

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01889

研究課題名（和文）外部Sn拡散を駆使した核融合用革新的高強度ブロンズ法Nb3Sn超伝導線材の開発

研究課題名（英文）Development of innovative high-strength bronze Nb3Sn superconducting wire for fusion utilizing external Sn diffusion

研究代表者

菱沼 良光（HISHINUMA, Yoshimitsu）

核融合科学研究所・研究部・准教授

研究者番号：00322529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：核融合用大型導体に適用されているCIC導体方式では、横圧縮荷重による導体性能の劣化が懸念されており、三元系ブロンズ合金による内部マトリックス補強にて横圧縮荷重印加による性能劣化を抑制できることが明らかとなった。また、三元系ブロンズ合金の最適化の一環としてCu-In/Cu-Sn-Inの組み合わせによる「ハイブリッド母材」を考案し、Nb3Sn相の生成と（Cu,In）固溶体の高In濃度化が可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三元系ブロンズ合金を適用することで、線材母材を簡易的な固溶強化機構で高強度化が可能となり、これまで懸念されていた横圧縮荷重印加による性能劣化を抑制する新しい方法を見出したことは学術的に意義深いと考えている。

本研究成果は、核融合だけでなく先進加速器や重粒子線医療分野にも波及する成果である。

研究成果の概要（英文）：In the CIC conductor system, which is applied to large conductors for nuclear fusion, deterioration of conductor performance due to transverse compressive loading has been a serious problem, we found that the performance degradation due to transverse compressive loading can be suppressed by reinforcing the internal matrix with a ternary bronze alloy. As part of the optimization of ternary bronze alloys, a “hybrid matrix” was developed by combining Cu-In/Cu-Sn-In, and it was found that the formation of Nb3Sn phase and high In concentration in (Cu,In) solid solution were possible.

研究分野：核融合工学、超伝導材料工学、金属材料工学

キーワード：核融合 Nb3Sn線材 高強度化 固溶強化 臨界電流特性 応力・ひずみ効果

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

原型炉研究開発ロードマップが策定され、原型炉を構成する超伝導マグネット領域では、ITER 導体の仕様よりも厳しい「高電流・高電磁力化」が要求されており、Nb₃Sn 線材の高臨界電流密度 (J_c) 化及び高強度化が喫緊の課題である。

これまでの補強材付与による外部補強と比較して簡便な Nb₃Sn 線材の高強度化の実現を目的に、三元系ブロンズ合金 (Cu-Sn-X, X=Zn, In) を新たな線材母材として適用することで、Nb₃Sn 相生成と同時に線材母材内で起こる固溶強化機構による「内部マトリックス補強方法」の開発に成功した。内部マトリックス補強は、ITER でも供された市販のブロンズ法 Nb₃Sn 線材と比較して 3 倍の許容引張応力が確認され、Nb₃Sn 線材における新しい高強度化プロセスの可能性を示した。

2. 研究の目的

「相変態論に基づく内部マトリックス強化 (固溶強化機構)」という新しい概念の高強度ブロンズ法 Nb₃Sn 線材を提案し、Nb₃Sn 線材の超伝導特性を低下させずに機械強度を向上させるような画期的な線材構成・線材化プロセスの最適化を行いながら、以下に記す知見を得ることを目的とした。

- 1) 内部マトリックス補強 Nb₃Sn 線材の臨界電流特性における横圧縮荷重印加効果
- 2) 線材母材としての三元系 Cu-Sn-In-(Ti)ブロンズ合金及び線材断面構成の最適化

3. 研究の方法

(1) 内部マトリックス補強 Nb₃Sn 線材の臨界電流特性における横圧縮荷重印加効果

本研究で溶製した三元系ブロンズ合金の組成を表 1 に示す。微量の Ti 添加は、Nb₃Sn 線材の高磁場での臨界電流特性を向上させることが知られているために同様に添加した¹⁾。本研究では、Cu-Sn-Zn-(Ti)と Cu-Sn-In-(Ti)の 2 種類の合金を母材とし、通常の伸線加工を経て直径 0.9 mm の内部マトリックス補強 Nb₃Sn 極細多芯線材 (銅比 : 1.30、Nb 芯数 (3 μm) : 7771) を製造した。製造した線材は、真空中で 550 ×100 hr+650 ×100 hr という 2 段階の Nb₃Sn 相生成熱処理を実施した。

