

氏 名 佐賀 一繁

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1559 号

学位授与の日付 平成24年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 異種グリッド間インターオペレーション技術に関する研究

論文審査委員 主 査 教授 合田 憲人
教授 漆谷 重雄
准教授 鯉渕 道紘
客員教授 三浦 謙一
教授 松岡 聡 東京工業大学

論文内容の要旨

現代の科学研究は大規模化、高精度化、複雑化、多角化する一方であり、その円滑な推進にはコンピュータは欠かせないものとなっている。このため、ユーザからのコンピュータの大規模化、高速化への要望は限りがなく、個々の組織で対応するのが難しくなっている。そこで、ユーザが必要とするコンピュータ資源を必要なときに必要なだけ得られる環境を目指し、組織の垣根を越えてコンピュータ資源を連携させるグリッドコンピューティング（以下グリッドと略）が考案された。この仕組みを利用すれば、ユーザは広域なネットワーク上にある複数の実組織や個人が所有するコンピュータ資源群やストレージ資源群を、あたかもひとつの仮想的な組織（Virtual Organization: VO）が所有する資源群であるかのように横断的に使用することが可能となる。また、グリッド環境はコンピュータ資源を補完するための連携に使われるだけではない。研究コミュニティでデータやアプリケーションを共有し研究を円滑に推進するためにも使われている。現在、欧州、米国、中国などの諸外国では、グリッドコンピューティング技術による資源の組織間連携の有効性が認められ、国策としての大規模グリッド環境や様々な研究コミュニティによるグリッド環境が構築され広く利用されている。

このように、その有効性が認められ諸外国では盛んに利用されるようになってきたグリッド環境であるが、この技術が提案された初期にはインターフェースや情報表現方法などに標準仕様がなかったため、多くのグリッドミドルウェアが独自仕様で開発された。このため、異なるグリッド間では資源連携ができず、国際的な共同研究や異分野間の共同研究の円滑な推進に問題が出てきた。そこでグリッドコンピューティングの標準仕様を策定する団体 Open Grid Forum (OGF) では異なるグリッド間でジョブを相互投入するための仕様 High Performance Computing Basic Profile (HPCBP) を策定した。多くのグリッドプロジェクト、大学、企業が HPCBP 準拠のジョブ実行サービスやモジュールを開発し実証実験などによりその有効性を確認している。しかし、HPCBP 仕様で実運用レベルのインターオペレーション環境を構築するには多くの問題が存在しており、これを解決していく必要がある。

本研究は大きくは二つの課題からなる。第一にインターオペレーションに必要な機能を明確にし、これに従ったアーキテクチャを提案する。また、HPCBP 仕様に準拠したミドルウェアを実装してインターオペレーション研究環境を構築し、他グリッドとの実証実験を行う。第二にインターオペレーションにおいて発生が予想されるコンピュータ資源間のロードバランスの乱れによる性能低下問題と、ユーザアカウント管理方法の違いによるデータステージングの回数増加問題を明らかにし、解決方法の提案と実験やシミュレーションによる有効性の確認を行う。

単一グリッド環境と同じレベルのインターオペレーションを実現するには、ジョブ投入・実行に関する仕様だけでなく、グリッド間の情報交換仕様や認証仕様など、さまざまな機能仕様や情報表現仕様が必要になる。まず、単一グリッドでのジョブ実行の流れと比較してインターオペレーションとして必要な仕様を明確にする。これを現状唯一適用可能である HPCBP 仕様に当てはめ、不足している機能仕様や情報表現仕様などを明確にする。実際には HPCBP はジョブ投入・実行に関する仕様でしかなく多くの仕様が不足している。

例えば、グリッド間での情報交換仕様などである。これらの仕様が不足することにより発生する問題を明確にし、その解決策を提案する。また、HPCBP への準拠は一般に既存のミドルウェアに追加する形で行われることが多い、このとき既存仕様との整合性の問題が発生する。国立情報学研究所が開発した NAREGI ミドルウェアの HPCBP 準拠を通じ、これらの仕様上の問題に対する解決策を提案する。また、この実装を使用してインターオペレーション研究環境を構築し、諸外国のグリッドと実証実験を行ったので、その結果を報告する。

