

シュリンクフィッタを用いた光学レンズの組込み法

～広視野・高解像度レーザスキャナーの開発～

新潟大学大学院自然科学研究科 新田 勇
科学技術振興事業団 菅野明宏

1. はじめに

鏡筒へレンズを組込む方法はいくつかあるが、よく用いられる方法は図1に示すように、スペーサーによりレンズのリム部付近を光軸方向に押さえる方法である⁽¹⁾。しかしながら、この方法ではレンズと鏡筒にすきまがあるので、原理的にどんなに注意深く接合しても各々のレンズの偏心は避けられない。より重要なのは、レンズと鏡筒の熱膨張係数が異なるために、僅かの温度変動でもレンズの位置ずれが生ずることである。そのため、レンズ間相互の偏心量が増大する。偏心は、光学機器の性能劣化原因において極めて大きな割合を占めており⁽²⁾、走査光学系においてはレーザの結像精度に多大な影響を及ぼす。

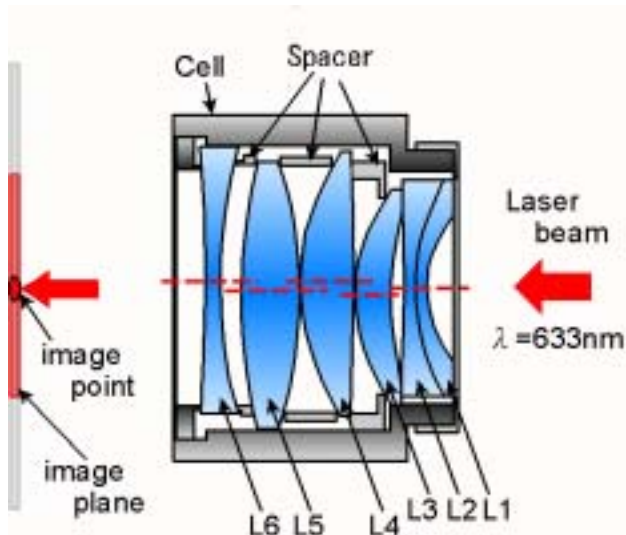


図1 従来方式の光学レンズ組込み方法

図2は、種々の観察装置の視野と解像度の関係を大まかに表したものである。観察装置の解像度が上がってくると視野が狭くなっていくのが分かる⁽³⁾。光学顕微鏡の解像度を上げるために対物レンズの倍率を上げると、一度に観察できる視野が狭くなることはよく経験することである。

図3(a)にはレーザスキャナーの概略を示したが、これも解像度を上げると視野が狭くなる。この場合、原因の一つにレンズの位置決め精度不足がある。レーザスキャナーでは、微細に絞ったレーザ光を観察対象物に当て、その反射光強度を処理することで対象物を観察する。解像度を上げるためには、レーザ光を微細に絞り込む必要がある。また、観察の視野を広げるためには、微細に絞ったレーザ光を広い範囲にわたり走査することが必要である。走査域の中央でスポット径を絞り込むことは比較的簡単である。

