

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008 ～ 2012

課題番号：20102006

研究課題名（和文） 新奇超伝導の発見の解明

研究課題名（英文） Discovery and Clarification of Exotic Superconducting Phases

研究代表者

石田 憲二（ISHIDA KENJI）

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：90243196

研究成果の概要（和文）：

本研究班では、主に、強相関電子系超伝導体における超伝導対状態、発現機構解明を目指して研究を行った。また重い電子系における量子臨界現象も研究した。主な成果を以下に挙げる。

- (1) 人工超格子による二次元重い電子状態の創製と、人工超格子の手法による量子臨界の制御とそこでの強結合超伝導
- (2) 強磁性超伝導 UCoGe における①強磁性と超伝導の共存、②自己誘導渦糸状態の発見、③イジング型の異方性を持つ強磁性ゆらぎにより引き起こされる超伝導
- (3) 熱伝送率の角度回転による UPt₃ の超伝導ギャップ構造の決定
- (4) URu₂Si₂ の「隠れた秩序」における対称性の低下
- (5) 準結晶 Au-Al-Yb に見られる量子臨界現象
- (6) 磁気励起の解析から明らかになった USn₃ における磁気異常の起源
- (7) 二次元構造を持つ重い電子系 Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO における強磁性量子臨界現象

研究成果の概要（英文）：

During last 5 years, the research group studied mainly to clarify the superconducting pairing state and mechanism on unconventional superconductors realized in the strongly correlated electron systems. In addition, quantum critical phenomena observed in various heavy-electron (HF) systems were studied. Main results are as follows,

- (1) Two-dimensional HF state created with superlattice structure, in which quantum critical phenomena and strong-coupling superconductivity are observed.
- (2) ①Coexistence of ferromagnetism and superconductivity, ②self-induced vortex state, ③Superconductivity induced by Ising-type ferromagnetic fluctuations are suggested in UCoGe.
- (3) Superconducting-gap structure determined by thermal conductivity measurement
- (4) Breaking four-fold symmetry in the ‘‘hidden-ordered’’ state on URu₂Si₂
- (5) Quantum criticality in Au-Al-Yb quasi-crystal
- (6) Origin of magnetic instability in USn₃ clarified with spin-dynamics properties
- (7) Ferromagnetic quantum criticality in heavy-fermion Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO with a two-dimensional structure

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	52,600,000	15,780,000	68,380,000
2009 年度	35,500,000	10,650,000	46,150,000
2010 年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
2011 年度	17,700,000	5,310,000	23,010,000
2012 年度	17,700,000	5,310,000	23,010,000
総計	137,700,000	41,310,000	179,010,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：強相関電子系, 重い電子, 人工格子

1. 研究開始当初の背景

CeやUなどのf電子を含む重い電子系化合物において、超伝導電子対が形成されると強いクーロン斥力のため、通常の金属超伝導とは異なる異方的な超伝導状態が実現する。これまで重い電子系化合物では新奇な超伝導相が発見されており、その超伝導状態は多種多様で、想像していたものよりもはるかに興味あるものとなっている。このようなエキゾチック超伝導状態を示す重い電子系超伝導体の多くは今世紀になってから発見されたものであり、その研究は新しい局面を迎えつつある。またこのエキゾチック超伝導状態の理解は、物質の新奇凝縮相の理解の鍵となりうる重要な問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究班は、電子輸送現象測定、熱測定、磁気測定、高周波測定、中性子散乱実験、核磁気共鳴、ミュオンスピン緩和およびトンネル顕微鏡の物性測定のスぺシャリストから構成され、主にA01班で作成された純良単結晶の超伝導体や、分子線エピタキシーによって合成された人工超格子重い電子化合物を、多角的且つ詳細な物性測定によって実現している新奇超伝導相の物性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

エキゾチック超伝導を示す重い電子物質の良質単結晶や、今まで研究されてこなかった人工超格子や準結晶などにおける重い電子物質を、電子輸送現象測定、熱測定、磁気測定、高周波測定、中性子散乱実験、核磁気共鳴、ミュオンスピン緩和およびトンネル顕微鏡などの様々な実験手法を駆使して研究する。特に低温における詳細な角度依存性や新しい手法を用い、異方性を調べる測定から系の対称性を議論する。

4. 研究成果

主な研究成果を以下に述べる。(論文番号は発表論文を参照)

(1) 人工超格子による二次元重い電子状態の創製 (松田 G) [2,3,4,13,16]

