

レンズを使う 5

< 光学系の最も基本的配置、近軸計算の例 >

株式会社タイコ
牛山善太

前回は光学系の厚さを考えて、主点、主平面というものについて説明させていただいた。今回はこれまでの理屈を用いて、実際の光学系の基本配置であるところの近軸配置を計算する手法について、例をとって解説させていただく。

1. 近軸計算式の復習

今回例題で主に用いる式は、これまでに説明させていただいてきた、レンズメーカーの式、

$$\frac{n'}{b} - \frac{n}{a} = \frac{n'}{f'} \quad (1)$$

である。 n, n' はそれぞれ物界、像界の屈折率、 f' は焦点距離、 a は前側主点 H から物体面までの光軸に沿った距離、 b は後側主点から像面までの光軸に沿った距離である。さらに、物体の大きさを y 、像の大きさを y' とする時、この y と y' の比が横倍率と呼ばれ、

$$\frac{y}{a} = \frac{y'}{b} \quad (2)$$

なる関係がある。図1をご参照いただきたい。

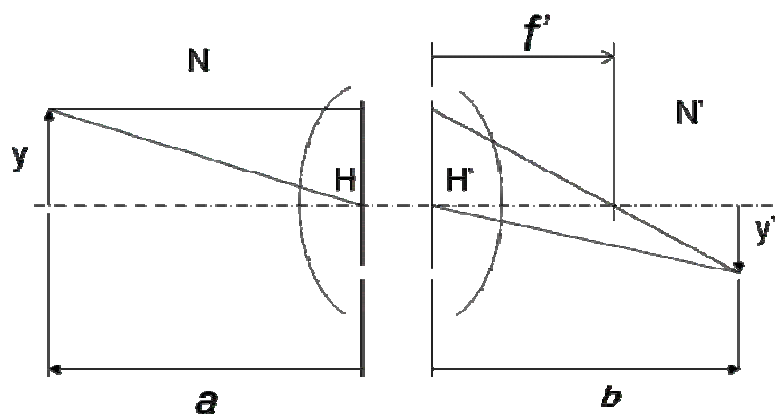


図1 光学系による近軸結像

2. 近軸計算例

以下に、基本的には上記(1)、(2)式を用いて、必要とされる近軸諸量を用いる計算例を示す。

例題 1:

以下の条件における、使用すべきレンズの焦点距離と、レンズから像までの距離を求めよ。

(図 2)

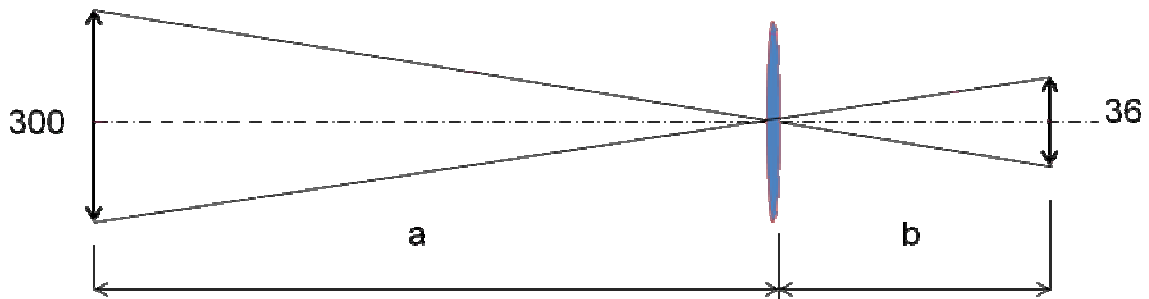


図 2 近軸計算例 1

1m程、レンズから先にある

300mmの長さのものを36mmの大きさに写したい

よって横倍率 $m=36/300=0.12$ 倍

$a=1000$ mm、また、 $b/a=0.12$ なので $b=120$ mm

$1/a + 1/b=1/f$ なので $f=107.1$ mm

例題 2：

焦点距離が分かっているレンズ(非常に薄いとする)に、図のような光線が入射している。この時のレンズによってこの光線が屈折する様子を図示せよ。(図 3)

