

力覚表示機能を持つ送りハンドル*

和合 健**、碓井 雄一***、澤井 信重***

切削加工において生じる切削抵抗などの力情報は重要な制御情報にも関わらずNC加工では生かされていない。そこで、NC加工と作業者のインターフェースとして切削力を力覚（反力）として作業者に提示し加工を行わせる力覚表示機能を持つ送りハンドルをマシニングセンタに付加し、手動送りにより加工実験を行い動作評価を行った。その結果、送り方向の切削抵抗の平均的な力が力覚ハンドルに伝わっていることが確認出来た。

キーワード：力覚表示機能、マシニングセンタ、切削抵抗、送りハンドル

Feed Handle with Tactile-feel Function

WAGO Takeshi, USUI Yuichi, SAWAI Nobushige

Though the force informations such as processing forces are very important parameters, it isn't used at NC(Numerical Control) processing. So, a feed handle with tactile feel(reaction force) is developed to inform the operator of the processing force in milling as interface between NC processing and the operator. Processing experiment with the handle on machining center shows average processing force is transmitted to the operator through the handle as tactile feel.

key words : tactile-feel function, machining center, processing force, feed handle

1 緒 言

現在のNC工作機械は、工具の座標移動命令により加工物を切削するが、この方法では工具の摩耗状態、被削材の加工状態などの貴重な情報が加工機械側にフィードバックされず、また人間の技能など優れた点がNC加工機械に反映されていない。我々は、力覚情報によって作業者が加工状態を認識しながら作業を進め、適切な条件下で加工を行えるNC加工機械（以下、力覚表示加工機械¹⁾と呼ぶ）の開発を目的として研究を行っている。

ここではマシニングセンタ（以下、MC）のフライス加工を対象に、作業者に力覚情報を伝える力覚表示機能を持つ送りハンドル¹⁾（以下、力覚ハンドル）とMCに取り付けたセンサからの出力をパソコンで演算させながら、計測した切削力の変化を力覚（反力）として作業者に提示する力覚表示加工機械を試作し評価を行った。特

に本報では、試作機製作の初期段階としてMCと力覚ハンドルその他機器とパソコンとの接続方法、パソコンでの機器制御のためのプログラミング、試作機の動作確認実験について取り組んだので報告する。

2 力覚表示加工機械の試作

2-1 装置構成と動作概要

実験装置の構成図を図1に示す。実験装置はMC、増設スロットにAD・DA変換ボードとパルスジェネレータボードを挿入したパソコン、力覚ハンドル（サーボモータとトルクメータ、手動ハンドルを直結したもの）、切削動力計などにより構成されている。MC加工に人間の技能を介入させる方法として力覚ハンドルを用いる。力覚ハンドルは、サーボモータ、トルクメータ、手動ハ

* 力覚による切削力表示機能を持つマシニングセンタの開発（第1報）

** 電子機械部

*** 機械技術研究所生産システム部

ンドルより構成され作業者が手動ハンドルからMC加工での切削抵抗を加工情報として感知し、その加工情報に基づいて作業者が手動ハンドルを操作することで作業者の技能をMC加工に反映させる。

今回の実験で取り上げた力覚情報は、MC加工で切削動力計からの切削抵抗と力覚ハンドルのトルクメータからのトルク出力の2つの情報で、この2つの情報の演算にはパソコンを用いる。パソコンはAD・DA変換ボードよりこの2情報を入力し演算した結果をMCと力覚ハンドルに出力することによりクローズドループとして装置を制御する。また、パルスジェネレータボードにより2相パルスを発生させMCの手動パルスジェネレータ用インターフェイス(パルスハンドル)からMCに入力することによりMCの送り制御を行う。

