

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01042

研究課題名（和文） $\alpha$ -Mnの高圧物性 異常ホール効果と量子臨界現象研究課題名（英文）Magnetic properties of  $\alpha$ -Mn under high pressure, Anomalous Hall effect and quantum critical phenomena

研究代表者

小林 達生 (Kobayashi, Tatsuo)

岡山大学・環境生命自然科学学域・教授

研究者番号：80205468

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）： $\alpha$ -Mnの反強磁性（AFM）相でゼロ磁場NMRを行い、初めて解析可能なスペクトルの測定に成功した。その結果、AFM秩序によりサイトIIは2サイトに分裂し、サイトIIIとIVは4つに分裂することが明らかになった。これは、AFM相が従来知られているスピン構造より低対称であることを決定付けるものである。

高圧下弱い強磁性相で中性子回折実験を行い、スピン構造を決定した。決定された磁気構造から期待される自発磁化は観測された自発磁化の大きさと非常によく一致している。この磁気構造は強磁性と同じ対称性を有したフェリ磁性であり、ベリー位相に起因した異常ホール効果の発現を強く支持する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

$\alpha$ -Mnの反強磁性相におけるNMRについては、50年前に指摘された中性子散乱実験との不一致を明確なものとする実験結果が得られた。この論文はJ.Phys.Soc.Jpn.のEditors' choiceに選ばれた。スピン構造の決定には至っていないが、単体元素磁性体でスピン構造が決定されていない物質はほかに例がなく、学術的に大きな意義がある。

高圧下における弱い強磁性相のスピン構造が強磁性と同じ対称性を有したフェリ磁性であることは、この相で見られる異常ホール効果の出現機構がベリー位相に起因していることを強く支持する結果であり学術的に重要な意義がある。

研究成果の概要（英文）： Zero-field NMR was performed in the antiferromagnetic (AFM) phase of  $\alpha$ -Mn. The analyzable spectra was successfully measured for the first time. As a result, it was revealed that the site II splits into two sites, and the sites III and IV split into four sites due to the AFM order. This confirms that the AFM phase has a lower symmetry than the previously known spin structure.

Neutron diffraction experiments were performed on the weakly ferromagnetic phase under high pressure to determine the spin structure. The spontaneous magnetization expected from the determined magnetic structure is  $0.020 \mu\text{B}/\text{Mn}$ , which is in excellent agreement with the magnitude of the observed spontaneous magnetization. This magnetic structure is ferrimagnetic with the same symmetry as the ferromagnetic one, strongly supporting the appearance of the anomalous Hall effect due to the Berry phase.

研究分野：物性実験

キーワード：マンガン 磁気秩序 高圧 異常ホール効果 NMR 中性子回折

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

単体金属は一般に単純な結晶構造をもつ場合が多いが、 $\alpha$ -Mn は unit cell に 29 個の原子を含む複雑な bcc 構造 ( $I43m$ ) であり、結晶学的に異なる 4 つのサイトからなる。(Fig. 1) バンドを形成する s, p, d 軌道の電子配置がサイトごとに異なり、サイズの異なる原子のように振る舞うために、このような複雑な結晶構造が実現すると考えられている。 $\alpha$  相は常温での安定相であり、高温では  $\beta$  相 (1015~1368 K : sc),  $\gamma$  相 (1368~1406 K : fcc),  $\delta$  相 (1406~1517 K : bcc) と相転移する。高圧下では、より対称性が高く高密度の結晶構造に相転移することが期待されるが、驚くべきことに 165 GPa まで安定である。

$\alpha$ -Mn は  $T_N = 95$  K で反強磁性 (AFM) 転移を示す。AFM 相では 4 つのサイトに大きさの異なる磁気モーメントが存在し、ノンコリニアに整列することが中性子回折実験およびゼロ磁場 NMR から明らかになっている。

