

マイクロオプティックス測定・評価・検査技術

～基礎編～

ブロードバンド通信に関するコース開発委員会

目 次

第1節	OSI参照モデルの復習	74
第2節	伝送路	75
第3節	伝送回路	83
第4節	イーサネットの伝送	87
第5節	IPの転送	91
第6節	TCPの接続	98
第7節	LAN上のTCP/IPネットワーク	101
第8節	FTTH	103
第9節	無線LAN	107
第10節	企業向けブロードバンドサービス	110
第11節	基幹網	113
第12節	光部品	118

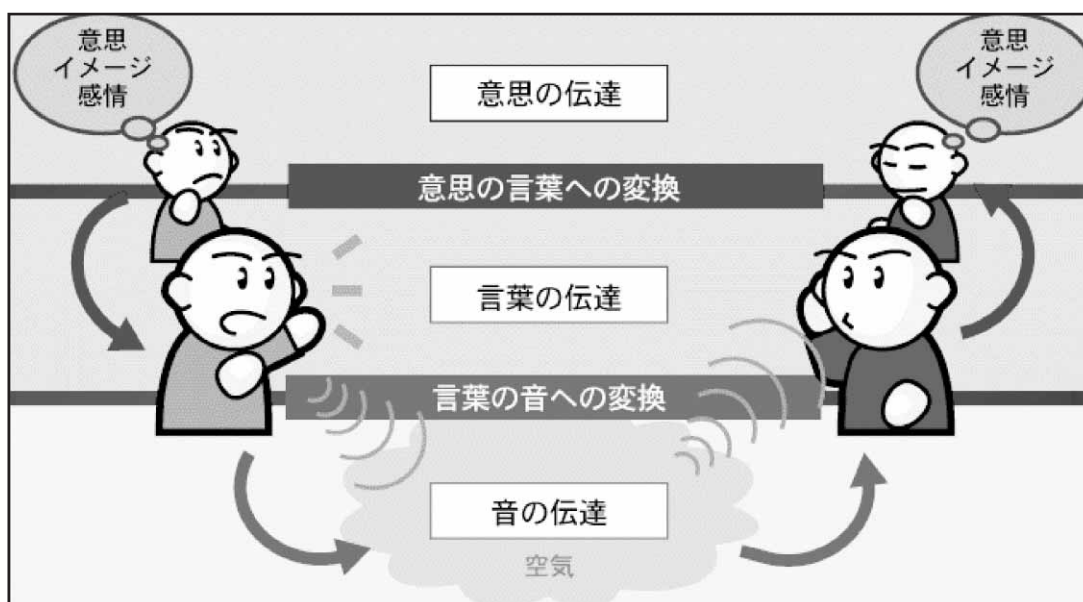
第1節 OSI参照モデルの復習

この節で学習すること

- 1) コミュニケーションのメカニズム
- 2) LANでのコミュニケーション

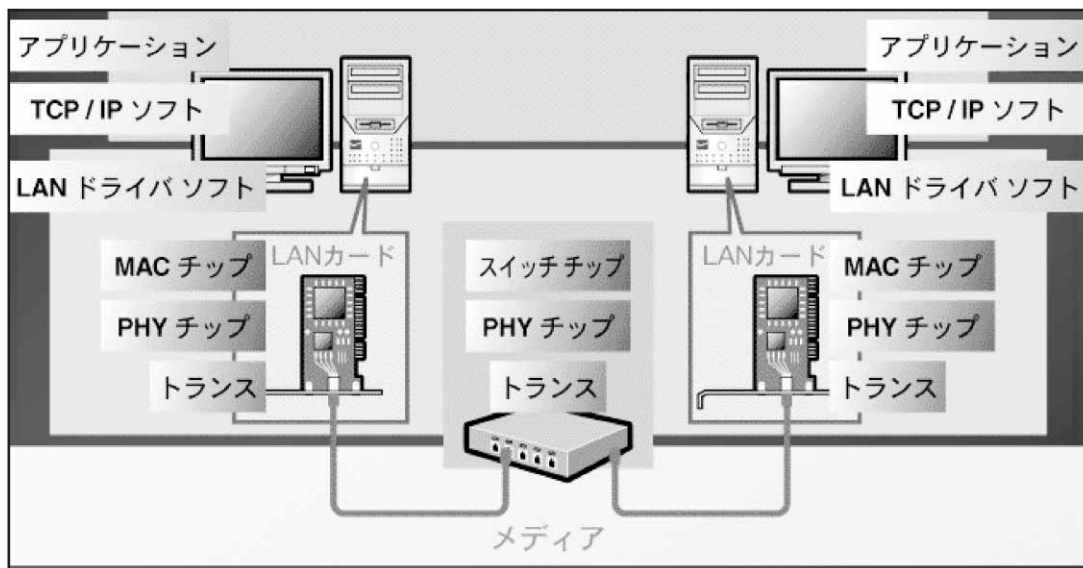
(基礎編の目次に戻る)

1) コミュニケーションのメカニズム



(基礎編 第1節のはじめに戻る)

2) LANでのコミュニケーション



(基礎編 第1節のはじめに戻る)

第2節 伝送路

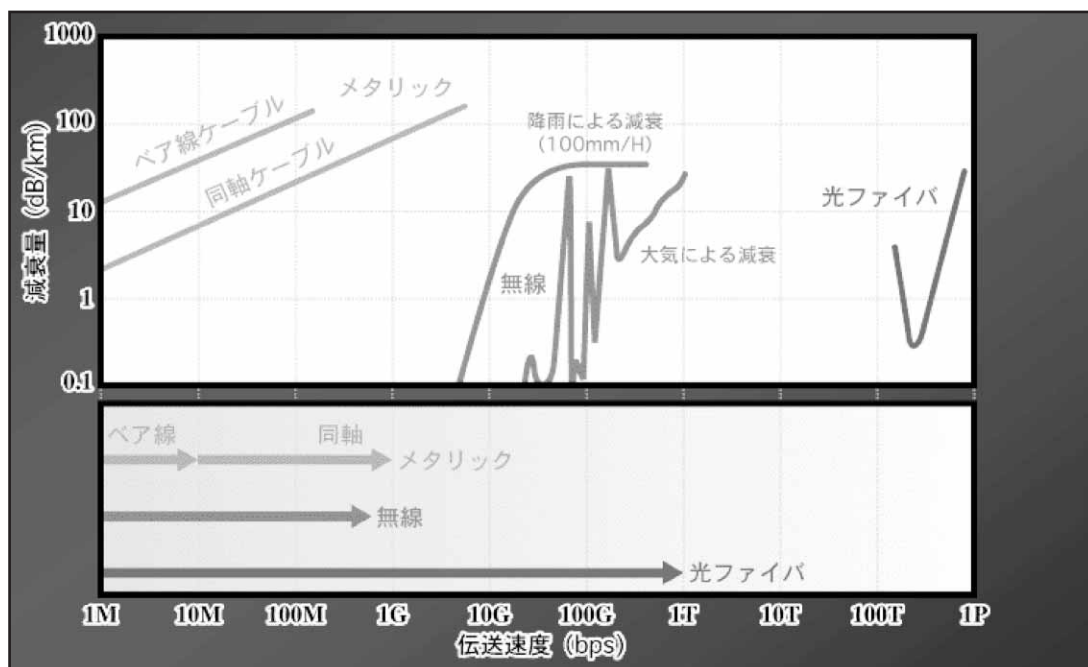
この節で学習すること

- 1) 伝送媒体の種類
- 2) 周波数と波長
- 3) メタルケーブル
- 4) 電波の性質と伝搬
- 5) 無線通信方式
- 6) 無線LAN変調方式
- 7) 光ファイバの伝搬のしくみ

(基礎編の目次に戻る)

1) 伝送媒体の種類

- ・伝送速度と減衰



(基礎編 第2節のはじめに戻る)

- ・有線

銅線

同軸ケーブル 1000M

より対線 100M

光ファイバ 1,000,000M

・無線

高周波、マイクロ波、ミリ波

AM / FM

TDM

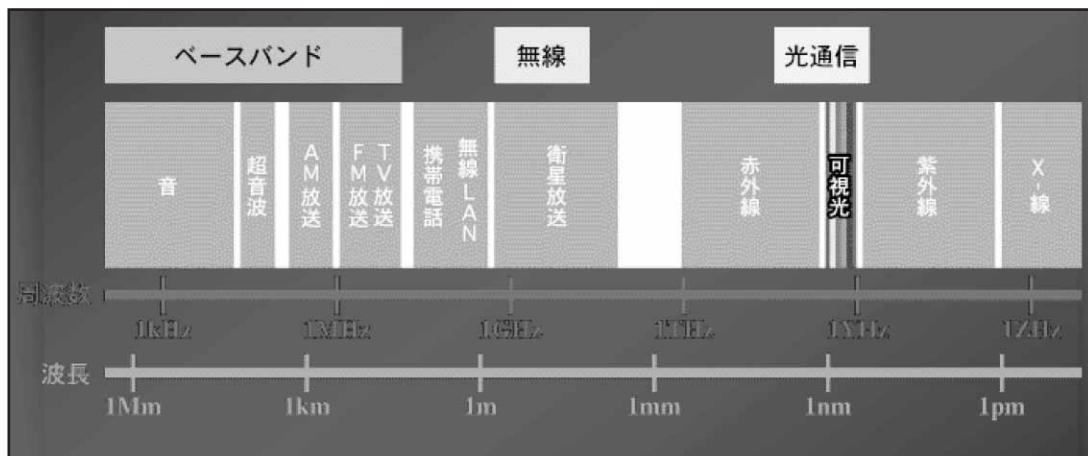
CDMA

OFDM

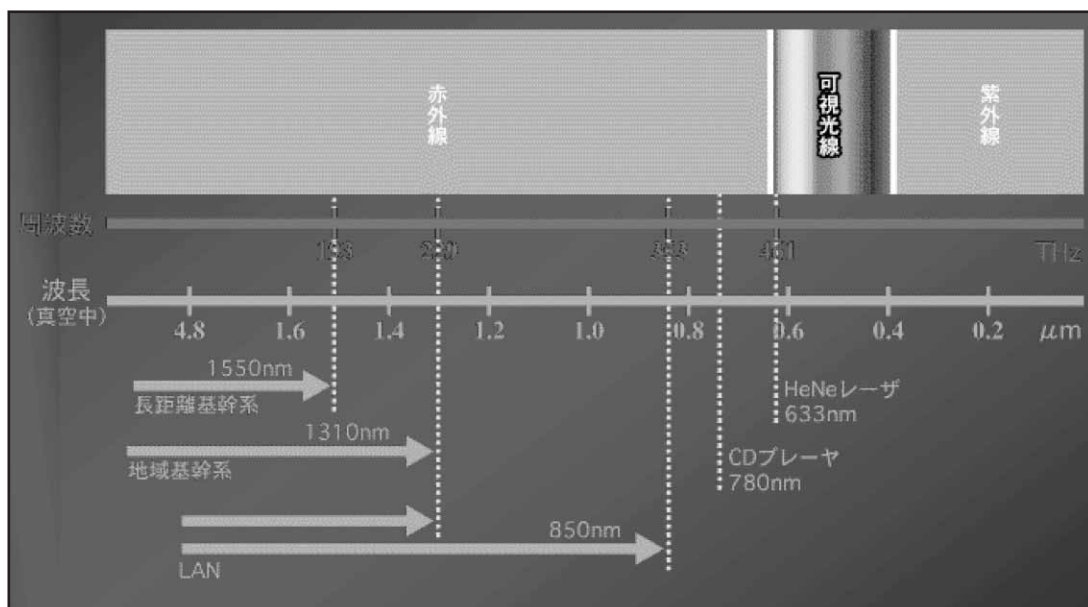
赤外線

光ビーム

2) 周波数と波長



(基礎編 第2節のはじめに戻る)



3) メタルケーブル

- ・ 同 軸

Coaxial Cable



- ・ より対線

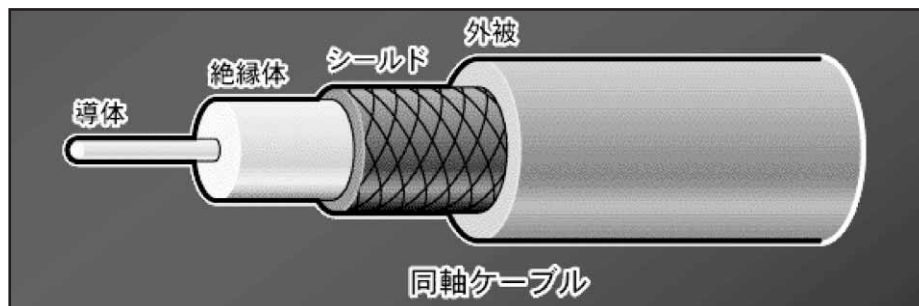
Unshielded Twisted Pair Cable

安く、早く、遠くまで届く

（基礎編 第2節のはじめに戻る）

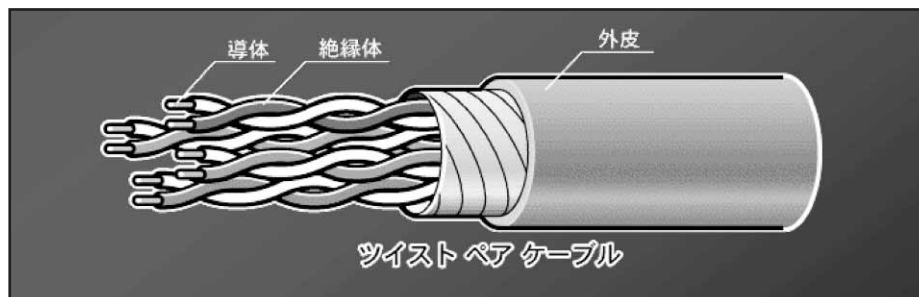
同軸（Coaxial Cable）

- ・ 1000M / 1km
- ・ 10BASE2（L=185mMax、径 = 3mm+外被）
- ・ 10BASE5（L=500mMax、径 = 10.3mm）



より対線（Unshielded Twisted Pair Cable）

- ・ Cat 3 10M 10BASE-T用
- ・ Cat 4 16M Token Ring用
- ・ Cat 5 100M 10/100BASE-T用
- ・ Cat 5 e enhanced カテゴリ 5 を強化
- ・ Cat 6 200M Giga用



4) 電波の性質と伝搬

- ・ 性 質

- 直進性 (回折)

- 反射

- 透過 (吸収)

- ・ 伝 搬

- 搬送波

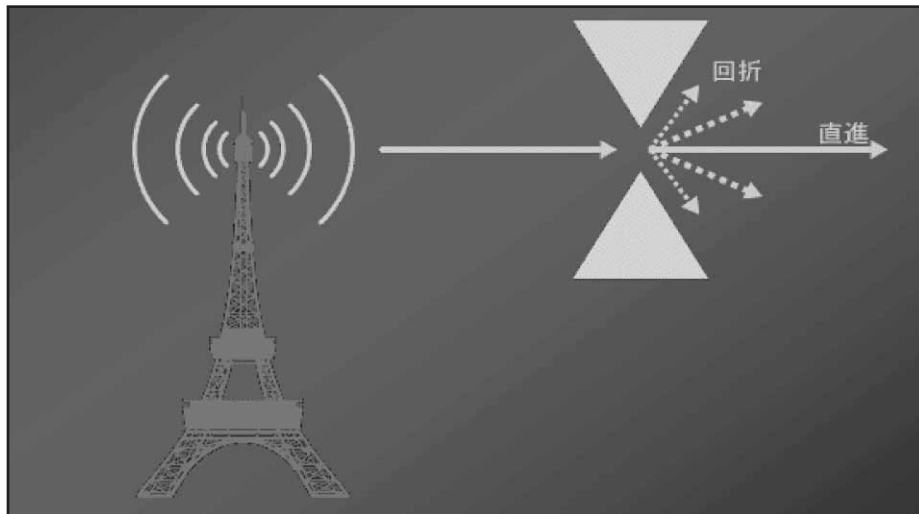
- デジタル変調

(基礎編 第2節のはじめに戻る)

直進性

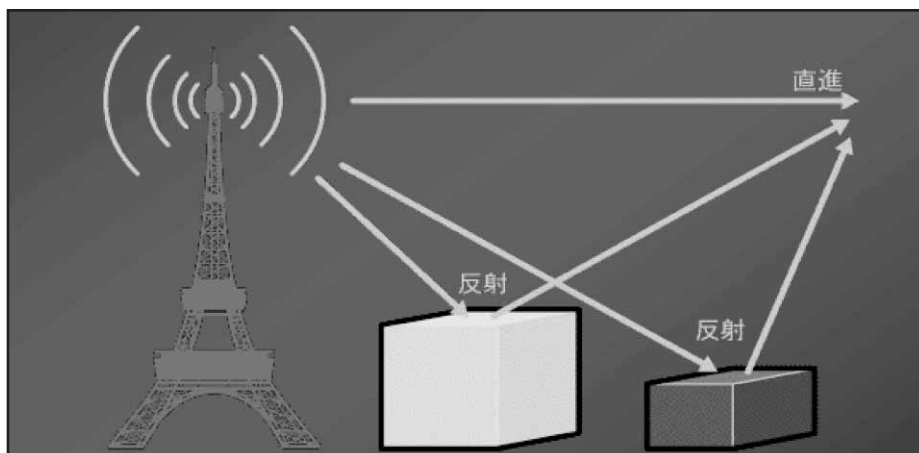
- ・ 回折

- ・ 周波数と直進性



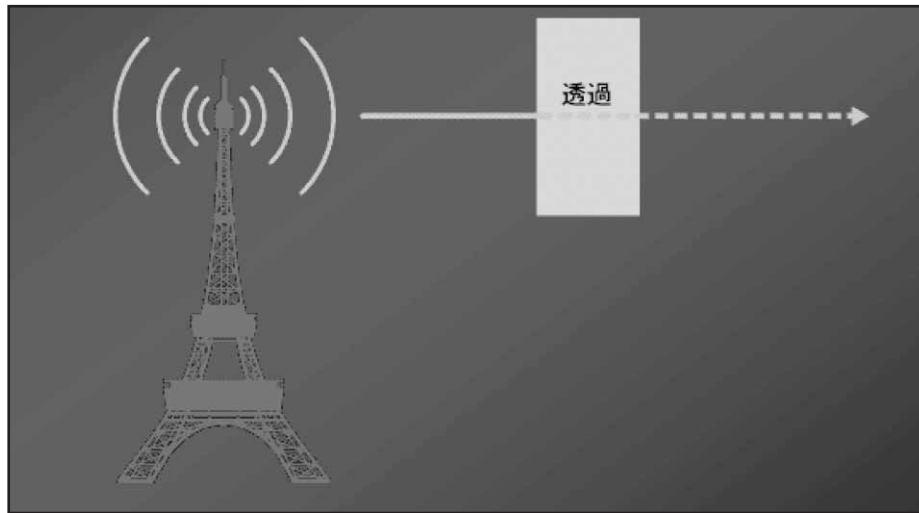
反射

- ・ マルチパス



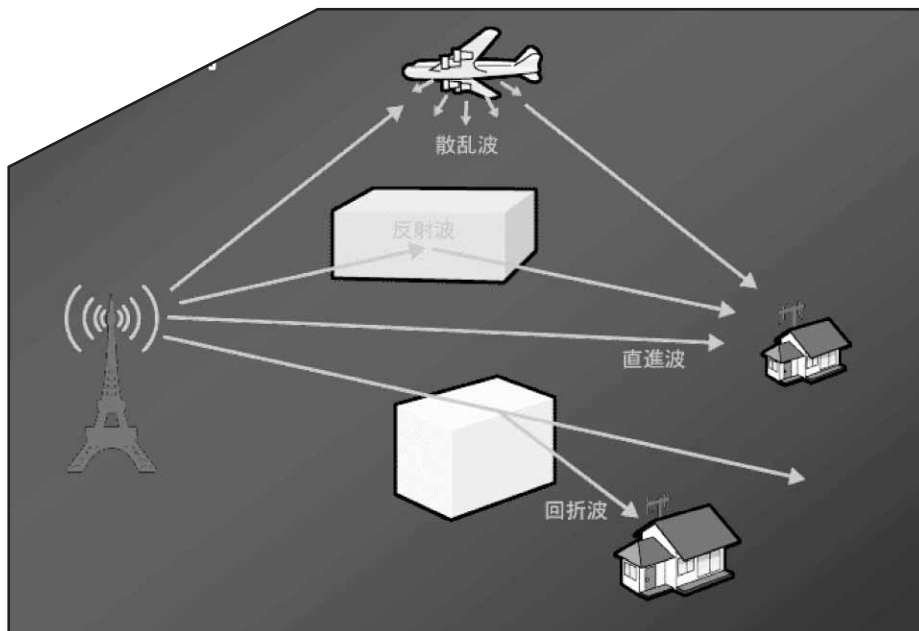
透過

- ・ 吸収
- ・ 金属 / 空気（水分 / 酸素）



伝搬

- ・ 搬送波
- ・ デジタル変調



5) 無線通信方式

- ・無線 LAN
- ・携帯電話
- ・FWA
- ・光ビル間通信

(基礎編 第2節のはじめに戻る)

無線 LAN

帯域とセキュリティ

- ・802.11b : 現在普及 (2.5GHz、11M、DSSS)
- ・802.11a : 高速版 (5GHz、54M、OFDM)
- ・802.11g : 高速版 (2.5GHz、54M、OFDM)

携帯電話

PD C (Personal Digital Cellular)

- ・「フルレート」と「ハーフレート」

cdma One (Code Division Multiple Access)

- ・1つの周波数帯域で複数の通信ができる
- ・「DS/CDMA方式」と「FH方式」

IMT 2000 (FOMA)

- ・ハード単位から、カード単位の契約に

PHS (Personal handy phone System)

- ・日本独自の規格

FWA

Fixed Wireless Access

- ・2.4GHz (10M)
- ・26/38GHz帯 (10M)

加入者系無線アクセス

- ・広帯域の電波を使う

光ビル間通信

レーザービーム

- ・シングルビーム
- ・マルチビーム

電磁ノイズに強い

- ・工場と工場

セキュリティが高い

- ・外部に漏洩しにくい

6) 無線LAN変調方式

- ・ DSSS方式
直接拡散方式スペクトラム拡散
- ・ OFDM方式
直交周波数分割多重方式

（基礎編 第2節のはじめに戻る）

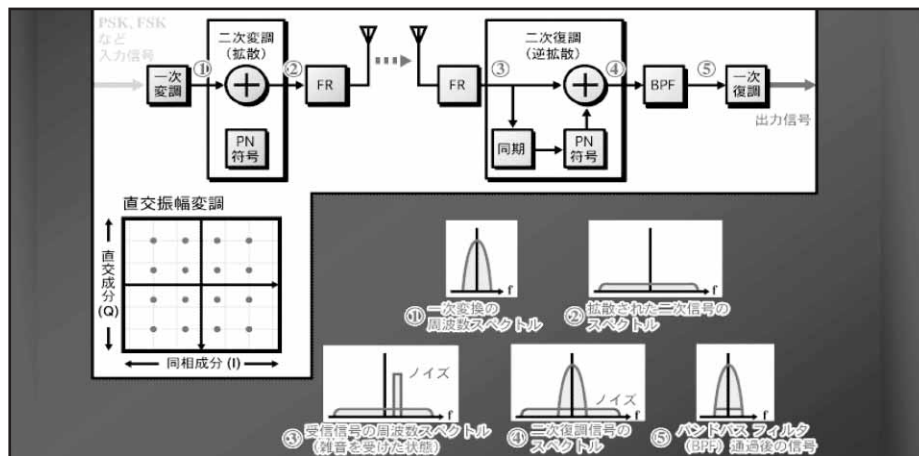
DSSS

Direct Sequence Spread Spectrum

- ・ 802.11b PHY

伝送速度

- ・ 1 M、2 M、5.5 M、11 Mbps



OFDM

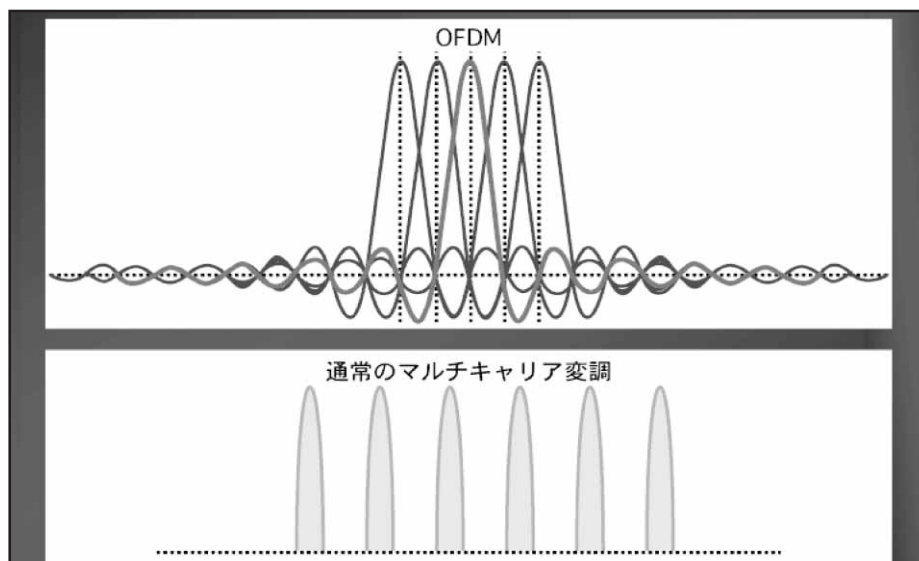
Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- ・ 802.11a PHY

伝送速度

- ・ 6 M ~ 54 Mbps

多数の直交するキャリア信号を多重化する



7) 光ファイバの伝搬のしくみ

- ・シングルモードファイバ
- ・マルチモードファイバ

(基礎編 第2節のはじめに戻る)

シングルモードファイバ

- ・早く・遠くまで最高性能

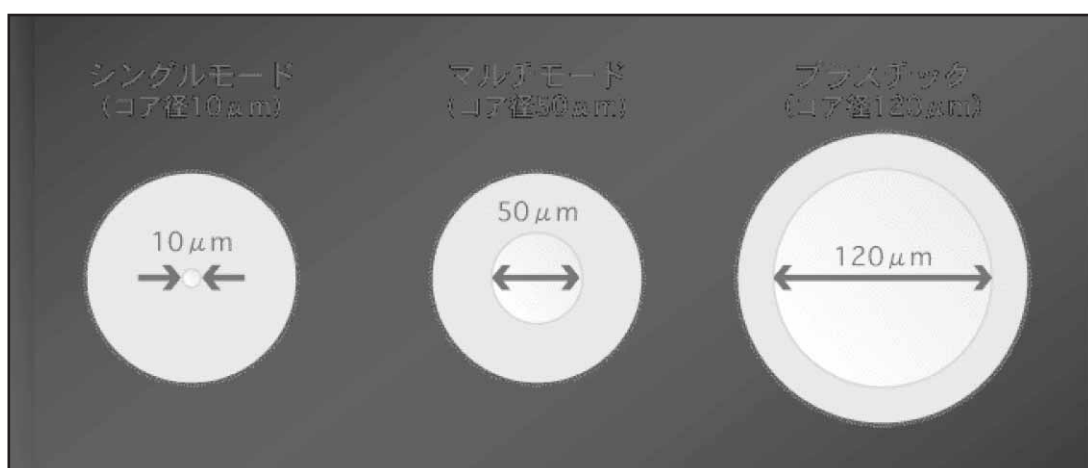


マルチモードファイバ

- ・比較的加工が容易



コア径の比較



第3節 伝送回路

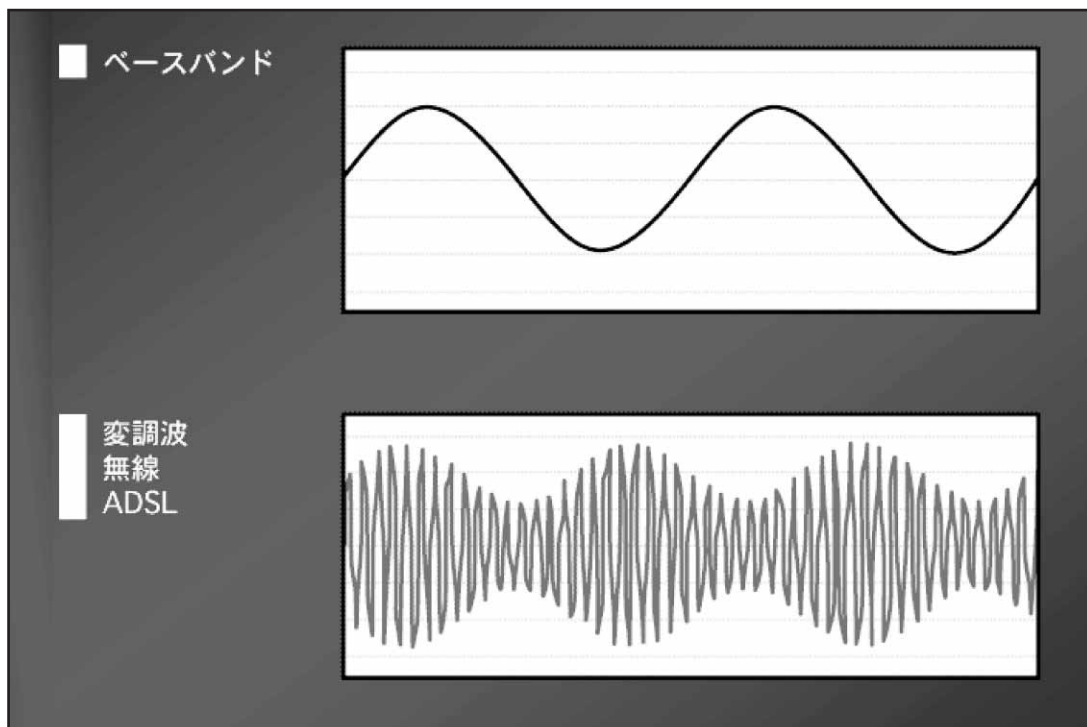
この節で学習すること

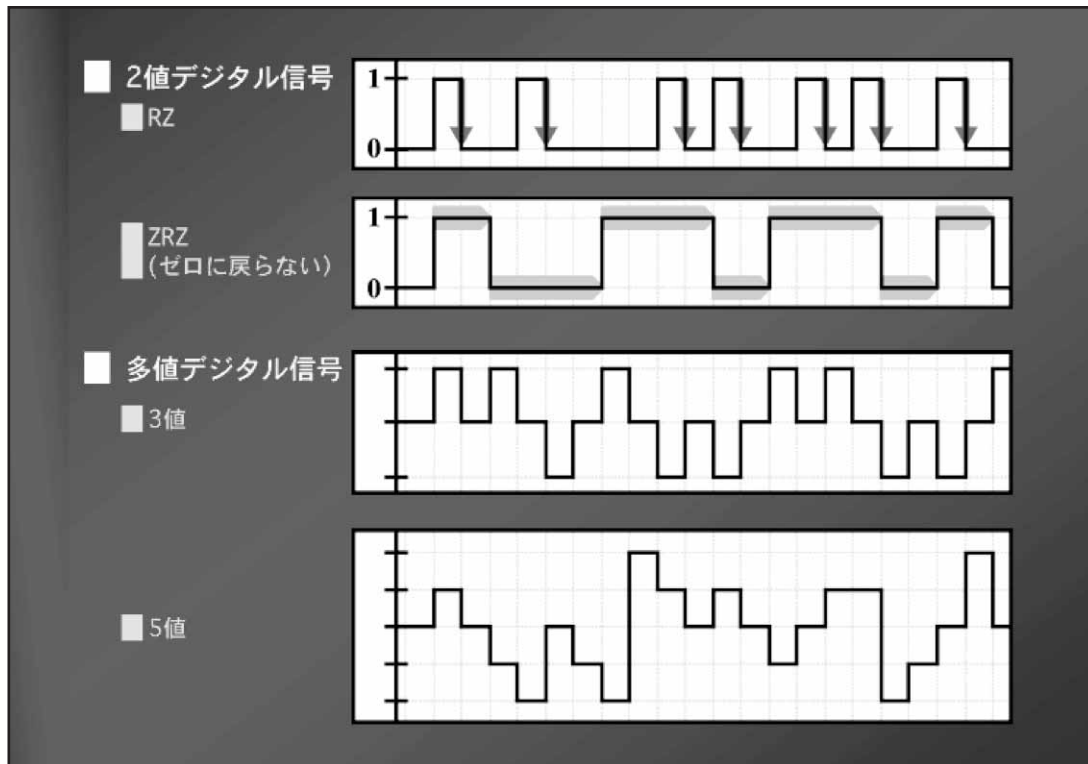
- 1) 電気信号の種類
- 2) イーサネットの符号化
- 3) 電気・光変換回路
- 4) 光伝送方式
- 5) イーサネットの符号化送出の例

(基礎編の目次に戻る)

1) 電気信号の種類

- ・ アナログ信号





・ デジタル信号

2 値デジタル信号

- ・ R Z
- ・ N R Z (ゼロに戻らない)

多値デジタル信号

- ・ 3 値
- ・ 5 値

符号化

- ・ 4B/5B、8B/10B

(基礎編 第 3 節のはじめに戻る)

2) イーサネットの符号化

遠くに伝えるために、伝えやすくするために、E M C 低減

- ・ 1B/2B 1 bitを 2 bitに変換 (10M)
0 → 10、1 → 01
- ・ 4B/5B 4 bitを 5 bitに変換 (100M)
0000 → 1110、0001 → 01001 , , , , 11111 → 11101
- ・ 8B1Q4 6 bitのデータに 1 bitを加え、4 組 (A,B,C,D) の 5 値シンボルに変換
- ・ 8B/10B 8 bitを10bitに変換 (1 G Opt.)
- ・ 64B/66B 64bitを66bitに変換 (10 G Opt.)

