

平成12年度～平成16年度私立大学学術研究高度化推進事業
「ハイテク・リサーチ・センター整備事業」研究成果報告書

ハイテク・リサーチ・プロジェクト

スーパークラスタマシンの 効率化とその応用

平成17年4月



ハイテク・リサーチ・プロジェクト
「スーパークラスタマシンの効率化とその応用」

平成12年度～平成16年度私立大学学術研究高度化推進事業
「ハイテク・リサーチ・センター整備事業」研究成果報告書

平成17年4月

学校法人 京都産業大学

京都産業大学

工学研究科（情報系）

黒住 祥祐（京都産業大学工学部教授）

【 目 次 】

| | |
|---|-----|
| ◆ はしがき | 1 |
| ◆ 研究活動の概要と経過報告 | 3 |
| ◆ Performance Evaluation of Dynamic Load Balancing Scheme with Load Prediction Mechanism Using the Load Growing Acceleration for Massively Parallel Computers | 9 |
| ◆ MPIによる並行システムの形式的設計検証 | 20 |
| ◆ BenchmarkによるHRクラスタシステムの性能評価 | 46 |
| ◆ OpenMP型並列プログラミングモデルのクラスタ計算環境への適用 | 59 |
| ◆ XML文書データベースにおけるリンカー貫性の自動管理に関する研究 | 87 |
| ◆ 携帯型情報端末における二次元バーコード処理の応用 | 115 |
| ◆ 動的探索木分割・割当による巡回セールスマン問題のクラスタシステム向き並列アルゴリズム | 136 |
| ◆ 屋内広帯域電波伝搬測定と無線LAN高速化の研究 | 156 |
| ◆ An Ultra Wide Band Channel Sounder for Indoor Wireless Propagation Environments | 168 |
| ◆ A Realization of an Ultra Wide Band Channel Sounder and its Application to Wireless Propagation Measurement | 170 |
| ◆ クラスタ・コンピュータを用いた地中電磁波パルスの伝搬に関するシミュレーション実験 | 178 |
| ◆ クラスタ・コンピュータを用いた地中電磁波伝搬のシミュレーション実験 | 202 |
| ◆ OpenMPによる並列プログラミング“入門” | 229 |
| ◆ 二分決定グラフに基づく論理関数の並列処理について | 246 |
| ◆ クラスタシステムにおける並列バイトニックソートの性能評価 | 261 |
| ◆ クラスタシステムにおけるラジオシティ法の並列処理に関する研究 | 273 |
| ◆ 立命館大学での並列処理研究の経緯と現状 | 293 |
| ◆ 通信状態の可視化によるメッセージ通信型並列プログラムのデバッグ支援ツール | 304 |
| ◆ 付録：外部評価、セミナープログラム | 325 |

プロジェクトの主な構成員とプロジェクトでの研究課題

| | |
|-------|--|
| 黒住 祥祐 | 京都産業大学 工学部 情報通信工学科 教授 「クラスタマシンの構築と環境整備」 |
| 平石 裕実 | 京都産業大学 工学部 情報通信工学科 教授 「並列分散処理による論理設計検証」 |
| 竹内 勉 | 京都産業大学 工学部 情報通信工学科 教授 「並列計算機上の移動通信シミュレータ」 |
| 新實 治男 | 京都産業大学 工学部 情報通信工学科 教授 「並列処理方式の開発支援環境の構築」 |
| 大本 英徹 | 京都産業大学 工学部 情報通信工学科 教授 「並列オブジェクトサーバの開発」 |

は し が き

研究代表者 黒住 祥祐

平成12年度文部科学省「私立大学学術研究高度化推進事業」に応募し、ハイテクリサーチセンターに選定された。本報告書はその研究成果報告書である。

ハイテクリサーチセンターの概要はつぎの通りである。

研究プロジェクト名 スーパークラスタマシンの効率化とその応用

研 究 組 織 京都産業大学工学研究科（情報系）

研 究 期 間 平成12年4月—平成17年3月 5年間

研 究 者 5名 研究代表者 黒住 祥祐

| 所属（開始時） | 氏 名 | 研 究 テ ー マ |
|---------|-------|-------------------|
| 工学部 教授 | 黒住 祥祐 | クラスタマシンの構築と環境整備 |
| 工学部 教授 | 平石 裕実 | 並列分散処理による論理設計検証 |
| 工学部 教授 | 竹内 勉 | 並列計算機上の移動通信シミュレータ |
| 工学部 教授 | 新實 治男 | 並列処理方式の開発支援環境の構築 |
| 工学部助教授 | 大本 英徹 | マルチメディア情報ベースの並列化 |

研 究 設 備

ハードウェア仕様（開始時）

| | | |
|----------|---|--------|
| コンピュータ | IBM Netfinity4500R/4400 (866/750MHz Dual SMP) | 100台 |
| 高速ネットワーク | Giganet cLan5300/5000 | 100ポート |
| イーサネット | アライドテレシス 100 Base-SX | 100ポート |

ソフトウェア仕様

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| オペレーティングシステム (OS) | Linux RedHat 6.2J |
| 言語プロセッサとアプリケーション | C, Fortran, Java (JDK1.3.0) |
| クラスタネットワーク ライブラリ | PVM3.4.3 MPI/Pro (cLan専用ライブラリつき) |

クラスタシステムは多数のパソコンをネットワークで接続し、高速化、大容量化、高信頼性を追及するコンピュータシステムである。研究開始当時では、数台で構成したものは企業のサーバやインターネットプロバイダのサーバとして普及し始めていた。このため、

高性能で、安価なクラスタ型パソコンが数多く市販されていた。このようなクラスタ型パソコンを高速ネットワークで接続し、つぎのようなハイパフォーマンスコンピューティングを目指すことが目標であった。

- (1) 分散並列計算による高速処理
- (2) 分散メモリによつて巨大メモリ空間の利用
- (3) 超高速ネットワークの利用
- (4) 高い拡張性と冗長性
- (5) スーパーコンピュータに比較し、コスト小

研究分担者はいずれも、クラスタシステムの構築と応用を課題とし、つぎの研究テーマで研究を行った。

クラスタシステムの環境整備と形状処理への応用

クラスタシステムの保守、リニューアルを計画し、このクラスタシステムの効率を改善する。また、コンピュータグラフィック応用分野である形状処理における負荷分散アルゴリズムについて研究する。

並列計算機上の移動通信シミュレータ

次世代携帯電話システムでは電波伝搬からマルチメディア伝送プロトコルまでの総合的な検討を必要とする。クラスタシステム上に通信シミュレータを構築し、CPUとネットワークなどの効率評価と高速モバイルマルチメディア通信シミュレーションを行う。

並列処理方式の開発支援環境の構築

並列処理には多くのスケジューリングアルゴリズムがある。これらを本クラスタシステムに適した構成に定式化し、効率の良い利用のためにアルゴリズムのモデリング化を行う。

並列分散処理による論理設計検証

論理設計では設計の正しさを保証するための形式的論理設計検証を行うことが重要である。クラスタシステム上で大量の計算時間とメモリを必要とする処理を行い分散並列の効率を評価すると共に形式的論理設計検証の並列分散アルゴリズムの研究を行う。

マルチメディア情報ベースの並列化

データベースシステムと本クラスタシステムを接続し、データ検索にクラスタシステムを利用した場合の効率化を目指す。

このような計画により研究開始し、5年間に経過した。その研究成果を本報告書にまとめた。

ハイテクリサーチプロジェクト外部評価（1）

「スーパクラスタマシンの効率化とその応用」の研究に関するレビュー

プロジェクトの目的と意義

ハイパフォーマンス コンピューティング分野では、スーパーコンピュータとクラスタシステムが広く利用されている。本プロジェクトでは、平成12年当時、量産され始めたラックマウント型高性能PC100台を高速ネットワークにより結合したクラスタシステムの構築を行い、その性能評価、利用方法と分散処理アプリケーションについての研究を行っている。クラスタシステムはスーパーコンピュータに比べ、処理速度は高くないが、コストパフォーマンスに優れ（コモディティコンピューティング（日用品により構築されたコンピュータシステム）、ネットワークの高性能化により、有望視されてきた。クラスタシステムに関する研究はその後のグリッド（GRID）コンピューティングに発展しているように、プロジェクトの目的と意義は極めて妥当であったといえる。平成12年度に研究をスタートさせたことは極めて先見性の高いものと言える。

研究組織

研究組織は同一学部の研究者5名（黒住祥祐、平石裕実、竹内 勉、新實治男、大本英徹の各氏）と事務関係者若干名であり、小規模であるが、まとまった構成である。プロジェクトはこれら5名と大学院の院生約10名により進められている。システムの運営や保守はこれらのメンバーと院生によって行われており、専門の要員はいない。並列分散処理システムの構成方式の研究、性能評価の研究のほか、アプリケーションとしては3次元グラフィックス、論理検証の高速化、電波伝搬のシミュレーションなどが取り上げられ、修士課程学生の教育研究などに多いに利用されてきた。

研究施設と設備

研究施設は、クラスタシステム、ネットワークと研究グループが利用するPCなどである。クラスタシステムはラック4台の中にサーバ1台と現在クライアント105台、および、ギガビットのイーサネットと高速LAN（ギガネット社cLAN）の装置が収納されている。高速LANはファットツリーと呼ぶ木状ネットワークであり、十分なデータ転送能力を有している。また、本システムは各プロセッサ間の通信はユーザレベル通信VIAが採用され、アプリケーションレベルから見た場合、通信時間のオーバーヘッドが極めて小さいという特徴がある。

クラスタシステムを設置している建物と研究グループが常駐する建物とは別棟で、数百メートル離れている。利用者にとっては、ネットワークを通して使用するために、この間の距離は問題にな

らないが、保守担当者は不便であろう。実際に、監視カメラにより、システムの管理を行っている。

プロジェクト目標達成度

本研究の目的はクラスタシステムの構築、その利用、アプリケーション開発である。ラックマウント型のPC約100台と高速ネットワークにより、クラスタシステムを構成し、運用している。また、PVMやMPIなどの分散システム用のソフトウェアを導入し、アプリケーションの開発を行っている。この点では当初の目標を達成している。また、グループで、毎年4月頃には大学院の院生や研究者対象に本システムの利用講習会を開催し、利用者の拡大に努め、利用者が増加している。

主な成果

主な研究成果は下記の通りである。今後、クラスタコンピューティング、GRIDコンピューティングなどに代表される分散処理システムが一般化することが予想されるが、本システムは先駆的な研究に利用され、また、学生教育にも十分活用されてきたといえる。

- ・クラスタシステムの構築と運用保守
- ・クラスタシステム利用状況表示ソフトウェアの開発。
- ・Javaによるクライアント/サーバ方式の分散処理への応用。
- ・並列分散処理による論理設計検証
- ・並列計算機上の移動通信シミュレータ
- ・並列処理方式の開発支援環境の構築
- ・マルチメディア情報ベースの並列化
- ・クラスタシステムによる地中電磁波伝搬のシミュレーション
- ・3次元グラフィックス

問題点

本システムと研究グループとの建物間が遠いために、保守管理担当者にとっては問題点が多い。また、落雷による電源の瞬停や空調の停止にはシステム全体の点検が必要であったようである。これはシステムの運転状況と空調の電源制御が自動化されてないため、システムが運転しているのに、空調が停止することがないように連動させる必要があるだろう。

「スーパークラスタマシンの効率化とその応用」

1. 研究テーマ、研究組織、設備

本研究では100台規模のスーパークラスタマシンを構築し、それを効率的に運用して各種大規模問題を高速実行することを目的としている。地球温暖化の防止、大地震の予知、台風の進路予測など喫緊の課題に対処するためには、超高速なマシンによる大規模計算が必要であり、従来は非常に高価な並列マシンを用いて、これらの計算を行ってきた。近年、PCの低価格化と安価な高速ネットワークの出現により、多数のPCを接続したPCクラスタが普及しつつあり、並列マシンに替わるものとして期待されている。多数のPCを接続してPCクラスタを構築し、それを安定して効率的に運用するためには相応の労力とノウハウが必要である。また、大規模実問題に適用して、その有用性を検証することも極めて重要である。このような背景から、本研究は極めて時宜を得た研究であると言える。また、研究組織、設備は十分であり、問題ない。

2. 研究状況と研究成果

本研究では、Dual SMPを有する当初PC100台を100Mイーサ（2003年度104台、1Gイーサに更新）と高速ネットワークcLanで接続し、MPIとPVMを用いて、並列処理ベンチマーク、巡回セールスマン問題、ラジオシティ法による画像生成、地中電磁波伝播シミュレーション、二分決定グラフに基づく論理関数の並列化などを実際に解いて、スーパークラスタマシンの有用性を評価している。また、100台規模のPCクラスタの構築と運用を通して、スーパークラスタマシンを安定して運用する際の問題点を明らかにしている。種々の問題に対する並列処理の有用性と課題を示した点は非常に興味深く、高く評価できる。これらの結果は、今後PCクラスタを構築し、大規模問題を解こうとするユーザにとって極めて有用である。

3. 総合評価と今後への期待

100台規模のスーパークラスタマシンを実際に構築し、それを安定して運用することにより、複数の大規模問題に対する並列処理の有用性を示しているため、プロジェクトとして高く評価できると考えられる。今後、さらに研究を進展させ、以下の点に関する成果を期待したい。

- ・ 共有メモリ/ハイブリッド並列プログラミングによる問題解決
- ・ アプリケーション技術者との共同による、多様な大規模実問題の並列化
- ・ スーパークラスタマシンのグリッドコンピューティングへの展開

以上



KYOTO SANGYO UNIVERSITY