

## 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25年 6月 1日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010年度～2012年度

課題番号：22540372

研究課題名（和文） 電荷フラストレーションを伴うフェルミオン系における量子ゆらぎと伝導現象

研究課題名（英文） Quantum Fluctuations and Transport Phenomena in Fermionic Systems with Charge Frustration

研究代表者

古川 信夫（Furukawa Nobuo）

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：00238669

研究成果の概要（和文）：

幾何学的にフラストレートした格子上的さまざまな伝導電子模型・電荷秩序模型を取り上げ、フラストレーションと電荷自由度・伝導現象・電子状態との関連などについて調べた。その結果、量子臨界点、BKT転移などを経て特異な電荷秩序相・部分無秩序状態が形成されることを見いだした。これらを通じて、スピンの自由度だけでは現れない特異な状態が電荷の自由度を介して現れるという、電荷フラストレーションを伴う電子系における新しい知見を得た。

研究成果の概要（英文）：

We studied various models representing conduction electrons and charge orderings on geometrically frustrated lattices. We investigated interplay between frustrations and charge degrees of freedom, transport phenomena as well as electronic structures. As a result, we found that anomalous charge-ordered states as well as partially disordered states are formed after quantum critical points or BKT transitions. We clarified that these novel states are stabilized only through frustrated charge degrees of freedom.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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、強相関電子系、電荷自由度、量子ゆらぎ、伝導現象

### 1. 研究開始当初の背景

電荷自由度のフラストレーションについての研究は、マグネタイトに関する Anderson の研究 [Phys. Rev. B 102, 1008 (1956)] にさかのぼることができる。半世紀以上前のこの仕事に端を発し、近年では ET 塩に代表される異方的三角格

子系分子性導体における電荷秩序とフラストレーションの存在、およびそれによって引き起こされる負性抵抗、磁気抵抗などの異常伝導現象の発見により、電荷フラストレーションの問題が非常に注目されていた。特に、スピネル・パイロクロア格子上的強相関電子系の実験において、 $\text{LiV}_2\text{O}_4$  の重い電子挙動と圧力誘起金属絶縁体

転移、 $\text{AlV}_2\text{O}_4$  のドーピングによる電荷クラスター秩序融解などのさまざまな電荷自由度の異常が報告されていた。

理論的研究に関しては、主にスピン系のフラストレーションまたは電子系におけるスピン自由度のフラストレーションが研究の対象とされてきた。しかしながら、たとえばおなじパイロクロア格子系を取り上げても、本研究の対象としている電荷フラストレーション系の性質はスピン系でみられるスピンアイス状態だけでは理解することはできない。したがって、電荷フラストレーション系に対しては、独自の理論的アプローチをとることが必要不可欠であった。すなわち、電子系においては、電子の運動による量子効果が重要であり、また実験結果を理解するためには電子系ならではの伝導現象を再現する必要があった。さらに、強相関係においては、電荷とスピンの強い結合の存在がある。そのため、電荷フラストレーションが間接的にスピン自由度を介して示す現象(異常磁気伝導など)も解明すべき対象であった。

申請者グループは、本計画研究開始以前に、以下の関連する研究を行ってきた:

- フラストレートした量子系のモデル計算における特異な状態の発現(ピンボール状態、分数電荷励起、電荷プラトーなど)
- 分子性導体DCNQI塩(擬一次元系)における鎖間のらせん的なフラストレーションによる電荷-格子スパイラル状態の形成
- スピネル系遷移金属酸化物における電荷・スピン・軌道のフラストレーション効果(クロムスピネル、バナジウムスピネル  $\text{ZnV}_2\text{O}_4$ ,  $\text{MgV}_2\text{O}_4$  など)
- $\text{AlV}_2\text{O}_4$  における七量体形成
- パイロクロア系遷移金属酸化物  $\text{R}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$  における強磁性金属-常磁性金属転移と相分離
- 歪んだペロフスカイト型構造をとる  $\text{RMnO}_3$  におけるスピンフラストレーション由来の非共線(non-collinear)秩序形成と巨大電気磁気効果(THz 領域における伝導・誘電特性など)
- フラストレート系に対する対角化法やモンテカルロ法の計算手法の開発

