

**平成29年度 研究拠点形成事業(A. 先端拠点形成型)
中間評価資料(進捗状況報告書)**

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	スピunkラリティを軸にした先端材料コンソーシアム		
日本側拠点機関名	広島大学		
コーディネーター 所属部局・職名・氏名	理学研究科および キラル物性研究拠点・教授・井上 克也		
相手国側	国名	拠点機関名	コーディネーター所属部局・職名・氏名
	英国	グラスゴー大学	School of Physics & Astronomy ・ Professor ・ Robert STAMPS
	ロシア	ウラル連邦大学	Institute of Natural Sciences ・ Professor ・ Alexander OVCHINNIKOV

2. 研究交流目標

申請時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

○申請時の研究交流目標

現在、左右対称性（キララ対称性）が破れた結晶構造を持つキララ磁性体の研究が世界的規模で活発に進行している。この種の磁性体では結晶の形態がスピン軌道相互作用を通してスピン系に転写される結果、スピン磁気モーメントが左右いずれかの巻き方（キララリティ）を保持して配列したキララらせん磁気秩序が実現する。結晶キララリティに由来するこれらの構造は欠陥に対する頑丈さと外場に対する柔軟さを併せ持ち、THz 領域に及ぶ光学活性などスピントロニクスに新境地を拓く可能性が期待されている。研究代表者らは「自然結晶の対称性を指導原理とする磁性機能制御」という明確な指針のもと研究成果を積み上げこの研究分野を牽引してきた。本事業において“キララ物性研究”をより総合的かつ効果的に推進するための研究コンソーシアムを形成する。これまで個別に共同研究を進めていた日・露・英のそれぞれのグループが得意とする理論・材料創製・計測の知見を結集し、各パートが重なりを持ちつつシナジー効果を発揮する研究体制を整え、以下の目標を達成する。

- 1) キララ磁性結晶の幅を飛躍的に広げ（①材料創製）、理論的に予測されている様々なキララ物性機能を実証し（②計測）、キララ磁性体特有の機能創出に関する基礎学理（③理論）を確立する。
- 2) 現時点で別々の学問分野として研究されている磁気光学材料設計、プラズモニクス、スピントロニクス現象を統合する研究領域を創成し（計測&理論）、次世代情報通信技術（THz 帯域作動、非散逸位相流、非減衰ソリトン伝送など）に資する先端材料を開拓する（材料創製）。
- 3) 国内外問わずに活躍する若手研究者を育成し、将来に渡る国際ネットワーク形成の基盤を与える。

○目標に対する達成度とその理由

上記目標に対する2カ年分の計画について、

- 十分に達成された
- 概ね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

【理由】

個々の課題の達成状況の概要を以下に示す。

1) ①キラル磁性結晶の材料創製：

・右左の結晶育成が困難であった、金属的キラル磁性体 CrNb₃S₆ および絶縁体キラル磁性体 CsClCl₃ の左右作り分けができるようになり、現在では安定供給までこぎつけた。3年目に達成する目標であったが、初年度に達成した。

②③キラル物性機能計測・理論解析：

・マクロスケールキラルスピン位相オーダー状態の特徴である離散的磁気抵抗、磁化の観測に成功した。
・サブ THz 帯域の電波による非相反効果の観測に成功した。

以上のように、①合成、②物性測定、③理論解析それぞれで、目標を超える成果が得られている。特に合成の金属性および絶縁体のキラル磁性体の左右作り分けと安定成長および離散的物性の測定成功、非相反効果の観測は特筆すべき成果である。

2) 現時点で別々の学問分野として研究されている磁気光学材料設計、プラズモニクス、スピントロニクス現象を統合する研究領域を創成し（計測&理論）、次世代情報通信技術（THz 帯域作動、非散逸位相流、非減衰ソリトン伝送など）に資する先端材料を開拓する（材料創製）。

