

平成 30 年度研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型)
最終年度 実施報告書

(本報告書は、前年度までの実施報告書とともに事後評価資料として使用します。)

1. 拠点機関

日 本 側 拠 点 機 関 :	東京大学
(スウェーデン) 拠 点 機 関 :	スウェーデン王立工科大学
(スイス) 拠 点 機 関 :	スイス連邦工科大学ローザンヌ校
(オランダ) 拠 点 機 関 :	トゥエンテ大学
(フランス) 拠 点 機 関 :	国立中央理工科学学校リヨン校
(ドイツ) 拠 点 機 関 :	ウルム大学

2. 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)

(英文) : Nanoscale electron-photon interactions via energy dissipation and fluctuation

(交流分野 : Nano electron & photon)

研究交流課題に係るウェブサイト :

http://www.bioxide.t.u-tokyo.ac.jp/core_index.html

3. 採択期間

平成 26 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

(5 年度目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関 : 東京大学

実施組織代表者 (所属部局・職・氏名) : 総長・五神 真

コーディネーター (所属部局・職・氏名) : 大学院工学系研究科・教授・田畑 仁

協力機関 : 慶應義塾大学、東京工業大学、国立研究開発法人情報通信研究機構、

大学共同利用機関法人自然科学研究機構 分子科学研究所

事務組織 : 東京大学工学系・情報理工学系等事務部国際推進課

相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 国名：スウェーデン

拠点機関：(英文) Royal Institute of Technology (KTH)

(和文) スウェーデン王立工科大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) School of Information and Communication Technology・Professor・THYLEN Lars Helge

協力機関：(英文) Lund University

(和文) ルンド大学

協力機関：(英文) Acreo

(和文) アクレオ

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(2) 国名：スイス

拠点機関：(英文) Swiss Federal Institute of Technology Lausanne

(和文) スイス連邦工科大学ローザンヌ校

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) School of Engineering・Professor・MARTIN Olivier

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(3) 国名：オランダ

拠点機関：(英文) University of Twente

(和文) トゥエンテ大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) MESA+, Institute for Nanotechnology・Professor・BLANK Dave

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(4) 国名：フランス

拠点機関：(英文) Ecole Centrale de Lyon

(和文) 国立中央理工科学学校リヨン校

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Institute of Nanotechnologies・Professor・VILQUIN Bertrand

協力機関：(英文) Universite de Technologie de Troyes

(和文) トロワ工科大学

協力機関：(英文) Neel Institute

(和文) ニール研究所

協力機関：(英文) National Institutes of Applied Sciences

(和文) 国立応用科学研究所

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(5) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) Ulm University

(和文) ウルム大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名): (英文) Institute for Quantum Optics・Professor・JELEZKO Fed

経費負担区分 (A 型): パターン 1

5. 研究交流目標

5-1 全期間を通じた研究交流目標

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、質的变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。

5-2 平成30年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

研究の最終年度にあたる平成30年度は、日本側の拠点コーディネーター及び代表的研究者と相手国

側コーディネーター及び代表的研究者を中心として、これまでの研究協力の内容を結晶化させることを指向した取り組みを強化するとともに、来年度以降の発展性を見据え、更なる共同研究の発展を目指す。具体的には、初年度より強力に推進し成果を挙げてきた「集中滞在問題解決型共同研究」プログラムを引き続き実施するなかで、研究成果のとりまとめを図ると同時に、今後の更なる研究の発展の具体化検討を行う。また、相手国側主要研究者及び本拠点メンバーが一同に会した全体シンポジウムを東京にて実施し、本拠点の研究全体としての成果の統合及び学術領域形成の議論、さらには、組織的連携の総括と今後の発展性及び若手研究者育成の総括と今後の発展性など、研究全体の総括と発展を見据えた議論に取り組む。

各コア内での共同研究に加えて、平成28年度よりR-3に参画したInstitut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M) のO. Sopperaと東京大学八井准教授(R-4 日本側代表者)のように、コアの枠組みを超えた共同研究をすることで、新しい成果が得られている。このように海外研究拠点間の連携を推進し、プロジェクト全体の新たな分野への展開を進める。

<学術的観点>

ナノ領域での電子と光子の相互作用を散逸ゆらぎ制御というコンセプトに基づいてアプローチする本研究では、学術的観点から、①情報処理、②デバイス、③分析、④加工という4つの視点（これを本研究では「コア」と呼ぶ）を軸としながら展開する。各コアにおいてこれまで培ってきた基礎的な理論や実験の成果を基に、最終年度である今年度は、これまでの成果の取りまとめを行うとともに、持続可能な研究の発展性を検討する。このような研究及び議論を充実するために、上述した東京での全コア合同のシンポジウムを有効活用し、議論を深め、さらに、海外拠点でのワークショップ開催や研究滞在を活用する。

R1 コアからR4 コア全体の連携面では、「機能の構築」が一つの重要な横串となるべく、散逸ゆらぎにかんするデバイス設計指針を提案する。この指針を受け、例えば、R1（「情報処理」）とR3（「分析」）が連携して取り組んで来た信号処理、意思決定機能の課題を、R2 のデバイス技術（ナノサイズの素子加工と、デバイス作製）と連合させ、ゆらぎ情報処理等の研究に展開することが期待される。また、R2（「デバイス」）が中心となって進めてきた金属および酸化物半導体材料のナノ構造体において発現する電子と光の融合に関する知見を、バイオメディカルセンシング機能、R4（「NV センター高感度磁気検出素子」）との融合として発展させる。

<若手研究者育成>

本研究における若手研究者育成は4つのプログラム、すなわち、プログラム1：課題抽出ワークショップ、プログラム2：集中滞在問題解決型共同研究、プログラム3：コア間連携シンポジウム、プログラム4：全コア合同シンポジウム、を実施する。この企画推進及び実行に若手研究者が参画し、研究構想から研究の実施まで相手国とのコミュニケーション能力と具体的研究能力を育成する。

修士課程および博士課程の学生による自主的な共同研究推進能力ならびに学会運営活動能力育成のため、プロジェクト2年度目より、修士課程2年生が主体となった日本の拠点4大学合同の学生講演会を実施している。昨年度は東京工業大学が幹事となって講演会を実施した（2年度：東京大学、3年度：慶応義塾大学がそれぞれ幹事担当）。運営には教員は一切手助けをせず、適宜博士課程学生がサポートする形態をとることで学生の自立性を促した。学生相互でポスター発表の採点を行い、優れた発表に対

して表彰を行った。発表会後は懇親会も実施し、学生間の密な交流が見られ成功裡に終えた。

運営は持ち回り制としており、今年度は東京大学が担当する。

上記の国内での活動に加えて海外拠点の学生との交流推進も併せて行う。この活動を行うために電気・電子工学の国際学会組織である Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) に加入し、初年度は各大学の Student Branch に加盟した。この従来の個別の Student Branch の活動から脱却し、国際的な大学連合である Core-to-Core Nanoscale electron-photon interactions group を形成して、当研究拠点間での一層の国際交流推進を行う計画である。昨年度から東京大学の八井准教授が IEEE Tokyo Branch の理事となり、一層の交流推進を図る。今年度は、さらなる活動の発展を目指して、OSA、SPIE の Student Branch との連携をはかり、さらなる交流促進を目指す。

上記の取り組みをさらに加速させるために、既に締結済みであるフランスコアの École Centrale de Lyon (ECL) と慶應義塾大学のダブルディグリー制度に加えて、大学間協定を結ぶことで、さらなる長期滞在、長期受入を促進する。本プログラムの実施に先駆け、東京大学工学系研究科は、ECL との部局間学術交流協定を締結しており、本プロジェクトと関連して既に 3 名（半年又は 1 年間）の学生を受け入れた。これに加えて昨年度東京大学工学系では、フランスの Université de technologie de Troyes (UTT)、ドイツコアの Ulm University との部局間学術交流協定を締結した。これらの協定は教員が一定期間滞在して共同研究をする等の制度として整備しているが、これをきっかけに多くの学生が日本に長期滞在することで、これを受け入れる学生や若手研究者のコミュニケーション能力と具体的研究能力の向上が期待される。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

本研究では「Core-to-Core 若手育成プログラムセミナー」を東京にて開催し、本プロジェクトに参加するシニア及び若手研究者の講演及び関連する研究領域の第一線で活躍する研究者による講演を実施する。これにより、本研究に参画する研究者の相互理解・相互連携を強化するとともに、日本国内での研究成果発信及び社会貢献の一助とすべく、本セミナーはオープン開催とする。

加えて、平成 27 度末より本研究の成果発信並びに昨今進歩の著しい「知能」を中心とした分野への本研究の発展を指向した「自然知能セミナー」を開始した。今年度も活動を行う予定である。これまでにシンポジウム 1 回、セミナー 21 回開催したほか、電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会との合同研究会 2 回を開催した。また米国・ハーバード大学、マサチューセッツ工科大学、カナダ・オタワ大学においてワークショップを行った。うち 2 回のセミナーではフェースブックライブを用いたリアルタイム配信を行っている。

これらの内容は、R-1～R-4 の研究成果を、知能を中心とした機能の視点を基礎として横串を通すための一つの試みであり、本拠点がなし得る新価値創造と社会貢献に結びつける試みでもある。平成 30 年度においても引き続き取り組みを行い、本研究を核とした新たな研究概念の創出と世界への発信を目指す。関連の WEB サイトとして

<https://sites.google.com/site/naturalintelligencejp/> を構築している。ソーシャルネットワーク（フェースブック）は <https://www.facebook.com/naturalintelligencejp/> であり、配信した動画はアーカイブ化され現在も視聴できる。

