

微細構造超伝導複合線材のメゾ的力学挙動と
超伝導特性の相関評価

(課題番号 13650088)

平成13年度～平成15年度科学研究補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書

京都大学図書



1040945657

附属図書館

平成16年3月

研究代表者 北條正樹

(京都大学工学研究科教授)

超伝導複合線の電気的特性の要素に及ぼす製造条件の影響を明らかにし、超伝導複合線の超伝導材料を直接製～加工

微細構造超伝導複合線材のメゾ的力学挙動と超伝導特性の相関評価

的見地からの超伝導複合線の超伝導特性の相関評価のメゾ的力学挙動と超伝導特性の相関評価

ともにより、負荷による構成要素の形状が弾塑性であること、(2) (課題番号 13650088)

線が形成され構成要素が異方性を持っていること、(3) 材料の長さから 5 μm の間隔であり透明なひずみ計測法がないこと、のたため線材全体および各構成要素の応力、ひずみ状態を把握することがこれまで困難であった。

本研究では、最も普及している Nb-Ti (ファイラメントが電性素子) および超伝導線の使用が期待

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究補助金 (基盤研究 (C) (2)) 研究成果報告書

超伝導ファイラメント、母材 (安定化銅) の変形挙動と強度応力変化に起因する高圧的な構成要素のひずみを解析し、超伝導特性との相関を明らかにするとともに、ファイラメントの含有率と素子間の配置、微細組織が超伝導特性の力学挙動に及ぼす影響を体系化し、優れた超伝導特性を有しつつ高力負荷に対して影響を受けにくい超伝導複合線材を実現するための概念的な構造や製造条件を本報告した。

本研究の成果概要は次のようにまとめられる。

(1) Nb-Sn 複合線材における微細構造の詳細解析：走査電子顕微鏡での組織観察に画像処理ソフトを組み合わせ、ファイラメントの直径分布、Nb-Sn の析出形成要素の構成要素分布を測定した。微細な単一ファイラメント当たりの Nb-Sn の析出形成要素は断面内で均一でなく、周辺ほど高いことが明らかとなった。

(2) Nb-Sn ファイラメントの力学特性の検証：Nb-Sn ファイラメントは、線材の製造時に析出して形成されるため、単体で力学特性の検証が実施することが困難である。ここでは、母材を溶解してファイラメントを抽出するとともに、還元率の低いエポキシ樹脂を含有することにより、Nb-Sn/エポキシ複合材料を製作し、その弾性率の実験結果から Nb-Sn ファイラメントの弾性率を逆算して求めた。この手法により、ファイラメントの弾性率は従来報告と

平成 16 年 3 月

研究代表者 北 條 正 樹

(京都大学工学研究科教授)

(3) Nb-Sn/Cu 複合線材の Cu の弾性率およびひずみ特性の検証：Nb-Sn/Cu 複合線材の Cu の弾性率およびひずみ特性の検証を目的として、100%除去した試験片の弾性率およびひずみ特性を測定した。Cu の弾性率およびひずみ特性は、Cu の純粋な値と一致することが明らかとなった。また、Cu の弾性率およびひずみ特性は、Cu の純粋な値と一致することが明らかとなった。

(4) Nb-Ti/Cu 複合線材のファイラメントの形状挙動：Nb-Ti/Cu 複合線材のファイラメントの形状挙動について、溶解で母材を溶解することにより、ひずみに対するファイラメントの形状を求めた。Nb-Ti についてはファイラメント含有率が低い場合、多数の隙所でマッキングが生じるが Nb-Ti マッキングが著しいことが明らかとなった。