松田 G は、京都大学の寺嶋教授のグループと共同して人工格子の技術を重い電子系の研究に取り込んだ。具体的には、三次元重い電子物質 CeIn₃ と通常金属の LaIn₃ を人工超格子の技術により組み合わせ「重い電子の二次元閉じ込め」に成功した[16]。(図 1(A)参照)

また重い電子系超伝導体 CeCoIn₅ と通常金属 YbCoIn₅ による超格子の作成し「Ce 原子の 2 次元正方格子(二次元近藤格子)における超伝導の実現」に成功した(図 1(B)参照)[14]。前者は、次元による量子臨界点の制御という概念をもたらし、後者は二次元化による超強結合超

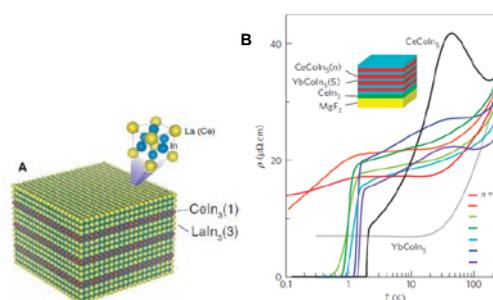


図 1: (A)重い電子物質 CeIn₃ と通常金属物質 LaIn₃ による人工超格子の概念図[16]。(B)通重金属物質 YbCoIn₅ の厚みを 5 層に固定し、重い電子超伝導体 CeCoIn₅ の厚み(n)を変化させた時の電気抵抗の温度依存性。3 層(n=3)積み重ねた時より超伝導が見られるようになる[13]。

伝導の創出である。

(2) 強磁性超伝導 UCoGe における①強磁性と超伝導の共存[19]、②自己誘導渦糸状態の発見[17]、③イジング型の異方性を持つ強磁性ゆらぎにより引き起こされる超伝導[5,18] (石田 G、佐藤 G)

強磁性超伝導体 UCoGe (強磁性転移温度 $T_{\text{Curie}} \sim 2.5$ K、超伝導転移温度 $T_{\text{SC}} \sim 0.6$ K)は 2007 年に発見された新しい超伝導体である。佐藤 G により良質な単結晶試料が育成され、基礎物性や低温磁化測定、中性子散乱実験がなされた。石田 G は NMR 測定から強磁性と超伝導の関係を調べた。⁵⁷Co 核の核四重極共鳴(NQR)の実験から、 $T_{\text{SC}} < T < T_{\text{Curie}}$ の 1 K では強磁性領域からだけの信号になること、この強磁性の信号に超伝導転移の異常が見られることから強磁性領域で超伝導が起こっていることを示し、強磁性と超伝導が微視的に共存していることを明らかにした。[19]またこの物質ではイジング的な強磁性縦ゆらぎを持つこと[18]、超伝導はこの縦ゆらぎが大きな領域でのみ見られることを示し、強磁性縦ゆらぎと超伝導の関係を指摘した[5]。(図 2 参照)

さらに DC 磁化率の測定から UCoGe には通常の超伝導体で見られるマイスナー状態や下部臨界磁場による kink が見られない

ことから、自己誘導渦糸(SIV)状態の可能性も指摘した。SIV 状態は理論研究から存在が指摘されていたが今まで発見の報告はなかった。UCoGe は SIV 状態が実現している最初の超伝導体である可能性がある[17]。

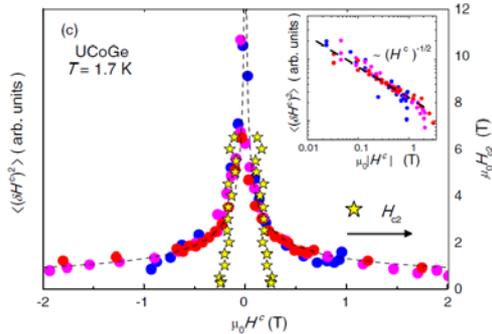


図 2：強磁性縦ゆらぎの c 軸方向の磁場依存性と c 軸方向の磁場に対して超伝導が見られる領域(星印)。黄色斜線の超伝導は強磁性縦ゆらぎが大きい磁場領域でのみ見られている[5]。

(3) 熱伝送率の角度回転による UPT₃ のギャップ構造の決定 (井澤 G)[6]

