

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14657

研究課題名(和文) NMR測定を用いた上部臨界磁場近傍で現れる特異な超伝導状態の物性解明

研究課題名(英文) NMR study of superconducting state near upper critical field

研究代表者

北川 俊作 (Kitagawa, Shunsaku)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：50722211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は核磁気共鳴(NMR)測定を用いて「強相関電子系に現れるFFLO超伝導状態の性質を明らかにすること」である。
申請者は高磁場でFFLO超伝導が期待される重い電子系超伝導体CeCoIn5および最近超伝導状態に関して大きな進展があったSr2RuO4、FFLO超伝導ではないが高磁場で特異なふるまいを示す強磁性超伝導体UCoGe、スピン三重項超伝導候補物質UTe2のNMR測定を行い、その超伝導状態の性質を明らかにした。
また、あらたに高磁場で特異な超伝導状態になる物質CeRh2As2を見出し、その超伝導状態の測定も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は通常、磁場をかけると壊れてしまう超伝導体に対して、強磁場中でも存在することが可能なFFLO超伝導やそれに類する超伝導状態の性質を解明することによって、超伝導体が磁場にあらがうメカニズムを知ることができることである。
超伝導体の応用を考えるうえで、強磁場中で使用可能な超伝導体は実用環境を大きく広げることが可能なため魅力的である。
また、特異な超伝導状態はほかの超伝導体にはない性質を示すことが期待できるため、基礎研究の進展という意味でも意義深い

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to "clarify the nature of FFLO superconducting states appearing in strongly correlated electron systems" using nuclear magnetic resonance (NMR) measurements.

We have performed NMR measurements on the heavy fermion superconductor CeCoIn5 and Sr2RuO4, which are expected to exhibit FFLO superconductivity at high magnetic fields.
We also performed NMR measurements on a ferromagnetic superconductor UCoGe and a nonmagnetic spin-triplet superconductor UTe2, which do not exhibit FFLO superconductivity but exhibits a peculiar behavior at high magnetic fields.

研究分野：強相関電子系

キーワード：超伝導 低温物性 強相関電子系 高磁場

1. 研究開始当初の背景

一般に超伝導は磁場によって抑制される。現在のところ、第二種超伝導体において磁場で超伝導が抑制されるメカニズムは軌道対破壊効果とパウリ対破壊効果の2種類が知られている。

50年以上前、パウリ対破壊効果によって超伝導が抑制される近傍で、通常の超伝導状態と異なる FFLO 超伝導状態が現れることが理論的に提案された。通常の超伝導体では k と $-k$ がペアを組むのに対して FFLO 超伝導状態ではゼーマン分裂したフェルミ面上の k と $-k+q$ がペアを組むことによってペアが重心運動量を持ち、結果として、超伝導の秩序変数が空間的に変調する。

しかし一方では実験的に FFLO 超伝導状態を確認した例は少なく、その超伝導状態の性質に関してあまり研究が進んでいない。多くの物質では超伝導は軌道対破壊効果で抑制されるので、FFLO 超伝導状態が実現するためには、軌道対破壊効果が弱い必要がある。現在、FFLO 超伝導状態が実現していると有力視されている物質は電子相関が大きいために電子の有効質量が重い。軌道対破壊効果が効きにくい重い電子系超伝導 CeCoIn_5 と、二次元的な電子状態のために磁場を伝導面に平行にかけると軌道対破壊効果が抑制される有機物超伝導体のみである。

これまでの研究では、超伝導の秩序変数の空間変化をとらえることで、FFLO 超伝導状態

が実現していることを確認してきたが、最近、Mayaffre らによって有機物超伝導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$ において FFLO 超伝導状態で核磁気共鳴(NMR)測定の核スピン 格子緩和

