

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2022

課題番号：16K05464

研究課題名(和文) 電荷または軌道自由度による擬近藤効果と遍歴描像への接続

研究課題名(英文) Kondo-like effects by charge or orbital degrees of freedom, and connection to the itinerant picture

研究代表者

倉本 義夫 (Kuramoto, Yoshio)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・協力研究員

研究者番号：70111250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：近藤効果と類似した挙動を示す系を対象に、理論研究および実験家との共同研究を行った。まずスピンと軌道の自由度を持つ単純な格子モデルについて、近藤効果による遍歴・局在複合体秩序の理論をまとめた。次に軌道縮退系としてPr化合物を取り、バンド計算に基づいて混成相互作用を評価し、軌道近藤効果の実現可能性が電子構造に大きく依存することを示した。さらに重イオン同士の衝突現象において、クォークの色自由度による擬近藤効果の発生を論じた。一方、実験家と協力して、LiV<sub>2</sub>O<sub>4</sub>で重い電子が生成される機構、鉄系超伝導体の磁気励起がドーピングに強く依存する理由、また鉄系超伝導体中の水素ダイナミクスについて論じた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近藤効果に類似の現象は、従来から金属中μ粒子の拡散やX線による内殻励起の閾値付近などで観測されている。本研究の学術的意義は、スピン以外の自由度として軌道縮退、占有・非占有の揺らぎ(価数揺動)、さらにクォークの色自由度を取り、擬近藤効果の多様な側面と各現象に共通する本質を明らかにしたことにある。近藤効果に駆動されて秩序が発生することは、意外で多様な側面の適例である。第1原理バンド理論に基づいて局在・遍歴という対立した描像が連続的に接続されることを示したことも意義ある成果である。一方、実験家と協力して新奇現象の由来を明らかにした成果も特筆したい。

研究成果の概要(英文)：We have conducted theoretical studies and collaborations with experimentalists on systems that exhibit behavior similar to the Kondo effect. First, for a simple lattice model with spin and orbital degrees of freedom, we summarized the theory of the itinerant-localized composite ordering due to the Kondo effect. Next, Pr compounds are taken as orbital degenerate systems. Based on band calculations, we evaluate the hybridization interaction and show that the feasibility of the orbital Kondo effect strongly depends on the electronic structure. We also discussed the occurrence of the pseudo-Kondo effect in heavy-ion collisions due to the quark color degrees of freedom. On the other hand, in cooperation with experimentalists, we discussed such topics as the generation mechanism of heavy electrons in LiV<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, the reason why the magnetic excitations in iron-based superconductors strongly depend on doping, and hydrogen dynamics in iron-based superconductors.

研究分野：物性理論

キーワード：軌道近藤効果 軌道縮退 クォークの色自由度 カラー近藤効果 鉄系超伝導体 ミューオンスピン緩和 中性子散乱 水素イオン動力学

## 1. 研究開始当初の背景

典型的な近藤効果は金属中の局在スピンの伝導電子と交換相互作用をすることによって生ずる。一方、スピン自由度以外が原因となって、近藤効果に類似する現象が起きている可能性がある。その代表例は、 $\text{SmOs}_4\text{Sb}_{12}$ のように外部磁場にほとんど影響されない重い電子が出現する系、また $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ のように結晶場の下で軌道縮退したf電子が電気抵抗の対数的温度依存性を担う系である。

### \* 電荷自由度と混成相互作用による擬近藤効果

Sm系には価数揺動が存在するので、重い電子の生成と電荷揺らぎの関係を探るのは自然である。f電子とc(伝導)電子とのクーロン相互作用 $U_{fc}$ は (i) 励起子的な相関をもたらし、実効的な混成を大きくするが、一方では (ii) 局在ポテンシャル変化による多電子波動関数の直交性は実効的な混成を小さくする作用がある。我々はすでにスピンのないモデルにより、(i)と(ii)の競合効果の研究に着手していた。

