

積層順序を変えた GdBCO コート線材における磁化損失の評価

小田部研究室 06232018 河野 智也

1. はじめに

近年、高温・高磁界で高い臨界電流密度 J_c を示す高温超伝導体を用いた交流電力機器の研究開発が進んでいる。高温超伝導体は高い J_c を得るために結晶配向を必要とし、これを実現するためにコート線材という形で用いられる。コート線材は超伝導層の厚さに対して幅が非常に広く、従来の円柱形状の線材等とは異なる交流損失特性を示す。これらの損失は交流電力機器の性能に大きく影響するため、正確に把握する必要がある。 J_c が同じ試料を積層枚数を変えて重ねたときの磁化損失における積層の影響は、中山らによって調べられており、積層枚数が増えるにつれ損失が低減するということが分かっている [1]。

実際の線では J_c は長さ方向に分布があることと、機器を作る際に線材を転位させるため、 J_c の異なる線材の配置が変わることがありえる。この場合、より正確にコート線材における交流損失を把握するために、中山らの研究結果を踏まえた上で、積層順序が変わることを想定した交流磁化損失を評価する必要がある。そこで本研究では、特性の異なるコート線材試料において積層の順序が磁化損失に及ぼす影響を調べることを目的とする。

2. 実験

本研究で用いた試料は、IBAD(Ion Beam Assisted Deposition) 法及び PLD(Pulsed Laser Deposition) 法によりフジクラで作製された $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (GdBCO) コート線材である。試料の諸元を Table 1 に示す。線材より切り出された試料の大きさはいずれも約 $2.3 \text{ mm} \times 5.0 \text{ mm}$ である。試料 #1 のみ超伝導層が厚く、#2a 及び #2b は同じ線材から切り出している。1 枚の場合と線材の厚さ方向に 3 枚積層した場合について、テープ面に垂直に磁界を印加したときの磁化のヒステリシスを、SQUID 磁力計を用いた直流磁化法により測定した。温度 66 K において、交流磁界振幅 B_m を $1.5 \text{ mT} \sim 7 \text{ T}$ まで変化させ、それぞれについてヒステリシスの面積から磁化損失密度 W を評価し、積層順序の違いによる影響を調べた。

Table 1 : Specifications of specimens

specimen	GdBCO [μm]	$J_c(0 \text{ T}, 66 \text{ K}) [\text{A}/\text{m}^2]$
#1	1.7	1.2×10^{10}
#2a	0.9	2.3×10^{10}
#2b	0.9	1.7×10^{10}

3. 結果と検討

Fig. 1 に、規格化したそれぞれの交流損失の磁界振幅依存性を示す。 W/W_c は規格化した交流損失密度であり、 h_0 は規格化した交流磁界振幅である。ここで、 $W_c = \mu_0 I_c^2 / \pi w d$ 、 $h_0 = \pi B_m / \mu_0 J_c d$ であり、 μ_0 は真空の透磁率、 I_c は臨界電流、 w 、 d はそれぞれ線材の幅と厚さである。また、図中の top-middle-bottom は、各試料の積層位置を表している。実験値を見ると、低磁界領域では 1 枚のときの損失と比較して 3 枚に積層したときの損失の方が低いことが分かる。これは特性の違うコート線材を積層しても、交流損失の低減が期待できることを示している。また、積層順序の違いが損失に及ぼす影響がほとんどないことがわかる。

Fig. 1 の theo. は理論値を示している。single は 1 枚の場合で Halse の式 [2] を、stacks は無限に線材を積層させた場合を想定した Mawatari らの式 [3] を用いた理論値を表している。この理論値計算では、高磁界で J_c が低下することを考慮した理論式を用いている。理論値 single と #1 の実験値に注目すると、高磁界領域では theo. の理論値と実験値がよく一致している。

今後は有限要素法 (FEM) による数値解析による計算と比較した詳しい考察が必要となる。

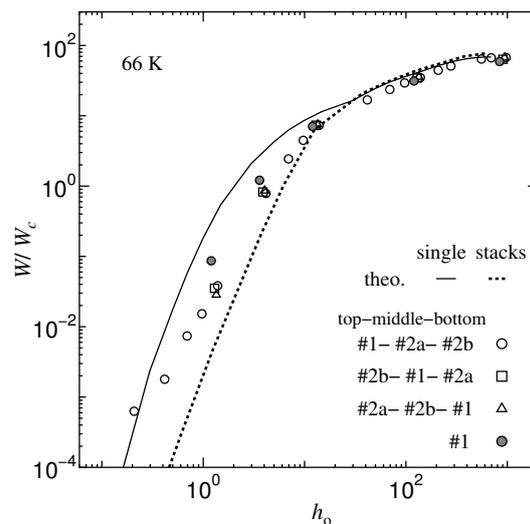


Fig. 1 : Magnetic field amplitude dependence of magnetization loss density at 66K.

参考文献

- [1] Y. Nakayama, M. Kiuchi, E. S. Otabe, T. Matsusita, H. Okamoto, T. Sato, T. Izumi: Physica C **412** (2004) 1015.
- [2] M. R. Halse: J. Phys. D **3** (1970) 717.
- [3] Y. Mawatari: Phys. Rev. B **54** (1996) 13215.