

先端研究拠点事業（国際戦略型）の事後評価結果

領域・分科（細目）	工学・電気電子工学 （電子デバイス・電子機器）
拠点機関名	東京大学大学院工学系研究科
研究交流課題名	シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する研究
採用期間	平成 20 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日
日本側コーディネーター（職・氏名）	大学院工学系研究科・教授・和田 一実
交流相手国 （国・拠点機関・コーディネーター）	ベルギー・ヘント大学 （ヘント大学・教授・R. パーツ）
	米国・マサチューセッツ工科大学 （マサチューセッツ工科大学・教授・L. C. キマリング）

1. これまでの交流を通じて得られた成果

当該研究交流課題を実施したことによる国際学術交流拠点の形成、成果の学術的価値、若手人材育成への貢献等につき、どの程度成果があったかへの評価。

評 価
<input type="checkbox"/> 十分成果があった。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね成果があった <input type="checkbox"/> ある程度成果があった。 <input type="checkbox"/> ほとんど成果が見られなかった。
コメント
<p>・ 日本側拠点機関を中心とした有機的かつ継続的な国際学術交流拠点が構築されたか。</p> <p>シリコンフォトニクスに不可欠なシリコンへの光源集積化を共通のゴールとし、次世代のシリコンフォトニクスに先鞭をつけることを目的として、北米拠点 (MIT)、欧州拠点 (Gent 大)、および日本拠点 (東大) が、得られた知見を拠点間で早期に共有するため、三拠点での国際会議の開催 (Face-to-face) および日常的な議論 (Internet based remote conference) の活用という二通りのアプローチにより研究を加速し、日米欧にまたがる協力体制を確立し、学術交流の拠点形成に至ったことは高く評価できる。また、H23・24 年度に開催されたスクールで多くの海外の学生が参加しており、若手研究者の実質的な交流という点も評価できる。</p> <p>しかしながら、拠点を介して日本 6 大学、北米 8 大学 (機関)、欧州 8 大学 (機関) の研究者ネットワークが形成されてはいるものの、日本側拠点機関と国内における協力 6 機関との連携が有機的に機能したかは記載事項からは判断しにくい。また、拠点機関 MIT と北米協力 8 機関との協力連携体制、および、拠点機関 Gent 大と欧州内協力 8 機関との協力連携体制は不明である。</p> <p>また、発表論文の著者はすべて国内研究機関で閉じて相手国拠点機関との共著論文がないことから、これらが有機的な研究交流の成果であるとは判断し難い。加えて、成果の一つとして報告書に記載のある学生の長期派遣に関しても、5 年間において 1 か月以上派遣されているのは 4 名で、殆どはセミナーや学会、研究室訪問などの短期派遣が中心であり、海外研究者との個人的連携の域を出ていないことも懸念される。</p> <p>三拠点における有機的な連携・協力は限定的であった可能性が懸念される点もあるものの、各拠点の役割分担が行われており、日本拠点がファウンドリ試作の取りまとめを担当したという点で、将来の応用研究の中核としての役割を担うこと、今後当該 3 拠点を中心に国際学術交流拠点としての役割を果たすことが期待できる。</p> <p>・ 先端的かつ高度に学術的価値のある成果をもたらしたか。</p> <p>当該事業により、MIT 拠点からシリコン上での Ge レーザーの発振、Gent 大からシリコン上での化合物半導体レーザーの発振、東大から MEMS 構造によるシリコン上の Ge および GaAs の禁制帯の温度無依存化など、シリコンフォトニクス応用システムの</p>

要素技術が出そろい、1960年代終わり頃から研究が始まった光電子機能の集積化技術が、ここに来て実用域に到達、フォトニクスを応用したシステムの研究開発が可能になったと考えられる。最も基本的な能動素子であるレーザの集積化は、1980年代から様々な試みが行われていたが、実用的な技術として使用できず、半導体レーザのモノリシック集積技術とMEMSによる温度補償技術が、当該事業によって実現されたことは、大きな学術的成果である。近い将来、レーザを搭載したCMOS集積回路が、一般のファウンドリを利用して製造される可能性がある。

