

**平成28年度 研究拠点形成事業（A. 先端拠点形成型）
中間評価資料（進捗状況報告書）**

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン国際研究拠点 (交流分野：ナノ電子・フォトニクス)		
日本側拠点機関名	東京大学		
コーディネーター 所属・職・氏名	大学院工学系研究科・教授・田畑 仁		
相手国側	国名	拠点機関名	コーディネーター所属・職・氏名
	スウェーデン	Royal Institute of Technology (KTH)	School of Information and Communication Technology・Professor・THYLEN Lars Helge
	スイス	Swiss Federal Institute of Technology Lausanne	School of Engineering・Professor・MARTIN Olivier
	フランス	Ecole Centrale de Lyon	Institute of Nanotechnologies・Professor・VILQUIN Bertrand
	ドイツ	Ulm University	Institute for Quantum Optics・Professor・JELEZKO Fedor
	オランダ	University of Twente	MESA+, Institute for Nanotechnology・Professor・BLANK Dave

2. 研究交流目標

申請時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

○申請時の研究交流目標

電子技術や光技術は我々の生活環境の隅々に浸透したが、その発展を支える技術基盤は、デバイス微細化と情報の物量拡大に耐えるスケーリング則にあった。しかし莫大なエネルギーと環境資源の投入を必要とする従来の技術に代え、地球環境保護を含めた省エネルギーで人・環境にやさしい環境調和性を強く要求し、これに対応した新たなエレクトロニクス創成が喫緊の課題となっている。研究代表者の田畑を中心とした東京大学の研究グループは、ナノ領域での電子系と光（ナノ電子フォトン系）に関する研究で世界をリードするとともに、ここ10年に渡り欧州との国際研究協力を強化し、質的変化が問われる新時代の電子工学を発信してきた。本研究の狙いは、スケーリング則に代わる新しい指導原理として「散逸ゆらぎ」に着目し超消費エネルギーを実現するナノ電子フォトン系の最先端を切り拓く国際共同研究の総合展開と世界的研究拠点の確立にある。「散逸ゆらぎ」とは、開放系において系のエネルギーが安定化する過程において、空間的対称性が自発的に破れて構造形成が起こり（散逸構造）、その結果様々な物理量のゆらぎ状態が形成される現象を示す。従来避けるべきものとされていた「ゆらぎ（雑音）」を積極的に活用する逆転の発想により、革新的な超省エネルギー技術（情報処理、微細加工、デバイス）の創成が期待できる。

具体的な共同研究は、①散逸ゆらぎに基づく新しい省エネルギーを実現する情報処理系の指導原理構築と、②超構造制御形成による散逸ゆらぎデバイス開発、③ナノ電子フォトン系における励起輸送と散逸ゆらぎの評価技術の確立、④省エネを実現する新たなナノ電子フォトン加工原理と技術の実現の4つのコアより組織される。各コアは①スウェーデン王立工科大(KTH)、②スイス連邦工科大ローザンヌ校(EPFL)およびオランダのトゥエンテ大学、③仏エコールセントラルリヨン(ECL)ナノテクノロジー研究所(INL)、④独ウルム大との実績ある研究協力に基づき、日本・スウェーデン・スイス・蘭・仏・独の強みを結集させ、散逸ゆらぎの視点でナノ電子フォトン系の基礎から機能に至る各研究コアの補完的国際研究協力体制を構築し相乗効果を産み出す。これらの具体的な研究の実践に併せて、革新的技術を創出し強靱かつ柔軟な知的体力と国際センスを備えた若手研究者育成プログラムを推進し、将来のエネルギー問題解決に資する時代に即した社会貢献と先端学術を牽引する若手研究者を育成するものである。

○目標に対する達成度とその理由

上記目標に対する2カ年分の計画について、

十分に達成された

概ね達成された

ある程度達成された

ほとんど達成されなかった

【理由】

上記目標を達成するため、先ず事業前半の2カ年においては、上記R1-R4で示した研究領域に強みを持つ各国の拠点機関と研究交流を実施した。以下各国ごとにそれぞれ理由を述べる。

【スウェーデン】

R-1は本プロジェクト全体のなかで、ナノ電子フォトンの特徴的物理過程をインテリジェント機能などの価値創出に繋げるための基盤構築を目的とし、スウェーデン王立工科大学(KTH)及びフランス・Neel研究所との研究協力を進め、ナノ領域における光物質相互作用をシステムとして取り扱うための理論要素の構築及び実験による実証を含めたシステム構築に着手した。この結果、多数の原著論文を出版することができ、目標は十分に達成されたと考える。具体的には、近接場光を介したエネルギー移動における統計数理モデルの構築(J. Appl. Phys. 日瑞仏共著)、近接場光におけるカオス現象の理論的発見(Sci. Rep. 2014)、量子ドット間のエネルギー移動を用いた強化学習(意思決定)の実証(J. Appl. Phys. 日仏共著)、近接場光による信号の一方向伝達の理論(JOSA B 日仏共著)、単一光子の非局所性とゆらぎを活用した強化学習課題の物理的解決(Sci. Rep. 日仏共著)等である。また、スウェーデンにおけるワークショップ(平成27年)を契機とし、日本側(分子科学研究所)の有する独自の第一原理計算技術と瑞側の計算化学の研究協力テーマの具体化を進捗させた。

