

Study on Compensation for Dimensional Error in Machining using Piezo-electric Actuator

M.Aoyama and S.Senda
Nagoya University

圧電アクチュエータを用いた誤差補正切削システムの製作

1. はじめに

近年、切削加工においてはニーズの多様化に伴い、マイクロ化および高精度化への対応が要求されてきている。しかしながら切削加工では、機械自身の母性原理に伴う誤差、切削過程で生じる誤差および制御過程で生じる誤差など避けることのできない微少な切削誤差が生じることがある。この対処法として通常切削により仕上げ工程直前まで誤差を容認し、仕上げ直前で計測後、その結果をフィードバックして刃物台に誤差相当分を付加した切り込みを与える加工法を考えた。これを誤差補正切削と呼び、工具台に所望の微少変位を与え、工具の位置補正を行うことで簡便に高精度の旋削を実現しようとするものである。これにより大規模な設備や高度の空調管理を必要とすることなく、既存の工作機械により高精度な加工が可能となる。本報告では普通旋盤をベースに加工実験を行い本装置の有効性について検討を行った。

2. 実験装置

2-1 装置全体

図1に装置全体の外観を示す。図のように、普通旋盤の刃物台に圧電アクチュエータがセットされ、往復台上には加工後の寸法をパソコンに取り込むための計測器が取り付けられている。また刃物台の縦送り量を検出するための位置センサーが縦送りハンドル裏面にセットされている。また右側のラック上にはデータ取り込みおよびアクチュエータの微小変位を出力するためのパソコン制御システムを配置している。

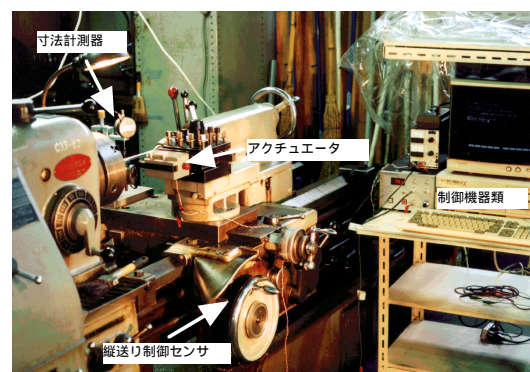


図1 装置外観

2-2 アクチュエータ

図2, 図3にアクチュエータ外観および概略図を示す。図のように平行ばねで構成されたアクチュエータ内部に圧電素子（トーキン製ABS340）が装着されており、圧電素子の伸縮により薄肉部の弾性変形によって微少移動を可能としている。またアクチュエータは刃物台の4片取り付け部の1片にセットされている。なお工具は単結晶ダイヤモンドバイトを用いている。図4はアクチュエータの印加電圧に対する変位特性を示し、最大変位19[μm] (140V時) が得られている。なお図のように印加電圧の適用範囲により変位線図を直線で近似した場合多少の差異が生じており、実験では電圧の使用域に応じて2通りの近似式により制御を行っている。

