

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 27 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340102

研究課題名（和文）非クラマース結晶場基底状態をもつ重い電子化合物の

高磁場 NMR による研究

研究課題名（英文）High-field NMR studies on heavy fermion systems with

non-Kramers crystal electric field ground state

研究代表者

藤 秀樹（TOU HIDEKI）

神戸大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60295467

研究成果の概要（和文）：大きな有効質量を持つ重い電子系においては、磁場効果の実験は重い電子状態を調べる上で重要な手法である。電子状態が $4f^1$ 電子状態である典型的な重い電子化合物 $CeCu_6$ と $5f^2$ 電子状態である UBe_{13} および $PrOs_4Sb_{12}$ について強磁場 NMR 実験を行った。 $CeCu_6$ では NMR から求められた準粒子磁化率は磁場によって抑制されることが分かり、共鳴近藤モデルによって説明できる。一方、 UBe_{13} では磁場によるナイトシフトや緩和率の抑制は 10% 程度と小さく、観測された磁化率の約 90% 近くがヴァンブレック磁化率であることがわかった f^2 電子状態を持つ重い電子の準粒子磁化率は f^1 電子状態を持つ重い電子と異なることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：A magnetic field is a good tuning parameter to control the electronic state of heavy fermion compounds. The quasiparticle susceptibility of three typical heavy fermion compounds, $CeCu_6$ and UBe_{13} , and $PrOs_4Sb_{12}$ was obtained by NMR measurements under the magnetic fields up to 17 tesla. The quasiparticle susceptibility for $CeCu_6$ is suppressed drastically at high magnetic fields. This behavior was explained by the Kondo resonance level model. On the other hand, the suppression of the quasiparticle susceptibility for UBe_{13} is about 13 % of the total susceptibility above applied field of 17 tesla. The remaining ~ 87 % is due to the Van Vleck susceptibility. The present studies strongly suggested that the quasiparticle susceptibility in the f^2 system is different from that of f^1 system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2011年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2012年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：低温物理学・物性物理学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：結晶場，重い電子，重い電子超伝導，核磁気共鳴，ナイトシフト

1. 研究開始当初の背景

希土類やアクチノイドを含む化合物では、

局在 f 電子と伝導電子が近藤効果を通じ、伝導電子（準粒子）の有効質量 m^* が重くなること

が知られている。この状態は、クラマース基底状態をもつ局在イオンと伝導電子の近藤効果を考慮した山田-芳田らのフェルミ流体論に基づく理論によって理解することができ、その特徴的な温度は近藤温度($T_K \sim 10$ K)に代表される。 T_K は重い電子状態を特徴付ける有効フェルミ温度に相当し、その逆数は準粒子状態密度と関係する。 m^* あるいは電子比熱係数 γ と近藤温度の関係は $m^* \propto \gamma \propto 1/T_K$ であるため、 T_K が低ければ、 T_K あるいは $\mu_B H_A \sim k_B T_K$ 以下の温度・磁場では重いFermi流体描像が成り立ち、電子比熱係数や磁化率などが増強さるが、それら以上の温度あるいは磁場では重い電子状態は壊れる。つまり“重いフェルミ縮退状態”が解けた状態といえる。

重い電子状態で発現する磁性・超伝導は、強相関電子系における物理の重要課題として1980年以降に精力的に研究されてきた。その過程で、多重極子秩序、異方的超伝導や非フェルミ流体などの概念が確立し現在では広く受け入れられている。たとえばCeRu₂Si₂は、 $\gamma \sim 350 \text{ mJ/K}^2 \text{ mol}$ であり、 $T_K \sim 10$ K、 $H_A \sim 8$ T(テスラ)の前後で磁化率や電気抵抗、比熱の温度依存性が変わり、また、フェルミ面の形状も変わることが知られている。この振る舞いは、重い電子状態が温度、磁場に敏感であることを意味する。これまでに数多くの重い電子化合物が見つかり、たとえば、CeCu₆、UBe₁₃、PrOs₄Sb₁₂ ($\gamma \sim 500 \text{ mJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^2)$ 、 $T_K \sim 10$ K(不明))などでは、その重い電子形成機構が磁気的な近藤効果であるならば、大きな電子比熱係数から実験室定常磁場で重い電子状態を壊すことが可能となる。ところが、近年、磁場に鈍感な重い電子化合物の発見など、磁気的な近藤効果を通じて形成された重い電子状態では記述できない物質が見つかり、理論的には“ラットリング”と呼ばれる巨大振幅非調和局所原子振動や“多重極子揺らぎ”がその起源となりうると考えられている。

