

卒業論文

知能化旋削加工用データベースの研究

1 p - 5 1 p 完

平成 1 4 年 2 月 2 8 日提出

指導教官 長尾 高明 教授

知能機械システム工学科

1010123 井村 公一

1010127 大谷 宏一

目次

目次

1 . 序論	4
1.1 本研究の背景.....	5
1.2 本研究の目的.....	6
1.3 本論文の構成.....	7
2 . 知能化旋削加工用データベース	8
2.1 知能化旋盤システムの概要.....	9
2.2 知能化旋削加工用データベースの必要性.....	10
3 . 本研究のシステム構成	11
3.1 実験装置のシステム構成.....	12
3.1.1 オープン CNC 旋盤.....	13
3.1.2 カセンサ.....	15
3.1.3 ストレインアンプ.....	17
3.1.4 A/D ボード	21
3.1.5 サーバー.....	24
3.2 カセンサの設置.....	25
4 . 実験	27
4.1 実験装置の概要図.....	28
4.2 実験の内容.....	29
4.3 加工条件.....	30
5 . 実験データ	31
5.1 データの説明.....	32
5.2 主軸回転数 1,000 [rpm/min] における加工データ.....	33
5.3 各主軸回転数における加工データ.....	35
6 . 計測データの比較	40
6.1 同一加工条件下で送り速度を変化させた場合.....	41
6.2 切り込み量と切削抵抗の関係.....	42
6.3 切削面積と切削抵抗の関係.....	43
7 . 結論と考察	44
7.1 結論.....	45
7.2 問題点.....	46
7.3 今後の展望.....	47
謝辞	48
参考文献	50

第 1 章 序論

1. 序論

1.1 本研究の背景

現在、日本や欧米だけでなくアジアを含めた世界中の企業において、国際競争力の強化が叫ばれている。そのなかで、生産現場では省力化、つまり工場自動化 (FA) が進められている。また、世界中の国々では経済の発展とともに消費者の製品に対するニーズも変化を見せている。消費者は製品の高精度化、高品質化を求め、製品自体のライフサイクルは徐々に短縮化している。また、消費者の嗜好も多様化し、それにより生産現場においては現在までの少品種大量生産方式から多品種少量生産、個別生産、一品生産、注文生産等を行えるだけの柔軟性を持つ加工システムの構築の必要性が求められた。その要求に対し、加工機械はコンピュータの進歩に伴い NC 化という自動化への道を歩んだ。NC 化により加工機械は、加工情報を作り出し、処理し、全く新しい工具の動きを可能にした。また一方で、人間の能力を無駄な肉体労働と頭脳労働から解放し、生産現場における生産性の抜本的な向上をもたらした。

このような加工機械の進歩により、現在までの多種の単能及び複合作業機械は、マシニングセンタ、旋盤などの比較的少種類の作業機械に集約、整理された。しかし、現在の自動化は加工中における不測の事態に対する対応は十分でない。一般的に機械加工においてはさまざまな要因が関係しあい複雑な加工メカニズムを持つため、びびりや工具欠損といった不測の現象が発生する。こうした加工異常は発生する時間や場所といった時間的、空間的に不確定な現象である。また、加工異常の検知には熟練技術者による高度な認識及び判断が必要である。そのため、現在の NC システムではこれらの加工異常に対応するのは困難であると考えられる。この解決方法として考案されたのがセンサインテグレイテッドマシニングシステム (センサ統合型加工システム) である。NC 加工機械と各種センサ等を統合した 1 つのシステム (ネットワーク) を構築することによって、加工異常の検知・予知や、熱変形制御などといったことが可能になるというものである。これにより加工機械の自動はより発展し、生産現場における生産性の向上、品質の安定化、また短縮化する製品のライフサイクルに対応するための製品の企画から設計、製品化までの期間短縮を図ることができる。しかし、そのような状況下で加工機械に対する要求精度も高くなり、従来のパッシブ的な加工というものに限界が生じてきた。その要求精度を満たすために加工機械はアクティブ的な加工異常に対する予測能力が必要になってきた。そのためには切削力の大きさや熱変形、力による変位、びびりなどを計測し、それらの情報をデータベースとして構築し、その情報から加工異常の予測、回避を自動的に判断し実行できるシステムの構築によって、作業機械の知能化が可能になる。

本研究では作業機械の知能化を行うアプローチの一つとして、加工現象特に切削力のモニタリングを行い、データを解析を行う。

1.2 本研究の目的

加工の高速化、高精度化の要求に応えるには、まず工作機械の高精度化、高剛性を図る必要がある。それとともに、加工精度低下の主な要因である切削力、熱による影響や、加工によって発生する異常振動に対応可能なシステムの構築が重要である。特に、現在切削加工においては、中実丸棒の加工誤差補償のみならず、薄肉中空円筒や、薄肉円板の加工などにおいて、大きくこれらの影響が問題となっている。そのため本研究では、加工精度低下の要因である加工異常の予測、回避を行うための加工機械の知能化の研究に対する、一つのアプローチとして加工条件の切削に要する切削力への影響力を計測・評価することにより知能化に向けた知能化旋削加工用データベースの研究を行う。

1.3 本論文の構成

本論文は、以下の各章から構成されている。

- 第 1 章 研究の背景及びその目的
- 第 2 章 知能旋削加工用データベースの概念及びその必要性
- 第 3 章 本研究で利用したシステムの構成
- 第 4 章 オープン CNC 旋盤による切削力のサンプリング
- 第 5 章 サンプリングしたデータのグラフ化
- 第 6 章 測定データの比較・評価
- 第 7 章 本研究の総合的考察と結論、及び今後の展望

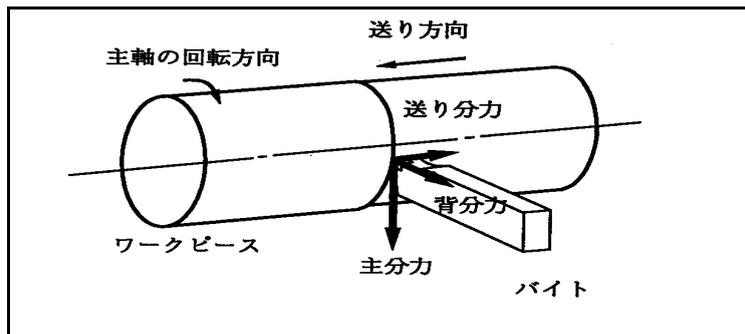
第2章

智能化旋削加工用データベース

2. 知能化旋削加工用データベース

2.1 知能化旋盤システムの概要

知能化旋盤システムはオープン化された CNC (Computerized Numerical Control) の開発から始まる。知能化旋盤システムでは工具ホルダ内に組み込まれた直交 3 軸力センサ



によって加工中の情報をサンプリングし、ひずみ増幅器で増幅した後外部実時間コントローラへ送信し、加工状態を認識する。びびり振動を抑制するために、外部実時間コントローラよりオープン CNC コントローラへネットワークを経由して主軸回転数や送り速度のオーバーライド値を送信する。場合によっては工具位置をアクチュエータにより微少量移動させ加工条件を整える。また、旋盤の熱変形を検出するために構造体に変形センサを搭載し、それらの情報は直行 3 軸力センサと同様に外部実時間コントローラに送信され、変形センサからの情報により交互と被加工物の位置を推定する。熱変形制御のための情報は原点シフト値としてオープン CNC へ送信される。

このような知能化旋削システムを構築するためには 3 つの機能を持った CNC コントローラが必要不可欠である。それは、加工プログラムを一括ファイル転送可能なりモートファイル転送モード、転送されるプログラムを蓄積しつつ、同時に加工可能なりモートバッファ運転モード、適応制御モードである。

また、CNC コントローラはデータベース部と実時間制御部を持つ。知能化旋盤システムの構築には加工時の安定性を保つために、工具・被加工物・工作機械からなる構造系の動特性が必要である。そのため、データベース部には工作機械にて実際にあらゆる条件で切削を行い、そこから得た情報をもとに自動的に安定限界線図を求める機能を構築する。また、実時間制御部には実時間加工状態判定法などをもとに適応制御を行う機能が必要である。

知能化旋盤システムの構築にはこれらの機能を有するハードウェアの開発と、個々のハードウェアをリンクさせるソフトウェアの開発が必要である。その上で統合されたシステム体系の構築を行うことで知能化旋盤システムが構築される。

2.2 知能化旋削加工用データベースの必要性

実際の加工において、製品を「能率よく」とか、「正確に」加工することは難しい。その原因として、あげられるものは、工作機械の精度、熱変形、びびり、加工力による工具や被加工物の変形、工具の損傷や磨耗、NC 工作機械におけるプログラムミスや加工知識の不足、データの不備、工作機械制御の遅れ、人間の判断の遅れやミス、加工環境の変化など種々の要因から発生する。そのため、実際の加工に際して行われることは、加工誤差を伴う加工工程である。

しかしながら、旋削加工に要求される精度はより高精度を求められ、また生産の能率化も同時に高めなければならない。そのような要求に応えるためには上で述べたような加工誤差の原因となる要因を解決していく必要がある。それを実行するためには、より簡便で自動化されたシステム、インターフェイスの開発によりプログラムミスの要因を減らし、加工知識が不足していても操作ができる環境を整えることが必要である。それにより、ヒューマンエラーの軽減が行えるであろう。もう一つあげられるのが、工作機械の精度、熱変形、びびり、加工力による工具や被加工物の変形、工具の損傷や磨耗による加工異常の軽減である。そのためには工作機械の熱変形やびびり、工具や被加工物の変形、及び磨耗や損傷を予知し、回避するシステムである。そのような異常の測定はセンサの役目であるが、例え異常なデータが測定されたとしても比較対照するデータが無くてはそのデータを異常と判断することが不可能である。判断を行うためには、実際に工作機械を使用してあらゆる加工状況を測定し、そのデータを蓄積し、データベース化することが必要である。データベースを構築する事により、センサを介して測定されたデータから異常を検知することによって、加工異常を予知し、補正プログラムをオープン CNC に送信することにより回避することが可能になる。それにより加工異常が減少し、加工の高精度化、安定化が図られる。

