

# 光学系技術資料

レベル : 初歩、入門  
レベル : 応用、調整、修理  
レベル : 理論、設計

## 基礎

屈折と全反射	OP01010
反射と散乱	OP01020
干渉	OP01030
回折	OP01040

## レンズ

概要	OP02010
基礎公式	OP02020
光路図	OP02030
収差	OP02040
収差補正	OP02050
反射レンズ	OP02060
迷光	OP02070

光ファイバ	OP03010
光学材料	OP04010
光学フィルタ	OP05010
光学関係参考資料	OP90010

ジャパンセンサー株式会社

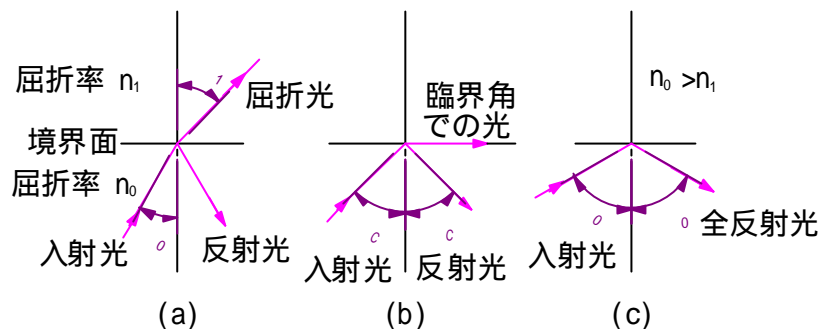
## 屈折と全反射

[スネルの法則] (Snell's law)

オランダの天文学者ヴィレブロルト・スネル (Willebrord Snell) によって1621年に発見されました。境界面が光学的な平面で2種類の均質で等方的な物質に光が入射したとき、境界面で屈折が生じます。屈折率がそれぞれ  $n_0, n_1$  の二つの物質の間での光の屈折は、つぎの式で示されます。

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

屈折形レンズはこの原理を利用して、光を集光しています。屈折形の単レンズでは媒質の1つは屈折率が1.4~1.8程度のガラス、もう1つの媒質は屈折率1.0の空気になります。



- 入射角  $\theta_0$  が比較的小さい状態で媒質  $n_0$  から媒質  $n_1$  に入射した光は、 $n_1$  の媒質中ではスネルの法則を満足する  $\theta_1$  の角度で屈折されます。また一部の光は反射されます。
- 次に、境界面の入射角を徐々に増してゆき、(b)図のように光の入射角度  $\theta_0$  がある値  $\theta_c$  に近づくに従って、屈折した光が二つの媒質の境界面に近づき、 $\theta_c$  に一致すると境界面に沿って光が伝播します。この時の入射角度  $\theta_0 = \theta_c$  を臨界角(Critical angle)といい、スネルの法則では  $\sin \theta_1 = 1$  となります。
- さらに(c)図のように臨界角以上に傾いた入射光はスネルの法則において  $\sin \theta_1$  の値が1以上になり  $\theta_1$  が架空の値となります。すなわち  $\theta_0 > \theta_c$  の場合には屈折がなくなり反射のみが起こることになります。この反射を全反射(Total reflection)と呼びます。

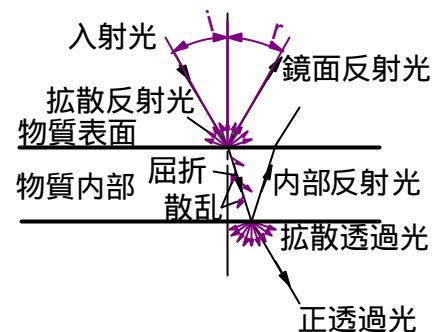
この全反射の現象を幾何学的に考えてみると、全反射した光のエネルギーは入射した時のエネルギー量に厳密に等しいはずであり、臨界角以上の角度で入射した光束で低屈折率物質へのエネルギーの逃げは全くないといえます。この原理を利用したものが光ファイバです。

## 反射と散乱

境界面が光学的な平面で 2 種類の均質で等方的な物質に光が入射したとき、境界面で反射が生じます。反射には鏡面反射と拡散反射があります。

### 1) 鏡面反射(Specular reflection)

鏡などによる完全な光(あるいはその他の波動)の反射で、一方向からの光が別の一方向に反射されて出て行きます。反射の法則により、光の入射角  $i$  と反射角  $r$  は反射面に対して同じ角度となります。鏡や光沢のある金属面で多く発生します。



### 2) 拡散反射(Diffuse reflection)

平坦でないかざらざらした表面からの光の反射のことで、入射光がいろんな角度で反射しているかのように見え、乱反射(らんはんしゃ)ともいいます。光が物体表面の細かな凹凸によってランダムな反射を繰り返し、再び表面から外に向かっていくために発生します。もし、表面がまったく鏡面反射しなければ、反射光は表面をぐるっと半球状(2 sr)に様に広がります。一般の物質の反射では、鏡面反射と拡散反射の両方の成分がふくまれ、一般的に反射率の高い物質ほど鏡面反射の成分が多くなります。

### 散乱 (Scattering)

光が何かにぶつかったときに四方八方へ散らばることをいいます。反射や屈折との境界は必ずしも明確ではなく、一般に光が広い角度範囲に比較的均等に進路を変えるとき散乱という言葉が使われるようです。

