

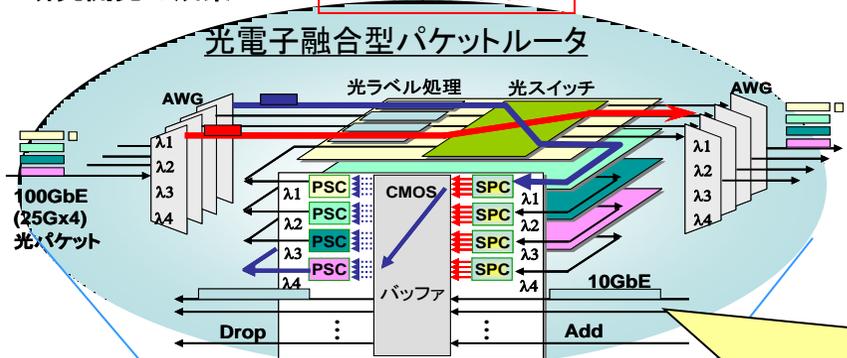
1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 高機能光電子融合型パケットルータ基盤技術の研究開発
- ◆個別課題名 : 課題ア: 低消費電力・低遅延高機能光電子融合型パケットルータに必要な基盤技術の研究開発, 課題イ 低消費電力・低遅延高機能光電子融合型パケットルータの応用技術の研究開発, ◆副題: グリーンデータセンタに向けた高機能光電子融合型パケットルータの研究
- ◆実施機関 : 日本電信電話株式会社(幹事者), 大阪大学, 九州大学, 日本電気株式会社
- ◆研究開発期間 : 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額1,478百万円(うち消費税及び地方消費税額 71百万円)

2. 研究開発の目標・低消費電力・低遅延100Gbps級フロー制御型高機能光パケットルータと、その革新的フォトニックデータセンタへの導入を目指した応用技術の研究開発を行う。

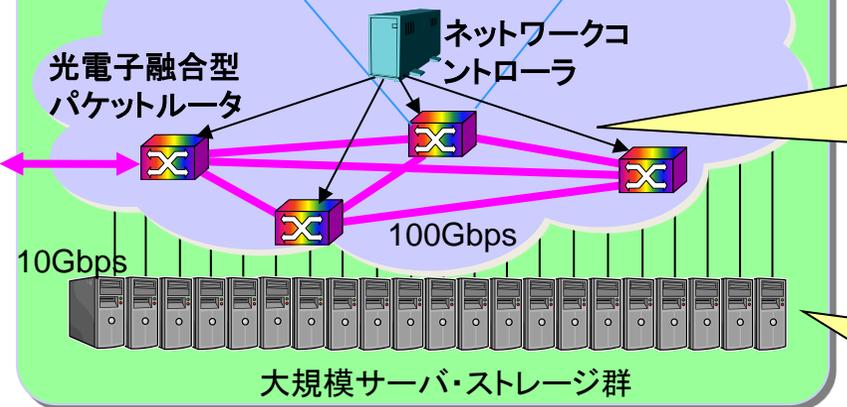
3. 研究開発の成果

研究開発目標



グリーンデータセンタ

光パケットスイッチ技術を用いた
低電力・低遅延・高速かつ高機能な
フォトニックフロー制御型ネットワーク



研究開発成果

課題 ア-1 100Gbps(25Gx4) 級に向けた各サブシステム技術の開発(NTT)

- ・ 各種サブシステム(ラベル処理、スイッチ、バッファ)を作製し、100 G光パケットを用いた各サブシステム間でのインターフェイス機能、連動・制御機能等を確認。

課題 ア-2-1 極低消費電力集積ナノデバイス技術の開発 (NTT)

- ・ シリコン上に化合物半導体を集積する作製技術を開発し、フォトニック結晶レーザの室温連続発振を実現した。

課題 ア-2-2 高速光スイッチ技術の開発 (九大)

- ・ 光スイッチモードを世界で初めて実現し、電流注入による動的動作を実証した。

課題 ア-3-1 光電子融合型パケットルータの最適構成 (阪大)

- ・ 光電子融合型パケットルータを用いたデータセンターネットワーク向けの経路制御を考慮した上で、最適なネットワーク構成を決定する手法を考案
- ・ 段階的に大規模ネットワークを構成する手法を考案

課題 ア-3-2 光電子融合型パケットルータのプリプロトタイプ実証 (NTT)

- ・ 光電子融合型パケットルータの6x6プリプロトタイプを作製。さらにトーラス型データセンターネットワークの構築のため、複数台のプリプロトを作製。
- ・ Dプレーン/Cプレーンの動作検証を実施。OCS/VOCs技術を用いた新たなフォトニックフロー転送技術の優位性を検証。

課題 ア-4-1 フォトニックフロー転送制御技術の開発 (阪大)

- ・ パケットの周回防止策によりOPSとOCSの共存・高性能化を実現
- ・ 光符号x波長数x直交偏波の3次元フォトニックラベルにより、従来の倍の2000程度のラベルの生成・識別実験に成功

課題 ア-4-2 フォトニックフロー経路制御技術の開発 (NEC)

- ・ データセンタを模擬した環境でネットワーク消費電力を半減させるVM制御手法を確立。
- ・ HOPRをデータセンタへ導入するために必要な機能を持つネットワークコントローラの開発完了

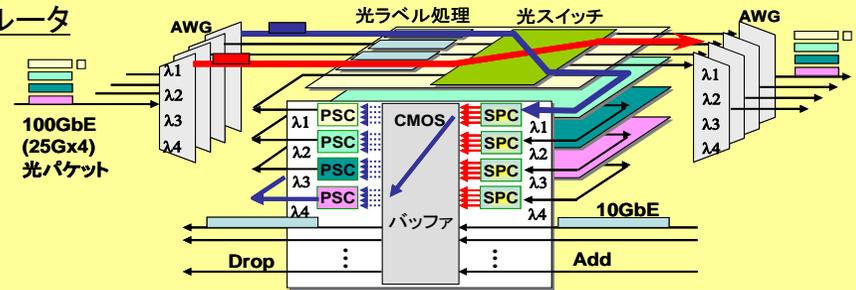
課題 イ 光電子融合型パケットルータの応用技術 (阪大)

- ・ 大規模データセンターに適した仮想ネットワーク構成制御技術を開発
- ・ 消費電力を考慮した仮想ネットワーク収容のためのバッファの配置制御技術を開発

① 光電子融合型パケットルータ技術の主な成果 — その1

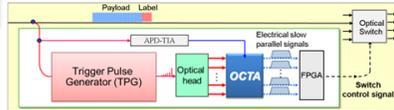
課題 ア-1 100Gbps(25Gx4) 級に向けた各サブシステム技術の開発

光電子融合型パケットルータ



～100Gbps光パケット処理が可能な様々なサブシステム技術を創出～

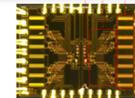
ラベル処理



TPG
OCTA

トリガパルス発生器 (TPG)

高速・大電流動作
低消費電力

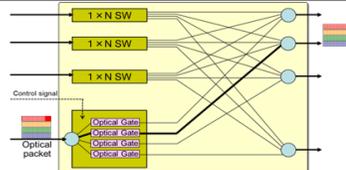


裏面入射型光ヘッド

高感度、
低コスト



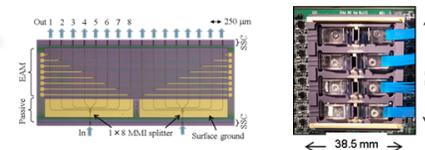
光スイッチ



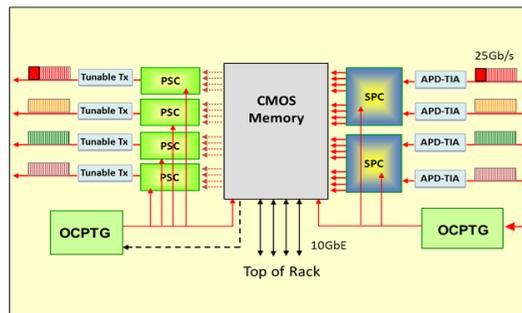
B&S Switch

EAMゲートによる分配選択型光スイッチ

低消費電力、高速スイッチ動作、
高消光比、非線形効果なし



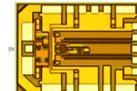
共有バッファ



Burst-Mode
Rx

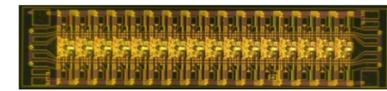
バーストモードAPD-TIA

高感度、高速応答



シリアルパラレル変換器

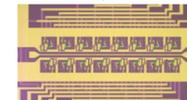
超小型、低消費電力



Burst-Mode Tx

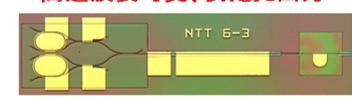
パラレルシリアル変換器

LVDS入力、NRZ出力



波長可変トランスミッタ

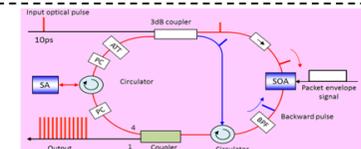
高速波長可変、安定光出力



OCPTG

光クロックパルス発生器

自己安定動作 低消費電力

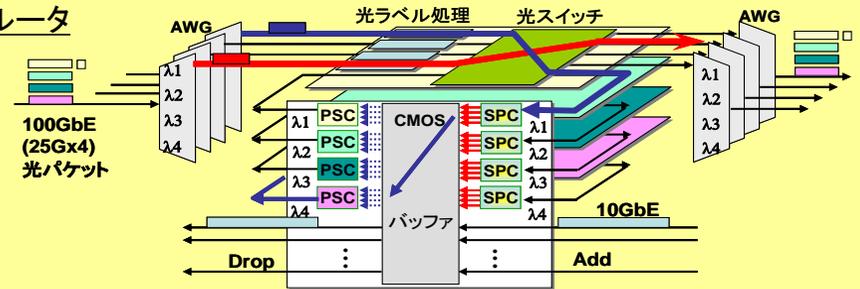


② 光電子融合型パケットルータ技術の主な成果 — その2

課題 ア-2-1 極低消費電力集積ナノデバイス技術の開発

課題 ア-2-2 高速光スイッチ技術の開発

光電子融合型パケットルータ

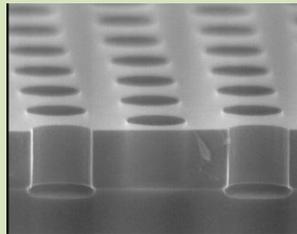


課題 ア-2-1

～フォトニック結晶共振器のSi基板上集積技術を検討～

- 光パケットルータの機能を1チップ集積し、超低消費電力動作を実現するための集積化技術

作製技術・ナノ共振器設計技術



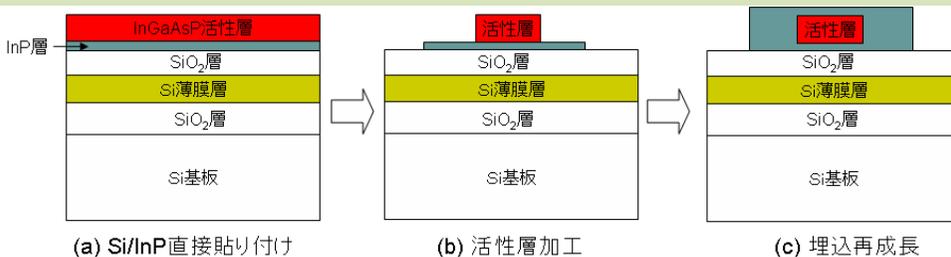
- 共振器波長精度向上
- 共振器Q値向上
- Siナノ共振器アレイで約200共振器の30GHz間隔波長設定を実現
- 埋込みヘテロ構造InPナノ共振器を100GHz間隔で32個までアレイ化

多段化限界への挑戦



- 100段以上の多段化
- 構造のシンプル化

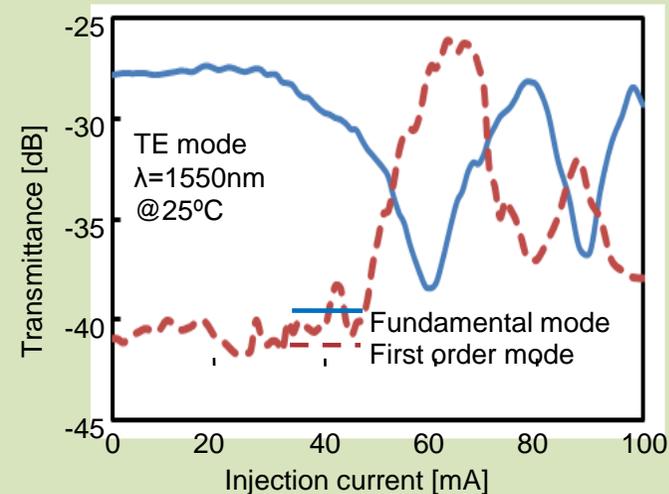
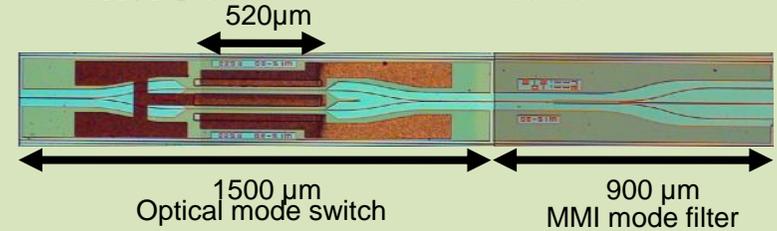
フォトニック結晶デバイスのオンシリコン集積技術



課題 ア-2-2

～新しい光スイッチ原理(光モードスイッチ)を実現～

- 導波路型での高集積可能な構造として、過剰損なく合分岐波が可能なモードを利用した光スイッチを提案。電流注入によるモードスイッチングを実証。



電流注入によりモードスイッチングを確認

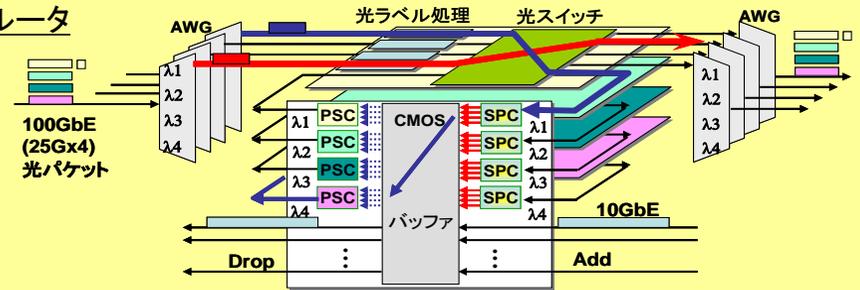
光モードスイッチ動作 (世界初)

③ 光電子融合型パケットルータ技術の主な成果 — その3

光電子融合型パケットルータ

課題 ア-3-1 光電子融合型パケットルータの最適構成

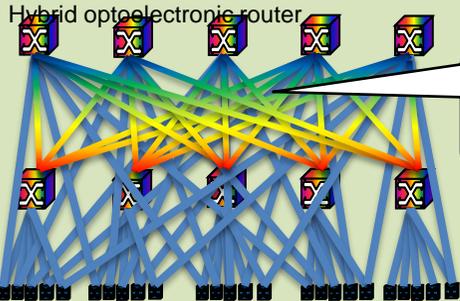
課題 ア-3-2 光電子融合型パケットルータのプリプロトタイプ実証



課題 ア-3-1

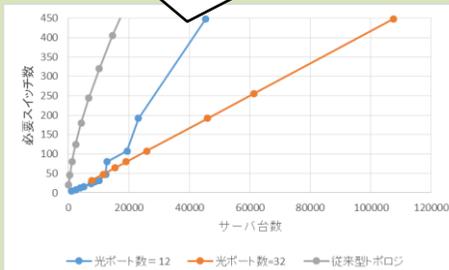
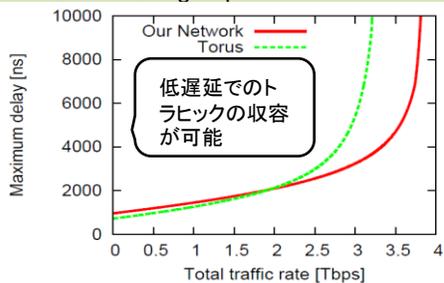
～サーバー間を低遅延で接続する光電子融合型パケットルータを用いたデータセンターネットワーク構造の段階的構築手法を提案～

- 光電子融合型パケットルータを用いたデータセンターネットワーク向けの経路制御を考慮した上で、最適なネットワーク構成を決定する手法を考案
- 段階的に大規模ネットワークを構成する手法を考案



規則的なネットワーク構造のうち、光電子融合型パケットルータネットワーク用経路制御で、より多くの通信を収容できる構成を選択

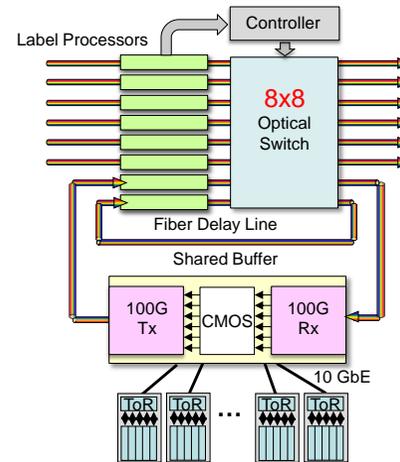
光電子融合型パケットルータを用いることで少数のスイッチで大規模なデータセンターを構築可能



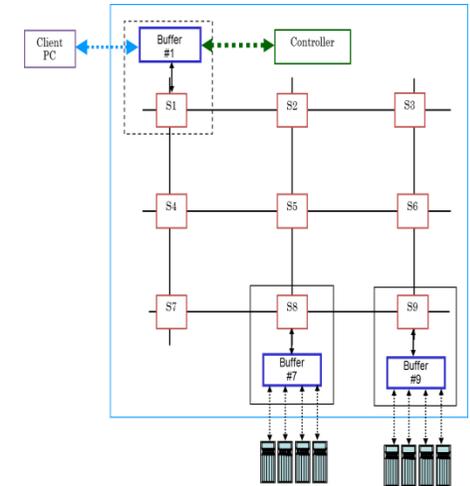
課題 ア-3-2

～光電子融合型パケットルータの6x6プリプロトタイプを作製～

- トラス型データセンターネットワークに最適な、光パケット転送アルゴリズム、衝突回避アルゴリズムを提案
- 複数台のプリプロトタイプを作製し、100Gbps光パケットデータプレーンおよびSDNをベースとしたコントロールプレーンの動作検証を実施。
- ラベル処理の分散制御とSDNの集中制御を組み合わせることで、同一プラットフォーム/同一波長上でのOPS/OCS/VOCS統合ネットワークを世界で初めて実現。



6x6プリプロトタイプ構成図

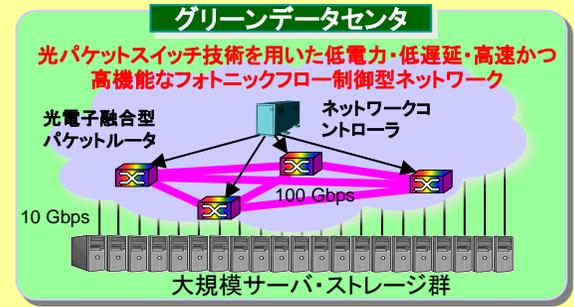


ネットワーク実証構成図

④ グリーンデータセンタ技術の主な成果 — その1

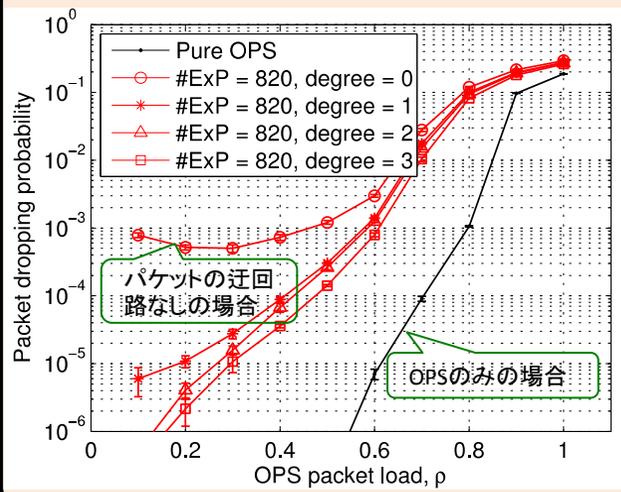
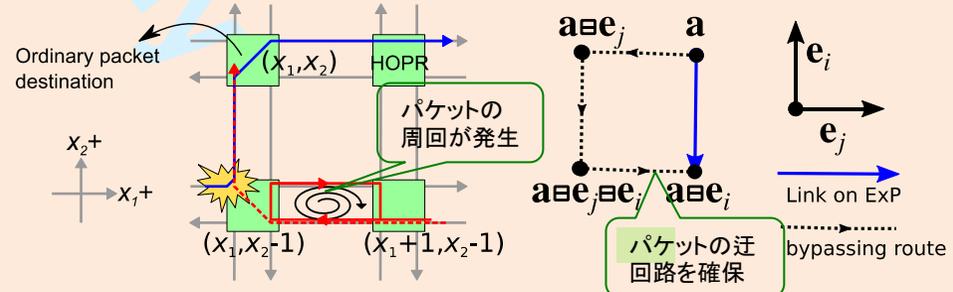
課題 ア-4-1 フォトニックフロー転送制御技術の開発

課題 ア-4-2 フォトニックフロー経路制御技術の開発



課題 ア-4-1 フォトニックフロー転送制御技術の開発

～ パケットの周回防止策によりOPSとOCSの共存・高性能化を実現～



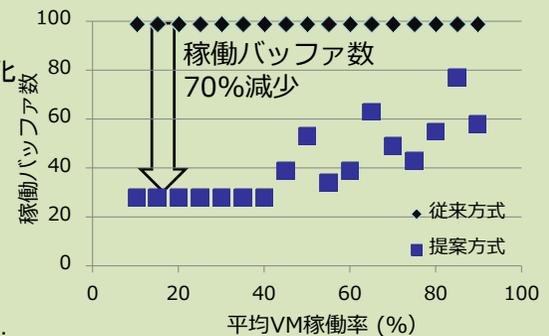
- パケット周回防止策に提案し、パケット棄却率を0.1%以下を達成できるパケット負荷は、ExP数 205, 410, 820に対してそれぞれ負荷0.70, 0.64, 0.58を実現
- データセンターの実運用稼働条件下(負荷<0.5)で十分な性能を保証

HOPRプロトタイプへ実装

課題 ア-4-2

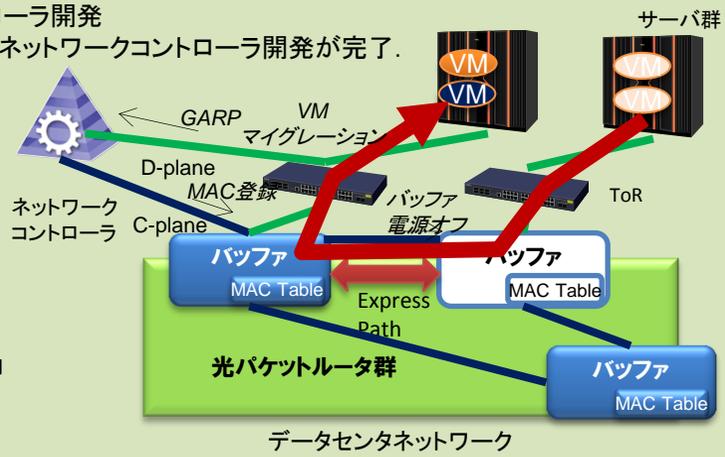
～ データセンタを模擬した環境でネットワーク消費電力を半減～

- データセンタネットワーク省電力化
 - データセンタ性能を満足しつつ、データセンタネットワークを省電力化する方式を確立。データセンタの仮想マシンをグループ化し、データセンタ性能を維持しながら電気バッファの電源オフを行う。
 - シミュレーションにより、データセンタの性能を維持しながらデータセンタ消費電力を方式導入前と比較して半減できることを確認。



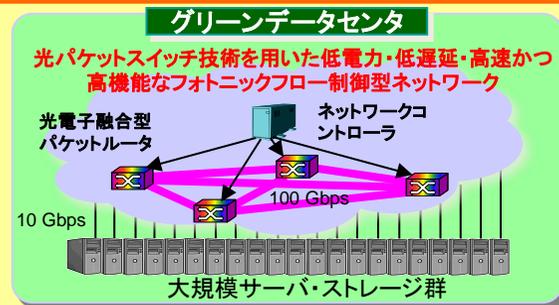
ネットワークコントローラ開発

最終評価に向けたネットワークコントローラ開発が完了。



- (開発項目)
- バッファMAC学習
 - Express Path制御
 - VM(仮想マシン)マイグレーション制御
 - バッファ電源制御

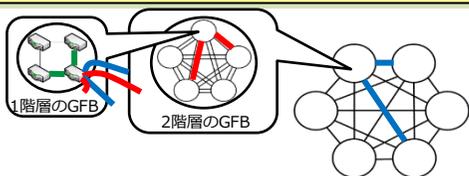
課題 イ 光電子融合型パケットルータの応用技術



～ 大規模データセンターネットワークに適した仮想ネットワーク制御方針を提案 ～

- GFB(Generalized Flattened Butterfly)構造を提案し、GFBのパラメータ調整により目標を満たす仮想ネットワークを構築・制御する手法を提案

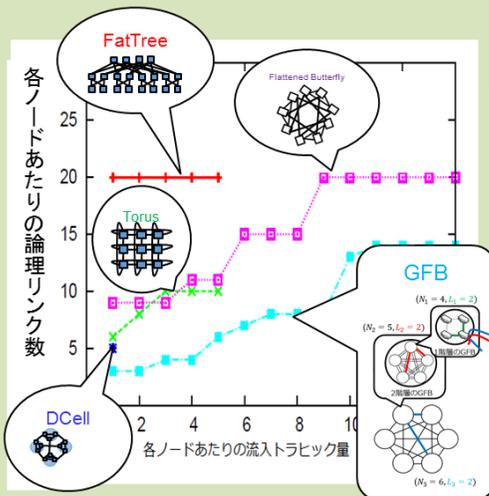
- 仮想ネットワークを收容先の経路を光電子融合型パケットルータ・バッファの消費電力を考慮して決定する手法を提案



Generalized Flattened Butterfly

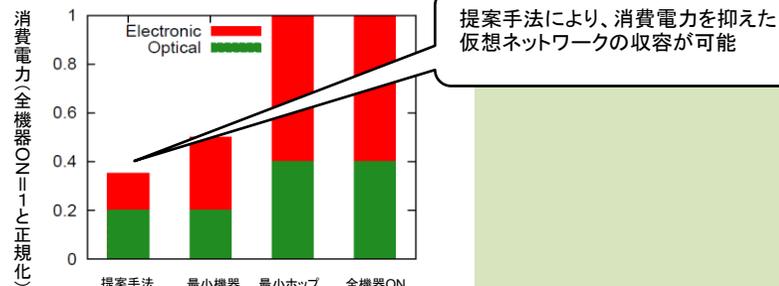
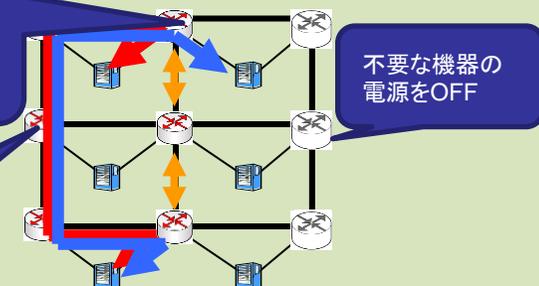
仮想ネットワーク構築手法

- Step.1 構築するトポロジーの階層数候補の決定
- 最大ホップ数の目標値から階層数の候補を決定
- Step.2 輻輳を防止する構築パラメータ決定
- ToRスイッチ間フロー数を閾値以下に抑えるようにパラメータを設定
- Step.3 通信遅延を抑えるための構築パラメータ決定
- 最大ホップ数を閾値以下に抑えることにより、通信遅延の増大を抑制
- Step.4 使用リンク数が最小となるパラメータ候補を選択



- 以下に該当する場合のみ、バッファを配置
- 電気/光の変換が必要
 - 複数の宛先宛のトラフィックを收容する場合

- トラフィックの中継のみであれば、
- ルータの電源はON
 - バッファは不要



4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
高機能光電子融合型パケットルータ基盤技術の研究開発	38 (9)	6 (2)	24 (6)	130 (22)	2 (1)	12 (2)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) トピックスを記入してください。(例:産学官連携のための〇〇〇〇運営会議を毎年主催)

- ・NICTフォトニックネットワークシンポジウムにて課題全体のブース出展を行い、本プロジェクトの意義を効果的にPRした。[全課題]
- ・ECOC、OFC、JLT、JOCNなどの著名な国際会議や論文誌で多数の招待講演(21件)・招待論文(4件)を受け、またBest Paper Award (PS2012, 2013, 2015)および電気通信普及財団賞を受賞するなど、国内外から高い評価を得た。[課題ア-1、課題ア-3]

(2) トピックスを記入してください。(例:国際シンポジウムを開催(共催:△△△、□□□))

- ・ECOC2016においてシンポジウム”Optical Communications and Networks for Data Centres”を企画・主宰し、本プロジェクトの成果をNTTより発表し、大きな反響がえられた。[課題ア-4-1]

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発の結果として得られた成果について、今後の展開(他の研究への展開、事業化、商品化など)の展望を、具体的、かつ簡潔に記入して下さい。

- ・国際会議発表や論文投稿等で積極的に行うとともに公開デモや報道発表により、広くPR活動を行う。また将来の実用化を念頭におき、周辺技術のブラッシュアップや特許出願等の知的財産管理も計画的に実施する(NTT)
- ・本プロジェクトにおいて開発した省電力化技術はデータセンタや社会インフラを支えるネットワークを制御するコントローラに導入することを検討(NEC).
- ・パケット棄却率<0.1%を達成できるパケットの周回防止策のプロトタイプへの実装をとおして、近い将来データセンターの光化に寄与する。(阪大:北山研)
- ・成果を国内外の専門雑誌や学会等での講演により、積極的に公開することで広く成果をアピールする(阪大:村田研)