

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540393

研究課題名(和文) スピングラス系物質における低温磁気比熱の温度依存性

研究課題名(英文) Temperature dependence of the magnetic specific heat on spin-glass system

研究代表者

伊藤 昌和 (Ito, Masakazu)

鹿児島大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：40294524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：スピングラスを持つスピネル及び、ホイスラー化合物について熱力学的測定法により、詳しく調べた。フェリ磁性 FeCr_2S_4 の低温軌道秩序相において、磁場誘起磁気相転移を発見した。スピネル CuCrZrS_4 のスピントラフ温度が圧力増加とともに上昇することを見出した。これは圧力を加える事で四面体構造に由来する磁気的フラストレーション強度が増強されたためと考えられる。比熱とAndreev反射法によりホイスラー化合物 $\text{Ru}_2\text{-xFe}_x\text{CrSi}$ のmajority spin バンドとminority spin バンドのフェルミレベルにおける状態密度のx依存性を求めた。

研究成果の概要(英文)：Spinel and Heusler compounds with spin-glass freezing were investigated by means of thermodynamically. Ferri-magnetism FeCr_2S_4 has an orbital-ordered (OO) phase. The magnetic new phase induced by magnetic field was found out in the OO phase. The enhancement of the spin-freezing temperature by applying pressure was observed. This enhancement might due to the increasing of the strength of the magnetic frustration came from the spinel-crystal structure. For Heusler $\text{Ru}_2\text{-xFe}_x\text{CrSi}$, the concentration x dependence of the density of states for the majority- and minority-spin band at Fermi level was determined using the results of specific heat and Andreev-refraction measurements.

研究分野：数物系科学

キーワード：スピングラス フラストレーション ホイスラー化合物 硫化スピネル 比熱 熱伝導 熱電能

1. 研究開始当初の背景

フラストレート磁性体にみられるスピングラス現象は、理論的、実験的研究が活発になされており、古くて新しい研究分野といえる。スピングラスに起因する物理量の温度依存性についても、これまで詳しく調べられており、たとえば磁化率の温度依存性が、零磁場冷却(ZFC)後と、磁場中で冷却(FC)後に測定したもので違い(irreversibility)が生じる。また、磁気比熱 $C_m(T)$ の特徴としては、長距離秩序を示すような跳びが現れない代わりに、スピングラス転移温度(T_f)付近で、なだらかな山を持つこと、低温は温度の一乗に比例する($C_m(T) \propto T$)ことなどがよく知られている。ところが、物質によっては、磁氣的測定ではスピングラス現象を示すにも関わらず、低温での磁気比熱が温度の二乗に比例($C_m(T) \propto T^2$)する振る舞いが、これまでいくつか報告されている。我々のグループでも、スピングラスを示すホイスラー化合物 $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ ($x = 0.1, 0.3, 0.5$) の $C_m(T)$ が一般的なスピングラス系でみられるような T に比例するのではなく T^2 に比例する温度依存性を示すことを見出した。

2. 研究の目的

スピングラスを持つ系の比熱を中心とする熱力学的物理量に対して研究を行い、スピングラス系に特徴的な温度依存性を検証し、その普遍性を追求したい。また圧力により、系のフラストレーション強度をコントロールしながら、熱力学的物理量測定を行い、フラストレーション強度と低温磁気励起の温度依存性の関係についても明らかにしたい。

3. 研究の方法

(1) 試料作製

研究対象としている試料系は主として、カルコゲナイドスピネルおよびホイスラー化合物である。カルコゲナイドスピネル系については固相反応法により、また合金であるホイスラー化合物についてはアーク溶解法により試料作製を行った。

(2) 基礎物性測定

磁場 5T までの磁化測定は鹿児島大学理工学研究科電気電子専攻の SQUID 磁束計(MPMS)を使用させていただいた。高磁場磁化測定については、東京大学物性研究所及び東北大学金属材料研究所強磁場施設を利用させていただいた。比熱測定は ^4He クライオスタットを用いた断熱ヒートパルス法により、 $1.5 < T < 300$ K の温度範囲で行った。電気抵抗率、熱伝導率、熱電能測定は GM 冷凍機を用い、 $6 < T < 300$ K の温度範囲で行った。圧力下における物性測定は東京大学物性研究所の施設を利用させていただいた。

4. 研究成果

(1) スピネル FeCr_2S_4 の高磁場物性

ネール温度 $T_N \sim 170$ K を持つフェリ磁性体 FeCr_2S_4 は磁場中冷却(FC)と零磁場中冷却(ZFC)における磁化過程において非可逆性が見られることから、リエントラントスピングラスの可能性が指摘されていた物質である。結晶内の Fe^{2+} は S^2 に囲まれた四面体中心にありヤーン・テラー活性イオンとなっている。これに起因し、 FeCr_2S_4 は $T_{00} \sim 9$ K で軌道秩序転移を示す。我々は、 FeCr_2S_4 の強磁場磁化測定を行ったところ、軌道秩序相転移温度以下の等温磁化曲線において、5.5 T 付近に異常が見られることを見出した(図-1(a))。測定結果から作成した磁気相図を図-1(b)に示す。新たな磁場誘起相転移は軌道秩序相においてのみ存在すると思われる。このことから低温相における磁気構造は結晶構造と密接に関わっていると予想される。S の一部を Se に置き換えた試料の比熱測定を行ったところ、軌道秩序相転移を起こさず、オービタルグラスで指摘されている温度依存性を示すことを見出した。また、低温での磁場誘起磁気相転移も消失した。このことから低温相が、軌道秩序と大きくかかわっていることが分かる。

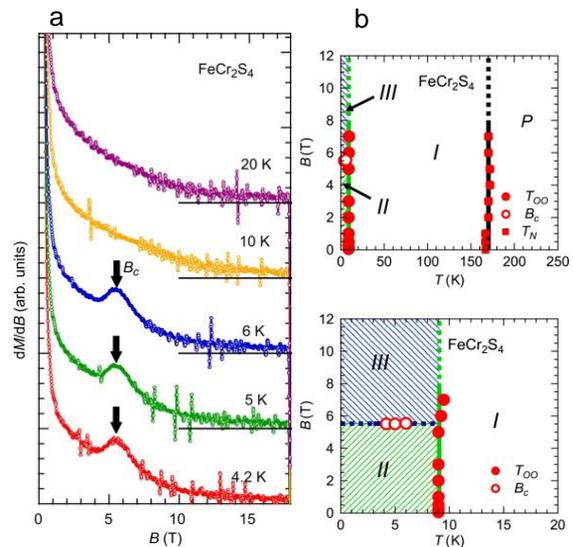


図-1 (a) FeCr_2S_4 の磁化の磁場依存性(磁場微分). (b) FeCr_2S_4 の磁場-温度相図.

(2) セレン化物 FeCr_2Se_4 における磁化, 比熱測定

セレン化物 FeCr_2Se_4 は Cr_3S_4 型結晶構造(空間群 $I2/m$)を持つ、ネール温度 $T_N \sim 200$ K の反強磁性体である。75 K 以下の温度領域で、磁化が温度の減少と共に増加することから、フェリ磁性転移の存在が予想されている。また磁化の FC と ZFC 過程に非可逆性が見られ、スピングラスの存在も指摘されていた物質である。 FeCr_2Se_4 の低温磁気励起を詳細に調べるため、磁化率及び比熱測定を行った。 T_N 以上の逆磁化率から Fe^{2+} と Cr^{3+} がこの物質の

磁性を担っていることを示した(図-2(a) 挿入図). 低温では FC と ZFC 過程に非可逆性が見られ, 7 K 以下でのスピングラスの存在を予想させるものの, 図-3 に示すようにその比熱にスピングラスに特徴的な“なだらかな山”が見られない. 低温部での FC と ZFC 過程に非可逆性は, スピングラスの形成によるものではなく, フェリ磁性に伴うドメイン形成に関係するものと考えられる.

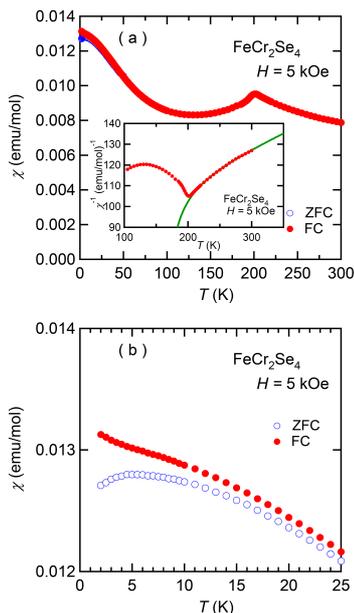


図-2 (a) FeCr_2Se_4 の磁化率の温度依存性, 挿入図は逆磁化率. (b) 磁化率の低温部.

