

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K14338

研究課題名（和文）多軌道強相関電子系における軌道・磁気揺らぎと超伝導の理論研究

研究課題名（英文）Theoretical study on the orbital and magnetic fluctuations on multi-orbital strongly-correlated electron systems

研究代表者

山川 洋一（Yamakawa, Youichi）

名古屋大学・理学研究科・講師

研究者番号：60750312

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高次多体相関を記述するバーテックス補正を考慮した理論を用いて、鉄系超伝導体、銅酸化物高温超伝導体における電子状態を解析した。その結果、強相関系で発達するスピン揺らぎが干渉効果を起こすことで、電子ドーブFeSeにおける軌道揺らぎの発達と、それに起因した高温超伝導発現機構を明らかにした。加えて、FeSeの圧力誘起磁気転移を説明した。超伝導対称性と実験との対応を明らかにするため、中性子散乱によるレゾナンスピークを解析し、軌道揺らぎ由来の超伝導説明できることを見出した。さらに銅酸化物高温超伝導体の電荷密度波および擬ギャップ現象の起源として、ボンド秩序やスピン流秩序などの機構を提唱した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄系超伝導体をはじめとした多軌道強相関電子系では、電子の軌道・電荷・スピン自由度に起因して、様々な興味深い性質が現れる。本研究で明らかにしたバーテックス補正に起因した軌道揺らぎの発達とフルギャップs波超伝導発現の機構は、電子ドーブFeSeの高温超伝導、ひいては鉄系全般の超伝導発現機構解明に貢献する結果である。また、銅酸化物高温超伝導体で新たに発見された電荷密度波、および擬ギャップ現象の起源として、バーテックス補正に起因したボンド・スピン流秩序という新機構を提唱した。鉄系および銅酸化物系超伝導体では、共にスピン・軌道・電荷の結合という共通の物理があり、強相関電子系において広く実現が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the electronic states in Fe-based and cuprate superconductors based on the higher-order many-body effect described by vertex corrections. As a result, we found that the orbital fluctuations are developed in electron-doped FeSe thanks to the interference between spin fluctuations. The high-temperature superconductivity appears due to the orbital fluctuations. Also, the pressure-induced magnetic transition in FeSe is well explained based on this study. We also showed that the resonance-like structure obtained by neutron scattering measurement is consistent with the s₊₊ wave superconductivity due to orbital-fluctuations. In addition, we proposed the bond and spin-current orders as the origins of recently discovered charge-density wave and the pseud-gap nature in cuprate superconductors.

研究分野：数物系科学

キーワード：高温超伝導 強相関電子系 軌道秩序 磁気秩序 鉄系超伝導体 銅酸化物

1. 研究開始当初の背景

鉄系超伝導体の重要未解決問題が、超伝導発現機構である。その候補として、スピン揺らぎを媒介とした s_{++} 波超伝導と、軌道揺らぎを媒介とした s_{++} 波超伝導の可能性が考えられるものの、両者は同じ A_{1g} 対称性に属し、実験による判別は困難であった。ところが、電子ドーピング FeSe において鉄系最高の T_c を持つフルギャップの s_{++} 波超伝導が発見され、大きな転機を迎えた。電子ドーピング FeSe ではホール面が消失する事から、スピン揺らぎでは残された電子面による nodal- d 波超伝導となり、実験を説明出来ない。従って、軌道揺らぎに由来した s_{++} 波高温超伝導の実現が強く期待される。FeSe の多様な電子状態は鉄系超伝導体を理解する上でのカギであり、電子ドーピング FeSe における s_{++} 波高温超伝導の起源の解明は、超伝導研究に対する格好の試金石である。

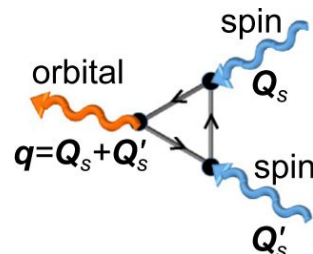


図1. スピンと軌道の揺らぎ間干渉効果のダイアグラム。実線は電子の運動を表し、波線はスピン及び軌道の揺らぎを表す。波数 Q_s と Q'_s の二つのスピン揺らぎが干渉することで、 $q = Q_s + Q'_s$ の軌道揺らぎが発達する。

