

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05559

研究課題名(和文)最適化量子モンテカルロ法に基づく高温超伝導機構の研究

研究課題名(英文) Study of the mechanism of high-temperature superconductivity based on optimized Monte Carlo method

研究代表者

柳澤 孝 (Yanagisawa, Takashi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・招聘研究員

研究者番号：90344217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：強相関電子系の電子状態を明らかにし高温超伝導機構を解明するために、モンテカルロ法による数値的研究を行なった。強相関電子系においては、多体電子相関効果が重要である。我々は、多体の波動関数を改良して最適化し、その最適化波動関数を用いたモンテカルロ法(最適化モンテカルロ法)を開発した。銅酸化物高温超伝導体のモデルに対して、超伝導相と反強磁性相を含む基底状態の相図を明らかにした。高温超伝導は電子間相互作用により引き起こされ、強相関領域において反強磁性相関が弱まり超伝導状態が安定化しやすいことを示した。特に反強磁性相と常磁性相とのクロスオーバー領域において高い臨界温度が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温超伝導の機構を明らかにすることは、基礎科学において重要であり新たなパラダイムの形成につながる。応用面からも非常に重要であり、高温超伝導機構の解明により、新しい高温超伝導体のデザインが可能となり新超伝導体の発見につながると期待できる。温超伝導体が実現したならば社会的インパクトは非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：We investigated electronic properties of strongly correlated electron systems by using an optimization variational Monte Carlo method. The electron correlation effect plays an important role in strongly correlated systems. We use an improved wave function being a wave function of off-diagonal type. The many-body effect plays an important role as an origin of antiferromagnetism and superconductivity in correlated electron systems. We investigated electronic models such as the two-dimensional Hubbard model and the three-band d-p model. We have obtained the ground-state phase diagram for these model including superconducting and antiferromagnetic phases. The ground-state phase diagram is consistent with that is obtained by experiments for high-temperature cuprates. There is a crossover between weakly correlated region and strongly correlated one as the Coulomb interaction increases. High-temperature superconductivity will be possible in strongly correlated region.

研究分野：量子多体問題

キーワード：量子多体問題 強相関電子系 高温超伝導 最適化モンテカルロ法 ハバードモデル 反強磁性ゆらぎ 多体効果 強相関超伝導

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

銅酸化物高温超伝導体が発見されてから 30 年以上が経過したが、その超伝導機構はまだ明らかになっていない。銅酸化物高温超伝導体は電子相関が強い系であり、この物質での超伝導機構を明らかにするためには、強相関電子系の電子状態を明らかにしなければならない。しかしながら、強相関電子系の、特に基底状態の電子状態を明らかにすることは、非常に難しい課題である。銅酸化物高温超伝導体の超伝導機構が、今日まで明らかになっていないのはこのためである。

我々はこれまでいくつかの電子相関モデルに基づいて、変分モンテカルロ法、量子モンテカルロ法などを使うことにより超伝導機構の研究を行ってきた。ここで、電子相関モデルとは、ハバードモデル、d-p モデルなどのように電子間相互作用が主な相互作用であるモデルのことである。電子相関モデルにおいては、相互作用のエネルギースケールが 1eV のオーダーであるため、その相互作用から生じる超伝導状態においては高い超伝導臨界温度 $T_c$ が期待できる。シミュレーションの結果は高温超伝導が可能であることを示している。特に、二次元ハバードモデルに対して変分モンテカルロ法により計算された超伝導凝縮エネルギーは、銅酸化物高温超伝導体において実験により得られた値と非常に良く一致した。これは、銅酸化物における高温超伝導の起源が電子間相互作用にあることを強く示唆している。

電子相関モデルにおいて超伝導の可能性は示されたが、この計算においてはグッツビラー (Gutzwiller) 関数という強相関系の波動関数としては一番簡単なものを用いていた。より精密な波動関数に対してはどうなるであろうかという疑問が残る。また、高温超伝導体の相図においては、反強磁性絶縁相、異常金属相などいろいろな相が存在する。これらの相は電子相関モデルで説明できるであろうか。

我々は、新しい最適化された波動関数を提案し、それに基づいたモンテカルロシミュレーションを行い、この波動関数が世界中でこれまでに提案されたどの波動関数と比較しても、一番に最適化された最良の波動関数であることを見いだした。小さい系では、物理量の期待値が厳密な値に非常に近くなる。我々は、この波動関数に基づいて、ハバードモデル等の強相関電子系の電子状態を明らかにすることができると考えている。これにより、基底状態の相図が明らかになれば、高温超伝導の機構も明らかになると期待できる。

### 2. 研究の目的

最適化された波動関数により、電子相関モデルの、特に強相関領域における超伝導を含む相図を明らかにする。それにより、高温超伝導の機構を明らかにすることが研究の目的である。

