

研究拠点形成事業 平成 26 年度 実施報告書

A. 先端拠点形成型

(※ 該当しない交流形態を削除してください。)

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	大阪大学
(英 国) 拠点機関：	オックスフォード大学
(フランス) 拠点機関：	エコールポリテクニーク
(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
(2 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・平野俊夫

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・兒玉了祐

協力機関：東北大学、宇都宮大学、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、千葉工業大学、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：大阪大学総務企画部国際交流課

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) University of Oxford

(和文) オックスフォード大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：(英文)

Department of Physics・Professor・Justin WARK

協力機関：(英文) Rutherford Appleton Laboratory、Imperial College London、Queen's University

Belfast、University of Essex、University of York、University of Warwick

(和文) ラザフォード・アップルトン・ラボラトリー、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

(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

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、ロゴ. 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. 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。

5-2. 平成26年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

25年度は、仏国より若手研究者をポスドクとして迎え、さらに26年度、英国からの若手研究者をポスドクとして迎えることで、より緊密な共同研究の実施体制を構築する。さらに独国、米国に関しては、人的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。また米国既存の XFEL 装置パワーレーザー施設や建設中の独国 XFEL 装置への計測器等を複数国で検討し我が国の当施設だけでなく米国、独国での共同研究の準備を図る。さらに我が国における XFEL パワーレーザー施設の整備を継続し、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 2013 年より共同研究を開始した。2014 年度はこれをさらに進め、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。

<若手研究者育成>

若手研究者育成を目的に、仏国において XFEL とパワーレーザーによる高エネルギー密度科学に関するウインタースクールを開催する。日仏英独国を中心としたワークショップを同時に開催することで、単にスクールだけでなく研究に直結した議論も行う。これにより若手研究者の実践的教育も期待できる。

<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おり、露国科学アカデミーからも共同研究依頼が来ている。予算・人的資源に関しては大阪大学の独自予算で進めるが、当プログラムと連携することで効率的に国際拠点形成に役立てる。

6. 平成 26 年度研究交流成果

(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。)

6-1 研究協力体制の構築状況

我が国における XFEL パワーレーザー施設の整備を継続し、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した。

英国オックスフォード大学、インペリアル大学、ラザフォード研究所などと日米の XFEL を利用した高エネルギー密度物質共同研究の可能性を議論した。特に我が国 XFEL を利用した研究に関しては、本格的に共同研究推進をめざしオックスフォード大学博士修了学生を大阪大学別予算で雇用した。またこれとは別に英国の光量子ビーム開発プロジェクトにも参加しているインペリアル大学若手研究者を大阪大学助教として雇用するなどし日英の共同研究推進体制の強化を図った。

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 主任研究員を大阪大学客員教授とし招聘した。年間 1 か月以上滞在すること

でより密接な関係を構築できる体制を整えた。さらに大学別予算で仏国エコールポリテクニクを卒業した若手研究者を大阪大学のポスドクとして雇用し、日仏共同研究の体制強化を図った。

独国のレーザーを利用した高エネルギー密度物質、レーザー量子ビーム応用に関する共同研究に関しては独国より別予算で T. Cowan 教授を招聘し議論を深めた。また独国にある欧州 XFEL 所属の若手研究者をクロス・アポイントメント制度により大阪大学でも雇用し、日独の共同研究を推進した。

日米に関しては、レーザー・XFEL 生成 WDM/原子過程に関する共同研究などこれまでの連携を軸にした共同研究を推進した。さらに米国との連携強化を図るための日米ワークショップを次年度開催することとなった。

多国間連携の体制に関しては、我が国の XFEL+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開始した。さらに仏国 CNRS による欧州多国間連携事業 (GDRI) が開始され、日英仏独の共同研究ならびにウインタースクール共同開催などによる人材育成に関する連携体制が整った。

