

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24340076

研究課題名(和文) フラストレート伝導系における新奇な量子輸送現象とダイナミクス

研究課題名(英文) Quantum transport phenomena and dynamics in frustrated itinerant electron systems

研究代表者

求 幸年 (Motome, Yukitoshi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40323274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円

研究成果の概要(和文)：物性物理学における中心的な研究対象のひとつである、固体中を運動する伝導電子と局在スピンの相互作用する系において、格子構造のフラストレーションが引き起こす新奇な磁性と輸送特性、および動的性質を理論的に調べた。特に、非共線・非共面なスピントクスチャをもつ磁気状態におけるトポロジカルな電子状態の発現と、それによる特異な表面状態やドメイン・渦といった局所的な量子欠陥が関与するダイナミクスを明らかにした。特筆すべき新しいスピン・電荷結合の効果として、自発的なスピントクスチャ形成を介したディラック電子状態の発現や、自発的な空間反転対称性の破れを通じた多極子秩序の形成とスピンホール効果などを発見した。

研究成果の概要(英文)：The systems in which itinerant electrons interact with localized moments have been a central issue in condensed matter physics. We have theoretically investigated novel magnetism, electronic transport, and dynamics in such spin-charge coupled systems, especially, induced by geometrical frustration in the lattice structures. In particular, we have clarified the emergence of topological electronic structures under peculiar magnetic textures with noncollinear and noncoplanar spin superstructures, and the associated novel dynamics due to the surface, interface, and quantum dislocations, such as domain walls and vortices. As the representative outcomes, we have discovered the emergence of Dirac electronic state by spontaneous formation of spin textures and the multipole ordering and spin Hall effect induced by spontaneous breaking of spatial inversion symmetry.

研究分野：強相関電子系理論

キーワード：強相関系 磁性 フラストレーション 量子輸送 トポロジー

1. 研究開始当初の背景

固体中を運動する伝導電子と局在スピンの相互作用は、物性物理学における中心的課題のひとつである。例えば、磁性不純物を含んだ金属が示す電気抵抗極小現象に端を発した近藤効果の問題は、f 電子系を中心とする重い電子系研究として開花し、重い電子の挙動や非フェルミ液体的挙動、非従来型超伝導などの研究が精力的な展開を見せている。また、ペロフスカイトマンガン酸化物系に代表される巨大磁気抵抗効果の研究は、この20年ほどで急速に進展し、スピントロニクスやマルチフェロイクスなど、応用まで視野に入れた広範囲な研究へと波及している。

近年、こうしたスピン電荷相互作用系における新しい視点として、格子構造が有する幾何学的フラストレーションの効果が注目を集めてきた。これまでフラストレーション研究の舞台は主に局在スピン系であり、フラストレート磁性と伝導電子が相互作用する系に対する研究は、物質系が少なかったことや理論的な取り扱いの難しさから、相対的に立ち遅れていた。しかし最近の精力的な研究を通じて、金属的な伝導を示す系においてもフラストレーションが興味深い性質をもたらすことが明らかになりつつある。実験的には、3次元パイロクロア構造を有するパイロクロア酸化物やスピネル酸化物、擬2次元三角格子構造を有するデラフォサイト化合物などにおいて、金属絶縁体転移や異常金属状態、抵抗極小現象や非従来型異常ホール効果といった、これまで未知だった興味深い物性が次々と発見されていた。また理論的にも、近藤問題におけるフラストレーションの効果や、ベリー位相を通じたスピンカイラリティ由来の異常ホール効果など、様々な新しい概念が提案されていた。

このような研究の潮流の中で、研究代表者・分担者らは、本研究に先立つ基盤研究(B)などにおいて、いくつかの理論的な成果を挙げていた。例えば、パイロクロア二重交換モデルにおける強磁性-常磁性転移と異常金属状態、近藤格子系における部分近藤スクリーニング状態、三角格子二重交換モデルにおける新しいスピンスカラーカイラル秩序相、アイスルール拘束条件の下での金属絶縁体転移の性質と新しい量子臨界点などが挙げられる。

