

## 自己評価報告書

平成 23 年 5 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究

研究期間：H20 ～ H24

課題番号：20102006

研究課題名（和文）新奇超伝導相の発見と解明

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

研究分野：低温物性、核磁気共鳴

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：重い電子超伝導体・新奇超伝導相・Ce 系化合物・U 系化合物・FFLO 状態・強磁性超伝導体

## 1. 研究計画の概要

今世紀になり、セリウムやウランなど、f 電子を含む重い電子系化合物の中にエキゾチック超伝導状態が次々と発見され、現在活発に研究されている。このエキゾチック超伝導状態の理解は、強相関電子系の新奇凝縮相の理解にとって大変重要である。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(MBE)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り新奇超伝導相の物性を明らかにすることを目的にしている。また得られた実験結果を基に、実験理論の両面から新奇超伝導相の秩序状態を理解することに努める。

## 2. 研究の進捗状況

現在までに以下の成果を挙げた。

## (1)「人工格子による重い電子の二次元閉じ込め」論文⑥

MBE により重い電子系物質の人工格子化に世界で始めて成功した。この技術を応用させ、重い電子物質と通常金属物質による多層膜の育成に成功した。これらの技術により重い電子を二次元に閉じ込めることに成功した。

## (2)「強磁性超伝導体 UCoGe における強磁性と超伝導の微視的共存、自己誘導渦糸状態の可能性」論文③、④

強磁性超伝導体 UCoGe において強磁性と超伝導がミクロに共存していること、強磁性と超伝導には U-5f 電子が起源となっている

ことを実験的に明らかにした。また希釈冷凍機温度域までの DC 磁化の測定から、マイスナー状態が見られないことから「自己誘導渦糸状態」が実現している可能性を指摘した。

## (3)「重い電子系物質における量子臨界点近傍におけるスピンドイナミクス」論文⑤

重い電子系物質 USn3 において、3次元 SDW 量子臨界点近傍で予想されているスピンドイナミクスの振る舞いを実験的に確認した。

## (4)「URu2Si2 における“隠れた秩序”での異常」論文②

URu2Si2 における  $T_0 = 17.5\text{K}$  の異常は 4 半世紀にわたって未解決の問題であり、この起源についての理解は重い電子系の重要な問題のひとつであった。岡崎ら(松田 G)は磁化のトルク測定から  $T_0$  以下で 4 回対称性が破れ 2 回対称性が現れることを明らかにし、隠れた秩序の起源として電子系におけるネマティック相の可能性を指摘した。

## (5)「CeCoIn5 における FFLO 状態」論文①

CeCoIn5 は低温の上部臨界磁場  $H_{c2}$  近傍で FFLO 状態や新奇な磁気相の存在が報告されている興味深い物質である。低温高磁場における超伝導状態の NMR の共鳴線に常磁性信号が急激に現れ始めることから、FFLO 状態の存在を指摘した。

## 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

上記のように現在まで順調に成果があがっている。これまでに発表論文 80 篇、学会発表は 256 回に及ぶ。当初予想していた以上の成果もあがり若手研究者も育ってきている。

#### 4. 今後の研究の推進方策

今後もこの流れを途切れさすことなく各研究グループは現在の研究にまい進する。さらに領域内、特に公募班の研究グループの連携も密に取り研究を行っていく。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 80 件)

代表論文 6 編

① K. Kumagai, H. Shishido, T. Shibauchi, and Y. Matsuda, ``Evolution of Paramagnetic Quasiparticle Excitations Emerged in the High-Field Superconducting Phase of CeCoIn<sub>5</sub>'' Phys. Rev. Lett. 106, 137004 (2011) 査読有.

② 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 URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>'' Science **331**, 439- 442 (2011) 査読有

③ 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'' J. Phys. Soc. of Jpn. **79**, 2010, 023707 1-4 (2010) 査読有

④ K. Deguchi, E. Osaki, S. Ban, N. Tamura, N.Y. Shimura, 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. of Jpn. **79**, 2010, 023707 1-4 (2010) 査読有

⑤ 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 USn<sub>3</sub>'' Phys. Rev. Lett. 102, 037208 1-4 (2010) 査読有

⑥ H. Shishido, T. Shibauchi, K. Yasu, T. Kato, H. Kontani, T. Terashima, Y. Matsuda: ``Tuning the Dimensionality of the Heavy Fermion Compound CeIn<sub>3</sub>'' Science **327**, 980- 983 (2010) 査読有

[学会発表] (計 256 件)

主な招待講演

① 石田憲二: ``<sup>59</sup>Co-NQR and NMR Studies on Ferromagnetic Superconductor UCoGe'' The 11<sup>th</sup> Asia Pacific Physics Conference (APPC11) 2010 年 11 月 17 日 Shanghai 中国

②佐藤 憲昭: ``Correlation of Ferromagnetism and Superconductivity in UCoGe'', International Conference on Magnetic Materials 2010 Oct. 25-29, 2010 Kolkata, India

③ 神戸振作: ``Magnetic fluctuations and Unconventional superconductivity in Actinide compounds'' International conference "Pu Futures 2010, 2010年9月21日 Colorado, USA

④ 松田祐司: ``Two-Dimensional Confinement of Heavy Fermion in Artificial Superlattice'', International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES) June 27-July 2 New Mexico, USA

⑤ 井澤 公一: ``Probing quantum criticality in strongly correlated electron systems by transport coefficients'', International Workshop: The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems 2010 年 6 月 20-25 日 Lanzarote Spain

⑥ 古川はづき: ``First observation of well-ordered vortex lattice in non-doped KFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> superconductor by SANS technique'', International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM2010) 2010 年 4 月 27 日 Antalya Turkey

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]