

令和元年6月4日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05460

研究課題名(和文)非周期ナノ構造に発現する特異な超伝導物性：超伝導秩序の形成と渦糸状態の解明

研究課題名(英文) Anomalous superconducting properties in aperiodic nanostructures: Formation of superconducting order and elucidation of vortex state

研究代表者

西崎 照和 (NISHIZAKI, Terukazu)

九州産業大学・理工学部・教授

研究者番号：90261510

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)：非周期ナノ構造体であるバルクナノメタル超伝導体を高圧ねじり(HPT)加工で作製し、臨界温度 T_c を測定した。NbではHPT加工後に T_c が増加したが、VやTaでは減少した。この違いは、ナノ構造に導入される乱れの強度や分布の違いで説明できた。また、HPT加工により、第I種超伝導体Taを第II種超伝導体に変換できること、NbとTiの混合粉末からNbTi合金を作製できることを示した。超伝導の微視的理論を用いて、微小超伝導体の T_c を数値計算した。その結果、超伝導体サイズの減少とともに T_c が振動しながら上昇すること、乱れを含む系では乱れの分布や強度に依存して T_c が減少する場合と上昇する場合があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高圧ねじり法などの巨大ひずみ加工によりナノスケールの微細結晶粒を持つバルクナノメタルを作製できる技術が開発されてきた。本研究では、この手法を超伝導体へ適用することで、これまで困難であった非周期ナノ構造体の超伝導特性の研究を推進した点で学術的な意義を持つ。また、巨大ひずみ加工によって超伝導特性の向上や制御の可能性について知見が得られたことは、今後の超伝導応用などを考えるとその社会的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：We prepared bulk nanostructured superconductors, which shows aperiodic nanostructures, by high pressure torsion (HPT) processing and measured critical temperature T_c . T_c increases after HPT in Nb, but decreases in V and Ta. The different property can be explained by the difference in the intensity and distribution of the disorder in nanostructures. It is also shown that by HPT processing, type I superconductor Ta is converted to type II superconductor, and that NbTi alloy can be prepared from mixed powder of Nb and Ti. Using the microscopic theory of superconductivity, we found that the critical temperature T_c increases with decreasing the size of nanostructured superconductors. For dirty nanostructured superconductors, T_c decreases for some distribution of impurities and increases for other distribution of impurities with increasing the impurity potential.

研究分野：低温電子物性

キーワード：超伝導 低温物性 ナノ構造 金属物性 バルクナノメタル 巨大ひずみ加工

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) バルクナノメタルはナノスケールの微細結晶粒を持つ均一なバルク状の金属材料であり、超伝導体に適用した場合には超伝導物性を制御できるだけでなく、従来の金属系超伝導体にはない特異な電氣的・磁氣的性質を発現することが期待されている。研究開始当初は、バルクナノメタルの超伝導に関する研究は少なく、実験と理論の両方面による研究が必要であった。

(2) 理論による先行研究として、超伝導体のサイズの減少とともに電子のエネルギー準位の間隔が広がることを取り入れた計算があった。また、微小超伝導体の転移温度をBCS理論に基づいて調べたところ、超伝導体のサイズを小さくすると臨界温度が振動しながら僅かに上昇する結果を得ていた。実験結果を精密に理論解析するために、乱れの効果を導入するなど、より現実の系に対応した理論を構築する必要があった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、非周期ナノ構造体であるバルクナノメタルの特異な超伝導物性とその機構を解明することを目的とし、研究代表者による実験的研究と研究分担者による理論的研究を両者間で連携を取りながら実施した。

(2) 実験的研究では、バルクナノメタル超伝導体の作製を行い、磁化や電気抵抗などの巨視的物性の測定に加えて、走査プローブ顕微鏡による局所超伝導特性の測定も行った。このことにより、微細結晶粒からなるナノ構造体の超伝導秩序の形成と渦糸状態を解析し、ナノスケールで発現する特異な超伝導特性を明らかにすることを目的とした。

(3) 理論的研究では、微小超伝導体の転移温度がサイズの減少とともに上昇する現象をさらに明確にするため、超伝導秩序変数の空間変化を取り入れられる微視的理論であるBogoliubov-de Gennes方程式や、Gor'kov方程式を用いて超伝導転移温度を調べた。また、現実の系に近い不純物を含む微小超伝導体について、サイズ効果によって上昇した超伝導転移温度が、不純物によって減少するかどうかを調べた。

