

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05434

研究課題名(和文)超伝導体母相における強誘電的金属状態の起源

研究課題名(英文)Origin of ferroelectric-like metal state in superconducting parent phase

研究代表者

山浦 淳一 (Yamaura, Junichi)

東京工業大学・元素戦略研究センター・特任准教授

研究者番号：80292762

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)：水素置換鉄系超伝導体は、空間反転対称性を失った特異な母相と、それに隣接した超伝導相を有している。超伝導母相は、超伝導の揺らぎが秩序化した状態であるといえるため、強誘電的金属状態の揺らぎと超伝導の関連は興味深い。LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub>におけるX線回折から、構造相転移のはるかに高温から格子対称性の低下(ネマチック状態)を見出した。EXAFSからは、母相のはるかに高温から局所的な反転対称性の破れ(強誘電的揺らぎ)が存在していることを発見した。この結果は、極性金属の揺らぎが超伝導と関連している可能性を提示したと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、最近多くの超伝導体で観測されているネマチック状態が、水素置換系鉄系超伝導体でも存在していることを新たに証明し、さらに、超伝導体全体でも未知といえる、強誘電的金属状態の揺らぎと超伝導の関連を見出した重要な意義がある。また、反転対称を破った構造における超伝導は、上部臨界磁場の理論的限界値を上げる可能性があり、超伝導体の応用という面でも重要な情報を提供できると考えている。

研究成果の概要(英文)：A hydrogen-substituted iron-based superconductor has a unique parent phase that loses spatial inversion symmetry and a superconducting phase adjacent to it. Since the superconducting phase is regarded as the fluctuations of superconductivity are ordered, the relationship between fluctuations in the ferroelectric metallic state and superconductivity is interesting. From the X-ray diffraction in LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub>, we found that the lattice symmetry lowering (nematic state) from a much higher temperature of the parent phase. From EXAFS measurement, we discovered that there is a local inversion symmetry breaking (ferroelectric fluctuation) from a much higher temperature region. This result suggests that the fluctuation of polar metal may be related to superconductivity.

研究分野：構造物性

キーワード：鉄系超伝導 強誘電金属 ネマチック状態

## 1. 研究開始当初の背景

超伝導は、高温で金属的挙動を示す状態から、ある温度でゼロ抵抗となる現象であり、固体中の電子が示す性質の中で最も劇的なものの1つである。そのため物理から化学にわたる非常に多くの研究者の興味を引き付けてきた。高温超伝導体には、1986年に発見された銅酸化物超伝導体、2008年に発見された鉄系超伝導体の2大ファミリーがある。前者は、局在スピンをそれぞれ反平行に向けようとする反強磁性相互作用が超伝導電子対を生み出す起源だと考えられているのに対して、後者は、スピン、軌道、構造の関連がより密接であると考えられている。

本研究課題で取り上げる鉄系超伝導体 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ は、水素化物イオン( $\text{H}^-$ )をドーパントとすることで、広い範囲で鉄への電子ドーピングが可能になった新しい系である [1]。その電子相図(図1参照)は、 $x \sim 0$ 付近に構造の低対称化と反強磁性秩序を伴う超伝導母相(AF1相)が存在する。母相は、超伝導電子対形成のもとになる揺らぎが可視化した状態といえる。 $\text{H}^-$ イオンで酸素サイトを置換していくと、 $x > 0.04$ で超伝導相が現れる。この超伝導相は、超伝導転移温度 $T_c = 27 \text{ K}$ ( $x = 0.08$ での最大値)と $T_c = 36 \text{ K}$ ( $x = 0.35$ での最大値)に2つのドーム(それぞれSC1, SC2相と呼ぶ)をもつという珍しい特徴がある。その後、超伝導相は、 $x = 0.45$ で消失する。通常は、高ドーピング側では単純な金属状態になる、しかし、本物質系では、さらに高ドーピング側、 $0.40 < x < 0.51$ で反強磁性秩序相(AF2相)が出現する [2]。通常、高温超伝導体では、母相が最も電子相関が強く、そこへキャリアドーピングすることで相関が弱まり超伝導が発現する。従って、 $x \sim 0.5$ という最も電子相関が弱いはずの領域での第二母相出現は、高温超伝導体全体の中でもほとんど見られない希少例である。

