

平成23年度「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」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆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)
- ◆研究開発費 総額1,486百万円(平成23年度 335百万円)

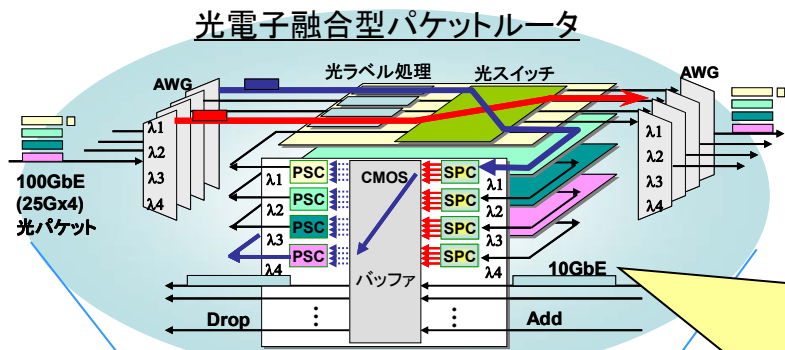
2. 研究開発の目標

- ・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

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)

- ・100G(25Gx4)動作可能とする様々な光・電子デバイスを新たに考案、設計を行い、素子作製および基本動作を実証

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)

- ・大規模集積化に向け、プロセスの検討を検討するための基盤技術を立ち上げた。

課題ア-2-2 高速光スイッチ技術の開発(九大)

- ・高速光スイッチの基本構造の検討を行なった。トレンチ構造を新たに提案し、本構造の有用性を明らかにした。

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)

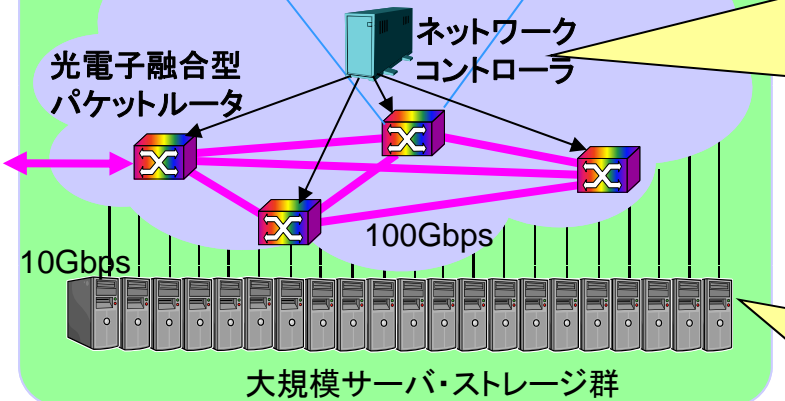
- ・光電子融合型パケットルータの広帯域を生かした、サーバー間に十分な通信帯域を確保可能なネットワーク構造の考案

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)

- ・プリプロトタイプ全体の基本構成を提案し、それに基づいて各サブシステムの制御回路等の詳細設計を実施

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



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)

- ・“Express path”転送方式を提案、フローおよびパケット混在DCネットワークをモデル化
- ・光符号と波長併用2次元ラベル構成法を提案、ラベル数1000識別可能性の見通し

課題ア-4-2 フォトニックフロー経路制御技術の開発(NEC)

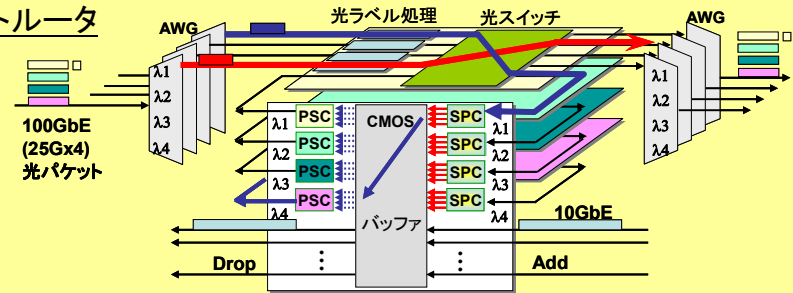
- ・電気バッファ利用状況を考慮した柔軟な経路制御方式を提案。シミュレーションによりルータにおけるバッファ遅延の最大値を低減できることを確認。
- ・上記制御方式を実現するための、ネットワークコントローラと光電子融合型パケットルータ間の制御インターフェース仕様を策定。
- ・コントローラと制御インターフェースの基本試作および機能検証を実施。