【スイス、オランダ】

R-2では、平成26年度にTwente大学(オランダ)にて日本-オランダの酸化物エレクトロニクスに関する国際ワークショップを開催し、多くの若手研究者の交流が実現した。その後、Twente大学からの助言をもとに、同大が有する熱電特性評価技術を参考にした新しい酸化物スピン流特性測定システ

ムが日本側（東京大学）で構築され実験が開始する等の進捗成果が認められる。

さらに散逸ゆらぎデバイスの実現に向けて、超微細加工技術によるナノ構造制御を EPFL(スイス)にて実施した。その過程において、ナノ構造に由来するナノ電子フォトン現象（近接場光相互作用等）を活かして生体や物質内の複雑なナノシステムやダイナミクスを明らかにする方法論を確立し、散逸揺らぎとナノ構造制御に関する知見獲得に十分に貢献した。EPFL の傑出した超微細加工技術と、東大グループが培ってきた酸化物結晶薄膜成長技術、さらに東工大グループが確立した局所物性計測手法を融合することによって、物質の局所物性の理解の深化と散逸ゆらぎデバイスへの新たな設計指針が得られた。

【フランス】

R-3 はナノ電子フォトン系固有の物理過程をナノスケール分解能で計測・評価し、さらに物性制御や機能発現へと導くことを研究目的として共同研究を実施した。エコール・セントラル・リヨンとの連携では、先方が有する半導体量子構造作製技術、ならびに酸化物作製技術と、日本側が有するナノ分光技術、ならびに相変化材料を利用した光学的・電氣的・機械的物性制御技術を融合し、以下の研究成果と同時に R-1、R-2 との連携の新しい道筋を得ることができた。

- 1) 半導体量子ドット試料上にカルコゲナイド相変化薄膜マスクを形成し、局所的相変化にともなう応力印加により、単一量子ドットの量子準位（発光エネルギー）を精密に制御する手法を確立した (Optics Express 日仏共著)。さらに、局所的相変化手法の高度化により、隣接する量子ドットの量子準位を同時に制御する（例えば両者を共鳴させる）ことに成功した (Applied Physics A 日仏共著)。これらの手法は今後、R-1 で展開されている量子ドット間のエネルギー移動を利用したゆらぎベースデバイスの実現に向けた基盤技術として大きく貢献できる。
- 2) 量子ドットが埋め込まれたナノワイヤを相変化材料で被覆し、相変化にともなう誘電率変化によって量子ドットの発光偏光特性を制御する方法を提案した。電磁界シミュレーションにより実現性を確認し（日仏共著論文準備中）、原理実証実験を行った。
- 3) ITO を中心とした酸化物で励起される中赤外域表面プラズモンの共鳴エネルギーを相変化材料によって制御する方法を提案し、原理実証実験を行った。また材料を SiC に拡張し、フォノン・ポラリトン共鳴の制御とセンシングへの応用実験を実施した。今後は水中での制御へ発展させ、R-2 の散逸ゆらぎデバイスとの連携を図る予定である。

【ドイツ】

R-4 では、当初予定をしていたドイツ・ウルム大学のダイヤモンド「光（フォトン）」量子情報技術と、東京大学が有するナノ電子フォトン加工技術に加えて、東工大・波多野研が有するナノ電子制御技術、分子研の近接場理論を融合することで上記目標達成に向けて加速的な研究協力を進めた。その結果、多くの原著論文を出版することができ、目標は十分達成されたと言える。下記に具体的成果を記載する。

- 1) ダイヤモンド横型パワーデバイス実現に必須となるダイヤモンド側壁平滑化に近接場光エッチングを用いることで、平滑化に成功し良質な横型 pn 接合の作製に成功した (Phys. Stat. Solid. (a))。
- 2) 近接場光エッチングを用いることで、ナノダイヤモンドからの発光強度を 10 倍以上向上させることに成功した (APA 日独共著)

- 3) ナノ領域において従来反応しないと思われていた磁場によって加工されることを世界で初めて突き止めることに成功した (Light: Science & Applications)。本成果は UTokyo Research を初め様々なメディアで取り上げられ世界的な注目を集めた。

3. これまでの研究交流活動の進捗状況

(1) これまで (平成 28 年 3 月末まで) の研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。※各年度における派遣及び受入実績については、「中間評価資料 (経費関係調書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

これまでの各相手国コアの得意とする研究分野と相補的な実績を持つ日本のコアメンバーが海外コアを訪れ研究交流を推進した。各国コアとの具体的な進捗状況については以下の通りである。

