

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03852

研究課題名（和文）量子臨界揺らぎがもたらすエキゾチック超伝導現象の機構解明

研究課題名（英文）Research on the mechanism of exotic superconductivity coupled with quantum critical fluctuations

研究代表者

横山 淳（Yokoyama, Makoto）

茨城大学・理工学研究科（理学野）・教授

研究者番号：70361285

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）：エキゾチック超伝導体CeCoIn₅にZnを混入すると、超伝導転移温度は抑制されるとともに低磁場および高磁場領域に2種類の反強磁性秩序が誘起される。一方、Niを混入すると、超伝導転移温度は抑制され量子臨界揺らぎのみが発現する。本研究では、巨視・微視実験を駆使することによってこれらの反強磁性秩序の量子臨界揺らぎの特性を調べ、低磁場反強磁性の量子臨界点は超伝導相内に共存することや、高磁場反強磁性の量子臨界点は超伝導と競合的な関係にあることを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、エキゾチック超伝導体CeCoIn₅のZnおよびNi置換系において、2つの磁気的秩序変数に起因した量子臨界点およびその量子磁気揺らぎを発見した。これらは、CeCoIn₅が示す異常超伝導物性と密接に関係していることを強く示唆する。CeCoIn₅の超伝導物性については理論的・実験的研究の蓄積によって個々の異常物性の理解が進みつつある。今回の上記発見により、量子臨界現象を起源とした異常超伝導物性として系統的・包括的理解が進むことが期待できる。

研究成果の概要（英文）：When Zn ions are doped into the exotic superconductor CeCoIn₅, the superconducting transition temperature is suppressed, and two types of antiferromagnetic order are induced in the low and high magnetic-field regions. In contrast, magnetic quantum critical fluctuations occur when suppressing the superconducting transition temperature in the Ni-doped CeCoIn₅. This study investigated the characteristics of the quantum critical fluctuations on the verge of these antiferromagnetic orders for the Zn- and Ni-doped alloys. It is found that the quantum critical point originating from the low-field antiferromagnetic order parameter coexists within the superconducting phase at zero magnetic fields, whereas the field-induced quantum critical point has a competitive relationship with the superconductivity.

研究分野：物性物理

キーワード：超伝導 磁気秩序 量子臨界現象

1. 研究開始当初の背景

近年、非従来型超伝導の発現に対し、電子スピンによる量子臨界揺らぎの重要性が提唱されており、それらの研究は強相関電子系の物理に新たな展開をもたらしている。希土類からなる重い電子系化合物では、圧力や磁場、イオン置換など温度以外の物性制御によって系の磁気秩序が抑制されると、秩序が消失する絶対零度付近の領域(量子臨界点近傍)で重い準粒子の量子スピン揺らぎ(量子臨界揺らぎ)が著しく発達し、比熱や磁化率の発散を伴う非フェルミ液体異常や超伝導秩序が発現することがある。この超伝導秩序においては、量子臨界点の特異性に伴い様々な電子状態が拮抗することによって、エキゾチック超伝導状態と呼ばれる異常超伝導物性の発現が期待される。

重い電子系 d 波超伝導体 CeCoIn_5 ($T_c=2.3$ K)は、超伝導秩序において、パウリ限界的挙動、レゾナンスピーク(強い磁気励起)、磁気変調を伴う超伝導相(Q相)など様々な異常超伝導物性を示すが、それらの発現機構は未解明である。また、磁場下で量子臨界揺らぎに起因する非フェルミ液体異常が見られるが、原因となる磁気秩序は観測されず、非フェルミ液体異常と超伝導物性との関係は不明である。私たちはこれまで、 CeCoIn_5 に Zn イオンを混入すると、(a)「超伝導転移点 T_c は減少し、反強磁性秩序が発現すること」、(b)「反強磁性相の臨界磁場(量子臨界点)近傍で非フェルミ液体異常が観測され、そのスケーリング解析で得られた臨界指数は CeCoIn_5 の Q 相近傍のもの一致すること」を明らかにした [1-3]。また、私たちは Ni イオン置換した CeCoIn_5 において、(c)「磁気秩序を発現させずに超伝導を消失させ、非フェルミ液体異常のみを発生させること」に成功し、(d)「この非フェルミ液体異常と CeCoIn_5 のレゾナンスピークでは共通した Ising 的異方性を持つこと」を明らかにした [4-5]。