キラルプラズモニクスの研究グループである、自然科学研究機構分子科学研究所岡本グループおよびグラスゴー大学 M. Kadodwala グループとキラル磁性研究グループである広島大学キラル物性研究拠点、グラスゴー大学 R. Stamps グループ、S. Arnold グループおよびウラル連邦大学チーム間で数多くの研究テーマが新しくスタートし、それに伴う人的交流が活発になっている。

3) 国内外問わずに活躍する若手研究者を育成し、将来に渡る国際ネットワーク形成の基盤を与える。若手の会、キラル哲学会、若手研究者交流等を通じて、これまで積極的に若手研究者育成を進めてきた。特筆すべきものとしては、以下が挙げられる。

・発足時キラル物性研究グループの学生であった2名が出身研究室と異なる Core プロジェクト内の研究グループスタッフとして採用された。

・ロシア側拠点機関および英国側拠点機関出身の研究者が日本国内の Core プロジェクト内の研究グループ研究員（ポスドク）として他経費（科研費）で継続して雇用している。

3. これまでの研究交流活動の進捗状況

(1)これまで(平成 29 年 3 月末まで)の研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。※各年度における派遣及び受入実績については、「中間評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

申請時の目標は「現時点で別々の学問分野として研究されている磁気光学材料設計、プラズモニクス、スピントロニクス現象を統合する研究領域を創成し（計測&理論）、次世代情報通信技術（THz 帯域作動、非散逸位相流、非減衰ソリトン伝送など）に資する先端材料を開拓する（材料創製）」であった。この目標に対して以

下の新しい共同研究体制構築状況まで2年間で達成した。

キラルプラズモニクスの研究グループである、自然科学研究機構分子科学研究所岡本グループ (Okamoto) およびグラスゴー大学 M. Kadodwala グループ (Kadodwala) とキラル磁性研究グループである広島大学キラル物性研究拠点 (CCS)、グラスゴー大学 R. Stamps グループ (Stamps)、S. Arnold グループ (Arnold) およびウラル連邦大学チーム (Ural) 間で以下の研究テーマが新しくスタートした。それに伴う人的交流が活発になっている。

- ・キラルシングルドメイン結晶の精密育成 (CCS & Ural)
- ・キラルスピニコヒーレント整列状態とキラルプラズモンの相互作用 (CCS & Okamoto & Kadodwala)
- ・サブ THz 帯域電波のキラル磁性体によるソリトン共鳴 (Stamps & Ural & CCS)
- ・可視光領域やサブ THz 帯域電波でのキラル磁性体による非相反効果 (Stamps & CCS)
- ・アキラルな構造体と光電場の相互配置の制御によるキラルプラズモン発生とそのキラル分子との相互作用 (Okamoto & Kadodwala)
- ・2次元的なキラル構造体におけるキラルプラズモンと光学活性の基礎的挙動 (Okamoto & Kadodwala)
- ・キラルなプラズモンと磁性の相互作用による光学活性 (Okamoto & CCS)
- ・キラルプラズモン励起の磁気光学効果に対する効果 (Okamoto & Kadodwala)
- ・キラルプラズモンと分子の相互作用の発光特性に対する効果 (Okamoto & Kadodwala)
- ・光学活性による顕微イメージング法の開発 (Okamoto & Kadodwala)
- ・キラルプラズモンを用いたマグノン特性の制御 (CCS & Stamps & Kadodwala & Okamoto)
- ・Optical zilch の意義の再考察とキラル応答への展開 (CCS & Ural & Arnold)
- ・ピクセル型検出器の開発と高感度位相測定への応用 (Stamps & Ural & CCS)
- ・電子線を用いた高速時間分解ダイナミクス (Stamps & Ural & CCS)

