

## nm オーダの計測を補償する環境一定制御チャンバーの開発

キーワード：レーザー干渉測長器、環境補償、温度、湿度、気圧、超精密加工

はじめに

レーザー干渉測長器（以後『レーザー測長器』と略す）は、超高精度・非接触測定・設置の簡便さといった特徴を活かし、超精密ステージの移動量測定や位置制御に広く利用されています。一方で、レーザー測長器の基準となる光の波長は、真空中では一定ですが、大気中では空気の屈折率に依存して変化します。このため、大気中での計測では、何らかの環境補償を講じない限り測長誤差が発生します<sup>1)</sup>。

屈折率変化の影響は予想以上に大きく、レーザー測長器を位置決めに利用した加工機の場合、半日以上の連続加工を実施した際に、レーザー測長誤差は、熱変形以上に形状誤差を生じさせる要因となり、その大きさは数百 nm ~ 1 $\mu$ m 超にも達します。

当研究所では、このようなレーザー測長誤差を極力排除し、正確な位置決めを実現するために、超精密加工機用の環境一定制御チャンバーを開発しました。空気屈折率は環境中の温度、湿度、気圧によって決まることから<sup>1)</sup>、本チャンバーは温度、湿度、気圧を一定に管理することでレーザー測長誤差を抑える装置としました。ここでは、本チャンバーの構造を説明するとともに、制御性能やチャンバー内での加工実験の結果について解説します。

### 環境一定制御チャンバーの仕様と構造

表1にチャンバーの仕様を示します。この仕様を満足すれば、加工機の位置決め誤差は100nm以下になります。

図1は環境一定制御チャンバー設置時の状態を示した模式図です。給気用送風機から取り込まれた外気は、調整バルブ(モータダンパー)を経てチャンバー用空調機に吸い込まれ温度と湿度が管理されます。温・湿度が調整された空気は、2つのエアダクトとを介し加工機を覆うエンクロージャの真

表1 環境一定制御チャンバーの仕様

制御項目	絶対圧力、空調（温度、湿度）
圧力制御方式	陰・陽圧混在型の絶対圧力制御(PID)
制御圧力範囲	980~1025hPa、内外差圧 $\pm$ 20hPa
制御圧力精度	PV=0.4hPa 以内
空調制御方式	再加熱・再加湿方式(PID)
制御温度精度	PV=0.2 以内（加工機内では $\pm$ 0.06）
制御湿度精度	PV=4% 以内

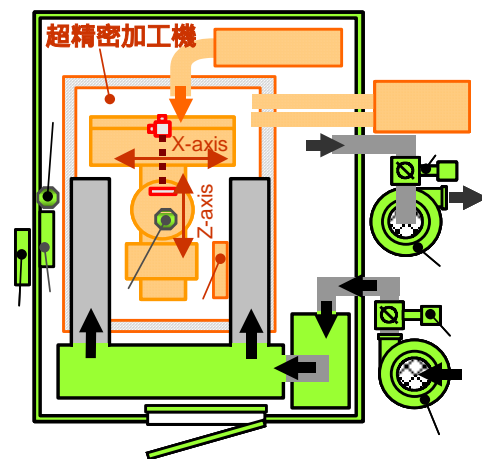


図1 環境一定制御チャンバーの構成

上に吹き出します。吹き出し空気の一部は空調機に回収されますが、最終的に送風機によってチャンバーの外へ排出されます。温・湿度センサーは空調機の制御用でチャンバー中央付近の天井に、気圧制御用センサーはチャンバーの側壁に設置しています。

チャンバー内部の温・湿度の管理は、再加熱・再加湿方式のPID制御で行っています。チャンバー内外の差圧の大きさは、供給空気と排出空気との流量差で定まりますので、気圧の制御は、あらかじめ給気側・排気側双方の最小風量を定め、内部が陰圧(陽圧)時には給気(排気)側から最小風量で空気を送りながら、排気(給気)側の送風機回転数とバルブ開度を調節するPID制御としました。

チャンバーの入り口は二重扉とし、二重扉の中間層の気圧が、チャンバー内部が陰圧

時にはチャンパー内部と、逆に陽圧時にはチャンパーの外側と同じになる構造としました。このような機構は、気圧制御時の差圧による扉の突然の開口などを防止するためです。チャンパーの内外には、温度、湿度、気圧を監視できる環境モニター と を配置しました。

