

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740275

研究課題名(和文)希土類内包クラスレートにおける変調強磁性

研究課題名(英文)Modulated ferromagnetic structure in rare-earth clathrate compounds

研究代表者

鬼丸 孝博 (ONIMARU, TAKAHIRO)

広島大学・先端物質科学研究科・准教授

研究者番号：50444708

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁性クラスレートEu<sub>8</sub>Ga<sub>16</sub>Ge<sub>30</sub>の変調強磁性に着目し、磁性ゲスト原子のラットリングと磁性の相関について調べた。まず、常圧下でX線磁気円二色性(XMCD)の測定を行い、直流磁化の温度変化とよく一致することを確認した。時間窓による違いはないことから、磁化に対するラットリングの寄与は小さいと思われる。また、X線吸収測定より、13 GPa付近でEuは中間価数へと転移し、アモルファス構造が安定化した。一方、キャリアドープした系では、飽和磁化の温度依存性がハイゼンベルグ模型による平均場計算とよく一致した。これらの結果より、変調強磁性構造は低いキャリア密度に起因することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Eu clathrate Eu<sub>8</sub>Ga<sub>16</sub>Ge<sub>30</sub> is a ferromagnet with TC=36 K. We examined relationship between rattling motion of the Eu guest atom and a modulated magnetic structure. The temperature dependence of the X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) spectra agrees well with that of the DC magnetization at ambient pressure. At pressures up to 13.3 GPa, the divalent state of the Eu ions with  $J = 7/2$  remains stable, but at 17 GPa the XMCD intensity is strongly suppressed and a spectral weight corresponding to the trivalent state of Eu ions appears in the X-ray absorption spectroscopy spectrum. The concurrent change from the type-I clathrate structure to an amorphous phase has been observed by X-ray diffraction experiment. In electron-doped systems, the temperature dependence of the saturated magnetization agrees with a mean-field calculation with a Heisenberg model. The results suggest that the modulated magnetic structure is probably attributed to the low carrier density.

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：希土類クラスレート ラットリング 強磁性 キャリアドープ XMCD

### 1. 研究開始当初の背景

近年、カゴ状結晶構造をもつ化合物の多彩な新物性が注目され、特にカゴ中の磁性イオンの低エネルギー大振幅振動（ラットリング）に関する研究は磁性とフォノン物性の融合分野を創出しつつある。本研究で対象とする金属間クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  は、強磁性転移を  $T_c=36\text{ K}$  で示すカゴ状化合物である。ここでは、カゴの隙間に入った  $\text{Eu}^{2+}$  から Ga と Ge が 2 個の電子を受け取ることで  $\text{sp}^3$  的共有結合による強固な三次元骨格を形成する。そのためゲストとカゴの結合は弱く、ゲストは非中心の 4 つの分裂サイト間を運動している。このゲストのラットリングが音響フォノンを効果的に散乱し、格子熱伝導率を  $1\text{ W/K}\cdot\text{m}$  以下というガラス並みの低い値に抑える。これは、1995 年に G. A. Slack によって提唱された“電気は金属結晶の如くよく流れ、熱はガラスの如く伝えにくい” [1] というパラダイムに沿っている。実際、I 型クラスレート構造をとる  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の他にも、同一構造の  $\text{Sr}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  や  $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$  でゲストの非中心ラットリングと熱伝導率抑制の強い相関が立証されている [1,2]。一方、ラットリングと磁性の相関は最近になって精力的な研究が始まった。例えば、充填スクッテルダイト  $\text{SmOs}_4\text{Sb}_{12}$  では、中間価数の Sm イオンのラットリングに起因する磁場に鈍感な重い電子状態が実現している [3-5]。本研究では、磁性ゲストがカゴに 100% 内包され非中心運動する唯一のクラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  を対象とし、ラットリングと磁性、特に磁気構造との相関を明らかにする。

研究代表者らはこれまで、強磁性クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  とその Si 置換系の磁性について調べてきた [6,7]。  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  では  $T_c$  以下の  $T=24\text{ K}$  付近で電気抵抗と磁化が異常を示す。  $T_c$  での比熱の跳びは一樣強磁性の分子場計算から予想される  $20\text{ J/(K mol)}$  の約 20% しかなく、  $T_c$  以下でも磁気エントロピーの多くが残っている。最近行った中性子回折実験では  $T$  以下で磁気反射の強度が降温とともに急増した。これらの結果は、長周期の変調強磁性構造から一樣強磁性構造へのクロスオーバーを支持する。また、メスバウア分光とマイクロ波吸収の測定によると、Eu ゲストは図 1