5-3 研究交流成果に対する達成度とその理由

- ☒ 研究交流目標は十分に達成された
- ☐ 研究交流目標は概ね達成された
- ☐ 研究交流目標はある程度達成された
- ☐ 研究交流目標はほとんど達成されなかった

【理由】

《拠点組織の構築》

Core-to-Core プログラムの全期間を通じた研究交流目的である「国際共同研究の総合展開と世界的研究拠点の確立」を具現化させるものとして、2014 年 10 月に代表者の所属大学部局内に「ナノ電子フォトン国際センター」を設立した。先端的で未開拓の領域への挑戦、さらには教育・人材育成などの大学の本義に十分配慮して、該当分野の一層の充実と発展を目指して高度な学術的探求をより組織的に実施できる体制を整え、産学連携やアウトリーチ活動、特に国際的な展開についてさらに活発化することが目的である。当センターは工学系研究科、総合研究機構などの関係部局との密接な連携により、より意義深い形で研究を展開することを目的としている。

(ナノ電子フォトン国際センターURL : <http://incept.t.u-tokyo.ac.jp/>)

《共同研究成果》

開始年度及び終了年度に日本において相手国主要研究者も参加する形での全体ワークショップにより本拠点のコンセプトや方向性を共有・明確化し、期間中においてワークショップや研究打ち合わせを発展的・着実に推進したことで、本拠点の研究概念を強い形で世界に打ち出すことができたのはもちろんのこと、集中滞在問題解決型共同研究など若手研究者を巻き込んだ展開が功を奏し、具体的な共同研究が進捗し、当初想定以上の多数の原著論文（118 報）を発信できたことが最大の成果である。

また、エコール・セントラル・リオンとの連携研究を契機に、東京大学工学系研究科との交流協定が締結されたとことは具体的な研究交流成果として特筆すべき事である。学生の交流のみならず、サバティカル等による研究者の滞在による研究交流も実施されており、現在も引き続き共同研究が遂行されている。

・Huant Serge (Neel Institute, France)

①2018 年 9 月 30 日～2018 年 10 月 13 日(14 日間)、②2019 年 2 月 3 日～2019 年 2 月 16 日(14 日間)

研究テーマ：ナノ電子フォトン系と機能システムに関する研究

・Georg Northoff (オタワ大学, Canada) ①2018 年 10 月 9 日～10 月 19 日 (10 日間)

②2018 年 12 月 1 日～12 月 11 日 (10 日間)、③2019 年 2 月 20 日～24 日 (4 日間)

研究テーマ：脳における諸現象の数理基盤に関する研究

・Popov Sergei(スウェーデン王立工科大学) 2019 年 2 月 5 日～2019 年 6 月 15 日 (131 日間)

また、フランスの協力機関の共同研究者 Nicolas Chauvet 氏が東京大学工学系研究科情報理工学系研究科システム情報学専攻特任研究員として着任。Chauvet 氏は 2018 年の Japan Symposium の際も来日、Core-to-Core 日本側メンバーとの交流が深く今回の東京大学への着任は Core-to-Core プロジェクトを通じた研究交流の成果と言える。

上記に記載した研究者との共同研究の成果については今後論文化していく予定である。

これらの共同研究は研究交流目標の一つ、共同研究の具体的な実践と補完的国際研究協力体制を構築し相乗効果を産み出した結果を示すものである。

《若手研究者育成》

研究交流目標の一つである若手研究者の育成については、多数の共著論文の発表に加え、下記の国際会議などでの受賞によってその成果を示すことができる。

【学生による受賞】・2019年2月19日、国際会議 IFQS2019 における Poster Award、

筆頭受賞者 K. Saichi（東大・八井研 修士課程）、ドイツ・ウルム大との共同研究、他3件

【若手研究者による受賞】2018年4月17日平成30年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞
受賞者 清水 智子（慶應大 准教授）、他1件

更に追記すると、プロジェクト発足当初（2014年度）は44名だったメンバーが2016年には64名、2017年には80名、2018年には84名に拡充した。参画メンバーのうち15名が所属機関及び転籍先で昇任している。

上記の成果は研究交流目的の一つ、先端学術を牽引する若手研究者育成の成果を示すものであり、研究交流目標は十分に達成されたと考えられる。

6. 研究交流成果

6-1 平成30年度の研究交流成果

＜研究協力体制の構築＞

スイス EPFL の MARTIN Olivier 教授との共同研究を通じて、散逸ゆらぎの活用において今後のさらなる展開と本プログラム終了後の競争的資金への申請に向けて、低次元材料とその表面界面における有機生体分子などとの相互作用と化学反応のナノスケールからゆらぎ物性に至る議論が必要との話に至った。そこで、グラフェンなど低次元材料の研究で世界トップレベルの議論を推進するグラフェン研究所と新しいバイオテクノロジーを展開する研究所を有する英国マンチェスター大学と、生体分子と半導体表面における電子の授受やゆらぎの計測について独自の技術を有するドイツ・ユーリッヒ研究所との連携を新たに構築することによって、新しい分野を開拓する体制を整備した。

フランスコアとの連携においては、本事業最終年度であることを踏まえ、本事業終了後に継続展開可能な新たな方向性の展開を行った。具体的には欧州最大の計量標準機関であるドイツ・ベルリンの Physikalisch-Technische Bundesanstalt（PTB・物理工学研究所）における議論を2回に渡り実施し、加速器におけるシンクロトロン放射光のゆらぎの分析及びその利用に関する研究協力に着手した。本研究は本拠点参加者のナノ光科学におけるゆらぎに関する国際会議招待講演を聴講した PTB 研究者からの誘いに端を発している。また、フランス・パリのランジュバン研究所との流体における知的機能の発現に関する議論、及び国立高等装飾美術学校との自然知能とアートの融合に関する議論に着手した。

ウルム大（R-4）と東大・八井は、本プロジェクト開始前から緊密な協力関係を築いていたが、本プロジェクトを通じて、東工大・波多野教授、産総研・山崎グループなどとの交流の発展につながり、若手の研究者の交流が活性化された。その際、本プロジェクトメンバー以外のハーバード大 Yacoby 教授、ド

イツ・フラウンホーファー・Jeske 博士とも協力体制を構築し、当初の想定を超えた交流が展開されている。

また、東大・工学系研究科と、ウルム大による部局間協定や、Quantum-Core Alliance と称して、東大・工学系研究科とマックスプランク研究所（ウルム大、シュツットガルト大も含む）、University of British Columbia (Canada)の研究交流協定を結び、より一層若手が交流可能な体制を築いた。

IS2M の 0. Soppera 博士と東大・八井は、二国間共同研究も並行して実施し、若手の交流も活発に行った。来年度以降も引き続き、共同研究を継続することで合意し、学術論文の出版を予定している。

平成 30 年度はこれまでの研究協力の内容を結晶化し、プログラム終了後も共同研究を遂行する体制の構築ができたといえる。

<学術的観点>

スイス EPFL との共同研究においては、単一分子レベルに至る分子のゆらぎの計測を実現する測定系を確立したが、さらに個々の分子からマクロ分子に至るスケールの情報伝達系の測定系に展開する指針を明らかにした。これらの研究は、生体分子系における、様々な機能の計測技術として応用展開される可能性を有している。

東大・八井は、これまでウルム大 Jelezko 教授 (R-4) と近接場光エッチングによるダイヤモンド NV の特性向上に努めてきたが、その医学的応用展開として乳がんの転移癌検出磁気センサーの開発を行っている。このセンサーの開発の詳細を詰めるため Japan Workshop 中と、ウルム大への滞在中に詳細な打ち合わせを行い、その実用化の足掛かりとなる結果を得ることができた。当初東大で検討していた手法以外にも、多くの可能性について、Jelezko 教授より指摘を受け、効率的な研究開発につながった。東大・八井は、IS2M (R-2) の Soppera 博士と共同で、自己組織化手法を使ったナノダイヤモンドの配列制御に成功した。ナノダイヤモンドの間隔を揃えて配列することで、R-4 で実施しているダイヤモンド磁気センサーの感度向上に繋がるため、今後のさらなる発展が期待される。

慶大・斎木は、スピングラス系と等価な振る舞いをするコロイド粒子結晶構造を形成し、水中における粒子のゆらぎを利用した、最適化問題、すなわち最も自由エネルギーの小さな粒子（スピン）配置を探索する物理計算機として機能させることを試みた。ゆらぎによってあらゆる粒子配置を探索しながら、結晶構造への圧力印加を光によって制御しながら、徐々に最適解へと収束させるアニーリング過程を可視化することに成功した。

<若手研究者育成>

若手研究者の短中期滞在を通じて実施遂行した共同研究により幾つもの研究成果を挙げることができた。具体的には、ドイツコアグループと東京大学八井研究室大学院生との近接場光エッチング処理を施したナノダイヤモンドにおいて、スピン特性改善に成功し、以下の論文発表を行った（筆頭著者の F. Brandenburg は東大・八井研博士 3 年）。

- F. Brandenburg, R. Nagumo, K. Saichi, K. Tahara, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko (独), R. Igarashi, and T. Yatsui, “Improving the electron spin properties of

nitrogen-vacancy centres in nanodiamonds by near-field etching,” Scientific Reports, Vol. 8, October 2018, 15847 (8 pages)

また、関連した研究で国際会議において5件の発表を行い、うち1件の発表で優秀発表賞を受賞した（筆頭著者の K. Saichi は東大・八井研修士2年）。

● 2019年2月19日, Poster Award

K. Saichi, T. Sato, T. Kitaizumi, A. Kuwahata, M. Sekino, R. Igarashi, Y. Masuyama, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko (独), and T. Yatsui, “Development of Highly Sensitive Magnetic Probe of Nitrogen-Vacancy center in diamond,” The 1st International Forum on Quantum Sensing (IFQS2019), February 17-19, 2019, Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo, paper ID: C-14

また、一昨年度から R-3 に参画したフランス Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M) から研究員 (B. Leuschel) が東京大学八井研究室に短期滞在し (2019 年 12 月 10 日～14 日) 共同実験を実施することで、コアの枠組みを超えた R-3、R-4 共同成果が得られている。その研究成果の一部は、例えば、学会発表として以下の発表を行うとともに、Excellent Poster Award を受賞した (筆頭著者の F. Brandenburg は東大・八井研博士3年)。

● 2018年7月5日 Excellent Poster Award

F. Brandenburg, F. Kameche (仏), B. Leuschel (仏), O. Soppera (仏), and T. Yatsui, Outstanding presentation for “Study on Near-Field effects by usage of photosensitive silver salt solution,” JSPS Core-to-Core Japan Workshop 2018, Koshiba Hall, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, p69

上記のような論文発表や短期滞在に加え、新しい学際的研究協力体制を構築する中で、研究ディスカッションや研究室における実験装置の構成などについて、ポストドクターや博士課程大学院生と直接議論する機会が多くあり、また所属する大学や研究室を乗り越えた連携研究のあり方などを学ぶ機会もあり、若手研究者の国際連携研究に対する考え方に大きな進展をもたらしたと考えられる。

<その他 (社会貢献や独自の目的等) >

本研究を核とした新たな研究概念の一つは、自然界の数物構造を用いて知的機能を実現することにあるが、この概念が人工知能学会に注目され、特集号「自然界に見出す数物構造を利用した知的情報処理」が2018年9月号に発刊された。本拠点からは堀 (山梨大学)、西郷 (長浜バイオ大学)、成瀬 (情報通信研究機構)、斎木 (慶應義塾大学) が解説論文を寄稿した。また、光分野においては物理過程を用いた知的機能の加速 (アクセラレーション) や質的新規性が重要となっており、NFO (近接場光学の世界最大の国際会議) 等における招待講演を本拠点メンバーが多数受けている。なお、Unconventional Computing and Natural Computing (UCNC) という自然計算分野において伝統のある国際会議において、ワークショップ「Decision Making in Nature」を開催し、また非線形科学分野において著名な国際会議 International Symposium on Nonlinear Theory and Applications においてワークショップ「Category Theoretic Approach to Composite Systems」を開催し、本拠点の概念や成果を発信した。

本年度においては、本拠点の日本シンポジウムや上述の特集号や海外におけるワークショップ開催を結果として優先し、内国での「自然知能セミナー」の開催は実施しなかったが、WEB サイトや SNS のア

カウントは常設しており発信を継続した。

6-2 全期間にわたる研究交流成果

(1) 国際研究交流拠点の構築

① 日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内協力機関との協力体制等）

東京工業大学では、担当のスイスの他に、ドイツ、英国などを含む欧州との連携研究を強化する体制を立ち上げ、若手教員を派遣し、研究者レベルの交流を開始した。また、東京工業大学の有するナノフォトンクス測定手法などをはじめとして、東京大学や国内の研究機関との研究交流から、新しいナノ計測の具現化の拠点的作用を担ってきた。

散逸ゆらぎに基づくナノ光加工法である近接場光エッチングを開発した東大・八井と、東工大・波多野教授、産総研・山崎グループによるダイヤモンド NV 成長技術の基礎技術と、ダイヤモンド NV センター機能を最大限に発揮する、量子情報操作を得意とする東工大・波多野教授およびウルム大 Jelezko 教授 (R-4) の共同により、当初想定していた以上の、成果を挙げることに成功した。具体的には、超高感度磁気センサーの実証、量子コンピューティングの原理検証、などである。さらには、東大・八井と IS2M・Soppera 博士 (R-2) との共同研究で培った自己組織化配列技術を R-4 との共同研究に取り込むことによって、研究成果の一層の発展を得ることに成功した。

斎木（慶応義塾大学）が取り組むナノ流体や田畑（東京大学）が取り組む磁性体における安定構造の形成は、共通して、最適解を自律的に発見する構造と見なしうる。その数理的基盤として、圏論 (Category theory) を規範とした理論やモデルの構築を進めた。光を用いた意思決定の圏論的分析 (International Journal of Information Technology & Decision Making 誌) や局所リザーバー理論 (PLOS ONE 誌)、人工知能学会における解説論文などの成果を得ることができた。

② 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）

スイス EPFL との連携においては、日本側で設計試作された測定手法は、スイス EPFL の理論的解析を含むナノプラズモニクスへの展開、ドイツ・ユーリッヒ研究所での表面分光解析との議論、さらには英国マンチェスター大学における新しい物質系の材料設計への議論へと展開している。また日本からは測定手法に関する知識を有する若手研究者が、相手国拠点機関を訪問し、分野を超えた研究交流を開始し、次世代の新しい研究交流ネットワークが形成されつつある。

また、フランス・グルノーブル・ニール研究所とは期間中に多数の原著論文 (9 報) 及び解説論文 (2 報) を出版するなど多数の成果が創出され、この流れのなかで、本拠点研究者 (成瀬誠 (情報通信研究機構)) は 2017 年においてグルノーブルアルプス大学に招聘教授を任命され、相手国予算により一ヶ月の共同研究を行った。

東大の八井は、本プロジェクト開始当初、R-4 のドイツとの協力を実施していたが、途中より、R-3 のフランスとも共同研究を実施し、コアの枠組みを超えた研究成果を得ることができた。具体的には、東大・八井と IS2M (R-2) の Soppera 博士と共同で、自己組織化手法を使ったナノダイヤモンドの配列制御に成功した。ナノダイヤモンドの間隔を揃えて配列することで、R-4 で実施しているダイヤモンド磁

気センサーの感度向上に繋がるため、今後のさらなる発展が期待される。

③ 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）

本プロジェクトにおける、ウルム大（R-4）と東大・八井の二者間の共同研究から、国内では東工大・波多野教授、産総研・山崎グループなどとの交流の発展につながり、本プロジェクトを通じて、若手の研究者の交流が活性化された。本プロジェクトメンバー以外のハーバード大 Yacoby 教授やドイツ・フ라운ホーファー・Jeske 博士とも協力体制を構築し、さらなる発展的展開が期待される。また、R-2 の IS2M との共同研究など、コアの枠組みを超えた研究成果を達成しており、拠点機関を軸として世界的な研究の発展が期待される。

次世代を中心とした競争的予算申請にあたり、スイス、ドイツ、英国とのやり取りは担当教員の研究室が行い、申請内容の確認や取りまとめは国際事業課が担当した。また例えば、英国マンチェスター大学では、国際連携担当官が窓口となって、研究者交流の取りまとめを始めていて、国際研究交流拠点の構築への支援体制が整えられつつある。

（2）学術的観点

これまで光ディスクや不揮発性メモリなどの記憶媒体に応用されてきたカルコゲナイド相変化材料を、半導体量子構造、プラズモニック構造、共振器構造などの機能スイッチングを媒介する材料として機能させることを世界に先駆けて発案し、その動作実証を行ってきた。一連の研究は、その後トレンドとなるアクティブ・ナノフォトニクスを先導する研究として位置づけられる。特に半導体量子構造の機能スイッチングについては、その実施にあたってカスタマイズされた試料が必要であり、エコール・セントラル・リヨンの協力によって初めてなし得た研究である。

International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics（META カンファレンス）の議長である Said Zouhdi 教授に本事業（Core-to-Core プログラム）の活動とメンバーについて紹介する機会があり、話し合いの結果、META カンファレンス（2021 年夏予定）を日本で開催する事について Said Zouhdi 教授の同意を得ることができた。この大規模な国際カンファレンスにおいては、多くの研究者達を惹きつける事を期待している。（約 500 人の参加者を予測）。

散逸ゆらぎを伴う物理システムはナノ電子フォトン系に限っても極めて多彩となるが、本拠点では R2 ～R4 の全てにおいて極めて特長のある世界的に優れた研究パートナーを有しており、それらの特長を積極活用することが、先導研究の開拓はもちろんのこと、インパクトのある機能の実証研究に結びついた。特に情報処理機能を目指す R1 コアにおいては、実験研究を主体とする他コアとの連携が肝要かつ不可欠であった。R1 では、これらの総合的取り組みや理論基盤の構築のなかでも、特にフランスとの実験面での連携は、単一光子を用いた意思決定の原理実証（Scientific Reports 2015）、スケーラブルな単一光子意思決定の実証（ACS Photonics）、もつれ光子を用いた意思決定の実証（arXiv）など革新的に大きく発展した。

(3) 若手研究者育成

大学院生が積極的に海外拠点に出向き実験を行うことで数多くの論文・学会発表を行い、また多くの発表で受賞するに至った。

【学生による代表的な受賞】

- ・2019年2月19日、国際会議 IFQS2019 における Poster Award、
筆頭受賞者 K. Saichi (東大・八井研 修士課程)、ドイツ・ウルム大との共同研究
- ・2017年7月13日、国際会議 APNF011 における Student Paper Award
筆頭受賞者 F. Brandenburg (東大・八井研 博士課程)、ドイツ・ウルム大との共同研究
- ・2015年7月10日、国際会議 APNF010 における IAC Presentation Award
筆頭受賞者 R. Nagumo (東大・八井研 修士課程)、ドイツ・ウルム大との共同研究
- ・2018年11月20日、日本光学会ナノオプティクス研究グループ
筆頭受賞者 中込 亮 (山梨大・堀研 博士課程)

【若手研究者による代表的な受賞】

- ・2018年4月17日、平成30年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞
受賞者 清水 智子 (慶應大 准教授)
- ・2018年10月19日 第17回ドコモ・モバイル・サイエンス賞、基礎科学部門、優秀賞
NP0 法人モバイル・コミュニケーション・フアンド
受賞者 成瀬 誠 (情報通信研究機構 総括研究員)

連携研究を契機に、エコール・セントラル・リヨンから修士課程学生が入学、慶應義塾大学・斎木研究室に2年間在籍した。R-3のテーマ研究を担当するとともに、R-1との連携のきっかけとなる成果を挙げた。さらにこの人的交流が契機となって、エコール・セントラル・ナント、エコール・セントラル・パリから同様に修士課程学生が2年間在籍し、R-3のテーマ研究、R-2との連携研究を担当した。東大・ドローン研究室にもエコール・セントラル・リヨンとトロア工科大学からの学生が在籍している。

また、単一分子のゆらぎを分光学的に直接計測することに成功した。これは日本側の東京大学と東京工業大学の連携から、若手研究者をスイス EPFL に派遣滞在させ、交流研究を行なった成果である。

(4) 社会貢献や独自の目的等

東京大学工学系研究科とエコールセントラルリオンとの間で学生及び教職員の為の交流協定が締結された。(この協定のおかげで既に7人の学生が本学においてインターンシップを実施した。) エコールセントラルリオンとの協定の成功によって、Paris Sud 大学との新たな交流協定の締結が検討されている。(2019年5月予定)。

また、国内の高校生の来校見学ならびに出張授業、また高校生の国際科学コンテストでのセミナー、社会人の教養講座などで、本プログラムで得られた物性ゆらぎ研究に関する国際連携研究成果、ならびに連携体制の紹介を行い、日本の国際的連携研究の取り組みや、その学際的効果などについて、社会に紹介することができた。

期初において、自然系を用いた機能の構築という本拠点のコンセプトは時代に対してやや先行し過ぎていたかもしれないが、今日現在ではまさしく世界の研究のフロンティアとなっている。国内では応用物理学会において「AI エレクトロニクス」などの新セッションが設けられるに至っており、本拠点の先駆性や先導性の顕れとも言える。

（５）予期しなかった成果

東京大学工学系研究科とエコール・セントラル・リヨン間で学生及び職員のための交流協定を締結した。（すでに７名の学生の受入れを実施した。）エコール・セントラル・リヨンとの協定が成功した事により、Paris-Sud 大学との新たな交流協定の締結が進められている。（2019 年 4 月開始予定）

一般の人々にも自然系を用いた機能の構築を直感的に理解いただくことは重要と言え、その活動のひとつとして、アンスティチュ・フランセ東京において開かれた展示会「Digital Choc」において、スロットマシンを見抜く自然知能機械のオブジェを制作し展示を行った（2017/02/10-2017/02/19）。本展示及び関連の研究がフランス・パリの美術大学 EnSAD の Samuel Bianchini 教授の関心を引きその後継続した議論に展開した。フランス国立科学研究センター（CNRS）ではアートとサイエンスの融合に関するイニシアチブが行われており CNRS の Carole Ecoffet 博士を巻き込んだ形で発展している。

プロジェクト発足当初（2014 年度）は 44 名だったメンバーが 2016 年には 64 名、2017 年には 80 名、2018 年には 84 名に増えた。学生の卒業やその他参加メンバーの転籍等の理由でメンバー登録を削除した人数 38 名を合わせると、総勢 122 名の研究者・教授・学生が共同研究に携わり、24 件の国際共著論文、9 件の国際会議において散逸ゆらぎ研究についての発表を遂げた。

また、そのうち 15 名が所属機関及び転籍先で昇任を遂げている。

【昇任した教職員及び学生】

松井 裕章（講師→准教授）、関 宗俊（助教→准教授）、ポルテラ アレハンドロ（博士課程学生→ポスドク）、岩崎 孝之（助教→准教授）、田原 康佐（博士課程学生→ポスドク）、青野 真士（研究員→准教授）、成瀬 誠（主任研究員→総括研究員、2019 年 4 月より教授）、ペパーフェルディナンド（研究マネージャー、副室長）、梶 貴博（研究員→主任研究員）、飯田 健二（特別研究員→助教）、何 余倫（博士課程学生→学振外国人特別研究員）、清水 智子（主任研究員→准教授）、山本 詠士（特任助教→助教）、根岸 雄一（助教→教授）

このことは当初予定していたより多くの交流がおこなわれ、若手研究者の育成にも一躍を担ったことを示すものである。

（６）今後の課題・問題点及び展望

5 年間の共同研究を通じて、想定以上の成果と散逸ゆらぎ研究の発展を達成した。これまで得られた成果をさらに継続的に発展させるためにも、交流可能な外部資金の獲得を目指していきたい。

本拠点活動はマッチングファンドを基礎としていることから、本拠点の予算を用いて相手国の研究者を招聘することはできない。しかしながら、日本側が有する研究の特長や施設を相手国側にとって有意義な形で吸収し、理解いただくためには、多くの研究者が日本に実際に来日することが不可欠である。一方で、海外研究者が日本への来日費用を既存のファンドから捻出するのは実際には一般論として難し

いのが通常であり、特に海外の若手研究者（博士研究員や学生を含む）にとってはなおさら困難である。具体的な研究の発展のためにも海外研究者の招聘は極めて効果的である。将来において、本拠点の予算を海外研究者の招聘にも活用可能な形へ、制度を改めることを強く訴えたい。

7. 平成30年度及び全期間にわたる研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) ナノ電子フォトン情報物理基盤				
	(英文) Information Physical Foundation for Nanoscale Electron Photon Interactions				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 成瀬 誠・情報通信研究機構・総括研究員・1-29				
	(英文) NARUSE Makoto・Photonic Network Research Institute・National Institute of Information and Communications Technology・Chief Senior Researcher・1-29				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文)				
	THYLEN Lars Helge・Royal Institute of Technology (KTH)・Professor・2-1 HUANT Serge・Neel Institute・Professor・4-5 MARTIN Olivier・Swiss Federal Institute of Technology Lausanne・Professor・3-1				
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	本研究 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する。前年度までのスウェーデン王立工科大学 (KTH) 及びフランス・Neel 研究所と日本側研究者の研究協力実績を踏まえ、R-2 及び R-3 と連携し光を用いた意思決定の理論的・実験的検討を進捗させた。特に、システム全体としての効率性や公平性の実現を問う競合バンディット問題をエンタングルメント光によって解決することに成功した。また、本プロジェクト全体のとりまとめにあたり、物理現象を活用した知能構築 (自然知能) の数学的基盤として、圏論を用いて物理的意思決定のメカニズムを分析することに成功し、その成果が学術誌に掲載された。本年度は、フランスにおいて実施するワークショップ (S-1) において本拠点の5名の日本側研究者が仏に渡航し (2018 年 6 月)、2019 年 2 月に3名の日本側研究者がドイツ (PTB) 及びフランス (ランジュバン研究所、国立高等装飾美術学校) にて議論を行った。また、フランス・グルノーブルより1名の研究者が2018 年 10 月及び2019 年 2 月に来日し各々14日間 (合計 28 日間) 滞在し研究協力を行った。				
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	ナノ電子フォトンにおける特徴的な物理過程に基づいた新規な機能の創出とその基礎理論の構築が R-1 の大きな役割であり、この概念に基づいて共同研究を推進した。具体的にはスウェーデン王立工科大及びフランス・ニール研究所とナノ光学におけるパーコレーション現象などの新規機能分析の研究を進めたほか、フランス・ニール研究所と光を用いた知的機能の構築、特に意思決定に関わる研究を大きく発展させた。なかでも単一光子を用いた意思決定の実現は世界的に注目を集めその後大きく研究が発展した。また、理論面では、散逸ゆらぎ制御という本拠点のコンセプトを表象できる理論的枠組みとして圏論に注目し、意思決定に関してはフランスと共著の原著論文に至ることとができた。				

	国内の協力機関とは東京を中心としたオンサイトでの議論を年に最低 2 回は実施したほか、オンラインでの議論は定常実施した。相手国との協力は、スウェーデンに関してはオンラインでの議論が中心であり、フランス・グルノーブルとはオンラインに加え、オンサイトでの打ち合わせあるいは集中滞在共同研究を年 1 回程度の頻度で行った。 *全期間の相手国との研究交流にかかる派遣・受け入について相手国・人数・期間については、各年度の「8-1 相手国との交流実績」参照。
--	--

整理番号	R-2	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) ナノ電子フォトンデバイス基盤				
	(英文) Nanoscale Electron-Photon Devices				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 田畑 仁・東京大学大学院工学系研究科・教授・1-1				
	(英文) TABATA Hitoshi・School of Engineering・The University of Tokyo・Professor・1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文)				
	MARTIN Olivier・Swiss Federal Institute of Technology Lausanne・Professor・3-1 BLANK Dave・University of Twente・Professor・6-1				
30 年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	本研究 R-2 では、ナノ電子フォトン系に特有のゆらぎ物性を利用した新規エレクトロニクス・フォトンデバイス（散逸ゆらぎデバイス）の創製を目的として、前年度に引き続き、各国との連携の下、金属や遷移金属酸化物材料の超構造薄膜やナノ構造体及びヘテロ接合における揺らぎ物性制御に関する研究を行った。日本側の研究グループでは、前年度までに得られた知見をもとに、金属や遷移金属酸化物材料の超構造薄膜およびヘテロ接合における揺らぎ物性制御に関する実験を実施するとともに、今後の展望を俯瞰した議論を深め。 また、研究成果や情報の共有、今後の研究方針・交流計画の検討・確認を目的として、10 月にスイスにて交流セミナー（日本から 4 名参加）を開催した。更に、材料作製、デバイス開発の両面において、昨年度に引き続き他の共同研究(R-1, 3, 4) とも積極的に交流・連携を図ることにより、ナノ電子フォトンと物性ゆらぎの融合研究を強力に推進することができた。 プロジェクト推進の中で新たに加わったドイツ、ユーリッヒの研究グループとの間で、<u>電子スピンの自由度を利用するスピントロニクス材料とニューロモルフィックとの関連性を議論し、共同研究の可能性を探った。このなかで、生体ゆらぎを模倣した確率共鳴制御の原理を題材に、材料開発研究におけるゆらぎ利用の意義、ニューロモルフィックデバイスにおけるシリコンエレクトロニクスの限界、スピントロニクス材料によって実現すべきゆらぎを伴った基本素子についての議論を行った。</u>				