研究代表者のグループでは、 $\alpha$ -Mn の純良単結晶の育成に成功し、これを用いた電気抵抗および交流帯磁率測定により、特徴的な 2 段の圧力-温度相図 (Fig. 2a) を決定した。1.4 GPa 以上で現れる圧力誘起磁気秩序相では、小さい自発磁化 ( $\sim 0.02 \mu_B/\text{Mn}$ ) が観測された。(Fig. 2b, c) [1, 2] 最近接原子間の反強磁性相互作用がこのような圧力で変化するとは考えにくく、理論的にも全く予測されていなかった。さらに、この圧力誘起弱強磁性 (WFM) 相では、小さい自発磁化にもかかわらず、Fe などの強磁性体に匹敵する大きさの異常ホール効果 (Fig. 2d) が観測された。[2] 同様の異常ホール効果は近年反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  等で観測されており、ベリー曲率に起因し、強磁性と同じ既約表現をもつ磁気秩序状態で現れているものと考えられている。磁気秩序構造の変化により現れる異常ホール効果は初めての例であり、WFM 相のスピンの構造の解明は最重要課題である。

WFM 相は 4.2 GPa で急激に消失するが、その臨界圧力では、電気抵抗は  $50 \text{ mK} < T < 10 \text{ K}$  の広い温度範囲で  $T^{5/3}$  に従い、量子臨界性を示している。[1] これは強磁性ゆらぎを考えた SCR 理論で予測された非フェルミ液体的振舞いであり、反強磁性相互作用が支配的と考えられる系で現れていることが興味深い。他の物理量でも磁気ゆらぎ効果を測定し、総合的に検討する必要がある。この量子臨界点近傍で超伝導探索を行ったが、50 mK まで観測されなかった。反転対称性のない結晶構造で強磁性ゆらぎが存在すると、クーペ対の形成に必要な伝導電子の縮退を保障する対称性がないということが指摘される。量子臨界点近傍での  $T^2$  の係数は、低温極限で  $0.4 \mu\Omega\text{cm}/\text{K}^2$  に達し、d 電子系としては異常に大きい有効質量を示唆する。この「重い電子系」は、大きな磁気ゆらぎに起因すると考えられ、より高圧での磁気ゆらぎの抑制と超伝導の出現が期待される。

### 2. 研究の目的

- (1) 高圧下の中性子散乱実験・ゼロ磁場 NMR により、WFM 相のスピンの構造・各サイトの磁気モーメントの大きさを明らかにする。異常ホール効果がどのようなスピン構造の下で現れているのかを知ることが、異常ホール効果の機構を考えるうえで最も重要であるし、以下のゆらぎ効果を考察する上でも重要である。
- (2) 極低温・高圧下での NMR・比熱・磁化測定により、量子臨界現象 (磁気ゆらぎ効果) を明らかにする。さらに、量子臨界点以上でのホール効果測定によりメタ磁性を探索し、磁場中での相図を明らかにする。

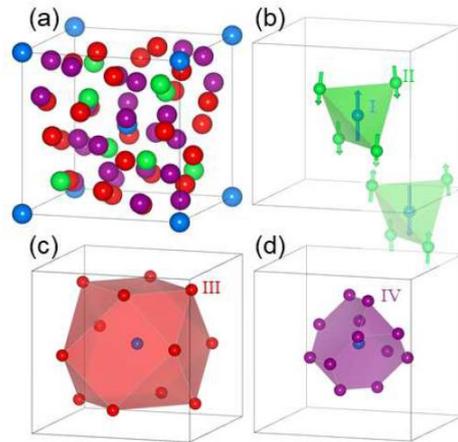


Fig. 1. a)  $\alpha$ -Mn の結晶構造。b-d) サイト I を取囲むサイト II-IV。

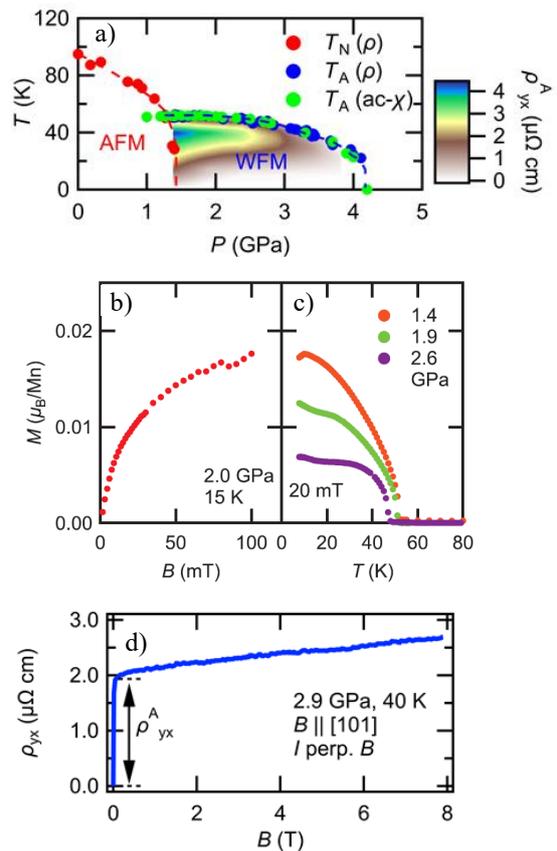


Fig. 2. a)  $\alpha$ -Mn の磁気相図。b, c) WFM 相で現れる自発磁化。d) 異常ホール抵抗  $\rho_{yx}^A$ 。これを a) にカラープロットで示す。

