

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540413

研究課題名(和文) 強相関希土類ホウ化物の高圧下における新奇秩序相探究

研究課題名(英文) Research for novel ordered phase under the high pressure on strongly correlated rare-earth borides

研究代表者

伊賀 文俊 (IGA, Fumitoshi)

茨城大学・理学部・教授

研究者番号：60192473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：小さなエネルギーギャップをもつ近藤半導体YbB<sub>12</sub>を200 GPa近い超高压下の環境にさらすことで、半導体から金属への転移、さらに超伝導の出現と劇的な変化を見いだす事に成功した。磁場に対する磁化応答では、磁束密度=50 Tで急激に磁化が跳んだあと120 Tまでずっと直線的に上昇し続け、飽和する様子さえ見せないことがわかった。TmB<sub>4</sub>ではフィボナッチ数列に従う準周期の磁気秩序相が見つかったが、3 GPaまでの圧力をかけると準周期相が出現する温度が高くなり、この相が安定化する事も見いだした。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in exhibition of dramatic semiconductor-to-metal transition at 160 GPa and appearance of superconductivity at 195 GPa in Kondo semiconductor YbB<sub>12</sub> which has a small energy gap ( $E_g/k_B \sim 200$  K). Superconducting transition temperature is of about 0.8 K and its critical field is evaluated to be 800 Oe. This transition under ultra high-pressure environment can be observed by using a specialized diamond anvil cell (DAC) technique. In the magnetization response of YbB<sub>12</sub> up to 120 T, the magnetization steeply jumps up at  $B = 50$  T, and continues to increase linearly. This magnetization dose not seem to saturate around  $B = 120$  T. It would be necessary for magnetic saturation to apply the external field  $B = 200 - 300$  T.

As for TmB<sub>4</sub>, although the magnetic quasi-crystal lattice characterized by a Fibonacci sequence was found in the phase VII, it is found out that this magnetic phase becomes more stable up to  $P = 3$  GPa.

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：強相関電子系 近藤半導体 超伝導 高圧力 磁性 準周期

1. 研究開始当初の背景

(1) 高圧力や強磁場などの極限条件下では、磁気・多極子秩序形成や金属-非金属転移、超伝導発生を伴う量子相転移などの興味深い現象がしばしば見つかる。希土類ホウ化物群には近藤半導体  $\text{SmB}_6$ ,  $\text{YbB}_{12}$  や多極子秩序系  $\text{CeB}_6$ ,  $\text{DyB}_4$  など多様な物性を示す物質が存在しているが、ホウ素間結合力が強く、圧縮による格子長変化は小さい。よって、磁性や伝導で顕著な圧力変化を抽出するには、しばしば 10 GPa 程度もの超高压が必要になる。

(2) 近藤半導体のエネルギーギャップ形成起源は未解決の問題である。この解決のため我々は物性研パルス磁場(幅 36msec)を用いて、最大磁場 68 T, 0.1 K で  $\text{YbB}_{12}$  の磁化や電気抵抗を測定してきた。

これまで  $\text{YbB}_{12}$  の磁化は 50 T 以上で異方的に急激に伸び、1 次の半導体-金属転移を起こすこと、負の巨大磁気抵抗は -99% にまで減少した後、一転して最高磁場 68T まで一定値のまま推移すること、などを明らかにしてきた。近年近藤半導体  $\text{SmB}_6$  のギャップが約 10 GPa でつぶれ、同時に反強磁性転移が生じるという報告があり、 $\text{YbB}_{12}$  の体積弾性率は  $\text{SmB}_6$  の 3 倍もの硬い物質であるため、同様の相転移には 30 GPa 以上の超高压が必要と考えられた。