ハバードモデルなどの電子相関モデルに超伝導相は存在するかという問題は長い間議論されてきた。これまでの量子モンテカルロ法によるシミュレーションの結果は、ハバードモデルにおける超伝導の可能性については否定的であった。これは、数値計算が、クーロン相互作用が小さい弱相関領域に限られていた (すなわち、超伝導相関がまだ発達していない)、あるいは超伝導が存在しない領域 (すなわち、反強磁性が支配的な領域) に限られていたからである。超伝導相は強相関領域に存在するのである。弱相関領域と強相関領域を分けるクーロン相互作用の大きさは、ほぼバンド幅のエネルギーである。相互作用の大きさがバンド幅より大きい強相関領域では、高温超伝導も可能であると期待できる。

明らかにすべきことは、二次元ハバードモデルおよび二次元 d-p モデルの強相関領域における基底状態の相図の構造である。相図の中に超伝導相が存在しているか、存在しているならばどれくらいの広がりであるのかを明らかにすることが重要である。我々の最適化波動関数は、強相関領域においても計算が可能であり、エネルギーの期待値はほかのどの波動関数よりも良い、すなわち低い。

高温超伝導機構を、最適化された最良の波動関数を使い、強相関領域も含めた計算により明らかにする。我々の計算方法は、強相関領域においても有効であることに特色がある。相互作用の強さが、バンド幅の 4~5 倍の領域までの計算が可能である。数値計算の結果からは、弱相関領域には高温超伝導相は存在しないことはほぼ明らかであり、超伝導相が存在したとしても臨界温度は非常に低い。我々はモンテカルロ法を使って期待値を計算するため、強相関領域においても波動関数の情報を正しく評価できる。また、第一原理計算により得られた結果を基に、高温超伝導により最適な物質パラメーターの領域を明らかにすることができる。

### 3. 研究の方法

最適化された波動関数を使ったモンテカルロ法による数値計算を行い、銅酸化物高温超伝導体のモデルである二次元ハバードモデル等の電子相関モデルの基底状態の相図を明らかにする。特に、高温超伝導が可能であると考えられる強相関領域において、各種の物理量を計算し、超伝導状態、反強磁性状態などの安定性を明らかにする。マルチパラメーターの空間の中で、超伝導に最適な物質パラメーターはどこにあるかを調べ、高温超伝導が実現する領域を明らかにする。

我々の方法は、すべてのパラメーター領域で有効であり、基底状態のエネルギーに関してはこれまで世界中で提案されてきたどの波動関数よりもよい値を与える。相図を明らかにするため

に、反強磁性状態と超伝導状態の安定性を明らかにする。重要なのは、電子濃度とクーロン相互作用の大きさ  $U$  を変えた時の反強磁性状態の安定性である。クーロン相互作用が大きくなると反強磁性相関もそれと共に大きくなると考えがちであるが、これは正しくない。反強磁性状態にキャリアーがドーピングされた場合、クーロン相互作用が大きくなるに従い電子は動きにくくなるため、運動エネルギーの得が少なくなる。反強磁性によるエネルギーの下がり方は  $1/U$  のように小さくなるので、電子達は反強磁性相関を壊して動き易くなる事により運動エネルギーを得て、全エネルギーを下げようとする。すなわち、 $U$  が非常に大きくなると、反強磁性秩序は壊されて反強磁性相関は小さくなる。この時、電荷ゆらぎと共に大きな反強磁性ゆらぎが引き起こされる。このゆらぎが超伝導を引き起こすと期待できる。これは強相関領域のゆらぎであり、これまで考えられてきた弱相関領域のゆらぎとは全く異なる。弱相関領域のゆらぎでは、モンテカルロ法による数値計算によると、超伝導状態は安定とならないのである。すなわち、相互作用の大きさがバンド幅よりも大きい強相関領域におけるゆらぎこそが、高温超伝導の起源である。反強磁性相関が弱まると同時に超伝導相関が大きくなる。このことを、物質パラメーターを変化させながら、系統的に明らかにする。

#### 4. 研究成果

我々は強相関電子系に対する波動関数について考察し、相関が強い領域においても有効である多体の波動関数を提案してきた。この波動関数による基底状態のエネルギーは、世界中の他のどのグループの波動関数によるものよりも低く、ベストなエネルギー期待値を与えることを示した。物理量の期待値は、コンピューターによりモンテカルロ法を用いることにより正しく計算できる。

我々の波動関数は次の形をしている：

$$\begin{aligned}\psi_\lambda &= e^{-\lambda K} P_G \psi_0, \\ \psi_\lambda^{(2)} &= e^{-\lambda' K} P_G e^{-\lambda K} P_G \psi_0.\end{aligned}$$

