

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13521

研究課題名(和文)量子スピナイスにおける素励起の観測

研究課題名(英文)Observation of elementary excitations in quantum spin ice

研究代表者

常盤 欣文(Tokiwa, Yoshifumi)

京都大学・理学研究科・特定研究員

研究者番号：30737458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：量子スピン液体はスピンの秩序化せず絶対零度までスピンの量子的に揺らいでいる特異な状態である。その性質は、スピンの分数化やゲージ揺らぎといった、スピン励起に顕著に表れる。量子スピン液体の実現の有力な候補は量子スピナイスと呼ばれる系で、磁気単極子やフォトンといった素励起が現れる。

これら素励起の性質を調べるため、熱伝導を用いて量子スピナイス $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ のスピン励起を調べた。前者では、磁気単極子が量子揺らぎにより、結晶中をコヒーレントに伝播することが分かった。後者では極低温において熱伝導の異常な増大を検出し、ゲージ揺らぎに対応するフォトンの初めての観測の可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：Quantum spin liquid is a novel ground state of matter where spins are quantum mechanically fluctuating down to absolute zero temperature. Its nature is manifested itself in exotic properties of elementary excitations, such as spin fractionalization and gauge fluctuations. One of the candidates for quantum spin liquid state is quantum spin ice system, where fluctuations are characterized by the exotic elementary excitations, charged monopoles and photon. In this project, we have studied spin excitations of the quantum spin ice systems, $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ and $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, by measuring thermal conductivity. In the former, we found that magnetic monopoles propagate coherently in the crystal lattice due to the influence of quantum fluctuations. In the latter, we have observed anomalous enhancement of thermal conductivity at very low temperature. This may be the first observation of photon, which corresponds to gauge fluctuations in quantum spin liquid.

研究分野：実験個体物理

キーワード：素励起 スピン液体 スピナイス 熱伝導 幾何学的磁気フラストレーション

1. 研究開始当初の背景

カゴメ格子やパイロクロア格子と呼ばれる格子に磁気モーメントが位置している場合は、磁気相互作用のフラストレーションが生じ、磁気モーメントの秩序化が阻害される。この秩序化が阻害された磁気モーメントは液体のように揺らぎ、スピン液体と呼ばれる状態を作る場合がある。この特異な状態は世界的に多くの注目を集め、活発に研究が行われている。スピン液体状態においては、断片化したスピン励起など、様々な特異な素励起の存在が示唆されている。そのような励起の実験的観測は、スピン液体状態の理解における最重要課題の一つである。

2. 研究の目的

パイロクロアと呼ばれる格子の場合は、フラストレートした磁気モーメントが「スピンアイス」という状態を取ることがある。古典スピンアイスと呼ばれる物質では、低温で磁気モーメントがアイス状態に凍結する。一方、 $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ や $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ などの物質群は、磁気モーメントが小さいために量子揺らぎの効果が大きく、低温まで液体状態をとる量子スピンアイスと呼ばれている。このような量子スピン液体状態では、スピンが分数化している磁気モノポールやゲージ揺らぎに対応するフォトンと呼ばれる励起が発生すると理論的に考えられている。特に、後者の量子スピン液体におけるゲージ場揺らぎの存在は実験的にこれまで観測されていない。

上記のような物質群における基底状態は未だ解明されておらず、これらの物質における未知なる素励起の性質を調べることは、量子スピン液体に関する研究に大きく貢献すると考えられる。

3. 研究の方法

熱伝導は、磁気秩序下ではマグノンなどといった結晶中を伝播する素励起を敏感に検出することが出来る。しかし、熱的な擾乱によって揺らいでいる古典的な常磁性状態では、スピンは熱輸送に寄与しない。一方、量子的に揺らいでいる量子スピン液体状態では、分数化したスピノンと呼ばれる磁気励起が熱輸送に大きく寄与することが知られている。特に、一次元の反強磁性スピン 1/2 鎖においては、スピノンによる巨大な熱伝導の増強がある。また、二次元量子スピン液体の候補物質においても、新奇素励起の検出に熱伝導が有効であることが示されている。

