

**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）**

### 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	大阪大学
（英国）拠点機関：	科学技術施設機構(STFC)ラザフォード研究所
（フランス）拠点機関：	エコールポリテクニック
（ドイツ）拠点機関：	ドレスデン工科大学
（米国）拠点機関：	ローレンスバークレー国立研究所

### 2. 研究交流課題名

（和文）：X線自由電子レーザーとパワーレーザーによる極限物質科学国際アライアンス  
（交流分野： プラズマ科学 ）

（英文）：International Alliance for Material Science in Extreme States  
with High Power Laser and XFEL  
（交流分野： Plasma Physics ）

研究交流課題に係るホームページ：<http://www.ppc.osaka-u.ac.jp/HERMES/>

### 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：大阪大学

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：大阪大学・学長・西尾章治郎

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：大学院工学研究科・教授、及び

レーザー科学研究所所長・兒玉了祐

協力機関：東北大学、宇都宮大学、千葉工業大学、東京大学、東京工業大学、電気通信大学、京都大学、近畿大学、神戸大学、岡山大学、愛媛大学、広島大学、島根大学、熊本大学、沖縄工業高等専門学校、独立行政法人日本原子力研究開発機構、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、独立行政法人物質・材料研究機構、独立行政法人理化学研究所、（財）高輝度光科学研究センター、株式会社東芝、富士重工業株式会社、住友電気工業株式会社

事務組織：大阪大学国際部国際企画課

**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) Science and Technology Facilities Council (STFC) Rutherford  
Appleton Laboratory

(和文) 科学技術施設機構ラザフォード研究所

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文)

Central Laser Facility・Plasma Physics・Group Leader・Alex ROBINSON

協力機関：(英文) Oxford University、Imperial College London、Queen's University Belfast、  
University of Essex、University of York、University of Warwick

(和文) オックスフォード大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン、クイーンズ大学ベルファスト、エセックス大学、ヨーク大学、ウォーリック大学

経費負担区分 (A型)：パターン1

(2) 国名：フランス

拠点機関：(英文) Ecole Polytechnique

(和文) エコールポリテクニーク

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文)

LULI・Directeur de recherche au CNRS・Michel KOENIG

協力機関：(英文) CNRS、Commissariat Energie Atomique、ENSMA、Observatoire de Paris-Meudon、Universite Paris、University of Bordeaux I、University of Rennes 1、Université Paris-Sud、Source optimisée de lumière d'énergie intermédiaire du LURE (SOLIEL)

(和文) フランス国立科学研究センター、フランス原子力庁、国立高等航空機械工科大学、パリ天文台、パリ大学、ボルドー第一大学、レンヌ第一大学、パリ南大学、フランス放射光施設 (SOLIEL)

経費負担区分 (A型)：パターン1

3) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) The Dresden University of Technology

(和文) ドレスデン工科大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文)

Institute of Radiation Physics・Director/Professor・Thomas COWAN

協力機関：(英文) Technical University of Darmstadt、Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)、European XFEL、University of Rostock、Ludwig Maximilians University of Munich、Max Planck Institute of Quantum Optics

(和文) ダルムシュタット工科大学、ドイツ電子シンクロトロン、欧州 X 線自由電子レーザー、ロストック大学、ルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン、マックスプランク研究所

経費負担区分 (A型)：パターン1

(4) 国名：米国

拠点機関：(英文) Lawrence Berkeley National Laboratory

(和文) ローレンスバークレー国立研究所

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：（英文）

Advanced Light Source・Group Leader・Roger FALCONE

協力機関：（英文） University of California, Berkeley, LCLS, Lawrence Livermore National Laboratory, NASA, University of Nevada, Reno, Los Alamos National Laboratory, Perdue University, University of California, Los Angeles

（和文） カリフォルニア大学バークレー校、LCLS、ローレンス・リバモア国立研究所、アメリカ航空宇宙局、ネバダ大学リノ校、ロスアラモス国立研究所、パデュー大学、カリフォルニア大学ロサンゼルス校

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>

より緊密な共同研究の実施体制構築を目的に、引き続き英国からの若手研究者による日独間のクロスアポイントメントや独国（欧州連合 XFEL 施設）と阪大とのクロスアポイントメントによる教員により、密接な連携体制を維持する。さらに、仏国エコールポリテクニクに続き、独国ヘルムホルツドレスデン研究機構、米国リバモア研究所との大学間連携協定締結と連携オフィスの設置をはかり、一層の交流を推進し我が国を中心とした国際的な拠点体制を構築していく。また連携体制強化を目的に大阪大学内パワーレーザー関連技術（大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、光科学センター、未来戦略光科学連携センター）と機能を集約する。さらにレーザーエネルギー学研究中心を改組し、より幅広い共同研究に対応できる機能強化を図る。さらに我が国の当分野に関係する大型施設（大阪大学、理化学研究所放射光科学研究センター、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所との3機関連携を一層進め国際競争力ある拠点体制を構築する。これらにより、本事業参加4か国に限らない国際的な拠点形成に向けた体制の構築を目指す。

#### <学術的観点>

本課題の目標は、X線自由電子レーザーとパワーレーザー技術の融合により、産業応用に繋がる材料科学から基礎学術としての惑星科学など学際的な極限物質科学として我が国独自の高エネルギー密度物質科学を開拓することである。そのために大阪大学では我が国のXFEL（SACLA）施設にパワーレーザーを設置し25年度より2国間を中心に共同研究を開始し、28年度より3国間以上の連携に発展させた。29年度は最終年度として5か国連携だけでなく露国などにも広げる。また超高压惑星科学、高压材料・プロセス科学を融合する学際的な高エネルギー密度物質材料科学の開拓を目指した共同研究を推進する。さらに従来のXFELだけでなくレーザープラズマを利用した粒子加速とそれによるXFELの可能性と応用を検討することで、新しい光・量子ビーム科学へ向けた共同研究を推進する。そのために新たに内閣府 ImPACT 事業のユビキタスパワーレーザー開発においてレーザー加速電子ビームXFELのための技術開発との相補的な連携を実施する。

### <若手研究者育成>

若手研究者育成を目的に 29 年度においては、我が国で開催する高いエネルギー密度の科学国際会議において若手を中心としたポスターセッションならびに若手賞を設定する。さらに第 6 回高エネルギー密度物理に関する国際会議を日本で開催するとともに若手研究者・大学院生の会議への積極的参加のみならず主催業務の経験を通じた人材育成に役立てる。また国際ワークショップや国際会議に若手研究者をできるだけ多く派遣し若手人材育成に貢献する。さらに共同研究に若手研究者を積極的に参加させることで若手研究者の実践的教育を推進する。

### <その他（社会貢献や独自の目的等）>

本拠点で実施する国際連携は世界的に注目されているだけでなく我が国での経験をもとにした若手共同研究者の頭脳循環が始まろうとしている。また各国との大学間連携協定の締結が進められようとしている。29 年度は、本拠点で実施している国際連携を事業終了後さらに発展させるための検討を開始する予定である。

## 5-2. 全期間を通じた研究交流目標

本課題の目標は、X 線自由電子レーザーとパワーレーザー技術の融合により、産業応用に繋がる材料科学から基礎学術としての惑星科学など学際的な極限物質科学として我が国独自の高エネルギー密度物質科学を開拓するために、国際研究教育ネットワークの拠点を構築することである。

パワーレーザーや X 線自由電子レーザーを利用することで、1000 万気圧以上の地上に存在しない極めて超高压の極限状態を容易に作り出すことができる。これらを利用した産業応用から新物質創生、惑星科学といった学術・産業イノベーションが期待できる。一方、X 線自由電子レーザーやパワーレーザーによる量子ビームを利用した新たな極限状態の診断手法が期待されている。X 線自由電子レーザーやパワーレーザー、プラズマ制御技術における我が国のコアコンピタンスを集結・収斂することで、世界をリードする我が国独自の極限物質科学を体系的に開拓する国際研究教育拠点の形成が可能である。

本研究交流課題では、特に 4 つのテーマについて重点的且つ横断的なアプローチを実施することで新しい境界領域を俯瞰的・戦略的に開拓する。1. 高エネルギー密度物質科学、2. 超高压惑星科学、3. 高压材料・プロセス科学、4. 光・量子ビーム科学。そのために、我が国の X 線自由電子レーザーやパワーレーザーだけでなく世界の高出力レーザー、X 線自由電子レーザーおよび関連する国際ネットワークと連携する。さらに本拠点を中心に国際ネットワークを利用した効率的な情報収集や世界に通じる次世代若手人材育成を行う国際研究教育拠点を目指す。