(1) CeCu₆は1984年に発見された重い電子系化合物である。電気抵抗率は降温と共に $-\log T$ に比例して増加し、2-13 Kで極大値をもつことから、明確に近藤効果を反映していると考えられる。また、電子比熱係数は $\gamma \sim 1600 \text{ mJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^2)$ と通常金属よりもはるかに大きな値を示すことから、CeCu₆はf電子価数がクラマース基底状態をとるf¹であり典型的な重い電子系化合物と考えられている。近藤温度は報告にもよるが $T_K \sim 1$ K ~ 6 K程度であることから、実験室磁場で重い電子状態を破壊することができる。

(2) UBe₁₃は、1983年に発見された重い電子超伝導体であり、常伝導状態、超伝導状態と共に特異な性質を示す。電気抵抗率は、30 Kより高温で $\rho(T) \propto -\ln T$ を示し、近藤効果を反映していると考えられる。近藤温度は T_K

~ 6 K程度であると見積もられており、電子比熱係数も $\gamma = 1100 \text{ mJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^2)$ と非常に大きく、大きな有効質量を反映している。超伝導転移温度で $T_c = 0.86$ Kで大きな比熱の飛び $\Delta C/\gamma T_c \approx 1$ を伴って超伝導に転移することから、伝導電子とUのf電子が近藤効果を通して混成により重い電子状態を形成し、その重い電子が超伝導を引き起こしている典型的な重い電子超伝導体であるとして考えられてきた。ところが、過去の精力的な研究から、低温では重い電子系に期待される $\rho(T) \propto T^2$ やパウリ常磁性は観測されておらず非フェルミ流体状態のまま超伝導に転移する。種々の研究からUイオンは4価(U⁴⁺)が実現されf²電子状態であるため、既存の重い電子の理論には当てはまらない常伝導状態や超伝導状態が実現されていると考えられている。しかし、f³状態を支持する実験報告がなされるなど30年近くにわたって多くの研究がなされているにもかかわらず、その本質はいまだに理解されていない。

(3) PrOs₄Sb₁₂は、 $\gamma \sim 500 \text{ mJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^2)$ であるにもかかわらず、これまでの重い電子の証拠であるKondo効果も見られず、質量増大効果が測定手段により異なっており、重い電子の形成機構が従来とは異なっていると考えられ注目されている。この物質では、Prイオンは局在的であり3価(Pr³⁺)となっており、常磁性状態の物性は局在的なPr³⁺(J=4)状態であり、磁場誘起反強四極子秩序が見いだされ、結晶場1重項 Γ_1 が基底状態にあり、10K程度高いところに $\Gamma_4^{(2)}$ があるような結晶場スキームで物性が理解されることが明らかとなっているが、重い電子状態の起源は明らかとなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、非クラマース結晶場基底状態が重い電子状態に与える影響を微視的な観点から明らかにするために(1)クラマース基底状態を持つf¹系であるCeCu₆、(2)f²系であると考えられているUBe₁₃、(3)f²であり結晶場基底状態が明らかとなっているPrOs₄Sb₁₂について強磁場でのNMR実験により微視的な観点から以下の点について明らかにすることを目的とした。

① 単結晶強磁場精密NMR測定により、ナイトシフトおよびNMR緩和率の磁場依存性から、f²電子状態とf¹電子状態に起因する重い電子状態の違いを申請者が2005年に報告したf¹準粒子コリンハ関係をもとにしらべ、f²電子状態特有の性質を明らかにする。