上記は、いずれも次世代のシリコンフォトニクスの基礎となる成果を得たという点は評価できる。ただし、東大の成果は、ひずみによるバンドギャップの変調を用いたものであるが、指摘のある動的制御に関しての具体的成果が明白でない。また、「7. 本事業に関連した主な発表論文名・著者名」にはこれらの記載がなく、原著論文は協力機関東北大学の5編のみ、国際会議における口頭発表20件のうち19件は協力機関東北大学によるもの、国内学会・シンポジウム等における口頭発表9件も協力機関東北大学となっている。さらに、研究者代表者が別の大型研究プロジェクト（FIRST）にも関わっており、その研究との違いも明確ではない。

本事業の目指す国際戦略の観点から、三拠点間の共同研究による成果を共著として国際会議で発表するなどがあってしかるべきであるが、上記の成果は各機関独自の成果と考えられ、日本側拠点機関を中心とした有機的かつ継続的な国際学術交流拠点が構築された結果として先端的かつ高度に学術的価値のある成果をもたらした、と判断することは困難である。

・次世代の中核となる若手研究人材の育成について、方法や手法は適切であり、十分な成果をもたらしたか。

本事業における最大の成果は、研究者派遣、セミナーやスクール開催を通じた若手人材育成の観点であろう。日米欧の三拠点において国際会議を開催し各研究機関との間の研究ネットワークが形成され、それを活用して若手人材の育成がはかられている。5年間でのべ185名を海外派遣した実績、若手の長期派遣制度、Facebook等による日常的な交流促進などの工夫により、若手研究人材の育成に概ね成功したと考えられる。また、研究や交流の機会を頻度高く与えた点、また、理論的なアイデアだけではなく、我が国の大学初のファウンドリ試作を行い素子のプロトタイプ化が大学でも可能となる環境を整え、若手研究者が世界とデバイスデータで討論する環境を整えた点は適切であったといえる。期待される十分な成果は今後を待たねばならないが、若手研究者自身が最前線にいることを自覚するために役だったのではないかと想像される。

しかしながら、5年間で1か月以上の長期にわたって派遣されている学生は4名であり、予算と支援期間からすればこの点は不十分であると言わざるを得ない。また、H23・24年度に開催されたスクールの具体的内容が報告書からのみでは不明であることから、その教育的効果は判断が難しい。海外派遣は、セミナーや学会、研究室訪問などの短期派遣が中心であり、個人研究資金による派遣と本事業による派遣との人材育成目的の違いが明確でない点は残念である。

・日本への先端的かつ国際的学術情報の収集整備に貢献することができたか。

本課題で組織したシリコンフォトニクス国際会議、セミナー、さらにはスクールなどの face to face の交流とインターネット技術を用いた remote 交流を通じ世界三極間のインター・ネットワークが形成された。インターネットの普及により、最新の学術情報がどこでも得られるようになったとはいえ、最も最先端の情報を、成果としてではなく、研究の過程においてリアルタイムに得るためには、当該事業のような研究者間ネットワークによる国際協力が有効であることが示された。また、多数回にのぼるセミナー参加などを通じて、研究過程の情報の他、次に解決すべき課題、特に応用分野についての学術情報収集も活発かつ意識的に行っている点が評価できる。本課題の推進の過程で、すべての国際会議、セミナー、スクールでの講演を情報集約性の観点からビデオ化して一般公開している。

実施報告書では、共通の課題を設定し、情報公開を基本として、国際共同研究に近い協力形態を取ったようだが、情報を得るためには、自前の情報を開示する必要があったと予想される。学生を含めた多くのメンバーが多くの国際会議に参加して情報収集は十分なされたと思われるが、成果発表に至っていないのが残念である。今後、本事業をモデルとした国際学術交流拠点を構築する際に、ネットワークに開示された情報を基にした研究の成果が誰のものであるのか、どこまで情報を開示できるのか、学生同士のコミュニケーションにおける情報管理をどのように行うのかといった点も考えておく必要があるのではないだろうか。