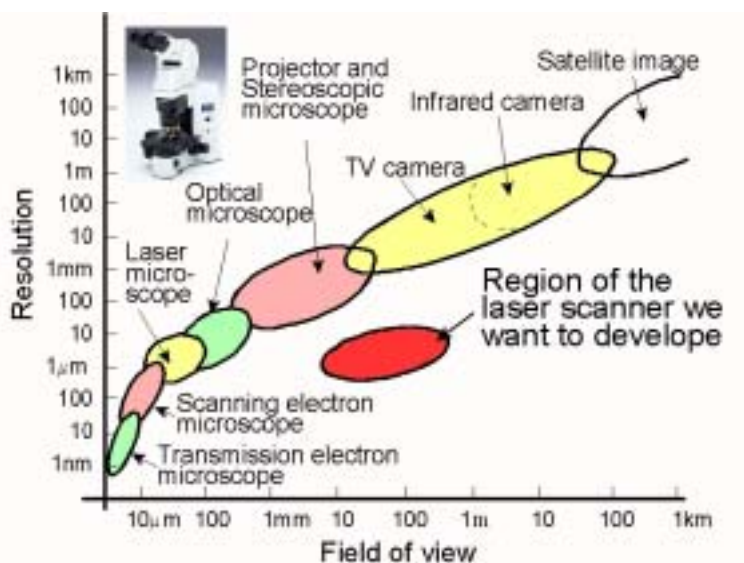


図2 種々の観察装置の視野と解像度の関係

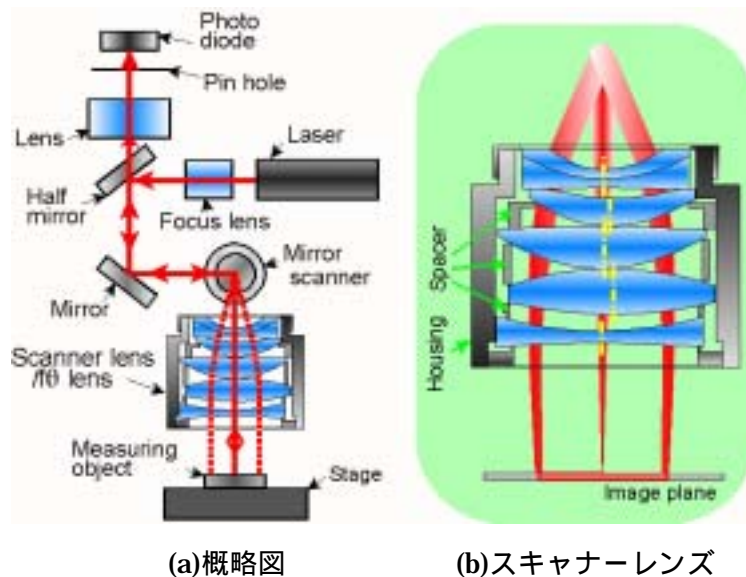


図3 レーザスキャナー

しかし、走査端でそれを行うことは容易ではない。すなわち、複数枚のレンズの心だしが保証されていないと、図3(b)に示すように走査端でレーザーのスポット径が大きくなり、解像度が悪くなってしまふ。特に温度が変化する環境ではレンズと鏡筒の熱膨張差により、レンズが容易に偏心する結果となる。ここに、新しいレンズ組込み方法を開発する必要がでてくる。そのような組込み方法が開発されれば解像度が高くしかも視野の広い新しい観察装置の開発が可能となる。

著者らは、以前より新しい機械要素であるシュリンクフィッタを用いた締りばめを研究している。シュリンクフィッタは、レンズの組付けを目指して開発したわけではなく、セラミック軸と金属円筒を強固に接合するために開発した⁽⁴⁾。しかし、光学レンズの偏心を防止することや、偏心程度が温度変化に影響されないようにすることが可能となるため、シュリンクフィッタを光学レンズの超精密接合方法に適用した。以下にシュリンクフィッタについて説明する。

