

令和元年6月3日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05458

研究課題名(和文) T'型銅酸化物におけるドーピングを要さない新しい超伝導の発現メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism of the new superconductivity without doping in T'-type cuprates

研究代表者

足立 匡 (Adachi, Tadashi)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：40333843

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)： T'構造を有する電子ドーブ型銅酸化物高温超伝導体の母物質で発現する超伝導の発現メカニズムを明らかにするために、T'銅酸化物の単結晶を用いて電気抵抗率やミュオンスピン緩和などから還元による電子状態の変化を詳細に調べた。その結果、還元アニールを工夫することで、T'銅酸化物の単結晶から過剰な酸素を効果的に取り除くことに成功した。また、T'銅酸化物では、還元とともに電子だけでなくホールも生成することが明らかになった。このことから、超伝導の発現にホールが関わっている可能性があると言える。さらに、T'銅酸化物では、超伝導とCuスピン相関の発達に密接な関連があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、電子ドーブ型T'銅酸化物から過剰な酸素を効果的に取り除く方法を確立した。これは、他の遷移金属酸化物に対しても利用できる技術なので、様々な機能性酸化物の開発に貢献するだろう。本研究から、T'銅酸化物において還元とともに電子状態がどのように変化するのが明らかになった。特に、超伝導が発現する試料におけるホールキャリアの存在とCuスピン相関の発達を結論できたことは特筆に値する。今後は、元素置換によらない新たなキャリアドーブ法による新規高温超伝導体の創製が発展するだろう。

研究成果の概要(英文)： In order to elucidate the mechanism of superconductivity in the parent compounds of the electron-doped high-T_c cuprate superconductors with the T'-structure, we have investigated detailed changes of the electronic states through the reduction annealing from the electrical resistivity, muon spin relaxation etc. using single crystals of the T'-cuprates. By improving the reduction annealing, we have succeeded in removing effectively the excess oxygen from the single crystals of the T'-cuprates. It has been clarified that not only electrons but also holes are generated through the reduction annealing in the T'-cuprates, suggesting that holes are related to the appearance of superconductivity. Moreover, it has been clarified that the Cu-spin correlation and superconductivity are in intimate relation with each other in the T'-cuprates.

研究分野：超伝導物性学

キーワード：高温超伝導体 電子ドーブ型銅酸化物 母物質ノンドープ超伝導 還元処理 ミュオンスピン緩和 X線吸収分光

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、常圧力下でもっとも高い超伝導転移温度 T_c を有する物質は銅酸化物であるが、超伝導の発現メカニズムは未だ明らかではない。これまでは、母物質であるモット絶縁体にキャリアをドーピングして反強磁性秩序を壊すと超伝導が発現すると理解されていた。しかし、2005年にNTT-東京農工大のグループが、 T' 構造を有する電子ドーピング型銅酸化物の薄膜試料において、超伝導を阻害する過剰な酸素を十分に除去すると、母物質が絶縁体ではなく超伝導体であることを見出した[1]。さらに、母物質から幅広い電子ドーピング領域で超伝導が発現すると報告し[2]、これまでの理解を覆した。ところが、酸素の除去が極めて難しく、実験を再現する報告がなかったことから、注目されてこなかった。

近年、申請者のグループは、この新しい超伝導（母物質がモット絶縁体ではなく、ドーピング量ゼロから幅広い電子ドーピング領域で発現する超伝導）の発現メカニズムを明らかにするために、詳細な物性を調べることができる単結晶で超伝導を発現させることを目指している。過剰な酸素を除去する方法を改良することで、これまで絶縁体と考えられてきた低電子ドーピング領域の単結晶試料で超伝導を発現させることに成功している[3,4]。また、酸素の除去による電子状態の変化を説明する強い電子相関に基づくバンド描像を提唱し、国内外で注目されている。

