

平成 13 年度卒業論文

トラバースクリープフィード研削特性

高知工科大学

知能機械システム工学科

1020112 合田昌泰

指導教員 松井 敏教授

## 目次

1. 緒言	1
1. 1 工作機械の背景	1
1. 2 工作機械の自動化の背景	1
1. 3 研究の目的	2
2. 砥石位置合わせの自動化の考え方	3
2. 1 位置合わせ作業	3
2. 2 今回の研究で提案する位置合わせ方法	3
3. 実験方法, 実験条件および実験装置	5
3. 1 実験方法	5
3. 2 実験条件および実験装置	6
4. 実験結果および考察	8
4. 1 ドレッシング条件と接線研削抵抗の関係	8
4. 2 ドレッシング条件と表面粗さの関係	11
5. 結言	13
参考文献	13

# 1. 緒言

## 1. 1 工作機械の背景

工作機械の原点は 18 世紀後半にイギリスで起こった産業革命が始まりである。この産業革命を機にさまざまな工作機械が発明、考案、改良されて、これまでの工作機械の体系化が進められてきた。20 世紀に入っても 1950 年代までは基本的にはこの体系が変わることなく機械の精度、剛性、生産性向上の努力が続けられてきた。それらが、それぞれの時代で工業生産の主役を果たしてきた。<sup>1)</sup>

研削加工は歴史的には古い加工法とされているが、研削盤は当初、旋盤を改良した程度のものでなく、使いにくいものだった。1876 年ブラウンが製作した万能研削盤は、円筒研削のみならず、内面研削も可能なもので、これが今日の円筒研削盤の原型であるといわれている。この研削盤は工作物をテーブル上の主軸頭と心伸台で保持して左右に動かし、後方砥石軸はテーブルと直角に移動して切り込み量を与える構造になっている。また、このころの日本には世界の工作機械工業に貢献できるものは少なく、明治中期以降になり、輸入外国機を模範にし工作機械の国産化が少しずつ進められてきた。

第 2 次世界大戦以降において最も重要なことは、数値制御工作機械の発明である。数値制御工作機械は、工作物に対する工具の位置を数値情報で指令し、制御する工作機械であると定義される。すなわち、これまでたとえば歯車と送りねじによって制御されていた送り速度、ならびにレバーとハンドルを介して制御していた位置決めを、すべて数値情報によって制御する工作機械ということができる。このようにして、従来はメカニズムによって制御されていた運動が数値情報で制御して自動化されたことによって、数値制御工作機械は現在までに非常な発展を見ることとなった。

## 1. 2 工作機械の自動化の現状

現在、数値制御平面研削盤において自動化が進んでいる部分というのは数少ない。数値制御平面研削盤で自動化されているのは砥石の移動経路、ドレッシング、加工である。その反面、図 1 に示すように砥石と工作物の位置合わせや研削条件の適否、ドレッシング時期判定などは手作業や熟練者の経験が必要となっている。砥石と工作物の位置合わせについては上下方向は一部自動化が進んでいるが、前後方向と左右方向については手作業で行われているのが現状である。その理由としては、研削作業は最終仕上げ工程としてきわめ

て高度な加工が要求されることが上げられる。そのため、これから先熟練者の減少が進んだ場合に工作機械を十分に使いこなせなくなるといったことが起こるおそれがある。そこで、工作機械の自動化を進めることで誰にでも操作できるようにしたり、もう少し進めて遠隔操作で作業することを可能にすることにより人件費の削減や作業自体の効率を向上させることが課題となっている。

