

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03505

研究課題名(和文) T'型銅酸化物高温超伝導体の本質的基底状態の核磁気共鳴法による解明

研究課題名(英文) NMR study of high T_c cuprate superconductors with the T' structure

研究代表者

深澤 英人 (Fukazawa, Hideto)

千葉大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：90361443

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)：T'-PLCCOおよびT'-LECOFにおいて広いドーブ域でNMRの観点から初めて相図を明らかにし、高ドーブ域ではホールドーブ型との対称性を見出した。また、擬ギャップ現象をNMRの観点からは初めて観測した。

ホールドーブ型と同様に超伝導対称性は、ラインノードをもったスピン一重項状態すなわちd波であることが明らかになった。さらに、反強磁性相関が低ドーブ域に向かうほど強く、T'-PLCCOにおいては磁気量子相転移点が存在す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

銅酸化物高温超伝導体の研究の歴史は30年を優に越えた。それにも関わらず、これまでに電子ドーブ型においては、NMRの観点から擬ギャップ現象の報告例はなかった。擬ギャップ現象は他の研究手段でも観測されてきたが特性温度は異なっており、これがどのような意味を持つのか、新たな問題を提起出来たと考えている。

研究成果の概要(英文)：In T'-PLCCO and T'-LECOF, the phase diagram of the wide-dope region was clarified for the first time from the viewpoint of NMR. The symmetry of the phase diagram with the hole-doped cuprates was found in the optimum and over-doped region. In addition, the pseudogap phenomenon was observed for the first time from the viewpoint of NMR.

Similar to the hole-doped cuprates, the symmetry of superconductivity was found to be a spin singlet state with line nodes, that is, d-wave. Furthermore, it was revealed that the antiferromagnetic correlation becomes stronger toward the lower doping region, and that a magnetic quantum phase transition point exists in T'-PLCCO.

研究分野：固体物理学

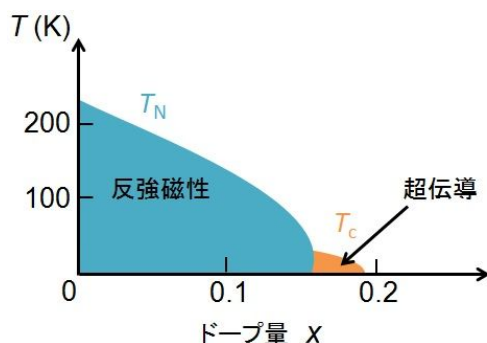
キーワード：核磁気共鳴 高温超伝導 擬ギャップ 低温物理学

1. 研究開始当初の背景

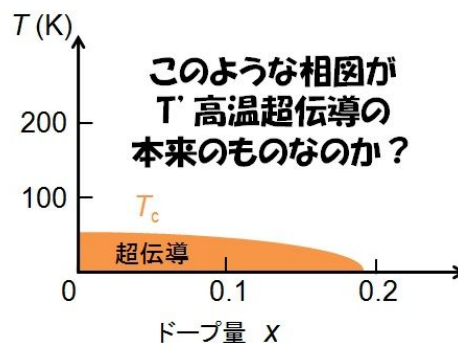
銅酸化物高温超伝導体におけるクーパペアの引力が何であるかを探る研究は、未だに凝縮系物理学の重要な課題である。さらに言えば産業に貢献できるような高温超伝導体を創出するためには、その引力を外部パラメータ(温度、磁場、圧力、物質の構成元素)によって制御できることが望ましく、単純な学術的興味を越えて産業的にも重要な課題と言える。

高温超伝導体における超伝導は、その大半が、母物質である反強磁性モット絶縁体にキャリアを注入したものである。特に、ホールドーブ型では、反強磁性秩序をキャリアドーピングにより抑制することにより超伝導が発現し、常伝導状態においては反強磁性ゆらぎが存在することが示されてきた [1,2,3]。Nd₂CeO₄構造(いわゆる T' 構造)をもつ電子ドーブ型においては、反強磁性相の基底状態がホールドーブ型と比べて広いドーピング領域をもつという特徴がある [4]。完全な(理想的な) T' 構造では、Cu の直上の頂点酸素が存在しない。しかし、as-grown の試料には実際には数%程度の頂点酸素が存在する。松本らは電子ドーブ型の Nd_{2-x}Ce_xCuO₄ の薄膜において、適切な還元処理により過剰酸素を除去し、理想に近い T' 構造を実現することにより、ドーピングなしに母物質におい