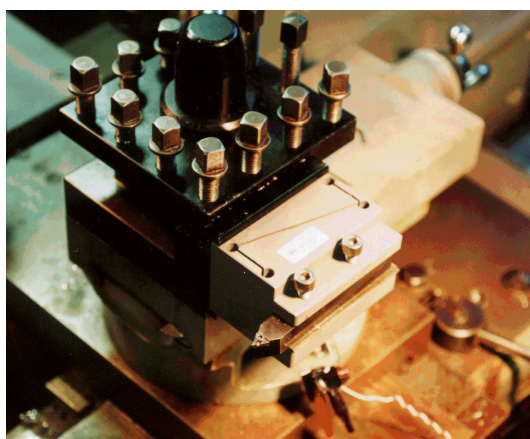


図2 アクチュエータ外観

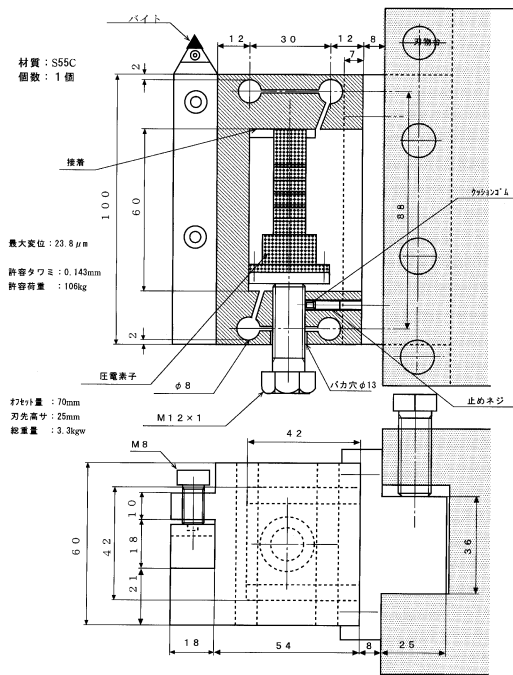


図3 アクチュエータ概略図

2-3 寸法計測器

図5に切削外径寸法を測定するための計測器の外観を示す．図のように対向させたインジケータを往復台上に取り付け切削外径寸法を測定した．測定子は転がり接触方式とし，すべり接触で発生する摩擦によるスティックスリップや焼き付きまたは摩耗による誤差を排除している．またインジケータ移動用ツマミを回すことにより計測範囲が変更可能であり，5mmから70mmまで確保している．なおインジケータは最小1μmまで表示され，出力は計測データ転送装置によりパソコンに取り込まれる．このように簡便に，かつ高精度で再現性の高い計測を実現している．



図5 寸法計測器外観

2-4 縦送り量検出位置センサ

縦送り量の検出は縦送りハンドル背面に付帯させたセンサにより回転角度から測定した．縦送りハンドル1回転で30mmの送り量が得られるため，3等分した同心円上にマグネットスイッチ（SONY製 SET-P15）をセットし送り量10mm毎に位置を検出している．位置検出時にはパイロットランプが点灯するが，ランプは送りハンドル背面に位置するため，新たにミラーを付帯することで作業からの確認を容易にしている．

3．加工システムの構成および操作手順

図6に加工システムの流れ図を示す．はじめに圧電素子に電圧を印加しない状態において，アクチュエータに取り付けられたダイヤモンドバイトにより通常切削を行う．通常切削は補正切削で行う仕上げ代当量を残し，また最後の切削では，切り込み量，回転数および送り速度などを補正切削と同様の加工条件により加工を行う．これは，通常切削と補正切削時での誤差要因を同様にするためである．つぎに通常切削により加工されたワークの外径寸法の測定を行う．ワークの直径頂点部にインジケータ測定子を当て，縦送りハンドルにて往復台に設置された計測器を軸方向に移動させ，ワーク端面から一定間隔（20mm）で測定を行う．測定された値は計測器に取り付けられた対向したインジケータからデータ転送器を介してコンピュータに転

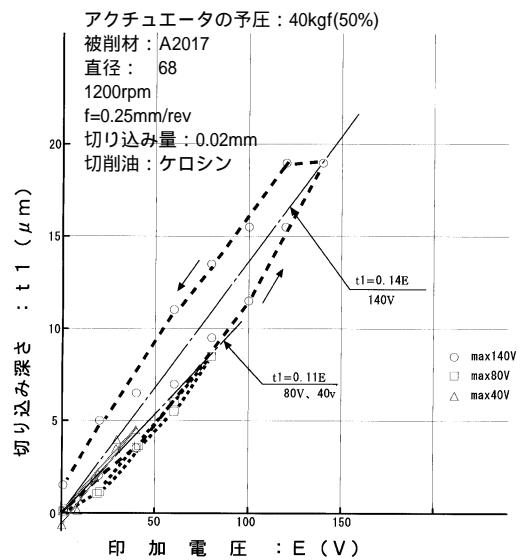


図4 アクチュエータ変位特性

送される。転送されたデータは最小直径部の補正量が0となるように軸方向距離ごとの補正量を圧電素子印加電圧に換算され補正切削用データとなる。計測終了後、通常切削の最終条件と同様の加工条件によって加工を開始すれば、縦送りハンドルに取り付けられたセンサーからの信号によって一定間隔（20mm）ごとにアクチュエータ制御を行い補正加工は完了する。このようにシステム構成は非常に簡単であり、また操作も通常の旋盤操作と全く同様であり、簡便に補正制御加工が行えることが大きな特徴である。

