

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 (平成25年度採択課題)

(※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：	名古屋大学
(英国) 拠点機関：	エジンバラ大学
(カナダ) 拠点機関：	ウィンザー大学
(ロシア) 拠点機関：	ロシア科学アカデミー・シベリア支部・ノボシビルスク

2. 研究交流課題名

(和文)： 強相関分子系の新しい有機エレクトロニクス
 (交流分野： 化 学)

(英文)： Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems
 (交流分野： Chemistry)

研究交流課題に係るホームページ：<http://advmat.chem.nagoya-u.ac.jp/core2core.html>

3. 採用期間

平成25年 4月 1日 ～ 平成30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：名古屋大学

実施組織代表者(所属部局・職・氏名)：総長・松尾 清一

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：大学院理学研究科・教授・阿波賀 邦夫

協力機関：北海道大学、千葉大学、関西学院大学、東京農工大学

事務組織：研究支援課、理学部事務部

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：英国

拠点機関：(英文) University of Edinburgh

(和文) エジンバラ大学

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：

(英文) School of Chemistry・Professor・ROBERTSON, Neil

協力機関：(英文) University of St Andrews

(和文) セントアンドリュース大学

協力機関：(英文) Imperial College London

(和文) インペリアル・カレッジ・ロンドン

協力機関：(英文) University of Strathclyde

(和文) ストラスクライド大学
協力機関：(英文) University of Glasgow
(和文) グラスゴー大学
経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(2) 国名：カナダ
拠点機関：(英文) University of Windsor
(和文) ウィンザー大学
コーディネーター (所属部局・職・氏名)：
(英文) Department of Chemistry & Biochemistry・Professor・RAWSON, Jeremy
協力機関：(英文) University of Guelph
(和文) ゲルフ大学
協力機関：(英文) McGill University
(和文) マギル大学
経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(3) 国名：ロシア連邦
拠点機関：(英文) Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk
(和文) ロシア科学アカデミー・シベリア支部・ノボシビルスク
コーディネーター (所属部局・職・氏名)：
(英文) Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk・Professor・ZIBAREV, Andrey
協力機関：(英文) N.D.Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences
(和文) ロシア科学アカデミー・ゼリンスキー有機化学研究所
協力機関：(英文) Ivanovo State University of Chemical Technology,
(和文) イバノバ州立大学
経費負担区分 (A 型)：パターン 1

5. 研究交流目標

5-1. 平成29年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

H29年度は、北大の稲辺が定年退職のため本事業のコアメンバーから外れるものの、同グループに所属している准教授の原田がコアメンバーとして事業を引き継ぐ予定であり、H28年度と同様に、国内5大学(6グループ)、国外8大学・国外2研究所(イギリス・カナダ・ロシア)の合計16グループで本事業を推進する。各グループには、合成の専門家、物性の専門家、デバイス作製・測定の専門家があり、共同研究 R1「新規強相関分子系の合成と物性開拓」、R2「強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用」、R3「新規電極活物質の創製と二次電池への応用」において、様々な強相関係物質を対象とした物性開拓とそれらに特

異なる FET、光応答セル、太陽電池、二次電池などのデバイス特性に関する研究をさらに進展させ、成果公表とつなげる。

上記のような協力体制を維持するうえで、年次ワークショップは必要不可欠である。H29 年度は本事業の最終年度であり、研究成果の取りまとめと本事業後の展開に関する打ち合わせが重要となるため、ワークショップを 2 回開催する。まず、5 月 26-27 日の日程で、PERPECHIKA (マギル大学) が、モントリオール・マギル大学にて第 6 回ワークショップを主催し、次に 11 月 20-22 日の日程で最終ワークショップを本事業の代表者である阿波賀が中心となって名古屋大で開催する。いずれのワークショップにも、本事業参加のグループリーダー全員と若手スタッフ、大学院生などが参加して、本事業に関連する研究成果の発表を行い、成果公表へ向けた議論を展開する。なお、11 月の最終ワークショップには、コアメンバー以外の著名な研究者も招聘し、本事業で得られた成果のアピールと、本事業を基にした新たな研究交流の枠組みを話し合う。

このようなワークショップとともに、お互いの研究グループへの訪問や短期・長期滞在を実施する。日本側からは、中村 (北大) がモントリオールでの第 6 回ワークショップの直前にインペリアルカレッジロンドンを 1 週間程度訪問し、R1 や R2 に関する研究打ち合わせを行う。また、阿波賀がエジンバラ大学を 8 月に訪問してセミナーを行うとともに、名古屋大の大学院生がストラスクライド大に数か月滞在し、R1 や R2 に関連する有機ラジカルを基盤とした高分子化合物のデバイス作製を行い、その特性を見出す。一方で、海外からは、エジンバラ大の交換留学生が、名大-エジンバラ大の学術交流協定を利用して 6 月まで滞在し、R1 や R2 に関連する光応答セル関連の研究を遂行する。これに応じて、エジンバラ大の ROBERTSON が名古屋大を訪問し、エジンバラ大学生と面談を行い、その機会にセミナーと本事業の打ち合わせを行う。なお、継続的に 10 月以降もエジンバラ大からは新たな学生を受け入れる予定である。上記以外にも、海外グループの大学院生や博士研究員を日本の各グループに受け入れ、本事業の出口となる有機強相関係物質の新奇物性と高性能なデバイス特性に関する成果を得ることを考えている。

以上のように、これまでと同規模の交流を行う予定であり、ここ 4 年間の協力体制をベースに、有機カルコゲン-窒素化合物、ジチオレン金属錯体、有機高分子、金属有機構造体 (MOF) など、これまでが開発してきた分子と見出してきた FET、光応答セル、電池特性などのデバイス特性に関して、成果公表に向けた取り組みを積極的に行っていく。

<学術的観点>

本事業では日本-英国-カナダ-ロシアの研究者が、「物質合成」「基礎物性探索」「デバイス展開」研究において役割分担し、有機伝導体や磁性体研究を通じて見出された有機強相関係に顕著な絶縁化要因である電子-格子緩和、電荷不均化や電子間反発などを起点とするデバイス特性を検討し、真に有機物的な有機エレクトロニクスを追求することを目標としてきた。前年度までに、有機カルコゲン-窒素化合物、ジチオレン金属錯体、フタロシアニン類縁体、有機高分子、K4 炭素類似構造を有する有機ラジカル、金属有機構造体 (MOF)、硫黄が空孔にアンカーされた共有結合性有機構造体 (COF) など、強相関や次元

性といった点で特徴的な電子構造や結晶構造をもつ様々な系を開発してきた。また、これらを用いて、特徴的な FET、光応答セル、電池特性などのデバイス特性を得ている。

H29 年度も前年度同様、前年度までの成果をもとに、R1「新規強相関分子系の合成と物性開拓」、R2「強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用」、R3「新規電極活物質の創製と二次電池への応用」の3つの共同研究テーマを実施する。その過程で、「物質合成」に関して、強相関や高次元性など、特徴的な電子構造や結晶および分子構造をもつ有機ラジカル塩、有機高分子、有機金属錯体、MOF、COF が新規に開発される。ここでは、伝導性、磁性、誘電性といった様々な新奇物性の発現が考えられる。

一方で、「デバイス特性」について、有機カルコゲン-窒素化合物、ジチオレン金属錯体、フタロシアニン類縁体などの配向性薄膜を共同研究により作りこむことで、分子及びその集合体に特徴的な磁気特性、FET 特性、光応答性を得ることが期待される（名大、北大-イギリスグループの共同研究）。他にも、分子性結晶を用いた強誘電性デバイスの作製（北大-イギリスグループの共同研究）やテトラチアフルバレン（TTF）を含有化合物の電荷移動・分離を基盤とした高効率な太陽電池の創製にも取り組む（東京農工大-イギリスグループの共同研究）。

さらに、高いレドックス活性を有する新奇有機カルコゲン-窒素化合物、MOF、COF、有機高分子を正極材料とすることで、安定かつ高容量な二次電池特性が見出されることが期待される。特に、MOFやCOFには活性な有機物質群を包接させることが可能なことから、電気化学反応を利用した新奇な固体電子物性を得ることも可能である。

このように試料の授受や滞在型の共同研究交流を行うことで、学術的な観点から、「配向性薄膜」「光過渡電流」「強誘電性」「MOF」「COF」「固体電気化学反応」といった新しいトピックスを加え、基礎から応用まで幅広く、強相関系物質群の新しいエレクトロニクスを展開する。

<若手研究者育成>

5月および11月に開催する本事業のワークショップに若手教員（助教クラス）および博士研究員や大学院生を多数参加させ、成果の発表や海外グループから参加する数十名の学生及び研究者との交流を行い、積極的な議論を通して、各グループへの滞在や若手研究者独自の着想に基づいた新しい共同研究の芽を育む。また、このような経験を通して若手研究者の英語によるコミュニケーション能力を上昇させる。

研究交流の観点からは、日本側の若手研究者が、前年度までに滞在型の共同研究で習得した配向性薄膜作製技術や有機強相関物質の高度な合成技術を基に、作成された物質やその薄膜のデバイス特性に関する検討を引き続き行い、本事業のトピックスとなるような成果の公表を目指す。このような一連の研究過程を若手研究者が学ぶことにより、将来的に独立した研究者となるための礎を築くことができる。なお、H29年度は名大の大学院生1名がストラスクライド大学に数カ月滞在予定であり、上記共同研究に従事する。また、海外グループからは、エジンバラ大の学生が、継続的に名古屋大に長期滞在予定（年度をまたぎながら約1年間）であり、本事業に関連する研究を行ってもらうことで、新しい技術

や知識を習得し、エジンバラ大での学位取得へと結びつける。

なお、本事業の研究交流により得た成果の一部は、H29年度も日本および海外グループに所属する大学院生の博士論文や修士論文に取り込まれる予定であり、若手研究者育成につながっていると見える。また、前年度と同様に、各グループに在籍する日本人および外国人博士研究員、博士課程学生のアカデミックポスト獲得に向け、後述のジョイントディグリープログラムや博士課程教育リーディングプログラムとも連携しながら、より一層の努力をする。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

前年度までと同様に、日本側の各グループにおいては、各大学で開催されるホームカミングデイ、オープンキャンパスといった研究公開の機会を利用し、広く一般の方にも本事業の目的と内容、本研究成果を知ってもらう。将来的には、本研究で得られた成果の公開講演会の開催なども視野に入れながら、パンフレットの作製などを行うことで社会貢献への対応としたい。また、科学啓蒙活動の一環として、スーパーサイエンスハイスクールや高校への出前講義、さらには JSPS ひらめき☆ときめきサイエンスを利用した小中高生への実験デモなどを実施し、本事業で得られた研究成果の紹介をする。

また、本事業が基となり、名古屋大学とエジンバラ大学間の Joint degree 制度（名古屋大学理学研究科－物質理学専攻（化学系）、同（物理系）、生命理学専攻、素粒子宇宙物理学専攻と、エジンバラ大学－化学科、生物学科、物理学科）が H28 年 10 月に正式発足しており、名大とエジンバラ大の学位を同時取得することが可能となったことで、今後も名古屋大学の国際化に大きく貢献する。なお、名古屋大とセントアンドリュース大学間の包括的な教育研究連携についても引き続き話し合う。これらは、本事業、学生、大学にとって非常にメリットのあるものであり、特に、本事業においては、長期間の大学院生の派遣・受入を可能にし、研究交流の加速につながる。

なお、本事業のコーディネーターである阿波賀は、「名古屋大学博士課程教育リーディングプログラム（グリーン自然科学国際教育研究プログラム（IGER）」（H29年度終了予定）のコーディネーターも務めており、本事業とこのプログラムを連携させ、大学院生の派遣や海外グループの研究者招聘によるセミナー実施などにより、博士課程教育の国際化についても努力している。

5-2. 全期間を通じた研究交流目標

1960年代の日本と英国に端を発する有機半導体の研究は、有機金属・超伝導体、有機磁石などへと発展する一方、有機半導体が電界発光素子やトランジスターに利用される有機エレクトロニクス的一大分野が開花しつつある。しかしその現状は、無機半導体エレクトロニクスの作動機構がそのまま有機系にコピーされたようなものが多く、有機系の特長を活かした新しい発展が待望されている。