(基礎編 第 3 節のはじめに戻る)

3) 電気・光変換回路

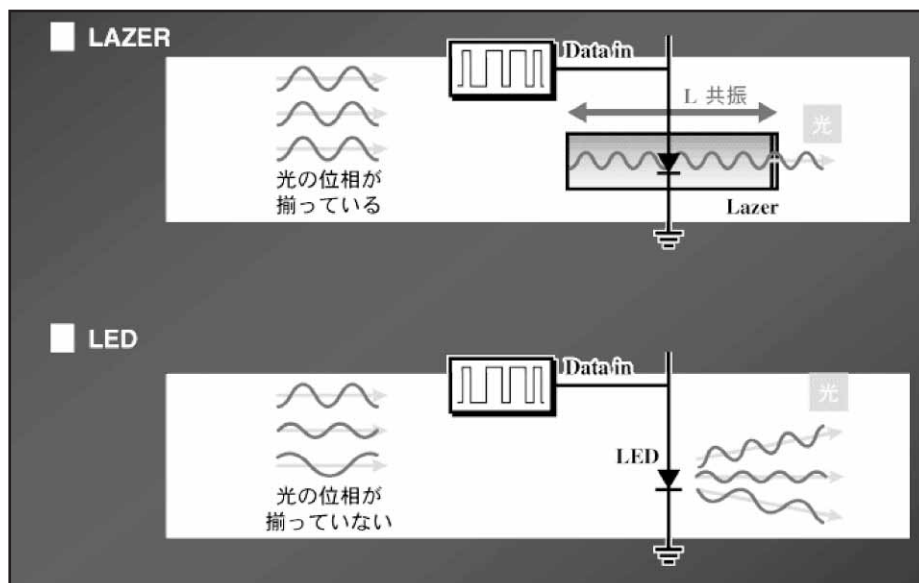
- ・レーザ
- ・PD/APD：フォトダイオード

（基礎編 第3節のはじめに戻る）

レーザ

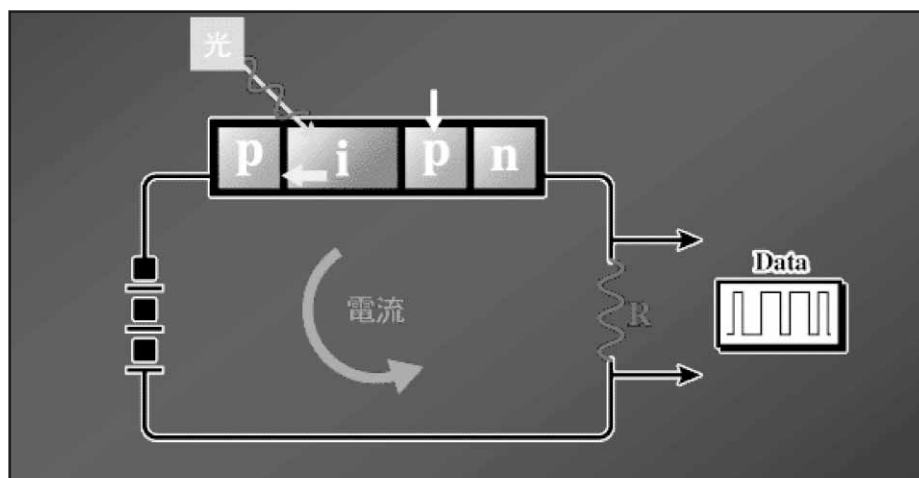
レーザはコヒーレント光なので遠くまで届く

- ・レーザ
- ・LED
- ・変調器を使ったもの
 - マッハツェンダ型LN変調器
 - 電解吸収型EA変調器



PD/APD：フォトダイオード

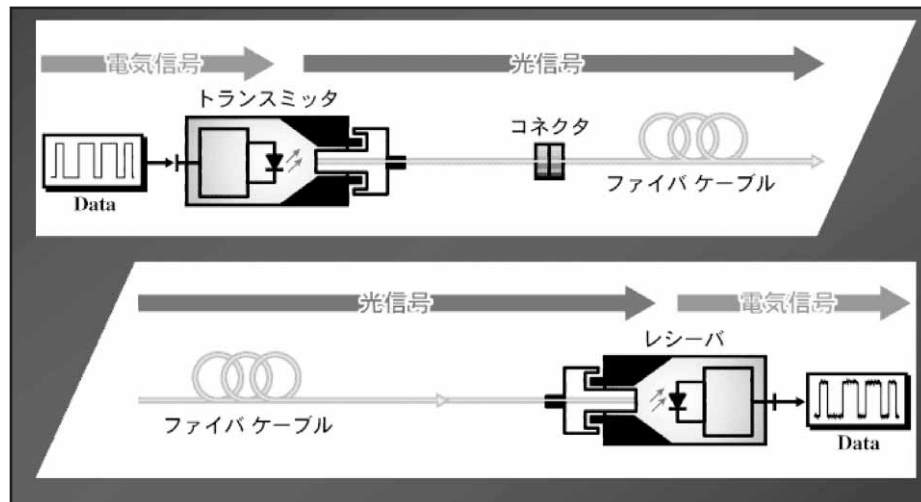
- ・PINフォトダイオード
- ・アバランシェフォトダイオード
 - アバランシェ増倍により高感度



4) 光伝送方式

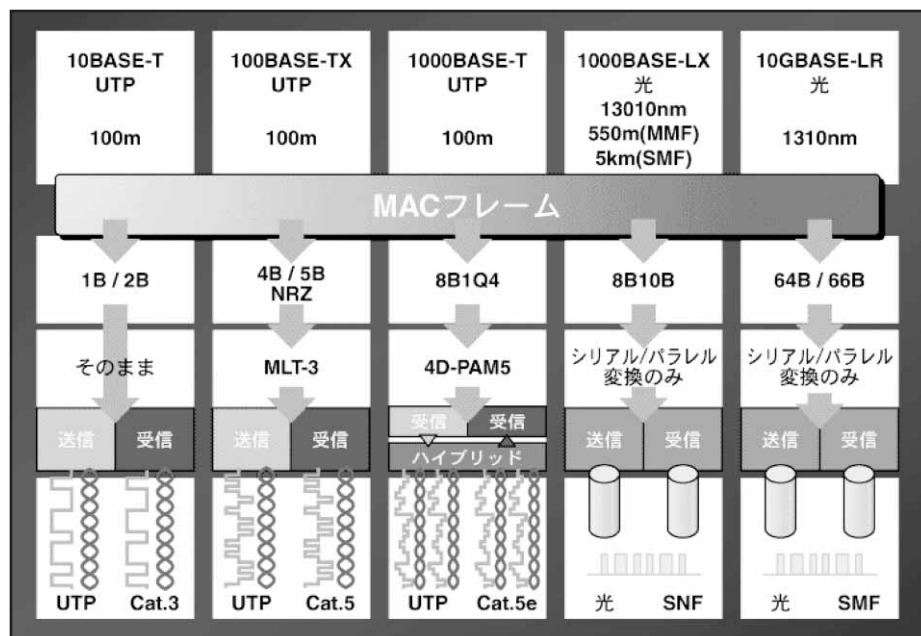
- ・ 光強度変調
- ・ IM/DD

Intensity Modulation/Direct Detection



(基礎編 第3節のはじめに戻る)

5) イーサネットの符号化送出の例



(基礎編 第3節のはじめに戻る)

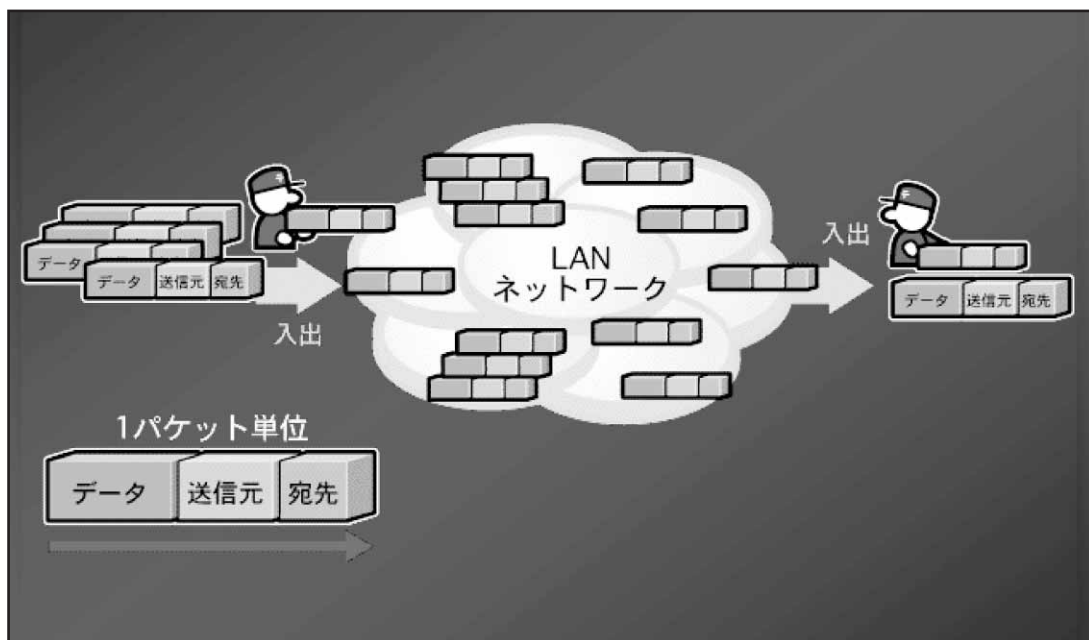
第4節 イーサネットの伝送

この節で学習すること

- 1) LANはパケットでフレーム伝送方式
- 2) MACアドレス
- 3) CSMA/CD方式
- 4) MACのフレーム構造
- 5) LANアクセス制御技術の変遷
- 6) イーサネットレイヤ2スイッチのはたらき

（基礎編の目次に戻る）

1) LANはパケットでフレーム伝送方式



LLC制御

- ・ロジカルリンクコントロール
- ・ACKなし
返事は不要
- ・コネクションレス型接続
パケット

（基礎編 第4節のはじめに戻る）

2) MACアドレス

アドレス48bit

- ・すべてのイーサネット機器に
- ・8bitずつ6つに区切り16進で表示
例) 00 : 13 : 15 : AB : CD : 8F

イーサネット機器番号はLANカードなどに割り当て

(基礎編 第4節のはじめに戻る)

前半の24bit

- ・企業コード(22)とアドレス種別
419万アドレス企業に割り当て

後半の24bit

- ・企業で自由に番号をつける

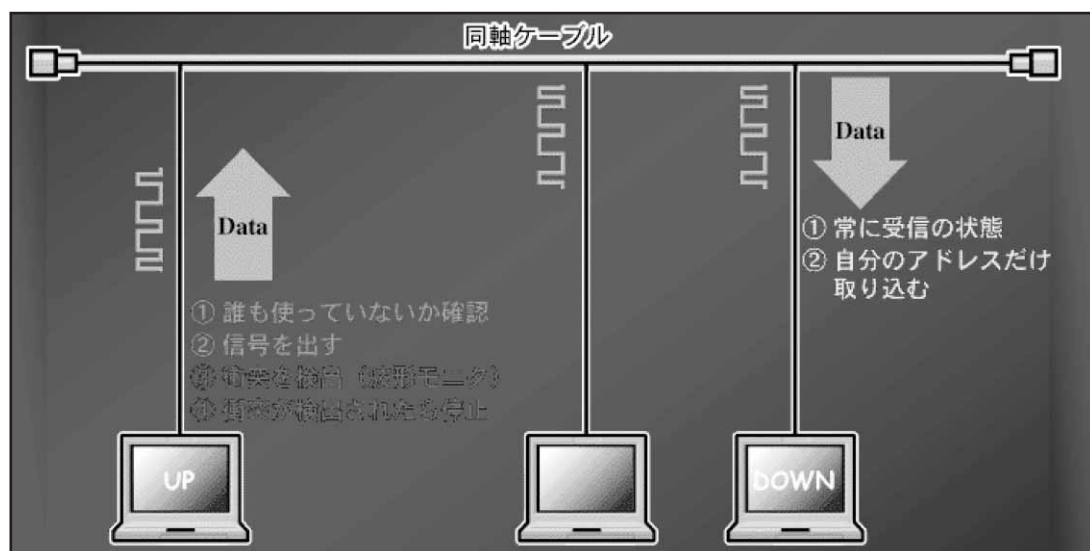
ブロードキャストアドレス vs. ユニキャストアドレス

- ・FF : FF : FF : FF : FF : FF
- ・ブロードキャストストームを防ぐ

マルチキャストアドレス

- ・特定グループへ

3) CSMA / CD方式



- ・ Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect

- ・ 10BASE5のCSMA/CDの原理

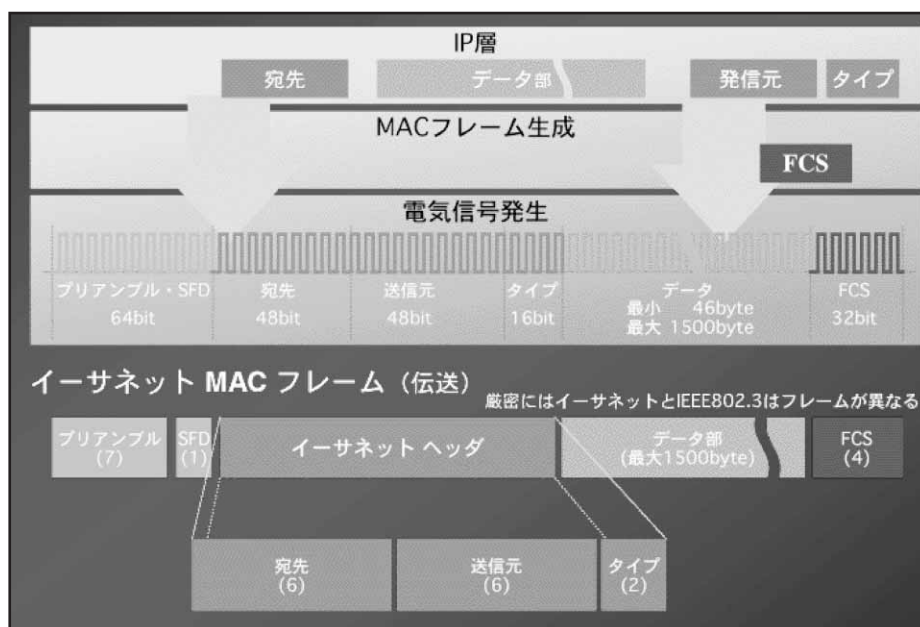
半2重

- ・ アロハ方式

無線のアクセス方式からスタート

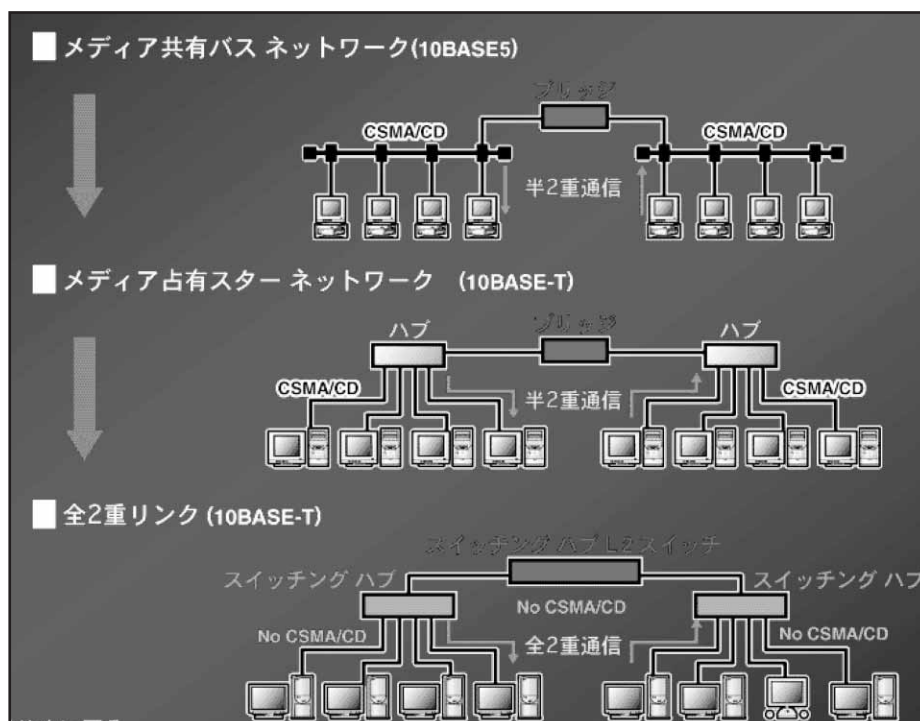
(基礎編 第4節のはじめに戻る)

4) MACのフレーム構造



(基礎編 第4節のはじめに戻る)

5) LANアクセス制御技術の変遷

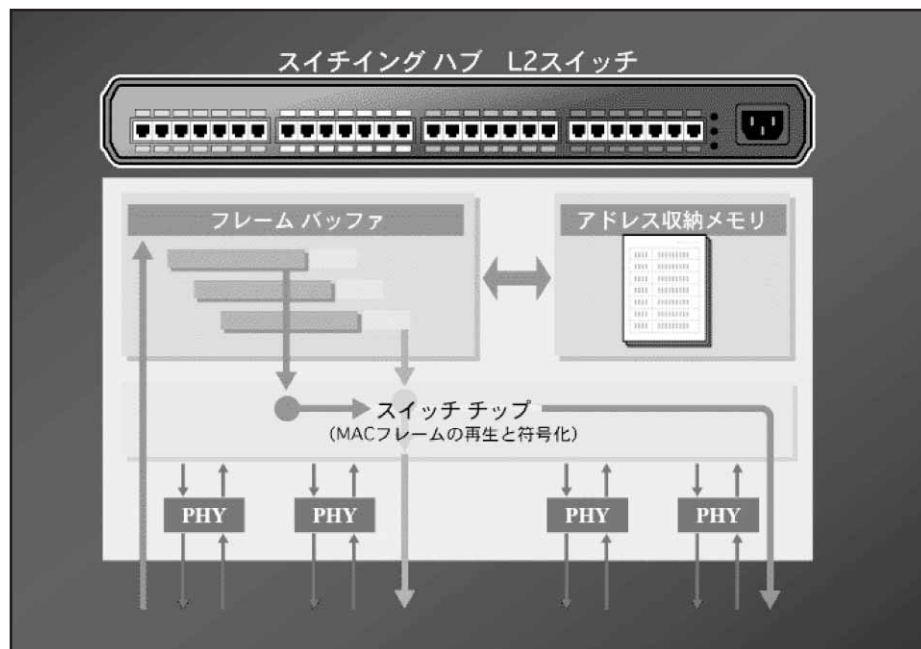


時代とともに変化したアクセス技術

- ・アロハから始まるブロードキャストネットワーク
- ・スイッチドネットワークへ

(基礎編 第4節のはじめに戻る)

6) イーサネットレイヤ2スイッチのはたらき



(基礎編 第4節のはじめに戻る)

第5節 IPの伝送

この節で学習すること

- 1) IPネットワークの概要
- 2) IPアドレス
- 3) MACアドレスとIPアドレス
- 4) IPv6
- 5) IPの4つのはたらき
- 6) IPの構造
- 7) レイヤ3スイッチ
- 8) パケット伝送方式
- 9) 中継ルータによる伝送
- 10) IP中継ネットワーク

（基礎編の目次に戻る）

1) IPネットワークの概要

- ・パケット通信
- ・伝送路やリンクの形態を選ばない
- ・伝送路をパケット（小包）として飛んで行く（基礎編 第5節のはじめに戻る）

- ・送信元／届け先：IPアドレス
- ・パケットの中継：ルータ
- ・パケットの構造：IPヘッダ
- ・関連プロトコル：
 - ・IP：パケットに乗る情報の規定（IPヘッダのプロトコル）
 - ・ARP：ブロードキャスト
 - ・ICMP：ネットワーク状態の情報伝達（pingの応答など）
 - ・SNMP：ネットワーク管理（ネットワーク機器の情報）
- ・現在IPアドレスは32bit（IPv6では128bit）
 - ・0～42億9496万7295まで
 - ・Internet protocol version 6
- ・表現方式：8 bit. 8 bit. 8 bit. 8 bit（合計32bit）
 - ・表示は、8 bit（オクテット）ごとに10進数で表現
 - 例）192.168.11.1（0～255まで）

（基礎編 第5節のはじめに戻る）

- ・ドメイン名との対応
 - ・ a [ホスト名] dns-b.ij.ad.jp
 - ・ b [IPアドレス] 210.130.1.46
- ・グローバルIPアドレス（唯一、無二）
- ・プライベートIPアドレス（組織内LAN）
 - ・ クラスAは1個 : 10.0.0.0 ~ 10.255.255.255
 - ・ クラスBは16個 : 172.16.0.0 ~ 172.31.255.255
 - ・ クラスCは256個 : 192.168.0.0 ~ 192.168.255.255
 - ・ 家庭用ブロードバンドルータ
- ・ネットワークアドレス
 - ・ LANなどのアドレス
- ・ブロードキャストアドレス
 - ・ ネットワーク全員へ送信

2) MACアドレスとIPアドレス

	MACアドレス	IPアドレス v4
構造	48bit 上位24: メーカー識別 下位24: メーカー固有番号 MACフレーム LANのみ	32bit IPパケット LAN/WAN
変更 配布	工場出荷時固定 ROMに書き込み IEEEがメーカー割当	ソフトにより変更可能 ICANNが管理
表示	4bit: 16進 00-0a-79-15-d7-54	8bit: 10進 192.168.11.1

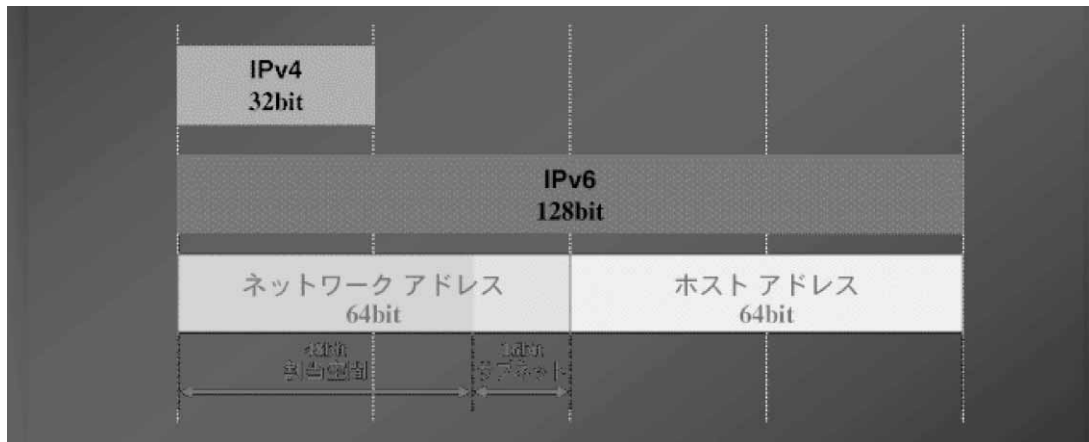


- ・ PC上ではソフトで設定出来るIPアドレスを使用し、OSが対応付けを行う。
- ・ Ipconfig/allで確認可能（ユーザはMACアドレスを知らなくても良い）

（基礎編 第5節のはじめに戻る）

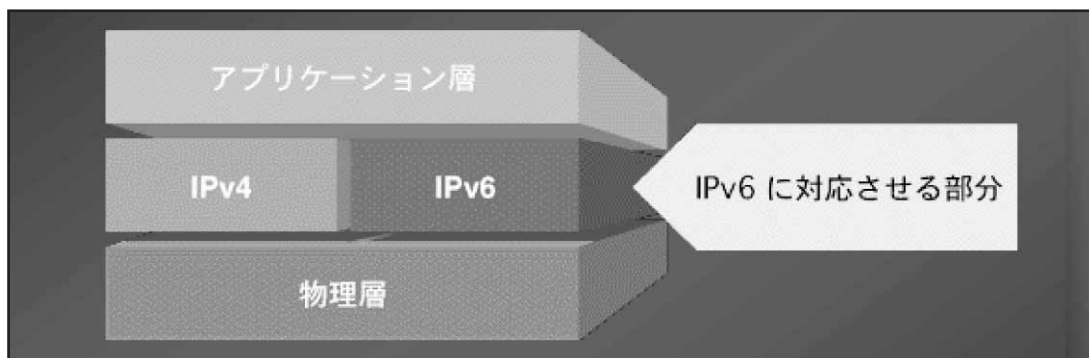
3) IPv6

- ・すでに稼働中



- ・アドレス空間 （基礎編 第5節のはじめに戻る）
- ・セキュリティ
 - ・あらかじめ交換した鍵を利用する
 - ・必要に応じて、TCPやUDPのヘッダを含む（ヘッダより後の部分）を暗号化する。
 - ・届いたパケットを認証できる
 - ・拡張ヘッダ
 - ・E S P（Envapsulating Sevurity Protocol）ヘッダ
 - ・認証ヘッダ

4）I P v 4 との互換性



（基礎編 第5節のはじめに戻る）

5）I P の 4 つのはたらき

- ・転送先を決める
- ↓
- ・期限切れパケットを廃棄する
- ↓
- ・大きなパケットは分割する
- ↓
- ・パケットの中身を検査し、上位に渡す

（基礎編 第5節のはじめに戻る）

転送先を決める

- ・ I P アドレス (32bit)
I P v 6 は128bit
- ・ ルーティング (L A N 内 / L A N 外)
ルータ
- ・ サブネットマスク、デフォルトゲートウェイ参照



期限切れパケットを廃棄する

- ・ I P ヘッダに「生存時間」を設定
T T L (Time to live) 8 bit
- ・ 最大は256ホップ
T T L はルータを経由するごとに減る
- ・ 廃棄したら送信元に I C M P で通知
traceroute コマンド



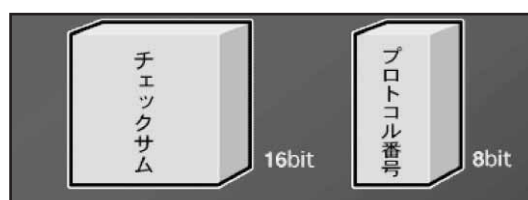
大きなパケットは分割する

- ・ 回線によりパケット最大サイズ (M T U) は制限
- ・ 送信：分割、受信：組立
- ・ I P ヘッダ：識別子、フラグ、フラグメントオフセット



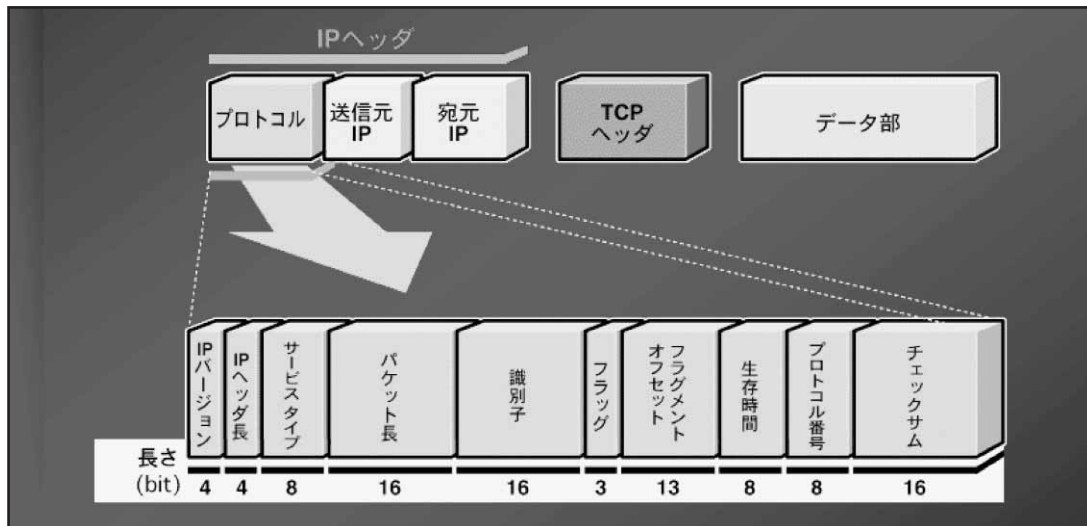
パケットの中身を検査し、上位に渡す

- ・ I P ヘッダの検査
チェックサム16bit
- ・ プロトコル番号 (8 bit) で上位を定義
T C P = 6、U D P = 17



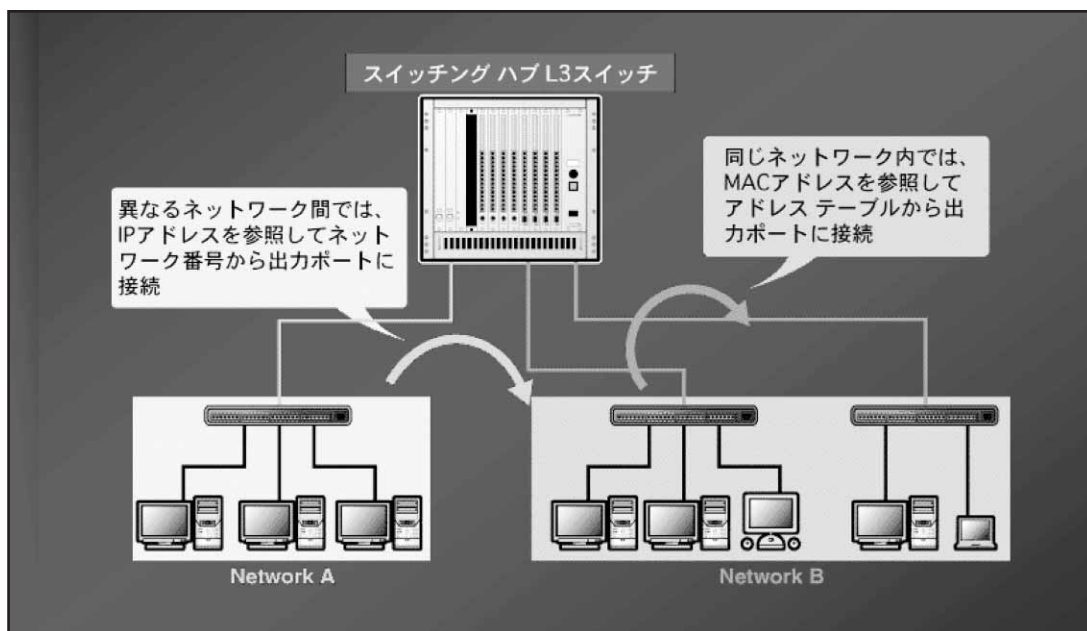
6) IPの構造

・IPパケットのヘッダ部分



（基礎編 第5節のはじめに戻る）

7) レイヤ3スイッチ



・経路切り替え

MACアドレスとIPアドレスを参照

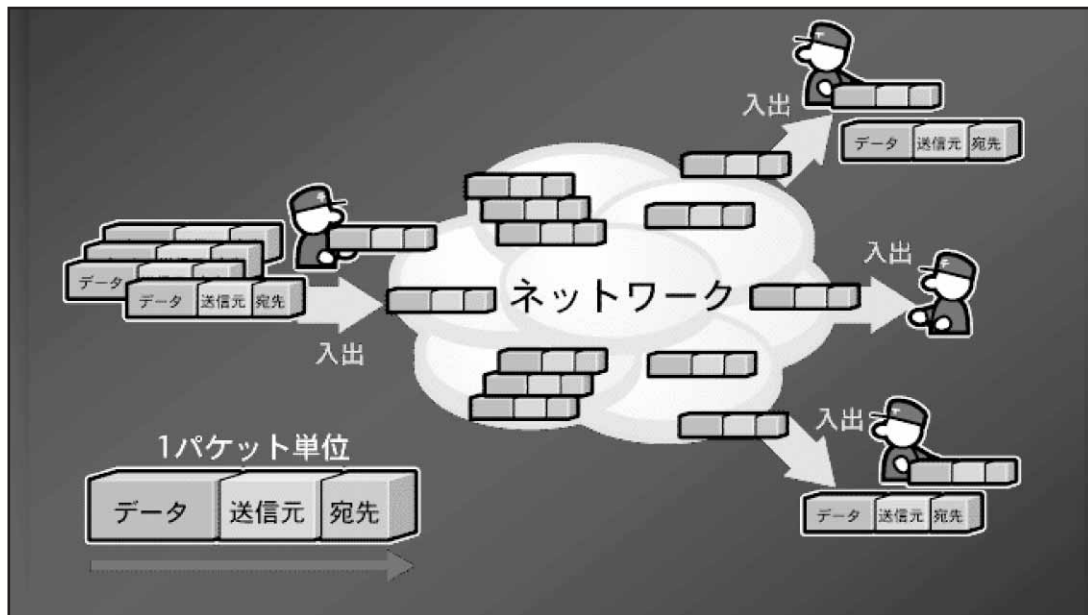
・高速処理

アドレスの参照とポート切り替えのハード化

・ルーティング機能を持っていないポート切替だけの機能

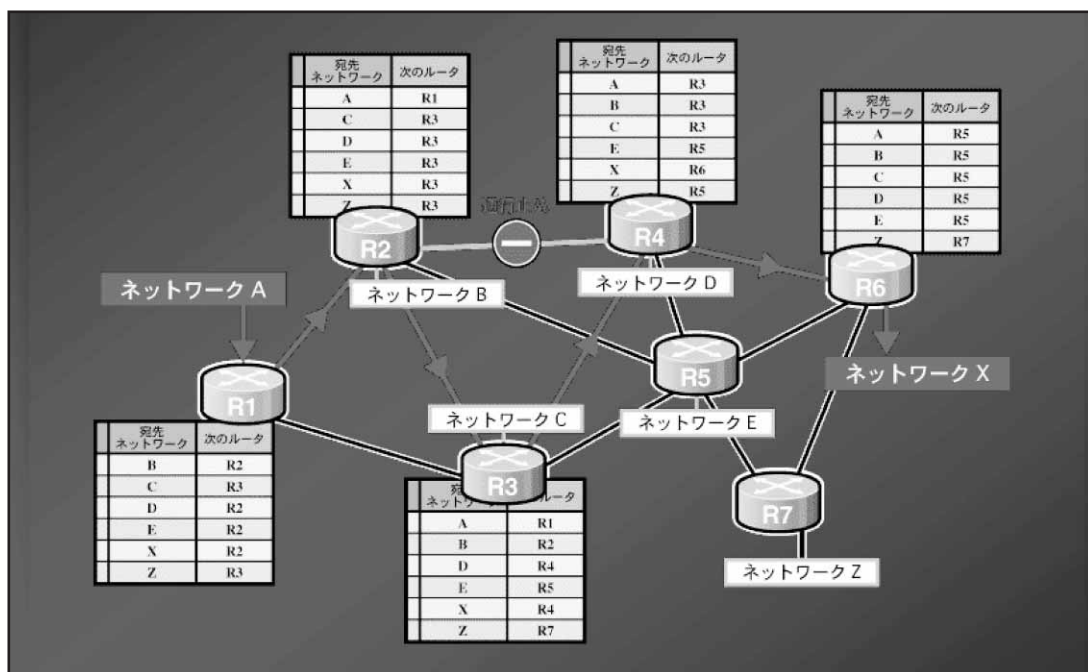
（基礎編 第5節のはじめに戻る）

8) パケット転送方式



(基礎編 第5節のはじめに戻る)

9) 中継ルータによる伝送



・ルーティングアルゴリズム

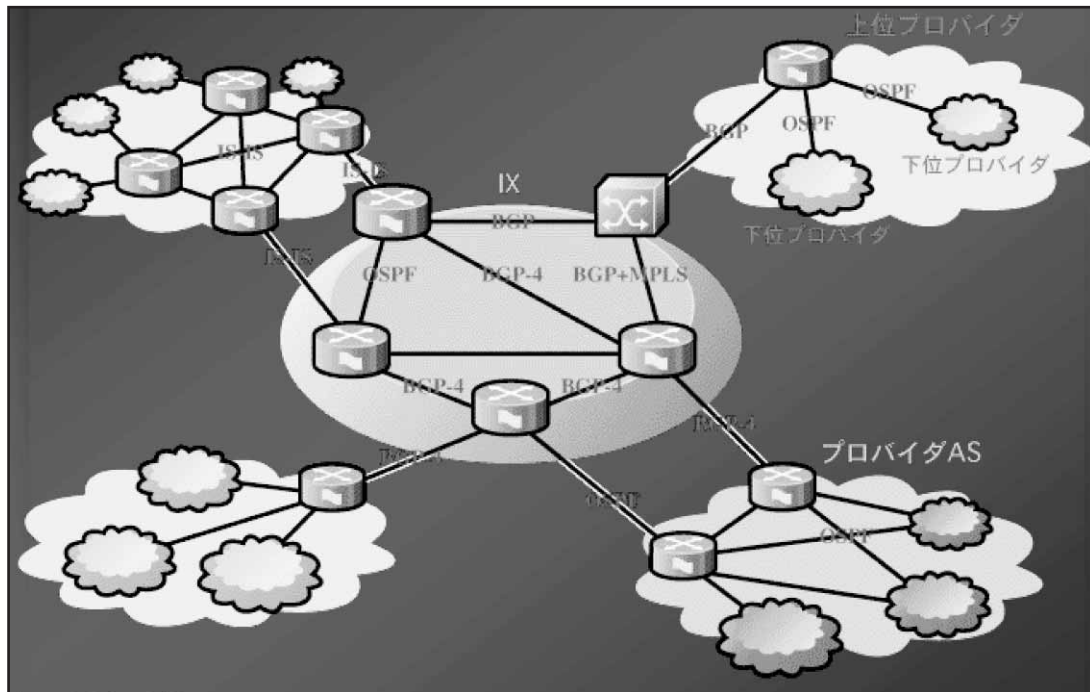
ルーティングプロトコルの最適経路の決定方式

・ルーティングテーブル

経路選択制御

(基礎編 第5節のはじめに戻る)

10) I P 中継ネットワーク



- ・ 上位 / 下位プロバイダ、A S（自律システム集合体）
- ・ I X
インターネットの交差点
- ・ ルータ間のプロトコル
 - R I P
 - O S P F
 - B G P - 4

（基礎編 第5節のはじめに戻る）

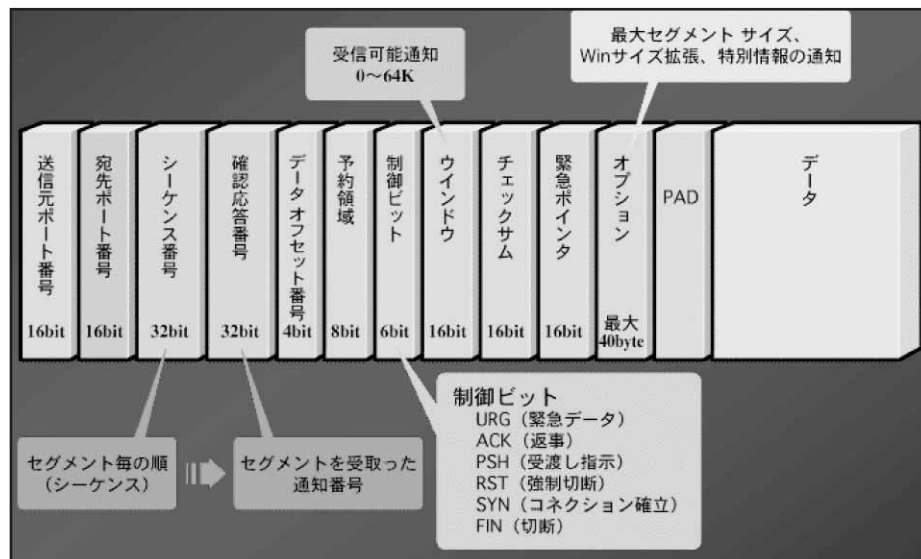
第6節 TCPの接続

この節で学習すること

- 1) TCPの役割
- 2) TCPの3つのはたらき
- 3) UDPのはたらき

(基礎編の目次に戻る)

1) TCPの役割



- ・インターネットアプリケーションとの橋渡し

↓

- ・データを確実に送受信する

↓

- ・送受信のスピードを調整する

UDPはアプリケーションの仲介だけ

(基礎編 第6節のはじめに戻る)

2) T C P の 3 つ の は た ら き

- ・ 制御bitで接続と切断

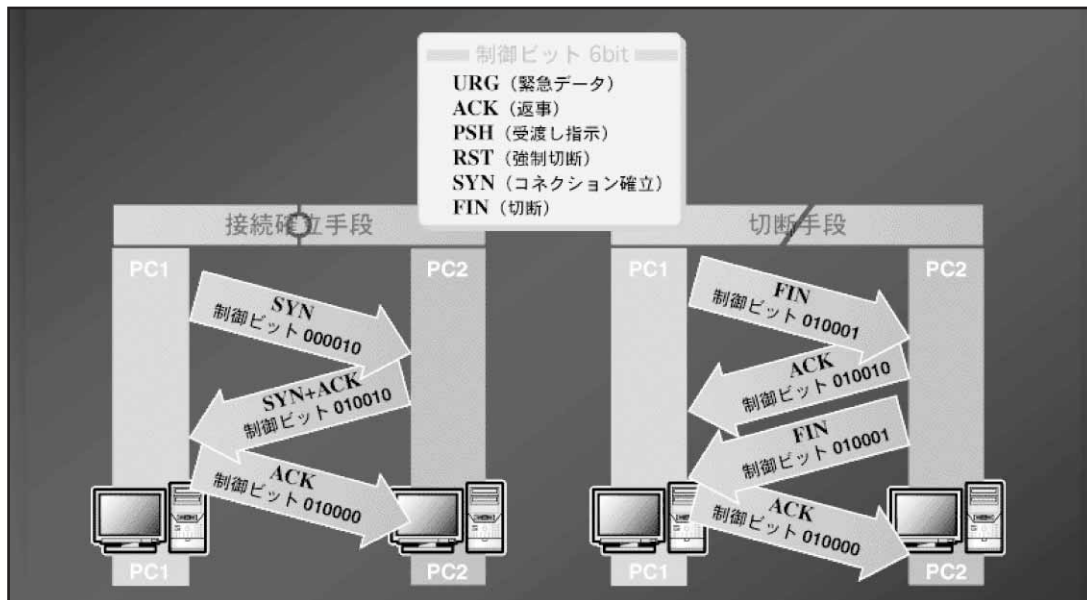
↓

- ・ 通信制御：受信側による転送速度の最適化

↓

- ・ アプリケーションとの仲介

（基礎編 第6節のはじめに戻る）



制御bitで接続と切断

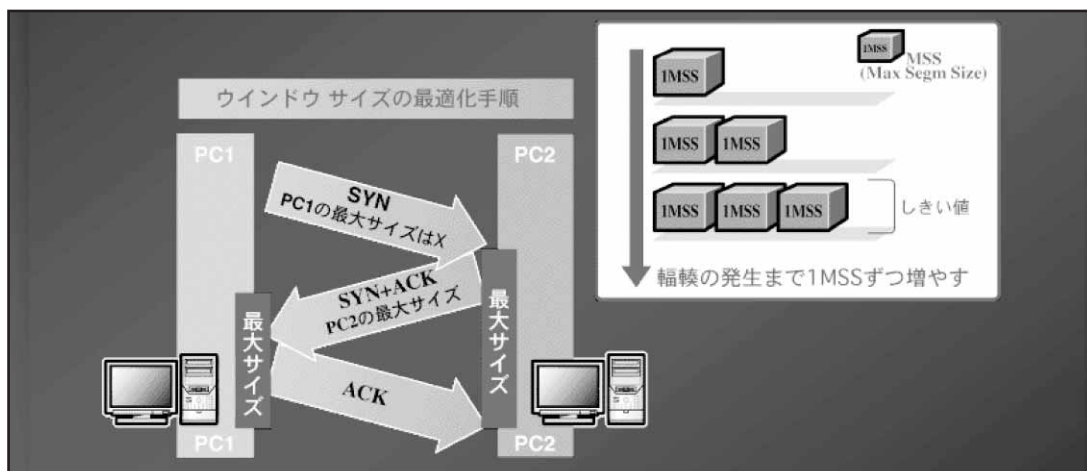
- ・ 3 Way handshake

T C P コネクションの確立（3段階）

S Y N → S Y N + A C K → A C K

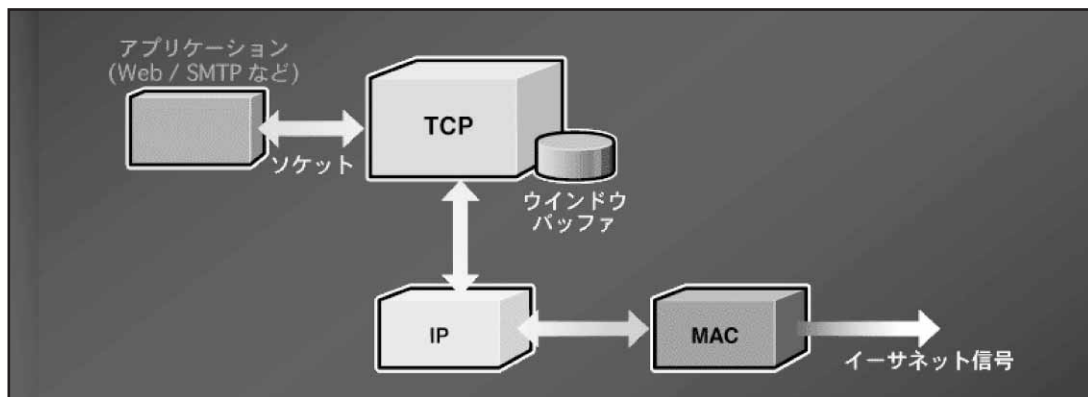
T C P コネクションの切断（3段階）

F I N → A C K / F I N → A C K



通信制御：受信側による転送速度の最適化

- ・ ウインドウサイズ（バッファメモリの確保）制御
 - S Y N : P C 1 のウインドウサイズを送る
 - S Y N + A C K : P C 2 のウインドウサイズを送る
- ・ 再送制御：送信側制御
 - 一定時間応答が無ければ、再送を行う
- ・ 輻輳制御：M S S
 - 1 つ分のセグメントから閾値までの回避アルゴリズム



アプリケーションとの仲介

- ・ ポート番号の割り当て
 - 複数同時設定可能
- ・ インターフェイスはソケット (Socket)
- ・ Netstatコマンドで確認

3) U D P のはたらき



- ・ T C P と比べてシンプルで速い
- ・ ポート番号を付けただけ
- ・ リアルタイムアプリケーション向き（音声・動画）
 - 管理用（S N M P、D H C P、R I P）

（基礎編 第6節のはじめに戻る）

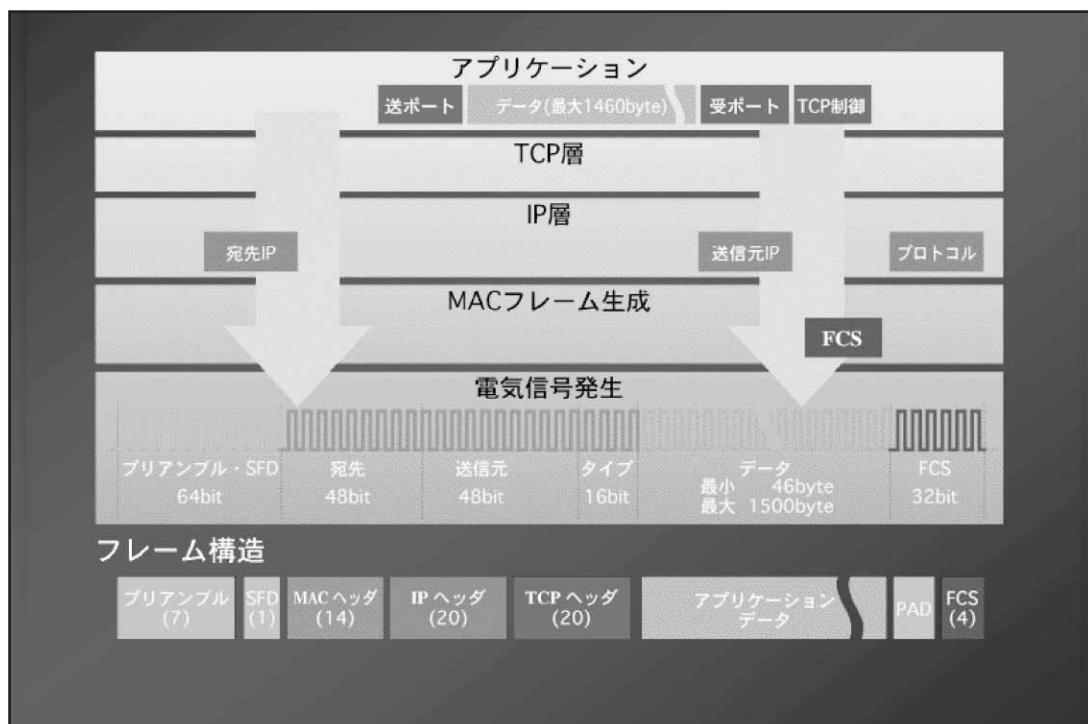
第7節 LAN上のTCP/IPネットワーク

この節で学習すること

- 1) イーサネット上のTCP/IPのフレーム生成
- 2) TCP/IPのイーサネット上の構造

(基礎編の目次に戻る)

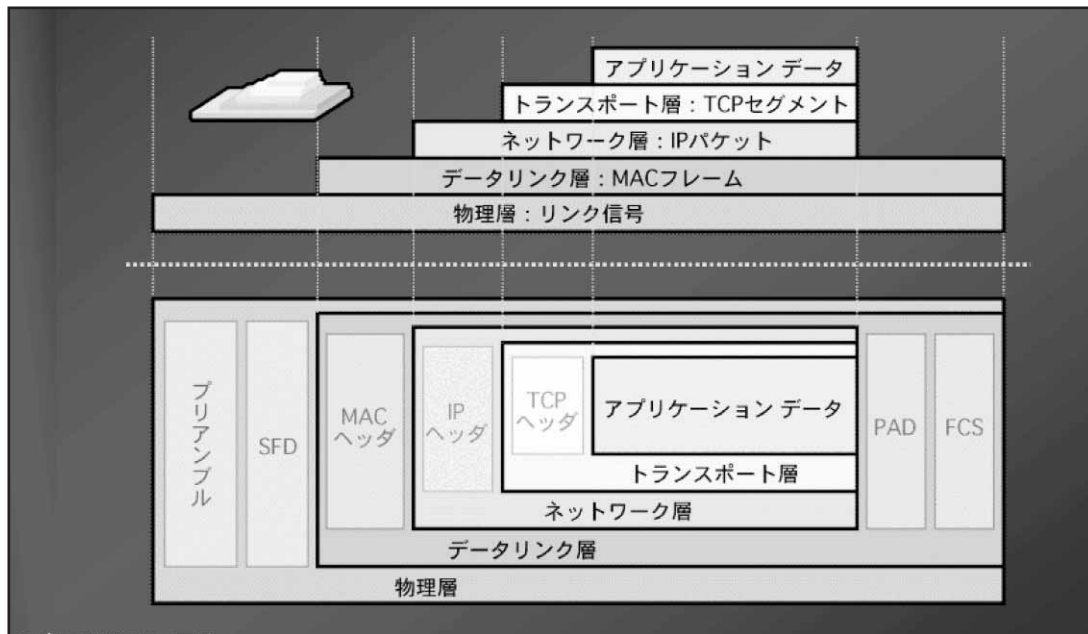
- 1) イーサネット上のTCP/IPのフレーム生成



(基礎編 第7節のはじめに戻る)

2) TCP / IPのイーサネット上の構造

・ イレコのパケット・フレーム構造



(基礎編 第7節のはじめに戻る)

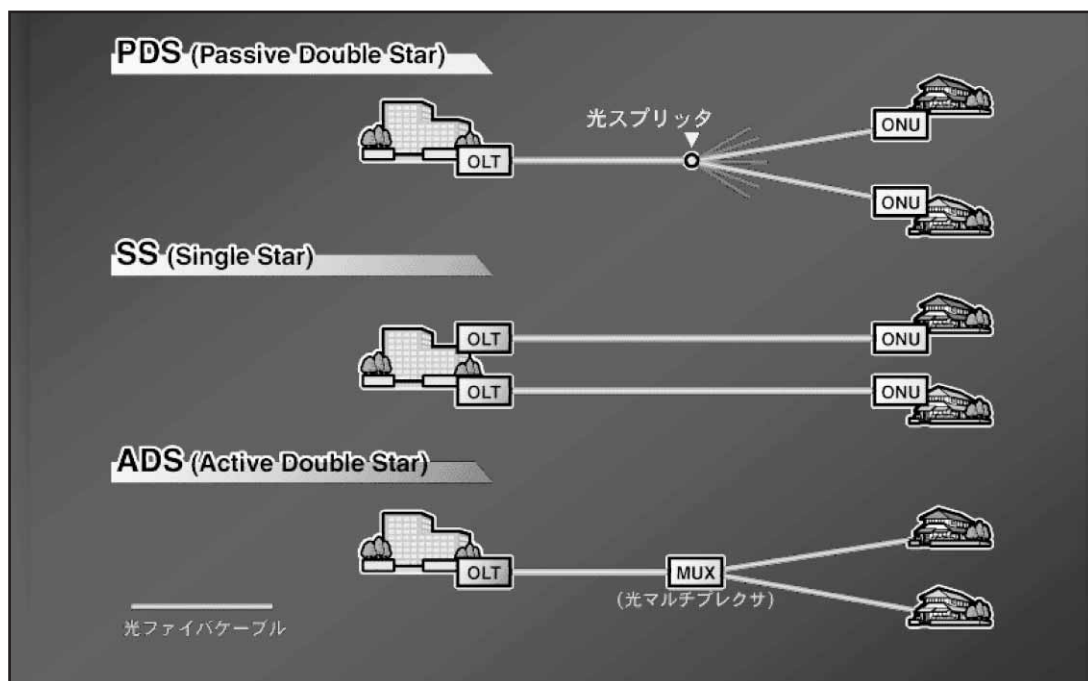
第8節 F T T H

この節で学習すること

- 1) F T T Hの方式
- 2) F T T Hの配線経路
- 3) S S方式（メディア コンバータ）
- 4) メディアコンバータの構造
- 5) P O N（P D S）方式
- 6) 栄蔵・放送伝送方式

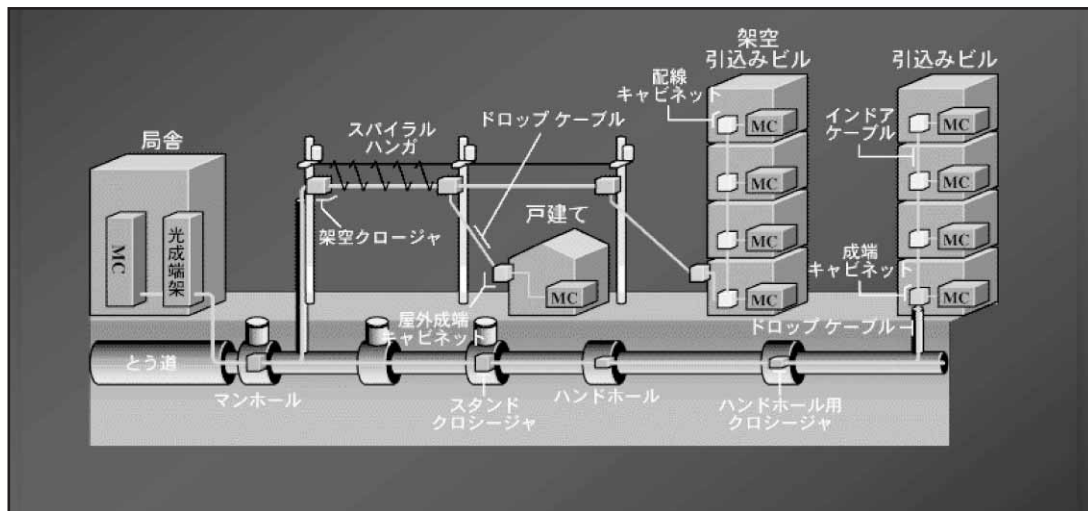
（基礎編の目次に戻る）

1) F T T Hの方式



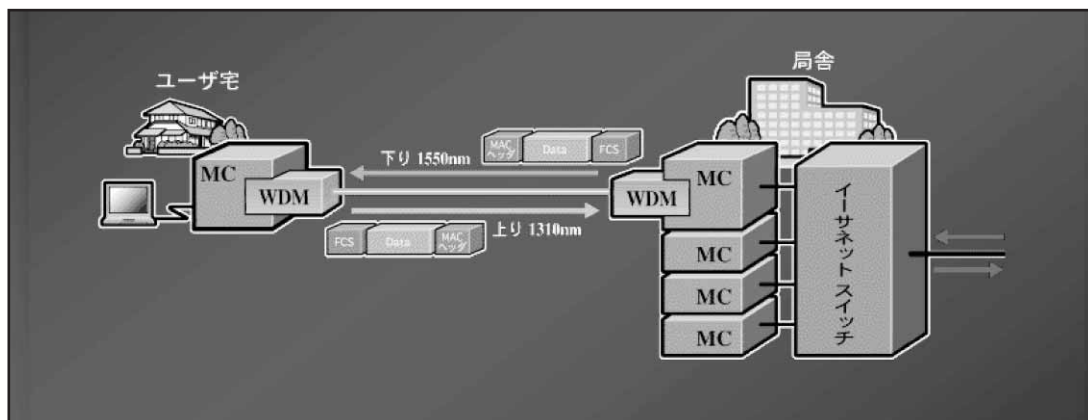
（基礎編 第8節のはじめに戻る）

2) F T T H の配線経路



(基礎編 第8節のはじめに戻る)

3) S S 方式 (メディアコンバータ)



・方式

イーサネットフレーム100BASE-TX (UTP) ↔ FX (光)

・標準化

T T C 標準概要 (TS-1000) : 100M 2002年6月制定

伝送速度125M、符号化4B / 5B、1芯波長多重 (1550/1310)

保守機能 (状態通知・ループ試験) を実装

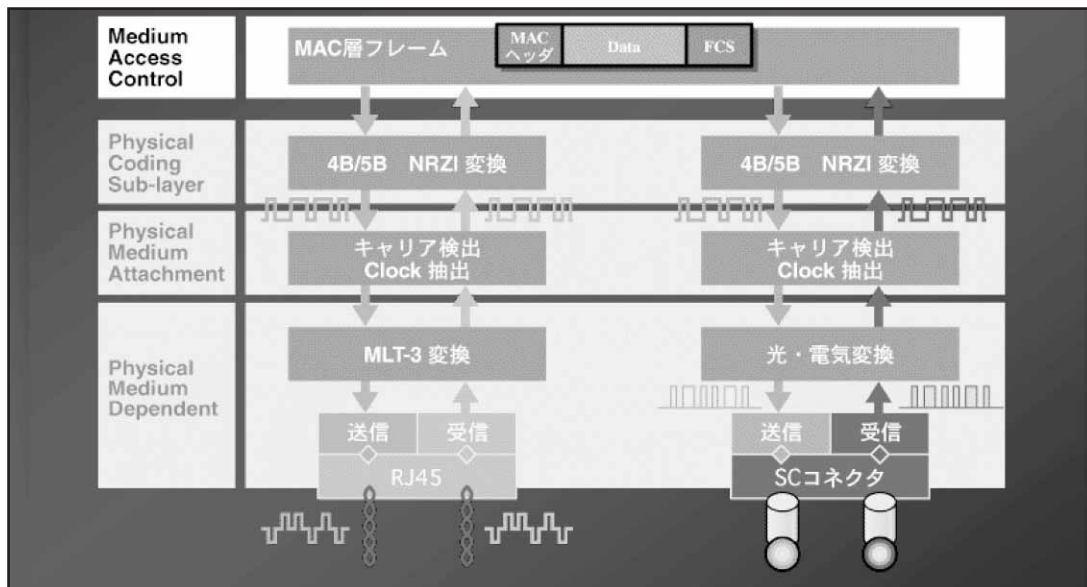
I E E E : E F M F として検討中 802.3ah (100M、1G / 10km)

I T U - T : G.985 100M検討中

(基礎編 第8節のはじめに戻る)

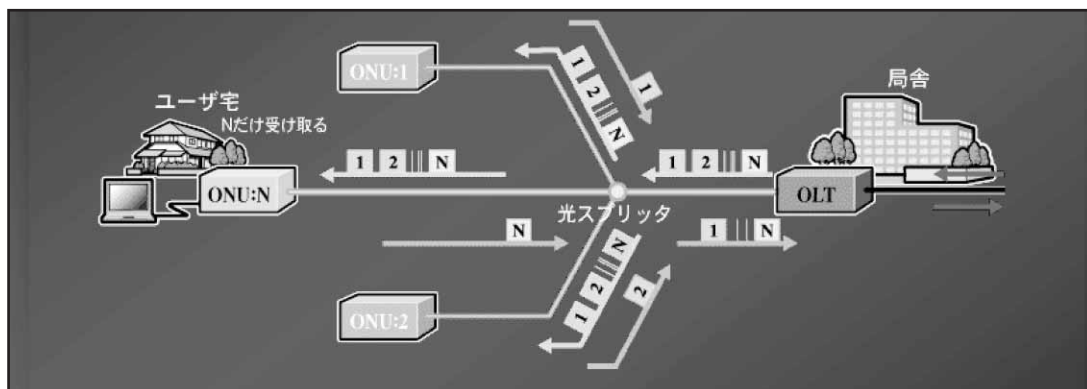
4) メディアコンバータの構造

・階層構造例（100BASE-TX/100BASE-FX）



（基礎編 第8節のはじめに戻る）

5) PON（PDS）方式



・通信方式

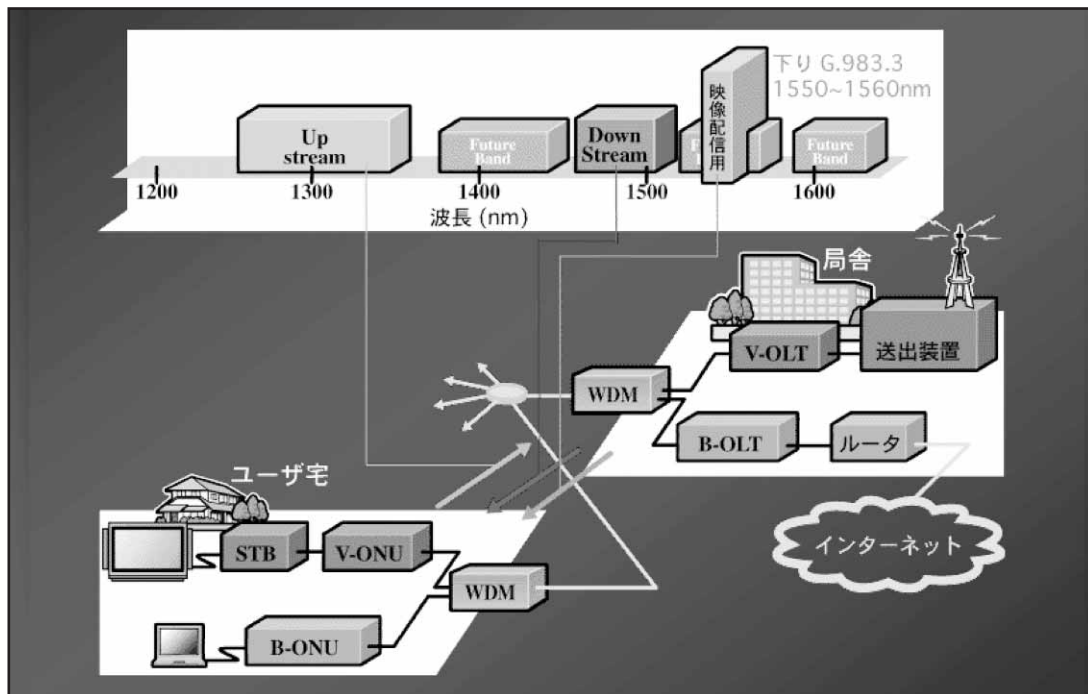
- ・フレームは各種、映像を多重可能

・標準化

- ・B-PON: F S A N・ITU-T (G.983)
フレームはA T Mセル、155M、622M
- ・E-PON: I E E E 802.3ahで標準化予定
イーサネットフレーム (I E E E 802.3準拠) を使用
伝送速度は1.25 G (1 Gデータ)
- ・G-PON: F S A N・ITU-Tで検討中 (G.984)
フレームはGeneric Flame (G.707準拠)
A T Mセルや可変長セルを収容し多様なサービスに対応

（基礎編 第8節のはじめに戻る）

6) 映像・放送伝送方式



・放送伝送方式

・インターネット系とインテグレーション

S C M (Sub Carrier Multiplex) P O N I T U - T G.983.3

映像変調方式：A M - F D M vs. F M一括変換

(基礎編 第 8 節のはじめに戻る)

第9節 無線LAN

この節で学習すること

- 1) 無線LANの接続手順
- 2) 無線LANのフレーム構造
- 3) 無線系アクセス

(基礎編の目次に戻る)

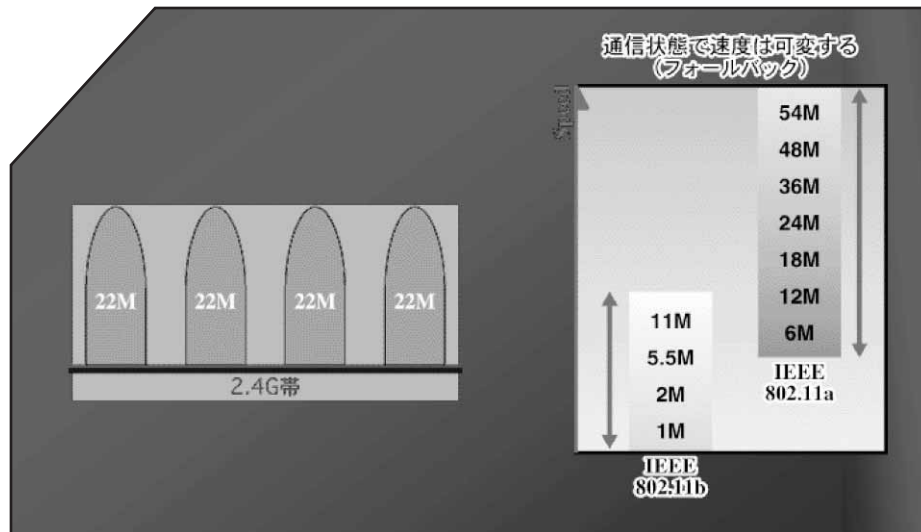
1) 無線LANの接続手順



(基礎編 第9節のはじめに戻る)

前提

- ・ 無線では衝突を検出できない
 - 誰も電波を出していない
 - ランダムな時間だけ待つ
 - フレームを電波で発信
 - 一定時間待ってACKフレームを受け取る
- ・ 方式混在の場合これだけでは上手くいかないため、RTS（要求）、CTS（他のステーション送信不可）を使用



使用する周波数チャンネルを探す

- ・ (2.4 G / 帯域 22Mで 4 チャンネル)
- ・ アクセスポイントとESS-IDを確認して接続
- ・ 認証
- ・ データの送出

2) 無線 LAN のフレーム構造



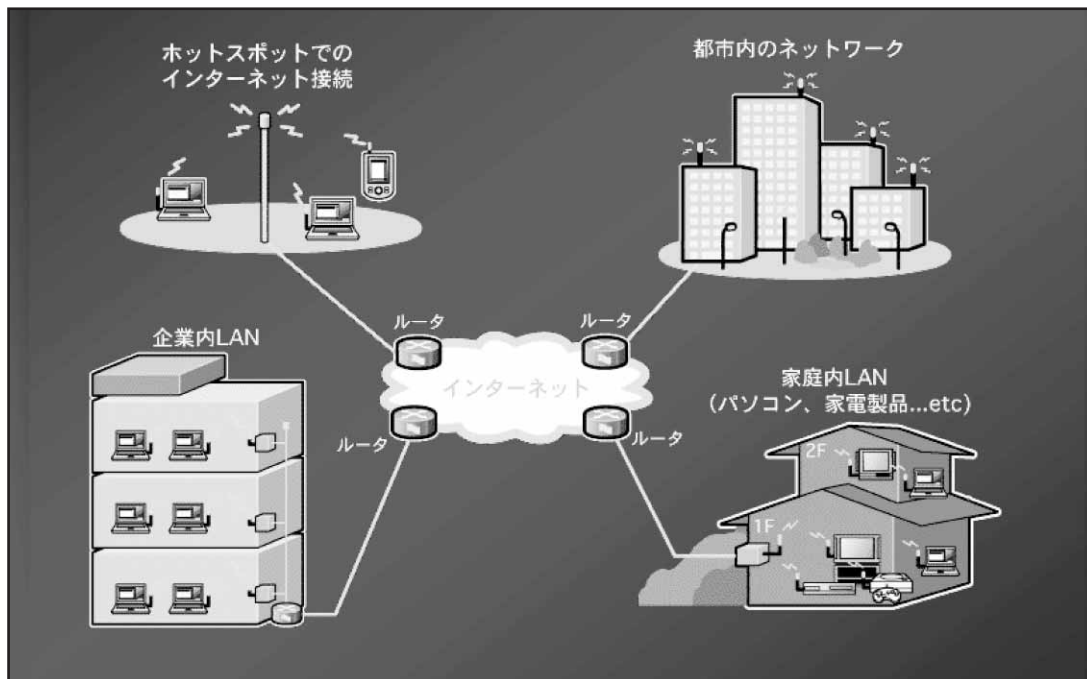
(基礎編 第 9 節のはじめに戻る)

衝突検出対応のため搬送波検出

- ・ C S M A / C A (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
搬送波感知多重アクセス / 衝突回避
- ・ A C K フレームで確認
- ・ フレーム間ギャップを置く

中継機能の搭載

3) 無線系アクセス



（基礎編 第9節のはじめに戻る）

- ・ 次世代無線LAN方式
 UWB（ウルトラワイドバンド）通信方式
 26/38GHz帯、60GHz帯 ミリ波の利用
- ・ 超高速FWA：1G以上
- ・ PNA：ハイビジョン伝送
- ・ IEEE1394.w
- ・ Bluetooth / ZigBee

第10節 企業向けブロードバンドサービス

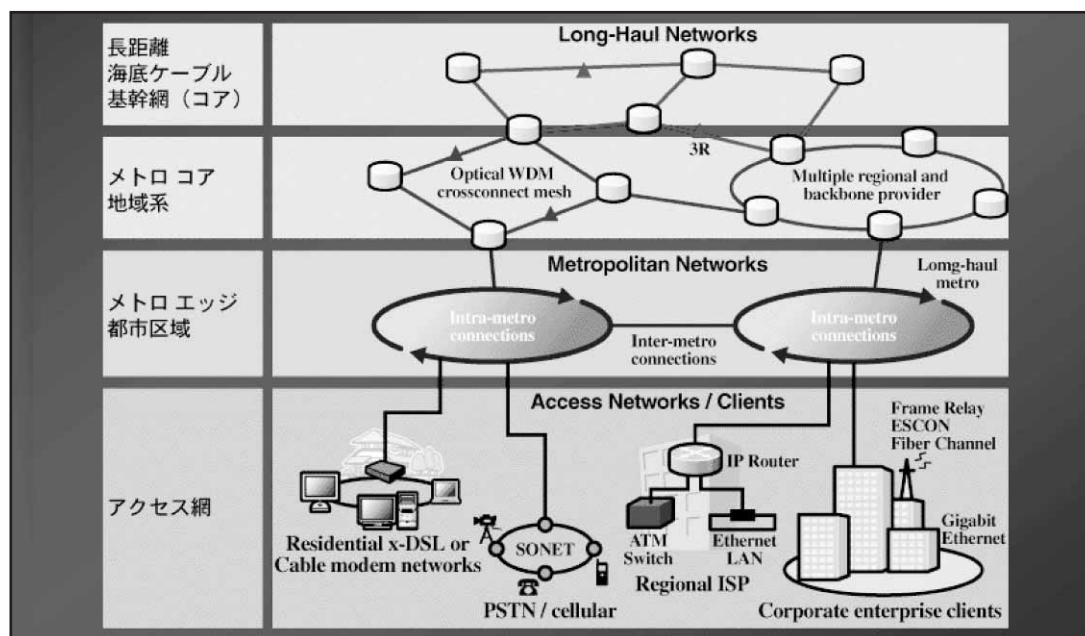
この節で学習すること

- 1) 通信ネットワークの全体像
- 2) 広域イーサネットサービス
- 3) IP-VPNサービス
- 4) IP-VPNと広域イーサネット

(基礎編の目次に戻る)

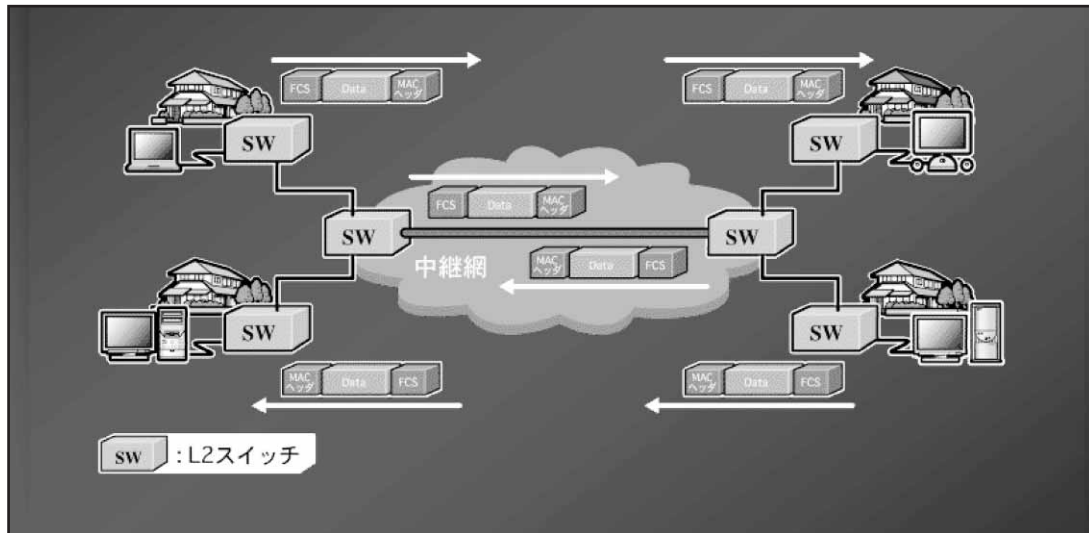
1) 通信ネットワークの全体像

・コアメトロアクセスの階層ネットワーク



(基礎編 第10節のはじめに戻る)

2) 広域イーサネットサービス



（基礎編 第10節のはじめに戻る）

- ・ 広域イーサネットサービス：L A Nスイッチを使い、イーサネットをユーザネットワークインターフェイスとして提供
- ・ 特徴
 - 上位のIPなど通信プロトコルの制約が無い
 - ルーティングプロトコル制約が無い
 - 安価なL A Nスイッチが使用可能

3) IP - V P Nサービス

- ・ ルータでIPネットワークを構築、M P L Sを使いパスを設定



（基礎編 第10節のはじめに戻る）

- ・ I P (Internet Protocol) - V P N (Virtual Private Network)

伝送プロトコルを I P に限定した仮想閉域網サービス

特定のユーザに対して私設網のようなサービス提供

- ・ 特徴

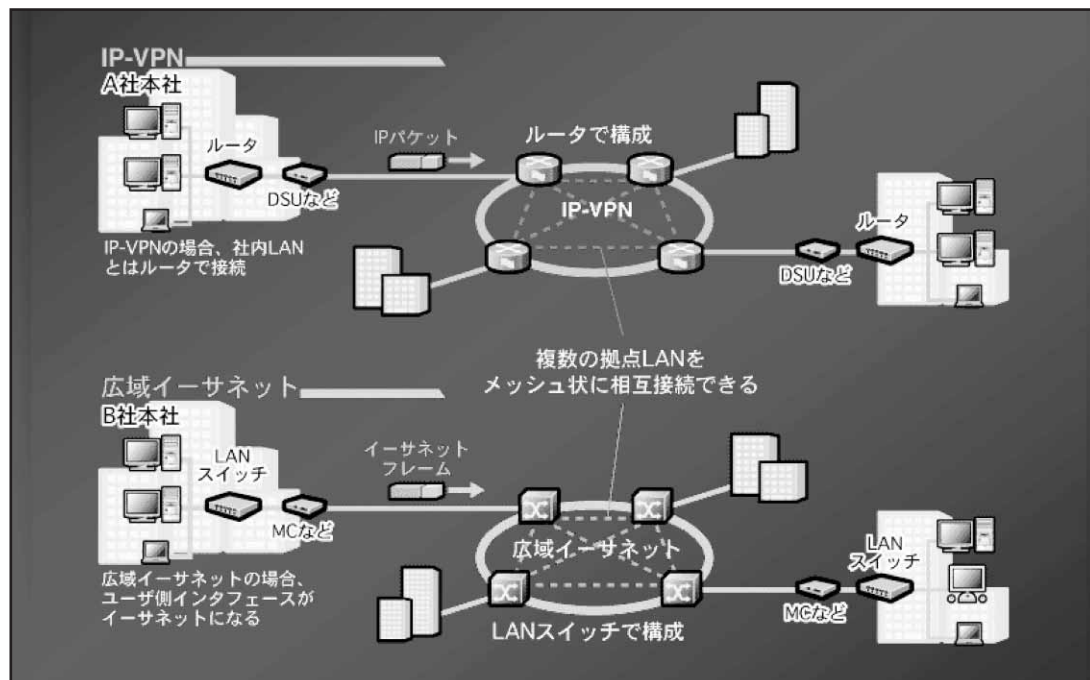
高速かつ割安（専用線と比べ） アクセス回線も廉価で豊富

有線接続など回線メニューが豊富

既存ルータが流用できる

I P しか対応できない

4) I P - V P N と広域イーサネット



(基礎編 第10節のはじめに戻る)

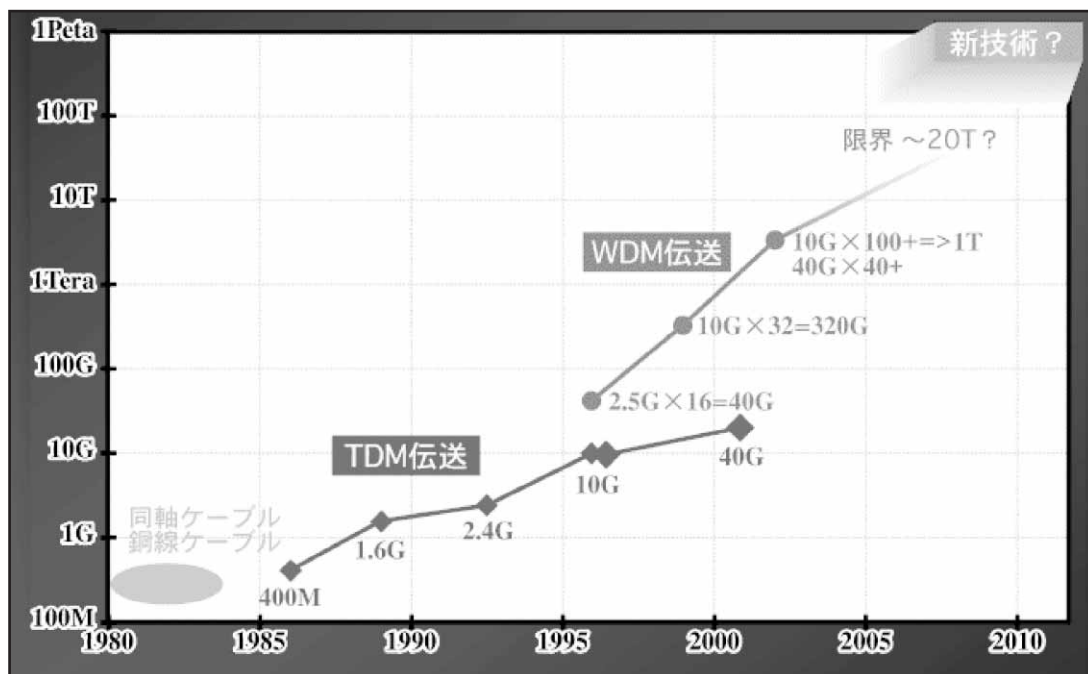
第11節 基幹網

この節で学習すること

- 1) 光ファイバ基幹網の大容量化
- 2) DWDM（波長多重）
- 3) メトロネットワークにおける伝送技術
- 4) 多重化伝送
- 5) 次世代フォトニックネットワーク

（基礎編の目次に戻る）

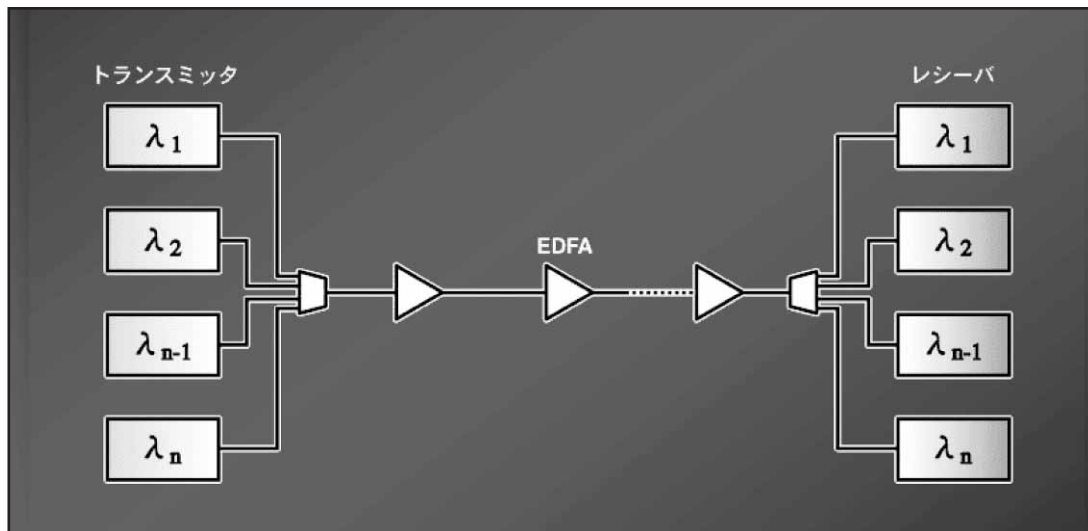
1) 光ファイバ基幹網の大容量化



（基礎編 第11節のはじめに戻る）

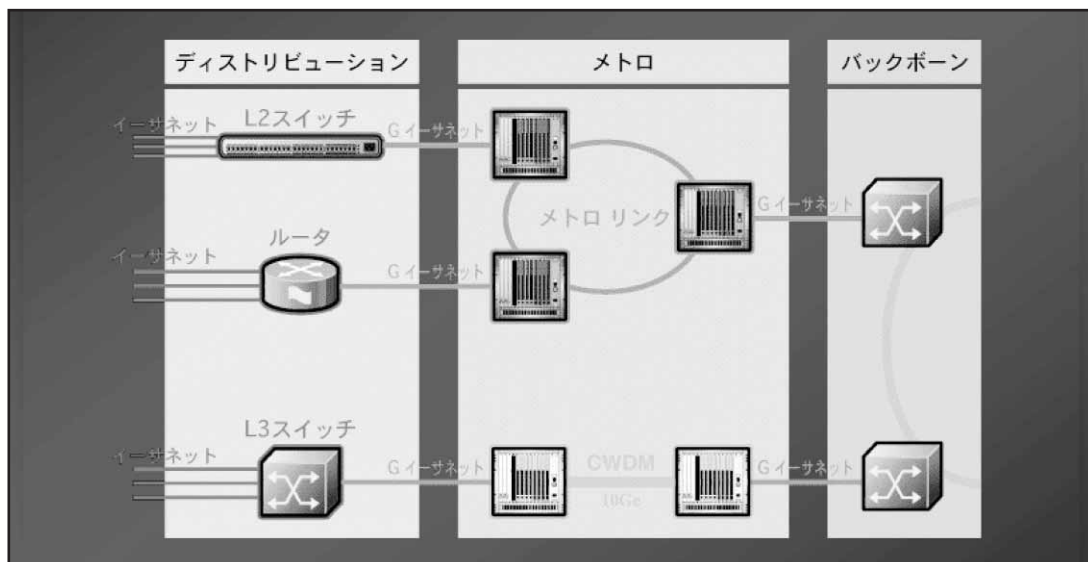
2) DWDM (波長多重)

- ・新しい多重化技術の登場



(基礎編 第11節のはじめに戻る)

3) メトロネットワークにおける伝送技術



(基礎編 第11節のはじめに戻る)

- ・ CWDM
- ・ 光伝送システム
- ・ R P R
- ・ ルータ

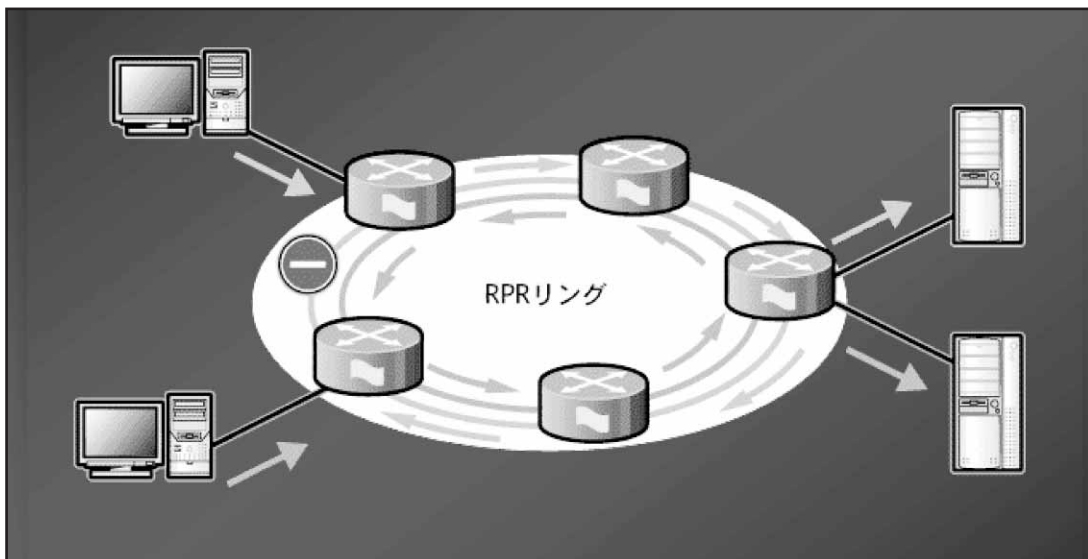
C W D M (Coarse W D M)

- ・低価格化・小型化
- ・波長間隔：20nm

光伝送システム

- ・小型伝送装置の登場

R P R



- ・ Resident Packet Ring
リングによる効率化
障害自動復帰

ルータ

- ・エッジルータ
- ・コアルータ

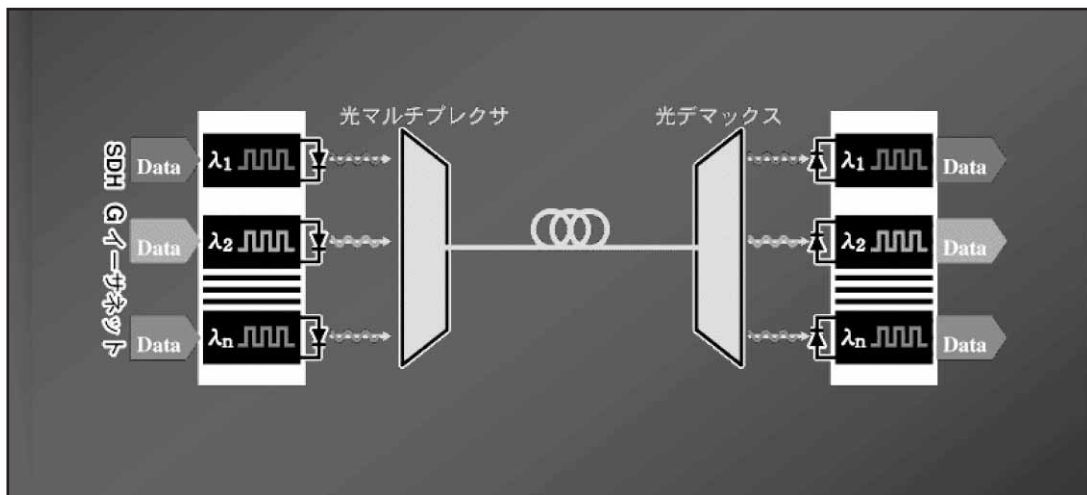
4) 多重化転送

- ・メトロWDM装置
- ・メトロイーサネット多重化装置

(基礎編 第11節のはじめに戻る)

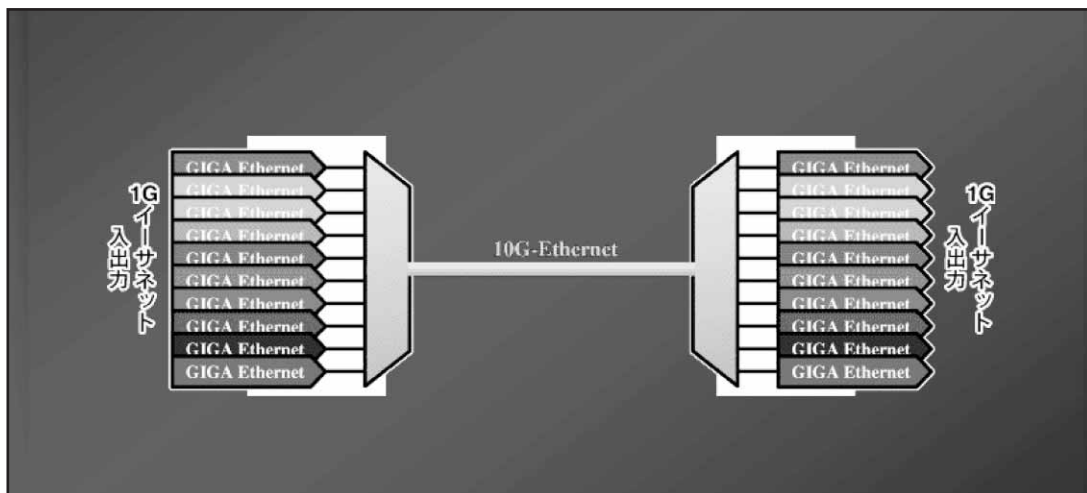
メトロWDM装置

- ・波長多重により多チャンネルを伝送

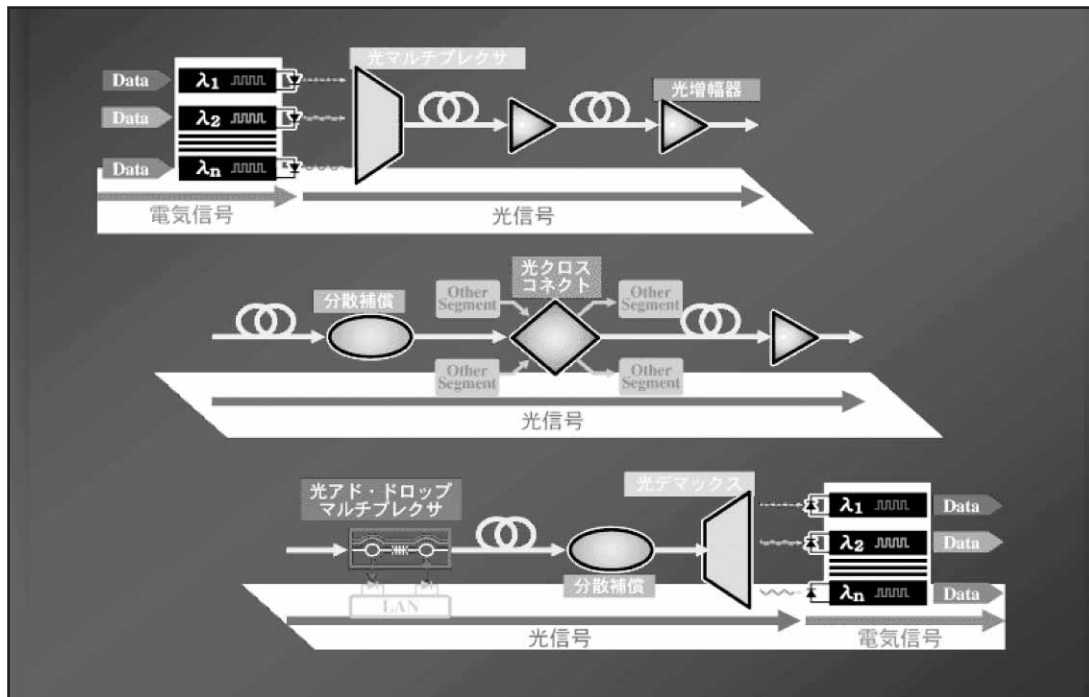


メトロイーサネット多重化装置

- ・高速のイーサネットにより低速イーサネットを収容



5）次世代フォトニックネットワーク



（基礎編 第11節のはじめに戻る）

第12節 光部品

この節で学習すること

- 1) マイクロオプティックス
- 2) デバイス概論
- 3) モジュール実装
- 4) デバイスの信頼性試験

(基礎編の目次に戻る)

1) マイクロオプティックス

マイクロオプティックス (微小光学素子)

- ・ 分布屈折率レンズ
 - 固体一体化構造
 - 平面端面実装
 - 外径基準
- ・ 非球面プレスレンズ
 - 低収差
 - 量産性

(基礎編 第12節のはじめに戻る)

課題

- ・ 挿入損失
- ・ 実装組立て
- ・ 後方反射
- ・ フレネル反射

マイクロオプティックスの進化

	第1世代	第2世代	第3世代
基礎理論	古典光学 Classical Optics	微小光学 Microoptics	集積光学 Integrated Optics
光技術の原理	幾何光学 精密機械加工技術	波動光学 組立・接続技術	導波路光学 薄膜・微細加工技術
光部品の代表例	ガスレーザ レンズ、プリズム ミラー	LD、LED 多モード光ファイバ 分布屈折率レンズ	光IC、光プロセッサ 単一モード光ファイバ 導波路デバイス
デバイスの特徴および大きさ	立体個別組立 (m～数十cm)	立体一体化構造 (数cm～1cm)	薄膜平板構造 (数cm～)
電子部品とのアナロジー	真空管 コンデンサ、コイル 抵抗器	プリント基盤 トランジスタ、ダイオード マイクロエレクトロニクス	IC、LSI VLSI ワンチップマイコン
光技術および光部品の特徴	防振台の上で個別部品を 組立、調整	部品の固体素子化 微小、一体、複合化 高信頼性の確保	基板上に複数素子の集積化 電子回路との集積化 (OEIC)

マイクロオプティックスの歴史

- ・ 紀元1世紀 : 大気の揺らぎの発見
- ・ 1656年 : 大気の屈折現象を説明 (Cassini)
- ・ 1854年 : Maxwell魚眼レンズの提案
- ・ 1905年 : Woodレンズの提案
- ・ 1964年 : Luneburgレンズの提案、ガスレンズ
- ・ 1968年 : 分布屈折率レンズの発明 (北野、内田等)
- ・ 1980年 : PMLの発明 (伊賀等)
- ・ 1987年 : 第1回MOC (微小光学国際会議) 開催

光部品の分類

- ・ 自由空間型

マイクロオプティックス (分布屈折率 / 非球面レンズ)

- ・ 導波路型

光ファイバ加工型

- ・ 融着カプラ
- ・ 先端加工 (レンズドファイバ)
- ・ FBG

平面光回路型

- ・ PLC (Planar Light Circuit) → AWG、OXC

能動光回路型

- ・ L N 高速変調器
- ・ 光スイッチ

マイクロ 옵ティックス型光部品

- ・ 光源・光ファイバ結合工学系
LD モジュール
- ・ 平行ビーム変換工学系
アイソレータ
光スイッチ
分岐 / 分波器
減衰器
- ・ 異軸結合工学系
分岐 / 分波
フィルタ
- ・ レンズアレイ型
アレイ LD モジュール
- ・ ハイブリッド集積型 (+ 光ファイバ型 : O A D M)

光ファイバ加工型

- ・ 融着カブラ
分岐 / 分波器
タップ
- ・ 偏波制御
ポラライザ
デポラライザ
- ・ 機械的制御
切替スイッチ
- ・ 光ファイバブラッググレーティング素子 (F B G)
フィルタ
分散補償
波長安定器

光導波路型

- ・ 受動機能
A W G

波長分波合波

方向性結合器

A D M

- ・セミ能動機能（T O効果利用）

光マトリックススイッチ

- ・能動型光回路

高速変調器

マトリックス光スイッチ

自由空間型マイクロオプティックス

- ・微小なレンズ素子を利用して、光ビームを制御する
- ・自由空間または、レンズ媒質中を光を伝播させる

- ・屈折率分布型レンズ

- ・非球面レンズ

- ・回折格子型素子など

電子回路と光回路

電子回路

- ・電圧、電力、電流
- ・3端子素子
- ・自由電子
- ・非線形性

- ・集積化

- ・多機能

光回路

- ・光パワー
- ・2端子素子
- ・導波路伝播
- ・線形性

- ・並列性

- ・伝送特性

分布屈折率レンズ

通常の光学レンズ

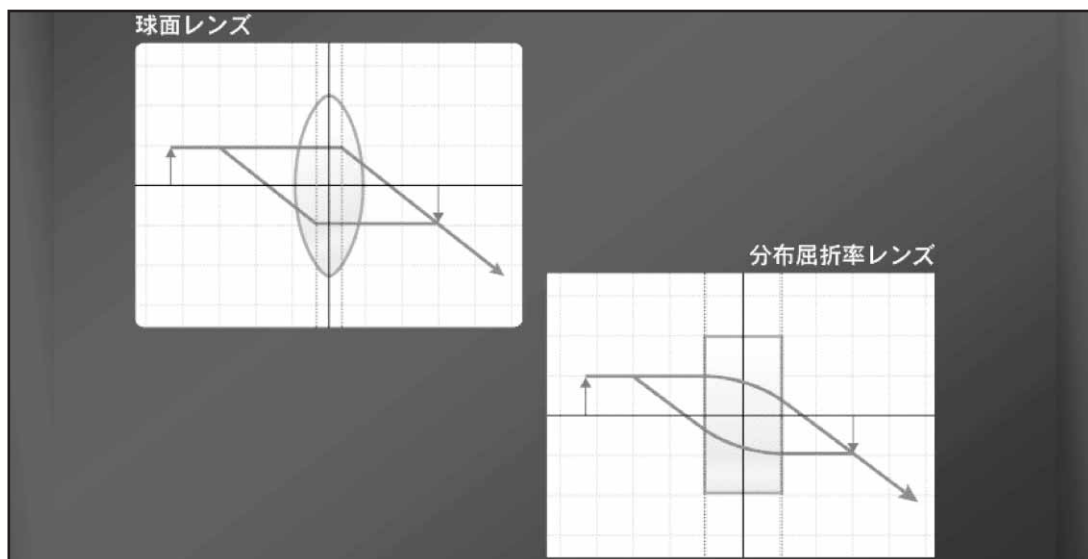
- ・ 空気 - ガラス界面 + 凹凸構造を持つ曲面で屈折光線を作る
- ・ 芯とり工程が必要

分布屈折率レンズ

- ・ 内部の屈折率勾配で屈折光線を作る
- ・ 両端平面構造
- ・ 光ファイバ、半導体レーザとの整合性

球面レンズと分布屈折率レンズ

- ・ レンズ球面での屈折とレンズ内部の屈折率分布による屈折の違い



クラマース・クロニッヒの関係

- ・ 周波数と誘電率の関係



Lorenz-Lorentz公式

・ 屈折率差の形成原理

$$\Delta N = \frac{(N^2 + 2)^2}{6N} \cdot \frac{4\pi}{3} \sum_i \Delta n_i \alpha_i$$

N : Refractive index

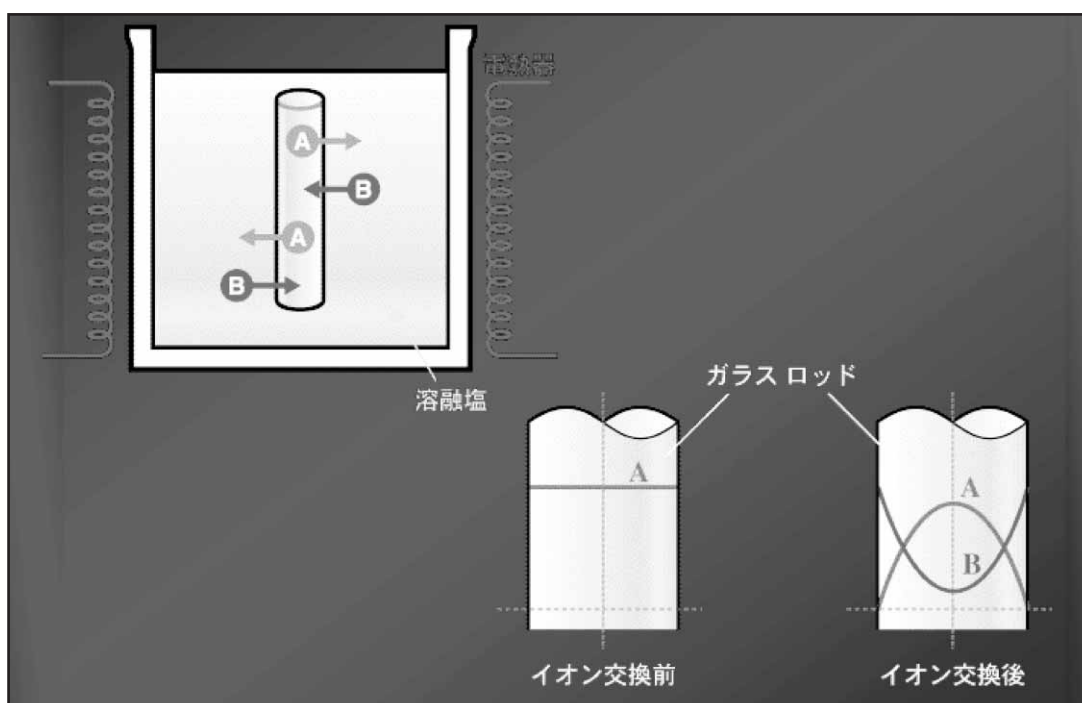
 ΔN : Change of refractive index Δn_i : Change of number of atom or ion of type i α_i : Electronic polarizability

電子分極率とイオン半径

イオン	イオン半径 $\text{\AA}$	電子分極率 $\text{\AA}^3$
Li ⁺	0.78	0.03
Na ⁺	0.95	0.41
K ⁺	1.33	1.33
Rb ⁺	1.49	1.98
Cs ⁺	1.65	3.34
Tl ⁺	1.49	5.20

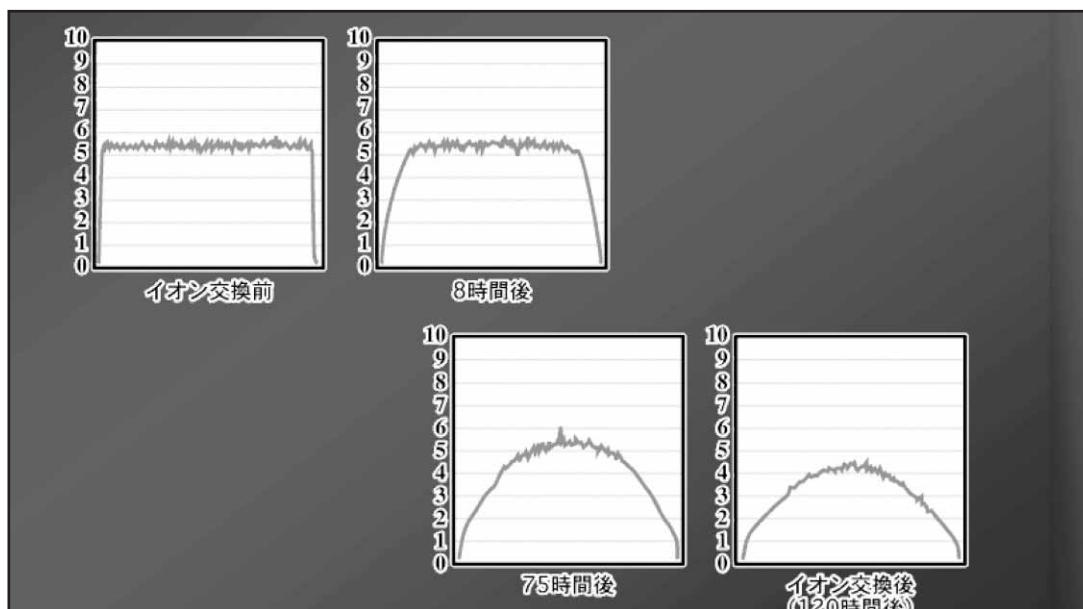
イオン	イオン半径 $\text{\AA}$	電子分極率 $\text{\AA}^3$
Mg ⁺²	0.78	0.09
Ca ⁺²	0.99	1.1
Sr ⁺²	1.27	1.6
Ba ⁺²	1.43	2.5
Zn ⁺²	0.83	0.8
Cd ⁺²	1.03	1.8
Pb ⁺²	1.32	4.9
La ⁺³	1.22	1.04

イオン交換法による分布屈折率レンズの製法



イオン交換プロセスと屈折率分布形成

- ・ドーパントを含むガラスロッドを、交換置換されるイオンを含む溶融塩中に浸漬する



イオン種の組合せによる屈折率差の形成

- ・イオン種の組合せ
- ・イオン半径の整合性→応力の緩和

イオン交換種	屈折率差 ($\times 10^{-2}$)
Tl (glass) $\longleftrightarrow$ K (salt)	0.865
Tl (glass) $\longleftrightarrow$ Na (salt)	0.850
Cs (glass) $\longleftrightarrow$ K (salt)	0.135
Cs (glass) $\longleftrightarrow$ Na (salt)	0.120
Li (glass) $\longleftrightarrow$ K (salt)	0.120
Li (glass) $\longleftrightarrow$ Na (salt)	0.105

$$\sin \theta = \sqrt{2 \Delta n - n_0}$$



分布屈折率レンズの屈折率分布表現

$$n^2(r) = n_0^2 \{1 - (gr)^2 + h_4(gr)^4 + h_6(gr)^6 + h_8(gr)^8 + \dots\} \quad (1)$$

$$N(r) = N_{00} + N_{10}r^2 + N_{20}r^4 + N_{30}r^6 + N_{40}r^8 + \dots \quad (2)$$

式(1)と(2)から次のようになる。

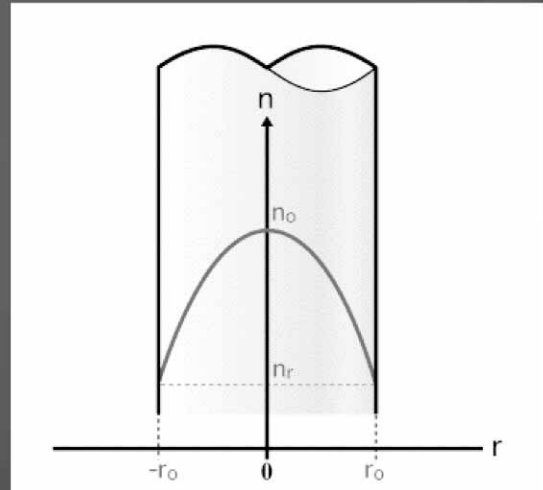
$$N_{00} = n_0$$

$$N_{10} = -\frac{n_0}{2}g^2$$

$$N_{20} = \frac{n_0}{2} \left(h_4 - \frac{1}{4} \right) g^4$$

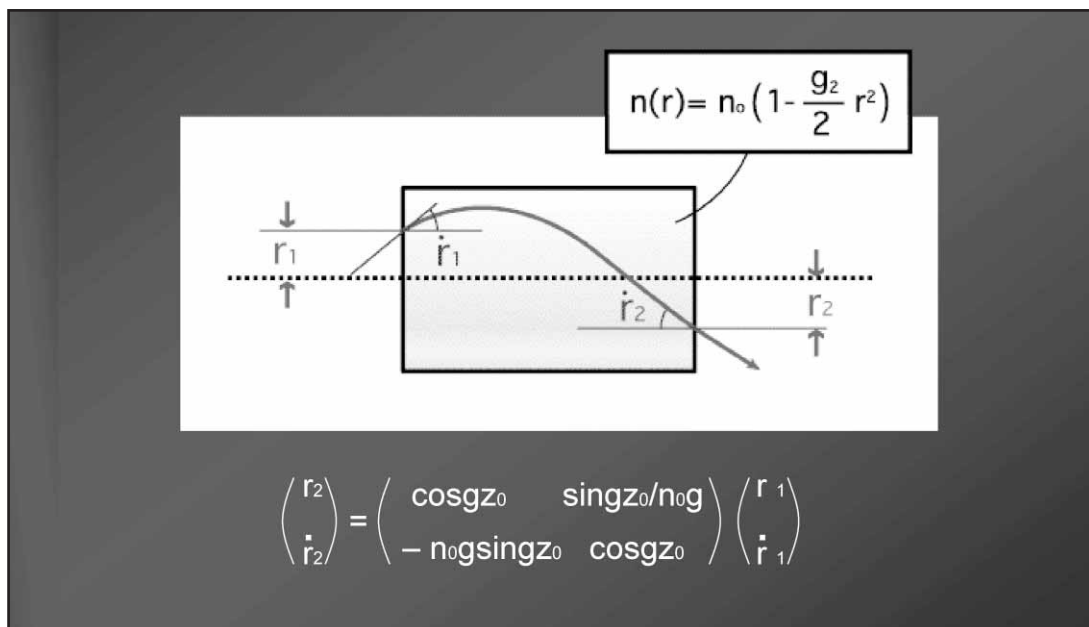
$$N_{30} = \frac{n_0}{2} \left(h_6 + \frac{h_4}{2} - \frac{1}{8} \right) g^6$$

$$N_{40} = \frac{n_0}{2} \left(h_8 + \frac{h_6}{2} - \frac{3}{8}h_4 - \frac{h_4^2}{4} - \frac{5}{64} \right) g^8$$



分布屈折率レンズの光線追跡

- ・ 入射光線と出射光線の関係



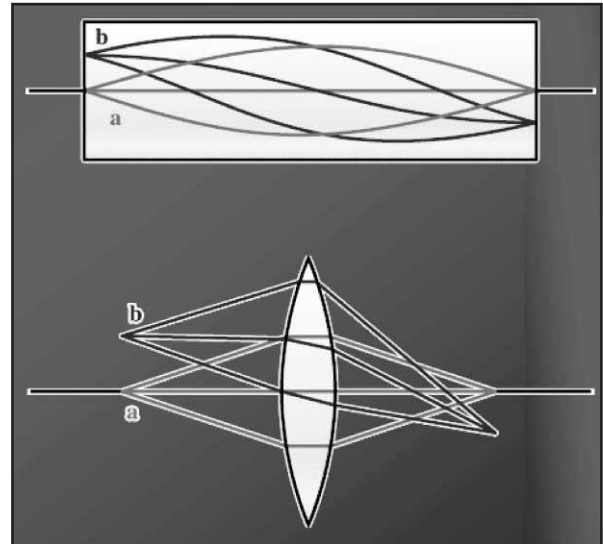
分布屈折率レンズ応用工学系

軸上結像系

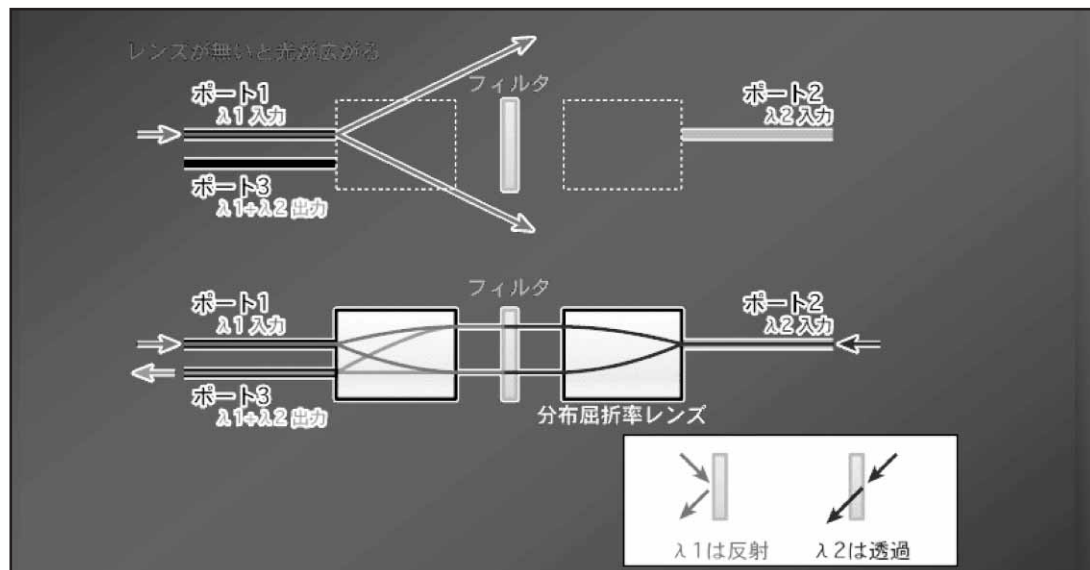
- ・点結像系（光源結合系）
- ・平行光変換系（コリメート系）
- ・リレーレンズ工学系
- ・収束光学系（回折限界）

異軸結像系

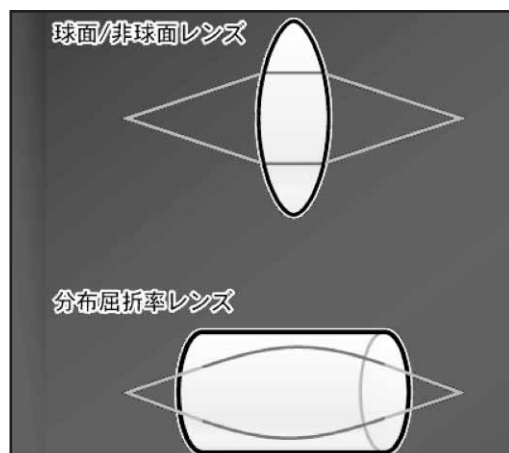
- ・位置・角度変換系
- ・位置・位置変換系
- ・角度・角度変換系
- ・（テレソントリック光学系）



なぜレンズが必要か？



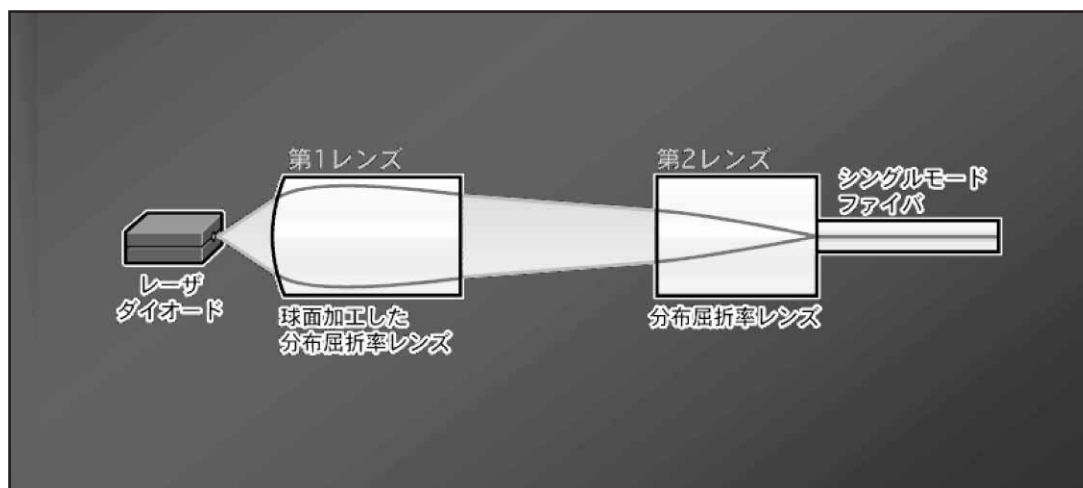
分布屈折率レンズの特長



- ・縁で支える安定の悪さ
- ・品種別に金型が必要
- ・縁で支える安定の良さ
- ・5種の母材から2千種のレンズ

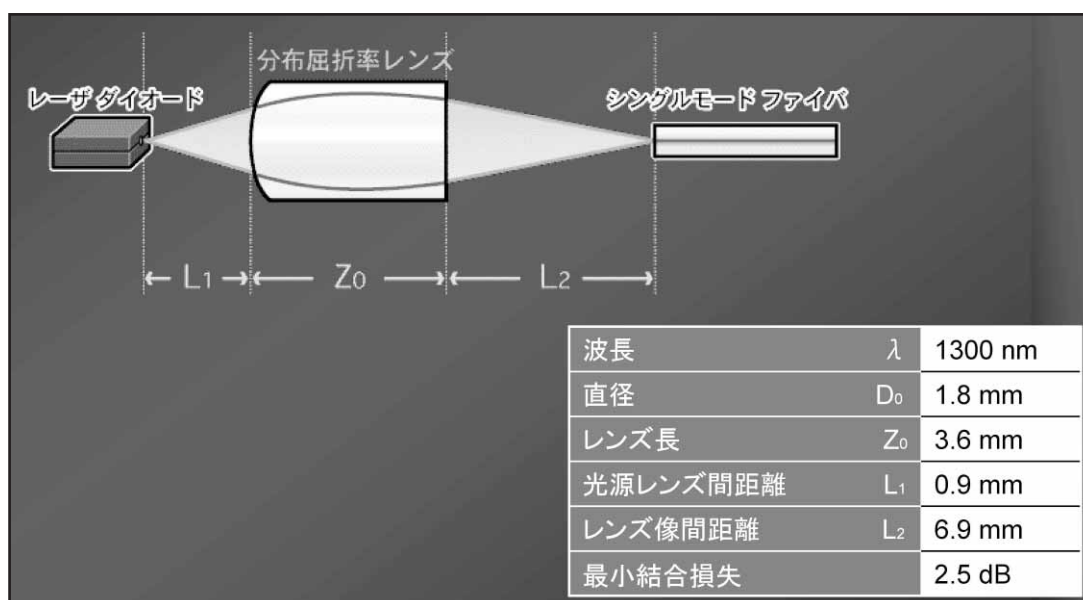
光源結合光学系

- ・ 第1レンズ：平行光束（コリメートビーム）
- ・ 第2レンズ：収束結合
- ・ 軸と直角方向へのずれの許容度緩和



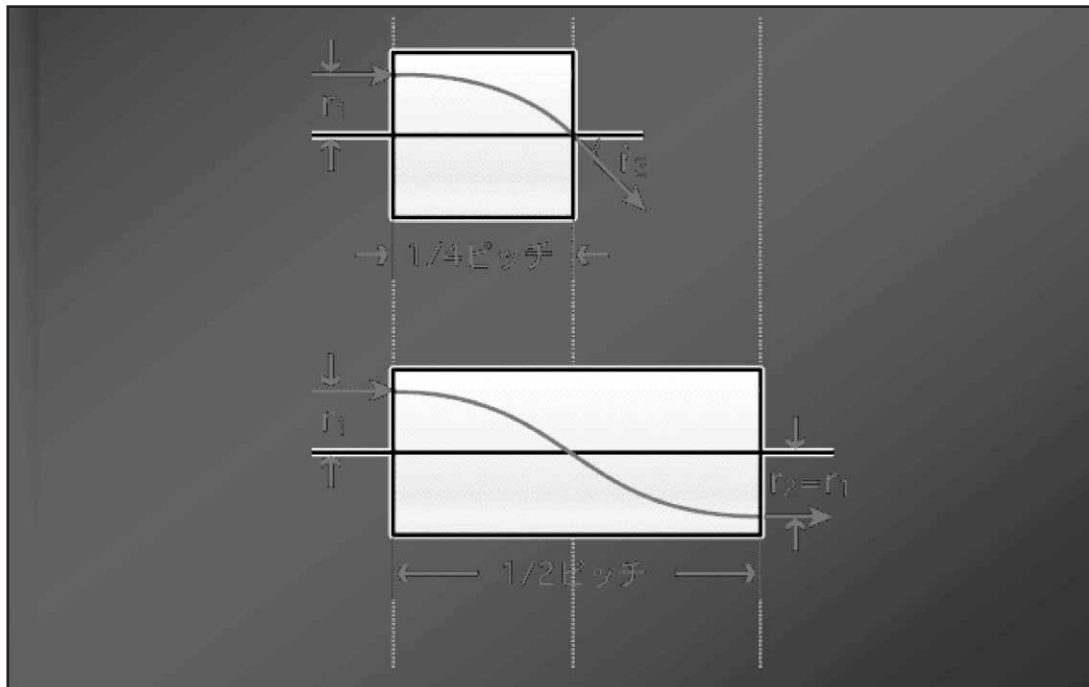
先端球面加工分布屈折率レンズの光源結合系

- ・ 入射側を球面加工
入射側のNAを増加

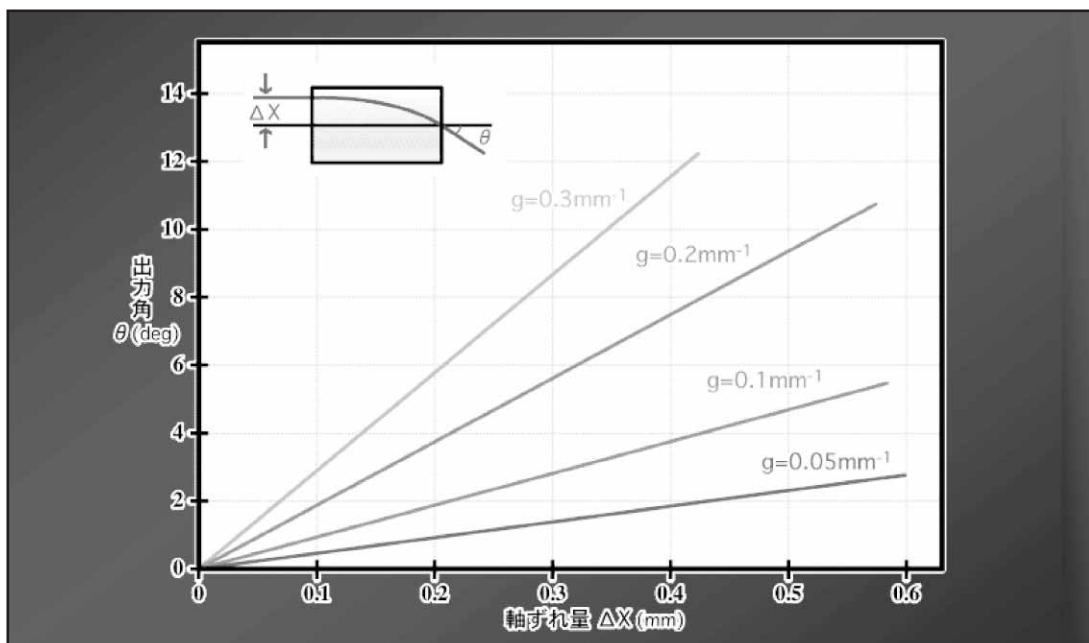


位置角度変換光学系

- ・ 入射位置と出射角度

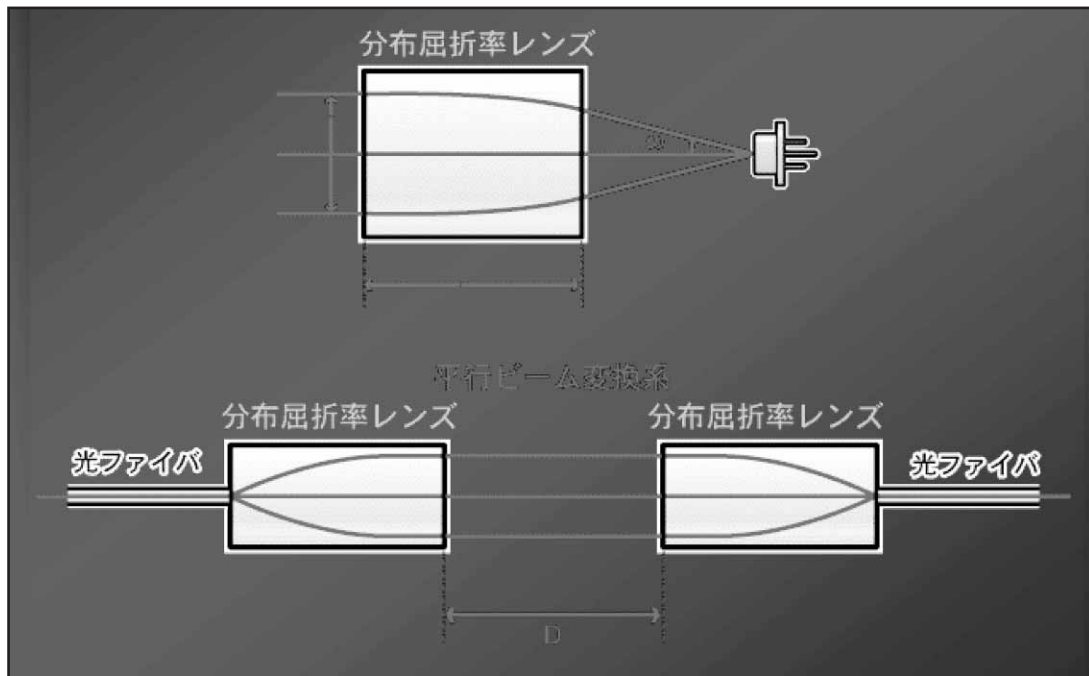


位置角度変換光学系

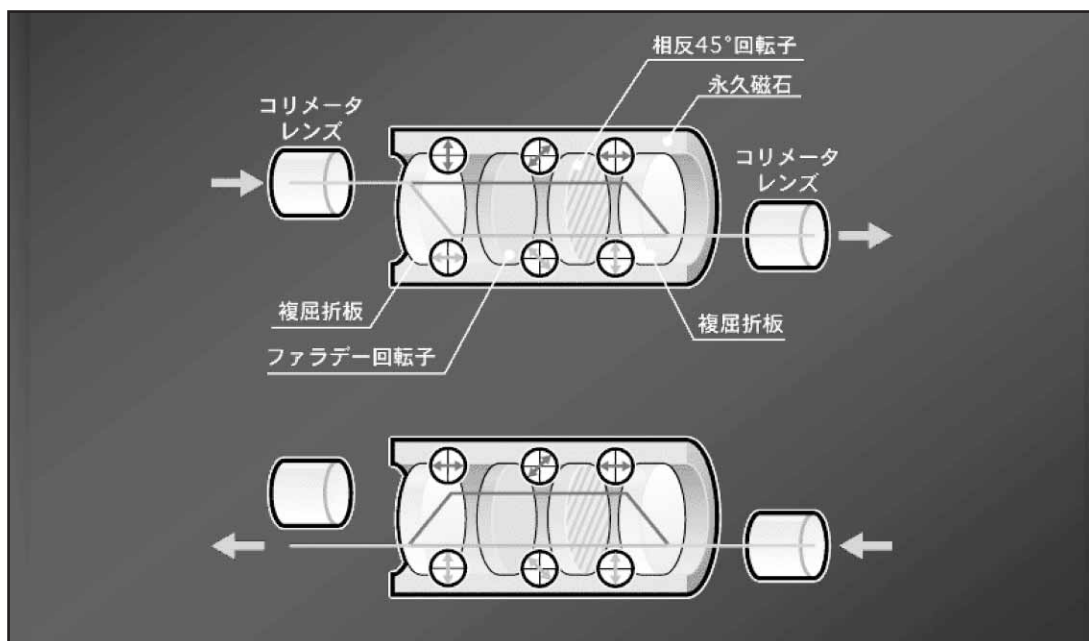


LD コリメータ光学系

- ・ 分布屈折率レンズによるコリメータ光学系



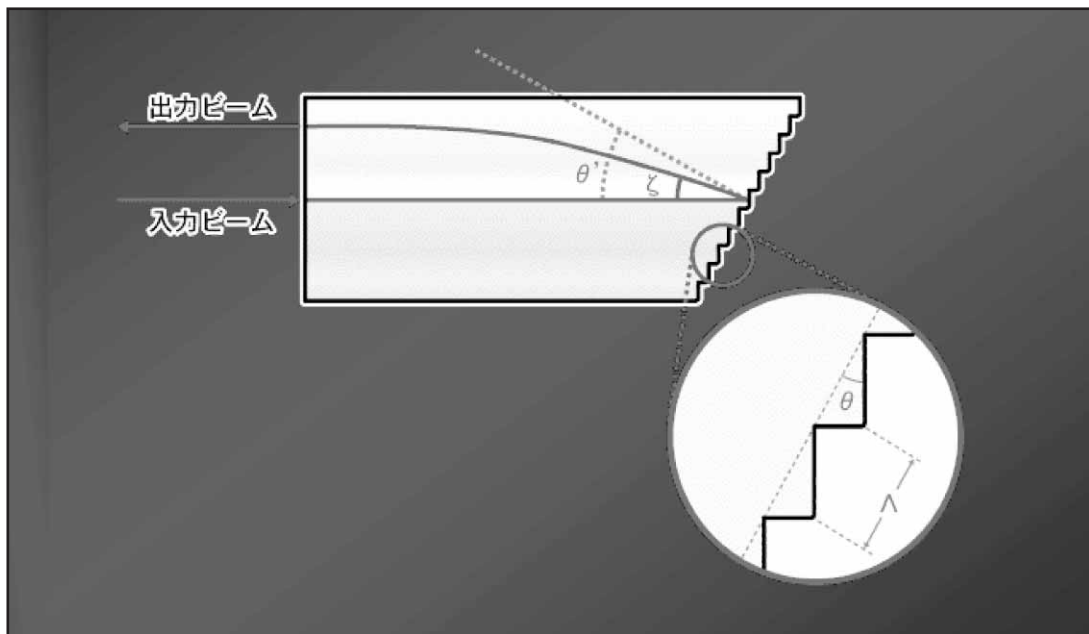
アイソレータとサーキュレータ



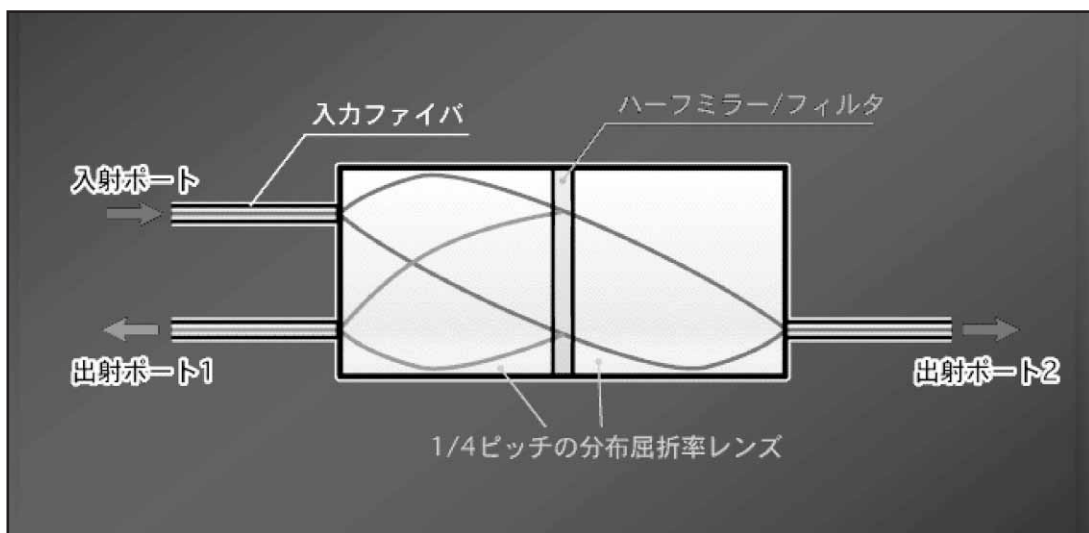
- ・ 一方向入力
他端入力が元に戻らない
出力光を取り出すとサーキュレータとなる

異軸入射条件での応用

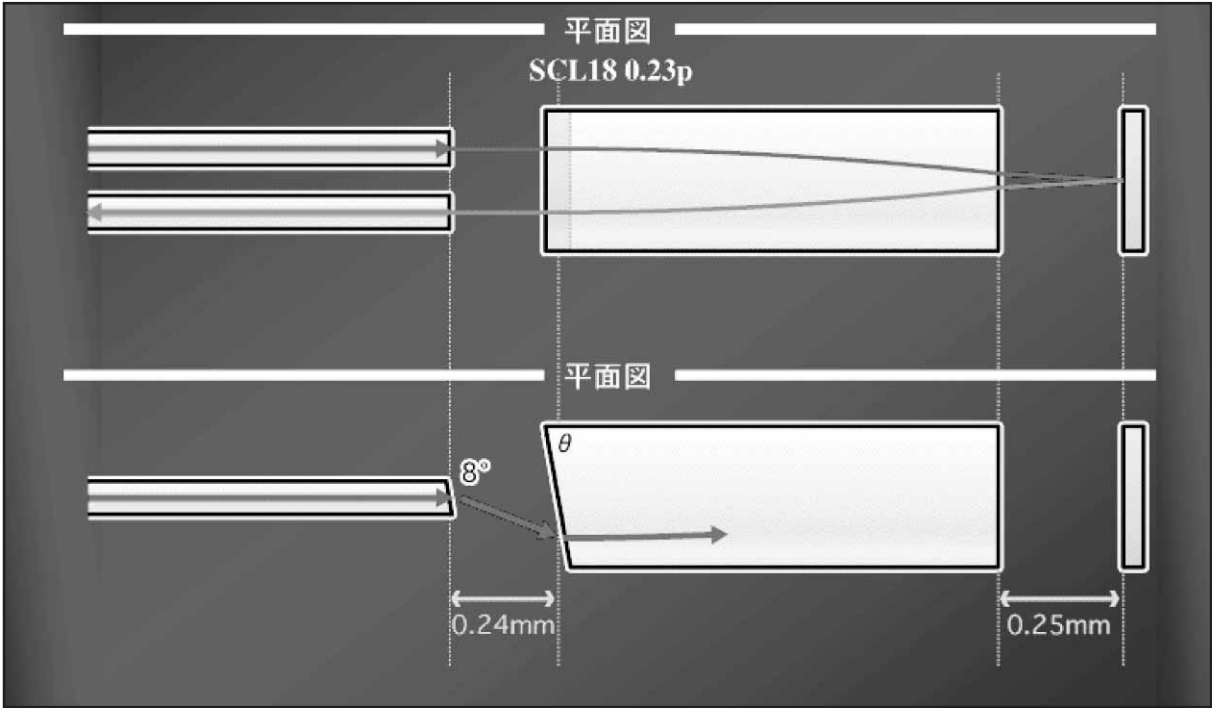
・回折格子型



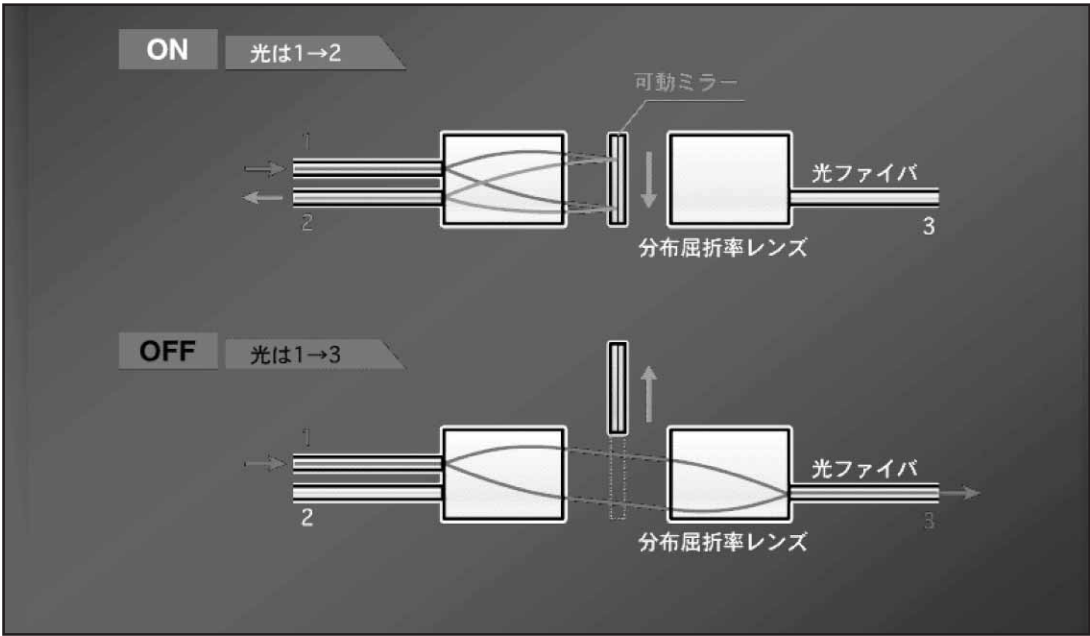
・波長分波合波器



後方反射量の低減

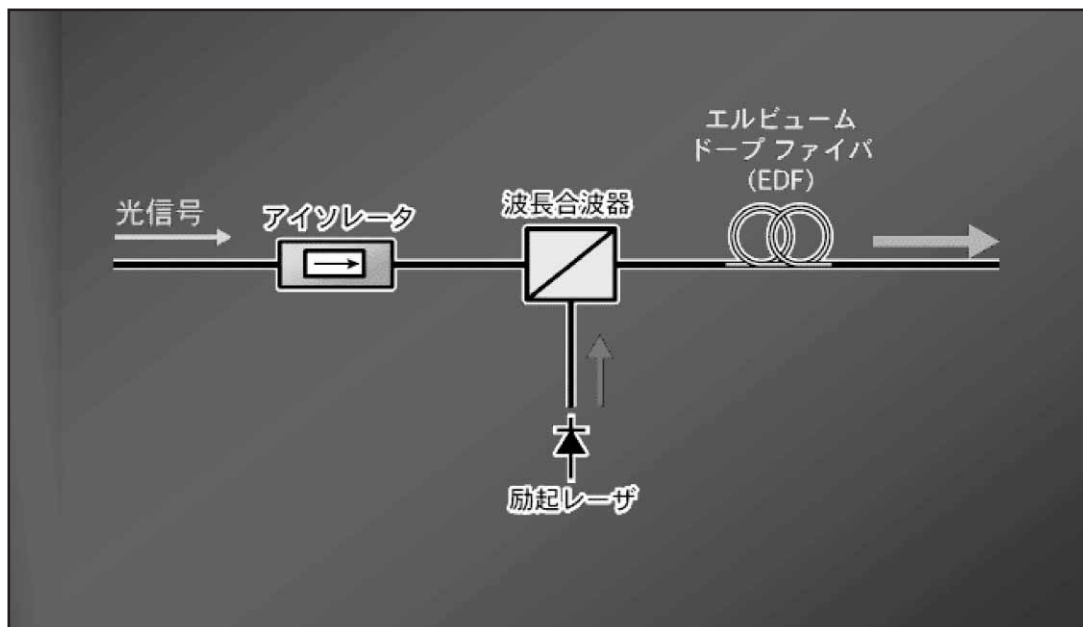


光スイッチ

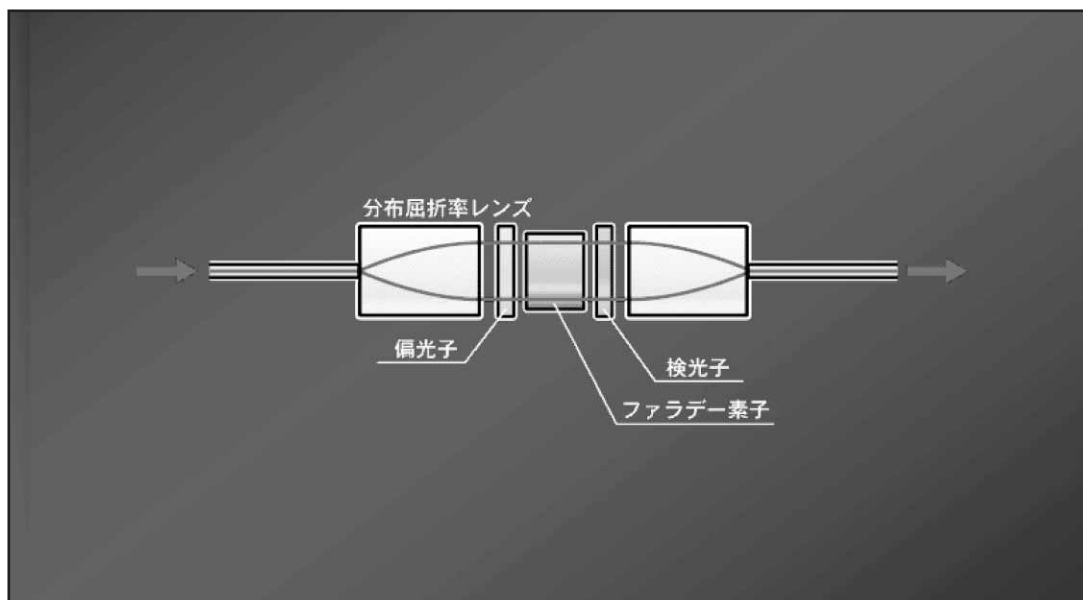


光ファイバアンプ

- ・ E D F A (Erbium Doped Fiber Amplifier)



- ・ 光ファイバアンプ用アイソレータ



通信用フィルタの仕様（帯域別）

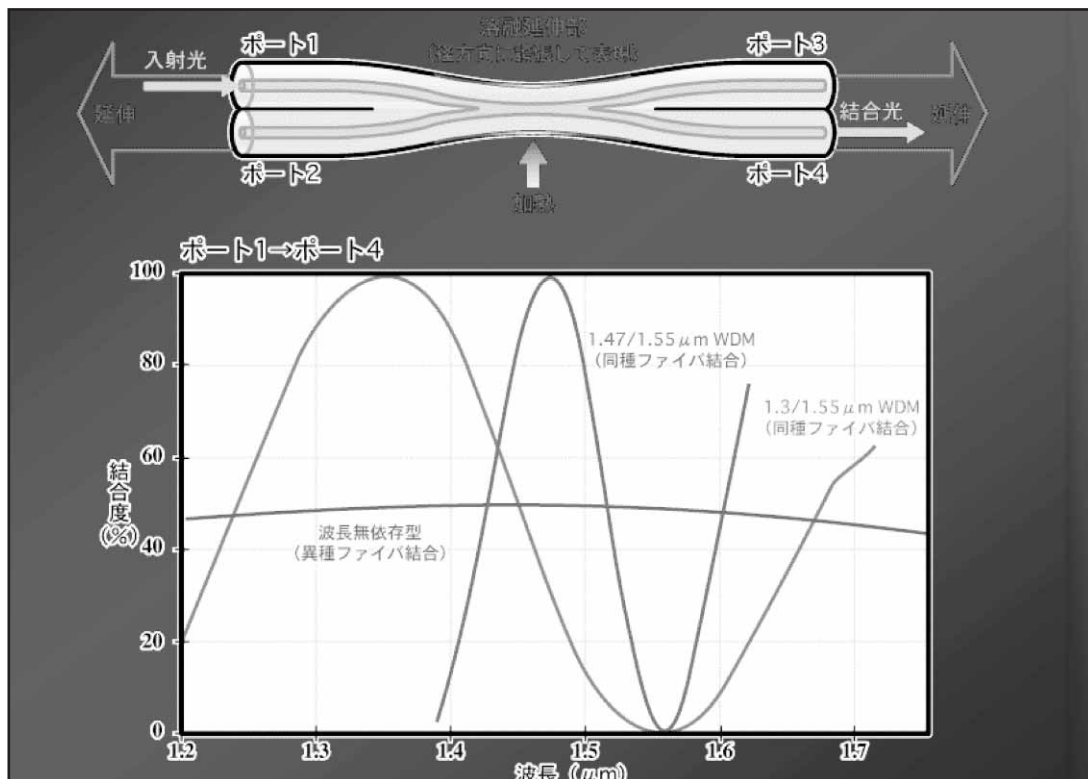
項目	単位	仕様		
		200G	100G	50G
中心波長	nm	1536.61	1536.61	1536.61
中心波長許容値	nm	≤ 0.1	≤ 0.05	≤ 0.05
中心挿入損失	dB	≤ -0.5	≤ -0.5	≤ -0.5
透過域損失変動	dB	± 0.1	± 0.1	± 0.1
相対透過損失 (1)	dB	-0.3	- 0.3	- 0.3
透過域帯 (1)	nm	≥ 0.6	≥ 0.3	≥ 0.15
相対透過損失 (2)	dB	-3.0	-3.0	-3.0
透過域帯 (2)	nm	≤ 1.0	≤ 0.6	≤ 0.3
相対透過損失 (3)	dB	-25	-25	-25
透過域帯 (3)	nm	≤ 2.5	≤ 1.9	≤ 1.3
偏光依存損失	dB	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1

通信用フィルタの仕様（バンドパスフィルタ）

項目		単位	目標	備考
光学特性	低損失	dB	≤ 0.1	吸収・散乱損失
	経路外損失	dB	$\leq 55 \sim 60$	用途による
	透過帯のリップル	dB	≤ 0.1	
	不透過帯の漏れ光量	dB	$\leq -40 \sim -60$	用途による
	PDL	dB	≤ 0.1	
	PMD	psec	≤ 0.05	
信頼性	耐湿性		75° 90%RH2000H	Bellcore 規格
	膜の温度特性	pm/°C	≤ 0.5	
	基板との密着性			
	寿命	FITS	≤ 100	モジュールとして
価格	低コスト	US\$	$\leq 50/\text{pc}$	1.4z1.4mm□

光ファイバ加工型素子

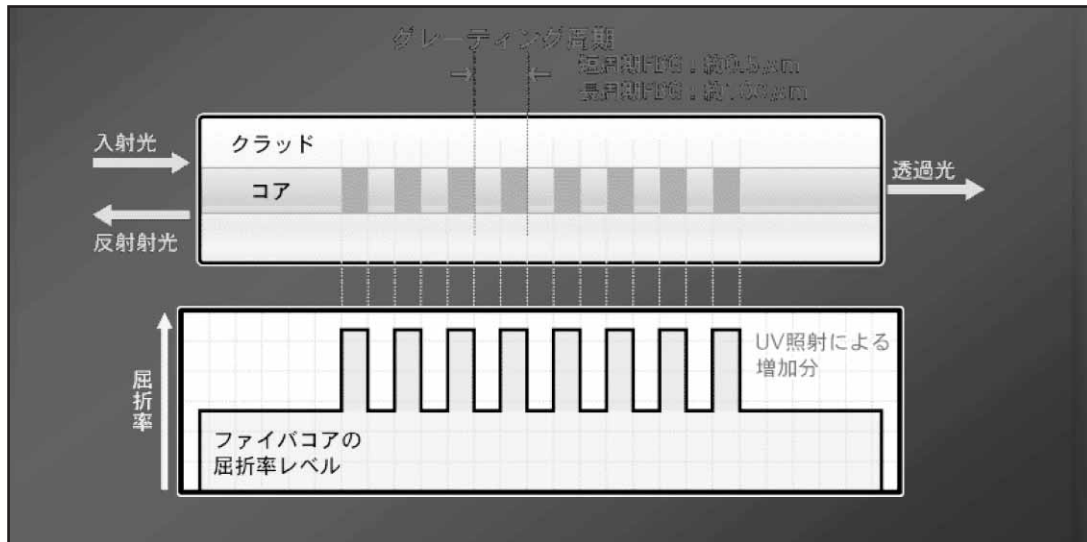
- ・ 光ファイバの微細加工
 - 機械加工
 - 熱加工
- ・ ファイバ組合せ加工
- ・ ファイバグレーティング加工
- ・ ファイバ自身の低損失、伝送光ファイバとの低損失接続（融着接続）
- ・ 後方反射、フレネル反射なし
- ・ 量産性、再現性やや困難



光ファイバグレースレーティング

・フィルタ効果

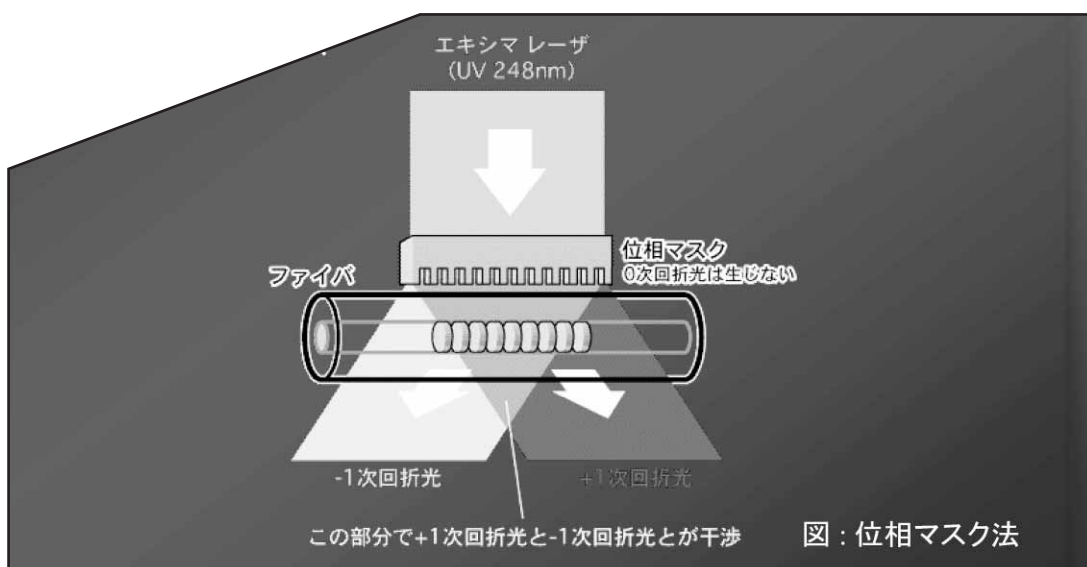
波長240nm付近のUV光を光ファイバに照射するとフォトリフラクティブ効果によりGeドープコアの屈折率が上昇する



・製法

UV光を周期的に露光してグレーティング構造にする

- ・二光束干渉法（例：位相マスク法）
- ・細径ビーム掃引法
- ・振幅マスク法

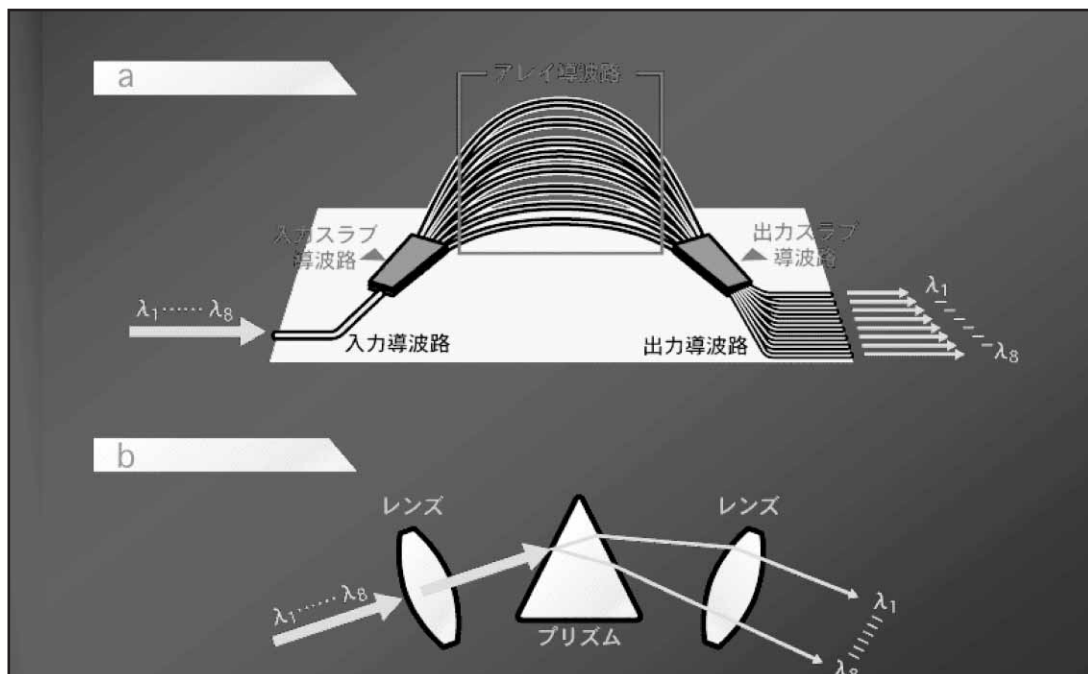


光導波路型素子

- ・ ガラス、石英ガラス、シリコン、プラスチック基板、誘電体結晶基板（LN）
- ・ イオン交換、RIE法、エッチング法
- ・ 多チャンネル化、集積化、多機能化、能動機能
- ・ 課題：製造装置の投資大、光ファイバとの接続技術

AWGの原理とデバイス

- ・ AWG（Arrayed Waveguide Grating）



2) デバイス概論

- ・ 各デバイスの用途と特性
- ・ 光導波路型デバイス

（基礎編 第12節のはじめに戻る）

各デバイスの用途と特性

- ・ カプラ
- ・ フィルタ
- ・ アイソレータ

カプラ

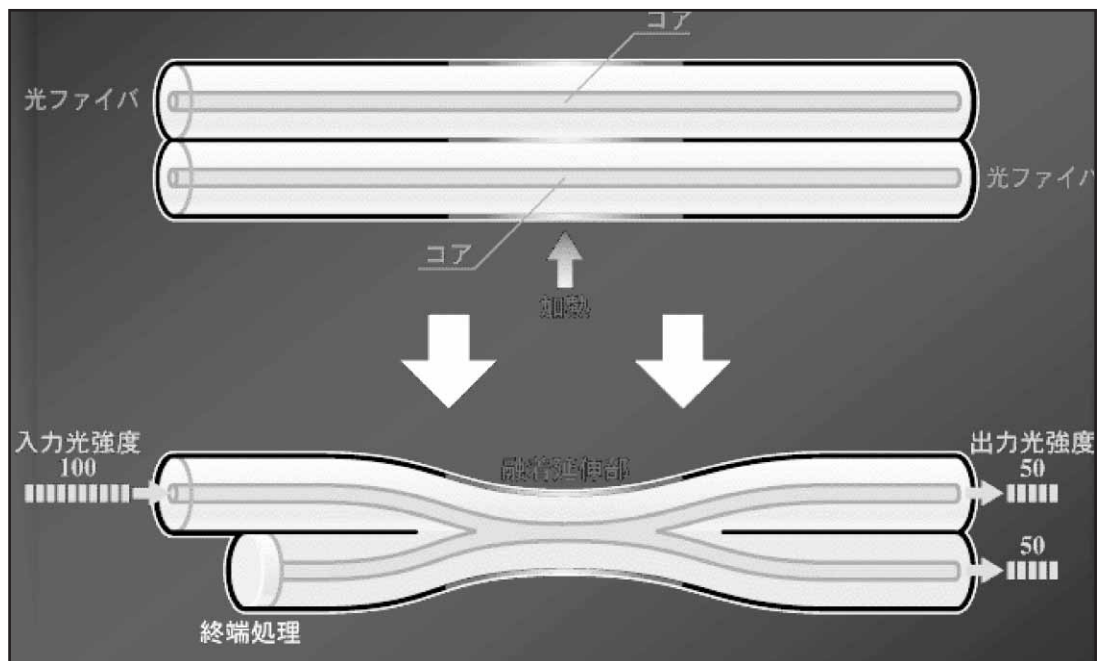
用途

- ・ 光パワーを分配するための光デバイス

特性

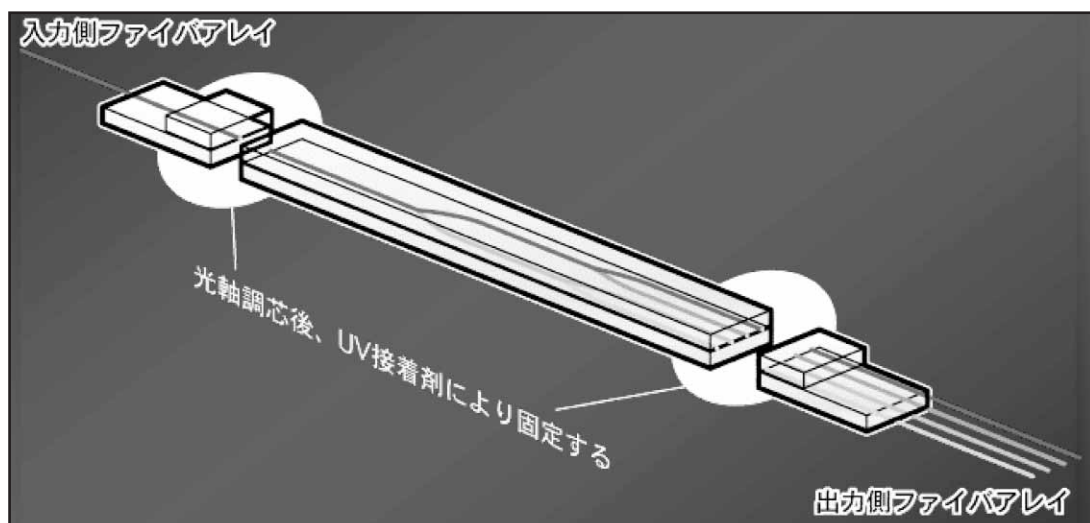
- ・ ファイバ型と導波路型に大別される
- ・ 主に、PON（Passive Optical Network）システムで使用される
- ・ 重要な光学特性
 - 挿入損失、均一性（分岐比） 反射減衰量、動作波長など

ファイバ型カプラ



- ・ 光ファイバを加熱延伸して製造する
- ・ 分配数の少ないカプラで主流
 - 1×2 、 1×4 など

導波路型カプラ



- ・半導体製造等で利用される写真製版技術（フォトリソグラフ）を利用してウェハ上に一括作製される
- ・分配数が多いカプラで主流
 1×8 、 1×16 、 1×32 など

フィルタ

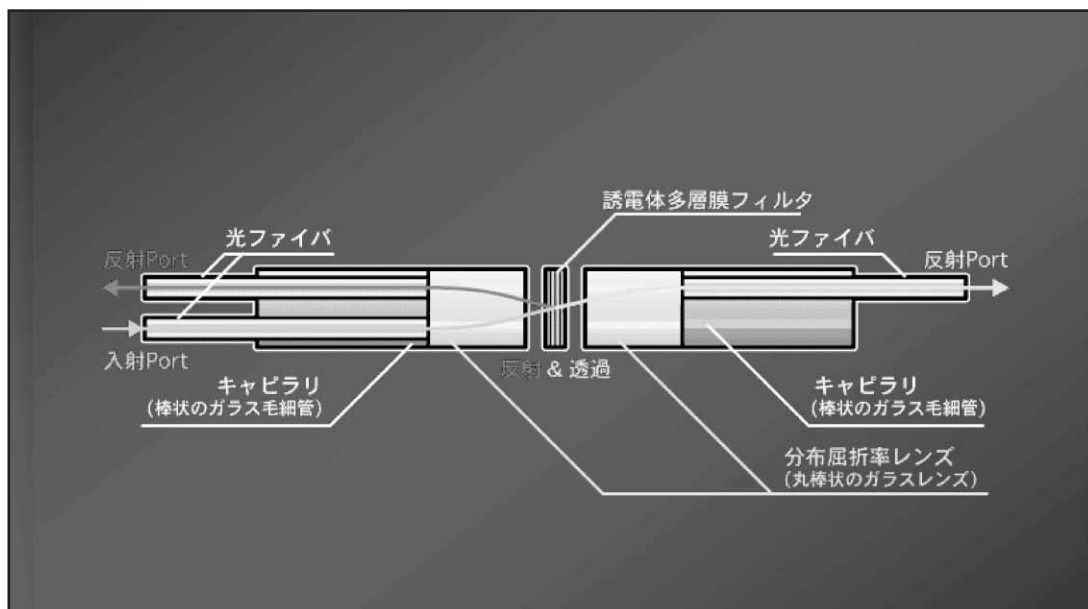
用途

- ・波長多重システム（WDM）において、波長ごとの光信号を分離・遮断するための光デバイス

特性

- ・誘電体多層膜フィルタを利用した製品やF B G（Fiber Bragg Grating）を利用した光デバイスが一般的に利用される
- ・重要な光学特性
挿入損失、アイソレーション、反射減衰量、動作波長など

誘電体多層膜型フィルタ



- ・キャピラリ、レンズ、フィルタなどで構成される
- ・特定の波長の光信号を分離・遮断することができる
- ・動作波長範囲が広く、アイソレーションが高い

F B G型フィルタ

- ・ 光ファイバのなかに、周期的な屈折率変化 = 回折格子を形成することで、特定の波長の光信号を反射する
- ・ 主に、特定の光信号を遮断する用途で利用される

アイソレータ

用途

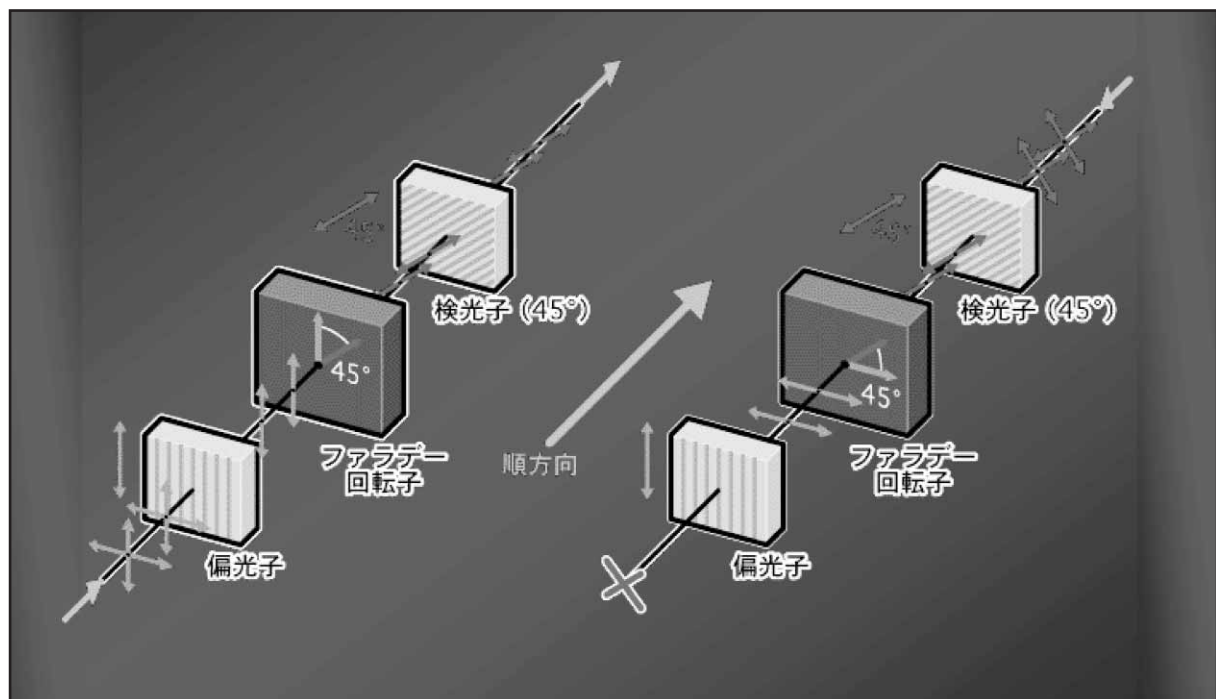
- ・ 一方向のみ光信号を透過させ、逆方向への光信号を遮断するための光デバイス

特性

- ・ システム内の反射戻り光により、コンポーネントが動作不安定になるのを防ぐ
- ・ 主にLD（レーザダイオード）と光増幅器で利用される
- ・ 重要な光学特性

挿入損失、アイソレーション、反射減衰量、偏光安定性など

アイソレータの原理



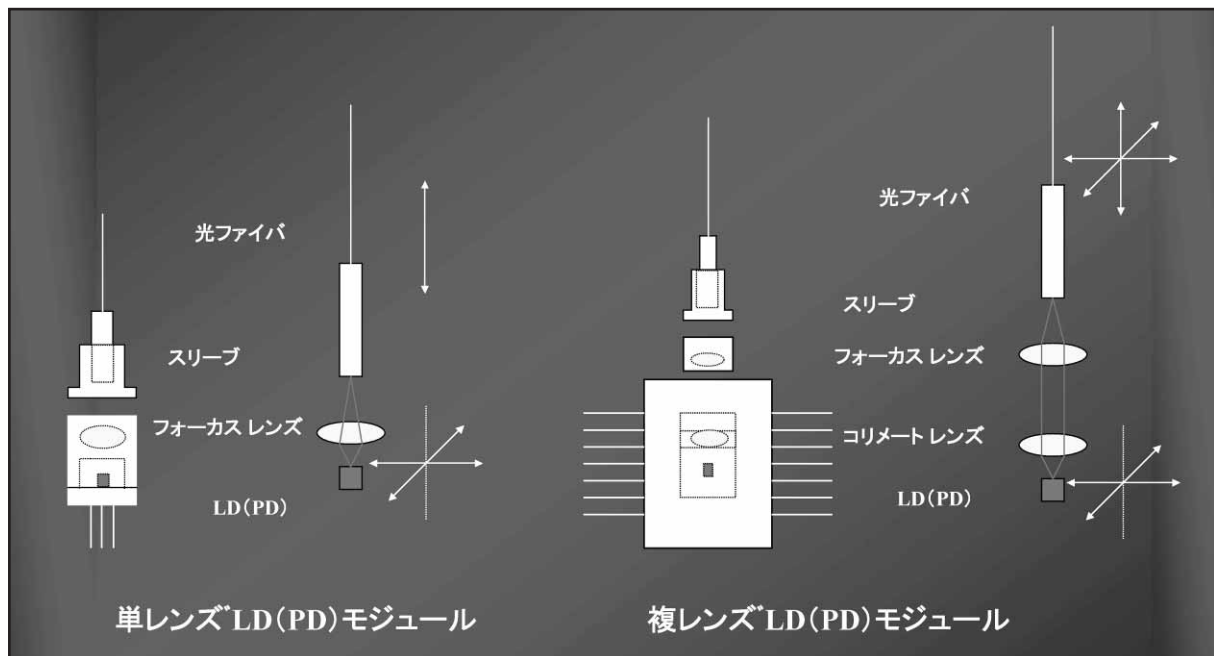
各種デバイスの調芯

- ・ 光デバイスの種類
- ・ 光能動デバイスの調芯
- ・ 光受動デバイスの調芯

光デバイスの種類



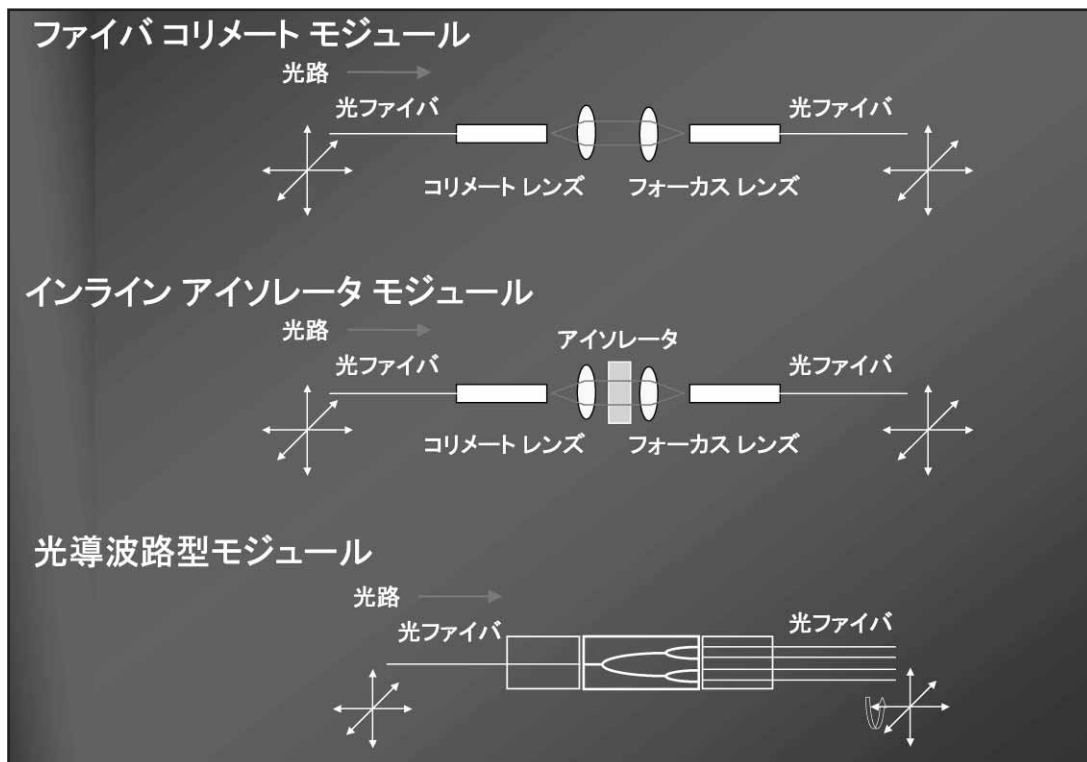
光能動デバイスの調芯



- ・単レンズLD(PD)モジュール
- ・複レンズLD(PD)モジュール

光能動デバイスモジュール実装装置ビデオが上映されます

光受動デバイスの調芯

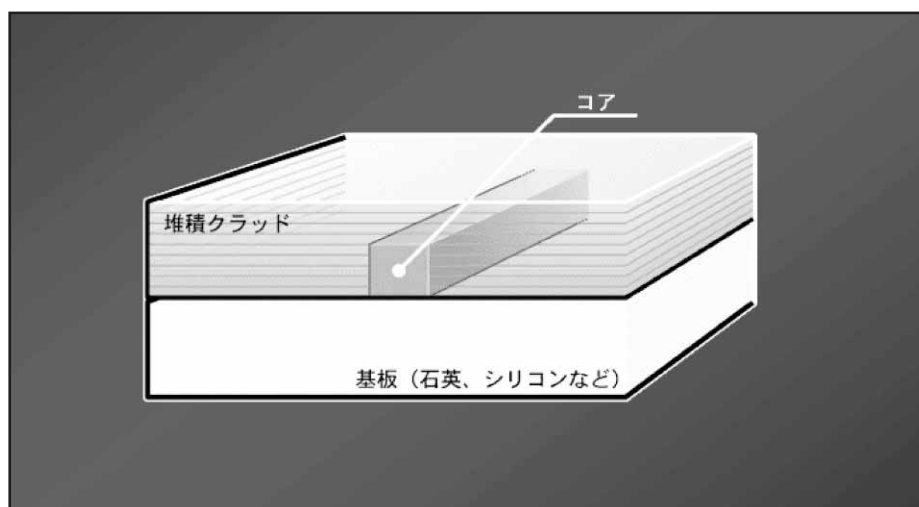


- ・ファイバコリメートモジュール
- ・インラインアイソレータモジュール
- ・光導波路型モジュール

光導波路型デバイス

- ・導波路型デバイス
- ・パッケージング
- ・導波路と光ファイバの接続

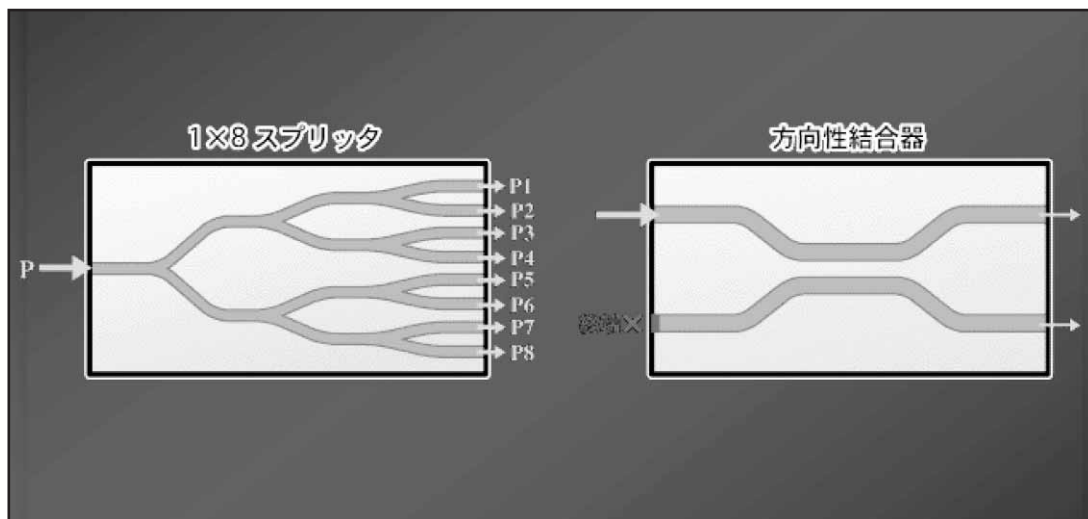
導波路型デバイス



特長

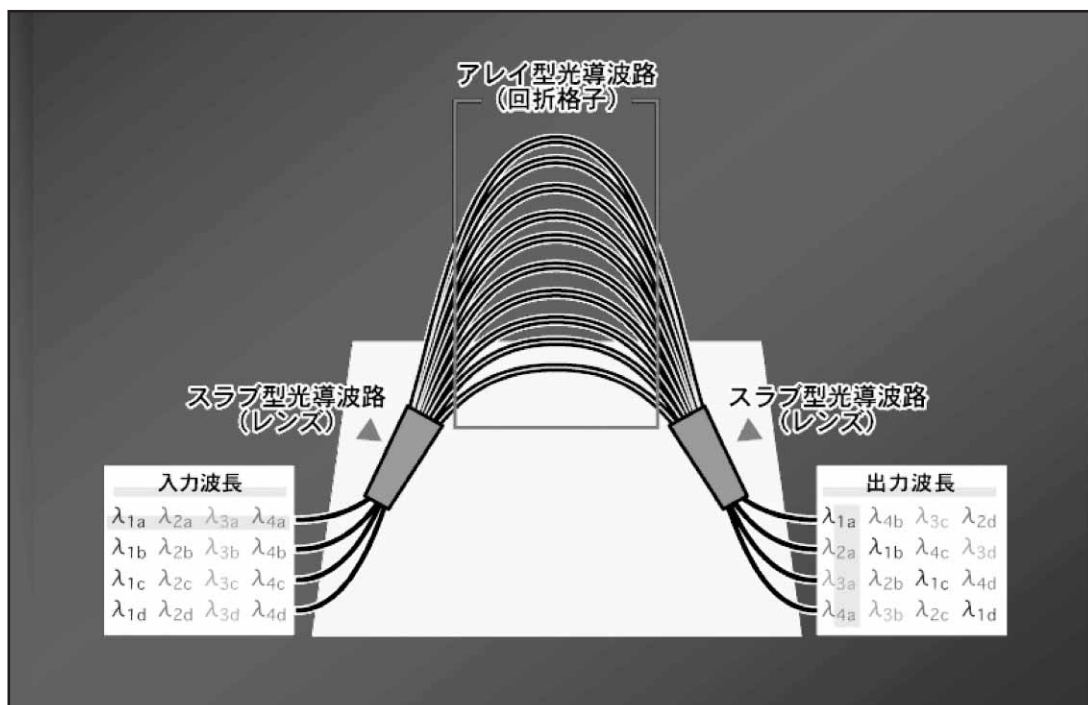
- ・ 基板の上に光ファイバのコアやクラッドに相当する薄膜を形成して光を導波させる
- ・ 基板には石英ガラスやシリコンが使われる
- ・ コアの構造や材質を変えることで、多機能化できる
- ・ ファイバ型デバイスに比べ、多くの光部品を集積できる。
- ・ デバイスの小型化に向いている

光分岐・結合器



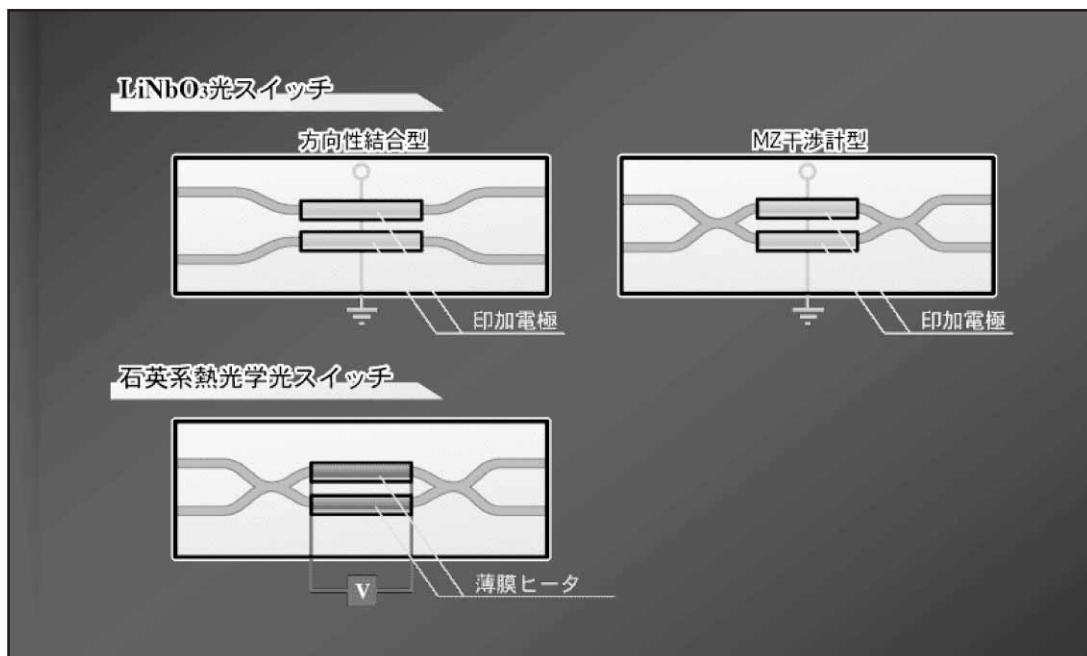
- ・ 1つの光を複数の光に分ける機能と、複数の光を1つの光にする機能を持つ
光分岐機能と結合機能

アレイ導波路講師型波長合分波器



- ・入力ポートの1つに多数の波長をまとめて入射すると、それぞれの出力ポートから個別の波長を取り出すことができる。
- ・入射導波路からスラブ導波路に入った光は、回折で拡がり、アレイ導波路に入る
- ・アレイ導波路は、それぞれ長さが異なるので、アレイ導波路出力端で波長に依存した位相差が生じる
- ・再びスラブ導波路に入った光の多重干渉条件が成立する位置に出力導波路を配置することで、分派することができる。

光スイッチ



電気工学効果の利用

- ・強誘電体結晶のLiNbO₃は、電界に比例して屈折率が変化する
- ・方向性結合器か、MZ干渉計構成が一般的である
- ・電界で屈折率を変化させ、干渉状態を変えることで切り替える

熱工学効果の利用

- ・石英ガラスは温度により屈折率が変化する
- ・薄膜ヒータで導波路の屈折率を変化させ、干渉状態を変えることで切り替える

パッケージング

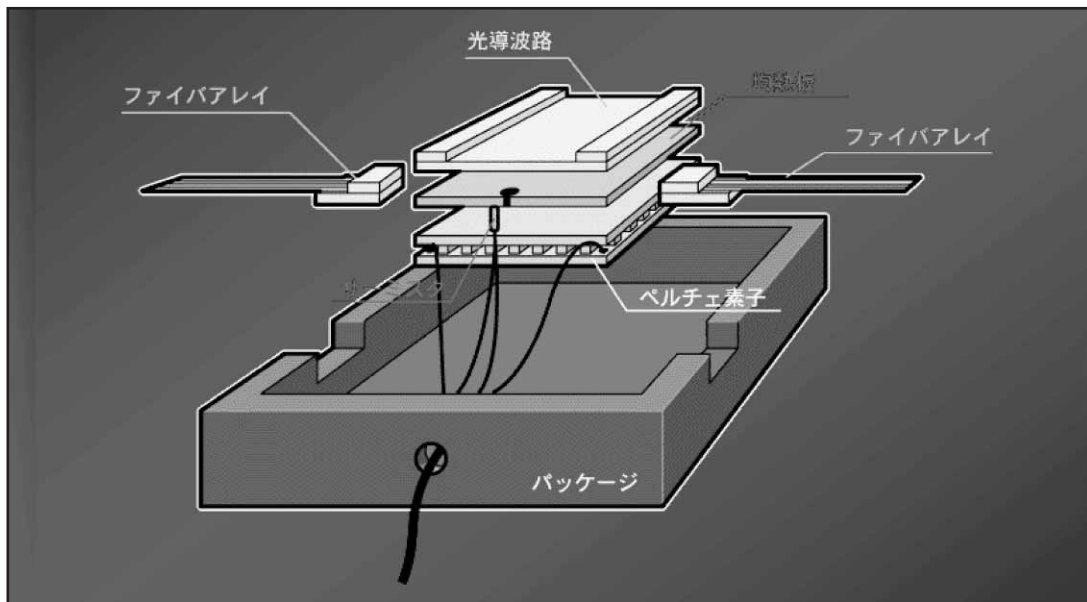
温度補償パッケージ

- ・AWGなどのデバイスは波長の温度依存性が大きい
- ・少しの温度変化で容易に波長がシフトする
- ・パッケージに温度調整機能を持たせ、導波路基板を一定温度に保つことで、安定した動作を実現できる

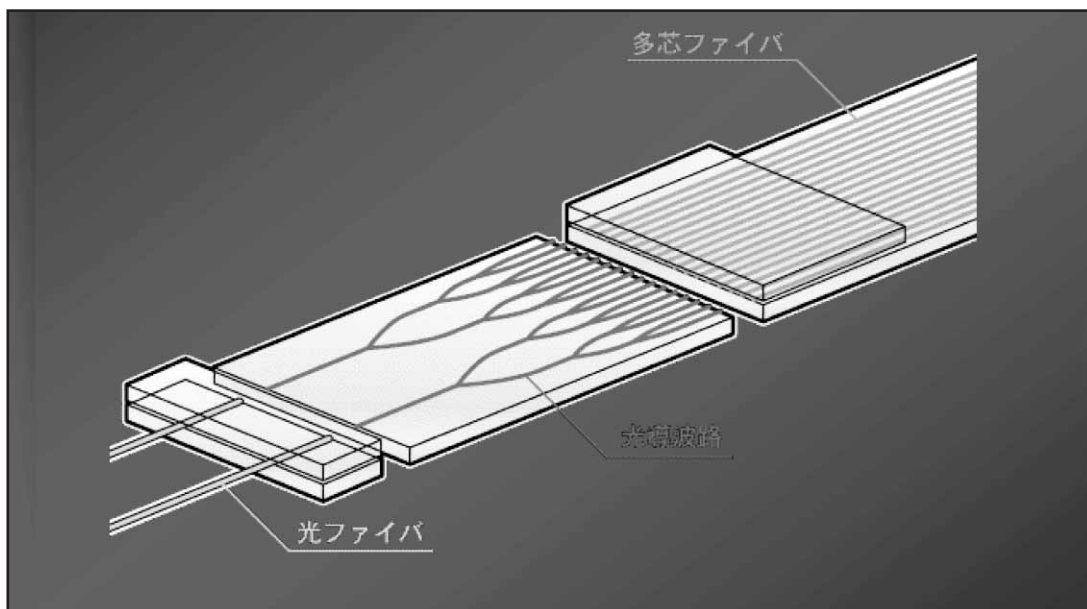
気密パッケージ

- ・パッケージを完全気密構造とし、外気と遮蔽する

- ・ 接着部分など温度に弱い部分を保護し、デバイスの長期信頼性を確保する



光導波路と光ファイバの接続



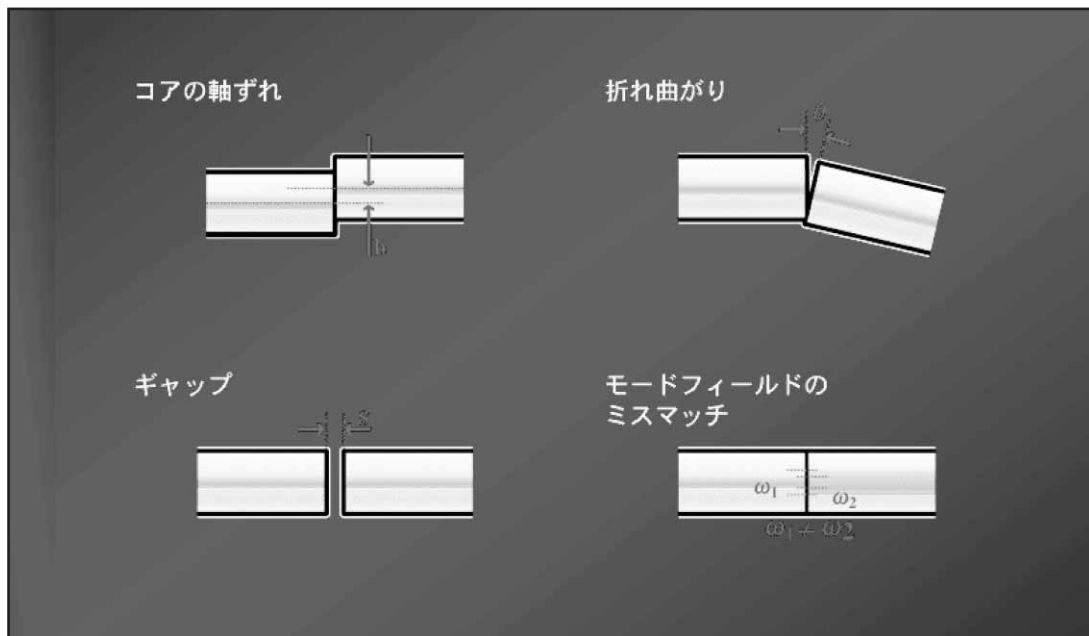
光導波路と光ファイバの接続

- ・ ファイバアレイと光導波路を端面研磨する
- ・ 端面研磨したファイバアレイと、光導波路をそれぞれ微動台に乗せる
- ・ 研磨面の面合わせ、突き合わせ、調芯を行う
- ・ 接合面をUV接着剤で固定する

ファイバアレイ

- ・ Vガラス板に形成されたV溝列に光ファイバをいれ、ガラス板で押さえて接着固定したもの
- ・ 接続損失を抑えるために、コアピッチ（V溝間隔）精度が重要になる

接続損失の発生要因



接続損失

- ・光部品を接続するとき、さまざまな要因による光の放射や反射で光パワーの一部が損失する

接続損失の原因

- ・コアの軸ずれ
- ・折れ曲がり
- ・ギャップ
- ・モードフィールド径のミスマッチ

精密な調芯の必要性

接続損失の要因は、それぞれ加算される

- ・すべての接続損失は大きくなる

接続損失を20%以下にするには、軸ずれは2 μm 以下にする

（シングルモードファイバの場合）

サブミクロン単位の精密な調芯が必要

- ・調芯装置

3) モジュール実装

- ・実装概論
- ・低接続損失、高精度実装・評価の実現

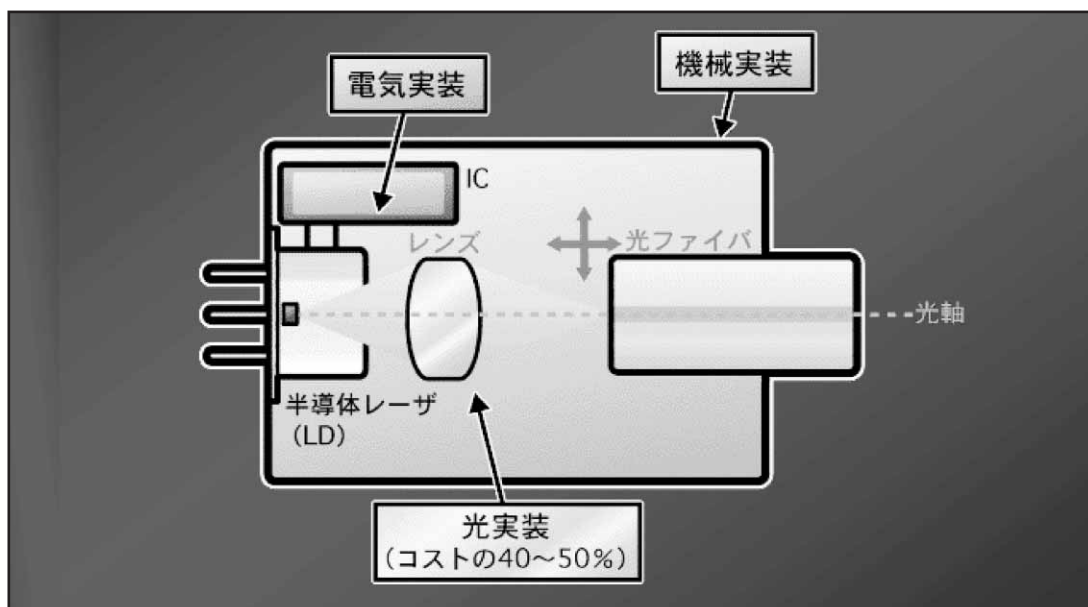
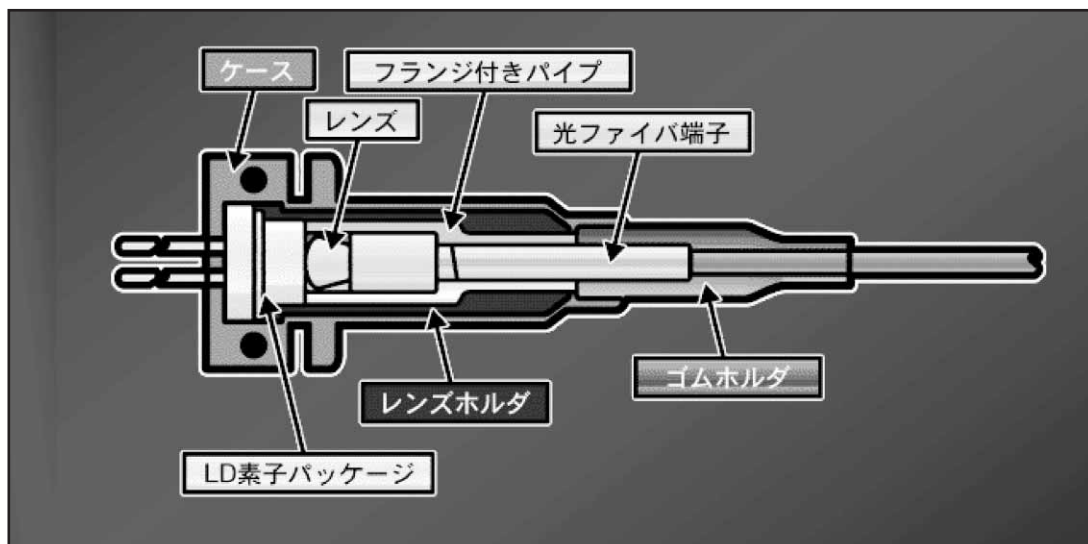
(基礎編 第12節のはじめに戻る)

実施概要

- ・光実装技術の概要
- ・平面実装パッシブアラインメント
- ・パッシブアラインメント
- ・プレス加工AuSnバンプ形成
- ・スポットサイズ変換
- ・凹凸勘合

光実装技術の概要

- ・光モジュール実装の要素技術



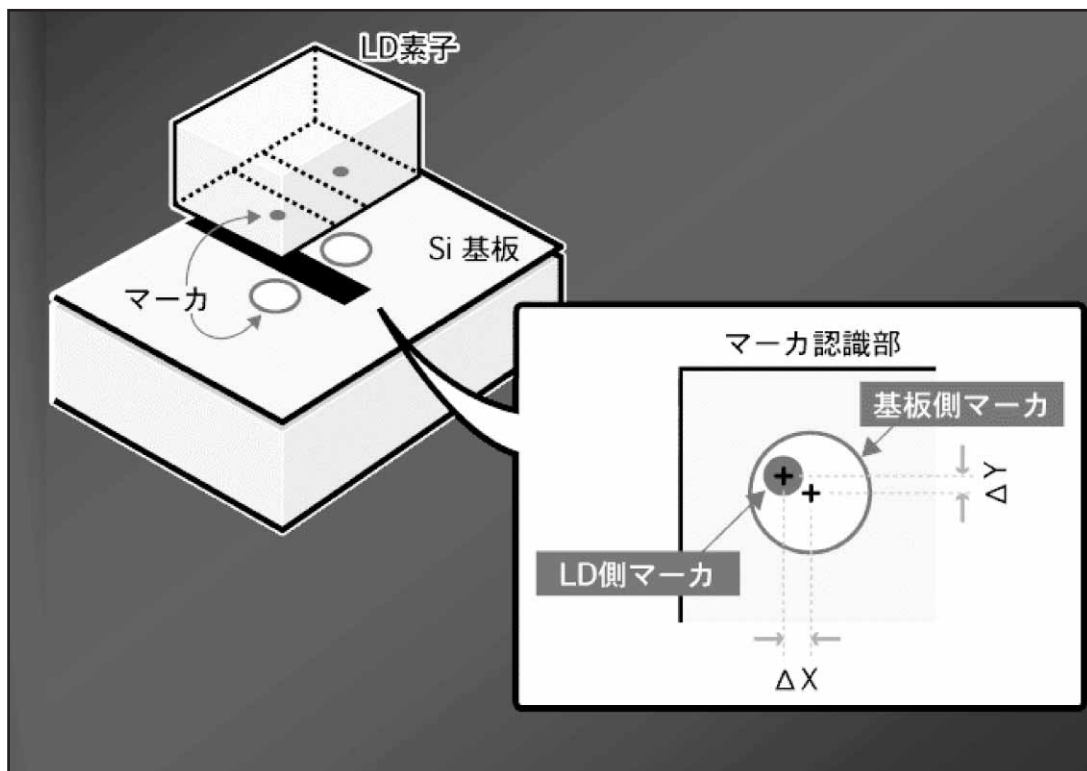
平面実装パッシブアラインメント

- ・ 同軸実装→平面実装→無調整ベアチップ実装
- ・ パッシブ実装
 - ・ 光パワーをモニタしない
 - ・ 光軸調整をしない
 - ・ モード変換導波路、レンズレス結合方式
 - ・ メトロ、アクセス系低コスト光部品

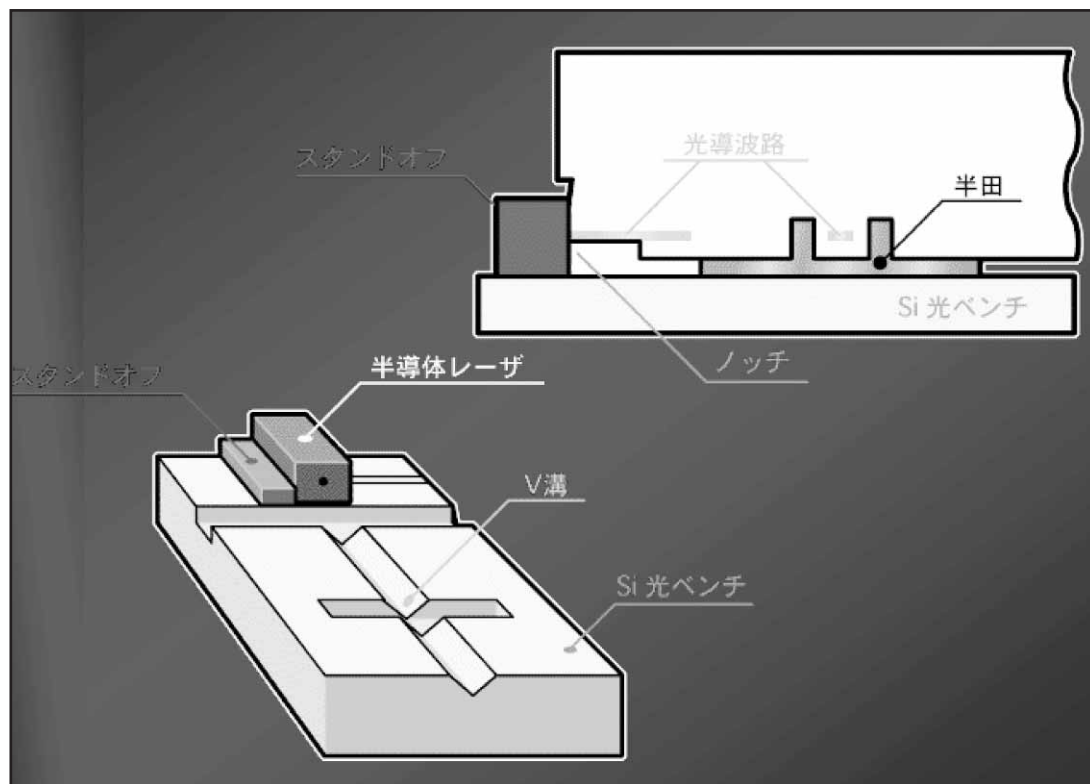
パッシブアラインメント

- ・ 画像アラインメント（ビジュアルアラインメント）
 - ・ 光チップ、基板両者に調整用マーカ
 - ・ 画像認識、高精度マウンタで位置決め
- ・ 機械式アラインメント（メカニカルアラインメント）
 - ・ 光チップにエッジ加工、基板側にスタンドオフ形成
 - ・ 機械的な突き当て方式
- ・ フリップチップセルフアラインメント
 - ・ ソルダーバンプによるセルフアライン位置決め
 - ・ スタンドオフとの組み合わせもあり

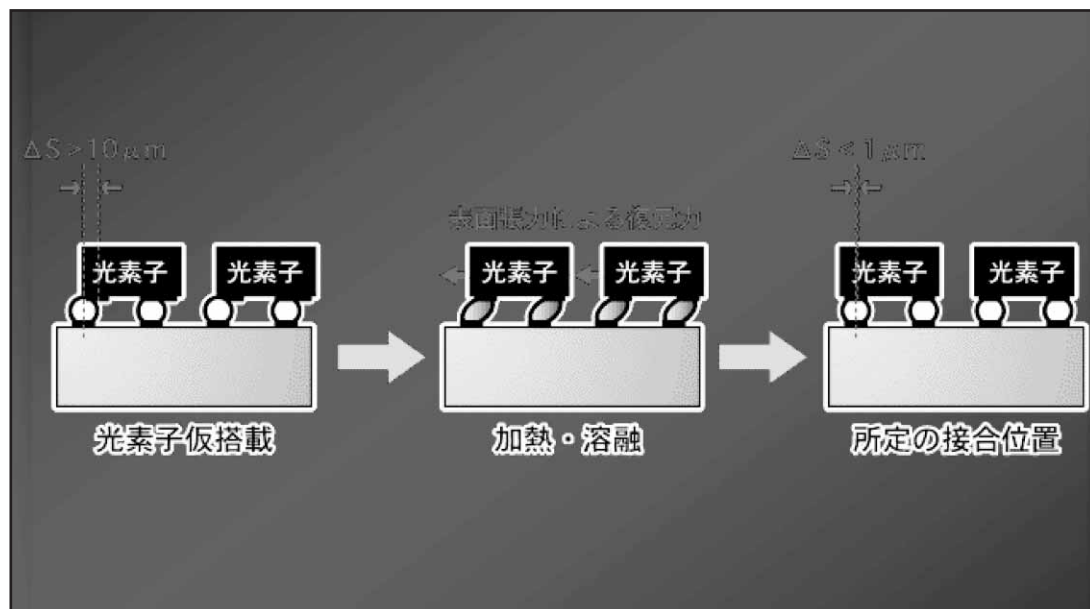
ビジュアルアラインメント



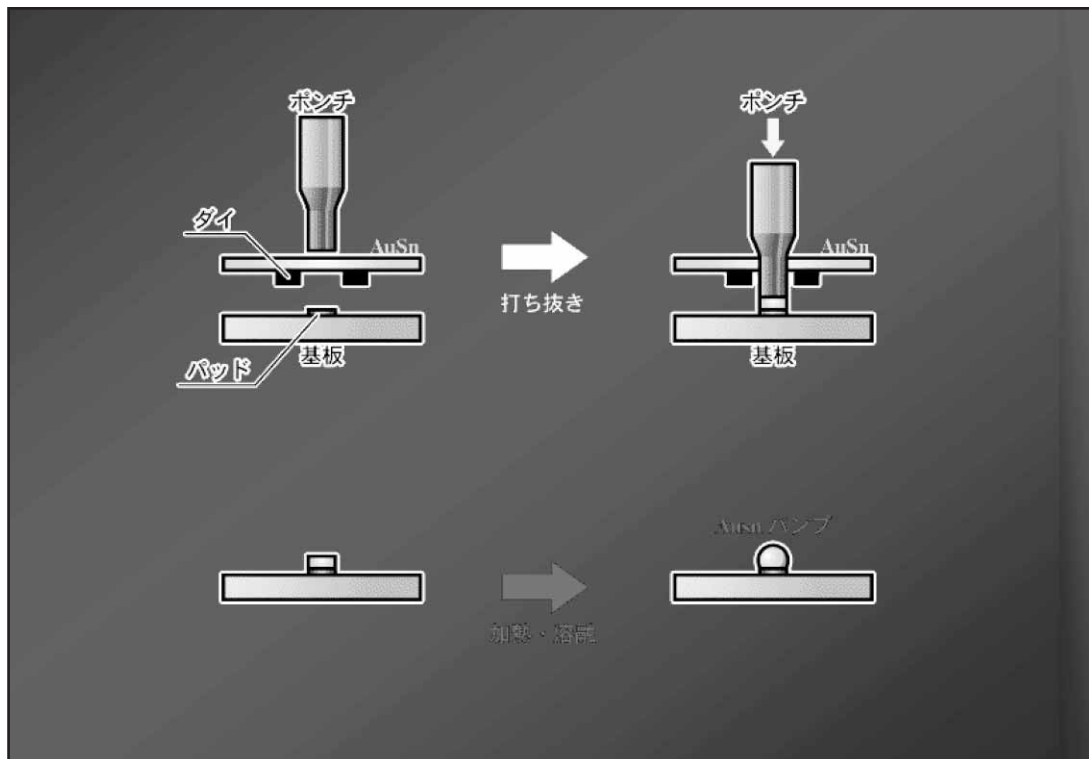
メカニカルアラインメント



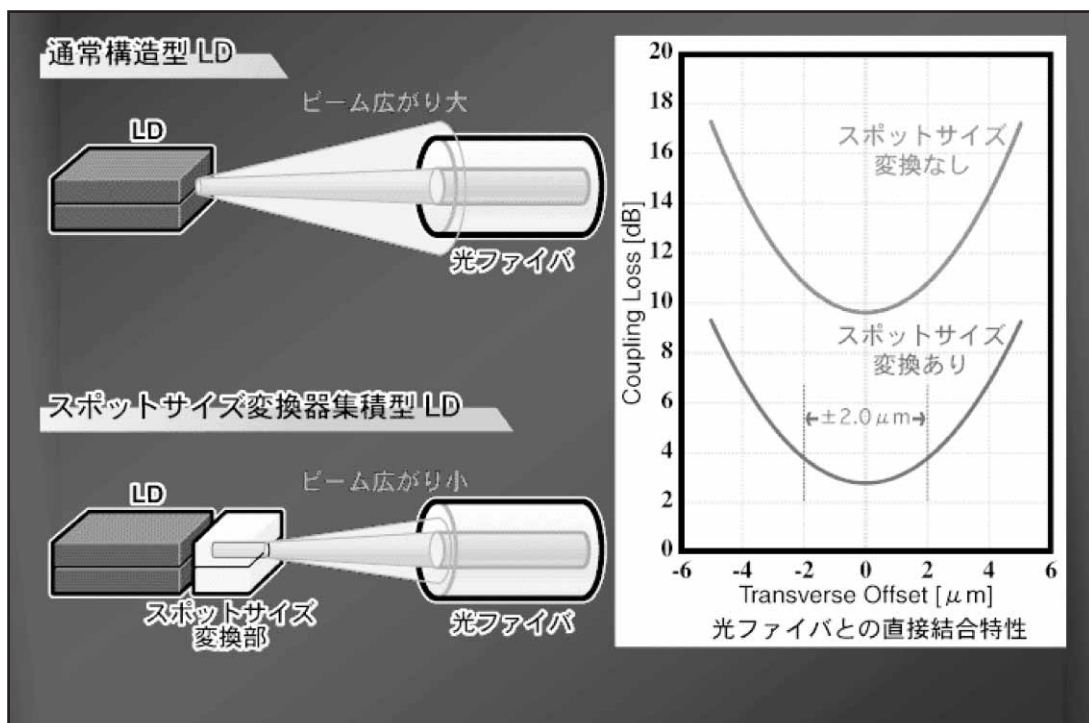
フリップチップセルフアラインメント



プレス加工AuSnバンプ形成

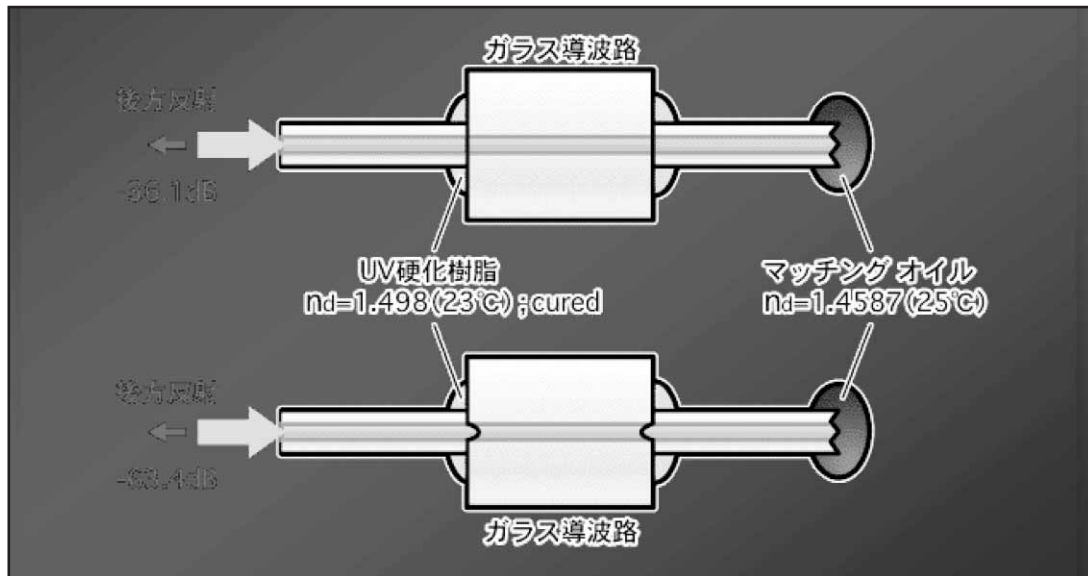


スポットサイズ変換



凹凸勘合

- ・セルフアラインメント
- ・後方反射の自律低減

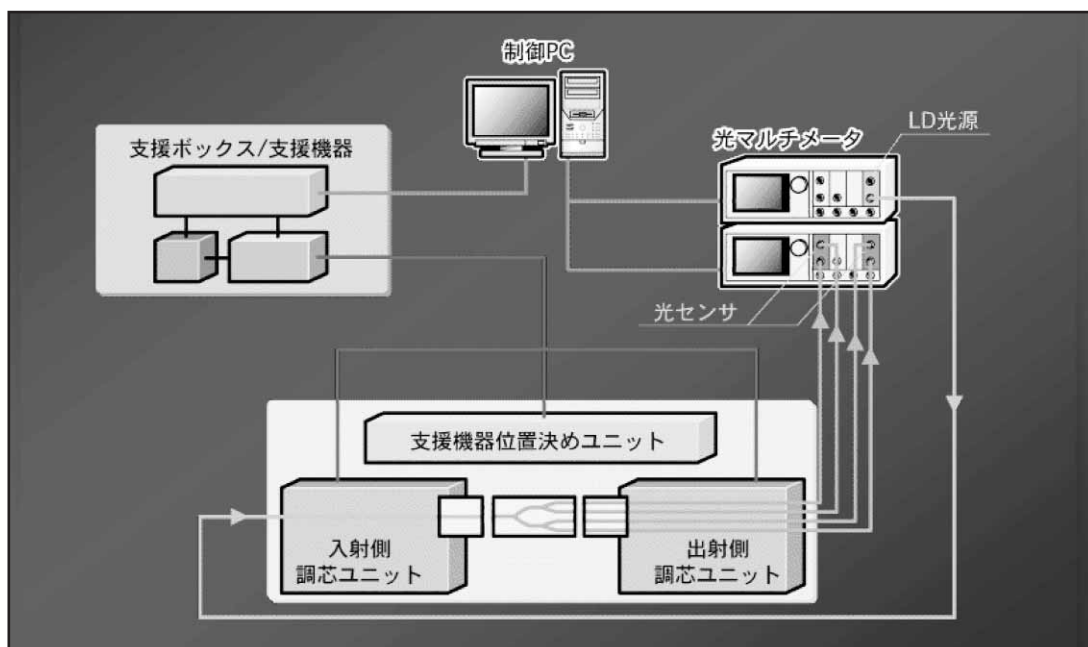


低接続損失、高精度実装・評価の実現

- ・光導波路型モジュール実装
- ・光導波路モジュール実装 / チップ評価装置
- ・ファイバアレイコアピッチ測定装置

スプリッタモジュール実装ビデオが上映されます

光導波路モジュール実装

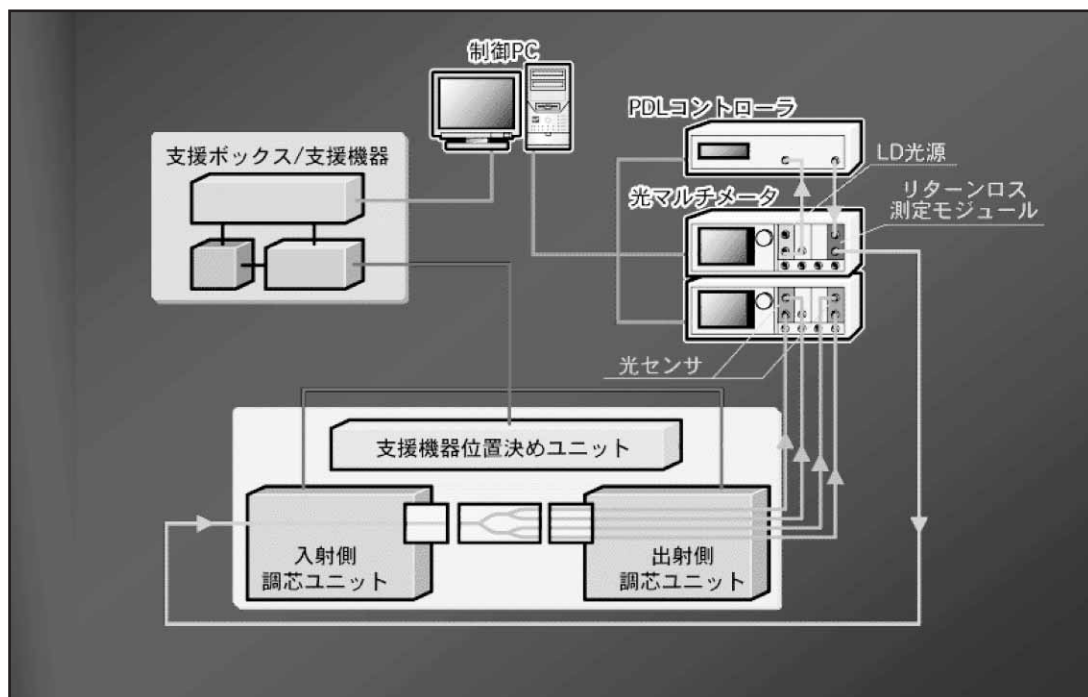


スプリッタモジュール実装手順

- 1．光導波路の取り付け
- 2．ファイバアレイの取り付け
- 3．ファイバアレイ方端をLD光源、光センサに接続
- 4．入射側ファイバアレイの姿勢補正
- 5．入射側ファイバアレイを光導波路に接触、接触後に調芯ギャップを確保
- 6．IRカメラによる入光調芯
- 7．出射側ファイバアレイの姿勢補正
- 8．出射側ファイバアレイを光導波路に接触、接触後に調芯ギャップを確保
- 9．出射側ファイバアレイへの入光調芯
- 10．入射側ファイバアレイを利用して、X - Y調芯
- 11．出射側ファイバアレイを利用して、U - V調芯、Tw調芯
- 12．UV接着剤の塗布
- 13．最終調芯
- 14．UV接着剤の硬化
- 15．完成したモジュールの取り外し

光導波路チップの評価

- ・評価用調芯装置と周辺機器



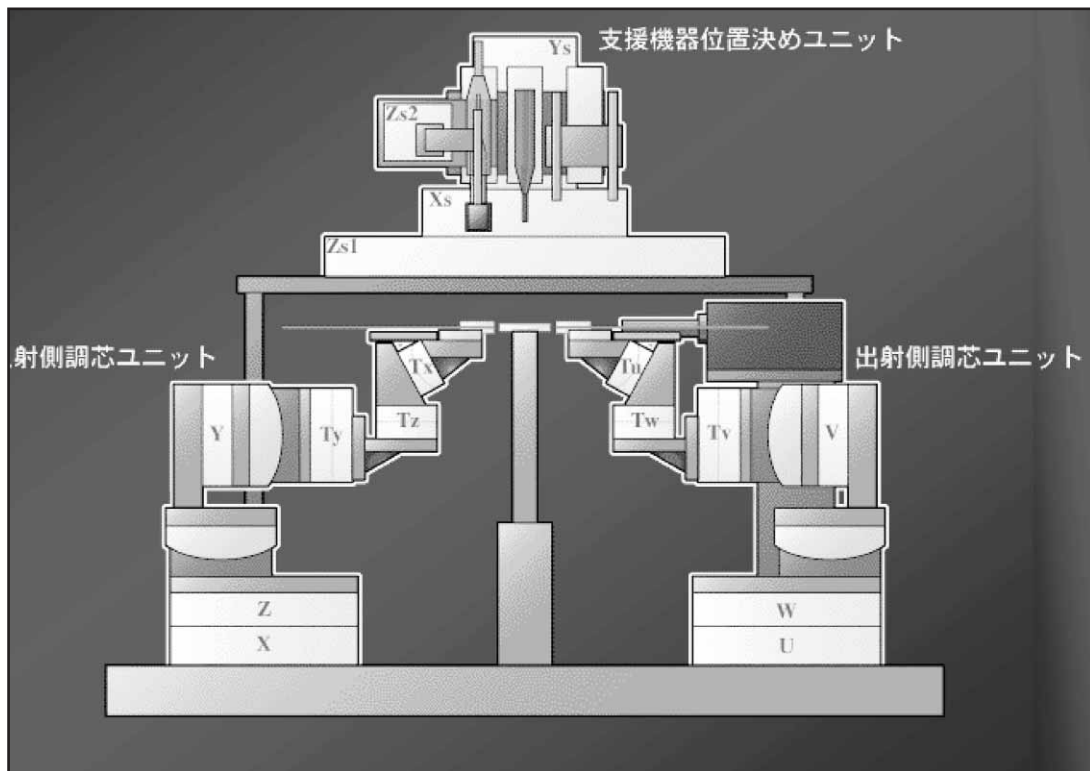
ファイバのリファレンス測定手順

- 1．装置に取り付けた光導波路ホルダを外す
- 2．ファイバアレイの取り付け
- 3．入射側ファイバアレイの方端をリターンロス測定モジュールに接続
- 4．出射側ファイバアレイの方端を光センサに接続
- 5．入射側ファイバアレイの姿勢補正（出射側ファイバアレイの先端を基準）
- 6．入射側ファイバアレイを出射側ファイバアレイ先端に接触、接触後に調芯ギャップを確保
- 7．入射側ファイバアレイの出力光を出射側ファイバアレイの1 c hへ入光調芯
- 8．入射側ファイバアレイと出射側ファイバアレイ1 c hを使用してX - Y調芯
- 9．マッチングオイルの塗布
- 10．X - Y最終調芯
- 11．入射側ファイバアレイを出射側ファイバアレイ2 c hへ移動
- 12．X - Y最終調芯（調芯終了後の光パワーを保存）
- 13．出射側ファイバアレイのチャンネル数分、手順10．11．を繰り返す
- 14．調芯終了
- 15．ファイバアレイ先端に付着したマッチングオイルの除去（ファイバアレイの取り外しは行わずスプリッタチップの評価に備える）

スプリッタチップの評価手順

- 1．光導波路ホルダの装置への取り付け
- 2．光導波路の取り付け
- 3．入射側ファイバアレイの姿勢補正
- 4．入射側ファイバアレイを光導波路に接触、接触後に調芯ギャップを確保
- 5．I Rカメラによる入光調芯
- 6．出射側ファイバアレイの姿勢補正
- 7．出射側ファイバアレイを光導波路に接触、接触後に調芯ギャップを確保
- 8．出射側ファイバアレイへの入光調芯
- 9．入射側ファイバアレイを使用してX - Y調芯
- 10．出射側ファイバアレイを使用してU - V調芯、T w調芯
- 11．マッチングオイルの塗布
- 12．X - Y最終調芯（調芯終了後の各チャンネルの光パワーを保存）
- 13．R L、P D L測定（各チャンネルの測定データを保存）
- 14．評価の終了したスプリッタチップを取り外す

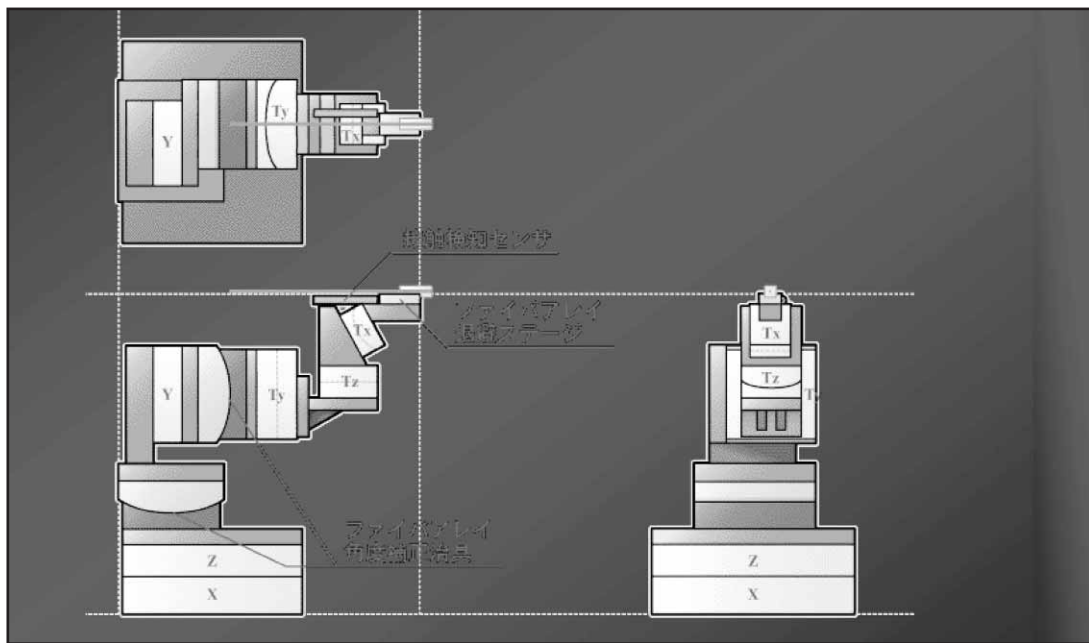
光導波路モジュール実装 / チップ評価装置



装置レイアウト

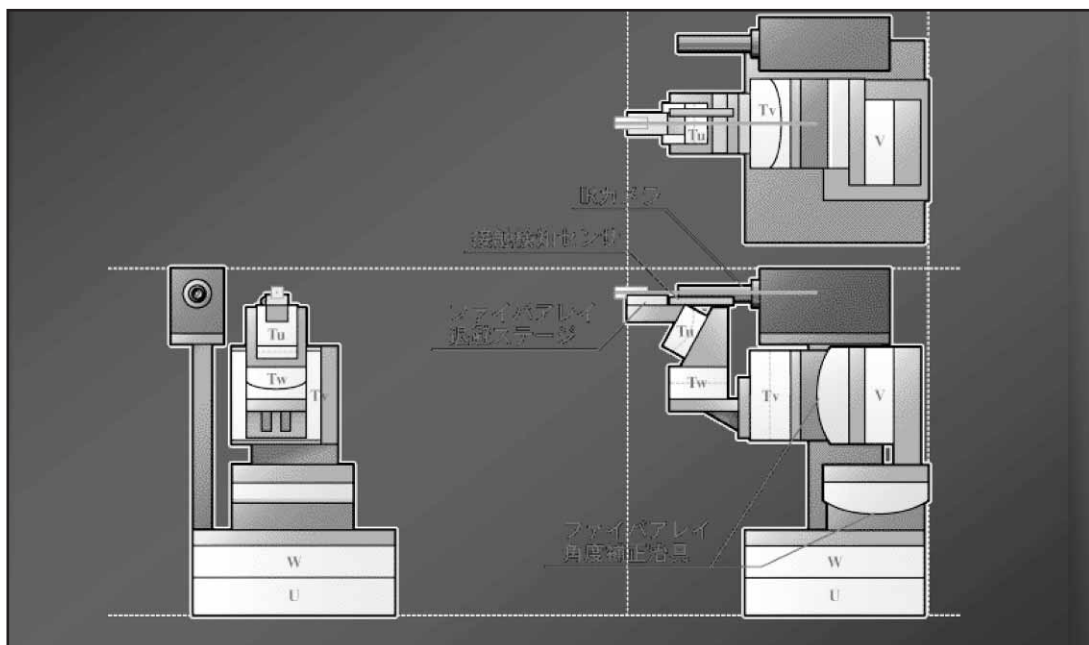
- ・ 入射側調芯ユニット
- ・ 出射側調芯ユニット
 - ・ ファイバアレイと光導波路のギャップ管理
 - ・ ファイバアレイ研磨角度補正治具
- ・ 支援機器位置決めユニット
 - ・ ファイバアレイの姿勢補正
 - ・ UV接着剤の塗布
 - ・ UV接着剤の硬化

入射側調芯ユニット



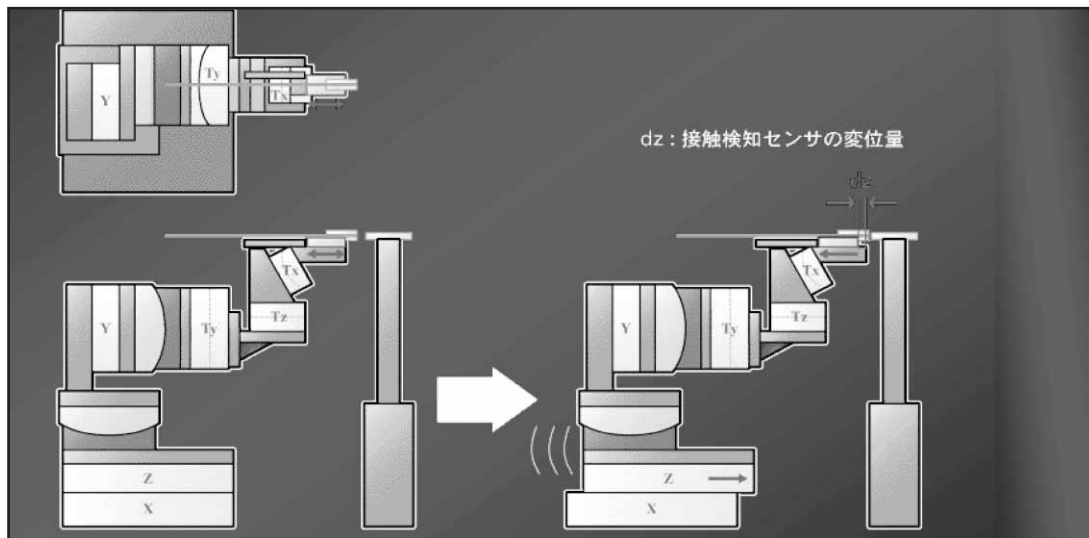
- ・ X、Y、Z、T z : 調芯用自動ステージ
- ・ T x : ファイバアレイ X 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ
- ・ T y : ファイバアレイ Y 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ

出射側調芯ユニット



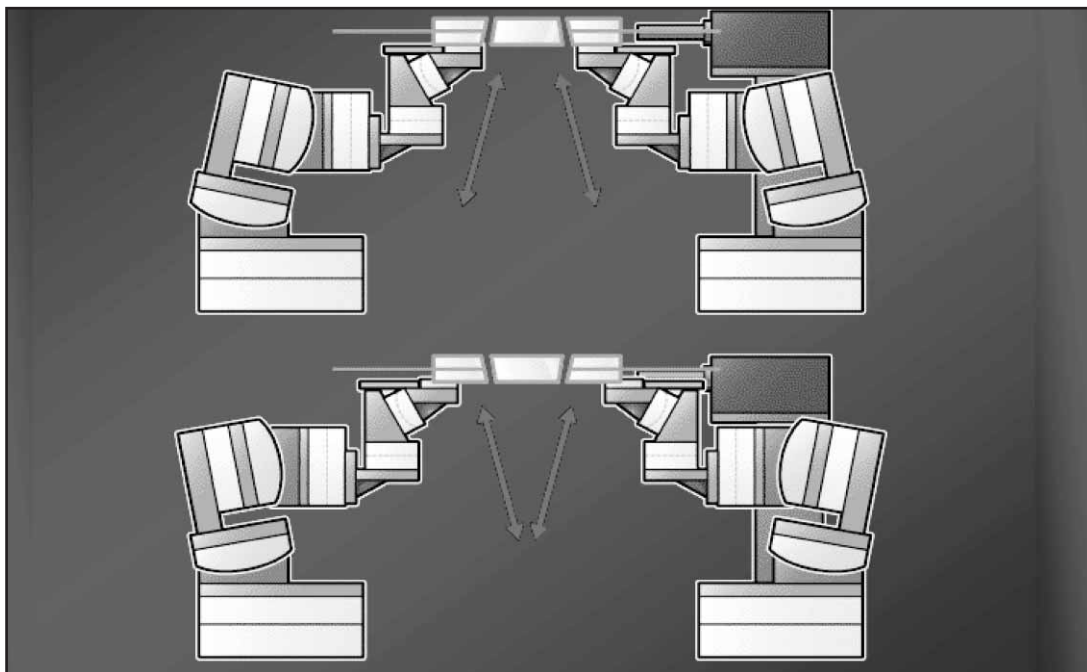
- ・ U , V , W , T w : 調芯用自動ステージ
- ・ T u : ファイバアレイ U 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ
- ・ T v : ファイバアレイ V 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ

ファイバアレイと光導波路のギャップ管理



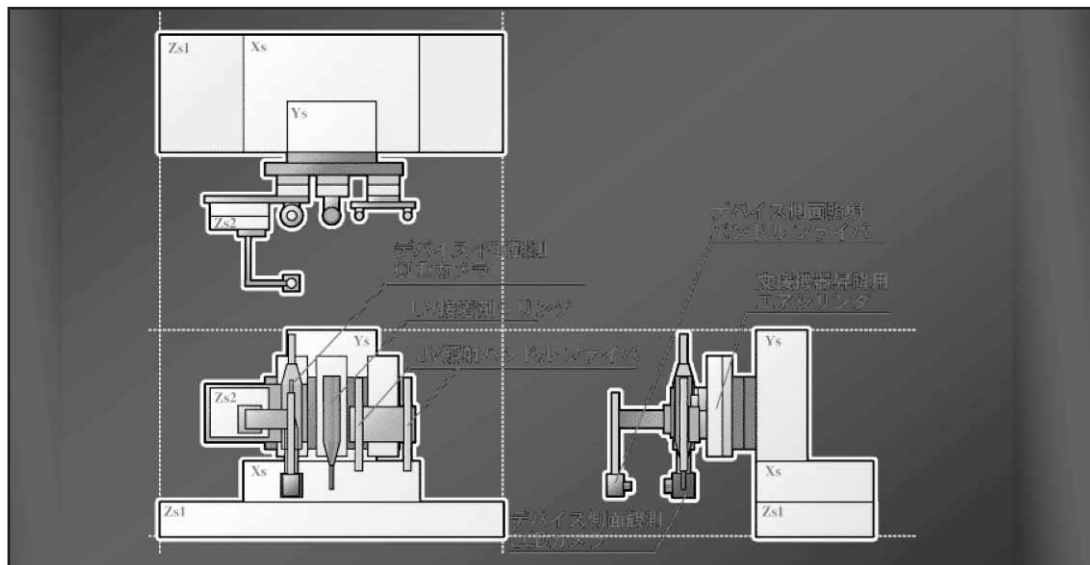
- ・ファイバアレイ退避ステージと接触検知センサを使う
 - ・調芯ユニット上のファイバアレイホルダの直下に設置
- ・接触検知センサの変位発生位置を基準に調芯時のギャップを設定する
 - ・姿勢補正が終了したファイバアレイを光導波路に接近させる

ファイバアレイ研磨角度補正治具



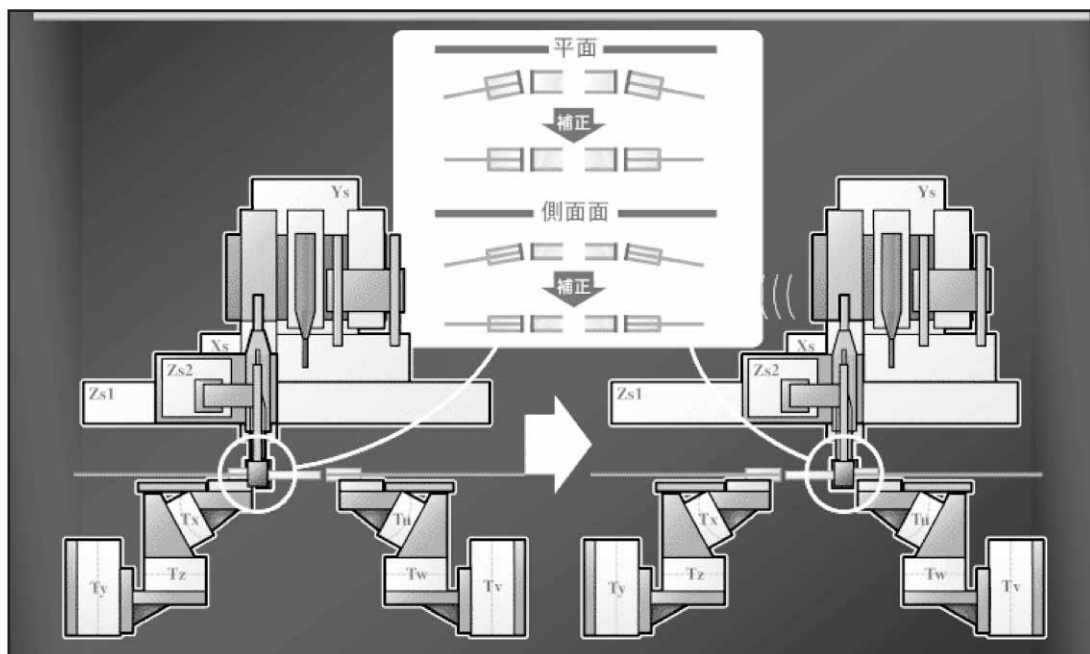
- ・ファイバアレイの研磨角度と平行してY，V軸を移動させるための角度補正治具を調芯ユニットに搭載
 - ・ 8° 、 0° 、 -8°
- ・ファイバアレイと光導波路のギャップが安定、調芯精度が向上する
 - ・Y、Z（V、W）軸を合成移動した場合と比較
- ・角度補正の切り替えは手動で行う

支援機器位置決めユニット



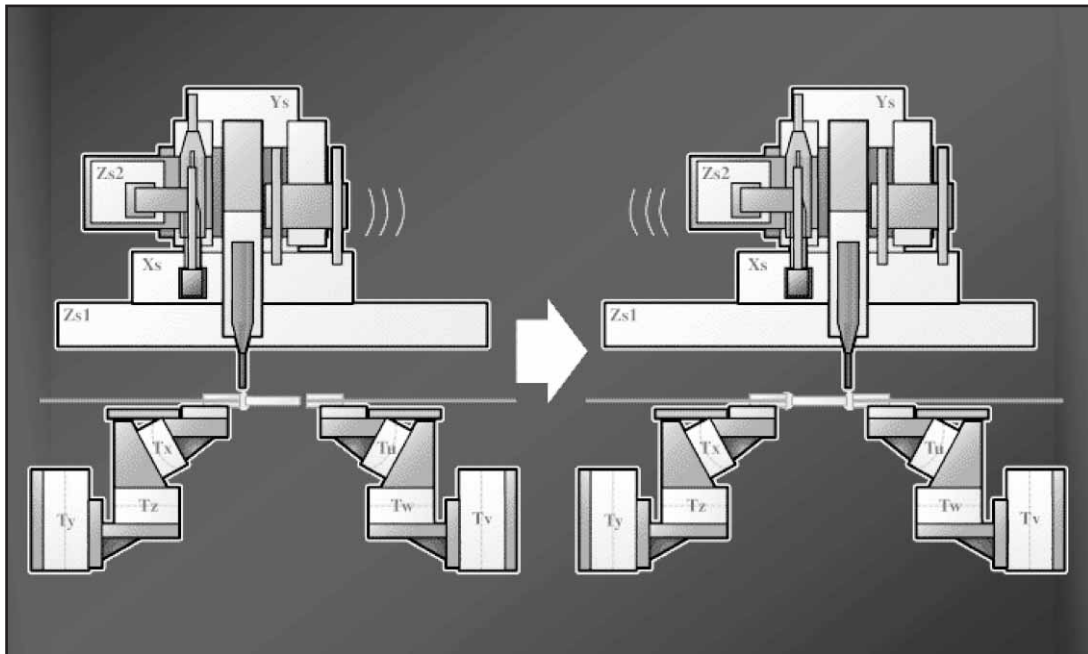
- ・ X_s 、 Y_s 、 Z_{s1}
 - ・ 支援機器位置決め用自動ステージ
- ・ Z_{s2}
 - ・ デバイス側面照射バンドルファイバ位置決め用自動ステージ
 - ・ 支援機器昇降用エアシリンダは各支援機器の昇降時間を短縮するために採用
 - ・ Y_s ステージは各支援機器の微小移動に使用

ファイバアレイの姿勢補正



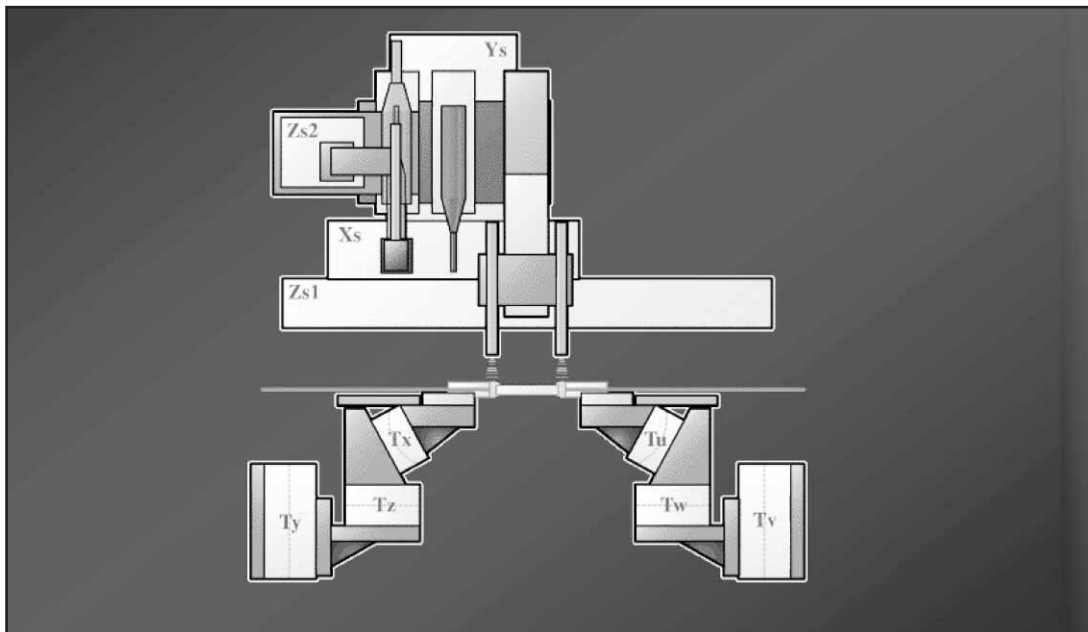
- ・ 平面、側面観察 CCD カメラにより、ファイバアレイと光導波路の先端画像を写す
- ・ ファイバアレイの X 、 Y 軸 (U 、 V 軸) 方向の回転補正角度を算出し、 T_x 、 T_y (T_u 、 T_v) ステージを移動する
- ・ 作業は自動で行う

UV接着剤の塗布



- ・ UV接着剤シリンジを調芯終了位置に移動し、UV接着剤を塗布する
- ・ UV接着剤の塗布、塗布位置の切り替えは自動で行う。
- ・ 塗布量は予めディスペンサに設定する

UV接着剤の硬化



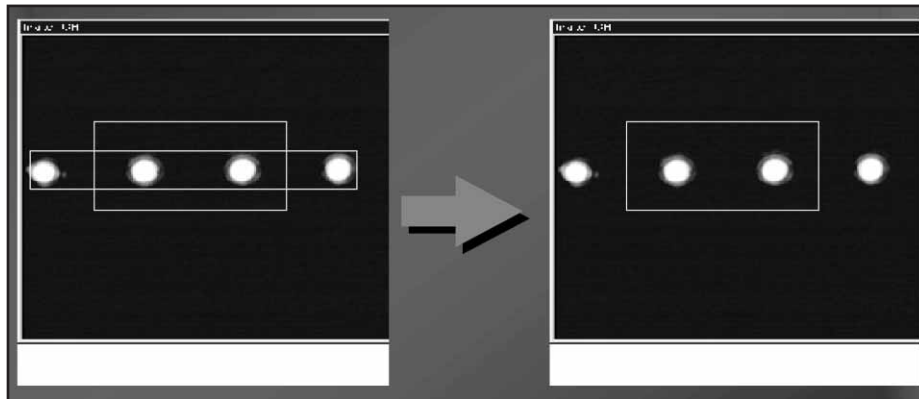
- ・ UV照射バンドルファイバを調芯終了位置に移動し、UV照射を行う
- ・ UV照射バンドルファイバの移動やUV光源に組み込まれたシャッタの開閉は自動で行う
- ・ UV照射条件は、あらかじめUV光源に設定する

調芯

- ・ 入光調芯
- ・ X - Y (U - V) 調芯
- ・ 一軸調芯
- ・ T w 調芯

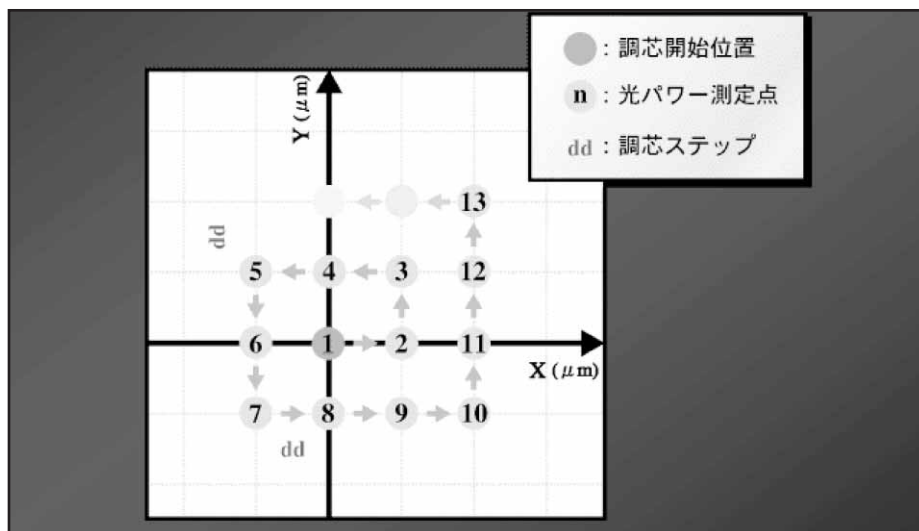
入光調芯

- ・ 画像調芯



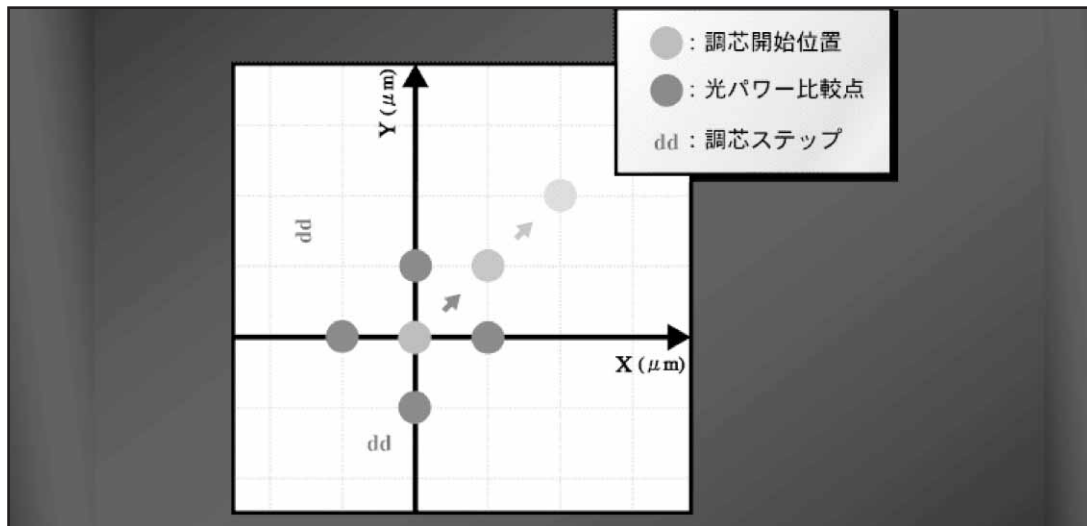
- ・ 入射側ファイバアレイからの出力光を光導波路へ入光するときに使用する
- ・ 光導波路出射側端面画像のコアの部分を矩形指定し、矩形内部の「輝度」が最大になるよう X、Y ステージを移動する

- ・ スパイラル調芯



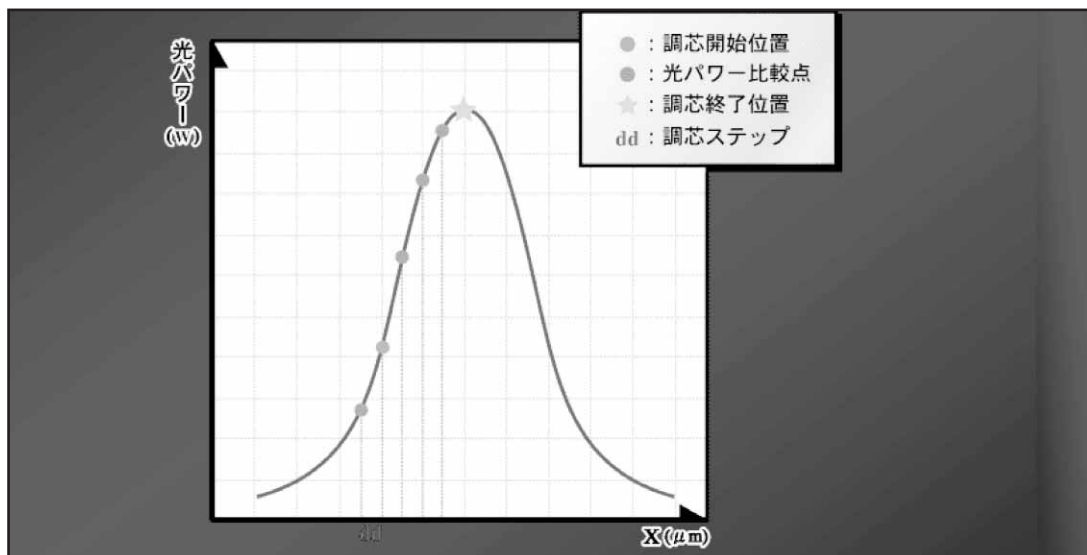
- ・ 画像調芯後、「光パワー」があらかじめ設定した値以下の場合に使用する
- ・ スパイラル調芯のアルゴリズム
- ・ X、Y (U、V) ステージを螺旋を描く様にステップ移動する
- ・ 移動ごとに光パワーを測定し、あらかじめ設定した値以上になるまで続ける

X - Y (U - V) 調芯



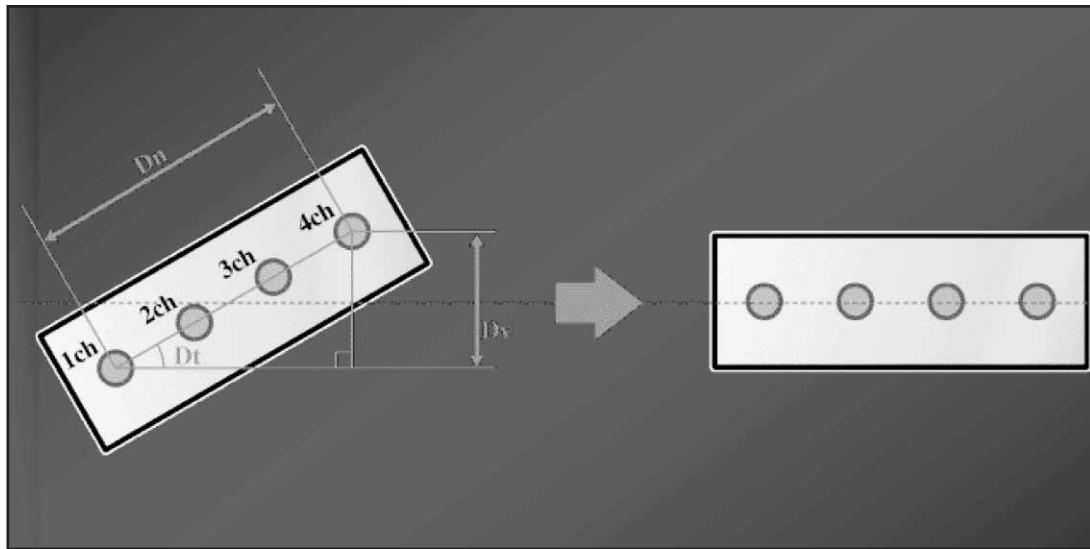
- ・ 光パワーのピークを求めるためにX、Y (U、V) ステージを移動する
 - ・ 光導波路への入光や出射側ファイバアレイへの入光を目的としたステージ移動ではない
- ・ X - Y 調芯のアルゴリズム
 - ・ X - Y 共に + d d 側の光パワーが大きい場合、上図→の方向に移動を開始する
 - ・ 移動開始後は、上図→の延長線上で一軸調芯（正確にはX - Yの合成軸調芯）を行い、光パワーの値が減少するまで移動を繰り返す

一軸調芯



- ・ 指定したステージの一軸を使用する
- ・ 調芯開始位置からピークを探すためにステージを移動する
- ・ 一軸調芯のアルゴリズム
 - ・ X - Y 調芯アルゴリズムと同じ

T w 調芯



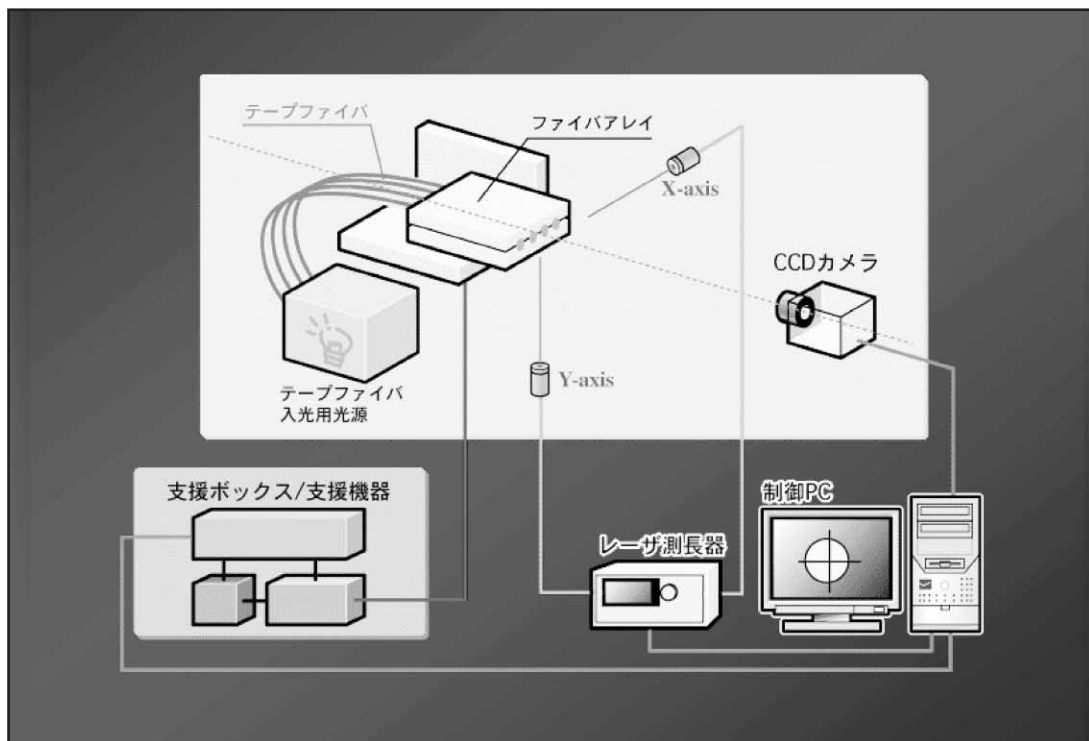
- ・ 出射側調芯ユニットに付けたTwステージを移動する
 - ・ 光導波路と出射側ファイバアレイのW軸方向の回転ズレを補正するため
- ・ Tw調芯のアルゴリズム
 - ・ 出射側ファイバアレイの1chと4chを使用する
 - ・ 個別にU - V調芯を実施、調芯後のV軸の位置差を求める
 - ・ 求めた差と出射側ファイバアレイの1chから4chまでの設計値を使用する
 - ・ W軸方向の回転補正角度を算出し、ステージを移動する
 - ・ 入射側ファイバアレイが複芯の場合は、2台のLD光源、もしくは1×2スイッチを使用し、入射側ファイバアレイへ入光する。

ファイバアレイコアピッチ測定ビデオが上映されます

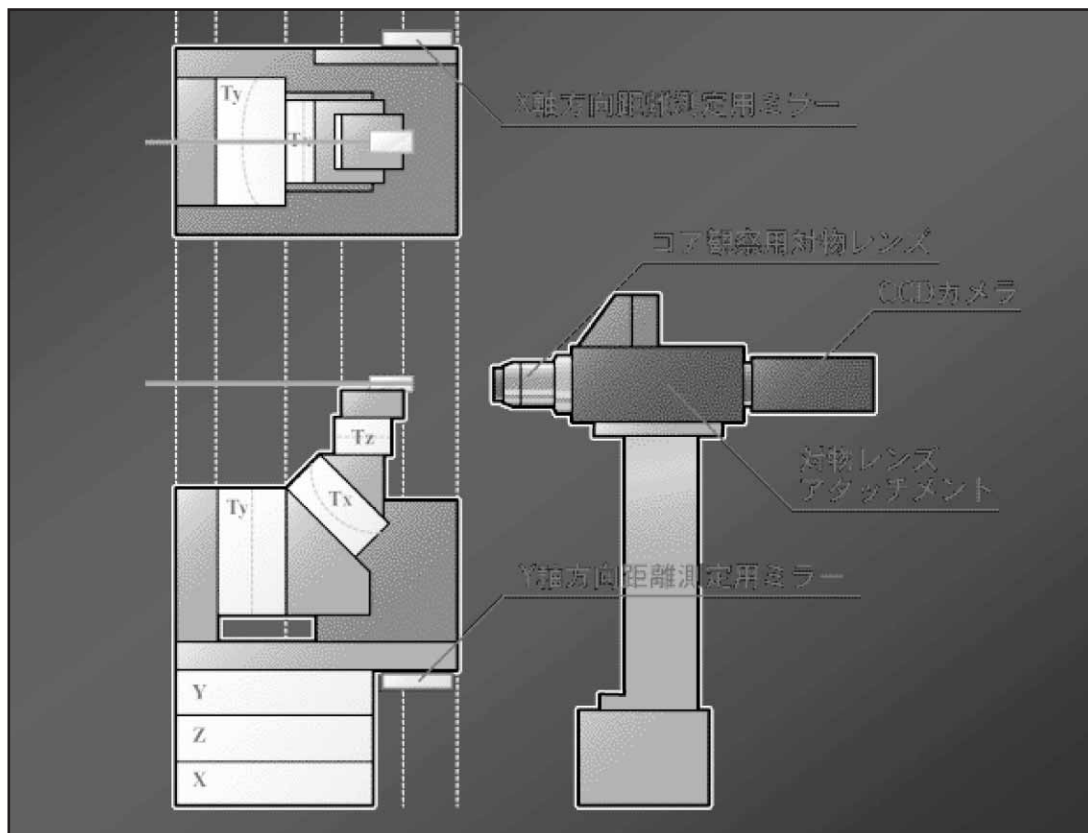
コアピッチ測定手順

- 1．ファイバアレイの取り付け
- 2．専用工具を使用してファイバアレイ方端のクリーブ処理
- 3．クリーブ処理したファイバアレイ方端を入光用治具にセット
- 4．パラメータ測定
- 5．ファイバアレイの姿勢補正（画像撮り込みCCDカメラ基準）
- 6．測定（測定データを保存）
- 7．測定の終了したファイバアレイの取り外し

コアピッチ測定装置のレイアウト

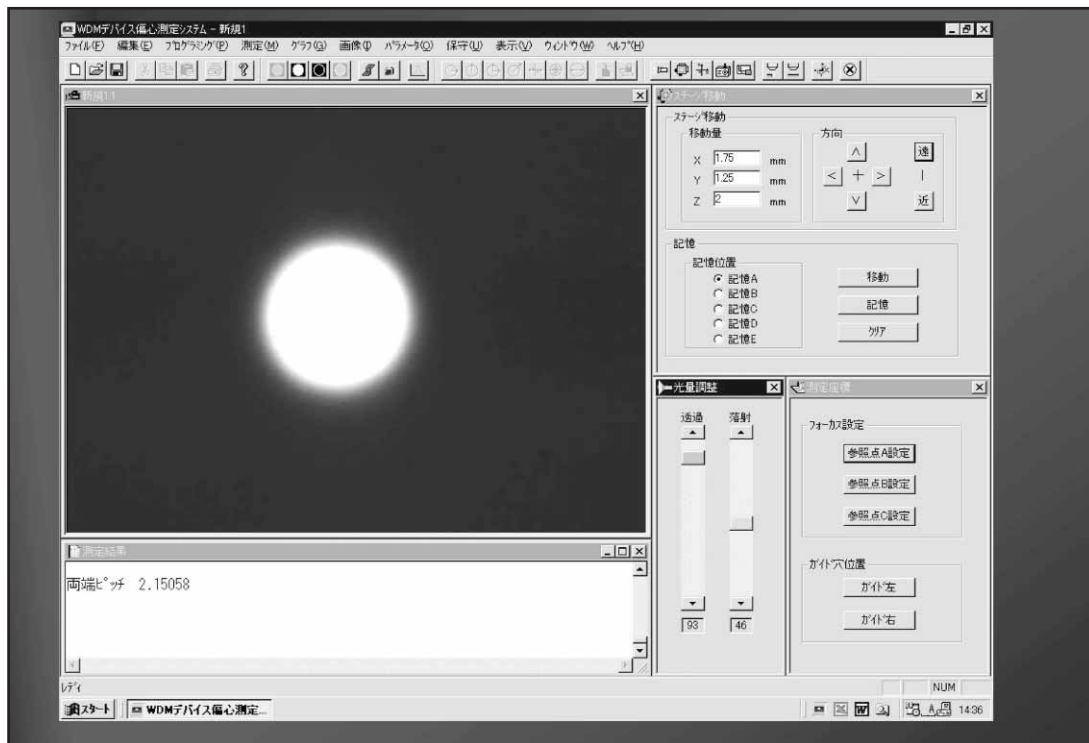


コアピッチ測定ユニット



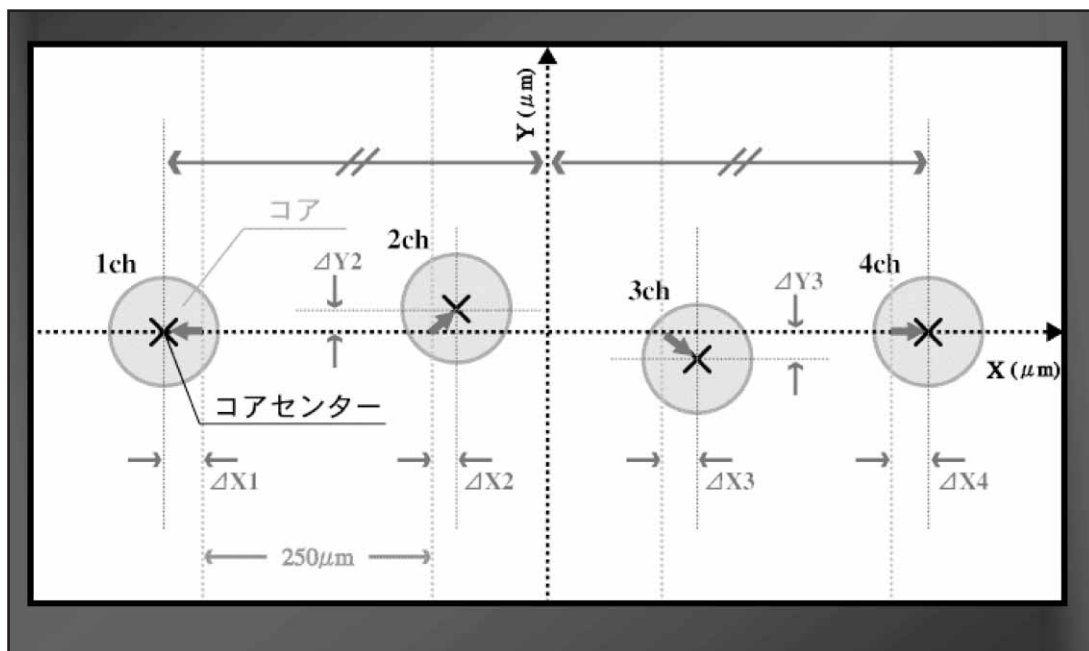
- X、Y
コアピッチ測定用自動ステージ
- Z
焦点調整用自動ステージ
- T_x
ファイバアレイ X 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ
- T_y
ファイバアレイ Y 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ
- T_z
ファイバアレイ Z 軸回転方向姿勢補正用自動ステージ

コアピッチ測定ソフトウェア



- ・ CCDカメラで、ファイバアレイからの出力光画像をスーパーインポーズ画面に映す
- ・ エッジ処理とサブピクセル処理を行う

データ処理



- ・ 各チャネルのコア座標、設計値との差を算出する
 - ・ 画像処理により求めたコアセンターの値
 - ・ レーザ測長器で計測したステージ移動データ

4) デバイスの信頼性試験

- ・ 信頼性試験とは
- ・ 信頼性試験規格
- ・ Telcordia
- ・ GR-1221-Core試験条件例（抜粋）
- ・ 信頼性試験と規格の関係
- ・ 信頼性の主な指標
- ・ 試験システムの構成例
- ・ デバイスの信頼性試験

（基礎編 第12節のはじめに戻る）

信頼性試験とは

デバイスの設計保証

- ・ 設計の信頼性
- ・ 設計時に期待した精度であることを保証するもの

信頼性試験規格

用途に応じて選択して実施する

- ・ J I S 規格
- ・ Telcordia規格
- ・ I E C 規格
- ・ M I L 規格

近年最も利用されることが多い規格

- ・ Telcordia

Telcordia

光受動デバイス全般に関する規格

- ・ GR-1209-CORE
 - ・ Generic Requirements for Passive Optical Components
- ・ GR-1221-CORE
 - ・ Generic Reliability Assurance Requirements for Passive Optical Components

各種デバイスごとの規格

- ・ GR-910-CORE
 - ・ Generic Requirements for Fiber Optic Attenuators
- ・ GR-2883-CORE
 - ・ Generic Requirements for Fiber Optic Filters
- ・ 他に多数

GR-1221-Core試験条件例（抜粋）

- ・ 光デバイスの構造・使用環境に応じてサンプル数、試験条件などが細かく規定されている
- ・ 試験前後でデバイスごとの規格（例えばGR-1209-CORE）に規定された光学特性仕様を満足させなければならない

項目	試験条件
衝撃試験	5回/6方向、500G × 1ms
振動試験	20G、20-2000Hz、4分/サイクル 4サイクル/各軸
熱衝撃試験	ΔT=100℃、15回
高温保管試験(乾燥環境)	85℃ × 2000Hr
高温保管試験(湿度環境)	75℃、90%RH × 2000Hr
低温保管試験	-40℃ × 2000Hr
温度サイクル試験	-40℃～70℃ × 100サイクル
耐湿サイクル試験	-40～75℃、90%RH × 5サイクル (5サブサイクル/サイクル)

信頼性試験と規格の関係



信頼性の主な指標

- ・ Median Life
平均寿命
- ・ Random Failure Rate
故障率

Median Life (M L)

- ・ 故障率が50%の時の時間として定義される
 - ・ 故障率 - 試験時間の関係をlogプロットし、直線近似して求める
 - ・ 試験条件ごとに M L は異なる

$$\frac{ML(T_2)}{ML(T_1)} = \exp \left[\left[\frac{E_a}{K} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \right] + \eta \times (RH_1^n - RH_2^n) \right]$$

- T_1, T_2 : 試験温度
 RH_1^n, RH_2^n : 湿度
 E_a : 活性化エネルギー
 K : ボルツマン定数
 n, η : 湿度係数(実験値)

- ・ 上記式は加速試験結果からの実環境での故障率の推定に利用される

Random Failure Rate

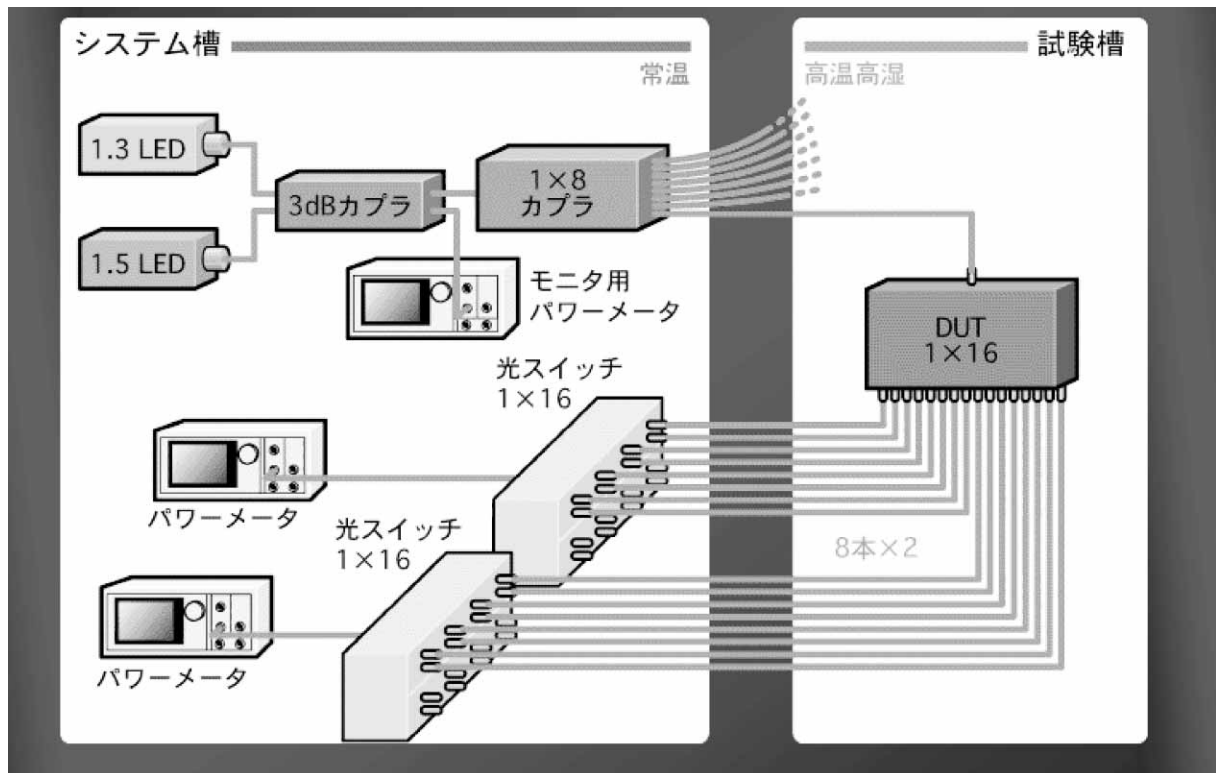
- ・ 10⁹時間当たりの故障確率として定義される
 - ・ 単位 : FITs

$$\text{Failure Rate} = (10^9 N \gamma) / t_{\text{tot}}$$

N : 故障率
 t_{tot} : 試験時間
 γ : 次の表を参照

N	0	1	2	3	4	5
γ (60%信頼限界)	0.92	2.02	1.55	1.39	1.31	1.26
γ (90%信頼限界)	2.30	3.89	2.66	2.23	2.00	1.85

試験システムの構成例



- ・挿入損失、アイソレーション、反射減衰量の変動が同時に測定できる
- ・被測定物を、試験槽に入れて加速劣化試験を行う
- ・試験システムの変動を抑えるために、計測器を収納する恒温槽を用意する

光デバイスの信頼性試験 ビデオが上映されます