

氏名	たけ 武	みや 宮	ひろし 博
学位(専攻分野)	博士(工学)		
学位記番号	論工博第3959号		
学位授与の日付	平成19年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
学位論文題目	大規模実グリッドアプリケーションソフトウェアの開発と実行に関する研究		
論文調査委員	(主査) 教授 島崎真昭	教授 北野正雄	教授 小山田耕二

論文内容の要旨

本論文は、グリッド環境での実行に適した処理として期待されているデータ並列処理，タスク並列処理，および大規模長時間処理に着目し，各々を Grid-enabled MPI, GridRPC, および GridRPC と MPI を組み合わせるプログラミング手法にもとづいてグリッド上で実行可能とし(グリッド化)，実行するための方法論，および実際にそれらをグリッド環境上で実行することにより得られた知見に関してまとめたものであり，全5章から構成されている。

第1章は序論であり，研究の背景として，1990年代に提唱された「グリッドコンピューティング」という新しい処理形態の実現に向けて，グリッド基盤やミドルウェアの開発整備，実運用環境構築の試み，個々のアプリケーション分野におけるグリッドアプリケーションの開発といったアプローチが行われていることを述べるとともに，そのような試みにもかかわらず，未だにグリッドアプリケーションの開発・実行が一般化していないことを問題点としてあげている。その原因の一つとして，実際にアプリケーションを開発，実行する際の方法論が確立していないという点があることを指摘し，現在利用されているグリッドアプリケーション開発手法の利点と問題点について分析している。さらに，分野毎にグリッドアプリケーションの開発を試みるのではなく，グリッド環境での実行に適していると考えられるアプリケーションの処理形態を分類し，処理形態毎に開発論を明確化するという新しいアプローチを提案している。また，本アプローチにより得られた知見を基盤開発や実運用環境開発，あるいは分野毎のアプリケーション開発プロジェクトに対しフィードバックすることにより，高度なグリッド環境の構築が促進され，ひいてはグリッドアプリケーション開発の促進につながることを述べている。

第2章では，Grid-enabled MPI を用いたデータ並列処理のグリッド化に着目し，データ並列処理プログラムの一つである航空機翼の振動解析連成計算プログラムを対象に，Grid-enabled MPI の実装系の一つである Stampi による効率の実行の実現について述べている。Grid-enabled MPI は，既存の MPI プログラムを修正することなくグリッド環境上で実行することができるという特質を持つが，複数の計算機資源を用いて，一台の計算機資源を用いた場合の実行性能を上回るためには，プロセッサ数やメモリ量といった計算機資源の物理的な制約を緩和するスケールメリットと，計算機資源のアーキテクチャ特性に応じてプログラムの処理を割り付けることにより処理時間を短縮するアーキテクチャメリットを利用することが重要であることを指摘するとともに，処理と通信を重ね合わせることでグリッド環境における高い通信コストを隠蔽する必要があることを示している。また，航空機翼の振動解析連成計算プログラムが，流体計算及び格子生成および，構造計算プログラムという三種類の異なるデータ並列処理から構成されているという特徴を持つことに着目し，その実行特性および通信特性から，前二者をベクトル並列計算機，後者をスカラ並列計算機上で実行させることで，スケールメリットおよびアーキテクチャメリットが実現可能であることを明らかにしている。さらに，シミュレーション処理と通信を重ね合わせることにより，遠隔に配置された2台の並列計算機を用いても1台の計算機資源で実行する場合の実行性能を上回ることが可能であることを明らかにしている。

第3章では，タスク並列処理と親和性の高いプログラミングモデルである GridRPC に関して，グリッド環境の非均質性，不安定性，動的変動性といった特質に対処し，高性能なタスク並列処理を実現するために必要な機能を考察し，GridRPC

の参照実装系の一つである Ninf-G2 に対して実装した機能について述べるとともに、Ninf-G2 を用いて実装した典型的なタスク並列処理プログラムである気象シミュレーションプログラムを対象に環太平洋グリッドテストベッド上で性能評価を行い、新規に実装した機能を利用することで実行時間が30%程度低減可能であること、および個々の処理時間が数十秒程度であるような比較的細粒度のタスク並列処理であっても、数百プロセッサを用いて効率的に実行可能であることを明らかにしている。また、タスク並列処理プログラムのグリッド化を検討しているアプリケーションプログラマや実運用レベルのグリッド環境構築を検討しているサイト管理者への情報提供を念頭に、GridRPC を用いた既存アプリケーションのグリッド化容易性を評価するとともに、複数のサイトに設置された計算機資源を利用してタスク並列処理を実現する際に考慮すべき点をまとめている。

第4章では、グリッド環境に散在する数千プロセッサ規模の計算機資源を数ヶ月にわたり利用して行われる大規模長時間実行アプリケーションの開発および実行に関して論じている。このような特質を持つアプリケーションの実行には、必要に応じて実行対象計算機資源を変更できる柔軟性、障害の検知や復旧を自動で行える頑健性、大規模計算機資源を効率よく利用・管理できる効率性が必要であることを述べ、既存のプログラミング手法ではこれらの要求を全て満足することができないことを示すとともに、GridRPC と MPI を組み合わせる新しいプログラミングアプローチがこれらの要件を満足することを指摘している。また、本アプローチにより実グリッドアプリケーションを構築するための具体的な手法について示すとともに、典型的な大規模長時間実行アプリケーションの一つである Hybrid QM/MD シミュレーションプログラムを本アプローチに基づきグリッド化し、環太平洋グリッドテストベッド上で大規模プログラム実行可能性検証実験、耐故障性検証実験、長時間継続実行実験を行うことで、上記アプローチが実際に大規模アプリケーションの長時間実行に有効であることを示すとともに、複数サイトを用了アプリケーションの長時間実行に関して実験を介して得られた知見をまとめている。

最後に第5章では本論文の総括を行う。得られた成果について要約するとともに、今後の展開について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、広域に分散した計算機資源を連携させ、これまで不可能であった大規模 / 複雑な問題を解くグリッド計算において、アプリケーションソフトウェア開発の方法論を確立することを目指し、1) データ並列処理、2) タスク並列処理、3) 大規模長時間処理という特徴をそれぞれ有する3種類の実アプリケーションを、グリッドアプリケーション構築用の代表的なプログラミングモデル Grid-enabled MPI および GridRPC の参照実装系である Stampi および Ninf-G2 を用いて、グリッド上で実行可能とするための手法について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. データ並列処理が重要である例として、航空機翼の流体解析 - 振動解析連成計算を取り上げ、応用プログラムの特徴と計算機アーキテクチャとの適合性に留意し、流体解析をベクトル計算機上で、振動解析をスカラ並列計算機上で実行させ、両プログラム間の通信を Grid-enabled MPI で実現し、両プログラム間の通信と計算とを重ね合わせて、グリッド環境における高い通信コストを隠蔽し、1台の並列計算機を使用した場合の実行性能を上回ることが可能であることを示した。

2. タスク並列処理が重要である例として、気象シミュレーションプログラムを取り上げ、GridRPC の実装系である Ninf-G2 を用いて既存のタスク並列型の処理をグリッド上で実行可能とする手順を開発し、広範囲に分散した並列計算機から構成されるグリッド環境において気象シミュレーションプログラムが高性能に実行可能であることを示した。

3. グリッド環境上において数千プロセッサ規模の計算機資源を数ヶ月にわたって必要とするような大規模長時間実行アプリケーションの開発および実行には、必要に応じて実行対象計算機資源を変更できる柔軟性、障害の検知、復旧を自動で行える頑健性、大規模計算機資源を効率よく利用、管理できる高性能性が必要である。そこで GridRPC と MPI とを組み合わせる新しいアプローチを提案し、典型的な大規模長時間実行アプリケーションの一つである Hybrid QM/MD シミュレーションプログラムのグリッド版を開発し、環太平洋グリッドテストベッド上で長時間実行した結果から提案したアプローチが有効であることを示した。

以上要するに本論文は、1) データ並列処理、2) タスク並列処理、3) 大規模長時間処理という特徴をそれぞれ有する3種類の実アプリケーション開発のための方法論を与え、その有効性を示したものであって、学術上、實際上寄与するとこ

ろが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年2月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。