

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03727

研究課題名（和文）量子位相と中性子非弾性散乱

研究課題名（英文）Quantum phase and inelastic neutron scattering

研究代表者

伊藤 晋一（Itoh, Shinichi）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授

研究者番号：00221771

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：交換分裂したバンドがスピン軌道相互作用で交差する強磁性体では、バンド交差は、ベリー位相を生じ、異常ホール効果の起源となる。異常ホール効果がこのメカニズムで説明できるSrRuO₃のスピン波分散関係の温度変化がベリー曲率の温度変化に対応することが明らかになっていた。本研究では、スピнкаイラリティーによって異常ホール効果が説明できる金属強磁性体Nd₂Mo₂O₇、及び、金属反強磁性体Mn₃Snのスピン波分散関係がSrRuO₃と同じ振る舞いを示すことを明らかにし、ベリー曲率が中性子非弾性散乱の観測量であることを普遍的に示した。また、金属反強磁性体のスピンドイナミクスをブリルアンゾーン全体で明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物性物理学の中心的課題は、多体電子系における電子のもつ複数の物理自由度（スピン、軌道、電荷）と結晶格子との相互作用、及び、電子間の相関効果による新奇な物性の発現の探査とその発現機構の解明にある。中性子非弾性散乱は、従来から、電子のこれら物理自由度を検出するためのプローブとして貢献してきた。本研究では、物理自由度の競合の結果生じる量子位相が中性子非弾性散乱の観測量であることを新たに示し、中性子非弾性散乱が物性物理学の解明に寄与できる新しいチャンネルを持つことを示したものである。

研究成果の概要（英文）：In ferromagnets where exchange-split bands cross each other by spin-orbit interaction, the band crossing gives rise to the Berry phase, which is the origin of the anomalous Hall effect. It was shown that the temperature dependence of the spin-wave dispersion relation in SrRuO₃, where the anomalous Hall effect can be explained by this mechanism, corresponds to a temperature dependence of the Berry curvature. In this study, it is found that the spin-wave dispersion relations of the metallic ferromagnet Nd₂Mo₂O₇ and the metallic antiferromagnet Mn₃Sn, where the anomalous Hall effect can be explained by spin chirality, show the same behavior as that of SrRuO₃, and it is universally shown that the Berry curvature is an observable quantity in inelastic neutron scattering. We also revealed the spin dynamics of metallic antiferromagnets throughout the entire Brillouin zone.

研究分野：物性物理学

キーワード：金属磁性 ベリー位相 スピнкаイラリティー スピンドイナミクス 磁気励起 中性子非弾性散乱

1. 研究開始当初の背景

強磁性体では、↑スピンと↓スピンのバンドに交換分裂し、その状態密度の差が自発磁化を与える。分裂したバンドがスピン軌道相互作用で交差を起こす場合、バンド交差は、ベリー位相 [1]を生じ、運動量空間におけるモノポールとして振舞い、その仮想的磁場が異常ホール効果の起源となる。金属強磁性体 SrRuO₃ の異常ホール効果は、ホール抵抗が磁化には比例せず、このメカニズムで説明できる [2]。

我々は、この仮想的磁場をスピン波のエネルギーとして中性子非弾性散乱実験で検出することに初めて成功した [3]。強磁性転移温度 T_c (=165 K) 以下

で、スピン波の分散関係 (エネルギー E と運動量 Q の関係) は、通常強磁性体のように、小さい Q に対して、 $E(Q) = DQ^2 + E_g$ で表わされることがわかった (各温度 T に対して D 、 E_g は定数)。通常強磁性体ではスピン波のエネルギーは自発磁化 $M(T)$ に比例して単調に温度変化するが、SrRuO₃ ではスピン波のギャップエネルギー E_g が非単調に温度変化することを検出した (図 1(a))。そして、非単調な温度変化を示す異常ホール伝導度 $\sigma_{xy}(T)$ を用いて (図 1(b))、 E_g が (2) 式で表わされることを明らかにした。

