

縦磁界条件における量子化磁束運動に対する 反発ピンの影響に関する数値シミュレーション

松野哲也

有明高専 電子情報工学科 改め

有明高専 創造工学科 人間・福祉工学系(情報システムコース)

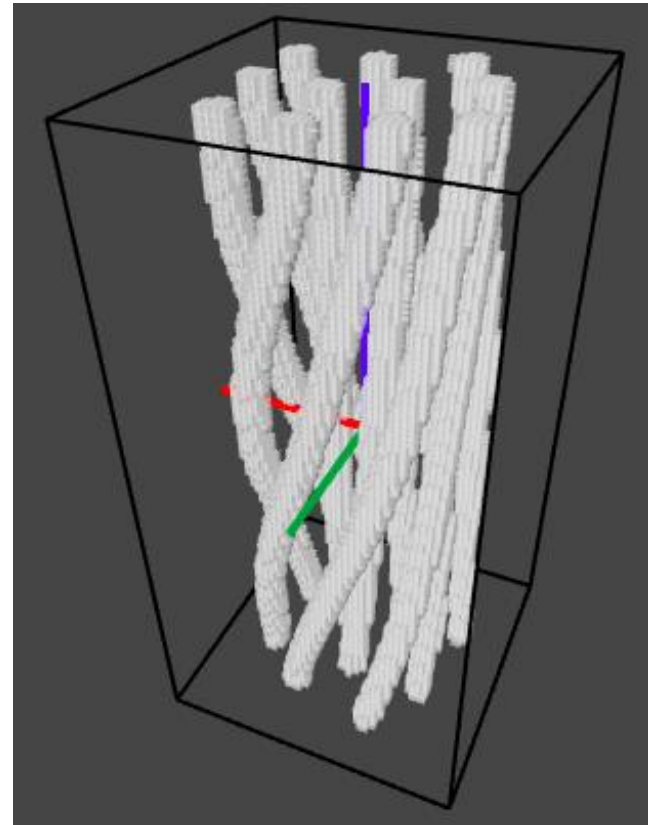
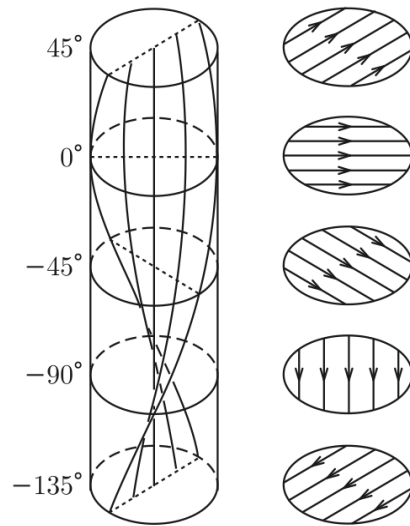
量子化磁束動力学シミュレーション研究グループ 研究会 発表資料
2017年1月31日(火)天神イムズ, 九工大サテライトキャンパス

目的

- 縦磁界条件および反発ピン存在下での量子化磁束線のピン止め機構を明らかにする.
- 時間依存ギンツブルグ-ランダウ方程式を基礎とする数値シミュレーションを行う事により, 磁束線の運動形態の詳細を明らかにする.

動機

- ◎ 量子化磁束線(量子渦糸)の相互作用は？(反発的？交叉は起きにくい？)
- ◎ 巨視的な対称性の破れ(磁束フローに関して)は生じるか？



方法: 基礎方程式

$$\epsilon_{GL} = \epsilon_K + \epsilon_P + \epsilon_B,$$

$$\epsilon_K = \frac{1}{2} |\mathbf{D}\psi|^2, \quad \mathbf{D} \equiv \nabla - ig\mathbf{A},$$

