

21世紀COEプログラム 平成14年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	東京工業大学	学長名	相澤 益男	拠点番号	B 0 8	
1. 申請分野	A<生命科学> ②<化学・材料科学> C<情報・電気・電子> D<人文科学> E<学際・複合・新領域>					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	産業化を目指したナノ材料開拓と人材育成 (Nanomaterial Frontier Cultivation for Industrial Collaboration)					
研究分野及びキーワード	<研究分野: 材料工学> (ナノ物性) (光物性) (電子・磁気物性) (表面・界面物性) (材料循環プロセス)					
3. 専攻等名	大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻、材料物理学専攻 大学院理工学研究科 材料工学専攻、有機・高分子物質専攻					
4. 事業推進担当者	計 2 5 名					
ふりがな<ローマ字> 氏 名	所属部局 (専攻等)・職名	現在の専門 学 位	役割分担 (事業実施期間中の拠点形成計画における分担事項)			
(拠点リーダー) HOSONO HIDEO 細野 秀雄 YAMAZAKI YOSHITO 山崎 陽太郎 (平成18年4月1日交替) MATSUMOTO YUJI 松本 祐司 (平成18年4月1日交替) D O I YOSHIHARU 土肥 義治 (平成17年4月1日交替) IYODA TOMOKAZU 彌田 智一 (平成17年4月1日交替) FUKUKUBO HIROSHI 舟窪 浩 KONDO KENICHI 近藤 建一 YOSHIMOTO MAMORU 吉本 護 HOSODA HIDEKI 細田 秀樹 NISHIMA YOSHINAO 三島 良直 HIRAYAMA HIROYUKI 平山 博之 I T O MITSURU 伊藤 満 HASEGAWA TETSUYA 長谷川 哲也 (平成15年4月1日交替) WAKAI FUMIHIRO 若井 史博 (平成15年4月1日交替) OKADA KIVOSHI 岡田 清 TURUMI TAKAAKI 鶴見 敬章 SATO TATSUO 里 達雄 (平成17年4月1日交替) NAKAMURA YOSHIO 中村 吉男 (平成17年4月1日交替) S U S A MASAHIRO 須佐 匡裕 WATANABE JYUNJI 渡辺 順次 TANIOKA AKIHIKO 谷岡 明彦 TAKEZOE HIDEO 竹添 秀男 HIRAO AKIRA 平尾 明 (平成17年4月1日交替) TAKATA TOSHIKAZU 高田 十志和 (平成17年4月1日交替) MORI TAKEHIKO 森 健彦	総合理工学研究科・材料物理学専攻・教授 (平成15年4月1日所属部局 (専攻) 変更) 総合理工学研究科 物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科 物質科学創造専攻・助教授 総合理工学研究科 物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科 物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科・物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科・物質科学創造専攻・助教授 総合理工学研究科・物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科・物質科学創造専攻・助教授 総合理工学研究科・物質科学創造専攻・教授 総合理工学研究科・材料物理学専攻・教授 総合理工学研究科・材料物理学専攻・助教授 総合理工学研究科・材料物理学専攻・教授 理工学研究科・材料工学専攻・教授 理工学研究科・材料工学専攻・教授 理工学研究科・材料工学専攻・教授 理工学研究科・材料工学専攻・教授 理工学研究科・材料工学専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授 理工学研究科・有機・高分子物質専攻・教授	光・電子材料・工学博士 エネルギー材料・工学博士 ナノレベルでの表面・界面化学・理学博士 高分子合成・工学博士 高分子合成・工学博士 無機材料物性・博士 (工学) 無機材料物性・工学博士 薄膜電子材料・工学博士 機能性材料・博士 (工学) 金属間化合物 Ph. D. 工学博士 表面界面物性・博士 (工学) 無機固体化学・工学博士 表面界面物性・理学博士 ナノ構造ゼミナス・工学博士 無機環境材料・工学博士 結晶化学・工学博士 構造・機能材料・工学博士 構造・機能材料・工学博士 材料物理化学・工学博士 高分子工学・工学博士 燃料電池・工学博士 機能性有機材料・理学博士 高分子合成・理学博士 高分子合成・理学博士 物性物理化学・理学博士	全体の指揮、透明フォトエレクトロニクス材料リーダー、ポストCOE21への拠点構想、出版担当 資源・エネルギー循環材料リーダー 燃料電池担当、産学連携担当 資源・エネルギー循環材料 ナノレベルでの表面・界面化学担当、若手フォーラム担当 資源・エネルギー循環材料リーダー、産学連携担当 資源・エネルギー循環材料 産学連携担当 透明フォトエレクトロニクス材料 薄膜合成担当 材料ナノ機能開拓リーダー 材料ナノ機能開発 表面構造計測担当 若手フォーラム担当 資源・エネルギー循環材料 機能評価担当 若手フォーラム担当 拠点サブリーダー、プロジェクトマネージングコース主任、資源・エネルギー循環材料リーダー、機能評価担当、ポストCOE21へ拠点構想、出版担当 材料ナノ機能開発 表面微細構造担当 透明フォトエレクトロニクス材料 結晶合成担当、終了シンポジウム担当 材料ナノ機能開発 リーダー 材料ナノ機能開発、ナノ超機能担当、広報担当、終了シンポジウム担当 資源・エネルギー循環材料リーダー 無機材料担当、ナノマテリアルイニシアチブコース主任、出版担当 透明フォトエレクトロニクス材料 結晶評価担当 プロジェクトマネージングコース担当、産学連携担当 材料ナノ機能開発 薄膜特性担当、プロジェクトマネージングコース担当、産学連携担当 資源・エネルギー循環材料 資源循環担当、終了シンポジウム担当 透明フォトエレクトロニクス材料 高分子物性担当、終了シンポジウム担当 資源・エネルギー循環材料 燃料電池担当、ナノマテリアルイニシアチブコース担当 透明フォトエレクトロニクス材料、液晶科学担当、終了シンポジウム担当、ポストCOE21への拠点構想 ナノマテリアルイニシアチブコース担当、資源・エネルギー循環材料 高分子材料担当 ナノマテリアルイニシアチブコース担当、資源・エネルギー循環材料 高分子材料担当 産学連携担当 透明フォトエレクトロニクス材料 分子機能担当、若手フォーラム担当			
5. 交付経費 (単位: 千円) 千円未満は切り捨てる () : 間接経費						
年 度 (平成)	1 4	1 5	1 6	1 7	1 8	合 計
交付金額 (千円)	150, 000	133, 000	128, 200	130, 000 (13, 000)	121, 590 (12, 159)	662, 790

