

## 21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

1. 機関の 代表者 (学長)	(大学名)	東京工業大学	機関番号	12608
	(ふりがな<ローマ字> (氏名))	Iga Kenichi 伊賀 健一		

## 2. 大学の将来構想

### 2.1 東京工業大学の将来構想

東京工業大学では、平成13年10月に「東京工業大学の将来構想」をまとめ、以後、学長のリーダーシップのもと、この将来構想を基礎に大学のマネジメント、研究、教育、社会貢献システムの体制を刷新してきた。この将来構想では、本学の長期目標を「世界最高の理工系総合大学の実現」と定めている。

この目標達成のために、大学から創出される「研究・教育・社会貢献の成果」が、「適正に評価」され、さらに「適正な資源供給・配分」に反映されるトータルシステムの構築が重要であるとし、中期目標を設定している。中期目標として掲げられた事項の中で、本プログラムに関連する事項は以下の通りである。

#### 1) 戦略的マネジメント体制の確立

- ・学長のリーダーシップに基づく教育・研究・社会貢献システムの戦略的運営体制の構築
- ・上記実現のため、教官と事務官を融合させた学長のスタッフ組織として、研究戦略室等を設置

#### 2) 研究システムの改革

- ・革新的研究分野を部局を越えた全学的組織で戦略的に展開する「イノベーション研究推進体」の構築
- ・研究支援体制の整備と国際水準の研究環境実現

#### 3) 教育システムの改革

- ・IT教育及び教育のIT化を含む学部・大学院教育の改革と国際教育（日本人学生教育の国際化、留学生教育及び国際交流）の改革

#### 4) 産学連携体制の改革

- ・産学連携体制の強化及び産学連携支援人材の育成

### 2.2 将来構想と拠点形成

これらの中期計画に沿って、世界でトップの研究・教育・社会貢献体制を整備するためには、世界の最先端に行く独創的・先端的の学術研究を推進することにより新しい知を創造し、国際的リーダーシップの発揮できる創造性・人間性に富んだ人材を育成し、科学・技術の持続的発展を通じて社会に貢献する研究教育拠点を構築することが重要である。本プログラムの申請においては、学長のリーダーシップのもと、戦略的マネジメント体制における研究面での要である研究戦略室が中心となり、各分野における本学の強み、カバーすべき領域、研究者の動向、これまでの教育の問題点と改革の目指すべき方向等を議論した。その結果、研究面では、総合科学技術政策における重点分野を中心に、いくつかのイノベーション研究推進体をベースとして拠点案を決定した。また教育面については、専門性だけでなく高い柔軟性と広い視野を持ち産業界でも活躍できる人材育成、スクーリングを重視した多様なコ

ース設計、国際コミュニケーション能力の強化、厳格な修了評価、などを特徴とする教育システムづくりを全学的な基本方針とした。またプログラム終了後の拠点イメージを明確にするため、研究面では学内措置によるセンター等の研究施設、また教育面では学内措置による新コース等の設置を図ることとした。

### 2.3 拠点形成のための支援方策

上記の目的を達成するため、本プログラムを通じた研究教育拠点の構築に当たっては、学長を中心とした全学体制でこれを支援することとした。

すなわち、拠点申請に際しては、前述の通り、学長のリーダーシップのもと、研究戦略室が中心となり、各分野における本学の強み、カバーすべき領域、研究者の動向、これまでの教育の問題点と改革の目指すべき方向等の視点から研究グループの申請を支援した。

また、本プログラムの採択拠点に対する直接的支援としては、以下を実施することとした。

- ・学内資源配分：各研究教育拠点へ傾斜配分校費等による支援、全学共通スペースの確保と重点配分。
- ・進捗状況管理と評価：研究面では研究戦略室が、教育面では教育推進室が、国際面では国際室が進捗状況を管理・評価し、毎年評価室が実績を評価し学内資源配分へ反映。
- ・競争的資金獲得支援：拠点における研究教育の更なる推進のため、研究戦略室により外部競争的資金の獲得を支援。
- ・人材の流動性確保：任期制の導入や博士修了者の外部機関でのポストクの奨励。
- ・終了後の拠点運営：研究面では学内措置によるセンター等を構成し、教育面では新センターの教育面を担う学内措置による新コース等を設置するとともに、そのための規則を整備。

さらに、間接的・長期的視点では、外部競争的資金のオーバーヘッドによる研究・教育インフラ整備及び事務系を含めた研究・教育支援体制の強化等により、学内の研究教育活動を活性化することとしている。

## 3. 達成状況及び今後の展望

### 3.1 採択拠点への支援の具体的実績

2項に記した本学の将来構想実現に資するために全学体制で実施したプログラム採択拠点への支援を具体的に記せば、以下の通りである。

- ・学内資源の優先配分：採択拠点の研究スペース確保のための支援として、学内のスペースからグローバルCOEプログラム採択拠点を含む全拠点合計で3,240㎡を優先配分するとともに、プログラム経費からの支出が難しい経費の確保のため、これらの拠

点に6億円余(平成14～19年度積算額)を学長裁量により配分した。

- ・ 広報支援：各拠点が実施する国内外向けのシンポジウム・広報活動のほかに、本学としての21世紀COEプログラムならびにグローバルCOEプログラムへの取り組みを広く社会に認知してもらうため、全拠点の活動を網羅したInter-COEシンポジウムを全学体制で5回開催した。
- ・ センター化・コース化支援：各拠点の研究・教育面での出口イメージを明確にするため、プログラム終了を待たず、それぞれの拠点が研究センター・教育コースを設置できるよう規則を整備するとともに、これらの設置を強力に支援した。その結果、本学が擁する12拠点が研究センターを、9拠点が教育コースを設置するに至っている。
- ・ 事務支援体制の構築：各拠点の研究者が研究教育活動に専念できるよう、大岡山・すずかけ台両キャンパスにCOE支援室を設置し、各拠点の経理や事務書類作成を実質的にサポートする体制を整えている。
- ・ 競争的資金獲得・産学連携の支援：各拠点が研究教育活動を実施していく上で必要とする外部競争的研究費の獲得のため、研究戦略室が中心となって、各種情報の収集・提供や申請書類準備などの支援を実施した。また、本学の技術移転活動の要である産学連携推進本部を中心に、各拠点の研究成果の技術移転や産学交流を積極的に推進した。
- ・ 国際化支援：各拠点が推進する国際共同研究や教育の国際化については、研究戦略室と国際室が連携してサポートする体制を整えている。

これらの支援を通して各拠点の研究活動の高度化・効率化が図られると同時に、本学の研究教育支援体制のベンチマークとして拠点以外へも浸透しつつある。

### 3.2 将来構想等の達成状況

本プログラムにおける拠点形成を通して、本学の将来構想の第一フェーズを達成することができた。前述の中期目標の項目ごとに述べれば以下の通りである。

#### 1) 戦略的マネジメント体制の確立

本プロジェクトの申請・運営・評価・支援を通して、学長のリーダーシップに基づく教育・研究・社会貢献システムの戦略的運営体制構築の必要性が認知され、研究戦略室・企画室・評価室・教育推進室・国際室・産学連携推進本部・広報センターといった企画立案組織が構築されるに至っている。

#### 2) 研究システムの改革

本学における拠点形成がイノベーション研究推進体をベースにしていることは既に述べたとおりである。このことは、本学の研究面での「強い分野」を、学外の視点からの評価を受けながら、さらに強めていく方針によるものであり、このような流れが全学的に認知されるに至っている。また、各拠点の研究活動継続のため、学内措置による研究センター設置のための規則整備を行い、こうした「強い分野」の研究拠点構築を強力に後押ししている。さらに、その次の「強み」を

構築していくため、イノベーション研究推進体活動を継続的に推進するとともに、各拠点の成果を本学の長期目標に合致したものとして昇華させるため、拠点リーダーをメンバーとする「先進研究機構」を常設し、拠点間の意識の整合を図るとともに、本学の教育研究施策決定へ積極的にフィードバックしている。

#### 3) 教育システムの改革

本プログラムの拠点形成をひとつの契機として、大学院に修士・博士一貫コースを設置し、あるいは国際大学院コースを見直すなど、専門性だけではなく高い柔軟性と広い視野を持ち産業界でも活躍できる人材育成、スクーリングを重視した多様なコース設計、国際コミュニケーション能力の強化、厳格な修了評価、などを特徴とする教育システムを構築し、これらの人材養成を通して社会に貢献する体制を構築している。また、本プログラムの拠点のいくつかはその目的に合致した特徴ある教育コースを設置しており、これらを通して教育システムの改革を実施している。

