

# ゼミ レポート 05

山田朔也

2022 年 6 月 13 日

## 1 本レポートについて

本レポートは 5 月 31 日に行われたゼミにて出題された課題に対するレポートとなっている。課題の内容は磁壁移動の計算を行うことだ。

## 2 原理

### 2.1 Bloch 磁壁の運動

Bloch 磁壁に  $+z$  方向に外部磁界を加えると、磁壁は  $+x$  方向に前進する。このメカニズムは以下のようになる。

1. 与えられた外部磁界によって、磁気モーメントは外部磁界を中心に歳差運動を始める。
2. この歳差運動のために、磁壁中心部では原子磁気モーメントは  $-x$  成分を持つことになる。これにより、磁壁内で  $+x$  方向の静磁界が発生する。
3. 磁壁中心部の原子磁気モーメントは、磁壁内部に発生した静磁界を中心に歳差運動を始める。これによって、当該の原子磁気モーメントは  $+z$  方向に成分を持つ。
4. 以上の状況が他の原子磁気モーメントにも同様に発生するため、徐々に磁壁の中心が  $+x$  方向に移動する。

定常状態における外部磁界と磁壁の前進速度  $v$  と、自壁面 ( $y$  軸) から測った磁壁中心部の原子磁気モーメントの方位角  $\varphi_{q=p/2}$  は、以下の式 1, 2 で表される。

$$v = \frac{|\gamma|l_w}{\pi\alpha} H_z^{EXT} \quad (1)$$

$$\varphi_{\theta=\pi/2} = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left( \frac{H_z^{EXT}}{2\pi M\alpha} \right) \quad (2)$$

## 3 問題

問題内容は前回のレポートで得られた平衡状態に対して、 $+z$  方向の磁界を加え、磁壁移動の計算を行うこととなる。なお、材料定数および、各種初期値は以下のようになる。

- 原子磁気モーメントの大きさ  $M = 14 \text{ emu/cm}^3$
- 交換スティフネス定数  $A = 0.1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$
- 異方性定数  $K_u = 10000 \text{ erg/cm}^3$
- 損失定数  $\alpha = 0.14$
- 磁気回転比  $|\gamma| = 1.76 \times 10^7 \text{ rad/(s} \cdot \text{Oe)}$
- 時間刻み  $dt = 0.1 \times 10^{-12} \text{ s}$
- 格子間隔を決定づける変数  $\text{interval} = 10$
- 計算領域を決定づける変数  $\text{region} = 10$
- 外部磁界は  $1 \text{ Oe}$
- 計算点数は偶数個。
- 磁化構造の初期値は解析解を使用する。

ただし、実際に計算に用いる格子間隔  $dx$  の値は、磁壁幅  $l_w$  の  $1/\text{interval}$  の値となる。また、計算領域は  $l_w$  の  $\text{region}$  倍の領域となる。

上記の条件下で、以下のことを計算及び調べる。

1. 定常状態での磁壁の前進速度と、磁壁中心部での磁化の方位角（磁壁面である  $y$  軸から測った値）を計算し、解析解と比較する。
2. 格子間隔と時間刻みを変化させた場合の効果を調べる。特に格子間隔を磁壁幅と同程度にした場合について調べる。

上記の項目をそれぞれ小問 1-2 として回答する。

### 3.1 プログラム

今回の課題を解くプログラムのアルゴリズムは以下のようになった。

1. 事前に用意していた平衡状態をプログラムに読み込む。
2. 以下を任意の時間まで繰り返す
  - (a) 外部磁界を計算に組み込んだ状態で、読み込んだデータに対して 4 次のルンゲクッタ法で  $\text{llg}$  方程式を解くプログラムを適用する。
  - (b) 計算された内容を任意の時間間隔で出力する。

