

Bi-2223 テープ線材における加圧焼結処理による影響の評価

松下研究室 姫田佳子

はじめに Bi-2223はアスペクト比の大きい a 、 b 軸方向に成長した板状結晶で、圧延などの機械的処理によって容易に配向することから、超伝導テープ線材に適した材料であると言える。しかし、現在のテープ線材の性能は十分なものとは言えず、実際の応用のためには更なる線材の特性改善が必要とされている。そこで、本研究ではPIT法における焼結プロセスに一般的な大気圧焼結処理がなされた試料と特性改善を目的として加圧焼結処理がなされた試料の比較を行うことによって、加圧焼結処理が超伝導特性にどのような影響を与えているかを評価する。また、塑性加工時に生じるフィラメントのソーセージングによる影響の修正とBi-2223の結晶構造による二次元的な異方性が影響を与えていると考えられる J_c の磁界印加方向についての異方性の評価を行う。フィラメントのソーセージングによる影響については超伝導フィラメントの厚さを測定し、フィラメントの厚さの分布と見掛けのピン力の分布との比較から、ソーセージングをなくしたときの真のピン力の分布を求める。また、 J_c の磁界印加方向についての異方性の評価は印加磁界をテープ面に平行及び垂直の二通りの場合で四端子法および磁化法による J_c の値を求め、比較を行う。また、四端子法においては磁界印加角度をテープ面に対し平行と垂直以外の場合の角度においても測定を行った。

実験 試料は、住友電気工業(株)から提供されたPIT法により作製されたBi-2223銀シース多芯線材で、大気圧焼結処理と加圧焼結処理をした二種類である。臨界温度 T_c は両試料において109 Kで、77.3 Kの自己磁界中での臨界電流 I_c は加圧焼結処理がなされた試料1が87 A、大気圧焼結処理がなされた試料2は79 Aであった。テープの長さ方向に沿った断面の様子を光学顕微鏡によって観察し、超伝導フィラメントの厚さをテープの長さ方向に沿って7.5 μm 間隔で測定し、厚さの分布を得た。また、Bi-2223銀シーステープ線材の E - J 特性を評価するために、通電法である四端子法(抵抗法)を用いた。この測定法では、磁界印加角度を変化させるために、磁界の印加方向を θ° 傾けて行った。磁界がテープ面に平行方向の場合を $\theta = 0^\circ$ 、垂直方向の場合を $\theta = 90^\circ$ とした。臨界電流密度は $E = 1.0 \times 10^{-4}$ V/mの電界基準で決定した。更に磁氣的測定としてSQUID磁力計を用いて、 E - J 特性を評価するために磁化緩和法を用い、 J_c を評価するために磁化のヒステリシスの測定を行った。また、真の異方性の測定のために試料1、2に対して金槌を用いて試料全体を隈無く叩き、フィラメントの結合を破壊した。このときの磁界の印加方向はテープ面に平行と垂直の二通りであった。

結果及び検討 図1はテープの長さ方向に沿って光学顕微鏡で観測した試料1の超伝導フィラメントの厚さの分布である。図のヒストグラムは実線の平均値(d) = 8.9 μm 及び標準偏差 $\sigma_d = 8.1 \mu\text{m}$ のWeibull分布によって近似できる。同様に試料2では(d) = 13.7 μm 、 $\sigma_d = 13.7 \mu\text{m}$ のWeibull分布によって近似できる。クリープがないとした場合の有効な仮想臨界電流密度 \hat{J}_{c0} を定義し、その大きさを表すパラメーター \hat{A} の簡単な分布を仮定し、 E - J 曲線の測定値とモデルによる理論値が一致するよう

にしてその分布を求めた。一般に有効な大きさ \hat{A} は真の大きさ A と厚さ d の両方に比例するので、 $(d/\langle d \rangle)A$ に対応すると考えられる。ここで A に \hat{A} と同様な分布関数形を仮定した。真のピン力の大きさ A の分布と見かけの大きさ \hat{A} の分布の比較を行うと、真の A の分布はソーセージングによる影響を受けたものより多少シャープであることがわかった。

テープ面に対する磁界印加方向が平行(0°)の場合の $J_c(0^\circ)$ と垂直(90°)の場合の $J_c(90^\circ)$ の比をとることによって、異方性を調べた。図2にSQUIDで得られた J_c - B 特性から金槌で叩かれた試料と叩かれていない試料の異方性の磁界依存性を示す。叩かれていない試料の場合、高磁界側において試料1に対し試料2の方が異方性が大きいことがわかる。しかし、この異方性の変化は試料2の $J_c(0^\circ)$ の値が向上したことによって起った訳ではなく、 $J_c(90^\circ)$ の値が低下したことによると思われる。また、叩かれていない試料の場合、試料1と試料2の異方性は高磁界側で顕著に違いが出てきているのに対し、叩いた試料においては試料1と試料2の異方性は高磁界側でもほぼ一致しており、試料1と試料2の焼結プロセスの違いによる異方性に対する影響の違いがなくなっていると考えられる。

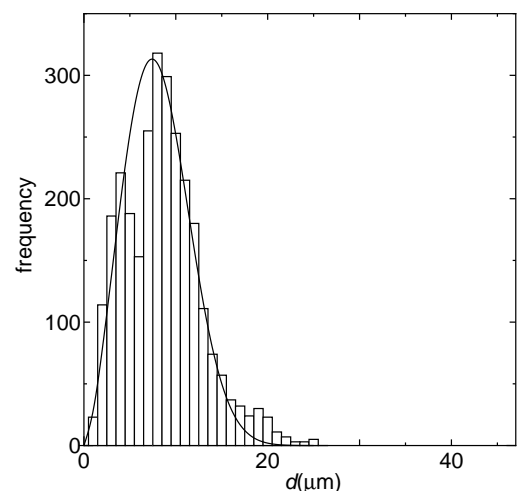


図1 加圧焼結処理がなされた試料の超伝導フィラメントの厚さの分布

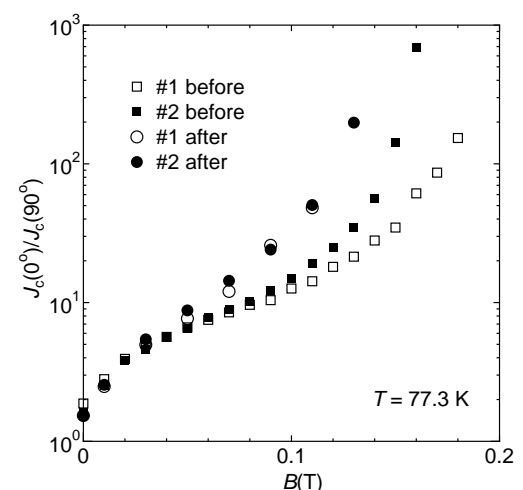


図2 異方性の磁界依存性