

縦磁界下の超伝導細線における 磁束線の運動に関するTDGL シミュレーション

増田 嘉道, 小田部 莊司, 木内 勝(九工大)

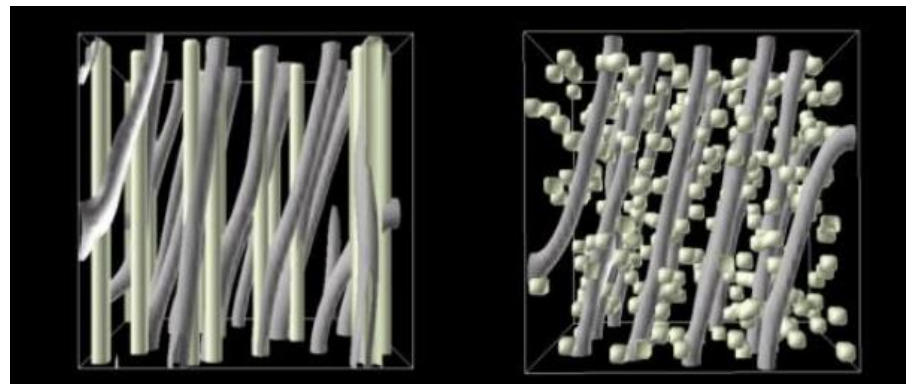
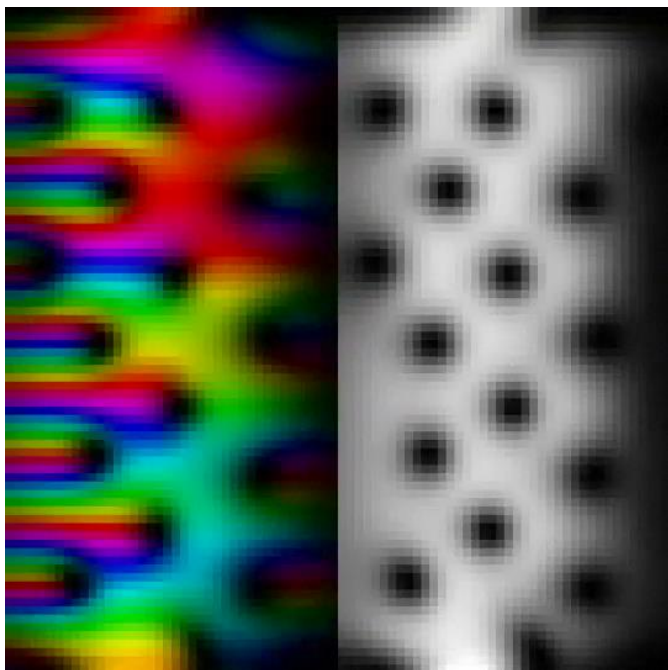
馬渡 康徳(産総研), 松野 哲也(有明高専)

2016/01/19 九州工業大学サテライト福岡天神 イムズ11階

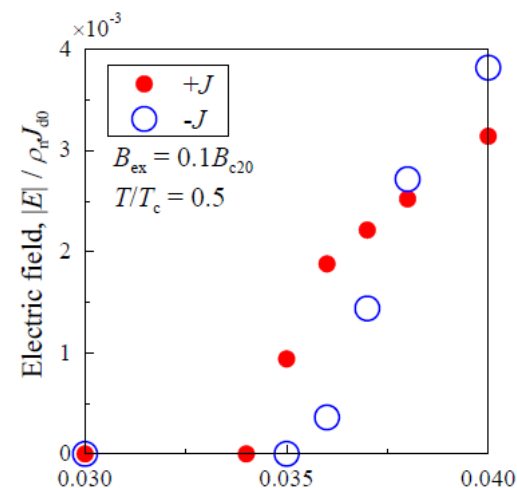
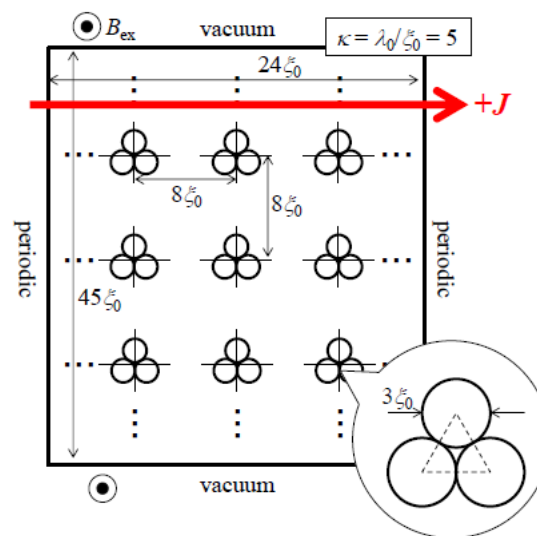
量子化磁束運動学シミュレーション研究グループ