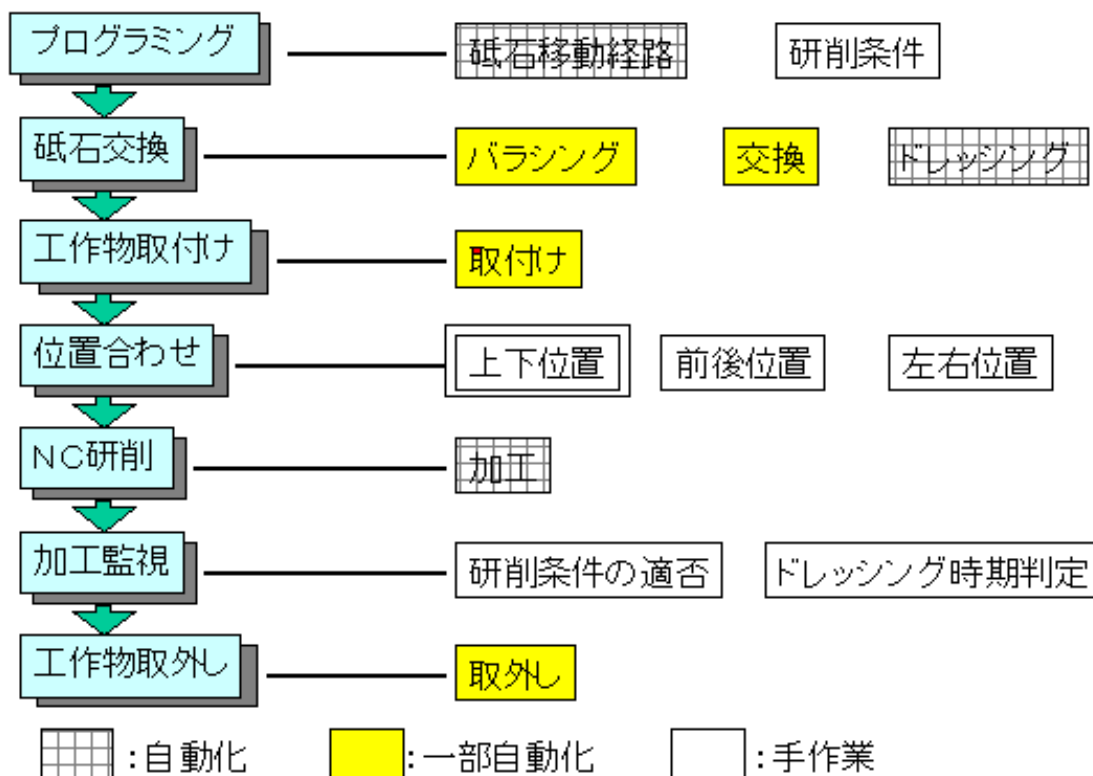


図1 NC平面研削盤の作業手順

### 1. 3 研究の目的

前節で示したとおり、数値制御平面研削盤でも作業者の経験に依存している部分が残っている。本研究では、そのうち砥石と工作物の切込み方向の位置合わせを自動化するための技術を開発するとともに、ドレッシング条件が砥石寿命に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 砥石位置合わせ自動化の考え方

### 2. 1 位置合わせ作業の現状

現在、NC 平面研削盤において切込み方向の動きは、あらかじめ加工を始める原点を設定しておき、そこからプログラムで指定した移動量だけ砥石が下降し、そこから研削が開始される。また、砥石の移動量は工作物の高さを考慮して決定される。しかし、加工前の工作物の表面にはわずかだが形状誤差がある。位置合わせ前に工作物の高さを知る必要があるが、工作物には形状誤差があるため、マイクロメートル単位で工作物の高さを知るとは容易ではない。

ここで、一般的に行われている普通研削の位置合わせについて考えてみると、普通研削では切込み量が数マイクロメートルから十数マイクロメートル程度の小さい値である。そのため、位置合わせが難しく図2に示すように砥石下降量が研削可能範囲を超えてしまった場合、研削焼けの発生、砥石の損傷といった問題が発生する。そこで、研削焼けなどが生じないように砥石下降量を図面上の工作物高さから算出した値よりも少なくプログラムすることが行われている。しかし、その場合には図3で示すように、エアカット時間が増えることによって研削能率が低下する。

これらの問題を解決するために図4に示すように、手作業で砥石と工作物を走査させて工作物の最高点を探し、そこを加工原点として研削を開始する方法も行われているが、この方法では経験と時間を必要とするために研削能率が低下することが問題となる。

### 2. 2 本研究で提案する位置合わせ方法

上記の問題を解決する方法として、本研究ではクリープフィード研削を応用する方法を取り上げた。図5に示すように、クリープフィード研削とは、普通研削に比べてテーブル速度を遅くすることで切込み量を数ミリメートルまで大きくすることができるため、研削前の工作物の形状誤差が数十マイクロメートルであったとしても厳密な位置合わせを必要としない。このことにより、砥石の過大な切込みによる研削焼けや砥石の損傷などといった問題が起こらなくなる。また、厳密な位置合わせの必要がないため、手作業による位置合わせの必要がなくなり、位置合わせを自動化できる可能性がある。

