

**日本学術振興会研究拠点形成事業（A. 先端拠点形成型）  
事後評価（25年度採択課題）書面評価結果**

領域・分科（細目）	複合・ナノ・マイクロ科学（ナノ構造科学）		
研究交流課題名	同位体スピントロニクス		
日本側拠点機関名	慶應義塾大学		
コーディネーター （所属部局・職名・氏名）	理工学部・教授・伊藤 公平		
相手国側	国名	拠点機関名	コーディネーター （所属部局・職名・氏名）
	ドイツ	ミュンヘン工科大学	Department of Physics・ Professor・Martin BRANDT
	英国	ユニヴァーシティー カレッジロンドン	London Center for Nanotechnology・Royal Society University Research Fellow and Reader・ John MORTON
	米国	スタンフォード 大学	Department of Materials Science and Engineering・ Professor・Paul MCINTYRE
	カナダ	サイモンフレーザ ー大学	Department of Physics・ Professor・Mike THEWALT
	スイス	スイス連邦工科大学	Department of Physics・ Professor・Christian DEGEN
	オーストラリア	ニューサウスウェ ールズ大学	Centre for Quantum Computation & Communication Technology・Professor・ Andrew DZURAK

総合的評価（書面評価）

評 価

- A 想定以上の成果をあげており、当初の目標は達成された。
- B 想定どおりの成果をあげており、当初の目標は達成された。
- C ある程度成果があがり、当初の目標もある程度達成された。
- D 成果が十分にあるとは言えず、当初の目標はほとんど達成されなかった。

コメント

「拠点形成事業」という観点から見て、想定以上の成果をあげており、当初の目標は達成された。

学術的な側面は、「同位体シリコン」という切り口でシリコン量子コンピュータに有望な材料であることが世界的に認識された。また、本プロジェクトを通じて国際的なネットワークの構築により 55 報の学術論文が発表され、そのうち 31 報が相手国の研究者との共著であることから研究交流は極めて活発であったと判断する。特に、量子コンピュータ関連の研究において顕著な成果が多数創出され、シリコン中の単一リンドナー準位やスピン三重項欠陥による量子ビット、四重極子相互作用を用いた研究などで、優れた量子情報技術が獲得され、超伝導と半導体の結合が可能になり、同位体工学としての本拠点の重要性を高めた。また、量子センサーにおいても、ダイヤモンド薄膜の量子センサーについて新しい研究を立ち上げ、同位体制御のダイヤモンドによって高感度センサーの実現に成功している。このセンサーをうまく活用できれば、社会的に還元できる研究開発に発展する可能性は高い。

若手研究者の育成という観点からも、研究代表者が理工学部長・研究科委員長の要職に就いた後もインパクトの高い研究成果が本プロジェクトから多く出てきており、若手の研究者たちが中心となり本プロジェクトを推進した証しでもある。

日本・ドイツ・イギリス・アメリカ・カナダ・オーストラリア・スイスの拠点とのネットワークを構築し、強固な研究協力体制によってレベルの高い共同研究を推し進めた点でも高く評価される。シリコン量子コンピュータとダイヤモンド量子センシングの国際会議を代表者が議長となって日本で開催し、その後の大きな発展と展開に繋がった。また、H27 年度のオーストラリアの新規参入による国際研究協力拡大、Intel との産学協働の可能性、IBM との量子コンピュータネットワークハブとしての選出等は優れた成果である。本プロジェクトを通じて慶應大学がイニシアティブをとり IBM Q を使用出来る大学の 1 つに入っており、国際研究交流拠点のみならず国際的産学共同拠点の構築の観点からも優れた成果と言える。

以上より、同位体スピントロニクス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当初の目的は十分に達成され、想定以上の成果をあげていると判断する。

## 1. これまでの交流を通じて得られた成果

観 点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究交流活動を通じて「学術的側面」「若手研究者の育成」「国際研究交流拠点の構築」の観点から成果があったか。</li> <li>・ 研究交流活動の成果として優れた研究業績が発表されたか。</li> <li>・ 本事業により得られた成果の社会への還元があったか。</li> <li>・ 当初予期していなかった活動成果があったか。</li> </ul>
-----	--