第二回研究会

GL方程式やTDGL方程式を用いた最近の研究

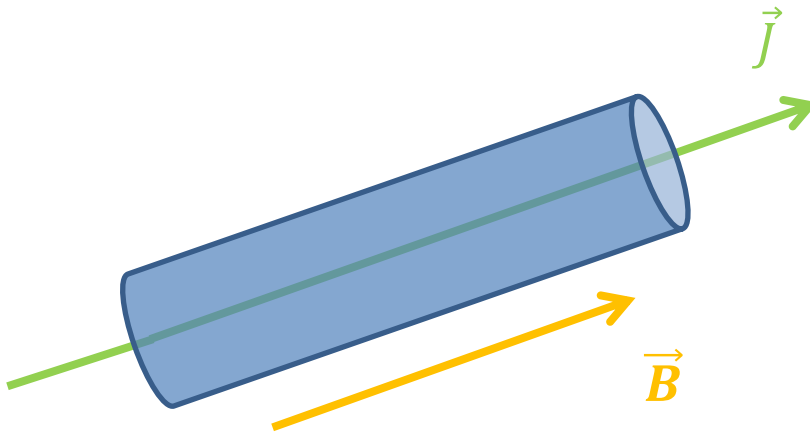


松本 要(九工大)

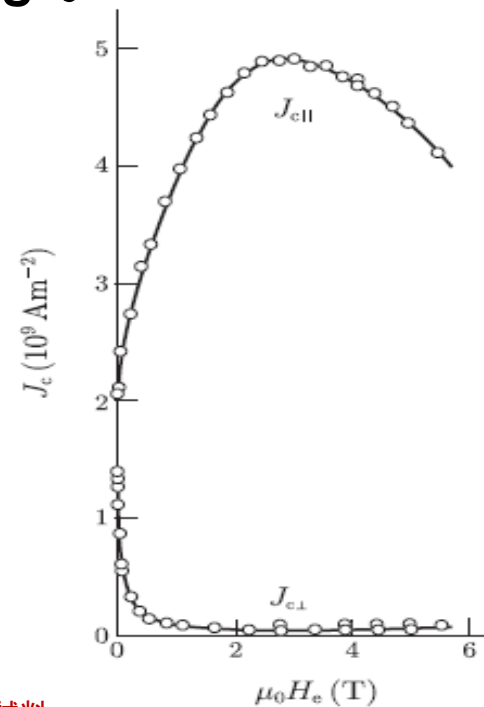


縦磁界効果

- 電流に磁界を平行に印加する
- 磁束線にローレンツ力が働かない
- 臨界電流密度 J_c の増加



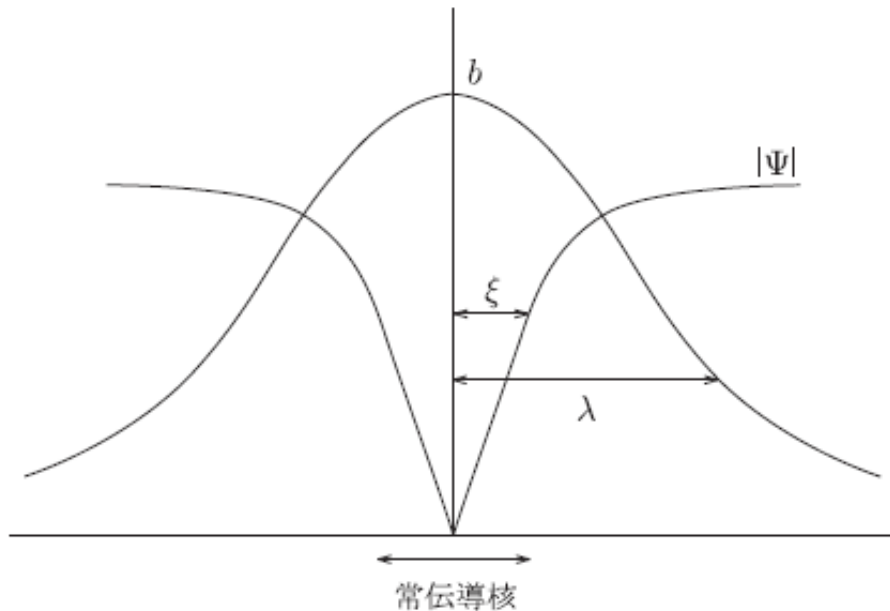
Ti-36% Nb 円柱試料



Yu. F. Bychikov et.al.

TDGL方程式の簡易化

1. 非常に細い超伝導体を仮定
2. TDGL方程式でパラメータを規格化



非常に細い超伝導体を仮定

全体に磁界が進入するほどの超伝導体を仮定



ベクトルポテンシャルが磁界に支配される



ベクトルポテンシャルが磁界に依存する変数

具体的には

$$\mathbf{A} = \begin{cases} B_{\text{ext}} y \mathbf{i}_y & (\mathbf{B} \perp \mathbf{J}) \\ \frac{B_{\text{ext}} z}{2} \mathbf{i}_x - \frac{B_{\text{ext}} x}{2} \mathbf{i}_z & (\mathbf{B} \parallel \mathbf{J}) \end{cases} \quad (\mathbf{J} = J_y \mathbf{i}_y)$$

TDGL方程式でパラメータを規格化

$$\frac{1}{\xi} x \rightarrow x, \frac{|\alpha|}{\gamma} t \rightarrow t, \frac{2e\gamma}{|\alpha|} V \rightarrow V$$
$$\frac{1}{\sqrt{2}\kappa H_c} \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{A}, \left(\frac{\beta}{|\alpha|} \right)^{1/2} \psi \rightarrow \psi$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + iV\psi + (-i\nabla - \mathbf{A})^2 \psi - \psi + |\psi|^2 \psi = 0$$

※ $\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2} J_c} J \rightarrow J$ となるため $J < \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.385$ に設定

実際に解く方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial \Psi}{\partial t} + iV\Psi + (-i\nabla - \mathbf{A})^2\Psi - \Psi + |\Psi|^2\Psi = 0 \\ \sigma \nabla^2 V = \frac{1}{2}(\Psi^* \nabla^2 \Psi - \Psi \nabla^2 \Psi^*) - \nabla \cdot (|\Psi|^2 \mathbf{A}) \end{cases}$$