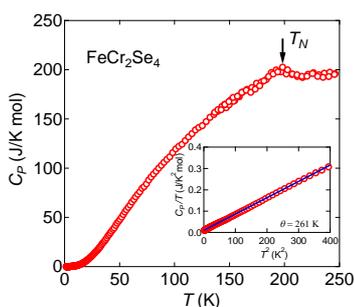


図-3 FeCr_2Se_4 の比熱の温度依存性 $C(T)$. 挿入図は $C(T)/T$ プロット.

(3)ホイスラー化合物 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ ($1.3 < x < 1.8$) の熱測定

我々はこの物質が $x < 0.5$ でスピングラスを示す半導体であることをこれまでに明らかにしている. この物質系の強磁性金属領域 ($1.3 < x < 1.8$) において比熱測定を中心に調べた. 実験から得られた電子比熱係数からフェルミレベルでの状態密度を定量的に求めた. さらに Andreev 反射法によって決定されたスピン分極率を用いて majority spin バンドと minority spin バンドのフェルミレベルにおける状態密度の x 依存性を求めた. これよ

り, majority および minority spin band とも Fe 濃度が増加するにしたがって, フェルミレベルでの状態密度が減少することがわかった(図-4).

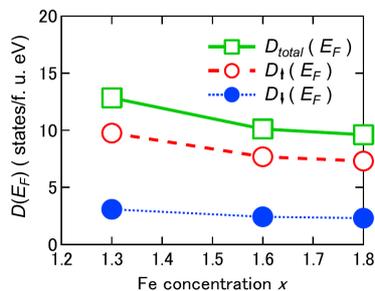


図-4 $\text{Ru}_{2-x}\text{Fe}_x\text{CrSi}$ の majority および minority spin band の x 依存性.

(4)スピネル化合物 CuCrZrS_4 の圧力下における磁気的性質

硫化スピネル CuCr_2S_4 は強磁性伝導体としてよく知られている. 結晶中で Cr は四面体のネットワークを組んでおり, 系の強磁性相互作用は, Cr 間の二重交換相互作用に起因している. Cr の半分を Zr で置き換えた, CuCrZrS_4 では二重交換相互作用が弱まり, 反強磁性相互作用の超交換相互作用が相対的に強くなっていく. このため, 四面体ネットワークの幾何学性に起因する, 磁気的フラストレーションが強くなり, スピングラスが現れる. 我々は, この系の磁気的フラストレーション強度を圧力でコントロールすることを試み, 実験を行った. 図-5 に CuCr_2S_4 のスピングラス凍結温度 T_f の磁場依存性を示す. スピンの z 成分が凍結する de Almeida-Thouless (AT) タイプの凍結であることが分かった. また, 図-6 (a), (b) に示すように圧力を加えると, T_f は増強され, スピングラスが安定化されることを見出した. 一方で, 強磁性の振舞を示す特徴温度 T_c^* は圧力とともに低下する. 圧力を加えることで, 格子間距離が縮まり, 幾何学的フラストレーションが強まったためと考えられる.

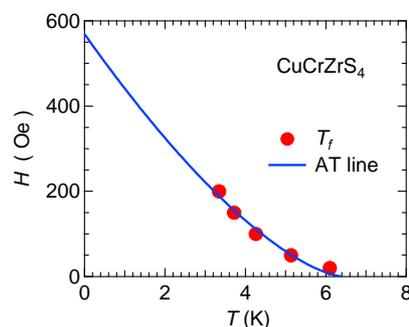


図-5 CuCrZrS_4 のスピングラス凍結温度の磁場依存性.

