

研究拠点形成事業
平成 28 年度 実施報告書
(平成 25～27 年度採択課題用)

A. 先端拠点形成型

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	慶應義塾大学
(ドイツ) 拠点機関：	ミュンヘン工科大学
(英国) 拠点機関：	ユニヴァーシティーカレッジロンドン
(米国) 拠点機関：	スタンフォード大学
(カナダ) 拠点機関：	サイモンフレーザー大学
(スイス) 拠点機関：	スイス連邦工科大学
(オーストラリア) 拠点機関：	ニューサウスウェールズ大学

2. 研究交流課題名

(和文)： 同位体スピントロニクス
(交流分野： 数物系)

(英文)： Isotope spintronics
(交流分野： Mathematics and Physics)

研究交流課題に係るホームページ：[http:// www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/](http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/)

3. 採用期間

平成 25 年 4 月 1 日 ～ 平成 30 年 3 月 31 日
(4 年度目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関：慶應義塾大学

実施組織代表者(所属部局・職・氏名)：学長・清家 篤

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：理工学部・教授・伊藤公平

協力機関：独立行政法人産業技術総合研究所、東京都市大学、東京大学

事務組織：理工学部学術研究支援課

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：ドイツ

拠点機関：（英文） Technical University of Munich

（和文） ミュンヘン工科大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） Department of Physics・Professor・
Martin BRANDT

経費負担区分（A型）：パターン1

（2）国名：英国

拠点機関：（英文） University College London

（和文） ユニヴァーシティーカレッジロンドン

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） London Center for Nanotechnology・
Royal Society University Research Fellow and Reader・John MORTON

協力機関：（英文） University of York

（和文） ヨーク大学

経費負担区分（A型）：パターン1

（3）国名：米国

拠点機関：（英文） Stanford University

（和文） スタンフォード大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） Department of Materials Science and
Engineering・Professor・Paul MCINTYRE

協力機関：（英文） UC Berkeley

（和文） カリフォルニア大学バークレー校

経費負担区分（A型）：パターン1

（4）国名：カナダ

拠点機関：（英文） Simon Fraser University

（和文） サイモンフレーザー大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） Department of Physics・Professor・
Mike THEWALT

経費負担区分（A型）：パターン1

（5）国名：スイス

拠点機関：（英文） ETH

（和文） スイス連邦工科大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） Department of Physics・Professor・Christian DEGEN

経費負担区分（A型）： パターン1

（6） 国名： オーストラリア

拠点機関：（英文） The University of New South Wales

（和文） ニューサウスウェールズ大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文） Centre for Quantum Computation & Communication Technology・Professor・Andrew DZURAK

協力機関：（英文） University of Melbourne

（和文） メルボルン大学

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

スピントロニクス（Spintronics）とは、物質の電気特性と磁気特性の双方を制御することにより得られる新しい物理現象を利用して電子・情報通信産業のイノベーションを創成する新しい学術分野である。量子力学的効果を顕在化するための微細加工が不可欠であるため、固体物理学とナノテクノロジーに力点を置いた日本の基幹研究が世界のスピントロニクス研究をリードしてきた。本申請の中心となる慶應義塾スピントロニクス研究センター（以下、慶應スピ研）は、元素戦略および環境保護という観点において特に有用な炭素、ケイ素、ゲルマニウムの安定同位体を自在に制御することから、新しいスピントロニクス材料と新奇な電気・光学・磁気的特性を次々と世界に送り出してきた。

本研究交流では、同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子核磁気共鳴(NMR)イメージングの実現、同位体カーボンナノチューブやグラフェンによるスピン量子情報処理法の開発、同位体シリコン構造による量子計算手法の確立、同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発、同位体シリコン基板上での超伝導量子情報処理と量子制御など、慶應スピ研が世界レベルでの主導権を有する同位体工学をキーワードとした先端基礎研究を中心にすすめる。そしてこれまで以上に当スピ研メンバーと相手国拠点研究機関メンバーの往来を加速し、この協調を基盤として、1) 同位体スピントロニクス研究のハブとして国内外を統合したスピントロニクス国際連携ネットワークを発展させ、2) 世界に散らばる先端的手法とノウハウを我が国に結集し、3) 国境を越えた先端研究の推進と若手研究者を啓蒙する教育プログラムを実施することから、本学術分野の発展に対する我が国のリーダーシップを確固なものとする。

5-2. 平成28年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

共通の学会参加等を利用した拠点コアメンバーが一同に集まる共同研究打合せを2回実施する予定で、くわえて毎月のペースで拠点間のビデオ会議を継続することから共同研究の協力体制を強化していく。さらに、慶應スピノ研を訪問希望する海外研究者によるセミナーを随時開催していく。

