq 1$  MPa (at 260°C)

〈絶縁タイプ〉熱伝導率 $\geq 15.0$  W/mK、体積抵抗率 $\geq 10^{11}$   $\Omega \cdot \text{cm}$  (at 150°C)、

接着強度（熱サイクル1000回後） $\geq 1$  MPa (at 260°C)

事業の目標

事業の目標	<p>[3]高放熱性材料 熱抵抗値<math>\leq 0.01^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}</math> (厚さ<math>10\text{--}100\mu\text{m}</math>)、硬化前粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p>[4]高耐熱材料 貯蔵弾性率の低下率(室温と<math>300^{\circ}\text{C}</math>での値の比較)<math>\leq 10\%</math> 熱膨張係数<math>\leq 1.5\times 10^{-6}\text{K}^{-1}</math>、硬化前粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p>(II)光学材料分野</p> <p>[1]低屈折率材料(機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、光導波路) 屈折率<math>\leq 1.4</math>、鉛筆硬度(JIS K5600)<math>\geq 4\text{H}</math>、全光線透過率<math>\geq 90\%</math> 易成形性 MFR(メルトフローレイト JIS K7210)<math>\geq 10\text{g}/10\text{min}</math></p> <p>[2]高屈折率材料(機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、レンズ) 屈折率<math>\geq 1.7</math>、鉛筆硬度(JIS K5600)<math>\geq 3\text{H}</math>、全光線透過率<math>\geq 90\%</math> 易成形性 MFR(メルトフローレイト JIS K7210)<math>\geq 10\text{g}/10\text{min}</math></p> <p>(III)その他工業材料分野</p> <p>[1]放熱性材料(液晶画面用LED放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用) 熱伝導率<math>\geq 40\text{W/mK}</math>、成形粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math>、耐衝撃性<math>\geq 24\text{J/m}</math>、 比重<math>\leq 2.5</math>、体積抵抗率<math>\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}</math>。</p> <p>市場評価可能とする成果物の供試 上記の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件(形態・数量)を明らかにし、成果物を供試する。市場評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。</p> <p>研究開発項目② 「相反機能発現基盤技術開発」 [中間目標(平成21年度末)] 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現手法を提供し、中間目標達成に寄与する。 [最終目標(平成23年度末)] 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標に達成する相反機能の発現機構を明らかにし、それに基づき相反機能発現材料のナノ空間・構造制御手法を確立する。</p> <p>研究開発項目③ 「相反機能材料創製プロセス基盤技術開発」 [中間目標(平成21年度末)] 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現する材料を合成するプロセス技術を提供し、成果物を供試し、中間目標達成に寄与する。 [最終目標(平成23年度末)] 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標に達成する相反機能の発現する材料を合成するプロセスを確立する。</p> <p>研究開発項目④ 「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」 [最終目標(平成23年度末)] 相反機能材料の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多元的に解明できる計測手法を構築する。得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価から得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる</p>
-------	---

事業の計画内容	主な実施事項	H 1 9	H 2 0	H 2 1	H 2 2	総額
	①超ハイブリッド材料創製技開発	353	222	136		828
	②相反機能発現基盤技術開発	159	109	68		364
	③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	155	208	230		605
	④材料設計に資する統合評価・支援技術開発	133	81	66		280
	その他					
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H 1 9	H 2 0	H 2 1	H 2 2	総額
	一般会計	800	620	500		1920
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	0	0	0		0
	加速予算 (成果普及費を含む)	0	97	0		97
	総予算額	800	717	500		2017
開発体制	経産省担当原課	産業製造局化学課				
	プロジェクトリーダー	国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所 教授 阿尻雅文				
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	東北大学、東京工業大学、長岡技術科学大学、九州大学、(独)産業技術総合研究所、(財)化学技術戦略推進機構、日東電工(株)、日立化成工業(株)、電気化学工業(株)、住友ベークライト(株)、日本油脂(株)、新日鐵化学(株)、住友大阪セメント(株)、(株)アイアテック、(株)戸田工業三菱化学(株)(大阪大学、関西大学、大阪市立工業研究所、油化電子(株))東レ・ダウコーニング(株)(東京大学)				
情勢変化への対応	進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、当該技術分野における国際競争上の優位性が確立できることが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。					
評価に関する事項	事前評価	18年度 実施 担当 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課				
	中間評価	21年度 中間評価実施				
	事後評価	24年度 事後評価実施(予定)				

①超ハイブリッド材料創製技術

目 標	研究開発成果	達成度
<b>電気・電子材料分野</b> <b>パワーデバイス周辺材料</b> (1) 熱伝導率 中間目標値 30W/mK 最終目標値 40W/mK (2) 耐熱性 中間目標値 300°C 最終目標値 400°C (3) 絶縁破壊電圧 中間目標値 30kV/mm 最終目標値 50kV/mm (4) 成形性 易成形性	超臨界法による、粒子表面改質で高充填化、および相分離構造等による熱伝導パスの形成で、35W/mKを得た。 更なる高熱伝導性フィラーの適用や高充填化、構造制御による熱伝導パス形成を進める。 現有樹脂にて達成。 耐熱性ポリマーを探索・適応予定。 現状25kV/mmを得た。プロセス改良により更に向上予定。 樹脂とフィラー間の特性差を極小にする表面改質技術とプロセス改良により向上させる。 表面改質フィラーにより、高充填でも粘度の上昇を抑え流動性を確保できた。	達成 達成 達成見込み 2010・3 達成
<b>ICパッケージ周辺材料 封止材</b> (1) 熱伝導率 中間目標値 7W/mK 最終目標値 15W/mK (2) 密着強度 中間目標値 1Mpa 最終目標値 1Mpa (3) 体積抵抗率 中間目標値 $10^{11} \Omega \text{ cm}$ 最終目標値 $10^{11} \Omega \text{ cm}$ ICパッケージ周辺材料 接着剤 (1) 熱伝導率 中間目標値 40W/mK 最終目標値 60W/mK (2) 密着強度 中間目標値 1Mpa 最終目標値 1Mpa	現在6W/mKを達成。表面修飾フィラーによる粘度低減効果で、高充填化ができ熱伝導率向上可能。 高熱伝導フィラーの採用と、表面改質による界面抵抗低下で更に熱伝導率を向上させる。 260°Cの条件にて、6Mpaを達成。 熱伝導率向上とのトレードオフ解消技術を開発継続する。 $10^{14} \Omega \text{ cm}$ を達成した。 他の高熱伝導フィラー併用時の低下抑制技術を開発す 38W/mKを得ている。若干の高充填化により達成可能。 表面修飾フィラーの配合率、プロセス最適化により達成予定。 260°C4Mpaを達成。 フィラーの高充填化による低下を防止技術を開発。	達成見込み 2009・12 達成 達成 達成見込み 2009・10 達成
<b>高放熱性材料技術開発</b> 中間目標 1) 熱抵抗値 $\leq 0.03^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ 2) 硬化前粘度 $\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}$ 最終目標 1) 熱抵抗値 $\leq 0.01^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ 2) 硬化前粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$	1) $0.79^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ 2) $800\text{Pa}\cdot\text{s}$	1) 未達 2) 未達 東京大学での基盤技術の結果を反映して材料化開始予定)
<b>高耐熱性材料技術開発</b> 中間目標 (1) 貯蔵弾性率の低下率 $\leq 10\%$ (2) 熱膨張係数 $\leq 2.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (3) 硬化前粘度 $\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}$ 最終目標 (1) 貯蔵弾性率の低下率 $\leq 10\%$ (2) 熱膨張係数 $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 、 (3) 硬化前粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ (4) 成果物の供試	1) 76% 2) $5.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 3) $41\text{Pa}\cdot\text{s}$ 粘度の値を多少犠牲にし、ポリシロキサン成分の架橋密度を増加させることにより熱膨張係数、弾性率低下率を大きく低下させることは可能 (4) 供試した	(1) 達成見込み (2010年3月) (2) 達成見込み (2010年3月) (3) 達成 (3) 達成

Ⅲ. 研究開発成果について



	目 標	研究開発成果	達成度
Ⅲ. 研究開発成果について	<b>ナノ構造制御</b> <b>ナノ粒子表面の有機修飾</b> メカニカル分散による表面修飾法開発 2段重合法への適応性向上	会合チタニアナノ粒子を少量の表面改質剤で高濃度、透明な分散液として得ることに成功。高屈折光学材料開発へ提供した。	達成
	前駆体法による金属/無機ナノ粒子分散薄膜材料開発 ビルドアップ法による金属ナノ粒子の樹脂薄膜中への均一分散と2重パーコレーション構造の最適化	金属ナノ粒子との親和性を制御したポリイミド前駆体構造の設計合成を行った。 マイクロ相分離した高分子薄膜中の親和性部位に金属銀ナノ粒子の偏析に成功した。マイクロ相分離構造については熱伝導パス形成にも有効な技術手段として提供。	達成 達成
	<b>ナノ空間・構造制御手法最適化技術</b> <b>表面修飾ナノ粒子と媒体との相互作用評価</b> 表面修飾ナノ粒子の分散性の定量的評価と相図の作成 パターン基板と表面修飾モデル粒子との相互作用解析による分散因子検証	ナノ粒子系熱力学(相平衡・相分離構造)の確立を目指し開発を進めた。表面改質粒子の有機溶剤中の分散安定化について、溶解度パラメーターを用いた傾向を把握した。 親水・疎水パターン基板の設計作成完了。モデル粒子の特性解析を行った。	達成 達成
	<b>マイクロ相分離による材料開発及びIn-situ光学測定法</b>  マイクロ相分離構造の生成条件の探索と制御 高分子複合系における配向構造制御基盤技術確立	2種のポリイミドを用いたマイクロ相分離構造形成に成功した。またIn-situ観察としての光学計測定法を確立した。延伸速度等の条件にて、構造の制御が可能となってきた。熱伝導材料特に熱伝導パス形成への基盤技術として提供する。	達成
	<b>絶縁性と高熱伝導性を有する無機材料の開発</b> a) BNナノ粒子、BNナノシートの合成条件確立。 b) 表面修飾可能な非酸化物無機ナノ材料を開発。 c) 電気絶縁表面被覆法の開発。	a) 高結晶高純度BNナノシートの合成に成功。 b) Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ナノワイヤー合成に成功。 c) Agナノロッド、Auナノシートの合成に成功。AgナノロッドのTi(iOPr) <sub>4</sub> 絶縁被覆に成功。	達成見込み(平成21年3月)
	<b>液晶性エポキシ樹脂の開発</b> a) 高熱伝導で力学延伸や磁場配向に適した液晶性エポキシ樹脂の開発・合成を行う。	・ドメイン高配向が可能な主鎖にターフェニル骨格を有する液晶エポキシの合成に成功。  ・高配向と易成形性が期待されるターフェニル型ツインメソゲンエポキシの合成にも着手、高重合度のエポキシモノマー含有で液晶性発現を見出す。	達成
<b>無機材料の表面修飾技術開発</b> a) 無機ナノ粒子表面への官能基導入手法確立。	・BN粒子表面へのエポキシ基含有鎖の導入条件確立。  ・BN粒子表面修飾により粘度低下、力学強度(引張剪断強度)向上、熱伝導率向上を確認。	達成	

③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<b>官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術</b> 1; 超臨界法を用いた表面修飾粒子の効率的な形成プロセスの構築。 2; 高速大量に形成した表面修飾粒子の材料創製技術への提供。 3; 実用化に向けたスケールアップ10t/年能力の構築 4; 安定性、再現性、生産性を満足したトータルシステムとしての構築。	・ 超臨界法によるナノ粒子合成基盤技術開発0.1t/年能力装置完成 流通式装置を開発すると共に、合成時の課題を装置開発ヘフィードバックを行った。1t/年能力装置システム化H21 完成 ・ 超臨界水熱合成装置の開発  ・ 流通式装置のスケールアップに関連する必要な装置を開発実行し、中量規模の装置を完成させた。 ・ 超臨界水反応による高速大量表面修飾プロセス開発 表面修飾シリコニア粒子、チタニア粒子を形成し、光学材料開発へ提供した。BN粒子の表面改質も進めた。	達成

目 標	研究開発成果	達成度
<p><b>高分子中ナノ粒子等分散・配向・配列プロセス技術開発</b>  材料機能を向上させるために、樹脂中のフィラーを1次粒子レベルまで分散させ、液晶等の使用も考慮しながら光、磁場、電場、応力等の外力により樹脂中のフィラーを配向・配列させるプロセスを開発する。</p> <p><b>プロセス最適化</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高分子中ナノ粒子等分散・配向・配列プロセス基盤技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>光、電場、磁場を用いた高分子中ナノ粒子の分散状態の制御を可能とする技術開発。液晶付与したチタニア粒子での磁場配向に成功。</li> </ul> </li> <li>液中レーザーを用いた銀ナノシート形成技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>液中レーザー法によって厚さ30nmのナノシートの合成に成功した。開発したナノ秒パルス電源を用いBNナノシートの配向制御を可能とした。</li> </ul> </li> <li>延伸熱処理による無機ナノ粒子の配向・配列制御技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>相分離挙動を示す高分子を用い銀ナノ粒子の偏析構造の形成に成功した。</li> </ul> </li> <li>プロセス最適化技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>スケールアップ時の諸問題を解決するIn-situ観察として高速VTRを用い可視化に成功した。流れの可視化結果を踏まえた粒子形成シミュレーション技術により、超臨界装置混合部での渦の発生が認められ、粗大粒子や閉塞の原因となること判明した。</li> </ul> </li> </ul>	<p>達成</p>
<p><b>浸漬型ナノ被覆プロセス技術開発</b></p> <p>a) 液晶性エポキシ延伸紡糸の基礎検討と技術の見極め。  b) 塗布性や接着性の確認および熱伝導率の見極め。</p>	<p>a) 長さ378mのヒーターが必要(現実的に不可能)であること判明。  b) 熱伝導率の目標値100W/mKに対して20W/mK程度の結果となった。</p>	<p>平成20年度末で事業中止。  (理由)技術的難易度が非常に高いことを確認したため。</p>
<p><b>ハイブリッド材料成型ナノプロセス技術開発</b></p> <p>a) ハニカム構造による熱伝導性改善効果を確認する。  b) 市販材料を用い、成型プロセス側から高熱伝導性の検討を行う。  c) 磁場発生装置を用い液晶エポキシ樹脂の基礎検討を行う。</p>	<p>a) 表面修飾BN粒子被覆フェノール樹脂粒子のハニカム構造で熱伝導率2倍(35vol%時)。  b) 櫛型構造型体で熱伝導向制御の可能性を見出した。  c) 液晶エポキシ樹脂の熱特性を磁場配向により評価し、約2倍の高熱伝導率化を達成。</p>	<p>達成</p>
<p><b>官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術</b>  <b>シリカ系ハイブリッド</b></p> <p>1)ハイブリッド微粒子構造に対する合成条件依存性  2)粒子構造が材料物性に与える影響  <b>金属系ハイブリッド</b></p> <p>1)表面修飾剤、金属種の影響  2)合成手法が表面修飾、粒子径、金属酸化状態に及ぼす影響  3)流通式装置によるプロセス提案</p>	<p>1)表面修飾率が制御されたポリシロキサン修飾ナノ粒子の合成に成功  2)シリカナノ粒子を硬質ポリシロキサンに良分散させる技術提案</p> <p>1)エポキシシロキサンの高い表面修飾効果を確認  2)二段階加熱反応による表面修飾、酸化状態の制御を確認  3)流通式装置による製造のための要素技術を確立</p> <p>急速昇温を行う混合手法の最適化が、高温高圧水を用いた微粒子合成に広く重要であり、流体シミュレーションと組み合わせることにより、混合状態と粒子生成反応の関係性を明らかにし、一般的な設計指針を得る。</p>	<p>1) 達成  2) 達成  3) 達成見込み(2010年3月)</p>

Ⅲ. 研究開発成果について

④材料設計に資する統合評価・支援技術開発			
目 標	研究開発成果	達成度	
<b>材料構造の計測・解析</b> H23年度末の最終目標: 相反機能材料の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多元的に解明できる計測手法を構築する。 計測制御により得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる。	<b>電気・電子材料分野</b> ・ TEMにより粒子表面が設計通り修飾されていることを確認。 ・ 未修飾粒子ではナノ空孔が深くまで発生しており、界面熱抵抗悪化の原因となることを指摘。	達成	
	<b>光学材料分野</b> ・ TEM、固体NMRにより粒子表面修飾、結合状態、粒子分散状態への影響を確認。粒子修飾の指針となるデータを提供。 ・ ナノ空孔と屈折率に相関。ナノ空孔の低減が屈折率低減の鍵となること指摘。 ・ 他の手段では見えないナノ粒子の分散ゆらぎを確認。光線透過率低下を引き起こすことを指摘。 技術動向調査 ・ 特許情報を収集、解析し、プロジェクト内に提供。	達成	
	<b>計測データの統合解析</b> (材料機能インフォマティクス) H23年度末の最終目標: 本開発項目で得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。	<b>解析技術環境整備</b> ・ 異種データを統合的に取り扱うための情報処理環境を整理。 多階層データ収集の選定指針とその統計処理アルゴリズムの ・ データの質を高めるための超解像手法やゆらぎのミクロ、マイクロデータを統合解析する空間統計学(バリオグラム)を材料構造ゆらぎに初めて適応。 統合解析手法の整備の加速、統計的なデータ収集・解析を開始 熱物性データベースを統合処理、体系化のフレームワークとして試行導入し熱物性データなどを蓄積した。微視的解析では分子レベルでの考察を行い、理論限界を解析し熱物性測定実データから、巨視的評価解析を試行し、高次のゆらぎ特性に系を特徴づける情報が含まれる可能性を見出した。	達成見込み
	<b>超ハイブリッド材料における熱物性計測法の開発</b> a) 高熱伝導性ナノ粒子の薄膜、粒子-樹脂複合構造の熱物性評価手法を整備。 b) 熱物性データを材料開発へとフィードバック。	a) 熱物性分布計測技術の高度化を前倒して着手した。 b) 周期スポット加熱放射測温法によりナノ粒子薄膜試料、ナノ粒子/樹脂繊維複合材料の熱物性評価を実施した。	達成

Ⅲ. 研究開発成果について

	投稿論文	「査読付き」 67件、「その他」 14件
	特 許	「出願済」 6件、「登録」 5件、「実施」 0件（うち国際出願0件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	「新聞発表」 4件、「雑誌等」 4件 「学会発表」 81件
IV. 実用化見通しについて	<p>電気・電子材料・その他工業材料についてはパワーデバイス用の放熱シート、封止材、接着材の実用化を目指す。適用可能製品としての市場規模としてパワー半導体が10兆円（2050）、照明用LEDが4000億円（2013）と予測されている。</p> <p>光学材料については反射防止材、LED用封止材、レンズ材料を目指す。反射防止関連で1350億円（2006）、LED用封止材240億円（2013）、レンズ関連20億円（2013）の市場規模である。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年3月 経済産業省制定 平成20年3月 NEDO制定
	変更履歴	平成20年7月 改訂（イノベーションプログラム基本計画の制定により、「（1）研究開発の目的」の記載を改訂）

## ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

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

### 2. 政策的位置付け

#### ○第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つに指定されていて、優先的に資源配分することとされている。
- ・我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

#### ○「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1. 生涯健康な社会形成」、「2. 安全・安心な社会形成」、「4. 世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5. 世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
  - ・学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
  - ・社会受容を促すための積極的な取り組み
  - ・知的財産確保のための戦略的な取り組み

#### ○「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議）

- ・「我が国の国際競争力の強化」の取り組みとして、高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化が掲げられている。
- ・「技術戦略マップ」の活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部品・材料産業の強化を図ることが今後の取組として記載されている。

#### ○「新産業創造戦略2005」（2005年6月経済産業省）

- ・部材分野は、新産業群の創出を支える共通基盤技術として位置づけられている。
- ・「高度部材・基盤産業」の集積を形成していることが、「ものづくり」に不可欠な基盤技術のネットワーク化を通じた現場レベルでの迅速かつ高度な摺り合わせを可能としており、我が国「ものづくり」の強みの源泉となっていると記載されている。

### 3. 達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。
- ・我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに部材産業の付加価値の増大を図る。
- ・ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- ・希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

### 4. 研究開発内容

[プロジェクト]

#### I. ナノテクノロジーの加速化領域

ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を加速・促進する。

##### (1) 異分野異業種融合ナノテクチャレンジ（運営費交付金）

###### ①概要

革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種異分野の連携で行う部材開発に対して支援を行い、燃料電池、ロボット、情報家電、健康・福祉・機器・サービス、環境・エネルギー・機器・サービスの5分野に資するキーデバイスの実現を目指す。

###### ②技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することにより、2011年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確立し、実用化を図る。

###### ③研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (2) ナノテク・先端部材実用化研究開発（運営費交付金）

###### ①概要

新産業創造戦略の趣旨に則り、革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種・異分野の連携で行うデバイス化開発の支援を行うため、

○ナノテクノロジー活用による材料・部材の高度化を図る先導的研究開発（ステージⅠ）

○ナノテクノロジー研究成果の部材等への課題設定型実用化により目指した開発支援（ステージⅡ）

について提案公募を実施する。

###### ②技術目標及び達成時期

2010年頃に想定される半導体微細加工の限界を克服するため、分子・原子を1つずつ制御し部品部材に組み上げる「ボトムアップ型」のナノテクノロジーなど革新的なナノテクノロジー等の活用により、情報家電・ロボット、燃料電池等新規産業5分野等において、従来の性能・効率を大幅に改善するナノテク・先端部材技術を開発し、我が

国が優位にあるナノテクノロジーを基盤とした国際的な産業競争力を強化することを目標とする。

③研究開発期間

2005年度～2011年度

## II. 情報通信領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して既存技術の微細化の壁を突破し、電子デバイス・光デバイスで世界をリードするとともに、高度化された製造技術の開発を行う。

### (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイス

①概要

ナノエレクトロニクスは、ナノテクノロジーの最大の応用領域の一つであり、デジタル・デバイスのCMOS構造というアーキテクチャは、優れた工学概念である。また、これまでの半導体技術の微細化に基づく高集積化・高速化・低消費電力化の追求は、シリコン材料をベースとするプレーナ構造を基本とした微細加工プロセスの高度化にあった。

しかし、さらなる微細化によるデバイスのパフォーマンス向上は物理的限界に直面しつつあり、問題は、FETを、シリコン材料をベースとして作製することにより現出していると考えられる。

そのため、次世代の電子デバイスのために「シリコンで培った微細化技術やデバイス原理をこれまで同様に活用しながら、シリコンという材料の物理的限界を突破するための“新材料”や“新(デバイス)構造”を実現すること」、すなわち、「New Nano Materials/Structure on Silicon for “More Moore”」の半導体技術を、ナノテクノロジーを最大限に活用することによって研究開発を行い、将来の産業応用への目を見出していく取りかかりとする。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、産業界が10年後を見据えた将来の電子デバイスを開発する際に、産業技術として活用できるかどうかの実現可能性を見極め、また技術シーズを確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

### (2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)(再掲)

①概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

#### ②技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

##### 1) 基板技術 (GaN、AlNバルク結晶作製技術)

- ・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

##### 2) エピ技術 (エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

- ・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
- ・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
- ・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

#### ③研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト (運営費交付金)

#### ①概要

将来のエレクトロニクスにおいて中核的な基盤技術となり得るスピントロニクス技術 (電子の電荷ではなく、電子の自転=「スピン」を利用する全く新しいエレクトロニクス技術) を確立するため、強磁性体ナノ構造体におけるスピンの制御・利用基盤技術を開発し、我が国が世界に誇るシーズ技術を核として、産学官の共同研究体制を構築し、将来の中核的エレクトロニクス技術における我が国の優位性の確保を図る。

#### ②技術目標及び達成時期

2010年度までに、超高集積で高速な不揮発性メモリとして期待されるスピンメモリのための基盤技術を確立する。また、新ストレージ・メモリデバイス、不揮発性スピン光機能素子、スピン能動素子等の新しい動作原理によるスピン新機能素子の実現のための基盤技術を確立する。

#### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

### (4) 三次元光デバイス高効率製造技術 (運営費交付金)

#### ①概要

波面制御素子による空間光変調技術を確立し、ガラス中に三次元造形を高精度に一括形成できるプロセス技術を開発する。この技術を用いて、具体的な光デバイスを作製し、当該技術の有効性の確認と市場への早期参入のための基盤技術を確立する。

#### ②技術目標及び達成時期

2010年度までに波面制御素子による空間光変調技術を用いたフェムト秒レーザー照射技術等を確立し、高精度の光デバイスを高速に作製できるプロセス技術を開発する。

#### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発\* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

②技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発\* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

②技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発\* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原理・効果を用いた低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

### Ⅲ. ライフサイエンス・健康・医療領域

ナノテクノロジーを駆使して初めて可能となる診断・治療により革新的な医療を実現する。

(1) 次世代DDS型悪性腫瘍治療システムの研究開発事業（運営費交付金）（再掲）

（深部治療に対応した次世代DDS型治療システムの研究開発事業）

①概要

DDSのさらなる裾野の拡大、及び早期実用化を目指し、様々な外部エネルギー（機器技術）と薬剤技術を組み合わせることにより、比較的人体の深部にある臓器（肺、消化器）等のがんを対象としたDDS型治療システムの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

光線力学治療システムの前臨床試験の開始及び治療効果・安全性の検証と、超音波診断・治療システムの前臨床試験を可能とする薬剤及び装置の完成に関する開発を難治性がんの治療に向けて行う。

③研究開発期間

2006年度～2009年度

(2) 個別化医療実現のための技術融合バイオ診断技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

我が国が有する微細加工技術・表面処理技術といったナノテク等の強みを活かし、染色体異常を高感度、高精度かつ迅速、安価で非コード領域までを検出するゲノムアレイや解析基盤技術開発を行うとともに、全自動解析システムの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、BAC（染色体の断片）を用いた非コード領域を含むゲノム全領域を検出できる高精度ゲノムアレイを開発する。さらに、臨床現場において、微量サンプル（数ナノグラム）から、12時間以内に染色体異常（増幅、欠失、コピー数多型等）を、低コストかつ定量性・再現性を確保して検出ができる自動染色体異常解析システムのプロトタイプを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 分子イメージング機器研究開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

(3-1) 生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器研究開発プロジェクト

①概要

細小血管の分子レベルでの代謝機能を非侵襲で可視化する細胞代謝イメージングを実現し、代謝異常を細胞レベルで観察することにより、循環器系疾患等の早期の診断・治

療を図る。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、ナノテクノロジーを活用した光学基盤技術等を確立することにより、細胞やタンパク質レベルの組織診断を可能とする機器を開発する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(3-2) 悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト

①概要

良性・悪性の区別も含めた腫瘍の超早期診断を実現するため、悪性腫瘍に特異的に反応する標的物質を利用することにより生体細胞の分子レベルの機能変化を抽出・検出できる機器の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、全身で3mm、局所で1mmの分解能を有する分子イメージング機器を開発する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

IV. エネルギー・資源・環境領域

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

(i) エネルギー制約の克服

(1) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融（インフライトメルティング法）し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率（熱の伝わりやすさ）が $0.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、光（可視光）透過率が65%以上（Low-Eガラス使用）、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、 $20\text{Wh}/\text{Kg}$ の高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

## (6) 発電プラント用超高純度金属材料の開発（運営費交付金）（再掲）

### ①概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

### ②技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

### ③研究開発期間

2005年度～2009年度

## (7) セラミックリアクター開発（運営費交付金）（再掲）

### ①概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

### ②技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時（650℃以下）での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証（出力性能2kW/L等）を行う。

### ③研究開発期間

2005年度～2009年度

## (8) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト（再掲）

### ①概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法（クロール法）を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

### ②技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年

までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

③研究開発期間

2005年度～2008年度

(ii) 資源制約の克服

(1) 希少金属代替材料開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

希少金属は、特殊用途において希少な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となり得るリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来出来なかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替／使用量低減技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

〔対象元素〕	〔使用原単位の低減目標値〕
・透明電極向けインジウム（In）	：現状から50%以上低減
・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）	：現状から30%以上低減
・超硬工具向けタングステン（W）	：現状から30%以上低減

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(iii) 環境制約の克服

(1) グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発

①概要

化学品等の製造プロセスにおけるシンプル化、クリーン化、原材料・資源の多様化、更に、廃棄物の減容化、容易なリサイクル等を実現し、産業競争力強化、国際規制の先取りを図って、将来にわたっても持続的に化学品等を製造するための必要な新規なGSC（グリーン・サステイナブルケミストリー）プロセスを開発する。

②技術的目標及び達成時期

2015年度までに、有害な化学物質を大幅に削減、使わない革新的なプロセス及び化学品の開発や廃棄物、副生成物の大幅に削減できる革新的なプロセス及び化学品の開発を行う。

③研究開発期間

2008年度～2015年度

(2) 次世代高信頼性ガスセンサ技術開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー (COセンサー・メタンセンサー) を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性 (数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサーを開発する。

③研究開発期間

2008年度～2011年度

(3) 革新的膜分離技術の開発 (再掲)

①概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率 (省エネ) な分離技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、ナノテクノロジー等新技術を用いて新素材を開発し、高度な水質制御と高速処理を兼ねた膜ろ過システムを開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(4) 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト (運営費交付金)

①概要

我が国で発見された光触媒技術の新産業分野開拓を目指し、サイエンスにさかのぼることにより、紫外光のみならず、可視光レベルでの性能・機能の飛躍的な向上のための技術基盤を構築する。これにより、従来では困難とされてきた医療関連分野や土壌処理、PFC処理/フッ素回収などの環境関連分野等に光触媒技術を導入し、光触媒の最大のメリットである自然エネルギーを利用した安心・安全な環境を提供できる技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、材料レベルで紫外光応答型2倍、可視光応答型10倍の感度向上を達成し、その高感度光触媒を適用した薄膜プロセス技術の基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発\* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー供給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 高感度環境センサ部材開発\*

