

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23684029

研究課題名(和文)スピギャップ磁性体におけるランダムネスが誘起するボース粒子の局在化

研究課題名(英文)Magnetic properties of bosonization mechanisms in low-dimensional half-spin system with bond-randomness

研究代表者

真中 浩貴 (MANAKA, Hirotaka)

鹿児島大学・理工学研究科・助教

研究者番号：80359984

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で主に対象にした化合物IPA-CuCl<sub>3</sub>とIPA-CuBr<sub>3</sub>との混晶系IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub>の磁気状態を明かにした。その結果、 $x = 0.95$ ではマグノン励起のブルーシフトが観測できた。 $x = 0.83$ では単純な2副格子の反強磁性体で説明できることが分かった。 $x=0.3, 0.25$ では $\mu$ SR測定からボースグラス状態であることが分かった。比較物質として、半整数スピンの幾何学的スピンフラストレーションと一次元性を両立するスピントューブCsCrF<sub>4</sub>や-KCrF<sub>4</sub>の基底状態を明かにした後、不純物置換によってランダムネスの効果も明かにした。

研究成果の概要(英文)：We study the ground state of IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> for  $0 < x < 1$ . For  $x=0.95$ , we found that bond randomness contributes to a temperature independent broadening and blue-shift of the magnon resonance at temperatures  $T > 12.5$  K. For  $x=0.83$ , we observed some ESR branches for typical antiferromagnetic modes with biaxial anisotropy. We have analyzed the magnetization curve and the ESR excitation modes for  $H//b$  by using a two sub-lattice model and obtained good agreement between experiment and calculation. For  $x=0.3, 0.25$ , we investigated by  $\mu$ SR. The Fourier spectrum of electron spin fluctuation obtained by LF- $\mu$ SR technique shows that there exists soft-mode toward a possible phase transition to an exotic phase such as Bose-glass. Furthermore, we study magnetic properties of triangular spin tubes composed of CsCr<sub>1-x</sub>A<sub>x</sub>F<sub>4</sub> and KCr<sub>1-x</sub>A<sub>x</sub>F<sub>4</sub> (A= Al, Ga, Fe), which consisted of one-dimensional Heisenberg antiferromagnets coexisting with geometrically-frustrated spin systems with bond randomness.

研究分野：低次元磁性体

キーワード：試料作製 中性子散乱 強磁場磁化 電スピン共鳴 複屈折 スピントューブ

1. 研究開始当初の背景

ボース粒子系では絶対零度において自由に動き回れる超流動相が出現するが、粒子間に斥力相互作用を導入することによって自由に動けない相(モット絶縁体相と呼ばれる)も出現する。この2相間では量子相転移が期待できるが、ランダムネスの導入によってボースグラス相と呼ばれる新しい相の出現が20年以上前に予想された。ボース・ハバード模型ではボースグラス相はランダムポテンシャルによってボース凝縮体が局在化し、超流動になれない相と解釈されている。ボース・ハバード模型の研究はフェルミ粒子系のハバード模型に比べるとまだ研究が進んでおらず、現状の理解は不十分であった。

2. 研究の目的

本研究ではスピンギャップ系においてボースグラス相が出現する IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> に注目した。本物質は Cl-rich 相と Br-rich 相ではスピンギャップが存在しながらも交換相互作用にランダムネスがある系であり、中間濃度相ではスピンギャップが消失し、低温で反強磁性長距離秩序を示す。各相の磁気状態を明らかにするため、様々な実験を行いランダムネスの効果について検証する。

比較物質として、半整数スピンの幾何学的スピンフラストレーションと一次元性を両立するスピントラップにも注目する。CsCrF<sub>4</sub> では、スピンギャップは無いスピン液体状態が実現するが、-KCrF<sub>4</sub> では結晶構造の歪みによるダイマー化によって反強磁性長距離秩序を起こすため、興味深い。これらの不純物置換効果についても実験も行い、ランダムネスの効果について考察する。

3. 研究の方法

(1) IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> における Cl-rich 相の磁気状態の研究

比較的、良質で大きな単結晶試料が得やすい Cl-rich 相について、重水素化試料を製作して、中性子散乱実験を行う。スピネコー法を用いて、数 μeV の分解能で測定することによって、交換相互作用のランダムネスが基底状態にどのような影響を及ぼすか明らかにする。