光の散乱には、光がぶつかる物質の大きさによって、いくつかの種類があります。

#### 1) レイリー散乱

大気分子のように光の波長と比べ、直径が非常に小さい物質に光がぶつかったときの散乱。(例：可視光の波長：0.4  $\mu\text{m}$  ~ 0.7  $\mu\text{m}$ 、大気分子の大きさは、可視光の波長の 1/1000 ほど) 散乱光は粒子を中心とする球面波を放射し、その強度分布はまったく等方的です。散乱光の強度は、波長の 4 乗に反比例して強くなります。昼間の空が青く見えるのは、青い光が大気分子によって赤い光より散乱されやすいためです。

#### 2) ミー散乱

空気中の塵などのように、光の波長とほぼ同じ大きさの物質に光がぶつかったときの散乱。散乱光の強度分布は粒子径や形に依存するようになります。散乱光は前方の方が強く、また粒子が大きいのので波長の 4 乗則は顕著ではありません。散乱強度が大きいのので、粒子密度が高い場合は多重散乱が無視できなくなり、白濁します。雲は小さい水滴の集まりであり、同量の水が水蒸気として存在するときより  $10^7$  倍強い散乱を起こすことになるため、雲は白く見えることとなります。

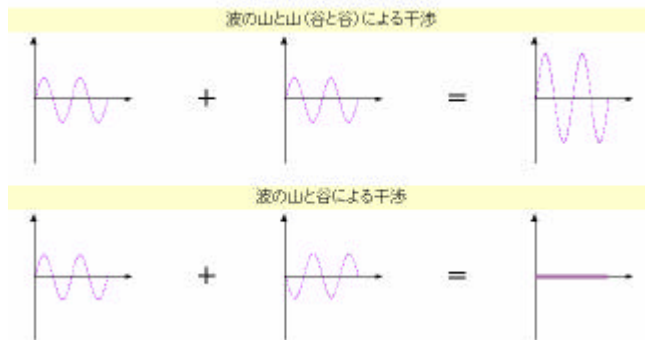
#### 3) さらに大きい粒子による散乱

霧などのように、光の波長より大きい物質に光がぶつかったときの散乱。

**干渉**

干渉 (Interference) とは複数の波の重ね合わせによって新しい波形ができることです。同じ波源から出た波や、同じもしくは近い周波数を持つ波のとき干渉が顕著に現れます

同じ波長を持つ波の重なり合いの場合、山と山、あるいは、谷と谷が一致するように2つの波が重なり合うと、右上図のように山の高さが2倍、あるいは谷の深さが2倍の波になります。また、山と谷が一致するように2つの波が重なり合うと、右下図のように、波の高さはゼロになります。



**[薄膜の干渉]**

薄膜の屈折率  $n$ 、厚さ  $d$  とすると、右図で  $BC$  と  $B'C'$  は同じ時間かかって進む距離で、その距離には同じ数の波をふくんでいます。

この場合、赤線の部分 ( $2d \cos \theta$ ) が光路差となります。

屈折率  $n$  の薄膜中での波長  $\lambda'$  は

$$\lambda' = \lambda / n$$

$m$  を整数とすると、表面の反射光は下記条件のときに最も強めあいます。(明線条件式)

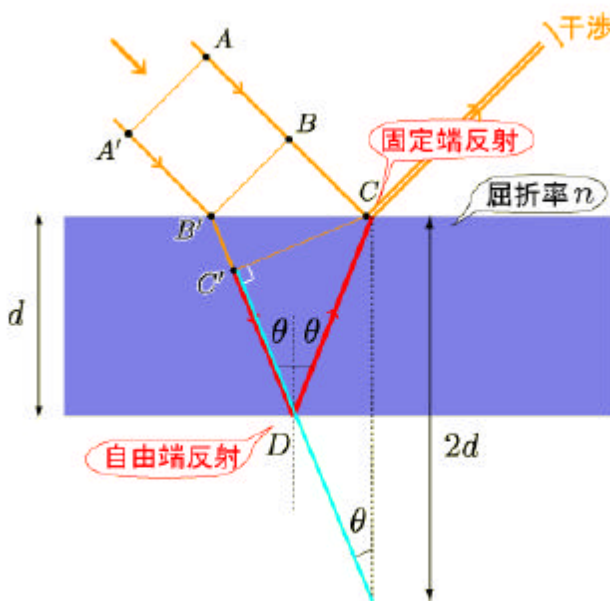
$$2d \cos \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda' = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n}$$

透過光が最小となるため、カットフィルタに使用されます。

また、下記条件のときに最も弱めあいます。(暗線条件式)

$$2d \cos \theta = m \cdot \lambda' = m \cdot \frac{\lambda}{n}$$

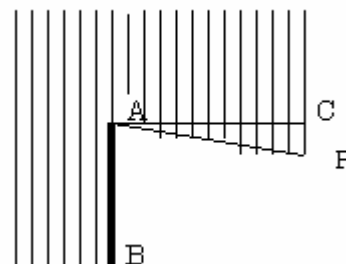
反射光が最小となるため、反射防止コートとして使用されます。



## 回折

回折 (Diffraction) とは媒質中を伝わる波 (または波動) に対し障害物が存在する時、波がその障害物の背後など、つまり一見すると幾何学的には到達できない領域に回り込んで伝わっていく現象のことを言います。障害物に対して波長が大きいほど回折角 (障害物の背後に回り込む角度) は大きくなります。

