

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01175

研究課題名(和文)電子相関が創出する電子液晶現象の理論：素励起、超伝導および量子臨界現象

研究課題名(英文) Mechanisms of quantum liquid crystal states in strongly correlated electron systems

研究代表者

紺谷 浩 (Kontani, Hiroshi)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：90272533

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：強相関電子系は多彩な量子相転移の宝庫であり、回転対称性が破れたネマティック秩序やスメクティック秩序、自発電流やスピン流を伴うカレント秩序が近年発見されている。その解明のため、申請者は(1)熱力学ポテンシャルの極値条件である密度波方程式を解く手法と、(2)汎関数くりこみ群理論に基づき秩序変数を最適化する手法を構築し、以下の新規量子相転移を解明した：

(a)カゴメ金属AV3Sb5で実現する「ダビデ星型秩序」および超伝導状態の機構解明。(b)ねじれ2層グラフェンにおけるネマティック秩序および(c)鉄系超伝導体におけるスメクティック秩序の機構解明。(d)フラストレート金属における電流秩序機構の解明。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強相関電子系における多彩な量子相転移の研究は、実験技術の急速な進歩により爆発的に進展した一方で、単純な平均場近似では理解不可能であるため、理論の発展が急務であった。申請者の理論(密度波方程式理論および汎関数くりこみ群理論)により、平均場近似を超えた量子相転移の解析が可能になり、実験事実の解析や理論的予言が可能になったことは大変意義深い。

本理論を具体的な物質に適用し、カゴメ金属AV3Sb5のダビデ星型秩序および超伝導発現機構の特定、ねじれ2層グラフェンのネマティック秩序や鉄系超伝導体のスメクティック秩序の機構解明など、多岐に渡る量子液晶の研究を遂行し、当該分野の理論研究の指導的役割を果たした。

研究成果の概要(英文)：In strongly correlated electron systems, rich variety of quantum phase transitions has been discovered in the last decade, such as the nematic and smectic orders with broken rotational symmetry and the current orders with spontaneous spin- or charge-currents. To understand the origin of these transitions microscopically, the applicant has developed (1) the density-wave equation theory, which is equivalent to the extreme value condition of the thermodynamic potential, and (2) the derivation of optimized order parameter based on the functional renormalization group theory. Based on these theories, we explained the following novel quantum phase transitions. (a) Microscopic mechanism of "Davidian order" and superconducting state realized in kagome metal AV3Sb5. (b) Nematic ordering in twisted bilayer graphene and (c) Smectic order in iron-based superconductors. (d) Microscopic mechanism of current order in frustrated metals.

研究分野：物性理論

キーワード：量子干渉機構 鉄系超伝導体 カゴメ金属 銅酸化物高温超伝導体 ネマティック秩序 パーテックス 補正

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

強相関電子系は多彩な量子相転移の宝庫として、長年盛んに研究されてきた。特に最近では、従来型のスピン密度波や電荷密度波とは異なり、秩序変数が自発的に非局所構造 (= 構造因子) を獲得することで、非自明な対称性を持つ量子相が実現することがわかってきた。その代表例は回転対称性が自発的に破れた「電子ネマティック秩序」や、加えて並進対称性まで破れた「電子スメクティック秩序」であり、量子揺らぎが発達した低次元金属である鉄系超伝導体や銅酸化物超伝導体、重い電子系、さらに magic angle twisted bilayer graphene (MATBG) において近年相次いで発見された。例えば鉄系超伝導体 FeSe におけるネマティック秩序は一切の磁性を伴わず、その終端 (量子臨界点) における高温超伝導や量子臨界現象などの新規創発現象が、現在精力的に研究されている。さらに銅酸化物高温超伝導体や Ir 酸化物、V 系カゴメ金属化合物 AV_3Sb_5 ($A=Cs, Rb, K$) において、ナノスケールの永久電流を伴う相転移が相次いで報告された。これらの発見は、電子相関による自発的対称性の破れの新しい可能性を示しており、量子液晶と呼ばれる膨大な理論及び実験研究が行われる分野を形成している。

その一方で、「なぜ量子液晶が発現するのか？」や「量子液晶の対称性がどのように決定されるのか？」という根本的問いに対する答えは見つかっておらず、物理現象の基本原理は未だ謎に包まれている。これらの解明は、理論家に課された重要課題であり、そのための理論整備が急速に進められている。

