

# ナノ量子情報エレクトロニクス連携研究拠点

実施予定期間：平成 18 年度～平成 27 年度

総括責任者：濱田 純一（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、（株）QD レーザ

## I. 概要

本拠点では、産学が協働し、ナノ技術、量子科学、IT ハードウェアの先端融合領域を開拓し、それに立脚した研究開発により、将来のユビキタス情報社会に向けて、持続的にイノベーション創出を実現する。このため、部局の枠を超えて、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を設立し、T 型連携による産学協働により、世界トップの研究開発と、次代を担う人材育成を図る。

### 1. 機関の現状

(1) 提案機関の研究位置と研究開発及び人材育成の実績  
提案機関の東大では、当課題の採択を受けて、平成 18 年 10 月に総長直下の組織として「ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構」（ナノ量子機構）を設立した。関係分野で活躍する教員が集結し、イノベーション創出拠点として研究開発・システム改革などを推進している。ナノ量子機構には国内他大学の関係教員も委嘱教員として在籍し、当該分野で屈指の研究拠点となっている。さらに協働企業の東大企業ラボ群を設置し、産学連携の強化を図っている。外国人や女性研究者の積極的雇用や当該分野で活躍できる俯瞰型人材育成を目指した大学院講義の開講など人材育成でも成果を挙げている。さらに、エフォート率に応じた雇用の実現や知財契約の統一化などの新たな試みを展開している。ナノ量子機構の取り組みは Nature Nanotechnology を含む国内外のマスコミに数多く取り上げられている

(2) 協働研究機関の研究位置と技術開発の実績

(a) シャープ

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。本課題では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を中心に取り組み成果を挙げている。

(b) 日本電気

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、擬似単一光子による量子暗号鍵配布の実証など、世界をリードする研究を展開してきた。本課題では、量子情報素子・量子暗号通信技術開発を中心に取り組み成果を挙げている。

(c) 日立製作所

量子テレポーテーションや量子デンスコーディングなどの理論研究やシリコン量子ビット研究で実績を上げてきた。本課題では、量子暗号通信・量子計算基盤技術開発を中心に取り組み成果を挙げている。

(d) 富士通研究所

量子ドットの研究開発を進め、温度無依存量子ドットレーザーの実現、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、世界をリードする成果を生みだしてきた。本課題では、量子情報素子・量子暗号通信技術開発を中心に取り組み成果を挙げている。

(e) QD レーザ

富士通研究所での基礎研究をベースに、量子ドットレーザーの実用化を目的に 2006 年に設立された。既に通信用量子ドットレーザーの量産化等の目処を立ており、21 年度より協働企業として本課題に参加する。本課題では、量子ドット結晶成長技術基盤とそのレーザー・光増幅器への応用とその実用化研究に取り組む。

### 2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

(1) 拠点で取り組む領域及び研究内容

(a) 背景と研究の目標

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。その発展は、予想を超えて急激であり、IT ハードウェアにおいて革新技術を生み出し、超低エネルギーで、超セキュア、超ブロードバンドの 3 要素を融合した新しいパラダイムを実現することが求められている。さらに生活環境の中に溶け込んだアンビエントなユニバーサルインターフェイスを提供する基盤技術も重要である。

1982 年に提案された量子ドットレーザーは、将来の光源として有望視される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がない。このためにはさらなる高性能化を実現するほか、新たな量子制御機能デバイスを実現し、量子情報通信や量子計算機への夢につながる。

課題では、ブロードバンド、高セキュア、高効率・低消費電力、アンビエント性を有する未来ユビキタスグリーンネットワークの実現に向けて、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出）を主要開発目標に、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し、世界を勝ち抜く産業競争力の強化を図る。

