

# ナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点の形成

実施予定期間：平成 18 年度～平成 27 年度

総括責任者：小宮山 宏（東京大学）

協働機関：シャープ（株）、日本電気（株）、（株）日立製作所、（株）富士通研究所

## I. 概要

将来のユビキタス情報社会では、超ブロードバンド、超高セキュリティ、超高エネルギー効率を有する情報ネットワークが新しいパラダイムとなる。本研究拠点では、産学が協働して、ナノ技術、量子科学、IT ハードウェアの先端的融合領域を開拓し、ナノ技術及び量子科学技術に立脚したハードウェア開発により、持続的なイノベーションの創出を実現する。この目的達成のために、東京大学の部局の枠を超えた研究および教育・人材育成センター組織として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を設立し、T 型連携という新たな産学協働により、本融合研究領域における世界トップの研究開発を推進し、次世代エレクトロニクス産業を担う人材の育成をはかる。

### 1. 機関の現状

#### a. 提案機関の研究ポテンシャル、研究開発及び人材育成の実績

提案機関である東京大学は、15 の大学院研究科と 11 の附置研究所を有するわが国最大の総合大学である。学問分野のほぼ全領域において膨大な研究成果を生みだしており、世界で最上位グループの大学（ISI Essential Science Indicators による機関別論文数・被引用件数による 1994～2004 年の評価では、総合で世界 12 位）、アジアでは第 1 位の大学として位置づけられている。これらの優れた実績により、科学研究費、出資金事業、各種の競争的資金、委託研究費など外部資金の総額が、総決算額の約 5 分の 1 の約 470 億円に達している。わが国の大学に世界最高の研究教育拠点の形成をめざした 21 世紀 COE プログラムは全国で 274 拠点が実施されているが、その約 1 割にあたる 28 拠点が東京大学にあることも、提案機関が高い研究ポテンシャルと人材育成への積極的な取り組みの姿勢を有していることを示している。

東京大学は、量子科学や情報デバイスについて、長年にわたる研究実績を有している。特に、ナノ量子情報エレクトロニクスの発端の一つとなった量子ドットは、1982 年に

東京大学において荒川泰彦教授（先端科学技術研究センター、以下先端研）と榊裕之教授（生産技術研究所、以下生研）により提案されたものであり、それ以降、両教授はナノ構造光・電子デバイスについて世界をリードする研究を展開してきている。また、ナノ技術と IT 分野の融合領域分野における産学連携に関わる先駆的な取り組みとして、2002 年からナノエレクトロニクス連携研究センター（生研と先端研の共同運営組織）において研究開発が推進されており、その実績は高い評価を受けている。荒川教授は、最近、温度安定動作を行う高速量子ドットレーザの開発に成功するとともに、通信波長帯における単一光子発生素子を世界で初めて実現するなど量子情報技術の発展に貢献している。また、荒川教授・岩本敏講師（先端研）は、MEMS フォトニック結晶融合素子を開発し、量子情報技術への応用をめざしている

榊清吾教授（工学系研究科物理工学専攻、以下物理工学）はナノ物性物理で多くの業績を達成しており、電子数と形状の対称性を高精度に制御できる量子ドットを開発し、電子状態の原子的性質を初めて観測するとともに、パウリ効果や近藤効果などの多彩なスピン相関現象を解明した。今井浩教授は（情報理工研究科コンピュータ科学専攻、以下コンピューター科学）、量子情報システムの基礎理論から技術開発まで総合的に推進し、量子暗号システムで安全性が理論で厳密に保証されかつ世界記録長の光子伝送・検出を可能とする方式を実現した。古澤明助教授（物理工学）は、量子もつれ状態を用いて量子テレポーテーションの実験に成功するなど卓抜した成果を達成している。また、菊池和朗教授（先端研）は非線形光学、大津元一教授（工学系研究科電子工学専攻、以下電子工学）は近接場光学、平川一彦教授（生研）はテラヘルツ科学、平本俊郎教授（生研）はナノシリコンデバイスでそれぞれ世界トップを走る研究成果を達成している。

新材料デバイス技術についても東京大学は重要な成果を達成している。田中雅明教授（電子工学）は、大きな磁気輸送特性、スピン依存伝導特性を発現する半導体ベースの材料を開発し、強磁性半導体 TMR 素子、強磁性 2 重井戸磁気抵抗デバイス、スピンフィルタートランジスタ、スピン MOSFET などを提案してきた。また、染谷隆夫助教授（物理工学）は、有機半導体トランジスタの応用としての人工皮膚や各種センサを開拓しフレキシブルエレクトロニク

スの可能性を描いている。

基礎物性探索としては、五神真教授（物理工学）は、半導体のバンド端近傍の非線形光学応答のボソン相互作用によるモデルの提唱などを先駆的にこなってきている。山内薫教授（理学系化学）は、強光子場における化学結合の切断と生成の過程を研究し、さまざまな非線形現象や摂動領域を超えた現象の観測を行ってきた。勝本信吾教授（物性研究所、以下物性研）は、量子ドットを量子コヒーレンスにより干渉効果を示すデバイス中に組み込み、ドット中の量子状態を特異な干渉効果として検出した。このように、ナノ量子情報エレクトロニクス分野において、東京大学は多くの多彩かつ強力な人材を擁しており、本研究拠点に参画する下記のメンバーは、それぞれの専門で第一人者として活躍している。この事実、メンバーが多くの重要な賞の受賞者になっていることから明らかである。

ただし、これらの研究者は、先端科学技術研究センター、生産技術研究所、工学系研究科、理学系研究科、物性研究所など、個別の部局で展開されているのが現状であり、これらの結合が大きな課題である。これを解決し新たな展開をもたらすのが本研究拠点である。

また国内連携を本格的に行うために、京都大学の野田教授、北海道大学の竹内繁樹助教授、慶應義塾大学の伊藤公平助教授と太いリンクを張る。また、スタンフォード大学の山本喜久教授の参加も得ている。研究の遂行にあたっては、各研究室の職員、研究員、ポスドク、大学院生の貢献も大きい。

#### b. 協働研究機関の研究ポテンシャルと技術開発の実績

協働機関であるシャープ（株）、日本電気（株）、（株）日立製作所、（株）富士通研究所は、IT分野できわめて高い技術力を有する有力企業群であり、以下の述べるような研究ポテンシャルと技術開発の実績を有している。

（五十音順）。先述の大学教員のメンバーと4共同研究機関の連携は、世界最強ともいえる研究拠点を構築することを可能にする。

##### (1) シャープ（株）

シャープ（株）の開発した“電卓”には液晶、太陽電池、LSIの技術が結集されており、これらの技術分野における長い研究歴を有している。特に、中小型から大型の液晶表示に至る多種多様な表示技術の研究開発では世界をリードしてきたことは広く知られている。有機材料を利用する応用研究は、液晶以外に、複写機の感光体やトナー、有機太陽電池等の分野にも渡り、これらの研究開発に当たっては、シャープの欧州/米国研究所との推進体制を確立している。更に、今後成果が注目されるフレキシブル・エレクトロニクスの基礎研究では、産学の新しい連携スタイル（東大シャープラボの設立、2005年6月）を展開している。基盤技術研究所は、特に、光磁気記録、半導体レーザ等の