率 $1/T_1$ が増大することが発見された。これは FFLO 超伝導状態において超伝導秩序変数が

ゼロになる(ノード)部分で状態密度が増大するためと考えられている。

申請者は、FFLO 超伝導状態の解明のため、より多くの FFLO 状態が実現している物質を探索する目的で、超伝導の上部臨界磁場 H_{c2} が高磁場領域で大きく抑制されている(パウリ対破壊効果が強く効いていることを示唆している)物質の H_{c2} 近傍の NMR 測定を行ってきた。そこで、これまでに重い電子系超伝導 CeCu_2Si_2 で $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$ と同様に $1/T_1$ が高磁場領域のみで増大することを明らかにした。これは、 H_{c2} 近傍で FFLO 超伝導状態が実現していることを示唆しており、より詳細な実験によって FFLO 超伝導状態の性質を調べる必要がある。また、近年、スピン三重項超伝導体 UCoGe 、 UTe_2 において b 軸磁場によって増強される非従来型の超伝導相が報告されている。この通常と異なる超伝導状態についても調べ、FFLO 状態と比較すればより深い理解とつながる。

2. 研究の目的

本研究の目的は NMR 測定を用いて「強相関電子系に現れる FFLO 超伝導状態の性質を明らかにすること」である。NMR 測定を用いて FFLO 超伝導状態を探索する研究はこれまで十分行われていない。本研究ではさらに、スピン三重項超伝導候補物質で見られる高磁場での特異な超伝導状態の研究も行い、FFLO 超伝導と比較することで、広域的な理解を目指す。また、本研究で用いる研究手法は他の系にも適応可能であるため、新たな発見された磁場誘起超伝導相にも使える。さらに、この研究によって磁場と超伝導の相互作用の理解を深めることで磁場に強い超伝導体の開発など応用面への波及効果も期待できる。

3. 研究の方法

本研究では主に以下の物質について NMR 測定により核スピンを通じて電子系の変化を調べた。特に、ある磁場領域のみ存在する FFLO 相の研究を行うため、電子状態の磁場変化に着目して研究を行った。

CeCoIn₅ : CeCoIn₅ では NMR スペクトルから超伝導の秩序変数の空間変化の存在が示唆されているが、 H_{c2} 近傍での核スピン格子緩和率 $1/T_1$ の測定は行われていない。そこで、本研究では、CeCoIn₅ の臨界磁場近傍の $1/T_1$ 測定を行い、他の FFLO 超伝導状態を示す物質との比較から FFLO 超伝導状態の一般的なふるまいを明らかにした。CeCoIn₅ では、特に、FFLO 超伝導状態における超伝導部分とノード部分がはっきり分かれているため、 $1/T_1$ 測定から電子状態がどのように空間分布しているかの情報も得ることができる。

Sr₂RuO₄ : Sr₂RuO₄ は約 25 年前の超伝導発見以降、その特異な超伝導状態に多くの注目が集まり、研究が進められてきた。しかし、いまだに未解明な部分が存在する。最近、低磁場でのスピン磁化率の測定から超伝導のスピン部分の状態がスピン一重項になっている可能性が指摘された。Sr₂RuO₄ では、高磁場で超伝導が一次相転移的に壊れるパウリリミットの振る舞いが観測されていることからスピン一重項状態が実現していれば、高磁場領域に FFLO 超伝導が存在する可能性がある。そこで、高磁場低温領域の NMR スペクトル測定を行い、FFLO 状態の可能性を検証した。

UCoGe : UCoGe は強磁性と超伝導が微視的に共存するスピン三重項超伝導候補物質である。強磁性超伝導体は *b* 軸に磁場に対して超伝導転移温度がほとんど変化しない特異な性質を示す。そこで、NMR スペクトルおよび $1/T_1$ の *b* 軸磁場依存性を測定することで、この特異な超伝導と強磁および強磁性ゆらぎの関係を明らかにした。