6. 拠点形成の目的

〔研究面〕

東工大材料系が世界的視点から明確なオリジナリティをもつ研究テーマを取り上げ、これを産学の連携のもとで推進し、産業化につなげることを目指す。

〔人材育成〕

これまでの博士課程のウイングを大きく広げる新しい教育コースを設置し、実験的試みを果敢に行い、ビジネスの基礎を習得した経営センスを併せもつ新しいタイプの博士を育成することで、世界に波及する人材育成のスタイルを提示する。

図1に本プロジェクトの構想をまとめる。

当COEの目指すもの

- 産業化につながる、世界をリードする研究成果の創出
- 独自の教育コースによる新しいタイプの博士の育成

プロジェクト構想図

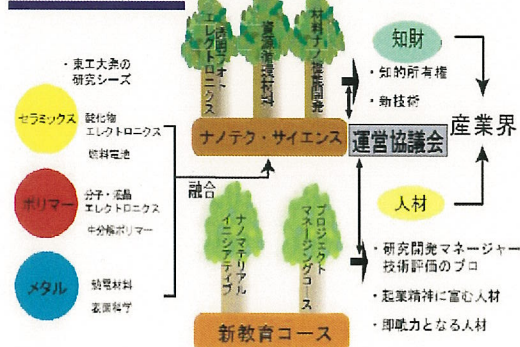


図1. 拠点形成構想

運営協議会は、企業、ベンチャーキャピタル、監査法人など約100社から構成される組織で、研究と人材育成の両方に対してサポートや助言を頂くための組織である。

7. 研究実施計画

本学材料系が世界に発信した研究の中から、産業化が期待される2つの課題「透明フォトニクス材料」と「資源・エネルギー循環材料」とそれを支えるナノ材料開発の基礎を開拓する

1つの課題「材料ナノ機能開発」を本研究拠点の柱として取り上げ、集中的研究を展開する。3つの課題の概要は下記の通り。

(1) 「透明フォトニクス材料」

酸化物をベースとした材料で、シリコンで実現できないような新しい電子・光・化学機能の発現を狙う“酸化物エレクトロニクス”と反強誘電性液晶や分子量子機能薄膜など有機分子の発現を狙う“分子エレクトロニクス”からなり、両者の緊密な連携により新展開を図る。

(2) 「資源・エネルギー循環材料」

生分解プラスチック、燃料電池、熱電材料をナノレベルまで遡って、設計・制御することで高性能化を目指す。

(3) 「材料ナノ機能開発」

走査プローブ顕微鏡、電子顕微鏡や光電子分光などの手法で、表面現象の計測・制御をベースにして、ナノレベルの構造・状態制御による新たな量子物性の開拓を行う。

8. 教育実施計画

従来の博士課程は、大学や国研の研究者養成が主であった時代の古いシステムであり、現状に合わなくなっている部分が多いという認識から、左右に思い切ってウイングを広げる新教育コースを試行し、時代を先取りするシステムの確立を目指す。

(1) プロジェクトマネージング (PM) コース

〔目標〕

通常の課程博士と同水準の材料研究を行い、かつビジネススキルを習得し、経営者とビジネスの話ができる新しいタイプの博士の養成を目指す。

〔方法〕

博士課程の中にビジネス関連科目（ビジネス英語を含む）9単位を担当する客員教授5名（全てビジネスのフロントで活躍中の方のみ）によって、志願者から選抜した6～8名程度の学生を対象に、演習に重点を置いた実践的教育をおこなう。

(2) ナノマテリアルイニシアチブ (NI) コース

〔目標〕

学術研究で優れた成果を挙げ、研究者とし

て将来が大いに期待できる学生を選抜して、重点的に支援することで、その能力を国際的視野で伸ばすこと。

[方法]

書類と面接で全博士課程学生の10%程度選抜し、年100万円のRA+半年から1年間の海外研修の費用（トータルで上限500万）をサポートすることで、研究者として自立できる素地の育成を図る。

独自の人材育成プログラム ～従来の博士課程のウイングを大きく広げる試行～

プロジェクトマネージング (PM) コース

目的: 材料研究による博士論文+ビジネススキルの習得

⇒ 新しいタイプのドクターの育成

内容: ケーススタディによる実践的内容 寺子屋式

教授陣: アカデミアではなく、ビジネスフロントで活躍中の人材

⇒ 東工大発の新しいスタイルのMDT教育プログラム

ナノマテリアルエンジニアチブ(N)コース

内容: 優秀な学生を選抜し、RAの支給・海外研修などにより
重点的に支援

選抜 有資格者 ~65名 PM 合格者6~7名、N 合格者5~8名

経済的支援 RA 100万円年 + 海外研修 上限200万円

図2. 人材育成プログラムの概要

9. 研究教育拠点形成活動実績

①目的の達成状況

1) 世界最高水準の研究教育拠点形成計画

全体の目的達成度

東工大材料系には有機、無機、金属という3つの分野を網羅する大学院専攻と全国共同利用型付置研である応用セラミックス研究所があり、そのアクティビティは既に世界水準にあった。しかしながら、材料系として組織的にCOE拠点形成を目指す活動はなかった。本プロジェクトでは、これまでの古典的な枠組みを超えて、ナノ構造をプラットフォームに据えて、「東工大材料系の強さをさらに強く」という基本方針で組織を融合し、先端研究と人材育成に取り組んだ。