この知能化旋削加工用データベースは、知能化旋盤システム構築の土台であるといえる。たとえ、種々のセンサをシステムに組み込んだとしても、データベースの存在が無ければ全ては無力化するのである。

第3章

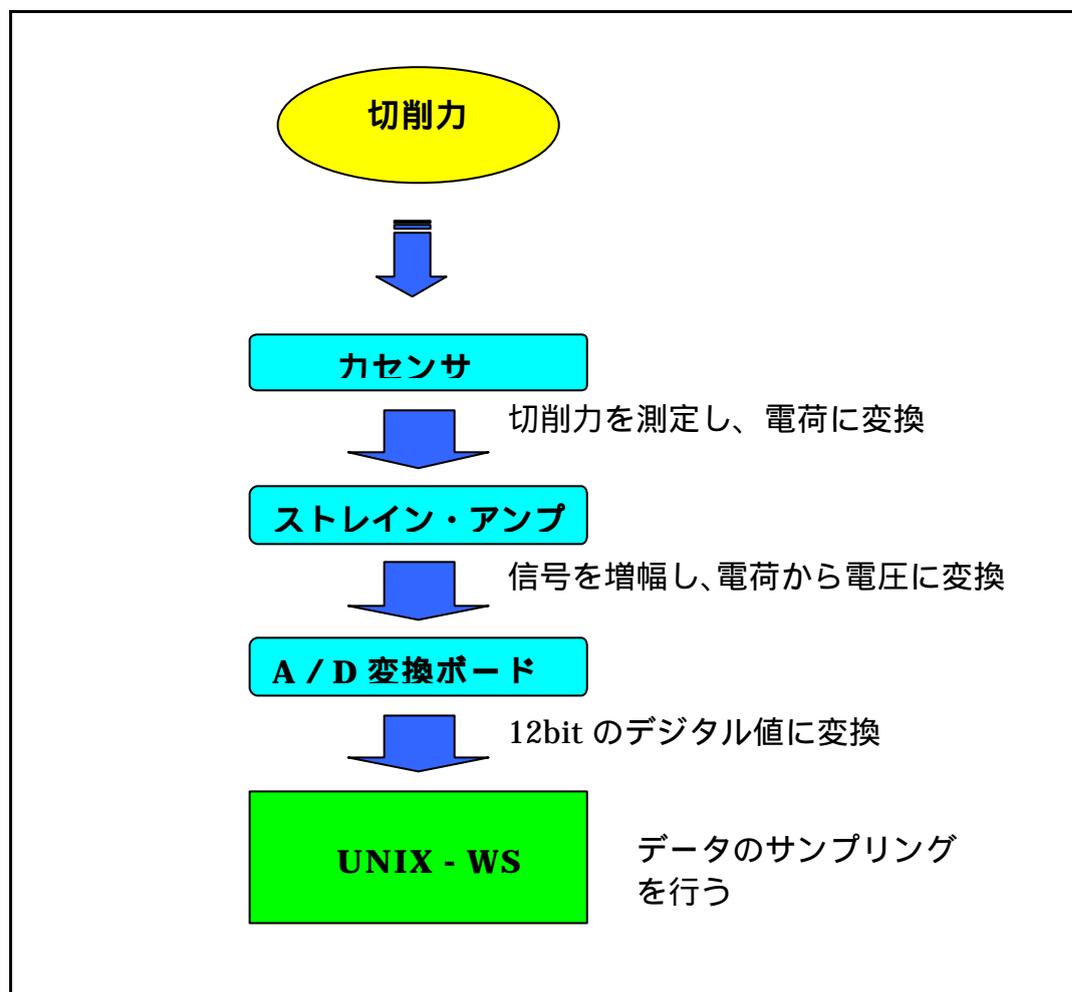
本研究のシステム構成

3. 本研究のシステム構成

3.1 実験装置のシステム構成

本研究では、旋盤における切削加工中の切削力（主文力、送分力、背分力）をサンプリングするために、オープン CNC 旋盤にバイトホルダ型直行3軸力計（カセンサ）を取り付け、カセンサにて切削力を電荷に変換し、ストレイン・アンプを介して電荷を電圧に変換・増幅し、A/Dボードにてデジタル値に変換し、UNIX-WSを利用して測定するシステムを構築し、使用した。

カセンサにてサンプリングされたデータの流れは（図3.0）に示す。



(図 3.1.0) システムの流れ

3.1.1 オープン CNC 旋盤

オープン CNC 旋盤とは外部のパソコンとのデータの送受信及び操作命令の受信、コンピュータ数値制御が可能である旋盤を指す。旋盤にはオークマ株式会社 (OKUMA) 製 SPACE TURN LB300 型旋盤 (図 3.1.1、3.1.2) を使用した。またオープン CNC には同じくオークマ株式会社製の OSP - E100L (図 3.1.3) を使用した。この旋盤には Sun Microsystems 社製 Ultra10 UNIX - WS と CNC の間を LAN (Local Area Network) を利用して結合したシステムが構築されており、パソコンからのデータの送受信が可能である。



(図 3.1.1) オープン CNC 旋盤 <OKUMA SPACE TURN LB300>



(図 3.1.2) オープン CNC 旋盤 内観



(図 3.1.3) オープン CNC <OKUMA OSP - E100L>

3.1.2 カセンサ

切削中の切削力を測定するために、直交 3 分力（主文力、送分力、背分力）を検出するセンサを用いた．本研究では株式会社三保電機製作所製 AST 式工具動力計（図 3.1.4）を使用した．

この動力計は旋削時バイトにかかる抵抗力すなわち、主文力、送分力、背分力を弾性変換器とそれに接着された抵抗線歪ゲージを使用して、3 分力を同時に測定が可能である．工具動力計により切削力は電荷へ変換され、さらにストレイン・アンプへ入力・増幅し、電圧へ変換された後 A / D ボードを介して UNIX - WS に取り込んだ．



（図 3.1.4）3 軸力バイトホルダ型センサ <株式会社三保電機製作所製 AST 式工具動力計>

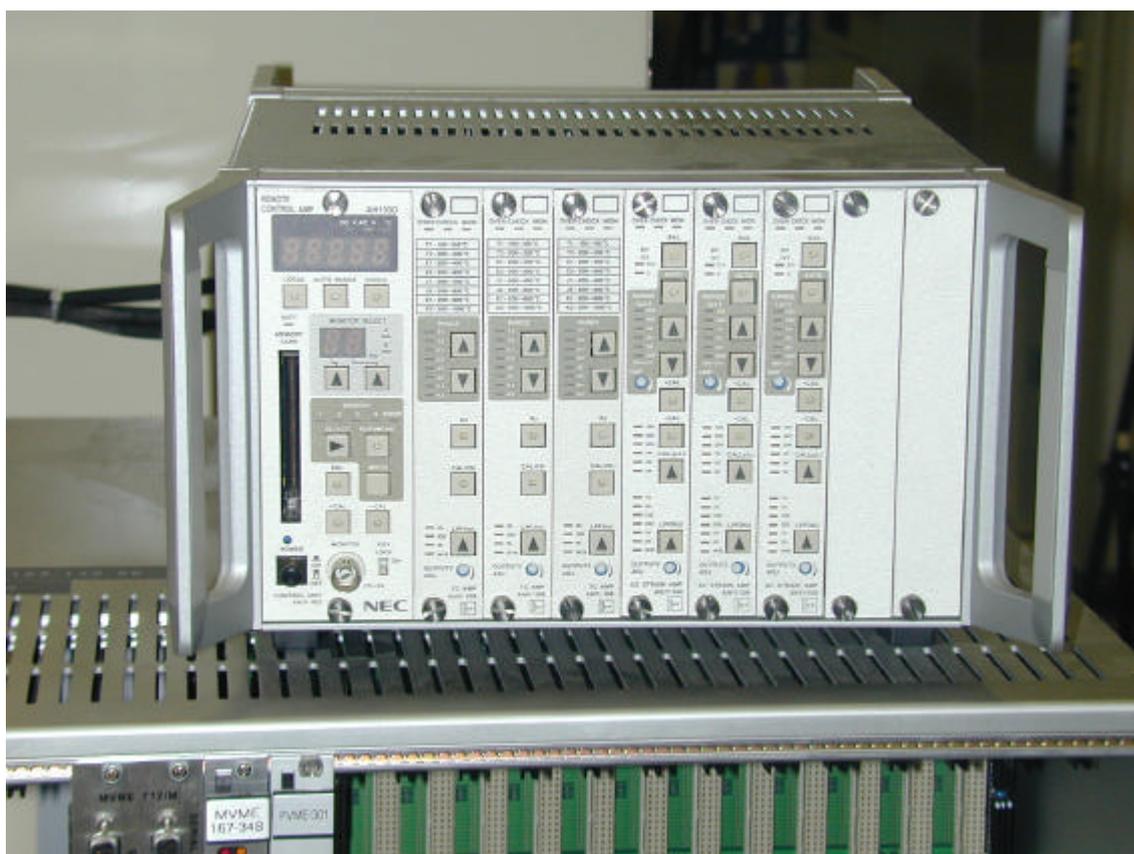
(株)三保電機製作所製 AST 式工具動力計 仕様
 型式 AST - TTH 18 2 7

入出力抵抗	I / O Resistance	350 ± 5
推奨入力電圧	Excitation Recommended	5V
NDI コネクタ結線	Wiring Color Code	
	A : + INPUT	白 WHT
	B : - OUTPUT	黒 BLK
	C : - INPUT	緑 GRN
	D : + OUTPUT	赤 RED
	E : SHIELD	
端子間抵抗値	A-B、B-C、C-D、D-E 間	262 .5
	A-C、B-D 間	350
ゲージ絶縁抵抗値	Insulation Resistance	> 10M (A、B、C、D-E)
許容負荷	120% R .C .	