UTe₂ : UTe₂ は最近発見されたスピン三重項超伝導候補物質である。超伝導特性は上記の強磁性超伝導と似て *b* 軸磁場に対して非常に頑強であるが、強磁性には秩序せず、低温まで常磁性のままである。UTe₂ は発見されてからまだ日が浅いため、その超伝導状態はほとんど未解明である。そこで NMR 測定を行い、その超伝導状態の性質を明らかにした。

4 . 研究成果

CeCoIn₅ では磁場を *c* 軸にかけた場合、4.7 T 以上で FFLO 超伝導状態が実現していると考えられているが、その詳細は調べられていなかった。申請者らはスペクトル測定から CeCoIn₅ の 4.7 T 以上の超伝導状態では超伝導の秩序変数が空間変化していることを明らかにした。これは、CeCoIn₅ の磁場を *c* 軸にかけた状態で FFLO 超伝導状態が実現しているを示唆する結果である。また、幅広い温度、磁場における核スピン格子緩和率測定から 5 T 近傍に存在すると考えられてきた磁場誘起量子臨界ゆらぎが 0.2 K 以下で抑制される兆候を観測した。

Sr₂RuO₄ においては O(2)サイトの NMR 測定から 1.25 T 以上で空間変調する超伝導状態、FFLO 超伝導状態が実現することを強く支持する結果を得た。Sr₂RuO₄ の超伝導状態は発見から 25 年以上たった現在でも未解明であるが、FFLO 超伝導が実現している場合、スピン一重項超伝導状態が実現していることがほぼ確実となるため、この結果は超伝導対称性を決定づける大きな指針になると考えられる。