$\psi_0$  は一体の波動関数であり、出発点となる波動関数である。Gutzwiller の演算子  $P_G$  はアップ、ダウンのスピンを持った電子の二重占有を制御する。 $K$  はハミルトニアン  $H$  の非摂動部分であり、フェルミ粒子系の運動エネルギーの演算子である。これらの演算子を繰り返し作用させることにより波動関数を改良していくことができる。 $\psi_\lambda^{(2)}$  は、 $\psi_\lambda$  を改良したものである。指数関数の因子  $e^{-\lambda K}$  はフェルミ粒子系の運動エネルギー効果を変化させる。この演算子の重要な役割は、フェルミ面近傍の励起状態のウェイトを制御することである。高いエネルギーの励起状態に対しては  $e^{-\lambda K}$  が小さくなり、そのような励起状態の寄与は小さくなる。すなわち、フェルミ面近くの低エネルギーの励起の寄与が大きくなる。低エネルギーの寄与をパラメーター  $\lambda$  によりコントロールするわけである。この点はくりこみ群の方法と類似性がある。くりこみ群においてはフェルミ面近傍の寄与を拡大させることにより状態の変化を調べるのであり、我々の方法においてはフェルミ面近くの寄与を拡大することにより波動関数を最適化する。この方法により、フェルミ面近くの物理量の振る舞いが改良される。図 1 に二次元ハバードモデルにおける運動量分布を示す。Gutzwiller 関数ではフェルミ面近くで増大するという非物理的な振る舞いが見られるが、波動関数  $\psi_\lambda$  においては改良されている。これはフェルミ面近くの励起状態を制御した効果を示している。

これらの波動関数を使って最適化変分モンテカルロによる研究を行なった二次元ハバードモデルに対する結果を示す。ハバードモデルにおいてはクーロン相互作用  $U$  と次近接トランスファー  $t'$  が重要な役割をする。 $U$  を大きくしていくと弱相関から強相関へのクロスオーバーが起こり、クロスオーバー領域において超伝導相関が大きくなる。 $U$  の関数として反強磁性と超伝導のギャップ関数を示すと図 2 のようになる。図 2 はホールを 12% ドープした場合であり、反強磁性ギャップは  $U$  と共に増大するが、バンド幅を越えると減少に転ずる。ホールをドーピングしないキャリアーがゼロの場合は、反強磁性ギャップは  $U$  と共に増大するままであることから、大きな  $U$  に対して反強磁性相関が弱くなるのは、ドーピングされたキャリアーの効果による。 $U$  が大きくなるとホールが動きにくくなるため、全エネルギーを下げるために反強磁性秩序を壊してホールを動きやすくする。その結果、運動エネルギーを稼ぐことができ基底状態のエネルギーが下げることができる。このようにして  $U$  が大きい領域では反強磁性相関は抑えられる。この反強磁性が弱くなった領域において超伝導相関が増大し、超伝導状態を安定化させる。反強磁性相関の減少は、反強磁性ゆらぎの増大を意味し、このゆらぎが超伝導を安定化させると考えられる。すなわち、超伝導状態は強相関領域において安定になり易く、高温超伝導はこの領域において実現すると期待される。

銅酸化物高温超伝導体の特徴は、低ドーピング域に反強磁性絶縁体相があり、そこへホールドーピングすることにより超伝導相が現れることにある。我々が得た相図を図 3 に示す。この相図においては、凝縮エネルギーをホール濃度  $x$  の関数として表示しており、高温超伝導体に対して得られている相図とコンシステントである。 $10 \times 10$  の系において  $U/t = 18$ 、 $t' = 0$  とおいた。反強磁

性は $x \sim 0.09$ で消失し超伝導状態へと移る。低ドーピング域には反強磁性絶縁体相が存在する。この状態は相分離の結果として実現している。すなわち、二次元ハバードモデルでは相分離が起こる。

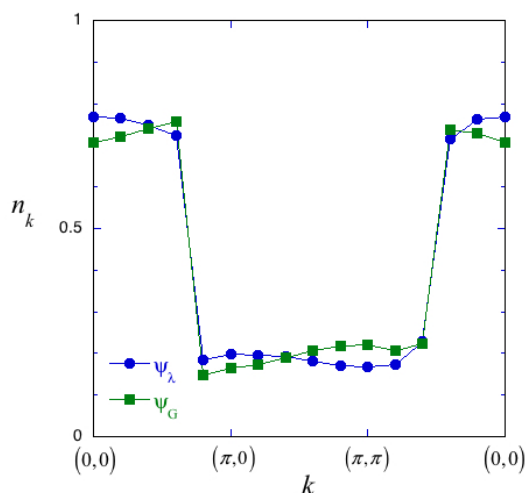


図 1. 二次元ハバードモデルの運動量分布関数.  $10 \times 10$ の系において $U/t = 10$ 、電子数 $N_e = 88$ とした。Gutzwiller 波動関数( $\psi_G$ )と改良された波動関数 $\psi_\lambda$ との比較を示す。フェルミ面近傍での振る舞いが改良されている。

