

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244047

研究課題名(和文)量子ビーム技術による超強磁場下量子相転移の解明

研究課題名(英文) Research of quantum phase transitions under high magnetic field using synchrotron x-rays

研究代表者

稲見 俊哉 (Inami, Toshiya)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号：30354989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円、(間接経費) 9,750,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、極低温強磁場下で起こる相転移(=量子相転移)近傍の秩序変数や電子状態を放射光X線を利用した微視的な測定手法(特にX線吸収分光法)を用いて実験的に解明すること目的とした。Ceを含む重い電子系物質に対しては、4f電子の遍歴性が磁場により抑制される過程を初めて明らかにした。また、Ybを含む重い電子系物質に対しては、YbAgCu<sub>4</sub>ではメタ磁性転移の主因がYbの価数転移であることを解明し、YbRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>では逆に既報の電子系の異常がフェルミ面の大きな再構成などを伴わないことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we applied microscopic techniques that utilize synchrotron on x-rays, such as x-ray absorption spectroscopy, to quantum phase transitions that occur at low temperatures and in high magnetic fields in order to reveal the order parameters and the electronic states in the quantum critical regime. In Ce-based heavy Fermion compounds, we measured the Ce valence as a function of magnetic field in detail and revealed how itinerancy of the 4f electrons is suppressed by magnetic field. In Yb-based heavy Fermion compounds, it was found that a valence transition gives rise to the metamagnetic transition in YbAgCu<sub>4</sub> and that the electronic anomalies reported so far in YbRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> are not accompanied by a large change in electronic structure, such as Fermi surface reconstruction.

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：パルス磁場 X線吸収分光 価数転移 メタ磁性転移 cf混成 価数揺動

## 1. 研究開始当初の背景

絶対温度ゼロ度近傍の極低温において磁場や圧力などの外場によって誘起される量子相転移は、温度揺らぎの影響が無く、本質的に量子揺らぎが相転移を支配するという点で衆目を集めている。特に量子臨界点近傍では、例えば Ce 化合物や V 化合物においては加圧による秩序状態の抑制に伴い、スピン揺らぎや電荷揺らぎに起源をもつ新奇な超伝導が観測されたり、U 化合物では磁場印加に伴い新たな (磁気) 秩序状態が現れるなど多彩な物理の宝庫となっている。

こうした磁場誘起量子臨界現象の観察に於ける問題点は、磁場が「弱い」外場であることで、そのため、重要な研究対象がパルス磁場やハイブリッドマグネットの必要な 20 T を越える磁場領域に存在することである。結果としてこれまで、磁化や電気伝導といった巨視的測定を基に、秩序変数や電子状態を推測せざるを得なかった。我々は、特定領域研究「100 テスラ領域の強磁場スピン科学 (H17~H21)」において、強磁場科学に微視的測定手法を導入すべく、物質の結晶・磁気構造や電子状態決定の非常に強力な手法である (共鳴) X 線回折、X 線吸収分光、中性子回折といった量子ビーム技術とパルス強磁場の融合を行い、世界初の 30 T を越える磁場下での X 線回折実験とそれを用いた磁場誘起価数転移の解明、共鳴磁気 X 線回折による 30 T を越える磁場下での磁気構造の決定、50 T までの強磁場下での X 線吸収分光法 (XAS) と磁気円二色性 (XMCD) を用いた価数揺動状態にある希土類イオンの価数と価数選別磁化の測定、などの成果を得た。

これらの研究は、世界初、世界最高であるとともに、世界的にも高く評価され、欧州の放射光 X 線施設 (ESRF) では同じ着想に基づく X 線回折・吸収実験が後に実施されたほか、米国の放射光 X 線施設 (APS) や米国・欧州の中性子施設 (ILL, SNS) からは研究協力を要請されるに到った。一方で、この強磁場と量子ビームの融合は海外研究機関の次期計画に取り込まれ、これに対抗するために、さらなる技術開発と物性への展開を引続き行うこととした。

