

要 旨

本論文では高感度微小傾斜角検出器の開発に必要な微小傾斜角発生装置の改良とその性能について報告する。従来使用してきた装置の角度発生にはピエゾ素子を用い、角度の刻み幅が 10^{-6} [rad]程度を示すことがわかった。そこでより小さい角度を得るために金属棒の熱膨張を利用して角度を発生させることとした。現在のところ角度の応答が複雑になっており実用化には至っていない。

1. はじめに

近年の科学技術の発展に伴い、工業製品の精度向上のためには工作機械自身の設置環境にも着目する必要性が生じている。そこで当研究室では微小傾斜角検出器の開発を行っている。この検出器には他の傾斜計と比較して小型で軽量であるという特徴がある。今までの研究の結果、この検出器の感度が向上し校正装置である傾斜角発生装置の性能が不十分になってきた。そこで本研究ではこの装置の改良を行うこととした。本論文では今まで使用してきた校正装置の性能の確認及び新型校正装置の原理と構成について触れ、測定方法と測定結果の考察を述べることにする。

2. 微小傾斜角発生原理

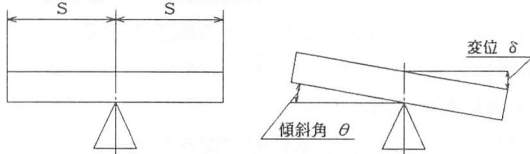


図1 傾斜角発生原理

傾斜角発生の原理を図1に示す。1辺が2Sの正方形の板の中心を1点で支持したテーブルがあり、その一端に変位 δ を与え、テーブルを傾斜させ角度を θ 得るものである。ここで $\delta \ll S$ と考えることができるので上図より次式が得られる。

$$\theta \cong \tan \theta = \frac{\delta}{S} \quad [rad] \quad (1)$$

3. 旧式傾斜角発生装置の性能

従来使用してきた校正装置(旧傾斜台)では、変位を与えるために駆動部分(アクチュエータ)にピエゾ素子を用い、その伸縮を利用してきた。ピエゾ素子の圧電変換により発生した変位はオプトマイクロメータを使用し、傾斜台片端で測定する。図2は、ピエゾ素子への出力電圧の刻みを順次小さくして変位との直線性がどこまで保持されるかを行った結果であり、刻み電圧が0.005[V]で限界を示すことがわかった。図2より1点当たりの変位 δ は約19[nm]であり、本実験ではテーブル中心から測定点までの距離Sを10[cm]としているので式(1)より1点当たりの傾斜角 $\theta = 0.19 \times 10^{-6}$ [rad]と算出することができる。従ってこれを旧傾斜台が発生できる最小の傾斜角であると判断することにした。

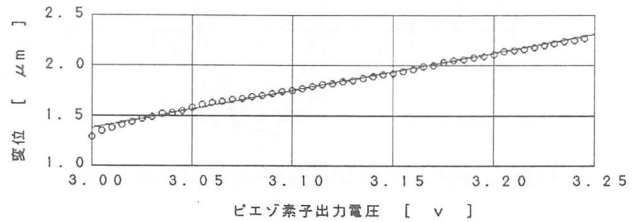


図2 旧傾斜台性能試験結果

4. 新型傾斜角発生装置の原理と構成

当研究室では旧傾斜台からの改良点として以下の点を挙げ、新規に傾斜台を開発することとした。

- ① 長期間にわたる緩やかな傾斜角変化
- ② 10^{-6} 以下の傾斜角変化
- ③ 基本構造は変えずにアクチュエータを改良

これらの点を満たすために新型の傾斜台ではアクチュエータに金属棒の熱膨張による伸縮を利用することにした。ここで長さL、線膨張係数 α の金属棒が ΔT だけ温度変化した場合を考える。このときの伸び δ は次式で表される。

$$\delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (2)$$

この伸び δ を傾斜角変化に利用することにした。新型アクチュエータの構造を図3に示す。熱源にはペルチェ素子を用い、金属棒は2枚のアルミブロックで挟むことによって固定している。ペルチェ素子に電力を供給するとアルミブロックを通して金属棒に熱が伝わり、その温度変化により変位を得るという仕組みになっている。さらに各熱伝導部分には、熱伝導を良くするためにシリコン化合物を塗布している。傾斜台は鉄板の各辺の中心にてスプリングで支持し、中心に設置したボールベアリング球を支点に自由に傾くことができる。また、金属棒の材質は真鍮と炭素鋼の2種類を用意した。

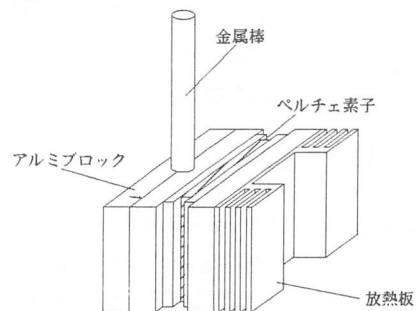


図3 アクチュエータ構成図

5. 新型傾斜角発生装置の性能試験結果

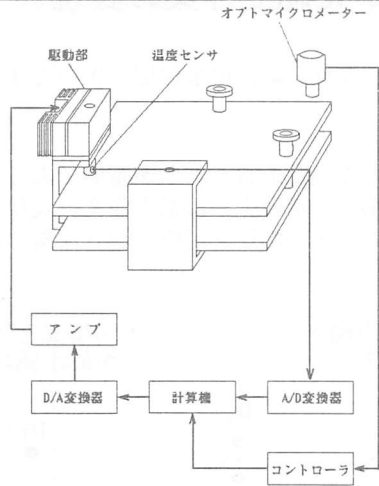


図4 新型傾斜台の計測システム

新型傾斜角発生装置では熱膨張を利用することから、変位だけでなく温度も同時に測定する。その方法は図4のように、ペルチェ素子への電圧の供給をコンピュータからD/A変換ボードを使用を行い、それにより発生した変位をオプトマイクロメータで測定する。また、ここでの測定量である温度は金属棒先端の温度としているので、金属棒の先端に温度トランスデューサが入るだけの穴をあけ、そこに温度トランスデューサを差し込みA/D変換ボードにて測定する形式をとっている。