その結果として、研究面では 際立った成果と以下の成果が挙げられる。

- セメントをナノテクで透明半導体に転換に成功 (Nature)
- バナナ型分子からなる液晶の機構解明 (Science)
- 高性能透明酸化物トランジスタ (Science)
- 室温・空气中で安定なエレクトロイドを実現 (Science)
- 曲がる高性能透明トランジスタ (Nature)
- 有機サイリスター (Nature)
- 液晶可変レーザ (Nature Mater)
- ありふれた酸化物で巨大熱電応答 (Nature Mater)

また、Advanced Materials 7報、Phys. Rev. Lett. 12報など当該分野のトップジャーナルに多くの論文が掲載され、世界をリードする研究成果が得られた。その中には「曲がる高性能トランジスタ」や「ナノファイバー」など大きな産業応用が期待できるものが生まれた。結果としてメンバーが、国際賞2件、学会賞20、論文賞13、財団表彰12、政府表彰1を受賞した。

また、教育面では「PMコース」というこのプロジェクトで生まれた新博士育成課程が、順調に立ち上がり、東工大ならではのオリジナルな試みであるとの評価を内外から受けた。その結果、東工大全学に広がっただけでなく、文科省の大学院教育に関する施策に立案や他大学の試みにも波及した。

1年間の海外研究に出かけた大学院生4名をはじめ、約100名の学生が短期の海外研修(3ヶ月以内)を経験した。結果として、COEメンバーを指導教員とする学生が以下の受賞をした。米国材料学会のStudent Award (Gold) 受賞(日本人としては10年ぶり)、優れた博士論文に対して全分野で40名程度に授与される井上研究奨励賞(井上科学振興財団)を2年連続受賞、先端技術大賞(フジサンケイ)の材料部門最優秀論文賞。5年間で約40件受賞。

研究成果の産業化に向けた成果としては約100件(2件/年/メンバー、そのうち12件が国際出願)の特許出願があり、6件がライセンス契約に至った。また、先端技術大賞の産学連携部門において、研究テーマ「透明トランジスタの研究と応用」でメンバーと連携企業が特別賞を受賞した。ナノファイバーの研究は、2006年にNEDOプロジェクト(総額50億円)に採択され、実用に向けた本格的取り組みが開始された。

以上を総括すると「想定どおりの成果を挙げた」(研究面で70%、教育面で80%の目的達成度)と自己評価している。

2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

当拠点はH14年度採択拠点では唯一「人材育成」を拠点名に挙げているように、挑戦的試みをおこなった。その典型例が、ビジネススキルを習得し経営センスを身につけた材料研究の博士育成を目指した「プロジェクトマネージング(PM)コース」である。前例にない試みで、手探り状態で試行錯誤の繰り返しであったが、幸いにも評判が伝わり、学内の他COE拠点やMOT研究科からも参加希望学生が増大し、H19年度からは特別教育コースとし全学を対象としたものに昇格した(図3)。

プロジェクトマネージングコース実績

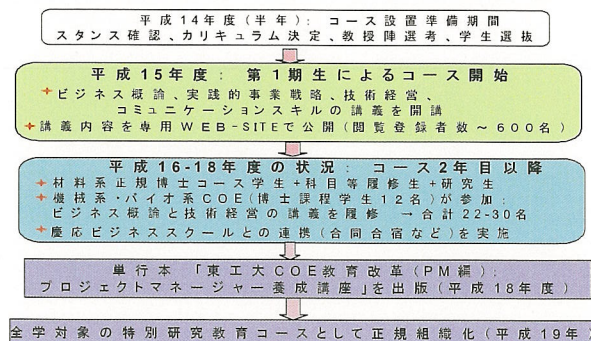


図3. PMコースの進展

また、PMコース学生の主催による、博士課程学生PDや助教という若手研究者の研究発表会である「若手フォーラム」は、COE運営協議会のメンバー企業を招待して開催することで、研究交流の場だけでなく、キャリアデベロップメントの機会としても有効に機能した。このH17, 18年度のフォーラムは、慶應大学COEと合同で開催した。国際的評価を受けている若手OBを特別講演者に招待するなど斬新な企画で交流の輪が広がった。さらにこれが契機となって共同研究が始まったケースもでてきた。

3) 研究活動面での新たな分野の創成と、学術的知見等

本プロジェクト開始時に萌芽段階であった「酸化物エレクトロニクス」、「液晶フォトニクス」関係のテーマから、以下の2つが新分野として国際的に認知されるまでに至った。

①透明酸化物半導体: 2004年の「曲がる高性能透明トランジスタ」(Nature)の発表が契機となって、アモルファス半導体国際会議、E-MRS、化合物半導体国際会議、SID2007などで透明酸化物半導体のセッションやシンポジウムが新設され、当COEメンバーがいずれの会議でも基調講演者に選ばれた。



図4. 曲がる高性能透明トランジスタとそれを使った電子ペーパー

②バナナ型分子液晶: 当拠点メンバーが生み出した新しいタイプの液晶の研究が世界中で進展し、当該論文の引用数が500回を超えた。また、これを利用し高速で高コントラストな液晶表示モードを提案し、当該領域への関心を集めている。



図5. 新型液晶の光顕微鏡写真

4) 事業推進担当者相互の有機的連携

これまで交流が少なかった無機と有機分野の共同研究が大いに進んだことが挙げられる。超平坦酸化物半導体基板上への有機半導体のエピタキシャル成長 (Adv. Mater. 2003) や高性能有機TFTの実現 (Adv. Mater. 2004) などはその中で生まれた成果のひとつである。