・社会的理解や社会的認知を促進するための手法は適切であり、社会的理解や社会的認知は進んだか。

本課題を遂行する上で、北米、欧州、日本における研究拠点間の交流を促進することで、シリコンフォトニクスに関する研究者の新規参入と定着を推進し、なかでも国際的に通用する若手研究者を育成するという観点において大きな社会貢献を果たした。また、シリコンフォトニクスに必要な素子技術に関する研究成果が得られたことで、今後のシステム応用によって将来的なエネルギーイノベーションを進化させ、社会インフラの高度化にも貢献できることが期待される。

すべての国際会議、セミナー、スクールでの講演、Face to face の交流を全て映像化して一般公開するなど外部への広報の努力は評価される。また、学生向けの説明が、東京大学工学部ガイドとして WEB 公開されており、シリコンフォトニクスの検索では 10 位以内にヒットしている。このサイトでは、生物の機能を模倣した医療応用のアイデアなども描かれていて、楽しく読むことができるようになっている。さらに、YouTube を用いて、セミナーを公開することで社会的認知の拡大に努力されるなど、非専門家の興味を集めるアイデアも面白いと思われる。ただし、YouTube サイトに解説ページへの誘導がないため、現時点で英語の苦手な学生や高校生にはアピールしていないかもしれない。専門的なセミナーを発信するだけでは社会的理解を得るのはあまり期待できないので、専門用語だけではなく、応用分野の用語からインターネットでの検索や Facebook の紹介に載る方法があれば理想的だと思われる。

現在、シリコンフォトニクスは、スーパーコンピュータ内のインターコネクトやサンダーボルトなどの高速通信技術に関わる用語としては専門家以外にも認知され始めているが、何がどう変わるのかを専門家以外が理解するのは難しい分野であると思われる。少

なくとも日本国内における活動の拡がりはみられず、広報への努力は評価されるものの社会的理解や社会的認知が進んだとはいいがたいのが残念である。

2. 事業の実施状況

事業の戦略性、拠点形成に向けた実施体制への評価。

評 価
<input type="checkbox"/> 非常に効果的に実施された。 <input type="checkbox"/> 概ね効果的に実施された。 <input checked="" 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>・拠点機関ひいては日本のプレゼンスを高めるための取り組みが、拠点機関全体として、戦略的かつ計画的になされたか。</p> <p>5年間で派遣研究者のべ184名(8カ国)、受け入れ研究者のべ55名(8カ国)に上り、学生を含めた多くのメンバーが多くの国際会議に参加して、情報収集やFace-to-face交流に努めたことは評価できるが、短期の海外派遣が主体であり、交流は一方通行的なものが多い。加えて、相手国拠点機関からの受け入れ教員も非常に限定されており、単なるセミナー或いは研究会への出席という意味合いが強いように思われる。今後は、海外拠点校との対等な交流へと発展させるための系統的な取り組みが必要である。</p> <p>主要国際会議での発表件数の点でも、当該分野での日本研究者の存在感は大きかったと予想されるが、その成果としての論文発表や特許出願には至っていないようであり、拠点機関ひいては日本のプレゼンスを十分高めることになったのかは判断しにくい。</p> <p>とはいうものの、将来の基盤技術を揃えるための具体的な目標が立てられており、各拠点が異なる役割を分担することにより、拠点機関全体として学術研究の基盤を担うように計画されている。特に、日本拠点がファウンドリ試作の取りまとめを担当したという点で、今後、将来の応用研究の中核としての役割を担うことが期待できる。</p> <p>・拠点機関及び協力機関において、適切な運営体制・国内外の連携体制がとられていたか。</p> <p>国内に関しては、この分野の研究者は多いにもかかわらず、参加研究者は限定されており、人的ネットワークの拡がりが見られない点が残念である。</p> <p>国外に関しては、当該分野の主要3拠点機関、コーディネータの選定および体制は適切であると思われる。一方、各拠点機関が有するネットワークを利用し、世界の22大学が参加しているが、北米拠点機関(MIT)と協力8機関(Rochester大、Lehigh大、Cornell大、Stanford大、NRC、MacMaster大、Caltech大、UCLA)、欧州内拠点機関(Gent大)と協力8機関(Surrey大、Max Planck研究所、Stuttgart大、Rome大、ウィーン工科大、Trento大、FOM研究所、パリ南大)との協力体制は不明である。</p> <p>個人的親交のある海外研究者との個人的連携をうまく利用して、世界的な拠点校同士の当該プロジェクトをスタートさせていると考えられるが、その連携は全期間を通じても個人的連携の域を出ていないことが懸念される。また海外交流校の研究者が筆頭にな</p>