2. シュリンクフィッタを用いた接合法

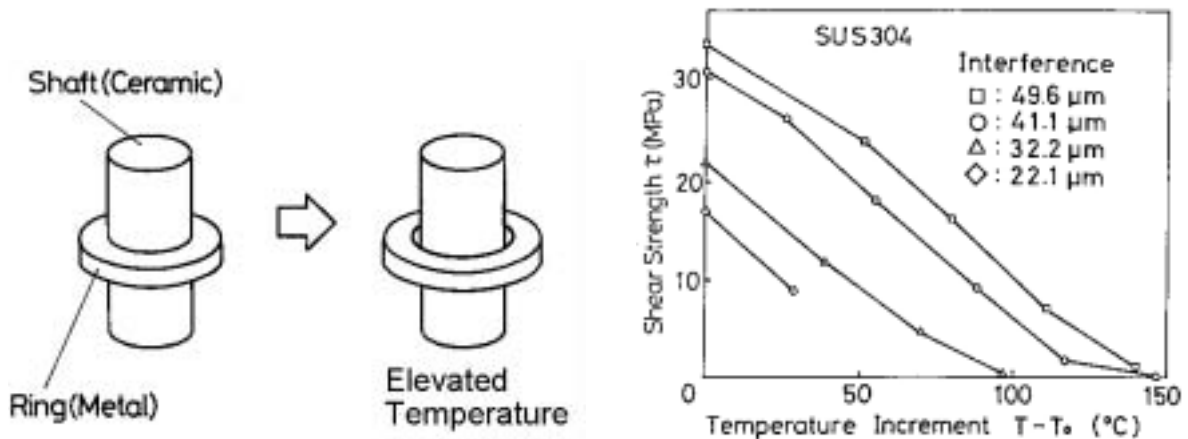
2.1 シュリンクフィッタの概要

締りばめ（焼きばめ）は、一般的に心出し精度が良い接合方法である。しかし、締りばめによって光学レンズを鏡筒に組付けることはタブーとされていたようである。それは、僅かなシメシロを与えただけでレンズ球面形状が変形して光学性能に影響を及ぼすことと、光学レンズが脆く割れ易いので、締りばめの締付け圧力に耐えられないという理由からであると推察される⁽⁵⁾。また、仮に鏡筒にレンズを直接締りばめできたとしても、環境温度が上昇すると接合部が緩み、レンズが偏心することになる。レンズの熱膨張係数よりも鏡筒のそれが大きいためである。逆に温度が低下するとシメシロが大きくなるために、レンズ球面が大きく変形することになる⁽⁵⁾。締りばめをするためにはこれらの問題を解決する必要がある。

著者が、シュリンクフィッタを着想するきっかけとなったのは、セラミックス軸と金属円筒の組み合わせに対してである⁽⁴⁾。ここではその結果を利用してシュリンクフィッタについて解説する。

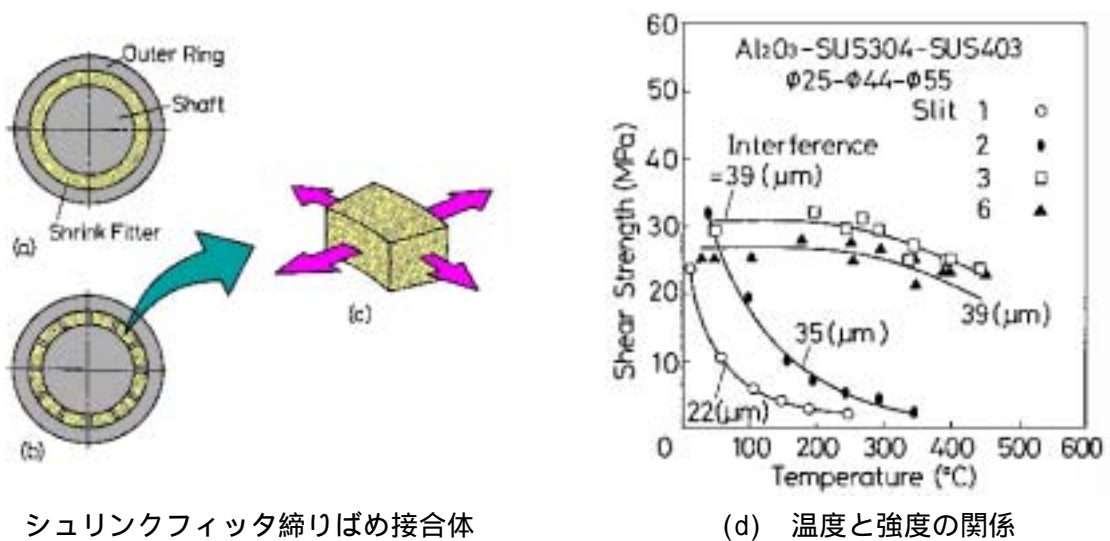
一般に、セラミックスは金属に比べて熱膨張係数が小さい。図4(a)に示すように、セラミックスを軸に金属をその外側の円筒にして締りばめをすると、室温では強く結合してても、温度が上昇すると結合強度は低下し、ついには抜け落ちることになる。図4(b)は締りばめ接合体の強度と温度(室温からの温度

差)の関係である．シメシロが一番大きい $49.6\ \mu\text{m}$ の場合は，室温において金属円筒が塑性変形を始める限界のところである．それでも，温度が 150°C 上昇すると強度がなくなるのが分かる．



(a) 締めばめ接合体 (b) 温度と強度の関係
 図4 セラミックス軸と金属円筒の締めばめ

そこで，セラミックス軸と金属円筒の接合界面に，金属円筒よりも熱膨張係数の高い部材でできたものを挿入することを考えた．これにより温度上昇に伴うシメシロの低下を防げるはずである．実際に，実験をした結果が図5である．ここで，セラミックス軸にはアルミナセラミックスを，金属円筒にはステンレス鋼 SUS403 を用いた．また，セラミックス軸と金属円筒（図5(a)では Outer Ring と呼んでいる）の間には，シュリンクフィッタとしてステンレス鋼 SUS304 を用いた．ちょっとまぎらわしいが，SUS304 は SUS403 より熱膨張係数が約 1.6 倍高い．しかし図5(a)のままでは，温度を上げるとシュリンクフィッタと金属円筒の間は締まっていくが，セラミックス軸とシュリンクフィッタの間は緩んでいく．シュリンクフィッタが一様に外側に熱膨張するためである．そこで，図5(b)に示すようにシュリンクフィッタの半径方向を切断する．このようにすれば，図5(c)に示すようにシュリンクフィッタの半径方向の熱膨張だけが緩みを防止するように作用する．円周方向の熱膨張はなんら寄与しない．すなわち，切断されたシュリンクフィッタが半径方向に自由に移動できるので緩みを防止できる．実験結果を図



