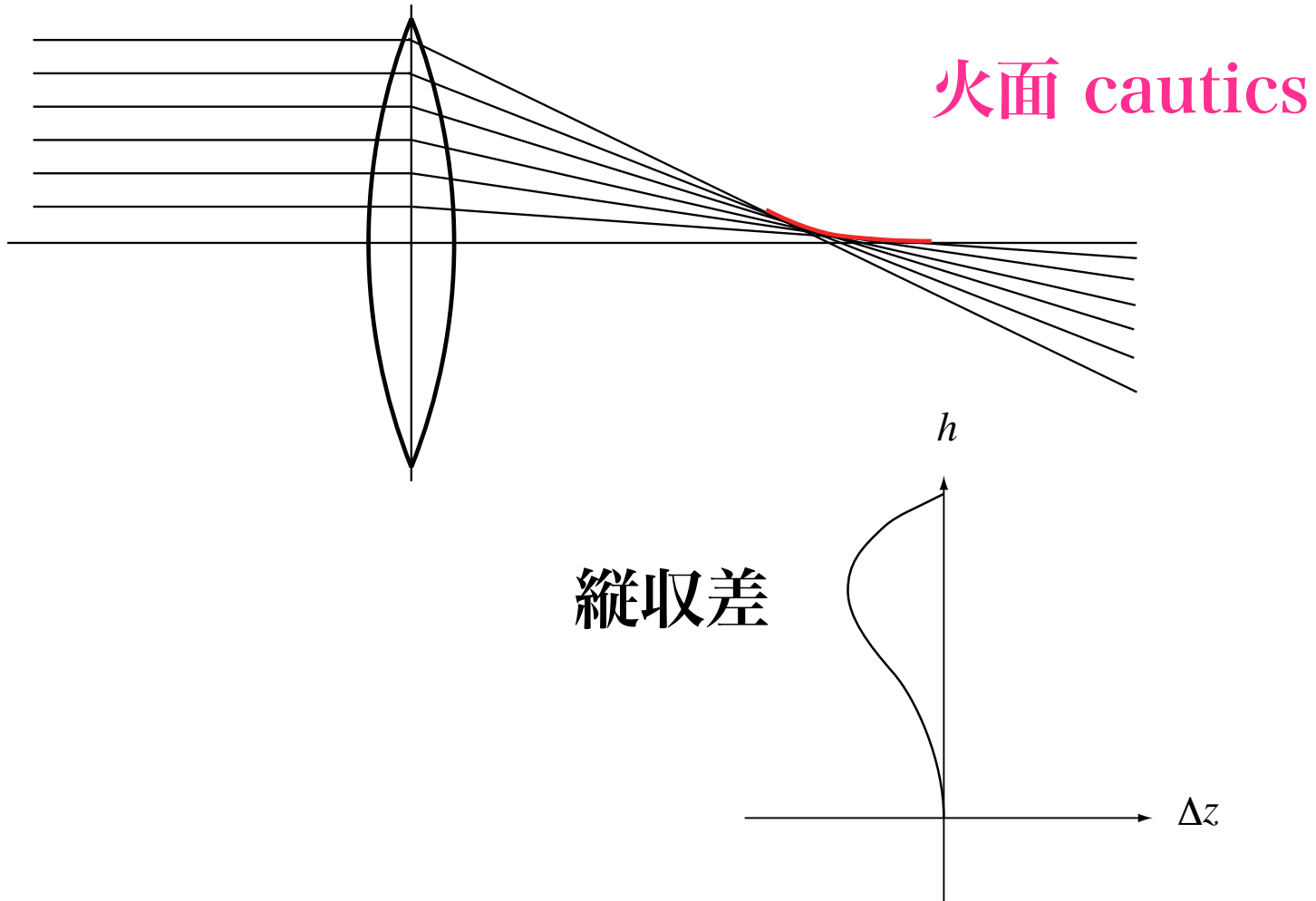


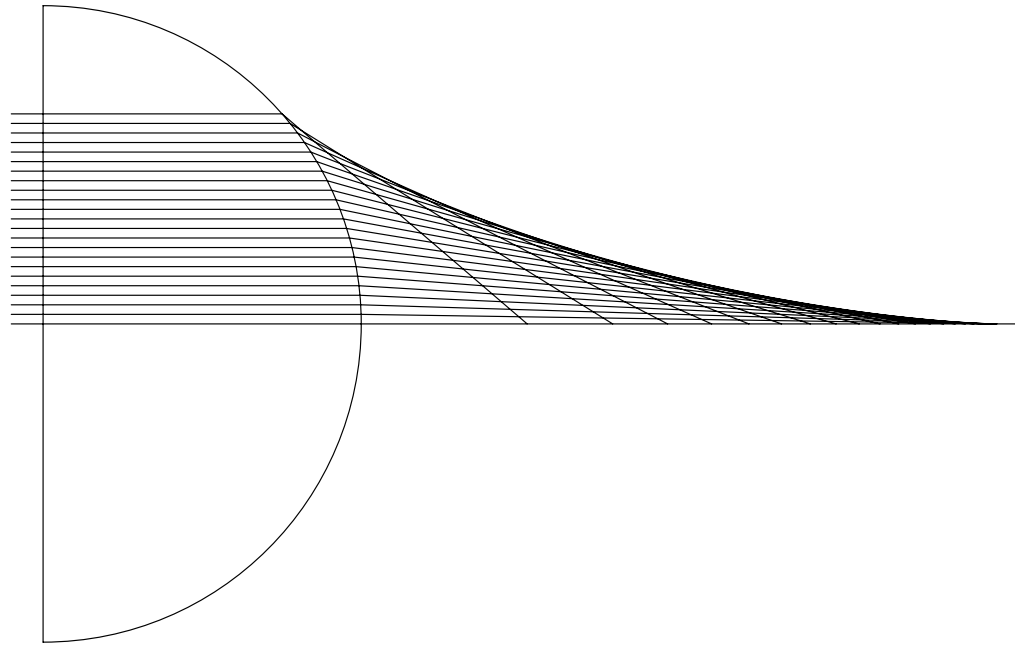
光学 第5章

収差

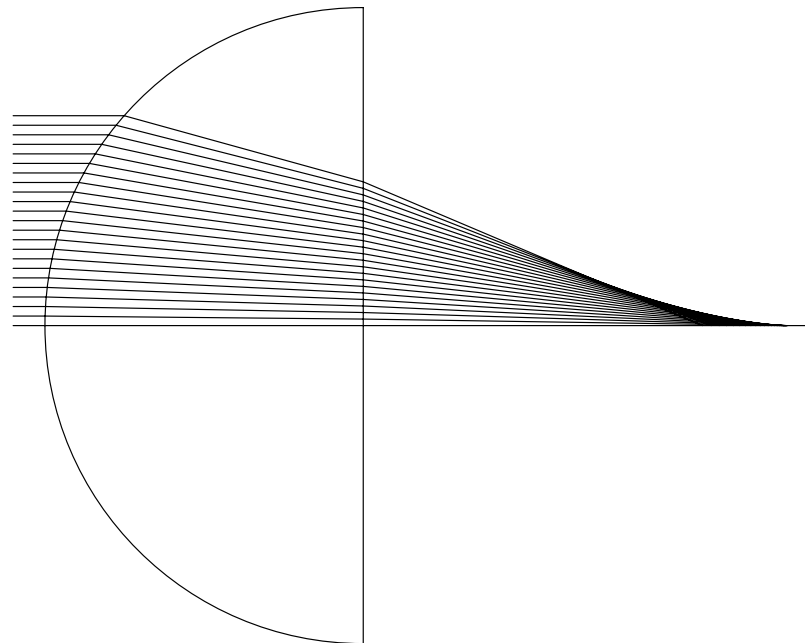
球面収差



半球レンズ



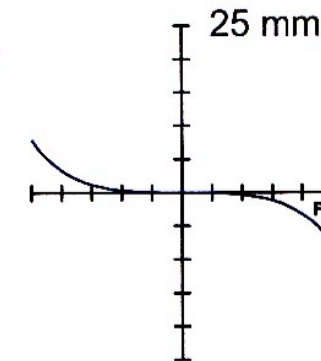
