

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05312

研究課題名（和文）ミュオンを用いたリラクサー強誘電体における局所電荷ダイナミクス計測法の開発

研究課題名（英文）Development of muon-based measurement of local charge dynamics in relaxor ferroelectrics

研究代表者

岡部 博孝 (Okabe, Hirotaka)

東北大学・金属材料研究所・特任助教

研究者番号：20406838

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）：リラクサー強誘電体中に存在する極性ナノ領域のダイナミクスの観測を目的として、ミュオンスピン回転緩和法（ μ SR法）を用いた局所電荷揺らぎの計測に関する研究を行った。トランジエント（過渡状態・非定常） μ SR法という新しい測定技術を開発し、反強磁性リラクサー強誘電体(1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃の測定に適用した。本物質の測定を通して、鉄のスピンが示す磁気揺らぎと、それに共存するリラクサー内部の強誘電性ナノドメインの電荷揺らぎを観測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リラクサー強誘電体は理想的な圧電・誘電材料として様々な分野で利用されているが、この優れた特性の起源は未だ議論の最中にある。本研究では、リラクサーが持つ微小な不均質構造の時間揺らぎ（局所電荷揺らぎ）を観測する新しい手法を開発し、実際のリラクサー強誘電体(1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃に適用することで、局所電荷揺らぎの観測に成功した。本研究はリラクサー強誘電体のみならず、ナノサイズの電荷ダイナミクスを利用した半導体エレクトロニクス分野にも革新をもたらすことが期待される。

研究成果の概要（英文）：We have researched to observe the dynamics of polar nanoregions in relaxor ferroelectrics by measuring local charge fluctuations using the muon spin rotation relaxation (μ SR) method. A new measurement technique called the transient (unstable external conditions) μ SR method was developed and applied to measure an antiferromagnetic relaxor ferroelectric (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃. By measuring these materials, we succeeded in observing the magnetic fluctuation exhibited by the iron spin and the charge fluctuation of the ferroelectric nanodomain inside the relaxor coexisting with it.

研究分野：固体物理，量子ビーム物質科学（ミュオン，中性子）

キーワード：ミュオン μ SR リラクサー

1. 研究開始当初の背景

近年、構造物性学の分野において、巨大磁気抵抗マンガン酸化物やマルチフェロイクス、リラクサー強誘電体など電荷やスピンのダイナミクスが物性を左右する系に焦点が当てられている。これらの物質の特徴として、いずれも本質的に何らかのフラストレーションによって生じる不均質性が内在しており、均質系では得られないような巨大応答・特性が出現する。例えば、広い温度領域で大きな誘電率と低い誘電損失、80%以上の高い電気機械結合係数を示すリラクサー強誘電体は、理想的な圧電・誘電材料として様々な分野で利用されている。この優れた特性の起源は未だ議論の最中であるが、微小な不均質構造(ナノ強誘電結晶、極性ナノ領域)に由来すると考えられている[1]。

X線や中性子線による精密な構造解析により、空間的な不均質性に関する理解が飛躍的に向上した一方、時間的な不均質性についてはあまり研究が進んでいない。理論研究によると、リラクサー特性は局所的な電荷のダイナミクスが、ナノ強誘電ドメインの成長を阻害し、極性ナノ領域(polar nanoregions)を形成することに起因するといわれている[2]。この極性ナノ領域は、中性子散漫散乱[3]や中性子非弾性散乱[4]により確認されているが、その起源となる局所ダイナミクスについての情報は得られていない。

一般的に格子やスピンのダイナミクスを観察する方法として、中性子非弾性散乱や核磁気共鳴(NMR)が挙げられる。しかしながらこれらの方法は、揺らぎの平均構造に関する情報を与えるため、リラクサー強誘電体のように微小な不均質構造が物性に大きな影響を及ぼす系を研究する場合において最適な方法とはいえない。したがって、不均質な系における局所電荷の時間揺らぎを計測する方法の開発を期待する声が、日増しに高まっている。