【スウェーデン】

(日本側参加者数 8 名、スウェーデン側参加者数 10 名、フランス側参加者数 3 名、スイス側参加者数 2 名)

共同研究 R-1 は本プロジェクト全体のなかで、ナノ電子フォトンの特徴的物理過程をインテリジェント機能などの価値創出に繋げるための基盤構築を目的とし、スウェーデン王立工科大学 (KTH) 及びフランス・Neel 研究所との研究協力を進め、ナノ領域における光物質相互作用をシステムとして取り扱うための理論要素の構築及び実験による実証を含めたシステム構築に着手した。

派遣及び受入の概要として、平成 26 年 12 月及び平成 27 年 12 月 (成瀬 (NICT)) にフランス・Neel 研究所において共同実験、平成 26 年 12 月にスイス EPFL において研究議論 (成瀬 (NICT))、平成 26 年 12 月の日本におけるプロジェクト全体会合並びに平成 27 年 11 月のストックホルムワークショップに合わせスウェーデン KTH (THYLEN 教授) との研究議論を行った。また、平成 27 年 8 月から 11 月にシンガポール・ナンヤン工科大 (Yong Ken Tye 准教授) の博士課程学生を受け入れ (田畑 (東大)、成瀬 (NICT)、青野 (東工大))、研究指導・研究協力を行った。また、国外パートナーの強化・拡大を指向し、フィンランド・テンペレ工科大学 (Niemi Tapio 准教授) とのワークショップを行った (平成 27 年 11 月 2 日、3 日 (成瀬 (NICT)、青野 (東工大)、金 (NIMS))。)

具体的な共同研究の成果概要を下記に示す。

- 1) 近接場光を介したエネルギー移動において、ナノ物質のサイズゆらぎ並びに位置ゆらぎを考慮した独自の統計数理モデルを構築。実験と統合的な結果を得た (J. Appl. Phys. 日瑞仏共著)。
- 2) 伝搬光におけるカオス現象はよく知られていたが、近接場光においてもカオスが生じることを理論的・数値的に示した (Sci. Rep. 2014)。
- 3) 量子ドット間のエネルギー移動を用いて人工知能において最重要な機能のひとつである強化学習 (意思決定問題) の解決を実験的に示した (J. Appl. Phys. 日仏共著)。
- 4) 近接場光を介した運動量の伝達機構が、信号の一方方向伝達をもたらすことを理論及びシミュレーションにより解明した。(JOSA B 日仏共著)さらに、この結果を踏まえ原理検証用のデバイス構築に着手した。
- 5) 上記 3) をさらに発展させ、単一光子の非局所性とゆらぎを活用して、強化学習課題の物理的解決に実験的に成功した (Sci. Rep. 日仏共著)。本結果は内外の多数のメディアで報道され、MIT

Technology Review 誌は「First demonstration of photonic intelligence (世界初のフォトニック知能の実現)」と報じた。

6) スウェーデンにおけるワークショップ (平成 27 年) を契機とし、日本側 (分子科学研究所) の有する独自の第一原理計算技術と瑞側の計算化学の研究協力テーマの具体化を進捗させた。

上記 1) ~ 5) においては、本プロジェクトにおける「集中滞在問題解決型共同研究」のスキームを活用し、仏・グルノーブルでの共同研究を活発化させた。(平成 27 年 12 月 16 日~19 日, 平成 27 年 12 月 7 日~16 日)

【スイス】

(日本側参加者数 7 名、スイス側参加者数 6 名、オランダ側参加者数 4 名)

EPFL と、若手学生交流、研究者の滞在を通じて共同研究を実施遂行した。

特に「プラズモニック・ナノアンテナ・バイオセンサー」に関する共同研究については、平成 27 年 11 月から、研究の進捗に応じて 2 回、A. Portela 研究員を Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL) に派遣した。同共同研究では、物質を検出するためのラベル (分子修飾) を施すことなく、エキソソームと称される小胞物質などの高感度検出を可能とする分光手法の確立を遂行し、EPFL の超微細加工技術と、東大グループの酸化物結晶薄膜成長技術、さらに東工大グループの局所物性計測手法など、参画機関の特徴ある研究を融合して、下記のような主要ジャーナルへの共著論文発表に至る、研究成果を挙げる事が出来た。

A. Portela, T. Yano, C. Santschi, H. Matsui, T. Hayashi, M. Hara, O. J. F. Martin and H. Tabata: "Spectral tunability of realistic plasmonic nanoantennas" Appl. Phys. Lett. 105, 091105 (2014) (日 (2 大学) スイス共著)

Alejandro Portela, Taka-aki Yano, Christian Santschi, Olivier J. F. Martin, Hitoshi Tabata, and Masahiko Hara: "Highly sensitive SERS analysis of the cyclic Arg-Gly-Asp peptide ligands of cells using nanogap antennas" J. Biophotonics 1-9 (2016) / DOI 10.1002/jbio.201500327 (日 (2 大学) スイス共著)