(3) ダイヤモンドアンビルセル (DAC) を用いた電気抵抗測定により、50 GPa までの超伝導探索を行う。加圧により磁気ゆらぎは抑制されることが期待され、有効質量の圧力依存性を明らかにするとともに、超伝導との関連を調べる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 単結晶育成

中性子回折実験用の大型単結晶試料の作成のため、電気炉内で温度勾配をつけた状態での Pb フラックス法単結晶育成を行った。これにより 1-2 mm<sup>3</sup> 程度の大きさの単結晶育成に成功した。

#### (2) 中性子散乱 (原子力機構との共同研究)

単結晶の中性子回折実験は J-PARC の BL18, MLF にある TOF ラウエ回折計 (SENJU) で行った。ハイブリッドアンビル型圧力セルを使用して、最大 2.0 GPa の圧力を印加した。1.2×1.2×0.4 mm<sup>3</sup> のサイズに研磨された単結晶試料は、(011) 面をアンビルのキュレット表面に置いて、アルミニウム合金ガasket に入れられた。圧力媒体はグリセリンを用い、圧力はルビー蛍光法を使用して室温で測定された。磁気および核回折データは、(hkk) 逆格子面付近の 6 つの結晶方位で収集された。データ収集は 2.8 K (WFM 相) と 60 K (常磁性相) で行われた。

#### (3) ゼロ磁場 NMR (島根大、千葉大との共同研究)

NMR 測定はゼロ磁場で、4 つのサイトそれぞれについて、共鳴周波数の圧力依存性を測定した。信号強度を上げるために、試料は単結晶試料を粉末にして行った。Cu-Be と NiCrAl のハイブリッドピストン-シリンダーセル (< 2 GPa) と対向アンビル型圧力セル (< 5 GPa) を用いて、WFM 相が消滅するまでの NMR 測定を行った。圧力媒体はそれぞれ Daphne Oil 7373 (室温での凝固圧力: 2.2 GPa) と Daphne Oil 7575 (室温での凝固圧力: ~4.0 GPa) を使用した。

#### (4) 電気抵抗測定による超伝導探索

ダイヤモンドアンビルセル (DAC) を用いて 13 GPa までの圧力で電気抵抗測定を行った。試料は 200×50×10 μm 程度に研磨されるが、スポットウェルドで Au 電極を溶着すると、試料が割れてしまう。1015 K 以上で一原子あたりの体積が大きい β-Mn ができていると考えている。そのため圧力媒体に NaCl を用いて試料に Au 電極を圧着して実験を行った。圧力はルビー蛍光法を使用して室温で測定されたが、低温でも変化がないことを確認している。測定は希釈冷凍機を用いて 60 mK まで行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 常圧 AFM 相

1970 年の AFM 相 (常圧) での中性子回折実験では、サイト I と II については 1 サイトのまま、サイト III と IV は AFM 秩序により 2 サイトに分裂するとして解析されている。一方、1972 年のゼロ磁場 NMR 測定では、サイト II で 2 本の共鳴線が観測され、中性子実験と一致しない。そのため、まず純良単結晶を用いた常圧におけるゼロ磁場 NMR を藤原グループ (島根大学) と協力して行った。[3] その結果、以前の論文とは質的に異なる、はっきりと構造がわかるスペクトルが得られた。(Fig. 3) 例えば、サイト II では 2 本の共鳴線を観測しているが、それぞれが <sup>55</sup>Mn の核スピン量子数  $I = 5/2$  に対応して 5 本の共鳴線からなり、[100] 方向からわずかにずれた秩序モーメントが 2 サイト存在することを示す。(点線は以前の論文のデータ) 同様に、サイト III や IV でもそれぞれ 4 サイトに分裂することが明らかになった。(Fig. 3) この実験結果は α-Mn の AFM 相がより低対称であることを決定付けるものである。この実験結果は 50 年来明らかにされなかった NMR の奇妙な結果をブレイクスルーするものであり、その論文 [3] は J. Phys. Soc. Jpn. の Editors' choice に選ばれた。α-Mn の AFM 相におけるスピン構造の解明は

