

第 1 章

光学設計の概念

1-1 光学設計とは、そもそも光学系とは

これから、光学設計についてご説明します。光学設計とは一般的には、レンズ設計のことです。レンズだけではなく光を反射する鏡を用いる場合もあるので、より一般的に「光学設計」と呼ばれています。

この本を手にとられている方は、多少なりとも光学設計の必要性をご存知だと思いますが、光学設計という技術で何ができるのか、最初に大まかにお話しさせていただきます。

簡単に言えば、光学設計とは、レンズとかミラーを含む光学系を設計することなのですが、実はこのレンズ、設計において設計者が設計で決められる要素は意外に少ないのです。図1 (a) (b) をご覧ください。基本的なレンズの組み合わせによる光学系の構造です。これをどう駆動するか、どうレンズを保持するのかに応じて複雑な機構、電気・電子部品が付加されますが、像を形成するという光学的な本質からすると、このような単純な形に行き着きます。

幾つかのレンズが並んでいて、光の通り道の太さを変えられる絞りが内在しています。そしてここまでは光学設計者が関与しなければならないのですが、いろ

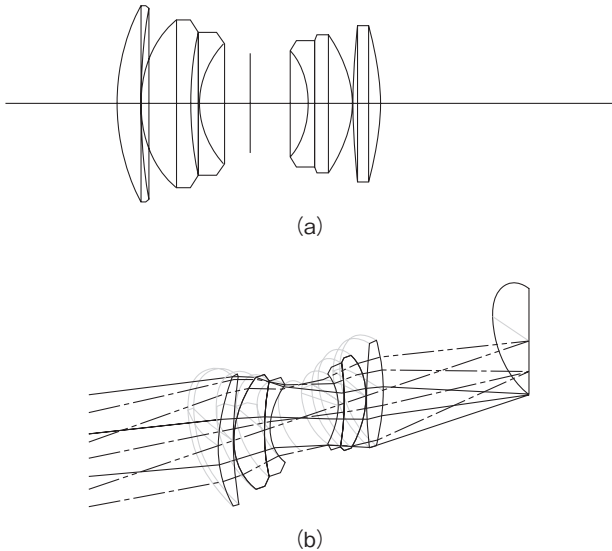


図1 基本的なレンズの組み合わせ構造

いろな距離にある物体の像を、フィルム、撮像素子に映したければ、光学系全体、あるいはその一部を被写体から適当に遠ざけたり、近づけたりすることも考えなければなりません。いわゆるピント調整です。レンズはこうした単純な要素でできているので、設計者のできることは限られてきます。

それではレンズとは単体で考えるとどのようなものでしょう。図2をご覧ください。透明なガラスの円柱の両底面に曲率が付いているシンプルなものです。曲面は多くの場合、球面の一部です。最近は球面から少し離れた形状を持つ非球面もよく用いられて、大きな成果を上げていますが、とりあえず光学設計の基本を知る上では球面と考えていただいて十分です（本書では球面のレンズにより構成された、光軸に対して回転対称な光学系を主な対象として解説します）。そしてこれら回転対称な要素が共通の回転対称軸（光軸と呼ばれる）を中心として一定の間隔をおいて配置されます。

いずれにしても、この曲面の形状、そして径と、面と面との間隔、そしてガラスの種類しか、設計者はコントロールすることはできないのです。さらに、光学系全体で考えても、レンズ同志の間隔、絞りや、光線をカットする遮光板の径や位置、ピント調節のためのレンズ群の移動のしかた以外は、設計で変更できることは一般的にはないのです（図3）。これらの要素を適切に決定していくことにより、目標の光学系性能を実現させる、これが光学設計です。

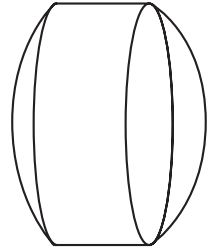


図2 シンプルなレンズ

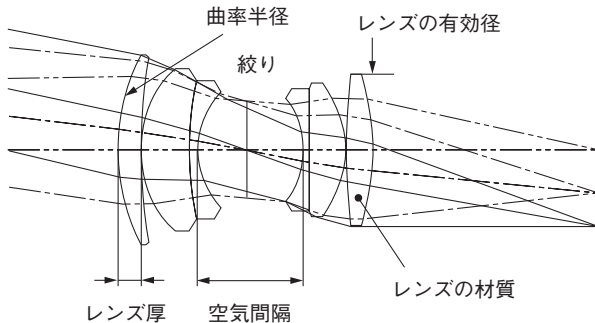


図3 光学系の構造

1-2 光学系が実現すること

光学系の働きとはどのようなものでしょうか。様々な場面でその結果を我々は必要とし、光学系を用いています。

(1) 結像 (図1)

カメラ等で写真を撮ることは、被写体の像をフィルム、あるいは CCD、CMOS のような撮像素子上に得ることです。その逆にプロジェクターのようにスライドや液晶画面を像として大きく映し出す場合もあります。

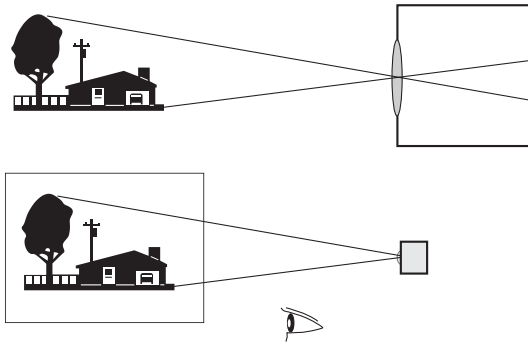


図1 結像させる

(2) 拡大してみせる (図2)

顕微鏡、望遠鏡やルーペ等には、観察する人間の眼に被写体の像を見せる役割があります。人間に見せるため、というところで、構造上も結像系とは異なってきます。拡大して見せるだけではなく、人間の眼がピントを合わせやすい光を出さなくてはなりません。人間の眼を光学系の中に入れてしまえば、網膜を像面とした結像系と考えることもできます。

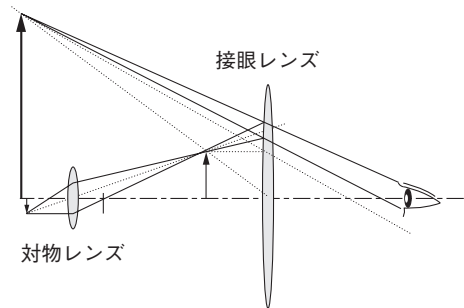


図2 顕微鏡で拡大して見る

(3) 照明 (図3)

光源からの光を照射し、所望のところを明るく照らす照明系、この役割にもレ

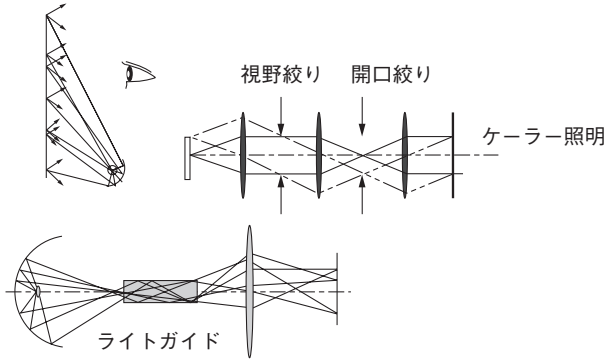


図3 照明する

レンズや鏡で構成される照明系が用いられることになります。顕微鏡からパソコン等の表示画面、そして自動車のヘッドライトにまで、多くの領域で必要とされています。

(4) 投光 (図4)

照明と似ていますが、何か特定の被照明物を照らすのではなく、光を放って、見る人あるいはセンサに何

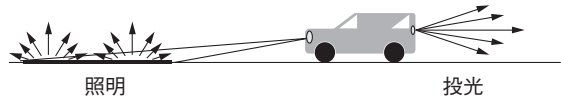


図4 投光する

らかの情報を与えるしくみが投光系です。自動車のテールランプ、信号灯等がその代表的なものです。

(3)、(4)の役割についての設計は、これまでは副次的なものでしたが、今日重要性が増しています。LED光源の普及も相まって、照明系、投光系に高い品位が求められ、多様な場面での対応が求められるからです。また照明系で照明した被写体を結像系で像にするという、体系立てた考え方の設計がより効率的なことは言うまでもなく、その際にも照明系設計は重要となります。

しかし、これら照明系・投光系光学設計については、それだけで十分単行本1冊程度の内容がありますので、詳説は別の機会に譲り、本書では主に(1)、(2)の役割について扱います。結像系理論は光学設計の基本で、何はさておき重要であり、また照明系光学設計の基礎ともなるものです。被写体、あるいは光源からの光を、光学系を通してどこかに導く、という光学系の本質には何も変わりはありません。

1-3 光学設計における結像評価の考え方

光学系を設計する場合、特にそのうちの結像光学系を設計する場合に、光学系の性能の良し悪しを判断することは、そこから得られる画像の良し悪しを判断することに他なりません。その画像の評価の考え方について説明させていただきます。

画像を作る場合には、その対象となる被写体というものが存在します。平面の対象でもあり、人の顔でもあり、非常に遠方の風景かもしれません。光学設計ではこうした被写体を全て点の集まりと考えてしまいます（図1、2）。微小な画素と考えてもよいかもしれませんが、それらが自ら、あるいは何かに照明されて光っているのです。

そうした点光源からの光がどのように、どの場所に、光学系を通じて再び点として集結するか、これを評価します。そしてこの評価を結像される被写体上の全ての点光源に行い（無限にあるので実際には全ては不可能ですが）、画面全体の評価を終えます。

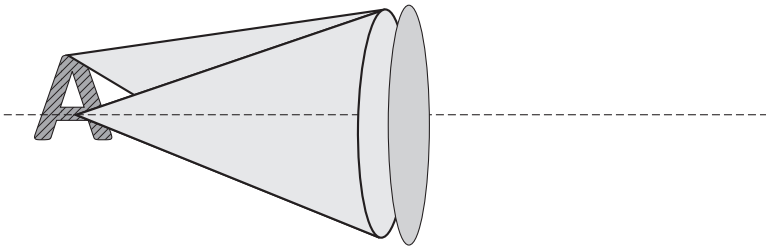


図1 点光源からレンズに入射する光の円錐

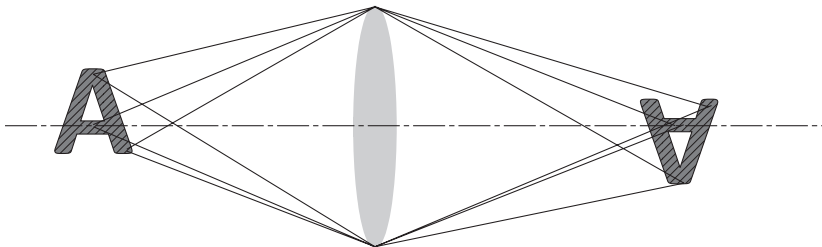


図2 点光源の集合としての被写体