

3点法および角度2点法のゼロ点誤差の補正方法

東北大学 大学院工学研究科 清野 慧

要旨

超精密測定において、重力の影響、温度の影響、試料の支持の違いによる変形等を含め、可能な限り実用状態におかれた試料の真直形状を、リアルタイムで測定する必要が高まり、そのためにも、3点法と角度2点法のゼロ点誤差の調整法の確立が待たれている。そこで、改良型反転法と3点法の組み合わせ、幅、溝測定と3点法の組み合わせ、角度2点法独特の光学系内でのプリズム反転法等についての検討結果を述べる。

1. はじめに

ナノメートル領域に迫る高精度機械部品の測定においては、測定対象に加わる力や熱によって、対象それ自体の変形も常に考慮しなければならないほど、微妙で困難な状況が生じている。顕微鏡でナノレベルの分解能を求める問題とは異なり、比較的大きな精密部品の超精密測定ではその精度と分解能が、偏に、測定基準の安定性に依存することになる。

変位計や角度計の有する安定性の限界まで達する高精度の基準を構築する基本的な方法としてソフトウェアデータがある。直線基準を構築するソフトウェアデータには、改良型反転法に代表される、繰り返しの走査測定法と、3点法に代表される多点法とがある。前者は、重力によるたわみが生じる方向では使えないことと、機上での加工物の形状変化の追跡などを行うには、リアルタイム性に欠ける。一方、後者は、重力によるたわみの影響もあるがままに計測でき、一回の走査で済むという意味ではリアルタイム性が高いが、複数の変位計や角度計のゼロ点の不整による放物線誤差の問題が残される。

本論では、この多点法プローブのゼロ点誤差の補正方法について、検討した結果を述べる。

2. 従来のゼロ点調整法

真直形状の測定データからゼロ点誤差を算出し補正する方法としては、3点法プローブ二組と補助試料を使うもの¹⁾、3点法プローブ二組を用いるが、補助試料を必要としないもの²⁾、が提案されている。この

方法でゼロ点誤差を同定した後、重力によるたわみのある方向などの測定に3点プローブとして使うことも出来るが、合計6本の変位計を使うことに問題を感じる。また、角度2点法で、光学系内でプリズムを反転して自律的にゼロ点を調整する方法が提案されているが³⁾、この方法も、オートコロメータのレンズの対称性など、ハードの精度が調節関与するのなど、まだ検討の余地があると思われる。

3. 校正済み直定規の利用

図1に改良型反転法と組み合わせた3点法のゼロ点調整法を示す。この改良型反転法は、原理的には、Hoffrogge⁴⁾の方法と呼ばれている、直線運動誤差の測定に用いられた方法や、艾らによって、たわみの影響を無視した形で用いられた改良型反転法⁵⁾と同じである。なお、図1において3点法は、改良型反転法による真直形状の測定と同時に実施する必要はないので、変位計は、最少3本で済ませることが出来る。また、角度2点法でも同様の方法が成立する。

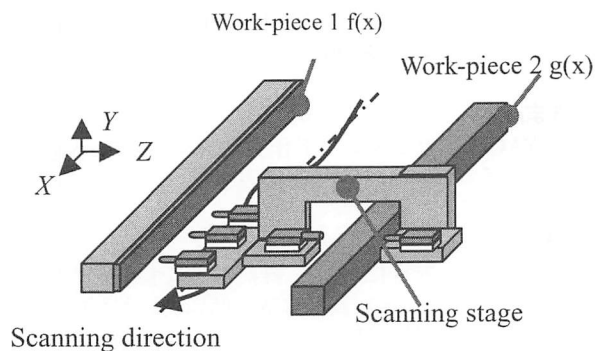


図1 改良型反転法との組み合わせ

4. 幅, 溝測定との組み合わせ

図2は, 試料の対向する2本の真直形状の3点法による測定と, その試料の幅測定を組み合わせる方法を示す. どちらの測定も走査の際の直線運動誤差の影響が除去されることを利用する. 試料を反転して, 3点法で $f(x)$ と $g(x)$ を測定する場合は, 重力によるたわみで反転前後の形状 $f(x), g(x)$ が変化するので正しい結果が得られない. 変位計の方を反転する場合には, 形状 $f(x), g(x)$ の変化はないので, たわみの問題は無い.

