

グリーンネットワーク基盤技術の研究開発

Research and Development on Green Networking Technology

研究代表者 加納 敏行 日本電気株式会社

研究期間 平成 22 年度

【Abstract】

Instead of the traditional centralized node and its network, the new distributed and scalable node architecture and its network topology are studied. Through the research of high performance control and management technology for the distributed large node system and resource optimization technology in the control and management block of a network node, we will achieve both of high-performance network node and lower power consumption simultaneously.

Compared with the traditional high end router (hundreds of Gbps switching capacity), the new technology will achieve network throughput of more than 10 times but at 25 percent less power.

Through this study, we achieved initial aims of the research and development. Each subtheme are below:

1. Control and management for a node system

Develop a highly paralleled network topology by many of simple and small switches for data forwarding, and concentration of control plane of network node into a specialized server.

2. Resource optimization in a network node

Develop a Resource optimization technology in the control and management block of a network node and dynamically reconfigurable redundant technology in the control and management block of a network node.

1 研究体制

- 研究代表者 加納 敏行 (日本電気株式会社)
- 研究期間 平成 22 年度
- 研究予算 総額 1,076 百万円
(内訳)

平成 22 年度

1,076 百万円

2 研究課題の目的および意義

2009年5月時点の我が国のインターネット上のダウンロードトラフィック総量は、1.24Tbpsと、1年前から約1.4倍（総務省推計）となっており、ネットワークを流通するトラフィック量は飛躍的に増加している。今後も同様のペースで増加すると仮定すると、7年後の2016年には、2009年の10倍、実に10Tbpsをも超えると推定される。これに対し、ノード1台あたりの処理性能向上は追いついておらず、より多くの装置での対応が必要となっており、今後、ノードの消費電力増大、機器設置スペースの不足が顕在化すると考えられる。温室効果ガス排出による地球環境問題が世界的な課題となっている中、このままの勢いでノードの消費電力が増加を続けた場合、2020年には年間782億kWh（一般家庭約2,000万世帯分に相当）にも達すると予想されている。

以上のような状況を鑑みて、ノードの構成を抜本的に見直し、消費電力低減と同時に高速処理を実現する技術を研究開発し、我が国ICT産業の発展と国際競争力強化を図る。

具体的には、従来の集中型のノード構成を見直し、新たなスケーラブル分散型ノード・アーキテクチャを研究開発する。さらに、トラフィック状況に応じてノード内各部が利用する制御部内の演算部資源を動的に割り当てる技術等の研究開発を行い、ノードの消費電力低減と同時に高速処理を実現する「低消費電力・高速ネットワーク制御技術」を確立する。

本研究開発の成果として、数百Gbpsを超えるスイッチング容量を持つ現行のハイエンドルータと比較して、10倍以上の高速処理を実現した上で、ノード全体の消費電力を25%以上低減することを目標とする。

3 研究成果

グリーンネットワーク基盤技術を用いたノード制御部のプロトタイプシステムを試作し、現行ノードと比較して、10倍以上の高速処理を実現したうえで、ノード全体の消費電力を25%以上低減する。さらに本技術については標準化を考慮した研究開発を進めることとし、必要に応じてノードの構成技術を研究している国際団体等への提案を行うなどして、技術仕様の標準化、オープン化を図る。

研究開発における成果を以下に示す。

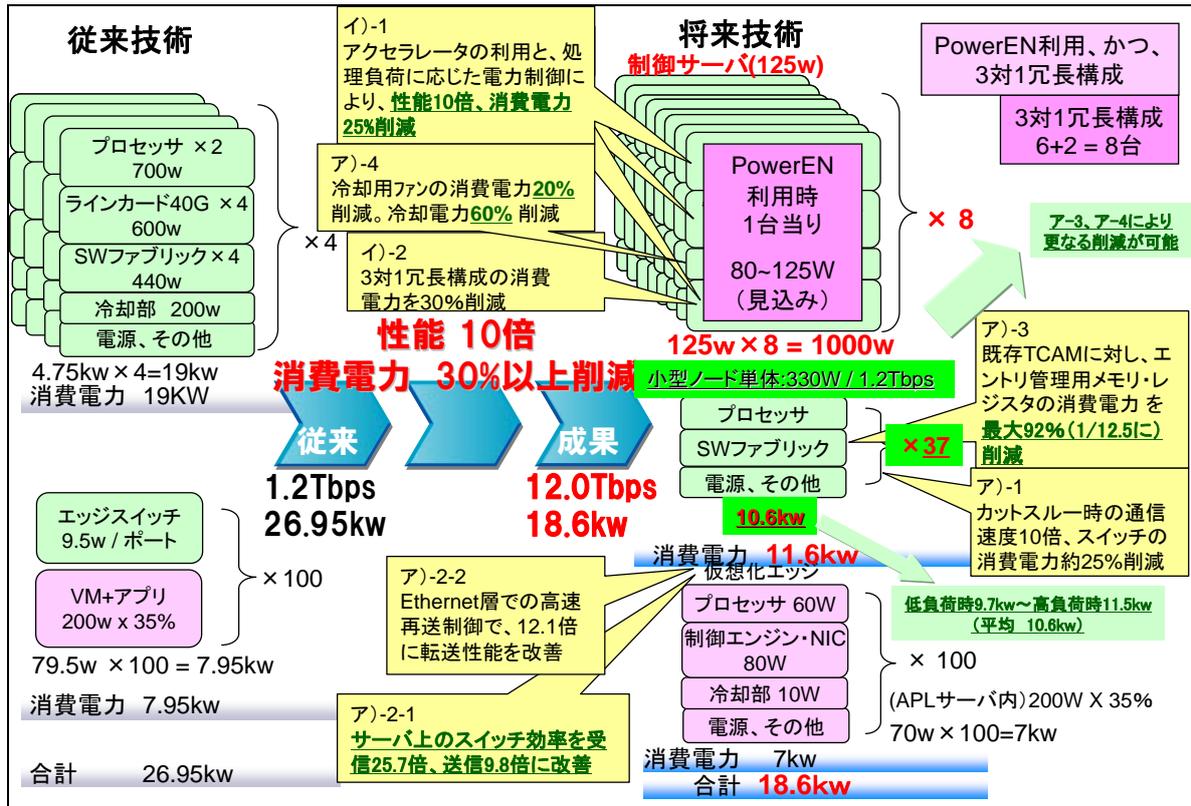


図 3-1 研究開発における成果

3. 1 ノード管理制御部構成技術（課題ア）

課題ア) - 1 の大規模分散型ノードにおける高性能管理制御技術の研究開発については、ハイエンドルータと比較し、スイッチ部の通信速度を10倍し、かつ消費電力を25%程度削減するノード管理制御技術を達成した。

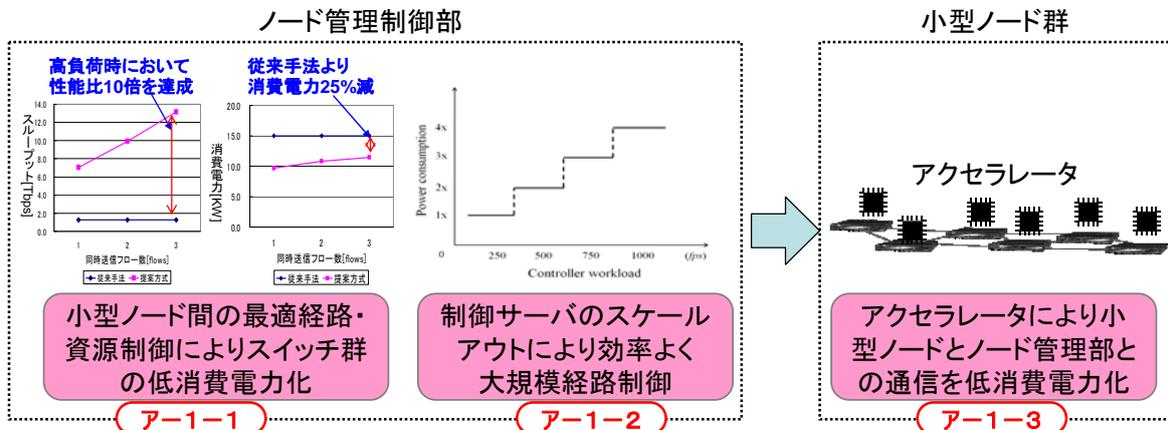


図 3. 1-1 課題ア) - 1 の成果イメージ

課題ア) - 2 の仮想化エッジの通信効率最適化技術の研究開発については、エッジスイッチ仮想化での転送処理のハードウェアオフロード化により、通信効率について約 205 倍を達成した。また、TCP 下層の高速再送制御において、スループットの 12.1 倍の改善を達成した。

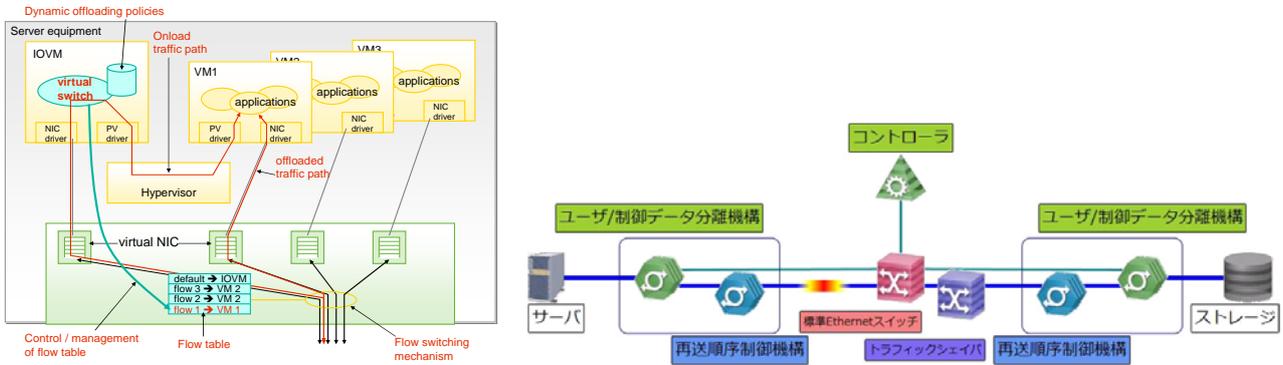


図 3. 1 - 2 課題ア) - 2 の成果イメージ

課題ア) - 3 の検索処理エンジン省電力化技術の研究開発については、スイッチ部・ノード管理制御部におけるフロー検索処理エンジンの HDL (Hardware Description Language) 設計を行い、TCAM 相当の検索性能で平均 82%、最大 92% (検索キー長 32bytes、512K エントリ) の消費電力削減を達成した。

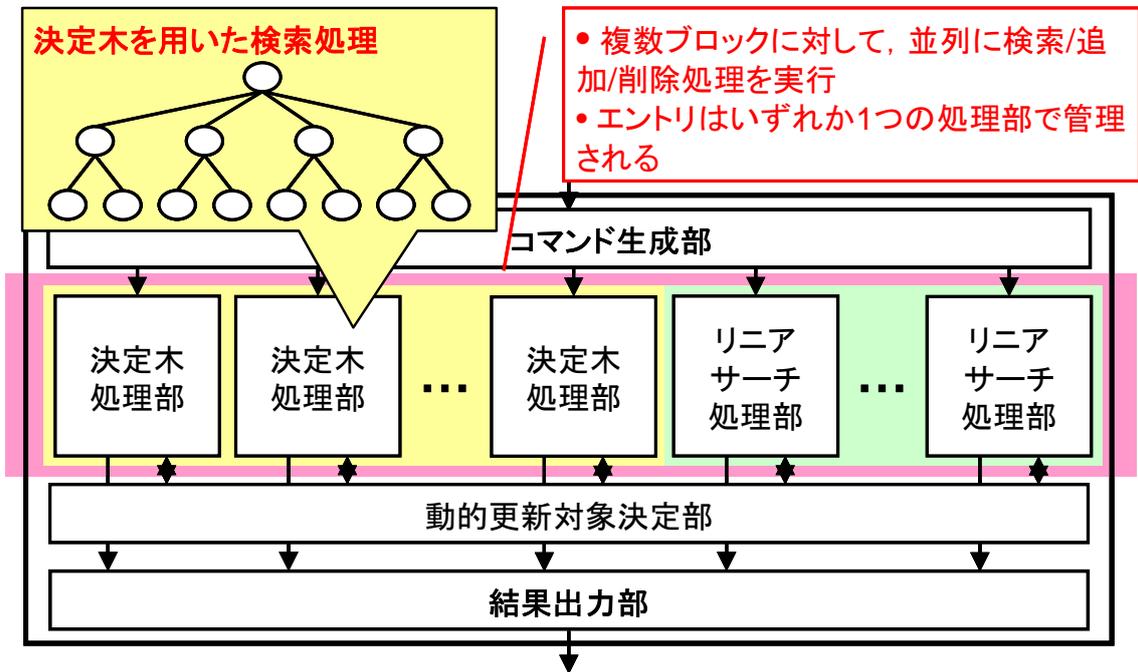
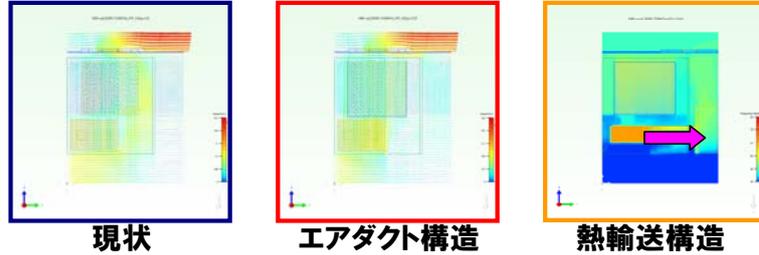


図 3. 1 - 3 課題ア) - 3 の成果イメージ

課題ア) - 4 のノード管理制御部高効率冷却技術の研究開発については、スイッチ部・ノード管理制御部における冷却ファンの消費電力を 60%削減する熱輸送技術を実現した。

風速/温度分布



冷却性能比較

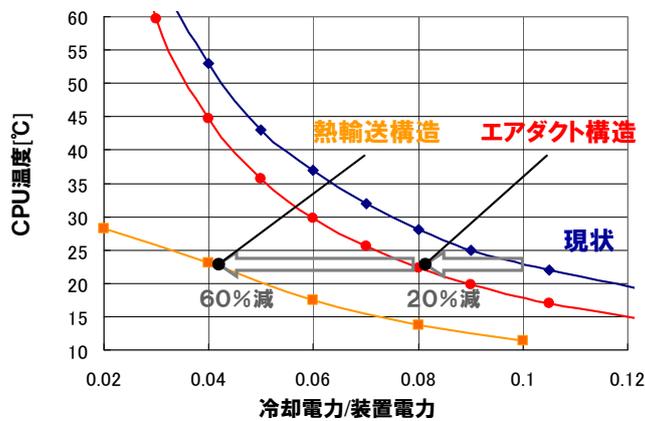


図 3. 1-4 課題ア) - 4 の成果イメージ

課題ア)における当初目標と達成実績について、次表にまとめる。

表 3. 1-1 課題ア) の当初目標と達成実績

課題	当初目標	達成実績
ア-1	カットスルー時の通信速度 10 倍 スイッチの消費電力 25%削減	方式検討、およびソフトウェア試作完了。 評価用ネットワークを構築し、性能評価において通信速度 10 倍、スイッチの消費電力 25%削減を達成。
ア-2	性能 10 倍 TCP のスループット 10 倍	仮想スイッチオフロードにて、2 ポート NIC 利用時性能約 25.7 倍(受信)、9.8 倍(送信)を達成。 高速再送制御の効果を実機にて検証。 パケット廃棄率 0.5%の環境下で、高速再送制御により TCP スループットの 12.1 倍改善を確認。 データ転送最適化技術とネットワーク管理制御機構の連携例として FCoE システムへの適用を実施。 実機による正常動作を確認。

ア-3	TCAM に対し、消費電力 1/10	HDL 設計を行い、RTL レベルでの論理合成、消費電力評価を行った結果、TCAM と同等の 250Msps の検索性能時において、消費電力を平均 <u>1/5.6</u> (検索キー長 16/32bytes、64K~512K エントリ)、 <u>最大 1/12.5</u> (検索キー長 32bytes、512K エントリ) に削減することを確認。
ア-4	カード上のエアフローの最適化により、冷却電力を 10~20%削減 CPU の熱をカード外に熱輸送することにより、冷却電力を 50%削減	エアフローについて、試作機にて消費電力 <u>20%削減</u> を実証。 熱伝送構造について、試作機にて <u>60%削減</u> を実証。

3. 2 ノード内資源割り当て技術 (課題イ)

課題イ) - 1 のノード管理制御部内資源の最適化技術の研究開発については、以下の組み合わせにより、現行ノードの管理制御部と比較して、通信系制御処理性能を 10 倍し、かつ消費電力の 25%低減を達成した。

- ノード管理制御部の演算処理部 (プロセッサ) として、IBM 製ヘテロメニーコアプロセッサを採用することにより、高性能と低消費電力を両立するノード管理制御部を実現した。
- ヘテロメニーコアに搭載されたアクセラレータの活用による高速化、プロセッサ・デバイスの電力制御および電源部制御による低消費電力化を実現する資源割り当て技術を確立した。

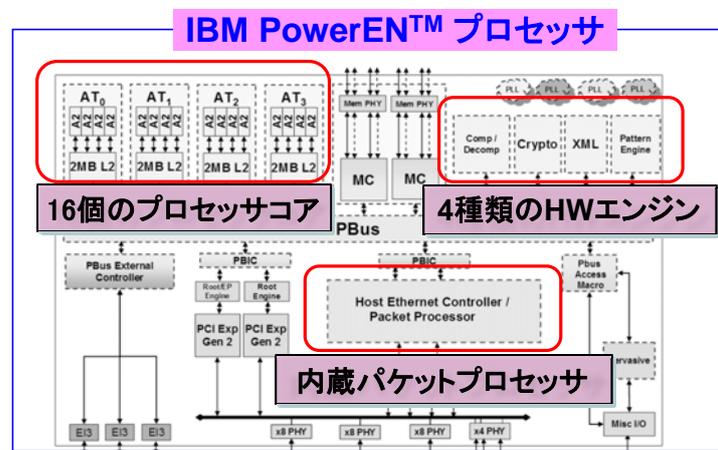
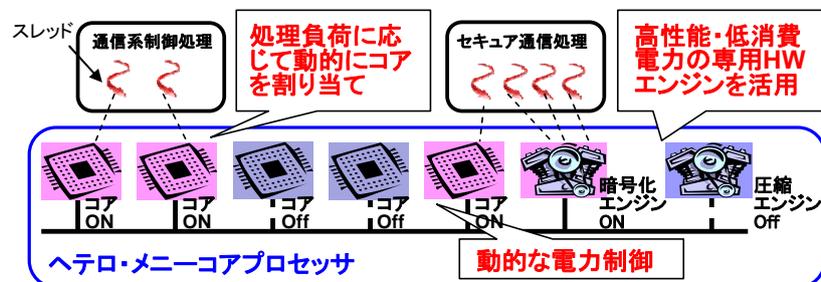


図 3. 2 - 1 課題イ) - 1 の成果イメージ

課題イ) - 2 のノード管理制御部の冗長構成動的制御技術の研究開発については、動的リソース割り当て技術を開発し、従来用いられている 1 対 1 冗長を 3 対 1 冗長構成化し、30%の消費電力削減と制御性能の維持を実機にて実現し、目標を達成した。また、上記冗長システムにおいて、データ同期機能を CPU からオフロードするデバイス連結技術を開発し、実際に 2 つの SCSI ディスク間でのデータコピーで、ユーザ層でのデータコピーと比較して 177%の帯域向上と 62%の CPU 使用率削減を実現し、目標を上回った。

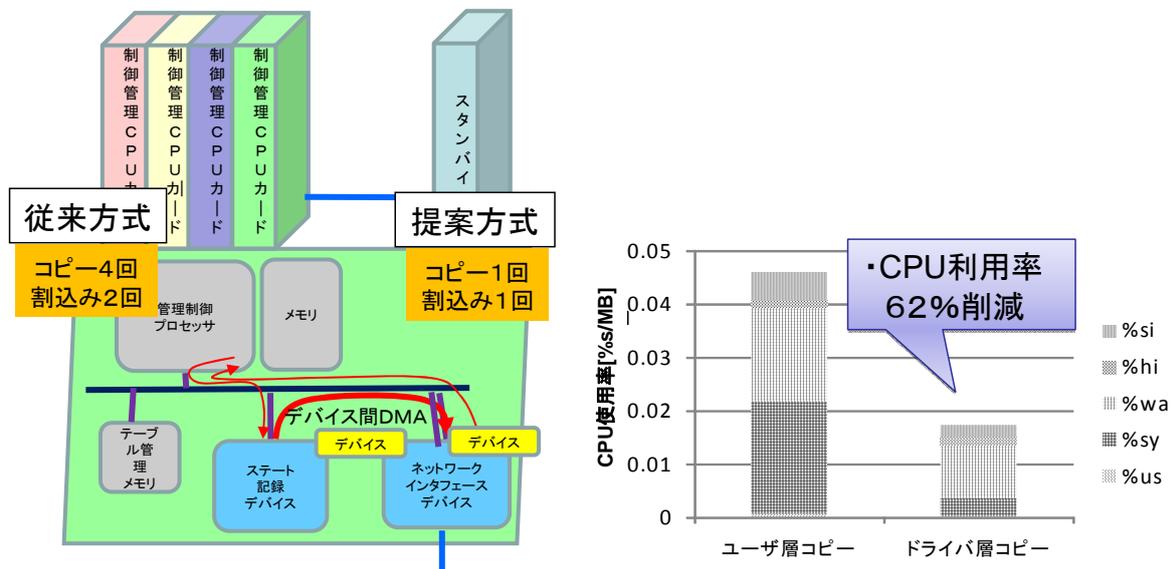


図 3. 2 - 2 課題イ) - 2 の成果イメージ

課題イにおける当初目標と達成実績について、次表にまとめる。

表 3. 2 - 1 課題イ) の当初目標と達成実績

課題	目標	結果
イ-1	通信系制御処理性能 10 倍、かつ 25%の消費電力低減	ノード管理制御部資源の最適化技術の評価を完了。一部の評価は、PowerEN 評価ボード上で実施。 <u>通信系制御処理性能 10 倍、消費電力 25%削減</u> を達成。
イ-2	全体消費電力を 30%削減しつつ、支障なく動作させる	呼処理性能 50call/s、TAT10ms を達成。 <u>消費電力 30.2%削減</u> を確認。 実機にて、データ移動帯域 1.8 倍、 <u>CPU 使用率 62%削減</u> を達成