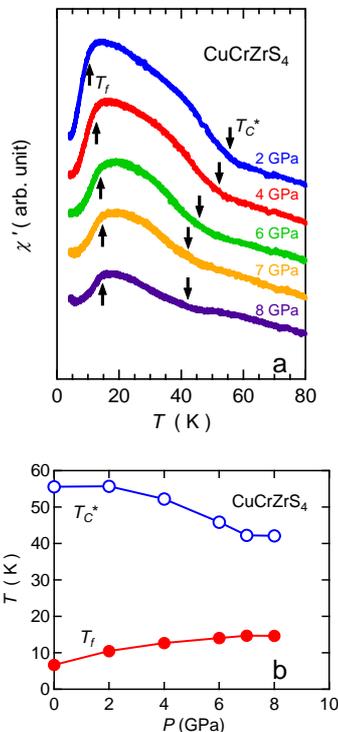


図-6 (a) 各圧力による CuCrZrS₄ の交流磁化率の温度依存性 .(b) スピングラス凍結温度の圧力依存性

(5) スピングラス相を持つスピネル化合物 CuCrTiS₄ の輸送特性

スピネル CuCrTiS₄ は低温 ($T_f \sim 9$ K) でスピングラスを持つことが、指摘されている物質である。スピングラスと熱輸送特性の関係を調べるため、電気伝導率、熱伝導率、ゼーベック係数の測定を行った。熱伝導率、ゼーベック係数測定装置については今回の実験のため、開発したものである。電気抵抗率は、温度の減少とともに増大する、絶縁的な振舞を示す。しかしその温度依存性は熱活性型ではなく、CuCrZrS₄ で報告されたようなバリアブルレンジホッピングで記述できることを見出した。図-7(a)に CuCrTiS₄ の熱伝導率を示す。5 < T < 300K の温度領域でその絶対値は比較的小さく(300K で約 1W/mK)、ウムクラップ散乱によるピークを示す温度より高温側では温度増加とともに単調に増加する振る舞いを確認した。この熱伝導率の高温側の振る舞いは局在フォノンのホッピング伝導でよく再現できることを示した。ゼーベック係数は測定全温度領域において負であることが分かった。その絶対値は温度上昇により、約 30 K でフォノンドラッグによるピークを示したのち、緩やかに増加する(図-7(b))。ゼーベック係数の温度依存性はフォノンドラッグ、3d 電子の熱拡散、バリアブルレンジホッピングの寄与を考慮することで、広い温度範囲 (5 < T < 300 K) で再現できることがわかった。しかしながら、 T_f ではスピングラスに起因すると思われるような異常は確認できなかった。

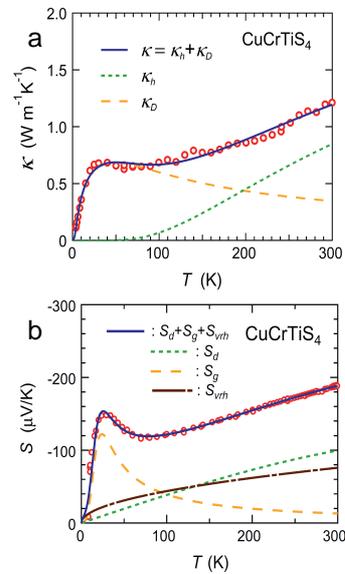


図-7 (a) CuCrTiS₄ の熱伝導率の温度依存性 .(b) CuCrTiS₄ のゼーベック係数の温度依存性 .

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 15 件)

- 1) H. SUWA, S. NISHINOUE, K. KOSEKI, I. SHIGETA, M. ITO, M. HIROI, H. MANAKA, N. TERADA, Study on the Half-Heusler Compounds Co_{1+δ}TiSb with Excess Cobalt. JPS Conf. Proc.3, (2014) 017017. 査読有.
- 2) M. Hiroi, T. Higashiuchi, T. Ogawa, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka, and N. Terada, Substitution Effects in the Antiferromagnetic Heusler Compound Ru₂CrSi, JPS Conf. Proc. 3, (2014) 014024. 査読有.
- 3) M. Ito, T. Yamashita, S. Ebisu, S. Nagata., Thermodynamic and Electrical Properties of CuCrTiS₄. J. Alloys and Comp. 598, (2014) 133-136. 査読有.
- 4) Shigeta, I. Maeda, Y. ; Harumori, K. ; Nishisako, Y. ; Ito, M. ; Yamauchi, T. ; Hiroi, M., Spin Polarization Measurements of Heusler Alloy Ru_{0.2}Fe_{1.8}CrSi by Andreev Reflection Technique. Magnetics, IEEE Transactions 50 (2014) 1401304. 1 - 1401304. 4. 査読有.
- 5) M. Ito, N. Kado, K. Matsubayashi, Y. Uwatoko, N. Terada, S. Ebisu, S. Nagata. Magnetic properties of Spinel CuCrZrS₄ under pressure, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 331 (2013) 98-101. 査読有.
- 6) D. Shimada, H. Orihashi, D. Mitsunaga, M. Ito, M. Hiroi, K. Koyama, R. Onodera, K. Takahashi, K. Matsubayashi, Y. Uwatoko. Magnetic properties of Mn₂Sb_{1-x}Ge_x (0.05 < x < 0.2) in high magnetic fields. Journal of