異常ホール伝導度 σ_{xy} は、(1) 式のように、ベリー曲率 (ベリー位相による仮想的磁場) で記述されるので、我々のこの結果はスピン波のエネルギーがベリー曲率で記述できることをはじめて明らかにしたものである [3]。中性子非弾性散乱、特に磁気散乱は、中性子スピンと物質の電子スピンとの相互作用を通して物質のスピンダイナミクスを観測する手段である。散乱断面は電子スピンの相関で記述され、しばしば、内部磁場である磁化の関数として記述される。この実験は、それに加えて、量子位相によって生じる仮想的磁場も中性子非弾性散乱の観測量になることを示している。この成果は、中性子非弾性散乱が量子位相を直接的に検出する実験手法であることを示すものであるが、従来、この視点での研究は行われていなかった。

2. 研究の目的

量子位相 (ベリー位相) は、スピン、軌道、電荷等と並んで物性を支配する物理自由度と認知されるようになったが、その直接的検出が課題である。我々は、金属磁性体のスピン波の測定により、量子位相による仮想的磁場 (ベリー曲率) が中性子非弾性散乱の観測量であることを発見した。この最初の実験に引き続き、異常ホール効果への量子位相の寄与が考えられるいくつかの系において、中性子非弾性散乱が一般的に量子位相を直接的に検出する実験手法であることを実証する。さらに、異常ホール効果の起源に対して論争のある系で、その決着を図る。この研究ではスピン波のエネルギーを精密に測定することが必要であり、既存の中性子非弾性散乱装置を高分解能化して、研究をすすめる。

ベリー位相は時間依存シュレディンガー方程式に現れる量子力学的位相 (量子位相) である [1]。複雑なバンド構造をとる系では、バンド交差は、ベリー位相を発生させ、運動量空間でモノポールとして振舞い、その仮想的磁場 (ベリー曲率) は、異常ホール効果の起源となる。量子位相は、近年、スピン、軌道、電荷等と同様に物性を支配する物理自由度と認知されるようになった。我々は、異常ホール効果が量子位相の効果で記述される金属強磁性体 SrRuO₃ [2] の中性子非弾性散乱実験を行ない、スピン波のエネルギーが異常ホール伝導度の関数で記述できることを発見し、ベリー位相を起源とする仮想的磁場が中性子非弾性散乱の観測量であることを初めて明らかにした [3]。これは、量子位相という物理自由度がスピンダイナミクスとして観測できることを表わしていて、中性子非弾性散乱が量子位相を直接的に実験的に検出する手法であることを示している。SrRuO₃ はこれを示す初めての例であり、実験手法として確立させるためには、さらにいくつかの例で検証する必要がある。

異常ホール効果は、強磁性体において、ホール抵抗が自発磁化 M に比例する現象であるが、

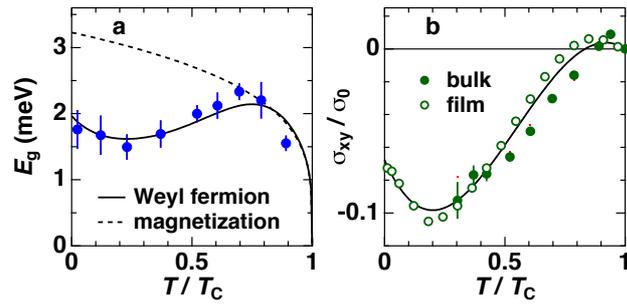


図 1 (a) SrRuO₃ のスピン波の分散関係 $E(Q) = DQ^2 + E_g$ におけるギャップエネルギー E_g の温度依存性。強磁性転移温度は $T_c = 165$ K である。実線は (2) 式でのフィット、点線は $b = 0$ とおいたもので $E_g \propto M(T)$ を表わす。(b) この解析に用いた $\sigma_{xy}(T)$ の実験値。

異常ホール効果が量子位相による場合、ホール抵抗は自発磁化 M に比例せず、異常ホール伝導度 σ_{xy} は、量子位相による仮想的磁場であるベリー曲率 $\mathbf{B}(\mathbf{k})$ を用いて

$$\sigma_{xy} = \sum_{n,\mathbf{k}} f(E_{n,\mathbf{k}}) B_{n,z}(\mathbf{k}) \quad (1)$$