課題イ 光電子融合型パケットルータの応用技術(阪大)

- ・データセンター向け仮想ネットワーク構築のもととなる、パラメータの設定によりさまざまなネットワーク構成を構築可能な構成と、そのパラメータ設定方法の検討

① 光電子融合型パケットルータ技術の主な成果 — その1

光電子融合型パケットルータ



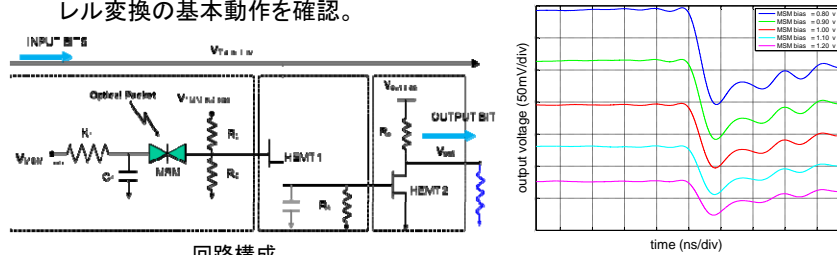
課題ア - 1 100Gbps(25Gx4) 級に向けた各サブシステム技術の開発

課題ア - 1

～ 100G(25Gx4)動作可能とする様々な光・電子デバイスを新たに考案、設計を行い、素子作製および基本動作を実証～

【ラベル処理用光電子集積回路】 【シリアルーパラレル変換器】

- 高速動作時の高出力振幅化を目指して、新たにトラック&ホールド型素子を提案。高速動作に対応した素子設計を実施。作製した素子においてシリアルーパラレル変換の基本動作を確認。

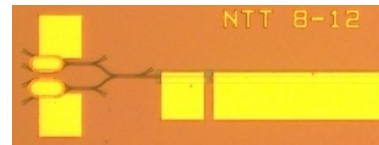


回路構成

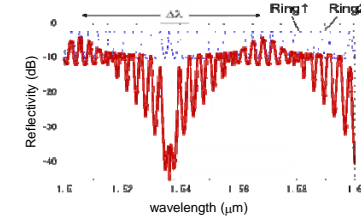
シリアルーパラレル変換応答特性

【波長変換器】

- 波長安定性と高光出力化を目指して、新たに並列DRR型構造の波長可変LDを提案。作製した素子においてフィルタ損失が大きくなる制御電流注入時でも安定した高光出力動作を確認。



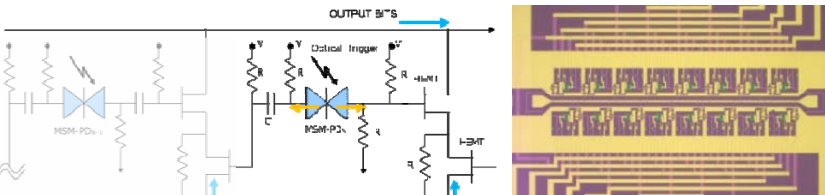
素子写真



DRRの反射率特性

【パラレルーシリアル変換器】

- 低電力・高速動作を目指して、新たにMSM-PDの正負信号を用いたNRZ出力化と、パラレル電気信号の差動信号を入力する素子構造を提案。作製した素子において25Gでのパラレルーシリアル変換の基本動作を確認。併せて素子特性向上のための動作シミュレーションを実施。

