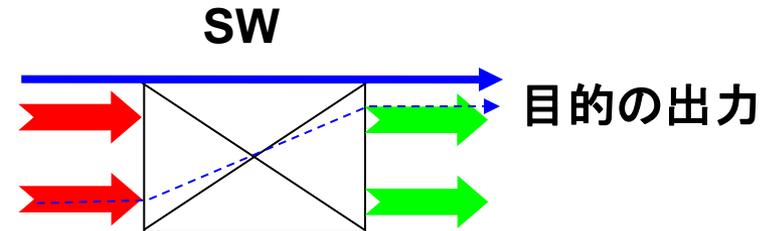


第15回

光スイッチング(2)

2014年1月28日(火)

クロストーク: 他チャネルの信号が目的とする
チャンネルに混入する割合



- コヒーレントクロストーク:
信号とクロストーク光間に位相の相関が
存在する
- インコヒーレントクロストーク:
信号とクロストーク光間に位相の相関がない

➡ 受信光のSNR劣化の要因

パワーペナルティ(PP):

$$PP = 10 \log \frac{P_s'}{P_s} = -5 \log \left\{ 1 - \frac{1}{4} Q^2 (ct_1 + ct_2 + ct_3) \right\} \quad [\text{dB}]$$

ct_i : 第 i 段の光SWのクロストークと出力光に対応する比例定数

波長スイッチのクロストークの影響

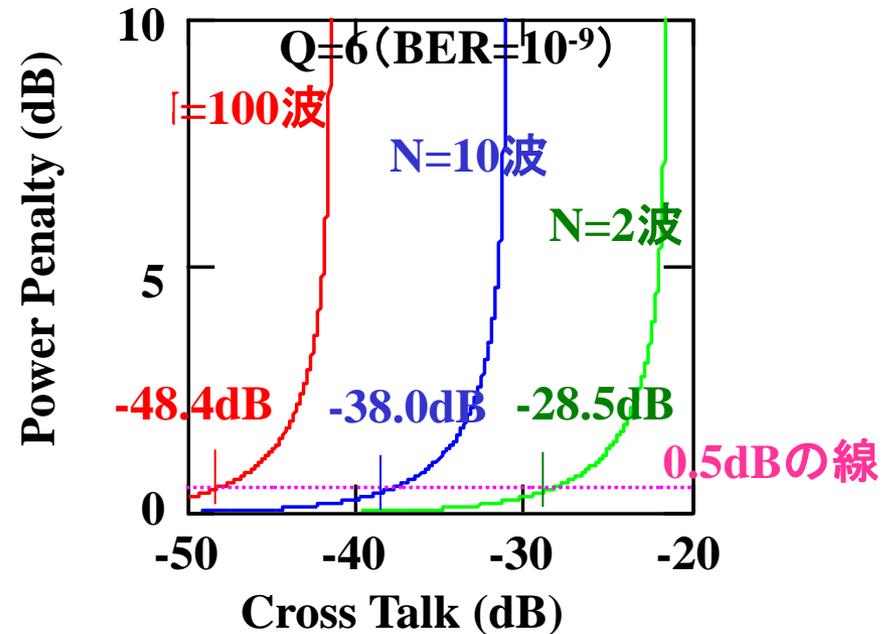
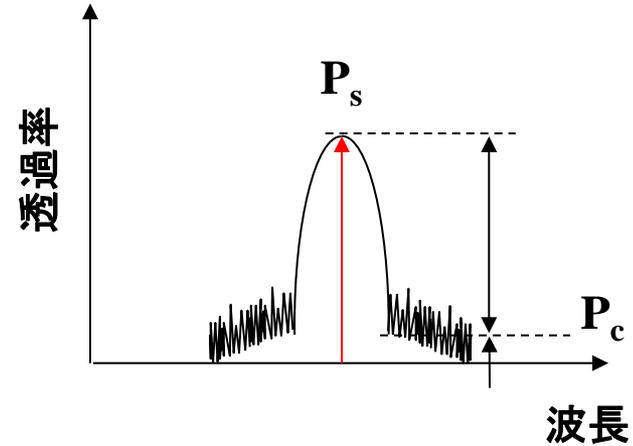
パワーペナルティ:

$$PP = 10 \log \frac{P_s'}{P_s} = -5 \log \left\{ 1 - 4(N-1)Q^2 R_c \right\} \quad [\text{dB}]$$

N: 波長チャンネル数

Q: 信号のQ値

R_c: 波長クロストーク $R_c = \frac{P_c}{P_s}$



16×16 TO型マトリクススイッチ

**T. Goh, M. Yasu, K. Hattori, A. Himeno, M. Okuno and Y. Ohmori
(NTT), J. Lightwave Technol., Vol.19, No.3, pp.371-389 (2001).**

- 挿入損失: 6.6 dB
- On/OFF比: 53 dB

2013年度

光通信システム

反射／透過型光スイッチ

(MEMS: Micro-ElectroMechanical System)

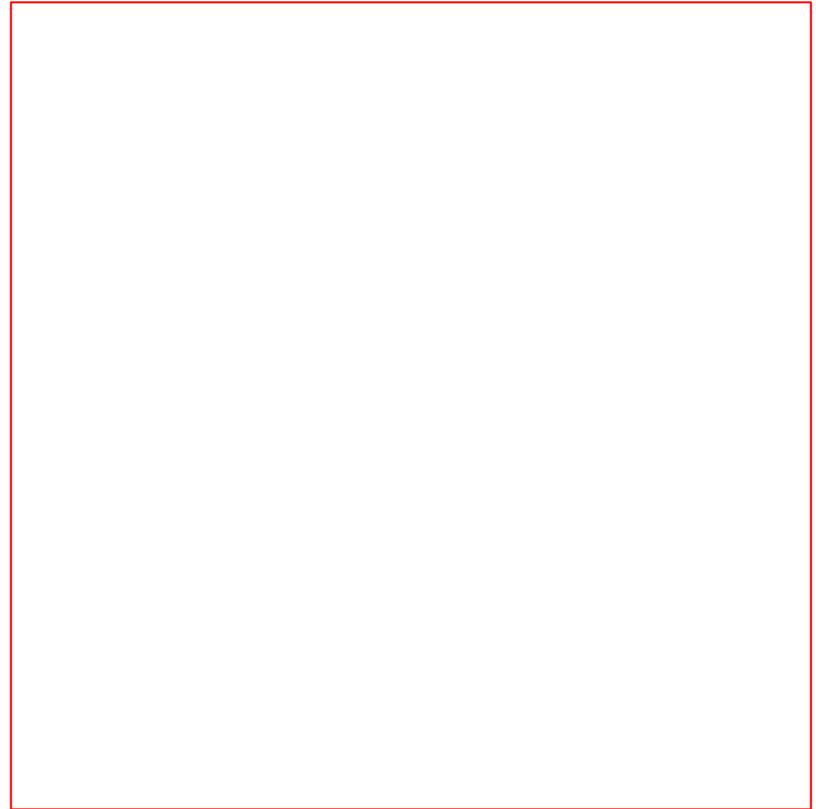
IEEE Communication Magazine, vol.40, No.3

(2002) より

D. Hah, S. Huang, H. Nguyen, H. Chang,

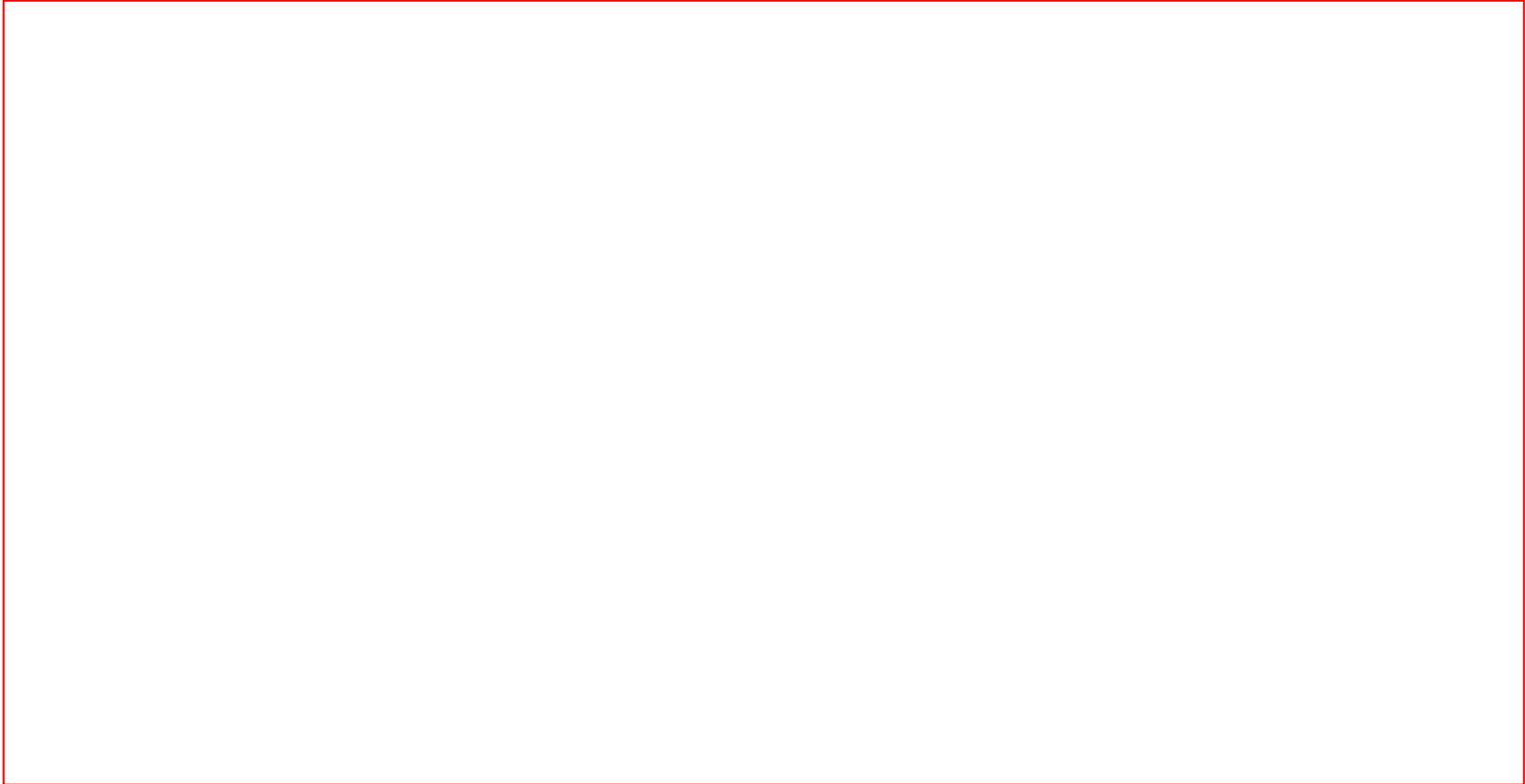
And M.C. Wu (UCLA), OFC2002, TuO3.