2. 研究の目的

上記のイオン置換系における温度-磁場-イオン濃度相図[図 1]が表すように、これらのイオン置換物質は、 CeCoIn_5 の異常な超伝導物性と量子臨界揺らぎの関係を系統的に調べるのに適した系であると考えられる。まず(b)や(d)により、反強磁性秩序変数に由来する量子臨界揺らぎは、 CeCoIn_5 の異常な超伝導物性と直接結びついていることがわかる。さらに(a)および(c)より、この系では反強磁性 - 超伝導 - 非フェルミ液体状態を自由に制御でき、各相をまたぐスピン状態の変化を連続的に調べることができる。そこで本研究では、 CeCoIn_5 の量子臨界揺らぎや異常超伝導物性を包括的に探究可能なプラットフォームである Zn および Ni イオン置換系において、これらの物性に関する系統的な巨視的・微視的研究を行った。

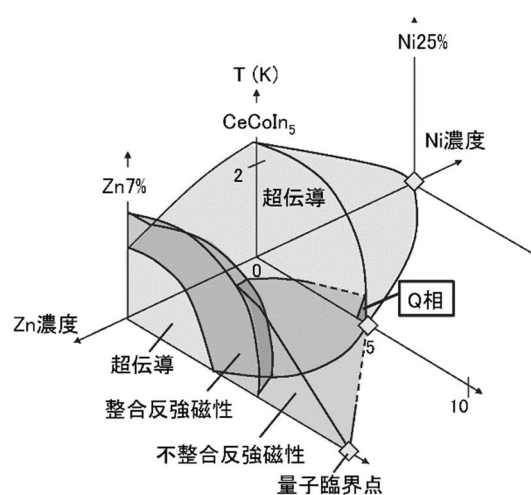


図 1. CeCoIn_5 の Zn および Ni イオン置換系における磁場、温度、イオン置換濃度相図。

3. 研究の方法

CeCoIn_5 の異常な超伝導物性に対する量子臨界揺らぎの役割を解明するために、本研究では以下の研究目標を持って研究を行った。

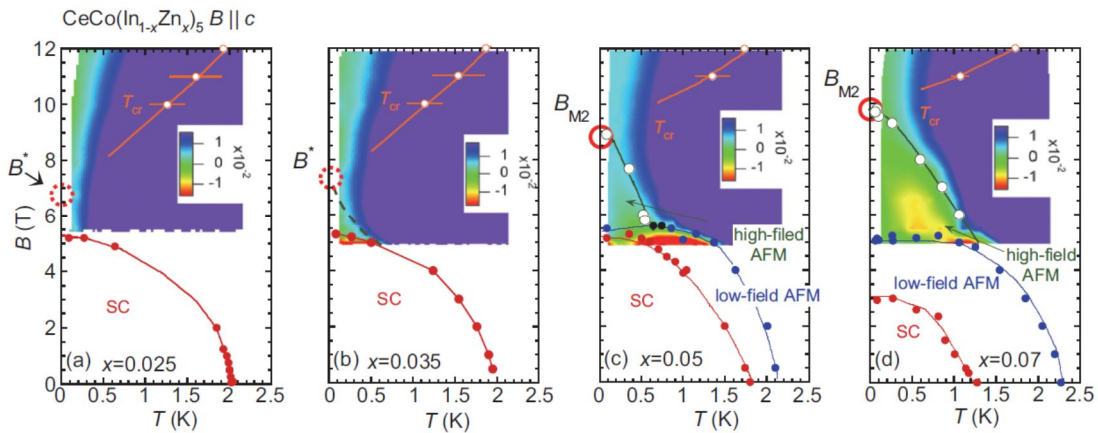


図 2. CeCoIn₅ の Zn イオン置換系 CeCo(In_{1-x}Zn_x)₅ における磁場-温度相図の詳細 [6].