重い電子系超伝導体 UPT₃ は超伝導の多重相や Pt-NMR からスピン三重項超伝導状態が指摘されていたが、実現している超伝導ギャップ構造は完全には同定されていない。今回井澤 G は、原研の大貫・芳賀 G が作成した UPT₃ の単結晶を用い、詳細な熱伝導率の磁場方向依存性を行いギャップ構造の同定に努めた。その結果高磁場に現れる C 相においては a 軸に沿ったノードの存在を示唆する ab 面内での二回対称、B、C 相においてフェルミ面の赤道の上下にノードの存在を示唆する振る舞いも見出した。これらのノードの情報と Knight-shift の実験結果、対称性の議論から、UPT₃ のギャップ構造は E_{1u} の対称性を持つことを示した。

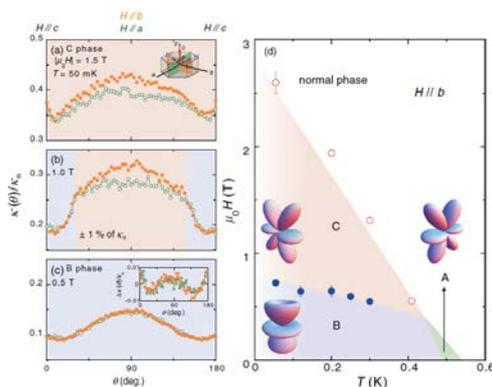


図 3： $|\mu_0 H| = 1.5$ T (a), 1.0T (b), 0.5T (c)における熱伝導の角度依存性。(温度は 50mK) (d) UPT₃ の超伝導相図と今回の実験から指摘される超伝導ギャップ構造[6]

(4) URu₂Si₂ の「隠れた秩序」における対称性の低下 (松田 G) [7,8,9,15]

URu₂Si₂ における 17.5K の異常の理解は、我々の分野では四半世紀にわたる難題であり、本新学術領域研究においても重要な研究課題のひとつとなっている。松田 G の芝内氏は磁気トルクの測定から、隠れた秩序相において ab 面内の 4 回対称性の破れを見出した[15]。さらにサイクロトロン共鳴や他の測定でも対称性の低下が報告されている[8]。これらの結果を受けていくつかの理論的考察がなされ、特に多極子秩序についてはトルクの 2 回対称性と矛盾しないものとして E_g または E_u 対称性を持つ秩序のみに限定されることが明らかになった[7]。

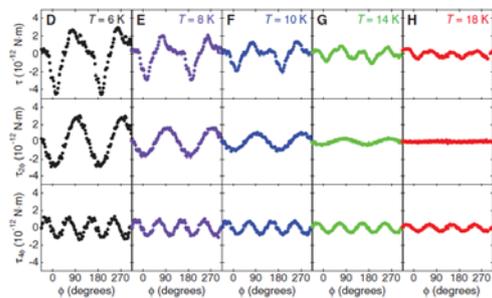
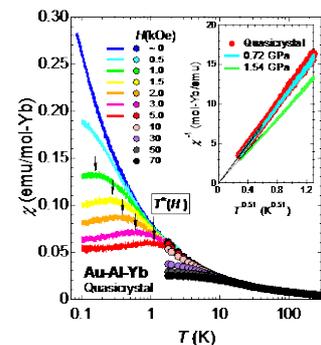


図 4：磁気トルクの面内角度依存性。上が行がトルクの実データ、真ん中の行がフーリエ変換により 2 回対称成分のみを抽出したもの、下が行が 4 回対称成分。隠れた秩序の相転移温度(17.5K)以下では明瞭な 2 回対称成分が観測されている[15]。

(5) 準結晶 Au-Al-Yb に見られる量子臨界現象 (佐藤 G、石田 G) [10]

佐藤 G は、北海道大学の石政勉教授のグループが作成した Au-Al-Yb による準結晶において、帯磁率、比熱、NMR の物理量に顕著な磁気量子臨界的な振る舞いが見られることを見出した。興味深いことにこの臨界現象は磁場に対し大きく抑制されるのに対し、圧力には強固な性質を持つ。今回発見された量子臨界現象は準結晶の持つ構造と Yb 元素に起因した現象であると考えられる。

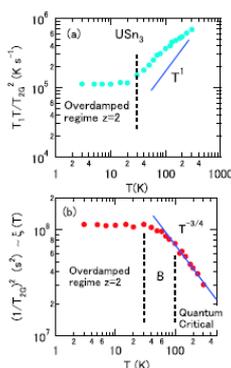
図 5：Au-Al-Yb 準結晶で見られる量子臨界現象。この振る舞いは磁場に対して大きく抑制されているが挿入図には圧力には robust である [10]



(6) 磁気励起の解析から明らかになった USn₃ における磁気異常の起源 (神戸 G) [20]