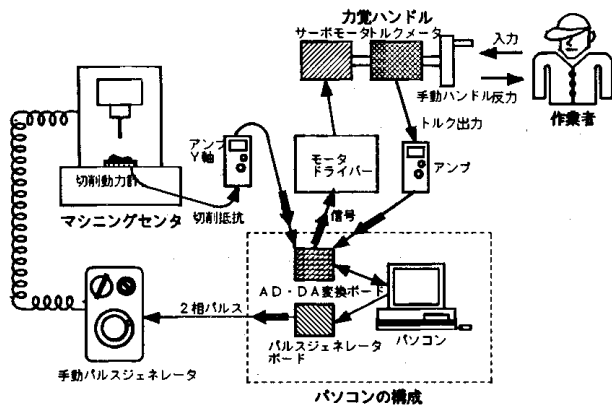


図1 実験装置の構成図

実際の加工における力覚情報のフローチャートを図2に示す。これは、作業者の手動ハンドルから工具送りが過負荷状態の時、MCの工具送りが過負荷状態を切削動力計で検知しサーボモータにより作業者の手動ハンドルを逆回転方向に回すことにより工具送りの負荷を軽減させる。

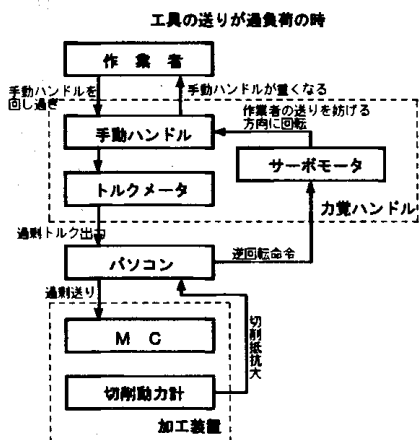


図2 力覚情報のフローチャート

2-2 制御プログラム

2-2-1 メインルーチン

制御プログラムはC言語を用い、AD・DA変換ボードのプログラムは市販のメーカサポートライブラリで構築し、パルスジェネレータボードのプログラムは市販のメーカサポートライブラリでは対応できない部分が多いことからICのレジスタに直接コマンド命令を書き込む方法で行った。

メインルーチンを図3に示す。最初にカウンタマスタリセットなどパルスジェネレータボードの初期化処理を行う。次に、MC座標選択ルーチンによりX、Y、Zのいずれか一つの送り座標を選択し、ソース選択ルーチンにより適切な周波数出力のソースを選択する。動作実行部はMC演算ルーチンとモータ演算ルーチンのループにより行われ、そのループ中に作業者が力覚ハンドルからの力覚情報に基づいてフライス加工を行う。キー入力があると、終了処理後プログラムを終了する。

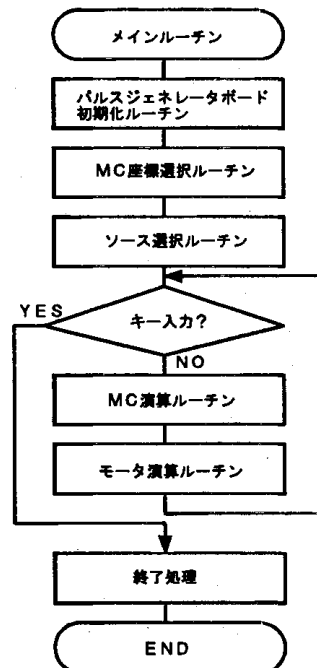


図3 メインルーチン

2-2-2 MC演算ルーチン

メインルーチンの動作実行部であるMC演算ルーチンのフローチャートを図4に示す。MC演算ルーチンは主として、MCの送り制御をするもので力覚ハンドルの手動ハンドルを回す方向(時計回り/反時計回り)でMCの送り方向(+/-)を決定する。基本的な考え方として、力覚ハンドルの手動ハンドルを回した時にトルクメータより出力されるトルク出力の大きさから時計方向に回したと時のトルク出力レベル、反時計方向に回した時

のトルク出力レベルを上位シキイ値、下位シキイ値とあらかじめ設定しておく。そこで、リアルタイムのトルク出力とあらかじめ設定された上位、下位シキイ値と比較し、flag 1、2を立てることにより力覚ハンドルの手動ハンドルを回す方向とMCの送り方向を制御するのが基本的な考え方である。

