

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 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：13201
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21540356
 研究課題名（和文）整数量子数を持つ立方晶希土類化合物の単結晶試料作製と多極子相互作用による異常物性
 研究課題名（英文）Single crystal growth of cubic rare earth compounds with integer quantum number of rare earths and studies of anomalous properties reflecting the quadrupole interactions
 研究代表者
 石川 義和 (ISIKAWA YOSIKAZU)
 富山大学・大学院理工学研究部・教授
 研究者番号：20143836

研究成果の概要（和文）：

立方晶対称性がある一部のプラセオジウム化合物では重い電子の異常が見られ、我々はその原因を四重極相互作用等を起源とした異常ではないかと推論した。本研究では、プラセオジウムおよび整数量子数を持つ希土類の立方晶化合物を取り上げ、比熱、熱電能、磁化を中心とした実験を行った。具体的には、 PrMg_3 , PrPd_3 , PrCu_4X , RSb , $\text{RFe}_2\text{Zn}_{20}$ 等の単結晶試料を作成し、磁気と四極子等との相関について考察した。

研究成果の概要（英文）：

Interested in the praseodymium compounds showing the heavy-fermion-like behavior, we considered the origin of this property reflects the quadrupole moments. In this study we carried out the experiments of specific heat, thermo electric power, and magnetization of cubic rare-earth compounds with integer quantum number of rare earths. Anomalous properties of these compounds are analyzed taking into account of the coexistence of magnetic and quadrupole moments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：強相関系、多極子、四極子、整数量子数、立方晶、熱電能、比熱、磁化

1. 研究開始当初の背景

高濃度近藤効果、重い電子、価数揺動等の強相関電子系として、従来、精力的に研究されてきたのはセリウム化合物を中心として、サマリウム化合物、イッテルビウム化合物が主であった。これらの希土類元素は常にクラマース二重項（または四重項）が存在し、この二重項が伝導電子を介して縮退が解け、重い電子等の強相関的異常現象が説明されてきた。しかし、最近、プラセオジウム化合物で

重い電子系ではないかと注目されている異常物性が多く現れ、物性物理学の分野の中で1つの熱いトピックスになろうとしている。具体的には、既に多くのプラセオジウム化合物の研究が始まっていた。

2. 研究の目的

そのような中で、我々は、立方晶の結晶対称性を持つプラセオジウム化合物で見られる重い電子的異常は、実は、四重極相互作用等

の多極子相互作用を起源とした異常ではないかと推論した。本研究では、プラセオジム化合物で発現する異常の起源を、極低温での比熱と熱電能を中心とした実験により明らかにすることを目的とした。

我々は、プラセオジウム化合物の異常は立方晶の結晶対称性での非磁性2重項基底状態が原因となっているのではないかと推測から、更に一般的に、テルビウムやホルミウム等の整数量子数を持つ立方晶希土類化合物においても、非磁性2重項が基底状態にある可能性があり、同様な異常を発現することを実験的に明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

以上のような研究背景の中で、我々の得意技術を活用し、次の実験に集中した。

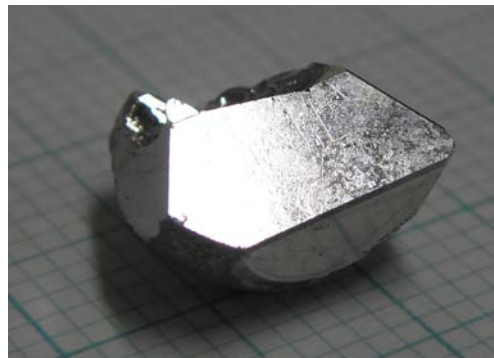
- (1) 立方晶プラセオジム化合物として PrInX_2 ($X=\text{Cu}, \text{Au}, \text{Ag}$), PrMg_3 , PrPd_3 および新しい立方晶結晶の PrCu_4X ($X=\text{Au}, \text{Ag}, \text{Pd}$) の純良な単結晶試料を育成し、熱電能 S と比熱 C の低温での測定から、 S/T と C/T の相関関係を調べる。
- (2) 立方晶の結晶対称性のあるテルビウムやホルミウム化合物の試料でも単結晶を作製し、 S/T と C/T の相関関係を調べ、プラセオジム化合物と同様な異常があることを調べる
- (3) プラセオジム化合物等の異常の起原を、四重極子(多重極子を含む)が関与しているとの推測から、超音波による弾性定数の測定、中性子散乱による実験をとおして、国内外の研究室との共同研究を積極的に推進する。