### 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】

研究交流目標は当初計画通りに達成できただけでなく、当初想定した以上の成果が次の通り得られた。

- ・ 本事業期前半では、XFELにおけるレーザー施設整備が進行中であったにもかかわらず、本事業で支援いただいた国際共同研究チームにより当初想定以上の学術成果が得られ多くの論文（学術成果が掲載された査読付き関係論文誌 60 編そのうち本事業記載 27 編。また相手国との共著論文 41 編（関係論文の 70%）そのうち本事業記載 11 編）に掲載された。
- ・ 多国間での若手研究者の頭脳循環（英国 - 日本 - ドイツや日本 - フランス - ドイツ）の実現と海外機関とのクロスアポイントメント制度の活用ができた。
- ・ パリ・サクレ大学との大学間協定に基づくダブルディグリー制度による博士課程進学希望者が本研究交流により出てきた。
- ・ 連携オフィスを先方施設（米国ローレンス・リバモア研究所、仏国エコールポリテクニク、独国外ヘルムホルツドレスデン研究機構）に設置できた。
- ・ 学内組織整備により共同利用・共同研究拠点であるレーザー科学研究所（平成 29 年度改組）に本国際拠点機能をすべて統合できた。
- ・ 本拠点事業により日米連携が加速され文部科学省と米国エネルギー省とでパワーレーザーと高エネルギー密度科学に関する新たな枠組みの可能性の議論が平成 29 年度開始された。
- ・ 本拠点活動の延長として、本事業参加 4 か国に限らないルーマニアやロシアを含めた国際研究交流拠点形成に向けた体制の構築が行われた。

## 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>

我が国のパワーレーザー施設の整備を継続し、我が国を中心とした多国間の共同研究を進めた。特にパワーレーザー関連の学内・国内体制強化に関して大阪大学内パワーレーザー関連技術（大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、光科学センター、未来戦略光科学連携センター）と機能を集約し、平成 29 年 5 月 1 日付でレーザーエネルギー学研究センターをレーザー科学研究所に改組した。これにより幅広い共同研究に対応できる機能強化を図ることで目標以上の体制が構築された。さらに我が国の当分野に関係する大型施設（大阪大学、理化学研究所放射光科学研究所、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所との 3 機関連携を一層進め共同でシンポジウムを開催するなど国際競争力ある拠点体制を構築した。

各国との連携強化に関して以下に示す通り、目標は十分に達成された。

日英に関しては英国オックスフォード大学、インペリアル大学、STFC 科学技術施設機構ラザフォード研究所などと共に仏国の欧州連携事業(GDRI)とも連携し高エネルギー密度科学共同研究の可能性を議論した。特に我が国の XFEL を利用した研究に関しては、オックスフォード大学出身若手研究者を大阪大学 - 独国ヘルムホルツ研究所とクロスアポイントメント制度で雇用し、我が国を中心とした 3 国連携研究(日、独、英)の強化を図ることができた。

日仏に関しては、仏国パワーレーザーだけでなく我が国の XFEL を利用したレーザー高圧・惑星科学に関する共同研究を推進するために、仏国コーディネーターである M.Koenig 主任研究員を引き続き、大阪大学国際共同研究促進プログラムによる招へい教授として受入れ、年間 1 か月大阪大学に滞在し共同研究推進のみならず、国際会議開催(平成 28 年 6 月)の大阪大学の要としてまた講義等による人材育成にも貢献した。またエコールポリテクニク内 LULI 施設内に設置した大阪大学連携オフィス(平成 29 年 1 月発足)の運営を通して日仏連携を推進した。

日独に関しては、昨年度に引き続き欧州連合 XFEL 施設職員を大阪大学の職員としてクロスアポイントメント制度により雇用し連携強化を図った。理化学研究所 SACLA のパワーレーザー施設における計測システムの共同構築など、一層の交流を推進した。独国ヘルムホルツドレスデン研究機構(HZDR)との連携に関しては、上記英国出身の若手研究者を大阪大学とのクロスアポイントメントにより雇用するとともに、新たな研究者を特任教授としてクロスアポイントメントで雇用し連携強化を図った。さらに平成 29 年 12 月にドイツ HZDR と学術交流協定(MOU)の締結と記念ワークショップ開催するとともに、大阪大学の連携推進オフィス(HZDR 内)開設により連携体制を強化した。

日米による連携に関しては、大阪大学 - ローレンス・リバモア国立研究所との大学間協定を平成 29 年度に締結するとともに同年 7 月には研究所内に大阪大学の連携オフィスを設置し、高エネルギー密度科学に関する研究所との一層の交流推進をはかるとともに米国との連携強化を図る米国拠点として機能を開始した。これらの活動に対して文部科学省、米国エネルギー省との連携に関する議論が開始された。さらにカルフォルニア大学デイビス校と高エネルギー密度科学に関する情報交換を進め平成 30 年度初めに交流協定を結ぶこととなった。さらにロチェスター大学との連携体制を強化する方向で議論が行われた。

多国間連携の体制に関しては、我が国のパワーレーザー施設を利用した日英仏独による連携研究を引き続き実施した。さらに仏国 CNRS 欧州多国間連携事業(GDRI)の延長申請を同チーム(仏、日、独、英)で行い、平成 30 年度以降も引き続き多国間連携ネットワークの活動は、欧州事業で行われることとなった。これに伴い今後の活動計画ならびに平成 31 年初めに開催予定の日仏独英が中心となり実施している定例の国際ウインタースクールの内容についても議論された。

これらの活動の延長として、本事業参加 4 か国に限らないルーマニアやロシアを含めた国際的な拠点形成に向けた体制の構築を目指した。ルーマニアに関しては、欧州超高強度レーザー核物理研究所 ELI-NP と学術交流 MOU ならびにクロスアポイントメント協定を締結するとともに、人材交流を目的に ELI-NP に大阪大学の連携オフィスを設置することとなった。

またこれらの取り組みは、政府が勧める東欧支援強化政策の一環としての日本—ルーマニア科学技術交流会議（平成 30 年 3 月 29 日外務省）でもっとも重要な科学技術交流案件として取り上げられた。またロシアとの連携も進み、平成 27 年ロシア科学アカデミーとの大学間学術交流 MOU 締結後、平成 29 年 National Research Nuclear University MEPhI との MOU 締結がなされた。また平成 30 年以内にロシア科学アカデミー内に本分野に関する大阪大学の連携オフィスを設置する方向で議論が開始された。また第 13 回日本—ロシア科学技術交流会議（平成 30 年 4 月 9 日外務省）でも重要な科学技術交流案件として取り上げられた。

### <学術的観点>

本課題の目標は、産業応用に繋がる材料科学から基礎学術としての惑星科学など学際的な極限物質科学として我が国独自の高エネルギー密度物質科学を開拓することである。そのために大阪大学では我が国の XFEL（SACLA）施設にパワーレーザーを設置し 25 年度より 2 国間を中心に、28 年度より 3 国間以上の連携に発展させた。29 年度は最終年度として 5 か国連携だけでなく露国などにも広げた。また日仏独英国のチームでレーザー超高压による極限状態を明らかにすることで、高エネルギー密度物質科学、超高压惑星科学、高压材料・プロセス科学に関する共同研究を推進した。さらに従来の XFEL だけでなくレーザープラズマを利用した粒子加速とそれによる XFEL の可能性と応用を検討することで、新しい光・量子ビーム科学へ向けた共同研究を推進した。そのために新たに内閣府 ImPACT 事業のユビキタスパワーレーザー開発においてレーザー加速電子ビーム XFEL のための技術開発との相補的な連携を実施した。また以下 4 つの領域に関して学術的成果を得た。

#### 高エネルギー密度物質科学

- ・宇宙のガンマ線バーストで起こっていると考えられる相対論無衝突衝撃波の原因であるワイベル不安定性を明らかにすることを目的に、我が国の XFEL だけでなく米国 XFEL も活用し日仏独米により予備実験を開始した。なお本課題は、本格的な実験は、大型装置のマシントイムの制約で出来なかったが、将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマとして進めることとなった。
- ・レーザーを制御し超高压低エントロピー圧縮状態やより深層での超高压化を実現し、その状態量とともに構造解析を行う共同研究をフランス（エコールポリテクニクなど）と引き続き実施した。その結果、超高压状態で炭素の 2 重結合分子を示唆する可視光スペクトルを得るとともに、3 つ以上の炭素からなる長鎖分子の形成も検討可能であることがわかった。
- ・XFEL とパワーレーザーのタイミング診断装置や高压可視診断装置などを連携整備するとともに将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した予備実験の可能性について、クロスアポイントメント制度で雇用した若手研究者（欧州 XFEL, HDZR）を中心に検討が進められた。上記ワイベル不安定性に関する研究と共に核融合炉材料など極限状態下での材料開発につながる研究を展開することとなった。

#### 超高压材料科学

パワーレーザー照射で実現される超高压・超高速歪み速度下での物質材料に関するフェム

ト秒時間分解原子レベル観察実験を実施した。

- ・単結晶構造相転移ダイナミクス、半導体-金属転移ダイナミクスのその場実時間観察を行った。光学特性変化の観測も独立に行った。出発物質の結晶性に起因して中間相が出現するなど、物質材料ダイナミクスの包括的な理解のための基礎的知見を得ることができた。シリコンの半導体金属転移のその場観察実験から、圧力解放過程において準安定で金属状態の高密度シリコンが生成できることが明らかになった。
- ・タングステンカーバイドやチタンカーバイドなど結晶粒界にバインダ材料を有する化合物超硬合金の構成組織に関する X 線回折診断と回収試料分析に関する検討を、X 線自由電子レーザーと放射光を用いて行った。弾塑性変形や超高速構造変化などの新たな知見を数値計算に反映させることで、ミクロからマクロまでの包括的な物質ダイナミクスの理解が進展した。

