

卒業論文

知能化ミリング加工用の データベースの作成

1p～51p

平成 13 年 2 月 28 日提出

指導教官 長尾 高明教授

知能機械システム工学科

1010210

増吉 計

目次

目次

1,序論	3
1・1 本研究の背景	4
1・2 従来技術とその問題点	5
2,加工実験のシステム構成	9
2・1 システム構成の概要	10
2・2 マシニングセンタ	11
2・3 力センサ	13
2・4 チャージアンプ	17
2・5 AD ボード	20
3,加工実験の内容	22
3・1 加工形式	23
3・2 加工条件の説明	24
4,データの概要	26
4・1 データの説明	27
4・2 アルミ加工データ	28
4・3 鋼加工データ	34
5,理論解析	38
5・1 理論上の計算式の説明	39
6,結論と考察	45
謝辞	47
参考文献	49

第 1 章

序論

1・1 本研究の背景

現在、欧米や日本だけでなくアジアを含めた世界の生産現場が海外企業と競争できる企業体質を目指している。人海戦術から省人化への動きは世界的な流れとなっている。世界経済の発展に伴い製造業も変化を求められている背景として消費者の嗜好の多様化や製品の高精度化、高品質化、製品のライフサイクルの短期化、製造業の熟練者の減少などが挙げられる。消費者の嗜好の多様化という問題に対して加工の分野から対処するには多品種少量生産あるいは変種変量生産を可能とする柔軟性の高い加工システムを構築する必要がある。この場合最も難しいのは、多様な製品に対してそれぞれ迅速な作業設計を行なうということである。工作機械は NC に代表されるコンピュータ技術の発達により自動化が大幅に進展した。しかし NC によって自動化された作業は、作業指示書に従って工具を選択し、所定の形状が得られるよう工具経路を決定する作業等、予め定められた手順に従って行なえる作業に限られている。ところが、機械加工プロセスは一般の種々な要因が関係し合った複雑な加工メカニズムをもつため、多くの不測の現象が発生する。例えば、びびりや工具欠損などのいろいろな加工異常がその代表である。こうした加工異常は時間的・空間的に不確実な現象であるため、現在の NC 装置では加工異常に対応することは大変困難である。加えて、加工異常の検知・識別には高度な認識と判断が必要とされるため、熟練作業者の五感による感覚機能と経験的な判断による支援に頼らざるを得ないのが現状である。これを加工という分野において解決する一つの方法が加工の智能化の概念である。生産工場では、高い生産性と安定した製品品質を維持するために、また人間を過酷な作業から解放させることや技術革新および市場ニーズ変化の高速化に適応するとともに、製品企画から開発、製品化までの期間を短縮させることを目的として、生産活動の自動化が追求されてきた。年々厳しさを増す要求精度に対して従来のような受動的な加工では難しくなってきた。機械加工の高精度化に伴い、工作機械と工作物の熱変形と切削力による相対変化等が大きな問題として認識されている。それらの諸問題を解決するためには熱変化や力による変位、びびり、切削力の大きさなどを計測し予測しそれに対して自動的に判断して最適な条件を出すというようなシステムを工作機械に持たせることによって智能化が行なえる。

本研究は工作機械の智能化を行なうアプローチの一つとして加工現象を解析し物理モデルを作成しデータベースとして工作機械に保有させる方法が考えられる。今回は力センサを使い切削力のデータを解析し物理モデルを構築する。

1・2 従来の技術とその問題点

生産システムには、機能設計や形状設計、工程設計、加工の他にも、部品検査、組立て、製品検査・搬送、保管といった工程もあるが、本論文では加工を中心として議論することにする。

加工システムの最も初期の段階は、人間がシステムの中核として機能しており、工作機械は人間の意思の通りに忠実に動く道具であった。このような段階では作業員たる人間が加工すべき目的形状あるいは材質・要求精度などを判断材料として自身の豊富な経験と知識とを用いて最適な加工法、工作機械、工具、治具、加工順序、工具経路、加工条件などを決定していた。また、加工中にも常に作業員は加工反力、加工熱、加工音、切削形態、工具の状態、加工面などに気を配り、五感を介してこれらを監視していた。そこで、これらが要求精度を実現するのに充分良好な状態であればより効率的な加工を行なえるよう試み、逆に加工状態が不安定だと感じたらすぐに加工条件を緩い方向へ落とし、精度を補償する。さらに、このような試行錯誤は経験として作業員に蓄積され、それは次回以降の作業に参照される。また加工中に不測の事態が生じた場合には、すかさず加工を中断すると共にもしそれがシステムに甚大な影響を及ぼした場合には、加工システムを修理することができた。

この作業員と工作機械という組合せを加工システムとして捉えてみると、この形態は効率ということを除けば、自己診断機能、自己学習機能、自己修復機能を有しており完全に自律的加工システムとなっている。そこで・このような加工システムをより効率的にするために、工作機械の自動化・数値化が行なわれた。すなわち、NC・CNC 機能の発展である。これは、工作機械を道具として使っていた側面の自動化を試みたものであった。すなわち、作業員の意思通りに工作機械を動かすために作業員自身が自分で工作機械を動かしていた。そのかわりに作業員の意思を NC データという形に変換して、それを工作機械に送ることによって工作機械自身が作業員の意思通りに駆動するというものである。

工作機械の NC 化には効率化の他にも、高精度化、高信頼性化、汎用化といった利点があった。すなわち・工作機械の位置決め機構を精密にすることによって、人間がマニュアルで操作する以上に高精度な加工が実現される。また、NC プログラムが同じであればコントローラが故障しない限り工作機械は必ず同じように動くため一度 NC プログラムを作ってしまうと、それを繰り返し用いることができる。また同じ NC プログラムを解釈し得るコントローラさえあれば、あらゆる加工システムにおいて同じ動作を工作機械にさせることができる。これは、大量生産システムには欠かせない機能であった。さらに、工作機

械のコントローラに飛躍的發展を遂げたコンピュータが導入され、工作機械を駆動する部分に関しては自動化が發展し、生産効率を飛躍的にあげることができた。ところが・作業者が行なっていた意思決定という機能は、いまだ自動化がなされず、人間の手によって行なわれていた。この理由としては、第一にそれが非常に困難であったこと、第二に大量生産が前提の生産システムでは工程設計に要するリードタイムよりも実際に生産を行なうのに費やされるリードタイムの方が圧倒的に大きく、工程設計の自動化の必要がなかったということがあげられる。しかし市場の多品種少量化、変種変量化によって引き起こされるリードタイムの短縮、製造期間の短縮という要求、あるいは製品の短寿命化などの社会的背景に対して、製品の製造期間における生産準備に要する時間の占める割合が相対的に大きくなってきた。そのため最も開発が遅れている生産準備や工程設計の自動化や知能化、情報化の要求が以前にも増して高まってきた。工程設計の自動化について取り上げてみるとそこでは、加工順序の決定、工具経路の決定、加工条件の決定が主な作業となる。これまでに加工工程の自動化を目的として多くのシステムが開発されている。NC プログラミングシステムとしては APT や EXAPT などがある。APT は NC 加工における工具経路の自動決定のために開発された。このシステムでは、加工機械が必要とする制御情報のうち経路情報のみが生成され、使用工具や工具の送り速度や主動回転数など加工条件に関する情報は、加工技術者が必要に応じて入力する形をとっている。一方、加工順序や加工条件なども含めて自動化を目的として開発されたものが EXAPT である。加工順序や加工条件は加工法によって決定する事項や基準が異なるために加工法によりいくつかのシステムが開発されている。EXAPT での加工条件の決定は加工技術ファイル、工具ファイル、材料ファイルを順次参照することにより行なわれる。加工条件の決定は理論的裏付けのある式から計算されるが、さらに各種の条件による特殊性を考慮した修正係数を準備している。

こうした自動化システムの開発と加工に関する情報のデータベース化の結果、加工工程設計の部分については飛躍的に作業時間が短縮された。しかしながら、こうしたシステムであってもまだ多くの問題を抱えている。それは、加工に関する情報にはデータ・ベース化しきれない部分があり、それが無視できないほど大きい影響を系に及ぼすということである。そもそも、加工に関する情報をデータ・ベース化するという考え方の背後には、加工に関する情報をそれぞれ加工システムの構成要素の特性とは独立に記述できるという考え方がある。しかし、実際の加工現場での工程設計は、多くの要因に多様な判断を加えた上に成り立っている。ここでいう要因とはしばしばその加工現場特有の性質のものであることが多い。すなわちそれは加工環境たとえば工作機械や工具、工作物の材質やその形状、室温変化などである。こういった諸条件によって、発生す

る加工現象が多様に変化することが工程設定あるいは作業設計を困難にしている最大の理由である。そのため作業現場には即座に最適な判断ができる熟練した技術者が多く存在しているのが現状である。一方、工作機械の駆動そのものの自動化という機能に関しても問題は残っている。既に述べたように NC 化あるいは CNC 化によって、工作機械を自動運転することは可能となっている。しかし、加工現象は非常に複雑であり同じ加工条件で加工を行なっても必ず同じ加工状態が再現されるとは限らないのである。例えば疲労による工具折損という問題をみてもこれは確率的に生じ正確な予測が困難である。したがって、作業設計を行なう段階では安全率を見て使用する。すなわち、ある程度の無駄は覚悟で新たな工具を用い折損を避ける。また工具磨耗に関しても同様である。しかし、このような無駄を避けつつ効率的な作業を行なうには、やはり加工システムが加工状態を監視する機能を有することが有効である。すなわち、加工中に加工状態をモニタリングすることによって工具折損あるいは工具磨耗の進展を予測し、それに対して適切な対処を取ることができる。また、自動化という機能の実現の際には、常に加工システムを不測の事態から守ることを念頭においておく必要がある。

また、工作機械のハードウェアの観点から考えてみると機械加工の精度を上げるために工作機械の剛性が上がるような構造にしたり、送り機構の位置決め精度や繰り返し精度を上げることに多く力が注がれてきた。しかしながら、加工中に発生する加工熱、主軸モータから発生する熱、加工機械を囲む環境の温度変化により工作機械は大きく変形する。また工作物側の剛性が低い薄物部品の加工などにおいては、加工力によって工作物が逃げたり、振動を起こすという問題がある。このような問題に関しては工作機械の剛性や精度を上げるという受動的な対応だけでは解決できない。

ここで従来の加工システムの問題点をまとめておく。NC 化によって工作機械の駆動そのものの自動化はある程度達成された。しかし工程設計は、必要な情報をデータ・ベース化することにより飛躍的に短縮できたものの加工環境の影響を判断する部分で熟練作業者に頼らざるを得ないのが現状である。また、工作機械の駆動についても加工には不測のトラブルが生じることがあり、それに対して現在の自動運転機能だけでは対処し切れず、何らかの適応制御機能が望まれる。適応制御機能に関してはソフトウェアによる制御ももちろん重要であるがソフトウェアを用いる際には必ず計算・通信時間等のために時間遅れを生じる。加工現象において生じるトラブルは瞬間的に起こるものが多いため、この時間遅れは加工システムに致命的な打撃を及ぼす。そこで、不測のトラブルに対してはハードウェア的にも対処し得る機能を有するのが望ましい。また、工作機械のハードウェアの面から考えても従来の加工システムは機械加工の高

