

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 22 日現在

機関番号：14301
 研究種目：特定領域研究
 研究期間：2007～2011
 課題番号：19052004
 研究課題名（和文） 量子フラストレーション

研究課題名（英文） Quantum Frustration

研究代表者

陰山 洋 (HIROSHI KAGEYAMA)
 京都大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：40302640

研究成果の概要（和文）：

フラストレート 2 次元系 $(\text{CuX})\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ では、反強磁性強磁性の競合があり、その比に応じて強磁性 Shastry-Sutherland スピン重項状態 $((\text{CuCl})\text{LaNb}_2\text{O}_7)$ や磁化プラトー $((\text{CuBr})\text{Sr}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10})$ などの新奇相や量子相分離現象を明らかにした。フラストレート 1 次元系 LiCuVO_4 では、同様の競合により、ネマティック状態関連の新奇秩序状態の発見、また、フラストレート 3 次元系 $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$ では強磁性金属-強磁性絶縁体転移がパイエルス機構で起こることや $\text{Sr}(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O}_2$ における新奇磁気秩序状態を示した。このように、量子フラストレーションではあまり注目されていなかった強磁性相互作用（と反強磁性相互作用の競合）により、次元によらず多彩な新しい現象が現れることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

We have found various exotic quantum phenomena in 1D, 2D and 3D quantum frustrated systems, derived from competing antiferromagnetic and ferromagnetic interactions. 2D systems $(\text{CuX})\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ show novel phases such as a ferromagnetic Shastry-Sutherland spin singlet state $((\text{CuCl})\text{LaNb}_2\text{O}_7)$ and a quantized magnetization state $((\text{CuBr})\text{Sr}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10})$, and quantum phase separation. 1D system LiCuVO_4 exhibits an unprecedented magnetic state related to nematic state. 3D $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$ exhibits a ferromagnetic metal to ferromagnetic insulator transition that is explained in terms of Peierls mechanism, and a theoretically predicted random fan out state is realized in $\text{Sr}(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O}_2$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	30,400,000	0	30,400,000
20 年度	30,400,000	0	30,400,000
21 年度	30,400,000	0	30,400,000
22 年度	30,400,000	0	30,400,000
23 年度	30,400,000	0	30,400,000
総計	152,000,000	0	152,000,000

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：フラストレーション、量子スピン、低次元、新物質、量子相転移

1. 研究開始当初の背景

低次元量子スピン系は、低次元性と量子揺らぎの効果により、古典スピン系とは全く異なる異常量子物性が現れることが期待される。高温超伝導の新しいメカニズムの提案のなかで、アンダーソンがフラストレート二次元正方格子量子スピン系の RVB 型量子無秩序状態の重要性を説いたことによって認識されはじめ、現在の物性物理研究の中心課題の1つである。研究代表者はフラストレート二次元正方格子（類似）格子をもつ量子スピン系を次々と発見した。特に、厳密な基底状態をもつ Shastry-Sutherland 物質 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ のスピン液体状態と磁化プラトーは、その後の活発な実験、理論研究につながった。またイオン交換反応を用いて設計された新物質群 $(\text{CuX})\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ におけるスピン液体状態、ストライプ磁気秩序の発見は、フラストレーションを制御し、系統的に研究する道を拓いた。一方、益田は LiCu_2O_2 、 $\text{NaV}(\text{WO}_4)_2$ 等一次元版、上田は ZnV_2O_4 、 MgTi_2O_4 等三次元版の理想的モデル物質を数多く開発した。しかしながら、実験的に圧倒的にモデル物質が不足するため、量子フラストレーションの存在下での物性は、断片的な情報についてはわかってきたこともあるが、各次元における特徴や、次元を超えた普遍性などは殆ど未解明のままであった。