### 惑星物質科学

- ・フォルステライト ( $Mg_2SiO_4$ ) やエンスタタイト ( $MgSiO_3$ ) などケイ酸塩鉱物、ケイ素を含有した鉄合金、水-メタン-アンモニア混合液体を模擬した独自の分子性液体または固体試料などにより厳密な惑星深部物質組成を考慮に入れた物質系に関して実験を行った。パワーレーザーで地球型惑星および巨大氷惑星深部に相当する超高压高温状態の再現と XFEL による物性のその場実時間計測に成功した。
- ・氷惑星内部組成であるアンモニアと水およびメタンからなる混合物を模擬した試料に関して、低エントロピー圧縮および分光診断を用いたパワーレーザー実験を行った。
- ・超高压高温の液体金属領域におけるケイ酸塩鉱物の超高压データでは、酸化マグネシウム ( $MgO$ ) リッチのフォルステライト ( $Mg_2SiO_4$ ) では不一致結晶化が起こることが示唆されているのに対して、エンスタタイト ( $MgSiO_3$ ) では全くその兆候が見られないことがわかった。また、固体領域ではフォルステライトにおいて酸素原子面が滑る無拡散タイプの超高速構造変化が起こることが初めて明らかになった。シリコンを含む鉄合金は純鉄に見られるような単純な電気伝導度-圧力の関係を示さないことを実験的に明らかにした。
- ・分子性液体および固体を用いた氷惑星内部模擬実験では、4,000 K の超高温環境で炭素-炭素ダイマー (二重結合) 分子の生成を捉えることに成功した。また、3つ以上の炭素からなる長鎖分子の形成も検討可能であることがわかり、地球型惑星形成や氷惑星の内部構造や物質進化の理解に繋がる重要な知見が得られた。

### 光・量子ビーム科学

- ・HZDR(ヘルムホルツドレスデン研究機構)、仏シンクロトロン放射光 SOLEIL、フランス応用光学研究所 (LOA) などとレーザー加速駆動 X 線自由電子レーザーの実現に必要な要素技術に関する情報交換を行うとともに共同研究の可能性について検討した。また米国の研究者 (LBNL、LLNL、ミシガン大学、UCLA、テキサス大学) とレーザー航跡場の直接観測などその計測技術に関する情報交換を行った。
- ・日英米仏独 5 ヶ国の研究者とのレーザー駆動量子ビームに関する詳細な議論や情報収集を通して、レーザー駆動自由電子レーザーや超高速電子イメージング、レーザー駆動イオンビームの利用などの新たなレーザー加速の方向性について方針を明確にすることが



できた。

- ・欧州レーザー粒子加速分野を含む先端加速器コミュニティー（EuroNACC, EuPLAXIA）のオブザーバーメンバーとして国際ワークショップに参加して成果をアピールすることにより我が国の同分野のプレゼンスを高めることができた。また、メンバーとして、GeV級の安定なレーザー駆動電子加速の実現へ向けた具体的な要素技術開発に関する情報収集が効率的に行えるようになった。

#### <若手研究者育成>

若手研究者育成を目的に29年度においては、我が国で開催する高エネルギー密度の科学国際会議において若手を中心としたポスターセッションならびに若手賞を設定した。さらに第6回高エネルギー密度物理に関する国際会議を日本で開催するとともに若手研究者・大学院生の会議への積極的参加のみならず主催業務の経験を通じた人材育成に役立てた。また国際ワークショップや国際会議に若手研究者をできるだけ多く派遣し若手人材育成に貢献し、共同研究に若手研究者を積極的に参加させることで若手研究者の実践的教育を推進した。また仏シンクロトロン放射光SOLEILチームよりインターンシップとして、修士課程学生1名を大阪大学に受け入れ研究指導を実施した。さらに本学生は大阪大学とパリ・サクレ大学とダブルディグリーの学位制度（平成29年6月大学間協定）により博士課程に進学することとなった。

#### <その他（社会貢献や独自の目的等）>

本拠点で実施する国際連携は世界的に注目されているだけでなく、本ネットワークで英国オックスフォード大学を卒業した若手研究者が、大阪大学のポスドクとして着任し我が国のXFELで経験を積んだ後、欧州XFEL利用を目指して独国ヘルムホルツドレスデン研究機構の研究者となった。さらにクロスアポイントメント協定により大阪大学に在職することとなり本ネットワークの要となっている。我が国を軸とした頭脳循環が起こっている。また仏国では本ネットワークを通し、ダブルディグリー制度の下で日本への留学希望者が始めている。

また本拠点で実施している国際連携を事業終了後さらに発展させるため、大阪大学の関連組織を平成29年5月、レーザー科学研究所に統合した。さらに本拠点で構築したネットワークのもと、平成29年度は米国、独国に連携オフィスを設置し大阪大学レーザー科学研究所の国際的ハブ機能を強化した。これら統合された施設と本拠点事業によるユーザーネットワークが有機的に連携し始めており、国際拠点化の基盤が構築できた。これらをさらに発展させるため、英、米、仏、独に限定するのではなくロシア、ルーマニアなどの東欧諸国とのネットワークを構築している。

(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	1本

(2) 平成29年度の国際会議における発表	34件
うち、相手国参加研究者との共同発表	2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	48件
うち、相手国参加者との共同発表	5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）

日本側拠点機関の大阪大学は、2009年より部局横断組織としての光科学センター（H29年5月よりレーザー科学研究所）を中心とし工学研究科、理学研究科、基礎工学研究科、レーザーエネルギー学研究センター（H29年5月よりレーザー科学研究所）などと研究教育に関する連携体制が構築されていた。産業から基礎科学と極めて学際的な本研究交流課題（共同研究・情報収集・人材育成）を実施する体制が整っていた。本事業ではこれらを強化・活用し国際拠点形成を目指すことが目標であった。

本事業が開始されて以降、これらの部局間連携体制強化として平成25年度より総長イニシアチブの未来戦略機構内に光量子科学研究部門が設置され日本のコーディネーターである兒玉が当部門長に就き協力体制が強化された。平成29年度より先導的学際研究機構光量子科学部門に改組され、外国人教員の雇用も進み国際連携体制が強化された。さらに学内パワーレーザー関連技術（施設）と機能を集約し、平成29年5月1日、レーザーエネルギー学研究センターは、光科学センターとの統合によりレーザー科学研究所に改組した。兒玉が所長となり、海外連携オフィス（米国、仏国、独国、ルーマニア、ベトナム）を設置し研究所の国際的ハブ機能が強化された。米国、仏国、独国の連携オフィスは本事業の拠点活動の一環として行われた。これにより幅広い共同研究ならびに人材交流に対応できる機能を強化し目標以上の体制が構築された。

国内の関連大型施設の連携に関しては、理化学研究所のXFEL施設と連携しパワーレーザーシステムを予定通り構築することで、ハード面での拠点整備を行うと同時に理化学研究所と大学間協定を締結し、理化学研究所播磨キャンパス内に大阪大学光科学連携センターを平成26年10月設置し連携を強化した。平成28年10月には、量子科学技術研究開発機構と大学間包括協定を締結し、共同でシンポジウムを開催するなど有機的な協力体制を構築した。我が国の当分野に係る3つの大型施設（大阪大学レーザー科学研究所、理化学研究所放射光科学研究センター、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所）の連携を一層進めることで国際研究教育拠点形成に向けた連携機能強化が当初予定以上に進められた。

#### 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）

## 英国

本事業前半では英国コーディネーターの J. Wark 教授と彼の研究テーマである高圧物性を軸に密接な連携体制の下で本事業を推進した。またオックスフォード大学より若手研究者を大阪大学独自予算により雇用することで、効率的な研究だけでなく研究を通して大学院生と外国人ポスドクとの交流を積極的にし、実践的な人材育成の協力体制構築にも役立てた。本ポスドクは現在、独国ヘルムホルツドレスデン研究機構に所属するとともにクロスアポイントメント協定を締結し大阪大学の職員としても活躍している。英国 - 日本 - 独国における頭脳循環が実現した。また英国インペリアル大学の若手研究者を大阪大学助教として雇用することにより強力な協力体制を構築した。本事業後半から、全英でより広がりある連携体制を構築するために、共同利用機関であり英国ラザフォードアップルトン研究所中央レーザー施設の Alex Robinson グループリーダーを英国コーディネーターとした。これにより全英の広がりある研究テーマに対する連携体制を構築した。

## フランス

フランスコーディネーターのエコールポリテクニクの M. Koenig 博士を大阪大学客員教授として招へいし 1 か月/年は大阪に滞在することでより密接な協力体制を構築した。またフランス CNR の欧州連携事業 (GDRI) の採択によりフランスのみならず欧州全体 (仏・日・独・英) をまとめた形で本拠点との協力体制の強化が行われた。本事業 (GDRI) は平成 29 年までであったが、4 年の延長が認められた。また平成 29 年 1 月にエコールポリテクニクと大阪大学とで大学間協定が締結された。そのもとで大阪大学の連携オフィスを相手側施設内に設置し共同研究の促進と人材交流を促進した。なお本連携オフィスは大阪大学客員教授でもある M. Koenig 博士が運営にあたった。これにより当初計画以上に密接な連携体制が構築できた。