ても超伝導が発現する可能性を示した [5]。足立らは、このノンドーブ超伝導は理想的な場合の T' 構造に由来するバンド構造の特徴により実現することを説明し



従来の電子ドーブ型(T' 構造)の相図



松本らにより報告された電子ドーブ型(T' 構造)の相図[5]

た [6]。また、近年になって、ようやく我々の核磁気共鳴法 (NMR) によって、T' -Pr_{1.3}La_{0.7-x}Ce_xCuO_{4+δ} (T' -PLCCO) や T' -La_{1.8}Eu_{0.2}CuO_{4+δ} (T' -LECO) において、反強磁性ゆらぎが存在することを示し、またその超伝導対称性がホールドーブ型同様 d 波である可能性が高いことも示した [7,8]。

しかし、最近の角度分解光電子分光 (ARPES) によると、T' 型銅酸化物高温超伝導体における超伝導は、頂点酸素だけでなく、(Pr,La)₂O₂ 層の酸素や CuO₂ 面の酸素が除去されたことに起因する電子ドーブの結果であるという報告がなされている [10]。つまり、これまでに理想的な T' 型銅酸化物高温超伝導体で実現していると主張されてきたノンドーブ超伝導は、実験的には実現していない可能性もあった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、T' 構造をもつ高温超伝導体において、核磁気共鳴法を適用し、その基底状態がドーブに依らない超伝導状態なのか、それともキャリアドーブされたモット絶縁体状態なのかを解明することとした。また、正常状態においてホールドーブ型と同様に擬ギャップ状態が存在するかについても検証を行なう必要がある。それまでの研究では、電子ドーブ型においても擬ギャップの存在は指摘されていたが [11]、NMR による研究は研究報告そのものが少なく、擬

ギャップについての報告も我々の知る限り、報告例はなかった。

3. 研究の方法

T'-PLCCO や T'-LECO は、適切な還元処理により、超伝導を示し [6,9,12]、還元処理の度合いにより超伝導転移温度 T_c の異なる試料を得ることができる。本研究では、様々な T_c をもつこれらの試料に対して系統的に $^{63,65}\text{Cu}$ 核、 ^{139}La 核、 ^{170}Yb 核の NMR 測定を行なった。さらに、温度を変化させて $^{63,65}\text{Cu}$ 核の NMR 測定を行なうことにより、この物質における磁気ゆらぎと超伝導の関係について明らかにする。具体的には、超伝導・常伝導状態における核スピン・格子緩和率測定およびナイトシフト測定を行なうことにより、超伝導対称性および反強磁性ゆらぎの有無・強さを明らかにする。我々の先行研究から、これらに関しては確実に遂行することができることがわかっていた [7,8]。

4. 研究成果

T'-Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_{4+δ} (T'-PLCCO) [13]

還元処理を行なう際に同組成の粉末試料で単結晶試料を覆うプロテクトアニールにより準備した T'-PLCCO ($x = 0, 0.05, 0.08, 0.10, 0.15$, PA と略す) PA 還元の後に短時間粉末試料で覆わずに還元処理を施したダイナミックアニールにより準備した T'-PLCCO ($x = 0.15$, DA と略す) に対して NMR 測定を行なった。

以前の我々の研究でも示されているように [7, 8]、PA 還元を行なった試料においても Cu の局在 3d 電子による反強磁性長距離秩序が観測される。この傾向は低ドーパの試料ほど強く、頂点酸素がわずかに残存するためと考えられている。そのため、低ドーパの試料ほど、試料内で局在磁性が支配的な領域が存在しやすくなる(局在領域と呼ぶ)。有限磁場の Cu-NMR では、この局在領域からの信号を得ることはできておらず、測定される信号は主に Cu の遍歴 3d 電子(遍歴領域)によるものと考えられる。 $x = 0, 0.05$ の試料についてはこの局在領域の影響が大きく、Cu-NMR の信号が低温に向かって急激に減少したため、正常状態でのみ測定を行なった。

$x = 0.15$ (PA と DA) のナイトシフト K は温度降下とともに徐々に減少し、40 K 以下で徐々に一定値に近づきつつ、 T_c 以下で急激に減少する。 $x = 0.08, 0.10$ では 40 K 以下でもそのまま減少したものの T_c 以下で急激に減少した。このナイトシフトの急激な減少は、超伝導の波動関数のスピン部分がスピン一重項であることを示唆するものである。