①概要

ダイオキシンをはじめとする微量有害有機物質を高感度・高選択・安価・迅速に計測するため、分子認識部位として生体分子を用い、有害有機物質の結合の有無・量を直接電気信号に変換するセラミックスセンシング材料（電極材料）を用いたセンサ部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、ダイオキシン類、エストラジオール及びビスフェノールAについて、0.001ng・mlの濃度において有意な電気信号として検出し得る小型・携帯型計測器に挿入可能な寸法のセンサ部材の開発を目標とする。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

V. 材料・部材領域

極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進し、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。

(1) 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発（運営費交付金）

①概要

複合化金属ガラス（金属ガラスマトリックス中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させたもの）を創製して、次世代高密度記録媒体、超微小モータ用部材および高強度・高導電性電気接点部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単層合金の持つ優れた特徴に加えて、塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性等を付与する。この

複合化金属ガラスの新規特性を用いて、従来の金属ガラス単層合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで、我が国産業の優位性を確保する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) 超ハイブリッド部材技術開発（運営費交付金）

①概要

従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能（トレードオフ機能）を両立できる材料を、異種素材の組合せ（ハイブリッド化）により実現するための技術を開発する。要素技術として、異種材料間の界面挙動をシミュレーション技術等により解明し、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、自動車用構造材料、パワーデバイス用材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、電気・電子材料、光学材料、その他工業材料について従来材料では実現できなかった相反機能を解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)、及び金属組織制御技術を基本とする材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (4) マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト\* (運営費交付金)

##### ①概要

マグネシウム合金部材について、製品歩留まりが高く、高耐疲労性を付与する鍛造技術の開発を行う。また、循環型素材としてのマグネシウム合金部材の特性を活かし、リサイクル材の鍛造用ビレット化に係る課題抽出を行う。当該技術開発により、マグネシウム鍛造部材製造技術の基盤を構築し、我が国の家電、自動車等の川下産業の競争力の強化に不可欠な高度部材を供給する。

##### ②技術目標及び達成時期

2010年度までに高強度・高耐疲労・加工性に優れたマグネシウム鍛造技術を確立する。

##### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (5) 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発\* (運営費交付金)

##### ①概要

電界紡糸や熔融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

##### ②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ熔融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

##### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (6) 次世代光波制御材料・素子化技術\* (運営費交付金) (再掲)

##### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

##### ②技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

##### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

## VI. ナノテクノロジー・部材分野推進共通基盤領域

ナノテクノロジー、部材分野の研究開発に必要な加工・計測・解析技術等の共通基盤の確

立とともに、信頼性、普遍性、安全性等のリスク不安に対処したリスク管理手法を開発し、社会に貢献する産業化の支援を相互的に推進する。

(1) ナノ粒子の特性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション及び計測技術を確立するとともに、2010年までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ材料のリスク評価指針及びナノ粒子の管理指針の提言を行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 高度分析機器開発実用化プロジェクト\*（再掲）

①概要

燃料電池・情報家電・ナノテクといった先端新産業において、材料解析・性能評価・品質管理等で必要とされる超微量・超低濃度試料の分析技術の開発を行う。これら産業化の各フェーズに適した分析技術を開発することにより、先端新産業の事業化や製品の高付加価値化を図る。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに希ガスイオン源を搭載した集束イオンビームの開発、低加速・高分解能・高感度の元素分析用顕微鏡の開発、超微量試料用分離・分析技術の開発を行う。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

注：\*印のある研究開発プロジェクトは2006年度より開始された新産業創造高度部材基盤技術開発の一環として実施しているもの。

## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

### 〔技術戦略マップ〕

- ・NEDO及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテク・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進しているところ。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進する。

### 〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・NEDOでは、実施するナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施しているところ。

### 〔基準・標準化〕

- ・ナノテクノロジーの標準化については、研究開発プロジェクトを推進する上で、適切な活動（国際規格ISO/IEC、日本工業規格JIS、その他）を実施し、我が国のナノテクノロジー分野の研究開発、産業活動の効率向上を図り、研究開発の成果が社会で普及する環境を整備する意味でも重要である。これまでの主な取組みについては、下記のとおり。
- ・2005年5月にナノテクノロジーの標準化に向けてISO/TC229の設立がされ、「用語と命名法」、「計測とキャラクタリゼーション」、「健康・安全・環境」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始された。
- ・また、2007年6月にシンガポールで開催された第5回総会以降、「材料規格」の分科会の設立に向けて対応しているところ。
- ・さらに、2006年9月にはナノテクノロジーに関する電気電子技術の標準化に向けてIEC/TC113が設立され、「用語と命名法※」、「計測とキャラクタリゼーション※」、「性能評価」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始されている。（なお、※はISO/TC229とのジョイントWGとなっている。）

### 〔広報〕

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nano tech」が毎年日本で開催されている。2002年に開催された第1回以降、出展者来場者ともに増加傾向にあり、近年は海外、とくにヨーロッパ・アジア等の出展が目立つようになってきている。

### 〔社会受容〕

- ・ナノテクノロジーの社会受容に対する取組みは、ナノテクノロジーの産業化を推進するため、例えば工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響など、潜在的な課題に関する知見を蓄積する取組みが重要である。

- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」を開始し、工業ナノ粒子の有害性評価手法、また、そのリスク評価手法の確立を目標としたプロジェクトを開始しているところ。

#### 〔人材育成〕

- ・経済産業省では、「製造中核人材育成事業」を実施しており、産学連携による波及効果の高い人材育成プログラムを開発、実践している。ナノテクノロジー関連の人材育成プログラムも複数実施しているところ。

#### （例）ナノテク製造中核人材の養成プログラム

概要：情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できず人材」を育成するもの。

- ・NEDOでは、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取り組みを実施している（NEDO特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施しているところ。

#### 〔他省庁との連携〕

- ・総合科学技術会議／連携施策群において、「ナノバイオテクノロジー」「ナノテク研究推進と社会受容」が設置され、関係省庁と連携して実施しているところ。
- ・経済産業省が実施する研究開発プロジェクトにおいては、文部科学省など他省庁との連携の可能性について検討を行い、研究開発プロジェクトの立案、推進しているところ。

（例）ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発ーうち新材料・新構造ナノ電子デバイスプロジェクト、希少金属代替材料開発プロジェクト など

## 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け制定。
- (2) 平成14年2月28日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成12・12・27工総第16号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成14・02・25産局第8号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成15・03・07産局第1号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成16・02・03産局第7号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成17・03・25産局第4号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成18・03・31産局第13号）は、廃止。
- (8) 平成14年2月28日付け制定。
- (9) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (11) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (13) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。
- (14) 平成20年4月1日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成19・03・20産局第1号）および革新的部材プログラム基本計画（平成19・03・19産局第4号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(ナノテク・部材イノベーションプログラム)  
「超ハイブリッド材料技術開発（ナノレベル構造制御による相反機能材料技術開発）」  
基本計画

ナノテクノロジー・材料技術開発部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

### (1) 研究開発の目的

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、経済社会の発展を支えている。次世代の材料分野では、高付加価値化に資する高度な技術開発が、今後のイノベーション促進に必要不可欠な課題となっている。すなわち、材料技術の高度化・高付加価値化が、国際競争力を強化し、新たな市場や雇用を創出する源泉として期待されている。本プロジェクトは、これらに資する基盤技術の確立を目指し、『部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定め、材料関係者だけでなく多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工の水平連携）による基盤技術開発の支援で、部材分野の技術革新を促進すること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として実施するものである。

材料産業の急速な発展を背景に、部材分野における半導体関連部材（パワーデバイス材料）、光学部材（空間光制御部材）、ディスプレイ部材（低屈折率材料）などに位置付けられる有機・無機ハイブリッド材料は、大幅な性能向上が期待されている。また産業界の強いニーズである新規製品・サービスを創造するためには、従来の試行錯誤的な材料開発手法ではリソースの投資効率鈍化やエネルギーや環境への負荷増大が避けられなかった。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、産学の知見を結集して、新しいパラダイムに基づく有機・無機ハイブリッド材料の開発を推進し、これを産業技術へ繋げていくと共に、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて行政、産業界、地域住民等の中で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図るため、以下のプロジェクトを実施する。

本プロジェクトでは有機・無機ハイブリッド材料に着目し、「単なるハイブリッド化ではなく、従来材料では成し得なかったトレードオフ（相反機能）をナノレベルでの界面・分散・構造制御で解消し、相反機能を合目的的に制御・実現することができる技術あるいはそれに資する技術」を超ハイブリッド材料技術（ナノレベル構造制御による相反機能材料技術）と定義し、①超ハイブリッド材料創製技術開発当該技術、②相反機能発現基盤技術開発、③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、④材料設計に資する統合評価・支援技術開発を実施し、我が国の材料産業の発展に大きく貢献することを目的とする。

本技術の確立により、相反機能の両立を可能にした超ハイブリッド材料の実現など、将来、幅広い産業分野で利用される共通基盤技術の形成が見込まれる。

### (2) 研究開発の目標

以下、最終目標（平成23年度末）の概要を記載。中間目標（平成21年度末）及び最終目標の詳細な数値目標については別紙の研究開発計画を参照のこと。

#### ① 超ハイブリッド材料創製技術開発

研究開発項目②相反機能発現基盤技術開発、研究開発項目③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、研究開発項目④材料設計に資する統合評価・支援技術開発の成果をもとに、具体的ないくつかの部材に

ついて従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

## ② 相反機能発現基盤技術開発

従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するため、相反機能発現に必要な界面制御、分散・配向制御等の基盤技術を開発・確立する。

## ③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

官能基導入ナノ粒子等の高効率合成プロセス及び均一分散・配向・配列プロセスの基盤技術を開発し、これらプロセスが連動した相反機能材料創製プロセス基盤技術を開発・確立する。

## ④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発

相反機能を発現する、材料・部材の基本構造の特性解析及び設計に関する統合評価・支援技術を確立する。

### （３）研究開発内容

上記目標を達成するために、別紙の研究開発計画に基づき以下の研究開発を実施する。なお、共通基盤技術及び要素技術開発は委託により実施し、実用化に向けた取り組みは助成（助成率 1 / 2 以内）により実施する

[委託事業]、[助成事業（助成率：1 / 2 以内）]

- ① 超ハイブリッド材料創製技術開発
- ② 相反機能発現基盤技術開発
- ③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発
- ④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発

## 2. 研究開発の実施方式

### （１）研究開発の実施体制

本研究開発は、経済産業省により、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者が決定され、共同研究契約等を締結する研究体が構築され、平成 19 年度より委託により実施されている。平成 20 年度より、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO 技術開発機構」という）が本研究開発を運営・管理するに当たっては、外部有識者から構成される技術評価委員会等を設置し、平成 19 年度の進捗状況を踏まえた事業内容・計画及び実施体制の妥当性についての審議に基づいた評価を行った上で委託して実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体に NEDO 技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）東北大学多元物質科学研究所教授 阿尻雅文氏を置き、その下に研究者を結集して効率的な研究開発を実施する。

本研究開発において、基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した共通基盤技

術及び要素技術は委託により実施する。また、委託により開発した技術を利用し実用化に向けて産業界から具体的な取り組みが示された場合は、適宜助成（助成率1／2）による支援を検討する。

## （2）研究開発の運営管理

研究開発の全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成20年度から平成23年度までの4年間とする。

本研究開発は平成19年度に経済産業省が実施した「超ハイブリッド材料技術開発」事業について、平成20年度よりNEDO技術開発機構の事業として実施する。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価、事後評価を実施する。中間評価を平成21年度、事後評価を平成24年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### （1）研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

実施者は、得られた研究成果の普及について、可能な限り、保有する特許等の活用も含め、最善の努力をするものとする。NEDO技術開発機構及び経済産業省は、実施者との緊密なる連携の下、必要とされる環境整備等について十分な配慮をするものとする。

#### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、必要に応じてデータベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第27条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### （2）基本計画の変更

NEDO技術開発機構及び経済産業省は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、

国内外の研究開発動向、産業技術政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構法第15条第1項第2号及び3号に基づき実施する。

### (4) その他

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程または成果に基づき開発したプログラム、サンプルもしくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前にプロジェクトリーダーとNEDO技術開発機構に連絡する。その際に、NEDO技術開発機構が申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成20年3月、制定。

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目① 「超ハイブリッド材料創製技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

急速に進展する情報家電、自動車産業等の高度な要求を満たす透明導電膜、パワーデバイス、耐熱材料、高度情報通信に不可欠な光学材料等で、トレードオフすなわち、相反機能（既存材料では同時に発現させるのが困難で、材料特性上その機能が相反する複合機能を言う。例えば、絶縁性と熱伝導性など）を有する材料等が求められている。

高分子、金属、セラミックス等の個別の材料では、新素材の開発が期待される一方で、様々な観点から、この要求を満足させることは困難となりつつある。例えば、新たに複合材料を創製する場合でも、既存手法である剪断力による混練等の手法のみでは限界があり、目標とする性能を達成すること、すなわちトレードオフを解消することは困難と思われる。

そこで、新素材の開発を標榜するのではなく、ナノテクノロジーを活用し、ナノメートルサイズでも精密な分子設計（構造制御）を可能とし、既存材料の複合化を分子レベルで制御することにより、トレードオフを解消したいとの機運が高まっている。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 達成手法の選択・提案・実施

研究開発項目④の「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」を活用し、効率的に材料設計と評価を実施するとともに、研究開発項目②の「相反機能発現基盤技術開発」、研究開発項目③の「相反機能創製プロセス基盤技術開発」の成果を活用し、相反機能材料を創製、すなわち超ハイブリッド材料創製に資する要素技術を開発する。

開発部材の使用環境も考慮した機能評価手法を提案するため、上記の研究開発項目②、③、④から、最適な達成手段を選択し、あるいは新規に提案し、機能評価結果を材料設計に反映させるとともに、目標値を達成する。

##### (2) 市場評価可能とする成果物の供試

(1) の目標達成を客観的に判断できるように、市場に評価を受けて実用化するための課題を客観的に抽出するために、市場評価が可能な条件（形態・数量）を明らかにし、成果物を供試する。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標（平成21年度末）】

##### (1) 機能合目的的達成手法の提案

以降の（Ⅰ）～（Ⅲ）に示す分野の部材について、下記の間目標値を達成する一手法以上を提案すること。ただし単に目標値を達成するのではなく、相反機能を合目的的に実現する手法であること。

##### (Ⅰ) 電気・電子材料分野

###### [1] パワーデバイス周辺材料（モーター、自動車電装品）：

熱伝導率 $\geq 30\text{W/m K}$ 、耐熱性 $\geq 300^\circ\text{C}$ 、絶縁破壊電圧 $\geq 30\text{kV/mm}$ 、易成形性であること。

###### [2] ICパッケージ周辺材料（熱伝導材料、封止材）：

- 〈非絶縁タイプ〉 熱伝導率 $\geq 40\text{W/m K}$ 、接着強度（熱サイクル 1000 回後） $\geq 1\text{MPa}$ （at  $260^\circ\text{C}$ ）  
〈絶縁タイプ〉 熱伝導率 $\geq 7\text{W/m K}$ 、体積抵抗率 $\geq 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ （at  $150^\circ\text{C}$ ）、  
接着強度（熱サイクル 1000 回後） $\geq 1\text{MPa}$ （at  $260^\circ\text{C}$ ）

[3] 高放熱性材料料：

熱抵抗値 $\leq 0.03^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$ （厚み 10-100 $\mu\text{m}$ ）、硬化前粘度 $\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}$

[4] 高耐熱材料：

貯蔵弾性率の低下率（室温と $300^\circ\text{C}$ での値の比較） $\leq 10\%$ 、  
熱膨張係数 $\leq 2.0\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$ 、硬化前粘度 $\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}$

(II) 光学材料分野

[1] 低屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、光導波路）：

屈折率 $\leq 1.42$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3\text{H}$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$ 、  
易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10\text{g}/10\text{min}$

[2] 高屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、レンズ）：

屈折率 $\geq 1.6$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3\text{H}$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$ 、  
易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10\text{g}/10\text{min}$

(III) その他工業材料分野

[1] 放熱性材料（液晶画面用 LED 放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用）：

熱伝導率 $\geq 20\text{W/m K}$ 、成型粘度 $\leq 1000\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、耐衝撃性 $\geq 15\text{J/m}$ 、比重 $\leq 3.5$ 、  
体積抵抗率 $\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$

(2) 市場評価可能とする成果物の供試

(1) の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件（形態・数量）を明らかにし、成果物を供試する。市場の評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。

【最終目標（平成 23 年度末）】

(1) 機能合目的的達成手法の提案

以降の (I) ~ (III) に示す分野の部材について、下記の最終目標値を達成する一手法以上を提案すること。ただし単に目標値を達成するのではなく、相反機能を合目的的に実現する手法であること。

(I) 電気・電子材料分野

[1] パワーデバイス周辺材料（モーター、自動車電装品）：

熱伝導率 $\geq 40\text{W/m K}$ 、耐熱性 $\geq 400^\circ\text{C}$ 、絶縁破壊電圧 $\geq 50\text{kV}/\text{mm}$ 、易成形性であること。

[2] IC パッケージ周辺材料（熱伝導材料、封止材）：

〈非絶縁タイプ〉 熱伝導率 $\geq 60\text{W/m K}$ 、接着強度（熱サイクル 1000 回後） $\geq 1\text{MPa}$ （at  $260^\circ\text{C}$ ）

〈絶縁タイプ〉 熱伝導率 $\geq 15\text{W/m K}$ 、体積抵抗率 $\geq 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$  (at 150°C)、  
接着強度 (熱サイクル 1000 回後)  $\geq 1\text{MPa}$  (at 260°C)

[3] 高放熱性材料料 :

熱抵抗値 $\leq 0.01^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$  (厚み 10-100 $\mu\text{m}$ )、硬化前粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$

[4] 高耐熱材料 :

貯蔵弾性率の低下率 (室温と300°Cでの値の比較)  $\leq 10\%$ 、  
熱膨張係数 $\leq 1.5\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$ 、硬化前粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$

(II) 光学材料分野

[1] 低屈折率材料 (機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、光導波路) :

屈折率 $\leq 1.4$ 、鉛筆硬度 (JIS K5600)  $\geq 4\text{H}$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$   
易成形性 MFR (メルトフローレイト JIS K7210)  $\geq 30\text{g}/10\text{min}$

[2] 高屈折率材料 (機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、レンズ) :

屈折率 $\geq 1.7$ 、鉛筆硬度 (JIS K5600)  $\geq 3\text{H}$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$ 、  
易成形性 MFR (メルトフローレイト JIS K7210)  $\geq 10\text{g}/10\text{min}$

(III) その他工業材料分野

[1] 放熱性材料 (液晶画面用 LED 放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用) :

熱伝導率 $\geq 40\text{W/m K}$ 、成型粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、耐衝撃性 $\geq 24\text{J/m}$ 、比重 $\leq 2.5$ 、  
体積抵抗率 $\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$

(2) 市場評価可能とする成果物の供試

(1) の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件 (形態・数量) を明らかにし、成果物を供試する。市場の評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。

## 研究開発項目② 「相反機能発現基盤技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

ナノメートルサイズにおける精密な分子設計(構造制御)の進歩により、既存材料の複合化を分子レベルで制御すれば、材料特性が向上する可能性が示されてきた。各材料の特性を重ね合わせただけの従来型複合材料を超えた新たな機能創出を図るためには、分子レベルで表面修飾や界面制御等を行うことが必要であり、ナノレベルでの精密な材料設計、材料構造制御の手法の開発が強く求められている。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 有機・無機材料界面の制御技術

電気・熱伝導等を発現させつつ無機ナノ粒子等表面に有機官能基を結合させる機構の解明とそれに関する基盤技術、並びに有機材料と無機材料の界面での相互作用等を制御する機構の解明とそれに基づく界面制御技術を開発する。

#### (2) ナノ空間制御技術

層間化合物・空孔化合物・デンドリマー等をナノ空間形成単位とし、これらを有機マトリックスとハイブリッド化し、サイズ・形状・配列等が制御されたナノ中空構造材料とするなどにより、相反機能を実現するナノ空間制御技術を開発する。

#### (3) ナノ構造制御技術

外場付与・自己組織化等により、無機ナノ粒子等の有機マトリックス中での分散・配向・配列等を制御することにより相反機能を発現させる無機材料を主とした基盤技術を開発する。

#### (4) ナノ空間・構造制御手法最適化技術

ナノ空間・構造が合成過程でどのように形成されているかを *i n - s i t u* に解析し、(1)、(2)、(3)の機構解明の成果の援用も得つつ、また研究開発項目④の総合評価・支援技術と共同し、相反機能を発現する制御手法最適化技術を確立する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標 (平成21年度末)】

研究開発項目① 「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現手法を提供し、中間目標値達成に寄与する。

#### 【最終目標 (平成23年度末)】

研究開発項目① 「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標を達成する相反機能の発現機構を明らかにし、それに基づき相反機能発現材料のナノ空間・構造制御手法を確立する。

### 研究開発項目③ 「相反機能材料創製プロセス基盤技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

開発された材料を、用途に応じた部材として利用するためには、その構造、機能、形状等を制御するとともに、生産量・コスト面でユーザー等からの要望に応えることが求められている。このため、実用化段階で予測される超ハイブリッド材料への多様な用途、機能等のニーズに対応して、各種の相反機能材料を創製できるプロセス技術の確立が必要である。

#### 2. 研究開発の内容

超ハイブリッド材料の分子レベルの構造制御により相反機能を発現する材料創製プロセスを開発する。プロセスの高度・精密制御を可能にするため、プロセスと一体になった *i n - s i t u* 測定技術、プロセス設計技術を併せて開発する。

##### (1) 官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術

###### i) 粒子等表面に有機官能基を大量、高速に導入する技術

高分子中への高濃度、完全分散を目的とし、マイクロ・ナノメートルサイズの粒子等の表面に、有機官能基を、大量、高速、経済性良く導入するための技術を確立する。

###### ii) 有機官能基を導入したナノ粒子等の *i n - s i t u* 合成技術

上記 i) の知見に基づき、目的とするナノ粒子等を合成しつつ、*i n - s i t u* で単一粒子表面に目的の有機官能基を導入する基盤技術を確立する。

###### iii) 有機修飾ナノ粒子等の大量、高速、精密合成技術

上記 i)、ii) の有機無機修飾に関する知見に加え、反応場の相の状態や反応の進行の *i n - s i t u* 測定を行い、また (3) のプロセス最適化技術の知見に基づいて、粒子径分布を精密に制御しつつ、大量、高速に合成するプロセスを開発する。

##### (2) 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス技術

表面修飾ナノ粒子等を高分子中に均一分散させ、配向・配列を制御するプロセス技術を開発する。精密外場制御、基板相互作用制御等による高分子の相分離・配向構造の動的変化過程、さらにはその結果生じるナノ粒子等と高分子間の相互作用の制御を行うことで、高分子中のナノ粒子等の分散・配向・配列性制御基盤を構築するとともに高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセスを開発する。

##### (3) プロセス最適化技術

表面修飾ナノ粒子等の合成プロセス、高分子中のナノ粒子等の配向・配列プロセスを *i n - s i t u* に解析し、研究開発項目④の統合評価・支援技術と共同し、表面修飾ナノ粒子等の合成プロセス、均一分散・配向・配列プロセスの最適化技術を確立する。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標（平成21年度末）】

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能を発現する材料を合成するプロセス技術を提供し、成果物を供試し、中間目標達成に寄与する。

**【最終目標（平成23年度末）】**

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標を達成する相反機能を発現する材料を合成するプロセス技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

相反機能発現から相反機能創製プロセスにわたっては、表面、界面をナノレベルで制御する必要があるが、表面、界面の構造・状態をナノレベルで解析するのは計測手段の原理の物理的限界を超える場合が多いため一般的には困難と考えられてきた。したがって、現状市販レベルの計測解析手法だけでは相反機能材料の設計に必要な情報が不足するのは明らかである。

近年、従来は不可能だった特異な現象のナノレベル計測や、ナノレベルあるいはそれ以下のサイズの状態を推定できる解析手法が開発され、これら技術を相反機能材料の解析評価に適応させることで、分子レベルでの構造制御等の技術開発を効果的に推進することが可能になった。これらを積極的に応用し、相反機能材料の構造・状態に関する情報量を飛躍的に増加させることは材料開発にとって必要不可欠である。

また、相反機能材料設計を効率的に進めるには、前述の高度計測結果とともに、研究開発項目①における機能評価や研究開発項目②、③における現場モニタリング等の各階層における結果を情報科学的に収集、分類、統合し、機能発現に関わる経験則などを新しい知識体系として取り出し、材料設計にフィードバックするという一連の取組を材料に応じて柔軟に実施できることが必要不可欠である。

### 2. 研究開発内容

一企業又は団体では開発や保有維持が困難な先端分析手法を活用し、市販の装置に頼るのみでは計測が困難である相反機能材料の局所構造及び状態を高度計測する。ナノレベル空間分解能を達成するためには、実際の計測手段だけでなく、計算機による画像復元技術も活用する。相反機能材料では原子・分子の配列や欠陥から界面・表面の状態までの多階層のスケールでの現象が機能発現に密接に関係するため、測定対象とのインタフェース部分を高度化・最適化するとともに現象のスケールに適合した手法を駆使し、多面的な情報を収集する。多変量解析等の情報解析技術を着目する材料機能に絞って活用し、上記の計測解析結果、さらに研究開発項目①における機能評価や研究開発項目②、③における現場モニタリング等の各階層における情報を収集、分類、統合し、相反機能発現の鍵となる因子を探索する。成果を研究開発項目①～③の技術開発チームにフィードバックし、相反機能材料の設計に反映させる。

### 3. 達成目標

#### 【最終目標（平成23年度末）】

相反機能材料の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多面的に解明できる計測手法を構築する。得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価から得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる。

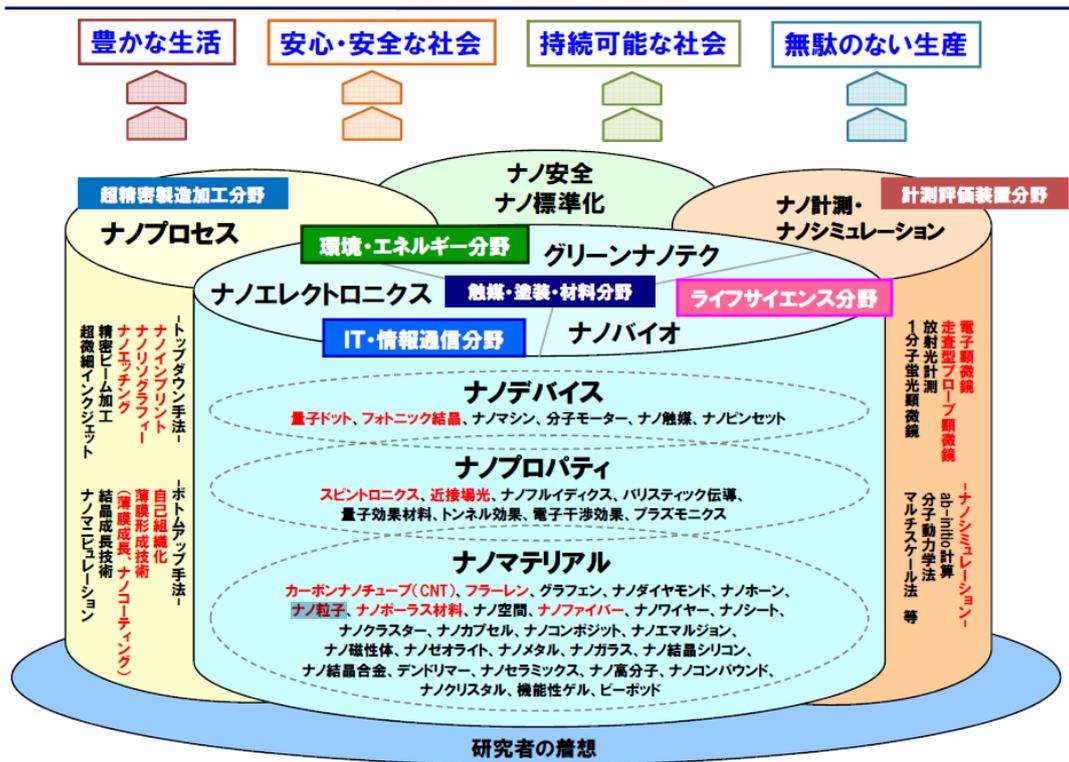
## 技術戦略マップ

本プロジェクトは、経済産業書の技術戦略マップ 2009 の部材分野の材情報家電分野 - 半導体関連部材（パワーデバイス材料）、光学部材（空間光制御部材）、ディスプレイ部材（透明多機能膜）及びナノテク分野のナノマテリアル・ナノ粒子 に位置付けられて実施するものである。