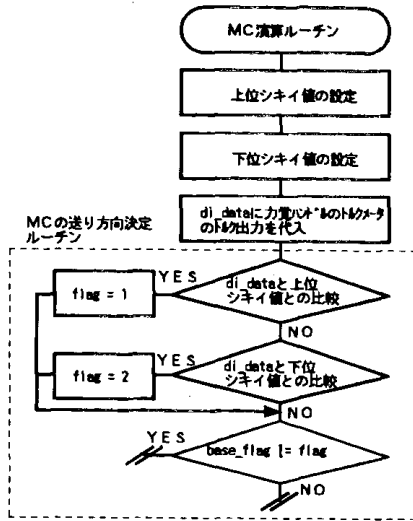


図4 MC演算ルーチン

2-2-3 モータ演算ルーチン

メインルーチンのもう一つの動作実行部であるモータ演算ルーチンのフローチャートを図5に示す。モータ演算ルーチンの主な働きは、力覚ハンドルのサーボモータを制御して作業者に適切な力覚情報を伝達することで、MCの切削動力計からの切削抵抗と力覚ハンドルのトルクメータからのトルク出力をパソコンで計算させて力覚ハンドルのサーボモータの作動電圧として出力する。現時点での計算式はフローチャートに示す通り2出力の差をとるだけの単純なもので、今後この部分をどのような関数に置き換えるかが重要な課題となる。

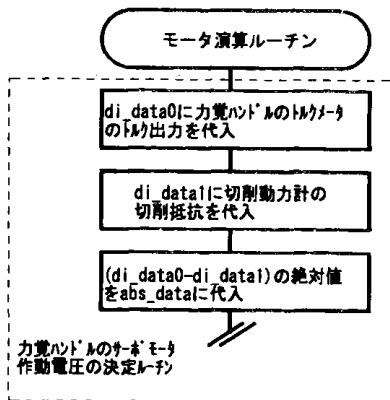


図5 モータ演算ルーチン

3 実験方法

完成した試作機が、フライス加工において作業者に力覚情報としてMCの切削動力計からの切削抵抗を適切に伝達しているか、また、作業者がフライス加工を行うための力覚ハンドル操作において力覚ハンドルのトルクメータからのトルク信号が適切に加工上での人的な技能情報として加工に反映されているかについて確認するために加工実験を行った。加工実験での加工条件を表1に加工物と工具の配置を図6に示す。実験データとしてMCのワークテーブルに取り付けられた切削動力計からの切削抵抗、力覚ハンドルを回した時にトルクメータから出力されるトルク信号、力覚ハンドル用サーボモータの入力信号をデータレコーダーに記録し信号解析装置で評価した。

表1 加工条件

使用工具	エンドミル (HSS-CO、日立ツール、2枚刃、外径φ10mm、全長75mm、工具突き出し長さ35mm)
工具回転数	500rpm
軸方向の切り込み	10mm
半径方向の切り込み	4mm
送り速度	作業者が力覚ハンドルを回して加工に軌道と思われる送り速度で送る
送り方向	Y軸のみ (X、Zは固定)
切削剤	エマルジョンユシロンNE50%希釈液
加工方式	湿式加工、上向き切削
被削材	アルミ合金 (A7075-T6)

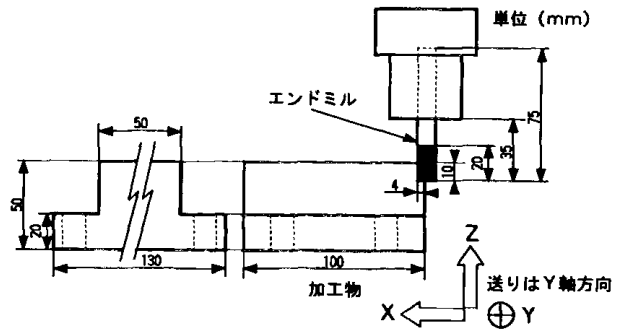


図6 加工物と工具の配置

4 実験結果及び考察

1) 送り方向の切削抵抗と力覚ハンドルのサーボモータの入力信号の比較

モータドライバーより力覚ハンドルのサーボモータへ出力された信号と送り方向の切削抵抗の波形を重ねた図を図7に示す。これから送り方向の切削抵抗とモータの信号が同期して最大値を示すことから、切削抵抗の大きさが力覚ハンドルを経由して作業者に伝えられていることがわかる。