② 角度分解NMR実験から、結晶場縮重度と四極子や高次多極子自由度と重い電子状態の関係を明らかにし、強磁場17Tまでの実験を行い重い電子状態に関する知見を得る。

3. 研究の方法

主として 17 テスラ, 最低温度 0.5 ケルビンまでの核磁気共鳴実験を $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ ($^{121,123}\text{Sb}$ -NQR, NMR), UBe_{13} (^9Be -NMR), CeCu_6 (^{63}Cu -NMR, NQR) を行う。また, 相補的に, 磁化率測定を行う。特に, 強磁場での磁化率測定は, 広島大学大学院先端物質科学研究科の世良教授と谷田助教の協力を得た。用いる装置は以下の通りである

- ・ 1MHz-250MHz 広帯域 NMR スペクトロメータ
- ・ オックスフォード 17 テスラ超伝導磁石
- ・ 自作ヘリウム 3 循環型冷凍機

なお, 単結晶における磁場角度の調整は角度分解機能のついた NMR プロブを用いた。

4. 研究成果

(1) 重い電子化合物 CeCu_6

単結晶試料 CeCu_6 の磁化率測定の磁場方向依存性を測定した(図 1)。磁場を結晶軸 a 軸, b 軸, c 軸に印加したところ, a, b 軸方向の磁化率は温度依存性をほとんど示さず, c 軸方向のみがキュリー・ワイス的な温度依存性を示した。この磁化率の異方性は, 結晶場基底状態の波動関数が主として $|\pm 5/2\rangle$ 状態であり, 過去の報告を再現した。磁場印加にたいし a, b 軸方向の磁化率は, 磁場依存性を示さないが, c 軸磁化率のみ磁場による磁化率の強い抑制が見られた。

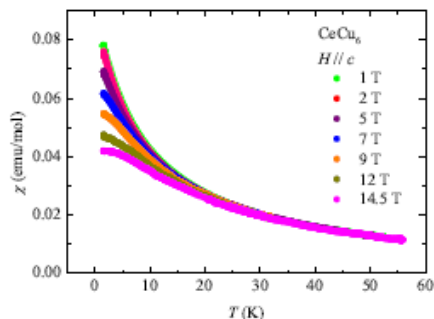


図 1 CeCu_6 の強磁場磁化率

Cu -NMR によるナイトシフトの測定でも同様の強い磁気異方性が観測され, 図 2 に示すように c 軸ナイトシフトのみに磁場依存性が観測された。一方, 図 3 に示すように核スピン格子緩和率は磁場を a, b 軸方向に印加した場合, c 軸方向に印加するとした場合にくらべ約 10 倍増強される。また, a, b 軸方向の緩和率は磁場印加により強く抑制される。核スピン格子緩和率が, 磁場印加方向に垂直方向の動的磁化率に関係していることから, ナイトシフトの磁場依存性に対応していることが分かった。

磁化率およびナイトシフトの温度依存性について, 温度を内挿パラメーターとし

Clogston-Jacarriono Plot を行い, 超微細結合定数を求めたところ, 結合定数に異方性があるが, 磁場強度には依存しないことから, 磁場による磁化率およびナイトシフト, 核スピン格子緩和率の抑制は有効状態密度が磁場により減少する, 共鳴近藤モデルによって説明できる。

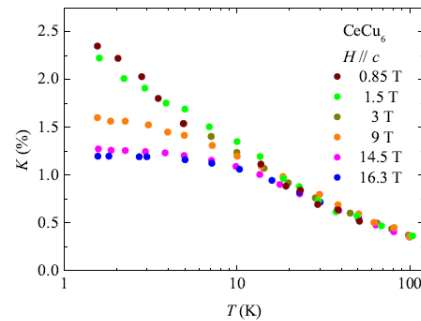


図 2 CeCu_6 のナイトシフト磁場依存性

磁気異方性を局在モデルによる結晶場基底状態の波動関数を用いとりこみ, 重い電子状態における準粒子磁化率を計算し, 実験結果と比較することで異方性の考察を行った。重い電子に対して成り立つ準粒子コリンハ則を用いて評価したところ, Knight shift の磁気異方性は局在モデルの磁気異方性を反映したものであることが示唆され, Knight shift の磁場により抑制された部分は準粒子項であることがわかった。よって, f^1 の重い電子状態における準粒子磁化率は結晶場基底状態を反映し異方的で, 磁場の効果を顕著に受ける。このことは山田-芳田の磁気的近藤効果による重いフェルミ流体理論が適用できることを微視的な観点から示した実験であるといえる。