【フランス】

(日本側参加者数 11 名、フランス側参加者数 10 名)

平成 26 年度にリヨンにて開催した 2 回のワークショップに合わせ、齋木 (慶大) がエコール・セントラル・リヨンの Gendry 博士、INSA・リヨンの Chauvin 博士らと、相変化材料による量子構造物性制御に関する研究打合せを行い、合わせて現地にて量子ドットナノワイヤの試料作製を行った。

エコール・セントラル・リヨンの Vilquin 教授が平成 26 年、平成 27 年、平成 28 年に各 1 回ずつ慶大を訪れ、酸化物プラズモンに関する研究打合せを行った。また、Vilquin 研究室の学生が齋木研究室 (慶大) に大学院修士課程学生 (慶應・エコールサントラルグループとのダブルディグリープログラム) として 2 年間参画し、上記のテーマに沿った研究を実施している (平成 28 年 9 月修了予定)。

【ドイツ】

(日本側参加者数 4 名、ドイツ側参加者数 8 名)

R-4 では、当初から交流目標としていた日独共著論文作成のため、八井 (東大) および八井研大学院修士課程学生が実験をドイツで実施し (平成 26 年 12 月) 短期間での日独共著論文出版 (Appl. Phys. A 2015) に成功した。この論文の成果のみならず、幅広い議論をドイツにて行うこと (平成 26 年度 2 回、平成 27

年度1回)で、多くの成果を得ることができた。ドイツからも、平成27年8月に Jelezko 教授、MacGuinness 研究員、Naydenov 研究員が日本を訪れ、波多野(東工大)、岩崎(東工大)とともに、今後の具体的な協力体制について打合せを行った。

【オランダ】

(日本側参加者数7名、スイス側参加者数6名、オランダ側参加者数4名)

本共同研究 R-2 は、オランダ Twente 大学のナノ構造制御技術、物性評価技術と東京大学が有する遷移金属薄膜作製技術を組み合わせることにより、ナノ電子フォトンに立脚した革新的な散逸ゆらぎエレクトロニクス・フォトンニクスを創製を目指す。その基盤となる酸化物ゆらぎ材料の開発に向けた薄膜作製実験に着手し、これまでに、スピンゆらぎ材料を用いて脳機能を模倣する素子の開発に成功している。また、Twente 大学からの助言を元に、同大学が有する熱電測定評価技術を発展させた新しいスピン流特性評価システムを立ち上げ、ゆらぎ磁性体を用いた革新的なスピン波デバイス創製に向けた実験を開始している。平成26年6月には、オランダ Twente 大学にて国際ワークショップ (Japan-Netherlands Workshop) を開催し、酸化物エレクトロニクスに関する活発な議論を通じて交流を深めるとともに、今後の課題や研究の方向性を明らかにすることができた。また、平成26年11月には Twente 大学の Koster 博士、平成27年8月には同大学の Blank 教授 (オランダ側コーディネーター) が東京大学を訪れ、ゆらぎエレクトロニクスに関する議論と今後の研究方針についての打合せが行われた。

○セミナー

	平成26年度	平成27年度
国内開催	1回	0回
海外開催	2回	2回
合計	3回	2回

【概要】

【日本】

「散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン国際ワークショップ」(平成26年度 S-3)

(申請書に記載の【プログラム4】全コア合同シンポジウム)

平成26年11月17日～18日 日本、東京大学山上会館にて開催。

(日本側参加者数43名、日本側一般参加者22名、スウェーデン側参加者数1名、オランダ側参加者数1名、スイス側参加者数1名、フランス側参加者数1名、ドイツ側参加者数1名)

本研究の初年度に全てのコア、全ての参加国の研究者が集い集中的な発表と議論を行うことで、本研究全体のコンセプトを共有した一体感のある研究目標の確認が取れた。また、多国間連携について個別の打合せを実施することができた。また若手研究者がポスター講演を積極的に行うことで、大学院生に対して、良い刺激となり、その後の研究の発展に繋がった。

【スウェーデン】

「散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン相互作用に関する2015スウェーデン-日本ワークショップ」(平成27年度 S-2)

平成27年11月26日～27日 スウェーデン、スウェーデン王立工科大学(KTH)にて開催。

(日本側参加者数 8 名、スウェーデン側参加者数 8 名)

スウェーデン王立工科大学 (KTH) が強みを有する計算科学分野との連携を見据えながら、ナノ電子フォトンの実験系や日本側独自の計算技術との協力関係構築並びに散逸ゆらぎ制御のコンセプトの共有を含めた相乗発展を指向したワークショップを開催した。スウェーデン側からは計算科学分野を中心とした先端状況が示され、日本側からは酸化物半導体、金属ナノ構造、半導体量子ドット、ペプチドなど多様な材料系での機能等が示された。その上で、計算科学を軸とした具体的な研究協力の抽出に向けた意見交換を行った。プロジェクト全体の状況共有、テーマ抽出、並びに具体的課題の推進に着手することができ非常に有意義であった。