ここで重要となるのが、電子間の多体相関である。なかでも、揺らぎの2次の干渉効果を表す Aslamazov-Larkin 型のバーテックス補正により、二つのスピン揺らぎ間の干渉により、電荷や軌道といった全く別の揺らぎを大きく増強するという機構が明らかになりつつあった(図1)。この電荷・軌道・スピン揺らぎの発達、さらにこれらによる超伝導発現機構は、銅酸化物高温超伝導体の T_c が最大となるドーピング領域近傍に発見された約4倍周期の電荷密度波相など、様々な強相関電子系で重要になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、強相関電子系における電荷・軌道・スピン揺らぎの協力的発達と、それらの揺らぎに起因した超伝導発現機構の解明である。主に以下を解明する。

(1) 鉄系超伝導体における軌道・磁気秩序と超伝導

鉄系最高の T_c を持つ電子ドーピング FeSe の超伝導の解明は、鉄系の超伝導発現機構を決定する上で非常に重要である。電子ドーピング FeSe ではホール面が消失し、スピン揺らぎも弱いにも関わらず、フルギャップの s_{++} 波超伝導が実験的に報告されている。そこで本研究では、バーテックス補正を考慮した超伝導計算手法を新たに開発し、電子ドーピング FeSe の電子状態を解析し、超伝導発現機構の解明を目指す。また、FeSe の興味深い性質に圧力相図があり、圧力下で構造相転移相が抑制された先で、磁気秩序と高温超伝導が現れる。この圧力誘起磁気転移の起源を明らかにする。さらに、超伝導発現機構の決定には、ギャップ関数の位相に敏感な実験との対応が重要になる。そこで本研究では、様々な超伝導状態下での応答を解析し、実験結果と比較することで、超伝導対称性について明らかにする。

(2) 銅酸化物系における電荷秩序と擬ギャップ形成

近年、銅酸化物高温超伝導体において発見された電荷密度波は、長年の謎であった擬ギャップ形成や、高温超伝導の起源を明らかにする重要な実験として、大きな注目を集めている。これまでの研究から、この電荷密度波についても、鉄系と同様に多体相関が重要な役割を果たすと期待される。そこで我々が開発してきた、2次元の汎関数くりこみ群法、及び高次のバーテックス補正に構造因子の波数依存性まで考慮可能な密度波方程式を用いて、銅酸化物の電荷密度波の起源を明らかにする。

3. 研究の方法

電子ドーピング FeSe の電子状態を解析するため、第一原理計算に仮想結晶近似を用いて、電子ドーピング効果を定量的に見積もる。バーテックス補正を自己無撞着に計算する SC-VC 理論を用いて、軌道・スピン揺らぎの発達を明らかにする。さらに、SC-VC 理論を超伝導計算に拡張した新手法を開発し、電子ドーピング FeSe のフルギャップ s_{++} 波高温超伝導が発現する機構を明らかにする。また、圧力相図を議論するため、圧力効果を第一原理計算より求め、SC-VC 理論を用いて磁気・軌道相図を説明する。また、超伝導ギャップ関数と実験との対応を議論するため、揺らぎ交換近似を高精度化して自己エネルギーを求め、超伝導状態下のスピン感受率を計算し、中性子散乱実験におけるレゾナンスピークと超伝導対称性の関係を明らかにする。

銅酸化物高温超伝導体の電荷密度波の起源を明らかにするため、2次元の汎関数くりこみ群法および密度波方程式を用いて、電子状態を解析する。さらに近年発見された、擬ギャップ領域から生じる電子状態の異方性の起源や、擬ギャップにおける隠れた秩序の可能性を調べる。

4. 研究成果

(1) 鉄系超伝導における軌道揺らぎ及び超伝導

電子ドーピング FeSe の軌道・スピン揺らぎの超伝導の関係について微視的に議論した。第一原理計算から電子ドーピングにより状態密度が増加し、強相関になる事を見出した。その結果、Aslamazov-Larkin(AL)型のバーテックス補正により記述される揺らぎ間干渉効果により、電子ドーピング FeSe では軌道とスピンの揺らぎが共に発達する事を見出した。さらに、発達した揺らぎに起因して、高ドーピング領域でフルギャップの s_{++} 波超伝導が実現する事を見出した。また、圧力下 FeSe の電子状態を解析し、圧力によるヒ素の高さ変化によりフェルミ面の枚数が増えること、その結果として圧力誘起磁気転移と高温超伝導相が実現する機構を提唱した。以上の結果は、鉄系超伝導体や FeSe 系の電子物性解明として意義に加え、軌道のスピン自由度の協力が超伝導発現に重要であることを表している。