<学術的観点>

プログラム R-1：ミュンヘン工科大学・UCL・サウスウェールズ大・東京都市大・慶應スピノ研の協調では、同位体シリコン中の単一リンドナーおよび同位体シリコン中の単一量子ドットを量子ビットとして量子計算を実行する研究を進め、昨年度に引き続きインパクトの強い論文誌への共著論文発表を行う。プログラム R-2：昨年度に引き続きスタンフォード大・サイモンフレーザー大・慶應スピノ研の協調では、スタンフォード大学においてゲルマニウムのナノワイヤーの作製に取り組み、サイモンフレーザー大学ではシリコン同位体構造の光評価、プリンストン大学ではゲルマニウムの磁気共鳴に取り組み。さらに Rice 大学の河野淳一郎教授にも新たに参加いただきグラフェン・ナノチューブといったカーボン系の同位体スピントロニクスに関する共同研究を強化する。プログラム R-3：ETH・産総研・ウルム大・慶應スピノ研の協調では、産総研が同位体ダイヤモンド成長を実施し、それらの試料の基礎評価を慶應で実施し、その結果として選別された試料を ETH および Ulm 大学に送り、ETH が磁気共鳴、Ulm 大学が少数核スピノ磁気共鳴の研究に取り組み、量子センシングとしての発展を広げる。また、ダイヤモンド量子センシングという切口で、ハーバード大学の Amir Yacoby 教授とワシントン大学の Kai-Mei Fu 教授との協調を深める。プログラム R-4：ETH・東大・慶應スピノ研の協調では、東大が超伝導量子情報処理用の素子と構想を作製し、その実行方法の確立を ETH、MIT らと協調して進める。

<若手研究者育成>

7月にイギリス・ブリストル大学にて日本からの若手研究者も参加する JSPS Core-to-Core セミナーを開催して国際舞台における研究活動の実態を体験する。11月に日本からの若手研究者が ETH および Ulm 大学に1ヶ月滞在し、R-3に関わる共同研究を深化させる。ミュンヘン工科大学・慶應義塾大学ダブルディグリープログラム（修士課程を両校で学ぶことによりそれぞれの大学から修士号が取得できる協定プログラム）を通じたドイツ拠点から学生1名の慶應滞在を続行する。また、プログラム横断的なセミナー・スクールを続行し、そのビデオ(http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/)の公開を続行する。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

当プロジェクトのホームページ http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/にて、当プロジェクトの活動報告を写真や文章で公開するとともに、様々なビデオ講義も収録して発信し続ける。

6. 平成28年度研究交流成果

6-1 研究協力体制の構築状況

平成28年6月12日～17日に開催された Silicon Quantum Electronics Workshop および Quantum-CMOS Integration Technology Workshop ではオーストラリア、米国、カナダ、英国、ドイツメンバーが参加し R-1 と R-2 に関する共同研究打ち合わせを行った。ここでの目的は同位体シリコンを用いた集積型量子コンピュータ開発であり、そのデバイス設計と評価に関する議論と計画立案を行った。いかにしてリンドナーを並べて複数量子ビット演算につなげるかについてアイデアを持ち寄り、ゲート電極により定義された量子ドットの量子操作などに関する共同実験手法を考察した。また、8月6日～15日に開催された 7th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials では米国メンバーと慶應メンバーが R-2 に関する共同研究（ナノチューブ同位体制御とその光学特性への影響と、それらの応用の可能性）について打ち合わせた。8月14日～21日に開催された Defects in Semiconductors Gordon Research Conference では米国およびドイツメンバーが R-1 に関して半導体中のシリコンスピン量子ビット開発に関する共同研究打ち合わせを行った。以上、当初予定は2回であったが、実績としては3回、共通の学会参加を利用した共同研究打ち合わせを行った。

また拠点間のセミナーを慶應で4回、英国で1回、ドイツで1回行い、特にシリコン量子コンピュータ、シリコンフォトニクス、ダイヤモンド量子センシングに関する研究広報と研究アイデアの醸成を行った。さらに拠点間のビデオ会議を実施したことにより共同研究の協力体制を強化した。中間評価で指摘された学生の海外拠点長期滞在共同研究に関しては、博士課程に進学する慶應義塾大学大学院修士過程2年生の大学院生が ETH に約1ヶ月半間滞在し、ダイヤモンドプロトン NMR イメージングに関する新手法開発といった共同研究成果をあげた。