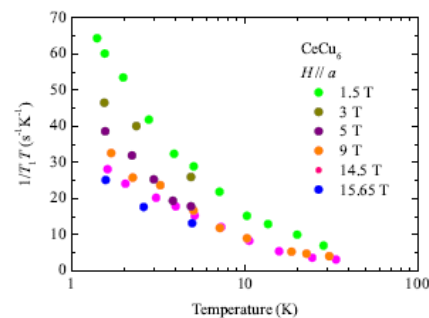


図 3 CeCu_6 の NMR 緩和率の磁場依存性

(2) 重い電子超伝導体 UBe_{13}

UBe_{13} では U 系特有の局在と遍歴の間にある $5f$ の状態が問題を複雑にしており, U は $5f^2$ 状態であるとの報告と $5f^3$ 状態であるとの報告があり, 結晶場基底状態は明らかとなっていない。 $5f^3$ の場合, 結晶場基底状態は

クラマース 2 重項となるため, CeCu₆ 同様に磁場印加によりナイトシフトや核スピン格子緩和率が強く抑制されることが期待される. 一方, 5f² 状態であれば, Cox 等によって提案されたような四極子自由度を持つ非クラマース二重項結晶場基底状態や, 一重項状態となる. 前者の場合, 四極子近藤効果による非フェルミ流体状態や重い電子状態が予想される.

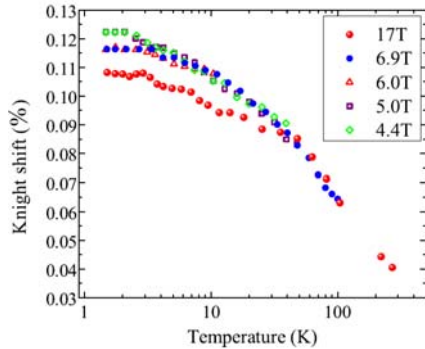


図4 UBe₁₃ のナイトシフト磁場依存性

ナイトシフトおよびスピン格子緩和率は, 重い電子において成り立つ準粒子コリンハ則に従うことから, CeCu₆ 同様に磁場によりナイトシフトやスピン格子緩和率の抑制が期待された. 図4にナイトシフトの磁場依存性は, 全シフトに対し磁場により1割程度しか抑制されないことが明らかとなった. 図5にNMR スピン格子緩和率の磁場依存性を示す. スピン格子緩和率も磁場印加に対して鈍感で有り, 抑制率はナイトシフトと同程度である.

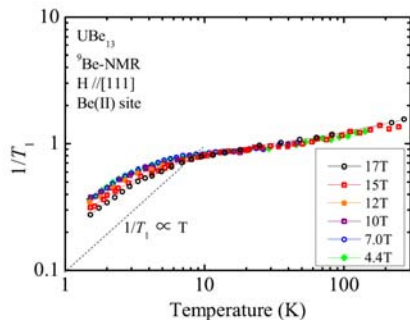


図5 UBe₁₃ のスピン格子緩和率磁場依存性

このことは, ナイトシフトやスピン格子緩和率の増大は, 主として状態密度ではなく, バンプレック磁化率であり, 全磁化率の1割程度が, 準粒子磁化率であることが明らかとなった. この結果はクラマース二重項基底状態に対する山田-芳田の重いフェルミ流体理論では説明できず, Cox らの提唱する, 5f² 状態, 非クラマース二重項による重い電子状態と矛盾しないことが分かった. このように UBe₁₃ では f² 基底状態として理解され, 非フェルミ流体状態や有効質量の増強は, 磁氣的近

藤効果によるものではなく四重極近藤効果によるものであると考えられる.