精度化のために高剛性化や送り機構の高精度化を行ってきたが、加工現象そのものが外乱として系を乱す以上対応には限界がある。

第 2 章

加工実験のシステム構成

2・1 システム構成の概要

加工現象には非常に多くの要素を持っている。加工においては力、音、熱などを発生しているが本研究では切削加工の切削力に注目して研究し物理モデルの解析を行ないデータベースを作成する。そのためには加工を行なうとともに物理現象を反映する切削力の検出が必要になる。本研究の加工実験において切削力を検出するために工作物側に力センサを取り付けチャージアンプを通してAD ボードを組み込んだパソコンから切削力を出力する。本節はこれらの加工実験に使用した機器についての説明を行なう。

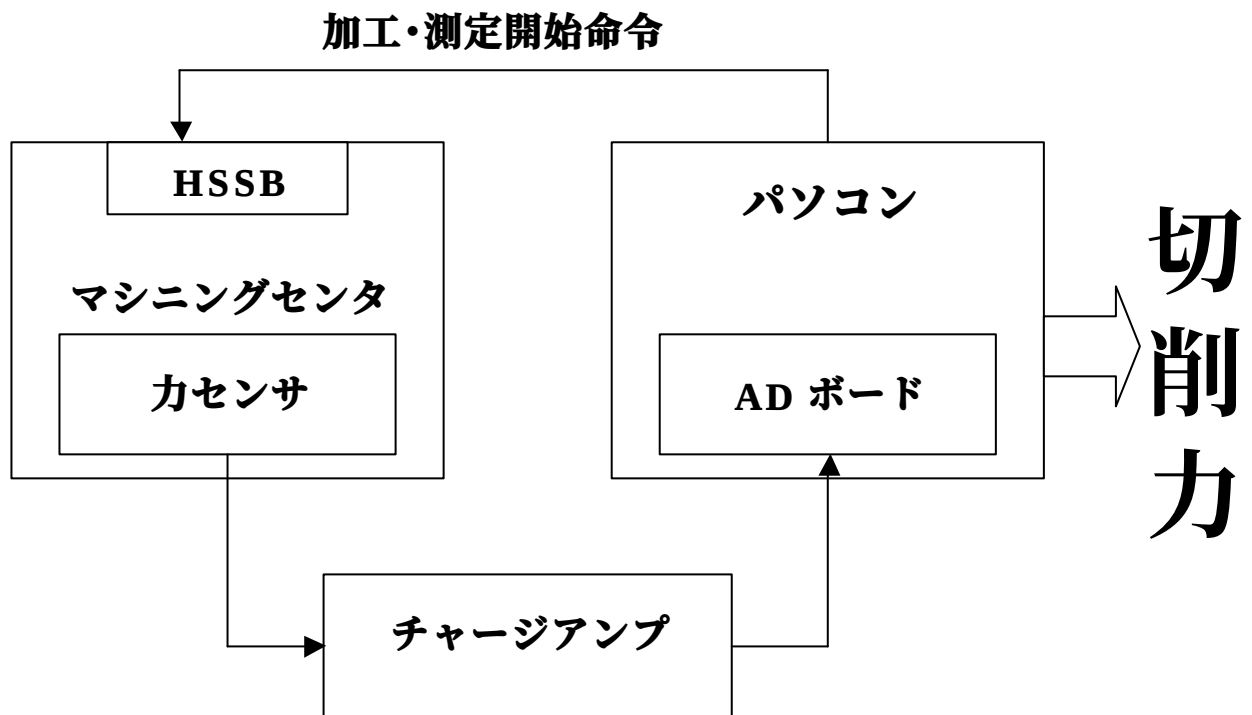


図 2.1 加工実験のシステム構成図

2・2 マシニングセンタ

マシニングセンタには大阪機工株式会社(OKK)の VM4Ⅱ 立型マシニングセンタ(図 2・2・1)を使用した。これはオープン CNC マシニングセンタといい外部のパソコンとのデータの送受信や操作命令を受けることとコンピュータ数値制御が出来るものである。このマシニングセンタには高速かつ広範囲のデータを送受信することが可能な FANUC 社の高速シリアルバス(HSSB：High Speed Serial Bus)(図 2・2・2)を搭載する。これにより HSSB ボードを組み込んだパソコンからのデータの送受信が可能になる



図 2・2・1



图 2·2·2

2・3 力センサ

力センサには日本キスラー株式会社製の 3 成分動力計(型式 9257B)(図 2・3・1)を使った。



図 2・3・1 力センサ

機能原理として測定される力は、トップ・プレートを通して伝えられ、ベース・プレートとトアブ・プレート間に配置された 4 個の 3 成分力変換器に分配される。それぞれの変換器は 3 対の水晶板を内蔵し、その中の 1 対は z 方向の圧縮力に感応し、残りの 2 対はそれぞれ x および y 方向のせん断力に感応する。測定は、実質的には位置寸法の変化がなく行なわれる。これらの 4 個の力変換器によって、負荷された力は、3 成分に分割され検出される。

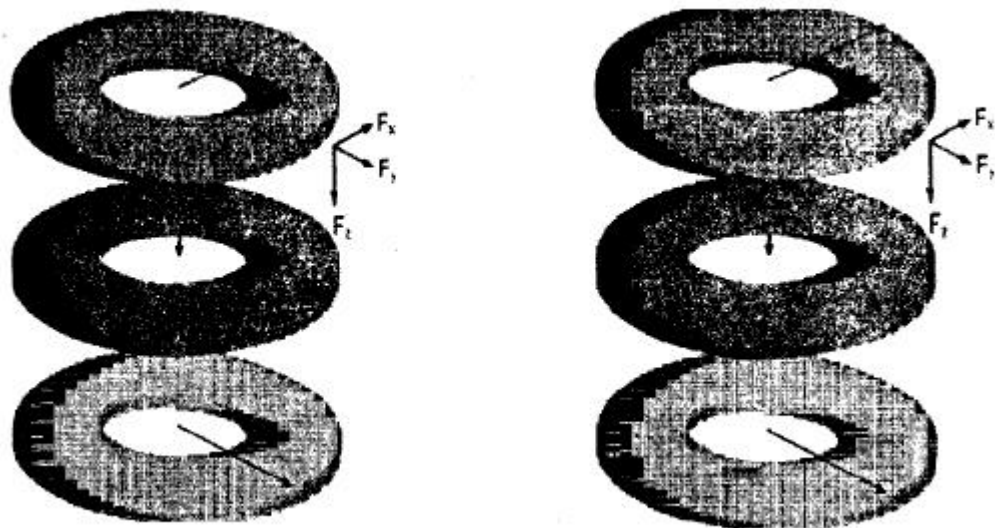
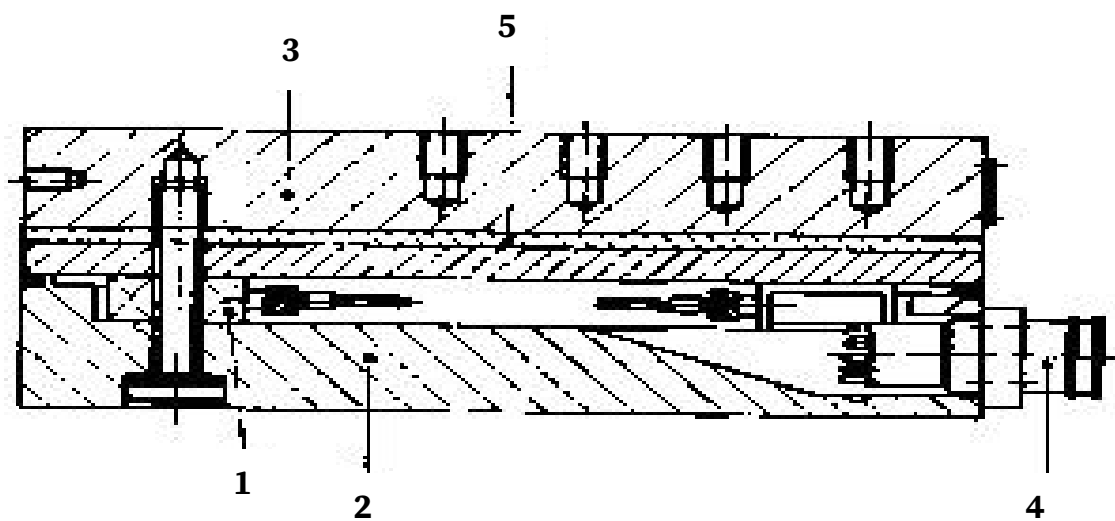


図 2・3・2 機能原理図

3 成分力を測定する場合には、個々の信号は接続ケーブルによって 3 成分にまとめられる。力とモーメントの 6 成分を測定する場合には、動力計から出力される 8 つの信号全ては接続ケーブルを通してチャージ・アンプに導かれます。力の方向によって、コネクタ部には正または負の電荷が生じる。チャージ・アンプの出力部では、負の電荷は正の電圧を、正の電荷は負の電圧を発生する。次に動力計の構造の説明する。

動力計は、ベース・プレートとトップ・プレートの間に高いブリロードをかけて挟み込まれた 4 個の 3 成分力変換器によって構成されている。このブリロードは、摩擦力の伝達のために必要である。4 個の力変換機は、非接地の状態を組み込まれている。この結果グラウンド・ループ（接地による回り込み）の問題はほぼ解消された。動力計には防錆材が使用されており、また水および冷却液の飛沫程度の侵入に対しては、保護されている。