(i) CeCo(In_{1-x}Zn_x)₅ の反強磁性相と CeCoIn₅ の超伝導相の関係説明

CeCoIn₅ では、超伝導相内にレゾナンスピークと呼ばれる特定のスピン変調を持った磁気励起が観測され、また超伝導上部臨界磁場近傍において不整合磁気変調を伴う超伝導相(Q相)が存在する。これらのことより、スピン揺らぎは非従来型超伝導秩序の形成に決定的な役割を果たしていることが示唆され、その関係説明は重要課題の一つとなっている。我々が見出した Zn 置換した CeCoIn₅ においては、Zn7%近傍の領域で 2 つの反強磁性秩序が低磁場および高磁場領域に存在するが(図 1)、これらの磁気秩序変数が超伝導内でどのように振舞うかは未解明である。そこで本研究では、Zn 置換系におけるゼロ磁場および磁場下における磁気秩序やその量子臨界揺らぎを巨視・微視測定で観測し、CeCoIn₅ での超伝導相とのつながりを明らかにする。

(ii) CeCo_{1-x}Ni_xIn₅ の量子臨界揺らぎと CeCoIn₅ の量子臨界揺らぎとの関係説明

CeCoIn₅ では、超伝導相上部臨界磁場近傍に量子臨界的挙動が観測され、これは磁気相関が絡む異常超伝導物性を解明する上での鍵となる性質である。我々が見出した Ni25%置換した CeCoIn₅ では、ゼロ磁場において反強磁性量子臨界揺らぎがみられる。そこで本研究では、Ni 置換系での量子スピン揺らぎを観測し、量子臨界揺らぎが超伝導秩序発現に伴ってどのように変化するかを明らかにする。

4. 研究成果

本研究ではまず、Znイオン置換系において磁場誘起反強磁性相とその量子臨界揺らぎの挙動を極低温下の比熱や磁化を通じて観測することに成功し(図2)、それらのデータに基づき比熱のスケールング解析をはじめとした詳細な分析を行った。その結果、CeCoIn₅ でみられる磁場誘起量子臨界揺らぎの起源が、Znイオン置換系で見出した磁場誘起反強磁性相の秩序変数であることを明らかにし、この成果を学術誌論文として公表した [6]。また、国際共同研究として進めているミュオンスピン緩和などの先端的微視測定によって、Znイオン置換系では上記の磁場誘起量子臨界点とは別に、低磁場領域で超伝導相内に反強磁性量子臨界点が存在し、そこでは超伝導の磁場侵入長が発散傾向を示すことを発見した(図3) [7]。これは超伝導相内に絶対零度での2次相転移である量子臨界点と共存でき、その周りでの量子スピン揺らぎは超伝導電子対形成と本質的に結びついていることを示す証拠である。構造転移などの他の要素を含まない純粋な磁気量子臨界点と超伝導相と共存することを、強相関超伝導

体で初めて発見した成果である。この結果を踏まえ中性子散乱実験を行い、超伝導相内に上記の反強磁性量子臨界点が存在することを強く示唆する実験結果を得ることができ、超伝導相と共存する量子臨界点に関する結果を異なる量子プローブによって確認することができた [8]。同時に量子臨界揺らぎや超伝導発現に寄与する磁気秩序のスピ構造を決定することができた。さらに、国際共同研究として核磁気共鳴実験を行い、CeCoIn₅のZnイオン混入によって発生する反強磁性秩序は、ドーピングしたZnイオン周辺に選択的に発生することを発見するとともに、磁場誘起反強磁性相や低磁場領域反強磁性相の磁気構造を同定した。関連する成果を国際的な学術誌論文として公表した [9]。