(b) 拠点における研究の内容

(1) 次世代ナノエレクトロニクス研究開発

量子ドットレーザーの高性能化に向けたデバイス技術開発の基盤固めを行い、近い時期のイノベーション創出に向けた課題を富士通研究所・QD レーザ社と連携して探る。また、シャープ・日本電気等と連携して、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開発に取り組む。また、4 年目以降、量子ドットデバイスの新展開として、量子ドット太陽電池など高効率エネルギー変換素子の検討を開始する。

(2) 量子情報エレクトロニクス研究開発

単一光子発生素子等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。量子暗号通信システム高度化や量子テレポーテーション・中継技術の基礎実験も進め、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・日本電気等と連携し、量子暗号通信技術は日本電気・富士通研究所・日立製作所等と連携して研究開発を進める。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。

### (3) ナノ量子情報科学技術基盤研究開発

上記 (a) (b) を達成する基盤として、ナノ技術の確立および量子物性科学の探求を図り量子状態の完全制御をめざす。ナノ技術について結晶成長やプロセス技術の基盤固めを、量子物性科学では量子ドットやフォトニック結晶における新物性発現を図る。ナノ技術の確立は協働企業との連携で、量子物性制御科学は主に本学メンバーが進める。

#### (2) 先端融合領域として取り組む必要性・重要性

ブロードバンド、高セキュア、高効率・低消費電力、アンビエント性を有する未来ユビキタスグリーンネットワークの実現は、ナノ技術、量子科学、IT ハードウェアが融合して初めて可能となり、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、産業界の電気エレクトロニクス力との統合融合によって初めて生み出される。

## 3. 拠点化構想の内容

### (1) システム改革の内容

#### (a) ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の充実化

ナノ量子機構はナノ技術、量子化学、IT、エレクトロニクスの先端融合分野の研究拠点として既に国内外に広く認知されている。今後、国際的連携、産学官融合連などを強化し、拠点の更なる充実化を図る。

#### (b) 開かれた研究拠点による内外の強力な研究者の結集

本分野で活躍の国内他大学3教員に対して、教員ポストを用意し、引き続き強い連携を図る。産業界からも研究に限らず企画・運営面でも優れた人材を招聘する。

#### (c) 新構想産学連携拠点 (T 型産学連携拠点) の実現：東大-企業ラボ群の充実化

新構想の T 型産学連携拠点として東大企業ラボ群東大企業ラボ (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) を、本機構の中に設置している。「T」の字の縦線が意味する具体的目標のもとで明確な共同研究開発をめざす「特定研究テーマ連携」と、将来の連携や新規テーマとシーズを探索する横線の「探索連携」という2つのモードで本拠点と企業が強い連携を築く。

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

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規則設定を行い、人事や産学連携ルールを弾力化する。

(1) 優れた研究者の結集：エフォート率に応じた雇用形態の利用などにより学内外からの優れた人材の結集を図る。

#### (2) 知的財産の取り扱い

協働機関共通全学一律に定められている知的財産での取り扱いの実現を目指して議論を深めるとともに、その制度化・活用を推進する。規定について例外規定も必要に応じて定める。

#### (3) 多様な人材の活用方策：

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の広報をウェブや印刷物を用いて積極的に行う。また、国際公募も含め広く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。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、そのための専任のスタッフを確保し外国人研究者が本拠点で研究に専念できる環境整備を目指す。

#### (4) 柔軟な雇用の仕組みの確立・人材流動化の促進

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図る。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ないように十分に配慮する。さらに、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。

#### (2) 企業との協働体制

##### (a) 企業からのコミットメント

シャープ、日本電気、日立製作所、富士通研究に加えて、21年度よりQDレーザ社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。

(1) 研究費、消耗品、備品などの提供：研究費については、5社が民間等との共同研究に基づき研究費をもとづいて提供する。東大-企業ラボの運営、研究装置や消耗品に充てられる。