我々は $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ や $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ における低温でスピン相関が発達した液体状態での熱伝導の温度依存性、磁場依存性、熱流方向依存性、サンプル依存性などを詳細に測定し、新奇素励起の存在を検証し、またその性質を調べた。これらの物質において予想されるフォトンのエネルギースケールは 1 K 以下であるため、稀釈冷凍機を用いて 30 mK までの測定を行った。

4. 研究成果

(1) 初年度は $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の研究を行った。この物質の物性は不純物に非常に敏感で、多結晶試料においては約 0.2K 以下で強磁性状態への明瞭な転移が観測されているが、単結晶では転移での異常が消失することが報告されている。一方、我々の用いた単結晶で試料評価のため比熱測定を行ったところ、0.2K での強磁性転移が比熱に明瞭に表れる(図1)。このような明瞭な転移を示す単結晶は他には報告されておらず、我々のサンプルの結晶純良性が高いことが分かる。また、この物質での中性子散乱の実験からスピンアイス相関が 4 K 以下で発達することが示されている。従って、4K 以下 0.2K 以上の温度領域において、スピン相関の強いスピン液体状態となっていることが予想される。

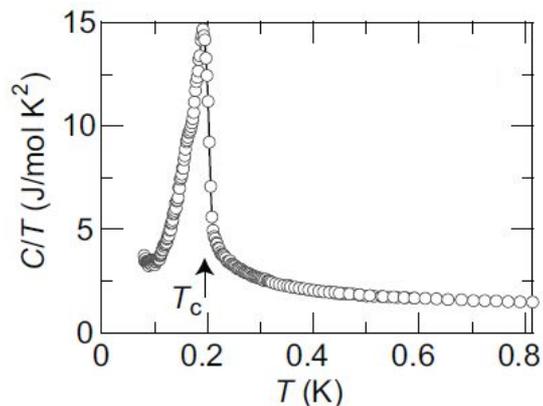


図1: $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 単結晶の比熱割る温度

対象物質である $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ のような絶縁体の場合は、熱伝導にはスピンとフォノンの成分が混在している。そのため、磁場依存性などを詳細に測定して、スピンとフォノンの成分を分離して議論する必要がある。そこで、我々は様々な異なる温度において熱伝導の磁場依存性を測定した。結果、図2に示すように熱伝導は十分な高磁場領域では一定となり、その領域から磁場を下げていくと減少することが分かった。この高磁場領域では、

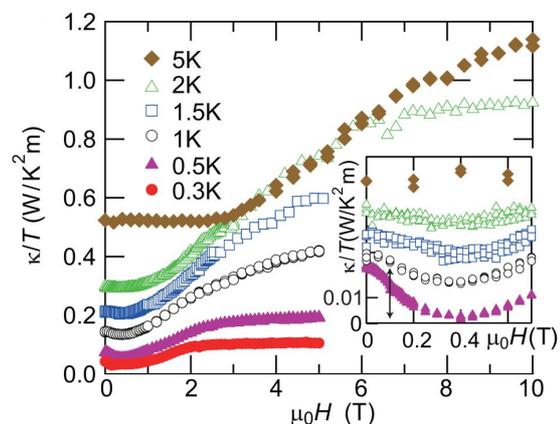


図2: $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の熱伝導の磁場依存性。

ゼーマンエネルギーが熱エネルギーよりも十分大きく、スピン励起が存在しない。従って、フォノンがスピンにより散乱されないため、純粋なフォノンの寄与のみが残る。このことは、磁場に対して一定値をとることとコンシステントである。高磁場領域から磁場を下げたときに熱伝導が減少するのは、スピンが熱励起され、フォノンが散乱されていることによると考えられる。このゼーマン分裂したスピン系によるフォノンの散乱が生み出す磁場依存性を見るため、規格化した熱伝導を H/T でプロットすると、我々のデータは様々な温度において良くスケールされることが分かった。このことから、磁場による熱伝導の上昇は熱励起されたスピンによるフォノンの散乱によって理解されることが分かる。

一方、図2インセットに示すように、低磁場低温領域では、磁場に対して熱伝導が減少する。これは上記のスピンフォノン散乱では説明できない振る舞いである。このような磁場による減少は、スピンアイス相関が観測された4K以下0.2K以上の温度領域でのみ見られることから、スピンアイス状態におけるスピンの寄与と見るのが最も自然である。

