

第14回

WDM伝送技術(2)・光スイッチング(1)

2014年1月21日(火)

CWDM

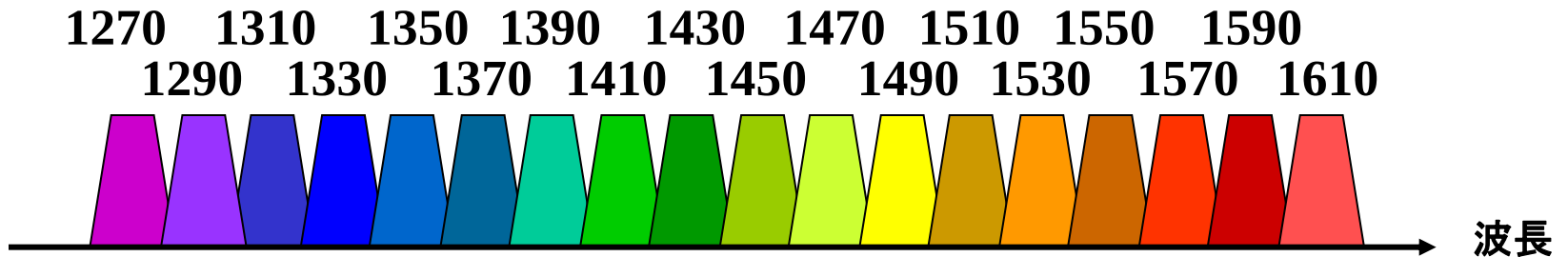
各種WDMとデバイス

杉江, 2003年信学ソ大, SC-6-1 (2003).

	波長間隔等	LD	フィルタ
DWDM (Ex. G.694.1)	$\sim 1000\text{GHz}$	波長制御 + 外部変調	FG、AWG、誘電体 波長制御
SDWDM	$\sim 25\text{GHz}$	波長制御 (波長 ロック) + 外部変調	FG、AWG、誘電体 波長制御
CWDM	1000GHz $\sim 50\text{nm}$	FP-LD、DFB-LD 温度制御	誘電体、ファイバ型、 PLC
Wide passband -WDM (Ex. G.694.2)	波長間隔: 20nm 通過帯域: 約 13nm	DFB-LD (温度制御なし)	誘電体、AWG/PLC、 ファイバ型
Wide-WDM (1.3/1.5 μm)	$50\text{nm} \sim$	FP-LD	誘電体、ファイバ型

CWDMの仕様

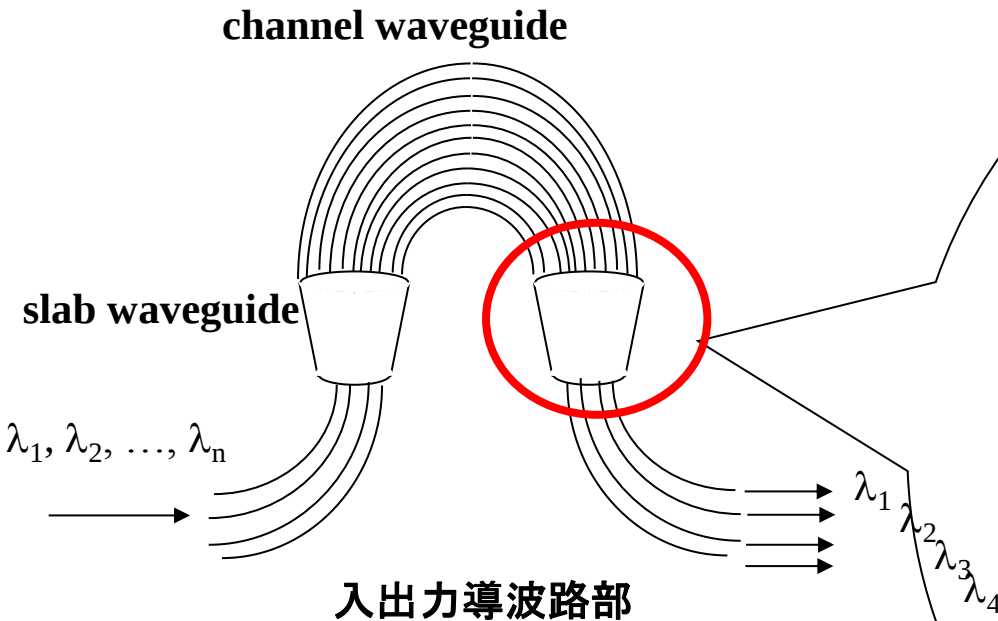
- ・ITU-T G.694.2での標準化
- ・光アンプの使用は想定せず
- ・Uncooledの安価なDFB-LDを使用
- ・現在の製造技術で量産可能なWDMフィルタを使用



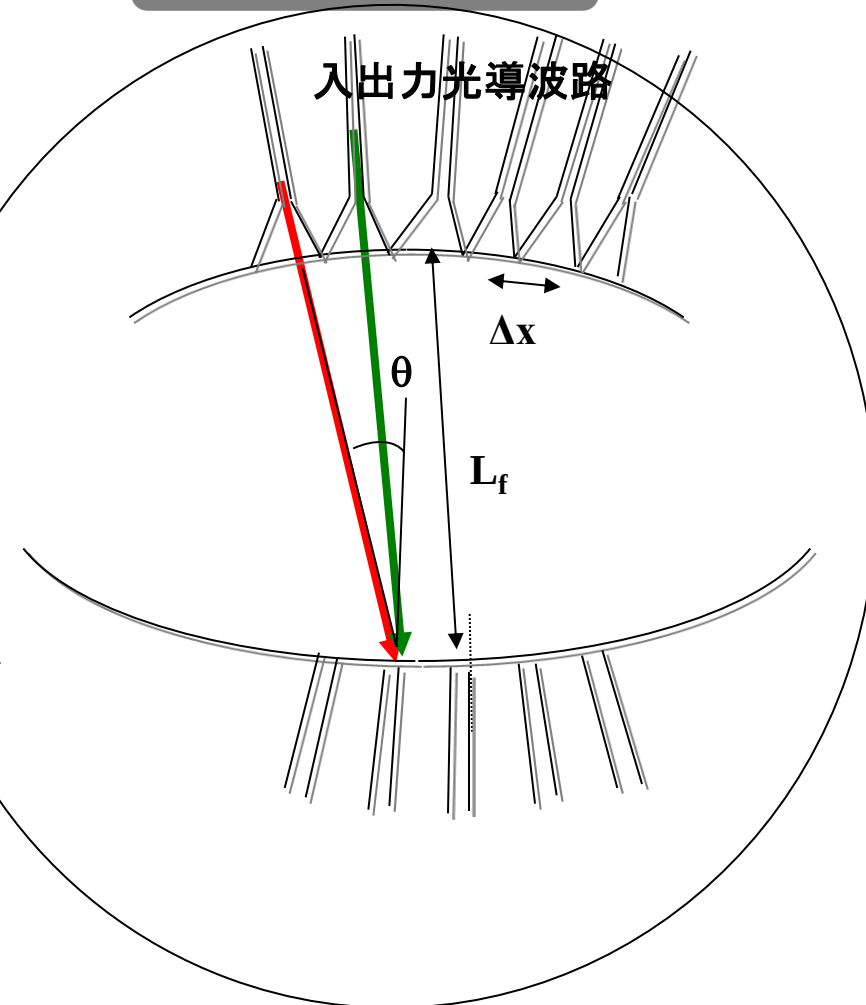
アレイ導波路格子 (AWG)

AWG (Arrayed Waveguide Grating)

AWG概観図



スラブ部分の拡大図



AWG内の光の干渉条件

$$n_s d \sin \theta_i + n_c \Delta L + n_s d \sin \theta_o = m \lambda$$

入射側

出射側

↑
グレーティング部

400ch 25GHz spacing AWG(石英系)

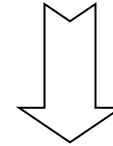
**Y. Hida, Y. Hibino, T. Kitoh, Y. Inoue, M. Itoh, T. Shibata, A. Sugita and A. Himeno (NTT),
Electron. Lett., vol. 37, pp.820-821 (2001).**



小型・大規模AWG

6インチウエハ上に作製した
25GHz, 400チャネルAWG

超高 Δ PLC (1.5%, 曲げ半径2mm) の採用



小型・大規模AWGの実現

波長範囲: 1530 – 1610nm

損失: 3.8dB (中央ポート)、6.4dB (端のポート)

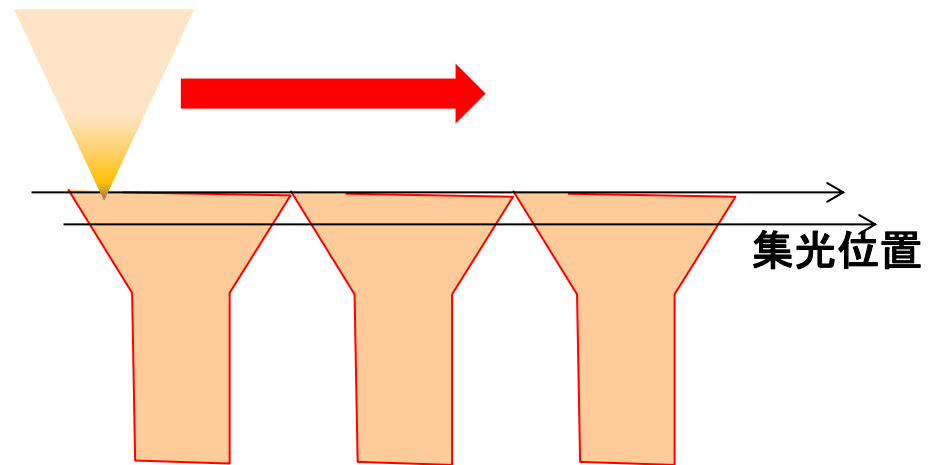
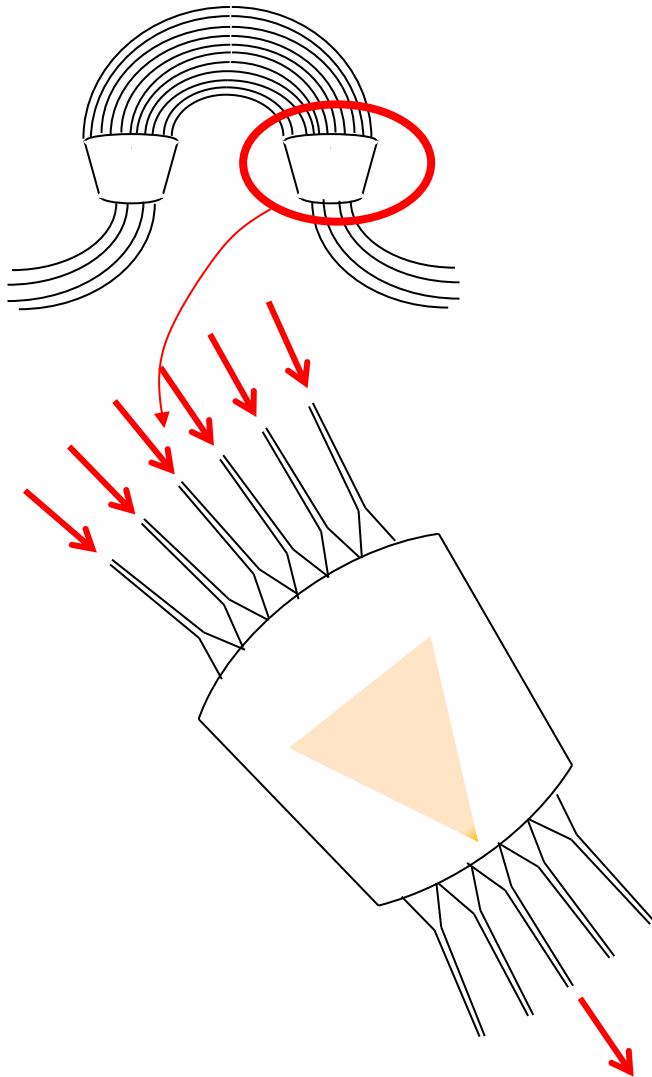
隣接クロストーク: -20dB

偏波依存波長シフト: 0.03nm以下

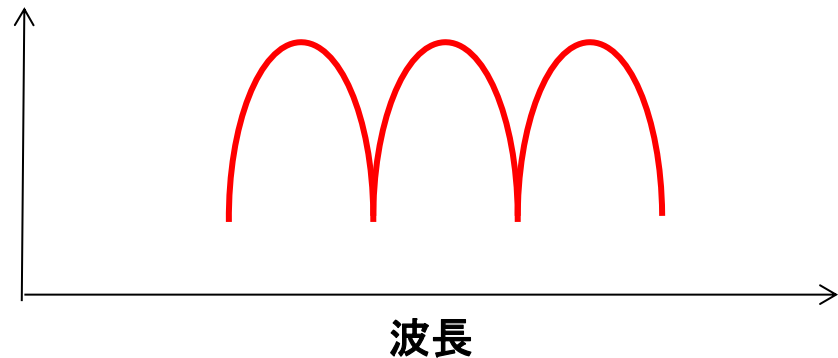
Y. Hida, Y. Hibino, T. Kitoh, Y. Inoue, M. Itoh, T. Shibata, A. Sugita and A. Himeno (NTT),
Electron. Lett., vol. 37, pp.820-821 (2001).

AWGのガウシアン型透過帯域スペクトル

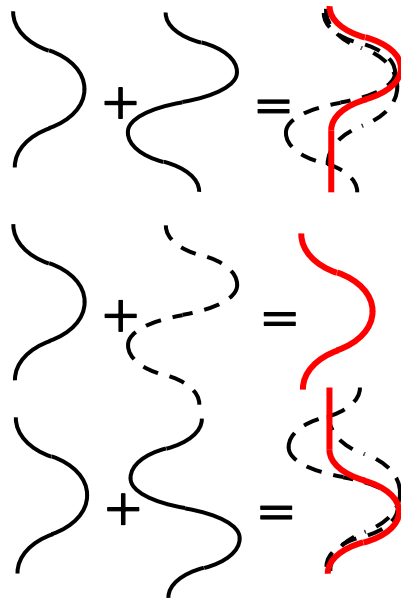
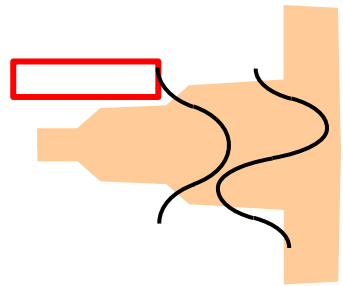
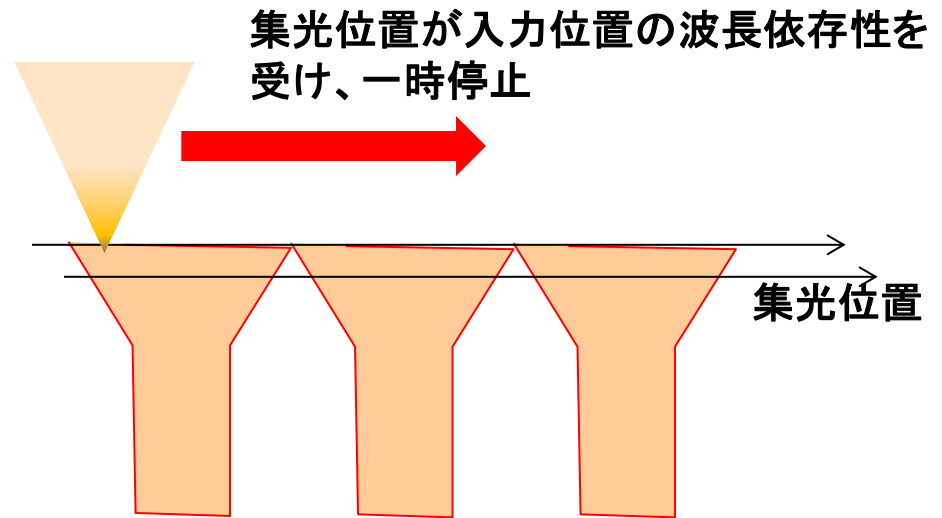
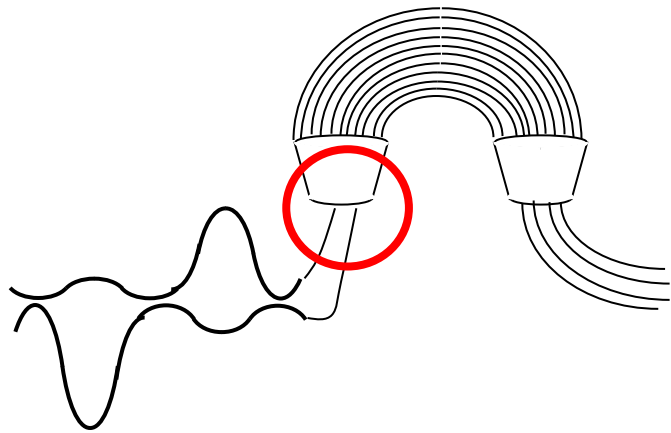
2011年7月29日 平成23年光NW産業・技術研究会第2回公開討論会
高橋浩 『石英平面光波回路の現状と今後の展開』より



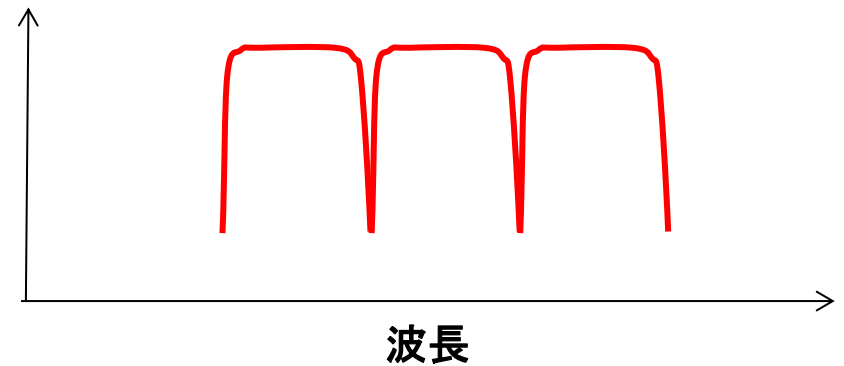
出力導波路群



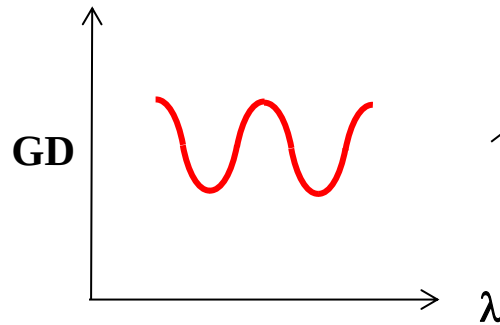
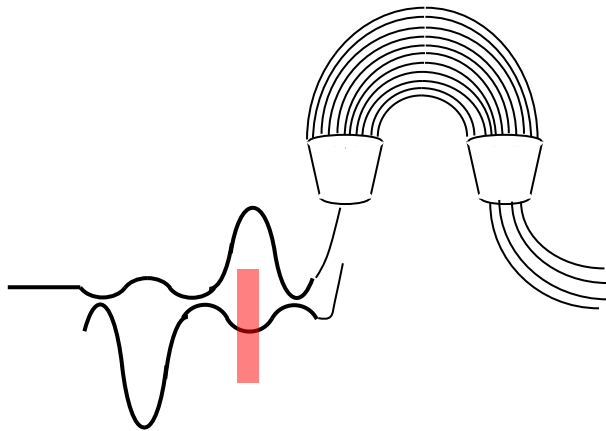
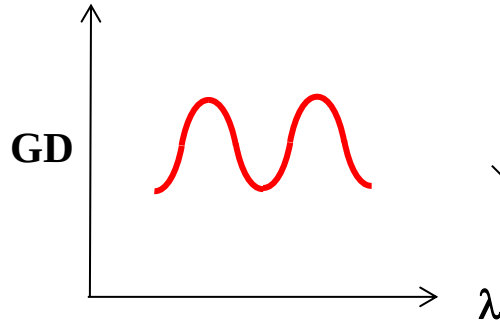
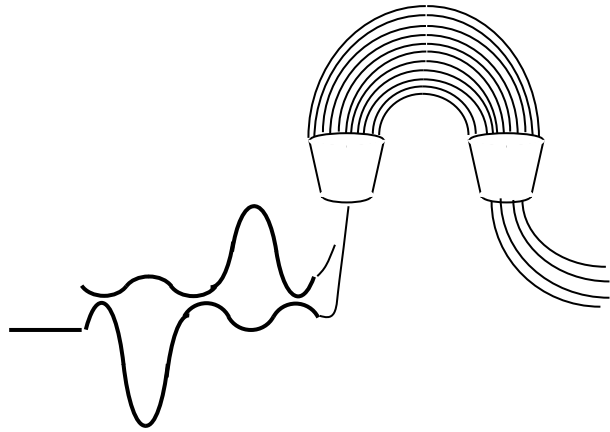
AWG透過スペクトルの高矩形化



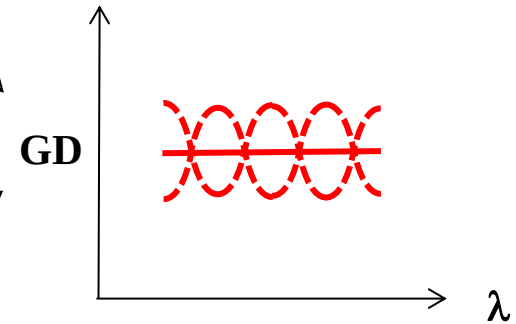
出力導波路群



位相歪解消



合波・分波の合計で
GD平坦化

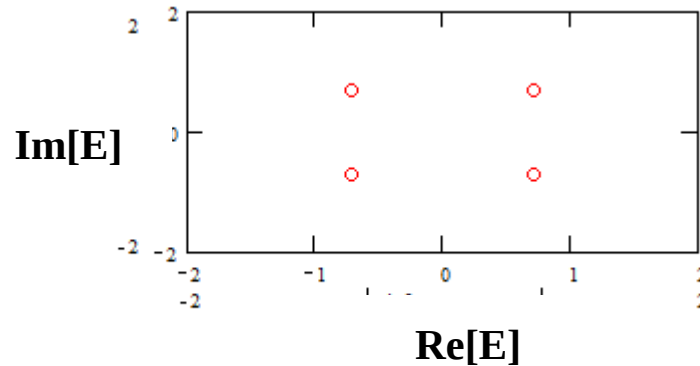


WDM伝送と非線形歪

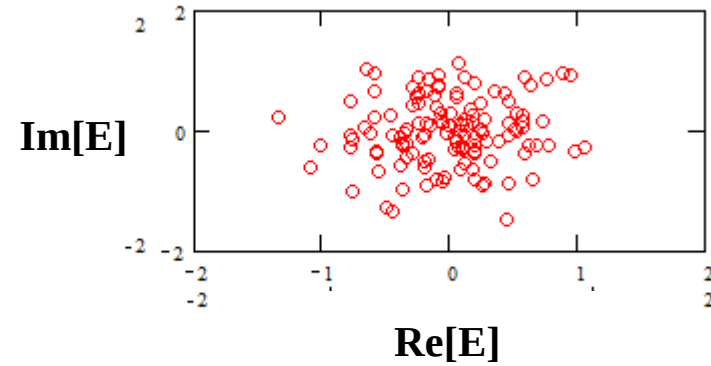
自己位相変調によるコンスタレーション上の変化

40Gbps, RZ-QPSK, SMF伝送距離: 100km, 送信器出力: 0dBm, $n_2 = 1.22 \times 10^{-22} \text{ m/V}$

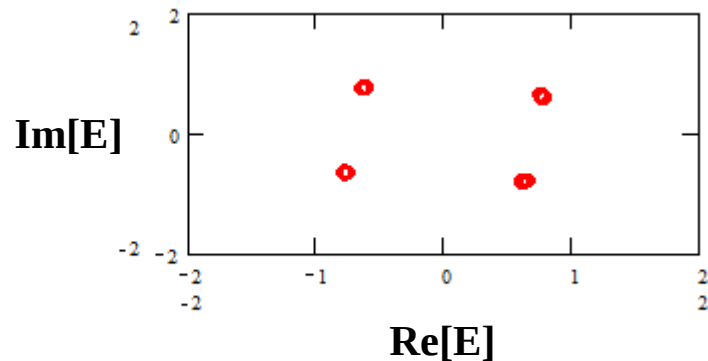
伝送前



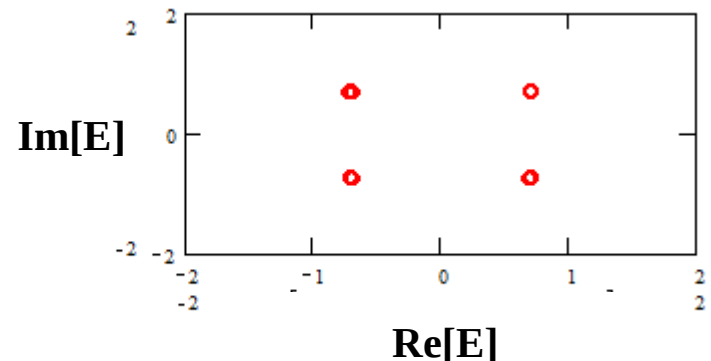
伝送後



線形歪補償のみ



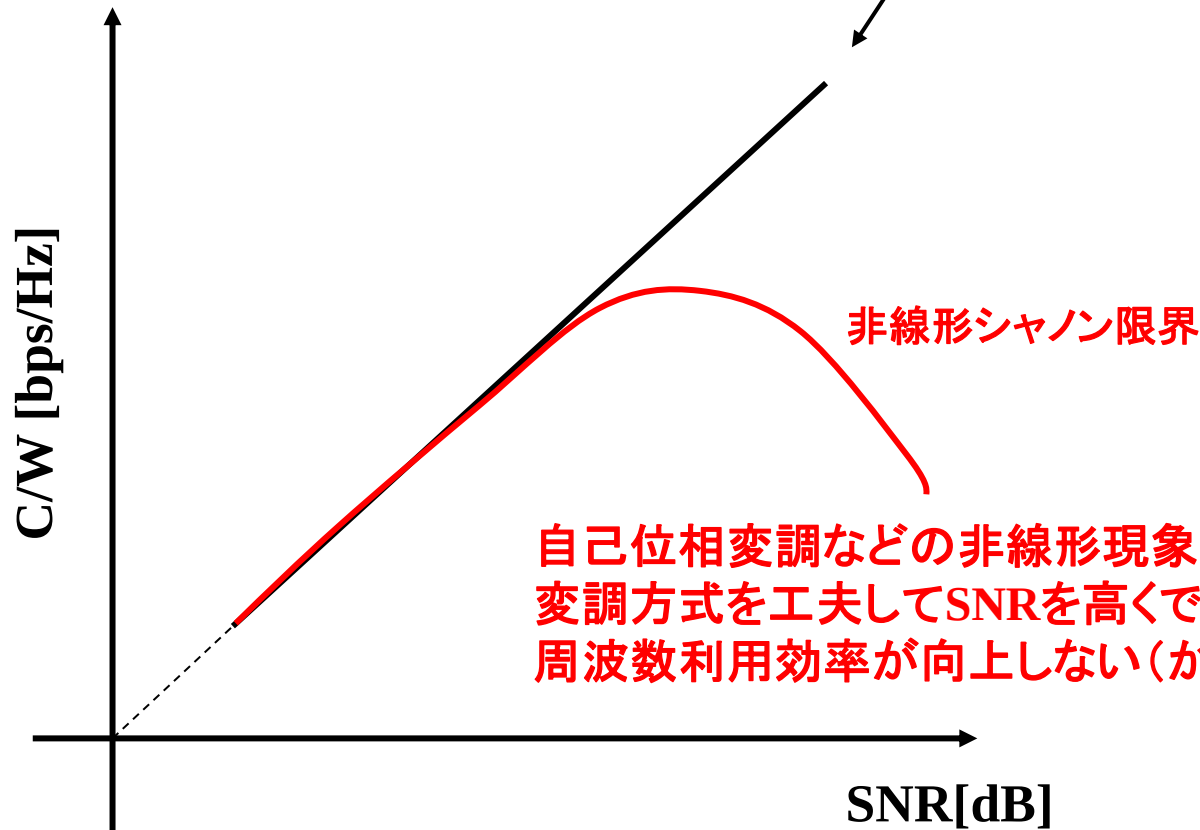
非線形歪補償あり



非線形シャノン限界(1)

SNR $\gg 1$ のとき、

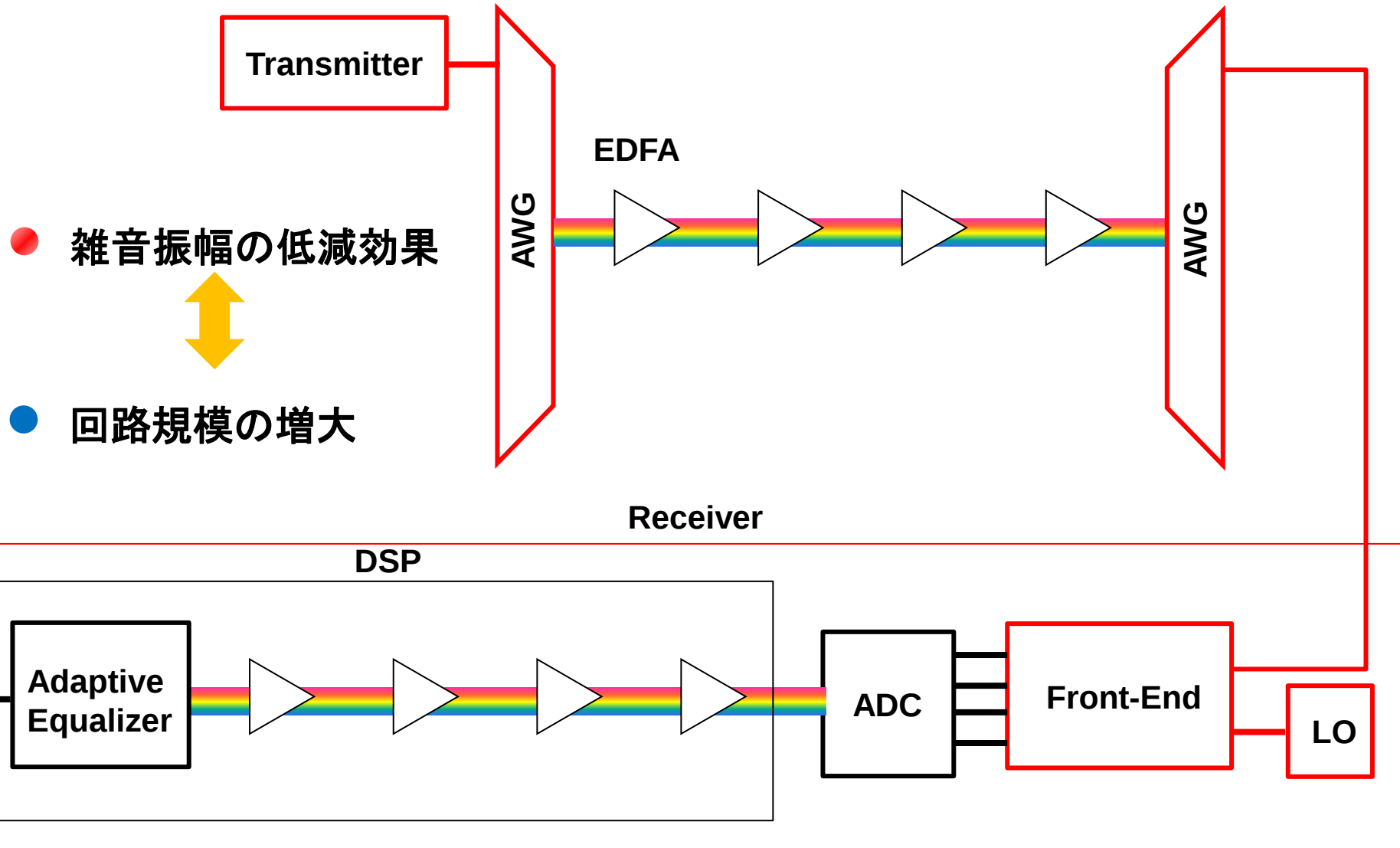
$$\frac{C}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \approx \log_2 \left(\frac{S}{N} \right) = \frac{10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right)}{10 \log_{10} 2}$$



自己位相変調などの非線形現象の影響で
変調方式を工夫してSNRを高くできても
周波数利用効率が向上しない(かえって劣化する！)

非線形分散補償

DBP: Digital Backward Propagation, デジタル後方伝搬法



第8章

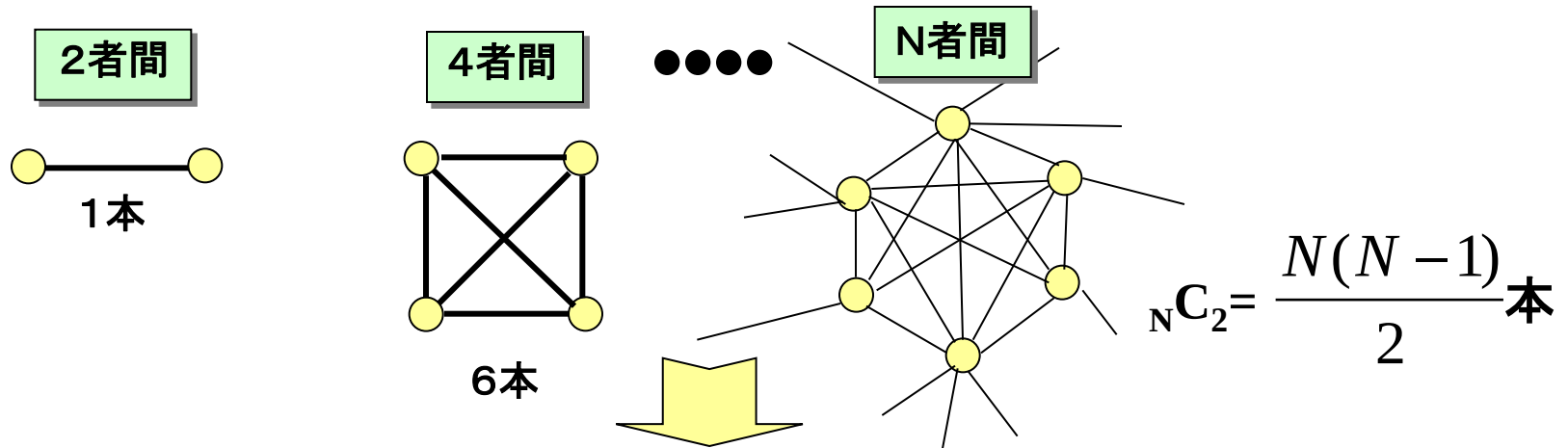
光スイッチング技術

- 8－1 (光)スイッチの意義
- 8－2 光スイッチの使用用途
- 8－3 光スイッチの種類と実例
- 8－4 ROADMと波長選択スイッチ

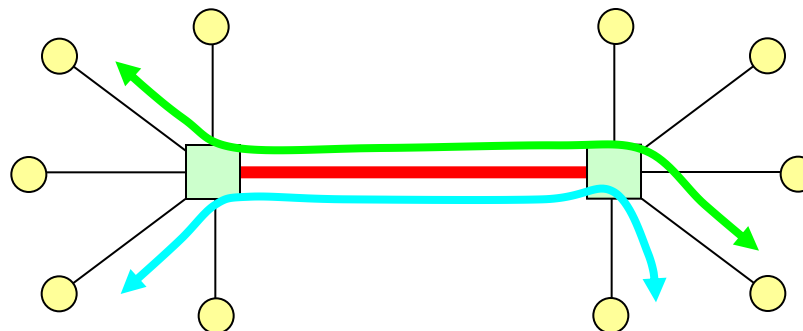
1対1通信から1対多、多対多通信への拡張

スイッチングによる配線・装置の経済的
配置が可能

ユーザ同志をスター配線した場合の通信路の必要数

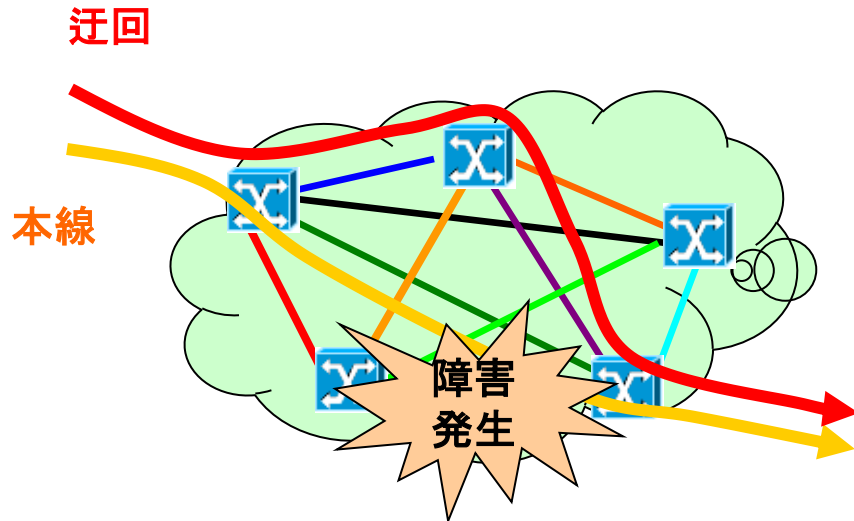


スイッチング・階層構成の導入

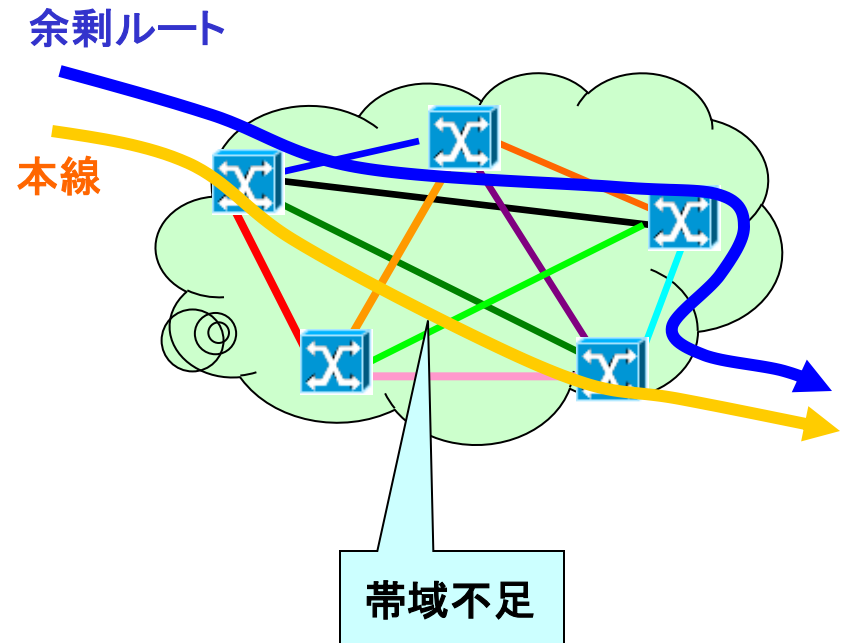


- 通信路の必要数低減
- 装置規模の縮小

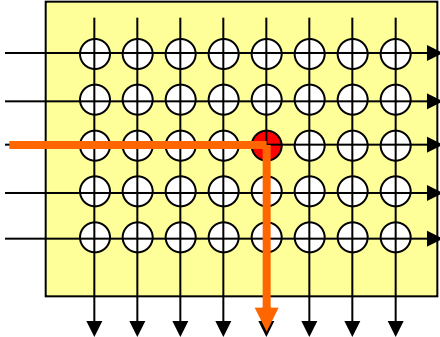
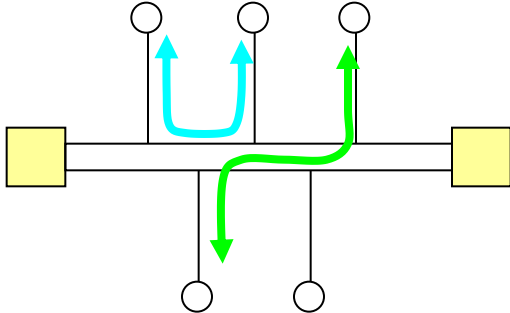
① 障害発生時のルーティング



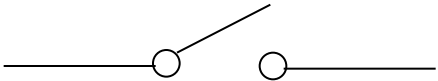
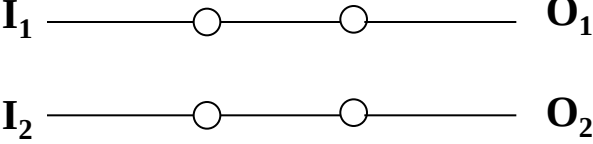
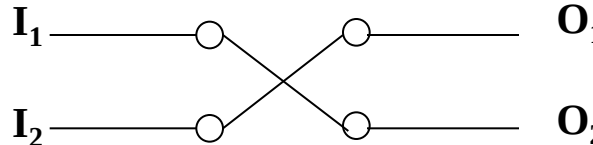
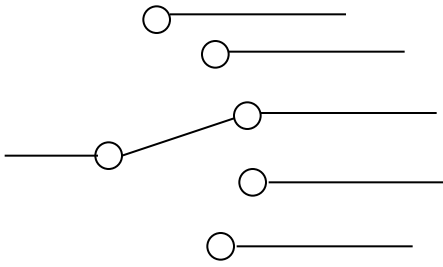
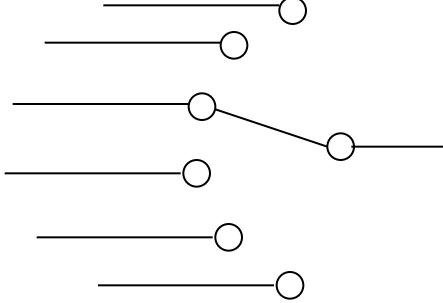
② 帯域不足時の余剰ルートへのルーティング



スイッチング機能の実現方法

スイッチ 形態	媒体専有型スイッチ N×Mマトリクススイッチ 	媒体共有型スイッチ 
交換方式	回線交換方式	パケット交換方式

基本スイッチエレメント

ゲートスイッチ	クロスバー型 スイッチ	多値スイッチ (ロータリスイッチ)
OFF状態  ON状態 	バー状態  クロス状態 	1入力多出力型  多入力1出力型 

多端子スイッチ合成法(1)

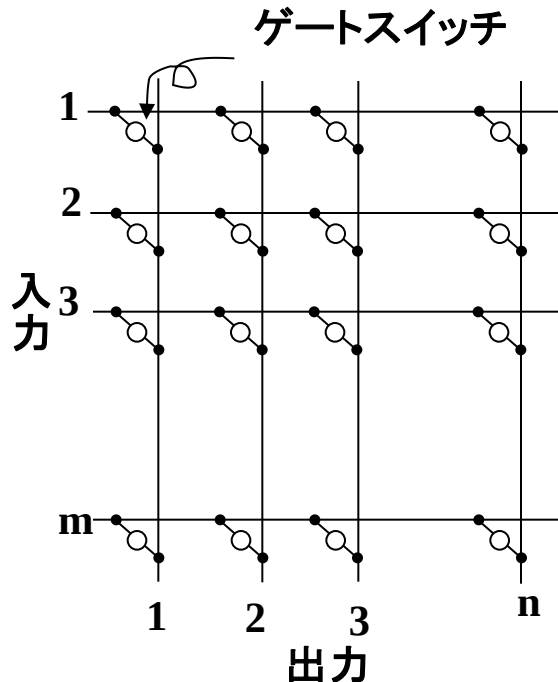
マトリクススイッチ

ゲートスイッチによる構成

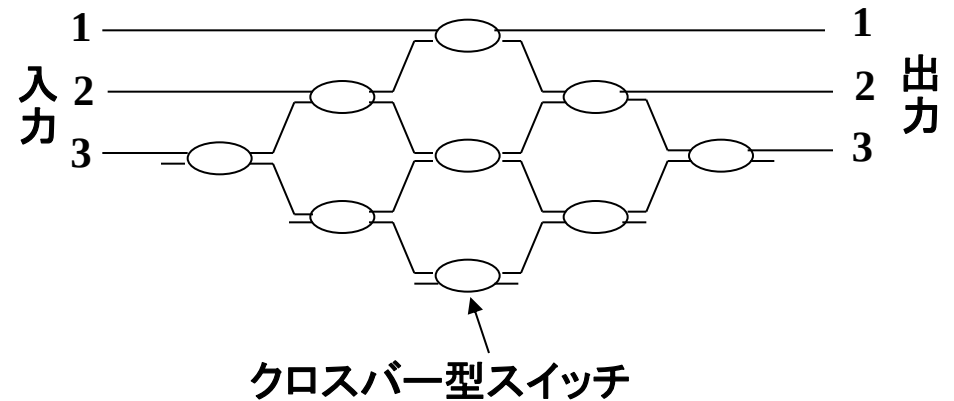
クロスバー型スイッチによる構成

出力線が空き状態であれば任意の入力線と接続可能(完全非閉塞スイッチ)

完全格子型マトリクススイッチ



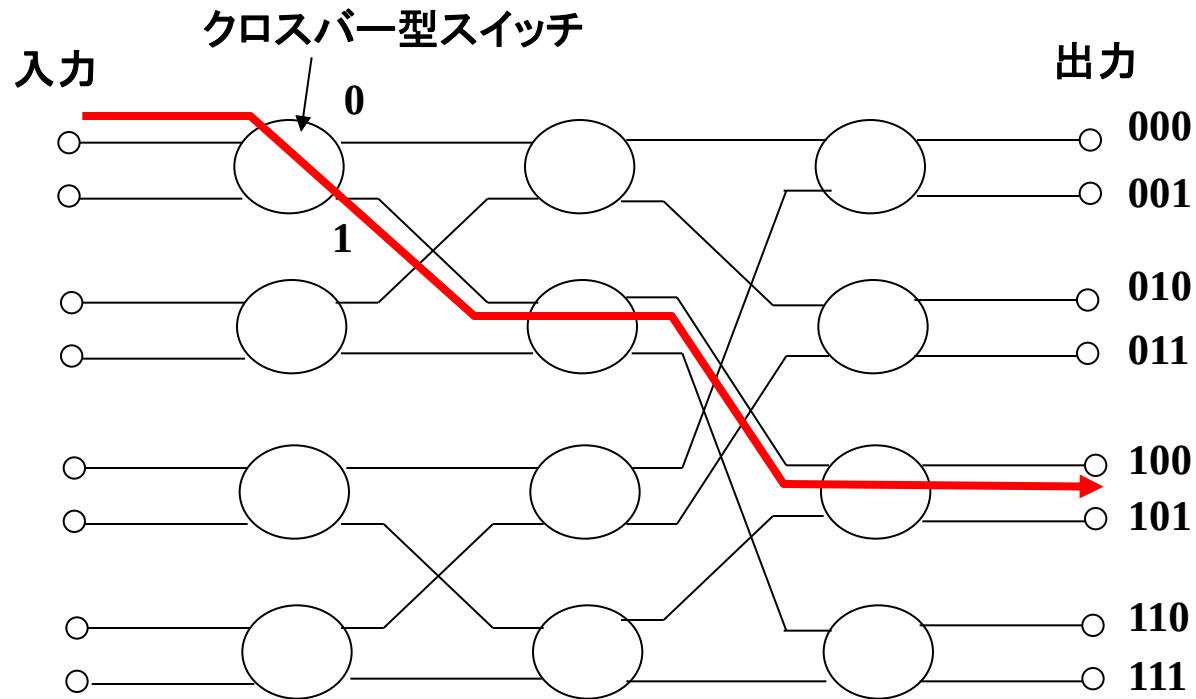
$m \times m$ 完全非閉塞スイッチ



- ・マルチ接続不可
- ・経路による通過スイッチ数の違い

多端子スイッチ合成法

バンヤンスイッチ

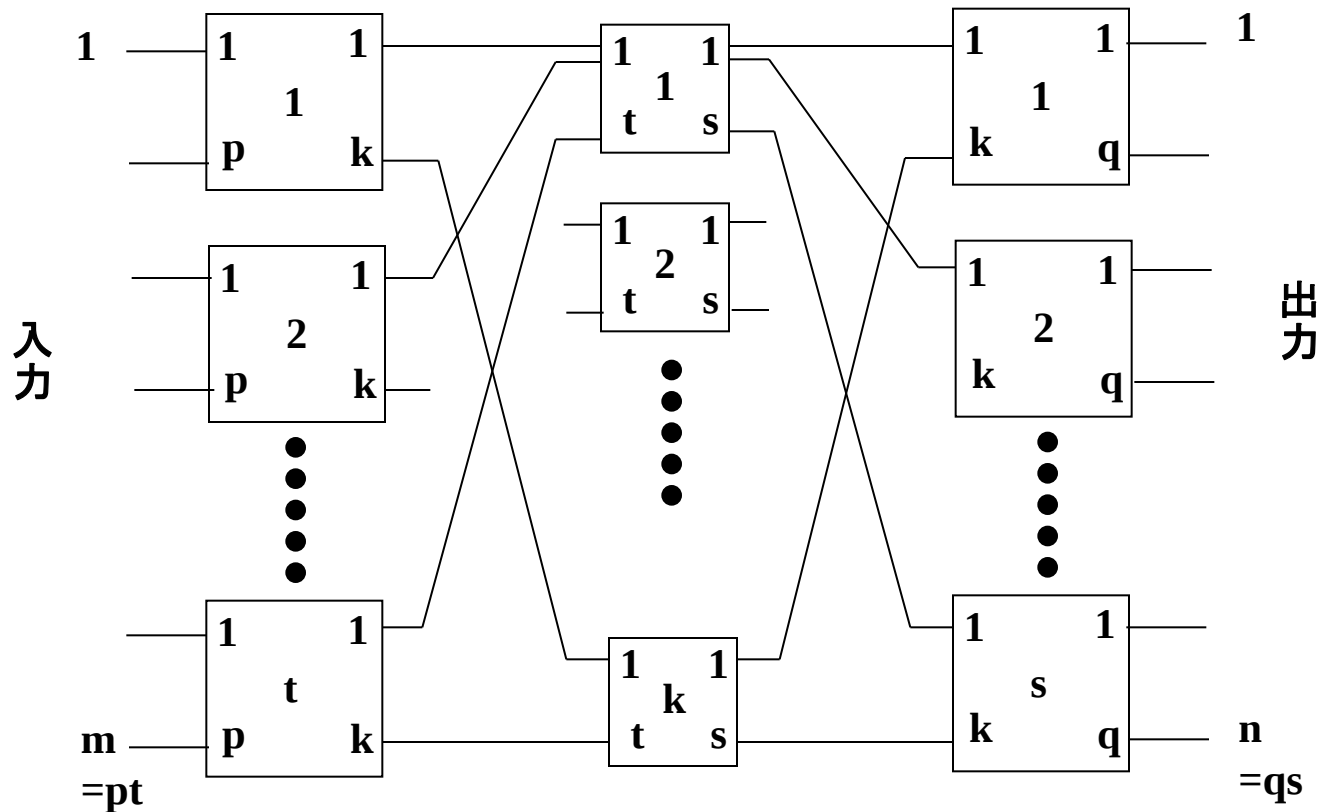


特徴

- 入力信号が行き先情報（ルーティング情報）を持っており、その情報に従ってスイッチを制御（セルフルーティング）
- 内部閉塞型スイッチ
 - 回避方法：出力線番号に応じてスイッチの入力位置を並べ替える（バッチャソーティング網の設置）

多段スイッチ回路網

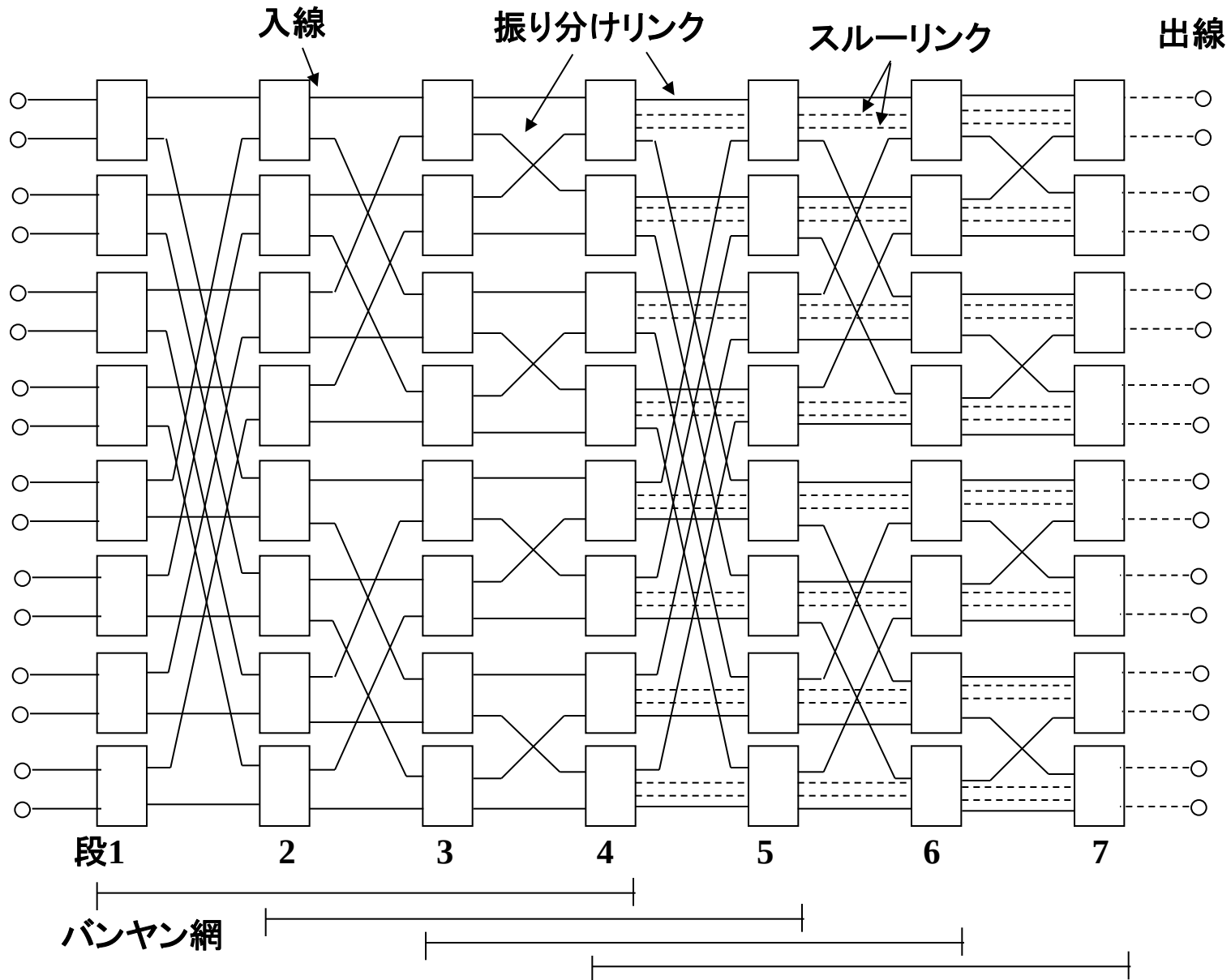
完全格子型マトリクススイッチを用いた多段スイッチ回路網



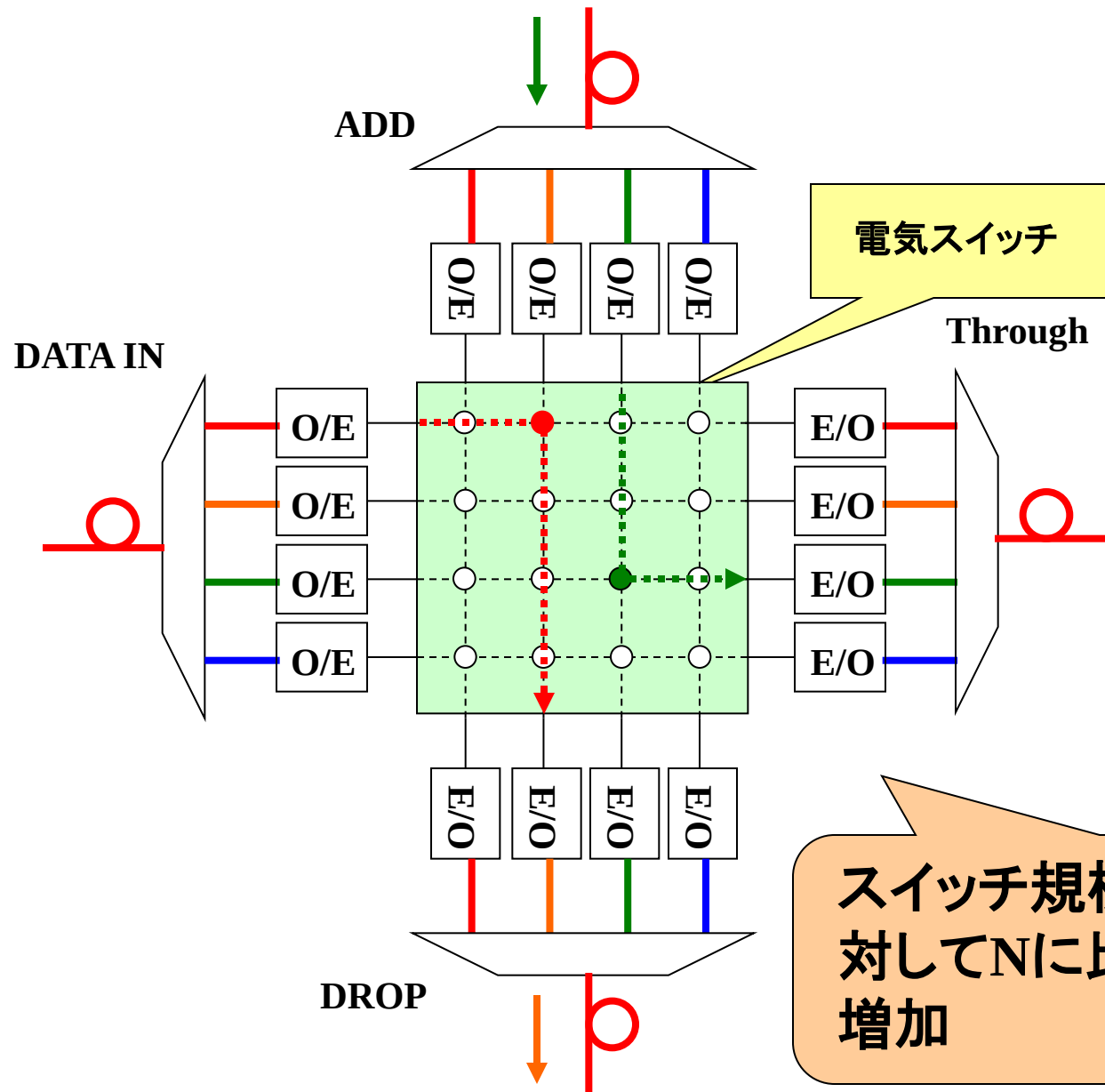
特徴

- $m \times n$ マトリクススイッチより少ない基本スイッチ数で構成可能
- 内部閉塞の発生

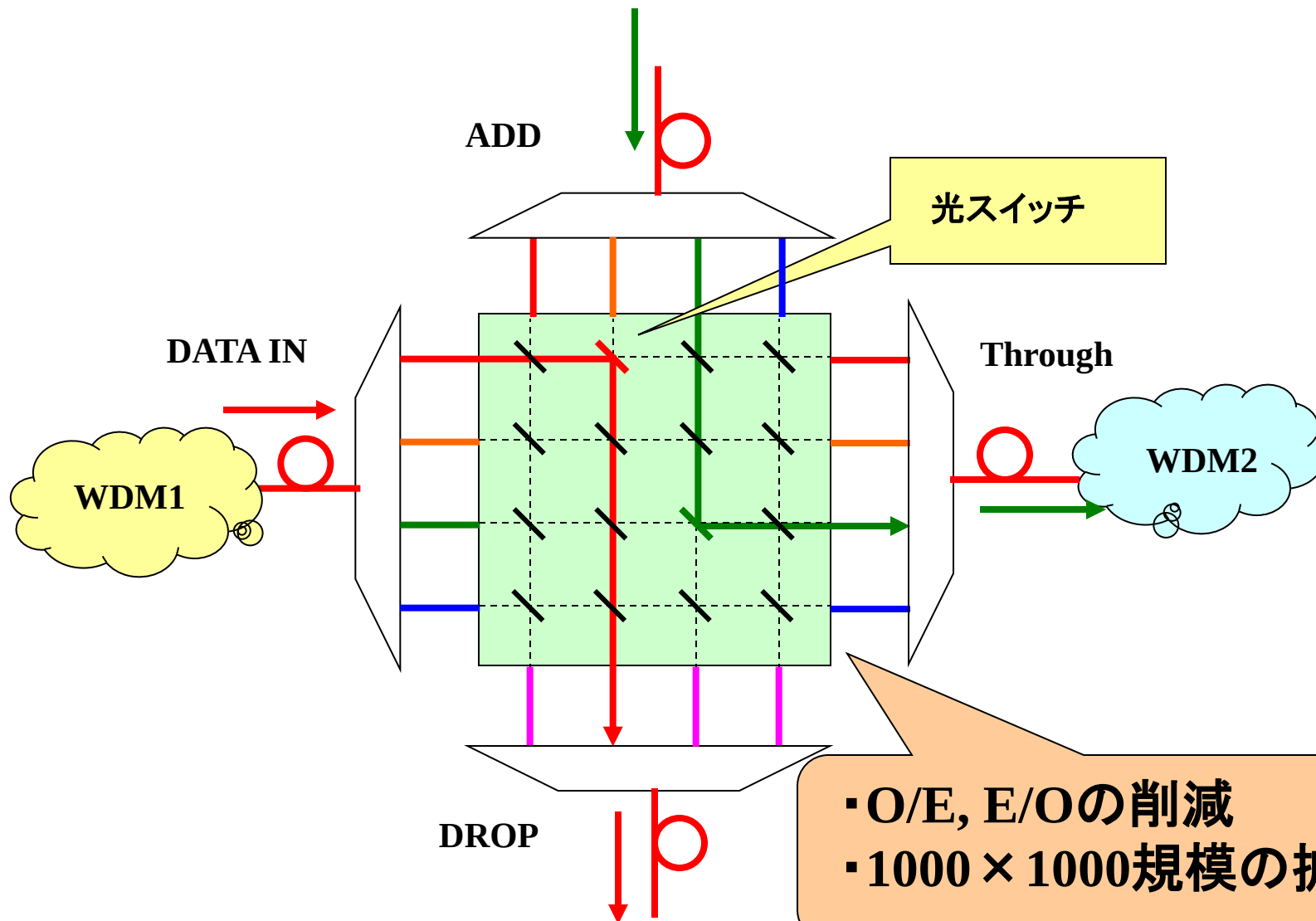
再ルーティング型バンヤン網



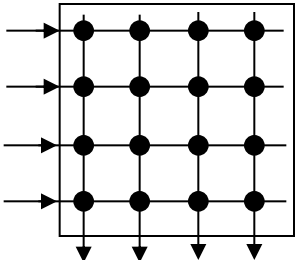
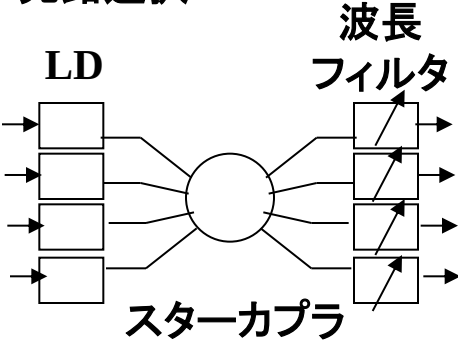
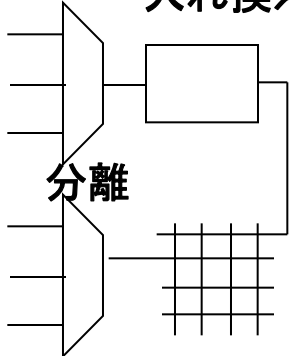
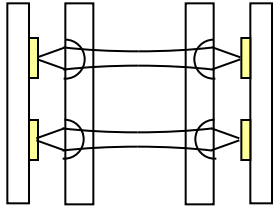
電気スイッチによる構成



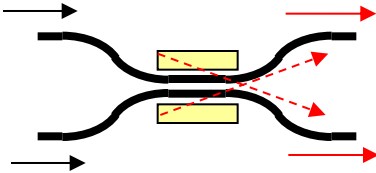
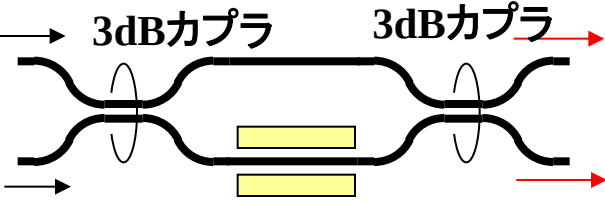
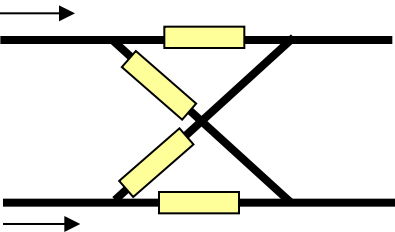
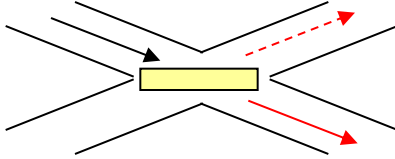
光スイッチによる構成



光スイッチング技術の分類

種類	空間分割型	波長分割多重型	時分割多重型	フリースペース型
構成	空間的に分離された 入出力光路を物理的に 接続／切り替え  m × nスイッチ	波長合波・分波による 光路選択  LD 波長 フィルタ スターカプラ	時間軸上の 制御 多重 時間順序 入れ換え  分離	波長板・偏向素子 を用いた光路 切り替え LD 光学系 PD 
特徴	アナログ・デジタル・ 変調方式・変調速度に 無依存	光の広帯域性	超短光パルスに よる高速化	2次元アレイ化 による高密度化
課題	・スイッチ規模大の時 スイッチ数増大 (N ²) ・曲げ制限	チャンネル間クロストーク	メモリ・バッファ の実現	光学部品のサイズ アライメント

空間分割型光スイッチの種類

種類	形態	制御要素
方向性結合器型		結合部の屈折率変化
マッハツェンダー 干渉計型		結合していない導波路部の 屈折率変化
LDゲート型		ゲート部の利得・吸収
全反射型		交差部の屈折率変化
		全反射ミラーの有無

光スイッチの動作に用いられる物理現象

動作原理		材料	動作速度
屈折率変化	熱光学(TO)効果	石英系 ポリマー系	msオーダー
	電気光学(EO)効果 ポッケルス効果: 1次 カー効果: 2次	誘電体: LiNbO_3	psオーダー
	プラズマ効果	半導体: InGaAsP , AlGaAs	nsオーダ
	フランツ・ケルディツシュ効果	半導体バルク: InGaAsP , AlGaAs	psオーダー
	量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)	半導体MQW	psオーダー
吸収変化	フランツ・ケルディツシュ効果	半導体バルク: InGaAsP , AlGaAs	10ps~ns
	量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)	半導体MQW	10ps~ns
利得変化	誘導放出	半導体	nsオーダ
機械的位置変化	ミラー位置	金属・半導体・オイル	msオーダ

マトリクス光スイッチの特性比較(例)

方式		機関	サイズ	挿入損失	ON/OFF比	備考
半導体	反射	横河電機	6×6		15dB	
		U. Bristol	4×4	14dB	50dB	SW 1ns
	EAMゲート	NTT	1×8	15dB	50dB	SW 10ns
	SOAゲート	Cambridge	16×16	lossless	15dB	SW 10/3ns
	フェーズド・アレイ	東大	8×8, 1×100	38dB	25～34dB	SW 4ns
	波長スイッチ	NTT, UCSB	8×8			SW 10ns
誘電体	石英TO型	NTT	16×16, 1×128	6.6dB	55dB	
	ポリマーTO型	Akzo	8×8	10.7dB	30dB	PDL 0.5dB
		Berlin I.T.	4×4	12.8dB	29dB	
	LiNbO ₃	NEC	8×8	11dB	20dB	PDL 1dB
	液晶	NTT	64×64	9.5dB	26dB	PDL 0.2dB
		CNET	8×8	9dB		SW 3ms, PDL<3dB
機械	Si-MEMS	Lucent	112×112	7.5±2.5dB		Crosstalk 50dB SW < 10ms
バブル	Si+オイル	Agilent	32×32	2.5-7.5dB		Crosstalk 50dB SW <10ms