##### (2) 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。

##### (3) 研究者、技術者などの派遣

各企業の研究者が本拠点に参加し、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することを条件とする。

- ・成果が出ている、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。

##### (b) 協働体制の運営方法

(1) 運営の任は、総括責任者の指揮の下、本研究機構長を中心とした機構メンバーが当たる。

(2) 下記の5組織を本研究拠点に設置する。

##### 拠点経営委員会：

拠点全体の運営にかかわる最高決定組織。総括責任者、本拠点に関わる教員若干名、協働機関責任者あるいはそれに準じる企業責任者、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) から構成する。企画委員会などを統括し、諮問委員会の意見を反映させる。

##### 機構運営委員会：

拠点運営および人材育成に関する事項を立案・検討・実行する組織。本研究機構に関わる教員若干名、協働機関責任者が指名する各企業代表者、事務から構成。産学連携に関わる実務的決定は、本委員会が行う。

##### 機構企画委員会：

本拠点運営に関わる全実務に関する機動的企画を担う組織。本研究機構の教員若干名、各連携企業代表者及び機構長が必要と認めた者若干名で構成する。

##### 教育・人材育成委員会：

人材育成、大学院教育に関わる事項を審議、実施を担当する委員会としてプロジェクト発足後直ちに設置した。メンバーは、機構長とナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の教員若干名から成る。必要に応じて拡大して協力を得る。

##### 諮問委員会：

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組織として設置する。

(3) 東大企業ラボ群の運営は、機構長と企業の代表者が共同でその任にあたる。

##### (c) 研究成果の取扱いの方針

(1) 研究成果は、知的財産など必要な権利確保を行った後は、公開を原則とし、成果普及に努める。

(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、

東大と当該企業の共同研究契約及び秘密保持契約に基づいて知的財産を確保する。ただし、覚書交換により東大と複数企業間で特定テーマ連携が遂行され、知的財産の共有も可能。探索連携についても、基本的に本学と当該企業の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。(3) 成果を実用化・産業化へつなげる戦略で、大学研究室、企業の研究開発および事業部門、3者がビジョンの共有を図ることが重要。これを促進するためワークショップなどの枠組み作りに努める。

### (3) 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育成を目標に産業界と協働で実施する。

- ・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、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幅の広さを持った人材の育成

(a) 大学院教育における分野横断型教育プログラム: 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。本プログラムへの参加は、当面、関連専攻の博士課程学生から選抜により認められる。積極的に経済支援も行う。内外の大学、企業の研究者や経営者を講師とした集中講義、スクールを設定し、先端開拓力と広い視野を併せ持つ育成内容とする。

(b) 博士研究員・若手企業研究者の育成プログラム: 研究において大学教員と企業の若手・シニア研究者と博士研究員のグループを形成し、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。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、議論の場を設け、相互の交流を進める。企業研究者の大学常駐、博士研究員の企業研究所での研究機会を設けるとともに、国際会議や海外での研究参加機会を積極的に提供する。

(c) 特徴と期待できる効果と活用方策: 実施する人材育成の仕組みは、大学と企業の協力により行なわれることが特徴。企業の積極的な参加により、大学だけでは不十分な社会センスや産業化意識などが得られる。さらに企業の若手研究者教育にも大学教員が協力することで、学理に根ざした合理的問題設定、解決能力を身につけた人材の育成が期待できる。また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できる。これにより我が国の産業競争力の一層の強化につながる。

## 4. 具体的な達成目標

(1) 3年目における具体的な目標: 部局を越えて、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を発足させ、機構内にT型連携の東大企業ラボ群を設立。またナノ量子情報エレクトロニクスに総合的に取り組む人材育成の教育プログラム立ち上げる。雇用もエフォート率に応じた柔軟な仕組みと知的財産の取り扱いの改善を図る。国際的拠点形成を目指し、特任教員・研究員における外国人比率20%以上を目指す。研究活動においては、産学連携のもと、量子ドット光源の高性能化を図り実用化可能性実証を行う。ポストCMOS技術および光電子融合技術について基盤研究を推進する。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。(全て達成)