2. 研究の目的

本課題では、二次元空間の「量子効果」が「フラストレーション」と相まって増強された特異な揺らぎや量子臨界性がつくり出す新奇物性を“物質開発（高温合成、低温合成）を駆使して”探索することを目指した。当初の主な目的を具体的に挙げると、(1) $(\text{CuX})\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ 物質群や関連格子物質により、複雑低温秩序状態やアンダーソンが予言した RVB 型量子無秩序状態の実現、(2) $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ で予言された磁化プラトー近傍でのトリプレット超流動状態、縮重度無限大の基底状態から期待されるトポロジカル励起子など新しいマグノンダイナミクス現象の探求、(3) 川島が $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ で見いだしたフラストレーションによる量子臨界点近傍の臨界指数の次元性低下の普遍性を追求した。本研究は二次元というマージナルな次元をメインの対象に据えるが、更に(4) 一次元、三次元の量子フラストレート系を相補的に研究し、より広い知見を得て更なる飛躍を目指した。二次元系の特異性や次元によらない普遍性が何かを解明する。

しかし、物質合成が中心のメンバー構成であるので、作られた新物質の性質に合わせて臨機応変に研究を進めることも同時に念頭に置いた。

3. 研究の方法

本研究グループは、代表者の陰山の統括のもと、物質合成評価、基礎物性（陰山、上田、益田）、精密磁気構造物性（加倉井）、理論モデル構築（川島）の3チームが有機的に協力することによって推進した。領域の各班との連携を深め、電荷、軌道、カイラリティ自由度をもつ量子系物質、磁性強誘電性やリクサー機能をもつ量子系物質を合成し、量子性を絡めた新物性の発見を目指した。具体的には下記のように研究を進めた。

二次元フラストレート量子スピン正方格子磁性体関連物質として、 $\text{RbA}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ を出発物質とし、イオン交換法を駆使して得られる一連の $(\text{CuX})\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ （粉末試料）のうち未合成物質を創出した。ICP, SEM-EDS, 電子顕微鏡, X線回折を用いて精密組成、精密構造を決定した。磁化率、磁化曲線などの基礎物性を得た。単結晶の作製と精密構造解析を行なった。これ以外にも低温合成法を利用した物質開発を適宜行なった。

加倉井は、日本原子力研究開発機構や海外中性子施設にて中性子回折、偏極中性子実験を行い、磁気相転移の有無、磁気構造の決定を試みた。既に測定を行った。

益田は、一次元系 LiCu_2O_2 ではつぼまわりを検討して単結晶の大型化、純良化やイオン交換、上田は、三次元系 ZnV_2O_4 、 MgTi_2O_4 では水熱法を用いた単結晶成長を試み、物性を測定し、フラストレーションと次元性との相関を理論モデルとあわせての解明を試みた。

川島は、数値計算によって実験で得た相関をクラスターモンテカルロ法と拡張アンサンブル法を組み合わせた量子モンテカルロ法により理論解釈を試みた。フラストレーションにより負符号問題が生じないようなフラストレート量子系、あるいは、ハミルトニアン非対角行列要素が全て正であるようなフラストレート量子スピンモデルの数値シミュレーションとの比較をおこなった。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は、年度ごとに期す。

【平成19年度】

フラストレート量子スピン系の新奇性質と次元性の関係を調べることを目標に、物質開発を中心に実験を行った。その結果、水素化カルシウムを用いた低温還元反応によって、三次元ペロブスカイト構造 SrFeO_3 を二次元無限層構造 SrFeO_2 に変換することに成功した (Nature2007)。鉄は従来、立体的な配位多面体をとると考えられてきたが、 SrFeO_2 の鉄は平面四配位をもつ。この仕事はこれまでの無機化学、構造化学の常識を覆す発見となった。

他の二次元系では、直交ダイマー系 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ における圧力誘起ネマティック