4. 研究成果

- (1) 低温で巨大電子比熱係数 C/T をもつ立方晶 PrMg_3 の低温における熱電能係数 S/T を測定し、 PrMg_3 は S/T がきわめて小さく、重い電子系でみられる C/T vs S/T の関係が全く成立しないことを実験的に明らかにし、巨大 C/T の原因を $4f$ 電子の伝導電子との強相関によるものではなく $4f$ 電子の多極子によるものであると推測した。
- (2) 立方晶 PrPd_3 は 2 K 近傍に磁気転移があることは既知であったが、今回 0.5 K までの低温での磁場中比熱を測定し、磁場中での異常な相図を明らかにし、この原因についても四極子または多極子が寄与している可能性があることを指摘した。
- (3) 立方晶 PrCu_4Au について基礎物性を測定し、磁気転移温度 (2.5 K) 以上の温度で大きい比熱の裾があること、 T_N までのエン

トロピーが小さいこと、等のことから重い電子系物質と類似しているが、熱電能の測定から、重い電子系的な振る舞いは所謂伝導電子との強相関が原因でないことを提案した。

- (4) Au を Ag で置換した同じく立方晶 PrCu_4Ag の単結晶試料の作製に成功し、電氣的・磁氣的・熱的な基礎的物理量の結晶方位依存性を測定した。単結晶による詳細な実験研究をしたにも関わらず、未知の種々な異常性により現在のところ研究発表に至っていない。議論・解析を深めて早急に研究成果としてまとめたい。同型の NdCu_4Ag の単結晶試料作製にも成功し、結晶方位依存性を含んだ詳細な磁場中比熱などの実験研究により相図を確定した。
- (5) 非クラマース元素の立方晶 Ho 化合物にも挑戦し、 HoSb , DySb の単結晶試料を作製し、これによる詳細な磁化、磁場中比熱の結晶軸方向依存性の測定、および、磁歪、熱膨張の詳細な結晶磁気異方性を実験的に明らかにした。この物質は 5.4 K に反強磁性転移を示し実験結果の解析から、基底状態は非クラマース2重項、第1励起状態が Γ_4 の3重項であり、エネルギー間隔が 5 K ほどの擬5重項であると推測し、磁気モーメントと4極子モーメントの共存による異常として秩序相の解析を行っている。
- (6) 更に、非クラマース元素の立方晶 Ho 化合物 $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ と $\text{HoRu}_2\text{Zn}_{20}$ にも挑戦した。 Zn flux により単結晶試料作製に成功し、詳細な実験がスタートした。参照試料として $\text{DyFe}_2\text{Zn}_{20}$, $\text{YFe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料作製にも成功した。この物質については Grenoble の Institut Néel との共同研究の進めており、 $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ については上海で開催されたセミナーで成果を発表し、また、 $\text{DyFe}_2\text{Zn}_{20}$ については 2012 年の ICM に成果を公表する計画である。



写真は、flux 法により作成された $\text{DyFe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料。小さな1目盛りが 1 mm 。

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 19 件)

