

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06433

研究課題名(和文) ソフト化学プロセスによる次世代型希土類フリー銅酸化物超伝導体の創製

研究課題名(英文) Synthesis of next generation cuprate-superconductors without rare-earth elements using soft-chemical processes

研究代表者

加藤 雅恒 (Kato, Masatsune)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50211850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：超伝導転移温度 T_c が100 Kを超える、高価な希土類元素を含まない新しい銅酸化物超伝導体を創製することを目指した。 $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+d}$ では伝導面のCu-O距離が長すぎてホールキャリアが入らず最高の T_c は65Kと低かった。 $(Bi,Pb)_2Sr_2CaCu_2O_{8+d}$ において、過剰酸素を完全に除去し、ホール濃度を最適化することによって、この系では初めて100Kを超える $T_c=102K$ を示した。RE量を減らすべくCa置換した $RE_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{6.0}$ において、 T_c は50Kから72Kまで大きく向上した。格子を小さくすれば更なる向上が期待できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to synthesize new cuprate superconductors without expensive rare earth elements with a superconducting transition temperature T_c above 100 K. In $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+d}$, the maximum T_c is as low as 65 K because the Cu-O distance in the conducting plane is too long for hole carriers to be supplied. In $(Bi,Pb)_2Sr_2CaCu_2O_{8+d}$, T_c has increased up to 102 K by removing the excess oxygen completely and optimizing the hole concentration. The present compound is the first superconductor with T_c above 100 K in the Bi-2212 phase. In Ca-substituted $(RE,Ca)(Ba,Sr)_2Cu_3O_{6.0}$ with reduced RE-content, T_c has increased greatly from 50 K up to 72 K. It has been found that further increase in T_c can be expected by reducing the lattice.

研究分野：超伝導

キーワード：超伝導体 希土類フリー ソフト化学合成

1. 研究開始当初の背景

超伝導転移温度 T_c が液体窒素温度 77 K を超える銅酸化物超伝導体の中で最も実用化が期待されるのは、磁場中での特性が優れる希土類 (RE) 系 $REBa_2Cu_3O_7$ である。しかし、高価な RE を含むため現状の銅ケーブルに比べ約 3 倍ものコストがかかると試算されている。そのため実用化には高価な RE を含まない超伝導体の開発が望まれている。また、超伝導体に電流を流すと磁場が発生して超伝導を抑制するため、液体窒素温度での利用には T_c は 77 K を超えるだけではだめで、100 K を超えることが要求される。

上述の条件を満たす新超伝導体の開発に向けて多くの努力がなされてきたが実現できていない。本研究では、通常の合成法では作製できない新物質を合成することができるソフト化学合成法に着目した。ソフト化学合成法とは、室温近傍 (400°C 程度以下) の穏和な環境下で物質を合成する手法で、インターカレーション法、ゾルゲル法、イオン交換法などがある。熱エネルギーの代わりに化学・電気エネルギーを利用し、通常の合成法では作製できない準安定相を合成することができる。1 eV は約 10,000 K の熱エネルギーに相当する。巨大なエネルギーが容易に得られ、クリーンで環境負荷も少ない試料合成プロセスである。

2. 研究の目的

本研究では T_c が 100 K を超える、希土類元素を含まない銅酸化物超伝導体を創製することを本研究の目的とする。そして、その実現のためにソフト化学合成法を利用する。

3. 研究の方法

以下に示す 3 つの系に着目した。

(1) $AE_2CuO_2X_2$ ($AE = Sr, Ba, Ca$; $X =$ ハロゲン, 水素)

この系は希土類元素だけでなく希少金属である Bi や Tl も含まないため最も期待される。これまでに合成された代表的な超伝導体としては、 $Li_1Sr_2CuO_2X_2$ ($X = Br, I$; $T_c = 8$ K), $(Sr, Ba)_2CuO_2F_{2+\delta}$ ($T_c = 64$ K) がある。また、超高压下での合成では $(Sr, Ba)_2CuO_{4+\delta}$ ($T_c = 95$ K) がある。特殊な合成法が必要のためこれまで研究が進んでいない。本研究ではソフト化学法により合成を行う。