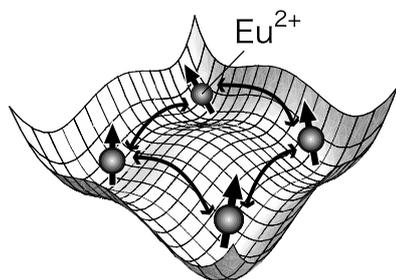


図 1.  $T_c$  以下でも磁気モーメントをもつ  $\text{Eu}^{2+}$  イオンは非中心サイト間を動き回っている。

のように、  $T_c$  以下でも 450 MHz 程度の低い振動数で 4 つの分裂サイト間をホッピングしている [8]。われわれは、カゴを形成する Ge を Si で置換するとカゴが縮むためゲストの振動エネルギーは増大し、一方で伝導キャリア密度も増大すると期待した。実際、Ge の 1/4 を Si で置換すると、  $T_c$  が  $36.2\text{ K}$  から  $32.6\text{ K}$  へと低下し、  $T$  での異常は消失した。それに伴い  $T_c$  での比熱の跳びは 2 倍に増加し、磁化の温度変化も分子場計算による一樣強磁性の振る舞いへと近づいた。つまり、Si 置換でも変調構造から一樣強磁性へとクロスオーバーすることが示唆された [7]。このように、  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  では Eu ゲストの振動エネルギーと Eu 間の磁気相互作用は同程度で競合しており、わずかな摂動でその磁性は大きく変化する。ゲストの振動エネルギーと磁気相互作用をコントロールできれば、ラットリングと変調強磁性構造の相関を明らかにできるはずである。

- [1] B. C. Sales *et al.*, Phys. Rev. B 63, 245113 (2005).
- [2] M. A. Avila *et al.*, Appl. Phys. Lett. 92, 041901 (2008).
- [3] S. Sanada *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 74, 246 (2005).
- [4] K. Hattori *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 74, 3306 (2005).
- [5] T. Hotta, J. Phys. Soc. Jpn. 78, 073707 (2009).
- [6] T. Onimaru *et al.*, J. Phys.: Conf. Series 200, 022044 (2010).
- [7] T. Onimaru *et al.*, unpublished.
- [8] R. P. Hermann *et al.*, Phys. Rev. Lett. 97, 017401 (2006).

### 2. 研究の目的

$\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の磁性の圧力・キャリア密度依存性を、電気抵抗や磁化などのマクロ物性測定によって調べる。加圧あるいはキャリアドープによって  $T$  が消滅するか確認し、また磁性の変化を調べる。X 線磁気円二色性 (XMCD) の測定では、加圧・キャリアドープにより変調強磁性構造が一樣強磁性構造に近づくのか検証する。もし加圧によってのみ一樣強磁性構造が実現するならば、磁気構造がゲスト原子の振動状態に依存していることになり、ラットリングと磁性の相関が立証できるはずである。

ラットリングと磁性の相関については、実験・理論両面からの研究が最近精力的に行われているが、ラットリングと磁気構造の相関に関する具体的な研究はこれまでにない。そこで本研究では、磁性イオンを内包する唯一のクラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  で実現する変調強磁性構造に着目し、それがラットリングにより増強された電子-格子相互作用に起因するという予測のもとにテーマを設定した。圧力 (カゴ体積) とキャリア密度という 2 つの

パラメータを独立に振ることで、強磁性状態を大きく変化させることができると予想した。それらの結果をもとに、『ラットリングと磁性の相関』を検証する。もし、ラットリングと磁性の間の相関を見出すことができれば、磁場で磁性ゲストの振動状態を制御することも可能となる。この手法を利用すれば、熱伝導の制御に磁場の印加を用いることができる。すなわち本研究は、原子振動の磁場制御という独創的な手法への展開をも目指すものである。

### 3. 研究の方法

希土類磁性原子がカゴに 100%内包される唯一のクラスレート強磁性体  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  に着目し、磁気モーメントを持ったゲスト原子のラットリングと磁性の関連について調べる。 $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  では  $T_c=36\text{ K}$  以下でも Eu 原子の非中心ラットリングは止まらない。そのため磁気モーメントの変調した強磁性磁気構造が実現しており、さらに温度を下げると  $T=24\text{ K}$  以下で一様な強磁性構造へと移ると考えられている。この磁気構造のクロスオーバーは、ゲスト原子の振動に起因する可能性が高い。そこで本研究では、磁気イオンのラットリングと磁性の相関について明らかにするために、以下の実験を行う。

