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,

 $^{\circ}Edmund\ Soji\ Otabe^{1},\ Yusei\ Hamada^{1},\ Kazunori\ Kamiji^{1},\ Yasunori\ Mawatari^{2},\ Tetsuya\ Matsuno^{3}$

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

1. はじめに

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 10ξ 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 $B=0.1,0.2,\cdots0.5$ 、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. 結果

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。

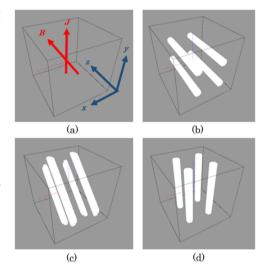


Fig. 1: Superconducting cube with different angle of the columnar pins: (a) Simulation area and applied fields, (b) $\theta = 0^{\circ}$, (c) $\theta = 45^{\circ}$, (d) $\theta = 90^{\circ}$.

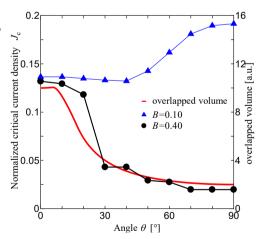


Fig. 2: Numerical results of the angular dependence of J_c at B = 0.1, 0.4 and the calculation result of overlapped volume between the quantized magnetic flux and the columnar pins.

参考文献

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