AF1, AF2両母相の違いは特徴的である。磁気構造は、いずれも反強磁性ストライプ型構造であるが、スピンの向きが90度異なり、かつ、磁気モーメントの大きさは、 $0.63 \mu_B$  ( $x \sim 0$ )と $1.21 \mu_B$  ( $x \sim 0.5$ )で第二母相約2倍となっている。また、両者とも高温側の正方晶から低温で直方晶へと構造転移を起こすが、AF1相は空間反転対称を持つ空間群 $Cmme$ であるのに対して、AF2相は空間反転対称を持たない $Aem2$ の空間群を持つ。この反転対称中心を失う母相の構造転移は、高温超伝導体のみならず、全物質中でも極めて珍しい。この第二母相での $Aem2$ の空間群は極性を持つ点群に属しているため、この転移は強誘電的金属、もしくは極性金属状態への変化を意味している。Andersonらは、強誘電金属状態における超伝導転移点の増大に関する報告を50年ほど前に行っており、本物質との関連に非常に注目している [3]。通常、強誘電体と金属状態は相いれない。なぜなら、その極性状態は、金属の伝導電子でスクリーニングされて長距離まで届かず、秩序状態としての構造相転移を起こさないためである。そのため、この強誘電的金属への転移は、 $\text{LiOsO}_3$  [4]など数点の物質でしか報告されておらず、その発現機構は必ずしも明確となっていない。ほとんどの高温超伝導体では、母相へのキャリアドーピングで超伝導状態が出現しており、母相の性質と超伝導電子対形成の機構は密接に関連している。従って、この母相の起源や、どのような揺らぎが存在するか、超伝導相への影響はどうなっているかなどを明らかにすることで、鉄系超伝導の起源解明に迫ることができると考えられる。

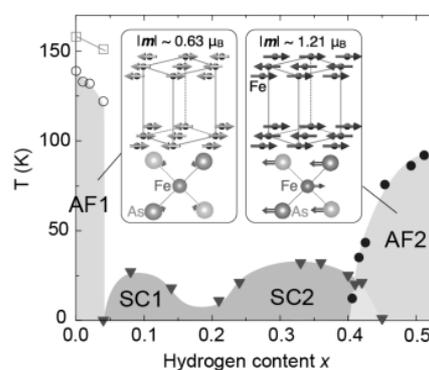


図1.  $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ の相図(AF1, AF2が母相, SC1, SC2が超伝導相) Insetは、両母相におけるスピンの配列と $\text{FeAs}_4$ 構造歪み。[2]より抜粋。

## 2. 研究の目的

研究の目的は、鉄系超伝導体 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ における第二母相出現の起源、つまり、強誘電的金属相出現の起源や揺らぎ、超伝導との関連を実験的に探ることにある。

### 3. 研究の方法

反転対称性の有無を確認するために、育成に成功した数ミクロン単結晶を用いての放射光X線回折実験を行った。次に、広い組成/温度範囲での粉末試料を用いての格子対称性の観察を実行した。さらに、局所構造の異常を探索するために、X線吸収端近傍スペクトル(EXAFS)を用いての調査を行った。

