

ゴム砥石を用いた光学ガラスレンズの超精密研削加工に関する基礎的研究

慶應義塾大学 ○末富 拓巳, ◎柿沼 康弘 東芝機械 福田将彦, 田中克敏

要旨

大口径光学球面ガラスは研削加工後、研磨工程を経て要求される加工面品位を得ている。しかし、研磨工程は加工能率が悪く、形状精度の低下が問題となる。そこで本研究では、クラックレスで高効率な研削加工を目的とし、ゴム砥石を用いた光学球面ガラスの延性モード研削における研削加工特性を評価した。具体的には、硬度の異なる2種類の砥石を用いて研削加工を行い、砥石硬度の違いが加工面品位に与える影響を評価した。

1. 結論

テレビカメラ、一眼レフカメラなど解像度を上げる需要が近年高まっており、それらに用いられる光学レンズを高精度かつ高効率に製造することが求められている。多くの生産現場では、生産性の観点から、マイクロクラックの発生を許容し、短時間に研削加工を行い形状を作製した後、研削加工で発生したマイクロクラックを取り除くために十分な研磨加工を行う。しかしながら、研磨加工に伴う形状精度の低下、加工時間・コストの増加が問題となっているため、マイクロクラックのない延性モード研削加工を高効率に行うことが求められている。本研究では、高精度かつ高効率な研削加工を目的とし、高い弾性を有するゴム砥石を用い、光学ガラスレンズ加工面品位の向上を試みた。具体的には、異なる砥石硬度を有する天然ゴム砥石とクロロプレンゴム砥石を用いた研削加工を行い、ゴム砥石の硬度が加工面品位に与える影響を実験的に調べ、ゴム砥石を用いたBK7球面ガラスの延性モード研削加工特性を明らかにした。

2. 実験装置・方法

Fig.1 に示すように、直径 100 mm ゴム砥石のホイール及び被削材の直径 30 mm の光学球面ガラス BK7 を超精密加工機 (ULG100E) に取り付け、ホイールを被削材の外周部から中心に向かって送ることで、加工を行った。Table1 に示す条件の下、天然ゴム砥石とクロロプレンゴム砥石を用いて研削を行い、ホイール送り速度及びゴム砥石の硬度が加工面品位に与える影響を調べた。

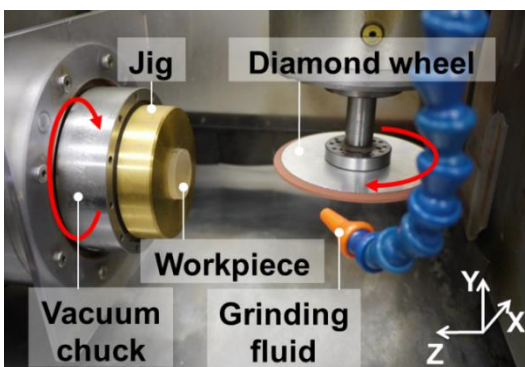


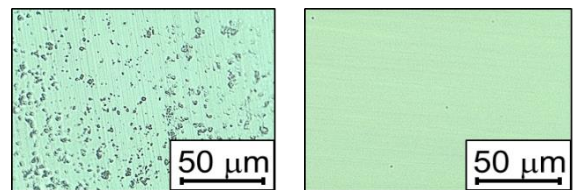
Fig.1 Experimental setup

Table1 Grinding parameter

Bond type	Chloroprene	Natural
Abrasive type	Synthetic Diamond(#2000)	
Depth of cut	0.5 μm	
Wheel feed rate	0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 3.0 mm/min	
Workpiece velocity	10 min^{-1}	
Wheel velocity	7000 min^{-1}	