3.1.3 ストレイン・アンプ

カセンサはストレイン・ゲージを利用して出力するため、それを電圧に変換するためにストレイン・アンプを使用した。ストレイン・アンプは 3 軸力バイトホルダ型センサよりの信号を増幅し、A/D 変換ボードに出力する。

ストレイン・アンプ (図 3.1.5) には NEC 三栄株式会社製リモートコントロールアンプ AH1100 型及び、交流電源形ストレイン・アンプユニット AH11 - 104 型を使用した。



(図 3.1.5) ストレイン・アンプ <NEC 三和 (株) AH1100、AH11 - 104 >

NEC 三栄 (株) 製 AH1100 リモートコントロールアンプ 仕様
 <本体ケース>

実装チャンネル数	8ch
外部インターフェイス用コネクタ	GP - IB (IEEE - 488 準拠) RS - 232C
アナログ出力用コネクタ	各 ch デュアル出力 (BNC コネクタ)
アナログ一括出力	各チャンネルデュアル出力と並列接続
ケース切り替えスイッチ	CASE COM でユニット出力コモンと本体ケースを接続、FREE でオープン
電源	AC100V ± 10% (AC120、220、240V 切り替え可) 約 80VA、 DC10 . 5 ~ 15V 約 4A (12V 時)
耐震性	3G (29 . 4m/s ²)
耐電圧	プラグインユニット入力端子 ~ アース端子間 AC 1kV / min プラグインユニット出力端子 ~ アース端子間 AC 250V / min (但しケース切り換えスイッチ FREE) AC 電源入力端子 ~ アース端子間 AC 1kV / min AC 電源入力端子 ~ プラグインユニット入力端子間 AC 1kV / min
使用温度・湿度範囲	- 10 ~ 40 、 20 ~ 85%RH 以内
外形寸法	約 W256 × H150 × D330 (但し突起物含まず)
質量	約 9kg (プラグインユニット 8CH 収納時)

<AE11 - 103 形 コントロールユニット>

画面表示、操作部

表示部 ・ 表示桁数 ・ 直線性 ・ 安定度 ・ 変換回数 ・ 単位自動表示	4 桁 LED ± 1 / 2 LSB 以下 ± 0.005%FS / 以下 約 3 回 / s (V、ACV、)
メモリカード部	プラグインユニットの設定値の記憶、再設定 (4 通り)
各種キー操作部	オートレンジ、セルフチェック、オートバランス、±CAL、 キーロック、パワースイッチ、モニタチャンネルセレクト、ローカル、 メモリセレクト、セット・キャンセル、メモリ、リセット
モニタ出力部	± 5V、± 2mA モニタチャンネルセレクトスイッチにより選択されたチャンネルのアナログ出力が取り出せる。同時に、表示部に出力される。また、セレクトされたユニットのモニタ LED が点灯する。

外部インターフェイス機能

インターフェイスを用いて、ユニットの設定、ステータス読み出し、グループ制御が可能になる。

GP - IB	IEEE 準拠 SH1,AH1,T6,L4,SR1,RL1,PP0,DC1,DT0,C0 アドレス設定 0 ~ E (14)
RS - 232C	

<ul style="list-style-type: none"> ・ 転送形式 ・ 転送速度 ・ データ長 ・ パリティ ・ ストップビット ・ プロトコル ・ アドレス設定 	全二重通信方式 9600、4800、2400、1200、600、300、150 ボー 7.8bit なし、EVEN、ODD 1.2bit RTS、X パラメータ制御 F (15)
共通項目	
・ デリミタ	CR - LF、CR、LF、EOI (GP - IB 時のみ)
コントロールユニット設定スイッチ (CONT SW) アドレス設定スイッチ (ADRSSW) により各パラメータを設定	

同期用出力

ブリッジ電源	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧 ・ 周波数 	2Vrms ±0.2%以内 正弦波 25kHz ± 5%以内
リモート機能	
・ 全チャンネル	オートバランス、±CAL、セルフチェック、 オートレンジ・スタート、オートレンジ・ストップ

OSC INT - EXT 切り換えスイッチ

ブリッジ電源の動作モード切替スイッチで、INT にて内部発振器での動作モードとなり同期用出力に出力し、EXT にて外部からの同期用信号での動作モードとなる。

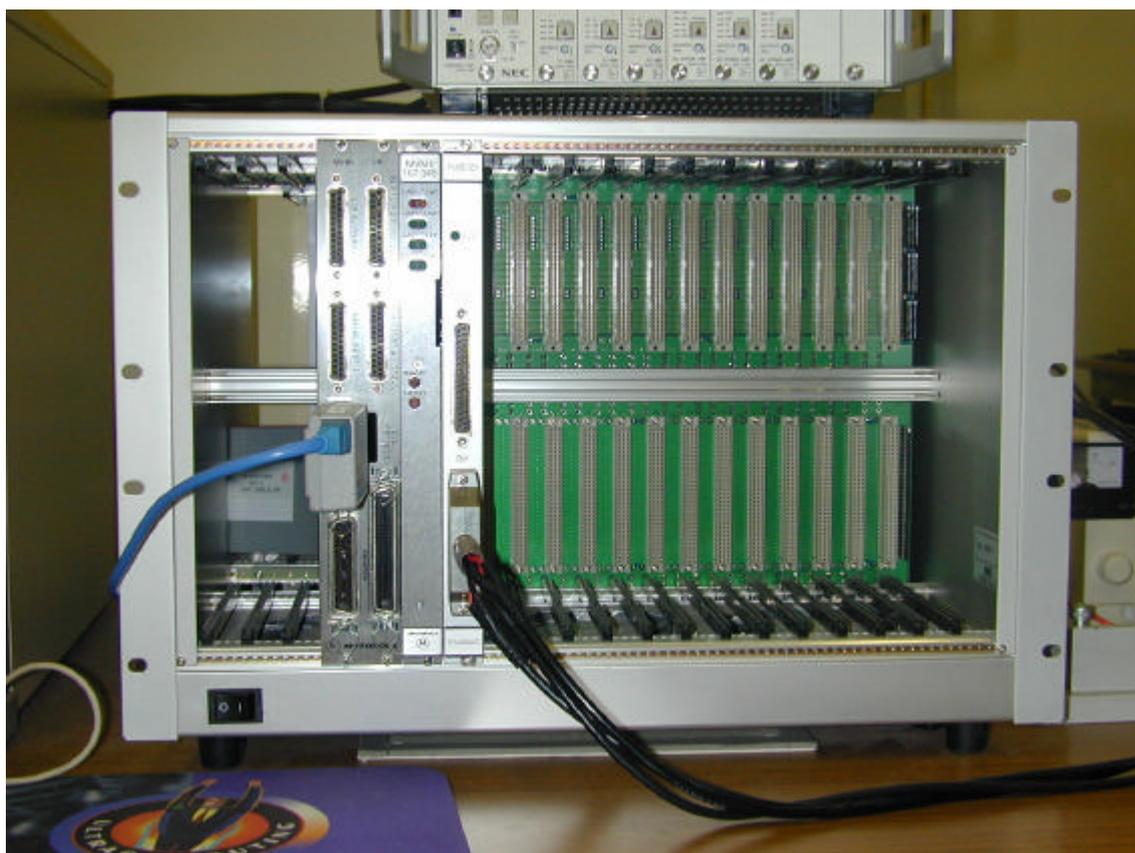
日本電気三栄 (株) 製 AH11-104 形 交流電源形ストレンアンブユニット

チャンネル数	1 チャンネル / ユニット
適用ゲージ抵抗	120 ~ 1k
設定ゲージ率	2.00
ブリッジ電源	2V、0.5Vrms 内部切り替え 正弦波 25kHz
平衡調整方式	抵抗分自動バランス バックアップ 約 1 ヶ月 (常温) (容量分自動除去機能つき)
平衡調整範囲	抵抗値偏差 ±約 2% (±約 10000×10 ⁻⁶ ひずみ)
自動平衡精度・時間	±0.5×10 ⁻⁶ ひずみ入力換算値以内、0.5 秒以内 (測定範囲 200×10 ⁻⁶ ひずみ、VAR 最大、BV=2V)
電圧感度	200×10 ⁻⁶ ひずみ入力にて 5V 以上 (VAR 最大)
測定範囲	200、500、1k、2k、5k×10 ⁻⁶ ひずみ / FS、 OFF (VAR 最大、BV=2V)
オートレンジ機能	オートレンジボタンを押すと動作開始、再度押すとその間の最大値が飽和しない測定範囲ポジションにセットする。
セルフチェック機能	回路内部のレベルチェックを行う
内部校正器 (CAL)	±100、±200、±500、±1k、±2k、±3k×10 ⁻⁶ ひずみ 精度 ±0.5% / FS 以内
非直線性	±0.2% / FS 以内
周波数特性	DC ~ 10kHz ±10%
ローパスフィルター	2 ポールバターワース型

	DC ~ 10、30、100、300、1k、3kHz
安定度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 零点 $\pm 0.1 \times 10^{-6}$ ひずみ / 以内 (測定範囲 200×10^{-6} ひずみ、VAR 最大) ・ 感度 $\pm 0.05\%$ / $\pm 0.2\%$ / 24H
SN比	<p>40 dB (W/B、測定範囲 200×10^{-6} ひずみ、VAR 最大、120 ゲージ)</p> <p>48 dB (DC ~ 1kHz、同上)</p> <p>58 dB (DC ~ 100Hz、同上)</p>
最大ひずみ入力	$\pm 50000 \times 10^{-6}$ ひずみ (測定範囲 $5k \times 10^{-6}$ ひずみ、VAR 最小、BV=0.5V)
出力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最大出力 $\pm 5V$ 以上 ・ 電圧電流 OUTPUT 1 $\pm 5V$ $\pm 5mA$ 2 $\pm 5V$ $\pm 10mA$ (単独に $\times 1 \sim \times 1/5$ まで可変) ・ 出力抵抗 1 以下 ・ 容量負荷 0.1 μF まで動作 ・ 出力オーバー表示 \pm 約 5.5V 以上で点灯
リモート機能	外部インターフェイスよりリモート動作可能 (リモート時にはユニットのキー動作不能)
モニターLED	コントローラ側でセレクトされると LED 点灯)
同相許容電圧	AC300Vrms
耐電圧	AC1kV / min

