

情報学展望

電気電子工学基盤技術の展望

フォトリソグラフィネットワークワーキング
技術の動向

フォトニックネットワーク技術の動向

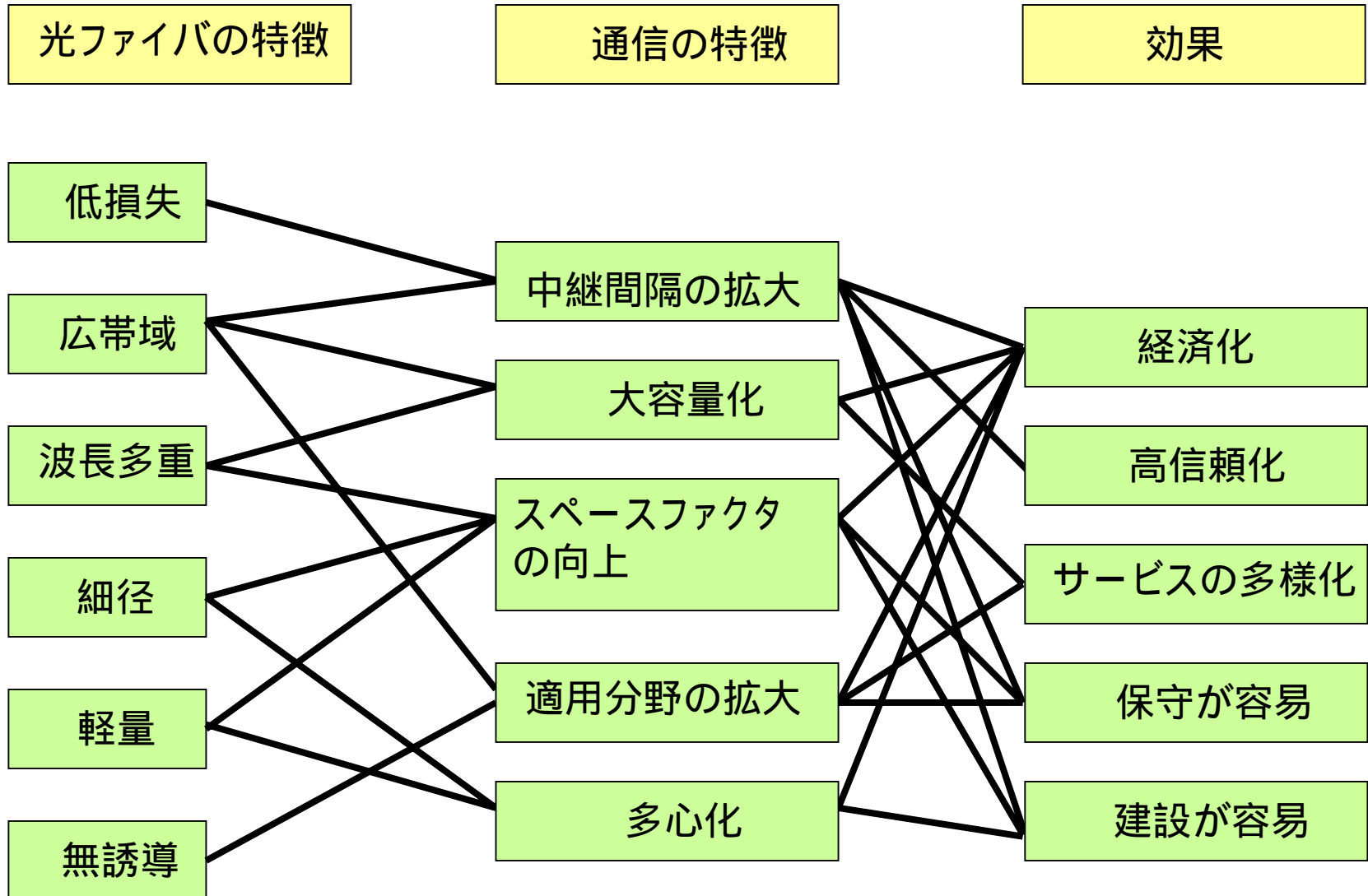
1本の光ファイバーケーブルで、複数の波長信号を多重伝送するWDM (Wavelength Division Multiplexing) 技術が、インターネットトラフィックの爆発的な増加を支えた。

大容量な波長多重伝送システムの利用に伴い、波長領域で情報のルーティングを行うフォトニックネットワークが始まりつつある。

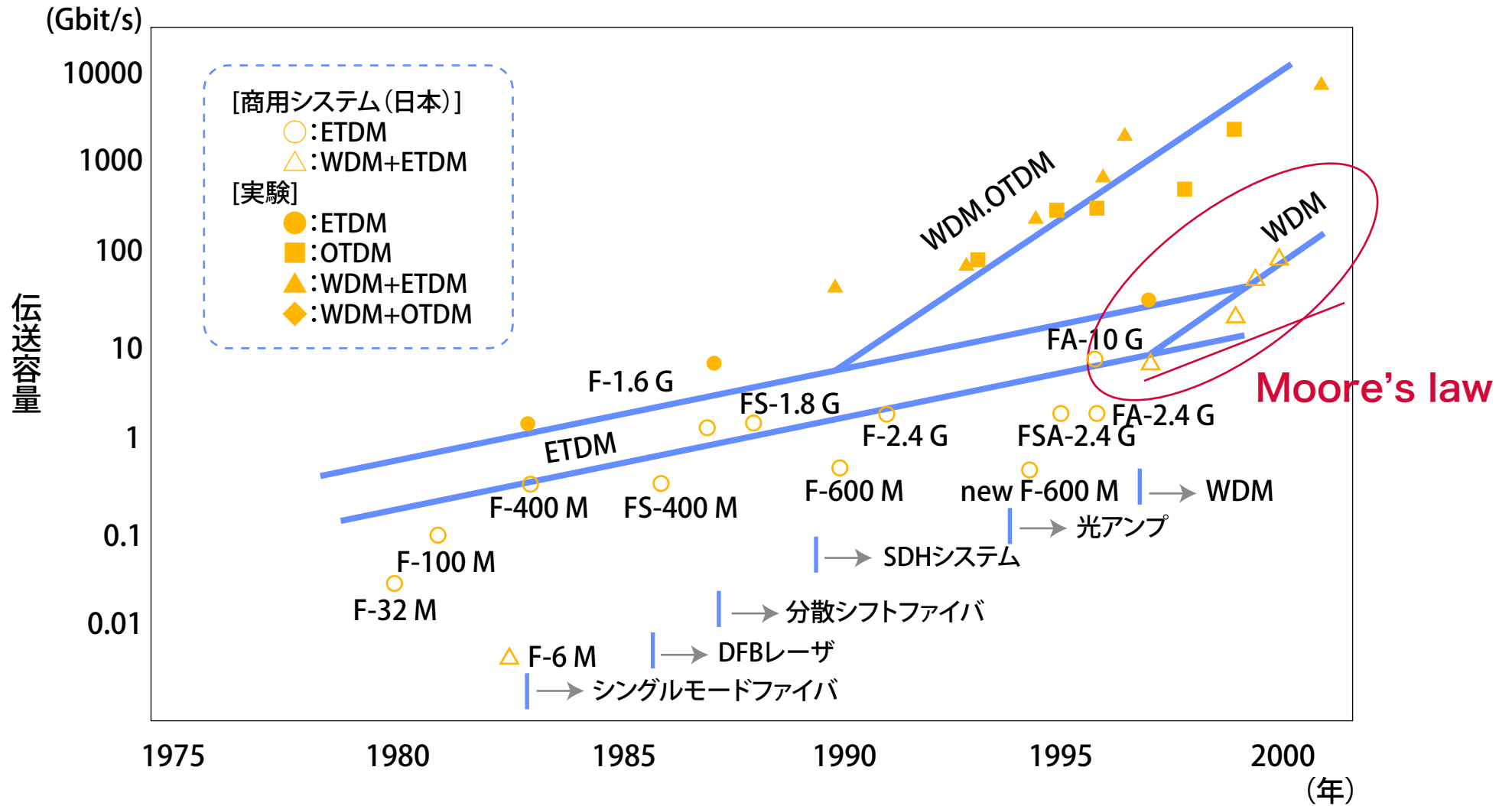
波長ごとにクロスコネクトを行う波長ルーティングシステムが開発されており、技術標準の策定や、ベンダー間の相互接続実験も行われた。

さらに、パケット単位で光領域でルーティングを行う光パケットスイッチング / ルーティングの研究が始まっている。

伝送技術としての光技術の特長



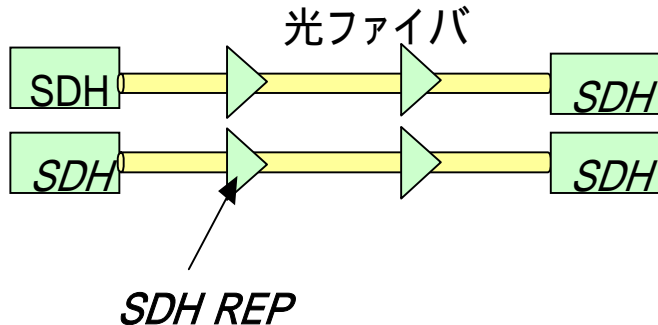
光伝送技術の進歩



WDM; Wavelength Division Multiplexing
 O(E)TDM; Optical(Electrial)Time Division Multiplexing
 DFBLレーザ; Distributed Feedback Laser

