

**平成 30 年度研究拠点形成事業 (A.先端拠点形成型)**  
**最終年度 実施報告書**

(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
(ドイツ)側拠点機関：	ミュンスター大学
(カナダ)側拠点機関：	クィーンズ大学

**2. 研究交流課題名**

(和文)：革新的触媒・機能分子創製のための元素機能攻究

(英文)：Elements Function for Transformative Catalysis and Materials

研究交流課題に係るウェブサイト：<http://core.rcms.nagoya-u.ac.jp>

**3. 採択期間**

平成 26 年 4 月 1 日～平成 31 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・職名・氏名)：総長・松尾清一

コーディネーター (所属部局・職名・氏名)：

トランスフォーメティブ生命分子研究所・教授・山口茂弘

協力機関：京都大学

事務組織：名古屋大学研究協力部研究支援課、名古屋大学理学部事務部

名古屋大学物質科学国際研究センター事務室

**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) University of Muenster

(和文) ミュンスター大学

コーディネーター (所属部局・職名・氏名)：(英文)

Organic Chemistry Institute・Professor・Frank GLORIUS

協力機関：(英文) Berlin University of Technology

(和文) ベルリン工科大学

経費負担区分：パターン1

(2) 国名：カナダ

拠点機関：(英文) Queen's University

(和文) クィーンズ大学

コーディネーター (所属部局・職名・氏名)：(英文)

Department of Chemistry・Professor・Cathleen CRUDDEN

協力機関：(英文) なし

(和文) なし

経費負担区分：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

現代社会は、物質のもつ多様な性質の活用の上に成り立っている。真に優れた新規物質と機能の創出は、経済・産業活動、さらには我々の日常生活にも大きな影響を与え、高度化された文明社会の維持、発展という社会的要請に答えるものといえる。これに対し本事業では、持続可能な社会の実現に資する「グリーン物質変換のための革新的触媒開発」と「人々の暮らしを豊かにする機能性物質の開発」を究極目標に掲げ、元素機能の攻究という視点で切り拓く基礎研究と、それにより創出される物質群の材料科学・生命科学への応用研究に、強力な国際共同研究の推進により挑む。

分子性機能は、触媒機能であれ、光・電子機能であれ、究極的には元素固有の性質とその組み合わせに起因される。それら元素の個性を決定づける基本的性質・要素として、ルイス酸性、酸化還元、配位数、軌道相互作用などを挙げ、これらの視点から遷移金属、典型元素の特性を追究することにより、秀逸な分子系の創出、分子性機能の発現につなげる。これが本事業で掲げる元素機能の攻究である。分子科学は多様な物質を扱う学問であり、元来個別的に発展してきたが、それら従来のアプローチとは異なり、元素機能という統一的視点からの探求により、元素選択則の深い理解が可能となり、触媒、機能性物質の新たな分子設計へとつながるはずである。この切り口をもとに、(i) 高効率触媒および (ii) 光・電子機能性物質の創出を目指した基礎研究と、(iii) 有機エレクトロニクスや高機能ポリマー、(iv) 生物活性物質の探索など、材料科学・生命科学への展開を指向した応用研究を、基礎と応用の双方向性を縦糸に、国際的な連携を横糸に統括的に推進し、触媒・機能分子創製の国際先導研究拠点を形成する。

### 5-2 平成30年度研究交流目標

#### <研究協力体制の構築>

名古屋大とミュンスター大とはこれまで実施してきた「日独共同大学院プログラム」、「頭脳

循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」での活動を通じて、強固な共同研究体制がすでにできあがっている。26年度をもってドイツ側のこれまでの基幹プログラムであった IRTG プログラムが終了したため、これまでのアクティビティをいかに維持／強化するかが課題であったが、27年度にはミュンスターにおいて有意義なジョイントシンポジウムも実施し、順調に活発な共同研究を実施できた。28年度も、カナダクィーンズ大にて、ミュンスター・ベルリン工科大・クィーンズ大・京大・名大のメンバーが集うジョイントシンポジウムを開催し、地元クィーンズ大より JESSOP 教授や EVANS 教授にも参加してもらい、その際の議論をもとにさらに研究を拡大・加速することができた。29年度には再度ジョイントシンポジウムの場所をドイツに移し、ミュンスター大学にて実施した。この機会を利用して、本プログラムで構築した国際研究基盤をどのように発展させていくかについて議論した。最終年度の30年度には、名古屋にてジョイントシンポジウムを開催し、本プログラムの総括を行うとともに、元素機能の攻究という切り口の下、進行中の共同研究について集中的に議論し、今後の発展へとつなげる。また、国際研究拠点としての今後の展開を具体化するための議論を進める。

#### <学術的観点>

本事業では、(1)元素の特性を活かした触媒機能の攻究、(2)元素の特性を活かした光・電子機能の攻究、そして、(3)材料科学・生命科学への応用展開の3つを柱に取り組んでいる。遷移金属錯体の配位環境、酸化還元特性や、典型元素化合物のルイス酸性といった要素を構造修飾により最適化することで、高い触媒機能を実現する。また、遷移金属や典型元素の特異な軌道相互作用を活かした分子設計により、特徴的な電子構造をもつ分子系を創出し、優れた光・電子機能を実現する。さらに、有機エレクトロニクス、高機能ポリマー、ソフトマテリアル、表面科学、ケミカルバイオロジーへの展開を図り、(1)、(2)で創出する物質群の価値を高める。最終年度となる本年度は、進行中の共同研究および新たに開始する共同研究を継続的に推進し、総括するとともに、研究活動の新たな基盤となるシーズの探索を行う。

#### <若手研究者育成>

本事業では、触媒、機能性分子、材料・生命科学への応用を3本柱として共同研究を進めてきた。このような縦割りは、化学を深く掘り下げる上では重要であるが、幅広い視野をもった人材育成という点では問題である。そこで、本事業を推進する意味の一つとして、この3項目を通した幅広い研究能力を養成するため、大学院生や博士研究員、若手研究員を対象に2~5ヶ月程度の相互派遣を項目間で行う。この成功例として、山口グループから派遣した大崎（当時博士2年）が、GLORIUS 研で最先端の C-H 活性化反応を学び作り上げた蛍光分子を持ち帰り、これをもとにバイオイメージングの蛍光プローブとして造り込むことを達成してみせた。触媒分野と材料・生命分野との専門性の違う分野間で成し得た国際共同研究の成果であり、大崎はこの成果を柱に博士号を取得した。このような事例をさらに増やし、リーダー人材養成と共同研究の推進に努めたい。

### ＜その他（社会貢献や独自の目的等）＞

本事業の成功の要は、グループ間での密な共同研究の実行にある。これまで名大-ミュンスター大-ベルリン工科大間で培ってきた共同研究の土壌をうまく京大、クィーンズ大も含めた五大学体制へと拡張することに力を入れ、円滑に移行できたと考えている。名古屋大学で推進している WPI 事業や、文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」と連動させて多角的に研究展開を図ることで、国際化における理想的な研究環境の構築に引き続き全力で取り組みたい。そして、今後申請予定である卓越大学院プログラム等の国際化事業の基盤としたい。

### 5-3 研究交流成果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】

名古屋大-京都大-ミュンスター大-ベルリン工科大-クィーンズ大の5拠点の連携で進める本プロジェクトでは、これまでの「日独共同大学院プログラム」、「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」で推進してきた共同研究を引き続き遂行するとともに、カナダクィーンズ大や国内では京都大から新メンバーを加え、より拡大した新研究拠点の形成を目指した。持続可能な社会の実現に資する「グリーン物質変換のための革新的触媒開発」と「人々の暮らしを豊かにする機能性物質の開発」を究極目標に掲げ、元素機能の攻究という視点で切り拓く基礎研究と、それにより創出される物質群の材料科学・生命科学への応用研究に取り組んだ。強力に国際共同研究を推進し、28報の論文を国際誌に発表するなど、世界から見てもビジブルな研究展開を行った。特に、27年にミュンスターで開催したジョイントシンポジウムでは、ミュンスター側がカナダ・トロント大と新たに始めた IRTG プログラムとの拡大ジョイントシンポジウムを開催し、ミュンスター・ベルリン工科大・クィーンズ大・トロント大・京大・名大の6拠点のメンバーが一同に会し、議論する機会をもち、28年度は、カナダ・クィーンズ大でジョイントシンポジウムを北アメリカホウ素会議と合わせて開催することで本事業の認知度を高め、29年度には、再度ドイツでジョイントシンポジウムを開催し、個々の共同研究の推進状況を議論した。そして30年度には、最終シンポジウムを名古屋で開催し、今後の拠点の維持発展の具体案について議論し、方針を固めた。これらの研究交流を通し、物質創製科学のより強固な世界的拠点を形成できたものと考えている。