と表わされる。ここで、 $f(E_{n,\mathbf{k}})$ はフェルミ分布関数、和はフェルミ波数以下の波数 \mathbf{k} と状態 n に対して取られる。一方、スピン波のギャップエネルギー E_g は内部磁場に比例する量であるので、通常は、自発磁化 M に比例する。しかし、我々は、 SrRuO_3 においては、ギャップエネルギー E_g は、異常ホール伝導度 σ_{xy} を用いて、

$$E_g = aM / (1 + bM\sigma_{xy}) \quad (2)$$

で表わされることを明らかにした (a, b は定数) [3]。従って、スピン波エネルギーに量子位相による仮想的磁場が寄与している。 E_g に対して、 M と σ_{xy} は、異なる寄与をするので、温度変化や外場に対する変化を測定することによって、この2つの寄与を分離することができる。本研究では、異常ホール効果への量子位相の寄与があると考えられる系で、スピン波を測定することにより、(2)式を用いて解析し、量子位相による仮想的磁場の検出を試みる。

SrRuO_3 のように、ホール抵抗が自発磁化には比例せず、異常ホール効果が量子位相の効果で起こると考えられる系はいくつか存在する。そういった系の多くは、**noncolinear** なスピン構造がスピнкаイラリティーをもたらし、それが量子位相を発生させる。本研究では、以下に列挙する系について、高分解能の中性子非弾性散乱実験環境を実現して、スピン波エネルギーを精密に測定することにより、量子位相による仮想的磁場の検出を試みる。

パイロクロア型酸化物 $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ は金属強磁性体である。無磁場低温で、**Mo** スピンはほぼ強磁性状態であるが、**Nd** スピンが **2-in 2-out** で長距離秩序を示すため、**Mo** スピンの傘が数度開くことによって、スピнкаイラリティーが生じる。また、磁場下では次のような特徴的な変化も示す。**(100)** 方向に磁場を印加するとスピンが平行になって **Mo** スピンのスピнкаイラリティーは小さくなる。**(111)** 方向に磁場をかけると、**Nd** スピンは **2-in 2-out** 構造から、**3-in 1-out** 構造へ転移が起こり、**Mo** スピンのスピнкаイラリティーの符号も反転する。これらのスピнкаイラリティーの変化に対応した異常ホール効果が観測されている[4]。

一方で、この系の異常ホール効果は、量子位相の効果ではなく、**Nd** スピンと **Mo** スピンの両方の磁気モーメントの温度変化で説明できるとする研究もある[5]。異常ホール効果や磁化では、**Mo** スピンと **Nd** スピンの寄与を明瞭に区別できないので、これらの2種類の解釈を可能にする。 $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ の磁気励起は **Mo** スピンのスピン波と **Nd** スピンの局所励起で記述できると考えられるので、中性子非弾性散乱では **Mo** スピンと **Nd** スピンの寄与を分離して測定することが可能になる。また、(2)式により、スピン波エネルギーに対する自発磁化と量子位相に起因する仮想的磁場の寄与が異なるので、スピン波エネルギーを異常ホール効果や磁化と比較することにより、 $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ の異常ホール効果の起源を解明できる。

金属反強磁性体 $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}$ は、 $0.4 < x < 0.85$ において面心立方格子をとる γ 相であり、**triple-Q** のスピン構造の秩序状態をとる。この **nocolinear** なスピン構造からバンド構造を計算すると、バンド交差が存在するが、結晶構造が高対称のために、異常ホール伝導度には寄与しない。しかし、一軸方向に圧力を印可し、結晶構造が面心立方格子からずれると、スピнкаイラリティーを発生させ、異常ホール効果が起きることが指摘されている[6]。そのほか、**noncolinear** なスピン構造がスピнкаイラリティーを発生させる例としては、反強磁性金属では Mn_3Ge 、 Mn_3Sn [7] など物質系が知られていて、大きな異常ホール効果が議論されている。