現状の問題点は、(i)超伝導を示す母物質の単結晶が作製できておらず、単結晶から過剰な酸素を完全に除去する方法が確立されていないこと、(ii)申請者が提案したバンド描像の実験的実証がなされていない、すなわち、酸素の除去によって超伝導が発現するメカニズムが確定していないことが挙げられる。申請者が開発した酸素除去の方法（プロテクトアニール法）を発展させれば、超伝導を示す母物質の単結晶が得られる可能性は高い。また、申請者らの予備的なホール抵抗率の測定から、 T' 銅酸化物にもホールキャリアが存在し、超伝導の発現に関係するという、これまでの常識を覆す可能性が浮上している。さらに、予備的なミュオンスピン緩和 (μ SR) 測定から、電子がドーピングされた T' 銅酸化物では Cu スピン相関がかなり発達している、強い電子相関が新しい超伝導の背景に存在する可能性が示されている[5]。

2. 研究の目的

本研究では、電子ドーピング型 T' 銅酸化物における新しい超伝導の発現メカニズムを解明するための基盤となる研究を行った。具体的には、①プロテクトアニール法の発展型を駆使した、過剰な酸素を完全に除去した T' 銅酸化物の単結晶の作製条件。②電子ドーピング型にも存在するホールキャリアが超伝導の発現にどのように関係するのか。③強い電子相関に起因する Cu スピン相関が存在するか、また、超伝導の発現に関与するか、について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

T' 銅酸化物 $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ 、 $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ 、 $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ の単結晶をフローティングゾーン法で育成した。育成した単結晶に対して、粉末X線回折、X線背面ラウエなどを行い、結晶の品質を評価した。

超伝導特性と常伝導物性を調べるために、電気抵抗率、磁化率、比熱の測定を行った。また、Cu スピン相関について調べるために μ SR の測定を行った。測定は英国の RIKEN-RAL、スイスの PSI、東海村の J-PARC/MUSE で行った。さらに、キャリアの情報を得るためにX線吸収分光 (XAS) の測定を播磨の SPring-8 で行った。

4. 研究成果

【 $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ における還元による電子状態の変化】

過剰な酸素を極力減らすために、これまでとは異なる低酸素分圧下で単結晶の育成を試みた結果、 T' 銅酸化物の母物質である $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ の高品質単結晶の育成に成功した。続いて、従来のプロテクトアニール[3]に、薄膜から酸素を除去するのに有効とされている低温アニール[6]と、短時間で温度を昇降させることで均一に酸素を除去できるとされているダイナミックアニール[7]を駆使して、単結晶から過剰な酸素の除去を試みた。その結果、 ab 面内電気抵抗率 ρ_{ab} が 150 K 以上で金属的に振る舞うことを見出した。また、室温での ρ_{ab} の絶対値は、超伝導が発現する $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ 薄膜[6]のそれと比べて1桁程度大きいことがわかった。これらのことから、上記の発展的アニールを行うことで、母物質の単結晶からこれまでになく過剰な酸素が抜けたと思われる。しかし、超伝導の発現には至っていない。

As-grown と還元した $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ の単結晶を用いて XAS の測定を行った。その結果、還元とともに1価の Cu に相当する吸収ピーク強度が増大することがわかった。これは、還元とともに Cu に電子がドーピングされていることを示しており、先行研究である $\text{Pr}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ の多結晶における XAS の[8]の結果と一致する。また、還元による酸素欠損量 δ を見積もったところ、酸素欠損がもたらす電子ドーピング量よりも多くの電子がドーピングされていることが明らかになった。これは、電子とともにホールがドーピングされていることを示唆する。このような電子とホールの存在は、前述の XAS [8]、NMR [9]、ホール抵抗率[10,11]からも指摘されていることから、還元した

T'銅酸化物に共通する性質と思われる。このことは、T'銅酸化物における超伝導の発現にホールキャリアが重要である可能性を示している。

【Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_{4+δ}における Cu スピン相関と超伝導の関連】

T'銅酸化物 Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_{4+δ}の $x = 0.10$ の高品質単結晶の育成に成功した。続いて、従来のプロテクトアニール[3]に、低温アニール[6]とダイナミックアニール[7]を加えて、単結晶から過剰な酸素をさらに除去することを試みた。その結果 T_c が上昇し、T'銅酸化物の単結晶でこれまでで最高の $T_c = 29$ K の試料を得ることに成功した。また、さらに還元を進めることで、 T_c がやや低下した過剰還元の試料を作製することができた。これらのことから、前述の発展的アニールを行うことで、単結晶からこれまでになく過剰な酸素が抜けたと思われる。