【スイス】

「散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン相互作用に関する日本-スイス国際ワークショップ」(平成 27 年度 S-1)

平成 27 年 9 月 7 日～9 日 スイス、EPFL 及びレス・ディアブレレ会議場にて開催。

(日本側参加者数 9 名、スウェーデン側参加者数 1 名、スイス側参加者数 2 名、フランス側参加者数 1 名、ドイツ側参加者数 1 名)

nano photonics, plasmonics, near-field optics, nano structured materials, surface and interface, new research fields in nanotechnology and nanoscience 等を課題とした研究報告を行い、今後の連携研究推進を議論した。Core-to-Core 参加機関から日本 10 名+欧州 10 名程度が、近い研究分野毎にセッション (シングルセッション) を作り、ディスカッションを行った。

本ワークショップでは全ての海外拠点研究機関 (スイス連邦工科大学ローザンヌ校、オランダ・トゥエンテ大学、スウェーデン王立工科大学、ドイツ・ウルム大学、フランス・エコールセントラルリヨン) から研究者が参加し、議論を行った。上記の課題を基本としてナノフォトニクスに関する共同研究内容に関して議論が交わされ、海外研究拠点機関と日本側研究機関との共同研究が加速された。特にナノ光デバイスの作製と評価に関して活発な議論が行われた。次回のワークショップ開催についてスイス側と協議し、平成 28 年の 9 月に日本で開催することを予定した。

【フランス】

「日 - 仏ワークショップ」(平成 26 年度 S-2)

平成 26 年 10 月 27 日～28 日 フランス、エコール・セントラル・リヨンにて開催。

(日本側参加者数 8 名、フランス側参加者数 8 名)

ナノ電子フォトン計測・物性制御に関して、フランス側拠点機関であるエコール・セントラル・リヨンにてワークショップを実施した。一層の交流関係の強化を目的として若手研究者も多数参加した。量子ドット発光制御などの共同研究の進捗報告と同時に、新しい共同研究提案を双方が行い、その一つとして酸化物プラズモン制御に関する連携の可能性を見出した。

【オランダ】

「日 - 蘭ワークショップ」(平成 26 年度 S-1)

平成 26 年 6 月 3 日～4 日 オランダ、Twente 大学にて開催。

(日本側参加者数 7 名、オランダ側参加者数 4 名、スイス側参加者数 6 名)

平成 26 年度に Twente 大学 (オランダ) にて酸化物に関連した国際ワークショップを二日間にわたり

開催した。また、平成 26 年度に日本で開催された散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン国際ワークショップの期間中に、招待講演者の G. Koster 博士 (Twente 大学) を東京大学田畑研究室に招き、酸化物関連のセミナーを開催した。さらに、平成 27 年度には、フランスのベルサイユ大学にて研究交流・課題抽出ワークショップを開催し、鉄系酸化物薄膜の機能制御と応用展開について議論を行った。

○研究者交流

■平成 26 年 7 月 16 日～29 日：フランス中央理工学校リヨン校の Aleksandra Apostoluk 准教授

平成 25 年度の日本学術振興会日仏先端科学シンポジウム (JFFoS) に参加した成瀬誠情報通信研究機構主任研究員とフランス中央理工学校リヨン校の Aleksandra Apostoluk 准教授が、JFFoS のフォローアッププログラムを用い、Apostoluk 准教授が東京に滞在し、情報通信研究機構、東京大学、慶應義塾大学との研究協力を進捗させた。

中期滞在として平成 26～27 年度 に博士研究員を、EPFL に派遣し、上記共同研究を推進した。

また、ワークショップでは、日本から本事業参加研究者 10 名がスイスを訪問し、研究交流を促進した。

(2)(1) の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、「学術的側面」、「若手研究者の育成」、及び「研究教育拠点の構築」の観点から記入してください。

○学術的側面

本交流事業は、ナノ領域における電子系と光の相互作用の本質を追究し、その固有の性質を環境調和という価値創造に繋げるべく「散逸ゆらぎ」に着目した研究拠点の確立を目指す意義を持つ。

コア 1 においては、ナノ領域における光電子系の原理に基づいた信号処理・信号変換におけるエネルギー散逸特性について議論が進んだ。コア 2 では、散逸ゆらぎデバイス ナノスケール超構造制御した酸化物デバイスに向けた、ヘテロナノ構造加工技術およびスピン・双極子ガラス物性誘起技術を確立した。コア 3 ではナノ電子フォトン評価 の視点から高度に制御されたナノ量子電子系におけるゆらぎを契機として発現する協同現象、ならびにエネルギー散逸現象をナノスケールで評価をすすめた。コア 4 では ナノ電子フォトン加工 ダイヤモンドはパワー系電子デバイス等の次世代エレクトロニクスに向け、近接場光を利用したダイヤモンドの省エネ・省資源加工を実証できた。