## 6. 研究交流成果

### 6-1 平成30年度の研究交流成果

#### <研究協力体制の構築>

本事業では、前段階事業として名古屋大とミュンスター大・ベルリン工科大との間で実施してきた「日独共同大学院プログラム」、「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」での活動を、さらにカナダ・クイーンズ大、国内では京都大へと拡大し、物質創製研究の拠点形成に努めてきた。年1回のペースで定期的に皆が集まるジョイントシンポジウムを開催するとともに、各研究グループ間での共同研究を強力に推進してきた。最終年度となる本年度は、活動をまとめ上げることのみならず、これまで築いてきた研究拠点体制を継続し、さらに発展・強化していくことを意図して取り組んだ。各共同研究プロジェクトを推進するために若手研究者の派遣を行うのはもちろんのこと、次の多層的な派遣を行った。まず、12月にコーディネーターの山口がミュンスター大を訪問し、相手方主要メンバーと直接顔を合わせた会議を行い、また新メンバーとなった若手教授とも議論し、今後の活動の方向性として日独共同大学院への挑戦のフレームワークを明確に固めた。また、クイーンズ大との連携も深め、山口は、クイーンズ大化学科の重要な活動の一つである Russel lectureship の2019年受賞者にも選ばれ、さらなる関係の強化につなげた。また、名大側の主要メンバーである斎藤をミュンスターに派遣し、触媒開発の連携を強化するとともに、この研究拠点形成の若手連携の強化を目的に、名大・村上（伊丹グループ）、中（斎藤グループ）、京大・茅原（山子グループ、2017年度日本化学会進歩賞）といった新進気鋭の若手研究者を派遣した。これらの派遣では、連携機関だけでなく周辺の主要大学も訪問して研究講演することで、本事業のビジビリティの向上につなげた。国内の連携強化には、文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」と連動させて取り組んだ。本事業のジョイントシンポジウムに加え、統合物質創製化学推進事業でも年2回のシンポジウムを開催し、PI層だけでなく、若手研究者が集まる勉強会の機会も作り（本事業経費外）、連携強化を図った。名大伊丹-京大若宮、名大山口-京大若宮、名大斎藤-京大中村といった連携が進んだ。

#### <学術的観点>

本事業では、(1)元素の特性を活かした触媒機能の攻究、(2)元素の特性を活かした光・電子機能の攻究、そして、(3)材料科学・生命科学への応用展開の3つを柱に取り組んでいる。本年度も引き続き、高機能性触媒の開発や、生理活性物質の探索、機能性典型元素化合物の創製、ラジカル重合法の機構解明といったテーマに取り組んだ。最終年度の平成30年度の主な成果、実施状況は以下の通りである。

山子グループは、クイーンズ大 CRUDDEN・CUNNINGHAM グループと有機テルル化合物を用いたリビングラジカル重合の汎用性を高める研究について引き続き検討を進めた。7月にオーストラリアで開催された国際会議（IUPAC Macro2018）において、山子、CUNNINGHAM 教授と、学生の范が直接ディスカッションを行い、粒径分布制御の大幅な向上につなげた。若宮グループでは、有機薄膜太陽電池およびペロブスカイト太陽電池の高効率化を目的に、優れた有機半導体材料の開発を引き続き進めた。これまでにクイーンズ大

WANG グループに派遣した 2 名の学生の研究成果を共著論文として発表した。また、若宮が行ってきた平面ホウ素  $\pi$  共役系骨格のアイデアと WANG 教授が進めてきた分子内 B-N 配位結合の形成を組み合わせ、新規発光性材料を合成し、発表した (*Org. Lett.* **2018**, *20*, 6741)。可視光透過型の透明な太陽電池の開発に繋がる成果である。斎藤グループでは、WUENSCH らの共同研究チームと、opioid 受容体 ( $\mu$ ,  $\delta$ ,  $\kappa$ ) や  $\sigma_1$  および  $\sigma_2$  受容体のアゴニストもしくはアンタゴニストの候補となる天然ペプチドライブラリーの迅速合成とそれらの生理活性評価 (競合阻害試験) (ドイツ側)、および CO<sub>2</sub> の資源化 (カナダ側) へとつながる研究を引き続きすすめた。山口グループでは、ミュンスター大 GLORIUS グループと共同で脂質プローブの開発を進めた。それ自体の脂肪酸部位が変換を受け、その過程での媒体の極性の変化を敏感に励起波長の変化で識別できる画期的なプローブであり、ケミカルバイオロジー分野のみならず、生物学研究分野、創薬、医療分野において広く使われる可能性をもつ。脂肪酸代謝過程での蛍光プローブの局在を蛍光特性の変化により追跡するとともに、質量分析により代謝生成物の同定に成功した。唯グループでは、ミュンスター大 GLORIUS グループ、RAVOO グループの開発した N-ヘテロサイクリックカルベン(NHC)修飾バイメタリック(Au-Pd)ナノ粒子の構造解析を推進し、バイメタリックナノ粒子触媒の水中での安定化効果の検証や不均一系触媒への応用へと展開し、論文としてまとめた。中村グループでは、木質の常温常圧中性条件下での選択的分解を可能とする分子触媒の開発を進めた。CRUDDEN グループに修士学生を 2 ヶ月間派遣し、木質資源から得られる芳香族化合物の化学変換に資する触媒反応の基礎研究を行った。

#### <若手研究者育成>

本事業では、触媒、機能性分子、材料・生命科学への応用を 3 本柱として共同研究を進めている。これらの 3 項目を通して幅広い研究能力を養成するため、大学院生などの若手研究者を 2,3 ヶ月程度の相互派遣を項目間で行うことを進めている。今年度は、山口グループからクイーンズ大の WANG グループに派遣し、機能性ホウ素材料の開発に取り組んだ。また、CRUDDEN グループに修士学生を 2 ヶ月間派遣し、木質資源から得られる芳香族化合物の化学変換に資する触媒反応の基礎研究を行った。唯グループでは、ミュンスター大 GLORIUS グループ、RAVOO グループとの共同研究では、若手教員と学生がミュンスター大を訪問し、直接議論することで、次の方向性を明確化した。また最終年度となる本年度は、次の活動につながる若手連携の強化と本事業のビジビリティの向上を目的に新進気鋭の若手教員を 3 名、ドイツ、カナダに派遣した。国内の連携には、文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」とも連動し、中 (斎藤グループ) が中心となり、若手勉強会を京大と名大のメンバーで実施した (本事業経費外)。これらの関連事業との連動により、限られた時間の中で効果的な若手研究者育成に努めた。

### <その他（社会貢献や独自の目的等）>

本事業では、これまで名大-ミュンスター大-ベルリン工科大間で培ってきた共同研究基盤をうまく京大、クィーンズ大も含めた五大学体制へと拡張することに力を入れて推進した。京大の山子グループ、若宮グループとクィーンズ大との交流は順調に進行し、成果につながっている。中村グループと CRUDDEN グループなど、新たな連携も開始された。また、名大と京大が参画して発足した「統合物質創製化学研究推進機構」との連動も本事業を効果的に進めるための策であった。この機構のシンポジウム等の機会も、本事業のメンバーが介して共同研究の議論を進めるよい機会となった。実際、本年度も、伊丹-若宮などの間で共同研究が進み、有機電子材料の開発などの論文発表にも至っている。本プロジェクトと周辺に関連するプロジェクトが有機的に連携し、順調に進んでいると考えている。

## 6-2 全期間にわたる研究交流成果

### (1) 国際研究交流拠点の構築

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

日本側拠点機関である名古屋大では、物質科学国際研究センターが中心となり、物質理学専攻化学系や、新たに発足した WPI 事業トランスフォーマティブ生命分子研究所（本事業経費外）と協働して本事業に取り組んだ。また、国内協力機関である京都大からは化学研究所の3つのグループがメンバーとして参画した。この国内連携の効果的な体制構築のための我々の方策は、多重多層的な連携推進であった。重要な取り組みは「統合物質創製化学研究推進機構」（本事業経費外）と連動させることにより、本事業に参画するメンバー同士が直接顔を合わせて議論する機会を増やしたことで、共同研究の可能性を探るとともに、本事業の進展の状況の共有に努めた。また、PI 同士の交流・議論だけでなく、年代の近い研究者層の中で議論する機会を持つことにも積極的に取り組んだ。本事業でのシンポジウムでの議論や「統合物質創製化学研究推進機構」の若手勉強会（本事業経費外）等の機会が、若手世代の中での交流を加速した。参画のグループから2名の京都大教授への昇進（若宮、山口グループ深澤）や若手研究者の重要な登竜門である日本化学会進歩賞を3名（伊丹グループ瀬川、伊藤、山子グループ茅原）受賞するなどの活躍につながっている。

#### 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）

本事業を通して、ドイツ・ミュンスター大、ベルリン工科大との連携はより確固たるものになった。日本側拠点機関である名古屋大とドイツ側とで推進してきた「日独共同大学院プログラム」、「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」を含め、本事業の取り組みは15年間の蓄積を経て、当該分野の中で極めて認知度の高い取り組みになっていると自負している。この強固な基盤の上に、国内からは京大、そしてカナダ・クィーンズ大のメンバーが参画することにより、研究拠点形成を、本事業を通してより充実拡大することができた。カナダ・クィーンズ大からのメンバーである

CRUDDEN 教授は、WPI 事業トランスフォーマティブ生命分子研究所（本事業経費外）の海外 PI として参画していることも相乗的に機能し、我々のネットワークは極めて強固である。カナダでのジョイントシンポジウムの開催や若手研究者派遣などの活動も相俟って、我々の活動のカナダでの認知度も極めて高くなった。本事業を通して、カナダ・クィーンズ大-ドイツ・ミュンスター大との共同研究や人材交流も開始されている。有機的なトライアングルな共同研究体制を築くことができたと考えている。