$$\epsilon_P = \alpha |\psi|^2 + \frac{\beta}{2} |\psi|^4,$$

$$\epsilon_B = \frac{1}{2} |\nabla \times \mathbf{A}|^2.$$

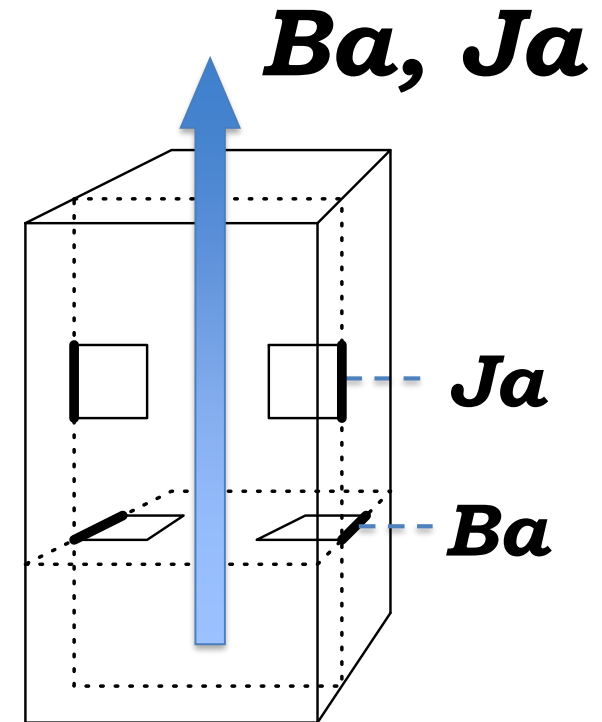
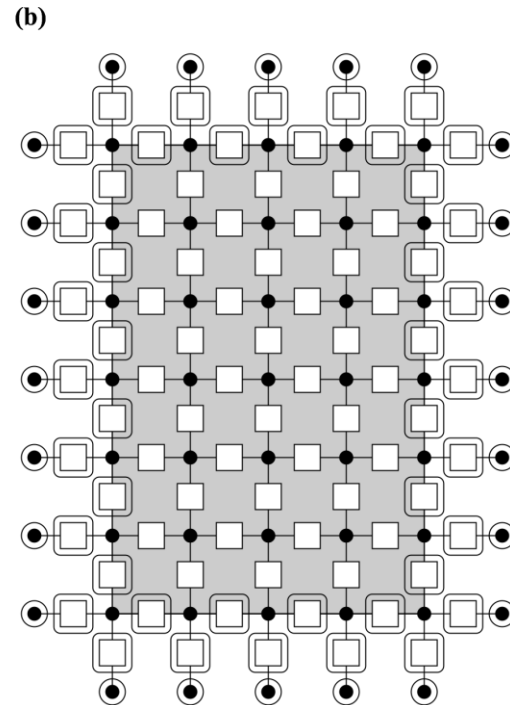
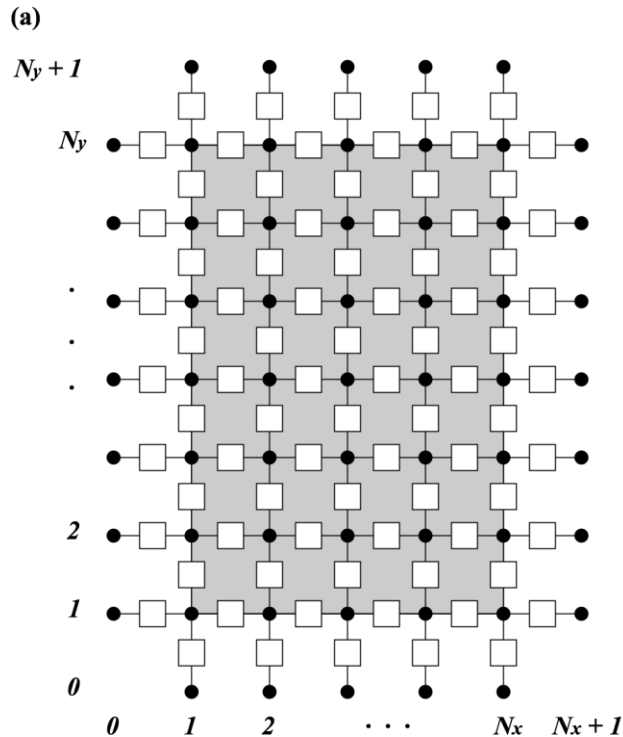
$$\begin{aligned} \gamma \left(\frac{\partial}{\partial t} + ig\phi \right) \psi &= -\frac{\delta \epsilon_{GL}}{\delta \bar{\psi}}, \\ \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \phi &= -\frac{\delta \epsilon_{GL}}{\delta \mathbf{A}}, \end{aligned}$$



Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式

$$\begin{aligned} \gamma \left(\frac{\partial}{\partial t} + ig\phi \right) \psi &= \frac{1}{2} \mathbf{D}^2 \psi - \alpha \psi - \beta |\psi|^2 \psi, \\ \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \phi &= g \text{Im} [\bar{\psi} \mathbf{D} \psi] - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A}. \end{aligned}$$

方法：境界条件



- オーダーパラメータ ψ : ノイマン型境界条件
- リンク変数(法線成分): ノイマン型境界条件
- リンク変数(接線成分): 印加磁界と印加電流を反映する.

方法：パラメータ

$$\gamma \left(\frac{\partial}{\partial t} + ig\phi \right) \psi = \frac{1}{2} \mathbf{D}^2 \psi - \alpha \psi - \beta |\psi|^2 \psi,$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \phi = g \text{Im} [\bar{\psi} \mathbf{D} \psi] - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A}.$$

$$W_x = W_y = 10, W_z = 20$$

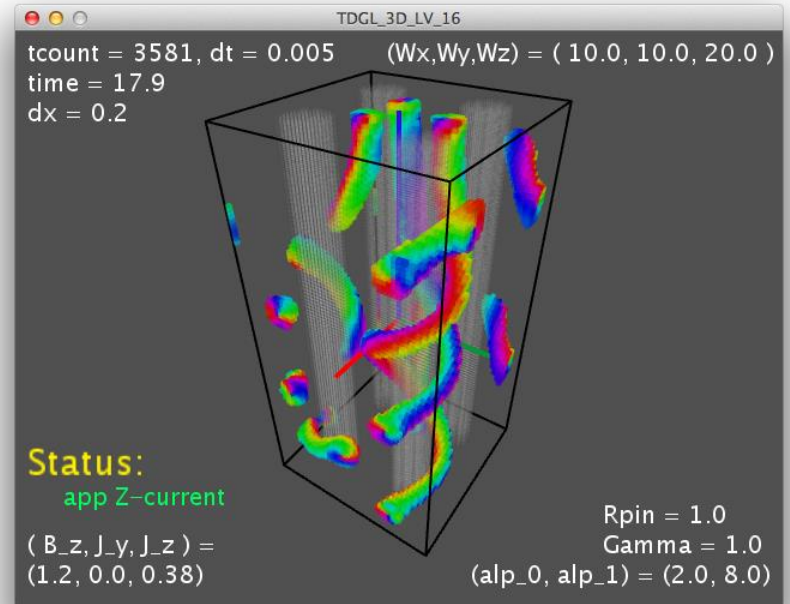
$$N_x = N_y = 50, N_z = 100 \longrightarrow dx = 0.2$$