量子揺らぎの強いスピンアイスにおいては、モノポールが分散を持ちフォトンと呼ばれるギャップのない励起が最低エネルギーに現れる。今回我々が観測した低磁場での異常は磁気モノポールの励起エネルギーである $2J_{\parallel}=4K$ 以下で見られることから、磁気モノポールによる寄与であると考えられる。低磁場領域での磁場に対する熱伝導の減少はモノポール密度の減少と考えることが出来る。実際、古典モデルの計算ではあるが、熱励起されたモノポールの密度は磁場により減少することが期待される。

そして、熱伝導と比熱の結果からモノポールの平均自由工程を見積もると、100nmと非常に長いことが分かった。これは、1%のモノポール密度を仮定したときの、平均距離2nmよりもずいぶん大きいことが分かる。磁気モノポールは3次元スピン液体状態でのポーズ粒子と考えられるが、スピン1/2反強磁性1次元系におけるスピノンの平均自由工程が非常に長くなることは実験的理論的にも知られており、それとの関連性に興味を持たれる。

(2) 最終年度はフォトン励起の観測を期待し、30mKの極低温まで磁気秩序を示さない $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ の熱伝導測定を行った。この物質では、中性子散乱の実験によりスピンアイス相関と強い量子揺らぎが観測されており、低温でスピン液体状態となっていると考えられる。

この物質の熱伝導を極低温まで測定したところ、0.2K以下で温度減少に伴い熱伝導が異常増大することが分かった。このような異

常増大は他のサンプルでも観測された。

フォノンの熱伝導はデバイ温度の約1/10程度の温度でピークを持つことが期待される。同じ結晶構造を持つ非磁性パイロクロア $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ では6Kにおいて熱伝導のピークがあることから、フォノンの熱伝導は0.2K以下の低温の異常増大を説明できない。また、Pr核の影響は比熱には顕著に表れるが、熱伝導は核磁気モーメントなどの局在した励起を観測しない。さらに0.2K以下の低温での熱伝導は磁場により増加したのちに減少する。このような振る舞いは、核磁気モーメントの準位の磁場による単調な増加とは相いれない結果である。

これらの考察から、低温での熱伝導の異常増大は電子の磁気モーメント由来と考えられる。このような非常に低エネルギーの励起はフォトン励起ではないかと考えている。現在我々はこの結果に関する論文を準備している。

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 6件)

T. Yamashita, Y. Tokiwa, D. Terazawa, M. Nagao, S. Watauchi, I. Tanaka, T. Terashima, Y. Matsuda, Conventional s-wave superconductivity in BiS_2 -based $\text{Nd}_{0.71}\text{F}_{0.29}\text{BiS}_2$ revealed by thermal transport measurements *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 73707. (2016) 査読有

T. Ishii, R. Toda, Y. Hanaoka, Y. Tokiwa, M. Shimosawa, R. Endo, T. Terashima, A. H. Nevidomskyy, T. Shibauchi, Y. Matsuda, Tuning of magnetic quantum criticality in artificial Kondo superlattice $\text{CeRhIn}_5/\text{YbRhIn}_5$ *Phys. Rev. Lett.* **116**, 206401. (2016) 査読有

Y. Tokiwa, M. Mchawat, R. S. Perry, P. Gegenwart, Multiple metamagnetic quantum criticality in $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ *Phys. Rev. Lett.* **116**, 226402. (2016) 査読有

Y. Tokiwa, B. Piening, H. S. Jeevan, S. L. Bud'ko, P. C. Canfield, P. Gegenwart, Super-heavy electron material as metallic refrigerant for adiabatic demagnetization cooling, *Sci. Adv.* **116**, 226402. (2016) 査読有

Y. Tokiwa, T. Yamashita, M. Udagawa, S. Kittaka, T. Sakakibara, D. Terazawa, Y. Shimoyama, T. Terashima, Y. Yasui, T. Shibauchi, Y. Matsuda, Possible observation of highly itinerant

quantum magnetic monopoles in the frustrated pyrochlore $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$,
Nat. Commun. **7**, 10807. (2016) 査読有

Y. Tokiwa, C. Stingl, M.-S. Kim, T. Takabatake, P. Gegenwart,
Characteristic signatures of quantum criticality driven by geometrical frustration,
Sci. Adv. **116**, 226402. (2016) 査読有