3. 3 研究開発成果の社会展開のための活動実績

(1) 委員会・展示会等

- ・ 2010年10月1日付けにて、東京大学大学院 情報理工学系研究科 坂井 修一教授を座長として、研究開発運営委員会を設置した。委託期間中に以下3回開催し、有識者から幅広い意見をいただき、その意見を参考にして実際の研究開発の進め方や実用化の計画の参考とした。
 - 第1回：2010年10月6日（水）18:30～20:00（NEC 本社ビル 244 会議室）
 - 第2回：2011年1月24日（月）15:30～18:00（NEC 本社ビル 241 会議室）
 - 第3回：2011年3月28日（月）15:30～18:00（NEC 本社ビル 242 会議室）
- ・ 2011年3月7日（月）13:00～17:30 クラウドネットワークシンポジウム2011「低消費電力・高速ネットワーク制御を実現する「グリーンネットワーク基盤技術」の研究開発」の研究成果に関するパネル、およびデモを展示した。

4 研究開発成果の社会展開のための計画

(1) 製品化

本研究は、次世代ネットワーク基盤の構築に向け、特に高性能化と省電力化を両立させるアーキテクチャの確立を目指した研究である。次世代ネットワーク基盤の具体的なターゲットとしては、データセンタインフラ、モバイルインフラ等が挙げられる。これらのシステムは、通信機器、ストレージ機器、コンピュータ機器、端末等の総合体として構築されるため、最適な ICT 機器のリソース配備、処理分担、システム連携等が必要になる。

本研究は、上記要件に対する取り組みとして、ネットワークの転送系、ネットワークの制御系、ネットワークと連携するサーバ系・ストレージ系の観点から分担し、所定の個々の効率化を達成し、製品適用に向けた基盤技術を確立した。

まずア) -1はネットワーク転送系の基盤アーキテクチャとして利用し、次世代ネットワークの基盤となる OpenFlow 製品群の主要技術として利用する予定である。一方ア) -2はネットワークに接続するサーバ/端末の OpenFlow 対応、コストパフォーマンス向上を実現する技術であり、OpenFlow ソリューションの製品技術として利用する予定である。さらにイ) はネットワークの制御系処理の効率化を実現するものであり、特に OpenFlow の制御処理を行うコントローラ製品に利用する予定である。今後、世界中の大学やテストベッドにより評価を経て、2011年後半から2012年にかけてのリリースを目指した自社研究、製品化に取り組む。

(2) 標準化

本研究の成果は、ネットワークノードの高性能化と省電力化を実現する技術である。これらの技術は、単に一部の製品で採用され、一部のシステムの省電力化を実現するだけでなく、広く多くの製品で採用され、国内あるいは世界中のシステムの消費電力低減、ひいては、温室効果ガス排出削減に貢献するべきである。そこで、我々は本研究の成果の多くを標準化(デファクトを含む)することを目指す。我々がこれらの標準化を主導して進めることにより、我が国の国際競争力を強化する。さらに本研究の技術を幅広く展開することにより、温室効果ガス排出削減が見込まれ、地球環境問題に貢献することになり、国民の利便性向上に繋がる。

5 査読付き誌上発表リスト

- [1] 鈴木順「High-Throughput Data Transfer between I/O Devices for Scalable Processing」3rd USENIX Workshop on Hot Topics in Storage and File Systems (査読有 ; 投稿中)
- [2] 神谷聡史、市野清久、小林礼明、山垣則夫「Advanced FCoE: Extension of Fibre Channel over Ethernet」IEEE International Conference on Communications ICC2011 (査読有 ; 採択未定)
- [3] 井上浩明、石坂一久、酒井淳嗣「Greening of Many-Core Processors in Network-Optimized Computing」IEEE Global Communications Conference (査読有 ; 投稿中)
- [4] スンウェイ (Wei Sun)、菅原智義「Heuristics and Evaluations of Energy-Aware Task Mapping on Heterogeneous Multiprocessors」Workshop on Advanced Parallel and Distributed Computing Models (査読有)

6 その他の誌上発表リスト

- [1] 坂本仁、稲葉賢一、吉川実「Management of Thermal Interfacial Resistance for a Reparable Thermal Interface」IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology Society of Taipei (CPMT-Taipei), Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT) 2010 5th International (2010年10月22日) (査読無)
- [2] 神谷聡史、市野清久、小林礼明、山垣則夫、辻聡「Fibre Channel over Ethernet の拡張方式“Advanced FCoE”の提案」電子情報通信学会技術研究報告 コンピュータシステム研究会 110(278), 5-10 (2010年11月5日) (査読無)
- [3] 鈴木順「Solid State Drive 間的高速データ移動法」情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究報告 Vol. 2011-OS-117 No. 11 (2011年4月) (査読無)

7 口頭発表リスト

- [1] 森岡澄夫「多重並列グループ署名の小型回路アーキテクチャ」暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2011) (2011年1月) (査読無)
- [2] 千葉靖伸、篠原悠介、下西英之「OpenFlow ネットワークにおける制御プレーン OAM 機構の検討」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (2011年3月4日) (査読無)
- [3] 小出俊夫、芦田優太、千葉靖伸、下西英之「Source Flow を用いた大規模 OpenFlow ネットワークに関する一検討」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (2011年3月4日) (査読無)
- [4] 芦田優太、小出俊夫、千葉靖伸、下西英之「Source Flow を用いた大規模 OpenFlow ネットワークにおける通信負荷低減手法の提案」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (2011年3月4日) (査読無)
- [5] 篠原悠介、千葉靖伸、下西英之「MLB ルーティングにおけるパスコスト最小化を実現する自動パラメータ設定機構」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (2011年3月4日) (査読無)
- [6] 石井秀治、園田健太郎、下西英之「分散化コントローラクラスタにおける消費電力削減手法の提案と OpenFlow ネットワークへの適用 (Power saving in OpenFlow network control plane with a

- distributed controller cluster)」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (2011年3月4日) (査読無)
- [7] 小林栄太、山垣則夫、神谷聡史「リニアサーチを併用した決定木によるフロー検索ハードウェアエンジン」電子情報通信学会ネットワークシステム研究会 (NS) (2011年3月3日) (査読無)
- [8] 山垣則夫、市野清久、神谷聡史「データセンター向け高速再送制御の特性評価」電子情報通信学会ネットワークシステム研究会 (NS) (2011年3月4日) (査読無)
- [9] 森岡澄夫「多重並列グループ署名の低消費電力回路アーキテクチャ」電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会 (VLD) (2011年3月3日) (査読無)
- [10] 壬生亮太、菅原智義「キャッシュインジェクションを用いた受信キューのキャッシュ制御方式の提案」電子情報通信学会 ETNET2011(コンピュータシステム研究会) (2011年3月19日) (査読無)
- [11] 辻聡、飯星貴裕、狩野秀一「vswitch 処理の動的オフロード方式の実装と評価」電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (NS) (2011年5月19日) (査読無)
- [12] 松永有仁、坂本仁、吉川実「Design of a Condensation Section for a Phase Change Cooling System」icep 2011 (JIEP/IEEE CPMT) (2011年4月12-14日) (査読無)
- [13] 波多野洋一、菅原智義「OpenFlow ネットワークにおけるフロー経路検証方式の提案」2011年電子情報通信学会 総合大会 (2011年3月14日) (査読無)
- [14] 石坂一久、酒井淳嗣、菅原智義「階層型ヘテロメニコア向けコア割り当て方法」電子情報通信学会 (IEICE) 総合大会 (2011年3月15日) (査読無)
- [15] 渡邊義和、酒井淳嗣、菅原智義「アクセラレータの使用時間を考慮したヘテロメニコアマルチスレッドプロセッサ向けスケジューリング方式」電子情報通信学会 (IEICE) 総合大会 (2011年3月15日) (査読無)
- [16] 「低消費電力・高速ネットワーク制御を実現する「グリーンネットワーク基盤技術」の研究開発」クラウドネットワークシンポジウム 2011 (2011年3月7日) (査読無)

8 出願特許リスト

- [1] 小林礼明、市野清久、神谷聡史「ネットワークシステム及びフレーム通信方法」特願 2010-208048
2010年9月16日 (国内)
- [2] 森岡澄夫「署名処理装置」特願 2010-243321 2010年10月29日 (国内)
- [3] 神谷聡史、市野清久、小林礼明「ネットワークシステム及びフレーム通信方法」特願 2010-246216
2010年11月2日 (国内)
- [4] 井上浩明、石坂一久「情報処理装置、電子機器、コンピュータプログラムおよび性能・電力の制御方法」特願 2010-256038 2010年11月16日 (国内)
- [5] 波多野洋一「通信経路検証システム、経路検証装置、通信経路検証方法、および経路検証プログラム」特願 2010-271561 2010年12月6日 (国内)
- [6] 山垣則夫「パケット分類器、パケット分類方法、及びパケット分類プログラム」特願 2010-279693
2010年12月15日 (国内)
- [7] 石坂一久「コンピュータ、コア割り当て方法及びプログラム」特願 2010-286743 2010年12月22日 (国内)

- [8] 芦田優太、小出俊夫「通信システム及び通信方法」特願 2010-290037 2010年12月27日(国内)
- [9] 菅原智義「セキュア計算システム、セキュア計算方法およびセキュア計算用プログラム」特願 2011-002031 2011年1月7日(国内)
- [10] 市野清久「通信装置、パケット再送制御方法、パケット再送制御プログラム」特願 2011-003894 2011年1月12日(国内)
- [11] 千葉靖伸「通信システム、制御装置、転送ノード、通信制御方法およびプログラム」特願 2011-016322 2011年1月28日(国内)
- [12] 千葉靖伸「通信システム、転送ノード、制御装置、通信制御方法およびプログラム」特願 2011-016323 2011年1月28日(国内)
- [13] 小林栄太、山垣則夫「パケット分類システム、パケット分類方法、及びパケット分類用プログラム」特願 2011-017070 2011年1月28日(国内)
- [14] 芦田優太、小出俊夫「通信システム、制御装置および通信方法」特願 2011-024045 2011年2月7日(国内)
- [15] 壬生亮太、菅原智義「キャッシュ制御方法、キャッシュ制御装置およびキャッシュ制御用プログラム」特願 2011-025245 2011年2月8日(国内)
- [16] 鈴木順、高橋雅彦、飛鷹洋一、馬場輝幸、吉川隆士「データ制御システム、データ制御方法およびデータ制御用プログラム」特願 2011-044951 2011年3月2日(国内)
- [17] 末光真理子「ネットワークシステム、パケット処理方法、及びプログラム」特願 2011-048129 平成23年3月4日(国内)
- [18] 狩野秀一「フロー通信システム」特願 2011-031737 平成23年2月12日(国内)
- [19] 狩野秀一「ネットワークシステム、コントローラ、及びフロー制御方法」特願 2011-038120 平成23年2月24日(国内)
- [20] 渡邊義和「計算機、消費電力低減方法およびプログラム」特願 2011-030935 平成23年2月16日(国内)
- [21] 辻聡「再送制御システム及び再送制御方法」特願 2011-069826 平成23年3月28日(国内)

9 取得特許リスト

なし。

10 国際標準提案リスト

なし。

11 参加国際標準会議リスト

なし。

12 受賞リスト

なし。

13 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

- [1] 「大学・研究機関向けネットワーク制御基盤ソフトウェアの提供を開始～新世代ネットワーク研究推進のため日米大学に提供～」、NEC 知的資産 R&D 企画本部 広報グループから報道関係者に発信 (2011年2月11日)
- [2] 「従来比10倍以上の通信効率を実現したOpenFlow利用の仮想化サーバ対応通信技術を開発」、NEC 知的資産 R&D 企画本部 広報グループから報道関係者に発信 (2011年3月11日)
- [3] 「NEC、セキュリティとプライバシー保護を両立する匿名認証をクラウド環境で実現する技術を開発」、NEC 知的資産 R&D 企画本部 広報グループから報道関係者に発信 (2011年4月21日)

(2) 報道掲載実績

なし。

研究開発による成果数

	平成22年度	合計	(参考) 提案時目標数
査読付き誌上発表数	4件 (4件)	4件 (4件)	3件 (0件)
その他の誌上発表数	3件 (1件)	3件 (1件)	2件 (0件)
口頭発表数	16件 (0件)	16件 (0件)	16件 (0件)
特許出願数	21件 (0件)	21件 (0件)	22件 (0件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
国際標準提案数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
受賞数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
報道発表数	3件 (0件)	3件 (0件)	3件 (0件)
報道掲載数	0件 (0件)	0件 (0件)	—

注1： (括弧)内は、海外分を再掲。

注2： 「査読付き誌上発表数」には、論文誌や学会誌等、査読のある出版物に掲載された論文等を計上する。学会の大会や研究会、国際会議等の講演資料集、アブストラクト集、ダイジェスト集等、口頭発表のための資料集に掲載された論文等は、下記「口頭発表数」に分類する。

注3： 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等を計上する。