

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	GPUスパコンにおける動的負荷分散を用いた大規模粒子法シミュレーション
Title(English)	
著者(和文)	都築怜理
Author(English)	Satori Tsuzuki
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10097号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 尊之,末包 哲也,長崎 孝夫,肖 鋒,横田 理央
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10097号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	都築 怜理	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	青木 尊之	教授	横田 理央	准教授
	審査員	末包 哲也	教授		
		長崎 孝夫	准教授		
	肖 鋒	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「GPU スパコンにおける動的負荷分散を用いた大規模粒子法シミュレーション」と題し、全6章から構成されている。

第1章「序論」では、粉体や流体、その連成問題の解析に対して、粒子法による大規模シミュレーションを行う重要性を示し、それを実現するための要素を述べている。近接相互作用に基づく粒子法においても計算コストが高く、高精度計算では多数の粒子を必要とするため、そのシミュレーションには GPU (Graphics Processing Unit) を演算加速器として多数搭載する GPU スパコンが必要となる。そこで本研究では、階層的なメモリ構造をもつ GPU スパコンに適した動的負荷分散法を提案し、近接相互作用に基づく粒子法の大規模シミュレーションの高効率な計算を実現することを目的としている。

第2章「近接相互作用に基づいた粒子法シミュレーションの数値計算手法」では、本研究で用いる粉体や流体、流体構造連成のための近接相互作用に基づく粒子法の数値計算手法である個別要素法と改良型 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法について説明し、それらを検証問題に適用した結果を示している。

第3章「粒子法シミュレーションの GPU コンピューティングによる実装」では、単一 GPU 計算における粒子法の高速度化手法を示し、複数 GPU 計算における粒子移動の効率的な処理方法を述べている。GPU 間の頻繁な粒子データの通信により GPU のメモリの使用範囲が断片化し計算時間が急増する問題に対し、定期的に粒子データを再整理することで断片化を抑制することができることを明らかにしている。さらに再整理のコストと計算時間の関係について調べ、再整理の最適頻度の数理モデルも提案している。これらにより粒子法の長時間計算を可能にしている。

第4章「複数 GPU を用いた粒子法シミュレーションの動的負荷分散法」では、粒子が時間的に移動することで粒子分布が空間的に偏ることにより生じる GPU メモリの枯渇、計算負荷の不均一による並列化効率の著しい低下が大規模計算を阻んでいることを指摘している。この問題に対し、スライズグリッド法、及び3種類の空間充填曲線を用いた木データ構造による領域細分化に基づく動的負荷分散法を複数 GPU 計算に適用している。東京工業大学の TSUBAME スパコンを用い、3次元ダムブレイク問題の計算に対し、GPU 数を増やしたときの強・弱スケーリングを調べ、各手法の並列化効率を比較している。スライズグリッド法では領域形状のアスペクト比が高いことにより並列化効率が 256GPU から 512GPU で著しく低下することが分かり、空間充填曲線を用いる方法では領域分割の局所性により領域接続数が減少し、特にヒルベルト曲線とペアノ曲線は曲線が計算領域内で交差しないため、並列化効率が大幅に向上することを明らかにしている。

第5章「複数 GPU による大規模粒子法シミュレーションの実問題への適用」では、64 GPU を用いて 1,670 万個の粒子によるゴルフ・バンカーショットの粉体シミュレーションを行い、ゴルフボールへの運動伝達解析を可能にしている。また、4種類からなる流木 945 個と 7 棟の建物を含む 256GPU を用いた津波シミュレーションでは、水の動圧よりも流木の衝突による衝撃圧が圧倒的に大きいことを示している。さらに大規模な 1 億 1,750 万個の粒子を用い 12 種類から成る 10,368 個の瓦礫を含む 256GPU を用いた津波シミュレーションを実行し、計算結果の解析を行うとともに提案する計算手法が実際の規模の自然災害のシミュレーションに適用できることを示している。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題および展望について述べている。

以上を要するに、本論文は粉体や流体、その連成問題に対し、近接相互作用に基づく粒子法による大規模シミュレーションを GPU スパコンにおいて高効率に実行する動的負荷分散法を提案し、さまざまな問題に適用することでその有効性を実証するものであり、計算科学への貢献と応用分野への適用可能性を示す論文である。よって本論文は博士 (理学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。