### 3.2 小問 1

まずは、以下にプログラムを実行した際の、時間と磁壁の前進速度の関係は以下の図 1 のようになった。

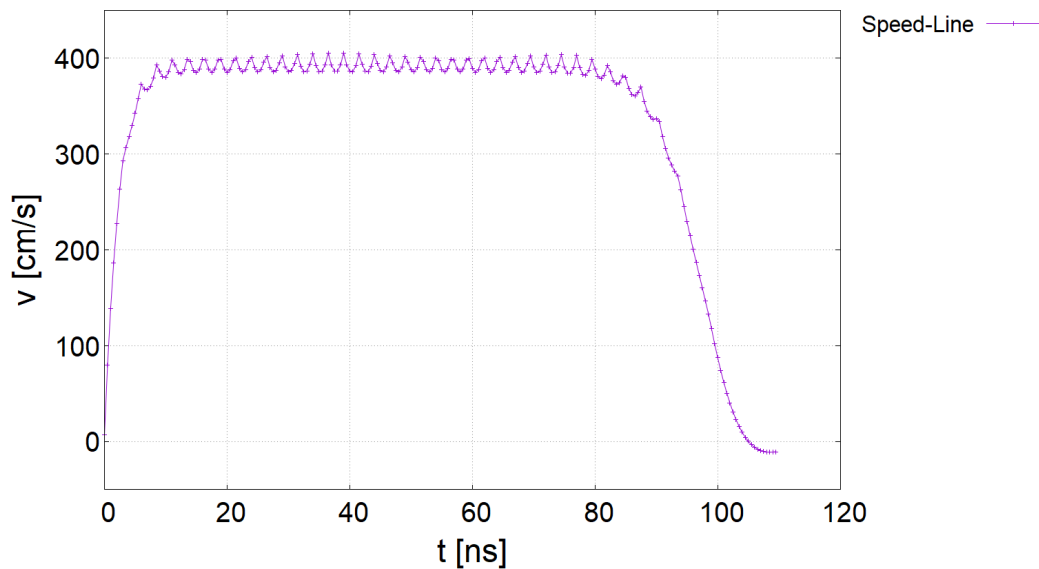


図 1: 時間と磁壁の前進速度の関係

グラフから見て取れるように、解析解で想定されるような一定の速度で磁壁が進んでは行かず、特定の時間から速さが小さくなっていつている。これは、境界条件が固定境界条件となっているためだ。そのため、本来の定常状態における磁壁の前進速度に一番近いのは計算開始からおよそ 40 ns 秒後になる。

この時点をも本レポートでは定常状態と見なすこととする。また、このときの磁壁の前進速度を、速度一週期の平均を取って計算すると 393.3401 cm/s となった。これは解析解で求まる値 397.5434 cm/s と非常に近い値となっている。この値の差は、丸め込みやルンゲクッタ法による誤差だと考えられる。つまり、計算領域を増やして計算の繰り返し回数を増やすことによって、より解析解の値にシミュレーションの値が近づくのではないかと推測される。