## 2. 研究の目的

本計画研究は、三角、カゴメ、パイロクロアなどの(高次元)幾何学的フラストレート格子上の強相関電子系を取り上げ、さまざまな実験結果の発現機構を解明することを目的とする。また、包括的な研究を通じて、電荷自由度に対するフラストレーション効果の一般的性質をあきらかにする。以下の項目を中心に研究を行った。

(1) 電荷秩序の融解・(量子)臨界現象: 電荷フラストレーション系の量子臨界現象や、多重臨界点近傍の特異な振る舞いについて調べ

た。

● フラストレーションによって電荷整列などの秩序の融解や、order-by-disorder 機構による量子ゆらぎによる再固化などの量子臨界現象。

再固化における部分秩序化(固相-液相共存・次元クロスオーバー)やこれらの多相間の競合・共存に伴う相分離・クラスタ形成や電荷密度揺らぎのソフトモード化などの特異な状態の発現。

フラストレート系特有のトポロジカル電荷励起と、それに由来する新規相転移に関する研究。

● アイス則に代表されるフラストレート系特有の縮退状態(電荷秩序の融解状態)に対する強相関電子系における電荷自由度の効果に関する研究。特に、フェルミ面形成等の電子の運動による量子効果、それによるエントロピー解放と特異な状態の発現に関する研究。

(2) フラストレーション伝導: フラストレートした電荷自由度による直流および光学伝導度(複素誘電応答)、熱伝導などの伝導現象への影響を調べた。また、電荷フラストレーションがスピン自由度を介して示す異常磁気伝導現象も調べた。

● フラストレーションがあるからこそ生じる伝導(絶縁体-異常金属転移): 電子運動の量子効果に由来するマクロな縮退からのエントロピー解放が引き起こす異常外場応答・伝導現象。

● フラストレーションの影響で出現する電気伝導の特異な振る舞い(異常な準粒子生成): フラストレート系における電荷ゆらぎによる伝導電子系の散乱過程に由来する異常伝導現象、およびその揺らぎ外場による制御を通じた伝導現象の制御。フラストレート系における特異な秩序相における異常外場応答。

(3) 電荷・スピン・軌道の自由度の競合と協調による相競合: 特異な電荷・スピン・軌道秩序やクラスター形成などの機構の理論的解明。

## 3. 研究の方法

下記の計算手法を用いた。いくつかの手法は本計画研究において新規に開発されたものである

(1) フラストレートした横磁場イジング系における連続時間量子モンテカルロ法。

(2) 近藤格子モデルに対する変分モンテカルロ法、および有限温度モンテカルロ法

(3) 周期的アンダーソンモデルや電荷・スピン・軌道結合モデルに対する平均場近似

## 4. 研究成果

幾何学的にフラストレートした格子上的伝導電子模型・電荷秩序模型を取り上げ、フラストレ

ーションと電荷自由度・伝導現象・電子状態と秩序化などについて調べた。

(1) 幾何学的にフラストレートした格子上的 Falicov-Kimball 模型を考え、電荷配位のフラストレーションが伝導電子の電子状態や伝導特性に与える影響を明らかにした。四面体伏見カクタス格子上で厳密解が得られることを見出し、バンド絶縁体と電荷アイス絶縁体の間に量子臨界点が存在することや、異常なベキ依存性をもつ量子臨界挙動が現れることを明らかにした。厳密解の得られないパイロクロア格子やチェッカーボード格子、カゴメ格子に対しては、電荷配置に関する平均を数値的に計算する手法により電子状態や光学伝導度を調べ、電荷フラストレーションのもとでは普遍的に電荷アイス絶縁体への転移が生じること、伝導特性は系の次元によることなどを見出した。これらは電荷フラストレート系のもつ普遍性と多様性に関する新規知見を与えている。

