

高温超電導体の線材化と高電流密度化

Development of High T_c Superconducting Wire with High Critical Current Density

1986年の高温超電導体の発見後まもなく、超電導体の臨界温度 T_c が液体窒素温度 (77 K) を超え、超電導機器を液体窒素冷却で応用できる可能性が開かれた。本研究は、液体窒素冷却で作動するマグネット用の線材の開発を目的とし、主に Y-Ba-Cu-O 系 ($T_c = 90$ K)、Tl-Ba/Sr-Ca-Cu-O 系 ($T_c = 115$ K) の各材料の線材化と高電流密度化を検討してきた。伸線-圧延法による銀被覆テープ状線材を開発し、Y-Ba-Cu-O 系線材で $3,300 \text{ A/cm}^2$ 、Tl-Ba/Sr-Ca-Cu-O 系線材で 10^4 A/cm^2 の臨界電流密度 J_c (77 K, 零磁場) を達成した。しかし、磁場中 J_c はまだ低いレベルにあり、これを改善することが今後の重要な研究課題である。

松本俊美* *Toshimi Matsumoto*
 相原勝蔵* *Katsuzō Aihara*
 岡田道哉* *Michiya Okada*
 清藤雅宏** *Masahiro Seidō*

1 緒言

1986年初めにIBM社チューリッヒ研究所で臨界温度 T_c が30 KのLa-Ba-Cu-O酸化物系超電導体が発見され、金属系超電導体のNb₃Geで記録されたそれまでの最高温度の23 Kを超えた¹⁾。この発見を契機として開発された高温超電導体の T_c の推移を図1に示す。La-Ba-Cu-O系に次いでLa-Sr-Cu-O系²⁾が見つかり、現在では T_c が液体窒素温度 (77 K) を超えるY-Ba-Cu-O系³⁾、Bi-Sr-Ca-Cu-O系⁴⁾、Tl-Ba-Ca-Cu-O系⁵⁾などの超電導体が見いだされている。 T_c のもっとも高いTl-Ba-Ca-Cu-O系材料では120 Kに達している。

酸化物系超電導体と従来の超電導体の物性^{6),7)}を、それぞれY-Ba-Cu-O系材料とNb₃Snを例にとり整理したのが表1である。酸化物系超電導体では、従来の超電導体と比較して T_c が著しく高い。しかし、超電導電流の流れ方は、結晶構造の異方性に関連して2次元的である。Y-Ba-Cu-O系材料とTl-Ba-Ca-Cu-O系材料の結晶構造を図2に示す。簡略化のために酸素の表示は省略した。一つの立方体で表される単位ペロブスカイト構造を、おのおの3個あるいは4個積み重ねた層状構造となっている。格子定数はa, b軸方向よりもc軸方向のほうが大きい。電流はc軸方向よりもa, b軸方向に流れやすい⁷⁾。また、超電導性の指標であるコヒーレンス長さがきわめて短く、しかもキャリア濃度が低いという特長がある。

このような高温超電導体の発見によって、従来、液体ヘリウム冷却 (4.2 K) を必要とした超電導機器が液体窒素冷却 (77 K) でも応用できる可能性が開かれた。エネルギー分野では発電機、磁気浮上鉄道、SOR (Synchrotron Orbital Radiation) などの超電導マグネットを中心とする応用が考えられ、線材

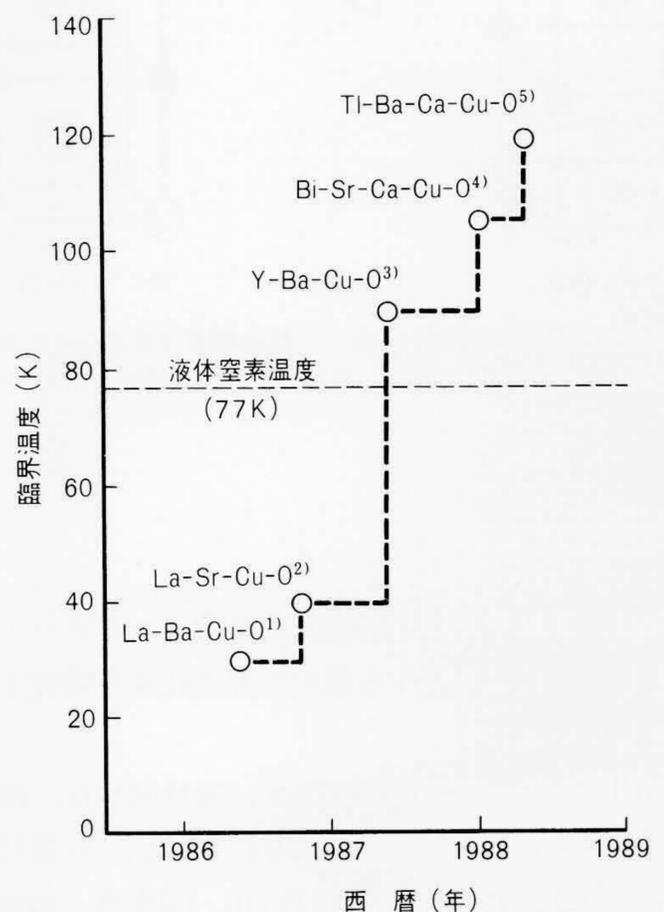


図1 高温超電導体の開発経緯 臨界温度が77 Kを超える高温超電導体が発見され、液体窒素冷却での超電導応用の可能性が開かれた。

化技術の開発が進められている。エレクトロニクス分野ではSQUID (Superconducting Quantum Interference Device)、スイッチ素子、配線基板などのデバイスと素子を中心とする応用が考えられ、薄膜化技術の開発が進められている。

* 日立製作所日立研究所 ** 日立電線株式会社金属研究所 工学博士

表1 高温超電導体の物性 高温超電導体と比較して、 T_c は高いが電流の流れ方が2次元的で、コヒーレンス長さが短く、キャリア濃度が低い。

| 物 性 | Y-Ba-Cu-O | Nb ₃ Sn |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| $T_c^*(K)$ | 92 | 18 |
| 電流異方性 | 2次元的 | 等方 |
| コヒーレンス長さ(nm) | 1.6 | ~3 |
| キャリア濃度(個/cm ³) | 5×10^{21} | 9×10^{22} |

注：* T_c (臨界温度)