さらにエコールポリテクニクより若手研究者を大阪大学独自予算により雇用することで、効率的な研究だけでなく研究を通して大学院生と外国人ポスドクとの交流を積極的にさせることで実践的な人材育成の協力体制構築にも役立てた。

## ドイツ

ドイツコーディネーターの T. Cowan 教授とは、招へい教授として大阪大学に招くなど密接な連携関係を構築している。本事業前半では、独国にある欧州 XFEL との部局間協定ならびにクロスアポイントメントによる若手職員の雇用などが進み、より密接な連携体制を構築できた。後半からコーディネーターの T. Cowan 教授が所属するドレスデンヘルムホルツ研究機構 (HZDR) と大阪大学でクロスアポイントメント協定を交わし、オックスフォード大学出身の若手研究者ならびに同機構所属の元大阪大学教授を大阪大学の職員として雇用しより密接な連携体制を構築した。さらに平成 29 年 12 月には HZDR との学術交流協定を締結するとともに大阪大学の連携オフィス (HZDR 内) を開設しより一層連携体制を強化した。なお本連携オフィスは上記クロスアポイントメントによる大阪大学特任教授が運営にあたった。これにより当初計画以上に密接な連携体制が構築できた。

## 米国

米国コーディネーターの R. Falcone 教授との定期的な議論を行い密接な連携体制が構

築できている。またローレンス・リバモア研究所、スタンフォード大学、SLAC(米国スタンフォード直線加速器研究所)の連携が進みこれらとの協力体制強化を図るためワークショップを開催した。平成 29 年 6 月に米国ローレンス・リバモア研究所との大学間協定を結ぶとともに同年 7 月に先方施設内に大阪大学の連携オフィスを開設し連携体制を強化した。なお連携オフィスの運営は、平成 29 年は大阪大学の在外職員(教授)が行った。また、本拠点活動などが考慮され文部科学省と米国エネルギー省とでパワーレーザーと高エネルギー密度科学に関する新たな枠組みの可能性の議論も平成 29 年度開始された。

### 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)

本研究交流課題は、拠点機関内の全学組織である大阪大学光科学センター(平成 29 年 5 月よりレーザー科学研究所)が中心的役割を果たし、他部局・他機関との連携を図った。また新たに大阪大学に部局横断組織である未来戦略機構光量子科学研究部門(平成 29 年 1 月より先導的学際研究機構光量子科学部門)や光科学連携センター(理研播磨キャンパス内)が設置され、これら事務との連携を図った。その上で事務業務に関しては大阪大学本部事務機構と工学研究科及び光科学センター(特任事務職員ならびに事務補佐員 2 名)が密な連携体制のもとで本事業にあたった。

## (2) 学術面の成果

以下に示す 4 つの領域に関して学術的成果を得た。また本事業による国際ネットワークを通じて、これらの成果は効率的に世界に発信され、我が国の当分野における高い評価とプレゼンスを示すことができた。

### 高エネルギー密度物質科学

- ・ 超高压低エントロピー圧縮による新物質状態の創成と XFEL によるその場観察を行うために効率的な国際連携体制を構築した。X 線材料評価を得意とする英国オックスフォード大学を中心としたチーム、レーザーによる低エントロピー圧縮実験の経験が豊富な仏国エコールポリテクニク・LULI を中心としたチーム、超高压シミュレーションに関する独国ロストック大学との連携により新たな温度・圧力状態での状態方程式を明らかにすることができた。例えば超高压縮された炭化物から 4,000 K の超高温環境で炭素の 2 重結合分子を示唆する可視光スペクトルを得た。また、3 つ以上の炭素からなる長鎖分子の形成も検討可能であることがわかった。
- ・ 日英仏の共同研究として理化学研究所 XFEL(SACLA)と大阪大学のパワーレーザーの連携利用により、これまで未解明であったレーザー衝撃波(10-100 万気圧程度)による相転移ダイナミックスをピコ秒以下の時間分解で明らかにすることができた。例えば鉄の場合衝撃波による物質構造相転移が、結晶格子の方向依存する物質があることが明らかになった。またパワーレーザー圧縮したシリコンにおいては、衝撃波の圧力の増大とともに異常弾性状態の増大が初めて確認された。
- ・ 将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマの検討をし、宇宙のガンマ線バースト

で起こっていると考えられる相対論無衝突衝撃波の原因であるワイベル不安定性に関する研究と共に核融合炉材料など極限状態下での材料開発につながる研究を展開することとなった。

### 超高压材料科学

- ・ 本研究交流活動により、ピコ-サブピコ秒の超高速変形時の物質・材料の変形挙動を超高速格子レベルで解明することが可能となった。例えば  $10^7 - 10^9 \text{ s}^{-1}$  超の超高歪み速度を実現することに成功し、その一軸応力場起因の結晶粒微細化や弾塑性変形挙動、またレーザーアブレーションに関わる過渡的な物質変形状態が可視化された。結晶滑り面作用による無拡散的な超高速相転移機構により、動的超高压下の物質においてこれまで確認されていなかったさまざまな準安定構造が励起されることが明らかになった。さらに、これまで観測例の無かった  $10^8 \text{ s}^{-1}$  超の超高歪み速度の領域において、材料裏面の応力解放領域における破碎破壊現象のメカニズムとタイムスケールなどが明らかになった。これらにより超高速物質変形における未踏領域のダイナミクスの理解がなされた。
- ・ パルス波形の違いによる破壊の変化の可能性が検討された。壊れにくい物質・材料の設計指針の構築に活かすため、観測結果からレーザー誘起高速変形挙動のモデル化を進めることができた。またパルス波形を制御することで深層域レーザーピーニングの可能性を計算シミュレーションで初めて明らかにした。
- ・ これまで困難であった動的超高压下の構造相転移のダイナミクスを、XFEL プローブを用いることによりフェムト秒時間分解原子レベルで直接観察することができ、無拡散タイプの構造変化に関する時定数などを明らかにすることができた。

### 惑星物質科学

- ・ 主に岩石惑星（地球型）と氷惑星（海王星型）の深部を再現するとともに、惑星物質の構造や物性、反応速度や物質進化過程を理解するために、パワーレーザーと X 線自由電子レーザーを相補的に利用した実験的研究を展開した。また、未踏超高压相を予測・解明するため、高速物質ダイナミクスを第一原理構造計算に独自に組み込み、超高压高温域の理論計算研究を進展させた。
- ・ 岩石惑星のマントルを構成するケイ酸塩鉱物の超高压下の状態および構造変化過程が明らかになった。またコアを構成するケイ素を含有する熔融鉄合金の状態決定、および相関係や電気伝導度の推定を可能にした。これらにより地球型惑星に関してこれまで未解明であった内部構造と進化過程に関する知見が初めて得られた。酸化マグネシウムの結果からは、これまで固体と考えられてきた木星核が融体である可能性が高いことが分かった。氷惑星を構成する混合分子の超高压高温下の状態を明らかにするとともに、分子進化過程を明らかにする手がかりが得られた。これによりこれまで未解明であった氷惑星の異常磁場の生因に関する直接的な証拠が得られた。

### 光・量子ビーム科学

- ・ 海外の研究機関との技術交流によりレーザー粒子ビーム加速において、ビームの安定化、高エネルギー化ならびに高品位化のための知見を得ることができた。より制御性を上げるために我が国独自の多段化システム構築のための技術的課題が明らかになった。

- ・ XFEL による核励起と核コヒーレント光学の開拓として、コヒーレント X 線による量子干渉効果と反応粒子の多体効果を取り入れることで、従来考えられていたより 6 ケタ高い核反応率が期待できることを理論的に明らかにした。

### （３）若手研究者育成

国際共同研究を通じた実践教育、外国人講師によるセミナー、定例化した国際スクールの開催ならびに海外の若研究者雇用を通じて若手研究者育成を行った。

- ・ XFEL2013 の国際会議と連携したサマースクールや仏国 CNRS の欧州連合多国間連携（仏日英独）事業（GDRI）と連携しウインタースクールを開催した。同時に日仏英独国を中心としたワークショップを開催したことで、単にスクールだけでなく研究に直結した議論も行う事ができ、これにより若手研究者の実践的教育も行う事が出来た。
- ・ 連携相手国（英国、仏国）から若手研究者をポスドクとして招へいすることで頭脳循環を図るだけでなく、研究を通して大学院生と外国人ポスドクとの交流を積極的にさせることで実践的な人材育成に役立てた。さらに欧州 XFEL の若手研究者をクロスアポイントメント制度を活用し大阪大学で雇用し共同研究を推進した。結果として、本拠点事業の特徴を生かした多国（英国 - 日本 - 独国）間頭脳循環を可能にした。また英国インペリアル大学の若手研究者を大阪大学助教として雇用するなどグローバルな若手研究者育成に貢献した。