横圧縮荷重印加下での臨界電流特性は、図 1 のような測定原理にて実施し、印加荷重と線材表面と GFRP 圧子との接触面積にて横圧縮応力に変換した。また、線材は 18T 超伝導マグネットに挿入し、4.2 K の 15 T の高磁場下での臨界電流測定を実施した。臨界電流における電界基準を 1 μV/cm の電圧発生とした。なお、上述した臨界電流の測定は、東北大学金属材料研究所国際共同利用・共同研究拠点 (GIMRT) の元で強磁場超伝導材料研究センターの強磁場設備を利用して実施された。

(2) 線材母材としての三元系 Cu-Sn-In-(Ti)ブ

表 1. 三元系ブロンズ合金の組成

Code	Cu	Sn	Zn	In	Ti
4Zn	Bal.	13.5	4.0	----	0.3
10Zn	Bal.	10.0	10.0	----	0.3
2In	Bal.	14.0	----	2.0	0.3
5In	Bal.	10.0	----	5.0	0.3
16Sn	Bal.	16.0	----	----	0.3

Unit: mass%

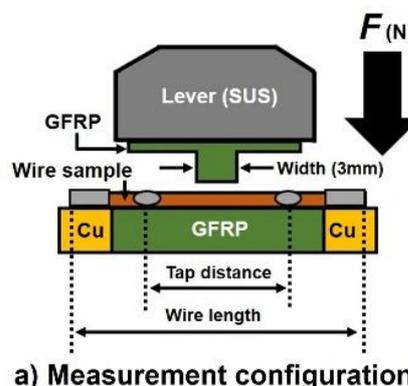


図 1. 圧縮応力印加下での臨界電流測定原理

ロンス合金組成の最適化

内部マトリックス補強 Nb₃Sn 線材の実用化に関して、三元系ブロンズ合金の最適化が最も重要である。そこで、Cu-Sn-In-(Ti)三元系ブロンズ合金組成の詳細な検討を実施した。特に、Sn 濃度を 14 mass%と固定した場合に In 濃度 (3~5 mass%)の影響について調査した。Sn 濃度を 14 mass%と固定した理由は、汎用ブロンズ法 Nb₃Sn 線材に適用されているブロンズ合金の Sn 濃度と同等とするためである。溶製した合金塊の一部を ICP 分析による組成分析結果を表 2 に示す。溶製した全ての合金塊は目的の組成となっていることを確認した。高温引張試験を実施するために引張試験片 (JIS 規格 14 号: 試験片長さ: 75~85 mm) を作製した。その後、室温、300、400、500、600 そして 700 (各温度差: ±10) の温度下での引張試験を実施した。

表 2. 合金塊の ICP 分析結果

Code	Cu	Sn	In	Ti
14Sn-3In	Bal.	13.86	2.87	0.30
14Sn-4In	Bal.	13.93	3.79	0.35
14Sn-5In	Bal.	13.91	4.81	0.30
14Sn-0In	Bal.	13.85	----	0.30

Unit: mass%

4. 研究成果

(1) 内部マトリックス補強 Nb₃Sn 線材の臨界電流特性における横圧縮荷重印加効果

大電流超伝導導体の基本である Cable-in-Conduit (CIC) 方式は複数の超伝導素線と電気的・冷却安定性のための Cu 線を撚り合わせたバンドル同士を複数回の撚線行程を得て製造された導体をステンレス鋼製のコンジットに収めて製造される。つまり、CIC 導体内の超伝導素線は複数の箇所では交差することになり、超伝導素線は点接触する。CIC 導体に強大な電磁力 (横圧縮荷重) が印可されると、点接触した領域に応力が集中することになり、硬くて脆い Nb₃Sn 相が機械的に破壊されて通電電流特性が劣化する宿命を有する²⁾。

図 3 に各種内部マトリックス補強線材の母材領域における二段熱処理前後のピッカ - ス硬

度の変化を示す。10Zn、5In 及び 16Sn 試料における熱処理後のピッカ - ス硬度は、熱処理前と比較して低い値を示した。これは、Nb₃Sn 相生成のために母材からほぼ全量の Sn 元素が消費されたためであり、Sn 元素は Cu 合金の固溶強化機構における効果的な溶質元素であることを意味している³⁾。一方、10Zn 及び 5In 試料のピッカ - ス硬度は、16Sn 試料と比較して約 40 %高い値を示した。これは、熱処理後も Zn や In 元素が均質に残存し、(Cu,Zn) 及び (Cu,In) 固溶体が形成したためである。このように、Cu-Sn-Zn-(Ti)及び Cu-Sn-In-(Ti)三元系合金を用いることだけで、熱処理後にはピッカ - ス硬度の高い (Cu,Zn) 及び (Cu,In) 固溶体に相変態し、Nb₃Sn 相を直接的に保護するような補強材として作用する。