○セミナー

	平成27年度	平成28年度
国内開催	2回	5回
海外開催	2回	1回
合計	4回	6回

【概要】

研究会は学術的研究会および若手育成研究会に分けられ、学術的研究会のうち規模の大きい順番で国際会議、国内セミナー(トピカルミーティング)、ブレインストーミング会に分けられる。若手育成研究会としては、キラル哲学会、若手の会がある。国際会議の開催実績は表のとおりである。

○研究者交流

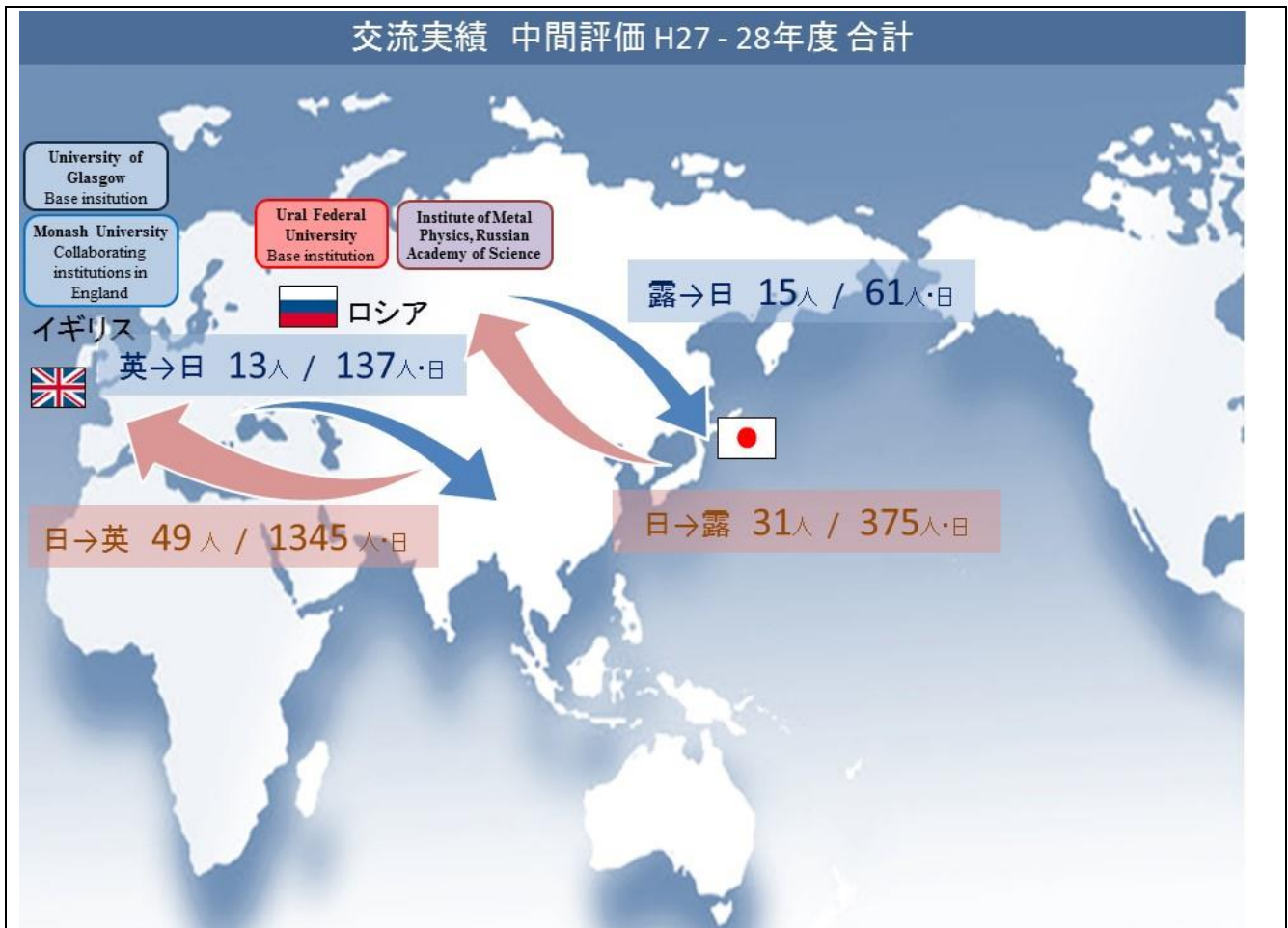
【概要】

国際会議、セミナー等を利用して、活発な交流が行われている。

日本国内拠点機関と海外拠点機関との間で本経費を用いて2年間でのべ73人・812人.日の交流があった。

・日本国内拠点機関と海外拠点機関との間で学術交流協定、JSPSサマープログラム、科研費などの他経費を用いて2年間で のべ116人・1985人.日の交流があった。

交流実績 中間評価 H27 - 28年度 合計



(2)(1)の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、「学術的側面」、「若手研究者の育成」、及び「研究交流拠点の構築」の観点から記入してください。

○学術的側面

1) ①キラル磁性結晶の材料創製：

- ・右左の結晶育成が困難であった、金属的キラル磁性体 CrNb₃S₆ および絶縁体キラル磁性体 CsClCl₃ の左右作り分けができるようになり、現在では安定供給までこぎつけた。
- ・シングルキラルドメイン結晶が育成不可能であった (Ohsimi H, Arima T, et. al., Angew Chem.,) CsClCl₃ のキラルシングルドメイン単結晶の育成に成功した。

(<http://home.hiroshima-u.ac.jp/kotai/KibanS/t005/t005/index.html> に写真掲載) 現在安定供給され測定が進んでいる。

②キラル物性機能計測：

- ・離散的磁気抵抗の観測に成功した。(Togawa Y, Kishine J, Inoue K, et. al., Phys. Rev. B, 2015, 文部科学省で記者会見 2015. 12. 15)