### 2. 情報家電分野

技術番号	対象部材 (大項目)	対象部材 (小項目)	出口から部材に対し求められる機能	求められる機能を発現する高度部材	
2-01-01	半導体関連部材	パワーデバイス材料	大電流、高電流密度、処理性能、低コスト、導電性・高硬度	窒化物半導体/SiC/ダイヤモンド/CNTパワーデバイス、有機・無機ハイブリッド材料	
2-01-02		層間絶縁材料	低誘電率、低誘電損失、高速化、微細化、低消費電力化	ブロック共重合体、フッ素系、有機無機複合	
2-01-03		LSIプロセス用材料	微細加工対応(光反応性、平坦化性、高精密度)、高易加工性	脂環式高分子レジスト、無機有機複合CMP材料、高易加工性材料(NiW)、高精密度金属型材料(WC)	
2-01-04		超ホール輸送材料、横方向輸送材料	電荷輸送性	高分子、複合材料、ナノ誘電体	
2-01-05		ローパワーデバイス材料	小電流化、低電流密度	アンチモン化インジウム、high-k材料	
2-04-01	光学部材	光メモリー用光学部材	光ピックアップ用光学部材	紫外透過、低損失	ワイドバンドギャップ無機材料(微量成分添加/ハイブリッド化、耐熱性の向上)、高純度ポリマー材料(高純度化、耐熱性の付与)
2-04-02			光配線媒体(ホログラフイ、光テープ)	高精度化、高アスペクト比化	一次元サブ波長構造体(矩形周期構造形成、製造コスト低減)
2-04-03			超高密度光メモリー用配線再生部材	高速度性、低電力、高S/N 高密度化	高屈折率変化フォトポリマー材料(高感度化、多重度の増加) 無機材料(相構造変化)、スーパーアトム(構造制御)、多層化(集点深度内薄層多層化)
2-04-04		撮像用光学部材	結像マイクロレンズ	短焦点・無収差	高屈折率・低分散ガラス(希土類、重元素、ハロゲン添加、無鉛化)、屈折率制御ガラス材料(屈折率制御)、高屈折・低分散ポリマー材料(ナノ粒子分散、屈折率温度無依存性(アサーマル))
2-04-05			無反射コート部材	無反射	2次元サブ波長構造体(円錐・四角錐周期構造形成)
2-04-06		空間光制御部材	表示機構	偏光制御	1次元サブ波長構造体(矩形周期構造形成)、LCD用各種フィルム(製造コストの低減)
2-04-07				反射制御	3次元サブ波長構造体(円錐・四角錐周期構造形成)
2-04-07				干渉制御	有機電子発光材料(製造速度向上)
2-04-08			FPD用光学部材	位相制御	1次元サブ波長構造体(製造速度向上)
2-04-08				波長制御	凹カットフィルター(色素分散形成)
2-04-09			透明電極膜	透明、低電気抵抗、低価格	ワイドバンドギャップ透明電極(AZO,GZO,TiO2など)(インジウム代替の酸化物および導電性高分子)
2-04-10			液晶プロジェクションディスプレイ用光学部材	無反射	多層膜(大面積・高強度・広波長帯域化技術)
2-04-10	偏光制御			1次元サブ波長構造体(屈折型(矩形周期構造形成)、反射型(ワイヤーグリッド形成))、微粒子分散材料(吸収型(金属ナノ構造寸法・位置高精度制御などによる可視域透過型構造形成))、近接場相互作用ナノ構造部材(発光型(金属ナノ構造寸法・位置高精度制御))	
2-04-11	FPD用関連部材	隔壁部材	高精度発光セル部材	リブ基板(高速成形)	
2-04-12		防湿部材	低透湿	低透湿多層膜(低透湿材料合成)	
2-05-01	ディスプレイ部材	駆動用半導体	AmSi並の移動度、高オンオフ比	CNT分散有機半導体	
2-05-02		回路部材	導電性、透明性、柔軟性、耐熱性、低価格化	印刷による回路形成用導電性高分子(ベース)、分子導線、CNTビア配線材料	
2-05-03		ガラス代替パネル	軽量化、低価格化、可とう性、透明・軽量	プラスチックパネル・膜(透明高分子)	
2-05-04		基板	可撓性、低膨張係数	有機材料、有機無機複合材料	
2-05-05		透明多機能膜	超低透水性、ガスバリア性、光位相制御、柔軟性、防汚性、表面反射抑制、光利用効率、耐熱性、耐水性、紫外透過	有機膜材料、機能ガラス、ナノ加工・アドリソグラフィによる微小光学部材(ナノファイバー)、有機・無機ハイブリッド材料、偏光子	
2-05-06		ブラックマトリクス	遮光性、光反応性	高分子、有機材料	
2-05-07		発光材料(光源)	高輝度、高効率、長寿命、低エネルギー	有機発光材料(有機)、無機LED、有機EL(高分子、低分子、 dendrimer)、高効率低電圧励起発光材料(無機)	
2-05-08		絶縁膜材料	表面化学特性制御、機械特性、均一薄膜形成	ケイ素系基板適合低誘電率材料	
2-05-09		FED電子源	高導電性、易電子放出特性、低価格、均一性	スーパーグロスCNT	

「部材分野における技術戦略マップの位置付け」 技術戦略マップ 2009



「ナノテクノロジー分野における技術戦略マップの位置付け」 技術戦略マップ 2009

プロジェクト用語集

○Ⅲ. 2 研究開発項目毎の成果 ((財) 化学技術戦略推進機構・(独) 産業技術総合研究所) 該当分

用語(日本語)	English	用語の説明
アッベ数	Abbe' s number	透明体の色収差を評価する数値。
イメージセンサ	Image sensor	固体撮像素子。
鉛筆硬度	Hardness of pencil	引っかき硬度 (鉛筆法) 試験 JIS K5600-5-4 硬度試験は塗膜の硬化乾燥状況を確認する重要な試験法。
核磁気共鳴 (NMR) 法	Nuclear Magnetic Resonance	微少な磁石である原子核の特性を利用して、原子の性質を観測する手法である。観測したい試料を強磁場中に置いて、FM ラジオに使われる帯域の高周波を試料に照射し、試料から生じるシグナルを検出する。水素核および炭素核のNMR法は有機化合物の同定に必須の手法となっている。
基盤目剥離	Tape-peeling test	出力面に 1mm の基盤目 (マス目) をカッターで作りその上にセロハンテープを貼り、引き剥がす試験。
金属クラスター錯体	Metal cluster complex	複数の金属原子からなる骨格に CO 分子などの配位子が結合してできた分子の総称で、 $\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}$ のように、安定な無機分子でありながら 1,000 以上の分子量をもつ分子が容易に得られる。 $\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}$ のように比較的低温で蒸気圧をもつ分子や溶液中で分子量数千のイオンとして安定な分子など、多種多様な分子種が知られている。分子量の大きなクラスターを SIMS の一次イオンに用いると、運動エネルギーが多数の構成原子の分配されるため、通常の原子・分子イオンに比較して、測定試料に対して低浸襲なエッチングが可能となる。
顕微ラマン分光	Raman microscopy	分光器に光学顕微鏡を組み込むことで、レーザ照射されたマイクロオーダーの微小領域から生じるラマン散乱光のスペクトルを測定する。コンピュータ制御による試料台の移動あるいはレーザ光のスキャンにより広範囲の測定 (マッピング) を行うこともできる。
コアシェル	Core shell	結晶粒子構造等で内部組成と表面組成成分を変え機能を向上させたもの。
構造指向剤	Structure-directing agent	構造指向剤はテンプレートとも呼ばれ、ゼオライトのような結晶性酸化物の合成において、該酸化物の構造を誘導ないしは指向させる効力を持つ添加剤で

		ある
固体NMR法	Solid-State Nuclear Magnetic Resonance	固体状態の試料をそのままの状態でのNMR観測する手法である。有機化合物の同定に用いる場合は、通常、重水素化溶媒に試料を溶かしてから測定するが、固体NMR法では固体状態のまま非破壊で観測する。高強度の高周波パルス発生器、高耐圧の検出器などが必要となる。
3次元電子線トモグラフィ法	Three-dimensional electron tomography	電子顕微鏡により試料の3次元情報を得る手法、透過型電子顕微鏡と高傾斜を組み合わせた試料傾斜-再構築法、ならびに集束イオンビーム法と走査型電子顕微鏡を組み合わせたスライス再構築法がある。
視感度反射率	Luminous reflectance	物体面から反射する光束と物体面に入射する光束との比。
自己組織化	self-organization	みずから一定の秩序（オーダー）を形成し、変容を継続しながら創発的に秩序を形成するプロセスを総称した概念。
スクリプト	Script	C言語やFortranなどコンピュータ内部での処理言語（機械語）への翻訳を要する基本的な言語では冗長、複雑な記述が必要となるプログラムや処理を、簡易に記述・実行するためのプログラミング言語。
スピコート	spin-coating	平滑な基材を高速回転させる事により遠心力で薄膜を構成する塗布装置である。
絶縁金属基板	Insulated metal substrate	回路パターンを形成するための銅箔と放熱板であるアルミ板を絶縁層で接着した金属基板。
絶縁破壊	dielectric breakdown	絶縁体に印加する電場が、ある限界以上になると突然に絶縁性を失って大電流を通すようになる現象。
多重解像度分解（ウェーブレット変換）	Multi resolution analysis	周波数解析手法の一種。元の信号を高周波成分と低周波成分に分解し、分解した成分をさらに高周波成分と低周波成分に分解する処理を繰り返すことをいう。画像データに適用することにより原画像とは異なる解像度の画像を得ることができる。
多変量解析	Multivariate analysis	互いに関係のある多種類のデータ（多変量）を取り扱う統計解析手法。本研究の場合、一つの材料の構造を異なる計測手法で評価したときの異なる種類のデータを、マクロな材料特性に影響する因子として統合し評価する場合などに用いる。また、量的データだけでなく分子レベルでの結合状態のような質的なデータを取り扱うこともできる。
地球統計学	Geostatistics	地下資源の分布予測を行うために発達した統計学の

		一分野。地下資源の他、地下水の水脈、植生分布など自然界における種々の現象の空間的相関をモデル化し、限られたデータから全体像の推測を行うことを目的とする。
ナノインデント	nano indenter	薄膜機械的特性測定装置
パーコレーション	Percolation	たとえば、不導体の中に、導体を混入していったとすると、導体の割合がある臨界量に達した時に、電流が流れ始めるという転移。
パワーデバイス	Power device	通常の半導体素子に比べて、高耐圧化、大電流化、高速・高周波化された素子。
バリオグラム	Variogram	空間内二点間におけるデータ値の差の二乗の期待値（＝分散）を二点間の距離（離間距離）の関数として表したもので、地球統計学において現象の空間的相関をモデル化する際に用いられる。自己空間相関関数ともいう。すべての離間距離で一定値を示す場合には、データ間に空間的相関はないと考えることができる。
反射防止フィルム (ARフィルム)	Anti-reflection film	反射防止層による光干渉を利用し、画面の表面反射・映り込みを抑え、反射光を低減する効果を持っているフィルム。
Handa リフロー	Solder reflow	基板にはんだペーストを印刷し、その上に部品をのせてから熱を加えて半田を溶かす方法。
プリズムカップラー	prism coupler	プリズムカップリング法による精密屈折率測定装置
ビーズミル	beads mill	液体中の粒子をナノメートルサイズまで粉砕・分散する装置。粉砕室と呼ばれる容器の中に、ビーズ（粉砕メディア）を80%程度充填しておき、粉砕室中央の回転軸を周速10m/秒で回転させることにより、ビーズに運動を与え、ここに原料（粉体）を液体に混ぜたスラリーをポンプで送り込み、ビーズを衝突させることによって微粉砕・分散する。
フレネルレンズ	Fresnel lens	通常のレンズを同心円状の領域に分割し厚みを減らしたレンズであり、のこぎり状の断面をもつ。
プリズムカップラー	prism coupler	プリズムカップリング法による精密屈折率測定装置。
ヘイズメーター	Haze meter	曇り度測定装置。
放熱シート	Thermal conductive sheet	パワートランジスタ、ドライバIC、MPUなど各種電子部品から発する熱を効率良く伝熱し、蓄熱を防止する放熱材料の一つ。
マジック角回	Magic Angle Spinning	磁場方向に対し54.7度傾いた軸の周りで試料を高速

転 (MAS)		回転させる方法である。54.7度をマジック角という。固体試料のNMRスペクトルにおけるシグナルの線幅は、溶液試料に比べて非常に広く、スペクトルの分解能が低い。試料をマジック角回転させることにより、シグナルの線幅が狭くなり、高分解能スペクトルが得られる。
メカノケミカル分散法	Mechanochemical Dispersion	固体物質の粉碎過程での摩擦、圧縮等の機械エネルギーにより局部的に生じる高いエネルギーを利用する分散法。
マイクロ相分離構造	Micro Phase Separation Structure	異種のポリマーAとポリマーBから成るブロック共重合体異種のポリマーAとポリマーBから成るブロック共重合体では、A-B間の共有結合のために巨視的な相分離は不可能であり、分子鎖のスケール（数nmから数十nmのオーダー）の微視的な相分離のみが可能である。これはマイクロ相分離と呼ばれ、共重合体組成や温度などの条件によって球状、ラメラ状、シリンダー状などの特徴的な周期構造を形成する。
メルトフローレイト (MFR)	melting flow rate	溶融樹脂流動性測定装置。
MOMI 超	Monolayer Organic Modified Inorganics	アイテック社製流通式超臨界水熱合成装置の商品名。
ライニング	Lining	ある素材の上に他の物質を被覆することをライニングとよんだり、コーティングと称したりしている。また、場合によっては被覆したものをこのようによぶこともある。
SIMS	Secondary ion mass spectrometry	二次イオン質量分析法。深さ方向の元素分析法の一種。酸素分子やセシウム等の一次イオンビームにより試料表面を削る際に生成する二次イオンを質量分析することにより、測定時間から見積った深さに対する元素分析を行う手法。シリコンなどの無機材料に用いられることが多く、下記のスタティック (ToF) SIMS と区別してダイナミック SIMS とも呼ばれる。
XML	XML (Extensible Markup Language)	インターネットのホームページ作成に用いられるHTML形式に類似したデータ記述形式の一つ。数値、画像といったデータの種類の違い、計測手法、計測機器、解析ソフト毎のデータ形式の違いをデータの意味や構造を含めた「タグ」で記述することにより統一化、効率的にデータベース保存、参照利用することが出来る。

○Ⅲ. 3 研究開発項目毎の成果 (三菱化学(株)・(独) 産業技術総合研究所) 該当分

用語 (日本語)	English	用語の説明
HEV	Hybrid electric vehicle	ハイブリッド自動車
EV	Electric vehicle	電気自動車
アスペクト比	Aspect ratio	2次元形状の物の長辺と短辺の比率を指し示す言葉。
固溶	Solid solution	2種類以上の元素(金属の場合も非金属の場合もある)が互いに溶解し、全体が均一の固相となっているものをいう。非金属元素同士が互いに溶解した場合は、混晶(こんしょう)ともいう。
シッフ塩基	Schiff base	窒素原子に炭化水素基(アリアル基やアルキル基)が結合したイミンを指す呼称。一般式 $R^1R^2C=N-R^3$ ( $R^3 = \text{alkyl, aryl, etc., not H}$ ) と表され、炭素・窒素二重結合を含む。
メソゲン基	Mesogen group	液晶性を発現するための、芳香環を有するなど、剛直かつ配向性を有する官能基(原子団)の一般的名称。
ラビング	Rubbing	液晶では、配向膜に配向性を与える為、布を用いて一方向にこすり、筋を付ける処理を指す。
フォノン伝導	Phonone conductuion	振動を量子化したもので、結晶中の格子振動の伝播のことをさす。単結晶で最も伝播しやすく、結晶中の欠陥や電子との衝突などによって伝播距離は著しく減少する。
乱層構造	Tarbo stratic structure	無秩序な積層構造。低温または気相法で合成したボロンナイトライド(BN)で見られる。
パーコレーション理論	Percolation theory	ランダム系を統計的に考察するための理論。導電性複合材料の導電性機構を説明するために良く用いられる。対象とする物質の分散凝集状態と導電性との関係を統計的に処理する理論。
MD方向	Machine direction	射出成形などにおいて成形品を作製した場合の射出方向。
TD方向	Transverse direction	射出成形などにおいて成形品を作製した場合の射出方向に垂直な方向。
ラウンドロビンテスト	Round Robin test	試験結果の妥当性を評価するために、まったく同じと考えてよい材料を各試験所に配布して、いっせいに試験して結果を持ち寄って比較する、持ち回り試験。

近接場光	Near field light	光の波長よりも微小な物質構造に光を当てた際に、その物質構造の表面に発生するが 遠くへ伝搬してゆくことがない、特殊な光のことである。
熱浸透率	Heat penetration rate	樹脂成形の時など、高温の樹脂が冷却された型で成形する場合の型の表面温度を推定する時などに使う指数。この指数が使われるのは、熱浸透率が互いに異なった物質が接しているときに、接触面を通して熱が移動するときで、たとえ熱伝導率及び体積熱容量が異なっても、2つの物質の熱浸透率が等しいときは（それらの積が等しければ）、熱の拡散は境界面が存在しないのと同様に振る舞う。
フラクタル次元	Fractal dimension	図形を評価するために導入されたもの。フラクタル次元は、数学的に定義された図形などでは、厳密な値が算出できることもあるが、海岸線評価などの場合は、フラクタル次元自体が測定値になる。比較的なめらかな海岸線では、フラクタル次元は 1 に近い値となり、リアス式海岸などの複雑な海岸線では、それよりは大きな値となり、その値により図形の複雑さが分かる。

○Ⅲ. 4 研究開発項目毎の成果（東レ・ダウコーニング（株）該当分）

用語（日本語）	English	用語の説明
水熱合成	Hydrothermal synthesis	水を反応基質とし、その沸点以上の温度で化学反応させる合成法。通常 100–200℃の温度域で行われる。
TEM	Transmission electron microscopy	透過型電子顕微鏡およびその観察写真。
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy	エネルギー分散型 X 線分光法。TEM と組み合わせることにより、局所の元素分析を行うことができる。
TGA	Thermogravimetric analysis	熱重量分析。材料の耐熱性を議論する最も簡便な手法。
SiC	Silicon carbide	炭化ケイ素。次世代半導体のひとつとして注目されている。
熱膨張係数	CTE: Coefficient of thermal expansion	高分子材料をある温度まで加熱した際に、元の長さに対してどの程度膨張したかを表す係数。Ppm で表す場合が多い。
熱抵抗値	Thermal resistance	実際の使用状況に近い状態で、材料の熱伝導性の

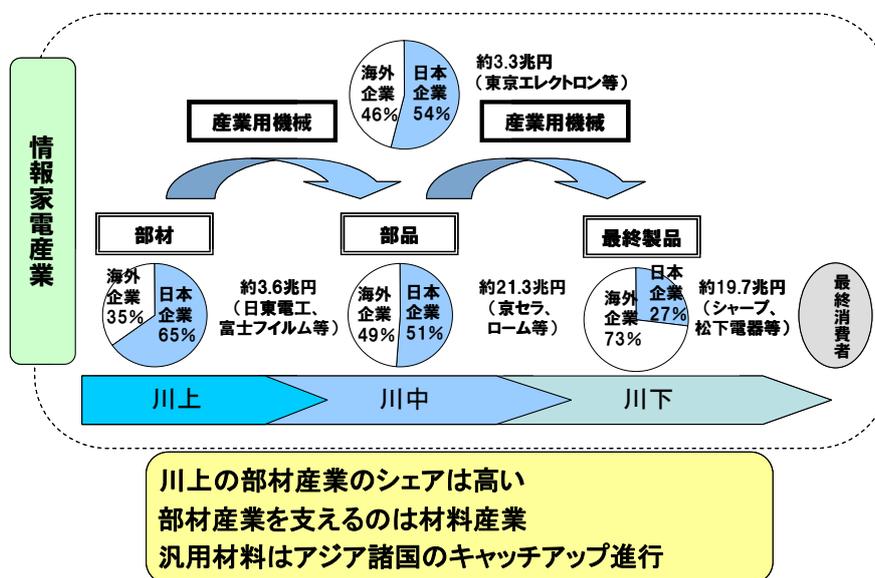
		良し悪しを判断する特性値。概算するには、熱伝導率の逆数を取ればよい。
--	--	------------------------------------

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1. 1 NEDO が関与することの意義

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、経済社会の発展を支えている。しかし、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術力向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創製と加工の水平連携など）を図ることと、次世代の材料分野での高付加価値化に資する高度な技術開発が、今後のイノベーション促進に必要不可欠な課題となっており、我が国の国際競争力を強化し、新たな市場や雇用を創出する源泉として期待されている。（図1.1-1）



### 高度な材料・基盤技術開発必要

図1.1-1 高度な材料開発の必要性（経済産業省作成資料）

有機・無機ハイブリッド材料は、半導体関連部材（パワーデバイス材料）、光学部材（空間光制御部材）、ディスプレイ部材（低屈折率材料）などを支える基盤技術として大幅な性能向上が期待されている。これまでの有機・無機ハイブリッド材料については、有機材料に無機材料を混ぜていくと、無機材料の性質が付加されるものの、有機材料の長所が失われるものであり、大幅な性能向上は望めなかった。そこで、ナノテクノロジーを活用し、ナノレベルでの界面・空間・構造を制御することにより、これまでになかった高度な機能を有する有機・無機ハイブリッド材料開発の機運が高まっている。

本プロジェクトでは、有機・無機ハイブリッド材料に着目し、「単なるハイブリッドではなく、従来材料ではなし得なかったトレードオフ（相反機能）をナノレベルでの界面・分散・構造制御で解消し、相反機能を合目的的に制御・実現することができる技術」

を超ハイブリッド材料技術（ナノレベル構造制御による相反機能材料技術）と定義し、①超ハイブリッド材料創製技術開発、②相反機能発現基盤技術開発、③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、④材料設計に資する統合評価・支援技術開発を実施し、我が国材料産業の発展に大きく貢献することを目的とする。

超ハイブリッド材料の実現は、従来材料では不可能であった高度な新材料が期待でき、将来、幅広い産業分野で利用される基盤技術ができる可能性がある。しかしながら、産業界の強いニーズである新規製品・サービスを創造するためには、従来の試行錯誤的な材料開発手法ではリソースの投資効率鈍化やエネルギーや環境への負荷増大が避けられない。また、高度なナノテクノロジーを駆使する材料開発は難易度が高く、投資規模も大きく、開発期間も長くなることが予想されるため、民間企業だけの開発ではリスクが非常に大きい。以上の理由により民間投資のみに任せるのではなく、産学の科学的知見、研究開発力を結集して、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下NEDOと略記する。）による国家的、集中的な研究開発プロジェクトにより、超ハイブリッド材料技術の開発を加速して実施する必要がある（図1. 1-2）。

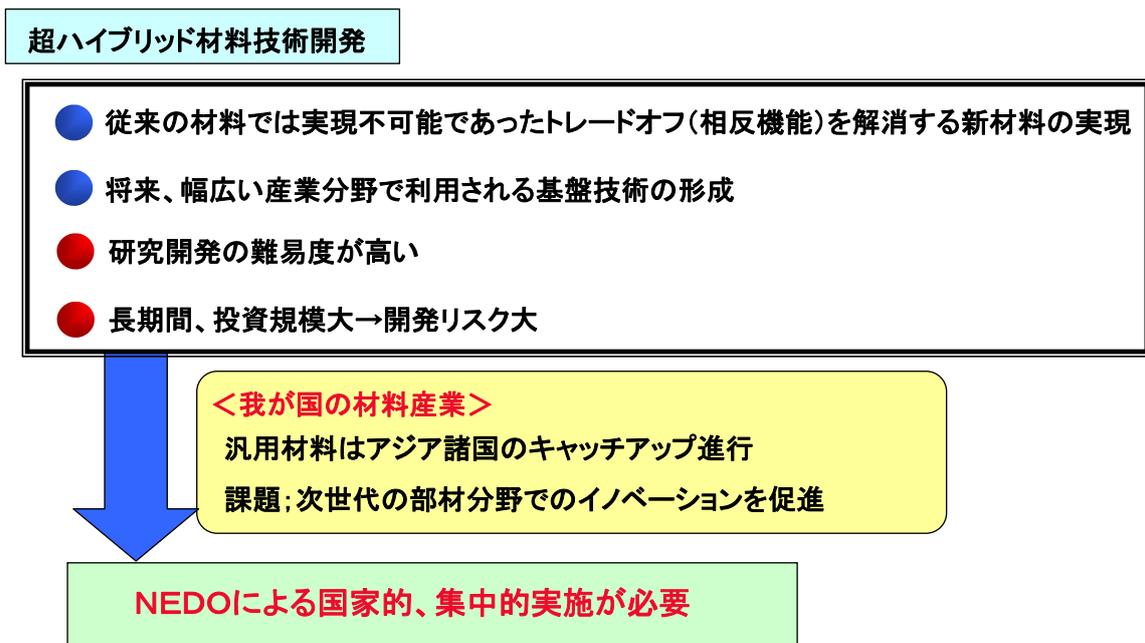


図1. 1-2 NEDOが関与することの意義

1. 2 実施の効果

- (1) 研究開発費用（提案時）：5年間で約40億円（平成19年度～平成23年度）
- (2) 効果：電気電子材料、光学部材、構造部材の分野に関連して、プロジェクト終了の1年前の2010年度に国内（海外展開含む）で年間約5000億円以上

の市場規模が予測されており、本事業の成果により、それ以上の経済押し上げ効果が見込まれる。

富士キメラが出版した『2006年ハイブリッドマテリアルの現状と将来展望』及び『2007年機能性高分子フィルムの現状と将来展望』に基づき超ハイブリッド材料に関する市場規模予測を表1. 2-1にまとめた。<sup>1)</sup><sup>2)</sup>ここで取り上げた用途分野の多くは今後も高い成長が見込まれる。これらの材料は、電気・電子産業・自動車産業等を支える基盤となるものである。これらの材料が切り開く産業は、技術革新が激しく市場サイクルの短い分野でもあるので、時期を逸しないよう早期の目標達成が重要である。

表1. 2-1 超ハイブリッド材料の市場規模予測

分野	ディスプレイ (電気・電子)	機構材料 (自動車・電気・電子)	光学	その他工業材料	合計
用途	ハードコート、 透明導電フィルム等	ポリマー系 ナノコンジット材料	有機・無機ハイブリッド 高低屈折率材料 バリア性透明フィルム 等	燃料電池車用 セパレータ、 電解質膜等	
市場予測(億円)	4151	290	504	194	5139

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

### 2. 1 事業の背景

急速に進展する情報家電、自動車産業等の高度な要求を満たすパワーデバイス、耐熱材料、高度情報通信に不可欠な光学材料等でトレードオフすなわち、相反機能（既存材料では同時に発現させるのが困難で材料特性上その機能が相反する複合機能を言う。）を有する材料が求められている。例えば、高熱伝導性と易成形性、絶縁性と易成形性、高（低）屈折率と易成形性等のトレードオフの関係にある材料に関するニーズが非常に強くなってきている（図2. 1-1）。

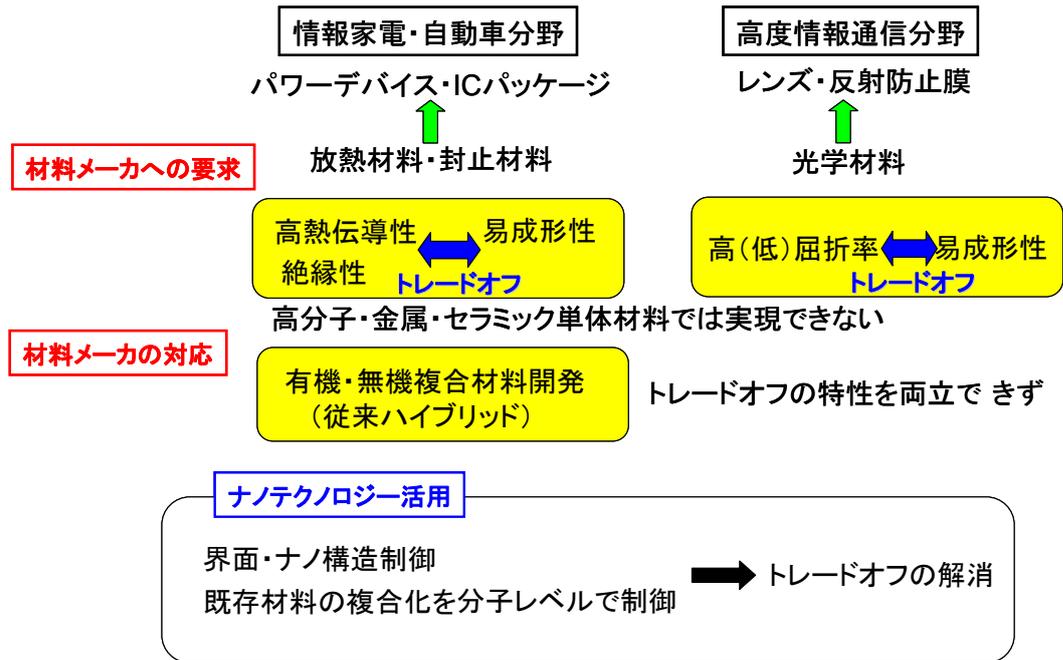


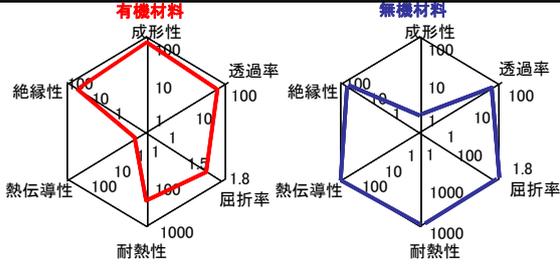
図2. 1-1 ユーザー要求とメーカー対応の状況

高分子、金属、セラミックス等の材料を用いて、ハイブリッド材料の開発が行われてきているが、既存の手法の延長線上にある技術では困難になりつつあり、界面・構造、あるいは既存材料の複合化を分子レベルで制御することにより、これらのトレードオフの解消が期待されている。

図2. 1-2に従来材料と超ハイブリッド材料の違いを示した。有機材料に無機材料を混ぜていくと無機材料の性質が付加されるものの、有機材料の長所が失われるというのが従来材料の欠点であった。例えば、成形性の良い有機材料と熱伝導性の良い無機材料をただ単に混ぜ合わせると、成形性と熱伝導性は両立しない。無機・有機複合材料のトレードオフ（相反）機能である成形性と熱伝導性、成形性と耐熱性、成形性と屈折率が両立する超ハイブリッド材料があれば、電気・電子材料、工業材料、光学材料分野において、部材の高性能化が図れ、日本の国際競争力向上に貢献すると考えられる。図2. 1-3に高熱導材料、高屈折率材料を例とした超ハイブリッド材料の概要を示す。

**従来材料**

- ★ 軽くて成形性・加工性の良い有機材料
- ★ 熱伝導性が高く耐熱性がある無機材料



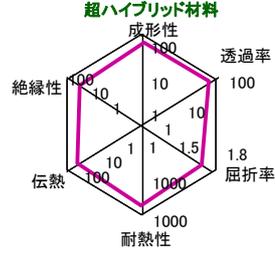
- 成形性が良く熱伝導性の高い材料があれば...
- 成形性が良く耐熱性の高い材料があれば
- 成形性が良く屈折率の高い材料があれば...