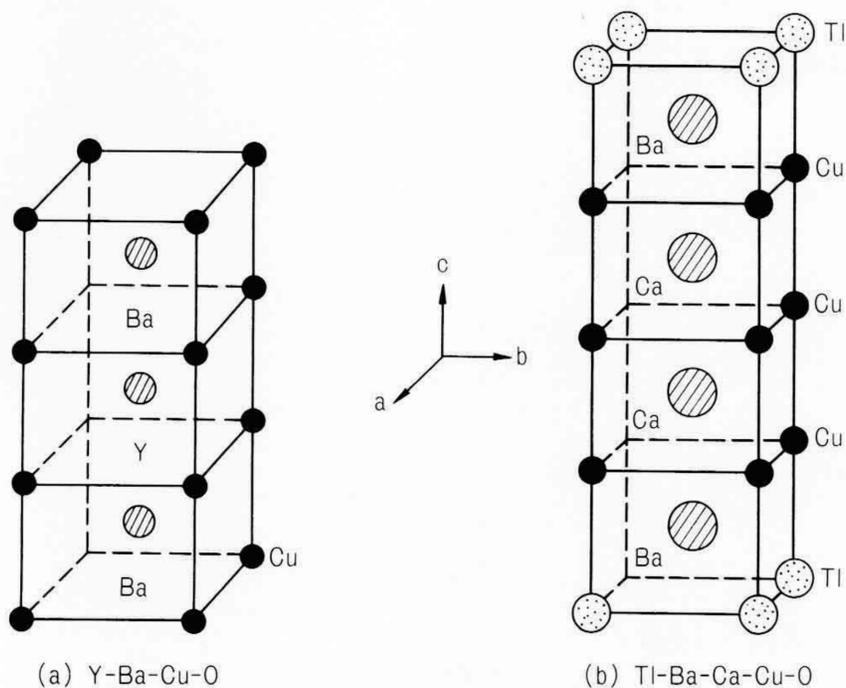


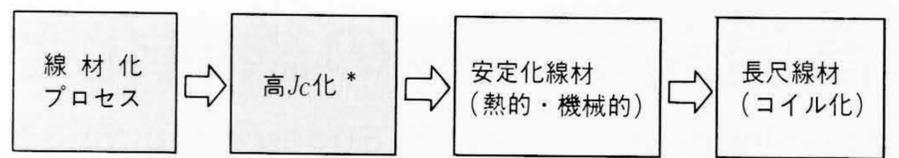
図2 高温超電導体の結晶構造 結晶構造は単位ペロブスカイト構造を積み重ねた層状構造であり、格子定数はa, b軸方向よりもc軸方向に大きい。

本研究は、液体窒素中で作動する超電導マグネットの開発を目標とし、これに使用する線材の要素技術を開発することを目的としている。

線材の開発ステップを図3に示す。線材開発は、従来の超電導線材を開発してきた経緯を参考にすると、(1)線材化プロセスの選定、(2)高 J_c (臨界電流密度)化、(3)熱的・機械的に安定な線材の開発、(4)長尺化とコイル化、の4ステップを踏むと考えられる。現在の線材開発は、プロセス選定と高 J_c 化の両ステップが同時進行している状況にある。

日立製作所で検討している線材化プロセスとその特徴を表2に示す。粉末を機械的に加工して線材を得る伸線-圧延法とドクターブレード法では、量産が容易である。粉末を溶融させて膜状線材を得る溶射法と溶湯急冷法では、緻(ち)密な組織が容易に得られる。基板に成膜して線材を得るスパッタ法、蒸着法およびCVD(Chemical Vapor Deposition)法では、結晶の配向化が容易である。

これらのプロセスのうち、現段階でもっとも進んでいるの



注：* J_c (臨界電流密度)

図3 線材の開発ステップ 金属系超電導線材の開発経緯から、高温超電導線材の開発も図のような4ステップを踏むと考えられる。

表2 線材化プロセス それぞれ特徴のある線材化プロセスが考えられる。

| プロセス | | 特徴 |
|------|----------|--------|
| 粉末加工 | 伸線-圧延 | 量産性 |
| | ドクターブレード | |
| 成膜 | 溶射, 溶湯急冷 | 緻(ち)密化 |
| | スパッタ蒸着 | 配向化 |
| | CVD | |

注：略語説明 CVD(Chemical Vapor Deposition)

は伸線-圧延法であり、この方法による銀被覆テープ状線材では、マグネットを指向した線材として比較的高い J_c が得られている。本論文では、この線材とその高電流密度化について述べる。

2 伸線-圧延法による線材の研究開発状況

2.1 線材化プロセス

伸線-圧延法による銀被覆テープ状線材作製プロセスの概要を図4に示す。銀パイプ(外径6 mm, 内径5 mm, 長さ400 mm)に超電導粉末を充填(てん)し、ドローベンチで約30回伸線し外径2.8 mmまで減面加工した後、ロール圧延して厚さ0.05~0.5 mm, 幅約6 mmの銀被覆テープ状線材に加工する。厚さ0.1 mmの線材の場合で、100回程度の圧延を行う。伸線加工ではスエージャーを適用してもよい。このように加工した線材を焼結処理して超電導線材とし、特性評価に供した。

超電導体としてはY-Ba-Cu-O系材料($T_c = 90 K$)とTl-Ba/Sr-Ca-Cu-O系材料($T_c = 115 K$)を適用した。後者はTl-Ba-Ca-Cu-O系材料のBaの一部をSrで置換することによって

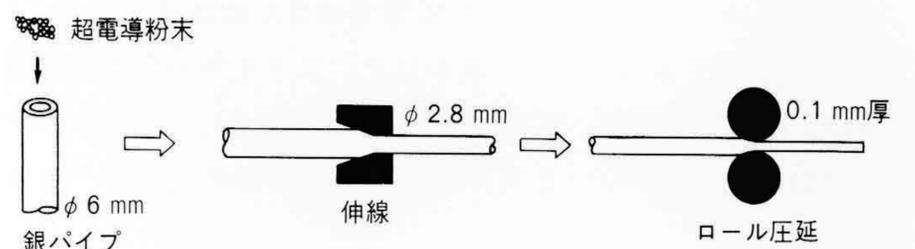


図4 銀被覆テープ状線材の加工プロセス 銀パイプに超電導粉末を充填(てん)し、伸線後圧延してテープ状の線材に加工する。

超電導体積率を向上させた材料である⁸⁾。

線材の外観と横断面を図5に示す。線材の外観形状は均一に加工されている。横断面写真の中心部の黒色部が超電導体コアであり、その周囲の白色部が銀被覆材であるが、いずれも均一な形状に加工されている。また、銀被覆材と超電導体コアの接合状況も良好である。

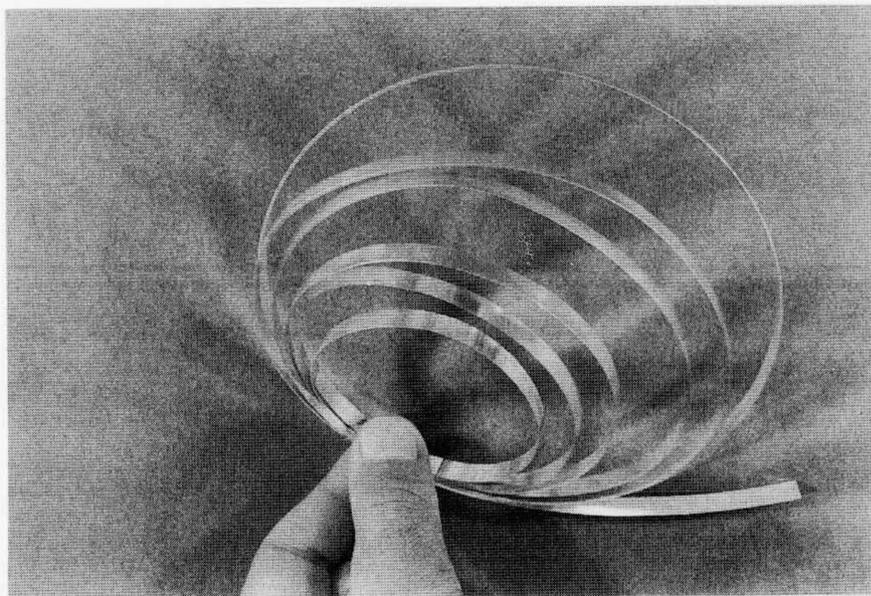
2.2 線材の熱処理条件

Y-Ba-Cu-O系材料を用いた銀被覆テープ状線材は酸素気流中で910℃で5～100時間の熱処理を行った。Tl系材料を用いた銀被覆テープ状線材の場合、焼結温度下でのTl酸化物の蒸気圧が高く、高温長時間熱処理の際にTlが蒸発して、 J_c を低下させる。一例として、Tl-Ba-Ca-Cu-O系を用いた線材での熱処理の温度と時間について検討した結果⁹⁾を図6に示す。

