

切削シミュレーションに基づく工具送り速度制御に関する研究

北海道大学 ○矢部展土 近藤司 金子俊一 五十嵐悟

要旨

機械加工において、精度良く、能率的に加工することが求められている。高速に加工するためには剛性の高い工作機械（ハード）を用いる方法や、加工方法（ソフト）を改良する方法があるが、本研究では切削負荷予測による工具経路生成法による高速高精度加工の実現を目指し、Zmap モデルを用いた切削シミュレーションシステムを開発した。予備実験の結果から、切削体積と有効送り速度の関係を求めた。ここでは本手法の有効性と問題点について報告する。

1. はじめに

図1に高能率加工を実現するための要因を示した。高速高精度加工を実現する手法の一つとして等高線加工がある。その理由として、Z軸を固定して加工することにより、NC工作機械の駆動軸がXYの同時2軸に限定されるため、XYZの同時3軸を駆動する場合に比べ、工作機械の剛性や制御負担が少なく、高速送りが可能になると考えられる。

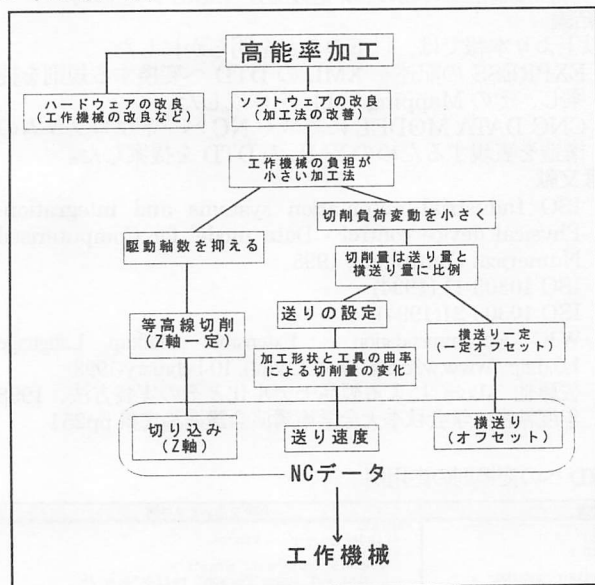


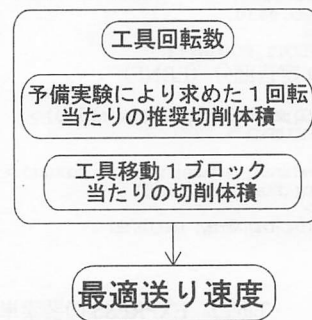
図1：本研究の概要

工作機械や工具の耐久性や加工面精度を考慮すると切削負荷変動が少ない方が望ましい。加工形状や部分的な削り残し量の違いにより切削負荷は大きくかわる。素材形状を考慮せず作成された工具経路データで自動加工を行う場合、もっとも切削負荷の大きな部分の加工に合わせて加工条件を設定するか、現場作業者が経験から工具送り速度を決定しているのが現状である。その場合、作業者は工具に対する切削負荷変動を制御し安定した

加工条件を選択している。工具経路データ生成時に切削負荷を考慮し、送り速度を制御することが可能になれば高能率加工を実現できるNCデータ作成ができる。

2. 切削負荷予測工具経路生成法

切削負荷予測工具経路生成法では、切削負荷と切削体積を同等と位置づけ¹⁾、切削負荷の予測をZmapモデルを用いて行い、Zmapで表現された素材形状と工具経路データを元に、送り速度を決定することで高能率加工を実現しようとしている。工具が単位距離を移動する際に被削材を除去する体積を計算し、近似的に工具1回転当たりの切削量が一定となる送り速度を算出する(図2)。



被削材と工具の干渉（切削）状態を計算機上で仮想的に求めるため、Zmapモデルを用いた加工シミュレータを作成した。与えられた工具経路と素材形状・予備実験の結果を用いて、工具1回転当たりの切

図2：最適送り速度

削除去量をほぼ一定とする送り速度を算出し、NCデータを作成する。Zmapモデルはx軸、y軸各100mmを0.1mmピッチで分割し、1000×1000の配列とし、座標(x, y)に対応するzの値を実数の値として持つ。工具はフラットエンドミルに限定し、直径r(mm)の円筒とした。与えられた工具経路を1ブロック毎に調べる。切削シミュレーションは工具移動ピッチ1mmを分解能として行っている。すなわち、工具が1mm毎移動するときの工具移動包絡体を求め、その内部に存在するZmapデータとの干渉状態を調べ更新することで切削量を算出する。これにより従来最大切削量に合わせ

