

熟練技能者の作業ノウハウを実現可能な穴あけ工作機械の開発

函館高専専攻科 ○庄内俊、 函館高専 近藤司
三菱重工 小西崇仁、日本大学 白井健二

要 旨

熟練技能者が手動で穴あけ加工する際、切削抵抗に応じて送り量を調整したり、工具を被削材から離したりして、工具に無理な負荷がかからないようにする。この動作を自動化して熟練技能者の加工技術と同等の穴あけ加工技術を備えた加工システムの開発について報告する。

1. 結論

熟練技能者が手動で切削加工する際には、その操作において切削抵抗が大きいと感じると切削力が小さくなるように加減したり、また工具を被削材から離したりと、切削工具に無理な負荷がかからないようにするものである。NC 工作機械は、プログラムされた軌跡と速度を維持するため、切削抵抗が大きくなり工具に無理な負荷がかかっても、決められた送り速度で加工を続けるため、切削工具が破損する危険性がある。本研究は、ドリル加工を対象として、切削抵抗に応じてドリルの加工動作を自動的に制御することで熟練技術者の技能と同等の切削加工技術を備えた加工システムを開発することを目的とする。本システムは卓上ボール盤を NC 制御用に改造し、自作した C 言語プログラムから命令することでパソコンから制御される。

2. 穴あけ作業ノウハウの取得

人間が手動で加工作業を行う場合、その制御するハンドルには切削抵抗が反力としてかえってくる。作業者はその反力を感じながら、加工状態の良否を判別しハンドル操作を行う。加工作業における反力変動を見ると作業者の作業ノウハウを推定できる。本研究ではスラスト方向の反力に着目し、穴あけ加工における作業ノウハウの取得を試みた。図 1 に安定した穴あけ加工作業の場合の反力変動を示した。ある抵抗力になると力を緩める動作をほぼ一定時間間隔で繰り返していることがわかる。この結果から、本研究では穴あけ作業ノウハウをスラスト方向の切削抵抗のピーク値と一定時間間隔で定義する。

3. 提案する穴あけ加工システム

3.1 システム構成

提案する穴あけ加工システムは NC ボール盤とそれを制御する PC から構成されている。PC にはボール盤のドリル位置制御のために用いるステッピングモータの制御、および主軸移動範囲リミットスイッチの信号検出用の DIO ボードとひずみゲージによる切削抵抗を検出する AD コンバータが取り付けられている[1]。

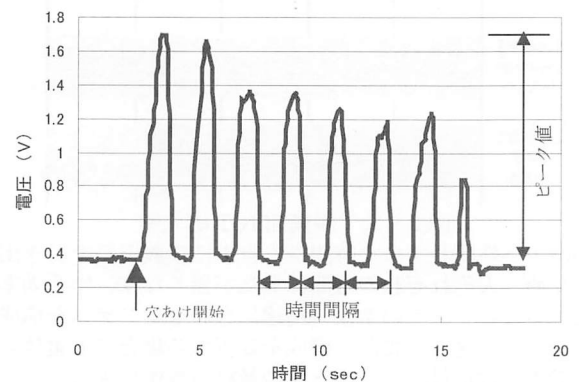


図 1. 手動穴あけ加工作業における切削抵抗

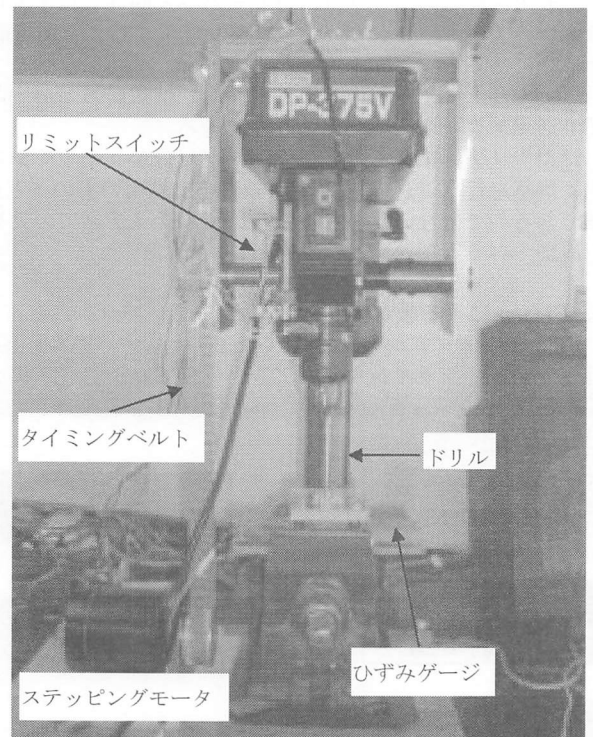


図 2. 開発した NC ボール盤

3.2 NC ボール盤

開発したNC ボール盤を図2に示す。市販のボール盤のドリル移動用ハンドル部を改良しプーリー、タイミングベルトを介して、ベースに取り付けたステッピングモータと連結することでドリル移動の数値制御を可能とした。モータの回転分解能は0.36度であり、ドリル移動分解能は約0.05mmである。またドリルの現在位置を認識するため移動範囲境界にリミットスイッチを取り付け原点設定およびドリル位置の監視を可能にした。