(3) 希土類四ホウ化物  $\text{RB}_4$  の希土類イオンは、幾何学的フラストレーションが期待される Shastry-Sutherland 格子を形成している。16T ~ 20T で 9 段のステップ磁化を示す  $\text{TbB}_4$  は、磁場中での中性子回折や核磁気共鳴の実験より、各磁化ステップ相で磁気モーメントが長周期構造を形成すると考えられており、フラストレーションのもたらす物性が興味深い。この系で圧力をパラメーターにして研究する例は余りない。

2. 研究の目的

(1)  $\text{YbB}_{12}$  の伝導の圧力変化を明らかにするには 100 GPa 以上の圧力が必要である事がわかって来た。この圧力領域で酸素や鉄、ホウ素の超伝導を見出している阪大極限センター清水、加賀山らと共同研究を行う。近藤半導体のエネルギーギャップが、結晶格子圧縮により崩壊に進むのか逆に増大するのかは、きちんとした理論予想がないが、近藤半導体  $\text{SmB}_6$  では 10 GPa で半導体金属転移を起こしていることから金属相に転移することは十分予想される。非弾性中性子散乱から、 $k=[1/2, 1/2, 1/2]$  の反強磁性相関が観測されており、 $\text{SmB}_6$  と同様に圧力誘起の反強磁性金属への転移、さらなる圧力下では重い電子の超伝導出現も期待できる。

(2) 他の希土類ホウ化物では、高圧下の新奇秩序が出現すると期待されるフラストレー

ト系  $\text{TmB}_4$  の高圧下物性を調べる。比熱、磁化、電気抵抗測定と中性子回折により、多くの磁気相を発見しているが、VII 相では準周期磁気格子相がある。圧力をかけたときの Shastry-Sutherland 格子の秩序変数(伝搬ベクトル  $k$ )の変化を調べる。さらに他の  $\text{RB}_4$  系や  $\text{RB}_6$  系でも、化学圧力や弾性から圧力に応じて現れる超伝導等の秩序相を探索していく。

3. 研究の方法

(1) 清水・加賀山(阪大極限セ)ら連携研究者との共同研究により超高压力 100GPa を用いた近藤半導体  $\text{YbB}_{12}$  の電気抵抗測定を行う。温度 100K 以下において現れる  $E_G/k_B =$  約 200K のエネルギーギャップと 15K 以下の 50K 程度の小さなエネルギーギャップ(In-gap)の二重ギャップ構造の圧力変化を調べ、*c-f* 混成のギャップ形成に対する寄与を明らかにする。

(2)  $\text{TmB}_4$  の VII 相におけるフィボナッチ磁気格子相実現機構を解明するために、圧力下における電気抵抗、比熱、磁化の測定により、他の磁気相や VII 相の相境界の変化を明らかにする。また温度、圧力、磁場変化により、フィボナッチ格子の大きさの特徴づける世代数の変化と、それに伴う伝導や磁性の変化を調べる。これらの圧力依存性を説明できる妥当なモデルを構築し、幾何学的フラストレーションと準結晶磁気格子の関連性について明らかにする。

4. 研究成果

(1)  $\text{YbB}_{12}$  は、価数揺動半導体であり、かつトポロジカル近藤絶縁体と目される  $\text{SmB}_6$  と同様の電子状態を持つと期待される近藤半導体である。大阪大学基礎工学研究科附属極限科学センター清水研(清水、加賀山)との共同研究により、ダイヤモンドを用いた加圧法(DAC)により 195 GPa まで加圧下の電気抵抗測定に成功した。半導体のエネルギーギャップは 165 GPa で消滅し、半導体から金属への転移前後の量子臨界状態で、超伝導が出現した。臨界温度は 0.8 K 臨界磁場は約 800 Oe