技術分野を中心として、基礎から実用化研究までを幅広く推進し、重要な研究成果を達成するとともに、数多くの民生品を世に送り出している。

##### (2) 日本電気（株）

日本電気（株）は、量子情報技術の研究に、1990年代の終わりから取り組んでおり、これまで、量子コンピュータに向けた固体素子による量子ビット演算動作の実証、単一光子による量子暗号鍵配布の実証では世界をリードする研究を展開してきた。本拠点との連携でこれらを発展させ、新たな量子情報応用技術の開発を目指すのが、ナノ量子情報エレクトロニクスを専門とする優秀な研究者、研究開発遂行に必要な半導体プロセス装置、クリーンルーム、さらには量子通信特性評価装置を保持しており、本拠点の連携先として十分な研究ポテンシャルを有している。単一光子を用いた量子暗号通信の分野では、高感度光子検出器の開発、世界最長の150km伝送、量子暗号通信装置のフィールド実証試験等、世界トップレベルの実績を有する。これらの成果に対し、情報通信月間推進協議会情報通信サービス賞を受賞している。また量子コンピュータ実現に向けた固体量子ビット素子の開発でも世界をリードし、これまで2度にわたり仁科賞を受賞している。

##### (3) （株）日立製作所

1910年の創業以来、日立製作所は技術で社会に貢献するため、研究開発に注力してきた。具体的な成果として、1942年の日本初の電子顕微鏡、1962年の日本初のMOSトランジスタ、1977年の世界初の光ディスク画像ファイル装置、1986年の世界初の電子線ホログラフィー顕微鏡を用いたアハラノフ・ボーム効果の実証、2001年の世界最小の無線認識ICチップ「ミューチップ」、などがあげられる。こうした研究成果から、重電機事業、家電品事業、原子力事業、半導体事業、コンピュータ事業、通信事業、システムソリューション事業などをつぎつぎに生んできた。

量子通信の理論的研究においては、量子テレポーテーションや量子デンスコーディングの理論に関する一般化、外部環境影響下でのエンタングルメント等の量子状態の性質の解析、外部環境の影響によるデコヒーレンスを抑える為の制御理論、量子測定最適化理論の構築等に関する実績を上げてきた。シリコンキュービットの研究においては、GaAs系デバイスに比べて二桁長い約200ナノ秒のコヒーレンス時間を達成した。

##### (4) （株）富士通研究所

（株）富士通研究所は、化合物半導体の研究開発において30年余の歴史を有し、高電子移動度トランジスタ、半導体量子井戸光デバイス等を生みだして通信分野への事業展開を進めてきた。過去10年間は量子ドットの研究開発を進め、東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス連携研究機構との連携の基で、世界をリードする成果を生みだしてきた。ナノ量子情報エレクトロニクスを専門とする優秀

な研究者、研究開発に必要不可欠の結晶成長装置やデバイス試作用クリーンルーム設備を保持しており、本拠点の連携先として十分な研究ポテンシャルを有している。

量子ドット分野において、光通信帯で発光する量子ドットの発見、温度無依存量子ドットレーザの実現、長距離高速量子暗号通信向け単一光子発生器の実現、広帯域高出力増幅器の実現等、世界をリードする実績を積み重ねてきた。その一部は世界に先駆けて事業化目前である。

#### (5) その他

国際連携としては、米国・スタンフォード大学、イタリア・レッツェ大学、ドイツ・ミュンヘン工科大学およびヴルツブルグ大学を中核として展開する。また、米国・ハーバード大学、カリフォルニア大学、英国・ケンブリッジ大学、オックスフォード大学、フランス・CNRS、オランダ・デルフト大学など西欧の研究機関や、韓国・ソウル大学、中国・精華大学やタイ・チュラロンコン大学などと連携を図り、本研究拠点をナノ量子情報エレクトロニクス分野の世界の中心の一つとする予定である。

## 2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

### a. 拠点で取り組む領域及び研究内容

#### (1) 背景と研究の目標

IT(Information Technology:情報技術)は、コンテンツ、ソフトウェア、システム、及びその活用が、中心になっているように見受けられるが、ハードウェアの重要性を見逃してはならない。日本の経済力は、輸出力にあるが、それは電気産業と自動車産業が分かち合っている。電気産業の輸出力はハードウェアに明確に依存しており、その意味で、IT ハードウェアのイノベーションが日本の経済競争力をもたらす。

近年のブロードバンドやワイヤレス技術の発展は、インターネットの隆盛をもたらし、社会に多大な影響を与えている。今やトラヒックの増加率は数年で2倍に増えており、いわゆる「情報の爆発」が起きている。これに対処するためには、超ブロードバンド化が不可欠である。また、情報のやりとりにかかわるエネルギー問題が重要な課題となっており、1 ビットの通信・処理のエネルギー消費をトータルとして減らさなければならず、低消費エネルギー化が必要である。さらに、安全の観点から超セキュア化が重要な技術となる。この3つの大課題は、現在の IT 技術や既存の技術の単なる組み合わせや延長で解決できるものではない。IT ハードウェアにおいて革新技術を生み出し、超セキュアネットワーク(量子 IT ネットワーク)と超ブロードバンド(光)ネットワークの融合という新しいパラダイムをめざし、ナノ技術、量子科学、IT ハードウェアの融合領域の創出をはかることが必要である。

1982年に提案された量子ドットレーザは、東京大学&富士通、米国、ドイツ、英国などのグループの努力により、

将来の光源として有望視されるようなレベルに達しつつある。今後、この研究開発をさらに加速すれば、量子ドットが新たなイノベーションをもたらすことは疑いのないところである。しかし、さらなる高性能化を実現するためには、量子ドット形状・密度・位置制御およびキャリアのダイナミクス制御技術の進展が不可欠である。

他方、量子ドットは電子を個別に制御することを可能にする。これが、単一光子発生素子、単一電子トランジスタなどの素子の実現やスピン制御も含めた量子もつれ状態など量子状態制御への展開につながっており、量子情報通信や量子計算機への夢を高めている。樽茶教授らにより、スピン物性物理の制御・理解が進み、また量子状態のコヒーレンス時間なども明らかにされつつある。また、古澤助教授による量子テレポーテーションの実験は大きなインパクトを挙げている。また、企業においても活発に研究が進められており、単一光子発生技術については、富士通研究所が荒川教授との連携により世界で初めて通信波長帯において実現した。また、日立製作所におけるシリコン量子ビットの実現は、世界的に注目を集めた。しかし、量子情報ネットワーク実現に向けては、量子もつれ状態を駆使した量子中継技術が必要であり、未解決な課題として大きく立ちはだかっている。

本研究拠点では、ナノ・材料技術、量子科学、デバイス技術を駆使して新しい先端融合領域を開拓し、これによりIT ハードウェア産業技術分野やその活用ビジネスにおいて、新たなイノベーションの芽を創出する。また、研究活動を通じて、わが国の将来の情報ハードウェア技術を担う人材を産業界とアカデミアの連携により育成する。本研究拠点における研究開発では、ナノ技術およびナノ物性制御に立脚した次世代ナノエレクトロニクスの開発(5-10年後にイノベーション創出)と量子情報エレクトロニクスの開発(7-15年後にイノベーション創)を主要開発目標に設定し、次世代フォトニック素子、ポスト CMOS 技術の開発を推進し、将来の量子情報通信や量子計算技術の基礎基盤を確立する。これにより、ナノ量子科学によるITハードウェアの発展に不連続的進化をもたらす、科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化をはかる(第三期科学技術基本計画<目標4>イノベーター日本、中政策目標(8)に相当)。

上記目的を達成するために、東京大学の部局の枠を超えてこの分野における研究者を結集させ、企業との場とビジョンを共有する産学協働を推進し、ナノ技術や量子科学とITの融合研究領域の開拓をはかり、世界トップの研究開発を推進する。

