

光デバイス技術に関する応用研究

石田正文・木島一広・布施嘉裕・坂本貴仁^{*1}・吉澤徹^{*2}

Applied Study of optical devices technology

Masafumi ISHIDA, Kazuhiro KIJIMA, Yoshihiro FUSE, yoshihito SAKAMOTO and Toru YOSHIKAWA

要 約

高い移動分解能を有するステージの動作をレーザー干渉測長機で測定し、指令値と実際の移動にともなう実測値との誤差を測定するシステムについて検討した。その結果、ステージ移動速度の大小にかかわらず、指令値と実測値の間で誤差が大きくなるステージ位置が存在することを確認した。また、測定環境の温度変化が測定に及ぼす影響を調査したところ、0.1℃以内の温度環境でも±10nmの範囲で安定して測定出来ることを確認した。

1. 緒 言

従来のプリント基板とは異なり、ガラス基盤中に光導波路を形成し、データの信号処理を光で行う光デバイス技術は、将来、プリント基板に取って代わる技術として、大手企業を中心に研究が進められている。このような光デバイスの形成には、ナノメートル単位で制御できる高精度なステージが必要である。また、デバイスの微細化への要求が日々進んでいることから、今口ではさらに精度の高いステージが要求されている。しかしながら、今のところこのような要求を十分に満たすステージの製作は行われていないのが実状である。

これは、ナノメートルオーダーで駆動されるステージの動作精度の評価が、そのステージで加工した試作品の形状を測定することによって行われているため、ステージの動作精度を正確に把握しそのデータをフィードバックするのに時間がかかっていることがその一原因といえる。

現状ではナノメートルオーダーで動作する3軸駆動ステージの精度および動作の絶対的な評価は、測定光学系や温度変動に伴う揺らぎなどの影響もあり、システムの構築が非常に困難であると言える。そこで、こうしたステージの動作について指示値と実測値との誤差を測定し、微細加工への適否を検証する評価システムの構築が求められている。

今年度は、1軸ステージの往復動作について指令値と実測値との誤差の評価を行い、また環境温度が測定値に及ぼす影響を調べた。以下、その結果について報告する。

2. 実験方法

2-1 ステージの往復動作の測定

ステージの移動量（変位量）を測定する方法として、レーザー光を使用し光学干渉系によって発生する干渉縞によって微小な測長が可能なレーザー干渉測長計（㈱東京精密製DISTAX）を用いた。システムの最小分解能は約10nmである。測定の対象であるステージには、移動分解能50nmの精密ステージを用いた。

今回の測定システムのブロック図を図1に示す。

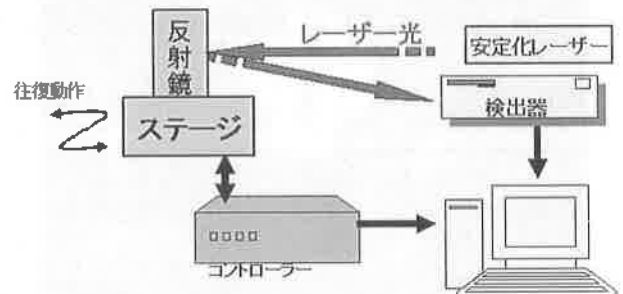


図1 変位測定の模式図

測長計のレーザーヘッドから発するレーザー光を、ステージの上部に固定した反射鏡（コーナーキューブ）で反射させ、反射光の中心が検出器に達するように、アライメントを調整した。レーザーヘッドから反射鏡までの距離の違いで検出器の中に発生する干渉縞は変化するので、検出器内部で変化する明暗の値をPC（パソコン）に保存し、距離に換算した。