第一式はTDGL方程式から

第二式は電流の発散から

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

初期条件・境界条件

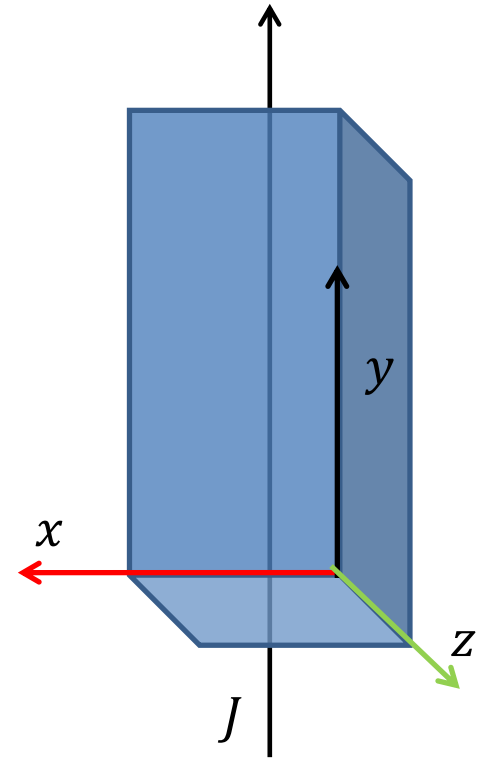
初期条件

- $\Psi(t = 0) = \cos\theta + i \sin\theta$
- $V(t = 0) = \sigma J y$

境界条件

- $\mathbf{n} \cdot (\nabla\Psi - iA\Psi) = 0$
- $\nabla V = \sigma J$

真空中に囲まれた超伝導体を仮定



プログラムへの実装

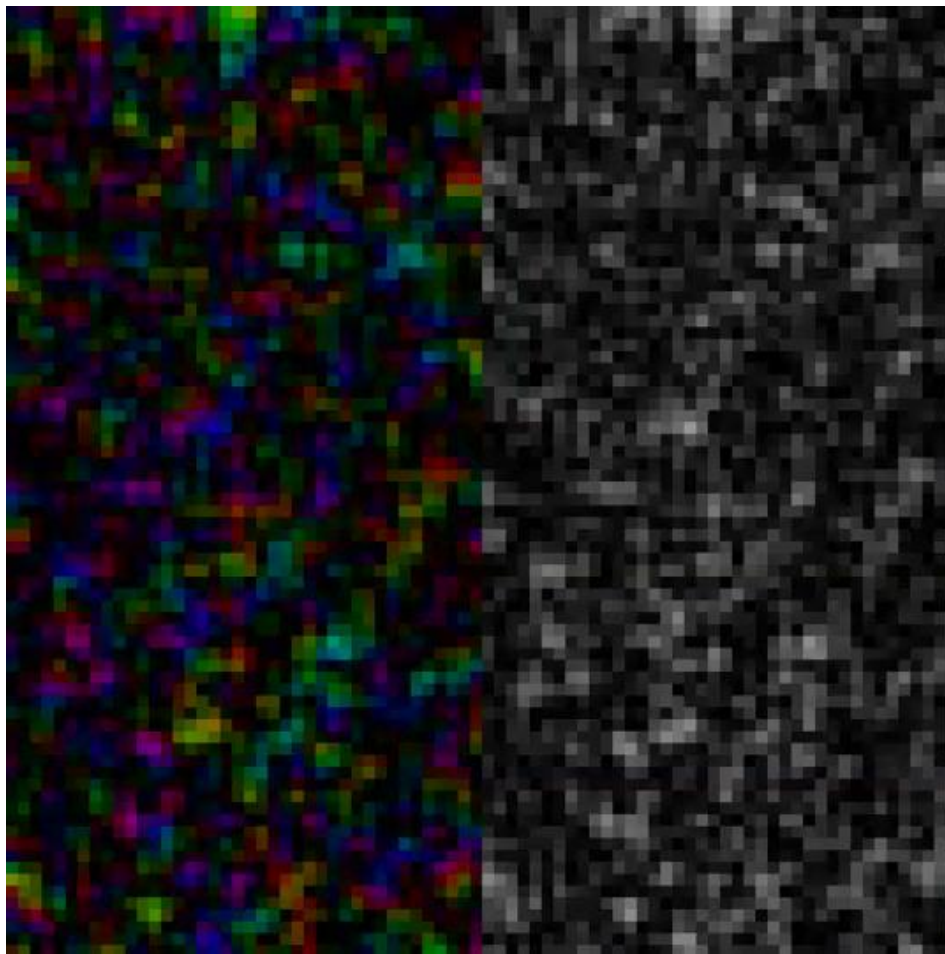
$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} + iV\Psi + (-i\nabla - A)^2\Psi - \Psi + |\Psi|^2\Psi = 0$$