#### (2) 拠点における研究の内容

本研究拠点では、ナノ技術及びナノ物性制御の高度化に立脚して、5年後における量子ドットを中心とした次世代ナノエレクトロニクスにおけるイノベーション創出と、そ

れに続いて7-10年後における量子情報通信エレクトロニクスにおけるイノベーション創出をめざして研究開発を推進する。

#### (a) 次世代ナノエレクトロニクス研究開発

次世代ナノエレクトロニクス研究開発では、量子ドット及びフォトニック結晶を中心としたナノ技術に立脚して、量子ドットレーザの高性能化に向けた諸課題の解決のためのデバイス技術開発の基盤固めを行うとともに、比較的近い時期のイノベーション創出に向けて必要な課題を探る。また、フレキシブルエレクトロニクスにおける有機トランジスタ技術の高性能化に向けて材料の基礎的開発に取り組むとともに、光電子融合技術としてのシリコンフォトニクスについて基礎検討を開始する。

量子ドットレーザ技術開発は富士通研究所等との連携により研究開発を進める。フレキシブルエレクトロニクス及びシリコンフォトニクス技術開発はシャープ・富士通研究所等との連携により研究開発を進める。

#### (b) 量子情報エレクトロニクス研究開発

量子情報エレクトロニクス研究開発においては、単一光子発生素子等量子情報素子の高性能化に向けたデバイス技術開発の基盤固めを行う。また、量子暗号通信システム高度化に向けた基礎検討を開始するとともに、量子テレポーテーション・中継技術の基礎実験を進めるとともに、量子計算基盤技術として量子演算素子の基礎研究に取り組む。

量子情報素子技術は富士通研究所・日立製作所・日本電気等との連携により研究開発を進める。量子暗号通信技術開発は日本電気・富士通研究所・日立製作所等との連携により研究開発を進める。量子計算基盤技術開発は特に日立製作所・日本電気等との連携により研究開発を進める。

#### (c) ナノ量子情報エレクトロニクス基盤技術研究開発

ナノ量子情報エレクトロニクス基盤技術研究開発では、上記(a)(b)の研究開発を達成する基礎基盤として、ナノ技術の確立および量子物性科学の探求をはかり量子状態の完全制御をめざした研究を推進する。特に、量子ドット及びフォトニック結晶などのナノ技術について結晶成長やプロセス技術を中心にして基盤固めを行うとともに、量子ドットおよびフォトニック結晶における新量子物性の発現をはかる。

ナノ技術の確立は、富士通研究所・日本電気・日立製作所等との連携により研究開発を進める。量子物性制御科学は、主として東京大学のメンバーによって研究開発を進める。

下記に絞り込み期間終了時(3年目)、中間時(7年目)、終了時(10年目)の目標を示す。

#### (d) 絞り込み期間終了時(3年目)

量子ドット光源の高性能化をはかり、ブロードバンド光ネットワーク応用の道筋を明らかにし、実用化の芽を出す

とともに、単一光子発生素子を含めた量子状態制御デバイスの基盤技術を開発し、量子暗号通信システム要素技術の充実をはかり、4年目以降の準備とする。

#### (e) 中間時(7年目)

量子状態制御デバイスの開発により、量子暗号通信の実現を行うとともに、量子中継技術の中核となる核スピン量子メモリ、電子スピン量子プロセッサ、束縛励起子発光による量子通信キャリアへの接続などの個別技術を確立する。具体的には、量子メモリの長コヒーレンス時間化、量子プロセッサの演算高速化、通信波長帯に対応できる量子通信キャリアへの接続実現をめざす量子中継など、量子ネットワーク実現に向けた基礎研究を推進する。また、量子ドット光デバイスの開発によりITハードウェアにイノベーションの芽を出させるとともに、ポストCMOS技術および光電子融合技術においてさらに技術基盤を充実させる。

#### (f) 終了時(10年目)

量子中継器を用いたエンタングル状態の配送実験を実現し、長距離量子暗号システムの実現性を実証するとともに、小規模量子計算システム実現可能性の立証をめざす。また、量子ドット光デバイスのさらなる高性能化をはかるとともに、ポストCMOSおよび光電子融合技術において実用化可能性実証可能なデバイスを開発する。これらにより、超ブロードバンド、超安全、超低消費エネルギー(超高効率)なフォトニックネットワーク・量子情報通信融合システム実現に向けたデバイス技術を確立する。

#### b. 先端融合領域として取り組む必要性・重要性

超ブロードバンド化、低消費エネルギー化、情報のやりとりの安全化という3つの大課題は、現在のIT技術や既存の技術の単なる組み合わせや延長で解決できるものではない。セキュリティネットワーク(量子ITネットワーク)とブロードバンド光ネットワークの融合という新しいパラダイムをめざし、ナノ技術、量子科学、ITハードウェアの融合領域の創出をはかることが必要である。デバイス技術のブレークスルーは、デバイスプロセス技術、ナノ技術、固体物理の各分野の学術基礎と、産業界のITシステムからのデマンドプルおよび力強いエレクトロニクス力を統合融合することによって初めて生み出される。

### 3. 拠点化構想の内容

#### a. システム改革の内容

##### (1) キャンパス・部局の枠を超えた統括運営と研究拠点の設置

東京大学は、キャンパスの3極構造と部局の自律分散性を軸に展開している。この原則は東京大学の発展に大きく寄与しているが、一方で、新融合分野の開拓に限界を与えている。本システム改革では、新たなナノ量子科学技術とITの融合分野の創出に向けて、キャンパスや部局の枠を超

えて総合的に取り組むことにより、本融合領域研究分野において東京大学が世界トップの研究拠点となることを目指す。このために、ナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点においては、中核の研究実施センター組織として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を設置する。

## (2) 開かれた研究拠点による国内外の強力な研究者の結集

本研究拠点は、単に東京大学の教員のみによる組織ではなく、国内連携（京都大学、慶応大学、北海道大学等）および国際連携（スタンフォード大学、ミュンヘン工科大学、デルフト大学等）による強力な研究者の結集を実現する組織とする。特に、国内連携については、本分野で活躍している京都大学、慶應義塾大学、北海道大学の3教員に対して、本研究拠点のメンバーに教員ポスト（専任、兼任、特任、客員あるいはこれらに準ずるポジション）を用意し、それぞれの大学との強いリンクの形成をはかる。さらに、産業界からも研究のみならず企画・運営に関しても優れた人材を教員として招聘する。

## (3) 新構想産学連携拠点（T型産学連携拠点）の実現：東大-企業ラボ群の設置

本提案に参加する企業が本学に拠点を構えて研究活動を行うにあたり、大学との密接なリンクを形成することで、研究活動の活性化や新たな展開を促進する。このために、従来の産学共同を超えた新構想の産学連携拠点として、T型産学連携拠点として東大-企業ラボを設置する。東大-企業ラボは、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の中に設置され、本研究拠点と企業が下記の二つのモードで強い連携を構築する。「T」の字の縦線が特定研究テーマ連携を、横線が探索連携を、それぞれ意味する。

### (a) 探索連携

当該企業が、東京大学に企業拠点を設置し、そこを活動の起点として東京大学内の教員や研究室と交流をはかり、将来の連携や新規テーマやそれらのシーズを探索する。この場合には、個々の東大-企業ラボの枠を超えた企業間の連携活動が可能になる。

### (b) 特定研究テーマ連携

東京大学と当該企業が、特定の具体的なターゲットのもとで明確な共同研究開発をめざした連携であり、原則として2者間の連携として位置づけられる。企業と大学のビジョン・場所を共有した強結合関係であり、強い連携のもとで研究開発が推進される。