また、スピン・格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性は超伝導状態でも測定が可能であった $x = 0.10, 0.15$ (PA と DA) では、 T_c 以下でコヒーレンスピークを伴わず急激な減少を示した後より低温では温度 T に比例する依存性を見せた。これは超伝導の波動関数の軌道部分にノードが存在することを示しており、T'-PLCCO の超伝導対称性は d 波であることを強く示唆するものである。正常状態においては、 $1/T_1T$ の温度依存性が、キュリーワイス的なふるまいを示した ($1/T_1T \propto C/(T+\theta)$)。特性温度 θ は、磁気量子臨界点からの距離を示すものであり、負の符号の時は、遍歴反強磁性秩序が起こる可能性を示すものである。 θ は、 $x = 0.08$ 付近でちょうどゼロになり、電子ドーパとともに反強磁性ゆらぎが抑制されることが明らかになった。

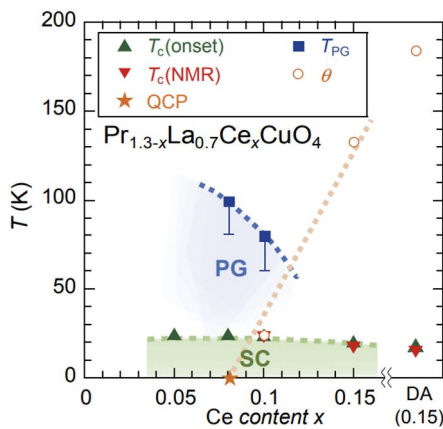
La 核は CuO₂ 面上ではなく、ブロック層に位置し、Cu 核と比べると超微細相互作用が小さい。したがって、Cu に由来する電子が反強磁性秩序を形成しても、その強度が減らず低温まで NMR 測定が可能である。Cu-NMR では遍歴領域の情報が主に得られる。一方、La-NMR では遍歴領域、局在領域両方からの情報が得られる。反強磁性秩序の内部磁場によって、La-NMR のスペクトルの線幅が急激に広がる。したがって、スペクトル半値幅 FWHM の温度依存性から反強磁性相転

移温度 T_N を決定できる。 T_N は置換量 x が増加すると減少し、 $x = 0.15$ では消失する。つまり、電子ドーピングと共に反強磁性秩序が抑制されると理解できる。しかし、遍歴領域の磁気揺らぎの影響を表した θ は $x = 0.08$ 付近でゼロになることを考慮すると、 $x = 0.08$ 以上の T_N は局在領域による磁気秩序の影響であると考えられる。また、 $x = 0.00$ と 0.05 でも T_N と θ の差が有意な値をとることからも局在領域での磁気秩序であると推察される。以上のことから、局在領域の長距離磁気秩序も電子ドーピングで抑制されると理解できる。

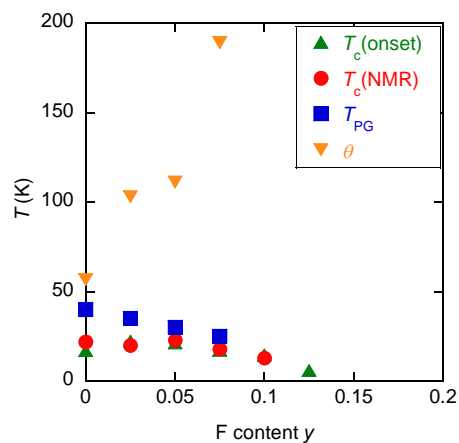
T' - $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_{4-y}\text{F}_y$ (T' -LECOF) [14, 15]

T' -PLCCO と同様に電子ドーピングを行なうことができる T' -LECOF についても F の置換量 $y = 0.000, 0.025, 0.05, 0.075, 0.100, 0.125$ を準備し、NMR 測定を行なった。 T' -LECOF は複数の化学反応を経て最終的に T' 構造の試料を得ることができ、本研究課題によって合成方法が大きく安定したものである。ナイトシフトが正常状態ではほぼ温度に依存しない点以外は、全体的な傾向は、正常状態も超伝導状態も、 T' -PLCCO と類似しているが、仕込みの組成量がキャリア数と対応していると考えたと両者の相図には矛盾が生じているように考えられる。

相図の比較[13, 14, 15]



T' - $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ の電子状態相図



T' - $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_{4-y}\text{F}_y$ の電子状態相図

