

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01848

研究課題名（和文）カイラル対称構造の量子臨界点における超伝導パリティと磁気フラストレーション

研究課題名（英文）Superconductivity parity and magnetic frustration near quantum critical point of chiral symmetry structure

研究代表者

岩佐 和晃（Kazuaki, Iwasa）

茨城大学・基礎自然科学野・教授

研究者番号：00275009

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：カイラル対称結晶構造や非反転結晶構造への相転移がもたらす磁気秩序状態や超伝導におけるトポロジカル電子現象を追究した。その典型例としてRemeika相化合物 $\text{Ln}_3\text{Tr}_4\text{X}_{13}$ （ $\text{Ln}$  = 希土類元素、 $\text{T}$  = 遷移金属元素、 $\text{X}$  = Sn, Ge）における以下の物性を見出した。(1)  $\text{Ln}$  = Ce系のカイラル対称性に保護されたWeyl-Kondo半金属状態の検証。(2)  $\text{Ln}$  = 磁性元素の1次元磁気鎖による三つ編み格子での磁気フラストレーション効果を伴う反強磁気秩序の解明。(3)  $\text{Ln}$  = La, Yにおけるカイラル構造相および構造量子臨界点の創出と超伝導相の安定化の関係。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代のIT社会を支える電子デバイスにつながる有益な物性現象はしばしば、結晶構造や磁気秩序の相転移において見出される。近年、反転対称性の破れた結晶構造をとる物質において、その幾何学的特徴（トポロジー）に保護される新奇な電子状態が注目されている。例えば、電気伝導を担う電子があたかも光のような質量のない粒子のように振る舞うことが期待される。さらに、このトポロジカル電子がもたらす超伝導や磁気秩序構造には、これまでとは異なる性質が潜んでいる。本研究ではRemeika相化合物群を対象として、相転移によって自発的に現れる反転対称性のない結晶構造と磁気秩序の詳細を決定した成果によって物質科学の発展に寄与した。

研究成果の概要（英文）：We investigated topological electron phenomena of magnetic ordered states and superconductivity associated with phase transitions to chiral or noncentrosymmetric crystal structures. Followings were results for a typical materials system of so-called Remeika phase compound series  $\text{Ln}_3\text{Tr}_4\text{X}_{13}$  ( $\text{Ln}$  = rare earth elements,  $\text{T}$  = transition metals,  $\text{X}$  = Sn, Ge). (1) The Weyl-Kondo semimetal state protected by the chiral structure symmetry was revealed for the  $\text{Ln}$  = Ce compound. (2) We revealed antiferromagnetic ordered structures affected by magnetic frustration associated with the one-dimensional magnetic chains aligned on a screw-type lattice with the chiral symmetry of the  $\text{Ln}$  = magnetic element systems. (3) We revealed quantum structural critical points of the chiral crystal structure of the  $\text{Ln}$  = La system and the structural symmetry of  $\text{Ln}$  = Y systems, which are expected to correlate with superconductivity.

研究分野：固体物理

キーワード：カイラル対称 超伝導パリティ 量子スピン液体 磁気フラストレーション 量子ビーム

## 1. 研究開始当初の背景

結晶構造の反転対称性の破れやカイラル対称性を反映するトポロジックな電子物性現象が世界的に探求されている。例えば伝導電子に対する反転対称スピン軌道相互作用 (Rashba 効果、Dresselhaus 効果) が固体表面伝導などトポロジカル絶縁体の出現条件であることが知られている。これは相対論的量子力学における Dirac 方程式の Dirac/Weyl 解を物質中で実現するものとして理解されている。また反転対称性の破れは、奇パリティ超伝導をもたらす原因であると考えられている。さらに反転対称性の破れの磁気効果として Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用が関与するとされる磁気スキルミオン相やスピнкаイラリティによる異常ホール効果などがあり、マルチフェロイクス物質での交差相関現象が知られている。これらの動向を踏まえ、本研究では自発的な反転対称性の破れを伴うカイラル構造相転移を示す物質系に注目し、その電子状態に関する下記の具体的な研究課題を取り上げた。

### (1) 非反転対称構造の量子臨界点における超伝導パリティ混成

重い電子系・銅酸化物・鉄系などの超伝導相は、隣接する磁気秩序相・電荷密度波相・低対称構造相を元素置換や加圧などによって絶対零度に抑制した量子臨界点近傍で安定化する。しかし非反転対称構造相の量子臨界点における超伝導の偶奇パリティ混成( $s+p$ ) と奇パリティ  $p$  波の増強[1, 2] は未解明の課題である。

### (2) 反強磁性フラストレーションによる量子スピン液体

低次元・三角・カゴメなどの格子系での反強磁性によるフラストレーションは、極低温でも磁気秩序しない量子スピン液体状態をもたらす、マヨナラ粒子など新しい固有電子状態を顕在化させる現象が注目されている。このような格子系の幾何構造の他にも、磁気相互作用の拮抗や電子自由度の競合によるフラストレーションも研究されている。自発的な構造対称性の変化によって現れる新しいタイプの磁気フラストレーションによる量子スピン系や非磁性基底状態を探索することが課題である。

### (3) 反転対称性の破れに保護される 3 次元 Weyl 電子

相対論的量子力学における Dirac 方程式の平面波解が絶縁体表面やグラフェンなどの 2 次元系で実現した。このようなトポロジカル電子は波数に対して線形なエネルギーバンドの分散関係と交点をもつ[3]。さらに空間反転対称性のない結晶や時間反転対称性が破れた磁性体ではカイラリティで区別されるバンド分裂による Weyl フェルミオンとなることが理論的に指摘されている[4]。特に、フェルミ準位が線形バンド交点に合致してトポロジカル電子のみが伝導する純粹 3 次元 Weyl 半金属の実現方法が課題である。

## 2. 研究の目的

カイラル・非反転対称結晶構造への自発的な相転移が生じる物質を開拓し、その構造対称性を明らかにすることでトポロジカル電子状態を探索した。特に、カイラル・非反転対称結晶構造への相転移が絶対零度に抑制された量子臨界点での電子物性現象や、フラストレーションが関与しうる特徴的な磁気基底状態に着目した。その典型例が Remeika 相化合物  $Ln_3Tr_4X_{13}$  ( $Ln =$  アルカリ土類金属元素や希土類元素、 $Tr =$  遷移金属元素、 $X = Sn, Ge, Pb$ ) [5]であると考え、物質合成と構造対称性の解明に基づき、以下の物性を追究した。

- (1) 電子間混成によるバンドギャップ形成を示す強相関電子系におけるカイラル対称性に保護された Weyl 半金属
- (2)  $Ln =$  磁性元素の構造相転移による対称性変化と反強磁性秩序構造の詳細解明による磁気フラストレーション
- (3) 超伝導クーパー対のパリティ混成が期待できる  $Ln = La$  系におけるカイラル構造相転移の量子臨界点

