

常伝導コアモデルにおけるナノ粒子による要素的ピンニング力の評価 ～ 特異な角度依存性に着目して～

Evaluation of elementary pinning force due to nano-particle based on normal-core model
~Focussing on an anomalous angular dependence~

○ 岡田 達典、淡路 智 (東北大金研)

○ Tatsunori OKADA, Satoshi AWAJI (IMR, Tohoku Univ.)

E-mail: tatsu.okada@imr.tohoku.ac.jp

超伝導線材の臨界電流密度 J_c の向上を目指した各種人工ピンの導入が精力的に研究されており、 $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (RE :希土類元素/ Y , $REBCO$ と略) 線材のネックである J_c 異方性の改善が期待されるナノ粒子の導入が実施されている。その中で、 Y_2O_3 [1] や $BaMO_3$ (M : Zr [2], Hf [3]) など半径数 nm-10 nm 程度のナノ粒子を含む試料では、77 K, 3 T 程度の高温・低磁場領域において J_c の角度依存性が $B \parallel ab$ 方向で落ち込む特異な振る舞いが報告されている [1-3]。また、類似の $J_c(B \parallel ab)$ の落ち込みは $(Sr/Ba,K)Fe_2As_2$ 線材 [4] や $FeSe_{0.5}Te_{0.5}$ 薄膜 [5] などのランダムピンが寄与していると考えられる鉄系超伝導体でも観測され、普遍的な振る舞いであると考えられる。このような $J_c(B \parallel ab)$ の落ち込みは要素的ピンニング力 f_{pin} の評価に広く使われているモデルでは説明できないものであり、その理解は超伝導線材における磁束ピンニングの描像を明らかにする上で重要である。

我々はこれまでに、 $REBCO$ 線材を念頭に置き、Ginzburg-Landau 方程式の自己無撞着計算に基づいて要素的ピンニング力を正確に評価することで、 $f_{pin}(B \parallel ab)$ の落ち込みが自然と現れることを報告した [6]。つまり、 f_{pin} の評価に広く使われているモデルでは、過剰な近似のために $f_{pin}(B \parallel ab)$ の落ち込みが掻き消されてしまっていることを示している。実験的に観測された $J_c(B \parallel ab)$ の落ち込みは、この $f_{pin}(B \parallel ab)$ の落ち込みに起因すると考えられる。

前述の通り、 $J_c(B \parallel ab)$ の落ち込みは、超伝導転移温度 T_c や有効質量異方性 $\gamma = B_{c2}^{B \parallel ab} / B_{c2}^{B \parallel c}$ 、コヒーレンス長 $\xi_{ab}(0 \text{ K}) = [\Phi_0 / 2\pi B_{c2}^{B \parallel c}(0 \text{ K})]^{1/2}$ が全く異なる $REBCO$ 線材 ($T_c \approx 90 \text{ K}$, $\gamma \approx 5$, $\xi_{ab}(0 \text{ K}) \approx 1.5 \text{ nm}$) や鉄系超伝導体 ($T_c \lesssim 30 \text{ K}$, $\gamma \approx 1-3$, $\xi_{ab}(0 \text{ K}) \gtrsim 2 \text{ nm}$) でも普遍的に観測されている。一方、同じ $REBCO$ 線材であっても、導入されたナノ粒子の半径 R_{np} や測定温度 T によって $J_c(B \parallel ab)$ の落ち込みの有無・程度が異なっている。このような状況を鑑みると、「 $f_{pin}(B \parallel ab)$ の落ち込みがナノ粒子ピンニングに影響するパラメータ $\{T_c, \gamma, \xi_{ab}(0 \text{ K}), R_{np}, T\}$ にどのように依存するか」を明らかにすることは、(1) ナノ粒子による磁束ピンニング機構の理解、および、(2) 更なる J_c 特性向上に向けた人工ピン導入指針の立案に有益である。

講演では、自己無撞着計算に比べると厳密性は落ちるが $f_{pin}(T, \theta)$ の定性的な振る舞いを再現できる常伝導コア近似 (磁束量子コア内部を断面積 $\xi_{ab}(T) \times \xi_{ab}(T)\varepsilon(\theta)$ の楕円柱型常伝導領域とみなす) の下、 $f_{pin}(T, \theta)$ における上記パラメータ依存性を調べた結果について報告・議論したい。

[1] A.K. Jha *et al.*, J. Appl. Phys., **122** (2017) 093905.

[2] M. Miura *et al.*, SuST, **26** (2013) 035008., K. Nakaoka *et al.*, SuST, **30** (2017) 055008.

[3] M. Miura *et al.*, NPG Asia Mat., **9** (2017) e447., T. Okada *et al.*, IEEE TAS, **29** (2019) 8002705.

[4] S. Awaji *et al.*, SuST **30** (2017) 035018., J. Luo ら, 第 100 回 低温工学・超伝導学会 研究発表会 (2020) 2C-a02.

[5] 滝澤和輝ら, 第 81 回 応用物理学会秋季学術講演会 (2020) 8a-Z27-6.

[6] T. Okada *et al.*, EUCAS 2017 (2017) 1MO1-05., T. Okada *et al.*, in preparation.