### （４）国際研究交流拠点の構築

学内パワーレーザー関連技術（施設）と機能を集約し、平成 29 年 5 月 1 日、レーザーエネルギー学研究センターは、光科学センターとの統合によりレーザー科学研究所に改組した。兒玉が所長となり、海外連携オフィス（米国、仏国、独国、ルーマニア、ベトナム）を設置し研究所の国際的ハブ機能が強化された。米国、仏国、独国の連携オフィスは本事業の拠点活動の一環として行われた。これにより幅広い共同研究ならびに人材交流に対応できる機能を強化し目標以上の国際研究交流拠点の体制が構築された。

国内の関連大型施設の連携に関しては、理化学研究所の XFEL 施設と連携しパワーレーザーシステムを予定通り構築することで、ハード面での拠点整備を行うと同時に理化学研究所と大学間協定を締結し、理化学研究所播磨キャンパス内に大阪大学光科学連携センターを平成 26 年 10 月設置し連携を強化した。量子科学技術研究開発機構と大学間包括協定を締結し、共同でシンポジウムを開催するなど有機的な協力体制を構築した。我が国の当分野に関係する 3 つの大型施設（大阪大学レーザー科学研究所、理化学研究所放射光科学センター、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所）の連携を一層進めることで国際研究教育拠点形成に向けた連携機能強化が当初予定以上に進められた。

これらの活動の延長として、ルーマニアやロシアとの学術交流協定締結や連携オフィスの設置、クロスアポイントメントによる人材交流などが行われ連携体制が強化された。以上より本事業参加 4 か国に限らない世界に開かれた国際研究交流拠点形成に向けた体制の構築が行われた。

#### **(5) 社会貢献や独自の目的等**

本事業は、世界に開かれた国際研究交流拠点形成を目的とした事業であり、海外との連携を推進するとともに世界に貢献できるグローバルリーダーの育成が目的である。この国際拠点を構築する上で、軸となる国内や学内の連携・協力体制を強化することが必要不可欠である。国際拠点化の独自の目的として国内や学内の体制を強化することがあり、当初計画以上の進展が得られた。例えば連携強化による学内組織の改組によりレーザー科学研究所ができたことや研究所を中心に国際連携オフィスを各国に設置し国際ハブ機能を強化することができたことは当初計画以上の進展であった。

#### **(6) 予期しなかった成果**

当初の期待以上の学術的な成果が国際共同研究を通じて行われたことは、ある程度想定していた。一方で、本事業の強みである多国間交流で多国間（英国 - 日本 - ドイツや日本 - フランス - ドイツ）の頭脳循環が現実としてできたことは当初の想定以上の成果である。また本拠点事業により日米連携が加速し文部科学省と米国エネルギー省とでパワーレーザーと高エネルギー密度科学に関する新たな枠組みの可能性の議論が平成 29 年度開始されたことは、当初の想定以上である。

さらにこれらの活動の延長として、本事業参加 4 か国に限らないルーマニアやロシアを含めた国際研究交流拠点形成に向けた体制の構築が行われた。これらの取り組みは、政府が勧める東欧支援強化政策の一環としての日本―ルーマニア科学技術交流会議（平成 30 年 3 月 29 日外務省）やまた第 13 回日本―ロシア科学技術交流会議（平成 30 年 4 月 9 日外務省）でも重要な科学技術交流案件として取り上げられたことは、予期しなかった成果である。

#### **(7) 今後の課題・問題点及び展望**

本拠点事業により国際拠点としての国際ネットワーク、国際ハブ機能、国際的頭脳循環システムなどが構築された。また拠点として学内体制も整備された。一方で、構築された国際研究交流拠点を今後、維持・発展するための制度上の支援は保証されていない。欧州ではこれまでの成果をもとに支援体制の延長が決まり、我が国への期待は一層高まっている。今後、学内整備された大阪大学レーザー科学研究所の国際共同研究共同利用拠点への申請をはじめ、国際連携を支援する競争的資金獲得を目指し本拠点事業により形成された国際拠点を維持・発展させていく。

(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	27 本
うち、相手国参加研究者との共著	11 本
②全期間中の国際会議における発表	204 件
うち、相手国参加研究者との共同発表	32 件
④ 全期間中の国内発表・シンポジウム等における発表	160 件
うち、相手国参加研究者との共同発表	21 件



## 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

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) 高エネルギー密度物質科学 (英文) High Energy Density Matter Science				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 兒玉了祐・大阪大学大学院工学研究科・教授、及び レーザ ー科学研究所・所長 (英文) Ryosuke KODAMA・Graduate School of Engineering, Osaka University・Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University・Director				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Alex BOBINSON・STFC RAL Central Laser facility・Group Leader, Gianluca GREGORI・University of Oxford・Professor (英 国), Michel KOENIG・Ecole Polytechnique・Directeur de recherche au CNRS (フランス) Mike DUNE・LCLS・Director (米国), Thomas TSCHENTSCHER・European XFEL Management Board・Director (ドイツ)				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・宇宙のガンマ線バーストで起こっていると考えられる相対論無衝突 衝撃波の原因であるワイベル不安定性を明らかにすることを目的に、 我が国の XFEL だけでなく米国 XFEL も活用し日仏独米により、X 小核 散乱計測でプラズマ中のモジュレーションを計測できるかどうかの 予備実験を開始し今後の本格的な実験への知見を得ることができた。 なお本課題は将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマとし て進めることとなった。</li> <li>・レーザーを制御し超高压低エントロピー圧縮状態やより深層での超 高压化を実現し、その状態量とともに構造解析を行うことを目的にフ ランス (エコールポリテクニクなど) との共同研究を引き続き実施 した。</li> <li>・XFEL とパワーレーザーのタイミング診断装置や高压可視診断装置な どを連携整備するとともに将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した予備実験 の可能性について、クロスアポイントメント制度で雇用した若手研究 者 (欧州 XFEL, HDZR) を中心に検討が進められた。</li> <li>・相対論無衝突衝撃波の原因であるワイベル不安定性を引き起こしそ のダイナミックスを初めて明らかにする本格的な実験は、大型装置の マシンタイムの制約で出来なかったが、3ヶ国 (日独仏) の連携体制 強化が進められた。</li> <li>・レーザーを制御し炭化物などの化合物を含んだ様々な物質の超高 圧低エントロピー圧縮状態を実現し、その状態量とともに構造解析 を行った。その結果、超高压状態では、4,000 K の超高温環境で炭素</li> </ul>				

	<p>の2重結合分子を示唆する可視光スペクトルを得た。また、3つ以上の炭素からなる長鎖分子の形成も検討可能であることがわかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマの検討をし、上記ワイベル不安定性に関する研究と共に核融合炉材料など極限状態下での材料開発につながる研究を展開することとなった。</li> </ul>
<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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超高压低エントロピー圧縮による新物質状態の創成と XFEL によるその場観察を行うために効率的な国際連携体制を構築した。X 線材料評価を得意とする英国オックスフォード大学を中心としたチーム、レーザーによる低エントロピー圧縮実験の経験が豊富な仏国エコールポリテクニク・LULI を中心としたチーム、超高压シミュレーションに関する独国ロストック大学との連携を行った。これらのチームの連携（仏、日、英、独）は、仏国の欧州連携事業（GDRI）にも採択され一層強化された。</li> <li>・平成 29 年より稼働し始めた欧州 XFEL、平成 30-31 年に欧州 XFEL と同期したパワーレーザーが稼働する。これに対して、我が国の XFEL（SACLA）とパワーレーザー（HERMES）ならびに米国スタンフォード LCLS（XFEL）とパワーレーザー（MEC）を利用した研究を先行させた。欧州 XFEL は、本事業内で本格的な稼働はかなわなかったが、本ネットワークによる、準備研究がすすめられた。</li> <li>・我が国の XFEL（理研 SACLA）と大阪大学のパワーレーザー（HERMES）の連携した利用により、これまで未解明であったレーザー衝撃波による相転移ダイナミクスをピコ秒以下の時間分解で明らかにすることができた。また衝撃波による物質構造相転移が、結晶格子の方向依存する物質があることが明らかになった。</li> <li>・レーザーを制御し炭化物などの化合物を含んだ様々な物質の超高压低エントロピー圧縮状態を実現し、その状態量とともに構造解析を行った。その結果、超高压状態では、炭化物から 4,000 K の超高温環境で炭素の 2 重結合分子を示唆する可視光スペクトルを得た。また、3 つ以上の炭素からなる長鎖分子の形成も検討可能であることがわかった。</li> <li>・将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマの検討をし、宇宙のガンマ線バーストで起こっていると考えられる相対論無衝突衝撃波の原因であるワイベル不安定性に関する研究と共に核融合炉材料など極限状態下での材料開発につながる研究を展開することとなった。</li> </ul>