## 3. 研究の方法

本研究で対象とする Remeika 化合物  $Ln_3Tr_4X_{13}$  を茨城大学において溶融フラックス法によって合成し、蛍光 X 線測定による組成分析 (茨城大学)、単結晶 X 線回折による結晶構造の精密解析、および結晶構造相転移温度の決定 (茨城大学、高エネルギー加速器研究機構 KEK・放射光施設 PF) を行なった。これらの試料の磁気状態や超伝導特性を SQUID 磁束計 (総合科学研究機構 CROSS 中性子科学センター) を用いて明らかにした。さらに J-PARC 物質・生命科学実験施設 MLF や日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 などにおける中性子回折実験によって磁気秩序構造を決定し、加えて中性子非弾性散乱実験によって磁性イオン  $f$  電子の結晶場分裂準位やスピン波励起を観測した。

## 4. 研究成果

### (1) $Ce_3Rh_4Sn_{13}$ のカイラル相における Weyl-Kondo 半金属

反転対称性の破れに起因するトポロジカル電子状態や交差相関の研究が進んでいる。本研究グループは、一連の Remeika 相物質群における結晶構造の詳細解析を行い、反転対称のある高温相結晶構造 (空間群  $Pm\bar{3}n$ ) から反転対称性の破れたカイラル対称構造 (空間群  $I2_13$ ) の低温相

へ相転移する物質を見出してきた[6]。特に、近藤効果による重い電子系とされた  $Ce_3Tr_4Sn_{13}$  ( $Tr = Co, Rh, Ir$ )を対象として研究した。共同研究で実施した光電子分光では、Ce 4f 電子スペクトル成分がフェルミ準位に存在することがわかり、伝導電子と Ce 4f 電子が強く混成する近藤効果が確認できた。一方、中性子非弾性散乱実験による研究の結果、カイラル対称構造での異なる Wyckoff サイトを占める二種類の Ce イオンが現れ、それぞれに固有の 4f 電子状態の結晶場分裂準位が生じることを明らかにした。さらに近藤効果を示す 4f 電子サイトと比較的局在性の強い 4f 電子サイトに分裂しており、図 1 のオレンジ入りと青色で示したように交替的に超格子構造を組むことを見出した[7]。得られた結晶場準位基底状態は磁気的な Kramers 二重項であるにも関わらず、磁気秩序が 0.05 K でも観測されず、代わりに 1 meV 以下のエネルギーで特徴づけられるスピン揺らぎが保たれていることも特徴である。このようなスピン揺らぎを伴う低エネルギー状態を反映した 1 K 以下の電子比熱は温度の 3 乗に比例し、通常金属物質で見られる温度の 1 乗に比例する性質とは大きく異なる。これらの実験結果から、 $Ce_3Rh_4Sn_{13}$  は、近藤半導体における伝導電子と f 電子が強く混成することで生じるバンドギャップ中に、カイラル対称構造によって保護された波数に対して線形な分散関係を持つ電子状態が存在すると言える。すなわち  $Ce_3Rh_4Sn_{13}$  が Weyl-Kondo 半金属状態にあるトポロジカル電子系であることを明らかにした。 $Ce_3Rh_4Sn_{13}$  と同様に、明確な反強磁気秩序を示さずに低エネルギースピン揺らぎが観測され、重い電子系に類似した低温電子物性を示す  $Ce_3Tr_4Sn_{13}$  ( $Tr = Co, Ir$ ) [6, 8] も Weyl-Kondo 半金属として理解できる。Weyl-Kondo 半金属は過去に反転対称性の破れた空間群  $I\bar{4}3d$  の結晶構造を持つ  $Ce_3Bi_4(Pt_{1-x}Pd_x)_3$  などでも研究され[9, 10]、本研究を含めてトポロジカル強相関電子系が発見されたと言える。

本研究成果は、オープンアクセス論文として発表した[7]。

## (2) $Nd_3Rh_4Sn_{13}$ のカイラル対称結晶構造相における反強磁性

上記のように、Ce 系における空間反転対称性の破れにもなっており、近藤効果による伝導電子と Ce 4f 電子の混成状態が線型バンド分散をとる Weyl-Kondo 半金属状態にあることを明らかにした[7]。このような電子状態は、磁性体における磁気イオン間の RKKY 交換相互作用や Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を媒介すると考えられ、新しい磁気秩序構造をもたらすことが期待できる。Remelika 相化合物には反強磁気秩序による時間反転対称性の破れた電子状態を示す物質も存在し、結晶構造と磁気構造の対称性を明らかにすることで新たな電子状態を見出せると考えられた。

本研究では  $Nd_3Rh_4Sn_{13}$  の磁気相転移を対象とし、Sn フラックス法で合成した試料を用いた構造物性研究を進めた[11, 12]。まず放射光 X 線回折による結晶構造解析により、338 K 以下でカイラル対称構造の低温相に相転移することを見出し、精密構造解析の結果、Ce 系と同様のカイラル対称構造 (空間群  $I2_13$ ) であることを明らかにした。さらに 1.65 K での反強磁気相転移を磁気測定と中性子回折によって確認した。また中性子非弾性散乱測定の結果から、カイラル構造において異なる Wyckoff サイトにある二種類の  $Nd^{3+}$  イオンの 4f<sup>3</sup> 電子状態がそれぞれの結晶場分裂固有状態を取ることも見出された。以上の実験結果に基づき、図 2 に示した Nd1, Nd2 それぞれに異なる大きさの磁気モーメントが配列している反強磁気構造が明らかとなった。Nd1, Nd2 それぞれの最近接イオン間で交替的に磁気モーメントが配列する 1 次元スピン鎖を基本構造とする。そのスピン鎖が三角格子を介して 3 次元的に結合している。この幾何学的特徴から磁気フラストレーション効果が考えられる。実際、上記のように 1.65 K で反強磁気秩序が生じるが、磁化率の温度依存性は 3 K 程度から上凸の振舞いを見せ、反強磁性短距離相関が常磁性相で発達している兆候が見られた。

さらに磁気秩序相での集団磁気励起を中性子非弾性散乱によって測定したところ、0.3 K で 0.2 - 0.3 meV に明瞭な磁気励起分散曲線が見られるとともに、それに対して逆空間で二倍周期の分散曲線も 0.2 - 0.6 meV に観測された。これは、純粋なスピン  $S = 1/2$  次元反強磁性体  $KCuF_3$  等で観測された孤立したチェーンにおけるスピノン励起