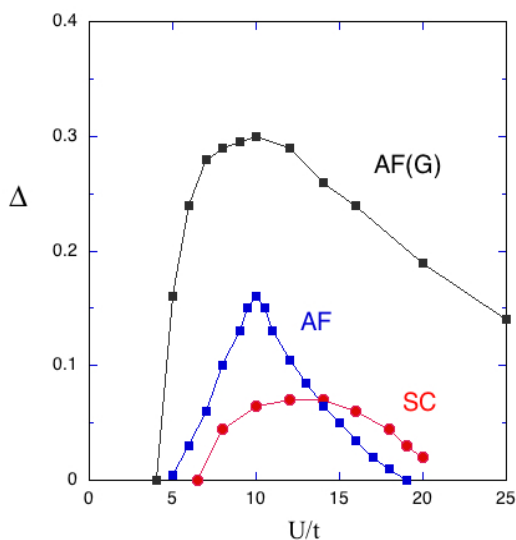


図 2. ギャップ関数の  $U$  依存性. 反強磁性と超伝導のギャップ関数の  $U$  依存性を示す。 $10 \times 10$ の系において $N_e = 88$ とおいた。AF(G)は Gutzwiller 関数に対する結果である。 $U$ が大きくなると、超伝導状態が反強磁性状態より安定になる。

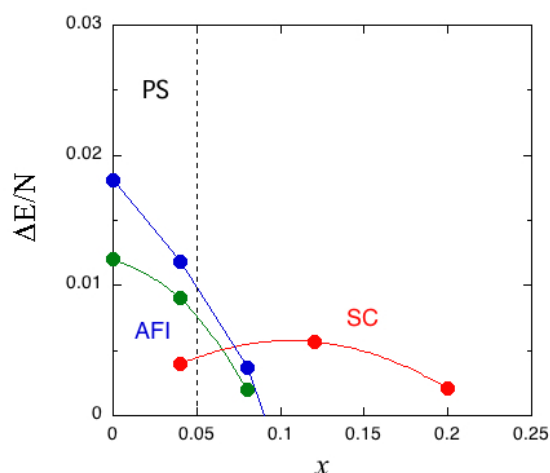


図 3. 二次元ハバードモデルの相図. 凝縮エネルギーのホール濃度( $x$ )依存性を示す。低濃度域に反強磁性絶縁体相が存在する。反強磁性状態は $x \geq 0.09$ において不安定になる。 $10 \times 10$ の系において $U/t = 18$ 、 $t' = 0$ とおいた。 $0.05 < x < 0.09$ においては反強磁性と超伝導が共存する。

二次元ハバードモデルにおいて、反強磁性相関が弱まる領域で超伝導相関が増大する(図 2 参照)ことから、超伝導の実現には反強磁性ゆらぎが深く関係していると考えられる。超伝導の安定化にはもう一つ重要な効果があり、それが運動エネルギーの効果である。反強磁性秩序が壊れるのは運動エネルギーの効果であったが、この効果は同時に超伝導にとって有利に働いている。図 4 に運動エネルギー効果についての結果を示す。 $10 \times 10$ の格子で電子数を $N_e = 88$ とした。運動エネルギー項の期待値に関して、次のような量を考える：

$$\begin{aligned}\Delta E_{kin} &= E_{kin}(\psi_G) - E_{kin}(\psi_\lambda), \\ \Delta E_{sc} &= E(\Delta=0) - E(\Delta=\Delta_{opt}), \\ \Delta E_{kin-sc} &= E_{kin}(\Delta=0) - E_{kin}(\Delta=\Delta_{opt}).\end{aligned}$$

ここで、 $\Delta$ は波動関数の中の超伝導ギャップのパラメーターであり、 $\Delta_{opt}$ はその最適値を表す。 $\Delta E_{kin}$ は運動エネルギー項に対する指数関数 $e^{-\lambda K}$ の効果を表す量であり、 $U$ が小さいと負であるが $U$ が大きい領域では正になる。これは $U$ が大きいと、 $\lambda$ の効果により運動エネルギーによるエネルギーの得が大きくなることを示している。同時に、超伝導凝縮エネルギーにおける運動エネルギー項からの寄与が増大している。これは、運動エネルギー効果が超伝導状態を安定化させていることを示している。すなわち、高温超伝導の実現には、反強磁性ゆらぎと運動エネルギーが重要である。

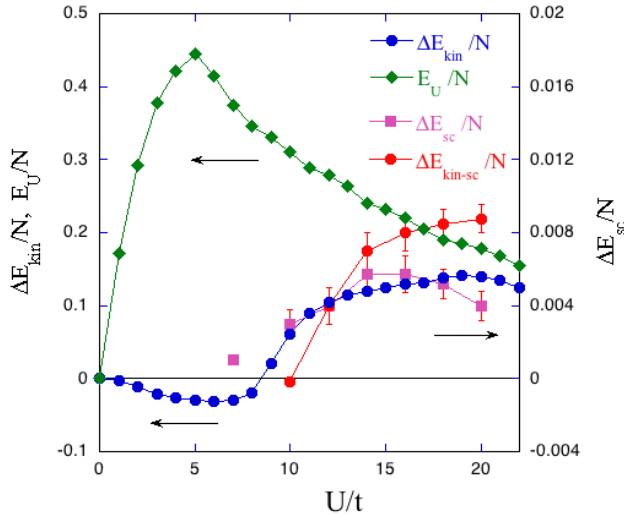


図4. 凝縮エネルギーとその運動エネルギー部分の  $U$  依存性.  $10 \times 10$  の系において  $N_e = 88$  ( $x = 0.12$ ) とおいた。