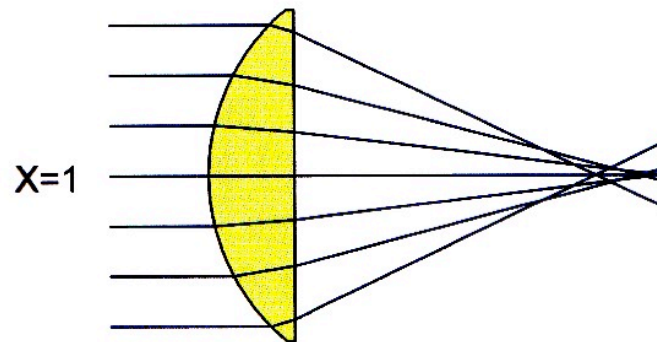
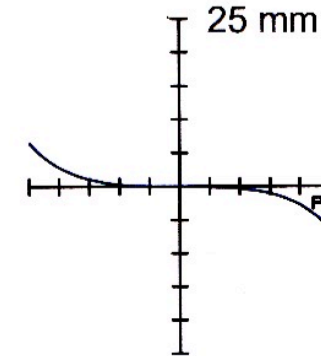
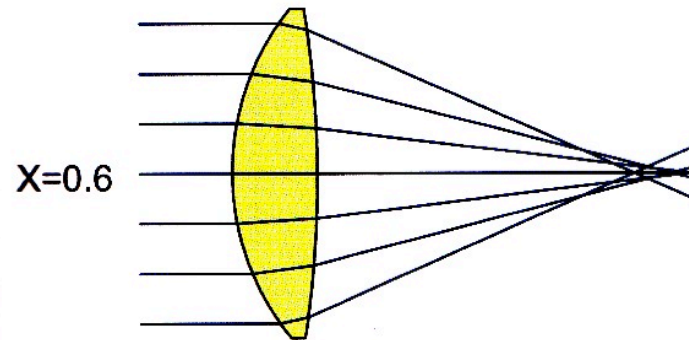
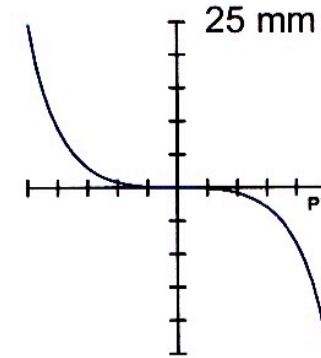
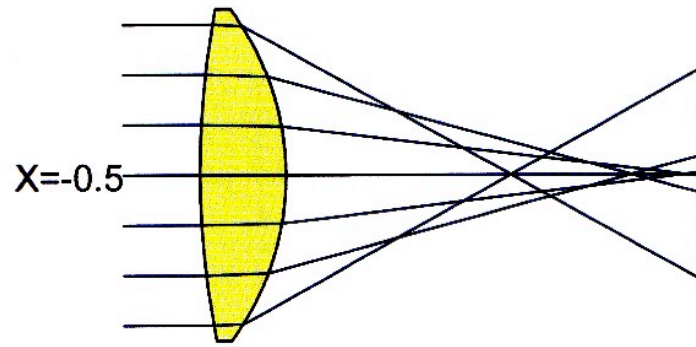
屈折 1 回