### 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・支援体制等）

本事業の強みは、日本側拠点機関として、名古屋大の物質科学国際研究センターが強力に事務運営を行ったことによる。これまでの「日独共同大学院プログラム」、「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」といった事業で蓄積してきたノウハウをもとに、円滑な若手研究者の派遣やジョイントシンポジウムの開催などを実現した。強力な事務支援体制が整っていないと、円滑な事業運営は難しい。この観点から、コーディネーターの山口がセンター長を務める物質科学国際研究センターでは、本事業を最重要事業の一つとして捉え、真摯に取り組んできた。特に、いかに細かいところまで行き届いた支援ができるかが重要であり、派遣学生・研究者の相手国側での滞在先の手配の交渉や、シンポジウムの開催の詳細なやりとりまでを含め、支援体制を築けたことは本事業の円滑な推進にとって重要な要素であった。本事業は、参画する日本側拠点機関の国際化促進の基盤的事業として機能した。

## （2）学術的観点

本事業では、(1) 元素の特性を活かした触媒機能の攻究、(2) 元素の特性を活かした光・電子機能の攻究、そして、(3) 材料科学・生命科学への応用展開の3つを柱に取り組んだ。

### (1) 元素の特性を活かした触媒機能の攻究

斉藤グループとミュンスター大 WUENSCH グループとの共同研究では、光学活性ジエチレンイミン骨格合成に必要な基質候補のひとつである、オキサゾリンをアミノ酸由来の N-カルボキシルβ-アミノアルコールから脱水的に合成するリン系有機分子触媒（非金属系分子触媒）を発見した。また、アミドの窒素原子をベンジルアルコール誘導体の OH 基を脱離基とする脱水的 S<sub>N</sub> 反応を通じて N-アルキル化する特異な分子触媒を見出した。また、斉藤グループは、クィーンズ大 CRUDDEN・JESSOP グループとも共同研究を行い、High-throughput screening 法で反応の進行具合を色で識別するための方法や、CO<sub>2</sub> の固定化に有用なポリ（エチレンイミン）に含まれる複数の二級アミンのポリ N-メチル化を、独自に開発した金属担持半導体光触媒を用いて達成した。

伊丹グループでは、前身の事業からミュンスター大 STUDER グループとの共同研究を継続して実施し、ニッケル触媒を用いたエステルやアミドのアリール化反応を開発した (*Chem. Commun.* **2015**, *51*, 855-857)。

山子グループでは、クィーンズ大 CRUDDEN・CUNNINGHAM グループとの共同で、リビングラジカル重合法の汎用性の拡大を目的に取り組んだ。山子グループ独自の水溶性

の有機テルルリビングラジカル重合制御剤を用いたエマルジョン重合を、メタクリル酸メチルや、重合速度が極めて早いアクリル酸エステル系モノマー、水との親和性の低いスチレンモノマーなど、多様なモノマーに対して達成した。粒径分布制御の大幅な向上も達成できている。

唯グループは、ミュンスター大の GLORIUS グループと共同研究を開始し、塩基性表面に担持した Ru 触媒の活性と選択性を N-ヘテロサイクリックカルベンの修飾によってチューニングできることを見出した。成果は *J. Am. Chem. Soc.* 誌に速報として掲載され、*SYNFACT of the month* にも選ばれ国際的に高い評価を受けた。この研究をさらに発展させ、同じくミュンスター大の RAVOO グループが加わり、N-ヘテロサイクリックカルベン修飾バイメタリックナノ粒子触媒の構造解析を進め、水中での安定化効果の検証や不均一系触媒への応用へと展開した。

中村グループも CRUDDEN・JESSOP グループと議論を進め、バイオマスの変換反応を目的に木質の常温常圧中性条件下での選択的分解を可能とする分子触媒の開発を進めた。名大の斎藤グループとの国内連携も進めている。

#### (2) 元素の特性を活かした光・電子機能の攻究

山口グループとミュンスター大 ERKER グループ、クイーンズ大 WANG グループでは、共通の関心であるフォトクロミック挙動を示すホウ素化合物の開発研究に取り組み、bora-Nazarov 環化反応の一般性の検証や、従来とは全く異なる立体選択性で反応が進行するヒドロホウ素化反応を見いだした (*Org. Lett.*, **2016**, *18*, 720)。また、これまで STUDER グループと進めてきた push-pull 型リン架橋  $\pi$  電子系の研究も纏め上げ、*Chem. Commun.* 誌 (*Chem. Commun.*, **2016**, *52*, 2374) に速報として報告した。さらに、前身の事業から継続して実施してきた WURTHWEIN グループとの共同研究もまとめ上げ報告した (*Dalton Trans.*, **2015**, *44*, 9659)。

若宮グループでは、クイーンズ大 WANG グループと共同により、分子内に二つのホウ素-窒素配位結合をもつ近赤外発光化合物の合成に成功した。分子内 B-N 配位結合の形成により高い電子受容性が付与された、アザフルベン二量体構造を利用した安定な近赤外色素である。また、ホウ素を含む  $\pi$  共役化合物の新たな光反応も開発した。本光反応は、有機エレクトロニクスデバイスの薄膜中においても進行し、塗布型有機材料開発の手法として有用である (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 15074)。この他、国内連携として、山口グループと共同して実施してきた機能性有機ホウ素化合物の化学についても、成果を総説にまとめ、*Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2015**, *88*, 1357 に報告した。

#### (3) 材料科学・生命科学への応用展開

田中研究室とミュンスター大 RAVOO 研究室の共同研究では、ホスト-ゲスト相互作用を利用して液晶分子の会合構造制御を行うソフトマテリアルシステムの構築に成功した。

若宮グループでは、名大山口グループと連携を進めてきた一連の分子内 B-N 配位結合をもつ独自の色素材料について、色素増感型太陽電池デバイスへと展開し、材料の電子構造特性と光電変換特性との相関関係を明らかにした。クイーンズ大 WANG グループとともに新規発光性材料を合成し、発表した (*Org. Lett.* **2018**, *20*, 6741)。可視光透過型の透明な太陽電池の

開発につながる成果である。

また、生命科学への応用として、伊丹グループでは、ミュンスター大 WUENSCH グループとの共同により、HIV-1 感染の主要な受容体である CCR5 を標的とした活性阻害分子を開発した (*Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 2407-2422)。また、アルツハイマー病などとの関連が深い  $\sigma 1$  受容体タンパク質に選択的に結合する分子の開発も行い、C-H カップリング反応により構築したライブラリーから高い活性と選択性を併せもつ分子を見出した (*Med. Chem. Commun.* **2016**, *7*, 327)。

さらに斎藤グループも WUENSCH グループとの共同により、opioid 受容体のアゴニストもしくはアンタゴニスト候補分子の化合物ライブラリー構築を推進した。

また、山口グループと GLORIUS グループとの共同研究では、博士学生を派遣して開始した  $\pi$  共役骨格の合成研究が蛍光イメージングのための有用な蛍光プローブの開発へと発展した。脂肪酸部位をもつ環境応答型色素であり、脂質代謝過程でそれ自身が変換を受け、その過程を、媒体の極性の変化に応答した励起波長の変化で識別できるプローブで、脂質代謝過程をつぶさに追跡できる。ケミカルバイオロジー分野のみならず、生物学研究分野、創薬、医療分野において広く使われる可能性をもつ。この他に、山口グループでは、ジョイントシンポジウムの際の議論をもとに開始された OESTREICH グループとの共同研究により、超耐光性蛍光プローブとして潜在性のあるラダー  $\pi$  電子系の合成法を開発し、その光物性を評価し報告した (*Organometallics* 誌)。

以上のように、遷移金属錯体の配位環境、酸化還元特性や、典型元素化合物のルイス酸性といった要素を構造修飾により最適化することで、高い触媒機能や特徴的な電子構造をもつ分子系を創出してきた。この成果により、有機エレクトロニクス、高機能ポリマー、ソフトマテリアル、ケミカルバイオロジーへの展開において大きな進歩が得られた。

### (3) 若手研究者育成

本事業では、触媒、機能性分子、材料・生命科学への応用を3本柱として共同研究を進めてきた。これらの3項目を通して幅広い研究能力を養成するため、大学院生などの若手研究者を2,3ヶ月程度の相互派遣を行うことを進めた。名古屋大からクィーンズ大へは合計7名の学生を派遣し、ミュンスター大へは3名、ベルリン工科大へは1名の派遣を行った。また相手国からの学生もクィーンズ大、ミュンスター大から受け入れ、双方向的な人的交流を活発に進めた。加えて、ジョイントシンポジウムには、PIのみならず、研究室のスタッフ、博士研究員、学生も参加して開催することで直接顔を合わせて議論できる場を持てるように努めた。この取り組みの積み重ねにより研究は大きく進展し、世界から見ても認知度の高い研究拠点形成につながったといえる。ここで重要なことは、これらの成果の多くは、学生、研究者が場所を移して研究に取り組み、文字通り触媒となって活躍することにより生み出されてきた成果であるという点である。これらの経験を通して国際的研究力を養った若手人材が育成されたものと確信している。そしてこの取り組みの方策、ノウハウは、日本側拠点機関の高い国際性を育む基盤であり、昨年度より山口がコーディネーターとして新たに開始した卓越大学院プログラム「トランスフォーマティブ化学生命研究大学院プログラム」