国際的な学術雑誌等や会議等を通して研究成果を発信した。2 年間での発表論文あるいは著書数 57 件、国際会議における発表論文数 28 件、国内学会・シンポジウム等における発表数 31 件である。さらにこれらの研究成果は下記に示すメディア等に掲載され、成果を世の中に発信することが出来た。

【一般記事】

1. 日経プレスリリース (2015. 8. 19)
2. オプトロニクス ONLINE “NICT ら、単一光子による意思決定システムの実証に成功” (2015. 8. 19)
<http://optronics-media.com/news/20150819/34522/>
3. Asia Research News, “Decision Making by Single Photons” (2015. 8. 19)
http://www.researchsea.com/html/article.php/aid/9019/cid/1/research/science/national_institute_for_materials_science/decision_making_by_single_photons.html
4. Laser Focus World Japan, 単一光子を用いた意思決定の実証に成功 (2015. 8. 20)
<http://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-science-research/8952/>
5. 日刊工業新聞 (2015. 8. 24, 24 面), 単一光子用い知的システム 意思決定を高効率化 情通機構など

6. 日刊工業新聞 Business Line, 情通機構など、新・知的フォトニックシステム開発―単一光子用い意思決定を高効率化 (2015. 8. 24)
7. 電波タイムズ (2015. 8. 24, 1 面) 単一光子を用いた意思決定の実証に成功 光の粒子性と確立性により、早く正確な判断を実現 NICT など
8. Phys. Org. “ Researchers show that an iron bar is capable of decision-making”
<http://phys.org/news/2015-08-iron-bar-capable-decision-making.html>
9. Opli “Decision Making by Single Photons ” (2015. 8. 19)
http://www.opli.net/opli_magazine/eo/2015/decision-making-by-single-photons-aug-news/
10. MIT Technology Review “First Demonstration of Photonic Intelligence”(2015. 9. 10)
<http://www.technologyreview.com/view/541196/first-demonstration-of-photonic-intelligence/>
11. 6Spot.net “The first demonstration of intelligence Photonics” (2015. 9. 10)
<http://6spot.net/science/the-first-demonstration-of-intelligence-photonics/>
12. つくばサイエンスニュース No. 2015-33 “単一光子を用いた効率的な意思決定の実証に成功”
13. nanotechweb.org “Single photons could make complex decisions” (2015. 9. 16)
<http://nanotechweb.org/cws/article/tech/62560>
14. Phys.org “Single photon decision-maker solves multi-armed bandit problem” (2015. 9. 17)
<http://phys.org/news/2015-09-photon-decision-maker-multi-armed-bandit-problem.html>
15. Aventurine “Decision by Photons?” (2016. 3. 15)
<http://www.aventurine.com/decision-by-photons/>
16. MOTHERBOARD “Researchers Trade Algorithms for Photons in Complex Decision-Making Tasks” (2015. 9. 24)
<http://motherboard.vice.com/read/researchers-trade-algorithms-for-photons-in-complex-decision-making-tasks>
17. O plus E, 単一光子を用いた意思決定の実証に成功 (2015. 9. 25)
<http://www.adcom-media.co.jp/news/2015/09/25/21629/>
18. Phys.Org, Amoeba-inspired computing system outperforms conventional optimization methods (2015. 6. 1)
http://phys.org/news/2015-06-amoeba-inspired-outperforms-conventional-optimization-methods.html?fb_action_ids=876348709110446&fb_action_types=og.shares
19. 日経産業新聞、10 面、「紫外線当て 3D 表示」 (2015. 4. 24)

【報道発表】

1. 単一光子を用いた意思決定の実証に成功 (2015. 8. 19)
<http://www.nict.go.jp/press/2015/08/19-1.html> (情報通信研究機構、物質・材料研究機構、フランス CNRS ニール研究所・ジョセフラーエ大学合同プレスリリース)

○若手研究者の育成

若手研究者養成の具体的方策として計画していた 4 つのプログラムや更なる取組の進捗状況は以下の通りである。

【プログラム 1】 研究交流・課題抽出ワークショップ

3. これまでの研究交流活動の進捗状況、(1) これまでの研究交流活動欄の「○共同研究」に記載の通り、各国での研究交流・課題抽出ワークショップに多くの大学院生を同行させることで、自主的な課題抽出、研究課題抽出を行うことに成功した。このように当初計画していたとおり、具体的な研究テーマの策定を見据えた、課題を設定できた。さらにワークショップの全体の設計・調整・ロジスティクスに対しても若手研究者が積極的に参画し、相互理解の促進と国際舞台での信頼関係の熟成を得る事ができた。