熱処理温度の変化に伴う線材の J_c の変化は、板厚の厚いものではほとんど無視できる程度であるが、板厚が薄くなるに伴い著しくなっており、 J_c は845～860℃程度で極大となっている。845℃以下の温度では超電導体コアの焼結反応が不十分となり、860℃以上ではTlの蒸発が多くなる。そこで、熱処理温度は845℃程度が最適である。同様に熱処理時間についても検討した結果、線材の J_c は2時間程度で極大となった。

2.3 超電導体コアの組織

Y-Ba-Cu-O系材料とTl-Ba/Sr-Ca-Cu-O系材料を用いた銀被覆テープ状線材の超電導体コアに関して、走査電子顕微鏡(日立製作所製S-800)で撮影した組織写真を図7に示す。線材のテープ面での銀被覆材の一部を機械的にはがすことによ



(a) 外観

(b) 横断面

図5 線材の外観および断面 銀被覆テープ状線材は均一に加工されており、銀被覆材(白色部)と超電導体コア(内部の黒色部)もよく接合されている。

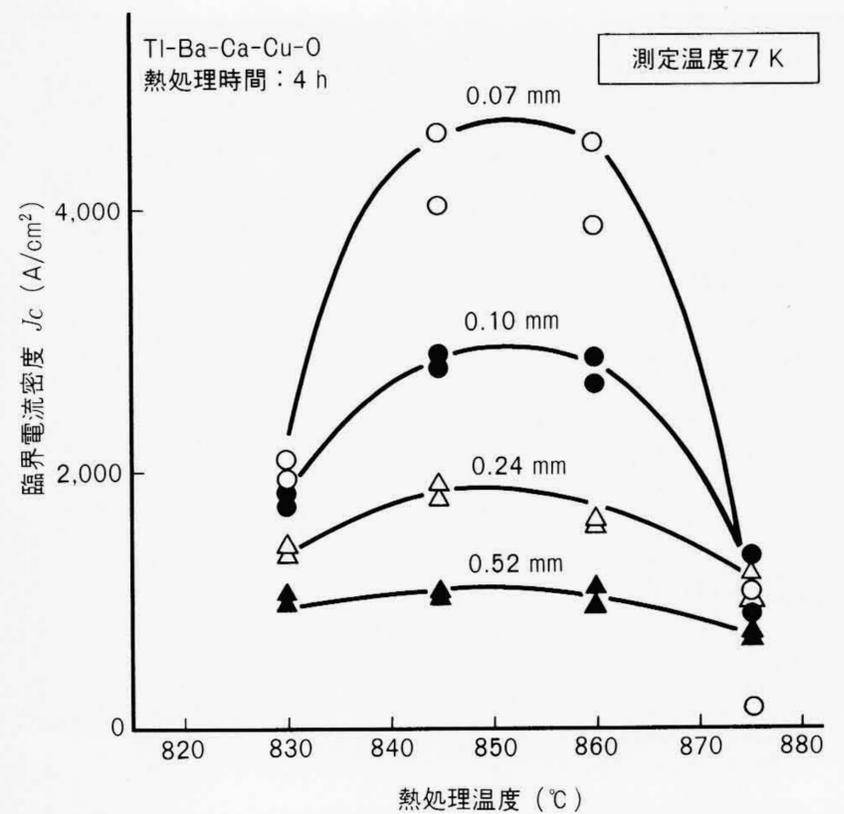


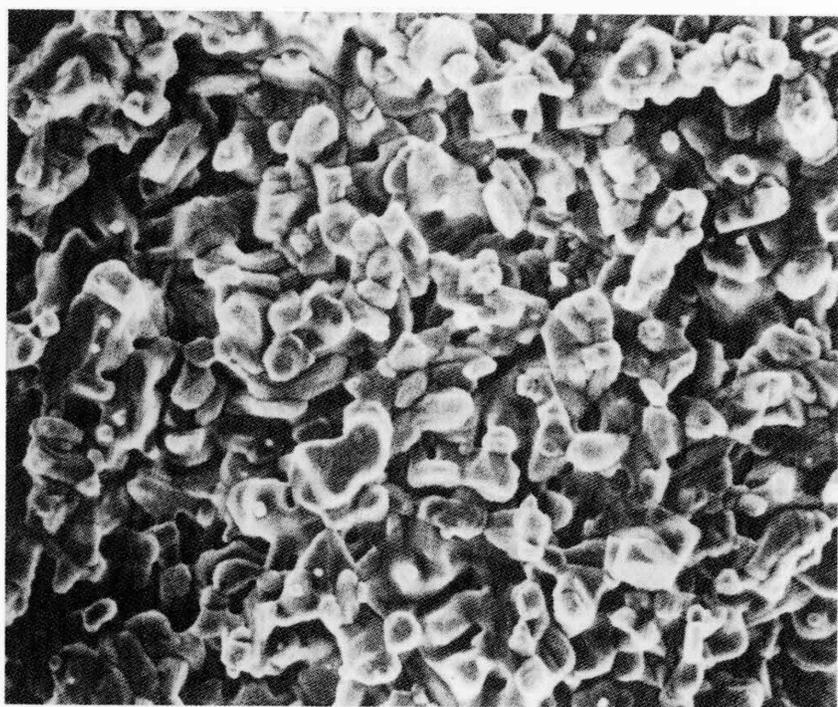
図6 Tl系線材での臨界電流密度と熱処理温度の関係 板厚の薄い線材では、 J_c が熱処理温度によって大きく変化する傾向にある。