高エネルギー密度物質に関する実験プラットフォームは、我が国の XFEL 施設に XFEL と同期したパワーレーザー装置の運用と整備を行った。また光量子ビーム科学に関しては大阪大学で新たにレーザー加速実験プラットフォームの整備計画を開始した。さらに理化学研究所放射光科学総合研究センター内に大阪大学未来戦略光科学連携センターを正式に設置しパワーレーザーと XFEL の連携による共同研究体制の強化を図った。

6-2 学術面の成果

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る共同研究を推進した。特に、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。

以下に示す 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

- ・日仏英の連合チームが理化学研究所 XFEL と大阪大学のパワーレーザーを連携利用することにより、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。
- ・我が国の XFEL などを利用しレーザー衝撃波による相転移ダイナミクスを明らかにすることを目的に英国オックスフォード大学 J. Wark 教授、G. Gregori 教授等と共同研究を行った。特に J. Wark 教授とは、SACLA (理化学研究所 XFEL) を利用した高压材料物性、G. Gregori 教授とは X 線分光診断に関する共同実験ならびにその準備を行った。またオックスフォード大学よりポスドクを招聘し本格的な共同研究を開始した。
- ・レーザーパルス波形を制御し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

もに構造解析を行うことを目的にフランス（エコールポリテクニク、パリ天文台など）との共同実験を行った。

- ・将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマ設定、診断装置の検討や予備実験の可能性を探ることを目的にドイツ（ドレスデン工科大学、ロストック大学、欧州 XFEL など）との交流を行った。さらに欧州 XFEL ならびに理化学研究所 XFEL の双方で必要な超高速光学計測器が必要とされる条件が明らかになった。
- ・レーザーや X 線による Warm dense matter に関する米国との交流と情報収集を目的に LBNL や LCLS を訪問し議論を行った。米国リバモア研究所より 6 名の研究者が理化学研究所放射光科学総合研究センターならびに大阪大学未来戦略光科学連携センターを訪問し高エネルギー密度科学に関する議論を行うと同時に次年度、日米ワークショップを米国で開催することとなった。

超高压材料科学

- ・パワーレーザー照射時の物質・材料の変形機構、レーザー衝撃波による物質・材料の変形挙動をレーザープラズマ X 線および X 線自由電子レーザーの利用でマクロ・ミクロの両面から明らかにすることを目的にした共同研究交流を英国（オックスフォード大学・インペリアルカレッジロンドンなど）と行った。
- ・パワーレーザーによる物質・材料の強化プロセスならびに高耐力材料開発を目指して米国（NASA・ロスアラモス研究所など）との共同研究交流を行った。
- ・パワーレーザーによる物質・材料の変形および破壊機構を明らかにすることを目的にフランス（エコールポリテクニク、パリ大学など）との共同研究実験を実施した。
- ・レーザープラズマを利用した極限環境下での物質・材料の破壊を理解し高耐力材料開発に役立てることを目的に独国（ドレスデン工科大学など）との検討を開始した。
- ・既存の材料力学では理解されてこなかったピコ・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。
- ・パワーレーザー駆動のマルテンサイト変態組織生成のダイナミクスを直接観察することができ、レーザーピーニングを始めとするレーザープロセスの物理的な理解を深めることができた。これにより、高耐性材料の設計指針の構築に役立てることが可能になった。
- ・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

- ・パワーレーザーを用いて巨大系外惑星内部に匹敵する物質状態の生成を目指した国際共同実験を大阪大学および仏エコールポリテクニクにおいて行った。また、惑星内部状態の物質その場構造解析手法を進展させるため、理化学研究所および高輝度光科学研究センターと連携した X 線自由電子レーザー利用の国際共同実験を行った。
- ・ロシアランダウ理論研究所との連携を含め超高压相状態を理論計算によって予測・解明

するため、パワーレーザーが駆動する動的な高速物質ダイナミクスを第一原理構造計算に組み込むことを目標に、熱力学積分法に基づいた自由エネルギー計算法を第一原理分子動力学法に組み込む独自のプログラム開発を進めた。