2. 研究の目的

リラクサー強誘電体における極性ナノ領域のダイナミクスを観測するために、ミュオンを用いた局所電荷揺らぎ計測法を開発する。

3. 研究の方法

局所電荷揺らぎを計測するには、原子レベルの極小プローブを目的物質内に注入し、物質内部から揺らぎを観察することが有効であると考えられる。この観点に基づき本研究では、 β -NMR法の一種、ミュオンスピン回転緩和法(μ SR)を採用した。ミュオンは自然界にも豊富に存在する素粒子の一つであり、物質中では軽い陽子(陽子の1/9の質量)として取り扱うことができる。またミュオンはスピン1/2を有しており、平均寿命2.2マイクロ秒で崩壊する際に、ミュオン周辺の磁場と揺らぎを反映した信号(電子あるいは陽電子)を放出する。この性質を利用して、 μ SRはスピングラスやフラストレーション磁性体など、本質的に不均質な系における磁性研究において、目覚ましい成果を挙げてきた[5,6]。

しかしながらミュオンはスピン1/2の粒子であり、電気四重極能率がゼロであるため、電場に対する感度はないとされている。事実、 μ SR法は電場の影響を無視できる純粋な磁気状態観察法として一般に認知されており、強誘電体を測定したとしても、電気分極に関する情報を入手することはできない。しかしながら申請者は、電荷とスピンの結合が強い系(例えばマルチフェロイック物質等)であれば、電子スピンによる局所磁場を目印にして、電荷の揺らぎを観察できる可能性を示した[7]。ミュオンが磁気揺らぎと同程度の時間領域(kHz~GHz帯)において電荷揺らぎを計測できるのであれば、リラクサー強誘電体のナノドメインダイナミクスについて、これまでに不明であった揺らぎに関する情報を収集することが可能と考えられる。

一般的にミュオンが感じる局所磁場の強さは、対象物質が有する電子スピン(磁気モーメント)の大きさと揺らぎの速さに依存する。そこで本研究ではまず、新しい μ SR測定技術(後述のトランジェント μ SR法)の開発に取り組んだ。ここでテスト物質に選択した酸化銅II(CuO)は、リラクサー強誘電体ではないが、電気磁気結合が強いマルチフェロイック物質である[8]。また、CuOの強誘電転移温度は室温に近い($T_C=213$ K)ため、テスト物質に適していると考えられる。これに続いて、反強磁性を示すリラクサー強誘電体 $(1-x)\text{BiFeO}_3\text{-}x\text{BaTiO}_3$ を対象にした本測定を行った。 $(1-x)\text{BiFeO}_3\text{-}x\text{BaTiO}_3$ は、 $x=0.33\sim 0.66$ の組成域において、リラクサー特性および反強磁性秩序を示すことが知られている[9]。このため本物質に注入されたミュオンは、反強磁性秩序を組んだ鉄の磁気モーメント(Fe^{3+} , スピン3/2)を目印にして、リラクサー内に存在する極性ナノ領域の揺らぎを観測することになる。

上記の方法で電荷揺らぎを観測するには、 μ SR時間スペクトルの長時間緩和成分を精密に測定する必要が生じる。そのため、ひとつの測定当たり膨大な数(数千万~数億個)のミュオンの崩壊信号を計測しなければならない。このため本研究は、世界最高レベルのミュオンビームを利用することができる茨城県東海村のJ-PARC(ジェイパーク、Japan Proton Accelerator Research Complex)内にある物質・生命科学実験施設(MLF)にて遂行した。

4. 研究成果

本研究課題を通じて得られた成果を以下に示す。

(1) トランジェント μ SR 法の開発

トランジェント(過渡状態・非定常) μ SR 法とは、温度や磁場等の外部環境パラメータが変化する系(時間的に変化する状態)において、連続的に μ SR データを取得・解析する方法である[10]。トランジェント μ SR 法を開発することで、従来よりも効率的な測定(外部条件変更による待ち時間が事実上ゼロになる)を実現できるのみならず、時間依存性がある過渡状態の測定や in situ(その場)測定を行うことが可能になる。一般的な μ SR 実験では、ミュオンの崩壊によって放出される電子、あるいは陽電子の信号(通常、一つの測定条件当たり数千万~数億回のイベント)を計測してヒストグラム化する。このデータをもとに時間スペクトルと呼ばれる一次元プロット(図1上)を作成し、物理モデルに基づく理論式を用いて解析(フィッティング)することで、目的とするパラメータの情報(局所磁場の大きさや揺らぎ)を得る。