従来材料では両方を実現することは困難

**超ハイブリッド材料**

- ★ 軽くて加工性の良い熱伝導性が高く、耐熱性がある超ハイブリッド材料



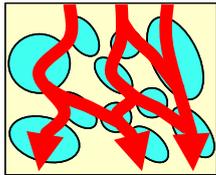
トレードオフの解消により大幅に高性能化

電子・電気材料	その他工業用材料	光学材料
インバータ	駆動部材	レンズ
放熱性の向上によるインバータの小型化と性能向上	放熱性の向上による燃料電池車用高性能小型モーターハウジング	高屈折率化による部品の小型化

図 2. 1-2 従来材料と超ハイブリッド材料の違い

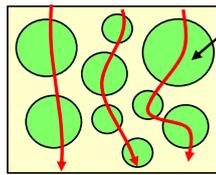
**高熱伝導材料(電子・電気分野)**

**超ハイブリッド**  
ナノ粒子表面・配列制御  
バス形成



高熱伝導・易成形性

**従来材料**

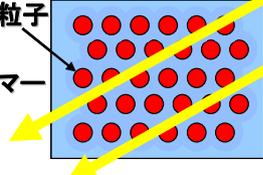


低熱伝導・難成形性



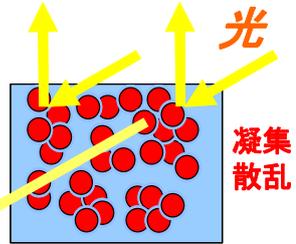
**高屈折率材料(光学分野)**

**超ハイブリッド**  
ナノ粒子表面制御  
高濃度・完全分散



高屈折率・高透過率  
易成形性

**従来材料**



高屈折率・低透過率  
難成形性



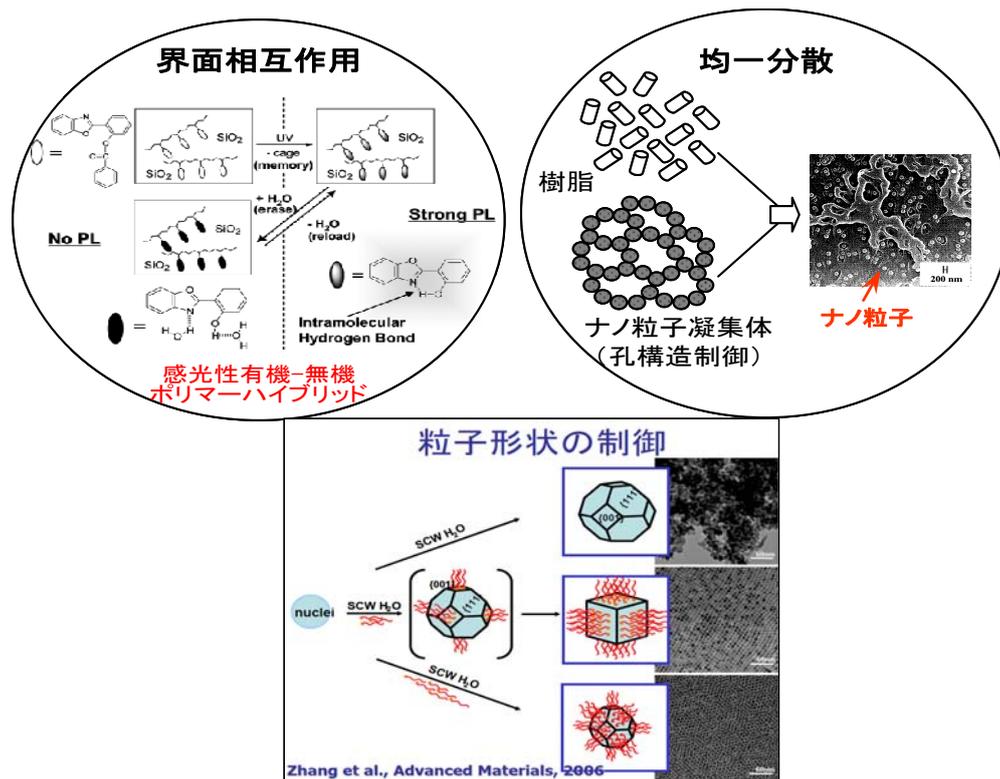
**超ハイブリッド材料**  
界面・ナノ構造制御によりトレードオフ(相反)を解消した有機・無機複合材料

図 2. 1-3 超ハイブリッド材料の概要

## 2. 2 事業の目的

本プロジェクトは有機・無機ハイブリッド材料に着目し、「単なるハイブリッド化ではなく、従来材料ではなし得なかったトレードオフ（相反機能）をナノレベルでの界面・分散・構造制御（図2. 2-2ご参照）で解消し、相反機能を合目的的に制御・実現することができる技術あるいはそれに資する技術」を超ハイブリッド材料技術（ナノレベル構造制御による相反機能材料技術）と定義し、①超ハイブリッド材料創製技術開発、②相反機能発現基盤技術開発、③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、④材料設計に資する統合評価・支援技術開発を実施し、極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（垂直連携）を促進する産学連携のプロジェクト体制で実施することで、高度な部材産業群の「すり合わせ力」の強化を図り、我が国材料産業の発展に大きく貢献することを目的とする。（図2. 2-3）

本技術の確立により、相反機能の両立を可能にした超ハイブリッド材料の実現など、将来、幅広い産業分野で利用される共通基盤技術の形成が見込まれる。



- 1) 富士キメラ総研：『2007年機能性高分子フィルムの現状と将来展望』

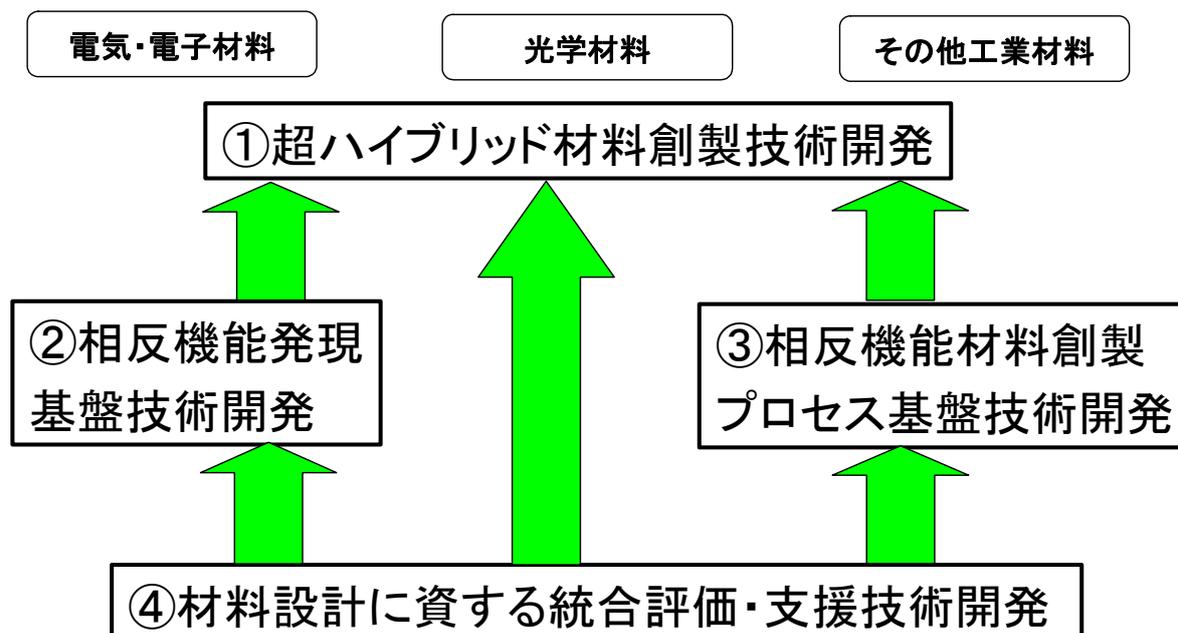


図 2. 2-3 事業の内容と目的

### 2. 3 事業の位置付け

本プロジェクトは、経済産業省が推進する7つの「イノベーションプログラム」（図 2. 3-1）の内、『情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどあらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能にすること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として取り組むものである（図 2. 3-2）。

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)
- 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
  - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)
- 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
  - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

<p><b>IT IPG</b></p> <p>①ITコア技術の革新 94億円 ②省エネ革新 42億円 ③情報爆発への対応 44億円 ④情報システムの安全性等 63億円</p> <p>21年度予算 244億円</p>	<p><b>ナノテク・部材 IPG</b></p> <p>①ナノテク加速化領域 36億円 ②情報通信領域 28億円 ③ライフサイエンス・健康・医療領域 16億円 ④エネルギー・資源・環境領域 78億円 ⑤材料・部材領域 27億円 ⑥共通領域 4億円</p> <p>21年度予算案 188億円</p>	<p><b>環境安心 IPG</b></p> <p>①地球温暖化防止新技術 60億円 ②3R 33億円 ③環境調和産業バイオ 57億円 ④化学物質総合評価 11億円 ⑤共通領域 4億円</p> <p>21年度予算案 165億円</p>	<p><b>心 IPG</b></p> <p>①先端技術開発 102億円 ②再生技術開発 28億円</p> <p>21年度予算 130億円</p>
<p><b>エネルギー IPG</b></p> <p>①総合エネルギー効率の向上 707億円 ②運輸部門の燃料多様化 278億円 ③新エネルギー等の開発・導入促進 369億円 ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 268億円 ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 479億円</p> <p>21年度予算 1,281億円※2</p>	<p><b>航空機・宇宙産業 IPG</b></p> <p>①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 233億円 ②宇宙産業の国際競争力強化 87億円</p> <p>21年度予算案 320億円</p>		

あらゆる分野に対して高度化、不連続な革新をもたらすナノテクノロジー、革新的部材技術を確立

図 2. 3-1 イノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

**ナノテク・部材イノベーションプログラム** 【平成21年度予算額：188億円】

○あらゆる分野に対して高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。  
○我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服を可能とする。

**I. ナノテクノロジーの加速化領域**  
ナノテクチャレンジ 36.0(36.5)

**II. 情報通信領域**  
デバイス: 3次元光アパハス 3.3, 低損失オプティカル 3.6, ナノエレクトロニクス 5.2, ディスプレイ: 超フレキシブルディスプレイ 5.4, 半導体機能性材料 0.6

**III. ライフサイエンス・健康・医療領域**  
医療: 次世代WDS型 4.3, バイオ診断技術 3.4, 分子イメージング機器 8.3

**IV. エネルギー・資源・環境領域**  
i) エネルギー制約を乗り越える! 省エネ: サステナブルハイコンポジット 6.4, CNTキハット 3.3, 革新的省エネセラミクス 2.4, 革新的ガラス繊維ロセメ技術 4.0  
ii) 資源制約を乗り越える! 希少金属代替材料開発 15.5  
iii) 環境制約を乗り越える! 代替/低減: 燃料電池: マルチセラミクス膜 2.0, 新熱材料 2.0, セラミックアクター 3.5, 電力部材: 高温超電導ケーブル実証 6.8, 発電プラント用高純度金属材料 6.0, 化学: グリーン・サステイナブルケミカルプロセス技術 15.0, 革新的マイクロ反応場利用 4.7, 環境: 光触媒産業創成 8.4, 環境センサ 1.5, ガスセンサ 1.0

**V. 材料・部材領域**  
鉄鋼材料革新的高強度・高機能化 5.0, 超ノボリット材料 62(6.2), ナノファイバー 6.6, 次世代光波制御材料・素子化 2.9, 金属がめス革新的部材 3.4, マグネシウム製造部材 2.6

**関連施策**  
○技術戦略マップの策定  
・ナノテクノロジー分野  
・部材分野  
・ファイバー分野  
・GSC分野 など  
○ナノテクノロジー標準化  
○人材育成 など

**IPGの目標**  
-ナノテクによる非連続技術革新-  
世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。  
-世界最強部材産業による価値創出-  
我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。  
-広範な産業分野での付加価値増大-  
ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。  
-エネルギー制約・資源制約などの課題解決-  
希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

図 2. 3-2 ナノテク・部材イノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

参考文献

- 1) 富士キメラ総研：『2006年ハイブリッドマテリアルの現状と将来展望』
- 2) 富士キメラ総研：『2007年機能性高分子フィルムの実状と将来展望』

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

①超ハイブリッド材料創製技術、②相反機能発現基盤技術、③相反機能材料創製プロセス基盤技術、④材料設計に資する総合評価・支援技術の4技術を確立し、これまででない相反機能の両立を可能にした超ハイブリッド材料を実現し、我が国材料産業発展に大きく貢献する。

以下、最終目標（平成23年度末）の概要を記載する。

#### ① 超ハイブリッド材料創製技術開発

研究開発項目②相反機能発現基盤技術開発、研究開発項目③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、研究開発項目④材料設計に資する統合評価・支援技術開発の成果をもとに、具体的ないくつかの部材について従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的実用化研究課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

#### ② 相反機能発現基盤技術開発

従来材料では実現できなかったトレードオフを解消するため、相反機能発現に必要な界面制御、分散、配向制御等の基盤技術を開発・確立する。

#### ③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

官能基導入ナノ粒子等の高効率合成プロセス及び均一分散・配向・配列プロセス基盤技術を開発し、これらプロセスが連動した相反機能材料創製プロセス基盤技術を開発・確立する。

#### ④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発

相反機能を発現する、材料・部材の基本構造の特性解析及び設計に関する統合評価・支援技術を確立する。

### 2. 事業の計画内容

#### 2. 1 研究開発の内容

##### 2. 1. 1 研究開発の目標

研究開発項目ごとに記載する。

#### ①「超ハイブリッド材料創製技術開発」

##### ・研究開発の必要性

急速に進展する情報家電、自動車産業等の高度な要求を満たすパワーデバイス、耐熱材料、高度情報通信に不可欠な光学材料等でトレードオフすなわち、相反機能（既存材料では同時に発現させるのが困難で材料特性上その機能が相反する複合機能を言う。例えば絶縁性と熱伝導性など）を有する材料等が求められている。

高分子、金属、セラミックス等の個別の材料では、新素材の開発が期待される一方で、様々な観点から、この要求（相反機能）を満足させることは困難になりつつある。例えば、新たに複合材料を創成する場合でも、既存の手法である剪断力による混連等の手法では限界があり、目標とする性能を達成すること、すなわちトレードオフを解消することは困難である。

そこで、新素材の開発を標榜するのではなく、ナノテクノロジーを活用しナノメートルでも精密な分子設計（構造制御）を行い、既存材料の複合化を分子レベルで制御することにより、トレードオフの解消を図る。

#### ・研究開発の具体的内容

##### （１） 達成手法の選択・提案・実施

研究開発項目④の「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」を活用し、効率的に材料設計と評価を実施するとともに、研究開発項目②の「相反機能発現基盤技術開発」、研究開発項目③の「相反機能創成プロセス基盤技術開発」の成果を活用し、相反機能材料を創成、すなわち超ハイブリッド材料創製に資する要素技術を開発する。

開発部材の使用環境も考慮した機能評価手法を提案するため、上記研究開発項目②、③、④から、最適な達成手段を選択し、あるいは新規に提案し、機能評価結果を材料設計に反映させるとともに目標値を達成する。

##### （２） 市場評価可能とする成果物の供試

（１）の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価を受けて実用化するための課題を客観的に抽出するために、市場評価が可能な条件（形態・数量）を明らかにし、成果物を供試する。

#### ・達成目標

[ 中間目標（平成 21 年度末） ][ 最終目標（平成 23 年度末） ]

##### （１） 機能合目的的達成手法の提案

以下の（Ⅰ）～（Ⅲ）に示す分野の部材について、下記の間目標値を達成する一手法以上を提案すること。ただし、単に目標値を達成するものではなく、相反機能を合目的的に実現する手法であること。

##### （Ⅰ）電気・電子材料分野

[ 1 ] パワーデバイス周辺材料（モーター、自動車電装品）

[ 中間目標（平成 21 年度末） ]

熱伝導率 $\geq 30\text{W/mK}$ 、耐熱性 $\geq 300\text{ }^\circ\text{C}$ 、絶縁破壊電圧 $\geq 30\text{kV/mm}$ 、易成型性であること。

##### 【設定理由】

熱伝導率については、アルミナ相当値でデバイス構造によりセラミック代替可能な目標数値。耐熱性については SiC デバイス使用可能温度（ $250\text{ }^\circ\text{C}$ ）以上。絶縁破壊電圧についてはインバータの現状要求値（ $20\text{ kV}$ ）を十分越える値に設定。

[ 最終目標 (平成 23 年度末) ]

熱伝導率  $\geq 40\text{W/mK}$ 、耐熱性  $\geq 400^\circ\text{C}$ 、絶縁破壊電圧  $\geq 50\text{kV/mm}$ 、易成型性であること。

【設定理由】

熱伝導率については、アルミナ相当値でデバイス構造によらずセラミック代替可能な目標数値。耐熱性については電力分野での SiC デバイス使用可能温度 ( $400^\circ\text{C}$ ) 以上。絶縁破壊電圧についてはインバータの高電圧化に対応した余裕のある値に設定。

[ 2 ] IC パッケージ周辺材料 (熱伝導材料、封止材)

[ 中間目標 (平成 21 年度末) ]

〈非絶縁タイプ〉 熱伝導率  $\geq 40\text{W/mK}$ 、

接着強度 (熱サイクル 1000 回後)  $\geq 1\text{MPa}$  (at  $260^\circ\text{C}$ )

【設定理由】

熱伝導率については従来技術での到達限界値と予測している  $20\text{ W / mK}$  の 2 倍値。接着強度は接着剤 (シート) として必要不可欠な強度として設定。

〈絶縁タイプ〉 熱伝導率  $\geq 7\text{ W/mK}$ 、体積抵抗率  $\geq 10^{11}\ \Omega \cdot \text{cm}$  (at  $150^\circ\text{C}$ )、

接着強度 (熱サイクル 1000 回後)  $\geq 1\ \text{MPa}$  (at  $260^\circ\text{C}$ )

【設定理由】

熱伝導率については他特性の制約を考慮し、従来手法での到達限界と予測している  $5\text{ W / mK}$  を超える値を設定。体積抵抗率は電気絶縁材料として必要不可欠な数値として設定。接着強度は接着剤 (シート) として必要不可欠な強度として設定。

[ 最終目標 (平成 23 年度末) ]

〈非絶縁タイプ〉 熱伝導率  $\geq 60\text{W/mK}$ 、

接着強度 (熱サイクル 1000 回後)  $\geq 1\text{MPa}$  (at  $260^\circ\text{C}$ )

【設定理由】

熱伝導率については電気絶縁性が不要であることを前提にハイリスクではあるが到達可能レベルとして設定。接着強度は接着剤 (シート) として必要不可欠な強度として設定。

〈絶縁タイプ〉 熱伝導率  $\geq 15\text{W/mK}$ 、体積抵抗率  $\geq 10^{11}\ \Omega \cdot \text{cm}$  (at  $150^\circ\text{C}$ )、

接着強度 (熱サイクル 1000 回後)  $\geq 1\text{MPa}$  (at  $260^\circ\text{C}$ )

【設定理由】

熱伝導率については数年先の市場要求値を上回る数値を設定。体積抵抗率は電気絶縁材料として必要不可欠な数値として設定。接着強度は接着剤 (シート) として必要不可欠な強度として設定。図 2. 1. 1-1 にハイブリッド材料の体積抵抗率と熱伝導率との関係を示す。目標は従来ハイブリッド材料の値から、並外れて高く、不連続な技術革新が必要である。

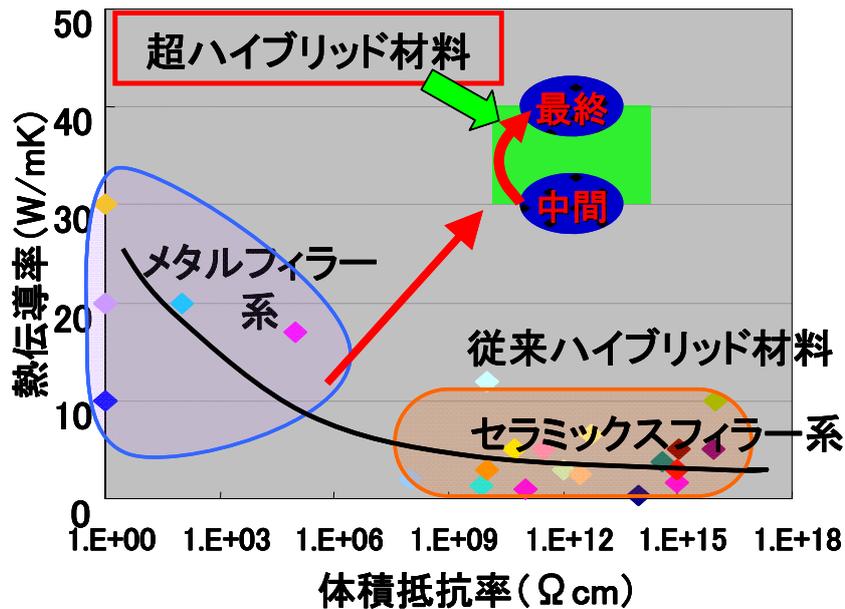


図 2. 1. 1 - 1 体積抵抗率と熱伝導率との関係

[ 3 ] 高放熱性材料

[ 中間目標 (平成 2 1 年度末) ]

熱抵抗値  $\leq 0.03^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$  (厚さ 10 - 100  $\mu\text{m}$ )、硬化前粘度  $\leq 200\text{Pa} \cdot \text{s}$

[ 最終目標 (平成 2 3 年度末) ]

熱抵抗値  $\leq 0.01^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$  (厚さ 10 - 100  $\mu\text{m}$ )、硬化前粘度  $\leq 100\text{Pa} \cdot \text{s}$

【設定理由】

熱伝導性充填材を配合したポリシロキサン系放熱材料の熱抵抗値は  $0.08 \sim 0.15^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$  であるが、数年後には  $0.02 \sim 0.05^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$  の値が要求されることを予想して設定。ポリシロキサンの成形加工性を考慮し、硬化前粘度を設定。

[ 4 ] 高耐熱材料

[ 中間目標 (平成 2 1 年度末) ]

貯蔵弾性率の低下率 (室温と  $300^{\circ}\text{C}$  での値の比較)  $\leq 10\%$

熱膨張係数  $\leq 2.0 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 、硬化前粘度  $\leq 200\text{Pa} \cdot \text{s}$

[ 最終目標 (平成 2 3 年度末) ]

貯蔵弾性率の低下率 (室温と  $300^{\circ}\text{C}$  での値の比較)  $\leq 10\%$

熱膨張係数  $\leq 1.5 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 、硬化前粘度  $\leq 100\text{Pa} \cdot \text{s}$

【設定理由】

シロキサン系材料は一般に耐熱性は高いが、組成を最適化することにより、 $300^{\circ}\text{C}$  での弾性率低下をかなり抑制できると考え上記の貯蔵弾性率の低下率目標値を設定。熱膨張係数については、充填材を含まないポリシロキサンの値が  $15 \sim 25 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$  であるが、有機系ハイブリッド材料の値が  $1.0 \sim 2.0 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$  であることから、競合材料となり得るために必要な値として設定。ポリシロキサンの成形加工性を考慮し、硬化前粘度を設定。

(II) 光学材料分野

[ 1 ] 低屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、光導波路）

[ 中間目標（平成 21 年度末） ]

屈折率 $\leq 1.42$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3H$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10g/10min$

【設定理由】

屈折率については反射防止フィルム用途を想定して設定。鉛筆光度については光学レンズとして実用レベルの値。全光線透過率については光学ガラスと同等レベルの値。易成形性については現行樹脂成形条件を設定。

[ 最終目標（平成 23 年度末） ]

屈折率 $\leq 1.4$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 4H$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10g/10min$

【設定理由】

屈折率については反射防止フィルム用途を想定して設定。鉛筆光度については光学レンズとして実用レベルの値。全光線透過率については光学ガラスと同等レベルの値。易成形性については現行樹脂成形条件を設定。

[ 2 ] 高屈折率材料（機能性光学薄膜、ディスプレイ基板、レンズ）

[ 中間目標（平成 21 年度末） ]

屈折率 $\geq 1.6$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3H$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10g/10min$

【設定理由】

屈折率については現行樹脂材料の高屈折率レベルを設定。（高屈折率粒子が 30wt % 以上で分散が可能となった場合の屈折率を想定。）鉛筆光度については光学レンズとして実用レベルの値。全光線透過率については光学ガラスと同等レベルの値。易成形性については現行樹脂成形条件を設定。

[ 最終目標（平成 23 年度末） ]

屈折率 $\geq 1.7$ 、鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3H$ 、全光線透過率 $\geq 90\%$

易成形性 MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10g/10min$

【設定理由】

屈折率については現行樹脂材料では未達成レベルを設定。（高屈折率粒子が 60wt % 以上で分散が可能となった場合の屈折率を想定。）鉛筆光度については光学レンズとして実用レベルの値。全光線透過率については光学ガラスと同等レベルの値。易成形性については現行樹脂成形条件を設定。

図 2. 1. 1 - 2 に光学材料の目標最終を示した。汎用の光学樹脂材料の屈折率は 1.45 ~ 1.6 弱程度である。低屈折率化の方法としてフッ素化の手法があり、現状 1.32 レベルの材料が商品化されているが、成形法がスピコートと限定されている。したがって、低屈折率と成形性がトレードオフの関係になる。高屈折率化の手法としてイオウの導入や高屈

折率ナノ粒子の分散がある。イオウの導入で高屈折率化は可能であるが黄色に着色するため透過率が低下する。ナノ粒子分散の手法でも従来の方法では凝集により光散乱が発生し透過率が低下する。即ち、高屈折率と透過率がトレードオフになる。最終目標はこれらトレードオフを解消するものである。

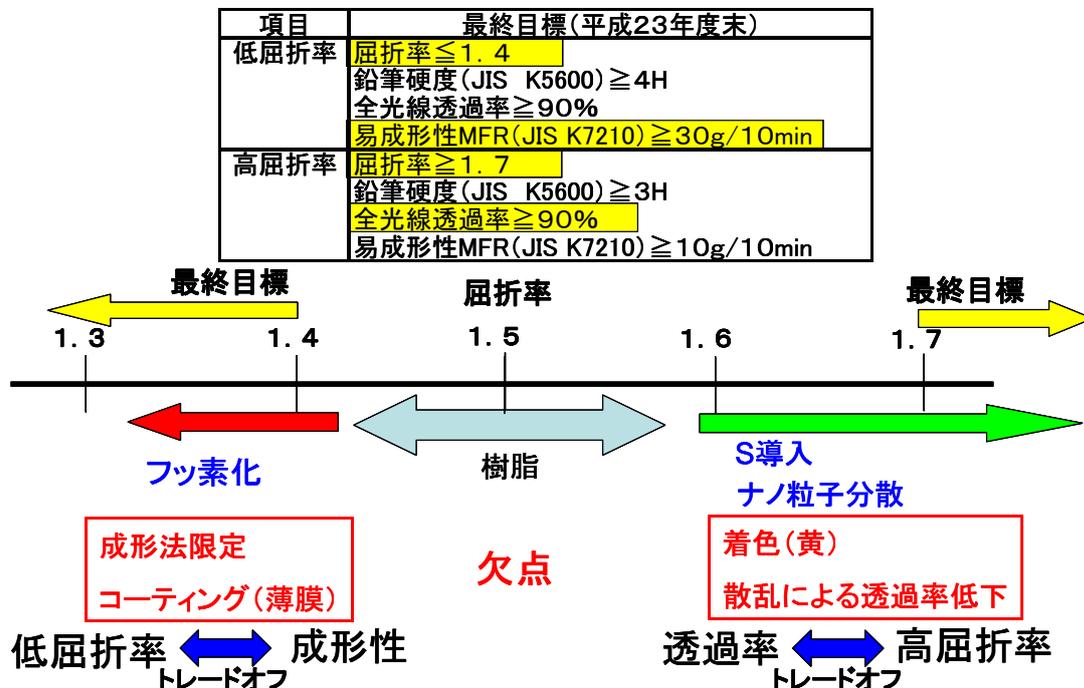


図2. 1. 1-2 光学材料の最終目標

### (Ⅲ) その他工業材料分野

[ 1 ] 放熱性材料 (液晶画面用 LED 放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用)

[ 中間目標 (平成21年度末) ]

熱伝導率  $\geq 20W/mK$ 、成形粘度  $\leq 1000Pa \cdot s$ 、耐衝撃性  $\geq 15J/m$ 、  
比重  $\leq 3.5$ 、体積抵抗率  $\geq 10^{12} \Omega \cdot cm$ 。

[ 最終目標 (平成23年度末) ]

熱伝導率  $\geq 40W/mK$ 、成形粘度  $\leq 100Pa \cdot s$ 、耐衝撃性  $\geq 24J/m$ 、  
比重  $\leq 2.5$ 、体積抵抗率  $\geq 10^{12} \Omega \cdot cm$ 。

#### 【設定理由】

LED デバイスの一定照度の確保と温度上昇抑制の観点から、熱伝導率目標を設定。蛍光灯 (76W : 7880lm) の明るさを得るためには従来の高熱伝導プラスチック材料