6-2 学術面の成果

プログラム R-1: ミュンヘン工科大学・UCL・東京都市大・慶應スピン研の協調では、7月にブリストル大学を慶應メンバー4名が訪れ、生物模倣プロセスを用いた超電導材料開発に関するワークショップを開催し、固体素子で生命現象や信号処理を実施する方法に関して複数の共同研究の方向性を生み出した。10月にはミュンヘン工科大学にてシリコン量子コンピューターセミナーを開催し、電子スピン量子ビットの量子制御方法に関して意見交換を行った。特にシリコン中の四重極子相互作用量子情報処理に利用する

手法を調べ、平成28年度も Physical Review Letter 誌1通、Nanotechnology 誌1通の共著論文をミュンヘン工科大学と発表する成果をあげた。集積型シリコン量子コンピューティングに関する研究に関しては、同位体シリコン中の単一量子ビット量子計算を実行する研究に取り組み、サウスウェールズ大学と共に Nature Nanotechnology 誌1通、Physical Review B 誌1通の論文を発表するなどの成果を得た。また、 ^{29}Si 核スピン量子コンピューティングに関して英国拠点 UCL とともに Physical Review B 誌1通を発表した。プログラム R-2：スタンフォード大・サイモンフレーザー大・慶應スピン研の協調では、ゲルマニウム同位体の量子コンピュータ応用を進めて、Physical Review B 誌に共著論文1通を発表した。また、上述の UCL との Physical Review B 共著論文はカナダ拠点サイモンフレーザー大学との共著論文でもある。プログラム R-3：ETH-産総研-Ulm 大・慶應スピン研の協調では、7月に慶應メンバーが ETH と Ulm 大学を訪れ、ダイヤモンド量子センシングを用いて単一核スピンを検知するという目標に向けた共同研究を実施した。また平成29年2月には約1ヶ月半、慶應の学生が ETH に滞在し引き続き共同研究を実施した。R-3 に関しては Applied Physics Letters 誌に米国協力研究者との共著論文1通を発表し、その他、慶應を核とする国内中心の論文を Applied Physics Letters 誌などに3通発表した。プログラム R-4：ETH-東大・慶應スピン研の協調では、東大が超伝導量子情報処理用の素子と構想を作製し、その実行方法の確立を ETH、MIT らと協調して進めた。

6-3 若手研究者育成

中間評価で指摘された学生の海外拠点長期滞在共同研究に関しては、博士課程に進学する慶應義塾大学大学院修士過程2年生の大学院生が ETH に約1ヶ月半滞在し、ダイヤモンドプロトン NMR イメージングに関する新手法開発といった共同研究成果をあげた。

6月には MIT・Lloyd 教授、University of Southern California・高橋教授、7月に Rice 大学・河野教授、平成29年1月に Harvard 大学・Loncar 教授を慶應に迎えて、慶應拠点の学生および若手研究者を特に意識したセミナーを開催した。また、7月にイギリス・ブリストル大学にて日本からの若手研究者も参加する JSPS Core-to-Core セミナーを開催して国際舞台における研究活動の実態を体験した。ミュンヘン工科大学・慶應義塾大学ダブルディグリープログラム(修士課程を両校で学ぶことによりそれぞれの大学から修士号が取得できる協定プログラム)を通じたドイツ拠点から学生1名の慶應滞在进行した。プログラム横断的なセミナー・スクールを英語により開催し、そのビデオ(http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/)の公開を続行した。

6-4 その他(社会貢献や独自の目的等)

当プロジェクトのホームページ http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/

でも、活動報告を写真や文章で公開するとともに、様々な最新の研究成果発表、学会発表、各種ビデオ講義を収録して発信した。

6-5 今後の課題・問題点

中間審査でも指摘されたが、Core-to-Core 成果として論文を発表するメンバーが限られているので、広くその枠を広げる。

シリコン量子コンピュータ開発に関しては、本チームの手法を米国 Intel 社が採用し、その開発を急ピッチで進めている。学術と技術の両面において、彼らの先を進む必要がある。

