

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03507

研究課題名(和文)縮退バンドモデルにおける電気16極子秩序を伴った超伝導の理論研究

研究課題名(英文)Theoretical study of superconductivity accompanied with hexadecapole order on a degenerate-band model

研究代表者

三本 啓輔 (Mitsumoto, Keisuke)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：50515567

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)：鉄系超伝導体のような正方晶系に現れる2重縮退した軌道をもつ基本モデルにおける電気四極子効果や電気16極子効果の解明を行った。非共形空間群 $P4/nmm$ の結晶構造をもつCeCoSiにおいて未知の相転移は電気四極子や電気16極子のような電気多極子秩序の可能性があったことが分かった。また、LaMnSiやCeMnSiにおける空間反転対称性と時間反転対称性は奇でありその組み合わせである時空間反転対称性は偶の系で現れる重い電子状態などの電子状態を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超音波による電気四極子歪み相互作用、電気16極子回転相互作用の役割が明らかにされてきたことで、正方晶系化合物における軌道の2重縮退に注目し、それがもつ自由度である2つの電気四極子とその電気四極子と交換関係にある電気16極子が示す物性を解明することは、Kramers二重項が示す磁気的な性質の解明と対極的な対応関係があり、学術的意義がある。また、非共形空間群が示す物性の解明も結晶構造に由来する縮退の破れが考えられるため、どのような基底状態が現れるのか解明することも重要である。

研究成果の概要(英文)：We investigated effect of electronic quadrupoles and an electric hexadecapole in a model based on a doubly degenerated orbital degrees of freedom in a tetragonal crystal such as iron-based superconductors. Furthermore, we elucidated an electronic state in RTSi with a nonsymmorphic space group, which has the same crystal structure as 111 iron-based superconductors: (1) Electrical multipole orderings in CeCoSi and (2) Electronic states without space-inversion and time-reversal symmetries in LaMnSi and CeMnSi.

研究分野：物性物理学

キーワード：電気四極子 電気16極子 正方晶 非共形空間群

1. 研究開始当初の背景

正方晶化合物は磁性、四極子秩序、超伝導などの多彩な物性を示すことから、従来から研究が進められてきた。例えば、1986年に超伝導が発見された銅酸化物は母物質で反強磁性が現れ、酸素欠陥を作りキャリアドープすることでその反強磁性が消え、超伝導状態が現れる。反強磁性相と超伝導相が隣り合っていることから、反強磁性揺らぎをノリとして伝導電子が電子対を形成し超伝導が現れることが議論されてきた。また2008年に超伝導が発見された鉄系化合物は母物質で反強磁性相だけでなく四極子秩序相、構造相転移も現れ、キャリアドープすると超伝導が現れる。ここで、電子系における四極子秩序と格子系における構造相転移は四極子歪み相互作用を通じて同時に起き、その転移温度は反強磁性転移のものよりも高温であるため、四極子揺らぎを起源とした超伝導が議論され注目を集めた。

鉄系超伝導体の1つである $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ は四極子秩序の相転移温度では弾性定数 C_{66} が発散し、超伝導の転移温度では超音波吸収係数 α_{66} が発散することが観測された。鉄系超伝導体の伝導を担う主要な電子の軌道は Fe の dyz や dxz だと角度分解光電子分光や第一原理計算などから報告されている。Fe は As が作る四面体の中心に位置し、Fe サイトの点群 D_{2d} の元ではこれらは2重縮退しており、持っている自由度は2つの電気四極子 $0v'$ 、 $0x'y'$ と1つの電気16極子 Hv である。群論的考察から、四極子秩序の秩序変数は $0v'$ であり、超伝導転移では $0v'$ と $0x'y'$ の揺らぎをノリとした電子対が現れるとともに Hv も秩序したと言える。点群 D_{2d} は局所的な空間反転対称性を持っていない特徴をもつが、2重縮退した伝導バンドが縮退を解き、自発的な対称性の破れを起こす機構は自明ではなく、実験的にも理論的にも研究が進められている。

2. 研究の目的

従来、高温超伝導体と言えば、反強磁性相と隣り合う超伝導相をもつ銅酸化物であり、スピン揺らぎを媒介した超伝導状態が十分に議論されてきた。他方、近年、超音波による四極子歪み相互作用、16極子回転相互作用の役割が明らかにされてきたことで、縮退バンドに由来した四極子揺らぎを媒介した超伝導、さらに16極子秩序の同時相転移の解明は高温超伝導状態の実現や新機能をもった物質開発につながることを期待される。