これらの単結晶を用いて μ SR の測定を行った結果、As-grown で見られた反強磁性長距離磁気秩序が短距離磁気秩序に変化し、さらに、 T_c の上昇とともに短距離磁気秩序が消失することがわかった。図 1 に、スペクトルを解析して得られた、Cu スピン相関の発達を表すミュオンスピン緩和率 λ_0 の温度依存性を示す[12]。還元が不足している UR25 (Under-Reduced, $T_c = 25$ K) の試料では、温度の低下とともに λ_0 が増大し、 ~ 40 K 付近でピークを示している。これは、短距離磁気秩序への磁気転移が起こったためである。一方、さらに還元した UR27 (Under-Reduced, $T_c = 27$ K) と過剰還元領域の OR27 (Over-Reduced, $T_c = 27$ K) では、ピークが見られないことから磁気秩序は消失している。しかし、温度の低下とともに λ_0 が増大していることから、還元が進んで T_c が高い試料では、低温で Cu スピン相関が発達していることが明らかになった。

一方、電子ドーブ量を変えた Pr_{1-x}La_xCe_xCuO_{4+δ} の単結晶における μ SR の測定の結果、超伝導が消失する電子過剰ドーブ領域の $x = 0.17 - 0.20$ では低温 Cu スピン相関が発達しないことがわかった[13]。これらの結果をまとめると、T'銅酸化物では超伝導と Cu スピン相関の発達に密接な関連がある可能性が高いと言える。

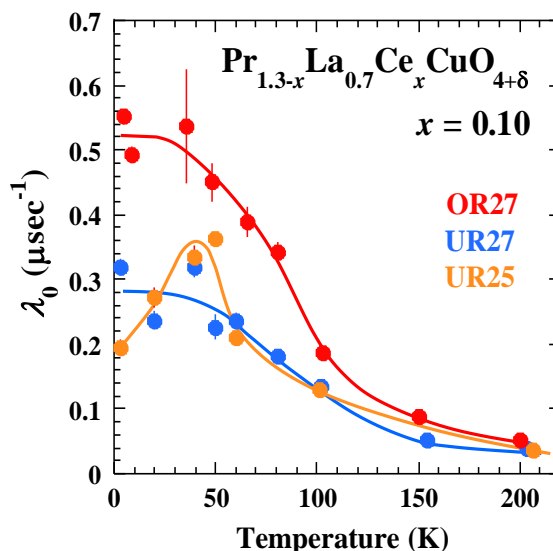


図 1. Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO_{4+δ} ($x = 0.10$) におけるミュオンスピン緩和率 λ_0 の温度依存性。

【Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4+δ} のアンダードーブ領域におけるバルク超伝導の発現】

これまでのバルク試料では絶縁体であった T'銅酸化物 Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4+δ} のアンダードーブ領域である $x = 0.05$ と 0.10 の高品質単結晶の育成に成功した。続いて、プロテクトアニール[3]、低温アニール[6]、ダイナミックアニール[7]を加えた結果、バルク超伝導を観測することに世界で初めて成功した。マイスナー磁化率から見積もった T_c の値は、超伝導が発現する薄膜試料[2]のそれと一致することがわかった。これらのことから、前述の発展的アニールを行うことで単結晶からこれまでになく過剰な酸素が抜けたと思われる。

$x = 0.10$ の単結晶を用いて μ SR の測定を行った結果、還元してバルク超伝導を示す試料において、低温で反強磁性長距離秩序が形成されることを見出した。このことから、バルク超伝導と反強磁性秩序が試料中で共存していることが明らかになった。

以上のことから、プロテクトアニールを発展させて、低温アニール、ダイナミックアニールを加えることで、電子ドーブ型 T'銅酸化物の単結晶から過剰な酸素を効果的に取り除くことができることが明らかになった。また、電子ドーブ型 T'銅酸化物では、還元とともに電子だけでなくホールも生成することが明らかになった。このことから、超伝導の発現にホールが関わっている可能性があると言える。さらに、電子ドーブ型 T'銅酸化物では、超伝導と Cu スピン相関の発達に密接な関連があることが明らかになった。

[1] A. Tsukada *et al.*, Solid State Commun. **133**, 427 (2005).