各種三元系合金を母材とした Nb₃Sn 極細多芯線における圧縮応力印加による I_c 特性の変化を図 4 に示す。これまで最も機械強度特性が良いとされる CuNb 補強 Nb₃Sn 線材における圧縮応力印加による I_c 特性の変化も比較として破線にて示す⁴⁾。95 %I_c (圧縮応力印加前の I_c を基準にして 5 %低下した I_c) が得られる圧縮応力については、16Sn 試料では約 50 MPa であった。

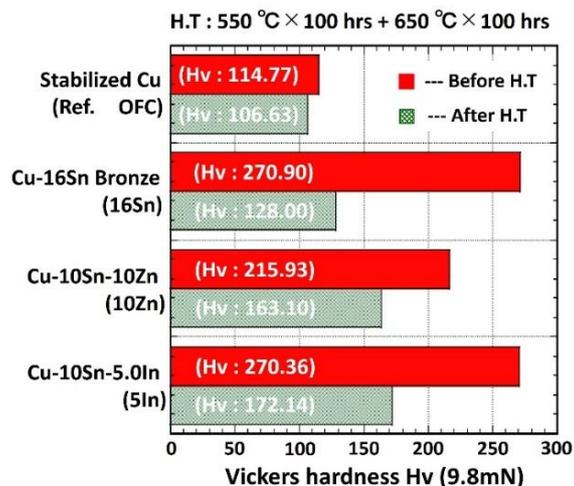


図 2. 各種内部マトリックス補強線材の母材領域における二段熱処理前後のピッカ - ス硬度

一方、10Zn及び5In試料ではそれぞれ約100 MPa、150 MPaと見積もられ、三元系合金を母材として用いることで明らかに圧縮応力印加による l_c 劣化の抑制を確認した。これは、硬度の高い固溶体が Nb_3Sn 相を囲うように形成し、 Nb_3Sn 相を直接的に保護する補強材として作用したためである。CuNb強化線材の95% l_c が得られる圧縮応力は約100 MPaであり、5In試料よりも約50 MPa低い値であった。特に、5In試料では約120 MPaの圧縮応力まで圧縮応力印加前の初期 l_c (l_{c0})特性を維持していた。5In試料は、CuNb補強と比較して圧縮応力下での l_c 劣化抑制効果が大きく、そして圧縮応力印加による l_c 劣化挙動に違いがあることが示唆された。これは、高強度化に寄与する補強材の配置が起因していると考えている。一般的に、 Nb_3Sn 相は機械的硬度の低いCu相の中に生成しており、CuNb合金を線材外周に配置しても Nb_3Sn 相を直接的に保護する効果が低く、圧縮応力の印加による l_c 劣化が進んだものと考えている

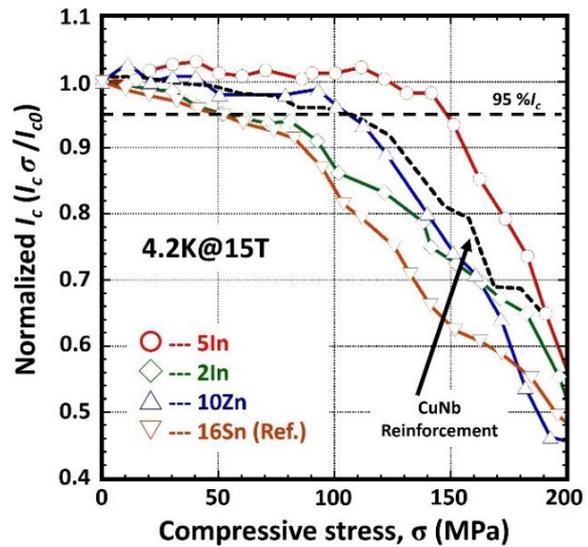


図3. 各種三元系合金を母材とした Nb_3Sn 極細多芯線における圧縮応力印加による l_c 特性の変化

(2) 線材母材としての三元系Cu-Sn-In(Ti)ブロンズ合金組成の最適化

圧縮試験及び先行研究の引張試験の結果、Zn元素よりもIn元素の方が効果的な溶質元素であり、5 mass%以上のIn組成が必要であることが分かった。Cu-Sn-In三元系ブロンズ合金を内部マトリックス補強線材の母材として適用する際には高いSn量と5 mass%以上のIn元素添加量を維持することが望まれる。