(2) フラストレーションのある格子上で、特異な磁性状態と電荷自由度の絡み合いを調べる目的で、三角格子やカゴメ格子上の近藤格子モデルおよび周期的アンダーソンモデルの性質を調べた。いずれの場合にも、磁気秩序と非磁性スピンの共存した部分無秩序状態が発現することを見出した。また、この部分無秩序状態が電荷秩序を伴っていることを明らかにした。特に、イジングスピンをもつ三角格子上の近藤格子模型に対するモンテカルロ計算からは、こうした部分無秩序状態が絶縁体的であり、スレーター機構によって安定化していることを見出した。また、三角格子上の周期的アンダーソンモデルに対する平均場近似計算の結果からは、局在準位の電荷の自由度が部分無秩序状態の安定化に大きな寄与をしていること、フィリングによってタイプの異なる部分無秩序状態が存在すること、キャリアドーピングによって金属的な部分無秩序状態が現れることなどを見出した。これらは、スピンの自由度だけでは現れない特異な磁性が、電荷の自由度を介して現れるという、フラストレートしたスピン・電荷結合系における新しい知見を与えている。

(3) 幾何学的にフラストレートした格子上の横磁場イジングモデルを考え、量子揺らぎによる長距離秩序の不安定化におけるフラストレーションの効果を、連続時間量子モンテカルロ法を用いて詳細に調べた。モデルとしては、水素結合系である四角酸分子性結晶を念頭に置いて、チェッカーボード格子上の横磁場イジングモデルを考えたが、これは電荷秩序の量子融解を調べるモデルのひとつにもなっている。結果として、長距離秩序が融解する際に、アイスルールの短距離相関が強く残った中間的な状態が現れることを示し、四角酸に見られる圧力下での中間相

との関係を論じた。また、縦磁場まで含めたモデルに対して、低温で生じる長距離秩序への不安定性を調べ、従来 quantum order by disorder として議論されていたものと異なる振舞いを得た。これらは、電荷自由度と同等のイジング自由度系に対する量子揺らぎ及び熱揺らぎの効果に関する新しい知見を与えている。

(4) スピン電荷結合系の基本的なモデルのひとつである近藤格子模型をフラストレーションのあるパイロクロア格子上で考え、その磁性と電子状態について主にモンテカルロ法を用いて調べた。その結果、電荷秩序を伴った新しい 32 幅格子秩序相を見出した。また、その電荷秩序パターンが外部磁場によって制御出来ることを示した。これらの研究を通じて、こうしたフラストレート伝導系において、磁性と電子状態の絡み合いによって、特異な電荷秩序や電子状態が発現するメカニズムを明らかにした。

(5) 電荷秩序のフラストレーション系を表すモデルとして、異方的三角格子反強磁性イジング模型を取り上げた。磁性系とは異なり、電荷系の相互作用は比較的長距離に及ぶことから、最近接相互作用だけでなく次近接相互作用を取り込むことが重要である。最近接相互作用だけを持つ模型は古くから調べられており、有限温度ではフラストレーションのために偽一次元化し、キック励起による無秩序相を示す。しかし、我々の研究により、次近接相互作用の導入により系は有限温度においてキック励起そのものが准長距離秩序化することに伴う Berezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT) 転移を示すことがわかった。

(6) フラストレーションに起因する非共線的磁気秩序系に対する特異な電荷応答の一般性について調べた。このような系における電荷応答と磁気応答の干渉効果によって、主に Goldstone 励起モードに対して方向依存した異常光学応答が共鳴的に生じることが示された。

(7) フラストレーションのある、電荷・スピン・軌道結合系として、Ni や V を含む擬 2 次元三角格子系物質を念頭において、電荷・スピン・軌道秩序やクラスター形成の可能性を調べた。Ni 系については、 $e_g$  軌道の自由度を考慮して、反強磁性相と電荷秩序相の競合の様子を明らかにした。V 系については、 $t_{2g}$  軌道の自由度を考慮して、軌道秩序を伴って生じる三量体化のメカニズムを明らかにした。