強磁性超伝導体 UCoGe においては核スピン-緩和率 $1/T_1$ の磁場・温度変化測定により *c* 軸方向の強磁性ゆらぎと超伝導が強く結合しており、*b* 軸方向の磁場によって磁気ゆらぎが増大することで、超伝導相も増強されることを明らかにした。また、UTe₂ において超伝導状態の磁場変化を調べた。UCoGe、UTe₂ はスピン三重項超伝導体であり、FFLO 相は存在しないが、磁場中で超伝導相がしぶとく生き残るという性質は同じであるため、それぞれの物質の高磁場での超伝導状態の比較は大変重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Genki Nakamine, Katsuki Kinjo, Shunsaku Kitagawa, Kenji Ishida, Yo Tokunaga, Hironori Sakai, Shinsaku Kambe, Ai Nakamura, Yusei Shimizu, Yoshiya Homma, Dexin Li, Fuminori Honda, Dai Aoki	4. 巻 103
2. 論文標題 Anisotropic response of spin susceptibility in the superconducting state of UTe2 probed with ^{125}Te NMR measurement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 L100503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L100503	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 Takafumi Yamamoto, Akira Chikamatsu, Shunsaku Kitagawa, 他25人	4. 巻 11
2. 論文標題 Strain-induced creation and switching of anion vacancy layers in perovskite oxynitrides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 5923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-19217-7	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 Tomonori Okuno, Yuta Kinoshita, Satoshi Matsuzaki, Shunsaku Kitagawa, Kenji Ishida, Michihiro Hirata, Takahiko Sasaki, Kohei Kusada, and Hiroshi Kitagawa	4. 巻 89
2. 論文標題 Magnetic-Field Dependence of Novel Gap Behavior Related to the Quantum-Size Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 95002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.095002	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 Shunsaku Kitagawa, Kenji Ishida, Tatsuo C. Kobayashi, Yasuhito Matsubayashi, Daigorou Hirai, and Zenji Hiroi	4. 巻 89
2. 論文標題 Variation in Superconducting Symmetry Against Pressure on Noncentrosymmetric Superconductor Cd ₂ Re ₂ O ₇ Revealed by $^{185}/^{187}\text{Re}$ Nuclear Quadrupole Resonance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 53701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.053701	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 Shunsaku Kitagawa, Shingo Araki, Tatsuo C. Kobayashi, and Yoichi Ikeda	4. 巻 89
2. 論文標題 Two Qualitatively Different Superconducting Phases under High Pressure in Single-Crystalline CeNiGe ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 63702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.063702	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 Kinjo Katsuki, Kitagawa Shunsaku, Nakai Yusuke, Ishida Kenji, Sugawara Hitoshi, Sato Hideyuki	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetic Field Effect on s-wave Superconductor LaRu ₄ P ₁₂ Studied by 31P-NMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 065002 ~ 065002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.065002	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 Tokunaga Yo, Sakai Hironori, Kambe Shinsaku, Hattori Taisuke, Higa Nonoka, Nakamine Genki, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Nakamura Ai, Shimizu Yusei, Homma Yoshiya, Li DeXin, Honda Fuminori, Aoki Dai	4. 巻 88
2. 論文標題 125Te-NMR Study on a Single Crystal of Heavy Fermion Superconductor UTe ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073701 ~ 073701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.073701	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 Asano Shun, Suzuki Kensuke M., Kudo Kota, Watanabe Isao, Koda Akihiro, Kadono Ryosuke, Noji Takashi, Koike Yoji, Taniguchi Takanori, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Fujita Masaki	4. 巻 88
2. 論文標題 Oxidation Annealing Effects on the Spin-Glass-Like Magnetism and Appearance of Superconductivity in T*-type La _{1-x} /2Eu _{1-x} /2SrxCuO ₄ (0.14 < x < 0.28)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084709 ~ 084709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.084709	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 Manago Masahiro, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Deguchi Kazuhiko, Sato Noriaki K., Yamamura Tomoo	4. 巻 100
2. 論文標題 Spin-triplet superconductivity in the paramagnetic UCoGe under pressure studied by Co59 NMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 035203 ~ 035203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.035203	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 Kitagawa Shunsaku, Kawamura Takeshi, Ishida Kenji, Mizukami Yuta, Kasahara Shigeru, Shibauchi Takasada, Terashima Takahito, Matsuda Yuji	4. 巻 100
2. 論文標題 Universal relationship between low-energy antiferromagnetic fluctuations and superconductivity in BaFe2(As1?xPx)2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 060503 ~ 060503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.060503	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 Nakamine Genki, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Tokunaga Yo, Sakai Hironori, Kambe Shinsaku, Nakamura Ai, Shimizu Yusei, Homma Yoshiya, Li Dexin, Honda Fuminori, Aoki Dai	4. 巻 88
2. 論文標題 Superconducting Properties of Heavy Fermion UTe2 Revealed by 125Te-nuclear Magnetic Resonance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113703 ~ 113703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.113703	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 Taniguchi Takanori, Kitagawa Shunsaku, Manago Masahiro, Nakamine Genki, Ishida Kenji, Shishido Hiroaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Search for the Field-induced Magnetic Instability around the Upper Critical Field of Superconductivity in ϵ (H \parallel c) in CeCoIn5	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011107 ~ 011107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011107	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51件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 ラインノード物質CaSb ₂ における圧力に対する超伝導転移温度の非単調な変化
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 北川俊作
2. 発表標題 YouTubeを用いた強相関磁性・超伝導に関するアウトリーチ活動
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金城克樹