(1 ~ 2W/mK) をパッケージ用いた場合 LED (100lm/W) 40個必要。中間目標値で1/10に低減可能。最終目標値ではさらに温度上昇を55℃以下に抑制可能。成形粘度に関しては中間目標ではトランスファー成形が最終目標では射出成形が可能であることを目標に設定。耐衝撃性については、中間目標では添加するナノ材の表面処理が不十分であるとして、最終目標では表面処理技術の高度化による高分散性になると考え、エポキシ樹脂と変わらない値を設定。比重については、中間目標ではアルミナ (比重 : 3.8) と比較

して考え 3.5 以下を最終目標ではアルミニウム（比重：2.7）と比較して考え 2.5 以下を選んだ。体積抵抗率についてはエポキシ樹脂など通常の電気絶縁性プラスチックの値を目標値とした。

## （２） 市場評価可能とする成果物の供試

（１）の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件（形態・数量）を明らかにし、成果物を供試する。市場評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。

## ②「相反機能発現基盤技術開発」

### ・研究開発の必要性

ナノメートルサイズにおける精密な分子設計（構造制御）の進歩により既存材料の複合化を分子レベルで制御すれば、材料特性が向上する可能性が示されてきた。各材料の特性を重ね合わせただけの従来型複合材料を超えた新たな機能創出を図るためには、分子レベルで表面修飾や界面制御等を行うことが必要であり、ナノレベルでの精密な材料設計、材料構造制御の手法の開発が強く求められている。

### ・研究開発の具体的内容

#### （１）有機・無機材料界面の制御技術

電気・熱伝導等を発現させつつ無機ナノ粒子等表面に有機官能基を結合させる機構の解明とそれに関する基盤技術、並びに有機材料と無機材料の界面での相互作用等を制御する機構の解明とそれに基づく界面制御技術を開発する。

#### （２）ナノ空間制御技術

層間化合物・空孔化合物・ dendritic 等をナノ形成単位とし、これらを有機マトリックスとし、サイズ・形状・配列等が制御されたナノ中空構造材料とするなどにより、相反機能を実現するナノ空間制御技術を開発する。

#### （３）ナノ構造制御技術

外場付与・自己組織化等により、無機ナノ粒子等の有機マトリックス中での分散・配向・配列等を制御することにより相反機能を発現させる無機材料を主とした基盤技術を開発する。

#### （４）ナノ空間・構造制御手法最適化技術

ナノ空間・構造が合成過程でどのように形成されているかを in-site に解析し、（１）、（２）、（３）の機構解明の成果を援用も得つつ、また研究開発項目④の総合評価・支援技術と共同し、相反機能を発現する制御手法最適化技術を確立する。

### ・達成目標

[ 中間目標（平成 21 年度末） ]

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現手法を提供し、中間目標達成に寄与する。

[ 最終目標（平成23年度末） ]

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標に達成する相反機能の発現機構を明らかにし、それに基づき相反機能発現材料のナノ空間・構造制御手法を確立する。

### ③「相反機能材料創製プロセス基盤技術開発」

#### ・研究開発の必要性

開発された材料を、用途に応じた部材として利用するためには、その構造、機能、形状等を制御するとともに、生産量・コスト面でユーザー等からの要望に応えることが求められている。このため、実用化段階で予測される超ハイブリッド材料への多用途、機能等のニーズに対応して、各種の相反機能材料を創成できるプロセス技術の確立が必要である。

#### ・研究開発の内容

超ハイブリッド材料の分子レベルの構造制御により相反機能を発現する材料創製プロセスを開発する。プロセスの高度・精密制御を可能にするため、プロセスと一体になった in-site測定技術、プロセス設計技術を併せて開発する。

#### (1) 官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術

##### i) 粒子等表面に有機官能基を大量、高速に導入する技術

高分子中への高濃度、完全分散を目的とし、マイクロ・ナノメートルサイズの粒子等の表面に、有機官能基を大量、高速、経済性良く導入する基盤技術を確立する。

##### ii) 有機官能基を導入したナノ粒子等の in-site 合成技術

上記 i) の知見に基づき、目的とするナノ粒子等を合成しつつ、in-site で単一粒子表面に目的の有機官能基を導入する基盤技術を確立する。

##### iii) 有機修飾ナノ粒子等の大量、高速、精密合成技術

上記 i)、ii) の有機無機修飾に関する知見に加え、反応場の相の状態や反応の進行の in-site 測定を行い、また (3) のプロセス最適化技術の知見に基づいて、粒子径分布を精密に制御しつつ、大量、高速に合成するプロセスを開発する。

#### (2) 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス技術

表面修飾ナノ粒子等を高分子中に均一に分散させ、配向・配列を制御するプロセス技術を開発する。精密外場制御、基板相互作用制御等による高分子の相分離・配向構造の動的変化過程、さらにはその結果生じるナノ粒子等と高分子間の相互作用の制御を行うことで、高分子中のナノ粒子等の分散・配向・配列性制御基盤を構築するとともに高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセスを開発する。

#### (3) プロセス最適化技術

表面修飾ナノ粒子等の合成プロセス、高分子中のナノ粒子等の配向・配列プロセスを

in-siteに解析し、研究開発項目④の統合評価・支援技術と共同し、表面修飾ナノ粒子等の合成プロセス、均一分散・配向・配列プロセスを開発する。

- ・達成目標

[ 中間目標（平成21年度末） ]

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現する材料を合成するプロセス技術を提供し、成果物を供試し、中間目標達成に寄与する。

[ 最終目標（平成23年度末） ]

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標に達成する相反機能の発現する材料を合成するプロセスを確立する。

研究開発項目④ 「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」

- ・研究開発の必要性

相反機能発現から相反機能創成プロセスにわたっては、表面、界面をナノレベルで制御する必要があるが、表面、界面の構造・状態をナノレベルで解析するのは計測手段の原理の物理的限界を超える場合が多いため一般的には困難と考えられてきた。したがって、現状市販レベルの計測解析手法だけでは相反機能材料の設計に必要な情報が不足するのは明らかである。

近年、従来は不可能だった特異な現象のナノレベル計測や、ナノレベルあるいはそれ以下のサイズの状態を推定できる解析手法が開発され、これら技術を相反機能材料の解析評価に適応させることで、分子レベルでの解析手法が開発され、これら技術を相反機能材料の解析評価に適応させることで、分子レベルでの構造制御等の技術開発を効果的に推進することが可能になった。これらを積極的に応用し、相反機能材料の構造・状態に関する情報量を飛躍的に増加させることは材料開発にとって必要不可欠である。

また、相反機能材料設計を効率的に進めるには、前述の高度計測結果とともに、研究開発項目①における機能評価や研究開発項目②、③における現場モニタリング等の各階層における結果を情報科学的に収集、分類、統合し、機能発現に関わる経験則などを新しい知識体系として取り出し、材料設計にフィードバックするという一連の取り組みを材料に応じて柔軟に実施できることが不可欠である。

- ・研究開発内容

一企業または団体では開発や保有保持が困難な先端分析手法を活用し、市販の装置に頼るのみでは計測が困難である相反機能材料の局所構造及び状態を高度計測する。ナノレベル空間分解能を達成するためには、実際の計測手段だけでなく、計算機による画像復元技術も活用する。相反機能材料では原子・分子の配列や欠陥から界面・表面状態までの多階層のスケールでの現象が機能発現に密接に関係するため、測定対象とのインターフェイス部分を高度化・最適化するとともに現象のスケールに適合した手法を駆使し、多元的な情

報を収集する。多変量解析等の情報解析技術を着目する材料機能に絞って活用し、上記の計測解析結果、さらに研究開発項目①における機能評価や研究開発項目②、③における現場モニタリング等の各階層における情報を収集、分類、統合し、相反機能発現の鍵となる因子を探索する。成果を研究開発項目①～③の技術開発チームにフィードバックし、相反機能材料の設計に反映させる。

・達成目標

[ 最終目標 (平成23年度末) ]

相反機能材料の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多角的に解明できる計測手法を構築する。得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価から得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる。

## 2. 1. 2 全体スケジュールと予算

### (1) 全体スケジュール

表2. 1. 2-1 全体スケジュール

研究開発項目	H19	H20	H21	H22	H23
①超ハイブリッド材料技術 電気・電子材料 光学材料 工業材料	基本検討・原理試作・評価			実用化検討(助成事業:助成率1/2) 試作評価・実用化課題抽出	
②相反機能発現基盤技術 界面制御・ナノ空間制御 構造制御・最適化技術	発現手法検討・手法提供			ナノ空間・構造制御技術確立 発現機構解明	
③プロセス基盤技術 官能基導入ナノ粒子合成 均一分散・配列・配向 プロセス最適化	ナノ粒子流通式合成・技術・供試物提供 分散・配列・配向予備検討 流通式装置導入・検討			流通式大量合成 分散・配列・配向技術開発 スケールアップ・可視化技術 大量合成装置設計技術確立	
④統合評価・支援技術	概念設計 環境整備 課題抽出	データ収集・選定指針 統計処理アルゴリズム開発 高度化		統合プログラム 開発 系統的なデータ収集と解析	設計支援 データ解析

(2) 開発予算

表 2. 1. 2-2 開発予算

H20: 項目①②③  
加速97百万円

研究開発項目	H19	H20	H21	合計
①超ハイブリッド材料創製技術開発	353	222	136	711
②相反機能発現技術開発	159	109	68	336
③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	155	208	230	593
④材料設計に資する統合評価・支援技術開発	133	81	66	280
合計	800	620	500	1920

H19: 経産省直執行

単位百万円

2. 2 研究開発の実施体制

本プロジェクトの目的を達成するため、国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所 教授 阿尻雅文をプロジェクトリーダーとして、以下の実施体制とする。(図 2. 2-1) (財) 科学技術戦略推進機構 (以下JCIIと略記する。) ・ (独) 産業技術総合研究所 (以下産総研と略記する。) グループ (、三菱化学 (株) グループ、東レ・ダウコーニング (株) グループの 3 グループで競争原理のもと研究開発を推進する。

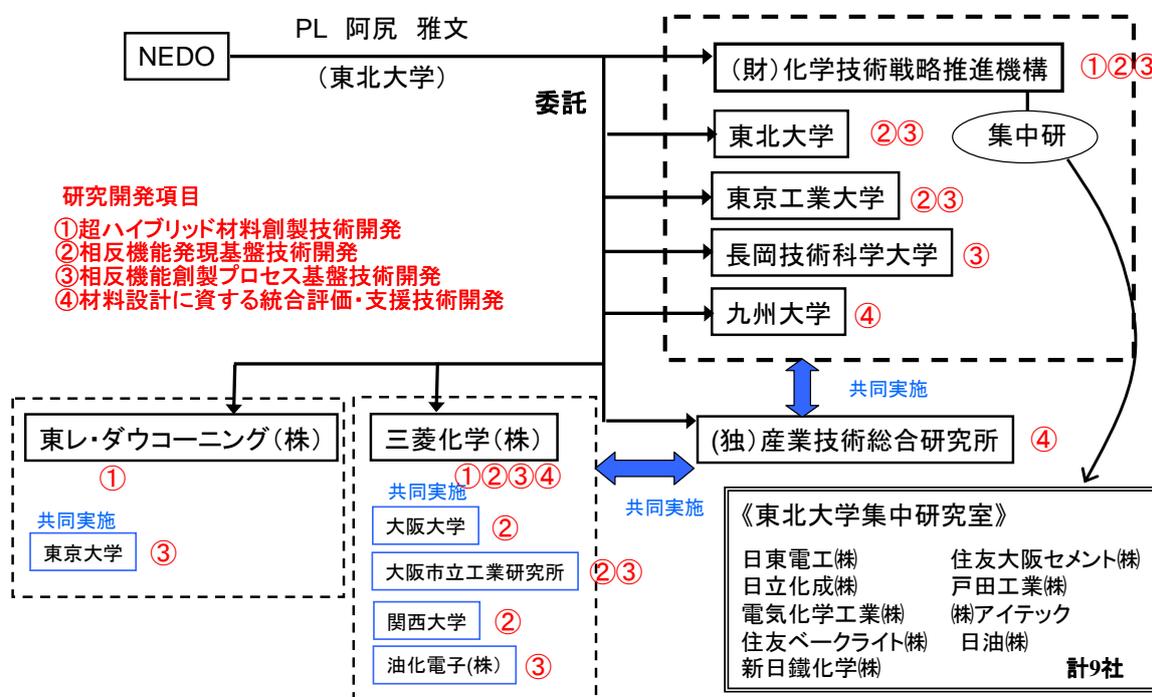


図 2. 2-1 超ハイブリッド材料技術開発実施体制

また、研究開発項目についての視点からまとめた研究開発の体制を図2. 2-2に示す。  
 ①超ハイブリッド材料創製技術開発をおもに企業が、②相反機能発現基盤技術開発、③相反機能発現プロセス基盤技術開発については大学が、④材料設計に資する統合評価・支援技術開発は産総研が中心となり垂直・水平連携体制となっている。また、ユーザー企業とは定期的に情報交換を実施している。

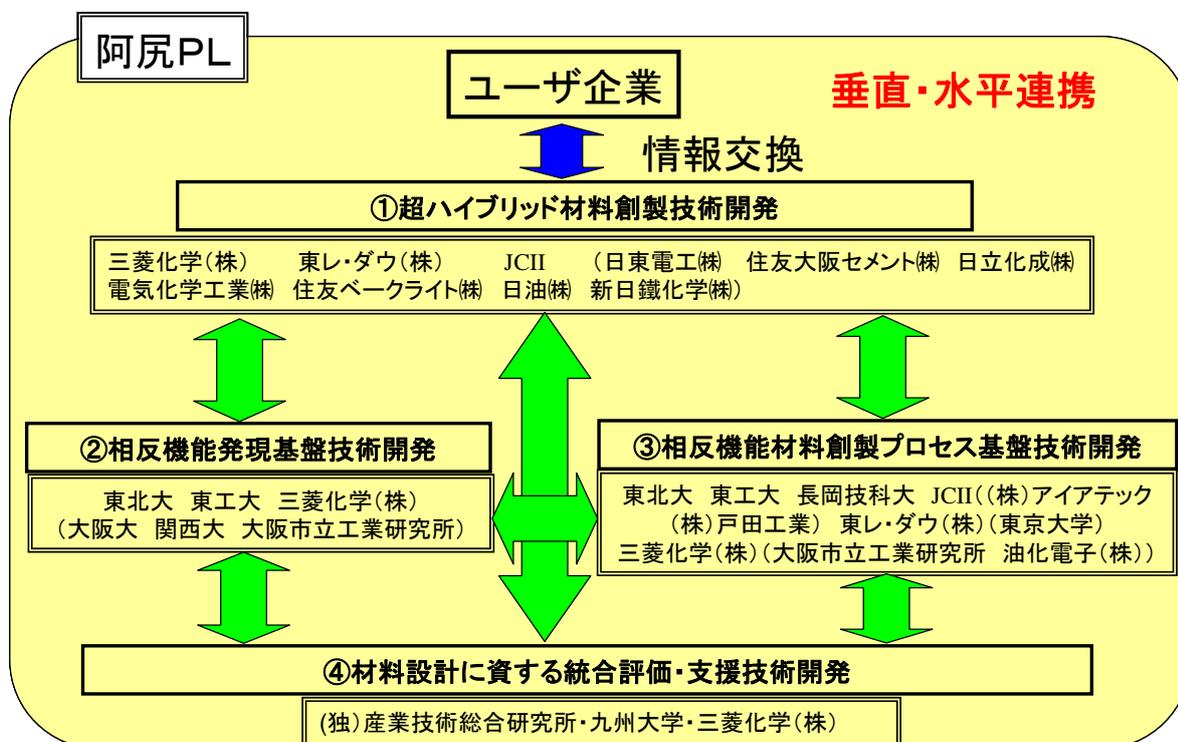


図2. 2-2 超ハイブリッド材料技術開発の研究開発項目と実施体制

以下に研究開発項目ごとの個々のテーマと担当を記載する。

### ①超ハイブリッド材料創製技術開発 10テーマ1法人9社

#### 〈電気・電子材料分野〉

- ・次世代型放熱シートの開発 【JCII(日東電工(株))】
- ・高熱伝導絶縁シート材料の開発 【JCII(日立化成工業(株))】
- ・熱伝導性に優れた新規窒化ホウ素材料の開発 【JCII(電気化学工業(株))】
- ・高熱伝導性接着剤及び封止材の開発 【JCII(住友ベークライト(株))】
- ・ポリシロキサン系放熱性超ハイブリッド材料技術開発 【東レ・ダウコーニング(株)】
- ・ポリシロキサン系耐熱性超ハイブリッド材料技術開発 【東レ・ダウコーニング(株)】

#### 〈その他工業材料分野〉

- ・超ハイブリッド材料創製技術開発 【三菱化学(株)】

#### 〈光学分野〉

- ・低屈折率及び高屈折率光学材料の開発 【JCII(日油(株))】
- ・高屈折光学材料の開発 【JCII(新日鐵化学(株))】
- ・高屈折率光学材料の開発 【JCII(住友大阪セメント(株))】

\* JCII: (財)化学技術戦略推進機構

## ②相反機能発現基盤技術開発 11テーマ4大学1法人1機関1社

### 〈有機・無機材料界面の制御技術〉

- ・超臨界法による粒子界面制御技術開発 【東北大学】
- ・分子レベルでの面特異吸着による界面制御技術開発 【東北大学】

### 〈ナノ空間制御技術開発〉

- ・低屈折率樹脂中での均一分散基礎技術開発 【東北大学】

### 〈ナノ構造制御技術〉

- ・ナノ粒子表面の有機修飾の基盤技術開発 【東北大学】
- ・前駆体法による無機ナノ粒子分散系薄膜材料の開発 【東京工業大学】

### 〈ナノ空間・構造制御手法最適化技術〉

- ・表面修飾ナノ粒子と媒体との相互作用の評価法開発 【東北大学】
- ・パターン基板と表面修飾モデル粒子との相互作用解析による分散因子検証 【東北大学】
- ・マイクロ相分離による材料開発及び*in-situ*光学測定法開発 【東京工業大学】

- ・絶縁性と高熱伝導性を有する無機フィラーの開発 【三菱化学(株)(大阪大学)】
- ・液晶性エポキシ樹脂の開発 【三菱化学(株)(関西大学)】
- ・無機ナノ粒子-樹脂ハイブリッド化技術開発 【三菱化学(株)(大阪市立工業研究所)】

## ③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

### 〈官能基導入ナノ粒子合成プロセス技術〉

10テーマ4大学1機関1法人3社

- ・超臨界法によるナノ粒子合成基盤技術開発 【東北大学】
- ・液中レーザーを用いた高熱伝導性ナノシート形成及び有機無機ハイブリッド合成技術開発 【長岡技術科学大学】
- ・超臨界水熱合成装置の開発 【JCI(株式会社アイテック)】
- ・超臨界水反応による高速大量表面修飾プロセス開発 【JCI(株式会社戸田工業)】

### 〈高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス技術開発〉

- ・高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス基盤技術開発 【東北大学】
- ・延伸熱処理による無機ナノ粒子の配向・配列制御技術開発 【東京工業大学】

### 〈プロセス最適化技術〉

- ・プロセス最適化技術 【東北大学】

- ・ポリシロキサン系相反機能材料創製プロセス基盤技術開発 【東京大学】

- ・浸漬型ナノ被覆プロセス技術開発 【三菱化学(株)(大阪市立工業研究所)】
- ・ハイブリッド材料成型ナノプロセス技術開発 【三菱化学(株)(油化電子(株)、大阪市立工業研究所)】

## ④材料設計に資する統合評価・支援技術開発

2テーマ1大学1法人9社

- ・材料設計に資する統合評価・支援技術開発 【(独)産業技術総合研究所・九州大学】

- ・超ハイブリッド材料における熱物性計測法の開発 【三菱化学(株)・(独)産業技術総合研究所】

## 2. 3 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に決定権を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本プログラムの目的、及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させた。

### ・プロジェクトリーダー

NEDOが実施・管理を行う当該プロジェクトの、より効率的な開発の推進を図るため、研究開発の現場において指示、指導、調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究成果のとりまとめ等の役割をプロジェクトリーダー（PL）として国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所 教授 阿尻雅文のもと、本プロジェクトを推進した。PLの役割を表2. 3-1に示す。

表2. 3-1 プロジェクトリーダー（PL）の役割

組織関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究体の研究室の設置、廃止等の組織構成の決定</li> <li>研究体のサブ研究リーダーの選任と解任</li> </ul>
研究体所属研究者関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>大学、産総研、企業が提出する研究者候補リストの中からの研究体所属研究者の選任</li> <li>研究体所属研究者の任期の設定および変更に関する調整</li> <li>研究体所属研究者の担当研究項目の決定</li> <li>その他研究体所属研究者の総合的な統括</li> </ul>
予算、研究場所、研究設備および装置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>実施時における予算の配分の調整</li> <li>研究体の活動に割り当てられた研究場所の配分、模様替え等の調整</li> <li>研究設備および装置等の使用範囲等の調整</li> </ul>
研究計画および報告	<ul style="list-style-type: none"> <li>年度毎の概算要求案（年間研究計画書案、実施計画書案の策定）</li> <li>研究計画の変更（実施計画書変更申請案の策定）</li> <li>軽微な研究計画の変更（実施計画書変更届出書の策定）</li> <li>研究経過の報告（成果報告書案、その他必要に応じた研究報告書案の策定）</li> <li>研究終了報告（研究終了報告書案の策定）</li> </ul>
研究評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究内容の研究体内での評価</li> <li>研究者の研究体内での評価</li> </ul>
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>別途定める研究体知的財産権取扱規程の施行およびその遵守に関する指導管理</li> <li>論文発表等による公開を、知的所有権による保護に優先させるか否かの判断</li> </ul>
第三者との共同研究、研究者等の招聘	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三者との共同研究の実施と管理（①共同研究および共同研究契約に対する要望事項の取り纏め、②共同研究契約書案の策定、③各種報告書案の策定）</li> <li>外部研究者（産総研、大学、企業等）の調整および選任</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究体の研究活動推進のための総合調整</li> <li>経済産業省、NEDO、大学、企業に置かれた各種関係会議への対応、総括</li> <li>ワークショップ、シンポジウム等、事業計画の策定および実施</li> </ul>

- ・技術推進委員会

技術推進委員会は平成20年度に開催され、その開催内容を下記に示した。

第一回技術推進委員会

- ・評価の実施時期

平成20年12月25日

- ・評価手法

外部有識者による評価

- ・評価事務局

NEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部

- ・評価項目・基準

評価項目を以下に示す。

- 1) マイルストーンについて
- 2) 研究開発成果について
- 3) 実用化の見通し

表2. 3-2 第一回技術推進委員会外部有識者委員

	氏名（敬称略）	所属・役職
委員	西 敏夫	東北大学 教授
委員	菅原 義之	早稲田大学 教授
委員	住田 雅夫	東京工業大学 教授
委員	高原 淳	九州大学 教授

（敬称略・順不同）

- ・総合調査研究委員会、材料評価委員会

プロジェクトでの包括的な研究内容に関する討議とその進捗状況の把握、問題点の検討を目的に、J C I I が主催する総合調査研究委員会、評価分科会を下記に、また、総合調査研究委員会委員名簿を表1に示した。

総合調査研究委員会

○平成19年度

第一回 : 平成19年11月19日

研究内容の方向付けに関する討議と問題点等を検討。

第二回 : 平成19年3月12日

19年度の研究進捗状況と成果について把握すると共に、次年度（19年度）における研究実施計画等を検討。

○平成20年度

第三回 : 平成20年9月16日

包括的に研究内容の進捗状況を把握すると共に、研究内容の方向付けに関する討議と問題点等を検討

第四回 : 平成20年3月9日

20年度の研究進捗状況と成果について把握すると共に、次年度(21年度)における研究実施計画等を検討。

評価分科会

○平成19年度

第一回 : 平成19年12月11日

○平成20年度

第二回 : 平成20年6月9日

第三回 : 平成20年3月9日(総合調査委員会と同時開催)

表2.3-3 総合調査研究委員会 委員名簿

(平成21年3月9日現在)

委員	氏名	所属・役職名 等
委員	岡本 佳男	名古屋大学 エコトピア研究所 名誉教授
委員	木村 恒久	京都大学 大学院農学研究科 教授
委員	山田 真司	(株)日立製作所材料研究所 電子材料研究部 部長
委員	横川 弘	パナソニック 電工 材料技術開発部 光機能材料開発G 部長
委員	岡本 徹志	株式会社東芝 電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 主査
委員	橋本 富仁	日産自動車 材料技術部 パワートレイン材料グループ 主担
委員	杉浦 昭夫	株式会社デンソー 材料技術部 機能複合材料室 主幹

・グループの打ち合わせへの参加

阿尻PLとNEDOとで各グループの定期打ち合わせに参加し、進捗状況のフォロー及び、方針指導及び技術指導を行った。

J C I I ・産総研G開発検討会(1回/月)

三菱化学G全体会議(4回/年)及び定例会議(1回/月)

東レ・ダウ定例会議(2回/月)及び東レ・ダウ-東大定例会議(2回/年)

・阿尻PLの個別指導等

阿尻PLとNEDOで以下の技術指導、情報交換を行った。

三菱化学Gへの研究方針指導、加工性(相反機能)発現の共通基盤情報交換(6回)

東レ・ダウGへの共通基盤としての超臨界技術の指導（3回）

図2. 3-1に運営管理の実績を示す。

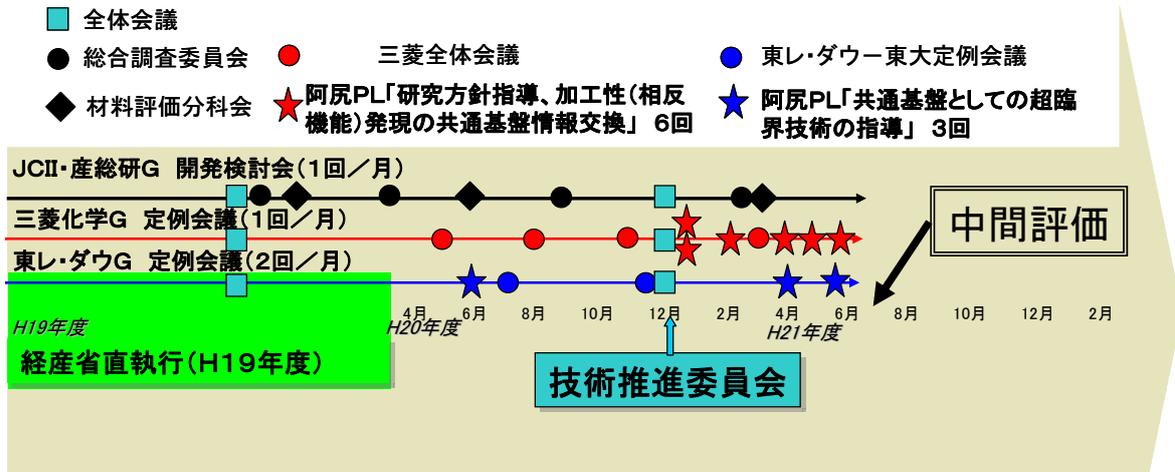


図2. 3-1 プロジェクトの運営管理

### 3. 情勢変化への対応

#### ○加速予算

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させることにより、当該技術分野における国際競争上の優位性が確立できることが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。具体的には、ハイブリッド材料創成技術の開発において、(1) ナノ粒子合成機構の解明、(2) 無機ナノ粒子のポリマー中への均一分散、(3) ナノ粒子の配向・配列制御に関する研究開発を加速して実施するために、下記の加速予算を投入して研究開発の促進を行った。

#### 研究加速財源の配分の実績

平成20年度

開発項目	加速案件	金額
①②	表面修飾ナノ粒子複合解析機・分光装置	45百万円
①③	分散装置（小型混練・成型機）	18百万円
①③	多機能薄膜材料評価 X線回折装置	34百万円

#### ○体制の変更

プロジェクトの実施体制として、(財)化学技術戦略推進機構からの再委託先であった東北大学、東京工業大学、長岡技術科学大学、九州大学の4大学をプロジェクトリーダーの指導力を迅速に反映することを目的として、NEDOとの直接委託契約に変更した。(平成21年3月31日付け)

#### **4. 中間評価への対応**

中間評価を平成21年度に実施する。

#### **5. 評価に関する事項**

NEDOは、国の定める技術評価に係わる指針及びNEDOが定める技術評価実施要領に基づき、技術及び実用化の観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果などについて、外部有識者による研究開発の中間評価を平成21年度、事後評価を平成24年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向、当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すこととする。

### Ⅲ. 研究開発成果について

全体の成果を研究開発3グループごと、表にまとめて以下に示す。

#### 1. 1 (財)化学技術戦略機構・(独)産業技術総合研究所

(財) 化学技術戦略推進機構  
 東北大学 東京工業大学  
 長岡技術科学大学 九州大学  
 (独) 産業技術総合研究所

#### 研究開発項目① 超ハイブリッド材料創製技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
( I )電気・電子材料分野 [1]パワーデバイス周辺材料 (1) 熱伝導率 中間目標値 30W/mK  最終目標値 40W/mK	超臨界法による、粒子表面改質で高充填化、および相分離構造等による熱伝導パスの形成で、35W/mKを得た。  更なる高熱伝導性フィラーの適用や高充填化、構造制御による熱伝導パス形成を進める。	達成
(2)耐熱性 中間目標値 300℃  最終目標値 400℃	現有樹脂にて達成。  耐熱性ポリマーを探索・適応予定。	達成
(3)絶縁破壊電圧 中間目標値 30kV/mm  最終目標値 50kV/mm	現状 25kV/mmを得た、プロセス改良により更に向上予定。  樹脂とフィラー間の特性差を極小にする表面改質技術とプロセス改良により向上させる。	達成見込み 2010・3
(4)成形性 易成形性	表面改質フィラーにより、高充填でも粘度の上昇を押さえ流動性を確保できた。	達成
[2]IC パッケージ周辺材料 封止材 (1) 熱伝導率 中間目標値 7W/mK  最終目標値 15W/mK	現在 6W/mKを達成。表面修飾フィラーによる粘度低減効果で、高充填化ができ熱伝導率向上可能。  高熱伝導フィラーの採用と、表面改質による界面抵抗低下で更に熱伝導率を向上させる。	達成見込み 2009・12
(2)密着強度 中間目標値 1Mpa 最終目標値 1Mpa	260℃の条件にて、6Mpaを達成。 熱伝導率向上とのトレードオフ解消技術を開発継続する。	達成
(3)体積抵抗率中間目標値 $10^{11} \Omega \text{ cm}$ 最終目標値 $10^{11} \Omega \text{ cm}$	$10^{14} \Omega \text{ cm}$ を達成した。 他の高熱伝導フィラー併用時の低下抑制技術を開発する。	達成
IC パッケージ周辺材料 接着剤 (1) 熱伝導率 中間目標値 40W/mK  最終目標値 60W/mK	38W/mKを得ている。若干の高充填化により達成可能。 表面修飾フィラーの配合率、プロセス最適化により	達成見込み 2009・10