はしがき

超伝導線はその電気的特性の要求や製造条件から、Nb-Ti, Nb₃Sn等の超伝導材料を直径数～数十μmのフィラメントとし、無酸素銅等を母材（安定化銅）とする、構造用一方向強化繊維強化複合材料と類似の微視構造を有する。複合線材は製造時、使用時に機械的・電磁気学的に静的・繰返し応力場に置かれ、その結果、超伝導特性（臨界温度・電流・磁場）は低下するため、実用的には力学的見地からの超伝導特性の確保とその向上が重要である。特に、超伝導特性の劣化は微細なフィラメントのひずみや損傷の発生に起因するため、複合線材の各構成要素（メゾ要素）が負担する詳細な応力・ひずみの履歴に踏み込んだ研究が必要である。しかし、超伝導複合線材は、（1）母材の無酸素銅の降伏応力が20-50MPa程度ときわめて低く製造時の熱残留応力によって既に降伏するとともに、負荷による構成要素の変形が弾塑性であること、（2）極限に近い塑性加工により集合組織が形成され構成要素が異方性を持っていること、（3）線材の直径が0.5-1mmの細線であり適切なひずみ計測法がないこと、のため線材全体および各構成要素の応力・ひずみ状態を把握することがこれまで困難であった。

本研究では、最も普及している Nb-Ti（フィラメントが塑性変形）および高磁場での使用が期待される Nb₃Sn（フィラメントがぜい性破壊）が安定化銅に埋め込まれた超伝導複合線材について、超伝導フィラメント、母材（安定化銅）の変形挙動と残留応力変化に起因する微視的な構成要素のひずみを解析し、超伝導特性との相関を明らかにするとともに、フィラメントの含有率と幾何学的配置、微細組織が超伝導特性の力学応答に及ぼす影響を体系化し、優れた超伝導特性を有しかつ応力負荷に対して影響を受けにくい超伝導複合線材を実現するための微視的な構造や製造条件を検討した。

本研究の成果概要は次のようにまとめられる。

（1）Nb₃Sn 複合線材における微視構造の詳細解析：走査電子顕微鏡での組織観察に画像処理ソフトを組み合わせ、フィラメントの直径分布、Nb₃Sn の析出形成量等の構成要素分布を測定した。微細な単一フィラメント当たりの Nb₃Sn の析出形成量は断面内で均一でなく、周辺ほど高いことが明らかとなった。

（2）Nb₃Sn フィラメントの力学特性の確定：Nb₃Sn フィラメントは、線材の製造時に析出して形成されるため、単体で力学特性の評価を実施することが困難である。ここでは、母材を溶解してフィラメントを抽出するとともに、弾性率の低いエポキシ樹脂を含まれることにより、Nb₃Sn/エポキシ複合材料を作製し、その弾性率の実験結果から Nb₃Sn フィラメントの弾性率を逆算して求めた。この手法により、フィラメントの弾性率は従来報告されていた値より低い 127GPa であることが明らかになった。

（3）Nb₃Sn/Cu 複合線材の Cu の弾性率および残留ひずみ分布の特定：線材から安定化銅を 30, 60 および 100%除去した試験片の応力-ひずみ関係を詳細に比較検討することにより、集合組織を持つ Cu および Cu-Sn の異方性弾性率を正確に決定するとともに、加工硬化を含めた銅の応力-ひずみ関係を求めた。さらに、安定化銅の外側と内側で残留ひずみが異なることを明らかにするとともに、その値を求めた。

（4）Nb-Ti/Cu 複合線材のフィラメントの変形挙動：について、硝酸で母材を溶解することにより、ひずみに対するフィラメントの変形を求めた。Nb-Ti についてはフィラメント含有率が低い場合、多数の箇所ネッキングが生じるマルチプルネッキングが著しいことが明らかとなった。

(5) マルティプルネッキングの数値解析による再現：単芯モデルを対象として、大変形弾塑性有限要素解析を行い、解析によって特にフィラメントの含有率が低いときにマルティプルネッキングが生じること、ネッキングの間隔には下限値があり、ネッキング間隔はフィラメント直径の約3倍以下にはならないことを証明した。

(6) マルティプルネッキング発生に及ぼす材料特性の影響の実験による検討：Nb-Ti/Cu で電気鍍金によりフィラメント体積含有率を0.08に低下させた試験片を対象として500°Cまでの熱処理を行い、Nb-Ti および Cu の力学特性の変化が変形挙動、特にマルティプルネッキング発生に及ぼす影響を検討した。熱処理の影響は特にCuで大きく、処理温度を上げると柔らかくなるとともに大きな加工硬化を示した。さらに、熱処理温度が500°Cの場合に複合線材でマルティプルネッキングが発生することを実験的に示すと同時に、数値解析によってその妥当性を証明した。

