

301 シュリンクフィッタを用いたポリゴンミラーの精密接合の解析

Analysis of a Precision Joining Method of a Polygon Mirror Using a Shrink Fitter

正 新田 勇 (新潟大) ○学 浅井 広志 (新潟大院) 正 紺野 大介 (荏原総研)

Isami NITTA, Niigata University, 8050, Ikarashi 2-nocho, Niigata

Hiroshi ASAI, Niigata University, 8050, Ikarashi 2-nocho, Niigata

Daisuke KONNO, Ebara Corporation, 2-1, Honfujisawa 4-chome, Fujisawa

Key Words: Fixing Element, Polygon Mirror, Shrink Fit, Shrink Fitter, Slit

1. 問題の背景

ポリゴンミラーは、レーザープリンター、複写機、ファックス等の情報機器において、レーザースキャナとして使用されている。現在、情報機器の高速化、高解像度化の要求にともない、ポリゴンミラーのより一層の高回転化が望まれている¹⁾。ポリゴンミラーの軸受は、高回転化にともなう振動と耐久寿命の点からボールベアリングでの対応が難しく、現在は高級機用として動圧空気軸受が使用されている。その軸受材には、起動停止時の耐摩耗性の点からSiCが用いられている²⁾。ポリゴンミラーと軸受の接合には、心出し精度が良く大量生産に向く締めばめが使用されるが、アルミニウム製ポリゴンミラーとSiC軸受の熱膨張係数の差に起因する新たな問題が生じた。ポリゴンミラー反射面の許容平面度はPV値で約100nmである。モータ等の発熱により、ポリゴンミラー部は20°Cから60°Cに上昇する。このわずかな温度上昇でさえ許容平面度を越える変形をミラー反射面に与える。さらに締めばめ接合部のゆるみの原因にもなる。

図1は、実際の接合方法を示したものである。Lower steel diskがSiC軸受に締めばめされる。その後、ポリゴンミラーをLowerとUpperのSteel diskで挟みネジで固定し、ミラー反射面の仕上げ加工がなされる。異なる熱膨張による微小すべり、遠心力による微小すべりが生じるが、それらを接触面全体に均一にするために、Steel diskとミラーの接触面はかなりの面精度で仕上げなければならない。しかし、一度ミラーを回転させると熱によるネジ部の変形、不つり合い質量に遠心力が作用することによる微小すべりが生じ、ミラー反射面は許容平面度を越えて変形する。したがって、再度仕上げ加工を行わなければならない。

図2は、図1で説明した方法での接合後のミラー反射面の形状である。測定はレーザー干渉計(ZYGO)により行った。接合前のミラー反射面のPV値は約144nmであった。接合後のPV値は約2,121nmとなり、ネジ締結しただけで平面度を著しく損なうことが分かる。このように、従来法による接合では、多くの工程を必要としコストが

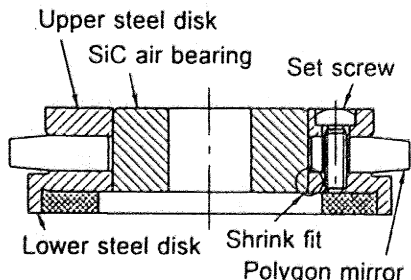


Fig.1 A method of joining the aluminum polygon mirror to the SiC air bearing, presently used

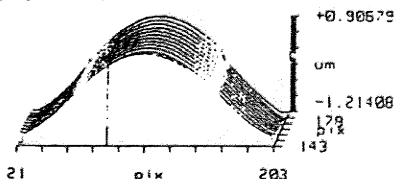


Fig.2 A profile of one mirror end surface after assembling with the method presently used

かさむばかりでなく、使用中のミラー反射面の平面度を保証するものでもない。

本研究では、シュリンクフィッタを用いることで接合法を簡素化でき、しかも、使用中のミラー反射面の平面度を保証できたのでそのことについて報告する。また、ミラー反射面の変形を数値計算により検討し、工程の簡素化を進めることができるか検討した。

2. ポリゴンミラー接合へのシュリンクフィッタの適用

ポリゴンミラーの接合にシュリンクフィッタを用いる方法を図3に示す。この方法は、SiCとミラーの間に熱膨張係数の大きいリングを挿入することにより、温度上昇による接合部のシメシロの減少を防止するものである。シュリンクフィッタ材はアルミニウムよりかなり高い熱膨張係数を持つ必要がある。今回は、高分子材料のポリイミドを用いた。また、シュリンクフィッタの半径方向の熱膨張だけを有効に利用するために、シュリンクフィッタの半径方向にスリットを入れる必要がある³⁾。今回は、変形の対称性を考慮してスリットはポリゴンミラーの頂点对応する8ヶ所に入れた。

