

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03551

研究課題名（和文）磁場中の中性子回折を利用したスピン間に働く交換相互作用の値の決定方法の確立

研究課題名（英文）Development for determination of exchange-interaction values between spins using neutron diffraction in magnetic fields

研究代表者

長谷 正司（Hase, Masashi）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・ナノアーキテククス材料研究センター・主席研究員

研究者番号：40281654

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）：研究目標は、スピン間に働く交換相互作用の値を、汎用的に、簡便に、正確に決定する方法の確立である。Cu₃(P2060D)₂の6T、1.6KでのCu1とCu2サイトの磁場誘起磁気モーメントの値を0.43と0.013μBと評価した。この結果はこの物質のスピン模型（スピン1/2の3倍周期鎖）で予想される結果と一致する。Ni₂V₂O₇の10T、1.9KでのNi1とNi2サイトの磁場誘起磁気モーメントを0.3と1.9μBと評価した。この結果はこの物質のスピン模型（スピン1のダイマー・モノマー模型）で予想される結果と一致する。また、K₂Cu₃O(SO₄)₃とYbCo₂も中性子回折を利用して研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピン、電荷、軌道などの効果が絡み合った強相関系物質が次世代デバイスの材料物質である。スピンに関する部分では、スピン間に働く交換相互作用（スピンを互いに逆向きにする反強磁性相互作用など）の値を把握することが重要である。よって、交換相互作用の値を、汎用的に（色々な物質に適用できる）、簡便に、正確に決定する方法の確立が重要となっている。本研究で、磁場中の中性子回折を用いて、磁性イオンサイト毎の磁化を評価し、交換相互作用の値の決定に利用できることを示すことができた。今後、強相関系物質を用いたデバイスの開発に役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：The research goal is to establish the method to evaluate values of exchange interactions between spins universally, simply, accurately. We evaluated field-induced magnetic moments at Cu1 and Cu2 sites to be 0.43 and 0.013 μB, respectively, for Cu₃(P2060D)₂ at 6 T and 1.6 K. This result is consistent with the result expected in the spin model of this compound (spin-1/2 trimerized chain). We evaluated field-induced magnetic moments at Ni1 and Ni2 sites to be 0.3 and 1.9 μB, respectively, for Ni₂V₂O₇ at 10 T and 1.9 K. This result is consistent with the result expected in the spin model of this compound (dimer-monomer model). We also studied magnetism of K₂Cu₃O(SO₄)₃ and YbCo₂ using neutron diffraction.

研究分野：磁性

キーワード：磁場中の中性子回折 磁場誘起磁気モーメント スピン 交換相互作用 常磁性状態

1. 研究開始当初の背景

現在の科学技術はシリコンなどの半導体によって支えられている。半導体の性質を決めるのは1電子バンド構造で、電子相関は特に考えなくてもよい。次世代では、スピン、電荷、軌道などの効果が絡み合った強相関系物質が重要となってくる。デバイスなどに使用する強相関系物質の選定において、スピンの部分では、スピン間に働く交換相互作用(スピンを互いに逆向きにする反強磁性相互作用など)の値を把握することが重要である。磁性は主として交換相互作用の値で決まるからである。よって、交換相互作用の値を、汎用的に(色々な物質に適用できる)簡便に、正確に決定する方法の確立が重要となっている。