### \* 軌道近藤効果

3荷の $\text{Pr}^{3+}$ はf電子2個の配置を持ち、非クラマース系と呼ばれている。立方対称性の下では、2重項結晶場基底状態の軌道揺らぎを伝導電子の軌道・スピンの4個の自由度が過剰遮蔽する結果、非フェルミ液体が生ずる可能性がある。これは2チャンネル近藤効果と呼ばれ、実効的な軌道交換相互作用が反強弱であることが前提となる。実験的には軌道近藤効果の観測は未確定で、例えば、 $\text{PrAg}_2\text{I}$ ,  $\text{PrMg}_3$ ,  $\text{PrPb}_3$  などでは電気抵抗の温度依存性に対数的挙動は見られない。一方 $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$  (T=Ti, V) では対数的温度依存性が観測されている。T=Ti での著しい圧力効果は、軌道自由度が関与している可能性を示唆する。一群のfc間相互作用は、f電子とc電子の軌道角運動量を揃える傾向(フント第2則)がある。これに対応する負符号の軌道交換相互作用は、軌道近藤効果を抑圧する。一方、混成による実効的な軌道交換相互作用は反強弱である。軌道近藤効果が生ずるには後者が支配的になる必要がある。しかし、実際の系での系統的な知見は存在しなかった。

### \* 2チャンネル近藤格子と遍歴・局在複合体秩序

我々の過去の研究で、2チャンネル近藤格子系での非フェルミ液体ではエントロピーを解消するために超伝導状態を含む新奇な(遍歴・局在複合体)秩序が生ずる可能性をすでに示していた。モデルを認める限り、この理論結果の信頼性は高いが、現実の物質系に対する適用妥当性の検討は不十分である。遍歴・局在複合体の対角的秩序は遍歴多極子に対応する。伝導電子スピンの一成分が軌道近藤効果を起こす状況は、スピン選択混成秩序とみなせる。これは時間反転対称性を破る秩序であり、 $\text{URu}_2\text{Si}_2$ の隠れた秩序の候補になる。また非対角秩序(奇振動数超伝導)は、伝導電子と局在電子がクーパー対を組んだ状態と解釈される。これらの特異な秩序が、バンド描像が成立する強混成領域まで存続するかは興味深い問題である。

## 2. 研究の目的

スピン以外の局在電子自由度に由来する近藤効果と類似した挙動を理論的に解明することが主要な目的である。本研究では特に、価数揺動を示すSm系に見られる磁場に鈍感な重い電子、および軌道縮退した結晶場基底状態を持つPr系などでの軌道近藤効果に注目し、その出現条件を解明する。さらに伝導電子との混成の増加につれて遍歴描像に移行する過程を、秩序状態も含めて明らかにする。Sm系では励起子相関と伝導電子系の直交効果との競合、Pr系ではクーロン斥力によるフント則効果と混成効果の競合を鍵とみなす。モデルパラメータの現実的評価、解析的理論、および数値計算を三位一体として遂行し、多電子系の相関効果についての新たな知見と新規物質系開拓への指針獲得をめざす。

## 3. 研究の方法

不純物と格子モデルの双方に対して、パラメータの評価、解析的理論、および大規模数値計算を組み合わせる。研究代表者は、モデルの構築、解析的計算、数式処理プログラムによる計算などを行う。またバンド計算の専門家と協力して、現実物質の電子構造を密度汎関数法の枠内で求め、ワニエ関数フィットにより混成パラメータなどを導出する。

擬近藤効果については固体内電子系には限定せず、量子色力学(QCD)におけるクォークの色自由度に起因するものを考察する。重イオン衝突においては荷電粒子による超強磁場とクォー

ク・グルオンプラズマが瞬間的に発生する。色自由度による縮退は超強磁場中でも残るので、擬近藤効果が期待される。QCDの専門家と協力して色自由度によるQCD近藤効果を考察し、その特徴を明らかにする。

研究代表者は量子ビームを主要な実験手段とする研究機関（KEK）に属している。このメリットを活かして、KEKの実験家と協力して新しく見出された興味ある物理現象の解明に努める。その際、広く柔軟な視点から近藤効果を解釈する。