## 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] (20 件)

- M. Sato, N. Watanabe, and N. Furukawa, “Quasi Long Range Order of Defects in Frustrated Antiferromagnetic Ising Models on Spatially Anisotropic Triangular Lattices”, to be published in *J. Phys. Soc. Jpn.*
- H. Ishizuka and Y. Motome, “Thermally induced phases in an Ising Kondo lattice model on a triangular lattice: Partial disorder and Kosterlitz–Thouless state”, *Physical Review B* **87**, 155156 (2013).
- H. Ishizuka, M. Udagawa, and Y. Motome, “Magnetic Order and Charge Disproportionation in a Spin–Ice Type Kondo Lattice Model: Large Scale Monte Carlo Study”, *Journal of the Physical Society of Japan* **81**, 113706/1–4 (2012).
- R. S. Fishman, N. Furukawa, J. T. Haraldsen, M. Matsuda, and S. Miyahara, “Identifying the spectroscopic modes of multiferroic BiFeO<sub>3</sub>”, *Phys. Rev. B* **86**, 220402(R)/1–5 (2012).
- S. Hayami, M. Udagawa, and Y. Motome, “Partial Disorder and Metal–Insulator Transition in the Periodic Anderson Model on a Triangular Lattice”, *Journal of the Physical Society of Japan* **81**, 103707/1–4 (2012).
- H. Ishizuka and Y. Motome, “Partial Disorder in an Ising–Spin Kondo Lattice Model on a Triangular Lattice”, *Physical Review Letters* **108**, 257205 (2012).
- S. Miyahara and N. Furukawa, “Nonreciprocal Directional Dichroism and Toroidal magnons in Helical Magnets”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (2012) 023712/1–4.
- S. Bordacs, I. Kezsmarki, D. Szaller, L. Demko, N. Kida, H. Murakawa, Y. Onose, R. Shimano, T. Room, U. Nagel, S. Miyahara, N. Furukawa, Y. Tokura, “Chirality of Matter Shows Up via Spin Excitations”, *Nature Physics* **8**, 734–738 (2012)
- H. Ishizuka, Y. Motome, N. Furukawa, and S. Suzuki, “Quantum Monte Carlo study of molecular polarization and antiferroelectric ordering in squaric acid crystals”, *Physical Review B* **84**, 064120/1–6 (2011).
- J. Yoshitake and Y. Motome, “Trimer Formation and Metal–Insulator Transition in Orbital Degenerate Systems on a Triangular Lattice”, *Journal of the Physical Society of Japan* **80**, 07311/1–4 (2011).
- S. Hayami, M. Udagawa, and Y. Motome, “Partial Disorder in the Periodic Anderson Model on a Triangular Lattice”, *Journal of the Physical Society of Japan* **80**, 073704/1–4 (2011).
- H. Uchigaito, M. Udagawa, and Y. Motome, “Mean–field Study of Charge, Spin, and Orbital Orderings in Triangular–lattice Compounds ANiO<sub>2</sub> (A=Na, Li, Ag)”, *Journal of the Physical Society of Japan* **80**, 044705/1–10 (2011).
- H. Ishizuka, M. Udagawa, and Y. Motome, “Metal–insulator transition caused by coupling to localized charge–frustrated systems under ice–rule local constraint”, *Physical Review B* **83**, 125101/1–15 (2011).
- C. Hotta, T. Kiyota, N. Furukawa, “Non–local network–excitation in the Ising antiferromagnet on the anisotropic triangular lattice”, *EPL* **93** (2011) 47001/1–5.
- Y. Motome and N. Furukawa, “Electronic phase separation in the pyrochlore double–exchange model”, *Physical Review B* **82**, 060407(R)/1–4 (2010).
- Y. Motome, K. Nakamikawa, Y. Yamaji, and M. Udagawa, “Partial Kondo Screening in Frustrated Kondo Lattice Systems”, *Physical Review Letters* **105**, 036403/1–4 (2010).
- M. Udagawa, H. Ishizuka, and Y. Motome, “Quantum Melting of Charge Ice and Non–Fermi–Liquid Behavior: An Exact Solution for the Extended Falicov–Kimball Model in the Ice–Rule Limit”, *Physical Review Letters* **104**, 226405/1–4 (2010).
- Y. Takahashi, S. Ishiwata, S. Miyahara, Y. Kaneko, N. Furukawa, Y. Taguchi, R. Shimano, and Y. Tokura, “Electromagnons in the multiferroic state of perovskite manganites with symmetric–exchange striction”, *Phys. Rev. B* **81**, 100413(RC)/1–4 (2010).
- M. Mochizuki, N. Furukawa, N. Nagaosa, “Theory of electromagnon in the multiferroic Mn perovskites: Vital role of higher harmonic components of the spiral spin order”, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 177206/1–4 (2010).
- T. Hasegawa, S. Miyahara and N. Furukawa, “Electromagnon in one–dimensional frustrated

chain”, J. Phys.: Conf. Ser. 200 (2010) 012053/1-3.