CeCoIn₅のNi置換系では、極低温伝導測定によって、磁気的量子臨界点はNi濃度変化にともない超伝導が抑制されても、常に超伝導上部臨界磁場近傍に存在し、超伝導が完全に消失するNi25%ではゼロ磁場に磁気的量子臨界点が存在することを明らかにした。さらに、この変化の際に量子臨界挙動の性質はほとんど変わらないことを発見した。これらのことは、CeCoIn₅のNi置換系では単一の磁気的秩序変数が量子臨界的挙動を支配していることや、その秩序変数は要伝導秩序とは競合的な関係にあることを示唆している。こちらの成果は現在、論文として国際的な学術雑誌に投稿中である [10]。さらに、国際共同研究での核磁気共鳴実験によって、CeCoIn₅のNiイオン置換系ではNiイオン混入による超伝導の抑制に伴い特異な反強磁性揺らぎが明瞭に現れることを発見し、関連する成果を国際的な学術誌論文として公表した [11]。

- [1] M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 95, 224425 (2017).
- [2] M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 92, 184509 (2015).
- [3] M. Yokoyama et al., J. Phys. Soc. Jpn. 83, 033706 (2014).
- [4] M. Yokoyama et al., M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 99, 054506 (2019).
- [5] R. Otaka, M. Yokoyama et al., J. Phys. Soc. Jpn. 85, 094713 (2016)
- [6] M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 105, 054515 (2022).
- [7] W. Higemoto, M. Yokoyama et al., Proc. Natl. Acad. Sci. 119, e2209549119 (2022).
- [8] K. Inoh, M. Yokoyama et al., in preparation.
- [9] H. Sakai, M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 104, 085106 (2021).
- [10] A. Yashiro, M. Yokoyama et al., submitted to Phys. Rev. Materials.
- [11] H. Sakai, M. Yokoyama et al., Phys. Rev. B 106, 235152 (2022).