- これら共同研究の結果、ケイ酸塩化合物および酸化マグネシウムをはじめとする地球型惑星深部物質に関して惑星内部環境に相当する物質状態の生成に成功した。ケイ酸塩化合物に関しては、液相における新しい反応過程の可能性を初めて提唱し、惑星形成期においてこの過程の重要性を示した。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を示唆する結果を初めて得るなど、惑星科学において重要な知見が得られ始めた。
- 日英仏独参画機関の研究者によって、巨大氷惑星内部状態を解明するための国際共同実験提案に関して議論が開始され、企画提案書の作成を開始した。愛媛大学、大阪大学の研究者および大学院生を仏エコールポリテクニク、パリ天文台などに派遣するとともに、仏エコールポリテクニク、パリ大、パリ天文台から研究者受入れを行って研究交流活動を行った。

光・量子ビーム科学

- 米国ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)を訪問し、ペタワット級レーザーシステム、GeV 級電子ビーム加速を含む光量子ビーム科学に関する情報収集を行いつつ、共同研究の可能性について議論を行った。加速 GeV 電子の発生ならびに診断手法だけでなく、量子ビームを安定的に発生するうえで重要な超高強度レーザーの制御性や安定性に関する技術に関して情報収集を行うことができた。
- ハンブルク大学、DESY(ドイツ電子シンクロトロン研究所)、SLAC(米国スタンフォード直線加速器センター)、を訪問し、コンパクト XFEL 開発、高強度レーザーと XFEL の利用による新たな極限物質科学の推進について情報収集と議論を行った。
- 英国(インペリアル大学)を訪問しレーザー駆動電子加速およびレーザー加速電子とプラズマ航跡場によるベータトロン放射(コヒーレントパルス X 線)を利用したイメージング実験に関して議論し今後の連携についても議論した。またレーザー駆動電子源を用いた極短パルス電子線回折実験およびレーザープラズマ加速に関して情報交換と議論を行った。
- 仏国タレスレーザー社(パリ)、を訪問し、最新のペタワットレーザー開発状況を調査しレーザー加速に適した超高強度多ビームシステムに関する情報収集と将来のレーザー加速プラットフォームに必要な光学技術に関する議論を行った。

6-3 若手研究者育成

若手研究者を共同実験に参加させるとともに、H25 年度に引き続き、大阪大学客員教授として仏国のコーディネーターである M. Koenig 主任研究員を招聘し若手研究者・大学院生を対象としたセミナーやコロキウムを開催した。さらに大学独自予算により H25 年度に引き続き、新たにイギリスからも若手研究者をポスドクとして招聘した。また欧州 XFEL の若手

研究者をクロス・アポイントメント制度により大阪大学で雇用し共同研究を推進した。これらとは別に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。

また仏国 CNRS の欧州連合多国間連携（仏日英独）事業（GDRI）と連携して若手研究者育成を目的に、仏国において XFEL とパワーレーザーによる高エネルギー密度科学に関するウィンタースクールを開催し、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。

6-4 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おり、H25 年度より露国科学アカデミーからも共同研究依頼が来ていたが、H26 年度には、正式に研究協定を結ぶことができた。この共同研究は、予算・人的資源に関しては大阪大学の独自予算で進めており、ロシア科学者を招聘し、効率的な共同研究を開始した。当プログラムと連携することでパワーレーザーと XFEL による極限物質科学開拓に関し、ロシアを含めた多国間連携の共同研究を効率的に推進できる国際拠点形成に役立てることができた。

6-5 今後の課題・問題点

昨年度同様、共同研究の成果発表に対して、研究費そのものをサポートする事業と異なる当支援事業名を出すことに対する考え方が必ずしも国内外で共有されなかった。引き続き連携研究者に対してできるだけ本件に関する理解を得る努力をする。

計画目標の達成に向けた課題：現在、XFEL とパワーレーザーが連携した施設は世界に2台しかない。また、欧州 XFEL も同様の施設を建設中であり完成時を考慮した連携が開始されている。このためにも、本アライアンスが中心となった多ヶ国間連携が今後、必要不可欠である。