次に問題にある通り、方位角（磁壁面である y 軸から測った値）を時間ごとに算出した。その時のグラフは以下の図 2 のようになった。

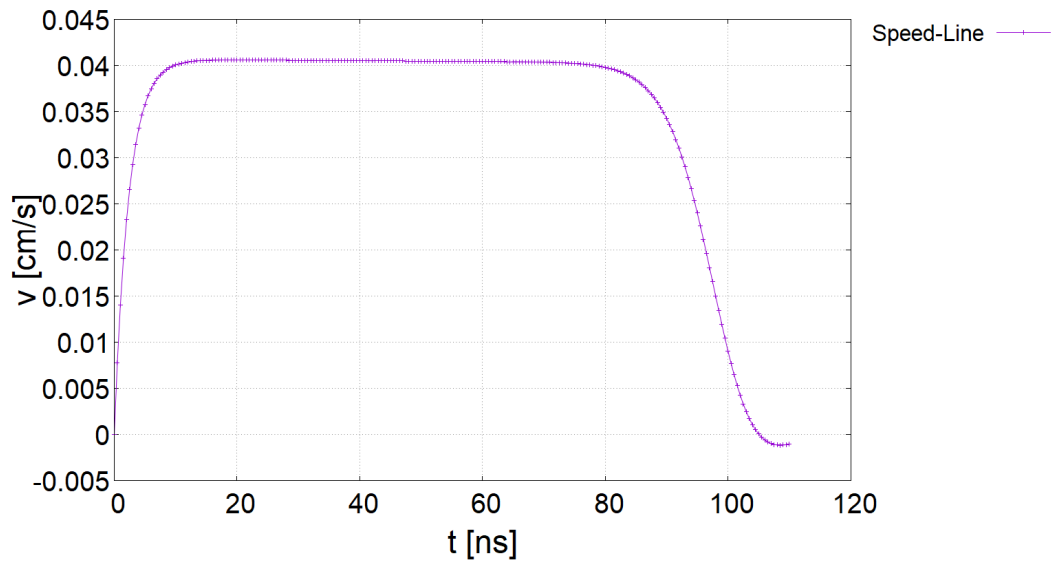


図 2: 時間と方位角の関係

方位角においても、40 ns 秒後を定常状態とみなして、方位角を得ると、 $\varphi = 0.04051452$  となった。これは解析解で求まる値  $\varphi = 0.04064550$  と近い値だ。このことから、磁壁の中心以外でも、原子磁気モーメントに外部磁界をかけた際は、この方位角を取りやすいと推測される。

また、外部磁界を変化させてつつ、磁壁の中心の移動の様子を見た時、以下のようなグラフが得られた。

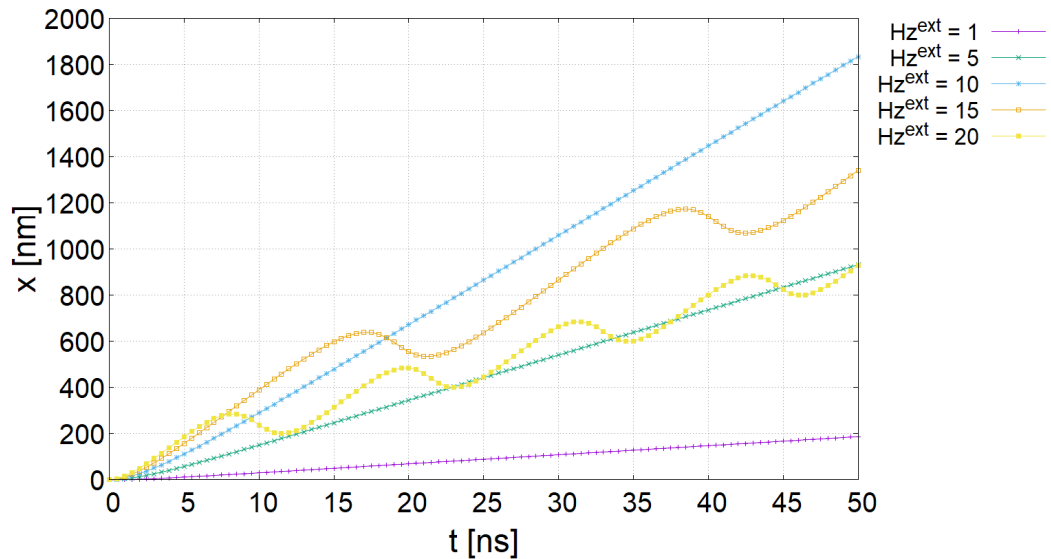


図 3: 時間と磁壁位置の関係

この図から、おおよそ外部磁界が 150e から walker breakdown が発生していることが分かる。さらに外部磁界の変化幅を 5 から 1 に変えて  $H_z = 10$  から計算させていくと以下のようなグラフが得られた。

