

概要

- 第一部
 - DWDMに代表される伝送の広帯域化
 - 光スイッチ技術
- 第二部
 - フォトニックネットワーク技術
- 第三部
 - GMPLSやOIF (Optical Internetworking Forum)の動向

Outline

- Point-to-Point 光伝送から光のネットワークへ
- フォトニックネットワーク
 - 光クロスコネクタからHIAKRIルータへ
- 光パケットスイッチング
 - できるの？できないの？

次世代インターネットへ向けて

- データトラフィック予測
 - ホストコンピュータ台数: 56百万台@1999年7月
 - ビントサーバによると、米国では年10倍の成長。
すると、2.5Gbit/s/fiber@1999なので、250Tbit/s/fiber@2004となるが、本当か？
- ネットワーク規模の増殖
 - 128波長/ノード@1996→256@1999
→1024@2005
 - 2.5Gbps / 波長→10Gbps / 波長→40Gbps / 波長
- 第一部で紹介したように、伝送技術は向上
 - ノードでの転送処理がボトルネックに



Point-to-Point からフォトニックネットワークへ

Point-to-Point

Point-to-Point TDM Transmission System



Laser Diodes

Photo Diodes

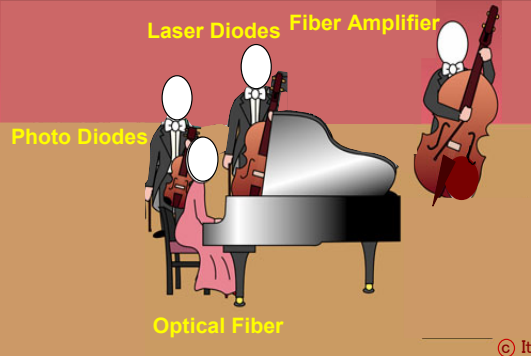
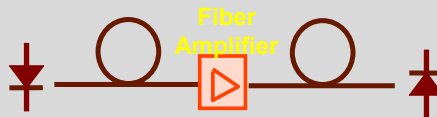
Optical Fiber

© Ito

K. Sato (NTT)

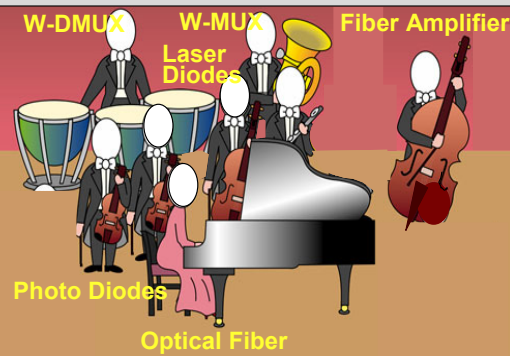
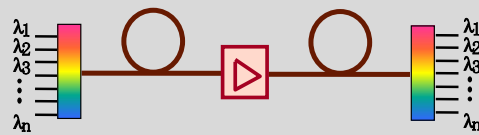
Point-to-Point + 光増幅器

Point-to-Point TDM Transmission System with Optical Amplifiers



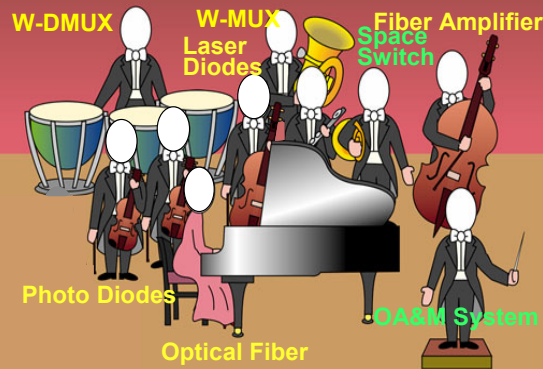
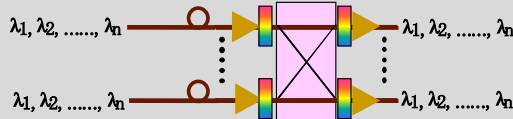
Point-to-Point WDM伝送