右図のように 平面波が左から右へ進んで行き、これを壁 AB でさえぎると、AB の影に当たる C 点より内側の P 点でも波を観測することができます。回折現象は大きく分けて、フレネル回折とフランホーファー回折の 2 つがあります。前者は光源と観測点が有限距離の場合で、後者は平行光線の回折を無限遠方で観測することに対応します。



### [回折格子]

回折格子とは、格子状のパターンによる回折を利用して干渉縞を作るために使用される光学素子の総称です。グレーティング (grating) とも呼ばれます。格子パターンは直線状の凹凸がマイクロメートルサイズの周期で平行に並んで構成されていることが多い。ただしその周期、材質やパターン厚 (凹凸の差厚) などは用途や使用する波長域によって適宜異なります。

## レンズ(lens)概要

赤外線検出素子だけでも、物体からの放射エネルギーを検出できますが、測定距離が長くなると、物体の測定範囲が大きくなってしまいます。このため、レンズにより測定範囲を小さくし物体からの放射エネルギーを検出素子に集光させます。

レンズには次の方式があります。

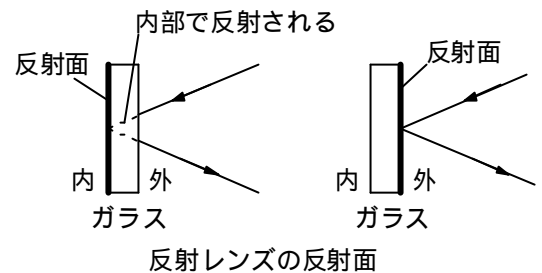
### 1) 屈折形レンズ

光を屈折させて、集束または拡散を行います。一般的には球面と球面、または球面と平面を両側面とする透明体です。素材としては可視光用ではガラス、プラスチックが使用されます。赤外用ではBK、石英、CaF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>、Ge、Si等が使われます。

凸レンズは中央がふちより厚いレンズをいい、光を集束させます。虫めがね、望遠鏡、老眼鏡等を使用されます。凹レンズは中央がふちより薄いレンズをいい、光を拡散させます。近視眼鏡、収差補正用等を使用されます。

### 2) 反射形レンズ

凸面または凹面の反射鏡を利用したレンズで、屈折形レンズのように赤外線を透過することがないため、長波長でも使用でき大口径が容易に得られ色収差がないという利点があります。この場合凸面鏡や凹面鏡を組み合わせた、カセグレン鏡などが利用されます。この反射面はアルミニウムか金の蒸着膜で仕上げています。通常の鏡では、反射面はガラスの内側ですが、赤外光がガラスで吸収されて反射されないため、ガラスの表面に蒸着してあります。このため、蒸着膜の保護に注意しなければなりません。

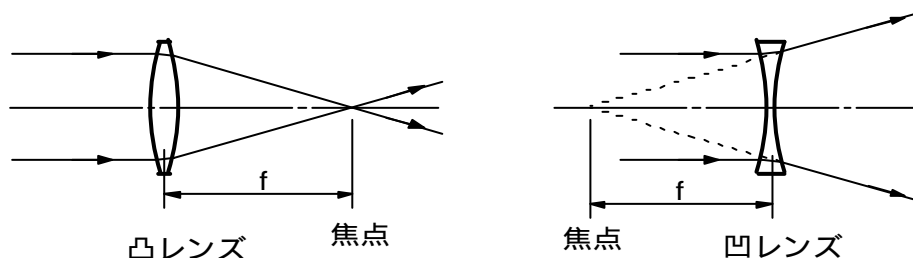


### 3) 回折形レンズ

光の回折現象を利用して集束または拡散を行います。樹脂やガラスなどの光学材料の表面に、深さが光の波長程度の微細なレリーフ (relief) 形状 (起伏形状) を、光軸を中心とする同心円状に周期的に形成したレリーフ型回折レンズが一般に多く用いられています。

### [焦点距離]

入射光がレンズの中心軸(光軸)に平行な場合、レンズから出た光が光軸と交わる点を焦点といいます。また、レンズと焦点の長さを焦点距離  $f$  といいます。



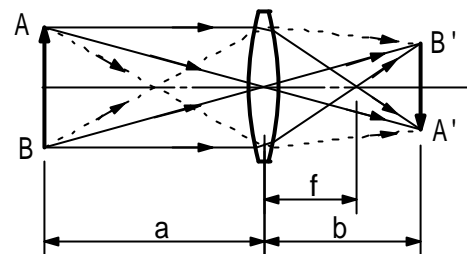
## レンズの基礎公式

物体 AB が、検出素子 A'B' の像を結ばせる場合、測定距離 a、検出素子距離 b、レンズの焦点距離 f は次式で示されます。

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

また、物体 AB と像 A'B' の大きさは、a と b の比となります。

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}$$



レンズによる結像

測定距離 a、測定寸法 AB、検出素子受光寸法 A'B' が与えられた場合

レンズと検出素子の距離  $b = \frac{A'B'}{AB} \times a$

レンズの焦点距離  $f = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}$

で求められます。

[計算例]