3. 研究の方法

(1) 巨大ひずみ加工の一種である高圧ねじり(HPT)加工を用いて様々な超伝導体の作製を行った。単体で第II種超伝導を示すNbやVだけでなく、第I種超伝導体であるTaにも着目して試料作製を行った。また、NbとTiの粉末原料から合金系超伝導体NbTiの作製を行なった。

作製した様々なバルクナノメタル超伝導体について、電気抵抗や磁化などの巨視的物性測定と走査プローブ顕微鏡による局所磁気測定を行った。SQUID磁束計による磁化測定の結果から臨界温度や磁化曲線を求め、走査SQUID顕微鏡による局所磁気測定からはバルクナノメタルの渦糸状態の直接観測を行なった。

(2) 微小超伝導体における臨界温度 T_c を理論的に調べるために、微視的理論であるBogoliubov-de Gennes方程式と、Gor'kov方程式を元に、有限要素法を用いて超伝導秩序変数の空間変化を取り入れた臨界温度決定方程式を求めた。それを数値的に解くことで、様々な形状と大きさの超伝導体に対して、 T_c を求めた。さらに、理論に超伝導体中の不純物の効果として、ランダムポテンシャルを取り入れ、乱れた微小超伝導体における T_c の形状、サイズ、乱れの効果を調べた。

4. 研究成果

(1) HPT加工したNb, V, Taの臨界温度 T_c を測定した結果、NbではHPT加工後に T_c が増加するものの、VやTaでは減少することが分かった。 T_c に対するHPT加工の効果を明らかにするために磁化と電気抵抗の測定結果から乱れの度合いを見積もった。その結果、HPT加工した金属超伝導体ではナノ構造化による T_c の上昇と乱れの導入による T_c の低下の競合が起こり複雑な振る舞いになることが分かった。

(2) 巨大ひずみ加工により結晶欠陥と微細結晶粒を導入した第I種超伝導体Ta(HPT-Ta)の超伝導特性を調べるために磁化測定を行った。HPT-Taの初期磁化特性を調べた結果、図1に示すように、HPT加工によって第I種超伝導体であるTaが第II種超伝導体に変化すること、HPT加工によって上部臨界磁場 H_{c2} が増加することがわかった。平均自由行程 l とコヒーレンス長さ ξ の関係からHPT加工依存性を考察した結果、 H_{c2} の増加はHPT加工による乱れによって l と ξ が減少することが原因であることが分かった。以上の結果は、HPT加工により超伝導体の熱力学的性質や超伝導パラメータを制御することができ、上部臨界磁場 H_{c2} の上昇など、磁場に強い超伝導体を作製する手段として有効であることを示している。

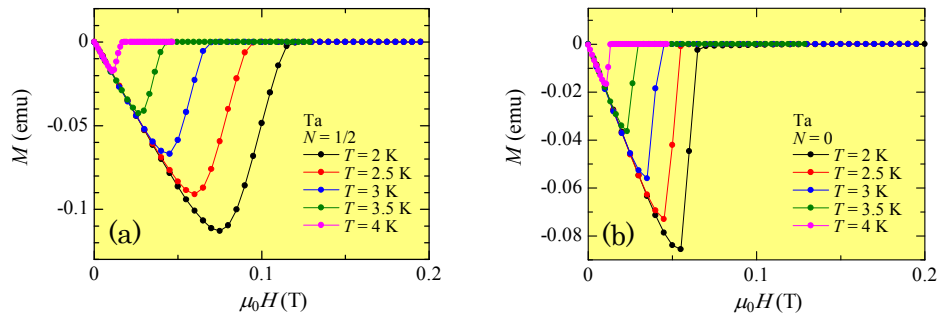


図1 HPT-Taの初期磁化特性. (a) $N=0$, (b) $N=1/2$.