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	(和文) 超高压材料科学
	(英文) Extremely High-Pressured Material Science
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 坂田修身・物質・材料研究機構・ステーション長
	(英文) Osami SAKATA・NIMS・Managing Director
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Justin WARK・University of Oxford・Professor (英国) Jon EGGERT・LLNL・Group leader (米国) , Michel KOENIG・Ecole Polytechnique・Directeur de recherche au CNRS (フランス) , Thomas COWAN・The Dresden University of Technology・Professor (ドイツ)
29年度の研 究交流活動 及び得られ た成果	<p>(研究交流活動)</p> <p>パワーレーザー照射で実現される超高压・超高速歪み速度下での物質材料に関するフェムト秒時間分解原子レベル観察実験を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・単結晶クォーツを用いて、単結晶構造相転移ダイナミクスの超高速X線回折によるその場実時間観察を行った。</li> <li>・超高压・超高速歪み速度下における半導体-金属転移ダイナミクスのその場実時間観察を同様に行った。光学特性変化の観測も独立に行った。</li> <li>・化合物超硬合金の構成組織に関するX線回折診断と回収試料分析に関する検討を、X線自由電子レーザーと放射光を用いて行った。</li> </ul> <p>仏国より研究者6名63日、独国より研究者3名30日、米国より研究者を1名8日受け入れるとともに、日本から教員を米国に1名5日派遣した。</p> <p>(研究交流活動から得られた成果)</p> <p>パワーレーザー誘起で実現される超高压・超高速歪み速度の極端条件下における単結晶試料の変形や構造変化を直接観察し、出発物質の結晶性に起因して中間相が出現するなど、物質材料ダイナミクスの包括的な理解のための基礎的知見を得ることができた。シリコンの半導体金属転移のその場観察実験から、圧力解放過程において準安定で金属状態の高密度シリコンが生成することが明らかになった。タングステンカーバイドやチタンカーバイドなど結晶粒界にバインダ材料を有する超硬合金炭化物において、結晶粒とバインダ間に有意な応力不均一があることが実験的に明らかになった。弾塑性変形や超高速構造変化などの新たな知見を数値計算に反映させることで、ミクロからマクロまでの包括的な物質ダイナミクスの理解が進展した。</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>超高圧・超高歪み速度の極限環境・極端条件における、物質材料の変形、構造変化、破壊、に焦点を当ててパワーレーザーとX線自由電子レーザーを結合したプラットフォームを用いたポンププローブ実験を中心とした研究を展開した。超高速変形現象のモデリングを目指して、弾塑性転移圧力や構造変化圧力などに関する実験結果を反映させた数値シミュレーションを共同で行った。</p> <p>大阪大学、理化学研究所播磨センター、英オックスフォード大学、仏エコールポリテクニク、独欧州X線自由電子レーザー施設、米スタンフォード国立加速研究所などとの共同実験を通じて、博士課程学生やポスドク、若手研究者による研究交流がなされた。また、本拠点活動の研究をテーマとした博士学位取得やポスドク雇用に貢献した。</p> <p>本研究交流活動により、ピコ-サブピコ秒の超高速変形時の物質・材料の変形挙動を超高速格子レベルで解明することが可能となった。</p> <p><math>10^7 - 10^9 \text{ s}^{-1}</math> 超の超高歪み速度を実現することに成功し、その一軸応力場起因の結晶粒微細化や弾塑性変形挙動、またレーザーアブレーションに関わる過渡的な物質変形状態が可視化された。結晶滑り面作用による無拡散的な超高速相転移機構により、動的超高圧下の物質においてこれまで確認されていなかったさまざまな準安定構造が励起されることが明らかになった。</p> <p>さらに、これまで観測例の無かった <math>10^8 \text{ s}^{-1}</math> 超の超高歪み速度の領域において、材料裏面の応力解放領域における破砕破壊現象のメカニズムとタイムスケールなどが明らかになった。これらにより超高速物質変形における未踏領域のダイナミクスの理解がなされた。</p>
--------------------------	--

整理番号	R-3	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) 惑星物質科学 (英文) Planetary Material Science				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 土屋 卓久・愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター・教授 (英文) Taku TSUCHIYA・Ehime University Geodynamics Research Center・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Stephane MAZEVET・Observatoire de Paris・Director(フランス) Marius MILLOT・LLNL・Researcher(米国) Gianlucca GREGORI・University of Oxford・Professor (英国) Ronald REDMER・University of Rostock・Professor (ドイツ)				

<p>29年度の研究 交流活動及び得 られた成果</p>	<p>(研究交流活動)</p> <p>厳密な惑星深部物質組成を考慮に入れた惑星内部状態を実験室において実現し、光学的およびX線のその場観察実験を行った。石英やケイ酸塩鉱物など地球型の岩石惑星や、水およびアンモニア水溶液など氷惑星(天王星型)の主要構成物質について実験を実施し、第一原理格子動力学および分子動力学計算の結果との比較検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地球型惑星深部に存在するケイ酸塩化合物に関して、超高压データを取得するためのパワーレーザー実験、および相転移メカニズムを解明するためのX線自由電子レーザー実験を実施した。</li> <li>・地球コアに存在する軽元素を含む鉄合金の熔融状態を生成し、その場光反射率測定を行うとともに、理論計算および過去の静的圧縮実験の結果との比較検討を行った。</li> <li>・仏国より研究員5名38日、独国より、研究員4名62日、米国より研究員1名6日、英国より、1名6日、宇都宮大学、広島大から研究者・学生を受け入れるとともに、米国に研究員1名8日、仏国に研究員・学生3名31日を派遣した。</li> </ul> <p>(得られた成果)</p> <p>フォルステライト (<math>Mg_2SiO_4</math>) やエンスタタイト (<math>MgSiO_3</math>) などケイ酸塩鉱物、ケイ素を含有した鉄合金、水-メタン-アンモニア混合液体を模擬した独自の分子性液体または固体試料、などより厳密な惑星深部物質組成を考慮に入れた物質系に関して実験を行い、地球型惑星および巨大氷惑星深部に相当する超高压高温状態の再現と物性のその場実時間計測に成功した。</p> <p>超高压高温の液体金属領域におけるケイ酸塩鉱物の超高压データでは、酸化マグネシウム (<math>MgO</math>) リッチのフォルステライト (<math>Mg_2SiO_4</math>) では不一致結晶化が起こることが示唆されているのに対して、エンスタタイト (<math>MgSiO_3</math>) では全くその兆候が見られないことがわかった。また、固体領域ではフォルステライトにおいて酸素原子面が滑る無拡散タイプの超高速構造変化が起こることが初めて明らかになった。シリコンを7% (質量%) および15%均質に含む鉄合金試料の開発に成功し、地球核相当の熔融状態の生成に成功した。シリコンを含む鉄合金は純鉄に見られるような単純な電気伝導度-圧力の関係を示さないことを実験的に明らかにした。</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>主に岩石惑星（地球型）と氷惑星（海王星型）の深部を再現するとともに、惑星物質の構造や物性、反応速度や物質進化過程を理解するために、パワーレーザーと X 線自由電子レーザーを相補的に利用した実験的研究を展開した。また、未踏超高压相を予測・解明するため、高速物質ダイナミクスを第一原理構造計算に独自に組み込み、超高压高温域の理論計算研究を進展させた。</p> <p>大阪大学、理化学研究所播磨センター、仏エコールポリテクニク、米スタンフォード国立加速研究所などでの国際共同実験を通じて研究交流が活発に行われ、本拠点活動を基に博士学位取得やポスドク雇用がなされた。</p> <p>岩石惑星のマントルを構成するケイ酸塩鉱物の超高压下の状態および構造変化過程が明らかになった。またコアを構成するケイ素を含有する溶融鉄合金の状態決定、および相関係や電気伝導度の推定を可能にした。これにより地球型惑星に関してこれまで未解明であった内部構造と進化過程に関する知見が初めて得られた。氷惑星を構成する混合分子の超高压高温下の状態を明らかにするとともに、分子進化過程を明らかにする手がかりが得られた。これによりこれまで未解明であった氷惑星の異常磁場の生因に関する直接的な証拠が得られた。</p>
---------------------------------	---

整理番号	R-4	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) 光・量子ビーム科学				
	(英文) Laser and Quantum Beam Science				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 矢橋 牧名・高輝度光科学研究センター・ビームライン研究開発グループ・グループディレクター				
	(英文) Makina YABASHI・Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)・Beam Line Research and Development Group・Group Director				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Roger FALCONE・LBNL・Professor, Group Leader(米国), Thomas COWAN・The Dresden University of Technology・Professor (ドイツ) Peter NORREYS・RAL・Professor (英国), Francois AMIRANOFF・Ecole Polytechnique LULI・Director (フランス)				
29年度の研究 交流活動及び得 られた成果	(研究交流活動) HZDR(ヘルムホルツドレスデン研究所)を訪問し、レーザー加速駆動 X 線自由電子レーザーの実現に必要なビーム制御と計測技術、ビームオプティクス等の要素技術に関する情報収集を実施した。さらに、レーザー粒子加速に関して共同研究の可能性について議論した。				