表1に使用した試験片の寸法を示す。シメシロは約80μmである。

図4に、仕上げ加工を施し、シュリンクフィッタを用いて締めばめ接合した後のミラー反射面の形状を示す。ミラー反射面は、凸形に変形している。PV値は695nmで、図2の従来の接合法に比べて平面度が非常に改善されていることが分かる。しかしながら、許容平面

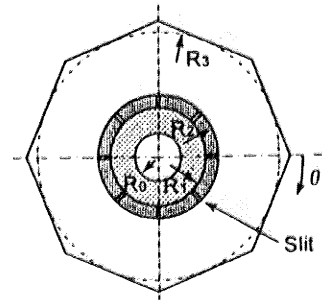


Fig.3 The shrink-fitted assembly using the shrink fitter with slits

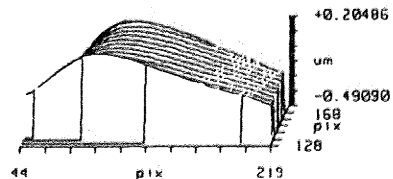


Fig.4 The profile of the mirror end surface just after assembling using the shrink fitter

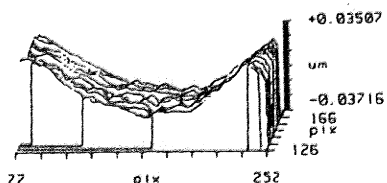


Fig.5 The profile of the mirror end surface after a rotation test at 30,000 rpm for several hours

Table 1 Dimensions and Material properties of an assembly

	Radii (mm)		Thickness (mm)	Young's modulus(GPa)	Poisson's ratio
	Inner	Outer			
SIC bearing	5.5	11	10	336	0.2
Shrink Fitter	11	14	5	2.40	0.4
PolygonMirror	14	28	5	69.0	0.34

度には達していないため、再仕上げ加工が必要である。

図5に、再仕上げ加工後30,000rpmで数時間回転させた後のミラー反射面の形状を示す。PV値は72nmで、許容平面度以内であった。このことから、モータ等による発熱や遠心力の影響があるにもかかわらず、ミラー反射面の許容平面度を実現できることが示された。したがって、シュリンクフィッタを用いることでポリゴンミラーの接合法を簡素化でき、ミラー反射面の平面度の保証ができることが分かった。また、印字品質に影響を及ぼすジック特性やトラッキング特性も従来の接合法に比べて改善されることが分かった。

3. 数値計算

シュリンクフィッタを用いることでポリゴンミラーの接合法の簡素化とミラー反射面の平面度が改善されることが分かった。しかしながら、接合後のミラー反射面の再仕上げ加工は依然として必要である。接合の簡素化を進めるために、再仕上げ加工の省略を考えた。そこで、シメシロ分布を調整することにより締めばめ後も許容平面度(PV値100nm)を実現できるか2次元数値解析により検討した。

計算に使用した各部材の寸法と材料特性値を表1に示す。変形の対称性より接合体の1/16を解析対象とした。解析にはポイントマッチング法を用い、影響係数は2次元有限要素法を用い求めた。シメシロは80 μ mとし、接触面の摩擦は考慮しないこととした。

各接触面の接触圧力分布は、ほぼ全面で均一なものとなった。

図6に締めばめ後のミラー反射面の形状を示す。縦軸は締めばめ前のミラー反射面に垂直な方向の変位量をあらわす。形状は図4の測定形状に近く、PV値も719nmと測定値に近いものとなった。このことから、均一なシメシロを与えただけでは、ミラー反射面は凸形になり、再仕上げ加工が必要になることが分かる。

そのため、ポリゴンミラーの頂点(図3, $\theta=0^\circ$)をもっと変形させなければならない。そこでポリゴンミラーの頂点に対応する内面(図3,

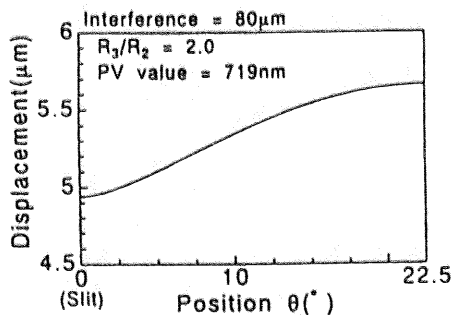


Fig.6 The profile of the mirror end surface calculated under an uniform interference