- ・離散的磁化の観測に成功した。(Mito M, Kishine J, Inoue K, et. al., J. Appl. Phys, 2016)
- ・サブ THz 帯域の電波によるキラル磁気共鳴の観察に成功した。(T. Goncalves, K. Inoue, J. Kishine, Y. Togawa, Phys. Rev. B, B 2017)
- ・サブ THz 帯域の非相反効果の観測に成功した。(T. Goncalves, K. Inoue, J. Kishine, Y. Togawa, in preparation)

③機能創出に関する基礎学理（理論）の確立

- ・FeGe 薄膜の表面磁気異方性と Skyrmion の安定性を解明。(" Chiral surface twists and skyrmion stability

in nanolayers of cubic helimagnets”, A. O. Leonov, Y. Togawa, A. N. Bogdanov, J. Kishine, K. Inoue, et. al., Phys. Rev. Lett., 117, (2016))

・対称性の低いキラル skyrmion の理論的予測。(“ Spintronics via non-axisymmetric chiral skyrmions”, A. O. Leonov, A. N. Bogdanov, et. al., APPL. PHYS. LETT., 109, 172404 (2016))

・C-IC 転移点に関する理論予測。(“ Incommensurate-commensurate transitions in the monoaxial chiral helimagnet driven by the magnetic field”, V. Laliena, J. Kishine, AS. Ovchinnikov, Y. Togawa, K. Inoue, Phys. Rev. B, 93, 134424/9 (2016))

以上のように、①合成、②物性測定、③理論解析それぞれで、目標を超える成果が得られている。特に合成の金属性および絶縁体のキラル磁性体の左右作り分けと安定成長および離散的物性の測定成功、スキルミオンまでの理論的考察は特筆すべき成果である。