また鉄系超伝導体122系の結晶構造は共型空間群 $I4/mmm$ であるのに対し、鉄系超伝導111系の結晶構造は非共型空間群 $P4/nmm$ である。共型空間群は基本的な並進操作と点群の対称操作を持つ空間群であり、非共型空間群は部分的な並進操作と回転操作の組み合わせであるらせん操作や部分的な並進操作と鏡映操作の組み合わせであるグライド操作をもつ空間群である。共型空間群の示す物性は勢力的に解明されてきたものの、非共型空間群の物性の解明は始まったばかりである。最近、 $P4/nmm$ の RTSi (R : 希土類元素, T : 遷移金属元素) の単結晶育成がようやく可能になり、実験的な詳細な物性の報告が行われるようになってきたため、理論的な解析を行う。それにより、相転移により部分的な並進操作と点群の対称操作を失ったとき、どのような物性が現れるのか解明する。

これらにより、立方晶のような対称性が高すぎず、直方晶のような対称性が低すぎない正方晶特有の対称性の破れをもたらす新しい物性を解明する。

3. 研究の方法

正方晶鉄系超伝導体のフェルミ面は、 Γ 点の周囲に3つの円筒状のホール面、 X 点の周囲に2つの円筒状の電子面により構成される。特に Γ 点の周囲に存在する2枚のフェルミ面は Fe の 3d 電子 ($dy'z$ と dxz') に由来し、非常に接近しておりほとんど2重縮退しているとみなせ、基本的な縮退バンドがもたらす

超伝導の解明が必要である。そこで、その2枚のフェルミ面による有効モデルを構築し16極子秩序を伴った超伝導を明らかにする。

RTSi のうち、単結晶試料を用いた詳細な実験が最近実施されているのは、 LaCoSi 、 CeCoSi 、 LaMnSi 、 CeMnSi である。 CeCoSi は $T_0 = 12 \text{ K}$ で磁気鈍感な未知の相転移、 $T_N = 9.7 \text{ K}$ で磁気秩序が観測されている。他方 LaCoSi は 2 K 以上で相転移が観測されていないため、 CeCoSi の秩序は Ce の 4f 電子由来であると期待される。これらの物性を理論的に明らかにするために、始めに正方晶対称下における Ce^{3+} の結晶場は3つの Kramers 二重項に分裂するので、常磁性相の基礎物性である比熱や磁化率の異方性を再現する結晶場状態を求める。次に、その結晶場に多極子相互作用を平均場的に考慮し、どのような多極子秩序が現れうるのか求める。 T_0 以下の相では磁気鈍感なふるまいが観測されているので、電気四極子などの電気多極子のふるまいに注目する。

また LaMnSi や CeMnSi では室温以下で Mn の 3d 電子由来による反強磁性秩序が観測されている。磁化率の異方性は LaMnSi と CeMnSi とで異なるので磁気構造などの解析を群論を元に行う。また CeMnSi は 2 K 以上で他の相転移を示さず、また、磁化率のふるまいから磁性を消失していることが示唆される。極低温で Ce^{3+} の結晶場基底である Kramers 二重項がどのようにして磁性を消失し、縮退を解き、一重項基底状態を形成しているのか解明する。

4. 研究成果

正方晶鉄系超伝導体における強電気 16 極子秩序と超伝導が同時に発現する機構を明らかにするために必要な実験として、構造相転移が消失する量子臨界点近傍になるようキャリアドープした $Ba(Fe_{1-x}Co_x)_2As_2$ (仕込み濃度: $x=0.075$) の超音波実験を行った。弾性定数 C_{66} は 150 K から 23 K にかけて約 60% のソフト化を示した。降温による弾性定数の減少は、ヤーンテラーエネルギー Δ 、ワイス温度 Θ を用いて $C_{66} = C_{66}^0 (1 - \Delta / (T - \Theta))$ と記述できる。ここで C_{66}^0 は四極子歪み相互作用がないときの弾性定数を示す。この解析式から、ワイス温度 $\Theta = -25.1$ K とヤーンテラーエネルギー $\Delta = 34$ K を得た。理論的に予想される構造相転移温度 $T_S = \Theta + \Delta = 8.9$ K は、先行研究の他の濃度の実験から得られた結果と比較して最も 0 K に近い値であった。これよりほぼ量子臨界点に近い試料であることがわかり、四極子歪み結合を反映する Δ の値が他の濃度の試料に比べ、1.5 倍ほど大きいことが分かった。超音波吸収係数 α_{66} は転移点に向かって巨大な吸収を示し発散的なふるまいを示すことが分かった。