2. 研究の目的

強相関電子系の主な特徴は、強い局所クーロン斥力 U の存在である。クーロン斥力はスピン分極 ($n_{\uparrow} - n_{\downarrow}$) を誘起する。ゆえに平均場近似の範囲では、磁気秩序が実現し、ネマティック秩序のような非磁性の秩序は実現し得ない。つまり液晶秩序の本質は、平均場近似を超えた高次多体効果である。一方で液晶秩序は、鉄系超伝導体の電子ネマティック秩序やカゴメ金属のダビデ星型電荷秩序など、中間結合領域 ($U \sim W_{\text{band}}$) において実現する金属状態から金属状態への相転移である。つまり、強結合領域 ($U > W_{\text{band}}$) のモット絶縁体転移とは質的に異なり、フェルミ液体理論や汎関数繰り込み群理論などの場の理論が適用可能な現象である。また液晶秩序は、量子揺らぎが発達する低次元系で実現することから、量子干渉効果などの非局所電子相関を真面目に取り扱う必要がある。このような特徴を有する量子液晶を記述可能とする多電子理論を、場の理論に基づき構築する。構築した理論を、各種強相関金属に積極的に適用し、この分野の重要未解明問題の解明に取り組む。

3. 研究の方法

液晶秩序を記述する秩序変数は、「 i, j サイト間の飛び移り積分 t_{ij}^0 に変調を与える対称性の破れ δt_{ij} 」である。例えば δt_{ij} が実数で、 x 方向で $+a$ 、 y 方向で $-a$ の時、振幅 a の d 波対称性の「ボンド秩序」を与える。また δt_{ij} が純虚数でサイト入れ替えで符号を変えるとき、時間反転対称性が破れた「電流秩序」を与える。さらに δt_{ij} がスピン依存するとき、「スピンボンド秩序」や「スピン流秩序」を与える。このように、秩序変数 δt_{ij} の対称性により、多彩な液晶秩序が実現する。

液晶秩序を統一的に研究する上で、 δt_{ij} をフーリエ変換して規格化した「構造因子 $f_q(k)$ 」を導入すると、対称性に注目した見通しの良い議論が可能である。ここで q は密度波

(秩序変数)の波数である。例えば銅酸化物超伝導体などで実現する d 波対称性のバンド秩序の構造因子は、偶関数 $f_q(k) \sim k_x^2 - k_y^2$ であり、電流秩序は奇関数 $f_q(k) \sim k_x$ である。また、量子液晶は微視的に「電子・正孔対のボースアインシュタイン凝縮」であり、クーパー対の凝縮である超伝導現象との類似性は、理論構築の上で重要なヒントを与える。

$f_q(k)$ を仮定なく (コントロールされた近似で) 最適解を求める手法として、(1)熱力学ポテンシャルの極値条件である密度波方程式を解く手法と、(2)汎関数くりこみ群理論に基づき構造因子を最適化する手法を構築してきた。これらの手法に基づき、鉄系および銅酸化物、MATBG で観測される偶パリティの軌道・バンド秩序、カゴメ金属などフラストレート系における奇パリティの電流・スピン流秩序が、量子揺らぎ間の干渉機構で自然に解釈できることが分かった。

さらに最近、幾何学フラストレーションが存在する新規カゴメ格子系超伝導体 AV_3Sb_5 や、スピン・バレーの局所 SU(4)自由度が存在する MATBG など、著しい特徴を有する強相関電子系が発見され、そこで発現する多彩な液晶秩序が精力的に研究されている。これらの新規物質に適用可能な理論を構築し、そこで実現する新規液晶秩序の解明に取り組む。

4. 研究成果

「構造因子 $f_q(k)$ 」をバイアスなく最適化する理論枠組みとして、以下の2つの理論を構築し、様々な量子液晶秩序の解明を行った。

○理論1「密度波方程式の理論」： 金属電子系のグラントポテンシャルは、Luttinger-Ward (LW) 理論に基づき $\epsilon_0 + \epsilon_{LW}$ と表される。LW 理論に構造因子 $f_q(k)$ を導入すると、汎関数 $\Omega[f]$ を最適化する秩序変数が実現する。すなわち熱的安定状態は「の極小状態 $\delta\Omega[f]/\delta f = 0$ 」として定式化される。このアイデアに則り、申請者は「最適化された $f_q(k)$ を与える線形化密度波方程式」：

$$\lambda_q f_q(k) = \rho [(\delta^2 \epsilon_{LW} / \delta G^2)(G^2)]_{q,k} \cdot f_q(k)$$