<p>(2)密着強度 中間目標値 1Mpa 最終目標値 1Mpa</p>	<p>達成予定。</p> <p>260°C4Mpaを達成。 フィラーの高充填化による低下を防止技術を開発。</p>	<p>達成</p>
<p>(Ⅱ)光学材料分野</p>		
<p>[1]低屈折率光学材料</p>		
<p>(1)屈折率 中間目標値 1.42 以下 最終目標値 1.40 以下</p>	<p>ノニオン界面活性剤と中空シリカ等の適応で 1.38～1.40 の低屈折率材料を得た。</p>	<p>達成</p>
<p>(2)鉛筆硬度 中間目標値 3H 以上 最終目標値 4H 以上</p>	<p>硬膜設計により3Hを達成。 膜物性強化のための最適化を進める。</p>	<p>達成</p>
<p>(3)成形加工性(MFR JIS k7210) 中間目標 10g/10min 最終目標 30g/10 min</p>	<p>30g/min 以上の流動性確保。</p>	<p>達成</p>
<p>[2]高屈折率光学材料</p>		
<p>(1)屈折率 中間目標値 1.6 以上 最終目標値 1.7 以上</p>	<p>高屈折率ナノ粒子の表面改質により、樹脂中への完全分散が可能となり 1.78 の光学材料を開発した。</p>	<p>達成</p>
<p>(2)光線透過率 中間目標値 90%以上 最終目標値 90%以上</p>	<p>同上理由により光線透過率 90 以上を達成。</p>	<p>達成</p>
<p>(3)成形加工性 MFR10g/10min 以上 MFR30g/10min 以上</p>	<p>ナノ粒子表面改質技術により、樹脂中への高充填化が粘度の上昇を抑えてたっせいでき、30g/10min 以上の流動性確保できた。</p>	<p>達成</p>
<p>知的財産権の取得</p>	<p>粒子表面改質、 材料開発関連 7件</p>	
<p>成果の普及</p>	<p>材料開発関連 論文および国際学会発表 29 件 国内学会発表 9 件 新聞発表 0 件 国際学会招待講演 (国内) 0 件 展示会 13 件</p>	

研究開発項目② 相反機能発現のための基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1)有機・無機材料の界面制御            ・超臨界法による粒子界面制御                (東北大)            有機修飾量の定量化、修飾機構の解明、修飾条件の最適化を開発し、超臨界法での界面制御基盤技術を構築する。</p> <p>・分子レベルでの面特異吸着による界面制御                (東北大)            高熱伝導粒子である h-BN 粒子の合成と表面修飾、形態制御。</p> <p>(2)ナノ空間制御            ・低屈折率樹脂中の均一分散                (東北大)            単分散シリカナノ粒子の合成と形態制御</p> <p>(3)ナノ構造制御            ・ナノ粒子表面の有機修飾                (東北大)            効率的な分散による表面修飾法開発 2 段階重合への適応性向上</p> <p>・前駆体法による金属/無機ナノ粒子分散薄膜材料開発                (東工大)            ビルドアップ法による金属ナノ粒子の樹脂薄膜中への均一分散と 2 重パーコレーション構造の最適化</p> <p>(4)ナノ空間・構造制御手法最適化技術            ・表面修飾ナノ粒子と媒体との相互作用評価                (東北大)            表面修飾ナノ粒子の分散性の定量的評価と相図の作成</p> <p>・パターン基板と表面修飾モデル粒子との相互作用解析による分散因子検証                (東北大)            高分子マトリックス中における分散状態の支配因子の解明</p> <p>・マイクロ相分離による材料開発及び In-situ 光学測定法                (東工大)            ミクロ相分離構造の生成条件の探索と制御 高分子複合系における配向構造制御基盤技術確立</p> <p>知的財産権の取得</p>	<p>・In-situ 表面修飾の機構解明と最適条件の探索を行った。表面ゼータ電位をコントロールすることが重要であることを確認。表面修飾チタニア粒子、表面修飾シリカ粒子の形成に成功し、高屈折率光学材料へ提供した。超臨界場での解離平衡・等電点評価や速度論的解明を計算機科学手法により進める。</p> <p>・高度水熱合成技術により、h-BN 粒子の合成と表面修飾に成功し、高熱伝導材料開発へ提供した。形態制御技術へと開発により面等特異性を向上させる。</p> <p>・構造指向材を用い、水熱合成反応で単分散シリカナノ粒子合成に成功した。低屈折樹脂中での分散制御性を向上させる表面改質技術へ繋げる。</p> <p>・会合チタニアナノ粒子を少量の表面改質剤で高濃度、透明な分散液として得ることに成功。高屈折率光学材料開発へ提供した。</p> <p>・金属ナノ粒子との親和性を制御したポリイミド前駆体構造の設計合成を行った。マイクロ相分離した高分子薄膜中の親和性部位に金属銀ナノ粒子の偏析に成功した。マイクロ相分離構造については熱伝導パス形成にも有効な技術手段として提供。</p> <p>・ナノ粒子系熱力学(相平衡・相分離構造)の確立を目指し開発を進めた。表面改質粒子の有機溶剤中の分散安定化について、溶解度パラメータを用いた傾向を把握した。</p> <p>・親水・疎水パターン基板の設計作成完了。モデル粒子の特性解析を行った。</p> <p>・2 種のポリイミドを用いたマイクロ相分離構造形成に成功した。また In-situ 観察としての光学計測定法を確立した。延伸速度等の条件にて、構造の制御が可能となってきた。            熱伝導材料特に熱伝導パス形成への基盤技術として提供する。</p> <p>前駆体法による光学材料関連 2 件 出願</p>	<p>達成            計算科学による機構解明、速度論</p> <p>達成            形態制御による面特異性の確保</p> <p>達成            樹脂中の分散性</p> <p>達成            高屈折率材料への適応</p> <p>達成            ポリイミドマイクロ相分離構造の高熱伝導材料への展開</p> <p>達成            計算機科学の採用による高度化</p> <p>達成            支配因子の物理化学的考察</p> <p>達成            ミクロ相分離生成条件の更なる制御</p>

成果の普及	論文および国際学会発表 69 件 国内学会発表 38 件 新聞発表 2 件 国際学会招待講演 28 件 (国内) (8 件) 展示会 7 件	
-------	---	--

研究開発項目③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(1)官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術</p> <p>i)粒子等表面に有機官能基を大量、高速に導入する技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超臨界法を用いた表面修飾粒子の効率的な形成プロセスの構築。</li> </ul> <p>ii)有機官能基を導入したナノ粒子等のin-situ 合成技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速大量に形成した表面修飾粒子の材料創製技術への提供。</li> </ul> <p>iii)有機修飾ナノ粒子等の大量、高速、精密合成技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実用化に向けたスケールアップ</li> <li>・10t/年能力の構築</li> <li>・安定性、再現性、生産性を満足したトータルシステムとしての構築。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超臨界法によるナノ粒子合成基盤技術開発 (東北大) 流通式装置を開発すると共に、合成時の課題を装置開発へフィードバックを行った。</li> <li>・超臨界水熱合成装置の開発 (化学技術戦略推進機構) 流通式装置のスケールアップに関連する必要な装置を開発実行し、中量規模の装置を完成させた。</li> <li>・超臨界水反応による高速大量表面修飾プロセス開発 (化学技術戦略推進機構) 表面修飾シリコニア粒子、チタニア粒子を形成し、光学材料開発へ提供した。BN 粒子の表面改質も進めた。</li> <li>・高分子中ナノ粒子等分散・配向・配列プロセス基盤技術開発(東北大)</li> </ul>	<p>達成</p> <p>0.1t/年能力装置完成</p> <p>1t/年能力装置システム化 H21 完成</p> <p>実用化対応 H22 実施予定</p>
<p>(2)高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス技術開発</p> <p>材料機能を向上させるために、樹脂中のフィラーを1次粒子レベルまで分散させ、液晶等の使用も考慮しながら光、磁場、電場、応力等の外力により樹脂中のフィラーを配向・配列させるプロセスを開発する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光、電場、磁場を用いた高分子中ナノ粒子の分散状態の制御を可能とする技術開発。液晶付与したチタニア粒子での磁場配向に成功。</li> <li>・液中レーザーを用いた銀ナノシート形成技術開発 (長岡岐大) 液中レーザー法によって厚み 30nm のナノシートの合成に成功した。開発したナノ秒パルス電源を用いBN ナノシートの配向制御を可能とした。</li> <li>・延伸熱処理による無機ナノ粒子の配向・配列制御技術開発 (東工大) 相分離挙動を示す高分子を用い銀ナノ粒子の偏析構造の形成に成功した。</li> <li>・プロセス最適化技術開発 (東北大) スケールアップ時の諸問題を解決する In-situ 観察として高速 VTR を用い可視化に成功した。</li> </ul>	<p>達成</p> <p>プロセス基盤技術構築 世界初の樹脂中のフィラー配向配列プロセス開発を行う</p>

(3)プロセス最適化技術	<p>流れの可視化結果を踏まえた粒子形成シミュレーション技術により、超臨界装置混合部での渦の発生が認められ、粗大粒子や閉塞の原因となること判明した。</p> <p>プロセス関連      4件 出願</p>	
知的財産権の取得	<p>論文及び国際学会発表      66件</p> <p>国際学会招待講演      22件</p> <p>（国内）      （8件）</p>	
成果の普及	<p>国内学会発表      31件</p> <p>展示会 発表      8件</p> <p>新聞発表      6件</p>	

研究開発項目④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>○材料構造の計測・解析</p> <p>H23年度末の最終目標： 相反機能材料の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多元的に解明できる計測手法を構築する。 計測制御により得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる。</p>	<p>電気・電子材料分野</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・TEMにより粒子表面が設計通り修飾されていることを確認。</li> <li>・未修飾粒子ではナノ空孔が深くまで発生しており、界面熱抵抗悪化の原因となることを指摘。</li> </ul> <p>光学材料分野</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・TEM、固体 NMR により粒子表面修飾、結合状態、粒子分散状態への影響を確認。粒子修飾の指針となるデータを提供。</li> <li>・ナノ空孔と屈折率に相関。ナノ空孔の低減が屈折率低減の鍵となることを指摘。</li> <li>・他の手段では見えないナノ粒子の分散ゆらぎを確認。光線透過率低下を引き起こすことを指摘。</li> </ul> <p>技術動向調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特許情報を収集、解析し、プロジェクト内に提供。</li> </ul>	<p>達成</p> <p>高熱伝導材料に対する本格的な取り組み (H22年度)</p> <p>達成</p> <p>開発が先行している光学材料の計測と解析 (H21年度)</p> <p>達成</p> <p>技術動向調査を継続しプロジェクトの運営に寄与する</p>
<p>○計測データの統合解析 (材料機能インフォマティクス)</p> <p>H23年度末の最終目標： 本開発項目で得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価から得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。</p>	<p>解析技術環境整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・異種データを統合的に取り扱うための情報処理環境を整理。</li> <li>・多階層データ収集の選定指針とその統計処理アルゴリズムの開発</li> <li>・データの質を高めるための超解像手法やゆらぎのマイクロ、マイクロデータを統合解析する空間統計学(ハリオグラム)を材料構造ゆらぎに初めて適応。</li> </ul>	<p>達成見込み</p> <p>H22年度9月末</p> <p>統合解析手法の整備の加速、統計的なデータ収集・解析を開始</p>

	材料機能インフォマックス関連 5件 出願  論文及び国際学会発表 1件 国際学会招待講演 0件 (国内) (0件) 国内学会発表 14件 展示会 発表 0件 新聞発表 0件	
--	---	--

## 1.2 三菱化学(株)

### 研究開発項目① 超ハイブリッド材料創製技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(中間目標)</p> <p>(1)機能合目的的達成手法の提案 以降の部材について、下記の間 間目標値を達成する一手法以上を 提案すること。ただし単に目標値を 達成するのではなく、相反機能を合 目的的に実現する手法であること。 [Ⅲ]その他工業材料分野 [1] 放熱性材料(液晶画面用 LED 放熱用、燃料電池車・ロボット駆 動部放熱用) 熱伝導率<math>\geq 20\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 成形粘度<math>\leq 1000\text{Pa}\cdot\text{s}</math> 耐衝撃性<math>\geq 15\text{J}/\text{m}</math> 比重<math>\leq 3.5</math> 体積抵抗率<math>\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}</math></p> <p>(2)市場評価可能とする成果物の供 試 (1)の目標達成を客観的に判断 できるように、市場評価が可能な条 件(形態・数量)を明らかにし、成果 物を供試する。市場の評価を受け て、実用化するための課題を客観的 に抽出する。</p> <p>(最終目標) (1)機能合目的的達成手法の提案 以降の部材について、下記の最</p>	<p>(1) 高充填－高熱伝導コンセプトに基づき、中間目標を達 成した。 〔低粘度〕 熱伝導率<math>=24\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 粘度<math>=170\text{Pa}\cdot\text{s}</math> 比重<math>=1.8</math> 衝撃強度<math>=22\text{J}/\text{m}</math> 電気抵抗<math>=10^{14}\Omega\cdot\text{cm}</math> 〔高熱伝導〕 熱伝導率<math>=41\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> 粘度<math>=450\text{Pa}\cdot\text{s}</math> 比重<math>=1.9</math> 衝撃強度<math>=33\text{J}/\text{m}</math> 電気抵抗<math>=10^{14}\Omega\cdot\text{cm}</math></p> <p>(2) 家電メーカーA社に <math>30\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}</math> のサンプルを持ち込み協 議した。コスト重視でない、全く新しい製品への搭載を継 続して議論することを確認した。 家電メーカーB社より熱伝導シート材の照会があり、 三菱化学グループ会社にて試作を検討することになっ た。 顧客情報より、熱伝導部材は必ずしも厚さ方向のみ の熱伝導性だけでないことが分かった。</p> <p>以下( )は予定を含む件数 特許出願 0(1) 展示会 0(2) 新聞・雑誌 0 論文 0 口頭発表 0 受賞 0</p> <p>(最終目標に対する見通し) 高充填－高熱伝導コンセプトの解析とともに、各種基 盤技術を適用することにより、最終目標値の達成が見</p>	<p>(1) 達成</p> <p>(2) 達成</p>

<p>終目標値を達成する一手法以上を提案すること。ただし単に目標値を達成するのではなく、相反機能を合目的的に実現する手法であること。</p> <p>[Ⅲ]その他工業材料分野 [1]放熱性材料(液晶画面用LED放熱用、燃料電池車・ロボット駆動部放熱用)</p> <p>熱伝導率<math>\geq 40\text{W/m}\cdot\text{K}</math>  成形粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math>  耐衝撃性<math>\geq 24\text{J/m}</math>  比重<math>\leq 2.5</math>  体積抵抗率<math>\geq 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}</math></p> <p>(2)市場評価可能とする成果物の供試</p> <p>(1)の目標達成を客観的に判断できるように、市場評価が可能な条件(形態・数量)を明らかにし、成果物を供試する。市場の評価を受けて、実用化するための課題を客観的に抽出する。</p>	<p>込まれる。</p>	
---	--------------	--

研究開発項目② 相反機能発現のための基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(中間目標) 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能の発現手法を提供し、中間目標達成に寄与する。</p> <p>自主目標: 〔②-1 絶縁性と高熱伝導性を有する無機材料の開発〕 a) BNナノ粒子、BNナノシートの合成条件確立。 b) 表面修飾可能な非酸化物無機ナノ材料を開発。 c) 電気絶縁表面被覆法の開発。</p> <p>〔②-2 液晶性エポキシ樹脂の開発〕 a) 高熱伝導で力学延伸や磁場配向に適した液晶性エポキシ樹脂の開発・合成を行う。</p> <p>〔②-3 無機材料の表面修飾技術開発〕 a) 無機ナノ粒子表面への官能基導入手法確立。</p> <p>(最終目標) 研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標を達成する相反機能の発現機構を明らかにし、それに基づき相反機能発現材料のナノ空間・構造制御手法を確立する。</p>	<p>〔②-1 絶縁性と高熱伝導性を有する無機材料の開発〕 a) 高結晶高純度 BN ナノシートの合成に成功。 b) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ナノワイヤー合成に成功。 c) Ag ナノロッド、Au ナノシートの合成に成功。Ag ナノロッドの Ti(iOPr)<sub>4</sub> 絶縁被覆に成功。</p> <p>〔②-2 液晶性エポキシ樹脂の開発〕 ・ドメイン高配向が可能な主鎖にターフェニル骨格を有する液晶エポキシの合成に成功。 ・高配向と易成形性が期待されるターフェニル型ツインメソゲンエポキシの合成にも着手、高重合度のエポキシモノマー含有で液晶性発現を見出す。</p> <p>〔②-3 無機材料の表面修飾技術開発〕 ・BN 粒子表面へのエポキシ基含有鎖の導入条件確立。 ・BN 粒子表面修飾により粘度低下、力学強度(引張剪断強度)向上、熱伝導率向上を確認。</p> <p>以下( )は予定を含む件数 特許出願 0(2) 展示会 0 新聞・雑誌 0 論文 1(5) 口頭発表 11(18) 受賞 0</p> <p>(最終目標に対する見通し) 最終目標の高熱伝導材料を達成するための構成要素としての基盤技術として応用しうる。</p>	<p>達成見込み(平成 21 年 3 月)</p> <p>達成</p> <p>達成</p>

研究開発項目③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>(中間目標)</p> <p>研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の達成目標に掲げる相反機能を発現する材料を合成するプロセス技術を提供し、成果物を供試し、中間目標達成に寄与する。以下に自主目標を示す。</p> <p>自主目標:</p> <p>〔③-1 浸漬型ナノ被覆プロセス技術開発〕</p> <p>a) 液晶性エポキシ延伸紡糸の基礎検討と技術の見極め。</p> <p>b) 塗布性や接着性の確認および熱伝導率の見極め。</p> <p>〔③-2 ハイブリッド材料成型ナノプロセス技術開発〕</p> <p>a) ハニカム構造による熱伝導性改善効果を確認する。</p> <p>b) 市販材料を用い、成型プロセス側から高熱伝導性の検討を行う。</p> <p>c) 磁場発生装置を用い液晶エポキシ樹脂の基礎検討を行う。</p> <p>(最終目標)</p> <p>研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」の最終目標を達成する相反機能を発現する材料を合成するプロセス技術を確立する。</p>	<p>〔③-1 浸漬型ナノ被覆プロセス技術開発〕</p> <p>a) 長さ 378mのヒーターが必要(現実的に不可能)であること判明。</p> <p>b) 熱伝導率の目標値 100W/mK に対して 20W/mK 程度の結果となった。</p> <p>〔③-2 ハイブリッド材料成型ナノプロセス技術開発〕</p> <p>a) 表面修飾 BN 粒子被覆フェノール樹脂粒子のハニカム構造で熱伝導率2倍(35vol%時)。</p> <p>b) 櫛型構造成型体で熱伝導向制御の可能性を見出した。</p> <p>c) 液晶エポキシ樹脂の熱特性を磁場配向により評価し、約2倍の高熱伝導率化を達成。</p> <p>以下( )は予定を含む件数</p> <p>特許出願 0(1)</p> <p>展示会 0</p> <p>新聞・雑誌 0</p> <p>論文 0</p> <p>口頭発表 1(3)</p> <p>受賞 0</p> <p>(最終目標に対する見通し)</p> <p>中間目標を達成した系の加工プロセスにおけるフィラ一挙動を解析し、その相反機能達成原理をさらに広く適用して、最終目標値達成を狙える。</p>	<p>平成20年度末で事業中止。</p> <p>(理由)技術的難易度が非常に高いことを確認したため。</p> <p>達成</p>

研究開発項目④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p>研究開発項目④「材料設計に資する統合評価・支援技術開発」</p> <p>(中間目標) 中間目標は設定せず。自主目標として設定。</p> <p>自主目標: 〔④-1 超ハイブリッド材料における熱物性計測法の開発〕 a) 高熱伝導性ナノ粒子の薄膜、粒子-樹脂複合構造の熱物性評価手法を整備。 b) 熱物性データを材料開発へとフィードバック。</p> <p>〔④-2 材料設計に資する統合評価・支援技術開発〕 a) 項目②、③の微視的計測を中心にして、計測値を収集、解析、統合処理し体系化を行う。 b) 巨視的評価手法の検討を行う。</p> <p>(最終目標) 相反機能の表面・界面、バルク・深さ方向の構造及び状態をナノレベルまでの分解能で複合的・多元的に解明できる計測手法を構築する。得られた計測結果に開発部材の機能評価、相反機能発現・相反機能材料創製過程における評価から得られる分解能、雰囲気などが異なる階層的なデータを統合、情報科学的に処理し、機能発現に関わる経験則などの新しい知識体系として取り出すための手法を開発する。得られた結果を超ハイブリッド材料の設計に反映させる。</p>	<p>〔④-1 超ハイブリッド材料における熱物性計測法の開発〕 a) 熱物性分布計測技術の高度化を前倒して着手した。 b) 周期スポット加熱放射测温法によりナノ粒子薄膜試料、ナノ粒子/樹脂繊維複合材料の熱物性評価を実施した。</p> <p>〔④-2 材料設計に資する統合評価・支援技術開発〕 a) 産総研熱物性データベースを統合処理、体系化のフレームワークとして試行導入し熱物性データなどを蓄積した。微視的解析では分子レベルでの考察を行い、理論限界を解析した。 b) 熱物性測定実データから、巨視的評価解析を試行し、高次のゆらぎ特性に系を特徴づける情報が含まれる可能性を見出した。</p> <p>以下( )は予定を含む件数 特許出願 0 展示会 0 新聞・雑誌 0 論文 0 口頭発表 0 受賞 0</p> <p>(最終目標に対する見通し) DB を活用した知識の体系化とともに超ハイブリッド材料の構造評価軸を材料開発へのフィードバックを見込める。</p>	<p>達成</p> <p>達成</p>

### 1.3 東レ・ダウコーニング(株)

#### 研究開発項目①

#### 超ハイブリッド材料創製技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p><b>(1)高放熱性材料技術開発</b></p> <p><u>中間目標</u></p> <p>1) 熱抵抗値<math>\leq 0.03^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}</math></p> <p>2) 硬化前粘度<math>\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p><u>最終目標</u></p> <p>1) 熱抵抗値<math>\leq 0.01^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}</math></p> <p>2) 硬化前粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p><b>(2)高耐熱性材料技術開発</b></p> <p><u>中間目標</u></p> <p>1) 貯蔵弾性率の低下率<math>\leq 10\%</math></p> <p>2) 熱膨張係数<math>\leq 2.0 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}</math></p> <p>3) 硬化前粘度<math>\leq 200\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p><u>最終目標</u></p> <p>1) 貯蔵弾性率の低下率<math>\leq 10\%</math></p> <p>2) 熱膨張係数<math>\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}</math>、</p> <p>3) 硬化前粘度<math>\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p>	<p>1) <math>0.79^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}</math></p> <p>2) <math>800\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p>1) 76%</p> <p>2) <math>5.0 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}</math></p> <p>3) <math>41\text{Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p>粘度の値を多少犠牲にし、ポリシロキサン成分の架橋密度を増加させることにより熱膨張係数、弾性率低下率を大きく低下させることは可能</p>	<p>1) 未達</p> <p>2) 未達</p> <p>(東京大学での基盤技術の結果を反映して材料化開始予定)</p> <p>1) 達成見込み (2010年3月)</p> <p>2) 達成見込み (2010年3月)</p> <p>3) 達成</p>
<p><b>(3)成果物の供試</b></p>	<p>(3) 供試した</p>	<p>(3) 達成</p>

#### 研究開発項目③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

目 標	研究開発成果	達成度
<p><b>(1)官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術</b></p> <p><b>(1)シリカ系ハイブリッド</b></p> <p>1) ハイブリッド微粒子構造に対する合成条件依存性</p> <p>2) 粒子構造が材料物性に与える影響</p> <p><b>(2)金属系ハイブリッド</b></p> <p>1) 表面修飾剤、金属種の影響</p> <p>2) 合成手法が表面修飾、粒子径、金属酸化状態に及ぼす影響</p> <p>3) 流通式装置によるプロセス提案</p>	<p>1) 表面修飾率が制御されたポリシロキサン修飾ナノ粒子の合成に成功</p> <p>2) シリカナノ粒子を硬質ポリシロキサンに良分散させる技術提案</p> <p>1) エポキシシロキサンの高い表面修飾効果を確認</p> <p>2) 二段階加熱反応による表面修飾、酸化状態の制御を確認</p> <p>3) 流通式装置による製造のための要素技術を確立</p> <p>急速昇温を行う混合手法の最適化が、高温高圧水を用いた微粒子合成に広く重要であり、流体シミュレーションと組み合わせることにより、混合状態と粒子生成反応の関係性を明らかにし、一般的な設計指針を得る。</p>	<p>1) 達成</p> <p>2) 達成</p> <p>1) 達成</p> <p>2) 達成</p> <p>3) 達成見込み (2010年3月)</p>

	出願特許: 2件(いずれも東レ・ダウコーニングと東京大 学との共同出願) 論文発表: 1件(共著) 学会発表: 5件(国際会議1件含む; 共著)	
--	---	--

## 2. 研究開発項目毎の成果

(財)化学技術戦略推進機構 東北大学 東京工業大学  
長岡技術科学大学 九州大学 (独)産業技術総合研究所

### 2.1 概要

#### 2.1.1 事業の目的

1. 単なるハイブリッド化ではなく、従来材料では成しえなかったトレードオフ（相反機能）をナノレベルでの界面・分散・構造制御で解消し、相反機能を合目的的に制御・実現することができる技術、あるいはそれに資する技術を産学官の科学的知見を結集して相反機能発現技術や相反機能創製プロセス技術などの共通基盤技術を開発する。

2. それら開発された技術を用いて、電気・電子材料部材（パワーデバイス、ICパッケージ）、光学部材（高屈折率材料、低屈折率材料）を開発する。

#### 2.1.2 開発する相反機能

開発する相反機能とは、既存材料では同時に発現させるのが困難で、材料特性上その機能が相反する複合機能を指す。すなわち、電気・電子材料（パワーデバイス、ICパッケージ）では、熱伝導性 $\leftrightarrow$ 絶縁性・耐熱性・接着性 $\leftrightarrow$ 易成型性を、光学材料（屈折率材料）では、屈折率 $\leftrightarrow$ 透明性 $\leftrightarrow$ 加工性の関係を指す。

この課題の克服には、従来のハイブリッド材料開発の課題であった、加工性・成型性（工業化）も含めたブレイクスルーが必要となる。

#### 2.1.3 電気・電子材料 中間目標

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」

①-A：電気・電子材料（パワーデバイス周辺材料）

絶縁破壊電圧 $\geq 30\text{kV/mm}$  $\leftrightarrow$ 熱伝導率 $\geq 30\text{W/mK}$  $\leftrightarrow$ 耐熱性 $\geq 300^\circ\text{C}$  $\leftrightarrow$ 易成型性

①-B：電気・電子材料（ICパッケージ周辺材料）

非絶縁：熱伝導率 $\geq 40\text{W/mK}$  $\leftrightarrow$ 接着強度（熱サイクル 1000 回後 $\geq 1\text{MPa}$  (at $260^\circ\text{C}$ )

絶縁：熱伝導率 $\geq 7\text{W/mK}$  $\leftrightarrow$ 体積抵抗率 $\geq 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$  (at $150^\circ\text{C}$ ) $\leftrightarrow$ 接着強度（熱サイクル 1000 回後） $\geq 1\text{MPa}$  (at $260^\circ\text{C}$ )

パワーデバイス（放熱シート）

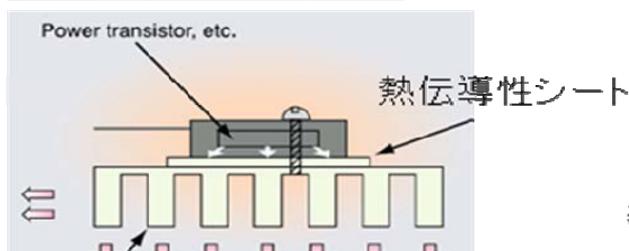
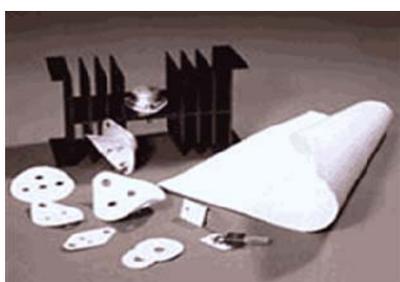