## 2. 研究の目的

本研究では、特定領域研究の成果の上に立ち、より広範な対象への適用を目指し、以下に述べる開発・研究を行うこととした。

(1) 硬 X 線を用いたパルス磁場下 X 線吸収実験は希土類イオンの  $5d$  軌道を観測するものであり、物性に関わる  $4f$  軌道を直接観測するものではなかった。そこで、この手法をより一般的な電子状態決定に拡張すべく、 $3d \rightarrow 4f$  軌道の直接観測を目指す。具体的には、軟 X 線領域にある  $2p \rightarrow 3d$ ,  $3d \rightarrow 4f$  遷移を利用し、そのためにパルス強磁場下軟 X 線吸収測定装置を製作し、その軟 X 線吸収スペクトルの磁場変化から、磁場誘起の電子状態変化の直接観測を行う。例えば、 $\text{LaCoO}_3$  のスピン転移の解明や、さらには線二色性測定を結合するなどして Mn 酸化物における軌道秩序の磁場変化の観測などを狙う。

(2) 硬 X 線を用いた回折・吸収実験では、磁場パルス長を延ばすことにより高精度化、高感度化を図る。X 線吸収実験では高精度化により Ce 化合物の価数の微小な磁場変化を明らかにする他、U の  $M_V$  端の円二色性測定などに発展させ、 $\text{URu}_2\text{Si}_2$  の磁場誘起量子相転移に電子状態変化の観点から切り込む。X 線回折では、高感度化により、電子相転移に伴う局所構造・局所対称性の変化の検出 (=超格子反射の測定) を実現する。軌道電荷秩序系  $(\text{La}, \text{Nd})_{1-x}\text{Sr}_{1+x}\text{MnO}_4$  の磁場誘起電荷秩序融解における電荷秩序変数の直接観測や、共鳴散乱を利用した  $\text{DyCu}$  の多段階磁化過程の解明につなげる。

## 3. 研究の方法

本研究計画ではパルス強磁場下 X 線回折・吸収実験の測定対象・領域の拡大を目的とし、主に 2 つの課題、(1) パルス磁場下硬 X 線回折・吸収実験における磁場のロングパルス化、(2) 軟 X 線ビームラインにおけるパルス磁場下軟 X 線吸収実験・二色性測定実験、について開発とこれを用いた研究を行うこととした。

(1) パルス磁場実験における精度・感度はデータ積算時間で決まり、これまで主に用いてきた小型マグネットの 1 ミリ秒のパルス幅を 10~20 ミリ秒に延伸することにより S/N の向上を図る。これはコイルと電源の大型化により達成されるが、コイルの発熱の増大に対処する必要がある。従来の閉循環型冷凍機や液体 He 冷凍器による試料とマグネットの同時冷却方式に代わり、図 1 上に示すような逆転型インサートを採用する。これは真空断熱した液体窒素デューワーを液体 He 冷凍器の試料空間に挿入するもので、

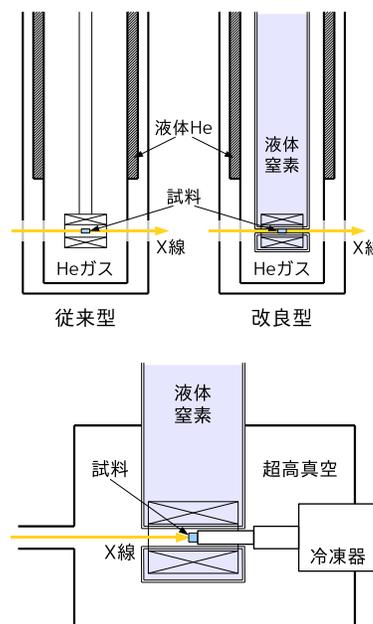


図 1: (上) 液体窒素冷却マグネット、(下) 軟 X 線実験用セットアップ

コイルは液体窒素で冷却し、試料は He ガスで

1.5Kまで冷却できる。この方式により大型化しても従来通りの10分程度のコイル冷却時間を維持できる。

(2) 特定領域研究では硬X線領域にある希土類の $L_{II}$ 、 $L_{III}$ 吸収端( $2p \rightarrow 5d$ )でのX線吸収実験を開発した。この測定が観測するのは希土類の $5d$ 軌道であるが、希土類イオンの原子価数に敏感で、 $Eu^{2+}$ と $Eu^{3+}$ の価数選別磁化測定など成功を取めた。本研究計画ではこの手法を軟X線領域にある希土類の $M_{IV}$ 、 $M_V$ 吸収端( $3d \rightarrow 4f$ )や $3d$ 遷移金属元素の $L_{II}$ 、 $L_{III}$ 吸収端( $2p \rightarrow 3d$ )へ拡張し、 $4f \cdot 3d$ 電子状態の直接観測を行う。