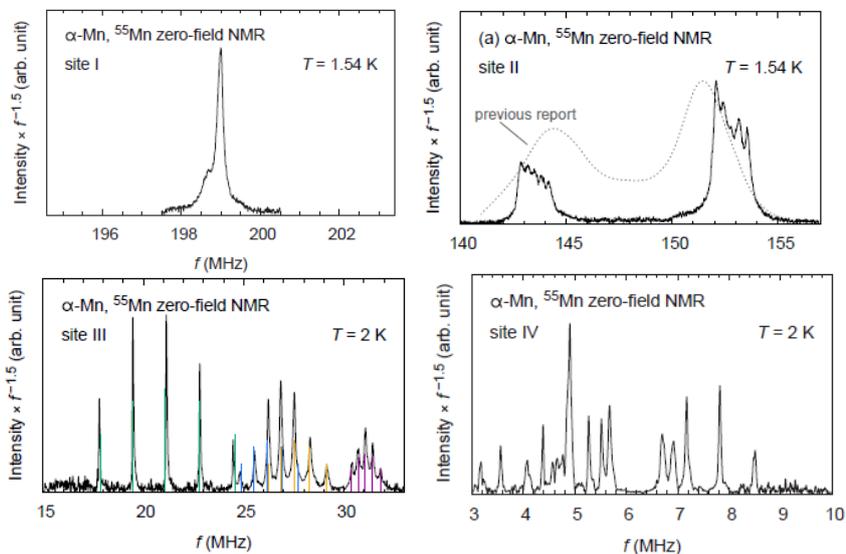


Fig. 3 α-Mn の反強磁性状態 (常圧) におけるゼロ磁場 NMR スペクトル

当初の研究計画にはなかったが、大変重要な課題である。スピン構造を明らかにし、その秩序機構を解明するために、現在 NMR スペクトルの温度変化を調べており、今後中性子散乱実験を行う予定である。

## (2) 圧力誘起 WFM 相

WFM 相の中性子散乱実験は 2.0 GPa の高圧下で行われた。[4] Fig. 4 (a), (b) に 2.8 K と 60 K における  $(hkk)$  逆格子面での強度マップを示す。WFM 相への相転移において、 $h + 2k = 2n$  ( $n$ は整数) の反射強度が増大することが確認された。この反射位置は bcc 構造の核反射位置と一致しており、WFM 相の磁気伝播ベクトルは  $\mathbf{q} = (000)$  であることが明らかになった。磁気反射強度の温度依存性は Fig. 4 (c-e) に示すように、反射ごとに著しく異なっている。このことから、各サイトの磁気モーメント (大きさや向き) の温度変化が異なっていることが示唆される。

Fig. 5 は 2.8 K で観測された磁気反射強度の測定結果である。磁気反射は核反射と同位置に観測されるため、特に高角側でエラーバーが大きい。全部で 23 個の磁気反射が確認された。磁気反射強度解析の結果、 $I43m$  の最大部分群のうち、 $I42'm'$  が WFM 相の属する磁気空間群であることが明らかになった。決定された磁気構造を Fig. 6 に示す。サイト I の磁気モーメントは  $1.84\mu_B$  と最も大きく、 $[001]$  方向を向いている。サイト II の磁気モーメントは  $0.83\mu_B$  と 2 番目に大きくサイト I の磁気モーメントと反平行になっている。このサイト I とそれを正四面体で囲むサイト II の磁気構造は常圧の AFM 相と同じである。しかしながら、磁気モーメントの大きさは両サイトともに AFM 相よりも減少している。サイト III とサイト IV はともに  $I42'm'$  において、2 個の非等価なサイトに分裂する。Fig. 6 に示すようにサイト III-1 とサイト IV-1 の磁気モーメントは  $[001]$  方向に、サイト III-2 とサイト IV-2 の磁気モーメントは  $(001)$  面内に配列する。サイト III, IV の磁気モーメントの大きさは  $0.3\mu_B$  程度である。