秩序の発見, μ SR による不純物誘起の一重項ペアの破れの発見, 二次元 $S=1/2$ スピン系 $(\text{CuCl})\text{LaNb}_2\text{O}_7$ における磁場誘起マグノンボーズ凝縮の観測, NMR と電子顕微鏡による超格子構造の観測と正方格子からの低対称化, $(\text{CuBr})\text{Sr}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ における逐次相転移と量子化された $1/3$ 磁化プラトーの発見がある. この系は正方格子を基調とするため $1/3$ プラトーは非自明な現象である. 三次元系では, スピネル型 CdCr_2O_4 における磁場誘起相転移, ZnCr_2O_4 における低温相の対称性の変化を見出した. 一次元系では, $\text{Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$, $\text{Mn}_2\text{V}_2\text{O}_7$, $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$ の開発と単結晶の育成に成功した.

【平成20年度】

ゼロ次元系では, 多孔性物質に酸素分子がダイマーを組んで入る物質の励起状態を初めてみることに成功した (JPSJ 注目論文賞). 一次元系では, 1次元磁性体 $\text{SrNi}_2\text{V}_2\text{O}_8$ が Sakai-Takahashi 相図におけるスピン液体と反強磁性の相境界に位置することを見出した. 低温還元反応によって, スピン梯子酸化物 $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_5$ の合成に成功し, 一次元と二次元を結びつける $S=2$ n 本脚梯子の合成を予言した (日経新聞など).

二次元系では, $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ において $1/8$ 磁化プラトーの磁気構造が, これまでの理論的予想とは異なり, $1/8$ 磁化を超えても保たれることを見出した. また, 構造フラストレーションを内包する A サイト秩序型ペロフスカイト Mn 酸化物 $(\text{NdBaSm})_2\text{Mn}_2\text{O}_6$ において室温巨大磁気抵抗の実現に成功した. 三角格子物質 $(\text{NiGa}_2\text{S}_4)$ のモデルについてモンテカルロシミュレーションを行い, 空間回転対称性の破れを伴う 1 次転移があることを見出した. 次元低下現象を示す $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ などの面間相互作用にフラストレーションのある系のモデル計算を行い, 有限温度転移では離散対称性も同時に破れているにも関わらず, 通常の 3 次元 X Y ユニバーサリティクラスの臨界現象を示すことが分かった. イオン交換を用いて合成される一連の層状ペロフスカイト $(\text{CuBr})\text{A}_2\text{B}_3\text{O}_{10}$ の合成に成功し, $1/3$ 磁化プラトーの発現条件に関する知見を得た.

三次元系では, 3次元フラストレート系クロムスピネル物質 CdCr_2O_4 の全磁化過程の観測に成功し, 相互作用の関係を明らかにした. また, 3次元フラストレート系パイロクロア型フッ化物をあらたに開発した. その他, 構造にジグザグ鎖, 三角格子を内包する酸化物, カルコゲン化物の開発を行った.

【平成21年度】

二次元無限層構造 SrFeO_2 の高圧実験を行ったところ, 四配位金属としては初めてのスピン転移を観測する事に成功した. また, この転移と同時に, 反強磁性から強磁性体に,

また, 絶縁体から金属へと転移することも明らかにした. ミューエスアール, 中性子実験, 磁化測定などによって, $(\text{CuCl})\text{La}(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_7$ 固溶系と $(\text{Cu}(\text{Cl}, \text{Br}))\text{LaNb}_2\text{O}_7$ 固溶系の物性を調べたところ, 後者では, 磁気秩序状態からスピン一重項状態の明解な転移がみえたのに対し, 前者では, 二つの相が共存することを明らかにした. 前者のほうが, 磁性層に与えるランダムネス効果が小さいことから, 相分離は, ランダムネスによるものではなく, フラストレーションにより量子臨界点に系が近づいたときに発現する量子フラストレーションに固有の現象である事が明らかとなった.