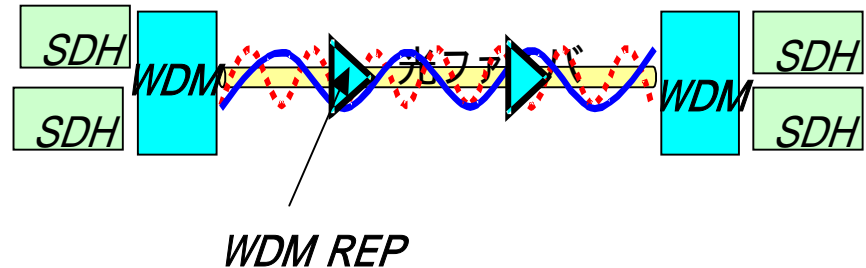
WDMによる転送容量の拡大

従来方式



1本の光ファイバを1つの伝送システムで占有

WDM



1本の光ファイバを波長を変えて使用することにより、
複数の伝送システムで使用可能
1本のファイバあたりの伝送容量が飛躍的に増加

WDMの適用によりコストの約9割を占める伝送路コストを
数十分の一にできる

注) 伝送路コスト: 管路・土木、工事、ケーブル、装置

網コスト全体の低減, ビット単価の低減

WDM; Wavelength Division Multiplexing

光伝送システムとE/O変換

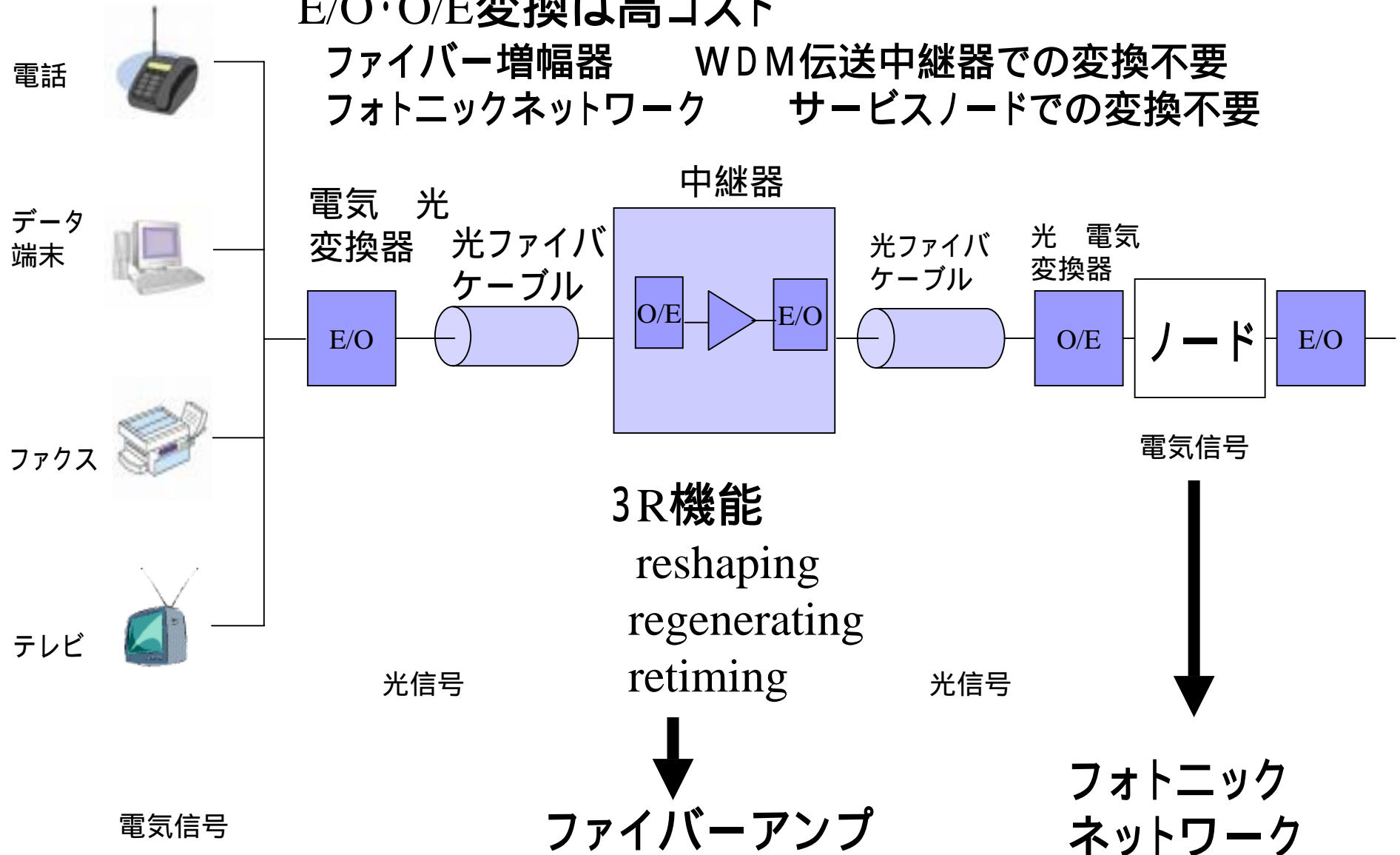
E/O・O/E変換は高コスト

ファイバー増幅器

WDM伝送中継器での変換不要

フォトニックネットワーク

サービスノードでの変換不要



バックボーン伝送容量 (2000年)

100-400 芯 / ケーブル・キャリア

すべての芯線に現状のWDMを適用すると;

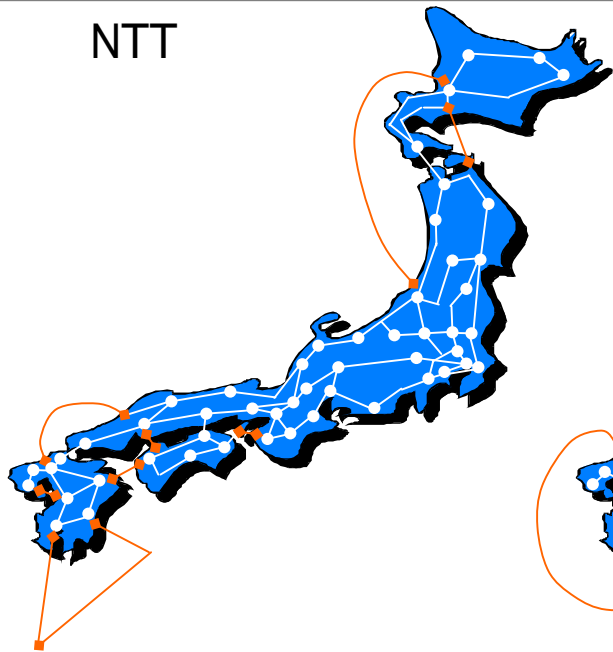
50Tbps (2.4Gbps, 32)

すべての芯線に最新のWDM技術を適用すると;

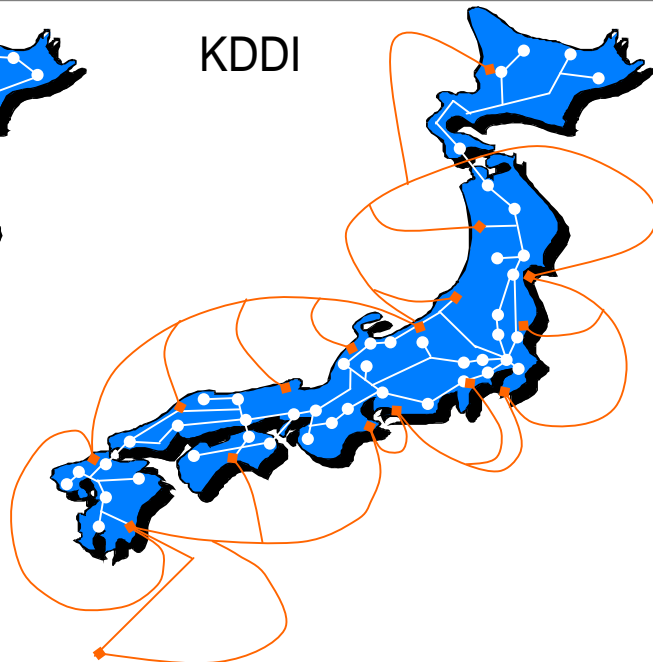
合計 1Pbps (10Gbps, 160)

