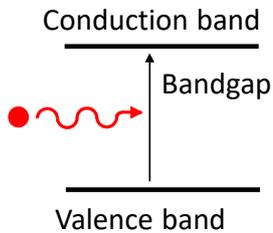


## [0] 光の特性概要

こちらの章では、光の特性について簡単に説明しています。講義では特に取り上げませんので、参考としてご覧下さい。

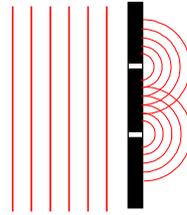
# 搬送波としての「光」

## 量子力学



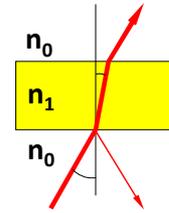
吸収 (Absorption)  
放射 (Emission)

## 波動工学



干渉  
(Interference)

## 光線



屈折 (Refraction)  
反射 (Reflection)

KEYSIGHT

The Fiber  
Communication  
Theory Version 6.0 | Keysight Restricted | Page 0-2

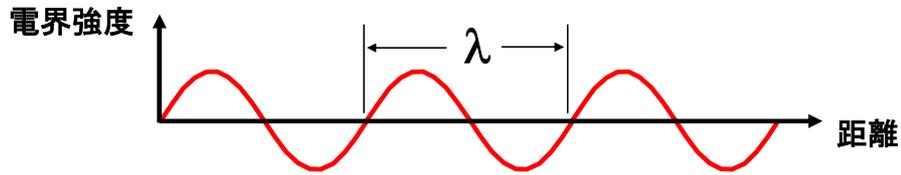
光は1つ以上の性質を持っていると説明されます。

しばしば粒子論は光の現象を説明するのに使われてきました。光電効果と励起された電子によるエネルギーの放出は、光エネルギー量子によってうまく説明できる物理的な現象の例です。

干渉は波動理論を使う事でのみ説明ができます。光の回り込みや回折格子といった現象は、光を波として扱う事で説明されます。

他の光の現象は、光を光線として扱う事でうまく説明できます。反射、屈折、レンズの理論はこちらに当てはまります。

## 光の伝播 - 波長



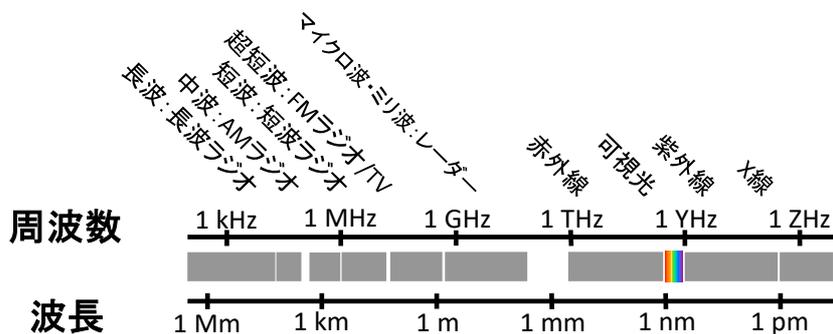
波長  $\lambda$ : サイン波1周期の距離

|                     |                                |  |
|---------------------|--------------------------------|--|
| 1000 pm (picometer) | = 1 nm (nanometer)             | 1000 $\mu\text{m}$ = 1 mm (millimeter) |
| 1000 nm (nanometer) | = 1 $\mu\text{m}$ (micrometer) | 1000 mm = 1 m (meter) (~40 inches)     |

光の基本的な波の特性はサイン波として説明されます。空気やガラス等の媒体の中では、光は真空中よりも遅く進み、1周期の距離である波長は短くなります。

通信ではガラスで作られた光ファイバを使いますが、媒体を考慮に入れなくてもよいように、通常、波長と言えば”真空中での波長”を指しています。

## 電磁波スペクトラム



$$c = f \cdot \lambda \cdot n$$

c: 光速 ( 299.79 Mm/s ) (≒毎秒30万キロメートル)

f: 周波数

$\lambda$ : 波長

n: 屈折率

(真空: 1.0000; 標準空気: 1.0003; シリカファイバ: 1.44 - 1.48)