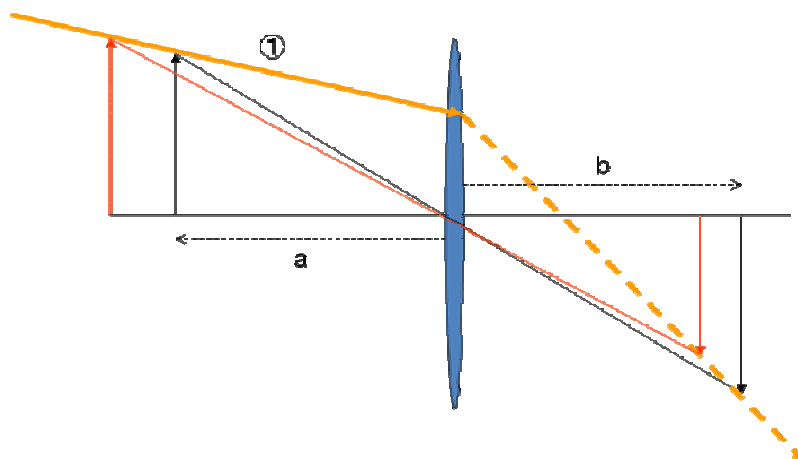


図 3 近軸計算例 2

手順

- 1) 光線 を横切る光軸に垂直な物体平面を考える。位置は任意である。
- 2) この平面と光線 の交点 P からはレンズ前側主点(レンズが極薄い場合はレンズ中心) に向かい、同じ角度で後側主点から射出する光線が書ける。
- 3) 物体面からレンズまでの距離、そして焦点距離が分かっているので、レンズメーカーの式により、レンズから像までの距離 b が分かる。
- 4) すると像平面が決まる。この平面と、2)における後側主点から出る光線の交点 P'が P の像点である。
- 5) 従って P を通過する光線は総て P'を通過するので、光線 はレンズの入射位置から P' へと向かう屈折光となる。

因みに、図 3 中の赤い光線の作図は光線 上の別の位置に物体平面をとった場合のものである。結果は当然、上と一致する。

例題 3：

物体位置、物体の大きさ、焦点距離が分かっているときに、焦点距離が正、並びに負の場合の近軸結像の作画をせよ。(図 4)

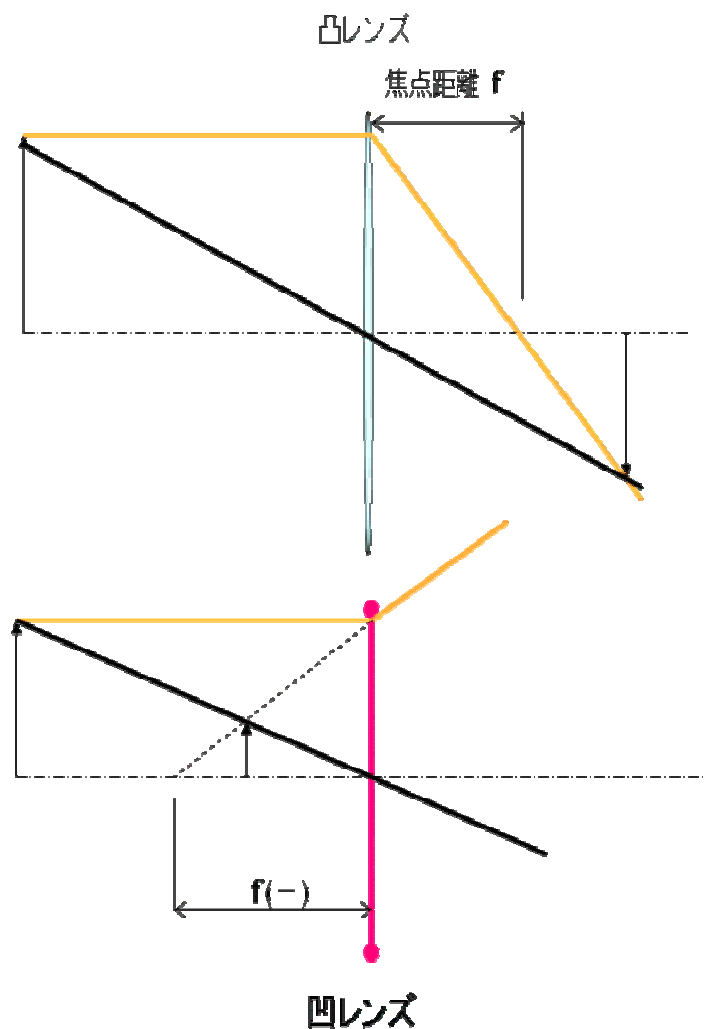


図 4 凸レンズと凹レンズにおける像の作図

手順：

- 1) 物体上部から光軸に平行に射出する光線は、像界で焦点を通過する。ただし負レンズの場合には、焦点は虚像となるので、光軸との平行な入射光はあたかもそこから光が放射しているように像界で広がる。
- 2) また物体上部からレンズ中心 (レンズ厚が無視できない場合には前側主点) に入射する光線は同じ角度で (後側主点から) 射出する。これは正、負レンズどちらの場合にも全く同じである。

3) 上記1) 2)の光線の交点が物体上部の像である。従って、この部分から光軸に下した垂線が像となる。負レンズの場合にはレンズから右には、これら二つの光線の交点が存在しないので、実際には像が存在し得ないレンズの左側に交点が出来、虚像が生じることになる。ただし、像は倒れていない。

これに対し、より一般的な、実際に光線が交わって出来る像は実像と呼ばれる。

3. 様々な結像状態

例題3では負レンズによる虚像に触れたが、虚像は以下に示すように、負レンズばかりが生じせしめるものではなく、正レンズも虚像を形成する場合もある。正のパワーを持つレンズが、物体からレンズの距離を次第に近づけていく様子を図5に示す。物体はレンズ左側に存在し、図では固定してある。レンズ位置からの像位置の計算は(1)式で行うことが出来る。

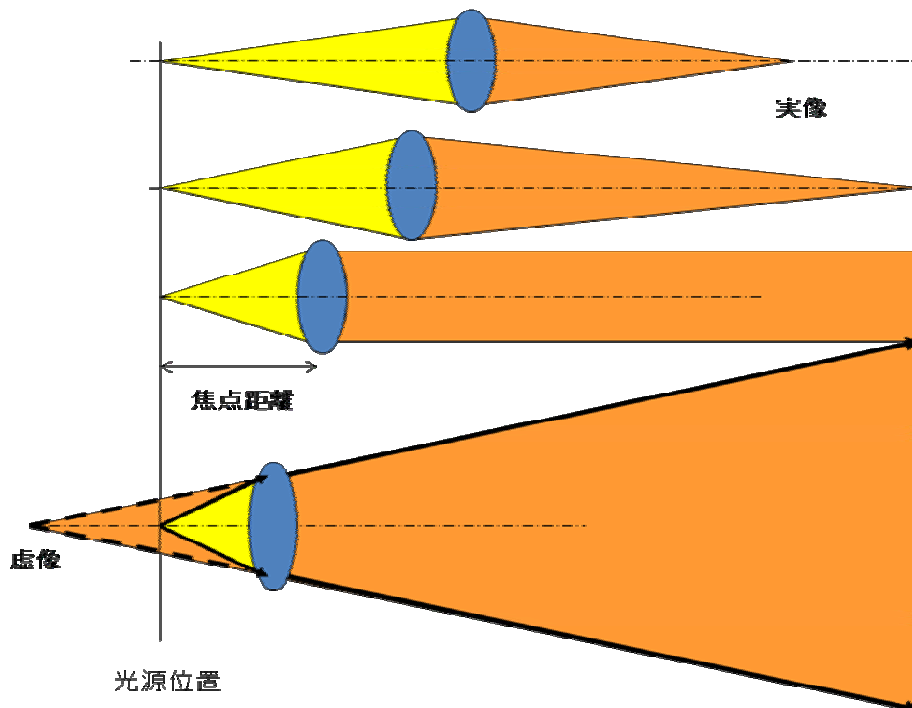


図5 様々な結像状態

物体からレンズの距離が近づくのに従い、(1)式によれば像位置はレンズから遠ざかって行く。そしてついにレンズと物体の距離が焦点距離と同じになった時、像界では光線は互いに交じり合わず、光軸に平行な光線となる。さらに物体とレンズが接近すると（焦点の内側に物体が入り込むと）さらに光線は広がり、レンズの左側に虚像を生むことになる。

光線経路は、光線の方法を入れ替えても（逆方向でも）変化しないので図 5 の場合、物体位置と像位置を入れ替えてもそのまま成り立つ。その場合、左側が像面になるので、物体位置が異なる場合、レンズ位置を変化させて、固定された像面に結像を生じさせている図とも見える。これが一般的なカメラ等における、ピント合わせの仕組みである。

4. 参考図書

- 1) 小倉敏布: 写真レンズの基礎と発展(朝日ソノラマ、東京、1995)
- 2) 高野栄一: レンズデザインガイド(写真工業出版社、東京、1993)
- 3) 永田信一: レンズがわかる本(日本実業出版社、東京、2002)
- 4) 松居吉哉: 結像光学入門(JOEM、東京、1988)