

# 1. 光学研磨 ~ニュートンリングとフィゾー干渉計による評価~

植田研究室 丸山 裕輝

## \* 目的

ミラー、レンズといった光学部品を製作する上で重要となる研磨技術を実際に体験する。また、ニュートンリングとフィゾー干渉計を用いて、受講者自ら研磨した面がどのように研磨されたかを評価する。それを光学部品の研磨面と比較することで、我々が実験や研究で扱っている光学部品がどの程度の精度で研磨されているかを知るとともに、光学研磨の困難さを実感する。

## \* 光学研磨

本プログラムでは Fig.1 のような 30~40 のガラス板 1 枚を研磨し、評価する。

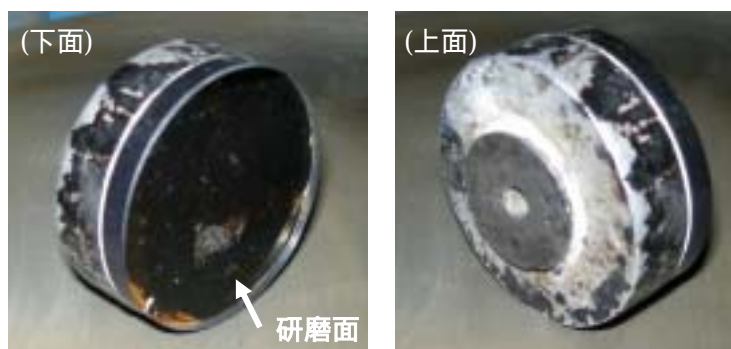


Fig.1 治具

### 1. 粗研磨

Fig.2 のように回転するろくろの上で、#400( $\approx 40\mu\text{m}$ )の砂 (研磨剤) を使用して研磨する。さらに#800( $\approx 20\mu\text{m}$ )の砂に変え、同様に研磨する。



Fig.2 粗研磨のようす

## 2. 1次研磨

Fig.3 のように皿の上で、#1200( $\approx 10\mu\text{m}$ )の砂を使用して研磨する。



Fig.3 1次研磨のようす

## 3. 機械研磨

Fig.4 のような研磨機で、研磨剤ジルコニア( $0.2\sim 1\mu\text{m}$ )を使用して研磨し、仕上げる。



Fig.4 機械研磨のようす

### \* 研磨精度の評価

#### 1. ニュートンリング

平面原器と研磨面を重ね合わせて、白色光を用いて干渉縞を見てどのような面が出来ているか確認、評価する。例として、研磨面が完全に平面であるときと研磨面が凸型であるときを以下で考える。

### 研磨面が完全に平面であるとき

平面原器と研磨面を重ね合わせたとき、互いに平面平行ではなくわずかに(角度)傾いている場合を考える(Fig.5)。2平面の接点 A から  $x$  だけ離れた平面原器の点を B とする。点 B での研磨面と平面原器の平面の間隔を  $d$  とする。

ここで白色光は研磨面と平面原器の面で反射し干渉縞をつくる。AB 面で反射する光は半波長だけ位相がずれることに注意する。この2面で反射する光が強めあう条件は  $x$  について考えると以下ようになる。

$$2(x \tan \alpha) = \frac{\lambda}{2} \times (2m + 1) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$2x\alpha \approx \frac{\lambda}{2} \times (2m + 1)$$

$$x = \frac{\lambda}{4\alpha} \times (2m + 1)$$

$m$  番目の明線ができる  $x$  の値を  $x_m$  とすると、縞の間隔  $\Delta x$  は

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

となり、接点 A からの距離  $x$  によらず等間隔かつ平行な干渉縞ができることがわかる。

また、2平面の間隔  $d$  で明線ができる条件を考えると以下ようになる。

$$2d = \frac{\lambda}{2} \times (2m + 1) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} \times m$$

したがって、 $m$  番目の明線と  $m+1$  番目の明線での2平面の間隔  $d$  の差  $\Delta d$  は

$$\begin{aligned} \Delta d &= \left( \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} \times (m+1) \right) - \left( \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} \times m \right) \\ &= \frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