3.3 切削抵抗の検出

切削力を検出するために、ひずみゲージを用いた。ゲージを被削材固定台の裏面に取り付け、スラスト方向の力(電圧)を検出する。ひずみの大きさは微小であるため、検出する電圧はチャージアンプに加えて自作の増幅回路によりさらに約10倍に拡大し、10ビットAD変換ボードを介してPCに入力した。

3.4 ドリル移動速度制御

ステッピングモータの回転速度を制御することでドリルの移動速度を制御する。定められた時間 t_0 に定められたモータ角度 θ_0 だけ回転する。工作機械をNC制御させる場合、急な主軸送りは被削材や工作機本体に無理な負荷をかけることになる。そのため、徐々に加速や減速をする加減速方式を採用する[2]。図3は直線加速ならびに減速におけるパルス間隔と回転速度およびパルス周波数を示している。 t_0 を時間の原点として $t_0=0$ として、加速領域の勾配を β とすると

$$\beta = f_n / t_n \quad \dots \cdot 1)$$

これらからパルスのタイミング $t_0, t_1, t_2 \dots t_n$ を求める式を導いていくと t_1 は次のような式になる

$$t_1 = \sqrt{2/\beta} = \sqrt{2t_n / f_n} \quad \dots \cdot 2)$$

定常速度に至るまでの時間 t_n は

$$t_n = \sqrt{nt_1} \quad \dots \cdot 3)$$

であり、 n が加速と減速に必要なパルス数になる。また、加速終了時および、減速開始時のパルス数が定速時のパルス数になる。

3.5 提案する穴あけ加工システム

図4に提案するシステムの処理手順を示した。①設定した穴の深さと送り速度から直線加速情報を求める。②穴加工を行う。③モータへ1パルスを出力する前に切削抵抗を検出する。④切削抵抗(電圧)が設定値を越えているか評価する。越えなければパルスを出力する。⑤超えていれば、(モータを逆回転させて)一定時間、工具を被削材から離したまた接近させる。これにより工具やステッピングモータへ無理に負荷がかからない、熟練技術者が行うような穴あけ加工技術(IDT)を実現している。

4. 実験

4.1 実験方法

厚さ10mmのアクリル板の穴あけ実験を行った。ドリル径は4mm、回転数は500rpm、送り速度は約70mm/min、切削抵抗値を検出電圧に換算させ最大値を1.6Vに設定して、それ以上切削抵抗が大きくなると、2秒間、工具を被削材から離し

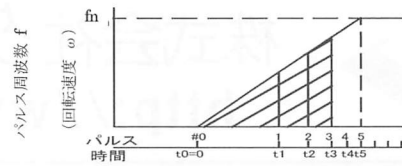


図3. 直線加速におけるパルスタイミング

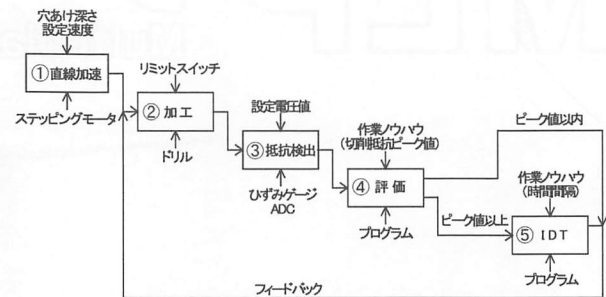


図4. 提案手法の処理手順

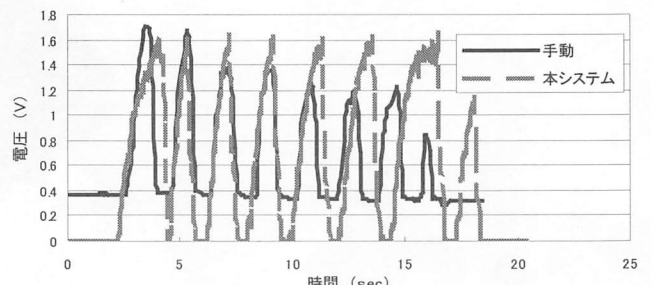


図5. 実験結果

て、ドリルへの負荷がかからないように制御した。

4.2 実験結果

本システムの実験結果を図5に示す。手動加工と、前述で取得したノウハウを導入した本システムで穴あけ加工実験を行った。その抵抗データを比較において、そのタイミングはほぼ一致していることが分かる。また、抵抗のピーク値は、手動の場合に比べ、ばらつきがなく、一定でかつ安定していると言える。

5. 結論

本研究では、穴あけ加工における熟練技能者の作業ノウハウを備えた穴あけ工作機械と穴あけ加工システムの開発を目的とし、以下の結論を得た。

- 1) 手動作業による加工抵抗測定から穴あけ加工の作業ノウハウを切削抵抗のピーク値と時間間隔と定義し、取得した。
- 2) 卓上ボール盤を改造し、熟練作業者の作業ノウハウを備えた穴あけ加工を実現可能なNC工作機械を考案し、開発した。
- 3) 穴加工ノウハウを装備した穴加工ソフトウェアを開発し、穴あけ加工実験により、手動加工作業との同一性能を確認した。

参考文献

- [1] 小西崇仁、2010年 函館工業高等専門学校 卒業論文
- [2] 見城尚志・新村佳久 著、ステッピングモータの基礎と応用 (東京総合電子出版社)