正方晶鉄系超伝導体の一つに AFeAs (A: アルカリ金属) のような 111 系と呼ばれるものがある。この結晶構造は非共形空間群 $P4/nmm$ であり、隣り合った A 同士の中点に空間反転対称性があるものの、原子位置には空間反転対称性がない特徴をもつ。そのため、局所的な空間反転対称性がないことによる特異な縮退の破れから現れる物性に興味もたれている。近年、谷田らにより同じ結晶構造をもつ RTSi (R: 希土類元素, T: 遷移金属元素) の単結晶育成技術が進み、LaCoSi, CeCoSi, LaMnSi, CeMnSi などの化合物について詳細な実験により詳細な物性評価が行われてきた。

正方晶希土類化合物 CeCoSi における Ce^{3+} の結晶場状態は磁性の自由度をもつ 3 つのクラマース二重項で構成される。CeCoSi の 12 K 以上の常磁性状態の比熱や磁化率、磁化を再現する 4f 電子の 3 つのクラマース二重項からなる結晶場状態を求めた。結晶場状態 Γ_7 二重項 (0 K) - Γ_6 二重項 (123 K) - Γ_7 二重項 (165 K) を計算により求めた。

次にその結晶場状態がもつ 3 つの磁気双極子相互作用と 5 つの電気四極子相互作用を正方対称を保持するように考慮することで、未知の相転移はどこまで理解できるのか、平均場理論の範囲内で調べた。その結果、未知の相転移は電気四極子 O_{xy} が反強的に秩序したものであり、反強磁性秩序は $J_x + J_z$ が秩序変数として現れうることが分かった。また、ゼロ磁場において、上記の結晶場では他の電気四極子は安定ではないと言える。面内と面間の磁化率は磁気転移で折れ曲がり示すことから、CeCoSi の磁気モーメントは a 軸と c 軸の間を向いていることが示唆される。核四重極共鳴実験より未知の相における電子状態の対称性が研究されているのが、その一つの候補として電気四極子 O_{xy} の反強的な秩序が挙げられている。

その波動関数を用いて様々な多極子感受率を求めた結果、電気四極子 O_{xy} や電気 16 極子 H_v が非常に大きいことが分かった。 H_v は電気四極子 O_v と同じ既約表現に属しより高次の電気多極子に対応する。また平均場モデルを構築して磁場中のふるまいを調べると、電気四極子 O_{yz} や O_{zx} の相転移が磁場により増強されることが分かった。これは超音波実験により弾性定数 C_{66} がソフト化を示せば電気四極子 O_{xy} , C_{44} がソフト化を示せば電気四極子 O_{yz} と O_{zx} , $(C_{11} - C_{12})/2$ がソフト化を示せば電気 16 極子 H_v が系に重要な働きを示していることを裏付けることができると期待される。

LaMnSi の単結晶試料を用いた実験により 293 K で反強磁性転移を示すことが分かったが、z 軸方向の磁化率が折れ曲がり示すため、Mn の 3d 電子が z 軸方向に反平行に整列していることを示している。これよりグライドなどを消失した磁気空間群 $P4'/n'm'm$ に属する $q=0$ の磁気配列を示すことを明らかにした。通常、反強磁性秩序が起きると単位胞は拡張されるが、非共形空間群の特徴である単位胞内に 2 つの Mn があることから、 $q=0$ の反強的な秩序が起きたと言える。