この磁気構造から期待される自発磁化は  $0.020\mu_B/\text{Mn}$  となり、観測された自発磁化の大きさと非常によく一致している。この磁気構造は強磁性と同じ対称性を有したフェリ磁性であり、ベリ一位相に起因した異常ホール効果の発現を強く支持する。

WFM 相のゼロ磁場 NMR は (一部当グループの単結晶を用いて) 深澤グループ (千葉大) によって行われた。[5, 6] WFM 相のスペクトルは常圧で結果 (Fig. 3) に比べてブロードで、その解析には成功していない。Fig. 7 に  $\alpha\text{-Mn}$  のそれぞれのサイトにおける共鳴周波数の圧力変化を示す。AFM 相内で加圧により内部磁場は減少し、WFM 相に転移する  $P_{c1}$  ではサイト III と IV の共鳴周波数が急激にゼロに向かう様子が観測されている。このことと相図 (Fig. 2) に見られる  $P_{c1}$  での急激な  $T_N$  の減少から、AFM-WFM 転移は一次転移的であると考えられる。さらに加圧すると、WFM 相でもサイト I と II の共鳴周波数は減少し、 $P_{c2} \sim 4.3$  GPa で一次転移的に NMR 信号は消滅する。 $P_{c2}$  付近では、電気抵抗測定で  $T^{5/3}$  に比例する非フェルミ液体的振る舞いが観測されており、磁気ゆらぎによるものと考えている。[1] これらの結果から、 $P_{c2}$  での相転移は弱い一次転移であると考えられる。同様の振る舞いは、弱い強磁性体 MnSi の臨界圧力でも観測されている。

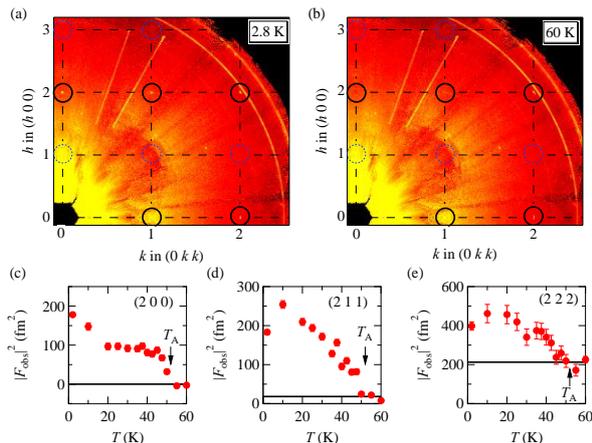


Fig. 4. a,b)  $\alpha\text{-Mn}$  の 2.8 K と 60 K における強度マップ。c,d,e) (2 0 0), (2 1 1), (2 2 2) 反射の構造因子の 2 乗の温度依存性。

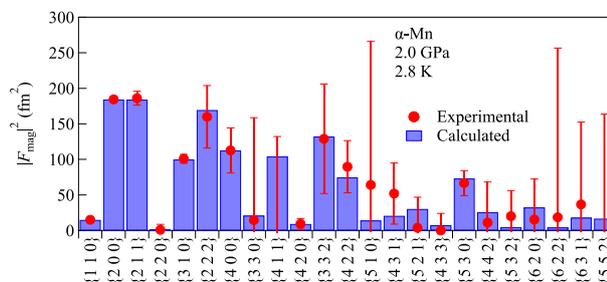


Fig. 5.  $\alpha\text{-Mn}$  の 2.8 K における磁気反射強度の測定結果と、磁気空間群  $I42'm'$  を仮定した計算結果。

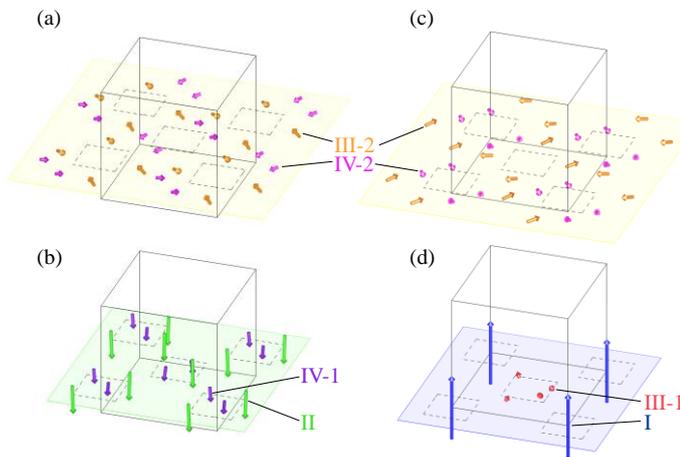


Fig. 6.  $\alpha\text{-Mn}$  の WFM 相の磁気構造。

### (3) 電気抵抗測定による超伝導探索

$\alpha$ -Mn の単結晶試料について、DAC を用いた高圧下電気抵抗測定を行った結果、13 GPa/60 mK までの圧力・温度範囲で超伝導は観測されなかった。フェルミ液体的振る舞い  $\rho = \rho_0 + AT^2$  の係数  $A$  は加圧により急激に抑えられ、 $P_{c2}$  での値に比べ  $1/100$  に減少している。加圧により磁気モーメントが減少することで、磁気ゆらぎが減少していると考えられる。

以上のように、 $\alpha$ -Mn の磁性研究を進め、WFM 相のスピ構造と異常ホール効果との関連も明らかにできた。一方、本研究で新しい展開が見られた常圧の AFM 相については道半ばである。中性子散乱実験や NMR の温度変化の実験で何らかのブレイクスルーがあることを期待している。その他研究目的の (2) にあげた NMR による量子臨界現象の研究については、特に  $T_1$  の温度依存性に興味もたれるが、スペクトルの解析を優先したために着手できなかった。

#### 参考文献

- [1] T. Sato *et al.*, JPS Conf. Proc. **30**, 011030 (2020).
- [2] K. Akiba *et al.*, Phys. Rev. Res. **2**, 043090 (2020).
- [3] M. Manago *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 113701 (2022). “JPSJ Editors' Choice”
- [4] S. Araki *et al.*, Phys. Rev. B (submitted)
- [5] H. Fukazawa *et al.*, JPS Conf. Proc. **38**, 011071 (2023).
- [6] G. Fujita *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 023707 (2024).