トップ・プレートには温度の影響を極力押さえるために、断熱コーティングを施しています。



- 1、力変換機
- 2、ベース・プレート
- 3、トップ・プレート
- 4、コネクタ
- 5、断熱コーティング

図 2・3・3

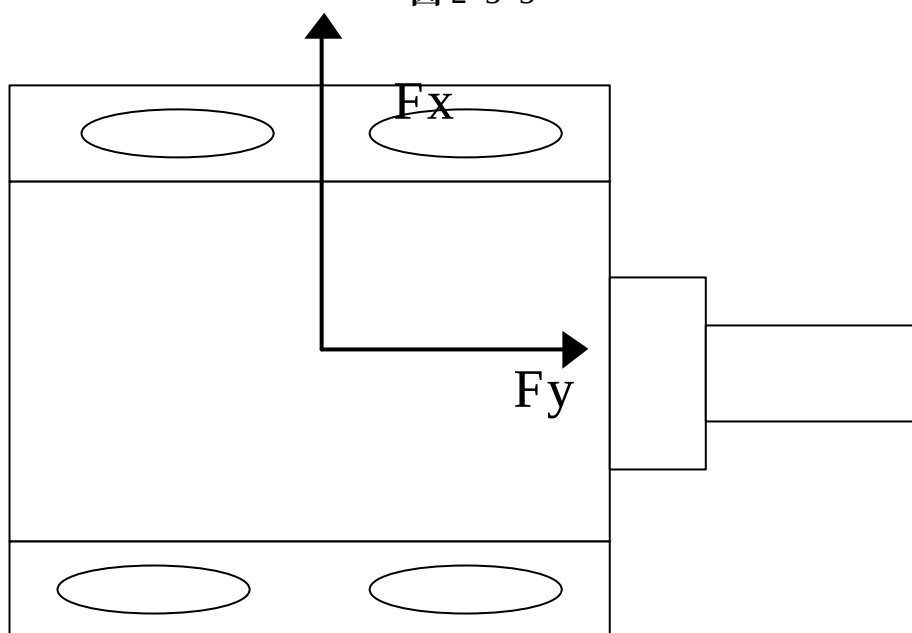


図 2・3・4

***技術データ 3 成分動力計 型式 9257B**

測定範囲

上面から最高 25mm 上方以内で力を加えた場合；

F_x 、 F_y 、 F_z	kN	- 5～5
-----------------------	----	-------

許容過負荷

F_x 、 F_y 、 F_z	kN	- 7.5～7.5
-----------------------	----	-----------

F_z	kN	- 7.5～15
-------	----	----------

このとき F_z と同時に加わる力 F_x 及び F_y は $0.5F_z$ を超えないものとする。

感度

F_x 、 F_y	pC／N	= - 7.5
---------------	------	---------

F_z	pC／N	= - 3.5
-------	------	---------

固有振動数

(各軸での) $f_0(x, y, z)$	kHz	? 3.5
-----------------------	-----	-------

(フランジを固定) $f_0(x, y)$	kHz	? 2.3
-----------------------	-----	-------

$f_0(z)$	kHz	? 3.5
----------	-----	-------

使用温度範囲

°C	0～70
----	------

温度係数

%/°C	- 0.02
------	--------

静電容量

pF	220
----	-----

2・4 チャージアンプ

チャージアンプには日本キスラー株式会社製のマルチチャンネルチャージアンプ(型式 5019A)を使用した。



図 2・4・1 チャージアンプ

これはマイクロプロセッサ制御のマルチチャンネル、多レンジ切り替え可能なチャージアンプである。マルチチャンネルチャージアンプの代表的な用途としては水晶圧電式成分動力計を使った力とモーメントの組み合わさった測定を行うことができる。これはパネル上のボタンを操作し液晶画面上で所要のパラメータの設定を行ったり、読み取ったりすることができる。そして、最大 4 種類の電化入力信号(入力チャンネル 1～4)を 4 個の BNC コネクタ(金属キャップ付)または高絶縁フィッシャコネクタから入力し、そして、最大 4 種類の電化出力信号(出力チャンネル 1～4)を 4 個の BNC コネクタ(プラスチックキャップ付)ま

たは 15 ピン D-Sub コネクタから出力できる。キスラーのセンサは正の負荷が作用した場合に負の電荷を発生するためチャージアンプの変換機能により正の負荷が作用した場合にチャージアンプからは正の電荷を出力する。チャージアンプ部の各種機能部分は

- *入力部 : スケール(測定範囲)選択機能付
- *アンプ部 : ゲイン調整用のデジタル電圧分割 D/A コンバータ付
- *自動ゼロ点補正回路部
- *ローパスフィルタ部 : 切り替え可能
- *信号出力部
- *バッファメモリ : パラメータ設定、エラー処理、シリアル/パラレル変換用
- *各種 LED : 状況表示

これらの7つの部分に分類することができる。

入力部にはスケール(測定範囲)選択機能が付いておりスケールはレンジキャパシタを切り替えて選択する。そしてキャパシタを切り替えて固定段の中からレンジを選択する。無段階の微調整はプログラム方式のデジタル電圧分割部(D/A コンバータ)で行う。それはスケールとセンサ感度を入力してコンピュータで処理し、ゲイン($v=1\sim10$)を選択する。デジタル電圧分割部(D/A コンバータ)とフィルタ部との間でアンプのゼロ点のずれを検出し処理してアンプの入力部にフィードバックしているのが自動ゼロ点補正制御部である。リセット状態では自動的にゼロ点を補正している。

チャージアンプ部は 8 ビットマイクロプロセッサで制御及びモニタリングしている。チャージアンプ部とプロセッサ間の通信は絶縁した変換機を介して逐次処理していく。この通信経路を通り、限界検知機、リモート制御、操作パネルなどからの情報をマイクロプロセッサに伝達し、逆向きの経路でスケール、時定数、D/A コンバータ、ローパスフィルタ、オペレート/リセット切り替えなどのチャージアンプの各種設定を行っている。

技術データ

マルチチャンネルチャージアンプ(型式 5019A)

チャンネル数				1～4
測定範囲 (出力±10V に対する入力電荷量)			pC	±10～999000
センサ感度[TS] (有効数字 3 桁で設定可能)			pC/M.U.	0.01～9990
スケール (有効数字 3 桁で設定可能)			M.U. /V	0.001～9990000.
精度	±99.9pCFS まで		%	≤±3
	±100pCFS 以上		%	≤±1
直線性			%FS	≤±0.05
周波数特性	－3db(フィルタ off 時)		kHz	0～200
周波数応答誤差(フィルタ off 時)		±50 kHz	%	－1～＋2
		±200 kHz	%	－30～＋3
ローパスフィルタ(バタワース 2 極)		－3dB	Hz	10～30000
(内蔵 8 段より選択：10/30/100/300/1000/3000/10000/30000Hz±10%)				
時定数抵抗		Long	Ω	>10 ¹⁴
		Medium	Ω	10 ¹¹
		Short	Ω	10 ⁹
時定数		Long	s (秒)	>1000～100000
		Medium	s (秒)	1～10000
		Short	s (秒)	0.01～100
出力	フルスケール出力電圧		V	±10
	オーバロード信号発生値		V	10.5
	最大出力電流		mA	±5
	出力インピーダンス		Ω	10
入力電圧		(最大許容)	μV/K	10
		(パルス幅：0.3 秒未満)	V	±125
ゼロ点誤差(リセット時：最大／通常値) (自動ゼロ点補正)			mV	<2／0.4

2・5 A/D ボード

A/D ボードにはインタフェース社製の型式 PCI-3135 を使用した。PCI-3135 は、プログラマブルインプットレンジ機能付きの高精度高速 16 ビット AD 変換ボードである。これをパソコンに組み込みチャージアンプからの力データを出力する。



図 2・5・1 A/D ボードを組み込んだパソコン

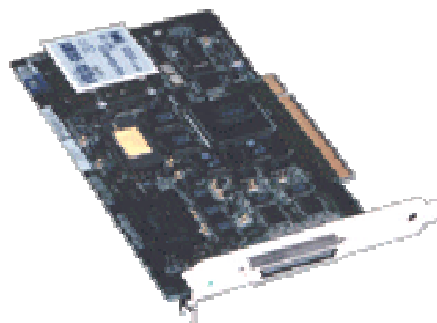


図 2・5・2 A/D ボード

仕様

入力チャンネル数	シングルエンド入力 16 チャンネル/差動入力 8 チャンネル
入力形式	マルチプレクサ方式
入力レンジ	バイポーラ : $\pm 1V$, $\pm 2.5V$, $\pm 5V$, $\pm 10V$
入力インピーダンス	10M($\pm 5\%$)
入力保護	POWER ON 時 $\pm 35V$ POWER OFF 時 $\pm 20V$
分解能	16 ビット
変換時間	10s(チャンネル固定時) 100s(チャンネル切り替え時)
相対精度	$\pm 2LSB \text{ max(at } 25)$
誤差	$\pm 0.10\% \text{ max}(0 \sim 50) : \pm 10V$ $\pm 0.15\% \text{ max}(0 \sim 50) : \pm 1V, \pm 2.5V, \pm 5V$
外部制御入力	AD サンプリング制御入力 外部割り込み入力
デジタル入出力	入力 2 点(無電圧接点オープンコレクタ入力) 出力 2 点(オープンコレクタ出力)
割り込み機能	AD 変換終了, タイマ(8254 相当品), 外部トリガ
電源仕様	+5V 0.7A(TYP)

第 3 章

加工実験の内容

3・1 加工形式

加工はすべて工具を正転させ X+方向に溝彫り加工を行う。

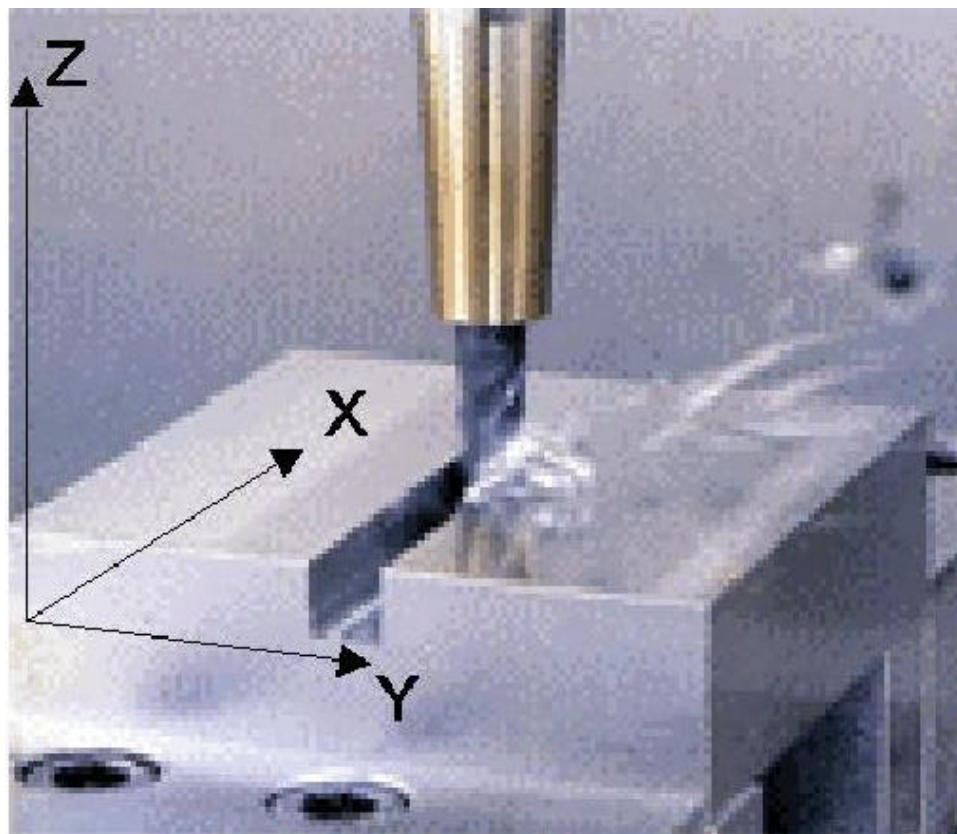


図 3・1・1

3・2 加工条件の説明

本研究で行った加工実験で使用したワークピース、工具と加工条件についての説明を行なう。加工実験で使用したワークピースはアルミと鋼(S50C)の 2 種類を使用した。工具には径φ10 で 2 枚刃のハイスエンドミルと同じく径φ10 で 2 枚刃直刃のエンドミルの 2 種類を使用した。加工条件である回転速度や送り速度などの諸条件はエンドミルの形状やコーティングの素材などの工具の性質や工具とワークピースとの関係などいろいろな条件が絡んでくる。今回の研究で行なった加工実験には推奨されている加工条件を基本にして加工条件を決定した。また、アルミは径φ10 で 2 枚刃のハイスエンドミルと同じく径φ10 で 2 枚刃直刃のエンドミルの 2 種類を使用して加工し、鋼(S50C)には径φ10 で 2 枚刃のハイスエンドミルを使用し加工した。