ステージはコントローラからの指示で作動し、ステージの移動量は位置データとしてPCに取り込み保存した。

検出器からの測長データと、コントローラからのステージの位置データを比較し、コントローラからの指示値と実際に移動した距離（実測値）との差を計算し求めた。

2-2 温度変動による測定値への影響

レーザー測長用のヘッドとステージを距離150mmに保ち固定し、測定値の時間による変動を調べた。環境温度は、

*1 株式会社エスシーアイ

*2 客員研究員

測定器とステージの中間点付近で、高さ600mmの位置に、K型熱電対をつり下げる形で固定し、連続測定した。

2-3 雰囲気温度と測定値の変化の関係について

実際の測定を考えた時、測定空間の温度を0.1℃以内に安定することは容易ではないことから、温度変化を想定して補正する必要がある。

そのため、まずは今回の測定の基本となる定盤について、温度変化による影響を調べた。(写真1)

反射鏡と測定器を190mm離して固定し、測定値の時間的変動を調べると同時に、測定器(図2右側)と反射鏡(図2左側)との中間点の定盤上に熱電対を固定し、測定中の温度変動を測定した。また、反射鏡の前、測定器固定用台上の測定器の前、横側部分の温度も熱電対で測定した。

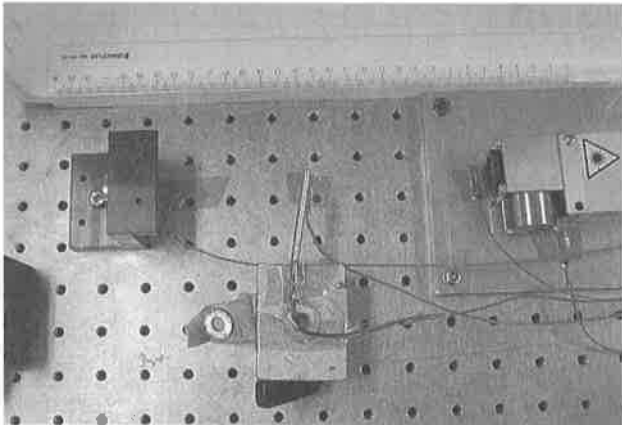


図2 測定部分

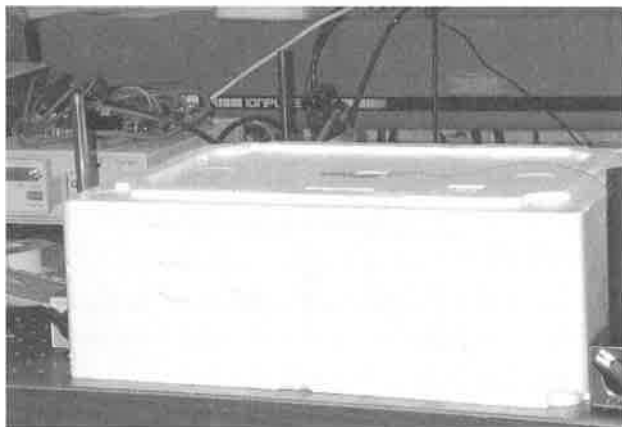


図3 測定の様子

また、空調の風による影響を避けるため、図3に示すように測定部分を厚さ23mmの発泡スチロール製の箱で覆い測定を行った。

3. 結果及び考察

3-1 ステージの往復動作の測定

0.5 μm/sでステージを往復させた時のステージの位置データの時間的変化の様子を図2に示す。横軸は測定開

始(ステージ動作開始)からの時間(s)を、縦軸はその時のステージの位置(μm)を示している。等速で移動を開始し、約6400秒後にステージが約3.2mm移動したところで折り返しゼロ付近に戻る一般的な往復動作である。