人口一人あたり10Mbps

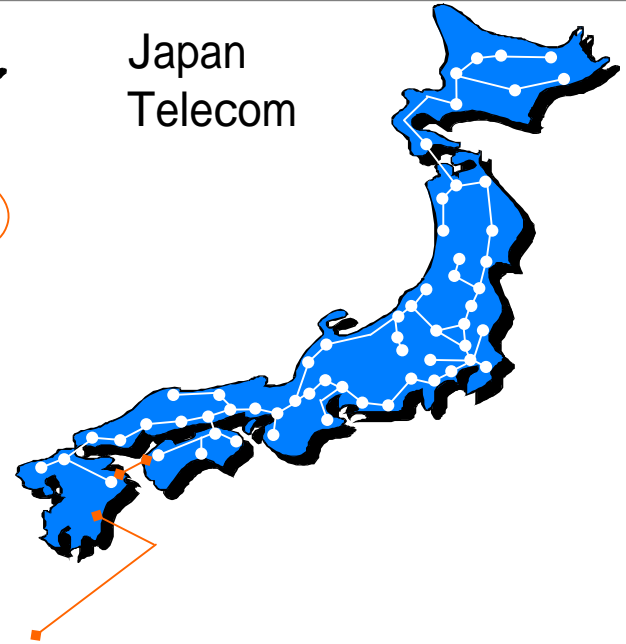
NTT



KDDI

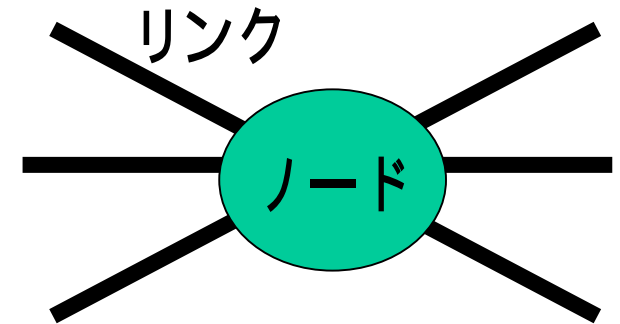


Japan
Telecom



リンク容量とノード容量の逆転

自然な姿は
ノード容量 >> リンク容量

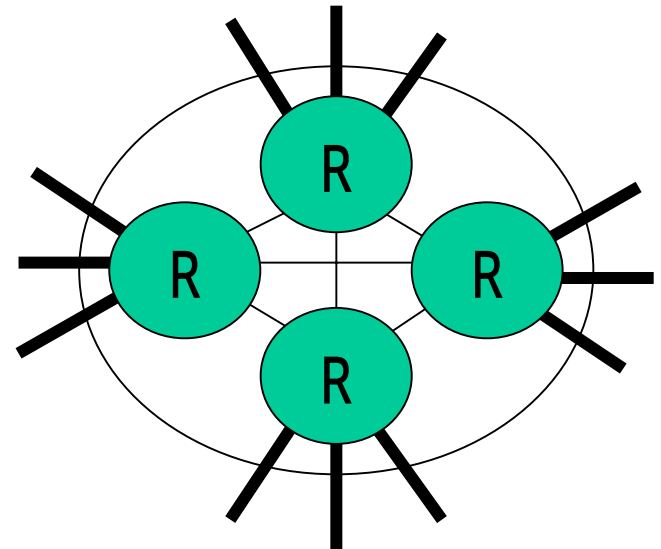


現状

- ファイバー芯線当たりの伝送容量は
10Gbps x 160波 = 1.6Tbps

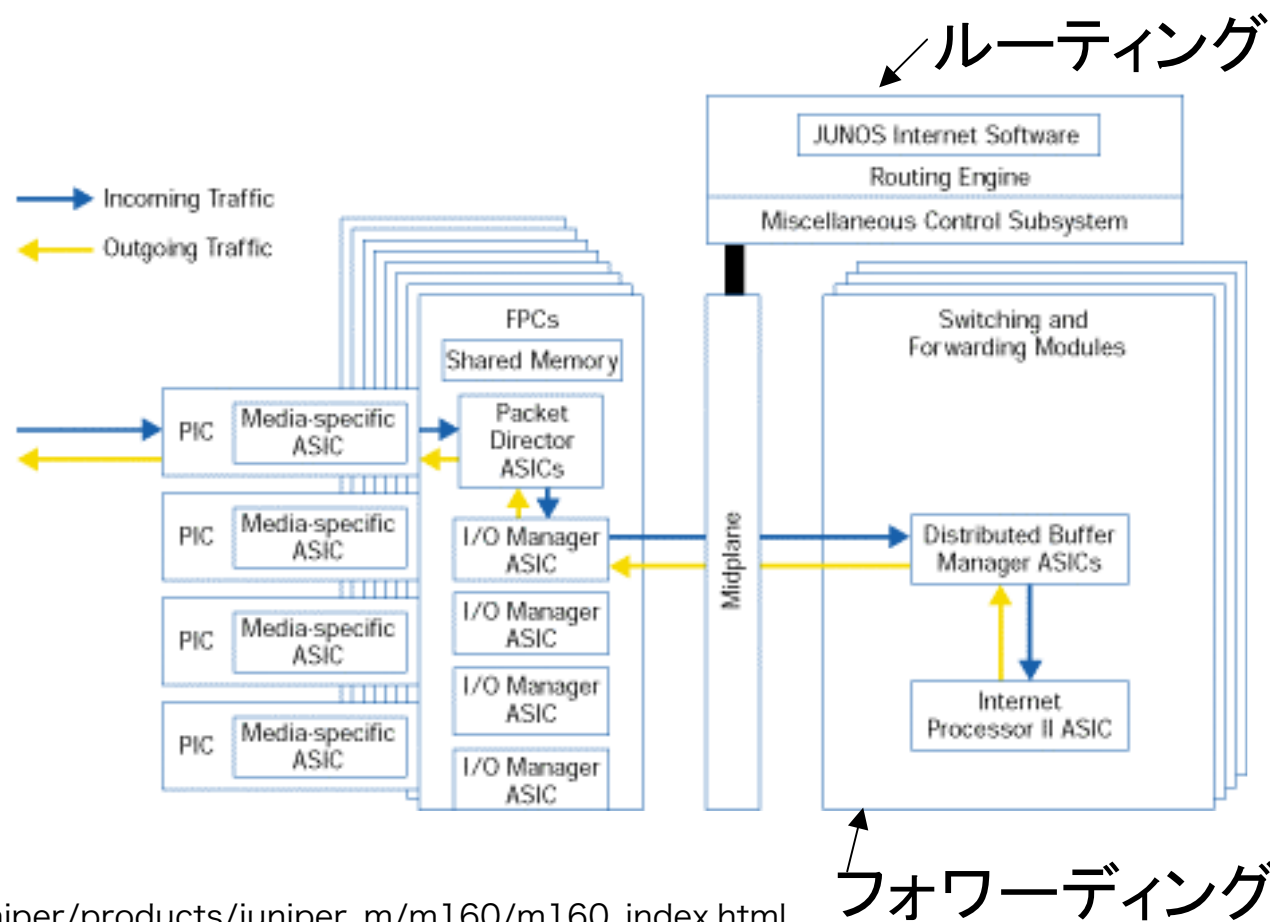
- ルーターの容量(電気)
160Gbps ~ 80Gbps

ルータークラスターは効率が悪い



<参考>大容量電気ルータの例

- ◆M160バックボーンルータ(ジュニパー社;各社類似のスペック)
- ◆10Gbps(STM64/OC192)回線16本
- ◆160Mppsの処理能力(ASICによる高速検索・フォワーディング)



フォトニックネットワークキング: 3つの世代

狙い: 光技術による大容量化、低コスト化

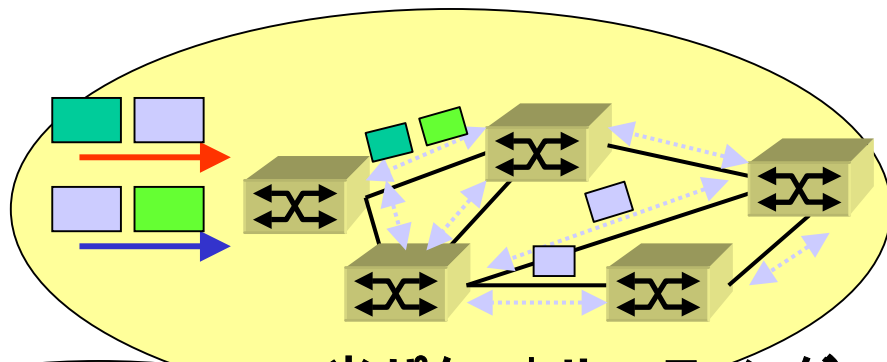
性質

Dynamic
Fine granularity

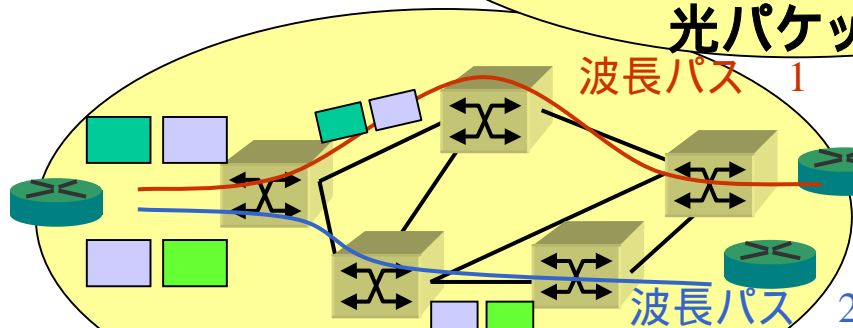


Static
Coarse granularity

第3世代: 研究

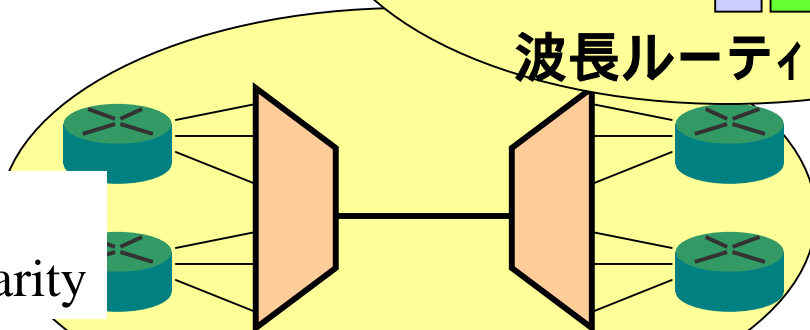


光パケットルーティング



波長ルーティング(光XC)

第2世代: 開発



WDM伝送

第1世代: 導入

時期



WDM伝送から光クロスコネクトへ: 背景

状況の変化

パケットトラフィックが主流になってきた

トラフィックの成長

T1 / T3 OC3 / 12 / 48

(1.5-45Mbps) (150M/600M/2.4Gbps)