- 2次のシンプレクティック法を参考にしたオイラー法
- 実部: $+\frac{1}{2}\Delta t \rightarrow$ 虚部: $+\Delta t \rightarrow$ 実部: $+\frac{1}{2}\Delta t$

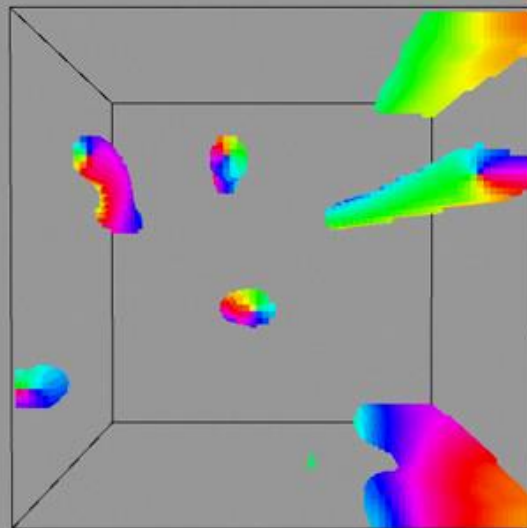
$$\sigma \nabla^2 V = \frac{1}{2} (\Psi^* \nabla^2 \Psi - \Psi \nabla^2 \Psi^*) - \nabla \cdot (|\Psi|^2 \mathbf{A})$$