6-6 本研究交流事業により発表された論文等

(1) 平成28年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 10本

うち、相手国参加研究者との共著 7本

(2) 平成28年度の国際会議における発表 9件

うち、相手国参加研究者との共同発表 1件

(3) 平成28年度の国内学会・シンポジウム等における発表 3件

うち、相手国参加研究者との共同発表 0件

(※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

7. 平成28年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	<p>(和文) 同位体シリコン・ゲルマニウム・グラフェン・ナノチューブに基づく量子情報処理</p> <p>(英文) Quantum information processing based on isotopically controlled silicon, germanium, graphene, and carbon nanotubes</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職	<p>(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授</p> <p>(英文) Kohei Itoh・Keio University Faculty of Science and Technology・Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文)</p> <p>Martin Brandt・Technical University of Munich・Professor</p> <p>John Morton・University College London・Royal Society University Research Fellow and Reader</p> <p>Andrew Dzurak・University of New South Wales・Professor</p>				
28年度の研究 交流活動	<p>昨年度から慶應に滞在しているミュンヘン工科大学の学生との共同研究を継続して行った。6月にはオランダ・デルフトにおけるシリコン量子情報の国際会議に拠点メンバーが集まり、シリコン量子コンピュータ開発に関する共同研究打ち合わせを実施した。8月にはドイツ拠点リーダーが主催する国際会議が米国で開催され、そこに慶應教員が参加して、共同研究の打ち合わせを行った。その後、10月にも慶應の教員がミュンヘン工科大学でセミナーと共同研究、ベルリンの Paul-Drude-Institute で共同研究打ち合わせを行った。</p>				
28年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>昨年度に引き続き、ミュンヘン工科大学とはスピン流およびシリコン中のドナーにおける四重極子相互作用の解明等に注力した。イギリスとの交流においてはシリコン中のドナーに対する電界の効果の解明に注力した。また、オーストラリアとの強力な研究体制をさらに高め、昨年度同様に多数の拠点間共著論文を Physical Review 誌、Nature 系の学術誌などに発表することを目指した。結果ドイツと2通、オーストラリアと2通、英国と1通の共著論文を発表した。また国際会議における招待講演で本 Core-to-Core プログラムの成果を広く発信した。</p>				

平成25～27年度採択課題

整理番号	R-2	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発 (英文) Magneto-optics device based on isotope nanostructures				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授 (英文) Kohei Itoh・Keio University Faculty of Science and Technology・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Paul McIntyre・Stanford University・Professor Mike Thewalt・Simon Fraser University・Professor				
28年度の研 究交流活動	6月にオランダ・デルフトで開催されるシリコン量子情報の国際会議にアメリカ拠点メンバーの一部も参加し、R-2とR-1の境界重複領域も含めた研究打ち合わせを実施した。8月にはオーストリアで開催される学会に慶應メンバーが参加し、同会議に参加するRice大学・河野教授と共同研究打ち合わせを行った。昨年度同様に多数の拠点間共著論文を、Physical Review誌、Nature系の学術誌などに発表することを目指した。				
28年度の研 究交流活動から得 られた成果	スタンフォード大-サイモンフレーザー大-慶應スピン研の協調では、スタンフォード大学においてゲルマニウムのナノワイヤーの作製、サイモンフレーザー大学ではシリコン同位体構造の光評価、プリンストン大学ではゲルマニウムの磁気共鳴評価を続行した。Rice大学にも新規参加してもらい、ナノチューブやグラフェンに関する共同研究を立ち上げた。				

平成25～27年度採択課題

整理番号	R-3	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	<p>(和文) 同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子 NMR イメージングの実現</p> <p>(英文) Single molecule NMR imaging using isotopically controlled diamond nano probe</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職	<p>(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授</p> <p>(英文) Kohei Itoh・Keio University Faculty of Science and Technology・Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文) Christian Degen・ETH・Professor</p>				
28年度の研究交流活動	<p>産総研、ETH、Ulm 大学を中心としたダイヤモンド量子センシング研究を続行した。慶應と産総研で比類なき高品質の同位体ダイヤモンド材料を開発し、それをを用いた量子センシングを慶應・産総研に加えて、スイス、ドイツ、米国、豪などの共同研究者と共に実施した。6月には名古屋で開催される国際会議にて研究代表者の伊藤が招待講演を行った。7月には慶應の学生1名がETHに2日、特任教員1名がETHとUlm大学に2日ずつ、また2月には慶應の学生1名がETHに約1ヶ月半滞在し、ダイヤモンド量子センシングを用いて単一核スピンを検出するという高い目標に向けた共同研究を実施した。さらにビデオ会議を毎月のペースで実施し研究交流を深めた。</p>				
28年度の研究交流活動から得られた成果	<p>ETH・産総研・Ulm 大・慶應スピン研の協調では、産総研が同位体ダイヤモンド成長を実施し、それらの試料の基礎評価を慶應で実施し、その結果として選別された試料をETHおよびUlm大学に送り、ETHが磁気共鳴、Ulm大学が少数核スピン磁気共鳴の研究に取り組み、量子センシングとしての発展を広げた。また、ダイヤモンド量子センシングという切口中で、ハーバード大学の Amir Yacoby 教授とワシントン大学の Kai-Mei Fu 教授との協調を深めた。</p>				