(2) Bi 系銅酸化物 Bi-2212 相 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$

$T_c = 110$ K の Bi-2223 相 $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ は液体窒素温度での送電ケーブルとしての試験運用が始まっている。ただし、焼成温度範囲が狭く、相生成に長時間を要するという作製の難点がある。そこで、作製が容易な Bi-2212 相 ($T_c \sim 80$ K) において T_c を 100 K 以上に向上させる。

(3) RE 系銅酸化物 $(RE, Ca)Ba_2Cu_3O_6$

最も実用化が期待される希土類 (RE) 系銅

酸化物 ($REBa_2Cu_3O_7$) において、希土類元素を Ca で部分置換して、希土類元素の量を減らすとともに T_c を 100 K 以上に向上させる。

4. 研究成果

(1) $AE_2CuO_2X_2$:

$Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+\delta}$ に着目した。この物質は図 1 に示すように代表的な超伝導体 $(La, Sr)_2CuO_4$ と同じ K_2NiF_4 型の層状ペロブスカイト構造を有する。Ba 量 x の増加とともに T_c は上昇し、これまでの最高の T_c は $x(Ba) = 0.6$ のときの 64 K である。しかし、 $x(Ba) = 0.6$ 以上は固溶しない。本研究では、Ba の固溶量を増大させ、 T_c の上昇を図った。

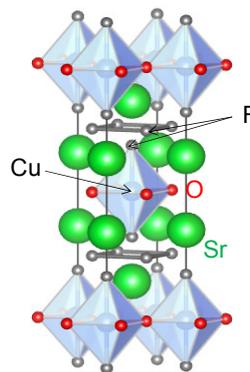


図 1. $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+\delta}$ の結晶構造。

初めに固相反応法で $Sr_{2-x}Ba_xCuO_3$ を作製した。この時点で Ba の固溶量の拡大を図った。次に、 $Sr_{2-x}Ba_xCuO_3$ にフッ素源として CuF_2 を加えて混合し、ペレット状にしたものを 200-400°C で、様々なガス雰囲気中で加熱し、超伝導体 $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+\delta}$ を合成した。

まず、 $Sr_{2-x}Ba_xCuO_3$ の作製について述べる。原料を $SrCO_3$, $BaCO_3$, CuO として Ar 気流中、800°C という低温で仮焼し $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2CO_3$ という安定な物質を前駆体として作製した後、酸素気流中 930°C で本焼することによって、 $0 \leq x(Ba) \leq 2.0$ で単相試料が得られた。次に、 $Sr_{2-x}Ba_xCuO_3$ を CuF_2 と混ぜて 230°C という低温で、空气中、6 時間加熱して $Sr_{2-x}Ba_xCuO_2F_{2+\delta}$ を作製した。

得られた試料の T_c を SQUID 磁束計を用いて決定した。この結果を図 2 に示す。 $x(Ba) \leq 0.6$ では、 T_c は先行研究と同様に Ba 量 x の増加とともに上昇した。最高の T_c は先行研究とほぼ同じく $x(Ba) = 0.6$ のときの 65 K であった。 $x(Ba) > 0.6$ では T_c も超伝導体積分率 V_{SC} も急激に低下した。ただ、 $x(Ba) = 2.0$ では超伝導体積分率 V_{SC} が非常に小さいが、先行研究を上回る $T_c = 74$ K を観測した。 T_c 低下の原因を調べた結果、 $x(Ba) > 0.6$ では過剰フッ素 F 量 δ , すなわちホールドーピング量が急に減少することがわかった。これは Cu と伝導面内の酸素 O(面)の距離が 1.95 Å を超えたためと結論した。これまでに発見されたホール型銅酸化物超伝導体における経験則に従うものであ

る。これは CuO_2 面よりブロック層のサイズが大きくなり、 CuO_2 面がホールを取り込んで小さくなるようにすることができなくなるためである。超高压下で合成される $T_c \sim 95 \text{ K}$ の $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ よりも T_c が低かったのは、過剰 F が Cu の直上の酸素をシフトさせ伝導面にポテンシャルの乱れを与えるためと考えられる。