(3) NbTiの合金化過程における超伝導特性を調べるために、Nb - 47wt.%Tiの粉末を原料としてHPT加工 ($N=1, 2, 5, 10, 20, 50, 100$) でNbTi試料を作製し、SQUID磁束計を用いて磁化特性を測定した。その結果、合金化の初期課程 ($N < 5$) ではNbとNbTiに対応する2種類の上部臨界磁場が観測された。HPT加工とともにNbTiの単相の超伝導転移へと移り変わり $H_{c2}(T)$ は増加した。これらの結果は、HPT加工とともにNb中にTiが拡散して合金化が進み、 $N \geq 50$ では均一なNbTi合金が作製できることを示している。本研究では、加熱溶解によらずにNbTi合金を作製することが可能であることを示し、また、その超伝導特性を確認することができた。

NbTiの合金化過程における超伝導特性のミクロな空間変化を明らかにするために、走査SQUID顕微鏡を用いて局所磁場分布を測定した。 $N=1$ におけるHPT-NbTiの走査SQUID顕微鏡像では、反磁性を示す暗い領域と磁場が侵入した明るい領域が観測されるが、侵入した磁場はドット状の磁束量子と島状のドメイン構造の2種類に分かれる。合金化の初期過程では、NbとTiに加え、生成された僅かなNbTiが混合したものであるため、明るいドメインはTi(非超伝導)の結晶粒に侵入した磁場に対応すると考えられる。磁束量子はNb(またはNbTi)の超伝導領域でのみ観測され、印可磁場に対応して磁束量子数は変化するが、ドメインのサイズ ($5 \sim 100 \mu\text{m}$) は磁場変化しない。このように、磁束量子と磁場ドメインの分布から超伝導と非超伝導の領域を観測することができた。 N を増加させると非超伝導のドメインは急速に減少し、 $N \geq 50$ では均一な超伝導体で観測される磁束構造になる(図2)。

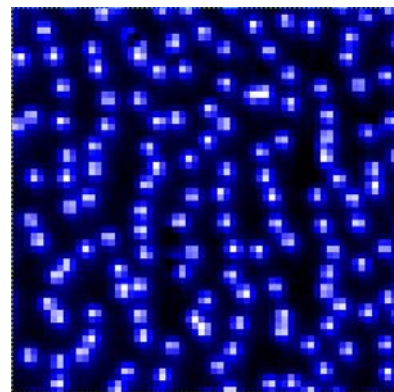


図2 HPT-NbTi ($N=50$) の $T=3.9$ K, $\mu_0 H=2 \mu\text{T}$ における走査SQUID顕微鏡像. 走査範囲: $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$.

(4) 以下に理論研究の主要成果を説明する。乱れのない超伝導体においては、臨界温度がサイズの減少とともに振動しながら増加することを様々な形状の超伝導板に対して示した。(図3) このとき、電子間の引力相互作用と電子数密度は一定に保っている。転移温度の振動の原因はサイズの減少とともに離散的な電子のエネルギー準位が増加し、超伝導に寄与する電子がとびとびに減少していくためであり、転移温度の上昇の原因はその超伝導に寄与する電子の数が一定の間にサイズ減少とともに実質的に超伝導電子密度が上昇するためであることを明らかにした。

(5) 乱れがある微小超伝導体では、Gor'kov方程式を用いて乱れをバルク超伝導体のように平均的に扱うと、臨界温度が段階的に減少することを明らかにした。さらに、Bogoliubov-de

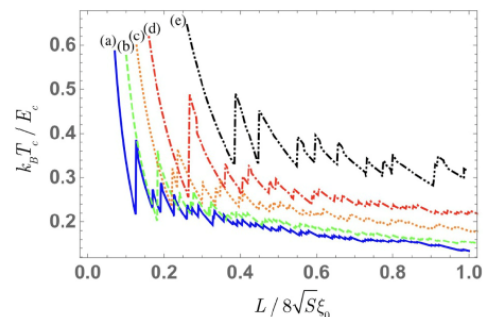


図3 微小超伝導体の臨界温度のサイズ依存性. (M. Umeda and M. Kato, Physica C 560 (2019) 45.)

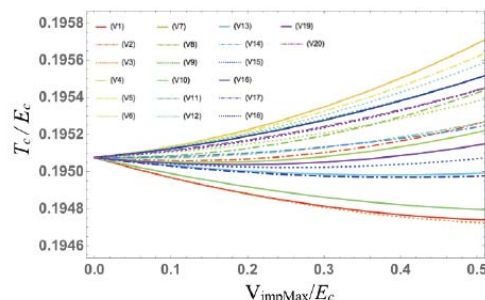


図4 乱れが存在する場合の微小超伝導体の臨界温度の乱れポテンシャル依存性.