平成25～27年度採択課題

整理番号	R-4	研究開始年度	平成25年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	<p>(和文) 同位体シリコン基板上での超伝導量子情報処理と量子制御</p> <p>(英文) Quantum information processing and quantum control using superconducting qubits placed on isotopically enriched silicon substrates</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職	<p>(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授</p> <p>(英文) Kohei Itoh・Keio University Faculty of Science and Technology・Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文) Christian Degen・ETH・Professor</p>				
28年度の研究交流活動	<p>ETHのAndreas Wallraff教授とKlaus Ensslin教授との共同研究を続行した。さらに慶應・ETH・東大の間でビデオ会議を毎月のペースで実施し研究交流を深めた。</p>				
28年度の研究交流活動から得られた成果	<p>ETH・東大・慶應スピン研の協調では、東大が超伝導量子情報処理用の素子と構想を作製し、その実行方法の確立をETH、MITらと協調して進めた。特にMITが、マイクロ波を用いた超伝導量子ビット操作の精緻化に東大と共に取り組んだ。</p>				

7-2 セミナー

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「生物模倣プロセスを用いた超伝導材料開発に関するワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Workshop on novel superconducting materials using biomimetic process“
開催期間	平成28年7月26日～平成28年7月26日(1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) イギリス、ブリストル、ブリストル大学
	(英文) University of Bristol, Bristol, UK
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 神原陽一・慶應義塾大学理工学部・准教授
	(英文) Yoichi Kamihara, Keio University・Associate Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) Simon Robert Hall・University of Bristol・Senior lecturer

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (英国)	
		A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	4/23	
	B.		
英国 〈人/人日〉	A.	1/3	
	B.	40	
合計 〈人/人日〉	A.	5/26	
	B.	40	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	R-1「同位体シリコン・ゲルマニウム・グラフェン・ナノチューブに基づく量子情報処理」に携わるプロジェクトメンバーが共同研打ち合わせも兼ねてブリストル大学を訪ね、最新の成果を発表する。また、ブリストル大学の研究者も発表を行う。	
セミナーの成果	本プロジェクトの核となる「同位体シリコン・ゲルマニウム・グラフェン・ナノチューブに基づく量子情報処理」に関連して、慶應メンバーの神原洋一准教授と学生メンバーが推進する強相関材料の同位体操作に基づくスピントロニクス成果をブリストル大学で発表し、その研究に興味を有する関連研究者が聴衆として集まり、慶應の成果を広報することから今後の共同研究の幅を広げ、新しいアイデアなどに関するディスカッションを行った。	
セミナーの運営組織	University of Bristol	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費 1,177,707 円 消費税 94,217 円
	(英国)側	内容 会議費

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「シリコン量子コンピューターセミナー」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Silicon Quantum Computer Seminar“
開催期間	平成28年10月17日 ～ 平成28年10月17日 (1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) ドイツ、ガーヒンク、ミュンヘン工科大学
	(英文) Technical University of Munich, Garching, Germany
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授
	(英文) Kohei Itoh, Keio University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文) Martin Brandt・Technical University of Munich・Professor

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (ドイツ)	
	A.	B.
日本 〈人/人日〉	1/3	
ドイツ 〈人/人日〉	2/2	
	48	
合計 〈人/人日〉	3/5	
	48	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>R-1「同位体シリコン・ゲルマニウム・グラフェン・ナノチューブに基づく量子情報処理」に携わるプロジェクトメンバーが共同研究実施も兼ねてミュンヘン工科大学を訪ね、最新の成果を発表する。また、ミュンヘン側研究者も発表を行う。</p>	
<p>セミナーの成果</p>	<p>本プロジェクトの核となる「同位体シリコン・ゲルマニウム・グラフェン・ナノチューブに基づく量子情報処理」の進展を、ドイツ拠点の主要メンバーと関連する研究者に公開し、共同研究の深化につなげた。ドイツ拠点において10月に日本側メンバーが実施するセミナーは定例となっており、このセミナーに参加するドイツ拠点の修士課程学生が本Core-to-Coreプロジェクトに興味を抱き、慶應義塾大学大学院ダブルディグリープログラムに参加する成功が続いている。現在の日本拠点・慶應のチームメンバーのドイツ人1名は、このセミナーをとおして慶應に興味を持ち、慶應に入学した大学院生である。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>Walter Schottky Institute, TU Munich</p>	
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 外国旅費 515,520 円 消費税 41,242 円</p>
	<p>(ドイツ)側</p>	<p>内容 会議費</p>