交換相互作用の値を最も正確に決められる方法は、中性子非弾性散乱で磁気励起を測定し、予想されるモデル(交換相互作用などによって形成されるスピン系)の計算結果と比較することで、交換相互作用の値を決めるという方法である。しかしながら、大きな単結晶(よって物質が限定される)と十分な中性子のビームタイムが必要なため、汎用性と簡便性に欠ける。よって、通常の方法では、磁化や比熱などを測定し、計算結果と比較することで、交換相互作用の値を決める。しかしながら、スピンを持つ磁性イオンサイトと交換相互作用が複数種類ある場合、交換相互作用の値が一意に決まらない可能性があるという弱点がある。例えば、ダイヤモンド鎖物質 $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ では、実験結果を説明できる交換相互作用の値の組み合わせが複数報告されている。以下の理由から、磁性イオンサイト毎のスピンの値(量子力学におけるスピンの期待値)が分かれば、その弱点を補うことができる。反強磁性相互作用(スピンを互いに逆向きにするような相互作用)を感じているスピンの値は小さい。一方、孤立している、もしくは、強磁性相互作用(スピンを同じ向きにするような相互作用)を感じているスピンの値は大きい。よって、サイト毎のスピンの値は、交換相互作用の値を決めるための有用な情報となる。磁気秩序が起これば、中性子回折を利用して、秩序化した磁気モーメントの配列状況(磁気構造)を調べることで、スピンの値を得ることができる。一方、磁気秩序がない常磁性状態では、この方法は使えない。核磁気共鳴を使えば、サイト毎の情報はあるが、簡便な方法とは言えない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、磁場中の中性子回折を利用して、汎用性があり、簡便で、通常の方法よりも正確に交換相互作用の値を決定する方法を確立することである。

常磁性状態に磁場を印加すると、図1の矢印(M_1 と M_2)のように磁場誘起磁気モーメントが現れ、中性子回折実験において、磁気ブラッグピーク(磁気反射)を作る。磁気反射を定量評価することで、サイト毎の磁場誘起磁気モーメントの値が分かる。その値はスピンの値に比例するので、交換相互作用の符号や大小を推定できる。その推定を踏まえた上で、磁化や比熱などの実験結果と計算結果を比較すれば、より正確に交換相互作用の値を決定出来る。

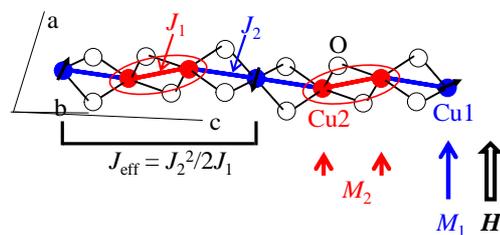


図1 $\text{Cu}_3(\text{P}_2\text{O}_6\text{OD})_2$ のスピン系と期待される磁場誘起モーメント (M_1 と M_2)。

本方法は、粉末試料にも適用可能である。粉末しか得られない物質が多いので汎用性があると言える。磁場誘起磁気モーメントは磁場に平行で、その値は磁場に比例し、磁気異方性が強く無い場合、粉末か単結晶かといった試料形状にあまり依存しない。一方、粉末には以下の2つの利点がある。粉末では、一度に色々な指数の反射が調べられるのに対して、単結晶では、調べたい指数に応じて単結晶の向きを変える必要がある。磁場誘起磁気モーメントの作る磁気反射は、結晶構造が作る核反射と同じ位置に現れるので、ゼロ磁場と有限磁場での強度の差として、磁気反射の強度を得る。粉末の方が、核反射が小さいので、より正確に磁気反射の強度を得ることができる。

磁気秩序がある物質の秩序化した磁気モーメントの値を粉末試料で決める場合よりも、より小さな磁気モーメントの値を本方法では決めることができる。中性子の散乱ベクトルに垂直な磁気モーメントの成分が磁気中性子散乱に寄与する(磁気モーメントが大きくても、散乱ベクトルと平行であれば、磁気反射に寄与できない)。粉末試料では、秩序化した磁気モーメントは様々な方向を向いている。一方、本方法では、磁場は中性子の散乱ベクトルに対して垂直に印加するので、磁場誘起磁気モーメントは、散乱ベクトルと常に垂直になる。よって、本方法の方が、より強い磁気反射が得られ、より小さな磁気モーメントが評価できる。0.1 μ_B 以上の磁場誘起磁気モーメントの値を決定出来るという計算結果を得ている。

交換相互作用の値の決定に磁場中の中性子回折を利用した研究例は無い。本研究によって、交換相互作用の値を、汎用的に、簡便に、正確に決定する方法の確立が期待できる。よって、本研究の成果は磁性研究の発展に重要なマイルストーンになる。また、デバイスなどに使用する強相関係物質の選定においても貢献できる。本研究をきっかけに、磁場中の中性子回折を利用した研究の需要は広がるだろう。