【平成22年度】

一次元フラストレート系に関しては, 強磁性反強磁性一次元フラストレート鎖 LiCuVO_4 の強磁場極低温下での中性子回折を行った結果, 純粋な一次元鎖で予想されているバンドネマティック/SDW 状態ではなく, ネマティック状態を色濃く残したままスピンが長距離秩序化した新しい状態が実現しているおり, これが弱い鎖間相互作用に起因することを明らかとした.

二次元フラストレート系に関しては, $(\text{CuCl})\text{LaNb}_2\text{O}_7$ の純良な単結晶の育成に成功した. 粉末および単結晶試料を用いた (放射光) X 線回折, 中性子回折実験によって, 従来, 2次元正方格子フラストレート系 (J_1 - J_2 モデル) と考えられてきた同物質が, 強磁性シャストリーサザーランドモデルに対応することを明らかにした. 非弾性中性子散乱実験によって, 磁気励起もよく説明できることを示した. さらに, 関連物質では初めての $S=1$ 系に対応する $(\text{NiCl})\text{Sr}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ の合成に成功し, 部分無秩序相の存在の可能性を示した.

3次元フラストレート系に関しては, クロムスピネル ACr_2O_4 において, 400 T 域までの精密な磁化測定に世界に先駆けて成功し, 磁化プラトーを含む特異な磁気相図を明らかにした. また, 構造に幾何学的フラストレーションを有する擬ホランダイト物質 ACr_5X_8 の磁性を明らかにするとともにフラストレート効果を観測した.

理論的な主な成果は, テンソルネットワーク法を用いて, 三角格子ハイゼンベルクモデルや J_1 - J_2 モデルの基底状態を明らかにしたこと, また, 鉄系超伝導母物質の磁性についてモデルをたて, その2段階転移の機構を解明したことである.

【平成23年度】

陰山は, 初の4層物質 $(\text{CuCl})\text{Ca}_2\text{NaNb}_4\text{O}_{13}$ の合成と, スピン一重項物質 $(\text{CuCl})\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ の単結晶育成に成功した. また, $1/3$ プラトーを示す $(\text{CuBr})\text{Sr}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ の中性子回折より, ゼロ磁場では $(0, 3/8, 1/2)$, $1/$

3 プラトール相を含む磁場中では(0, 1/3, 0, 4/3)へと伝播ベクトルが変化することを明らかにし、これらは J_1 - J_2 - J_3 モデルで説明可能であることを示した。

上田が中心となって、クロムホランダイト $K_2Cr_8O_{16}$ における強磁性金属-強磁性絶縁体転移がバイエルス機構で起こることを構造解析と電子構造計算により明らかにした。また、絶縁体になっても何故強磁性が維持されるかについても明らかにした。他に、3次元フラストレート系物質 $Cd_2M_2F_6S$ について磁性とフラストレート効果を明らかにした。

益田は、昨年度に発見した強磁性反強磁性一次元フラストレート鎖 $LiCuVO_4$ の新奇相の静的性質を定量的に明らかにすることに成功した。ただ、予定していた中性子散乱実験は震災の影響でできなかったため、新奇相の動的性質については解明に至らなかった。

加倉井も、震災の影響により、 $Cu(Cl, Br)La(Nb, Ta)_2O_7$ 系の実験はアマテラス (J-Parc) でわずかに行なえただけにとどまったが、海外との共同研究実験をすすめることによって、これらの系に統一的な解釈を与えることに成功した。

川島は、面間の相互作用がランダムな磁性体に関して、モンテカルロシミュレーションを行い、陰山らが実験的に見つけた $Sr(Fe, Mn)O_2$ における2種類の波数で秩序がみられる混合相が存在することを確認し、その様相を明らかにした。

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 27 件)

1. Spin Density Wave in Insulating Ferromagnetic Frustrated Chain $LiCuVO_4$ #T. Masuda, (5名, 1番目) J. Phys. Soc. Jpn. 80, 113705/1-4 (2011) (査読有) DOI: 10.1143/JPSJ.80.113705.