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「ダイヤモンド量子センシングセミナーIII」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Diamond Quantum Sensing Seminar III”
開催期間	平成28年6月16日～平成28年6月16日 (1 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、横浜市、慶應義塾大学日吉キャンパス
	(英文) Keio University Yagami campus, Yokohama, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授
	(英文) Kohei Itoh, Keio University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	26/ 26	
	B.	12	
米国 〈人/人日〉	A.	1/ 1	
	B.		
合計 〈人/人日〉	A.	27/ 27	
	B.	12	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	R-3「同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子 NMR イメージングの実現」に携わる米国 University of Southern California の高橋晋博士が慶応を訪ねて、「Electron spin resonance spectroscopy using NV centers in diamond」と題する R-3 研究の最新の成果を広報すると同時に、今後の研究に関する打ち合わせを行う。	
セミナーの成果	本プロジェクトの核となる「同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子 NMR イメージングの実現」に関して、米国側研究協力者の高橋先生に、強磁場光学検知電子スピン共鳴という日本にはない手法をセミナー講演で紹介してもらい、その手法を単一分子 NMR イメージングにつなげる道筋についてお話しいただいた。この独特な手法を我が国の研究機関で導入するか？または高橋先生との共同研究という形で、日米で一緒に進めるかを検討し、慶應義塾側の成果も高橋先生に伝えた結果、今後の共同研究の深化につなげることが出来た。	
セミナーの運営組織	慶應義塾先導研究センター、スピントロニクス研究センター	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 なし
	(米国) 側	内容 外国旅費

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「量子スピントロニクスセミナー」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Quantum Spintorionics Seminar”
開催期間	平成28年6月7日～平成28年6月7日 (1 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、横浜市、慶應義塾大学日吉キャンパス
	(英文) Keio University Yagami campus, Yokohama, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授
	(英文) Kohei Itoh, Keio University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	42/ 26	
	B.	16	
米国 〈人/人日〉	A.	1/ 1	
	B.		
合計 〈人/人日〉	A.	43/ 27	
	B.	16	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>R-2「同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発」に携わる米国 MIT の Seth Lloyd 博士が”Quantum Machine Learning”と題する R-2 研究の最新の成果について、また R-3 「同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子 NMR イメージングの実現」に携わる産業技術総合研究所の山崎聡博士が「ダイヤモンドの魅力とその応用」と題する講演を行い、セミナー発表内容をうけて今後の共同研究に関する打ち合わせを行う。</p>	
<p>セミナーの成果</p>	<p>山崎聡博士には新たに本 Core-to-Core に参画いただくため、これまでのダイヤモンド研究の成果を慶應拠点チームメンバーと一般の参加者にセミナーを通して知ってもらい、特に拠点メンバーにおいては本セミナー発表をもとに共同研究の枠組みを築くことを目的とした。Lloyd 博士は量子情報処理分野世界トップの理論家の一人で、今回は量子機械学習という新しいコンセプトを紹介してもらい、Lloyd 先生の発表内容をもとに、山崎博士も含めて、ダイヤモンドやその他の同位体を用いた量子人口知能研究への展開を検討した。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>慶應義塾先導研究センター、スピントロニクス研究センター</p>	
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 なし</p>
	<p>(米国) 側</p>	<p>内容 外国旅費</p>

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「磁気光学スピントロニクスセミナー」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Spintorionics Magneto-Optics Seminar”
開催期間	平成28年7月8日～平成28年7月8日 (1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、横浜市、慶應義塾大学矢上キャンパス
	(英文) Keio University Yagami campus, Yokohama, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授
	(英文) Kohei Itoh, Keio University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	32/ 32	
	B.	15	
米国 〈人/人日〉	A.	1/ 1	
	B.		
合計 〈人/人日〉	A.	33/ 33	
	B.	15	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>R-2「同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発」に携わる米国 Rice 大学の河野淳一郎教授が”Carbon Nanotube Optoelectronics”と題する講演を行い、セミナー発表内容をうけて今後の共同研究に関する打ち合わせを行う。</p>	
<p>セミナーの成果</p>	<p>R-2「同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発」の一環として、慶應拠点において牧英之准教授がカーボンナノチューブを用いた単一光子源の開発に取り組んでいる。慶應拠点では同位体操作に基づく性能向上を目指しているが、カーボンナノチューブの光学特性に関しては未解明な事象も残されている。その解明の最先端を走る河野淳一郎博士との共同研究を開始したため、講演を通して最新の成果を学ぶと同時に、講演後に共同研究の議論を深めた。ここでの議論に基づき牧英之准教授とそのチームメンバーは共同研究計画の精緻化をはかり、8月にオーストリアで河野博士と再度実施する研究打ち合わせにおいて詳細をすべて決定し、共同研究を加速した。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>慶應義塾先導研究センター、スピントロニクス研究センター</p>	
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 なし</p>
	<p>(米国)側</p>	<p>内容 外国旅費</p>