本事業では、日本－英国－カナダ－ロシアの研究者が、「物質合成」「基礎物性探索」「デ

バイス展開」研究において役割分担し、有機伝導体や磁性体研究を通じて見出された有機系に顕著な絶縁化要因、すなわち電子-格子緩和、電荷不均化や電子間反発などを起点とするデバイス特性を追求し、真に有機物的な有機エレクトロニクスを追求する。その一方、トランジスターや光電セル構造をつくり込むことによって有機伝導体・磁性体に効率的な電荷注入を行い、これによって新たな分子物性の開拓を目指す。すなわち、「有機伝導体・磁性体研究」⇔「有機エレクトロニクス研究」の双方向研究から、基礎と応用において win-win の革新的成果をもたらす。

さらに本事業では、日本側で推進されているさまざまな人材育成や国際化プログラムと連携することによって、俯瞰力・展開力・国際性が必要とされる「有機分子物性・有機エレクトロニクス」の将来を担う若手人材を育成する。

目標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】

本事業では、「強相関系有機分子に特徴的な電子構造及び結晶構造に基づいた新しい有機エレクトロニクス」と「デバイス作動機構によって生み出される新しい分子電子物性」の開拓を目標に、「物質開拓」、「基礎物性開拓」、「デバイス機能開拓」に役割を分け、当初は、海外グループが「物質開拓」、国内グループが「基礎物性開拓」と「デバイス機能開拓」を主に担当することとして研究協力体制を構築した。その後、事業期間中に国内協力機関や海外拠点機関を拡大しながら、共同研究も含め、相互の担当分野をクロスオーバーさせ、研究を推進した。その結果、広い意味の有機エレクトロニクス分野において、「ヒト」「物質」「情報」が駆け巡る国際ネットワークがされた。このように、研究交流目標は十分に達成されたと考えているが、その理由について詳細を以下に述べる。

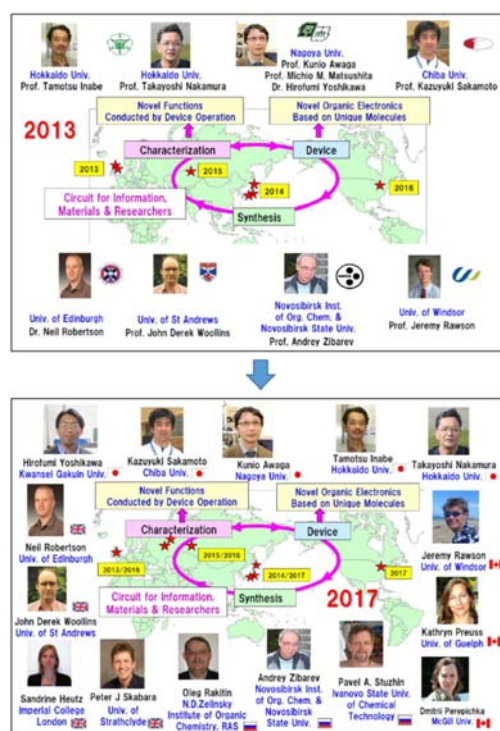


図1 初年度の最終年度の研究グループの比較。事業の有益性が国際的に認知され、グループは大きく拡大した。

まず、「研究協力体制の構築」という視点からは、本事業の成功は明白である。年次ワークショップや、さまざまな国際会議での成果発表、シニア研究者と若手研究者を含めた研究交流によって、本研究のコンセプトやネットワーク構築の考え方が浸透し、また国際的に認知され、多くの海外研究グループから参加希望が寄せられた。その結果、実施組織は当初の国内3大学4グループ・国外3カ国4大学から、最終的に国内4大学5グループ・国外3カ国8大学2研究所へと拡大した(図1)。この拡大したネットワークの中、国内拠点機関である名古屋大学には、多くの強相関系有機分子試料が海外グループから送付され、また、海外グループの教員や大学院学生が数日から10ヶ月間までさまざまなレベルで滞在した。一方で、日本側の教員や学生も共同研究や打ち合わせ、年次会議のため、海外グループへと出向いた。このように、本研究拠点は欧州及び北米を結びつける一つのハブとして機能し、「ヒト」「物質」「情報」の集積地となった。その結果、次世代エレクトロニクスにつながる新しい研究成果が次々と生み出された。

さらに、本事業による研究交流成果の一つとして強調したいのが、名古屋大学とEdinburgh大学間のJoint degree制度(名古屋大学理学研究科と、Edinburgh大学College of Science and Engineering間のプログラムで、文科省の設置審の議を経てH28年10月に正式発足。博士後期課程において一定期間相手大学に留学することによって、両大学から学位を得ることができる。名古屋大学は2018年3月、指定国立大学法人の指定を受けたが、Joint degree制度の推進は大きな柱の一つとなっている。)である。本事業を起点とする研究交流と信頼関係構築が、研究分野や専門領域を超え、両大学の新しい教育研究プログラムとして昇華し、このフレームワークの中で、本事業の精神と内容を継続していくことができる。これまでの拠点形成事業では、その出口として新研究センターの設立などに帰結したことは承知しているが、時間経過とともにセンター継続が難しくなっていくことは事実であろう。それに対して、本事業は永続的な研究教育制度に帰結したことを強調したい。

また本事業終了後、新たな研究プロジェクトや国際研究集会、人材交流計画が立案・提案・予定されている。ワークショップに関しては、H30年9月に本事業の後継にあたる第8回のワークショップがSuzdal(ロシア)で開催されることが既に決定しており(図2)、また2020年に開催される環太平洋国際化学会議においてもシンポジウムを開催する。研究交流経費の獲得については、英国とカナダのグループ

8th International Workshop "Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems" Suzdal, ISUCT, September 23-25, 2018



Dear Colleagues:

We are pleased to invite you to participate in the 8th International Workshop on Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems which will be held in Suzdal (central Russia) on September 23-25, 2018.

Seven previous regular Workshops on Organic Electronics of Highly Correlated Molecular Systems were successful international scientific events addressed to specialists in the synthesis and characterization of organic functional materials and their device applications. They were held since 2013 in London, UK (2013), Otaru, Japan (2014), Moscow, Russia (2015), St. Andrews, UK (2016), Novosibirsk, Russia (2016), Montreal, Canada (2017) and Nagoya, Japan (2017).

図2 本事業の有用性が認知され、事業期間終了後の本年9月、ロシアのSuzdalで第8回のワークショップを開催する。

が、それぞれの支援機関に申請予定である。

「学術面の成果」という視点からは、

R1：新規強相関分子系の合成と物性開拓

R2：強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用

R3：新規電極活物質の創製と二次電池への応用

の各研究項目に分けて成果を紹介したい。「R1：新規強相関分子系の合成と物性開拓」においては、強相関や高次元性など、特徴的な電子構造や結晶構造をもつ系が海外のグループを中心にいくつも生み出された。重要なことは、これが直接の共同研究の成果ではなくとも、本事業に刺激を受けて多くの新分子が合成された事実である。我々のグループでは一番合成よりの研究に携わるロシアのコーディネーターの Andrey Zibarev に、本事業の効果を聞いたところ、“The CtC program was very influential and produced a big positive effect onto my research. It allowed me to deliver my chemistry much closer to real materials science that it was before my involvement into the program.”との返信があった。その一方、共同研究の成果としては、日本-カナダと日本-英国の連携から、負の巨大磁気抵抗を示す有機ラジカルや金属錯体が発見された。また、日本-カナダの共同研究によって、有機ラジカルの強い蛍光特性や光伝導性、OLED 特性が見出された。このような開殻化学種の発光現象はホットのトピックであり、今後、基礎から応用まで、広く関心を集めるだろう。さらに本研究では、かつてグラフ理論が「強等方性結晶」として、また炭素の新同素体構造として予測した幻の K4 構造を、分子結晶でつくりだすことに成功した。この系においては、特異なバンド構造や、スピンプラストレーションによるスピン液体状態の生成といった物性を見出すことができた (図 3)。これは、名古屋大学の博士課程大学院生が Windsor 大学滞在中、その親分子の化学合成技術を習得したことに研究の端を発している。J. Am. Chem. Soc. および Phys. Rev. Lett. といった化学と物理とトップジャーナルに構造と物性のそれぞれを報告し、また当該学生の学位論文の内容ともなった。

「R2:強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用」では、主に海外のグループが合成したさまざまな強相関分子を用いて、薄膜化とその物性探索を経たのち、有機 FET や光電セルとしてデバイス化され、その性能が検討された。残念ながら、強相関分子の化学活性が、大気中あるいはデバイス作動中における

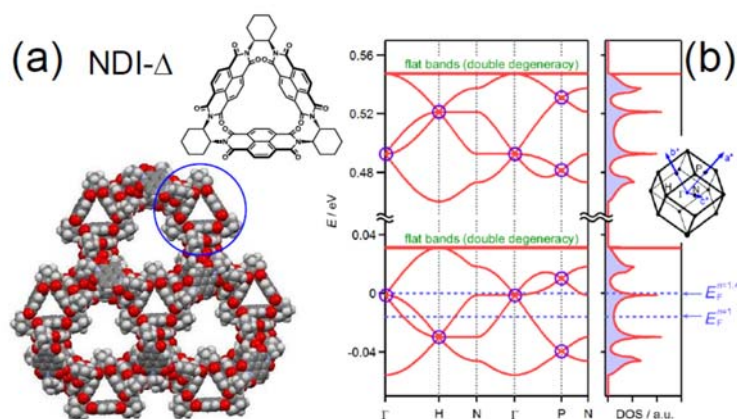


図 3 [(−)NDI- Δ]アニオンラジカルがつくる K4 結晶(a) とそのバンド構造 (b)。K4 構造は炭素の新同素体の構造としてグラフ理論が予想されたが、その合成には誰も成功していない。本研究では、炭素原子を分子に置き換えることによって、K4 結晶の作製に成功した。そのバンド構造は、3次元 Dirac Cone やフラットバンドといった、きわめて特異な特長をもつ。カナダ派遣によって得られた技術を用いて合成された。

化学的不安定性をもたらし、既存の有機デバイスの特性を凌駕するような系は見いだせなかったが、日本-英国の共同研究によるテンプレート分子を用いた有機薄膜構造の制御法が確立された。さらに本事業では、有機系に相応しい光電変換機構として、有機半導体と有機絶縁体を組み合わせることに生じる過渡光電流

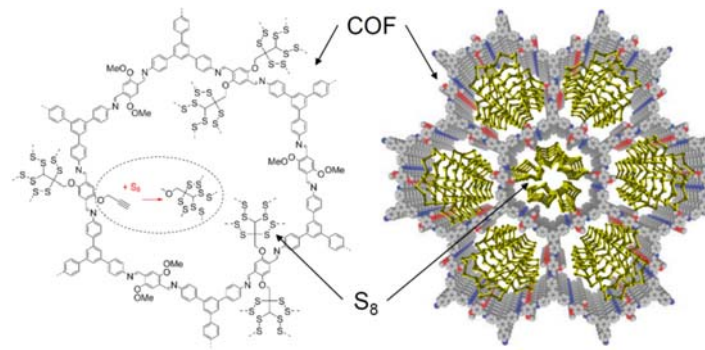


図4 COF 骨格中に S₈ 分子を取り込み、Li-S 二次電池の正極活物質として利用したところ、高容量と極めて高いサイクル特性を得ることができた。

を用いた交流光変換（変調光を超高速・高効率で交流電流シグナルに変換）の研究を、日本-英国の共同研究によって推進し、その作動原理を根本から明らかにすることができた。「R3：新規電極活物質の創製と二次電池への応用」に関しても、海外のグループが合成したさまざまな分子を正極活物質としてリチウム 2 次電池を作製し、その特性を調べ、新しい Li-硫黄電池を実現している。すなわち、有機骨格から形成される COF 空間内の CC 三重結合部位を導入し、これと硫黄分子 (S₈) を反応させ、COF 内に硫黄を固定化することに成功した (図4)。これを Li 電池の正極活物質とした Li-S 二次電池を作製したところ、高容量と極めて高いサイクル特性を実現することができた。

本事業は、既存の共同研究フレーム使い回したものではなく、組織、研究内容とも、1 から立ち上げたものである。その結果、共著論文の発表数が少数に留まり、中間評価でも指摘を受けている。しなしながら、事業が年次進行するうちに、国際共著論文の数は、1, 0, 1, 2, 3 報と年々増加し、時に後半の伸びは目覚ましい。さらに、現在、投稿中あるいは準備中の論文が 3 報ある。学術面の成果としても研究交流目標は十分に達成されたと自己評価している。