にも取り入れられている。名古屋大では、本事業で築いてきた研究拠点を基盤にさらに発展させていく予定である。そのために、最終年度となる本年度に、次の活動につながる若手連携の強化と本事業のビジビリティの向上を目的として、新進気鋭の若手教員を3名、ドイツ、カナダに派遣した。派遣された3名は、ミュンスター大やクィーンズ大だけでなく、各国の主要な大学（村上、伊丹グループ、4大学訪問；茅原、山子グループ、4大学訪問；中、斎藤グループ、7大学訪問）を訪問し、ドイツ、カナダ両国の気鋭の研究者と強固なネットワークを築いてきた。国内の連携にも力を入れ、文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」とも連動し、中（斎藤グループ）が中心となり、若手勉強会を京大と名大のメンバーで実施した（本事業経費外）。これらの関連事業との多重的な連動により、有効な若手研究者育成が成せたと考えている。

#### （４）社会貢献や独自の目的等

本事業の成功の要は、グループ間での密な共同研究の実行にあり、これまで名大-ミュンスター大-ベルリン工科大間で培ってきた共同研究の土壌をうまく京大、クィーンズ大も含めた5大学体制へと円滑に拡張することができるかどうか事業開始当初の課題であった。まず国内での連携を深めるために、名古屋大と京都大が参画している文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」と連動させ、より密な研究基盤の構築に取り組んだ。山口-若宮や伊丹-若宮などの間で共同研究が進んだ。また、クィーンズ大からのメンバーのCRUDDEN教授は、同時に進めるWPI事業トランスフォーマティブ生命分子研究所（本事業経費外）の海外PIでもあり、積極的に参加いただくことで、本事業のカナダでのビジビリティの向上や、カナダとドイツとの連携も進んだ。京大のメンバーとクィーンズ大との共同研究も学生派遣を通して順調に進んだ。国内連携も、名古屋大学と京都大学が参画して進めてきた文部科学省特別経費「統合物質創製化学推進事業」を発展させ、新たに「統合物質創製化学推進機構」が発足させることにより加速した。これらの多重的な取り組みにより、効果的により密な共同研究基盤が構築できたといえる。

#### （５）予期しなかった成果

本事業の推進の過程で、多くの新たな共同研究が発案され、開始された。それらの中で特に貴重なのは、派遣した学生が中心となり生み出した研究展開である。その一例として挙げられるのが、山口グループとミュンスター大GLORIUSグループとの共同研究から生み出された脂質代謝蛍光プローブの開発である。本研究は、GLORIUSグループで開発された蛍光分子骨格である窒素置換ピレンを、当時山口グループで取り組んでいた高発光性エキシマーへ応用するために開始した共同研究であるが、派遣した大崎（博士学生）が分子の特長の最大限の活用として蛍光性脂肪酸プローブへの応用を考え、発展させた課題である。派遣期間は3ヶ月と長くはないが、帰国後も引き続き検討を続け、ミュンスターの学生と密に連絡を取り合い、共同研究を推進した。生体イメージングへの展開という性質から時間がかかる研究であり、大崎が学位取得後には、新たに梶原（修士学生）が本研究を引き継ぎ、詳細を詰めてきた。博士課程に進学する梶原にとって本テーマは学位論文の主要テーマとなり、この

蛍光プローブを植物学へ展開するべく基礎生物学研究所の上田教授と共同研究を開始したところである。このような学生発のテーマ展開がさらに受け継がれ、化学の域を超えた発展をなすのは、分野融合・国際連携の重要な意義であり、このような展開を引き出し、後押しする教育システムが必要である。この考えから、山口がコーディネーターを務め、卓越大学院プログラム「トランスフォーマティブ化学生命研究大学院プログラム」に応募し、無事採択され、平成30年度より開始された。本プログラムは、名古屋大の理学、工学、生命農学、創薬科学の研究科をカバーするプログラムであり、本事業は名古屋大の化学・生命科学分野のすべてを巻き込む取り組みの礎になったといえる。

#### (6) 今後の課題・問題点及び展望

本事業の推進により、前身の「日独共同大学院プログラム」、「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」から数えると15年の歴史をもつことになった。重要なことは、単に長期間継続してきたのではなく、発展を遂げてきたことである。名古屋大—ミュンスター大の2大学連携からスタートし、両大学でメンバーが入れ替わりながら展開し、本事業を推進したことで5大学連携へと発展した。今後の課題は明確であり、ここまで築いてきた研究拠点を本事業の終了とともにトーンダウンするのではなく、いかにさらに発展させるかである。この課題を克服するために、最終年度に名古屋大側の主要メンバーである山口、斎藤がミュンスターを訪問し、また、最終ジョイントシンポジウムを名古屋で開催した際にドイツ、カナダのメンバーと協議を重ね、明確なビジョンを共有するに至った。我々の今後の展開は、「骨太化と拡張」である。単に拡張して研究拠点の特色が薄れるのではなく、より鋭い切り口のもと、骨太な協働体制を強化することが肝要である。そのために、新メンバーを加えて「日独共同大学院プログラム」へと再度発展させようとドイツ側と連携して準備を開始した。これを考慮し、最終ジョイントシンポジウムには学内から新たなメンバーに加わってもらい、研究マッチングの機会を持った。また、もう一つの方向性として、日本—ドイツ—カナダ、さらには名大—京大の国内連携を通して築いてきたものを、融合フロンティア分野の開拓につなげ、さらに拡張するために新たな事業へ応募することを計画している。この両方の展開を目指すとともに、統合物質創製化学推進事業、WPI事業、卓越大学院プログラムを並行して多重的・有機的に推進し、相乗効果を得ることにより、世界を圧倒的にリードする研究拠点を築き上げる、これが本事業終了段階での今後の展望である。

## 7. 平成30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

整理番号	R-1	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 28 年度
共同研究課題名	(和文) 有機ホウ素 $\pi$ 電子系の光電子機能 (英文) Optoelectronic Functions of Organoboron $\pi$ -Electron Materials				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 山口茂弘・名古屋大学・教授 1-1 (英文) Shigehiro YAMAGUCHI・Nagoya University・Professor 1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Suning WANG・Queen's University・Professor 3-2 Gerhard ERKER・University of Muenster・Professor 2-7				
30年度の研究 交流活動及び得 られた成果	過年度終了済みのため該当なし				
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>・山口グループとミュンスター大 ERKER グループ、クイーンズ大 WANG グループの間で、共通の関心であるホウ素化合物および電子受容性の <math>\pi</math> 電子系化合物の機能性について継続的に共同研究を実施した。山口グループでは、ホウ素化合物の新たな光反応様式として bora-Nazarov 反応を開発している。これをフォトクロミック分子系へと発展させるために、ERKER グループと共同して基質適用性について系統的に検討を行った。この一般性の検証の過程で、[1,6]シグマトロピー転位型で進行する反応を見だし、その反応機構を詳細に検討し、論文として報告した。この際に ERKER グループから研究に参画した YANEZ は、博士号取得後、博士研究員として新たに山口グループに参画し、耐光性発光性有機材料の開発に取り組み、その成果は <i>Inorg. Chem.</i> 誌へ掲載された。これと関連して、これまでミュンスター大 STUDER グループと進めてきた共同研究であるリン架橋ビオロゲンの合成研究の成果も、<i>Chem. Eur. J.</i> 誌に掲載された。また、クイーンズ大 WANG グループとの共同研究では、ホウ素フォトクロミック分子系の一般性について検討した。</p> <p>・ミュンスター大 ERKER グループ、STUDER グループとの共同研究では、これまで関連事業で学生を受け入れ実施してきたものを継続することにより成果につなげた。また、ERKER グループからは1名の学生を3ヶ月受け入れ実施した。研究の進展については、論文執筆の際には密にやり取りしたのはもちろんのこと、ジョイントシンポジウムや国際会議の機会</p>				

	<p>を利用して実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・タイーンズ大 WANG グループとの共同研究では、1名の博士学生 (MELLERUP) を3ヶ月受け入れて実施し、それ以降は、ジョイントシンポジウムや国際会議の機会を利用して実施した。</li> </ul>
--	---

整理番号	R-2	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 27 年度
共同研究課題名	(和文) CCR5 阻害活性を有する新分子の探索 (英文) Development of Molecules with CCR5 Inhibiting Activity				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 伊丹 健一郎・名古屋大学・教授 1-2 (英文) Kenichiro ITAMI・Nagoya University・Professor 1-2				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Bernhard WUENSCH・University of Muenster・Professor 2-3				
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	過年度終了済みのため該当なし				
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>・ミュンスター大 WUENSCH グループから大学院生1名を受け入れ、HIV-1 感染の主要なコレセプターのひとつである CCR5 を標的とした CCR5 阻害活性を有する新分子の探索について検討した。既に開発している C-H カップリングを用いた類縁体を迅速に合成するとともに、生物活性試験を実施した。これにより CCR5 阻害活性分子の構造活性相関を明らかにするとともに、高い活性と選択性を併せもつ分子を開発することに取り組んだ。また、アルツハイマー病などとの関連が深い、<math>\sigma 1</math> 受容体タンパク質に選択的に結合する分子の開発を行った。候補となる標的分子構造を迅速に合成するための C-H カップリング反応を開発し、これで構築したライブラリーから高い活性と選択性を併せもつ分子を見出した。その一部の成果を論文発表した (<i>Med. Chem. Commun.</i> <b>2016</b>, 7, 327-331)。WUENSCH グループとは週に一度メールベースでの議論を行い、進捗状況を報告した。</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 28 年度
共同研究課題名	(和文) 非天然ペプチド類縁体合成に基づく不斉分子ライブラリーの構築、およびその生理活性評価と CO <sub>2</sub> 資源化への応用 (英文) Directed Construction of Molecular Library of Chiral Oligoamines and Non-natural Oligopeptides derived from Natural Amino Acids for Producing Bioactive Compounds and CO <sub>2</sub> Immobilization as Carbon Resource				