〔学会発表〕(計 36 件)

常盤欣文
重い電子系 CeCu_2Si_2 における s 波超伝導
日本物理学会年次大会、招待講演、大阪大学
2017 年 3 月 18 日

常盤欣文, B. Piening, H.S. Jeevan, S.L. Bud'ko, P.C. Canfield, P. Gegenwart
超重い電子金属を用いた断熱消磁冷却
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 20 日

大西隆史, 杉井かおり, 下澤雅明, 常盤欣文, 栗田伸之, 田中秀数, 山下穰, 芝内孝禎, 松田祐司
Kitaev スピン液体候補物質 $-\text{RuCl}_3$ における熱 Hall 効果測定
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 17 日

成塚政裕, Priscila F. S. Rosa, Yongkang Luo, Filip Ronning, Joe D. Thompson, 石井智大, 三宅聡平, 下澤雅明, 芝内孝禎, 常盤欣文, 笠原裕一, 寺嶋孝仁, 松田祐司
 $\text{CeCoIn}_5/\text{CeRhIn}_5$ ハイブリッド超格子の圧力下における超強結合状態
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 17 日

仲嶺元輝, 山中隆義, 北川俊作, 石田憲二, 石井智大, 成塚政裕, 鳥井陽平, 下澤雅明, 宍戸寛明, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 水上雄太, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
 ^{59}Co -NMR による人工超格子 $\text{CeCoIn}_5/\text{CeRhIn}_5$ と $\text{CeCoIn}_5/\text{YbCoIn}_5$ の比較
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 17 日

谷口智哉, 綿重達哉, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 松田祐司
鉄系超伝導体 $\text{Fe}(\text{Se}, \text{S})$ 単結晶の比熱測定
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 18 日

北川俊作, 樋口匠, 真砂全宏, 山中隆義, 石田憲二, 常盤欣文, H. S. Jeevan, C. Geibel, F. Steglich

重い電子系超伝導体 CeCu_2Si_2 の低温高磁場領域における NMR
日本物理学会年次大会、大阪大学
2017 年 3 月 18 日

Masahiro Naritsuka, Tomohiro Ishii, Souhei Miyake, Yuichi Kasahara, Takahito Terashima, Yuji Matsuda, Yoshifumi Tokiwa, Masaaki Shimozawa, Takasada Shibauchi, P. F. S. Rosa, Yongkang Luo, Filip Ronning, Joe D. Thompson
Maximizing superconducting coupling strength in heavy-fermion hybrid superlattices of $\text{CeCoIn}_5/\text{CeRhIn}_5$
アメリカ物理学会 (国際学会) ニューオーリンズ、2017 年 3 月 14 日

Yuichi Kasahara, Y. Naritsuka, T. Ishii, S. Miyake, T. Terashima, Y. Matsuda, Y. Tokiwa, M. Shimozawa, T. Shibauchi
Emergent superconductivity in tricolor Kondo superlattices
アメリカ物理学会 (国際学会) ニューオーリンズ、2017 年 3 月 13 日

Takaaki Takenaka, Yuta Mizukami, Marcin Konczykowski, Silvia Seiro, Hirale S Jeevan, Christoph Geibel, Joe A Wilcox, Carsten Putzke, Antony Carrington, Yoshifumi Tokiwa, Yuji Matsuda, Takasada Shibauchi
Effect of controlled point like disorder on low-energy quasiparticle excitations in CeCu_2Si_2
アメリカ物理学会 (国際学会) ニューオーリンズ、2017 年 3 月 13 日

Yoshifumi Tokiwa,
Thermal conductivity of exotic elementary excitations in quantum spin ice
Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (招待講演)(国際学会), 東京大学、2017 年 2 月 20 日

常盤欣文, M. Machalwat, R.S. Perry, P. Gegenwart
 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ における多重量子臨界現象
日本物理学会、金沢大学
2016 年 9 月 14 日

寺澤大樹, 大西隆史, 山下卓也, 常盤欣文, 宇田川将文, 木村健太, Mario Halim, 中辻知, 寺嶋孝仁, 芝内孝禎, 松田祐司
熱伝導率測定から見た量子スピン液体 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 中のフォトン励起の研究
日本物理学会、金沢大学
2016 年 9 月 14 日