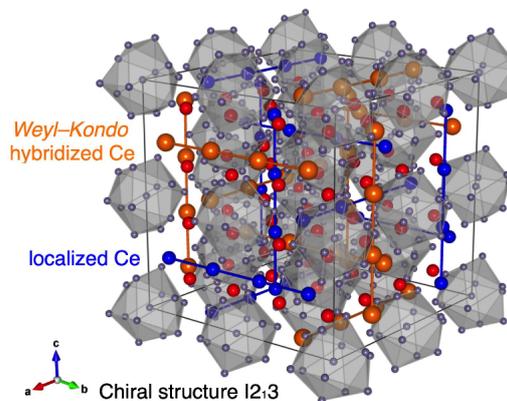


図 1.  $Ce_3Tr_4Sn_{13}$  ( $Tr = Co, Rh, Ir$ )におけるカイラル対称結晶構造と Ce 4f 電子状態。

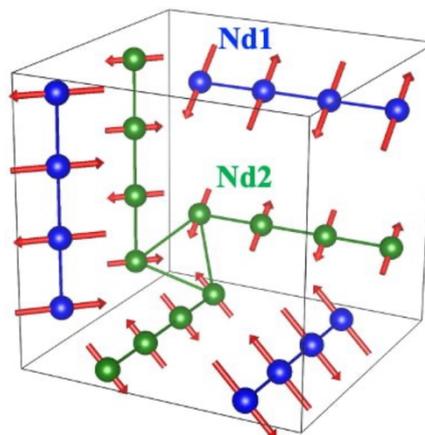


図 2.  $Nd_3Rh_4Sn_{13}$  におけるカイラル対称結晶構造相での反強磁気秩序の模式図。

とよく似ている[13]。一方、0.2 meV と 0.35 meV に鋭い励起ピークがあり、さらに 0.45 meV 以上にも強度は小さいながらも幅の広い励起も見られる。これはスピノンの連続励起が、1 次元鎖間相互作用の効果によって離散化した BaCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> の磁気励起のエネルギースペクトルと類似している[14]。したがって Nd<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> は三次元的な反強磁性体であるが、鎖間相互作用によって束縛スピノン状態を示す擬 1 次元  $S = 1/2$  量子スピン反強磁性体と見ることもできる。すなわち Remeika 相化合物は、その幾何学的特徴によって新しい反強磁性状態をもたらす物質群と言える。

その後、同様の結晶構造相転移と反強磁気秩序を示す Nd<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> (先行研究[15, 16]) と Nd<sub>3</sub>Ir<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> [10] の研究も進め、上記の Nd<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> に見出された電子状態が出現していることも見出しつつある。共通して現れる磁気基底状態が単に交換相互作用のみで説明されず、反転対称性の破れによる Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用、あるいは複雑な磁気構造の背後にあるクラスター多極子自由度による可能性もあり、今後の研究が求められる。

Nd<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> に関する本研究成果は Phys. Rev. B の Editors' Suggestion に選出された [11]。

### (3) La<sub>3</sub>Tr<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> (Tr = Co, Rh) への遷移金属元素置換によるカイラル構造の量子臨界と超伝導

反転対称性の破れた超伝導体ではクーパー対のパリティ混成が期待される。特に、反転対称性が失われる結晶構造相転移における量子臨界点近傍では、 $s$  波と  $p$  波のパリティ混成超伝導が増強されると理論的に提案されている[1,2]。たとえばパイロクロア Cd<sub>2</sub>Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> での逐次構造相転移で現れるカイラル構造相での超伝導状態がその候補として議論されている[17]。

本研究では、La<sub>3</sub>Tr<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> (Tr = Co, Rh, Ir) における結晶構造相転移と超伝導に着目した。Tr = Co, Rh, Ir はそれぞれ  $T_D = 120$  K, 350 K, および約 550 K において、高温相 (空間群  $Pm\bar{3}n$ ) から反転対称性の破れたカイラル対称構造 (空間群  $I2_13$ ) へ結晶構造の二次相転移を示す[6]。また超伝導相は、それぞれ  $T_C = 2.7$  K, 2.9 K, および 2.5 K 以下で現れる[18-20]。一方、Tr = Ru は低温まで  $Pm\bar{3}n$  の結晶構造を保ち、 $T_C = 3.8$  K で超伝導となる[21]。これらを踏まえ、Co, Rh を Ru で置換した物質を Sn 自己フラックス法によって合成し、結晶構造と超伝導の変化を、放射光 X 線回折と磁化率測定によって調べた。La<sub>3</sub>(Co<sub>1-x</sub>Ru<sub>x</sub>)<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> では、 $T_D$  が  $x = 0$  での 160 K から  $x = 0.02$  程度で 126 K に低下するのに対して、図 3 に示した磁化率の温度依存性測定から見積もられた  $T_C$  は 6 K 付近まで上昇した。La<sub>3</sub>(Rh<sub>1-x</sub>Ru<sub>x</sub>)<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> においては、 $x = 0$  での  $T_D = 350$  K が  $x = 0.4$  近傍で約 200 K に低下するのに対して、 $T_C$  はやはり 6 K まで上昇した。

さらに Sn を In に置換した物質の先行研究では、アーク溶解法で合成した La<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>Sn<sub>13-x</sub>In<sub>x</sub> ( $x = 0, 0.65, 1.3$ ) の  $T_C$  が、それぞれ 2.2 K, 5.1 K, 4.6 K であると報告された [22]。本研究では、Sn フラックス法で合成した La<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>Sn<sub>13-x</sub>In<sub>x</sub> の  $T_C$  と  $T_D$  を調べた。蛍光 X 線分析によって決定した  $x = 0, 0.16, 0.25, 1.05, 1.82$  の試料に対して放射光 X 線回折により単結晶構造を調べた。その結果、 $T_D$  は  $x = 0.16$  で 119 K,  $x = 0.25$  で 111 K となった。一方、 $x = 1.05$  の試料は 4 K でも明瞭な構造相転移が観測されなかったため、 $0.26 < x < 1.05$  にカイラル結晶構造の量子臨界点が存在すると考えられる。さらにこれらの In 置換系の磁化率測定も行い、 $x = 1.82$  試料の  $T_C$  は 3.4 K に上昇し、超伝導温度が In 置換によって上昇する傾向を見出した。しかしながら、本研究での自己フラックス法合成試料にみられた  $T_C$  の  $x$  依存性は、先行研究[22]のアーク溶解法で合成された試料に対する研究結果とは必ずしも整合していない。元素置換物質では合成方法により結晶構造のわずかな違いが生じ、超伝導特性が影響を受けている可能性を指摘できる。

これらの結果から、La<sub>3</sub>Tr<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> (Tr = Co, Ir) に対する元素置換によりカイラル構造が抑制される量子臨界現象が存在し、その近傍で超伝導が安定化する可能性があり、パリティ混成超伝導を示す物質の可能性が指摘できる。

### (4) 超伝導体 Y<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Ge<sub>13</sub> におけるカイラル結晶構造

Remeika 相化合物の超伝導は Ge 系にも発見されており、本研究では非磁性 Y<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Ge<sub>13</sub> の結晶構造対称性の研究を都立大グループと共同で行った[23]。先行研究[24]によると Y<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Ge<sub>13</sub> の超伝導転移温度は 0.7 K と報告されていたが、本研究で合成された試料では 1.5 K 以下で超伝導相に至ることが見出された。これを踏まえて詳細な結晶構造解析を実施したところ、先行研究の報告とは異なるカイラル対称の超格子構造 (空間群  $I2_13$ ) であることが明らかとなった。すなわち、カイラル構造のもとで出現