3.1.4 A/D ボード

ストレイン・アンプを通し、電圧に変換された力センサの出力（-5V～+5V）をサンプリングし、12bit のデジタル値に変換した上で、サーバーで読み取るために A/D 変換ボードを使用した。使用した A/D 変換ボードはインターニックス株式会社（INTERNIX）製 PVME - 301 型（図 3.1.6）を使用した。



（図 3.1.6）A/D 変換ボード <INTERNIX PVME - 301>

A/D変換ボード <インターニックス(株)製 PVME-301>

インターフェイス部 電氣的仕様 (特に記述の無い限り、TA = 25、規定電源電圧)	
バス形式	VMEバス規格 (Rev.C) 準拠
アドレス	A16 / A24 / A32 ビット・アドレス対応 連続 32 バイト (16words) 占有 上位アドレス、ジャンパーにてフルデコード
AMコード	特権、非特権 データアクセス ショート I/O アクセス
転送データ幅	ワード (16 ビット)
インターラプト	ベクタ方式、1~7 レベルをジャンパーセレクト
外部トリガ	TTL レベル 立下りエッジ

アナログ部	
入力チャンネル	標準時 シングルエンド 16 / ディファレンシャル 8 拡張時 シングルエンド 32 / ディファレンシャル 17
入力電圧レンジ	ユニポーラ時 0 ~ + 1.0 [V] 0 ~ + 2.5 0 ~ + 5.0 0 ~ + 10.0 バイポーラ時 - 1.0 ~ + 1.0 [V] - 2.5 ~ + 2.5 - 5.0 ~ + 5.0 - 10.0 ~ + 10.0 のいずれか一つを選択。
最大入力電圧	±15 [V] (電源 ON 時)
出力コード	ユニポーラ時 ストレートバイナリ バイポーラ時 オフセットバイナリ
動作表示	BUSY ランプ (A/D 変換中点灯)
入力インピーダンス	100 M 以上
入力キャパシティ	100 pF 以下
入力リーク電流	100 nA 以下
分解能	12 ビット
スループット・レイト	6 μsec (バージョン A,B) 10 μsec (バージョン C)
オフセット誤差	±300 μV
フルスケール誤差	±0.1%
オフセット・ドリフト	55 PPM /
フルスケール・ドリフト	50 PPM /
リニアリティ誤差	±0.013%以下 (バージョン A,C) ±0.025%以下 (バージョン B)

デジタル部	
外部トリガ・入力レベル	立下がりエッジ ()
外部トリガ・スレッシュホールドレベル	H : 3.15 [V] max、L : 0.9[V]min (Vcc = 4.5[V])

外部トリガ・パルス幅	50ns
外部トリガ・ディレイタイム	50ns

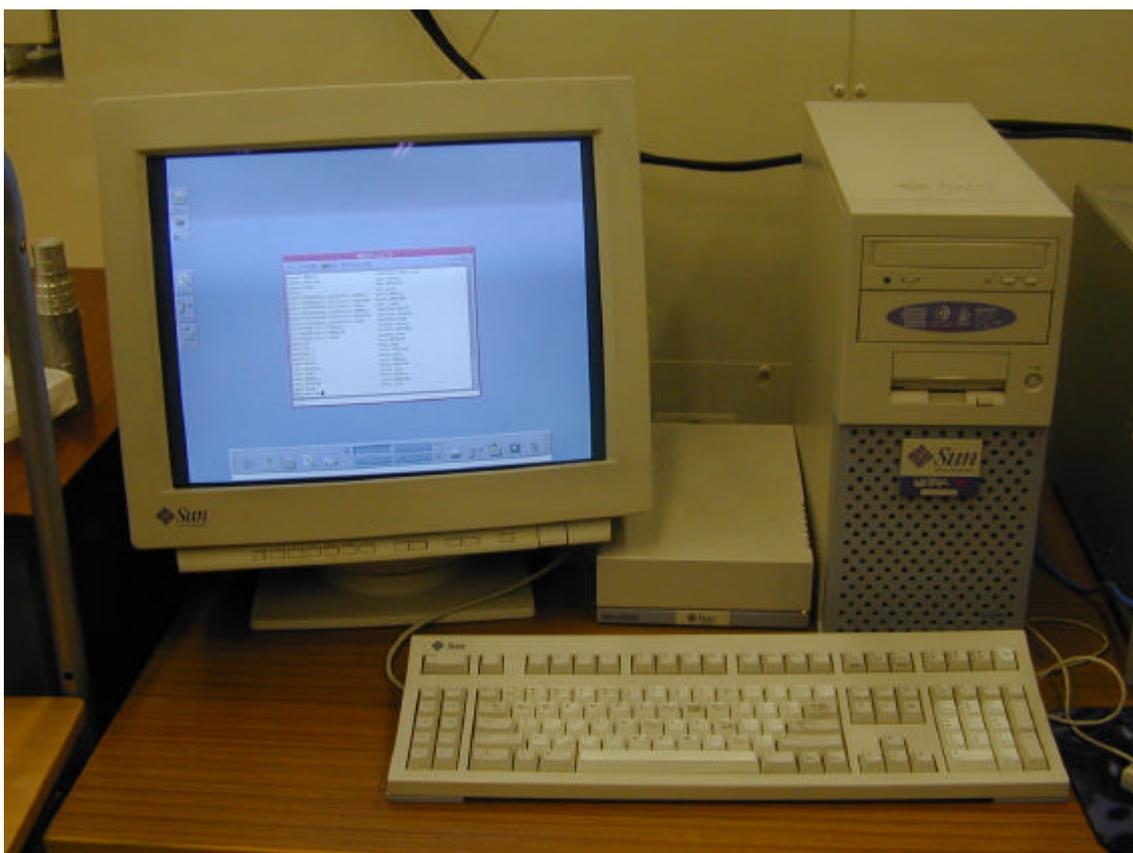
電源・外形	
電源	単一 +5 [V] $\pm 5\%$ 、2.3 [A] (MAX)
ボードサイズ	ダブルハイト、160×233 [mm]

温度・湿度規格			
動作時	温度	0 ~ +60	
	湿度	20 ~ 80%	結露無
保存時	温度	-10 ~ +70	
	湿度	10 ~ 90%	結露無

3.1.5 サーバー

カセンサからの出力をストレイン・アンプ、A/D 変換ボードを介して取得するためのデータ取得用コンピュータとして、またデータの送受信及び操作命令の受信、コンピュータ数値制御用のサーバーとして Sun Microsystems 社製 Ultra10 UNIX - WS(図 3.1.7)を使用した。このサーバーは LAN(Local Area Network)を利用してオープン CNC 旋盤と接続され、またストレイン・アンプ、A/D 変換ボードを介して AST 式工具動力計と接続されている。

このサーバーはデータ取得、データの送受信及び操作命令の受信、コンピュータ数値制御ともに JAVA 言語を利用したプログラムにより行える。



(図 3.1.7) サーバー < Sun Microsystems Ultra10 UNIX - WS >

3.2 カセンサの設置

本研究において、切削力の測定を行うにあたりバイトホルダ型センサを使用するため、オープン CNC 旋盤の刃物回転台に 3 軸力バイトホルダ型センサを固定する必要があった。今回使用した 3 軸力バイトホルダ型センサ<株式会社三保電機製作所製 AST 式工具動力計>には、取り付け用の L 字型ステー（図 3.2.1）が付属されていたが、本研究で使用した旋盤には付属の L 時型ステーを利用する固定は構造の不一致により不可能であった。よって、実験をはじめるにあたり、まず最初に 3 軸力バイトホルダ型センサの刃物回転台への固定方法の検討から入った。

刃物回転台には正面にバイト固定用のみぞがあり、側面に 14 のボルト穴が 2 つ設けられていた。私たちはそこに注目し、正面と側面の 2 箇所を利用して 3 軸力バイトホルダ型センサを固定した。そのために専用ステー（図 3.2.2）の設計、製作を行った。専用ステーは当初、軽量化のためにアルミを使用して製作したが、剛性に問題があり切削力測定の際に数値に異常を与える可能性があるため、改めて S50C を利用して製作した。