○若手研究者の育成

3) 国内外問わずに活躍する若手研究者を育成し、将来に渡る国際ネットワーク形成の基盤を与える。

若手の会、キラル哲学会、若手研究者交流等を通じて、これまで積極的に若手研究者育成を進めてきた。

特筆すべきものとしては、以下が挙げられる。

・キラル物性研究グループの大阪大学萩原研究室出身の吉澤大智氏が日本側拠点である自然科学研究機構分子科学研究所メゾスコピック計測研究センター繊細計測研究部門助教として採用された。なお当該部門はキラルプラズモニクス研究の岡本グループが属しており、キラル磁性とキラルプラズモニクスの融合研究が進んでいる左証でもある。

・キラル物性研究グループの九州工業大学美藤研究室出身の鶴田一樹氏が、キラル磁性体の共同研究を進めている高輝度放射光センター (SPring-8) の研究員として理研に採用された。

・ロシア側拠点機関のウラル連邦大学 A. Ovchinnikov 研究グループで博士号を取得した、I. Proskurin 氏をキラル物性研究グループの放送大学岸根研究室の研究員 (ポスドク) として他経費 (科研費) で継続して雇用している。

・英国側拠点機関のグラスゴー大学 R. Stamps 研究グループで博士号を取得した、F. Goncalves 氏をキラル物性研究グループの大阪府立大学戸川研究室の研究員 (ポスドク) として他経費 (科研費) で継続して雇用している。

○研究交流拠点の構築

・英国側拠点機関のグラスゴー大学と大阪府立大学は部局間での学術交流協定を締結した。英国側メンバーであるグラスゴー大学化学科の M. Kadodwala 教授が指導教官を務めている博士課程の学生 Cameron Gilroy 氏を大阪府立大学戸川研究室に 15 週間受け入れるなど交流が活発化している。

4. 事業の実施体制

本事業を実施する上での、「日本側拠点機関の実施体制」、「相手国拠点機関との協力体制」、及び「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

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

本コンソーシアムでは、広島大学キラル物性研究拠点、自然科学研究機構分子科学研究所、英国グラスゴー大学、ロシアウラル連邦大学の4研究拠点機関を中心に、他国へ拡大しつつある協力機関との間で、実質的な共同研究を

効率的に進めることを目的としている。それぞれの研究拠点の役割および現在の構成メンバーは、以下のとおりである。

広島大学キラル物性研究拠点

- ・本研究での役割: キラル磁性体の合成、設計、結晶成長、物性理論、物性測定
- ・拠点構成メンバー: 6カ国、20研究機関、29研究代表者のチームおよび各研究組織所属スタッフ、学生からなる。

自然科学研究機構分子科学研究所

- ・本研究での役割: キラルプラズモニクスに関する実験、理論
- ・拠点構成メンバー: 岡本グループのチームおよび各研究組織所属スタッフ、学生からなる。

○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）

英国グラスゴー大学

- ・本研究での役割: ローレンツ透過型電子顕微鏡実験による磁気テクスチャ観察、マクロ磁性理論、キラルプラズモニクス
- ・拠点構成メンバー: R. Stamps グループ(ローレンツ透過型電子顕微鏡実験による磁気テクスチャ観察、マクロ磁性理論)のチームおよび M. Kadodwala グループ(キラルプラズモニクス)のチーム、各研究組織所属スタッフ、学生からなる。

ロシアウラル連邦大学

- ・本研究での役割: キラル磁性に関する結晶育成実験、理論
- ・拠点構成メンバー: A. Ovchinnikov グループ(物性理論)のチームおよび N. Baranov グループ(インターカレートされた金属カルコゲナイド化合物の合成)のチーム、各研究組織所属スタッフ、学生からなる。

○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）

日本側拠点機関は、研究大学強化促進事業(RU)のプラットフォームである広島大学インキュベーション研究拠点「キラル物性研究拠点」が担っている。「キラル物性研究拠点」の支援体制はRU事業で措置された2名のURAの学術的な視点でのサポートを受けている。また広島大学国際支援グループおよび2名の事務補佐員によって運営されている。

Hiroshima University

URA support ・ financial support

- Collaboration with international standard education program
- Formation of base for international education and research
- Improvement of university's international reputation