【プログラム2】集中滞在問題解決型共同研究

前述したように、中期滞在として平成 26～27 年度 に博士研究員を、EPFL に派遣し、上記共同研究を推進した。同研究員は、両国の国際共同研究の橋渡し役として活躍し、日スイス共著論文 2 報などの研究成果が挙げられている。また上記ワークショップでは、日本側およびスイス側から修士および博士課程の学生に口頭発表の機会を与え、学生間のフリーディスカッションの場も設けることによって、大学院生の国際性を涵養した。日本からの学生は、所属大学からの支援により、短期にスイスに滞在し、現地大学にて議論を行い、そのような経験から、スイスの大学院博士課程に進学する学生が生まれた。このように、申請書に記載した本申請テーマの最先端状況に対応しながら、相互の融合協調が強く意識され、研究の構想力と実行力を備えた優れた若手研究者が着実に育成されている。

【プログラム3】コア間連携シンポジウム

平成 27 年度にスイスにて開催したワークショップでは、開催国（スイス）単一のコアに留まらず、各コア（5 か国全て）から講演者が参加した国際ワークショップを開催した。Face-to-face で当該事業の研究テーマに関する進め方、共同研究計画等を議論することが出来た。日本の機能性薄膜形成技術＋スイスのナノ素子加工技術＋ドイツの光物性計測技術＋オランダのデバイス作製技術といった、分野融合・境界領域開拓にも繋がる協力関係が構築され、多国間連携という本事業の強みを最大限に発揮できる素地が形成された。

【プログラム4】全コア合同シンポジウム

初年度に全てのコアから研究者が集いワークショップ「散逸ゆらぎ制御ナノ電子フォトン国際ワークショップ」を開催したが、若手研究者が各国のシニアメンバーと多く議論の機会を得るために、大学院生にポスター講演を課すことで、積極的な議論の場を提供した。これによって学術内容に関する理解の促進が得られるとともに、各国の著名な研究者と対等に議論することで、大変良いモチベーションを与えることに成功した。

【プログラム5】若手育成プログラム

1～4の予定していたプログラムに加えて、若手研究者のよりの一層発展を期待して、国内での若手研究者交流の機会を提供し下記の成果を得た。

「Core-to-Core 若手研究者育成プログラムセミナー」と銘打って、当該研究分野（散逸ゆらぎに関する電子、フォトン研究）の若手研究者育成を目的として、大学院生および博士取得後数年の若手の研究者による特別セミナーをこれまでに 12 回開催した(延べ約 300 名参加)。参加した若手研究者・学生には大変良い研究モチベーションを与えた。その成果の 1 つとしてセミナーで講演した慶應大山崎洋人氏が博士取得後、学振 PD を取得し、現在共同研究のため Northeastern 大学に留学するに至った。

また学生の自主的な学会運営能力の育成のため、IEEE ブランチとして学生講演会を学生のみで開催し

(平成 27 年)、成功裏に終わった。

○研究教育拠点の構築

教育的見地からは、「散逸ゆらぎ、電子・フォトン科学」の新しい分野に関する勉強会発足させた。

本研究会は本プログラムの主要メンバーの出席のもとに平成 27 年 7 月、10 月、平成 28 年 1 月の三回開催した。本プログラムの目的である散逸ゆらぎ制御、特にナノ領域での現象を巨視的な空間で観測・活用するには量子場のミクロ・マクロ双対性の研究が有効である。ただし本プログラムのメンバーにはその専門家がいなかったため、外部から協力者として小嶋泉氏（元京都大学）、さらにはこの研究の数学的手法である圏論の専門家である西郷甲矢人氏（長浜バイオ大学）を招き、情報交換した。

同時に具体的な事例として単細胞生物「粘菌」の示す時空間ダイナミクスを用いた解探索に関し、実際の粘菌を用いた実験並びにその特徴を抽出した力学モデルに基づいた理論モデルを考察し、圏論的理解について意見交換を行った。この他、関連する話題について情報交換した。

以上のように異分野の研究者と交流、意見交換することは、本プログラムのメンバーにとって大きな知的刺激となり、研究の進展に貢献した。平成 28 年度も継続し更に発展させることになった。

4. 事業の実施体制

本事業を実施する上での、「日本側拠点機関の実施体制」、「相手国拠点機関との協力体制」、及び「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

○日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）

- ・東京大学の「ナノフォトニクスセンター」を「ナノ電子フォトン国際センター」へ改組し(平成 26 年 10 月)、本事業の核となる国際研究拠点としての受け皿（組織）を整備した。
- ・既存設備（微細構造解析プラットフォーム）の整備し、積極的に活用した。
- ・国内の協力体制、共同研究構築：
 - 主なものとして大津研・八井研—信定研、原研—田畑研、八井研—波多野研、大津研—成瀬 G
- ・若手育成セミナー
- ・IEEE ブランチ、学生主体ポスター発表会開催
- ・情報共有システム（Drop Box 他）の整備