3 軸力バイトホルダ型センサは専用ステーを取り付け（図 3.2.3）刃物回転台のバイト固定用の溝を利用して設置した。

設計図に関しては本論分最後の付録に添付する。



（図 3.2.1）
付属 L 字型ステー



(図 3.2.2)
専用ステー



(図 3.2.3) 専用ステーを取り付けた 3 軸力バイトホルダ型センサ

第4章 実験

4. 実験

4.1 実験装置の概要図

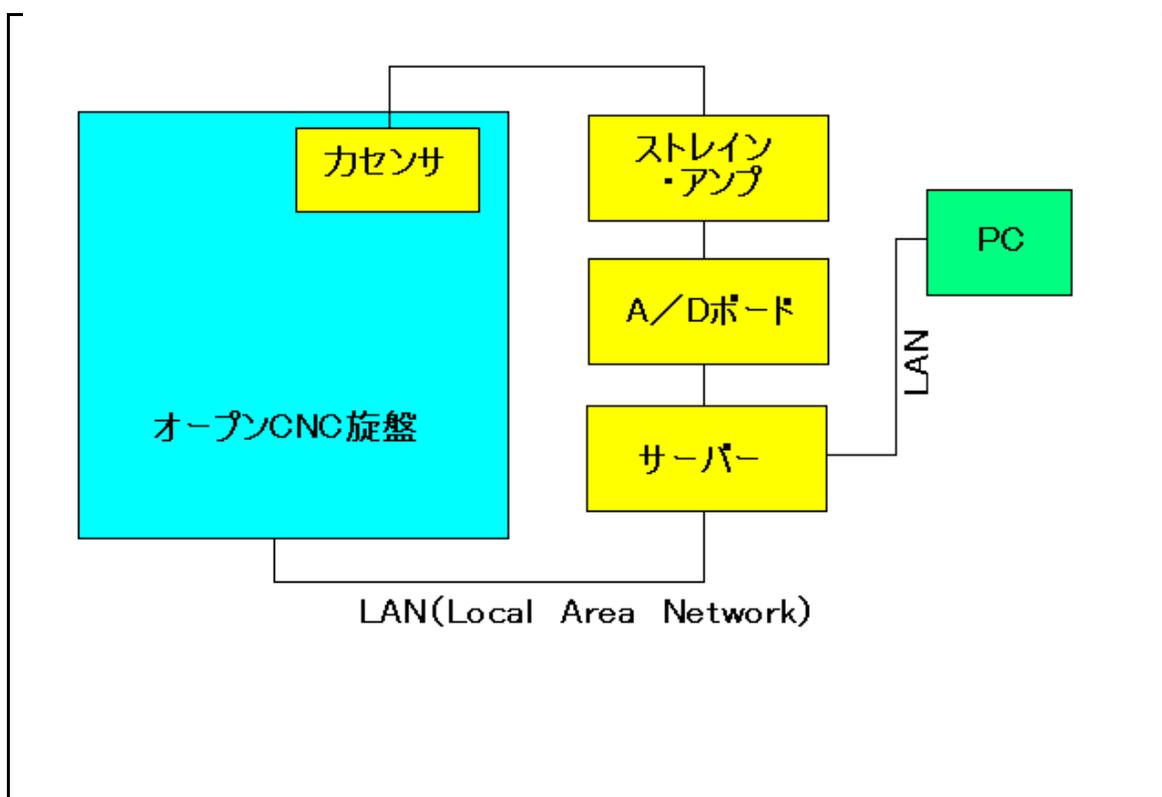
今回の実験では、旋盤における切削加工中の切削力（主文力、送分力、背分力）のサンプリングを行う。

そのため、オープン CNC 旋盤の刃物回転台に専用ステーを使用して、バイトホルダ型直行3軸力計（力センサ）を取り付け、ストレイン・アンプ、A/D ボードを介してサーバである UNIX - WS に接続した。

このシステムでは、力センサにて切削力を検知し、その切削力を電荷に変換し、ストレイン・アンプを介して電荷を電圧に変換・増幅し、A/D ボードにてデジタル値に変換した後、UNIX - WS を利用してサンプリングするシステムを構築し、使用した。また、UNIX - WS でのサンプリングには JAVA 言語によるプログラムを使用した。

なお、このオープン CNC 旋盤はサーバである UNIX - WS と LAN を経由してリンクしており、データの送受信が可能である。

また、実験装置の概要図は（図 4.1）を参照。



（図 4.1）実験装置の概要図

4.2 実験の内容

前章までにおいて、本システムの概要は示された。そこで本章では、本システムの機能を確認し、有効性を示すために、本システムを用いた切削加工実験を行なう。

本実験では、加工条件や加工規則の決定をする上で指標とすべき加工条件と切削抵抗の関係を求める実験をおこなう。異なる加工条件で切削を行なって、その際の力データを採集し整理する。

力データの採集方法は、システム構成で述べたように、力センサから出力されたデータをストレイン・アンプ、A/D ボードを介してデータ取得用の Sun Microsystems Ultra 10 UNIX-WS にてサンプリングし、そのデータを、FTP 形式により、LAN を経由して外部の PC に転送し、その測定した力データを、Microsoft Excel を使いグラフ化する。

4.3 加工条件

本研究で行なった加工実験で使用した被加工物、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被加工物は、A2017の100×150の円筒型被加工物である。使用したバイトホルダは、東芝タンガロイ(株)のCSBPR2020K4型である。またバイトチップは、同じく東芝タンガロイ(株)のSPMN120308-UX30型である。バイトホルダ型直交3分力計の刃物台への取り付けについては、まず力センサのステーを力センサに取り付け、次にその力センサを、刃物台に取り付けるのであるが、刃物台より30mm外側にバイトチップの先端がくるように取り付けられた。その状態で切削加工していく。

A2017の加工条件を説明する

主軸回転数 【rpm/min】	切り込み深さ 【mm】
500	1 ~ 3
1,000	
1,500	
2,000	

第5章 実験データ

5. 実験データ

5.1 データの説明

データはすべて 1 秒間で 500 個取るようにした。

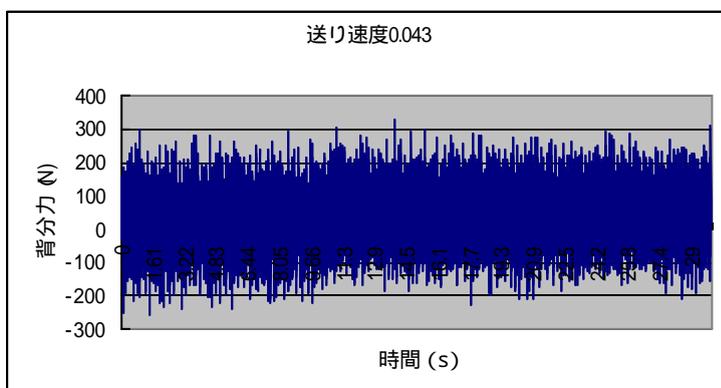
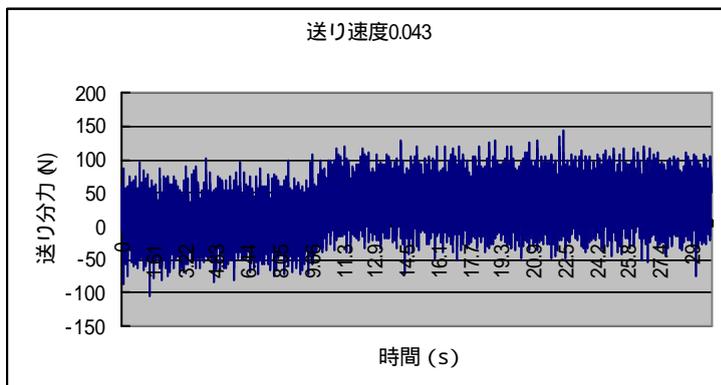
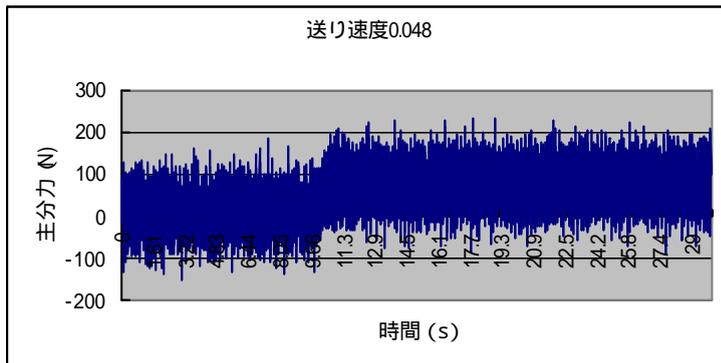
A2017 加工データの中で回転速度、切り込み深さ、送り速度を変化させそれを Microsoft Excel でグラフ化する。このソフトは一度に 32000 個のデータ処理しかできなかつたため、データ量を 30000 個以内におさえるよう、加工実験時間を調整した。グラフは、横軸に切削時間(S)、縦軸に切削力をあらわすものとした。

5.2 主軸回転数 1,000 [rev. / min] 時における加工データ

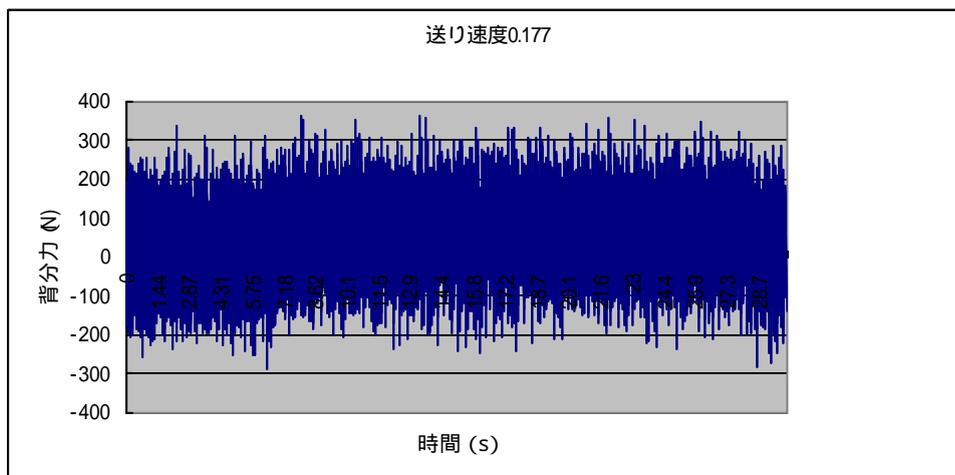
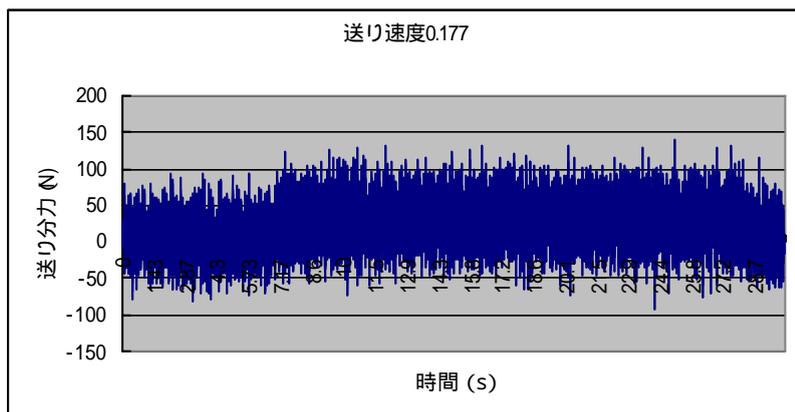
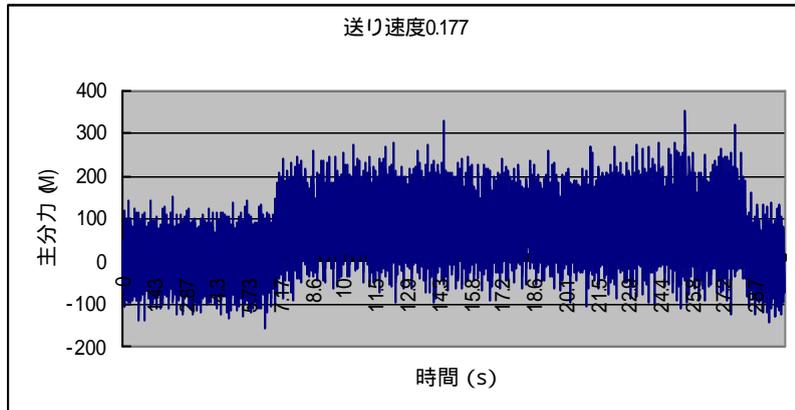
計測された3分力は次のようなグラフで表される。
このグラフは被加工物 A2017、加工時のデータであり、データは縦軸を切削力 (N) とし、横軸を時間 (s) として表示する。