(2) IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> における中間濃度相の磁気状態の研究

強磁場磁化測定や強磁場・高周波を用いた電子スピン共鳴法を用いて、反強磁性秩序状態におけるスピン構造や磁気励起状態を明らかにする。

(3) スピントラップに関する研究

CsCrF<sub>4</sub> や -KCrF<sub>4</sub> の基底状態を様々な実験から明らかにする。さらに Cr イオンを非磁性イオンや他の磁性イオンに一部置きかえることによって、スピントラップだけでなく、交換相互作用のランダムネスを

導入して、基底状態の変化を明らかにする。

4. 研究成果

(1) IPA-Cu(Cl<sub>0.95</sub>Br<sub>0.05</sub>)<sub>3</sub> の磁気状態の研究

図1には IPA-CuCl<sub>3</sub> と IPA-Cu(Cl<sub>0.95</sub>Br<sub>0.05</sub>)<sub>3</sub> を用いた中性子スピネコー法で求めたスピンギャップの温度依存性を示している。図1(a)で示すように、温度依存性の傾向は同じであるが、その値は IPA-Cu(Cl<sub>0.95</sub>Br<sub>0.05</sub>)<sub>3</sub> の方がわずかに大きい。さらに図1(b)に示すように、スピンギャップが形成される温度(約10K)、すなわちスピンがダイマー化して、ボゾンとして振る舞いはじめる温度領域で、スピンギャップの振る舞いに変化が現れた。これはボース凝縮状態に落ちこむ直前にランダムネスの影響によって、ボースグラス状態が出現したことを示唆している。

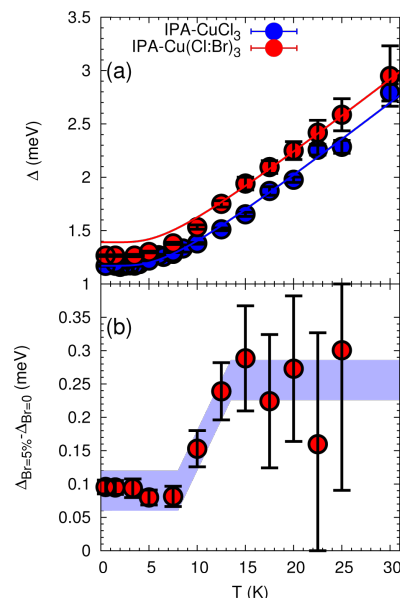


図1 IPA-CuCl<sub>3</sub> と IPA-Cu(Cl<sub>0.95</sub>Br<sub>0.05</sub>)<sub>3</sub> の中性子散乱実験の結果

(2) IPA-Cu(Cl<sub>0.83</sub>Br<sub>0.17</sub>)<sub>3</sub> における磁気状態  
これまで IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> 固溶体は全濃

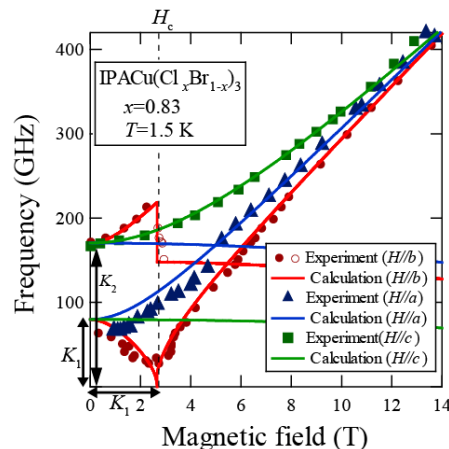


図2 IPA-Cu(Cl<sub>0.83</sub>Br<sub>0.17</sub>)<sub>3</sub> の周波数-磁場ダイアグラム

度領域で同じ結晶構造を保っていると考えた。ところが本研究を進めていくと、中間濃度相では結晶構造が大きく変化していることが分かった。したがって中間濃度相での磁気状態が Cl-rich 相や Br-rich 相と大きく異なることは、特に不思議で無いことが分かった。図 2 には IPA-Cu(Cl<sub>0.83</sub>Br<sub>0.17</sub>)<sub>3</sub> の強磁場・高周波を用いた電子スピン共鳴測定の結果を示す。この結果から、2 軸異方性の反強磁性体が発現している事が分かった。