っている共著論文や国内研究者が筆頭の海外交流校との共著論文も無いことから、連携を構築するための系統的な取り組みがなされたとは残念ながら言えない。今後、さらなる発展を期待したい。

また、将来にわたって試作サービスを継続するために、MEMS プロセスの可能な企業の連携が必要ではないかと思われる。

総じて、参加した国内外の研究機関の運営体制や国内外の連携体制が適切であったかの判断は難しい。拠点全体としての連携・協力体制のより一層の強化が望まれる。

3. 今後の展望

今後、複数の学術先進諸国との間で、我が国における先端研究交流拠点として、学術国際交流の発展に継続的な活動が期待できるかどうか、拠点としての代表性への評価。

評 価
<input type="checkbox"/> 大いに期待できる。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね期待できる。 <input type="checkbox"/> 一層の努力が必要である。 <input type="checkbox"/> 期待できない。
コメント
<p>・当該研究交流課題の今後の研究協力体制の維持・発展に向けた展望について、事業終了後においても継続的に代表制を維持することが期待できるか。</p> <p>今後の課題としてあげられているチップ間またはチップ内インターコネクトのデジタルコヒーレント技術をはじめとして、シリコンフォトニクスへの大きな期待は電子回路と光回路の集積化による小型化による、性能向上と、電力の高効率化、システムの消費電力の低減がある。まだまだシステムの構成に必要な基礎技術が多いため、当該事業の後、当該研究協力体制を利用した研究が、しばらくは継続されると予想される。将来にわたって、シリコンフォトニクスを利用したシステム開発で、日本が主導権を保つためには、研究開発用の試作サービスを国内で提供できれば理想的だが、そのような体制が作れるのか、まだ不透明なように思われた。</p> <p>本事業を通じ、参加研究者が科学技術国際競争を有利に進めるための総合的なスキルを身に付けたことや国際的ネットワークの形成は、今後さらに研究交流活動を持続的に進めていく上で、重要な推進基盤となろう。求心力たる日本側の先端拠点を維持するため、日本の協力機関との連携の拡大や若手の個人的パイプを連携する仕組みづくりなど、一層の努力が期待される。若手研究者の学生比率が大きいこと、当該分野の学生を受け入れる研究機関や企業が多ければ、当該分野の中核研究機関としてさらに発展すると予想される。若手研究者を継続的に集められるかどうかにかかっているのではないだろうか。</p> <p>また、今後も国外の拠点との学術国際交流を維持できるかは、拠点の代表性が維持できるにかかっているといえよう。本事業の要である国際戦略拠点形成の観点からみると、国際会議、セミナー、スクールは多く催されているものの、相手国側との共同研究プロジェクトとして実現していないのは物足りなさを感じる。海外交流校との共著論文がないことやセミナーなどへの海外からの参加者が非常に限定的であること、若手研究者の派遣もセミナーや学会への単なる短期派遣が殆どであることなどから、当該課題では拠点間をつなぐ有機的な連携体制が事業期間中に構築されたとは残念ながら言い難い。個人的親交のある世界的権威者との個人ベースでの共同研究から当該課題をスタートさせるのは自然であるが、この形態から本格的な拠点間交流構築への進展が5年間を通じて見られない点は残念である。相手国拠点機関との共著論文もなく、ごく限られた教員しか当該課題に実質的に参画していないことを見れば、相手国拠点機関から</p>