3. 研究の方法

この研究では、中性子非弾性散乱によりスピン波エネルギーの温度変化を精密に測定し、それを、自発磁化や異常ホール伝導度と比較することにより、量子位相による仮想的磁場がスピндаイナミクスとして観測できるかどうかを検証するものである。

中性子非弾性散乱はスピндаイナミクスをエネルギー運動量空間で観測できるユニークな方法であり、大強度陽子加速器施設 **J-PARC** により、大強度パルス中性子源を用いて効率的に中性子非弾性散乱実験を遂行できる環境が整いつつある。高分解能チョッパー分光器 (**High Resolution Chopper Spectrometer, HRC**) は、高分解能の中性子非弾性散乱実験のために、**J-PARC** に設置された装置である。**HRC** の概念図を図2に示す[8]。パルス中性子源で発生した白色中性子は、フェルミチョッパーで単色化され (入射中性子のエネルギー E_i を選択し)、実験試料に入射され、散乱中性子が検出される。飛行時間を分析することにより実験試料でのエネルギー遷移 E が決定され、散乱角と飛行時間から運動量遷移 Q が決定される。

フェルミチョッパーは、中性子遮蔽板を積層したスリットがパルス中性子発生周期に同期して回転し、必要なタイミングでビームラインを開口させて、中性子ビームを単色化するものであ

る (図3)。スリット幅 w (遮蔽板間隙)、回転体直径 D 、回転周波数 f に対して、開口時間は $\Delta t = w/(2\pi Df)$ であり、 Δt がエネルギー分解能 ΔE を決める。 $D = 100 \text{ mm}$ 、 $f = 100 - 600 \text{ Hz}$ であり、開口のタイミングは E_i を決める。HRC では、低加速器出力でも十分な中性子束を得るために、 $w = 2.4 \text{ mm}$ のスリットで $\Delta E/E_i = 5-10\%$ のエネルギー分解能で実験してきた。 $w = 1.2 \text{ mm}$ のスリットを持つフェルミチョッパーも設置していて、さらに高分解能の実験も可能である。これらの性能評価及び性能改善を行ない、実験をすすめる。また、合わせて、必要な装置整備を行なう。

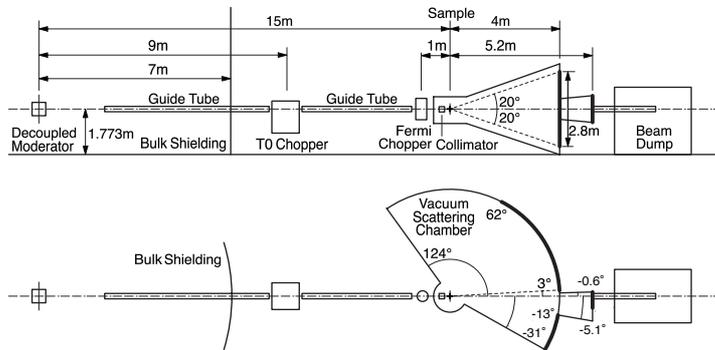


図2 HRCの概念図。側面図(上)と平面図(下)。太い実線上に検出器が配置されている。すなわち、散乱角が $-31^\circ \sim 62^\circ$ の範囲に、特に小角は $-0.6^\circ \sim -5.1^\circ$ に検出器が設置されている。