2. Magnetic properties of frustrated pyrochlore fluorides $Cd_2M_2F_6S$ (M = Fe, Co, and Ni). H. Ueda, #Y. Ueda, (5名, 5番目) Phys. Rev. B 84, 214411/1-7 (2011) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevB.84.214411.

3. Peierls Mechanism of the Metal-Insulator Transition in Ferromagnetic Hollandite $K_2Cr_8O_{16}$. T. Toriyama, #Y. Ueda, (12名, 7番目), Phys. Rev. Lett. 107, 266402/1-5 (2011) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevLett.107.266402.

4. Random fan-out state induced by site-random interlayer couplings. Ryo Tamura, #Naoki Kawashima, #Hiroshi Kageyama (5名, 2番目:川島, 5番目:陰山), Phys. Rev. B 84, 214408/1-11 (2011) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevB.84.214408.

5. ToF inelastic neutron scattering studies on quantum spin systems $(CuCl)LaB_2O_7$ (B = Nb, Ta). S.

Ohira-Kawanura, #H. Kageyama, #K. Kakurai (10名, 7番目:陰山, 10番目:加倉井), Journal of Physics: Conference Series 320, 012037/1-5 (2011) (査読有) DOI:10.1088/1742-6596/320/1/012037.

6. First Single-Crystal Synthesis and Low Temperature Structural Determination of the Quasi-2D Quantum Spin Compound $(CuCl)LaNb_2O_7$. Olivier J. Hernandez, #Hiroshi Kageyama (10名, 9番目) Dalton Trans. 40, 4065-4613 (2011) (査読有) DOI:10.1039/C0DT01665A.

7. Magnetic properties of the spin-1/2 XXZ model on the Shastry-Sutherland lattice: Effect of long-range interactions #Takahumi Suzuki, #Naoki Kawashima (3名, 3番目) Phys. Rev. B 80, 180405(R) (1-4) (2009) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevB.80.180405.

8. Ferromagnetically Coupled Shastry-Sutherland Quantum Spin Singlets in $(CuCl)LaNb_2O_7$. C. Tassel, #H. Kageyama, (12名, 11番目): Phys. Rev. Lett. 105, 167205/1-4 (2011) (査読無) DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.167205.

9. Two-Dimensional S = 1 Quantum Antiferromagnet $(NiCl)Sr_2Ta_3O_{10}$ Atsushi Kitada, #Hiroshi Kageyama (13名, 13番目): Chem. Mater. 22, 4625-4631 (2010) (査読有) DOI: 10.1021/cm100660v.

10. Structural and Magnetic Properties of the Oxyborate $Co_5Ti(O_2BO_3)_2$. D. C. Freitas, #H. Kageyama, (12名, 8番目): Phys. Rev. B 81, 024432/1-7 (2010) (査読無) DOI: 10.1103/PhysRevB.81.024432.

11. Instability of magnons in two-dimensional antiferromagnets at high magnetic fields #T. Masuda, (9名, 1番目): Phys. Rev. B 81(10), 100402(R)/1-4 (2010) (査読有) DOI: 10.1103/physRevB.81.100402.

12. Universal Magnetic Structure of the Half-Magnetization Phase in Cr-Based Spinel. M. Matsuda, #Y. Ueda (12名, 12番目) Phys. Rev. Lett. 104, 047201/1-4 (2010) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevLett.104.047201.

13. Muon Spin Relaxation Studies of the Frustrated Quasi-Two-Dimensional Square-Lattice Spin System $Cu(Cl, Br)La(Nb, Ta)_2O_7$: Evolution from Spin-Gap to Antiferromagnetic State. Y. J. Uemura, #H.

Kageyama (18名, 18番目): Phys. Rev. B 80, 174408/1-12 (2009) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevB.80.174408.

14. Discovery of Ferromagnetic Half-Metal to Insulator Transition in $K_2Cr_3O_{10}$. K. Hasegawa, *Y. Ueda (9名, 9番目): Phys. Rev. Lett. 103(14), 146403/1-4, (2009) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevLett.103.146403.