3. ホイール送り速度が加工面品位に与える影響の検討結果

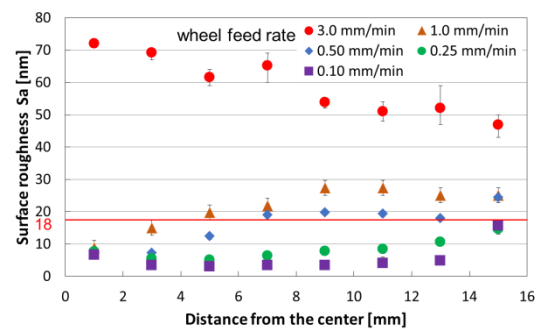
Fig.2 に研削加工後の表面の観察結果を、Fig.3 に被削材中心からの距離と表面粗さの関係を示す。Fig.2 より、同じ研削条件において、天然ゴム砥石を用いた研削ではマイクロクラックが発生しているのに対し、クロロプレンゴム砥石を用いた研削ではマイクロクラックが発生していないことがわかる。また、Fig.3 より、天然ゴム砥石を用いた研削において、送り速度 0.25 mm/min 以下の研削条件の際、被削材全面で表面粗さ 18 nm 以下の延性モード研削となり、クロロプレンゴム砥石を用いた研削においては、送り速度 1.0 mm/min 以下の研削条件の際、被削材全面で表面粗さ 18 nm 以下の延性モード研削となった。さらに、送り速度に関わらずクロロプレンゴム砥石を用いた際の方が表面粗さは小さくなった。



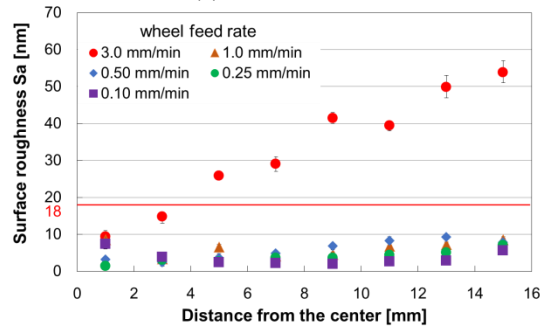
(a) Natural rubber

(b) Chloroprene rubber

Fig.2 Surface state at 15 mm from the center of the workpiece



(a) Natural rubber



(b) Chloroprene rubber

Fig.3 Relation between surface roughness Sa and grinding position

また Fig. 3 より、天然ゴム砥石およびクロロプレングム砥石どちらを用いた研削加工であっても、被削材中心からの距離が長くなるにつれて表面粗さが大きくなっていることがわかる。これは被削材中心からの距離が長くなることによって、周速度が高まり、加工負荷が増大したためであると考えられる。そこで、研削加工時のモータ電流指令値(TCMD)を測定した。その結果を Fig. 4 に示す。なお、モータ電流指令値は砥石硬度の違いによる差がほとんどなかったため、天然ゴム砥石を用いた研削加工におけるモータ電流指令値のみを示す。Fig. 4 より、被削材中心から 13 mm~15 mm の外周部において、Z 軸モータ電流指令値が上昇し、負荷荷重が増加していることがわかる。以上のことから、被削材中心からの距離が長くなるにつれ、周速度が高くなることにより負荷荷重が増加し、加工面品位の低下を引き起こした。

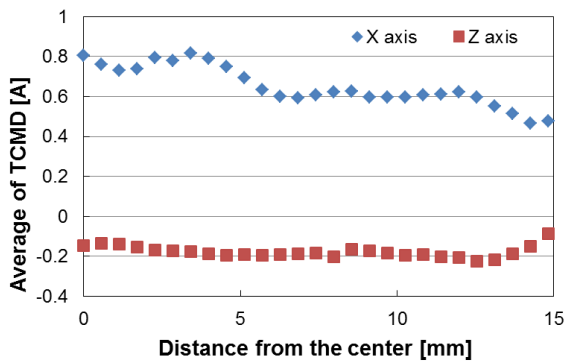


Fig.4 Changes in average of TCMD during grinding processing by using natural rubber bonded wheel

4. 砥石硬度が加工面品位に与える影響の検討結果

天然ゴム砥石を用いた研削に比べ、クロロプレングム砥石を用いた研削の方が良好な加工面が得られた。これはゴム砥石の弾性が、加工時の接触圧力に影響を与えているためだと考えられる。そこで、ヘルツの接触理論によって加工時の接触圧力を求めた。ヘルツの接触理論により球と球の弾性接触における接触半径 a [mm] と接触圧力 P [N/m²] は、(1)式および(2)式で表される[1]。この際、 R [mm] を曲率半径、 E [MPa] をヤング率、 L [N] を負荷荷重とする。

$$a = \left(\frac{3LR}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

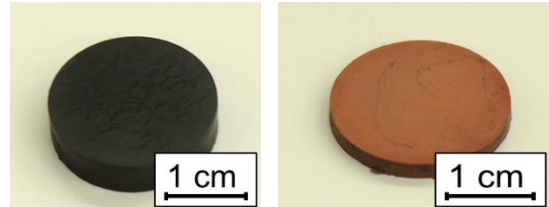
$$P = \frac{3}{2\pi} \left(\frac{16E^2L}{9R^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