図 2.1.3-1 パワーデバイス周辺材料

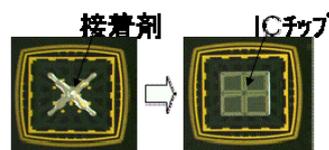


図 2.1.3-2 ICパッケージ（非絶縁 接着剤）

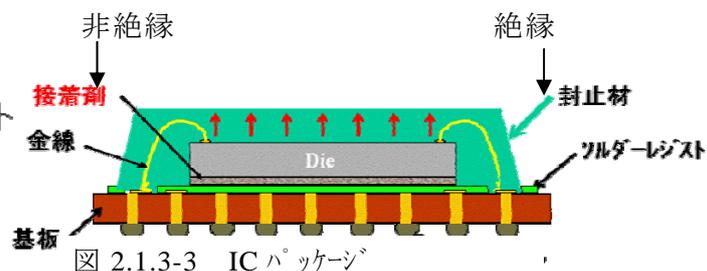


図 2.1.3-3 ICパッケージ

## 2.1.4 電気・電子材料 開発戦略

ここで開発する相反機能とは、具体的には図 2.1.4-1 のようなもので、従来非常に困難であった、2つの目標（高熱伝導性と絶縁性）を同時に満足させなければならない。

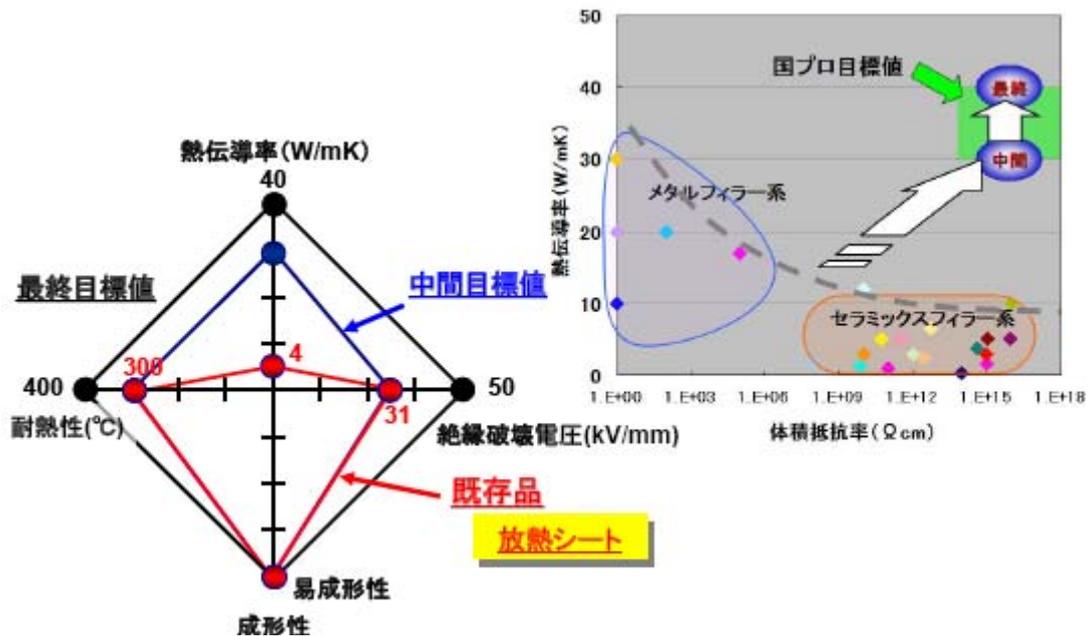


図 2.1.4-1 電気・電子材料開発目標と相反機能

単に高充填させた従来技術では、目標の高熱伝導性は得られないが、フィラーの表面修飾による樹脂中分散での低粘度化・界面熱抵抗の低減及び自己組織化・配向・配列による熱伝導パスの形成により相反機能を確立する。

## 2.1.5 光学材料 中間目標

研究開発項目①「超ハイブリッド材料創製技術開発」

①-C： 光学材料分野（屈折率材料）

[1] 低屈折率材料

鉛筆硬度（JIS K5600） $\geq 3H \Leftrightarrow$  屈折率 $\leq 1.42 \Leftrightarrow$  全光線透過率 $\geq 90\% \Leftrightarrow$  易成形性

MFR（メルトフローレイト JIS K7210） $\geq 10g/10min$

[2] 高屈折率材料

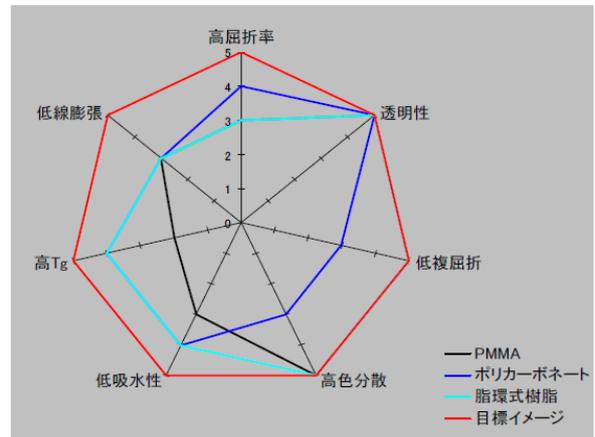
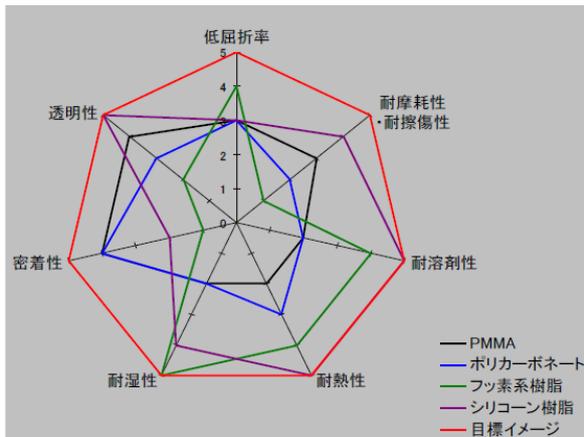
全光線透過率 $\geq 90\% \Leftrightarrow$  屈折率 $\geq 1.6 \Leftrightarrow$  易成形性 MFR（メルトフローレイト

JIS K7210） $\geq 10g/10min$

光学材料の実用化を踏まえた目標特性値を図 2.1.5-1 のレーダーチャートに示す。

【薄膜材料:フィルム、コーティング等】

【バルク材料:レンズ、封止材等】



超ハイブリッド技術 ⇒ 既存材料の欠点を克服した、バランス良い材料へ！

図 2.1.5-1 光学材料 諸特性目標値レーダーチャート

光学材料を開発する上での従来技術の問題点と光学材料（屈折率制御）開発の戦略について、図 2.1.5-2 にまとめた。

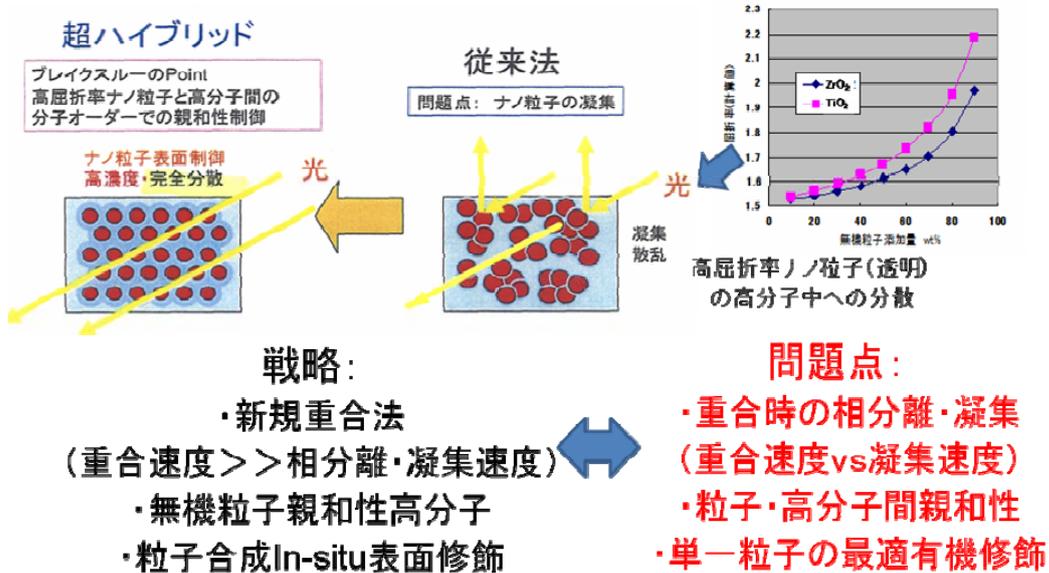


図 2.1.5-2 光学材料開発戦略

## 2. 1. 6 研究開発体制

各研究開発項目との相関図を図 2. 1. 6-1 及び開発体制を図 2. 1. 6-2 ( I、 II ) に示す。また、外部有識者の意見を伺う総調委員会とユーザー企業の意見を反映させる材料評価分科会を設置している。

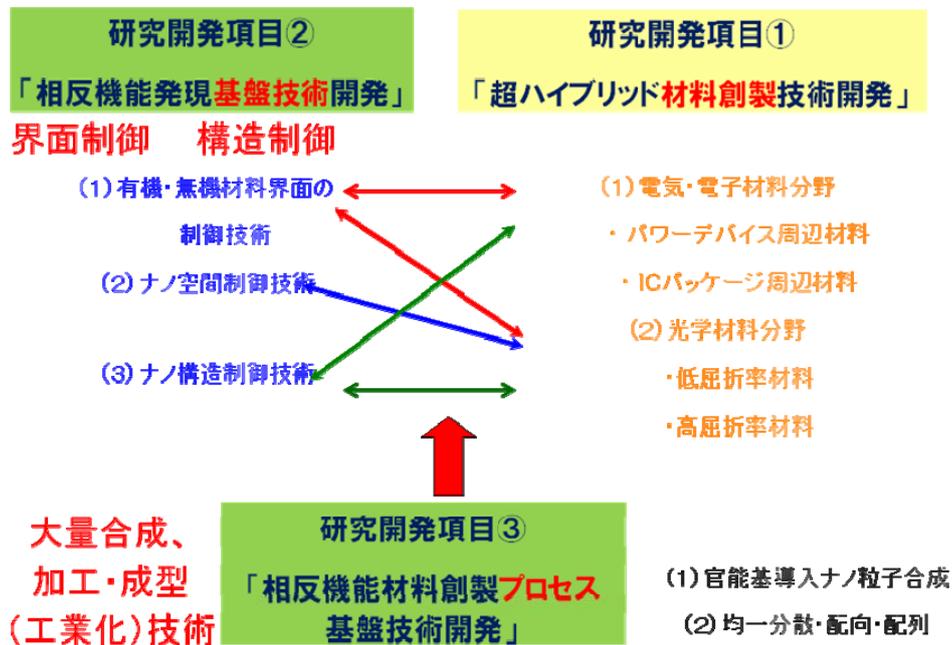


図 2. 1. 6-1 研究開発項目の相関図

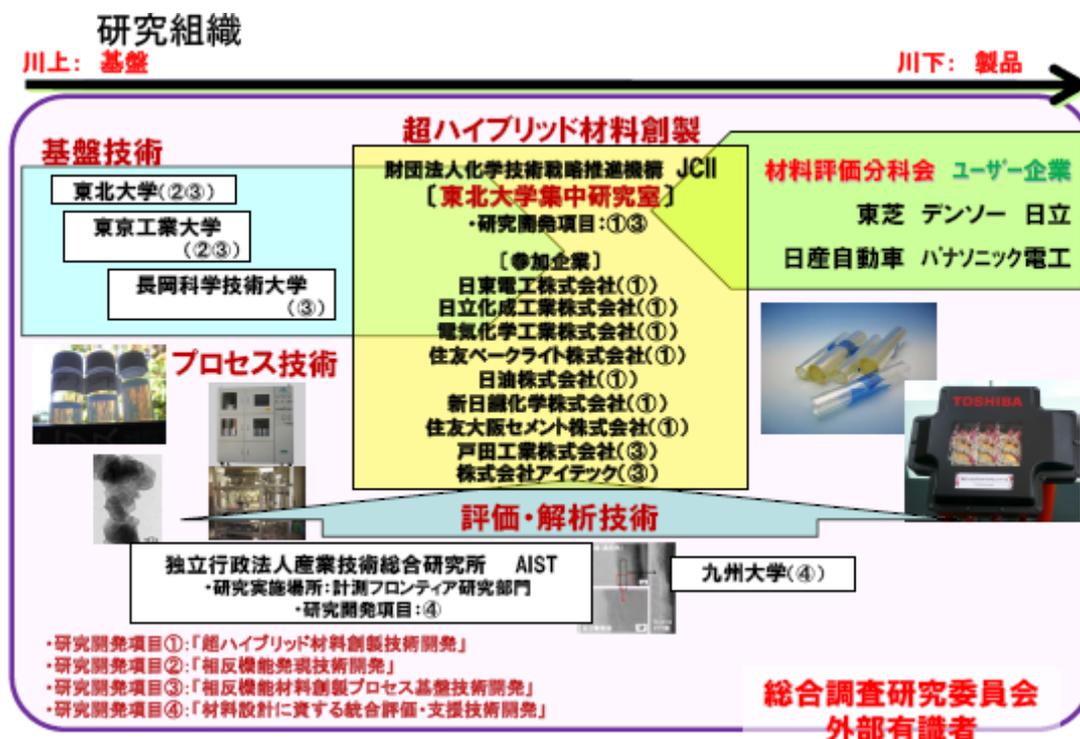


図 2. 1. 6-2 研究開発項目と研究体制 1

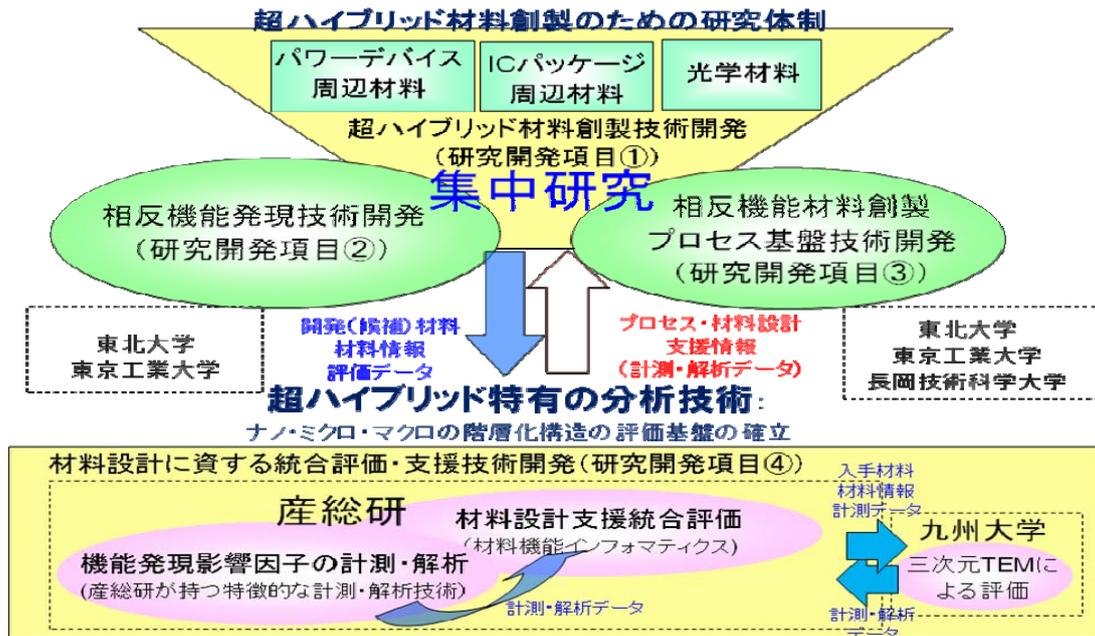


図 2.1.6-2 研究開発項目と研究体制 2

2. 1. 7 研究開発成果

2. 1. 7. 1 研究開発成果 まとめ

研究開発項目	成果	達成状況
①超ハイブリッド材料創製技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICパッケージ周辺材料 封止剤については、表面改質によりアルミナ粒子の高充填化が可能となり開発目標を達成した。 接着剤については、銀粒子のコアシェル化により目標を達成した。</li> <li>パワーデバイス周辺材料 高熱伝導フィラーの高充填化及び配向技術により目標を達成。</li> <li>光学材料（低・高屈折率材料） 目標値を達成、実用化に向けバランスの取れた材料設計へ。</li> </ul>	◎
②相反機能発現のための基盤技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>界面制御技術開発</li> <li>①超臨界水熱合成・In-situ 表面修飾を TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub> 粒子及び BN 粒子に適応し、高屈折率材料および高熱伝導材料へ供給できた。</li> <li>②高度水熱合成・表面修飾技術として高熱伝導フィラー h-BN の形成に成功した。</li> <li>③メカノケミカル分散・In-situ 表面修飾技術を TiO<sub>2</sub> 粒子、SiO<sub>2</sub> 粒子に実施した。</li> <li>分散制御技術開発 ナノ粒子系熱力学に基づき有機修飾分子の設計・合成指針を得ることが出来た。</li> <li>構造制御技術開発 新規重合法によりナノ粒子の均一分散を可能とした。</li> </ul>	◎

③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術 有機修飾ナノ粒子の流通式連続合成を実現し、光学材料、電気・電子材料の合成グループに提供した。</li> <li>・高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス ナノ秒パルスの高圧電界により、マトリックス中のナノ粒子を配列する手法を世界に先駆けて提案、実現。</li> <li>・プロセス最適化技術 産業規模へのスケールアップを目指し、キーとなる装置群、シミュレーション技術を開発。</li> </ul>	◎
④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイブリッド構造解析技術基盤 超ハイブリッド材料特有の評価解析技術として、高分解能 TEM 固体 NMR、陽電子ビーム等の測定機を駆使し、開発性能機能と構造との相関を提供できた。</li> <li>・材料インフォマティクス 不均一系材料のゆらぎのマイクロ、マクロデータを統合解析する空間統計学（バリオグラムを材料構造ゆらぎデータに初めて適用開始。</li> </ul>	◎

研究開発成果は以下の表 2.1.7-1 にまとめた。

表 2.1.7-1 成果の外部発表一覧

研究開発項目	合計	研究開発項目 ①	研究開発項目 ②	研究開発項目 ③	研究開発項目 ④
論文および 国際学会発表	165報	29	69	66	1
国内 学会発表	92報	9	38	31	14
特許	18件	7	2	4	5
新聞雑誌	8件	0	2	6	0
国際学会招待 講演 (国内)	50件 (16件)	0	28 (8)	22 (8)	0
展示会	28 件	13	7	8	0

## 2. 2 研究開発項目② 相反機能発現基盤技術開発

東北大学 東京工業大学

### 開発の進め方 概要

従来型の高分子複合材料・高分子ナノコンポジットで行われてきた単なる混練り技術やハイブリッド化では達成し得なかったトレードオフ（相反機能）を回避・解消するために、充填無機ナノ粒子（無機ナノフィラー）と高分子マトリクスにおけるナノレベルでの界面・分散・構造制御の基盤技術の確立を目指す。

本研究開発項目② 相反機能発現基盤技術開発は、③ 相反機能材料創製プロセス基盤技術開発、④ 材料設計に資する統合評価・支援技術開発とともに連携し、① 超ハイブリッド材料創製技術開発への共通基盤技術を開発する。すなわち、電気・電子材料（パワーデバイス、ICパッケージ）においては、その熱伝導性、絶縁性・耐熱性・接着性、易成型性を、一方、光学材料（屈折率制御材料）においてはその屈折率、透明性、加工性を同時に且つ合目的に実現可能とする。

以下、具体的制御項目を列挙する。

- |      |   |
|------|---|
| 界面制御 | ・ <i>in-situ</i> 有機修飾ナノ粒子合成   |
| 分散制御 | ・ 有機修飾基の設計<br>・ 修飾分子構造の最適化<br>・ 相互作用評価                              |
| 構造制御 | ・ 均一分散（光学材料創製）<br>・ 相分離構造（熱伝導材料創製）<br>・ 外場付与構造形成（光、電場・磁場付与 熱伝導材料創製） |

これまで得られた相反機能のための基盤技術まとめを表 2.2-1 に示す。

表 2. 2 -1 相反機能発現のための基盤技術

中間目標 の達成度	* 超臨界法による表面改質粒子の基盤技術を構築した。 * 高熱伝導 h-BN 粒子の合成と表面修飾に成功した。 * 表面改質粒子の分散性の定量的評価と相図を作成した。				
成果の意義	*ハイブリッド材料創製の基本である、表面改質粒子と樹脂との親和性の基本技術を得た。				
知的財産権 の取得	2 件				
成果の普及	論文及び 国際学会発表	国内学会発表	新聞雑誌	国際学会 招待講演 (国内)	展示会
	69 件	31 件	2 件	28(8)件	7 件
成果の最終目標 の達成可能性	計算機科学等の導入により、機構解明・速度論的な解明を進め高度な表面改質技術として構築を進める。				

中間目標に対する達成度と、最終目標は表 2.2-2 の通りである。

表 2.2-2 基盤技術 成果まとめ

実施項目		中間目標	最終目標	達成度	コメント
有機・無機材料の界面制御	超臨界法による粒子界面制御 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機修飾量の定量化</li> <li>・修飾機構の解明</li> <li>・修飾条件の最適化</li> </ul>	超臨界場を用いた有機修飾無機ナノ粒子合成の基盤技術の確立	◎	計算科学の援用による詳細な機構解明
	分子レベルでの面特異吸着による界面制御 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・h-BN ナノ粒子の合成と表面修飾, 形態制御・外場応答性表面修飾</li> <li>・チタニアナノ粒子の合成</li> </ul>	有機修飾分子の選択的吸着基盤技術の確立	◎	合成条件のさらなる最適化と配向制御
ナノ空間制御	低屈折率樹脂中の均一分散 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単分散シリカライトナノ粒子の合成と形態制御</li> </ul>	単分散・高空隙率の無機ナノ粒子の合成と均一分散基盤技術の確立	◎	合成条件のさらなる最適化と分散性制御
ナノ構造制御	ナノ粒子表面の有機修飾 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メカノケミカル分散</li> <li>・In-situ 表面修飾法</li> <li>・二段階重合法の最適化</li> </ul>	高濃度無機ナノ粒子複合高分子材料の作製基盤技術の確立	◎	分散および重合条件のさらなる最適化
	前駆体法による金属/無機ナノ粒子分散薄膜 (東工大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・金属ナノ粒子との親和性を制御したポリイミド前駆体構造の設計・合成</li> <li>・二重パーコレーション構造形成の最適化条件の探索</li> </ul>	高耐熱性屈折率制御高分子材料の作製基盤技術の確立	◎	相分離構造の生成条件および金属ナノ粒子の高濃度偏析の最適化
ナノ空間・構造制御手法最適化技術	表面修飾ナノ粒子と媒体との相互作用評価 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面修飾ナノ粒子の分性の定量的評価と相図の作成</li> </ul>	表面修飾無機ナノ粒子系の熱力学の確立	◎	計算科学の援用による詳細な解析
	パターン基板と表面修飾モデル粒子との相互作用解析による分散因子検証 (東北大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・親水・疎水パターン基板の設計・作製</li> <li>・表面修飾モデル粒子の特性解析</li> </ul>	高分子マトリクス中における分散状態の支配因子の解明	○	支配因子の物理化学的考察
	マイクロ相分離による材料開発および in-situ 光学測定法 (東工大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロ相分離構造の生成条件の探索と制御</li> <li>・その場合光学特性評価手法の構築</li> </ul>	高分子複合系における配向構造制御基盤技術の確立	○	マイクロ相分離生成条件のさらなる制御

具体的な開発課題を以下に紹介する。

## 2. 2.1 界面制御

### 2. 2.1-1 超臨界水熱合成：ナノ粒子合成と *in-situ* 表面修飾

超臨界水とは、374 度以上、22.1MPa 以上の高温高压下にあり、海底火山の近くはこのような状態となっている。図 2. 2.2-1-1 に超臨界水熱合成法を用いた有機分子修飾無機ナノ粒子の作製プロセス、生成過程の概念図を示す。

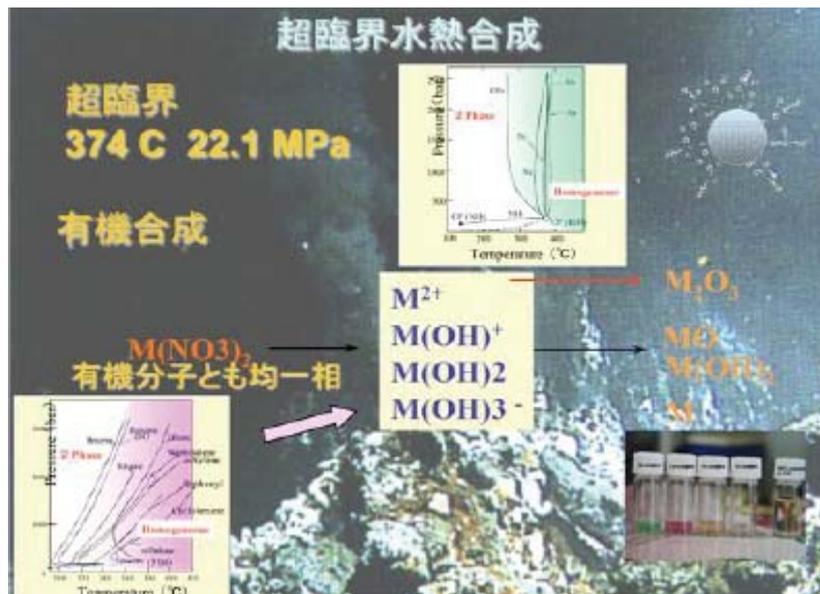


図 2. 2. 1-1-1 超臨界水熱合成の概念

この手法は材料合成に対して様々なメリットを有する。まず、誘電率が極性有機分子と同等まで低下することにより、有機分子とも均一混合するようになる。また、超臨界水において水分子間の引力を熱エネルギーの方が上まわり、「密度の高い水蒸気」のような挙動を示すため、水素、酸素などのガスとも均一に混合する

金属の酢酸塩、硝酸塩など金属塩の水溶液を加熱すると、金属イオンと水とが反応して金属水酸化物、金属酸化物が生成される。この水熱反応を超臨界水中で進行させることにより、有機溶媒、気体の存在下で酸化物ナノ粒子を合成することが可能となる。その結果、ナノ粒子の表面に有機分子が結合した有機無機ハイブリッドナノ粒子、還元雰囲気中での金属ナノ粒子の合成が実現できる。生成した有機無機ハイブリッドナノ粒子は図 2. 2. 1-1-2 左のような構造を有し、ナノ粒子の界面化学特性を制御することが可能となり、図 2. 2. 1-1-2 右のように様々な有機溶剤中への分散が期待できる。



図 2. 2. 1-1-2 超ハイブリッド粒子の構造 (左) と有機溶剤中への均一分散 (右)

### 2. 2. 1-2 *In-situ* 表面修飾の機構解明と最適条件

本プロジェクトでは、この合成場において有機分子を酸化物ナノ粒子表面に修飾する反応 (*in-situ*

表面修飾反応) の機構解明を行った。その結果、有機修飾量が最大となり、表面修飾に最適な pH が存在することが明らかとなった(図 2. 2. 1-2-1)。この図にナノ粒子のゼータポテンシャル、COOH 基の等電点から計算した COO<sup>-</sup>濃度を重ねて表示すると、ナノ粒子表面が正の電荷を有し、COOH 基が解離して負の電荷を持つ pH において有機修飾が進行することが明らかとなった。今後、超臨界場での解離の評価、等電点 (IEP) の評価、計算科学の援用により、詳細な機構解明を進めていく。

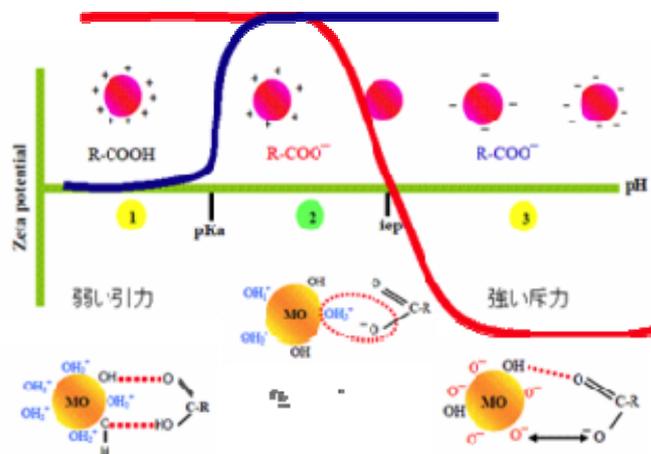


図 2. 2. 1-2- 1 *In-situ* 表面修飾の機構とその最適条件

### 2. 2. 1-3 超臨界法で合成した有機分子修飾ナノ粒子

様々な金属酸化物ナノ粒子の合成も可能であり、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub> など様々な機能性酸化物について、表面修飾ハイブリッドナノ粒子の合成を実現している。これらのナノ粒子は高屈折率ハイブリッド材料創製に提供している。

### 2. 2. 1-4 超臨界法で合成した有機分子修飾 TiO<sub>2</sub> ナノ粒子に高分子を結合

本基盤研究では、合成した有機分子修飾酸化物ナノ粒子に高分子を結合することで、ポリマーハイブリッド酸化物ナノ粒子を合成することにも成功している。

### 2. 2. 1-5 空間制御技術のための単分散 silicalite-1 の合成

ゼオライト粒子としては、人工ゼオライトであるシリカライト 1 に注目し、その単分散化および粒径制御の検討を行った。ここで、構造指向剤とは、その周囲にポリケイ酸イオンを引き寄せ前駆体を作製させ、ゼオライトの構造形成に利用するものである。シリカライト粒子を合成した。

得られた粒子は焼成後、XRD、FE-SEM 等によりキャラクタリゼーションを行った。

### 2. 2. 1-6 構造指向剤共存下での非晶質シリカナノ粒子水熱合成

構造指向剤として TPAOH をもちい、TPAOH とシリカ源との比をモル比で 0.2-0.5 まで変えることによりシリカライト 1 の合成検討を行った。面修飾・さらにはポリマー中に均一分散させることにより、ゼオライトナノ粒子の屈折率制御材料への展開を検討している。