(7) Nb-Ti/Cu 複合線材における疲労荷重下でのフィラメント損傷と臨界電流の関係の検討：疲労荷重を与えると、周囲の安定化銅から発生した疲労き裂がフィラメントを破断して進展することを明らかにするとともに、残留強度と臨界電流はいずれも残留フィラメント数に単純に比例することを明らかにした。

(8) 3年間の成果を総合することにより、Nb-Ti/Cu および Nb₃Sn/Cu 超伝導複合線材に関し、優れた超伝導特性を有しかつ応力負荷に対して影響を受けにくい超伝導複合線材を実現するための条件を提案することができた。

研究組織

研究代表者：北條 正樹（京都大学工学研究科教授）

研究分担者：落合庄治郎（京都大学国際融合創造センター教授）

研究分担者：田中 基嗣（京都大学工学研究科助手）

研究経費

平成10年度 2,400千円

平成11年度 900千円

平成12年度 900千円

計 4,200千円

研究発表

(1) 学会誌等

1. Hojo, M., Yamao, T., Tanaka, M., Ochiai, S., Iwashita, N., and Sawada, Y.
Effect of Interface Control on Fracture Behavior of Woven C/C Composites
Int. J. of Materials and Product Technology, Vol. 16. Nos. 1-3, pp.156-164 (2001).
2. Hojo, M., Yamao, T., Tanaka, M., Ochiai, S., Iwashita, N., and Sawada, Y.
Effects of Interface Control and Heat-Treatment Temperature on Interlaminar Shear Strength and Mode II Interlaminar Fracture Toughness of Woven C/C Composites
Materials Science Research International, Vol. 7, No. 1, pp.34-40 (2001).
3. Andersons, J., Hojo, M. and Ochiai, S.
Model of Delamination Propagation in Brittle-Matrix Composites under Cyclic Loading
J. Reinforced Plastics and Composites, Vol.20, No.05, pp.431-450 (2001).
4. Fiedler, B., Hojo, M., Ochiai, S., Schulte, K. and Ochi, M.
FEM Modeling of the Initial Matrix Failure in CFRP under Static Transverse Tensile Load
Composite Science and Technology, Vol. 61, No. 1, pp.95-105 (2001).
5. Hojo, M., Terashima, K., Igarashi, Y., Shida, M., Ochiai, S., Inoue, T., Sawada, Y. and Suzuki, Y.
Interfacial Fracture in Model Composites under Static and Fatigue Loadings
-Mechanism Consideration Based on Experimental and Analytical Approaches-
Materials Science Research International, STP-2, pp.189-196 (2001).
6. 牧野一成, 五十嵐泰昭, 井上忠信, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
Push-out 試験での界面き裂進展における母材弾性率の影響の数値解析およびその実験評価への応用
日本接着学会誌, 第 37 卷, 第 7 号, pp.266-272 (2001).
7. Andersons, J., Joffe, R., Hojo, M. and Ochiai, S.
Fiber Fragment Distribution in a Single-Fibre Composite Tension Test
Composites, Part B, Vol.32, pp.323-332 (2001).
8. Fiedler, B., Hojo, M., Ochiai, S., Schulte, K. and Ando, M.
Failure Behavior of Epoxy Matrix under Different Kinds of Static Loading
Composite Science and Technology, Vol.61, No.11, pp.1615-1624 (2001).
9. Hojo, M., Yamao, T., Tanaka, M., Ochiai, S., Iwashita, N., and Sawada, Y.
Effect of Interface Control on Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Woven C/C Composite Laminates
JSME International Journal, Ser. A., Vol.44. No.4, pp.573-581 (2001).
10. Katagiri, K., Kasaba, K., Hojo, M., Osamura, K., Sugano, M., Kimura, A. and Ogata, T.
Tensile Testing Methods of CU/Nb₃Sn Superconducting Wires at Room Temperature
Physica C, Vol.357-360, pp.1302-1305 (2001).
11. Hojo, M., Matsuda, S., Ochiai, S., Tsujioka, N., Nakanishi, Y., Maekawa, Z. and Murakami, A.
Mode II Interlaminar Properties under Static and Fatigue Loadings for CF/Epoxy Laminates with Different Fiber Surface Treatment
Advanced Composite Materials, Vol. 10, Nos. 2-3, pp. 237-246 (2001).
12. Hojo, M., Matsuda, S., Fiedler, B., Kawada, T., Moriya, K., Ochiai, S. and Aoyama, H.
Mode I and II Delamination Fatigue Crack Growth Behavior of Alumina Fiber/Epoxy Laminates in Liquid Nitrogen
Int. J. of Fatigue, Vol.24, Nos.2-4, pp.109-118 (2002).