って、露出した超電導体コアを観察したものである。

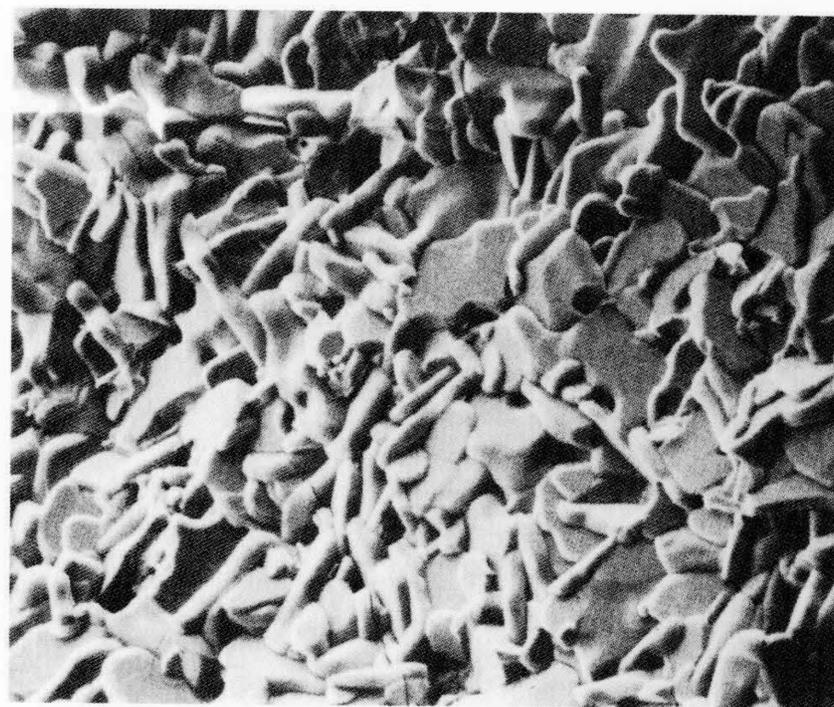
Y-Ba-Cu-O系材料を用いた線材の場合、板厚0.5 mmでは超電導体は粒状の結晶で構成されており、多くの空隙(げき)が認められる。一方、板厚0.06 mmの線材の場合、超電導体は板状の結晶で構成されており、空隙はほとんど認められない。超電導体コアの密度は圧延前の線材で5.4 g/cm³、板厚0.5 mmの線材で5.7 g/cm³、板厚0.06 mmの線材では5.9 g/cm³であった。したがって、圧延の進行とともに超電導体コアの緻密化が進んでいることがわかる。さらに、板厚の薄い線材の板状結晶では、その板面が線材のテープ面(紙面に平行)に平行なものも多く認められ、この線材では結晶が配向している可能性を示唆する結果である。同様の傾向がTl-Ba/Sr-Ca-Cu-O系でも認められる。

2.4 超電導体コアでの結晶配向度

長尺線材を考慮する場合、単結晶の超電導体を全長にわたって形成させるのは困難であり、多結晶の超電導体としての線材化は避けられない。この場合、前述したように、高温超電導体の導電性が2次的であるので、結晶の配向度は線材の J_c を左右する重要なパラメータである。銀被覆テープ状線材の場合、高温超電導体が異方性の強い結晶構造を持っているので、圧延加工によって超電導粉末の粒子がC面でへき開破壊して再配列する結果、超電導体コアには図7に示したような結晶配向が生ずると期待できる。そこで、中性子線回折法を適用して、線材の超電導体コアでの結晶配向度の評価を試みることにした。X線回折法は10 μm程度の透過性しかなく配向度の情報が局所的であるが、中性子線回折法は線材を容易に



(a) Y-Ba-Cu-O, 板厚0.5 mm

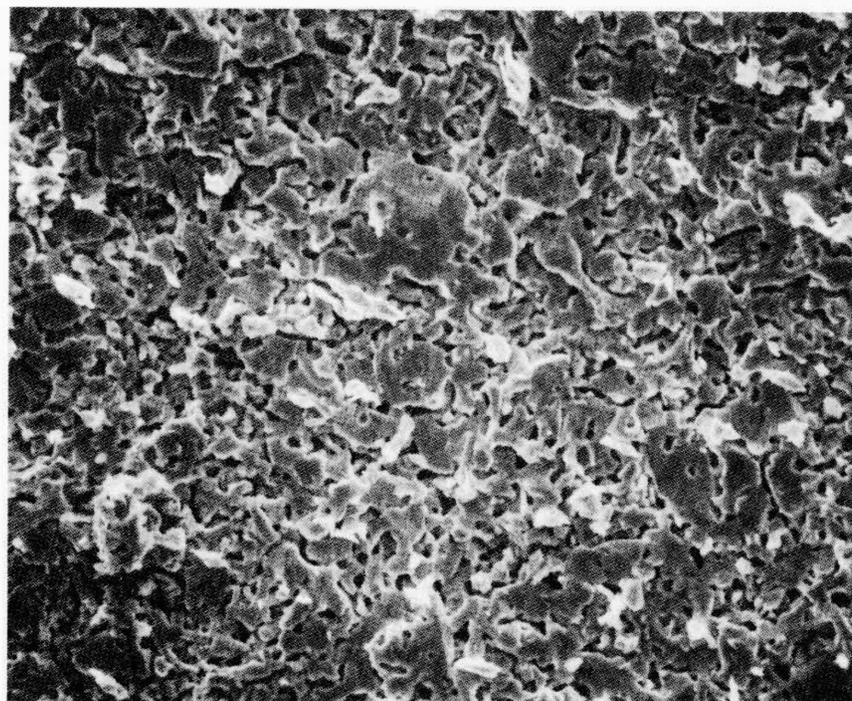


(b) Y-Ba-Cu-O, 板厚0.06 mm

10 μm



(c) Tl-Ba/Sr-Ca-Cu-O, 板厚0.5 mm



(d) Tl-Ba/Sr-Ca-Cu-O, 板厚0.07 mm

図7 銀被覆テープ状線材での超電導体コアのSEM(Scanning Electron Microscope)像 銀被覆材をはがすことによって、露出した超電導体を撮影した組織を示す。板厚の薄い線材では、緻密化と同時に板状結晶が成長している。

貫通するほどの透過性を持っており、試料全体についての平均的な配向度の情報を得ることができるという特長がある(なお、本評価は日本原子力研究所との共同研究によって進めたものである)。

2.4.1 中性子線回折法による結晶配向度の評価¹⁰⁾

中性子線回折法による結晶配向度の測定方法と測定結果の一例を図8に示す。テープ状線材の試験片を約100枚束ねた試料を回転させながら、中性子線を入射し、結晶の(001)面からの回折線だけをカウントする方法(結晶回折法)で、回転角度に対する回折強度の曲線を取り、この曲線の広がりから結晶の配向度を決定することができる。この際、銀の中性子吸収断面積(Y: 1.3×10^{-24} , Ba: 1.2×10^{-24} , Cu: 3.8×10^{-24} , O: 1.9×10^{-28} に対してAg: $6.3 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$)が大きい

ために、試料の回転速度を極度に遅くして積分強度を大きくすることが必要である。1回の測定に要する時間は約10時間である。

図8中の曲線は回転角度に対しておおむね正規分布している。まったく結晶配向していない試料で測定すると、回折強度は回転角度に対して一定値となり、曲線は横軸に平行な直線となる。逆に、よく配向した試料では鋭いピークを持つ分布が得られる。そこで上述した正規分布の標準偏差 σ を用いて配向度を定量的に評価できる。

測定した銀被覆テープ状線材では $\sigma = 27^\circ$ であり、テープ面に沿ったC軸の結晶配向が得られていることがわかる。この場合、曲線がほぼ正規分布をなしているため、結晶の(001)面が銀被覆材のテープ面に対して角度 $\pm \sigma$ の範囲に確率約70%で配向

