

DI-BSCCO テープ線材の臨界電流の応力/ひずみ特性

Stress/strain dependence of critical current in DI-BSCCO tape

岩手大・工
住友電工

東北大金研・強磁場センター

笠場孝一、佐藤 雅史、廣内 悟
山田 雄一

西島 元、淡路 智、渡辺 和雄

K. Kasaba^A, M. Sato^A, S. Hirouchi^A, Y. Yamada^B

H. Nishijima^C, S. Awaji^C and K. Watanabe^C

^A Faculty of Engineering, Iwate University

^B Sumitomo Electric Industries, Ltd.

^C Institute for Materials Research, Tohoku University

1. 緒言

ビスマス系酸化物超電導線材である DI-BSCCO (Dynamically Innovative BSCCO) は、加圧雰囲気下での焼成により超電導フィラメントの密度を高め、酸化物超電導体に避けられない内部欠陥の発生を極限にまで防いだテープ線材である。そのため高臨界電流密度が実現し様々な超電導機器への応用が期待されている。

本研究では実用上欠かせない、臨界電流の応力/ひずみ依存性を引張試験、圧縮試験で測定した。引張試験(図1:磁場は左下のように a, b 軸と平行), 圧縮試験を 77K での測定に加え、4.2K で 14.5T の環境中での測定を行い、既存の Nb₃Sn 線材との比較も行った。

2. 実験

試料は、住友電工で製造された DI-BSCCO TypeS 線材で幅 2.6mm, 厚さ 0.18mm である。小電流での使用を想定し、77K での臨界電流は約 70A となっている。このシリーズには、同じ構成の線材をサイズを倍にすることで臨界電流を 140~170A とした Type H 線材がある。また強度を補う上で SUS304 や銅合金をラミネートした線材もあるが、本研究では基本要素となる補強のない線材を評価する。

DI-BSCCO 線材は 77K での使用はもちろんのこと、既存の Nb₃Sn 線材の代替としての役割も期待されている線材である。よって 4.2K, 14.5T の環境中에서도試験を行った。上記のすべての試験において、臨界電流 I_c は 4 端子法で、1μV/cm の規準で測定した。

3. 結果と考察

図 2 に各試験環境における引張試験の結果を示す。測定途中もしくは最後に除荷をし、その除荷後にも測定を行ったが、それを黒塗りで表す。図には参考に直径 1mm の Cu-Nb₃Sn 超電導線材の実験結果を点線で併記する。DI-BSCCO 線材は、77K, 0T では 0.25% 程度までのひずみでは I_c の劣化はほんのわずかであった。この線材は顕著な I_c の劣化を示す以前に破断したが、同じ線材で 0.2% 以上のひずみに対して、破断前に I_c が急激に劣化するものもあった。

金属系超電導線材は、引張によって I_c の劣化が見られても除荷することである程度回復する。参照する直径 1mm の Cu-Nb₃Sn は、ひずみが 0.8% 以内であれば、除

荷後の I_c はほぼもとの値に回復し、可逆的な特徴を示していた。しかし DI-BSCCO 線材では一旦劣化しだすと、除荷をしても I_c は回復せず不変である。このことより DI-BSCCO 線材の I_c の劣化はき裂などの不可逆な欠陥に依存したものであると言える。言い換えれば、負荷を受けても線材内に欠陥が発生していない健全な状態であれば、I_c の劣化はほとんどないと言える。

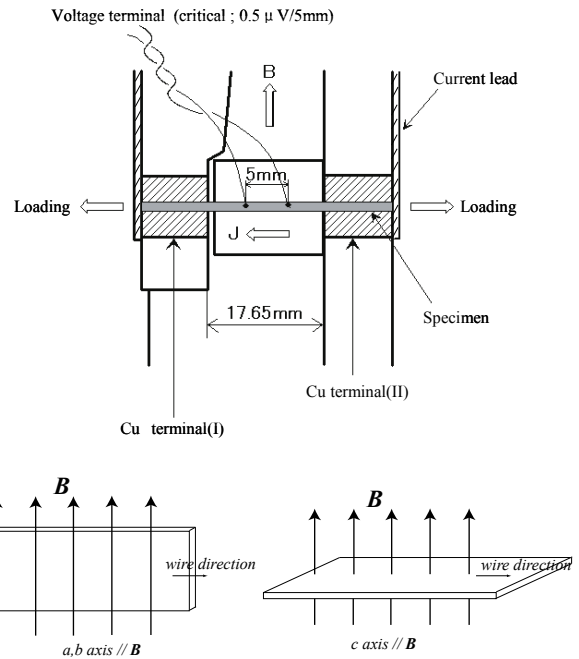


Fig.1 Schematic view of tensile test and the direction of magnetic field

劣化傾向は、あるひずみを境に急激に劣化する 77K での結果と、低いひずみから徐々に劣化する 4K 磁場環境中での結果は異なっていた。上述したような不可逆性により、どちらも欠陥に依存した劣化であると思われる。しかし 4K 磁場環境中の劣化は、き裂などのマクロ的な損傷が発生すると思われるひずみ値を待たずに起こっている。よって、これは磁場と力学的負荷の相乗作用によって起こる BSCCO の不可逆的な例えば組織配向のずれなどがその原因ではないかと思われる。