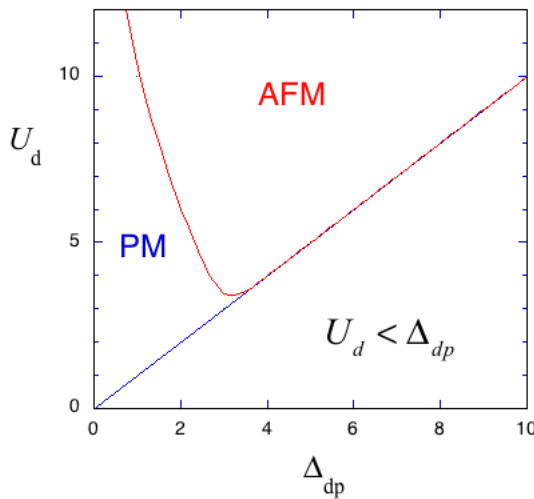


図5. d-p モデルにおける  $\Delta_{dp} - U_d$  面の相図. d 軌道と p 軌道のレベル差が大きくなると反強磁性領域が広がる。反強磁性と常磁性領域の境界領域に超伝導相が存在すると考えられる。

三バンドの d-p モデルはハバードモデルに比べ計算が難しくなる。d-p モデルの特徴は、ハバードモデルに比べ反強磁性が非常に安定化し易いということである。反強磁性を抑えるためには相互作用パラメーターとバンドパラメーターの選択が重要である。図5に  $\Delta_{dp} - U_d$  面の相図を示す。ここで、 $U_d$ は d ホール間の斥クーロン相互作用であり、 $\Delta_{dp}$ は d と p 軌道のレベル差を示す:  $\Delta_{dp} = \epsilon_p - \epsilon_d$ .  $\Delta_{dp}$ が大きいと反強磁性状態がより安定になり、反強磁性を抑えるためには  $\Delta_{dp}$ を小さくする必要がある。図5における反強磁性と常磁性領域の境界の近くでは反強磁性ゆらぎが増大する。この領域に超伝導相が存在し高温超伝導が可能となる。

我々は、最適化変分モンテカルロ法により高温超伝導機構についての研究を行なった。強相関領域に高温超伝導の可能性があり、強相関領域における強いゆらぎ及び運動エネルギー効果が超伝導状態を安定化する。銅酸化物高温超伝導体に対して実験により得られた相図とコンスタントな相図が、我々の計算により得られた。高温超伝導は、反強磁性と常磁性領域との境界において一番可能性があると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計42件（うち査読付論文 42件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 Takashi Yanagisawa	4. 巻 88
2. 論文標題 Antiferromagnetism, Superconductivity and Phase Diagram in the Two-Dimensional Hubbard Model	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 054702, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.054702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takashi Yanagisawa, Yoichi Higashi, Izumi Hase	4. 巻 88
2. 論文標題 Fractional Skyrmion and Absence of Low-Lying Andreev Bound States in a Micro Fractional-flux Quantum Vortex	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 104704, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.104704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takashi Yanagisawa	4. 巻 4
2. 論文標題 Mechanism of High-Temperature Superconductivity in Correlated-Electron Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 57, 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/condmat4020057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima	4. 巻 9
2. 論文標題 Flat-Band in Pyrochlore Oxides: A First-Principles Study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 876, 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano9060876	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 Takashi Yanagisawa	4. 巻 1293
2. 論文標題 Antiferromagnetism, superconductivity and phase diagram in the three-band model of high-temperature cuprates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 012027, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1293/1/012027	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. Tanaka, H. Yamamori, T. Yanagisawa, S. Ooi, M. Tachiki, S. Arisawa	4. 巻 567
2. 論文標題 Flattened remnant-eld distribution in superconducting bilayer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica C	6. 最初と最後の頁 1253489, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physc.2019.04.017	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 I. Hase, T. Yanagisawa, A. Iyo, H. Fujihisa, Y. Goto, H. Eisaki, K. Kawashima	4. 巻 1293
2. 論文標題 Electronic Structure of Novel Non-centrosymmetric Superconductor Mg2Rh3P	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 012028, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1293/1/012028	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 T. Yanagisawa, M. Miyazaki, K. Yamaji	4. 巻 2020
2. 論文標題 Phase Diagram and Mechanism of Superconductivity in Strongly Correlated Electrons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Superconductivity and Novel Magnetism	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10948-020-05487-1	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 T. Yanagisawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Zero-Energy Modes, Fractional Fermion Numbers and The Index Theorem in a Vortex-Dirac Fermion System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 373, 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym12030373	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 T. Yanagisawa, M. Miyazaki, K. Yamaji	4. 巻 34
2. 論文標題 Phase diagram of cuprate high-temperature superconductors based on the optimization Monte Carlo method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Modern Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217984920400461	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 T. Yanagisawa	4. 巻 2020
2. 論文標題 Fermion zero-energy modes and fractional fermion numbers in a fractional vortex-fermion system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 in press
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 I. Hase, T. Yanagisawa, H. Kito, Y. Iwakiri, T. Nishio, Y. Fujihisa, Y. Goto, H. Eisaki, K. Kawashima	4. 巻 2020
2. 論文標題 Electronic structure of novel superconductor doped ZrPSe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 in press
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 柳澤孝	4. 巻 88
2. 論文標題 Antiferromagnetism, superconductivity and phase diagram in the two-dimensional Hubbard model	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 054702-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.054702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 長谷泉、柳澤孝、相浦義弘、川島健司	4. 巻 120
2. 論文標題 Possibility of Flat-Band Ferromagnetism in Hole-Doped Pyrochlore Oxides Sn <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> and Sn <sub>2</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 196401-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.196401	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 柳澤孝、宮崎真長、山地邦彦	4. 巻 3
2. 論文標題 Crossover induced electron pairing and superconductivity by kinetic renormalization in correlated electron systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 26-1, 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/condmat3030026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤孝、長谷泉、田中康資	4. 巻 A382
2. 論文標題 Massless and quantized excitation modes of kinks in the phase space of superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters	6. 最初と最後の頁 3483, 3489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2018.10.008	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 柳澤孝	4. 巻 2018
2. 論文標題 Theory of Green's functions of Nambu-Goldstone and Higgs modes in superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Superconductivity and Novel Magnetism	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) 10.1007/s10948-018-4983-2	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 -