日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 斎藤進・名古屋大学・教授 1-5  (英文) Susumu SAITO・Nagoya University・Professor 1-5
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Bernhard WUENSCH・University of Muenster・Professor 2-3 Cathleen CRUDDEN・Queen's University・Professor 3-1 Philip JESSOP・Queen's University・Professor 3-21
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	過年度終了済みのため該当なし
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>・斎藤-WUENSCH らの共同研究チームでは、<b>opioid</b> 受容体 (<math>\mu</math>, <math>\delta</math>, <math>\kappa</math>) や <math>\sigma_1</math> および <math>\sigma_2</math> 受容体のアゴニストもしくはアンタゴニストの候補となる不斉分子群 (非天然ペプチド) ライブラリーの迅速合成法を開発し (斎藤グループ)、各受容体群のバイオアッセイ系によるそれら不斉分子群の生理活性評価 (競合阻害試験) を行い (WUENSCH グループ) 国際論文 5 編にまとめた。様々な立体構造と置換基をもつジ (エチレンイミン) を立体選択的に合成し (斎藤グループ)、オキサゾリン含有非天然オリゴペプチドの多様性をもたらす有用な触媒的手法の開発にも成功した (斎藤グループ: 共著学術論文作成中)。また、別に合成した生理活性候補化合物群を WUENSCH グループ送付しているが、これらについてはまだバイオアッセイが済んでない。現在、<b>opioid</b> 受容体に働く「鎖状」リード化合物を見つける目的で 2 種類の典型元素触媒を用い、光学活性な非天然オリゴペプチドの触媒的かつ脱水的な合成法の開発も引き続き進めている (斎藤グループ)。</p> <p>・斎藤-JESSOP/CRRUDEN らの共同研究チームでは、当カナダグループから直鎖型および分岐型のポリ (エチレンイミン) を受け取りこれらポリアミン類の多 N-メチル化・アルキル化を、金属担持半導体光触媒と MeOH やその他のアルコールを用いて行った (斎藤グループ)。その複雑な高分子骨格の構造決定について名大とクイーンズ大との間でスペクトル情報を交換しつつ Skype で年 2 回ほど議論した。メールでのやりとりも数回行った。これらの研究に必要な様々なアルコールを効率的に得るために、大学院生 1 名 (斎藤グループ) をカナダ (JESSOP/CRRUDEN グループ) に 3 ヶ月間 (H27 年度) 派遣し、卑金属錯体触媒を用いるカルボン酸の水素化に関わる共同研究を行った。現在、クイーンズ大の大学院生研究が本研究を継続し、また本成果に関わる論文を執筆中である (JESSOP/CRRUDEN グループ)。</p>

整理番号	R-4	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 29 年度
共同研究課題名	(和文) ホスト-ゲスト相互作用を利用した超分子液晶の創製 (英文) Supramolecular Liquid Crystal Formation Induced by Host-Guest Chemistry				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 田中健太郎・名古屋大学・教授 1-4 (英文) Kentaro TANAKA・Nagoya University・Professor 1-4				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Bart Jan RAVOO・University of Muenster・Professor 2-2				
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	過年度終了済みのため該当なし				
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>・ミュンスター大 RAVOO グループとホスト-ゲスト相互作用を利用した新しい超分子液晶システムの創製研究を行った。具体的には、RAVOO グループで開発したシクロデキストリンを基にしたホスト-ゲスト化学を、田中研究室の液晶に関する知見と合わせて、アルキル鎖を導入した液晶性シクロデキストリンを合成し、シクロデキストリンと超分子的に相互作用するゲスト分子による液晶系の制御法を確立した。RAVOO グループの Till Böeckermann (博士課程学生)と、田中グループの河野慎一郎 (講師)が本研究に参画した。研究成果を 10th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry (ISMSC-2015, Strasbourg, France)において、田中 (招待講演)と Böeckermann (ポスター発表) がそれぞれ発表した。</p> <p>・実験結果や関連情報に関して E-mail によるディスカッションを月一回行うこと、また、双方が参加した Core-to-core シンポジウムにおける対面的なディスカッションを行うことにより、研究進捗状況の確認・共有を行った。本研究期間内における、研究を目的とした受入は行わなかったが、本事業に先立ち、Böeckermann が田中研究室において 6 ヶ月間の関連共同研究を行ったため、本事業における研究を円滑に推進することができた。</p>				

整理番号	R-5	研究開始年度	平成 27 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) 有機テルル化合物を用いた水系でのリビングラジカル重合 (英文) Ab initio Organotellurium-mediated living radical polymerization in aqueous media				
日本側代表者 氏名・所属・	(和文) 山子 茂・京都大学・教授・1-7				

職名・研究者番号	(英文) Shigeru YAMAGO・Kyoto University・Professor・1-7
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Cathleen CRUDDEN・Queen's University・Professor・3-1 Michael CUNNINGHAM・Queen's University・Professor・3-22
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	・有機テルル化合物を用いた水中でのリビングラジカル <i>ab initio</i> エマルジ ョン重合の汎用性を高める研究を、特に水への溶解性が低いモノマーであ るスチレンとアクリル酸ブチルとを対象に選び検討した。実験はすべて京 都大学で行ない、必要に応じてクイーンズ大 Cunningham 教授と、基本的 にはメールでディスカッションを行なうことで研究を進めた。昨年度から の検討で、分子量と分子量分布の制御については良い結果が得られていた が、ポリマー粒子の粒径制御が極めて困難であった。そこで、7月にオー ストラリアで開催された国際会議 (IUPAC Macro2018) において、当該会 議に参加した山子、Cunningham 教授と、実際に実験を担当している京都大 学の学生である范が、詳細な実験条件の設定について直接ディスカッショ ンを行った。このディスカッションをベースに実験条件を最適化すること で、大幅に粒径分布の制御が向上した。
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	・工業的に最も利用されている <i>ab initio</i> エマルジョン重合条件下で有機テ ルル化合物を用いたリビングラジカル重合を行うことで、実用性に優れた 機能性高分子合成法の確立を目指して研究を行った。山子は、共同研究開 始前と途中に1度ずつクイーンズ大を訪問し、相手側研究者と詳細なディ スカッションを行うとともに、京都大学の学生1名が3か月間クイーンズ 大に滞在し、エマルジョン重合に関するノウハウを学んだ。さらに、国際 会議中に直接ディスカッションを行った他は、電子メールを用いて議論を 行った。 ・その結果、重要モノマーであるメタクリル酸メチルの <i>ab initio</i> リビング ラジカル重合系を確立して論文発表をすると共に、関連する重要モノマー を用いた重合系の確立も行い、複数の学会発表を行った。

整理番号	R-6	研究開始年度	平成 26 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) 高選択的反応を用いた有機エレクトロニクス材料開発 (英文) Development of Organic Electronics Materials based on Highly Selective Reaction				
日本側代表者 氏名・所属・	(和文) 若宮淳志・京都大学・准教授・1-8				

職名・研究者番号	(英文) Atsushi WAKAMIYA・Kyoto University・Associate Professor・1-8
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Cathleen CRUDDEN・Queen's University・Professor・3-1 Suning WANG・Queen's University・Professor・3-2
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	・平成30年度は、これまでにクイーンズ大 WANG グループに派遣した2名の学生(中村、下河)の研究をすすめ、共著論文として発表した。若宮がこれまでに行ってきた平面ホウ素 $\pi$ 共役系骨格のアイデアと WANG 教授が勧めてきた分子内 B-N 配位結合の形成というアプローチを組み合わせ、ポリサイクリックアレーン骨格に N-B-N を埋め込んだ新規発光性材料を合成しその構造—物性相関を明らかにした ( <i>Org. Lett.</i> <b>2018</b> , <i>20</i> , 6741.発表)。また、太陽光の効率的な吸収の観点から、WANG グループで B-N 配位結合形成に関する研究を学んできた派遣学生(下河)は独自の電子受容性骨格として BF <sub>2</sub> 架橋型アザフルベン二量体を開発し、これを用いて近赤外領域に吸収を持ちながら可視光領域に高い光透過性をもつ色素材料を開発した ( <i>Org. Lett.</i> <b>2018</b> , <i>20</i> , 5135.発表)。本分子設計の考え方とそれを実証した本成果は、可視光透過型の透明な太陽電池の開発に繋がるものである。
全期間にわたる 研究交流活動及び 得られた成果の 概要	・本プロジェクトのサポートにより、当研究グループから2名の博士課程の学生をクイーンズ大 WANG グループに派遣し、含ホウ素 $\pi$ 共役系化合物の開発に関する共同研究を展開することができた。WANG 教授、CRUDDEN 教授とは、カナダクイーンズ大を訪問して打ち合わせをするだけでなく、国際学会、日本やドイツでも直接会って密に議論することで、強固な研究連携を確立しながらお互いの独自のアプローチを融合した研究の新しい方向性を示すことができた。CRUDDEN 教授のグループのメンバーと当研究室の博士研究員および助教が引き続き新規合成法の開発に関して継続して議論を勧めているなど、本プロジェクトの期間終了後も共同研究をさらに発展させていく基盤が整ったことも重要な成果である。