6-6 本研究交流事業により発表された論文

平成26年度論文総数 2本

相手国参加研究者との共著 2本

（※ 「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26年度研究交流実績状況

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 (英文) Ryosuke Kodama・Graduate School of Engineering, Osaka University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Justin WARK・University of Oxford (英国)・Professor Michel KOENIG・Ecole Polytechnique (フランス)・Directeur de recherche au CNRS Roger FALCONE・LBNL (米国)・Professor Thomas COWAN・The Dresden University of Technology (ドイツ)・Director				
参加者数	日本側参加者数	20名			
	(英国) 側参加者数	4名			
	(フランス) 側参加者数	8名			
	(ドイツ) 側参加者数	3名			
	(米国) 側参加者数	6名			
26年度の研究 交流活動	<ul style="list-style-type: none"> ・我が国のXFELなどを利用しレーザー衝撃波による相転移ダイナミクスを明らかにすることを目的に英国オックスフォード大学J.Wark教授、G. Gregori教授等と共同研究を行った。特にJ.Wark教授とは、SACLA(理化学研究所XFEL)を利用した高圧材料物性、G. Gregori教授とはX線分光診断に関する共同実験ならびにその準備を行った。またオックスフォード大学よりポスドクを招聘し本格的な共同研究推進を開始した。 ・レーザーパルス波形を制御し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うことを目的にフランス(エコールポリテクニク、パリ天文台など)との共同実験を行った。またエコールポリテクニクM.Koenig主任研究員を大阪大学客員教授とし、また別予算で26年度から大阪大学ポスドクとして受入れているエコールポリテクニク出身の若手研究者をフランスに頻繁に派遣し、日仏共同研究の強化を図った。 ・レーザーやX線によるWarm dense matterに関する米国との交流と情報収集を目的にLBNLやLCLSを訪問し議論を行った。米国リバモア研究所より6名の研究者が理化学研究所放射光科学総合研究センターならびに大阪大学未来戦略光科学連携センターを訪問し高エネルギー密度科学に関する議論を行うと同時に次年度、日米ワークショップを米国で開催することとなった。 ・将来の欧州XFEL稼働を考慮した共同研究のテーマ設定、診断装置の検討や予備実験の可能性を探ることを目的にドイツ(ドレスデン工科大学、ロストック大学、欧州XFELなど)との交流を行った。特に大阪大学と欧州XFELでクロスアポイントメント制度により研究者を雇用し、効率的な計測器開発を開始した。 				
26年度の研究 交流活動から得	<ul style="list-style-type: none"> ・理化学研究所XFELと大阪大学のパワーレーザー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 				

<p>られた成果</p>	<p>ピコ秒以下の時間分解で明らかにすることができた。その結果、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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・レーザーで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うことで高エネルギー密度物質科学のみならず惑星科学にも役立つ鉄のデータベースを構築できた。 ・レーザーや X 線レーザーで生成される Warm dense matter を X 線分光および X 線イメージング診断し、その生成過程を実験的に明らかにするデータを取得できるようになった。さらに本事業による参加国外のロシア研究者による理論的な解析を開始した。 ・将来の欧州 XFEL 稼働を考慮した共同研究のテーマ設定と予備実験の可能性などを検討した。さらに欧州 XFEL ならびに理化学研究所 XFEL の双方で必要な超高速光学計測器が必要とされる条件が明らかになった。
--------------	---