を導出した。ここで λ_q は固有値であり、 λ_q を最大化ける波数 q , 構造因子 $f_q(k)$ の液晶秩序が実現する。この理論手法を各種強相関電子系に適用し、以下の研究成果を得た。

(a)鉄系超伝導体の液晶秩序： 鉄系超伝導体の液晶秩序は、平均場近似を超えた多体相関である「バーテックス補正項」により発現する。申請者は密度波方程式に基づきバーテックス補正を詳しく解析し、スピン揺らぎ間の干渉効果を表す Aslamazov-Larkin 型バーテックス補正により、 $q=0$ のネマティック秩序のみならず、 $q \neq 0$ のスメクティック秩序が実現することを見出した。

(b)カゴメ金属の液晶秩序： カゴメ金属 AV_3Sb_5 で実現する、図1のようなダビデ星型電荷秩序の理論的導出に成功した。さらに、ダビデ星型電荷秩序の量子揺らぎが、非従来型超伝導を媒介することを明らかにした。本理論で予言された異方的 s 波超伝導状態は、芝内・橋本研 (東大) の電子線照射実験により実証された。

(c)ねじれ2層グラフェン (MATBG) の液晶秩序： MATBG ではスピン + バレー複合 SU(4) 自由度が活性であり、その量子揺らぎ (SU(4)揺らぎ) が発達する。申請者は SU(4)揺らぎ間の量子干渉機構に着目し、この機構がネマティックバンド秩序を与えることを明らかにし、SMT 実験で広く観測されたネマティック秩序の起源解明に成功した。

○理論2「汎関数くりこみ群理論」： 金属電子系の秩序変数 $f_q(k)$ の相転移温度は、秩

序変数 f の感受率 $\chi^f(q)$ が発散する温度として定義される。すなわち、 $\chi^f(q)$ を最大化する「最適化された秩序変数 f 」を見つけ出すことで、実現する相転移が明らかになる。この手続きを汎関数くりこみ群 (fRG) 理論において可能とするため、申請者は構造因子 $f_q(k)$ を fRG 理論に導入し、 $f_q(k)$ を自動的に最適化する理論手法を編み出した (図 2)。この理論手法を各種強相関電子系に適用し、以下の研究成果を得た。

- (d) フラストレート金属における電流秩序： fRG 理論に基づき、擬 1 次元ハバード模型を解析の反強磁性相近傍において、反強磁性揺らぎが媒介するループ電流秩序相が実現することを見出した。電流秩序相の発現において、 $q=0$ の p-h 散乱過程 (= Landau チャンネル) により前方散乱 g_4 相互作用が負に大きく繰り込まれる効果が重要である。
- (e) 有機物超伝導体における電荷秩序： $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{X}$ は $T_c \sim 10\text{K}$ に達する d 波超伝導体であるが、それより高温で $1/T_1T$ 等で擬ギャップが観測される。我々は fRG 理論に基づき、銅酸化物高温超伝導体における 4 倍周期電荷秩序波 (CDW) と類似した秩序が、 $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{X}$ においても実現することを明らかにした。