ビームラインはKEK-PFのBL16Aを利用する。マグネットは上記同様液体窒素冷却のソレノイド型マグネットを製作する。一方、試料の冷却は液体Heフロー型の冷凍器を用い、試料温度としては6~4Kを目指す(図1下)。検出方式は全電子収量法で行う。左・右円偏光、垂直・水平直線偏光の生成が可能なAPPLE II型挿入光源を採用したBL16Aを用いることにより、円二色性や線二色性の測定に進めるようにしておく。

#### 4. 研究成果

(1)  $CeRu_2Si_2$ は典型的な重い電子系物質(近藤温度24K)として知られており、特に約8Tでのメタ磁性転移で特徴づけられている。このメタ磁性転移については $4f$ 電子の遍歴-局在転移やフェルミ面の磁場効果などいくつかの説明がある。この研究では、 $4f$ 電子の遍歴性の磁場依存をCeの価数を通して観測することを目的とし、また、メタ磁性との関連に注目して行った。吸収スペクトルの測定は磁場配向させた粉末試料を用い、Ceの $L_3$ 吸収端で透過法により温度1.8Kで磁場40Tまで行った。得られたスペクトルは $Ce^{3+}$ と $Ce^{4+}$ の2つのスペクトルに分解でき、その強度比から価数が求まる。 $c$ 軸に平行に磁場を印加した場合、3価成分は磁場とともに増加し、これに対し4価成分は減少した。一方、 $c$ 軸に垂直に磁場を印加した場合は、スペクトルに顕著な変化は見られなかった。精度を上げるため3価と4価のスペクトルのほぼピーク位置での測定を繰り返し、そこから価数の磁場依存を評価した。得られた結果を図2に示す。価数は0Tの3.053から40Tの3.041まで単調に減少し、また、8Tでは傾きに変化があるものの大きな飛びは観測されないことが分かった。重い電子系の典型例と言える $CeRu_2Si_2$ で価数(あるいは遍歴性)の磁場依存性が明らかになった意義は大きく、近藤一重項は緩やかにかつ着実に磁場によって解消されていくこと、メタ磁性転移は1次の大きなフェルミ面の再構成によるものではないことが分かった。

(2)  $CeRh_2Si_2$ は上述した $CeRu_2Si_2$ に比べると反強磁性側によった重い電子系であり、零磁場では26Kと35Kで反強磁性秩序を示す。約26Tでメタ磁性転移を示すが、この転移は単純なスピン反転ではなく、電子系の転移であるこ