2. 発表標題 UTe ₂ のNMRによる圧力下磁気異方性の研究
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 石田憲二
2. 発表標題 UTe ₂ の超伝導状態のスピン磁化率
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 木下雄大
2. 発表標題 Pt-Cuナノ粒子のNMRによる研究
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 堀文哉
2. 発表標題 Ybジグザグ鎖をもつYbCuS ₂ における低温秩序相のNQR測定
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 高橋秀光
2. 発表標題 ラインノード物質CaSb ₂ の常伝導状態における ¹²¹ / ¹²³ Sb-NMR/NQR
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 小林琢実
2. 発表標題 ²⁹ Si-NMRを用いた近藤絶縁体YbIr ₃ Si ₇ のc軸磁場に対する磁気状態の変化に関する研究
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 藤林裕己
2. 発表標題 125Te-NMRによるスピン三重項超伝導候補物質UTe2の磁氣的性質の異方性の研究
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 北川俊作
2. 発表標題 トポロジカルラインノード物質CaSb2における超伝導
3. 学会等名 新学術領域領域会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidemitsu Takahashi
2. 発表標題 121/123Sb-NMR/NQR studies on superconducting line-nodal material CaSb2
3. 学会等名 Spice Workshop -Topological Superconductivity in Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 New avenue of outreach activities - how to become a YouTuber -
3. 学会等名 GIMRT-REMAS2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 NMRを用いた複合アニオンにおける電子状態の解明
3. 学会等名 新学術領域領域会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木舩茉悠
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeRh ₂ As ₂ における単結晶NQR測定
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 木下雄大
2. 発表標題 Pt-Pdナノ粒子の ¹⁹⁵ Pt-NMR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 高橋秀光
2. 発表標題 ラインノード物質CaSb ₂ の ¹²¹ / ¹²³ Sb-NMR/NQR
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 北川俊作
2. 発表標題 ラインノード物質CaSb2の圧力下電気抵抗測定
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 金城克樹
2. 発表標題 Sr2RuO4の上部臨界磁場近傍における超伝導状態
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 仲嶺元輝
2. 発表標題 UTe2における超伝導多重相のNMRによる観測
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 松崎聡
2. 発表標題 強磁性超伝導体UCoGeの強磁性転移の研究
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 堀文哉
2. 発表標題 希土類カルコゲナイドYbCuS ₂ のCu-NMR
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 金城克樹
2. 発表標題 UTe ₂ の圧力下における核磁気共鳴測定
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 北川俊作
2. 発表標題 NMR studies on the artificial heavy-fermion superlattices CeCoIn ₅ /CeRhIn ₅ and CeCoIn ₅ /YbCoIn ₅
3. 学会等名 The Challenge of 2-Dimensional Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲嶺元輝
2. 発表標題 125Te-NMRによるUTe ₂ の研究
3. 学会等名 J-Physics地域研究会-大阪
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木脇茉悠
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeRh ₂ As ₂ の75As-NMR/NQRによる研究
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 金城克樹
2. 発表標題 Sr ₂ RuO ₄ のNMR/NQRによる研究2
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 仲嶺元輝
2. 発表標題 新奇ウラン系超伝導体UTe ₂ の超伝導相における ¹²⁵ Te-NMR
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 奥野友則
2. 発表標題 Ptナノ粒子のNMRによる研究：磁場依存性
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 松崎聡
2. 発表標題 NMRによる強磁性超伝導体UCoGeの高磁場磁気状態の研究
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 北川俊作
2. 発表標題 Cd ₂ Re ₂ O ₇ における高圧相のRe-NQR
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 金城克樹
2. 発表標題 Nuclear Quadrupole Resonance Study on Sr ₂ RuO ₄ under Uniaxial Stress
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 Universal T _c ? scaling in iron-based superconductor BaFe ₂ (As _{1-x} P _x) ₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 Universal Tc? scaling in iron-based superconductor BaFe ₂ (As _{1-x} P _x) ₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥野友則
2. 発表標題 ¹⁹⁵ Pt-NMR Study on Pt Nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木船茉悠
2. 発表標題 NMR studies of the novel heavy-fermion superconductor CeRh ₂ As ₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松崎聡
2. 発表標題 NMR Study on ferromagnetic superconductor UCoGe under high fields
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲嶺元輝
2. 発表標題 125Te-NMR study on nearly ferromagnetic superconductor UTe2
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 CeCu2Si2における高磁場領域の特異な超伝導状態
3. 学会等名 第27回渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金城克樹
2. 発表標題 Magnetic Field Dependence of the Density of States in s-wave Superconductor LaRu4P12 Studied by 31P-NMR
3. 学会等名 第27回渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲嶺元輝
2. 発表標題 ウラン系新奇超伝導体UTe2の125Te-NMR
3. 学会等名 第27回渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金城克樹
2. 発表標題 Sr ₂ RuO ₄ の高磁場超伝導相におけるNMR測定
3. 学会等名 J-Physics 領域全体会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲嶺元輝
2. 発表標題 スピン三重項超伝導候補物質UTe ₂ の超伝導相における ¹²⁵ Te-NMR
3. 学会等名 J-Physics 領域全体会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松崎聡
2. 発表標題 NMRによる強磁性超伝導体UCoGeの高磁場磁気状態の研究
3. 学会等名 J-Physics 領域全体会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田憲二
2. 発表標題 U系化合物およびSr ₂ RuO ₄ のKnightシフト測定?
3. 学会等名 J-Physics 領域全体会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木松茉悠
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeRh ₂ As ₂ における超伝導相の ⁷⁵ As-NMR/NQR?
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松崎聡
2. 発表標題 NMRによる強磁性超伝導体UCoGeの磁場下における強磁性転移の微視的研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲嶺元輝
2. 発表標題 スピン三重項候補物質UTe ₂ の ¹²⁵ Te-NMR
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋秀光
2. 発表標題 As-NQRによるBaMn ₂ As ₂ の電流誘起歪みの検出の試み
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金城克樹
2. 発表標題 Sr ₂ RuO ₄ の高磁場下における特異な超伝導
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木下雄大
2. 発表標題 PtPdナノ粒子のNMRによる研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会?
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川俊作
2. 発表標題 複合アニオン磁性体AVO ₂ H (A = Sr, Eu)のV-NMR
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 稲熊宜之、内本喜晴、荻野拓、越智正之、垣花真人、陰山洋、北川俊作、木本浩司、桑原彰秀、小林玄器、小林亮、設楽一希、高津浩、竹入史隆、田部勢津久、辻本吉廣、長谷川哲也、林克郎、廣瀬靖、本郷研太、前園涼、前田和彦、鱒淵友治、松石聡、三上昌義、八島正知、山本健太郎、山本隆文	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 264
3. 書名 複合アニオン化合物の科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