最後に、「若手研究者育成」という視点から所見を述べる。本事業は、若手研究者のプロモーションという点でも大きな貢献をした。10 件近くの昇任事例があるが、これらは本事業による国際共同研究の成果や国際会議、セミナーでの発表実績などが評価された結果であり、若手研究者のキャリアパス形成として非常に大きな意味をもった。なかで特筆したいのが、日本側の拠点機関に在籍した外国人若手研究者の昇任である。

Zhongyue Zhang : 名大博士研究員 → 名大助教

Simon Dalgleish, : 名大特任助教 → Humboldt-Universität zu Berlin, Senior Researcher

Louisa Reissig : 名大特任助教 → Berlin Free University, Junior Professor

Supravat Karak : 名大博士研究員 → Indian Institute of Technology, Delhi, Assistant Professor

これは、本事業が人材の国際的なショーケースとなり、彼らがキャリアパスを切り開いていったと推察される。本事業の国際交流は、もちろん日本人若手研究者にも多大な影響を与えた。研究室の国際化(図5)は言うまでもなくが、事業終了後の今年度、2名の若手研究者が海外の博士研究員として巣立っていく。このような国際化は、大学院博士後期課程の魅力ともなり、名古屋大学の阿波賀グループでは、初年度の博士後期課程在籍者は1名だったのに対して、最終年度は5名となった。



図5 阿波賀グループの集合写真で、メンバーの1/3以上が外国人。JSPS「事業概要パンフレット2014-15」に掲載され、JSPSの国際交流事業の広報にも貢献した。

以上のように、本事業による研究交流が十分になされた結果、学術的成果、人材育成、大学間の交流協定の締結といった形で、目標が予想以上に達成された。本事業後の展開も含めて、本研究交流が有機エレクトロニクス研究に、そして大学院博士課程教育委研究に、新しい風を吹き込んだことは間違いない。

6. 研究交流成果

6-1. 平成29年度の成果

(研究協力体制の構築状況、学術面の成果、若手研究者育成、社会貢献や独自の目的等についての平成29年度の成果を簡潔に記載してください。なお、交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めてください。)

・研究協力体制の構築状況

前年度と同様に、国内5大学(6グループ)(名古屋大、北海道大(2グループ)、千葉大、関西学院大学、東京農工大)と国外3カ国8大学・2研究所(英国:Edinburgh大学、St Andrews大学、Imperial College London、Strathclyde大学、カナダ:Windsor大学、Guelph大学、McGill大学、ロシア:Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, N.D. Zelinsky有機化学研究所、Ivanova州立大学)の計16グループにより本事業を推進した。なお、Strathclyde大のPeter Skabaraは年度途中でGlasgow大(英国)へ異動し、引き続き本事業のコアメンバーとして参画した。また、稲辺(北大)の退職に伴い、同研究室の原田(北大)がコアメンバーとして加わった。

H29年度は、名古屋大・阿波賀グループの大学院生Glasgow大のSkabaraグループに2ヶ月滞在し、Gyroid構造をもつドナー・アクセプター有機複合高分子を用いた有機太陽電池創製を目指して、その基礎となる研究を行った(図6)。グローブボックス中での有機半導体デバイスの作製および測定技術を習得し、ドナー部位にトリフェニルアミン、アクセプター部位にベンゾチアジアゾール骨格を有する新規D- π -A- π -D型分子のFET測定を行い、

良好なホール移動度を得た。引き続きデバイス作製について議論を重ねて、光電変換デバイスへの応用に向けてより詳細な電子物性測定を行う。

一方で、Novosibirsk Institute of Organic Chemistry の Nikolay Semenov 上級研究員が名古屋大学に2ヶ月滞在し、強相関分子磁性体の合成や、FET 作製と特性評価について共同研究を行った。その結果、3次元ネットワーク構造をもつ新しい分子磁性体を得られ、これが比較的高い温度で弱強磁性体となることが分かった。現在、論文を執筆中である。H27 年度に来日した Edinburgh 大学の学生2名が、強等方性分子結晶の研究を実行した後、7

月に離日した。その後の10月、Edinburgh 大学の学生2名が新たに来日して、この研究を引き継いだ。彼らも名古屋大学に約10ヶ月滞在して研究を進めている。

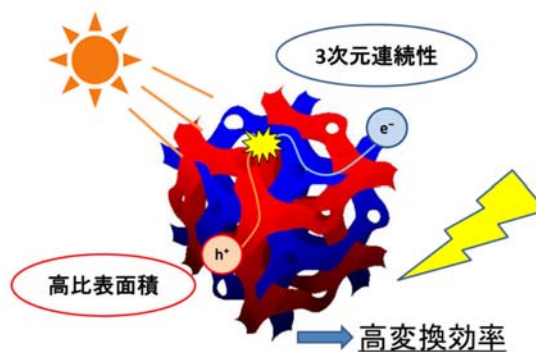


図6 上記の赤と青の構造は、Single Gyroid と呼ばれる構造で、逆のキラリティーをもつ3次元周期構造として知られている(本事業で見出した分子性 K4 結晶と等構造)。その境界面が Gyroid 面と呼ばれるもので、極めて高い比表面積をもつことが知られている。本研究では、青と赤をドナーおよびアクセプター有機高分子で構成し、Gyroid 面の特性を利用した高効率電荷分離を検討する。将来的には、これを有機太陽電池に発展させる。

上記の研究交流活動とともに、セミナーや研究室見学、研究打ち合わせのための相互訪問も実施した。H29 年度は、阿波賀が Edinburgh 大学、Glasgow 大学、Imperial College London を訪問し、中村（北大）が Edinburgh 大学を訪問した。それぞれセミナーを行うとともに、有機強相関系物質の合成とそれらを用いたエレクトロニクスデバイス作製に関する共同研究の打合せを行った。また、本事業の第6回ワークショップを2017年5月にモントリオールの McGill 大学にて、Dmitrii Perepichka 主催により開催し、支援期間内の最終会議を2017年11月に名古屋大学（阿波賀が主催）で開催した（図7）。コアメンバーとその研究室に所属する若手研究者や学生がほぼ全員参加し、研究成果報告や成果のとりまとめとともに、今後の共同研究の打ち合わせ、さらには本事業後の研究交流の方策についても話し合った。以上のような研究交流（物質、人、情報のサイクル）を通して、研究協力体制の構築が引き続き十分になされた。

・学術面での成果

上述のような研究協力体制をもとに、R1「新規強相関分子系の合成と物性開拓」、R2「強相関分子の有機エレクトロニクスへの

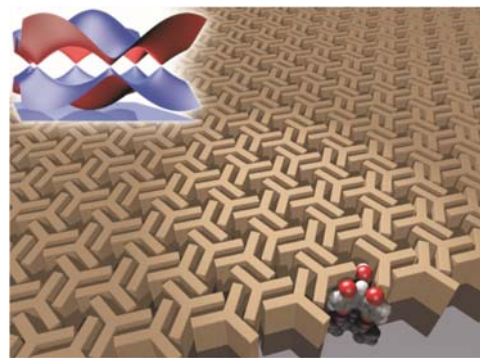


図8 トリプテセン誘導体アニオンラジカルがつくる分子性ハニカム格子。バンド計算から、グラフィンと同様な Dirac Cone やフラットバンドの形成が予見された。化学の力で Dirac 電子系を合成する道筋を示したという理由で、Chem. Commun. 誌の Cover picture に採用された。

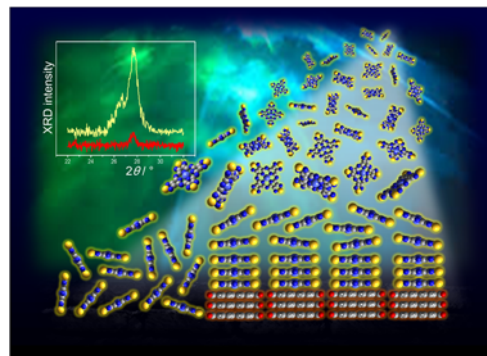


図9 多くの π 共役分子の薄膜では、分子は edge-on 配向する。ところが、このような分子でも、face-on 配向する PTCDA 上(図中の赤い分子)に蒸着するとテンプレート効果によって face-on 配向することを見出した。有機エレクトロニクスが必要とする高効率の電荷分離や電荷注入を可能にするという理由で Phys. Chem. Chem. Phys. 誌の Cover picture に採用された。



図7 ワークショップ(名古屋)(支援期間内では最終)の出席者。ほとんどすべてのコアメンバーが出席し、成果のとりまとめや今後の方策について討議した。

応用」、R3「新規電極活物質の創製と二次電池への応用」の3つの共同研究について、基礎と応用の両方で研究が順調に進んだ結果、共著論文や共著の学会発表などの成果公表がなされ、大学院生の博士論文や修士論文にも成果の一部が取り込まれるなど、交流実績は着実に積み重ねられている。

R1 研究では、K4 構造に結晶化する有機ラジカル結晶の物性解析をさらに進め (図 3)、3次元系においては極めて稀なスピン液体基底状態を発見した。さらに、強等方性分子結晶の研究をさらに推進し、トリプチセント骨格をもつ有機ラジカル結晶に、分子性ハニカム構造を発見した (図 8)。このように、名大-Edinburgh 大の共同研究などによって強相関係有機分子に特徴的な電子構造や結晶構造に由来する性質を継続的に見出した。R2 研究においては、引き続き、上述のような強相関係有機分子の薄膜を利用した FET、光セルなどの作製を行い、その過程で、テンプレート効果を利用したポルフィリン類縁体薄膜の配向制御に成功し、名大と Imperial College London のグループによる共著論文として公表した (図 9)。このように、強相関係分子に特有のデバイス特性の実現に向け、大きな発展があった。R3 の成果としては、ロシアの Zibarev グループから Se-Se 結合を有する分子群の提供を受け、その二次電池特性を見出すとともに、共有結合性有機構造体 (COF) 内に硫黄をグラフトすることで、硫黄電池の特性を改良できたことがあげられる。

このように試料の授受や滞在型の共同研究交流により、基礎から応用まで幅広く、強相関係物質群の新しいエレクトロニクス研究を展開できた。

・若手研究者育成

H29 年度は、2 回の本事業年次会議において、日本側の多くの若手研究者 (スタッフ、博士研究員、大学院生) が口頭発表を行うなど、国際舞台での英語によるコミュニケーション能力の向上に貢献した。また、本事業での滞在型の共同研究によって、若手研究者を筆頭著者とする共著論文が計 3 報公表、投稿中論文が 3 報など、若手研究者の研究成果に着実につながっている。さらに、大学院生の博士論文や修士論文にも共同研究の成果の一部が取り込まれるなど、若手研究者の研究成果に本事業の十分な寄与が見られる。

若手研究者のプロモーションという点では、本事業において海外のグループに短期滞在し、共同研究を行うことによって共著論文の公表にまで至った名古屋大の博士研究員が、日本学術振興会の海外特別研究員に採用され、H30 年 4 月より、海外で研究を行うことが内定している。また、3 月に学位を取得した学生が、H30 年 9 月からドイツの Karlsruhe Institute of Technology に博士研究員として採用されることが決まった。このように、世界で活躍する国際的な若手研究者育成の面でも本事業は十分な貢献をした。

・社会貢献や独自の目的等

日本の研究グループは、各大学で開催されるホームカミングデイ、オープンキャンパス、出前講座といった研究公開の機会を利用し、本事業で得られた研究成果を広く一般の人にも知ってもらおう努力を継続的に行った。

また、名古屋大学と Edinburgh 大学間の Joint degree 制度を活性化するため、Edinburgh 大学の Centre for Science at Extreme Condition において、1 日のワークショップを開催した。これには阿波賀が参加したほか、名古屋大学理学研究科の化学系ならびに物理系の教員が参

加し、新しい共同研究の萌芽を促した。名古屋大学と St Andrews 大学間の包括的な教育研究連携協議など、大学全体の交流に発展し、名古屋大学の更なる国際化に大きく貢献した。さらに、阿波賀をコーディネーターとし、時を同じくして終了する博士課程教育リーディングプログラムとの相乗効果という点でも大きな役割を果たした。

- (1) 平成29年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 12本
うち、相手国参加研究者との共著 3本
 - (2) 平成29年度の国際会議における発表 17件
うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
 - (3) 平成29年度の国内学会・シンポジウム等における発表 28件
うち、相手国参加者との共同発表 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。)