[学会発表](計 36 件)

Y. Motome, “Spin-charge interplay on frustrated lattices”, 2013 APS March Meeting 招待講演, バルチモア(アメリカ)2013年3月20日

石塚大晃, 求 幸年, “スピニアイス二重交換模型における自発的反転対称性の破れ”, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学(広島県)2013年3月29日

宇田川将文, 求 幸年, “フラストレート格子上ハバード模型の強相関極限における電荷・磁気相関”, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学(広島県)2013年3月27日

速水 賢, 三澤貴宏, 山地洋平, 求 幸年, “立方格子における3次元ディラック電子を伴う非共面的な多重Q磁気秩序”, 日本物理学会 第68回年次大会, 広島大学(広島県)2013年3月26日

M. Udagawa, H. Ishizuka, and Y. Motome, “Quantum criticality and fractional charge excitations in itinerant ice-rule systems”, 2013 APS March Meeting, バルチモア(アメリカ)2013年3月20日

S. Hayami, T. Misawa, Y. Yamaji, and Y. Motome, “3D Dirac Electrons on a Cubic Lattice with Noncoplanar Multiple-Q Order”, 2013 APS March Meeting, バルチモア(アメリカ)2013年3月19日

Y. Motome, “Frustration in elemental boron”, Japan-France Joint Seminar 2012: Physics and Control of Clustering Solids 招待講演, 淡路夢舞台(兵庫県)2012年11月7日

速水 賢, 三澤貴宏, 求 幸年, “周期的アンダーソンモデルにおける多重Q磁気秩序と電荷秩序”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学(神奈川県)2012年9月21日

石塚大晃, 求 幸年, “三角格子近藤格子模型が示す部分無秩序状態における電荷秩序と電子構造”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学(神奈川県)2012年9月21日

速水 賢, 宇田川将文, 求 幸年, “三角格子周期的アンダーソン模型において磁場やスピン異方性に誘起される部分無秩序状態”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学(神奈川県)2012年9月20日

Y. Motome, “Frustration, competing interactions & partial disorder in Kondo lattice systems”, The International Conference on Highly Frustrated Magnetism (HFM 2012), マクマスター大学(カナダ)2012年6月5日

Y. Motome, “Complex spin-charge orders in Kondo lattice systems”, International Workshop on Itinerant Spin-Orbital Systems: From Magnetic Frustration to Novel Superconductivity, マックスプランク研究所(ドイツ・ドレスデン)2012年5月22日

速水 賢, 宇田川将文, 求 幸年, “三角格子上周期的アンダーソン模型におけるコメンシュレートフィリング近傍の部分無秩序”, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 関西学院大学(兵庫県)2012年3月26日

求 幸年, “相関電子系に現れる高次・複合自由度 —新しい量子状態と伝導現象—”, 領域 8, 領域 3, 領域 7 合同シンポジウム, “新物質が切り拓く次世代の強相関物性科学”, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 関西学院大学(兵庫県)2012年3月25日

赤城 裕, 求 幸年, “三角格子強磁性近藤格子模型における自発的なカゴメネットワーク形成”, 日本物理学会 第67回年次大会, 関西学院大学(兵庫県)2012年3月25日

石塚大晃, 求 幸年, “三角格子上のイジングスピン近藤格子模型における部分無秩序状態”, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 関西学院大学(兵庫県)2012年3月25日

H. Ishizuka, M. Udagawa, and Y. Motome, “Monte Carlo study of a spin-ice type Kondo lattice model on a pyrochlore lattice”, 2012 APS March Meeting, ボストン(アメリカ)2012年2月29日

S. Hayami, M. Udagawa, and Y. Motome, “Partial disorder in the periodic Anderson model on a triangular lattice”, 2012 APS March Meeting, ボストン(アメリカ)2012年2月29日