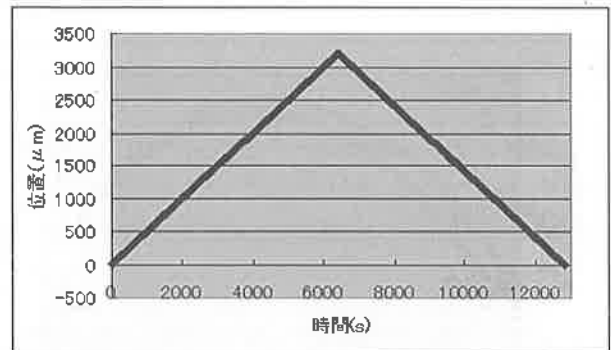


図4 ステージ位置の時間的変化

このときに、レーザー干渉測長計で測長した変位を図にしたものが図5である。図4と比較してほとんど同の変位を示していることから、ステージはほぼ指令値どおりに作動していることが確認できた。

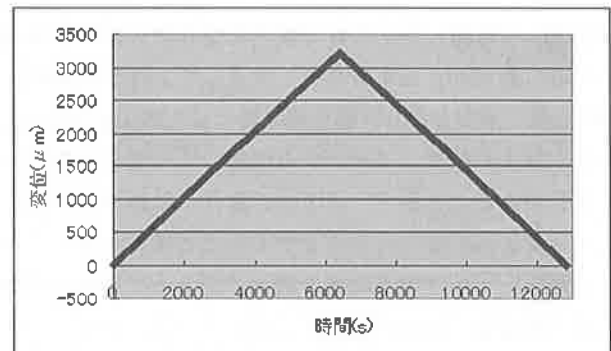


図5 測長データの時間的変化

そこで次に、位置データと測長データとの差を計算し、その結果について検討した。ステージの位置データと測定データの差の関係について調べた。結果を図6に示す。

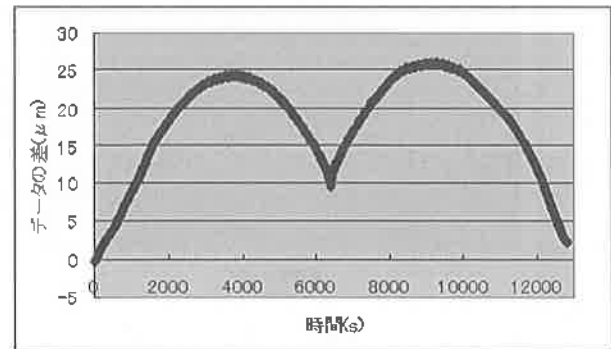


図6 データの差の時間的変化

横軸は測定開始からの時間(s)、縦軸は測長データと位置データの差(μm)である。

データの差は、2つの極大点を示しており、測定開始か

ら約4000秒後と約9000秒後である。ステージの移動速度は一定であり、約6400秒を中心に左右によく対称であること、約6400秒後にステージは折り返していることから、測定開始からのステージの位置に関する誤差があるものと考え、ステージの位置とデータの差について検証した。

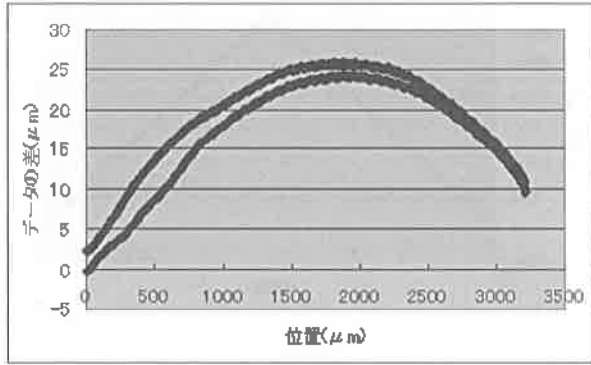


図7 ステージ位置とデータの差1

図7の横軸はステージの位置 (μm)、縦軸はデータの差 (μm) である。グラフの下側の曲線が行きのステージ動作のデータであり、上の曲線が帰りのデータである。その結果、データの差は0 (グラフ上の原点) から増加し、約2000 μm 移動したところで極大となりデータの差は減少する。約3200 μm を折り返し点として、再び約2000 μm の位置で極大となり、動作終了時には2.35 μm の差であった。以上の結果、ステージの位置によってデータの差に変化があることから、ステージ動作の軌跡は今回のシステムによってとらえることができたと思われる。しかしながら、データの差の値が最大で25 μm とステージ製造元の保証値 (5 μm) を大きく超えている。まず、ステージが動作中の測定であることから、移動速度が測定に及ぼす影響を調べるため、毎秒50、250 μm でそれぞれ動作させた時の測定を行ったところ、図6に示す結果が得られた。

