

氏 名 (本籍)	青 <sup>あお</sup> 木 <sup>き</sup> 圭 <sup>けい</sup> 一 <sup>いち</sup> (長野県)		
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	博 甲 第 4275 号		
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科		
学 位 論 文 題 目	クラスタ向け高性能ネットワークのアーキテクチャとオフロード機構の研究		
主 査	筑波大学教授	学術博士	和 田 耕 一
副 査	筑波大学教授	理学博士	板 野 肯 三
副 査	筑波大学教授	工学博士	海老原 義 彦
副 査	筑波大学教授	博士 (工学)	安 永 守 利
副 査	筑波大学教授	博士 (工学)	山 口 喜 教

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

パーソナルコンピュータの価格性能比の向上から、多量の演算を必要とする処理に対して、PC クラスタによる並列計算が幅広く用いられるようになってきている。クラスタ向けのネットワークとして、近年では Ethernet など広域向けネットワークと比べ、レイテンシとスループットに優れた Myrinet, QsNet, RHiNet-2 などの高性能ネットワークが開発されてきた。一方で、ネットワークの通信性能を高めるだけでなく、通信に関わる処理をネットワークコンポーネントがホストプロセッサに代わって行うことで、クラスタの性能向上を図るアプローチも注目されている。これまでに、このようなアプローチの例として、通信ソフトウェアにおける処理の一部をネットワークインタフェースにオフロードする方式が提案されている。しかし、これらは、ネットワークインタフェースにオフロードする処理粒度が小さく、多量のデータを転送する場合においては、ネットワークハードウェアとプロセッサ要素間で頻繁にデータ交換をすることに伴うオーバーヘッドが依然として残る。また、通信プロトコル以外の処理のオフロードは、ネットワークハードウェアが十分な処理機能、性能を持たないため、有効性を期待できない。

本論文は、クラスタコンピューティング向けの高性能ネットワークと、そのネットワークに対して任意のプログラムのオフロードを可能とするソフトウェア環境の開発と評価についてまとめたものである。

本論文では、物理レイヤの通信性能を高い効率で利用できるリンクレイヤプロトコルを提案し、クラスタ向けネットワークハードウェアのアーキテクチャについて述べている。本ハードウェアは、LVDS による高速な物理レイヤとバースト転送を極力継続できるリンクレイヤを備え、汎用プロセッサと大容量メモリを有している。また、実際にハードウェアを実装し、性能評価を行うことで、本アーキテクチャが高い通信性能を持つことを示している。通信ソフトウェアに関しては、ネットワークハードウェアを自律的に動作させることで通信性能を引き出す技法を提案し、高性能なメッセージパッシングライブラリ MMP の開発と性能測定を行い、評価を加えている。さらに、本ネットワークに実行委託するための動的オフロード機構の設計と開発について述べ、ベンチマークプログラムとアプリケーションプログラムを用いた性能評価を行っている。本機構は、任意のプログラムモジュールをネットワークにオフロードするためのライブラリ、ネットワーク

ハードウェア上のファームウェア，およびプログラムモジュールの実行主体をホストとネットワークハードウェアで切り替えるためのラッパライブラリから成る。評価を通じて，動的オフロード機構はホストとネットワークハードウェア間，およびネットワーク全体のデータ転送量を削減し，並列アプリケーションの高速化に有効であることを明らかにしている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は，クラスタコンピューティング向けの高性能ネットワークの開発と，ネットワークに対してプログラムを動的にオフロードするための機構について述べている。本研究では，独自のリンクプロトコルを提案し，実際にハードウェア実装を行っている。また，独自の方式に基づいた通信ライブラリと動的オフロード機構を開発している。さらに，詳細な性能評価を行い，提案手法の有効性を明らかにしている。

本研究は，クラスタコンピューティングにおける新たなネットワークアーキテクチャ，およびソフトウェア環境を提案しており，独創的で実用性の高い研究として評価できる。

よって，著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。