具体的には、下記の4つの東大-企業ラボ（東大-企業ラボ群）を設置する。ただし、これはプロジェクト発足後の他の企業の参加は妨げるものではない。なお、既に前倒しとして、東大シャープラボは2005年12月に正式に発足しており、このラボの設置は新しい産学連携のあり方を示すものとして大きな反響を呼んだ。

・東大-シャープラボ

・東大-NECラボ

・東大-日立ラボ

・東大-富士通ラボ

## (4) 10-15年後のイノベーション創出拠点到にふさわしい拠点：学内特区的な制度の設定

10-15年後のイノベーションを創出するための研究拠点においては、優れた人材の結集や企業が研究資源を活用しやすくするための規則の設定のために、人事や産学連携のルールを新設し弾力化するなどの取り組みを行う。具体的には、イノベーション創出拠点のための「学内特区」的な制度として、当初3年間は、下記の2項目に取り組むことを想定している。

### (a) 優れた研究者の結集

ナノ量子情報エレクトロニクス連携拠点において、学内外から優れた人材を結集するためには、既存の常勤教員の給与体系ではさまざまな困難が生じる。一方、イノベーション創出を促進するためには、研究者が十分にその力を発揮し、また伸長することができるよう、多様な研究の機会を得ることができる環境を整えることが重要である。このため、例えば、エフォート率によって雇用する仕組みを整え、プロジェクト経費とそれ以外の経費を併用した雇用を可能にする。また、産学間の人材流動化の促進のため、大学側としては、教員が大学から離れた場合にその間の地位、給与・退職手当等が不利にならないような仕組みを構築していく。

### (b) 知的財産の取り扱い

現在、東京大学としての知的財産の取り扱いの規定は全学で一律に定められており、本研究拠点もこれに従うことを原則とするが、一方で、本拠点が10-15年後のイノベーションを創出するための研究開発を実施するという本プログラムの趣旨に鑑み、知的財産の取り扱いについて例外規定を必要に応じて定める。例外規定の内容は大学と企業が協議しながら慎重に定めることとする。

## (5) 多様な人材の活用方策

1. 優れた人材を集めるためには、世界最高水準の教授陣と世界第一級のIT企業が真に連携して研究開発を行う研究の場が、研究者にとって研鑽を積みキャリアアップに向けて魅力的であることを示すことが重要である。そのために研究拠点活動の広報を積極的に行う。

2. 公募や推薦を求めることにより、優秀な人材を確保する。同じ能力であれば、若手、女性であることを優先し、今後の日本を支える活力を確保する。一方、深い物理の理解や技術に立脚した精緻な半導体ナノテクノロジーや物性物理実験技術を維持するためには、これらに習熟した人材を確保することが必要である。このための人材の活用を先に述べたエフォート率に立脚した能力給制度の検討を試みる。

3. 短期・長期のさまざまな外国人研究者を積極的に受け

入れるが、その受け入れ態勢は不十分である。専任のスタッフを確保することにより、特定の民間の宿舎を確保するなどさまざまな方策を模索する。これは3-7年で整備することを目標とする。

#### (6) 柔軟な雇用の仕組みの確立・人材流動化の促進

1. T型連携拠点の積極的な活用により、産学がシームレスに場を共有することにより、大学の研究者と企業との間で相互理解を深め、人材の流動化の促進をはかる。

2. 先述のとおり、イノベーション創出を促進するためには、研究者が十分にその力を発揮し、また伸長することができるよう、多様な研究の機会を得ることができる環境を整えることが重要である。このため、例えば、エフォート率によって雇用する仕組みを整え、プロジェクト経費とそれ以外の経費を併用した雇用を可能にする。また、産学間の人材流動化の促進のため、大学側としては、教員が大学から離れた場合にその間の地位、給与・退職手当等が不利にならないような仕組みを構築していく。エフォート率による研究者の待遇改善制度を活用し、研究者が異動することにより不利益を受けることがないように十分配慮する。

3. 他大学の教員が東京大学における本拠点においても研究活動ができるよう、その受け入れ体制について、先方の大学に十分に配慮しながら整える。

#### b. 企業との協働体制

##### (1) 企業からのコミットメント

日本を代表する主要電気系企業であるシャープ株式会社、日本電気(株)、(株)日立製作所、(株)富士通研究所が協働機関として参加する。

コミットメントの内容は、下記のとおりである。

##### (a) 研究費、消耗品、備品などの提供

研究費については、4社が民間等との共同研究にもとづいて提供する。

これらの一部は、後述の東大—企業ラボの運営に用いられる。

結晶基板、半導体原料 ガス、光学部品、薬品等、計測器などの供与。

##### (b) 研究施設設備などの提供

半導体プロセスクリーンルーム、プロセス装置、デバイス評価装置を提供する。

##### (c) 研究者、技術者などの派遣

各企業4名以上の研究者がナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点に参加し、研究を行う。

上記コミットメントを継続するために、各企業が下記について毎年見直しをかけることを条件としている。

・成果が出ていること、あるいは成果が出る見込みがあること。

・国からの資金提供が継続されること。

・経営方針あるいは経営環境が大きく変わらないこと。

#### (2) 協働体制の運営方法

(a) 本研究拠点における運営について合議・意思決定を行う組織は、形式にとらわれずできるだけ簡素化することをめざす。運営の任は、総括責任者の指揮の下で、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長を中心とした機構のメンバーがあたる。

(b) 下記の4組織を本研究拠点に設置する。

##### (1. 経営会議

本研究拠点全体の運営にかかわる最高決定組織として設置する。本委員会は、総括責任者、ナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点に関わる教員若干名、協働研究機関責任者あるいはそれに準じる企業の責任者、および総括責任者が必要とする若干名(関連部局長等も含む)から構成される。下記の企画委員会、幹事会を統括するとともに、諮問委員会の意見を十分に反映させる。

##### (2. 運営委員会

本研究拠点の研究開発の運営および人材育成にかかわる事項を立案・検討・実行する組織として設置する。本委員会は、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構に関わる教員若干名、協働研究機関責任者が指名する各企業の代表者、および事務から構成される。産学連携に関わる意思の実務的決定は、本委員会が行う。

##### (3. 企画委員会

本研究拠点の運営にかかわるあらゆる実務事項に関する機動的な企画を担う組織として設置する。ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の教員若干名、各連携企業の代表者及び機構長が必要と認めた者若干名で構成される。

##### (4. 諮問委員会

本研究拠点全体の運営にかかわるご意見を有識者から拝聴するための組織として設置する。

(c) 東大企業ラボの運営は、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長と企業の代表者が共同でその任にあたる。

#### (3) 研究成果の取扱いの方針

1. 本プロジェクトで得られた研究成果は、知的財産など必要な権利確保を行った後には、すべて公開とすることを原則し、積極的に成果の普及に努める。

2. 産学協働における知的財産の取扱いについては、T型連携に立脚して遂行される。特定テーマ連携については、東京大学と当該企業の1対1の共同研究契約及び秘密保持契約に基づいて知的財産の確保を進める。ただし、必要に応じて覚書を交わすことにより、東京大学と複数企業の間で特定テーマ連携が遂行され、知的財産が共有できる体制も確保する。探索連携についても、基本的には東京大学と当該企業の1対1の共同研究契約に基づいて知的財産の確保を進めるが、この場合には成果の広い普及により努めることとする。

3. 本研究拠点の成果を実用化・産業化へつなげるための戦略において、もっとも大事なことは大学—企業T型連携拠点が、大学の各研究室はもとより、企業(研究開発部門

および事業部門)と常に強いリンクを張りビジョンを3者がビジョンを共有することである。このために、企画委員会は、それがスムーズに進むようなワークショップやその他の枠組み作りにも努めることとする。4年目以降には、企画委員会のもとで実用化・産業化戦略WGを立ち上げる予定である。