3 . 研究の方法

$Cu_3(P_2O_6OD)_2$ は液相反応法で、 $Ni_2V_2O_7$ と $K_2Cu_3O(SO_4)_3$ は固相反応法で、 $YbCo_2$ はアーク溶融法で作製した。中性子回折実験は、スイス Paul Scherrer Institut (PSI)のDMCとHRPT、オーストラリア Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)のWOMBATとSIKA、米国のOak Ridge National Laboratory (ORNL)のCTAXを用いて行った。

4 . 研究成果

(1) $Cu_3(P_2O_6OD)_2$

交換相互作用の値が分かっている $Cu_3(P_2O_6OD)_2$ を用いて実証実験を行った[1]。図1に示すようにスピンを持つ2種類のCuサイトがあり、...-Cu1-Cu2-Cu2-...という配列の1次元スピン系(3倍周期鎖)が形成されている。磁化[2]と中性子非弾性散乱[3]の結果から、2つのCu2間の交換相互作用(J_1)の値は111 K、Cu1とCu2間の交換相互作用(J_2)の値は30 Kと評価されている。反強磁性の J_1 相互作用が強いので、Cu2サイトの磁場誘起モーメントの値は小さく、Cu1サイトの磁場誘起モーメントの値は大きいと予測される。粉末試料に対して、磁場中の中性子回折実験を行い、予測通りの結果が得られた(図2)。

(2) $Ni_2V_2O_7$

$\text{Ni}_2\text{V}_2\text{O}_7$ では、 $T_{N1} = 6.7\text{ K}$ と $T_{N2} = 5.7\text{ K}$ で磁気転移が起こるが[4]、磁気構造は分かっていない。2 Kでは8から30 Tの間で1/2量子磁化プラトー(一種の常磁性状態)が見られる[4,5]。2種類の Ni^{2+} サイト($\text{Ni}1$ と $\text{Ni}2$)が存在する(図3)。スピンの値は1である。3種類の短いNi-Ni対が存在し、それらの交換相互作用を J_1 , J_2 , J_3 と表すことにする。交換相互作用の値については幾つかの報告例があるが、 $J_1 = 1.0\text{ K}$, $J_2 = -6.3\text{ K}$, $J_3 = 78.5\text{ K}$ が最も確からしい[6]。最も強い J_3 相互作用で $\text{Ni}1$ - $\text{Ni}1$ の反強磁性ダイマーが形成され、 J_1 と J_2 相互作用でダイマーと $\text{Ni}2$ モノマーが弱く結合していると考えられる(ダイマー・モノマー模型)。中性子回折測定を行った。ゼロ磁場では非整合な磁気構造が現れる[7]。 T_{N1} と T_{N2} の間の6.0Kでは $\text{Ni}2$ モーメントのみが秩序化し、モーメントが b に平行なスピン波構造となる。2.3Kでは $\text{Ni}1$ と $\text{Ni}2$ モーメントがともに秩序化し、モーメントが ab 面内のサイクロイド構造となる。 $\text{Ni}1$ と $\text{Ni}2$ モーメントの大きさは、それぞれ 1.62 と $2.50\ \mu_B$ で、 $\text{Ni}1$ において短縮が見られる。10 Tでの $\text{Ni}1$ と $\text{Ni}2$ の磁場誘起磁気モーメントはそれぞれ、 0.3 と $1.9\ \mu_B$ で、

$\text{Ni}1$ では小さい(図4)。以上の結果はダイマー・モノマー模型で期待される結果と一致する。スピン・ネマティック相が現れると考えられている6から8 Tで、磁気秩序の存在を示す磁気反射が見られたので、スピン・ネマティック相は無いと考えられる。

(3) $\text{K}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{SO}_4)_3$

新規の量子スピン系を持つと期待されている $\text{K}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{SO}_4)_3$ の中性子回折実験も行った。先行研究では、低温でも磁気秩序が無いと報告されていたが、実際は磁気秩序が存在するこ

