



住友重機械工業株式会社 様

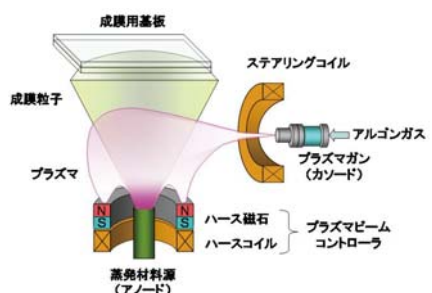
プラズマシミュレーションを実用化したGPUライブラリ

住友重機械工業は、プラスチックの射出成形機やサイクロ減速機などの主力製品を筆頭に、産業機器やメカトロニクス、造船などの幅広い分野の製品を取り扱う総合重機械企業。創業から100年以上培ってきたモノづくりの技術を駆使し、国内はもちろんアジアやヨーロッパ、アメリカなどでグローバルに事業を展開している。

今回お話を伺ったのは、同社の技術研究所 物理応用グループに所属する宮下大氏。宮下氏は大学時代にレーザーとプラズマの相互作用を利用した電子加速器について研究しており、現在は透明導電膜を成膜するRPD (Reactive Plasma Deposition) 装置のシミュレーション開発を行っている。透明導電膜は、その名の通り「透明でありながら電気を通す膜」のこと。スマートフォンのタッチパネルや太陽電池パネルなどにも利用されており、意外に身近な材料だ。

この透明導電膜の品質向上や大面積での成膜には、RPD装置のプラズマ分布を詳細に把握することが重要なポイントとなる。そのカギを握るのが、プラズマのモデリングとシミュレーション。しかし、このシミュレーションには膨大な計算が必要で、従来知られている方法を使って計算することは「事実上不可能」という見方が一般的だった。

この不可能と言われた難題に、宮下氏は果敢にチャレンジ。大きな壁にぶつかりながらも、新たな計算手法の導入、G-DEPが提供している数値計算ライブラリとGPUコンピューティングの活用によって、実用的なシミュレーションを完成させた。常識を覆す成功はいかにして達成されたのか。その詳細と今後の展望について語ってもらった。



RPD装置のイメージ

GPUで流体モデルの計算は500倍も高速に

——RPD装置のシミュレーションを始めたきっかけは？

宮下氏： RPD装置の開発は、これまで実験を中心とした経験工学的な手法が進められてきました。しかし、開発期間やコストなどの側面から、今後はシミュレーションを駆使した開発が必要であると判断しました。まずは、粒子法のひとつであるPIC法 (Particle-In-Cell) を用いたシミュレーションの開発がスタートしました。しかし、PIC法を使ってRPD装置のプラズマをシミュレーションするには、6000の3乗程度という膨大なメッシュが必要になることがわかりました。その計算時間を見積ると、シミュレーションにかかる時間は“数十年”というレベル。現実的な時間でシミュレーションが実用化できるものではありませんでした。

解決の道を探るべくいろいろな大学の先生を尋ねたなか、東京大学の航空宇宙工学科の先生から「ハイブリッドPIC法なら現実的な時間で計算できるのではないか」というアドバイスをいただきました。ハイブリッドPIC法は流体モデルと粒子モデルの両方で解析する手法で、宇宙探査船「はやぶさ」に搭載されたイオンエンジンをはじめとする「電気推進」の研究などに利用されています。このアドバイスが発端となり、粒子同士の衝突を乱数計算で取り扱うMonte-Carlo-Collisionモデルも追加したハイブリッドPIC-MCC法を用いたシミュレーションの開発が、弊社と東京大学による共同研究で2010年6月から始まりました。

——ハイブリッドPIC-MCC法はスムーズに導入できたのでしょうか。

当初、PIC法からハイブリッドPIC-MCC法に変えたことで、必要なメッシュ数を10万以下にまで落とすことができました。ただ、東京大学の電気推進と弊社のRPD装置のプラズマは別物であり、現実的に利用できるツールへと落とし込むためには、弊社独自の精密なモデルを導入する必要がありました。そのため、一度は減ったはずの計算量がまたしても肥大化。東京大学のモデルでは数時間で終わった計算が、独自のモデルを追加したことで最終的には数

ヶ月もかかってしまうという結果になってしまったのです。さらに、2012年時点での現実的な要望としては、格子点数をさらに64倍に増やさなければならぬという課題もありました。そういった意味でも、計算時間を大きく削減する何か特別な手段が必要になっていたわけです。

このような状況でまたしても行き詰っていたところ、近年の解析シミュレーションでは「マルチグリッド法」という手法が使われているということを知りました。マルチグリッド法は方程式を解くためのアルゴリズムの一種なのですが、これについて調べてみるとG-DEPで代数的マルチグリッド (AMG) 法のGPU対応ライブラリ「G-DEP MCL」を提供していることを知りました。AMG法には、格子点数を増やしても反復計算が増えないという利点があります。計算時間の削減が大きなテーマだった弊社は、G-DEP MCLとNVIDIA Tesla GPUで演算処理を高速化させるために、GPUコンピューティングを導入することにしました。

——G-DEP MCLとGPUコンピューティングの効果は？

G-DEP MCLの導入にあたっては、ひとつだけ大きな課題がありました。それは、これまで2年以上開発してきたスキームがG-DEP MCLに対応していなかったため、新しいスキームを1から作り直す必要があったということ。もちろんこれはそれなりに手間のかかる作業ではありましたが、計算時間を劇的に減らせる方法は他に思い当たりませんでした。このメリットを生かすため、さっそく対応するスキームを新たに開発。2013年3月、ついにシミュレーションを実用化させることができました。



G-DEP MCLが利用可能になったことで、数か月かかった計算は数時間~1日で終わるようになりました。G-DEP MCLはハイブリッドPIC-MCC法の流体モデルの計算に利用していますが、その部分だけで比較すると約500倍は高速化できたイメージです。流体モデルが計算全体の大部分を占めるため、全体的に見ても100倍は速くなったといえます。ちなみに、G-DEPでは従来の反復解法であるICCG法と比べて20倍高速化できるとなっていますが、ここまで高速化できたのはモデルの格子点数が多かったからでしょう。また、ライブラリの効果だけでなく、導入に合わせて改編したアルゴリズムも影響しています。

メーカーによるサポート面の強さも導入のポイント「信頼性は重要です！」

——導入のポイントとなったのは、やはり“高速化”だったのでしょうか。

もちろん、高速化がはかれたことは大きなメリットです。しかし、同じAMG法を用いたGPU用ライブラリという点だけで見れば、オープンソースで公開されているものもあります。それでも弊社がG-DEPのライブラリを選んだ理由は、メーカーがしっかりとメンテナンスやサポートに対応してくれるから。自社でトライ&エラーを繰り返しながら開発を進めている以上、予期せぬ事態がさまざまな場面で起こりえます。フリーソフトではバグのある可能性が高いという点だけでなく、そういったときにもしっかりと対応してくれるサポート面の強さを考慮させていただきました。やはり、信頼性の高さは重要でした。

——高速化や信頼性以外でのメリットは何かありましたか。

AMGライブラリやGPUコンピューティングとは直接関係ないのですが、新しいスキームに構築しな

おしたことで分解能が上がり、今までシミュレーションで再現できなかった現象が再現されるようになりました。理由は現在確認中ですが、スキームを再構築する際に「安定して物理的特性を満たすようなスキームを構築する」という目標を設定して作ったことが良かったのでしょうか。意図せず、副次的に分解能が上がったのには驚きました。

また、プラズマは光るので視認は可能ですが、光の濃淡がそのままプラズマの密度に比例するわけではありません。プラズマは“計測する”とはいわず“診断する”といった表現が使われるほどで、その現象を把握するのは簡単ではありません。しかし、シミュレーションによってその現象を数値化・ビジュアル化できたことで、研究者としてはより深く理解できるようになりました。さらに、勘と経験をベースにした仮説も、シミュレーションによって可視化することで誰でも理解しやすくなりました。これにより社内の共通認識が強まり、よりコミュニケーションがとりやすくなったという面も大きなメリットといえるかもしれません。

——今後、AMGライブラリやGPUコンピューティングをどう活かしていきたいですか。

現在はシミュレーションを製品の開発目的のみに利用していますが、今後は制御の領域にも活用できればと考えています。例えば、シミュレーションと測定を組み合わせることで、統計的な手法も用いたリアルタイム制御も可能になるでしょう。仮にここで処理時間に問題が出た場合は、GPUコンピューティングを使って高速化する方法もあると思います。また、プラズマ以外でも弊社の主力製品であるプラスチックの射出成形機などにも、粒子モデルと流体モデルのハイブリッド法とG-DEP MCLを使ったシミュレーションを活用できればと思います。

また、私自身としてはこれまでと同様の研究をやりながら、実機開発などにも携われればと考えています。大学などの研究機関と違い、企業で研究・開

発をするメリットは「製品に近いこと」。実際に売り出される製品にかかわれるような仕事ができるとうれしいですね。ただ、そこには大学レベルに引けを取らない理論武装も必要でしょう。そういった知識をしっかりと持ちつつ、それを工学的に応用していくというスタンスで取り組んでいきたいです。



住友重機械工業
技術研究所
物理応用グループ
宮下大氏

MAS-i7WZ

SandyBrige Corei7システムに2枚のGPUカードを搭載可能な拡張性と驚異的な静粛性を兼ね備えたG-DEP一番人気モデル。マザーボードにはPCI-ExpressX16バスを2基とPCI-ExpressX8バスを1基装備しInfiniBandを利用したミニクラス構築にも最適なモデルです。電源は将来のGPUカード拡張を想定し大容量1300W高効率ユニットを搭載するなど細部に妥協の無い設計です。CPUファンを水冷化し更に静音性を向上。

✦ 主な特徴

- 安定性、静音性に寄与する高信頼性の水冷ユニットを搭載
- 2枚のTesla/Geforce GPU演算カード搭載可能
- 冷却性と拡張性を追求したクーリングストラクチャを採用
- 安定度抜群の高効率電源 80PLUS Silver



✦ 詳しい製品情報やカタログはこちら
<http://www.gdep.jp/>

NVIDIA認定 Tesla販売パートナー NVIDIA Tesla Preferred Partner

日本GPUコンピューティングパートナーシップ

東京 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学アントレプレナープラザ3階
仙台 〒981-3133 仙台市泉区泉中央3-26-1 泉セレクトビル4階
TEL : 022-375-4050 Mail : sales@gdep.jp

- NVIDIA、NVIDIA/TESLAは、NVIDIA Corporationの登録商標です。
- ELSA (エルザ) は、テクノロジージョイント株式会社の登録商標です
- G-DEP (ジーデップ) は日本GPUコンピューティングパートナーシップの登録商標です。
- その他の商品名は各社の商標または登録商標です
- 仕様などは改良のため予告なしに変更されます。
- 本カタログの掲載内容は2013年4月現在の情報です。