これらの研究を通じて、フラストレートスピン電荷相互作用系の本質はフラストレーションのもとで立ち現れる特殊な空間相関にあること、またそうした本質は輸送現象やダイナミクスに顕著に現れるという認識が形成されていた。その上で、急速に発展してきたトポロジカル絶縁体研究や、スピンアイス系における磁気モノポールなどの磁気的欠陥の研究に刺激を受け、フラストレート伝導系研究の新しい展開として、トポロジカルな電子状態の発現や、表面・界面やドメイン・渦などの量子欠陥が絡んだ輸送現象やダイナミクスなどを理論的に解明する機運が

高まっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、伝導電子と局在スピンが相互作用するスピン電荷結合系において、幾何学的フラストレーションが引き起こす新しい磁性、電子状態、量子輸送現象、ダイナミクスを理論的に開拓し、その微視的機構を解明することである。とりわけ、スピンカイラル秩序といった、非共線・非共面なスピントクスチャの自発的な形成や、それに伴うトポロジカルな電子状態と量子輸送現象、表面・界面に現れる特異な電子状態やドメイン・渦などの量子欠陥が絡んだ輸送現象やダイナミクスの理論的解明を目指す。

3. 研究の方法

フラストレーションのあるスピン電荷結合系において発現する新奇な磁性や電子状態、輸送現象やダイナミクスを解明する目的で、局在スピンを古典的に取り扱った近藤格子模型や周期的アンダーソン模型、スピンアイス型の近藤格子模型などいくつかの密接に関連したモデルを同時進行的に取り扱い、実空間モンテカルロ法、クラスター動的平均場法、Langevin ダイナミクスや Landau Lifshitz Gilbert 方程式を用いた大規模シミュレーションなど、数値計算をメインとした複数の理論手法を用いた多角的な研究を展開する。

4. 研究成果

【2012年度】

(1)三角格子上の近藤格子模型における部分無秩序状態について、モンテカルロ計算により詳細な相図を求め、1/3 フィリング近傍で電荷秩序を伴った部分無秩序状態が実現することを見出した。(2)三角格子上の周期的アンダーソン模型に対する平均場近似計算により、ハーフフィリング以外のコメンシュレートなフィリングでも部分無秩序相が実現することを見出した。また、これらにキャリアドーピングを行なうことにより、金属的な部分無秩序状態を見出した。(3)パイロクロア格子上のスピンアイス近藤格子模型に対して、多項式展開法に基づいた大規模なモンテカルロ計算を行ない、新奇なスピン電荷秩序相を見出した。また、この相に外部磁場を印加することによって電荷秩序がスイッチングを起こす現象を見出した。また、これらの研究をすすめる上で重要となる計算機環境の構築と計算プログラムの整備も同時に進めた。研究計画にはなかった成果として以下のものが挙げられる。(4)三角格子上のフェリ磁性状態において、ディラック電子状態が実現していること、さらにそれがハーフメタル状態であることを見出した。(5)カゴメアイスと結合した電子系に対する厳密対角化とモンテカルロ計算を行ない、特定のフィリングにおいて磁気秩序が無いにも関わ