整理番号	S-6
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「ダイヤモンド量子情報セミナーII」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Diamond quantum information Seminar II”
開催期間	平成29年1月11日～平成29年1月11日 (1 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、横浜市、慶應義塾大学矢上キャンパス
	(英文) Keio University Yagami campus, Yokohama, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 伊藤公平・慶應義塾大学理工学部・教授
	(英文) Kohei Itoh, Keio University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	35/ 35	
	B.	15	
米国 〈人／人日〉	A.	1/ 1	
	B.		
合計 〈人／人日〉	A.	36/ 36	
	B.	15	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>R-2「同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発」と R-3「同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子NMRイメージングの実現」に携わる米国 Harvard 大学の Marko Loncar 教授が、”Quantum/nonlinear photonics with diamonds”と題する講演を行い、セミナー発表内容をうけて今後の共同研究に関する打ち合わせを行う。</p>	
<p>セミナーの成果</p>	<p>Loncar 教授が進めるダイヤモンド中の NV 中心を用いた量子情報処理は、本プロジェクトの研究項目 R-2「同位体ナノ構造による磁気光学素子の開発」と R-3「同位体ダイヤモンドナノプローブによる単一分子 NMR イメージングの実現」と密接に関わっている。平成 25 年にも Loncar 教授のセミナーを行っており (S-6)、その際に共同研究を開始し、平成 27 年以降の Core-to-Core 事業への参加を検討することになった。今回、正式に事業への参加が決まり、最終年度に向けて今後の共同研究が一層発展することとなった。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>慶應義塾先端研究センター、スピントロニクス研究センター</p>	
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 なし</p>
	<p>(米国) 側</p>	<p>内容 なし (別経費にて負担)</p>

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外でどのような交流（日本国内の交流を含む）を行ったか記入してください。

日数	派遣研究者		訪問先・内容		派遣先
	氏名・所属・職名	氏名・所属・職名	内容		
9 日間	藤井瞬・慶應義塾大学・前期博士課程			Conference on Lasers and Electro-Optics 2016 (CLEO 2016)にて成果発表	米国
10 日間	伊藤公平・慶應義塾大学・教授			Silicon Quantum Electronics Workshopおよび Quantum-CMOS Integration Technology Workshopにアドバイザーとして参加、およびオーストラリア、米国、カナダ、英国、ドイツメンバーと共同研究打ち合わせ	オランダ
10 日間	牧 英之・慶應義塾大学・准教授			17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materialsにて成果発表および同会議に参加の米国メンバーと共同研究打ち合わせ	オーストラリア
10 日間	高木 宏・慶應義塾大学・前期博士課程			17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materialsにて成果発表および同会議に参加の米国メンバーと共同研究打ち合わせ	オーストラリア
10 日間	三好勇輔・慶應義塾大学・前期博士課程			17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materialsにて成果発表および同会議に参加の米国メンバーと共同研究打ち合わせ	オーストラリア
5 日間	佐々木健人・慶應義塾大学・前期博士課程			9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9)にて成果発表	神戸
5 日間	齋藤洋史・慶應義塾大学・前期博士課程			9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9)にて成果発表	神戸
3 日間	伊藤公平・慶應義塾大学・教授			9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9)にて成果発表	神戸
8 日間	伊藤公平・慶應義塾大学・教授			Defects in Semiconductors Gordon Research Conferenceにディスカッションリーダーとして参加および、同会議に参加する相手国メンバーと共同研究打ち合わせ	米国
3 日間	伊藤公平・慶應義塾大学・教授			第6回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会にて成果発表	那須
3 日間	宮本 聡・慶應義塾大学・特任助教			第6回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会にて成果発表	那須
3 日間	伊東那由多・慶應義塾大学・前期博士課程			第6回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会にて成果発表	那須

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

指摘事項1：多数の教授や准教授が参画している計画と思われるが、日本側参加者間の内部連携、ならびに各参加者による中心課題や関連課題への貢献がややわかりにくいいため、研究交流目標に対する各参加者の役割をより明確にすることが望まれる。

対応1：平成28年度からそれぞれの貢献が明確になるよう、組織力を高めることに努めております。本課題の主体となるスピントロニクス研究センターにおいて、センター所員を集めた定例の全体会議を開催し、研究交流目標に対する各参加者による中心課題や貢献方法について議論し、各参加者の寄与が明確になるよう努めております。

指摘事項2：欲を言えば、若手研究者がどのように試料作製や評価技術の開発に参画しているか、評価資料に具体的な記述があるとなおよかったと思われる。

対応2：大学院生による試料作製および評価技術開発の結果を論文として成果発表するようにしました。平成28年度には評価技術開発に関する2通の欧文原著論文を学生が筆頭著者として発表しました。

指摘事項3：関連分野の国際会議に多くの若手参加者がいる場合には、その場での関連機関の参加者を集めたグループセミナーを開催する等の案も効果的な若手交流として期待できるのではないかと。また、国際的なノウハウの結集に関しては、海外拠点での短期の実験への参加では得られない部分が重要であろう。可能であれば、相手国からの長期招へい研究者の人数と滞在期間を増やすとともに、日本からの若手研究者の長期派遣による日常的な研究への参加をより組織的に行うことも必要であろう。