屈折 2 回

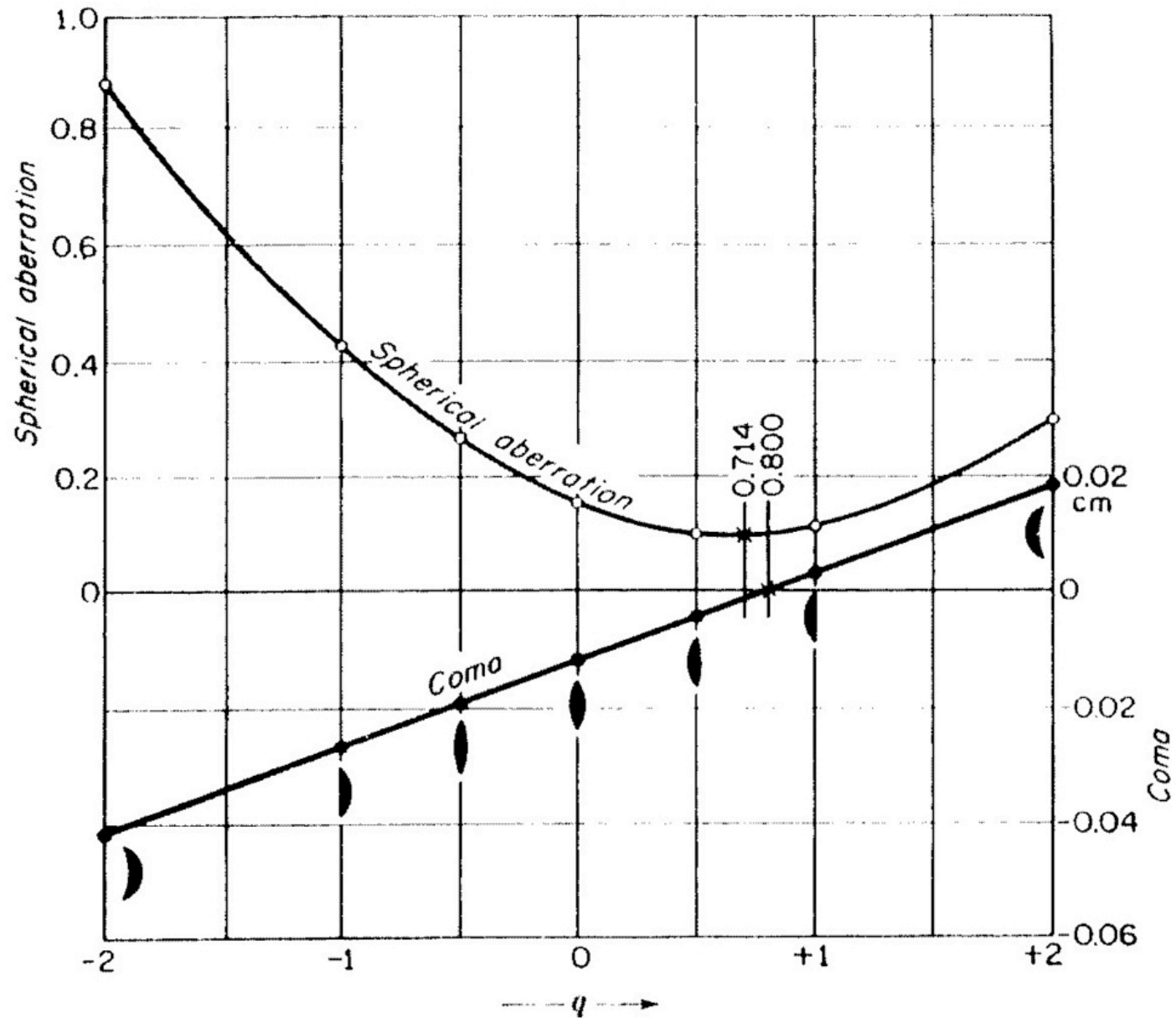
単レンズのベンディング

Transverse aberration



$f = 100\text{mm}$
 $F/1.4$

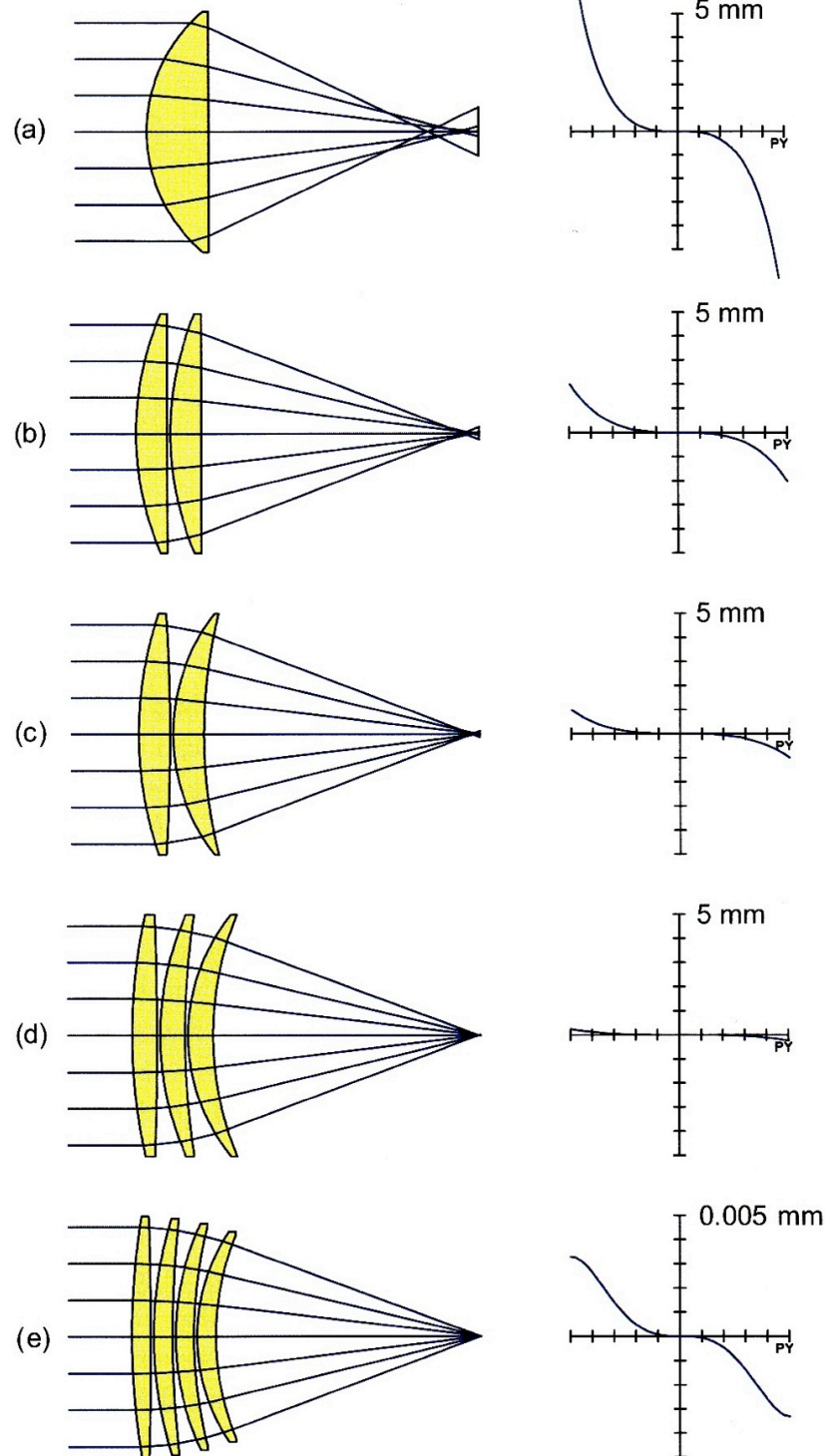
単レンズの球面収差, コマ収差



F. A. Jenkins and H. E. White: Fundamentals of Optics, 4th ed. (McGraw-Hill, 1976).

球面収差 の補正

$f = 100\text{mm}$
 $F/1.4$



改良度

1/4

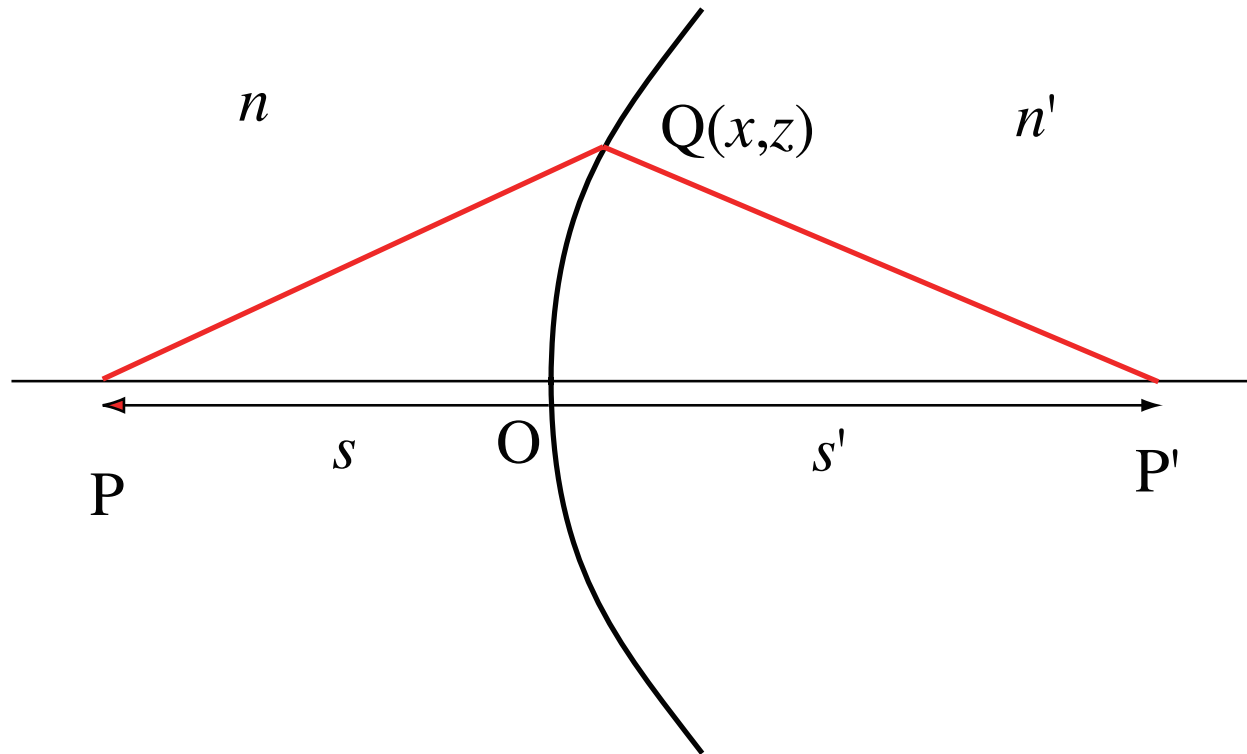
1/2

1/4

1/75

完全結像 デカルトの卵形面