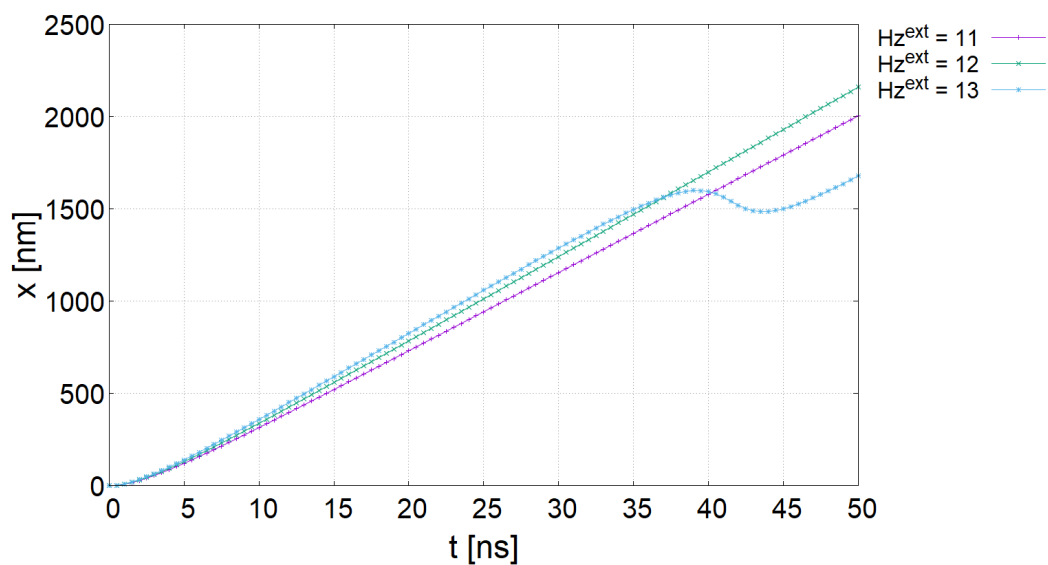


図 4: 時間と磁壁位置の関係

このことから、外部磁界が 13Oe から発生していることがわかった。

これらのことを、横軸を外部磁界。縦軸を磁壁の移動速度としたグラフでまとめると以下のようになった。

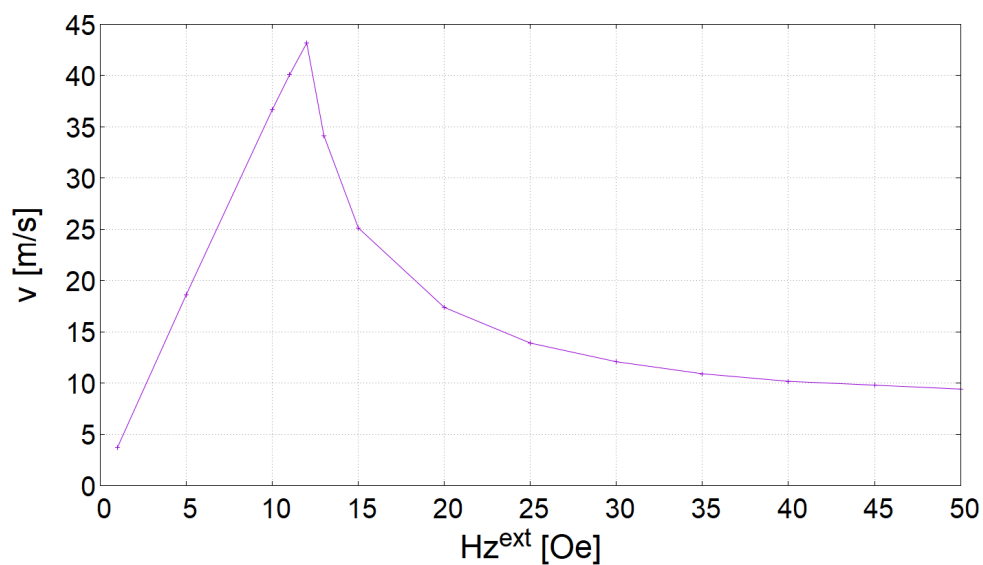


図 5: 外部磁界と磁壁の移動速度の関係

このグラフから、12Oe が walker's velocity になっていることが分かる。

ここで解析解だと、walker's velocity は  $2\pi M\alpha = 12.31504$  となるため、このグラフやシミュレーションが解析解に則していることが分かる。

### 3.3 小問 2

格子間隔と時間刻みを変化させた場合の効果を調べていく。まず、時間刻みを大きくしていったところ、2.8 ps より大きくしたタイミングで計算が破綻した。以下にその時の様子のグラフを示す。このグラフは縦軸に磁壁の移動速度、横軸に経過時間を取ったグラフとなっている。