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 (英国)・Professor				
	Omar HATAMLEH・NASA (米国)・Researcher				
	Michel KOENIG・Ecole Polytechnique (フランス)・Directeur de recherche au CNRS				
参加者数	日本側参加者数	12名			
	(英国)側参加者数	3名			
	(フランス)側参加者数	5名			
	(ドイツ)側参加者数	2名			
	(米国)側参加者数	2名			
26年度の 研究交流活動	<ul style="list-style-type: none"> ・パワーレーザー照射時の物質・材料の変形機構、レーザー衝撃波による物質・材料の変形挙動をレーザープラズマ X 線および X 線自由電子レーザーの利用でマクロ・ミクロの両面から明らかにすることを目的にした共同研究交流を英国(オックスフォード大学・インペリアルカレッジロンドンなど)と行った。 ・パワーレーザーによる物質・材料の強化プロセスならびに高耐力材料開発を目指して米国(NASA・ロスアラモス研究所など)との共同研究交流を行った。 ・パワーレーザーによる物質・材料の変形および破壊機構を明らかにすることを目的にフランス(エコールポリテクニク、パリ大学など)との共同研究実験を実施した。 ・レーザープラズマを利用した極限環境下での物質・材料の破壊を理解し高耐力材料開発に役立てることを目的に独国(ドレスデン工科大学など)との検討を開始した。 				
26年度の研 究交流活動か ら得られた成 果	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の材料力学では理解されてこなかったピコ-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。 ・パワーレーザー駆動のマルテンサイト変態組織生成のダイナミクスを直接観察することができ、レーザーピーニングを始めとするレーザープロセスの物理的な理解を深めることができた。これにより、高耐性材料の設計指針の構築に役立てることが可能になった。 ・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。これにより、動的超高压下の物質材料挙動の理解を加速的に深めることが可能になる。 				

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) Serge BOUQUET・CEA・Senior Scientist Raymond SMITH・LLNL・Researcher				
参加者数	日本側参加者数	8名			
	(フランス) 側参加者数	4名			
	(米国) 側参加者数	4名			
26年度の研 究交流活動	<p>パワーレーザーを用いて巨大系外惑星内部に匹敵する物質状態の生成を目指した国際共同実験を大阪大学および仏エコールポリテクニクにおいて行った。また、惑星内部物質の相関係およびカイネティクスを理解するために、惑星内部条件におけるリアルタイムその場構造解析手法を行い、さらに進展させるため、理化学研究所および高輝度光科学研究センターと連携したX線自由電子レーザー利用の国際共同実験を行った。</p> <p>また、未踏の超高压相状態を理論計算によって予測・解明するため、パワーレーザーが駆動する動的な高速物質ダイナミクスを第一原理構造計算に組み込むことを目標に、熱力学積分法に基づいた自由エネルギー計算法を第一原理分子動力学法に組み込む独自のプログラム開発を進めた。</p> <p>また、日英仏独参画機関の研究者によって、巨大氷惑星内部状態を解明するための国際共同実験提案に関して議論が開始され、企画提案書の作成を開始した。愛媛大学、大阪大学の研究者および大学院生を仏エコールポリテクニク、パリ天文台などに派遣するとともに、仏エコールポリテクニク、パリ大、パリ天文台から研究者受入れを行って研究交流活動を行った。</p>				
26年度の研 究交流活動か ら得られた成 果	<p>ケイ酸塩化合物および酸化マグネシウムをはじめとする地球型惑星深部物質に関して惑星内部環境に相当する物質状態の生成に成功し、マクロ状態量の計測結果から、固体-固体および個体-液体相関係を明らかにするとともに、実験理論の両者において高い整合性を確認することに成功した。また、ケイ酸塩化合物に関しては、液相における新しい反応過程の可能性を初めて提唱し、惑星形成期においてこの過程の重要性を示した。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初めて示唆されるなど、惑星科学において重要な知見が得られ始</p>				