室温及び各温度での引張試験の応力-ひずみ曲線から見積られた伸び特性を図4に示す。通常のブロンズ法による線材加工プロセスには、熱間押出工程、加工硬化を除去する焼鈍熱処理及び室温での伸線加工が含まれる。室温及び高温での引張試験結果はこれらの加工プロセスに耐えて伸線加工性の指標となる。伸び特性はIn元素が添加されても通常のブロンズ合金の方が良いことが明らかとなった。特に、室温での伸びは

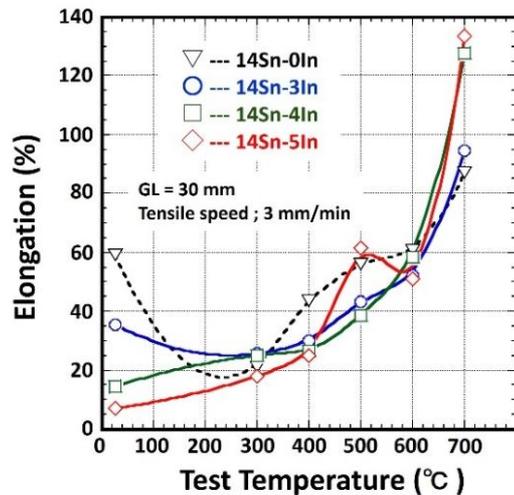


図4. 室温及び各温度で見積られた伸び特性

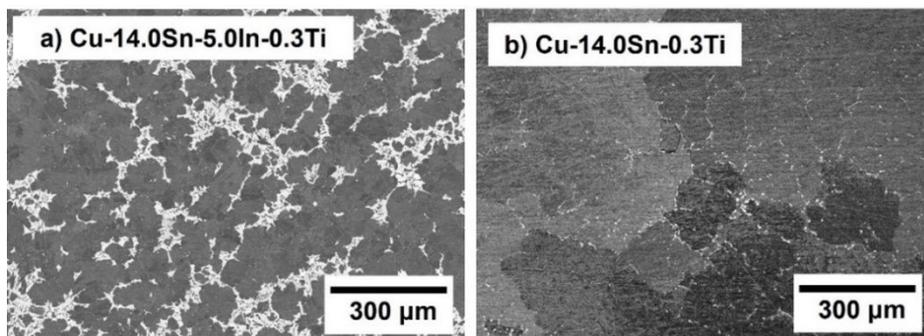


図5. Cu-14Sn合金組織におけるIn添加効果

In 添加量の増加に伴って著しく低下した。これは、伸び特性が良い 14Sn-0In 試料の微細組織とは違って、14Sn-5In 試料では、非常に粗大な粒子が生成しており、この粗大な粒子に全く加工性が無いためと考えられる。以上の結果から、三元系合金単体では、高い Sn 組成を維持しながら 5 mass% の In 組成を添加することは困難であることが示唆された。伸線加工性を改善するには、粗大な CuSnTi 粒子の微細化が有効であり、熱間鍛造等の強加工の適用が考えられる。

(3) 高 Sn 濃度・高 In 濃度を実現するハイブリッドマトリックスの検討

三元系合金単体の高 Sn 濃度・高 In 濃度を実現することは通常の溶製では困難であることが明らかになったために、図 6 に示すような合金

の組み合わせによるハイブリッドマトリックスを検討した。これは三元系の相律ではなく、Cu-In 二元系及び Cu-Sn 二元系の組み合わせにて見かけ上の高 Sn 濃度・高 In 濃度を実現しようとする試みである。しかしながら、図 6 (a) のような組み合わせでは外部に機械的に軟らかく低融点の純 Sn 金属が配置されるために熱間押出加工や中間焼鈍処理などで母材と反応してしまい、実質的な伸線加工は不可能であった。従って、図 6 (b) に示すような Cu-In/Cu-14Sn-3In という組み合わせを検討した。図 6 に従って、ハイブリッド方式の母材は(2)で溶製した合金塊の中で最も伸び特性の良い In 添加量が少ない Cu-14 mass%Sn-3 mass%In-0.3 mass%Ti の組成を選択した。この合金塊を円柱形状(直径: 12 mm-長さ: 50 mm)に加工し、直径 2 mm の Nb 金属棒を挿入するための穴を貫通させた。次に、Cu-5,10,15 mass%In 二元系合金を溶製し、内径 12 mm-外径 16 mm の合金部材に加工した。Nb 金属棒を挿入した母材を Cu-In 二元系合金部材に挿入し、ハイブリッドマトリックス方式の前駆体線材を作製した。その後、通常の伸線加工を直径 1.0 mm まで進めて、Nb/Cu-14Sn-3In-0.3Ti/Cu-In 前駆体線材を得て、真空中で 550 ×100 hr+650 ×100 hr という 2 段階の Nb₃Sn 相生成熟処理を実施した。