(2) 7年目における具体的な目標: T型産学連携および国際連携を充実させるとともに、他の外部資金も積極的に活用し世界拠点としての体制の充実をはかる。教員ポストの拡充を必要に応じて行うとともに、自立支援研究者、外国人研究者、および女性研究者の登用を積極的に行う。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、必要に応じて改革を積極的に図る。研究

開発においては、次世代ナノエレクトロニクスと量子情報エレクトロニクスを機軸にして推進する。量子ドットレーザの高性能化とイノベーション創出の可能性実証、フレキシブルエレクトロニクスにおける有機CMOS集積回路の高速動作実証などを推進する。さらに量子暗号通信システム実現に向けて、高速1.5 $\mu\text{m}$ 帯単一光子発生器を開発し、単一光子量子暗号通信技術に関しては、量子鍵伝送の長距離化を図る。同時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。

(3) 実施期間終了時における具体的な目標: 人材育成プログラムのさらなる改善を図り、自立支援研究者、外国人研究者、女性の登用をさらに積極的に行う。研究開発については、量子ドットレーザのさらなる高性能化(温度安定動作実証、フレキシブルエレクトロニクスの実用化可能性実証、高速1.5 $\mu\text{m}$ 帯単一光子発生器技術及び高速長距離量子暗号ネットワーク技術の確立を図るとともに、小規模量子演算実現可能性を立証する。これらにより、ナノ技術、量子科学、IT融合による安全・高効率・グリーンなユビキタスIT社会に向けてイノベーションを図る。

## 5. 実施期間終了後の取組

10年目以降においては、ナノ量子情報エレクトロニクスの主たるテーマは開発フェーズに入るが、量子計算技術や現時点では想定できない新技術については、さらに産学協働で研究開発を行う必要がある。ナノ量子機構を、大学の学術研究と企業の基盤・開発研究から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、東大において確固たる組織とし、この融合領域分野のさらなる発展を図る。

## 6. 期待される波及効果

(a) ブロードバンド化、高効率・低消費電力化、セキュア化、アンビエント化は、ユビキタス情報社会の高度化の実現のみならず、社会全体のトータルの低炭素化をもたらす。(b) 第2の量子力学エンジニアリングによるイノベーション創出により、目標の達成のみならず、研究開発過程で多くのナノ・材料技術やデバイス技術についての知見が得られる。これらは、我が国の学界や産業界で共有されさまざまなエレクトロニクス産業技術に役立つ。

(c) 若手大学研究者、企業研究者、大学院学生は、研究開発を通じて幅広くかつ深い学術的手法やビジョンを体得でき、未来の研究開発やイノベーション創出の担い手、将来新たな分野に取り組む担い手となる。

(d) 東大、ベンチャー企業QDレーザ、富士通研究所、3者連携によるイノベーション創出は、大学学術研究のシーズ、国の支援を得た産学連携により育成したイノベーションとして、世界的に見ても類がない。本プロジェクトの成功により、カーブアウト型という新たなベンチャー企業が上場されれば、先端研究の技術開発のあり方に大きなインパクトを与える。

(e) 量子暗号通信技術開発においては、東大と複数企業の融合連携を推進しており、我が国の産業界における研究開発のあり方に大きなインパクトを与える。

(f) 「場とビジョンの共有」をめざし大学と企業がシームレスな研究拠点を形成することにより、カーブアウト型ベンチャー企業を巻き込んでイノベーションの創出を目指すという、新しい産学協働のあり方を提議するものであり、他機関等の今後のモデルケースとなることを期待される。