測定距離 a=100mm、測定寸法 AB= 5mm、検出素子受光寸法 A'B'= 1mm とすると

レンズと検出素子の距離  $b = (1 / 5) \times 100 = 20\text{mm}$

レンズの焦点距離  $f = 1 / ((1 / 100) + (1 / 20)) = 16.7\text{mm}$

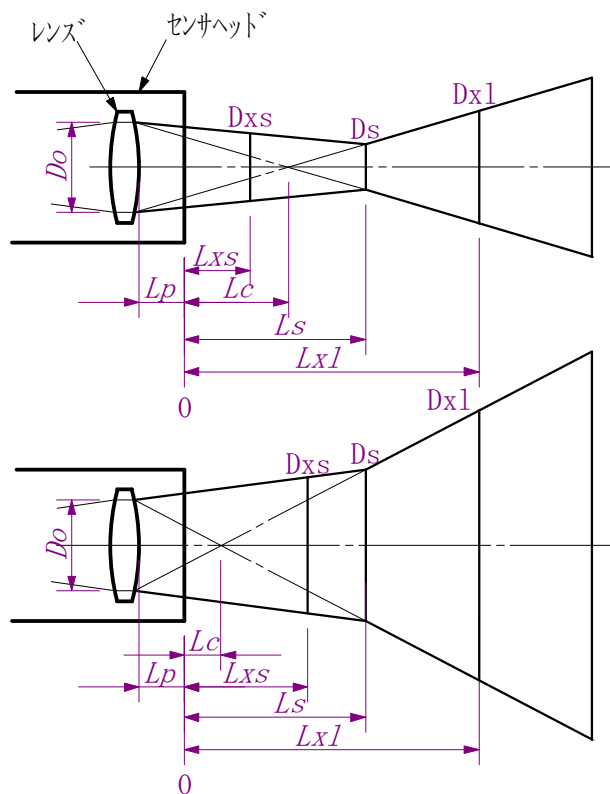
上記公式は理想レンズに対するもので簡易計算に使用されます。実際のレンズではレンズ厚さ、レンズ曲率、屈折率の波長特性等により性能が悪くなるため、それらも含めた設計が必要になります。

またレンズと検出素子間の距離 b が一定の場合、レンズの口径が大きい方が物体からの放射エネルギーを多く検出素子に集光できます。

光路図

測定距離と標的サイズの関係を示す図で、レンズ有効径  $D_o$  と焦点位置  $L_s$  の標的サイズ  $D_s$  を結ぶ光路の一番外側の線を表示します。

- $D_o$  : レンズ有効径
- $D_s$  : 焦点位置の標的サイズ
- $D_{xs}$  : 焦点位置よりレンズ側の位置の標的サイズ
- $D_{xl}$  : 焦点位置より遠い側の位置の標的サイズ
- $L_p$  : センサヘッド先端からのレンズ位置
- $L_s$  : 焦点位置
- $L_c$  : 光軸交点位置
- $L_{xs}$  : 焦点位置よりレンズ側の位置
- $L_{xl}$  : 焦点位置より遠い側の位置



任意の測定位置  $L_{xs}$  または  $L_{xl}$  における標的サイズ径  $D_x$  の計算式

焦点位置の標的サイズ	$L_{xs} < L_s$ 焦点位置よりレンズ側の位置	$L_{xl} > L_s$ 焦点位置より遠い側の位置
$D_s < D_o$ レンズ径より小	$D_{xs} = \frac{L_s - L_{xs}}{L_s - L_p} \times (D_o - D_s) + D_s$	$L_c = \frac{L_s \times D_o - L_p \times D_s}{D_o + D_s}$
$D_s > D_o$ レンズ径より大	$D_{xs} = \frac{L_{xs} - L_p}{L_s - L_p} \times (D_o - D_s) + D_s$	

[計算例]

レンズ有効径  $D_o = \phi 13\text{mm}$ 、焦点位置  $L_s = 200\text{mm}$ 、焦点位置の標的サイズ  $D_s = \phi 3\text{mm}$ 、  
 センサヘッド先端からのレンズ位置  $L_p = 10\text{mm}$  の時、センサヘッド先端からの位置  $L_{xs} = 100\text{mm}$  における  
 標的サイズ径  $D_x$  は  $L_{xs} < L_s$  および  $D_s < D_o$  の計算式を適用して

$$D_x = ((200 - 100) / (200 - 10)) \times (13 - 3) + 3 = \phi 8.3\text{mm}$$

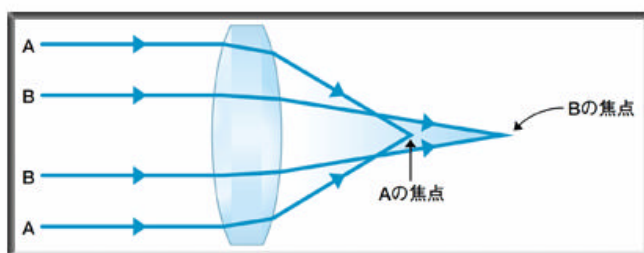


## レンズの収差

レンズの基礎公式は理想レンズの場合に適用できるものであり、実際にはレンズの厚さによって誤差が生じます。また、レンズのもつ収差によって一点に焦点を結びません。光軸上ではつぎの2つの収差があります。

### 1) 球面収差(spherical aberration)

レンズの面は普通、球面の一部として磨かれるため、球面の凸レンズは周囲に近くなるほど両面のなす角が強くなり、光線の屈折も強くなります。従って中心部と周辺部では焦点距離が異なります。