ていた送り速度の設定を、本手法では切削量が少ないときには大きな送り速度に、また大きいときには小さな送り速度を設定することができる。

3. 予備実験

予備実験として切り込みと送り速度を変化させ、切削

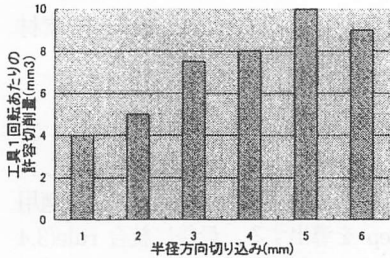


図3：1回転あたりの許容切削量

状態が安定して、加工速度を早く設定できる条件を調べた結果(図3)、工具1回転あたり4mm³以下では、びびりが起こらないことを確認した。

4. 実験装置及び実験方法

図4に今回行った切削実験の加工形状を示した。加工形状は工具1動作毎の切削体積が異なるように要求形状(6角形)を故意に素材中心から離れた場所に設定した。また、図5にシミュレーションの実行画面を示した。円筒素材形状上部に加工推定形状である6角形と工具経路、画面左上部に工具経路に対する算出した切削体積の変動を示している。工具、被削材とともに予備実験と同じものを用いた。予備実験で求めた条件をシミュレ

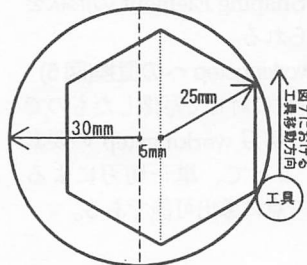


図4：加工形状

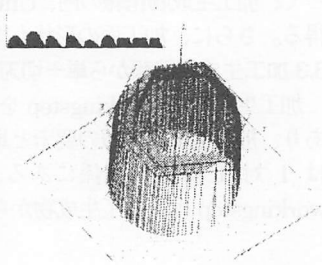


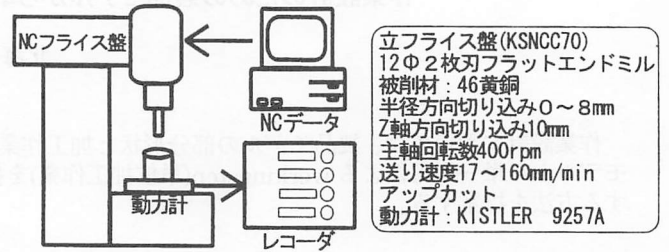
図5：実行画面

ーションに適用して求めたNCデータを用いて切削実験を行い、xy方向の切削抵抗と加工時間を求めた。

実験の条件と構成を図6に示す。

5. 実験結果、考察

実験の結果、シミュレーションを用いて1回転あたりの切削量が一定となるよう生成したNCデータを用いた加工時間が約8分30秒だったのに対して、最大切削量時の送り速度に合わせて全過程を17mmで加工した結果、約15分かかった。送り制御を行うことによって、加工時間が44%短縮された。また、送り速度固定時には半径方向の切り込みが増減する場合に切削抵抗が徐々に増減してゆく(図7)のに対して、送り速度制御を行った



立フライス盤(KSNCC70)
12φ2枚刃フラットエンドミル
被削材：46黄銅
半径方向切り込み0~8mm
Z軸方向切り込み10mm
主軸回転数400rpm
送り速度17~160mm/min
アップカット
動力計：KISTLER 9257A

図6：実験の構成

ときは切削抵抗が短時間で一定の値に達して安定し推移し、切削抵抗が小さい区間が非常に短くなり(図8)、本手法の有効性が確認できる。問題点として、切削シミュレーションでは工具移動ピッチ1mmを分解能としているためその切削体積に対する平均送り速度となり、1mm内の急激な切削量の変動に対する対応ができない。これを解決するためには送り速度決定に対して切削量の先読み推定処理を考慮する必要がある。送り速度が連続的に変化してゆくと、被削材に転写される加工面の粗さが均一でなくなる。といったことがあげられる。

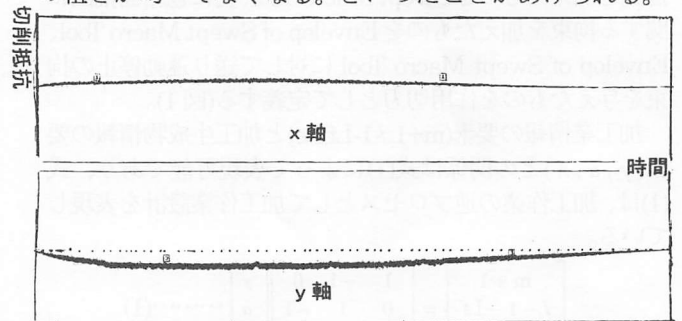


図7：一定送り(20mm/min)時の切削抵抗

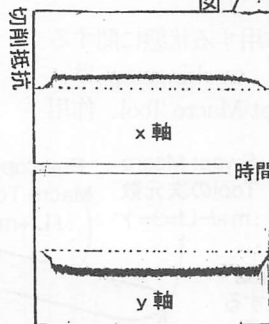


図8：送り制御(17~160mm/min)時の切削抵抗

図7、図8は図4で示した同区間を切削したものである。送り速度制御を行った図8は、半分以下の加工時間で済んでいる。

6. おわりに

本報では以下のことを報告した。

- 1) Zmapモデルを用いた切削シミュレーションシステムを開発した。
- 2) 切削負荷予測工具経路生成法を提案し、その有効性を確認した。

参考文献

- 1) ツールエンジニア編集部：エンドミルのすべて (大河出版) (1998) p56