

有限要素法を用いた縦磁界中における超伝導体内の磁束の動きの評価 Evaluation of motion of flux in superconducting wire in longitude field using finite element method

九工大¹, 産総研², [○]増田 嘉道¹, 小田部 莊司¹, 木内 勝¹, 馬渡 康徳²

Kyushu Inst. of Tech.¹, AIST²

[○]Yoshimichi Masuda¹, Edmund Soji Otabe¹, Masaru Kiuchi¹, Mawatari Yasunori²

E-mail : masuda@aquarius10.cse.kyutech.ac.jp

1.はじめに

Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式(TDGL 方程式)は超伝導体の現象論の説明ができることでよく知られている。また、最近では 2 次元の TDGL 方程式を有限要素法によって解いた研究が多く存在する。さらに、ローレンツ力が働かないように、電流と平行に磁界をかけること(以下、縦磁界)で特性が上昇することを利用した応用が考えられている。よって本研究では、3 次元の TDGL 方程式を有限要素法によって解くことで縦磁界下の超伝導体内において、どのように磁束線が動いているかについて評価・考察を行う。

2.計算手法

シミュレーションには有限要素法に基づく解析を行う LightStone 社の FlexPDE を用いた。今回の計算は 3 次元の TDGL 方程式について、有限要素法を用いて計算を行う。この方程式を計算するにあたり、そのまま計算を解くのは困難である。そこで、今回は計算の簡易化のために多くの規格化を行い、さらに非常に小さな超伝導体を仮定した。それによって解く式は以下の 2 式となる。ここで、 Ψ はオーダーパラメータ、 Φ はスカラーポテンシャル、 $\mathbf{A}$ はベクトルポテンシャルとする。

$$\frac{d\Psi}{dt} + i\Phi\Psi + \left(i\nabla + \frac{1}{\kappa}\mathbf{A}\right)^2 \Psi - \Psi + |\Psi|^2\Psi = 0$$

$$\nabla^2 \Phi = \nabla \cdot (\text{Im}(\Psi^* \nabla \Psi) - |\Psi|^2 \mathbf{A})$$

評価を行う超伝導体は磁場侵入長で規格化したサイズにおいて、 $x = 10$ 、 $y = 10$ 、 $z = 30$ を仮定した。条件は側面からの流出はなく、電流と磁場は Fig. 1 に示す通り、同じ方向にかけるものとする。また、時間ごとの電流と磁場は臨界磁場によって規格化した値において Fig. 2 のとおりとする。この超伝導体に電流や磁場をかけることでオーダーパラメータ Ψ について計算を行う。磁束線は $|\Psi|^2 = 0.1$ で等位面をプロットし、それによって磁束線がどうなっているかということを判断する。

3.結果

計算結果の一例を Fig. 3,4 に示す。Fig. 3 は磁束線が侵入し始めた時の様子、Fig. 4 は安定後の様子を示している。

Fig. 3 より、磁束線が超伝導体に対して各面の中心から平行に侵入している様子がわかる。磁束線が進入する際に必要なエネルギーが低いところより入ることから、直方体の超伝導体において側面の中心が超伝導状態の弱いところだと考えられる。

その後、初めは三角格子を組もうとするが、内部の超伝導状態がまだ高いために、超伝導体内に残る磁束線は

2本のみとなり、ねじれて Fig. 4 のようになる。これは、電流を流した際に発生するが回転方向の磁場が存在するためと考えられる。

計算結果の動画:<http://youtu.be/5iT7YC-IU-k>

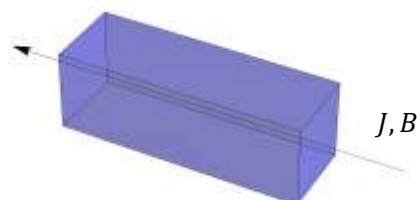


Fig. 1:Condition of calculation

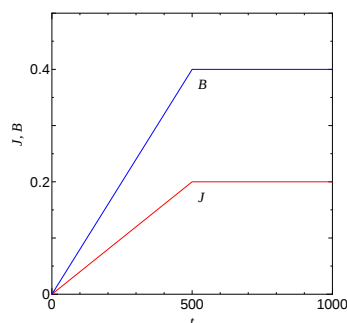


Fig. 2: Normalized time dependence of normalized magnetic field and normalized current density

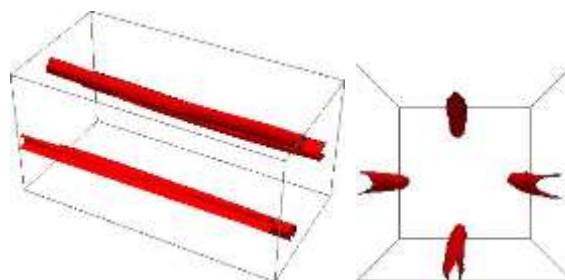


Fig. 3: Penetrated magnetic fluxoid at $t = 400$

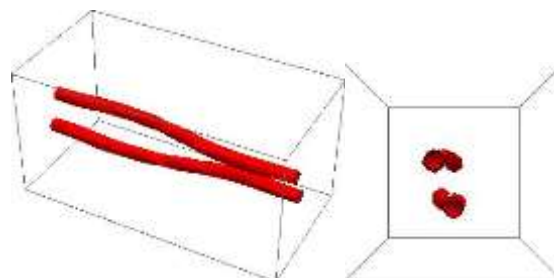


Fig. 4:Stable state at $t = 1000$