

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 歌野原陽一

修士(工学)歌野原陽一提出の論文は「専用計算機を用いた DSMC シミュレーションの高速化に関する研究」と題し、本文6章及び付録2項から成っている。

気体分子の平均自由行程が飛翔体のサイズ程度となるような希薄な流れを把握するには、数値解析的な手法が有効である。そのような流れを数値解析的に把握する手法として、直接シミュレーションモンテカルロ (DSMC) 法が広く用いられているが、比較的計算量の多い手法であり、実用的な問題を解析するには、多大な計算量を必要としているのが実情である。従来、DSMC 法による計算を高速化するため、アルゴリズムの改良が行われて来ているが、それにはおのずと限度があり、本研究では別のアプローチとして、専用の計算機を構築することで高速化を達成する可能性の検討を行う。その際、実現可能な範囲を模索するため、雛形としての専用計算機的设计、製作を行い、それをもとに専用計算機による計算高速化の可能性について検討を加えることとしている。

第1章は、序論であり、希薄気体流れの数値解析としての DSMC 法とその高速化の必要性、および、現状が述べられる。続けて、さらなる高速化のひとつの手段として、専用計算機の可能性を指摘し、本研究の目的が述べられている。

第2章では、次章以降の説明に必要となる DSMC 法の概略、及び希薄気体における諸関係式が示される。DSMC 法の主要な計算部分は、サンプル分子の自由運動、indexing と呼ばれる操作、サンプル分子同士の衝突計算(衝突判定、衝突後速度計算)である。このうち、比較的演算量の多いサンプル分子の衝突判定演算に特化した専用計算機を開発することとしている。DSMC 法の衝突判定アルゴリズムには最大衝突数法を採用している。

第3章では、専用計算機の仕様および設計方針について述べている。本専用計算機では、DSMC 法における衝突判定の演算を、パイプライン処理と並列化を利用して高速化を図ることとしている。衝突判定以外の演算は、ホストの汎用計算機において行われる。本専用計算機の演算回路の作成には PLD (Programmable Logic Device) という IC デバイスを用い、ホスト計算機とのインターフェースには、汎用でありながら比較的高速なインターフェースである PCI を採用している。演算回路に PLD を用いることにより容易に回路の実現が可能となっているため、本研究で行おうとしている、いわば数値計算用ソフトウェアの一部のハードウェア化に対する敷居を低くすることが可能となっている。

第4章では、作製した DSMC 専用計算機の詳細について述べている。まず、専用計算機を用いた衝突判定の動作手順について述べられ、さらに、専用計算機の構造が述べられている。具体的には、衝突判定を行う演算ユニットを搭載した演算ボードと、衝突判定に必要なサンプル分子の速度データを格納するメモリである SRAM を搭載したメモリボードとで構成されており、それぞれのボードの詳細な仕様について述べている。また、ホスト計算機とのデータ転送について

も詳述している。

第5章では、専用計算機の動作確認を行い、さらに性能評価を行っている。まず、専用計算機の動作確認として、クエット流について計算を行い、速度分布、温度分布ともに妥当な結果を与えることを確認している。

次に、専用計算機の性能を評価するため、処理に要する時間の計測を行っている。まず、専用計算機を用いて計算した場合とソフトウェアのみで計算した場合について、要する時間の比較を行っている。その結果、専用計算機の使用により衝突判定の計算時間が格段に短縮していることを確認している。専用計算機の作動時間の内訳として、データ転送と衝突判定演算にかかる部分に分けることができるが、それぞれ、理論的に可能な限度に近い性能が達成されている。現状においては、専用計算機作動時間のうち、実際に衝突判定を行っている時間より、データ転送に費やされている時間の方が多くなっている。ただし、この比率は、DSMC のアルゴリズムに依存し、ここで用いられた最大衝突法よりさらに正統的なアルゴリズムでは、衝突判定に要する時間の比率が格段に大きくなる可能性がある。

引き続き、専用計算機のさらなる高速化の可能性を模索している。まず、データ転送の高速化であり、将来の技術動向を検討している。また、並列化による高速化についても検討を行っている。以上の考察をもとに、ここで検討した衝突計算については、そのような工夫により現段階で考えられる様々な改良を施した専用計算機の演算速度として、8台並列させたもので平均演算速度 7.0[Gflops]程度と予測している。

第6章は結論であり、希薄気体の DSMC 法によるシミュレーションの高速化が可能であることを実機の作製を通して示し、さらなる高速化の可能性を示した、としている。

以上要するに、本論文は希薄気体のシミュレーションの専用計算機による高速化の可能性を示し、将来の大規模計算の可能性を示した点で、宇宙工学に貢献するところが大きいと認められる。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。