

ゼミ レポート 05

山田朔也

2022 年 6 月 6 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 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 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 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。

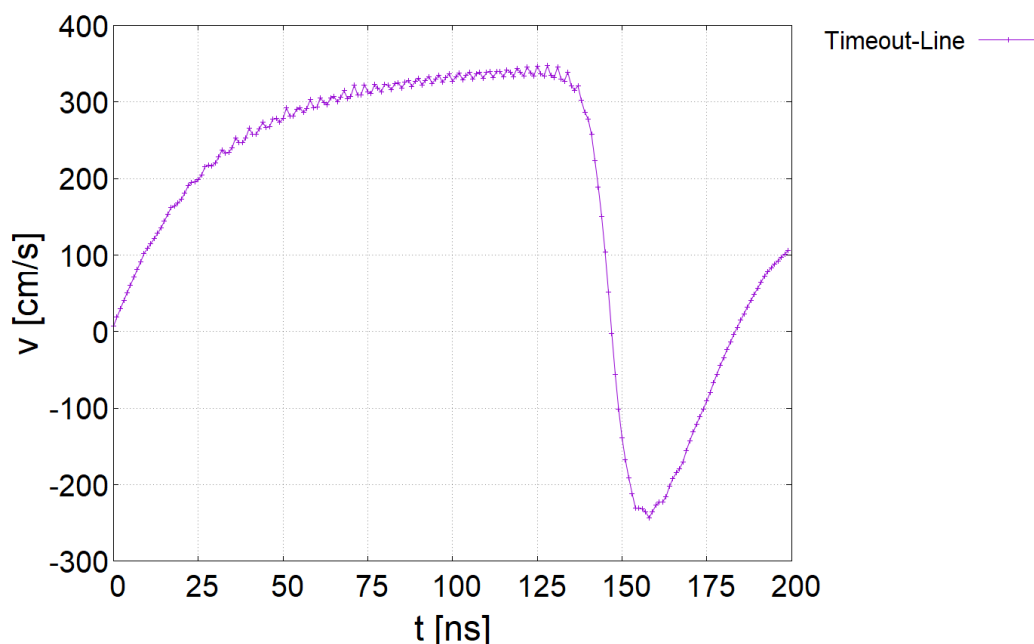


図 1: 時間と磁壁の前進速度の関係

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 128 ns 秒後になる。

この時点の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は 347.5356 cm/s であった。これは解析解で求まる値 397.5434 cm/s と近い値となっている。この値の差は、前述のように計算領域の問題で計算を続けられないことによるものだと考えられる。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、方位角を算出したところ、磁壁の周囲で $\varphi = 2.267$ となった。これは解析解で求まる値 $\varphi = 2.329$ 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。

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 ps より大きくしたタイミングで計算が破綻した。

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と思われる。なぜなら、それまではおおよそ 128 ns 頃に定常状態になり、そのご速度が落ちていくのに対し、6 ns ほどで速度が負の値になってしまうからだ。少なくとも、想定しているような計算結果は得られなかった。

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。

4 参考文献

- 配布されたテキスト