Lucent

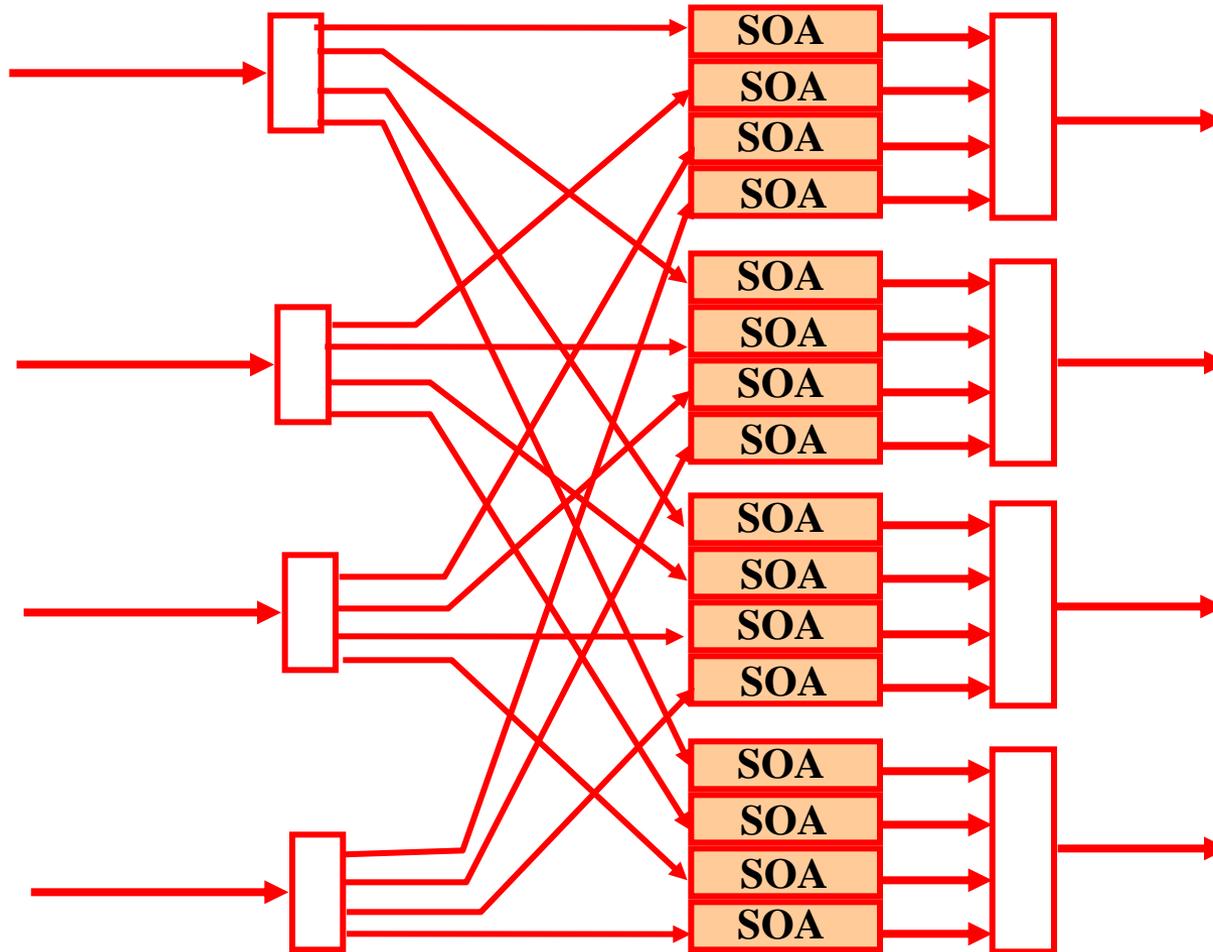


MEMSスイッチによる光路切り替え

山本, 山口, 竹内, 清水, 日暮, 澤田, 上西, 2003年信学会総合大会, C-3-127.



N入力・N出力のN×Nスイッチ → N²個のSOAが必要



16 × 16 SOAゲートスイッチ

- AlGaInAs系MQW構造SOA
- SOA192個、導波路交差部210箇所、スプリッタ288個、コーナーミラー424個(全約1100個)
- 1入出力のパスあたり12Wの消費電力

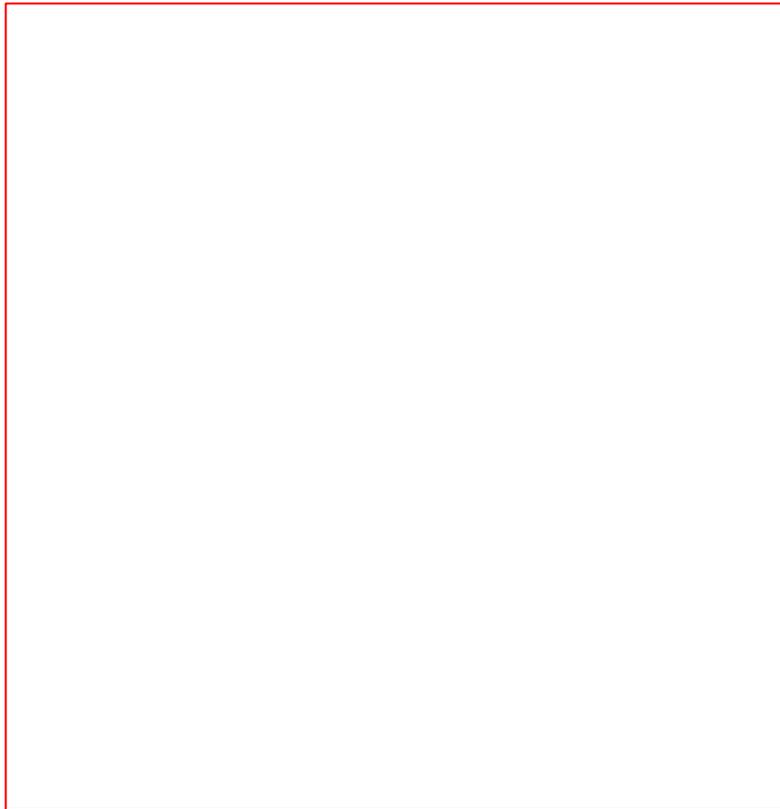
H. Wang, A. Wonfor, R. Penty,
and I. White, ECOC2009, PD1.5.



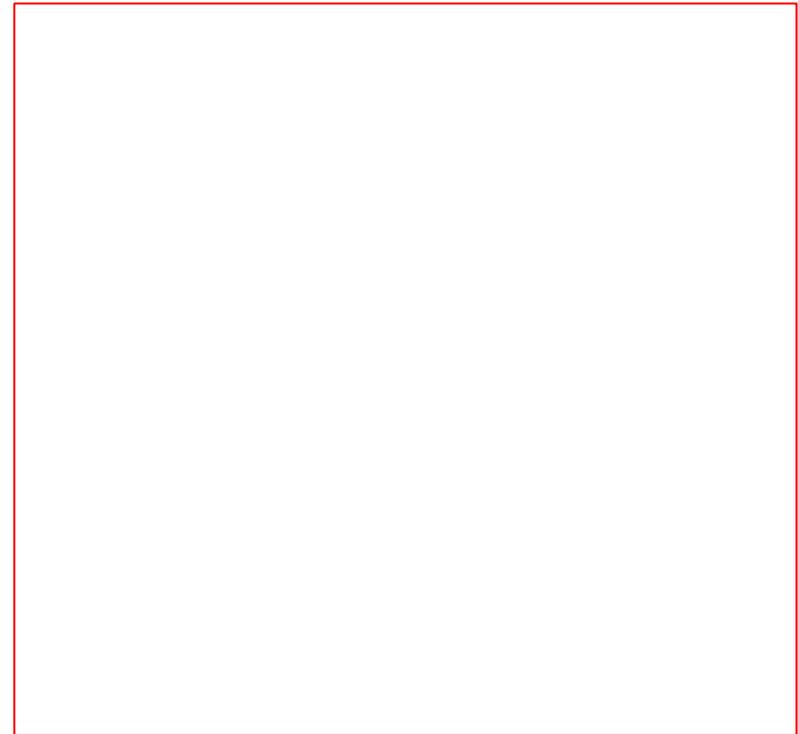
フェーズドアレイ・スイッチ(1)

T. Tanemura, and Y. Nakano, ELEX, vol.5, No.16, pp.603-609 (2008)., PD1.5.

M. Soganci, T. Tanemura, K. Takeda, M. Zaitso, M. Takenaka, and Y. Nakano, ECOC2010, PD1.5.



- ・波長依存性小
- ・省サイズ



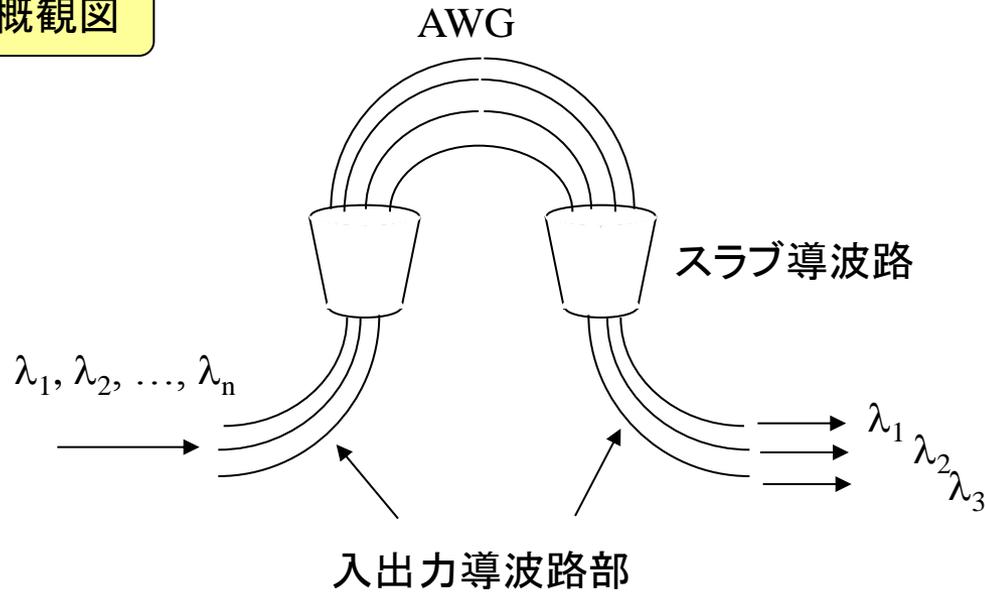
- ・1×10SWを縦続接続して
拡張
- ・6mm×6.5mm
- ・挿入損失25dB(SOA100mA注入時)

フェーズドアレイ・スイッチ(2)

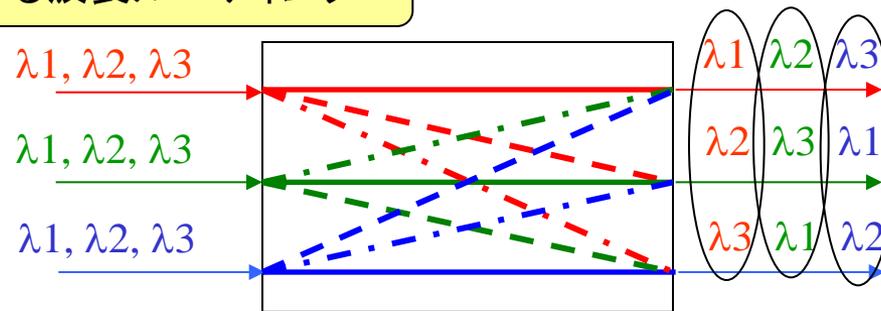
M.-J. Kwack, M. Takenaka, A. Higo,
and Y. Nakano, ECOC2012, Th.3.B.3.