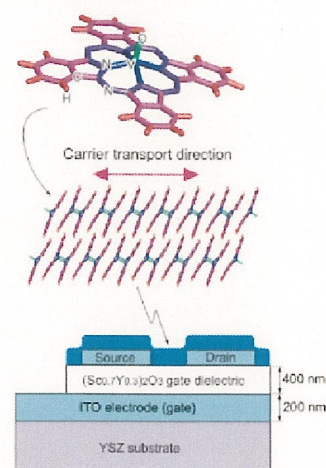


図6. 超平坦ITO薄膜を使って実現した有機半導体分子のエピ成長と高性能TFT

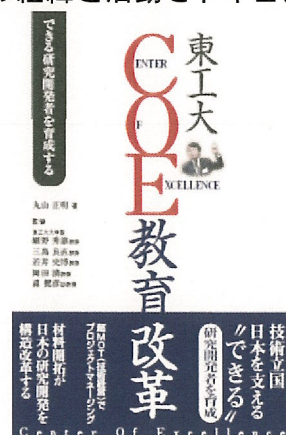
5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

世界の超一流の学術論文誌に成果を発表することを拠点としてプッシュした結果、Nature (3編) Science (3), Nature Materials (3)をはじめ、Advanced Material, Phys. Rev. Lett, J. Am. Chem. Soc., Angew. Chem. など当該分野のトップジャーナルに多くの論文が掲載されるようになった。また、後出のようにCOEの研究成果をまとめた英文成書を世界的出版社から刊行した。

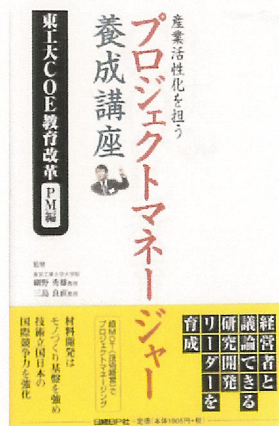
6) 国内外に向けた情報発信

当拠点の活動の成果を以下の3冊の単行本(和文2、英文1)と国際論文誌の特集号として出版した。

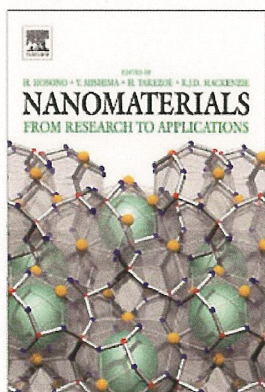
●「東工大COE教育改革」(細野秀雄、三島良直監修、丸山正明著、日経BP, 250ページ)
当COEの発足までの経緯と活動をドキュメンタリータッチで記述。



- 「産業活性化を狙うプロジェクトマネージャ養成講座」(細野秀雄、三島良直監修、丸山正明著、日経BP、250ページ)
PMコースのコンセプトと具体的授業内容を紹介



- 「Nanomaterials: from research to application」(Ed. By H. Hosono, Y. Mishima, H. Takezoe, K. J. Mackenzie, Elsevier, 490ページ)
本COEプロジェクトで得られた研究成果を、当該分野のバックグラウンドレビューとともに総説としてまとめた。
また、東工大における材料研究の歴史と成果についても紹介した。



- Science and Technology of Advanced Materials Vol. 5, No. 4 (2004).
当拠点の研究成果の総説と新教育コースの紹介

また、本拠点の活動の紹介したビデオを製作してDVD版を全国に配布し、COE HP上でも公開した。



- 7) 拠点形成費等補助金の使途について(拠点形成のため効果的に使用されたか)

PMおよびNIコース学生のRA経費と海外研修経費、若手フォーラム、新教育コースの運営、および若手教員メンバーの研究支援に重点的に使用し、研究の遂行のための経費は全体の20%以下に抑え、メンバーの自己努力に委ねた。成果の出版については、大学からの支援経費を充てた。

②今後の展望

COE活動を継続する目的で、COE組織を再編し「先進ナノマテリアル研究センター (ENMRC)」が、学内の正式な組織として設置がみとめられ、平成18年10月に発足した。そして、同年12月にはBrain COE選らばれた韓国の成均館大学ナノテクセンターと合同シンポを開催し、研究と学生の交流をおこなう協定を結んだ。これから国際拠点として同様な活動を本格的に展開していく予定である。教育面ではPMコースは本年4月から全学の特別教育コースに昇格し、担当の特任教授(これまでの担当者)5名をこのセンター所属とした。

材料系COEとしての実効性のあるまとまりを維持し、さらにナノマテリアル研究と人材育成を精力的に進めるには、G-COEや外部資金を獲得することが不可欠であり、これに向けて準備を進めている。

- ③その他(世界的な研究教育拠点の形成が学内外に与えた影響度)

いろいろな試行をおこなったため、しばしば新聞や雑誌などに拠点の活動が紹介されたが、学内外に最もインパクトを与えた試みは「PMコース」のコンセプトであったと思う。この試みは内外で高く評価され、結果として全学のコースへ昇格し正規コース化ができた。また、文科省施策「魅力ある大学院教育イニシアティブ」の誕生には本コースが一つのモデルケースになったと聞いている。