Gennes 方程式を用いて、乱れの空間変化をあらわに取り入れると、やや乱れが小さな場合には、臨界温度が乱れの分布に依存して、減少する場合や、増加する場合があることがわかった (図 4)。臨界温度が上昇する場合には、秩序変数の偏りが生じ、超伝導電子が集中している部分があることが分かった。より乱れが大きな場合には、秩序変数の分布の偏りがさらに大きくなり、超伝導電子が局在して有効的に小さな部分に閉じ込められるため、臨界温度がさらに増加することを見出した。サイズを減少させるとこの乱れの大きな超伝導体では、バルク体の臨界温度の 5 倍程度にも上昇することを見出した。ただし、このような超伝導状態は偏在しており、超伝導体全体が超伝導となる温度については今後の課題となる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① T. Nishizaki, K. Edalati, S. Lee, Z. Horita, T. Akune, T. Nojima, S. Iguchi, and T. Sasaki, Critical Temperature in Bulk Ultrafine-grained Superconductors of Nb, V, and Ta Processed by High-Pressure Torsion, *Materials Transactions*, 査読有, Vol. 60 (2019) 掲載決定.
https://jim.or.jp/e/menu_e.html
- ② M. Mito, Y. Kitamura, T. Tajiri, K. Nakamura, R. Shiraishi, K. Ogata, H. Deguchi, T. Yamaguchi, N. Takeshita, T. Nishizaki, K. Edalati, and Z. Horita, *J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 125 (2019) 125901 (1-13).
DOI: 10.1063/1.5083094
- ③ M. Umeda and M. Kato, Transition Temperature Enhancement of Nano-structured Superconductors: Shape Dependence and Effects of Cooper Pair Distribution, *Physica C*, 査読有, (2019) 45-66.
DOI: 10.1016/j.physc.2019.02.012
- ④ H. Huang, H. Jang, M. Fujita, T. Nishizaki, Y. Lin, J. Wang, J. Ying, J. S. Smith, C. Kenney-Benson, G. Shen, W. L. Mao, C.-C. Kao, Y.-J. Liu, and J.-S. Lee, Modification of structural disorder by hydrostatic pressure in the superconducting cuprate $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.73}$, *Physical Review B*, 査読有, Vol. 97 (2018) 174508 (1-7).
DOI: 10.1103/PhysRevB.97.174508
- ⑤ M. Umeda and M. Kato, Size Effects of Critical Temperatures and Order Parameter Distributions under Four-Fold Symmetry of Nano-Structured Superconductors, *Journal of Physics: Conf. Ser.*, 査読有, Vol. 1054 (2018) 0120028 (1-7).
DOI: 10.1088/1742-6596/1054/1/012028
- ⑥ T. D.Vu, H. T. Huy, A. Ito, M. Toji, H. Shishido, M. Kato, M. Hayashi, and T. Ishida, Confined vortices in de facto mesoscopic $\text{Mo}_80\text{Ge}_{20}$ disks with sector defects, *Superconductor Science and Technology*, 査読有, Vol. 31 (2018) 125009 (1-12).
DOI: 10.1088/1361-6668/aae506
- ⑦ M. Yoshida, J. Ye, Y. Zhang, Y. Imai, S. Kimura, A. Fujiwara, T. Nishizaki, N. Kobayashi, M. Nakano, and Y. Iwasa, Extended Polymorphism of Two-Dimensional Material, *Nano Letters*, 査読有, Vol. 17 (2017) 5567-5571. DOI: 10.1021/acs.nanolett.7b02374
- ⑧ Y. Sato, S. Kasahara, H. Murayama, Y. Kasahara, E.-G. Moon, T. Nishizaki, T. Loew, J. Porras, B. Keimer, T. Shibauchi, and Y. Matsuda, *Nature Physics*, 査読有, Vol. 13 (2017) 1074-1078.
DOI: 10.1038/nphys4205
- ⑨ M. Kato and H. Kitago, Molecular Dynamics Simulation on Vortex Lattice Melting in Meso-scopic Superconductors, *Journal of Physics Con. Ser.*, 査読有, Vol. 871 (2017) 012028 (1-5).
DOI: 10.1088/1742-6596/871/1/012028
- ⑩ T. Nishizaki, Superconductivity and Electrical Resistivity in Bulk Nanostructured Niobium and Vanadium, *Proceedings of the International Workshop on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM2016)*, 査読有, (2016) 47-50.
- ⑪ M. Umeda, M. Kato, and O. Sato, Size, Shape, and Impurity Effects on Transition Temperature of Nanostructured Superconductors, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 査読有, Vol. 26 (2016) 8600104 (1-4).
DOI: 10.1109/TASC.2016.2548480