## 7. 実施体制

### a. 概要

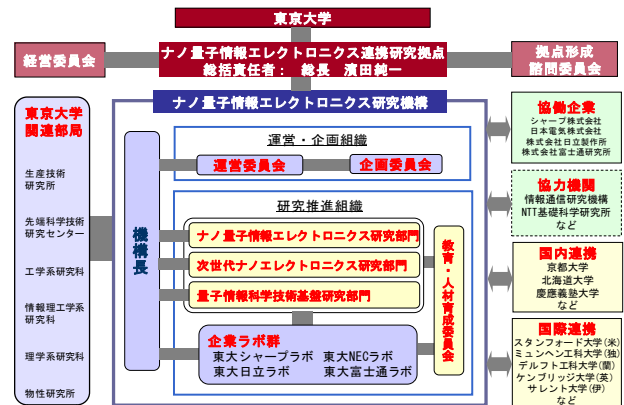
ナノ量子情報エレクトロニクスの研究分野は、大学の学術

研究とデバイス開発・実用化実証研究が相乗効果をあげられる分野である。その研究の展開は、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の流ではなく、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向・相乗的流れに立つ。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。

本研究拠点は、新しいスキームの確立を部局や大学の枠を超えて図るとともに、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

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

- 1) ナノ量子情報エレクトロニクス研究開発：拠点の発足と充実化
- 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
- 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)
有田 宗貴	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)
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・客員教授	1) 3)
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) 3)
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) 2)
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) 4)
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)
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・委嘱准教授	1) 2)
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)
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・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) 4)
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) 3)
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)
田辺 克明	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)
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) 3) 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・客員准教授	1) 4)
中村 泰信	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)
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) 4)
野村 政宏	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) 4)
◎濱田 純一	東京大学 総長	1)
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) 4)
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	東京大学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	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・准教授	1) 3)
山内 薫	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)
山本 喜久	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) 3)

(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：本拠点の中核組織として、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構を発足させ、研究部門に加えて同機構内に T 型産学連携を遂行する東大企業ラボを設立する。また、ナノ量子情報エレクトロニクスに総合的に取り組む人材育成の教育プログラムの立ち上げる検討を始める。研究開発では、ナノ光デバイスの高性能、ポスト CMOS 技術の基盤技術研究、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・量子ドット形成技術の研究を開始する。

(2) 実績：総長直轄の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、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、量子情報科学技術基盤部門の各研究部門において、研究開発の推進を図った。さらに機構内に、T 型産学連携を推進する東大企業ラボを協働企業毎に設置した。協働企業との共同研究においては、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。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。

人材育成面から、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、本拠点における研究活動の一部を担当させた。また、分野横断型教育プログラムに関する検討を進め、平成19年度以降、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、量子暗号通信システム実現に向けた通信波長帯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得ることができた。

#### b. 平成19年度

(1)計画：本機構を円滑に運営し、研究部門と東大企業ラボの体制を一層整える。ITに総合的に取り組む人材育成の教育プログラムを立ち上げる。また、エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みの導入や知的財産の取り扱い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のもとで検討する。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、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進める。

(2)実績：本機構および各東大企業ラボの一層の充実に努めた。分散していた機構事務局・企業ラボ、実験室を駒場リサーチキャンパス内の総合実験棟に300平米のスペースを確保し、集約・整備した。また横断型教育プログラム「ナノ量子情報エレクトロニクス特論」を工学系研究科に開講した。講義では、協働機関と連携した企業集中講義を組み込み、新聞にも大きく報道された。人材育成には、科研費獲得可能な優秀な人材がエフォート率による柔軟な雇用形態で本拠点にも参画できる仕組みを構築した。外国人や女性教員の登用も積極的に進めた。知的財産の扱いについても、協働機関全体での統一的契約に向けた検討を開始した。また、社会への情報発信にも努め、成果論文発表だけでなく機構ウェブサイトの充実、機構ニュースレターの月1回発行、展示会への出展など、機構の取り組みの社会への情報発信に積極的に努めた。研究開発については、引き続き量子ドットレーザの高性能化、通信波長帯単一光子発生器、量子もつれ光子対発生器などの量子情報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するとともに、量子ドットやフォトニック結晶の作製技術や物性探索に取り組み、当初設定した成果を得ることができた(詳細は割愛)。また、機構を中心にした企業間連携を実現し、1.55 $\mu\text{m}$ 単一光子発生素子を用いた世界初の量子暗号鍵配布通信実験の準備を進めた。