13. 田中基嗣, 北條正樹, 落合庄治郎, 山雄剛俊, 岩下哲雄, 澤田吉裕
修正シェアラグアナリシス法を用いた織物 C/C 複合材料の切欠き強度の検討
日本機械学会論文集, A 編, 第 68 巻, 665 号, pp.111-118 (2002).
14. Andersons, J., Joffe, R., Hojo, M. and Ochiai, S.
Glass Fibre Strength Distribution Determined by Common Experimental Methods
Composite Science and Technology, Vol. 62, pp.131-145 (2002).
15. Fiedler, B., Hojo, M., Ochiai, S.
The influence of thermal residual stresses on the transverse strength of CFRP using FEM
Composites Part A, Vol. 33, No.10, pp.1323-1326 (2002).
16. Ochiai, S., Tanaka, M., Tanaka, H., Kimura, S., and Hojo, M.
A Modeling Study on Residual Stress-induced Interfacial Debonding and Stress-strain Behavior of
Weakly Bonded UD Composites
Composites Part A, Vol. 33, No.10, pp.1337-1343 (2002).
17. Ochiai, S., Oki, Y., Sekino, F., Hojo, M., Tanaka, M., Okuda, H., Moriai, H., Sakai, S. and Watanabe, K.
Fracture of Filaments and Its Influence on Critical Current and Residual Strength of Fatigued Nb-Ti/Cu
Superconducting Composite
Cryogenics, Vol. 43, PP.45-51 (2003).
18. Sugano, M., Osamura, K. and Hojo, M.
Mechanical Properties of Bi2223 Filaments Extracted from Multifilamentary Tape Evaluated by The
Single-Fibre Tensile Test
Superconductor Science and Technology, Vol.16, pp.571-575 (2003).
19. 井上忠信, 落合庄治郎, 北條正樹, 長井寿
エネルギー解放率に基づく熱応力および引張応力下での短繊維複合材料の破壊基準
材料, 第 52 巻, 7 号, pp.815-820 (2003).
20. Hojo, M., Matsuoka, T., Nakaoka, S., Tanaka, M., Ochiai, S., Sugano, M. and Osamura, K.
Bending Deformation and Its Influence on Critical Current in Bi2223 Composite Superconducting Tapes
Physica C: Superconductivity and its applications, Vol. 392-396, pp.1156-1161 (2003).
21. Hojo, M., Nakamura, M., Matsuoka, T., Tanaka, M., Ochiai, S., Sugano, M. and Osamura, K.
Microscopic Fracture of Filaments and Its Relation to the Critical Current under Bending Deformation in
(Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ Composite Superconducting Tapes
Superconductor Science and Technology, Vol. 16, Issue 9, pp.1043-1051 (2003).
22. Ochiai, S., Nagai, T., Okuda, H., Hojo, M., Tanaka, M., Sugano, M. and Osamura, K.
Tensile Damage and Its Influence on the Critical Current of Bi2223/Ag Superconducting Composite Tape
Superconductor Science and Technology, Vol. 16, Issue 9, pp.988-994 (2003).
23. Ochiai, S., Sekino, F., Sawada, T., Ohno, H., Hojo, M., Tanaka, M., Okuda, H., Koganeyama, M.,
Hayashi, K., Yamada, Y., Ayai, N. and Watanabe, K.
Fatigue-Damage Evolution and Damage-Induced Reduction of Critical Current of A Nb₃Al
Superconducting Composite
Superconductor Science and Technology, Vol. 16, Issue 9, pp.1071-1076 (2003).
24. Hojo, M., Matsuda, S., Fiedler, B., Amundsen, K., Tanaka, M. and Ochiai, S.
Comparison of Interlaminar Fracture Toughness between CFRP and ALFRP Laminates with Common
Epoxy Matrix at 77K in LN₂
"Fracture of Polymers, Composites and Adhesives II", ESIS publication 32, Blackman, B.R.K.,
Pavan, A. and Williams, J.G., Eds., pp.421-432 (2003) Elsevier.
25. Andersons, J., Hojo, M. and Ochiai, S.
Empirical Model for Stress Ratio Effect on Fatigue Delamination Growth Rate in Composite Laminates
International Journal of Fatigue, Volume 26, Issue 6 , pp.597-604 (2004).