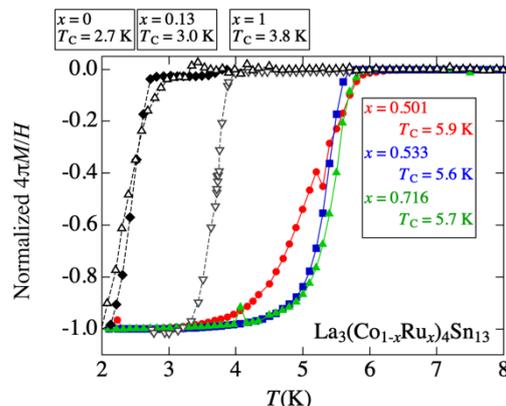


図 3. La<sub>3</sub>(Co<sub>1-x</sub>Ru<sub>x</sub>)<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> に Ru 置換濃度  $x$  に対するおける磁化率の温度依存性。

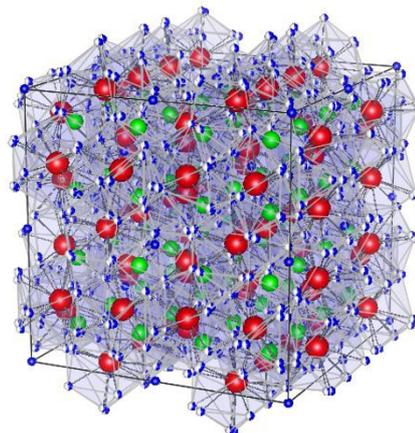


図 4. Y<sub>3</sub>Rh<sub>4</sub>Ge<sub>13</sub> の結晶構造。青と白の円が分裂した Ge サイトを表す。

する特殊なクーパー対のパリティによる超伝導が  $\text{Y}_3\text{Rh}_4\text{Ge}_{13}$  においても期待できる。さらに、常伝導相での半金属的な特異な電気抵抗も、トポロジカル電子状態を反映している可能性も指摘できる。一方、図4に示したように、Ge サイトが2箇所に分裂し、それぞれがおよそ50%ずつ占有されていることが見出された。このような原子位置の乱雑性と超伝導転移温度の先行研究との違いを含む電気伝導性との関係を明らかにすることが今後の課題である。上述した  $\text{La}_3\text{Co}_4\text{Sn}_{13-x}\text{In}_x$  の合成方法による超伝導転移の違いも、原子サイト位置に依存している点では、 $\text{Y}_3\text{Rh}_4\text{Ge}_{13}$  と共通した特性とみなすことができる。

#### (5) $\text{Ln}_3\text{Co}_4\text{Sn}_{13}$ ( $\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Gd}$ ) における結晶構造対称性と磁気基底状態

上記のように Remeika 相化合物の自発的な構造相転移は特徴的なトポロジカル電子状態をもたらす。トポロジカル電子が媒介する特異な磁気相互作用が期待でき、Remeika 相化合物の磁気基底状態にも関心が向けられている。 $\text{Ln} = \text{Eu}$  [25-27],  $\text{Gd}$  [28, 29] では約 10 K 付近での反強磁気相転移が報告されており、その結晶構造と磁気構造の対称性の解明も本研究で推進した。

$\text{Eu}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  と  $\text{Eu}_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  の両化合物の高温相結晶構造は反転対称性のある空間群  $\text{Pm}\bar{3}\text{n}$  であった。 $\text{Eu}_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  については、先行研究[23, 24]で報告された 57 K における相転移を確認できた。さらに、 $\text{Eu}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  も約 26 K 以下で異なる結晶構造に相転移することを新たに見出した。 $\text{Eu}_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  の構造解析から、上記の軽希土類元素物質とは異なって、低温相は正方晶である可能性が見出された。さらに両物質に対する中性子回折実験により、およそ  $T_N = 10$  K 以下の反強磁気秩序を観測した。しかし磁気構造解析の結果、 $T_N$  より十分に低温の 3 K 付近でも磁気モーメントが完全に秩序化していないことが示唆されている。 $\text{Eu}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  の先行研究において、反強磁気秩序相での磁化率の温度依存性が磁場中では低温に向かって増大することも見出されており[22]、磁場に応答する磁化成分が残存しており、磁気フラストレーション効果が有効であると見なされる。

$\text{Gd}_3\text{Co}_4\text{Sn}_{13}$  においても 104 K 付近の構造相転移を発見したが、低温相の結晶構造解析の結果から、やはり軽希土類元素の Remeika 相化合物とは異なる構造対称性であると考えられる。先行研究[26]と同様に反強磁気秩序は 14.5 K に確認できた。中性子の吸収体である Gd を含む化合物であるにも関わらず、試料表面  $0.5 \text{ cm}^2$  程度の平滑な面からの反射を JRR-3 の中性子散乱装置 (T1-1 ビーム孔) で測定することに成功した。