熱処理後の線材の一部を切り出し、線材断面の微細組織観察を実施した。Nb 芯の周囲に均質な Nb₃Sn 相が生成すること及び高磁場中での J_c 特性をも確認した。また、Cu-14Sn-3In 母材の組成分析の結果、初期の 3mass%以上の In 含有量を確認された。この傾向は、Cu-In 合金の In 組成の増加に伴って顕著に見られた。以上の結果から、Cu-In/Cu-14Sn-3In のハイブリッド方式にて高 Sn 濃度と高 In 濃度を同時に実現する線材母材が可能であることが示唆された。今後は、ハイブリッドマトリックス方式における外側に配置された Cu-In 合金組成及び内部の Cu-Sn-In 合金組成の最適化が重要であることが明らかとなった。

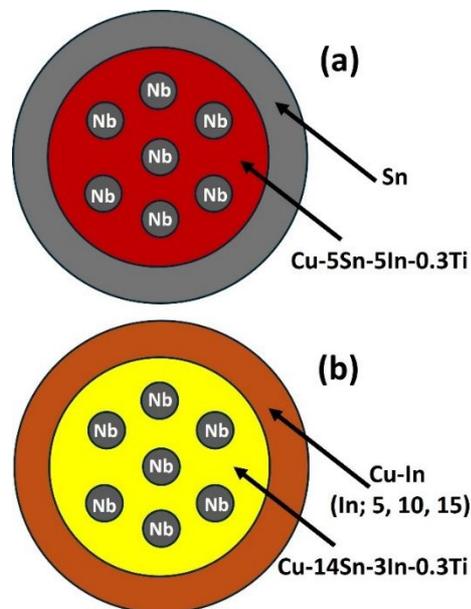


図 6. ハイブリッドマトリックスの概略図

参考文献

- 1) K. Tachikawa, et al., Journal of Appl. Phys., 47, (1983), 1115-1122.
- 2) A. Devred, et al., Supercond. Sci. and Tech., 27, (2014), 044001.
- 3) R. L. Fleischer, Acta. Metallurgica, 11, March, (1963), 203-209
- 4) K. Watanabe, et al., AIP Conf. Proc., 1574, (2014), 186-191