らず電荷ギャップが開き、ホール伝導度が量子化された量子異常ホール状態が実現することを見出した。

【2013年度】

(1) 三角格子上の近藤格子模型におけるスカラーカイラル秩序相について、局在スピンの量子性を線形スピン波近似の範囲で取り込んだ議論を行った。その結果、新しく見出していたカイラル相が量子揺らぎに対して安定であることを明らかにした。(2) 同じスカラーカイラル秩序相に対して、そのトポロジカルな性質に着目し、カイラルエッジ状態にまつわる端状態の再構成に関する微視的な計算を行った。計算に際して、最近提案されたランジュバン法に基づく新しい数値計算手法のコード開発・整備を行った。結果として、系の端付近では磁気的な再構成により強磁性的な相関が発達し、それと同時にカイラルエッジ電流が2倍程度に増幅されることを見出した。(3) パイロクロア格子上のスピンスピン近藤格子模型において、時間反転対称性は破れずに空間反転対称性だけが破れた新しいスピン液体的な状態が発現することを見出した。また、そこではスピンホール効果が自発的に現れることも見出した。(4) 2次元正方格子上の近藤格子模型において電荷秩序相が発現することを、クラスタ動的平均場法と変分モンテカルロ法を相補的に用いることにより明らかにした。(5) カゴメ格子上のイジングスピン近藤格子模型において、上向きスピン状態がループを構成するような特殊なフェリ磁性状態が発現することを見出した。それに伴い、光学伝導度に特徴的な共鳴ピークが現れることを明らかにした。(6) 3次元立方格子上のスピンスピン結合系において、非共面的な多重波数磁気秩序の発現に伴って、3次元ディラック電子状態が現れることを見出した。

【2014年度】

(1) 電荷・スピン結合系において、トポロジカルホール効果などの異常な伝導特性をもたらす可能性がある多重Q秩序の安定化機構として、格子構造や次元に依らない、フェルミ面のトポロジーに基づいた普遍的なメカニズムを明らかにした。(2) カイラルな多重Q秩序がもつ特異な表面状態の効果を調べる目的で、解放端をもつ磁気チャーン絶縁体の大規模数値計算を行った。その結果、表面の再構成により表面カイラル電流が増大する振る舞いを見出した。(3) 三角格子と正方格子を連続的につなぐ格子上の近藤格子模型や周期的アンダーソン模型を調べ、3重Qチャーン絶縁体と2重Q半金属状態の間の相転移が生じることを明らかにした。(4) カゴメ格子上のイジングスピンをもつ近藤格子模型に対して、モンテカルロ計算を用いて、部分無秩序状態やループ液体状態における電子状態を詳細に調べた。その結果、特異な磁気構造を反映した共鳴ピークが、状態密度や光学伝導度に現れることを見出した。(5) ス

ピン軌道相互作用が強い系における電子相関の効果として、トロイダル秩序や磁気四極子といった奇のパリティをもった多極子に着目し、伝導系における自発的な空間・時間反転対称性の破れと、それらに伴う新しい量子伝導特性や電気磁気効果を調べた。その結果、トロイダル秩序に伴って現れる磁気伝導と電気磁気効果の複合現象として、新しい異常ホール効果が現れることを見出した。f電子を含むウラン化合物の1種において、現在実験的な検証が進められている。(6) 前項の研究をさらに発展させ、電子系の秩序が引き起こす自発的な空間反転対称性の効果を網羅的に調べた。対称性の議論と数値計算を相補的に用いることで、電荷・スピン・軌道秩序およびそれらの複合秩序が引き起こす新しい電子状態や電気磁気効果を調べ上げた。

【2015年度】

(1) 電荷・スピン結合系において、自発的な対称性をもたらす電子状態のトポロジーの変化を調べた。具体的には、三角格子上の古典スピン近藤格子模型において、自発的にカゴメ格子状のネットワークを自己形成する相を見出し、この相では電子状態に線形なディラック分散が現れることを明らかにした。さらに電子相関の効果によって、電荷の分数化が現れる可能性を論じた。(2) スピン軌道相互作用が強い系における局所的な格子構造の非対称性による効果を調べた。具体的には、ジグザグ格子上の拡張近藤格子模型において、奇の多極子を伴う反強磁性相の安定性と、非対称なバンド変形や電流磁気効果の詳細を明らかにした。(3) 二重交換模型において、強結合極限からの摂動展開法を開発した。それを用いて、パイロクロア格子状のスピンスピン型二重交換模型に対する有効スピン模型を導出し、その基底状態について、摂動論の有効性を示した。(4) スピネル酸化物 AlV_2O_4 と LiV_2O_4 が示す特異な物性を理解する目的で、第一原理計算と拡張乱雑位相近似を組み合わせた手法を用いて、電荷・スピン・軌道の揺らぎを調べた。その結果、前者ではボンド上の電荷・軌道揺らぎが、後者ではスピン揺らぎが発達する様子を明らかにし、実験結果との対応を論じた。