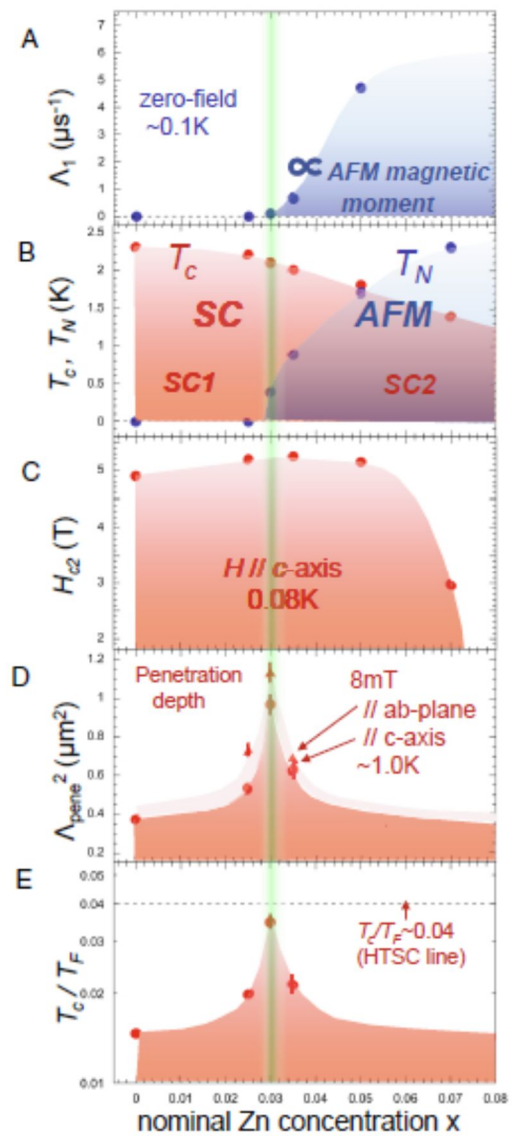


図 3. ミュオンスピン緩和実験などで明らかにした CeCoIn₅ の Zn イオン置換系における A ミュオンスピン緩和時間、B 超伝導および反強磁性転移点、C 超伝導上部臨界磁場、D 超伝導磁場侵入長、E 超伝導転移点とフェルミ温度の比の Zn 濃度変化 [7]。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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 Kittaka Shunichiro, Kono Yohei, Tsunashima Kaito, Kimoto Daisuke, Yokoyama Makoto, Shimizu Yusei, Sakakibara Toshiro, Yamashita Minoru, Machida Kazushige	4. 巻 107
2. 論文標題 Modulation vector of the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state in CeCoIn5 revealed by high-resolution magnetostriction measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L220505-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.L220505	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 Kawasaki Ikuto, Fujimori Shin-ichi, Takeda Yukiharu, Yamagami Hiroshi, Rahmanto, Honma Yutoku, Matsuoka Kensuke, Yokoyama Makoto	4. 巻 105
2. 論文標題 Evolution of the electronic structure and correlations accompanied by suppression of itinerant ferromagnetism in Sr1-x(La0.5K0.5)xRuO3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195122-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.195122	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 Higemoto Wataru, Yokoyama Makoto, Ito Takashi U., Suzuki Taiga, Raymond Stephane, Yanase Youichi	4. 巻 119
2. 論文標題 Direct measurement of the evolution of magnetism and superconductivity toward the quantum critical point	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2209549119-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2209549119	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 Sakai H., Tokunaga Y., Kambe S., Zhu J.-X., Ronning F., Thompson J. D., Kotegawa H., Tou H., Suzuki K., Oshima Y., Yokoyama M.	4. 巻 106
2. 論文標題 Nested antiferromagnetic spin fluctuations and non-Fermi-liquid behavior in electron-doped CeCo1-xNixIn5	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235152-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.106.235152	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 Iwasa Kazuaki, Suyama Kazuya, Ohira-Kawamura Seiko, Nakajima Kenji, Raymond Stéphane, Steffens Paul, Yamada Akira, Matsuda Tatsuma D., Aoki Yuji, Kawasaki Ikuto, Fujimori Shin-ichi, Yamagami Hiroshi, Yokoyama Makoto	4. 巻 7
2. 論文標題 Weyl-Kondo semimetal behavior in the chiral structure phase of Ce ₃ Rh ₄ Sn ₁₃	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 014201-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.7.014201	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 Sakai H., Tokunaga Y., Kambe S., Zhu J.-X., Ronning F., Thompson J. D., Ramakrishna S. K., Reyes A. P., Suzuki K., Oshima Y., Yokoyama M.	4. 巻 104
2. 論文標題 Nanoscale heterogeneity induced by nonmagnetic Zn dopants in the quantum critical metal CeCoIn ₅ : 115In NQR/NMR and 59Co NMR study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085106-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.085106	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 Yokoyama Makoto, Honma Yutoku, Oshima Yoshiki, Rahmanto, Suzuki Kohei, Tenya Kenichi, Shimizu Yusei, Aoki Dai, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Nakamura Shota, Kono Yohei, Kittaka Shunichiro, Sakakibara Toshiro	4. 巻 105