- ガウス=ザイデル法
- 変化量が一定になるまで繰り返し計算

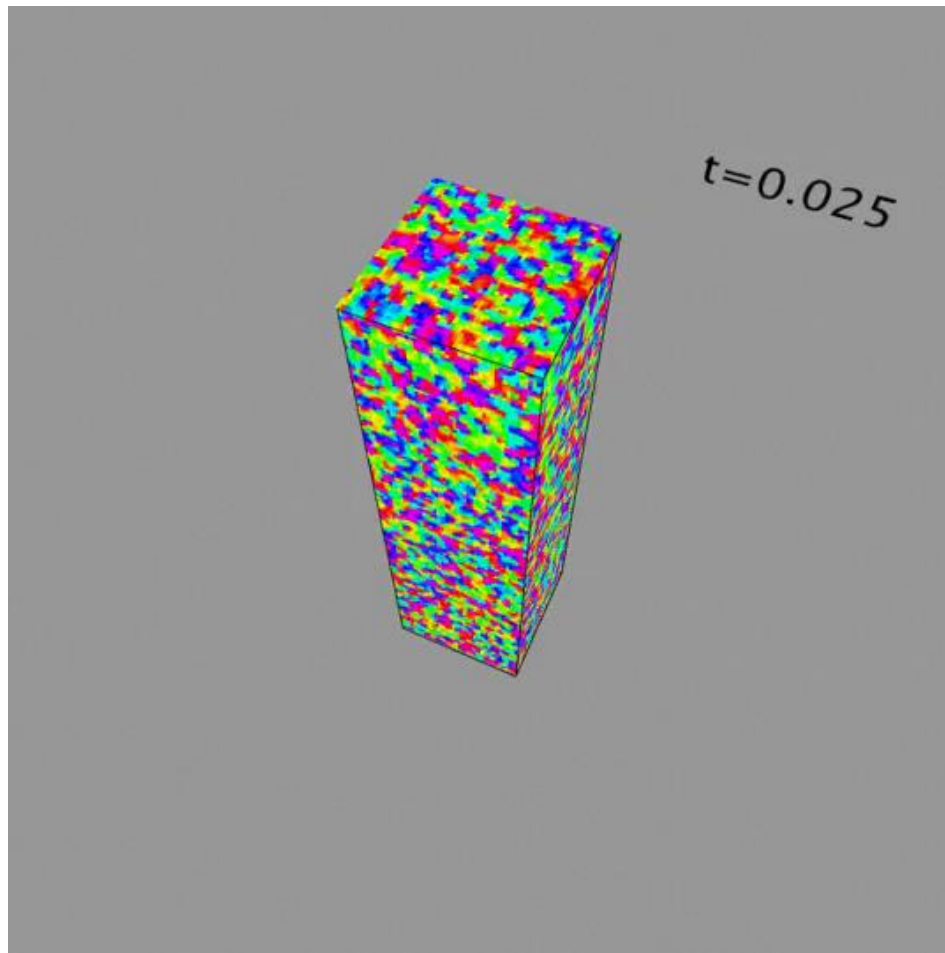
計算結果：2次元横磁界



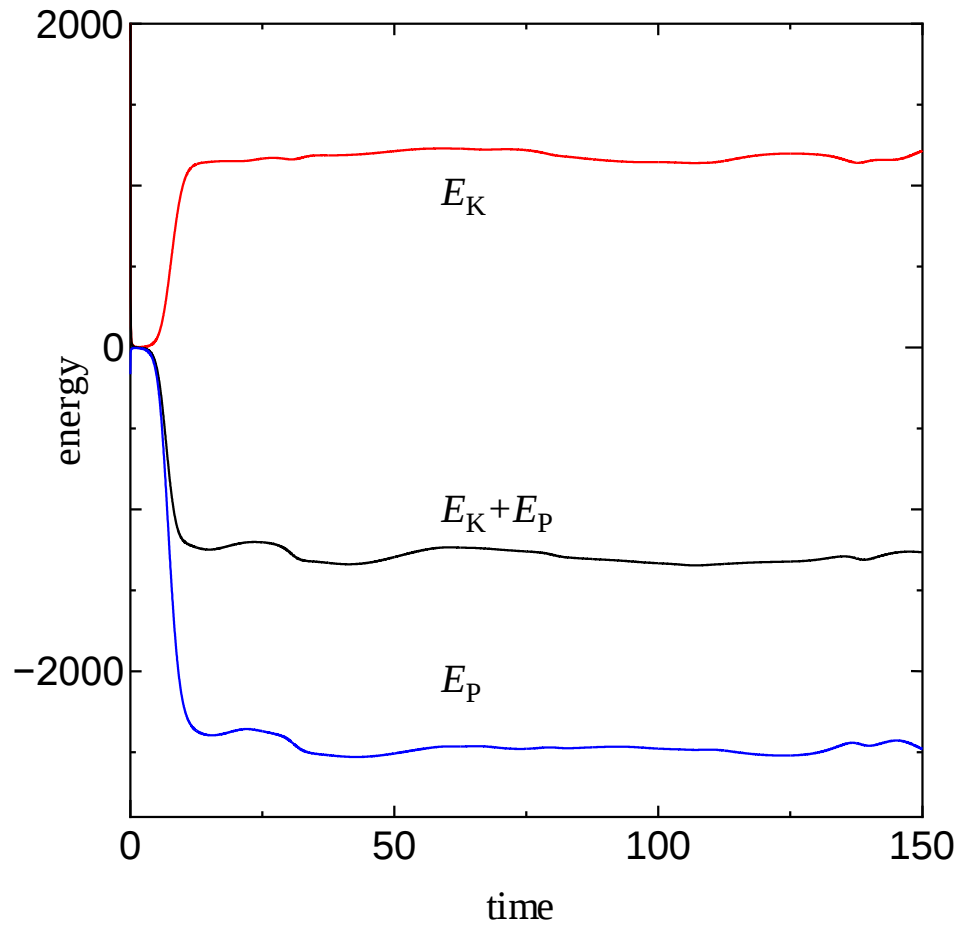
計算結果:3次元横磁界



計算結果：3次元縦磁界



エネルギープロット



今後の展望

- ピンの導入
 - ランダム導入で解いてみる
 - パーティクル
 - ロッド
- ベクトルポテンシャルを解く
 - リンク変数