#### c. 人材育成

大学など学術研究機関から企業まで幅広く活躍できる人材の育成を目標として、本研究拠点では、下記のように産業界と協働で重点をおいた育成を中心に実施する。

・ナノ量子情報エレクトロニクス分野の最先端知識を有し、将来の研究活動においてリーダーシップを発揮できる人材の育成

・基礎科学からエレクトロニクスやIT分野および産業化にも貢献できるスペクトルの広さを持った人材の育成

(1) 大学院教育におけるナノ量子情報エレクトロニクス分野横断型教育プログラム

1. 既存部局・専攻の枠を超えた横断型ナノ量子情報エレクトロニクス分野の教育プログラムを実施する。本プログラムによって、理学、工学、産業応用をシームレスに俯瞰し活躍できる人材の育成を行うと共に、その成果を東京大学における新たな人材育成の制度改革・整備に役立てる。

2. 本プログラムへの参加は、当面は関連専攻の博士課程の学生の中から選抜により認められる。本プログラムへの参加が認められた博士課程学生には積極的に経済支援を行う。

3. 本プログラムの学生は、企業研究者を含む相談役の指導を受けることにより、研究のチャレンジ出口を見据えるなど、社会で広く活躍するためのマインドを身につける。

4. 本プログラムにおいては、国内・国外大学、企業で活躍する研究者や経営者を講師とした集中講義もしくはスクールを設定し、先端開拓力と広い視野を併せ持つ研究者育成のための教育内容を示す。なお、この集中講義やスクールへの参加は公開とし、本プログラム所属の学生以外の大学院学生、企業関係者、他大学学生の参加も可能とする。

(2) 博士研究員・若手企業研究者の育成プログラム

1. 研究における大学教員と若手企業研究者、企業シニア研究者と博士研究員のペアなどの形成を促し、研究をとおして、より広い視野で研究活動に取り組める人材の育成を行う。

2. 博士研究員・若手企業研究者による定期的な研究発表会を設定し、教員、企業関係者との議論の場を設けるとともに、相互の交流を進める。

3. 企業研究者の大学常駐はもちろん、博士研究員の企業研究所での研究機会を設ける。

4. 国際会議や海外での研究への参加機会を積極的に提供する。

(3) 特徴と期待できる効果と活用方策

1. 本提案で実施しようとする人材育成の仕組みは、いずれも教育機関(大学)と企業の協力により行なわれることを特徴としており、各々単独では実現できない特徴を有する。具体的には、企業の積極的なプログラムへの参加により、大学だけでは身に着けられない(不十分な)社会センスや産業化意識などを得ることができ、科学技術を通じて社会に貢献できる人材の素養形成につながると期待できる。また企業の若手研究者教育にも大学教員が積極的に協力することで、学理に根ざした合理的な問題設定および解決能力を身につけた人材を育成できると期待できる。

2. 本プログラムの実施により、本プログラムで育成した学生が企業に高い待遇で採用され、また企業はその発展に貢献する高度な人材を採用することができる。これにより、電気系企業をはじめとする、ハードに根ざした我が国の産業競争力の一層の強化につながる。これによって高度技術者の社会需要を引き上げ、その待遇強化を促し、結果として優れた人材が本分野に集まることが期待される。これは、高度技術者が社会産業を牽引するという真の科学技術立国の実現に導くものとなると期待される。

#### d. 波及効果

本研究拠点の実現はさまざまな波及効果をもたらすが、代表的なものとしては、下記のようなことがあげられる。

1. 本研究拠点は、わが国の産学が結集するナノ技術に立脚した量子情報エレクトロニクスの中核的研究拠点としてとして位置付けられる。部局や大学の枠を超えた中核的研究拠点を大学に設置することは意義深い。

2. 大学と企業が場とビジョンを共有して10年の長期にわたる産業のイノベーションを技術革新に立脚して協働で推進することは、激しく乱高下する産業の中で常に革新を生み出していかなければならない企業の長期基礎研究戦略の質的変化をもたらす、わが国における研究開発戦略のあり方に大きな影響を与えるものと確信する。

3. 大学と企業の基礎研究所がそれぞれの持ち味を十分に確保しながら、一つのシームレスな研究組織を世界で初めて本格的につくることになり、将来のわが国の目的基礎研究のあり方を示すものであり、そのインパクトははかりしれない。

4. 大学と企業が協働して教育プログラムへ参画することにより、社会が本当に必要とする高級研究者を創り出すことができる。このような人材がわが国の技術革新を担い、結果として産業競争力の強化をもたらす。

## 4. 具体的な達成目標

### a. 3年目における具体的な目標

産学連携により、量子ドット光源の高性能化をはかり実用化への可能性実証を行うとともに、ポストCMOS技術および光電子融合技術について基盤的研究を推進する。また、量子暗号通信システム実現に向けて、単一光子発生素子を

含めた量子状態制御デバイスの基盤技術を開発する。部局の枠を越えた研究拠点として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を発足させるとともに、同機構内にT型産学連携を遂行するために、東大—企業ラボ群を設立する。また、ナノ技術、量子科学、ハードウェアを中心としたITに総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの立ち上げを行う。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みを導入するとともに、知的財産の取り扱いについても改善を図る。また国際性の高い拠点形成を目指して、特任教員・研究員における外国人（海外で学位を取得した日本人を含む）の比率を20%以上とすることを旨とする。

#### b. 7年目における具体的な目標

量子状態制御デバイスの開発により、量子暗号通信の実現を行うとともに、量子中継など量子ネットワーク実現に向けた基礎研究を推進する。また、量子ドット光デバイスの開発によりITハードウェアにイノベーションの芽を出させるとともに、ポストCMOS技術および光電子融合技術においてさらに技術基盤を充実させる。

ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構において、特にT型産学連携を充実させるとともに、見直しにより必要となれば、組織の拡充、改変を行う。また、ナノ技術、量子科学、ハードウェアを中心としたITに総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの充実をはかる。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みや、知的財産の取り扱いについて、さらに改善を図る。本分野の国際拠点として、特任教員・研究員における外国人（海外で学位を取得した日本人を含む）の比率を30%程度とすることを旨とする。

#### c. 実施期間終了時における具体的な目標

量子中継を伴う量子暗号ネットワーク技術の確立をはかるとともに、小規模量子計算システム実現可能性を立証する。また、量子ドット光デバイスのさらなる高性能化をはかるとともに、ポストCMOSおよび光電子融合技術において実用化可能性実証可能なデバイスを開発する。また、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の充実をはかるとともに、人材育成プログラムのさらなる改善を図る。

### 5. 実施期間終了後の取組

本研究拠点において中心的役割として10年間活動するナノ量子情報エレクトロニクス研究機構は、産学協働のもとで高い価値を有する研究成果と新産業の芽となる技術イノベーションを創出することが期待されている。10年後においては、ナノ量子情報エレクトロニクスの主たるテーマが開発フェーズに入るとともに、量子計算技術や現時点では想定できない新しい技術について、さらに産学協働で研究開発を行うフェーズが到来しているものと思われ、さらにわが国の科学技術研究の重要課題の一つとして位置づけられていると考えられる。このような状況が期待通

り展開されたときには、科学技術振興調整費による実施期間終了後、引き続き、構築した拠点・システムを自律的に維持、運営、発展させるために、以下のような措置を講じる計画である。