整理番号	R-7	研究開始年度	平成 27 年度	研究終了年度	平成 28 年度
共同研究課題名	(和文) 強発光エキシマ-の開発と蛍光寿命エンジニアリング (英文) Development of high fluorescent excimers and fluorescence lifetime engineering				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 山口茂弘・名古屋大学・教授 1-1 (英文) Shigehiro YAMAGUCHI・Nagoya University・Professor 1-1				
相手国側代表者	(英文) Frank GLORIUS・University of Muenster・Professor 2-1				

氏名・所属・ 職名・研究者番号	
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	過年度終了済みのため該当なし
全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要	・ミュンスター大 GLORIUS グループでは、平成 26 年度にフェニルピリジン類の C-H 活性化反応により含窒素ピレン誘導体の初めての合成法の開発に成功した。この骨格は新たな蛍光性骨格として有望である。特にピレン母骨格と同様に強いエキシマー発光を示すのであれば、多様な展開が考えられる。そこで、そのエキシマー発光発現の可能性について、山口グループから大崎（博士学生）を 3 ヶ月派遣し、共同研究を推進した。大崎が帰国後も、成果を密に共有して議論を進め、R-9 の脂肪酸代謝蛍光性プローブの開発へとつなげた。また、含窒素ピレン誘導体の合成研究についても、GLORIUS グループで合成を継続し、得られた生成物の物性評価を山口グループにおいて実施した。成果についての議論は、ジョイントシンポジウムの機会に教員のみならず担当した学生（修士学生、伊藤）もミュンスター大を訪問し、GLORIUS グループの学生も参加し実施した。現在、成果を論文にまとめる段階にある。

整理番号	R-8	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) 天然アミノ酸誘導体合成に基づく不斉分子ライブラリーの構築、およびその生理活性評価と CO <sub>2</sub> 資源化への応用 (英文) Directed Construction of Molecular Library of Chiral Oligoamines and Non-standard Oligopeptides derived from Natural Amino Acids for Producing Bioactive Compounds and CO <sub>2</sub> Immobilization as Carbon Resource				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 斎藤進・名古屋大学・教授・1-5 (英文) Susumu SAITO・Nagoya University・Professor・1-5				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Bernhard WUENSCH・University of Muenster・Professor・2-3 Cathleen CRUDDEN・Queen's University・Professor・3-1 Philip JESSOP・Queen's University・Professor・3-21				
30年度の研 究交流活動及び得 られた成果	・斎藤-WUENSCH らの共同研究チームでは、opioid 受容体 ( $\mu$ , $\delta$ , $\kappa$ ) や $\sigma_1$ および $\sigma_2$ 受容体のアゴニストもしくはアンタゴニストの候補となる不斉分子群（天然ペプチド）ライブラリーの迅速合成と各受容体群のバイオアッセイ系を利用したそれら不斉分子群の生理活性評価（競合阻害試験）（ド				

	<p>イツ側) および CO<sub>2</sub>の資源化 (カナダ側) へとつながる研究を引き続きすすめた。斎藤は、平成 31 年 1 月に 1 週間をかけてドイツ南北西部の大学 4 箇所を周り、ミュンスター大では今後の研究展開について直に議論を行った (WUENSCH グループ)。様々な立体構造と置換基をもつジ (エチレンイミン) を立体選択的に合成し (斎藤グループ)、オキサゾリン含有オリゴペプチドの構造多様性をもたらす有用な触媒的手法の開発にも成功した (斎藤グループ : WUENSCH グループとの共著学術論文作成中)。また、斎藤は H31 年 1 月に 1 週間をかけてドイツの大学 4 箇所を周り、新たな共同研究の可能性を探るとともに、ミュンスター大では今後の研究展開について直に議論を行った (WUENSCH グループ)。</p> <p>・斎藤-JESSOP/CRRUDEN らの共同研究チームでは、CO<sub>2</sub>の水素化によるギ酸形成への将来的な応用を目指して、カルボン酸の水素化に基づく実用的な選択的アルコール合成を可能とする触媒反応の開発を現在クイーンズ大の大学院生が研究を継続中である。メール連絡を数回行いつつ本成果に関わる論文を執筆中である (JESSOP/CRRUDEN グループ)。また、中寛史助教 (斎藤グループ) が、平成 31 年 1~2 月に 2 週間をかけてカナダの 7 箇所の大学を周り、講演と情報交換、議論を行い、共同研究の可能性を探った。中助教のクイーンズ大訪問では、CO<sub>2</sub>の CSS に利用できるポリ (エチレンイミン) のアルコールによる N-アルキル化や、卑金属錯体触媒を用いるアミドの水素化によってアルコールやアミンを得るための方法に関わる議論や情報交換を行った (JESSOP/CRRUDEN グループ)。</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>・斎藤-WUENSCH らの共同研究チームでは、opioid 受容体 (<math>\mu</math>, <math>\delta</math>, <math>\kappa</math>) や <math>\sigma_1</math> および <math>\sigma_2</math> 受容体のアゴニストもしくはアンタゴニストの候補となる不斉分子群 (天然ペプチド) ライブラリーの迅速合成法を開発し (斎藤グループ)、各受容体群のバイオアッセイ系によるそれら不斉分子群の生理活性評価 (競合阻害試験) を行い (WUENSCH グループ) 国際論文 5 編にまとめた。年に一度は本 Core-to-core シンポジウムなどを通じて直に議論を行った。副次的な成果だが JESSOP/CRRUDEN グループとの共同研究で必要とされる多様なポリ (エチレンイミン) の開発に先立ち、ミュンスター大 RAVOO グループとの共同研究で、CO<sub>2</sub>の CCS に資するポリ (エチレンイミン) の光触媒的固相合成法も開発した (共著論文 1 編)。大学院生 1 名 (3 ヶ月間 JESSOP/CRRUDEN グループに滞在 : 現在カナダ側で論文執筆中)、斎藤 (1 週間ドイツ滞在) や中 (斎藤グループ : 2 週間カナダ滞在) によってこれらのグループとの共同研究や直の議論や密な情報交換も活発に行えた。</p>

整理番号	R-9	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 30 年度
------	-----	--------	----------	--------	----------

共同研究課題名	(和文) 負の溶媒効果を示す蛍光団をもちいた生体プローブの開発
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Fluorescent probes with negative solvatochromic fluorophores
	(和文) 山口茂弘・名古屋大学・教授・1-1
	(英文) Shigehiro YAMAGUCHI・Nagoya University・Professor・1-1
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Frank GLORIUS・University of Muenster・Professor・2-1
30年度の研究 交流活動及び得 られた成果	<p>・本共同研究で開発している脂質プローブは、拡散により油滴を染色する脂肪滴染色プローブとは異なり、それ自体の脂肪酸部位が変換を受け、その過程での媒体の極性の変化を敏感に励起波長の変化で識別できる画期的なプローブであり、ケミカルバイオロジー分野のみならず、生物学研究分野、創薬、医療分野において広く使われる可能性をもつ。平成30年度は、名大山口グループにおいてバイオイメージング研究の詳細を詰めるところを集中して行い、脂肪酸代謝過程での蛍光プローブの局在を蛍光特性の変化により追跡するとともに、質量分析により代謝生成物の同定に成功した。その詳細をミュンスター大 GLORIUS グループと共有するとともに、山口がミュンスター大を訪問した際、および GLORIUS 教授が名大を訪問した際に集中して議論を重ね、研究成果の草稿を仕上げた。この過程でさらに重要な展開が生まれてきたため、現在、最終の生物学的実験を実施しているところにある。</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>・これまでにミュンスター大 GLORIUS グループと山口グループとの間で R-7 の「強発光エキシマーの開発と蛍光寿命エンジニアリング」と題した共同研究を実施してきた。博士学生を派遣し、共同研究を実質的かつ密に進めた。その過程で、GLORIUS グループによりフェニルピリジン類の C-H 活性化反応により合成が達成された含窒素ピレン誘導体が負の溶媒効果を示し、かつ溶媒の極性に関係なく強い蛍光を示すことができる特異な蛍光団であることがわかった。そこで、この骨格に長鎖脂肪酸を導入することに着想し、脂質の生成過程を追跡する蛍光プローブの開発に成功した。この研究の生物学的実験の検証を進め、脂肪酸代謝プローブとしての有用性を明らかにした。研究成果について詳細に議論するために、平成29年度には梶原（修士学生）と多喜特任准教授を派遣し議論を展開した。平成30年度においてもバイオイメージングへの展開の詳細の検討を行った。研究の進捗状況については、2ヶ月に一度ペースで、e-mail や、学会で顔を合わせた際に共有し、現在、論文作成の最終段階にある。</p>