	<p>めている。</p> <p>X線自由電子レーザーを用いた国際共同実験においては、惑星深部物質においてフェムト秒時間分解の結晶構造変化が観察可能であることが初めて実証された。マクロ状態量を独立に観察するための計測機器の開発についても共同で実施することができた。</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・理化学研究所・放射光科学研究センター・チームリーダー (英文) Makina YABASHI・RIKEN Harima Institute・Team leader				
相手国側代表 者 氏名・所属・ 職	(英文) Roger FALCONE・LBNL(米国)・Professor Thomas COWAN・The Dresden University of Technology (ドイツ)・Director Peter Norreys・RAL (英国)・Professor Francois AMIRANOFF・Ecole Polytechnique LULI (フランス)・Director				
参加者数	日本側参加者数	8 名			
	(英国) 側参加者数	2 名			
	(フランス) 側参加者数	3 名			
	(ドイツ) 側参加者数	2 名			
	(米国) 側参加者数	3 名			
26年度の研 究交流活動	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハンブルク大学、DESY(ドイツ電子シンクロトロン研究所)、SLAC(米国スタンフォード直線加速器センター)、を訪問し、コンパクトXFEL 開発、高強度レーザーと XFEL の利用による新たな極限物質科学の推進について情報収集と議論を行った。 ・ 米国ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)を訪問し、ペタワット級レーザーシステム、GeV 級電子ビーム加速を含む光量子ビーム科学に関する情報収集を行いつつ、共同研究の可能性について議論を行った。 ・ 英国(インペリアル大学)を訪問しレーザー駆動電子加速およびレーザー駆動コヒーレントパルス X 線イメージング実験に関して議論し、加えて今後の連携についても議論した。 ・ レーザー駆動電子源を用いた極短パルス電子線回折実験およびレーザープラズマ加速に関して情報交換と議論を行った。 				
26年度の研 究交流活動か ら得られた成 果	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハンブルク大学、DESY、SLAC でのレーザー駆動コンパクト XFEL 開発と極限物質科学の議論を通じてそれぞれ予備実験や理論研究など具体的なアプローチを明確化することができた。また、共同研究についての議論も進めることができた。 ・ ローレンスバークレー国立研では既に運用が開始されているペタワットレーザーシステムに関する貴重な情報を得る事ができ、今後の我々の光量子ビーム技術の最適化に極めて有効に役立てる事ができた。 ・ 英国・仏国との議論によって、光量子ビーム、加速器技術、電子線回折や極短電子線イメージング等の具体的かつ有用な情報を多数得ることができた。 				

7-2 セミナー

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 「高いエネルギー密度の科学会議 2014」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Conference on High Energy Density Sciences 2014“
開催期間	平成 26 年 4 月 22 日 ~ 平成 26 年 4 月 25 日 (4 日間)
開催地 (国名、都市名、 会場名)	(和文) 日本・横浜・パシフィコ横浜
	(英文) Japan・Yokohama・Pacifico Yokohama
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 兒玉了祐・大阪大学・教授
	(英文) Ryosuke Kodama・Osaka University・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)

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (日本)	
	A.	B.
日本 〈人/人日〉	29/ 86	43
英国 〈人/人日〉	0/ 0	1
フランス 〈人/人日〉	2/ 12	1
ドイツ 〈人/人日〉	0/	0
米国 〈人/人日〉	1/ 6	5
その他 〈人/人日〉	0/ 0	6
合計 〈人/人日〉	32/ 104	56

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	2013年4月の高エネルギー密度科学国際シンポジウム HEDS2013 に引き続き、2014年も国際シンポジウム HEDS2014 を開催し日仏英米独の5ヶ国連携を推進する。シンポジウムのテーマをレーザー駆動粒子加速とその応用研究、さらにパワーレーザーとXFELの連携利用に設定し、同分野における我が国のリーダーシップを示すとともに、最先端情報の効率的な収集を行い、国際協力に関する議論を多国間に広げ、新たな学術の展開と共同研究ネットワーク構築の可能性を探ることを目的とした。				
セミナーの成果	シンポジウムには当分野の世界トップレベルの研究者が集まり最先端の講演と議論を行う事で本事業の国際的プレゼンスを示した。本シンポジウムの実施によりレーザー駆動粒子加速研究、ハイパワーレーザー応用、XFELとハイパワーレーザーの連携利用に関する議論を2国間・多国間においても我が国主導で進めることができ、我が国の当分野におけるリーダーシップを国際的に示しつつ、新たな国際共同研究の可能性も見出すことができた。さらに、英米仏独の当分野の進展状況などの最新の情報収集を行うと共に、若手研究者、大学院生を積極的に参加させることで若手人材育成にも役立てることが出来た。				
セミナーの運営組織	Ryosuke KODAMA, Professor, Osaka University, Japan Tomonao HOSOKAI, associate professor, Osaka University, Japan Chan JOSHI, Professor, University of California, Los Angeles, (UCLA), USA Victor MALKA, Directeur de recherche au CNRS, Ecole Polytechnique, France Georg Korn, Director, Max Planck Quantum Physics Institute, Germany				
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	国内旅費 会場費 印刷費 その他 合計	金額	1,124,250 円 320,760 円 109,772 円 1,214,075 円 2,768,857 円
	(英国)側				
	(フランス)側	内容	外国旅費		
	(ドイツ)側				
	(米国)側	内容	外国旅費		