## 4. 研究成果

### (1)理論的成果

#### \* 遍歴・局在複合体秩序

近藤効果による遍歴・局在複合体秩序については本研究開始以前から取り組んでいたが、これについて2016年度にレビュー論文を執筆した。ここでは、伝導電子の遮蔽チャンネルが非クラマース系の軌道自由度よりも多い系に実現する特有の秩序に焦点を当て、理論的な意義と実験的研究の現状を議論した。特に局在・遍歴複合体秩序に関して、さまざま観点からの検討を行った。KEKの実験グループにはURu2Si2でこのような秩序を見出せる可能性を指摘したが、残念ながら実証には至っていない。

#### \* 具体的Pr系に対するバンド構造と混成相互作用の評価

軌道自由度による近藤効果は、当初の理論的提案から30年を経過しているが、まだ実験的な確証はない。今までの理論的扱いで想定している伝導電子のスペクトルは、実際の物質の特徴を取り入れていないため、現実物質との対応がつきにくいことが問題である。すなわち、実際の物質のバンド構造では、軌道縮退はブリルアン領域の高い対称点でもせいぜい4重縮退である。これは平面波状態とは大きく異なる。本研究では、ワニエ関数を用いて、有効ハミルトニアンを実空間で求め、一般の波数では軌道縮退がない場合を想定して、軌道交換相互作用の繰り込みを実行する理論の定式化を行った。神戸大学の研究者と協力して、比較的単純なバンド構造を持つ、PrMg3とPrPb3を比較して、有効軌道相互作用の違いをもたらす機構を明らかにした。PrMg3,PrPb3とも4f電子は非クラマース二重項の結晶場基底状態にあるが、実験的にはPrMg3に軌道近藤効果の兆候は見られない。一方、PrPb3は低温で四極子が長周期秩序を示すことが知られているが、四極子モーメントの大きさが周期的に変化している。その最大値は結晶場基底状態から期待されるモーメントよりも小さいので、軌道近藤効果が働いている可能性がある。バンド構造を見ると、PrMg3ではフェルミ面近くに軌道縮退した伝導バンドは存在しない。一方PrPb3では軌道縮退のある状態につながる伝導バンドがフェルミ準位をまたいでいる。これが両者の挙動が異なる原因と考えられる。

#### \* QCD近藤効果

近藤効果に関連する物理が物性に限らず、素粒子・原子核物理の領域でも重要であることを示した。多クォーク系においては、内部自由度としてスピンの他に色の自由度がある。これは、グルオンを交換して強い力を実現する立役者である。クォークにはフレーバーの自由度もあるが、後者にはスピンや色のような縮退はない。すなわちアップやダウンなどのように軽いものと、チャーム、ボトム、トップなどのように重いものがある。実験的には、光速程度まで加速された重イオンがターゲット重イオンと衝突する際、一時的に超強磁場中のクォーク多体系が実現する。また、マグネターと呼ばれる天体系などでは、準定常的に類似の状態が実現している可能性が高い。プラズマ状態では、クォークの持つ色の自由度は擬スピンとしてふるまうが、超強磁場でもその縮退は保たれている。我々は、この状況で近藤効果に類似した現象が出現することを示した。その際、軽いクォークが電子、重いクォークは空間に固定された不純物に類推される。繰り込みの過程に強磁場効果と相対論効果が効くことにより、近藤温度は物性系とはかなり異なるパラメータの組み合わせになる。

#### \* 専門書翻訳

David Vanderbilt氏の著作による評判の高い教科書 "Berry phases in electronic structure theory" (Cambridge University Press, 2018)の日本語訳を行い、出版した。本書は物質のバンド構造とトポロジカルな性質との関係に焦点を当てたものであり、近藤効果への言及は主ではない。しかし、軌道近藤効果がきいているSmB6などをトポロジカル絶縁体とみなす研究が多くなされているので、軌道近藤効果の新展開にも有益な教科書と見做される。

### (2)実験家との協力による成果

重い電子の生成が近藤効果以外の機構による可能性がある系としてLiV2O4がある。一方、軌道縮退が重要と考えられる興味ある物質系として鉄系超伝導体がある。これらの系に対して実験