1. わが国のナノ量子情報エレクトロニクス分野（ナノ量子科学技術とITの融合分野）の中核的拠点として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構をさらに拡充発展した大学組織として確立し、大学の学術研究と企業の基礎研究、開発研究、実用化研究までシームレスに結合する学術・産業基礎研究拠点としての役割をさらに発展させる。
2. 本研究拠点は、実施期間終了後も、高い研究活動・成果に立脚した科学技術外部資金、協働企業のコミットメント、運営費交付金により展開される。
3. 10年後において本融合分野が新しい学術分野の台頭として明確に位置づけられるならば、必要に応じて研究所組織や大学院組織の改革を伴う、組織変更を行う。

### 6. 期待される波及効果

ナノ技術、量子科学、ITハードウェア技術の融合領域の創製により、科学技術の発展に新たなパラダイムが生まれるとともに、将来も持続的に日本の経済力を支えると確信されるエレクトロニクス産業において、産業界との協働により基礎を十分に固め、かつ幅の広い人材を育てることができ、また、本協働による大学のみが影響を受けるのではなく、企業の研究のあり方にも大きなインパクトを与えることができ、学術に立脚して基盤研究分野における企業と大学のシームレス化を、先導的に実現する。これらが実現されれば、わが国や世界に対して、企業の研究戦略のみならず、わが国の科学技術施策にも大きな波及効果をもたらすものと確信する。

### 7. 実施体制

#### a. 概要

東京大学生産技術研究所において産学協働の研究拠点としてナノエレクトロニクス連携研究センターが2002年に設立され、研究活動をこれまで行ってきた。2002年は特に光通信業界は不況のどん底にあり関係企業も研究開発の存続が危ぶまれていた、実際、多くの企業では基礎研究が相当縮小された。

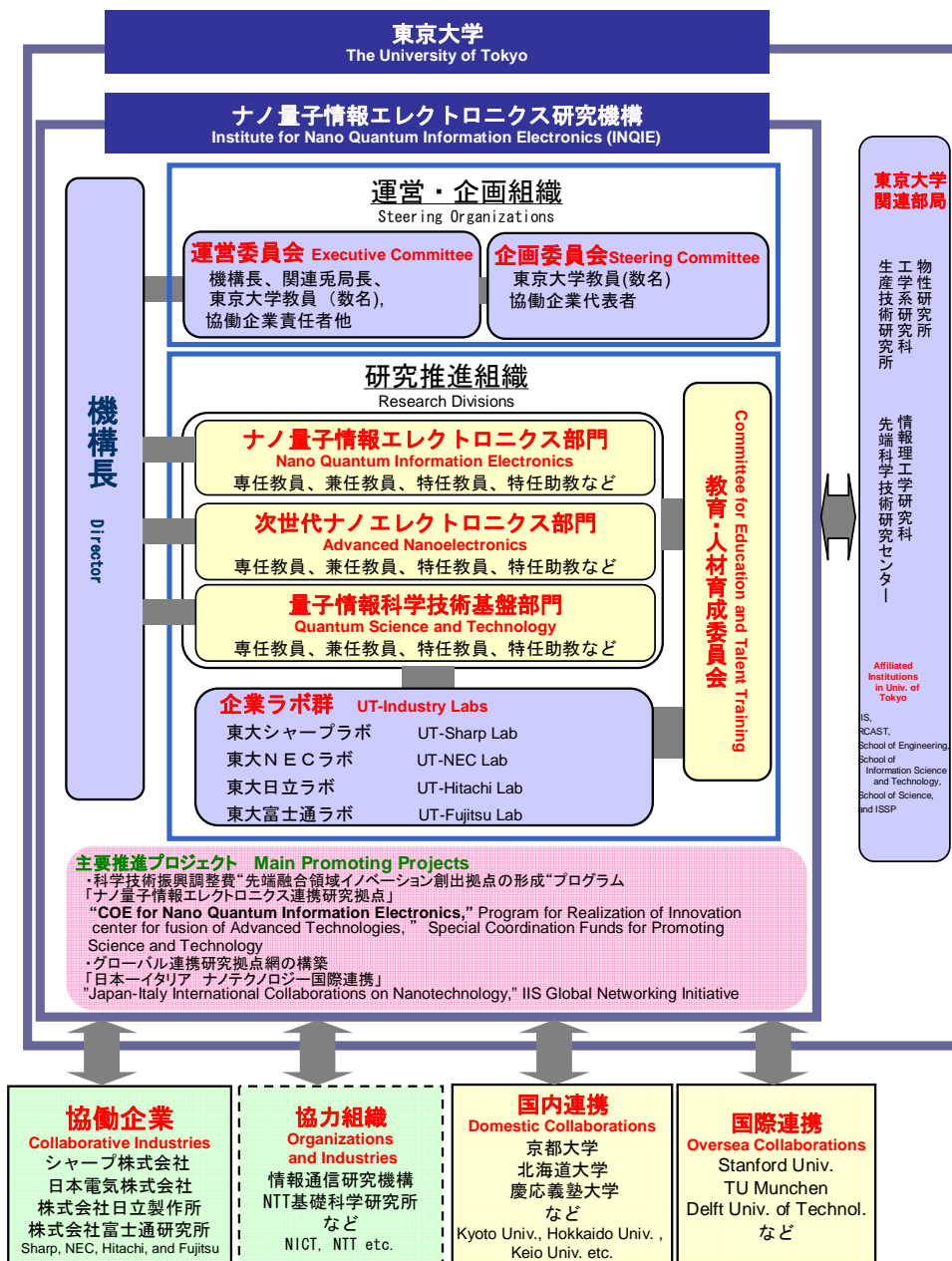
このような状況の中で、企業が大学に常駐もしくは半常駐することにより、また関連産業界や大学関係者が集結したことは画期的であり、結果としてビジョンの共有がはかられ、いくつかの重要な研究成果を達成することができた。センター発足時は量子ドットデバイスは実用化の可能性のあるデバイスとしては全く受け入れられなかったが、今や実用化の可能性が出てきたことで広く注目を集めて始めている。これは、量子ドットによる光デバイスのIT分野における技術イノベーションの第一弾である。ナノエ



クトロニクス連携研究センターの特徴は、企業の研究者が、大学とビジョンを共有し基礎基盤的研究成果を達成しつつ、一方で企業と行ったり来たりしながら、実用化という出口と直接リンクした活動を行ったことにある。本提案では、まさに場とビジョンを共有するという真の産学協働の The first version を体験し、これを踏まえて、真に部局の枠を超えた組織の中で本格的な産学協働を展開することをめざしている。幸い、ナノ量子情報エレクトロニクスの研究分野は、大学の学術研究とデバイス開発・実用化実証研究が相乗的効果をあげることができる分野である。その研究の展開は、決して、基礎研究→基盤研究→応用研究→実用化研究開発といった一方向の流れでは