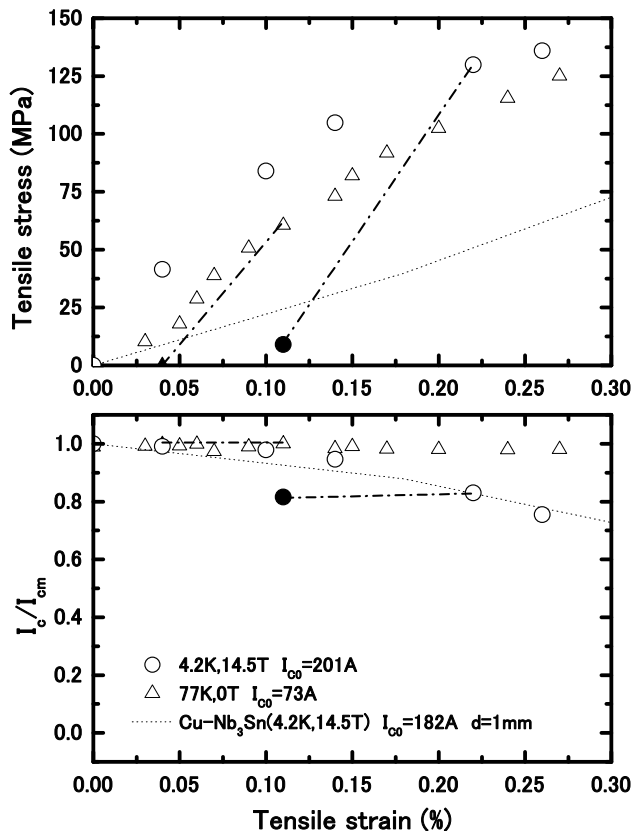


Fig.1 Stress-strain curve and tensile strain dependence of DI-BSCCO tape.

ビスマス系超電導体は ab 面への配向性に優れていることからテープ線材としての応用が可能になったものであるが、例えばこの組織配向に何らかの不規則性を与える要因が加わることで劣化が進むことが考えられる。D Uglietti[1]らは同じ酸化物超電導線材である Y-123 コーテッド導体を用いて、磁場環境下での臨界電流のひずみ依存性を調べており、その超電導層の粒子の配向角のずれが 4° 以上の weak links な組織は高磁界下で電流伝導性を失っているとしている。磁場環境下の BSCCO にひずみを与えることによって、マイクロ組織的な変化が加わり、それが低いひずみからの不可逆的挙動につながっている可能性がある。以上の結果は線材に対して、磁場の向きが平行、つまり a,b 軸に平行になっている今回の試験の場合の結果であり、今後より劣化しやすいと思われる、図1の右下に示した線材に対して垂直な c 軸方向の磁場を作用させたときの影響も調べる必要がある。

なお 0.25%までの I_c の劣化の量は、Cu-Nb₃Sn のそれと同様であった。4.2K, 14.5T では I_{c0} は直径 1mm の Cu-Nb₃Sn を上回る 200A を示しており、耐ひずみ 0.25% までという限定下であれば Cu-Nb₃Sn を代替できる特性を備えていると思われる。

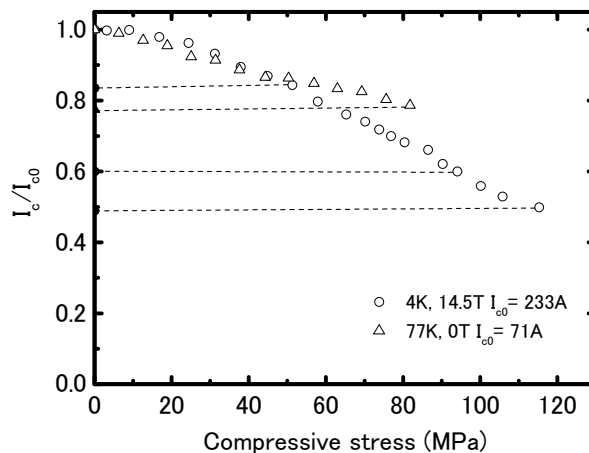


Fig.2 Compressive strain dependence of DI-BSCCO tape

図3は、この線材に横圧縮を加えた場合の臨界電流である。同様に 77K での測定に加え、4.2K で 14.5T の環境中での測定結果を示している。テープ線材への横圧縮は、c 軸方向に沿う方向への圧縮となる。その方向へのおよそ 50MPa までの圧縮では、磁場のあるなしに関わらず、劣化挙動の傾向はほぼ同じようなものとなった。よってその範囲内の圧縮応力であれば、引張り試験で予測した磁場と力の相乗効果によるマイクロ組織損傷効果は少ないと言えるが、逆に磁場に無関係に力学的効果のみでのマイクロ損傷が小さな応力域から発生していると言えるため、注意が必要である。なお 77K での引張りの場合のような、マクロ的な欠陥の発生とともに特性が急降下するような挙動は圧縮では見られなかった。

4. まとめ

DI-BSCCO 線材は 77K, 0T 中では、長手方向への引張りに関して、0.2%~0.25% のひずみまでは、特性の劣化はほとんどない。しかし c 軸方向への圧縮に関しては、小さな荷重から少しずつ劣化が起こる。

一方、4K, 14.5T の環境中では、低い荷重から徐々に特性は劣化する。劣化度合いは参照した Cu-Nb₃Sn のそれと同等であるが、BSCCO の方は非可逆的な劣化であった。これは磁場と負荷の相乗効果による、組織の配向性などの変化によるものと思われるが、今後はそれを立証するためのさらなる調査が必要である。

参考文献

- [1] D Uglietti et al., Critical current versus applied strain for industrial Y-123 coated conductors at various temperatures and magnetic fields up to 19T, Supercond. Sci. Tech., 19,(2006), s869-s872