

自己評価報告書

平成23年 4月19日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20244053

研究課題名（和文） 極低温磁化・比熱・誘電測定による磁場誘起量子相転移の研究

研究課題名（英文） Field-induced quantum phase transitions studied by low-temperature magnetization, specific heat and dielectric measurements

研究代表者

榑原 俊郎 (SAKAKIBARA TOSHIRO)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：70162287

研究分野：強相関係の磁性

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：強相関係

1. 研究計画の概要

本研究では制御パラメータとして精密測定に適した磁場を用い、これまで申請者らが得意としてきた極低温精密磁化測定に加えて、わが国で整備の遅れている極低温強磁場領域の比熱測定、および強誘電測定を組み合わせた極低温物性測定システムを構築し、強相関 f 電子系や低次元スピン系、フラストレートスピン系などにおける磁場誘起の新奇秩序相や新奇現象を探ることを目的とする。

2. 研究の進捗状況

(1) 装置整備関係

- ①. 本研究補助金により 15/17T ファラデーマグネットを導入した。これにより、キャパシタンスファラデー法を用いた希釈冷凍機温度での磁化測定が常時 15T、ラムダ点冷凍機を用いれば 17T まで行えるようになった。
- ②. 極低温磁化測定装置に用いるキャパシタンスセルの改良を行った。従来比で約 10 倍の高感度化を実現し、 10^{-9} emu 以下の磁化率の測定が可能になった。これにより、微結晶試料しか得られない系の単結晶磁化測定への道が大きく拓けた。
- ③. 極低温高磁場下の誘電率測定装置の開発を行い、磁場誘起の強誘電転移の実験が可能になった。

(2) 各種物性測定の成果

- ①. 重い電子化合物 β -YbAlB₄ の極低温磁化測定を行い、この系が量子臨界点に極めて近接していることを見いだした。
- ②. スピン 1/2 のカゴメ格子反強磁性体と

して期待されているボルボサイト $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の多結晶試料の磁化過程を 60mK で調べ、4T 付近に弱いメタ磁性的磁化の増大を見だし、相転移を示唆する結果を得た。

- ③. ダイマー—重項基底状態を持つ YbAl_3C_3 の単一微結晶試料 (0.2mg) の極低温磁化測定に成功し、三重項状態への磁場誘起転移が多段の構造を持つことを確認した。
- ④. 量子臨界点に極めて近いと考えられる重い電子系化合物 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の極低温磁化測定を行い、[111]磁場方向で磁場誘起秩序を見いだした。これは価数揺動を示す Yb 化合物として初めての現象である。
- ⑤. 理想的な古典ハイゼンベルグスピン系三角格子反強磁性体である $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ はゼロ磁場低温磁気相で面垂直に電気分極を生じる。この物質の2つの磁場誘起磁気相について誘電性を調べたところいずれも強誘電性を示さなかった。これによりこの分極の極性はスピンカイラリティを反映している可能性が高まった。

3. 現在までの達成度

- ②おおむね順調に進展している。

(理由)

装置整備面では 50mK の極低温で常時 15T まで極めて高感度に磁化測定が行えるようになった。これは DC 磁化測定装置としては世界最高の性能である。物性関係では、 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ において価数揺動 Yb 化合物としては初めてとなる磁場誘起相転移を見いだ

したことなど、順調に成果が得られている。

4. 今後の研究の推進方策

概ね当初の計画どおりに研究が進んでいると考えられるので、今後の研究の推進に関して特に変更はない。以下は今後の具体的計画である。

(1) 極低温磁化測定

装置は順調に可動しており、キャパシタンスセルの高感度化も達成されたので、今後もフル操業で実験を行う。

(2) 極低温高磁場用温度校正技術の開発

2-(1)-②に述べた高感度キャパシタンスセルの技術を応用して金属アルミの核スピン磁化を正確に測定するための専用キャパシタンスセルの開発を行い、3T~15Tの磁場範囲、50mK~1.5Kの温度範囲で使用可能な1次温度計を開発する。

(3) 磁場中比熱測定

上に述べた核スピン磁化温度計を用いてRuO₂抵抗温度計の磁場中校正を行い、磁場中比熱測定の高精度化を図る。

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 14 件)

1. Y. Matsumoto, S. Nakatsuji, K. Kuga, Y. Karaki, N. Horie, Y. Shimura, T. Sakakibara, A. H. Nevidomskyy and P. Coleman, Quantum Criticality Without Tuning in the Mixed Valence Compound β -YbAlB₄, *Science* **331** (2011) 316. (査読あり)
2. H. Mitamura, T. Tayama, T. Sakakibara, S. Tsuduku, G. Ano, I. Ishii, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, A. Kikkawa, and H. Kitazawa, Low Temperature Magnetic Properties of Ce₃Pd₂₀Si₆, *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) 074712. (査読あり)
3. T. Morie, T. Sakakibara, H.S. Suzuki, H. Tanida and S. Takagi, Unusual Low Temperature Magnetization of a Cubic Γ_3 Non-Kramers Doublet Ground State Compound PrMg₃ - Evidence of a Hybridization Effect, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 033705 (1-4). (査読あり)
4. H. Yoshida, Y. Okamoto, T. Tayama, T. Sakakibara, M. Tokunaga, A. Matsuo, Y. Narumi, K. Kindo, M. Yoshida, M. Takigawa and Z. Hiroi, Magnetization "Steps" on a Kagome Lattice in Volborthite, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 043704 (1-4) (査読あり)

5. S. Nakatsuji, K. Kuga, Y. Machida, T. Tayama, T. Sakakibara, Y. Karaki, H. Ishimoto, S. Yonezawa, Y. Maeno, E. Pearson, G.G. Lonzarich, L. Balicas, H. Lee and Z. Fisk, Superconductivity and quantum criticality in the heavy-fermion system β -YbAlB₄, *Nature Physics* **4** (2008) 603-607 (査読あり)

[学会発表] (計 28 件)

1. 三田村裕幸, 桜庭孝明, 田山孝, 榊原俊郎, 都竹星志, 阿野元貴, 石井勲, 赤津光洋, 根本祐一, 後藤輝孝, 北澤英明, Ce₃Pd₂₀Si₆の極低温磁化, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008 年 9 月 21 日, 岩手大学
2. 松本洋介, 久我健太郎, 柄木良友, 富田崇弘, 町田洋, 榊原俊郎, 志村恭通, 中辻知, 重い電子系 β -YbAlB₄ の零磁場量子臨界点と非フェルミ液体-フェルミ液体クロスオーバー, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2010 年 9 月 28 日, 熊本大学
3. 杉山友理, 橘高俊一郎, 志村恭通, 榊原俊郎, 松田沙織, 落合明, キャパシタンス式ファラデー法の高感度化及び YbAl₃C₃ 微結晶の磁化測定, 日本物理学会第 66 回年次大会, 2010 年 3 月 25 日, 新潟大学 (中止・発表成立)
4. 志村恭通, 榊原俊郎, 吉内伸吾, 本多史憲, 摂待力生, 大貫惇睦, 重い電子化合物 YbT₂Zn₂₀ (T=Ir, Co) の極低温磁化, 日本物理学会第 66 回年次大会, 2010 年 3 月 25 日, 新潟大学 (中止・発表成立)
5. 三田村裕幸, 綿貫竜太, 小野崎紀道, 榊原俊郎, 鈴木和也, RbFe(MoO₄)₂ の磁場中誘電分極測定 II, 日本物理学会第 66 回年次大会, 2010 年 3 月 25 日, 新潟大学 (中止・発表成立)