となり、半波長だけ間隔  $d$  が広がると次の明線ができることがわかる。

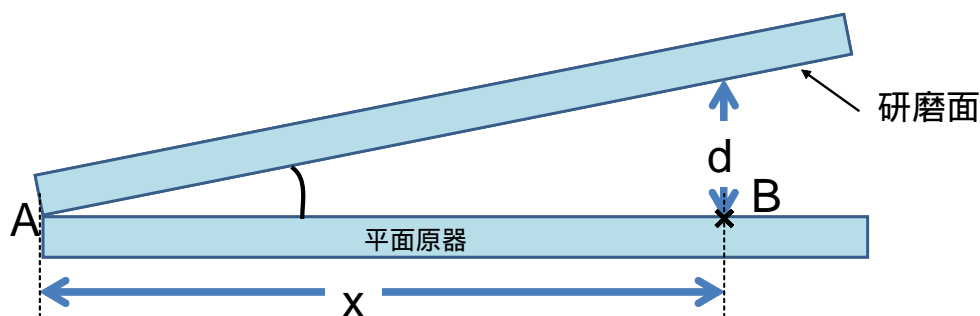


Fig.5 完全に平面であるときの断面模式図

### 研磨面が凸型であるとき

研磨面の曲率半径を  $r$  とすると、 $r$  と  $d$  と  $x$  の関係は

$$r^2 = (r - d)^2 + x^2$$

であり、いま曲率半径  $r$  は  $d$  に比べて十分大きいと考えられるから

$$x^2 \approx 2rd$$

と近似できる。これを利用して明線が出来る条件を求めると

$$2d = \frac{\lambda}{2} \times (2m + 1) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$x = \left[ \frac{r\lambda}{2} \times (2m + 1) \right]^{\frac{1}{2}}$$

となる。曲率半径  $r$  が大きいほど干渉縞の間隔は広くなり、外側の干渉縞( $m$  が大きい)ほど間隔は狭くなる。

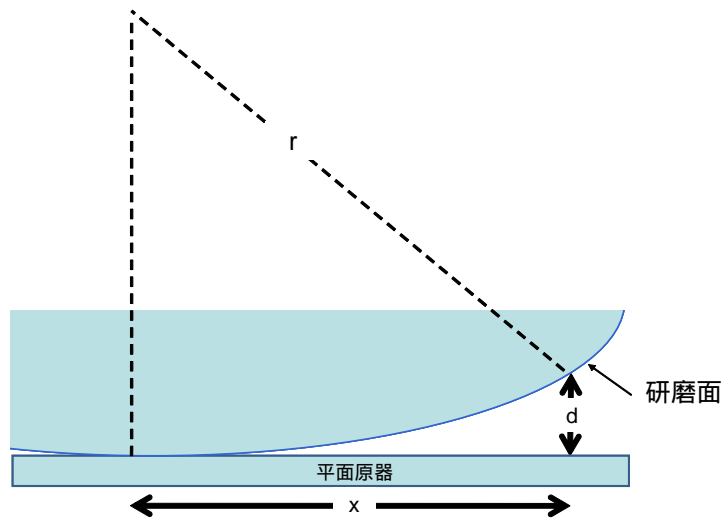


Fig.6 凸型であるときの断面模式図

### ## 凸型と凹型の見分け方 ##

研磨面が凸型であるものと凹型であるものをニュートンリング法を用いて干渉縞をつくると、同じ模様ができるためそのままでは見分けることはできない。それらを判断するための手段を簡単ではあるが紹介する。

#### その1. 研磨したガラス、または平面原器を動かしてみる

研磨面が凸型であれば、接点は1点であるため研磨したものと平面原器の重ね具合により同心円状の干渉縞の中心が動く。それに対し凹型の場合、複数点で重なり合っているため2面に力を加えても干渉縞は変化しない。このことから、凹凸の判断が出来る。ただし、2面の間に水が入り込んでしまうと研磨面が凸型であっても、2面の重ね具合を動かすことが難しく、干渉縞が動きにくくなってしまふので注意する必要がある。

#### その2. 同心円干渉縞の中心の移動方向を見る

同心円状の干渉縞とは、同心円の中心点から外側に向かって2面の間隔が広が

っている(凸型)、もしくは狭くなっている(凹型)ことを意味する。すなわち、その中心点では2面の間隔が凸型ではもっとも狭く、凹型ではもっとも広い。このことを念頭に置いて以下のことを考える。

Fig.6(a)で点Aを作用点として研磨面を矢印の方向に動かすと、Fig.6(b)のように研磨面と平面原器との間隔がもっとも狭い点は点Aの方向に移動するため、同心円干渉縞はFig.7のように変化する。それに対しFig.8のような凹型の研磨面で同様に研磨面を動かすと、間隔がもっとも広い点は点Aとは逆方向に移動するため、干渉縞はFig.9のように変化する。この両者の違いから凹凸の判断が出来る。