KEYSIGHT

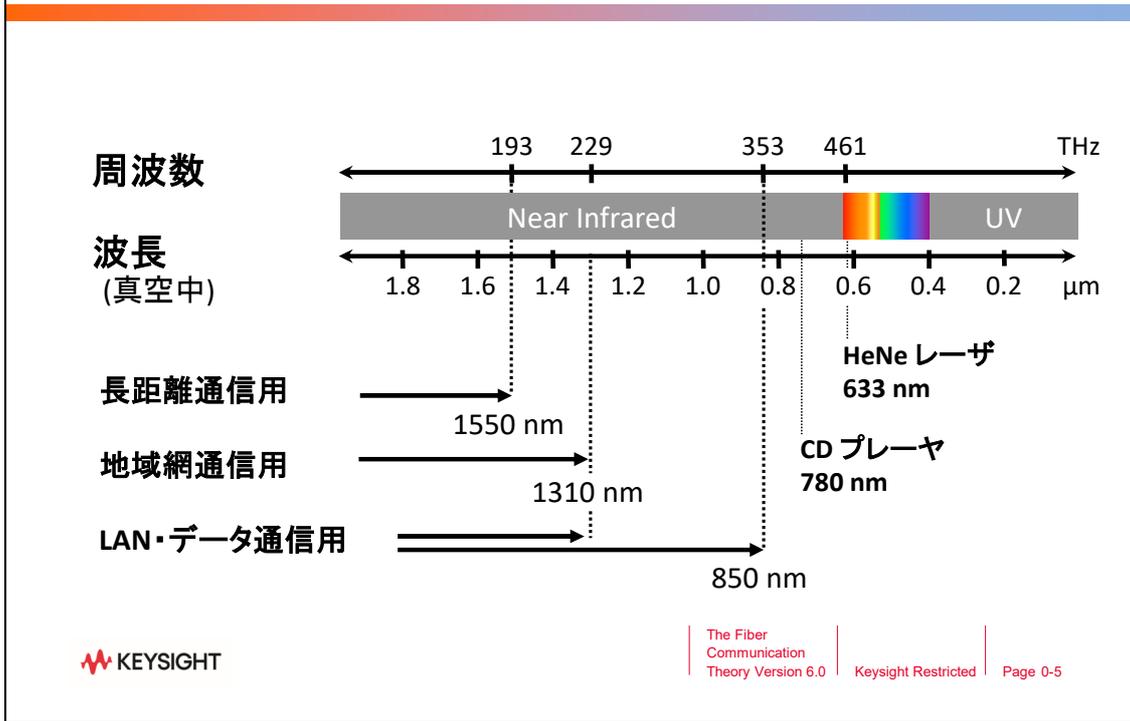
The Fiber  
Communication  
Theory Version 6.0

Keysight Restricted Page 0-4

光は電磁波の1種ですが、周波数は電波に比べ非常に高い(波長は短い)です。

前頁で述べたように、ある媒体中で光の速度は、媒体の誘電性や磁性の特性により遅くなります。屈折率nは真空に比べどの程度光が遅くなるかを示しています。

## 光伝送の波長帯



光の送信システムは可視光から少し波長の長い近赤外領域で稼動しています。波長1550nmでの信号は周波数に直すと193THz程度になります。中心周波数の周りのスペクトラムの2,3%しか使わなくても、5000GHzもの帯域が利用できる事になり、これは光が高速データ信号の搬送波に選択される一つの理由となります。

低い周波数領域とは異なり、光の周波数領域では周波数を表すのに、周波数Hzではなく波長が使われています。

マイクロメータ(μm)の事を、よくミクロンと呼びます。

$$1.55 \mu\text{m} = 1550 \text{ nm} = 1550,000 \text{ pm}$$

## ログスケール単位

$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_1/P_0)$$

|          |                 |
|----------|-----------------|
| 0 dB     | = 1             |
| + 0.1 dB | = 1.023 (+2.3%) |
| + 3 dB   | = 2             |
| + 5 dB   | = 3             |
| + 10 dB  | = 10            |
| -3 dB    | = 0.5           |
| -10 dB   | = 0.1           |
| -20 dB   | = 0.01          |
| -30 dB   | = 0.001         |

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log_{10} (P/1 \text{ mW})$$

|         |               |
|---------|---------------|
| 0 dBm   | = 1 mW        |
| 3 dBm   | = 2 mW        |
| 5 dBm   | = 3 mW        |
| 10 dBm  | = 10 mW       |
| 20 dBm  | = 100 mW      |
| -3 dBm  | = 0.5 mW      |
| -10 dBm | = 100 $\mu$ W |
| -30 dBm | = 1 $\mu$ W   |
| -60 dBm | = 1 nW        |

 KEYSIGHT

The Fiber  
Communication  
Theory Version 6.0 | Keysight Restricted | Page 0-6

デシベル表示の復習です。リニアの掛け算／割り算をデシベルでは足し算／割り算にすることができ、桁数が大きい計算をするのに便利です。

“dB”はある値との相対パワーを示しており、絶対パワーとは関係ありません。計算するとすぐに求められますが、+3dB／-3dBはそれぞれ2倍／1/2倍に、+10dB／-10dBはそれぞれ10倍／1/10倍となります。覚えておくと便利です。例えば500Wは1000Wの光を3dBダウンしたパワーであり、1 $\mu$ Wを10dBアップすると10 $\mu$ Wとなります。