トランジェント μ SR 法の要は、近年の計算機による処理能力の飛躍的な向上を鑑みて、陽電子イベントのデータと試料の温度や磁場などの環境情報を、多次元データに統合するところにある。これによってビームパルスを単位(J-PARC MLFでは25 Hz)として各種データを処理することが可能となり、実験終了後に任意の条件でデータを統合・抽出することができる(ただし最小の時間幅は0.04秒)。図1下は、本研究において開発したトランジェント μ SR 用データ解析ソフトウェアで描画した酸化銅 II の二次元ヒストグラム(時間および温度に対する非対称度)である。本ソフトウェアは J-PARC MLF における共同利用実験での利用を想定して、グラフィカルユーザインタフェースに対応している。二次元ヒストグラム上でマウスカーソルを移動させるだけで、その位置に対応した時間スペクトル(図1上のような従来のデータ)を表示させることができる。また、サイドウィンドウのいくつかのボタンをクリックするだけの操作で、データの統合や抽出、ヒストグラムの生成、描画を実行することができる[10]。

図2は絶対温度190 Kから250 Kの範囲で温度を振動させながら測定した酸化銅 II の時間積分非対称度(ミュオンスピンの偏極度、各相の体積分率に相当)の温度依存性である。各測定点の温度間隔は0.1 Kであり、従来の μ SR 実験では(ビームタイムの制約によって)得ることができないほど細かい温度間隔で、転移温度付近の非対称度の変化を観察することができた。図中の赤いプロットは昇温過程における測定点を表し、青は降温過程、黒は両者の平均を表している。このようにトランジェント μ SR 法を活用することで、不規則な温度や磁場の変動が存在する場合においても、測定終了後に任意の条件でデータを抽出することが可能である。

今後の展望として、J-PARC が提供する25 Hzのパルス周期にトランジェント μ SR を同期させることにより、大強度ミュオンビームの利点を最大限に活用したオペランド測定等のリアルタイムモニタリング技術への発展が期待できる。

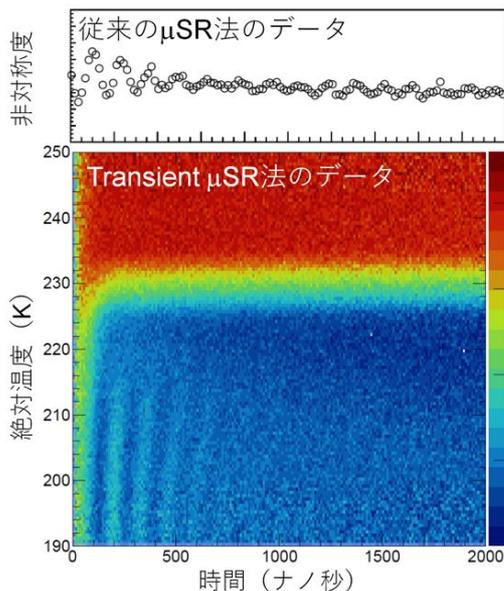


図1: 酸化銅 II の μ SR 時間スペクトル。上図は従来の方式、下図はトランジェント μ SR 法で測定した2次元カラーマップ。

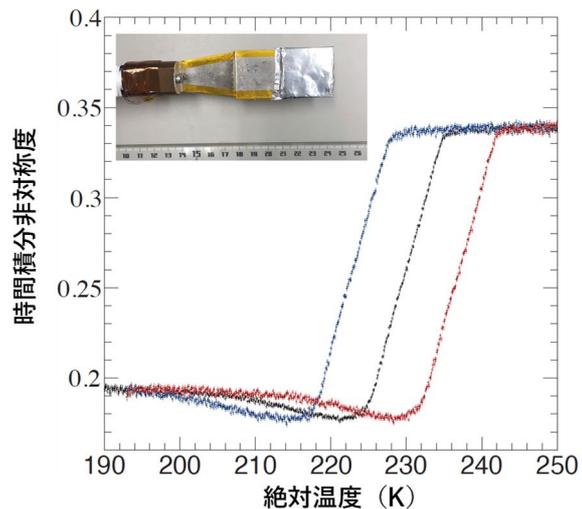


図2: トランジェント μ SR 法で測定した酸化銅 II の時間積分非対称度の温度依存性[10]。赤が昇温時、青が降温時、黒は平均データを示している。挿入図はサンプルホルダにマウントされた試料(先端の銀色の部分、33×33 mm)の写真。

