

LED 照明ノーツ 38

レンズを使う 25

<フレネルレンズについて>

今回は少し話しの方向を変えてフレネルレンズ (Fresnel Lens) を取り上げさせて戴きたい。フレネルレンズと言うものは照明系に主に使われるものであるが、結像光学系としての役割も果たせる。光学レンズとしては変わり種ではあるが、ごく一般的に設計され、大量に製造されているものでもある。

1. フレネルレンズとは

例えば投光照明系等において、非常に明るい F ナンバーのレンズを用い、効率を上げたい際には、灯台における様な大規模な装置においては、図 1 にある様な、

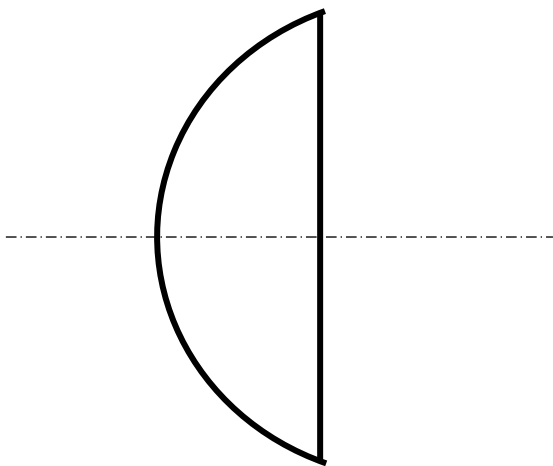


図 1 コロコロとした形状の大口径比レンズ

コロコロとした形状の単レンズが検討の対象となる。多くの枚数のレンズを使用してパワーを分担することが、大きさ、重量の問題からは困難なのである。ところが、図1のレンズは例えば直径が1mもあれば、重量も相当なものになるし、製造にも困難が伴い、実用化のためには工夫が必要になる。そこで、図2にある様にレンズを同心円状に cut して考えてみる。