回線貸しビジネスの変化

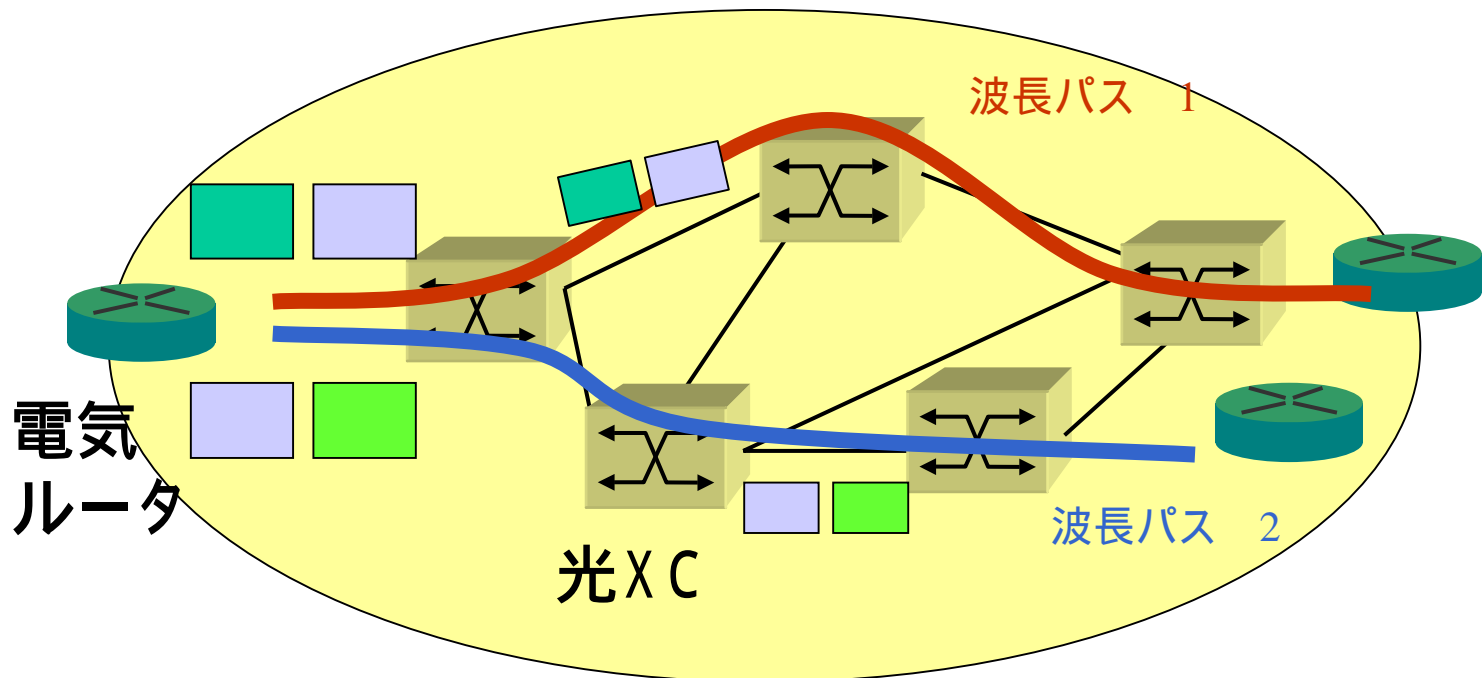
帯域貸し 波長貸し、ダークファイバー

波長多重技術の進歩

波長ルーティング(光XC)の原理 - 1

中継ノードの光XC (Cross Connect) は波長単位に回線設定
電気ルータから見ると、異なるルートのトラフィックを波長単位に
多重化できる。

信号伝送は電気ルータ相互間のポイントツーポイント伝送で、光
XCの動作も低速でよいいため、実現が容易



< 参考 > クロスコネク

多重伝送システムとともに生まれた。

各種のサービスノードの情報を1本の伝送路に多重化する。

サービスの種類

電話 / ISDN、インターネット、専用線、フレームリレー、ATM

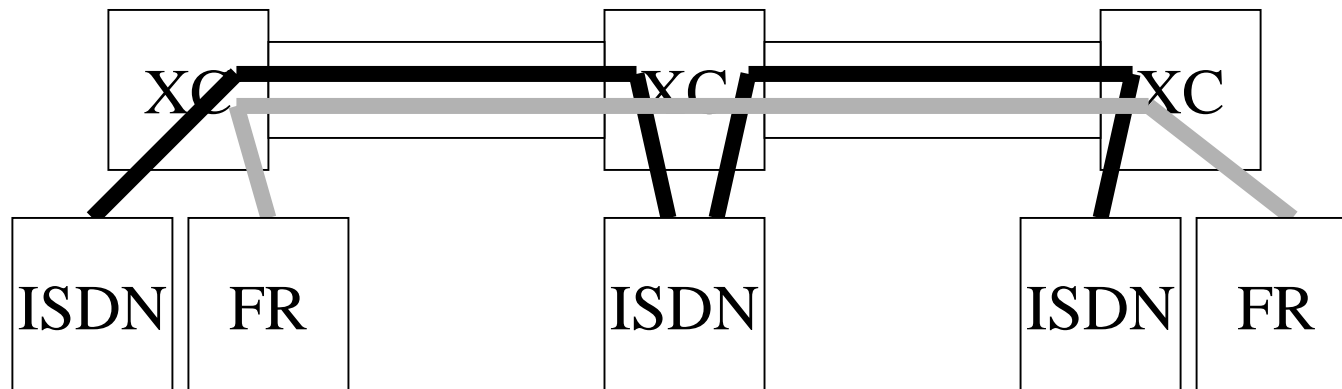
クロスコネクの接続制御は半固定接続

プロビジョニングベースが中心

障害時の切り替え、時間貸し専用線なども含む



情報転送能力は高いが、動作は遅い

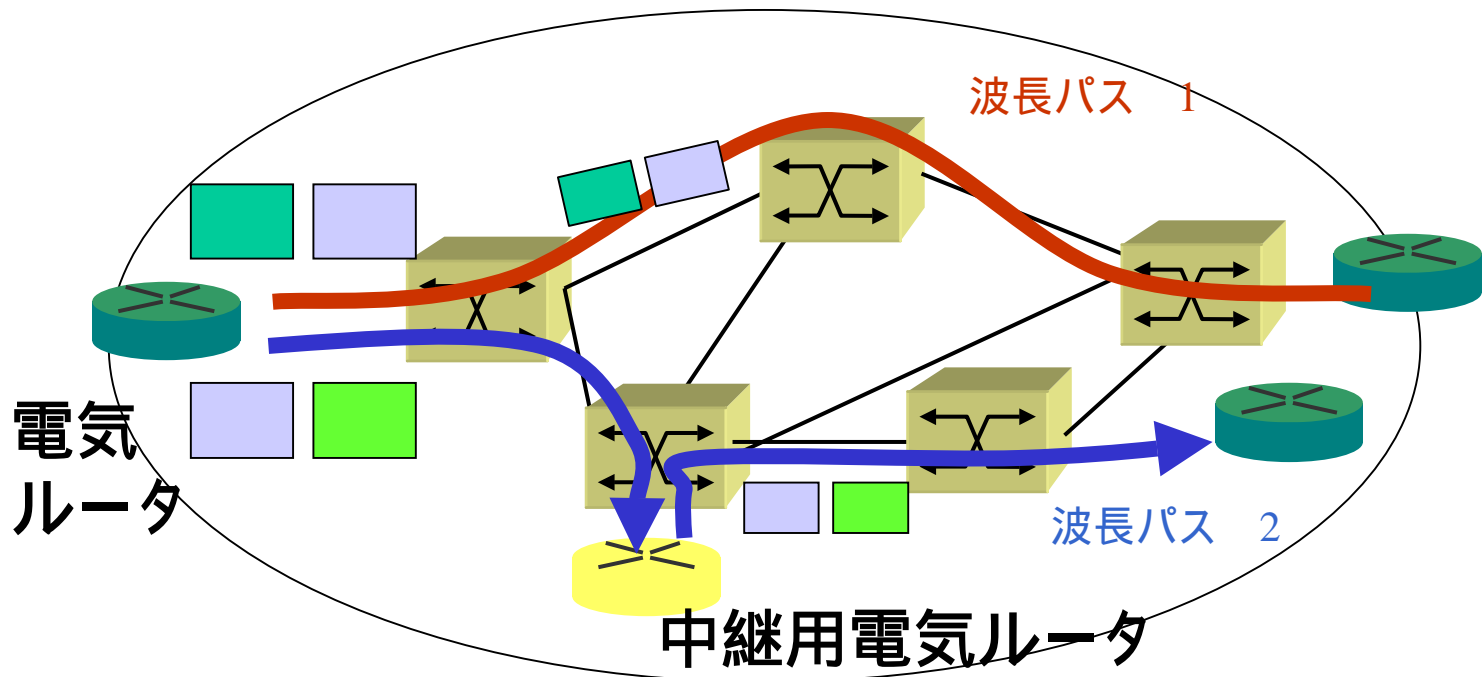


波長ルーティング(光XC)の原理 - 2

トラフィックの小さなルートは中継ノードの電気ルータでパケット多重する。



中継用の電気ルータ使用量が多いと、光化の効果が無い。
適用領域は、波長数オーダーの宛先(大規模なバックボーン)



波長ルーティング(光XC)の研究状況

波長割り付け問題が盛んに研究された。

スループットが最大となる波長割り当てアルゴリズム

波長変換の少ない波長割り当てアルゴリズム

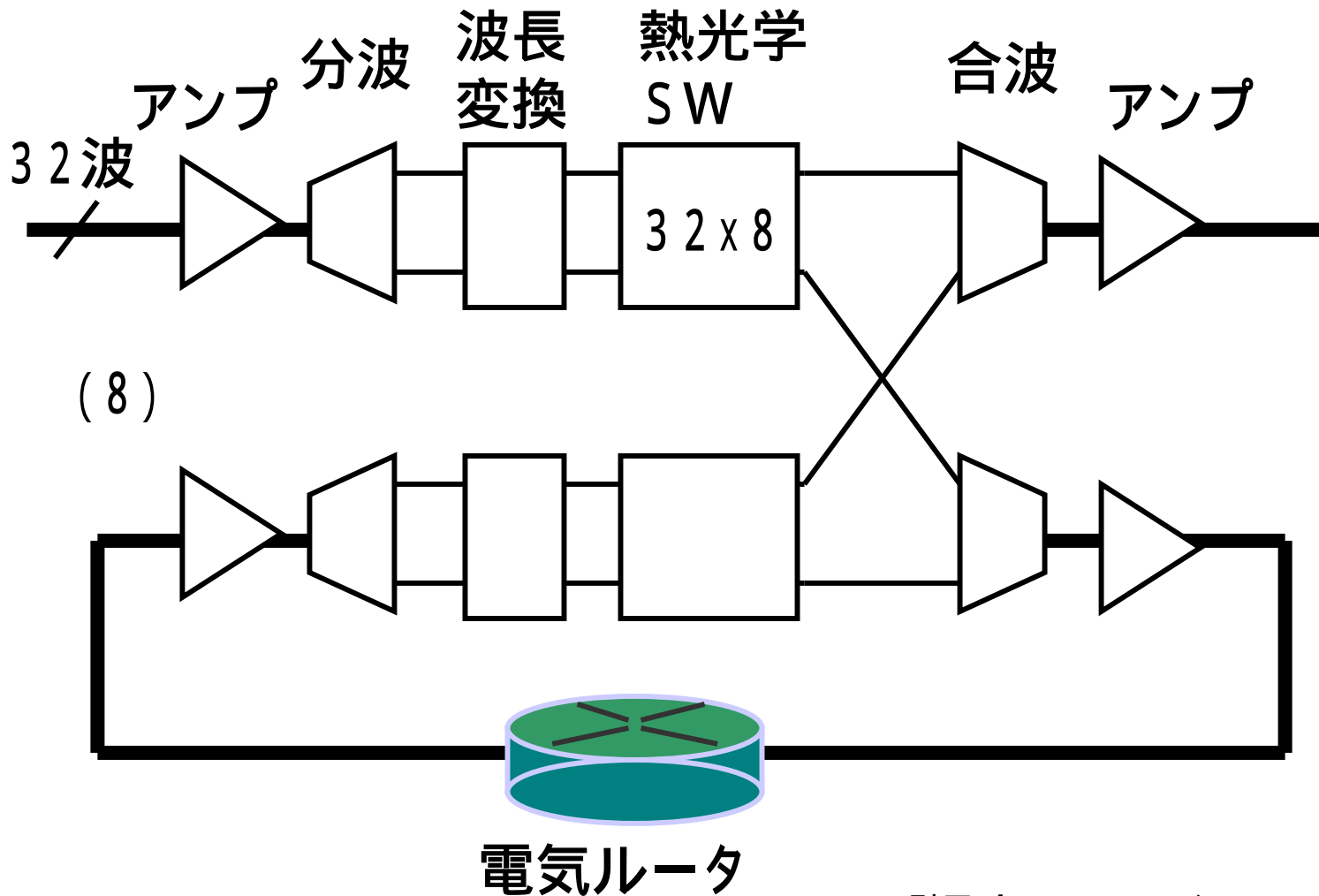
2001年のSupercommでベンダー間の相互接続実験が行われた

OIF (Optical Internetworking Forum) 主催

導入時期は、光バブル期に加速されたが、バブル崩壊でもとに戻った感がある。

波長ルーティングのシステム例

最大2.5Tbps (8本x32波x10Gbps)

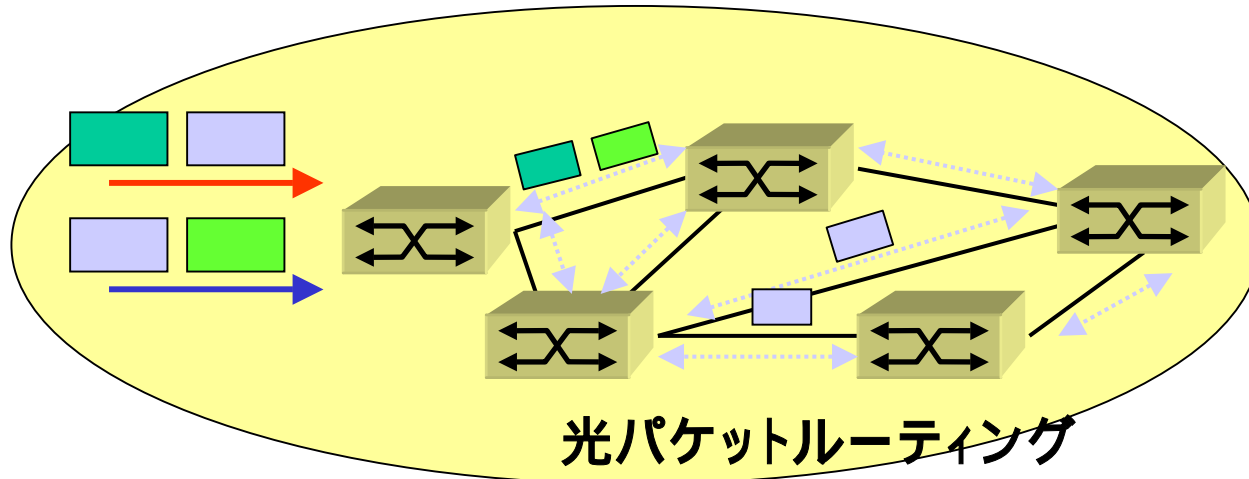


光パケットルーティングのねらい

中継ノードでパケット単位に光領域でルーティングする。



小規模トラフィック区間も光で処理できる
光の高速・大容量性の期待



パケットルーティングの実現に必要な 光デバイス

必要な機能

1. バースト同期
パケット識別
2. ラベル処理
ヘッダの認識
3. 高速スイッチ
情報転送速度と同等
4. 光バッファ

光XCでの実現

電気ルータ

電気ルータ

XCの制御は低速なので別の
電気ネットワークでも制御可能

低速でも構わない

バッファは電気ルータ

光メモリ問題の解決手段

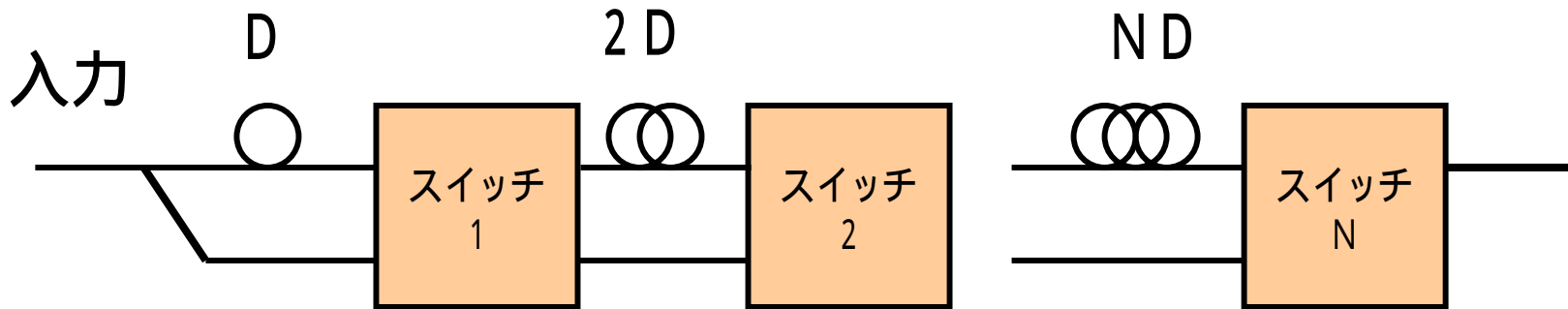
有効な光メモリデバイスが無い。
現実には使用可能なのは、固定遅延のファイバー遅延線のみ



予めパケット衝突を回避する:MAC技術の適用
事前にリソース予約を行う:バーストスイッチング
固定長パケットの採用
遅延線を用いた可変長パケット方式

遅延線を用いた可変長バッファ

N段の光スイッチとプリカットされたファイバー遅延線を組み合わせて、任意の遅延を得る。

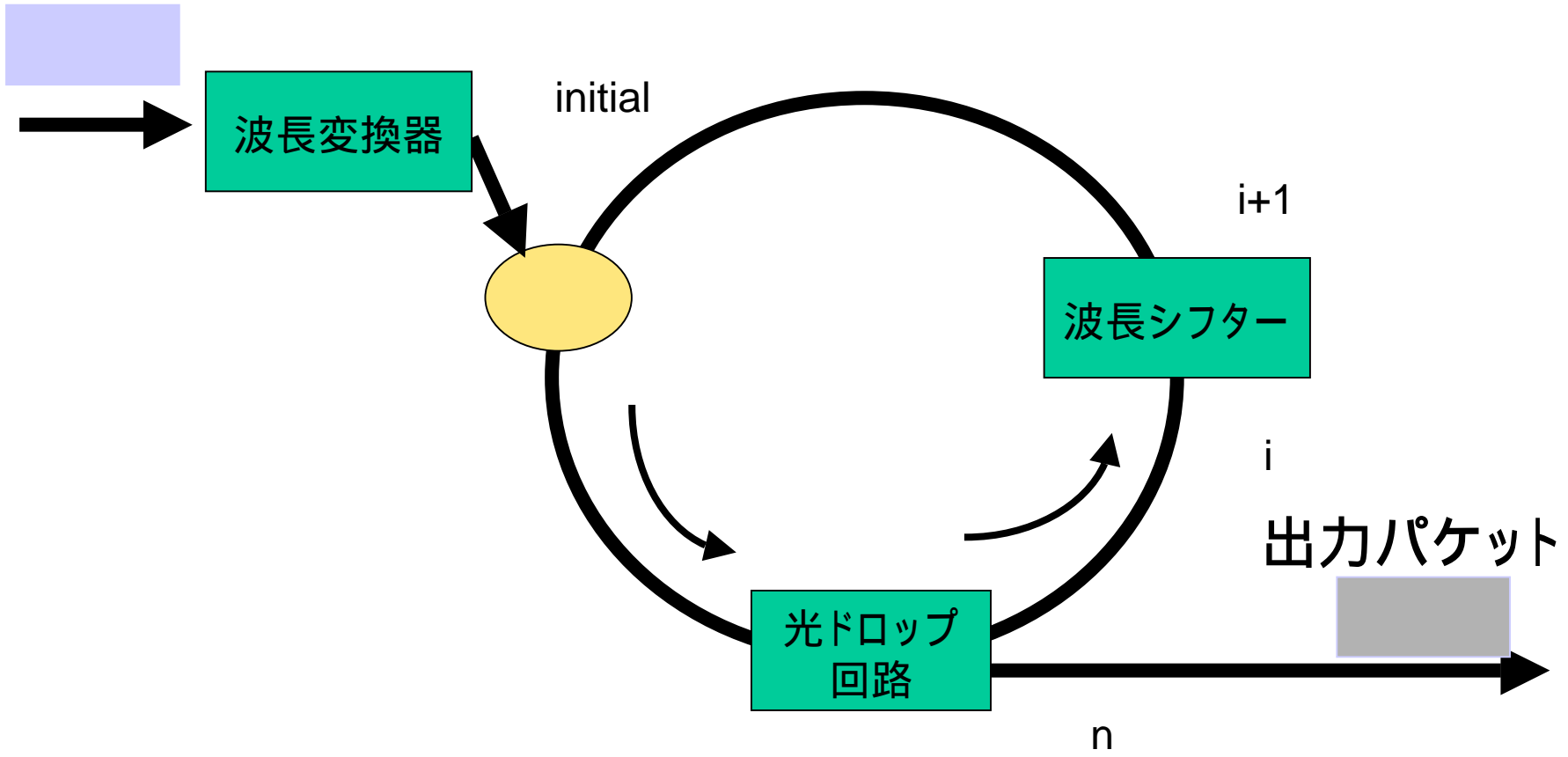


波長シフターを用いた周回型光メモリ

変換する波長(λ_{initial})を制御し、周回数(= 遅延量)を選択できる。

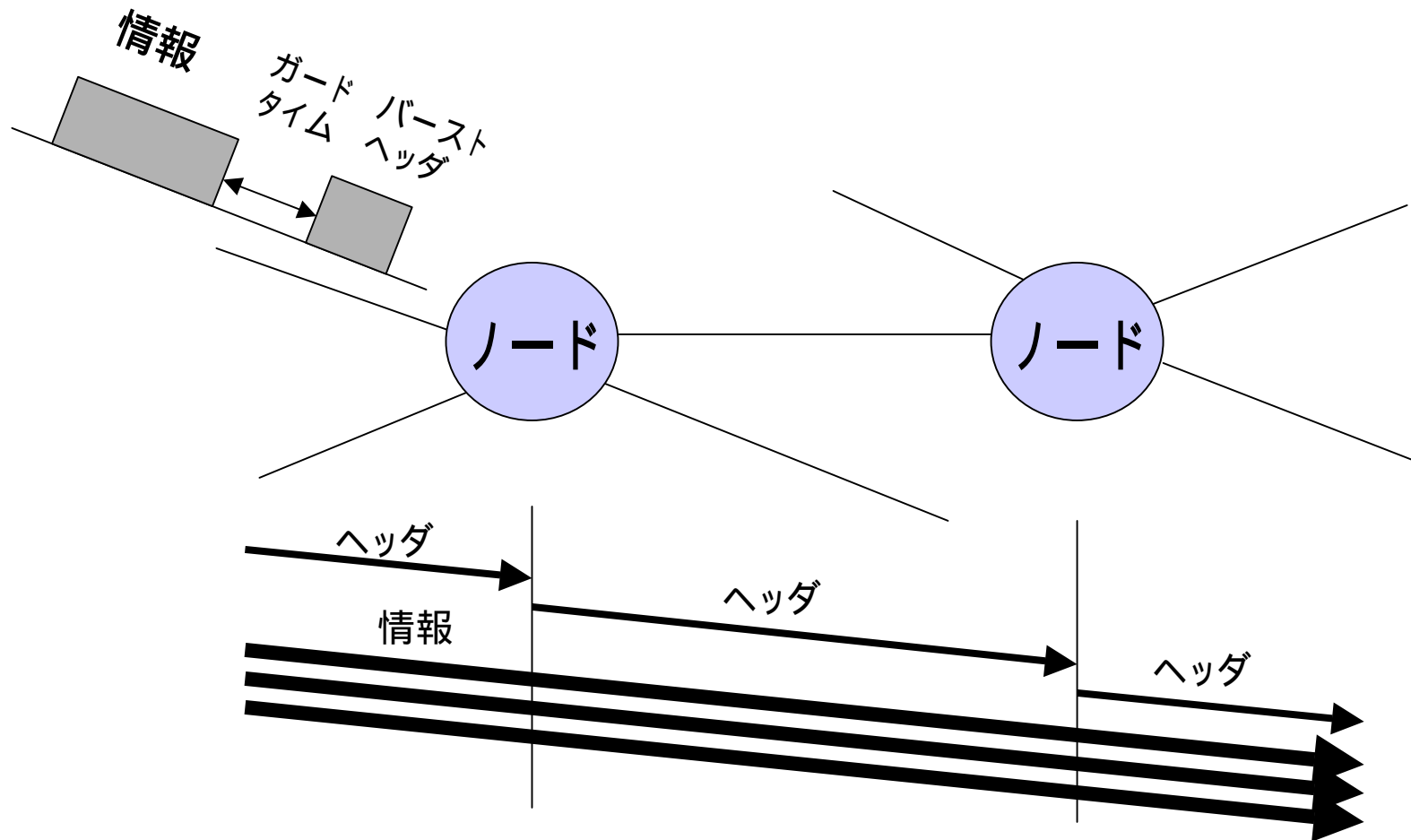
偏波・ポンプ光ゆらぎにより、5周程度までが現状での限界

入力 packets



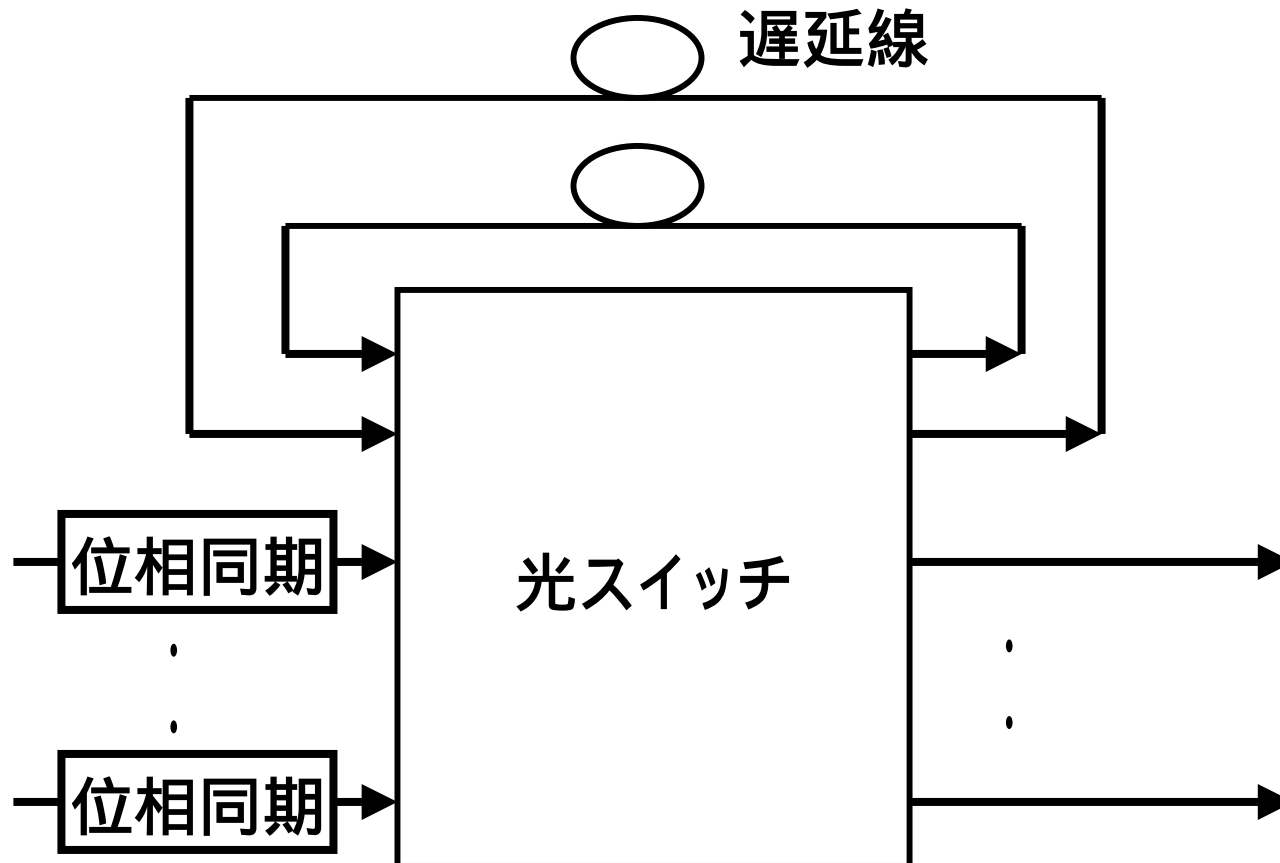
バーストスイッチングの原理

パケットの送信に先立って、ヘッダを送信する。
中継ノードは、ガードタイム以内に経路の設定を行う。



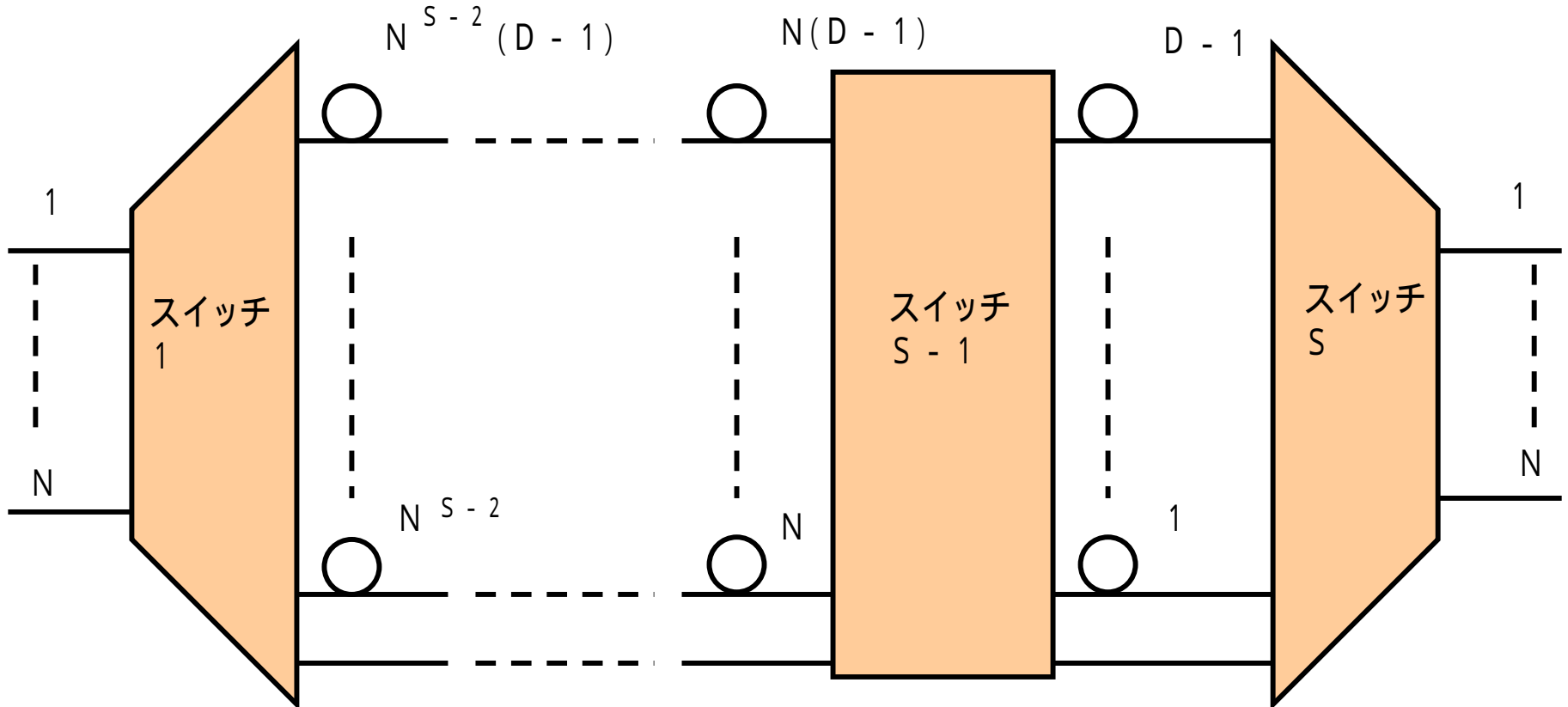
遅延線を用いた固定長パケットルータ

入力側でパケット位相を同期化し、出回線がビジーのときは遅延線(1パケット分)で待ち合わせる。



遅延線を用いた可変長パケットルータ

S段の波長変換可能な光スイッチと遅延線を組み合わせる。
出回線の空き時刻に合わせて遅延線を選択する。



知的通信網分野での研究状況

第3世代「光パケットルータ」を対象

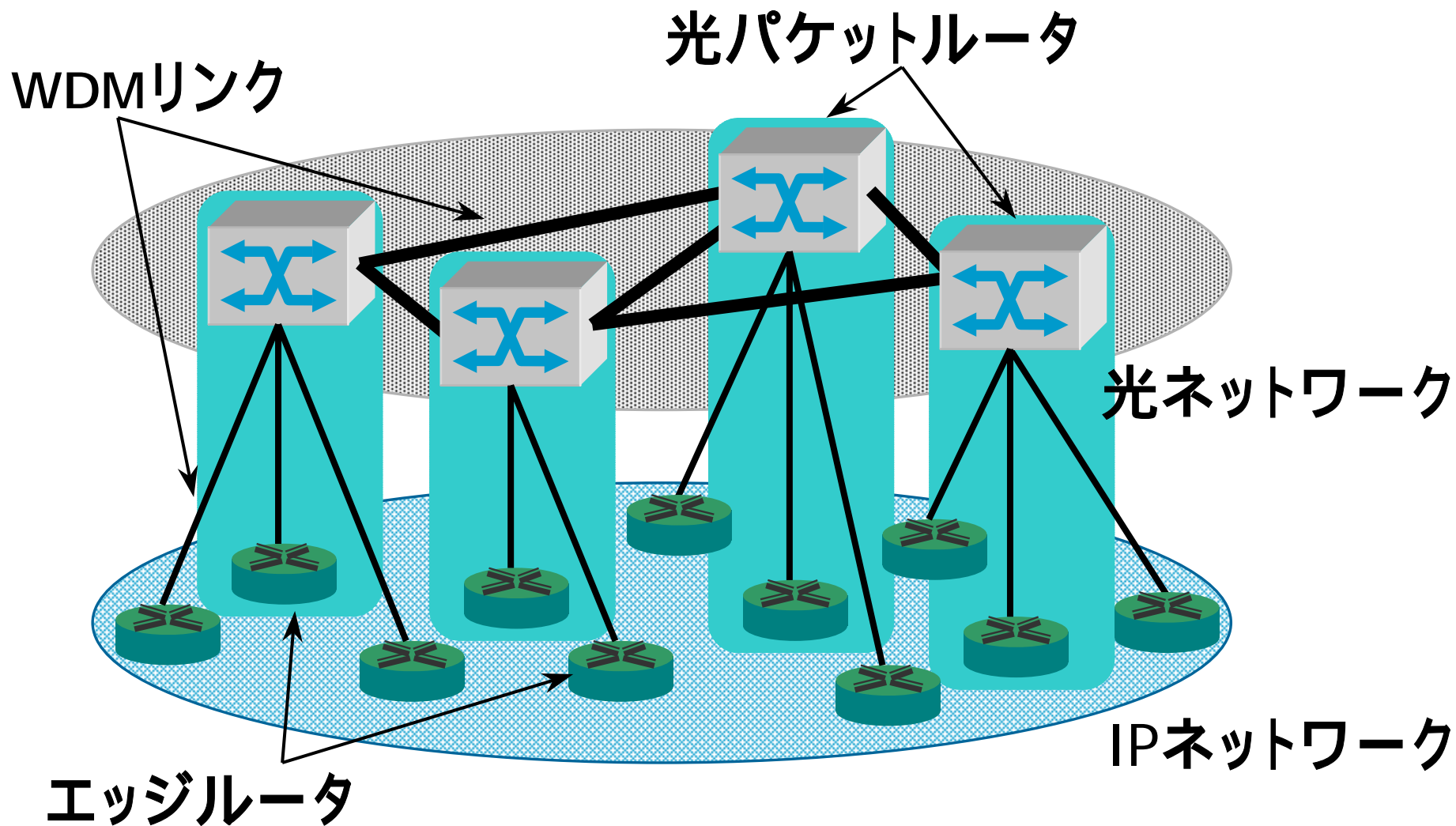
電気エッジルータを共通バッファとして用いる光ルータ

- 光メモリ問題解決の1手法
- 遅延や廃棄を抑えるためのバッファ制御方法
- エッジトラフィック送信制御によるふくそう回避法
- クラス分離による品質向上法

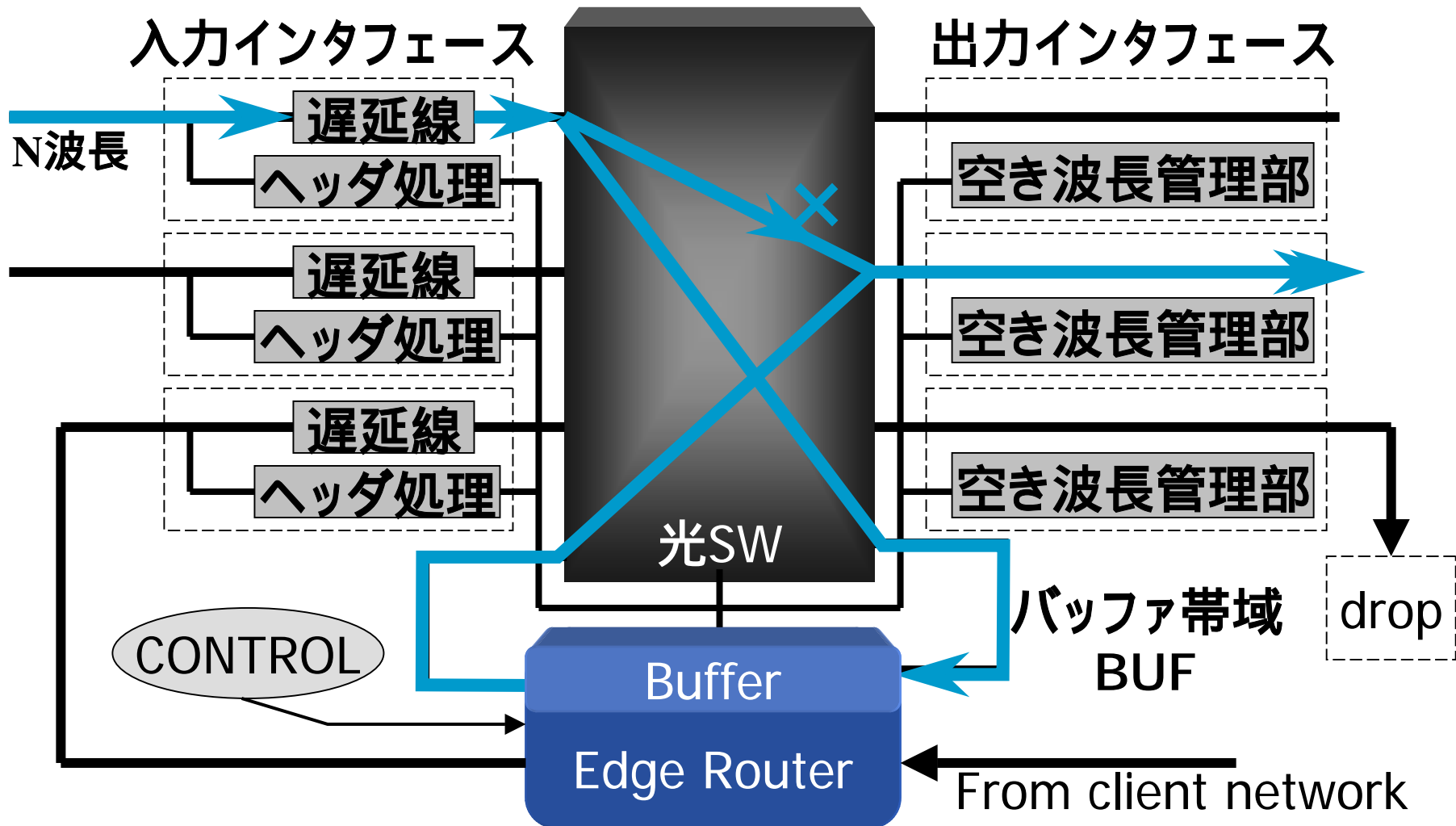
光パケット網向き的高速フロー制御法

- パケット廃棄に強いフロー制御法
(- 順序逆転に強いプロトコル)

エッジルータを共通バッファとして用いる光ルータネットワーク構成



エッジルータを共通バッファとして用いる光ルータシステム構成



提案方式の特性

共通バッファ: 同時書き込み帯域制約

全容量の10% ~ 5%程度のバッファアクセス帯域で、十分小さな廃棄率が達成できる。

バッファでの遅延が伸びるとパケットの順序逆転が発生する
バッファからの再送信アルゴリズムが重要

アグレッシブな送信: 出回線を消費してバッファ経由のパケットが増加する悪循環

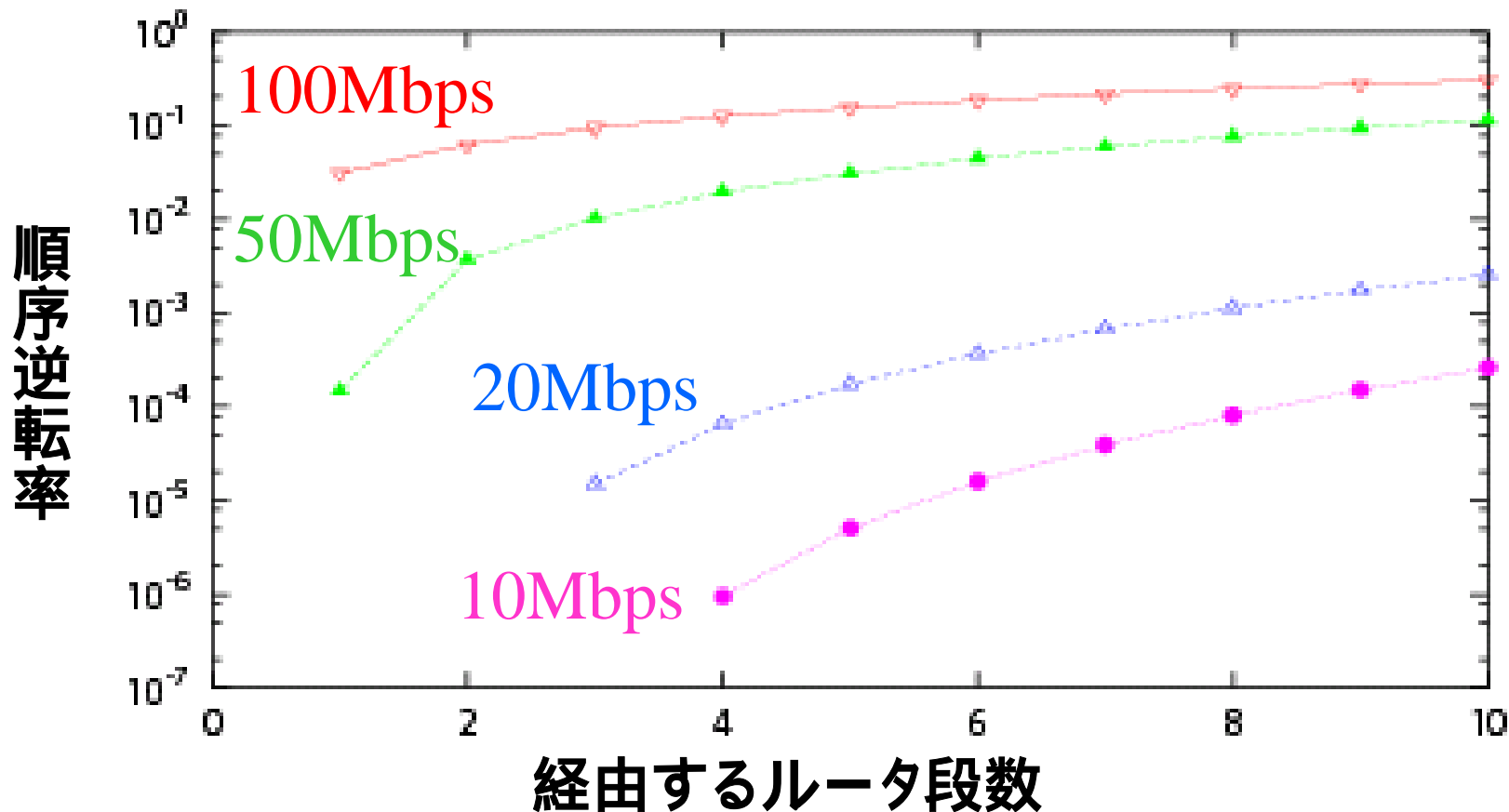
控えめな送信: 遅延が伸びて順序逆転率が率が増加する



Q長に応じて送信速度を制御(最大遅延をコントロール)

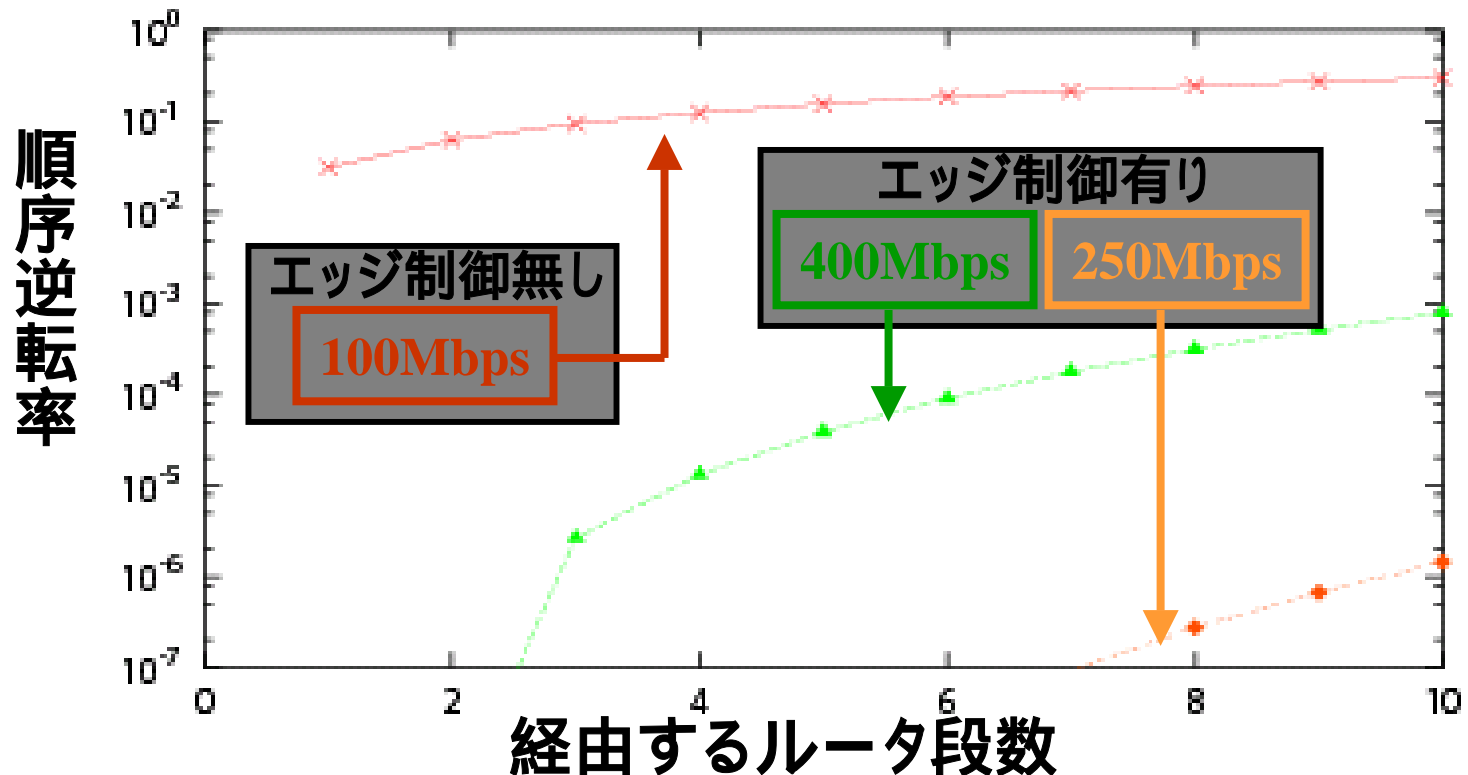
エッジルータを共通バッファとして用いる光ルータ パケットの順序逆転確率(エッジ制御無し)

ノード内の経路により遅延が異なるため、順序逆転が発生する。
バッファのQ長に応じて、捕捉する出回線の波長数を制御する
時の、パケット順序逆転確率(パラメータはLAN速度)



エッジルータを共通バッファとして用いる光ルータ パケットの順序逆転確率 (廃棄率 10^{-6})

出回線の状況に応じてエッジからのパケット送信を制御する。
パケット順序逆転確率(パラメータはLAN速度)は改善される。



共通バッファルータのまとめ

5 - 10%程度の帯域を持つ共通バッファ

電気ルータ容量の1桁大きな光ルータが実現可能
ふくそう時のエッジ送信制御が有効
10パケット程度の遅延で収まる

課題: 制御速度が2倍になる

フロー制御

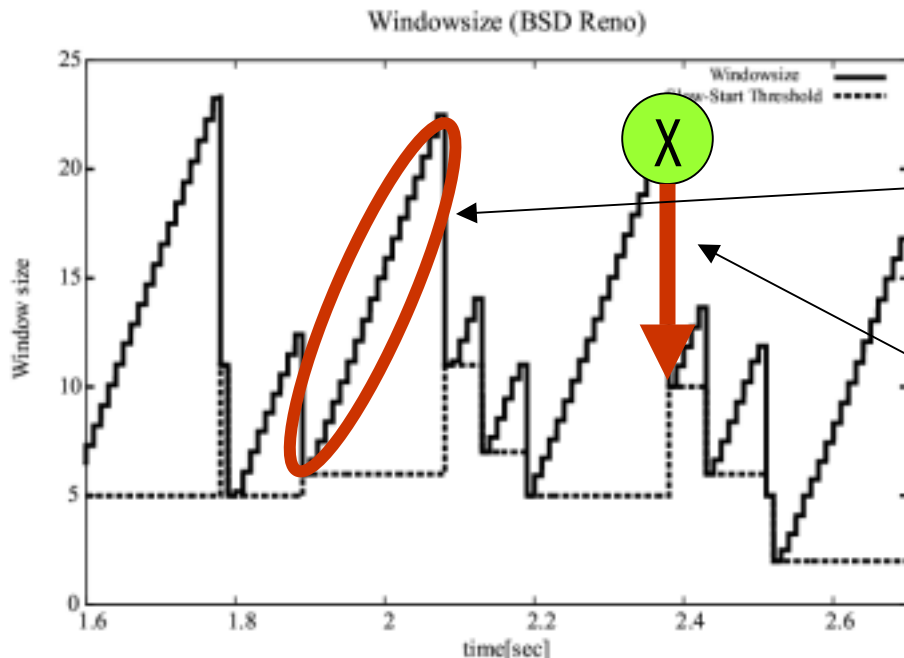
光パケット網の予想される性質

バッファ容量が小さいため、定常的な廃棄が発生する
(電気ネットワークはふくそう時のみ = 2 状態的)

波長ごとの遅延ばらつきが避けられないため、パケットの
順序逆転が不可避



現行のフロー制御 (Tahoe, Reno) ではスループットが伸びない



廃棄が無ければ速度(ウィンドウサイズ)を上昇させる

廃棄が起きると速度(ウィンドウサイズ)を半分に「

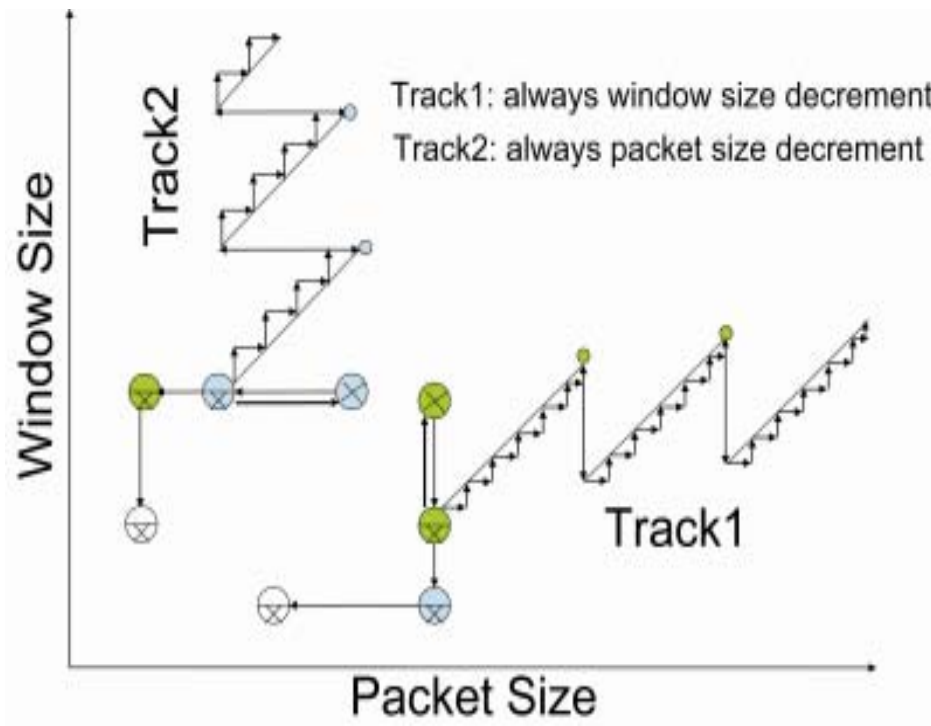
光パケット網に適した高速フロー制御

スループット

(パケット長×ウィンドウサイズ) / ラウンドトリップディレイ

アイデア

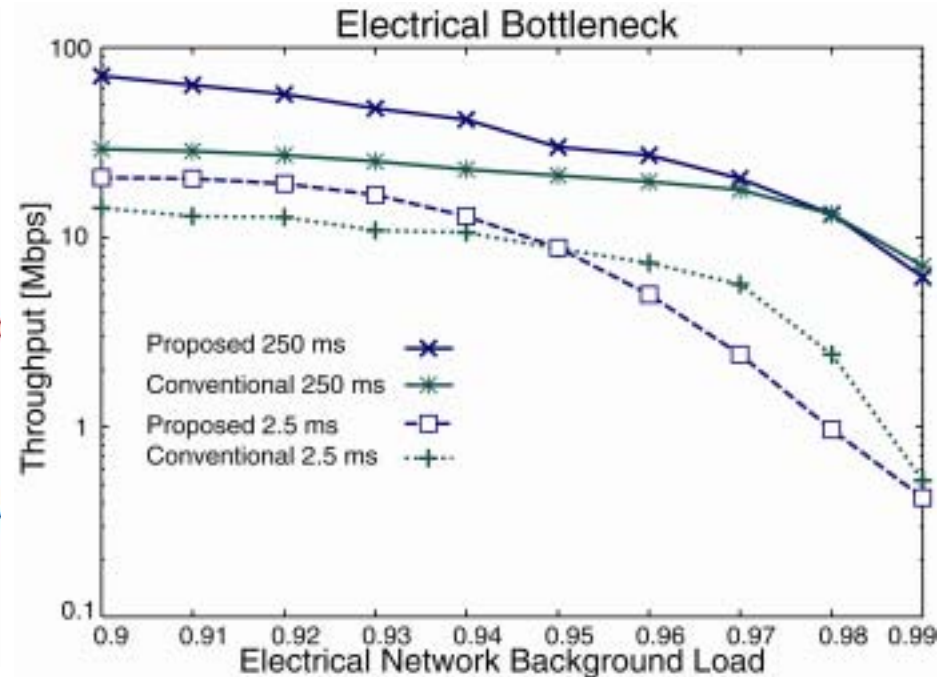
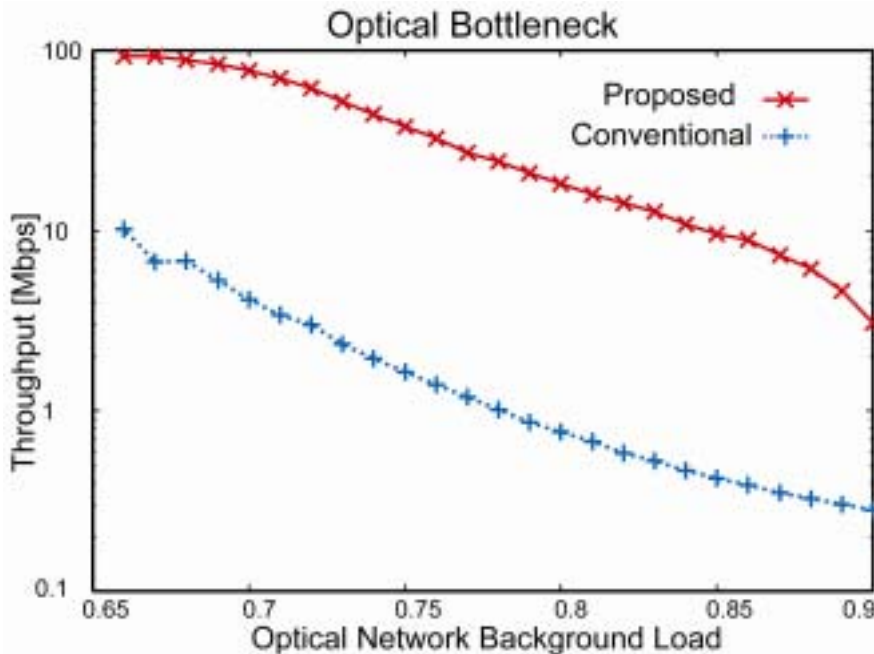
パケット長とウィンドウサイズを適応的に制御



⊗ パケット廃棄の発生

高速フロー制御: 性能評価 1

バッファを持たない光ネットワークでのスループット評価例
光パケット網では大幅にスループットが改善される。
電気ネットワークでの副作用も小さい。



パケット長

提案方式: 最大12.5キロバイトまで可変

従来方式: 0.5キロバイト

大容量バッファ

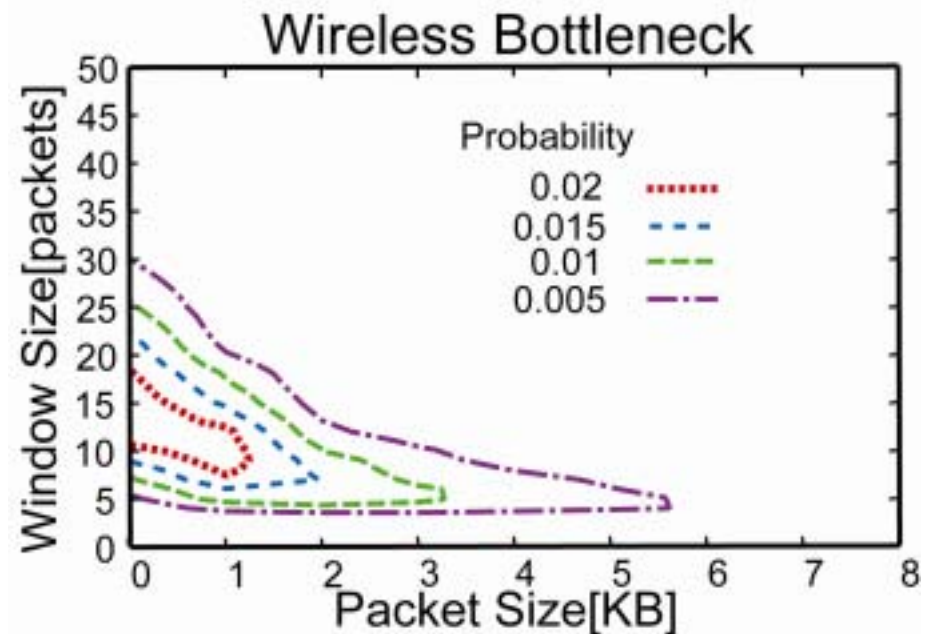
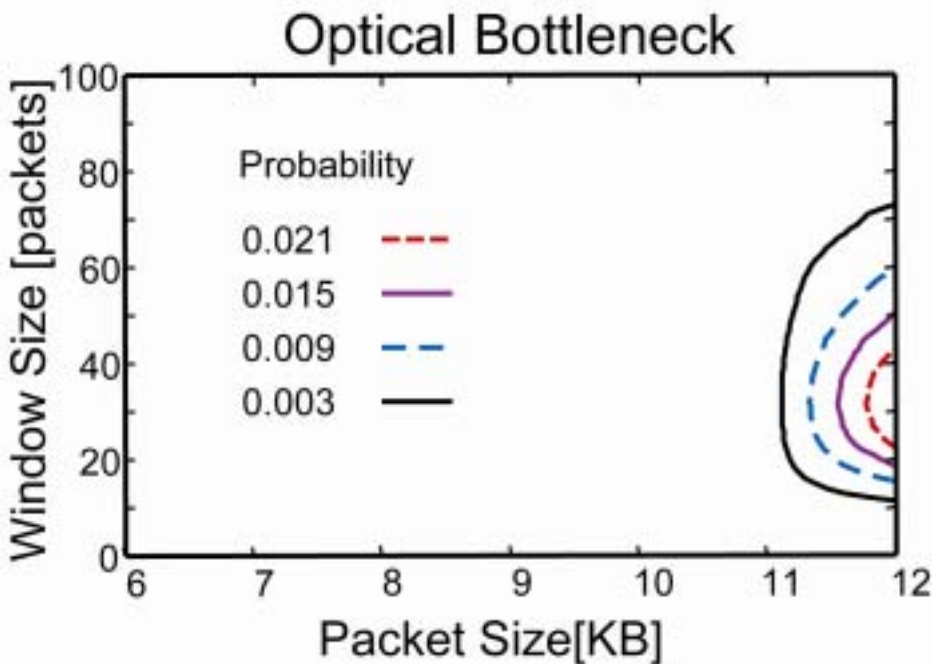
改善

小容量バッファ

若干の低下

高速フロー制御：性能評価2

ボトルネックポイント(光/電気/無線ネットワーク)に応じて
パケット長とウィンドウサイズが適応的に制御される



レポート課題

フォトリックネットワークの2つの方式「光クロスコネクト」と「光パケットスイッチング/ルーティング」について、両者の原理を説明するとともに、

実現に必要なとなる光デバイス技術
ネットワーク構成上の制限要因
などの点から、両方式を比較せよ。