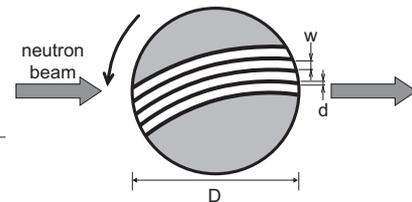


図3 フェルミチョッパーの構造 (平面図)。

4. 研究成果

(1) $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$

$\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ の単結晶試料を用いて中性子非弾性散乱実験を行なった。測定は強磁性転移温度 ($T_c = 90 \text{ K}$) 以下の温度領域 ($T = 3 \sim 60 \text{ K}$) で行なった。励起エネルギー E が $E < 2 \text{ meV}$ の領域で測定し、強磁性スピン波の分散関係 $E = Dq^2 + E_g$ に従う励起 (q は波数) を観測したので、この励起をスピン波と同定し、スティッフネス定数とギャップエネルギーの温度依存性 (それぞれ $D(T)$ 、 $E_g(T)$) を求めた。低温になるにつれ、 D はわずかに増大するが、 E_g は大きく増大する振る舞いが観測された。(111)の磁気反射強度は、Mo の磁化 M_{Mo} 及び Nd の磁化 M_{Nd} を用いて、 $I = (a'M_{\text{Mo}} + b'M_{\text{Nd}})^2$ と表わされる。Mo は T_c 以下で強磁性的に秩序化するので $M_{\text{Mo}} = (1 - T/T_c)^\beta$ とおき、Nd は結晶場基底状態が分裂した2準位系で表わされるので $M_{\text{Nd}} = \tanh(2\Delta/T)$ とおいて、 $I(T)$ をよくフィットすることができた。また、異常ホール伝導度の温度依存性 $\sigma_{xy}(T)$ を測定した。 $D(T)$ は $M_{\text{Mo}}(T)$ で説明でき、 $E_g(T)$ は $M_{\text{Mo}}(T)$ と $\sigma_{xy}(T)$ を用いて(2)式で表わされることがわかった。すなわち、 $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ のスピン波の分散関係の温度変化は SrRuO_3 と同様の振る舞いを示すことがわかった。異常ホール効果の起源がスピнкаイラリティーによる量子位相の効果であることを強く示唆する結果である。

(2) Mn_3Sn

強磁性体 SrRuO_3 及び $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ でベリー曲率を中性子非弾性散乱で検出できることを示したので、次に、反強磁性体についても同様の研究を試みた。スピнкаイラリティーによるベリー曲率により異常ホール効果が発現することが知られている反強磁性体 Mn_3Sn [7] の多結晶試料を合成し、中性子非弾性散乱実験を行った。反強磁性超格子点にギャップを伴った分散関係をもつ励起を観測した。エネルギーギャップの温度変化 $E_g(T)$ を調べたところ、異常ホール伝導度の温度依存性 $\sigma_{xy}(T)$ に相関する振る舞いを確認した。単結晶の育成も試みていて、励起の詳細を検討する予定である。

(3) $\gamma\text{-FeMn}$

金属反強磁性体 $\gamma\text{-FeMn}$ では、磁気構造からスピнкаイラリティーが予想され、それによる異常ホール伝導度も理論的に予想されている系である [6]。 $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$ (磁気相転移温度 $T_N = 465.5 \text{ K}$ 、磁気モーメント $\mu = 1.2 \mu_B$) と $\text{Fe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$ ($T_N = 412 \text{ K}$ 、 $\mu = 2 \mu_B$) の単結晶試料を用いて [9]、中性子非弾性散乱実験を励起エネルギー E が 10 meV から 300 meV の広い範囲で、反強磁性超格子点を中心とするブリルアンゾーン全域で実施した。従来の低温試料環境を用いて T_N よりも十分低温で実験を行なったほか、新たに整備したクライオファーンを用いて T_N よりも高温でも実験を行なった。低温では、反強磁性スピン波の分散関係を示し、スピン波速度 c は、エネルギー E とともに増大する。波数 $q = 0$ では c は T_N でスケールされる。ギャップエネルギーが大きいことからスピン

カイラリティーの存在が示唆される。励起のエネルギー幅は q 方向は E に比例し、積分強度も E に比例し、これらは金属磁性体の振る舞いに一致する。 E 方向のエネルギー幅は c の E 依存性に対応している。 $\text{Fe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$ のエネルギー幅は $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$ よりも大きく、励起が減衰しているが、磁気モーメントの値の分布及び T_N の大小関係から推定されてきた $\text{Fe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$ のランダムネスの大きさが証明された。 $E > 150 \text{ meV}$ の励起は、 T_N の上下で温度変化しないことから、個別励起であるストーナー励起であることが結論される。従来の金属磁性体の磁気励起の研究では、スピン波とストーナー励起の相互作用が論じられてきたが、この実験はブリルアンゾーン全域で実施し、ストーナー励起を単独で観測したものである。