の寄与は限定的であり、日本拠点機関と海外拠点機関との対等な研究交流ネットワークの構築には今後相当の努力を要するだろう。今後、本拠点を中心とした有機的連携・協力体制のより一層の推進が望まれる。

4. 総合的評価（書面評価）

評 価
<input type="checkbox"/> 当初の目標は想定以上に達成された。 <input checked="" type="checkbox"/> 当初の目標は想定どおり達成された。 <input type="checkbox"/> 当初の目標はある程度達成された。 <input type="checkbox"/> 当初の目標はほとんど達成されなかった。
コメント
<p>本シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する研究では、その最大の技術的な隘路となっていた光源の集積化と光源波長の温度無依存化を共通の目的と位置づけ、北米拠点(MIT)、欧州拠点(Gent 大)、および日本拠点(東大)が研究交流を進めた。半導体レーザのシリコンへのモノリシック集積技術、MEMS による温度補償技術などの実用的な基礎技術を拠点間の連携により開発したことは高く評価できる。</p> <p>また、これにより、本課題による拠点間の人・情報の交流を強化する体制を整え、参加拠点間および内の研究者を結ぶ世界三極間のインター・ネットワークが形成され、今後の次世代シリコンフォトニクスのシステム応用を効果的に進める体制が整ったことも高く評価できる。さらに、我が国の大学初のファウンドリ試作を行い、素子のプロトタイプ化が大学でも可能となる環境を整え、若手研究者が世界とデバイスデータで討論する環境を整えたことにより、三拠点間の研究交流が強化され、シリコンフォトニクス分野の将来に不可欠な人的リソースの呼び込みおよびその確保に貢献した点も評価できる。特に、H23-24 年度に開催された「スクール」への海外からの多数の学生の参加や、5 年間でのべ 185 名の研究者を海外の参加大学等に派遣し、若手研究者に国際的な研究の舞台での活躍の場を提供したことは高く評価できる。また、若手の長期派遣制度、Facebook 等による日常的な交流促進などの工夫により、学生や若手研究者が、日常的にネットワークを通じて海外と研究交流する体制を作ったことも評価できる。このような取り組みを通じて、国内の若手研究者や大学院生の人的交流が長期的スパンで見るときにプラスに働くことは自明である。ただし、ファウンドリによる試作サービスを継続的に提供（できれば商業ベースで）できるかどうかは、今後の当該分野の研究の主導権を握れるかどうかに影響すると思われる。</p> <p>しかしながら、5 年間という長期にわたる当該課題であるが、日本拠点機関と海外拠点機関との対等な研究交流ネットワークの構築が達成できたとは言い難い。得られた成果は各研究機関独自の域を出ていないと見られるものも多く、各拠点が相互に有機的・戦略的に連携・協力した結果なのか疑問が残る。本事業の目指す国際戦略の観点から、拠点間の共同研究による成果を相手国拠点機関校との共著論文として論文発表するなどに至らなかったことは残念である。セミナーなどへの海外からの参加者が非常に限定的であること、若手研究者の派遣の殆どはセミナーや学会へ短期派遣であることなどから、交流は日本からの一方通行的である点が残念である。</p> <p>拠点機関ひいては日本のプレゼンスをどれだけ高めることになったのか、また、社会的理解や社会的認知がどれだけ進んだのかは今後を待ちたい。</p>

日本と米国を代表する研究的研究機関同士の交流拠点形成という点で、非常に期待度の高いプロジェクトではある。日本側拠点機関を中心として拠点機関間の有機的連携・協力をさらに推進することにより、先端的かつ高度に学術的価値のある成果が今後もたらされることを期待したい。