

物理プリント レンズ工学入門

() 組 () 番 氏名 ()

レンズの理論(レンズ工学)

レンズの構造

レンズの面は → []

屈折率の定義

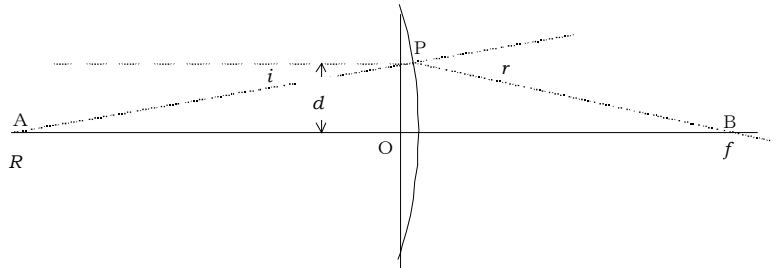
屈折の法則(スネルの法則) → []

ガラスの絶対屈折率(真空に対するガラスの屈折率)を n とすると、

空気からガラスへの屈折は屈折率が [], ガラスから空気の屈折率は [] である。

達人 (レンズの焦点距離の理論)

屈折の法則から凸レンズの焦点距離を求める。屈折率が n のガラスで出来た左側が平面で右側が曲率半径が R [m] のレンズがある。レンズの左から光軸に平行な光が入ってきて右側 f [m] のところに集まったとする。(f はレンズの焦点距離)。



右の図のコースを通る光を考える。点Pでガラスから入射角 i で入射し、

空气中へ屈折角 r で曲がるとする。したがって、ガラスから空気への屈折率は [] である。したがって、入射角と屈折角の関係式は、屈折の法則より [] …① である。また、上の図より $\triangle APO$ に注目すると、

$\frac{d}{R} = []$ …② が成り立つことが分かる。右側の $\triangle POB$ に注目するとき、このレ

ンズが薄いレンズであるとして良いので、 $\angle POB = \angle R$ である。したがって、 $\frac{d}{f} = []$

…③ である。光軸からの距離 d に比べて、 R, f は大きいので入射角 i 、屈折角 r はゼロに近い角である。したがって、 x がゼロに近いとき $\sin x \approx x$ だから、①、②、③式は [] …①'、 [] …②'、 [] …③' としてよい。これより、 i, r を消去すると光軸からの距離 d によらず成立する関係式 [] が成立する。この関係式は光軸からの距離にかかわらずすべての光が焦点 f の位置に集

まることを示している。したがって、この凸レンズの焦点距離は $f \approx \frac{R}{n-1}$ と表せる。

- (1) 上の空欄に適当な数式を入れなさい。
- (2) 屈折率 1 (空気と同じ屈折率) の材料で作ったレンズの焦点距離はいくらになるか。また、そのレンズとはどのようなレンズか。
- (3) 曲率半径が R_1, R_2 の両凸レンズの焦点距離はどのような式で表されるか。

レンズの構造

レンズの面は球面から出来ているものが普通(球面レンズ)。理由は、機械研磨しやすいためである。両面ともに球面のものは両凸・凹レンズ、片面が平面になっているものは片凸・凹レンズという。ただし、球面レンズでは、球面収差と呼ばれる誤差に相当するものが存在(レンズの中心を通る光と周辺を通る光が一点に収束しない)ため、結像がぼやける。これを解消するには「非球面レンズ」にする必要がある。

屈折率の定義

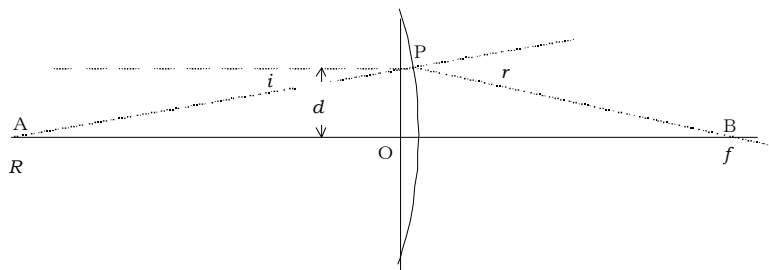
屈折の法則(スネルの法則)
$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

ガラスの絶対屈折率(真空に対するガラスの屈折率)を n とすると、

空気からガラスへの屈折は屈折率が n 、ガラスから空気の屈折率は $\frac{1}{n}$ である。

レンズの焦点距離の理論

屈折の法則から凸レンズの焦点距離を求める。屈折率が n のガラスで出来た左側が平面で右側が曲率半径が R [m] のレンズがある。レンズの左から光軸に平行な光が入ってきて右側 f [m] のところに集まったとする。



右の図の点Pに入射角 i で入射し、空気中へ屈折角 r で曲がるとする。ガラスから空気への屈折率は

$n' = \frac{1}{n}$ であるので、入射角と屈折角の関係式は、屈折の法則より、 $\frac{1}{n} = \frac{\sin i}{\sin r}$...① である。上の図

より△APOに注目すると、 $\sin i = \frac{d}{R}$...② が成り立つ。また、右側の△POBに注目するとき、薄いレンズで

あるとして良いので、したがって、 $\tan(r-i) \approx \frac{d}{f}$...③。光軸からの距離 d に比べて、 R, f は十分に大きいので入射角 i 、屈折角 r はゼロに近い角である。したがって、 x がゼロに近いとき $\sin x \approx x$ の近似式を適用すると、①、②、③式は

$\frac{1}{n} \approx \frac{i}{r}$...①'、 $i \approx \frac{d}{R}$...②'、 $r - i \approx \frac{d}{f}$...③'。これより、 i, r を消去して、

$\frac{(n-1)}{R} \approx \frac{1}{f}$ と書ける。この関係式は光軸からの距離 d によらず成立するためすべての光が焦点 f の位置

に集まることを示している。したがって、この凸レンズの焦点距離は $f \approx \frac{R}{n-1}$ の形で表せることがわかる。

屈折率 1 の材料で作られたレンズは、焦点距離の式の分母がゼロになるので、焦点距離は無限大になる。これは平行に入射した光が無遠慮方まで集まらない。すなわち、普通の板ガラスと同等の物にすぎない。

曲率半径が R_1, R_2 の両凸レンズは、曲率半径が R_1 の片凸レンズと曲率半径が R_2 の片凸レンズの重なったものと考えて良い。したがって、レンズの焦点距離の合成公式 $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$ が成立する。

$\frac{(n-1)}{R_1} + \frac{(n-1)}{R_2} = \frac{1}{f}$ より、 $f = \frac{R_1 R_2}{(n-1)(R_1 + R_2)}$ である。途中の近似式を扱う部分に $\angle POB = \angle R$

である(ここに球面収差の原因がある！)