また、 $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_3$ を CaH_2 と混ぜて低温で新物質 $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_2\text{H}_{2+\delta}$ の合成も試みたが得ることはできなかった。

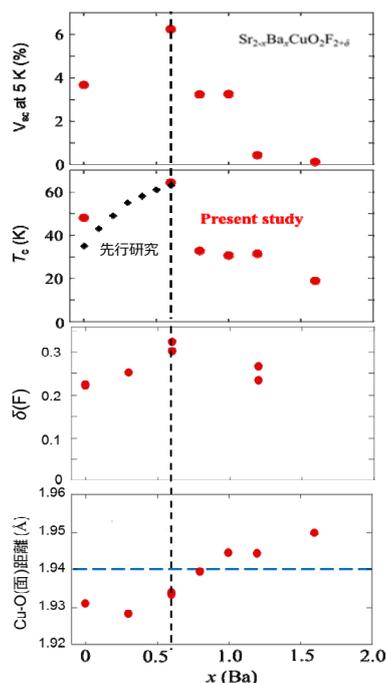


図 2. $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_2\text{F}_{2+\delta}$ における超伝導体積分率 V_{SC} , T_c , 過剰フッ素量 δ , Cu-O(面)距離の Ba 量 x 依存性。

(2) Bi 系銅酸化物 Bi-2212 相 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$

Bi-2212 相 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ は、線材開発が最も進んでいる Bi-2223 相 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ に比べて T_c が 80 K と低く、液体窒素温度での利用は望めない。しかしながら、単相試料が比較的容易に得られ、高磁場マグネットの作製に適する丸型線材が作製可能であるという利点を有する。したがって、Bi-2212 相の T_c を Bi-2223 相の T_c と同程度まで向上させることができれば、Bi-2223 相にとって代わり、銅酸化物超伝導体の液体窒素温度での実用化が大いに期待される。

図 3 に Bi-2212 相の結晶構造を示す。Bi-2212 相は、大気中で焼成すると Bi-O 面内に多くの過剰酸素が挿入されるためにホール濃度は過剰となり、 T_c は約 80 K と比較的低い。そこで、還元アニールにより過剰酸素を減らしたり、 Ca^{2+} の一部を Y^{3+} に置換することでホール濃度を最適化すると、 T_c は 90-95 K にまで上昇する。また、 Bi^{3+} の一部を Pb^{2+} で置換すると過剰酸素が減り、さらに N_2 気

流中でアニールして過剰酸素を除去すると、 $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ では $T_c = 98.5 \text{ K}$ となる。

本研究では、 $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ において Pb 置換量を調整することによりホール濃度を最適化し、さらに還元アニール温度を調整することによって過剰酸素を完全に除去し、更なる T_c の向上を目指した。

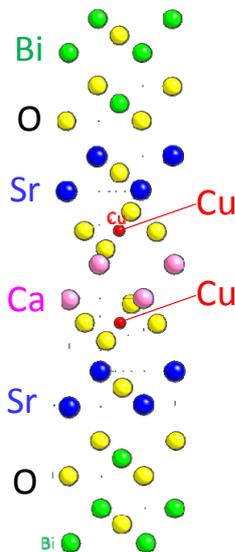


図 3. Bi-2212 相 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ の結晶構造

多結晶試料 $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ($0.32 \leq x(\text{Pb}) \leq 0.42$) を固相反応法で作製した。図 4 に直流磁化率の温度依存性を示す。10 K での値から見積もった超伝導体積分率は 20-30% で、バルク超伝導であることを示している。図 5 に超伝導転移付近の拡大図を示す。オンセットで定義した T_c^{onset} の最大値は $x(\text{Pb})=0.36$ のときの 102 K であった。これは Bi-2212 相では過去最高値で、初めて 100 K を超えたことになる。今後、還元アニール条件を検討して、更なる T_c の向上を図る。