### 4. 研究成果

既報の実験では、粉末構造解析から反転対称性の有無を推定していた。それを確定させるため、3  $\mu\text{m}$  程度の微小単結晶を用いた放射光X線から、Bijvoet pair (hkl vs -h-k-l) 反射の強度差—X線異常分散項に起因する—を調査した。LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub> 単結晶の  $x = 0.58$  における 110<sub>T</sub> 反射(添え字は tetra 相での index)の温度依存性を中心に追った。添え字は、Tetragonal 相か Orthorhombic 相での index を意味している。Tetra-Ortho 構造相転移に伴い、110<sub>T</sub> 反射は 020<sub>O</sub> と 002<sub>O</sub> に分裂する。分裂後の反射強度は、020<sub>O</sub> と 002<sub>O</sub> で強度が異なること、さらに、002<sub>O</sub> と 00-2<sub>O</sub> の反射強度には有意な差が観測された。反転対称性の破れがない場合、020<sub>O</sub> と 002<sub>O</sub> の強度は等価で、かつ、それらの Bijvoet pair 間の強度も等価となるはずである。逆に、c 軸に沿って反転対称性の破れがある場合、020<sub>O</sub> と 002<sub>O</sub> の強度は非等価で、002<sub>O</sub> と 00-2<sub>O</sub> の Bijvoet pair のみ非等価になり Friedel 則を破っている。以上の実験結果は、AF2 相における反転対称性が実際に破れていることの証明となった。

粉末 X 線回折を用いて、格子対称性を調査した。図 2 は、単一の擬フォーク関数で FIT した 220<sub>T</sub> ピーク線幅の温度変化である。このピークは Tetra-Ortho 転移にともなって最終的には分裂する反射である。 $T_{s2}$  は、以前の論文の物性測定から得た static な長距離秩序としての Ortho 相が出現する温度である。線幅は室温の値で規格化してある。 $x = 0.51, 0.45, 0.42$  では、室温から線幅のブロードニングが観測された。対照的に、 $x = 0.4$  では線幅のブロードニングは観測されなかった。250 K 以上での線幅を平均したものをベースラインとして、そこから上離れた温度を  $T^*$  と定義する。すると、 $x = 0.51, 0.45, 0.42$  での  $T^*$  は、約 240, 190, 140 K となった。これらの結果は、構造相転移を起こす組成  $x > 0.40$  において、構造転移点  $T_s$  よりはるかに上の室温付近から 4 回対称性の破れが始まっていることを表している。X 線回折のタイムスケールは、 $10^{-15}$  s 程度であることを考えると、 $T_{s2} \sim T^*$  の温度での格子対称性の低下は、そのタイムスケールよりも遅い dynamical なものであると推測している。

局所歪の調査のため、EXAFS における制限逆フーリエ法を  $R$  空間データに対して適用した。この制限逆フーリエ法は、As K 端の EXAFS 測定の結果から得られる実空間  $R$  スペクトルにおいて、As-Fe の距離のプロファイル成分だけを切り出して、逆フーリエ変換を施すことで得られる。この方法により、通常の EXAFS の解析では得られない微小歪の情報を抽出することができる。図 3 に制限フーリエ振動のエンベロープを示す。我々は、全ての組成において矢印で示したキックを発見した。Inset は青線で示した最低温度の強度と、点線で示した 250 K における強度をプロットした。後者のピーク位置と強度は、As-Fe 間距離と温度因子の差を現象論的に補正するために、最低温度のデータに一致させてある。この 250 K の強度をベースラインと考えて、そこから上放れた波数  $q$  を、キック  $q_{\text{beat}}$  と定義し、 $q_{\text{beat}} \sim 10.2, 9.5, 9.5, 9.0 \text{ \AA}^{-1}$  ( $x = 0.51, 0.45, 0.42, 0.37$ ) と求めた。キックは、微小な距離差に伴う EXAFS 振動の位相ずれに起因するビートの存在に対応している。

$\Delta R = \pi/(2q_{\text{beat}})$  式を元に、As-Fe 間距離の差は、 $\Delta R = 0.15 - 0.17 \text{ \AA}$  と見積もることができる。AF2 では空間反転対称を破ることで As-Fe 距離が 2 種類になる。この距離は、以前の  $x = 0.51$  の粉末構造解析から得られた  $\Delta R = 0.14 \text{ \AA}$  に近い。従って、ビートの存在は局所的な極性構造の存在を暗示している。最低温度での強度のベースラインからの差分(ビート成分)は、 $x = 0.51$  で最も大きく、 $x$  が少なくなるにつれ減少していく。ビート成分の温度変化は、高温まで有限の値が観測されている。この実験事実は、極性構造が  $T_{s2}$  よりかなり高温から現れていることを意味している。 $T_{s2}$  での格子対称性低下は極性構造への転移に伴う現象である。故に、XRD で観測される  $T_s \sim T^*$  の格子対称性の低下は、EXAFS で観測される局所極性構造の発生に由来すると強く示唆される。