シュリンクフィッタ締めばめ接合体 (d) 温度と強度の関係

図5 シュリンクフィッタを用いた締めばめ接合体と実験結果

7の左端のレンズは両側凹レンズであり、普通に締めるとレンズ曲面の変形が大きくなった。そこで、図7の拡大図に示すようにシュリンクフィタ側に加工を施し、レンズ外周の一部と接触するようにした。こうすることで、許容シメシロを大きくすることができた⁽⁵⁾。

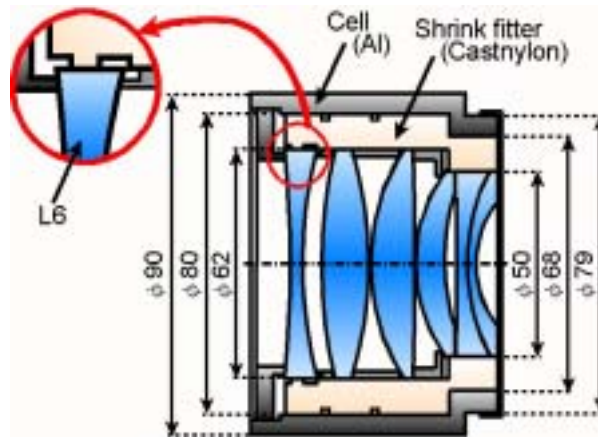


図7 シュリンクフィタを用いた新しい接合方法

2.3 シュリンクフィタを用いたスキャナーレンズのスポット径測定実験

シュリンクフィタの材料には、安価で機械加工性に優れた汎用エンブラであるキャストナイロンを使用した。また、鏡筒にはアルミニウム合金(A5056B)を使用した。図7のスキャナーレンズは30mmの走査幅にわたり約 $4.8\mu\text{m}$ のスポット径になるように設計されたものである。

図8(a)に、従来法の場合とシュリンクフィタを用いて組付けた場合の常温(約 $+25^\circ\text{C}$)での測定結果の一例を示す。横軸が走査線上の位置を、縦軸がスポット径を表している。従来法の場合、理論スポット径に近いのは走査域の中心部のみであり、走査幅両端付近ではスポット径が大きく悪化している。なお従来法の場合の全走査幅における平均スポット径は $7.5\mu\text{m}$ であった。それに対してシュリンクフィタを用いた場合は全走査領域でほぼフラットになっており、スポット径は平均値で $5.8\mu\text{m}$ と大幅に改善できた。シュリンクフィタを用いて締めばめすることで、心出し性能が飛躍的に向上していることが分かる。

先に示した $+25^\circ\text{C}$ (常温)の場合に加えて、 $+5^\circ\text{C}$ の低温、及び $+30^\circ\text{C}$ から 10°C 毎に $+60^\circ\text{C}$ までの高温での測定を行った。 $+5^\circ\text{C}$ と $+60^\circ\text{C}$ での測定結果を図8(b)及び図8(c)に示す。従来法の場合は、温度の低下、及び上昇どちらの場合でも常温に比べてスポット径が悪化している。温度が上昇するにつれて、特に走査幅両端部分のスポット径が悪化した。したがって、従来法では温度上昇で鏡筒