家との共同研究を実施し、以下のような成果を得た。

**\*LiV2O4のエネルギー尺度生成機構**

LiV2O4では低温で重い電子が実現する。この実現機構は長らく通常の近藤効果と思われてきたが、観測される複数のエネルギー尺度はこの解釈では説明できない。LiV2O4結晶に特有のフラストレート構造のためにVスピンの反強磁性的交換相互作用が秩序をもたらすことが困難になる。本研究では、ミュオンを用いる実験グループとの研究協力により、LiV2O4のスピンド力学では、サイト間相互作用におけるフラストレーションが、複数のエネルギー尺度をもたらすという新しい観点を提案した。

**\*鉄系超伝導体の磁気励起**

鉄系超伝導体の一つであるLaFeAsO<sub>{1-x}H<sub>x</sub></sub>は水素ドーピングにともなって超伝導と磁性が劇的に変化する。重水素Dを置換した試料に対して、中性子散乱を用いたスピンド力学研究がなされており、x=0.5の場合には磁気励起のギャップがほとんど消失するという結果が得られている。この原因を実験家と協力して考察した。ドーピングにともなう電子構造の変化により、Feのd電子状態のうちd<sub>{xy}</sub>軌道のみが磁性に関与する事情に注目した。この軌道はxy平面内で等方的な磁性をもたらす。これが磁気ギャップ消失の原因であることを論じた。

**\*鉄系超伝導体中の水素ダイナミクス**

鉄系超伝導体の層状結晶構造は間隙が多く、水素がその間隙に入り込むことがわかっている。その際、ポテンシャルが極小になる点が複数存在する。我々は、中性子非弾性散乱で観測されている10meV程度の励起が、このような間隙水素の量子的運動（ラトリング）に起源を持つと推測し、観測されている複数の励起が水素と重水素による同位元素効果であることを論じた。