A. NMR の観点からの擬ギャップ現象の発見

T' -PLCCO および T' -LECOF (上の 2 図) において広いドーピング域で NMR の観点から初めて相図を明らかにし、高ドーピング域ではホールドーピング型との対称性を見出した。また、擬ギャップ (PG: pseudo gap) 現象を NMR の観点からは初めて観測した。擬ギャップ現象は他の研究手段でも観測されてきたが特性温度が異なっており、NMR で比べた場合、ホールドーピング型の $1/5 \sim 1/2$ 程度の温度スケールである。今後の研究ではこの擬ギャップの原因を追究することが重要になると考えている。

B. 超伝導対称性と反強磁性相関のドーピング依存性

ホールドーピング型と同様に超伝導対称性は、ラインノードをもったスピン-重項状態すなわち d 波であることが明らかになった。さらに、反強磁性相関が低ドーピング域に向かうほど強く、 T' -PLCCO においては磁気量子相転移点が存在することを明らかにした。量子臨界点以上の組成における相図は温度スケールの違いはあるものの NMR の観点からのホールドーピング型の相図と類似しており [16, 17]、銅酸化物高温超伝導体における電子・ホール対称性の可能性を示す結果となった。

C. 組成上のドーピング量と実質的なドーピング量の違い

2 つの相図を比べると明らかなように、置換量がゼロである母物質の性質が異なっており、組成上 (見かけ) のキャリア数と CuO_2 層に実際に注入されているキャリア数に違いがある可能性が高い。電子ドーピング型の実験的なアプローチの難しさを如実に示す例であると言える。

「今後の展開」

擬ギャップ現象の解明

NMR の観点からは初めて明らかになった電子ドーピング型での擬ギャップ現象の起源を理論的ア

プローチも含めて明らかにする。ホールドープ型ではネマティック相との関連が議論されているが、電子ドープ型では今のところ反強磁性ギャップとの関連のみが議論されているので、ネマティック相の可能性について探求する。

T'構造をもつホールドープ型銅酸化物高温超伝導体での NMR

電子ドープ型のいわゆる T'型の構造を保ったままホールドープ型となる T'-La_{1.8-x}Eu_{0.2}(Sr,Ca)_xCuO₄ の相図を NMR で明らかにして統一的な理解を探求する。