[学会発表] (計 58 件)

- ① 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 巨大ひずみ加工による NbTi の合金化過程における走査 SQUID 顕微鏡観測, 日本物理学会 第 74 回年次大会 (2019).
- ② T. Nishizaki, S. Lee, K. Edalati, Z. Horita, T. Akune, N. Sakamoto, T. Nojima, S. Iguchi, and T. Sasaki, Formation of Type II Superconductivity in Bulk Nanostructured Ta Processed by High-Pressure Torsion, *International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'2018)* [招待講演] (2018).
- ③ T. Yonenaka, E. S. Otabe, V. Vyatkin, S. Lee, T. Akune, and T. Nishizaki, Evaluation of Layer

Thickness Dependence of Critical Current Density Characteristics using Longitudinal Magnetic Field Effect in Superconducting Coated Conductors, The 31st International Symposium on Superconductivity (ISS2018) (2018).

- ④ 重岡 駿, 野海のぞみ, 北村雄一郎, 美藤正樹, 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 巨大せん断ひずみを初期導入したタンタルにおける超伝導転移の静水圧縮効果, 第 124 回日本物理学会九州支部例会 (2018).
- ⑤ 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 巨大ひずみにより微細構造を導入した NbTi の超伝導特性, 第 26 回渦糸物理国内会議 (2018).
- ⑥ 梅田政樹, 加藤勝, 不純物効果が及ぼす, ナノ構造超伝導体の転移温度への影響, 第 26 回渦糸物理国内会議 (2018).
- ⑦ 加治香之介, 鶴田達也, 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 高圧ねじり法で作製した NbTi の超伝導特性, 九州産業大学総合機器センター第 9 回研究発表会 (2018).
- ⑧ 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 高圧ねじり加工で作製された NbTi の磁束ピン止め特性, 日本物理学会 2018 年秋季大会 (2018).
- ⑨ 加藤勝, 超伝導位相物理:量子磁束の構造と制御について, 日本物理学会 2018 年秋季大会[招待講演] (2018).
- ⑩ M. Umeda and M. Kato, Superconducting Critical Temperature for a Dirty Nano-structured Superconductor, 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High-Temperature Superconductivity (2018).
- ⑪ M. Umeda and M. Kato, Superconducting Critical Temperature for a Dirty Nano-structured Superconductor, 12th Nanosquare Workshop (2018).
- ⑫ M. Kato, T. Kusafuka, and O. Sato, Molecular Dynamics Simulation on Vortex Motion in Mesoscopic Superconductors, School on Quantum Materials and Workshop on Vortex Behavior in Unconventional Superconductors [招待講演] (2018).
- ⑬ 北村雄一郎, 白石亮, 田中将嗣, 美藤正樹, 中村和磨, 田尻恭之, 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 巨大ひずみが導入されたニオブウムにおける超伝導転移の静水圧力効果 II, 日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018).
- ⑭ 西寄照和, 松崎陽平, K. Edalati, 李 昇原, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 巨大ひずみ加工によるタンタルの第 2 種超伝導体化と渦糸状態, 「新規超伝導体・ナノ構造超伝導体における渦糸物理」ワークショップ (2018).
- ⑮ M. Umeda and M. Kato, Impurity Effects on Superconducting Critical Temperature for Nano-structured Superconductor, America Physical Society March Meeting (2018).
- ⑯ T. Nishizaki, K. Edalati, Z. Horita, T. Akune, N. Sakamoto, T. Nojima, S. Iguchi, and T. Sasaki, Superconducting Properties in Bulk Nanostructured Metals Processed by High-Pressure Torsion, Tenth International Conference on Vortex Matter in Nanostructured Superconductors (Vortex X) (2017).
- ⑰ M. Kato and O. Sato, Molecular dynamics simulation on vortex dynamics, Tenth International Conference on Vortex Matter in Nanostructured Superconductors (Vortex X) [招待講演] (2017).
- ⑱ T. Nishizaki, Magnetic Properties in NbTi Processed by High-Pressure Torsion, The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM2017), Symposium B-5: Severe plastic deformation: innovative processes for high-performance structural and functional materials [招待講演] (2017).
- ⑲ M. Mito, Y. Kitamura, R. Shiraishi, K. Ogata, T. Tajiri, T. Nishizaki, K. Edalati, and Z. Horita, Hydrostatic Pressure Effects on Superconducting Transition of Bulk Nanostructured Niobium Prepared by High-Pressure Torsion, International Workshop on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM2017) (2017).
- ⑳ 野海のぞみ, 北村雄一郎, 田中将嗣, 美藤正樹, 出口博之, 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 高圧ねじり加工されたタンタルの静水圧力下交流磁化率測定, 第 123 回日本物理学会九州支部例会 (2017).
- ㉑ 西寄照和, 松崎陽平, K. Edalati, 李 昇原, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 巨大ひずみ加工したバルクナノタンタルの磁気特性, 第 25 回渦糸物理国内会議 一超伝導体における渦糸状態の物理と応用 2017- (2017).
- ㉒ 梅田政樹, 加藤勝, ナノ構造超伝導体における不純物が及ぼす転移温度への影響: サイズ・形状依存性, 第 25 回渦糸物理国内会議 一超伝導体における渦糸状態の物理と応用 2017- (2017).
- ㉓ 美藤正樹, 北村雄一郎, 白石 亮, 緒方和馬, 田中将嗣, 田尻恭之, 西寄照和, Kaveh Edalati, 堀田善治, 巨大ひずみが導入された Nb の高圧力下物性測定, 第 58 回高圧討論会 (2017).
- ㉔ 松崎陽平, 西寄照和, K. Edalati, 李 昇原, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 巨大ひずみ加工により作製されたバルクナノタンタルの超伝導特性, 平成 29 年度 (第 70 回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会 (2017).
- ㉕ M. Umeda and M. Kato, Impurity effects on critical temperatures for nano-structured