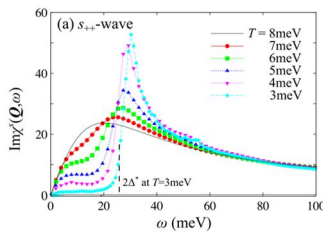


図 3. s_{++} 波における磁気感受率の虚部のエネルギー依存性。中性子散乱実験の結果を良く説明する。

(2) 銅酸化物高温超伝導体の電荷密度波

銅酸化物の電荷密度波、さらに研究期間中に報告された擬ギャップ領域における異方性獲得は、銅酸化物高温超伝導体の謎を解く重要なカギである。それらの起源を明らかにするため、バーテックス補正を考慮した解析を行った。その結果、電子間の飛び移りが自発的に異方的を獲得する、ボンド秩序が生じる事を見出した(図4)。このボンド秩序は電荷秩序の秩序変数の非局所拡張とも言えるが、従来の平均場近似では取り扱えず、本質的に多体相関に起因する。さらにこのボンド秩序の起源が、鉄系と同じく、AL型のバーテックス補正である事を見出した。このことは、鉄系および銅酸化物系超伝導体では、共にスピン・軌道・電荷の結合という共通の物理がある事を意味している。さらに、AL型のバーテックス補正により、自発的なスピンの流れが生じるスピルループカレント秩序という、新しい秩序実現の可能性を見出した。スピルループカレント秩序はフェルミ面の一部にギャップを開くが、非常に観測しにくい隠れた秩序である。銅酸化物の擬ギャップのみならず、強相関電子系の未解明秩序において実現が期待される。

(3) 汎関数くりこみ群によるパイアスの無い多体計算

本研究では、高精度2次元汎関数くりこみ群の計算手法を開発し、2軌道ハバード模型に適用し、スピン・軌道揺らぎと、超伝導状態について調べた。その結果、従来の Migdal-Eliashberg 近似を超えた多体相関により、超伝導クーパ対に対するスピン揺らぎ由来の斥力が減少する一方、軌道揺らぎ由来の引力が大きく増強されることを明らかにした(図5)。その結果、CeCu₂Si₂などの磁気揺らぎが強い系であっても、軌道の揺らぎにより符号反転の無い s 波超伝導が実現する事を見出した。

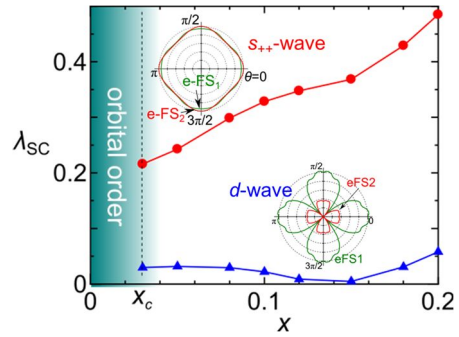


図2. 電子ドーピング FeSe の超伝導固有値の電子ドーピング依存性。軌道揺らぎを媒介としたフルギャップ s_{++} 波の固有値が最大となり、さらにドーピングにより増大することを見出した。対応、スピン揺らぎによる d 波超伝導の固有値は、スピン軌道相互作用によるバンド間混成により抑制され、非常に小さい。

鉄系超伝導体の超伝導状態を決定する上で重要となるのが、実験と理論の対応である。鉄系超伝導体の中でも詳細な実験データがある BaFe₂As₂ 系に着目し、電子状態を解析した。その結果、軌道揺らぎが発達と、角度分解光電子分光に整合した超伝導ギャップ関数が得られることを明らかにした。加えて、従来の精度をはるかに超える揺らぎ交換近似を開発し、自己エネルギーを求めて動的磁化率を計算した。その結果、中性子散乱実験で観測された弱いレゾナンスピーク的な構造は、スピン揺らぎ由来の s_{++} 波の証拠ではなく、むしろ軌道揺らぎ由来の s_{++} 波で理解できる事を見出した。