2) 送り方向の切削抵抗とトルクメータの出力の比較

力覚ハンドルの手動ハンドルの動きはトルクメータの出力となるため、本来は、送り方向の切削抵抗の変化が力覚ハンドルのトルクメータの出力に変換されなければ

ならない。図8の力覚ハンドルのトルクメータの出力と送り方向の切削抵抗を比較すると、送り方向の切削抵抗はのこぎりの刃の形状をしているが、トルクメータの出力はX軸に平行な起伏の少ない波形になっており類似性はみられない。これは、断続切削において切削抵抗が変わるのは基本原理で、力覚ハンドルの動きがそれに追従したものとならないの当然のことと推測される。しかし、時間を長く取った図9で比較すると曲線の起伏が類似し平均的な切削力が確認できる。このことから、力覚ハンドルには送り方向の切削抵抗の平均的な力が伝わっていることがわかる。

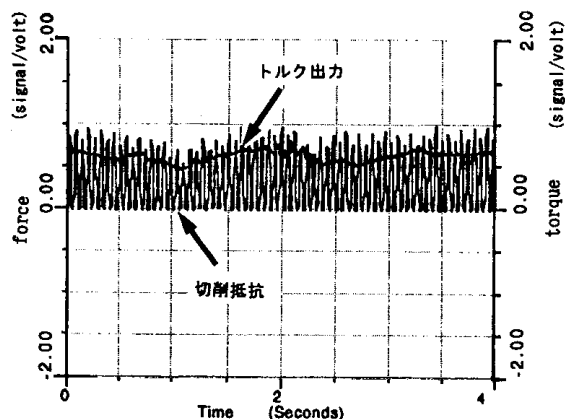


図9 時間軸を長くとした場合の送り方向の切削抵抗とトルクメータのトルク出力の比較

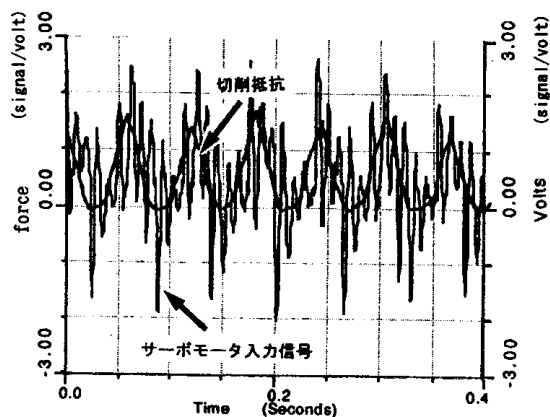


図7 力覚ハンドルのサーボモータの入力信号と送り方向の切削抵抗の比較

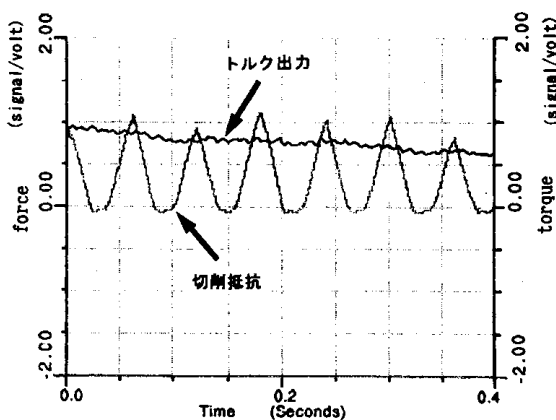


図8 送り方向の切削抵抗とトルクメータのトルク出力比較

5 結 言

1) MC、増設スロットにAD・D/A変換ボードとパルスジェネレータボードを挿入したパソコン、力覚ハンドル、切削動力計などにより構成され、C言語により制御プログラムを作成し、フライス加工において力覚情報を作業者に提示しながら加工を行う力覚表示加工機械を試作した。

2) 実際の加工による試作機の評価実験で、動作の確認として送り方向の切削抵抗と力覚ハンドルのサーボモータの入力信号が同期しており、装置の動作として切削抵抗の大きが力覚ハンドルを経由して作業者に伝えられていることが確認出来た。

3) 時間軸を長くとした場合に送り方向の切削抵抗とトルクメータのトルク出力の波形の起伏が類似しており、切削抵抗の平均的な力が力覚ハンドルに伝えられていることが確認出来た。

本研究は、平成7年度中小企業技術員養成過程6ヶ月コースにおいて工技院機械技術研究所で行った。

文 献

- 1) 澤井信重ほか：力覚表示機能を持つ加工機械の開発、1995年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、C02(第1分冊79ページ)、1995