### 環境一定制御チャンパーの有効性評価

本チャンパーの有効性は、チャンパー内で実施したラスター切削実験で評価しました。

ラスター切削は、図2に示すように、Y軸方向を固定したXZ面内で、回転工具を2軸(X軸とZ軸)同時制御することで1回の切削加工を実行し、これをY軸方向に繰り返すことで自由曲面を創成する方法です。

図3(a)、(b)に加工面Y軸方向の形状誤差を示します。同図(a)は気圧を制御していない場合、(b)は気圧を陰圧で一定に制御した場合は、両図には、チャンパー内外の気圧変化  $P_i$ 、 $P_o$  と、形状誤差の推定値  $\delta E$  (予測される位置決め誤差  $\delta L$  をもとに計算)を併記しました。

図3より、温・湿度の制御精度、チャンパー使用時の気圧制御精度は、表1の仕様を十分満足する結果となりました。

気圧制御のない図3(a)の場合、PV値で505nmの大きな形状誤差が発生しています。この形状誤差は、実測値と推定値がほぼ一致

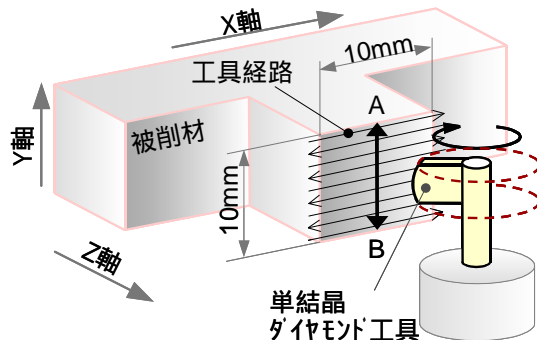


図2 ラスター切削加工の概念図

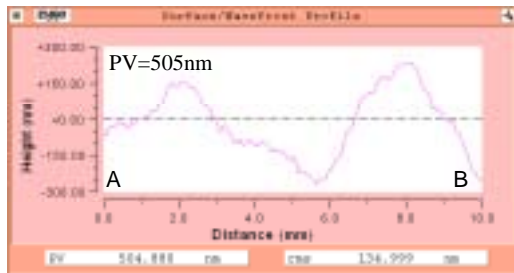
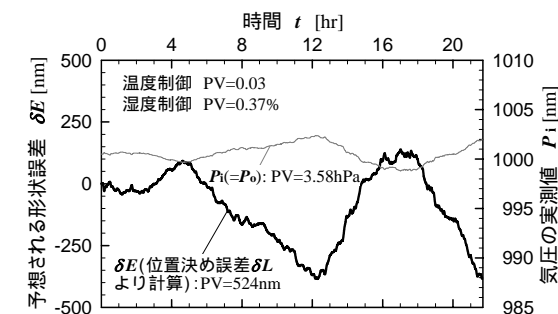
することからも明らかなように、環境変化にともなう位置決め誤差  $\delta L$  が主要因となっています。一方、気圧を制御した図3(b)では、気圧変動がPV値で0.19hPa以内に管理され、形状誤差はPV値で91nmになっており、本来予想される形状誤差293nmに比べ大幅に低減された結果となっています。

### まとめ

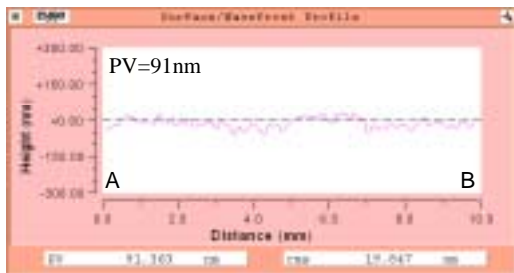
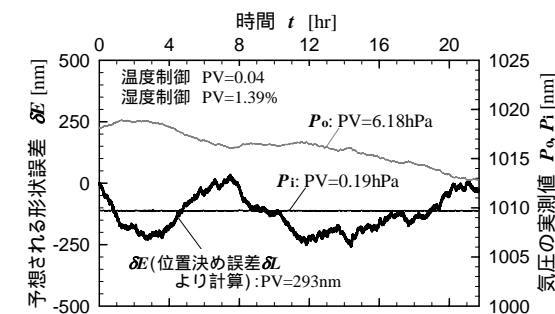
以上のように、今回開発した環境一定制御チャンパーは、実際の加工状況においても有効に機能し、長時間にわたり安定した加工環境を提供できます。本技術に関しご興味のある方は是非ご相談下さい。

### 参考文献

- 1) 山口勝己:大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet No. 05001



(a)チャンパー未使用



(b)チャンパー使用

図3 環境一定制御チャンパーの有効性