21世紀COEプログラム 平成14年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	東京工業大学	拠点番号	B 0 8
拠点のプログラム名称	産業化を目指したナノ材料開拓と人材育成		
1. 研究活動実績			
①この拠点形成計画に関連した主な発表論文名・著書名【公表】			
・事業推進担当者（拠点リーダーを含む）が事業実施期間中に既に発表したこの拠点形成計画に関連した主な論文等 〔著書、公刊論文、学術雑誌、その他当該プログラムにおいて公刊したもの〕			
・本拠点形成計画の成果で、ディスカッション・ペーパー、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるもの			
※著者名（全員）、論文名、著書名、学会誌名、巻(号)、最初と最後の頁、発表年（西暦）の順に記入			
波下線（ ）：拠点からコピーが提出されている論文			
下線（ ）：拠点を形成する専攻等に所属し、拠点の研究活動に参加している博士課程後期学生			
1) K. Hayashi, S. Matsuishi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono; Light-induced Conversion of an Insulating Refractory Oxide into a Persistent Electronic Conductor, <i>Nature</i> , 419, 462-484, (2002)			
2) K. Nomura, H. Ohta, K. Ueda, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono, Thin-Film Transistor Fabricated in Single-Crystalline, Transparent Oxide Semiconductor, <i>Science</i> , 300, 1269-1272 (2003).			
3) S. Matsuishi, Y. Toda, M. Miyakawa, K. Hayashi, T. Kamiya, M. Hirano, I. Tanaka and H. Hosono; High-Density Electron Anions in a Nano-porous Single Crystal: $[\text{Ca}_{24}\text{Al}_{28}\text{O}_{64}]^{4+}(4e^-)$, <i>Science</i> , 301, 627-631, (2003)			
4) K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono; Room-Temperature Fabrication of Transparent Flexible Thin Film Transistors Using Amorphous Oxide Semiconductors, <i>Nature</i> , 432, 488-492, (2004)			
5) 細野秀雄, 神谷利夫: 透明金属が拓く驚異の世界: 不可能に挑むナノテクノロジーの錬金術, サイエンスアイ新書, ソフトバンククリエイティブ, 221, (2006)			
6) T. Taniyama, N. Fujiwara, Y. Kitamoto and Y. Yamazaki, Asymmetric Transport due to Spin Injection into a Kondo Alloy, <i>Phys. Rev. Lett</i> 90, 016601-1~4 (2003).			
7) Sugata Ray, Yury V. Kolen'ko, Desheng Fu, Ruwan Gallage, Naonori Sakamoto, Tomoaki Watanabe, Masahiro Yoshimura and Mitsuru Itoh; Direct Observation of Ferroelectricity in Quasi-Zero-Dimensional Barium Titanate Nanoparticles, <i>Small</i> , 2(12), 1427-1431, (2006)			
8) Jianding Yu, Takehiko Ishikawa, Yasutomo Arai, Shinichi Yoda, Mitsuru Itoh and Yutaka Saita; Extrinsic Origin of Giant Permittivity in Hexagonal BaTiO_3 Single Crystals: Contributions of Interfacial Layer and Depletion Layer, <i>Applied Physics Letters</i> , 87(25), 252904 1-3, (2005)			
9) Robert Blinc, Bostjan Zalar, Valentin V. Laguta and Mitsuru Itoh; Order-Disorder Component in the Phase Transition Mechanism of 180 Enriched Strontium Titanate, <i>Physical Review Letters</i> , 94(14), 147601 1-4, (2005)			
10) T. Tsurumi, T. Sekine, H. Kakemoto, T. Hoshina, S.-M. Nam, H. Yasuno and S. Wada; Evaluation and Statistical Analysis of dielectric Permittivity of BaTiO_3 Powders, <i>J. Am. Ceram. Soc.</i> , 89, 1337-1341, (2006)			
11) J. Li, H. Kakemoto, S. Wada, H. Kawaji and T. Tsurumi; Dielectric relaxation in GHz region and phase transition of BaTiO_3 -based Ceramics, <i>J. Appl. Phys.</i> , 100, 024106, (2006)			
12) D. A. Coleman, J. Fernsler, N. Chattham, M. Nakata, Y. Takanishi, E. Korblova, D. R. Link, R.-F. Shao, W. G. Jang, J. E. MacLennan, O. Mondain-Monval, C. Boyer, W. Weissflog, G. Pelzl, L.-C. Chien, J. Zasadiński, J. Watanabe, D. M. Walba, H. Takezoe and N. A. Clark; Polarization-Modulated Smectic Liquid Crystal Phases, <i>Science</i> , 301, 1204-1211, (2003)			
13) J. Hwang, M. H. Song, B. Park, S. Nishimura, T. Toyooka, J. W. Wu, Y. Takanishi, K. Ishikawa and H. Takezoe; Electro-Tunable Optical Diode using an Anisotropic Layer Sandwiched by Hetero-Photonic Bandgap Cholesteric Liquid Crystal Films, <i>Nature Materials</i> , 4, 383-387, (2005)			
14) S. W. Choi, S. Kang, Y. Takanishi, K. Ishikawa, J. Watanabe and H. Takezoe; Intrinsic Chirality in a Bent-core Mesogen Induced by Extrinsic Chiral Structures, <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> , 45, 6503-6506, (2006)			
15) H. Ohta, T. Kambayashi, M. Hirano, H. Joshi, K. Ishikawa, H. Takezoe and H. Hosono, Application of a transparent conductive substrate with an atomically flat and stepped surface to lateral growth of an organic molecule: vanadyl phthalocyanine, <i>Adv. Mater.</i> , 15, 1258-1262 (2003)			
16) 竹添秀男, 渡辺順次: 液晶・高分子入門, 裳華房, (2004)			
17) Sungmin Kang, Masatoshi Tokita, Kumiko Ogino, Takayuki Doi, Takashi Takahashi, Hideo Takezoe and Junji Watanabe; Distinct layered structure with density modulation observed in solid phase formed from B_2 phase of banana molecules, <i>Phys. Rev. E</i> , 73, 1, (2006)			
18) Chu-Chun Yen, Masatoshi Tokita, Byoungchoo Park, Hideo Takezoe and Junji Watanabe; Spontaneous Organization of Helical Polypeptide Molecules into Polar Packing Structure, <i>Macromolecules</i> , 39, 1313-1315, (2006)			
19) M. Tokita, K.-W. Kim, S. Kang and J. Watanabe; Polarized light scattering and synchrotron radiation wide-angle X-ray diffraction studies on smectic liquid crystal formation of main-chain polyester, <i>Macromolecules</i> , 39, 2021-2023, (2006)			
20) F. Sawano, I. Terasaki, H. Mori, T. Mori, M. Watanabe, N. Ikeda, Y. Nogami and Y. Noda; An organic Thyristor, <i>Nature</i> , 437, 522-524, (2005)			
21) H. Endo, T. Kawamoto, T. Mori, I. Terasaki, T. Kakiuchi, H. Sawa, M. Kodani, K. Takimiya and T. Otsubo; Current-induced Metallic State in an Organic (EDT-TSF) $_2\text{GaCl}_4$ Conductor, <i>J. Am. Chem. Soc.</i> , 128(18), 9006-9007, (2006)			