15. Spin Transition in a Four-Coordinate Iron Oxide T. Kawakami, Y. Tsujimoto, *H. Kageyama, (18名, 3番目): Nature Chemistry 1(August), 371-376 (2009) (査読有) DOI:10.1038/nchem.289.

16. Direct Mapping of the Finite Temperature Phase Diagram of Strongly Correlated Quantum Models. *Qi Zhou, Naoki Kawashima, (4名, 3番目): Phys. Rev. Lett. 103(8) 085701/1-4 (2009) (査読有) DOI: 10.1103/PhysRevLett.103.085701.

17. Weakly Coupled $s = 1/2$ Quantum Spin Singlets in $Ba_3Cr_2O_8$. M. Kofu, Y. Ueda (8名, 8番目): Phys. Rev. Lett. 102(3), 037206/1-4 (2009) (査読無) DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.037206.

18. Longitudinal Spin Density Wave Order in a Quasi-1D Sing-like Quantum Antiferromagnet S. Kimura, T. Masuda, (13名, 3番目): Phys. Rev. Lett. 101(20), 207201/1-4 (2008) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevLett.101.207201.

19. First-Order Transition to Incommensurate Phase with Broken Lattice Rotation Symmetry in Frustrated Heisenberg Model, R. Tamura and N. Kawashima: J. Phys. Soc. Jpn. 77(10) 103002(1-4) (2008) (査読有) DOI: 10.1143/JPSJ.77.103002.

20. 平面正方 FeO_4 ユニットが導く新しい酸化物—無限層構造から梯子構造まで— *陰山洋, (3名, 1番目), 固体物理 43, 67-76 (2008) (査読無) .

21. Magnetic Excitation in Artificially Designed Oxygen Molecule Magnet *T. Masuda, (4名, 1番目): J. Phys. Soc. Jpn. 77(8), 083703/1-4 (2008) (査読有) DOI: 10.1143/JPSJ.77.083703.

22. NMR Evidence for the Persistence of Spin-Superlattice above the 1/8 Magnetization Plateau in $SrCu_2(BO_3)_2$ *M. Takigawa, H. Kageyama, and Y. Ueda, (6名, 5番目: 陰山, 6番目: 上田) Phys. Rev. Lett. 101(3), 037202-1-4 (2008) (査読有) DOI: 10.1103/PhysRevLett.101.037202.

23. Sharp Peaks in the Momentum Distribution of Bosons in Optical Lattices in the Normal State Y. Kato, N. Kawashima, (4名, 3番目): Nature Physics 4(August), 617-621 (2008) (査読有) DOI:10.1038/nphys983.

24. Pressure-Enhanced Direct Exchange Couplings in Chromium Spinels H. Ueda and Y. Ueda: Phys. Rev. B 77(22), 224411/1-6 (2008) (査読有) DOI:10.1103/PhysRevB.77.224411.

25. Successive Phase Transitions of $LuBaCo_4O_7$ with Kagome and Triangular Lattices *M. Soda, K. Kakurai (5名, 5番目): J. Phys. Soc. Jpn. 76(No. 8) 084701/1-6 (2007) (査読有) DOI:10.1143/JPSJ.76.084701.

26. Infinite-layer iron oxide with a square-planar coordination Y. Tsujimoto, *H. Kageyama, (10名, 5番目): Nature 450(Dec. 13), 1062-1065 (2007) (査読有) DOI:10.1038/nature06382.

