

パルスレーザ蒸着法により作製した長尺 REBCO 線材における 高磁場下の臨界電流分布の評価とその支配因子に関する考察

Measurement and analysis of spatial variation of in-field critical currents in PLD processed long length REBCO coated conductors

九大¹, フジクラ²

福岡貴裕¹, 野田将平¹, 東川甲平¹, 鈴木 匠¹, 井上昌睦¹,
五十嵐光則², 柿本一臣², 飯島康裕², ○木須隆暢¹

Kyushu Univ.¹, Fujikura²

Takahiro Fukuzaki¹, Shohei Noda¹, Kohei Higashikawa¹, Takumi Suzuki¹,
Masayoshi Inoue¹, Mitsunori Igarashi², Kazuomi Kakimoto²,
Yasuhiro Iijima², ○Takanobu Kiss¹

E-mail: kiss@sc.kyushu-u.ac.jp

REBCO 高温超伝導線材は磁場下の臨界電流特性にすぐれ、液体ヘリウムフリーの高磁界マグネットや、回転機などへの適用が期待されている。特に、近年人工的なナノ欠陥を制御し、磁場下の臨界電流特性を飛躍的に向上する人工ピン(APC)導入技術が、長尺実用線材においても適用可能となりつつ有り、そのプロセス開発が加速している。一方、長尺線材において、臨界電流(I_c)が長手(x 軸)方向にばらつくことによって、局所発熱による熱的不安定性や、応用機器の性能劣化の原因となる事が指摘されており、また、線材に誘起される磁化電流を低減する意味でも、細線加工に耐えうる空間均一性に優れた線材の開発が喫緊の課題となっている。しかしながら、 I_c の空間均一性の評価に関しては、これまで液体窒素温度(77 K)、自己磁場中における測定に限られており、実用環境下に近い高磁場(B)下における長尺線材の測定やより低温域(T)での測定例はほとんど無く、高磁場下の I_c 不均一性の因子の解明はもとより、長尺線材の $I_c(B, T, x)$ 特性の測定手法の確立が望まれている。

本研究では、磁場下を搬送する超伝導線材に誘起される磁気モーメントを連続的に計測する装置を開発し、4 T までの外部磁界下における線材 I_c を長尺に亘って非破壊・非接触に計測する手法を確立した。また、冷却に用いる冷媒に、通常の液体窒素に加えサブクール窒素を用いることによって、65 K までの範囲で温度依存性の評価を可能とした。

Fig. 1 にパルスレーザ蒸着(PLD)法によって作製した 40 m 長の実用 GdBCO 線材における I_c 分布の計測例を示す。得られた I_c 分布をそれぞれの条件下における I_c の平均値で規格化したところ、Fig. 2 に示す様に、全ての $I_c(x)$ はほぼ同一の曲線上にスケールすることが分かった。この結果は、測定に用いた PLD 法による線材の磁束ピンニング特性は場所に依らずほぼ同様な振る舞いを示し、 $I_c(x)$ の空間的な変化は、マクロスケールの欠陥に起因している事を示している。すなわち、 $I_c(B, T, x) = J_c(B, T) A_0 \alpha(x)$ と記述できることを示している。ここで、 A_0 は幾何学的な断面積、 $\alpha(x)$ は有効断面積の場所による変化率を示す。ナノサイズの磁束ピン止め特性に支配される $J_c(B, T)$ と、よりマクロな欠陥に起因する有効断面積の変化 $A_0 \alpha(x)$ の間には相関は無く、独立に振る舞うと解釈できる。これらの知見は、長尺線材の磁場下の電流輸送特性を理解する上で、重要な知見と言える。

さらに、APC を導入しない線材と、導入した線材の I_c の標準偏差 σ の大きさを比較したところ、相対的な σ の大きさは、1.66 % (APC 無し) に対し、APC の導入によって 3.08 ~ 3.60 % に増大した。これは、非超伝導層の堆積を伴う APC 導入プロセスによって高品質な超伝導マトリクス形成のための作製条件が狭まり、電流阻害因子の生成確率が增大する事を示唆している。本研究で開発した長尺線材の磁場下の評価手法は、線材プロセス開発においても威力を発揮すると期待できる。

謝辞：本研究の一部は、科研費(16H02334)の助成を受けて実施したものである。

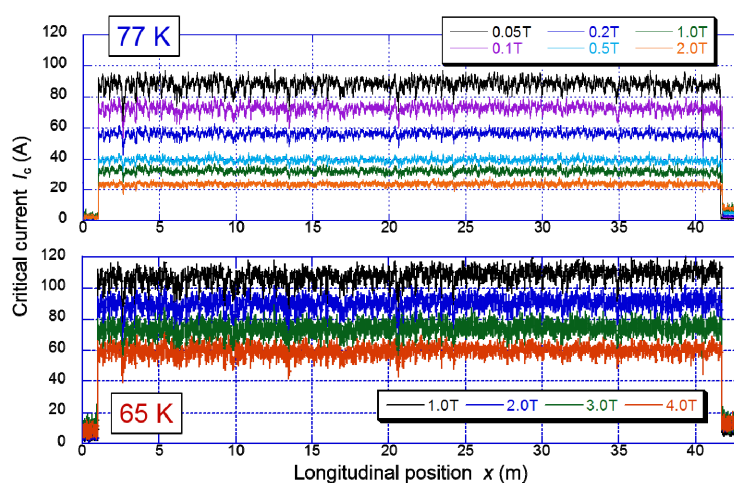


Fig. 1 In-field I_c distribution of a 40-m-long PLD processed coated conductor obtained from a reel-to-reel magnetization measurement under external magnetic fields up to 4 T at 77 K (upper) and 65 K (lower), respectively.

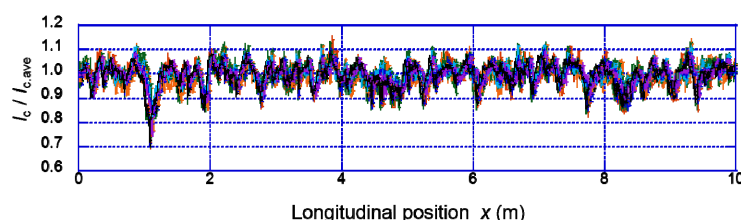


Fig. 2 I_c distribution normalized by the average value of I_c at each field and temperature conditions shown in Fig. 1.