superconductors, International Symposium on Superconductors (2017).

- ⑳ 梅田政樹, 加藤勝, ナノ構造超伝導体の超伝導構造に及ぼす不純物効果のサイズ・形状依存性, 日本物理学会 2017 年秋季大会 (2017).
- ㉑ T. Nishizaki, Magnetic Property in Bulk Nanostructured Superconductors, International Workshop on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM2016) [招待講演] (2017).
- ㉒ 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 高圧ねじり加工で作製された NbTi の微細構造と磁束ピン止め特性, 日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017).
- ㉓ M. Kato, M. Umeda, M. Kashiwagi, Numerical method for transition temperature and vortex states in nano-sized superconductors using the Eliashberg equation and the finite element method, The 10th International Conference on Computational Physics (2017).
- ㉔ T. Nishizaki, S. Lee, K. Edalati, Z. Horita, T. Akune, N. Sakamoto, T. Sasaki, and N. Kobayashi, Effect of the Severe Plastic Deformation on Magnetic Properties in Superconductors, International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'2016) [招待講演] (2016).
- ㉕ M. Umeda, M. Kato, O. Sato, Impurity effects on critical temperatures of nano-structured superconductors; Size and shape dependence, The 29th International Superconductivity Symposium 2016, (2016).
- ㉖ 西寄照和, 松崎陽平, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 微細結晶粒を持つバルクナノ Ta の超伝導特性 -Nb, V との比較-, 第 24 回渦糸物理国内会議 -超伝導体における渦糸状態の物理と応用 2016- (2016).
- ㉗ 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 高圧ねじり加工で作製された NbTi の磁化特性と微細欠陥構造との相関, 第 24 回渦糸物理国内会議 -超伝導体における渦糸状態の物理と応用 2016- (2016).
- ㉘ 西寄照和, K. Edalati, 堀田善治, 阿久根忠博, 坂本進洋, 野島 勉, 井口 敏, 佐々木孝彦, 高圧ねじり加工で作製された NbTi 合金の臨界電流とアニール効果, 日本物理学会 2016 年秋季大会 (2016).

[図書] (計 1 件)

- ① 西寄照和, 加藤 勝, 他 41 名 (門脇和男編), 超伝導磁束状態の物理, 裳華房 (2017) pp. 144-150, pp. 220-226, pp.232-236, pp.267-269, pp.303-310.

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://ras.kyusan-u.ac.jp/professor/0000749/profile.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名： 加藤 勝

ローマ字氏名： (KATO, masaru)

所属研究機関名： 大阪府立大学

部局名： 工学研究科

職名： 准教授

研究者番号 (8 桁)： 90204495

(2)研究協力者

研究協力者氏名： 野島 勉

ローマ字氏名： (NOJIMA, tsutomu)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。