(2) 極性ナノ領域における電荷揺らぎの観測

極性ナノ領域とはリラクサー強誘電体に現れるナノサイズに分極領域であり、リラクサーに見られる広い温度領域における高い誘電率や巨大な圧電効果の出現と密接に関わっている。本研究課題では μ SR 法による極性ナノ領域の時間的な揺らぎ（電荷ダイナミクス）の観測という目的から、反強磁性とリラクサー強誘電性が共存した物質群 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ ($x=0, 0.33, 0.50, 0.66$) を研究対象に選択した。末端組成 ($x=0$) である BiFeO_3 はリラクサー特性を示さないが、高い反強磁性転移温度（ネール点, $T_N \sim 650$ K）と強誘電転移温度（キュリー点, $T_C \sim 1100$ K）を併せ持つマルチフェロイック物質であることが報告されている[11]。本研究ではまず、リラクサーとの比較対象物質として、非リラクサーである BiFeO_3 の μ SR 測定を行った。

図3に10 K から 800 K (摂氏-263 ~527)の温度範囲で取得した $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の非対称度およびミュオンの緩和率の温度依存性を示した。これらは各温度で測定した μ SR 時間スペクトルに対して、単純な指数関数による緩和を用いて解析することで得られたパラメータである。非対称度(図3上)は、磁性を担う鉄の電子スピンの向きがバラバラである常磁性相の割合(体積分率)を反映しており隣り合うスピンの整列した反強磁性秩序が形成されると減少する。ミュオンの緩和率(図3下)は、電子スピンによって生じる局所磁場の大きさと揺らぎの速さを反映しており、通常の磁性体の場合では磁気転移温度 T_N で鋭いピークが現れる。非リラクサー物質の BiFeO_3 (図3の赤いプロット)では、約 650 K の T_N において、非対称度の急激な減少と緩和率の明瞭なピークが現れている。緩和率ピークの高温側(常磁性領域)の温度依存性を解析したところ、 BiFeO_3 ($x=0$) の臨界指数は 1.245(7) であり、鉄の電子スピンは 3 次元イジング的な普遍性クラスに分類されることが判明した。一方、 x が増加しリラクサーになると、非対称度の減少および緩和率のピークは低温側にシフトし、しだいに不明瞭になる傾向が見られた。このようにリラクサー組成 ($x=0.33\sim 0.66$) では、転移の幅が広くなり緩和率に明確なピークが出現しないため、前述の BiFeO_3 のような解析を行って臨界指数を求めることは不可能であることが判明した。これはおそらくリラクサー内部に存在する多数の強誘電性ナノドメイン(極性ナノ領域)の揺らぎ(局所電荷揺らぎ)が、鉄スピンの揺らぎ(磁気揺らぎ)と結合したため、シンプルな揺らぎの分布に基づく従来の理論では説明することができないと判断される。これら2種類の揺らぎを分離するには、今後、理論的視点からのアプローチが必要である。

図4は中性子を用いた先行研究より報告された $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の磁性と誘電性、結晶構造に関する相図である[12]。図中の T_C は強誘電転移温度、 T_N は反強磁性転移温度を表しており、中央の薄い黄色の部分はリラクサー特性を示す組成域(リラクサー相)に対応している。中性子実験の結果(図4中の黒線)では、 T_C 、 T_N 両方とも x が増加するにつれて減少傾向が見られるが、リラクサー相との境界 ($x=0.33, 0.66$) において明確な異常は見られない。一方、ミュオンを用いた本研究の結果(赤線)では、 x が増加するにつれて T_N は直線的に減少し、リラクサー組成の終端 ($x=0.66$) 付近で消失しているように見える。この相違はミュオンと中性子の観測プローブとしての性質の違い(局所構造/平均構造 観測時間域)が反映されたためと考えられる。特にミュオンが感度を有する時間スケールは、中性子よりも低周波数領域 ($10^{-3}\sim 10^{-10}$ 秒)側に位

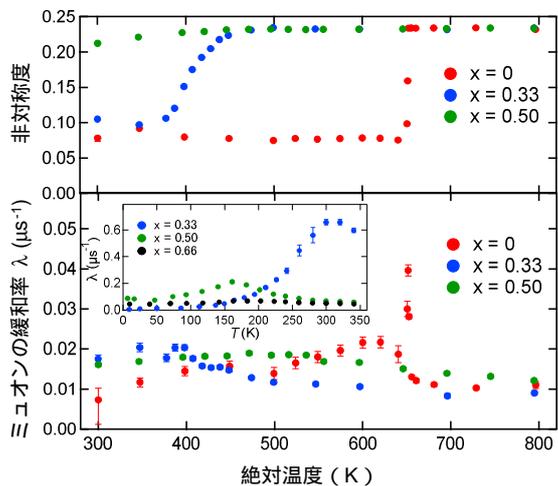


図3： $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の μ SR 実験結果。上図は非対称度，下図はミュオンの縦緩和率の温度依存性を示している。挿入図は低温用のセットアップで測定した緩和率を示している。