また、HPCBP やその後継のジョブ実行サービスレベルのインターオペレーションアーキテクチャにおいて発生が予想される 2 つの問題について解決策を提案する。第一の問題は、クライアント、メタスケジューラ、コンピュータ資源などからなる一組の完結したグリッド環境（以下ローカルグリッドと略）に、他グリッドからジョブが投入されることにより、ローカルグリッドのコンピュータ資源間のロードバランスが乱れることが予想される問題である。これは、他のグリッドが予告なしにローカルグリッドのコンピュータ資源に直接ジョブを投入することにより発生する。この問題が発生することを実験とシミュレーションによって示し、解決策を提案し、シミュレーションによって有効性を確認する。次に第二の問題であるデータステージング回数の増加問題とは、コンピュータ資源のユーザアカウントとその作業領域の管理方法には、単体コンピュータシステムのような静的なユーザアカウント管理と、ジョブ毎に動的にユーザアカウントを割当てて一時ユーザアカウント管理の 2 種類の方法がある。複数のコンピュータ資源で依存関係のあるジョブを実行した場合、2 つのジョブの間でのファイルのデータステージング（転送）では、静的アカウント管理のコンピュータ資源間より一時アカウント管理のコンピュータ資源間の方がデータステージングを 1 回多く必要とする。近年のデータは巨大化する一方であり、同一データを 2 回転送することジョブ実行時間の長期化やネットワークトラフィックの増大をもたらす望ましくない。本研究ではこの問題を解決する方法を提案し、実際にプロトタイプ実装を行って有効性を確認したので報告する。

本学位論文は、「異種グリッド間インターオペレーション技術に関する研究」と題し、全5章から構成されている。

第1章「異種グリッド間インターオペレーション」では、本研究の背景と目的を述べている。国際共同研究を目的として、異なる国や地域のグリッド環境上の計算資源を相互利用することへの期待が高まり、異なるミドルウェアを用いて運用されるグリッド環境間での相互運用を実現するグリッドインターオペレーション技術の研究開発や国際標準化が進められている。本章では、現状のグリッドインターオペレーション技術の問題点を指摘し、本論文の目的がこれらの問題点を解決するためのソフトウェアアーキテクチャおよび性能向上手法の提案であると述べている。

第2章「関連研究」では、グリッドインターオペレーション技術の標準化動向について、Open Grid Forum (OGF) で策定されたグリッドインターオペレーション仕様である High Performance Computing Basic Profile (HPCBP) を中心として解説するとともに、最新の研究動向について議論している。議論の結果、既存の標準化仕様ではグリッドインターオペレーションを実現するための機能が不足していること、およびインターオペレーション時に発生するジョブスケジューリングやデータステージングにおける性能上の問題が解決されていないことを指摘している。

第3章「インターオペレーションアーキテクチャの提案」では、グリッドインターオペレーションを実現するために必要となるミドルウェアの機能を定義するとともに、資源情報管理やユーザ認証等、既存の標準化仕様では満足しない機能を指摘している。次に本章では、これら不足する機能を強化してグリッドインターオペレーションを実現するためのミドルウェアアーキテクチャを提案し、提案アーキテクチャの NAREGI ミドルウェア上への実装方法について述べている。提案アーキテクチャは、主に、グリッド環境上のスケジューラから内外の計算資源に対して HPCBP に従ってジョブを投入する機構、および外部のグリッド環境から投入されたジョブを計算資源が受け付ける機構から構成されている。また、提案アーキテクチャについて、国内と欧米諸国に構築されたグリッド環境間での実証実験を通して、その有効性が確認されている。

第4章「性能向上手法の提案」では、グリッドインターオペレーション時に発生するロードバランスの乱れ、およびデータステージング時間の増加という2つの問題点を指摘し、これらの問題点を解決するための手法をそれぞれ提案している。ロードバランスの乱れについては、グリッド環境上のスケジューラが予期しないジョブが外部のグリッド環境から投入されることにより、計算資源間の負荷不均衡が発生する問題点を指摘し、この問題点を解決するため、外部から投入されたジョブを検知して適切な負荷分散を可能とするジョブスケジューリング手法を提案している。データステージング時間の増加については、異なるグリッド環境間でファイルを転送する場合に第三者のストレージを介してファイルを転送するために転送時間が増加する問題点を指摘し、この問題点を解決するため、両グリッド環境間でファイルを直接転送することを可能とするファイルステージング手法を提案している。また、これらの提案手法について、シミュレーションおよび実システム上での実証実験を通じて、その有効性が確認されている。

第5章「おわりに」では、本研究を総括し、得られた成果および今後の課題について述べている。

本学位論文の成果は、学術雑誌論文1件、フルペーパー査読付国際会議1件他として発表され、研究内容が国内外で認められているだけでなく、OGFにおける国際標準化会議の場でも多数発表されており、国際標準化活動への貢献も認められている。

以上を要するに本学位論文は、グリッドインターオペレーションを実現するために必要となるミドルウェアアーキテクチャ、およびジョブの実行性能を向上させるための手法を提案し、性能評価によりその有効性を示したものである。これらの成果は、国際的な分散計算基盤を構築するための技術的な問題を解決し、さらにこれらの基盤を用いた国際共同研究を促進するものであり、学術上貢献が大きい。よって、本学位論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認められる。