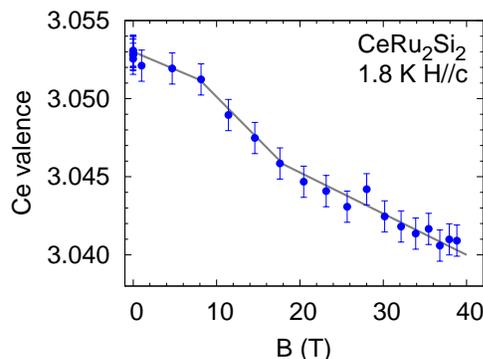


図2:  $CeRu_2Si_2$ のCeの価数の磁場変化

とが示唆されている。 $CeRu_2Si_2$ 同様に、 $4f$ 電子の遍歴性の磁場依存の観測を目的とし、また、メタ磁性転移での振舞に注目して行った。吸収スペクトルの測定は $CeRu_2Si_2$ と同じく磁場配向させた粉末試料を用い、Ceの $L_3$ 吸収端で透過法により温度5Kで磁場32Tまで行った。得られたスペクトルは、やはり、 $Ce^{3+}$ と $Ce^{4+}$ の2つのスペクトルに分解でき、その強度比から価数が求まる。 $c$ 軸に平行に磁場を印加した場合、高磁場では3価成分が増加し4価成分が減少していることが分かった。3価ピークと4価ピークの磁場依存性を精度よく測定し、そこから得られた価数は20Tまでほぼ0Tの3.047を保ち、20T以上で減少し始め、32Tで3.043に達するという振舞を示した。メタ磁性と価数に深い関係があることが明らかになったものの、メタ磁性の転移幅(約1T)と価数変化の広い転移幅の間には大きな開きがあり、従って、価数変化がメタ磁性の直接の帰結ではない。 $CeRu_2Si_2$ と $CeRh_2Si_2$ の両者を測定することにより、Ceの重い電子系における $4f$ 電子の遍歴性についての普遍的な知識が得られたといえる。

(3) Ybを含む重い電子系物質は同時に価数揺動の特徴を持つことが多く、 $YbAgCu_4$ もその一例である。この化合物は中ぐらいの重い電子系であり、また、価数転移の量子臨界点近傍にあるとされている。幅の広いメタ磁性転移が約50Tまでで観測され、価数転移に伴うものと考えられているが実証はされておらず、そこでこの研究ではYbの価数の磁場依存性を明らかにすることとした。吸収スペクトルの測定は粉末試料を用い、Ybの $L_3$ 吸収端で透過法により最低温度約4K、最高磁場35Tまでで行った。得られたスペクトルは $Yb^{2+}$ と $Yb^{3+}$ の2つのスペクトルでフィットし、その強度比から価数を得た。温度変化では降温に伴い2価ピークが成長する様子が観測され、特に100K以下で価数は高温の2.96+から低温の2.91+へ減少するという結果であった。磁場依存性では10T以上で高磁場に向かって2価ピークが減少し3価ピークが成長する結果が得られ、高温・高磁場で局在化するという傾向となった。いくつかの温度で測定した磁化過程から磁場温度相図を作

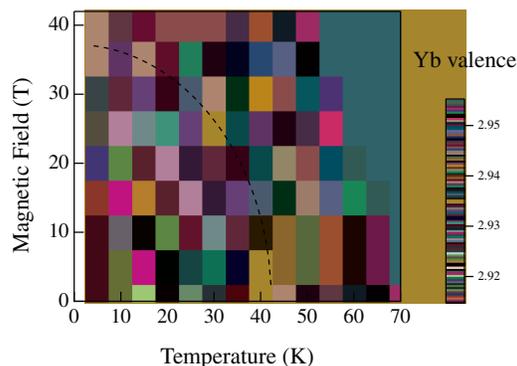


図 3: 磁場温度平面に表わした YbAgCu<sub>4</sub> の Yb の価数。点線は磁化から求めた相境界。J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 114702 (2012) より。

り、これとやはりいくつかの温度で測定した価数の磁場依存性のデータを重ねる (図 3) と、両者がよく一致することが分かる。結果としてこの研究から YbAgCu<sub>4</sub> のメタ磁性転移が価数転移によるものであることが明確となった。また、これらの結果は不純物アンダーソンモデルを用いた理論計算でよく再現され、実験の考察を強く支持するものになった。

(4) YbRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は近藤温度 25 K の重い電子系物質であり、零磁場では約 70 mK で反強磁性秩序を示す。この状態はわずかに約 60 mT の磁場印加によって抑制され、このため零磁場で量子臨界点近傍にある物質として、非フェルミ液体的振舞などに着目されて研究が行われている。定性的には希土類イオンの価数は電子の有効質量など伝導電子の諸物理量を支配しており、そのため価数の温度・磁場変化の測定は物性を理解する上で重要であり、よってモデル依存性なく価数決定が行える X 線吸収分光実験は有意義である。