(3) 重い電子超伝導体 PrOs₄Sb₁₂
PrOs₄Sb₁₂ は $\gamma \sim 500 \text{ mJ}/(\text{molK}^2)$ の重い電子超伝導体である. Pr の 4f 電子状態は 4f² であり, 種々の実験から, 結晶場基底状態が Γ_1 , 8 K に第一励起状態 $\Gamma_4^{(2)}$, 第二励起状態 $\Gamma_4^{(1)}$ は 135 K に第三励起状態 Γ_{23} は 205 K にあることが分かっている. $\Gamma_1 - \Gamma_4^{(2)}$ の擬 4 重項状態は多極子自由度, 4 極子, 8 極子, 16 極子自由度を持っており種々の物性に寄与していることが分かっている. この系の Sb-NMR 実験を行った.

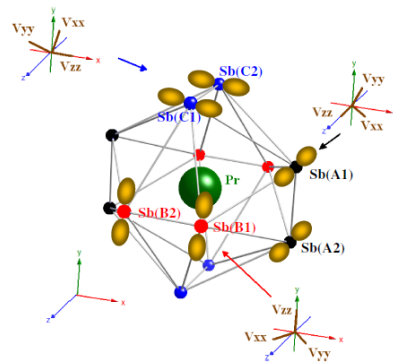
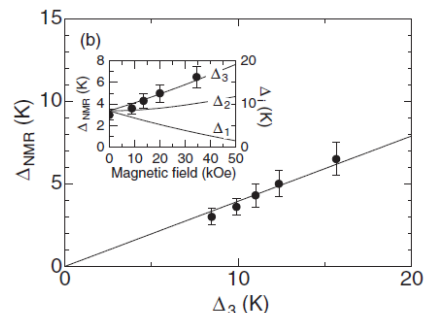


図6 NMR から予想される Sb5p の主伝導軌道

NMR スペクトルおよびナイトシフトの温度依存性からトランスファー超微細結合定数 A_{TF} の異方性を評価し, Sb 5p の部分スピン密度を見積もったところ, 図6に示すようにミラー面に垂直な Sb 5p 軌道のスピン密度が最も大きく, Pr の 4f スピンが混成を通して Sb5p 軌道にしみ出していることが明らかとなったバンド計算で予測された a_u 対称の分子軌道と一致することが分かった.

A_{TF} は磁場によって抑制される. この結合定数の磁場による抑制は通常の金属間化合物では見られず, PrOs₄Sb₁₂ に特徴的である. 群論に基づいた Pr の多極子モーメントと Sb の局所対称性の議論から磁場による結合定数の抑制は, 磁場印加により擬 4 重項結晶場



状態が分裂するために擬 4 重項状態特有の八極子モーメントの熱平均値 $\langle T^{\alpha} \rangle$ が抑えられ

るためであることが分かった。

図7 結晶場ギャップNMRギャップの相関

さらに詳細に調べるために、スピン格子緩和率の磁場依存性を調べた。磁場で強く抑制され、また、低温では熱活性ギャップ的な振る舞いを示す。超伝導上部臨界磁場以上でもギャップ的な温度依存性を示すと同時に強く磁場依存性を示す。この温度・磁場依存性は、 Γ_1 - $\Gamma_4^{(2)}$ の擬4重項状態の磁場依存性で説明できることが分かった。図7に示すように、緩和率で見積もられるエネルギーギャップと第一励起状態の3重項の磁場による結晶場分裂の大きさスケールすることから、擬4重項状態の結晶場励起子が重い電子形成に重要であることが明らかとなった。さらに、擬4重項状態が多極子自由度を持つことから、重い電子状態には多極子揺らぎが関与していることが予想された。

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 16 件)