### (3) スピンチューブに関する研究

三角スピンチューブ CsCrF<sub>4</sub> の磁気状態を明かにするため、中性子散乱実験を行った。その結果、磁気伝搬ベクトルが  $q=(1/2, 0, 1/2)$  という極めて異常な結果が得られた。この原因は、現在まで解明できていないが、図 3 には中性子散乱実験より予想される、部分磁気秩序モデルを示す。この図のように、3 個のスピンの内、2 個が反強磁性秩序を起こし、残る 1 個が常磁性のままである。図 3 の磁気秩序の部分だけを見れば IPA-CuCl<sub>3</sub> と同じ梯子系になるため、CsCrF<sub>4</sub> への不純物置換効果に興味を持たれた。そこで Cr 元素の一部を非磁性元素 Al, Ga で置換した系と、磁性元素 Fe で置換した元素を製作した。特に興味深いのは、Fe 置換系であり、わずかに数%の置換で典型的な反強磁性磁気秩序が出現することが分かった。これはボンドランダムネスの観点から、今後更なる研究が必要と思われる。

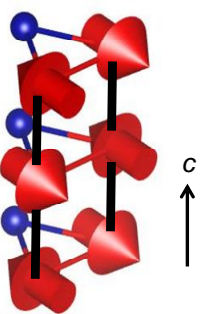


図 3 中性子散乱より提案された CsCrF<sub>4</sub> のスピン構造

## 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 33 件)

(1) H. Suwa, S. Nishiinoue, K. Koseki, I. Shigeta, M. Ito, M. Hiroi, H. Manaka, N. Terada: Study on the Half-Heusler Compounds Co<sub>1+x</sub>TiSb with Excess Cobalt, JPS Conference Proceedings **3** (2014) 017017(1)-(6) (査読有り)

(2) M. Hiroi, T. Higashiuchi, T. Ogawa, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka, and N. Terada: Substitution Effects in the Antiferromagnetic Heusler Compound

Ru<sub>2</sub>CrSi, JPS Conference Proceedings **3** (2014) 014024(1)-(6) (査読有り)

(3) L. Chen, S. Yamashita, M. Hamasaki, H. Manaka, and K. Obara: Formation Processes of Zinc Excimer Thin Films Due to Ion-Recombination Processes, Journal of Applied Mathematics and Physics **2** (2014) 449-456 (査読有り)

(4) L. Chen, M. Hamasaki, H. Manaka, and K. Obara: Charge Transfer Mechanism and Spatial Density Correlation of Electronic States of Excited Zinc (3d<sup>9</sup>) Films, Open Journal of Physical Chemistry **4** (2014) 44-51 (査読有り)

(5) T. Koide, T. Sekine, H. Miyauchi, H. Manaka, D. Asakura, A. Fujimori, K. Kobayashi, Y. Tomioka, T. Kimura, and Y. Tokura: Microscopic origin of ferromagnetism of a double perovskite Sr<sub>2</sub>FeMoO<sub>6</sub>: An x-ray magnetic circular dichroism study, Journal of Physics: Conference Series **502** (2014) 012003(1)-(4) (査読有り)

(6) T. Goto, T. Suzuki, I. Watanabe, H. MANAKA, H. Luetkens, and A. Amato: Ground state of bond-disordered quasi-one-dimensional spin system (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHNH<sub>3</sub>Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> with x = 0, 0.25 and 0.3, JPS Conference Proceedings **2** (2014) 010207(1)-(5) (査読有り)

(7) T. Fujita, M. Hagiwara, and H. Manaka: Antiferromagnetic resonance in the quasi-one-dimensional magnet IPaCu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> (x=0.83), Journal of the Korean Physical Society **62** (2013) 2073-2076 (査読有り)

(8) Y. Miura and H. Manaka: Triangular Spin Tubes with Bond Randomness, Journal of the Korean Physical Society **62** (2013) 2188-2192 (査読有り)

(9) H. Manaka and Y. Miura: Spin Dynamics of Triangular Spin Tubes, Journal of the Korean Physical Society **62** (2013) 2032-2036 (査読有り)