試料は粉末試料を c 軸方向に磁場配向したものを用いた。X 線吸収スペクトルは Yb の L<sub>3</sub> 吸収端で透過法を用い、低温 2 K、高磁場 33 T までの範囲で測定した。得られたスペクトルは Yb<sup>2+</sup> と Yb<sup>3+</sup> の 2 つのスペクトルでフィットし、その強度比から価数を得た。温度変化は既報通り高温の 2.96+ から降温に伴い単調に減少し、25 K 以下で定常値 2.92+ をとった。一方、磁場変化は磁場印加に伴いほぼ線形に増加し、33 T で約 2.93+ となった。この結果は、約 10 T でホール抵抗やゾンマーフェルト定数に異常があるという報告と対照的であり、これらの異常が大きなフェルミ面の再構成や近藤一重項の解消によるものではないことを示唆している。国内外で興味を集める YbRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の物性について、価数の観点から切り込んだ特徴的な研究となった。

(5) β-YbAlB<sub>4</sub> は価数転移の量子臨界点近傍に位置すると考えられている重い電子系物質であ

り、価数揺動的な振舞や非フェルミ液体的な振舞が報告されている。この研究では、やはり、4f 電子の遍歴性を調べるため、価数の温度・磁場依存性を調べた。吸収スペクトルの測定は粉末試料を用い、Yb の L<sub>3</sub> 吸収端で透過法により最低温度約 2 K、最高磁場 32 T までで行った。得られたスペクトルは Yb<sup>2+</sup> と Yb<sup>3+</sup> の 2 つのスペクトルでフィットし、その強度比から価数を得た。価数は温度の上昇とともに増加 (局在化) し、YbAgCu<sub>4</sub> との比較からは価数転移温度は約 300 K と推測された。40 K で測定した磁場変化からは価数の増大が確認できたが、増えた量は僅か 0.002 であった。全体として、大きなエネルギースケールに支配された揺動的強い系と考えられる。

(6) LaCoO<sub>3</sub> に代表されるコバルト酸化物では、Co<sup>3+</sup>(d<sup>6</sup>) のスピン状態に、高スピン状態 (HS, S = 2)、低スピン状態 (LS, S = 0)、中間スピン状態 (IS, S = 1) が考えられ、温度や磁場においてこれらの状態間でしばしばスピン転移が誘起される。しかしながら、転移の詳細は十分理解されておらず、特に IS 状態の存在の有無については現在も決着がつかない。磁場誘起スピン転移は磁場がスピンに直接作用するため転移の機構解明において重要な現象であるが、一般に数十テスラの強磁場を必要とするため微視的な測定がこれまでにあまり行われていない。(Pr<sub>1-y</sub>Y<sub>y</sub>)<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>CoO<sub>3</sub> は他のコバルト酸化物と異なり温度により一次転移的に相転移を起こし、ここでは金属絶縁体転移と Co のスピン転移、Pr の価数転移の同時転移が起こることが最近指摘されている。この転移は磁場印加によっても起こるが、そこでも Pr の価数転移を伴うかどうかは明らかでなかった。そこで、パルス磁場中での X 線吸収分光実験を (Pr<sub>0.9375</sub>Y<sub>0.0625</sub>)<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>CoO<sub>3</sub> について行い、Pr の吸収スペクトルの磁場依存性を測定した。測定は L<sub>3</sub> 端で透過法で行った。0 T と 26.5 T での吸収スペクトルを比較すると、高磁場側では 3 価のピークの強度が大きく、4 価のピークの強度は小さいことが分かり、従って、磁場印加に伴い、Pr 平均価数の大きい低温低磁場相から平均価数の小さい相に転移することが分かった。3 価ピーク、あるいは、4 価ピークでの磁場変化は磁化曲線同様に大きなヒステリシスを示し、1 対 1 に対応することが確認できた。

(7) ここでは、物性に直結する 3d 軌道、4f 軌道の直接観測を目的とした軟 X 線領域でのパルス磁場下 X 線吸収分光法の開発について述べる。測定装置は 2010 年度に概念設計を行い、2011 年度に発注・製作、納入を行った。2012 年度より立ち上げに入り、順次、高真空チェンバーへのパルスマグネットの導入と励磁、Ni 試料を用いた全電子収量法による磁場中吸収実験のテスト、YbInCu<sub>4</sub> を試料とした試料用冷凍器のテスト、と確認し、磁場 20 T、温度 20 K 程度での測定を可能とした。