- ・交差損失を回避
- ・挿入損失38dB(本質的には14.5dBの見積)
- ・SW時間~4ns

AWG概観図



AWGによる波長ルーティング



2013年度
光通信システム

Monolithically Integrated Wavelength Routing Switch With Double-Ring-Resonator-Coupled Tunable Laser

T. Segawa, and S. Matsuo, ITuC2, PS2010.



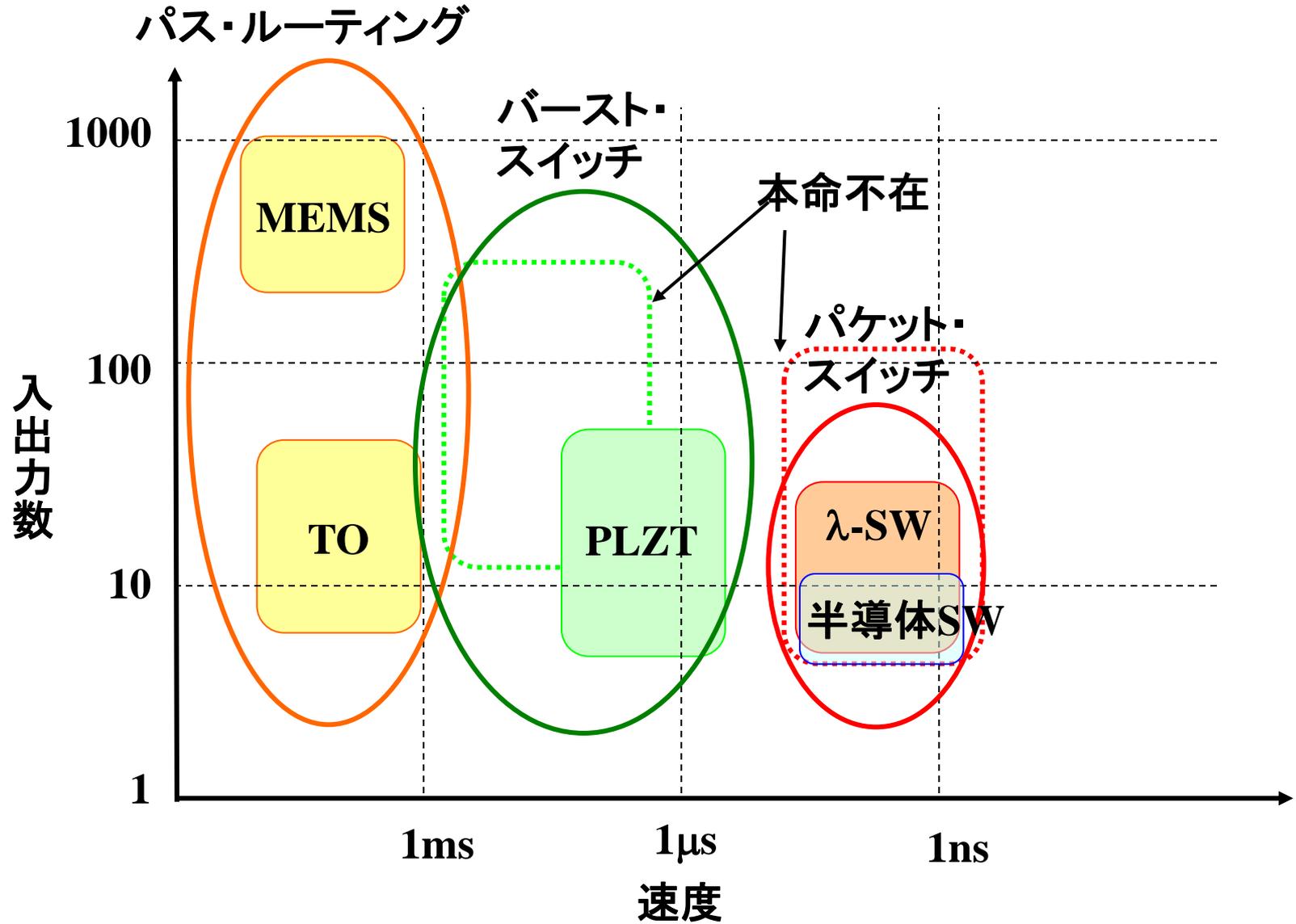
8x8 InP Monolithic Tunable Optical Router (MOTOR) Packet Forwarding Chip

S.C. Nicholes, M.L. Mašanović, B. Jevremović, E. Lively, L.A. Coldren,
and D.J. Blumenthal, J. Lightwave Technol., vol.28, No.4, pp.641-650 (2010).



- **8 × SG-DBR-LD,**
8 × SOA-MZI,
8 × 8 AWGR:
total > 200 elements

各種光スイッチの適応領域



(1) 規模とスイッチ数

$N \times N$ マトリクススイッチではスイッチ規模に対して
 2×2 スイッチ数が N^2 で増加

(2) 素子サイズ

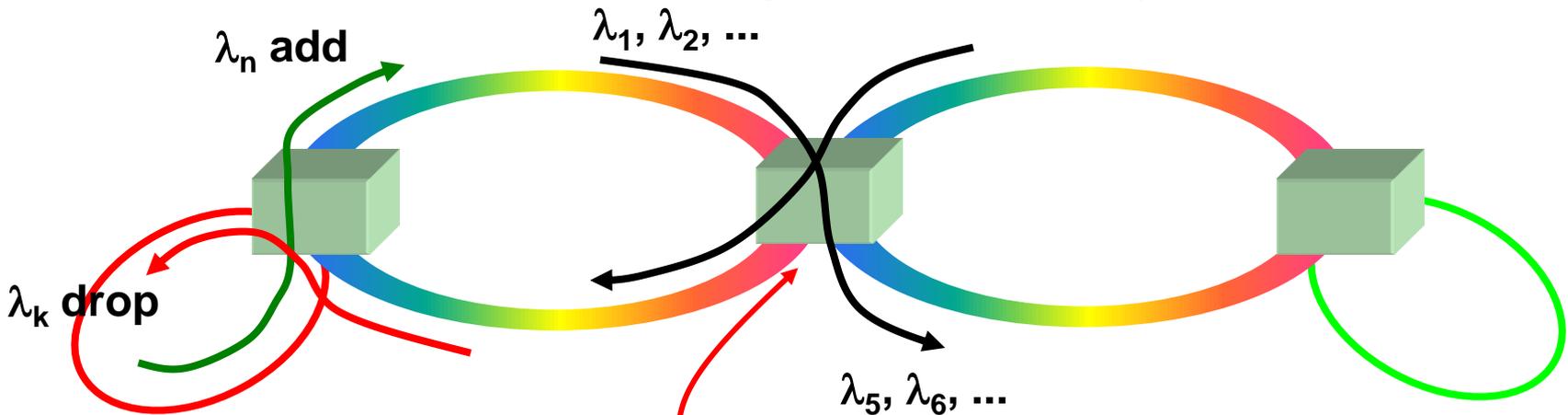
- ・曲率半径による制約
- ・屈折率差／吸収差を大きくするため導波路長増大

ROADMと波長選択スイッチ

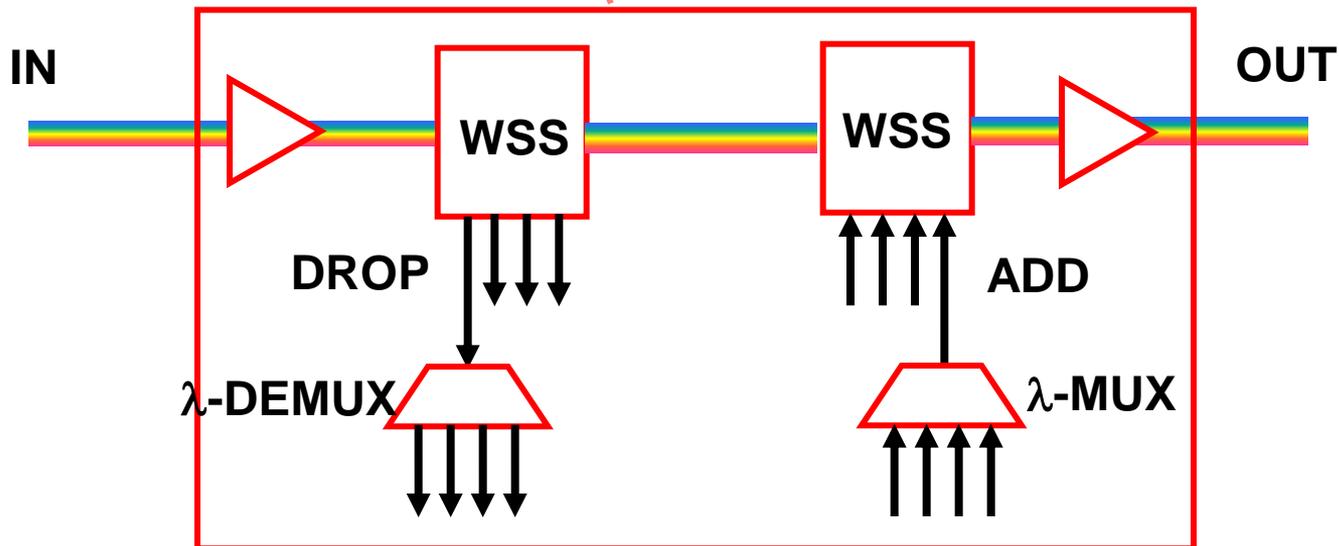
参考文献:尾中(富士通), NGN時代の光技術・産業懇談会第1回公開討論会資料(2007.5.15)

リングネットワークに用いられるROADM

Interconnected Ring Network Topology



ROADM : Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer



※ WSS : Wavelength Selective Switch

NGNに向けたソリューション(1)