27. Magnetic and Structural Studies of the Quasi-Two-Dimensional Spin Gap System $(CuCl)LaNb_2O_7$ M. Yoshida, , H. Kageyama, (9名, 7番目): J. Phys. Soc. Jpn. 76(10), 104703/1-9 (2007) (査読有) DOI:10.1143/JPSJ.76.104703

[学会発表] (計13件)

1. Naoki Kawashima Quantum Monte Carlo and Non-Ginzburg-Landau Type Phase Transition NIU Colloquium (招待講演) 2011.12.27 NIU (台北)

2. 益田隆嗣 Spin nematic correlation in frustrated ferromagnetic chain ICC-IMR Workshop on Novel Material Science by Neutron Scattering - Polarization Analysis & Cross-Correlation Method 2011.11.18 東北大学金属研究所 (宮城県)

3. 陰山洋 酸素の通り道: ペロブスカイトを舞台とした低温反転計算物質科学研究センター第1回シンポジウムへ『京』と大型実験施設の連携に向けて (招待講演) 2011.9.13 東京大学物性研究所 (千葉県)

4. 川島直輝 計算物性物理学のいくつかのトピック 物性研究所計算物質科学研究センター第1回シ

ンポジウム (招待講演) 2011.9.12 東京大学・物性研究所
(千葉県)

5. Yutaka Ueda Hollandites: $K_2M_8O_{16}$ ($M = \text{Ti, V, Cr, Mn}$) – a novel class of oxides with unusual properties
– Tokyo-Cologne Workshop on Strongly Correlated
Transition-Metal Compounds (招待講演) 2011.9.9 ケル
ン (ドイツ)

6. 陰山洋 ソフト化学による酸化物の構造・機能制御日
本セラミックス協会関西支部第6回学術講演会 (招待講
演) 2011.7.29 イーグレ姫路 (兵庫県)

7. Naoki Kawashima Monte Carlo Simulations on Deconfined
Critical Phenomena ICIP Workshop on Synergies between
Field Theory and Exact Computational Methods in Strongly
Correlated Quantum Matter (招待講演) 2011.7.25 トリエス
テ (イタリア)

8. Naoki Kawashima Monte Carlo Simulations on
Deconfined Critical Phenomena Komaba Seminar
(招待講演) 2011.7.22 東京大学駒場キャンパス (東京
都)

9. Naoki Kawashima Mixed State and Novel Transitions
in Quasi-2D Frustrated Magnets MEXT/CIFAR Program
on Frustrated Magnetic and Other Systems (招待講演)
2011.5.31 Coast Plaza Hotel, Vancouver (カナダ)

10. 川島直輝 物性物理学における量子モンテカルロ法
の応用 計算分子科学研究拠点第1回研究会 (招待講演
) 2011年2月5日 岡崎自然科学研究機構分子科学研究所

11. 陰山洋 Square Planar Coordination in Iron Oxide
Explore the Old and Create the New International
Institute for Advanced Studies
Invited 2008年11月12日

12. K. Kakurai, M. Takeda, M. Nakamura, A. Oosawa, M.
Matsuda, S. Wakimoto, Y. Shimojo, E. Lelievre-Berna,
F. Tasset, L.-P. Regnault Polarized neutron
scattering investigation of non-collinear magnetic
ground State "Nagoya International Symposium on
Science of Molecular Assembly and Biomolecular
Systems 2007年11月30日 名古屋大学

13. 陰山洋 受賞記念講演 “新しい低次元量子スピン系
の合成と磁性研究” 日本物理学会秋季大会 2007年9月23
日 北海道大学

[その他]
ホームページ等
http://www.frustration.jp/modules/contents/index.php?content_id=6

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陰山 洋 (HIROSHI KAGEYAMA)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40302640

(2) 研究分担者

上田 寛 (UEDA YUTAKA)
東京大学・物性研究所・教授
研究者番号：20127054

益田 隆嗣 (MASUDA TAKATSUGU)
東京大学・物性研究所・教授
研究者番号：90313014

加倉井 和久 (KAKURAI KAZUHISA)
日本原子力研究開発機構・
量子ビーム応用 研究部門・副部門長・
上級研究主席
研究者番号：00204339

川島 直輝 (UEDA YUTAKA)
東京大学・物性研究所・准教授
研究者番号：30242093