- the Korean Physical Society 63, (2013) 747-750. 査読有.
- 7) M. Hiroi, K. Uchida, I. Shigeta, M. Ito, K. Koyama, S. Kimura, K. Watanabe Antiferromagnetic Transition in Ru_2CrSi in Magnetic Fields Journal of the Korean Physical Society 62 (2013) 2068-2072. 査読有.
 - 8) M. Ito, T. Hisamatsu, T. Rokkaku, O. Murayama, I. Shigeta, M. Hiroi, Thermodynamic and transport properties of $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ ($1.3 < x < 1.8$). Journal of the Korean Physical Society 62 (2013) 2063-2067. 査読有.
 - 9) M. Ito, T. Furuta, N. Terada, S. Ebisu, S. Nagata, Relaxation of Magnetization in Spinel $CuCrZrS_4$. Physica B 407 (2012) 1272-1274. 査読有.
 - 10) J. Awaka, S. Ebisu, M. Ito, S. Nagata, Antiferromagnetic phase transition in garnet-type $AgCa_2Mn_2V_3O_{12}$ and $NaPb_2Mn_2V_3O_{12}$. Journal of Physics and Chemistry of Solids 73 (2012) 471-477. 査読有.
 - 11) I. Shigeta, S. Urakawa, M. Ito, M. Hiroi, Magnetization and spin polarization of $Co_{2-x}Fe_xMnSi$ Heusler alloys. Journal of Physics: Conference Series 400 (2012) 032082. 査読有.
 - 12) M. Hiroi, I. Yano, K. Sezaki, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka and N. Terada, Substitution effect on the magnetic transitions of Fe_2MnSi . J. Phys.: Conf. Ser. 400 (2012) 032021. 査読有.
 - 13) M. Hiroi, H. Ko, S. Nakashima, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka and N. Terada, Spin-glass and antiferromagnetic transitions in $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$. Journal of Physics: Conference Series 400 (2012) 032020. 査読有.
 - 14) M. Ito, T. Ogawa, S. Urakawa, N. Kado, and N. Terada, Magnetic and Thermodynamic Properties of $FeCr_2Se_4$. Journal of Physics: Conference Series 400 (2012) 032029. 査読有.