(10) B. Nafradi, T. Keller, H. Manaka, A. Zheludev, and B. Keimer: Bond randomness induced magnon decoherence in a spin-1/2 ladder compound, Physical Review B **87** (2013) 020408(R)(1)-(R)(4) (査読有り)

(11) M. Hiroi, Iori Yano, K. Sezaki, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka, and N. Terada: Substitution effect on the magnetic transitions of Fe<sub>2</sub>MnSi, Journal of Physics: Conference Series **400** (2012) 032021(1)-(4) (査読有り)

(12) M. Hiroi, H. Ko, S. Nakashima, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka, and N. Terada: Spin-glass and antiferromagnetic transitions in Ru<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>CrSi, Journal of Physics: Conference Series **400** (2012) 032020(1)-(4) (査読有り)

(13) Y. Miura and H. Manaka: Studies of

Crystal Structure and Spin State in Diluted Triangular Spin Tube  $KCr_{1-x}Al_xF_4$ , Journal of Physics: Conference Series **400** (2012) 032057(1)-(4) (査読有り)

(14) H. Manaka and Y. Miura: Electron Spin Resonance in Triangular Spin Tubes, Journal of Physics: Conference Series **400** (2012) 032049(1)-(4) (査読有り)

(15) K. Obara, M. Hamasaki, M. Obara, M. Kuwayama, M. Yamaguchi, and H. Manaka: How We Can Produce Sustainable Society from Nanoscience and Nanotechnology for Next Generation -Prospects of Excited Dimers with Long Lifetime-, AIP Conference Proceedings **1415** (2012) 59-62 (査読有り)

(16) Y. Miura and H. Manaka: Non-magnetic impurity effect on equilateral triangle spin tube  $CsCrF_4$ , Journal of Physics: Conference Series **320** (2011) 012044(1)-(6) (査読有り)

(17) H. Manaka and Y. Miura: Exotic ground state in triangle spin tubes, Journal of Physics: Conference Series **320** (2011) 012043(1)-(6) (査読有り)

(18) M. Hamasaki, M. Obara, K. Obara, and H. Manaka: A Quantum Dynamic Approach to the Condensation Process of Zinc Atoms by the Inner-core excitation due to Ionrecombination International, Journal of Technology **2** (2011) 130-138 (査読有り)

(19) H. Manaka, T. Etoh, Y. Honda, N. Iwashita, K. Ogata, N. Terada, T. Hisamatsu, M. Ito, Y. Narumi, A. Kondo, K. Kindo, Y. Miura Effects of Geometrical Spin Frustration on Triangular Spin Tubes Formed in  $CsCrF_4$  and  $-KCrF_4$ , Journal of the Physical Society of Japan **80** (2011) 084714(1)-(11) (査読有り)

(20) M. Obara, M. Hamasaki, K. Obara, H. Manaka: Slowly relaxing structural defects of zinc films with excited states induced by ion recombination processes, Advanced Materials Research **277** (2011) 11-20 (査読有り)

(21) B. Nafradi, T. Keller, H. Manaka, A. Zheludev, and B. Keimer: Low-temperature dynamics of magnons in a spin-1/2 ladder compound, Physical Review Letter **106** (2011) 177202(1)-(4) (査読有り)

[学会発表](計 62件)

(1) 真中浩貴, 赤坂卓英, 野村慎也, 三浦陽子: 歪んだ三角スピントーブ  $KCrF_4$  の不純物効果 日本物理学会 2014 年秋季大会 2014 年 9 月 9 日 中部大学(愛知県・春日井市)

(2) 三浦陽子, 奥村和也, 佐々木幸保, 真中浩貴: 正三角スピントーブ  $CsCrF_4$  の不純物誘起磁気相転移 日本物理学会 2014 年秋季大会 2014 年 9 月 9 日 中部大学(愛知県・春日井市)

(3) 松井一樹, 後藤貴行, 真中浩貴, 三浦陽子: 正三角スピントーブ磁性体  $CsCrF_4$  の磁気秩序状態における  $^{133}Cs/^{19}F$ -NMR 日本物理学会 2014 年秋季大会 2014 年 9 月 7 日 中部大学(愛知県・春日井市)