評 価
<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> 想定以上の成果があった。</li> <li><input type="checkbox"/> 概ね成果があった。</li> <li><input type="checkbox"/> ある程度成果があった。</li> <li><input type="checkbox"/> 成果があったとは言えない。</li> </ul>
コ メ ン ト
<p>・ 研究交流活動を通じて「学術的側面」「若手研究者の育成」「国際研究交流拠点の構築」の観点から成果があったか。</p> <p>学術的な側面は、「同位体シリコン」という切り口でシリコン量子コンピュータに有望な材料であることがあらためて世界的に認識されたのは大きい。若手研究者の育成からも多くの学生と40才以下の研究者が交流に積極的に参加しており成果があったと判断する。さらに、同位体シリコンでの電子スピン状態の研究は、飛躍的な成果を収め、国際的な研究交流の拠点となった。</p> <p>・ 研究交流活動の成果として優れた研究業績が発表されたか。</p> <p>ネットワークの構築により55報の学術論文が発表され、そのうち31報が相手国研究者との共著であることから研究交流は極めて活発であったと判断する。また、それらにおいて伊藤グループの試料がキーになっていることも間違いない。また、多くの成果がインパクトファクターの高いジャーナルに採択され、短期間であるのも関わらず高い引用件数を得ていることから、世界的な研究交流によって飛躍的な研究業績を生むに至ったと考えられる。</p> <p>・ 本事業により得られた成果の社会への還元があったか。</p> <p>同位体スピントロニクス研究の内容的には、代表者が当初に意図した以上にレベルの高い成果に仕上がった。Intelと産学協働の可能性が生まれたこと、IBMとの量子コンピュータネットワークハブに選ばれたことなどは優れた活動成果である。</p> <p>・ 当初予期していなかった活動成果があったか。</p> <p>同位体スピントロニクス研究の内容的には、当初の計画以上にレベルの高い成果に仕上が</p>

った。Intel など企業と産学の協働の可能性が生まれたこと、IBM との量子コンピュータネットワークハブに選ばれたことなどは想定以上の活動成果である。

## 2. 研究交流活動の実施状況

観 点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究交流目標達成に向けて、「共同研究」「セミナー」「研究者交流」を適切に計画し、実施したか。</li> <li>・ 国内外の拠点機関及び協力機関間の実施体制・協力体制等は適切であったか。</li> <li>・ 研究交流活動の実施にあたり、適切に経費が執行されたか。</li> <li>・ 相手国において交流を行うに十分なマッチングファンドが確保されていたか。</li> <li>・ 中間評価における指摘事項等について適切に対応されたか。</li> </ul>
-----	--

評 価	
<input type="checkbox"/> 想定以上に効果的に実施された。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね効果的に実施された。 <input type="checkbox"/> ある程度効果的に実施された。 <input type="checkbox"/> 効果的に実施されたとは言えない。	
コ メント	
<p>・ 研究交流目標達成に向けて、「共同研究」「セミナー」「研究者交流」を適切に計画し、実施したか。</p> <p>共同研究に関して、1週間を超える滞在型の共同研究が少ないのは残念である。セミナーに関して、毎年数回にわたっての相互訪問とセミナー、頻繁なビデオ会議、国際会議等を利用してのミーティングなどを行っており、十分な実施頻度がある。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という面からは、Web やビデオを通じた研究内容の発信を積極的に行なっており目標達成に向けた努力がなされている。研究者交流に関して、国内への受入人数が、期間後半の H28、H29 年度で激減している点が気になった。</p> <p>・ 国内外の拠点機関及び協力機関間の実施体制・協力体制等は適切であったか。</p> <p>様々な手段を用いて、良好なコミュニケーションを行っている。一方、相手国との相補的な協働関係を構築する事によって実現された研究成果はどこなのか具体的記述があると良かった。特に相補的な協働関係はどこにあり、交流によってどのように成果に発展したのか、記述がやや不明瞭である。相手国が 6 カ国で研究プロジェクトが 4 つあるため目標達成に向けた研究協力・実施体制を形成するには大変な苦勞と努力が必要であるが、代表者は大学の要職に就いたにもかかわらず、そのバイタリティによって適切に協力・実施されたと判断する。また、研究の進展状況によって、新たな研究協力者を加えるなど軌道修正がなされている。結果として、本事業では、期間初期の同位体工学に関する基礎研究からはじまり、期間中期から世界レベルの協力体制でハイレベルの論文掲載が増大し、研究後期には大企業との連携の可能性が示唆されるという内容になっており、5年間で飛躍的な成長を遂げた。</p>	