鉄系超伝導体では、ネマチック状態に伴う格子対称性の低下が多くの物質で観測されている。例えば、BaFeAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> では、母相から超伝導相に渡る広い組成範囲で、磁気対称性と同時の格子対称性の低下が報告されている [5]。この磁気/格子対称性低下は、母相の 50 K 近く高い温度から観測され、スピン起源のネマチック状態とされている。ネマチック状態は、母相の外側の広い組成/温度範囲で格子対称性の低下を常に伴う。従って、本物質で観測された  $T_{s2} \sim T^*$  での格子対称性の低下もネマチック状態を構造的側面から捉えていると考えられる。さらに、この相は局所的極性構造を有している。従って、 $T_s \sim T^*$  の温度範囲は、極性構造が dynamical に揺らいでいる polar-nematic 相と呼ぶべきと我々は考える。

BaFeAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> では、母相から超伝導相に渡る広い組成範囲でネマチック相が観測されているのに対し、本物質で超伝導相にあたる  $x = 0.40, 0.35$ (未表示)では、X 線での格子対称性低下は観測されていない。一方、 $x = 0.37$ における EXAFS のピート成分は有限値をとっている。AF2 での格子歪は、 $x$  減少とともに急速に小さくなっていくため、ネマチック相での格子歪は、存在したとしても観測にかかりにくい可能性がある。そのため、polar-nematic 状態と超伝導が関連している可能性がある。もし、極性構造の揺らぎが超伝導性に何らかの影響、例えば  $T_c$  やクーパー対の対称性、と関連していた場合は興味深い。例えば、空間反転対称性を失った Non-centrosymmetric 超伝導体(NCS)は、スピン三重項などのエキゾチックなペア形成が提案されている。対称的に本物質は、空間反転対称性が回復したところで超伝導状態となる。従って、従来の NCS 体とは異なる超伝導電子対形成機構が出現する可能性がある。極性構造揺らぎと超伝導の関連の提案としては、強誘電的ソフトフォノンが超伝導の  $T_c$  上昇に寄与しようとした Anderson&Blount の提案や [3]、LaOBiS<sub>2</sub> における強誘電ソフトフォノン由来の超伝導体であるとした Ydlium の論文などがある [6]。さらに、Kozii and Fu [7] や Wang [8]は、スピン軌道結合金属の反転中心の破れ近傍にてパリティ揺らぎによる p 波超伝導の可能性を提案している。1111 系はバルク鉄系超伝導体での最高クラスの  $T_c$  を示すので第二母相由来の極性構造揺らぎと超伝導の関連に対する詳細な研究が待たれる。

本研究の結果をまとめると、2 つの母相と 2 つの超伝導相を有する物質 LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub> ( $x = 0.37 - 0.51$ )について、XRD から平均構造を、EXAFS から局所構造を調査した。その結果、 $T_{S2}$  のはるかに高温から格子対称性の低下と局所極性構造の存在 - polar-nematic 状態 - を、この系で初めて見出した。この polar-nematic 状態は母相における極性構造が dynamical に揺らいだ状態と示唆される。この状態は、高温からクロスオーバー的に出現していると推測される。また、この極性構造の揺らぎは、SC2 超伝導の性質と関連している可能性を示すことができた。