なく、基礎研究⇔基盤研究⇔応用研究⇔実用化研究開発といった双方・相乗的な流れに立脚している。また、新しい原理の発想や材料の発見は不連続な発展をもたらし、ITに革命を起こす可能性を秘めている。このようなサイエンスに立脚した IT ハードウェアの研究分野においては、分野特有ともいべきイノベーションの展開が存在している。本研究拠点は、上記のような第一助走的な準備展開を踏まえて、これらの新しいスキームの確立を部局や大学の枠を超えてはかるとともに、ナノ量子情報エレクトロニクスというナノ量子科学技術と IT の新しい融合をめざした新たな研究展開を目指すものである。

b. 実施体制  
(1) 体制図



## (2) 拠点化構想に携わる研究者等

と充実化

次項の「当該構想における役割」の欄は、以下の番号と対応する

2) 次世代ナノエレクトロニクス研究開発

3) 量子情報エレクトロニクス研究開発

1) ナノ量子情報エレクトロニクス研究開発：拠点の発足

4) ナノ量子エレクトロニクス基盤技術研究開発

氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
荒川 泰彦	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・機構長	1) 2) 3) 4)
伊藤 公平	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任教授	1) 2) 3) 4)
今井 浩	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 4)
岩本 敏	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 3)
臼杵 達哉	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任教授	1) 3)
大津 元一	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 2)
勝本 信吾	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 4)
菊池 和朗	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 3)
北村 雅季	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任准教授	1) 2)
Denis Guimard	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任准教授	1) 2)
◎小宮山 宏	東京大学 総長	1)
五神 真	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 4)
榊 裕之	東京大学・名誉教授	1) 4)
染谷 隆夫	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 2)
高橋 琢二	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 2)
竹内 繁樹	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・委嘱教授	1) 2) 3) 4)
田中 雅明	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 2)
樽茶 清吾	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・副機構長	1) 4)
中岡 俊裕	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任准教授	1) 4)
野田 進	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・委嘱教授	1) 2) 3) 4)
平川 一彦	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 2)
平本 俊郎	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 2)
古澤 明	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 3)
町田 友樹	東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 4)
村尾 美緒	東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 3)
森山 園子	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任講師	1) 4)
山内 薫	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・教授	1) 4)
山本 喜久	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・委嘱教授 スタンフォード大学・教授	1) 2) 3) 4)
曾根 純一	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・客員教授	1) 3)
高橋 明	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・客員教授	1) 2)
横山 直樹	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・客員教授	1) 2)
長我部 信行	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・客員教授	1) 4)
石田 寛人	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・客員教授	1) 3)

有田 宗貴	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 2)
加古 敏	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 3)
熊谷 直人	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 4)
野村 政宏	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 2)
渡邊 克之	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 4)
尾張 正樹	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教 (~H19.10)	1) 4)
小寺 哲夫	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教	1) 3)
濱屋 宏平	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任助教 (H19.10~H20.2)	1) 4)
Sejoon Lee	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員 (~H19.11)	1) 3)
石田 充	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 2)
江部 広治	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 2)
菅間 明夫	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 2)
中田 義明	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 2)
羽鳥 伸明	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員 (~H19.9)	1) 2)
高田 幹	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員 (H19.10~)	1) 2)
宮澤 俊之	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 3)
Timothy Byrnes	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 3)
金 奈映	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1) 3)
Martiradonna Luigi	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員 (H19.11~12)	2)
男澤 宏也	東京大学東京大ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任研究員	1)
太田 賢司	シャープ(株) 代表取締役専務	1) 2)
高橋 明	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所 所長	1) 2)
友村 好隆	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所第五研究室 室長	1) 2)
青森 繁	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所第五研究室 主事	1) 2)
石川 智弘	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所第五研究室 主事	1) 2)
香村 勝一	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所第五研究室 研究員	1) 2)
葛本 恭崇	シャープ(株) 技術本部基盤技術研究所第五研究室 研究員	1) 2)
中西 康哲	シャープ(株) 生産技術開発推進本部生産技術開発センター第三開発室 研究員	1) 2)
國尾 武光	日本電気(株) 執行役員兼中央研究所長	1) 3) 4)
曾根 純一	日本電気(株) 中央研究所 支配人	1) 3) 4)
田原 修一	日本電気(株) ナノエレクトロニクス研究所	1) 3) 4)
萬 伸一	日本電気(株) ナノエレクトロニクス研究所 研究部長	1) 3) 4)
白根 昌之	日本電気(株) ナノエレクトロニクス研究所 主任	1) 3) 4)

河野 俊介	日本電気（株）ナノエレクトロニクス研究所 主任	1) 3) 4)
桐原 明宏	日本電気（株）ナノエレクトロニクス研究所 担当	1) 3) 4)
大河内 俊	日本電気（株）ナノエレクトロニクス研究所 主任	1) 3) 4)
石坂 智	日本電気（株）ナノエレクトロニクス研究所 主任	1) 3) 4)
武田 英次	(株) 日立製作所 執行役常務	1) 3) 4)
長我部 信行	(株) 日立製作所基礎研究所 所長	1) 3) 4)
松岡 秀行	(株) 日立製作所基礎研究所ナノ材料デバイスラボ ラボ長	1) 3) 4)
戸丸 辰也	(株) 日立製作所基礎研究所 主任研究員	1) 3) 4)
藤村 徹	(株) 日立製作所基礎研究所 研究員	1) 3) 4)
David Williams	Hitachi Cambridge Lab. Manager	1) 3) 4)
Mike Tanner	Hitachi Cambridge Lab. Researcher	1) 3) 4))
Aleksey Andreev	Hitachi Cambridge Lab. Researcher	1) 3) 4)
村野 和雄	(株) 富士通研究所代表取締役社長	1) 2) 3) 4)
横山 直樹	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター センター長	1) 2) 3) 4)
菅原 充	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター センター長代理	1) 2) 3) 4)
山本 剛之	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 主任研究員	1) 2) 3) 4)
高田 幹	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 研究員	1) 2) 3) 4)
宋 海知	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 研究員	1) 2) 3) 4)
高津 求	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 主任研究員	1) 2) 3) 4)
竹本 一矢	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 研究員	1) 2) 3) 4)
河口 研一	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター 研究員	1) 2) 3) 4)
Gerhard Abstreiter	Tech.University of Munchen 教授	1)
Dieter Bimberg	Tech.University of Berlin 教授	1)
M. Skolnick	University of Sheffield 教授	1)
Connie Chang-Hasnain	University of California, Berkley 教授	1)
Gerald Bastard	Ecole Normale Superieure 教授	1)
Alfred Forchel	Wuerzburg University 教授	1)
青木 画奈	University of Salento 研究員	2)
大島 利雄	富士通研究所 研究員	4)
Luca Troisi	University of Salento 大学院学生	2)
Lucia Marra	University of Salento 大学院学生	2)
Dominic Dorfner	Walter Schottky Institute 学生	4)

(注：◎は総括責任者)

## 8. 各年度の計画と実績

### a. 平成 18 年度

#### (1) 計画

部局の枠を越えた研究拠点のセンター的組織として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を発足させるとと

もに、研究部門に加えて同機構内に T 型産学連携を遂行するために東大企業ラボを設立する。また、ナノ技術、量子科学、ハードウェアを中心とした IT に総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの立ち上げのための検討を開始する。

研究開発においては、ナノ光デバイスの高性能化及びポスト CMOS 技術について基盤技術研究を開始する。また、量子状態制御デバイスの基盤技術確立に向けた物性科学および量子ドット形成の研究を開始する。

## (2)実績

本委託業務の中核研究実施組織として、東京大学にキャンパス・部局の枠を超えた総長直轄の組織であるナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を設置し、拠点形成およびその運営を進めるとともに、ナノ量子情報エレクトロニクス部門、次世代エレクトロニクス部門、量子情報科学基礎部門の各研究部門において、ナノ量子情報エレクトロニクスの研究開発の推進を図った。

さらに機構内に、T型産学連携の推進拠点として協働企業4社の各東大企業ラボを設置し、意見交換・今後の運営などについての議論を開始した。協働企業との共同研究推進においては、規定の基本契約に加え、秘密保持契約を4社連名で締結し、拠点における産学連携運営の円滑化を図った。また協働企業からのコミットメントの証明方法として、確約書・証明書方式を提案した。本方式は文部科学省に採用され、本プログラムのほかの課題にも適用された。