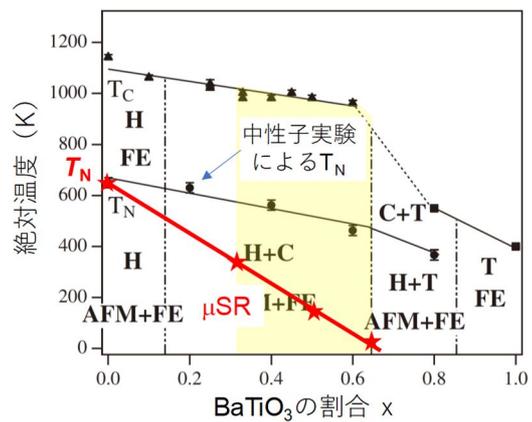


図4： $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の相図[12]。

黒は中性子，赤はミュオン(本実験)の結果を示している。 T_C は強誘電転移温度， T_N は反強磁性転移温度，薄い黄色の部分はリラクサー領域に対応している。

置している。すなわちミュオンの観測時間域は、電気双極子による配向の周波数帯域に一致することから、リラクサー強誘電体の極性ナノ領域の電荷揺らぎを捉えたものである可能性が高い。今後、さらなる研究によって局所電荷揺らぎの情報を抽出することができれば、リラクサー強誘電体のみならず、ナノサイズの電荷ダイナミクスを利用した半導体エレクトロニクス分野にも革新をもたらすことが期待される。