アルミの加工条件を説明する。

径φ10 の 2 枚刃ハイスエンドミル		
回転速度(rpm)	送り速度(mm/min)	切り込み深さ(mm)
S3000	F100	1～5
	F150	
	F200	
S2700	F100	
	F150	
	F200	
S2400	F100	
	F150	
	F200	

径φ10 で 2 枚刃直刃のエンドミル		
回転速度(rpm)	送り速度(mm/min)	切り込み深さ(mm)
S1500	F50	1～3
S1800		

鋼(S50C)の加工条件を説明する。

径φ10 の 2 枚刃ハイスエンドミル		
回転速度(rpm)	送り速度(mm/min)	切り込み深さ(mm)
S900	F50	1～5
	F75	
	F100	

以上が加工条件の概要である。これらの条件のもとで加工し切削力を検出する。
切削力データはエンドミルが 1 回転あたり 50 個のデータを検出する。

第 4 章

データの解析

4・1 データの説明

データはすべて 1 回転で 50 個のデータを取るようにした。

アルミの加工データの中で回転速度 S3000 の時の場合、1 秒間に 2500 個のデータを取るというように 1 回転で 50 個ということを考えれば 1 秒間のデータ数も導き出すことができる。今回データの処理に使用した Microsoft Excel というソフトは一度に 32000 個のデータしか処理が行なえなかったため全データ数を 30000 個以内に抑えるように加工実験時間を調整し実験を行なった。

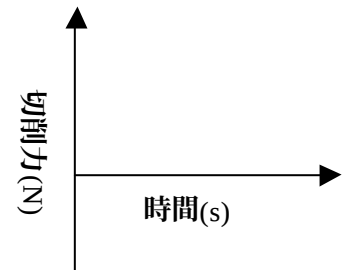
次にサンプリング周波数の説明をする。サンプリング周波数とは 1 秒間のデータ数のことを表すので 1 回転でとるデータ数から推測できる。回転数 S3000 の場合サンプリング周波数は 2500(Hz)となり、回転数 S2700 の場合サンプリング周波数は 2250(Hz)というようになる。サンプリング周波数は 1 秒間のデータ数のことなので全データ数を 30000 個以内に抑える時の加工実験時間が設定できる。

4・2 アルミ加工データ

ワークピースがアルミのときには径 $\phi 10$ で2枚刃のハイスエンドミルと同じく径 $\phi 10$ で2枚刃直刃のエンドミルの2種類を使用した。

データは縦軸を切削力(N)とし、横軸を時間(s)である。径 $\phi 10$ で2枚刃のハイスエンドミルの場合のデータを表示するがデータの量が多いため回転速度 S3000 で切り込み深さ 3mm のものを例として表示する。

データは縦軸を切削力(N)とし、横軸を時間(s)である。



まず加工全体のデータグラフ、その下に1回転分のデータグラフを表示する
・送り速度 F100 の場合

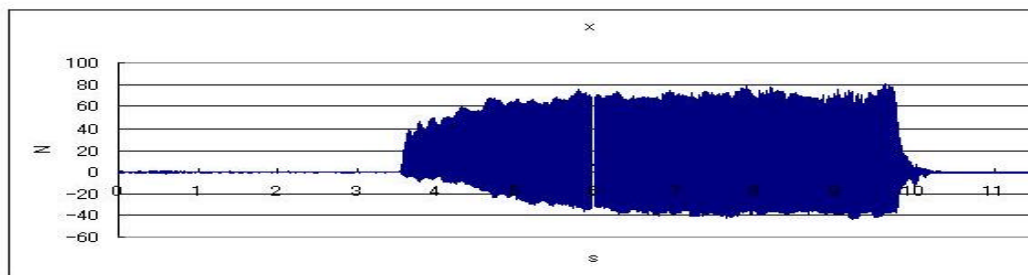


図 4・2・1 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での X 成分

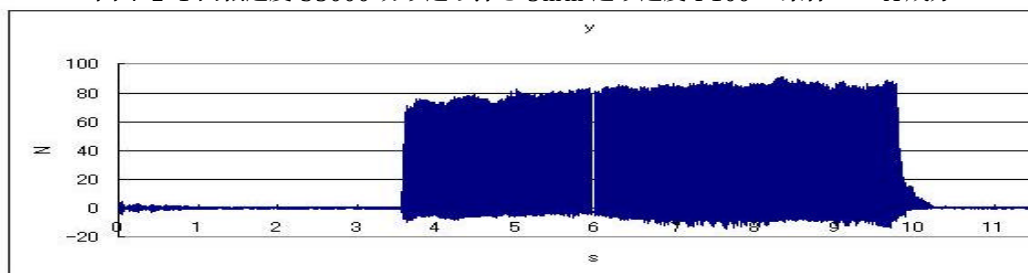


図 4・2・2 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での Y 成分

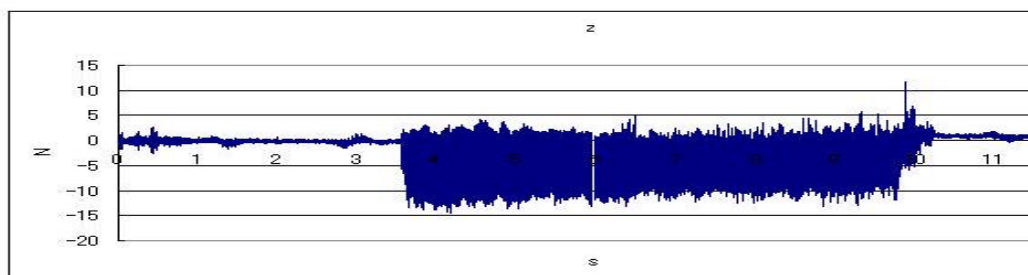


図 4・2・3 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での Z 成分

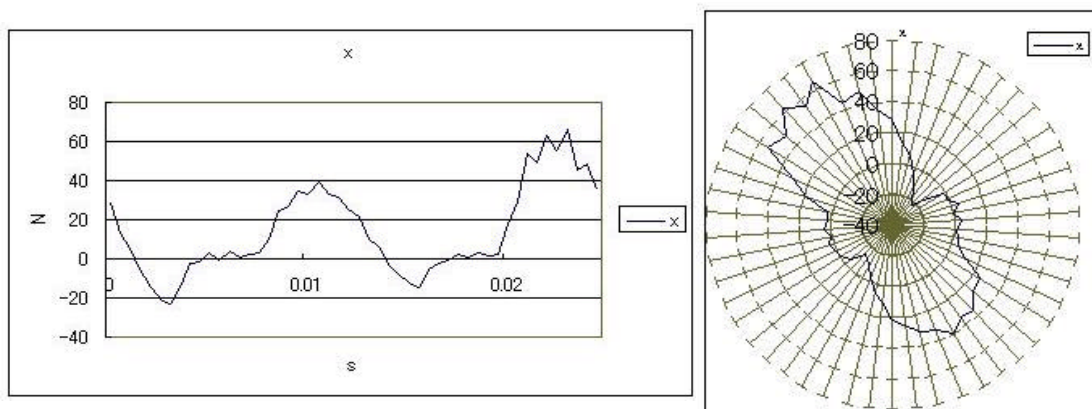


図 4・2・4 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での X 成分 1 回転分

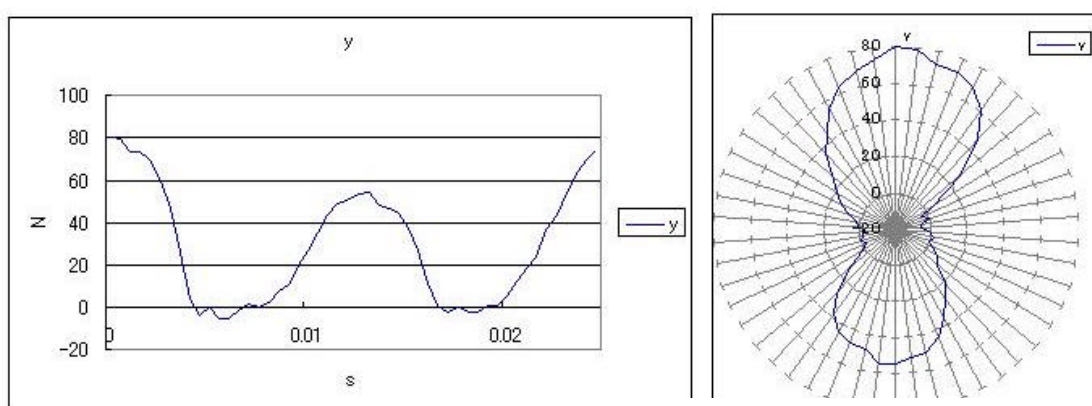


図 4・2・5 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での Y 成分 1 回転分

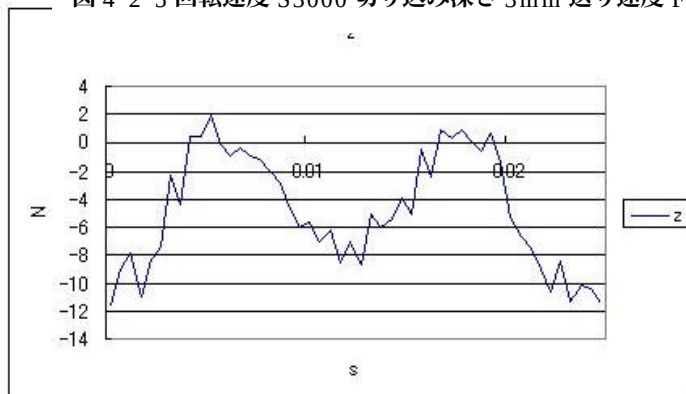


図 4・2・6 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F100 の条件での Z 成分 1 回転分