人材育成の観点から、高い能力を有する博士課程学生を研究補佐員として雇用し、オンザリサーチトレーニングの立場から本拠点における研究活動の一部を担当させた。また、横断型ナノ量子エレクトロニクス分野の教育プログラムに関する検討を進め、平成19年度以降において、各協働企業も参加する大学院新講義を開講する準備を整えた。研究開発については、量子ドットレーザの高性能化に向けた技術開発を進めるとともに、量子暗号通信システム実現に向けた単一光子発生器を含めた量子状態制御デバイスの基盤技術研究およびフレキシブルエレクトロニクス等新材料デバイスについて基盤研究を推進し、当初設定した成果を十分得ることができた。具体的内容の一部を以下に示す。

### (a)次世代ナノエレクトロニクス研究開発

- 1)波長  $1.3\mu\text{m}$  帯で Sb を利用した高密度 InAs ドットを用いた量子ドットレーザを実現
- 2)波長  $1.55\mu\text{m}$  帯における  $\lambda/4$  シフト DFB 量子ドットレーザの高温単一モード発振を初めて実現
- 3)Q 値が 100 万レベルのフォトニック結晶ナノ共振器について、時間領域における光子寿命の直接測定に成功
- 4)量子ドット-フォトニック結晶の結合により、室温動作する世界最小閾値のフォトニック結晶ナノ共振器連続光レーザを実現
- 5)有機半導体分子エレクトロニクス技術を用いたワイヤレス電力伝送シートの開発

### (b)量子情報エレクトロニクス研究開発

- 1) $1.5\mu\text{m}$  帯量子ドット単一光子源の高性能化を実現
- 2)GaN 量子ドットによる高温動作可能な単一光子源技術を開

開発

3)パラメトリック変換による通信波長帯伝令付き単一光子源の実現とそれを用いた量子暗号通信システム実験に成功

4)高性能量子エンタングルメント生成器と高精度ホモダイン測定を組み合わせ、ユニバーサルスクイザーの実現とそれを用いて量子テレポーテーションフィデリティの改善に成功

### (c)ナノ量子エレクトロニクス基盤技術研究開発

1)Sb を利用した高密度 InAs ドットの結晶成長技術の確立、およびその技術を用いて MOCVD で作製した量子ドットレーザにおいて  $1.3\mu\text{m}$  を超える長波長域での室温基底準位発振に初めて成功。

2)縦型二重量子ドットにおける二電子スピン状態の電気的制御と核スピン偏極制御などを実現

3)単一自己形成 InAs 量子ドットにおける近藤効果の観測と超伝導との競合など多体相関に関する新しい現象を発見

4)自己形成 InAs 量子ドット分子における量子力学的結合、結合-反結合状態間のキャリアダイナミクスを解明

### b. 平成 19 年度

#### (1)計画

部局の枠を超えた研究拠点として設立したナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を円滑に運営するとともに、研究部門および東大企業ラボの体制をいっそう整える。また、ナノ技術、量子科学、ハードウェアを中心とした IT に総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの立ち上げを段階的に進める。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みを導入するとともに、知的財産の取り扱いについても長期的視野に立った基盤研究への配慮を学内特区的な考え方のもとで検討する。また国際的拠点形成を目指して外国人研究者の積極的採用を進める。

研究開発においては、量子ドット光源の高性能化及びポスト CMOS 技術としてのフレキシブルエレクトロニクスについて基盤技術研究をさらに充実させるとともに、量子状態制御デバイスの基盤技術確立に向けた物性科学および量子ドット形成の研究をさらに推進する。

### c. 平成 20 年度

#### (1)計画

ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の体制を確立する。また、ナノ技術、量子科学、ハードウェアを中心とした IT に総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの立ち上げる。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みを導入するとともに、知的財産の取り扱いについても長期的視野に立った基盤研究への配慮を学内特区的な考え方のもとで実施もしくはその準備を行う。また国際性の高い拠点形成を目指して、特任教員・研究員における外国人（海外で学位を取得した日本人を含む）の比率を

20%以上とすることを指す。

量子ドットレーザの高性能化をはかり実用化への可能性実証を行うとともに、ポスト CMOS 技術および光電子融合技術について基盤的研究を推進する。また、単一光子発生器を含めた量子状態制御デバイスの基盤技術を開発し、量子暗号通信システム要素技術の充実をはかり、4 年目以降の準備とする。

d. 平成 24 年度までの計画(平成 21 年度-24 年度の計画)

(1) 計画

量子状態制御デバイスの開発により、量子暗号通信の実現を行うとともに、量子中継など量子ネットワーク実現に向けた基礎研究を推進する。また、量子ドット光デバイスの開発により IT ハードウェアにイノベーションの芽を出させるとともに、ポスト CMOS 技術および光電子融合技術においてさらに技術基盤を充実させる。

ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構において、T 型産学連携を充実させるとともに、3 年目終了時のレビューにより必要となれば、組織の拡充、改変を行う。また、ナノ

技術、量子科学、ハードウェアを中心とした IT に総合的に取り組む人材を育成する教育プログラムの充実をはかる。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みや、知的財産の取り扱いについて、さらに改善を図る。本分野の国際拠点として、特任教員・研究員における外国人(海外で学位を取得した日本人を含む)の比率を 30%程度とすることを指す。

e. 平成 27 年度までの計画(平成 25 年度-27 年度の計画)

(1) 計画

7 年目終了時のレビューを踏まえて全体計画の見直しが必要ならば行う。これのよりナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の一層の充実を図るとともに、人材育成プログラムのさらなる改善・充実を図る。

量子中継を伴う量子暗号ネットワーク技術の確立をはかるとともに、小規模量子計算システム実現可能性を立証し、次世代ナノエレクトロニクスにおいて、イノベーション創出を立証するデバイス技術の確立をはかる、という目標に向けて研究開発をさらに推進する。

9. 年次計画

項目	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度
●拠点化構想					
(1)拠点の運営・整備	↔ 121百万	↔ 268百万			
(2)研究・開発の実施（含：企業からの研究者人件費）	↔ 616百万	↔ 588百万			
(3)人材育成の実施	↔ 4百万	↔ 11百万			
● 調整費充当計画					
(1) 拠点の運営・整備のうち 特任教員等雇用費	↔ 23百万	↔ 171百万			
会議・公開シンポジウム開催費（印刷費等含む）	↔ 20百万	↔ 166百万			
事務業務外部委託費	↔ 3百万	↔ 5百万			
(2) 研究・開発の実施のうち 研究費(消耗品、備品、旅費等費)	↔ 300百万	↔ 143百万			
(3)人材育成の実施のうち 専任教員等雇用費	↔ 300百万	↔ 143百万			
各種教育プログラム実施費	↔ 4百万	↔ 11百万			
ポストドク雇用	↔ 4百万	↔ 11百万			
修士・博士課程学生支援	↔ 98百万	↔ 97百万			
(4)間接経費					
総計	741 百万円	867 百万円			
うち調整費分	425 百万円	422 百万円			

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
(外部有識者)		
江崎 玲於奈	茨城県科学技術振興財団 理事長 (ノーベル物理学賞受賞者)	委員長
板屋 義夫	日本電信電話（株）先端技術総合研究所 所長 東京大学 名誉教授	
神谷 武志	(独) 情報通信研究機構 プログラムディレクター (独) 大学評価・学位授与機構 客員教授	
岸 輝雄	(独) 物質・材料研究機構 理事長	
坂内 正夫	情報・システム研究機構国立情報学研究所 所長	
高橋 雅之	文部科学省研究振興局基礎基盤研究課 ナノテクノロジー・材料開発推進室長	