	<p>(6名派遣 5日間)</p> <p>電子ビームを用いたコンパクトな高輝度 X 線源の情報収集を目的に英国インペリアル大学ロンドン校を訪問し、研究推進者と X 線発生、プラズマアンジュレータ、ベータトロン放射光源等に関する議論を行った。(1名派遣 5日間)</p> <p>イタリアエルバ島で開催された欧州先端加速器会議に参加し、米英仏独の研究者と GeV 級電子ビームの安定発生に関する議論と、情報収集を行った。米国の研究者 (LBNL、LLNL、ミシガン大学、UCLA、テキサス大学、) とは、特に、レーザー航跡場加速とレーザー航跡場の直接観測などその計測技術に関する要素技術に関して議論を行った。(2名派遣 9日間)</p> <p>仏シンクロトロン放射光 SOLEIL を訪問し、レーザー加速駆動の自由電子レーザー、フランス応用光学研究所 (LOA) を訪問しレーザー駆動粒子加速電子ビームによる超高速電子線回折について技術交流と議論を行った。(1名派遣 3日間)</p> <p>その後、仏シンクロトロン放射光 SOLEIL チームよりインターンシップとして (3ヶ月間 x2回)、修士課程学生 1 名を阪大に受け入れ研究指導を実施した。</p> <p>(研究交流活動から得られた成果)</p> <p>日英米仏独 5 ヶ国の研究者とのレーザー駆動量子ビームに関する詳細な議論や情報収集を通して、レーザー駆動自由電子レーザーや超高速電子イメージング、レーザー駆動イオンビームの利用などの新たなレーザー加速の方向性について方針を明確にすることができた。また、極短周期アンジュレータ、電子ビーム輸送などの要素技術についても最先端の情報によって具体的な検討を大きく進めることができた。さらに、欧州との交流を進めたことにより欧州レーザー粒子加速分野を含む先端加速器コミュニティー (EuroNACC, EuPLAXIA) のオブザーバーメンバーとして国際ワークショップに参加して成果をアピールすることにより我が国の同分野のプレゼンスを高めることができた。また、メンバーとして、GeV 級の安定なレーザー駆動電子加速の実現へ向けた具体的な要素技術開発に関する情報収集が効率的に行えるようになった。</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>ハイパワーレーザー駆動の光量子ビーム科学研究で最先端を行く欧米（米英仏独）の研究機関と緊密な研究交流を継続的に実施することにより、常に最先端の情報を正確に得ることができた。これにより得られた情報を利用分析し我々独自の研究戦略の策定に役立てることができた。さらに、これらの研究機関の世界第一線の研究者との連携を積極的に進め信頼関係を築き、同時に共同研究のための予備実験や理論研究など具体的なアプローチをより明確にすることができた。</p> <p>さらに、研究交流の過程で連携研究や共同研究の議論も進み、欧州連合の先端加速器プロジェクトの連携パートナーとして認められるなど、国際連携研究や国際共同研究を大きく進展させる足がかりを作ることができた。これらにより、世界の光量子ビーム科学研究のコミュニティの中で我々日本のプレゼンスも高めることもできた。</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	1 回	1 回	2 回	1 回	2 回
海外開催	1 回	1 回	1 回	2 回	1 回
合計	2 回	2 回	3 回	3 回	3 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	<p>(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「高エネルギー密度科学の国際会議 2017」</p> <p>(英文) JSPS Core-to-Core Program “Conference on High Energy Density Sciences 2017 “</p>
開催期間	平成 29 年 4 月 18 日 ~ 平成 29 年 4 月 21 日 (4 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	<p>(和文) 日本、横浜、パシフィコ横浜</p> <p>(英文) Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan</p>
日本側開催責任者氏名・所属・職	<p>(和文) 兒玉了祐・大阪大学大学院工学研究科・教授、レーザー科学研究所・所長</p> <p>(英文) Ryosuke KODAMA・Graduate School of Engineering, Osaka University・Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University・Director</p>



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)
---------------------------------------	------

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.	20 / 80	
	B.	20	
英国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	0	
フランス 〈人／人日〉	A.	4 / 33	
	B.	8	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	2	
米国 〈人／人日〉	A.	1 / 5	
	B.	4	
合計 〈人／人日〉	A.	25 / 118	
	B.	34	

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>本会議は、日仏英米独の5ヶ国の研究者と技術者が一堂に会し、パワーレーザー応用、高強度場科学、先端光源、レーザー駆動粒子加速をテーマに国際会議 HEDS を開催し、最新の研究成果を報告し、情報交換と討論を行う。パワーレーザー応用とレーザー駆動量子ビーム応用に関する国際協力の議論を多国間に広げ、新たな共同研究の可能性を探ることを目的とする。</p>		
セミナーの成果	<p>日英米仏独5ヶ国の研究機関から世界第一線のレーザー駆動量子ビームを主にハイパワーレーザー応用の研究者を集めてセミナーを開催した。セミナーでは我が国の同分野の研究活動を大きく宣伝すると同時に、プレナリー講演、招待講演、口頭発表、ポスター講演を通し、世界最先端のレーザー駆動量子ビーム、レーザー駆動光源、高強度場物理等が報告され、同分野の情報収集とともに活発な議論がなされた。セミナー中には同分野の世界第一線の研究者に対し我が国のパワーレーザー応用研究が大きくアピールされた。さらに2国間・多国間の交流が活発に行われ、連携についても議論された。これらの議論が、欧州レーザー粒子加速コミュニティ (EuPLAXIA) のオブザーバー、国際先端加速器コミッティー ICFA(International Committee for Future Accelerators) への参加に繋がった。</p>		
セミナーの運営組織	<p>Ryosuke KODAMA, Professor, Osaka University  Tomonao HOSOKAI, Associate Professor, Osaka University  Masaki KANDO, Quantum and Radiological Science and Technology  Victor MALKA, Directeur de recherche au CNRS, Ecole Polytechnique, LOA  Chandrashekar JOSHI, Professor, UCLA</p>		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	国内旅費	901,460 円
		会場費	443,065 円
		印刷費	109,988 円
		その他	754,368 円
		合計	2,208,881 円
	(英国) 側	経費負担なし	
	(フランス) 側	外国旅費	

	(ドイツ)側	経費負担なし
	(米国)側	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「高エネルギー密度科学に関する国際ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “International Workshop on High Energy Density Science “
開催期間	平成 29 年 6 月 5 日 ～ 平成 29 年 6 月 8 日 (4 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、和歌山県白浜町、白浜古賀の井リゾート&スパ
	(英文) Shirahama Coganoi Resport & Spa, Shirahama, Wakayama, Japan
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 兒玉了祐・大阪大学大学院工学研究科・教授、レーザーエネルギー学研究センター・センター長
	(英文) Ryosuke KODAMA・Graduate School of Engineering ,Osaka University・Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University・Director
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) なし

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ( 日本 )	
日本 〈人／人日〉	A.	10 / 36	
	B.	15	
英国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	4	
フランス 〈人／人日〉	A.	1 / 6	
	B.	5	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	1	
米国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	23	
合計 〈人／人日〉	A.	11 / 46	
	B.	48	

- 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）

セミナー開催の目的	日仏英のパワーレーザーを用いた最近の成果と今後の展開のための議論を集中的に行うため国際会議を開催する。日仏英だけでなく本事業に参加している独や米国からの研究者も加え、パワーレーザーを用いた高エネルギー密度科学に関する連携強化を図る。	
セミナーの成果	<p>本国際会議の実施により XFEL とハイパワーレーザーの連携の本事業をベースとしたリーダーシップを国際的に示すことができる。仏国・英国の大型パワーレーザー、国際共同研究の可能性を見出すことができた。</p> <p>さらに、英米仏独米国の当分野の進展状況などの効率的な情報収集を行うことができた。展開中の XFEL とパワーレーザーによる高エネルギー密度科学研究レビューを行うことで若手研究者の理解を深めることができた。</p>	
セミナーの運営組織	Ryosuke KODAMA ・ Osaka University ・ Professor Michel KOENIG ・ Ecole Polytechnique (フランス) ・ Directeur de recherche au CNRS	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	国内旅費       104,800 円 消耗品         25,359 円 会場費         370,000 円
	(英国) 側	経費負担なし
	(フランス) 側	外国旅費
	(ドイツ) 側	経費負担なし
	(米国) 側	経費負担なし

整理番号	S-3
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「高エネルギー密度科学に関する日米ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Japan-US workshop on High Energy Density Science “
開催期間	平成 29 年 7 月 10 日 ～平成 29 年 7 月 11 日 (2 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 米国・カリフォルニア LCLS and LLNL
	(英文) LLNL, California US
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 兒玉了祐・大阪大学大学院工学研究科・教授、レーザーエネルギー学研究センター・センター長
	(英文) Ryosuke KODAMA・Graduate School of Engineering, Osaka University・Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University・Director
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) William GOLDSTEIN・Lawrence Livermore National Laboratory・Physical and Life Sciences Directorate・Director

#### 参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ( 米国 )	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	8 / 38	
	B.	4	
英国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	0	
フランス 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	0	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	0	
米国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	22	
合計 〈人／人日〉	A.	8 / 38	
	B.	26	

- 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)