今後、これらの結晶構造対称性と反強磁気秩序構造を明らかにすることで、Remeika 相化合物の空間・時間反転対称性に依拠する電子状態研究に発展させたい。

#### 参考文献

- [1] V. Kozii and L. Fu, Phys. Rev. Lett. 115, 207002 (2015).
- [2] Y. Wang et al., Phys. Rev. B 93, 134512 (2016).
- [3] Hao-Ran Chang et al., Phys. Rev. B 92, 241103(R) (2015).
- [4] J. L. Mañes, Phys. Rev. B 85, 155118 (2012), etc.
- [5] J. P. Remeika et al., Solid State Commun. 34, 923 (1980).
- [6] K. Iwasa et al., J. Phys. Soc. Jpn. 90, 124701 (2021) and references therein.
- [7] K. Iwasa et al., Phys. Rev. Mater. 7, 014201 (2023).
- [8] K. Iwasa et al., Phys. Rev. B 95, 195156 (2017).
- [9] S. Dzsaber et al., Phys. Rev. Lett. 118, 246601 (2017).
- [10] D. M. Kirschbaum, M. Lužnik, G. Le Roy, S. Paschen, J. Phys. Mater. 7, 012003 (2024).
- [11] A. Shimoda et al., JPS Conf. Proc. 38, 011091 (2023).
- [12] A. Shimoda et al., Phys. Rev. B 109, 134425 (2024).
- [13] B. Lake et al., Phys. Rev. Lett. 111, 137205 (2013) etc.
- [14] A. Zheludev., Appl. Phys. A 74 [Suppl.], S1 (2002).
- [15] C. W. Wang et al., J. Phys.: Condens. Matter 29, 435801 (2017).
- [16] C. W. Wang et al., Physica B: Physics of Condensed Matter 551, 12 (2018).
- [17] Z. Hiroi et al., J. Phys. Soc. Jpn. 87, 024702 (2018).
- [18] S. Nakazato et al., JPS Conf. Proc. 30, 011128 (2020).
- [19] E. L. Thomas et al., J. Solid State Chem. 179, 1642 (2006).
- [20] U. Köhler et al., J. Phys.: Condens. Matter 19, 386207 (2007).
- [21] K. Iwasa et al., SCES2020/21, F4A (Oct. 2021).
- [22] P. Neha et al., J. Alloys and Comp. 665, 337 (2016).
- [23] Md A. Afzal et al., J. Alloys. Compd. 978, 17291 (2024).
- [24] B. K. Rai et al., Chem. Mater. 27, 2488 (2015).
- [25] A. Maurya et al., JPS Conf. Proc. 3, 017022 (2014).
- [26] L. Mendonça Ferreira et al., Physica B 384, 332 (2006).
- [27] J. R. L. Mardegan et al., IEEE Trans. Magn. 49, 452 (2013).
- [28] C. Nagoshi et al., JPSJ 75, 044710 (2006).
- [29] M. A. Pires et al., J. Appl. Phys. 99, 08J311 (2006).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ami Shimoda, Kazuaki Iwasa, Keitaro Kuwahara, Hajime Sagayama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado, Akiko Nakao, Seiko Ohira-Kawamura, Naoki Murai, Takashi Ohhara, and Yusuke Nambu	4. 巻 109
2. 論文標題 Antiferromagnetic ordering and chiral crystal structure transformation in Nd <sub>4</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134425-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.109.134425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ami Shimoda, Kazuaki Iwasa, Keitaro Kuwahara, Hajime Sagayama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado, Takashi Ohhara, Akiko Nakao, Akinori Hoshikawa, and Toru Ishigaki	4. 巻 38
2. 論文標題 Magnetic Ordering and Structural Phase Transitions of Nd <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T = Rh and Ir)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011091-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSCP.38.011091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Md Asif Afzal, Ryuji Higashinaka, Kazuaki Iwasa, Nazir Ahmed, Ryo Tsubota, Naoki Nakamura, Tatsuma D. Matsuda, Yuji Aoki	4. 巻 978
2. 論文標題 Superconductivity in chiral cubic Y <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Ge <sub>13</sub>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 172914-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jallcom.2023.172914	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kazuaki Iwasa, Kazuya Suyama, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Stephane Raymond, Paul Steffens, Akira Yamada, Tatsuma D. Matsuda, Yuji Aoki, Ikuto Kawasaki, Shin-ichi Fujimori, Hiroshi Yamagami, Makoto Yokoyama	4. 巻 7
2. 論文標題 Weyl-Kondo semimetal behavior in the chiral structure phase of Ce <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 014201-1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.7.014201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazuaki Iwasa, Seiya Nakazato, Daisuke Hashimoto, Mami Shiozawa, Keitaro Kuwahara, Hajime Sagayama, Seiko Ohira-Kawamura, Naoki Murai, Devashibhai T. Adroja, Andre M. Strydom	4. 巻 90
2. 論文標題 Magnetic Excitations in Chiral-Structure Phase of Ce3Ir4Sn13	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 124701-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.124701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Arai, Kenta Kuroda, T. Nomoto, Z. H. Tin, S. Sakuragi, C. Bareille, S. Akebi, K. Kurokawa, Y. Kinoshita, W.-L. Zhang, S. Shin, M. Tokunaga, H. Kitazawa, Y. Haga, H. S. Suzuki, S. Miyasaka, S. Tajima, K. Iwasa, R. Arita and Takeshi Kondo	4. 巻 21
2. 論文標題 Multipole polaron in the devil 's staircase of CeSb	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 410-415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-021-01188-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hironori Nakao and Kazuaki Iwasa	4. 巻 89
2. 論文標題 Direct Observation of Modulation of p-f Hybridization in Unconventional Ordered Phase of PrRu4P12	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 063703-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.063703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計79件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Afzal MD Asif, 東中隆二, 岩佐和晃, Nazir Ahmed, 坪田 椋, 中村直貴, 松田達磨, 青木勇二
2. 発表標題 カイラル結晶構造を持つY3Rh4Ge13 の低温物性測定と超伝導特性
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩佐和晃, 下田愛海, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 石角元志, 河村聖子, 村井直樹, 大原高志, 中尾朗子, 南部雄亮
2. 発表標題 Nd <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> のカイラル対称結晶構造相における磁気秩序と結晶場分裂状態
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩佐和晃, 下田愛海, 桑原慶太郎, 石角元志, 河村聖子, 村井直樹, 大原高志, 中尾朗子, 南部雄亮
2. 発表標題 Nd <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> のカイラル対称結晶構造相における反強磁性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 黒澤航海, 岩佐和晃, 熊田隆伸, 鈴木陽太郎, 浦本結稜, 鈴村貫太, 告華連, 下田愛海, 今関啓雅, 大山研司, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志, 益田隆嗣, 浅井晋一郎, 菊池帆高
2. 発表標題 Nd-Ru-Sn系 Remeika相化合物における磁気フラストレーションの可能性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 告華連, 岩佐和晃, 熊田隆伸, 黒澤航海, 鈴木陽太郎, 浦本結稜, 鈴村貫太, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 石角元志
2. 発表標題 Pr <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (R = Pr, Sm)の結晶構造相転移と磁性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴木陽太郎、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、浦本結稜、鈴木貴太、告華連、桑原慶太郎、大山研司、佐賀山基、奥山大輔、中尾裕則、石角元志