これを受けて物性研究への適用を開始し、磁

場誘起スピン転移を起こすコバルト酸化物 ( $\text{PrY}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CoO}_3$ ) を試料として実験を行った。上述したようにこの試料は低温では 30 T までの磁場印加によりメタ磁性転移を起こし、これが LS→HS 転移に伴うものと考えられている。これを分光学的には明らかにするのが目的となる。実験は PF-BL16A で行った。試料は液体 He フロー型の冷凍器で冷却し、測定は全電子収量法で行った。19 T までの磁場 (磁場長 4 ms 弱) を約 5 分間隔で印加し、試料電流は電流アンプで電圧に変換後、磁場データと同期してオシロスコープに取り込み、吸収量の磁場変化を得た。X 線の波長は Co の  $L_3$  ピークに固定して行った。試料調整の問題で転移が高磁場側にずれたため磁場誘起スピン転移の観察から磁気円二色性 (XMCD) の測定に切り替え、冷凍器の振動に阻まれたものの、幾つかの温度で XMCD の測定が出来た。国内、国外で 2 例目のパルス強磁場下軟 X 線吸収分光装置であり、今後、試料調整方法や冷凍器の振動の問題を改善し、物性測定へとつなげていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

(1) Hirohito NAKAI, Takao EBHARA, Satoshi TSUTSUI, Masaichiro MIZUMAKI, Naomi KAWAMURA, Shinji MICHIMURA, Toshiya INAMI, Toshiyuki NAKAMURA, Akihiro KONDO, Koichi KINDO, and Yasuhiro H. MATSUDA, Temperature and Magnetic Field Dependent Yb Valence in  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$  Observed by X-ray Absorption Spectroscopy, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 82, 2013, 124712/1-5  
DOI: 10.7566/JPSJ.82.124712

(2) Y. H. Matsuda, T. Nakamura, K. Kuga, S. Nakatsuji, S. Michimura, T. Inami, N. Kawamura and M. Mizumaki, Synchrotron X-ray Spectroscopy Study on the Valence State in  $\alpha$ - and  $\beta$ - $\text{YbAlB}_4$  at Low Temperatures and High Magnetic Fields, Journal of the Korean Physical Society, 査読有, Vol. 62, No. 12, 2013, 1778-1781  
DOI: 10.3938/jkps.62.1778

(3) Yasuhiro H. MATSUDA and Toshiya INAMI, X-ray Diffraction and Absorption Spectroscopy in Pulsed High Magnetic Fields, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 82, 2013, 021009/1-17  
DOI: 10.1143/JPSJ.82.021009

(4) Toshiyuki Nakamura, Yasuhiro H. Matsuda, Jim-Long Her, Koichi Kindo, Shinji Michimura, Toshiya Inami, Masaichiro Mizumaki, Naomi Kawamura, Motohiro Suzuki, Bin Chen, Hiroto Ohta, Kazuyoshi Yoshimura, Akio Kotani, High Magnetic Field X-ray Absorption and Magnetic Circular Dichroism Spectroscopy in the Mixed-Valent Compound  $\text{YbAgCu}_4$ , J. Phys. Soc. Jpn., 査

読有, Vol. 81, 2012, 114702/1-11

DOI: 10.1143/JPSJ.81.114702

(5) Y. H. Matsuda, T. Nakamura, J. L. Her, S. Michimura, T. Inami, K. Kindo, and T. Ebihara, Suppression of f-electron itinerancy in  $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  by a strong magnetic field, Phys. Rev. B, 査読有, Vol. 86, 2012, 041109(R)/1-4  
DOI: 10.1103/PhysRevB.86.041109

〔学会発表〕 (計 13 件)

① 内藤智之、武田大輝、藤代博之、寺島拓、松田康弘、木原工、徳永将史、稲見俊哉、 $(\text{Pr}_{1-y}\text{Y}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$  における磁場誘起 Pr 価数変化と金属・絶縁体-スピン状態転移、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27 日、東海大学