Fig.6 研磨面が凸型であるとき。(a)変化前 (b)変化後

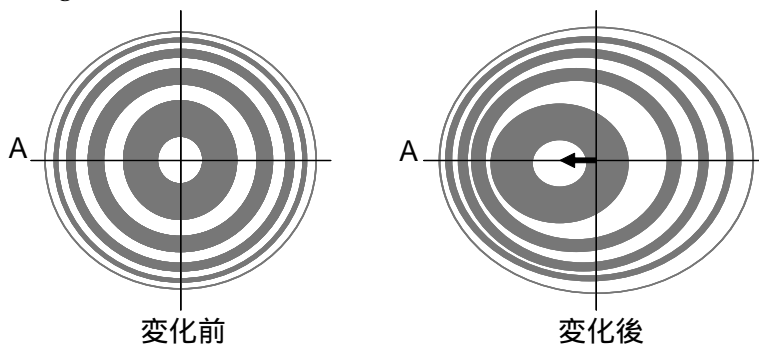


Fig.7 凸型の干渉縞の変化



Fig.8 研磨面が凹型であるとき。(a)変化前 (b)変化後

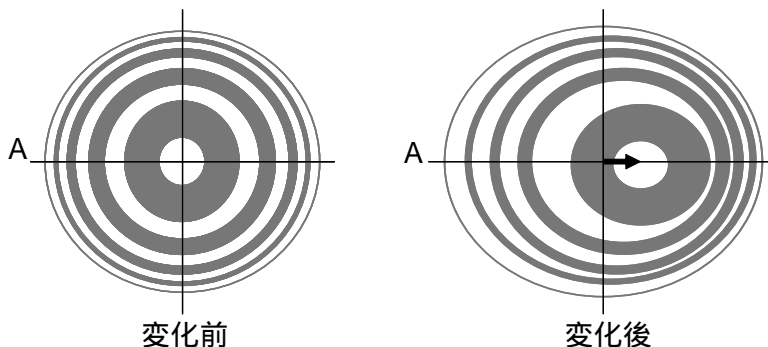


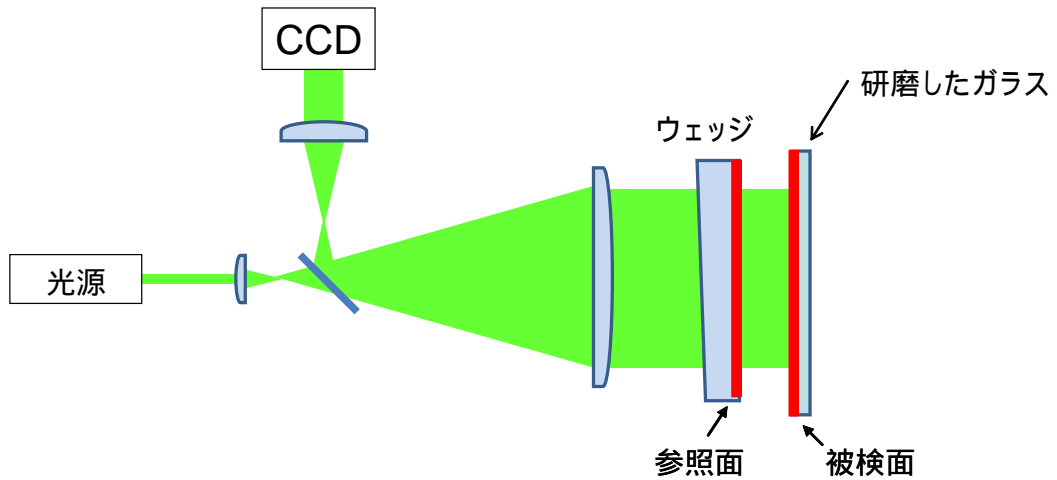
Fig.9 凹型の干渉縞の変化

## 2. フィゾー干渉計

フィゾー干渉計はレーザーを光源とする干渉計で、簡単な構成で高精度の平面測定、球面測定が行えるためもっとも普及している干渉計である。フィゾー干渉計の光学系を Fig.10 に示す。光源から出射した光はビーム径が小さいため、このままでは研磨面全体のひずみを評価することは出来ない。そこでレンズを用いてビーム径を拡大し、コリメートレンズで平行光にする。その平行光はウェッジを透過し研磨面に到達する。参照面からの反射光と被検面からの反射光は元の光路

を逆戻りし、干渉してビームスプリッターにより CCD へと導かれ干渉縞画像が得られる。したがってフィゾー干渉計では、参照面以前の光路は共通であり、参照面と被検面の差が干渉縞となって捉えられる。

詳しくは [http://www.fujinon.co.jp/jp/products/laser/kisotisiki4\\_1.htm](http://www.fujinon.co.jp/jp/products/laser/kisotisiki4_1.htm) を参照。



\* 課題 1

等間隔に並んだ直線的な干渉縞が出るように、完全平面を目指して研磨する

\* 課題 2

自ら研磨した面をニュートンリング、フィゾー干渉計を用いて干渉縞を観察し、研磨面がどのような形をしているか考察する