LaRu4P12でのNMR測定を通した超伝導体への磁場効果の研究
<http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/contents/research/topics/2019/topic201903-01.html>
 UCoGeの圧力下常磁性領域におけるスピン三重項超伝導
<http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/contents/research/topics/2019/topic201907-01.html>
 鉄系超伝導体BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂における超伝導と反強磁性ゆらぎとの普遍的な関係
<http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/contents/research/topics/2019/topic201908-01.html>
 スピン自由度をもつ超伝導 - ウラン化合物UTe₂における超伝導状態のスピン磁化率測定 -
<http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/contents/research/topics/2019/topic201910-02.html>

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	谷口 貴紀 (Taniguchi Takanori) (70849950)	東北大学・金属材料研究所・助教 (11301)	
研究協力者	真砂 全宏 (Manago Masahiro)	島根大学・自然科学研究科・助教 (15201)	
研究協力者	石田 憲二 (Ishida Kenji) (90243196)	京都大学・理学研究科・教授 (14301)	
研究協力者	金城 克樹 (Kinjo Katsuki)		
研究協力者	仲嶺 元輝 (Nakamine Genki)		

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	木下 雄大 (Kinoshita Yuta)		
研究協力者	堀 文哉 (Hori Fumiya)		
研究協力者	高橋 秀光 (Takahashi Hidemitsu)		
研究協力者	小林 琢実 (Kobayashi Takumi)		
研究協力者	藤林 裕己 (Fujibayashi Hiroki)		
研究協力者	松崎 聡 (Matsuzaki Satoshi)		
研究協力者	木舩 茉悠 (Kibune Mayu)		
研究協力者	奥野 友則 (Okuno Tomonori)		

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	CEA-Grenoble			
米国	University of Michigan	NIST		