U系重い電子 USn₃ において Sn-NMR を行い核スピン-格子緩和率(1/T₁)と核スピン-核スピン緩和率(1/T₂)の測定を行い、両者のスケールリングを調べた。その結果 T* ~ 30K 以下の重い電子状態ではスピンゆらぎはフェルミ液体領域に予想された振る舞いを示すことがわかった。ところが高温部では三次元スピン密度波(3D-SDW)が示す量子臨界領域で予想された振る舞いが観測された。これらの結果は USn₃ が示す量子臨界性は U-5f 電子が遍歴状態で理解される SDW 的な性質を持つことが示された。

図 6 : (a) 低温で T₁TT₂G²=一定を示す。これはフェルミ液体領域で期待される振る舞いである。(b) 高温部では 1/T₂G² ~ T^{-3/4} の振る舞いが観測される。これは 3D-SDW 量子臨界領域に予想された振る舞いである[20]。



(7) 二次元構造を持つ Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO における強磁性量子臨界現象 (石田 G) [1,11,14]

二次元的な結晶構造を持つ Ce 系重い電子物質 CeFePO において、面内に磁場を印加したとき 4T あたりでメタ磁性的振る舞いが見られることを見出した。[14]また Fe を Ru に置換した CeRuPO が 15K で強磁性転移起こすことから Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO の系において強磁性量子臨界現象を調べた[1,11]。その結果 T_{Curie} が x = 0.86 に向かって連続的に減少することから強磁性量子臨界点の存在を指摘した。メタ磁性的振る舞いの Ru 濃度依存性を調べ、この系の相図を作成した。

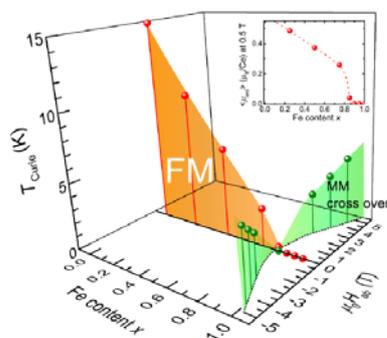


図 7 : Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO における強磁性転移温度(T_{Curie})、メタ磁性磁場(μ₀H_{ab})の Fe 濃度依存性。挿入図は P-NMR の共鳴線から決められた秩序モーメント<μ_{ord}>の Fe 濃度依存性。T_{Curie} と <μ_{ord}> は Fe 濃度に対して連続的に減少し、x~0.86 あたりに量子臨界点の存在が示唆される[11]。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

【雑誌論文】(計 158 件)

[1] S. Kitagawa, K. Ishida, T. Nakamura, M. Matoba, and Y. Kamihara

“**Ferromagnetic Quantum Critical Point Induced by Tuning the Magnetic Dimensionality of the Heavy-Fermion Iron Oxypnictides Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO**”

J. Phys. Soc. Jpn **82** (2013) 033704 (査読有)

<http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.033704>

Selected as Editors' Choice

[2] S. K. Goh, Y. Mizukami, H. Shishido, D. Watanabe, S. Yasumoto, M. Shimozawa, M. Yamashita, T. Terashima, Y. Yanase, T. Shibauchi, A. I. Buzdin, and Y. Matsuda

“**Anomalous Upper Critical Field in CeCoIn₅/YbCoIn₅ Superlattices with Rashba-type Heavy Fermion Interface**”

Phys. Rev. Lett. **109**, 157006 (2012). (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.157006

[3] M. Shimozawa, T. Watashige, S. Yasumoto, Y. Mizukami, M. Nakamura, H. Shishido, S. K. Goh, T. Terashima, T. Shibauchi, and Y. Matsuda

“**Strong suppression of superconductivity by divalent ytterbium Kondo holes in CeCoIn₅**”

Phys. Rev. B **86**, 144526 (2012). (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevB.86.144526

[4] 宍戸寛明、水上雄太、芝内孝禎、寺嶋孝仁、松田祐司；

「人工 2 次元近藤格子における量子臨界制御とエキゾチック超伝導」

固体物理 **47**, 69-84 (2012). (査読有)

[5] T. Hattori, Y. Ihara, Y. Nakai, K. Ishida, Y. Tada, S. Fujimoto, N. Kawakami, E. Osaki, K. Deguchi, N. K. Sato, and I. Satoh

“**Superconductivity Induced by Longitudinal Ferromagnetic Fluctuations in UCoGe**”