#### c. 平成20年度

(1)計画：本機構の体制を確立する。エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みを導入するほか、知的財産の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のもとに実施もしくはその準備を行う。また国際拠点形成を目指し、特任教員・研究員における外国人比率20%以上を目指す。研究開発では量子ドットレーザの高性能化と実用化への可能性実証を図る。ポストCMOSおよび光電子融合について基盤研究を進める。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図り、4年目以降の準備とする。

(2)実績：エフォート率に応じた柔軟な雇用の仕組みを導入し柔軟な雇用体制の実現への取り組みを進めるととも

に、知的財産の扱いについても学内特区的な考えのもとに知財権の統一的扱いに関する取り組みを議論し、21年度から試行する目処を立てた。特任教員・研究員における外国人比率25%以上を達成した。研究開発では量子ドットレーザの高性能化、3次元フォトニック結晶ナノ共振器の世界最高Q値の実現などの成果を挙げるとともに、単一光子光源の高性能化を含めた量子情報素子技術において、多くの進展が得られた。また、新型スピン量子ビットの多重化など量子情報基盤技術においても大きな成果が得られた。機構を中心にした企業間連携を実現し、1.55 $\mu\text{m}$ 単一光子発生素子を用いた世界初の量子暗号鍵配布通信実験の基盤が整いシステム実験に着手出来る段階となった。

#### d. 平成21年度

(1)計画：引き続きキャンパス・部局や産学の垣根を越えた横断的な研究開発拠点および人材育成の場として、機構の一層の充実化を図る。協働企業参加の大学院講義の改善を進めるとともに、国際的人材育成のため外国人の登用をさらに積極的に進める。また若手研究者の自立支援も推進する。知的財産の取り扱いについては、昨年度に引き続き統一契約に向けた具体的改善を図る予定である。研究活動においては、参加機関の強力な連携のもとに、これまでの研究成果に基づき引き続き推進する。複数協働企業の連携のもとで進めている、1.55 $\mu\text{m}$ 帯単一光子光源による量子鍵配送実験をさらに推進するとともに、量子ドット技術の新方向として、光電子融合技術や高効率エネルギー変換素子への展開を開始する。

(2)実績：人材育成の一貫として、企業における集中講義を含む大学院講義を工学系・理学系研究科で引き続き開講するとともに、外国人研究者3名(中、仏、泰)を採用し国際拠点としての国際的拠点として拡充を進めた。また、知的財産の取り扱いでは、20年度に開始した契約内容統一の枠組みでの共同出願も行われた。研究活動においては、本年度より協働企業として新たにQDレーザ社が加わり、量子ドットを用いた初の緑色レーザの実現などの多くの成果が達成された。また、通信波長帯量子ドットの高性能化、有機トランジスタに世界最速動作の実現、1.55 $\mu\text{m}$ 単一光子光源を用いた量子鍵配送の初期的実験の成功など、7年目終了時のミッションステートメント達成に向けた基礎となる重要な成果が多く得られた。

#### e. 平成22年度

(1)計画：研究開発拠点および人材育成の場として、機構の更なる充実化を図る。国際的人材育成の観点から、外国人の登用、若手研究者の自立支援を積極的に推進する。研究活動においては、参加機関の強力な連携のもとに、これまでの研究成果に基づき引き続き推進する。1.55 $\mu\text{m}$ 帯単一光子光源による量子鍵配送実験については長距離化・高速化を目指して研究開発と推進する。同時に、量子ドット技術の新しい方向として、波長変換技術による量子ドットレーザ緑色レーザ光源や高効率エネルギー変換素子の研究開発も推進する。