全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要	日本側研究グループは、<u>希土類鉄ガーネット薄膜及びスピネル型フェライト薄膜の化学組成制御・エピタキシャル格子歪の制御方法</u>を独自に見出した。一方、フランスの研究グループ（パリ第11大学）との共同開発による<u>鉄イオン価数制御法</u>、スイスやオランダグループの優れた<u>ナノ構造作製・評価技術</u>を導入することにより、<u>室温を超える温度領域でのスピンゆらぎ特性（スピングラス物性）の実現、不均一格子歪みによる強誘電性の発現</u>を見出した。本研究課題を通じて開発した高温スピングラス物質や不均一格子歪み多強的秩序相を用いて、室温でわずかな外場や熱などの刺激で巨大な磁気応答を示す、<u>スピンゆらぎデバイス（ナノマグノニクスデバイス）</u>の創製を目指して、引き続き研究協力を継続する。 *全期間の相手国との研究交流にかかる派遣・受け入について相手国・人数・期間については、各年度の実施報告書「8-1 相手国との交流実績」参照。
--------------------------	--

整理番号	R-3	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) ナノ電子フォトン評価基盤				
	(英文) Nanoscale Electron-Photon Analysis				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 斎木 敏治・慶応義塾大学理工学研究科・教授・1-15				
	(英文) SAIKI Toshiharu・Graduate School of Science and Technology, Keio University・Professor・1-15				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) VILQUIN Bertrand・Ecole Centrale de Lyon・Professor・4-11				
30年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	R-3 では、ナノ電子フォトン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、平成30年度はR-1、R-2との連携強化を目指した研究を推進した。エコール・セントラル・リヨンとの協力により、カルコゲナイド相変化材料の特異な物性（強い光吸収、低い熱伝導率、小さな表面エネルギー）のゆらぎ現象を活用した、ナノ・マイクロ粒子の高効率輸送・集積に成功した。その応用として、2次元スリット内でコロイド粒子の結晶構造（座屈構造）を形成し、フラストレーション（ゆらぎ）を本質的に包含する三角格子スピン系と等価な系として着目した。R-2との連携により、磁気ビーズを混合することによってスピングラスに相当する系を形成し、水中での揺らぎを利用した解探索を模擬的に実証した。これはスピングラス解探索におけるアニーリング過程に対応し、R-1との連携によって、シミュレーテッドアニーリングや量子アニーリングとの関連について議論した。				
全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要	Bertrand Vilquin 氏（エコール・セントラル・リヨン（ECL））とは次の方法で共同研究を行った。東京大学とECLとの相互交流（ドローネジャンジャック（1か月フランス滞在）、Bertrand Vilquin（ECL）（1か月日本滞在））、東京大学と学生交流協定の締結、共著（ACS Photonics and Applied Physics Letters）を発表するこ				

	とができた。この交流のおかげで、ECL との相補性を見つけることができた。Vilquin 氏は材料を開発し、東京大学側では Vilquin 氏の材料を用いて応用/デバイスを開発した。学生の交流は 10 年以上続く予定である。Core to Core プログラムによって ECL（エコール・セントラル・リヨン）との長期的な交流関係を構築する事ができた。 エコール・セントラル・リヨンとの研究交流を核として、研究期間前半は、カルコゲナイド相変化材料による半導体量子ドット・ワイヤの電子状態制御を実施した。ECL 側で作製した量子構造試料に対して、慶應側で相変化材料被覆試料の作製と分光計測を行い、解析・シミュレーションは両方で協力して遂行した。結晶相・アモルファス相間の相変化にともなう誘電率の大きな変化や体積変化を利用し、局所的な応力印加や環境誘電率変調によって、発光スペクトルや方位分布の制御を実証した。これらの成果は、2 編の原著論文と 1 編のレビュー論文として刊行された。また、これらの研究成果を赤外領域へ拡張することを目指し、フォノンポラリトンやマイクロ共振器などの光学的な共鳴構造を新たに導入し、相変化材料による共鳴制御や新たなコーディング素子の提案、実証を行った。 また、研究期間後半は、特に R1、R2 との連携を強化するため、ゆらぎの導入が容易な流体中での相変化材料工学の応用研究を展開した。相変化材料が有する物性スイッチング機能に加え、熱・表面物性の特長を生かした、コロイド粒子の高効率輸送・集積を実現した。スピングラスと等価なコロイド結晶を形成し、ゆらぎを活用した最適解探索過程の可視化や、シミュレーテッドアニーリング、量子アニーリングとの比較を通じた数理構造の解明に取り組んだ。 エコール・セントラル・リヨンからは、修士課程学生が 1 名、斎木研に 2 年間（2014 年 10 月～2016 年 9 月）在籍し、水中のコロイド粒子による最適化問題の物理計算に取り組んだ。また、リヨンとの交流を介して、エコール・セントラル・ナントから 1 名（2014 年 10 月～2016 年 9 月）、エコール・セントラル・パリから 1 名（2015 年 10 月～2017 年 9 月）、修士課程学生として在籍し、相変化材料を用いた赤外コーディング素子をテーマとして研究を行った。
--	---

整理番号	R-4	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) ナノ電子フォトン加工基盤				
	(英文) Nanoscale Electron-Photon Fabrications				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 八井 崇・東京大学大学院工学系研究科・准教授・1-6				
	(英文) YATSUI Takashi・School of Engineering, The University of Tokyo・Associate Professor・1-6				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) JELEZKO Fedor・Ulm University・Professor・5-1				
30 年度の研究	本研究 R-4 では、ドイツ・ウルム大学の持つ強みであるダイヤモンド「光（フォト				

交流活動及び得られた成果	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、東工大・波多野研が有するナノ電子制御技術、産総研が有するダイヤモンド成長技術を融合することで、電子・光融合デバイス構築を目標とした。具体的には、平成 28 年度に開催したワークショップにおいて具体化された量子コンピュータの基礎実験、医療応用に向けた NVC の高感度スピンセンシング特性を有するセンサーデバイス実証実験、ダイヤモンド NV レーザの基礎実験に関して各テーマをさらに発展させ、上記の具現化を加速するために日本より研究者を派遣した (H30 年 11 月、2 日間、2 名)。 研究者の派遣などを通じて、ダイヤモンド NV を利用した高感度スピンセンシングデバイス実証実験に成功した。医療応用として乳がんの転移を検査するハンドヘルドプローブのデモ器を作製し、磁気感度は 100nT 以下を得た。従来のホールセンサを用いた感度と比較して一桁以上の感度向上に成功した。上記の成果に関して、論文発表 (筆頭著者の F. Brandenburg は東大・八井研博士 3 年)、および外部発表 (国際会議 5 件、国内会議 2 件) を行った。国際会議発表では、うち 1 件の発表で優秀発表賞を受賞した (筆頭著者の K. Saichi は東大・八井研修士 2 年)。 【論文発表】 F. Brandenburg, R. Nagumo, K. Saichi, K. Tahara, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko (独), R. Igarashi, and T. Yatsui, Scientific Reports, Vol. 8, October 2018, 15847 (8 pages) 【国際会議発表】 K. Saichi, T. Sato, T. Kitaizumi, A. Kuwahata, M. Sekino, R. Igarashi, Y. Masuyama, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko (独), and T. Yatsui, The 1st International Forum on Quantum Sensing (IFQS2019), February 17-19, 2019, Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo, paper ID: C-14. Poster Award
全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要	東大・八井研の近接場光エッチング技術、東工大・波多野研、産総研・山崎グループのダイヤモンド成長技術、ドイツ・ウルム大のダイヤモンド量子情報技術を融合することで、5 件の学術論文発表を行うに至った。 具体的には、近接場光エッチングによるダイヤモンド NV の発光特性向上、窒素以外の新しい発光中心の開拓などを行った。 上記以外にも、量子コンピュータの基礎実験、医療応用に向けた NV センターの高感度スピンセンシング特性を有するセンサーデバイス実証実験、ダイヤモンド NV レーザの基礎実験に関して様々な基礎検討を行った。 このうち、医療応用に向けたセンサーデバイスについては乳がんの転移を検査するハンドヘルドプローブのデモ器を作製し、磁気感度は 100nT 以下を得た。従来のホールセンサを用いた感度と比較して一桁以上の感度向上に成功した。 R-4 コアにおけるダイヤモンドでの研究成果のみの留まらず、全体ワークショップ等を通じて、他のコアとの研究交流に注力することで、コアの枠組みを超えた共同成果を得ることに成功した。

	本共同研究の紹介論文として、招待解説論文の発表などを行った。 T. Yatsui, et al., Progress in Quantum Electronics,, 55, 166 (2017) [Invited Review Paper] (JIF:10.7) *全期間の相手国との研究交流にかかる派遣・受け入について相手国・人数・期間については、各年度の実施報告書「8－1 相手国との交流実績」参照。
--	--

7-2 セミナー

(1) 平成30年度セミナー実施状況

(2) 整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「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-フランスワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Japan-France Joint Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation “
開催期間	平成30年6月21日～平成30年6月22日(2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) フランス、グルノーブル、Inst. NEEL
	(英文) NEEL Institute, Grenoble, France
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 成瀬 誠・情報通信研究機構・総括研究員・1-29
	(英文) NARUSE Makoto・Photonic Network Research Institute・National Institute of Information and Communications Technology・Chief Senior Researcher・1-29
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号(※日本以外 での開催の場合)	(英文) HUANT Serge・Neel Institute・Professor・4-5