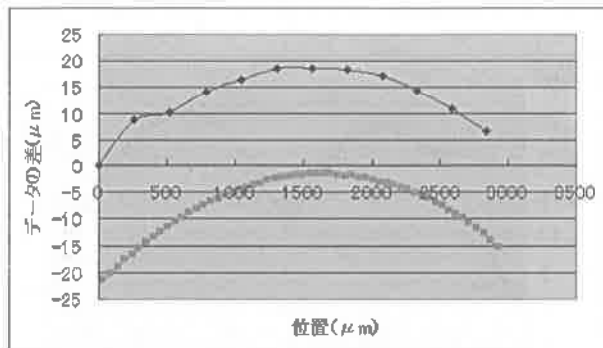


図8 ステージ位置とデータの差2

グラフ上の原点が動作を開始した点であり、グラフ上側の曲線が250 $\mu\text{m}/\text{s}$ 、下側が50 $\mu\text{m}/\text{s}$ で動作している時のものである。

まず、データの差の値は上下の曲線で約20 μm 違って

いる。これは、コントローラが要求してから位置データの応答があるまでの僅かなタイムラグや、PCがコントローラから読み込んで保存するまでの時間にもステージは移動しているため、移動速度が遅い時にはその時間の間のステージの変位もわずかであって測定に及ぼす影響も小さいが、移動速度が速くなるにつれて大きく影響してることが原因と考えられる。

次に、変動の様子を比較してみると、その曲線の形はとても良く一致しており、移動速度に無関係であり、ステージの位置のみに関係するものであることから、ステージの機械的精度が原因する誤差であるといえる。

これらの誤差はボールネジのピッチなどの精度やローリング、ピッチングなどが考えられる。今回の測定ではそれらすべてを含めた形ではあるが、ステージの特性を大まかに把握することができたと思われる。

3-2 温度変動による測定値への影響

ステージを固定したままの状態では放置し、測定値の時間の経過による変動を測定した結果を図9に示す。

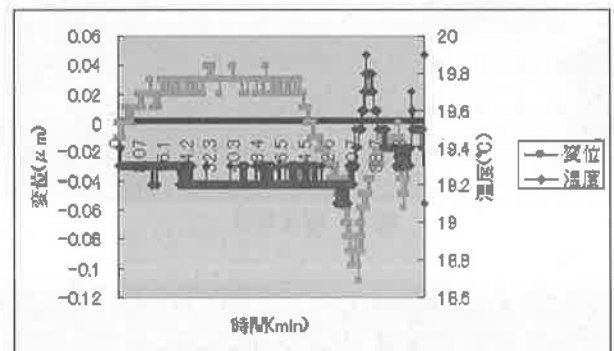


図9 温度と変位の時間的変動

測定開始から約20分間は、温度も変位も変動が見られるが、その後、空間内の温度も変位も約30分間にわたって、温度変化は約 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、変位は $\pm 10\text{nm}$ でほぼ一定に推移している様子がわかる。測定開始直後の温度と測定値の変動は、測定準備の完了後すぐに開始したために準備作業中に環境が乱れ、それが安定するまでに時間がかかったことでデータが変動したものと考えられる。また、測定を開始して約1時間後の変位と温度の大きな変動は、作業者の影響を調べるために人為的に測定空間内に人間が入ったことによる環境の乱れによるものである。

このことから、 0.1°C 範囲内において測定環境が十分に安定していた場合、測定システムは最小分解能である $\pm 10\text{nm}$ の範囲で安定することがわかった。