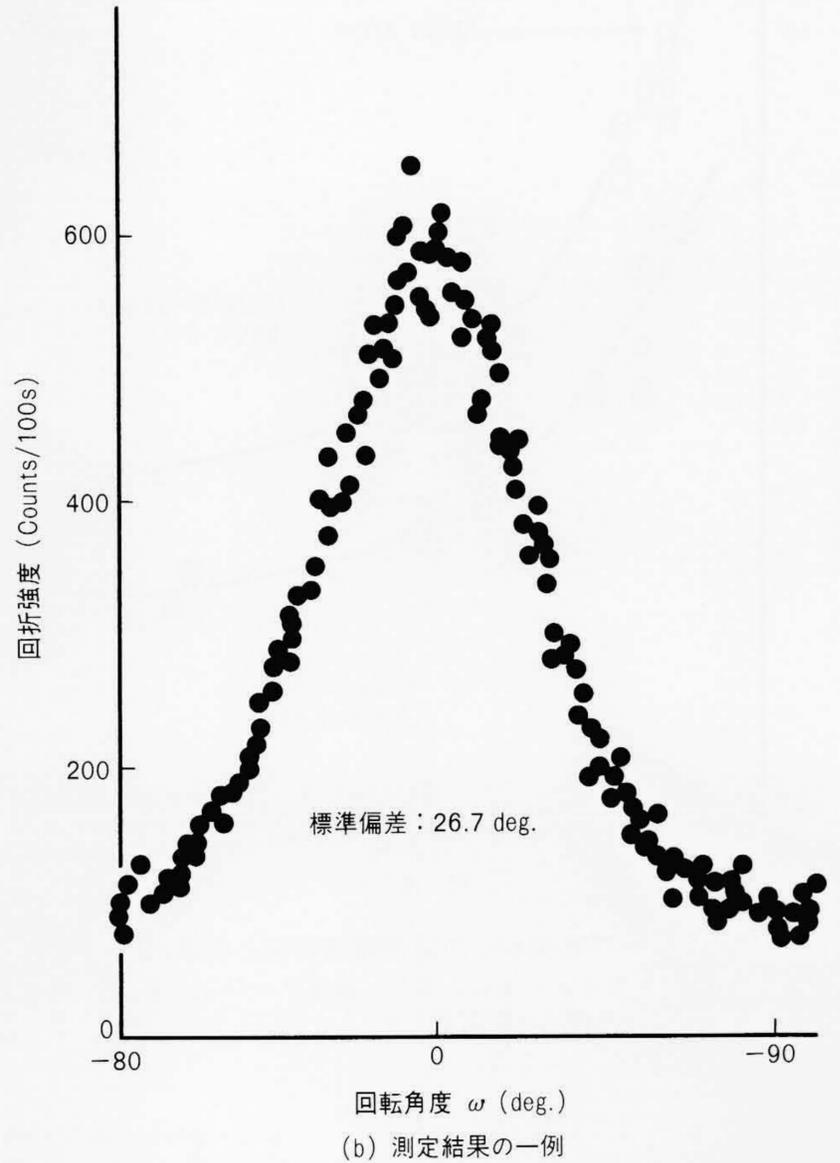
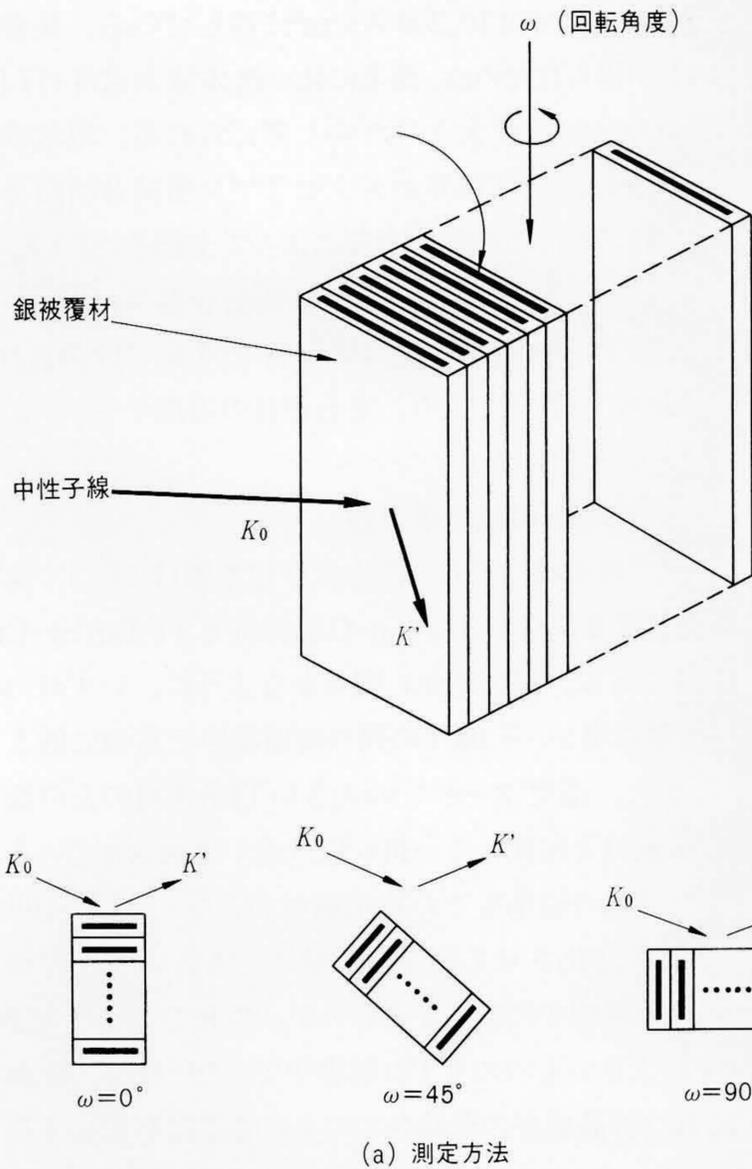


図8 中性子回折法による結晶配向度の評価 束ねた線材試料をゆっくり回転させながら、中性子線を入射させ、回折強度を測定する。回折強度は回転角度に対してほぼ正規分布し、その標準偏差を用いて結晶配向度を定量的に評価できる。

していると判定できる。

2.4.2 結晶配向度と線材化プロセスの関係

銀被覆テープ状線材の超電導体コアでの結晶配向度と線材化プロセスの関係を図9に示す。同図から、圧延のままでも $\sigma \approx 35^\circ$ 程度の結晶配向が得られており、その後の熱処理で結晶配向は促進される。促進の程度は板厚の薄い線材ほど大きい傾向にある。これは熱処理によって結晶が成長する際、銀被覆材のテープ面に沿って結晶成長しやすくなるためと考えられる。

2.5 銀被覆テープ状線材の臨界電流密度

上述したような特長を持つ銀被覆テープ状線材の臨界電流密度 J_c について以下に述べる。 J_c は四端子法で測定し、 $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ の電圧発生時の電流密度として定義した。

2.5.1 零磁場での臨界電流密度

Y-Ba-Cu-O系とTl-Ba/Sr-Ca-Cu-O系の銀被覆テープ状線材の零磁場での J_c と板厚の関係を図10に示す。同図によれば、いずれの材料を適用した線材でも、板厚の減少に伴って J_c は著しく上昇する傾向にある。これは上述した超電導体コアでの緻密度と結晶配向度による変化と対応している。もっと

