

スマートフォンによるマイクロマグネティクスのゲーミフィケーション

情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻 成見研究室 学籍番号：2131170 涌井桐哉

1 はじめに

マイクロマグネティクスは磁性体内部に現れる原子磁気モーメントの動力学を扱う物理学の一分野であり、ハードディスクのヘッドや MRAM (磁気抵抗メモリ) のシミュレーションなどに応用される。原子磁気モーメントは磁力の大きさとその向きをもつベクトル量であり、原子中の電子の回転運動によって発生する。原子磁気モーメントは Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式 (以下 LLG 方程式と表記) にしたがって動く:

$$\dot{\vec{M}} = -\gamma(\vec{M} \times \vec{H}) + \frac{\alpha}{\|\vec{M}\|}(\vec{M} \cdot \dot{\vec{M}}), \quad (1)$$

ここで \vec{M} , $\dot{\vec{M}}$, \vec{H} はそれぞれ原子磁気モーメント, \vec{M} の時間微分, 実効磁界を表し, γ と α はそれぞれ磁気回転比, 損失定数と呼ばれる定数である。

数式だけでは原子磁気モーメントを理解するのは困難なため, これまで多くのマイクロマグネティックシミュレーション (以下 MMS と表記) の可視化がなされた。特に李はゲームエンジン Unity を用いた MMS の可視化を行い [1], GPU の種類にとらわれないシミュレーションを行った (図 1)。しかし式 (1) 中の実効磁界 \vec{H} は実際には外部磁界 \vec{H}_{EXT} , 異方性磁界 \vec{H}_A , 交換磁界 \vec{H}_E , 静磁界 \vec{H}_D の 4 つで構成されており, 初学者にはどの磁界がどれほど影響するのか, 図 1 を見ただけでは分からない。したがって MMS をゲーミフィケーションし, その中で段階的なシミュレーションを行うことで理解を深めることができると考えた。

2 ゲーミフィケーション

ゲーミフィケーションとはゲーム化すること, つまり既存の物事にゲーム的要素を加えることにより, 能動的に人を行動させる仕組みのことである。人は楽しいことに関しては自分から進んで取り組むが, そうでないことに関しては取り組むことが難しい場合がある。したがってゲーミフィケーションとはこれを改善するモチベーションマネジメント手法となる。特に学習はモチベーションの維持が課題であるため, ゲーミフィケーションと組み合わせることは効果的だと考える。

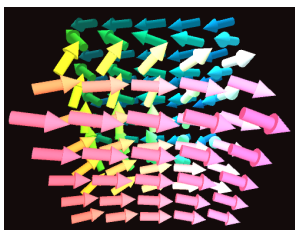


図 1: 原子磁気モーメントの集合

3 既存研究

3.1 Foldit

Foldit はワシントン大学で開発され 2016 年にリリースされたタンパク質の構造予測を行うコンピュータパズルゲームである。同学の Firas らはプレイヤーの解答の中に当時未発表であったアルゴリズムと酷似し, 過去の方法を凌駕するものがあったと報告した [2]。ゲーミフィケーションによってプレイヤーの理解だけでなく分野の発展も促進した一例である。科学的シミュレーションをゲーミフィケーションの対象としている点で本研究と似ている。

3.2 高速フーリエ変換を用いた高速化

Samuel らは Nvidia 社製の GPU を用いて高速フーリエ変換 (以下 FFT と表記) と通常の計算で静磁界の計算を行い, その速度の差を比較した [3]。GPU は CUDA という Nvidia 社の開発した言語で GPGPU に最適化されており, FFT を用いた場合最大で約 54 倍高速化できることが分かった。CUDA は Nvidia 社以外の GPU に適用できない欠点があるが, 本研究ではその制約が無い。

3.3 Unity を用いた MMS の可視化

李はゲームエンジン Unity の ComputeShader という GPGPU 機能を用いて MMS の高速化を行った [1]。CUDA と同様の機能を持つが GPU のベンダーの制限が無い。

4 ゲームの概要

本研究では李の先行研究を元にゲーミフィケーションを行った。原子磁気モーメントの計算や可視化部分は李のシステムを改良したのを用い, それにゲームシステムを組み込んだものが本研究の成果物となる。ゲームのコンセプトは「ゲームオーバーにならないよう外部磁界を操作し, 磁気モーメントたちを特定の方向に向かせる」とし, 入力にジャイロセンサと画面のタッチを用いた。プレイヤーはゲーム画面 (図 2) に表示されるミッションに従い, 原子磁気モーメントをその方向に向かせてスコアを稼ぐ。なお, ゲームオーバーになる条件は「残り時間が 0 になる」「ミッションを n(1~5) 回失敗してしまう」「HP が 0 になる」の 3 つであり, ゲームオーバー時のスコアによってプレイヤーのランク付けがなされる。ステージは難易度に分けてステージ 0 からステージ 3 までの 4 つを設けており, 数字が大きくなるほど実効磁界が複雑化していく (表 1)。