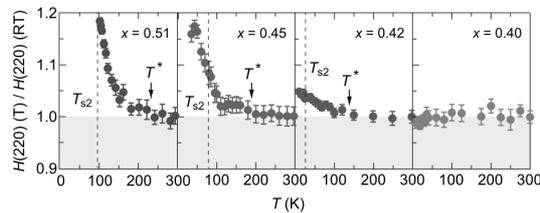


図 2. X 線回折実験から求めた、LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub> 各組成における 220T ピーク線幅の温度変化。 $T_{S2}$  は長距離秩序としての構造転移点。

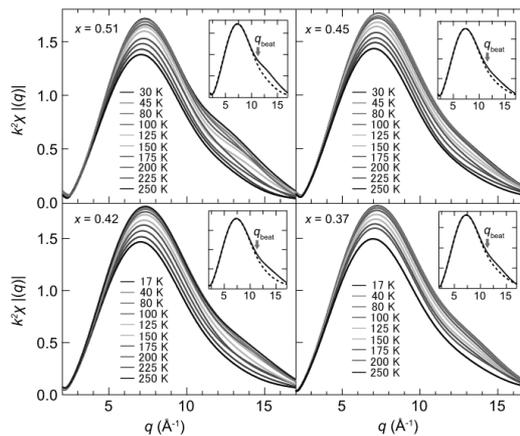


図 3. EXAFS の制限逆フーリエから求めた、各組成におけるエンベロープ強度。

- [1] S. Iimura *et al.*, Nat. Commun., **3**, 943 (2012).
- [2] M. Hiraishi *et al.*, Nat. Phys., **10**, 300 (2014).
- [3] P. W. Anderson *et al.*, Phys. Rev. Lett. **14**, 217 (1965).
- [4] Y. Shi *et al.*, Nat. Mat. **12**, 1024 (2013).
- [5] S. Kasahara *et al.*, Nature **486**, 382 (2012).
- [6] T. Yildirim, Phys. Rev. B **87**, 020506(R) (2013).
- [7] V. Kozii and L. Fu, Phys. Rev. Lett. **115**, 207002 (2015).
- [8] Y. Wang *et al.*, Phys. Rev. B **93**, 134512 (2016).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Y. Matsubayashi, T. Hasegawa, N. Ogita, J. Yamaura, and Z. Hiroi	4. 巻 536
2. 論文標題 High-pressure Raman study on the superconducting pyrochlore oxide Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B	6. 最初と最後の頁 600-603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.10.030	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 K. Kobayashi, S. Maki, Y. Murakami, Y. Hirata, K. Ohgushi, and J. Yamaura	4. 巻 31
2. 論文標題 High-pressure crystal and electronic structures in iron-based ladder superconductor BaFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Superconduct. Sci. Technol	6. 最初と最後の頁 105002 : 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6668/aad790	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. Iimura, 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</sub> DO <sub>0.5</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B.	6. 最初と最後の頁 174415 : 1-6
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 M. Itoi, A. Okazawa, J. Yamaura, S. Maki, T. Komatsu, N. Kojima, I. Maurien, E. Codjovi, K. Boukheddaden, and F. Varret	4. 巻 57
2. 論文標題 Structural Insight into Charge Transfer Phase Transition for Unique Iron Mixed-Valence Complex (n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> N[FeIIFeIII(dto) <sub>3</sub> ] with 2D Honeycomb Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 13728-13738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b02211	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 Hiroki Taniguchi, Shingo Tatewaki, Shintaro Yasui, Yasuhiro Fujii, Jun-ichi Yamaura, Ichiro Terasaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Structural variations and dielectric properties of $(\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x)_2\text{SiO}_5$ ( $0 < x < 0.1$ ): Polycrystallines synthesized by crystallization of Bi-Si-O and Bi-La-Si-O glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 45603:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.2.045603	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 Zenji Hiroi, Jun-ichi Yamaura, Tatsuo C. Kobayashi, Yasuhito Matsubayashi, Daigorou Hirai	4. 巻 87
2. 論文標題 Pyrochlore Oxide Superconductor $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ Revisited	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 024702 ~ 024702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.024702	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. Yoshida, K. Nawa, H. Ishikawa, M. Takigawa, M. Jeong, S. Kramer, M. Horvatic, C. Berthier, K. Matsui, T. Goto, S. Kimura, T. Sasaki, J. Yamaura, H. Yoshida, Y. Okamoto, Z. Hiroi	4. 巻 96
2. 論文標題 Spin dynamics in the high-field phases of volborthite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 180413::1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.180413	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 Kensuke Kobayashi, Akiko Nakao, Sachiko Maki, Jun-ichi Yamaura, Takayoshi Katase, Hikaru Sato, Hajime Sagayama, Reiji Kumai, Yoshio Kuramoto, Youichi Murakami, Hidenori Hiramatsu, Hideo Hosono	4. 巻 96
2. 論文標題 Structure determination in thin film $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ : Relation between the $\text{FeAs}_4$ geometry and superconductivity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review 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 Thi Minh Hien Nguyen, Luke J. Sandilands, C. H. Sohn, C. H. Kim, Aleksander L. Wysocki, In-Sang Yang, S. J. Moon, Jae-Hyeon Ko, J. Yamaura, Z. Hiroi, Tae Won Noh	4. 巻 8
2. 論文標題 Two-magnon scattering in the 5d all-in-all-out pyrochlore magnet Cd <sub>2</sub> Os <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 251: 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-00228-w	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 該当する

1. 著者名 Horiba Koji, Yukawa Ryu, Mitsuhashi Taichi, Kitamura Miho, Inoshita Takeshi, Hamada Noriaki, Otani Shigeki, Ohashi Naoki, Maki Sachiko, Yamaura Jun-ichi, Hosono Hideo, Murakami Youichi, Kumigashira Hiroshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Semimetallic bands derived from interlayer electrons in the quasi-two-dimensional electride Y <sub>2</sub> C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045101: 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.045101	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 C. H. Sohn, C. H. Kim, L. J. Sandilands, N. M. Hien, S. Y. Kim, H. J. Park, K. W. Kim, S. J. Moon, J. Yamaura, Z. Hiroi, and T. W. Noh	4. 巻 118
2. 論文標題 4.Strong Spin-Phonon Coupling Mediated by Single Ion Anisotropy in the All-In--All-Out Pyrochlore Magnet Cd <sub>2</sub> Os <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 117201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.118.117201	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 H. T. Hirose, J. Yamaura, Z. Hiroi	4. 巻 7
2. 論文標題 2.Robust ferromagnetism carried by antiferromagnetic domain walls	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 42440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep42440	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 J. Yamaura, K. Takeda, Y. Ikeda, N. Hirao, Y. Ohishi, T. C. Kobayashi, Z. Hiroi	4. 巻 95
2. 論文標題 1.Successive spatial symmetry breaking under high pressure in the spin-orbit-coupled metal Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 20102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.020102	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 K. Kobayashi, J. Yamaura, S. Imura, S. Maki, H. Sagayama, R. Kumai, Y. Murakami, H. Takahashi, S. Matsuishi, H. Hosono	4. 巻 6
2. 論文標題 2.Pressure effect on iron-based superconductor LaFeAsO <sub>1-x</sub> Hx: Peculiar response of 1111-type structure	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 39646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep39646	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 Yamaura Jun-ichi, Hiroi Zenji	4. 巻 99
2. 論文標題 Crystal structure and magnetic properties of the 5d transition metal oxides AOsO <sub>4</sub> (A=K,Rb,Cs)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.155113	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 Yamaura Jun-ichi, Hiraka Haruhiro, Imura Soshi, Muraba Yoshinori, Bang Joonho, Ikeuchi Kazuhiko, Nakamura Mitsutaka, Inamura Yasuhiro, Honda Takashi, Hiraishi Masatoshi, Kojima Kenji M., Kadono Ryosuke, Kuramoto Yoshio, Murakami Youichi, Matsuishi Satoru, Hosono Hideo	4. 巻 99
2. 論文標題 Quantum dynamics of hydrogen in the iron-based superconductor LaFeAsO <sub>0.9</sub> D <sub>0.1</sub> measured with inelastic neutron spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220505
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 Yamaura Jun-ichi, Maki Sachiko, Honda Takashi, Matsui Yoshio, Noviyanto Alfian, Otomo Toshiya, Abe Hitoshi, Murakami Youichi, Ohashi Naoki	4. 巻 56
2. 論文標題 Polar nano-region structure in the oxynitride perovskite LaTiO <sub>2</sub> N	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1385 ~ 1388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC07029J	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 該当する