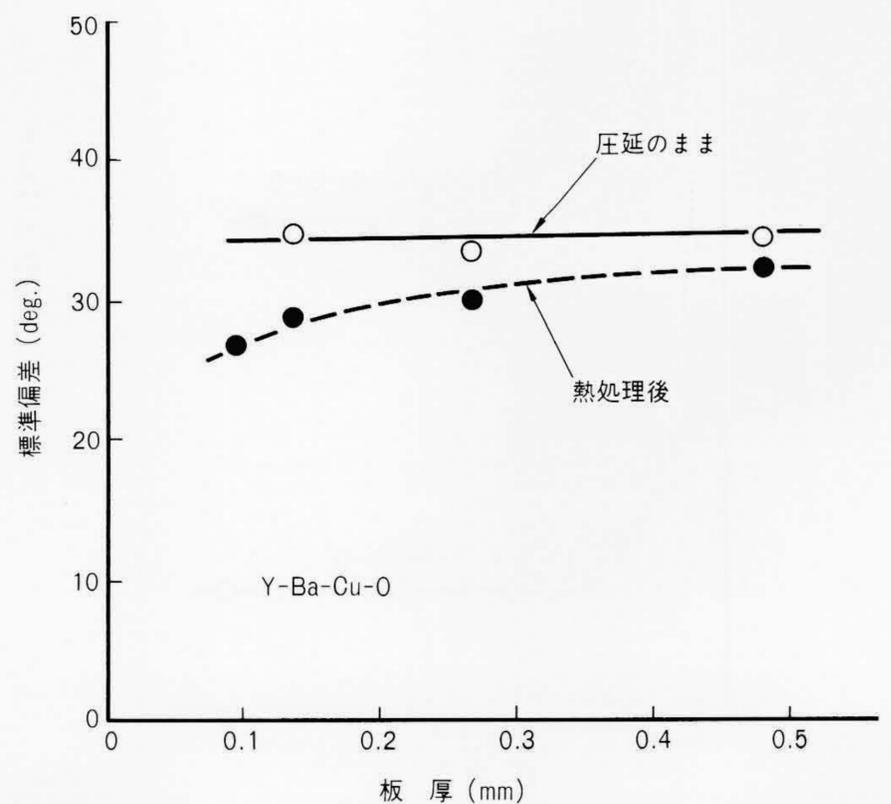


図9 銀被覆テープ状線材の結晶配向度と線材化プロセスの関係 結晶は圧延のままでもある程度配向しているが、熱処理によって配向化が促進され、その程度は板厚の薄い線材のほうがやや大きくなる。

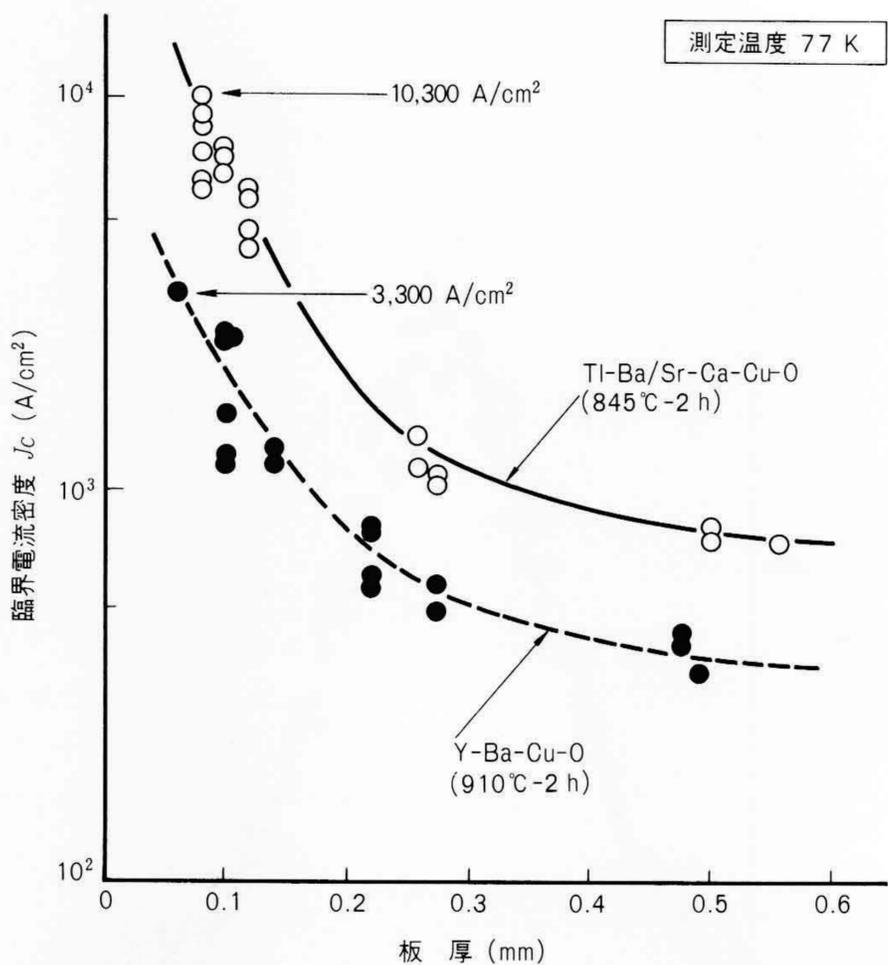
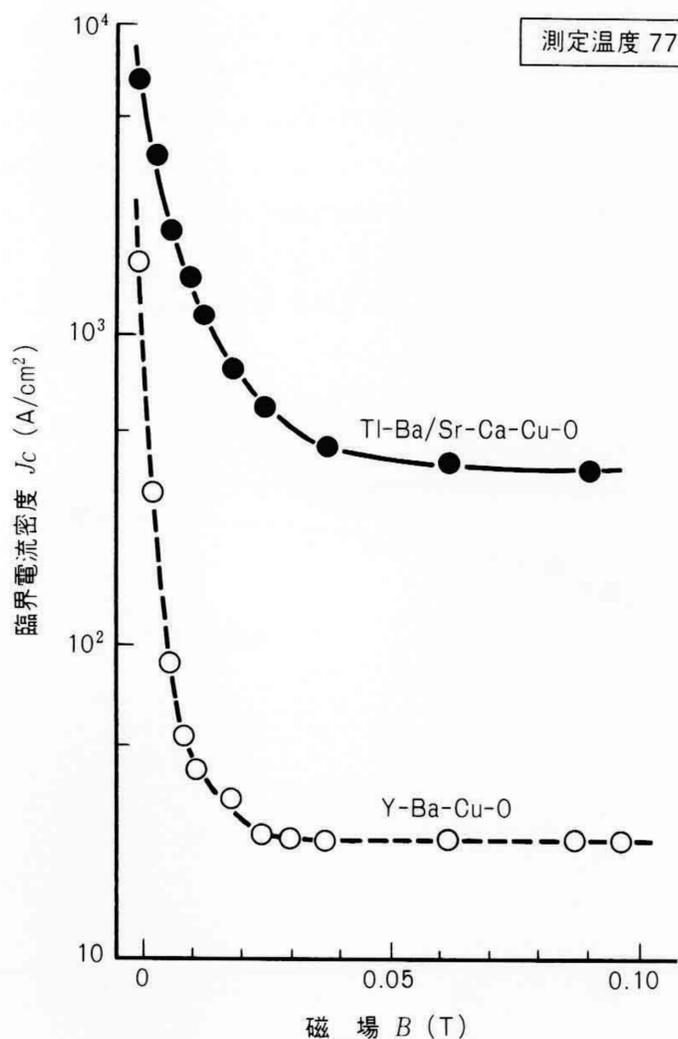


図10 銀被覆テープ状線材での臨界電流密度と板厚の関係 線材の J_c は板厚が薄くなるとともに上昇し、温度マージンの大きいTI系線材により世界で初めて 10^4 A/cm 2 に達した。