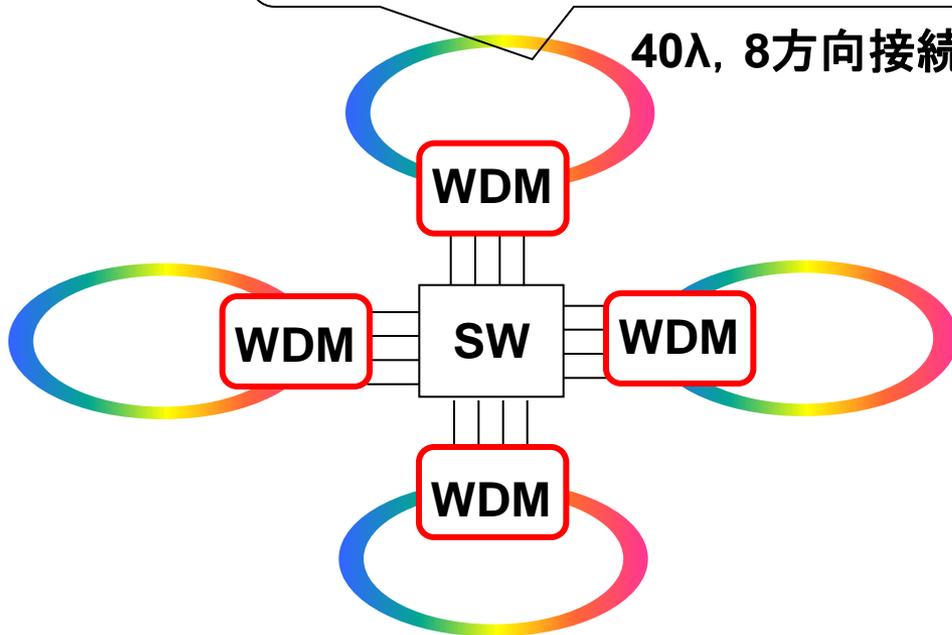
尾中, NGN時代の光技術・産業懇談会第1回公開討論会(2007)

- 効率的なネットワーク構成で**設備投資額を1/3に**

現状

大量のファイバリング:1960本
大量のB-B用トランスポンダ:160枚

40λ, 8方向接続



シンプルなファイバリング:48本
光HUBユニット:8枚
B-B用トランスポンダ:0枚



40λ, 8方向接続

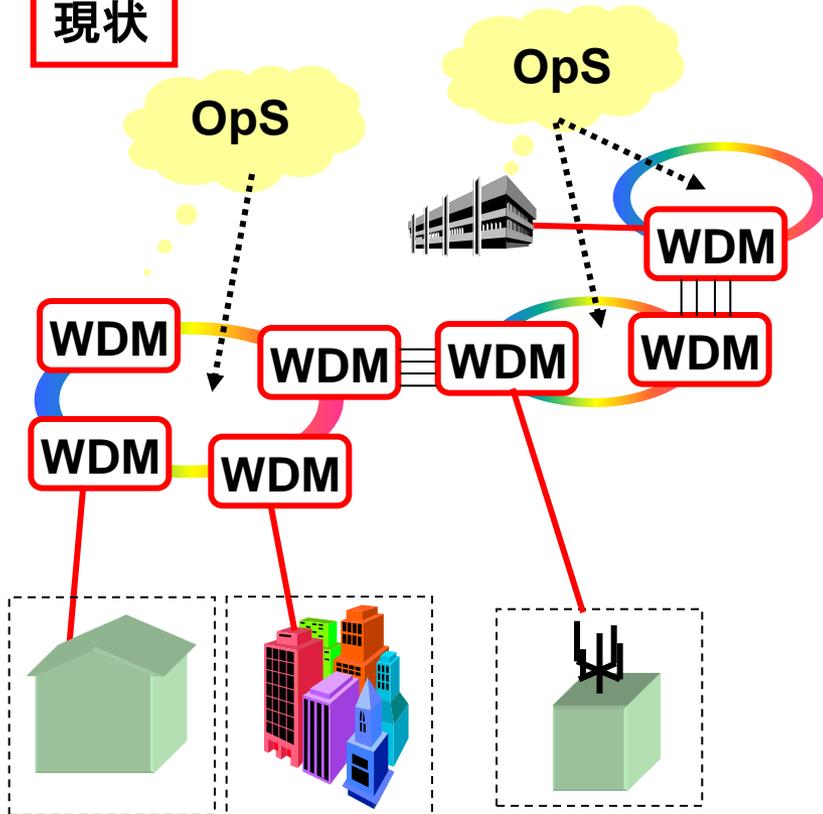
- ネットワーク間接続に多大なコストが必要
 - ・ネットワーク間接続にはOEO変換が必要
 - ・大量の光ジャンパとトランスポンダカードが必要

- 光SWによる光HUB構成で、ネットワーク間ダイレクト光クロスコネクトを実現
 - ・光コード約1/40
 - ・トランスポンダカード不要, 接続コスト1/10

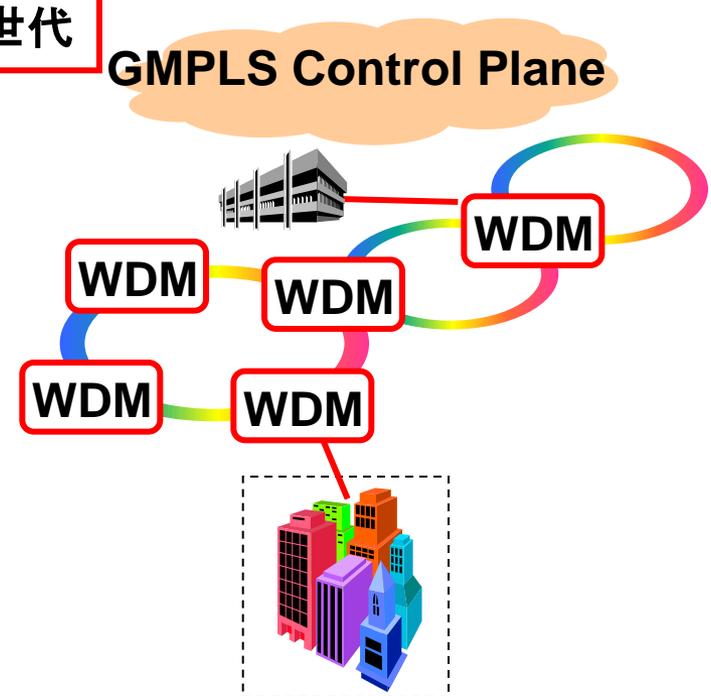
NGNに向けたソリューション(2)

- GMPLS自律型ネットワーク構成で**保守・運用費を1/5に**

現状



次世代



● 現状ネットワークでのサービス限界

- ・計画的なサービスに対応、突発的な需要対応はNG
- ・パスは個々のネットワークごとに設定(迅速化が課題)
- ・光ファイバの接続替えを局まで行って行う必要ありう

● GMPLSで広がるサービス

- ・簡単なオペレーション: OPEXの削減
- ・迅速なサービス提供により、新たな創造サービス
- プラグアンドプレイ間隔での迅速立ち上げ

光ルーティング技術に対する期待

● ネットワーク構築／再構築の自動化（OPEX削減・網構築期間短縮）

- ・光波長経路設定を自動化・遠隔制御化したい
- 局舎に行って手作業での膨大な数のファイバコード接続や送受信器の波長設定をできるだけ避けたい
- ・λ VPNなどの新サービスの提供

● 機器間ファイバコード接続数の削減

- 手作業でのファイバコード接続箇所を少なくしたい
- 波長ごとに分離せず、WDMインタフェースが望ましい

● 再生中継無しでのマルチリング接続や多方向波長経路切替

- トランスポンダを省き、λ直収とすることで機器コストを低減させたい

● 円滑なマイグレーションの実現

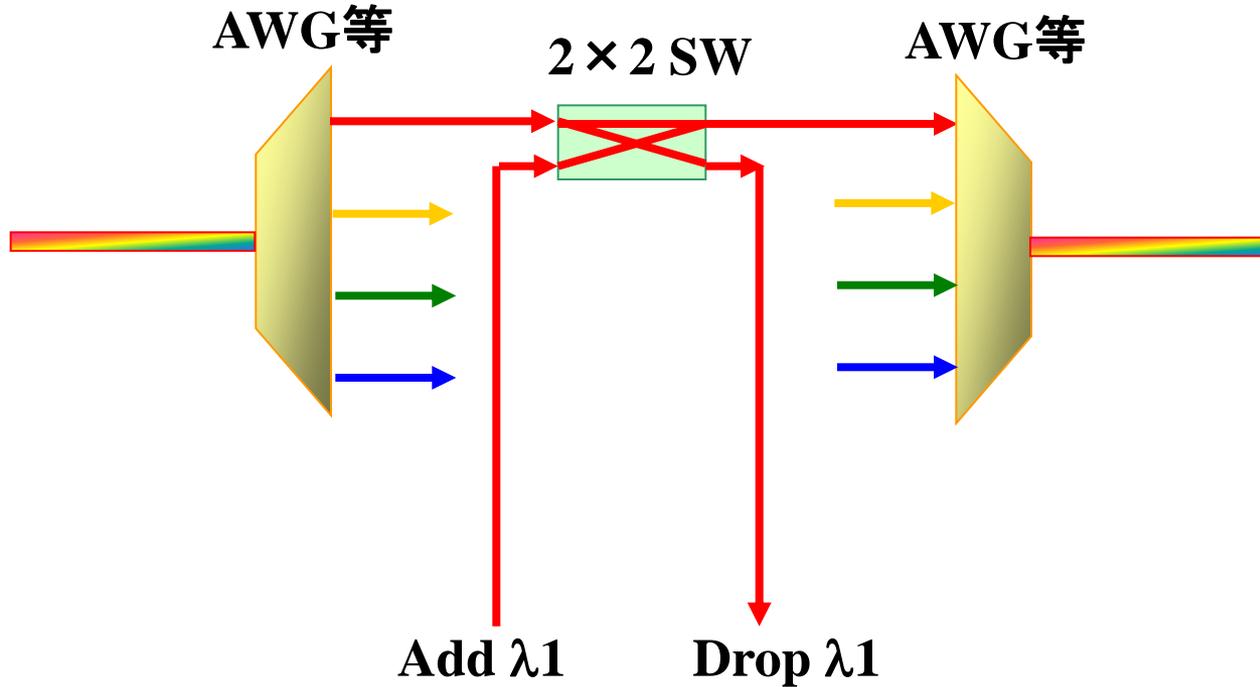
- 需要見合いで少数波長ROADMから大規模PXC(HUB)まで自由に拡張したい
- 共通ユニットで、すべてのノード構成をカバーしたい(在庫品種削減)

ROADMノードに求められる機能

- 16ノード以上の多段接続 ➡ ノードNFの低減、透過帯域拡大
(SONETとのアナログ、1000km伝送を念頭)
 - Drop & Continue (Multi or Broadcast) 機能
 - ROADMからPXC(HUB)へのインサービス拡張性
- } ノード構成最適化
- 任意ノード間の伝送特性確保 ➡ リンクごと100%分散補償、VDC/EDC
 - 任意の波長配置を許容 ➡ SHB抑圧EDFA
 - 1波 ⇔ 最大波長間の波長数急変耐力 ➡ サージレス高速応答EDFA
 - プラグ&プレイ操作 ➡ 各種光レイヤのモニタ、GMPLS連携
 - 40G Ready ➡ 透過帯域拡大、ノードNF低減、最適変復調方式の選択
 - ネットワーク設計の簡素化 ➡ ネットワーク設計ツール提供

Reconfigurable OADM (ROADM) (第1世代)

固定波長選択



特徴

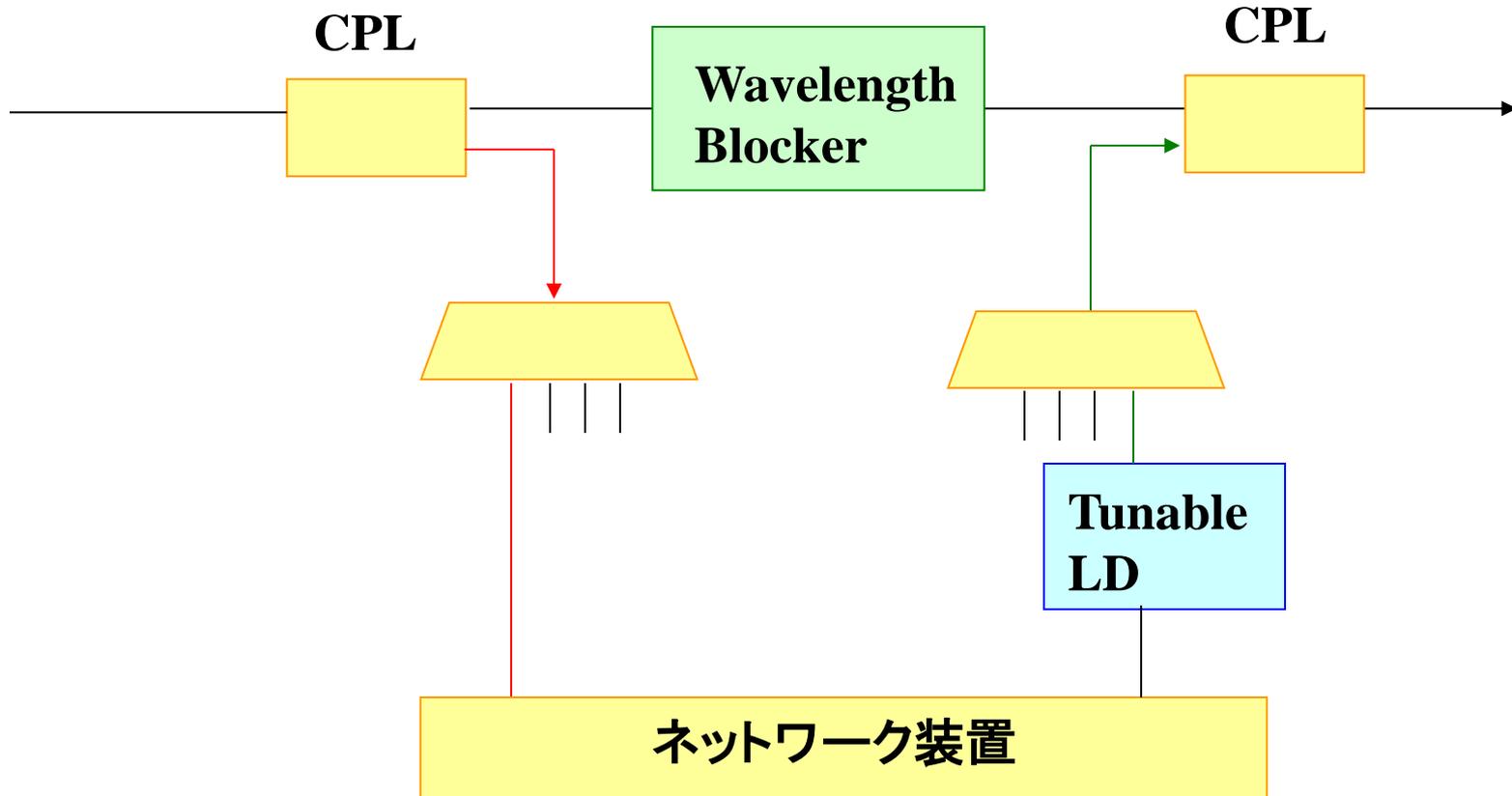
- ・自動調整
- ・規模の拡張性

デメリット

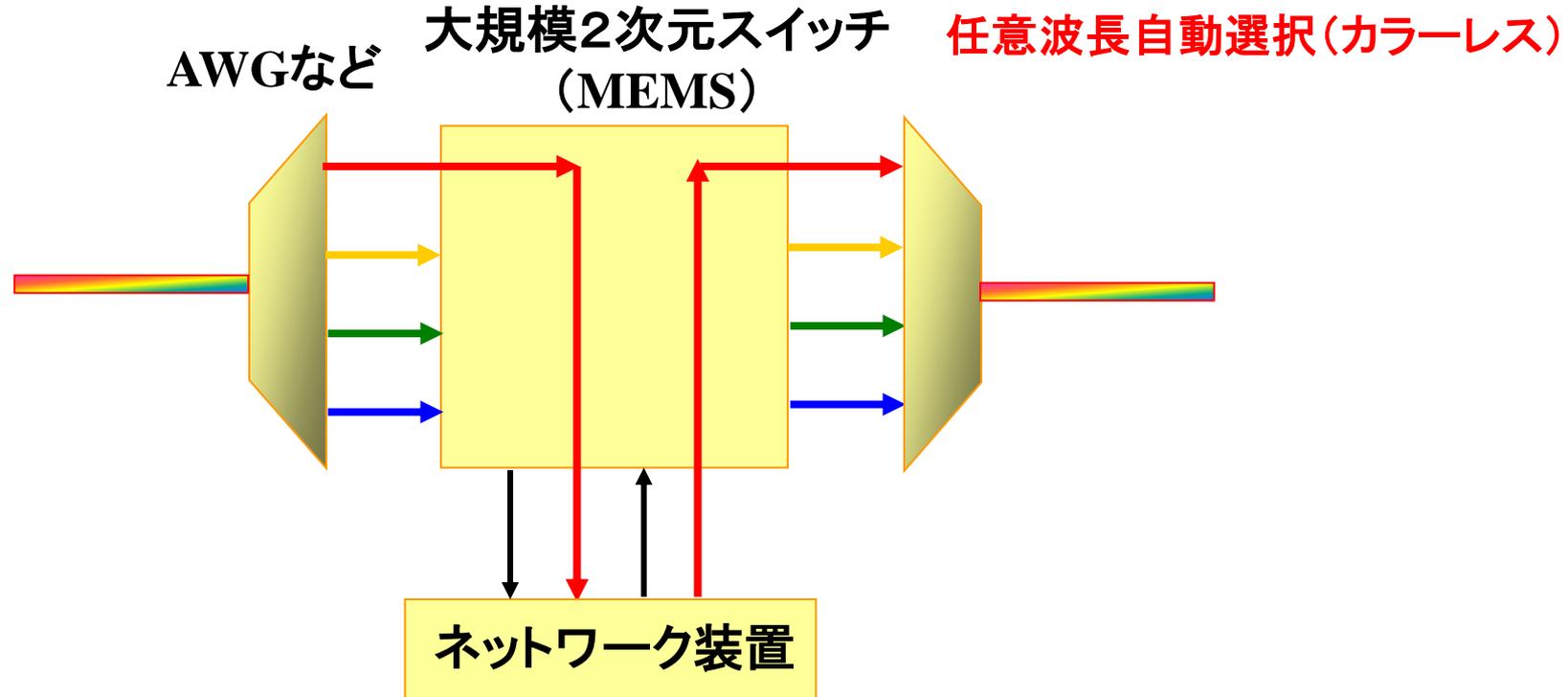
- ・初期コスト代大
- ・損失大

Reconfigurable OADM (ROADM) (Broadcast & Select type) (第2世代)

固定波長選択／任意波長挿入



Reconfigurable OADM (ROADM) (3次元MEMS型)(第3世代)



特徴

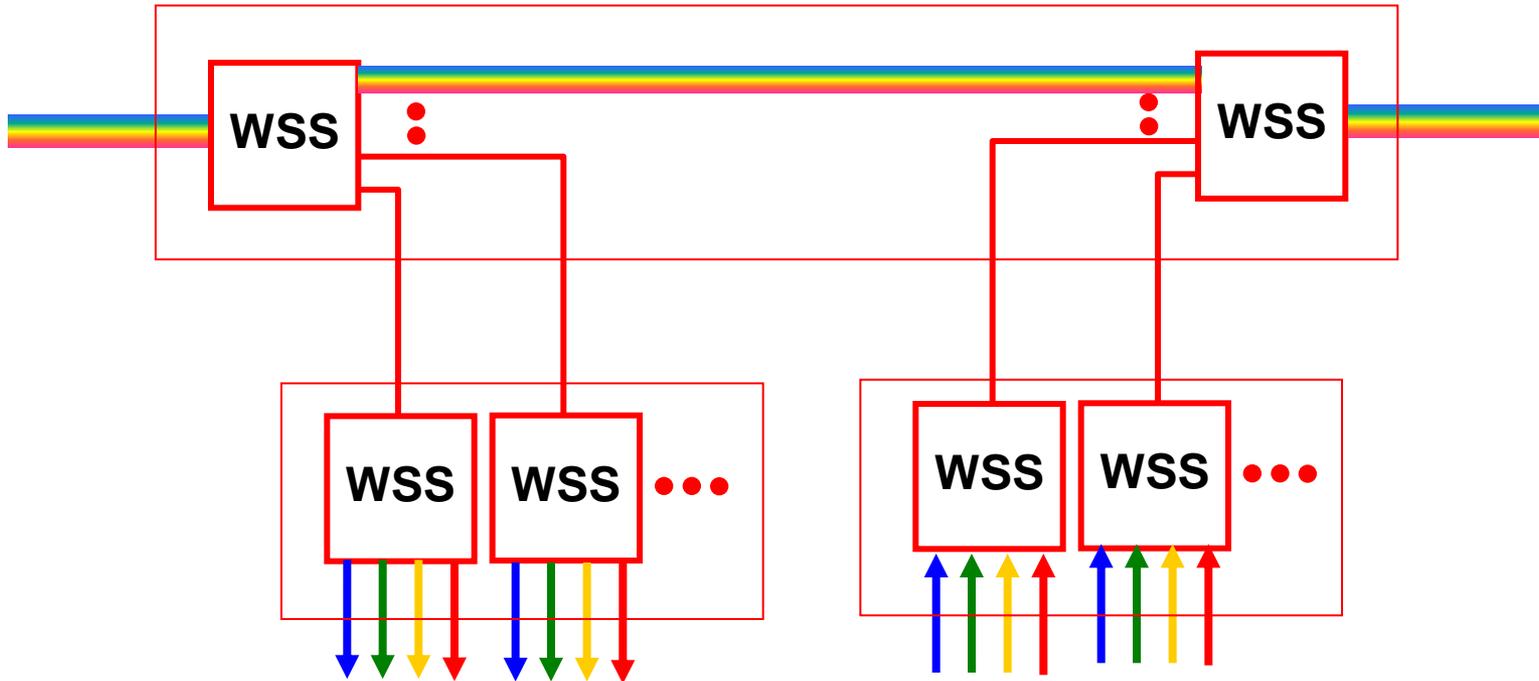
- ・任意のポート間の挿抜が可能
- ・拡張性

デメリット

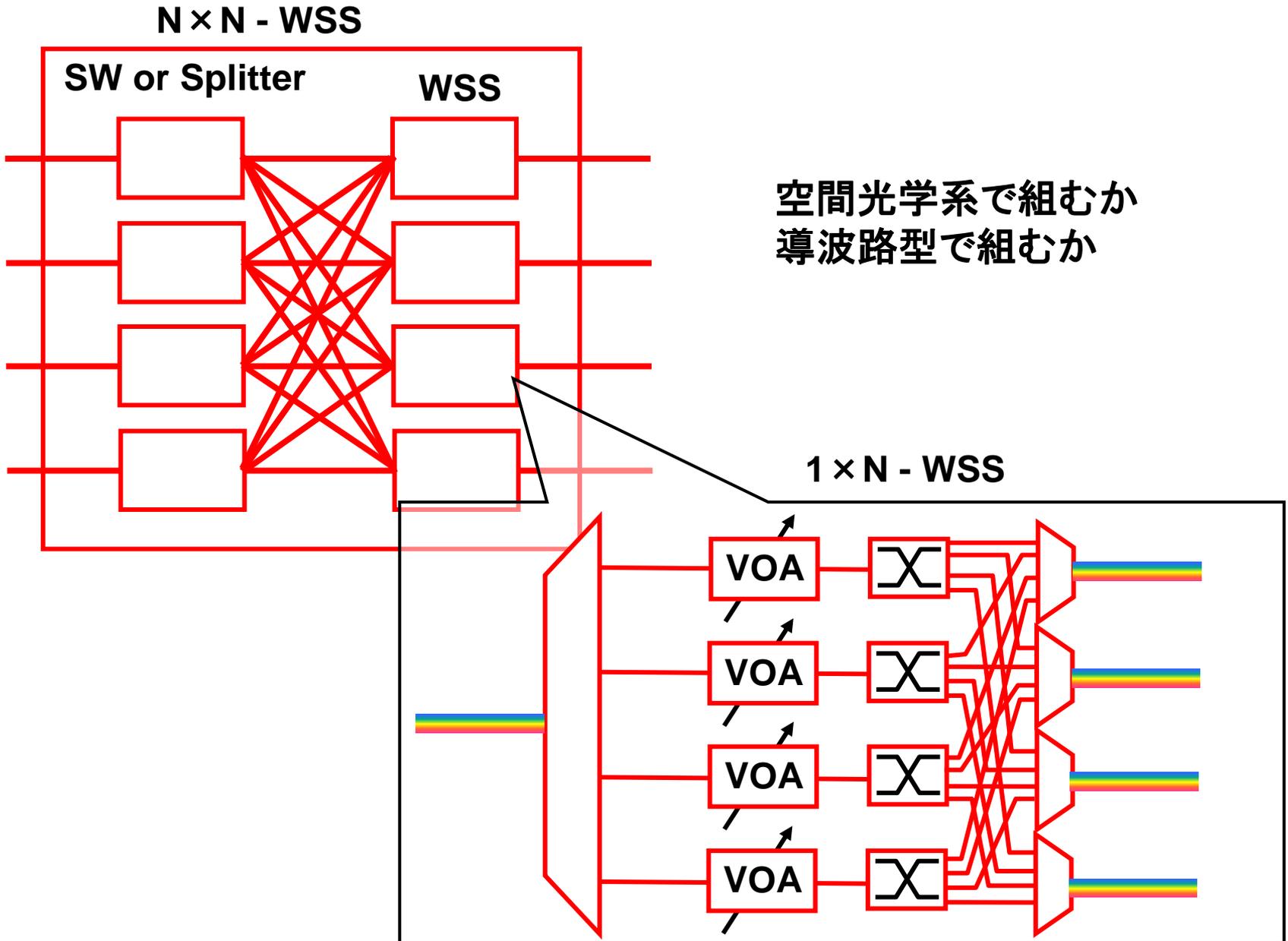
- ・損失大
- ・波長管理が複雑

Reconfigurable OADM (ROADM) (波長選択スイッチ型)(第3世代)

任意波長自動選択(カラーレス)

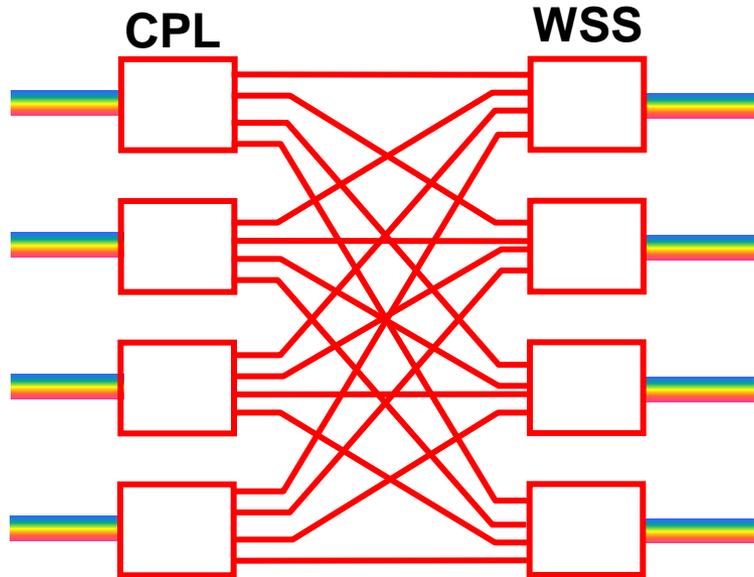


WSSの構成



WSSを用いたPXCの構成

光カプラ+WSSタイプ



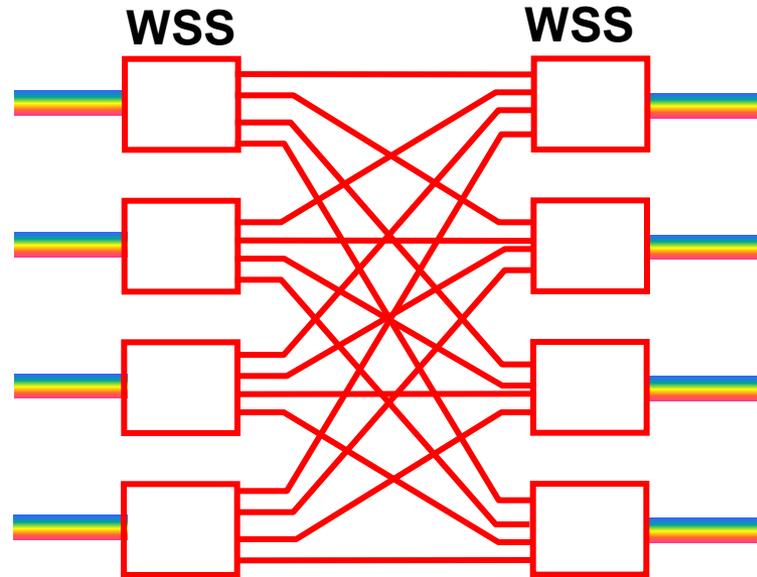
メリット

- 低価格
- Multi/Broadcast機能をサポート

デメリット

- ノード損失大
- クロストーク特性が劣化

フルWSSタイプ



メリット

- 低損失
- クロストーク抑圧が可能

デメリット

- Broadcast/Multi機能が実現できない
- 高コスト

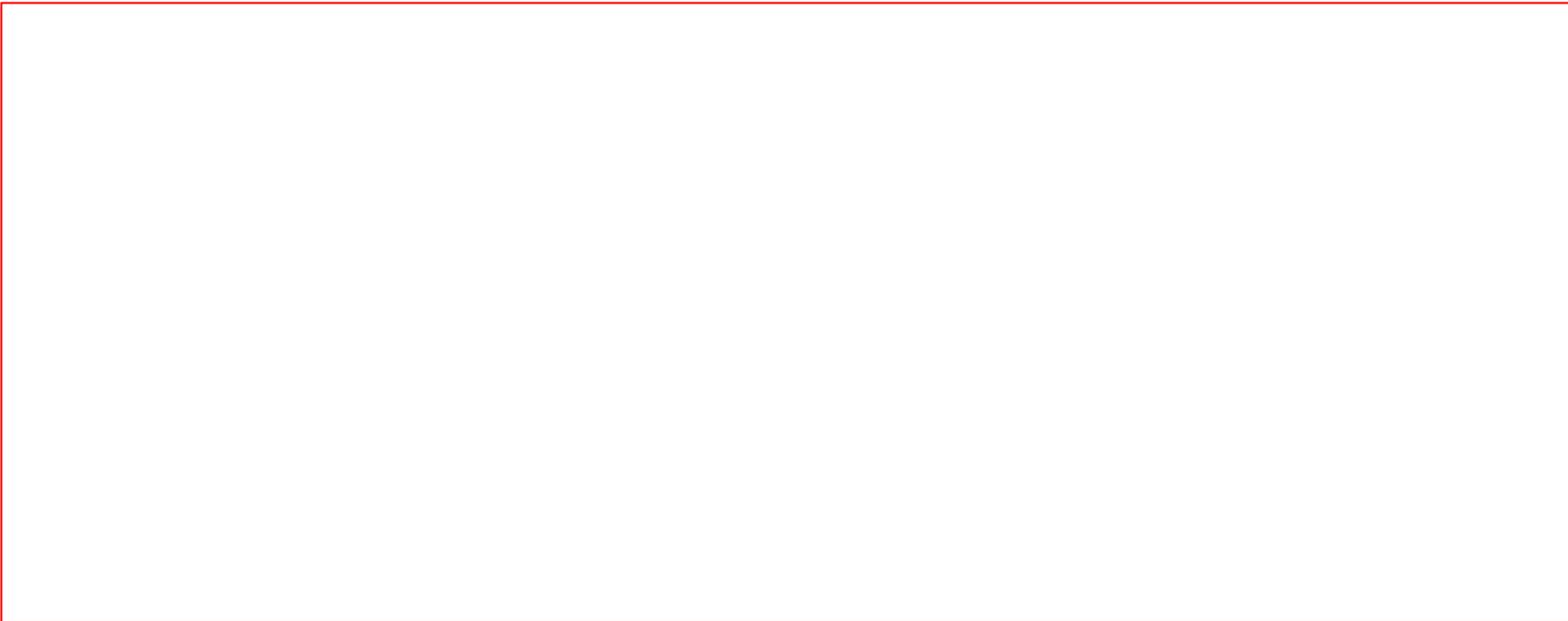
- 任意波長の任意ポートへのスイッチング
カラーレス動作、波長群単位での切替が可能
- 小型・低損失
「3D MEMSマトリクスSW+AWGと比較して、ノード損失とサイズを大幅に低減可能
- 信号光パワー調整機能（VOA機能）
WDM光増幅中継伝送に伴う波長間のパワー偏差を補償
- 高い拡張性
PXCの方路数のインサービス拡張が可能
- 広帯域かつ平坦な通過帯域
従来型光MUX/DEMUXに比べ、広帯域かつ平坦な通過帯域を持つため、
伝送可能ノード数の拡大が可能。

WSSベースOXCとマトリクスSWベースOXCの比較

| | WSSベースOXC | マトリクスSWベースOXC |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構成 | <p>#1 WSS 1×N WSS N×1 #2 #3 #4 6dB 6dB</p> | <p>1×40 1×2 40×1 #1 AWG SW array (P) #2 (W) #3 160×160 #4 マトリクス SW 5dB 3dB 5dB 3dB 5dB</p> |
| 挿入損失 | 12dB | 21dB |
| 接続ポート数 (例:160×160) | 24ポート | 1280ポート |
| 拡張性 | スケーラブルかつインサービスアップグレード可能 | 最初から最大構成のスイッチを用意またはサービスを中断してリプレイス |
| 冗長構成 | 二重化不要 (方路ごとに装置分割可能) | 二重化必要 |
| 透過帯域 | フラットトップ・広帯域な特性 10G/40G長距離伝送が可能 | 多段化による帯域劣化が大 10G伝送距離制限、40G伝送不可 |

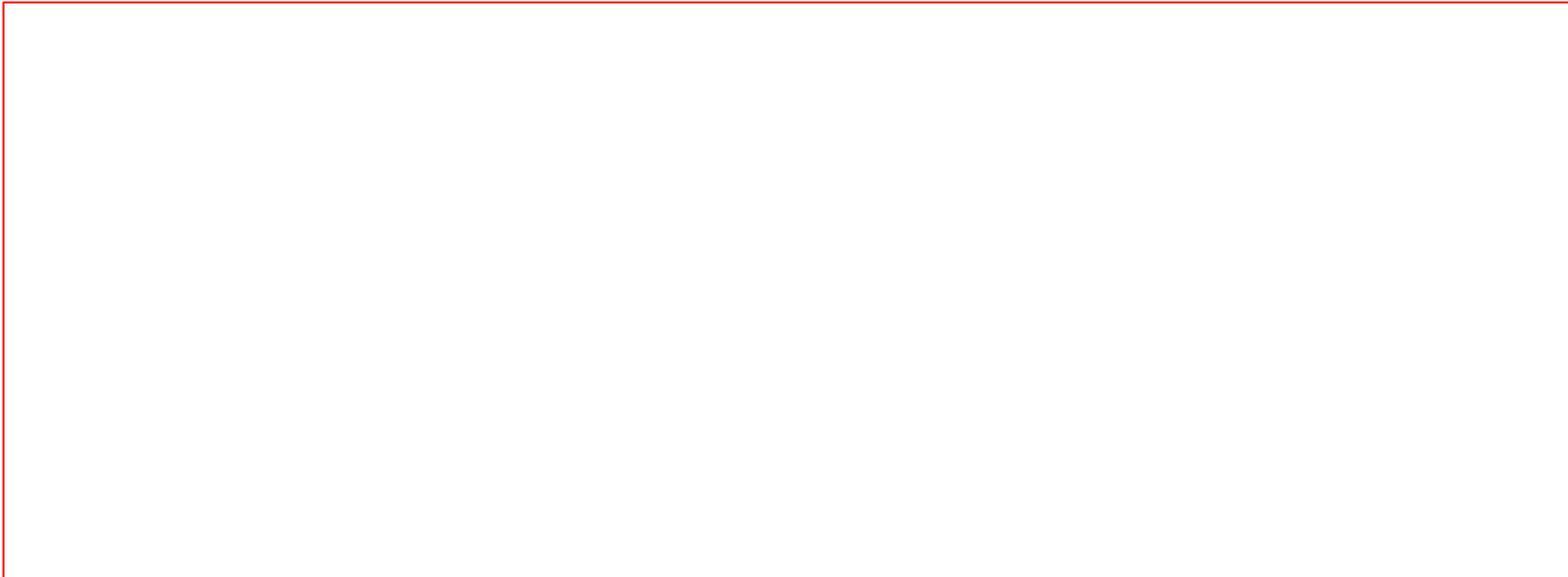
① 導波路(PLC)型WSS利用

T. Goh, et al. (NTT), OFC2006, OTuF3

- 4方位ハブ構成(リングNWの相互接続対応)
 - モニタPDやVOAの集積化が容易
 - 100GHz ch 32波長×4 AWG集積
- 

① 導波路(PLC)型WSS利用

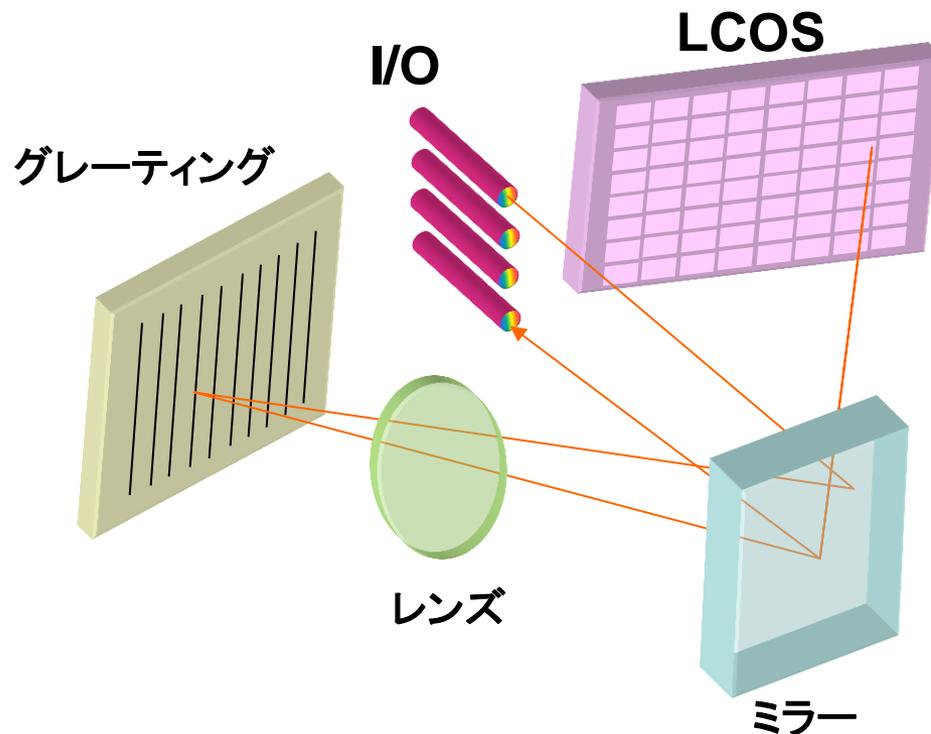
- $(32\lambda, 100\text{GHz ch-AWG}) \times 4 : 51.5 \times 56\text{mm}^2, \Delta=1.5\%$
- $(4 \times 1 \text{ SW, VOA, WINC tap}) \times 32\lambda : 70.5 \times 27\text{mm}^2$
291 MZI, 80mW/MZI, 5.3W total
- モジュール: $220 \times 135 \times 14\text{mm}^3$
- 挿入損失: 10.8dB (express path)



② 液晶型WSS

G. Baxter, et al. (Engana(現Finisar)), OFC2006, OTuF2.

- LCOS (Liquid Crystal on Silicon)による高精度な波面制御
- 民生技術による低コスト化

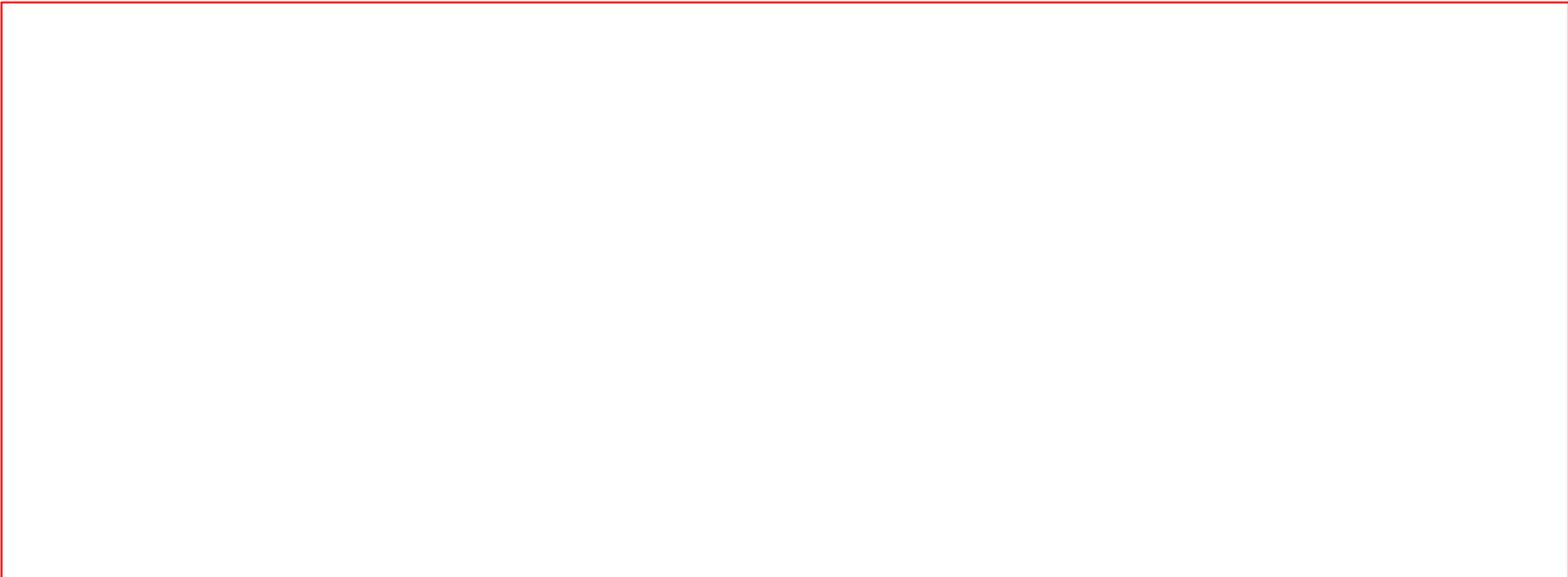


LCOS型WSS: G. Baxter et al, OFC2006, OTuF2.

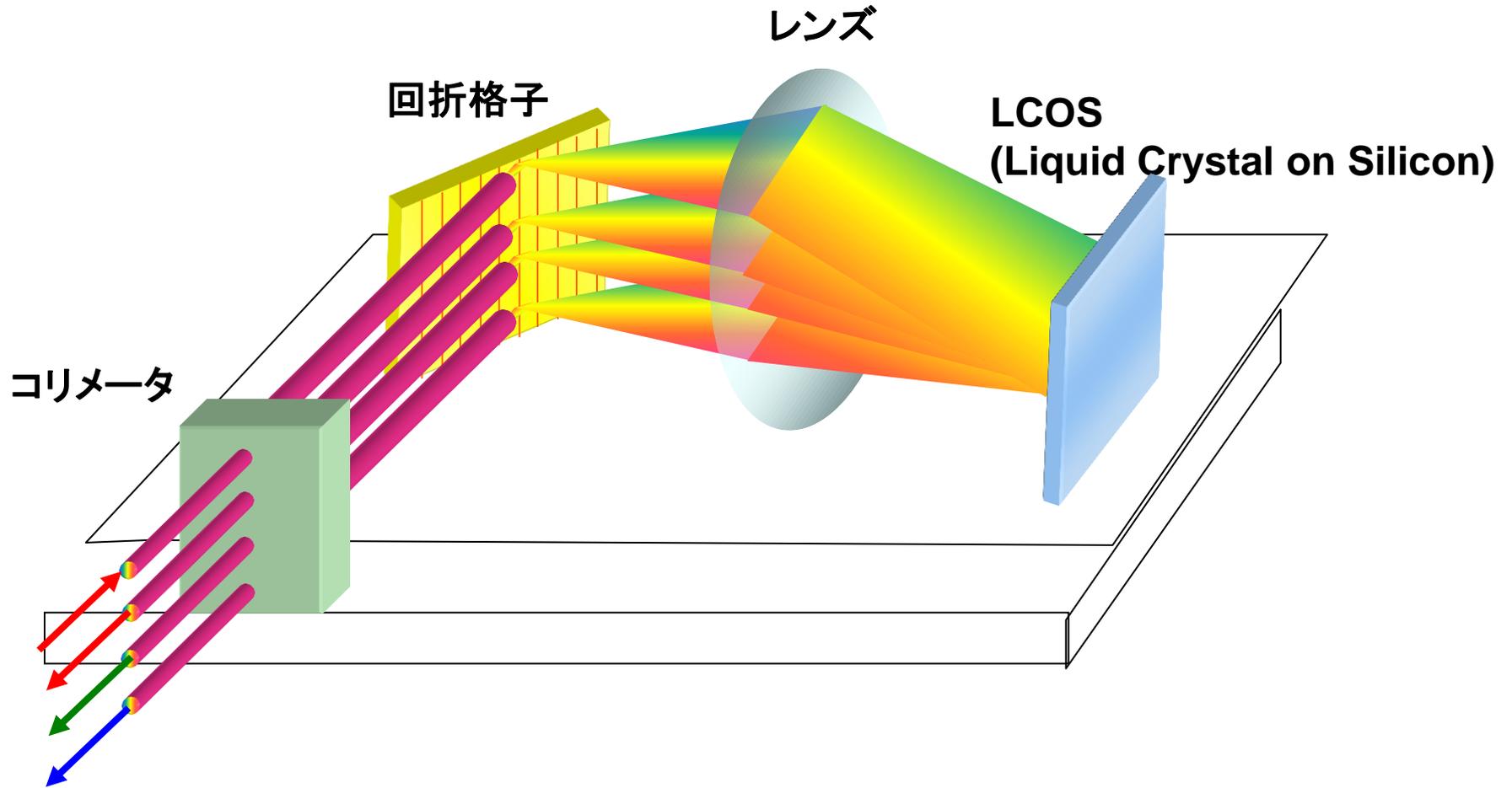
② 液晶型WSS

- 解像度: WUXGAまでがLCOSにて可能
- ソフト制御でフィルタ特性可変
50GHz/100GHz Chの切替

G. Baxter, et al. (Engana), OTuF2.

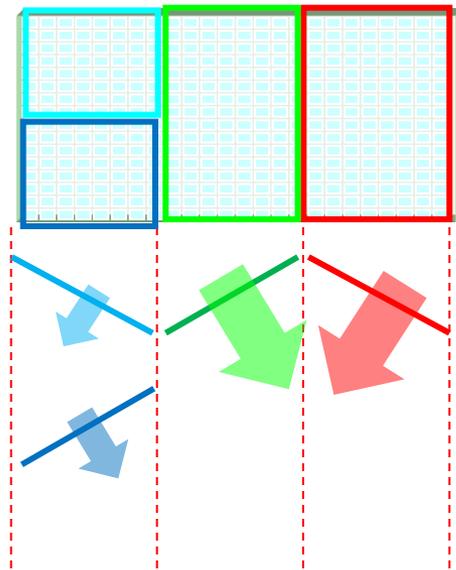


波長選択スイッチ (Wavelength Selective Switch, WSS)



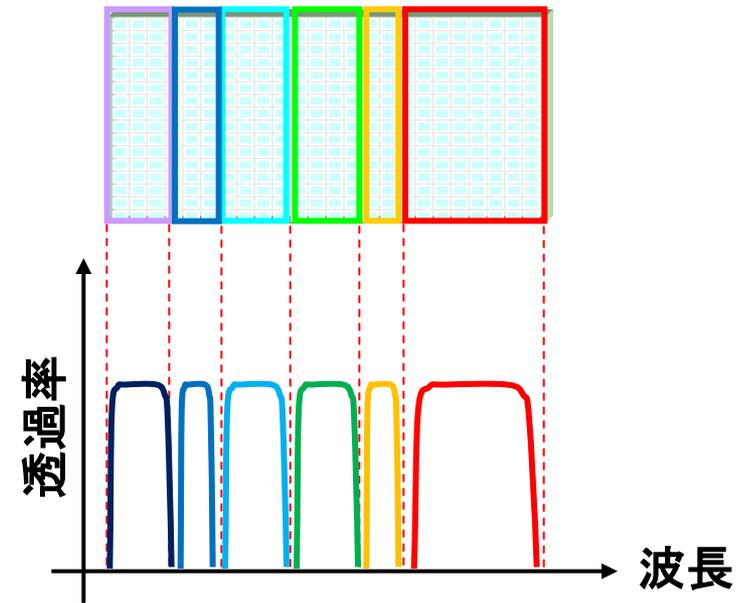
LCOSによる光スイッチング

波面制御



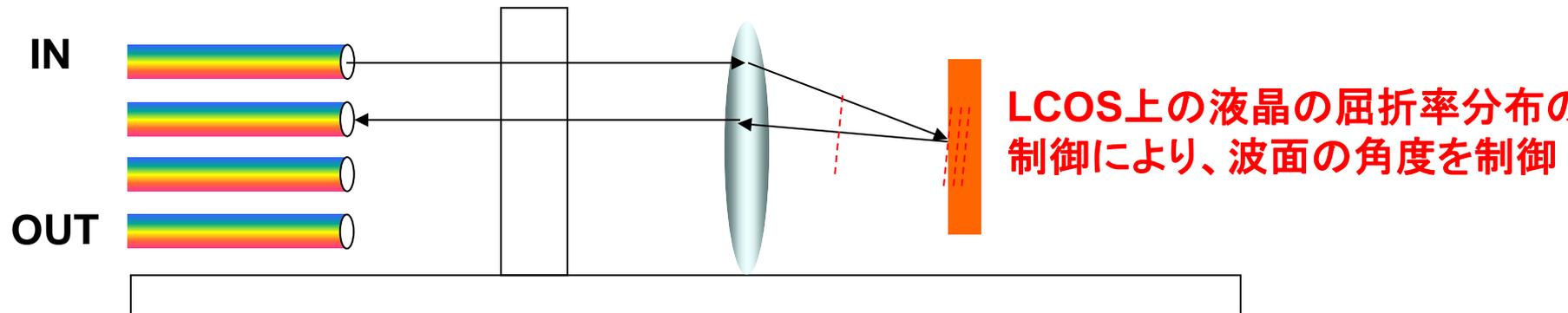
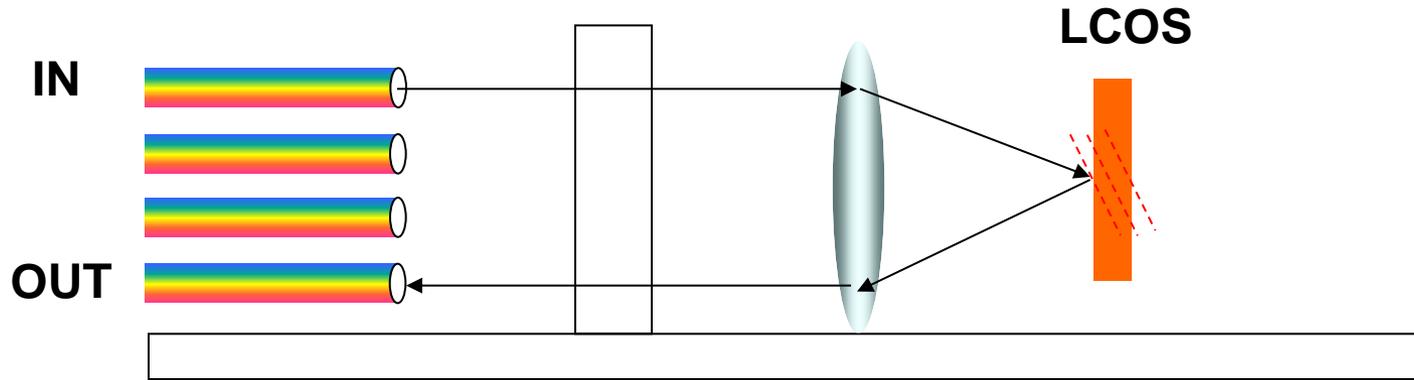
- 出力光の方向を切替
- マルチキャスト対応

グリッドレス



- 水平方向の範囲可変
→ 帯域可変・グリッドレス

WSSによるスイッチング動作



③ MEMS型WSS

C.-H. Chi et al.(UC Berkeley), OFC2006, OTuF1.

- Fiber-to-Fiber 損失=24dB
 - Xtalk < -25dB
 - 1460 – 1580nm
 - 速度=0.5ms
-

③ MEMS型WSS

M.P. Earnshaw, A. Griffin, C. Bolle, and J.B.D. Soole, OFC2005, OTuD2.