7-2 セミナー

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 「日仏ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program "France-Japan Workshop on High Energy Density Plasmas and the 1st France-Japan Winter School"
開催期間	平成 27 年 2 月 1 日 ~ 平成 27 年 2 月 6 日 (6 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) フランス・モンジェネヴル・ヴィレッジクラブ
	(英文) France・Montgenevre・Village Club
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 兒玉了祐・大阪大学・教授
	(英文) Ryosuke Kodama・Osaka・University 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) Michel KOENIG・Ecole Polytechnique (フランス)・ Directeur de recherche au CNRS

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (フランス)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	12 / 106
	B.	34
英国 〈人／人日〉	A.	1 / 7
	B.	10
フランス 〈人／人日〉	A.	6 / 7
	B.	17
ドイツ 〈人／人日〉	A.	1 / 7
	B.	7
米国 〈人／人日〉	A.	0 / 0
	B.	0
スイス 〈人／人日〉	A.	0 / 0
	B.	1
合計 〈人／人日〉	A.	20 / 127
	B.	69

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	事業推進する日仏英独が中心となって、XFEL とパワーレーザーによる高エネルギー密度科学に関するウインタースクールおよびワークショップを開催することにより、高エネルギー密度科学研究に関する最先端の話題を共有し、日欧両者における同分野のコミュニティを広げること、若手研究者の育成することを目的とする。			
セミナーの成果	仏国、独国、英国や他の欧州諸国の第1線で活躍する研究者による講演および講義を受講し、彼らとの集中的な議論の場で交流を持つことはスクール・ワークショップに参加する大学院生・若手研究者にとって貴重な機会であった。参加した大学院生による会議報告が日本高圧力学会誌に投稿されている。また単にスクールだけでなく、研究に直結した議論も行うことができ、日英仏独共同での国際共同実験の企画提案の議論に参加するなど、若手研究者にとって国際的な実践教育を行うことができた。			
セミナーの運営組織	Michel Koenig、兒玉了祐			
開催経費 分担内容 と金額	日 本 側	内容	外国旅費	金額 1,124,250 円
	(英 国) 側	内容	外国旅費	
	(フランス) 側	内容	国内旅費 その他	
	(ドイツ) 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）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
千葉工業大学 研究員 黒澤 耕介	フランス ボルドー メルキュール・ボルドー・サントル	2014/5/10 - 2014/5/17	the 10th International Conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics (HEDLA2014)への参加
大阪大学 准教授 尾崎 典雅	アメリカ ニューイングランド大学	2014/6/21 - 2014/6/28	Gordon Research Conference "High Pressure, Research at Tuning Energy Density to Reveal or Control Properties of Extreme Matter"への参加
大阪大学 特任講師 中新 信彦	アメリカ サンノゼ ドルチェ・ヘインズ・マンション	2014/7/13 - 2014/7/19	16th Advanced Accelerator Concepts Workshop (AAC 2014)への参加
宇都宮大学 研究員 大塚 崇光	アメリカ ニューオリンズ ニューオリンズマリオートホテル	2014/10/25 - 2014/11-/2	56th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physicsへの参加
大阪大学 准教授 佐野 智一	アメリカ ボストン ボストンハインズ・コンベンション・センター	2014/12/3 - 2014/12/14	MRS Fall Meetingへの参加 ※内 2014/12/6 - 2014/12/12 は付加用務