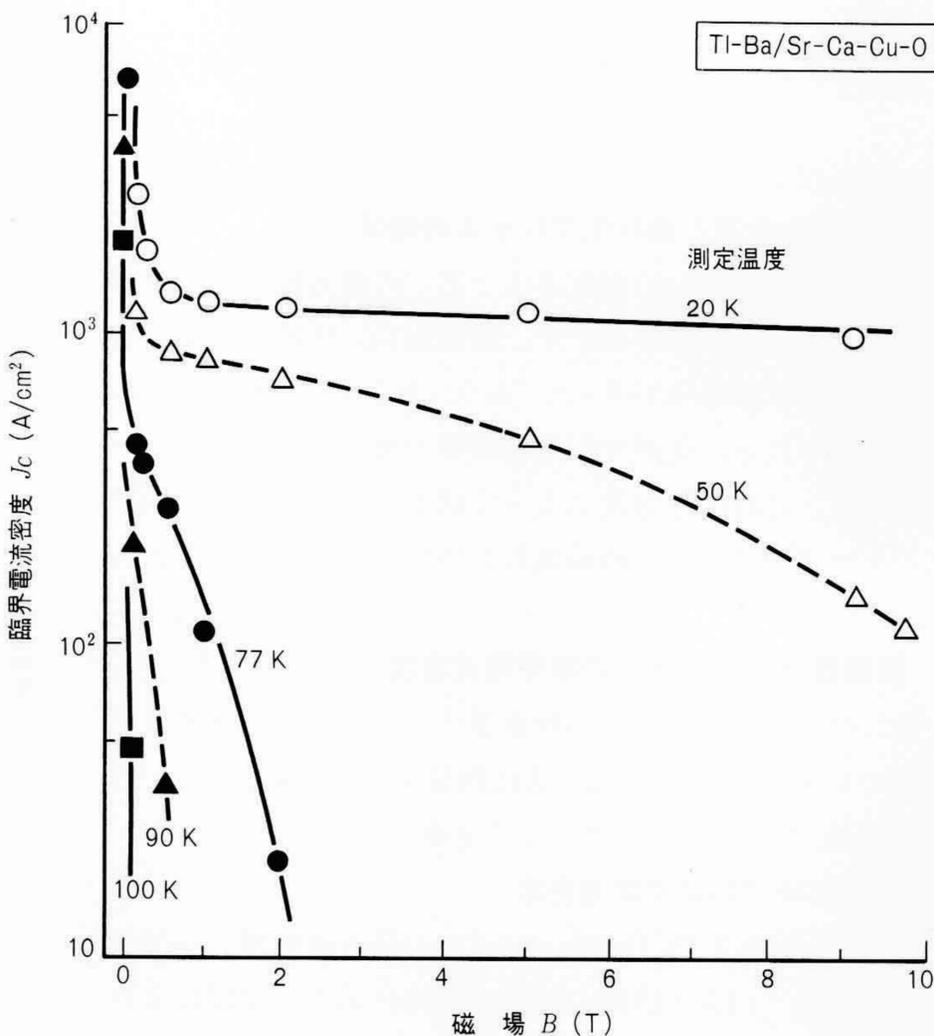
も薄い線材で、Y-Ba-Cu-O系では $3,300$ A/cm 2 に、TI-Ba/Sr-Ca-Cu-O系線材では $10,300$ A/cm 2 に達している。後者の線材で高い J_c が得られたのは、前者に比べ液体窒素温度(77 K)に対する温度マージンが大きいと考えられる。現状の高温超電導線材では、結晶粒界がジョセフソン弱結合状態となっており、線材の J_c はこの弱結合部によって支配されている。測定温度が臨界温度より低くなるほど、弱結合部の J_c は高くなる¹¹⁾。臨界温度 T_c は、Y-Ba-CuO系材料で90 K、TI-Ba/Sr-Ca-Cu-O系材料で115 Kであり、それぞれの温度マージンには13 Kと38 Kという差がある。

2.5.2 臨界電流密度の磁場依存性

銀被覆テープ状線材での J_c の磁場依存性を図11に示す。線材に適用した超電導体はY-Ba-Cu-O系材料とTI-Ba/Sr-Ca-Cu-O系材料である。同図(a)から明らかなように、いずれの線材でも、 J_c は零磁場から0.05 Tの間の弱磁場中で急激に低下している。しかし、温度マージンの大きいTI系線材の J_c の低下割合は、Y系線材と比較して一桁(けた)近く改善されている。同図(b)は9 Tまでの磁場中でのTI系線材の J_c を、温度を100 Kから20 Kの間で変化させて測定した結果である。77 Kでの J_c は2 T以下の磁場中での低下が著しいが、20 Kでの J_c は弱磁場中での低下は大きいものの9 Tの磁場中でも 10^3 A/cm 2 とかなり高い。これは結晶粒界の弱結合での J_c の温度依存性によるも



(a) 弱磁場中での J_c 変化



(b) 強磁場中での J_c 変化とその温度依存性

図11 銀被覆テープ状線材の臨界電流密度の磁場依存性 弱磁場中での J_c は、温度マージンの大きいTI系線材のほうが高い。この線材の20 Kでの J_c は、9 Tの磁場中でも 10^3 A/cm 2 に達している。

弱磁場中での J_c は、温度マージンの大きいTI系線材のほうが高い。この線材の20 Kでの J_c は、9 Tの磁場中でも 10^3 A/cm 2 に達している。

のと考えられる。

3 今後の展開

磁場中の J_c に関する高温超電導線材と金属系超電導線材の比較を図12に示す。金属系超電導線材の4.2 Kでの J_c が10 Tの磁場中でも 10^4 A/cm²以上の高い値であるのに対して、現状の高温超電導線材の77 Kでの J_c は、もっとも改善されたTl系線材でも0.1 Tの磁場中で 10^3 A/cm²と低い。高温超電導線材を実用化するためには、磁場中の J_c を大幅に改善する必要がある。

磁場中の J_c の急激な低下は、(1)粒界部が弱結合となっていること、(2)ピン止め力[※]が小さいことによるものと考えられる。前者については、結晶配向化などの粒界制御技術の開発が必要である。後者については、析出物の微細分散などの組織制御技術の開発が必要である。いずれもブレークスルーを必要とする技術であるが、今後はこれらの技術を開発して磁場中の J_c を高め、液体窒素冷却で作動する超電導マグネットへの展開を目指していきたい。