- ① Specific Heat in Magnetic Fields and Magnetizations of $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ Single Crystal
Y. Isikawa, S. Miyamoto, K. Kumagai, M. Nakahara, T. Mizushima, T. Tayama, T. Kuwai, and P. Lejay
Proceedings of JCPMAT 2011, 127-131. (JCPMAT 2011, 9/11-15, 2011, Shanghai)
- ② Low temperature x-ray diffraction study on phase transitions
H. Suzuki, H. Kaneko, Y. Xue, N. Shumsun, A. Savinkov, H. Xing, Z.A. Xu, S. Zhang, and Y. Isikawa
J. Phys.: Conf. Ser. (LT26, 8/10-17, 2011, Beijing)
- ③ Strong Coupling between 4f Valence Instability and 3d Ferromagnetism in $\text{Yb}_x\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$ Studied by Resonant X-Ray Emission Spectroscopy
Hitoshi Yamaoka, Ignace Jarrige, Naohito Tsujii, Jung-Fu Lin, Tsuyoshi Ikeno, Yosikazu Isikawa, Katsuhiko Nishimura, Ryuji Higashinaka, Hideyuki Sato, Nozomu Hiraoka, Hirofumi Ishii, and Ku-Ding Tsuei
Phys. Rev. Lett. 107, 177203 (2011).
- ④ Anomalous Behavior on Specific Heat and Thermoelectric Power in Wide Range of Temperatures in $\text{CeNi}_2(\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x)_2$
Michio Takeuchi, Mayumi Funane, Yosikazu Isikawa, Toshio Mizushima, Takashi Tayama, Tadashi Fukuhara, and Tomohiko Kuwai
J. Phys. Soc. Jpn., 80, Suppl. A, (2011) SA063 (3 pages) (Int. Conf. on Heavy Electrons, 17-20 Sept. 2010, Tokyo, Japan)
- ⑤ Thermoelectric Power at Low Temperatures in $\text{Ce}(\text{Ni}_{1-x}\text{Pd}_x)_2\text{Ge}_2$ and $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$ in the Vicinity of Antiferromagnetic Quantum Critical Point
Tomohiko Kuwai, Toru Iwaki, Michio Takeuchi, Toshio Mizushima, Takashi Tayama, Yosikazu Isikawa, and Tadashi Fukuhara
J. Phys. Soc. Jpn., 80, Suppl. A, (2011) SA064 (3 pages) (Int. Conf. on Heavy Electrons, 17-20 Sept. 2010, Tokyo, Japan)
- ⑥ Low-Temperature Magnetization of Antiferromagnet NdCu_4Ag
T. Tayama, Y. Takayama, Y. Miura, S. Zhang, and Y. Isikawa
J. Phys. Soc. Jpn., 80, Suppl. A, (2011) SA064 (3 pages) (Int. Conf. on Heavy Electrons, 17-20 Sept. 2010, Tokyo, Japan)
- ⑦ Magnetic and Thermal Properties of Cubic SmCu_4X Compounds (X = Ag, Au and Pd)
Shuai Zhang, Takashi Tayama, Toshio Mizushima, Tomohiko Kuwai, and Yosikazu Isikawa
J. Phys. Soc. Jpn., 80, Suppl. A, (2011) SA067 (3 pages) (Int. Conf. on Heavy Electrons, 17-20 Sept. 2010, Tokyo, Japan)
- ⑧ Magnetic properties of NdFeO_3 single crystal in the spin reorientation region
Shujuan Yuan, Yabin Wang, Mingjie Shao, Fenfen Chang, Baojuan Kang, Yosikazu Isikawa, and Shixun Cao
J. Appl. Phys. 109, (2011) 07E141 (3 pages) (55th Annual Conf. on MMM, Atlanta, Georgia, USA, 14-18, November 2010)
- ⑨ Critical behavior in a Kondo-screening partially-ordered antiferromagnet CePdAl
Akira Oyamada, Tomomi Kaibuchi, Masahide Nishiyama, Tetsuaki Itou, Satoru Maegawa, Yosikazu Isikawa, Andreas Dönni and Hideaki Kitazawa
J. Phys.: Conf. Ser. 320 (2011) 012067 (Int. Conf. on Frustration in Condensed Matter (ICFCM), 11-14 Jan. 2011, Sendai)
- ⑩ Magnetic and Thermal Properties in Cubic Single Crystal PrCu_4Ag
S. Zhang, Y. Isikawa, T. Tayama, T. Kuwai, T. Mizushima, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto
J. Phys. Soc. Jpn. 79, 114707-1-8 (2010).
- ⑪ Magnetic Phase Diagram in NdCu_4Ag Single Crystal
S. Zhang, T. Tayama, T. Mizushima, T. Kuwai, and Y. Isikawa
J. Phys. Soc. Jpn. 79, 043704-1-4 (2010).
- ⑫ Thermoelectric Power of PrMg_3
Y. Isikawa, K. Somiya, H. Koyanagi, T. Mizushima, T. Kuwai, T. Tayama
J. Phys.: Conf. Ser. 200, 012069 (2010).
- ⑬ Magnetic order and properties in

heavy fermion $(\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ni}$ single crystal

K. Yano, Y. Tajiri, K. Nishimura, T. Ohta, Y. Isikawa, and K. Sato
J. Phys.: Conf. Series. 200, 012237-1-4 (2010).

- ⑭ Field induced phases in a GMR system TbNiSb
K. Prokes, K. Katsumata, S. Shapiro, and Y. Isikawa
J. Phys.: Conf. Series. 251, 12023 (2010) (Int. Conf. on Neutron Scattering 2009, Knoxville, Tennessee, USA, 5/3-7, 2009).
- ⑮ Simultaneously optimizing the interdependent thermoelectric parameters in $\text{Ce}(\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x)_2\text{Al}_3$
P. Sun, T. Ikeno, T. Mizushima, and Y. Isikawa
Phys. Rev. B 80, 193105-1-4 (2009).
- ⑯ Heavy-electron-like behavior in cubic PrCu_4Au
S. Zhang, T. Mizushima, T. Kuwai and Y. Isikawa
J. Phys.: Condens. Matter 21, 205601-1-6 (2009).
- ⑰ The heat capacity of PrPd_3 in magnetic fields
S. Zhang, T. Kuwai, T. Mizushima and Y. Isikawa
J. Phys.: Conf. Ser. 150, 042074-1-4 (2009).
- ⑱ Transport properties of manganese perovskites $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($0.7 \leq x \leq 0.95$)
T. Mizushima, K. Shimizu, T. Kuwai, T. Atou, and Y. Isikawa
J. Phys.: Conf. Ser. 150, 042130-1-4 (2009).
- ⑲ Onset of magnetic ordering in heavy fermion CeNi and $(\text{Ce}_{0.97}\text{Gd}_{0.03})\text{Ni}$
K Yano, K Nishimura, Y Isikawa, Y Sakurai, M Ito, T Ohta, A Yoshioka and K Sato
J. Phys.: Conf. Ser. 150, 042238-1-4 (2009).

[学会発表] (計 46 件)

2012/3/24-27, 日本物理学会 第 67 回年次大会 関西学院大学 西宮上ヶ原キャンパス

- ① 立方晶 HoSb の磁場誘起秩序
高山弥生, 吉岡大喜, 宇尾竜一, 石川義和, 田山孝
- ② $\text{Ho}_x\text{Y}_{(1-x)}\text{Fe}_2\text{Zn}_{20}$ ($x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) の磁氣的性質
熊谷圭剛、奥山浩明、田山孝、水島俊

雄、桑井智彦、石川義和

- ③ $\text{Sm Fe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料作製とその比熱・磁化測定
奥山浩明, 熊谷圭剛, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和

2011/9/11-15, JCPMAT 2011, Shanghai

- ① Specific Heat in Magnetic Fields and Magnetizations of $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ Single Crystal
Y. Isikawa, S. Miyamoto, K. Kumagai, M. Nakahara, T. Mizushima, T. Tayama, T. Kuwai, and P. Lejay
- ② Physical properties of rare-earth caged compound $\text{HoRu}_2\text{Zn}_{20}$
Mako Nakahara, Toshio Mizushima, Takashi Tayama, Tomohiko Kuwai, and Yosikazu Isikawa

2011/09/21-24 日本物理学会 秋季大会 富山大学

- ① Ce 系重い電子系化合物 $(\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ni}$ の RKKY 相互作用と分子場近似解析
矢野一雄, 西村克彦, 石川義和, 大田剛司, 佐藤清雄
- ② $\text{Yb}_x\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$ スクッテルダイトにおける異常価数転移
山岡人志, Ignace Jarrige, 辻井直人, Jung-Fu Lin, 池野剛, 石川義和, 西村克彦, 東中良司, 佐藤英行, 平岡望, 石井啓文, Ku-Ding Tsuei
- ③ 重い電子系 PrCu_4Au の結晶場準位と磁気秩序
小林拓希, 斉藤耕太郎, 富安啓輔, 岩佐和晃, 張帥, 石川義和
- ④ セリウム系化合物の磁性消失にともなう極低温熱電能異常
舟根真由美, 田中智也, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 桑井智彦
- ⑤ 希土類カゴ状化合物 $\text{HoRu}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料作製と物性
仲原磨子, 田山孝, 桑井智彦, 水島俊雄, 石川義和
- ⑥ カゴ状構造を持つ立方晶 $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ の磁氣的性質
熊谷圭剛, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和
- ⑦ 立方晶 $\text{DyFe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料の作製と磁化と比熱
宮本聡太, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和
- ⑧ PrCu_4Ag の極低温磁化と熱膨張
三浦唯, 高山弥生, 小森正大, 張帥, 石川義和, 田山孝
- 2011/03/25-28 日本物理学会 第66回年次大会 新潟大学
- ① 立方晶 $\text{RFe}_2\text{Zn}_{20}$ ($\text{R}=\text{Y, Dy, Ho}$) の単結晶試料の作製と磁化と比熱

- 宮本聡太, 熊谷圭剛, 田山孝, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
- ② 価数揺動化合物 CeSn_3 の熱電特性の異常
舟根真由美, 竹内道雄, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 桑井智彦
- ③ 反強磁性体 SmIn_3 の低温磁化および熱膨張
高山弥生, 三浦唯, 仲原磨子, 張帥, 石川義和, 田山孝
- ④ Ce 系重い電子系化合物($\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x$)Ni における RKKY 相互作用の急激な減少と Kondo 効果
矢野一雄, 西村克彦, 石川義和, 大田剛司, 佐藤清雄
- ⑤ 立方晶 PrCu_4Ag の磁場中超音波測定
張帥, 石川義和, 赤津光洋, 高橋直紀, 荒木幸治, 根本祐一, 後藤輝孝
- 2011/11/26 日本物理学会 北陸支部 福井大学
- ① カゴ状構造をもつ $\text{DyFe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料の磁化と比熱
宮本聡太, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和
- ② カゴ状構造をもつ立方晶 $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$ の熱的・磁氣的性質
熊谷圭剛, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和
- ③ $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ (T=Ti, V) の極低温熱電能
舟根真由美, 久保田駿介, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
- ④ $\text{SmFe}_2\text{Zn}_{20}$ の単結晶試料作製とその比熱・磁化測定
奥山浩明, 水島俊雄, 田山孝, 桑井智彦, 石川義和
- 2010/09/23-26 日本物理学会 秋季大会 大阪府立大学
- ① 新しい立方晶 PrCu_4Ag の単結晶における低温異常物性
張帥, 田山孝, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和, 赤津光洋, 後藤輝孝
- ② 立方晶 HoSb の単結晶試料による磁場中比熱
宇尾竜一, 田山孝, 張帥, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
- ③ 六方晶 PrCu_4Al の結晶磁気異方性
仲原磨子, 張帥, 田山孝, 桑井智彦, 水島俊雄, 石川義和
- ④ 立方晶化合物 SmCu_4Ag の極低温磁化・熱膨張測定
三浦唯, 高山弥生, 西垣孝幸, 張帥, 石川義和, 田山孝
- ⑤ 反強磁性体 NdCu_4Ag の低温磁化および熱膨張
高山弥生, 三浦唯, 張帥, 石川義和, 田山孝
- ⑥ CeRu_2Si_2 希釈・置換系の極低温熱電能

- 田中智也, 岩城徹, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 桑井智彦
- ⑦ 反強磁性量子臨界点近傍の Ce 系化合物における極低温域の熱電能と比熱の相関
桑井智彦, 岩城徹, 舟根真由美, 竹内道雄, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 福原忠
- ⑧ Ce 系重い電子系化合物($\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x$)Ni における RKKY 相互作用と Kondo 効果
矢野一雄, 西村克彦, 石川義和, 大田剛司, 佐藤清雄
- ⑨ メスバウアー効果による $\text{La}_{0.83}\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$ の鉄原子の格子振動の研究
田村一郎, 池生剛, 水島俊雄, 石川義和
- ⑩ カゴメ型格子ヘビーフェルミオン反強磁性体 CePdAl の単結晶 NMR
小山田明, 西山昌秀, 伊藤哲明, 前川覚, 石川義和, Andreas Donni, 北澤英明
- 2010/03/20-23 日本物理学会 第 65 回年次大会 岡山大学
- ① 重い電子系物質 (Ce-Gd)Ni における RKKY 相互作用の組成依存性
矢野一雄, 西村克彦, 田尻佑太, 石川義和, 大田剛司, 佐藤清雄
- 2010/11/27 日本物理学会 北陸支部 富山大学理学部
- ① 反強磁性体 NdCu_4Ag の低温磁化および熱膨張測定
高山弥生, 三浦唯, 張帥, 石川義和, 田山孝
- ② Ce 系中間原子価物質の極低温熱電異常
舟根真由美, 竹内道雄, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 桑井智彦
- ③ CeRu_2Si_2 希釈・置換系の極低温領域熱電能
田中智也, 水島俊雄, 田山孝, 石川義和, 桑井智彦
- ④ 六方晶 PrCu_4Al の単結晶作製と結晶磁気異方性
仲原磨子, 張帥, 桑井智彦, 田山孝, 水島俊雄, 石川義和
- ⑤ 立方晶 HoSb の単結晶の磁化と比熱
宇尾竜一, 田山孝, 張帥, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
- 2010/12/9-11 中性子科学学会年会 仙台
- ① Pr $4f^2$ 系における電子状態の中性子散乱研究および東北大学理学部分光器 TOPAN の更新計画
岩佐和晃, 小林拓希, 斉藤耕太郎, 富安啓輔, 鬼丸孝博, 松本圭介, 高島俊郎, 張帥, 石川義和
- 2009/9/25-28 日本物理学会 秋季大会 熊本大学黒髪キャンパス
- ① 立方晶 NdCu_4Ag の磁場中比熱
張帥, 水島俊雄, 桑井智彦, 田山孝, 石川義和