8. 平成26年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先	四半期	日本	イギリス	フランス	ドイツ	アメリカ	合計
日本	1		0/0 (0/0)	1/8 (0/0)	0/0 (1/5)	1/8 (1/5)	2/16 (2/10)
	2		0/0 (1/13)	1/2 (0/0)	1/3 (0/0)	2/14 (1/8)	4/19 (2/21)
	3		0/0 (0/0)	1/25 (1/5)	0/0 (1/5)	3/23 (0/0)	4/48 (2/10)
	4		3/11 (0/0)	9/77 (6/69)	1/3 (0/0)	8/40 (0/0)	21/131 (6/69)
	計		3/11 (1/13)	12/112 (7/74)	2/6 (2/10)	14/85 (2/13)	31/214 (12/110)
イギリス	1	(0/0)		()	()	()	0/0 (0/0)
	2	(1/4)		()	()	()	0/0 (1/4)
	3	(0/0)		()	()	()	0/0 (0/0)
	4	()		(1/7)	()	()	0/0 (1/7)
	計	0/0 (1/4)		0/0 (1/7)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (2/11)
フランス	1	(2/42)	()		()	()	0/0 (2/42)
	2	(2/18)	()		()	()	0/0 (2/18)
	3	(1/8)	()		()	()	0/0 (1/8)
	4	(2/16)	()		()	()	0/0 (2/16)
	計	0/0 (7/84)	0/0 (0/0)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (7/84)
ドイツ	1	(0/0)	()	()		()	0/0 (0/0)
	2	(1/4)	()	()		()	0/0 (1/4)
	3	()	()	()		()	0/0 (0/0)
	4	()	()	(1/7)		()	0/0 (1/7)
	計	0/0 (1/4)	0/0 (0/0)	0/0 (1/7)		0/0 (0/0)	0/0 (2/11)
アメリカ	1	(1/6)	()	()	()		0/0 (1/6)
	2	(0/0)	()	()	()		0/0 (0/0)
	3	(0/0)	()	()	()		0/0 (0/0)
	4	()	()	()	()		0/0 (0/0)
	計	0/0 (1/6)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)		0/0 (1/6)
合計	1	0/0 (3/48)	0/0 (0/0)	1/8 (0/0)	0/0 (1/5)	1/8 (1/5)	2/16 (5/58)
	2	0/0 (4/26)	0/0 (1/13)	1/2 (0/0)	1/3 (0/0)	2/14 (1/8)	4/19 (6/47)
	3	0/0 (1/8)	0/0 (0/0)	1/25 (1/5)	0/0 (1/5)	3/23 (0/0)	4/48 (3/18)
	4	0/0 (2/16)	3/11 (0/0)	9/77 (8/83)	1/3 (0/0)	8/40 (0/0)	21/131 (10/99)
	計	0/0 (10/98)	3/11 (1/13)	12/112 (9/88)	2/6 (2/10)	14/85 (2/13)	31/214 (24/222)

※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。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
25/72 (45/142)	0/0 (24/25)	0/0 (45/155)	0/0 (28/40)	25/72 (142/362)

9. 平成26年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	1,495,948	
	外国旅費	11,615,449	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	1,387	
	その他の経費	1,905,503	
	外国旅費・謝 金等に係る消 費税	949,490	
	計	15,967,777	
業務委託手数料		1,596,000	消費税額は 内額とする。
合 計		17,563,777	

10. 平成26年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成26年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
英 国	6,000 [ポンド]	750,000 円相当
フランス	60,000 [ユーロ]	6,000,000 円相当
ドイツ	40,000 [ユーロ]	4,000,000 円相当
米 国	20,000 [ド ル]	1,600,000 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。