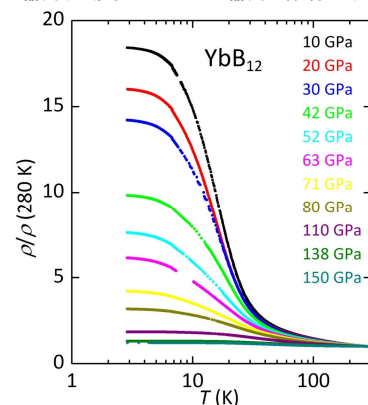


図1 各圧力 (<150GPa) での電気抵抗の温度変化

と、小さいが、近藤半導体で初めて圧力により超伝導を誘起した例となった(図1~3参照)。

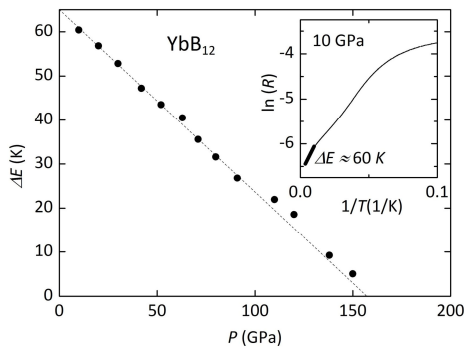


図2 電気抵抗から評価した半導体の活性化エネルギーの圧力依存性

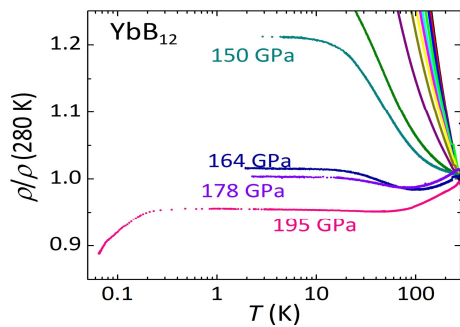


図3 金属非金属転移 (@160 GPa) と超伝導の出現 (@195 GPa)

(2)物理的圧力効果とは別に、非磁性イオンでYbを置換していく事で化学的圧力をYbサイトにかける事が良くなされる。Sc, Lu, Yはいずれも3価だが、この順にイオン半径が大きくなり、Scでは7 GPa, Luでは0.1 GPa以下、Yでは逆に-5 GPaまでかけることができる。しかし、いずれの場合でも置換イオンが50%以下では、エネルギーギャップの大きさに置換イオンによる差は認められなかった。これは、この程度の圧力では、c-f混成に大きな変化はないことを意味する(図4~5)。

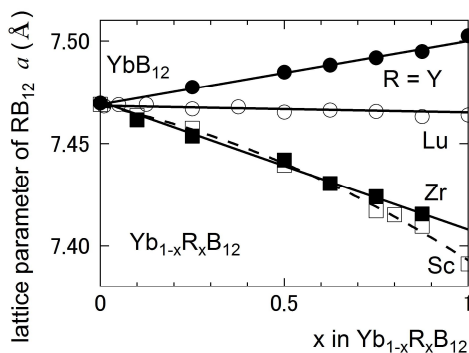


図4 Yb<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>B<sub>12</sub> (R=Y, Lu, Sc と Zr) における格子定数のx依存性

一方、YbB<sub>12</sub>に4価のZrイオンを置換すると近藤温度とエネルギーギャップが増大する現象が磁化率や比熱で観測された。イオンの価数で、ギャップや近藤温度の大きなチューニングが可能であることを明らかにした。ところが伝導のギャップの方は次第に減少するという相反する結果も得られた。このことは電荷とスピンの自由度の分離が進む事を意味しており、ギャップがc-f混成で形成されるというモデルでは理解しがたい。