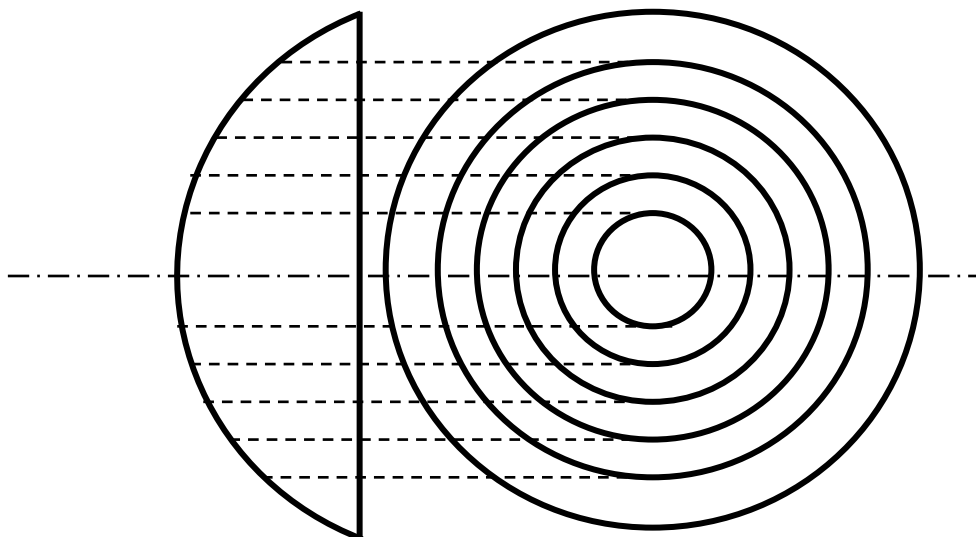


図2 大口径比レンズを分割する

そして、図3にある様に、さらに曲面の先端の部分のみきりだして考えてみる。

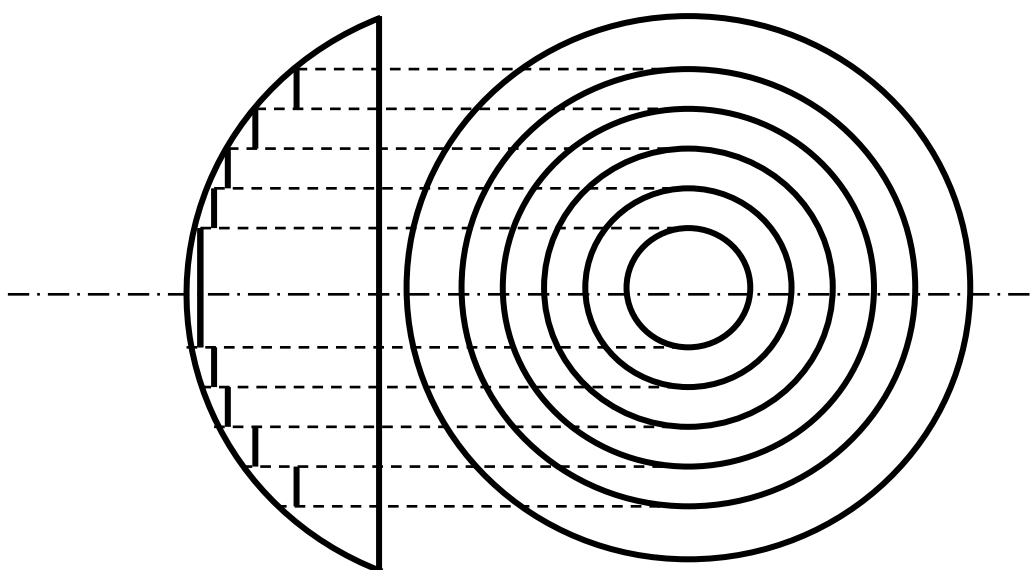


図3 大口径比単レンズをさらに分割する

レンズの球面の部分が屈折に影響すると考え、その部分だけきりだして、円柱の部分を除いてしまい、さらに球表面の部分を断面図上では直線と近似してしまえば（実際には円錐側面。図では最周辺と中央部は球面になっている。）図4のような形状が得られる。

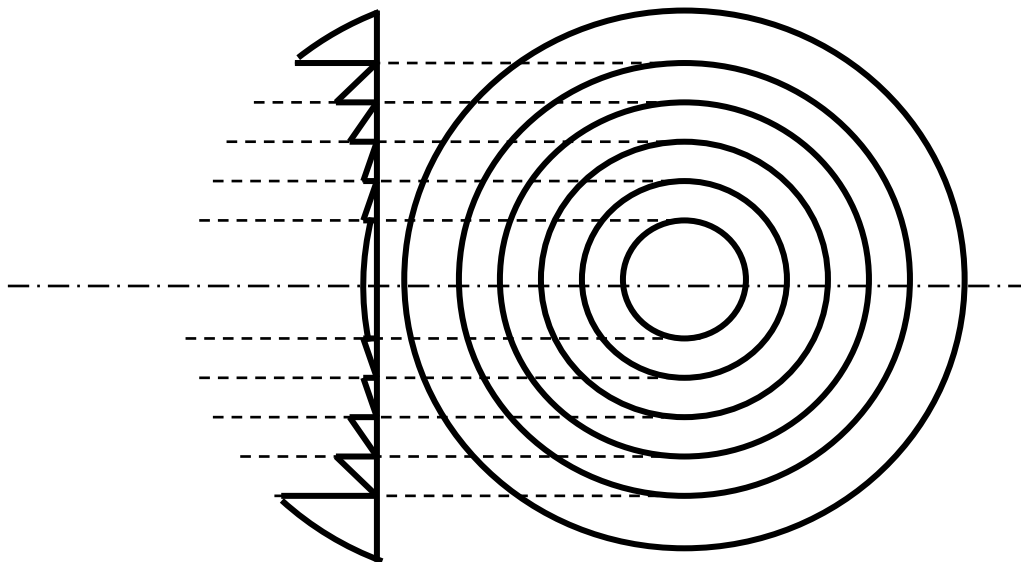


図4 フレネルレンズの完成

このレンズには図1のレンズの持つ基本的な屈折力に同等なものは存在しているはずである。勿論斜めに入ってくる光束にうまく対応できない（ギャップの位置に光りが来てしまうと）などの欠点は持ち合わせているが、照明系用等としては、コスト的な面も含め、図1と比べて非常に合理的な構造になる。

2. フレネルレンズの像位置と頂角の関係

ここで、図5にある様に、図4のフレネルレンズを前後逆に配置して、そのひと山による（一つのゾーンによる）光線の屈折について定式化してみよう¹⁾。レンズの媒質の屈折率は n とし、諸量は図5にある通りで、 Y は光線の入射の高さである。物体側の面は光軸に直交する平面とすることになる。メリディオナル断面内ではプリズムの屈折と同じになる。

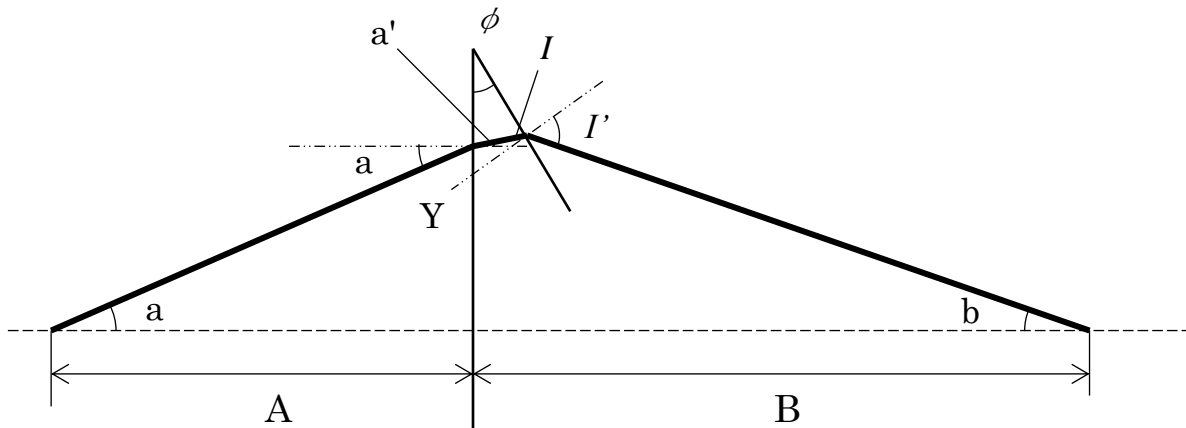


図5 フレネルレンズを通過する光線

図から

$$\pi - a' - \left(I + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\pi}{2} - \phi$$

$$I = \phi - a' \quad (1)$$

また、

$$I' - b = \phi$$

$$I' = \phi + b \quad (2)$$

となる。ここで

$$\sin I' = n \sin I \quad (3)$$

の関係があるので(1)(2)式を代入して、加法定理から

$$\sin \phi \cos b + \cos \phi \sin b = n \sin \phi \cos a' - n \cos \phi \sin a' \quad (4)$$

(4) 式の辺々を $\cos \phi$ で割って、

$$\tan \phi \cos b + \sin b = n \tan \phi \cos a' - n \sin a'$$

$$\tan \phi \cos b - n \tan \phi \cos a' = -n \sin a' - \sin b$$

$$\tan \phi = \frac{n \sin a' + \sin b}{n \cos a' - \cos b}$$

ここで、

$$n \sin a' = \sin a$$

なので、

$$\tan \phi = \frac{\sin a + \sin b}{n \cos a' - \cos b} \quad (5)$$

と出来る。一般的に Y に比べて距離 A, B は大きな値なので、

$$A \tan a \approx B \tan b \approx Y \quad (6)$$

と出来て、光源位置 A、像位置 B、そして入射高さ Y が決められれば、各ゾーンの頂角 ϕ が求められることになる。実際には一つのゾーンには幅があるのでそこで、Y も変化する。従って、ゾーン内の光線で像位置も微妙に異なることになり、あまり (6) 式の近似を心配してもこのままでは意味がない。

3. 参考文献

- [1]R.Kingslake:Optical System Design(Academic Press、New York、1983),p.38
[2]中川治平:レンズ設計工学(東海大学出版会、東京、1986),p.190

執筆者：牛山 善太
博士（工学）
元東海大学工学部光・画像工学科（レンズ設計）非常勤講師
（株）タイコ 代表取締役
（株）オプティカルソリューションズ 顧問

提供：

株式会社オプティカルソリューションズ

TEL: **03-5833-1332**

Mail: info@osc-japan.com

Web: <http://www.osc-japan.com>

〒101-0032

東京都千代田区岩本町 2-15-8 MAS 三田ビル 3 階