“dB”は”デービー”、“デシベル”、“デシ”等と呼びます。

“dBm”（デービーエムと呼ぶ）は1mWを基準としたデシベル換算の絶対パワーを示しています。0dBmは1mWの事で、-6dBmの信号は250 $\mu$ Wと同じです。-20dBmのパワーが半分になると、-23dBmになります。

### <参考情報>

光から電気、電気から光に変換する場合は注意が必要です。例えばPD（フォトディテクタ）の場合、PDから出力される電流は光のパワーに比例するので、光パワーの3dB増加（リニアで2倍になる）は、PDの電流を2倍にし、その結果電気のパワーは6dB増加します（リニアで2<sup>2</sup>倍になる）。もし電気・光どちらで換算しているdBなのか不確かならば、確認してください。

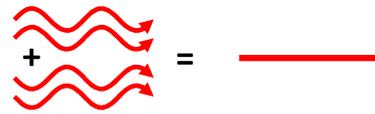
## 干渉 (Interference)

- インコヒーレントな光は、光パワーは加え合う
- コヒーレントな光は電磁界的に加え合う  
(波の位相が揃っている)

- 位相差ゼロ: 足し合う



- 逆位相 (180° 位相差): 引き合う



光は波動ですので、その他の波と同様に2つ以上の何が強めあったり弱め合う事、すなわち干渉する性質があります。

一つの光源 (もしくは同じ波長の光源) からの光が、ある空間で1つになるような場合を考えます。同じパワーでコヒーレント (位相がそろっている状態) な光であれば、温度変化などで位相は簡単に変わるので、2つが足し合わさったり (位相のずれが0度)、ゼロ (位相のずれが180度) となったりします。

太陽や電球から光は多くの周波数 (波長) 成分持っていますので、干渉しません。このような光をインコヒーレントな光といいます。個々の成分では干渉していると考えられますが全体としては観測できません。

インコヒーレントな光のパワーは加える事ができ、出力パワーは単純に2つのパワーの和になります。

## 偏波/偏光 (Polarization)

- レーザ光源は、強く偏光している (強偏波)

- 偏波の度合い

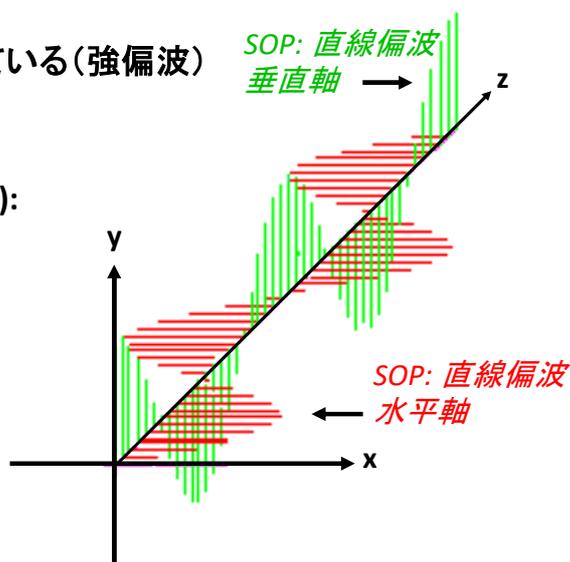
Degree of polarization (DOP):

$$DOP = P_{\text{polarized}} / P_{\text{total}}$$

- 偏波の状態

State of polarization (SOP):

偏波光の方向と回転を示す



KEYSIGHT

The Fiber  
Communication  
Theory Version 6.0

Keysight Restricted

Page 0-8

電磁波(光)の平面波は、電界と磁界の波動がお互いに直交し進行方向に波動成分が無い横波です。

自然光の電界・磁界は伝播方向の周りに一様に分布しています。これに対して図のように電界と磁界が特定の方向に偏っている事を偏波(もしくは偏光)といいます。偏波は電界方向の向きで表現します。

偏光の度合いは、全ての光のパワーに対する偏光されたパワーの比となります。レーザの偏光度はほぼ100%で強く偏光しています。太陽や電球から光は無偏光ですが、一部の結晶や光学フィルターを通すことによって偏光を得ることができます。

直線偏波は図のように伝播方向と電界の方向が作る平面が、時間的空間的に一定方向のものをいいます。楕円偏波は電界の方向や大きさが楕円周を回転しながら伝播する波です。

偏波の状態(SOP)は、偏波の方向と回転の向きで表します。偏波の状態を表示する方法にポアンカレ球やストークスパラメータ等があります。

光ファイバ等の伝送路の偏波依存性によって、出力される光のパワーが増減したり、到達する時間が変わったりします。