Physical Review Letter **108** (2012) 066403

DOI: 10.1103/Phys.RevLett.108.066403 (査読有)

Selected for a Viewpoint in *Physics*

[6] Y. Machida, A. Itoh, Y. So, K. Izawa, Y. Haga, E. Yamamoto, N. Kimura, Y. Onuki, Y. Tsutsumi, and K. Machida,

“**Twofold spontaneous symmetry breaking in a heavy fermion superconductor UPt₃**”

Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 157002. (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.157002

[7] H. Ikeda, M.-T. Suzuki, R. Arita, T. Takimoto, T. Shibauchi, and Y. Matsuda

“**Emergent Rank-5 ‘Nematic’ Order in URu₂Si₂**”

Nature Physics **8**, 528-533 (2012). (査読有)

DOI: 10.1038/NPHYS2330

[8] S. Tonegawa, K. Hashimoto, K. Ikada, Y.-H. Lin, H. Shishido, Y. Haga, T. D. Matsuda, E.

Yamamoto, Y. Onuki, H. Ikeda, Y. Matsuda, and T. Shibauchi

"Cyclotron Resonance in the Hidden-Order Phase of URu₂Si₂"

Phys. Rev. Lett. **109**, 036401 (2012). (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.036401

[9] 芝内孝禎, 松田祐司

「URu₂Si₂ の隠れた秩序相における対称性の破れ」

固体物理 **47**, 155-164 (2012). (査読有)

[10] K. Deguchi, S. Matsukawa, N. K. Sato, T. Hattori, K. Ishida, H. Takakura, T. Ishimasa

"Quantum critical state in a magnetic quasicrystal"

Nature Materials **11** (2012) 1013-1016 (査読有)

DOI: 10.1038/NMAT3432

[11] S. Kitagawa, K. Ishida, T. Nakamura, M. Matoba, and Y. Kamihara

"Ferromagnetic Quantum Critical Point in Heavy-Fermion Iron Oxypnictides Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO"

(査読有)

Physical Review Letter **109** (2012) 227004

DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.227004

[12] Y. Machida, K. Tomokuni, C. Ogura, K. Izawa, K. Kuga, S. Nakatsuji, G. Lapertot, G. Knebel, J.-P. Brison, and J. Flouquet,

"Thermoelectric response near a quantum critical point of β -YbAlB₄ and YbRh₂Si₂: A comparative study"

Phys. Rev. Lett. **109** (2012) 156405-1-5. (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.156405

[13] Y. Mizukami, H. Shishido, T. Shibauchi, M. Shimozawa, S. Yasumoto, D. Watanabe, M. Yamashita, H. Ikeda, T. Terashima, H. Kontani and Y. Matsuda

"Extremely strong-coupling superconductivity in artificial two-dimensional Kondo lattices"

Nature Physics **7** (2011) 849-853 (査読有)

DOI: 10.1038/NPHYS2112

[14] S. Kitagawa, H. Ikeda, Y. Nakai, T. Hattori, K. Ishida, Y. Kamihara, M. Hirano, and H. Hosono

"Metamagnetic Behavior and Kondo Breakdown in Heavy-Fermion CeFePO"

Physical Review Letter **107** (2011) 277002

DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.277002

(査読有)

[15] R. Okazaki, T. Shibauchi, H. J. Shi, Y. Haga, T. D. Matsuda, E. Yamamoto, Y. Onuki, H. Ikeda, Y. Matsuda

"Rotational Symmetry Breaking in the Hidden-Order Phase of URu₂Si₂"

Science **331**, (2011) 439-442 (査読有)

DOI: 10.1126/science.1197358

[16] H. Shishido, T. Shibauchi, K. Yasu, T. Kato, H. Kontani, T. Terashima, and Y. Matsuda

"Tuning the Dimensionality of the Heavy fermion compound CeIn₃"

Science **327**, (2010) 980-983 (査読有)

DOI: 10.1126/science.1183376

[17] K. Deguchi, E. Osaki, S. Ban, N. Tamura, Y. Simura, T. Sakakibara, I. Satoh, and N. K. Sato

"Absence of Meissner State and Robust Ferromagnetism in the Superconducting State of UCoGe: Possible Evidence of Spontaneous Vortex State"

J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 083708-1-4(査読有)

DOI: 10.1143/JPSJ.79.083708

[18] Y. Ihara, T. Hattori, K. Ishida, Y. Nakai, E. Osaki, K. Deguchi, N. K. Sato, and I. Satoh