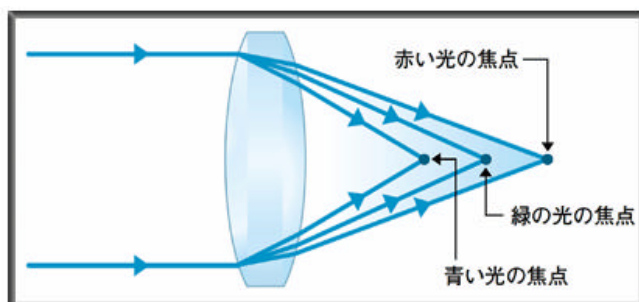


球面収差の低減策として、レンズ面を非球面とした非球面レンズの使用、凸レンズと凹レンズを組み合わせる方法がとられます。

### 2) 色収差(いろしゅうさ chromatic aberration)

媒体の屈折率は波長によって異なるため、入射した光線が波長ごとに別々に分離されます。この現象または度合いを分散(Chromatic Dispersion)といいます。

屈折レンズの材料は波長によって屈折率が異なり、波長の短い光は長い光より焦点距離が短くなります。



これらの収差のあるレンズでは温度計を構成した場合、計算上の測定範囲より広い範囲の面積を測定することになります。これらの収差を少なくするためには、凸レンズと凹レンズを組み合わせる必要があります。

また、レンズ周辺部の収差としては、球面収差、色収差以外にコマ収差、非点収差、像面湾曲があり、2次元の赤外線カメラ(サーモグラフィ)に使用するレンズはこれらの収差を考慮して設計される必要があります。

## レンズの収差補正

屈折系レンズの場合の収差補正方法について説明します。

### [球面収差補正]

レンズ曲率の向きは球面収差に対して大きく影響します。

最も収差が小さくなる条件は、測定距離と検出素子距離の比および屈折率によって決まります。右の例は、レンズ材質に BK7、測定距離を 300mm、焦点距離  $f$  を 21mm とした場合の球面収差を計算しています。

最もシンプルな平凸レンズ(平面と凸面の組合せ)の場合、 $b$  は  $a$  に比較して 28%に低減されています。

$c$  はレンズ面を両凸(両面凸)として、球面収差が最小となる曲率を求めたものです。

$d$  は平凸レンズを 2 枚組み合わせた場合です。

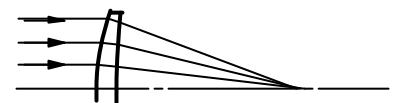
さらに収差を低減させる場合、下記の手法をとります。

#### 1)非球面レンズ

レンズ面を球面 非球面とすることにより球面収差がなくなりますが、価格が高くなります。

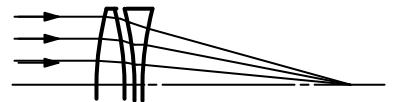
#### 2)メニスカスレンズ

レンズ材質に屈折率の高い Si 等を使用して、両凸レンズとした場合、球面収差が最小となる曲率は右図のように剃らせる形となります。



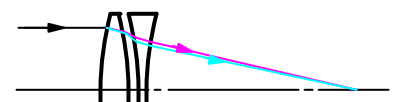
#### 3)凸レンズと凹レンズの組合せ

屈折の強い薄い凹レンズを凸レンズの後において周縁光線を強く曲げ返してやり、その焦点を軸に近い光線の焦点に合わせます。



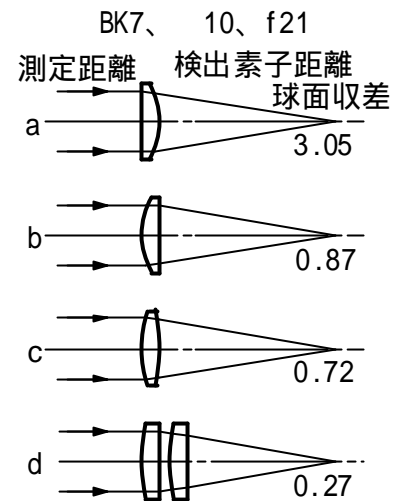
### [色収差補正]

凸レンズとしてできるだけ分散の弱いガラスを選び、その後分散の強いガラスで作った凹レンズを右図のように組み合わせます。この凹レンズのガラスには凸レンズのガラスよりも分散の激しいものを選んでありますから、凸レンズの色分散を回収するためにはそれよりも度の弱い薄い凹レンズで済みます。従ってこの一組のレンズはやはり凸レンズとして通用し、ここに軸上色収差のない凸レンズができます。



二つの代表色で色収差を補正したレンズをアクロマート、三つの代表色で補正したものをアポクロマートといいます。

実質的にはレンズ各面の曲率(R)およびレンズ間隔を変化させて、球面収差と色収差の両方が最も少なくなる条件を見つけ出すように設計します。



## 反射レンズ

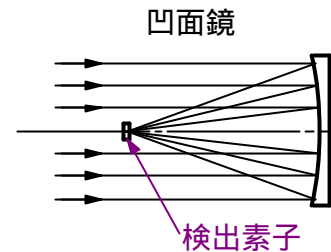
反射レンズは原理的に色収差のないことが特徴です。一方、レンズの反射面がむき出しになっているためホコリが溜まりやすくなります。