■東京大学ナノフォトニクス研究センターを中心に事業推進

これまでの内外のアウトリーチ活動を牽引（前出の二国間交流、国内40回以上のセミナー）

■全学レベルでの事業支援

東大：
総長室顧問前・瑞大使 Stefan Noreen氏

による世界レベルのアウトリーチ
慶大：全塾レベルのバックアップ

■工学系研究科・情報理工学系研究科等事務部（国際推進課等）を中心とした事務管理・安全管理

○相手国拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

【スウェーデン】

R-1 に関連し、スウェーデンとは平成 27 年にストックホルムにて開催されたワークショップにおいて、研究協力に向けた具体的なトピックのリストを双方でとりまとめ、これを相互に交換した。その結果、特に日本側（分子科学研究所）が有する独自の光電子系のシミュレーション技術及び大規模計算技術を軸とした連携に関し双方のモチベーションが高く、このトピックを基軸に協力を進めている。ただし、実験技術を含め多様な可能性は維持されており、スウェーデン側は Lars Thylen 教授、日本側は成瀬誠情報通信研究機構主任研究員が担当している。計算科学に関してスウェーデン側は Theoretical Chemistry & Biology Department 長の Hans Agren 教授、日本側は信定克幸分子科学研究所准教授が担当している。

また、共同研究 R-1 ではフランス・グルノーブルとの研究協力を活発化させ、多数の共著原著論文を出版した。具体的な体制は、仏側は Insitut Neel の Physique Lumiere Matiere 部門長かつ福研究所長

の Serge Huant 博士を中心とした研究グループであり、日本側は情報通信研究機構成瀬誠主任研究員を中心として、物質・材料研究機構金成主 NIMS 特別研究員、山梨大学堀裕和教授らが参画している。また、仏側はトゥールーズ GEMES の Erik Dujardin 博士らとも協働しており日本側との連携に関する議論に着手している。

(平成 27 年 6 月 26 日にトゥールーズに日本側メンバーが訪問し講演・議論を行った。)

【スイス、オランダ】

R-2 に関して EPFL のクリーンルーム施設などを活用した超微細加工技術、トゥエンテ大学のナノデバイス加工形成技術、東大グループの酸化物結晶薄膜成長技術、東工大グループの原子間力顕微鏡とラマン分光を融合した局所物性計測手法など、参画機関で試料作成、物質解析、物性解析を分担し、それぞれの最先端の知見を融合することにより、世界に先駆ける研究成果を挙げることが出来た。また、EPFL の研究拠点を中心に、スイス～欧州の関係研究者とのネットワークが広がり、特に若手研究者の今後の研究展開に対して大きく貢献した。

【フランス】

R-3 はフランス・リヨンとの連携が軸となっており、平成 26 年度にテーマとして具体化した量子構造物性制御と酸化物プラズモン制御を中心に据えて共同研究を推進している。それぞれのテーマを INSA・リヨンの N. Chauvin 博士、ECL・リヨンの B. Vilquin 博士が担当し、日本側は慶大・斎木がとりまとめている。リヨンは量子構造作製技術や酸化物作製技術に長けており、先方から基盤材料の提供を受け、日本側で光学測定、ならびに物性制御の実験を実施している。量子ドット発光制御の成果は R-1 に波及効果を与え、スウェーデンとの新たな協力関係が構築されつつある。またプラズモン制御の成果は R-2 に活用でき、慶大が作製したプラズモン試料をスイス・EPFL に提供し、測定を行う新たな共同研究に発展している。

【ドイツ】

R-4 では、本プロジェクト開始前からウルム大 Jelezko 教授と東京大学・八井の間で綿密な協力関係を持っていたが、本プロジェクト開始後に、相互の研究室を訪問することで、より具体的なテーマ設定を行った。加えて、東工大・波多野研の波多野教授と岩崎助教もプロジェクト開始後に R-4 に参画し、ウルム大での長期的な滞在研究を行うことで、より強い協力体制を構築し、その結果 4 件の原著論文を出版した。

○日本側拠点機関の事務支援体制 (拠点機関全体としての事務運営・支援体制等)

事務局として拠点責任者の田畑仁(東京大学教授)をはじめ、大津元一(東京大学名誉教授)、八井崇(東京大学准教授)、関宗俊(東京大学助教授)、成瀬誠(国立研究開発法人情報通信研究機構主任研究員)により運営委員会を構成し、プログラム運営や、メンバーからの研究申請に関する審査等を実施して円滑な運営を心掛けた。

事務的支援体制として、事務補佐員をコアメンバーの大学運営費交付金より支出して雇用し、当該プログラムに関連する事務処理を担当。JSPS との窓口には国際推進課国際交流チームが担当している。

さらに、大きな組織改編として、本 JSPS の Core-to-Core 拠点形成プログラムを全面的にサポートする可能にするため、ナノフォトニクス研究センターを発展的に改組し、本プログラム推進の為の母体組織となるナノ電子フォトン国際センターを新しく設立した(平成 26 年 10 月)。