Point-to-Point WDM Transmission Systems



ようこそフォトニックネットワークへ

Photonic Networking - Optical Network Harmonic Orchestra -



K. Sato (NTT)
INTERNET WEEK 2002

Copyright 2002 Nippon Telegraph and Telephone Corporation

7

Outline

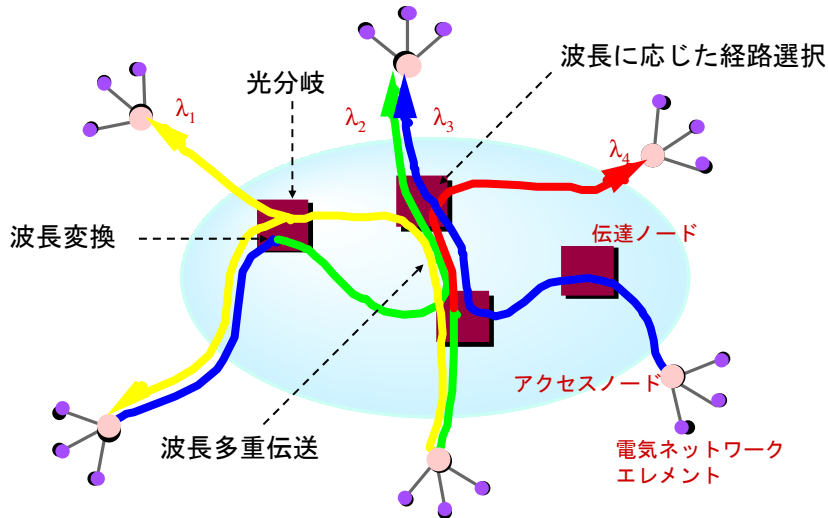
- Point-to-Point 光伝送から光のネットワークへ
- フォトニックネットワーク
 - 光クロスコネクタからHIAKRIルータへ
- 光パケットスイッチング
 - できるの? できないの?

INTERNET WEEK 2002

Copyright 2002 Nippon Telegraph and Telephone Corporation

8

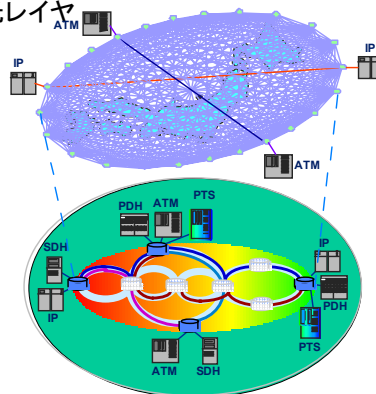
フォトニックネットワークのイメージ



フォトニックネットワークとは？

- フォトニックネットワーク
 - Transmission, Multiplexing, Demultiplexing, Switching, Adding/Dropping などのネットワーク転送機能、ならびに障害・品質劣化監視に基づくリストレーション機能を 光レイヤで実現するネットワーク。

- 技術的特徴
 - 高密度波長多重 (Dense WDM) 技術
 - 波長ルーティング技術 (光スイッチ)



フォトニックネットワーク導入の利点

1. 各種伝達方式に対してのNWプラットフォーム
 - SDH系、ATM系、IP系装置からの信号を直接收容。
 - 信号速度は当面の技術では～10Gbit/s。
 - 任意の信号速度を收容するには新しい伝送技術と光レイヤ監視制御技術の開発が必要。
2. 光パスによるコアノード間の直接接続
 - 遅延が最小となる。
 - 遅延ジッタが最小限に抑制されるので、リアルタイム系ストリームに必要な帯域を抑制。
 - 波長貸しサービスへの展開。
3. ノード構成のシンプル化
 - 2. の結果としてノードは単純かつ小規模に実現できる。
4. 複雑な縦積みレイヤ構造から単純レイヤ構造へ
 - ネットワーク管理/保守の経済化。

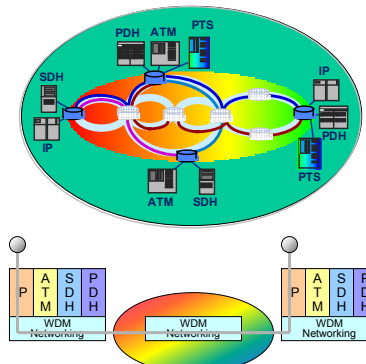
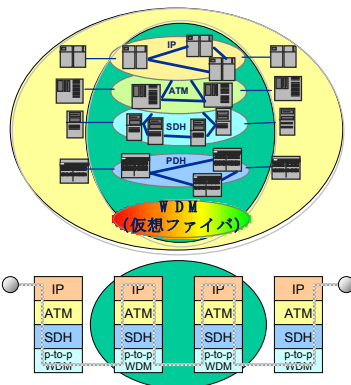
フォトニックネットワークの利点(1)

現状のネットワーク

フォトニックネットワーク

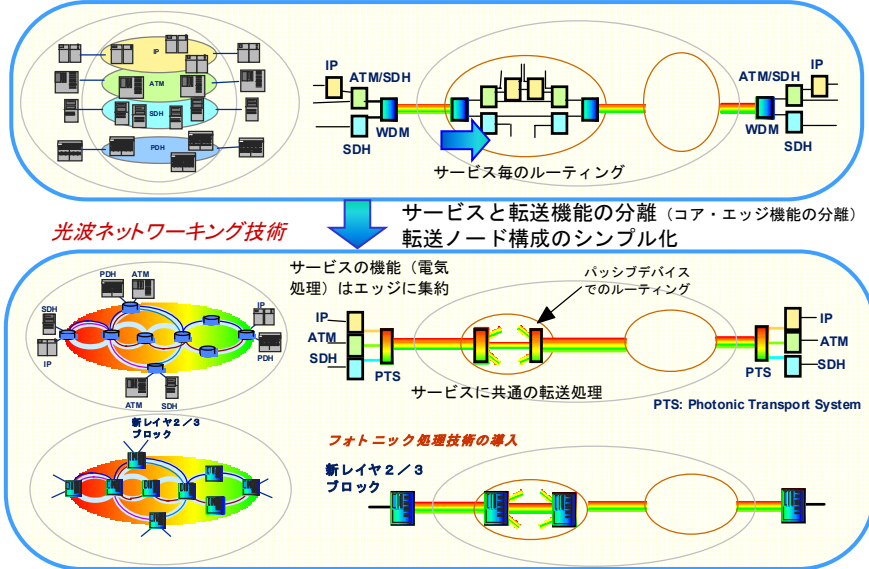
複雑なレイヤ構成(縦積み)
 ・IPを転送するのに、ATM装置、SDH装置、WDM装置を経由
 ⇒転送ノードコスト大
 遅延大
 ・装置対応の個別オペレーションと相互の連携が必要

単純なレイヤ構成
 ・転送網内は、単一種類のパッシブノードによる波長ルーティング(光信号のまま)
 ⇒転送ノードコスト最小
 遅延小
 ・オペレーションのシンプル化



NTT フォトニックネットワークの利点(2)

プロードハン 現状のネットワーク - ネットワーク構成へのインパクト -



NTT フォトニックネットワークの利点(3)

プロードハンドで、未知の自由へ - フレキシブル光インターフェース -

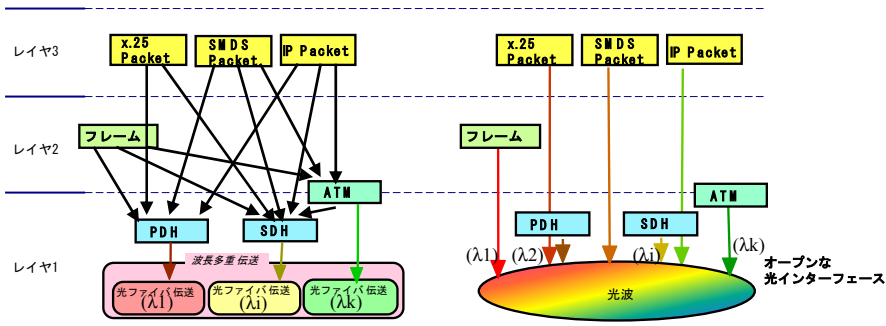
現状のネットワーク

- ・複雑なマッピング関係
- ・機能の重複/衝突(装置・オペレーションのコスト増)
- ・標準化の遅延(サービス提供の遅延)



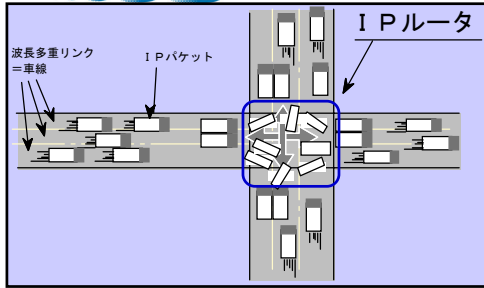
フォトニックネットワーク

- トランスペアレンシーを活かしたオープンな光インターフェース
- ・シンプルなレイヤ構造
- ・機能重複の最小化(網コストの低減)
- ・タイムリーな新サービスの提供



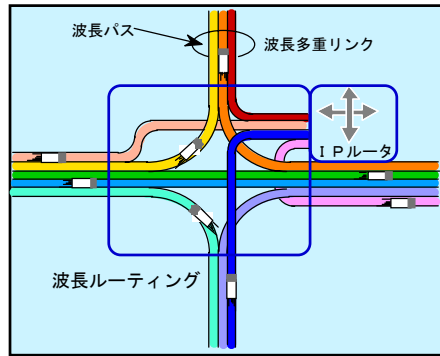
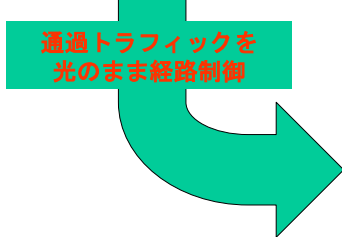
NTT 電気処理の限界を超えて(波長ルーティング)

ブロードバンドで、未知の自由へ。



パケットレベルでの電気処理ルーティング
 → 遅延大きい
 → 遅延ゆらぎあり
 → 大容量困難

光のままのルーティング
 → 低遅延
 → 遅延ゆらぎなし
 → 大容量の実現



INTERNET WEEK 2002

Copyright 2002 Nippon Telegraph and Telephone Corporation

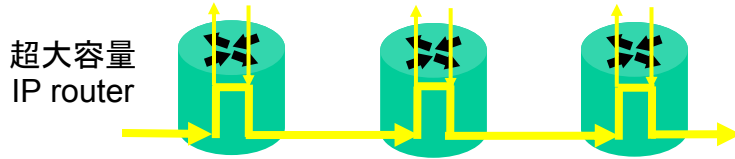
15

NTT

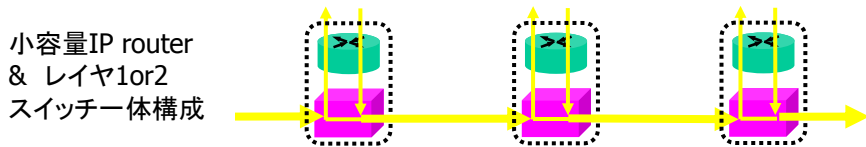
ブロードバンドで、未知の自由へ。

光レイヤでのカットスルー(1)

- 接/落トラフィック共: IPパケット処理(ルーティング)
- IPルータマルチホップ環境



- 落トラフィック: IPパケット処理(ルーティング)
- 接トラフィック: 光レイヤで処理(カットスルー)
- IPルータシングルホップ環境

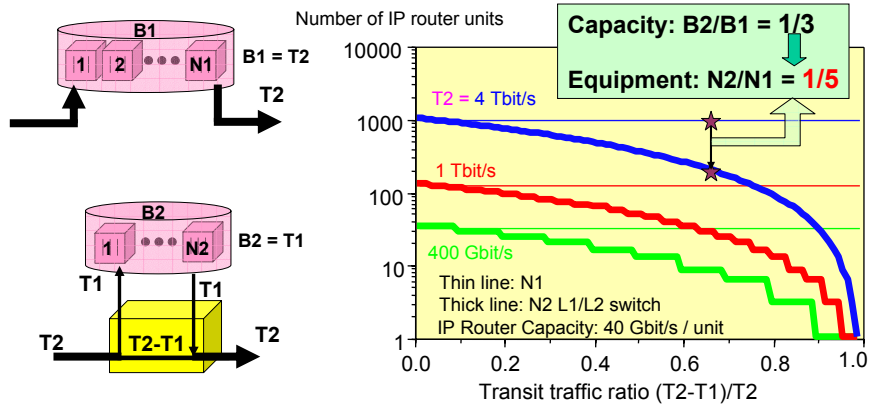


INTERNET WEEK 2002

Copyright 2002 Nippon Telegraph and Telephone Corporation

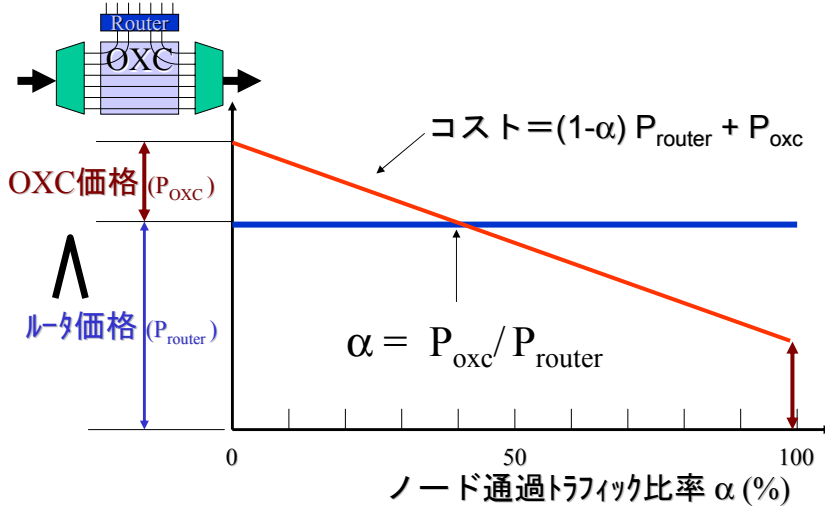
16

光レイヤでのカットスルー(2)



L1/L2 switch

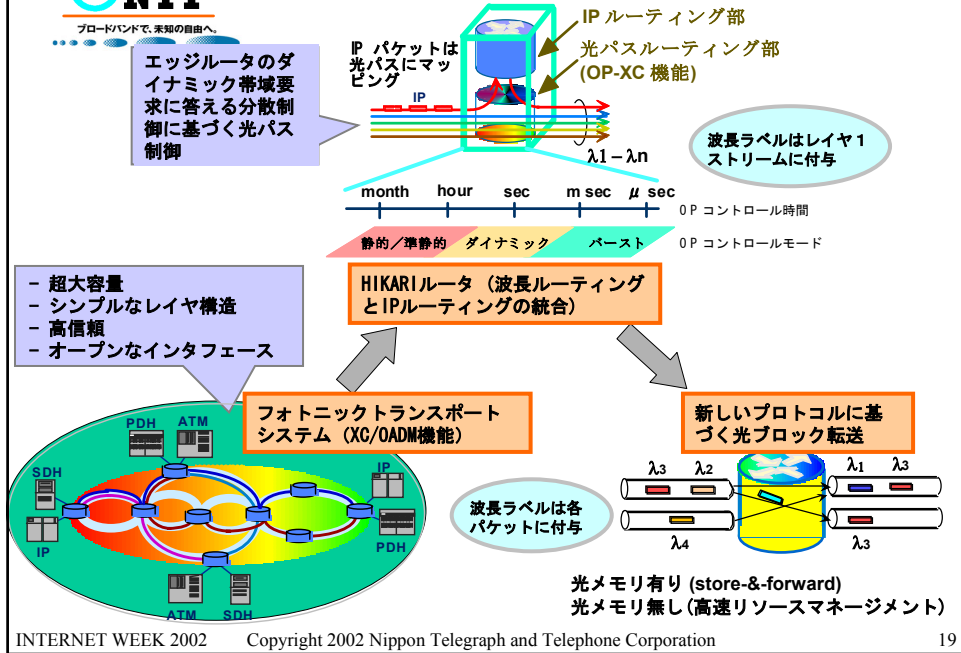
光レイヤでのカットスルー(3)



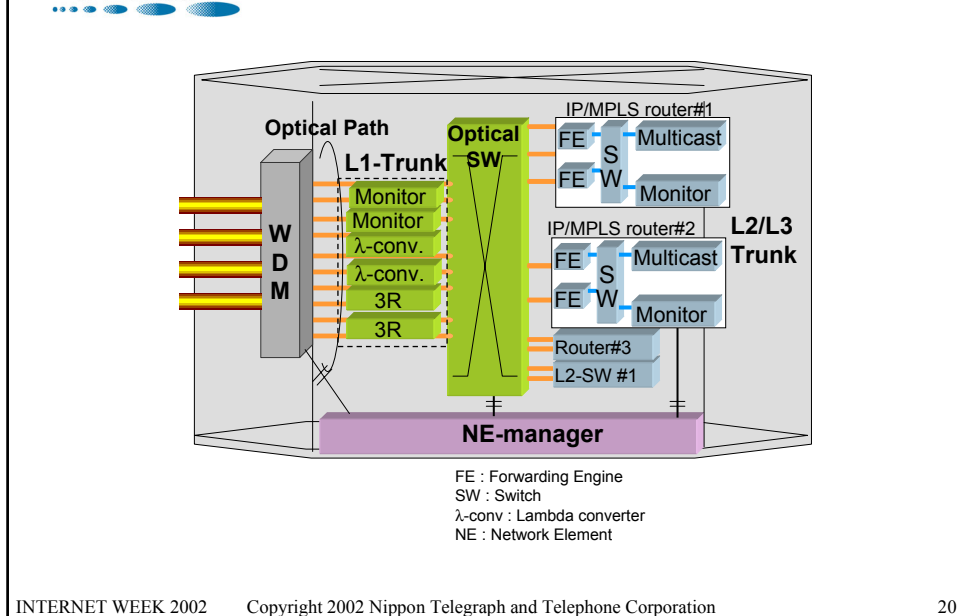
J. Gruber and R. Ramasuwmi, "Moving toward all-optical networks,"

Lightwave, Dec. 2000, p60.に基づき作図

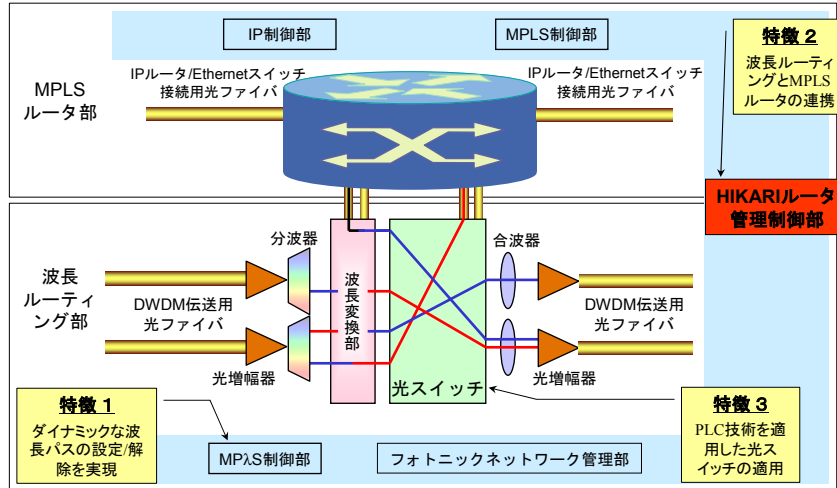
HIKARIルータへの進化



HIKARIルータの機能ブロック



HIKARIルータ概要



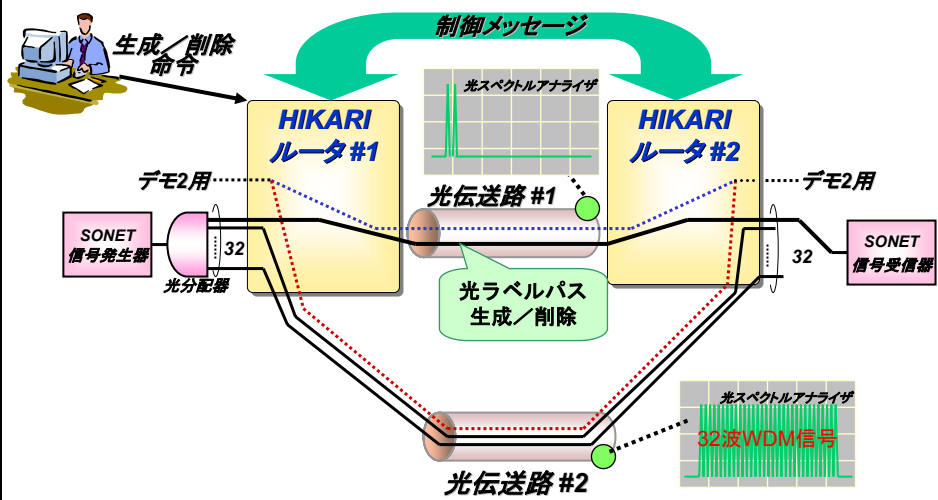
SuperComm2001における 動態展示風景

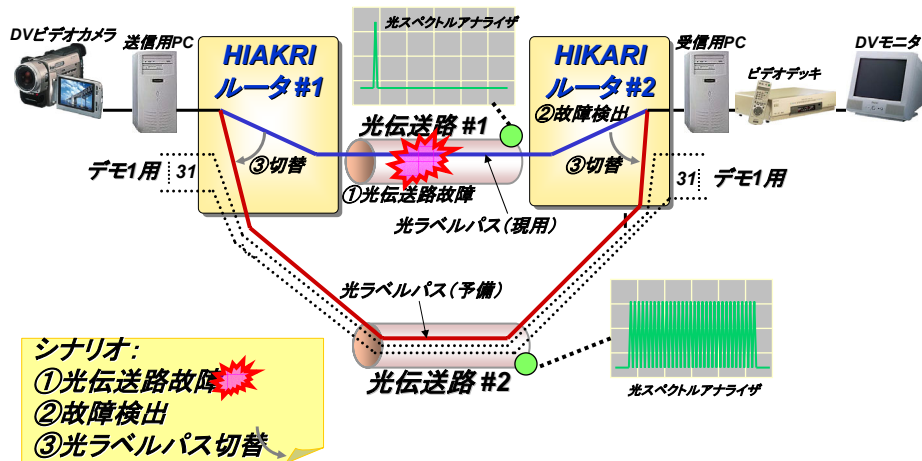


横須賀研究センターに設置された HIKARIルータ



HIKARIルータデモンストレーション1 光ラベルパス生成／削除 & 32波WDM伝送-





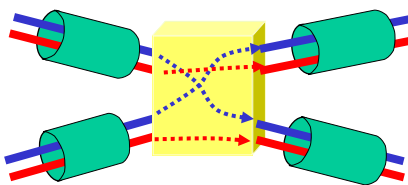
Outline

- Point-to-Point 光伝送から光のネットワークへ
- フォトニックネットワーク
 - 光クロスコネクタからHIKARIルータへ
- 光パケットスイッチング
 - できるの? できないの?

光パケットルータはできる？

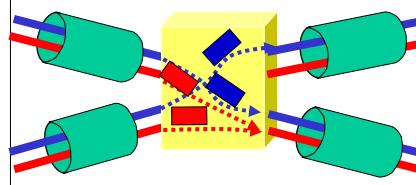
- パケットを光のまま処理できることが究極の姿？
 - 光速で飛んでくるパケットを、処理するためには、光速を超えることが必要？
 - 予めパケットの到来時刻や、行き先がわかって入れば、先にスイッチを切り替えておけるのに。
 - それってある意味回線交換じゃないの？

Circuit vs. Packet switching



GMPLS network

- Cut-through
- LSP setup decoupled with forwarding
- Available hardware technology
- Circuit switching
- Scarcity of λ resource
- Flow aggregation not feasible
- Bottleneck at ingress nodes



vs. Photonic packet switching

- Finest granularity
- Statistical multiplexing: Better BW utilization
- Slow e-header processing
- Photonic RAM not available
- Buffer scheduling required

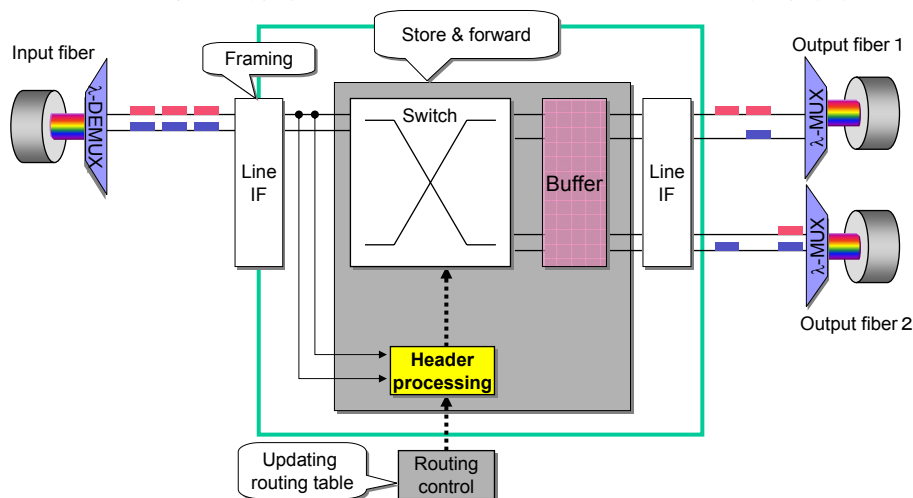
光パケットルータのパフォーマンス目標

Performance	Target
Processing capability	1~100 [Gpps] 10~100 [Mpps]
Throughput	100Tb/s~1Pb/s 100Gb/s
Number of address entries	1k~10k 10k~100k

K. Kitayama (Osaka Univ.)

Generic architecture of packet switch

ほとんどの機能は、実験室レベルでの限られたスケールにおいては動作実績有



K. Kitayama (Osaka Univ.)

光パケットスイッチング実験

- 光信号列から、高周波でラベル付けされた信号のみを切り出す実験結果

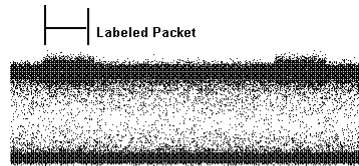


Figure2: input signal



Figure3: output signal

K. Shimano (NTT)

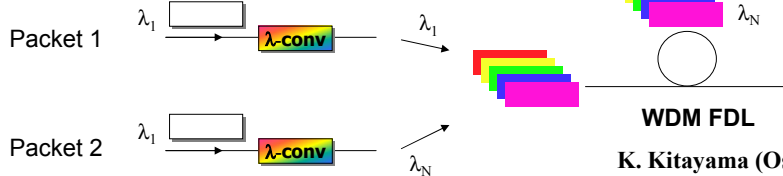
光パケットスイッチの歴史

- 光のメモリ(RAM)をどうやって作るかの歴史
 - 20年近くたってもまだ出来てこない
- 時間よ止まれ？

fiber delay line (FDL) != RAM

光ファイバ中の光速は 20 cm/ns
 10 Gb/sだと、1 bit は、0.1 ns に相当 → ファイバ2cm
 1500 Byteのパケットは、ファイバ240mに閉じ込め可能

240m に対して、2cmは、0.01%に相当する。
 温度変動によるファイバの伸び縮みが致命傷

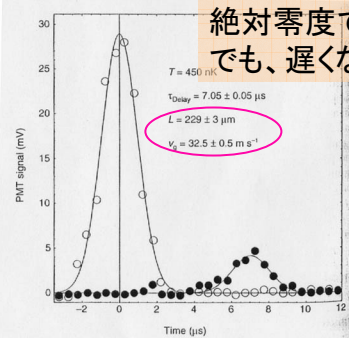


K. Kitayama (Osaka Univ.)

A. Ge, L. Tancevski, G. Castanon, L.S. Tamil, *Proceedings of OptiComm 2000: Optical Networking and Communications*, pp.247-256, 2000.

光速を遅くして、光を閉じ込める

絶対零度では、光子も静止するかも
 でも、遅くなった光は加速できない。。。



$V_g = L / \text{Delay}$
 $= 229 / 7 = 33 [\mu\text{m} / \mu\text{s}]$
 $V_g = c / 10^7$

Figure 3 Pulse delay measurement. The front pulse (open circles) is a reference pulse with no atoms. The back pulse (filled circles) is delayed by 7.05 μs in a 229-μm atom cloud (see inset in Fig. 1a). The corresponding light speed is 32.5 m/s. The curves represent gaussian fits to the measured pulses.

L. V. Hau et al., *NATURE*, Vol.397, Feb. 1999 "Light speed reduction to 17 meters per second in an ultracold atomic gas"

A. V. Turukhin et al., "Observation of ultraslow and stored light pulses in a solid," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 88, 14 Jan. 2002.

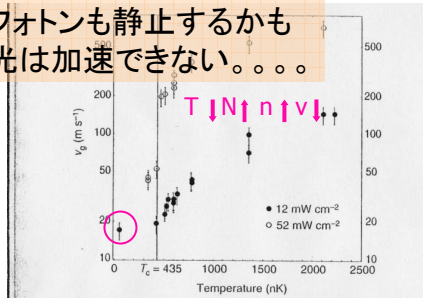


Figure 4 Light speed versus atom cloud temperature. The speed decreases with temperature due to the atom density increase. The open circles are for a coupling power of 12 mW/cm² and the filled circles are for a coupling power of 52 mW/cm². The temperature T_c is 435 nK. The light speed measurement at 50 nK is for a cloud with a condensate fraction ≈90%. The finite dephasing rate due to state |4) does not allow pulse penetration of the most dense clouds. This problem could be overcome by tuning the laser to the D₁ line as described in the text.

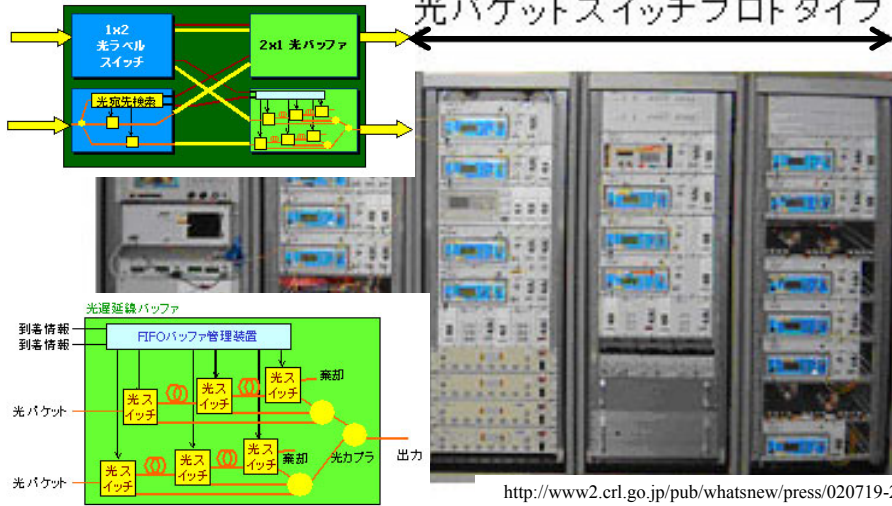
$V_g = 17 [\text{m/s}]$
 $n = 1.8 \times 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$
 $v_s = 2.7 \times 10^{-2} [\mu\text{m} / \mu\text{s}]$ of optical fiber

温度は200 nK

K. Kitayama (Osaka Univ.)

試作例 (独立行政法人通信総合研究所)

光パケットスイッチプロトタイプ



<http://www2.crl.go.jp/pub/whatsnew/press/020719-2/020719-2.html>