

学生番号	12232091	氏名	吉原 敬貴
論文題目	時間依存ギンツブルグ-ランダウ方程式を用いた超伝導体内磁束運動解析における GPU による計算高速化		

1. 背景及び研究目的

超伝導体が電気抵抗 0 で流すことのできる最大の電流である臨界電流密度 J_c は、超伝導体内の磁束線を留める働きを持つピンについての様々な条件によって変化することが知られている。また、Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式 (TDGL 方程式) は非定常状態の超伝導を記述することができる現象論的モデルとして使われており、TDGL 方程式を元にした量子化磁束線の動きに関する研究が多く存在する。その一つに、細い線における近似を用いた 3 次元の TDGL 方程式を数値的に解くことによって、その超伝導体における J_c の磁界依存性を調査するプログラムが存在するが、現状では解析に多大な時間を要し、速度面でのプログラムの改良が強く望まれている。

上記のような要求があるが、この解析には本質的に大量の演算が必要となり、CPU の演算資源のみによる高速化には限界がある。そこで本研究では、GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units) を用いることで、GPU の演算資源の利用による高速化を実現することをその目的とする。

2. 計算手法

GPU は画像処理を目的として作られる装置で、高負荷な演算を短時間で処理するために多数のプロセッサを搭載し、並列に計算を行う。これを汎用計算に用いることができれば、今まで CPU を用いた逐次処理でしか行えなかった計算を並列化することが可能となり、速度の大幅な改善が見込まれる。ただし、画像処理は単純な計算の集合であるため、GPU は定型で密な計算に強いが、条件分岐や探索などの処理は苦手としており、GPU に担わせる処理は慎重に選ぶ必要がある。GPGPU を用いるにあたり、今回は NVIDIA 社製品に用いることのできる CUDA というコンピューティングプラットフォームを用いる。また、高速化するプログラムが Java によって記述されているため、CUDA の言語バインディングである JCuda も導入し併用するものとする。プログラム内では、超伝導体の秩序度を表すオーダーパラメータ ψ の計算が GPGPU で行うのに適しているため、この部分を GPU において実行されるカーネル関数として記述する。また、JCuda によって CUDA を利用するため、CUDA 用のソースコードを実行ファイルである ptx ファイルにコンパ

ルする必要がある。

具体的にはデバイス用メモリのためのポインタ変数及びそのアロケート、ptx ファイルからのモジュールロードなどの初期化の後、必要に応じてホスト (CPU) とデバイス (GPU) の間でデータの交換を行い、カーネル関数をローンチすることで GPU を利用する。制御の返還はスレッド (プロセッサ) での計算の終了を待たず直ちに行われるので、ローンチ後は全スレッドでの計算が終わるまで、同期関数を用いてホスト側で処理を待機する。

3. 結果及び考察

ここで、本研究において高速化を試みるプログラムを TDGL_Euler_3D、CUDA を用いて高速化したプログラムを作成した順に Ver.1、Ver.2 と称することとする。Ver.1 は CUDA の駆動の確認を主な目的としたプロトタイプである。ここから得られた知見をもとに、データの受け渡しの頻度を極力抑えることや、 ψ の他にも GPU での計算の適性が判明した処理を追加でカーネル関数化することなどの改良を Ver.2 において行ったところ、

下図 1 に示すように Ver.2 では TDGL_Euler_3D と比較して、大幅にその計算時間を短縮することに成功した。

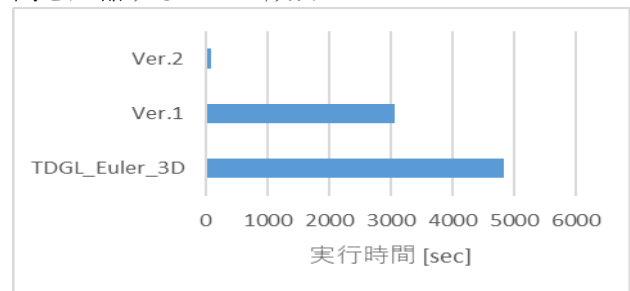


図 1. 同一条件下における TDGL_Euler_3D と Ver.1, Ver.2 の実行時間比較。

TDGL_Euler_3D では 4836 sec を要した解析を、Ver.2 では 69 sec で終わることが可能となった。実行速度は約 70.1 倍になっており、大幅な改善に成功したといえる。

課題としてはグローバルメモリを多用していることで、共有メモリの活用によりさらに早くなる可能性が考えられる。

4. 研究業績

2018 年第 65 回応用物理学会春季学術講演会