図5と図6はそれぞれ真鍮と炭素鋼を用いたアクチュエータ単体での性能試験結果である。この実験により傾斜台が金属棒の伸縮に対してどのように影響するのかを知ることができる。また、金属棒の材質の変更がアクチュエータの性能にどれほど結びつくかを検討するという意味での目的も含んでいる。この測定結果は供給電圧をステップ状に変化させ、金属棒先端の長さの変化と温度を測定したものである。グラフを見ると長さの変化がほぼ一定になるまでにはどちらの場合も約60 [min]の時間を要することがわかる。真鍮の場合と炭素鋼の場合を比較すると、温度変化 ΔT はほぼ同程度であり、金属棒の長さ L も同じであるにも関わらず変位量が違っている。式(2)によるとこの変位量 δ の違いは2つの材質の線膨張係数の違いによるものであると考えられるが、これだけでは説明できないほどの顕著な差が見られる。

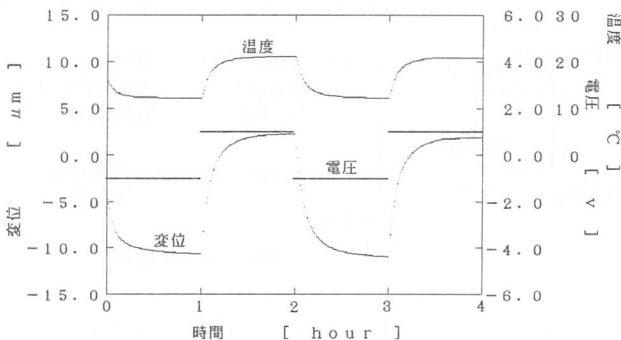


図5 アクチュエータ単体での性能試験（真鍮）

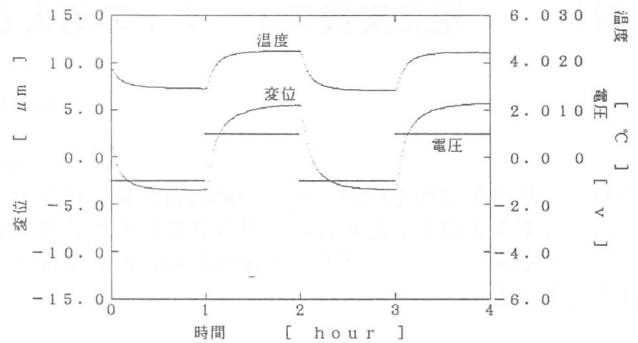


図6 アクチュエータ単体での性能試験（炭素鋼）

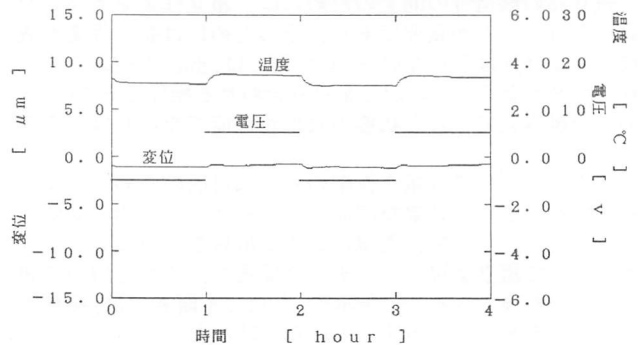


図7 傾斜台取付時の性能試験（真鍮）

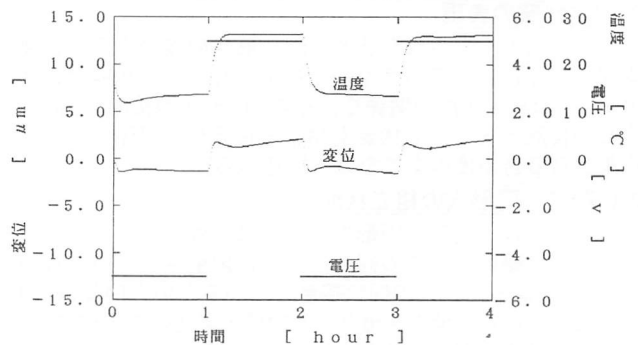


図8 傾斜台取付時の性能試験（真鍮）

次に真鍮のアクチュエータを傾斜台に取り付けた場合の測定結果を図7に示す。ここでの変位は傾斜台の変位とし、各測定条件も同じものとして行った。ところが図7を見る限りでは応答を判断できず、しかも先程と同じ供給電圧にも関わらず温度の上昇が著しく小さい。そこで供給電圧を大きくして測定した結果が図8である。温度については同様の傾向が見られ、変位は複雑な応答を示すことがわかった。これは、アクチュエータと傾斜台には様々な接続点があり、そこからアクチュエータの熱がかなりの割合で傾斜台に流れ込むというのが原因であると考えられる。

6. 結論

本研究では金属棒の熱膨張を利用した角度発生装置を提案した。アクチュエータ単体で見ると高性能の校正装置としての可能性を見出すことができた。しかし傾斜台取付時の結果を見ると、金属棒の熱の流出が原因で滑らかな角度変化を損ない、校正装置としては疑問を残す結果となった。従ってアクチュエータの傾斜台への取付方法を見直し、金属棒の断熱を徹底する必要がある。