

(続紙 1)

京都大学	博士（エネルギー科学）	氏名	菅原 章博
論文題目	大規模シミュレーションを中心に据えた遠隔研究システム		
（論文内容の要旨） 本論文は、超並列スーパーコンピュータによる長時間実行と大容量のデータを生成する大規模プラズマシミュレーション研究に焦点をあて、様々な時空間スケールの微細構造やダイナミクスに支配されるプラズマの複雑現象を、地域的・分野的に分散した多くの共同研究者の英知を結集することによって解明する遠隔研究システムの構築についての研究成果をまとめたものであり、6章からなっている。 第1章は序論であり、本稿で対象とする核融合を中心としたプラズマ研究における大規模シミュレーションの特徴を論じるとともに、その計画・立案、プログラムの設定・実行、大容量数値データの生成、データ解析や画像処理による目的とする現象の同定、議論を通して物理機構の解明、研究の公表や論文文化など、シミュレーション研究の作業過程を詳しく分析している。特に、長いシミュレーションの実行時間を有効に活用することが重要との着想に基づき、これまでシミュレーション後に行っていたポストプロセスによる解析に対して、計算結果をモニタリングしながらシミュレーションの実行中に様々の解析を行う「アップデート処理」という新しい概念を提案している。モニタリングに関しては、シミュレーションと並行して、実時間で常時結果を表示して監視するのではなく、監視すべきデータの種類や物理現象に依存した適切な時間間隔で最新情報が更新される環境を構築することや、そこでの機動的な画像解析や可視化の重要性について議論している。 第2章では、近年の大型並列計算機におけるハードウェアやソフトウェアの性能の進展を基礎に大規模シミュレーションを推進するには、様々な役割分担のもとに、研究者個人の枠を超え、グループとして取り組むことが重要であることを、幾つかの例を踏まえて論じている。また、アップデート処理に重要な役割を果たすモニタリング手法について、これまでの既存の手法を「ライブラリ導入型」と「並行起動型」とに分類し、それぞれの長所・短所を詳細に分析するとともに、それに基づいて大規模シミュレーションの効率的なモニタリングに求められる要件や機能について検討している。また、大規模シミュレーション研究を支援するシステムを構築するにあたっての幅広い研究者や技術者の意見や要望を取り纏めている。 第3章では、第2章で議論した大規模シミュレーション研究に要請される様々な要件を踏まえ、本研究で提案・構築するSIMON(SImulation MONitoring)と命名した遠隔研究システムの概要を論じている。このシステムは、スーパーコンピュータ上で実行されているシミュレーション（クライアント「SIMON-Client」）が、シミュレーション結果の解析に関わる様々な作業の			

依頼を外部計算機（サーバ「SIMON-Server」）に対して送信し、依頼を受けたサーバが自動的に処理を行う「クライアント・サーバモデル」で構成されている。この依頼を行う手法を「トリガー送信」として命名し、これによって既存のモニタリング手法には無かったアップデート処理を実現した。

このトリガー送信手法は、大学・機関間のグローバルネットワークにおけるセキュリティに留意する必要があることから、ExpectスクリプトによるSSHで外部計算機に接続して依頼を行っている。また、SSH接続で必要となるパスワードは、SIMON独自の暗号化によって保護した。更に、外部計算機へトリガー送信を行う際、プライベートIPアドレスのみで構成された計算CPUを持つ並列計算機上で本システムを使用するため、計算CPUからグローバルIPアドレスを持つFront CPUへの通信を第1段階、Front CPUから外部計算機への通信を第2段階とする2段階トリガー送信手法を考案した。これにより、一般的な並列計算機構成であればトリガー送信を行うことが可能になった。

このトリガー送信手法は、データ転送やモニタリング機能だけではなく、現行のシミュレーションの結果と過去の結果との自動的な比較・参照をはじめとした様々な応用が期待され、この可能性についても論じている。

第4章では、構築したシステムの具体的な構成や仕様について記述している。特に、本システムを導入する際に必要な環境設定やコードへのSIMON-Clientの導入方法や留意点、SIMON-Server の設置・設定方法、可視化アプリケーションのマクロ機能による自動可視化処理法、Webへの配信方法などの詳細について概説している。

第5章では、構築したSIMONシステムを、京都大学の大型並列計算機・T2Kや、核融合科学研究所に設置されたプラズマシミュレータを用いたシミュレーション研究に適用した導入例を紹介している。いずれの計算機環境においてもセキュリティを確保しながら、数十時間に及ぶ放電・雷シミュレーションや高強度レーザー物質相互作用の大規模シミュレーションにおいて、トリガー送信やそれを受けた解析処理、Webへの結果の配信やモニタリングが正常に起動するとともに、本システムが密接な連携を図る共同研究者参加型の共通のプラットフォームとして機能することを確認している。また、トリガー送信がシミュレーションコードに与える影響についても検討を行い、システムのトラブルがシミュレーションの実行を妨げることがないことを確認している。さらに、トリガー送信に要する時間について、計算機環境やネットワークの状況に左右されるものの、平均1secであることを確認している。

第6章では、本論文の主要な成果とシステムの問題点や課題、また、今後システムを普及させるのに必要な要件などについても議論している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、超並列スーパーコンピュータによる長時間実行と大容量データ出力する大規模プラズマシミュレーション研究に焦点をあて、様々な時空間スケールの微細構造やダイナミックスに支配されるプラズマの複雑現象を、地域的・分野的に分散した多くの共同研究者の英知を結集することによって解明するシステムを構築することを目的としたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

- 1) 長時間で大容量のデータを出力するプラズマの大規模シミュレーションを対象に、コードの変更や実行に負担を与えることなく、途中結果をモニタリングやデータ解析を行う「トリガー送信」と命名した情報伝達手法を提案し、それにより上記目的を達成するシステムを提案・構築した。これは、スーパーコンピュータ上で起動しているコード(クライアント)が、その実行中にデータ解析や可視化、Web 配信等の依頼情報のみを外部計算機(サーバ)に送り、これを受けたサーバが依頼情報に従ってシミュレーションの実行と同時並行で自動的に処理を行うクライアント・サーバモデルに基づくものであり、従来提案されたモニタリング法では達成できない特徴を有する。
- 2) 上記 1) の着想の下に、大規模シミュレーションで再現される様々な複雑現象を共同研究者のニーズに従って効率的に解析するため、解析の種類を階層化し、可視化のアプリケーション機能と Web の相互通信機能を融合させた可視化・画像解析環境を構築した。また、本システムは、クライアント・サーバ間で密接な情報交換を行うため、SSH の login shell を動的に構築する方法や、パスワードを複数の暗号化によって変換する方法を考案し、セキュリティレベルの向上を図った。
- 3) 開発したシステムを、共に超並列計算機である京都大学のT2Kおよび核融合科学研究所のプラズマシミュレータを使用した高強度レーザープラズマ相互作用の大規模シミュレーション研究に適用した。数十時間から数日に及ぶ長時間シミュレーションの実行に影響することなくトリガー送信が正常に機能するとともに、複数の共同研究者によるWebを介した途中経過のモニタリングや目的に応じた様々な大規模データの解析作業が、セキュリティが確保された状況下で、効率的になされることを確認した。

以上の研究は、長時間の実行と大容量データを生成する大規模なプラズマシミュレーション研究に対して、分野的・地域的に分散した多くの共同研究者とシミュレーション結果の共有を基礎に、密接な情報交換を図りながら効率的に研究を推進するシステムを提供するものであり、シミュレーション科学の進展に貢献するものである。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年8月3日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降