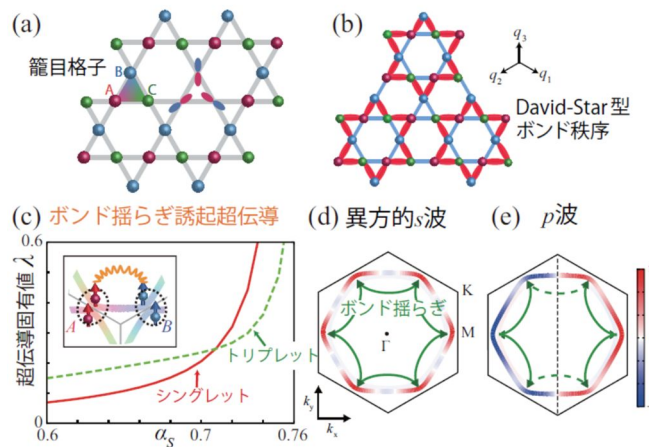


図 1：カゴメ金属におけるダビデ星型電荷秩序と、超伝導発現機構の理論。

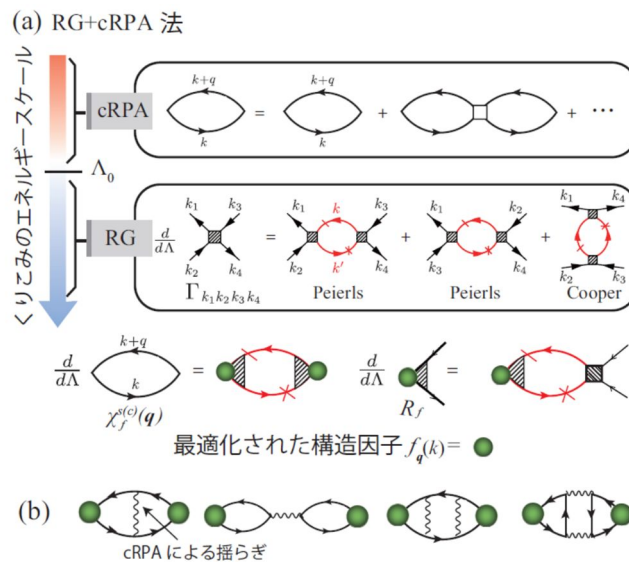


図 2：汎関数くりこみ群法における、構造因子最適化理論。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 18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 Tazai Rina, Kontani Hiroshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Hexadecapole Fluctuation Mechanism for s-wave Heavy Fermion Superconductor CeCu ₂ Si ₂ : Interplay between Intra- and Inter-Orbital Cooper Pairs	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 063701 ~ 063701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.063701	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 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
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 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 Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 100
2. 論文標題 Origin of diverse nematic orders in Fe-based superconductors: 45-degree rotated nematicity in AFe ₂ As ₂ (A=Cs, Rb)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 20507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.020507	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 Tazai Rina, Kontani Hiroshi	4. 巻 100
2. 論文標題 Multipole fluctuation theory for heavy fermion systems: Application to multipole orders in CeB ₆	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 241103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.241103	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 Matsubara Shun, Kontani Hiroshi	4. 巻 101
2. 論文標題 Emergence of strongly correlated electronic states driven by the Andreev bound state in d-wave superconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 75114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.075114	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 Takeuchi Lisa, Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi	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 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.165143	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 Matsubara Shun, Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi	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 ~ 073705
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 Nakaoka Hironori, Yamakawa Youichi, Kontani Hiroshi	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 1-12
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 Tazai Rina, Kontani Hiroshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Fully gapped s-wave superconductivity enhanced by magnetic criticality in heavy-fermion systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.205107	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, 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 1-8
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 Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Hidden antiferromagnetic order in Fe-based superconductor BaFe ₂ As ₂ and NaFeAs above T _S	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.042005	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 Matsubara Shun, Kontani Hiroshi	4. 巻 101
2. 論文標題 Emergence of d ± i p -wave superconducting state at the edge of d -wave superconductors mediated by ferromagnetic fluctuations driven by Andreev bound states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.235103	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 Kontani Hiroshi、Yamakawa Youichi、Tazai Rina、Onari Seiichiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Odd-parity spin-loop-current order mediated by transverse spin fluctuations in cuprates and related electron systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.013127	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 3
2. 論文標題 Prediction of pseudogap formation due to d-wave bond-order in organic superconductor - (BEDT-TTF)2X	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L022014	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、Kontani Hiroshi	4. 巻 103
2. 論文標題 Emergence of charge loop current in the geometrically frustrated Hubbard model: A functional renormalization group study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L161112	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 Onari Seiichiro、Kontani Hiroshi	4. 巻 128
2. 論文標題 SU(4) Valley + Spin Fluctuation Interference Mechanism for Nematic Order in Magic-Angle Twisted Bilayer Graphene: The Impact of Vertex Corrections	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.066401	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 Hirata Toru, Yamakawa Youichi, Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Unconventional orbital charge density wave mechanism in the transition metal dichalcogenide 1T-TaS ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L032053	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 90