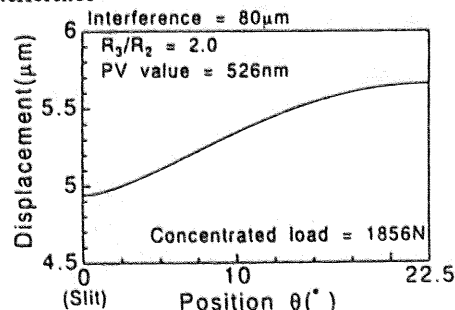


Fig.7 The profile of the mirror end surface under the concentrated load

$r=R_p, \theta=0^\circ$)に集中荷重を作用させた。集中荷重の合計は、均一接触のときの接触力の和と同じ値とした。計算結果を図7に示す。ミラー反射面のPV値は均一接触の場合に比べていくらか良くなったが、やはりミラー反射面の中央部(図3, $\theta=22.5^\circ$)の変形が大きくなった。これらの結果、シメシロ分布を調整するだけではミラー反射面を許容平面度に保つことはできないことが明らかになった。

そこで、ポリゴンミラーの半径方向の厚さを薄くした。これは、荷重作用点であるポリゴンミラーの内径(図3, $r=R_2$)とミラー反射面を近づけるためである。これにより、ポリゴンミラーの頂点の内面に集中荷重を作用させた場合、頂点の変形量がミラー反射面の中央部より大きくなることを期待したわけである。

ポリゴンミラーの内径を固定し、内接円の寸法(図3, $r=R_2$)を変えることで、半径比 R_3/R_2 を1.2~2.0の範囲で変化させた。それぞれに均一なシメシロを与えたときは、全てミラー反射面は凸形になった。次に頂点の内面に集中荷重を作用させた。集中荷重の合計は、それぞれの半径比において計算される、均一接触のときの接触力の和と同じ値にした。計算結果を図8に示す。ポリゴンミラーの外径を小さくすることで頂点の変位が大きくなり、結果としてPV値が低下した。半径比 $R_3/R_2=1.5$ でPV値は最小となり399nmであった。しかし、半径比 $R_3/R_2=1.5$ 以上ではすでに頂点の変位が最小部になっているため、これ以上のPV値の減少は望めない。よって、半径比 R_3/R_2 を1.2~1.4の範囲で考える。

図8から、ポリゴンミラーの頂点の変位を減少させ、ミラー反射面中央部の変位を増加させれば、さらなるPV値の減少ができる。そこで、頂点とミラー反射面の中央部に対応する内面にそれぞれ集中荷重を作用させた。両集中荷重の合計は、均一接触のときの接触力の和と同じ値である。結果は、半径比 $R_3/R_2=1.2$ のとき、集中荷重を(頂点):(中央)=7:2の割合で作用させた場合のPV値399nmが最小であった。したがって、許容平面度の実現は不可能であった。

4. 結言

- 従来法によるポリゴンミラーの接合では、多くの工程を必要とするにもかかわらず、使用中のミラー反射面の平面度を保証できないでいた。これらの問題はシュリンクフィッタを用いることで解決できた。
- ポリゴンミラーの半径方向の厚さを薄くすること、及び、シメシロ分布を調整しても、締めばめ後のミラー反射面の平面度を許容値に保つことはできなかった。

文献

- K.Ono, JSME International Journal III, Vol.32, No.4(1989), pp.511-524
- 早瀬 磯部, 小俣, 紺野, 機論 C 編, 60巻576号(1994), pp.189-193
- 紺野, 第30回レーザ熱加工研究会論文集, (1993), pp.221-234
- 新田, 木越, 加藤, 機論 C 編, 55巻510号(1989), pp.417-423

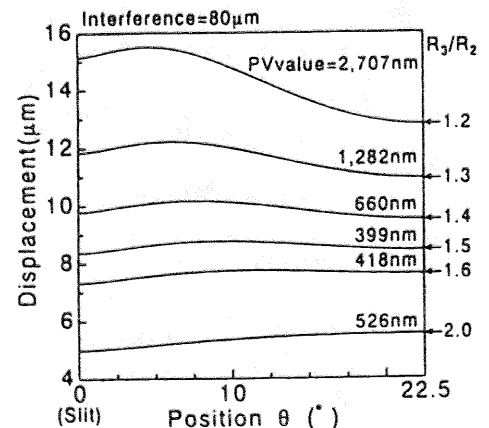


Fig.8 The profiles of the mirror end surface under the concentrated load, with various radial thicknesses of the polygon mirrors