(4) そのほかの物質系

Ce 系の金属反強磁性体 CeTSi_3 (T:遷移金属) は結晶構造に反転対称性を持たない系であり、ベリー曲率の起源となる反対称性スピン軌道相互作用が発生していて、これが超伝導の発現に密接に関係している。これらの系の結晶場準位を HRC を用いて中性子非弾性散乱実験で測定し、超伝導出現との関係を議論した。T = Rh または Ir の場合、超伝導を示すことが明らかになっていたが、結晶場基底状態波動関数は Γ_7 であることを明らかにした。T = Pt または Pd では超伝導は起こさないが、結晶場基底状態波動関数は Γ_6 であることを明らかにした[10]。

Ce 系ファンデルワールス化合物 CeTe_3 及び CeTe_2Se でも、ベリー曲率の起源となる反対称性スピン軌道相互作用が発生していて、両系は異なる磁気異方性を示す。すなわち、 CeTe_2Se では磁気モーメントは困難軸を向いているが、 CeTe_3 では容易軸を向いている。HRC を用いて結晶場励起を中性子非弾性散乱実験で測定したところ、 CeTe_2Se の磁気モーメントの異常な向きは、結晶場で決まる磁気異方性、反対称性スピン軌道相互作用、及び、quantum order-by-disorder で決まることを明らかにした[11]。order-by-disorder においては、大きな揺らぎが磁気異方性を制御して、予期しない秩序が現われる。

(5) 装置整備

中性子非弾性散乱の高性能化に向けた基礎研究を行なった。フェルミチョッパーのスリット材 (中性子遮蔽板、図 2 のスリットの黒い曲線で表わされた部分) は、ボロン繊維をアルミに拡散接合された材料が用いられてきたが、一定の厚さを持つ上、製造会社もなくなり、性能向上のためには新たな材料を探す必要がある。ガドリニウム箔がスリット材として利用できないか、材料強度の測定と製作方法の検討を行なった。

2 台のフェルミチョッパー ($w=2.4 \text{ mm}$ と 1.2 mm 、図 2) の性能評価を行ない、それぞれの場合に、HRC のエネルギー分解能と中性子強度を絶対値で表現する公式を見出した[12]。

合わせて、HRC での実験条件のシミュレーションが容易にできるソフトウェアの整備をすすめた。

HRC ではこれまで低温実験のために主に Gifford-McMahon 型冷凍機を用いて 4–300 K の温度範囲での実験を実現してきた。これに加えて、クライオファーンを整備し、4-700K の広い温度領域での中性子非弾性散乱実験を可能にした[13]。