参加者数

派遣 派遣元		セミナー開催 国 (フランス)	備考
日本	A.	5/69	
	B.	0	
(フランス)	A.	5/5	
	B.	0	
合計 <人/人日>	A.	10/74	
	B.	0	

A. 本事業参加者(参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者(参加研究者リスト以外の研究者等)

※人/人日は、2/14(=2人を7日間ずつ計14日間派遣する)のように記載してください。

※日数は、出張期間(渡航日、帰国日を含めた期間)としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的	本 Core-to-Core の開始以来、グルノーブル Instit NEEL とは研究協力が大きく発展し、なかでも単一光子を用いた意思決定に関する大きく進展した。併行して、ナノ電子フォトン系を用いた機能構築の理論構築に向けて、圏論などの数学を用いた取り組みが進展した。そこで、本プロジェクトの最終年度にあたり、実験及び理論の研究の先端状況をレビューし、今後の発展の方向性を議論する。
セミナーの成果	(1) グルノーブル・ニール研究所 二日間に渡り、単一光子及びもつれ光子を用いた意思決定の共同実験の実績を踏まえながら、その数学的基盤の構築とさらなる発展を見据えて、圏論や位相幾何学などの数学を基軸とした集中した議論を行った。さらに、日本側における近接場分光装置などの実験の先端状況をレビューし今後の発展の方向性を議論した。 (2) パリ・ランジュバン研究所 二日間に渡り、ランジュバン研究所で推進されている水のドロップレットによる量子的振る舞いを示すウォーカー (Walker) の理論的基礎に関する議論を行った。特にネルソン過程による基礎付けを日本側から提案し、その有効性の検証のためのデータ分析等の詳細を議論した。 (3) パリ・国立高等装飾美術学校 École nationale supérieure des Arts Décoratifs (EnSAD) EnSAD は日本側が推進している物理系を用いた知能の構築に強い関心を有し、2017 年 11 月に EnSAD にて行った議論及び 2018 年 5 月の仏研究者来日時議論を踏まえて集中した議論を行った。「Natural Transform Design (自然変換デザイン)」という新たなコンセプトメイキングを行うとともに、摩擦現象を活かした意思決定機能を有する物質創成について具体的方向性を得た。 (4) 国際会議 17th International Conference on Unconventional Computation and Natural Computation (June 25-29, 2018) (成瀬、堀) では、ワークショップ「Decision Making in Nature」を主催し、本拠点事業における研究成果を発表した。多数の質問を受けることができ有意義であった。 (5) フランスの理論研究者との意見交換 (小嶋、西郷) College de France の Daniel Sternheimer 博士及び Université de Bourgogne の Giuseppe Dito 博士と数理物理学関連の意見交換を行った。

		(6) 総合討論 上記(1)～(5)を総合し、議論のまとめ並びに今後に向けたアクションアイテムの整理等を行った。	
セミナーの運営組織		日本側担当：成瀬 誠 フランス担当：Serge Huant	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費（相手国内滞在費を除く） 外国旅費・謝金等に係る消費税	金額 1,243,904 円 98,646 円 合計 1,342,550 円
	フランス側	内容 会議費 *会場使用に係る費用等のみの為計上しない。	

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業日本ワークショップ2018
	(英文) JSPS Core-to-Core “Japan Work shop 2018”
開催期間	平成30年7月5日～平成30年7月6日(2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、東京、東京大学本郷キャンパス 小柴ホール
	(英文) Koshiba Hall, University of Tokyo, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 田畑 仁・東京大学大学院工学系研究科・教授・1-1
	(英文) TABATA Hitoshi・School of Engineering・The University of Tokyo・Professor・1-1
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号(※日本以外 での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣 派遣元		セミナー開催 国 (日本)	備考
日本	A.	30/60	
	B.	5	
(スウェーデン)	A.	1/5	
	B.	0	
(スイス)	A.	1/4	
	B.	0	
(オランダ)	A.	2/6	
	B.	0	
(フランス)	A.	3/13	
	B.	0	
(ドイツ)	A.	1/3	
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	38/91	
	B.	5	

A. 本事業参加者(参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者(参加研究者リスト以外の研究者等)

※人／人日は、2／14(＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する)のように記載してください。

※日数は、出張期間(渡航日、帰国日を含めた期間)としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

備考：

下記助成金を本ワークショップに利用する。

公益財団法人新技術開発財団 国際研究集会開催助成金 90 万円

(<http://www.sgkz.or.jp/prize/science/kokusai/kaisai.html>)

公益財団法人井上科学振興財団 国際研究集会開催助成金 65 万円

(<http://www.inoue-zaidan.or.jp/d-02.html>)

公益財団法人村田学術振興財団 第 34 回（平成 30 年度）研究会助成 70 万円

(https://www.murata.com/ja-jp/group/zaidan/report?intcid5=com_xxx_xxx_cmn_nv_xxx)

公益財団法人日本板硝子材料工業助成会 国際会議助成 10 万円

(<http://nsg-zaidan.or.jp/contents/index.html>)

セミナー開催の目的	本プログラムに関わる日本側研究者及び相手国側研究者が一同に介し、最新の研究成果の発信を行うとともに、研究全体のコンセプトおよび課題の共有し、研究全体及び個別研究に関して徹底的に議論を行い、学術共同研究の更なる深化・発展を図る。また、学生や若手研究者に研究発表ならびにシンポジウムの運営に積極的に参画させ、将来国際的な研究者として活躍するために必要となるコミュニケーション能力や企画・構想力を涵養する機会とする。
セミナーの成果	本国際ワークショップでは、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最先端研究に関する情報交換と世界的の中心的研究機関・研究者との共同研究を推進する場を提供するものとなった。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と新機能の創成、ならびに散逸ゆらぎを踏まえたナノ電子フォトンという新たな基本概念の世界に先駆けた開拓を目指すものであった。その中でも鍵となる機能性材料（機能性酸化物他）、その薄膜、およびナノ加工技術を駆使したデバイスを中心に議論した。開催に当たり、日本学術振興会研究協力第一課長の濱田陸太郎氏、東京大学工学系研究科長大久保達也教授らの来賓挨拶があった。具体的な討論内容として、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材料の材料設計指導原理の構築、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材料の評価技術の確立、④省エネを実現する新たなナノ電子フォトン材料加工原理と技術の実現の4つのテーマについて、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独ウルム大から世界的リーディング研究者を招き、議論が行われた。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領域において、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とができた。 本国際ワークショップを本学（東京大学）にて開催したことにより、関連研究を推進している学生や若手研究者たちが、当該研究分野の第一線で活躍する国際的に活躍するの研究者の講演を聞き、直接交流する機会を得ることができた。また、若手研究者によるポスターセッションにおいては、日本国内での自分たちの研究成果発信をする貴重な機会とな

	り、海外の研究者との相互理解・相互連携強化が加速したことにより、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、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の育成をすることができた。 参加者数：招待講演者（海外）9名、招待講演者（国内）8名、ポスター発表者 30名、聴講者 30名		
セミナーの運営組織	組織委員長：田畑（東大） 運営委員長：関（東大） プログラム委員長：八井（東大） 総務委員長：松井（東大） 広報委員長：山原（東大）		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	会議費： 内容 国内旅費、外国旅費（日本側参加研究者（研究者番号 1-88）） 会議費（印刷費・通信費、会場費、食費、コーヒープレイク等） 消耗品費（USB メモリ（データ保存用）・紙・トナー等）	金額 760,665 円

整理番号	S-3
セミナー名	（和文）日本学術振興会研究拠点形成事業「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」
	（英文）JSPS Core-to-Core Program “Japan-Swiss International Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation “(Japan-Swiss Workshop 2018)
開催期間	平成 30 年 10 月 4 日～平成 30 年 10 月 4 日（1 日間）
開催地（国名、都市名、会場名）	（和文）スイス、ローザンヌ、EPFL
	（英文）Swiss, Lausanne, EPFL
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	（和文）原 正彦・東京工業大学・教授・1-23
	（英文）Masahiko Hara・Tokyo Institute of Technology・Professor・1-23
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号（※日本以外 での開催の場合）	（英文）MARTIN Olivier・Swiss Federal Institute of Technology Lausanne・Professor・3-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (スイス)	備考
日本	A.	4/ 27	
	B.		
(スイス)	A.	5/ 5	
	B.		
合計 〈人／人日〉	A.	9/ 32	
	B.	0	

A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的		昨年度、スイス EPFL ロザンヌにおけるワークショップで議論したトピックスについて、さらに具体的にこれまでの検討状況と今後の連携研究推進を議論する。C to C 参加機関から、日本 5 名＋欧州 5 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う。学生＋若手研究者の育成も視野に、参加希望があれば、または教員からの推薦があればポスター展示場所を設け、人数が集まるようであれば、一人 3～5 分程度の口頭プレゼンのセッションも設定する。	
セミナーの成果		これまでの成果を迅速に論文化するための具体的な課題（例えば、特定の分子を高感度で検出するセンサー表面の分子認識修飾技術の確立）さらに競争的資金獲得に向けた計画の議論を開始した。特に、今までに確立した分光手法を分子のキラリティ計測に応用するため、まずスイス EPFL を核としたスイス科学財団への申請の準備を始めた。また、国際連携研究推進強化のみならず、若手研究者の育成と交流、さらに今後の海外への留学への意識向上を推進する方策、例えばネットワーク会議などを用いたジョイントセミナーや進捗報告会の開催などを検討した。	
セミナーの運営組織		Chairperson : Prof. MARTIN Olivier Co-Chairperson : Prof. HARA Masahiko 日本担当 : Dr. YANO Taka-aki スイス担当 : Dr. BUTET Jeremy	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費（相手国内滞在費を除く） 外国旅費・謝金等に係る消費税	金額 956,560 円 76,524 円 合計 1,033,084 円
	スイス側	内容 会議費 *会場使用に係る費用のみの為計上しない	