1. Y. Tomita, H. Kotegawa(2番目), H. Tou(4番目), 他5名, “NMR investigation of the iron-based superconductors $\text{Ca}_4(\text{Mg}, \text{Ti})_3\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{8-y}$ and $\text{Ca}_5(\text{Sc}, \text{Ti})_4\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{11-y}$ ”, *Phys. Rev. B* **86** (査読有り), 134527 (6 pages), 2012, DOI: 10.1103/PhysRevB.86.134527.
2. H. Tou, H. Kotegawa(3番目), 他6名, “Spin Dynamics in UBe_{13} : ^9Be -NMR Studies”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** Supplement B (査読有り), SB024 (4 pages), 2012, DOI: 10.1143/JPSJS.81SB.SB024.
3. H. Kotegawa, H. Tou(3番目), 他7名, “Pressure Study of BiS_2 -Based Superconductors $\text{Bi}_4\text{O}_4\text{S}_3$ and $\text{La}(\text{O}, \text{F})\text{BiS}_2$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (査読有り), 103702 (4 pages), 2012 DOI: 10.1143/JPSJ.81.103702.
4. H. Kotegawa, H. Tou(3番目), 他4名, “Weak Spin Fluctuation with Finite Wave Vector and Superconducting Gap Symmetry in $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$: ^{77}Se Nuclear Magnetic Resonance”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (査読有り), 104712 (6 pages), 2012, DOI: 10.1143/JPSJ.81.104712.
5. H. Matsuno, H. Kotegawa(3番目), H. Tou(8番目), 他5名, “Ising-Type Magnetic Anisotropy Derived by $\Gamma_7^{(1)}$ Crystal Electric Field Ground State in Tetragonal $\text{CeRu}_2\text{Al}_2\text{B}$: ^{11}B and ^{27}Al NMR Studies”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (査読有り), 073705 (4 pages), 2012, DOI: 10.1143/JPSJ.81.073705
6. K. Morita, H. Kotegawa(4番目), H. Tou(5番目), 他5名, “NMR spin-lattice relaxation rate of heavy fermion superconductor UBe_{13} ”, *Journal of Physics Conference Series* **391** (査読有り), 012048 (4 pages), 2012, DOI: 10.1088/1742-6596/391/1/012048.
7. K. Asaki, H. Kotegawa, H. Tou, 他4名, “NMR Evidence of Freezing of Rattling Motion in $\text{LaIr}_2\text{Zn}_{20}$ and $\text{LaRu}_2\text{Zn}_{20}$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (査読有り), 023711 (4 pages), 2012, DOI:10.1143/JPSJ.81.023711.
8. H. Kotegawa, H. Tou(4番目), 他5名, “Possible Superconducting Symmetry and Magnetic Correlations in $\text{K}_{0.8}\text{Fe}_2\text{Se}_2$: A ^{77}Se -NMR Study”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (査読有り), 043708 (4 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJ.80.043708 .
9. H. Kotegawa, H. Tou(4番目), 他5名, “Possible Superconducting Symmetry and Magnetic Correlations in $\text{K}_{0.8}\text{Fe}_2\text{Se}_2$: A ^{77}Se -NMR Study”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (査読有り), 043708 (4 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJ.80.043708 .
10. H. Tou, H. Kotegawa(6番目), 他6名, “Possible Mass Enhancement by Multipole Fluctuations Excited via the Singlet-Triplet Crystal Electric Field States in $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$: Sb -NMR Studies Using a Single Crystal”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (査読有り), 074703 (17 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJ.80.074703.
11. H. Nohara, H. Kotegawa(2番目), H. Tou(3番目), 他7名, “Strong Longitudinal Magnetic Fluctuations near Critical End Point in UCoAl : A ^{59}Co -NMR Study”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (査読有り), 093707(4pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJ.80.093707.
12. K. Asaki, H. Kotegawa, H. Tou, 他4名, “Anomalous Behavior of Itinerant Weak Ferromagnet $\text{LaFe}_4\text{As}_{12}$ in NMR/NQR Studies”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, Suppl. (査読有り), SA033 (3 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJS.80SA.SA033.