<引用文献>

- [1] H. Takenaka et al., Nature 546, 391 (2017).
- [2] W. Dmowski et al., Phys. Rev. Lett. 100, 137602 (2008).
- [3] S.B. Vakhrushev, A.A. Naberezhnov, N.M. Okuneva, and B. N. Savenko, Phys. Solid State 37, 1993 (1995).
- [4] A. Naberezhnov, S. Vakhrushev, B. Doner, D. Strauch and H. Moudden: Eur. Phys. J. B 11, 13 (1999).
- [5] D. E. Murnick, A. T. Fiory, and W. J. Kosler, Phys. Rev. Lett. 36, 100
- [6] Y. J. Uemura, A. Keren, K. Kojima, L. P. Le, G. M. Luke, W. D. Wu, Y. Ajiro, T. Asano, Y. Kuriyama, M. Mekata, H. Kikuchi, and K. Kakurai, Phys. Rev. Lett. 73, 3306 (1994).
- [7] 佐賀山基 他, マルチフェロイック物質 $MnWO_4$ のスピン揺らぎ II, 日本物理学会 (2019).
- [8] T. Kimura, Y. Sekio, H. Nakamura, T. Siegrist, and A. Ramirez, Nat. Mater. 7, 291 (2008).
- [9] 森茂生 他, マテリアルインテグレーション, 22 47-52 (2009).
- [10] S. Nishimura, H. Okabe, M. Hiraishi, M. Miyazaki, J. G. Nakamura, A. Koda, and R. Kadono, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 1056 (2023) 168669.
- [11] P. Fischer, M. Polomska, I. Sosnowska, and M. Szymanski, J. Phys. C: Solid State Phys. 13, 1931 (1980).
- [12] R. Kiyonagi, T. Yamazaki, Y. Sakamoto, H. Kimura, Y. Noda, K. Ohyama, S. Torii, M. Yonemura, J. Zhang, and T. Kamiyama, J. Phys. Soc. Jpn. 81 024603 (2012).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 H. Okabe, M. Hiraishi, A. Koda, Y. Matsushita, T. Ohsawa, N. Ohashi, and R. Kadono	4. 巻 -
2. 論文標題 Local Magnetism in the Spin-singlet State of V02	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 H. Okabe, M. Hiraishi, S. Nishimura, J. G. Nakamura, A. Koda and R. Kadono	4. 巻 6
2. 論文標題 Local dynamics of polar nanoregions in magnetic relaxor ferroelectrics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 KEK-MSL REPORT 2020 (KEK Progress Report 2021)	6. 最初と最後の頁 95-96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 Nishimura, A.Koda, and H. Okabe	4. 巻 4
2. 論文標題 Development of Transient μ SR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 KEK-MSL REPORT 2019 ((KEK Progress Report 2020)	6. 最初と最後の頁 19-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 西村昇一郎	4. 巻 53
2. 論文標題 J-PARC オリジナル新解析手法・Transient μ SR 始動	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本中間子学会会誌「めそん」	6. 最初と最後の頁 6-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Nishimura Shoichiro, Okabe Hirota, Hiraishi Masatoshi, Miyazaki Masanori, Nakamura Jumpei G., Koda Akihiro, Kadono Ryosuke	4. 巻 1056
2. 論文標題 Development of transient μ SR method for high-flux pulsed muons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 168669 ~ 168669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2023.168669	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12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 岡部 博孝, 平石 雅俊, 西村 昇一郎, 中村 惇平, 本田 孝志, 門野 良典, 下村 浩一郎, 藤田 全基, 幸田 章宏
2. 発表標題 室温マルチフェロイックスBiFeO ₃ における局所スピンドイナミクス
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 岡部 博孝, 平石 雅俊, 西村 昇一郎, 中村 惇平, 本田 孝志, 門野 良典, 下村 浩一郎, 藤田 全基, 幸田 章宏
2. 発表標題 BiFeO ₃ の磁気強誘電状態におけるスピン揺らぎ
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡部 博孝, 平石 雅俊, 西村 昇一郎, 中村 惇平, 本田 孝志, 門野 良典, 下村 浩一郎, 藤田 全基, 幸田 章宏
2. 発表標題 μ SR で観たBiFeO ₃ のスピン揺らぎ
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shoichiro Nishimura, Hiroataka Okabe, Ryosuke Kadono, Jun Sugiyama, Masatoshi Hiraishi, Akihiro Koda
2. 発表標題 Development of Transient μ SR at J-PARC
3. 学会等名 The 15th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance (μ SR2020) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Okabe, M. Hiraishi, A. Koda, Y. Matsushita, T. Ohsawa, N. Ohashi, and R. Kadono
2. 発表標題 Local Magnetism in the Spin-singlet State of V02
3. 学会等名 International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡部博孝, 平石雅俊, 幸田章宏, 松下能孝, 大澤健男, 大橋直樹, 門野良典
2. 発表標題 V02の金属絶縁体転移と水素ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 岡部 博孝, 平石 雅俊, 幸田 章宏, 大澤 健男, 大橋 直樹, 門野 良典
2. 発表標題 ミュオンによる二酸化バナジウム中の水素シミュレーション
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 岡部博孝, 平石雅俊, 幸田章宏, 松下能孝, 大澤健男, 大橋直樹, 門野良典
2. 発表標題 μ SR で観たVO2 中の水素挙動
3. 学会等名 2021年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 H. Okabe, M. Hiraishi, A. Koda, R. Kadono, T. Ohsawa, N. Ohashi
2. 発表標題 Local electronic structure of interstitial hydrogen in vanadium dioxide
3. 学会等名 MRM2021 Materials Research Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 岡部博孝, 平石雅俊, 幸田章宏, 阿部伸行, 有馬孝尚, 石井祐太, 小嶋健児, 門野良典, 佐賀山基
2. 発表標題 マルチフェロイック物質における臨界挙動の観測
3. 学会等名 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 西村昇一郎, 梅垣いづみ, 岡部博孝, 門野良典, 幸田章宏, 杉山純, 中村惇平, 平石雅俊
2. 発表標題 温度磁場同時掃引による動的 μ SR測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 岡部博孝, 平石雅俊, 西村昇一郎, 中村惇平, 本田孝志, 門野良典, 下村浩一郎, 藤田全基, 幸田章宏
2. 発表標題 μSRで観察した(1-x)BiFeO3-xBaTiO3のスピンの揺らぎ
3. 学会等名 2023年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高エネルギー加速器研究機構ミュオン科学研究系研究報告書 https://www2.kek.jp/imss/msl/result/prog-report.html 日本中間子科学会誌「めそん」 http://jmeson.org/category/meson/

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	平石 雅俊 (Hiraishi Masatoshi) (80712653)	茨城大学・理工学研究科(理学野)・研究員 (12101)	
研究分担者	西村 昇一郎 (Nishimura Shoichiro) (20836431)	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・特別助教 (82118)	

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