2. 論文標題 Nature of field-induced antiferromagnetic order in Zn-doped CeCoIn ₅ and its connection to quantum criticality in the pure compound	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054515-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.054515	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 Iwahara Ryoya, Sugawara Ryoma, Rahmanto, Honma Yutoku, Matsuoka Kensuke, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Tenya Kenichi, Yokoyama Makoto	4. 巻 4
2. 論文標題 Avoided quantum criticality and cluster-glass formation in itinerant ferromagnet Sr _{1-x} (La _{0.5} K _{0.5}) _x RuO ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 074404-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.074404	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 Shimizu Yusei, Miyake Atsushi, Maurya Arvind, Honda Fuminori, Nakamura Ai, Sato Yoshiaki J., Li Dexin, Homma Yoshiya, Yokoyama Makoto, Tokunaga Yo, Tokunaga Masashi, Aoki Dai	4. 巻 102
2. 論文標題 Strong magnetic anisotropy and unusual magnetic field reinforced phase in URhSn with a quasi-kagome structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134411-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.134411	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30件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 海老澤秀明, 塩澤悠花, 杉谷美奈, 松尾晶, 金道浩一, 横山淳
2. 発表標題 CaRuO ₃ のLa _{0.5} K _{0.5} イオン置換系における非フェルミ液体からフェルミ液体へのクロスオーバー
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小泉遼介, 矢代安澄, 高橋哲平, 清水悠晴, 青木大, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題 ホール抵抗測定で探るNi置換したCeCoIn ₅ のキャリアドープ効果と量子臨界現象
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩佐和晃, 河村聖子, 村井直樹, 中島健次, J.-M. Mignot, S. Raymond, Paul Steffens, 松田 達磨, 青木勇二, 川崎郁斗, 藤森伸一, 山上浩志, 横山淳, D. T. Adroja, and A. M. Strydom
2. 発表標題 Ce ₃ T ₄ Sn ₁₃ (T = Co, Rh, Ir)のカイラル相における4f電子状態とWeyl-Kondo半金属
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 井能楓, 小日向実佳, 細貝明日香, 岩佐和晃, 大山研司, 松尾晶, 金道浩一, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題 Znイオン置換したCeCoIn5の超伝導と反強磁性秩序の共存
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 高橋哲平, 鈴木康平, 横山淳, 松尾晶, 金道浩一, 中村翔太, 清水悠晴, 榊原俊郎
2. 発表標題 比熱や磁化測定から見るCeCo(1-x)Ni _x In5の量子臨界揺らぎ
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 髭本亘, 横山淳, 中野裕章, 高久雅暉, 宮田侑, 伊藤孝
2. 発表標題 Ce(Co _{1-x} Ni _x)In5の超伝導状態のミュオンスピン回転法による観測
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 井波駆, 橘高俊一郎, 河野洋平, 横山淳
2. 発表標題 Ni置換したCeCoIn5における量子臨界性の磁場角度依存性
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 矢代安澄, ラフマント, 鈴木康平, 清水悠晴, 本多史憲, 青木大, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題 Ni置換したCeCoIn5の超伝導相近傍で発達する量子臨界ゆらぎ
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 小泉遼介, 并能楓, 矢代安澄, 杉谷美奈, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCo1 - xNixIn5の超伝導抑制と結晶格子の関連
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 R. Koizumi, K. Inoh, A. Yashiro, and M. Yokoyama
2. 発表標題 Lattice Properties in Heavy-fermion Superconductor CeCo1 - xNixIn5
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, SCES 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Inoh, A. Yashiro, A. Hosogai, R. Koizumi, H. Ebisawa, T. Takahashi, I. Kawasaki, D. Okuyama, Hung-Cheng Wu, T. J. Sato, K. Iwasa, K. Ohoyama, S. Raymond, K. Tenya, and M. Yokoyama
2. 発表標題 Neutron-Scattering Study for Antiferromagnetic Order in Zn-doped CeCoIn5
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, SCES 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Iwasa, K. Suyama, S. Ohira-Kawamura, K. Nakajima, S. Raymond, P. Steffens, A. Yamada, T. D. Matsuda, Y. Aoki, I. Kawasaki, S.-i. Fujimori, H. Yamagami, and M. Yokoyama