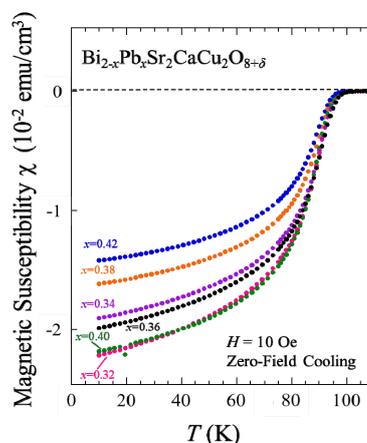


図 4. $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の直流磁化率 χ の温度依存性。

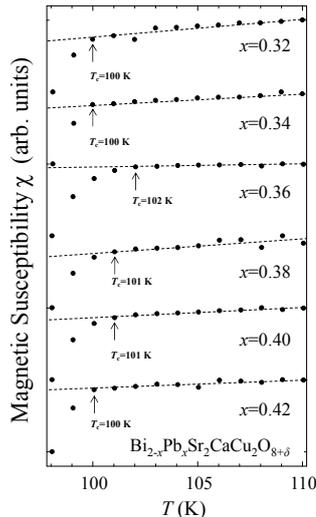


図 5. $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の直流磁化率の T_c 近傍の拡大図.

さらなる T_c の向上を目指して、Cu-O 距離を伸ばすため、Sr サイトを大きな Ba で置換することを試みた。その結果、 $\text{BiPbBa}_2\text{NdCu}_2\text{O}_8$ の合成に成功した。そして、ホールキャリアを入れるためソフト化学法の一つであるヨウ素インターカレーションを試みた。しかし全く挿入できなかった。 $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_2\text{F}_{2+\delta}$ と同じく伝導面内の Cu-O 距離が 1.95 \AA を超えたためにホールを受け入れることができなためと結論した。Ba 置換量を減らすことでホールドープが可能になり高 T_c が期待できる。

(3) RE 系銅酸化物(RE,Ca) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$

RE 系銅酸化物超伝導 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ は磁場中での超伝導特性に優れるため実用超伝導材料として有望であるが、 T_c は約 90 K であり、液体窒素冷却での利用を考えると低すぎる。一方、同様の結晶構造を持つ Hg 系および Tl 系銅酸化物超伝導体は 100 K を超える T_c を持つ。

銅酸化物超伝導体には、「 CuO_2 面内の Cu とその直上の酸素 O(頂)との距離が長いほど T_c が高い」という経験則がある。RE 系の T_c が低い原因として、Hg 系や Tl 系と比べて Cu-O(頂)距離が短いことが挙げられる。これは、図 6 に示すように、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ では O(鎖)が O(頂)を CuO_2 面方向に押さえつけているためであると考えた。実際、O(鎖)を除去した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ では Cu-O(頂)距離が伸長する。しかし、O(鎖)はホールの供給源であるため、O(鎖)を除去した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ は絶縁体である。そこで、絶縁体 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ において、 RE^{3+} を Ca^{2+} で部分置換することでホールをドープし、100 K を超える T_c を実現することを目指した。

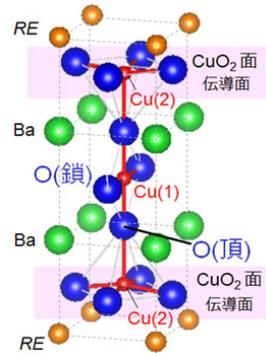


図 6. RE 系銅酸化物超伝導体 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の結晶構造.

$\text{RE}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_{2-y}\text{Sr}_y\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ ($\text{RE} = \text{Nd, Gd, Tb, Y, Yb, Lu}$) 多結晶試料を固相反応法で作製した。 $\text{RE}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{Ba}_{1.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Cu}_3\text{O}_{6.0}$ において、大きな $\text{RE}(\text{Nd, Gd, Tb})$ では超伝導が出現しなかったが、小さな $\text{RE}(\text{Y, Yb, Lu})$ では超伝導が出現し、最も小さな $\text{RE}=\text{Lu}$ のとき最高の $T_c=53 \text{ K}$ となった。また、 $y(\text{Sr})$ 量を増やすほど T_c は向上し、 $y(\text{Sr})=0.6$ において、 $\text{RE}=\text{Lu}$ のとき現状では最高の $T_c=72 \text{ K}$ を得た。90 K を超える T_c が得られなかった原因は、ホールが伝導面である CuO_2 面だけでなく、Cu(1)にも供給されたためだと考えた。図 7 に酸素量 6.0 における T_c の a 軸長依存性を示す。ここから、 a 軸長が短くなるほど T_c が高くなることわかれる。これは、格子が小さくなるほど、 CuO_2 面が小さくならうとホールを取り込みやすくなるので、伝導面へのホール供給量が増加したためと推察される。今後、さらに Sr 置換量を増やして、格子を小さくすれば $T_c > 100 \text{ K}$ が期待できる。