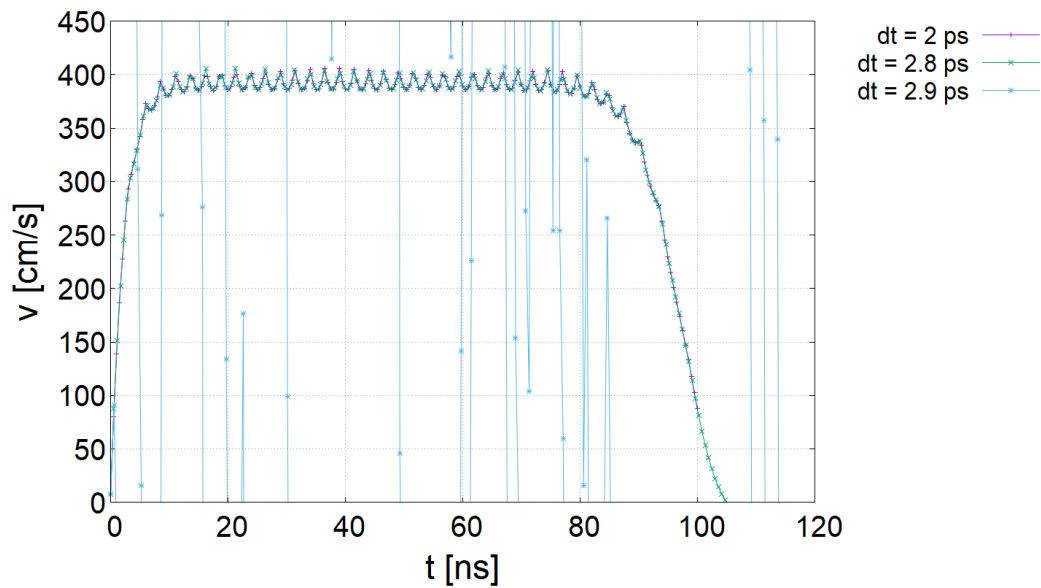


図 6: 時間刻みを大きくした際の様子

また、同様に格子間隔を広げていったところ、格子間隔を磁壁幅の  $1/5$  より小さくしたタイミングで計算が破綻した。そして、格子間隔を磁壁幅と同程度にしたときは、磁壁の移動が全く見られなかった。以下にその時の様子のグラフを示す。このグラフは縦軸に磁壁の移動速度、横軸に経過時間を取ったグラフとなっている。

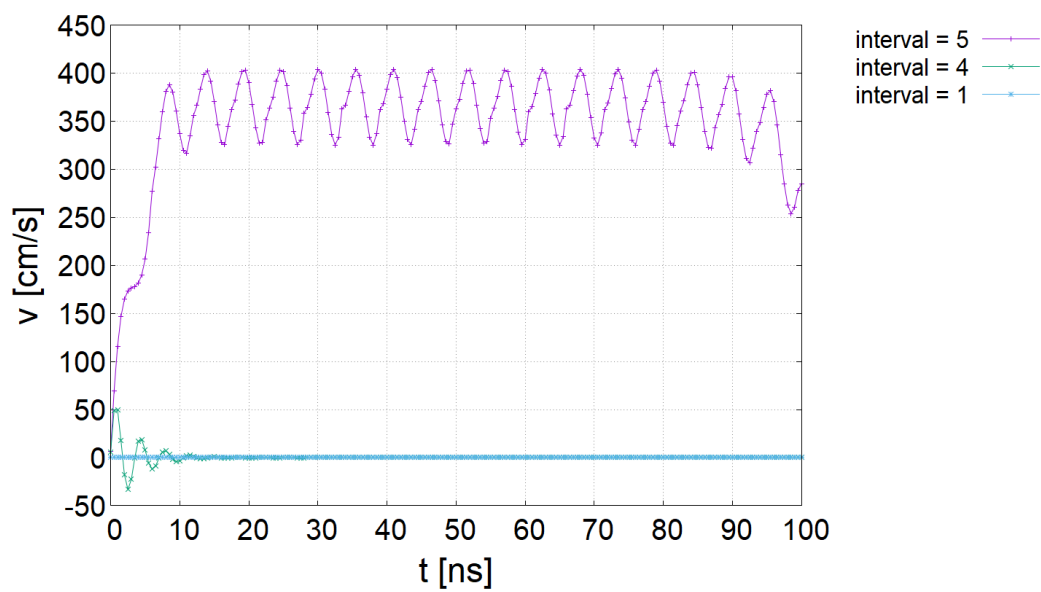


図 7: 時間刻みを大きくした際の様子

このことから、少なくとも時間刻みは 2.8 ps 以下で、格子間隔は磁壁幅の 1/5 以上である必要があることがわかった。

## 4 参考文献

- 配布されたテキスト