(4) 真中浩貴, 萩原雅人, 林田翔平, 左右田稔, 益田隆嗣, 三浦陽子: 正三角スピントーブ  $CsCrF_4$  の磁場中比熱測定 日本物理学会 第 69 回年次大会 2014 年 3 月 30 日 東海大学(神奈川県・平塚市)

(5) 三浦陽子, 八木元太, 真中浩貴: 元素置換による正三角スピントーブ  $CsCrF_4$  のフラストレーションへの影響 日本物理学会 第 69 回年次大会 2014 年 3 月 30 日 東海大学(神奈川県・平塚市)

(6) 後藤貴行, 松井一樹, 真中浩貴, 三浦陽子: 三角スピントーブ磁性体  $CsCrF_4$  のスピン秩序状態における  $^{133}Cs/^{19}F$ -NMR 日本物理学会 第 69 回年次大会 2014 年 3 月 27 日 東海大学(神奈川県・平塚市)

(7) T. Goto, T. Suzuki, I. Watanabe, F. Pratt, H. Manaka, T. Sasaki: Application of  $\mu$  SR technique to frustrated spin magnets 第 37 回 日本磁気学会学術講演会 2013 年 9 月 4 日 北海道大学(北海道・札幌市)

(8) T. Goto, T. Suzuki, I. Watanabe, H. Manaka, H. Luetkens and A. Amato: The ground state of disordered quantum spin system  $(CH_3)_2CHNH_3Cu(Cl_xBr_{1-x})_3$  with  $x < 0.45$  International Symposium on Science Explored by Ultra Slow Muon 2013 年 8 月 11 日 松江コンベンションビューロー(島根県・松江市)

(9) T. Masuda, M. Hagihala, and H. Manaka: Partial disorder in frustrated triangular spin tube  $CsCrF_4$  Strongly Correlated Electron Systems SCES2013 2013 年 8 月 6 日 東京大学(東京都・文京区)

(10) T. Masuda, M. Hagihala, and H. Manaka: Partial disorder in frustrated triangular spin tube  $CsCrF_4$  The 12th Asia Pacific Physics Conference 2013 年 7 月 16 日 幕張メッセ(千葉県・幕張市)

(11) 松井一樹, 後藤貴行, 真中浩貴, 三浦陽子: 三角スピントーブ磁性体  $CsCrF_4$  のスピン秩序状態における  $^{133}Cs/^{19}F$ -NMR 日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年 3 月 27 日 広島大学(広島県・東広島市)

(12) 萩原雅人, 益田隆嗣, 真中浩貴: 正三角スピントーブ  $CsCrF_4$  の中性子非弾性散乱 日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年 3 月 27 日 広島大学(広島県・東広島市)

(13) 真中浩貴, 川崎郁斗, 渡邊功雄: 歪んだ三角スピントーブ  $-KCrF_4$  の  $\mu$  SR 測定 日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年 3 月 27 日 広島大学(広島県・東広島市)

(14) 三浦陽子, 赤坂卓英, 野村慎也, 真中浩貴: 希釈三角スピントーブにおける置換元素の違いによる構造と磁性の変化 日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年 3 月