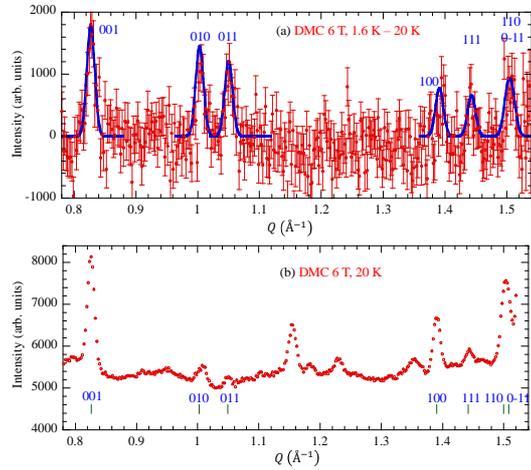


図2 (a) $\text{Cu}_3(\text{P}_2\text{O}_6\text{OD})_2$ の6 Tにおける1.6 Kと20 Kの中性子回折パターンの差。 $M_1 = 0.43\ \mu_B$, $M_2 = 0.013\ \mu_B$ の場合の計算結果を青線で示す。(b) 6 T, 20 Kの中性子回折パターン。指数の付いていない反射は他相の反射。差を取ることで、これらの反射は消えるので、(a)で見られる反射は有意である。

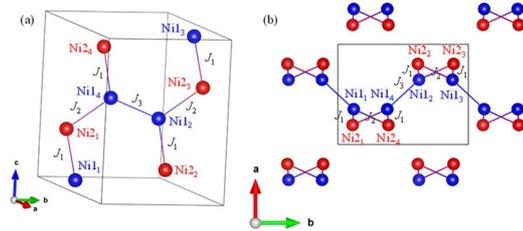


図3 $\text{Ni}_2\text{V}_2\text{O}_7$ のスピン系。

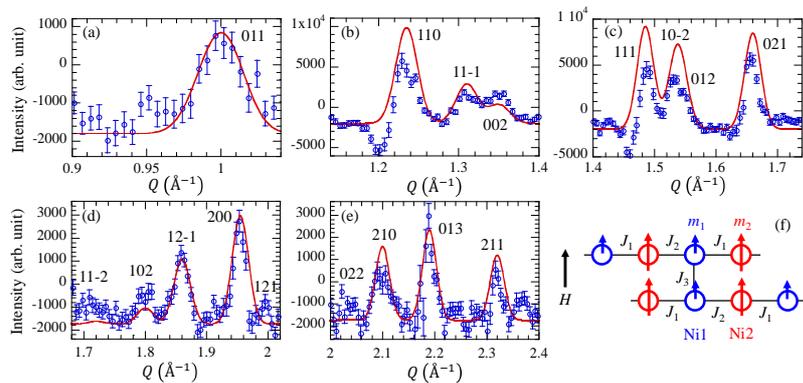


図4 (a)-(e) $\text{Ni}_2\text{V}_2\text{O}_7$ の10 T&1.9 Kの中性子回折パターンと0 T&10 Kのパターンとの差。 $M_1 = 0.3\ \mu_B$, $M_2 = 1.9\ \mu_B$ 場合の計算結果を赤線で示す。(f)磁場誘起モーメントの模式図。

とが分かった。その磁気構造を決めた(図5)[8]。

(4) YbCo₂

YbCo₂の磁場中の中性子回折実験を行った。他のRCo₂(Rは磁性希土類元素)とは異なり、ゼロ磁場では1.8Kまでに磁気転移は現れない。一方、磁場印加によって磁気転移が現れ、磁場の増加に伴い、転移温度は上昇する(9Tの磁場で5.4K)。ゼロ磁場では近藤相互作用が支配的で非磁性的なのに対して、有限磁場では遍歴電子磁性が現れると考えら