綿重達哉, Stevan Arsenijevic, 笠原成,

山下卓也, 寺澤大樹, 大西隆史, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, Joachim Wosnitza, 松田祐司
鉄系超伝導体 FeSe 単結晶の強磁場下での熱ホール効果
日本物理学会、金沢大学
2016年9月13日

三宅聡平, 石井智大, 成塚政裕, 鳥井陽平, 下澤雅明, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 石田憲二, 松田祐司
CeCoIn₅ トリコロール超格子による Pauli 対破壊効果の人工制御
日本物理学会、金沢大学
2016年9月14日

成塚政裕, 石井智大, 鳥井陽平, 下澤雅明, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
CeRhIn₅/CeCoIn₅ ハイブリッド超格子における圧力下強結合超伝導状態の実現
日本物理学会、金沢大学
2016年9月14日

樋口匠, 真砂全宏, 山中隆義, 石田憲二, 常盤欣文, H. S. Jeevan, C. Geibel
単結晶 CeCu₂Si₂ における Cu-NMR
日本物理学会、金沢大学
2016年9月14日

大西隆史, 寺澤大樹, 山下卓也, 常盤欣文, 橘高俊一郎, 榊原俊郎, H.S.Jeevan, C.Geibel, M. Konczykowski, 芳賀芳範, 水上雄太, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
熱伝導率測定および対破壊効果からみた重い電子系超伝導体 CeCu₂Si₂ の超伝導ギャップ構造
日本物理学会、金沢大学
2016年9月14日

弘中恭平, 竹中崇了, 水上雄太, J. Wilcox, C. Putzke, A. Carrington, S. Seiro, H. S. Jeevan, C. Geibel, M. Konczykowski, 常盤欣文, 松田祐司, 芝内孝禎
不純物効果から見た重い電子系超伝導体 CeCu₂Si₂ のギャップ構造
日本物理学会、金沢大学
2016年9月14日

仲嶺元輝, 山中隆義, 北川俊作, 石田憲二, 石井智大, 成塚政裕, 鳥井陽平, 下澤雅明, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
重い電子系超伝導化合物 CeCoIn₅ と反強磁性化合物 CeRhIn₅ の人工超格子 CeCoIn₅/CeRhIn₅ の NMR
日本物理学会、金沢大学
2016年9月15日

②常盤欣文
熱伝導測定による量子スピンアイスの新奇素励起の観測
研究会「スピン液体研究の新展開」(招待講演), 東京大学, 2016年7月15日

②Y. Tokiwa, T. Yamashita, D. Terazawa, T. Terashima, K. Kimura, M. Halim, S. Nakatsuji, Y. Matsuda
Possible observation of photon excitations in the quantum spin-ice Pr₂Zr₂O₇
アメリカ物理学会(国際学会) ポルチモア、2016年3月15日

③M. Naritsuka, T. Ishii, R. Toda, S. Kasahara, Y. Kasahara, Y. Tokiwa, T. Terashima, Y. Matsuda
Hybrid heavy-fermion superlattices of CeCoIn₅/CeRhIn₅
アメリカ物理学会(国際学会) ポルチモア、2016年3月15日

④Y. Kasahara, D. Terazawa, T. Yamashita, T. Onishi, Y. Tokiwa, T. Terashima, Y. Matsuda, T. Takenaka, Y. Mizukami, T. Shibauchi, J. Wilcox, C. Putzke, A. Carrington, S. Kittaka, T. Sakakibara, H. S. Jeevan, S. Seiro, C. Geibel, Y. Haga
Evidence for fully-gapped superconductivity in heavy-fermion CeCu₂Si₂
アメリカ物理学会(国際学会) ポルチモア、2016年3月15日

⑤寺澤大樹, 大西隆史, 山下卓也, 常盤欣文, 宇田川将文, 木村健太, Mario Halim, 中辻知, 寺嶋孝仁, 芝内孝禎, 松田祐司
熱伝導率測定による量子スピン液体 Pr₂Zr₂O₇ 中のフォトン励起の観測
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月21日

