超伝導線材中の3次元量子磁束構造のシミュレーション

Simulation of three dimensional quantized magnetic flux lines in superconducting wire

九工大¹, 産総研², 有明高専³ 米塚 里奈¹, ⁰小田部 荘司¹,

濱田 雄成¹, 上地 和典¹, 馬渡 康徳², 松野 哲也³

Kyushu Inst. of Tech.¹, AIST², Natl. Inst. of Tech. Ariake Coll.³, Rina Yonezuka¹,

°Edmund Soji Otabe¹, Yusei Hamada¹, Kazunori Kamiji¹, Yasunori Mawatari², Tetsuya Matsuno³

E-mail: otabe@cse.kyutech.ac.jp

1. <u>はじめに</u>

第2種超伝導体の臨界電流密度J_cはピンの形状や磁束 線とピンの位置関係に大きく依存することが知られて いる。たとえば酸化物超伝導体においてc軸に沿って重 イオン照射をすることによって導入された柱状ピンを 考える。この超伝導体のJ_cは磁束線とピンのなす角度に 大きく依存することが実験的に確認されているが[1]、理 論的に確認されたケースは少ない。そこで、本研究では 3次元の時間依存ギンツブルグ-ランダウ(TDGL)方程 式を数値的に解くことで、横磁界下での超伝導体内の磁 束線の動きをシミュレーション空間内に再構成し、これ を用いて柱状ピンによる磁束線のピン留め効果を系統 的に調査した。

2. 計算手法

本研究では、3 次元の TDGL 方程式を用いた。真空中 で一辺の長さが 10 ξ の立方体を仮定し(ξ はコヒーレン ス長)、電流と磁界は Fig. 1(a)に示す方向にそれぞれ印 加するものとした。また、ピン内部では強制的に超伝導 電子密度が 0 となるようにした。ここでは柱状ピンを 4 本配置し、外部磁界 $B = 0.1, 0.2, \cdots 0.5$ 、電流密度 $J = 0.01, 0.02, \cdots, 0.30$ 、角度 $\theta = 0, 10, \cdots, 90^\circ$ で計算を行った。 なお、ピンと磁界が平行になっている状態を $\theta = 0^\circ$ と定 義した。

3. <u>結果</u>

Fig. 2 に柱状ピンのB = 0.1, 0.4における J_c の角度依存性と、磁束線とピンの鎖交体積を示す。B = 0.1では、角度が大きくなるにつれて J_c が増加している。低磁界では、出現する磁束線の本数が少ないため、 $\theta = 0^\circ$ の時磁束線がすり抜ける確率が高くなってしまう。しかし、 $\theta = 90^\circ$ ではピンと磁束線が必ず交差するため、捕捉されやすくなる。よって、角度の増加にともない J_c が増加したと考えられる。一方、B = 0.4では角度の増加にともない J_c が減少していることがわかる。特に θ が20°から30°の間で J_c が急激に減少している。高磁界では出現する磁束線の本数が増えるため、 $\theta = 0 - 20^\circ$ の時、磁束線を捕捉できた。しかし、それより角度が大きくなると磁束線が捕捉されず、すり抜けてしまう。また、鎖交体積と非常によく似た結果となった。このように、シミュレーションを用いて J_c のピンの角度依存性が確認できた。



Fig. 1: Superconducting cube with different angle of the columnar pins: (a)Simulation area and applied fields, (b) $\theta = 0^{\circ}$, (c) $\theta = 45^{\circ}$, (d) $\theta = 90^{\circ}$.



Fig. 2: Numerical results of the angular dependence of J_c at B = 0.1, 0.4 and the calculation result of overlapped volume between the quantized magnetic flux and the columnar pins.

参考文献

[1] T. Sueyoshi, IEEE Trans. Appl. Super. 27 (2017) 8001305