[2] O. Matsumoto *et al.*, Physica C **469**, 924 (2009).

[3] T. Adachi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 063713 (2013).

[4] M. Horio *et al.*, Nat. Commun. **7**, 10567 (2016).

[5] T. Adachi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 114716 (2016).

[6] Y. Krockenberger *et al.*, Sci. Rep. **3**, 2235 (2013).

[7] Y.-L. Wang *et al.*, Phys. Rev. B **80**, 094513 (2009).

[8] S. Asano *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 094710 (2018).

[9] M. Jurktat *et al.*, Phys. Rev. B **90**, 140504(R) (2014).

- [10] P. Li *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 057003 (2007).
 [11] T. Adachi *et al.*, Condens. Matter **2**, 23 (2017).
 [12] T. Sumura *et al.*, JPS Conf. Proc. **21**, 011027 (2018).
 [13] M. A. Baqiya *et al.*, submitted to Phys. Rev. B.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件) (全て査読有)

- [1] I. I. Gimazov, T. Adachi, K. Omori, Y. Tanabe, Y. Koike, Yu. I. Talanov, “Microwave absorption by charge density waves in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ”, JETP Letters **108**, 675-679 (2018), DOI: 10.1134/S0021364018220034.
- [2] T. Kawamata, K. Ohashi, T. Takamatsu, T. Adachi, M. Kato, I. Watanabe, Y. Koike, “Impurity effects on the electronic state in the undoped (Ce-free) superconductor $\text{T}'\text{-La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_4$ studied by muon spin relaxation”, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 094717(1-5) (2018), <https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.094717>.
- [3] K. Kurashima, T. Adachi, K. M. Suzuki, Y. Fukunaga, T. Kawamata, T. Noji, H. Miyasaka, I. Watanabe, M. Miyazaki, A. Koda, R. Kadono, Y. Koike, “Development of ferromagnetic fluctuations in heavily overdoped $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ copper oxides”, Phys. Rev. Lett. **121**, 057002(1-6) (2018), DOI: 10.1103/PhysRevLett.121.057002.
- [4] S. Blanco-Canosa, E. Schierle, Z. W. Li, H. Guo, T. Adachi, Y. Koike, O. Sobolev, E. Weschke, A. C. Komarek, C. Schüßler-Langeheine, “Magnetic field effect in stripe-ordered 214 $(\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4})\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ and $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ superconducting cuprates studied by resonant soft x-ray scattering”, Phys. Rev. B **97**, 195130(1-7) (2018), DOI: 10.1103/PhysRevB.97.195130.
- [5] R. Ohnishi, M. Nakajima, S. Miyasaka, S. Tajima, T. Adachi, T. Ohgi, A. Takahashi, Y. Koike, “Optical study of electron-doped cuprate $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ in under-doped regime: Revisit the phase diagram”, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 043705(1-5) (2018), <https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.043705>.
- [6] T. Sumura, T. Ishimoto, H. Kuwahara, K. Kurashima, Y. Koike, I. Watanabe, M. Miyazaki, A. Koda, R. Kadono, T. Adachi, “Reduction effects on the Cu-spin correlation in the electron-doped T' -cuprate $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ ($x = 0.10$)”, JPS Conf. Proc. **21**, 011027(1-5) (2018), <https://doi.org/10.7566/JPSCP.21.011027>.
- [7] Z. Guguchia, T. Adachi, Z. Shermadini, T. Ohgi, J. Chang, E. S. Bozin, F. von Rohr, A. M. dos Santos, J. J. Molaison, R. Boehler, Y. Koike, A. R. Wieteska, B. A. Frandsen, E. Morenzoni, A. Amato, S. J. L. Billinge, Y. J. Uemura, R. Khasanov, “Pressure tuning of structure, superconductivity, and novel magnetic order in the Ce-underdoped electron-doped cuprate $\text{T}'\text{-Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ ($x = 0.1$)”, Phys. Rev. B **96**, 094515(1-11) (2017), DOI: 10.1103/PhysRevB.96.094515.