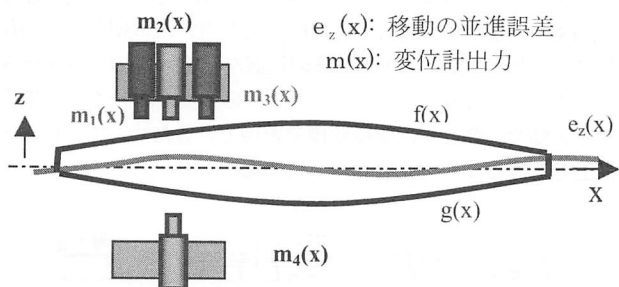


図2 3点法と試料幅測定との組み合わせ

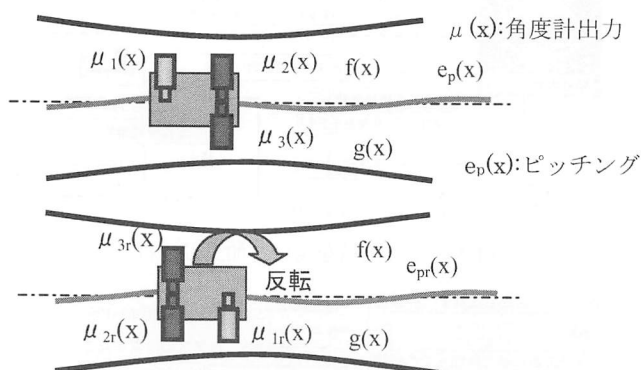


図3 角度2点法と溝幅測定との組み合わせ

図3は, 角度2点法と溝幅測定を組み合わせたもので, プロブ群を y 軸周りに 180 度反転している. これらの方法は, 変位計等を反転すれば, 重力によるたわみに影響されずにゼロ点調整が可能である. また, ゼロ点調整のために, 3点法等で真直形状全体を測定する必要が無いので, プロブ間隔を広く取り, 兆弱の真直形状に対する放物線誤差に対する感度を高めることができる.

5. ゼロ点調整型差動レーザオートコリメーション

図4に差動レーザオートコリメーションの2本の光軸の平行度の狂いをプリズムを反転することで検出しようとする方法を示す. 図の左側が, 試料形状を測定している状態で, 右側が, 2本のビームによる

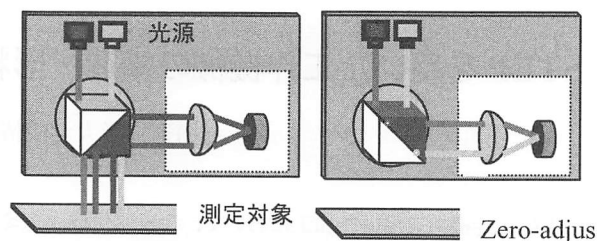


図4 自律ゼロ点調整型DLAC

光点の違いを検出している状態になる. この方法でもまだ, 対物レンズの対称性と左側の光線が測定試料に到達するまでにプリズムによって受ける偏向とが問題になる. 前者は, 対物レンズの反転によって保証することが出来るが, 後者については, プリズムによる偏向の測定など, さらなる工夫の検討を要する.

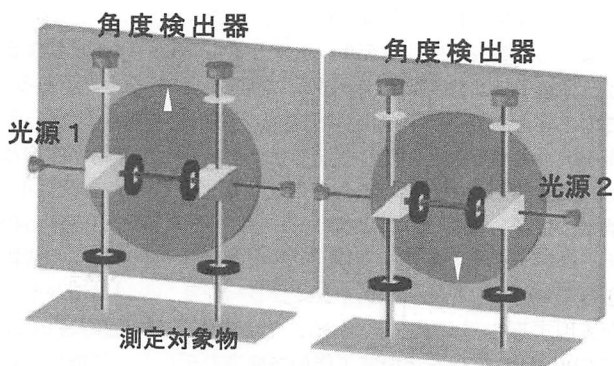


図5 プリズム回転型DLAC法

図5は, 図4の発展形で, 2本の角度センサの間隔を大きく取れるようにプリズム等を分割し, 回転円板に搭載して回転しながら計測をする. 左の光源からのビームのゼロ点誤差と, 右の光源からのビームで形状データを, 左右の図のように反転によってプリズムを換えて採る. この場合, プリズムの通過による偏向は別途反転によって検査する.

以上, 3点法や角度2点法のゼロ点調整法として, 従来法よりも実施しやすい方法があり, プリズムの反転法にも, より高精度の方法があることを示した.

参考文献

- 1) 山口城治: 精密工学会誌, 59,5(1993),773-779
- 2) Wei Gao,他: Proc. of XVI IMEKO World Conf.Vienna, (2000), 93-98
- 3) 奥山栄樹 他: 精密工学会誌,67-3(2001)478-482
- 4) Chris J.他: Annals of the CIRP,vol.45/2, (1996)617-635
- 5) 艾曉庸 他: 精密工学会誌,66-10(2000)1578-1602