2. 発表標題 Tb3Co4Sn13の磁気秩序と構造相転移に関する量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ（第15回MLFシンポジウム、第41回PFシンポジウム）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴木貴太、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、鈴木陽太郎、浦本結稜、告華連、桑原慶太郎、大山研司、佐賀山基、中尾裕則、奥山大輔、石角元志
2. 発表標題 Gd3Co4Sn13における結晶構造相転移と磁気秩序の量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ（第15回MLFシンポジウム、第41回PFシンポジウム）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浦本結稜、今関啓雅、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、鈴木陽太郎、鈴木貴太、告華連、桑原慶太郎、奥山大輔、佐賀山基、中尾裕則、石角元志
2. 発表標題 La3Co4Sn13-xInxにおける結晶構造と超伝導の関係
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ（第15回MLFシンポジウム、第41回PFシンポジウム）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Uramoto, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, K. Suzumura, K. Tsuge, K. Kuwahara, D. Okuyama, H. Sagayama, H. Nakao, M. Ishikado
2. 発表標題 Relationship between crystal structure and superconductivity in La3Co4Sn13-xInx
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 W. Kurosawa, K. Iwasa, T. Kumada, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Tsuge, A. Shimoda, H. Imazeki, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, S. Asai, T. Masuda, H. Kikuchi
2. 発表標題 Possibility of magnetic frustration of the Nd-based Remeika phase compounds
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kumada, Y. Suzuki, A. Shimoda, H. Imazeki, W. Kurosawa, K. Iwasa, K. Kuwahara, K. Ohoyama, A. Hoshikawa, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, T. Ishigaki
2. 発表標題 Crystal Structures and Magnetic Orderings in the Remeika Phase Compounds $\text{Eu}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T = Rh and Ir)
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Suzumura, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Tsuge, K. Kuwahara, K. Ohoyama, H. Sagayama, D. Okuyama, M. Ishikado
2. 発表標題 X-ray and neutron diffraction experiments for $\text{Gd}_3\text{Co}_4\text{Sn}_{13}$
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Tsuge, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, M. Ishikado
2. 発表標題 Crystal structural phase transition and magnetic properties of $\text{Pr}_3\text{Co}_4\text{Sn}_{13}$
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Suzuki, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Tsuge, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, K. Ohoyama
2. 発表標題 Quantum beam scattering studies on magnetic ordering and structural phase transitions in Tb3Co4Sn13
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 熊田隆伸, 鈴木陽太郎, 下田愛海, 今関啓雅, 黒澤航海, 岩佐和晃, 桑原慶太郎, 大山研司, 星川晃範, 石垣徹, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Remeika相物質Eu3T4Sn13(T = Rh and Ir)のカイラル結晶構造と磁気秩序
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩佐和晃, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次, J.-M. Mignot, S. Raymond, Paul Steffens, 松田達磨, 青木勇二, 川崎郁斗, 藤森伸一, 山上浩志, 横山淳, D. T. Adroja, and A. M. Strydom
2. 発表標題 Ce3T4Sn13 (T = Co, Rh, Ir)のカイラル相における4f電子状態とWeyl-Kondo半金属
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuaki Iwasa, Kazuya Suyama, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Stephane Raymond, Paul Steffens, Akira Yamada, Tatsuma D. Matsuda, Yuji Aoki, Ikuto Kawasaki, Shin-ichi Fujimori, Hiroshi Yamagami, Makoto Yokoyama
2. 発表標題 Weyl-Kondo Semimetal Behavior in the Chiral Structure Phase of Ce3Rh4Sn13
3. 学会等名 The International Conference in Strongly Correlated Electrons Systems SCES2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Takanobu Kumada, Yohtaroh Suzuki, Ami Shimoda, Hiromasa Imazeki, Wataru Kurosawa, Kazuaki Iwasa, Keitaro Kuwahara, Kenji Ohoyama, Akinori Hoshikawa, Toru Ishigaki, Hajime Sagayama, Daisuke Okuyama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado
2. 発表標題	Chiral Crystal Structures and Magnetic Orderings in the Remeika Phase Compounds $\text{Eu}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T = Rh and Ir)
3. 学会等名	The International Conference in Strongly Correlated Electrons Systems SCES2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	黒澤航海, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 今関啓雅, 鈴木陽太郎, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 石角元志
2. 発表標題	Nd-Ru-Sn系における結晶構造と磁性
3. 学会等名	日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	岩佐和晃, 桑原慶太郎, 横山淳, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次, 川崎郁斗, 藤森伸一, J.-M. Mignot, A. Gukasov, S. Raymond, P. Steffens, 松田達磨, 青木勇二, 山上浩志, D. T. Adroja, A. M. Strydom
2. 発表標題	$\text{Ce}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T=Co, Rh, Ir) のカイラル対称構造相における4f電子超格子
3. 学会等名	日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	鈴木陽太郎, 熊田隆伸, 岩佐和晃, 下田愛海, 今関啓雅, 黒澤航海, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題	Remeika相化合物 $\text{Eu}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T=Rh, Ir) のカイラル結晶構造と磁気秩序
3. 学会等名	日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Takanobu Kumada, Yohtaroh Suzuki, Ami Shimoda, Hiromasa Imazeki, Wataru Kurosawa, Kazuaki Iwasa, Keitaro Kuwahara, Kenji Ohoyama, Akinori Hoshikawa, Toru Ishigaki, Hajime Sagayama, Daisuke Okuyama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado
2. 発表標題	Chiral Crystal Structures and Magnetic Orderings in the Remeika Phase Compounds $\text{Eu}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T = Rh and Ir)
3. 学会等名	The International Conference in Strongly Correlated Electrons Systems SCES2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Kazuaki Iwasa, Kazuya Suyama, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Stephane Raymond, Paul Steffens, Akira Yamada, Tatsuma D. Matsuda, Yuji Aoki, Ikuto Kawasaki, Shin-ichi Fujimori, Hiroshi Yamagami, Makoto Yokoyama
2. 発表標題	eyl-Kondo Semimetal Behavior in the Chiral Structure Phase of $\text{Ce}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$
3. 学会等名	The International Conference in Strongly Correlated Electrons Systems SCES2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	黒澤航海, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 今関啓雅, 鈴木陽太郎, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 石角元志
2. 発表標題	Nd-Ru-Sn系における結晶構造と磁性
3. 学会等名	日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	岩佐和晃, 桑原慶太郎, 横山淳, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次, 川崎郁斗, 藤森伸一, J.-M. Mignot, A. Gukasov, S. Raymond, P. Steffens, 松田達磨, 青木勇二, 山上浩志, D. T. Adroja, A. M. Strydom
2. 発表標題	$\text{Ce}_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ (T=Co, Rh, Ir)のカイラル対称構造相における4f電子超格子
3. 学会等名	日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 鈴木陽太郎, 熊田隆伸, 岩佐和晃, 下田愛海, 今関啓雅, 黒澤航海, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Remeika相化合物Eu <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T=Rh, Ir)のカイラル結晶構造と磁気秩序
3. 学会等名 日本中性子科学会第23回年会 (JSNS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩佐和晃, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次, J.-M. Mignot, S. Raymond, Paul Steffens, 松田達磨, 青木勇二, 川崎郁斗, 藤森伸一, 山上浩志, 横山淳, D. T. Adroja, and A. M. Strydom
2. 発表標題 Ce <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T = Co, Rh, Ir)のカイラル相における4f電子状態とWeyl-Kondo半金属
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 熊田隆伸, 鈴木陽太郎, 下田愛海, 今関啓雅, 黒澤航海, 岩佐和晃, 桑原慶太郎, 大山研司, 星川晃範, 石垣徹, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Remeika相物質Eu <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T = Rh and Ir)のカイラル結晶構造と磁気秩序
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Suzuki, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Tsuge, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, K. Ohoyama
2. 発表標題 Quantum beam scattering studies on magnetic ordering and structural phase transitions in Tb <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Tsuge, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, M. Ishikado
2. 発表標題 Crystal structural phase transition and magnetic properties of Pr <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Suzumura, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Tsuge, K. Kuwahara, K. Ohoyama, H. Sagayama, D. Okuyama, M. Ishikado
2. 発表標題 X-ray and neutron diffraction experiments for Gd <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kumada, Y. Suzuki, A. Shimoda, H. Imazeki, W. Kurosawa, K. Iwasa, K. Kuwahara, K. Ohoyama, A. Hoshikawa, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, T. Ishigaki
2. 発表標題 Crystal Structures and Magnetic Orderings in the Remeika Phase Compounds Eu <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T = Rh and Ir)
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 W. Kurosawa, K. Iwasa, T. Kumada, Y. Suzuki, Y. Uramoto, K. Suzumura, K. Tsuge, A. Shimoda, H. Imazeki, K. Kuwahara, H. Sagayama, D. Okuyama, H. Nakao, M. Ishikado, S. Asai, T. Masuda, H. Kikuchi
2. 発表標題 Possibility of magnetic frustration of the Nd-based Remeika phase compounds
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Uramoto, K. Iwasa, T. Kumada, W. Kurosawa, Y. Suzuki, K. Suzumura, K. Tsuge, K. Kuwahara, D. Okuyama, H. Sagayama, H. Nakao, M. Ishikado
2. 発表標題 relationship between crystal structure and superconductivity in La <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> -xInx
3. 学会等名 茨城大学量子線国際シンポジウム ISQBS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浦本結稜、今関啓雅、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、鈴木陽太郎、鈴木貫太、告華連、桑原 慶太郎、奥山大輔、佐賀山基、中尾裕則、石角元志
2. 発表標題 La <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> -xInxにおける結晶構造と超伝導の関係
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木貫太、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤 航海、鈴木陽太郎、浦本結稜、告華連、桑原慶太郎、大山研司、佐賀山基、中尾裕則、奥山大輔、石角元志
2. 発表標題 Gd <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> における結晶構造相転移と磁気秩序の量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木陽太郎、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、浦本結稜、鈴木貫太、告華連、桑原慶太郎、大山研司、佐賀山基、奥山大輔、中尾裕則、石角元志
2. 発表標題 Tb <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> の磁気秩序と構造相転移に関する量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 告華連、岩佐和晃、熊田隆伸、黒澤航海、鈴木陽太郎、浦本結稜、鈴木貫太、桑原慶太郎、佐賀山基、奥山大輔、石角元志
2. 発表標題 3Co4Sn13 (R = Pr, Sm)の結晶構造相転移と磁性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒澤航海、岩佐和晃、熊田隆伸、鈴木陽太郎、浦本結稜、鈴木貫太、告華連、下田愛海、今関啓雅、大山研司、桑原慶太郎、佐賀山基、奥山大輔、中尾裕則、石角元志、益田隆嗣、浅井晋一郎、菊池帆高
2. 発表標題 Nd-Ru-Sn系 Remeika相化合物における磁気フラストレーションの可能性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩佐和晃、下田愛海、桑原慶太郎、石角元志、河村聖子、村井直樹、大原高志、中尾朗子、南部雄亮
2. 発表標題 Nd3Rh4Sn13のカイラル対称結晶構造相における反強磁性
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ (第15回MLFシンポジウム, 第41回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩佐和晃、下田愛海、桑原慶太郎、佐賀山基、中尾裕則、石角元志、河村聖子、村井直樹、大原高志、中尾朗子、南部雄亮
2. 発表標題 Nd3Rh4Sn13のカイラル対称結晶構造相における磁気秩序と結晶場分裂状態
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Afzal MD Asif, 東中隆二, 岩佐和晃, Nazir Ahmed, 坪田 暲, 中村直貴, 松田達磨, 青木勇二
2. 発表標題 カイラル結晶構造を持つY3Rh4Ge13 の低温物性測定と超伝導特性
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩佐和晃
2. 発表標題 Ce3T4Sn13 (T = 遷移金属)の量子ビーム散乱構造物性
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会「中性子散乱研究会 - 海外実験支援プログラムの成果報告と、再稼働したJRR-3の現在地 -」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ami Shimoda, Kazuaki Iwasa, Keitaro Kuwahara, Hajime Sagayama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado, Takashi Ohhara, Akiko Nakao, Akinori Hoshikawa, and Toru Ishigaki
2. 発表標題 Magnetic ordering and structural phase transitions of Nd3T4Sn13 (T = Rh and Ir)
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野貴行, 西首時夫, 三田魁斗, 神戸高志, 岩佐和晃, 佐賀山基, 鳴海康雄, 萩原政幸, 梅野智大, 臼井一晃, 唐沢悟
2. 発表標題 一次元反強磁性体CuX2 · ( -pic)2(X=Cl, Br)の磁性と結晶構造との相関
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下田愛海, 岩佐和晃, 桑原慶太郎, 星川晃範, 石垣徹, 中尾裕則, 佐賀山基, 大原高志, 中尾朗子, 石角元志
2. 発表標題 Nd <sub>3</sub> Tr <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T=Rh, Ir)におけるカイラル対称結晶構造相転移と反強磁気秩序
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本理香子, 岩佐和晃, 大山研司, 鬼丸孝博
2. 発表標題 単結晶中性子回折によるNdCo <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> の磁気構造の研究
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩佐和晃, 下田愛海, 桑原慶太郎, 石角元志, 河村聖子, 村井直樹, 星川晃範, 石垣徹, 中尾朗子, 大原高志, 佐賀山基, 中尾裕則
2. 発表標題 Nd <sub>3</sub> Tr <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (Tr = Rh, Ir)の立方ロッド充填格子における磁気状態
3. 学会等名 日本中性子科学会第22回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩佐 和晃
2. 発表標題 カイラル構造相転移物質における電子物性の量子ピーム散乱研究
3. 学会等名 公益財団法人山田科学振興財団2022年度研究交歓会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今関啓雅, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 黒澤航海, 鈴木陽太郎, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 奥山大輔, 石角元志
2. 発表標題 La <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13-x</sub> In <sub>x</sub> における結晶構造相転移と超伝導
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ (第14回MLFシンポジウム, 第40回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒澤航海, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 今関啓雅, 鈴木陽太郎, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 石角元志
2. 発表標題 Nd-Ru-Sn系における結晶構造と磁性
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ (第14回MLFシンポジウム, 第40回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木陽太郎, 熊田隆伸, 岩佐和晃, 下田愛海, 今関啓雅, 黒澤航海, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 奥山大輔, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Eu <sub>3</sub> Ir <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> における結晶構造相転移と反強磁気秩序の量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ (第14回MLFシンポジウム, 第40回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩佐和晃, 大山研司, 横山淳, 中野岳仁, 桑原慶太郎, 伊賀文俊, 中島多朗