- [8] H. Fukazawa, S. Ishiyama, M. Goto, S. Kanamaru, K. Ohashi, T. Kawamata, T. Adachi, M. Hirata, T. Sasaki, Y. Koike, Y. Kohori, “Undoped high- T_c superconductivity in $\text{T}'\text{-La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_{4+\delta}$ revealed by $^{63,65}\text{Cu}$ and ^{139}La NMR: Bulk superconductivity and antiferromagnetic fluctuations”, Physica C **541**, 30-35 (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.physc.2017.08.002>.
- [9] I. Gimazov, Yu. Talanov, V. Sakhin, T. Adachi, T. Noji, Y. Koike, “Superconducting fluctuations above the critical temperature in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{CuO}_{8+\delta}$ as revealed by microwave absorption”, Appl. Magn. Reson **48**, 861-870 (2017), DOI: 10.1007/s00723-017-0912-y.
- [10] T. Adachi, T. Kawamata, Y. Koike, “Novel electronic state and superconductivity in the electron-doped high- T_c T' -superconductors”, Condens. Matter **2**, 23(1-16) (2017), 10.3390/condmat2030023.
- [11] M. A. Baqiya, B. Triono, Darminto, T. Adachi, A. Takahashi, T. Konno, M. Watanabe, T. Prombood, Y. Koike, “Protected vacuum annealing effect on single crystals of $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ce}_y\text{CuO}_4$ in the overdoped regime”, Mater. Sci. Eng. **196**, 012011(1-4) (2017), 10.1088/1757-899X/196/1/012011.
- [12] I. I. Gimazov, V. O. Sakhin, Yu. I. Talanov, T. Adachi, T. Noji, Y. Koike, “Superconducting fluctuations above critical temperature in the $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_8$ single crystals”, Magn. Reson. in Solids. Electro. J. **18**, 16203(1-5) (2016), http://mrsej.ksu.ru/contents/2016/MRSej_16203.pdf
- [13] K. M. Suzuki, T. Adachi, H. Sato, I. Watanabe, Y. Koike, “Successive magnetic transitions relating to itinerant spins and localized Cu spins in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_4$: Possible existence of stripe correlations in the overdoped regime”, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 124705(1-7) (2016), <http://doi.org/10.7566/JPSJ.85.124705>.
- [14] T. Adachi, A. Takahashi, K. M. Suzuki, M. A. Baqiya, T. Konno, T. Takamatsu, M. Kato, I. Watanabe, A. Koda, M. Miyazaki, R. Kadono, Y. Koike, “Strong electron correlation behind the superconductivity in Ce-free and Ce-underdoped high- T_c T' -cuprates”, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 114716(1-6) (2016), <http://doi.org/10.7566/JPSJ.85.114716>.
- [15] M. Miyazaki, R. Kadono, M. Hiraiishi, A. Koda, K. M. Kojima, Y. Fukunaga, Y. Tanabe, T. Adachi, Y. Koike, “Metal-insulator transition and pseudogap in $\text{Bi}_{1.76}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.89}\text{CuO}_{6+\delta}$ high- T_c cuprates”, Phys. Rev. B **94**, 115123(1-5) (2016), DOI: 10.1103/PhysRevB.94.115123.

- [16] K. Ohashi, T. Kawamata, T. Takamatsu, T. Adachi, M. Kato, Y. Koike, “Paring symmetry studied from impurity effects in the undoped superconductor T' - $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_4$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 093703(1-4) (2016), <http://doi.org/10.7566/JPSJ.85.093703>.
- [17] Y. Koike, T. Adachi, “ μSR studies on magnetism in high- T_c cuprates”, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 091006(1-12) (2016), <http://doi.org/10.7566/JPSJ.85.091006>.

