

令和2(2020)年度日中韓フォーサイト事業 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)	原子スケール有機・無機ハイブリッド機能化とフレキシブル展開		
日本側拠点機関名	東京工業大学		
研究代表者 所属部局・職名・氏名	理学院・准教授・西野智昭		
相手国側	国名	拠点機関名	研究代表者 所属部局・職名・氏名
	中国	清華大学	Tian-Ling REN
	韓国	KAIST	Byeong-Soo BAE

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。

※新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、申請時に予定していた共同研究の実施、セミナーの開催及び研究者交流等が困難又は延期せざるを得なかった場合、当初目的の達成に向け代替的に行った取組があれば、その成果も含めて記入してください。

○申請時の研究交流目標

本研究交流では、複雑な分子を合成する従来型の新物質開発に対するアプローチを超えて、原子スケールの有機・無機材料をハイブリッド化した新物質の作製に基づき新たな物性・機能創出を目的とする。このハイブリッド化では、2次元/1次元/0次元物質での既存の3次元系にはない物性や機能を引き出し、組み合わせることで新たな機能を賦与、あるいは積極的に相互作用させることで単体にはない機能を引き出す。新機能をもとに、次世代情報システムに資する新技術の導出を目指す。

当該研究分野では、日本、韓国、中国は、基礎からアプリケーションまでの先端研究を推進している。各国とも有機や無機の低次元新材料合成、計測、応用分野で世界的な研究成果が出ている一方で、日本は精密計測、韓国はデバイス応用、中国は物質合成を得意とする。三カ国が相補連携することで、革新的な物質やアプリケーションのフロンティア拠点の形成が可能となる。

○目標に対する達成度

上記目標に対する2年分の計画について

(※繰越対象課題の令和元年度事業については、繰越期間終了日までの状況を踏まえること。)

- 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】

有機・無機ハイブリッド材料の機能化について着実に成果が得られ論文発表も盛んである。中国・韓国との研究交流も順調であり、複数の新たな共同研究が立ち上がっている。本事業のセミナー等に参加していた若手研究者が中国の大学に職を得るなど若手育成についても成果が現れている。したがって、2年分の計画について、研究交流目標は概ね達成されたと判断する。

3. これまでの研究交流活動の進捗状況

※新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、申請時に予定していた共同研究の実施、セミナーの開催及び研究者交流等が困難又は延期せざるを得なかった場合、代替的に行った取組があれば、その内容及び成果も含めて記入してください。

(1) 令和2年7月末までの研究交流活動(繰越対象課題の令和元年度事業は繰越期間終了日までの状況を含む)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】

本事業の申請当初は、「電導性配位高分子を用いたデバイス開発」、「有機・無機ハイブリッド超薄膜の創生と機能化」、および「 π 電子化合物の構造と光物性の精密測定による解明」の3つの共同研究を計画していた。事業が開始され、交流が始まった結果、現在まで新たに2件の共同研究が立ち上がった。「high-k/2D 界面の界面準位解析」、および「酸化ナノシートの精密構造集積による新機能材料・デバイスの創製」に関するものである。その他にも、1年程度を目途に共同研究へと発展する可能性の高い取り組みがある。すでに実施している共同研究はその題目から明らかのように、日本側研究者が得意とする、原子スケールにおける低次元物質に関する基礎研究を、中国・韓国の研究者が多くのノウハウを有するデバイス応用へと共同研究により展開する内容であり、本事業の交流目標に沿ったものである。後述するように成果も上がってきており、順調に共同研究が進展しているものと考えている。

○セミナー

	平成30年度	令和元年度	令和2年度4～7月末 (繰越対象課題は終了日まで)
国内開催	1回	0回	0回
海外開催	0回	1回	0回
合計	1回	1回	0回

【概要】

初年度にあたる平成30年度は、日本(静岡県熱海市)において第1回のセミナーを開催した。参加者の分野が物理・化学・工学と多岐にわたっており、お互い異なる視点で活発な討論が展開された。若手研究者のポスターセッションでは、優秀な発表者にはポスター賞を授与した。さらに、日中韓の3か国の研究者間で、本事業のロードマップを策定した。セミナーについては毎年三カ国間で順番に開催することに合意した。翌令和元年度は、中国(安徽省)にて実施し、これまでの研究内容を発表し議論することで、最新の情報交換と共に、国際的・学術的な研究ネットワークを発展させた。相互の交流が活発化している様子が見られた。令和2年度は、8月に韓国(江原道)にて実施の予定だったが、新型コロナウイルス感染症の影響により、令和3年2月にオンラインで実施すべく準備を進めている。また、現在の状況においても研究交流を維持しさらに活発化するため、web会議周辺機器を日本の研究者に配布する予定である。