"Anisotropic magnetic fluctuations in the ferromagnetic superconductor UCoGe studied by directional-dependent ⁵⁹Co NMR measurements"

(査読有)

Physical Review Letter **105** (2010) 206403

DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.206403

[19] T. Ohta, T. Hattori, K. Ishida, Y. Nakai, E. Osaki, K. Deguchi, N. K. Sato, and I. Satoh

"Microscopic Coexistence of Ferromagnetism and Superconductivity in Single-Crystal UCoGe"

Journal of the Physical Society of Japan **79**, No.2 023707 1-4 (2010) (査読有)

DOI: 10.1143/JPSJ.79.023707

[20] S. Kambe, H. Sakai, Y. Tokunaga, T. D. Matsuda, Y. Haga, H. Chudo, and R. E. Walstedt

"Crossover from the Quantum Critical to Overdamped Regime in the Heavy-fermion system USn₃"

(査読有)

Physical Review Letter **102** (2009) 03208

DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.03208

[学会発表] (計 304 件)

[1] K. Ishida

"Superconductivity Induced by Longitudinal Ferromagnetic Fluctuations in UCoGe"

Materials & Mechanisms of Superconductivity Conference 2012 (招待講演)

2012年 8月 3日

Washington DC, (USA)

[2] Y. Matsuda

"Quantum criticality and electronic nematic phase in iron-pnictides"

The 19th International Conference on Magnetism (ICM) with Strongly Correlated Electron Systems (招待講演)

2012年 07月 12日

Pusan, Korea

[3] K. Deguchi, A. Takeda, N. Tamura, E. Osaki, S. Ban, Y. Shimura, T. Sakakibara, I. Satoh, and N.K. Sato

"Ferromagnetism in the Superconducting State of UCoGe: Possible Evidence of

Spontaneous Vortex State”

Materials & Mechanisms of Superconductivity Conference 2012 (招待講演)

2012年8月3日

Washington DC, (USA)

[4] S. Kambe, Y. Tokunaga, H. Sakai, and R. E. Walstedt

“Spin Fluctuation, Orbital States and Non-conventional Superconductivity in Actinides Compounds”

2012 MRS Spring Meeting (招待講演)

2012年04月10日

Moscone West Convention Center and Marriott Marquis, San Francisco, California, USA

[5] K. Izawa

“Twofold spontaneous symmetry breaking in superconducting UPT_3 ”

12th Japanese-German Symposium(招待講演)

2012年7月16日

Izu, Japan

[6] H. Kawano-Furukawa, A.S. Cameron, E. Blackburn, E.M. Forgan, 他15名

“Vortex lattice structure in $BaFe_2(As,P)_2$ superconductor by the SANS technique”

International Conference on Superconductivity and Magnetism

(ICSM 2012) 2012年05月2日
Kumburgaz-Istanbul/TURKEY

[図書] (計4件)

[1] 松田祐司

「量子臨界点と超伝導」；超伝導現象と高温超伝導 NTS出版 490-501. (2013)

[2] K. Ishida, and Y. Nakai

“Review of NMR Studies on Iron-Based Superconductors” Iron-Based Superconductors:

Materials, Properties and Mechanism

Edited by N. L. Wang, H. Hosono, and P. Dai, Pan Stanford Publishing Pte.Ltd. 275-355 (2013)

[その他]

ホームページ等

[1] 磁石でもありながら超伝導にもなる物質の超伝導発現の新しい仕組みを解明

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news/6/2011/120207_1.htm

[2] 二次元空間に「最強電子ペア」をもつ超伝導を実現

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news/6/2011/111010_1.htm

[3] ウラン化合物で自発的に回転対称性を破った超伝導を検出

<http://www.hyoka.koho.titech.ac.jp/eprd/recently/research/research.php?id=276>

6. 研究組織

(1)研究代表者

石田 憲二 (KENJI ISHIDA)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：90243196

(2)研究分担者

松田 祐司 (YUJI MATSUDA)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50199816

佐藤 憲昭 (NORIAKI SATO)

名古屋大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30170773

神戸 振作 (SHINSAKU Kambe)

独立行政法人日本原子力開発機構・

先端基礎研究センター・研究主席

研究者番号：40224886

井澤 公一 (KOICHI IZAWA)

東京工業大学・大学院理工学研究科

・准教授

研究者番号：90302637

古川 はづき (HAZUKI FURUKAWA)

お茶の水大学・大学院人間文化創成科学

研究科・教授

研究者番号：70281649

(3)連携研究者

西田 信彦 (NOBUHIKO NISHIDA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50126140