CeMnSi の磁化率から、242 K で単位胞内に 2 個ある Mn の 3d 電子のスピンが面内に反平行に整列する $q=0$ の反強磁性秩序を示すことが示唆された。さらに温度を下げると、その磁化率は低温で温度に依存しなくなり、電気抵抗は極大を示した後、減少する振る舞いを示す。比熱は先に述べた反強磁性を除いて他の相転移を示す異常は観測されなかった。これから、反強磁性秩序による時間反転対称性の破れと結晶構造由来の空間反転対称性の破れが同時に起きる中で、Mn の遍歴的な 3d 電子と Ce の局在的な 4f 電子が結合することで、低温で磁性を消失したと言える。通常の重い電子状態は時間反転対称性が偶の中で磁性を消失することが考えられているが、本化合物のような非共形空間群の系では、時空間反転対称性が偶の中で局在電子の磁性が消失していると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ishii Isao, Suzuki Takashi, Andreev Alexander V., Mitsumoto Keisuke, Araki Koji, Miyata Atsuhiko, Gorbunov Denis I., Zherlitsyn Sergei, Wosnitza J.	4. 巻 107
2. 論文標題 Magnetic Field Induced Reentrant Multipolar Ordering in the Distorted Kagome-Lattice Antiferromagnet Dy ₃ Ru ₄ Al ₁₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205136/1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.205136	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 該当する
1. 著者名 R. Kurihara, Y. Hirose, S. Sano, K. Mitsumoto, A. Miyake, M. Tokunaga, and R. Settai	4. 巻 91
2. 論文標題 Elastic Soft Mode and Electric Quadrupole Response in Excitonic Insulator Candidate (Ta _{0.952} V _{0.048}) ₂ NiSe ₅ : Contribution of Electron-Phonon Interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 024601/1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.024601	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. Tanida, H. Matsuoka, K. Mitsumoto, Y. Muro, T. Fukuhara, and H. Harima	4. 巻 91
2. 論文標題 Nonsymmorphic Antiferromagnet LaMnSi: Single-Crystal Studies	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 013704/1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.013704	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. Tanida, K. Mitsumoto, Y. Muro, T. Fukuhara, Y. Kawamura, A. Kondo, K. Kindo, Y. Matsumoto, T. Namiki, T. Kuwai, and T. Matsumura	4. 巻 88
2. 論文標題 Successive Phase Transition at Ambient Pressure in CeCoSi: Single Crystal Studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054716/1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.88.054716	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. Fukuhara, Y. Kamiya, K. Mitsumoto, H. Tanida, Y. Muro, T. Namiki, S. Masubuchi, and K. Ooiwa	4. 巻 30
2. 論文標題 Chemical Composition and Atomic Order of Single Crystal NiMnSb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011178/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011178	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. Tanida, K. Mitsumoto, Y. Muro, T. Fukuhara, Y. Kawamura, A. Kondo, K. Kindo, Y. Matsumoto, T. Namiki, T. Kuwai, and T. Matsumura	4. 巻 30
2. 論文標題 Magnetic Properties in Tetragonal Antiferromagnet CeCoSi	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011156/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011156	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. Sato, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, R. Kurihara, K. Mitsumoto, Y. Kobayashi, and M. Sato	4. 巻 30
2. 論文標題 Multipole Fluctuation of Iron Pnictide Superconductor Ba(Fe _{1-x} Cox)2As ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011052/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011052	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25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 白石海人, 岩田拓万, 黒田健太, Munisa Nurmamat, 中西楓恋, Shiv Kumar, 島田賢也, 有田将司, 小谷佳範, 三本啓輔, 谷田博司, 木村昭夫
2. 発表標題 RMnSi (R=La,Ce)の放射光角度分解光電子分光
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (2022年)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷田博司, 松岡紘人, 浦瑠希, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠
2. 発表標題 CeTSi (T=Mn, Fe, Co)の磁性と格子定数
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (2022年)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Vドープされた励起子絶縁体候補物質Ta ₂ NiSe ₅ の弾性ソフトモードと電子格子相互作用
2. 発表標題 栗原綾佑, 広瀬雄介, 佐野純佳, 三本啓輔, 三宅厚志, 徳永将史, 摂待力生
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (2022年)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷田博司, 松岡紘人, 浦瑠希, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠
2. 発表標題 非共型反強磁性体LaMnSiの磁性と伝導