② 稲見俊哉、松田康弘、岡本淳、パルス強磁場下軟 X 線分枝測定装置の開発、物構研サイエンスフェスタ、2014 年 3 月 18 日、つくば

③ Y. H. Matsuda, J. L. Her, S. Michimura, T. Inami, T. Ebihara, H. Amitsuka, Valence State in Ce-based Heavy Fermion Compounds at High Magnetic Field, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2013)、2013 年 8 月 7 日、Tokyo

④ 松田康弘、中村俊幸、道村真司、稲見俊哉、金道浩一、海老原孝雄、網塚浩、 $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  および  $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  の強磁場下での Ce 価数、日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 20 日、横浜国立大学

⑤ 寺島拓、松田康弘、中辻知、久我健太郎、曾根啓太、河村直己、水牧仁一朗、稲見俊哉、重い電子系  $\alpha$ - $\text{YbAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{B}_4$  の強磁場磁化と価数、日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 20 日、横浜国立大学

⑥ Y. H. Matsuda, T. Nakamura, K. Kuga, S. Nakatsuji, S. Michimura, T. Inami, N. Kawamura, M. Mizumaki, Synchrotron X-ray spectroscopy study on the valence state in  $\alpha$ - and  $\beta$ - $\text{YbAlB}_4$  at low temperatures and high magnetic fields, The 19th International Conference on Magnetism, 2012 年 7 月 12 日、Busan, Korea

⑦ Y. H. Matsuda, T. Nakamura, J. L. Her, S. Michimura, T. Inami, T. Ebihara, H. Amitsuka, Synchrotron X-ray Absorption Study on the Valence Fluctuation in Ce-based Heavy Fermion Compounds at High Magnetic Fields, The 10 th International Conference on Research in High Magnetic Fields, 2012 年 7 月 5 日、Wuhan, China

⑧ 中村俊幸、松田康弘、稲見俊哉、強磁場 X 線分光実験のための小型パルスマグネット冷却方式の改善、日本物理学会第 67 回年次大会、2012 年 3 月 24 日、関西大学

⑨ 中村俊幸、松田康弘、金道浩一、道村真司、稲見俊哉、海老原孝雄、 $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  の強磁場磁化と価数、日本物理学会 2011 年秋季大会、2011 年 9 月 23 日、富山大学

- ⑩ 松田康弘、中村俊幸、何金龍、金道浩一、道村真司、稲見俊哉、水牧仁一朗、河村直己、鈴木基寛、陳斌、太田寛人、吉村一良、重い電子系  $\text{YbAgCu}_4$  の強磁場 XMCD、日本物理学会 2011 年秋季大会、2011 年 9 月 22 日、富山大学
- ⑪ 中村俊幸、何金龍、松田康弘、金道浩一、稲見俊哉、道村真司、水牧仁一朗、河村直己、鈴木基寛、陳斌、太田寛人、吉村一良、 $\text{YbAgCu}_4$  の磁場誘起価数転移、日本物理学会第 66 回年次大会、2011 年 3 月 26 日、(新潟大学)
- ⑫ 松田康弘、中村俊幸、道村真司、稲見俊哉、海老原孝雄、 $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  の強磁場価数、日本物理学会第 66 回年次大会、2011 年 3 月 25 日、(新潟大学)
- ⑬ 中村俊幸、何金龍、松田康弘、金道浩一、稲見俊哉、道村真司、水牧仁一朗、河村直己、鈴木基寛、陳斌、太田寛人、吉村一良、 $\text{YbAgCu}_4$  の強磁場磁化と価数、日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月 23 日、大阪府立大学

[その他]

ホームページ等

[http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/highlight/2011/ymatsuda1\\_en.html](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/highlight/2011/ymatsuda1_en.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

稲見 俊哉 (INAMI TOSHIYA)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究  
センター・研究主幹

研究者番号：30354989

### (2) 研究分担者

松田 康弘 (MATSUDA YASUHIRO)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：10292757

岡本 淳 (OKAMOTO JUN)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特任  
助教

研究者番号：50555258