〔学会発表〕（計 83 件）

- [1] 足立匡, “MLF ミュオンでプローブする高温超伝導体のスピンゆらぎ”, 日本物理学会第 74 回年次大会領域 10 シンポジウム「J-PARC 物質生命科学研究所の 10 年 – 成果と将来 –, 2019 年. (招待講演)
- [2] T. Adachi, “Development of ferromagnetic fluctuations in heavily overdoped high- T_c superconductors”, 4th International Conference on Functional Materials Science (ICFMS2018), 2018 年. (基調講演)
- [3] 大西終成, “Bi-2201 系銅酸化物の超過剰ドーブ領域における強磁性ゆらぎに対する Fe 置換効果”, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年.
- [4] K. Kawabata, “Reduction annealing and electronic states in single crystals of T' -cuprate $\text{Pr}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ ”, 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M^2S -HTSC-XII), 2018 年.
- [5] T. Adachi, “Reduction and electron-doping effects on the Cu-spin correlation in electron-doped high- T_c cuprates $\text{Pr}_{2-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ ”, 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M^2S -HTSC-XII), 2018 年.
- [6] T. Adachi, “Undoped superconductivity and the novel electronic state in the high- T_c T' -cuprates”, The 2017 European Materials Research Society Fall Meeting, 2017 年. (招待講演)
- [7] パクサンウン, “PLD 法による電子ドーブ型銅酸化物 T' - $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ のオーバードーブ領域の薄膜作製”, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年.
- [8] 川端公貴, “ T' 型銅酸化物 $RE_2\text{CuO}_{4+\delta}$ ($RE = \text{Pr}, \text{Sm}$) の単結晶における還元処理と電子状態”, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年.
- [9] T. Adachi, “Cu-spin correlation and novel electronic state in the electron-doped high- T_c T' -superconductors”, International Conference Electron Correlation in Superconductors and Nanostructures (ECSN-2017), 2017 年. (招待講演)
- [10] T. Adachi, “Cu-spin correlation and novel electronic state in the electron-doped high- T_c cuprates”, 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28), 2017 年.
- [11] T. Sumura, “Over-reduction effects on the Cu-spin correlation in the electron-doped T' -cuprate $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ ($x = 0.10$)”, The 14th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance ($\mu\text{SR}2017$), 2017 年.
- [12] T. Adachi, “Enhancement of ferromagnetic fluctuations in heavily overdoped Bi-2201 cuprates”, The 14th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance ($\mu\text{SR}2017$), 2017 年.
- [13] 倉嶋晃士, “銅酸化物超伝導体の超過剰ドーブ領域における強磁性ゆらぎの発達”, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年.
- [14] T. Adachi, “Transport and muon spin relaxation studies of the novel electronic state in the electron-doped high- T_c T' -cuprates”, The 37th REIMEI Workshop on Frontiers of Correlated Quantum Matters and Spintronics, 2017 年. (招待講演)
- [15] M. A. Baqiya, “Protected vacuum annealing effect on single crystals of $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ in the overdoped regime”, 3rd International Conference on Functional Materials Science (ICFMS2016), 2016 年.
- [16] T. Adachi, “Novel electronic state and superconductivity in the electron-doped high- T_c T' -superconductors”, 3rd International Conference on Functional Materials Science (ICFMS2016), 2016 年. (基調講演)
- [17] 洲村拓哉, “過剰に還元された電子ドーブ型 T' 銅酸化物 $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ ($x = 0.10$) の電子状態”, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年.
- [18] T. Adachi, “Muon spin relaxation and transport studies in the electron-doped high- T_c T' -superconductors revealing the novel electronic state”, International Conference on Superstirpes 2016, 2016 年. (招待講演)

他 65 件, 計 83 件

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 0 件）
○取得状況（計 0 件）

[その他]

ホームページ : <http://www.ph.sophia.ac.jp/~adachi/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 : なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : 洲村 拓哉

ローマ字氏名 : (SUMURA, takuya)

研究協力者氏名 : 川端 公貴

ローマ字氏名 : (KAWABATA, koki)

研究協力者氏名 : パク サンウン

ローマ字氏名 : (PARK, sangeun)

研究協力者氏名 : Baqiya Malik Anjelh

ローマ字氏名 : (BAQIYA, malik anjelh)

研究協力者氏名 : 倉嶋 晃士

ローマ字氏名 : (KURASHIMA, koshi)

研究協力者氏名 : 大西 稔成

ローマ字氏名 : (ONISHI, shusei)