整理番号	S-4
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「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」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Japan-Swiss International Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation “(Japan-Swiss Workshop 2018)
開催期間	平成 31 年 2 月 10 日～平成 31 年 2 月 17 日
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) スイス、ローザンヌ、EPFL
	(英文) Swiss, Lausanne, EPFL
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 原 正彦・東京工業大学・教授・1-23
	(英文) Masahiko Hara・Tokyo Institute of Technology・Professor・1-23
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号 (※日本以外 での開催の場合)	(英文) MARTIN Olivier・Swiss Federal Institute of Technology Lausanne・Professor・3-1

参加者数

日本	A.	2/	11	
	B.	0		
(スイス)	A.	1/	1	
	B.	0		
合計 〈人／人日〉	A.	3/	12	
	B.	0		

A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的		スイス側拠点機関であるスイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）の Prof. Olivier Martin、並びにユーリッヒ研究所 Prof. Andreas Offenhäusser と、今までの成果の論文投稿の準備と、今後の研究交流・課題抽出から共同して競争的資金の申請の進め方と申請内容について議論を行う。	
セミナーの成果		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、また協力機関との連携から、散逸ゆらぎデバイスへの新たな設計指針が得られ、散逸ゆらぎとナノ構造制御に関する知見獲得に貢献した。 ナノ電子フォトン系新材料・デバイスの作製と評価に関して、スイス側拠点機関である EPFL の Prof. Olivier Martin、並びに散逸ゆらぎデバイスの作製と評価に関して協力機関となるユーリッヒ研究所 Prof. Andreas Offenhäusser の関係者らと、今までの成果の論文投稿の準備を行った。また、マンチェスター大学の生物工学的なアプローチとの課題抽出から、共同して競争的資金の申請と今後の連携研究の進め方の議論を行った。 本企画は、物質の局所物性の理解の学術的深化と、生体物質間の信号伝達のその場計測を実現する可能性があり、それらは、世界的に大きな問題となっている感染症などの微量かつ迅速な検出の原理を示すもので、国連の SDGs などを含め社会的な貢献も期待される。	
セミナーの運営組織		Chairperson : Prof. MARTIN Olivier Co-Chairperson : Prof. HARA Masahiko 日本担当 : Prof. TABATA Hitoshi スイス担当 : Dr. BUTET Jeremy	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費（相手国内滞在費を除く） 外国旅費・謝金等に係る消費税	金額 1,839,866 円 14,718 円 合計 1,854,584 円
	スイス側	内容 会議費 *会場使用に係る費用のみの為計上しない	

整理番号	S-5
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「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」及び 25th iWOE 参加
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Japan-Swiss International Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation “(Japan-Swiss Workshop 2018) and 25th International Workshop on Oxide Electronics
開催期間	平成 30 年 9 月 29 日～平成 30 年 10 月 6 日 (8 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) スイス、ローザンヌ、EPFL
	(英文) Swiss, Lausanne, EPFL
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 山原 弘靖・東京大学・助教・1-7
	(英文) Hiroyasu Yamahara・University of Tokyo・Assistant Professor・1-7
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号 (※日本以外 での開催の場合)	(英文) MARTIN Olivier・Swiss Federal Institute of Technology Lausanne・Professor・3-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (スイス)	備考
日本	A.	4/ 28	
	B.		
(スイス)	A.	5/ 5	
	B.		
合計 〈人／人日〉	A.	9/ 33	
	B.	0	

A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的	日本側の研究では室温付近の高温域でスピン状態のゆらぎ物性を示すクラスターガラス材料を開発してきた。そこで卓越したナノ微細構造作製技術を有する EPFL と連携することにより、クラスターガラスに特有のゆらぎ物性を利用した新規エレクトロニクス・フォトンクス素子（散逸ゆらぎデバイス）の創製へと発展させることを目的とする。セミナーにおいて双方の直近の研究成果について意見交換を行った後、ナノデバイス構造の設計指針を議論する。 また、同時期にレ・ディアブルレで開催される国際会議 25th International Workshop on Oxide Electronics (25th iWOE; 2018 年 10 月 1-3 日)に出席・発表を行い、Core-to-Core で得られた研究成果を広く公開する。同会議にはコアパートナー拠点（オランダ：トゥエンテ大、フランス：リヨン等）からも多数の研究メンバーの参加が予定されている。
セミナーの成果	スイス側拠点機関であるスイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）Olivier Martin 教授らを訪問し、セミナーを開催した。ナノ電子フォトン系新材料・デバイスの作製と評価に関して、日本 4 名＋スイス 2 名がそれぞれ 20-30 分程度の口頭発表を行い、意見交換を行った。クラスターガラスを用いたデバイス創製に向けて、設計に必要なスピン波伝搬長をはじめとする材料物性が示された。また、プラズモニックデバイスを例として、合金を含む電極ナノ加工技術や電磁界シミュレーションの結果も示された。引き続き研究協力を継続することにより、更なる研究精度の向上を目指したい。また、同時期に開催された国際会議（iWOE25）会場では、「希土類鉄ガーネット磁性絶縁体の歪構造における電気・磁気・光の特異物性」・「WO₃ ナノ粒子とゼオライトのハイブリッド構造によるガス選択性」について発表を行った。前者の課題であった強誘電性の評価に関して THz 分光や非線形光学効果を用いた計測案が示された。一方、後者は WO₃ ナノ粒子に代わって微細加工で作製したナノワイヤを用いることにより、センサの安定性向上・高感度化が提案され、今後実施に移すところである。
セミナーの運営組織	Chairperson : Prof. MARTIN Olivier Co-Chairperson : Prof. Masahiko Hara 日本担当 : Dr. Hiroyasu Yamahara スイス担当 : Dr. BUTET Jeremy

開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費（相手国内滞在費を除く） 外国旅費・謝金等に係る消費税	金額 747,660 円 59,812 円 合計 807,472 円
	スイス側	内容 会議費 *会場使用に係る費用のみの為計上しない	

（２）全期間において実施したセミナー件数

	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
国内開催	1	0	1	0	1
海外開催	2	2	2	2	3
合計	3	2	3	2	4

7-3 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

①-1 評価コメント（抜粋）：

1. これまでの交流を通じて得られた成果の項目

「コア間の連携シンポジウムや全コア合同シンポジウム等を開催し、新たな連携・人的交流を推進しているが、その具体的な成果・展開は読み取れない。更なる密な交流を行うことによって、新規事項の発生を期待したい。」

対応：R-3 では、ナノ電子フォトン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する。平成 30 年度は R-1、R-2 との一層の連携強化を目指す。エコール・セントラル・リヨンとの研究交流として、これまでのカルコゲナイド相変化材料による量子光源の制御に加え、同材料の電気的コントラストや表面エネルギー変化を利用したナノ粒子輸送・集積と物性制御を実施する。R-2 と連携し、水中にて自己組織化したナノ粒子集合体の構造揺らぎをレーザ誘起光熱効果によって制御する。とりわけ、スピングラス類似のフラストレーションを包含する構造体における安定構造形成を最適解探索ととらえ、R-1 との連携のもと、自然知能の視点からその数理構造を解明する。最終的にはこれらの連携研究を統合し、光をエネルギー源と情報伝達手段とする知的エージェント、すなわち最適化問題を自律的に解き、最適構造を自律的に作り上げるための光ナノ・マイクロロボティクスを展開する。

①-2 評価コメント（抜粋）：

1. これまでの交流を通じて得られた成果の項目

「国際共著論文等に少々物足りなさを感じる」

対応：中間評価後 13 件の共著論文を発表している。また、下記の通り相手国の研究者が滞在し共同研究を実施している。それぞれのテーマに関して研究を遂行しており、プロジェクト終了後も共同研究を継続する事によって共著論文の発表を予定している。

Huant Serge (Neel Institute, France)

①2018 年 9 月 30 日～2018 年 10 月 13 日(14 日間)

②2019 年 2 月 3 日～2019 年 2 月 16 日(14 日間)

研究テーマ：ナノ電子フォトン系と機能システムに関する研究

Georg Northoff (オタワ大学, Canada)

①2018 年 10 月 9 日～10 月 19 日 (10 日間)

②2018 年 12 月 1 日～12 月 11 日 (10 日間)

③2019 年 2 月 20 日～24 日 (4 日間)

研究テーマ：脳における諸現象の数理基盤に関する研究

Popov Sergei (スウェーデン王立工科大学)

2019 年 2 月 5 日～2019 年 6 月 15 日 (131 日間)

② 評価コメント (抜粋)：

総合的評価

「現状では酸化物材料、先進光応答、ダイヤモンド等の個々の研究の並列参加になりかねない懸念がある。それらの研究について「散逸ゆらぎ」で総合的に扱う主導原理を明確にすることで、あらたな研究分野が創出されることに期待したい。」

1. これまでの交流を通じて得られた成果 の項目

「本課題開始前には交流がない、もしくは薄かった研究者間での共同研究の展開や海外研究拠点間の連携推進など、本課題ならではのシナジー効果について、具体的な成果・展開は読み取れない。」

対応：

スイスにおいて、10 月に国際会議開催を企画し（第 25 回 酸化物エレクトロニクス WS：研究代表者である田畑が同会議の国際コミッティの一人）、そのサテライトとしてスイスのみならずフランス、オランダの Core-to-Core メンバーが集まる機会を持ち、「散逸ゆらぎ」に関する集中的討論をおこなった。