**\*鉄系超伝導体の上部臨界磁場**

鉄オキシニクタイトLaFeAsO<sub>{1-x}H<sub>x</sub></sub>は水素ドーピング量xに依存して、2つの超伝導相（SC1およびSC2）と2つの高温相を持つ特徴的な物性を示す。本研究では105Tまでの強磁場下で、上部臨界磁場の温度依存性を2バンドモデルに基づいて解析した。SC1およびSC2で明確に異なる挙動から、SC1ではバンド間結合が超伝導に重要であるのに対し、SC2ではバンド内結合が重要であることがわかった。SC2で多軌道効果が重要でないとする、ペアの対称性はd波の可能性が強くなる。すなわち、ドーピングの増加につれてクーパー対の対称性が変化することが示唆される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiromu Tamatsukuri, Keiga Fukui, Soshi Iimura, Takashi Honda, Tomofumi Tada, Youichi Murakami, Jun-ichi Yamaura, Yoshio Kuramoto, Hajime Sagayama, Takeshi Yamada, Masato Matsuura, Kaoru Shibata, Maiko Kofu, Yukinobu Kawakita, Kazutaka Ikeda, Toshiya Otomo, and Hideo Hosono	4. 巻 107
2. 論文標題 Quasielastic neutron scattering probing H <sup>-</sup> dynamics in H <sup>-</sup> conductors LaH <sub>{3-2x}O<sub>x</sub></sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184414_1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.184114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamatsukuri Hiromu, Murakami Youichi, Kuramoto Yoshio, Sagayama Hajime, Matsuura Masato, Kawakita Yukinobu, Matsuishi Satoru, Washio Yasuhito, Inoshita Takeshi, Hamada Noriaki, Hosono Hideo	4. 巻 102
2. 論文標題 Magnetism induced by interlayer electrons in the quasi-two-dimensional electride Y2C: Inelastic neutron scattering study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224406_1- 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.224406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun-ichi Yamaura, Haruhiro Hiraka, Soshi Iimura, Yoshinori Muraba, Joonho Bang, Kazuhiko Ikeuchi, Mitsutaka Nakamura, Yasuhiro Inamura, Takashi Honda, Masatoshi Hiraishi, Kenji M. Kojima, Ryosuke Kadono, Yoshio Kuramoto, Youichi Murakami, Satoru Matsuishi, and Hideo Hosono	4. 巻 99
2. 論文標題 Quantum dynamics of hydrogen in the iron-based superconductor LaFeAsO <sub>0.9D0.1</sub> measured with inelastic neutron spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 220505_1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.220505	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Funashima, Yoshio Kuramoto, and Hisatomo Harima	4. 巻 89
2. 論文標題 Electronic Structure and p-f Hybridization Toward Orbital Kondo Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys.Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 044712_1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.044712	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Tamatsukuri, H. Hiraka, K. Ikeuchi, S. Imura, Y. Muraba, M. Nakamura, H. Sagayama, J. Yamaura, Y. Murakami, Y. Kuramoto, and H. Hosono	4. 巻 98
2. 論文標題 Gapless magnetic excitation in a heavily electron-doped antiferromagnetic phase of LaFeAsO <sub>{0.5}D_{0.5}</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 1744151-1744156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.174415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Okabe, M. Hiraishi, A. Koda, K. M. Kojima, S. Takeshita, I. Yamauchi, Y. Matsushita, Y. Kuramoto, and R. Kadono	4. 巻 99
2. 論文標題 Metallic spin-liquid-like behavior of LiV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 0411131-0411135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.041113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taku Kikuchi, Shintaro Hoshino, Naokazu Shibata, and Yoshio Kuramoto	4. 巻 86
2. 論文標題 Field-Induced Transitions in Anisotropic Kondo Lattice -- Application to CeT <sub>2</sub> Al <sub>10</sub> --	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 094602-1 -8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.094602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kensuke Kobayashi, Akiko Nakao, Sachiko Maki, Jun-ichi Yamaura, Takayoshi Katase, Hikaru Sato, Hajime Sagayama, Reiji Kumai, Yoshio Kuramoto, Youichi Murakami, Hidenori Hiramatsu, and Hideo Hosono	4. 巻 96
2. 論文標題 Structure determination in thin film Ba <sub>1-x</sub> LaxFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> : Relation between the FeAs <sub>4</sub> geometry and superconductivity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 125116-1 -5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.125116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sho Ozaki, Kazunori Itakura, and Yoshio Kuramoto	4. 巻 94
2. 論文標題 Magnetically induced QCD Kondo effect	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 074013_1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.074013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshio Kuramoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Composite electronic orders induced by orbital Kondo effect	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Science Bulletin	6. 最初と最後の頁 1563-1582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11434-016-1171-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 S. Kawachi, S. Iimura, J. Yamaura, H. Hosono, T. Sasaki, T. Nomura, Y. Kohama, M.Tokunaga, Y. Kuramoto, Y. Murakami
2. 発表標題 Investigation of Upper Critical Field in Hydrogen-Substituted Iron-Based Superconductors LaFeAsO <sub>1-x</sub> H <sub>x</sub>
3. 学会等名 MRM2021 Materials Research Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河智史朗, 飯村壮史, 野村肇宏, 小濱芳允, 佐々木隆志, 徳永将史, 山浦淳一, 倉本義夫, 村上洋一, 細野秀雄
2. 発表標題 上部臨界磁場からみた水素置換鉄系超伝導体の研究
3. 学会等名 日本物理学会2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡部博孝, 平石雅俊, 幸田章宏, 小嶋健児, 竹下聡史, 山内一宏, 松下能孝, 倉本義夫, 門野良典
2. 発表標題 金属スピン液体候補物質としてのLiV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 舩島洋紀, 倉本義夫, 播磨尚朝
2. 発表標題 電子状態と軌道近藤効果の発現機構の理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 舩島洋紀
2. 発表標題 軌道近藤効果に適したバンド構造と実例
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kuramoto
2. 発表標題 Composite orders and virtual hybridization in two-channel Kondo lattice
3. 学会等名 Memorial Symposium for Prof. Thomas Pruschke (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 倉本義夫
2. 発表標題 近藤効果が誘起する新奇電子秩序
3. 学会等名 J-Physics 若手夏の学校
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 David Vanderbilt[原著], 倉本義夫[日本語訳]	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 388
3. 書名 ベリー位相とトポロジー -現代の固体電子論-	

1. 著者名 Yoshio Kuramoto	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 261
3. 書名 Quantum Many-Body Physics -- A Perspective on Strong Correlations	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------