表 1: ステージと実効磁界

ステージ0	外部磁界	ステージ1	外部磁界+異方性磁界
ステージ2	外部磁界+異方性磁界+交換磁界	ステージ3	外部磁界+異方性磁界+交換磁界+静磁界

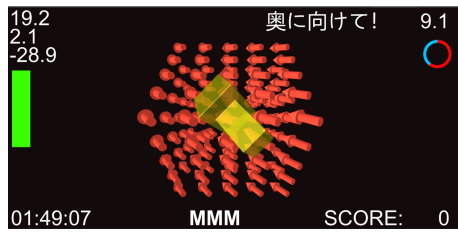


図 2: ゲーム画面

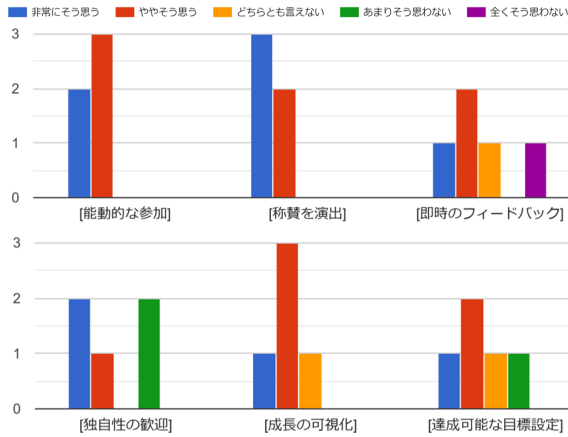


図 3: ゲーミフィケーション 6 要素のアンケート結果

5 評価

5.1 ゲーミフィケーション

被験者 5 名に 20 分程ゲームをプレイしてもらい、その後「マイクロマグネティクスに関する理解度とゲーミフィケーション度を測るテスト及びアンケート」に回答してもらった。

テストは選択式 6 問、記述式 1 問の計 7 問とし、外部磁界と異方性磁界に関する問題を各 2 問、交換磁界に関する問題を 1 問、静磁界に関する問題を 2 問 (選択・記述各 1 問) 出題した。5 名とも選択式 6 問のうち 5 問以上正答したが、特に静磁界に関する選択問題で誤答が多く、2 名しか正答することができなかった。この原因としてジャイロセンサによる操作の困難性が挙げられ、過半数以上のプレイヤーがこれによってステージ 0 あたりで苦戦し、ステージ 3 までプレイすることがあまりできなかったからではないかと考えられる。

アンケートは、本ゲームがゲーミフィケーション 6 要素 [4] にどれだけ則ったものであったかを各要素ごとに 5 段階で評価してもらった (図 3)。概ね肯定的な評価を得られた一方、「即時のフィードバック」や「達成可能な目標設定」で否定的な評価があったり「独自性の歓迎」で評価が二分することも起こった。原因として前述した操作性の他に外部磁界と原子磁気モーメントの変化速度が挙げられる。外部磁界はステージ 2 まで前回のミッションの状態を引き継ぐため、事前に手動で 0 ベクトル状態に戻しておかないと次のミッションに間に合わない仕様になっている。また、ステージ 3 は静磁界の影響が強いためミッションの終了ごとに自動で外部磁界が 0 ベクトルになるようにしていたが、これによって難易度が逆転してしまった。原子磁気モーメントの計算は李のシステムをそのまま使用しており、

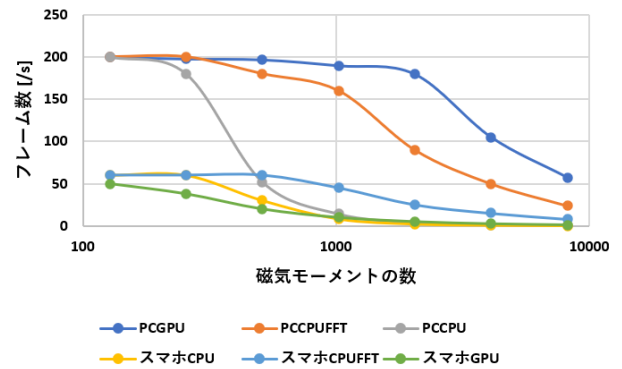


図 4: CPU と GPU, 直接法と FFT 間の速度比較

高速化ができなかったためスマートフォンでプレイする際に処理が遅くなってしまったことに起因している。

5.2 高速化

図 4 は PC とスマートフォンの CPU/GPU 及び FFT を用いた際の計算速度を比較したものである。PC では GPU を用いて計算した方が速くなる一方、スマートフォンでは CPU を用いて計算した方が速くなった。ここで両デバイスの CPU に FFT を施した PCCPUFFT とスマホ CPUFFT を見ると FFT 適用前よりも高速化されていることが分かる。しかし精度が不足する結果となったため更なる改良が必要である。

6 おわりに

本研究では初学者のマイクロマグネティクスの理解促進を目的としゲーミフィケーションを行った。また PC とスマートフォンの性能差の改善を目的とし FFT を用いた CPU による静磁界計算の高速化を試みた。ゲーミフィケーションにおいては多くの課題を発見したものの、「プレイヤーを楽しませる」というゲーミフィケーションで最も重要な目的を達成できた。高速化においては GPU およびゲームに適用することができなかったが、CPU で次元ではあるが FFT による高速化に成功し中精度でシミュレーションすることができた。

今後は操作性の向上や難易度の調整、FFT をゲームに適用し高速化を行うことが必要である。

参考文献

- [1] 李 嘉慶, “Unity によるマイクロマグネティクスシミュレーションのリアルタイム可視化,” 電気通信大学情報理工学研究科成見 研修士論文, 2022
- [2] Firas Khatiba, Seth Cooperb, Michael D. Tykaa, Kefan Xub, Ilya Makedonb, and Zoran Popovićb and David Baker, “Algorithm discovery by protein folding game players,” *PNAS*, vol.108, no.47, pp. 18949–18953, November 11, 2011
- [3] Samuel W. Yuan and H. Neal Bertram, “Fast Adaptive Algorithms for Micromagnetics,” *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, vol.28, no.5, pp. 2031–2036, SEPTEMBER, 1992
- [4] 日本ゲーミフィケーション協会, “ゲーミフィケーション 6 要素,” <https://www.jgamifa.jp/6elements> (最終アクセス日: 2023 年 1 月 26 日)