・送り速度 F150 の場合、

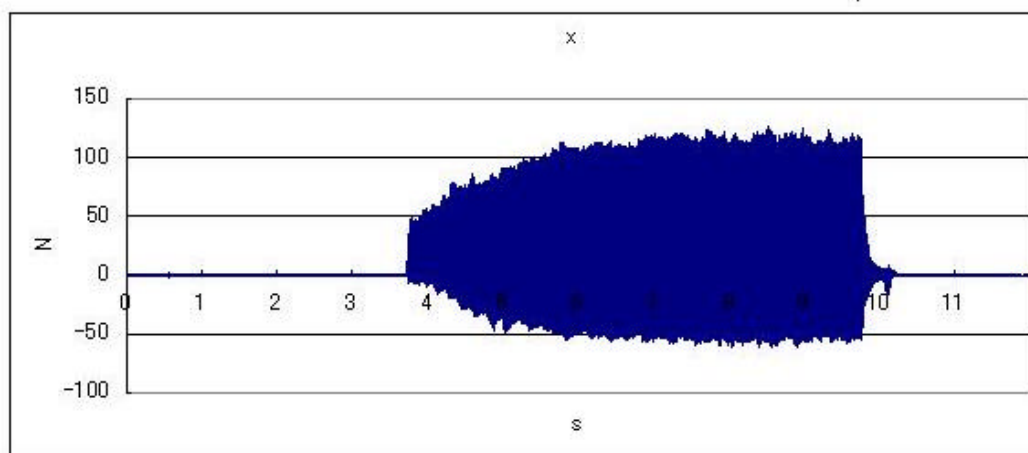


図 4・2・7 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での X 成分

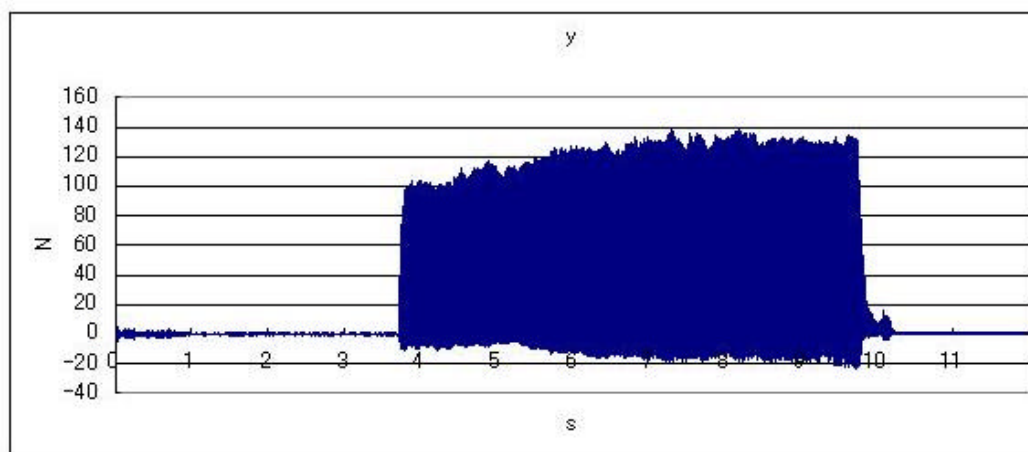


図 4・2・8 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での Y 成分

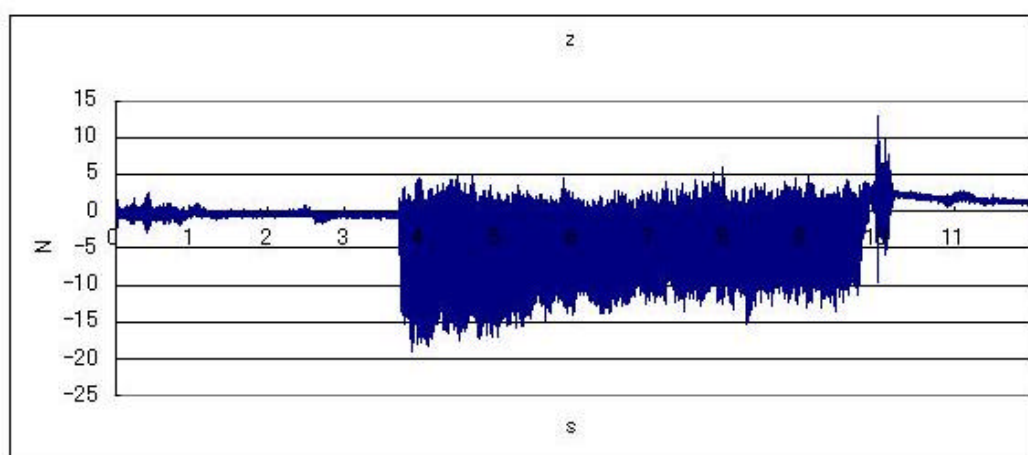


図 4・2・9 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での Z 成分

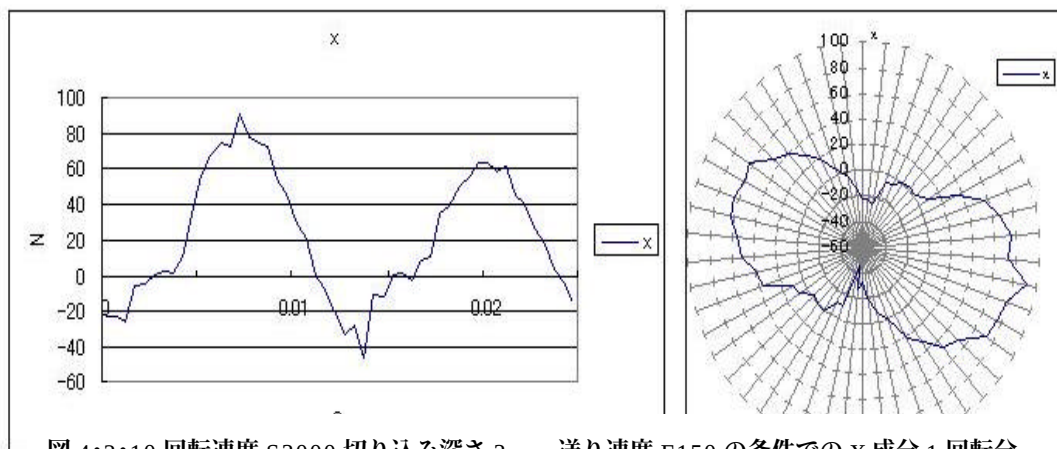


図 4・2・10 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での X 成分 1 回転分

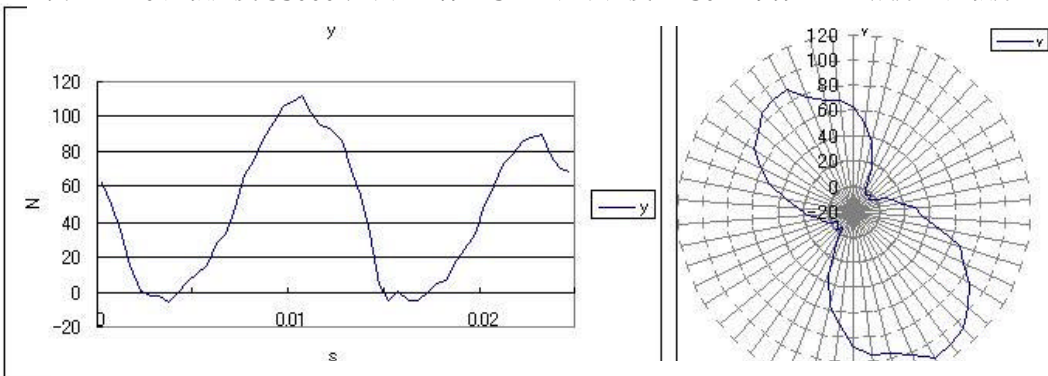


図 4・2・11 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での Y 成分 1 回転分

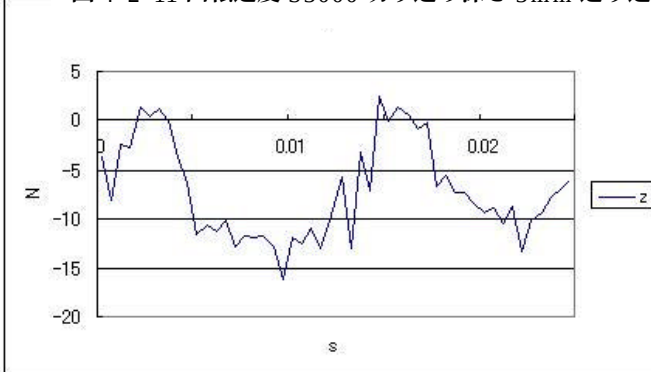


図 4・2・12 回転速度 S3000 切り込み深さ 3mm 送り速度 F150 の条件での Z 成分 1 回転分

以上のような結果が得られた。上記のグラフを見ると 2 枚刃のエンドミルを使用したのがよくわかる。

また、切り込み深さと切削速度の関係をグラフ化すると次のようになる。これも同じく回転速度 S3000 の時のものを表示する。

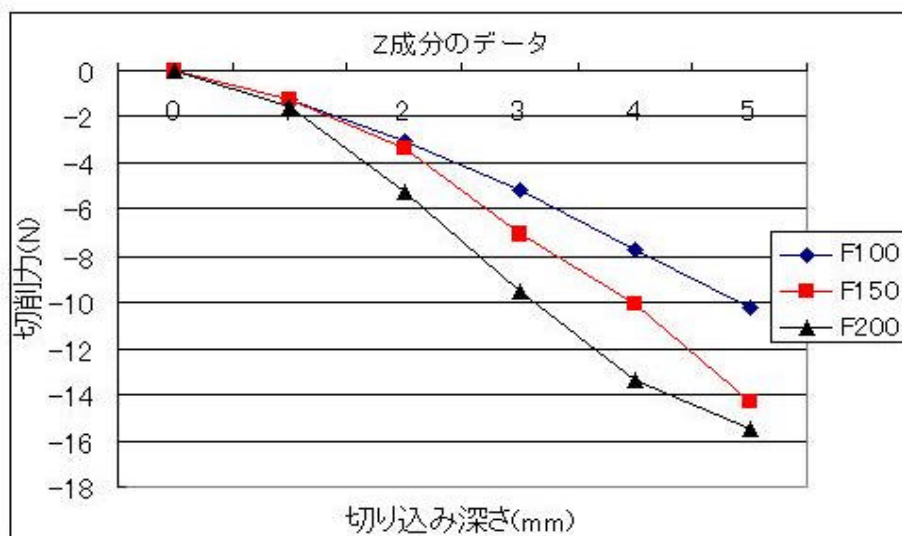
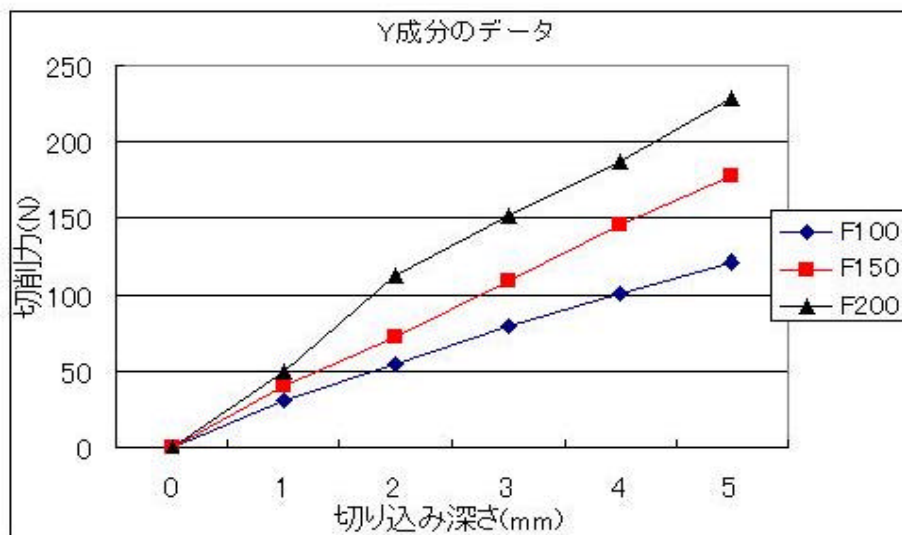
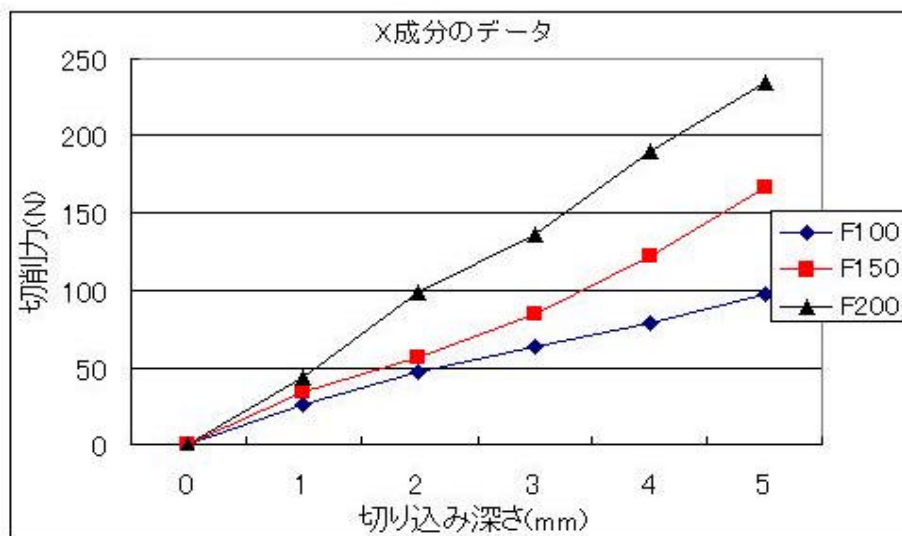