整理番号	R-10	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 29 年度
共同研究課題名	(和文) 超耐光性蛍光団の開発と生体イメージングへの応用 (英文) Development of super photostable fluorophores and applications to bioimaging				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 山口茂弘・名古屋大学・教授 1-1 (英文) Shigehiro YAMAGUCHI・Nagoya University・Professor 1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Martin OESTREICH・University of Muenster・Professor 2-6				
30年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	過年度終了済みのため該当なし				
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>・平成 28 年度のジョイントシンポジウムの際の議論をもとに、山口グループと OESTREICH グループとの間で共同研究を開始した。小笠原（博士学生）を 2 ヶ月派遣し、耐光性蛍光団の開発に、OESTREICH グループ独自の触媒系を用いた C-H 活性化変換反応を応用することにより取り組み、その端緒となる結果を得ることができた。この結果をもとに、OESTREICH グループでさらに検討を進め、得られた化合物の光物性や電気化学的特性などの基本物性はもとより、脂肪滴染色プローブとしての応用について山口グループで検討を進めた。山口グループでは、耐光性に優れた蛍光プローブの開発に精力的に取り組んでいるが、励起波長、発光波長、耐光性の点でバリエーションに富んだ蛍光団の開発が依然必要である。その一つとして本研究で生み出される基本骨格は高い潜在性をもっており、生物学研究にインパクトを与える化合物群へと発展する可能性を秘めている。ケイ素、硫黄架橋ラダー<math>\pi</math> 電子系の新たに開発した汎用性の高い合成法の検証を行うとともに、光物性を評価し、その脂肪滴プローブとしての潜在性を検討した。得られた成果を論文として <i>Organometallics</i> 誌に発表した。</p>				

整理番号	R-11	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) N-ヘテロサイクリックカルベンを用いた固体触媒表面の反応性チューニング (英文) Tuning of Catalysis on Heterogeneous Catalyst Surface by N-Heterocyclic Carbenes				

日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 唯美津木・名古屋大学・教授・1-3
	(英文) Mizuki TADA・Nagoya University・Professor・1-3
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Frank GLORIUS・University of Münster・Professor・2-1 Bart Jan RAVOO・University of Münster・Professor・2-2
30年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	<p>・N-ヘテロサイクリックカルベンの配位で、触媒的に不活性な固体表面を電子的に活性化させ、有用反応へと展開する研究を推進している。本年度は、ミュンスター大 GLORIUS グループ、RAVOO グループの開発した N-ヘテロサイクリックカルベン(NHC)修飾バイメタリック(Au-Pd)ナノ粒子の構造解析を推進し、バイメタリックナノ粒子触媒の水中での安定化効果の検証や不均一系触媒への応用へと展開し、論文としてまとめた。</p> <p>・学生・スタッフの派遣（日本側から2名をミュンスター大に派遣）して、これまでの共同研究の進捗状況を確認するとともに、今後の共同研究の課題についてもディスカッションを行った。</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>・有機化学と不均一系触媒化学の融合によって、不活性な固体触媒表面の反応性を、有機分子の配位によって自在にチューニングし、新たな活性を付与した新規触媒を創出する研究を、ミュンスター大 GLORIUS グループ、RAVOO グループと進めた。カルベン配位による電子的・立体的な効果を、配位子・固体触媒の双方からのキャラクタリゼーション、および触媒反応の詳細な解析より、触媒活性チューニングの要因解明を行い、不均一系固体触媒表面の有機配位子による新たな活性チューニング法を提唱した。</p> <p>・学生・スタッフを、日本側からミュンスターに2名を2日間（H30年度）、ミュンスターから日本側に1名を2日間（H29年度）派遣し、共同研究に関する密度の高いディスカッションを進めたとともに、電子メールをもとに密なディスカッションを進め、3報の論文を共同研究の成果として執筆することができた。</p>

整理番号	R-12	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) 木質分解分子触媒の開発				
	(英文) Development of Molecular Catalysts Resolving Xylem into Chemicals				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 中村正治・京都大学・教授・1-6				
	(英文) Masaharu NAKAMURA・Kyoto University・Professor・1-6				
相手国側代表者	(英文) Cathleen CRUDDEN・Queen's University・Professor・3-1				

氏名・所属・ 職名・研究者番号	Philip JESSOP・Queen's University・Professor・3-21
30年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	・中村グループでは、木質の常温常圧中性条件下での選択的分解を可能とする分子触媒の開発を進めている。同触媒は遷移金属錯体部とペプチド部からなる分子量 3000 程度の人工酵素様分子である。これまでの検討から、過酸化水素を酸化剤とした単離リグニンおよび木粉の分解が可能であることが見出だされている。一方、上記反応においては、芳香族分子や糖類、その誘導体の混合物として得られてくるため、効率的な分析および生成手法の確立が必須である。そこで、中村グループが開発した木質分解反応と CRUDDEN・JESSOP グループが開発した分離精製技術を組み合わせることで、木質分解による有用有機化合物の生産に対する実証研究を進めた。平成 30 年度には CRUDDEN グループに修士学生を 2 ヶ月間派遣し、木質資源から得られる芳香族化合物の化学変換に資する触媒反応の基礎研究を行った。名大斎藤グループによって開発された非天然オリゴペプチドの導入検討には至らなかったが、同グループとは京都府相楽郡間伐展示林にてフィールドワークを行うなど、国産スギの木質バイオマス資源としての重要性を認識、共有を進めた。
全期間にわたる 研究交流活動 及び得られた 成果の概要	・平成 29 年度に予備的な検討を開始した木質分解分子触媒への非天然オリゴペプチド（斎藤グループ）の導入検討には至らなかったが、当初 12 残基であったリグニン認識ペプチドの構造から、エッセンシャル配列である 5 残基を同定する事に成功した。本成果をもとに、最適な非天然オリゴペプチドのデザインと合成が可能となると期待している。同検討の過程で見出した新規鉄アミド錯体を触媒とし、過酸化水素水を酸化剤とする木質バイオマス（木粉）の酸化分解によって、官能基化セルロースの直接合成が可能である事が判った。これらの新規触媒の開発と分離・精製手法を確立することによって、脱化石燃料・資源への第一歩となる、再生可能炭素資源である木質バイオマスの化学資源化の鍵技術フローを提示できると考えられる。また、同成果は、平成 31 年 2 月に名古屋大学で開催された Core to Core ジョイントシンポジウムで発表し、CRUDDEN 教授と更なる共同研究の可能性について建設的な議論を行った。

整理番号	R-13	研究開始年度	平成 30 年度	研究終了年度	平成 30 年度
共同研究課題名	(和文) 光反応性有機ホウ素 $\pi$ 電子系の開発 (英文) Development of Photo-reactive Organoboron $\pi$ -Electron Materials				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 山口茂弘・名古屋大学・教授・1-1 (英文) Shigehiro YAMAGUCHI・Nagoya University・Professor・1-1				

<p>相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号</p>	<p>(英文) Suning WANG・Queen's University・Professor・3-2</p>
<p>30年度の研 究交流活動 及び得られ た成果</p>	<p>・山口グループでは、これまで三配位ホウ素とカルボカチオンの相同性を巧く活用した反応性の探究を進め、アルケニルボラン類の bora-Nazarov 反応や、トリアリールボラン類の光 1,6-シグマトロピー転位反応の開発を達成してきた。一方で、クイーンズ大 WANG グループは、B-N 分子内配位化合物の光反応を見だし、フォトクロミック機能分子系への展開や、新規多環式 <math>\pi</math> 電子系の合成研究へと展開している。この2グループが共同して取り組むことにより、新たな光電子機能 <math>\pi</math> 電子系の創出に取り組んだ。安藤 (博士学生) を3ヶ月 WANG グループへ派遣して共同研究を推進し、その成果について、テレビ会議や e-mail を通して議論した。また、山口と WANG 教授は、国際会議 (6月 BORAM, 8月 ACS meeting) で直接顔を合わせ、この機会を利用して議論を進めた。</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>3 配位ホウ素化合物の光反応性の探究は、基礎的な観点のみならず、機能性材料としての応用の可能性をもつ。山口、WANG 両グループはこれまでこの可能性を追求し、世界を先導してきた。両者がこれまで蓄積してきた光反応の知見を巧く組み合わせることにより、新規な光機能性材料の開発に取り組んだ。安藤 (博士学生) を30年度に3ヶ月派遣して実施した研究対象に関しては、引き続き WANG グループにおいて継続して検討中である。また、WANG 教授は中国北京にも研究拠点をもち、中国-ドイツ共同プログラムを推進している。そのドイツ側のメンバーと山口とも水溶性ホウ素材料の開発とバイオイメージングへの展開について共同研究を進めており (他研究費にて博士学生を計8ヶ月受入、2報の論文として発表)、これら3者間の共同研究へと今後発展させていく予定である。</p>

## 7-2 セミナー

### (1) 平成30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「革新的触媒・機能分子創製のための元素機能攻究」 (英文) JSPS Core-to-Core Program “Elements Function for Transformative Catalysis and Materials”
開催期間	平成31年2月7日 ~ 平成31年2月8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 (英文) Japan, Nagoya, Nagoya University
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 山口茂弘、名古屋大学、教授、1-1 (英文) Shigehiro YAMAGUCHI, Nagoya University, Professor, 1-1
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) /