れる。このような二重性はf-d電子系では極めて稀である。我々は磁場中でYbとCoの両方が磁気秩序を示すことを確認した。また、磁場誘起モーメントの値も評価した。

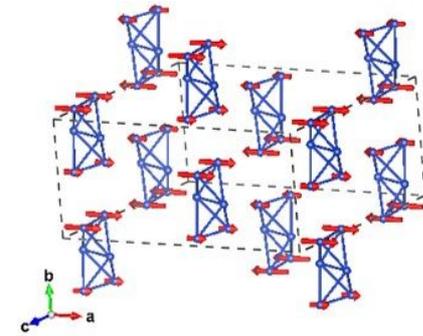


図5 K₂Cu₃O(SO₄)₃の磁気構造。

<引用文献>

- [1] M. Hase et al., Phys. Rev. B 102, 014403 (2020).
- [2] M. Hase et al., Phys. Rev. B 73, 104419 (2006).
- [3] M. Hase et al., Phys. Rev. B 76, 064431 (2007).
- [4] Z. W. Ouyang et al., Phys. Rev. B 97, 144406 (2018).
- [5] L. Yin et al., Crystals 9, 468 (2019).
- [6] J. J. Cao et al., Phys. Rev. B 106, 184409 (2022).
- [7] M. Hase et al., Phys. Rev. B 107, 224415 (2023).
- [8] M. Hase et al., J. Phys. Soc. Jpn. 88, 094708 (2019).

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 6件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Hase, A. Doenni, V. Yu. Pomjakushin, and M. Rotter	4. 巻 599
2. 論文標題 Magnetic structure of Tb3Nb07 determined using neutron diffraction experiments and magnetic anisotropy calculations	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Magn. Magn. Mater.	6. 最初と最後の頁 172106 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2024.172106	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 M. Hase, R. Tamura, K. Hukushima, S. Asai, T. Masuda, S. Itoh, and A. Doenni	4. 巻 109
2. 論文標題 Inelastic neutron scattering studies on the eight-spin zigzag-chain compound KCu4P3012: Confirmation of the validity of a data-driven technique based on machine learning	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 094434 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.109.094434	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 M. Hase, A. Doenni, N. Terada, V. Yu. Pomjakushin, J. R. Hester, K. C. Rule, and Y. Matsuo	4. 巻 107
2. 論文標題 Neutron diffraction studies under zero and finite magnetic fields of the 1/2 quantum magnetization plateau compound Ni2V207	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 224415 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.224415	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 M. Hase, A. Doenni, V. Yu. Pomjakushin, K. Nawa, D. Okuyama, T. J. Sato, S. Asai, and T. Masuda	4. 巻 38
2. 論文標題 Magnetic excitations of the spin-chain compound Tb3Ru07	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011129 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011129	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 M. Hase, A. Doenni, and V. Yu. Pomjakushin	4. 巻 104
2. 論文標題 Magnetic structures of nearly isostructural Tb ₃ RuO ₇ and Nd ₃ RuO ₇ : Appearance of a partially disordered state only in the Tb compound	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 214430 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.214430	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 M. Hase, V. Yu. Pomjakushin, L. Keller, U. Stuhr, A. Doenni, M. Kohno, and A. Tanaka	4. 巻 102
2. 論文標題 Evaluation of field-induced magnetic moments in the spin-1/2 antiferromagnetic trimerized chain compound Cu ₃ (P ₂ O ₆ D) ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 014403 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.014403	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 M. Hase, K. C. Rule, J. R. Hester, J. A. Fernandez-Baca, T. Masuda, and Y. Matsuo	4. 巻 88
2. 論文標題 A possible magnetic structure of the cluster-based Haldane compound fedotovite K ₂ Cu ₃ (S ₄) ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 094708 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.094708	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