⑥樋口匠, 真砂全宏, 山中隆義, 石田憲二, 常盤欣文, H. S. Jeevan, C. Geibel
単結晶 CeCu₂Si₂ における Cu-NQR
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月20日

⑦石井智大, 戸田琳太郎, 鳥井陽平, 成塚政裕, 下澤雅明, 花岡洋祐, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
ハイブリッド超格子 CeRhIn₅/CeCoIn₅ における量子臨界性
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月20日

⑧大西隆史, 寺澤大樹, 山下卓也, 笠原裕

一, 常盤欣文, 橘高俊一郎, 榊原俊郎, H. S. Jeevan, C. Geibel, M. Konczykowski, 芳賀芳範, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
極低温熱伝導率測定からみた重い電子系超伝導体 $CeCu_2Si_2$ の超伝導ギャップ構造
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月22日

⑳竹中崇了, 水上雄太, 新井佑基, J. Wilcox, C. Putzke, A. Carrington, S. Seiro, H. S. Jeevan, C. Geibel, M. Konczykowski, 常盤欣文, 松田祐司, 芝内孝禎
極低温磁場侵入長測定と不純物効果から見た重い電子系超伝導体 $CeCu_2Si_2$ のギャップ構造
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月22日

㉑鳥井陽平, 石井智大, 戸田琳太郎, 成塚政裕, 下澤雅明, 花岡洋祐, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
ハイブリット超格子 $CeRhIn_5/CeCoIn_5$ の超伝導特性
日本物理学会年次大会、東北学院大学
2016年3月22日

㉒山下卓也, 寺澤大樹, 常盤欣文, 木村健太, Mario Halim, 中辻知, 寺嶋孝仁, 松田祐司
極低温熱伝導率測定による量子スピン液体 $Pr_2Zr_2O_7$ の素励起の研究
日本物理学会、関西大学
2015年9月19日

㉓山下卓也, 寺澤大樹, 常盤欣文, 長尾雅則, 綿打敏司, 田中功, 寺嶋孝仁, 松田祐司
熱伝導率測定からみた $NdO_{0.71}F_{0.29}BiS_2$ の超伝導ギャップ構造
日本物理学会、関西大学
2015年9月16日

㉔成塚政裕, 遠藤僚太, 戸田琳太郎, 石井智大, 下澤雅明, 花岡洋祐, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
 $CeCoIn_5$ 系トリコロール超格子によるグローバルな空間反転対称性の破れの導入
日本物理学会、関西大学
2015年9月17日

㉕石井智大, 遠藤僚太, 戸田琳太郎, 成塚政裕, 下澤雅明, 花岡洋祐, 笠原成, 常盤欣文, 笠原裕一, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司
重い電子系ハイブリット超格子 $CeRhIn_5/CeCoIn_5$ における輸送測定
日本物理学会、関西大学

2015年9月17日

㉖寺澤大樹, 山下卓也, 常盤欣文, 橘高俊一郎, 榊原俊郎, H. S. JEEVANC, C. GEIBELC, 芳賀芳範, 寺嶋孝仁, 松田祐司
熱伝導率測定による重い電子系超伝導体 $CeCu_2Si_2$ のギャップ構造の解明
日本物理学会、関西大学
2015年9月17日

㉗樋口匠, 真砂全宏, 山中隆義, 石田憲二, 常盤欣文, H. S. Jeevan, C. Geibel
単結晶 $CeCu_2Si_2$ における Cu-NQR
日本物理学会、関西大学
2015年9月17日

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者
常盤 欣文(TOKIWA, Yoshifumi)
京都大学・理学研究科・特定研究員
研究者番号: 30737458

(2)連携研究者
松田祐司(MATSUDA, Yuji)
京都大学・理学研究科・教授
研究者番号: 50199816

(3)連携研究者
中辻 知(NAKATSUJI, Satoru)
東京大学・物性研究所・教授
研究者番号: 70362431

(4)連携研究者
安井 幸夫(YASUI, Yukio)
明治大学・理工学部・準教授
研究者番号: 80345850

(5)連携研究者
宇田川 将文(UDAGAWA, Masafumi)
学習院大学・理学部・準教授
研究者番号: 80431790

(6)研究協力者
山下 卓也(YAMASHITA, Takuya)

(7)研究協力者
寺澤 大樹(TERAZAWA, Daiki)