P点からP'点へ無収差で結像する面



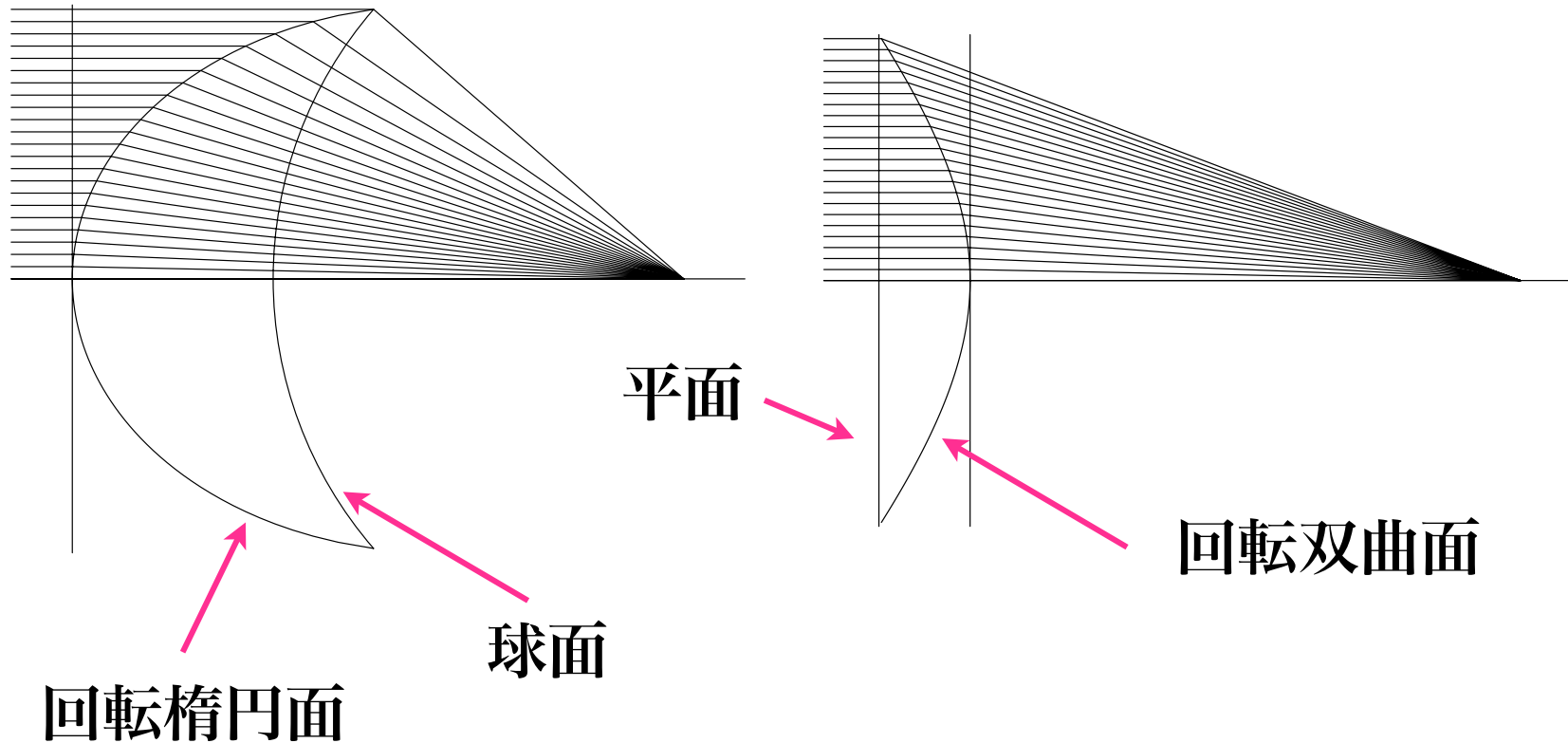
Fermatの原理より，光路長は全て等しい

$$L = -ns\sqrt{\left(1 - \frac{z}{s}\right)^2 + \frac{x^2}{s^2}} + n's'\sqrt{\left(1 - \frac{z'}{s'}\right)^2 + \frac{x^2}{s'^2}} = -ns + n's'$$

2次曲面になる場合

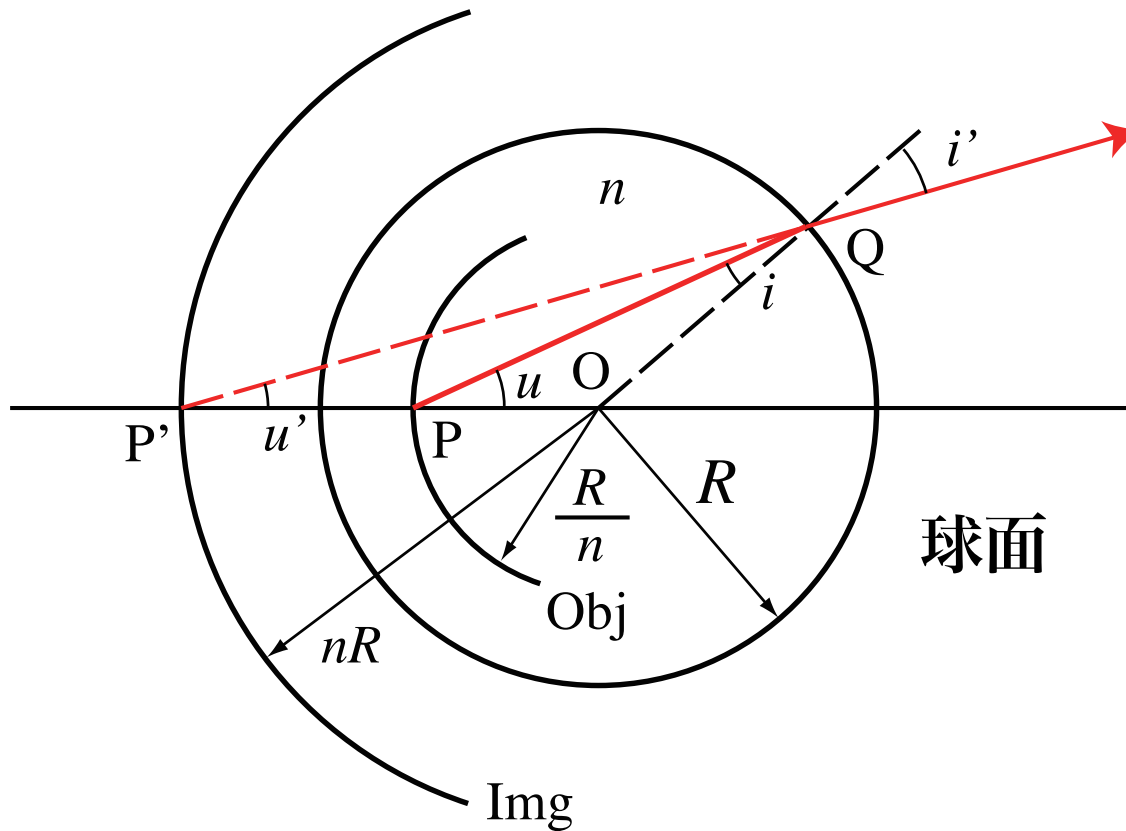
- 物点 = 像点
 - 球面
- 物点（像点）が無限遠
 - 楕円面または双曲面
- $n's' = ns$ の場合（不遊点）
 - 球面
 - 物体球面から像球面へ完全結像が実現
 - 虚の結像に限られる
 - 顕微鏡の対物レンズに応用