 - 15) M. Ito, Y. Nagi, N. Kado, S. Urakawa, T. Ogawa, A. Kondo, K. Koyama, K. Watanabe, K. Kindo, Magnetic properties of spinel $FeCr_2S_4$ in high magnetic field. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323 (2011) 3290-3293. 査読有.
- [学会発表](計 35 件)
- 1) 伊藤昌和, 山下敏広, 近藤晃弘, 金道浩一, スピネル $FeCr_2(S_{1-x}Se_x)_4$ の比熱測定, 日本物理学会「第 70 回年次大会」2015 年 3 月 21 日 早稲田大学
 - 2) 廣井政彦, 西涼太, 田底知也, 佐野紘晃, 重田出, 伊藤昌和, 小山佳一, 近藤晃弘, 金道浩一, ホイスラー化合物 $Fe_2Mn_{1-x}V_xSi$ の高磁場磁化と磁気相図, 日本物理学会「第 70 回年次大会」2015 年 3 月 21 日 早稲田大学
 - 3) 西井上創羅, 佐野紘晃, 重田出, 伊藤昌和, 藤井宗明, 廣井政彦, $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ の磁場中輸送特性, 「第 120 回日本物理学会九州支部例会」2014 年 12 月 6 日 崇城大学
 - 4) 西涼太, 田底知也, 佐野紘晃, 重田出, 伊藤昌和, 小山佳一, 近藤晃弘, 金道浩一, 廣井政彦, $Fe_2Mn_{1-x}V_xSi$ の磁気相図「第 120 回日本物理学会九州支部例会」2014 年 12 月 6 日 崇城大学
 - 5) 桑原脩人, 重田出, 廣井政彦, 寺田教男, 伊藤昌和, ホイスラー化合物 Ni_2MnGa の輸送特性, 「第 120 回日本物理学会九州支部例会」2014 年 12 月 6 日 崇城大学
 - 6) 佐野紘晃, 西井上創羅, 重田出, 伊藤昌和, 小山佳一, 近藤晃弘, 金道浩一, 廣井政彦, $Ru_2Cr_{1-x}Ti_xSi$ と $Ru_2Cr_{1-x}V_xSi$ の物性, 「第 120 回日本物理学会九州支部例会」2014 年 12 月 6 日 崇城大学
 - 7) 重田出, 前田祐樹, 春森浩平, 西迫裕也, 山内徹 A, 伊藤昌和, 廣井政彦, ハーフメタル型ホイスラー合金 $Ru_{0.2}Fe_{0.2}CrSi$ の磁気特性とスピン分極率, 「日本物理学会 2014 年秋季大会」2014 年 9 月 10 日 中部大学
 - 8) 藤本祐太郎, 西迫裕也, 重松理史, 重田出, 梅津理恵, 山内徹, 湯荻邦夫, 伊藤昌和, 廣井政彦, ホイスラー化合物 $Mn_2V_{2-x}Al_x$ の磁気および輸送特性, 「日本物理学会 2014 年秋季大会」2014 年 9 月 7 日 中部大学
 - 9) 桑原脩人, 伊藤昌和, 重田出, 廣井政彦, マルテンサイト変態を起こす Ni-Mn-Ga 合金の熱電特性, 「第 11 回日本熱電学会学術講演会」2014 年 9 月 29 日, 30 日 独立行政法人物質・材料研究機構
 - 10) 伊藤昌和, 戎修二, 永田正一, 硫化スピネル $CuIrRhS_4$ の熱電特性, 「第 11 回日本熱電学会学術講演会」2014 年 9 月 29 日, 30 日 独立行政法人物質・材料研究機構
 - 11) 伊藤昌和, 古田達哉, 甲斐慶太, 山下敏広, 重田出, 廣井政彦, ホイスラー化合物 $Fe_{2-x}Co_xMnSi$ の比熱と磁気構造, 「日本物理学会 第 69 回年次大会」2014 年 3 月 29 日 東海大学
 - 12) 山下敏広, 小川拓郎, 近藤晃弘, 金道浩一, 伊藤昌和, スピネル $FeCr_2(S_{1-x}Se_x)_4$ の磁性, 「第 119 回日本物理学会九州支部例会」2013 年 11 月 30 日 久留米工業大学
 - 13) 諏訪秀和, 西井上創羅, 重田出, 伊藤昌和, 廣井政彦, 半ホイスラー型化合物 $CoTiSb$ の物性, 「第 119 回日本物理学会九州支部例会」2013 年 11 月 30 日 久留米工業大学