- ・ 研究交流活動の実施にあたり、適切に経費が執行されたか。

比較的短期（10日以下）の旅費が多数であり、研究発表と研究討論が中心である点が気になるが、経費の多くが、国際会議発表や外国旅費などコミュニケーションのために使用され、適切に経費が執行されているといえる。

- ・ 相手国において交流を行うに十分なマッチングファンドが確保されていたか。

マッチングファンドによる交流が、（予算があるにもかかわらず）H28、H29で激減している点が気になるものの、6か国から毎年総額1600～2000万円程度で、日本側の予算規模と比較して妥当であり、本事業については十分な交流基金と言える。

- ・ 中間評価における指摘事項等について適切に対応されたか。

中間評価の主要な指摘である、メンバーの役割明確化については、「同位体」というキーワードで繋がっているが各参加者の役割、4つの研究プロジェクト（R1～R4）の連携と参加者の貢献は依然としてわかりにくい。若手研究者の新規技術開発状況、長期招聘・長期滞在について指摘事項があったが、積極的に国際会議や技術的議論に参加し、国際共著の論文も多く掲載されていることから、概ね適切に対応していると判断する。

### 3. 今後の研究交流活動計画

観 点	・事業終了後も世界的水準の国際研究交流拠点として、継続的な研究交流活動の実施が期待できるか。
-----	--

評 価
<input type="checkbox"/> 想定以上の成果が期待できる。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね成果が期待できる。 <input type="checkbox"/> ある程度成果が期待できる。 <input type="checkbox"/> 成果が期待できない。
コメント
<p>・事業終了後も世界的水準の国際研究交流拠点として、継続的な研究交流活動の実施が期待できるか。</p> <p>代表者は、これらの大企業と連携し、JST さきがけ「量子機能領域」の領域総括、Q-Leapの量子シミュレーター・コンピュータのプログラムディレクターとしても活躍される予定であり、これらの活動と相補的な関係を維持して、本拠点における研究活動を継続的にリードできると期待される。</p> <p>特に学術面と若手研究者育成という面から大きな進展をもたらした。インパクトの高い学術誌に 55 件の論文を掲載し、そのうち 33 件が共著の成果論文である事実は、本共同研究・交流が極めて上手くいった根拠である。海外拠点においても、英国、オーストラリア、カナダは日本拠点の慶應大学と共同で米国 Intel 社とのシリコン量子コンピュータ開発の議論を始め、慶應大学が IBM の超伝導量子コンピュータネットワークハブに選ばれ、国際的産学共同拠点としての新しい展開に発展していることから、拠点の継続効果が上がっているのは明らかである。</p> <p>一方で、これらの研究に同位体スピントロニクスが重要であるとしても、多岐にわたる量子情報科学としての研究開発の中で、「事業終了後も世界的水準の国際研究交流拠点として、継続的な研究交流活動」するには、同位体工学の提供に留まらず、次世代の優秀な若手研究者を育成と技術革新の種の獲得にかかっており、容易ではないと思われる。現在准教授クラス研究者への世代交代により次世代の革新技術を獲得することが、研究交流活動を維持する上で重要な課題である。</p> <p>以上より、世界的水準の国際的研究交流拠点として継続的な研究交流活動の実施が概ね期待できると判断する。</p>