2. 論文標題 d- and p-wave Quantum Liquid Crystal Orders in Cuprate Superconductors, $\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{X}$, and Coupled Chain Hubbard Models: Functional-renormalization-group Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 111012 ~ 111012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.111012	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, Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Mechanism of exotic density-wave and beyond-Migdal unconventional superconductivity in kagome metal AV ₃ Sb ₅ (A = K, Rb, Cs)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abl4108	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 Shimajima T., Motoyui Y., Taniuchi T., Bareille C., Onari S., Kontani H., Nakajima M., Kasahara S., Shibauchi T., Matsuda Y., Shin S.	4. 巻 373
2. 論文標題 Discovery of mesoscopic nematicity wave in iron-based superconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1122 ~ 1125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abd6701	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 Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Diverse Exotic Orders and Fermiology in Fe-Based Superconductors: A Unified Mechanism for B1g/B2g Nematicity in FeSe/(Cs,Rb)Fe2As2 and Smectic Order in BaFe2As2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2022.915619	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, Matsubara Shun, Yamakawa Youichi, Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi	4. 巻 107
2. 論文標題 Rigorous formalism for unconventional symmetry breaking in Fermi liquid theory and its application to nematicity in FeSe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.035137	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 Butler Christopher John, Kohsaka Yuhki, Yamakawa Youichi, Bahramy Mohammad Saeed, Onari Seiichiro, Kontani Hiroshi, Hanaguri Tetsuo, Shamoto Shinichi	4. 巻 119
2. 論文標題 Correlation-driven electronic nematicity in the Dirac semimetal BaNiS2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2212730119	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 Kontani Hiroshi, Tazai Rina, Yamakawa Youichi, Onari Seiichiro	4. 巻 70
2. 論文標題 Unconventional density waves and superconductivities in Fe-based superconductors and other strongly correlated electron systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Physics	6. 最初と最後の頁 355 ~ 443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00018732.2022.2144590	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 Huang W. K., Hosoi S., ?ulo M., Kasahara S., Sato Y., Matsuura K., Mizukami Y., Berben M., Hussey N. E., Kontani H., Shibauchi T., Matsuda Y.	4. 巻 2
2. 論文標題 Non-Fermi liquid transport in the vicinity of nematic quantum critical point of FeSe1 - xSx superconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033367	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 H. Kontani
2. 発表標題 Nematicity, pairing mechanism and spin resonance in Fe-based SCs
3. 学会等名 Spectroscopies in Novel Superconductors ' (SNS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kontani
2. 発表標題 Mechanism of diverse nematicity and fully-gapped s-wave superconductivity in heavy fermion CeCu ₂ Si ₂ and Fe-based superconductor
3. 学会等名 SUPERSTRIPES 2019, Ischia (Naples), Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kontani
2. 発表標題 Origin of Diverse Nematicity in Fe-based superconductors: B _{2g} bond order in AFe ₂ As ₂ (A=Cs, Rb) and antiferro-nematic order in Ba ₁₂₂ compounds
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019), Okayama (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kontani
2. 発表標題 Unconventional density waves and novel pairing mechanism in strongly correlated electron systems
3. 学会等名 ELECTRON CORRELATION IN SUPERCONDUCTORS AND NANOSTRUCTURES (ECSN-2019), ODESSA, UKRAINE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 Origin of diverse nematic orders in Fe-based superconductors: 45 degree rotated nematicity in AFe ₂ As ₂ (A=Cs, Rb)
3. 学会等名 APS March meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 Diverse nematicity and superconductivity in high-T _c superconductors
3. 学会等名 the 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 Spin fluctuation driven nematicity in Fe-based and high-T _c superconductors
3. 学会等名 6th International Conference On Superconductivity & Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 各種高温超伝導体におけるネマティック秩序
3. 学会等名 高温超伝導フォーラム (第6回)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 エッジ誘起奇周波数s波超伝導に対する強結合理論
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 FeSe系におけるNematicityと量子臨界性
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Kontani
2. 発表標題 "Exotic density-wave states and superconductivity in kagome metals and other strongly correlated electron systems"
3. 学会等名 Superstripes 2022 Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 紺谷浩
2. 発表標題 多軌道金属における内因性ホール効果：軌道流とスピン流の関係性
3. 学会等名 第85回スピントロニクス専門研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Sc研究室・研究業績・出版論文 http://www.s.phys.nagoya-u.ac.jp/publication/index.html Sc研 出版論文 http://www.s.phys.nagoya-u.ac.jp/publication Sc研 学会・研究会・受賞等 http://www.s.phys.nagoya-u.ac.jp/publication/talks
--

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
研究分担者	土射津 昌久 (TSUCHIIZU MASAHISA) (70362225)	奈良女子大学・自然科学系・准教授 (14602)	

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
---------	---------