引用文献

- [1] M. V. Berry, Proc. R. Soc. Lond. A (1984) 45.
- [2] Z. Fang et al., Science 302 (2003) 92.
- [3] S. Itoh et al., Nature Communications 7 (2016) 11788.
- [4] Y. Taguchi et al., Science 291 (2001) 2573; Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 257302.
- [5] Y. Yasui et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 084711.
- [6] R. Shindou and N. Nagaosa, Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 116801.
- [7] S. Nakatsuji et al., Nature 527 (2015) 212.
- [8] S. Itoh et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 631 (2011) 90.
- [9] Y. Endoh and Y. Ishikawa, J. Phys. Soc. Jpn. 30 (1971) 1614.
- [10] D. Ueta et al., J. Phys. Soc. Jpn. 90 (2021) 104706.
- [11] D. Ueta et al., J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 094706.
- [12] 伊藤晋一、中性子ビームライン、高エネルギー加速器セミナーOHO'23 (2023) 9-1 – 9-27.
- [13] D. Ueta et al., JPS Conf. Proc. 41 (2024) 011008.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Daichi Ueta, Riki Kobayashi, Hiroki Sawada, Yuki Iwata, Shin-ichiro Yano, Shingo Kuniyoshi, Yuita Fujisawa, Takatsugu Masuda, Yoshinori Okada, and Shinichi Itoh	4. 巻 91
2. 論文標題 Anomalous magnetic moment direction under magnetic anisotropy originated from crystalline electric field in van der Waals compounds CeTe ₃ and CeTe ₂ Se	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 094706(1)-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.094706	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 Daichi Ueta, Tomohiro Kobuke, Hiroki Shibata, Masahiro Yoshida, Yoichi Ikeda, Shinichi Itoh, Tetsuya Yokoo, Takatsugu Masuda, Hideki Yoshizawa	4. 巻 90
2. 論文標題 Crystalline electric field level scheme in the non-centrosymmetric CeRhSi ₃ and CeIrSi ₃	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 104706(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.104706	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 S. Itoh, T. Masuda, T. Yokoo, H. Yoshizawa, M. Soda, S. Asai, Y. Ikeda, S. Ibuka, M. Yoshida, T. Hawai, H. Saito, D. Kawana, R. Sugiura, T. Asami, Y. Ihata	4. 巻 33
2. 論文標題 Dynamical studies in condensed matter on High Resolution Chopper Spectrometer (HRC) - 2nd phase of HRC project -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.33.011058	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 S. Itoh and Y. Endoh	4. 巻 88
2. 論文標題 Neutron Brillouin Scattering and Low-Q Dynamics in Condensed Matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 81004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.081004	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59件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 Daichi Ueta, Shinichi Itoh, Tetsuya Yokoo, Takatsugu Masuda, Taro Nakajima, Shinichiro Asai, Hiraku Saito, Daichi Kawana, Ryosuke Sugiura, Toshio Asami, Yoshiaki Ihata, Hiroaki Tanino
2. 発表標題 Neutron flux and energy resolution of the HRC spectrometer at J-PARC
3. 学会等名 The 15th Edition of the QENS series and the 10th of the WINS workshops (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Ueta, S. Itoh, T. Yokoo, T. Masuda, T. Nakajima, S. Asai, H. Saito, D. Kawana, R. Sugiura, T. Asami, Y. Ihata, H. Tanino, S. Yamauchi
2. 発表標題 Sample environment of the HRC spectrometer at J-PARC
3. 学会等名 11th International Workshop on Sample Environment at Scattering Facilities (ISSE workshop 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤晋一、益田隆嗣、横尾哲也、中島多朗、植田大地、浅井晋一郎、齋藤開、川名大地、杉浦良介、浅見俊夫、井畑良明、谷野弘明
2. 発表標題 高分解能チョッパー分光器による物質のダイナミクスの研究
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 植田大地、小林理気、澤田拓希、岩田由規、矢野真一郎、國吉真伍、藤沢唯太、益田隆嗣、岡田佳憲、伊藤晋一
2. 発表標題 中性子非弾性散乱実験による異常な磁気応答を示すCeTe ₂ Seの結晶場準位の研究
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 S. Itoh
2. 発表標題 KENS instruments at J-PARC MLF
3. 学会等名 KEK 50th Anniversary Symposium, (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤晋一、益田隆嗣、横尾哲也、中島多朗、浅井晋一郎、齋藤開、植田大地、川名大地、杉浦良介、浅見俊夫、瀬谷智洋、井畑良明、谷野弘明
2. 発表標題 高分解能チョッパー分光器HRCによる物質のダイナミクスの研究
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 長谷川舜介、浅井晋一郎、松本正茂、Tao Hong、Barry Winn、伊藤晋一、益田隆嗣
2. 発表標題 RbFeCl ₃ において観測された縦/横揺らぎ混成モードにおけるマグノン崩壊の磁場依存性
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 伊藤晋一、益田隆嗣、横尾哲也、中島多朗、浅井晋一郎、齋藤開、植田大地、菊地帆高、長谷川舜介、川名大地、杉浦良介、浅見俊夫、井畑良明、谷野弘明
2. 発表標題 高分解能チョッパー分光器による物質のダイナミクスの研究
3. 学会等名 日本中性子科学会2020年第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川名大地、中島多朗、浅井晋一郎、齋藤開、益田隆嗣、伊藤晋一
2. 発表標題 チョッパー分光器用軸立てシミュレーションアプリの開発
3. 学会等名 日本中性子科学会2020年第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yokoo, R. Kajimoto, M. Nakamura, Y. Kawakita, M. Matsuura, H. Endo, H. Seto, S. Itoh, K. Nakajima, S. Ohira-Kawamura
2. 発表標題 Suite of the Neutron Spectrometers in J-PARC
3. 学会等名 European Conference on Neutron Scattering (ECNS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤晋一、羽合孝文、齋藤開、横尾哲也、益田隆嗣、遠藤康夫、金子良夫、Max Hirschberger、永長直人、十倉好紀
2. 発表標題 金属強磁性体Nd ₂ Mo ₂ O ₇ のスピン波
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Itoh, T. Hawaii, H. Saito, T. Yokoo, T. Masuda, Y. Endoh, Y. Kaneko, M. Hirschberger, N. Nagaosa, Y. Tokura
2. 発表標題 Berry Curvature Observed in Spin Waves in Nd ₂ Mo ₂ O ₇
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Itoh, T. Masuda, T. Yokoo, H. Yoshizawa, M. Soda, S. Asai, Y. Ikeda, S. Ibuka, M. Yoshida, T. Hawaii, H. Saito, D. Kawana, R. Sugiura, T. Asami, Y. Ihata
2 . 発表標題 Dynamical studies in condensed matters on High Resolution Chopper Spectrometer (HRC) - 2nd phase of HRC project -
3 . 学会等名 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Kajimoto, T. Yokoo, M. Nakamura, Y. Kawakita, M. Matsuura, H. Endo, H. Seto, S. Itoh, K. Nakajima, S. Ohira-Kawamura
2 . 発表標題 Suite of the Neutron Spectrometers in J-PARC MLF
3 . 学会等名 23rd Meeting of the International Collaboration on Advanced Neutron Sources (ICANS XXIII) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Itoh
2 . 発表標題 Berry curvature observed in spin waves
3 . 学会等名 1st Workshop on Inelastic Neutron Scattering in Asia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Itoh, T. Hawaii, H. Saito, T. Yokoo, T. Masuda, Y. Enodoh, Y. Kaneko, M. Hirschberger, N. Nagaosa, Y. Tokura
2 . 発表標題 Berry Curvature Observed in Spin Waves in Nd ₂ Mo ₂ O ₇
3 . 学会等名 3rd Asia-Oceania Conference for Neutron Scattering (AOCNS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Itoh, T. Masuda, T. Yokoo, H. Yoshizawa, M. Soda, S. Asai, Y. Ikeda, S. Ibuka, M. Yoshida, T. Hawaii, H. Saito, D. Kawana, R. Sugiura, T. Asami, Y. Ihata
2. 発表標題 Dynamical studies in condensed matters on High Resolution Chopper Spectrometer (HRC) - 2nd phase of HRC project -
3. 学会等名 3rd Asia-Oceania Conference for Neutron Scattering (AOCNS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤晋一、益田隆嗣、横尾哲也、中島多朗、浅井晋一郎、齋藤開、川名大地、杉浦良介、浅見俊夫、井畑良明、谷野弘明
2. 発表標題 高分解能チョッパー分光器による物質のダイナミクスの研究
3. 学会等名 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶本亮一、横尾哲也、中村充孝、川北至信、松浦直人、遠藤仁、瀬戸秀紀、伊藤晋一、中島健次、河村聖子
2. 発表標題 J-PARC MLFの非弾性・準弾性中性子散乱装置
3. 学会等名 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	植田 大地 (Ueta Daichi)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	遠藤 康夫 (Endoh Yasuo)		
研究協力者	十倉 好紀 (Tokura Yoshinori)		
研究協力者	永長 直人 (Nagaosa Naoto)		
研究協力者	金子 良夫 (Kaneko Yoshio)		
研究協力者	ヒルシュパーガー マックス (Hirschberger Max)		

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