加工条件：	
主軸回転数	1000 rev. / min
切り込み深さ	1 mm
送り速度	0.043 mm / rev.

8



加工条件：
 主軸回転数 1000 rev./min
 切り込み深さ 1 mm
 送り速度 0.177 mm/rev.

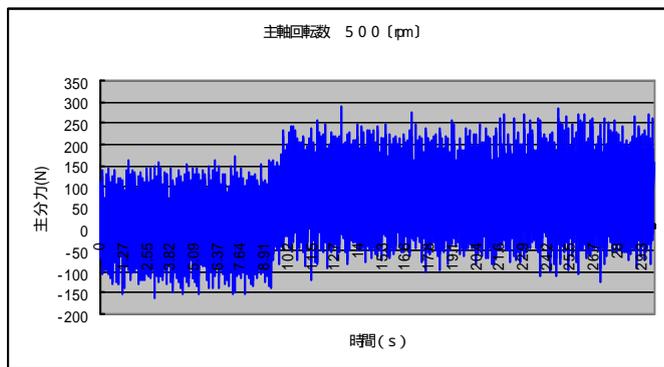


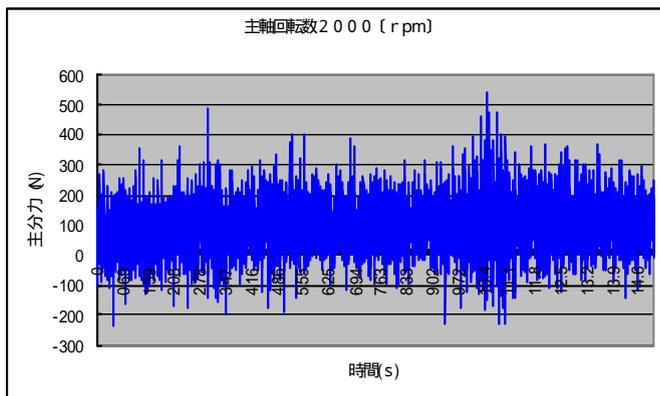
5.3 各主軸回転数における加工データ

旋削加工中に生じる切削力は前項までのようなグラフで表される。本研究では切削 3 分力のうち、主分力において加工条件からの影響が最も現れやすいため、特に主分力に関して注目する。

これより各回転数で旋削加工を行った場合の切り込み深さ別のデータについてのグラフである。

被加工物： A2017
加工条件： 切り込み深さ 1 mm

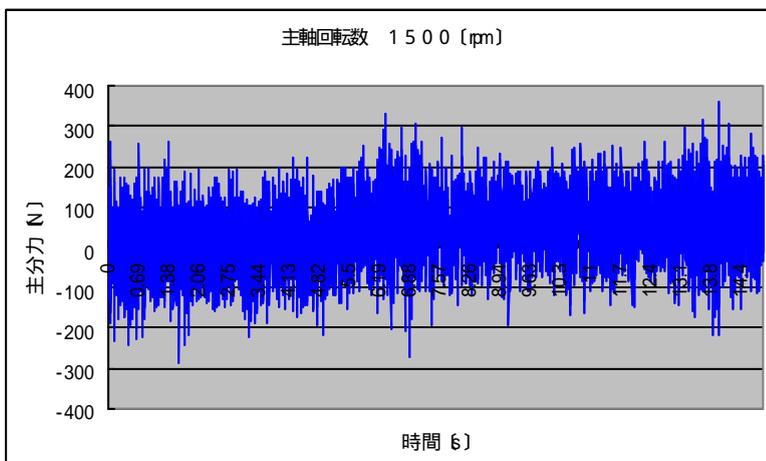
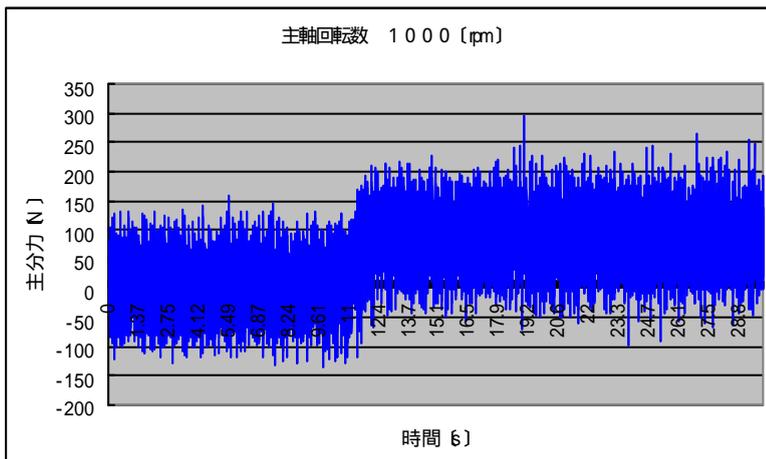
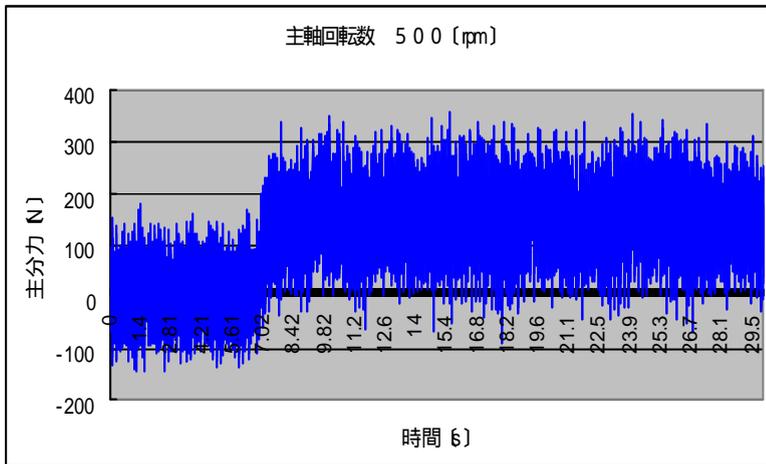


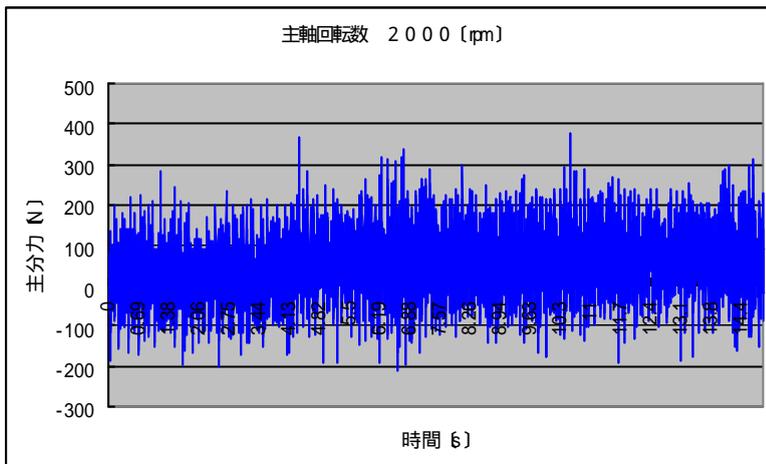


このデータは切り込み深さ 1mm の場合の各主軸回転数の主分力のグラフである。以上のグラフから読み取れるように、1,500、2,000 [rev. / min] で見られる主分力のノイズは、びびりが発生していることを示す。