3. 学会等名 2021年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷田博司, 松岡紘人, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠, 並木孝洋, 桑井智彦
2. 発表標題 RMnSiの単結晶育成と磁性
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷田博司, 松岡紘人, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠, 並木孝洋, 桑井智彦
2. 発表標題 鉄ヒ素超伝導体Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂ の量子臨界点近傍における超音波吸収の動的臨界挙動
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Tanida, H. Matsuoka, K. Mitsumoto, Y. Muro, and T. Fukuhara
2. 発表標題 Magnetic properties of CeCoSi and related compounds
3. 学会等名 the International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES) 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 後藤輝孝, 栗原綾佑, 三本啓輔, 小林義明, 佐藤正俊
2. 発表標題 量子臨界点近傍における鉄ヒ素超伝導体Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂ の四極子揺らぎ
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 田中拳太郎, 三本啓輔, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSiにおける多極子秩序相の理論研究II
3. 学会等名 2020年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷田博司, 松岡紘人, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠, 並木孝洋, 桑井智彦
2. 発表標題 CeCoSi 関連物質の単結晶育成と磁性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 後藤輝孝, 栗原綾佑, 三本啓輔, 小林義明, 佐藤正俊
2. 発表標題 多極子揺らぎがもたらす鉄ヒ素超伝導体Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂ の量子臨界現象
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤晴耕, 根本祐一, 赤津光洋, 後藤輝孝, 栗原綾佑, 三本啓輔, 小林義明, 佐藤正俊
2. 発表標題 量子臨界点近傍における鉄ヒ素超伝導体Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂ の四極子効果
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中拳太郎, 三本啓輔, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSi における多極子秩序相の理論研究
3. 学会等名 2019年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Mitsumoto, K. Tanaka, and H. Tanida
2 . 発表標題 Crystalline Electric Field Effects of CeCoSi
3 . 学会等名 the International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Fukuhara, Y. Kamiya, K. Mitsumoto, H. Tanida, Y. Muro, T. Namiki, S. Masubuchi, and K. Ooiwa
2 . 発表標題 Chemical Composition and Atomic Order of Single Crystal NiMnSb
3 . 学会等名 the International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Tanida, K. Mitsumoto, Y. Muro, T. Fukuhara, Y. Kawamura, A. Kondo, K. Kindo, Y. Matsumoto, T. Namiki, T. Kuwai, and T. Matsumura
2 . 発表標題 Magnetic Properties in Tetragonal Antiferromagnet CeCoSi
3 . 学会等名 the International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Sato, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, R. Kurihara, K. Mitsumoto, Y. Kobayashi, and M. Sato
2 . 発表標題 Multipole Fluctuation of Iron Pnictide Superconductor Ba(Fe _{1-x} Co _x) ₂ As ₂
3 . 学会等名 the International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 三本啓輔, 田中拳太郎, 谷田博司
2. 発表標題 希土類正方晶化合物CeCoSiの多極子効果
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 谷田博司, 三本啓輔, 室裕司, 福原忠, 川村幸裕, 松本裕司, 並木考洋, 桑井智彦
2. 発表標題 CeCoSiの圧力効果と結晶構造の特徴
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 K. Mitsumoto, R. Kurihara, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, Y. Kobayashi, M. Sato
2. 発表標題 Simultaneous Phase Transitions of Superconductivity and Electric Hexadecapole in Iron Pnictide Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂
3. 学会等名 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 根本祐一, 佐藤晴耕, 赤津光洋, 後藤輝孝, 栗原綾佑, 三本啓輔, 小林義明, 佐藤正俊
2. 発表標題 鉄ヒ素超伝導体における歪み・回転と相互作用する多極子の対称性破れ
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 谷田博司, 室裕司, 三本啓輔, 福原忠, 川村幸裕, 松本裕司, 並木孝洋, 桑井智彦
2. 発表標題 CeCoSiの磁性と圧力効果
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 後藤輝孝, 栗原綾佑, 三本啓輔, 小林義明, 佐藤正俊
2. 発表標題 超音波における鉄ヒ素超伝導体Ba(Fe _{1-x} Cox) ₂ As ₂ の多極子効果の研究
3. 学会等名 第47回 日本物理学会新潟支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三本啓輔, 田中拳太郎, 谷田博司, 室裕司, 福原忠
2. 発表標題 希土類正方晶化合物CeCoSiの結晶場効果
3. 学会等名 日本物理学会 第79回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷田博司, 室裕司, 三本啓輔, 福原忠, 川村幸裕, 松本裕司, 並木孝洋, 桑井智彦
2. 発表標題 単結晶CeCoSiの逐次相転移
3. 学会等名 日本物理学会 第79回年次大会
4. 発表年 2019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
研究協力者	根本 祐一 (Nemoto Yuichi)		
研究協力者	谷田 博司 (Tanida Hiroshi)		

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