○研究者交流

【概要】

日本から韓国・中国へ平成30年度は年間12人、令和元年度は年間46人が渡航し、共同研究を実施している。また、韓国・中国から学生のインターン、またはセミナーの実施のために教員を招聘し、研究交流が行われている。本事業の経費は使用せずに、招聘・招待講演を実施している例も見られた。

(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、以下の観点から記入してください。

○世界的水準の研究交流拠点の構築状況

・日本側拠点機関及び相手国拠点機関の交流によってえられた、世界的水準の国際研究交流拠点となりうるような学術的価値の高い成果

共同研究、セミナー、研究者交流等を通じた研究活動によって着実に成果が得られている。それらは、*Nature Comm.* (2018), *Nature Electron.* (2019), *J. Am. Chem. Soc.* (2019), *Angew. Chem. Int. Ed.* (2019) 誌等の著名学術雑誌に掲載された。本事業では、これまで 5 件の共同研究に着手し、活発に研究を展開しており、研究交流拠点としての研究活動の中核を担っている。

本事業の開始当初からは、3 件の共同研究を実施している。具体的には、(R-1) 電導性配位高分子を用いたデバイス開発、(R-2) 有機・無機ハイブリッド超薄膜の創生と機能化、および (R-3) π 電子化合物の構造と光物性の精密測定による解明、である。R-1 では、電導性配位高分子を設計・合成し、放射光結晶構造解析により構造を精密に決定し、さらにその配位高分子を用いて薄膜を作製することを目的としている。現在までに、配位高分子の大きな表面積などの特徴を利用した高感度な化学センサーや電子デバイスにつながる成果が得られている。R-2 は、有機・無機それぞれの分子スケールもしくは原子スケール厚の超薄膜を創生して、これを組み合わせた原子ヘテロ薄膜の作製を目指す。これまで中国の分子結晶膜作製技術と日本の原子膜利用・素子作製技術を併せた技術協力によって、デバイスの特性向上を見出した。R-3 においては、日本側研究者がこれまで開発してきた特異な電子構造をもつ新規 π 電子化合物について、韓国側研究者が有する精緻な測定・解析技術を駆使して、その構造と光物性を解明することによって研究を加速することを目的としている。高い新規性を有する光学特性を見出すことに成功した。さらに、上記の新規ポルフィリン化合物が優れた一重項酸素発生効率を有することに着目し、医療応用へと展開した。細胞レベルおよびヒトの癌細胞を移植した魚のレベルで、この化合物が癌細胞に対して強い光毒性を示すことを見いだした。

上記の共同研究を核として、本事業での研究交流によって新たな共同研究も発足している。中国の研究グループが作製した 2 次元トランジスタに対して、日本側の先端計測技術を適用し精密な解析によりそのデバイス特性の向上を目指している。また、二次元ナノシートを基盤材料として新機能材料・デバイスの創製を目指した研究に着手している。中国・韓国が有するナノシートの集積技術を日本の計測技術と組み合わせ新規エネルギー変換デバイスの開発へと展開する。

・研究交流活動の成果から発生した波及効果

本研究交流では、原子スケールの有機・無機材料をハイブリッド化することによって新たな物性・機能を創出することを学術的目標に掲げている。精密計測等の基礎研究において世界を牽引する日本の研究者とデバイス応用等の応用面に秀でた中国・韓国とが相互に補完しあえる交流の実現を目指す特徴を有する。その波及効果として、日本の研究者が、応用研究を強く意識した中国・韓国の視点を取り入れることによって、研究のさらなる高水準化や新たな展開がもたらされることなどが期待される。また、中国・韓国の研究者にとっても、基礎的知見を重視する日本のアプローチを取り入れながら応用研究を実施することにより、足腰のしっかりとした研究を展開できるものと期待される。セミナーでは、物理、化学、工学を専門とする研究者から研究報告がなされ、異なるバックグラウンドをもつ研究者がそれぞれ互いに異なる視点から、活発な議論がなされている。その結果、交流開始当初においては想定していなかった研究展開を目指す共同研究が始まっており、また、まだ具体的な共同研究の実施には至っていないものの、可能性を探る議論が多くなされている。今後も異分野の研究者が活発に議論できる研究交流の場を提供することにより、共同研究のさらなる促進へとつなげる。

○若手研究者育成への貢献

- ・若手研究者が身につけるべき能力・資質等の向上に資する育成プログラムの実施及びその効果

本事業により実施したセミナーでは、様々な研究分野の最先端のトピックスを、本計画に参画する先生方に講演していただくことによって、参加した若手研究者に世界の現状、研究についての現状把握を促した。また、その講演では、大学院生、若手研究者を念頭に置いた基礎的な内容も含めていただいた。物資開発から産業利用まで、各分野での世界トップの科学者から、その分野の基礎、歴史的背景、課題、最先端の研究に関して語っていただいたことで、若手研究者が、研究分野全体を把握するだけでなく、国際的研究動向における自分の研究の位置付けを把握し、最先端研究において何が求められているのか理解につながったものと考えている。また、世界トップの研究者の話は研究の内容だけでなく、異なる文化を経験し、グローバルに活躍する社会人の先輩として、自らを考え直すきっかけになったものと考えている。通常の国際会議では、若手研究者、とくに修士・博士課程の学生が口頭発表する機会はまれであるため、本事業のセミナーでは、積極的に大学院生を含む若手研究者による発表の機会を提供した。特に活発に研究を行っている意欲的な若手研究者には、招待講演としてプログラムを編成し、経験を積むと共に自信を与えるよう配慮した。また、日本で開催したセミナーでは、参加者全員にポスター発表をして頂いた。修士・博士課程の学生に積極的な説明を促すために、ポスター賞を設けた。その結果、非常に活発な議論が行われ、予定した時刻を超過しても討論がなされていた。

研究交流では、若手研究者・大学院生が韓国・中国の研究室に滞在し共同研究を展開している。共同研究では、自分の研究技術を滞在する研究室の方に伝え、逆にその研究室の技術を学んだ。相互のスキル向上を通じて研究者として研究の幅が広がり、また、英語しか通じない場に身を置き、新しい人間関係を築かねばならない環境に置くことで、コミュニケーション力、行動力が身についたものと考えられる。

- ・日本と交流相手国における次世代の中核を担う若手研究者の研究ネットワーク構築状況

本事業で研究ターゲットとする有機・無機ハイブリッド材料の研究分野において世界をリードしている3か国の研究者の研究交流を促進させてフロンティア拠点を形成し、次世代拠点の核となる若手研究者の育成につなげる。具体的には本申請事業に参加するグループが世界をリードしてきた有機や無機の低次元材料を原子スケールで接続する研究を、「物質デザイン」、「精密物性計測」、「デバイスデザイン」の3分野にフォーカスして国を超えて集約した協力体制を作り上げ、従来の枠を超えた“ハイブリッド接続”で、共同研究の促進とともに若手研究者の育成およびネットワークの構築を目指している。共同研究は、これまで培ってきた研究連携を強化する一方、新たな組み合わせの



写真：セミナーでのポスター発表における議論の様子。

共同研究を推進した。また、若手が協力してセミナーの企画・準備・開催を行った(写真参考)。これにより、次世代の国境を超えたグローバル連携の起点の形成へとつなげる。第一線で活躍する研究者の講演により、世代を超えた刺激づくりを工夫した。これらの研究交流活動を通じて、日中韓の大学院生を含む若手研究者同士のネットワークづくりを促進した。研究交流では、若手研究者を交流相手国に派遣、または交流相手国から受け入れている。例えば、韓国 POSTECH の放射光施設 PAL に大学院生を含む若手研究者を派遣した。1回の交流につき、5~6名程度が4~5日程度滞り、POSTECH の研究者とともに集中的に研究を行った。実際に相手国へ訪問し、研究の実際に触れると共に活発な議論を行うことで、研究協力体制の具体的な基盤を作り上げると共に、ネットワークを構築した。また、特筆すべき成果として、これまで本事業のセミナー等にも参加していた若手研究者が中国の大学に Assistant Professor として職を得た。他の若手研究者に対し世界を視野に入れたキャリアパスを示すことができた好事例であると共に、本研究交流にて今後の人的ネットワーク構築においても重要な役割を担うものと期待される。