6-2 全期間にわたる研究交流成果

(1) 研究協力体制の構築状況

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

本事業では、「強相関系有機分子に特徴的な電子構造及び結晶構造に基づいた新しい有機エレクトロニクス」と「デバイス作動機構によって生み出される新しい分子電子物性」の開拓を目的に、「物質開拓」、「基礎物性開拓」、「デバイス機能開拓」に役割を分け、当初は、海外グループが「物質開拓」、国内グループが「基礎物性開拓」と「デバイス機能開拓」を主に担当することとして研究協力体制を構築した。その後、事業期間中に国内協力機関や海外拠点機関を拡大しながら、共同研究も含め、相互の担当分野をクロスオーバーさせて研究を推進した。ここでは、まず、日本側拠点機関である名古屋大学の役割と実施体制について述べる。以下は、名古屋大学における研究体制と主なスタッフの役割である（年度は参加期間を示す。）。

阿波賀 邦夫（教授）：本事業のコーディネーター及び研究項目 R1～R3

松下 未知雄（准教授）：

研究項目 R1, R2 「強相関系有機分子の創製と有機デバイスの作製及び評価」

吉川 浩史（助教、H25～H26）：

研究項目 R3 「レドックス物質群の合成と分子性二次電池への発展」

Zhongyue Zhang（助教、H27～H29）：

研究項目 R3 「レドックス物質群の合成と分子性二次電池への発展」

Simon Dalgleish（特任助教、H26～H28）：

研究項目 R2 「高効率・超高速有機光電変換の発展」

Louisa Reissig（特任助教、H26～H28）：

研究項目 R2 「高効率・超高速有機光電変換の発展」

阿波賀は事業全体を統括し、松下、吉川は、国内協力機関との連絡・調整を行なった。Dalgleish と Reissig は Edinburgh 大学で学位を取得後に来日し、ともに JSPS 外国人特別研究員として採用され、その後、名大特任助教として、海外の拠点機関との研究連絡・調整を担当した他、Edinburgh 大学—名古屋大の学術協定締結に貢献した。吉川が名大より異動後、助教として着任した Zhang (Texas A&M 大学で学位取得後、阿波賀研にて博士研究員) もまた、海外の拠点機関との連絡・調整を行なった。なお、これらスタッフとともに、多数の博士研究員や大学院学生が本事業の研究に携わり、研究体制を構築するうえで、大きな貢献をしたことは言うまでもない。

拠点機関である名古屋大学では、各グループにおける事業研究の進捗状況、グループ間共同研究の進捗状況、本事業の年次会議、国際会議、セミナーへの派遣、海外研究グループへの派遣、相手国からの受け入れ状況、相手国の共同研究実績をすべて把握し、事業活動を HP (<http://advmat.chem.nagoya-u.ac.jp/core2core.html>) 上で随時公開した。また、拠点機関として、海外グループの教員、博士研究員、Joint Degree 制度に基づいた Edinburgh 大学生を始めとする大学院学生をもっとも多く受け入れ、短期および長期滞在による議論や研究によって、本事業は大きく進展した。

次に、国内協力機関の体制について述べる。当初、国内 2 大学 3 グループから始まった協力機関数は国内 4 大学 (5 グループ) へと拡大して、拠点機関である名古屋大学との国内協力体制を維持し、本事業にかかわる研究を実施した。以下に協力機関のコアメンバーの詳細と参加年度、研究分担を示す。

●北海道大学

稲辺 保 (教授、H25~H28) :

研究項目 R1, R2 「有機伝導体や分子性プリンタブル伝導体の開発」

中村 貴義 (教授) : 研究項目 R1, R2 「有機強誘電体の開発」

原田 潤 (准教授、H29) : 研究項目 R1, R2 「有機強誘電体の開発」

●千葉大学

坂本 一之 (教授) :

研究項目 R2 「有機薄膜デバイスの作製、光電子分光電子構造解析」

●関西学院大学

吉川 浩史 (准教授、H27~H29) :

研究項目 R3 「レドックス物質群の合成と分子性 2 次電池への発展」

●東京農工大

帯刀 陽子 (准教授、H28~H29)

研究項目 R1 「強相関係有機分子及び高分子の創製と基礎物性開拓」

北海道大学の 2 グループ (中村、稲辺) と千葉大学のグループとは、本事業開始前より長く本事業に関連する内容の共同研究を実施しており、共著論文も多い。本事業においても継続的にこれを推進し、メール審議や学会等での面会、さらには相互の訪問、滞在研究により、本事業での共同研究 R1, R2 を大きく進めることができた。

また、本事業途中で、名古屋大学の吉川が関西学院大に異動したのをきっかけに、吉川が引き続き R3 に関する研究でコアメンバーとして参画した。同じく、事業途中で加わった東京農工大の帯刀は、北大・中村グループで博士の学位を取得しており、これまでに英国側のコアメンバーである Neil Robertson のもとに 1 年ほど留学するなど親交が深く、R1 に関する研究で国内および英国グループとの研究協力体制を築いた。この両名が本事業の国内協力機関として加わることで、本事業がさらに進展したといえる。なお、最終年度は、北大の稲辺の定年退官に伴い、准教授の原田が代わりにコアメンバーとして参加し、協力体制の維持に努めた。

上述のように、拠点機関が中心となって研究協力体制を構築するとともに、本事業の第 2 回年次会議（小樽）及び最終会議（名古屋）を、国内グループで企画・運営し、多くの海外グループに参加してもらうなど大成功に導いた。

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）

当初は国外 3 か国 4 大学のグループにより本事業を開始したが、その後、最終的には国外 3 カ国 8 大学・2 研究所（英国：Edinburgh 大学、St Andrews 大学、Imperial College London、Strathclyde 大学、カナダ：Windsor 大学、Guelph 大学、McGill 大学、ロシア：Russian Academy of Sciences, Novosibirsk、Zelinsky 有機化学研究所、Ivanova 州立大学）へと拡大して本事業を推進した。なお、最終年度途中で Strathclyde 大の Peter Skabara 教授は Glasgow 大（英国）へ異動したが、引き続き本事業のコアメンバーとして参画した。海外グループの役割分担を以下に示す（*は本事業開始後、参加）。

【英国】

- Edinburgh University (Neil Robertson) (英国コーディネーター)：分子性導体として知られているジチオレン錯体合成や、色素増感太陽電池用色素の開発を担当した (R1, R2)。名大-Edinburgh 大学間の学術協定締結に貢献し、Joint Degree 制度の締結を実現した。これに関連して、頻繁に名大を訪問した。また、H25 年度年次会議を主催した。
- University of St Andrews (John Derek Woollins)：新しい有機カルコゲン-窒素化合物を合成し、本事業に試料提供した (R1)。英国側のマッチングファンドである The Leverhulme Trust の国際ネットワーク支援プログラムの代表者であり、本事業の年次会議の多くは、このプログラムとの共催で実施した (H27 年度年次会議の主催者)。
- *Imperial College London (Sandrine Heutz, H26 以降参加)：超高真空下での有機薄膜作製と電子機能測定を行なった (R2)。北大院生と名大博士研究員を受け入れ研究指導した。
- *University of Strathclyde (Peter J. Skabara, H26 以降参加)：有機太陽電池や分子性 2 次電池への応用を目指した有機ポリマー合成 (R3)。名古屋大学に 2 ヶ月滞在し、さまざまな意見交換を行なった。

【カナダ】

- University of Windsor (Jeremy Rawson) (カナダコーディネーター)：チアジラジカル合成と基礎物性測定 (R1)。名古屋大学の学生と博士研究員の短期訪問を受け入れ研究指導した。
- *University of Guelph (Kathryn E. Preuss、H26 以降参加)：チアジラジカルやその金属錯体の合成 (R1)。
- *McGill University (Dimitri Perepichka、H26 以降参加)：有機太陽電池や分子性 2 次電池への応用を目指した有機化合物合成 (R2, R3)。本事業の H29 年度年次会議を主催した。

【ロシア】

- Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (Andrey Zibarev) (ロシアコーディネーター)：セレン-窒素結合を含む分子合成と本事業への試料供給 (R1, R3)。H27 年度および H28 年度の年次会議を主催した。
- *N.D.Zelinsky Institute of Organic Chemistry (Oleg Rakitin、H26 以降参加)：セレン-窒素結合を含む分子合成と本事業への試料供給 (R1)。
- *Ivanovo State University of Chemical Technology (Pavel A. Stuzhin、H27 以降参加)：ポルフィラジン化合物の合成とデバイス化に向けた本事業への試料供給。本事業後、H30 年に本事業メンバーを集めたワークショップを開催予定。

以上の海外メンバーが、各研究と交流において大きな役割を果たし、本事業の目的である『有機エレクトロニクス分野における「ヒト」「物質」「情報」が駆け巡る国際ネットワーク構築』を実現した。各グループの大学院生や博士研究員が日本のグループ（主に名大）に滞在して研究を行うのはもちろんのこと、海外グループ同士の交流も盛んで、McGill 大学の大学院生が共同研究のため、Joint Student として Edinburgh 大学に滞在した例もある。上述のメンバーは主に年次会議で直接的な打ち合わせを実施したが、それ以外にもメールによる審議などを頻繁に行った。また、コアメンバーの相互訪問による打ち合わせやセミナー開催は数多く実施された。なお、本事業後のワークショップの開催が決定するなど、本事業で得たネットワークは事業後の進展をすでに見せ始めている。

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）

本事業の事務運営のため、本事業経費の業務委託手数料により、英語に堪能な専任の事務職員を 1 名雇用し、名古屋大学理学研究科阿波賀研究室内に事務局を設置した。名古屋大学の研究支援課、理学研究科研究支援掛および経理掛と常に連絡を取りながら、交流事業に支障が出ないように交渉を行っていただいた。また、名古屋大学を中心に、国内、海外の拠点機関や協力機関と連絡をとりながら、派遣・受入のための諸手続き、経理業務、交流事業成果の収集、HP 業務など、非常に広範な事務処理にあたっていただいた。その結果、海外グループのメンバーからは深く感謝されるとともに、高い評価をいただいている。さらに、HP での成果公開により、本事業の交流及び研究成果が国際的にもビジブルになった。

(2) 学術面の成果

上述のような研究協力体制のもと、「R1：新規強相関分子系の合成と物性開拓」、「R2：強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用」、「R3：新規電極活物質の創製と二次電池への応用」の3つの共同研究について、基礎と応用の両面で研究が順調に進んだ結果、共著論文などの成果公表がなされ、大学院生の博士論文や修士論文にも成果の一部が取り込まれるなど、学術面で顕著な成果が得られた。以下に、各研究項目の中から、代表的な学術的成果を述べる。

「R1：新規強相関分子系の合成と物性開拓」においては、強相関や高次元性など、特徴的な電子構造や結晶構造をもつ系が海外のグループを中心にいくつも生み出された。重要なことは、これが直接の共同研究の成果ではなくとも、本事業に刺激を受けて達成されたという事実である。すなわち、有機エレクトロニクスという新しい視点から物質合成が見直され、これに刺激を受けて、さまざまな新分子が合成された。また日本-カナダならびに日本-英国の共同研究から、負の巨大磁気抵抗を示す系がいくつか見出された。さらに、日本-カナダの連携から、ラジカル部位と発光部位を結合した分子が合成された(図10)。この系は、強相関的な結晶構造(図10)とともに、強い蛍光とOLED発光、さらには光電流が見出された。有機ラジカルにおいては無輻射遷移が支配的で、発光が観測されること自身、極めて稀である一方、このような開殻化学種の発光は、閉殻分子における励起1重項($S=0$)ならびに3重項状態($S=1$)からの発光とは異なり、 $S=1/2$ 間の遷移に限定されるため、高効率発光が期待されている。今後この系は、大きな関心を集めるものと期待している。このような新物質開拓の中で、成果として強調したいのが、強等方性分子結晶の創製である。「強等方性」とは、グラフ理論が提案した結晶構造の性質で、数学的にハニカム、ダイヤモンド、そしてK4構造のみがこれを満たす。そしてこのK4構造を sp^2 炭素で構成するのがK4炭素で、炭素の新同素体としてグラフ理論から提案された。このような強等方性結晶には、Dirac Coneと言った極めて特異なバンド構造が予見されている一方、このK4炭素そのものの合成に成功した事例はない。そこで本研究では、幻のK4構造を分子結晶で作り出すことを提案し、これを実現した。その結果、特異なバンド構造が確認され、スピン・フラストレーションとスピン液体状態の発見という副産物もあった(図3)。H29年度はこの研究をさらに進め、分子性ハニカム格子の合成にも成功し注目を集めた(図8)。この研究は、強相関分子の研究に新しい1ページを加えるものと自負している。