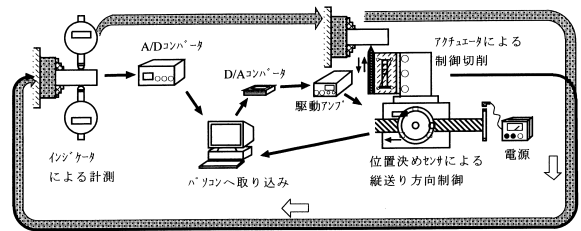


図6 制御系インプロセスの流れ図

4. 実験結果および考察

4-1 工作機械の持つ誤差

機械加工において避けることのできない誤差の1つに工作機械自体の製作時に発生した、機械そのものの持つ誤差があり、さらには長年使用したことによる摩耗および経年変形なども含まれる。一般に旋盤においては使用頻度の高い主軸端付近の往復台案内面に摩耗が大きくなり、この付近でワークの直径が大きくなるような切削誤差が発生するものと考えられる。この誤差が実際の旋盤でどの程度あるかを確かめる実験を行った。まず切削抵抗によって被削材が変形しそのため誤差が生ずるので実験ではこの影響を受けないよう大きな直径の被削材において小さな切り込み（高剛性軽切削条件）で工作機械の持つ誤差の影響を確認し、またその補正切削を行った。図7に加工条件、切削誤差およびその補正切削の結果を示す。図のような加工条件において通常の旋削を行う場合、グラフ破線で示すように、主軸端側において6 μm の製品上の直径に誤差が生じた。そこで同様の加工条件において誤差補正制御を行い、図中の実線で示すように経年摩耗の影響を最大誤差2 μm に補正することができた。

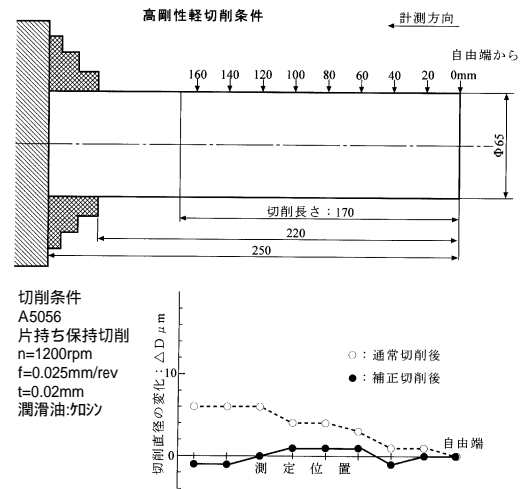


図7 工作機械の持つ誤差による切削誤差および補正結果

4-2 切削抵抗による影響

片持ち切削においては、切削抵抗による被削材のたわみによって切削誤差が生ずるものと考えられる。その影響を調べるために被削材は比較的たわみが生ずるような図8に示す棒材を用いて実験を行った。その結果を図8の下図に破線で示した。この誤差は当然被削材のたわみによる切削誤差と先に述べた工作機械の持つ誤差も含まれている。その誤差を補正する切削を行った結果を実線で示す。グラフの破線で示すように主として切削抵抗によって自由端側がラッパ状に12 μm 太くなる切削誤差が生じた。同様の条件において補正制御を行い、実線で示すように切削誤差を2 μm に改善することができた。