図 4・2・13 切り込み深さと切削速度の関係図

というようになる。

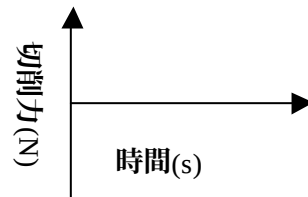
グラフを見ると切り込み深さと送り速度の関係は回転速度が一定の場合ほぼ比例関係にあることがわかる。

4・3 鋼(S50C)加工データ

ワークピースが鋼(S50C)ときには径 $\phi 10$ で2枚刃のハイスエンドミルを使用した。

径 $\phi 10$ で2枚刃のハイスエンドミルのデータを表示するがデータの量が多いため回転速度 S900 で切り込み深さ 1mm のものを例として表示する。

データは縦軸を切削力(N)、横軸を時間(s)とする。



まず加工全体のデータグラフ、その下に1回転分のデータグラフを表示する
・送り速度 F50 の場合

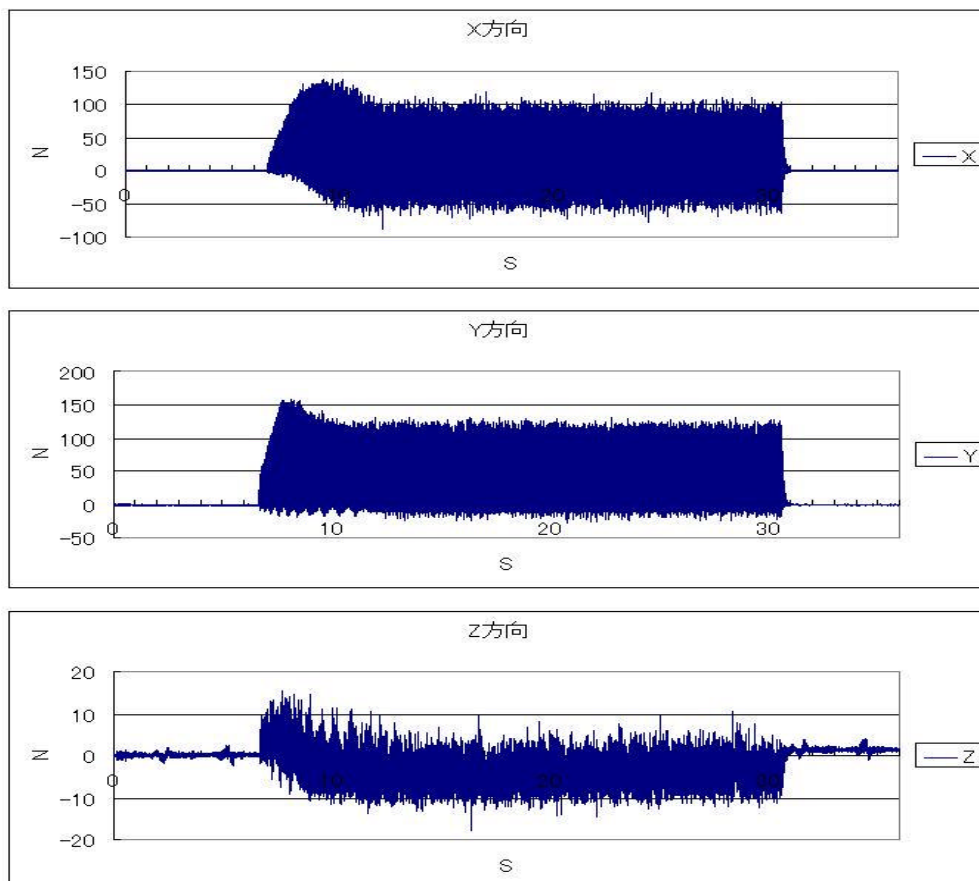


図 4・3・1 回転速度 S900 切り込み深さ 1 mm 送り速度 F50 の条件での 3 成分のグラフ

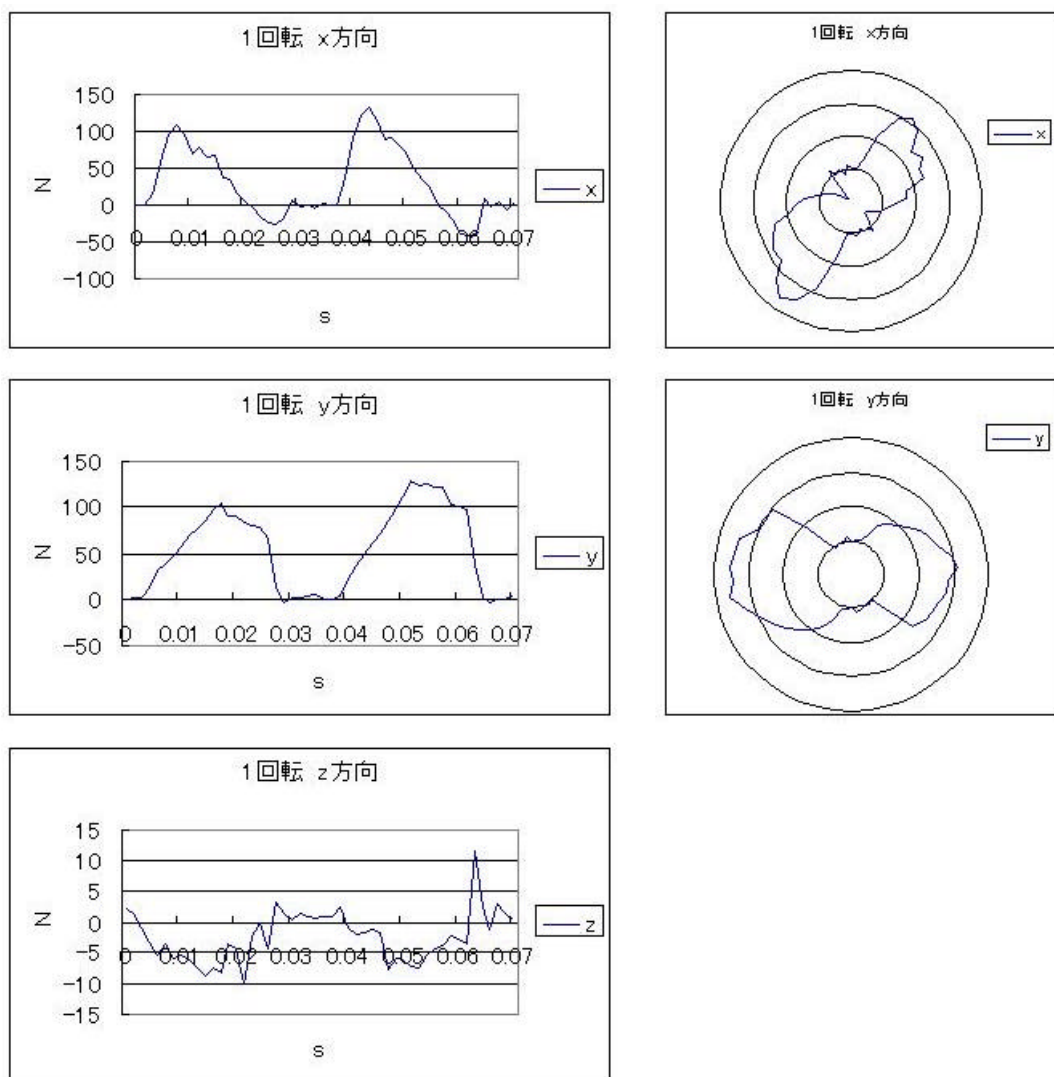


図 4・3・2 回転速度 S900 切り込み深さ 1 mm 送り速度 F50 の条件での 1 回転分で 3 成分のグラフ

・送り速度 F75 の場合

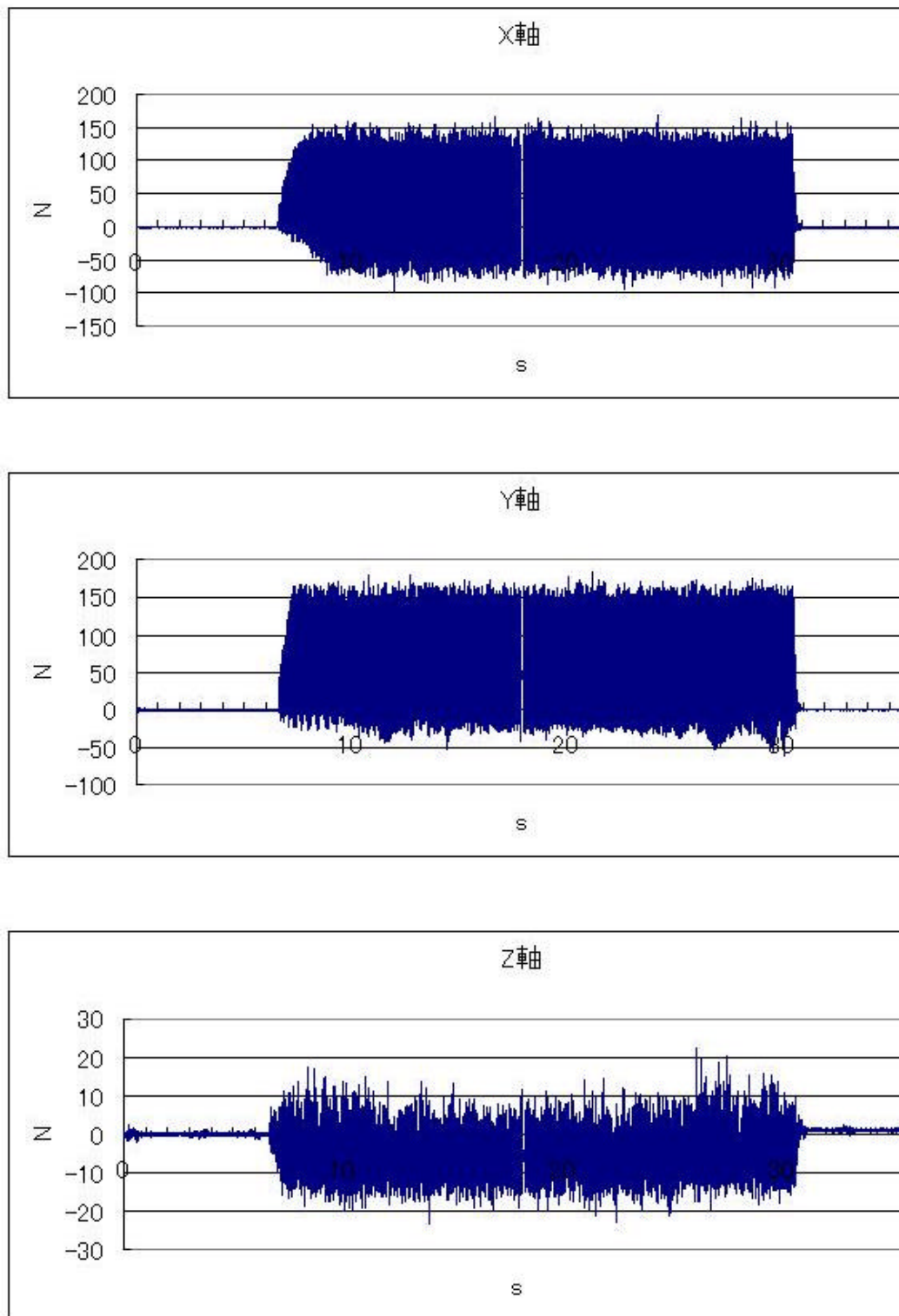


図 4・3・3 回転速度 S900 切り込み深さ 1 mm 送り速度 F75 の条件での 3 成分のグラフ

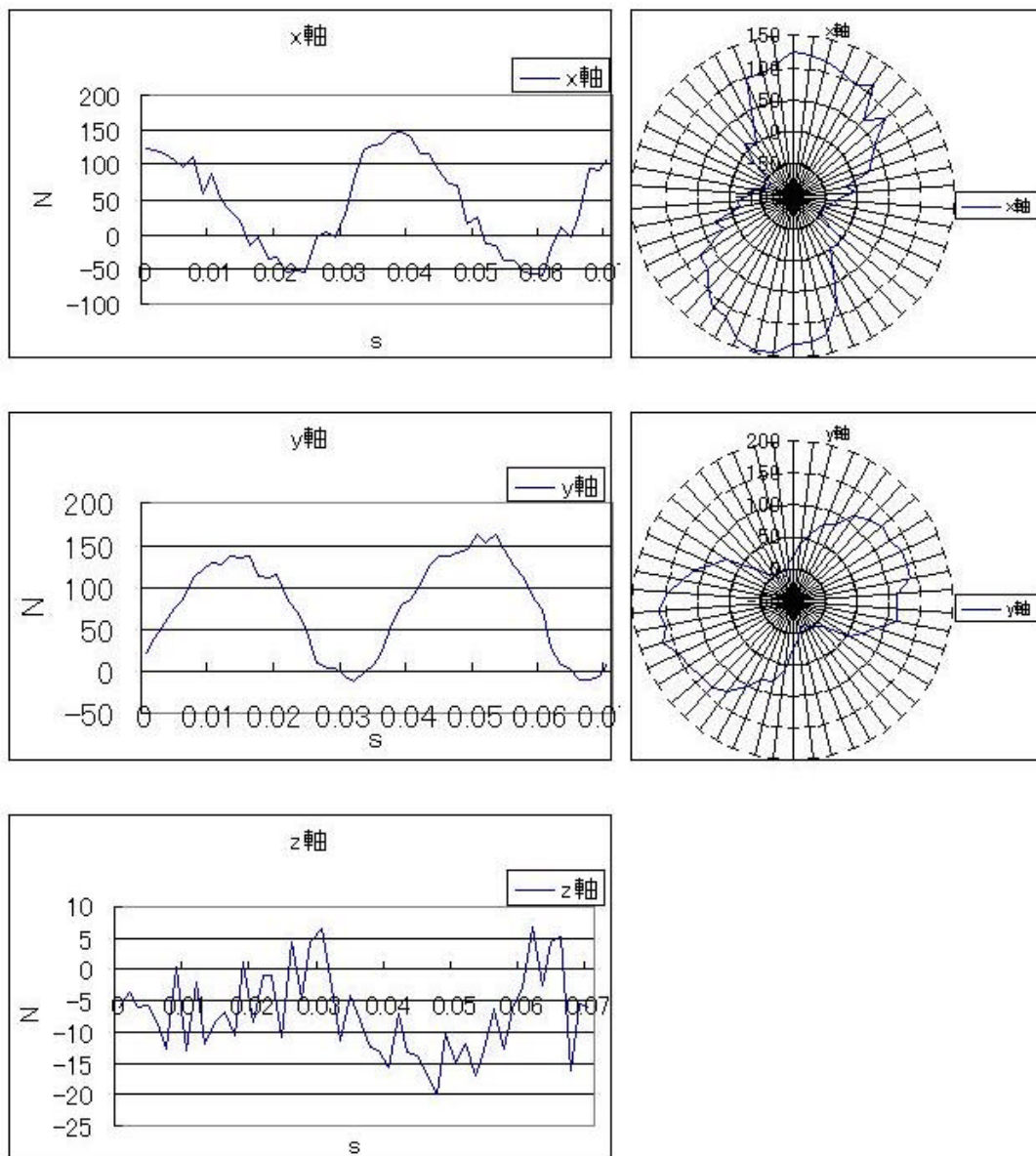


図 4・3・4 回転速度 S900 切り込み深さ 1 mm 送り速度 F75 の条件での 1 回転分で 3 成分のグラフ

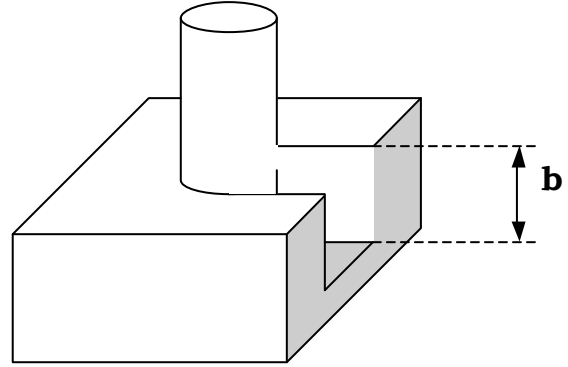
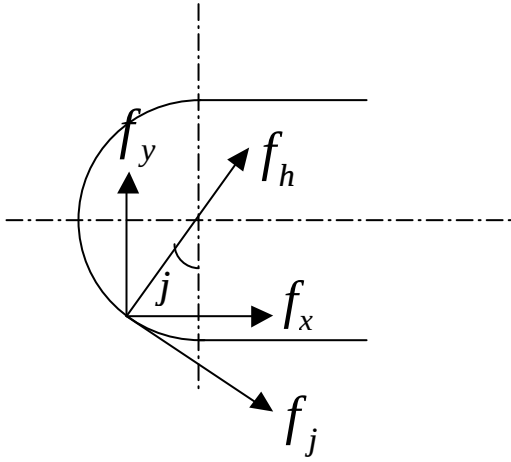
以上のようなデータが検出された。

第 5 章

理論解析

5・1 理論上の計算式の説明

ねじれ角のあるエンドミルによる切削の場合



