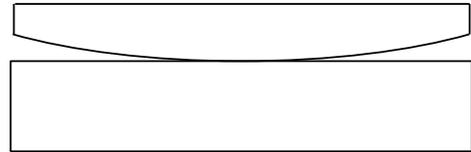


導出シリーズ 第59回 「ニュートンリングの公式」

光学機器を製造するばあい、設定した焦点距離になるようにレンズを研磨しなければならない。特に、焦点距離が長いレンズの場合、簡単に検査することは難しくなる。また、レンズの研磨が正確になされているかの検査も必要になる。このような用途では、「ニュートンリング」という方法がとられている。

ニュートンリングは、平面ガラスの上に置かれた焦点距離の長い凸レンズを置き上から光を当てたときに見られる「環状の干渉縞」のことである。この環状の干渉縞から、レンズの曲率半径を求めることができる。



～ 反射による位相のずれ ～

反射による位相のずれは、空気側からガラス側に行くときに反射したのか？ ガラス側から空気側に行くときに反射したのかによる。

空気側からガラス側に行くときに反射した場合：位相が π [rad] ずれる (位相が反転する)。

ガラス側から空気側に行くときに反射した場合：位相はずれない。

空気(1.0)からガラス(1.5) のとき(屈折率が「小→大」)は固定端反射となり、位相が π [rad] ずれる。一方、ガラス(1.5)から空気(1.0) のとき(屈折率が「大→小」)は自由端反射となるので位相がずれない。このように、位相のずれるか否かの判定の基本は屈折率の大小関係によるので、物質が変わっても判定は簡単である。

～ 光路差による位相のずれ ～

光路差による位相のずれは、平面ガラスと凸レンズの間にできる薄い空気層により発生するものである。空気薄膜の上面で反射する光(赤色のコース)と、空気薄膜の下面で反射する光(青色のコース)の光路差のことである。したがって、赤色のコースの反射では位相はずれないが、青色のコースの反射では位相が π [rad] ずれる。

[干渉の計算]

レンズの中心を原点として右図のように座標を決める。レンズの中心から r 離れた位置での空気薄膜の厚さ d とする。レンズの曲面の半径を R とすると、 $r^2 + (d - R)^2 = R^2 \dots \textcircled{1}$ が成立する。レンズの曲面の半径は非常に大きいので、 $R \gg r \gg d$ の関係を満たす。①を展開して整理し、空気薄膜の厚さを求めると

$d = R - \sqrt{R^2 - d^2}$ である ($d = R + \sqrt{R^2 - d^2}$ は不適解)。分子の有理化を行うと

$$d = \frac{r^2}{R + \sqrt{R^2 - d^2}} \text{ である。 } R \gg r \text{ の関係を}$$

使って近似すると $d \approx \frac{r^2}{2R}$ となり、光路差は $2d$ だから、 $\frac{r^2}{R}$ である。よって、光路差で位相が π [rad] ずれるとき、互いの光は強めあう。よって、上から見たときの明線の位置の条件は

$$\frac{r^2}{R} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \text{ であれば良い。}$$

結論：干渉縞の明環の半径は $r_m = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda R}$ 、暗環の半径は $r_m = \sqrt{m \lambda R}$

m 番目の暗環の半径 r からレンズの曲率半径を求めると $R = \frac{2r^2}{(2m+1)\lambda}$ であり、レンズ材

料の屈折率 n とすると、レンズの焦点距離が $f = \frac{R}{n-1}$ となる(導出シリーズ第27回参照)。