以上の結果を、積極的に国際会議や学会等で成果発表を行った。とりわけ、イギリスのケンブリッジで行われた Advanced Working Group on Itinerant Frustration 2015 (AWGIF 2015) において基調講演 (overview talk) を行い、本研究課題の成果を広く国際的に発信した。また、2016年8月にはアメリカのアルバカーキで開催される Quantum Criticality and Topology in Itinerant Electron Systems においても、本研究課題の成果を招待講演として発信する予定である。

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 32 件)

1. A. Uehara, H. Shinaoka, and Y. Motome, "Charge-spin-orbital fluctuations in mixed valence spinels: Comparative study of AlV_2O_4 and LiV_2O_4 ", *Phys. Rev. B* **92**, 195150/1-7 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.92.195150>, 査読有り
2. H. Ishizuka and Y. Motome, "Strong coupling theory for electron-mediated interactions in double-exchange models", *Phys. Rev. B* **92**, 024415/1-7 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.92.024415>, 査読有り
3. S. Hayami, H. Kusunose, and Y. Motome, "Spontaneous Multipole Ordering by Local Parity Mixing", *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 064717/1-10 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.84.064717>, 査読有り
4. Y. Akagi and Y. Motome, "Spontaneous formation of kagome network and Dirac half-semimetal on a triangular lattice", *Phys. Rev. B* **91**, 155132/1-10 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.155132>, 査読有り
5. H. Ishizuka and Y. Motome, "Exotic magnetic phases in an Ising-spin Kondo lattice model on a kagome lattice", *Phys. Rev. B* **91**, 085110/1-13 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.085110>, 査読有り
6. S. Hayami and Y. Motome, "Topological semimetal-to-insulator phase transition between noncollinear and noncoplanar multiple- Q states on a square-to-triangular lattice", *Phys. Rev. B* **91**, 075104/1-9 (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.075104>, 査読有り
7. S. Hayami, H. Kusunose, and Y. Motome, "Spontaneous parity breaking in spin-orbital coupled systems", *Phys. Rev. B* **90**, 081115(R)/1-5 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.081115>, 査読有り
8. S. Hayami and Y. Motome, "Multiple- Q instability by $(d-2)$ -dimensional connections of Fermi surfaces", *Phys. Rev. B* **90**, 060402(R)/1-5 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.060402>, 査読有り
9. S. Hayami, H. Kusunose, and Y. Motome, "Toroidal order in metals without local inversion symmetry", *Phys. Rev. B* **90**, 024432/1-12 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.024432>, 査読有り
10. R. Ozawa, M. Udagawa, Y. Akagi, and Y. Motome, "Reconstruction of Chiral Edge States in a Magnetic Chern Insulator", *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**, 073706/1-4 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.83.073706>, 査読有り
11. S. Hayami, T. Misawa, Y. Yamaji, and Y. Motome, "Three-dimensional Dirac electrons on a cubic lattice with noncoplanar multiple- Q order", *Phys. Rev. B* **89**, 085124/1-10 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.89.085124>, 査読有り
12. Y. Akagi, M. Udagawa, and Y. Motome, "Effect of Quantum Spin Fluctuation on Scalar Chiral Ordering in the Kondo Lattice Model on a Triangular Lattice", *J. Phys. Soc. Jpn.* **82**, 123709/1-4 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.123709>, 査読有り
13. H. Ishizuka and Y. Motome, "Spontaneous spatial inversion symmetry breaking and spin Hall effect in a spin-ice double-exchange model", *Phys. Rev. B*, **99**, 100402(R)/1-5 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.99.100402>, 査読有り
14. H. Ishizuka and Y. Motome, "Loop liquid in an Ising-spin Kondo lattice model on a kagome lattice", *Phys. Rev. B* **88**, 081105(R)/1-5 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.88.081105>, 査読有り
15. T. Misawa, J. Yoshitake, and Y. Motome, "Charge Order in a Two-Dimensional Kondo Lattice Model", *Phys. Rev. Lett.* **110**, 246401/1-5 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.246401>, 査読有り
16. H. Ishizuka and Y. Motome, "Thermally induced phases in an Ising Kondo lattice model on a triangular lattice: Partial disorder and Kosterlitz-Thouless state", *Phys. Rev. B* **87**, 155156/1-11 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.87.155156>, 査読有り
17. H. Ishizuka and Y. Motome, "Quantum anomalous Hall effect in kagome ice", *Phys. Rev. B* **87**, 081105(R)/1-5 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.87.081105>, 査読有り
18. H. Ishizuka and Y. Motome, "Partial