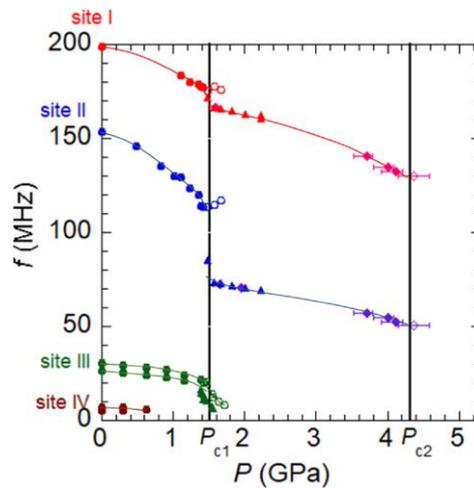


Fig. 7.  $\alpha$ -Mn のそれぞれのサイトにおける共鳴周波数の圧力変化

## 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 0件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Fujita Go, Kawanabe Fumiya, Fukazawa Hideto, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh, Kitagawa Kentaro, Iwamoto Kaisei, Araki Shingo, Kobayashi Tatsuo C.  | 4. 巻<br>93           |
| 2. 論文標題<br>Zero-Field NMR of $\delta$ -Mn up to 5 GPa   | 5. 発行年<br>2024年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>23707  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.7566/JPSJ.93.023707   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |
| 1. 著者名<br>Fukazawa H., Fujita G., Shioda N., Ohama T., Kohori Y., Iwamoto K., Araki S., Kobayashi T. C.   | 4. 巻<br>38           |
| 2. 論文標題<br>NMR Study of $\delta$ -Mn Exhibiting Anomalous Hall Effect under High Pressure   | 5. 発行年<br>2023年      |
| 3. 雑誌名<br>JPS Conference Proceedings  | 6. 最初と最後の頁<br>11071  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.7566/JPSCP.38.011071  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |
| 1. 著者名<br>Akiba Kazuto, Kobayashi Tatsuo C.   | 4. 巻<br>107          |
| 2. 論文標題<br>Phonon-mediated superconductivity in the Sb square-net compound LaCuSb <sub>2</sub>  | 5. 発行年<br>2023年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B   | 6. 最初と最後の頁<br>245117 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1103/PhysRevB.107.245117  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |
| 1. 著者名<br>Manago Masahiro, Motoyama Gaku, Nishigori Shijo, Fujiwara Kenji, Kinjo Katsuki, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Akiba Kazuto, Araki Shingo, Kobayashi Tatsuo C., Harima Hisatomo | 4. 巻<br>91           |
| 2. 論文標題<br>Site Split of Antiferromagnetic $\delta$ -Mn Revealed by 55Mn Nuclear Magnetic Resonance   | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>113701 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.7566/JPSJ.91.113701   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Akiba Kazuto, Umeshita Nobuaki, Kobayashi Tatsuo C.  | 4. 巻<br>106           |
| 2. 論文標題<br>Observation of superconductivity and its enhancement at the charge density wave critical point in LaAgSb2 | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B  | 6. 最初と最後の頁<br>L161113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevB.106.L161113   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Takahashi Hidefumi, Akiba Kazuto, Takahashi Masayuki, Mayo Alex H., Ochi Masayuki, Kobayashi Tatsuo C., Ishiwata Shintaro | 4. 巻<br>92          |
| 2. 論文標題<br>Superconductivity in a Magnetic Rashba Semimetal EuAuBi  | 5. 発行年<br>2023年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>13701 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.7566/JPSJ.92.013701  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Akiba Kazuto, Kobayashi Tatsuo C., Hayashida Momoka, Matsuhira Kazuyuki                                  | 4. 巻<br>92          |
| 2. 論文標題<br>Effect of High Pressure on the Electrical Resistivity of Electric Toroidal Ordering Candidate Ca5Ir3012 | 5. 発行年<br>2023年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>35002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.7566/JPSJ.92.035002   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

|                              |
|------------------------------|
| 1. 発表者名<br>秋葉和人, 小林達生        |
| 2. 発表標題<br>CeAgSb2の圧力下交流比熱測定 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会 第78回年次大会   |
| 4. 発表年<br>2023年              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林達生, 荒木新吾, 秋葉和人, 西森弘顕, 岩本凱成 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの高圧物性                     |
| 3. 学会等名<br>ウラン化合物を中心とする特異な物性の最前線        |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 金城克樹, 北川俊作, 石田憲二, 播磨尚朝 |
| 2. 発表標題<br>反強磁性 -Mnのゼロ磁場NMRスペクトル測定   |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2022年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>荒木新吾, 岩本凱成, 秋葉和人, 小林達生, 宗像孝司, 長壁豊隆, 金子耕士 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの圧力誘起磁気秩序相の磁気構造                       |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2022年秋季大会                          |
| 4. 発表年<br>2022年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>藤田剛, 川鍋郁弥, 深澤英人, 大濱哲夫, 小堀洋, 北川健太郎, 岩本凱成, 荒木新吾, 小林達生 |
| 2. 発表標題<br>単結晶 -Mnの圧力下ゼロ磁場NMR                                  |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2023年春季大会                                     |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>荒木新吾, 多田龍輝, 秋葉和人, 小林達生, 田端千紘, 金子耕土, 長壁豊隆 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの常圧反強磁性相の磁気構造                         |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2023年春季大会                          |
| 4. 発表年<br>2023年                                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>荒木新吾, 小林達生, 西森弘顕, 秋葉和人, 岩本凱成, 宗像孝司, 長壁豊隆, 金子耕土 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの高圧物性                                       |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2021年秋季大会                                |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>塩田直輝, 伊藤知晃, 片岡裕熙, 深澤英人, 大濱哲夫, 小堀洋, 荒木新吾, 小林達生 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの圧力誘起相転移に対するゼロ磁場NMR測定                      |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2021年秋季大会                               |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|                           |
|---------------------------|
| 1. 発表者名<br>小林達生           |
| 2. 発表標題<br>-Mnの高圧物性       |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会北海道支部講演会 |
| 4. 発表年<br>2021年           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林達生, 荒木新吾, 秋葉和人, 西森弘顕, 岩本凱成 |
| 2. 発表標題<br>-Mnの高圧物性                     |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第77回年次大会               |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>藤田剛, 塩田直輝, 深澤英人, 大濱哲夫, 小堀洋, 岩本凱成, 荒木新吾, 小林達生 |
| 2. 発表標題<br>単結晶 -Mnのゼロ磁場NMRと磁気構造の解析                      |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第77回年次大会                               |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生 |
| 2. 発表標題<br>単結晶 -MnのNMRによる研究                              |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第77回年次大会                                |
| 4. 発表年<br>2022年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|