

## 審査の結果の要旨

氏名 清水 正明

本論文は、高性能計算機クラスタのための異機種透明なオペレーティングシステム構成法について述べており、4章から構成されている。

第1章では、まず本研究の背景となっている高性能計算機への要求のトレンドおよび要求の変化を示している。そして現在のクラスタ型計算機が今後メニコア等の新アーキテクチャを取り入れる際のOSの課題、過去の分散OSアーキテクチャからの移行性の課題を示している。そして本研究の目標として、高性能計算機クラスタにおいて、演算専用プロセッサのような新しいアーキテクチャの演算性能と従来の汎用プロセッサのOS実行性能を両立する、また、分散OS向けに開発された既存の分散OSサービスを低コストで利用可能にすること、の2つを示している。次に、従来の高性能計算機におけるOS方式を概観し、本研究のアプローチとして本論文では異機種透明なオペレーティングシステム構成法によって取り組んだ。

第2章では、1つめのアプローチである「Harmonix: 演算CPUの高いアプリケーション実行性能と汎用CPUの高いOS実行性能を両立させるシステム」について述べている。演算専用プロセッサは高い浮動小数点演算性能を発揮するが、スカラ演算性能が弱いためOS性能が低いという課題があった。そこで本章では、演算専用プロセッサの演算ノードはアプリケーションプログラム実行に特化し、汎用OSの機能は汎用プロセッサの汎用ノードが提供するようにOS機能を分担させるOS構成法を提案している。汎用ノードが、ユーザや並列プロセスの管理およびファイルI/Oを集中して行なうことで高性能なOS機能と演算ノードにおける高い数値演算性能を両立する。16台のCell/B.E.の演算ノードクラスタに4台のx86の汎用ノードを追加したシステムにおける評価の結果、演算ノードクラスタのみで汎用OS機能を提供する場合と比較して、並列プログラムの起動速度は最大3.2倍になった。また、ファイルシステム性能は最大2.6倍に向上した。“汎用ノードと演算ノード”のセットをクラスタリングすることで性能が向上した。上記のとおり、本構成法でOS性能が向上することを示している。さらに、ヘテロジニアス対応バイナリローダおよびリモートプロセス機構により、異種プロセッサのOSを単一OSとして扱うことができるようにしている。評価の結果、バイナリの違いに応じてノード種類を選択して実行を可能にするヘテロジニアス対応バイナリローダによって、ユーザは汎用ノードから演算ノードのアプリケーションを透過的に実行できるようになったことを示している。また、リモートシステムコールにより、演算ノードで実行されているアプリケーションは、アプリケーションを変更せずに汎用ノードのOSの提供する高性能ファイルシステム機能を透過的に利用することができるようになったことを示している。

第3章では、2つめのアプローチである「既存の分散OSサービスの、汎用OSクラスタへの低コスト移行を可能にするシステム」について述べている。分散OSと汎用OSでは、OSの提供する機能が異なるため、既存の分散OS向けに開発したソフトウェア資産を汎用OSクラスタに移植する場合に多くのコストがかかるという課題があった。本章では、汎用OSをホストにしてマイクロカーネルインタフェースを実現し、そのマイクロカーネル上に既存の分散OSサービスを動作させるOS構成法を提案し、設計・実装を行なっている。ホストの汎用OSの機能を利用することで低コストにマイクロカーネルインタフェースが実現できる。また、マイクロカーネルの機能を前提としていた既存の分散OSサービスが容易に移行可能になる。SR11000における評価の結果、AIXクラスタ上に分散OS向けのHSFS 分散ファイルシステムを再実装する場合と比較して、1/3のコストでHSFSを実現できることを示している。また、本システムの成果は、HitachiSR11000、SR16000 およびHA8000-tc/RS425

において製品化され出荷されている。

第4章では、本研究により得られた成果をまとめ、今後の展望について述べている。今後の展望では、今後登場するメニコアCPUを利用し、高性能と低消費電力を両立するためには本研究のアプローチが有効であり、演算ノードと汎用ノードの接続性能に応じてOS機能の配分を最適化する研究を更に行なっていくとしている。

上記のとおり、本論文では、高性能計算機クラスタにおいてプロセッサアーキテクチャの違い、およびOSアーキテクチャの違いを吸収する異機種透明なオペレーティングシステム構成法に取り組み実システムを開発した。本論文の構成法により、利用者やアプリケーションに意識させずにシステムの性能を向上し、またソフトウェア資産のOS間移行コストを低減することができることを実証した。プロセッサアーキテクチャの違いを吸収する手法は、今後の高性能計算機システムのソフトウェア構成の先鞭をつけており、また、OSアーキテクチャの違いを吸収するシステムの開発では、開発システムが製品化されている。本研究の成果により、高性能計算機クラスタのシステムソフトウェアの発展に顕著な貢献をしたといえる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。