26. Hojo, M., Matsuoka, T., Nakamura, M., Tanaka, M., Adachi, T., Ochiai, S. and Miyashita, K.
Investigation of Mechanical Behavior of Copper in Nb₃Sn Superconducting Composite Wire
Pysica C: Superconductivity and its applications, in press.
27. Hojo, M., Kawada, T., Machida, S., Moriya, K., Tanaka, M., Ochiai, S., Matsuda, S., Fiedler, B. and Aoyama, H.
Effects of Fiber Type (CF and ALF) and Temperature (RT and 77K) on Interlaminar Fracture Properties of Composite Laminates with Common Epoxy Matrix
Durability Analysis of Composite Systems 2001, Proc. of the 5th Int. Conf. on Durability Analysis of Composite Systems -DURACOSYS 2001, Tokyo, Swets & Zeitlinger, pp.385-392 (2002).
28. Hojo, M., Tanaka, M., Hobbiebrunken, T., Ochiai, S., Inoue, T. and Sawada, Y.
Interfacial Fracture of GF and CF/epoxy Model Composites under Static and Fatigue Loadings
Proc. 8th International Fatigue Congress, Fatigue 2002, Stockholm, EMAS, pp.231-238 (2002).
29. Hojo, M., Machida, S., Tanaka, M., Hobbiebrunken, T., Matsuda, S., Ochiai, S. and Ando, M.
Direct Comparison of CF/Epoxy Laminates and Its Neat Resin in Mode I Interlaminar Fracture Toughness and Fatigue Delamination at RT and 77K
Proceedings of Fourteenth International Conference on Composite Materials (ICCM-14/CD-ROM) (2003).
30. Hojo, M., Hirota, N., Ando, T., Matsuda, S., Tanaka, M., Amundsen, K., Ochiai, S. and Murakami, A.
Ionomer as Toughening and Repair material for CFRP Laminates
Repairing Structures using Composite Wraps, Proceedings of the 8th Japanese-European Symposium on Composite Materials, Hermes Penton Science Ltd., pp.83-90 (2003).
31. Fiedler, B., Gagel, A., Hobbiebrunken, T., Schulte, K., Hojo, M. and Ochiai, S.
Modeling of the Thermal Residual Stresses and Transverse Strength of CFRP at Low and High Temperature
Proceedings of 1st International Conference on Interfaces and Interphases in Multicomponent Materials (CD-ROM) (2003).
32. 長村光造, 嶋田雅生, 北條正樹, 森合英純, 片桐一宗
ニオブ・チタン超電導線の室温引張試験方法
低温工学, 第37巻, 第8号, pp.382-384 (2002).
33. Ochiai S., Okuda H., Hojo M. and Tanaka M.
Fracture Damage Evolution and Its Influence on Critical Current of Nb₃Al/Cu and Nb-Ti/Cu Superconducting Composite Wires
Recent Research Developments in Materials Science, vol.4, pp.333-353 (2003).

(2) 口頭発表

1. 北條正樹, 沖祐一郎, 田中基嗣, 落合庄治郎, B. Fiedler, 森合英純
Nb-Ti 超伝導複合線材におけるフィラメントのマルチプルネッキング発生機構の数値解析による検討
日本機械学会材料力学部門講演会講演論文集, pp.521-522 (2001).
2. 北條正樹, 寺島啓太, 五十嵐泰昭, 田中基嗣, 落合庄治郎
微小荷重試験装置の開発と界面評価
第45回日本学術会議材料研究連合講演会講演論文集, pp.321-322 (2001).
3. 北條正樹, 中野大里, 廣澤慶文, 田中基嗣, 落合庄治郎
微視的繊維配置がマトリックスき裂進展に及ぼす影響の数値解析
第46回 FRP CON-EX 2001 講演会講演要旨集, pp.A-20/1-20/2 (2001).
4. 田中基嗣, 廣澤慶文, 北條正樹, 落合庄治郎, 中西洋一郎, 澤田吉裕, 藤田和宏
一方向強化モデル CFRP の破壊挙動に及ぼす繊維配置の不均一性の影響
第46回 FRP CON-EX 2001 講演会講演要旨集, pp.A-21/1-21/2 (2001).