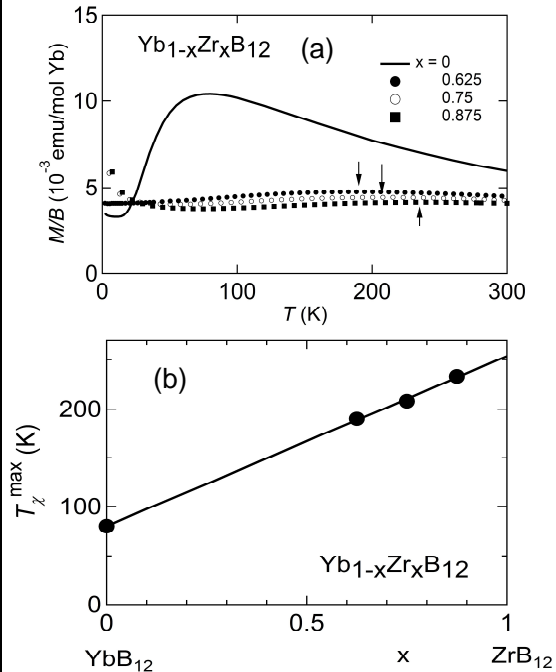


図5 (a)Yb<sub>1-x</sub>Zr<sub>x</sub>B<sub>12</sub>での磁化率ピークのシフト (b) 磁化率ピーク温度のx依存性

(3)YbB<sub>12</sub>の飽和磁化を見積もるため、東大物性研松田研でワンターンコイルによる最大120Tの磁化測定を4.2Kで行なった。試料は粉末及び0.1mm径の針状結晶集合体を用いた。70Tまでは従来の50Tでの急激な増加を経て70Tまでは上に凸の振る舞いを再現し、このまま飽和するかと思われたが、70-120Tでは直線的で、むしろやや下に凸であった。このことは、飽和磁場は、200-300Tくらいはあるという事を意味し、もはや単純な結晶場効果では磁化過程の再現はできないと思われる。

(4)TmB<sub>4</sub>は24年度までは3GPaまでの高圧下磁化測定により、高圧によって各相の転移点が上昇し、準周期相もやや広がりながら保持していることを確認している(図6参照)。25年度は超伝導磁石とDACを組み合わせた高圧下電気抵抗測定を東大物性研上床研、埼玉大道村氏と準備を進めたところである。一度試料が破損したため、再度試料を準備して、3-10GPaでの更なる測定は26年度早々に行なえるよう、準備を進めている。

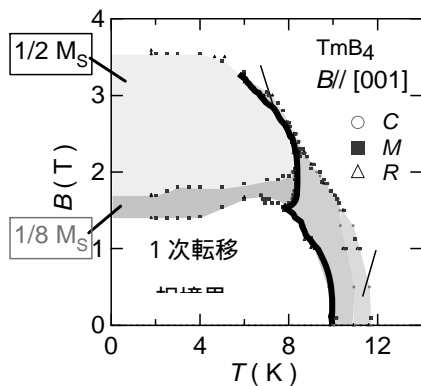


図6 P=0.1 MPaにおけるTmB<sub>4</sub>の相図。8 K付近にあるVII相の境界は、P=3 GPaでは9 K近くまで上昇する。

(5)SmB<sub>6</sub>やTmB<sub>6</sub>に、Y、La等を置換していくと価数が増える現象を見いだした。単結晶育成時に組成が大きく変わるため、このときも電荷とスピン自由度の分離が生じている事が示唆された。

以上の置換系の実験結果から、混成ギャップ形成は、合金においては単純にc-f混成によるとすることができないと言える。

#### 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 8件)

- K. Hayashi, K. Ishii, F. Iga, T. Noguchi, T. Takabatake, A. Kondo, K. Kindo, Substitution effect of non-magnetic rare-earth ion R (R=Lu, Sc, Y and Zr) of Kondo Semiconductor YbB<sub>12</sub>, Journal of the Physical Society of Japan (2014), 査読あり, in press.
- S. Kayama, S. Tanaka, A. Miyake, T. Kagayama, K. Shimizu, F. Iga, Electrical resistance of Kondo semiconductor YbB<sub>12</sub> under high pressure, Journal of the Physical Society of Japan (2014), 査読あり, in press.
- R. Masuda, Y. Kobayashi, S. Kitao, M. Kurokuzu, M. Saito, Y. Yoda, T. Mitsui, F. Iga, M. Seto, Synchrotron radiation-based Mössbauer spectra of <sup>174</sup>Yb measured with internal conversion electrons, Applied Physics Letters 104 (2014) 082411(1-6), 査読あり, DOI: 10.1063/1.4866280
- T. Matsumura, S. Michimura, T. Inami, T. Otsubo, H. Tanida, F. Iga, M. Sera, Evidence for hidden quadrupolar fluctuations behind the octupole order in Ce<sub>0.7</sub>La<sub>0.3</sub>B<sub>6</sub> from resonant x-ray diffraction in magnetic fields,