Y. Motome, “Frustration in Kondo lattice systems”, UK-Japan Meeting 2012 in Tokyo, 東京大学(東京都)2012年1月10日

Y. Motome, “Emergent order and fluctuation in frustrated spin-charge coupled systems - spin chirality, partial disorder, and spin ice”, Novel Quantum States in Condensed Matter 2011 (NQS2011) 招待講演, 京都大学(京都府)2012

年 11 月 10 日

速水 賢, 宇田川将文, 求 幸年, “幾何学的フラストレーションをもつ周期的アンダーソンモデルにおける部分無秩序状態”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学(富山県)2011 年 9 月 22 日

石塚大晃, 宇田川将文, 求 幸年, “パイロクロア格子上イジングスピン近藤格子模型における低温磁気構造とスピン液体”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学(富山県)2011 年 9 月 22 日

Y. Motome, “Theoretical study of spin-charge coupled systems on geometrically frustrated lattices”, Tokyo-Cologne Workshop on Strongly Correlated Transition-Metal Compounds, ケルン大学(ドイツ)2011 年 9 月 9 日

Y. Motome, “Emergent order in spin-charge coupled systems on frustrated lattices”, CIFAR/MEXT Japanese Network Meeting 招待講演, バンクーバー(カナダ)2011 年 5 月 30 日

Y. Motome, “Emergent Order in Spin-Charge Coupled Systems on Frustrated Lattices”, Novel Phenomena in Frustrated Systems 招待講演, サンタフェ(アメリカ)2011 年 5 月 23 日

石塚大晃, 宇田川将文, 求 幸年, “パイロクロア格子上のスピンアイス伝導系に対するモンテカルロ法による研究”, 日本物理学会第 66 会年次大会, 新潟大学(新潟県)2011 年 3 月 27 日

速水 賢, 宇田川将文, 求 幸年, “幾何学的フラストレーションをもつ周期的アンダーソンモデルにおける部分近藤スクリーニング形成”, 日本物理学会第 66 会年次大会, 新潟大学(新潟県)2011 年 3 月 26 日

J. Yoshitake and Y. Motome, “Trimer Formation and Metal-Insulator Transition in Triangular-Lattice Systems  $LiVX_2$  ( $X=O, Se, S$ )”, 2011 APS March Meeting, ダラス(アメリカ)2011 年 3 月 22 日

Y. Motome, K. Nakamikawa, Y. Yamaji, and M. Udagawa, “Partial Kondo screening in geometrically frustrated Kondo lattice systems”, 2011 APS March Meeting, ダラス(アメリカ)2011 年 3 月 21 日

Y. Motome, “Emergent order in frustrated Kondo lattice systems”, International Conference on Frustration in Condensed Matter (ICFCM), 仙台(宮城県)2011 年 1 月 13 日

石塚大晃, 求 幸年, 古川信夫, 鈴木 正, “四角酸結晶における誘電転移: フラストレーションと量子揺らぎの効果”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学(大阪府)2010 年 9 月 24 日

吉竹純基, 求 幸年, “三角格子系  $LiVX_2$  ( $X=O, S, Se$ ) における三量体形成と金属絶縁体転移”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学(大阪府)2010 年 9 月 24 日

石塚大晃, 求 幸年, 古川信夫, 鈴木 正, “フラストレートしたチェッカーボード格子拡張イジング模型における量子揺らぎの効果”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学(大阪府)2010 年 9 月 24 日

石塚大晃, 宇田川将文, 求 幸年, “電荷フラストレート系と結合した伝導電子系における伝導特性と次元性”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学(大阪府)2010 年 9 月 24 日

宇田川将文, 石塚大晃, 求 幸年, “フラストレート伝導電子系の励起状態: 電荷アイス相のモノポール励起と分数電荷”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学(大阪府)2010 年 9 月 23 日

Y. Motome, “Spin-charge-orbital coupled phenomena in Mo pyrochlore oxides: Monte Carlo study of the pyrochlore double-exchange model”, International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2010, ジョンスホプキンス大学(アメリカ)2010 年 8 月 2 日

[その他]

ホームページ等

<http://www.phys.aoyama.ac.jp/~furukawa/>

<http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古川 信夫 (Furukawa Nobuo)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号: 00238669

### (2) 研究分担者

求 幸年 (Motome Yukitoshi)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号: 40323274

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: