

課題名（和文）電磁流体力学システムにおける量子アルゴリズムの大規模量子計算のためのマルチ GPU シミュレータの開発

課題名（英文）Development of a Multi-GPU Simulator for Large-Scale Quantum Computation of Quantum Algorithms in Electromagnetohydrodynamic Systems

樋口颯人

九州大学国際宇宙惑星環境研究センター

1. 研究目的

電磁流体力学に対する量子アルゴリズムを実装したシミュレーションコードを開発し、マルチ GPU 環境で実行可能な計算コードへと拡張すること

2. 研究成果の内容

電磁流体力学を対象とした量子アルゴリズムをシミュレーションコードとして実装することができた。これにより、量子アルゴリズムを用いた電磁流体シミュレーションの基本的な計算フローを構築し、実行可能性を確認した。

一方で、実装および性能評価を通じて、いくつかの課題も明らかになった。まず、ハミルトニアン生成に要する時間が計算全体に対するオーバーヘッドとして大きく、メッシュ数を増やした場合でも計算性能の向上が限定的であることが分かった。また、メッシュ数を限界まで増加させると、ハミルトニアンの次元数が指数関数的に増大し、比較的早い段階で GPU メモリの制約に到達することが確認された。具体的には、28 量子ビット前後の量子回路規模において、1 ノードの GPU メモリ上に計算対象を載せることが困難となることが分かった。さらに、シミュレーション時間 T を増加させた場合には、数値振動が生じることが確認された。そのため、単にシミュレーション時間を長くすればよいわけではなく、過度に大きな T を設定すると非物理的な結果につながる可能性があることが明らかになった。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

最新 GPU を用いた実装方法や、大規模計算環境における実践的なコード開発手法を学ぶことができた。

4. 今後の展望

QSVT 近似多項式における偏角パラメータのセット数を増やすことで、近似精度の向上を図る。また、ハミルトニアンの次元数増大に伴うメモリ制約を緩和するため、テンソルネットワークシミュレータを用いて量子回路を分解し、マルチ GPU 環境で効率的に計算する手法の検討を進める。これにより、より大規模なメッシュ数および量子ビット数に対応可能なシミュレーション基盤の構築を目指す。さらに、数値振動の抑制やシミュレーション時間 T の適切な設定方法についても検討を進め、物理的に妥当な結果を安定して得

られる計算手法の確立を目指す。

5. 成果発表

(1) 学術論文

H. Higuchi, Y. Ito, K. Sakamoto, K. Fujii, A. Yoshikawa, arXiv: 2509.22503, 2025

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	一般利用による追加
Pegasus	○	5000NH		
Miyabi-G				
Miyabi-C				
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				