1. 著者名 柳澤孝	4. 巻 in press
2. 論文標題 Antiferromagnetism, superconductivity and phase diagram in the three-band model for high-temperature cuprates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤孝	4. 巻 2019
2. 論文標題 Renormalization group analysis of the hyperbolic sine-Gordon model -- Asymptotic freedom from cosh interaction --	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 023A01-1, 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 長谷泉、柳澤孝、伊豫彰、藤久裕司、後藤義人、永崎洋、川島健司	4. 巻 in press
2. 論文標題 Electronic structure of novel non-centrosymmetric superconductor Mg <sub>2</sub> Rh <sub>3</sub> P	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中康資、山森弘毅、柳澤孝、西尾太郎、有沢俊一	4. 巻 C548
2. 論文標題 Experimental formation of a fractional vortex in a superconducting bi-layer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica	6. 最初と最後の頁 44, 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physc.2018.02.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中康資、山森弘毅、柳澤孝、西尾太郎、有沢俊一	4. 巻 277
2. 論文標題 An unconventional vortex state in a superconducting bilayer where one layer has a hole	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Solid State Communications	6. 最初と最後の頁 39, 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssc.2018.04.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤孝	4. 巻 2018
2. 論文標題 Dimensional regularization approach to the renormalization group theory of the generalized sine-Gordon model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 9238280-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2018/9238280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 長谷泉、柳澤孝、伊豫彰、永崎洋、吉田良行	4. 巻 1054
2. 論文標題 Electronic structure of novel binary superconductor SrGe <sub>2</sub> : A first-principles study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics Conference Series	6. 最初と最後の頁 012004-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1054/1/012004	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 Takashi Yanagisawa	4. 巻 23
2. 論文標題 Theory of spontaneous symmetry breaking and an application to superconductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications in Computational Physics	6. 最初と最後の頁 459, 475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4208/cicp.0A-2017-0057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yanagisawa, Mitake Miyazaki, Kunihiro Yamaji	4. 巻 31
2. 論文標題 Crossover-induced spin fluctuation and electron pairing in strongly correlated electrons	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Superconductivity and Novel Magnetism,	6. 最初と最後の頁 785, 790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10948-017-4424-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yanagisawa	4. 巻 86
2. 論文標題 Nambu-Goldstone bosons characterized by the order parameter in spontaneous symmetry breaking	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 104711, 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.104711	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yanagisawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Strongly correlated superconductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics B	6. 最初と最後の頁 1840023, 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217979218400234	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 I. She, T. Yanagisawa, Y. Aiura, K. Kawashima	4. 巻 120
2. 論文標題 Possibility of flat-band ferromagnetism in hole doped pyrochlore oxide Sn <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> and Sn <sub>2</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 196401, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.196401	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 T. Yanagisawa, I. Hase, M. Miyazaki, K. Yamaji	4. 巻 871
2. 論文標題 Magnetism, fluctuations and mechanism of high-temperature superconductivity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012015, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/871/1/012015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima	4. 巻 12
2. 論文標題 One way to design a valence-skip compound	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 127, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s1167-017-1897-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima	4. 巻 3
2. 論文標題 The competition between the CDW and the superconducting state in valence skip compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications in Computational Physics	6. 最初と最後の頁 773-780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4208/cicp.0A-2017-0060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima	4. 巻 871
2. 論文標題 Evolution of the CDW gap in valence skipper RbTiX3 (X= F, Cl, Br): A first-principles study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/871/1/012030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima	4. 巻 13