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hishinuma Yoshimitsu, Taniguchi Hiroyasu, Mizuta Taiji, Mizuta Yasunari, Kikuchi Akihiro	4. 巻 1857
2. 論文標題 Investigation of the Cu based binary alloys and the internal matrix reinforcement bronze processed Nb3Sn wires	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012019 ~ 012019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1857/1/012019	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 Hishinuma Yoshimitsu, Oguro Hidetoshi, Taniguchi Hiroyasu, Awaji Satoshi, Kikuchi Akihiro	4. 巻 168
2. 論文標題 Suppression of the critical current degradation under the compressive stress on the internal reinforcement bronze processed Nb3Sn wire using Cu-Sn-In ternary bronze alloy matrix	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112365 ~ 112365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112365	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 Y. Hishinuma, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and A. Kikuchi	4. 巻 30
2. 論文標題 Mechanical Strength Evaluation of the Internal Matrix Reinforced Nb3Sn Multifilamentary Wires Using Cu-Sn-In Ternary Alloy Matrix	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2981305	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 Hishinuma Yoshimitsu, Oguro Hidetoshi, Taniguchi Hiroyasu, Awaji Satoshi, Kikuchi Akihiro	4. 巻 32
2. 論文標題 Jc Performance Under Transverse Compressive Stress of Internal Matrix Reinforced Nb3Sn Multifilamentary Wires Using Various Ternary Bronze Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2022.3154681	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 Hishinuma Yoshimitsu, Kikuchi Akihiro, Iijima Yasuo, Tsuchiya Kiyosumi, Wang Xudong, Takahata Kazuya, Mito Toshiyuki	4. 巻 180
2. 論文標題 Study of RHQT-processed Nb3Al multifilamentary rectangular tape strand to be applied to a fusion magnet	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 113169 ~ 113169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2022.113169	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 Hishinuma Yoshimitsu, Kikuchi Akihiro, Oguro Hidetoshi, Taniguchi Hiroyasu, Awaji Satoshi, Muroga Takeo	4. 巻 567
2. 論文標題 Present status of the high mechanical strengthened Nb3Sn superconducting wires for fusion applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153808 ~ 153808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2022.153808	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 李 昇原、池野 進、松田 健二、三井 嘉人、菱沼 良光、土屋 大樹、西村 克彦、会田 哲夫、菊池 章弘、Sarka Mikmekova、谷口 博康	4. 巻 61
2. 論文標題 Cu基三元系合金を用いて作製したNb3Sn超伝導線材におけるIn添加と熱処理温度の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 銅と銅合金	6. 最初と最後の頁 23 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34562/jic.61.1_23	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 Yoshimitsu HISHINUMA, Yusuke SHIMADA, Satoshi HATA, Teruya TANAKA, Akihiro KIKUCHI	4. 巻 57
2. 論文標題 Superconducting Properties and Microstructure of In-situ Cu Addition Low Activation MgB2 Multifilamentary Wires Using Different Boron-11 Isotope Powders	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 TEION KOGAKU (Journal of Cryogenics and Superconductivity Society of Japan)	6. 最初と最後の頁 31 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.57.31	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 HISHINUMA Yoshimitsu, KIKUCHI Akihiro, TANIGUCHI Hiroyasu, OGURO Hidetoshi, AWAJI Satoshi, MUROGA Takeo	4. 巻 58
2. 論文標題 ブロンズ法Nb3Sn線材における内部補強による機械特性の改善	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 TEION KOGAKU (Journal of Cryogenics and Superconductivity Society of Japan)	6. 最初と最後の頁 108 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.58.108	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9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Y. Hishinuma, A. Kikuchi, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and T. Muroga
2. 発表標題 Present status of the high mechanical strengthened Nb3Sn superconducting wires for fusion applications
3. 学会等名 20th International Conference on Fusion Reactor materials (ICFRM-20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hishinuma, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and A. Kikuchi
2. 発表標題 Jc performance under the transverse compressive stress in the internal matrix reinforced Nb3Sn multifilamentary wires using various ternary bronze alloy matrices
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (MT-27) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菱沼 良光、小黒 英俊、谷口 博康、淡路 智、菊池 章弘
2. 発表標題 三元ブロンズ合金を用いた内部補強Nb3Sn線材の臨界電流特性における圧縮応力依存性
3. 学会等名 第99回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Hishinuma, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and A. Kikuchi
2. 発表標題 Critical current degradation improvement under the compressive stress on the internal reinforcement bronze processed Nb3Sn wire using Cu-Sn-In ternary alloy matrix
3. 学会等名 31st Symposium on Fusion Technology (SOFT'2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Hishinuma, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and A. Kikuchi
2. 発表標題 Jc degradation behavior due to the transverse compressive stress on the bronze processed Nb3Sn multifilamentary wires using various ternary bronze alloy matrices
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference (ASC'2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菱沼 良光 , 小黒 英俊 , 谷口 博康 , 淡路 智 , 菊池 章弘
2. 発表標題 内部マトリックス補強高強度Nb3Sn線材の開発
3. 学会等名 第14回核融合エネルギー - 連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菱沼 良光、小黒 英俊、谷口 博康、淡路 智、菊池 章弘
2. 発表標題 内部マトリックス補強によるNb3Sn線材の機械強度特性の向上
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第39回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Hishinuma, A. Kikuchi, Y. Iijima, K. Tsuchiya and K. Takahata
2. 発表標題 Critical current distribution of Nb3Al strand in a test conductor assembled with RHQT-Nb3Al rectangular tape-shaped strand oriented for indirect cooling
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (ASC'2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Hishinuma, H. Noto, H. Oguro, H. Taniguchi, S. Awaji and A. Kikuchi
2. 発表標題 HIP effect on mechanical strength of the internal matrix reinforced Nb3Sn multifilamentary wires using various ternary bronze alloy matrices
3. 学会等名 28th International Conference on Magnet Technology (MT-28) (国際学会)
4. 発表年 2023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	嶋田 雄介 (SHIMADA Yusuke) (20756572)	九州大学・総合理工学研究院・准教授 (17102)	変更: 2023年10月 九州大学准教授に異動
研究分担者	菊池 章弘 (KIKUCHI Akihiro) (50343877)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー (82108)	
研究分担者	小黒 英俊 (OGURO Hidetoshi) (90567471)	東海大学・工学部・講師 (32644)	

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
---------	---------