(2)実績：国際的拠点として広く認知され外国人研究者の比率は48%に達した。また、企業における集中講義を含む大学院講義の継続、若手研究者の自立支援などを通して人材育成・流動の好循環を生み出した。研究活動においては、QDレーザ社が通信用レーザの大量出荷を始めるとともに、通信波長帯量子ドットレーザの高速変調動作や緑色量子ドットレーザの高機能化実証など、多くの成果が達成された。また、1.55 $\mu\text{m}$ 帯単一光子光源による量子鍵配送実証実験において、伝送距離50kmの達成など、単一光子光源を用いたシステムとして世界最高性能を達成した。また、多準位量子ドット太陽電池の理論変換効率を算出し、最大約75%の超高効率が達成できる可能性を明らかにした。

#### f. 平成 23 年度

(1)計画：国際的研究開発拠点および人材育成の場として、機構の更なる充実化を図る。研究活動においては、1.55 $\mu\text{m}$  帯単一光子光源による量子鍵配送システムの更なる長距離化・高性能化を目指した基盤研究を推進すると同時に、量子ドット太陽電池に関する研究開発を加速させる。また、量子ドットレーザ技術、フレキシブルエレクトロニクス技術についても継続して研究開発を推進する。

(2)実績：企業における集中講義を含む大学院講義、若手研究者の自立支援、海外研究者の採用などを継続的に推進し、国際拠点として充実化を図った。研究活動においては、220 $^{\circ}\text{C}$ で動作する量子ドットレーザや、150 $^{\circ}\text{C}$ まで安定な単一モード CW 動作可能な DFB 型量子ドットレーザを実現した。また、有機 CMOS リングオシレータとして世界最高の 200 kHz 動作や、世界最高の変換効率 (18.7%) を有する量子ドット太陽電池の実現など、多くの成果が達成された。さらに、世界最高純度 ( $g(2)(0)=0.002$ ) を有する単一光子源の開発に成功し単一光子型量子鍵配送システムの更なる高性能化の可能性を示したほか、ナノ共振器中量子ドットからの二光子自然発光の増強など、学術的価値の高い多くの成果を創出した。

#### g. 平成 24 年度

(1)計画：量子状態制御デバイスの開発により、量子暗号通信の実験を行い、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。量子ドット光デバイスの開発により IT にイノベーションの芽を出させる、ポスト CMOS 等の技術基盤をさらに充実させる。T 型産学連携を充実させ、IT に総合的に取り組む人材育成教育プログラムの充実を図る。エフォート率に応じた柔軟な雇用や、知的財産の扱いについて改善を図る。

(2)実績：量子ドットレーザの量産出荷が本格化し累計 100 万台を超える量産出荷を実現するとともに、新規分野への出荷も始まりつつあり本格的イノベーションへの地歩を築きつつある。また、量子ドット技術の新たな展開として、サブバンド間遷移を利用した高感度光検出器の基盤技術開発も開始した。1.5 $\mu\text{m}$  帯単一光子発生素子の動作クロック周波数 100 MHz まで高めることに成功し、長距離量子鍵配送の実現に目処をつけた。また、time-bin 量子ビットの量子テレポーテーション、シリコン 3 重量子ドット素子や世界最高の 2 光子干渉性をもつ伝令付き単一光子源の実現、ナノワイヤ中 GaN 量子ドットを用いて窒化物半導体材料として世界初となるラビ振動の観測に成功する

など、世界をリードする多くの成果が得られた。

#### h. 平成 25 年度

(1)計画：ナノ量子情報エレクトロニクス分野における国際的研究拠点としての一層の充実化を図るとともに、イノベーション創出に向けた拠点の構成、活動内容について更に議論し、今後の課題を明らかにする。量子ドット光デバイスの高性能化、量子暗号技術の高度化などの研究開発を更に推進する。イノベーション創出への工程について議論する。