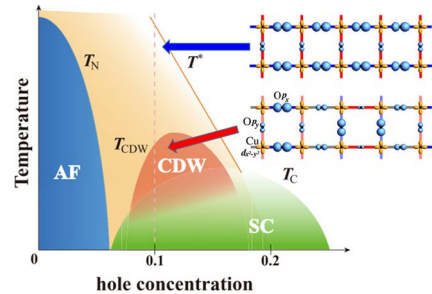


図4. 本研究により提案する、銅酸化物高温超伝導体における2段のボンド秩序。 T 以下で強制的ボンド秩序により異方性が生じ、 T_{CDW} 以下で約4倍周期の反強制的ボンド秩序が生じる。

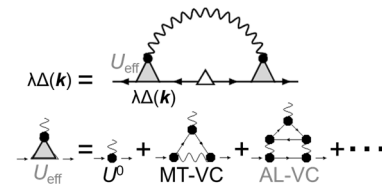


図5. バーテックス補正(VC)を考慮したギャップ方程式のダイアグラム表示。 Δ はギャップ関数。従来の理論では揺らぎ・電子間結合はペアなクーロン相互作用 U^0 だが、VCにより軌道揺らぎに対する U_{eff} が強く増強される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13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 Yamakawa Youichi, Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 102
2. 論文標題 Doping effects on electronic states in electron-doped FeSe: Impact of self-energy and vertex corrections	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 081108(R)/1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.081108	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 土射津昌久, 田財里奈, 山川洋一, 紺谷浩	4. 巻 55
2. 論文標題 汎関数くりこみ群法による教相関電子系の研究 - 2次元電子系におけるネマティック秩序-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 195~203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takeuchi Masayoshi, Fujiwara Naoki, Kuwayama Takanori, Nakagawa Satoshi, Iimura Soshi, Matsuishi Satoru, Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi, Hosono Hideo	4. 巻 99
2. 論文標題 Pressure-induced quantum critical point in the heavily hydrogen-doped iron-based superconductor LaFeAsO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174517~174517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.174517	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 Mizutani Ryosuke, Okamoto Yoshihiko, Nagaso Hayate, Yamakawa Youichi, Takatsu Hiroshi, Kageyama Hiroshi, Kittaka Shunichiro, Kono Yohei, Sakakibara Toshiro, Takenaka Koshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Superconductivity in PtSbS with a Noncentrosymmetric Cubic Crystal Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 093709~093709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093709	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 L. Takeuchi, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 98
2. 論文標題 Self-energy driven resonancelike inelastic neutron spectrum in the s++-wave state in Fe-based superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165143-1, -10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.165143	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. Nakaoka, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 98
2. 論文標題 Pairing mechanism for nodal s-wave superconductivity in BaFe ₂ (As,P) ₂ : Analysis beyond Migdal-Eliashberg formalism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125107-1, -11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.125107	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 S. Matsubara, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 87
2. 論文標題 Edge-induced Strongly Correlated Electronic States in Two-dimensional Hubbard Model: Enhancement of Magnetic Correlations and Self-energy Effects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073705-1, -5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.073705	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 M. Tsuchiizu, K. Kawaguchi, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 97
2. 論文標題 Multistage electronic nematic transitions in cuprate superconductors: A functional-renormalization-group analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165131-1, -9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.165131	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 Y. Okamoto, T. Wada, Y. Yamakawa, T. Inohara, and K. Takenaka	4. 巻 112
2. 論文標題 Large thermoelectric power factor in one-dimensional telluride Nb ₄ SiTe ₄ and substituted compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 173905-1, -5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5023427	査読の有無 無
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 Kawaguchi Kouki, Yamakawa Youichi, Tsuchiizu Masahisa, Kontani Hiroshi	4. 巻 86
2. 論文標題 Competing Unconventional Charge-Density-Wave States in Cuprate Superconductors: Spin-Fluctuation-Driven Mechanism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 063707 ~ 063707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.063707	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 Tazai Rina, Yamakawa Youichi, Tsuchiizu Masahisa, Kontani Hiroshi	4. 巻 86