「R2：強相関分子の有機エ

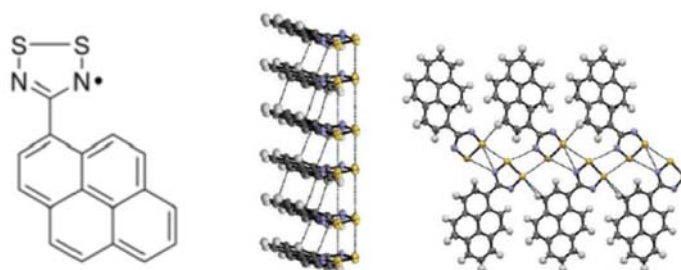


図10 ラジカル部位と発光部位を併せもつ分子と、その強相関的(3次元的)な結晶構造。有機ラジカルとしては極めて珍しく、OLED特性をもつ。

「レトロニクスへの応用」に関しては、ロシアやカナダのグループから提供された環状チアジラジカルなどの強相関有機分子を利用して多くの FET を作製したが、移動度が温度減少とともに増加するバンド伝導的な挙動が一部で見られたものの、安定作動という点で問題が残された。そこで発想を転換して始めたのが強相関有機分子単分子膜の研究で、バルク結晶とはまったく異なる、極めて興味深い強相関構造と特性を得た。カナダのグループから提供された強相関有機分子の分子薄膜を利用して比較的良い電界効果移動度、しきい電圧、オンオフ比を示す FET の作製に成功した。特に、高真空下で有機分子の蒸着量を変化させながら FET 特性を測定する *in situ* 観測法を開発することで、電界効果移動度、しきい電圧、オンオフ比などをリアルタイムで連続的に観測することが可能となり、分子層数と FET 特性の相関

を見出すことができた。また、名大—Imperial College London の共同研究では、金属含有ポルフィリン類縁体の薄膜の配向をテンプレート効果により制御することに成功し、それ由来した特異な磁気特性を実現した。これらの結果は数報の共著論文として公表されるとともに、そのうちの 1 編は英国の学術誌 *Phys. Chem. Chem. Phys.* の Showcasing research として口絵とともにハイライトされた (図 9)。さらに、名大と Edinburgh 大が共同で、ポリチオフェンや C₆₀ 薄膜を用いた光応答セルの高速かつ高出力な光過渡電流を観測するとともに、ジチオレン錯体薄膜の近赤外光による光電流を観測し、これらの成果を論文として公表した。このように、結晶や厚膜から分子レベルの薄膜へと展開することで、次世代有機エレクトロニクス/スピントロニクスに向けた強相関有機分子に特有のデバイス特性を得た。R2 の研究でさらにハイライトしたいのが、有機半導体と有機絶縁体を組み合わせることに生じる過渡光電流を用いた交流光変換 (変調光を超高速・高効率で交流電流シグナルに変換) の研究である (図 11)。[金属(M1) | 絶縁体(I) | 半導体(S) | 金属(M2)] なる構造に光を照射すると、絶縁層の分極によって半導体層での電荷分離が活性化され、巨大な過渡光電流が生まれる。光を変調 (on-off) することによって、この過程が繰り返され、交流電流をつくり出すことができる。本研究では、これを等価回路で表現することによって、その作動原理を説明することに成功した。さらに、界面をキャリアが通過することなく、分極のみで交流をつくり出す究極の光電セルとして [M1 | I1 | S | I2 | M2] 構造を提案し、特許出願した。分極のみで作動する光電変換は、移動度の小さな有機物に最適な新機構であり、有機オプトエレクトロニクスに革新的変革を与えるものと期待している。

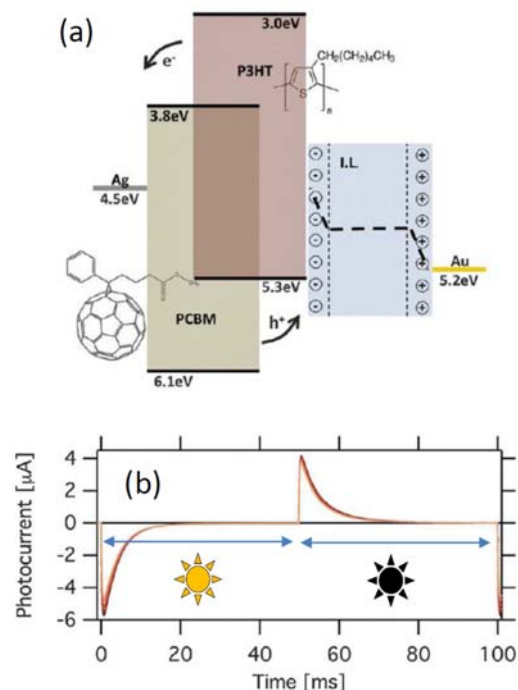


図 11 (a) M1=Au、I=イオン液体、S=PCBM:P3HT、M2=Ag とした MISM 光電セルの構造とエネルギー準位図。(b) MISM セルから生まれる交流電流シグナル。

最後に、「R3：新規電極活物質の創製と二次電池への応用」における研究ハイライトは、レドックス活性を有する新奇金属有機構造体（MOF）や共有結合性有機構造体（COF）の合成と、安定した二次電池特性の発見である。名大グループは、固体電気化学を利用した還元イオンドープとそれにともなう磁性変化の *operando* 計測にも成功し、電気化学によって制御される固体物性を実現した。とりわけ、配位子と金属イオン両方の酸化還元に基づいた高容量 MOF 電池の実現と COF 内への硫黄のグラフト化による硫黄電池の特性向上は重要な学術的成果（図 4）で、ごく最近では、MOF や COF 内への電荷移動錯体のその場取り込みによる特異な電子物性の発現にも成功した。また、共同研究としては、Peter Skabara グループ（英国）から提供を受けたテトラチアフルバレン骨格を含む新規 π 共役有機高分子や Andre Zibarev グループ（ロシア）から提供を受けた Se-Se 結合を有する新奇有機カルコゲン-窒素化合物が二次電池の電極材料として機能することを見出した。

以上、R1, R2, R3 研究を通じて、分子性物質の特性をいかに発揮した事象とも言える、

1. 強等方性分子結晶の新奇物性（R1）
2. 過渡光電流を用いた交流光電変換（R2）
3. MOF ならびに COF を用いた分子性 2 次電池（R3）

といった尖った成果を得ることができた。海外の研究グループにおける物質開拓と国内の研究グループにおける基礎物性解析とデバイス特性評価、という大まかな役割分担において、① 強相関特性や高いレドックス活性が期待できる有機カルコゲン-窒素化合物、ジチオレン金属錯体、フタロシアニン類縁体、MOF、COF の合成、② K4 やハニカム格子などの強等性結晶作製や分子性薄膜の配向制御、③ 強相関系に特徴的な電気・磁気物性の開拓、強誘電性と光応答性の開拓とその融合、④ FET や光電セル、2 次電池へのつくりこみとその特性評価、を縦断的に実行し、学術的な観点からは「配向性薄膜」「光過渡電流」「強誘電性」「MOF」「COF」「固体電気化学反応」などのトピックスに焦点を当てながら、基礎から応用まで幅広く、強相関系物質群の新しいエレクトロニクスを展開し、多くの国内外の会議における発表や国際誌への論文としての公表につなげることができた。

（3）若手研究者育成

本事業では、若手研究者（スタッフ、博士研究員、大学院生）を本事業の年次会議や国際学会に多数派遣して発表の機会を与えたほか、海外グループの Peter Skabara や Neil Robertson（英国）らが日本側グループに滞在した際に、研究室セミナーなどの行事に参加していただき、若手研究者や学生との密な交流をもっていた。これにより、若手研究者の英語コミュニケーション能力は格段に向上した。

また、日本及び海外グループの博士研究員や大学院生が相互に中長期で滞在型の共同研究をすることによって、英語によるコミュニケーション能力だけでなく、研究成果も着実に積み重ねられた。その結果、若手研究者を筆頭著者とする共著論文が公表されるとともに、大学院生の場合は、その博士論文や修士論文に滞在中の共同研究内容が取り込まれ、若手研究者の研究成果に大きく貢献した。

さらに、名大グループの博士研究員や大学院生が中心となって、第二回目の本事業年次会議（小樽）の直前に、別経費による JSPS 博士課程教育リーディングプログラムのワークショップを開催し、本事業参加メンバーをホストするなど、若手発信型の会合開催といった自発的な交流成果にも本事業との相乗効果がみられた。

最後に、若手育成の最終的な到達点である若手研究者のプロモーションについて述べる。上述の本事業による国際共同研究の成果や国際会議、セミナーでの発表実績などが評価された結果、本事業にかかわる多くの若手研究者のプロモーションがなされた。日本側グループの代表的事例を以下に記す。

野呂 信一郎：北大・准教授 → 北大・教授

吉川 浩史：名大・助教 → 関西学院大・准教授

久保 和也：北大・助教 → 兵庫県立大学・准教授

山田 哲也：名大・博士研究員 → 信州大・助教（特定有期）

Zhongyue Zhang：名大・博士研究員 → 名大・助教

Simon Dalglish,：名大特任助教 → Humboldt-Universität zu Berlin・Senior Researcher

Louisa Reissig：名大特任助教 → Berlin Free University・Junior Professor

Supravat Karak:名大博士研究員 → Indian Institute of Technology, Delhi・Assistant Professor

特筆すべき点は、4名の外国人若手研究者が、本事業期間中、日本側の拠点機関である名古屋大学に在任していたことで、拠点機関の国際化に大きく貢献するとともに、本事業における海外グループとの連絡調整の面で大きな役割を果たした。そしてその4名全員が、厳しい競争を勝ち抜いてプロモーションを果たしており、本事業が人材とショーケースの役割を担った。その他にも、名古屋大の日本博士研究員が、H30年4月より日本学術振興会の海外特別研究員に採用され、本事業後に海外へ旅立った。またH30年3月、Edinburgh大学に留学した名古屋大学の博士課程学生が、「名古屋大学博士課程教育リーディングプログラム（グリーン自然科学国際教育研究プログラム（IGER）」）を修了するとともに学位を取得したが、H30年9月から海外でポスドクをすることが内定している。このように、世界で活躍（通用）する国際的な若手研究者育成の面でも本事業は十分な貢献をした。

（４）アジア地域における研究教育拠点の構築

本事業では、日本－英国－カナダ－ロシアの研究拠点が連携し、有機エレクトロニクス分野における「ヒト」「物質」「情報」が駆け巡る国際ネットワーク構築を目指した。前述のように、事業開始当初の国内3大学4グループ・国外3カ国4大学から国内4大学5グループ・国外3カ国8大学2研究所へと拡大した。海外機関での物質合成と国内機関における物性評価やデバイス作製・評価という大まかな役割分担の中で、多くの強相関係有機分子試料が海外グループから送付され、また、海外グループの教員や大学院学生が数日から10ヶ月間までさまざまなレベルで滞在した。一方で、日本側の教員や学生も共同研究や打ち合わせ、年次会議のため、海外グループへと出向いた。このことは、本研究拠点がアジア地域と欧州及び北米を結びつける一つのハブとして機能し、「ヒト」「物質」「情報」の

集積地となったことを意味する。この中で印象深いのはロシア（この拠点である Novosibirsk はアジア地域に位置する）との連携であり、研究ならびに交流活動とも非常に協力的であった。試料提供、若手研究者の中期滞在（2 ヶ月）、研究集会の誘致など、すべてにおいて積極的であった。ロシアがアジアかどうかは仕方のない議論として、日本との距離的な近さは疑いなく、これが強い連携をもたらした。

教育面では、本事業において構築した Edinburgh 大学との協定や信頼関係に基づいて、名古屋大学理学研究科と Edinburgh 大学化学科、生物学科、物理学科間に Joint Degree 制度が締結された。今後、双方の大学から毎年 1 名ずつをこのプログラムに受け入れることにしている。この制度は、G30 事業などを推進する国際研究教育機関であり、また指定国立大学法人に選定された名古屋大の施策とも合致する。留学生も含めた名古屋大学生にとっても、名大と Edinburgh 大の共同学位は魅力的である、アジア地域の学生を名古屋大学に引き付ける大きな要因となりうると自負している。なお、Edinburgh 大の Neil Robertson は、中国の大学・企業との共同研究や他のアジア諸国の大学と同大学の学術交流などでアジア地域を頻繁に来訪しており、本教育研究拠点はその際のハブとしても役立っている。