## 2. 2.1-7 メカノケミカル分散・*in-situ* 表面修飾

粉碎法としてメカノケミカル分散法を用いた。ビーズミル法は粉碎媒体のビーズを粉碎室の中でアジテータを高速回転させることによって、ビーズを攪拌し、ビーズに運動エネルギーを付与し、この運動エネルギーを持ったビーズに粒子を捕捉させて摩擦、衝突、せん断等のビーズが持つ運動エネルギーで凝集された粒子を粉碎・分散する。粒子に与える力はビーズのアジテータ速度や所要ビーズの質量によって制御できるため、粒子の結晶構造にダメージを与えず、分散させることができる。ビーズとして、 $\text{TiO}_2$ より密度が高く、耐磨耗性が高いジルコニア粒子（密度  $5.89 \text{ g/cm}^3$ ）を用いた。また、 $\text{TiO}_2$ ナノ粒子表面に存在する水酸基に起因するもので、酸化チタン粉末を溶媒に懸濁する際、高度に分散させ、粒子同士の凝集を防ぐ方法としては、塩酸、硫酸あるいは有機酸などの酸を存在させ、懸濁液の pH を酸性側に調整するか、あるいは水酸化ナトリウム等のアルカリを存在させ懸濁液の pH をアルカリ側に調整する方法が知られている。そこで、 $\text{TiO}_2$ ナノ粒子と有機溶媒・モノマー、ポリマーとの親和性を向上させるため、アルキル基を有する飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸を検討した。

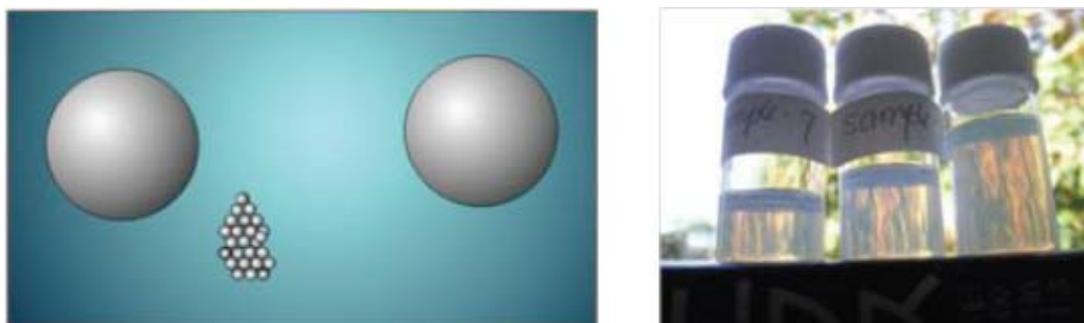


図 2. 2.1-7-1 メカノケミカル分散・*In-situ* 表面修飾の概念図（左図）、  
得られた  $\text{TiO}_2$ ナノ粒子のトルエン分散液（右図）

## 2. 2.2 分散制御

### 2. 2.2-1 有機分子修飾ナノ粒子の設計 有機溶媒中での分散安定性

酸化物ナノ粒子表面への有機分子修飾により、有機溶媒中への分散を実現できるが、本プロジェクトでは、さらに有機修飾ナノ粒子の溶解度の測定し、この溶解度、分散安定性を支配する要因の解明を行っている。まず、有機分子修飾酸化セリウムナノ粒子を合成し、様々な濃度で有機溶媒中に分散し、曇点の評価から溶解度を評価した。

得られた結果を基に溶解度を評価することで、これは、既存の液-液系の溶解度曲線に類似しており、有機分子修飾ナノ粒子を分子や連続相として取り扱うことができることを示唆している。現在、高分子科学の分野で用いられている溶解度パラメータなどの指標を用いつつ、溶解度の推算と共に修飾分子の設計を進めていく。

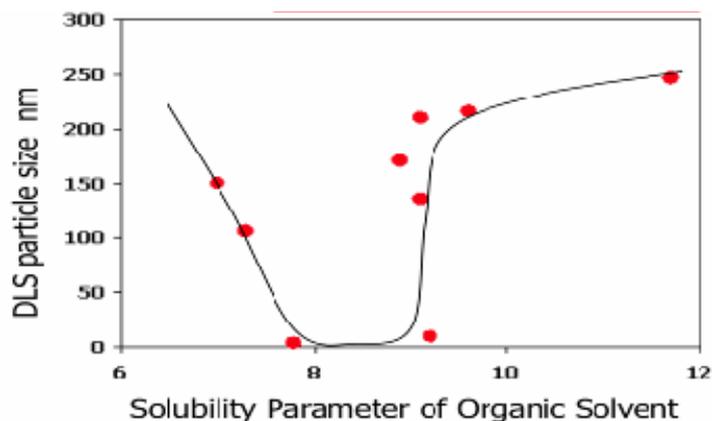


図 2. 2.2-1-2 有機分子修飾ナノ粒子の溶解度曲線と溶解度パラメータ

### 2. 2.2-2 有機分子修飾無機ナノ粒子の設計 高分子との親和性評価

ポリマーとの親和性を評価する方法として、固体基板上への無機ナノ粒子の吸着挙動の解析を行っている。ナノ粒子が分子種と同様な吸着挙動を示すとみなし (図 2. 2.2-2-1)、その吸着過程を Langmuir 吸着モデルで考えると、吸着量  $q$  は飽和吸着量  $q_{\max}$ 、溶媒中の濃度  $C$ 、平衡定数  $K$  を用いて以下のように表される。

$$q = \frac{q_{\max} KC}{1 + KC}$$

ここで、平衡定数  $K$  は

$$K = \exp\left(-\frac{\Delta H_{ads}}{RT}\right)$$

で表されるので、吸着量の評価から平衡定数を求め、ここから吸着エネルギーを求めることが可能となる。ここで基板にポリマー材料を用いれば、ポリマーとナノ粒子間の親和性を吸着エネルギーとして評価できる。

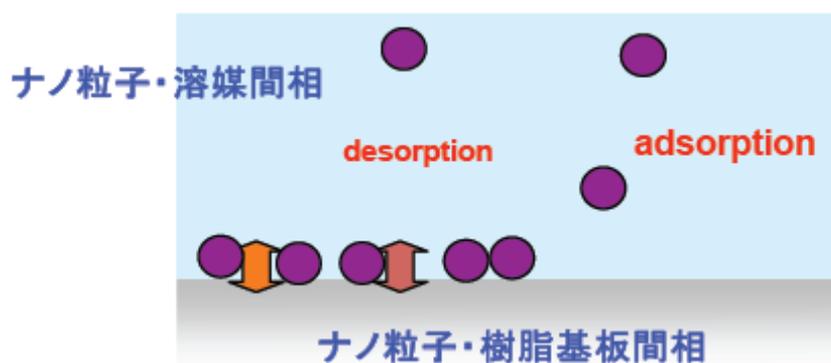


図 2. 2.2-2-1 溶液中での有機分子修飾ナノ粒子—基板間相互作用

この考えに基づき、これまでにナノ粒子分散液中に浸漬した基板上へのナノ粒子の吸着、脱着過程を調べると共に、その基板、溶媒依存性を評価している。さらにその経時変化をもとに、吸着平衡定数の評価にも取り組んでいる。

さらに、高分子マトリクス中への無機ナノ粒子の分散を評価するため、種々の官能基をパターンニングした基板を高分子マトリクスに見立てることで、基板上へのナノ粒子の吸着・凝集挙動から、ナノ粒子と基板すなわち、高分子マトリクスとの相互作用を評価することができる。ナノ粒子の吸着平衡は、ナノ粒子と溶媒、ナノ粒子と基板、溶媒と基板との相互作用のバランスで決まるので、ナノ粒子のゼータ電位、および基板のゼータ電位と相互評価することが大切となる。

## 2. 2.3 構造制御

### 2. 2.3-1 高屈折率材料開発の戦略

構造制御について、高屈折率光学材料開発を例にその材料開発戦略を述べる。従来より無機ナノ粒子の充填が高分子マトリクスに対して行われてきたが、高屈折率を達成するために高濃度充填を行うと基本的に凝集体が生成する。さらに、モノマーおよびプレポリマーマトリクス中に無機ナノ粒子を均一分散させても、その後の重合過程でやはり凝集が生じ、散乱損失の大きい、不透明な光学材料となる。

ここでは、無機ナノ粒子に表面修飾を施したため、高分子マトリクス中への親和性は格段に向上しており、さらに、新規重合法の導入によって、重合速度が相分離・凝集速度を上まわる最適条件を達成により、従来の問題点を解決しようとする戦略である。

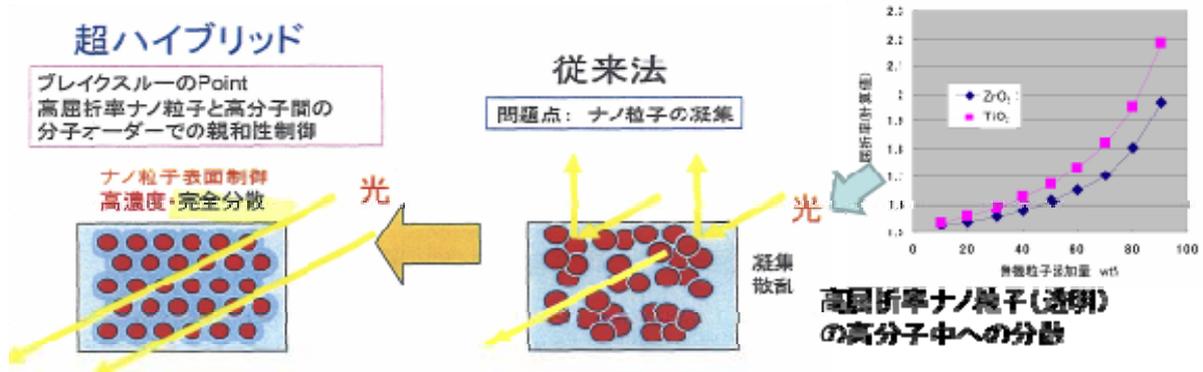


図 2. 2.3-1-1 超ハイブリッド高屈折率材料開発の戦略

### 2. 2.3-4 高熱伝導材料開発の戦略

次に、構造制御について、高熱伝導材料開発を例にその材料開発戦略を述べる。従来のように、無機ナノ粒子を大量に高分子マトリクス中に充填すると、界面熱抵抗の上昇、成形・加工性の著しい低下を招いた。これに対して、高分子マトリクスにおける相分離構造や自己組織化構造、外場印加による無機ナノ粒子の配向・配列制御を行い、ナノ粒子同士の連結構造、すなわち熱伝導パスを構築することが重要となる。このような材料開発戦略は、無機ナノ粒子の合目的表面修飾基盤技術の確立に帰着される。

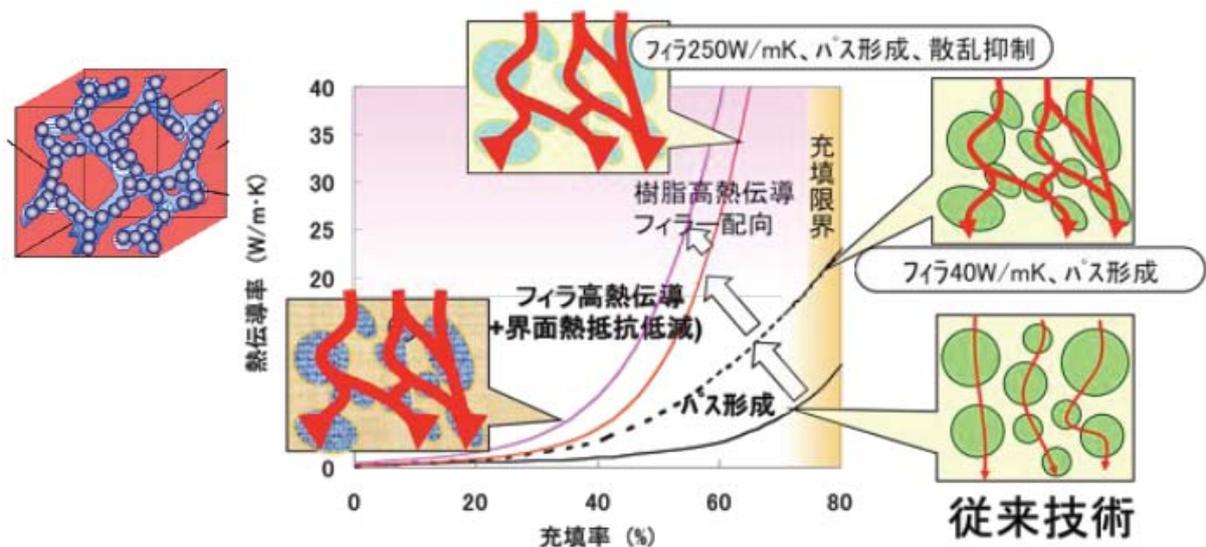


図2. 2.3-4-1 超ハイブリッド高熱伝導材料開発の戦略

2. 2.3-5 ミクロ相分離：ナノ粒子の配列制御

銀ナノ粒子に対して親和性の異なる2種のポリイミド (PI) 共重合体を用いて、PIマトリクス中で熱還元を行うと、銀ナノ粒子が一方の相に選択的に析出することを報告している。そこで、2種のPI前駆体のブレンド物を用いて相分離構造を発現させ、加熱イミド化時に銀ナノ粒子を連続相に選択的に析出させることで、他方がナノ粒子の排除領域となり、面外方向に銀ナノ粒子が並んだ熱伝導パス形成を促進し、効率的に熱伝導率を向上させる新たな材料設計を提案し、その妥当性を検証した。ブレンド比及び製膜条件を最適化することで、スピコート法による製膜過程においてSD相とTF相が膜厚方向に共に連なる“二重パーコレーション”型相分離構造を自発的に形成するハイブリッド薄膜の調製に成功した。薄膜の熱伝導率を効率的に向上させる新たな材料設計指針として有効であることが示された。

2. 2.3-6 光励起重合：ナノ粒子の配向制御 (1)

重合様式の異なる 2 種類のモノマー (例えば：ラジカル/カチオン/熱重合性樹脂) 中に完全分散する表面修飾ナノ粒子を対象として、レーザー誘起パターン形成させる。2 種類のモノマー中に分

散したナノ粒子をパターン内、あるいはパターン近傍に選択的に移動させ、配列制御を行う。モノマーについて、ラジカル重合性モノマーはそれぞれ粘度の異なった3官能アクリレート系及び4官能を選択した。またカチオン重合性モノマーとして、エポキシ系を選択した。

光照射により、ラジカル反応及びカチオン反応が同時に励起されることになるが、ナノ粒子を配列させるため、この二種類の反応がそれぞれ別に励起させなければならない。そこで、これら二種類の反応を、異なった光の波長励起できるように、開始剤を適切に選択した。上記の2種類のモノマーを混合させた場合、 $Ar^+$ レーザーやYAGレーザーを照射させると一方のみ硬化させることが出来る。

#### 2. 2.3-7 光励起重合：ナノ粒子の配向制御（2）

偏光顕微鏡観察により、モノマーが全面的に硬化されたにも関わらず、レーザーสキャンによる照射部分の明瞭な硬化パターンの確認ができた。これより、レーザーの描画により永久的な屈折率差が生じたと評価できる。即ち、レーザー光の照射により、硬化されたポリマーと未硬化モノマー中の $TiO_2$ の濃度勾配が形成され、ナノ粒子の選択的配列が達成できた。今後は屈折率分布および配列効果の最適化を定量的に測定し、他のナノ粒子配列にも適用できる基盤技術としての実証を行う。

#### 2. 2.3-8 電場・磁場印加：ナノ粒子の配向制御

形態制御官能基を有する有機液晶としては、誘電率異方性が負で、アミノ基を有する棒状液晶分子を合成した。また、誘電率異方性が正のフッ素系液晶性部位を有する2種類のアミンおよびカルボン酸を合成し、これらを用いた形態制御ナノ粒子の合成を行った。

さらに、これらの液晶分子は高熱伝導性材料開発のため、窒化ホウ素粒子の表面修飾剤としても現在、評価を行っている。

## 2. 3 ③相反機能材料創製プロセス基盤技術開発

東北大学 東京工業大学 長岡技術科学大学  
(財) 化学技術戦略推進機構

### 2. 3. 1 概要

本プロジェクトでは、ハイブリッドナノ材料の産業化を目指し、研究項目③でプロセス基盤技術の開発を行っている。産業化に必要な合成スケールを評価すると、市場規模10億円、価格10万円/kgとの仮定の下、年に10tの生産規模となる。そこで、従来は回分式反応装置を用いるハイブリッドナノ粒子合成を連続式合成装置を用いて行う技術の開発が必要となる。また、本プロジェクトの基盤研究では均一分散・配向・配列手法の開発を行っているが、これを工業スケールで行う手法の開発、連続式合成装置のスケールアップ技術が重要となる。そこで、本研究開発項目では、(1)官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術、(2)高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス、(3)プロセス最適化技術を研究課題として定めた。

開発のスケジュールとして、課題1 官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術 では、高屈折 $ZrO_2$ ナノ粒子の流通式合成、ハイブリッド化ナノ粒子の流通式合成、各課題の要請に基づく流通式大量合成を行う。課題2 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス では研究開発項目②基盤技術開発での技術開発を受け、基盤技術研究の成果に立脚するプロセス技術の開発を行う。また、課題3 プロセス最適化技術では、流通式装置の導入と課題の抽出、スケールアップ基盤技術、可視化技術の開発、大量合成、配列複合化装置設計技術の確立を行う。これらの技術開発を通じて、プロジェクト終了時までには、工業化を視野に入れたプロセス技術の確立することを目的とする。

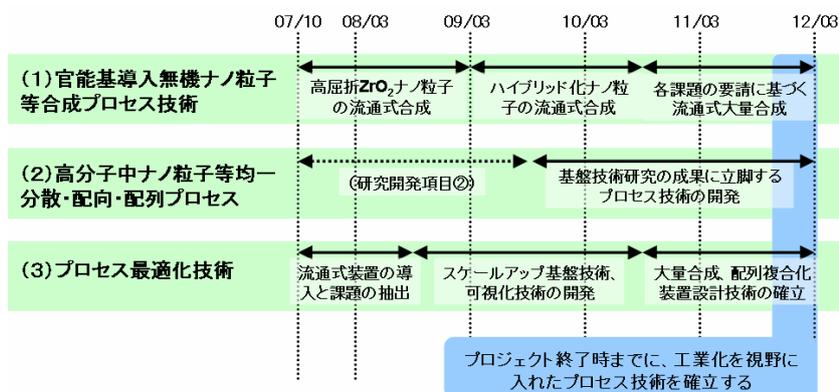


図2.3.1-1 開発のスケジュール

### 2. 3. 2 官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術

課題1の官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術では、流通式反応装置を用いたハイブリッドナノ粒子の合成を目指した。回分式反応装置で得た知見を元に、10 g/h程度の規模での流通式装置合成を目指すと共に、ここで得られたナノ粒子を研究開発項目①に提供することを目的とする。

回分式装置では反応器外部から伝熱により原料溶液を加熱、ナノ粒子を合成するのに対して、流通式装置では原料溶液と加熱した水を混合することにより原料溶液を加熱する。その結果、流通式装置では、原料溶液を瞬間的に加熱することができ、粒子径が小さく、均一なナノ粒子の合成に成功した。この技術開発において、反応流路の閉塞、管内壁の腐食などの課題が発生し、これを解決したが、この知見が後で述べるスケールアップ技術の開発につながっている。その結果、10 g/h程度の規模で有機分子修飾された酸化物ナノ粒子の合成に成功した。

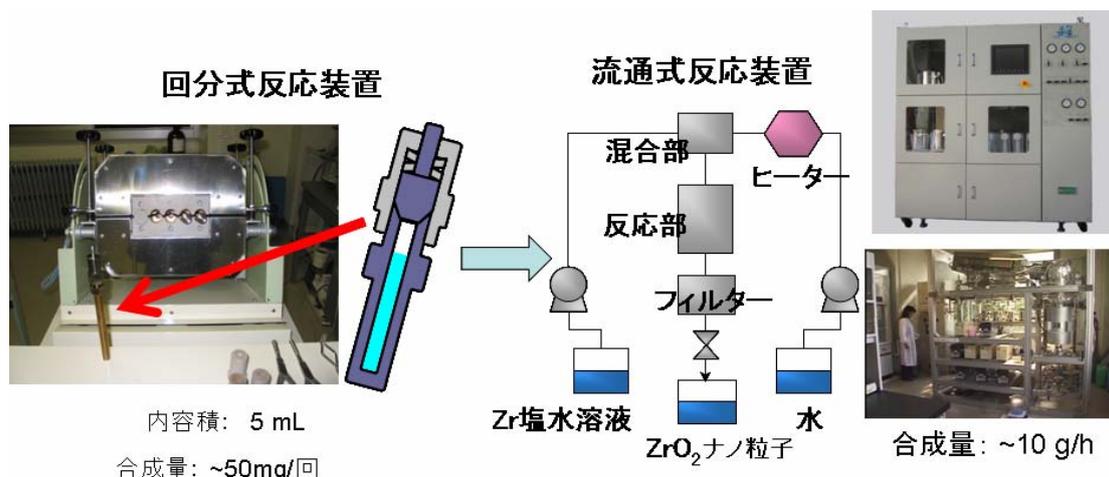


図2.3.2-1 流通式反応装置でのハイブリッドナノ粒子合成

開発した装置を用いて、高分散性ZrO<sub>2</sub>ナノ粒子の合成を行った。ラウリン酸で修飾することで、有機分子に分散するナノ粒子の合成に成功すると共に、回収する際のpH調整によって水中分散するナノ粒子の合成にも成功した。それぞれ平均粒子径は11, 8 nm程度である。合成した表面修飾ZnO<sub>2</sub>ナノ粒子は研究開発項目①の光学材料合成グループに提供し、高屈折光学材料の開発に用いられている。

### 2. 3. 3 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス

課題2 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセスでは、電界による配向制御を行っている。ある誘電率を持つ材料を電界中におくと誘電分極が生じ、その異方性に従って材料にトルクがかかる。原理的にはこのメカニズムでナノ材料の配向を行うことができるが、本プロジェクトが扱う相反機能を実現する電気伝導度の小さな材料の場合、誘電分極が小さいため、かかるトルクが小さくなる。従って、印可する電圧を高くする必要があるが、一方マトリックスの絶縁破壊が生じると、材料として利用できなくなる。そこで、ナノ材料の配向を目的として、超高電圧ナノ秒パルス電源を世界で初めてナノ材料の配向に応用した。

### 2. 3. 4 プロセス最適化技術

課題3 プロセス最適化技術では、流通式装置を用いたハイブリッドナノ材料合成のさらなるスケールアップを目的とし、必要な技術開発課題の抽出を行った。まず、原料の供給、生成物の回収のスケールアップが必要となり、1) 高濃度スラリー供給、2) 高濃度ナノ粒子回収技術の開発を行う。また、課題1でもあるように、流通式装置を用いた合成の際に反応管の腐食、閉塞が課題となったため、更なるスケールアップを目指して 3) 腐食防止、4) 閉塞防止 技術の開発を行う。また、ナノ粒子の合成において、原料溶液と加熱水との混合部の設計は、均一なナノ粒子を合成するために最も重要な部分となる。そこで、スケールアップを行っても微小なナノ粒子を合成できるよう、5) 装置内の可視化と合理的設計手法の開発を行う。

### 流通式装置における課題抽出

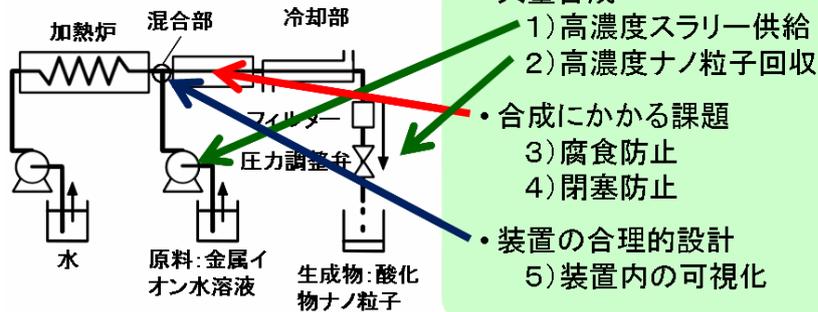


図2. 3. 4-1 スケールアップに向けた課題

まず、原料供給、生成物回収のスケールアップを実現するために、連続スラリー供給装置、連続回収装置の開発を行った。具体的には、溶解度以上の金属塩を含む濃厚原料溶液やBNナノ粒子を含む原料溶液といった固体を含む原料溶液の送液を実現するために、連続スラリー供給装置を開発した。また、生成物が高濃度に含まれる溶液を回収する装置の開発を行った。流通式装置を用いたナノ粒子合成において、反応は300気圧程度の高圧下で行われる。生成される溶液を常圧で回収するため、従来は圧力によって流路の狭さを調整する背圧弁が用いられてきたが、これをそのまま利用するのでは、流路が高濃度のナノ粒子で閉塞する可能性がある。そこで、生成物をいったん筒内に受けて、半回分式に圧力解放、回収を行う装置の開発を行った。これら、従来は存在しない装置群の開発により、大量合成を目指す。

続いて、装置内での腐食防止、閉塞防止を実現する技術の開発を行った。酸化物ナノ粒子は、金属酢酸塩、金属硝酸塩などを原料として合成しており、ナノ粒子の合成に伴い副生成物として酢酸や硝酸が生成される。スケールアップに伴い原料濃度を高くすると、生成される酸濃度も高くなり、反応管内壁の腐食につながる。そこで、高濃度の酸に対して耐えることのできる反応管の開発を行った。効果、コストの観点から評価を行い、最適装置材料を見だし、400℃、30MPaの条件で、濃度1.0M硝酸に耐えることが可能であることを見いだした。今後、更なる最適化を進める。

また、スケールアップに伴う生成ナノ粒子濃度の増大により、反応管内においてナノ粒子の閉塞が懸念される。特に、原料水溶液と加熱水との混合部で管壁内へのナノ粒子の付着と成長による閉塞が予測されるので、後述する流れの可視化によってその防止を目指した。

流通式装置の原料混合部付近における流れの状態を明らかにするために、石英製の透明セルを作成し、これを用いた流れの可視化手法の開発を行った。これに加えて、流体シミュレーションコードの開発を行った。シミュレーションの予備的な検討により、混合部近傍での渦流の発生が確認でき、これが粗大粒子や閉塞につながっていることが示唆される。今後、同条件で実験結果とシミュレーションの結果を比較することでシミュレーションの妥当性を確認した後、シミュレーションを用いた反応器の設計を進めて行く。

このようにして開発した流れ場のシミュレータは、反応機構、反応速度と併せることで、ナノ粒子の合成シミュレーションを行うことが可能となる。これにより、さらに微細なナノ粒子の合成を実現する混合部形状の設計が可能となる。現在、反応速度手法を評価する手法の開発を行っており、反応率の評価から反応速度定数を評価する手法の確立を進めている。

### ナノ粒子合成のシミュレーション

反応管内の流れ、濃度、温度分布 + 反応速度 = ナノ粒子合成シミュレーション  
装置形状設計ツール

### 反応速度手法の評価方法の提案

高温部滞留時間=反応時間

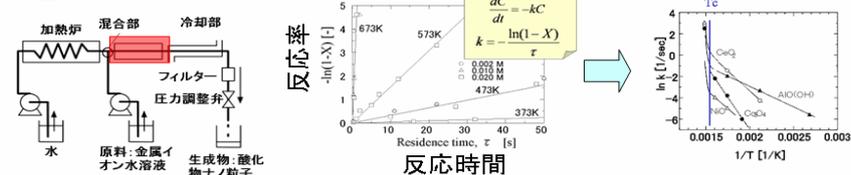


図2.3.4-4 実験、シミュレーションによる流れの可視化手法の開発

表2.3 -1 プロセス開発課題とその達成度

	研究開発項目	中間目標の概要	達成状況
(1)官能基導入無機ナノ粒子等合成プロセス技術	(1)-1 超臨界法によるナノ粒子合成基盤技術開発	流通式装置を開発すると共に、合成時の課題を(1)-3に提供する	◎
	(1)-2 液中レーザーを用いた銀ナノシート形成技術開発	液中レーザー法によって合成されたBNナノシートを配向するプロセスを開発する	○
	(1)-3 超臨界水熱合成装置の開発	流通式装置のスケールアップに必要な装置群を開発する	◎
	(1)-4 超臨界水反応による高速大量表面修飾プロセス開発	研究開発項目①に提供する高分散ナノ粒子の合成プロセスを開発する	◎
(2)高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス技術開発	(2)-1 高分子中ナノ粒子等均一分散・配向・配列プロセス基盤技術開発	光、電場、磁場を用いた高分子中ナノ粒子のプロセス技術の可能性を評価する	○
	(2)-2 延伸熱処理による無機ナノ粒子の配向・配列制御技術開発	相分離挙動を示す高分子を利用して二重パーコレーション構造を実現する	○
(3)プロセス最適化技術	(3) プロセス最適化技術	スケールアップ時の諸問題を解決するin situ観測に着手する	○

表 2.3 -2 相反機能創製プロセス基盤技術開発まとめ

中間目標 の達成度	*超臨界法による高効率の表面改質粒子形成プロセスを構築した。 *ナノ秒パルス電源によるBN ナノシートの樹脂中配列制御に成功				
成果の意義	*世界最高能力を有する超臨界法表面改質粒子形成を確保 *世界で始めて、電場による樹脂中でのナノシートの配列に成功				
知的財産権 の取得	4 件				
成果の普及	論文及び 国際学会発 表	国内学会発表	新聞雑誌	国際学会 招待講演 (国内)	展示会
	66 件	31 件	6 件	22(8)件	8 件
成果の最終目標 の達成可能性	超臨界法粒子改質プロセスは1 トン/年の能力を持つシステムとして 21 年度に完成、更に安定性・生産性を追及し高度化を狙う。 配列プロセスの実用化課題を開発継続する。				