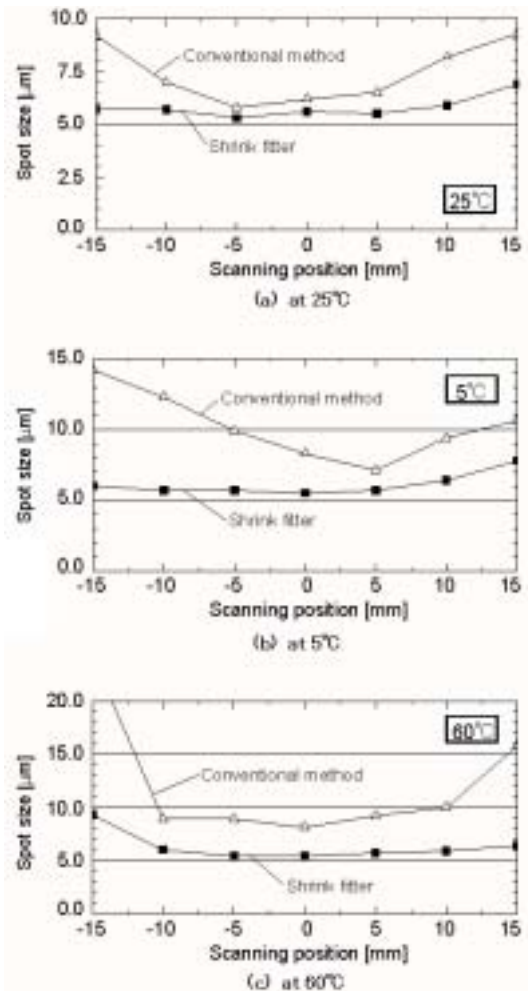


図8 種々の温度で測定したスポット径

とレンズのすきまが増大し、心出し性能が悪化したと考えられる。

それに対してシュリンクフィッタ法の場合は、温度の低下、及び上昇にかかわらず良好なスポット径を示している。温度が変化しても締付け具合が一定であるためと考えられる⁽⁵⁾。

3. おわりに

シュリンクフィタという新しい機械要素を用いると、光学レンズを高精度に位置決めできることを述べた。シュリンクフィッタ法は温度変化に強いことも示した。ただし、レンズ外周部の締りばめであるために、その部分の機械加工が要求される。

著者らは、この技術を基に大学発ベンチャー企業（株）オブセルを設立した。写真 1 に示すのは製品のひとつであるプリント基板や印刷刷版用レーザー描画装置である。レンズの締結にシュリンクフィッタを用いているので、広範囲の走査領域に対してレーザービーム径は安定している。そのため、複数台の装置をつなげて、さらに幅広の走査域をカバーすることが可能である。今後はこの独自の光学レンズ組込み技術をベースに様々な光学関連装置の開発を考えている。なお、ベンチャー企業の設立のための製品開発には科学技術振興事業団の支援を受けた。詳細は、科学技術振興事業団のホームページを参照していただきたい。

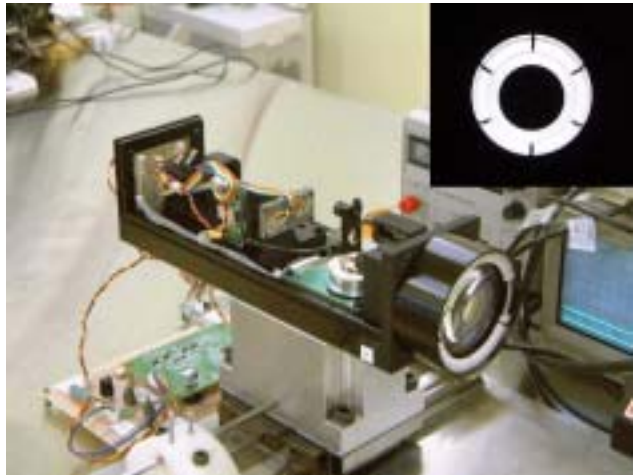


写真 1 シュリンクフィッタを用いた
レーザー描画装置

<参考文献>

- (1)Anees Ahmad : HANDBOOK of OPTMECHANICAL ENGINEERING , CRC Press , (1997)pp.152-153
- (2)佐々木,新海,東山,田中,岸浪:鏡筒光学における統計的交差設計システムの開発,精密工学会誌, 64, 7 (1998), 1090
- (3)I.Nitta, A.Kanno, K.Komata&S.Iguchi : New joining method for laser scanner lenses by using a shrink fitter , Computational Methods in Contact Mechanics , WIT Press , (2001)pp.31-40
- (4)新田,木越,加藤:インサートリングを用いたセラミックスと金属の締りばめの高温結合強度に関する研究,日本機械学会論文集 C 編, 55-510 (1989), 417-423
- (5)新田,菅野,刈田,小俣,白井:シュリンクフィッタを用いた光学レンズの超精密接合,精密工学会誌, Vol.67, No.10, 2001, pp.1615-1