Physical Review B 89 (2014) 014422(1-13), 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevB.89.014422

S. Suga, K. Sakamoto, T. Okuda, K. Miyamoto, K. Kuroda, A. Sekiyama, J. Yamaguchi, H. Fujiwara, A. Irizawa, T. Ito, S. Kimura, T. Balashov, W. Wulfhekkel, S. Yeo, F. Iga, S. Imada, Spin-Polarized Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy of the So-Predicted Kondo Topological Insulator SmB<sub>6</sub>, Journal of the Physical Society of Japan 83 (2014) 014705(1-6), 査読あり, DOI: 10.7566/JPSJ.83.014705

J. Yamaguchi, A. Sekiyama, M. Y. Kimura, H. Sugiyama, Y. Tomida, G. Funabashi, S. Komori, T. Balashov, W. Wulfhekkel, T. Ito, S. Kimura, A. Higashiya, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, S. Yeo, S.-I. Lee, F. Iga, T. Takabatake, S. Suga, Different evolution of the intrinsic gap in strongly correlated SmB<sub>6</sub> in contrast to YbB<sub>12</sub>, New Journal of Physics 15 (2013) 043042(1-13), 査読あり, DOI: 10.1088/1367-2630/15/4/043042

H. Hayashi, N. Kanai, N. Kawamura, M. Mizumaki, K. Imura, N. K. Sato, H. S. Suzuki, F. Iga, New method for determining the valence of lanthanide compounds: L 4 emission spectroscopy, Journal of Analytical Atomic Spectrometry 28 (2012) 373-378, 査読あり, DOI: 10.1039/c0xx00000x

P. A. Alekseev, J.-M. Mignot, K. S. Nemkovski, A. V. Rybina, V. N. Lazukov, A. S. Ivanov, F. Iga, T. Takabatake, Interplay of low-energy phonons and magnetic excitations in the Kondo insulator YbB<sub>12</sub>, Journal of Physics-Condensed Matter 24 (2012) 205601, 査読あり, DOI: 10.1088/0953-8984/24/20/205601

[学会発表](計 42件)

- 稲見俊哉, 他 道村真司, 松村武, 伊賀文俊, 高分解能X線回折によるCe<sub>0.7</sub>La<sub>0.3</sub>B<sub>6</sub>のIV相の菱面体歪みの観測, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学
- 浅沼英資, 他 伊賀文俊, MBE法による希土類硼化物の作製と評価, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学
- 西山功兵, 他 伊賀文俊, SmB<sub>6</sub>における圧力依存性と置換効果, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学
- 林健人, 他 伊賀文俊, 価数揺動系

RB<sub>6</sub> (R=Sm, Tm) の非磁性元素置換効果, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

伊賀文俊, 他, 近藤半導体 Yb<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>B<sub>12</sub> (R=Lu, Sc, Y, Zr) のエネルギーギャップの強磁場及び x 依存性, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

増田亮, 他, 伊賀文俊, <sup>174</sup>Yb 放射光メスバウアー分光法の開発, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

谷田博司, 伊賀文俊, 他, SmB<sub>12</sub> の <sup>10/11</sup>B 核 NMR, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

遊川幸一, 他, 伊賀文俊, 加圧下の YB<sub>6</sub> のラマン散乱 2, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