- 22) H. Matsumoto, Y. Wakamatsu, M. Minagawa and A. Tanioka; Preparation of ion-exchange fiber fabrics by deposition, *J. Colloid & Interface Sci.*, 293, 143-150, (2006)
- 23) Y. Wakamatsu, H. Matsumoto, M. Minagawa and A. Tanioka; Effect of ion-exchange nanofiber fabrics on water splitting in bipolar membrane, *J. Colloid & Interface Sci.*, 300, 442-445, (2006)
- 24) K. Okada, K. Mishimuta, Y. Kameshima and A. Nakajima; Effect on uptake of heavy metal ions by phosphate grafting of allophone, *J. Colloid & Interface Sci.*, 286, 447-454, (2005)
- 25) K. Okada, N. Yamamoto, Y. Kameshima and A. Yasumori; Adsorption properties of activated carbon from waste newspaper prepared by chemical and physical activation, *J. Colloid & Interface Sci.*, 262, 194-199, (2003)
- 26) N. Kihara, K. Hinoue, T. Takata; Solid-State End-Capping of Pseudopolyrotaxane Possessing Hydroxy-Terminated Axle to Polyrotaxane and Its Application to the Synthesis of a Functionalized Polyrotaxane Capable of Yielding a polyrotaxane Network, *Macromolecules*, 38, 223-226, (2005)
- 27) Y. Tachibana, H. Kawasaki, N. Kihara, T. Takata; Sequential O- and N-Acylation Protocol for High-Yield Preparation and Modification of Rotaxanes: Synthesis, Functionalization, Structure, and Intercomponent Interaction of Rotaxanes, *J. Org. Chem.*, 71, 5093-5104, (2006)
- 28) H. Yu, J. Z. Li, T. Ikeda and T. Iyoda; Macroscopic Parallel Nanocylinder Array Fabrication Using a Simple Rubbing Technique, *Adv. Mater.*, 18, 2213-2215, (2006)
- 29) H. Yu, K. Okano, A. Shishido, T. Ikeda, K. Kamata, M. Komura and T. Iyoda; Enhancement of Surface-Relief Gratings Recorded on Amphiphilic Liquid-Crystalline Diblock Copolymer by Nano-Scaled Phase Separation, *Adv. Mater.*, 17(18), 2184-2188, (2005)
- 30) R. Takahashi, Y. Yonezawa, M. Ohtani, M. Kawasaki, K. Nakajima, T. Chikyow, H. Koinuma and Y. Matsumoto; Perfect $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Single-Crystal Films via Flux-Mediated Epitaxy, *Adv. Funct. Mater.*, 16, 485-491, (2006)
- 31) R. Takahashi, Y. Yonezawa, K. Nakajima, T. Chikyow, H. Koinuma and Y. Matsumoto; Nano-Skyscrapers of Ferroelectric $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, *Appl. Phys. Lett.*, 88, 152904, (2006)
- 32) S. W. Kim, Y. Kimura and Y. Mishima; Effect of partial La filling on high temperature thermoelectric properties of IrSb_3 based skutterudite compounds, *Journal of Electronic Materials*, 33(10), 1156-1161, (2004)
- 33) N. Sekido, F. G. Wei, Y. Kimura, S. Miura and Y. Mishima; Orientation relationship between Nb and Nb_5Si_3 (D_8) phases in the eutectoid lamellar microstructure, *Philosophical Magazine Letters*, 86(2), 89-98, (2006)
- 34) Wanti Ekawati, J. Shi, Y. Nakamura, O. Nittono; Co-ITO granulamagnetoresistance films fabricated by precipitation of magnetitananoparticles from amorphous oxide, *Journal of Vacuum Science and Technology*, A(24), L1-L3, (2006)
- 35) S. Ozawa, M. Susa, T. Goto, R. Endo Kojima, K C Mills; Lattice and Radiation Conductivities for Mould Fluxes From the Perspective of Degree of Crystallinity, *ISIJ International*, 46(3), 413-419, (2006)
- 36) T. Inamura, Y. Kinoshita, J. I. Kim, H. Y. Kim H. Hosoda, K. Wakashima and S. Miyazaki; Effects of $\{001\}\langle 110 \rangle$ Texture and Superelastic Properties of Ti-Nb-Al Biomedical Shape Memory Alloys, *Materials Science and Engineering A*, 438-440, 865-869, (2006)
- 37) H. Hosoda, Y. Kinoshita, Y. Fukui, T. Inamura, K. Wakashima, H. Y. Kim and S. Miyazaki; Effects of short time heat treatment on superelastic properties of a Ti-Nb-Al biomedical shape memory alloys, *Materials Science and Engineering A*, 438-440, 870-874, (2006)
- 38) H. Nagao, A. Matsuda, K. G. Nakamura and K. Kondo; Nanosecond Time-resolved Raman Spectroscopy on Phase Transition of Polytetrafluoroethylene under Laser-Driven Shock Compression, *Appl. Phys. Lett.*, 83, 249-250 (2003).
- 39) T. Fujii, Y. Oishi, T. Nayuki, Y. Takizawa, K. Nemoto, T. Kayoiiji, K. Horioka, Y. Okano, Y. Hirooka, K. G. Nakamura and K. Kondo; MeV-Order Proton and Carbon Ion Acceleration by Irradiation of 60 fs TW Laser Pulses on Thin Copper Tape, *Appl. Phys. Lett.*, 83, 1524-1526 (2003).
- 40) A. Matsuda, K. Kondo and K. G. Nakamura; Nanosecond rapid freezing of liquid benzene under shock compression studied by time-resolved coherent anti-Stokes Raman spectroscopy, *J. Chem. Phys.*, 124, 054501, (2006)
- 41) H. Kishimura, H. Morishita, Y. Okano, Y. Hironaka, K. Kondo, K. G. Nakamura and T. Atoh; Micromosaic formation in laser-irradiated Si probed by picosecond time-resolved x-ray diffraction, *Phys. Rev. B*, 74, 224301, (2006)
- 42) M. Watai and H. Hirayama; Resonant optical second-harmonic generation from quantum-well states in Ag films on $\text{Si}(111)7\times 7$ surfaces, *Phys. Rev. B*, 71, 085435(1)-(5), (2005)
- 43) H. Hirayama, A. Yamasaki, T. Kawata; Change of optical second harmonic generation intensity during Ag deposition on $\text{Si}(111)7\times 7$ and $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag surfaces, *Surf. Sci.*, 532-3535, 922-927, (2003)
- 44) F. Wakai; Modeling and simulation of elementary processes in ideal sintering, *J. Am. Ceram. Soc.*, 89, 1471-1484, (2006)
- 45) F. Wakai and F. Aldinger; Sintering through surface motion by the difference in mean curvature, *Acta Mater.*, 51, 4013-4024, (2003)
- 46) A. sasaki and M. Yoshimoto; Buffer-Enhanced Room-Temperature Growth and Characterization of Epitaxial ZnO Thin Films, *Appl. Phys. Lett.*, 86(23), 231911-1-231911-3, (2005)
- 47) S. Akiba and M. Yoshimoto; Formation of a nanogroove-striped NiO surface using atomic steps, *Nanotechnology*, 17, 4053-4056, (2006)
- 48) H Yu, Jingze Li, T. Ikeda, T. Iyoda; Macroscopic parallel nanocylinder array fabrication using a simple rubbing technique, *Adv. Mater.*, 18(17), 2213-2215 (2006)
- 49) Y. Morikawa, S. Nagano, K. Watanabe, K. Kamata, T. Iyoda, and T. Seki; Optical Alignment and Patterning of Nanoscale Microdomains in a Block Copolymer Thin Film, *Adv. Mater.*, 18, 883-886 (2006).
- 50) R. Takahashi, Y. Yonezawa, M. Ohtani, M. Kawasaki, K. Nakajima, T. Chikyow, H. Koinuma and Y. Matsumoto, "Perfect $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Single-Crystal Films via Flux-Mediated Epitaxy" *Adv. Funct. Mater.* 16, 485-491 (2006)

②国際会議等の開催状況【公表】

（事業実施期間中に開催した主な国際会議等の開催時期・場所、会議等の名称、参加人数（うち外国人参加者数）、主な招待講演者（3名程度））

1. 開催時期： 2003年11月21日（金）

場所： 東京工業大学 大岡山キャンパス

会議の名称： 21世紀COE東工大材料科学 第1回国際シンポジウム

参加人数： 173名（うち外国人参加者数13人）

主な招待講演者：

- ・Alain Deffieux 教授（フランス） ボルドー大学 教授
- ・Easo P. George 教授（アメリカ） オークリッジ国立研究所金属・セラミック研究部 主幹研究員
テネシー大学 材料科学科 教授
- ・Orland Auciello （アメリカ） アルゴンヌ国立研究所 研究員
- ・Howard Katz （アメリカ） ルーセントテクノロジー ベル研究所 上級技術員
有機エレクトロニクスにおける学際、国際協力主任
高速光エレクトロニクスモジュレーター開発 プロジェクトマネージャー
- ・Flemming Besenbacher 教授（デンマーク） オーフス大学 物理学研究所

2. 開催時期： 2004年7月27日（火）

場所： 東京工業大学 大岡山キャンパス

会議の名称： 東工大材料グループ21世紀COEプログラム・人材育成フォーラム「スーパードクター育成への道」

参加人数： 230名

主な招待講演者：

- ・菊地 紘 松下電工株式会社 副社長
- ・横山 浩 産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門長
- ・可児 晋 三菱商事株式会社 顧問

3. 開催時期： 2004年12月9日（木）

場所： 東京工業大学 大岡山キャンパス

会議の名称： 東工大21世紀COEプログラム 第2回国際シンポジウム
「Nano Technology in Organic and Polymeric Materials」

参加人数： 約100名（うち外国人参加者5名）

主な招待講演者：

- ・Alberto Morpurgo 教授（オランダ） デルフト大学 教授
- ・Kwang-Sup Lee 教授（韓国） ハンナン大学 教授
- ・Nikos Hadjichristidis 教授（ギリシャ） アテネ大学 教授
- ・Krzysztof Matyjaszewski 教授（アメリカ） カーネギーメロン大学 教授

4. 開催時期： 2005年11月22日（火）

場所： 品川プリンスホテル

会議の名称： 東工大-名大材料系COE合同シンポジウム「自然に学ぶナノマテリアルの開拓」

参加人数： 112名

主な招待講演者： ・柘植 綾夫 総合科学技術会議 議員

5. 開催時期： 2007年1月30日（火）

場所： 虎ノ門パストラル

会議の名称： 東工大材料系COE最終成果報告シンポジウム

参加人数： 120名

主な招待講演者： ・白川 英樹 ノーベル化学賞受賞者

その他、キックオフシンポジウム（2002年12月）、公開シンポジウム（2003年5月）、若手フォーラム（2003年8月、2004年10月）、東工大-慶應大合同若手フォーラム（2005年10月、2006年10月）などを開催した。

2. 教育活動実績【公表】

博士課程等若手研究者の人材育成プログラムなど特色ある教育取組等についての、各取組の対象（選抜するものであればその方法を含む）、実施時期、具体的内容

教育活動においては4専攻の博士後期課程学生を対象とした新しい2つのコースの設置を謳った。

1. ナノイニシアチブマテリアル(NI)コース

- ・ 目的： 先端研究を通して博士後期課程の学生の研究能力に一層の磨きをかけようとするもので、“材料工学アカデミックスクール”に相当する。本コースでは、将来において材料科学・技術分野の産・学・官のリーダーとなる人材を育成しようとするねらいを持つ。博士課程の学生の中から、定員の10%程度の卓越した学生を選抜し、数ヶ月の海外研修や海外の大学の先生を副指導教官とするなどの新しい教育制度を行う。このコースに入学を許可された学生には奨学金に相当する意味でRA経費を給付する。もちろん、年度ごとに評価をして、必要により入れ替えもおこなう。
- ・ 教育目標・内容： 本コースでは、関係4専攻内でのインキャンパス教育によるナノテクノロジーを駆使した先端材料研究の推進に加え、外部の先端研究組織でのアウトキャンパス教育を通じて、研究面での深い専門性と先見性の涵養に加え、国際性と広い視野を兼ね備えた人材育成を目指す。
- ・ 対象者： 本学の物質科学創造専攻、材料物理学専攻、材料工学専攻、有機・高分子物質専攻の博士後期課程に学籍のある者。
- ・ 実施時期：2004年度からプロジェクト最終年度の2006年度の4年間。
- ・ 採用人数： 若干名（4専攻博士課程の10%程度にあたる平均6名/年）
- ・ 選抜方法： 志願者の提出した、志願票、これまでの研究内容、これからの研究計画、自分の将来像の書類を事業推進担当教官全員で書類審査し、2倍程度まで1次選抜した。2次選抜として面接試験を行い、最終選抜した。
- ・ 実績内容： 4年間を通して、海外留学が3名、海外研修が計21名の23件、受賞数20件。また、その間の学位取得者数は15名。

2. プロジェクトマネージング(PM)コース

- ・ 目的： 材料工学に関する基礎知識を広く持ち、これにより柔軟な発想を可能とし、さらに技術シーズを産業に結びつけるための基礎知識を備えた人材、すなわち「スーパードクター」の育成を目指した。
- ・ 教育の内容： 本コースは世界的にも他に類を見ない博士課程コースであり、博士号の学位を取得するための要件として研究による学位論文の提出の他に、ビジネス、経営、起業、プレゼンテーションスキルなどに関する講義を6科目9単位必修とするほか、自分の専攻以外の専攻で開講している講義を7科目21単位取得することを義務づけた。本コースを履修する者は先のナノマテリアルイニシアチブコースと同様の経済的な支援を受けることが出来る。本コースの特徴は次の2点である。 1) 必修としてビジネス概論、実践的企業戦略、技術経営論、プレゼンテーションスキルなどに関する講義を履修する、2) これらの講義をアカデミアからではなく実社会の最前線で活躍する客員教員が担当し、ケーススタディや演習を中心とする寺子屋式教育で身につける。
- ・ 実績： 初年度は6名、その後ほぼ同数の学生を選抜しこれまでに25名が履修した。また、特筆すべきは2年目以降、プロジェクトマネージングコースは材料系以外の本学博士後期課程の学生が参加するようになり、最終年度には生命理工学研究科、理工学研究科、イノベーションマネジメント研究科の学生を加えて専門分野の異なる博士後期課程学生がともに学ぶ環境が作り上げられた。これを受けて本COE終了後の平成19年度からプロジェクトマネージングコースは東京工業大学の特別教育研究コースとしての設置が認められ、材料工学特論を除くビジネス関連講義6科目が全学にオープンとなった。

21世紀COEプログラム委員会における事後評価結果

(総括評価)

設定された目的は十分達成され、期待以上の成果があった

(コメント)

研究教育拠点形成計画全体については、学長のリーダーシップの下、研究戦略室、イノベーション研究推進体を基盤とし、拠点間の連携を推進する母体として「先進研究機構」を常設したこと、また、世界をリードする材料科学者を拠点リーダーとし、リーダーの高い理想と群を抜く研究実績で全体を引っ張り、研究・教育の新たな実験をスタートさせ、「先進ナノマテリアル研究センター」を正式に発足させたことなどにより、5年間という短期間ながら優れた成果をあげたと評価できる。

人材育成面では、「産業化」を意識し、また、俯瞰的視野の養成を目指して「プロジェクトマネージングコース」を設置し、これを全学コース化した。今後の継続的な拠点形成へ向けての重要なシステムを生み出したものとして高く評価できる。

研究活動面では、ありふれた元素だけを使って透明アモルファス酸化物半導体を「材料設計」的に創製し、世界的にも稀な「逆問題を解く」アプローチを成功させた成果として特記に値する。

ただし、事業推進担当者の個人のポテンシャルは高いものの、拠点としてのまとまりはまだ十分とは言えず、また、プログラム名に「産業化を目指した」というタイトルが付されているが、これらの点については産業連携の斬新な提案には至らず、努力は多とするものの従来の枠を越えた境地には至っていない。

補助事業終了後の持続的な展開については、当拠点の精神が、今後、より進化・完成を目指して開花するよう望むとともに、大学側のトップマネジメントの継続的努力が望まれる。