- Disorder in an Ising-Spin Kondo Lattice Model on a Triangular Lattice”, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 257205/1-5 (2012), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.257205>, 査読有り
19. S. Hayami, M. Udagawa, and Y. Motome, “Partial Disorder and Metal-Insulator Transition in the Periodic Anderson Model on a Triangular Lattice”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 103707/1-4 (2012), DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JPSJ.81.103707>, 査読有り
 20. 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”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 113706/1-4 (2012), DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JPSJ.81.113706>, 査読有り
 21. H. Ishizuka and Y. Motome, “Dirac Half-Metal in a Triangular Ferrimagnet”, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 237207/1-5 (2012), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.237207>, 査読有り
- [学会発表](計 80 件)
1. Y. Motome, “Exotic orders in Kondo lattice models: from classical to quantum”, *Quantum Criticality and Topology in Itinerant Electron Systems*, 2016年08月15日-2016年08月19日, アルバカーキ(アメリカ)
 2. Y. Motome, “Emergent spin texture and band topology in frustrated itinerant magnets”, *Advanced Working Group on Itinerant Frustration 2015 (AWGIF 2015)*, 2015年07月20日-2015年07月22日, ケンブリッジ(イギリス)
 3. 求幸年, “数値実験で観る磁性体の新しい量子物性”, *東京大学物性研究所短期研究会「量子物質研究の最前線」*, 2015年12月08日-2015年12月09日, 東京大学物性研究所(千葉県・柏市)
 4. M. Udagawa, “Novel routes for monopole freezing in spin ice”, *YITP Long-term Workshop: Novel Quantum States in Condensed Matter 2014*, 2014年11月04日-2014年12月05日, 京都大学基礎物理学研究所(京都府・京都市)
 5. M. Udagawa, “Domain wall creation by electric current in All-in/All-out magnets”, *ISSP International Workshop on New Horizon of Strongly Correlated Physics*, 2014年06月16日-2014年07月04日, 東京大学物性研究所(千葉県・柏市)
 6. M. Udagawa, “Transport theory of pyrochlore conductors”, *OIST International Workshop on Novel Quantum Materials and Phases (NQMP 2014)*, 2014年05月14日-2014年05月17日, 沖縄科学技術大学院大学(沖縄県・恩納村)
 7. 求幸年, “スピン液体とトポロジ: 局所拘束条件と局所保存量の観点から”, *基礎物理学研究所研究会「量子多体系研究の新しい潮流 - テンソル ネットワーク・繰り込み群・エンタングルメント - 」*, 2014年12月15日-2014年12月17日, 京都大学基礎物理学研究所(京都府・京都市)
 8. 求幸年, “スピン軌道相互作用に起因した特異な磁性と伝導現象 - トロイダル金属が示す新しい量子伝導 - ”, *物性ワークショップ「強くスピン軌道相互作用した強相関電子系における 新奇量子相と量子現象」*, 2014年11月21日-2014年11月22日, 九州工業大学(福岡県・北九州市)
 9. 宇田川将文, “パイロクロア伝導系のトポロジカル欠陥”, *物性ワークショップ「強くスピン軌道相互作用した強相関電子系における 新奇量子相と量子現象」*, 2014年11月21日-2014年11月22日, 九州工業大学(福岡県・北九州市)
 10. 求幸年, “All-in/all-out 絶縁体の磁壁における磁性と電子状態”, *CMRC ミニ研究会「5d 遷移金属化合物における金属 - 絶縁体転移」*, 2014年06月11日-2014年06月11日, 高エネルギー加速器研究機構(茨城県・つくば市)
 11. M. Udagawa, “Transport theory of itinerant spin ice”, *International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2014*, 2014年07月07日-2014年07月11日, ケンブリッジ(イギリス)
 12. M. Udagawa, “Transport theory of pyrochlore conductors”, *The OIST International Workshop on Novel Quantum Materials and Phases*, 2014年05月14日-2014年06月17日, 沖縄科学技術大学院大学(沖縄県・恩納村)
 13. M. Udagawa, “Itinerant Spin Ice”, *2014 APS March Meeting*, 2014年03月03日-2014年03月07日, デンバー(アメリカ)
 14. Y. Motome, “Numerical study of frustration and topology in spin-charge coupled systems”, *Recent Developments in Computer Simulational Studies in Condensed Matter Physics*, 2014年02月24日-2014年02月28日, アセズ(アメリカ)
 15. Y. Motome, “Large scale simulation toward new electronics and