<引用文献>

- [1] C. W. Chu et al., *Physica C* **514**, 290 (2015).
- [2] Y. Kitaoka et al., *J. Appl. Magn. Resonance* **3**, 549 (1992).
- [3] K. Yamada et al., *Phys. Rev. B* **57**, 6165 (1998).
- [4] P. Fournier, *Physica C* **514**, 314 (2015).
- [5] O. Matsumoto et al., *Physica C* **469**, 924 (2009).
- [6] T. Adachi et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **82**, 063713 (2013).
- [7] M. Yamamoto, Y. Kohori, H. Fukazawa et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 024708 (2016).
- [8] H. Fukazawa et al. *Physica C* **541**, 30 (2017).
- [9] T. Takamatsu et al., *Appl. Phys. Exp.* **5**, 073101 (2012).
- [10] D. J. Song et al., *Phys. Rev. Lett.* **118**, 137001 (2017).
- [11] F. Boschini et al., *npj Quantum Mater.* **5**, 6 (2020).
- [12] K. Ohashi, T. Kawamata et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 093703 (2016).
- [13] Y. Lee et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 073709 (2020).
- [14] M. Watai et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 023704 (2021).
- [15] H. Fukazawa et al., *J. Phys.: Conf. Ser.* **2164**, 012003 (2022).
- [16] S. Ohsugi et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **63**, 700 (1994).
- [17] S. Fujiyama et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 2864 (1997).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yongsun Lee, Hideto Fukazawa, Shuhei Kanamaru, Masahiro Yamamoto, Yoh Kohori, Akira Takahashi, Takayuki Kawamata, Koki Kawabata, Kazuki Tajima, Tadashi Adachi, and Yoji Koike	4. 巻 89
2. 論文標題 Pseudogap Behavior in T'-Pr1.3-xLa0.7CexCu04 Revealed by 63,65Cu NMR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073709-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.89.073709	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 Hideto Fukazawa, Kazuki Kumeda, Naoki Shioda, Yongsun Lee, Yoh Kohori, Koudai Sugimoto, Debarchan Das, Joanna Blawat, and Dariusz Kaczorowski	4. 巻 102
2. 論文標題 Successive magnetic transitions in the heavy-fermion superconductor Ce3PtIn11 studied by 115In nuclear quadrupole resonance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 165124-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.102.165124	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 Masaki Watai, Yongsun Lee, Hideto Fukazawa, Yoh Kohori, Toshiki Sunohara, Kota Shiosaka, Takayuki Kawamata, and Yoji Koike	4. 巻 90
2. 論文標題 Suppression of Pseudogap Behavior and Antiferromagnetic Fluctuations by Electron Doping in T'-La1.8Eu0.2Cu04-yFy Studied by 63,65Cu NMR	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 023704-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.90.023704	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 Toshiki Sunohara, Takayuki Kawamata, Kota Shiosaka, Tomohisa Takamatsu, Takashi Noji, Masatsune Kato, and Yoji Koike	4. 巻 89
2. 論文標題 Electron-Doping Effect on Tc in the Undoped (Ce-Free) Superconductor T'-La1.8Eu0.2Cu04 Studied by the Fluorine Substitution for Oxygen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 014701-1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.89.014701	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 Ito Tomoaki, Fukazawa Hideto, Shioda Naoki, Kataoka Yuki, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh	4. 巻 90
2. 論文標題 Sudden Suppression of Internal Magnetic Fields under High Pressure in δ -Mn	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 085001 ~ 085001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.085001	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 Shioda Naoki, Fukazawa Hideto, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh	4. 巻 91
2. 論文標題 Zero-Field NMR for the Pressure-Induced Phase of δ -Mn	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 023709-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.023709	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 Shioda Naoki, Kumeda Kazuki, Fukazawa Hideto, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh, Das Debarchan, Blawat Joanna, Kaczorowski Dariusz, Sugimoto Koudai	4. 巻 104
2. 論文標題 Determination of the magnetic q vectors in the heavy fermion superconductor Ce ₃ PtIn ₁₁	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245119-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.245119	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. Fukazawa, Y. Lee, M. Watai, K. Tamura, T. Ohama, Y. Kohori, T. Sunohara, K. Shiosaka, R. Nagaoka, T. Kawamata and Y. Koike	4. 巻 2164
2. 論文標題 ^{63,65} Cu, ¹³⁹ La-NMR study of Electron-doped High Temperature Cuprate Superconductor T'-La _{1.8} Eu _{0.2} CuO ₄ -yFy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 12003
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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 伊藤知晃, 片岡祐熙, 塩田直輝, 深澤英人, 小堀洋, 小林達生