まず、圧力下で磁化ならびに XMCD を測定する。カゴを縮めることにより磁化がどのように変化するか調べる。続いて、キャリアをドーブした試料を作製し、電気抵抗や磁化などのバルク物性を測定する。キャリア密度が増すことで Eu 間にはたらく RKKY 型の磁気相互作用は増強され、その磁性は大きく変わるだろう。さらに、X 線磁気円二色性測定によって、ミクロ的観点からラットリングと磁性や磁気構造の相関を捉える。

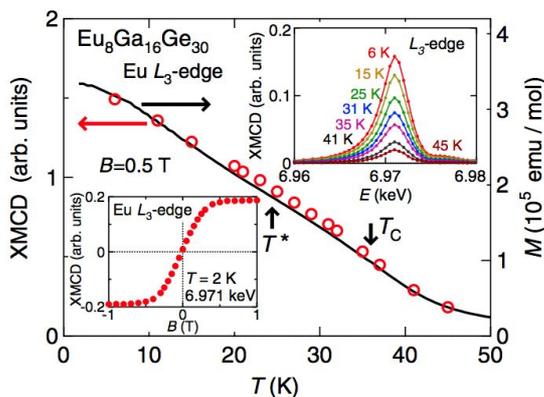


図2. XMCDの積分強度と直流磁化の温度依存性。内挿図(上)は XMCD スペクトル(エネルギー依存性)、(下)は XMCD 積分強度の 2 K における磁場依存性。

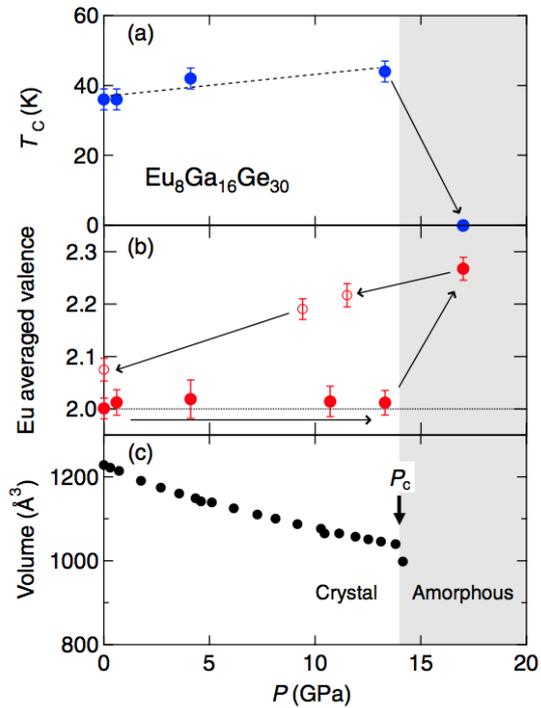


図3. 強磁性転移温度  $T_c$ , Eu イオンの平均価数, ユニットセル体積の圧力依存性。

### 4. 研究成果

本研究では、磁性クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の変調強磁性に着目し、磁性ゲスト原子のラットリングと磁性の相関について調べた。

まず、常圧下で X 線磁気円二色性(XMCD)の測定を行った。図 1 に、XMCD の積分強度(左軸)と直流磁化(右軸)の温度依存性を示す。また、内挿図の(上)に XMCD スペクトルのエネルギー依存性、(下)に XMCD 積分強度の 2 K における磁場依存性を示す。XMCD の積分強度の温度依存性は、直流磁化の温度変化とよく一致することが分かる。ラットリングの時間スケールは  $10^{-12}$  秒程度であるが、時間スケールがそれより速い  $10^{-16}$  秒の XMCD と遅い  $10^{-3}$  秒の直流磁化測定の間で磁化の温度変化に大きな違いはないことから、磁化に対するラットリングの影響は小さいと思われる。

図 3 に、強磁性転移温度  $T_c$ , Eu イオンの平均価数, ユニットセル体積の圧力依存性を示す。13 GPa 付近で強磁性が消失するとともに、X 線吸収測定より見積もった Eu の価数は 2 価から中間価数に変化する。また、粉末 X 線回折実験より、13 GPa 付近でクラスレート構造からアモルファス構造へと転移する。これらのことから、加圧によって結晶構造がアモルファス化することで、中間価数状態が誘起され、強磁性は消失すると考えられる。