$$dt = 0.005$$

$$\gamma = 1.0, g = 1.0, \beta = 1.0$$

$$-\alpha_0 = 2.0(\text{outside}), -\alpha_1 = 8.0(\text{inside})$$

$$B_z = 0.8 \sim 1.2, J_z = 0.3 \sim 0.5$$

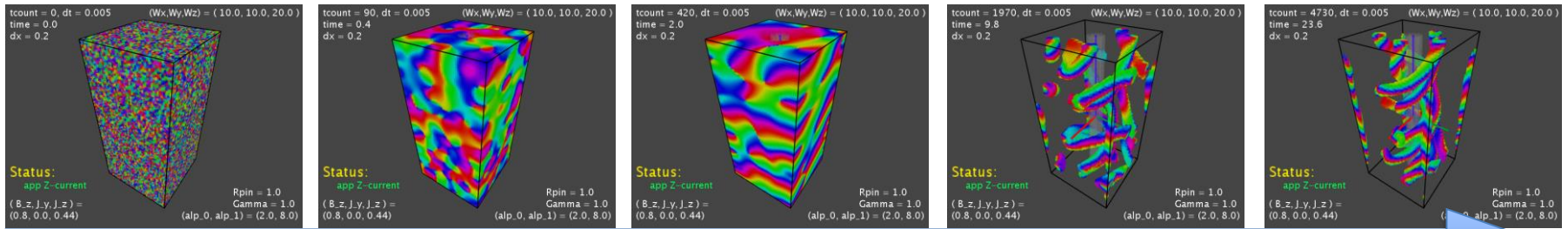


$$\xi = \frac{1}{\sqrt{2|\alpha|}}$$

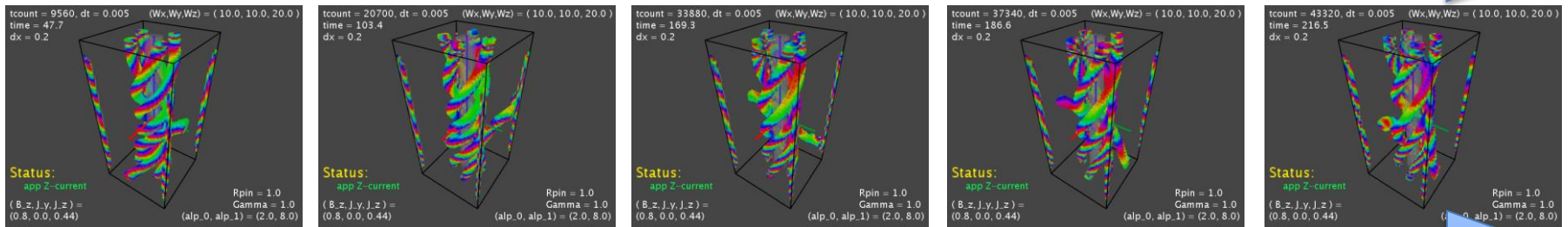
$$\xi_0 = 0.5(\text{outside}), \xi_1 = 0.25(\text{inside})$$

※ リンク変数法, ϕ ゼロゲージ, Processing (Java based IDE)

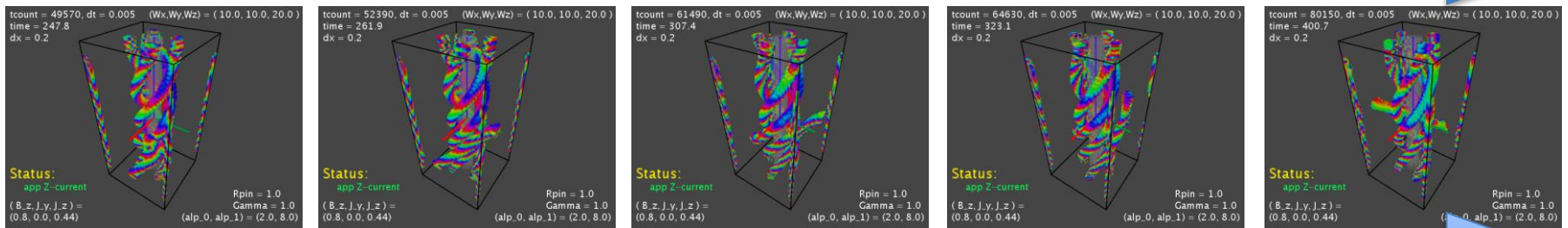
結果：スナップショット



time: 過渡過程



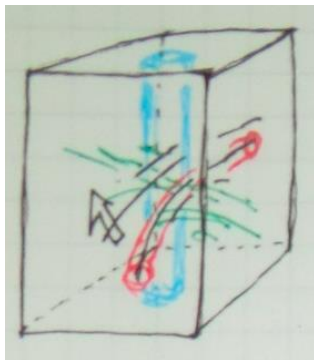
time: 定常状態 (周期的運動)