2. 発表標題 茨城大学によるJRR-3 HQR を含む量子ビーム利用による 研究・教育活動
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ (第14回MLFシンポジウム, 第40回PFシンポジウム)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	下田愛海, 岩佐和晃, 桑原慶太郎, 石角元志, 河村聖子, 村井直樹, 星川晃範, 石垣徹, 中尾朗子, 大原高志, 佐賀山基, 中尾裕則
2. 発表標題	立方晶Nd <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> の磁気励起に見られる擬1次元量子スピン反強磁性
3. 学会等名	日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	并能楓, 矢代安澄, 小泉遼介, 細貝明日香, 海老澤秀明, 高橋哲平, 川崎郁斗, 奥山大輔, Hung-Cheng Wu, 佐藤卓, 岩佐和晃, 大山研司, Stephane Raymond, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題	中性子散乱で見るZnイオン置換したCeCoIn <sub>5</sub> の反強磁性構造
3. 学会等名	日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	下田愛海, 桑原慶太郎, 中尾裕則, 佐賀山基, 大原高志, 中尾朗子, 石角元志, 岩佐和晃
2. 発表標題	Nd <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> におけるカイラル結晶構造相転移と反強磁気秩序
3. 学会等名	日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	浅野貴行, 西首時夫, 神戸高志, 鳴海康雄, 萩原政幸, 梅野智大, 臼井一晃, 唐沢悟, 岩佐和晃
2. 発表標題	一次元反強磁性体CuX <sub>2</sub> · ( -pic) <sub>2</sub> (X=Cl, Br)の磁性と誘電性
3. 学会等名	日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 岩佐和晃, 中里晟也, 塩澤真未, 橋本大輔, 桑原慶太郎, 髭本亘, 伊藤孝, 中尾裕則, 佐賀山基, 石角元志
2. 発表標題 La3Ir4Sn13におけるカイラル構造相転移と超伝導
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuaki Iwasa, Mami Shiozawa, Daisuke Hashimoto, Shiori Suzuki, Kazuki Gunji, Ami Shimoda, Keitaro Kuwahara, Hajime Sagayama, Hironori Nakao, Motoyuki Ishikado
2. 発表標題 Superconductivity enhancement and quantum critical point of chiral structure induced by atomic substitutions in La3T4Sn13 (T = Co and Rh)
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems SCES2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩佐和晃, 中里晟也, 橋本大輔, 塩澤真未, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 河村聖子, 村井直樹, Devashibhai T. Adroja, Andre M. Strydom
2. 発表標題 Ce3Ir4Sn13のカイラル結晶構造相における磁気状態
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富松優花, Keiko Widyansa, 小林洋大, 岩佐和晃, 中島多朗, 大山研司
2. 発表標題 汎用三軸分光器T1-1(HQR)装置の基礎データ評価
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田陽一, 大河原学, 谷口貴紀, 南部雄亮, 岩佐和晃, 藤田全基
2. 発表標題 東北大学中性子散乱分光器6G-TOPANの2021年
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大山研司, 岩佐和晃, 中島多朗, 伊賀文俊, 桑原慶太郎, 中野岳仁, 横山淳
2. 発表標題 中性子三軸分光器T1-1(HQR) の現状
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩佐和晃, 塩澤真未, 橋本大輔, 鈴木詩織, 郡司和毅, 下田愛海, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 La <sub>3</sub> T <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> (T = Co, Rh)への遷移金属元素置換によるカイラル構造の量子臨界と超伝導
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富松優花, Keiko Widyansa, 小林洋大, 岩佐和晃, 中島多朗, 大山研司
2. 発表標題 再稼働した汎用中性子三軸分光器T1-1(HQR)の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊田隆伸, 岩佐和晃, 下田愛海, 尾本星太, 西口日向, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Eu3Rh4Sn13の結晶構造相転移と反強磁気秩序の量子ビーム散乱研究
3. 学会等名 2021年度量子ビームサイエンスフェスタ (第13回MLFシンポジウム, 第39回PFシンポジウム)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾本星太, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 西口日向, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 石角元志
2. 発表標題 Gd3Ir4Sn13の単結晶合成と放射光 X 線回折による構造相転移の研究
3. 学会等名 2021年度量子ビームサイエンスフェスタ (第13回MLFシンポジウム, 第39回PFシンポジウム)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口日向, 岩佐和晃, 下田愛海, 熊田隆伸, 尾本星太, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 石角元志
2. 発表標題 La3Co4Sn13における結晶構造相転移と超伝導
3. 学会等名 2021年度量子ビームサイエンスフェスタ (第13回MLFシンポジウム, 第39回PFシンポジウム)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下田愛海, 岩佐和晃, 桑原慶太郎, 佐賀山基, 中尾裕則, 石角元志, 大原高志, 中尾朗子
2. 発表標題 Nd3T4Sn13 (T = Rh, Ir)におけるカイラル結晶構造相転移と反強磁気秩序
3. 学会等名 2021年度量子ビームサイエンスフェスタ (第13回MLFシンポジウム, 第39回PFシンポジウム)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井陽介, 黒田健太, 野本拓也, 黒川輝風, 辛埴, 久保田正人, 芳賀芳範, 鈴木博之, 岩佐和晃, 有田亮太郎, 近藤猛
2. 発表標題 レーザー角度分解光電子分光による Ce モノブニクタイトの多体相互作用の観測
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本大輔, 岩佐和晃, 中里晟也, 塩澤真未, 郡司和毅, 下田愛海, 鈴木詩織, 桑原慶太郎, 石角元志, 中尾裕則, 佐賀山基, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次
2. 発表標題 Ce <sub>3</sub> Rh <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> へのRu置換によるカイラル構造量子臨界点
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩澤真未, 鈴木詩織, 岩佐和晃, 下田愛海, 中里晟也, 橋本大輔, 郡司和毅, 桑原慶太郎, 石角元志, 中尾裕則, 佐賀山基, 髭本巨, 伊藤孝
2. 発表標題 カイラル構造相転移をする超伝導体La <sub>3</sub> (Co <sub>1-x</sub> Fex) <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> とLa <sub>3</sub> (Co <sub>1-x</sub> Rhx) <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> の元素置換効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新井陽介, 黒田健太, 野本拓也, Z. H. Tin, 櫻木俊輔, C. Bareille, 明比俊太郎, 黒川輝風, 木下雄斗, W. L. Zhang, 辛埴, 徳永将史, 宮坂茂樹, 田島節子, 芳賀芳範, 北澤英明, 鈴木博之, 岩佐和晃, 有田亮太郎, 近藤猛
2. 発表標題 反強磁性体CeSbの「悪魔の階段」と共に発達する磁気ポーラロン状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本大輔, 岩佐和晃, 中里晟也, 塩澤真未, 桑原慶太郎, 石角元志, 中尾裕則, 佐賀山基, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次
2. 発表標題 カイラル半金属Ce3Rh4Sn13の構造相転移と磁性におけるRu置換効果の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩澤真未, 岩佐和晃, 中里晟也, 橋本大輔, 桑原慶太郎, 石角元志, 中尾裕則, 佐賀山基, 髭本巨, 伊藤孝
2. 発表標題 La3(Co1-xFex)4Sn13のカイラル構造相転移と超伝導
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永瀬裕也, 真砂全宏, 小手川恒, 藤秀樹, 塩澤真未, 橋本大輔, 中里晟也, 岩佐和晃
2. 発表標題 キラル構造を持つ超伝導体La3Co4Sn13および関連物質のNQR測定による研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩佐和晃, 中里晟也, 橋本大輔, 塩澤真未, 桑原慶太郎, 中尾裕則, 佐賀山基, 石角元志, 大原高志, 中尾朗子, 宗像孝司, 鬼柳亮嗣, F. Damay, J.-M. Mignot, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次
2. 発表標題 Ce3Ir4Sn13におけるカイラル構造相転移と磁気状態
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩佐和晃
2. 発表標題 Ce3T4Sn13(T=Co,Rh,Ru,Ir)におけるカイラル構造相転移と電子状態
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会「中性子散乱研究の現状とJRR-3再稼働後の展望」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuaki Iwasa
2. 発表標題 Effects of chiral-crystal-structure transformations on magnetic states and superconductivity in R3T4Sn13 (R = La and Ce, T = transition metal)
3. 学会等名 Virtual Theoretical & Experimental Magnetism Meeting (vTEMM) 2020 and UK-Japan Workshop on Strongly Correlated Electron Systems (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

茨城大学原子科学研究教育センター 物質構造物理研究室 <a href="http://msp.fas.ibaraki.ac.jp/index.html">http://msp.fas.ibaraki.ac.jp/index.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	桑原 慶太郎  (Kuwahara Keitaro)  (90315747)	茨城大学・基礎自然科学野・教授    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
フランス	University Grenoble Alpes	Institut Laue Langevin		
英国	Rutherford Appleton Laboratory			
南アフリカ	University of Johannesburg			