13. H. Tou, H. Kotegawa(4番目), 他5名, “NMR Studies of $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$ Clathrates”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, Suppl. (査読有り), SA039 (3 pages) 2011, DOI: 10.1143/JPSJS.80SA.SA039.
14. K. Morita, H. Kotegawa(4番目), H. Tou(5番目), 他4名, “ ^9Be -NMR Spin-Lattice Relaxation Rate in Heavy-Fermion Superconductor UBe_{13} ”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, Suppl. (査読有り), SA099 (3 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJS.80SA.SA099.
15. Y. Hara, H. Kotegawa, H. Tou (4番目), 他3名, “ Se/Te -NMR Study of $\text{Fe}(\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x)$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, Suppl. (査読有り), SA119 (3 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJS.80SA.SA119.
16. H. Nohara, H. Kotegawa, H. Tou(4番目), 他3名, RF Surface Impedance and ^{77}Se -NMR Studies of FeSe : Effect of the Sample Quality, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, Suppl. (査読有り), SA120 (3 pages), 2011, DOI: 10.1143/JPSJS.80SA.SA120.

[学会発表] (計 61 件)

1. H. Tou, “NMR Probing of Quasiparticle Susceptibility of Heavy Fermion System with f^2 Configuration: Comparative Study with f^1 System Under High Magnetic Field”, Japan-French Workshop on Correlated Electronic Systems, 3-5 September 2012 Grenoble France
2. H. Kotegawa, “NMR Study in the Vicinity of the Quantum Critical Endpoint in UCoAl ”, Japan-French Workshop on Correlated Electronic Systems, 3-5 September 2012 Grenoble France
3. K. Kuroda, K. Morita, H. Kotegawa, H. Sugawara and H. Tou, “ Cu -NMR studies of heavy-Fermion compound CeCu_6 under high magnetic fields”, ICM2012, July 8 - 13, 2012 Bexco, Busan, Korea
4. H. Kotegawa, H. Tou(3番目), 他10名, “Quantum critical end point in UCoAl proved by NMR measurements”, The 19th International Conference on Magnetism, July 8 - 13, 2012 Bexco, Busan, Korea.
5. H. Tou, K. Asaki, H. Kotegawa, 他4名, “Evidence of rattling transition in caged compounds $\text{LaRu}_2\text{Zn}_{20}$ and $\text{LaIr}_2\text{Zn}_{20}$: La-NMR studies” ICM2012, July 8 - 13, 2012 Bexco, Busan, Korea.
6. H. Tou, N. Tsugawa, M. Sera, K. Morita, H. Kotegawa, Y. Haga, E. Yamamoto, Y. Onuki, “Spin dynamics in UBe_{13} : ^9Be -NMR studies”, TOKIMEKI 2011, November 23 - 26, 2011, Osaka
7. Hideki Tou, “Mass enhancement by multipole fluctuations in $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$: Sb-NMR studies”, From Blue Pigment to Green Energy Cobalt mines - Skutterudites - Thermoelectrics September 5th - 8th 2011, Tyrifjord Hotel, Vikersund, Norway
8. Hideki Tou “Evidence for Odd-Parity Superconductivity in the Heavy-Fermion Superconductor UBe_{13} : ^9Be -NMR Studies” SCES’ 11, 29th August - 3rd September 2011 in Cambridge, UK
9. H. Kotegawa, “Evolution toward Quantum Critical End Point in UGe_2 ”, SCES’ 11 29th August - 3rd September 2011 in Cambridge, UK
10. K. Asaki, H. Kotegawa, H. Tou, 他4名, “Anomalous behavior of Itinerant Weak Ferromagnet $\text{LaFe}_4\text{As}_{12}$ in NMR/NQR studies”, ICHE 2010, Sep. 16th- 20th Sep. 2010, Hachi-oji, Tokyo
11. K. Morita, H. Kotegawa(4番目), H. Tou(5番目), 他4名 “Magnetic field dependence of the Be-NMR relaxation rate of Heavy - Fermion Superconductivity in UBe_{13} ,” ICHE 2010, Sep. 16th- 20th Sep. 2010, Hachi-oji, Tokyo

[図書] (計 件)

[その他]

ホームページ等

http://www.phys.sci.kobe-u.ac.jp/~wdweb/Tou_top.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤 秀樹 (TOU HIDEKI)

神戸大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 60295467

(2) 研究分担者

小手川 恒 (KOTEGAWA HISASHI)

神戸大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 30372684