### [凹面鏡]

1つの凹面鏡のみを使用し、光軸上に検出素子を設置したタイプです。凹面鏡を球面とした場合、球面収差があります。

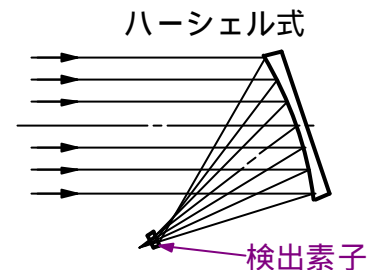
球面収差をなくすためには反射面を球面から放物面にします。

構成が簡単ですが検出素子部分で光が凹面鏡に入射されないため、少し暗いレンズとなります。



### [ハーシェル式]

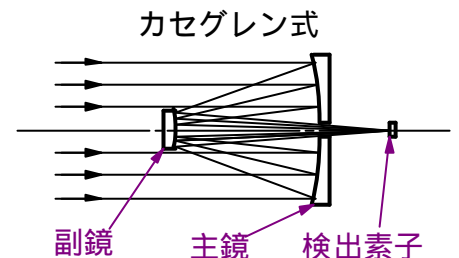
上記凹面鏡の検出素子部分での光のけられをなくすために凹面鏡を斜めに傾斜させた軸外し光学系タイプです。凹面鏡を球面とした場合、球面収差が大きくなります。



### [カセグレン(Cassegrain)式]

鏡筒の底部に主鏡の凹面鏡を配し、鏡筒の入口付近に付けられた凸面鏡で再び底部方向へ反射し、主鏡の中央に空けられた穴に光を通し、鏡筒の底に配置された検出素子へと光を導きます。屈折レンズと比較して鏡筒が短く済むという利点がありますが、鏡の中心に穴を開けなければならない等、製造上の困難が多くなります。主鏡、副鏡を球面で構成する場合、曲率  $R$  および主鏡と副鏡間の距離を適切なものを選定することにより、球面収差をかなり低減できます。

球面収差をなくすためには、主鏡を放物面鏡、副鏡を双曲面鏡で構成する必要があります。

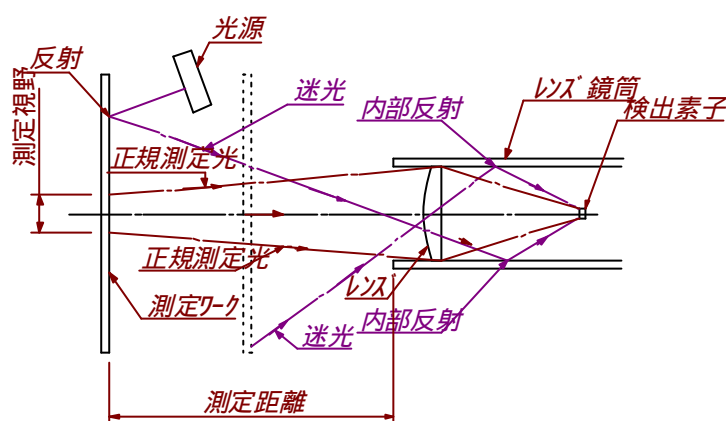


## 迷光

レンズの収差を小さくすることにより、正規の光路においてはシャープな結像を得ることができますが、正規の光路以外にも本来の測定目的以外の光がレンズ鏡筒内に入り込み、測定値に影響をもたらします。これを迷光と呼びます。

迷光の原因には次のものがあります。

- 1) ワークの周囲にある光源からの光が、ワークの表面で反射して検出素子に入射される。
- 2) ワークの測定範囲外の部分からの光が、
  - a) レンズ鏡筒の内面で反射され、検出素子に入射される。
  - b) レンズ側面で反射され、検出素子に入射される。
  - c) レンズ内面で散乱され、検出素子に入射される。

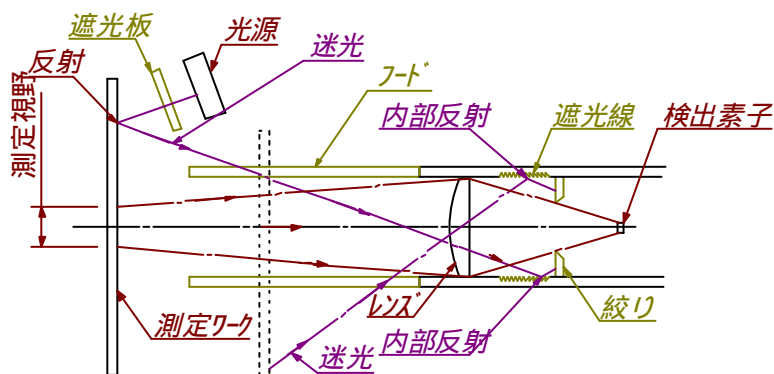


通常正規の視野からの光に対し、視野外からの光を検知する割合は低いのですが、視野外のワークが視野に対しかなり大きい場合、迷光の絶対量も増加します。また、迷光がある場合測定器の指示値は高めになります。

迷光は測定距離が一定の場合、視野外のワークが大きい程、大きくなります。また、ワークサイズが一定の場合、ワークと測定器の測定距離が短いほど大きくなります。(測定距離が短いほど指示値が高くなります)

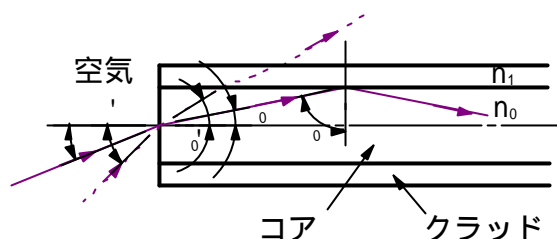
迷光対策としては、次のものがあります。

- 1) ワークの周囲にある光源とワークの間を遮蔽する。
- 2) レンズ前面にフードを付ける。
- 3) レンズと検出素子間に絞りを設置する。
- 4) レンズ鏡筒内面に遮光線(ネジ)を付けたり、黒化処理をして反射率を小さくする。
- 5) レンズ側面を拡散面として反射率を小さくする。