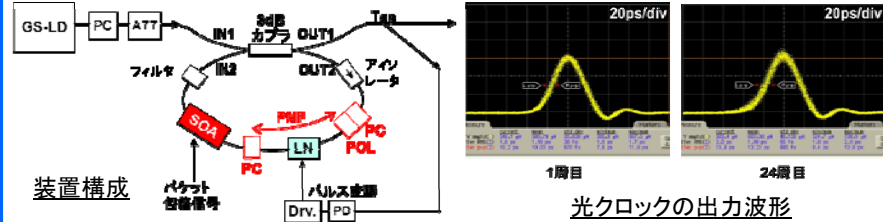


回路構成

素子写真

【光クロック発生器】

- 高速化に伴うゲインループ短尺化と光出力安定化を目指して、新たにSOAを用いた構成を提案し、評価系において安定化回路を用いずに必要なパケット長に応じたクロック列生成の基本動作を確認。



装置構成

光クロックの出力波形

【バーストモードレシーバ】

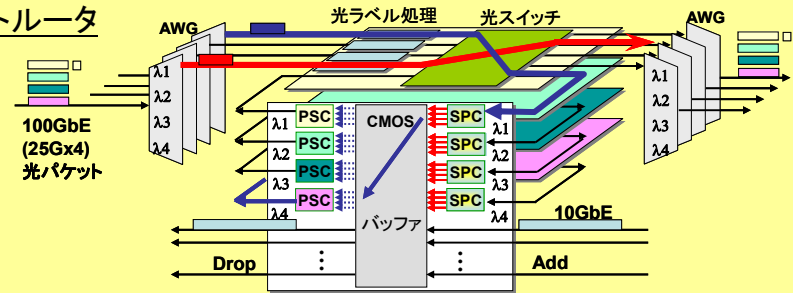
- 25Gbpsバーストモード用TIA-ICの詳細設計を実施

② 光電子融合型パケットルータ技術の主な成果 — その2

光電子融合型パケットルータ

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

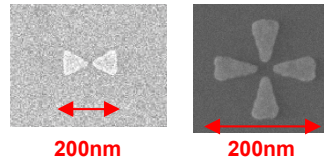


課題ア-2-1

～高集積度対応化に向けて基盤を整備～

【ナノリソグラフィー技術】

- 高密度集積／波長多重対応に必要な更なる作製精度の向上のため、近接効果補正技術や新型レジストの導入を実施。

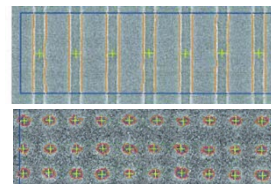


ナノメタルパターン試作例

- デバイス制御技術の一環としてナノメタルパタンの試作を開始。

【プロセス／評価技術】

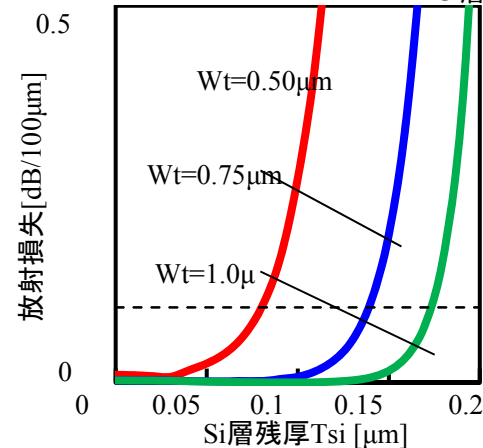
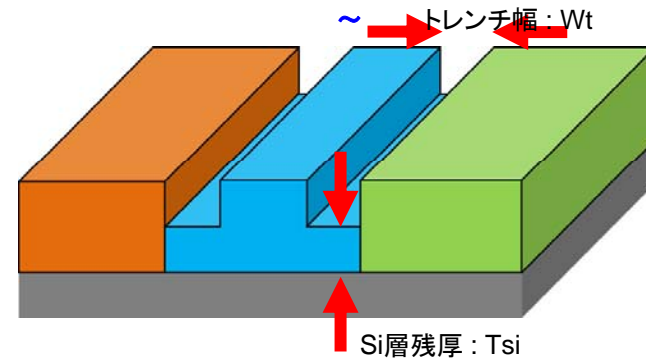
- イオン注入、結晶成長等作製プロセスの開発を開始。
- 集積ナノ構造の精密寸法解析のためSEM画像解析システムを購入。
- 集積ナノデバイスの評価用に測定系を構築するため構成品を購入。



SEM画像自動解析例

課題ア-2-2

～高集積化に向けてトレンチ構造による新しい加工制御法を提案



- ・トレンチ構造を新規提案
- ・トレンチ導入により、オーバーエッチング抑制

将来の高集積化を前提とした高速スイッチング性能実現へ！

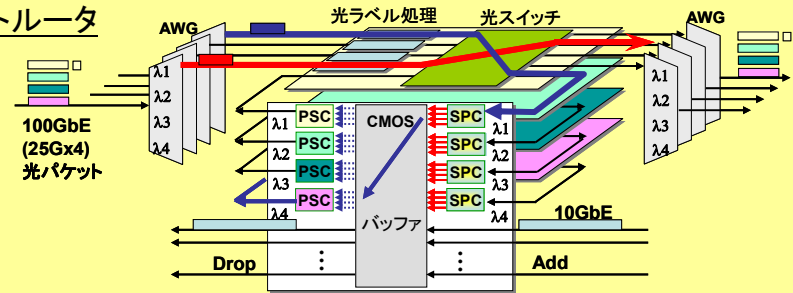
トレンチ構造であっても過剰損失<math>< 0.1 \text{ dB}/100\mu\text{m}</math>可能

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

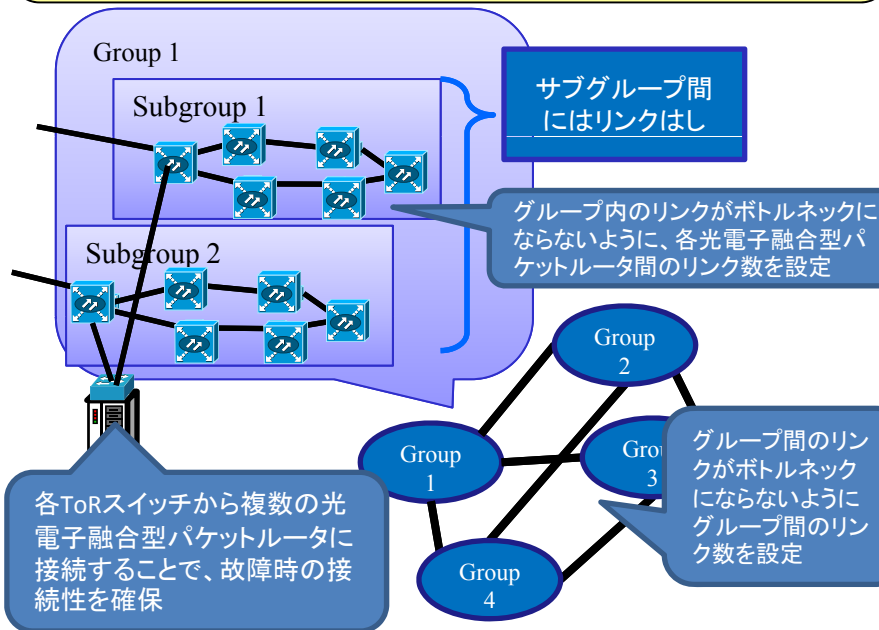
課題ア-3-2 光電子融合型パケットルータのプリプロトタイプ実証



課題ア-3-1

～ 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においてサーバー間に十分な帯域を確保可能な構成を検討～

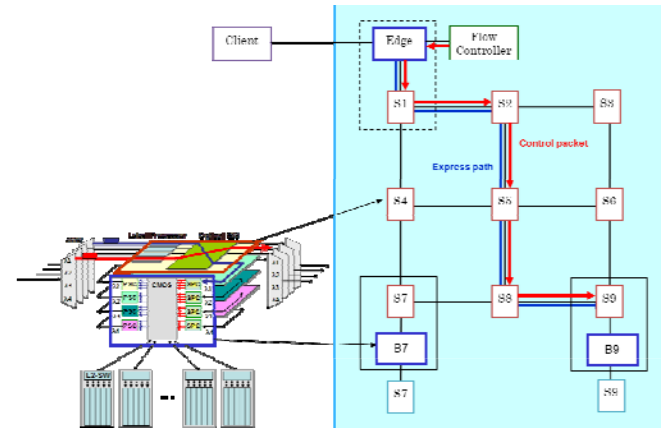
- サーバー間に十分な帯域を確保可能な光電子融合型パケットルータを用いたネットワーク構成を検討
- グループ内・グループ間のリンクを、各サーバーからのトラフィック量をもとに設定することで、十分な帯域を確保可能であることを確認



課題ア-3-2

～プリプロトタイプ全体の基本構成を提案し、それに基づいて各サブシステムの制御回路等の詳細設計を実施～

- TORUS型データセンタ内NWに適した光パケットのルーティング方法を検討。
- フォトニックフロー制御を実現するためのハードウェアの基本構成を提案。



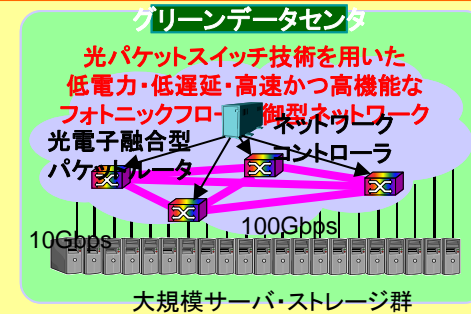
ネットワークの基本構成とフォトニックフロー制御の概念図

- 課題ア-1及び本課題での全体の基本構成を基に、光パケットの転送制御を行うスケジューラおよび各サブシステムの制御回路等の詳細設計を実施
- 今後のサブシステムおよびプリプロトタイプ評価に必須となる100G(25Gx4)での評価に向けて評価系の整備を実施し、現在も推進中

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

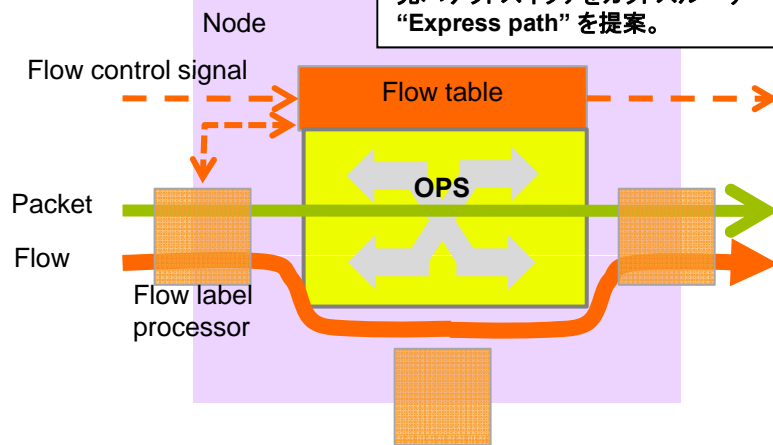
課題ア - 4-2 フォトニックフロー経路制御技術の開発



課題ア - 4-1

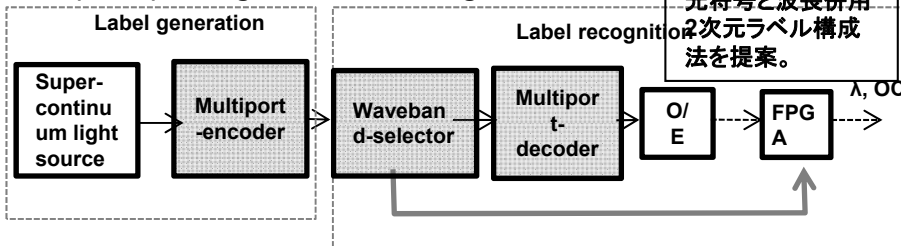
～ Express pathおよび2次元フォトニックラベルの提案～

Express path



パケットスイッチの負荷低減による低消費電力化とスループットの向上を図るため、光パケットスイッチをカットスルーす“Express path”を提案。

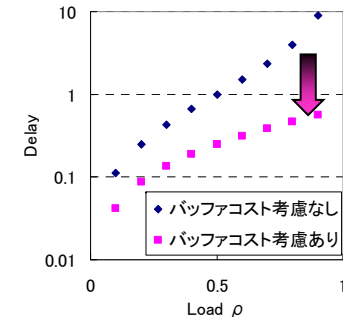
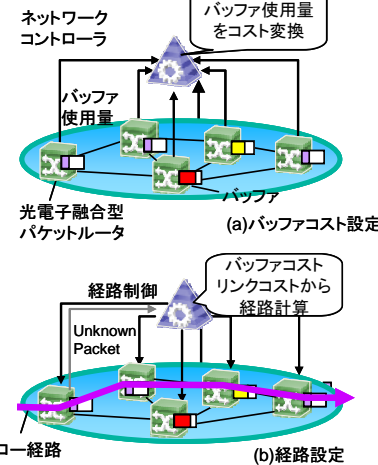
2-D (λ , OC) label generation & recognition



課題ア - 4-2

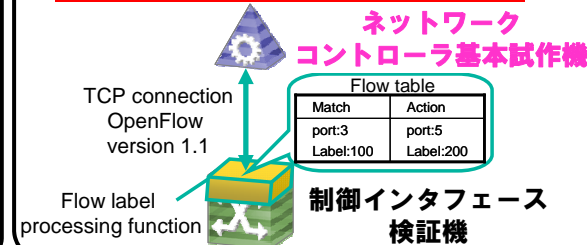
～ 電気バッファ利用状況を考慮した経路制御方式の策定・検証、およびネットワークコントローラとパケットルータの制御インターフェース検証機の試作・検証～

経路制御方式



保持すべきバッファ量の削減(中負荷時でのバッファ遅延の最大値を半減)により、低消費電力化の可能性が高まった

基本試作機およびその制御インターフェース

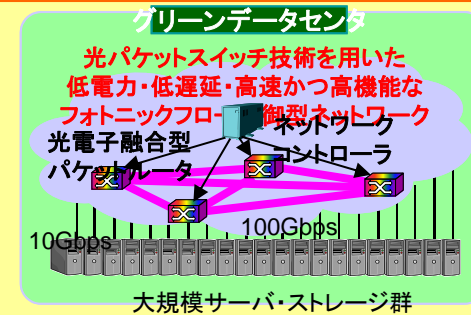


Match	Action
port:3	port:5
Label:100	Label:200

以下の試作・検証を実施した
 ○ネットワークコントローラ
 ラベル配付および出力ポートコストに基づいた経路制御
 ○制御インターフェース検証機
 ラベル対応可能なFlow Tableに基づいたラベル処理

⑤ グリーンデータセンタ技術の主な成果 — その2

課題 イ 光電子融合型パケットルータの応用技術



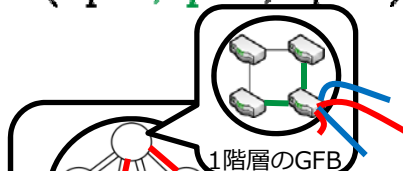
課題 イ

～ データセンタ向け仮想ネットワークに適したネットワーク構造の検討 ～

- パラメータの設定により様々なネットワーク構成を構築可能なネットワーク構成Generalized Flattened Butterfly (GFB) を提案
- GFBのパラメータの設定により、目標を満たしつつ、必要論理リンク数が少ない仮想ネットワークを構築可能であることを確認

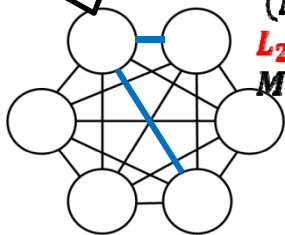
Generalized Flattened Butterfly (GFB)

$(N_1 = 4, L_1 = 2, M_1 = 1)$



2階層のGFB

$(N_2 = 5, L_2 = 2, M_2 = 1)$



$(N_3 = 6, L_3 = 2, M_3 = 1)$

パラメータ

k : 階層数
 N_k : 階層 k で接続する $k-1$ 層の GFB の数
 L_k : 階層 k で利用する各ノードあたりのリンク数
 M_k : 階層 k で同一の $k-1$ 層の GFB 間の接続に用いるリンクの最小本数

以下の値をパラメータから計算可能

最大ホップ数

$$H_k = (h_k + 1)H_{k-1} + h_k$$

各リンクを経由するToRスイッチ間フロー数

$$X_k = \frac{\sum_{i=1}^{h_k} i s_i(i)}{L_k \prod_{i=1}^k N_i}$$

H_k : 階層 k の GFB における各ToRスイッチ間の最大ホップ数
 h_k : 階層 k の GFB における $k-1$ 層の GFB間の最大ホップ数
 X_k : 階層 k の GFB におけるリンクを経由するToRスイッチ間フロー数
 s_i : $k-1$ 層の GFB間ホップ数が i の $k-1$ 層の GFB間のフロー数

最大ホップ数・各リンクを経由するフロー数が目標を満たすようにパラメータを設定することで、適切なネットワークトポロジを構成可能



環境変動に応じて、パラメータを動的に変更することで、環境変動に応じて適切な仮想ネットワークに移行することが可能

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

	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	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	1 (1)	0 (0)	7 (7)	6 (6)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

なし

6. 今後の研究開発計画

課題ア-1: 構成要素となる各光・電子デバイスの25Gbps動作を実証し、それらの光モジュール実装に向けて詳細設計と作製を実施する。また、これらデバイスからなる各サブシステムの詳細設計および作製を行う。

課題ア-2-1: フォトニック結晶等のナノフォトニクス技術を用いた大規模集積回路の作製のためのプロセス技術・設計技術の検討を行う。

課題ア-2-2: 今回検討した構造を試作し、その効果を検証したうえで高速光スイッチ実現を目指す。

課題ア-3-1: データセンター向けのネットワーク構造を有効に利用した経路制御手法の検討と、経路制御手法を考慮し、低遅延でサーバー間を接続する、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に適したネットワーク構造を明らかにする。

課題ア-3-2: 各サブシステム開発の成果を反映させながらプリプロトタイプの実現に向けて、フォトニックフローなどの機能を実装した各種ボードの詳細設計を引き続き行い、その設計を基に試作を行う。

課題ア-4-1: フォトニックフロー転送方法の検討: フローおよびパケット混在DCネットワークモデルを用い、スループットや転送遅延に関する評価方法を検討。フォトニックラベルの検討: 試作した、マルチポート光符号生成・識別器を用いた実験で動作原理を確認。

課題ア-4-2: ネットワーク情報をもとにネットワーク内でフォトニックフローの経路制御を行うネットワークコントローラ、および光電子融合型パケットルータをエミュレートした制御インターフェースを試作・開発。最終的にはネットワークコントローラと制御インターフェースを接続し、通信評価を実施。

課題イ: 本年度に考案した仮想ネットワーク向けのネットワーク構造をもとに、環境変動に合わせて動的に仮想ネットワークを変更する手法の検討を行う。