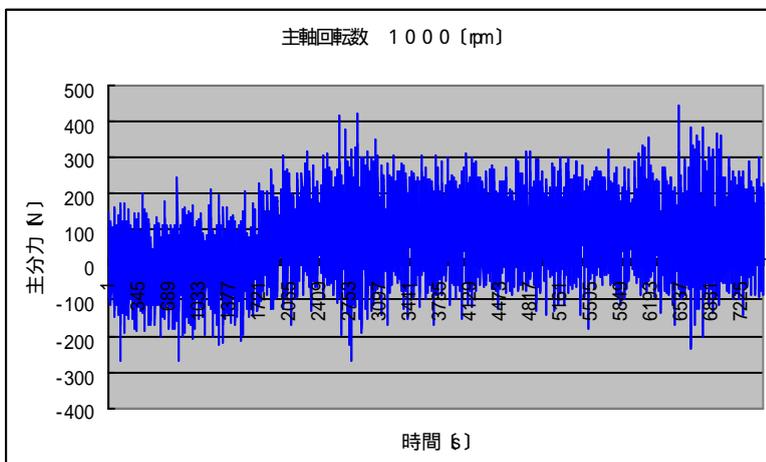
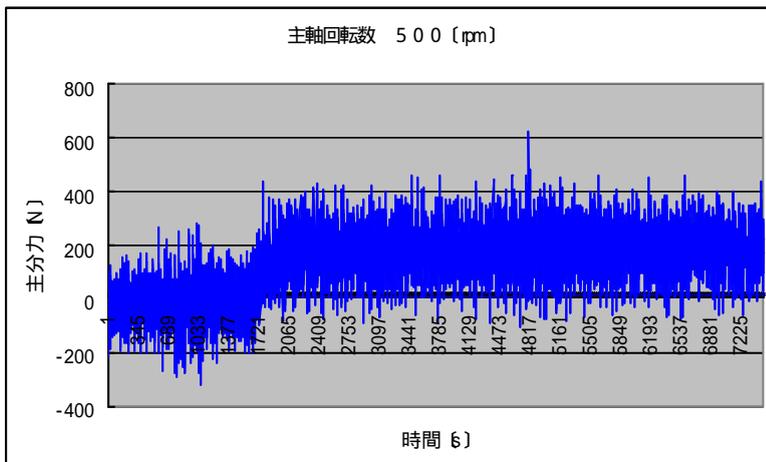
これは、旋削加工中の切削くずの被加工物への巻き込みが原因と考えられる。

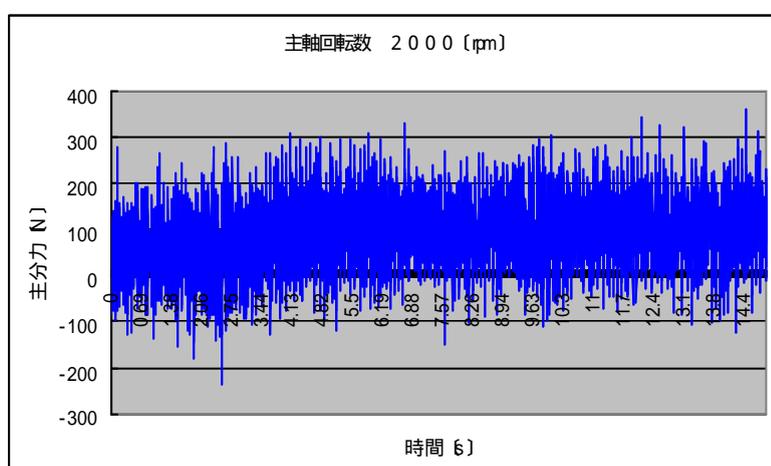
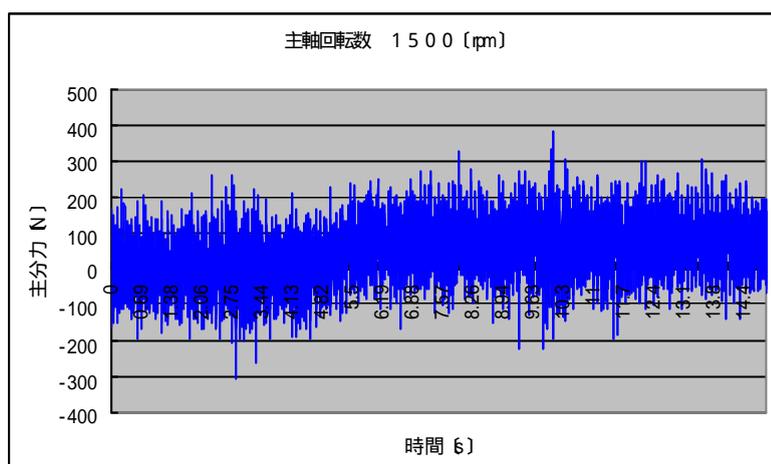
被加工物： A2017
加工条件： 切り込み深さ 2 mm





被加工物： A2017
加工条件： 切り込み深さ 3 mm





以上、各主軸回転数の旋削加工時における切り込み量を 1 ~ 3 mm に変化させた場合の主分力の計測値をグラフ化したものである。

切り込み深さ別のグラフより、主軸回転数 1,500、2,000rpm / min 加工条件下で旋削加工を行った場合のデータは計測値をグラフ化した場合、非常に荒れている。これらのデータは加工中のノイズの発生が原因と考えられる。今回の実験ではこの 2 つの主軸回転数の加工条件下で計測したデータについては、その計測値の正確さ・信頼性に欠けるという理由から、比較・評価を行ったとしてもその結果が信頼性にかけてと判断し、主軸回転数 1,500、2,000rpm / min の場合のデータに関しては比較・評価対象から除外した。

比較・評価は主軸回転数 500 , 1,000rpm / min の加工条件下で計測されたデータをもとに行う。

第6章

計測データの比較

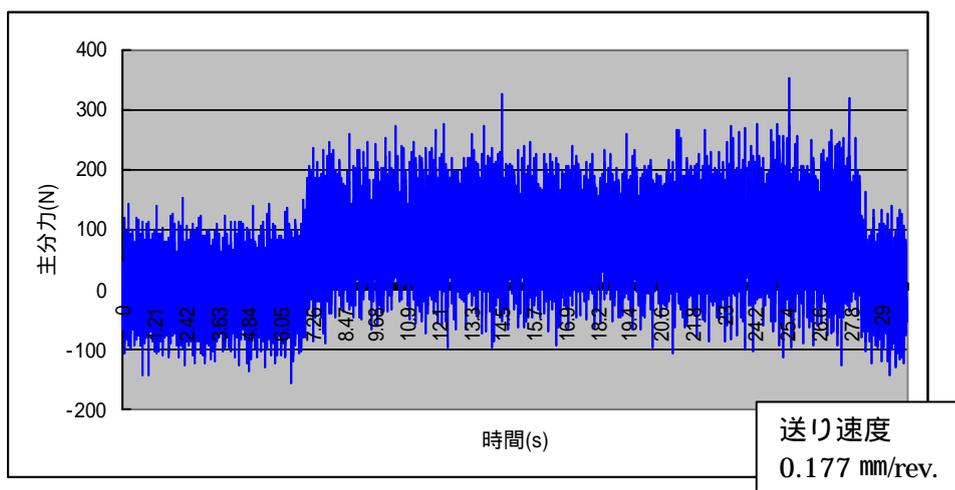
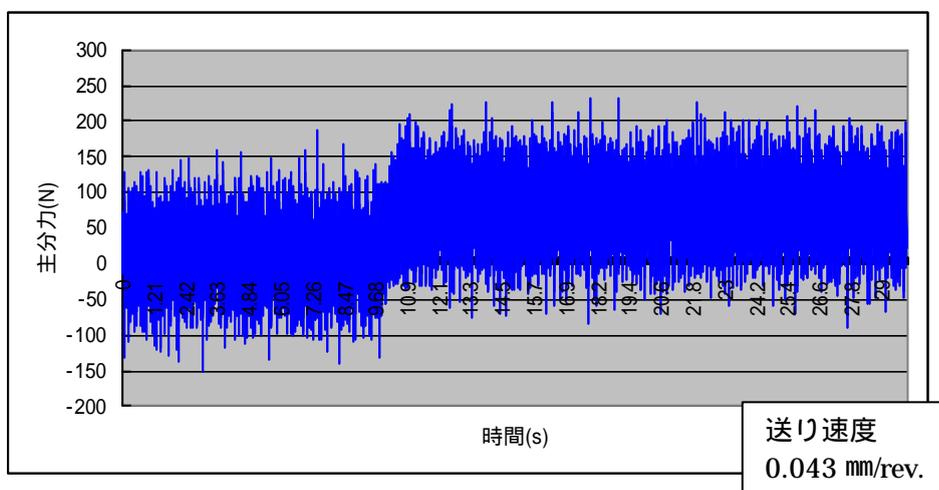
6. 計測データの比較

6.1 同一加工条件下で送り速度を変化させた場合

ここであげる2つのグラフは主軸回転数 1,000rpm / min、切り込み量 1 mmの同一加工条件下で送り速度のみを変化させた場合、その変化の主分力(切削抵抗)に対する影響を評価する。