- spintronics”, Frontiers in Nano-Scale Physics, UTokyo Forum, 2013年11月07日-2013年11月08日, サンチャゴ(チリ)
16. M. Udagawa, “Topological defects in pyrochlore conductors”, International Workshop for Young Researchers on Topological Quantum Phenomena in Condensed Matter with Broken Symmetries 2013, 2013年10月22日-2013年10月26日, カルチャーリゾートフェストーネ(沖縄県・宜野湾市)
17. M. Udagawa, “Transport theory of spin-ice conduction systems”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2013), 2013年08月05日-2013年08月09日, 東京大学本郷キャンパス(東京都・文京区)
18. Y. Motome, “Quantum anomalous Hall insulator in kagome ice”, Disorder, Dynamics, Frustration and Topology in Quantum Condensed Matter, 2013年06月17日-2013年06月28日, アスペン(アメリカ)
19. 求幸年, “拡張多極子クラスターによる新しい量子伝導現象”, 物性研究所 短期研究会「強相関電子系における局所対称性の破れと量子物性」, 2013年11月27日-2013年11月29日, 東京大学物性研究所(千葉県・柏市)
20. 求幸年, “スピンアイス伝導系が示す特異な量子伝導”, 物性研究所 計算物質科学研究センター(CCMS) 第3回シンポジウム「スピン・軌道相互作用の物理における実験・理論・計算」, 2013年11月19日-2013年11月20日, 東京大学物性研究所(千葉県・柏市)
21. 求幸年, “スピンアイス伝導系の異常量子伝導”, “第1回パイロクロアワークショップ「高対称格子上の変幻自在電子」”, 2013年07月05日-2013年07月07日, 北海道大学(北海道・札幌市)
22. Y. Motome, “Spin-charge interplay on frustrated lattices”, 2013 APS March meeting, 2013/3/20, バルチモア(アメリカ)
23. Y. Motome, “Frustration in elemental boron”, Japan-France Joint Seminar 2012, 2012/11/7, 淡路夢舞台(兵庫県淡路市)
24. Y. Motome, “Complex spin-charge orders in Kondo lattice systems”, International Workshop on Itinerant Spin-Orbital Systems, 2012/5/24, マックスプランク研究所(ドイツ)
25. M. Udagawa, “Transport theory of conduction electrons coupled with spin ice”, Swiss-Japan Workshop 2012: Current Topics in Theory of Correlated

- Materials, 2012/9/1, 理化学研究所(埼玉県・和光市)
26. M. Udagawa, “Non-Kondo resistivity minimum in spin ice conduction systems”, International Workshop on Itinerant Spin-Orbital Systems, 2012/5/22, マックスプランク研究所(ドイツ)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ
<http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp>
<http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp/topic.html>
<http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp/publication.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

求 幸年 (MOTOME YUKITOSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 40323274

(2) 研究分担者

宇田川 将文 (UDAGAWA MASAFUMI)
学習院大学・理学部・准教授
研究者番号: 80431790

(3) 連携研究者

()

研究者番号: