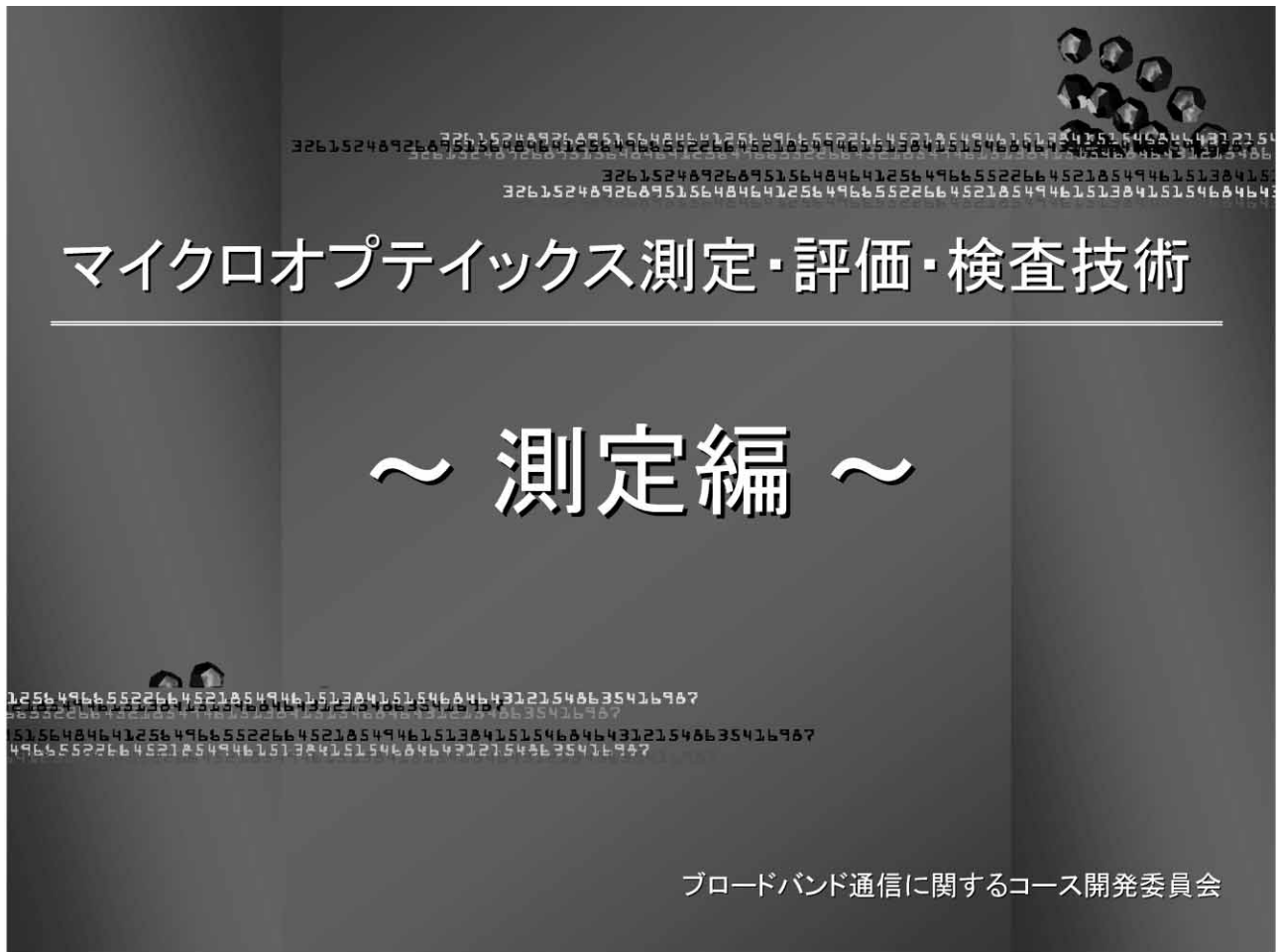




目 次

第1節	被測定デバイス	170
第2節	測定概論	185
第3節	挿入損失測定	186
第4節	反射減衰量測定	209
第5節	偏波依存性損失測定	216
第6節	分散測定	231
第7節	総合測定	247

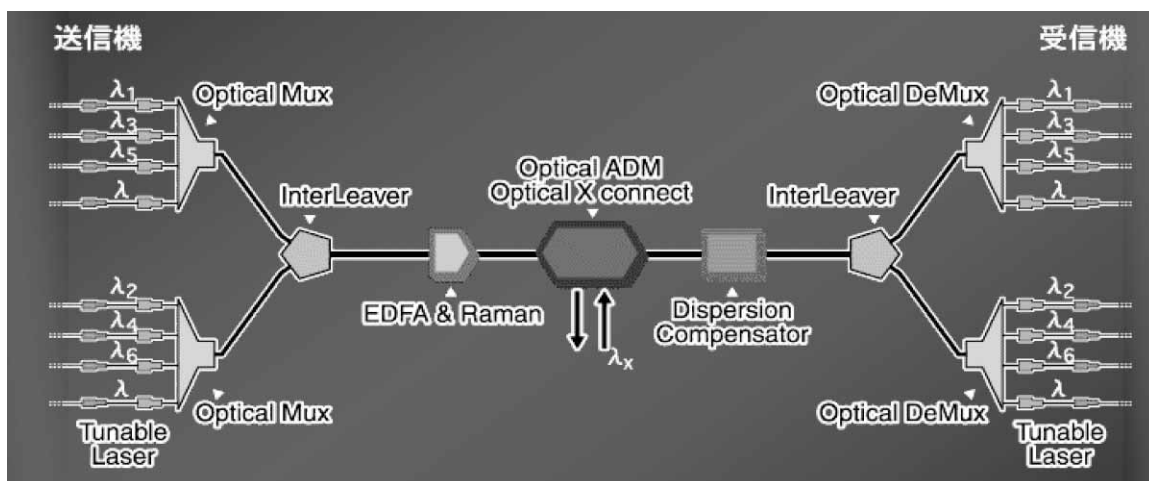
第 1 節 被測定デバイス

この節で学習すること

- 1) WDM技術のキーコンポーネント
- 2) 光合波器 / 光分波器
- 3) 誘電体多層膜フィルタ
- 4) AWG
- 5) ファイバグレーティング
- 6) 光ファイバ
- 7) マルチモードファイバ
- 8) GIファイバ
- 9) シングルモードファイバ
- 10) 分散シフトファイバ
- 11) 偏波保持ファイバ
- 12) 光アンプ
- 13) WDMカプラ
- 14) アイソレータ
- 15) 利得等価器
- 16) 光スイッチ
- 17) その他のデバイス

(測定編の目次に戻る)

1) WDM技術のキーコンポーネント



(測定編 第 1 節のはじめに戻る)

光合波器 / 光分波器

- ・ MUX (Multiplexer) / DeMUX
- ・ 1本のファイバに乗せるため、異なる波長を合波し、分波して復元する機器

2) 光合波器 / 光分波器

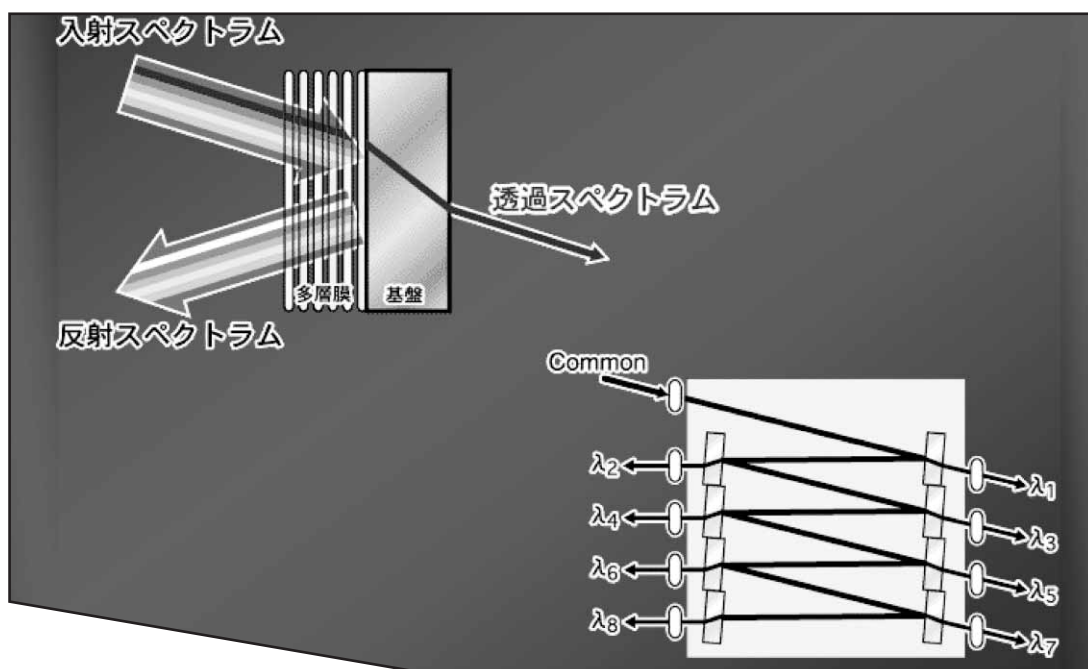
要素技術

- ・ 誘電体薄膜フィルタ (TFF : Thin Film Filter)
- ・ 光導波路 (AWG : Arrayed Waveguide Grating)
- ・ ファイバ グレーティング (FBG : Fiber Bragg Grating) の組合せ

合分波器では、高いクロストークが必要となる

(測定編 第1節のはじめに戻る)

3) 誘電体多層膜フィルタ



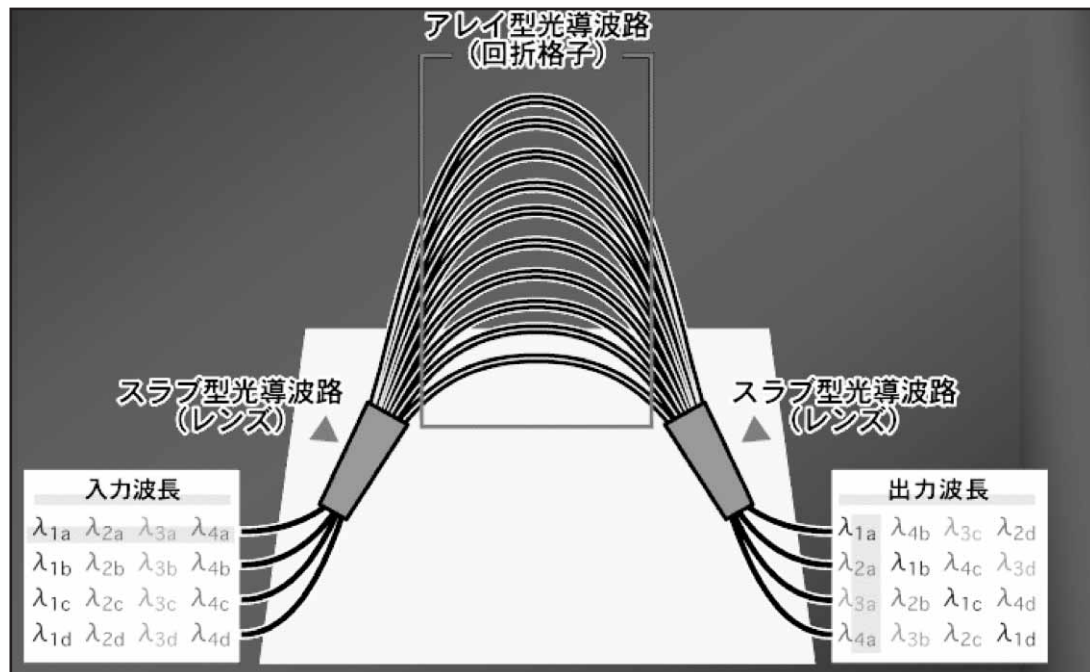
(測定編 第1節のはじめに戻る)

○ 薄膜によるキャビティ構造

○ 特徴

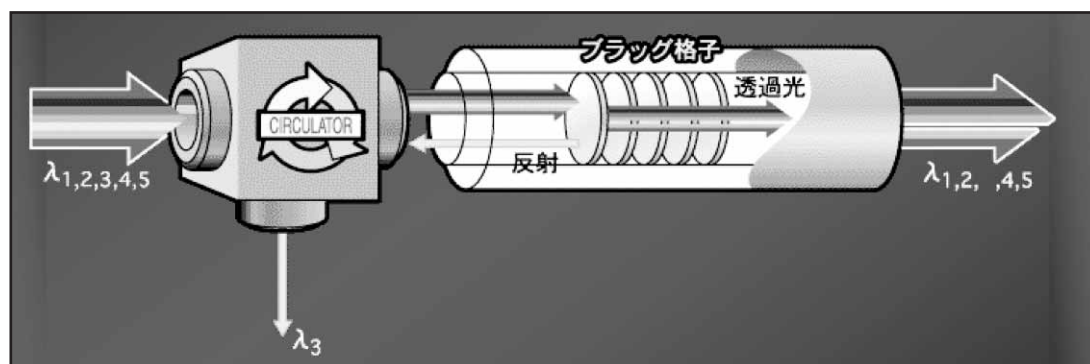
- ・ 屈折率が異なる誘電体薄膜の多層構造からなる
- ・ 多重反射により干渉計を構成して、特定波長を透過させる
- ・ 挿入損失0.2～2dB、阻止域損失30～50dB
- ・ DWDM、CWDM、FTTH用エッジフィルタなどに応用できる
- ・ 低温依存性が高い

4) AWG (Arrayed Waveguide Grating)



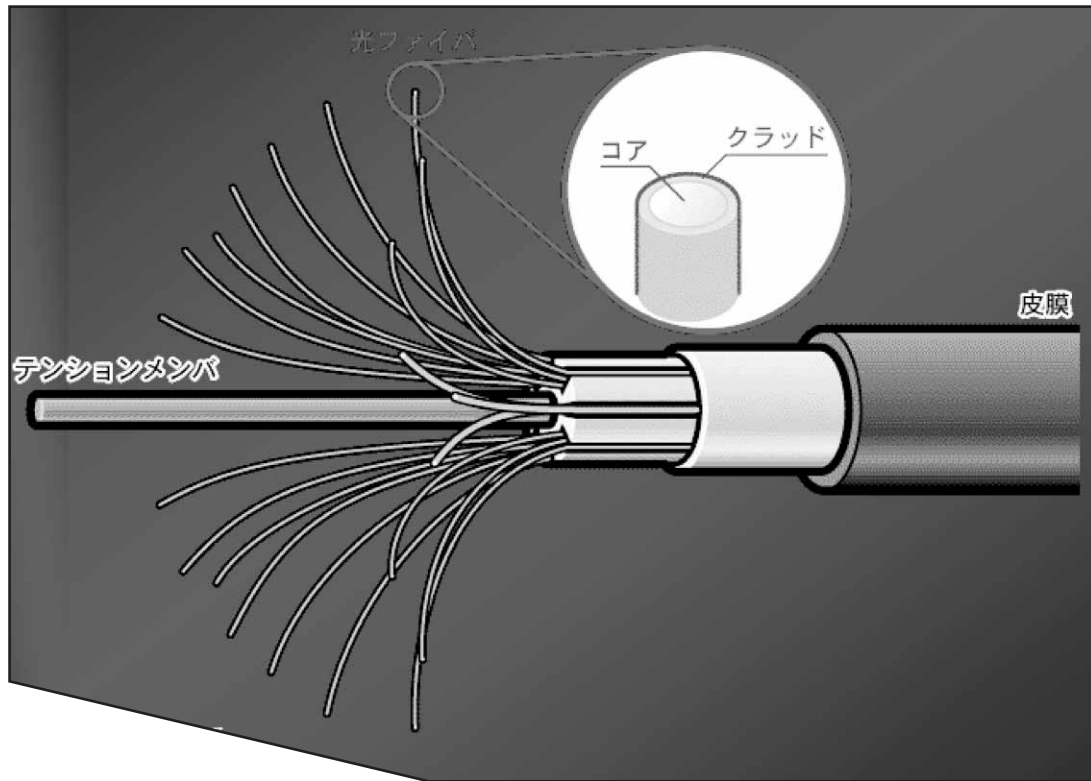
- アレイ型光導波路 (回折格子) (測定編 第1節のはじめに戻る)
- スラブ型光導波路 (レンズ)
- 特徴
 - ・ 長さが異なるアレイ導波路からの回折光の干渉を利用する
 - ・ 波長数の増加にも対応できる (16チャンネル以上)
 - ・ 温度制御が必要となる (最近では温度制御がいらないものもある)
 - ・ 石英ベースが一般的 (安価なポリマーベースもある)

5) ファイバ グレーティング (FBG)



- (測定編 第1節のはじめに戻る)
- シングルモード ファイバに対して、周期的な屈折率変化を与える
 - ・ 高出力UV光をファイバに照射して、屈折率を変化させる
- 特徴
 - ・ 屈折率パターンが等間隔周期の場合は、特定波長 (ブラッグ波長) の光を反射する
 - ・ ノッチフィルタ、ADM (Add / Drop Multiplexer)

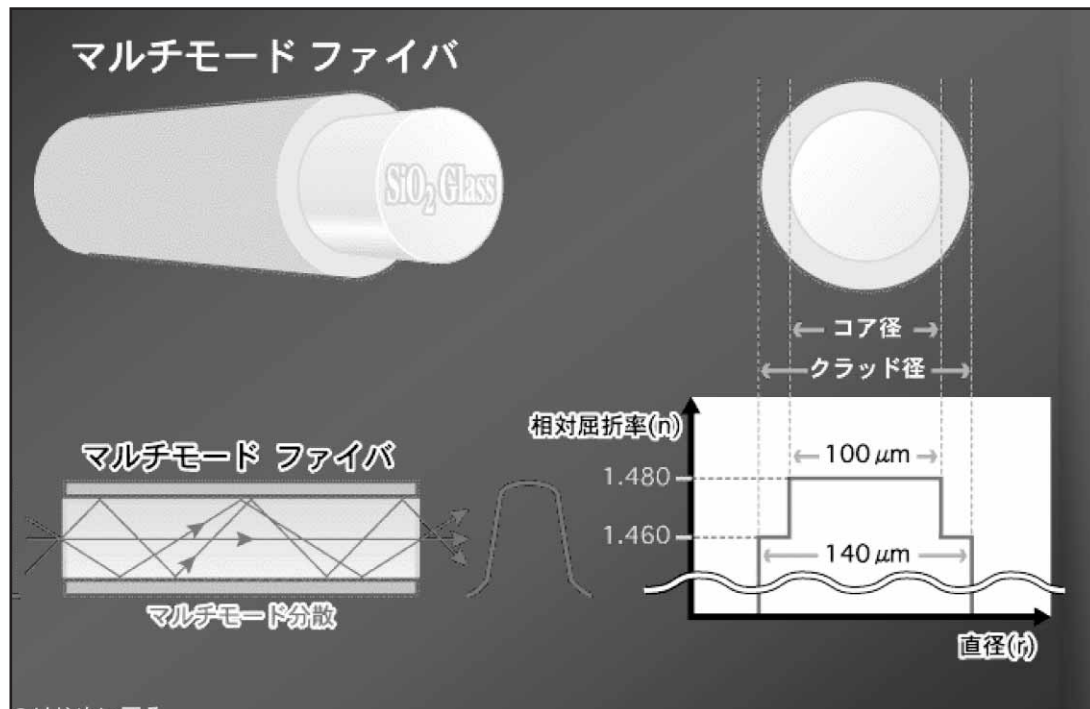
6) 光ファイバ



（測定編 第1節のはじめに戻る）

- 伝送システムで、最も多くの割合を占める
- 用途に応じて多様なファイバがある
（MMF、SMF、DSF、PMF、NZDSF、DCFなど）
- 特徴
 - ・ 損失、分散、PMD、実行断面積、カットオフ波長などのパラメータが重要となる
 - ・ 短距離では、MMFの代わりにPOFの利用もある

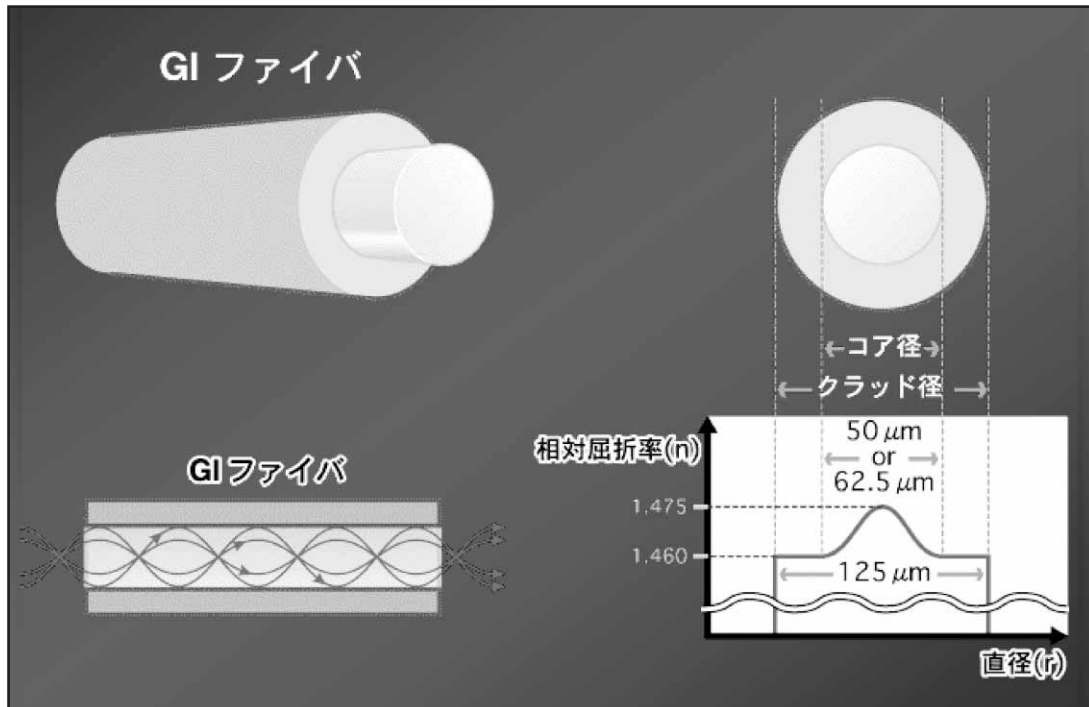
7) マルチモード ファイバ



(測定編 第1節のはじめに戻る)

- MMF (Multi Mode Fiber)
- 特徴
 - ・ クラッド径に対して、コア径のサイズが大きい
 - ・ 100 μm / 140 μm
 - ・ マルチモード分散を持っている
 - ・ 低速、短距離の伝送で使用する
 - ・ 実際にはGIファイバが多い

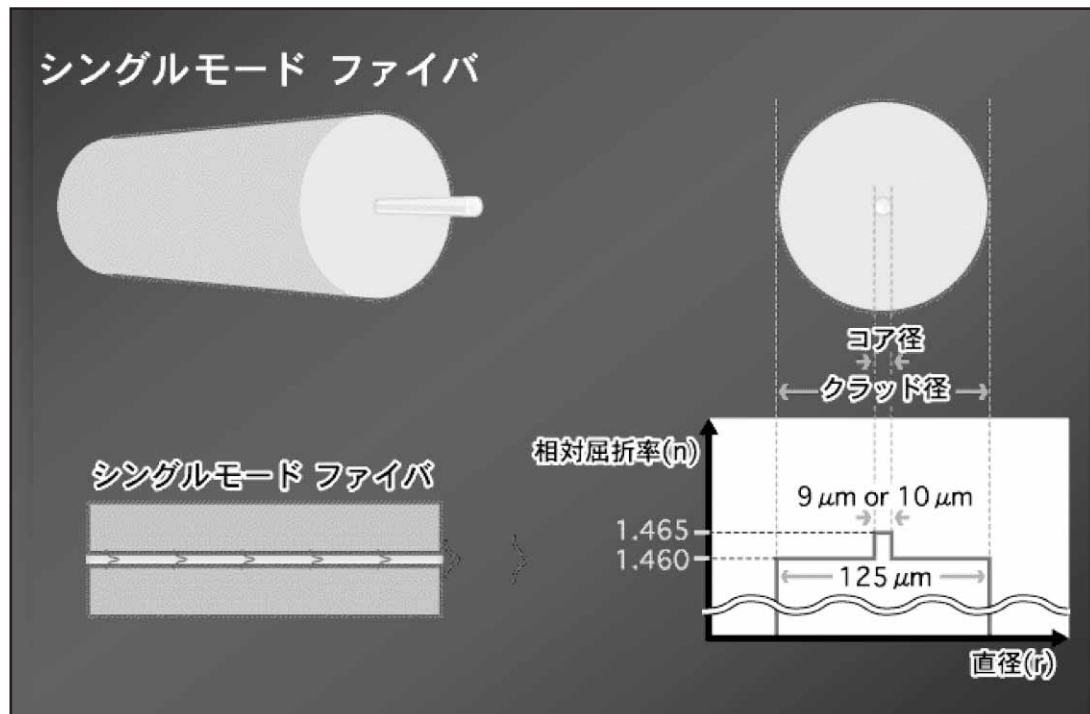
8) GIファイバ



（測定編 第1節のはじめに戻る）

- 代表的なファイバ形状
 - ・ 62.5 / 125 μm、または 50 / 125 μm、NA ~ 0.2
- ビットレート × 距離の積
 - ・ ~ 1Gb / s · km
- 特徴
 - ・ 屈折率の分布で、伝達時間の差が最小となるように設計されている
 - ・ 「遠回りする」モード（経路）が低い屈折率により、早く伝達する

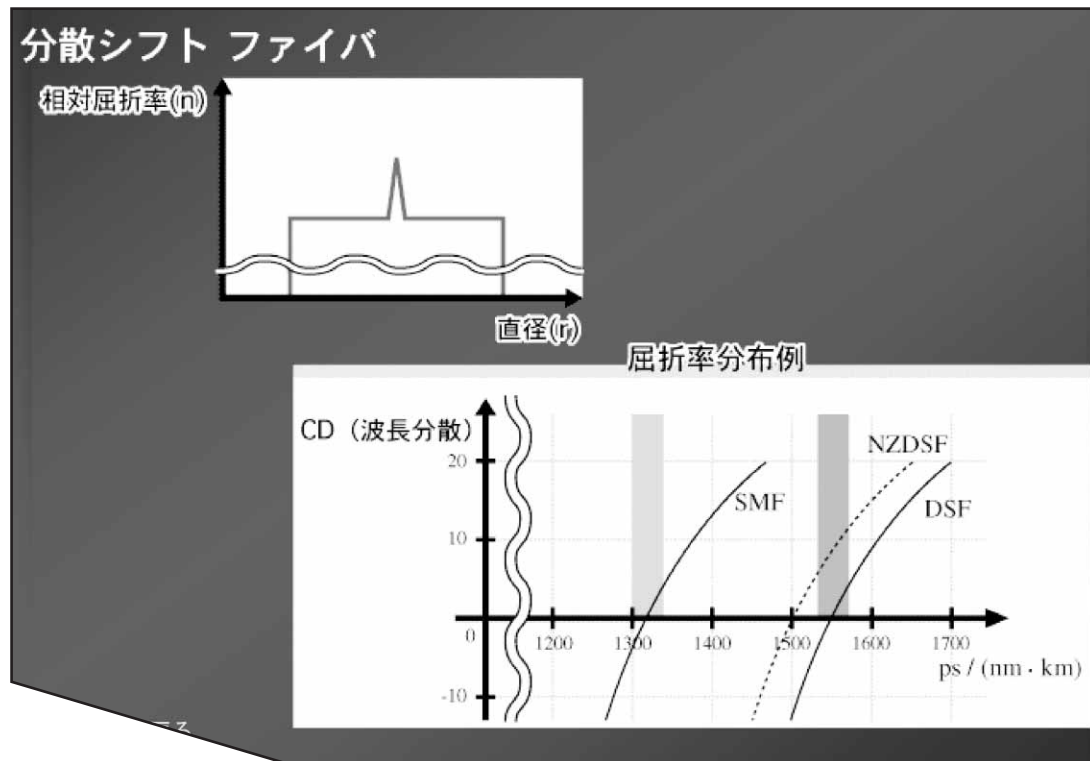
9) シングルモード ファイバ



(測定編 第1節のはじめに戻る)

- SMF (Single Mode Fiber)
- 代表的なファイバ形状
 - ・ 9 / 125 μm、または10 / 125 μm
- 特徴
 - ・ ステップ インデックス型で、コア径が非常に細い
 - ・ マルチモード分散なし
 - ・ 波長分散についてのマネジメントはされていない
 - ・ 1550nmでは波長分散大

10) 分散シフト ファイバ



（測定編 第1節のはじめに戻る）

○ DSF (Dispersion Shifted Fiber)

○ 特徴

- ・ 1550nm帯で、ロスと分散の両方が最小となる
- ・ DWDM波長多重システムでは、非線形効果により問題となる
- ・ NZ-DSF (Non-Zero Dispersion Shifter Fiber)
 - ・ 微小の分散量を1550nm帯に与えることで非線形効果を低減する
 - ・ 長距離伝送では、波長分散補償が必要となる

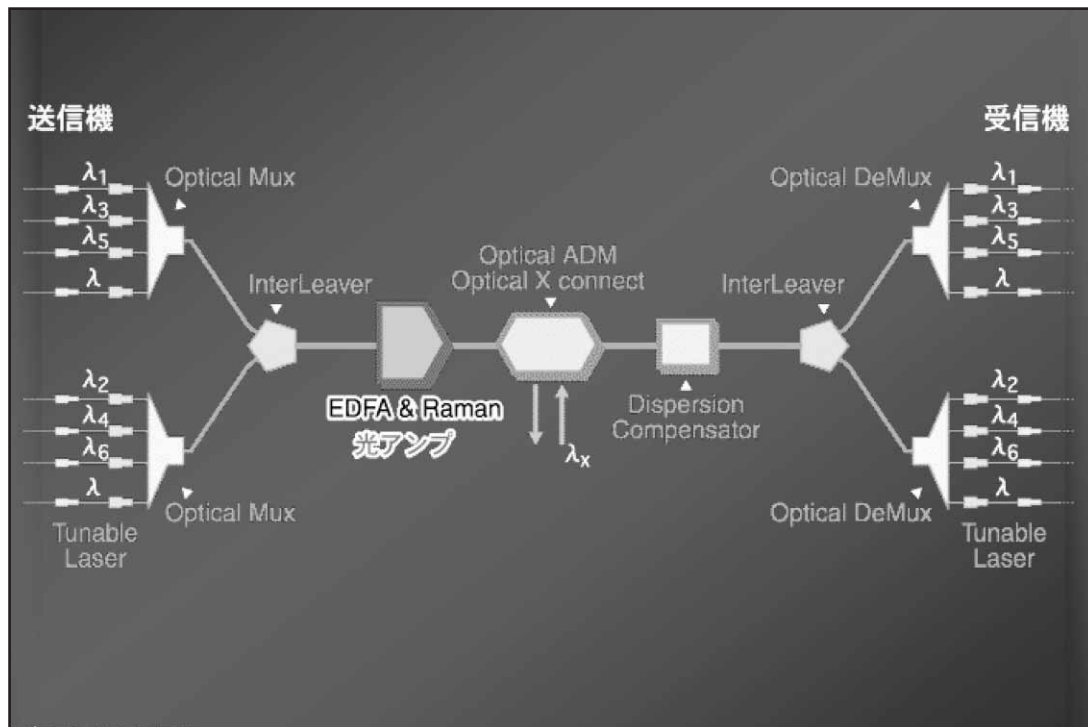
11) 偏波保持ファイバ



(測定編 第1節のはじめに戻る)

- P M F (Polarization Maintaining Fiber)
- ファイバに複屈折を与えて、モード結合を防ぐことで偏波保持を実現する
- 特徴
 - ・ 軸が合っている時のみ偏波保持する
 - ・ 合っていない時は、デポラライズ効果をもたらす
 - ・ コンポーネントでは、インターフェイス部に適用する
 - ・ DFBレーザから変調器の接続など
 - ・ ファイバ センサに使用する
 - ・ 光ジャイロなど

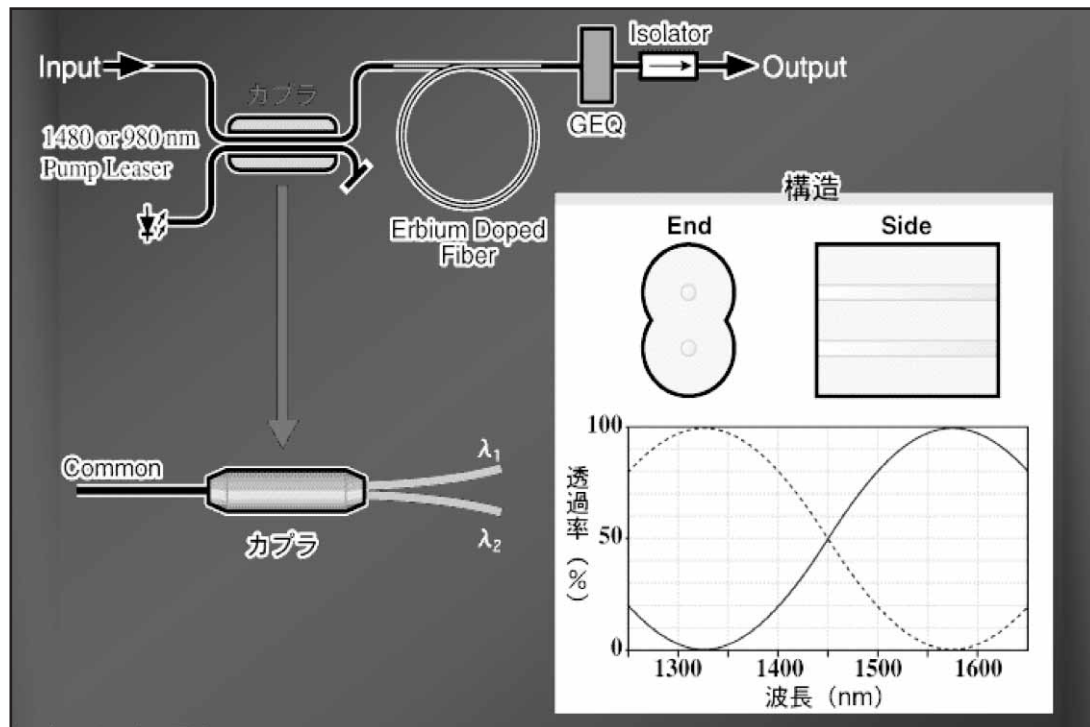
12) 光アンプ



（測定編 第1節のはじめに戻る）

- 長距離伝送には不可欠な技術
 - ・ EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)
 - ・ ラマンアンプ (Raman)
 - ・ SOA (Semiconductor Optical Amplifier)
- 特徴
 - ・ 多波長を一括増幅できる
 - ・ パッシブ部品では、WDMカプラ、アイソレータ、利得等価フィルタなどが使用される

13) WDMカプラ



(測定編 第1節のはじめに戻る)

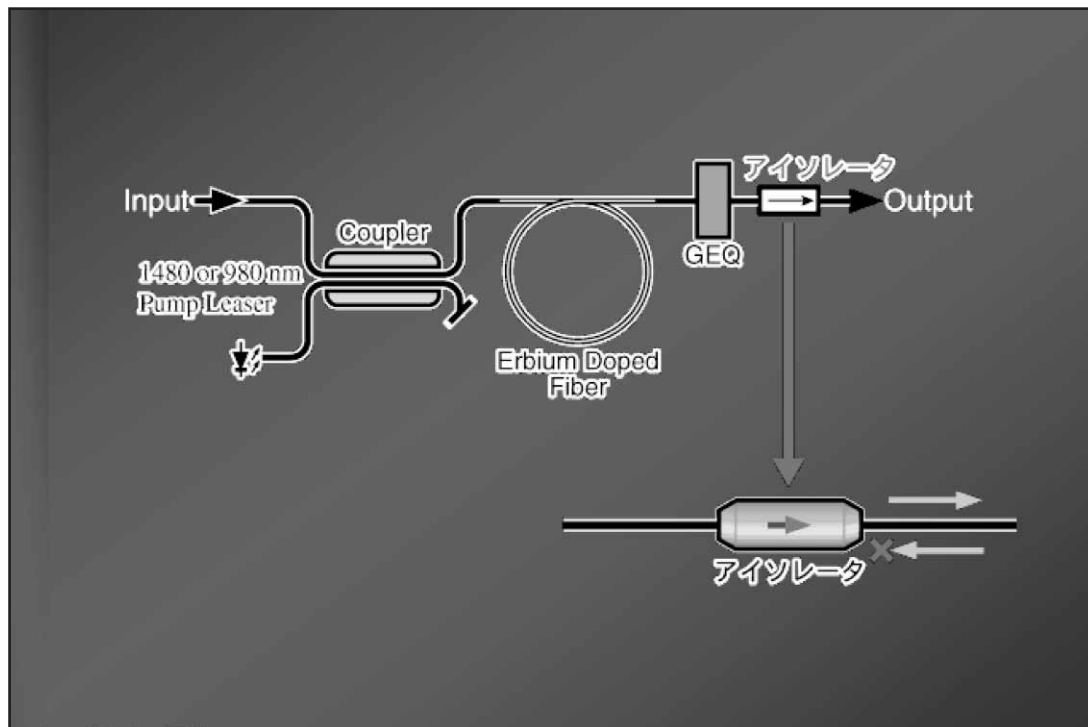
○ ポンプ光と信号光の結合

- ・ 1480 / 1550nm、980 / 1550nmのWDMカプラ
- ・ ネットワーク監視用 : 1550 / 1625nm
- ・ FTTH : 1310 / 1550nm

○ 特徴

- ・ 結合率の波長依存性を利用する
- ・ 接合部の構造により、波長無依存カプラ (WIC) も利用できる

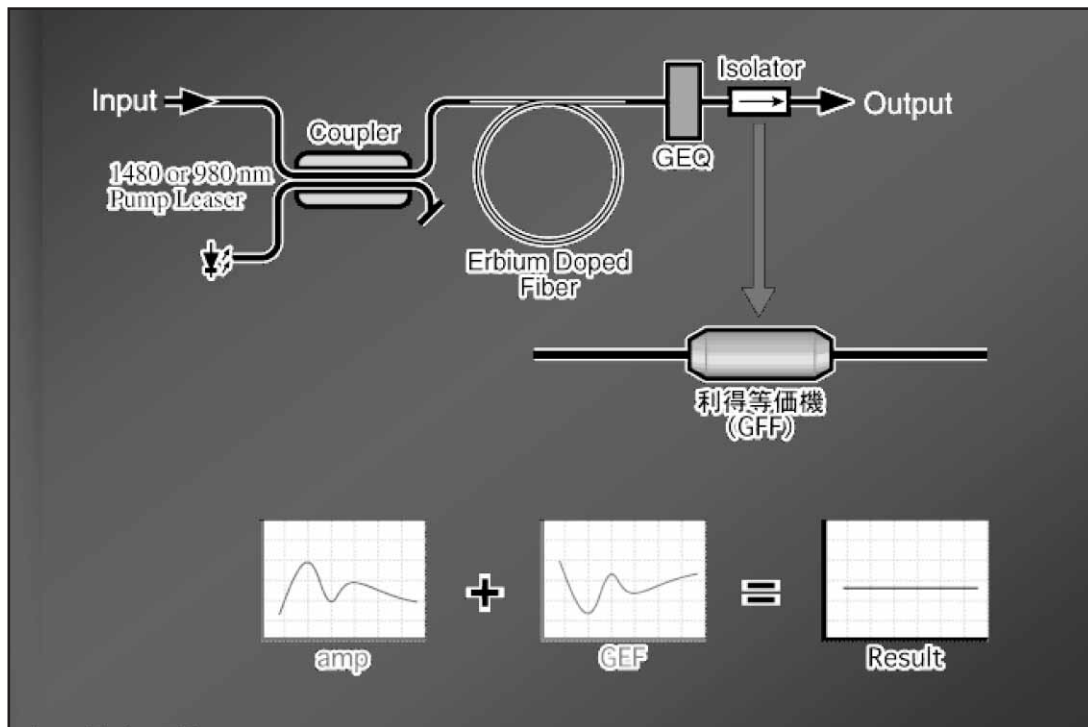
14) アイソレータ



（測定編 第1節のはじめに戻る）

- 偏光依存型
 - ・ LDへ適用する
- 偏向無依存型
 - ・ 伝送ラインへ適用する
- 特徴
 - ・ レーザ、光増幅器を不安定動作要因となる戻り光から保護する
 - ・ 理想的なアイソレータ
 - ・ 順方向の損失低
 - ・ 逆方向のアイソレーション高
 - ・ 順方向リターンロス高

15) 利得等価器



(測定編 第1節のはじめに戻る)

- G F F (Gain Flattening Filter)
- 特徴
 - ・ アンプの波長ごとの利得を等しくする
 - ・ ばらつきを補正する
 - ・ アンプの特性により、フィルタ形状を変更する必要がある
 - ・ 要素技術
 - ・ TFF、FBGなど

16) 光スイッチ

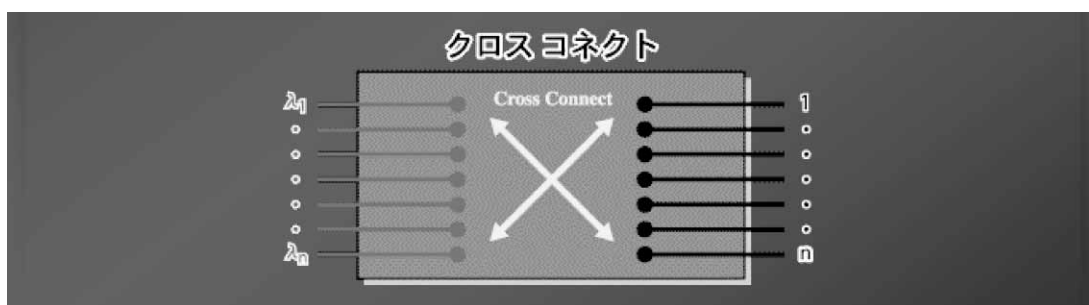
- 光ファイバ ネットワーク内での保守、障害時の回線切り替え
- 応用例
 - ・ 保守、障害時の回線切り替え
 - ・ 動的波長割り当て（クロス コネクト）
 - ・ 測定器



（測定編 第1節のはじめに戻る）

- 特徴
 - ・ さまざまな種類がある
 - ・ 1対2のタイプから
 - ・ N対Nのタイプまで
 - ・ 測定器への応用
 - ・ 他ポート測定
 - ・ バルク型、ファイバ型などがある

光クロス コネクト用光スイッチ



- メッシュ型光ファイバ ネットワーク内での保守、障害時の回線切り替え（＜50ms）に
応用される
 - ・ ネットワークの負荷分散、波長ルーティング
 - ・ MEMS、導波路型、バブル スイッチなどの技術

17) その他のデバイス

- ・サーキュレータ
- ・固定、可変アッテネータ
- ・パッチコード

(測定編 第 1 節のはじめに戻る)

第2節 測定概論

この章で学習すること

- 1) 測定法概論
- 2) 測定の種類

（測定編の目次に戻る）

1) 測定法概論

測定項目	測定詳細	測定項目	測定詳細
光パワー測定	絶対電力測定	光スペクトラム測定	波長測定
	波長特性のキャリブレーション		レベル測定
	リニアリティのキャリブレーション		波長分解能とダイナミックレンジ
挿入損失測定	単一波長光源損失測定		感度および掃時間
	波長可変レーザ光源を使用した波長依存損失測定	波長測定	マイケルソン干渉波長計
	広帯域光源を使用した波長依存損失測定	高分解能光スペクトラム測定	レーザの線幅測定
反射減衰量測定	単一波長光源反射減衰量測定		変調レーザ光のスペクトル測定
	パルス光反射減衰量測定		レーザ チャープ測定
	干渉型反射減衰量測定		周波数変調測定
偏波測定	ポアンカレ球法	光変調とノイズ測定	変調測定
	ジョーンズ行列法		変換器の変換効率測定
偏波依存性損失測定	偏波スキニング法		変調信号測定
	ミューラー法		変調ノイズ測定
	ジョーンズ行列法	デジタル伝送の測定	ヒット エラー レート測定
分散測定	モード分散測定		アイ ダイアグラム測定
	波長分散測定		マスク測定
	偏波モード分散測定		ジッタ測定
		OTDR測定	光ファイバの測定
			スプライスやコネクタ ロスの測定
			反射の位置と量の測定

（測定編 第2節のはじめに戻る）

2) 測定の種類

- ・挿入損失測定
- ・反射減衰量測定
- ・偏波依存性損失測定
- ・分散測定

（測定編 第2節のはじめに戻る）

第3節 挿入損失測定

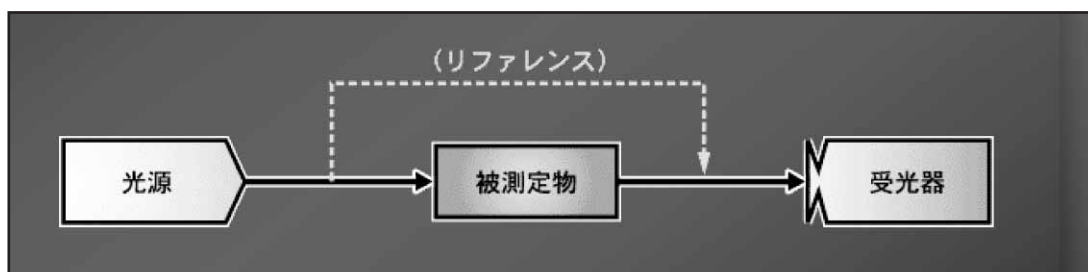
この節で学習すること

- 1) 挿入損失とは何か
- 2) 測定に必要な機器
- 3) 測定のしくみ
- 4) 測定方法（組合せ）
- 5) 測定方法の選択基準
- 6) 被測定デバイスの測定

(測定編の目次に戻る)

1) 挿入損失とは何か

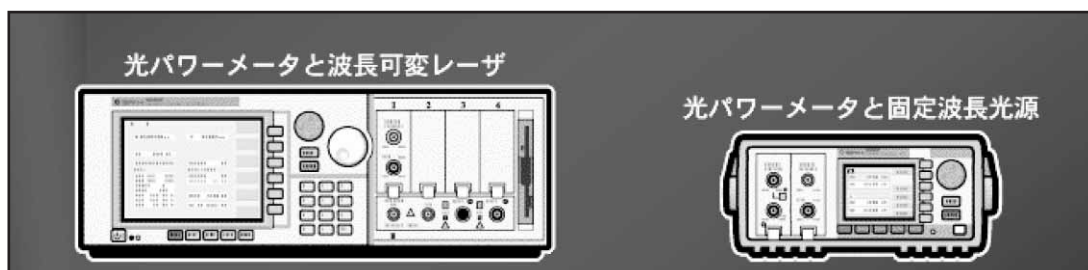
- ・ I L (Insertion Loss)
- ・ 光部品を挿入することによる光強度の劣化・損失をいう



(測定編 第3節のはじめに戻る)

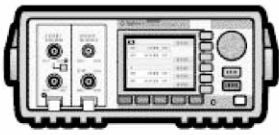
2) 測定に必要な機器

- ・ 受光器
- ・ 光源



(測定編 第3節のはじめに戻る)

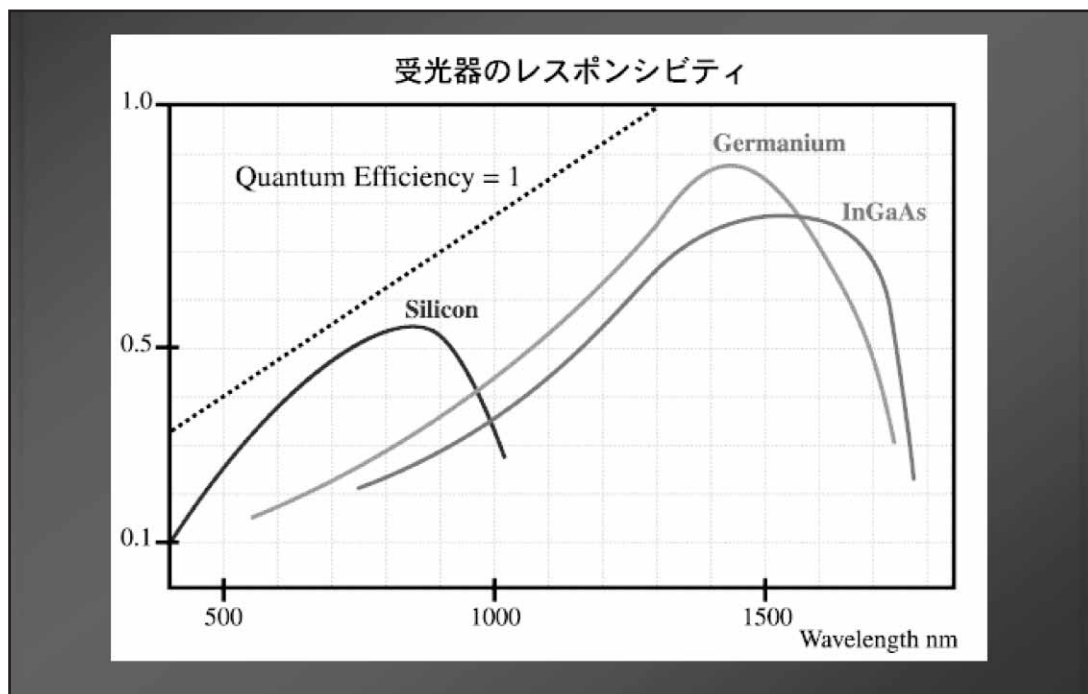
受光器の選択

光パワーメータ	光スペクトラム アナライザ
	
波長選択性なし 高感度 低偏波依存性	波長選択性あり 高感度

光パワーメータ

- ・ 波長の選択性はない
- ・ 高感度
- ・ 低偏波依存性

光パワーメータの受光素子



種類

- シリコン (Si)
 - ・ 安価
- ゲルマニウム (Ge)
 - ・ 前世代のセンサに使用
 - ・ 20dB、40dB
- インジウムガリウム砒素 (InGaAs)
 - ・ 高速応答
 - ・ C、Lバンドでフラット

特徴

- 広帯域だが波長依存性がある
 - ・ 絶対パワー測定には、校正値を設定する
- 挿入損失の場合は、相対測定
 - ・ 校正値の設定は必要ない

光パワーメータの選択基準とパラメータ

- 絶対パワー測定
 - ・ 絶対パワー確度
 - ・ 波長範囲
 - ・ 最大入力パワー
 - ・ 入射光スポット サイズ
- 挿入損失測定
 - ・ 波長範囲
 - ・ リニアリティ
 - ・ 偏波依存性
 - ・ アベレージング時間
 - ・ 反射減衰量

光スペクトラム アナライザ

- ・ 波長の選択性がある
- ・ 高感度



光スペクトラム アナライザの種類

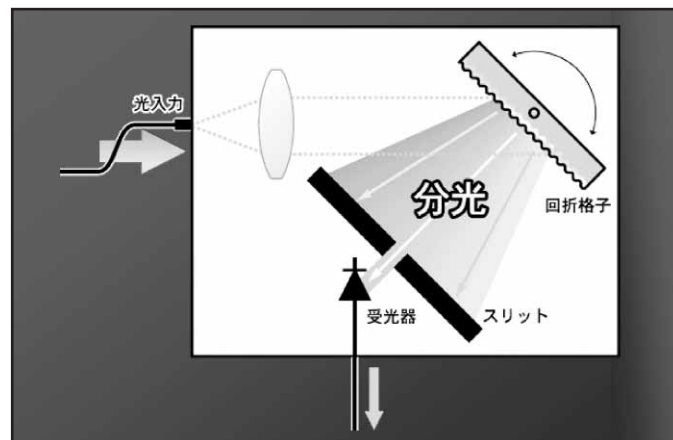
- ・ 干渉計型
- ・ モノクロメータ型

干渉計型

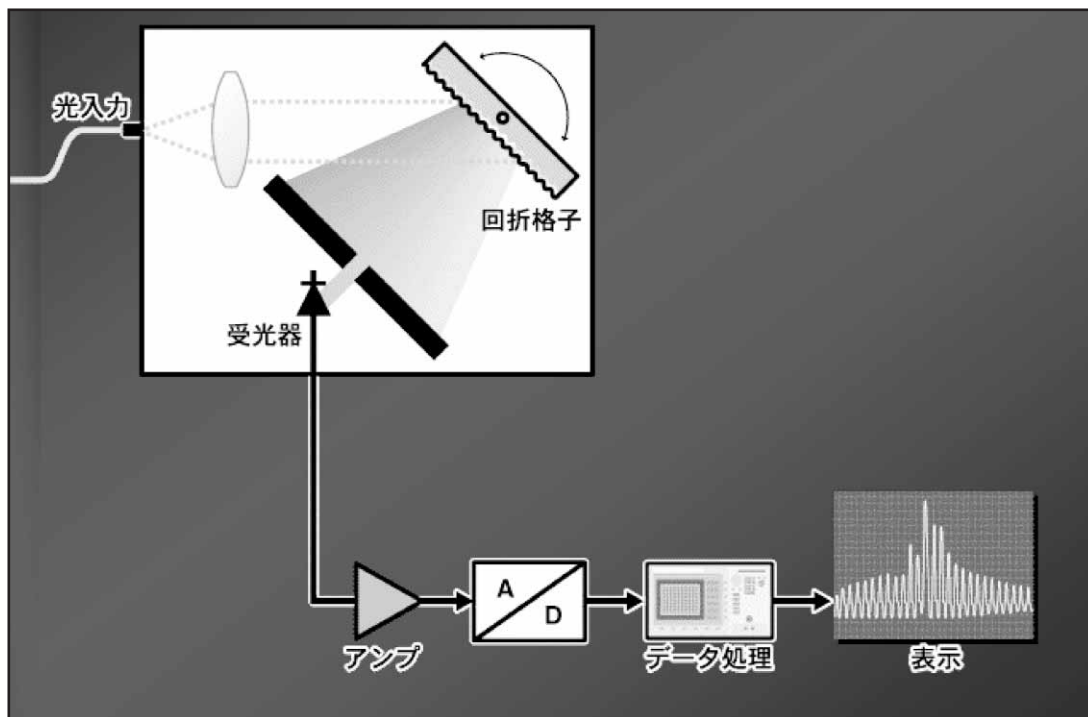
- マイケルソン干渉計を使用した光スペクトラム アナライザ
- 特徴
 - ・ 分解能が高い
 - ・ 干渉を利用するため、ダイナミック レンジが計測できない

モノクロメータ型

- 光スペクトラム アナライザの主流である
- 特徴
 - ・ ダイナミック レンジが高い
 - ・ 回折格子で分光し、スリットを通した光を受光する



光スペクトラム アナライザの原理



選択基準とパラメータ

- 波長ドメイン
 - ・ 波長範囲
 - ・ 波長確度
 - ・ 分解能
 - ・ 再現性
- 振幅ドメイン
 - ・ 測定感度
 - ・ 安定度
 - ・ リニアリティ（振幅忠実度）
- 総合
 - ・ ダイナミック レンジ
 - ・ 掃引速度

光源の選択

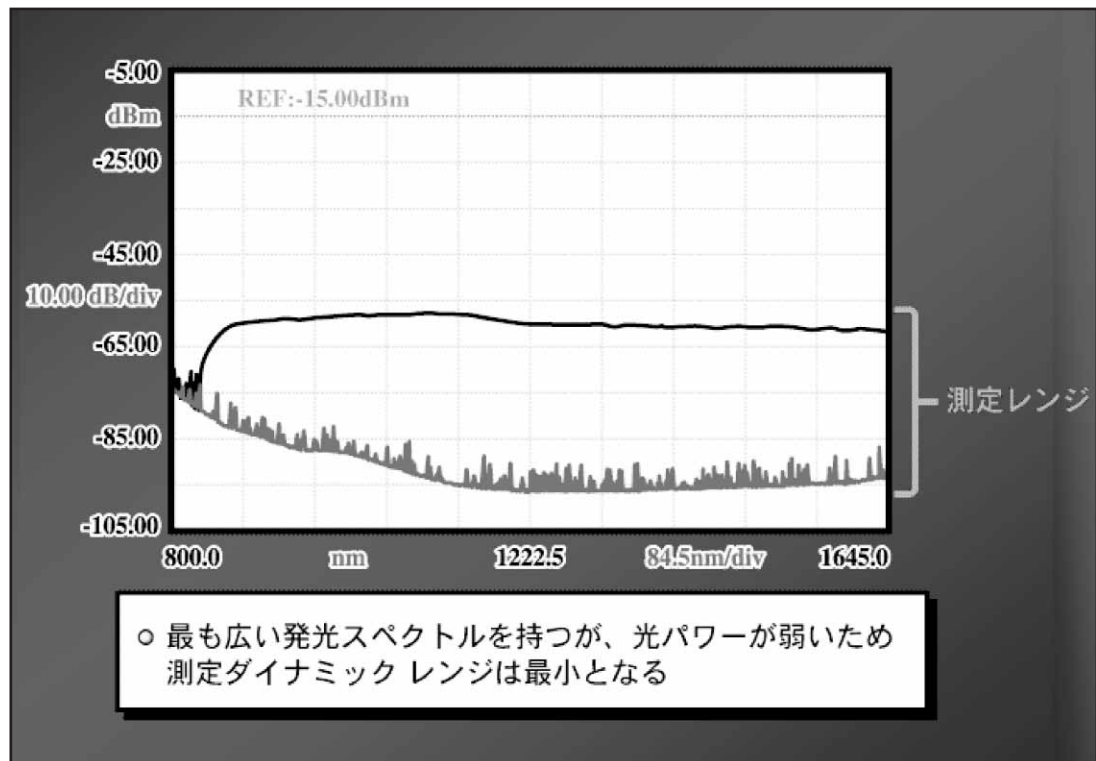
固定波長光源 FP、DFB	広帯域光源 (LED、ASE)	固定可変レーザ光源
		
固定波長測定 パワーは高い (+13dBm)	広い波長範囲に分布 パワーは高くない (-10dBm/nm)	波長範囲 ~200nm 高い波長確度、分解能 (~±0.01nm)

- 固定波長光源
 - ・ 固定波長測定
 - ・ 高いパワー（+13dBm）
- 広帯域光源
 - ・ 広い波長範囲に分布
 - ・ パワーは高くない（-10dBm / nm）
- 波長可変レーザ光源
 - ・ 波長範囲は、~200nm
 - ・ 高い波長確度と分解能（~±0.01nm）

光源

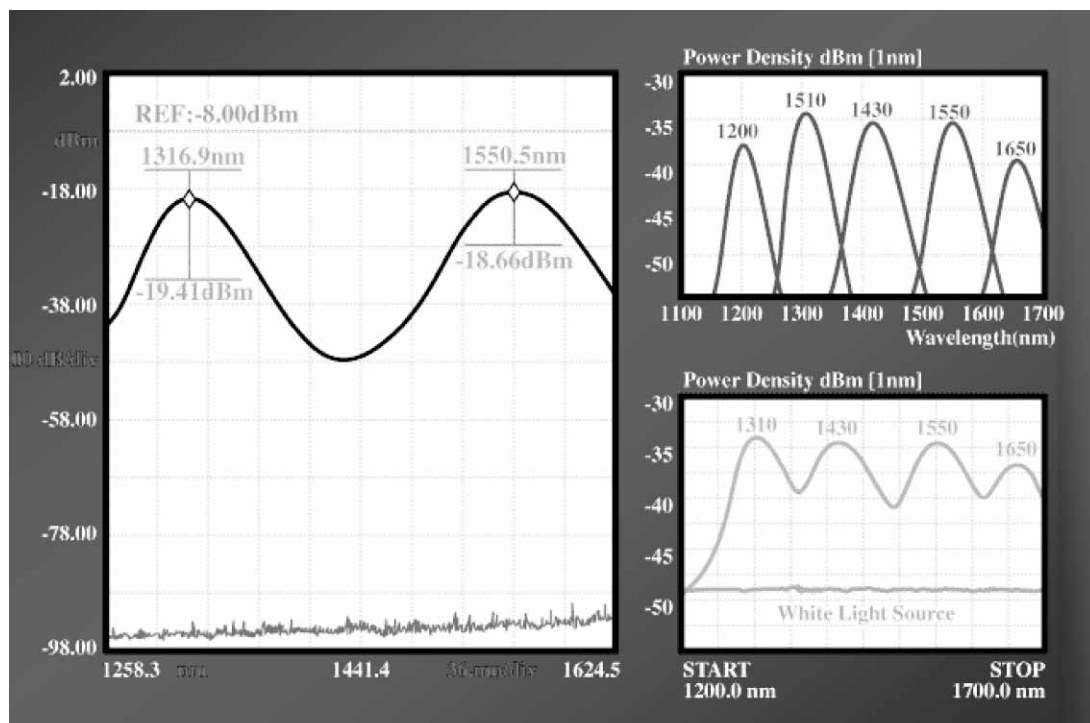
- ・ 白色光源
- ・ LED光源
- ・ ASE光源
- ・ 固定波長レーザ光源
- ・ 波長可変レーザ光源

白色光源



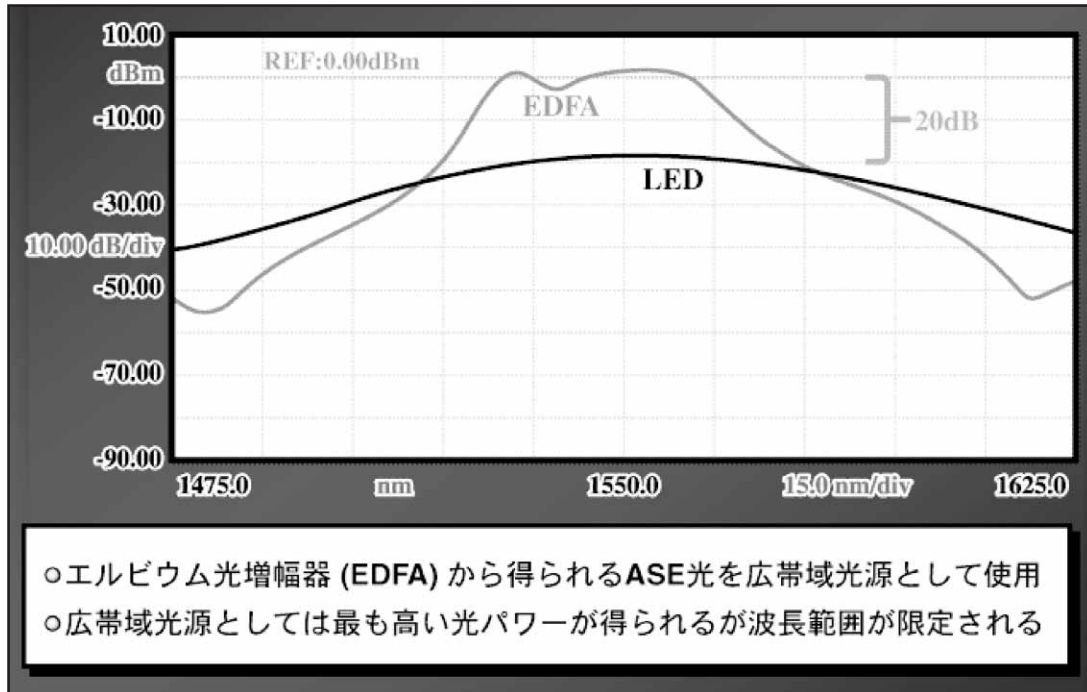
- 最も広い発光スペクトルを持つ
- 測定ダイナミックレンジは最小となる
 - ・ 光パワーが弱いため

LED光源



- 白色光源より高いパワーを持つ
 - ・ しかし、波長範囲が狭くなる
- 波長範囲は拡大できる
 - ・ 複数の異なる発光波長を持つLEDを組合せる

A S E 光源

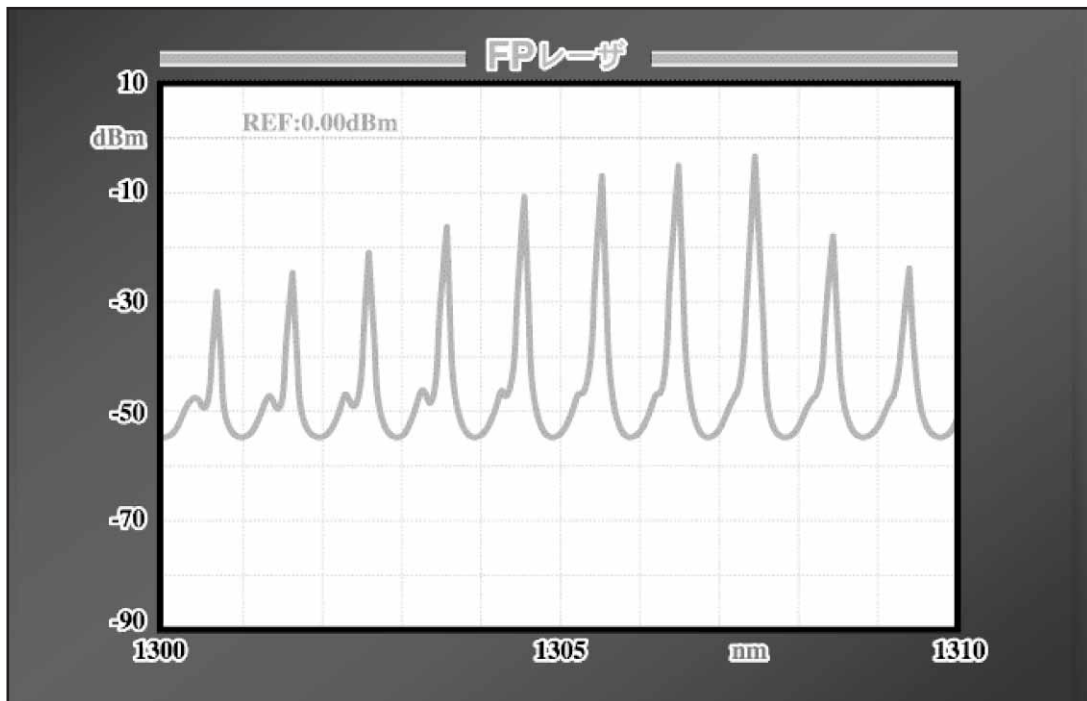


- エルビウム光増幅器（EDFA）から得られるASE光を広帯域光源として使用する
- 広帯域光源としては、最も高いパワーを持つ
 - ・ しかし、波長範囲が限定される

固定波長レーザ光源

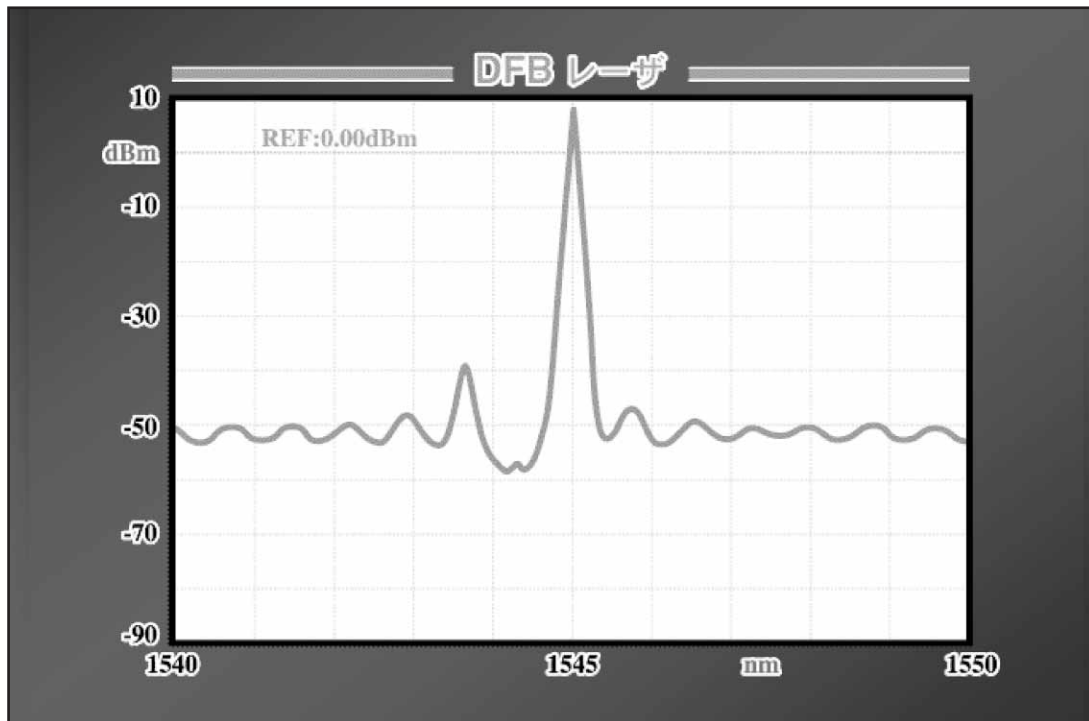
- ファブリ ペロー（FP：Fabry Perot）レーザ
- D F B（Distributed FeedBack）レーザ

ファブリ ペロー レーザ



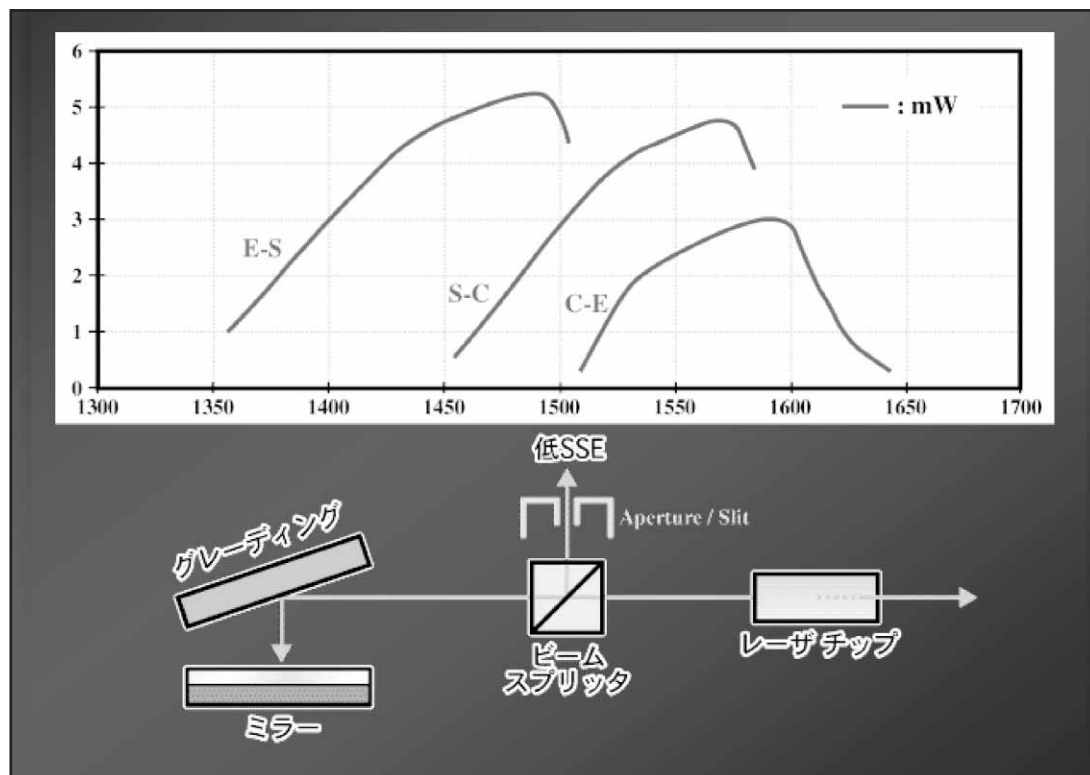
- マルチモード発振
- 特徴
 - ・ 広い線幅
 - ・ ~ 5nm
 - ・ 高パワー安定度
 - ・ ~ ± 0.003dB、15分の代表値
 - ・ 反射による影響を受けにくい
- 主な使用
 - ・ 正確な波長指定が必要ない場合に使用する

DFBレーザ



- シングルモード発振
- 特徴
 - ・ 狭い線幅
 - ・ $\sim 100\text{MHz}$ 、 $\sim < 1\text{pm}$
 - ・ 高パワー安定度
 - ・ $\sim \pm 0.005\text{dB}$ 、15分代表値
- 主な使用
 - ・ ITU波長での測定などに使用する

波長可変レーザー光源



○特徴

- ・非常に細い線幅
 - ・ 100kHz ~
- ・比較的高い光パワー
- ・波長可変範囲
 - ・通常100nm前後
- ・S、C、Lバンドを1台でカバーできる製品もある

選択基準とパラメータ

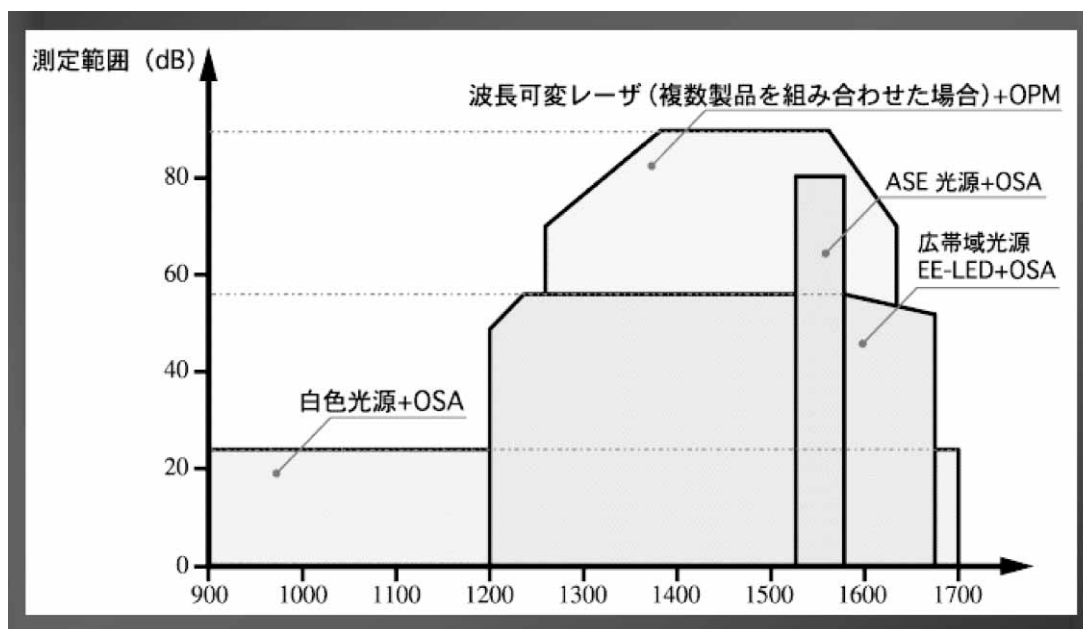
○波長ドメイン

- ・波長範囲
- ・波長確度
- ・波長リニアリティ
- ・再現性
- ・連続掃引機能の有無と速度
- ・コヒーレンス コントロール機能の有無

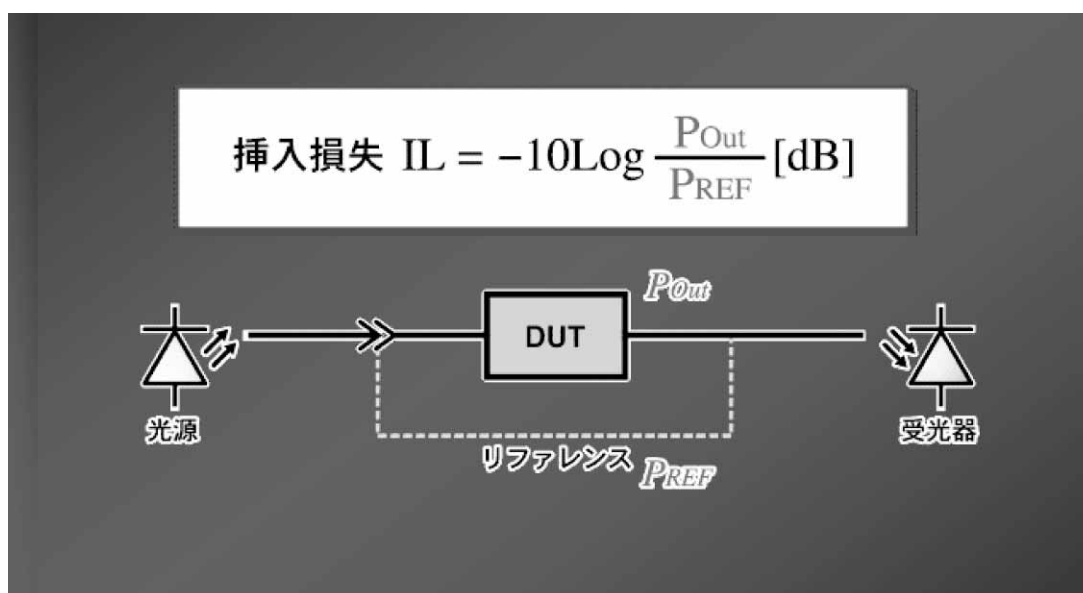
○振幅ドメイン

- ・再現性
- ・SSEレベル
- ・出力レベル

各光源の範囲と測定レンジ



3) 測定のしくみ

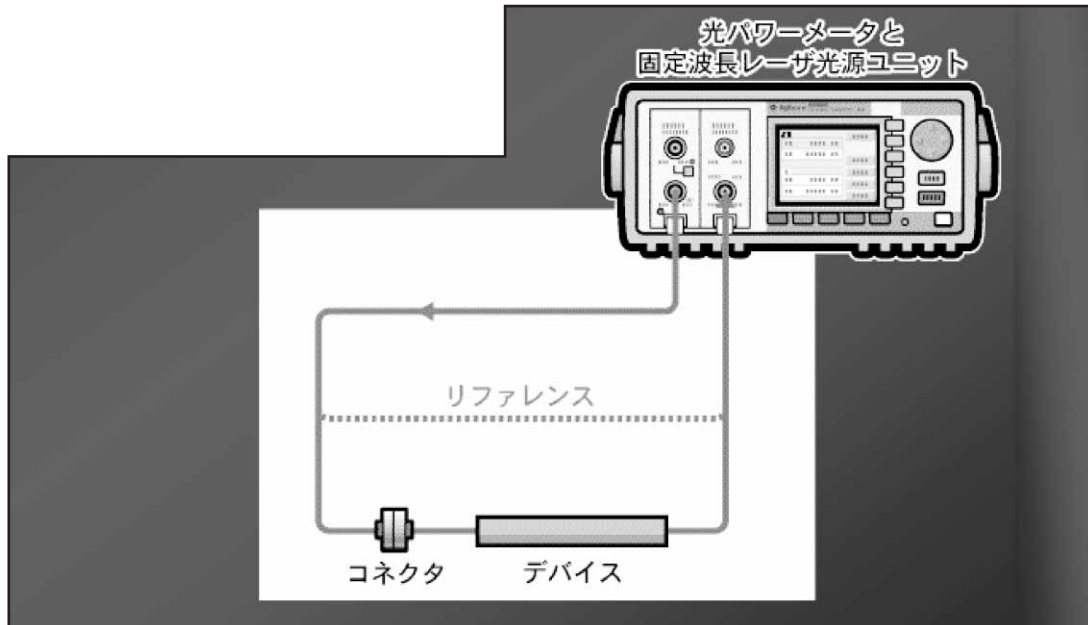


(測定編 第3節のはじめに戻る)

単一波長での挿入損失測定

○使用する機器

- ・ 固定波長レーザ光源、波長可変レーザ
- ・ 光パワーメータ



○機器を選択するときのポイント

- ・ 光源
波長、出力パワー、出力パワー安定度
- ・ 光パワーメータ
感度
- ・ 測定レンジ
(光源光パワー) - (光パワーメータ感度)

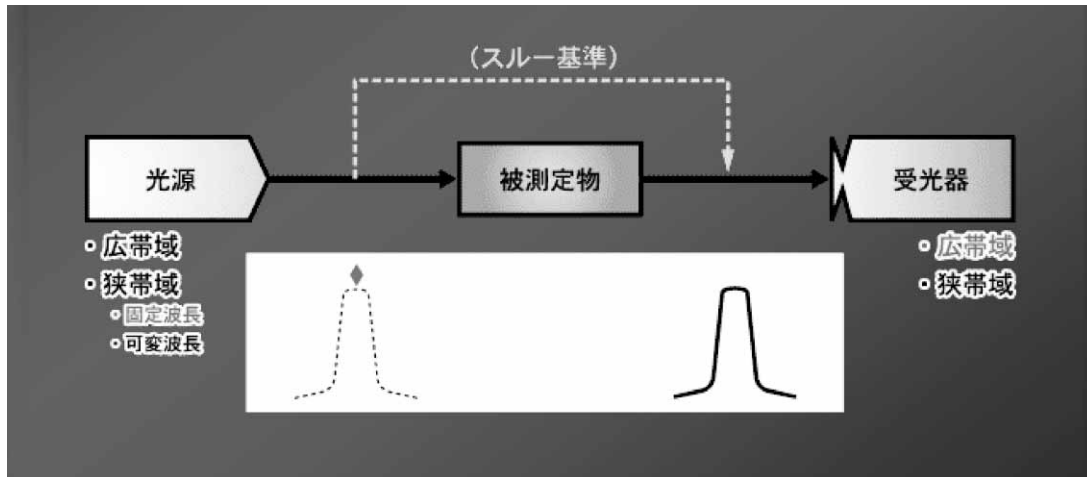
○測定確度に影響する要因

- ・ 光コネクタの損失再現性（挿入法の場合）
- ・ 光源（波長と光パワーの安定度）
- ・ パワーメータ（直線性、偏波依存性）
- ・ 干渉の影響
- ・ 被測定デバイスの偏波依存性

挿入損失の波長依存性測定

○ 組合せ

- ・「狭帯域波長可変光源」と「広帯域受光器」
- ・「広帯域光源」と「狭帯域波長可変受光器」
- ・波長選択性を持つ「光源」と波長選択性を持つ「受光器」



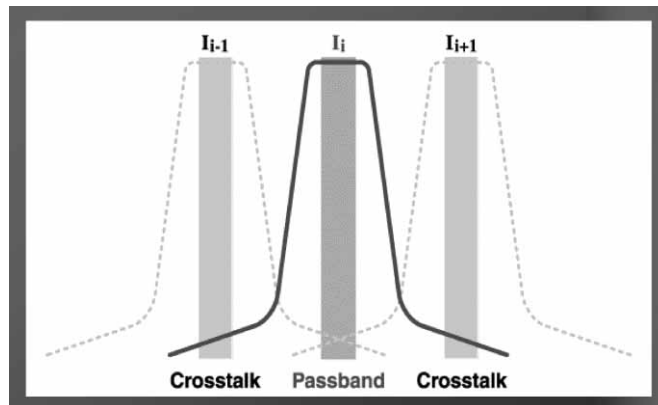
光フィルタの評価項目

○ 透過域

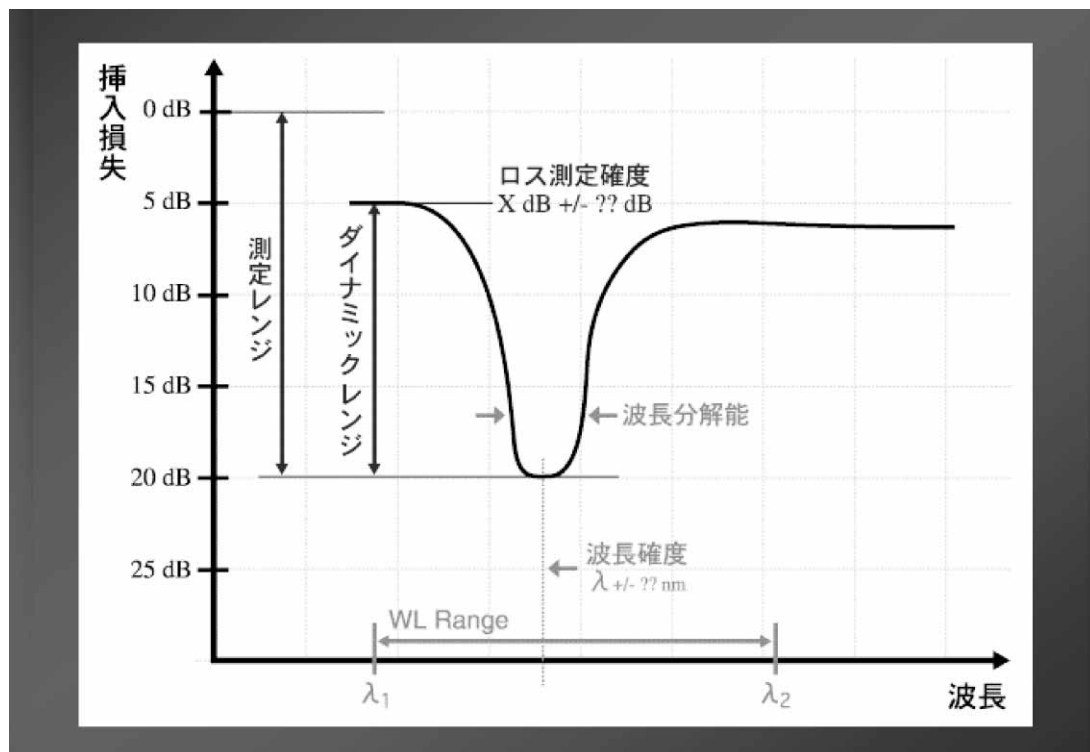
- ・挿入損失
- ・リップル
- ・波長
ピーク波長、中心波長
- ・帯域幅
0.5dB、3dB

○ 阻止域

- ・クロストーク
- ・帯域幅
20dB、40dB



測定で考えるポイント



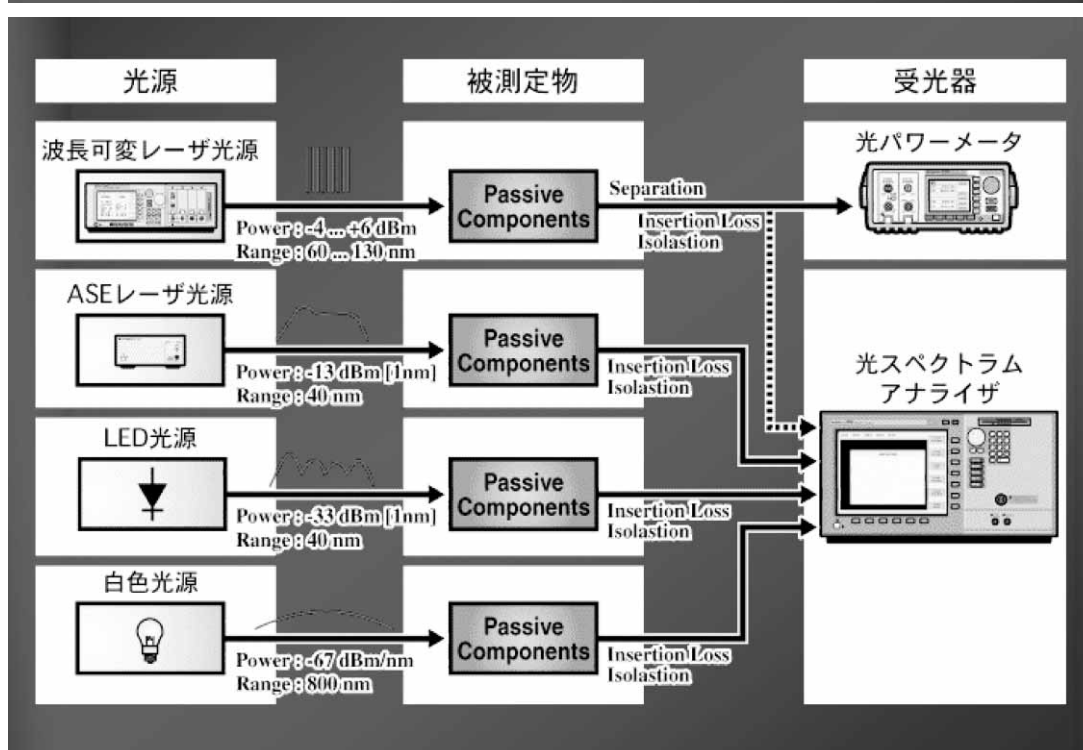
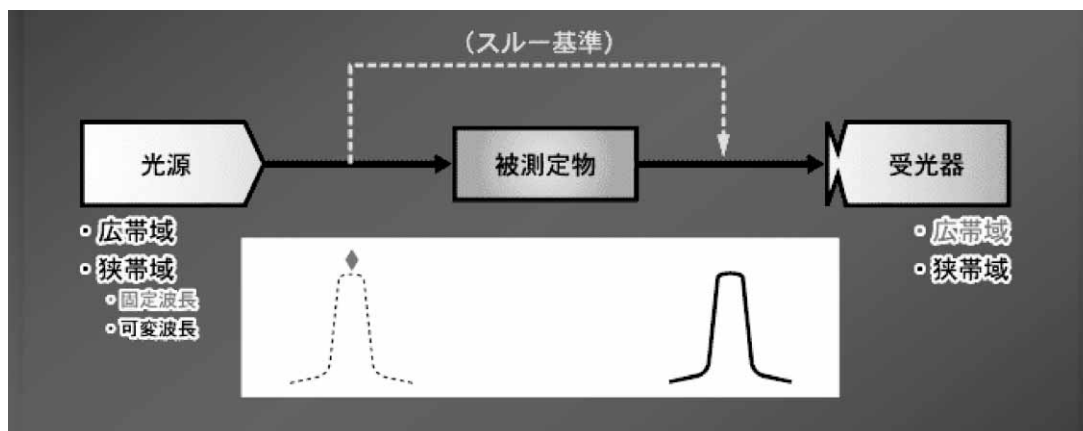
○ 波形の方向

- ・ 波長範囲
- ・ 波長確度
- ・ 分解能
- ・ 光学的
- ・ デジタル的

○ 振幅の方向

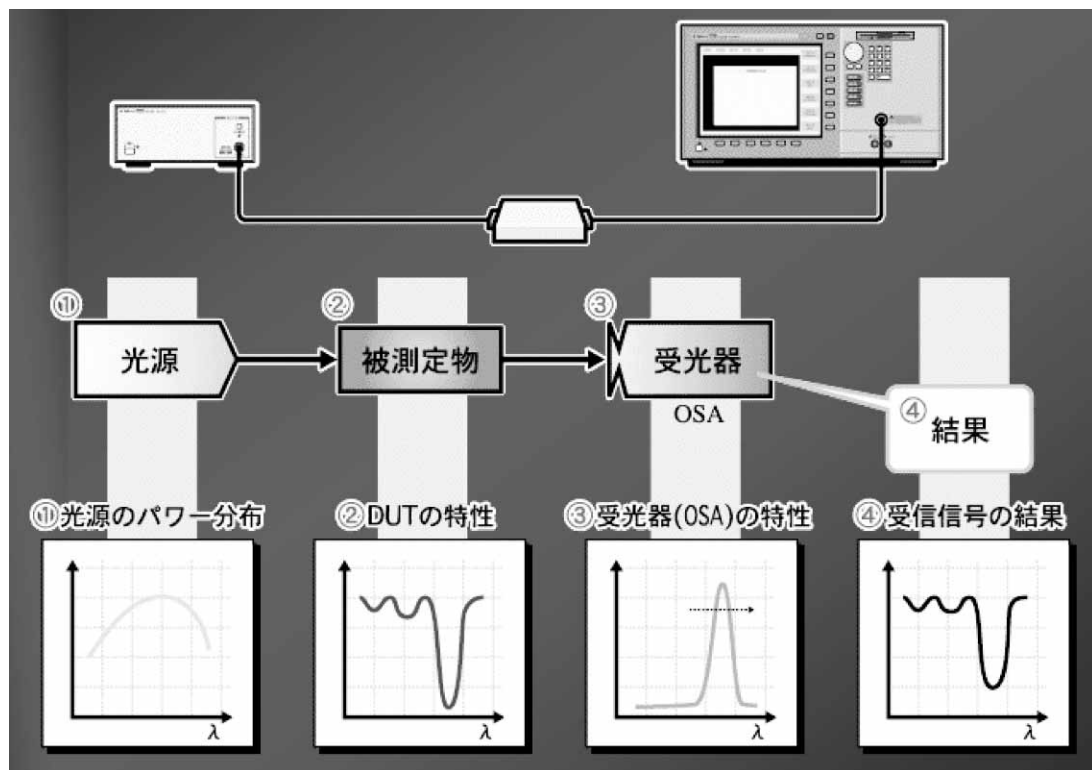
- ・ 測定レンジ
- ・ ダイナミック レンジ
- ・ 確度
 - 直線性
- ・ 偏波依存性

4) 測定方法（組合せ）



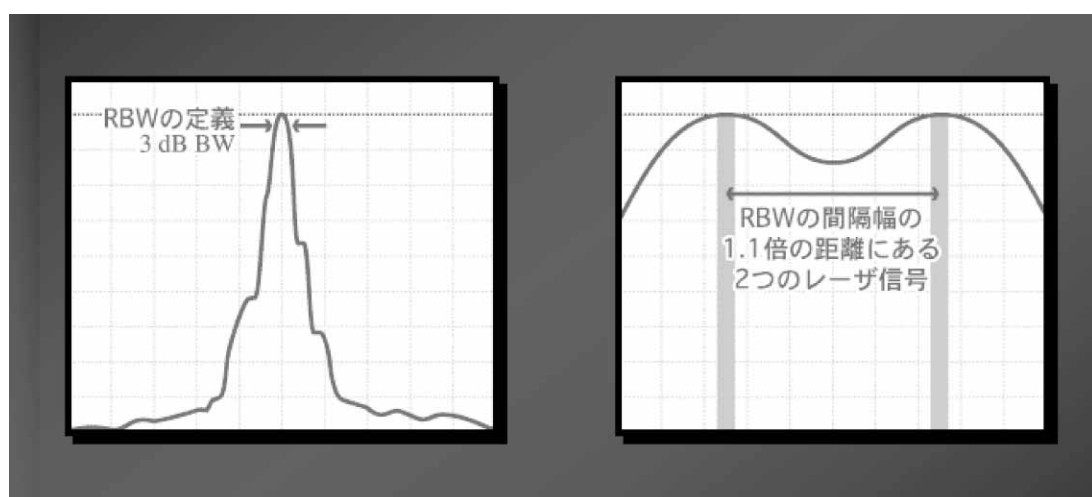
(測定編 第3節のはじめに戻る)

広帯域光源と光スペクトラム アナライザ



- ・測定範囲 / ダイナミック レンジは、光源に依存する
- ・分解能帯域幅が測定を制限する
- ・測定条件により、測定時間は長くなる

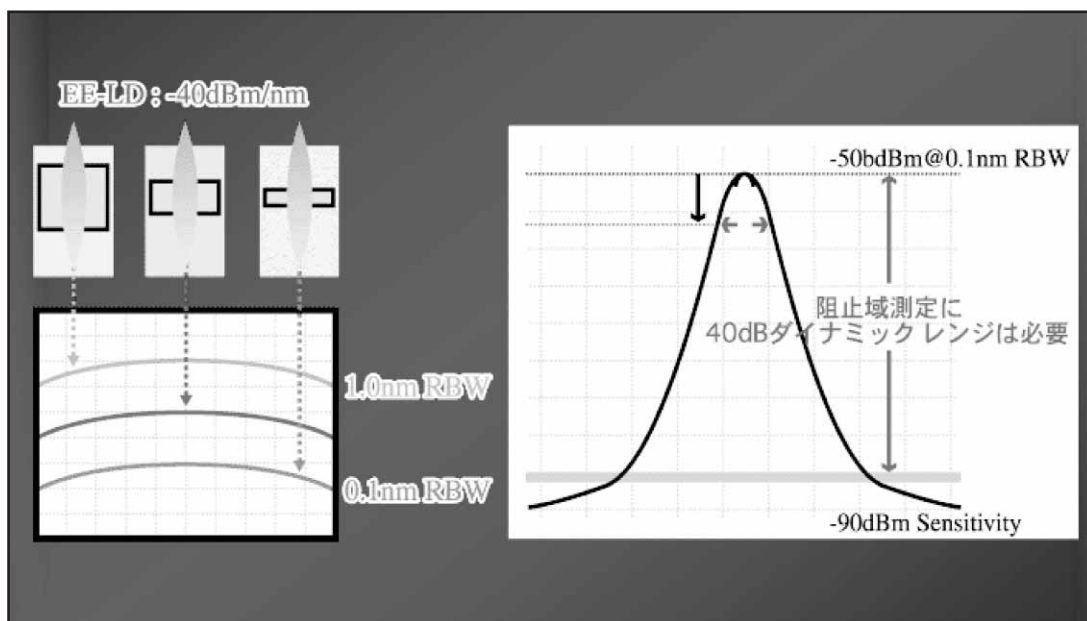
分解能帯域幅



- R B W (Resolution Band Width)
- 実効RBWの依存先
 - ・波長

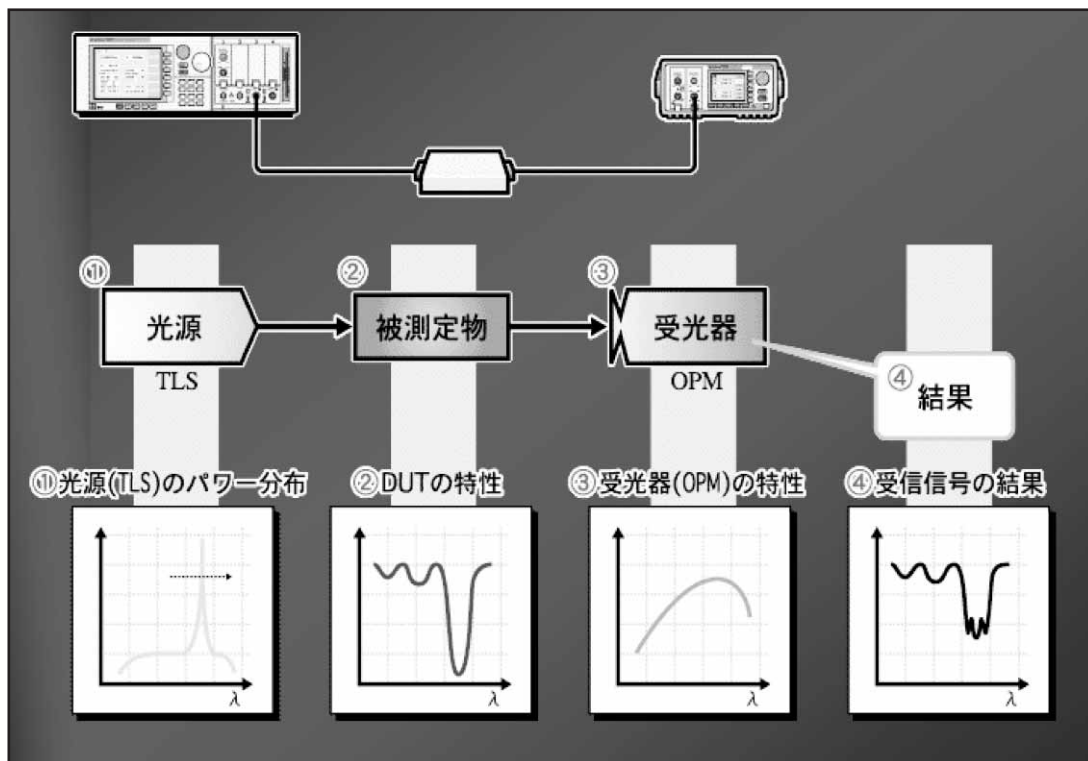
- ・スリット幅の許容誤差
- ・入力ビーム形状
- 特徴
 - ・モノクロメータのスリット幅の制御である
 - ・強度が等しい2つの信号の波長差がRBWより広い場合、これを「分解」し、2信号あると認識できる

分解能帯域幅と測定ダイナミックレンジ



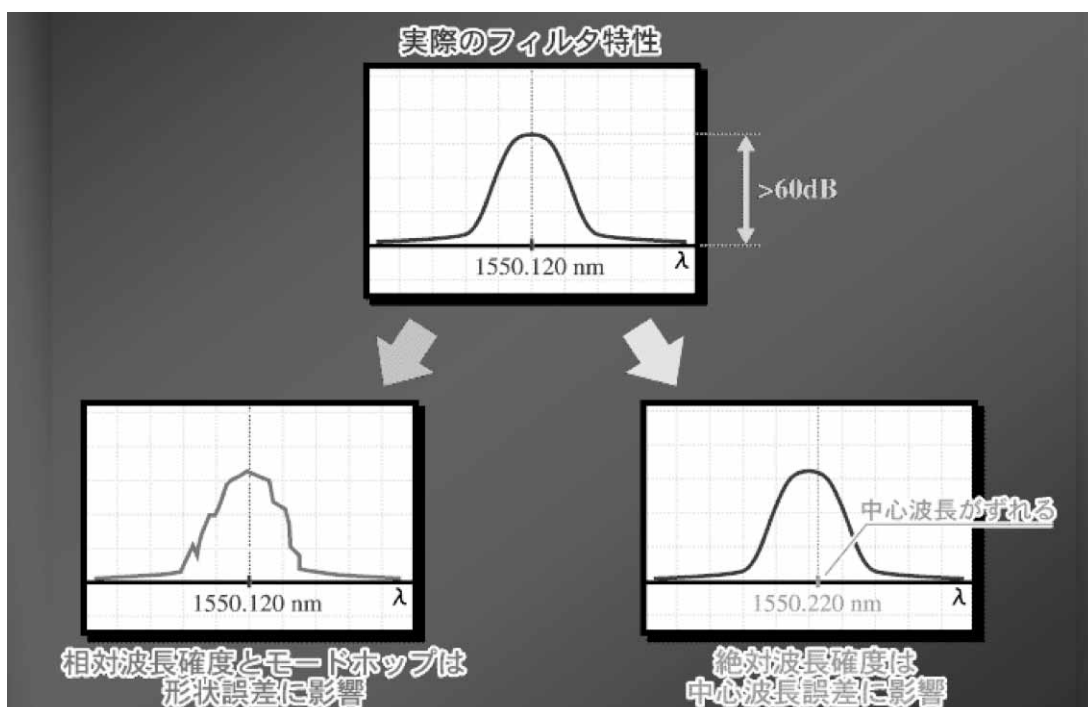
- RBWが狭くなると、入力レベルが小さくなる
- ↓
- ダイナミックレンジを保持するため、測定感度を上げる
 - ・波長掃引時間は長くなる

波長可変レーザと光パワーメータ



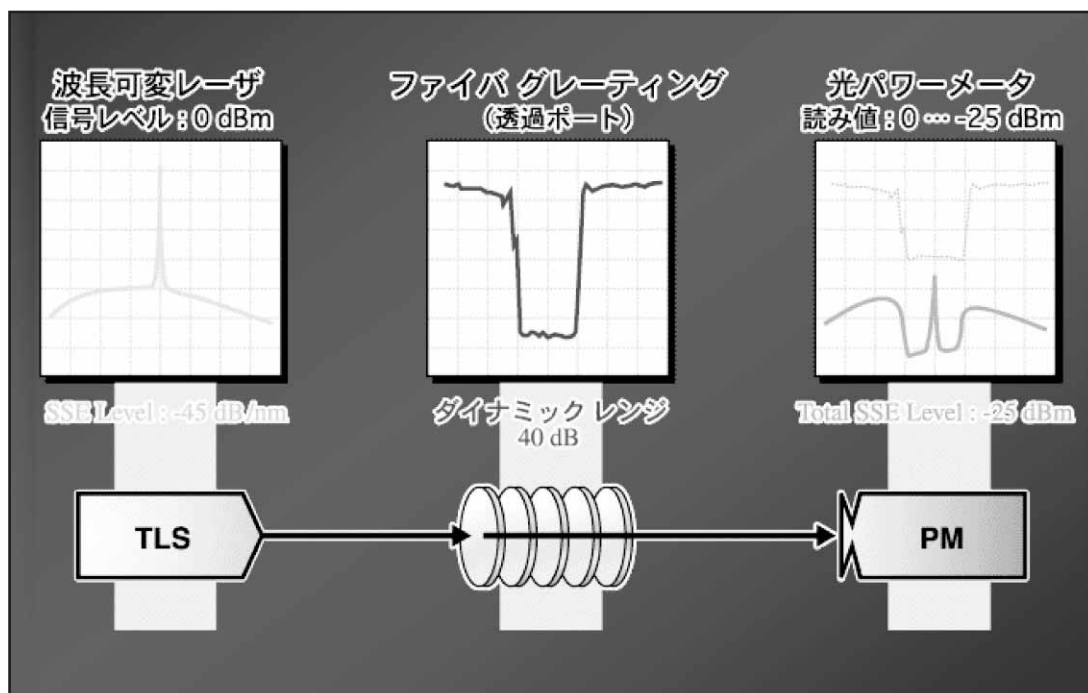
- 波長可変レーザ
 - ・ 波長範囲、波長確度・測定分解能を決定する
- SSE（自然放出光）
 - ・ 測定ダイナミック レンジを制限する

波長確度とダイナミック レンジ



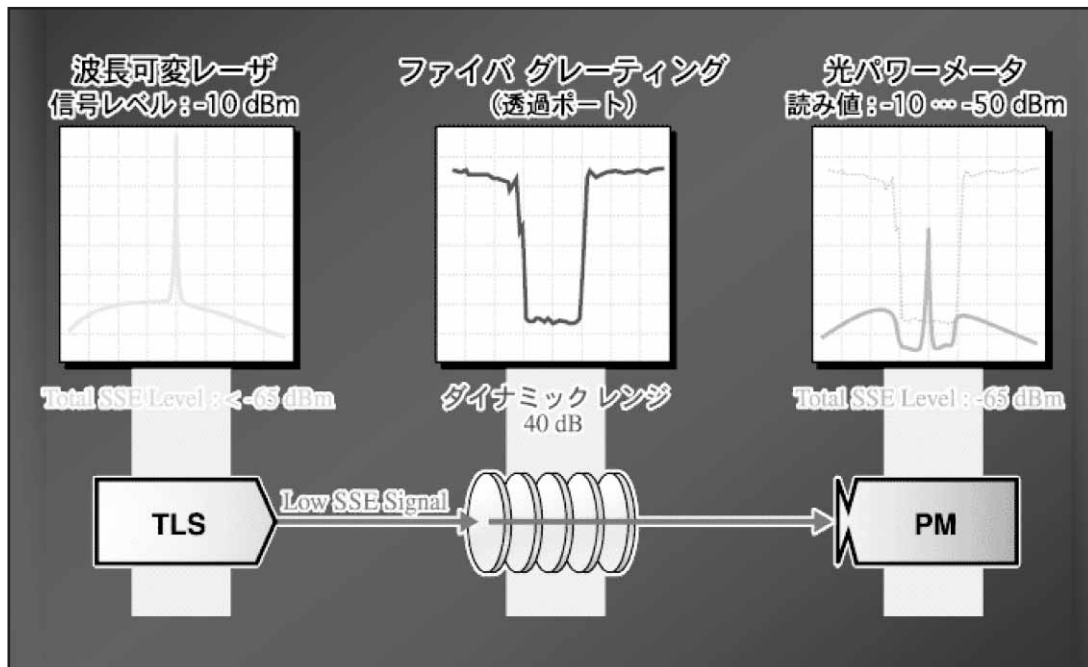
- チャンネル間隔は狭くなる傾向にある
 - ・ 200GHz (1.6nm) から 25GHz (0.2nm) 以下へ
- 高い測定波長分解能が必要となる
 - ・ 0.1nmから10pm以下へ
- 光部品のダイナミックレンジ
 - ・ 60dB (106 : 1) 以上
- デバイス測定に必要な要素
 - ・ 高い波長確度 (絶対波長、相対波長)
 - ・ 高いダイナミックレンジ

ダイナミックレンジの制限



- レーザ + パワーメータを使った場合
- 波長可変レーザのSSE
 - ・ 測定レンジが制限される
 - ・ 45dB → 25dB

低SSEレーザを使った解決



○ 解決策として、SSEが低いレーザを使う

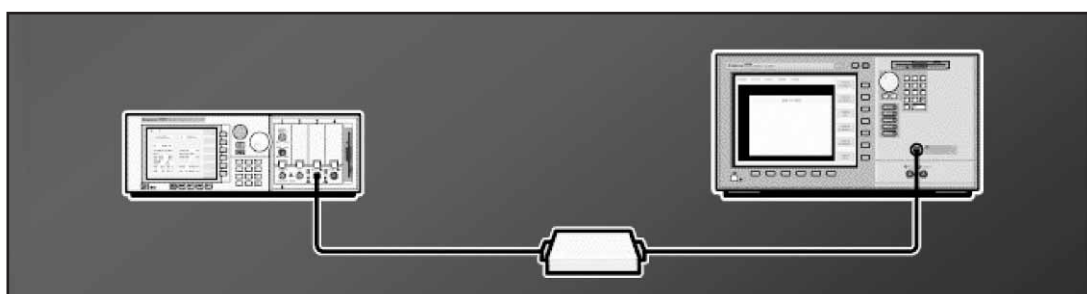
- ・ 高いロス測定確度
- ・ 高いダイナミック レンジ
- ・ 高いコスト効率

マルチ チャネル測定システム

- ・ 連続波長掃引
- ・ 全チャネル同時測定
- ・ ミューラー法を用いたPDL測定

波長可変レーザと光スペクトラム アナライザ

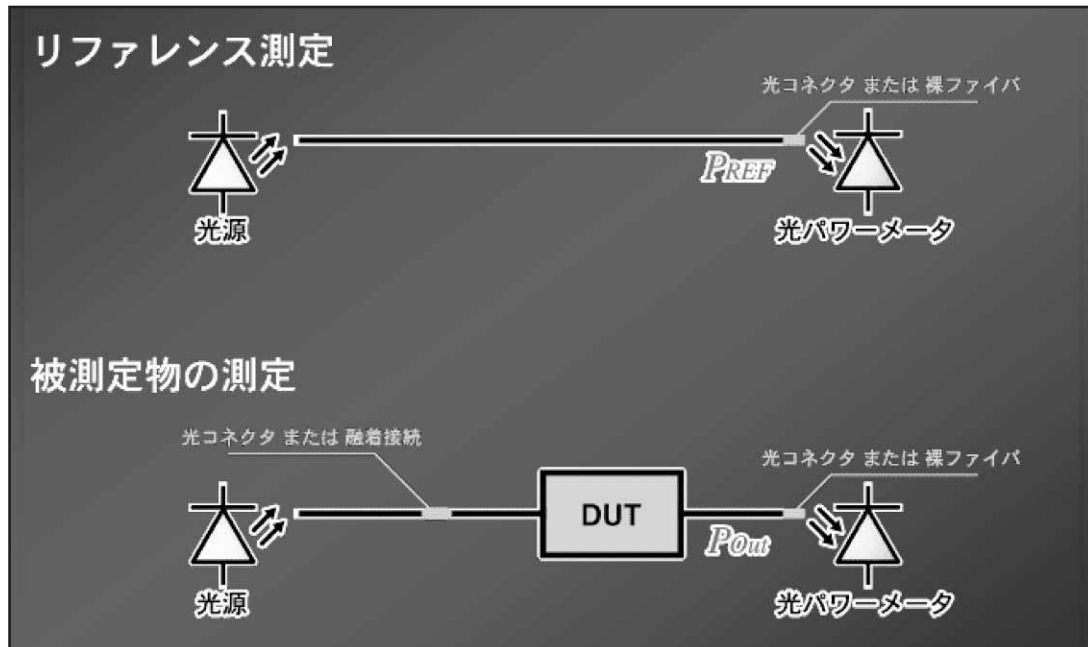
- 光源のSSEレベルに関わらず測定できる
- 波長範囲、波長確度・測定分解能
 - ・ どちらか確度の低い方によって決まる
- 両方掃引する場合、2つの測定器の掃引の同期が難しい
- 多チャネル化が難しい



設定方法

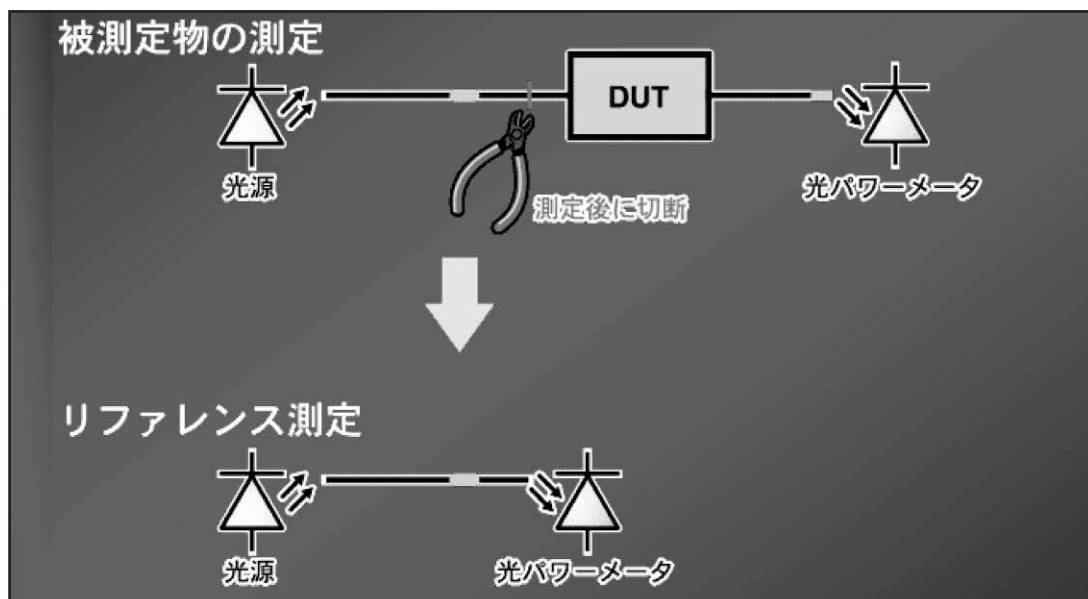
- ・挿入法
- ・カットバック法

挿入法



- ・リファレンス測定
- ↓
- ・被測定デバイスの挿入
- ↓
- ・被測定デバイスの測定

カットバック法



- ・ 被測定デバイスの測定
- ↓
- ・ 被測定デバイスのカット
- ↓
- ・ リファレンス測定

5) 測定方法の選択基準

- 高分解能、高確度
- 低偏波依存性、低SSE
- 拡張性が高い
 - ・ 高速掃引測定ができる
 - ・ PDL、分散測定系への拡張ができる
 - ・ 低コストで多チャンネル化ができる

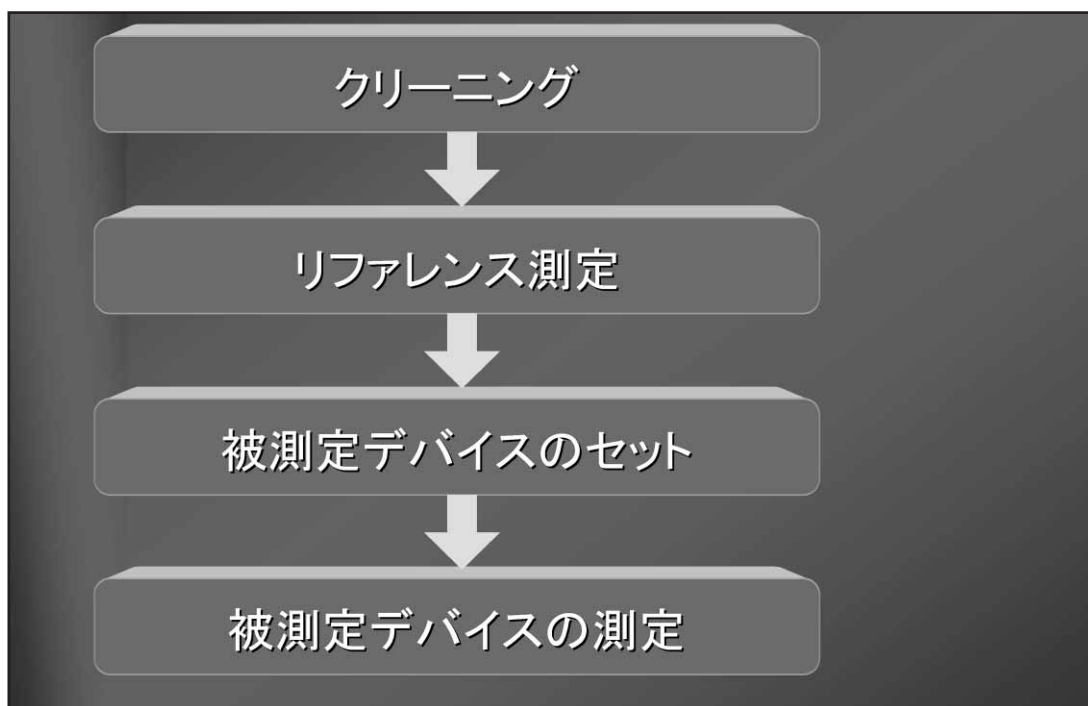
(測定編 第3節のはじめに戻る)

6) 被測定デバイスの測定

- ・ 測定フロー
- ・ 実際の操作

(測定編 第3節のはじめに戻る)

測定フロー



挿入損失測定ビデオが上映されます

第4節 反射減衰量測定

この節で学習すること

- 1) 反射減衰量とは何か
- 2) 測定に必要な機器
- 3) 測定のしくみ
- 4) 測定方法（組合せ）
- 5) 測定方法の選択基準
- 6) 被測定デバイスの測定

（測定編の目次に戻る）

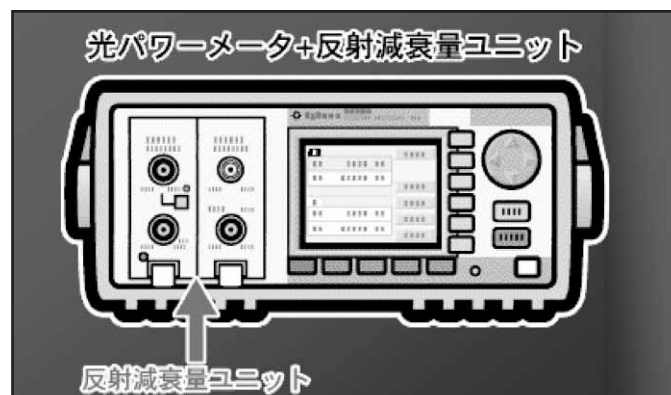
1) 反射減衰量とは何か

- ・ R L（Return Loss）
- ・ 反射による戻り光の強度の減衰をいう

（測定編 第4節のはじめに戻る）

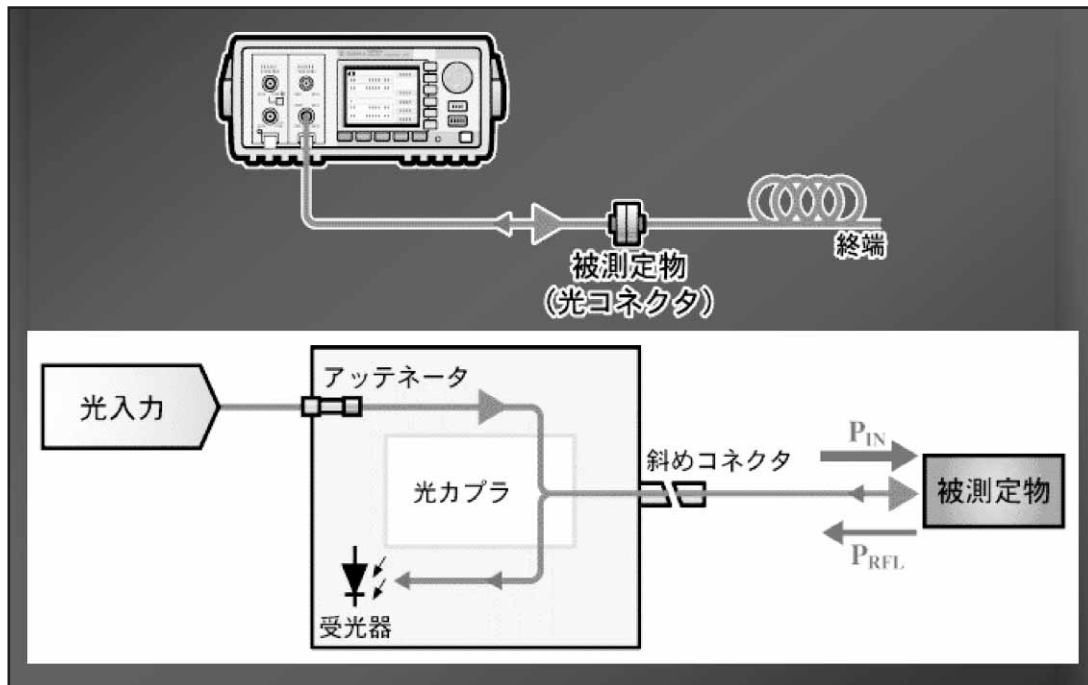
2) 測定に必要な機器

- 反射減衰量測定器（反射減衰量モジュール）
 - ・ CW光タイプ
 - ・ パルス光タイプ
 - ・ 干渉計型
- 光パワーメータ

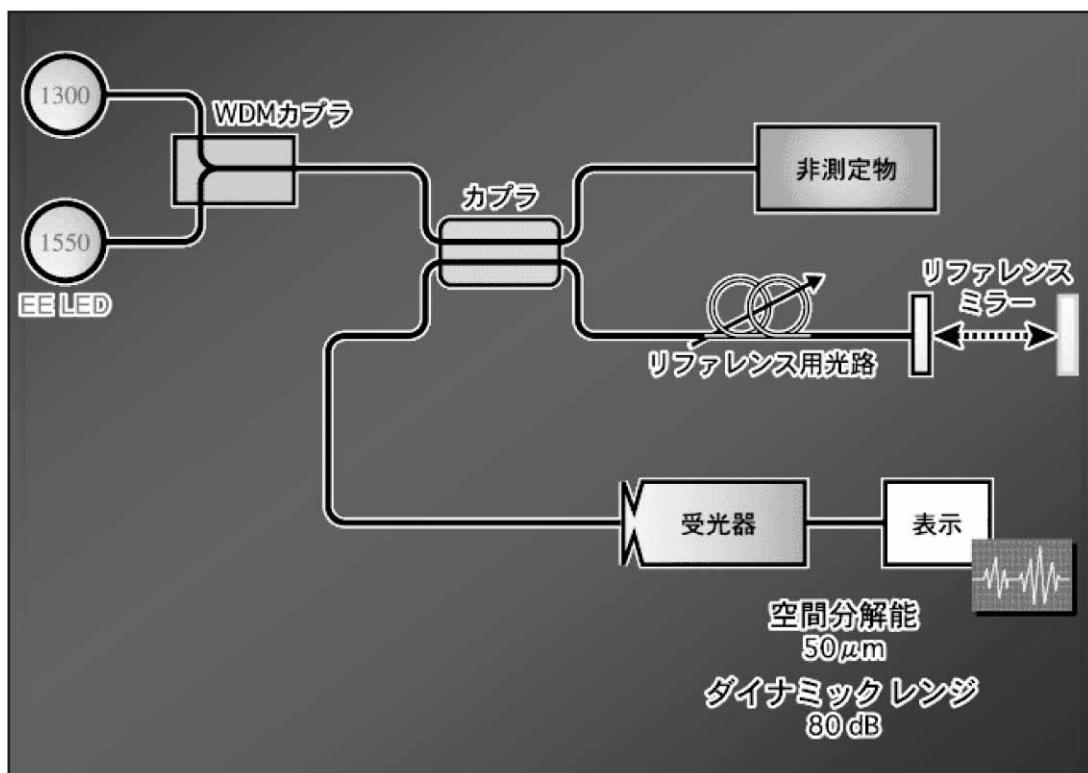


（測定編 第4節のはじめに戻る）

CW光反射減衰量測定器



干渉計型反射減衰量測定器



3) 測定のしくみ

光部品の反射

例：ファイバ端面

ガラス： $n_1=1.5$
空気： $n_0=1$



フレネルの法則

$$\frac{P_{RFL}}{P_{IN}} = \frac{(n_1 - n_0)^2}{(n_1 + n_0)^2} = 4\%$$

反射減衰量
(RL : Return loss)

$$RL = 10 \log \frac{P_{RFL}}{P_{IN}} \text{ [dB]}$$

（測定編 第4節のはじめに戻る）

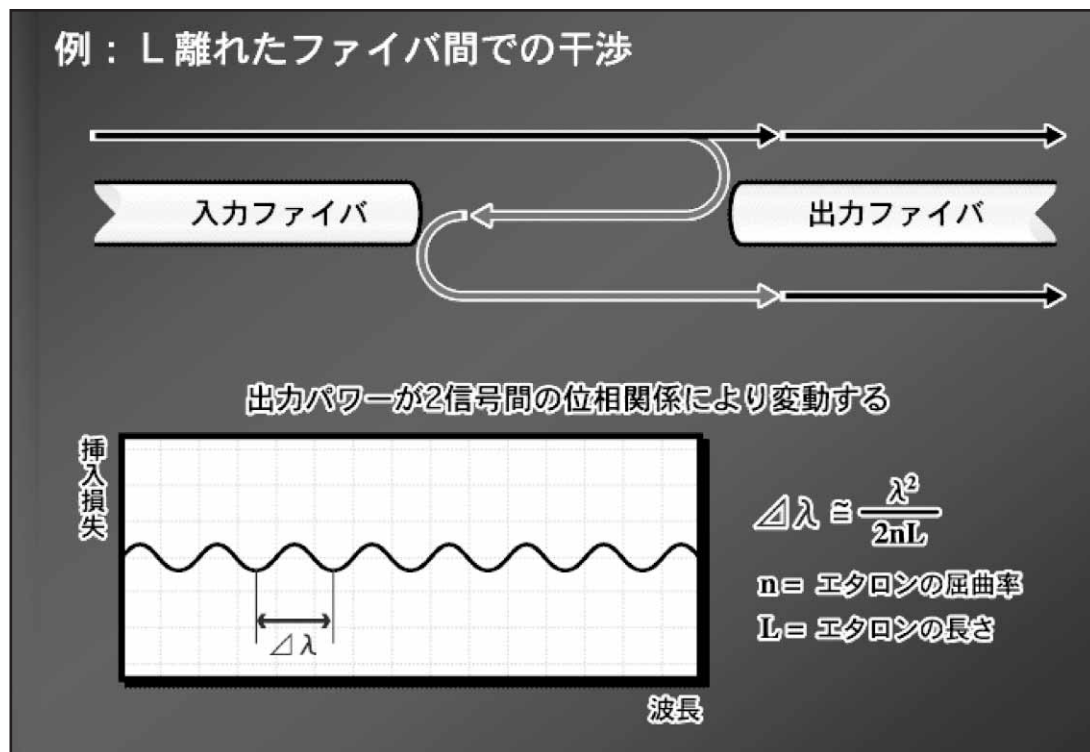
光部品の反射減衰量

0 dB =	ミラー	(対応する測定器)
20 dB =	フレネル反射	
40 dB =	ストレート研磨光コネクタ対	パルス光反射減衰量測定器
60 dB =	斜め研磨光コネクタ対	
80 dB =	CATV / EDFA 用光部品	CW 光反射減衰量測定器
100 dB =		干渉計型反射減衰量測定器
120 dB =	レイリー散乱	

光コネクタのリターンロス

	空間の隙間	物理的接触 Physical Contact (PC)	斜め接触 Angled Physical Contact (APC) 8°
挿入損失	中程度 typ. 0.5 dB	最小 < 0.25 dB	大きい 0.4 ~ 0.9 dB
リターンロス	最悪 < 14 dB (Fresnel)	良好 > 40 dB	最良 > 60 dB
使用例	マルチモード (GI) ファイバで通例	シングルモード ファイバ(SMF)で通例	高性能システムや CATVで使用

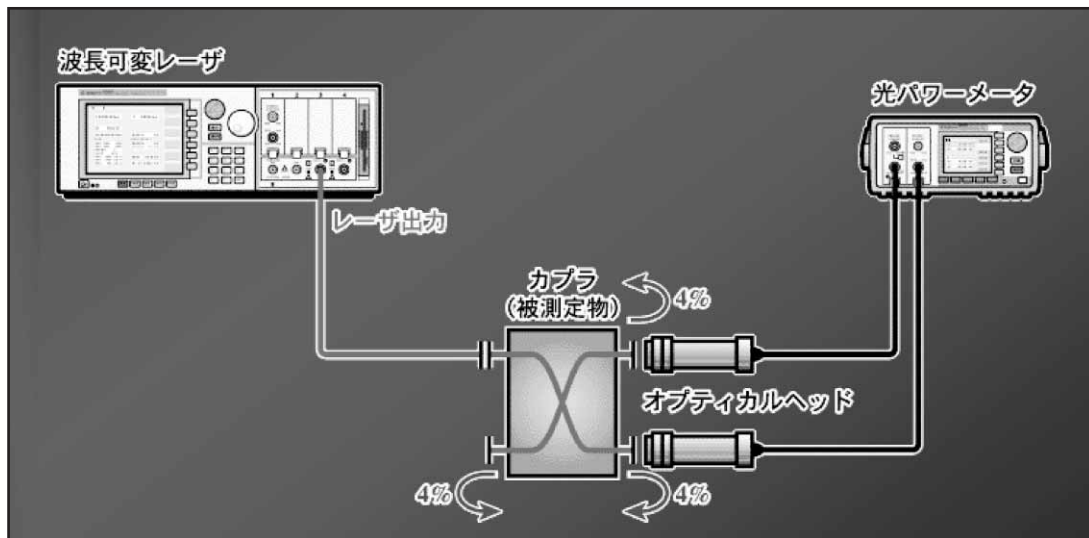
反射による影響



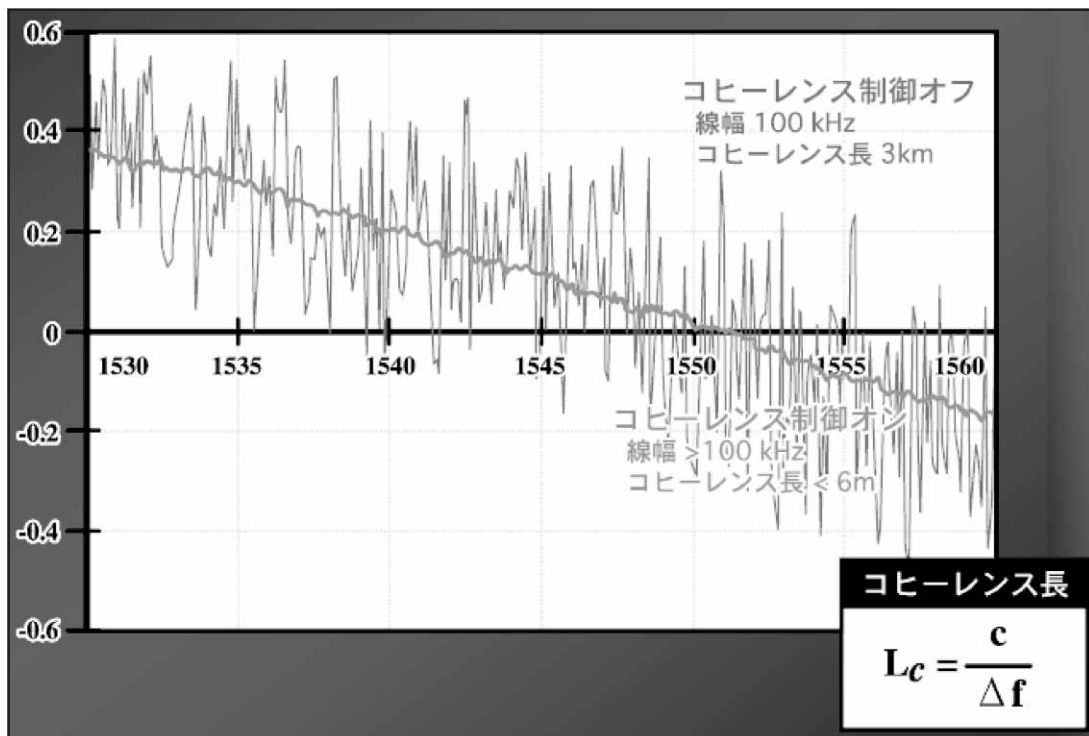
- エタロン
 - ・ 平行反射面が互いに向き合ったもの
- デバイス内の多重反射により発生する

計測系での干渉の発生

- ・ 光コネクタ部の反射によって発生する
- ・ 光源の線幅が細いほど干渉によるパワー変動は大きくなる



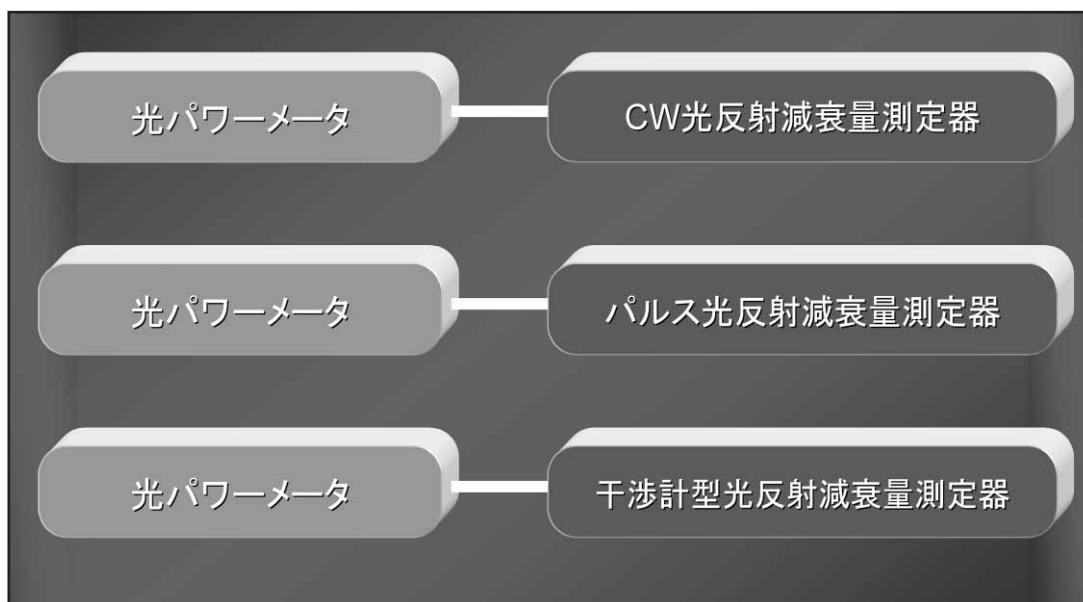
干渉の影響を防止するには



- ・ コネクタ間で共振器が構成されていることからリップルが発生する
 - ・ 2 mのパッチコード両端のストレート研磨コネクタ間の干渉により発生するパワー変動
- ・ 光源のコヒーレンス長を共振器長の2倍以内にすることが有効である

機器	対策
光スペクトラムアナライザ	アベレージ、移動平均などの機能を用いる
波長可変レーザ	コヒーレンス制御機能を用いて線幅を広げ、コヒーレンス長を短くする

4) 測定方法 (組合せ)



(測定編 第4節のはじめに戻る)

5) 測定方法の選択基準

	波長レンジ	測定確度	空間分解能	終端
CW光 反射減衰量 測定器	○	○	なし	必要
パルス光 反射減衰量 測定器	限定	○	多少あり	不要
干渉計型 反射減衰量 測定	限定	○	○	不要

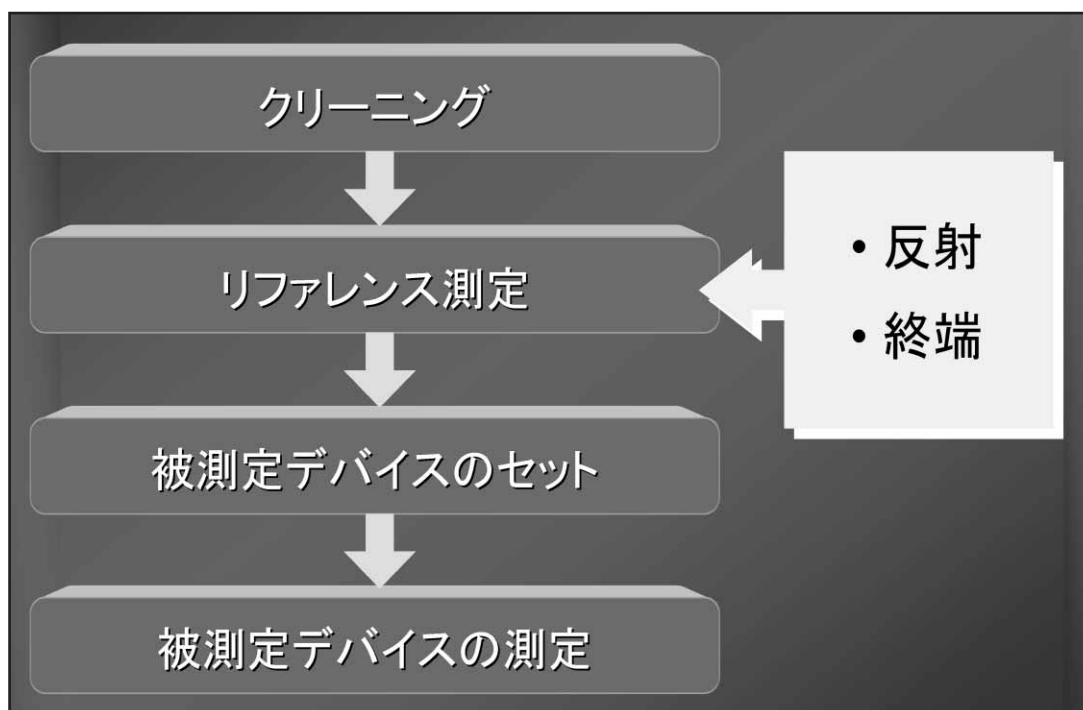
(測定編 第4節のはじめに戻る)

6) 被測定デバイスの測定

- ・測定フロー
- ・実際の測定

(測定編 第4節のはじめに戻る)

測定フロー



反射減衰量測定ビデオが上映されます

第 5 節 偏波依存性損失測定

この節で学習すること

- 1) 偏波依存性損失とは何か
- 2) どこで問題になるのか
- 3) 測定に必要な機器
- 4) 測定のしくみ
- 5) 測定方法
- 6) 測定方法の選択基準
- 7) 被測定デバイスの測定

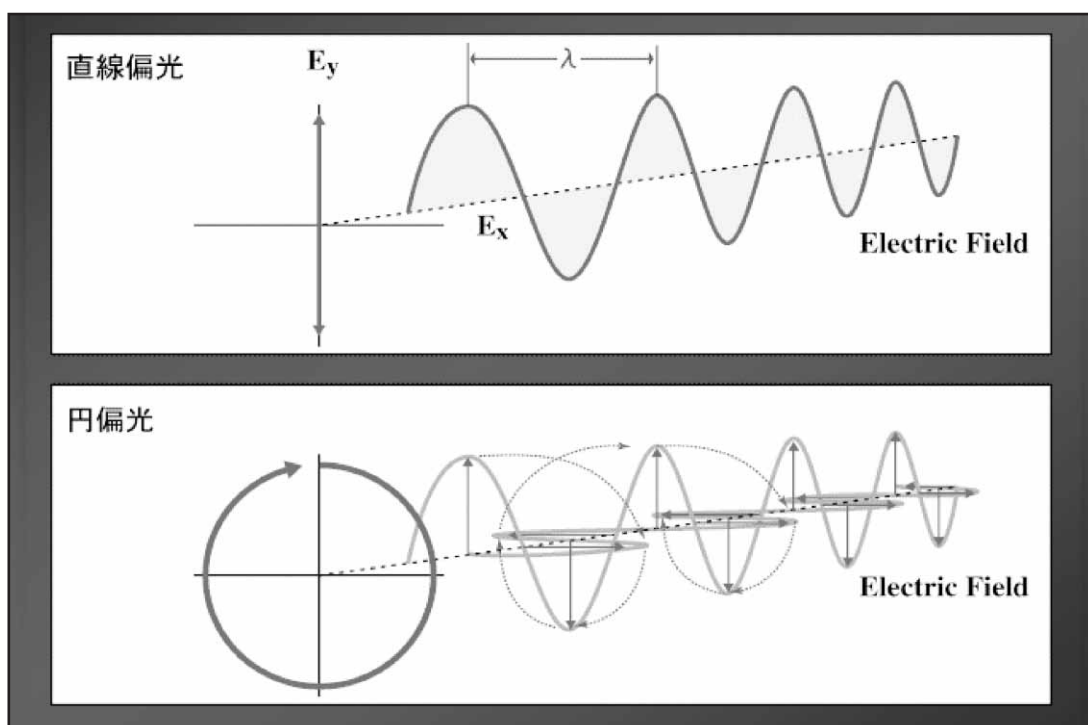
(測定編の目次に戻る)

1) 偏波依存性損失とは何か

- ・ P D L (Polarization Dependent Loss)
- ・ 物質に配向があると、偏光の向きにより光の伝播に差が生じる

(測定編 第 5 節のはじめに戻る)

偏光

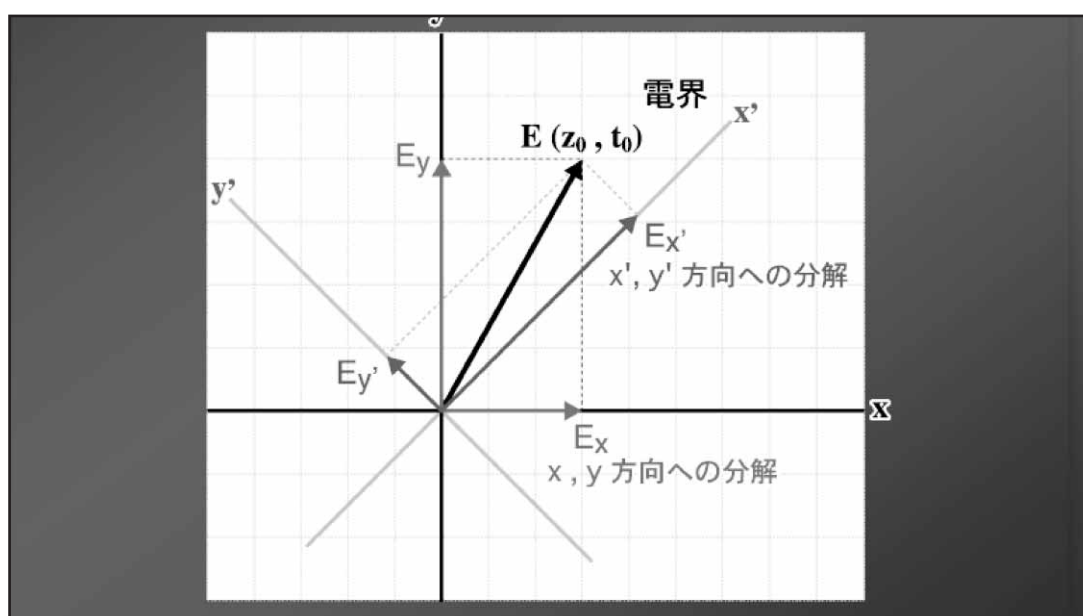


偏光

光波の振動	偏光
一定方向のみの振動	直線偏光(平面偏光)
円の振動	円偏光
楕円の振動	楕円偏光

電界のベクトル分解

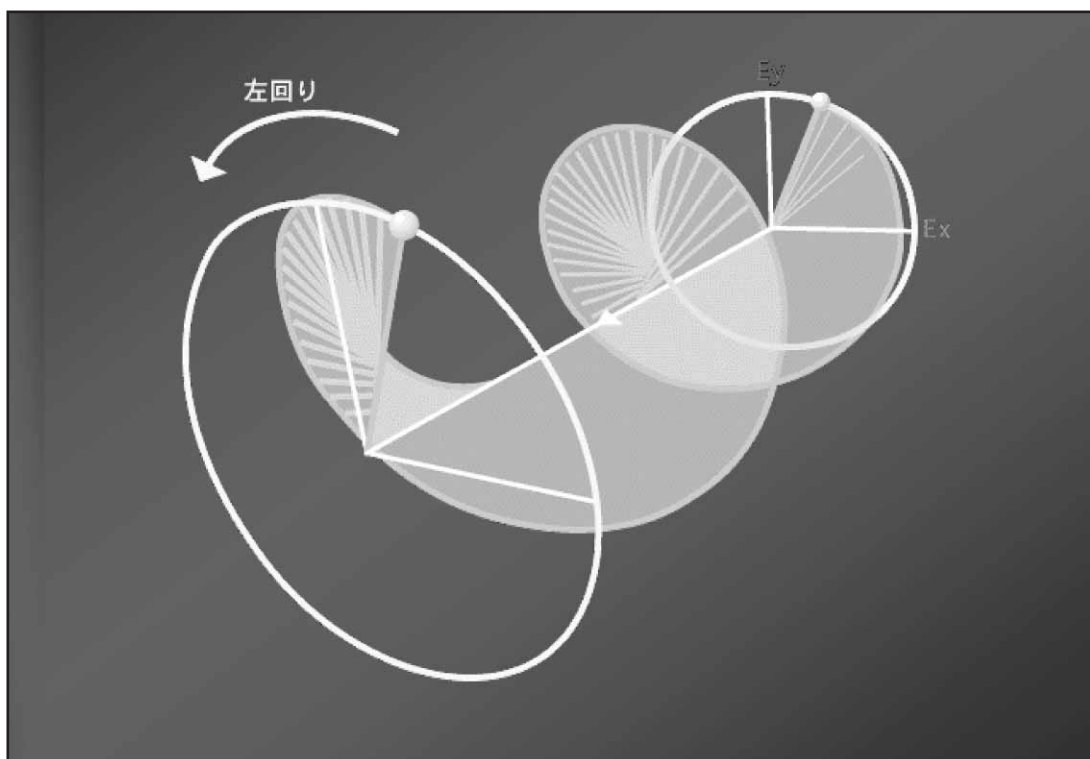
- ・電界は、任意のXY方向のベクトル成分として、分解することができる



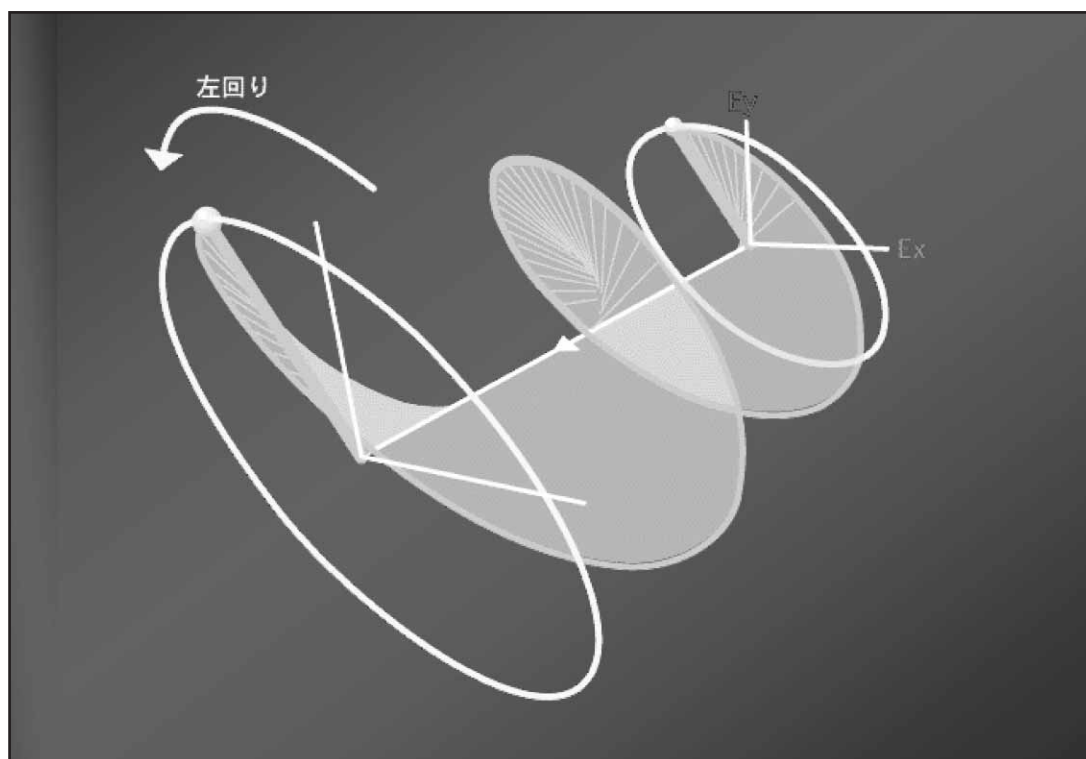
直線偏光



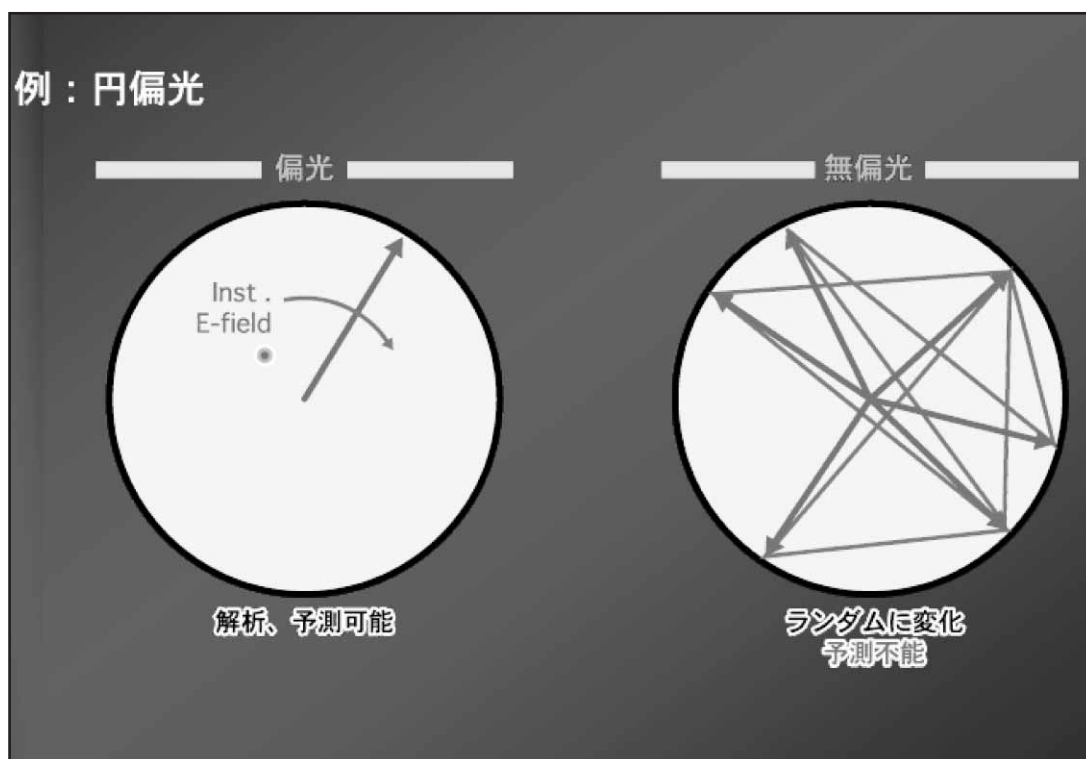
円偏光



楕円偏光



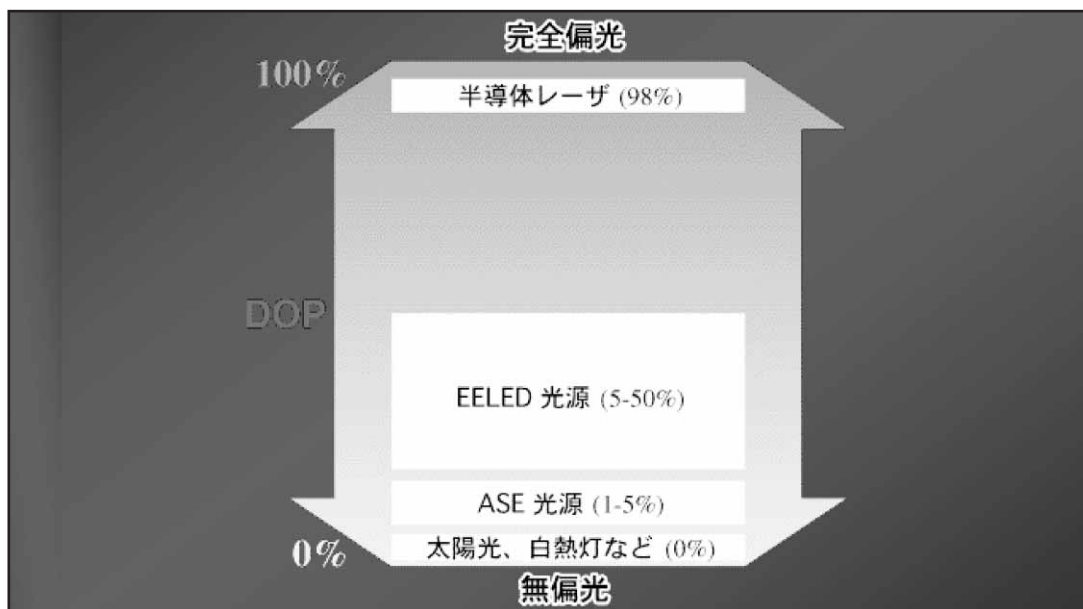
偏光と無偏光



偏光と無偏光

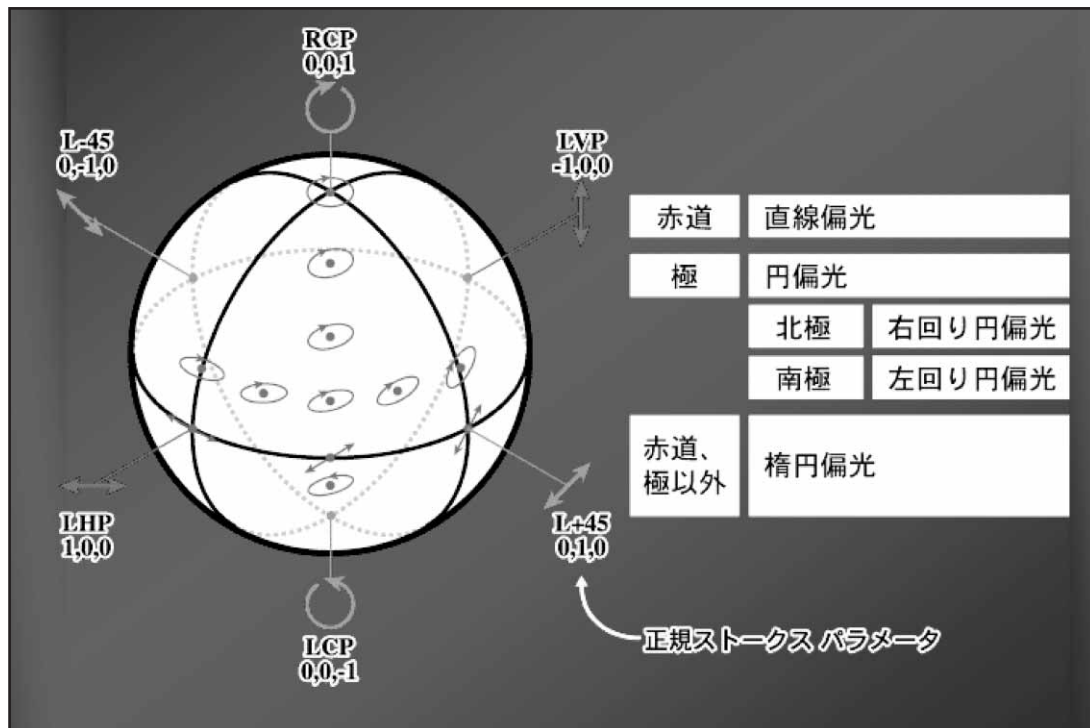
光波	特徴
偏光	解析、予測ができる
無偏光	ランダムに変化し、予測できない

偏高度



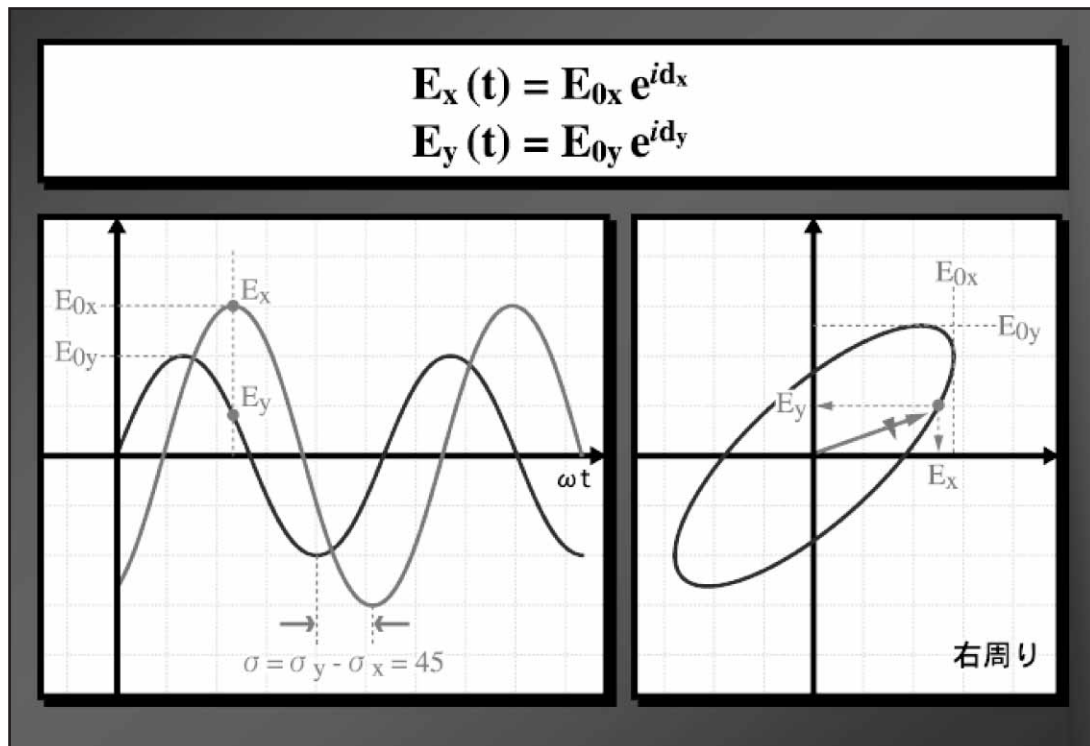
$$DOP = \frac{P_{\text{polarized}}}{P_{\text{polarized}} + P_{\text{unpolarized}}}$$

ポアンカレ球

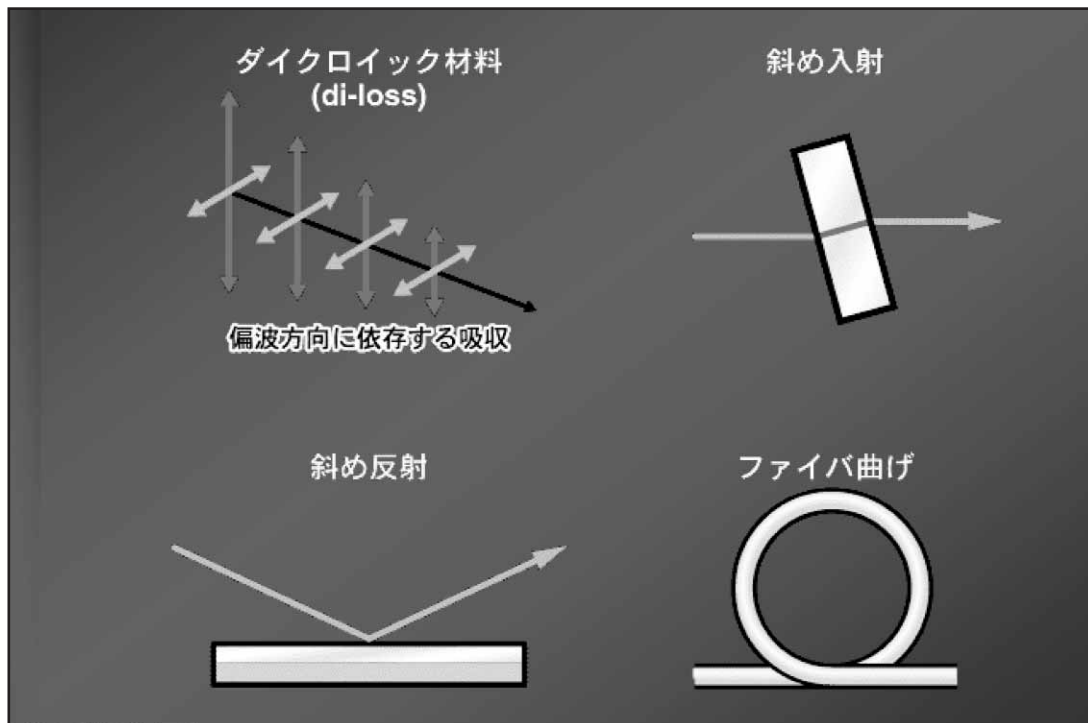


- ・ P S (Poincare Sphere)
- ・ 偏光の状態を表現することができる

偏波楕円



2) どこで問題になるのか

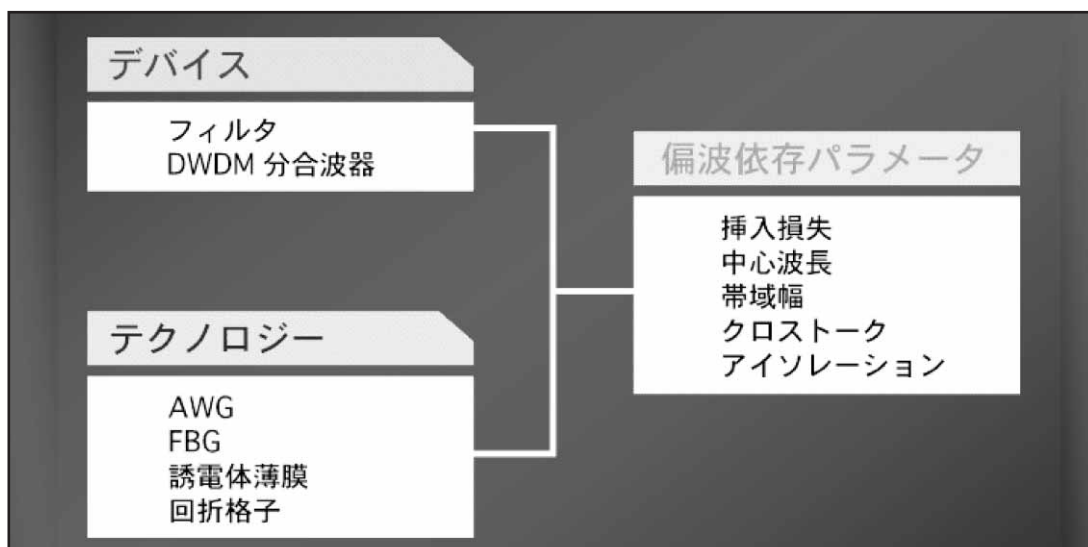


(測定編 第5節のはじめに戻る)

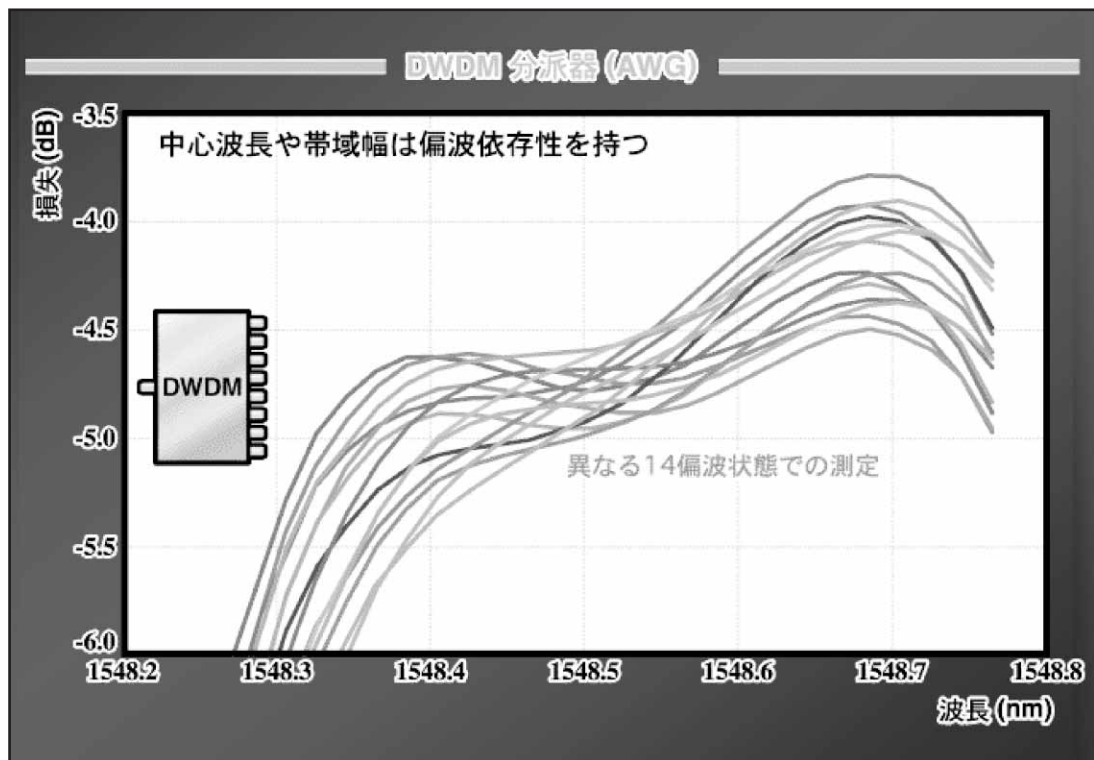
偏波依存性損失の重要性

- ほとんど偏波制御していない
 - ・ 一般的な光通信システムは、偏波を抑制（制御）していない
- 出力レベル変調の発生
 - ・ 偏波がランダムに変化することにより、伝送信号レベルもランダムに変化する
- 伝送品質の劣化
 - ・ 安定した信号レベルを維持できない

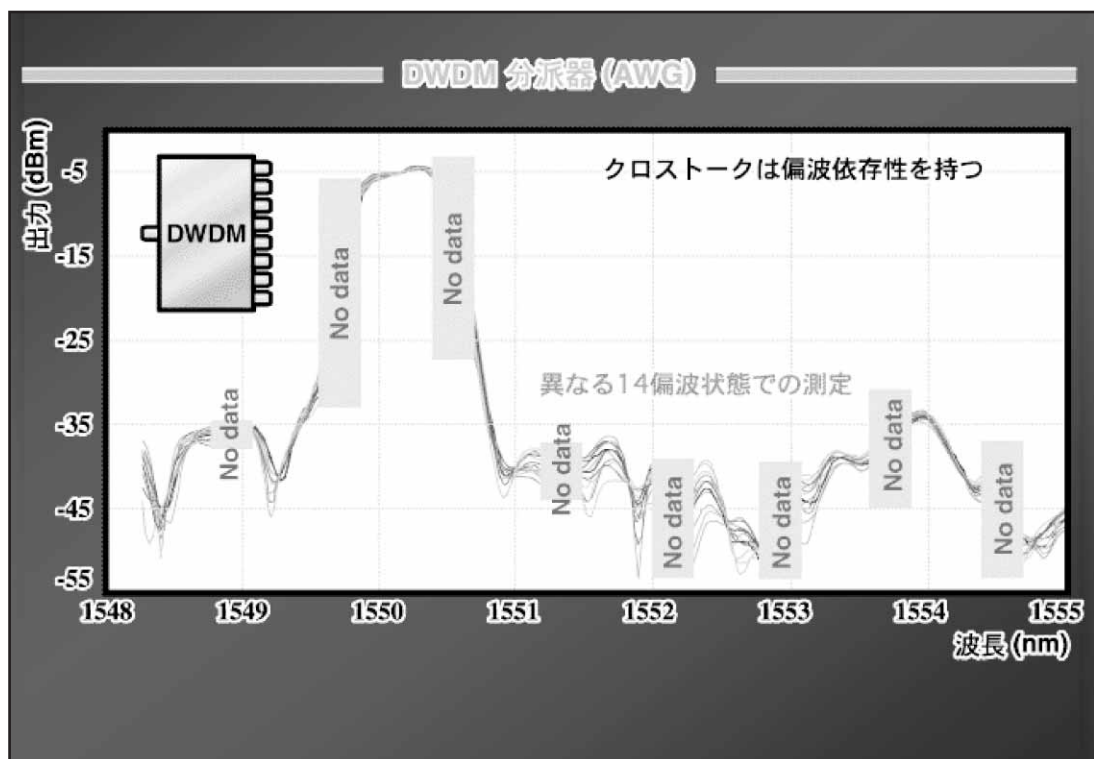
偏波依存性を持つDWDMデバイス



DWDM合分波器の偏波依存性

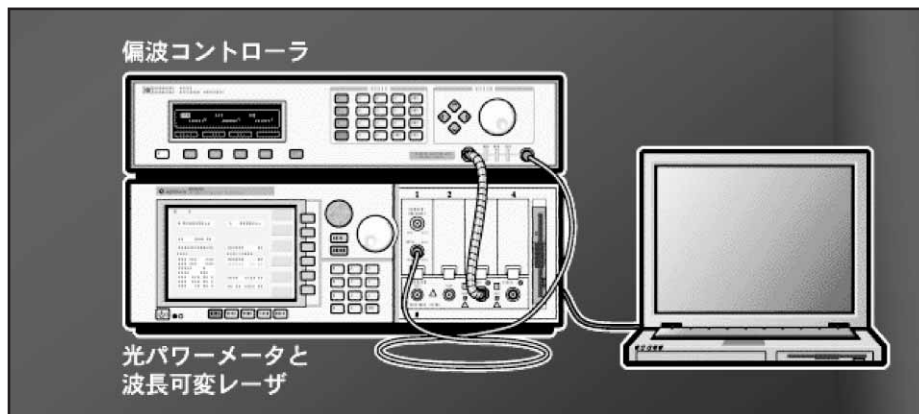


DWDM合分波器の偏波依存性



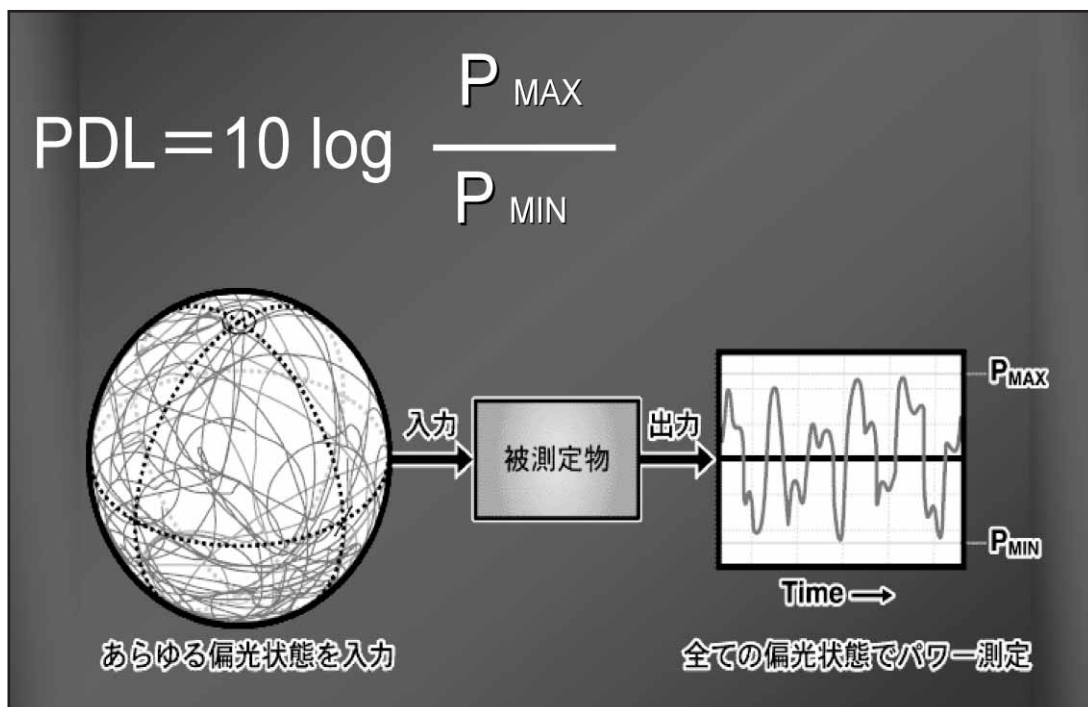
3) 測定に必要な機器

- ・ 偏波コントローラ
- ・ 波長可変レーザ
- ・ 光パワーメータ
- ・ パーソナル コンピュータ



(測定編 第5節のはじめに戻る)

4) 測定のしくみ



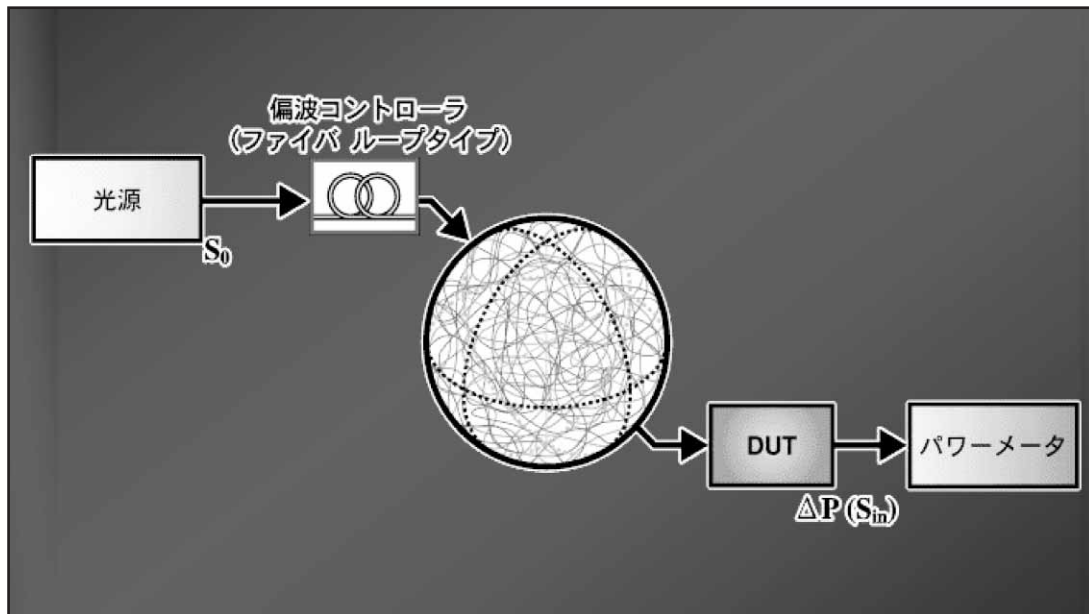
(測定編 第5節のはじめに戻る)

5) 測定方法

- ・ 偏波スキャンニング法
- ・ ミューラー法
- ・ ジョーンズ行列法

（測定編 第5節のはじめに戻る）

偏波スキャンニング法

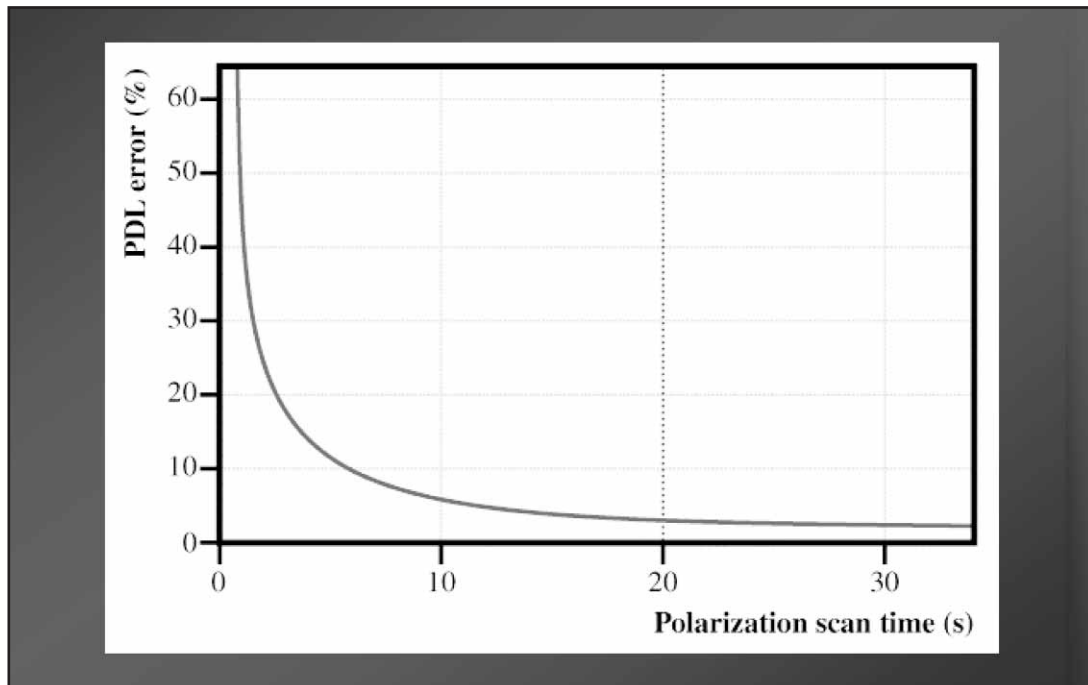


- ・ デバイスに、すべての偏光状態を入力したときの挿入損失変動の最大 / 最小の差を測定する
- ・ 偏波コントローラにより、デバイスへ入射する偏波をスキャン(ランダムイズ)する
- ・ ファイバ ループタイプの偏波コントローラは擬似的にすべての偏光状態を発生できる
- ・ 出力レベルの変動をパワーメータによりモニタする

安定した測定の実条件

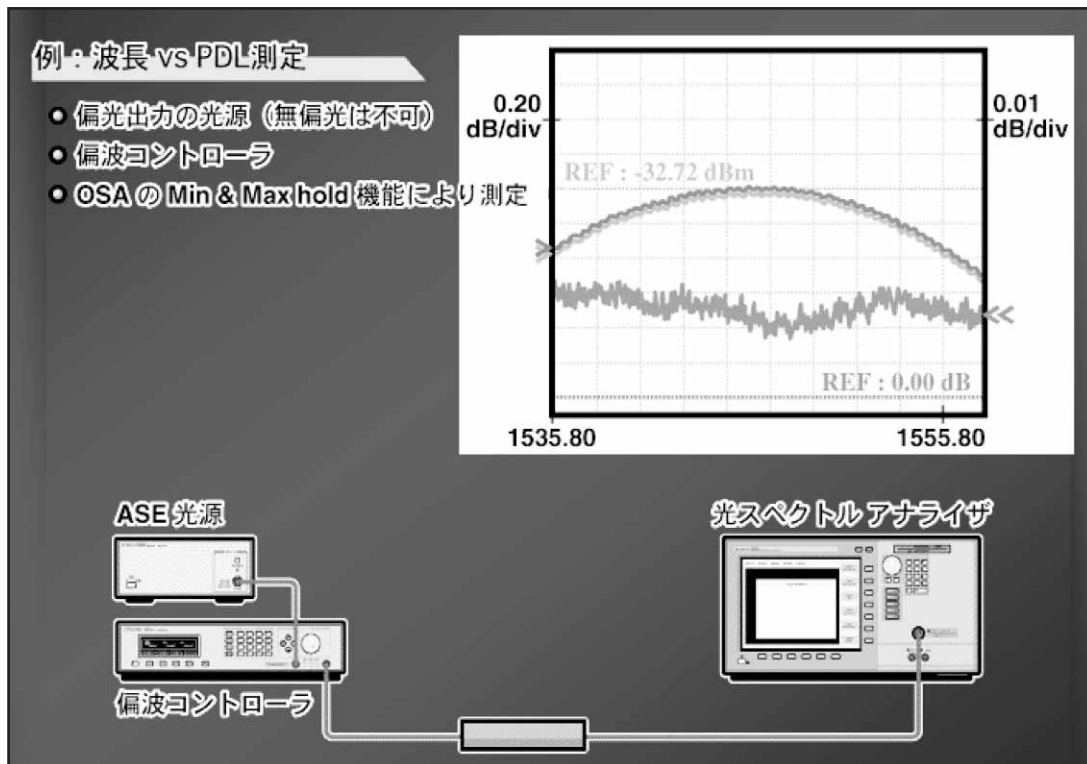
光源	安定した光源を使う コヒーレンス長の長い光源は避ける
偏波 コントローラ	損失変動の小さな偏波コントローラを使用する 十分に偏波スキャンする(あらゆる偏光状態をカバーするため)
被測定 デバイス	コネクタなどの使用数は最小限に抑える ファイバは小さく曲げ過ぎない ファイバは固定する
パワーメータ	偏波依存性の小さなパワーメータを使う 適切なアベレージ タイムを設定する

測定精度の向上



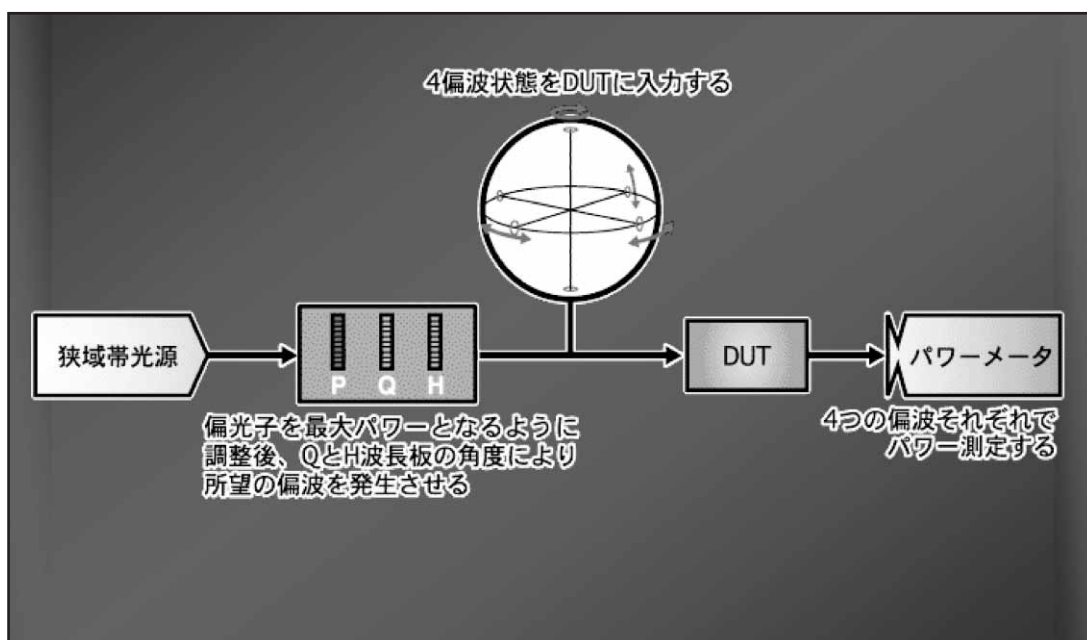
- ・ スキャン タイムを長くする
- ・ 注意点
 - 長すぎると、測定精度を悪化させる
 - 光源のドリフトやファイバが物理的に変動する

OSAを使った偏波スキャンング法



- 波長 vs PDL測定の場合
 - ・ 偏光出力の光源（無偏光はできない）
 - ・ 偏波コントローラ
 - ・ OSAのMIN / MAXホールド機能により測定

ミューラー法

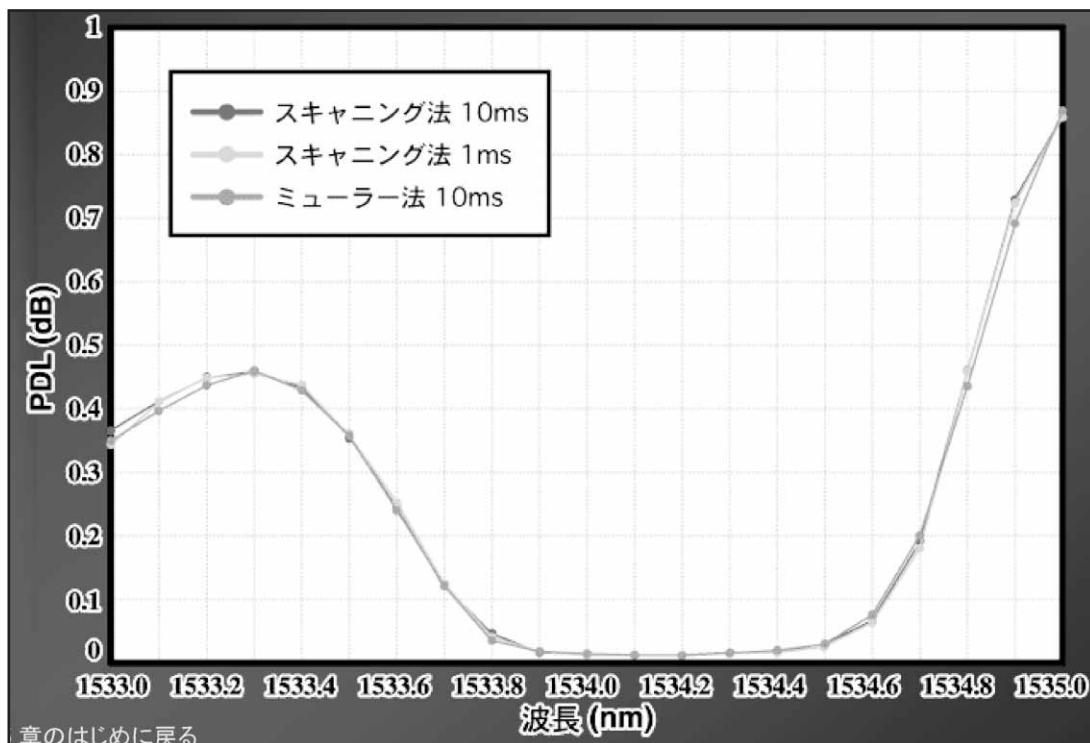


- 4つの偏波状態でのパワー測定から算出する
 - ・ L H P
 - ・ L V P
 - ・ L + 45
 - ・ R H C
- 波長スキャンとの相性がよい
 - 偏波ごとに波長を振る
 - ・ Pa
 - ・ Pb
 - ・ Pc
 - ・ Pd

ジョーンズ行列法

- ジョーンズ ベクトル
 - ・ 偏光素子の偏光変換特性
- ジョーンズ行列から、演算により算出する

6) 測定方法の選択基準



(測定編 第5節のはじめに戻る)

- 光源のコヒーレンス長と安定度
- 偏波コントローラの損失変動
- ディテクタの偏波依存性と波長リップル
- 測定経路の偏波依存性
 - ・ 測定経路：被測定デバイスを除き、ファイバを含む
- 被測定デバイスの波長依存性

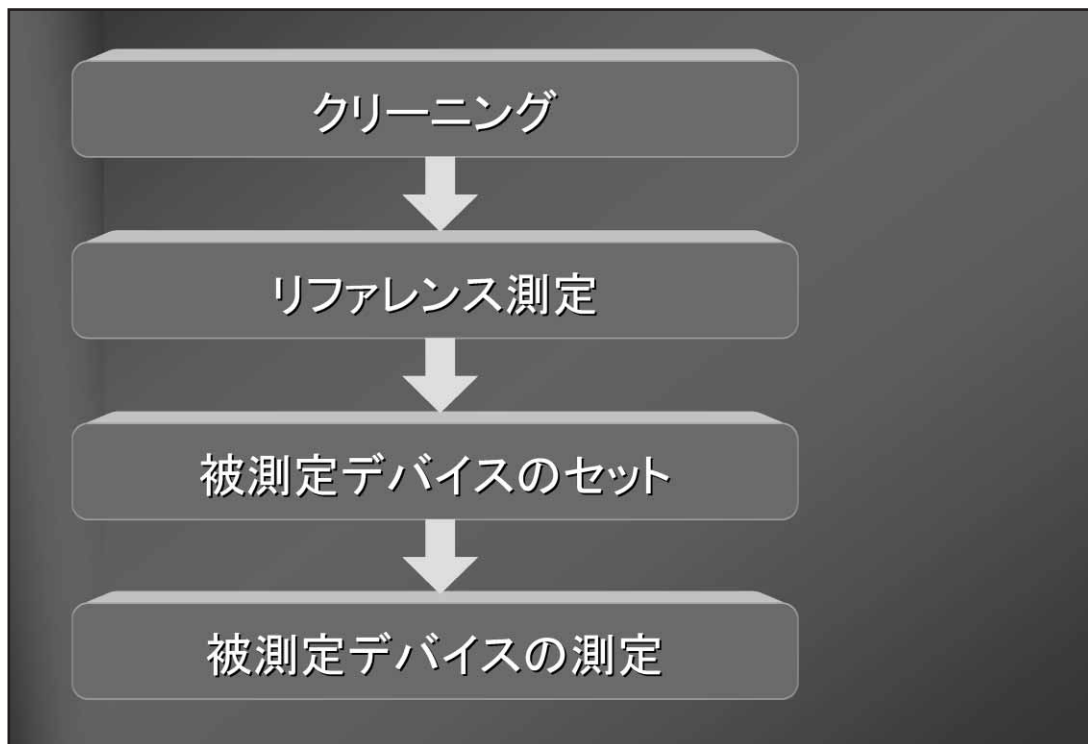
測定方法の比較

	偏波 スキャンニング法	ミューラー法	ジョーンズ 行列法
測定確度	+ / - 0.005dB	0.03dB以下	+ / - 0.1dB
測定時間 (1波長)	10 sec to 100 sec	0.01sec / point (連続掃引時)	2~3sec
波長連続 掃引測定	できない	できる	できない
リファレンス 測定	必要ない	必要	必要ない
測定自動化	できる	できる	できる

7) 被測定デバイスの測定

- ・ 測定フロー
- ・ 実際の測定

測定フロー



(測定編 第 5 節のはじめに戻る)

偏波依存性測定 ビデオが上映されます

第6節 分散測定

この節で学習すること

- 1) 分散とは何か
- 2) どこで問題になるのか
- 3) 測定に必要な機器
- 4) 測定のしくみ
- 5) 測定方法
- 6) 測定方法の選択基準
- 7) 被測定デバイスの測定

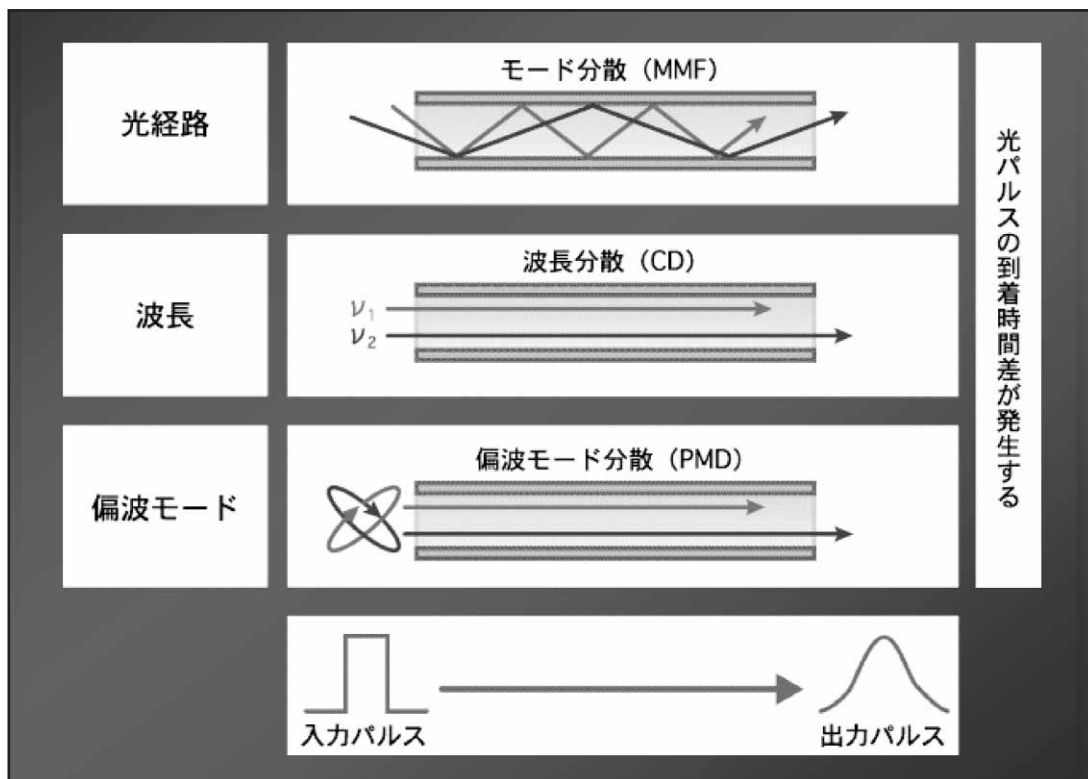
（測定編の目次に戻る）

1) 分散とは何か

- 光ファイバの種類、長さ、温度等の環境変化によって、光ファイバでの光パルスの到着時間に差が生じる性質
 - ・ 伝送波形のひずみ
 - ・ 通信品質の悪化
 - ・ 通信容量の限界

（測定編 第6節のはじめに戻る）

光ファイバでの分散



- 波長分散
 - ・ CD (Chromatic Dispersion)
- 偏波モード分散
 - ・ PMD (Polarization Mode Dispersion)

2) どこで問題になるのか

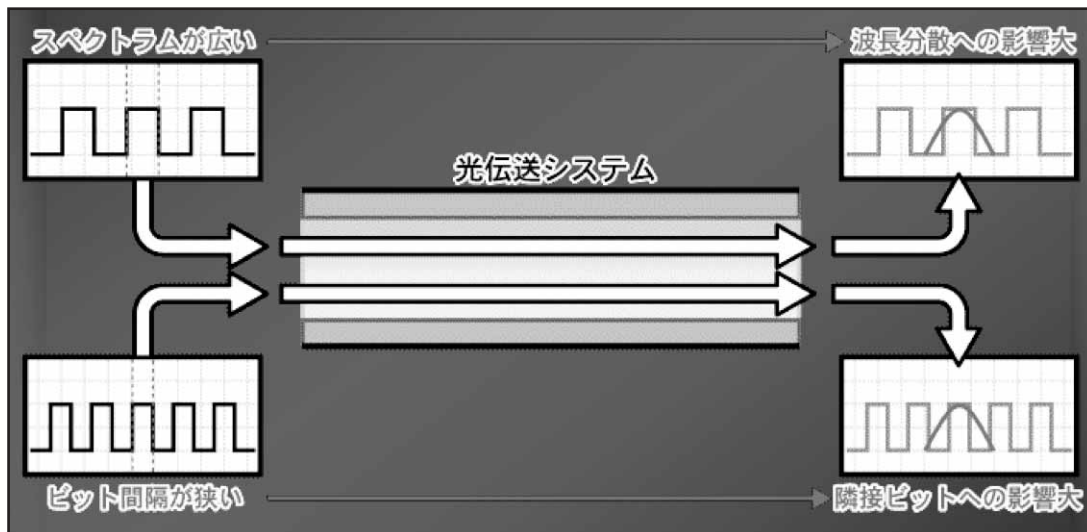
- ・ 光ファイバでの波長分散
- ・ 偏波モード分散

(測定編 第6節のはじめに戻る)

光ファイバでの波長分散



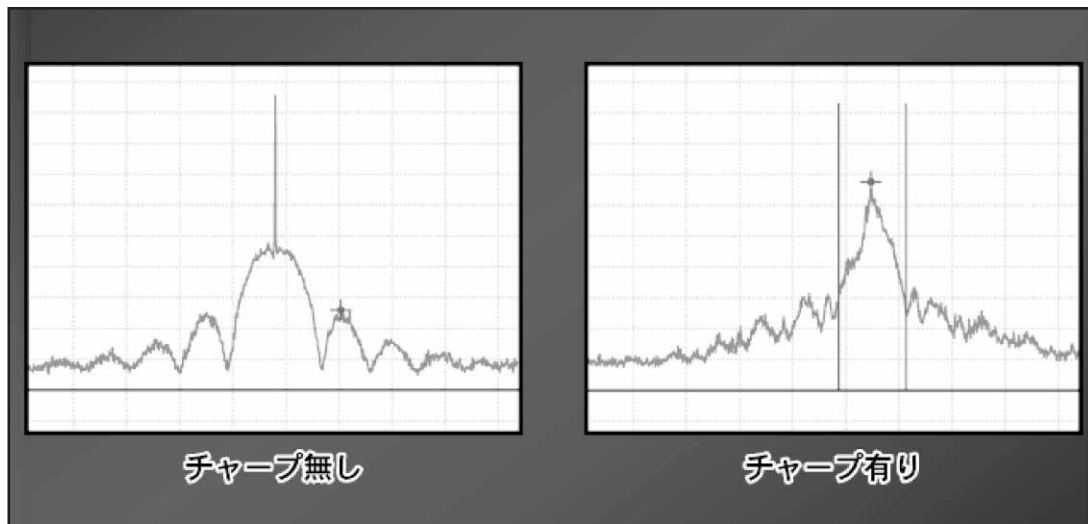
波長分散とビットレート



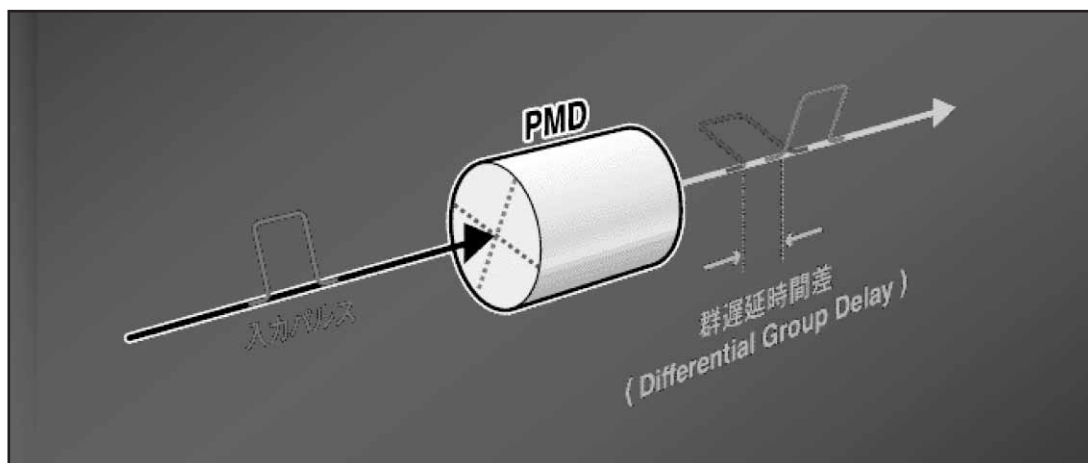
- スペクトラム
 - ・ 広い → 波長分散に大きく影響する
- ビット間隔
 - ・ 狭い → 隣接ビットに大きく影響する

$$\text{Dispersion limit} \propto \frac{1}{\text{Bitrate}^2}$$

伝送中の変調記号スペクトラム



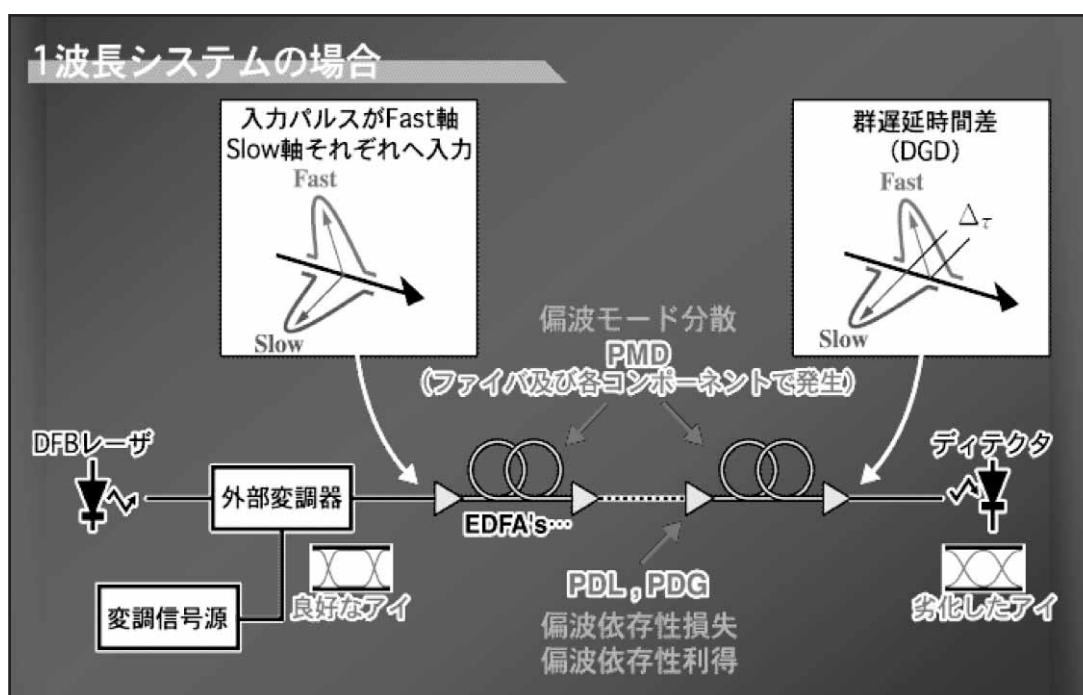
偏波モード分散



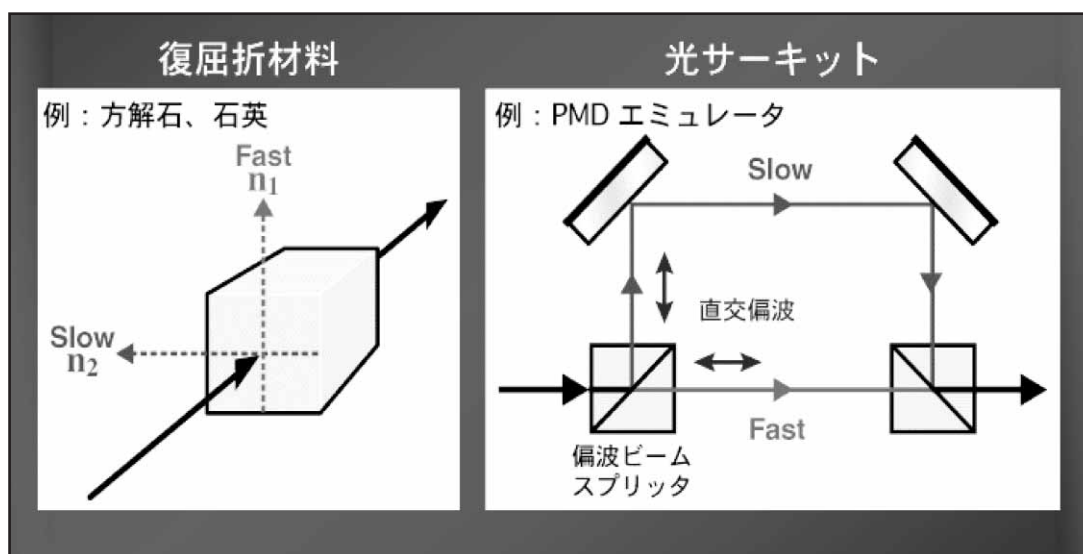
群遅延時間差

- 出力パルスは、時間差を持つ2つのモードに分解される
- デバイスの持つ複屈折により、2つのモード間に時間差が発生する
- DGD (Differential Group Delay)
 - ・ 2つの成分の時間差

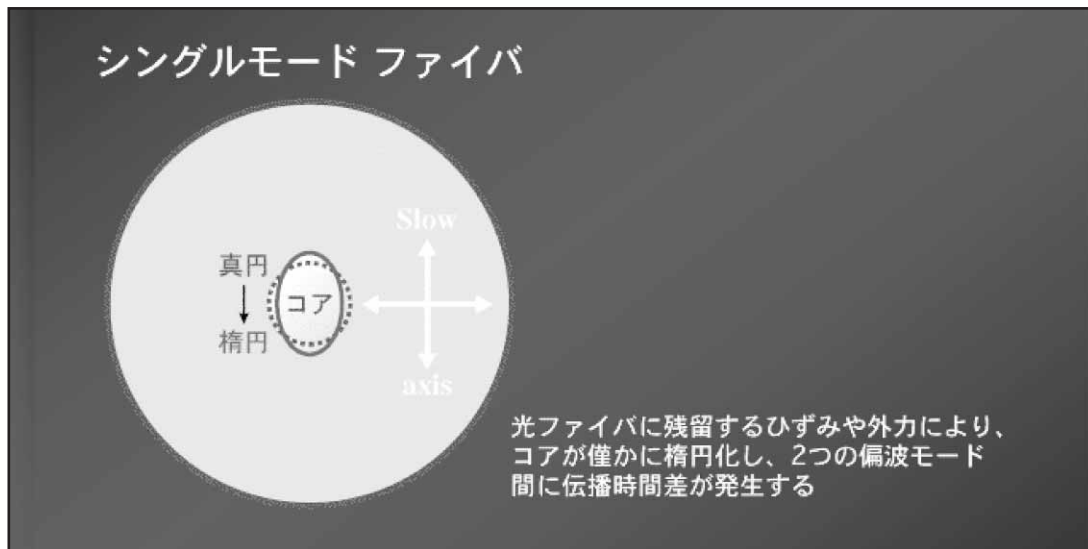
偏波モード分散の影響



コンポーネントの偏波モード分散



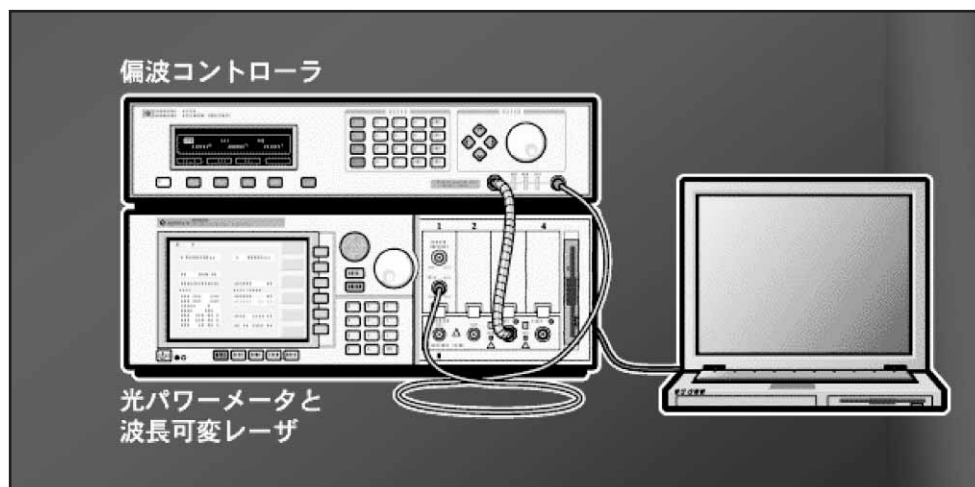
偏波モード分散の発生要因



- 要因
 - ・ 光ファイバに残留するひずみ、外力
- 影響
 - ・ コアが僅かに楕円化する
 - ・ 2つの偏波モード間に伝播時間差が発生する
- ファイバ長（あるいはファイバ長の平方根）に比例する

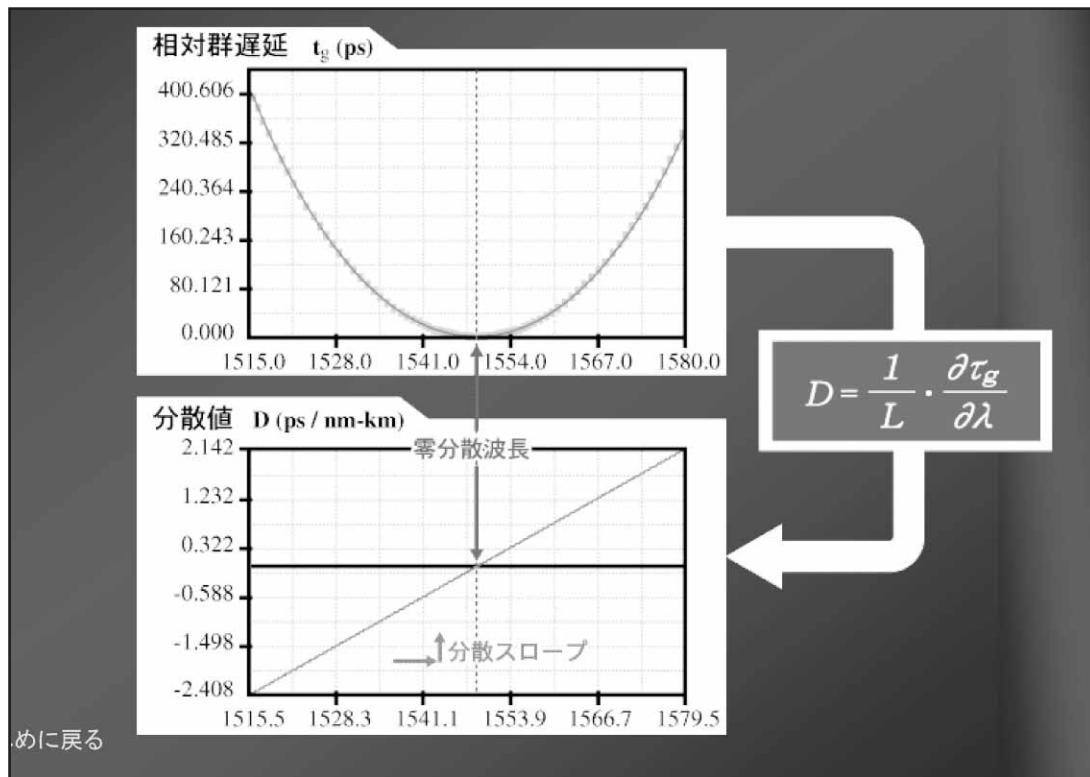
3) 測定に必要な機器

- ・ 波長可変レーザ
- ・ 偏波コントローラ
- ・ パーソナル コンピュータ



(測定編 第6節のはじめに戻る)

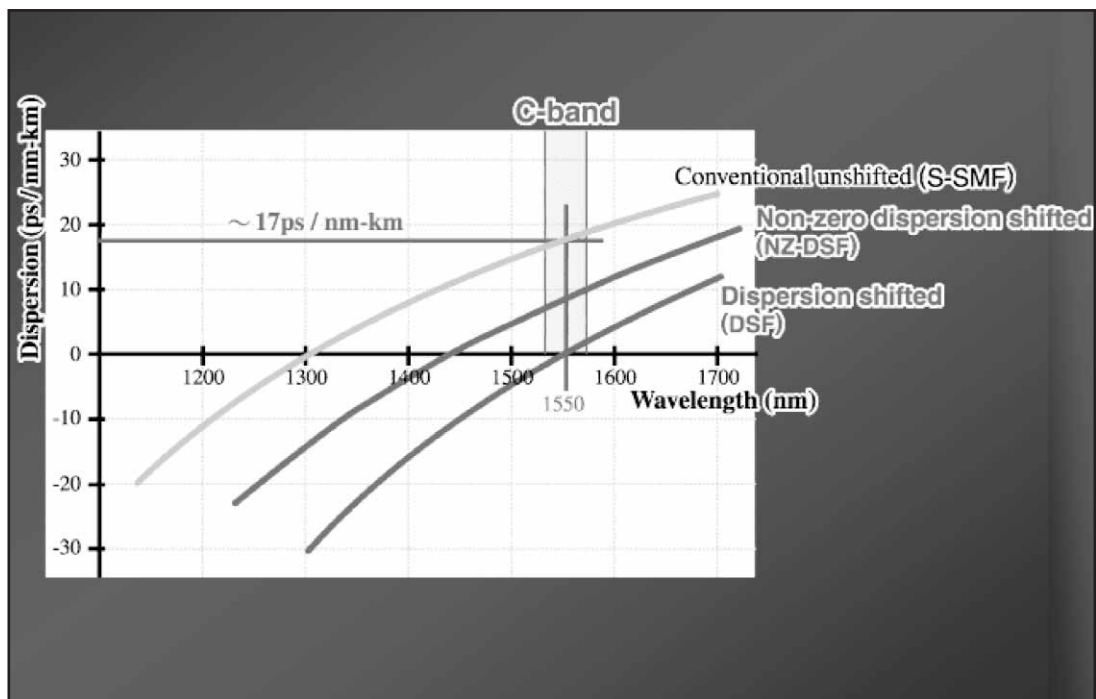
4) 測定のしくみ



（測定編 第6節のはじめに戻る）

$$D = \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial \tau_g}{\partial \lambda}$$

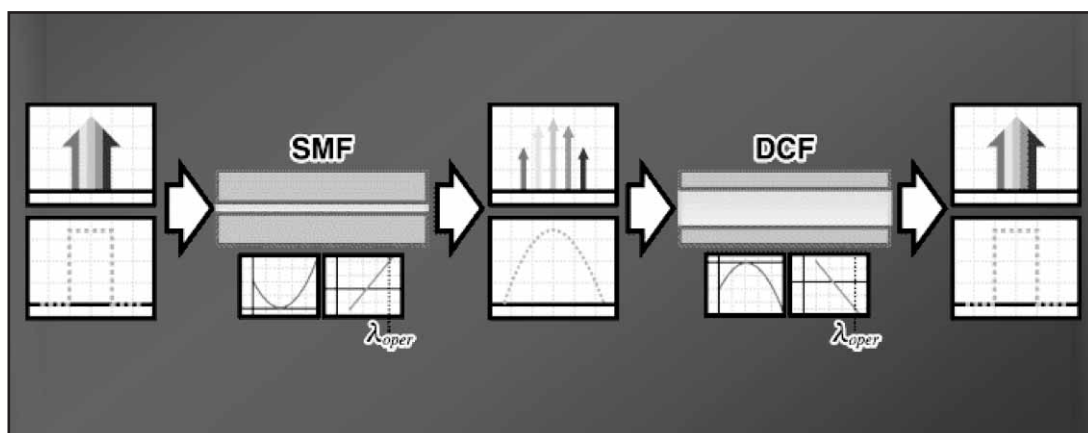
分散シフト ファイバ



- D S F (Dispersion Shifted Fiber)
 - ・ 1300nm付近で 0 となるファイバの分散値を1500nm付近へシフトさせたファイバ
- N Z - D S F (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber)
 - ・ 使用波長域で分散値を 0 からわずかにシフトさせ、分散値をフラットにさせたファイバ
 - ・ 分散の影響を最小限に抑止
 - ・ 四光波混合などの非線形効果を抑止

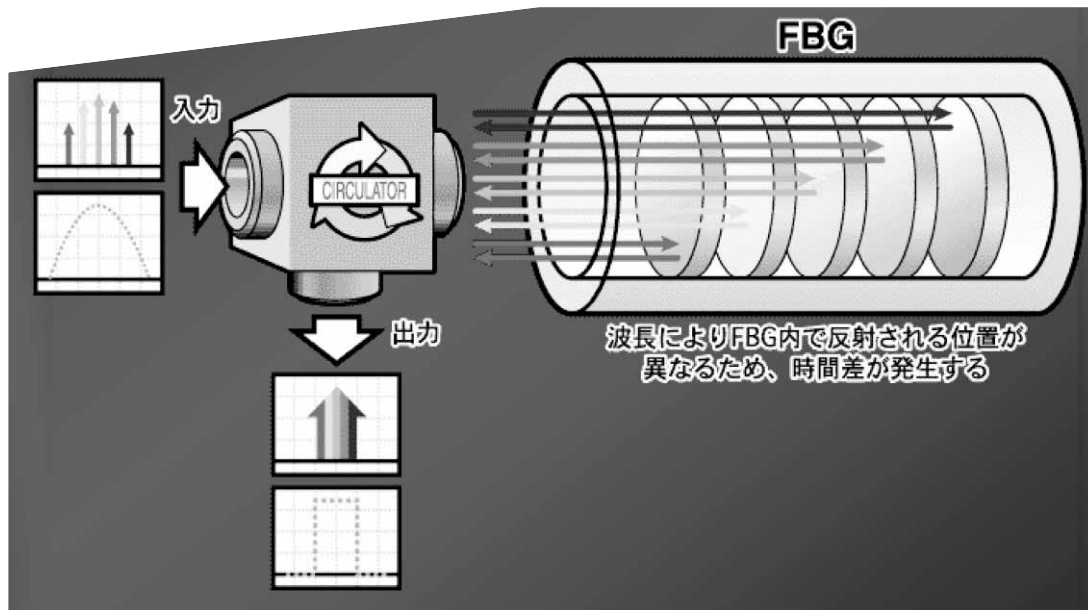
分散補償ファイバを使った分散補償

- ・ DCF (Dispersion Compensating Fiber)
- ・ DCFの長さで補償する分散値を調整する



FBGを使った分散補償

- ・ 波長によりFBG内で反射される位置が異なる
- ・ 時間差が発生する



5) 測定方法

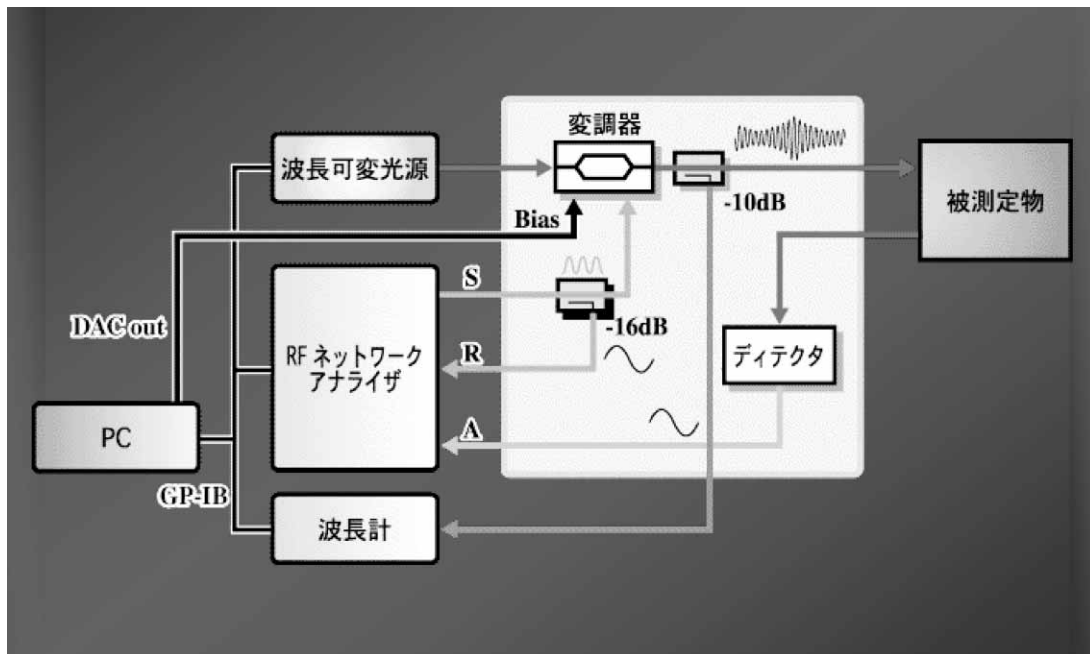
- 波長分散測定
- 偏波モード分散測定
 - ・ 一定波長帯域内の平均値測定
 - ・ 群遅延時間差測定

波長分散測定の方法

- ・ 変調位相シフト法
- ・ 掃引ホモダイン干渉法

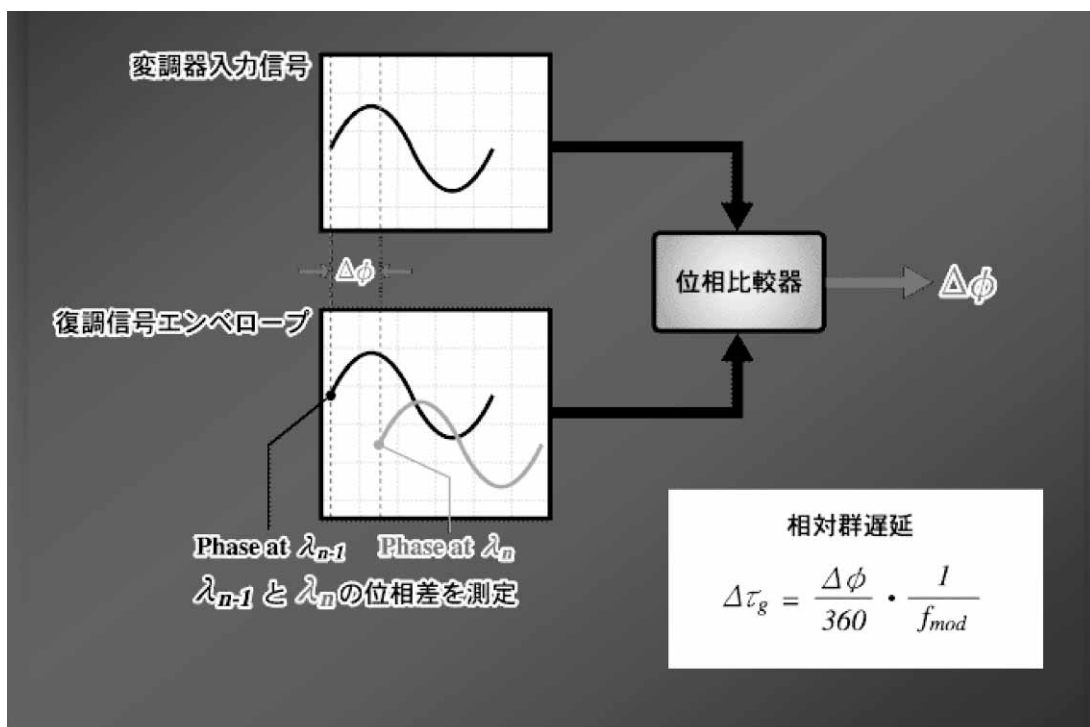
（測定編 第6節のはじめに戻る）

変調位相シフト法

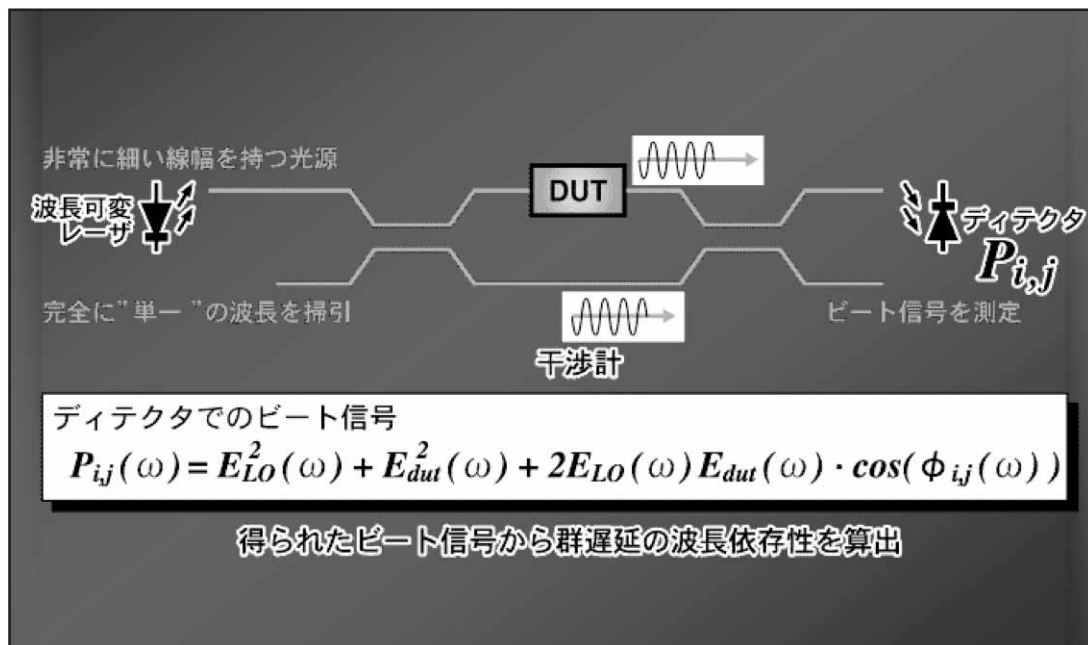


- ・ M P S M (Modulation Phase Shift Method)
- ・ 変調信号の位相差から群遅延を測定する
- ・ 一般的な波長分散測定手法
- ・ 被測定デバイスの種類に関わらず測定できる

相対群遅延



掃引ホモダイン干渉法

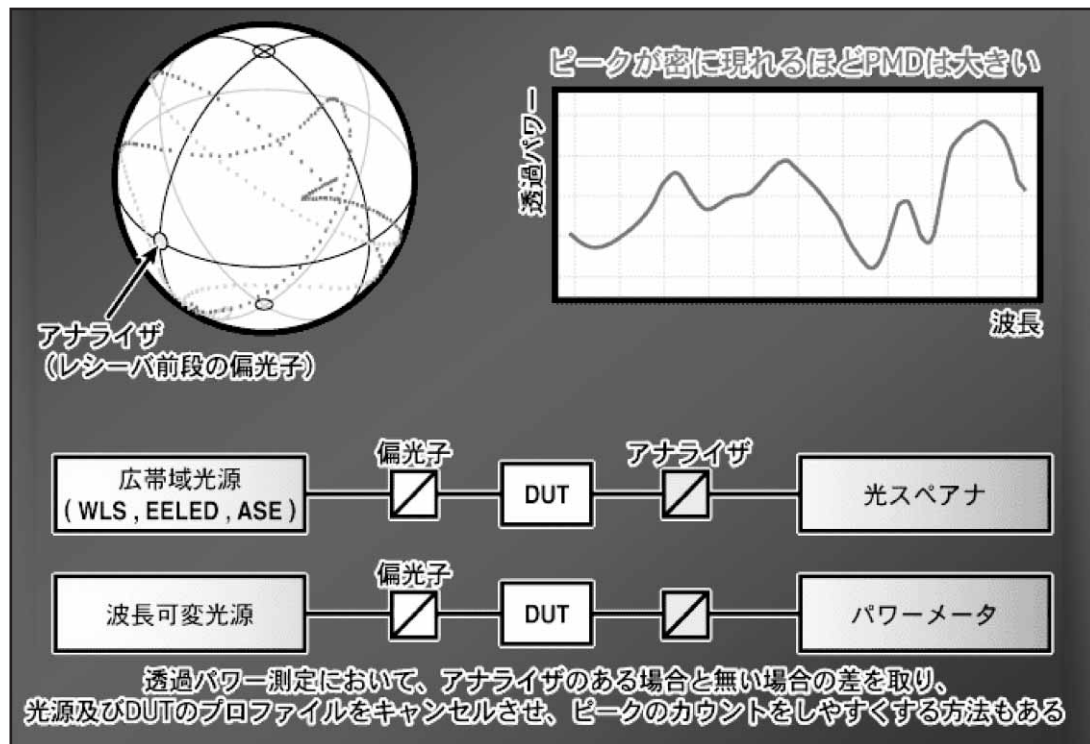


- ・ S H I M (Swept Homodyne Interferometry Method)
- ・ 波長掃引時に、干渉計より得る干渉縞から群遅延を測定する
- ・ 波長分解が高い
 - ・ 変調光を使用しないため
- ・ 光部品の測定に適している

偏波モード分散測定 (1)

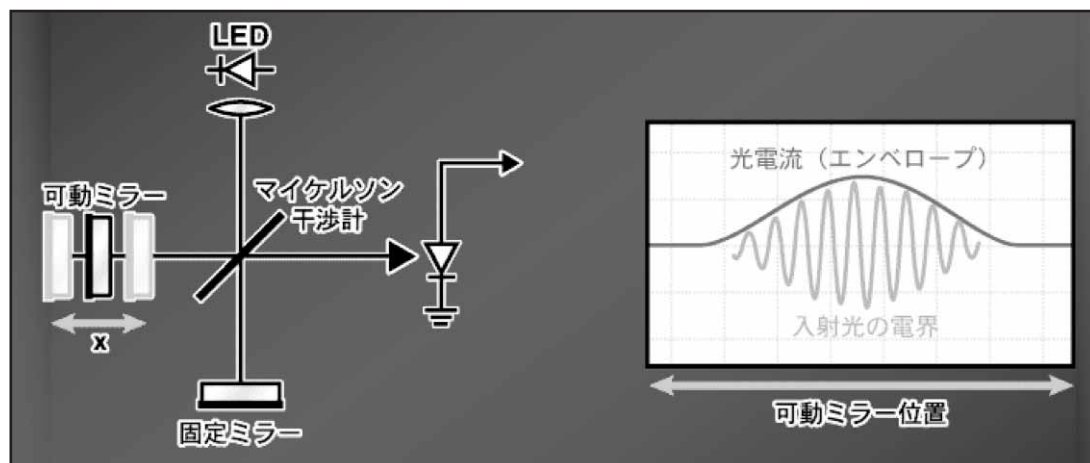
- 一定波長帯域内の平均値測定
 - ・固定アナライザ法
 - ・低コヒーレンス干渉法

固定アナライザ法



- 波長スキャンニング法
- ピークのカウントをしやすくする方法
 - ・ 透過パワー測定で、アナライザのある / ない場合の差を測定して、光源、被測定デバイスのプロファイルをキャンセルさせる

低コヒーレンス干渉法



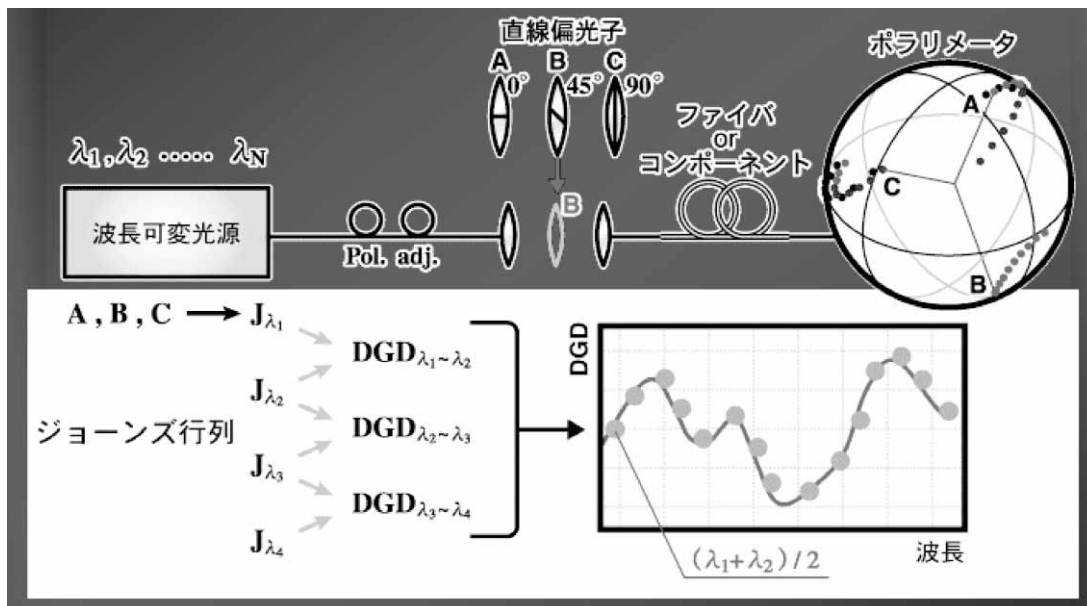
- L C I (Low Coherence Interferometry)
- 光路差と時間差の関係を算出する

$$\Delta t = \frac{2\Delta x}{c}$$

偏波モード分散測定（2）

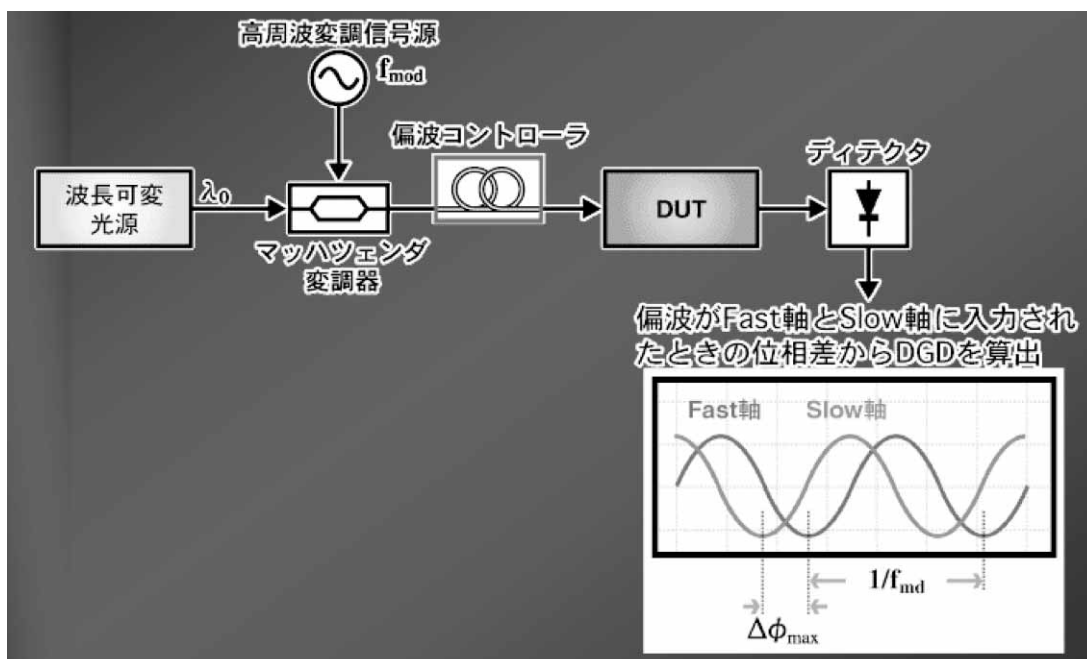
- 群遅延時間差測定
 - ・ ジョーンズ行列法
 - ・ 変調位相シフト法
 - ・ 掃引ホモダイン干渉法

ジョーンズ行列法



- ジョーンズ ベクトル
 - ・ 偏光素子の偏光変換特性
- ジョーンズ行列から、演算により算出する

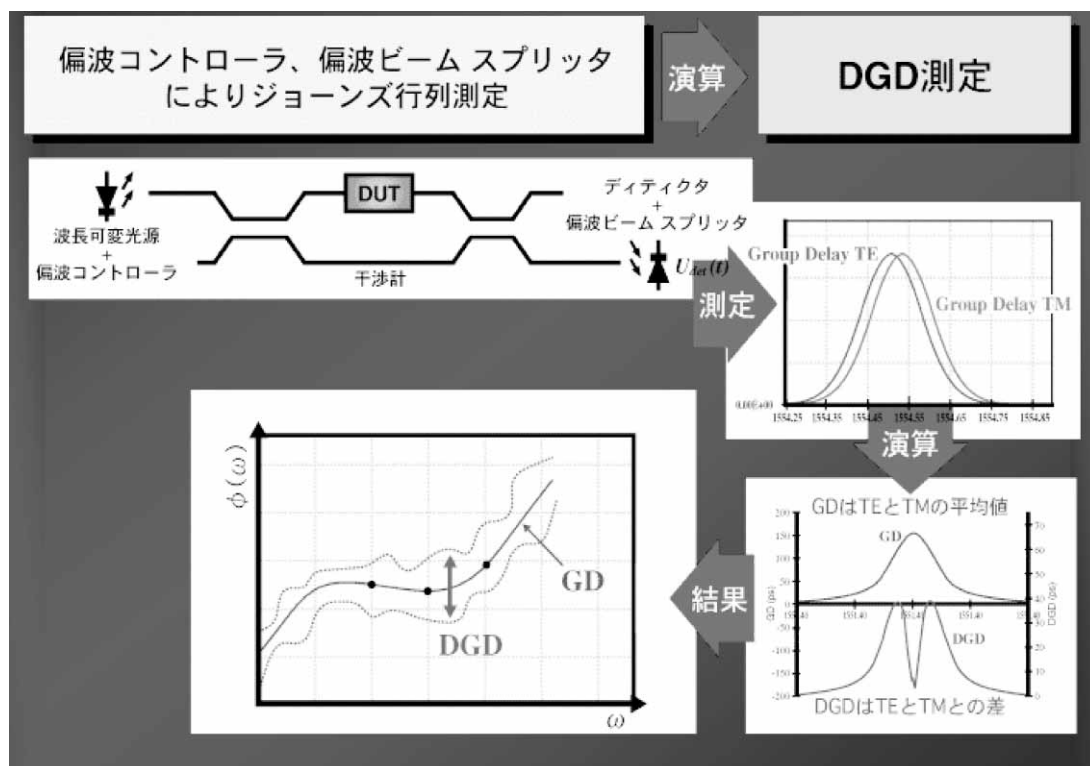
変調位相シフト法



- ・ 偏波がFast軸とSlow軸に入力されたときの位相差から群遅延時間差を算出する

$$\text{DGD}(\lambda_0) = \frac{\Delta \phi_{\max}}{360} \cdot \frac{1}{f_{\text{mod}}}$$

掃引ホモダイン干渉法



- ・ 偏波コントローラ、偏波ビーム スプリッタにより、ジョーンズ行列測定を行う

↓

D G D 測定

6) 測定方法の選択基準

- ・ 波長分散測定方法の比較
- ・ 偏波モード分散測定方法の比較

(測定編 第6節のはじめに戻る)

波長分散測定方法の比較

	変調位相シフト法	ホモダイン干渉法
狭帯域光部品	○	◎
広帯域光部品	◎	◎
長尺光ファイバ	◎	×

ただし、長尺光ファイバのホモダイン干渉法については、光路長に30m前後までの制限あり

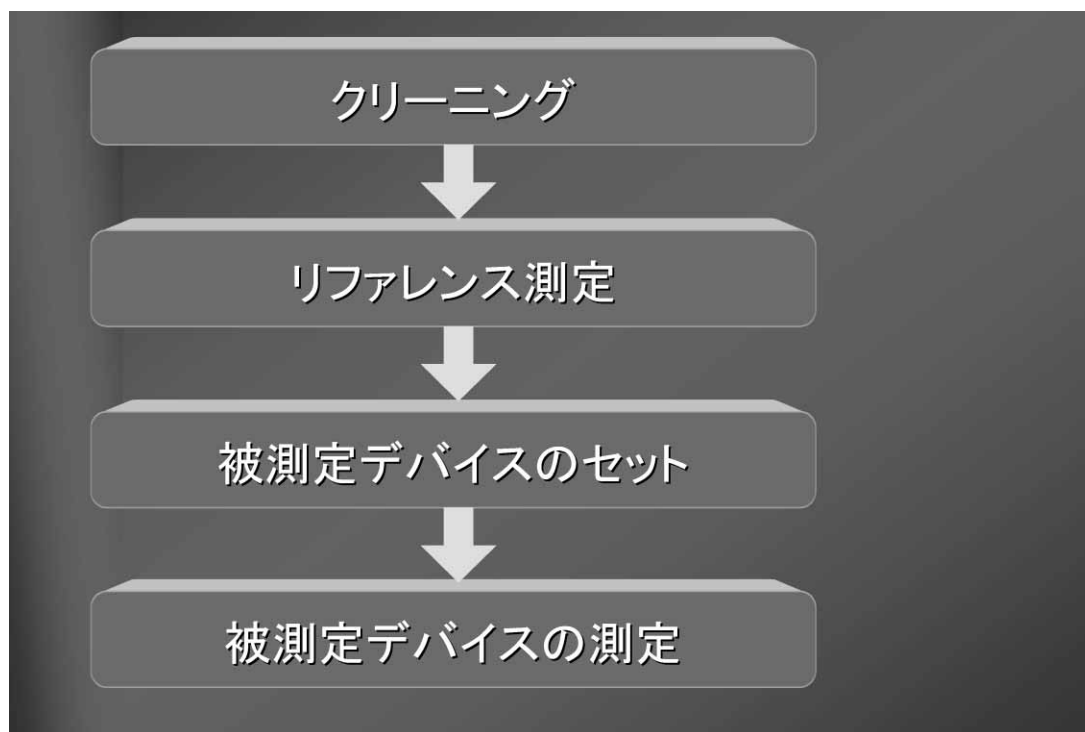
偏波モード分散測定方法の比較

	ジョーンズ 行列法	変調位相 シフト法	ホモダイン 干渉法
狭帯域光部品	○	○	◎
広帯域光部品	◎	◎	◎
長尺光ファイバ	◎	◎	×

ただし、長尺光ファイバのホモダイン干渉法については、光路長に30m前後までの制限あり

7) 被測定デバイスの測定

・測定フロー



(測定編 第6節のはじめに戻る)

第7節 総合測定

この節で学習すること

- 1) 総合測定とは何か
- 2) 測定に必要な機器
- 3) 被測定デバイスの測定

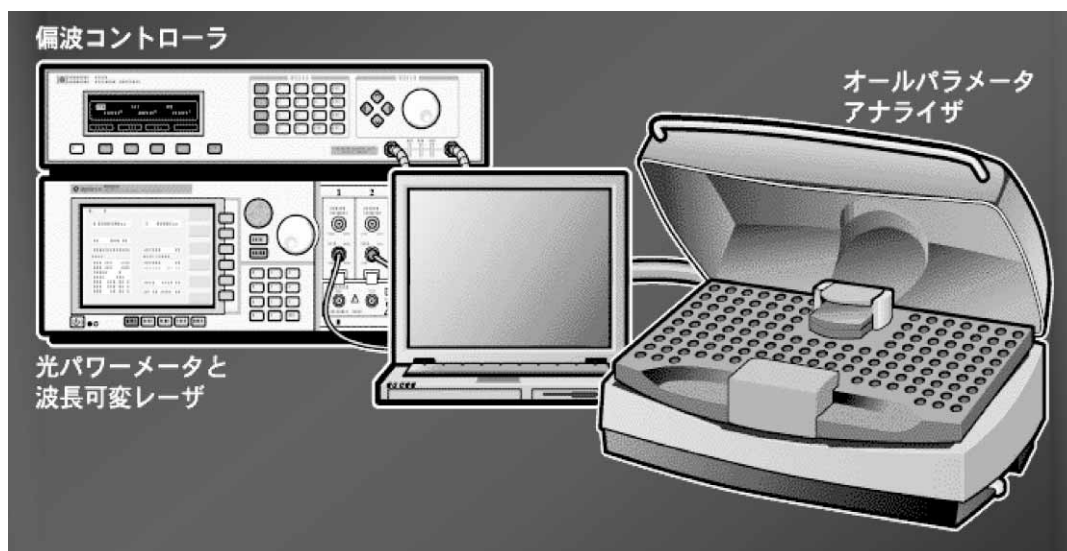
（測定編の目次に戻る）

1) 総合測定とは何か

- 挿入損失、反射減衰量、偏波依存性損失、分散を総合的に測定する方法をいう
- 一度に測定することができる

（測定編 第7節のはじめに戻る）

2) 測定に必要な機器



（測定編 第7節のはじめに戻る）

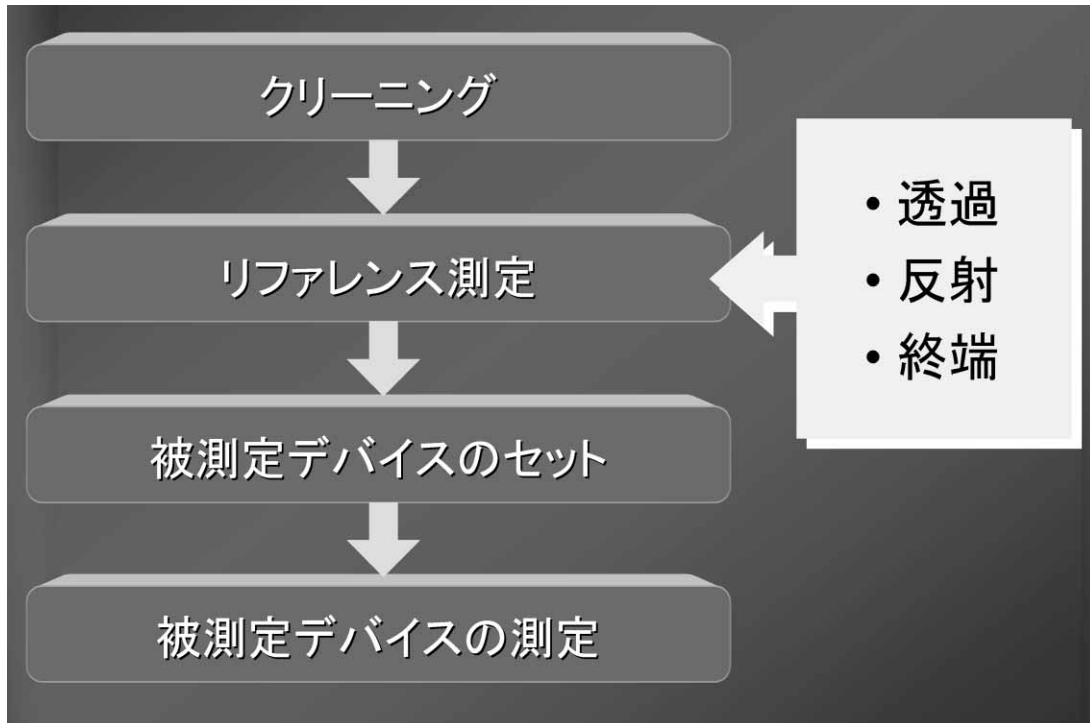
- ・ 偏波コントローラ
- ・ 波長可変レーザ
- ・ 光パワーメータ
- ・ パーソナル コンピュータ
- ・ オールパラメータ アナライザ

3) 被測定デバイスの測定

- ・ 測定フロー
- ・ 実際の測定

(測定編 第7節のはじめに戻る)

測定フロー



総合測定 ビデオが上映されます