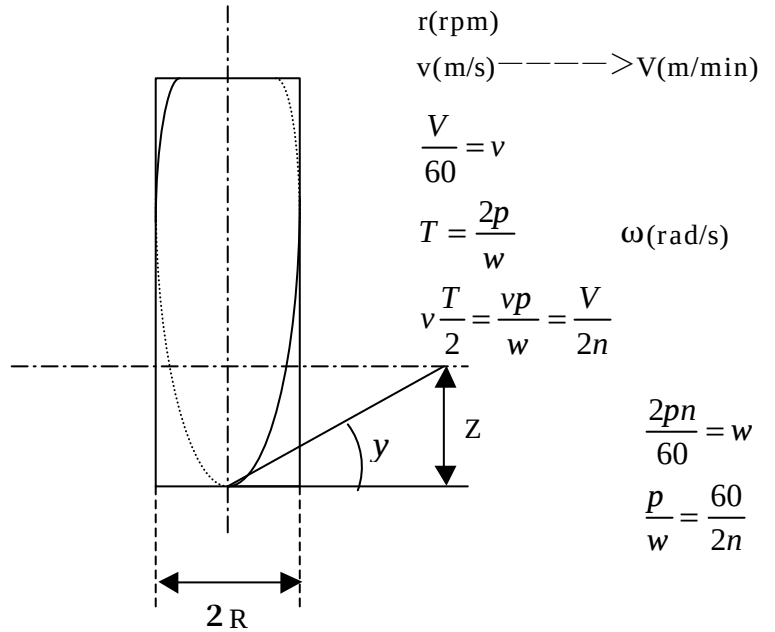
$$f_x = f_j \cos j + f_h \sin j \quad (1)$$

$$f_y = f_j \sin j + f_h \cos j \quad (2)$$

$$f_j = f_x \cos j + f_y \sin j \quad (3)$$

$$f_h = f_x \sin j + f_y \cos j \quad (4)$$

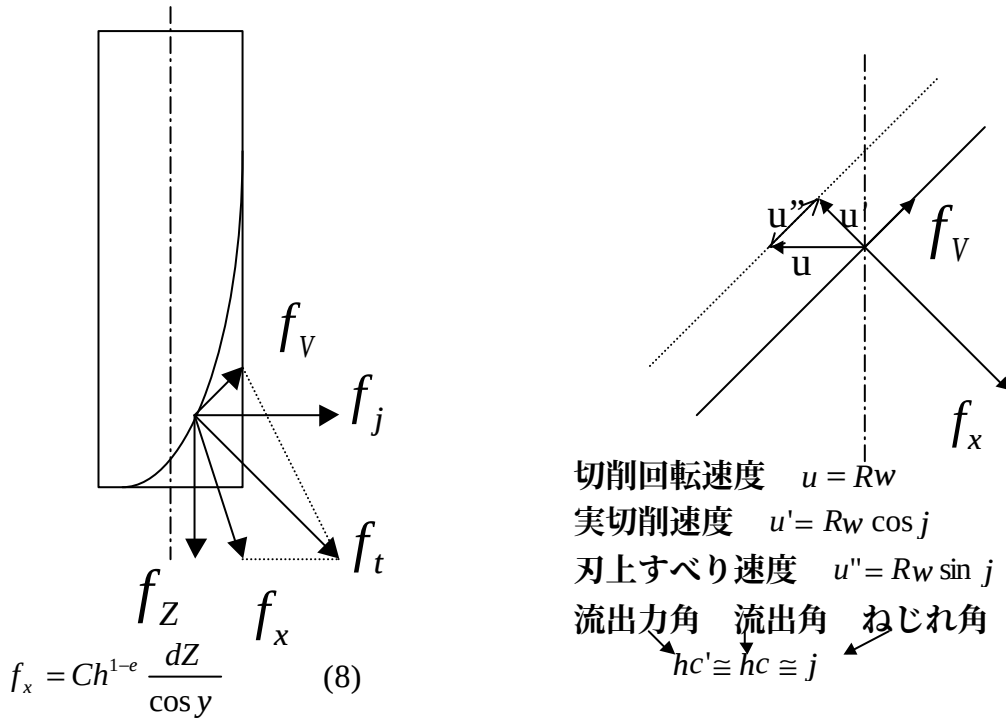
工具の刃の形状から
ねじれ角 ψ がわかる。



$$j_1 = \omega t - \frac{Z}{R} \tan y \quad (5)$$

$$j_1 = \omega t - \frac{Z}{R} \tan y \pm p \quad (6)$$

$$h = S_z \sin j = \frac{V}{2n} \sin j \quad (7)$$



f_x の成分は斜め切削の要素で考えなければならない。

$$N = f_x \cos d_n - f_h \sin d_n \quad (9)$$

$$f_h = f_x \tan(b - a_n) \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 N &= f_x \cos a_n - f_x \tan(b - a_n) \sin a_n \\
 &= f_x \frac{\cos(b - a_n) \cos a_n - \sin(b - a_n) \sin a_n}{\cos(b - a_n)} \\
 &= f_x \frac{\cos b}{\cos(b - a_n)} \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$F = N \tan b \cos hc' \equiv f_x \frac{\sin b \cos y}{\cos(b - a_n)} \quad (12)$$