2. 発表標題 Weyl-Kondo Semimetal Behavior in the Chiral Structure Phase of Ce ₃ Rh ₄ Sn ₁₃
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, SCES 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山淳
2. 発表標題 重い電子超伝導体CeCoIn ₅ のZnイオン置換系における反強磁性秩序と量子臨界現象
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小泉遼介, 矢代安澄, 并能楓, 鈴木康平, 横山淳
2. 発表標題 重い電子超伝導体CeCo _{1-x} Ni _x In ₅ の結晶格子特性
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代安澄, Rahmanto, 鈴木康平, 并能楓, 清水悠晴, 青木大, 横山淳
2. 発表標題 CeCoIn ₅ における磁場誘起非フェルミ液体異常のNi置換効果
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山淳
2. 発表標題 CeCo _{1-x} Ni _x In ₅ の量子臨界揺らぎと超伝導上部臨界磁場
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橘高俊一郎, 網島海斗, 木元大介, 河野洋平, 清水悠晴, 山下穰, 榊原俊郎, 横山淳, 町田一成
2. 発表標題 磁場角度分解磁歪測定から探るCeCoIn ₅ のFFLO相転移
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 髭本亘, 横山淳, 伊藤孝, 中野裕章, 鈴木泰雅, Stephane Raymond, 柳瀬陽一
2. 発表標題 ミュオンで見たZn置換CeCoIn ₅ の超伝導状態における磁性
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井能楓, 矢代安澄, 小泉遼介, 細貝明日香, 海老澤秀明, 高橋哲平, 川崎郁斗, 奥山大輔, Hung-Cheng Wu, 佐藤卓, 岩佐和晃, 大山研司, Stephane Raymond, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題 中性子散乱で見るZnイオン置換したCeCoIn ₅ の反強磁性構造
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢代安澄, ラフマント, 鈴木康平, 清水悠晴, 本多史憲, 青木大, 天谷健一, 横山淳
2. 発表標題 Ni置換したCeCoIn5の超伝導消失と量子臨界ゆらぎ
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小泉遼介, 并能楓, 矢代安澄, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCo1-xNixIn5の結晶格子特性
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCo1-xNixIn5の量子臨界揺らぎ
3. 学会等名 東北大学大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, S. K. Ramakrishna, A. P. Reyes, 小手川恒, 藤秀樹, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCoIn5におけるNi置換効果とZn置換効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山淳, 本間友徳, 大島佳樹, ラフマント, 鈴木康平, 天谷健一, 清水悠晴, 青木大, 松尾晶, 金 道浩一, 中村翔太, 河野洋平, 橘高俊一郎, 榎原俊郎
2. 発表標題 CeCoIn5の量子臨界揺らぎとZn置換系における磁場誘起反強磁性の関係
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Yokoyama
2. 発表標題 Relationship between quantum critical fluctuations and anomalous superconductivity in CeCoIn5 and its ionic substitutions
3. 学会等名 GIMRT Joint International Symposium on Radiation Effects in Materials and Actinide Science (GIMRT-REMAS2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, 小手川恒, 藤秀樹, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCoIn5におけるNi置換効果のNMR
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 徳永淳志, 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCoIn5における縦波弾性定数の静水圧依存性
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 長谷川奈那, 田山孝, 横山淳
2. 発表標題 CeCo(In _{1-x} Zn _x) ₅ のZn濃度-温度-磁場相図
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 徳永淳志, 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 横山淳
2. 発表標題 重い電子超伝導体CeCoIn ₅ の弾性的性質に対する圧力効果
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 酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, S. K. Ramakrishna, A. P. Reyes, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳
2. 発表標題 重い電子系超伝導体CeCoIn ₅ においてZn置換による不均一電子状態
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>素粒子ミュオンで捉えた！超伝導に埋もれた微弱な磁気の発見 超伝導発現機構の解明に向けて前進 https://www.ibaraki.ac.jp/news/uploads/2022/11/PressRelease_QuantumCriticalPoint_221129.pdf エキゾチック超伝導体CeCoIn₅における量子臨界異常の起源を探求 http://lphys.sci.ibaraki.ac.jp/activity-CeCoIn5-Zn-scaling.htm 遍歴強磁性の量子臨界性を回避して現れる磁気ナノクラスターグラス状態 http://lphys.sci.ibaraki.ac.jp/activity-SLKR0.htm</p>
--

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			
フランス	フランス原子力庁	グルノーブル・アルプ大学		
米国	ロスアラモス国立研究所	国立強磁場研究所	スタンフォード大学	
中国	浙江大学			