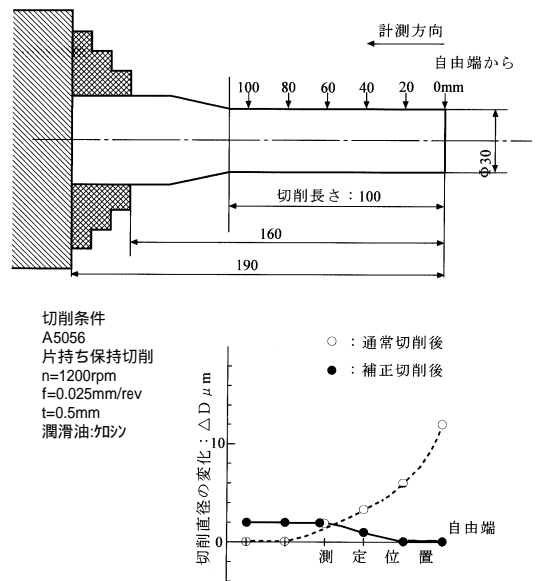


図8 切削抵抗による誤差および補正結果

4-3 切削抵抗およびセンタの芯ずれによる影響

長軸材の旋削加工において行われるセンター押し加工では

切削抵抗によるとっくり形形状，センターの芯ずれによるテーパ形状，工作機械の持つ誤差による影響などが混在した切削誤差が生じるものと考えられる．そこで特に切削抵抗の影響が顕著となる小径長軸材料について切削実験を行った．図9に加工条件，切削誤差および補正切削の結果を示す．グラフの破線で示すようにセンターの芯ずれの影響で主軸端側で約40 μ mの切削誤差が生じている，また切削抵抗の影響によるとっくり形形状も確認することができる．同様の条件で補正切削を行った結果を実線で示す．図のようにセンターの芯ずれによる誤差はかなり補正することができた．このように簡便に補正できる本装置は実加工における芯押し台の調整ネジのみによる完全なセンター合わせの困難さ，また芯押し台案内面が摩耗により機械的芯ずれ調整が不能な場合，顕著な有効性を示す．しかしながら切削抵抗の影響であると思われるとっくり形形状誤差は補正することができなかった．これは被削材が小径のため切削抵抗の影響を受けやすく，補正量の切り込みによりその分さらに切削抵抗が増加しその影響が残ったものと考えている．これをさらに補正するためには，補正量による切削抵抗の増加分を見込んで補正をおこなう必要があり，今回はアクチュエータの最大変位量の19 μ mを越えてしまうため補正がなされなかった．今回の切削実験では切削抵抗の影響を顕著に示すため，このような剛性のない形状に比較して切り込み量を0.1mmと大きくして加工を行ったが，実際にはもっと切り込み量を小さくして切削する必要がある，そのような条件下ではもっと良い結果が期待できるのではないかと考えられる．

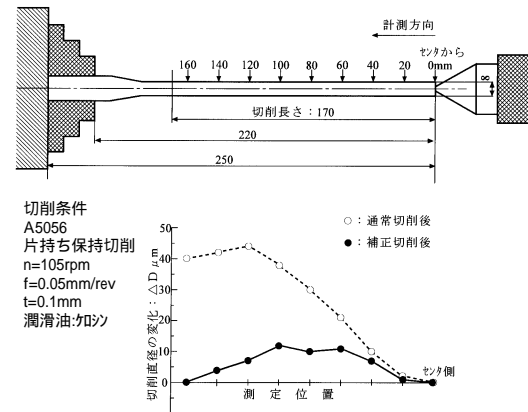


図9 切削抵抗およびセンター押しの芯ずれによる切削誤差および補正結果

5. おわりに

圧電アクチュエータを用いた誤差補正切削装置の製作，また実際の切削実験により装置の性能評価を実施し，以下のことを明らかにした．

- (1) 本装置は圧電アクチュエータを用いた簡便な機構であるにもかかわらず，実際の加工実験によって切削中に生じる様々な要因による切削誤差を加工工程中に高精度に補正できることが明らかとなった．
- (2) 切削誤差は軸方向だけでなく半径方向においても生ずると考えられ，これらをも補正できるような装置への発展を試みる．

謝辞

本実験を遂行するにあたり機械工学専攻 山口勝美教授には研究の端緒を始め，終始，懇切なるご指導をいただきました．また，機械情報システム工学専攻 近藤一義教授，並びに所属講座の皆様には工作機械設備の利用に際して快いご理解とご協力をいただきました．ここに厚く御礼申し上げます．

参考文献

- 1) 村上初男 他：圧電アクチュエータを用いた誤差補正切削，平成9年度名古屋大学工学部研修（1997），126
- 2) 岡崎祐一：圧電素子を用いた微小変位工具台，精密学会誌（1988），1375