$$f_v = N \tan b \sin hc' \equiv f_x \frac{\sin b \sin y}{\cos(b - a_n)} \quad (13)$$

$$f_j = f_x \cos y + f_v \sin y = f_x \cos y + f_v \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)}$$

$$= f_x \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \quad (14)$$

$$f_z = f_v \cos y - f_x \sin y = f_x \frac{\sin b \sin y \cos y}{\cos(b - a_n)} - f_x \sin y$$

$$= -f_x \sin y \left(1 - \frac{\sin b \cos y}{\cos(b - a_n)} \right) \quad (15)$$

$$f_x = f_j \cos j + f_h \sin j = f_x \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \cos j + f_x \tan(b - a_n) \sin j \quad (16)$$

$$f_x = -f_j \sin j + f_h \cos j = -f_x \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \sin j + f_x \tan(b - a_n) \cos j$$

(17)

式 7 より $h = S_z \sin j$ S_z は 1 刃当りの送り量

$$f_x = Ch^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} = CS_z^{1-e} (\sin j)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \quad (18)$$

と変換することができる。ゆえに式 16 より

$$f_x = CS_z^{1-e} (\sin j)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \cos j + \tan(b - a_n) \sin j \right\} \quad (19)$$

同じく式 17 より

$$f_y = CS_z^{1-e} (\sin j)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ - \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \sin j + \tan(b - a_n) \cos j \right\} \quad (20)$$

これらの式より

$$F_x^1 = \int_{\Sigma_1} CS_z^{1-e} (\sin j_1)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) \cos j_1 + \tan(b - a_n) \sin j_1 \right\}$$

(21)

$$\Sigma_1 : 0 \leq j_1 = \omega t - \frac{Z}{R} \tan y \leq p$$

$$F_x^2 = \int_{\Sigma_2} CS_Z^{1-e} (\sin j_2)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b-a_n)} \right) \cos j_2 + \tan(b-a_n) \sin j_2 \right\} \quad (22)$$

$$\Sigma_2 : 0 \leq j_2 = wt - \frac{Z}{R} \tan y - p \leq p$$

$$F_x = F_x^1 + F_y^2 \quad (23)$$

$$F_y^1 = \int_{\Sigma_1} CS_Z^{1-e} (\sin j_1)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ - \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b-a_n)} \right) \sin j_1 + \tan(b-a_n) \cos j_1 \right\} \quad (24)$$

$$\Sigma_1 : 0 \leq j_1 = wt - \frac{Z}{R} \tan y \leq p$$

$$F_y^2 = \int_{\Sigma_2} CS_Z^{1-e} (\sin j_2)^{1-e} \frac{dZ}{\cos y} \left\{ - \left(\cos y + \frac{\sin b \sin^2 y}{\cos(b-a_n)} \right) \sin j_2 + \tan(b-a_n) \cos j_2 \right\} \quad (25)$$

$$\Sigma_2 : 0 \leq j_2 = wt - \frac{Z}{R} \tan y - p \leq p$$

$$F_y = F_y^1 + F_y^2 \quad (26)$$

式(15)、式(18)より

$$f_z = -CS_Z^{1-e} (\sin j)^{1-e} dZ \left(\tan y - \frac{\sin b \cos y}{\cos(b-a_n)} \right) \quad (27)$$

$$F_z^1 = \int_{\Sigma_1} -CS_Z^{1-e} (\sin j_1)^{1-e} dZ \left(\tan y - \frac{\sin b \cos y}{\cos(b-a_n)} \right) \quad (28)$$

$$\Sigma_1 : 0 \leq j_1 = wt - \frac{Z}{R} \tan y \leq p$$

$$F_z^2 = \int_{\Sigma_2} -CS_Z^{1-e} (\sin j_2)^{1-e} dZ \left(\tan y - \frac{\sin b \cos y}{\cos(b-a_n)} \right) \quad (29)$$

$$\Sigma_2 : 0 \leq j_2 = wt - \frac{Z}{R} \tan y - p \leq p$$

$$F_z = F_z^1 + F_z^2 \quad (30)$$

上記の F_x 、 F_y 、 F_z の式を見ると

$$\left. \begin{aligned} F_x &= CS_z^{1-e} \cdot g_x(wt; y, a_n, b) \\ F_y &= CS_z^{1-e} \cdot g_y(wt; y, a_n, b) \\ F_z &= CS_z^{1-e} \cdot g_z(wt; y, a_n, b) \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

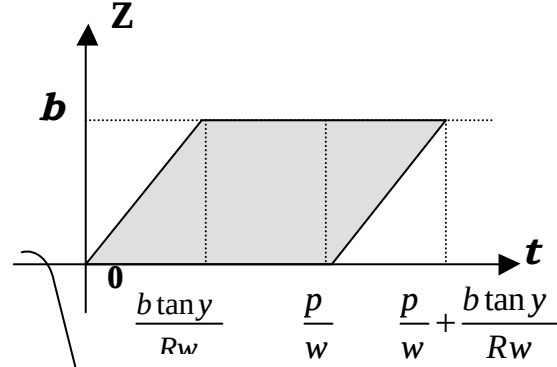
の形で書くことができる

積分範囲を考えると

$$\Sigma_1 : 0 \leq j_1 = wt - \frac{Z}{R} \tan y \leq p$$

の範囲は

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq Z \leq \frac{Rwt}{\tan y} & \quad \left(0 \leq t \leq \frac{b \tan y}{Rw} \right) \\ 0 \leq Z \leq b & \quad \left(\frac{b \tan y}{Rw} \leq t \leq \frac{p}{w} \right) \\ 0 \leq Z \leq \frac{R}{\tan y} (wt - p) & \quad \left(\frac{p}{w} \leq t \leq \frac{p}{w} + \frac{b \tan y}{Rw} \right) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$



次に

$$\Sigma_2 : 0 \leq j_2 = wt - \frac{Z}{R} \tan y - p \leq p$$

の範囲は

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq Z \leq \frac{Rwt}{\tan y} & \quad \left(\frac{p}{w} \leq t \leq \frac{p}{w} + \frac{b \tan y}{Rw} \right) \\ 0 \leq Z \leq b & \quad \left(\frac{p}{w} + \frac{b \tan y}{Rw} \leq t \leq \frac{2p}{w} \right) \\ 0 \leq Z \leq \frac{R}{\tan y} (wt - p) & \quad \left(\frac{2p}{w} \leq t \leq \frac{2p}{w} + \frac{b \tan y}{Rw} \right) \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

である。

回転トルク(振りモーメント)を考える。分布トルクを g とすると
式 14 より

$$g = f_j R = f_x R \left(\cos y + \frac{\sin y \sin^2 y}{\cos(b - a_n)} \right) = CR \left(1 + \frac{\sin b \sin y \tan y}{\cos(b - a_n)} \right) S_z^{1-e} (\sin j)^{1-e} dZ \quad (34)$$

となる。したがって、全トルク Q は

$$Q_1 = \int_{\Sigma_1} CR \left(1 + \frac{\sin b \sin y \tan y}{\cos(b - a_n)} \right) S_z^{1-e} (\sin j_1)^{1-e} dZ \quad (35)$$

$$Q_2 = \int_{\Sigma_2} CR \left(1 + \frac{\sin b \sin y \tan y}{\cos(b - a_n)} \right) S_z^{1-e} (\sin j_2)^{1-e} dZ \quad (36)$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

となり、

$$Q = CS_z^{1-e} g_Q(wt; y, b, a_n) \quad (37)$$

と書くことができる。

仕事率 W は

$$W = Q\omega \quad (38)$$

で表される。

式 27,28 と式 35,36 を比較すると

$$Q = R|F_z| \cdot \frac{1 + \frac{\sin b \sin y \tan y}{\cos(b - a_n)}}{\tan y - \frac{\sin b \sin y}{\cos(b - a_n)}} \quad (39)$$

の関係にある。よって、全回転トルク Q を知るには $|F_z|$ を知ればよいことがわかる。

第 6 章

結論と展望

結論と展望

多品種少量生産あるいは変種変量生産や一品種一品生産の傾向、生産過程におけるリードタイムの短縮、製造期間の短縮、製品の短寿命化などの社会的な背景とニーズに柔軟に対応できる自動化・無人化生産システムの実現が求められている。現在、NC、CNC 機能が発展してきた。また、自動化・無人化生産システムの研究も進められている。

このような背景に対して、本研究では自動化もしくは無人化生産システムの研究を行なう上でアプローチの一つとして加工の物理モデルの構築しデータベースを作成することを目的として研究を行なった。今回はまだ物理モデルの段階であり、また物理モデルの構築も不完全である。前に述べた計算式を使うとエンドミルの物理モデルを構築することができる。

今回の本研究では切削力のデータの解析とモデルの構築を行なったが自動化を完全なものにするために熱変形や工具の磨耗度、びびりや振動などいろいろな条件を研究していけば自動化・無人化生産システムの構築が可能である。これらを工作機械の遠隔操作プログラムと組み合わせて使用すれば完全な自動化・無人化生産システムが実現できる。

謝辭

謝辞

本研究を書くに当り指導教官である長尾高明教授、李軍旗助教授には御指導、貴重な御助言をいただきました。

学部 4 年の木崎さん、更谷さんには加工実験を行なう上で御協力をいただきました。

以上の方々に深く感謝し、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

参考文献

- 【1】長尾高明,畑山洋太郎等 著、“知能化生産システム”朝倉書店、2000.
- 【2】千々岩健児 編著、“機械製作法通論”東京大学出版会、1982.
- 【3】王衛珍“薄物部品の知能化加工における物理モデルの研究”
平成9年度修士論文
- 【4】李軍旗“オープンアーキテクチャ CNC を用いたセンサ情報に基づく
知能化加工システムの研究“平成10年度学位論文予備審査資料
- 【5】山岸正謙著“NC 工作機械の入門”東京電機大学出版局、1986.