無収差非球面レンズ



一点だけ無収差で結像しても，周囲の点がぼけてしまっ
てしまっっては，画像の結像には使えない

不遊点 aplanatic point



物体面と像面が，同心球面
球面間で完全結像

顕微鏡対物レンズ

不遊点結像の応用
実像結像はできない
無収差でNAを小さくできる

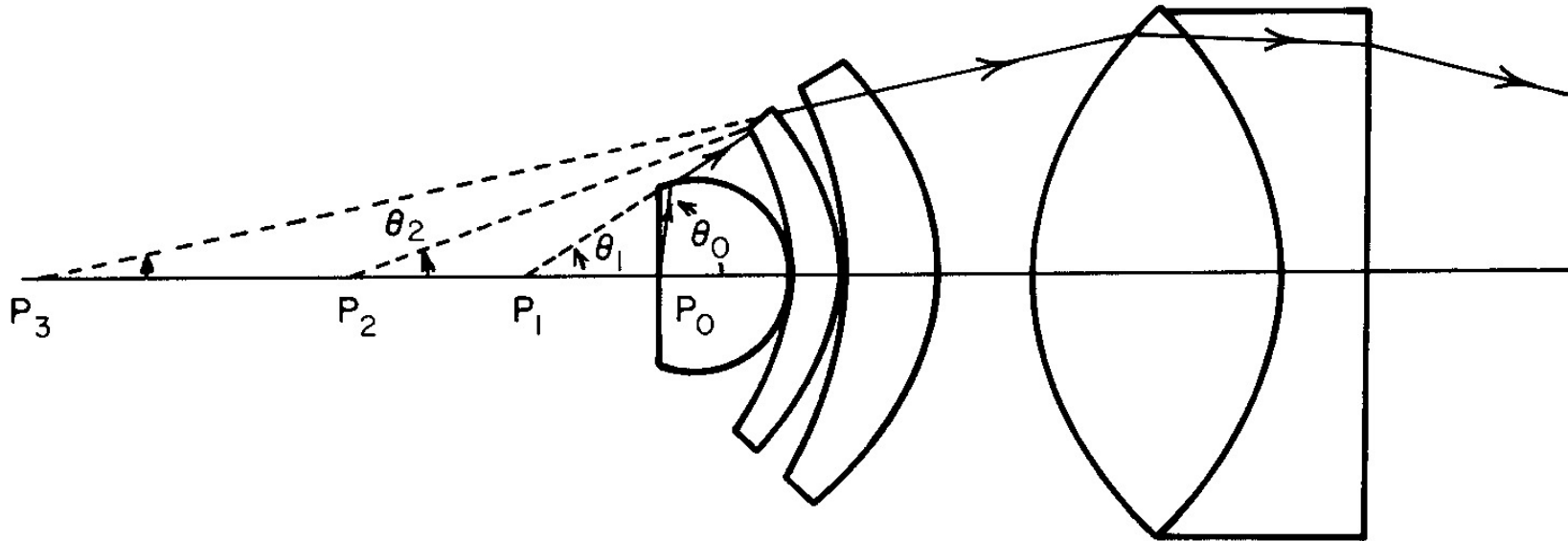
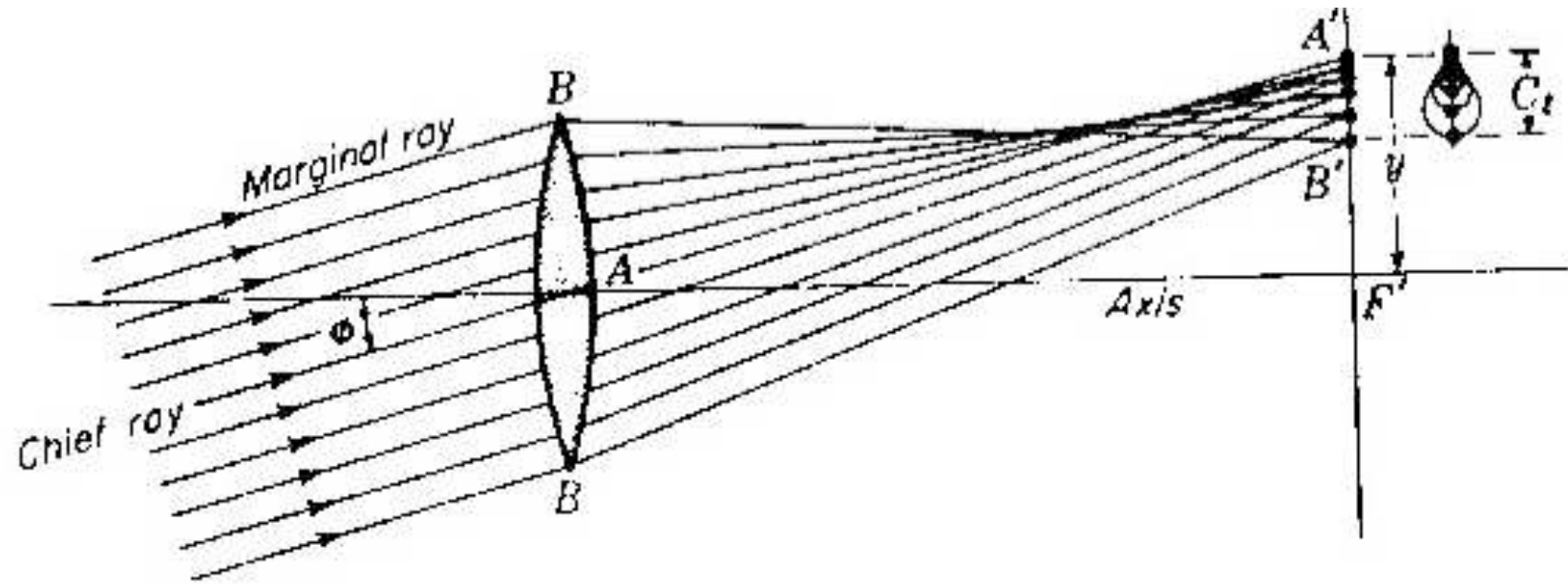


Figure 80

コマ収差



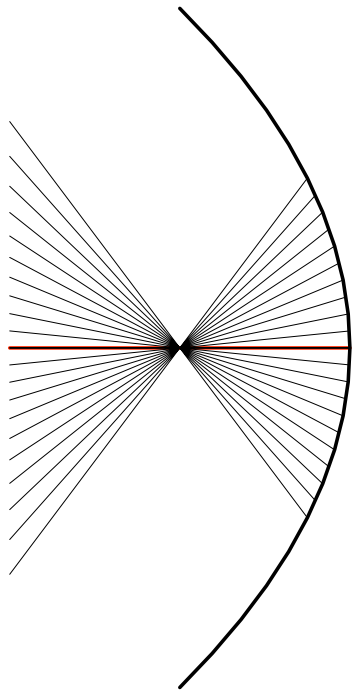
Aを通る光線が作る像の位置：A'

Bを通る光線が作る像の位置：B'

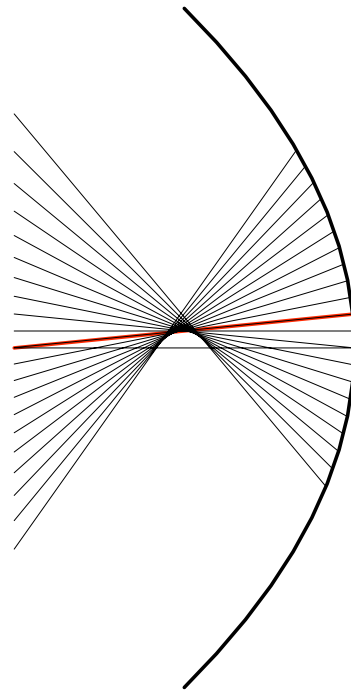
レンズを通る光線の位置によって

倍率が異なる

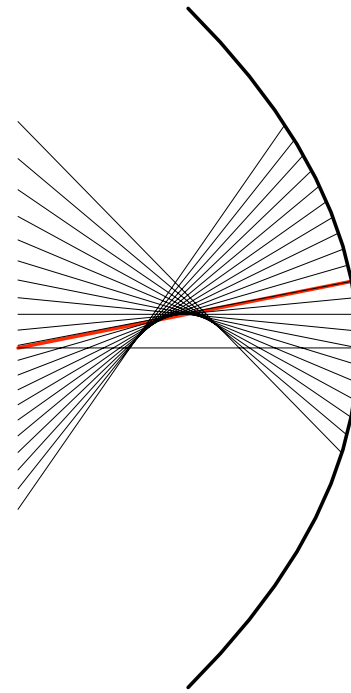
放物面鏡のコマ収差



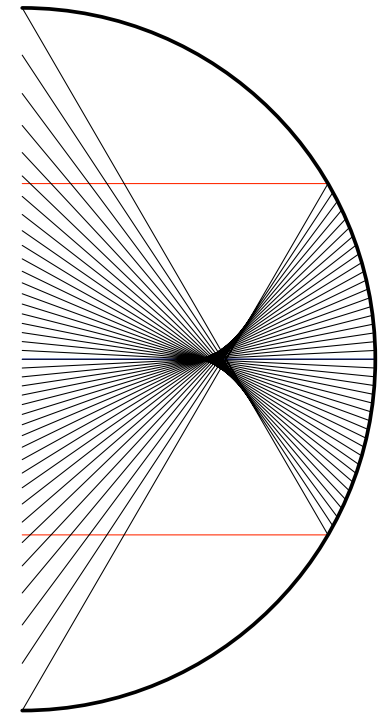
$\tan \theta = 0$



$\tan \theta = 0.1$

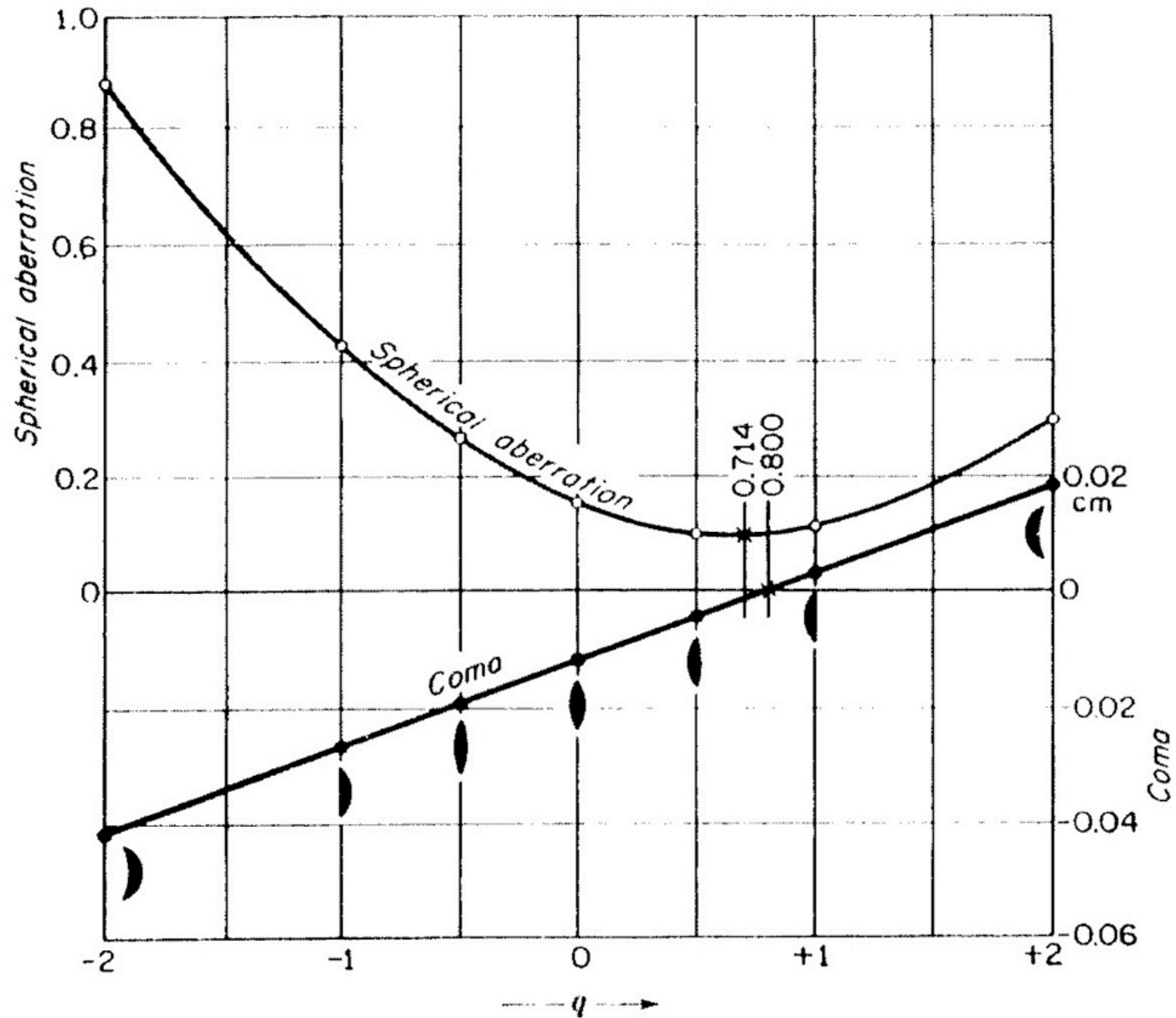


$\tan \theta = 0.2$



球面鏡

単レンズの球面収差, コマ収差



F. A. Jenkins and H. E. White: Fundamentals of Optics, 4th ed. (McGraw-Hill, 1976).