## 光ファイバ

光ファイバは光を離れた場所に伝送する伝送路です。光ファイバはコアと呼ばれる芯と、その外側のクラッドと呼ばれる部分、そしてそれらを覆う被覆の3重構造になっています。クラッドよりもコアの屈折率を高くすることで、全反射率や屈折によりできるだけ光を中心部のコアにだけ伝送させる構造になっており、コアとクラッドはともに光に対して透過率が非常に高い石英ガラスまたはプラスチックでできています。



ファイバの片端面に円柱の軸に対して角度  $\theta_0$  で入射した光は、スネルの法則に従って  $\theta_1$  に屈折され、角度  $\theta_0$  で屈折率  $n_0$  のコアの側壁に当たります。  $\theta_0 = (\theta_1 / 2) - \theta_c$

クラッドの屈折率を  $n_1$  とすると  $\theta_0$  がコアとクラッドできる臨界角  $\theta_c$  より大きいとき、すなわち  $\theta_0 \geq \theta_c = \sin^{-1}(n_1 / n_0)$  のとき、この光は境界面で全反射し、ファイバ内部に戻され同じ角度で円柱の向かい合った境界面に次々に当たって伝播されてゆき、入射端とは逆側の端面から入射角度と同じ角度で出射されます。

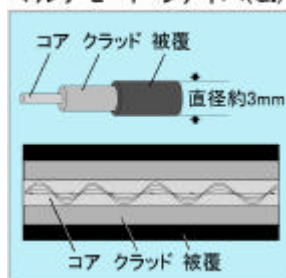
また右上図の点線で示されるように光が、 $\theta_0$  というような境界面における臨界角を満たさない急な角度で入射した場合には、円柱の側壁を抜けてファイバ外に光が逃げてしまいます。

電磁気の影響を受けずに極細の信号線で高速信号が長距離伝送出来るため、デジタル通信を中心に多くの用途に使用されています。

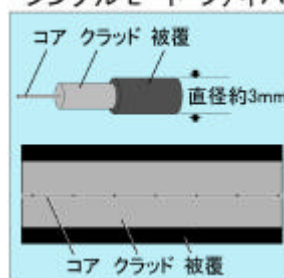
光ファイバの中を伝播する光の経路によってモードが分かれます。つまり、光が光ファイバのごく狭い中心部だけを通るのが「シングルモード・光ファイバ」で、光が光ファイバの中をある程度の幅をもって通るのが「マルチモード・光ファイバ」です。

シングルモードの場合、モード間の干渉が少ないためデータ周波数、変調周波数を大きくでき、伝送容量を大きくとれるので光通信に使用されます。一方、温度測定等伝送効率を問題とする場合はコア径を大きくするため、必然的にマルチモードを使用することになります。

マルチモード・ファイバ(GI)



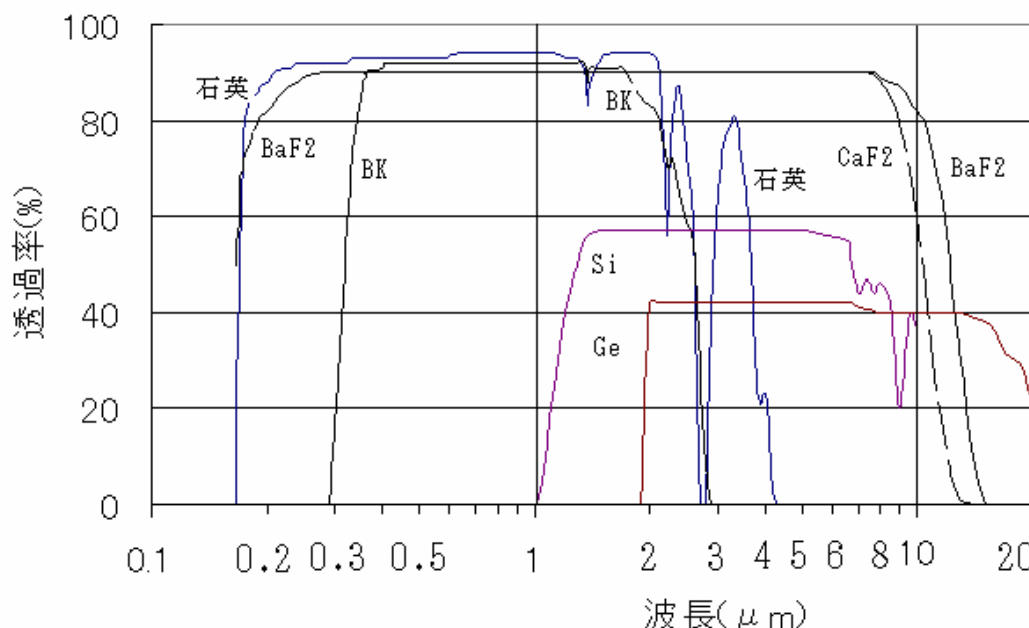
シングルモード・ファイバ



コアの材質として、プラスチック、石英、フッ化物、ハライド結晶、カルコゲナイドガラス等があります。放射温度計用としては通常、石英ファイバが使用されますが透過波長は  $2.5 \mu\text{m}$  までです。測定温度が低い場合は放射エネルギーのピークが  $2.5 \mu\text{m}$  より長波長にあるため、透過波長が  $4 \mu\text{m}$  程度まであるフッ化物が使用されます。