セミナー開催の目的	パワーレーザーに関して米国を代表する拠点であるローレンス・リバモア研究所と大阪大学との大学間協定に基づき、光・量子ビーム科学ならびに高エネルギー密度科学に関する情報交換を行うことを目的とする。また量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所や他機関からの参加により日米間連携に関して情報交換を行うことを目的とする。	
セミナーの成果	本ワークショップの実施によりパワーレーザーによる高エネルギー密度科学の開拓を効率的に日米で実施できる体制が議論された。例えば2国間の議論を通し新たな国際共同研究の可能性を見出すことができた。さらに日米の当分野の進展状況などの効率的な情報収集が期待できた。また新たにリバモア研究所内に設置した大阪大学連携オフィスの活用することが議論され、別途ワークショップが予定・開催されることとなった。	
セミナーの運営組織	Ryosuke KODAMA・Graduate School of Engineering ,Osaka University・Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University・Director William GOLDSTEIN・Lawrence Livermore National Laboratory・Physical and Life Sciences Directorate・Director	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費 1,109,800 円 国内旅費 16,030 円 外国旅費・謝金等に係る消費税 88,782 円
	(英国) 側	経費負担なし
	(フランス) 側	経費負担なし
	(ドイツ) 側	経費負担なし
	(米国) 側	国内旅費

### 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	内容			
6 日間	道根百合奈	電気通信大学 レーザー新世代 研究センター・ 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	カナダ・バンクーバー THE 9TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WARM DENSE MATTER
6 日間	平野 嵩	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・カリフォルニア PhotonDiag 2017 (Workshop on FEL Photon Diagnostics, Instrumentation, and Beamline Design)
8 日間	寺尾 季倫	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	ドイツ・ミュンヘン CLEO/Europe-EQEC 2017 (The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the European Quantum Electronics Conference)
5 日間	中村 浩隆	大阪大学工学研 究科・助教			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	英国・北アイルランド・ベルファスト The 44th European Physical Society Conference on Plasma Physics
8 日間	碓 峻	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・ミズーリ 20th Biennial Conference of the APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter APS Meeting
8 日間	西川 豊人	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・ミズーリ 20th Biennial Conference of the APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter APS Meeting
7 日間	松山 智至	大阪大学大学院 工学研究科・助 教			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・カリフォルニア SPIE Optics + Photonics 2017 (SPIE, the international society for optics and photonics)
9 日間	福田 琢也	宇都宮大学大学 院工学研究科・ 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	フランス・サンマロ IFSA2017 (10th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications)
9 日間	松井隆太郎	京都大学大学院 エネルギー科学 研究科・大学院 生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	フランス・サンマロ IFSA2017 (10th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications)
9 日間	矢野 将寛	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・ウィスコンシン 59th Annual meeting of the APS Division of Plasma Physics
6 日間	両条 玲志	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・ノースカロライナ ASPE 32nd Annual Meeting (American Society for Precision Engineering)
9 日間	岡田 大	量子科学技術研 究開発機構関西 光科学研究所・ 主任技術員			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・カリフォルニア SPIE LASE 2018, the industrial laser, laser source, and laser application conference
5 日間	片桐 健登	大阪大学大学院 工学研究科・大 大学院生			会議 に出席・研究者交 流・情報収集	米国・カリフォルニア The American Physical Society March Meeting 2018

## (2) 全期間にわたる実施状況概要

共同研究、セミナー以外で多くの若手研究者を国際会議に派遣することで、グローバル若手人材育成に役立てることができた。また定例化した国際ウインタースクールでは、多くの日本人学生に多くの刺激を与えることができた。

本拠点事業をもとに学術交流協定を締結(フランス、ドイツ、米国)することで人材交流を加速することができた。さらに交流協定をもとに連携オフィスを設置し効率的な交流を推進した。また本拠点の効果として大阪大学とパリ・サクレ大学との包括協定を結ぶようになりダブルディグリーの学位制度(平成29年6月大学間協定)による博士課程進学希望者が出てきた。

本事業の活動の延長として、4か国に限定することなくルーマニアやロシアとの学術交流協定締結や連携オフィスの設置、クロスアポイントメントによりグローバルな人材交流を加速することができた。

### 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。

中間評価においては、想定以上の成果をあげつつあるA評価であったが、「多数の研究者が共同研究のために本事業の経費を使用しているにもかかわらず、本事業への謝意を示していないというのは問題であろう。具体的な方策は記載されていないが、今後改善するための努力を行っていただきたい。」と指摘いただいている。

本件に関して、当事業による旅費サポート等における条件として謝辞記載を示し、国内的には毎回、本人からの了解を確認できた。また定期的に共同研究者にも謝辞のフォーマットを送付するなどして、本事業のプレゼンス向上を図った。

一方、全期間における関係論文60編のうち本事業記載は50%程度であるが、相手国との共著論文の場合は25%までさがる。事業後半では国内的には改善できたが、海外研究者の場合、直接の研究費(本事業のような旅費等の場合は掲載できにくい状況)以外の支援での掲載に理解が得にくい状況であった。

## 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	英国	フランス	ドイツ	米国	カナダ 【第三国】	デンマーク 【第三国】	イタリア 【第三国】	合計
日本	1		1/10 (0/0)	1/3 (0/0)	1/8 (0/0)	2/15 (1/5)	1/6 (1/6)	1/5 (0/0)	0/0 (0/0)	7/47 (2/11)
	2		0/0 (0/0)	3/24 (2/14)	0/0 (0/0)	8/46 (5/31)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	2/19 (1/13)	13/89 (8/58)
	3		0/0 (0/0)	0/0 (1/9)	6/31 (0/0)	1/6 (1/4)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	7/37 (2/13)
	4		0/0 (0/0)	2/11 (0/0)	1/5 (0/0)	3/17 (1/4)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	6/33 (1/4)
	計		1/10 (0/0)	6/38 (3/23)	8/44 (0/0)	14/84 (8/44)	1/6 (1/6)	1/5 (0/0)	2/19 (1/13)	33/208 (12/88)
英国	1	0/0 (0/0)		( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	2	0/0 (0/0)		( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	3	0/0 (0/0)		( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	4	0/0 (0/0)		( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (0/0)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)
フランス	1	0/0 (4/33)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (4/33)
	2	0/0 (3/26)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (3/26)
	3	0/0 (1/8)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (1/8)
	4	0/0 (6/67)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (6/67)
	計	0/0 (14/134)	0/0 (0/0)							0/0 (14/134)
ドイツ	1	0/0 (1/12)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (1/12)
	2	0/0 (3/30)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (3/30)
	3	0/0 (0/0)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	4	0/0 (0/0)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (4/42)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)						0/0 (4/42)
米国	1	0/0 (1/5)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (1/5)
	2	0/0 (0/0)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	3	0/0 (1/8)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (1/8)
	4	0/0 (0/0)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (2/13)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)					0/0 (2/13)
合計	1	0/0 (6/50)	1/10 (0/0)	1/3 (0/0)	1/8 (0/0)	2/15 (1/5)	1/6 (1/6)	1/5 (0/0)	0/0 (0/0)	7/47 (8/61)
	2	0/0 (6/56)	0/0 (0/0)	3/24 (2/14)	0/0 (0/0)	8/46 (5/31)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	2/19 (1/13)	13/89 (14/114)
	3	0/0 (2/16)	0/0 (0/0)	0/0 (1/9)	6/31 (0/0)	1/6 (1/4)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	7/37 (4/29)
	4	0/0 (6/67)	0/0 (0/0)	2/11 (0/0)	1/5 (0/0)	3/17 (1/4)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	6/33 (7/71)
	計	0/0 (20/189)	1/10 (0/0)	6/38 (3/23)	8/44 (0/0)	14/84 (8/44)	1/6 (1/6)	1/5 (0/0)	2/19 (1/13)	33/208 (32/218)

※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
13/55 (68/256)	0/0 (43/81)	0/0 (56/116)	0/0 (62/152)	13/55 (229/605)

### 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)	32 (28)	31 (24)	30 (52)	34 (89)	32 (33)
受入人数 (人)	0 (13)	0 (10)	0 (13)	0 (25)	0 (20)

※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	1,092,600	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	12,909,533	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	2,055	
	その他の経費	1,915,990	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	1,071,822	
	計	16,992,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,699,200	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		18,691,200	

### 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	1,432	1,495	1,748	1,341	1,092
外国旅費	11,957	11,615	9,175	12,192	12,909
謝金	0	0	0	0	0
備品・消耗品購入費	2	1	271	38	2
その他の経費	1,941	1,905	2,530	1,388	1,915
外国旅費・謝金等に係る消費税(※2)	617	949	773	1,022	1,071
合計	15,952	15,967	14,500	15,984	16,992

※

## 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	10,000 [ポンド]	1,600,000 円相当
フランス	パターン1	20,000 [ユーロ]	2,800,000 円相当
ドイツ	パターン1	20,000 [ユーロ]	2,800,000 円相当
米国	パターン1	10,000 [ドル]	1,100,000 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、フランス、ドイツ、米国ともに当事業による国際ネットワークに必要な資金は獲得できた。特に欧州（フランス）では、欧州連合を基軸とした多国間交流事業（CNRS-GDRI）に応募（フランス - 日本 - ドイツ - 英国連携）し、期間中に採択された。さらに最終年度、延長申請を行い2018年（平成30年度）より4年間で認められ本拠点を通して構築したネットワークやウインタースクールなど連携した人材育成体制を欧州サイドでは、維持できる状況である。