

35mm スライド映写機用レンズ系の設計について

鬼 頭 勇*

Design of Projector Lens System for 35mm Slide Film

Isamu Kitou

1. ま え が き

35mm スライド映写機用レンズ系の設計について留意すべき事項を、集光レンズと映写レンズとの関連を含めて、小型映写機用のレンズ系を中心に考察してみた。

2. スライド映写機のレンズ系

図1に示すように、レンズ系は集光レンズと映写レンズにより成り立ち、光源ランプを發した光は集光レンズにより映写レンズの主点位置に光源像をつくり、集光レンズ直後のスライドは映写レンズによりスクリーン上に映し出される。すなわち、スライドの照明は Köhler 照明によっている。なお、反射鏡は凹球面鏡で、球面中心は光源ランプのフィラメントの位置と一致させて光量の増大をはかるようにしてある。

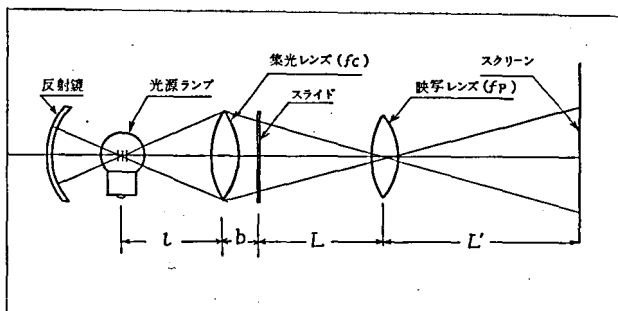


図1

3. 集光レンズについて

3-1 レンズ系の構成

集光レンズはふつう図2のような2枚構成か、図3のような3枚構成のものが使用される。

2枚構成の場合、ランプと第1レンズとの間隔をせまくすると各レンズの焦点距離が短くなり、Aperture を充分に取れなくなるため、その間隔は3枚構成の場合より大きく取る必要がある、そのためにレンズを通過する光量は少い。その点で3枚構成は性能が良いが価格が高くなるので、それを補う意味で第2レンズと第3レンズに同じものを用いることがある。

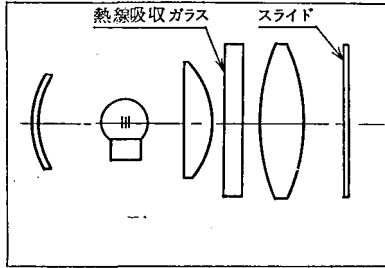


図2

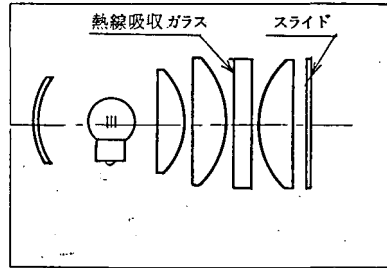


図3

3-2 レンズ設計上の留意点

集光レンズを設計する上で考慮しなければならない諸条件を挙げれば次の通りである。

- (1) 集光レンズによる光源像が映写レンズの主点位置に生ずるようにその焦点距離を定め、照明光束が映写レンズによってなるべく蹴られないようにすること。
- (2) 集光レンズによる光源像の縦の球面収差と縦の色収差とをできる限り小さくして、映写レンズを通過する各輪帯の光量と各色光の光量の平均化をはかること。
- (3) 光源ランプと集光レンズの間隔を小さくして、できる限り照明光束の光量を増すこと。ただし、間隔がせま過ぎる場合、第1レンズの熱膨張で割れる危険があるので注意しなければならない。
- (4) スライド面を一樣に照明できるだけの Aperture を与えること。
- (5) スライド保護のための熱線吸収フィルターを装入すること。
- (6) 光量を増すために光源ランプ背後に凹面鏡を設置すること。

3-3 レンズ寸法の計算

図1において、映写レンズの焦点距離 f_b と常用映写距離 L' とを選定し、返軸計算により、映写レンズとスライドとの距離 L を算出する。次に集光レンズの構成をきめ、レンズ系の全厚さを推定して、集光レンズ主点に対するスライドの位置 b と光源ランプの位置 l とを定めれば、集光レンズの焦点距離 f_c が近軸計算で求められる。

b, l, f_c が求められたならば、集光レンズを構成する各レンズの主点位置を熱線吸収フィルターの厚さを考慮に入れて定め、さらに、球面収差を小さくするため、各レンズにおける光線のフレ角を等しくするよう、一応各レンズの焦点距離を等しく取ることにすれば、2枚構成の場合は図4と次式⁽¹⁾とによって個々のレンズの焦点距離 f_1 と f_2 とが求められる。

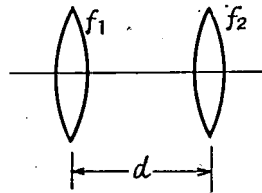


図4

3枚構成の場合は図5と次式とによって、 s_1 と s'_3 を与えれば個々のレンズの焦点距離 f_1, f_2 および f_3 が求められる。

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1}, \quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_2}, \quad \frac{1}{f_3} = \frac{1}{s'_3} - \frac{1}{s_3}$$

$$s_2 = s'_1 - d_1, \quad s_3 = s'_2 - d_2$$

$$f_1 = f_2 = f_3$$

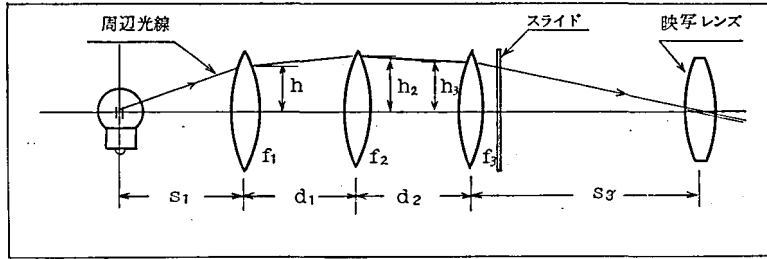


図5

ただし、レンズの主点から物体および像までの距離をそれぞれ s および s' とし、レンズ主点間隔を d とする。

次に、各レンズの直径を定めるために、映写レンズの主点とスライド面内の光軸から最も離れた点を通る光線について集光レンズ系を通して近軸計算を行い、個々のレンズと交わる高さから余裕を与えて直径をきめる。計算法は、たとえば図5の場合、 h_3 を映写レンズの主点とスライド寸法から定めて次の2式を用いて行えばよい。

$$\frac{s_3 + d_2}{s_3} \cdot h_3 = h_2 \quad \frac{s_2 + d_1}{s_2} \cdot h_2 = h_1$$

レンズ直径がきまったならば、レンズに用いる光学ガラスを選択するが、縦の球面収差と色収差を小さくするために高屈折率で高 Abbe 数のものが望まれる。しかし、価格の関係からバリウムクラウンガラス Bak 4 程度のものが用いられる。

以上の計算が済んだならば、各レンズに見合う肉厚を与え、各レンズ面での光線フレ角が大体同じになるように曲率半径をきめ、さらに、各レンズの主点位置を計算した後に光源ランプ、集光系各レンズおよびスライドの間隔を定めて収差計算を行う。

収差計算は C 、 d および F 線の各色光について縦の球面収差計算をいくつかの輪帯について行いレンズ系の補正をする。計算は三角追跡によるか、または、この場合には3次収差が支配的なので一つの方法として図6の記号を用い、次式⁽¹⁾によって3次収差量 $\Delta s'_k$ を計算してもよい。

$$\Delta s'_k = \frac{-s'_{ok}{}^2}{2n'_i h^2} \cdot \sum_{i=1}^k h_i^4 \cdot Q_{si}^2 \cdot \Delta \left(\frac{1}{ns} \right)_i$$

ただし、

$$Q_{si} = n_i \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{s_{oi}} \right),$$

$$\Delta \left(\frac{1}{ns} \right)_i = \frac{1}{n_i s_{oi}} - \frac{1}{n'_i s'_{oi}}, \quad h_i = s_{oi} u_{oi}$$

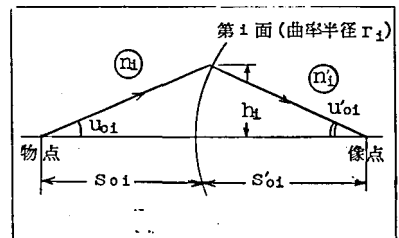


図6

であって、 n_i と n'_i とはそれぞれ第 i 面の物体側と像側の屈折率、 r_i は第 i 面の球面半径、 s_{oi} と s'_{oi} はそれぞれ球面から物点と像点までの近軸計算による距離をあらわす。

収差計算の別法としては図式計算法⁽²⁾があり、この方法は簡便でありまた精度も悪くない上に、映写レンズを通過する光量の関係が図の上でつかめるので、映写レンズの口径を決定する場合にも都合がよい。図7に画法を示す。図において、 n と n' は屈折面前後の屈折率で、光軸上に中心をもち半径が n と n' に比例する2つの円をかき、円の中心 P から入射

光線 AE に平行に PA' を引き、屈折面の中心 O と光線の入射点 E とを結ぶ直線 EO に平行に A'B' を引く。次に PB' に平行に EB を引けばこれが屈折光線となる。図 8* はこの方法による具体例である。この図の中には各輪帯からの光による光源の像を、図において光線と光軸とがなす角を測って求めた角倍率によって、大きさを求めて図示してあり、各像の両端と最終レンズ面におけるそれぞれの輪帯とを結ぶことによって、集光レンズ通過後の光束の大きさを知ることができる。

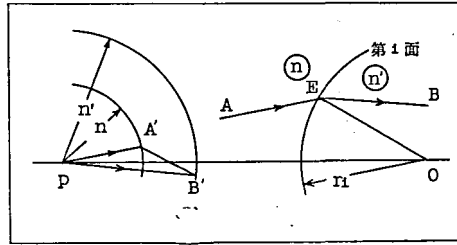


図 7

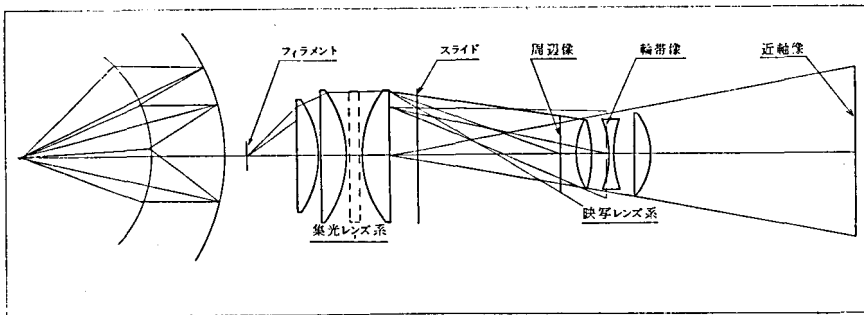


図 8

このようにして、縦の球面収差を知って最小錯乱円の位置を求め、映写レンズの主点がある位置にあるかどうかを確認する。それらの位置に差があるときは集光レンズの焦点距離を変更して修正する。

4. 映写レンズについて

映写レンズ系にはふつう図 9 のような写真機用 Cooke 型のレンズが用いられる。絞りは固定絞りで、その位置は中央の凹レンズのスクリーン側の面に接して定める。レンズの F ナンバーの決定は図 8 によって行う。すなわち、集光レンズを出た光束が図に示されているので、この光束が映写レンズによってなるべく亂られないよう図の上でレンズの口径をきめて、スクリーン面の照度ムラや画像の着色を避ける。このとき、集光レンズの焦点距離を加減して F ナンバーを大きくしないで済まされるかどうかを検討することも必要である。なお、映写レンズの収差補正は常用映写条件に対するスライドとスクリーン両位置について写真レンズと同じ要領で行う。

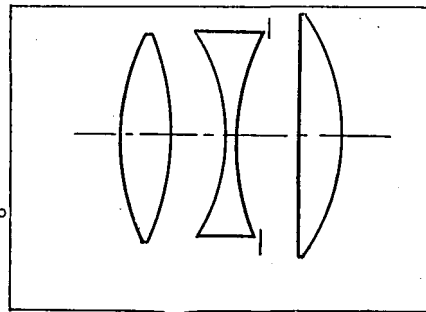


図 9

* 図 8 では熱線吸収ガラスは除外して、収差への影響を無視してある。

5. レンズ系の例

集光レンズに3枚構成を、映写レンズに Cooke 型を使用した場合の具体例をそれぞれ図10および図9に従って表1に示す。なお、映写レンズについては特殊な光学ガラスを用いることを必要としない。

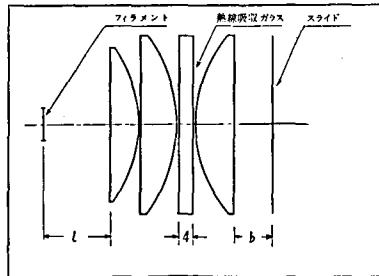


図10

表1

(単位mm)

集光レンズ			
$f_c=27.9$	$l=-19.5$	$b=11.0$	
$r_1=\infty$			
$r_2=-40.0$	$d_1=8.5$	$\phi_1=45.0$	$G_1=\text{Bak4}$
$r_3=\infty$	$d_2=0.5$		
$r_4=-44.0$	$d_3=10.4$	$\phi_2=52.0$	$G_2=\text{Bak4}$
$r_5=\infty$	$d_4^*=6.4$		
$r_6=+41.5$	$d_5=10.7$	$\phi_3=52.0$	$G_3=\text{Bak4}$
映写レンズ			
$f_p=80.0$	Fナンバ: 2.5		
$r_1=+36.8$	$d_1=4.5$	$\phi_1=27.0$	$G_1=\text{SK4}$
$r_2=-96.5$	$d_2=7.5$		
$r_3=-28.7$	$d_3=2.0$	$\phi_2=27.0$	$G_2=\text{SF2}$
$r_4=+46.7$	$d_4=8.0$		
$r_5=\infty$	$d_5=6.0$	$\phi_3=32.0$	$G_3=\text{SK4}$
$r_6=-28.4$			

*耐熱ガラスの厚さ4mmを含む。

6. おわりに

35mmスライド映写機用レンズ系、とくに集光レンズ系を中心に設計上考慮すべき事柄をまとめてみた。何等かの参考になれば幸いと思う次第である。

参考文献

- (1) 久保田 広: 光学, 岩波書店
- (2) L.C.Martin: Technical Optics, Vol. I, Pitman&Sons

(44. 9. 20 受理)