2. 論文標題 Computational Design of Flat-Band Material	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 63, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s11671-018-2464-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Yanagisawa, M. Miyazaki, K. Yamaji, I. Hase	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Optimized wave function by kinetic renormalization effect in strongly correlated region of the three-band Hubbard model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Yanagisawa	4. 巻 261
2. 論文標題 Fluctuation modes in multi-gap superconductors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Springer Series in Materials Science	6. 最初と最後の頁 219, 254
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 T. Yanagisawa	4. 巻 4
2. 論文標題 Renormalization group theory of effective field theory models in low dimensions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Recent Studies in Perturbation Theory	6. 最初と最後の頁 97, 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5772/intechopen.68214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Tanaka, H. Yamamori, T. Yanagisawa, T. Nishio, S. Arisawa	4. 巻 458
2. 論文標題 Experimental formation of a fractional vortex in a superconducting bi-layer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics C	6. 最初と最後の頁 44, 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physc.2018.02.001	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 T. Yanagisawa, M. Miyazaki, K. Yamaji	4. 巻 6
2. 論文標題 On the kinetic driven superconductivity in the two-dimensional Hubbard model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 12-1, 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/condmat6010012	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 T. Yanagisawa	4. 巻 2021
2. 論文標題 Renormalization group theory of generalized multi-vertex sine-Gordon model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033A01-1, 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab026	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 T. Yanagisawa	4. 巻 403
2. 論文標題 Enhancement of superconductivity due to kinetic energy effect in the strongly correlated phase in the two-dimensional Hubbard model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 127382-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2021.127382	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 T. Yanagisawa, M. Miyazaki, K. Yamaji	4. 巻 134
2. 論文標題 Ground-state phase diagram of the three-band d-p model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Europhysics Letters	6. 最初と最後の頁 in press
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 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Takashi Yanagisawa
2. 発表標題 Phase diagram and mechanism of superconductivity in correlated electron systems
3. 学会等名 Superstripes 2019 Quantum Complex Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Yanagisawa
2. 発表標題 Phase diagram of cuprate high-temperature superconductors based on the optimization Monte Carlo method
3. 学会等名 International Conference on Electron Correlation in Superconductors and Nanostructures (ECSN-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Takashi Yanagisawa
2. 発表標題 Fermion zero-energy modes and fractional fermion numbers in a fractional vortex-fermion model
3. 学会等名 32nd International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Hase, T. Yanagisawa, H. Kito, Y. Iwakiri, T. Nishio, Y. Fujihisa, Y. Goto, H. Eisaki, K. Kawashima
2. 発表標題 Electronic Structure of Novel Superconductor doped-ZrPSe
3. 学会等名 32nd International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 分数量子磁束における準粒子モードと分数トポロジカル数
3. 学会等名 渦のコスモロジー研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤孝、東陽一、長谷泉
2. 発表標題 分数量子渦糸における異常準粒子励起と非整数トポロジカル数
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 渦糸-フェルミ粒子系におけるゼロエネルギーモードとフェルミオン指数
3. 学会等名 第27回渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東陽一、柳澤孝、長谷泉
2. 発表標題 空間的に一様な二次元ラッシュバ超伝導の面内臨界磁場
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 東陽一、柳澤孝、長谷泉
2. 発表標題 二次元ラッシュバ系におけるパウリ対破壊効果の抑制を考慮した線形化ギャップ方程式と非磁性散乱効果
3. 学会等名 第27回渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷泉、柳澤孝、川島健司
2. 発表標題 パイロクロア酸化物 $A_2B_2O_7$ ( $A=Sn, Pb, Tl$ ; $B=Nb, Ta$ ) における擬フラットバンド
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東陽一、柳澤孝、長谷泉
2. 発表標題 二次元ラッシュバ超伝導体の面内臨界磁場：非磁性散乱とパリティ混成効果
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 田中康資、山森弘毅、柳澤孝、西尾太郎、有沢俊一
2. 発表標題 量子分割技術
3. 学会等名 第5回量子技術イノベーションコアワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中康資、山森弘毅、柳澤孝、西尾太郎、有沢俊一
2. 発表標題 量子分割とダークマイスナー
3. 学会等名 超伝導かけはしプロジェクトワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima
2. 発表標題 Flat-Band in Pyrochlore Oxides: A First-Principles Study