2. 発表標題 高压下 MnのNMR測定IV
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 塩田直輝, 久米田和樹, Lee Yongsun, 深澤英人, 小堀洋, D. Das, C, J. Blawat, D. Kaczorowski, 杉本高大
2. 発表標題 Ce ₃ PtIn ₁₁ の磁気構造に対する磁気双極子相互作用を基にした考察
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 久米田和樹, 塩田直輝, Lee Yongsun, 深澤英人, 小堀洋, D. Das, J. Blawat, D. Kaczorowski, 杉本高大
2. 発表標題 重い電子系超伝導体Ce ₃ PtIn ₁₁ のIn-NQRによる二段磁気転移の研究
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 Lee Yongsun, 渡井将希, 金丸周平, 後藤雅人, 深澤英人, 小堀洋, 高橋晶, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドーブ型銅酸化物高温超伝導体T'-Pr _{1.7} -xLa _{0.3} Ce _x CuO ₄ のNMRによる研究
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 塩田直輝, 久米田和樹, Lee Yongsun, 深澤英人, 小堀洋, D.Das, C, J. Blawat, D. Kaczorowski, 杉本高大
2. 発表標題 重い電子系超伝導体Ce ₃ PtIn ₁₁ の二段磁気転移に対するNQRスペクトルの解析
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 H. Fukazawa, YS. Lee, S. Kanamaru, M. Goto, Y. Kohori, A. Takahashi, T. Kawamata, K. Kawabata, K. Tajima, T. Adachi, and Y. Koike
2. 発表標題 Suppression of Antiferromagnetic Spin Fluctuations by Electron Doping in T'-Pr _{1.3} -xLa _{0.7} CexCuO ₄ Probed by NMR
3. 学会等名 Research Frontier of Advanced Spectroscopies for Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YS. Lee, M. Watai, S. Kanamaru, M. Goto, H. Fukazawa, Y. Kohori, A. Takahashi, T. Kawamata, K. Kawabata, K. Tajima, T. Adachi, and Y. Koike
2. 発表標題 Pseudogap behavior in T'-Pr _{1.3} -xLa _{0.7} CexCuO ₄ (x = 0.10) probed by NMR
3. 学会等名 SNS2019(Spectroscopies in Novel Superconductors) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深澤英人, Yongsun Lee, 渡井将希, 金丸周平, 後藤雅人, 小堀洋, 高橋晶, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドープ型高温超伝導体の NMR による研究
3. 学会等名 高温超伝導フォーラム第7回会合
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yongsun Lee, 渡井将希, 金丸周平, 後藤雅人, 深澤英人, 小堀洋, 高橋晶, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドープ型高温超伝導体 $T' - Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_4$ の $^{63,65}Cu, ^{139}La$ - NMR II
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 渡井将希, LeeYongsun, 小堀洋, 深澤英人, 春原稔樹, 塩坂浩太, 川股隆行, 小池洋二
2. 発表標題 フッ素置換による電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体 $T' - La_{1.8}Eu_{0.2}CuO_4-yFy$ の核磁気共鳴法による研究
3. 学会等名 科研費合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yongsun Lee, 渡井将希, 金丸周平, 後藤雅人, 深澤英人, 小堀洋, 高橋晶, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 $T' - Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_4$ の NMR
3. 学会等名 科研費合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡井将希, LeeYongsun, 小堀洋, 深澤英人, 春原稔樹, 塩坂浩太, 川股隆行, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドープ型高温超伝導体 $T' - La_{1.8}Eu_{0.2}CuO_4-yFy$ の $^{63,65}Cu, ^{139}La$ - NMR
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 深澤英人, 後藤雅人, 金丸周平, 石山聖也, 小堀洋, 大橋幸記, 川股隆行, 足立匡, 平田倫啓, 佐々木孝彦, 小池洋二
2. 発表標題 T'構造をもつ銅酸化物高温超伝導体の強磁場NMR
3. 学会等名 東北大学金研研究会「強磁場コラボラトリにおける物性研究の現状と展望」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小堀洋, 深澤英人, 後藤雅人, 金丸周平, Lee Yongsun, 高橋晶, 大橋幸記, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 平田倫啓, 佐々木孝彦, 小池洋二
2. 発表標題 T'型銅酸化物高温超伝導体のNMRによる研究
3. 学会等名 科研費合同研究会「真性T'構造銅酸化物における電子状態とノンドープ超伝導機構の解明」「中性子スピンプリズム法の確立と超伝導体の電子多自由度マルチダイナミクスの研究」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金丸周平, Lee Yongsun, 後藤雅人, 深澤英人, 小堀洋, 高橋晶, 川股隆行, 川端公貴, 田島一輝, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドープ型高温超伝導体 T' -Pr _{1.3} -xLa _{0.7} CexCu _{04+d} の63,65Cu,139La-NMR
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村昂磨, LeeYongsun, 深澤英人, 小堀洋, 春原稔樹, 塩坂浩太, 長岡凌生, 川股隆行, 小池洋二, 大濱哲夫
2. 発表標題 ホールドープ型銅酸化物高温超伝導体T'-La _{1.775} Eu _{0.2} Sr _{0.025} Cu ₀₄ の63Cu NMRによる研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lee Yongsun, 田村昂磨, 深澤英人, 大濱哲夫, 小堀洋, 永久保侑祐, 田島一輝, 川端公貴, 高橋晶, 川股隆行, 足立匡, 小池洋二
2. 発表標題 電子ドーピング銅酸化物高温超伝導体 $T^* - Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_4$ ($x = 0.05$) のNMR
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yongsun Lee, Masaki Watai, Hideto Fukazawa, Tetsuo Ohama, Yoh Kohori, Akira Takahashi, Toshiki Sunohara, Kota Shiosaka, Takayuki Kawamata, Koki Kawabata, Kazuki Tajima, Tadashi Adachi and Yoji Koike
2. 発表標題 63,65Cu,139La-NMR study of Electron-doped High Temperature Superconducting Cuprates
3. 学会等名 Meaterials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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
研究分担者	小堀 洋 (Kohori Yoh) (10153660)	千葉大学・大学院理学研究院・名誉教授 (12501)	
研究分担者	川股 隆行 (Kawamata Takayuki) (00431601)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

	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	杉本 高大 (Sugimoto Koudai) (70756072)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・助教 (32612)	

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			
ポーランド	ポーランド科学アカデミー			
スイス	ポールシェラー研究所			