次に、キャリアドーブした系の試料を作製した。キャリアドーブする前の試料(#3)のキャリア密度は  $0.35\text{ e}^-/\text{u.c.}$  であったが、キャリアドーブした試料のキャリア密度は  $1.73$

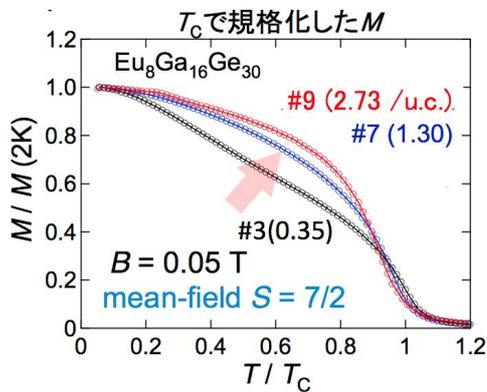


図 4.  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の磁化の温度依存性。キャリア密度は、#3:  $0.35 \text{ e}^-/\text{u.c.}$ 、#7:  $1.73 \text{ e}^-/\text{u.c.}$ 、#9:  $2.73 \text{ e}^-/\text{u.c.}$  である。

$\text{e}^-/\text{u.c.}$  (#7)と  $2.73 \text{ e}^-/\text{u.c.}$  (#9)となった。磁化の温度依存性を図 4 に示す。キャリアの少ない#3 の磁化は  $T_c$  以下でガラガラと増加するが、キャリアの多い#7, #9 では  $T_c$  以下ですぐに飽和磁化に達する。この#9 の磁化の温度依存性は、ハイゼンベルグ模型による平均場計算とよく一致する。これらの結果より、変調強磁性構造はキャリア密度が低い場合に現れ、キャリアが多くなるとハイゼンベルグ模型で記述できる一様な強磁性構造が実現していると考えられる。

磁場 1 テスラでの XMCD の積分強度と磁化の温度依存性を図 4 に示す。キャリアの異なる#3, #7, #9 のいずれにおいても、XMCD と磁化の温度変化はほとんど一致する。このことは、キャリア密度の大きさに関わらず、磁化の温度変化は測定手法の時間スケールによらないことを示唆する。

以上の結果より、 $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  における変調強磁性構造は、測定手法の時間スケールによらず観測されることから、Eu のラットリングとの相関は弱いと考えられる。また、キャリアドーブにより一様強磁性構造へと移ることから、変調強磁性構造は低いキャリア密度に起因すると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 25 件)

1. T. Onimaru, S. Tsutsui, M. Mizumaki, N. Kawamura, N. Ishimatsu, M. A. Avila, S. Yamamoto, H. Yamane, K. Suekuni, K. Umeo, T. Kume, S. Nakano, T. Takabatake, "Simultaneous Pressure-Induced Magnetic and Valence Transitions in Type-I Clathrate  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**, 013701-1-4 (2014). 査読有, DOI: 10.7566/JPSJ.83.013701
2. K. Umeo, H. Yamane, M. A. Avila, T. Onimaru, T. Takabatake, "Pressure effect on the ferromagnetism of an off-center rattling system  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ ", *J. Phys.:*

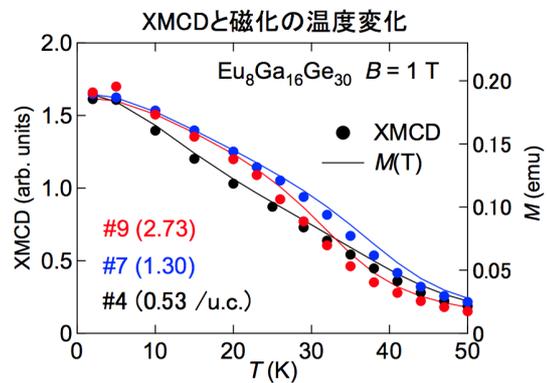


図 4. 磁場 1 テスラにおける XMCD の積分強度(左軸)と磁化(右軸)の温度依存性。

- Conf. Ser. **391**, 012075 (2012). 査読有, DOI: 10.1088/1742-6596/391/1/012075
3. T. Onimaru, N. Nagasawa, K. T. Matsumoto, K. Wakiya, K. Umeo, S. Kittaka, T. Sakakibara, Y. Matsushita, T. Takabatake, "Simultaneous superconducting and antiferroquadrupolar transitions in  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ ", *Phys. Rev. B* **86**, 184426 (2012). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevB.86.184426
  4. K. Umeo, Y. Hadano, S. Narazu, T. Onimaru, M. A. Avila, and T. Takabatake, "Ferromagnetic instability in a doped band gap semiconductor  $\text{FeGa}_3$ ", *Phys. Rev. B* **86**, 144421 (2012). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevB.86.144421
  5. T. Onimaru, K. T. Matsumoto, N. Nagasawa, Y. F. Inoue, K. Umeo, R. Tamura, K. Nishimoto, S. Kittaka, T. Sakakibara, T. Takabatake, "Nonmagnetic ground states and phase transitions in the caged compounds  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T = \text{Ru, Rh and Ir}$ )", *J. Phys.: Condens. Matter* **24**, 294207-1-5 (2012). 査読有, DOI: 10.1088/0953-8984/24/29/294207
  6. S. Mano, T. Onimaru, S. Yamanaka, T. Takabatake, "Off-center rattling and thermoelectric properties of type-II clathrate  $(\text{K, Ba})_{24}(\text{Ga, Sn, Vac})_{136}$  single crystals", *Phys. Rev. B* **84**, 214101-1-6 (2011). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevB.84.214101
  7. H. Fukuoka, K. Suekuni, T. Onimaru, K. Inumaru, "High-Pressure Synthesis and Superconductivity of a New Binary Lanthanum Germanide  $\text{LaGe}_3$  with Triangular  $\text{Ge}_3$  Cluster Units", *Inorg. Chem.* **80**, 093601-1-4 (2011). 査読有, DOI: 10.1021/ic102077k
  8. H. Tou, K. Sonoda, Y. Nishikawa, H. Kotegawa, H. Suekuni, T. Onimaru, T. Takabatake, "NMR studies of  $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$  clathrates", *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, SA039 (2011). 査読有

9. N. Ogita, T. Hasegawa, M. Udagawa, T. Onimaru, F. Iga, T. Takabatake, H. Sugawra, H. Sato, "Raman scattering study of lattice dynamics in caged compounds", J. Phys. Soc. Jpn. **80**, SA037 (2011). 査読有  
10. T. Onimaru, K. T. Matsumoto, Y. F. Inoue, K. Umeo, T. Sakakibara, Y. Karaki, M. Kubota, T. Takabatake, "Antiferro-quadrupolar Ordering in a Pr-based Superconductor  $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ ", Phys. Rev. Lett. **106**, 177001-1-4 (2011). 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.177001  
他 15 件  
総件数 25 件

〔学会発表〕(計 64 件)

1. 曾我部聖哉, 飯塚剛, 梅尾和則, 鬼丸孝博, M. A. Avila, 筒井智嗣, 水牧仁一郎, 河村直己, 高島敏郎, I 型クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の特異な強磁性に対するキャリア密度と圧力の効果, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス  
2. 鬼丸孝博, Pr1-2-20 系における四極子自由度と強相関電子物性, 東京大学物性研究所短期研究会, 2013 年 11 月 27 日, 東京大学物性研究所  
3. 鬼丸孝博,  $4f^2$  系の多極子自由度が創る多彩な物性, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学常三島キャンパス (招待講演)  
4. 渡邊徹生, 守安毅, 岡村英一, 河本敏郎, 末國晃一郎, 鬼丸孝博, 高島敏郎, クラスレート化合物における熱拡散:空間的動的ダイナミクス of 直接測定, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 03 月 28 日, 広島大学東広島キャンパス  
5. 久米徹二, 船橋健太, 佐々木重雄, 清水宏晏, 高島敏郎, 鬼丸孝博, 岸本堅剛, 小柳剛, 中野智志, 半導体クラスレートのラットリング振動とその圧力依存性 IV, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 03 月 26 日, 広島大学東広島キャンパス  
6. 鬼丸孝博,  $4f^2$  配位を持つ Pr 金属間化合物における多極子自由度と多彩な基底状態, ISSP ワークショップ「強相関物質開発の最前線」, 2012 年 10 月 22 日, 東京大学柏キャンパス  
7. 鬼丸孝博, 非磁性基底二重項を持つ立方晶  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Rh, Ir) の反強四極子秩序と四極子近藤効果, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 09 月 19 日, 横浜国立大常盤台キャンパス  
8. 飯塚剛, 山根陽樹, M. A. Avila, 鬼丸孝博, 梅尾和則, 高島敏郎, I 型クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の強磁性に対する圧力効果, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 09 月 18 日, 横浜国立大常盤台キャンパス  
9. T. Onimaru, Superconducting, antiferroquadrupolar, and structural tran-

sitions in caged compounds  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Ru, Rh, and Ir), 12th Japanese-German symposium: Emergent Phenomena in Novel Quantum Phases of Condensed Matter, 2012 年 07 月 16 日, Shuzenji, Japan (招待講演)  
10. T. Onimaru, Superconducting, antiferroquadrupolar, and structural transitions in caged compounds  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Ru, Rh, and Ir), The 19th International Conference on Magnetism (ICM) 2012 年 07 月 10 日, Bexco, Busan, Korea (招待講演)  
11. 鬼丸孝博, 長澤直裕, 松本圭介, 梅尾和則, 橋高 俊一郎, 榊原俊郎, 高島敏郎, カゴ状化合物  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  の非磁性基底二重項と低温相転移, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 26 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス  
12. 渡邊徹生, 山内崇弘, 守安毅, 岡村英一, 河本敏郎, 末國晃一郎, 鬼丸孝博, 高島敏郎, クラスレート化合物における格子拡散ダイナミクス, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 24 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス  
13. 鬼丸孝博, 希土類化合物の磁性と多極子に関する研究, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 24 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス  
14. 鬼丸孝博, 非磁性二重項を持つ  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Ru, Rh, Ir) における多極子自由度と相転移, 新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」ワークショップ~超伝導、多極子の物理における最近の話題~, 2012 年 1 月 10 日, 東京大学物性研究所  
15. 鬼丸孝博, クラスレート  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  の特異な強磁性に対する Si 置換とキャリア制御の効果, 磁性分光研究会 "X 線分光学による物質科学へのアプローチ" 2011 年 12 月 4 日, 京都大学化学研究所  
16. T. Onimaru, Magnetic and Transport Properties of Pr-based Compounds  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Ru, Rh, and Ir), TOKIMEKI2011, 2011 年 11 月 23 日, 大阪大学豊中キャンパス  
17. T. Onimaru, Coexistence of superconductivity and antiferroquadrupole order in a  $4f^2$  electron system, International Symposium on Superconductivity (ISS2011), 2011 年 10 月 25 日, 船堀タワーホール (招待講演)  
18. 鬼丸孝博, 長澤直裕, 松本圭介, 梅尾和則, 榊原俊郎, 柄木良友, 久保田実, 高島敏郎, カゴ状化合物  $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$  の非磁性基底二重項と超伝導, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 24 日, 富山大学五福キャンパス  
19. 渡邊徹生, 山内崇弘, 守安毅, 岡村英一, 河本敏郎, 末國晃一郎, 鬼丸孝博, 高島敏郎, クラスレート化合物  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$  における格子拡散ダイナミクス, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学五福キャンパス  
20. 高島敏郎, 間野覚文, 鬼丸孝博, 山中昭

司, ゲストサイトの分裂した II 型クラスレート  $(K, Ba)_{24}(Ga, Sn, Va)_{136}$  の熱電物性, 日本物理学会 2011 年秋季大会 2011 年 9 月 22 日, 富山大学五福キャンパス

21. 梅尾和則, 山根陽樹, M. A. Avila, 鬼丸孝博, 高島敏郎, 強磁性クラスレート  $Eu_8Ga_{16}Ge_{30}$  の特異な磁性の圧力効果: 11 GPa までの電気抵抗とホール効果, 磁化測定, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学五福キャンパス

22. T. Onimaru, K. Matsumoto, Y. F. Inoue, K. Umeo, Y. Karaki, M. Kubota, T. Sakakibara, T. Takabatake, Coexistence of Antiferroquadrupole Order and Superconductivity in a Caged Compound  $PrIr_2Zn_{20}$ , International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2011, 2011 年 9 月 2 日, Cambridge, UK (招待講演)

23. K. Umeo, H. Yamane, M. Avila, T. Onimaru, T. Takabatake, Pressure Effect on the Ferromagnetism of an Off-Center Rattling System  $Eu_8Ga_{16}Ge_{30}$ , International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2011, 2011 年 9 月 2 日, Cambridge, UK

他 41 件

総件数 64 件

〔その他〕

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/adsmmag/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鬼丸 孝博 (ONIMARU TAKAHIRO)

広島大学・大学院先端物質科学研究科・准教授

研究者番号: 50444708

### (2) 研究協力者

梅尾 和則 (UMEI KAZUNORI)

広島大学・自然科学研究支援開発センター・准教授

研究者番号: 10223596