**光学材料**

光学材料が用いられる部品には、レンズ、光学フィルタ、窓材などがあります。レンズに用いられる材料は検出素子の分光感度に対応して選定されます。下図に赤外域で使用される光学材料の透過特性の例を示します。このほかに一般のガラスも 2.5 μm 程度までは赤外線を透過するため、近赤外線用として使用されます。Si、Ge は屈折率が大きいため、反射率も大きくなります。このため透過率が小さくなり、反射防止コートをして透過率を高める必要があります。



検出素子と光学材料の組合せの例を次に示します。

検出素子	光学材料
Si、InGaAs	BK
PbS	BK、石英
PbSe、MCT、InSb	CaF <sub>2</sub> 、BaF <sub>2</sub> 、Ge、Si
サーモパイル	同上

光学材料	屈折率	融点 (°C)	比熱 (cal/g)	熱膨張係数 (1/°C)
BK	1.52			7.1 × 10 <sup>-6</sup>
石英	1.46	1470	0.188	7.97 × 10 <sup>-6</sup>
BaF <sub>2</sub>	1.47	1280		1.84 × 10 <sup>-6</sup>
CaF <sub>2</sub>	1.43	1360	0.204	24 × 10 <sup>-6</sup>
Si	3.42	1420	0.168	4.15 × 10 <sup>-6</sup>

	図1	図2
取付け方法		
結晶の形状		
円形	$t/D = 0.866 \left( \frac{P}{F_a} \right)^{1/2}$	$t/D = 1.06 \left( \frac{P}{F_a} \right)^{1/2}$
角形	$t = 1.23b \left[ \frac{P}{F_a(1+c^2)} \right]^{1/2}$	$t = 1.5b \left[ \frac{P}{F_a(1+c^2)} \right]^{1/2}$

〈安全係数: 4〉

[結晶耐圧計算式]

t : 厚さ(cm)

P : 単位面積あたりの圧力(kg/cm<sup>2</sup>)

F<sub>a</sub> : 見掛けの弾性限界(kg/cm<sup>2</sup>)

石英 : 680

BaF<sub>2</sub> : 274.2

CaF<sub>2</sub> : 372.63

D : 形状が円形の場合の開放部の直径(cm)

b, a : 形状が角形の場合の 2 辺の長さ(cm)

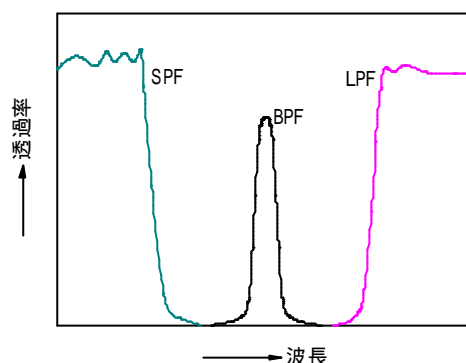
## 光学フィルタ

入射光のうち所定の性質を持つ光（例えば、特定の波長範囲の光）だけを透過し、それ以外の光を透過しない光学素子です。波長選択する理由は、太陽光、タングステン電球などの外乱光の除去、または選択放射体の波長に合わせることです。

光学フィルタはその透過波長特性から

- 1) 長波長パスフィルタ(LPF ;ロングパスフィルタ)
- 2) 短波長パスフィルタ(SPF ;ショートパスフィルタ)
- 3) 帯域フィルタ(BPF ;バンドパスフィルタ)

に分類されます。



またフィルタに利用される物理的特性として下記があります。

### a) 干渉

ガラス、石英、MgO、CaF<sub>2</sub>、Si、Geなどの基板の上に、誘電体または金属の多層膜を付けたものです。誘電体薄膜は、空気と誘電体、誘電体と基板、および異なる誘電体どうしの界面で生じる反射が干渉することにより光の透過特性が変わることを利用しています。

誘電体薄膜は、多くの場合一層ではなく複数層の膜（誘電体多層膜）であり、材質、膜厚、層数を変えることによってさまざまな性質を持つフィルタを作り出すことができます。

### b) 選択吸収

Si、Ge、PbS、InSbなどの半導体はバンドギャップより長波長で急に透明になるのでLPFに用いられます。

### c) 回折・散乱

エシュレット格子は金属製のものは反射特性がポリエチレンのレプリカでは透過特性がLPFとしての特性を持っています。また、金属メッシュも立ち上がりの急峻な遠赤外の反射形LPFとして用いられています。

## 光学関係参考資料

1. 赤外線工学 近代科学社 和田正信、中野朝安 1963 年
2. 赤外線工学 オーム社 赤外線技術研究会編 1991 年
3. Wikipedia
4. 計量管理技術双書(40) 「計量に関する基礎知識(下) 波動・光・熱編」  
計量管理協会編 松原 普著、コロナ社発行 1973 年
5. 光学技術シリーズ2 光学ファイバー 長尾和美著、共立出版発行 1974 年
6. カメラとレンズの事典 愛宕通英著、日本カメラ社発行 1961 年
7. 応用光学 鈴木達郎著、朝倉書店発行 1982 年