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有沢俊一、立木実、大井修一、小森和範、遠藤和弘、田中康資、山森弘毅、柳澤孝、西尾太郎、林忠之、
2. 発表標題 走査SQUID顕微鏡を利用した材料開発と物性評価
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 Crossover induced electron pairing and high-temperature superconductivity in correlated electron systems
3. 学会等名 Quantum Complex Matter Superstripes 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 多成分超伝導体における分数量子磁束の物理と理論
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 二次元強相関係における相図
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 Antiferromagnetism, superconductivity, renormalization and phase diagram in materials with strong correlation
3. 学会等名 31th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷泉、柳澤孝、伊豫彰、藤久裕司、後藤義人、永崎洋、川島健司
2. 発表標題 Electronic Structure of Novel Non-centrosymmetric Superconductor Mg <sub>2</sub> Rh <sub>3</sub> P
3. 学会等名 31th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳澤孝、田中康資、山森 弘毅、西尾太郎、有沢俊一、東 陽一
2. 発表標題 Singular quantum vortex states in layered superconductors and applications to technology
3. 学会等名 産総研-理研第4回量子技術イノベーションコアWorkshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 多成分超伝導体における位相キルク内の量子化されたモード
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷泉、柳澤孝、伊豫彰、永崎洋、吉田良行、川島健司
2. 発表標題 空間反転対称性を持たない新超伝導体 Mg <sub>2</sub> Rh <sub>3</sub> P の電子状態
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 長谷泉、柳澤孝、川島健司
2. 発表標題 フラットバンド磁性体の計算機デザイン
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 有沢俊一、田中康資、西尾太一郎、柳澤孝、山森弘毅、遠藤和弘
2. 発表標題 Observation of unconventional magnetic flux quantum in multilayered superconducting thin films by scanning SQUID microscopy
3. 学会等名 2018 Fall Meeting; European Materials Research Society (MRS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾太一郎、有沢俊一、田中康資、柳澤孝、山森弘毅、立木実、大井修一
2. 発表標題 Nucleation of Fractional Vortices in a Superconducting Bilayer
3. 学会等名 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yanagisawa
2. 発表標題 Strongly correlated superconductivity
3. 学会等名 International Conference on Electron Correlation in Superconductors and Nanostructures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yanagisawa
2. 発表標題 Crossover-induced spin fluctuation and electron pairing in correlated electron systems
3. 学会等名 Quantum in Complex Matter: Superstripes 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 最適化波動関数による二次元d-pモデルの電子状態
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳澤孝、長谷泉、小田切宏輔
2. 発表標題 超伝導体における南部・ゴールドストーンおよびヒッグスモード
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yanagisawa, I. Hase, M. Miyazaki, K. Yamaji
2. 発表標題 Optimized wave function by renormalization effect in strongly correlated region of the three-band d-p model for curates
3. 学会等名 30th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 自発的対称性の破れにおけるゆらぎのモードと超伝導
3. 学会等名 第25回渦糸物理国内会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. Hase, T. Yanagisawa, K. Kawashima
2. 発表標題 Computational Design of Flat-Band Material
3. 学会等名 EMN Summit 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. Hase, T. Yanagisawa, A. Iyo, H. Eisaki, Y. Yoshida, K. Kawashima
2. 発表標題 Electronic structure of novel binary superconductor SrGe <sub>2</sub>
3. 学会等名 30th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 長谷泉、柳澤孝、川島健司
2. 発表標題 Sn <sub>2</sub> T <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (T=Nb, Ta) の特異な電子状態とフラットバンド強磁性
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳澤孝、宮崎真長、山地邦彦
2. 発表標題 最適化波動関数による2次元強相関系の反強磁性相図
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yanagisawa
2. 発表標題 Kinetic energy driven superconductivity and quantum fluctuation in cuprate high-temperature superconductors
3. 学会等名 Quantum Complex Matter 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yanagisawa
2. 発表標題 Phase diagram of cuprate high-temperature superconductors
3. 学会等名 International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 近藤効果研究の新展開(はじめに)
3. 学会等名 日本物理学会年次大会(招待講演)
4. 発表年 2020年~2021年

1. 発表者名 柳澤孝
2. 発表標題 最適化変分モンテカルロ法によるd-pモデルの相図
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 柳澤孝、門脇和男、北孝文、石田武和、他	4. 発行年 2017年
2. 出版社 裳華房	5. 総ページ数 674
3. 書名 超伝導磁束状態の物理	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 バンド間位相差ソリトンの発生方法	発明者 田中康資、柳澤孝、 長谷泉	権利者 産業技術総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、6455929	取得年 2018年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

Theoretical study of Quantum Physics  
staff.aist.go.jp/t-yanagisawa  
Researchmap  
https://researchmap.jp/quantumtheta  
http://staff.aist.go.jp/t-yanagisawa/  
https://researchmap.jp/read0081572/?lang=japanese  
http://staff.aist.go.jp/t-yanagisawa/

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	長谷 泉  (Hase Izumi)  (00357774)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・ 製造領域・主任研究員   (82626)	

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