- 14) 西迫裕也, 新村徹, 重田出, 伊藤昌和, 山内徹, 寺田教男, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Mn_2V_{2-x}Al_x$ の物性測定. 「第 119 回日本物理学会九州支部例会」2013 年 11 月 30 日 久留米工業大学
- 15) 佐野紘晃, 重田出, 伊藤昌和, 廣井政彦, $Ru_2Cr_{1-x}Ti_xSi$ の物性. 「第 119 回日本物理学会九州支部例会」2013 年 11 月 30 日 久留米工業大学
- 16) 西迫裕也, 新村徹, 重田出, 伊藤昌和, 山内徹, 寺田教男, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Mn_2V_{2-x}Al_x$ の物性測定. 「日本物理学会 2013 年秋季大会」2013 年 9 月 25 日 徳島大学
- 17) 伊藤昌和, 山下敏広. スピネル $FeCr_2S_4$ の磁性と熱電特性. 「第十回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2013)」2013 年 9 月 8 日 名古屋大学
- 18) M. Ito, K. Kai, T. Furuta, T. Yamashita, I. Shigeta, N. Terada, and M. Hiroi Structural and magnetic transition of Heusler compound Fe_2VSi . Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013 年 8 月 7 日 東京大学
- 19) 重田出, 伊藤昌和. サイエンスクラブ: 高温超伝導体を作って測る II - 熱処理の効果 -. 「日本物理学会 第 68 回年次大会」2013 年 3 月 29 日 広島大学
- 20) 廣井政彦, 渡邊功雄, 川崎郁斗, 鈴木栄男, 伊藤昌和, 重田出. ホイスラー化合物 $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ の磁気転. 「日本物理学会 第 68 回年次大会」2013 年 3 月 26 日 広島大学
- 21) 甲斐慶太, 古田達哉, 山下敏広, 伊藤昌和, 重田出, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Fe_2Mn_{1-x}V_xSi$ の磁性と電気抵抗. 「日本物理学会 第 68 回年次大会」2013 年 3 月 26 日 広島大学
- 22) 諏訪秀和, 西井上創羅, 東内智生, 伊藤昌和, 重田出, 廣井政彦. 半ホイスラー化合物 $CoTiSb$ の置換効果. 「第 118 回日本物理学会九州支部例会」2012 年 12 月 8 日 琉球大学
- 23) 西迫裕也, 春森浩平, 重田出, 大久保亮成, 梅津 理恵, 伊藤昌和, 小山佳一, 廣井政彦. ハーフメタル型ホイスラー合金 Co_2MnSi のスピン分極率測定. 「第 118 回日本物理学会九州支部例会」2012 年 12 月 8 日 琉球大学
- 24) 春森浩平, 西迫裕也, 重田出, 伊藤昌和, 廣井政彦. アンドレーエフ反射法による $Ru_{0.2}Fe_{1.8}CrSi$ のスピン分極率測定. 「第 118 回日本物理学会九州支部例会」2012 年 12 月 8 日 琉球大学
- 25) 西井上創羅, 諏訪秀和, 内田かおり, 伊藤昌和, 重田出, 廣井政彦, 小山佳一, 藤井宗明. ホイスラー化合物 Ru_2CrSi の磁場中の性質. 「第 118 回日本物理学会九州支部例会」2012 年 12 月 8 日 琉球大学
- 26) 古田達哉, 甲斐慶太, 山下敏広, 伊藤昌和, 重田出, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Fe_{2-x}Co_xMnSi$ の熱測定. 「第 118 回日本物理学会九州支部例会」2012 年 12 月 8 日 琉球大学
- 27) 重田出, 伊藤昌和. サイエンスクラブ: 高温超伝導体を作って測る. 「日本物理学会 2012 年秋季大会」2012 年 9 月 21 日 横浜国立大学
- 28) 伊藤昌和, 古田達哉, 甲斐慶太, 山下敏広, 重田出, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Fe_{2-x}Co_xMnSi$ の比熱. 「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) 廣井政彦, 内田かおり, 重田出, 伊藤昌和, 小山佳一, 木村尚次郎, 渡辺和雄. ホイスラー化合物 Ru_2CrSi の磁場中の性質. 「日本物理学会 2012 年秋季大会」2012 年 9 月 18 日 横浜国立大学
- 30) 重田出, 浦川慎平, 伊藤昌和, 廣井政彦. ホイスラー合金 $Co_{2-x}Fe_xMnSi$ の磁性とスピン分極率. 「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
- 31) 重田出, 浦川慎平, 伊藤昌和, 廣井政彦. ホイスラー合金 $Co_{2-x}Fe_xMnSi$ の磁性とスピン分極率. 「第 117 回日本物理学会九州支部例会」2011 年 12 月 3 日 佐賀大学
- 32) 内田かおり, 廣井政彦, 伊藤昌和, 重田出, Ru_2CrSi の物性について. 「第 117 回日本物理学会九州支部例会」2011 年 12 月 3 日 佐賀大学
- 33) 島田大輔, 折橋広樹, 満永大輔, 伊藤昌和, 廣井政彦, 松林和幸, 上床美也, 小山佳一 $Mn_2Sb_{1-x}Ge_x$ の磁気特性. 「第 117 回日本物理学会九州支部例会」2011 年 12 月 3 日 佐賀大学
- 34) 伊藤昌和, 小川拓郎, 浦川慎平, 小山佳一, 渡辺和雄, 近藤晃弘, 金道浩一, スピネル $FeCr_2S_4$ の磁化異常. 「日本物理学会 2011 年秋季大会」2011 年 9 月 23 日 富山大学
- 35) 伊藤昌和, 久松徹, 六角継美, 重田出, 真中浩貴, 寺田教男, 廣井政彦. ホイスラー化合物 $Ru_{2-x}Fe_xCrSi$ の低温比熱の温度依存性. 「日本物理学会 2011 年秋季大会」2011 年 9 月 21 日 富山大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤昌和 (Ito Masakazu)
 鹿児島大学・大学院理工学研究科・
 准教授
 研究者番号: 40294524