また、これまでの高温での還元アニールでは O(鎖)が完全には除去できずに分解した。そこでソフト化学法の一つであるソルボサーマル法により $100\text{-}200^\circ\text{C}$ という低温で O(鎖)の除去を試みた結果、温度を調整すればこの方法は O(鎖)を除去するのに有用であることがわかった。

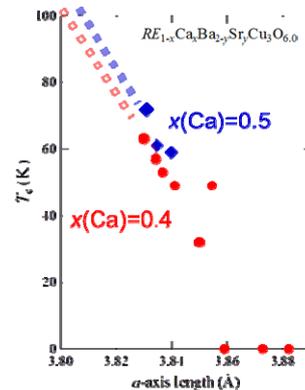


図 7. $\text{RE}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_{2-y}\text{Sr}_y\text{Cu}_3\text{O}_{6.0}$ における T_c の a 軸長依存性.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① K. Sugawara, C. Sugimoto, T. Luo, T. Kawamata, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Superconductivity above 100 K in the Bi-2212 Phase of $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$, J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, in press
- ② D. Hayakawa, T. Watanabe, T. Luo, T. Kawamata, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Effects of the Ba-substitution for Sr in the Bi-2201 Phase of $\text{BiPb}(\text{Sr,L a})_2\text{CuO}_{6+\delta}$, J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, in press
- ③ K. Nakagawa, Y. Sumino, H. Chiba, K. Kim, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Dependence of T_c on the RE-ion Size in $(\text{RE,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$, J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, in press

[学会発表] (計 26 件)

- ① 渡邊知晟、高野宏輝、菅原慧一、杉本千明、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、Bi-2212 相 $\text{BiPbSr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{RECu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の合成、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、2018 年
- ② 仲川晃平、住野義樹、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、格子縮小による $(\text{RE,Ca})(\text{Ba,Sr})_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.0}$ の T_c 上昇、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、2018 年
- ③ K. Nakagawa, Y. Sumino, H. Chiba, K. Kim, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Dependence of T_c on the RE-ion Size in $(\text{RE,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$, 30th International Symposium on Superconductivity, 2017 年
- ④ K. Sugawara, C. Sugimoto, T. Luo, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Superconductivity above 100 K in the Bi-2212 Phase of $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$, 30th International Symposium on Superconductivity, 2017 年
- ⑤ D. Hayakawa, T. Watanabe, T. Luo, T. Kawamata, T. Noji, M. Kato, Y. Koike, Effect of Ba-substitution for Sr in the Bi-2201 Phase of $\text{BiPb}(\text{Sr,L a})_2\text{CuO}_{6+\delta}$, 30th International Symposium on Superconductivity, 2017 年
- ⑥ 菅原慧一、杉本千明、羅添文、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、100 K を超える超伝導転移温度を有する Bi-2212 相 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ の合成、電気学会 金属・セラミックス/超電導機器合同研究会、2017 年
- ⑦ 仲川晃平、住野義樹、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、超伝導転移温度の向上を目指

した $(\text{RE,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ の合成、電気学会 金属・セラミックス/超電導機器合同研究会、2017 年