5. 阪本智仁, 沖祐一郎, 北條正樹, 富田達也, 田中基嗣, 落合庄治郎, 森合英純
構成要素の力学的特性が Nb-Ti 超伝導複合線材のマルチプルネッキング挙動に及ぼす影響の数解析
日本金属学会 2001 年秋期(第 129 回)大会講演概要, p.449(2001).
6. 小西良平, 五十嵐泰昭, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
ガラス繊維/エポキシ樹脂モデル複合材料を用いた界面き裂進展のその場観察および界面破壊クライテリオンの検討
日本材料学会第 31 回 FRP シンポジウム講演論文集, pp.133-134(2002).
7. 松岡朋枝, 北條正樹, 中西洋一郎, 田中基嗣, 落合庄治郎, 森合英純
Nb₃Sn 超伝導複合線材の変形挙動におよぼす銅の残留応力分布の影響
日本材料学会第 31 回 FRP シンポジウム講演論文集, pp.215-216(2002).
8. 落合庄治郎, 田中基嗣, 北條正樹, Fiedler, B., Schulte, K.
繊維強化複合材料の応力-ひずみ曲線・破壊形態と界面・構成材強度の相関の体系化
日本金属学会春期(第 130 回)大会講演概要, p.479(2002).
9. 小西良平, 五十嵐泰和, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
Couple Fiber Shear 法を用いたガラス繊維/エポキシ樹脂モデル複合材料における界面き裂伸展のその場観察
日本金属学会春期(第 130 回)大会講演概要, p.480(2002).
10. 阪本智仁, 沖祐一郎, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
Nb-Ti 超伝導複合線材のマルチプルネッキング挙動に及ぼす銅の降伏点および加工硬化指数の影響
日本金属学会春期(第 130 回)大会講演概要, p.480(2002).
11. 田中基嗣, 廣澤慶文, 川口暢, 北條正樹, 落合庄治郎, 中西洋一郎, 澤田吉裕
モデル FRP の微視的損傷のその場観察および有限要素解析による検討
日本材料学会第 51 期学術講演会講演論文集, pp.33-34(2002).
12. 阪本智仁, 沖祐一郎, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
Nb-Ti超伝導複合線材における銅の硬化曲線がマルチプルネッキング挙動に及ぼす影響
日本複合材料学会2002年度研究発表講演会予稿集, pp.53-54(2002).
13. Hojo, M., Tanaka, M., Hobbiebrunken, T., Ochiai, S., Inoue, T., and Sawada, Y.
Interfacial Fracture of GF and CF/Epoxy Model Composites under Static and Fatigue Loadings
DFG-JSPS Symposium (2002).
14. Hojo, M., Matsuda, S., Fiedler, B., Amundsen, K., Tanaka, M. and Ochiai, S.
Comparison of Interlaminar Fracture Toughness between CFRP and ALFRP Laminates with Common Epoxy Matrix at 77K
Fracture of Polymers, Composites and Adhesives, 3rd ESIS TC4 Conference on Polymers and Composites (2002).
15. 田中基嗣, 川口暢, 廣澤慶文, 北條正樹, 落合庄治郎, 中西洋一郎, 澤田吉裕, 奥田浩司
モデル FRP におけるメゾスケールの損傷のその場観察および有限要素解析
第 46 回日本学術会議材料連合講演会講演論文集, pp.54-55(2002).
16. 川口暢, 廣澤慶文, 田中基嗣, 北條正樹, 中西洋一郎, 落合庄治郎, 澤田吉裕
モデル FRP における樹脂き裂および界面はく離進展の有限要素法解析およびその場観察
日本機械学会 2002 年度年次大会講演論文集, Vol.II, pp.57-58(2002).
17. 小西良平, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
Couple Fiber Shear 試験における繊維径が界面破壊クライテリオンに及ぼす影響
日本複合材料学会第 27 回複合材料シンポジウム講演要旨集, pp.169-170(2002).
18. 北條正樹, 松岡朋枝, 中岡真一, 田中基嗣, 落合庄治郎, 菅野未知央, 長村光造
Bi2223 超伝導複合材料の変形挙動と超伝導特性の相関
日本機械学会材料力学部門講演会講演論文集, pp.105-106(2002).