上は送り速度 0.043 mm / rev.の場合のグラフ、下は送り速度 0.177 mm / rev.の場合のグラフである。

被加工物：	A2017
加工条件：	主軸回転数 1,000rpm/min
	切り込み量 1 mm



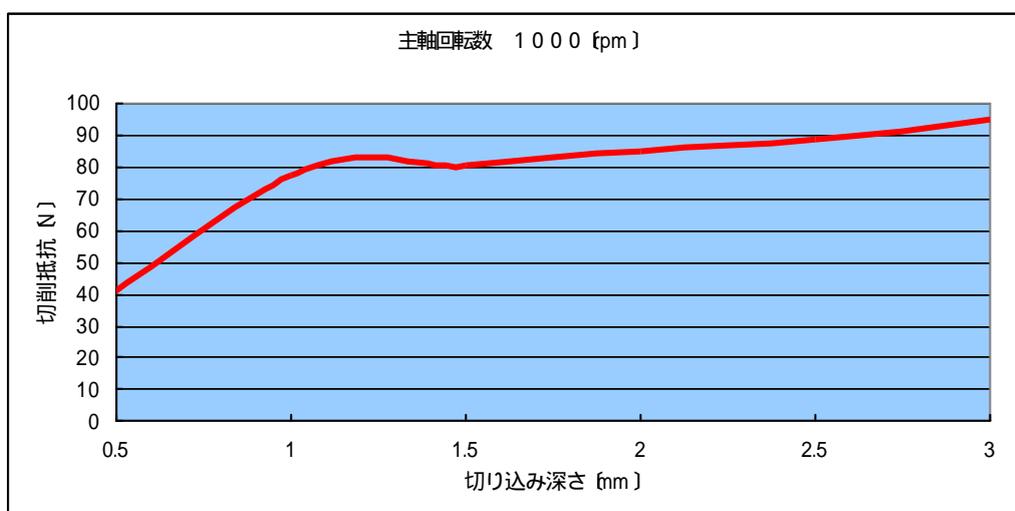
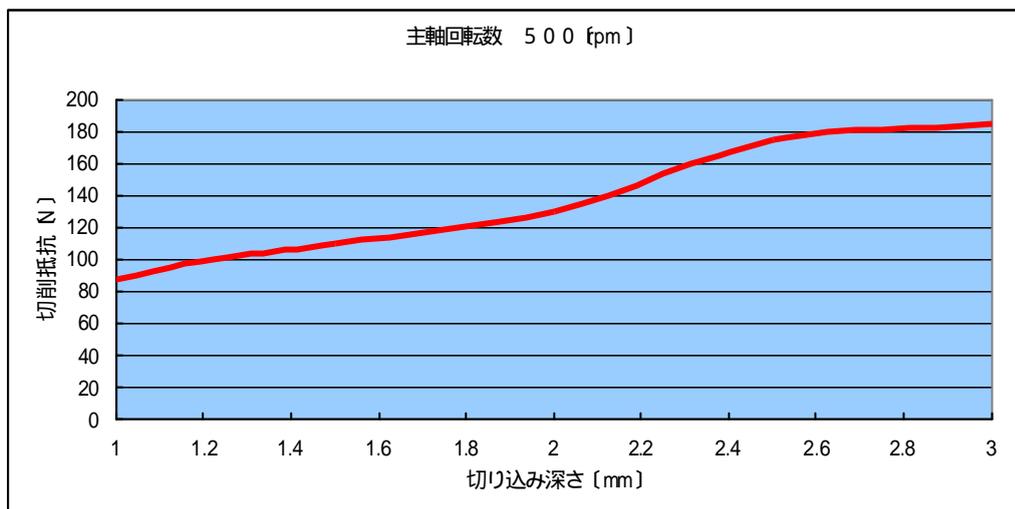
この各送り速度のグラフより、送り速度 0.043 mm/rev.の場合と比較して、送り速度 0.177 mm/rev.の場合のほうが主分力の値が大きくなっていることがわかる。

この比較から旋削加工時には、送り速度の増加に伴い、主分力(切削抵抗)も増加していくことがわかる。

6.2 切り込み量と切削抵抗の関係

このグラフは主軸回転数 500 , 1,000 [rpm/min] の場合の切り込み量に対する、切削抵抗のグラフである。

切削抵抗とは、主分力の別称である。



主軸回転数 500 , 1,000 [rpm/min] とともに、右上がりのグラフになった。

この結果より切り込み量と切削抵抗の関係は切り込み量の増加に伴い、切削抵抗の値が増加していくことが分かる。

6.3 切削面積と切削抵抗の関係

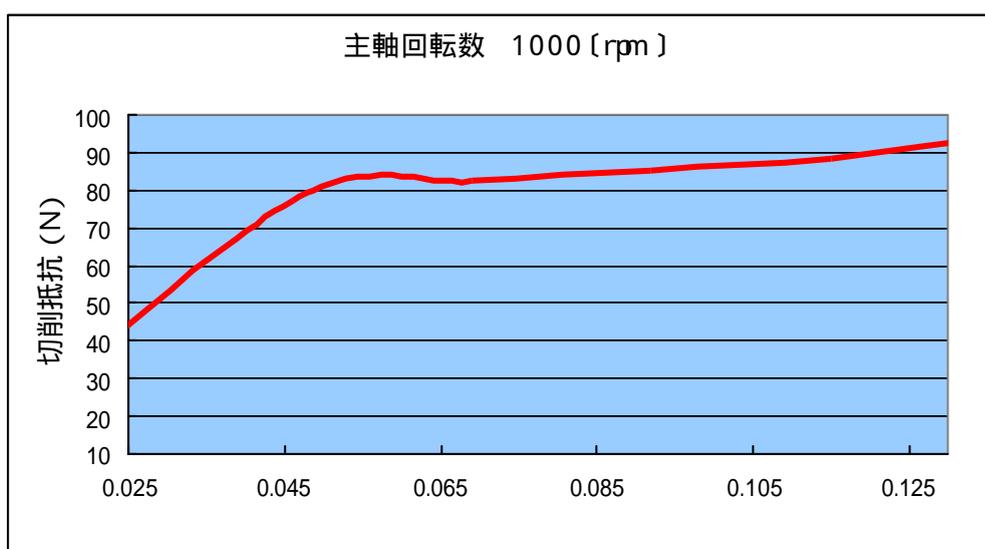
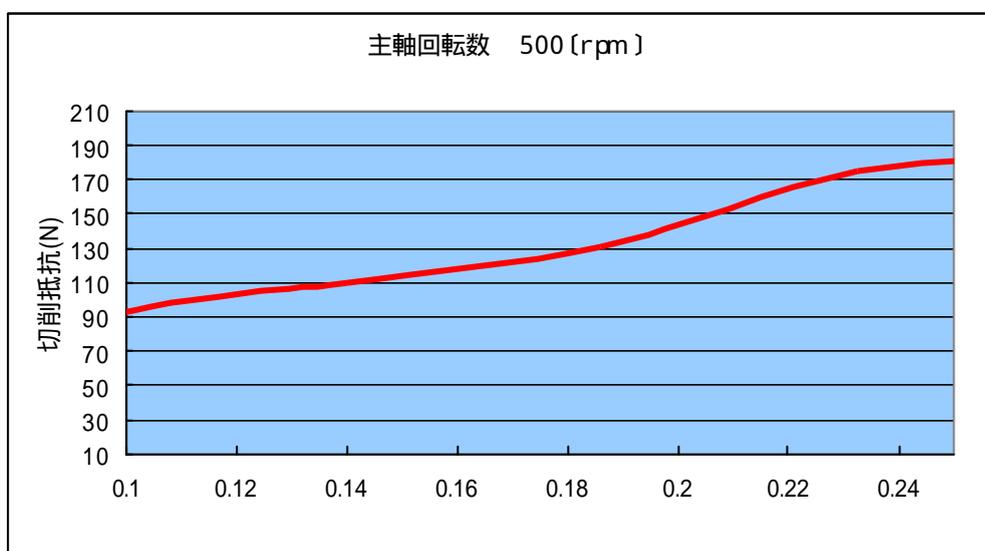
このグラフは主軸回転数 500 ,1,000 [rpm/min] の場合の切削抵抗に対する、切削抵抗のグラフである。

切削面積は

$$\text{切削面積} = \text{一回転あたりの送り量} \times \text{切り込み量}$$

の式から求められる。

このグラフは前項で述べた送り速度と主軸回転数の関係、切り込み量と主軸回転数の関係を 1 つのグラフで表したものである。



第7章

結論と考察

7. 結論と考察

7.1 結果

本実験結果より、切削抵抗（主分力）が、主軸回転速度（あるいは切削速度）とはあまり関係がなく、当然ながら送り速度が大きいほど増加することは実験から確かめられる。これは加工における経験上からわかっていることと一致する。

実験を計画的に、体系的に多くの場合についてのこのような実験をすることにより、加工精度と加工条件の関係を表す定性的、定量的な知識の獲得が可能であり、加工の際要求される加工精度から加工条件を割り出すことが可能になるであろう。これは今後の課題となるであろう。

7.2 問題点

今回、実験で得られた傾向はあくまでも実験結果から分かる相関関係のものであり、物理的要因などは分からない。実用上は物理的要因が不明であっても問題にはならないと思われるが、今後の課題としては物理的解析も必要であろう。

今回の実験中に発生した主要な問題点は、以下のものである。

- ・力センサステーの剛性不足により、刃物回転台への固定に関して剛性が不足し、びびりの発生などにより高い測定精度が得られなかった。
- ・旋削加工中に排出される切削くずが被加工物に絡まり、それによって生じるびびりを抑制しきれなかった。

この 2 点が知能化旋削加工用データベースの研究を行うに当たり、今後も問題となるであろう。力センサの固定における剛性不足に関しては、今後その固定方法の見直しが必要であると考えます。また、切削くずの問題に関しては工作機械の根本的な問題でありその解決には時間が必要と思われるが、この 2 点は今後の研究に当たり、早急な解決が望まれる。

7.3 今後の展望

今回の研究では、旋盤の知能化の前提となる知能化切削加工用データベースの研究を行ったが、今回の実験データではデータベースの構築に向けて質・量ともに不足である。今後更に多くの、精度のよい加工実験データの蓄積がデータベースの開発には不可欠であろう。

また、知能化旋盤システムの開発には更に熱変形、工具の消耗・欠損など予知・回避するためのデータベースの研究、それに伴う加工実験によるデータの収集も必要である。

謝辭

謝辞

本研究を進めるに当たり、指導教官の長尾 高明教授には幾多の御指導，御助言を頂きました。また、日頃から励ましのお言葉をかけていただき、大変ありがとうございました。

また、昨年度まで高知工科大学におられた李 軍旗先生には加工機械の操作方法など研究に関する多くの知識を頂きました。

大学院生、学部4年生には研究を進めるに当たり、大変ご協力をいただきました。

小林研究室の安部さん、橋本さん、松井さん、和田さんにも加工実験等で多くの御協力をいただきました。

いじょう、多くの方々に支えられ本論分を書き上げることができました。皆様の御指導、御協力にこの場をお借りして、井村、大谷両名より御礼申し上げます。

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、長尾高明等 著、“ 機械製作法通論(上) ” 東京大学出版会、1982
- 【3】 千々岩健児、長尾高明等 著、“ 機械製作法通論(下) ” 東京大学出版会、1982
- 【4】 ニューダイジェスト社発行、“ 工作機械副読本 ”、1994

付録