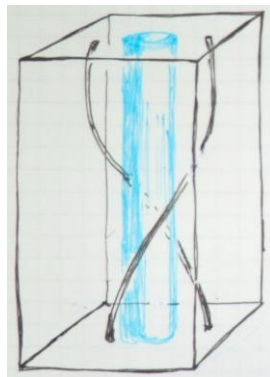
time: 定常状態 (周期的運動)

※ 関連動画: <https://www.youtube.com/user/pftetsuyaGPU/videos>

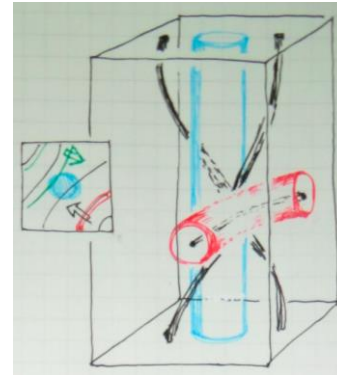
結果：磁束線の運動形態の概要



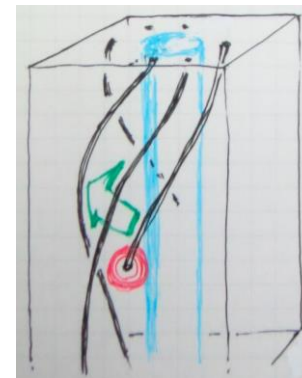
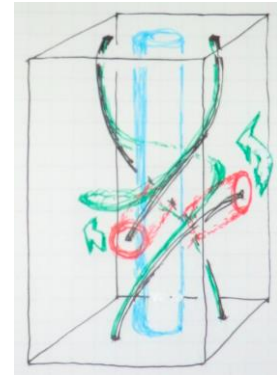
「フロー磁束線」



「束縛磁束線」

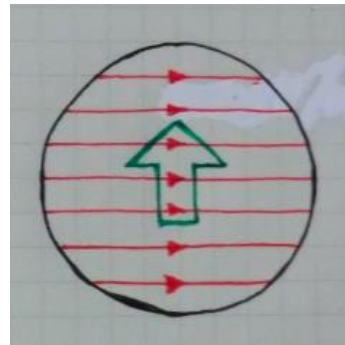
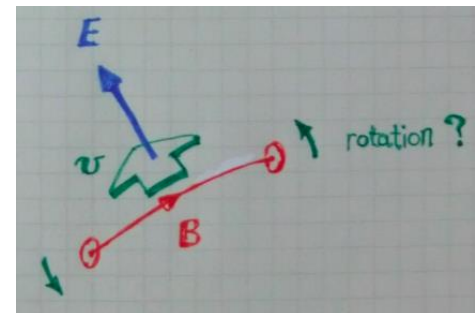
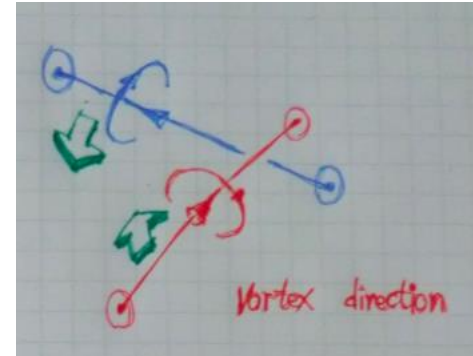
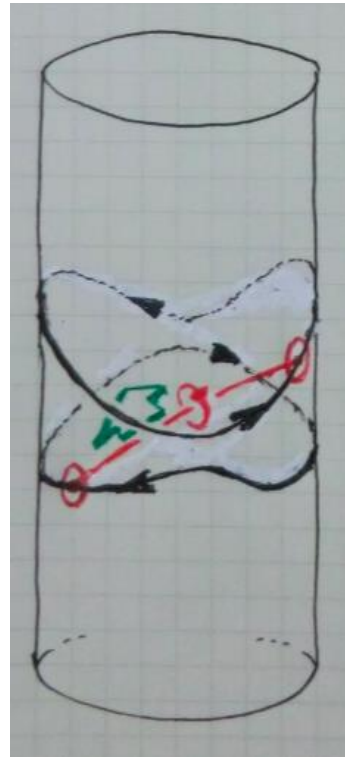
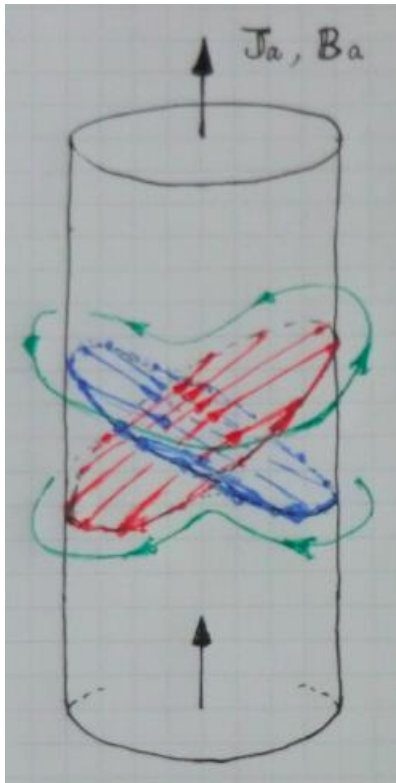


フロー磁束の相互交叉運動



フロー磁束線の疑似ホッピング運動

考察：フロー磁束線の運動



まとめ

- ◎ 磁束線が反発ピンに巻き付くという形態のピン止めがみられた.
- ◎ 磁束線の両端が試料側面にあるとき並進運動が継続し, 反対側で「くるりと自己交叉」して往復運動する.
- △ 片方の端あるいは両方の端が試料側面にある磁束線を取りあえず「フロー磁束線」と呼ぶ事にする.
また, 側面に吸着している線の端を「運動端」, 上下面に吸着している端を「束縛端」と呼ぶ事にする.
- △ フロー磁束線以外の磁束線を「束縛磁束線」と呼ぶ事にする.
なお, 束縛磁束線は両端が試料上下面に束縛されているだけであり, その制限下で運動することができる.
- ◎ 磁束線が反発ピンにピン止めされているとき, フロー磁束線が相互交叉しながら, 結果的にはあたかも反発ピンをすり抜けるようにして試料反対側に到達し「くるりと自己交叉」し往復運動を行う.
- ◎ なお, 相互交叉の場合, フロー磁束線の運動端は試料側面内を並進運動を継続する一方, 束縛端はあまり運動しない.
相互交叉を繰り返す事により, フロー磁束線があたかもホッピング運動しているように見える.
- ◎ フロー磁束の「疑似ホッピング運動」により反発ピンに巻き付いている束縛磁束線のよじれ度は大きくなる.
束縛磁束線はこれを解消する(ほどく)方向に運動する.
フロー磁束の相互交叉を伴うホッピング運動はこの運動と連動している.
- ◎ 磁束線(量子渦線)同士は横磁界下で互いにほぼ正確に平行のときは互いに反発するようにみえるが, 縦磁界下で磁束線が螺旋形態をとる場合, 磁束線同士は容易に接近し交叉するようにみえる.
- ◎ 磁束線の「松下フロー」形態は今回のシミュレーションで「も」見いだせなかった.

※ 関連動画: <https://www.youtube.com/user/pftetsuyaGPU/videos>

今後の課題

- 様々なパラメータにおけるシミュレーションを行い相図(量子化磁束の運動形態の分類)を系統的に行う.
- 磁束線の交差運動の理論解析を行う.
- 縦磁界条件下でのピン止め効果すなわち臨界電流密度の評価をシミュレーションにより行い, 実測値と対応づける.