19. 落合庄治郎, 沖祐一郎, 関野文昭, 北條正樹, 田中基嗣, 奥田浩司, 森合英純, 酒井修二, 渡辺和雄
Nb-Ti/Cu 超伝導複合線材の疲労損傷とその臨界電流・残留強度に及ぼす影響
日本金属学会秋期(第131回)大会講演概要, p.226(2002).
20. 中村光宏, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎, 菅野未知央, 長村光造
Bi2223 超伝導複合材における曲げ変形が超伝導特性に及ぼす影響
日本金属学会春期(第132回)大会講演概要, p.432(2003).
21. 落合庄治郎, 沖祐一郎, 澤田武洋, 田中基嗣, 北條正樹, 奥田浩司, 小金谷正伸, 森合英純, 酒井修二
Nb₃Al 及び Nb-Ti 超伝導複合材料の疲労挙動の相異
日本金属学会春期(第132回)大会講演概要, p.432(2003).
22. 阪本智仁, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎
銅の力学的特性および幾何学的因子が Nb-Ti 超伝導複合線材のマルチプルネックング発生条件に及ぼす影響
日本機械学会関西支部第78期定時総会講演会講演論文集, pp.5-33 - 5-34(2003).
23. 中村光宏, 北條正樹, 田中基嗣, 落合庄治郎, 菅野未知央, 長村光造
曲げ変形を受ける Bi2223 超伝導複合材におけるフィラメントの損傷と超伝導特性の相関
日本金属学会秋期(第133回)大会講演概要, p.520(2003).
24. 土工弾, 宮崎暢, 落合庄治郎, 奥田浩司, 中村光宏, 北條正樹, 田中基嗣, 呉祥秀
Bi2223/Ag/Ag 合金超伝導複合テープ材の臨界電流に及ぼす曲げ変形の影響
日本金属学会秋期(第133回)大会講演概要, p.520(2003).
25. 落合庄治郎, 永井崇, 宮崎暢, 土工弾, 中村光宏, 奥田浩司, S.S.Oh, 北條正樹, 田中基嗣, 長村光造
酸化物超伝導複合線材の引張損傷とその臨界電流に及ぼす影響
日本金属学会秋期(第133回)大会講演概要, p.520(2003).
26. 北條正樹, 中村光宏, 松岡朋枝, 田中基嗣, 落合庄治郎, 菅野未知央, 長村光造
Bi2223 超伝導複合材料の曲げ変形におけるフィラメント破壊と臨界電流の関係
第28回複合材料シンポジウム講演要旨集, pp.127-128(2003).
27. Hojo, M., Matsuoka, T., Nakamura, M., Tanaka, M., Adachi, T., Ochiai, S. and Miyashita, K.
Influence of Residual Stress Distribution of Copper on Deformation of Nb₃Sn Superconducting Composite Wire
Program & Abstracts, 16th International Symposium on Superconductivity, p.279(2003).

(3) 出版物

1. 北條正樹(分担執筆)
複合材料活用事典, 第II編第3章10, 11, 第IV編第1章1, 日本複合材料学会複合材料活用事典編集委員会編
産業調査会, 903 ページ (2001).
2. 北條正樹(分担執筆)
材料と評価の最前線, 3.6 節「複合材料のメゾ・マイクロ設計」, 日本材料学会編
培風館, 318 ページ (2001).
3. 北條正樹(分担執筆)
セラミック工学ハンドブック, 第2版, 応用第8編「エンジニアリングセラミックス」,
2.2.4(2)「高分子基複合材料」, 日本セラミックス協会編
技報堂出版, 1634 ページ, 担当 pp.1185-1187 (2002).
4. 北條正樹(分担執筆)
構造工学ハンドブック, 1.3.1 項「樹脂基複合材料」, 矢川元基編
丸善, pp.44-48 (2004).