(2)実績：量子ドットレーザの量産出荷は順調に増加し累計 150 万台を超えた。さらに、光電子集積回路用光源などの新規分野へ参入も進みつつある。また、量子ドットサブバンド間遷移を利用した高感度光検出器については、性能指数の大幅な向上を実現し、その市場化展開を視野に入れた開発を進めている。1.5 $\mu\text{m}$  帯単一光子発生素子では、単一光子生成レート 3.2MHz を実現し通信波長帯で最も高性能な外部同期型単一光子源を実現した。さらに、これを利用して長距離量子鍵配送を実現した。また、量子もつれ光子を利用した顕微鏡の開発や光量子ビットの完全量子テレポーテーション、ナノワイヤ中 GaN 量子ドットを用いた室温単一光子の発生、三次元キラルフォトニック結晶により巨大旋光性の実現など、世界をリードする多くの成果が得られた。イノベーション創出への工程については、各協働機関と、目標性能などの議論を進めた。

#### i. 平成 26 年度

(1)計画：イノベーション創出を意識した、より強力な拠点形成をすすめる。そのための構成、活動内容について、継続的に議論するとともに、必要に応じて適切な対応を実施する。研究開発においては、レーザ、検出器などの量子ドット光デバイスの高性能化、量子暗号技術の高度化などの研究開発を更に推進するとともに、イノベーション創出への工程について平成 25 年度の議論を元にさらに検討を進める。

#### j. 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 年目の中間評価を踏まえて、本機構の一層の充実を図る。人材育成プログラムも更なる改善・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図るとともに、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図るなど、研究開発を更に推進する。

## 9. 年次計画

(百万円)

項目	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
●拠点化構想										
(1) 拠点の運営・整備	242	536	570	397	353.5	217	211	210	210	210
(2) 研究・開発の実施(含:企業からの研究者人件費)	920	742	764	823	806.5	969	1,027	939	774	774
(3) 人材育成の実施	4	11	11	96	56	52	40	45	45	45
●補助金等充当計画										
(1) 拠点の運営・整備のうち	<b>23</b>	<b>171</b>	<b>188</b>	<b>131</b>	<b>126.5</b>	<b>161</b>	<b>161</b>	<b>175</b>	<b>210</b>	<b>210</b>
特任教員等雇用費	20	166	185	126	126	154	138	147	192	192
会議・公開シンポジウム開催費 (印刷費等含む)	3	5	3	5	0.5	1	1	1	1	1
事務業務外部委託費(環境改善費)						6	22	27	17	17
(2) 研究・開発の実施のうち	<b>300</b>	<b>143</b>	<b>148</b>	<b>312</b>	<b>331.5</b>	<b>469</b>	<b>472</b>	<b>383</b>	<b>233</b>	<b>233</b>
研究費(消耗品、備品、旅費等費)	300	143	148	300	331.5	469	472	383	233	233
(3) 人材育成の実施のうち	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>96</b>	<b>56</b>	<b>52</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>
専任教員等雇用費										
各種教育プログラム実施費				1	1	1	1	1	1	1
ポストドク雇用	4	11	11	82	40	40	30	40	40	40
修士・博士課程学生支援				16	15	11	9	4	4	4
(4) 間接経費	<b>98</b>	<b>97</b>	<b>103</b>	<b>161</b>	<b>154</b>					
総計	1,166	1,289	1,345	1,316	1,216	1,238	1,278	1,194	1,029	1,029
うち補助金等分	425	422	450	700	668	682	673	603	488	488

## 10. 諮問委員会

委員	所属	備考
(外部有識者) ○ 江崎 玲於奈 (委員長) 神谷 武志 岸 輝雄 坂内 正夫 榊 裕之 前田 豊 村瀬 淳 ゲルハルト・アブストライタ フェデリコ・カポン	横浜薬科大学 学長、(財)茨城県科学技術振興財団 理事長 東京大学名誉教授 (独)物質・材料研究機構 顧問 (独)情報通信研究機構 理事長 豊田工業大学 学長 文部科学省研究振興局参事官(ナノテクノロジー・物質・材料担当) 日本電信電話(株)先端技術総合研究所 所長 ミュンヘン工科大学 教授 ハーバード大学 教授	