2. 論文標題 Plain s-Wave Superconductivity near Magnetic Criticality: Enhancement of Attractive Electron-Boson Coupling Vertex Corrections	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073703 ~ 073703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.073703	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 Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Superconductivity without a hole pocket in electron-doped FeSe: Analysis beyond the Migdal-Eliashberg formalism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045130-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.045130	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 Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Nematicity, magnetism, and superconductivity in FeSe under pressure: Unified explanation based on the self-consistent vertex correction theory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144509-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.144509	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 Sato Yuki, Kasahara Shigeru, Taniguchi Tomoya, Xing Xiangzhuo, Kasahara Yuichi, Tokiwa Yoshifumi, Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi, Shibauchi Takasada, Matsuda Yuji	4. 巻 115
2. 論文標題 Abrupt change of the superconducting gap structure at the nematic critical point in FeSe _{1-x} S _x	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1227 ~ 1231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1717331115	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21件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Toru, Hirata, Youichi Yamakawa, Seiichiro Onari, Hiroshi Kontani
2. 発表標題 Unconventional orbital-charge density wave mechanism in transition metal dichalcogenide 1T-TaS ₂
3. 学会等名 APS March Meeting 2021, online, March-2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川洋一、平田徹、大成誠一郎、紺谷浩
2. 発表標題 Unconventional orbital-charge density wave mechanism in transition metal dichalcogenide 1T-TaS ₂
3. 学会等名 令和2年度 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山川洋一、平田徹、大成誠一郎、紺谷浩
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイドにおける非従来型電荷秩序の微視的理論
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」量子物質開発フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山川洋一、大成誠一郎、紺谷浩
2. 発表標題 拡張軌道揺らぎ由来の超伝導の理論研究：高ドーブFeSeへの適用
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Yamakawa, S. Onari, H. Kontani
2. 発表標題 Development of orbital fluctuations and s-wave superconductivity due to AL-VC in electron-doped FeSe
3. 学会等名 Spectroscopies in Novel Superconductors 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 銅酸化物超伝導体におけるボンド秩序の圧力および磁場依存性
3. 学会等名 高温超伝導フォーラム第7回会合(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一, 大成誠一郎, 紺谷浩
2. 発表標題 ハバード模型における非自明な電荷秩序相の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一, 大成誠一郎, 紺谷浩
2. 発表標題 電子ドーピングFeSeにおける高温超伝導および銅酸化物の圧力・磁場下でのボンド秩序の理論研究
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会「電子相関が生み出す超伝導現象の未解決問題と新しい潮流」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 FeSe系における軌道・磁気揺らぎと超伝導の理論研究
3. 学会等名 第9回「凝縮系理論の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一, 大成誠一郎, 紺谷浩
2. 発表標題 FeSe系における軌道・磁気揺らぎと超伝導の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山川洋一, 大成誠一郎, 紺谷浩
2. 発表標題 FeSe系超伝導体における電子ドーブ効果の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 鉄系超伝導体におけるドーピング効果
3. 学会等名 第八回「強相関電子系理論の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 電子ドーブFeSeにおける超伝導発現機構の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会北陸支部特別講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川洋一, 紺谷浩
2. 発表標題 鉄系超伝導体における四重極揺らぎと超伝導の理論研究
3. 学会等名 J-Physics: 多極子伝導系の物理 平成 30 年度領域全体会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川洋一, 紺谷浩, 大成誠一郎
2. 発表標題 FeSe系の超伝導における軌道・スピン・電荷揺らぎの効果
3. 学会等名 基研研究会「電子相関が生み出す新規な秩序と超伝導現象」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 鉄系超伝導体における超伝導と軌道・磁気複合揺らぎの協奏
3. 学会等名 基研研究会「超伝導研究の最先端:多自由度、非平衡、電子相関、トポロジー、人工制御」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山川洋一, 紺谷浩
2. 発表標題 FeSe系におけるS++波超伝導発現機構:電子相関効果と電子格子相互作用の協力機構
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山川洋一, 紺谷浩
2. 発表標題 FeSe1-xSxにおけるネマティシティと超伝導の理論研究:軌道とスピンの協力機構
3. 学会等名 超伝導フォーラム第5回会合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山川洋一
2. 発表標題 多体相関に起因した軌道・電荷・スピン揺らぎと超伝導
3. 学会等名 第七回「強相関電子系理論の最前線」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Kontani, Masahisa Tsuchiizu, Kouki Kawaguchi, Youichi Yamakawa
2. 発表標題 Multistage CDW Transitions in Cuprate High-Tc Superconductors: Functional-Renormalization-Group Analysis
3. 学会等名 APS March Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Youichi Yamakawa, Hiroshi Kontani
2. 発表標題 Nematicity and superconductivity in FeSe _{1-x} S _x
3. 学会等名 APS March Meeting 2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------