#### 4) 産学連携体制の改革

学内に産学連携推進本部を設置し、産学連携と研究成果の技術移転に関する業務を一元化して実施する体制を整えた。産学連携推進本部には、国内外における知的財産管理と活用・産官学連携を担当する人材を登用し、本学の強い分野が築き上げた知的財産を社会に貢献できる形にする体制を構築している。

### 3.3 本学の将来展望と研究教育拠点

本学の長期目標である「世界最高の理工系総合大学の実現」のためには、上記の中期目標の第一フェーズの実現だけでは十分ではなく、この成果を踏まえた次のステップが重要になる。

本学の将来展望の鍵を握る「次のステップ」としては、本学の研究・教育両面での強みをさらに強める取り組みを挙げることができる。21世紀COEプログラム等に採択された拠点を含め学内の有力な研究教育グループから学内外の評価に耐えるものを学長と研究戦略室等が連携して選定し、研究スペースの確保など、それらへの支援を既に実施している。また、こうして構築された「強い」教育研究組織をさらに強めるため、学長と各室が連携して研究グループを評価し、グローバルCOEプログラム拠点として申請を行っている。

一方、これらの研究教育グループの成果を本学の研究教育の基盤である研究科群にフィードバックすることにも取り組んでいる。その結果、新たな研究教育両面での強みが構築され、「第二フェーズ」として新しい視点での教育研究活動が実施できると期待される。

このように、本学における研究教育両面での強みを抽出し、重点的支援を行って拠点化し、その成果を研究境域基盤にフィードバックする好循環システム

(Dynamic Circulation System)の構築こそが、本学を「世界最高の理工系総合大学」に至らしめるために必要なステップである。上述の通り、本プログラムでの拠点形成はその第一フェーズとしてきわめて高い実効があったものと確信している。

21世紀COEプログラム 平成15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	伊賀 健一	拠点番号	G09	
1. 申請分野	F<医学系> ㊄<数学、物理学、地球科学> H<機械、土木、建築、その他工学> I<社会科学> J<学際、複合、新領域>					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	量子ナノ物理学 (Nanometer-Scale Quantum Physics)					
研究分野及びキーワード	<研究分野:物理学> (ナノワイヤ) (ナノチューブ) (ナノプローブ) (量子伝導) (量子情報)					
3. 専攻等名	大学院理工学研究科 物性物理学専攻, 基礎物理学専攻					
4. 事業推進担当者	計 20 名					
ふりがなくローマ字) 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) Ando Tsuneya 安藤 恒也 Takayanagi Kunio 高柳 邦夫 Yoshino Junji 吉野 淳二 Tanaka Hidekazu 田中 秀数 Munekata Hiroo 宗片 比呂夫 Yamamoto Naoki 山本 直紀 Matsusita Michio 松下 道雄 Saito Susumu 斎藤 晋 Oshikawa Masaki 押川 正毅 (平成18年3月31日転出により辞退) Oka Makoto 岡 真 Ueda Masahito 上田 正仁 (平成20年2月29日転出により辞退) Minami Fujio 南 不二雄 Nishida Nobuhiko 西田 信彦 Okuda Yuichi 奥田 雄一 Asahi Koichiro 旭 耕一郎 Kozuma Mikio 上妻 幹男 Hosoya Akio 細谷 暁夫 Nishimori Hidetoshi 西森 秀稔 Kawai Nobuyuki 河合 誠之 Watanabe Yasushi 渡邊 靖志 (平成19年3月31日転出により辞退)	大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・准教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・准教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・助教 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・准教授 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 物性物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻・教授	物性理論、理学博士 表面物性、理学博士 半導体物理学、工学博士 磁性物理学、理学博士 半導体物理学、工学博士 表面物性、理学博士 分子科学、理学博士 物性理論、工学博士 物性理論、理学博士 原子核物理学理論、理学博士 物性理論、博士(理学) 光物性、工学博士 低温物性、理学博士 低温物性、理学博士 原子核物理学、理学博士 量子物理学、博士(工学) 理論物理学、理学博士 物性理論、理学博士 宇宙物理学、理学博士 素粒子物理学、Ph. D	ナノ構造物性理論 量子伝導理論 ナノ構造形成・観測 ナノワイヤ・チューブ ナノ構造形成・観測 磁性半導体 ナノ構造形成・観測 ナノスピン ナノ構造形成・観測 スピントニクス ナノ構造形成・観測 ナノ粒子 ナノ構造形成・観測 分子ナノ光学 ナノ構造物性理論 ナノチューブ ナノ構造物性理論 ナノ回路 ナノ構造物性理論 ナノクラスター ナノ構造物性理論 ボース凝縮 ナノ構造物性評価 量子ナノ光学 ナノ構造物性評価 超伝導 ナノ構造物性評価 超流動 ナノ構造物性評価 ナノNMR フロンティア応用 量子情報実験 フロンティア応用 量子情報理論 フロンティア応用 情報統計物理 フロンティア応用 宇宙観測素子 フロンティア応用 粒子検出	全体取りまとめ サブリーダー 将来構想 成果公表 研究交流 RA・TA担当 教育環境 国際共同研究 国際共同研究 教育システム 研究評価 産学交流 若手育成 研究環境 研究教育システム 研究交流 研究教育環境 教育評価 研究国際化 教育国際化		
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)	15	16	17	18	19	合 計
交付金額(千円)	134,000	130,000	128,000	119,850 (11,985)	117,000 (11,700)	628,850

## 6. 拠点形成の目的

### [1]必要性と目的

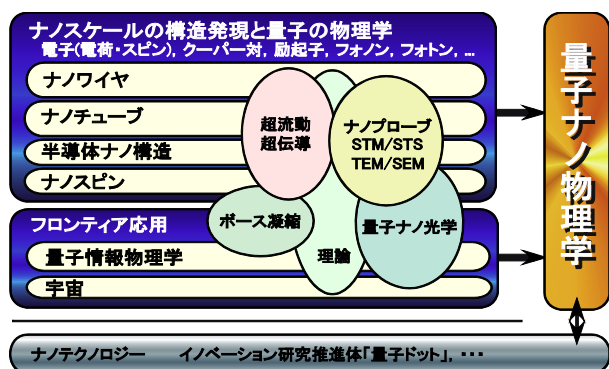
21世紀の最重要研究領域の一つがナノサイエンスとナノテクノロジーである。その中で本拠点がカバーするのはナノサイエンス、特にナノスケールで発現する新しい物理学である。

これまでの物理学の歴史は、新しい物質や構造などから新しい概念につながる発見が生まれることを示している。例えば、電子計算機の心臓部として開発された半導体LSIの2次元電子系で整数量子ホール効果が発見され、トポロジカル普遍量から抵抗標準へ至る新しい物理学が生まれた。また、半導体ヘテロ構造では分数量子ホール効果が発見され、分数電荷、エニオン、複合フェルミ粒子、複合ボーズ粒子などの概念が誕生した。量子細線や量子ドットなどのメソスコピック構造では、コンダクタンス量子化、クーロンブロッケード効果、朝永-ラッティンジャー流体効果、アハラノフ-ボーム効果などの新しい現象が観測されるとともに、位相コヒーレンスの重要性が明らかになった。

ナノ構造においても新しい物理概念が生み出されることは疑いない。実際、予想を超える現象が発見されはじめている。例えば、本事業推進者らの研究で、STMを用いて作製された金のナノワイヤが魔法数7のヘリカル多層シェル構造をもつことが明らかになった。また、同じく理論的研究で、金属的カーボンナノチューブは散乱体があっても電気抵抗のない完全導体となることが予言されている。

このように、ナノスケールではこれまでの物質とは全く異なる構造や物性が発現し、本拠点はその進展に世界最先端の重要な寄与をしてきた。これをさらに発展させることにより新しい量子ナノ物理学を生み出すことを目指すのが本拠点の目的である。

具体的には、新しい原子スケールのナノ構造



量子ナノ物理学の研究対象

を形成し、その局所構造観察と評価、制御、物性計測、量子状態の理論的解明と予言により、その発現の起源を明らかにするとともに、新しいナノ構造における新しい物理現象を探求し、新しい物理概念を発掘する。同時に新しい計測手段の開発も行う。さらに、量子論に内在する不可思議な性質とされる「量子状態のもつれ」と「非局所性」を積極的に利用した量子情報処理である量子暗号、量子テレポーテーション、量子計算に関する基礎的研究を推進することにより、ナノ構造を用いた量子情報処理への道を拓く。

### [2]ユニーク性と発展性

ナノワイヤは、魔法数7のヘリカル多層シェル構造のような螺旋構造を始め、ナノスケール特有な構造をもつ。このナノワイヤの研究は世界的にユニークである。一方、カーボンナノチューブは世界中で活発に実験・理論両面から研究が行われている。しかし、本拠点は第一原理電子状態計算、量子輸送現象、相互作用効果などの理論研究を有機的に協力して行えるという特徴を持っている。本拠点ではそれ以外にも、ナノ構造の作製、その局所構造観察、制御、物性計測、新しい計測手段の開発などを行っている研究グループが充実している。さらに、ナノ構造の電子状態とスピン状態の予測で実績があり、量子情報処理の基礎実験と基礎理論の面での研究も進んでいる。さらに、カリフォルニア大学バークレー校の関連研究者とは理論・実験両面での国際共同研究も進んでいる。

本研究拠点は、トポロジカルな新しいナノ構造の形成と、ナノ構造における電子、電荷、スピン、クーパ対、プラズモン、励起子、フォノン、ロトン、フォトンなどの量子が示す物理現象を探求・解明することによって新しい物理概念を発掘することを目的とする。半導体を用いた量子細線や量子ドットなどの量子構造が作られ、現在のサブミクロン領域から微細化をさらに進めてナノ領域へ向かおうとする研究が数多くなされている。本拠点ではこの半導体量子構造もその重要性から研究対象として含めるが、中心となるのはあくまでその2桁スケールの小さいナノワイヤ、ナノチューブ、ナノ粒子、あるいはその階層的複合構造などである。

また、将来実現される量子情報処理や通信は、必然的にナノ構造における電子とスピンを用いて行われるが、本拠点ではこのナノ構造を用いた量子情報処理のための要素研究と関連する基礎的な理論的課題も追求する。



## 7. 研究実施計画

拠点形成に向けて[1]ナノ構造形成・観測，[2]ナノ構造物性理論，[3]ナノ構造物性評価，[4]フロンティア応用の4グループを組織する。これにより，ナノスケールで形成される新しい構造を探索するとともに，そこで発現する新しい現象と物理概念を探求し，さらにナノ構造を用いて将来実現されるであろう量子情報処理の基礎研究を行う。各グループの具体的な役割と目標は以下のとおりである。

[1]ナノ構造形成・観測：この研究拠点の中核となる実験研究を行うグループであり，これまでのナノワイヤとナノチューブに関する成果をもとにさらに新しいナノ構造を生成探索し，ナノスケールで現れる螺旋構造など新しいトポロジー特有の新しい現象の発見を目指す。具体的には，In-situの超高真空電子顕微鏡(UHV-TEM)と走査トンネル顕微鏡(STM)・原子間力顕微鏡(AFM)を組み合わせて，金属の原子鎖やカーボンナノチューブを生成し，ナノスケールで現れる新しい構造の探索や同定を行うとともに，原子鎖のバリスティック電気伝導の同時測定を行う。さらに，さまざまな物質へと拡張し，新しい構造の発現機構を解明する。電子線の直径が0.1nm程度に絞った電子顕微鏡であるスーパーナノプローブを作製し，ナノワイヤ/チューブのバリスティック伝導電子とナノプローブの電子ビームの相互作用を実現し，新しい現象の発見と電子状態の理解を目指す。さらに，磁性体や超伝導現象などを示す全く新しい元素などへも拡張し，電子の電荷からスピンやクーパ対などの量子の物理学へと発展させる。さらに，強磁性半導体を用いたスピンのナノ構造を作り，スピンSTMによるナノスケールの磁化反転，光による磁性制御を目指す研究

や，スピンナノチューブ物質の形成，単一ナノ分子の分光を行う。

[2]ナノ構造物性理論：この研究拠点の第二の中核となる理論研究を行うグループであり，新しいナノ構造の電子状態，電気伝導，電子間相互作用の効果，格子振動，光との相互作用，ナノ構造のトポロジー特有の強い量子効果，少数多体系特有の理論手法の開発，ナノ階層構造による新物質の予言，ナノ回路の理論など，ナノスケールの構造発現の起源と新概念の創出をめざした活発な理論研究を展開する。

[3]ナノ構造物性評価：上記研究グループ[1]，[2]で行う新しいナノ構造の研究に加えて，既存のナノ構造における新しい物理現象の発見と理解，新しい計測制御技術の開発，さらには量子情報処理を目指した研究を行う。[1]，[2]の研究の幅広い発展のためにも欠かすことのできないグループである。具体的には，量子ドットにおける励起子のコヒーレント制御による量子ビットと量子ゲートの実現，STM発光による量子ナノ構造計測，低温強磁場STMの開発と，磁化プラトーとナノスケールの磁化パターンの形成，さらに，ナノチューブ中の量子液体・固体の超流動や超伝導体などの研究へと発展させる。また，不安定核をプローブとした全く新しいナノ構造物性観測手法を開発する。

[4]フロンティア応用：量子論に内在する不可思議な性質である「量子状態のもつれ」と「非局所性」を利用した量子情報処理はナノ構造応用の究極の目標と位置づけられる。それを将来に見据えた量子情報処理の基本理論の確立と理論研究，さらにはナノ構造を用いた高エネルギー粒子線の宇宙観測を目指したイメージセンサーなどの検討・開発を視野に入れた研究を行う。具体的には，量子情報の基本的で重要な概念である量子テレポーテーションを世界で初めて冷却原子を用いて実現し，量子ゆらぎを減少させたスクイーズド状態を実現し，光と原子の間の量子情報ネットワークへの道を開く。量子情報の幾何学の視点からの再構成，量子情報記憶に関する基本理論の確立を目指した理論研究などを行う。

研究グループ相互が有機的に結合して活動するために，国際シンポジウムを期間中に2回開催，評価・成果公表を含めたシンポジウムを毎年開催する。さらに，本研究教育拠点の特に著しい成果をもとに「量子ナノ物理学研究センター」を設立することを目指す。



量子ナノ物理学研究グループ



## 8. 教育実施計画

[1] 大学院生の自主的研究活動を支援し、世界最先端の研究者育成を目指す。

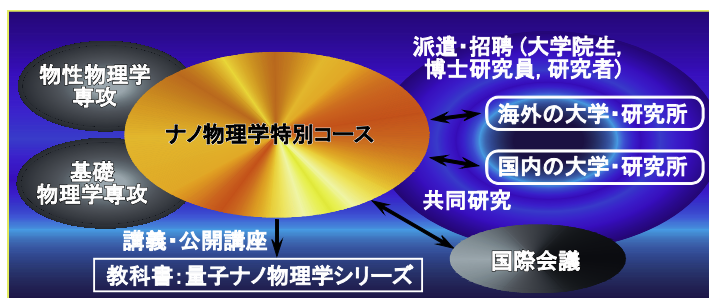
物性および基礎物理学専攻では、これまで大学院生（特に博士後期課程）に若手研究者としての自覚を与えることを重要な指導方針としてきた。学生がしっかりとした動機付けを持ち主導的に研究を推進することが、世界最先端の量子ナノ物理学を担う研究者を育てるための必須条件であることに鑑み、自発的、自主的研究活動をさらに積極的に推奨し、自主性の涵養を重視する。そのために以下の施策を行う。

- 量子ナノ物理特別コースを設け、RAとして優先的に採用し、最先端の教育研究に従事させるとともに、博士前期課程学生の博士後期課程進学を推奨し、学位の早期取得を推奨し支援する。
- 研究成果の論文による発表とともに、学生自身による内外の学会、国際会議での論文発表を強く推奨し、そのための支援をする。
- 学内並びに学外の研究者を聴衆とする研究成果発表会を専攻主催で定期的に開催し、物性・基礎両専攻の大学院生や若手研究者に研究成果を発表させる。
- 量子ナノ物理学の体系化を目指して、基礎から最先端、その広い応用までの充実した講義を整備し、これを大学院生向け教科書「東工大ナノ量子物理学シリーズ」として出版する。

[2] 大学院生や若手研究者の国際的研究活動を支援する。

研究の国際的広がりを大学院生に認識させ、国際性を養うために以下の施策を実施する。

- 物性・基礎物理学両専攻では、毎年多数の短期および長期の外国人研究者を受入れている。これをさらに充実することにより、大学院生や若手研究者が世界のトップクラスの内外研究者と交流する環境を整える。
- 在学時の短期留学や関連する国外での国際会議・集会への積極的な参加を推奨し、旅費等の支援を行う。
- 在学時から外国研究者との交流を通じて、学位取得後外国で博士研究員となることを強く推奨する。
- 研究者として必要な会話、論文執筆などの



大学院教育・若手研究者育成の概念図

実践的英語教育を非常勤講師等によるクラス開講によって行う。

- 博士研究員枠を広く海外研究者へ解放し、国際化を推進する。

[3] 東京工業大学を中心とする国内教育研究協力体制を構築する。

学生に国内他大学、研究機関の研究者との自主的な交流を促進し、学位取得後の所属研究機関の選択の幅を増やし、内外に東京工業大学出身の研究者を輩出することを目標とし、次の施策を行う。

- 最先端で活躍する国際的研究者を講師に迎え、東京工業大学主催のトピックススクールを定期的に開催し、大学院生の参加を促すとともに、他機関の参加者も求める。15時間をこえるスクールに対する単位認定を行う。
- 大学院生や博士研究員の他大学、共同利用研究機関、国立研究所、その他研究機関での共同利用などを通じた研究交流を支援促進する。
- 博士研究員を広く一般から公募し、また、大学院生にも東京工業大学以外の研究機関の博士研究員となることを推奨し、若手研究者の流動性を高める。

## 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

本拠点の目的を要約すると、ナノ構造の物理現象の探求、新物理概念の発掘、計測手段の開発、量子情報処理の基礎研究により、世界的な研究教育拠点となることである。そのため、世界最先端の研究を推進し、大学院博士課程教育、若手研究者育成、成果公表と評価のために活発な活動を行い、目的は十分達成した。

研究面での多数の成果の詳細は後述するが、世界最高水準の学術的知見を得る研究や、新たな分野の創成があった。例えば、金のナノワイヤの研究では、STMとTEMを組み合わせた実験により、新たな平面状ナノワイヤを発見し、さらに構造とコンダクタンスの明確な対応を明らかにすることができた(JPSJ Editor's Choice, 2007年)。また、カーボンナノチューブの出発点であるグラフェン物性に関する先駆的理論研究が、爆発的に増加したグラフェン分野の中で大きな役割を果たしている(2008年開催の米国物理学会で全講演の7%がグラフェン関連、国際会議がほぼ毎月のように世界のどこかで開催されている)。なお、事業推進担当者はいくつかの賞を受賞し[2003年紫綬褒章(高柳邦夫)、2004年ラングミュア賞(高柳邦夫)、2006年江崎玲於奈賞(安藤恒也)、2006年仁科記念賞(西森秀稔)、2007年文部科学大臣表彰(上田正仁、河合誠之)など]、日本物理学会若手奨励賞に助手、助教等の若手4名が選ばれた。

大学院教育の面では、博士後期課程学生の研究実績・目的・計画等を記述した申請書に基づき、年間30名程度のRAを選抜し、自主的な研究活動の動機付けおよび経済支援を行った。物性・基礎両専攻にまたがるCOE量子ナノ物理学特別コースを新設し、後期博士課程1年生から各年10名程度を選抜し、優先的にRAに採用した。さらに、国際会議等出席旅費の補助、若手研究者支援費などを支給し、自主的な研究と国際会議での論文発表を推奨するとともに、その基礎力養成のために、COE特別講義、COE連続講義、海外研究者による特別講義、アカデミックライティング・アカデミックプレゼンテーションの講義を開講した。また、RA学生の研究発表を学生主導で行う量子ナノ物理学コロキウムを毎年開催した。さらに、3回の公開シンポジウムでの発表を義務付け、2回の国際シンポジウムへの参加を強く推奨するなどの活動を行った。その結果、博士課程の充足率、学術論文発表数、国際会議、国内会議での発表数の大幅増加など、

学生の研究活動の活性化が目に見える形で現れた。

若手研究者育成も本拠点の目標の一つであり、国内外の一般公募により、本拠点の重点分野にCOE博士研究員を、前期(2003-2005年)に7名(含外国人1名)採用し、後期には再公募により6名を採用した。比較的経験を積んだ博士研究員はCOE助手あるいは助教とし、演習などの教育経験を積むことにも配慮した。また、他機関の研究者と共同でミニシンポジウムを企画させることにより、若手研究者の国内ネットワークを広げる試みを行った。本COE終了時あるいはそれを待たずに他機関へ異動するなど、十分な成果を上げた。

研究成果の公表と評価のために国際シンポジウムを2回[2005年参加者190名(外国人30名)、2007年参加者219名(外国人36名)]、公開シンポジウムを3回開催した[2004年参加者120名、2006年参加者160名、2007年参加者190名]。さらに、サマースクールやワークショップ、若手主導のミニシンポジウム2回を開催し、物理学への関心を高めるための高校生や一般向けの啓蒙活動にも積極的に取り組んできた。特に、国際シンポジウムでは、量子ナノ物理学分野の本格的な国際会議となることを目指し、査読付き学術雑誌[Physica E 29, 443-734 (2005)と40, 213-442 (2007)]にプロシーディングを出版した。これは、他機関や海外からの会議参加を促し、研究ネットワークを広げ、世界的な研究教育拠点としての存在をアピールするとともに、大学院学生の教育、若手研究者の育成に大きな効果があった。

2006年1月、カリフォルニア大学バークレー校において合同シンポジウム「ナノサイエンスと量子物理学」を開催した。同校の物理教室はローレンスバークレー研究所と一体となって米国のナノサイエンス研究拠点をなしており、研究協力を推進することは拠点発展に資することが大きい。なお、申請中のグローバルCOEでも同校との協力が重要な鍵となっている。また、本COE終了後の活動拠点として計画していた「量子ナノ物理学研究センター」を平成17年度から学内措置のセンターとして発足させ、その活動を開始した。なお、このセンターは申請中のグローバルCOEでも活動の中核として計画されている。

#### 2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

人材育成面の目標は、大学院生の自主的研究活動の支援による世界最先端の研究者育成、大学院生や若手研究者の国際的研究活動の支援、国内教育研究協力体制の構築である。そのため、

前項で述べたさまざまな施策を行い、大学院学生の研究活動を活発化し、拠点形成に大きく寄与した。

特に、博士課程の学生がRAとしてサポートされ、第一線の研究に専心集中し、海外の国際会議発表等で成果を実感できることの重要性が明確になった。これは、学生の学術雑誌への論文出版数、国際会議での発表数がCOE開始時の2倍以上に増えたことから明らかである。出身大学院生は東京工業大学を始め他大学・他機関の博士研究員等として研究を進展させ、海外の研究機関へ進む者も現れている。なお、RA主導で毎年開催した研究発表会(量子ナノ物理学コロキウム)は研究室間の交流を活発にし、物性・基礎両専攻の活性化と研究室間連携強化に重要な役割を果たした。

若手研究者育成ではCOE博士研究員あるいは助手/助教を合計13名(内外国人1名)採用し、その活動が本拠点の重点分野の進展に大きく寄与した。国内研究教育体制の構築の具体化に向けて、ミニシンポジウム「カーボンナノチューブの光学応答」(2007年、参加者50名)と「ナノスケールに現れる新奇な超流動・超伝導」(2008年、参加者63名)を開催した。この研究会は、本拠点所属の若手研究者が他研究機関の若手研究者と共同で企画運営した。そのため、若手研究者間のネットワークを広げるのに大いに役立った。ただし、任期制であり余裕のない研究員への負担もあり、数多く開催することは現実的ではない。

### 3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

拠点形成に向けて、[1]ナノ構造形成・観測、[2]ナノ構造物性理論、[3]ナノ構造物性評価、[4]フロンティア応用の4グループを組織した。主な研究成果は以下の通りである。

[1]ナノ構造形成・観測：UHV-TEMとSTM/AFMによる金ナノワイヤの研究では、前述のように新しい平面状ワイヤを発見し、構造とコンダクタンスの明確な対応を明らかにすることに成功した(JPSJ Editor's Choice, 2007)。この業績は2004年のラングミュア賞(高柳邦夫)への寄与の一つとなっている。さらに、軽元素も直接観察できる分解能0.05nmの電子顕微鏡を開発し、ナノワイヤに関するこれからの研究の発展が期待できる。また、スピンのナノ構造の形成と光やスピンSTMによるナノスケールの磁化反転、磁化制御、スピンナノチューブにおける量子効果の観測、量子スピンダイマー系のボース・アインシュタイン凝縮(JPSJ Editor's Choice, 2007年)、プラズモニック結晶の表面

プラズモン観測などの研究が進展した。

[2]ナノ構造物性理論：新しいグラフェン分野の創成・発展への寄与については前述のとおりである。ナノチューブに関しては、金属ナノチューブの完全伝導チャネルに対する対称性の役割、半導体及び金属ナノチューブの光吸収・発光への電子間相互作用と励起子効果、アハラノフ・ボーム効果による励起子の非発光一発光転移、垂直偏光励起子吸収の予言、多層ナノチューブにおける層間相互作用消失の起源など、実験研究の世界的な発展に呼応した研究が行われた。これらは2006年の江崎玲於奈賞(安藤恒也)への寄与の一つとなっている。さらに、MgB<sub>2</sub>などの新物質からなるナノチューブの第一原理物性予言、170種以上のカイラルカーボンナノチューブ電子構造の解明、フラレン成長過程、各種ナノチューブの圧力誘起構造相転移の研究なども行われた。また、ボース・アインシュタイン凝縮体の自発的対称性の破れ、スピネクスタチャー、新しい量子相の研究やナノ回路における相互作用効果の研究も行われた。

[3]ナノ構造物性評価：極低温強磁場で動作する世界唯一のSTMを開発し、超伝導体の渦糸格子の構造変化と渦糸芯の対称性を観測した(JPSJ Editor's Choice, 2004年)。さらに、STSにより異方的超伝導体の渦糸芯局在状態の観測に成功した(JPSJ Editor's Choice, 2007年)。これらは超伝導体に現れるナノ構造形成について新しい知見を与える世界最先端の研究である。また、表面やナノ空間における超伝導・超流動の物性解明(JPSJ Editor's Choice, 2006年)、量子ドット励起子のデコヒーレンス制御可能性の検証、スピン偏極した不安定核ビームとその応用を目指した研究や原子の電子双極子モーメント探索のためのスピンメーザーの開発なども行った。

[4]フロンティア応用：光を使った量子情報処理の要素研究として、電磁誘起透明化を用いた単一光子情報の原子集団への保存・再生、コヒーレント状態の直交位相振幅情報の転写・再生、冷却 Rb 原子集団への真空スクイーズ状態の保存・再生など、多くの重要な研究が行われた。また、カーボンナノチューブを用いたガンマ線検出器に関する基礎研究、ガンマ線バーストの衛星と地上望遠鏡による観測、超高エネルギー宇宙線検出に向けた広視野高分解能望遠鏡開発、量子情報・記憶の誤り訂正限界の理論と関連するスピングラスの数理的解析、さらに、量子計算アルゴリズムの位相幾何学的な理解と量子最速曲線の理論など、活発な研究が行われた。



#### 4) 事業推進担当者相互の有機的連携

研究グループ及び物性・基礎両専攻間の連携体制を確立するために次の施策を実行した。

[1] COE特任教授(小林潔)のもとに、実行委員会を定期的に開催し、COE博士研究員・学振特別研究員の重点的な配置等の重要事項の議論と決定。[2] 物理COEセミナー、COE連続講義、COEコロキウム、COE研究員研究発表会等による情報交換。[3] 3回の公開シンポジウム、2回の国際シンポジウムの企画運営と開催による親密な情報交換と議論。[4] 2006年1月米国カリフォルニア大バークレー校と合同シンポジウム「ナノ科学と量子物理」の開催。[5] 若手研究者によるミニシンポジウムの開催。

このような活動により、量子ナノ物理学特別コース、物性物理学専攻、基礎物理学専攻の大学院教育の面での連携がさらに強化された。2006-2007年度に、両専攻共同の魅力ある大学院教育イニシアティブ「国際的リーダーシップをもつ物理学者の養成」が採択されたのもこのような施策の成果と考えられる。研究面でも、物性実験・理論間はもちろん、実験グループ間でも、STM/STS装置、検出器・検出法などの共有とノウハウ交換、また原子核理論のナノ構造物性理論への応用など、有機的関係が強化された。事業推進中に、担当者が多数の特定領域研究などの大型科学研究費や、JST-CREST、ERATOなどの大型プロジェクトを発足させていることにも間接的に大きな寄与をしたと考えられる。

#### 5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

前述のように、2回の国際シンポジウムの開催により、量子ナノ物理学分野における世界的な研究教育拠点としての存在をアピールすることができた。また、サマースクールや、大学院語学教育の充実、海外での成果発表の推進、カリフォルニア大学バークレー校とのシンポジウムなども国際競争力を高めることに大きく貢献した。その結果、海外での博士研究員採用や海外との新たな共同研究が多数生まれている。トムソンISI社が発表する物理分野における東京工業大学の世界ランキングは、2005年44位、2006年37位、2007年33位、2008年30位と上昇し、平均被引用論文数でも2005年 8.4、2006年 9.3、2007年 10.1、2008年 10.8と急激に上昇していることにも本拠点が大きな役割を果たしたと考えられる。

#### 6) 国内外に向けた情報発信

本COEの期間中、2回の国際シンポジウム開催とプロシーディングの出版、3回の公開シンポ

ジウム開催、2回のミニシンポジウム開催、ワークショップとサマースクールの開催、研究成果報告書、パンフレット等の刊行などの他に、東京工業大学全体で一般・高校生向けに開催した「インターCOE」へ積極的に参加した。さらに、小柴昌俊特別講演会、国際物理年のアインシュタイン講演会など、物理学分野の啓蒙および広報の一環としての活動も行った。また、ホームページ(日本語・英語)を開設・運用し、国際シンポジウム、公開シンポジウム等の情報、セミナー情報、特別講義情報、ニュースなどを発信した。

#### 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)

本COE予算は、特別コースおよびRA採用による博士課程大学院生支援とCOE博士研究員採用、若手研究者支援費、国際会議・共同研究等の海外派遣費用、国際シンポジウム等開催費用、量子ナノ物理学特別講義など、ほとんどすべて若手研究者育成のために支出した。このための事務処理は膨大であり、非常勤支援職員を雇用し、マネージング・プロフェッサーの下にCOE拠点室を構成して運営した。

#### ②今後の展望

物理学では新しい物質や構造から新しい概念につながる発見が生まれることが多く、これからもナノ構造がその舞台となることは疑うべくもない。本COEの活動によって重要で新しい学術的知見が得られ、新しい分野が生まれた。この成果を基に設置した量子ナノ物理学研究センターなどを核として、本拠点の研究・教育活動をさらに高めて行くことが重要である。また、平成20年度開始予定のグローバルCOEに是非とも採択され、引き続き、世界的な拠点の形成を目指したい。

#### 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)

学内的には、大学院学生のRA支援と若手研究者との交流などによる研究意識の向上と、研究室間の交流と連携の活発化が本COEの著しい成果である。その結果が学術論文発表数および学会・国際会議での講演発表数の大幅増加となって現れた。国内的・国際的には、最先端の研究により世界の量子ナノ物理学分野をリードし、国際シンポジウムと公開シンポジウム等の開催や多数の若手研究者育成により国際的研究ネットワークの拡大に貢献した。前述のトムソンISI社による東京工業大学の物理学分野における「世界ランキング」と「平均被引用論文数」の急上昇はその必然的な帰結であろう。

## 21世紀COEプログラム 平成15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	G09
拠点のプログラム名称	量子ナノ物理学		
1. 研究活動実績	<p>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】</p> <p>・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〕</p> <p>・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</p> <p>※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</p> <p>波下線（<u>      </u>）：拠点からコピーが提出されている論文</p> <p>下線（<u>      </u>）：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</p>		
発表論文	<p>[1] T. Ando, "Theory of electronic states and transport in carbon nanotubes", Journal of Physical Society of Japan <b>74</b>, 777-817 (2005) [Invited Review Paper] <b>G09-1</b></p> <p>[2] H. Tsukahara and T. Ando, "Pseudo-band-structure in a disordered quantum wire array", Journal of Physical Society of Japan <b>74</b>, 3035-3040 (2005)</p> <p>[3] J. Terada and T. Ando, "Many-body effects in spin-polarized two-dimensional electron gas", Physica E <b>34</b>, 367-370 (2006)</p> <p>[4] H. Tsukahara and T. Ando, "Dynamical conductivity in disordered quantum wire array", Journal of Physical Society of Japan <b>76</b>, 074005/1-6 (2007)</p> <p>[5] T. Kaneko, M. Koshino, and T. Ando, "Strong suppression of spin relaxation in quantum wires", Physica E <b>40</b>, 383-385 (2007).</p> <p>[6] M. Yoshida, Y. Oshima, and K. Takayanagi, "Nonlinear current-voltage curves of gold quantum point contacts", Applied Physics Letters <b>87</b>, 103104/1-3 (2005)</p> <p>[7] Y. Oshima, K. Mouri, H. Hirayama, and K. Takayanagi, "Quantized electrical conductance of gold helical multi-shell nanowires", Journal of Physical Society of Japan <b>75</b>, 53705/1-4 (2006)</p> <p>[8] M. Yoshida, Y. Kurui, Y. Oshima, and K. Takayanagi, "In-situ observation of the fabrication process of a single shell carbon fullerene nano-contact using transmission electron microscope-scanning tunneling microscope", Japanese Journal of Applied Physics <b>46</b>, L67-L69 (2007)</p> <p>[9] H. Sawada, F. Hosokawa, T. Kaneyama, T. Ishizawa, M. Terao, M. Kawazoe, T. Sannomiya, T. Tomita, Y. Kondo, T. Tanaka, Y. Oshima, Y. Tanishiro, N. Yamamoto, and K. Takayanagi, "Achieving 63 pm resolution in scanning transmission electron microscope with spherical aberration corrector", Japanese Journal of Applied Physics <b>46</b>, L568-L570 (2007)</p> <p>[10] Y. Kurui, Y. Oshima, and K. Takayanagi, "One-by-one evolution of conductance channel in gold [110] nanowires", Journal of Physical Society of Japan <b>76</b>, 123601/1-4 (2007) [Editor's Choice] <b>G09-2</b></p> <p>[11] A. Nagashima, A. Nishimura, T. Kawakami, and J. Yoshino, "Surface structure of GaAs(001)-c(4x4) studied by LEED intensity analysis", Surface Science <b>564</b>, 218-224 (2004)</p> <p>[12] M. Watanabe, H. Toyao, J. Okabayashi, and J. Yoshino, "Characteristics of GaMnAs-based double-barrier TMR structures", Physica Status Solidi C <b>3</b>, 4180-4183 (2006)</p> <p>[13] M. Watanabe, H. Toyao, J. Okabayashi, and J. Yoshino, "Layer-thickness dependence in tunneling magnetoresistance and current-driven magnetization reversal using GaMnAs-based double-barrier structures", Physica E <b>40</b>, 335-338 (2007).</p> <p>[14] K. Goto, M. Fujisawa, T. Ono, H. Tanaka, and Y. Uwatoko, "Pressure-induced magnetic quantum phase transition from gapped ground state in <math>\text{TlCuCl}_3</math>", Journal of Physical Society of Japan <b>73</b>, 3254-3257 (2004)</p> <p>[15] Y. Nishiwaki, T. Kato, Y. Oohara, A. Oosawa, N. Todoroki, N. Igawa, Y. Ishii, and K. Iio, "Neutron diffraction study of distorted-triangular-lattice Ising-like antiferromagnet <math>\text{TlCoCl}_3</math>", Journal of Physical Society of Japan <b>75</b>, 034707/1-8 (2006)</p> <p>[16] F. Yamada, T. Ono, H. Tanaka, G. Misguich, M. Oshikawa, and T. Sakakibara, "Magnetic-field induced Bose-Einstein condensation of magnons and critical behavior in interacting spin dimer system <math>\text{TlCuCl}_3</math>", Journal of Physical Society of Japan <b>77</b>, 013701/1-4 (2008) [Editor's Choice]</p> <p>[17] J. Wang, J. Kono, A. Oiwa, H. Munekata, and L. J. Sham, "Ultrafast quenching of ferromagnetism in InMnAs induced by intense laser irradiation", Physical Review Letters <b>95</b>, 167401/1-4 (2005)</p> <p>[18] T. Kondo, J. Hayafuji, and H. Munekata, "Investigation of spin voltaic effect in a p-n heterojunction", Japanese Journal of Applied Physics <b>45</b>, L663-L665 (2006)</p> <p>[19] T. Schallenberg and H. Munekata, "Preparation of ferromagnetic (In, Mn)As with a high Curie temperature of 90 K", Applied Physics Letters <b>89</b>, 042507/1-3 (2006)</p> <p>[20] K. Akiba, N. Yamamoto, V. Grillo, A. Genseki and Y. Watanabe, "Anomalous temperature and excitation power dependence of cathodoluminescence from InAs quantum dots", Physical Review B <b>70</b>, 165322/1-9 (2004)</p> <p>[21] H. Minoda and N. Yamamoto, "Anomalous enhancement of light emission by Au adsorption on a Si(001) vicinal surface", Journal of Physical Society of Japan <b>74</b>, 1914-1917 (2005).</p> <p>[22] N. Yamamoto, M. Nakano, and I. Suzuki, "Light emission by surface plasmon on nano-structures of metal surfaces induced by high energy electron beam", Surface and Interface Analysis <b>38</b>, 1725-1730 (2006)</p> <p>[23] Y. Ohno, N. Yamamoto, K. Shoda, and S. Takeda, "Intense monochromatic light emission from multiple nanoscale twin boundaries in indirect-gap AlGaAs epilayers", Japanese Journal of Applied Physics <b>46</b>, L830-L832 (2007).</p> <p>[24] S. Fujiyoshi, M. Fujiwara, C. Kim, M. Matsushita, A. M. van Oijen, and J. Schmidt, "Single-component reflecting objective for low-temperature spectroscopy in the entire visible region", Applied Physics Letters <b>91</b>, 051125/1-3 (2007)</p> <p>[25] S. Fujiyoshi, M. Fujiwara, and M. Matsushita, "Visible fluorescence spectroscopy of single proteins at liquid-helium temperature", Physical Review Letters <b>100</b>, 168101/1-4 (2008)</p> <p>[26] Y. Akai and S. Saito, "Electronic structure, energetics and geometric structure of carbon nanotubes: A density-functional study", Physica E <b>29</b>, 555-559 (2005)</p> <p>[27] T. Matsumoto and S. Saito, "First-principles study of current-voltage characteristics of two-terminal carbon nano-structures", Physica E <b>29</b>, 560-563 (2005)</p> <p>[28] S. Saito, S. G. Louie, and M. L. Cohen, "Site selectivities of alkali ions in <math>\text{CsRb}_2\text{C}_{60}</math> and <math>\text{Cs}_2\text{RbC}_{60}</math> superconductors", Solid</p>		

- State Communications **142**, 186–189 (2007)
- [29] Y. Maeda, K. Sakai, and M. Oshikawa, “Exact analysis of ESR shift in the spin-1/2 Heisenberg antiferromagnetic chain”, *Physical Review Letters* **95**, 037602/1–4 (2005)
- [30] A. Tokuno and K. Okamoto, “Inversion phenomenon and phase diagram of the  $s=1/2$  distorted diamond chain with the XXZ interaction anisotropy”, *Journal of Physical Society of Japan Supplement* **74**, 157–160 (2005)
- [31] S. Furukawa, G. Misguich, and M. Oshikawa, “Systematic derivation of order parameters through reduced density matrices”, *Physical Review Letters* **96**, 047211/1–4 (2006)
- [32] H. Iida, M. Oka and H. Suganuma, “Dynamical chiral-symmetry breaking at  $T=0$  and  $T>0$  in the Schwinger–Dyson equation with lattice QCD data”, *European Physical Journal A* **23**, 305–315 (2005)
- [33] N. Ishii, T. Doi, H. Iida, M. Oka, F. Okiharu, and H. Suganuma, “Penta-quark in anisotropic lattice QCD”, *Nuclear Physics A* **755**, 467–470 (2005)
- [34] J. Sugiyama, T. Nakamura, N. Ishii, T. Nishikawa, and M. Oka, “Mixings of 4-quark components in light non-singlet scalar mesons in QCD sum rules”, *Physical Review D* **76**, 114010/1–8 (2007)
- [35] Y. Kawaguchi, H. Saito, and M. Ueda, “Einstein-de Haas effect in dipolar Bose-Einstein condensates”, *Physical Review Letters* **96**, 080405/1–4 (2006)
- [36] Y. Mitsumori, A. Hasegawa, M. Sasaki, and F. Minami, “Local field effect on Rabi oscillations of excitons localized to quantum islands in a single quantum well”, *Physical Review B* **71**, 233305/1–4 (2005)
- [37] Y. Ogawa, A. Iwamatsu, and F. Minami, “Quantum kinetics of exciton and folded acoustic phonon interaction in GaAs multiple quantum wells”, *Physical Review B* **73**, 153203/1–4 (2006)
- [38] T. Kishimoto, A. Hasegawa, Y. Mitsumori, J. Ishi-Hayase, M. Sasaki, and F. Minami, “Decoherence suppression of excitons in GaSe using three successive femtosecond optical pulses”, *Physical Review B* **74**, 073202/1–4 (2006)
- [39] Y. Ogawa and F. Minami, “Coherent control of electron-phonon scattering and the dephasing process in GaAs multiple quantum wells”, *Physical Review B* **75**, 073302/1–4 (2007)
- [40] K. Matsuba, H. Sakata, N. Kosugi, H. Nishimori, and N. Nishida, “Ordered vortex lattice and intrinsic vortex core states in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  studied by scanning tunneling microscopy and spectroscopy”, *Journal Physical Society of Japan* **72**, 2153–2156 (2003)
- [41] H. Nishimori, K. Uchiyama, S. Kaneko, A. Tokura, H. Takeya, K. Hirata, and N. Nishida, “First Observation of the Fourfold-symmetric and Quantum Regime Vortex Core in  $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$  by Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy”, *Journal of Physical Society of Japan* **73**, 3247–3250 (2004) [Editor’s Choice]
- [42] K. Matsuba, S. Yoshizawa, Y. Mochizuki, T. Mochiku, K. Hirata, and N. Nishida, “Anti-phase modulation of electron- and hole-like states in vortex core of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  probed by scanning tunneling spectroscopy”, *Journal of Physical Society of Japan* **76**, 063704/1–4 (2007) [Editor’s Choice] **G09-3**
- [43] Y. Aoki, Y. Wada, M. Saitoh, R. Nomura, and Y. Okuda, “Shear acoustic response of the superfluid helium-3”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **66**, 1349–1351 (2005)
- [44] Y. Aoki, Y. Wada, M. Saitoh, R. Nomura, Y. Okuda, Y. Nagato, M. Yamamoto, S. Higashitani, and K. Nagai, “Observation of surface Andreev bound states of superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic impedance measurements”, *Physical Review Letters* **95**, 075301/1–4 (2005)
- [45] M. Saitoh, Y. Wada, Y. Aoki, S. Murakawa, R. Nomura, and Y. Okuda, “Spectroscopic study of the surface density of states of superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic impedance measurements”, *Physical Review B* **74**, 220505/1–4 (2006)
- [46] H. Abe, Y. Saitoh, T. Ueda, F. Ogasawara, R. Nomura, Y. Okuda, and A.Y. Parshin, “Facet growth of  $^4\text{He}$  crystal induced by acoustic waves”, *Journal of Physical Society of Japan* **75**, 023601/1–4 (2006) [Editor’s Choice]
- [47] W. Sato, H. Ueno, A. Taniguchi, Y. Itsuki, Y. Kasamatsu, A. Shinohara, K. Asahi, 他9名, “Nuclear quadrupole relaxation of  $^{140}\text{Ce}$  implanted in highly oriented pyrolytic graphite”, *Physical Review B* **74**, 214302 (2006)
- [48] D. Kameda, H. Ueno, K. Asahi, M. Takemura, A. Yoshimi, T. Haseyama, M. Uchida 他15名, “Measurement of the electric quadrupole moment of  $^{32}\text{Al}$ ”, *Physics Letters B* **647**, 93–97 (2007)
- [49] D. Akamatsu, K. Akiba, and M. Kozuma, “Electromagnetically induced transparency with squeezed vacuum”, *Physical Review Letters* **92**, 203602/1–4 (2004)
- [50] R. Inoue, N. Kanai, T. Yonehara, Y. Miyamoto, M. Koashi, and M. Kozuma, “Entanglement of orbital angular momentum states between an ensemble of cold atoms and a photon”, *Physical Review A* **74**, 053809/1–5 (2006)
- [51] K. Akiba, K. Kashiwagi, T. Yonehara, and M. Kozuma, “Frequency-filtered storage of parametric fluorescence with electromagnetically induced transparency”, *Physical Review A* **76**, 023812/1–5 (2007)
- [52] D. Akamatsu, Y. Yokoi, M. Arikawa, S. Nagatsuka, T. Tanimura, A. Furusawa, and M. Kozuma, “Ultraslow propagation of squeezed vacuum pulses with electromagnetically induced transparency”, *Physical Review Letters* **99**, 153602/1–4 (2007)
- [53] A. Carlini, A. Hosoya, T. Koike, and Y. Okudaira, “Time-optimal quantum evolution”, *Physical Review Letters* **96**, 060503/1–4 (2006)
- [54] A. Carlini, A. Hosoya, T. Koike, and Y. Okudaira, “Time-optimal unitary evolution”, *Physical Review A* **75**, 042308/1–8 (2007)
- [55] A. Carlini, A. Hosoya, T. Koike, and Y. Okudaira, “Time-optimal quantum evolution of mixed states,” *Journal of Physics A* **41**, 04503/1–13 (2008)
- [56] S. Morita, Y. Ozeki, and H. Nishimori, “Gauge theory for quantum spin glasses”, *Journal of Physical Society of Japan* **75**, 014001/1–7 (2006)
- [57] T. Obuchi, H. Nishimori, and D. Sherrington, “Phase diagram of the p-spin interacting spin glass with ferromagnetic bias and a transverse field in the infinite-p limit”, *Journal of Physical Society of Japan* **76**, 054002/1–10 (2007)
- [58] S. Morita and H. Nishimori, “Convergence of quantum annealing with real-time Schroedinger dynamics”, *Journal of Physical Society of Japan* **76**, 064002/1–3 (2007)
- [59] M. Ohzeki, “Multicritical points of Potts spin glasses on the triangular lattice”, *Journal of Physical Society of Japan* **76**, 114003/1–9 (2007)
- [60] T. Terasawa, Y. T. Tanaka, Y. Takei, N. Kawai 他13名, “Repeated injections of energy in the first 600ms of the giant flare of SGR1806–20”, *Nature* **434**, 1110–1111 (2005)
- [61] N. Kawai, G. Kosugi, K. Aoki, T. Yamada, T. Totani, K. Ohta, M. Iye, T. Hattori, R. Sato, M. Suzuki, Y. Yatsu 他17名, “An optical spectrum of the afterglow of a  $\gamma$ -ray burst at a red shift of  $z=6.295$ ”, *Nature* **440**, 184–186 (2006).

## 著書

- [62] 西森秀稔, “相転移・臨界現象の統計物理学”, 培風館, 2005年
- [63] 安藤恒也, 中西毅, “カーボンナノチューブと量子効果”, 岩波書店, 2007年

## Web公開

- [64] 赤井吉郎, 齋藤晋, “LDA DOS of single-wall carbon nanotubes”, <http://www.stat.phys.titech.ac.jp/saito/ldados.html>



## 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] 2004年3月17-18日・五反田ゆうぽうと, 量子ナノ物理学第1回公開シンポジウム  
参加人数120名(外国人2名), 主な招待講演者: 江崎玲於奈, 飯島澄男, 榊裕之, 蔡兆申, 高柳英明, 潮田資勝, 五神真, H. H. Bertschat, 樽茶清悟, 外村彰
- [2] 2004年2月19-21日・東京工業大学大岡山キャンパス, COE International Symposium/School on Spin and Quantum Structure in Hadrons, Nuclei and Atoms  
参加人数60名(外国人8名), 主な招待講演者: S. Austin, F. Marechal, R. Neugart, P. Mantica, B.-Q. Ma, E. Stachowska
- [3] 2004年7月22-25日・東京工業大学大岡山キャンパス, COE Summer School on Modern Approaches to Quantum Many-Particle Systems  
参加人数50名(外国人5名), 主な招待講演者: I. Affleck, I. Herbut, A. Kluemper, A. Vishwanath, X. Zotos
- [4] 2004年9月21日・東京工業大学大岡山キャンパス, 東京工業大学特別講演会  
参加人数412名(外国人14名), 主な招待講演者: 小柴昌俊, 多田真由子, 特別企画として本拠点の紹介, リンダウ会議の紹介と参加報告もおこなった
- [5] 2005年1月26-28日・東京工業大学大岡山キャンパス, First International Symposium on Nanometer-Scale Quantum Physics (nanoPHYS05)  
参加人数190名(外国人30名), 主な招待講演者: M. S. Dresselhaus, E. Tosatti, M. Aono, M. L. Cohen, J. M. van Ruitenbeek, J. Kono, S. Iijima, W. D. Phillips, J. E. Mooij, 会議のプロシーディングスをPhysica E 29, 443-734 (2005)として刊行した
- [6] 2006年1月5-6日・米国カリフォルニア大学バークレー校, 東京工業大学-カリフォルニア大学バークレー校合同シンポジウムNanoscience and Quantum Physics  
参加人数70名(外国人55名), 主な招待講演者: S. Iijima, M. Crommie, S. G. Louie, M. L. Cohen, P. Arivisatos, A. Zettl
- [7] 2006年3月16-17日・五反田ゆうぽうと, 量子ナノ物理学第2回公開シンポジウム  
参加人数160名(外国人1名), 主な招待講演者: 有馬朗人, 飯島澄男, 大野英男, 井上慎, 枝松圭一, 野田進
- [8] 2006年11月1日・東京工業大学大岡山キャンパス, 量子ナノ物理学ワークショップ「メゾからナノへ」  
参加人数94名(外国人1名), 主な招待講演者: 榊裕之, 川路紳治, G. Abstreiter, 勝本信吾
- [9] 2007年1月24-26日・東京工業大学大岡山キャンパス, Second International Symposium on Nanometer-Scale Quantum Physics (nanoPHYS07)  
参加人数219名(外国人36名), 主な招待講演者: Ph. Avouris, R. Wiesendanger, G. E. Santoro, M. Doi, A. Geim, Y. Yamamoto, A. Oshiyama, S. G. Louie, J. Hone, H. Kuzmany, 会議のプロシーディングスをPhysica E 40, 213-442 (2007)として刊行した
- [10] 2007年3月22日・東京工業大学大岡山キャンパス, ミニシンポジウム「カーボンナノチューブの光学応答」  
参加人数50名(外国人0名), 主な招待講演者: 齋藤理一郎, 岡本博, 中村新男, 宮本良之, 松田一成, 大野雄高, 宮内雄平, 嶽山正二郎, 瓜生誠司
- [11] 2007年12月20-21日・五反田ゆうぽうと, 量子ナノ物理学第3回公開シンポジウム  
参加人数190名(外国人1名), 主な招待講演者: 片浦弘道, 藤澤利正, 高橋義朗, 飯島澄男, 押川正毅, 中村泰信
- [12] 2008年1月18日・東京工業大学大岡山キャンパス, ミニシンポジウム「ナノスケールに現れる新奇な超流動・超伝導」  
参加人数63名(外国人0名), 主な招待講演者: 戸田亮, 山本恵一, 金聖雄, 上野和紀, 猪股邦宏, 田仲由喜夫, 加藤雄介, 池上弘樹, 村川智

## 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

- [1] RA採用：博士後期課程学生を対象に、研究実績、目的、計画等を記述した申請書に基づき、毎年4月に選考委員会で審査選抜した。採用されたRA（2003年度39名、2004年度31名、2005年度25名、2006年度34名、2007年度34名）に対して自主的な研究活動の動機付けのために1人約60万円/年の支援を行った。
- [2] COE博士研究員採用：一般公募により、2003年10月に4名（内外国人1名）、2004年4月に3名、計7名のCOE博士研究員を採用した。若手研究支援費の支給、国際会議派遣等により、COE研究の中心的な役割を担うよう独自研究を支援した。独創的な研究推進体制の強化と人材流動化を図るために、2005年度に博士研究員の見直しを行い、再度一般公募により2006年4月に6名（特任助手あるいは特任助教3名、博士研究員3名）を採用した。
- [3] 量子ナノ物理学特別コースの新設：2004年度から物性物理学、基礎物理学両専攻の学生を対象に専攻共通の特別コースを新設した。修士論文およびその発表会（あるいは博士後期課程入学面接）における発表内容と研究実績、目的、計画等を記述した申請書により、毎年4月選考委員会で審査し、特別コース所属博士後期課程学生（2004年度9名、2005年度11名、2006年度12名、2007年度8名）を選抜した。優先的にRAに採用することにより最先端の研究活動を支援し、博士後期課程進学への動機付けとした。
- [4] 特別コースカリキュラム：2004年度から物性物理学、基礎物理学両専攻の学生を対象に特別コース用カリキュラムが設けられた。国際性を身に着けた世界最先端の研究者を育成するために、専門分野の集中講義に加えて、連続講義、アカデミックライティング／プレゼンテーションを開講した。連続講義ではオムニバス形式で最先端の研究を紹介することにより、視野の広い研究者の育成を目指した。また、日本人に加えて英語を母国語とする非常勤講師によるアカデミックライティング、アカデミックプレゼンテーション講義では研究者として必要な英語力（コミュニケーション、論文執筆等の英語力）の向上を目指した。
- [5] 英語での研究発表と論文執筆：RAおよび特別コース所属の学生に対して、First International Symposium on Nanometer-Scale Quantum Physics（2005年1月26-28日、東京工業大学で開催）、およびSecond International Symposium on Nanometer-Scale Quantum Physics（2007年1月24-26日、東京工業大学で開催）において、英語での論文発表を推奨し、英語によるコミュニケーション力を鍛える場を提供した。また、プロシーディングとしてPhysica Eへの英文論文の投稿を推奨し、査読の結果、該当学生の論文4編（2005年）、13編（2007年）が採択出版された。
- [6] 量子ナノ物理学コロキウム開催：特別コースのカリキュラムの1科目として、RAおよび特別コース所属の学生による研究発表に対して、両専攻の教員、学生が討論し研究内容・発表に助言を与える量子ナノ物理学コロキウムを2004年12月21-22日、2005年11月24-25日、2006年10月27、30日、2007年10月26、29日に開催した。学会世話人や国際会議の委員等の役割を演習する意味も含めて、学生代表世話人が中心になってコロキウムを開催し、両専攻の研究室間の交流と連携を計った。
- [7] 大学院学生および若手研究者の国内海外派遣：物性物理学、基礎物理学両専攻の博士後期課程学生、COE博士研究員（特任助手あるいは助教を含む）を対象に2003年度から毎年、海外で開催される国際会議等での発表、共同研究による他大学／他機関の研究者との交流、国際的な研究活動を支援した。なお、RAの1人がノーベル賞受賞者の集まりである2005年のリンダウ会議に日本代表の1人として参加した。また、そのアジア版である2008年のHOPEミーティングにもRAの1人が日本代表の1人として参加した。
- [8] 若手主導ミニシンポジウムの開催：「国内研究教育体制の構築」の具体化に向け、量子ナノ物理学に関連する研究分野の学生、研究者を対象にして、COE博士研究員と他大学／研究機関の若手が世話人として協同で研究会を開催した。2007年3月22日に「カーボンナノチューブの光学応答」、2008年1月18日に「ナノスケールに現れる新奇な超流動・超伝導」に関する研究会を東京工業大学で開催し、この分野の研究教育拠点として国内の若手研究者との交流を深め、ネットワークを広げる活動を行った。
- [9] COE博士研究員研究発表会の開催：2004年度から毎年、COE博士研究員自身の研究内容を主に学内の研究者、学生に向けて発信する機会を設けてきた。研究員が主体となって2004年5月26日、2005年10月21日、2006年5月12日、2007年10月3日に発表会を開催し、学内研究者、研究室間の交流と連携を計った。
- [10] 物理COEセミナーの開催：各研究室学生、教員を対象に、それぞれの専門分野および異分野間での研究交流を目的に、2003年度から合計84回開催された。

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た

(コメント)

拠点形成計画全体については、研究戦略室が中心となって、戦略的マネジメント体制を確立し、研究・教育システム及び産学連携体制の改革に取り組み、また、これまでの実験と理論による研究実績に基づき、ナノスケールで発現する新しい物理学を生み出す拠点として活動し、世界最高水準の成果をあげた。

人材育成面については、大学院教育において、「COE量子ナノ物理学特別コース」を設置し、COE特別講義・連続講義などを開講するほか、学生主導のコロキウムの開催、国内外の学生・研究者との交流を進めることによって、“ナノ”を意識した広い視野を持つ人材を育成した。学位取得者の大部分が職を得ており、就職先は、国内外の様々な大学・研究所・企業に分布していることは、量子ナノ物理学の実力と広い視野を持つ人材を社会に供給したことを示しており、評価できる。一方、若手研究者育成に関しては、COE博士研究員あるいは助手（助教）として採用し、量子ナノ物理学分野の進展に寄与しており、評価できる。しかしながら、留学生育成の実績が見受けられず、世界最先端を標榜するためには、グローバルな観点から留学生の人材育成が望まれる。

研究活動面については、実験研究において、金のナノワイヤの研究で平面状ワイヤを発見し、構造とコンダクタンスの対応を明らかにした。また、分解能0.05nmの電子顕微鏡、極低温強磁場で動作する走査型トンネル顕微鏡など、ナノ構造の観測・評価を発展させる上で有用な機器の開発を行った。一方、理論研究ではグラフェンの物性、ナノチューブの完全伝導チャンネルに対する対称性の役割などについて独創的成果をあげた。また、光を使った量子情報処理の要素研究において、重要な成果をあげるなど、実験と理論の両面で世界最高水準の成果をあげており、評価できる。

補助事業終了後については、学内措置で「量子ナノ物理学研究センター」を設置しおり、本センターが核となって、量子ナノ物理学の世界的拠点として、研究教育を継続的に展開することを期待する。