② 量子臨界点近傍の Ce 系化合物における
極低温域熱電能と比熱の相関
岩城徹, 岡本絵美, 石川義和, 水島俊雄,
福原忠, 桑井智彦

③ メスバウアー効果による不完全充填ス
クッテルタイトの空孔隣接鉄原子の熱
振動
田村一郎, 池生剛, 水島俊雄, 石川義和

④ $(\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ni}$ ($x=0.50-0.90$)における磁
気秩序と RKKY 相互作用
矢野一雄, 田尻佑太, 西村克彦, 石川義
和, 大田剛司, 佐藤清雄

2009/3/27-30 日本物理学会 第 64 回年次大
会 立教大学

① $(\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ni}$ ($X=0.10-0.20$)における磁
気秩序の発現と磁性
矢野一雄, 西村克彦, 石川義和, 田尻佑
太, 佐藤清雄

2009/11/22 日本物理学会 北陸支部 金沢
大学

① 価数転移を示す $\text{Yb}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{In Cu}_4$ の高圧
下磁化測定

二本松浩文, 光田暁弘, 石川義和, 山
田将貴, O.Kolomiyets, 後藤恒昭, 張
維, 太田寛人, 吉村 一良

② 重い電子系 $\text{YbCu}_{5-x}\text{Ag}_x$ ($0 \leq x \leq 1.0$)の
熱電能測定

山内清典, 光田暁弘, 石川義和, 辻 直
人, 吉村一良

③ 価数不安定な反強磁性体 EuPt_2Si_2 の極
低温比熱及び電気抵抗

家高宣幸, 竹内道雄, 池生剛, 光田暁
弘, 桑井智彦, 石川義和

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

① 名称: 磁気冷却材料およびそれを用いた
極低温生成方法

発明者: 石川義和、田山孝、桑井智彦、水島
俊雄

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-197080 号

出願年月日: 平成 22 年 9 月 2 日

国内外の別: 国内

② 名称: 磁気冷却材料、蓄冷材料及びそれ
を用いた冷凍システム

発明者: 西村克彦、石川義和、季領偉

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2012-56485 号

出願年月日: 平成 24 年 3 月 13 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www3.u-toyama.ac.jp/sphy020a/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 義和 (ISIKAWA YOSIKAZU)

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号: 20143836

(2) 研究分担者

桑井 智彦 (KUWAI TOMOHIKO)

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号: 10251878

水島 俊雄 (MIZUSHIMA TOSHIO)

富山大学・大学院理工学研究部・准教授

研究者番号: 50135000

(3) 研究協力者

本研究を遂行するにあたり以下の方々
に協力頂いた。

張 帥 富山大学大学院理工学教育部 (現
在、広島大学大学院工学研究院 PD)

田村 一郎 富山大学・大学院医学薬学研
究部・助教

田山 孝 富山大学・大学院理工学研究
部・准教授

西村克彦 富山大学・大学院理工学研究
部・教授

後藤 輝孝 新潟大学・大学院自然科学研
究科・教授

根本 祐一 新潟大学・大学院自然科学研
究科・准教授

赤津光洋 新潟大学・大学院自然科学研
究科・助教

鈴木 治彦 金沢大学・大学院理学研究
科・教授

岩佐 和晃 東北大学・大学院理学研究
科・教授

Pascal Lejay, Néel Institut, CNRS,
Université Joseph Fourier,