③ 評価コメント (抜粋)：

3. 今後の研究交流活動計画 の項目

「R-4 における新デバイス応用展開・医療応用に向けた課題抽出においても具体的な記載がない」

対応：平成 28 年度に開催したワークショップにおいて具体化された量子コンピュータの基礎実験、医療応用に向けた NVC の高感度スピンセンシング特性を有するセンサーデバイス実証実験、ダイヤモンド NV レーザの基礎実験に関して各テーマをさらに発展させ、上記の具現化を加速するために日本より研究者を派遣した（H30 年 11 月、2 日間、2 名）。研究者の派遣などを通じて、ダイヤモンド NV を利用した高感度スピンセンシングデバイス実証実験に成功した。医療応用として乳がんの転移を検査するハンドヘルドプローブのデモ器を作製し、磁気感度は 100nT 以下を得た。従来のホールセンサを用いた感度と比較して一桁以上の感度向上に成功した。上記の成果に関して、論文発表（筆頭著者の F. Brandenburg は東大・八井研博士 3 年）、および外部発表（国際会議 5 件、国内会議 2 件）を行った。国際会議発表では、うち 1 件の発表で優秀発表賞を受賞した。

8. 研究交流実績総人数・人日数

8-1 平成30年度の相手国との交流実績

	四半期	日本	スウェーデン	スイス	オランダ	フランス	ドイツ	カナダ(第三国)	合計
日本	1		/ (/)	/ (/)	/ (/)	5 / 69 (/)	/ (/)	/ (/)	5 / 69 (0 / 0)
	2		/ (/)	2 / 12 (/)	/ (/)	/ (/)	1 / 5 (/)	/ (/)	3 / 17 (0 / 0)
	3		/ (/)	4 / 24 (/)	/ (/)	1 / 8 (/)	2 / 8 (/)	/ (/)	7 / 40 (0 / 0)
	4		/ (/)	2 / 13 (/)	/ (/)	3 / 21 (/)	3 / 6 (/)	/ (/)	8 / 40 (0 / 0)
	計		0 / 0 (0 / 0)	8 / 49 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	9 / 98 (0 / 0)	6 / 19 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	23 / 166 (0 / 0)
スウェーデン	1	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (1 / 4)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 4)
	3	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (1 / 131)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 131)
	計	0 / 0 (2 / 135)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 135)
スイス	1	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (1 / 3)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 3)
	3	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (1 / 3)	0 / 0 (0 / 0)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 3)
オランダ	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (2 / 4)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (2 / 4)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (2 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 4)
フランス	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (1 / 4)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 4)
	3	/ (1 / 14)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 14)
	4	/ (1 / 14)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 14)
	計	0 / 0 (3 / 32)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (3 / 32)
ドイツ	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (1 / 2)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	0 / 0 (1 / 2)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (1 / 2)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 2)
カナダ(第三国)	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (1 / 20)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		0 / 0 (1 / 20)
	4	/ (1 / 4)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)		0 / 0 (1 / 4)
	計	0 / 0 (2 / 24)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)		0 / 0 (2 / 24)
合計	1	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 69 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 69 (0 / 0)
	2	0 / 0 (6 / 17)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 12 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 5 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	3 / 17 (6 / 17)
	3	0 / 0 (2 / 34)	0 / 0 (0 / 0)	4 / 24 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 8 (0 / 0)	2 / 8 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	7 / 40 (2 / 34)
	4	0 / 0 (3 / 149)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 13 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	3 / 21 (0 / 0)	3 / 6 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	8 / 40 (3 / 149)
	計	0 / 0 (11 / 725)	0 / 0 (0 / 0)	8 / 49 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	9 / 98 (0 / 0)	6 / 19 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	23 / 166 (11 / 200)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※相手国側マッチングファンドなど、本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて(第三国)と記入してください。

8-2 平成30年度の国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
/ (/)	/ (6 / 17)	/ (2 / 34)	/ (3 / 149)	0 / 0 (11 / 200)

8-3 全期間にわたる派遣・受入人数

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
派遣人数	35 (1)	28 (1)	30 (0)	18 (0)	23 (0)
受入人数	0 (7)	0 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (11)

※各年度の実施報告書の「相手国との交流実績」に記載の人数を転記してください。

※相手国側マッチングファンドなど、本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

9. 経費使用総額

9-1 平成30年度経費使用額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	181,620	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	11,092,172	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	1,025,670	
	その他の経費	1,010,392	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	884,400	※外国旅費および謝金以外に不課・非課税取引の該当がある場合には、備考欄にその内容を記入してください。
	計	14,194,254	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,419,425	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合 計		15,613,679	

9-2 全期間にわたる経費使用額

(単位 円)

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
国内旅費	213,570	342,170	361,232	67,800	181,620
外国旅費	12,500,456	11,690,395	10,642,283	8,290,178	11,092,172
謝金	108,000	108,000	108,000	144,000	0
備品・消耗品購入費	881,118	1,204,761	2,829,870	5,438,020	1,025,670
その他の経費	1,261,960	230,248	282,394	407,151	1,010,392
不課税取引・非課税取引に係る消費税	977,494	917,790	776,221	652,851	884,400
合計	15,942,598	14,493,364	15,000,000	15,000,000	14,194,254

※各年度の実施報告書の「経費使用額」を転記してください。

※「不課税取引・非課税取引に係る消費税」について、平成27年度以前の実施報告書では「外国旅費・謝金等に係る消費税」の記載となっています。

10. 相手国マッチングファンド使用額

※全期間にわたる相手国のマッチングファンドの状況概要について、記入してください。

①	相手国名	スウェーデン
	拠点機関名	スウェーデン王立工科大学
	経費負担区分	パターン1
	マッチングファンドの 状況概要	学術助成機関名：Swedish Research Council プログラム名：Linnaeus Centers of Excellence 支給期間：2008. 7. 1 ～2018. 6. 30 使用金額：5,311,643[SEK] 学術助成機関名：Swedish e-Science Research Center プログラム名：Electronic Structure 支給期間：2010. 7. 1 ～2020. 6. 30 使用金額：8,500,000[SEK] 学術助成機関名：Swedish Foundation for Strategic Research Council プログラム名：Strategic Energy Research 支給期間：2012. 8. 1 ～2016. 7. 31 使用金額：2,334,246[SEK]
②	相手国名	スイス
	拠点機関名	スイス連邦工科大学ローザンヌ校
	経費負担区分	パターン1
	マッチングファンドの 状況概要	学術助成機関名：European Research Council プログラム名：ERC Advanced Grant 支給期間：2016. 9. 1 ～2021. 8. 31 使用金額：5,167[CHF] 学術助成機関名：スイス科学財団 Swiss National Science Foundation プログラム名：個別研究予算 (Individual funding) 支給期間：2014. 4. 1 ～2017. 3. 31 使用金額：9,000[CHF] 学術助成機関名：スイス連邦工科大学ローザンヌ校 プログラム名：基礎研究予算 (Basic Laboratory funding) 支給期間：2004. 7. 1 ～2028. 6. 30 使用金額：10,000[CHF]

		学術助成機関名 : Swiss National Science Foundation プログラム名 : Collaborative funding 支給期間 : 2011. 5. 1 ~2014. 10. 31 使用金額 : 7, 019[CHF] 学術助成機関名 : Swiss National Science Foundation プログラム名 : Individual funding 支給期間 : 2012. 5. 1 ~2015. 4. 30 使用金額 : 10, 821[CHF] 学術助成機関名 : Swiss National Science Foundation プログラム名 : Individual funding 支給期間 : 2013. 6. 1 ~2014. 5. 31 使用金額 : 501[CHF]
③	相手国名	フランス
	拠点機関名	国立中央理工科学学校リヨン校
	経費負担区分	パターン 1
	マッチングファンドの 状況概要	学術助成機関名 : Agence Nationale de la Recherche (ANR) プログラム名 : Programme Nanotechnologies et Nanosystemes-P2N 支給期間 : 2011. 10. 1 ~2014. 9. 1 使用金額 : 1, 006[EUR] 学術助成機関名 : French National Agency for Research プログラム名 : Nanosciences and Nanosystems program 支給期間 : 2013. 3. 1 ~2016. 8. 31 使用金額 : 7, 257[EUR] 学術助成機関名 : French National Agency for Research プログラム名 : Non-thematic program 支給期間 : 2013. 10. 1 ~2017. 9. 30 使用金額 : 5, 252 [EUR] 学術助成機関名 : University of Grenoble プログラム名 : AGIR 支給期間 : 2011. 1. 1 ~2015. 1. 1 使用金額 : 945 [EUR]

		学術助成機関名：Centrale Innovation プログラム名：RIA 支給期間：2018. 1. 1 ～2020. 12. 31 使用金額：1, 243 [EUR]
④	相手国名	ドイツ
	拠点機関名	ウルム大学
	経費負担区分	パターン 2
	マッチングファンドの 状況概要	学術助成機関名：European Research Council プログラム名：ERC 2012 Synergy Grant 支給期間：2013. 7. 1 ～2019. 6. 30 使用金額：250, 000 [EUR]
⑤	相手国名	オランダ
	拠点機関名	トゥエンテ大学
	経費負担区分	パターン 2
	マッチングファンドの 状況概要	学術助成機関名：MESA+ Institute for Nanotechnology プ ロ グ ラ ム 名：NanoLabNL, Dutch National Program on Nanotechnology 支給期間：2017. 1. 1 ～2019. 12. 31 使用金額：224, 383 [EUR] 学術助成機関名：Dutch Technology Foundation STW プ ロ グ ラ ム 名：NanoNextNL, Dutch National Program on Nanotechnology 支給期間：2012. 1. 1 ～2016. 12. 31 使用金額：275, 342 [EUR]