伊賀文俊, 他, R<sub>1-x</sub>Tm<sub>x</sub>B<sub>6</sub> (R=Y<sup>3+</sup> and Yb<sup>2+</sup>) における価数揺動と近藤状態の変遷, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

伊賀文俊, 他, カゴ状希土類化合物 RB<sub>12</sub> (R= Gd, Sm and Nd) の高圧合成による新物開発, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

伊賀文俊, 他, 近藤半導体 YbB<sub>12</sub> の非磁性希土類イオン R (R=Lu, Sc, Y and Zr) 置換によるエネルギーギャップに対する化学圧力効果, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

佐藤仁, 他, 伊賀文俊, YbB<sub>6</sub> の圧力依存 X 線発光分光, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日, 徳島大学

T. Kagayama, Superconductivity of light element molecular materials at extreme conditions of pressure, ICTP LEMSUPER Conference on Mechanisms and Developments in Light-Element Based and Other Novel Superconductors, 2013 年 9 月 24 日 ~ 2013 年 9 月 26 日, ICTP (イタリア・トリエステ)

M. Udagawa, F. Iga, et al., Anharmonic properties of guest phonon in superconducting YB<sub>6</sub>, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, SCES2013, 2013 年 8 月 8 日, 東京大学

K. Ishii, F. Iga, et al., Mixed valence to a heavy fermion state in R<sub>1-x</sub>Tm<sub>x</sub>B<sub>6</sub> (R = Y<sup>3+</sup> and Yb<sup>2+</sup>), International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, SCES2013, 2013 年 8 月 7 日, 東京大学

K. Hayashi, F. Iga, et al., Chemical pressure effect by substitution of non-magnetic rare-earth ion R (R=Lu, Sc, Y and Zr) on the energy gap of Kondo semiconductor YbB<sub>12</sub>, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, SCES2013, 2013

- 年 8 月 7 日, 東京大学
- S. Kayama, T. Kagayama, K. Shimizu, F. Iga et al., Electrical resistance of Kondo semiconductor YbB<sub>12</sub> under high pressure, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, SCES2013, 2013 年 8 月 6 日, 東京大学
- F. Iga et al., High pressure synthesis and physical properties of rare earth dodecaborides RB<sub>12</sub> (R=Gd, Sm and Nd), International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, SCES2013, 2013 年 8 月 6 日, 東京大学
- 増田亮, 他, 伊賀文俊, 放射光を使った Yb メスバウアー測定法の開発 (招待講演), 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 28 日, 広島大学
- 伊賀文俊, 他, 希土類カゴ状 12 ホウ化物 RB<sub>12</sub> (R=Sm, Yb) の熱物性と極限環境下物性, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 28 日, 広島大学
- 21 畠中大地, 他, 伊賀文俊, 分子線エピタキシー法を用いた希土類六硼化物の作製 I, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学
  - 22 佳山周永, 他, 加賀山朋子, 清水克哉, 伊賀文俊, 超高圧力下における近藤半導体 YbB<sub>12</sub> の電気抵抗, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学
  - 23 佳山周永, 他, 加賀山朋子, 清水克哉, 伊賀文俊, 近藤半導体 YbB<sub>12</sub> の超高圧力下における電気抵抗測定, 日本高圧力学会会第 53 回高圧討論会 2012 年 11 月 7 日, 大阪大学
  - 24 武藤知輝, 他, 道村真司, 伊賀文俊, <sup>11</sup>B-NMR 測定で見た Shastry-Sutherland 系 TbB<sub>4</sub> におけるメタ磁性 III, 日本物理学会 2012 年秋季大会 2012 年 9 月 21 日, 横浜国立大学
  - 25 遊川幸一, 他, 伊賀文俊, 加圧下の YB<sub>6</sub> のラマン散乱, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学
  - 26 伊賀文俊, 他, 高圧合成で開発したホウ素カゴ状化合物 RB<sub>12</sub> (R=Gd, Sm, Nd) の伝導, 比熱と強磁場応答, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学
  - 27 藤田貴弘, 他, 伊賀文俊, 近藤半導体 YbB<sub>12</sub> の弾性特性, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学
  - 28 筒井智嗣, 他, 伊賀文俊, YB<sub>6</sub> の X 線非弾性散乱, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学
  - 29 F. Iga et al., High pressure synthesis of novel boron-cage compounds RB<sub>12</sub> (R=Gd, Sm), International Conference on Magnetism 2012, 2012 年 7 月 10 日,

- Busan(Korea)
- 30 伊賀文俊 他, 近藤半導体  $\text{YbB}_{12}$  の Sc 置換による化学圧力効果 II: 輸送特性及び強磁場効果, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 27 日, 関西学院大学
  - 31 髭本亘, 他 伊賀文俊,  $\text{Tm}_{1-x}\text{Yb}_x\text{B}_6$  の磁気秩序状態, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 27 日, 関西学院大学
  - 32 武田孝紀, 他 伊賀文俊, 希土類ホウ化物薄膜の MBE 法による作製と物性評価, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 25 日, 関西学院大学
  - 33 武藤知輝, 他 道村真司, 伊賀文俊,  $^{11}\text{B-NMR}$  測定で見た Shastry-Sutherland 系  $\text{TbB}_4$  におけるメタ磁性 II, 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
  - 34 藤田貴弘, 他 道村真司, 伊賀文俊,  $\text{ErB}_4$  の弾性特性, 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
  - 35 松村武, 他 伊賀文俊,  $\text{CeB}_6$  の四極子秩序相における共鳴 X 線スペクトルの解析, 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
  - 36 F. Iga, Material Development of Samarium Borides by High Pressure Synthesis, TOKIMEKI 2011 International workshop on heavy fermion, 2011 年 11 月 24 日, 大阪大学
  - 37 遊川幸一, 他 伊賀文俊,  $\text{YB}_6$  のラマン散乱の励起波長依存性, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学
  - 38 大川万里生, 他 伊賀文俊, 時間分解光電子分光から見た近藤半導体  $\text{YbB}_{12}$  の混成ギャップ形成 II, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学
  - 39 島田智子, 他 伊賀文俊, 時間分解光電子分光による  $\text{SmB}_6$  の近藤ギャップ観測, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学
  - 40 武藤知輝, 他 道村真司, 伊賀文俊,  $^{11}\text{B-NMR}$  測定で見た Shastry-Sutherland 系  $\text{TbB}_4$  におけるメタ磁性, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 22 日, 富山大学
  - 41 藤田貴弘, 他 伊賀文俊,  $\text{TmB}_4$  の磁場中弾性率, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 21 日, 富山大学
  - 42 道村真司, 他 松村武, 伊賀文俊,  $\text{Ce}_{0.7}\text{La}_{0.3}\text{B}_6$  の IV 相における極低温磁場中共鳴 X 線回折, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 21 日, 富山大学

〔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:

<http://info.ibaraki.ac.jp/Profiles/23/0002235/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊賀 文俊 (IGA, Fumitoshi)

茨城大学・理学部・教授

研究者番号: 6 0 1 9 2 4 7 3

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

清水 克哉 (SHIMIZU, Katsuya)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号: 7 0 2 8 3 7 3 6

加賀山 朋子 (KAGAYAMA, Tomoko)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 4 0 2 7 4 6 7 5

松村 武 (MATSUMURA, Takeshi)

広島大学・大学院先端物質科学研究科・准教授

研究者番号: 0 0 3 1 2 5 4 6

道村 真司 (MICHIMURA, Shinji)

埼玉大学・科学分析支援センター・助教

研究者番号: 4 0 5 5 2 3 1 0

大山 研司 (OHYAMA, Kenji)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構  
・准教授

研究者番号: 6 0 2 4 1 5 6 9