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 山浦淳一
2. 発表標題 ヒドリド誘起の超伝導をプロトンのトンネリングで観測する
3. 学会等名 第3回 固体化学フォーラム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河智史朗, 木下雄斗, 三宅厚志, 伊藤利充, 宮原慎, 山浦淳一, 徳永将史
2. 発表標題 BiFeO <sub>3</sub> における傾角反強磁性相の新奇電気分極
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 糸井充穂, 岡澤厚, 山浦淳一, 真木祥千子, 小松徳太郎, Isabelle Maurin, Epiphane Codjovi, Kamel Boukheddaden, 小島憲道
2. 発表標題 結晶構造解析とDFT計算による鉄混合原子価錯体(n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> N[FeIIFeIII(dto) <sub>3</sub> ]の光誘起電荷移動相転移の可能性の検討
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三田航平, 山浦淳一, 廣瀬陽代, 廣井善二, 松田康弘
2. 発表標題 超強磁場高周波透過法によるCd <sub>20</sub> s <sub>207</sub> の磁場誘起絶縁体金属転移の探索III
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun-ichi Yamaura
2. 発表標題 Noncentrosymmetric parent phase in iron-based superconductor
3. 学会等名 J-Physics 2017: International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林賢介, 中尾朗子, 真木祥千子, 山浦淳一, 片瀬貴義, 佐藤光, 佐賀山基, 熊井玲児, 村上洋一, 平松秀典, 細野秀雄
2. 発表標題 Ba <sub>1-x</sub> LaxFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> 薄膜の結晶構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林達生, 安部大貴, 荒木新吾, 町田洋, 井澤公一, 山浦淳一, 松林康仁, 廣井善二
2. 発表標題 Cd <sub>2</sub> Re <sub>207</sub> の圧力 - 温度相図と超伝導
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 幸田章宏, 門野良典, 岡部博孝, 平石雅俊, 竹下聡史, 小嶋健児, 廣瀬陽代, 広井善二, 山浦淳一
2. 発表標題 All-In-All-Outパイロクロア磁性体Cd <sub>20</sub> s <sub>207</sub> における新奇な電荷スピン交差ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林寛介, 山浦淳一, 真木祥千子, 岡西洋志, 飯村壮史, 佐賀山基, 熊井玲児, 村上洋一, 松石聡, 細野秀雄
2. 発表標題 水素置換型鉄系超伝導体REFeAsO <sub>1-x</sub> H <sub>x</sub> の压力下結晶構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林達生, 安部大貴, 荒木新吾, 山浦淳一, 松林康仁, 広井善二
2. 発表標題 Cd <sub>2</sub> Re <sub>207</sub> の圧力 温度相図
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Yamaura
2. 発表標題 Quantum Dynamics of Hydrogen in Iron-based Superconductor
3. 学会等名 Materials Research Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

鉄系超伝導体における結晶構造との特異な関係を見  
[http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/2016/12/22/pressrelease20161222\\_2.pdf](http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/2016/12/22/pressrelease20161222_2.pdf)

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	真木 祥千子  (Maki Sachiko)  (10747299)	東京工業大学・元素戦略研究センター・博士研究員   (12608)	
研究協力者	村上 洋一  (Murakami Youichi)  (60190899)	高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授   (82118)	
研究協力者	平賀 晴弘  (Hiraka Haruhiro)  (90323097)	高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特任准教授   (82118)	
研究協力者	飯村 壮史  (Iimura Soshi)  (80717934)	東京工業大学・元素戦略研究センター・助教   (12608)	