3-3 雰囲気温度と測定値の変化の関係について

定盤上の熱電対による温度測定と、測長器による変位の測定結果を図10に示す。

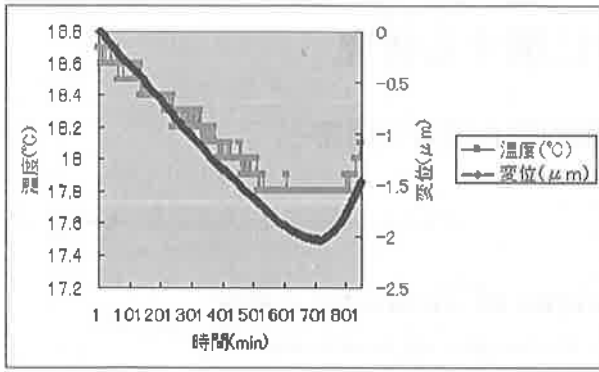


図10 変位の温度追従性

横軸は時間 (min), 左縦軸は測定器と反射鏡の中間に据え付けた熱電対による温度 (°C), 右縦軸は変位 (μm) である。マイナスの変位は、測定開始からの測長距離が短くなったことを表している。

温度の下降とともに測長距離が短くなっていることがわかる。測定開始からの温度変化は最大で 0.9°C 、変位は最大で $2.037\mu\text{m}$ であった。この変位量は使用した定盤の材質 (SUS410) の熱膨張率 (11×10^{-6})、測長距離 190mm から計算した $2.09\mu\text{m}$ とほぼ一致していることから、熱変形によるものであることがわかる。

また、温度変化が最大になったあとでも変位量が変化しているのは、定盤の持つ熱容量などのために応答が遅れているものと考えられる。これは、測定中だけでなく測定開始前の温度変化もマイクロメートルオーダーで測定に影響することを意味している。

また、温度に対する変位量をグラフにすると下の図のようになる。

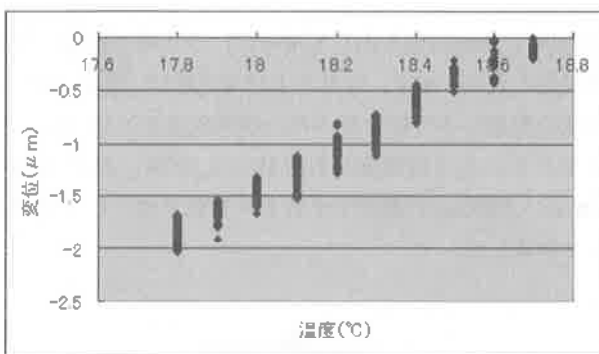


図11 温度に対する変位量

図の横軸は温度 ($^\circ\text{C}$), 縦軸はその時の変位 (μm) である。約 400nm の測定値の幅はあるものの、温度に対して変位が比例していることがわかる。

4. 結 言

ステージ往復動作時の指令値と実際の移動量との誤差および環境温度の変化による影響について検討し得られた結果は次の通りである。

①一定の速度で往復動作するステージを測定して指令値と実測値を比較した結果、位置データと実測値との誤差が大きくなる位置があることがわかった。移動速度に関わらないことから、実験に使用したステージの機械精度が原因と考えられ、ステージ動作の精度をチェックできた。

②温度の変動が $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の範囲にある場合には、今回使用した測定システムの最小分解能である $\pm 10\text{nm}$ の範囲内で安定してデータを測定できることがわかった。

③環境温度が測定値に及ぼす影響について調べた結果、温度に比例した測定値の変化が確認でき、温度変動による測定値の誤差を修正するためのデータとすることができた。

今年度は、精密ステージの基本的な動作確認と環境温度の影響について調査した。今後、2軸制御時の運動軌跡の測定手法について検討していきたい。

参考文献

- 1) レーザー学会編：先端レーザーテクノロジー，日経技術図書株式会社 (1992)