正弦条件

球面収差が補正された光学系で
コマ収差がない条件

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \beta \quad \text{横倍率}$$

物体が無限遠

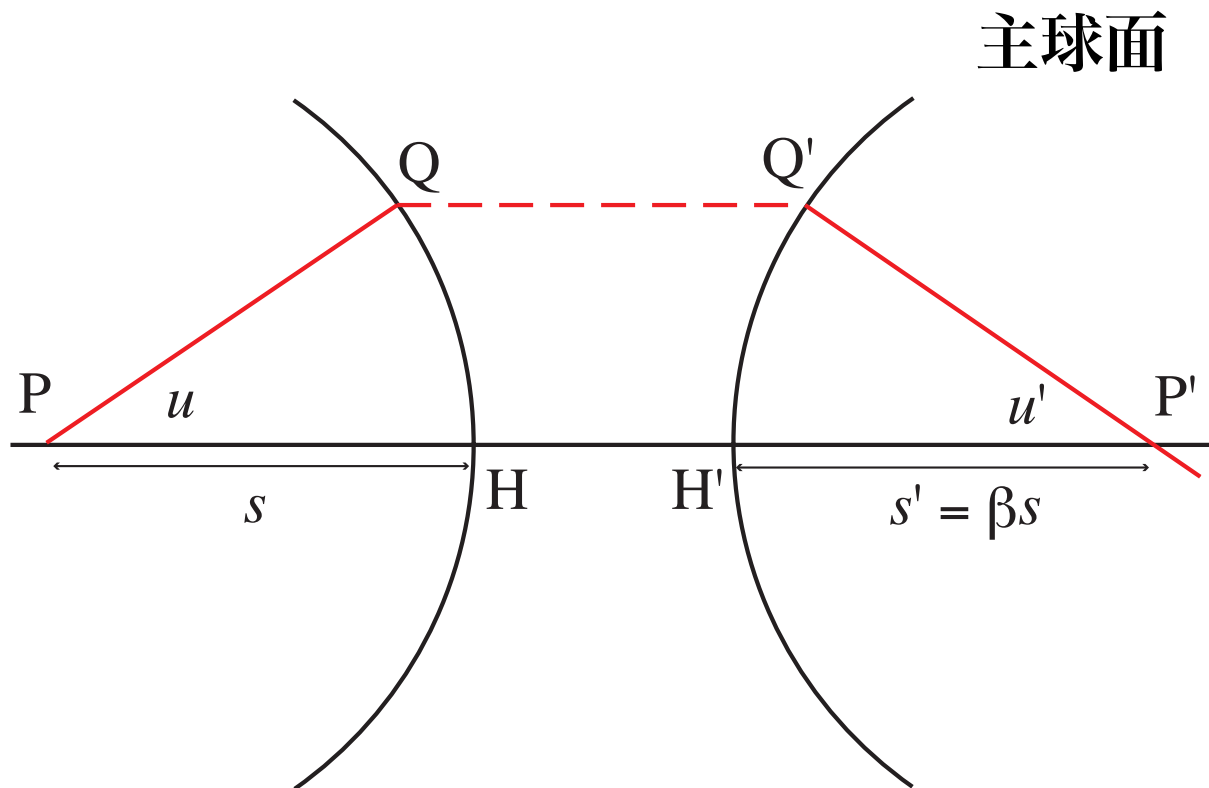
$$x = -f \sin u'$$

焦点距離

正弦条件 1

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \beta$$

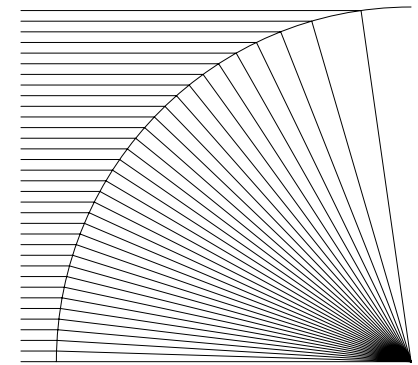
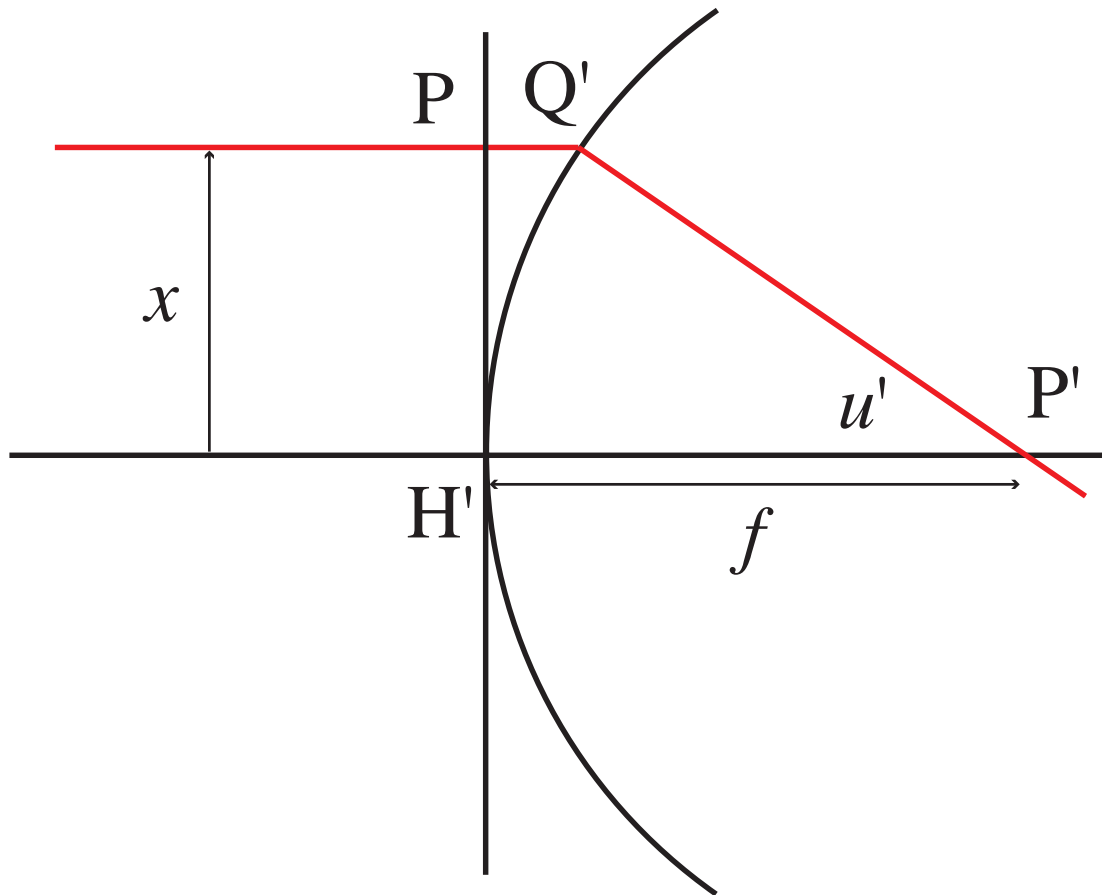
$$x = -f \sin u'$$



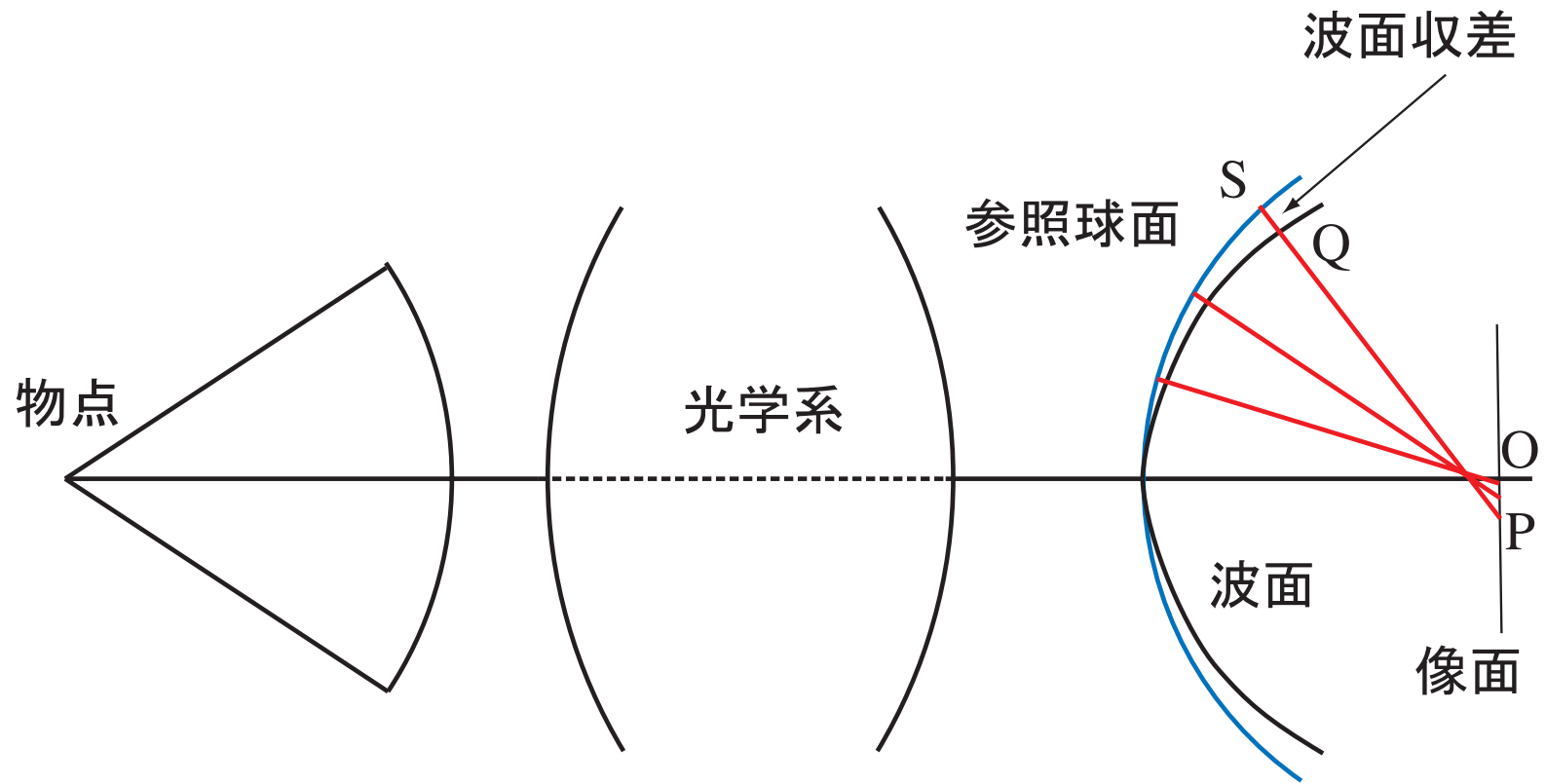
正弦条件 2

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \beta$$

$$x = -f \sin u'$$



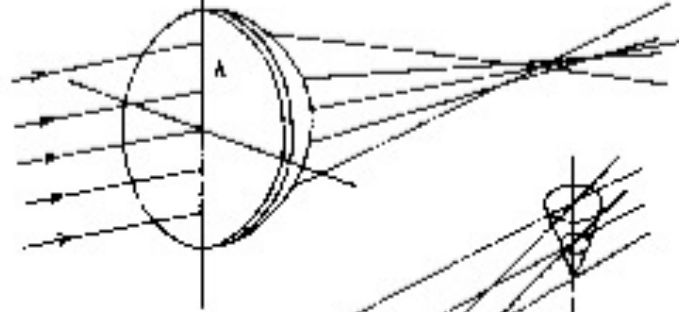
波面収差



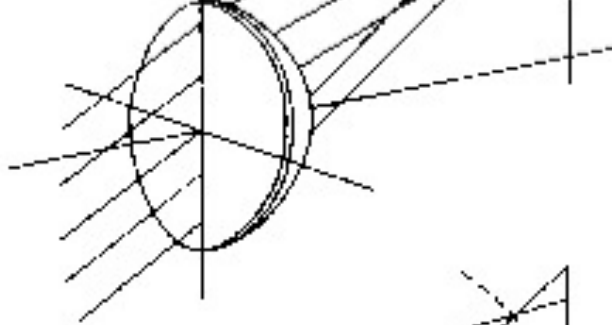
ザイデルの5収差

球面収差
コマ収差
像面湾曲
非点収差
歪曲収差

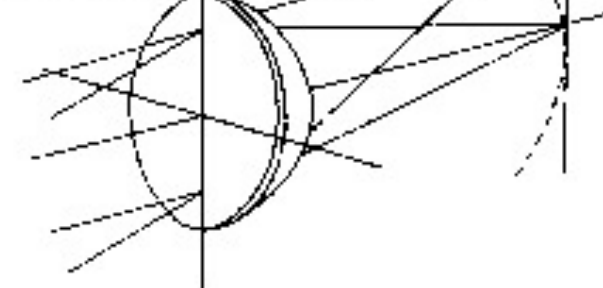
a) 球面収差



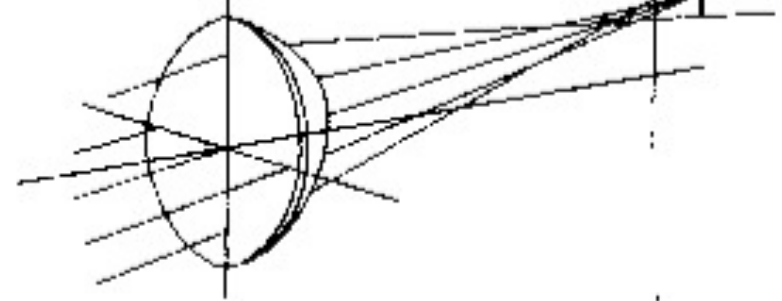
b) コマ収差



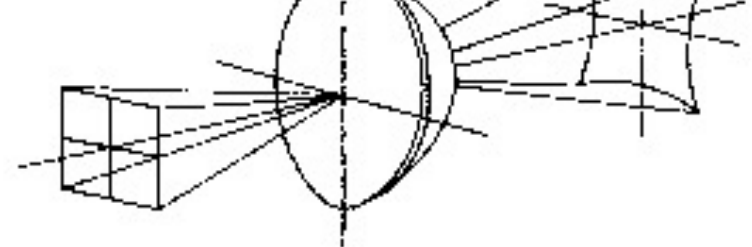
c) 像面の湾曲



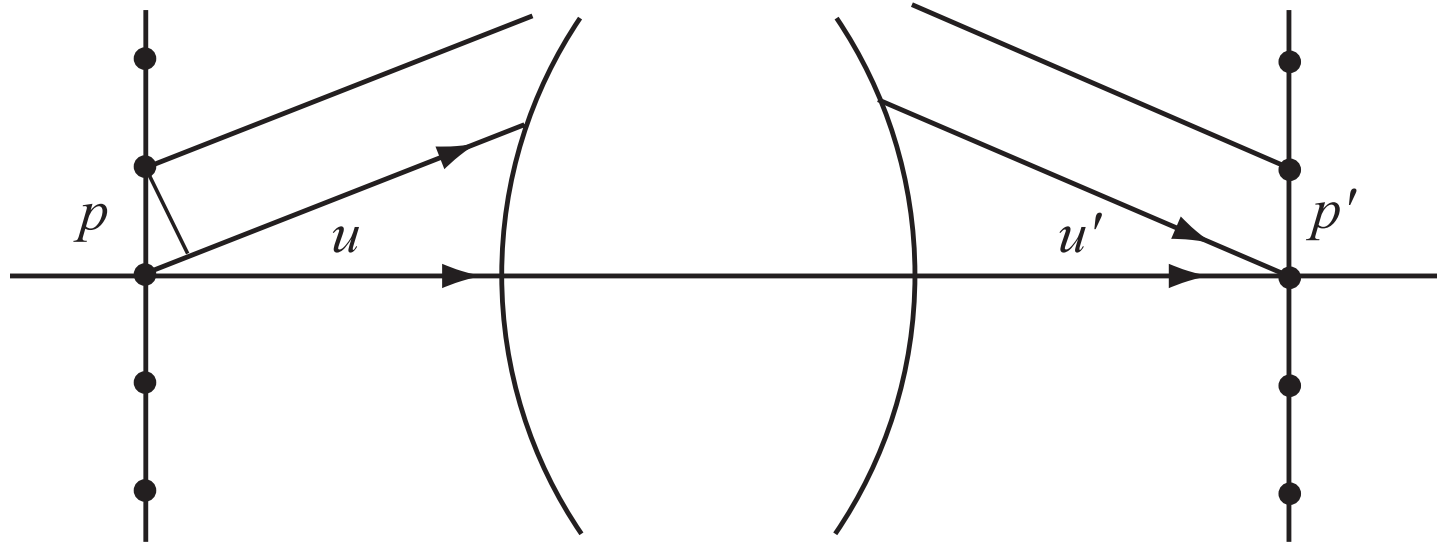
d) 非点収差



e) 歪曲



Abbeの結像理論



回折格子の式

$$p \sin u = \lambda$$

$$p' \sin u' = \lambda'$$

正弦条件

$$\beta = \frac{p'}{p} = \frac{\lambda' \sin u}{\lambda \sin u'} = \frac{n \sin u}{n' \sin u'}$$