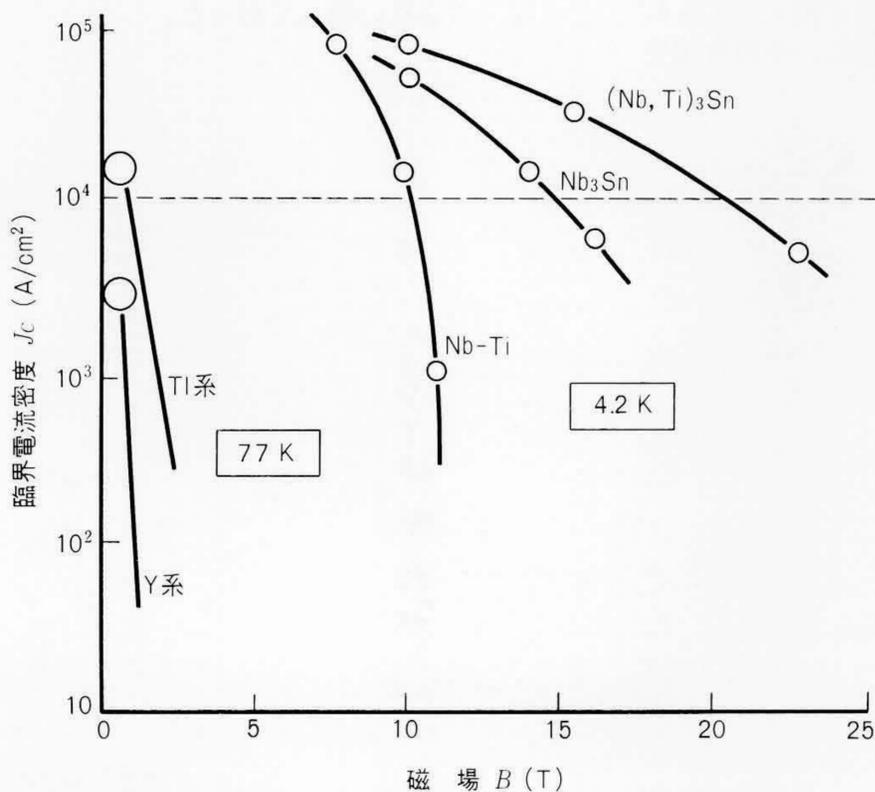


図12 従来の超電導線材と J_c の比較 高温超電導線材の磁場中 J_c は、従来の超電導線よりはるかに低い現状にあり、これを改善することが今後の重要な研究課題である。

※) ピン止め力：高温超電導体は第二種超電導体であり、量子化された磁束(フラクソイド)が内部に侵入する。この磁束が電流との相互作用で生ずるローレンツ力によって移動すると、電圧を発生し超電導が破壊される。そこで、従来の超電導体では微細析出物や結晶粒界などの欠陥を導入して磁束を固着している。これらの欠陥をピン止め点と言い、固着力をピン止め力という。高温超電導体の場合、このピン止め点として何が有効かまだ明らかでない。

4 結 言

長尺化に優れた伸線-圧延法による銀被覆テープ状線材を開発し、高電流密度化を進めてきた結果を以下に要約する。

- (1) 超電導体コアでの緻密度と結晶配向度は、線材の板厚の減少とともに向上し、これに伴い線材の J_c も上昇する。
- (2) 超電導体積率を向上したTl-Ba/Sr-Ca-Cu-O材料を適用したテープ状線材で、 $J_c = 10^4$ A/cm² (77 K, 零磁場)を達成した。
- (3) 現状の線材の J_c は磁場中で急激に低下するので、これを改善することが今後の重要な研究課題である。

本研究の一部は、日本原子力研究所との共同研究で行われたものである。中性子線回折法による結晶配向度の評価についてご指導いただいた日本原子力研究所船橋 達理学博士、森井幸生理学博士および固体物理第3研究室の各位に対し感謝する次第である。

参考文献

- 1) J. G. Bednorz, et al.: Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-CuO System, *Z. Phys. B*, **64**, 189 (1987)
- 2) S. Uchida, et al.: High T_c Superconductivity of La-Ba (Sr)-Cu Oxides, *Jpn. J. Appl. Phys.* **26**, L196(1987)
- 3) M. K. Wu, et al.: Superconductivity at 93K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 908(1987)
- 4) H. Maeda, et al.: A New High T_c Oxide Superconductor without Rare Earth Element, *Jpn. J. Appl. Phys.* **27**, L 209(1988)
- 5) Z. Z. Sheng, et al.: Bulk Superconductivity at 120K in the Tl-Ca/Ba-Cu-O System, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 937 (1988)
- 6) 北沢, 外: 酸化物高温超電導体の構造と物性, *応用物理*, **57**, p.1644(1988)
- 7) T. K. Worthington, et al.: Anisotropic Nature of High-Temperature Superconductivity in Single-Crystal $Y_1Ba_2Cu_3O_7$, *Phys. Rev. Lett.* **59**, p.1160(1987)
- 8) 加茂, 外: タリウム系超電導体の合成と結晶構造, *日立評論*, **71**, 7, 657~663(平1-7)
- 9) M. Okada, et al.: Ag-Sheathed Tl-Ba-Ca-Cu-O Superconductor Tape with $T_c \sim 120$ K, *Jpn. J. Appl. Phys.* **27**, L2345(1988)
- 10) M. Okada, et al.: Neutron Diffraction Study on Preferred Orientation of Y-Ba-Cu-O Superconductor Tape with $J_c = 1,000 \sim 3,000$ A/cm², *Jpn. J. Appl. Phys.* **27**, L1715 (1988)
- 11) J. Mannhart, et al.: Critical Current in (001) Grains and across their Tilt Boundaries in $YBa_2Cu_3O_7$ Films, *Phys. Rev. Lett.* **61**, p.2476(1988)

外乱に対して安定な学習機能をもつファジィコントローラ

日立製作所 丹治順一・木下光夫

計測自動制御学会論文集
23, 12, 1296~1303(昭62-12)

ファジィ制御は運転の自動化に有効な制御方式として、各種動的システムに応用が試みられている。しかし、制御性能向上のためには、制御ルールの学習方法および学習の際の外乱の影響の除去方法が課題であった。これらの課題を解決するため、本論文ではモデル規範形適応制御系の設計方法に基づいて導出した学習機能付きファジィコントローラを提案した。その特徴は、制御の性能評価値への外乱の影響を推定して制御ルールを修正するとともに、実際に使用された制御ルールだけでなく、これに使用条件が類似したルール群を合わせて修正することである。原子力プラントの圧力制御系を対象としたシミュレーションで性能を評価した結果、外乱が多い環境下でもルールを的確に学習できること、および原子炉出力が異なる運転条件下でも一様に安定な制御特性が得られることを確認した。

会話型評価と自動評価による画像処理手順のプロダクションシステム

日立製作所 折田三弥彦・名古屋大学
鳥脇純一郎・他3名情報処理学会論文誌
29, 2, 105~113(昭63-2)

画像パターン認識技術を用いて、製品検査や監視などを自動化しようという試みが盛んである。しかし、画像処理の手順開発では専門知識が多分に要求され、開発に過大な時間を要してしまうという不満が多い。そこで、専門家の代わりにユーザーと対話して画像処理の手順が生成できるような、いわゆる画像処理エキスパートシステムが期待されるようになってきた。

本論文では、そのような画像処理エキスパートシステムの手順推論の高速化と柔軟性の向上について検討し、画像処理の個々の基本手法に関する知識だけを用いて手順を柔軟に生成するプロダクションシステムを提案した。さらに、システムからの問い合わせに答えながら認識対象の輪郭図形などを画面で例示するという新しい対話方法を提案し、その有用性を示した。

知識ベースシステム構築用ツールEUREKAにおける高速処理方式

日立製作所 田野俊一・増位庄一・他2名

情報処理学会論文誌
28, 12, 1255~1268(昭62-12)

高記述性・高速性を特徴とする知識ベースシステム構築用ツールEUREKAを開発した。本論文では、知識ベースシステムをリアルタイム性の要求される分野へ適用する場合にもっとも重要となる高速推論方式を示した。

従来の高速アルゴリズムである弁別ネットワークを用いた方式の問題点を抽出し、その解決策として、(1)新たなノードを導入したネットワーク構造、(2)ノードの特性によりネットワークを変形・分割・統合する方法、(3)ネットワークの情報更新を効率よく行う方法を提案した。

本方式の性能評価を、(1)実システムでの有効性の確認、(2)ルールオブジェクトの記述モデルから得られる理想的なルール数と推論速度の関係を満たすことを実証、の2点に関して行った。