このように、本事業を通して、アジア地域における中核的な研究教育交流拠点の構築を行うことができた。今後は、本事業で得られたネットワークをポスト博士課程教育リーディングプログラムと連携させることや、名大助教の Zhang を調整役とする中国の研究教育機関との連携プログラムを立ち上げることで、アジア地域での拠点としての立場を強化する。早速、H30 年度より阿波賀が代表となり、名古屋大学と北京大学の間で JSPS 二国間交流事業を開始することが決まった。

（5）社会貢献や独自の目的等

日本の研究グループは、各大学で開催されるホームカミングデイ、オープンキャンパス、出前講座といった研究公開の機会を利用し、本事業で得られた研究成果を発表するとともに、来訪した一般の人にもその内容を紹介した。

本事業による国際交流は、日本側コーディネーターの阿波賀が名古屋大学理学研究科副研究科長であった偶然も重なり、名古屋大学と英国 Edinburgh 大学間の Joint degree 制度（H28 年 10 月に正式発足。名古屋大学理学研究科と Edinburgh 大学 College of Science and Engineering 間の合同学位プログラム）に発展した。これは、名古屋大学理学研究科－物質理学専攻（化学系）、同（物理系）、生命理学専攻、素粒子宇宙物理学専攻と、Edinburgh 大学－化学科、生物学科、物理学科間の制度で、グループ間の研究交流を大きく超えた制度である。また、本年 3 月に指定国立大学法人に認定された名古屋大学のなかで、重要プロジェクトのひとつともなっている。英国の協力機関である St Andrews 大学のコアメンバーである John Derek Woollins は、現在、同大学の副学長の要職にある。Edinburgh 大学と St Andrews 大学の化学科は、EaStCHEM（Joint Chemistry Research School of Edinburgh and St. Andrews, Scottish Funding Council）という連携プロジェクトを実施しており、本拠点事業の遂行によって、名古屋大学と St Andrews 大学との包括的な教育研究連携協議などについても検討が進められることになった。本事業は、名古屋大学全体の国際交流に貢献し、更

なる国際化を促すことになった。

最後に、本事業のコーディネーターである阿波賀は、「名古屋大学博士課程教育リーディングプログラム（グリーン自然科学国際教育研究プログラム（IGER）」のコーディネーターも務めており、この学位プログラムと本事業の連携を常に心がけ、本拠点形成事業で招聘した海外グループ研究者のセミナーや講義を IGER プログラムの学生に開放する一方、名古屋大学の学生を海外拠点機関に送り込むなど、教育プログラムとの相乗効果も見られた。

（6）予期しなかった成果

本事業で得られた、当初は予期しなかった成果を研究交流、学術面、その他に分けて述べる。

研究交流においては、拠点及び協力機関の大きな拡大（当初の国内 3 大学 4 グループ・国外 3 カ国 4 大学から国内 4 大学 5 グループ・国外 3 カ国 8 大学 2 研究所へ）が挙げられる。これは、年次進行とともに本事業の有益性が認知され、人的交流と研究内容の幅が広がったためである。その結果、学術面において予期しない成果が次々と得られた。代表的なものとして、グラフ理論が新炭素同素体として予測した幻の K4 構造に結晶化する有機分子の開拓とそのスピン液体状態の発見があげられ、これは本事業による滞在型研究交流の成果である。さらに、海外グループが提供の強相関系有機分子は全くと言っていいほどバルクでは FET 特性を示さなかったが、その分子性薄膜は極めて興味深い強相関構造と良好な FET 特性を示すことを初めて明らかにした。これらは本事業による研究交流なしには考えられない成果であり、「配向性薄膜」「光過渡電流」「MOF」「COF」「固体電気化学反応」といった研究開始当初は予期しなかった新しいトピックスを本事業に加え、基礎から応用まで幅広く、強相関系物質群を用いた有機エレクトロニクス研究の新しい地平を開拓するに至った。

その他としては、名古屋大学と英国・Edinburgh 大学間の Joint degree 制度や、名古屋大と英国・St Andrews 大学間の包括的な教育研究連携協議など、大学全体の国際交流制度への発展であり、事業開始当初は大学同士の制度改革にまで発展するとは予想していなかった。本事業の一部を、新しい教育制度の発足という形で、支援期間後も内製化することができた。

（7）今後の課題・問題点及び展望

中間評価で指摘された課題・問題点である、「研究成果の公表」、「研究者の滞在型交流・育成」、「拠点機関内での研究体制の充実」を中心に、今後の改善すべきポイントと展望について述べる。

研究成果の公表については、共同研究による成果を海外グループとの共著論文として多数公表済みおよび投稿中であるが、事業後もより一層、成果公表の努力をする。本事業は、組織および研究内容とも、1 から練り上げたものである。その結果、共著論文の発表数は当初限定的であったが、事業の深化とともに国際共著論文の数は年々増えている。また、国際共著論文ではないが、本事業が各研究グループに刺激を与え、各グループを活性化して

点も強調させていただきたい。研究者の滞在型交流・育成については、日本側から海外の拠点に学生や若手研究者を送り出す事例において、経費の問題があり、件数が限定されまた短期間のものが多かったことは事実である。その一方、海外拠点から受け入れは、H26年度以降、毎年2名ずつEdinburghの大学生を名古屋大学に10ヵ月受け入れたほか、名古屋大学の別経費を使い、H29年度にはEdinburgh大学とRussian Academy of Sciences, Novosibirskから1名ずつの若手研究者を1名ずつ受けいれている。本事業の成果として、名古屋大学とEdinburgh大学間のJoint Degree制度の設立が挙げられるが、今後はこれを利用しながら、交流を維持することになっている。また現在、Joint Degree制度の海外パートナーを増やす努力もしている。交流が限定された理由の一つが、国内グループにおける博士後期課程学生の少なさが指摘されている。しなしながら、本拠点事業の国際性が関心を集め、名古屋大学の実施グループにおいて、博士後期課程学生ならびに留学生は、実施前と比べて明らかに増加した。国際性をアピールしながら学生獲得に努力したい。

拠点機関内における研究体制の充実させるため、名古屋大学大学院理学研究科の田中健太郎のグループとの連携をスタートさせた。今後、本事業の成果をより一層生かすためにも、拠点機関である名古屋大学内での組織拡充に努力する。

なお、本事業では、専任の事務職員を雇用し、国内および海外グループとの研究交流を行う上で様々な折衝を行っていただいたが、より研究交流をスムーズかつ活発化するには、技術参事のような研究に精通した人材による共同研究のアレンジや取りまとめが必要と思われる。今後は、そのような人材の確保と雇用が課題であるといえ、それにより拠点機関の教員の負担は大きく減らされ、研究成果がより見込められると思われる。

(8) 本研究交流事業により全期間中に発表された論文等

①全期間中に学術雑誌等に発表した論文・著書 49本

うち、相手国参加研究者との共著 7本

②全期間中の国際会議における発表 134件

うち、相手国参加研究者との共同発表 5件

③全期間中の国内発表・シンポジウム等における発表 123件

うち、相手国参加研究者との共同発表 4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29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

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	(和文) 新規強相関分子系の合成と物性開拓 (英文) Synthesis and Characterization of Highly-Correlated Molecular Systems				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 阿波賀邦夫・名古屋大学・教授 (英文) AWAGA, Kunio・Nagoya Univ.・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) RAWSON, Jeremy・University of Windsor・Professor ZIBAREV, Andrey・Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk・Professor ROBERTSON, Neil・Edinburgh Univ.・Professor				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	<p>H29年度は、名古屋大学の大学院生が Glasgow 大学の Skabara グループに2ヶ月滞在し、有機薄膜太陽電池用の新規ドナー分子とアクセプター分子、及び高性能有機 EL デバイス用の新規発光性分子の合成に取り組んだ(図6)。一方で、海外から日本への滞在として、Russian Academy of Sciences, Novosibirsk の若手研究者が名大に2ヶ月滞在して強相関チアジル分子の開発に従事した。Edinburgh 大から10ヶ月派遣された学生2名のうちの1名が、有機強相関分子系の合成に従事した。これらの活動により、強相関系 Pt 錯体の電子状態制御について、名大—Edinburgh 大の共著論文として公表した。交流活動としては、阿波賀が英国・Edinburgh 大と Glasgow 大を訪問して、研究打ち合わせとセミナーを行った。また、カナダ及び名古屋での年次会議において、成果のとりまとめ並びに支援期間終了後の協力関係について討議した。</p> <p>研究成果に関しては、本事業によるカナダ滞在中で習得した合成技術によって作製された K4 分子結晶について、極低温の物性測定からスピン液体基底状態が明らかとなった。さらに、K4 結晶と同様に強等方性をもつハニカム格子についても、これを有機ラジカルで構築することに成功している(図8)。</p> <p>これまでの研究交流活動によって蓄積された有機強相関試料作製についてのノウハウを用いて、次世代有機エレクトロニクス用の特徴的な分子構造や電子構造をもつ物質を自在に開拓することができた。</p>				

<p>全期間にわたる研究交流活動及び得られた成果の概要</p>	<p>本事業の縦糸となる強相関系有機分子の開発に向けて、さまざまな研究交流を行った。代表的なものとして、日本側の学生が、カナダ・Rawsonグループ、英国・Robertsonグループ、英国・Skabaraグループへ、それぞれ1～2ヶ月間派遣され、海外グループが有する特殊な合成技術や知識を習得した。一方で、海外から日本へは、毎年、Edinburgh 大学生が名古屋大学に10ヶ月滞在してR1研究にも従事したほか、H29年度にはRussian Academy of Sciences, Novosibirsk の若手研究者が名古屋大学に2ヶ月滞在し、R1 および R2 研究を進めた。そのほか、年次会議やさまざまな国際研究集会、相互の研究室訪問などの機会を利用して、討議を重ねた。</p> <p>上記の交流を通じて、強相関性や高次元性など、特徴的な電子構造や結晶構造をもつ系が、日本側との共同研究であるかどうかを問わず、海外のグループを中心にいくつも生み出された。重要なことは、本事業に刺激を受けて達成されたという事実である。すなわち、有機エレクトロニクスという新しい視点に立つ本事業が、さまざまな新分子合成の努力を活性化したことである。日本－カナダならびに日本－英国の共同研究から、負の巨大磁気抵抗を示す系がいくつか見出された。さらに、日本－カナダの連携から、ラジカル部位と発光部位を結合した分子が合成され、強相関的な結晶構造とともに、強い蛍光や OLED 発光、さらには光電流が見出された (図 10)。有機ラジカルの発光現象は現在ホットなトピックであり、今後この系は、大きな関心を集めるものと期待している。さらに成果として強調したいのが、「強等方性分子結晶」の創製である。かつてグラフ理論が炭素の新同素体として提案した K4 構造について、だれも K4 炭素を合成できなかった状況において、有機ラジカル結晶でつくりだすことに成功した。本事業ではこの研究をさらに進め、分子性ハニカム格子の合成にも成功 (図 8)、有機結晶研究に強等方性分子結晶とでも呼ぶべき新分野を比較することができた。</p>
---------------------------------	---

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	<p>(和文) 強相関分子の有機エレクトロニクスへの応用</p> <p>(英文) Application of Highly-Correlated Molecular Systems to Organic Electronics</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職	<p>(和文) 阿波賀邦夫・名古屋大学・教授</p> <p>(英文) AWAGA, Kunio・Nagoya Univ.・Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文)</p> <p>ROBERTSON, Neil・Edinburgh Univ.・Professor</p> <p>HEUTZ, Sandrine・Imperial College London・Senior Lecturer</p>				

	<p>SKABARA, Peter • Strathclyde Univ. • Professor</p> <p>ZIBAREV, Andrey • Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk • Professor</p> <p>RAWSON, Jeremy • University of Windsor • Professor</p>
<p>29年度の研究 交流活動及び得 られた成果</p>	<p>H29年度は、名古屋大学・阿波賀グループの大学院生が Glasgow 大の Skabara グループに2ヶ月滞在し、新規のドナー分子とアクセプター分子を用いた有機薄膜太陽電池デバイスの作製と評価、及び新規発光性分子を用いた有機 EL デバイスの作製と評価に取り組んだ(図6)。このような滞在型の共同研究のほか、カナダ、ロシア、英国のグループによる有機強相関分子系の提供を受け、日本側でデバイス化してその特性を吟味した。その他、H29年度には、阿波賀が Edinburgh 大学、Glasgow 大学、Imperial College London を訪問し、中村(北大)は Edinburgh 大学を訪問した。ここではそれぞれ、セミナーを行うとともに、有機強相関系物質の合成や、それらを用いたデバイス作製に関して討議した。</p> <p>上述の研究交流の結果、強相関系有機分子の薄膜を利用した FET、光セルなどを作製し、その特性を明らかにした。さらに、薄膜中の分子配向を制御するため、いわゆるテンプレート効果をさまざまな物質で検討した。その結果、この効果によってポルフィリン類縁体薄膜の face-on と edge-on 配向を思いのままに制御できることを見出した(図9)。名大と Imperial College London のグループによる共著論文として公表した。このように、強相関系分子に特有のデバイス特性の実現に向け、大きな発展があった。</p>
<p>全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要</p>	<p>本事業の出口となる強相関系有機分子のデバイス特性開拓に向けて、さまざまなレベルで研究交流を行った。代表的なものとしては、名大・博士研究員および北大・大学院生の英国・Heutz グループへの滞在、名大・大学院生の英国・Skabara グループへの、1~2ヶ月ほどの滞在研究が挙げられる。そこでは、海外グループが有する特殊な薄膜およびデバイス作製技術の習得という点で大変大きな意義があった。一方で、海外から日本への滞在研究としては、毎年、名古屋大学に派遣された Edinburgh 大学生のうちの2,3名が、日本側グループが得意とする強相関系有機分子を用いたデバイス特性の開拓に従事し、巨大負性磁気抵抗や光過渡電流デバイスの研究において成果をあげた。そのほか、年次会議やさまざまな国際研究集会、相互の研究室訪問などの機会を利用して、討議を重ねた。</p> <p>R1 研究を通じて、ロシアやカナダのグループによって合成された環状チアジラジカルなどの強相関有機分子を利用して、日本側で多くの FET を作製し、移動度が温度減少とともに増加するバンド伝導的な挙動</p>

	<p>など、特異な特性を得た。さらに、強相関有機分子単分子膜の研究に研究をシフトし、バルク結晶とはまったく異なる強相関2次元構造や、分子層数に依存するFET特性をin situ計測から見出すことができた。また、名大-Imperial College Londonの共同研究では、金属含有ポルフィリン類縁体の薄膜の配向をテンプレート効果により制御することに成功し、それに由来した特異な磁気特性を実現した。これらの結果は数報の共著論文として公表されるとともに、そのうちの1編は英国の学術誌Phys. Chem. Chem. Phys.のShowcasing researchとして口絵とともにハイライトされた(図9)。さらに、名大とEdinburgh大が共同で、ポリチオフェンやC₆₀薄膜を用いた光応答セルの高速かつ高出力な光過渡電流を観測するとともに、ジチオレン錯体薄膜の近赤外光による光電流を観測し、これらの成果を論文として公表した。R2の研究の成果としてさらにハイライトしたいのが、有機半導体と有機絶縁体を組み合わせることに生じる過渡光電流を用いた交流光変換の研究である(図11)。[金属(M1) 絶縁体(I) 半導体(S) 金属(M2)]なる構造に変調光を照射すると、絶縁層の分極によって半導体層での電荷分離が増幅され、超高速・高効率で交流電流シグナルを得ることができる。本研究では、この作動原理を、等価回路を用いて定量的に説明するとともに、界面をキャリアが通過することなく、分極のみで交流をつくる究極の光電セルとして[M1 I1 S I2 M2]構造を提案して特許出願した。分極のみで作動する光電変換は、移動度の小さな有機物に最適な新機構である。</p>
--	---

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29年度
研究課題名	(和文) 新規電極活物質の創製と二次電池への応用				
	(英文) Development of New Electrode Active Materials and Applications to Rechargeable Batteries				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 阿波賀邦夫・名古屋大学・教授				
	(英文) AWAGA, Kunio・Nagoya Univ.・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) SKABARA, Peter・Strathclyde Univ.・Professor				
	ZIBAREV, Andrey・Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk・Professor				

<p>29年度の研究 交流活動及び得 られた成果</p>	<p>前年度に続き、ロシアの Zibarev グループから提供された Se-Se 結合を含む多数の新奇有機カルコゲン化合物を正極活物質とするリチウム電池の充放電特性を測定し、その二次電池特性を明らかにした。また、固体電解質などを用いることで、電池特性の安定化にも取り組んだ。なお、本共同研究では、主にサンプルのやり取りとメール連絡を通して行った。また、日本側グループでは、上記の知見を基に、共有結合性有機構造体 (COF) 内に硫黄をグラフトすることで、硫黄電池の特性を改良できた。さらに H29 年度は、MOF へのゲスト挿入によって発現する、MOF 空間誘起電荷移動相互作用とでも呼ぶべき性質を発見した。のその場取り込みによる特異な電子物性の発現にも成功した。</p> <p>交流活動としては、阿波賀が Glasgow 大を訪問して、二次電池正極材料にかかわる研究打ち合わせとセミナーを行った。また、カナダ及び名古屋での年次会議の機会を利用して、高性能二次電池用有機分子の合成に関するさまざまな助言を受けた。</p>
<p>全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要</p>	<p>本事業のもう一つの出口となる有機分子の蓄電特性開拓に向けて、英国・Skabara およびロシア・Zivarev のグループと、主にサンプルのやり取り、メールでの連絡、年次会議での打ち合わせを通して、研究交流を行った。また、それらの交流で得られた知見や研究情報を基に、日本側の研究を進めた。</p> <p>得られた成果としてハイライトしたいのが、酸化も還元も受ける両極性のレドックス活性を有する新奇金属有機構造体 (MOF) と、Li 電極との組み合わせによる安定した二次電池特性の発見である。理想的な環境下では、市販の Li イオン電池に迫る容量を得ている。さらに本事業では、固体電気化学を利用した還元イオンドープとそれともなう磁性変化の operando 計測にも成功し、電気化学によって制御される固体物性を実現している。さらに研究対象を共有結合性有機構造体 (COF) に拡大し、COF 骨格内に C-C 三重結合を導入し、S₈分子の反応によって COF 空孔内への硫黄担持に成功した (図 4)。これらは分子性物質を用いた二次電池研究において極めて先駆的な成果であると自負している。ごく最近では、MOF や COF 内へのゲスト挿入によって誘起される電荷移動相互作用に観測に成功し、電荷移動錯体研究に新しい 1 ページを付け加えた。共同研究としては、Skabara グループ (英国) から提供を受けたテトラチアフルバレン骨格を含む新規 π 共役有機高分子や Zibarev グループ (ロシア) から提供を受けた Se-Se 結合を有する新奇有機カルコゲン-窒素化合物が二次電池の電極材料として機能することを見出した。</p>

7-2 セミナー

(1) 全期間において実施したセミナー件数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
国内開催	0 回	1 回	0 回	0 回	1 回
海外開催	1 回	0 回	1 回	2 回	1 回
合計	1 回	1 回	1 回	2 回	2 回

(2) 平成 29 年度セミナー実施状況

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「強相関分子系の新しい有機エレクトロニクス」第 6 回ワークショップ モントリオール 2017 (英文) JSPS Core-to-Core Program “CtC/Leverhulme Trust 6th Joint Workshop, Montreal 2017“
開催期間	平成 29 年 5 月 25 日～26 日 (2 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) カナダ・モントリオール・マギル大学 (英文) Canada, Montreal, McGill University
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 阿波賀邦夫・名古屋大学・教授 (英文) AWAGA, Kunio・Nagoya Univ.・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) PEREPICHKA, Dmitrii・McGill Univ.・Professor

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (カナダ)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	16 / 80
	B.	0
英国 〈人／人日〉	A.	3 / 12
	B.	2
カナダ 〈人／人日〉	A.	4 / 10
	B.	14
南アフリカ共 和国 〈人／人日〉	A.	0 / 0
	B.	1
合計 〈人／人日〉	A.	23 / 102
	B.	17

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	<p>本事業の第7回目のワークショップであり、そこでは、本事業に参加する各国の主な研究者が顔を合わせ、研究成果を発表するとともに、綿密な議論を行い、研究進行状況の確認と今年度の共同研究計画を密に打ち合わせることを主な目的とする。また、それに伴う各国の若手研究者の交流と育成も重要な目的である。特に、今年度は事業の最終年度であり、成果公表に向けた研究の方向性と取りまとめについて議論することを大きな目的とする。</p>		
セミナーの成果	<p>Perepichka 教授を始めとするカナダ側メンバーを中心に、モンリオール・マギル大で本会議は開催され、主にコアメンバーとその研究室の若手研究者、学生ら計 28 件の口頭発表が二日間にわたり行われた。カナダのグループからはチアジラジカル関連化合物の合成と物性、共有結合性有機構造体の合成やその界面科学が、イギリスのグループからは光機能性超分子集合体や金属錯体を用いた有機太陽電池に関する内容が主に報告された。一方で、日本のグループからは、本プログラムの中心的課題である強相関有機ラジカルの物性、有機スピン/エレクトロニクス、有機材料の電気化学物性などに関する発表がなされるとともに、超分子関連の研究内容も報告された。Core-to-Core メンバー以外にも英国・Nottingham 大学の先生による機能性テトラチアフルバレン化合物の合成と物性や Laval 大学の先生によるグラフェンナノリボンの研究が発表されるなど、非常に幅広い内容が議論された。休憩時間には、コアメンバーや若手研究者らが密に話し合いをするなど、本事業の残り期間で行う共同研究や事業後の研究展開について有意義な打ち合わせをすることができた。</p>		
セミナーの運営組織	<p>本事業の日本側責任者である阿波賀(名大)、McGill 大学 Perpichka を中心に、Windsor 大学の Rawson, Guelph 大学の Preuss らの助けを借りながら、会場の設営やプログラムのアレンジなどを行った。</p>		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費 消費税	金額 4,500,000 円 36,000 円 合計 4,536,000 円
	(カナダ) 側	内容 国内旅費・会議費	
	(英国) 側	内容 外国旅費	

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「強相関分子系の新しい有機エレクトロニクス」第7回ワークショップ 名古屋 2017 (英文) JSPS Core-to-Core Program, "CtC/Leverhulme Trust 7 th Joint Workshop, Nagoya, 2017
開催期間	平成 29年 11月 20日～21日 (2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本・名古屋・名古屋大学 野依記念物質科学研究館 講演室、ヒルトン名古屋 (英文) Japan, Nagoya, Lecture Hall, Noyori Materials Science Laboratory, Nagoya University, Hilton Nagoya
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 阿波賀邦夫・名古屋大学・教授 (英文) AWAGA, Kunio・Nagoya Univ.・Professor

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.	39 / 122	
	B.	3	
英国 〈人／人日〉	A.	10 / 44	
	B.	1	
カナダ 〈人／人日〉	A.	1 / 5	
	B.	0	
ロシア 〈人／人日〉	A.	6 / 30	
	B.	2	
合計 〈人／人日〉	A.	56 / 171	
	B.	6	