対応3：海外拠点での短期の実験参加で、海外のノウハウを日本に移行する点ですが、これは大きな成果をあげています。ビデオ会議等でお互いの問題点を短期派遣前に協議し、先方には日本からの派遣受入れの準備を整えてもらい、実際の派遣滞在中には実験ノウハウを伝授してもらい、それを帰国後に日本で試します。ただし、短期であるとそれぞれの機関で考えたことを他の機関で試すという枠を超えられない欠点もあり、ご指摘いただきましたとおり、長期派遣が有効であること、間違いございません。そこで平成28年度には慶應義塾の大学院生が1ヶ月半以上ETHに滞在し、十分な時間をシェアすることで議論を深め、新しい研究の方向性を見出すことに成功しました。いただきましたご指南に感謝しております。

8. 平成28年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	ドイツ	英国	米国	カナダ	スイス	オーストラリア	オランダ (第三国)	オーストリア (第三国)	合計
日本	1				1.9 ()				1.6 ()		2/15 (0/0)
	2		1.4 ()	4.23 ()	1.8 ()		2.6 ()			3/30 ()	11/71 (0/0)
	3		1.8 ()								1.8 (0/0)
	4		1.6 ()				1.43 ()				2/49 (0/0)
	計		3.18 (0/0)	4.23 (0/0)	2.17 (0/0)	0.0 (0/0)	3.49 (0/0)	0.0 (0/0)	1.6 (0/0)	3/30 (0/0)	16.143 (0/0)
ドイツ	1										0.0 (1/6)
	2				1/8 ()						0.0 (1/8)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)		0.0 (0/0)	0.0 (1/8)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (1/6)	0.0 (0/0)	0.0 (2/14)
英国	1								1/6 ()		0.0 (1/6)
	2				2/16 ()						0.0 (2/16)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)		0.0 (2/16)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (1/6)	0.0 (0/0)	0.0 (3/22)
米国	1	2/2 ()							2/6 ()		0.0 (4/8)
	2	1/1 ()								1/10 ()	0.0 (2/11)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (3/3)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)		0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (2/6)	0.0 (1/10)	0.0 (6/19)
カナダ	1								2/6 ()		0.0 (2/6)
	2				1/8 ()						0.0 (1/8)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (1/8)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (2/6)	0.0 (0/0)	0.0 (3/14)
スイス	1										0.0 (0/0)
	2										0.0 (0/0)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)
オースト (第三国)	1								5/30 ()		0.0 (5/30)
	2										0.0 (0/0)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (5/30)	0.0 (0/0)	0.0 (5/30)
オランダ (第三国)	1										0.0 (0/0)
	2										0.0 (0/0)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)
オースト (第三国)	1										0.0 (0/0)
	2										0.0 (0/0)
	3										0.0 (0/0)
	4										0.0 (0/0)
	計	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)
合計	1	0.0 (2/2)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	1.9 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	1.6 (11/54)	0.0 (0/0)	2/15 (13/56)
	2	0.0 (1/1)	1.4 (0/0)	4.23 (0/0)	1.8 (4/32)	0.0 (0/0)	2.6 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	3/30 (1/10)	11/71 (6/43)
	3	0.0 (0/0)	1.8 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	1.8 (0/0)
	4	0.0 (0/0)	1.6 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	1.43 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	0.0 (0/0)	2/49 (0/0)
	計	0.0 (3/3)	3.18 (0/0)	4.23 (0/0)	2.17 (4/32)	0.0 (0/0)	3.49 (0/0)	0.0 (0/0)	1.6 (11/54)	3/30 (1/10)	16.143 (19/99)

※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。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
(68/ 68)	9/ 25 (## 33)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 3 ()	10/ 28 (101/ 101)

9. 平成28年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	495,600	
	外国旅費	7,394,957	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	3,572,724	
	その他の経費	2,924,507	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	612,212	
	計	15,000,000	
業務委託手数料		1,500,000	
合 計		16,500,000	

10. 平成28年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成28年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
ドイツ	30,000 [ユーロ]	350 万円相当
英国	20,500 [ポンド]	290 万円相当
米国	25,000 [ドル]	275 万円相当
カナダ	12,500 [カナダドル]	105 万円相当
スイス	25,000 [フラン]	275 万円相当
オーストラリア	38,800 [オーストラリアドル]	330 万円相当

※交流実施期間中に、相手国が本事業のために使用したマッチングファンドの金額について、現地通貨での金額、及び日本円換算額を記入してください。