- ⑧ 早川大貴、渡邊知晟、羅添文、川股隆行、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、銅酸化物超伝導体 Bi-2201 相 $\text{BiPb}(\text{Sr,L a})_2\text{CuO}_{6+\delta}$ における Sr の Ba 置換効果、電気学会 金属・セラミックス/超電導機器合同研究会、2017 年
- ⑨ 早川大貴、渡邊知晟、住野義樹、羅添文、川股隆行、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、超伝導転移温度向上を目指した $\text{Sr}_2\text{CuO}_2\text{F}_{2+\delta}$ と $\text{BiPb}(\text{Sr,L a})_2\text{CuO}_{6+\delta}$ における Sr サイトの Ba 置換、第 72 回応用物理学会東北支部学術講演会、2017 年
- ⑩ 仲川晃平、住野義樹、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、超伝導転移温度向上を目指した $(\text{RE,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.0}$ の合成、第 72 回応用物理学会東北支部学術講演会、2017 年
- ⑪ 菅原慧一、杉本千明、羅添文、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、100 K を超える超伝導転移温度を有する Bi-2212 相 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ の合成、第 72 回応用物理学会東北支部学術講演会、2017 年
- ⑫ 早川大貴、住野義樹、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、希土類フリー銅酸化物 $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_2\text{F}_{2+\delta}$ の超伝導転移温度向上の試み、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年
- ⑬ 早川大貴、渡邊知晟、羅添文、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、超伝導転移温度向上を目指した Bi-2201 相における Sr サイトの Ba 置換、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年
- ⑭ 仲川晃平、住野義樹、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、 $(\text{RE,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ における超伝導転移温度向上の試み、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年
- ⑮ 仲川晃平、羅添文、杉本千明、住野義樹、野地尚、加藤雅恒、小池洋二、転移温度向上を目指した Bi 系、Y 系銅酸化物超伝導体における元素置換、第 2 回固体化学フォーラム研究会、2017 年
- ⑯ 羅添文、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、超伝導転移温度の向上を目指した Bi-2201 相における Sr の Ba 置換、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、2017 年
- ⑰ 住野義樹、仲川晃平、柳生穂高、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、超伝導転移温度向上を目指した RE-123 系銅酸化物 (RE=希

土類元素) の元素置換、第 71 回応用物理学会東北支部学術講演会、2016 年

- ⑱ 杉本千明、羅添文、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、超伝導転移温度向上を目指した銅酸化物 Bi-2212 相における Sr サイトの Ba 置換、第 71 回応用物理学会東北支部学術講演会、2016 年
- ⑲ 仲川晃平、住野義樹、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、超伝導転移温度の向上を目指した(Yb,Ca)Ba₂Cu₃O₆ の合成、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、2016 年
- ⑳ 杉本千明、羅添文、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、銅酸化物超伝導体 Bi-2212 相における Sr サイトへの Ba 置換による Tc 向上、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、2016 年
- ㉑ 杉本千明、羅添文、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、Bi-2212 相における Sr サイトの Ba 置換、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年
- ㉒ 仲川晃平、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、Yb_{1-x}Ca_xBa₂Cu₃O_{6+δ} における超伝導転移温度向上の試み、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年
- ㉓ 住野義樹、柳生穂高、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、(Y, Ca)Ba₂Cu₃O₆ の水素化による超伝導化、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年
- ㉔ 仲川晃平、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、Yb_{1-x}Ca_xBa₂Cu₃O_{6+δ} における超伝導転移温度向上の試み、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年
- ㉕ 仲川晃平、千葉宏樹、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、Yb_{1-x}Ca_xBa₂Cu₃O_{6+δ} の超伝導転移温度向上の試み、第 70 回応用物理学会東北支部学術講演会、2015 年
- ㉖ 羅添文、加藤雅恒、野地尚、小池洋二、銅酸化物 Bi-2201 相における Sr の Ba 置換による超伝導転移温度の向上の試み、第 70 回応用物理学会東北支部学術講演会、2015 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 雅恒 (KATO, Masatsune)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50211850

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

梶田 徹也 (KAJITA, Tetsuya)
東北大学・学際科学フロンティア・助教
研究者番号：50729233

高松 智寿 (TAKAMATSU, Tomohisa)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：60708428

柳生 穂高 (YAGYU, Hotaka)
仙台高等専門学校・電気システム工学科・助教
研究者番号：30736369