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	<p>本事業の最終ワークショップであり、本事業に参加するコアメンバー及び各グループの博士研究員や大学院生らが研究成果を発表し、本事業で得られた成果の総括に向けた議論を行うことを第一の目的とする。また、事業終了後の研究連携や、ジョイント・ディグリー制度などの教育連携について決定することも目的とする。なお、相手国の事業担当者に加えて第3国からの著名な研究者を招聘することにより、本事業の成果をアピールするとともに、本事業後の新たな連携や研究交流について打ち合わせる。</p>		
セミナーの成果	<p>名古屋大学野依研究記念館および名古屋ヒルトンホテルにおいて、本事業コーディネーターの阿波賀が中心となって最終会議を開催し、コアメンバーとその研究室の若手研究者や学生らを中心に計 22 件の口頭発表を二日間にわたって実施した。ロシアおよびカナダのグループからは主にチアジルやカルコゲン含有ラジカル化合物の合成と物性が、イギリスのグループからはオプトエレクトロニクスデバイス関連やペロブスカイト太陽電池、フタロシアニン類縁体を用いたデバイス特性に関する内容が主に報告された。一方で、日本のグループからは、本プログラムの中心的課題である強相関系有機分子の物性だけではなく、金属有機構造体を始めとする超分子関連の研究内容なども報告された。また、18 件のポスター発表がなされ、千葉大坂本グループの大学院生にポスター賞が授与された。</p> <p>本最終成果報告会を以て、本事業で得られた革新的な強相関系物質群とそれらが示す物性・デバイス特性などの成果を取りまとめることができ、広い意味での有機エレクトロニクス分野に対して発信する礎を築くことができた。また、本事業終了後の新たな研究プロジェクトの立ち上げや人材交流計画の立案についても話し合い、早速、H30年9月にロシアで本ワークショップを開催することが決定した（図2）。</p>		
セミナーの運営組織	<p>本事業のコーディネーターである阿波賀（名大）を責任者として、他の日本側コアメンバーも適宜協力しながら、会場の設営やプログラムのアレンジなどを行った。</p>		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 国内旅費 1,500,000 円 会議費 1,500,000 円 合計 3,000,000 円</p>	
	(英国) 側	<p>内容 外国旅費</p>	

	(カナダ)側	内容 外国旅費
	(ロシア)側	内容 外国旅費

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。

（1）平成29年度実施状況

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	氏名・所属・職名	内容	
1 日間	松下 未知雄・名古屋大学・大学院理学研究科・准教授			有機エレクトロニクスの新しい潮流に参加し、有機エレクトロニクスに関する資料収集（岡崎市）	国内
1 日間	張 中岳・名古屋大学物質科学国際研究センター・助教			有機エレクトロニクスの新しい潮流に参加し、有機エレクトロニクスに関する資料収集（岡崎市）	国内
1 日間	江口 敬太郎・名古屋大学・大学院理学研究科・博士研究員			有機エレクトロニクスの新しい潮流に参加し、有機エレクトロニクスに関する資料収集（岡崎市）	国内
1 日間	Wu Yang・名古屋大学物質科学国際研究センター・博士研究員			有機エレクトロニクスの新しい潮流に参加し、有機エレクトロニクスに関する資料収集（岡崎市）	国内
4 日間	阿波賀 邦夫・名古屋大学・大学院理学研究科・教授			231st ECS国際会議にて電気二重層を用いた新しい光電変換に関する成果発表	アメリカ
8 日間	張 中岳・名古屋大学物質科学国際研究センター・助教			231st ECS国際会議にて電気二重層を用いた新しい光電変換に関する成果発表	アメリカ
7 日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			CSC2017国際会議にて分子性物質を電極とする二次電池に関する成果発表	カナダ
3 日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			第二十回XAFS討論会にて有機無機複合体電池の反応機構解明に関する成果発表（姫路市）	国内

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	氏名・所属・職名	内容		
3	日間	清水 剛志・関西学院大学・大学院理工学研究科・DC2			第二十回XAFS討論会にて有機無機複合体電池の反応機構解明に関する成果発表（姫路市）	国内
4	日間	原田 潤・北海道大学大学院理学研究院・准教授			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	高橋 幸裕・北海道大学大学院理学研究院・助教			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	米山 奈帆・北海道大学大学院総合化学院・MC2			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	石田 謙史郎・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	川村 勇人・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	近藤 翼・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
4	日間	田中 恵里・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			分子科学討論会にて有機強誘電体に関する成果発表（仙台市）	国内
3	日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			分子科学討論会にて有機無機複合体の電池特性に関する成果発表（仙台市）	国内

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		
3 日間	中村 貴義・北海道大学電子科学研究所・教授			山口大学、網島亮准教授よりポリオキシメタレートに関する情報収集（山口市）	国内
3 日間	中村 貴義・北海道大学電子科学研究所・教授			ISCOM2017にて分子性結晶の多様な物性に関する成果発表（宮城県蔵王町）	国内
2 日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			GSJフェスタにて本事業に関連する有機二次電池に関する成果発表（江戸川区）	国内
4 日間	清水 剛志・関西学院大学・大学院理工学研究科・DC2			GSJフェスタにて本事業に関連する有機二次電池に関する成果発表（江戸川区）	国内
2 日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			愛媛大学研究会にて本事業に関連する有機二次電池に関する成果発表（松山）	国内
4 日間	高橋 幸裕・北海道大学大学院理学研究院・助教			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
5 日間	石田 謙史郎・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
5 日間	近藤 翼・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
5 日間	田中 恵里・北海道大学大学院総合化学院・MC 1			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
4 日間	高橋 仁徳・北海道大学電子科学研究所・助教			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内

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		
5 日間	陳 姣・北海道大学総合科学院・M1			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
6 日間	白川 祐基・北海道大学総合科学院・M1			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
4 日間	吉川 浩史・関西学院大学・理工学部・准教授			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内
4 日間	清水 剛志・関西学院大学・大学院理工学研究科・DC2			日本化学会年会にて有機エレクトロニクスに関する成果発表（千葉）	国内

（２）全期間にわたる実施状況概要

共同研究、セミナー以外の交流として、若手研究者や大学院生の、本事業主催以外のさまざまな国際会議への研究発表派遣を挙げる。これは、研究成果の公表という意味でも、事業担当者以外の研究者との交流という意味でも、あるいは若手研究の育成という視点からも極めて有効である。本拠点形成事業では、申請段階から、若手研究者や大学院生の国際会議派遣について十分な予算を取ることを明記し、これを実行した。その結果、若手研究者および大学院生の国際会議派遣の件数は、H25 年度: 19 件、H26 年度: 16 件、H27 年度: 19 件、H28 年度: 2 件、H29 年度: 1 件、となっている。広報活動が重要であった支援期間の前半は、国際会議派遣を通じて本拠点の研究教育を国内外にアピールすることができた。

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

※中間評価の指摘事項等を踏まえ、交流計画等に反映させた場合、その対応について記載してください。

中間評価では、交流が 1 研究室に限定されている、との指摘を受けた。そこで、拠点機関内における研究体制を充実させるため、名古屋大学大学院理学研究科の田中健太郎のグループとの連携をスタートさせた。具体的には、田中教授や同グループの若手研究者に、本事業主催のセミナーなどに出席を求めたり、あるいは阿波賀の海外研究室訪問に同行を求めるなどした。現在のところ、田中グループと本事業の海外グループとの直接の共同研究で目に見える成果ははまだ上がっていないものの、本事業は、研究室間の交流を遥かに越え、部局間の教育研究連携ともいえる Joint Degree 制度の発足に昇華したことを強調したい。

中間評価では、基礎的な分子物性研究の枠を超え、目に見える有機エレクトロニクスへの発展に導くよう、注文を受けている。この指摘に従い、R2の過渡光電流を用いた交流光電変換の研究について、新たに博士研究員を配置することによって活性化を図った。この結果、巨大過渡光電流の起源を定量的に明らかできるようになった一方、[M|I|S|I|M]セルにおいて、界面間のキャリア移動が不要である、究極の分極電流の生成に成功している。

最後に、博士後期課程の学生数の少なさについても言及する。実際、初年度、名古屋大学の阿波賀のグループにおいて、博士後期課程の学生は1名であった。中間審査の指摘を受けてはじめた訳ではないが、拠点形成事業に参加する研究室の国際性を国内外でアピールし、大学院生にできるだけ早い段階から海外を経験させることによって、博士後期課程の院生数は徐々に増え、最終年度には5名に達した。

8. 研究交流実績総人数・人日数

8-1 平成29年度の相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本		イギリス		カナダ		ロシア		アメリカ (第三国)		合計	
		人数	人日数	人数	人日数	人数	人日数	人数	人日数	人数	人日数	人数	人日数
日本	1		(1/ 122)	1/ 7	(1/ 365)	16/ 84	(1/ 6)		()	2/ 12	()	19/ 103	(2/ 371)
	2		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	3		()	1/ 5	()		()		()		()	1/ 5	(0/ 0)
	4		()	2/ 66	()		()		()		()	2/ 66	(0/ 0)
	計		(14/ 599)	4/ 78	(1/ 365)	16/ 84	(1/ 6)	0/ 0	(0/ 0)	2/ 12	(0/ 0)	22/ 174	(2/ 371)
イギリス	1		(1/ 122)		()		(4/ 25)		()		()	0/ 0	(5/ 147)
	2		(1/ 12)		()		()		()		()	0/ 0	(1/ 12)
	3		(12/ 465)		()		()		()		()	0/ 0	(12/ 465)
	4		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	計	0/ 0	(14/ 599)		()	0/ 0	(4/ 25)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(18/ 624)
カナダ	1		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	2		()		(1/ 7)		()		()		()	0/ 0	(1/ 7)
	3		(1/ 5)		()		()		()		()	0/ 0	(1/ 5)
	4		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	計	0/ 0	(1/ 5)	0/ 0	(1/ 7)		()	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(2/ 12)
ロシア	1		()		(1/ 244)		(1/ 4)		()		()	0/ 0	(2/ 248)
	2		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	3		(7/ 111)		()		()		()		()	0/ 0	(7/ 111)
	4		()		()		()		()		()	0/ 0	(0/ 0)
	計	0/ 0	(7/ 111)	0/ 0	(1/ 244)	0/ 0	(1/ 4)		()	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(9/ 359)
合計	1	0/ 0	(1/ 122)	1/ 7	(2/ 609)	16/ 84	(6/ 35)	0/ 0	(0/ 0)	2/ 12	(0/ 0)	19/ 103	(9/ 766)
	2	0/ 0	(1/ 12)	0/ 0	(1/ 7)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(2/ 19)
	3	0/ 0	(20/ 581)	1/ 5	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	1/ 5	(20/ 581)
	4	0/ 0	(0/ 0)	2/ 66	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	0/ 0	(0/ 0)	2/ 66	(0/ 0)
	計	0/ 0	(22/ 715)	4/ 78	(3/ 616)	16/ 84	(6/ 35)	0/ 0	(0/ 0)	2/ 12	(0/ 0)	22/ 174	(31/ 1386)

※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。)

※日本側予算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。(合計欄は()をのぞいた人数・人日数としてください。)

8-2 平成29年度の国内での交流実績

1	2	3	4	合計
10/ 23 ()	14/ 48 ()	23/ 89 ()	20/ 66 ()	67/ 226 (0/ 0)

8-3 全期間にわたる派遣・受入人数

年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
派遣人数 (人)	29 (7)	12 (2)	23 (2)	29 (2)	22 (2)
受入人数 (人)	(3)	(23)	(6)	(12)	(22)

※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等日本側予算によらない交流については()で記載してください。

9. 経費使用総額

9—1 平成29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	3,197,410	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	7,016,083	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	1,409,446	
	その他の経費	2,299,139	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	577,922	
	計	14,500,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,450,000	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		15,950,000	

9—2 全期間にわたる経費使用額

(単位 千円)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
国内旅費	1,706	2,506	2,094	2,541	3,197
外国旅費	10,795	9,432	10,117	9,798	7,016
謝金	0	0	289	0	0
備品・消耗品購入費	1,197	133	731	1,013	1,410
その他の経費	1,705	3,064	426	375	2,299
外国旅費・謝金等に係る消費税(※2)	597	866	843	773	578
合計	16,000	16,000	14,500	14,500	14,500

※各年度の実施報告書の「経費使用額」を千円単位にして転記してください。

※2 平成28・29年度は「不課税取引・非課税取引に係る消費税」となります。

10. 相手国マッチングファンド使用額

10-1 平成29年度使用額

相手国名	経費負担区分	平成29年度使用額	
		現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
英国	パターン1	19,000 [ポンド]	2,900,000 円相当
カナダ	パターン1	7,500 [カナダドル]	615,000 円相当
ロシア	パターン1	19,000 [ロシアルーブル]	1,830,000 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。

※経費負担区分

パターン1：日本側研究者の経費は振興会が、相手国側研究者の経費は相手国側学術振興機関等が負担。

パターン2：派遣国が派遣にかかる費用を負担し、受入国が受入にかかる滞在費等を負担。

10-2 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

英国のグループは、The Leverhulme Trust の International Network Grant といった、グループを支援する経費をマッチングファンドとしており、十分なサポートを受けていた。カナダとロシアのグループの場合、個々のグループが獲得した研究費からマッチングファンドを捻出した。いずれの場合も、日本側の経費に匹敵する経費を得ており、十分な研究交流を果たすことができた。