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Naohito Tsujii, Jaroslav Valenta, Hitoshi Yamaoka, Fuminori Honda, Yusuke Hirose, Hiroya Sakurai, Takao Mori, Masashi Hase
2. 発表標題 Massive electronic state and field-induced ordering in YbCo ₂
3. 学会等名 24th International Conference on Solid Compounds of Transition Elements (SCTE2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 M. Hase, A. Doenni, N. Terada, V. Yu. Pomjakushin, J. R. Hester, K. C. Rule, and Y. Matsuo
2. 発表標題 Neutron diffraction study of the 1/2 quantum magnetization plateau compound Ni ₂ V ₂ O ₇
3. 学会等名 MANA International Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷正司, A. Doenni, 寺田典樹, V. Yu. Pomjakushin, J. Hester, K. Rule, 松尾由賀利
2. 発表標題 1/2量子磁化プラト-物質Ni ₂ V ₂ O ₇ の中性子回折
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 M. Hase, A. Doenni, N. Terada, V. Yu. Pomjakushin, J. R. Hester, K. C. Rule, and Y. Matsuo
2. 発表標題 1/2量子磁化プラト-物質Ni ₂ V ₂ O ₇ の中性子回折研究
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Hase Matsuo, R. Tamura, K. Hukushima, S. Asai, and T. Masuda
2. 発表標題 Magnetic excitations in the zigzag-chain compound KCu ₄ P ₃ O ₁₂
3. 学会等名 European Conference on Neutron Scattering 2023 (ECNS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Matsuo, M. Hase Matsuo, A. Doenni, N. Terada, V. Yu. Pomjakushin, J. Hester, and K. Rule
2. 発表標題 Neutron diffraction study of the 1/2 quantum magnetization plateau compound Ni ₂ V ₂ O ₇
3. 学会等名 European Conference on Neutron Scattering 2023 (ECNS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Hase, A. Doenni, V. Yu. Pomjakushin, K. Nawa, D. Okuyama, T. J. Sato, S. Asai, and T. Masuda
2. 発表標題 Magnetic structures and excitations of Tb ₃ RuO ₇ and Nd ₃ RuO ₇
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 Masashi Hase, Andreas Doenni, Vladimir Yu. Pomjakushin
2. 発表標題 Magnetic structures of Tb ₃ RuO ₇ and Nd ₃ RuO ₇
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 長谷正司, Andreas Doenni, Vladimir Yu. Pomjakushin
2. 発表標題 結晶構造が似たTb ₃ RuO ₇ とNd ₃ RuO ₇ の磁気構造
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷正司, Andreas Doenni, Vladimir Yu. Pomjakushin
2. 発表標題 結晶構造が似たTb ₃ RuO ₇ とNd ₃ RuO ₇ の磁気構造
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 長谷正司
2. 発表標題 中性子回折を用いた量子スピン系の研究
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hase, V. Yu. Pomjakushin, L. Keller, U. H.-A. Stuhr, and A. Doenni
2. 発表標題 Neutron diffraction study in magnetic fields of the antiferromagnetic spin-1/2 trimerized chain compound Cu ₃ (P2060D) ₂
3. 学会等名 European Conference on Neutron Scattering 2019 (ECNS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Matsuo, M. Hase, K. C. Rule, J. R. Hester, J. A. Fernandez-Baca, and T. Masuda
2. 発表標題 A Possible Magnetic Structure of the Hexamer-Based Haldane Compound K ₂ Cu ₃ (SO ₄) ₃
3. 学会等名 European Conference on Neutron Scattering 2019 (ECNS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷正司、Vladimir Yu. Pomjakushin、Lukas Keller、Uwe Hans-Arnim Stuhr、Andreas Doenni
2. 発表標題 スピン1/2反強磁性3倍周期鎖物質Cu ₃ (P2060D)2の磁場中中性子回折
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 M. Hase, K. C. Rule, J. R. Hester, J. A. Fernandez-Baca, T. Masuda, and Y. Matsuo
2. 発表標題 A Possible Magnetic Structure of the Hexamer-Based Haldane Compound K ₂ Cu ₃ (S ₀₄) ₃
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷正司
2. 発表標題 A Possible Magnetic Structure of the Hexamer-Based Haldane Compound K ₂ Cu ₃ (S ₀₄) ₃
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷正司
2. 発表標題 3倍周期鎖物質Cu ₃ (P2060D)2の磁場中中性子回折
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://samurai.nims.go.jp/profiles/hase_masashi

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
オーストラリア	ANSTO			
スイス	Paul Scherrer Institut (PSI)			
米国	Oak Ridge National Laboratory (ORNL)			