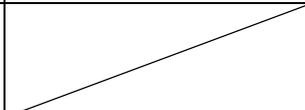
### 参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (国名)		備考
		A.	B.	
日本	A.	80/	160	
	B.	5		
(ドイツ)	A.	5/	25	
	B.	7		
(カナダ)	A.	2/	10	
	B.	2		
合計 <人/人日>	A.	87/	195	
	B.	14		

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)

※人/人日は、2/14 (= 2人を7日間ずつ計14日間派遣する) のように記載してください。

<p>※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、備考欄にその内訳等を記入してください。セミナー開催の目的</p>	<p>本事業の最終年度にあたり、名古屋大学と京都大学、そしてドイツのミュンスター大学とベルリン工科大学、カナダのクイーンズ大学から参加研究者が拠点機関である名古屋大学に集まり、5年間のまとめの共同シンポジウムを行うことは、これまで進めてきた共同研究などのまとめの成果発信をする上で非常に重要であると考えます。</p>		
<p>セミナーの成果</p>	<p>日本（名古屋大学、京都大学）ドイツ（ミュンスター大学、ベルリン工科大学）カナダ（クイーンズ大学）の連携で進めている本プロジェクトでは、最終年度のセミナー開催となる今回を名古屋大学で開催した。</p> <p>拠点のメンバーが一堂に会し、有機化学、典型元素化学、有機金属化学の最先端で展開する共同研究の進捗状況の成果について議論した。</p> <p>そして、これまで本プロジェクトで作上げられてきた協力体制をいかすべく、次のプログラムの展開などについても話し合った。</p>		
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>山口茂弘コーディネーターを委員長とし、ドイツからの参加者とりまとめをミュンスター大学担当、カナダからの参加者とりまとめをクイーンズ大学担当として開催した。</p>		
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 国内旅費 会議費</p>	<p>金額 107,920 円 471,600 円</p>
	<p>（ドイツ）側</p>	<p>内容 外国旅費</p>	

	(カナダ) 側	内容 外国旅費	
--	---------	---------	--

## (2) 全期間において実施したセミナー件数

	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
国内開催	1	0	0	0	1
海外開催	1	1	1	1	0
合計	2	1	1	1	1

### 7-3 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

- ① 評価コメント (抜粋) : 2 年間の研究成果としては論文数が少ないと言わざるを得ない。  
 対応 : 論文を国際誌に多く発表することに鋭意努力し、現時点で 28 報の論文を発表することができた。一部の研究については、生物学への展開や、トップジャーナルへの発表を目指し、時間を要しているものもあり、現時点で依然未発表の成果もある状況である。本事業終了後もインパクトの高い成果報告に鋭意努めていく。
- ② 評価コメント (抜粋) : 異なる研究分野の日本側研究者が論文の共著者になるなど本課題を基軸とした波及効果が見られるが、現在のところは限定的である。  
 対応 : 異分野間の融合研究が進むように、シンポジウムの際に共同研究の議論をする時間を取るなどの工夫をするとともに、他の事業とも連動し、若手勉強会の開催 (本事業経費外) 等を進めた。その結果、触媒開発—ナノ計測、有機配位子—固体触媒、有機合成—生物活性、典型元素化学—有機エレクトロニクス、反応開発—生体イメージングなど、多岐にわたる展開をなすことができた。
- ③ 評価コメント (抜粋) : 拠点形成を実現する適切な体制が整っている。今後は、国内セミナー等を通じて拠点としての研究目標と成果の共有が必要である。  
 対応 : 本事業で目指したのは、持続可能な社会の実現に資する「グリーン物質変換のための革新的触媒開発」と「人々の暮らしを豊かにする機能性物質の開発」を究極の目標に、元素機能の攻究という視点で切り拓く基礎研究と、それにより創出される物質群の材料科学・生命科学への応用研究である。この視点をもとに、国内連携の促進を図った。ただ、本事業に参加する名大、京大のメンバーは統合物質創製化学推進事業に含まれるので、本事業に限った国内セミナーを開催するのは、有効な研究推進とは逆行するという判断のもと、統合物質創製化学推進事業での年 2 回の国内セミナーを利用し、成果の共有を図った。典型元素化学—有機エレクトロニクス、反応開発—有機エレクトロニクス応用の点で成果を得ることができた。

## 8. 研究交流実績総人数・人日数

### 8-1 平成30年度の相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	ドイツ	カナダ	アメリカ(第3国)	ハンガリー(第3国)	合計
		1		/ ( / )	1 / 30 ( / )	1 / 7 ( / )	/ ( / )
2			/ ( / )	2 / 75 ( / )	2 / 9 ( / )	1 / 7 ( / )	5 / 91 ( 0 / 0 )
3			3 / 20 ( / )	1 / 49 ( / )	/ ( / )	/ ( / )	4 / 69 ( 0 / 0 )
4			3 / 19 ( / )	2 / 23 ( / )	/ ( / )	/ ( / )	5 / 42 ( 0 / 0 )
計			6 / 39 ( 0 / 0 )	6 / 177 ( 0 / 0 )	3 / 16 ( 0 / 0 )	1 / 7 ( 0 / 0 )	16 / 239 ( 0 / 0 )
ドイツ	1	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	2	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	3	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	4	/ ( 3 / 15 )		/ ( / )	/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 3 / 15 )
	計	0 / 0 ( 3 / 15 )		0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 3 / 15 )
カナダ	1	/ ( / )	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	2	/ ( / )	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	3	/ ( / )	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 0 / 0 )
	4	/ ( 1 / 5 )	/ ( / )		/ ( / )	/ ( / )	0 / 0 ( 1 / 5 )
	計	0 / 0 ( 1 / 5 )	0 / 0 ( 0 / 0 )		0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 1 / 5 )
合計	1	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	1 / 30 ( 0 / 0 )	1 / 7 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	2 / 37 ( 0 / 0 )
	2	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	2 / 75 ( 0 / 0 )	2 / 9 ( 0 / 0 )	1 / 7 ( 0 / 0 )	5 / 91 ( 0 / 0 )
	3	0 / 0 ( 0 / 0 )	3 / 20 ( 0 / 0 )	1 / 49 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	4 / 69 ( 0 / 0 )
	4	0 / 0 ( 4 / 20 )	3 / 19 ( 0 / 0 )	2 / 23 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	5 / 42 ( 4 / 20 )
	計	0 / 0 ( 4 / 20 )	6 / 39 ( 0 / 0 )	6 / 177 ( 0 / 0 )	3 / 16 ( 0 / 0 )	1 / 7 ( 0 / 0 )	16 / 239 ( 4 / 20 )

※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。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて(第三国)と記入してください。

### 8-2 平成30年度の国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	0 / 0 ( 0 / 0 )	3 / 9 ( 0 / 0 )	3 / 9 ( 0 / 0 )

### 8-3 全期間にわたる派遣・受入人数

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
派遣人数	19 ( 0 )	13 ( 0 )	18 ( 0 )	20 ( 0 )	16 ( 0 )
受入人数	0 ( 24 )	0 ( 4 )	0 ( 2 )	1 ( 0 )	0 ( 4 )

※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。

## 9. 経費使用総額

### 9-1 平成30年度経費使用額

(単位 円)

研究交流経費	国内旅費	553,550	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	8,142,546	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	6,004,320	
	その他の経費	638,917	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	660,667	学会参加費、海外旅行保険(合計115,797円)の不課税及び非課税取引
	計	16,000,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,600,000	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		17,600,000	

### 9-2 全期間にわたる経費使用額

(単位 円)

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
国内旅費	367,780	227,330	51,180	486,720	553,550
外国旅費	7,764,582	8,138,309	8,277,171	9,992,123	8,142,546
謝金	0	0	0	0	0
備品・消耗品購入費	6,524,327	5,178,894	5,961,721	5,699,108	6,004,320
その他の経費	723,940	304,403	60,554	22,680	638,917
不課税取引・非課税取引に係る消費税	619,371	651,064	649,374	799,369	660,667
合計	16,000,000	14,500,000	15,000,000	17,000,000	16,000,000

※各年度の実施報告書の「経費使用額」を転記してください。

※「不課税取引・非課税取引に係る消費税」について、平成27年度以前の実施報告書では「外国旅費・謝金等に係る消費税」の記載となっています。

## 10. 相手国マッチングファンド使用額

※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について、記入してください。

①	相手国名	ドイツ
	拠点機関名	ミュンスター大学
	経費負担区分	パターン1
	マッチングファンドの状況概要	<p>①DFG, “International Training and Research Group”, 2010年7月1日～2014年12月31日, 25,000ユーロ</p> <p>②DFG, “Gottfried Wilhelm Leibniz Programme”, 2013年3月～2019年12月, 21,600ユーロ</p> <p>③DFG, Normalverfahren, 2013年4月～2016年3月, 17,700ユーロ</p>
②	相手国名	カナダ
	拠点機関名	クィーンズ大学
	経費負担区分	パターン1
	マッチングファンドの状況概要	<p>①Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, “Collaborative Research and Training Experience Program”, 2010年9月1日～2016年8月31日, 23,800カナダドル</p> <p>②Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, “Discovery Research Grant”, 2013年9月1日～2018年8月31日, 18,400カナダドル</p>