26日 広島大学 (広島県・東広島市)  
(15) 真中 浩貴: 量子スピントラップの最近の発展(実験) 基研研究会 量子スピン系の物理 2012年11月14日 京都大学 (京都府・京都市)  
(16) 萩原 雅人, 益田 隆嗣, 真中 浩貴: 正三角スピントラップ CsCrF<sub>4</sub> の中性子散乱 基研研究会 量子スピン系の物理 2012年11月14日 京都大学 (京都府・京都市)  
(17) 真中 浩貴, 森田 英揮, 新村 晃平, 寺田 教男, 三浦 陽子: 正三角スピントラップ CsCrF<sub>4</sub> の磁性不純物効果 日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月20日 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市)  
(18) 真中 浩貴, 藤田 崇仁, 萩原 政幸: 正三角スピントラップ CsCrF<sub>4</sub> の多周波電子スピン共鳴 日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月20日 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市)  
(19) 三浦 陽子, 真中 浩貴: 磁性不純物を導入した三角スピントラップにおける構造と磁性の変化 日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月18日 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市)  
(20) 藤田 崇仁, 真中 浩貴, 萩原 政幸: 梯子鎖磁性体 IPACu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> の中間相における反強磁性共鳴 II 日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月18日 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市)  
(21) 松井 一樹, 橋本 貴裕, 後藤 貴行, 真中 浩貴, 三浦 陽子: 三角スピントラップ磁性体 KCrF<sub>4</sub> のスピン秩序状態における<sup>19</sup>F-NMR 日本物理学会 2012年秋季大会 2012年9月18日 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市)  
(22) Y. Miura and H. Manaka: Triangular Spin Tubes with Bond Randomness 19th International Conference on Magnetism 2012年7月12日 Busan Exhibition and Convention Center (韓国・釜山)  
(23) H. Manaka and Y. Miura: Spin Dynamics of Triangular Spin Tubes 19th International Conference on Magnetism 2012年7月10日 Busan Exhibition and Convention Center (韓国・釜山)  
(24) T. Fujita, M. Hagiwara, and H. Manaka: Antiferromagnetic resonance in One-dimensional magnet IPACu(Cl<sub>1-x</sub>Br<sub>x</sub>)<sub>3</sub> (x=0.83) 19th International Conference on Magnetism 2012年7月10日 Busan Exhibition and Convention Center (韓国・釜山)  
(25) 真中 浩貴, 西野 秀和, 明日山 裕介, 三浦 陽子: 交流帯磁率法による三角スピントラップの磁気状態の観測 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 (兵庫県・西宮市)  
(26) 萩原 雅人, 益田 隆嗣, 真中 浩貴: 三角スピントラップ CsCrF<sub>4</sub> の中性子散乱 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 (兵庫県・西宮市)  
(27) 三浦 陽子, 末吉 亮太, 森田 英揮,

新村 晃平, 真中 浩貴: 二次元反強磁性体 RbCrF<sub>4</sub> の構造と磁性 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 (兵庫県・西宮市)  
(28) 橋本 貴裕, 真中 浩貴, 三浦 陽子, 後藤 貴行: 三角スピントラップ磁性体 KCrF<sub>4</sub> における<sup>19</sup>F-NMR 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 (兵庫県・西宮市)  
(29) 真中 浩貴, 三浦 陽子: 非磁性不純物の導入による三角スピントラップの磁気状態の変化 日本物理学会 2011年秋季大会 2011年9月22日 富山大学 (富山県・富山市)  
(30) 真中 浩貴, 鈴木 栄男, 渡邊 功雄: 正三角スピントラップ CsCrF<sub>4</sub> の $\mu$ SR測定 日本物理学会 2011年秋季大会 2011年9月22日 富山大学 (富山県・富山市)  
(31) 三浦 陽子, 真中 浩貴: 希釈三角スピントラップ KCr<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>F<sub>4</sub> の結晶構造とスピン状態 日本物理学会 2011年秋季大会 2011年9月21日 富山大学 (富山県・富山市)  
(32) 真中 浩貴, B. Nafaradi, T. Keller, A. Zheludev, B. Keimer: スピンエコー法と3軸分光器を組み合わせた中性子回折実験による IPA-CuCl<sub>3</sub> の超高分解能磁気励起測定 日本物理学会 2011年9月21日 富山大学 (富山県・富山市)  
(33) B. Nafaradi, T. Keller, H. Manaka, A. Zheludev, B. Keimer: Low Temperature Dynamics of Magnons in a Spin-1/2 Ladder Compound 26th International Conference on Low Temperature Physics 2011年8月11日 Beijing International Convention Center (中国・北京)  
(34) H. Manaka, Y. Miura: Electron Spin Resonance in Triangular Spin Tubes 26th International Conference on Low Temperature Physics 2011年8月11日 Beijing International Convention Center (中国・北京)  
(35) Y. Miura and H. Manaka: Studies of Crystal Structure and Spin State in Diluted Triangular Spin Tube KCr<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>F<sub>4</sub> 26th International Conference on Low Temperature Physics 2011年8月11日 Beijing International Convention Center (中国・北京)

〔図書〕(計 0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

真中 浩貴 (MANAKA Hirotaka)  
鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 80359984

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし