

**時間依存 Ginzburg-Landau 方程式を用いた  
横磁界下における超伝導体内の磁束線についての研究  
TDGL simulation on the motion of flux lines in a thin superconducting wire  
in a transverse magnetic field**

九工大<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup>, 有明高専<sup>3</sup> ○谷村 賢太<sup>1</sup>, 小田部 莊司<sup>1</sup>, 木内 勝<sup>1</sup>, 馬渡 康德<sup>2</sup>, 松野 哲也<sup>3</sup>

Kyushu Inst. of Tech.<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, Natl. Inst. of Tech. Ariake Coll.

°Kenta Tanimura<sup>1</sup>, Edmund Soji Otabe<sup>1</sup>, Masaru Kiuchi<sup>1</sup>, Yasunori Mawatari<sup>2</sup>,  
Tetsuya Matsuno<sup>3</sup>

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

### 1.はじめに

横磁界下での超伝導体内の磁束線を留めるピンについての様々な条件の違いによって臨界電流密度 $J_c$ が変化することが知られている。一方、Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式(TDGL 方程式)は非定常状態の超伝導を記述することができる現象論的モデルとして使われており、TDGL 方程式を元にした量子化磁束線の動きに関する研究が多く存在する。そこで、本研究では細い線における近似を用いた 3 次元の TDGL 方程式を、数値的に解くことによって、横磁界下での超伝導体内の量子化磁束線の動きを視覚的に表現し、 $E$ - $J$ 特性と $J_c$ - $B$ 特性の調査を行う。

### 2.計算手法

今回の計算は 3 次元の TDGL 方程式について計算を行った。この方程式を計算するにあたり、磁場侵入長より細い超伝導細線を想定したことによって、ベクトルポテンシャル $\mathbf{A}$ は外部磁界のみに依存し、その値は Fig. 1 の場合、

$$\mathbf{A} = Bx\mathbf{i}_y$$

で与えられる。ここで、 $B$ は外部磁界を、 $\mathbf{i}_y$ は $y$ 軸方向の単位ベクトルを表している。解くべき方程式は、規格化した形で以下の 2 式のようになり、ここで、 $\Psi$ はオーダーパラメータ、 $V$ はスカラーポテンシャル、 $\sigma$ は常伝導状態での導電率である。

$$\frac{d\Psi}{dt} + iV\Psi + (i\nabla + \mathbf{A})^2\Psi - \Psi + |\Psi|^2\Psi = 0$$

$$\sigma\nabla^2V = \frac{1}{2}(\Psi^*\nabla^2\Psi - \Psi\nabla^2\Psi^*) - \nabla \cdot (|\Psi|^2\mathbf{A})$$

超伝導細線はコヒーレンス長 $\xi$ で規格化したサイズにおいて、一辺の長さが10の立方体を仮定した。また、その内部に直径1の常伝導ピンを8個、間隔4で配置し、この領域では強制的に $\Psi = 0$ となるようにする。

境界条件は側面からの電流の流出はなく、電流と磁場は Fig. 1 に示す通り、 $y$ 軸、 $z$ 軸方向にそれぞれかけるものとした。また、時間ごとの電流と磁場は通常通り規格化した値において一定とし、電流密度 $J = 0.01, 0.02, \dots, 0.30$ 、外部磁界 $B = 0.1, 0.2, \dots, 0.7$ のそれぞれ全ての組み合わせにおいて計算した。

### 3.結果

Fig. 2 に、この計算における $E$ - $J$ 特性を示す。Fig. 2 を確認すると、 $B$ のそれぞれの値において電界 $E$ の立ち上がりが確認できる。 $J_c$ は Fig.2 に赤線で示されるような

抵抗基準を用いて定義し、この $J_c$ と $B$ の関係を Fig. 3 に示す。Fig. 3 を確認すると、 $B$ の増加とともに $J_c$ が単調に減少していることが分かる。当日はピンの条件を変えた例について議論を行う。

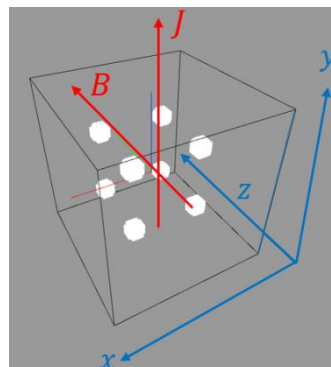


Fig. 1: Geometry of the superconducting wire, current, and magnetic field

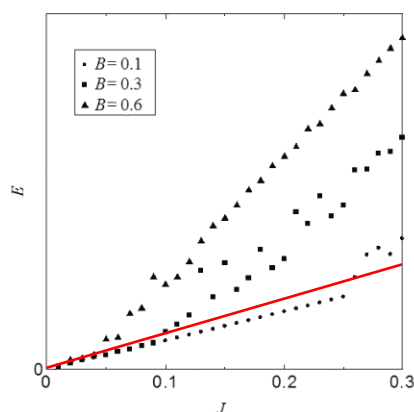


Fig. 2:  $E$ - $J$  property (From  $B = 0.1$  up to  $0.7$  at an interval of  $0.1$ )

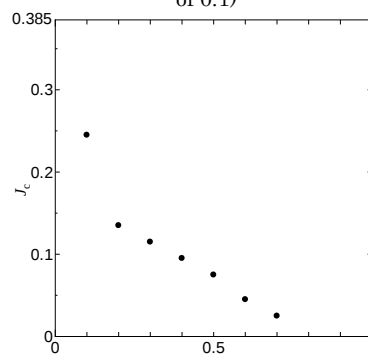


Fig. 3:  $J_c$ - $B$  property