ゴム砥石のヤング率を測定するために Fig. 5 に示すような天然ゴム砥石とクロロプレングム砥石の試験片を用意し、硬さ試験をおこなった。Fig. 6 に測定した天然ゴム砥石とクロロプレングム砥石のヤング率を示す。また、接触半径および接触圧力を求めた際に用いた値を Table 2 に示す。これらの値を先述の(1)式、(2)式に代入し、天然ゴム砥石の接触面積 a_{Natural} 、接触圧力 P_{Natural} およびクロロプレングム砥石の接触面積 $a_{\text{Chloroprene}}$ 、接触圧力 $P_{\text{Chloroprene}}$ をそれぞれ求めた。その結果を以下に示す。

$$\frac{a_{\text{Chloroprene}}}{a_{\text{Natural}}} = 1.08$$

$$\frac{P_{\text{Chloroprene}}}{P_{\text{Natural}}} = 0.86$$

以上より、天然ゴム砥石を用いた研削加工に比べ、クロロプレングム砥石を用いた研削加工の方が接触半径は 1.08 倍になり、接触圧力が 0.86 倍になった。したがって、クロロプレングム砥石を用いた研削加工の方が、接触半径が大きくなり接触圧力が小さくなった。このことにより、クロロプレングム砥石を用いた際の方が、加工負荷が低減され良好な加工面を得られることがわかった。



(a) Natural rubber (b) Chloroprene rubber

Fig.5 Test piece of microhardness test

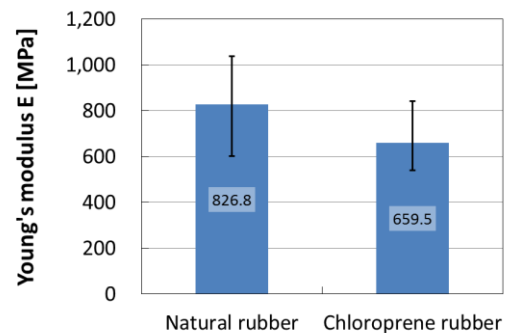


Fig.6 Young's modulus of each grinding wheels

Table 2 Specification of each grinding wheels and workpiece

	R [mm]	ν [-]	E [MPa]
Natural rubber	50	0.5	826
Chloroprene	50	0.5	659
BK7	60.225	0.2	82000

5. 結論

ゴム砥石を用い、光学球面ガラスの研削加工時における、加工面品位の向上を試みた研究により以下の結論・課題を得た。

- ◆ 天然ゴム砥石よりも高い弾性を有する、クロロプレングム砥石を用いた研削加工において、送り速度 1.0 mm/min 以下の研削条件の際、被削材全面で表面粗さ 18 nm 以下の延性モード研削加工面が得られた。
- ◆ 研削加工時のサーボ情報を取得し比較した結果、モータ電流値に大きな差はないことを確認した。一方で、被削材中心から 13 mm~15 mm の外周部において、Z 軸電流指令値が上昇し、負荷荷重が増加することを明らかにした。
- ◆ 弾性接触の理論であるヘルツの接触理論を用いて、天然ゴム砥石を用いた研削加工に比べクロロプレングム砥石を用いた研削加工は、接触面積が 1.08 倍になり、接触圧力が 0.86 倍となった。このことから、クロロプレングム砥石を用いた際の方が加工負荷が低減し、加工面品位が向上したことを明らかにした。
- ◆ 今後は形状精度の観点も含め、超精密研削に適したゴム砥石の開発が必要である。

参考文献

[1] K. L. Johnson, "Contact Mechanics", Cambridge University Press, Cambridge, 1987