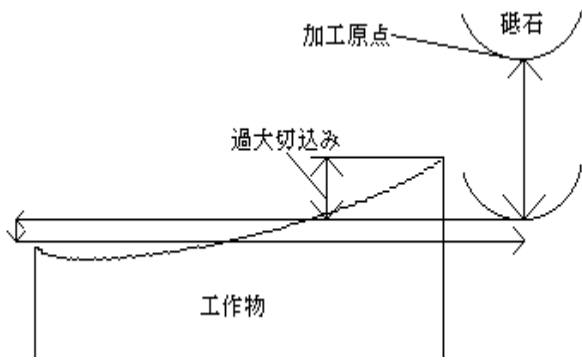


図2 過大切込み時の位置関係

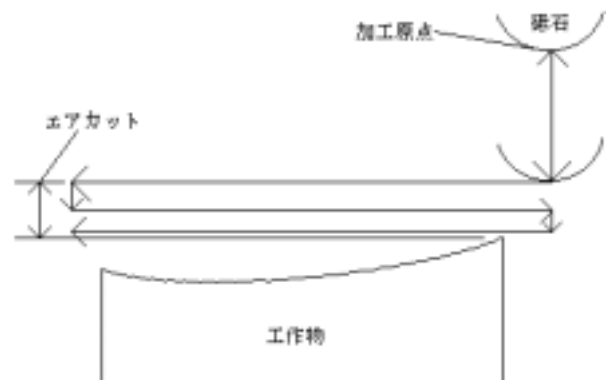


図3 エアカット時の位置関係

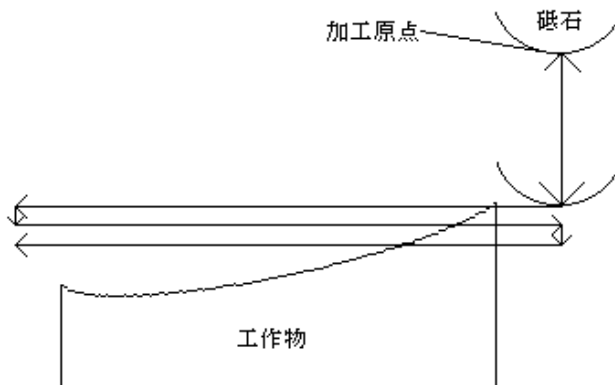


図4 正常時の位置関係

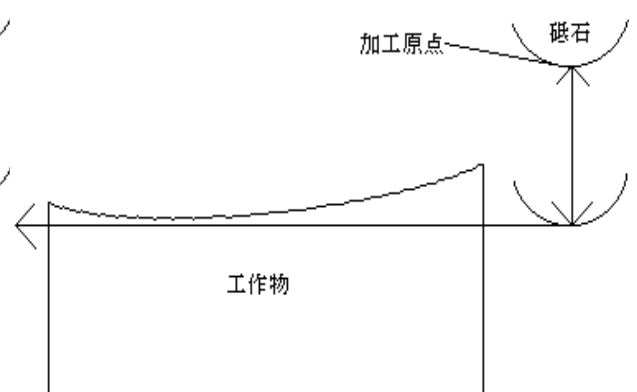


図5 クリープフィード研削の位置関係

### 3. 実験方法, 実験条件および実験装置

#### 3. 1 実験方法

昨年度の研究<sup>2)</sup>で, 100mm×150mm の工作物については, 途中でドレッシングすることなくトラバースクリープフィード研削が可能であることが確認されている. 実用上は, より広い面積の研削が可能であることを確認しておく必要がある. 本研究は, 砥石と工作物の位置合わせの自動化が目的であるから, 一度クリープフィード研削で工作物全面を加工できれば, その後は普通研削で加工してもよい. そこで今回は実験に使用した研削盤で研削可能な最大面積 (チャック面と同様) 300mm×600mm に相当する面積の工作物を研削した場合の砥石寿命 (ドレッシング間隔) を調査した. また, ドレッシング条件が砥石寿命に及ぼす影響についても調べた.

研削手順としては, 100mm×150mm の工作物を送り量 25mm で 4 回前後送りさせることにより 1 面を研削するプログラムを作成し, これを 12 回繰り返して研削した. これが最終的な目標である最大面積 (300mm×600mm) に相当する. この面積を途中でドレッシングすることなく, トラバースクリープフィード研削が可能であるかどうか確認した. 研削はアップカットのみで行い, 戻り工程では砥石を逃がした.

今回の実験では, いくつかのドレッシング条件を用意し, ドレッシング後に固定研削条件で研削し, 砥石の寿命を判断した. なお, 昨年度の卒業研究のデータを参考に, 接線方向の研削抵抗が 170N を超えた場合を砥石寿命と判断し, 12 回繰り返して研削する前に研削抵抗が設定値に到達した場合は, その時点で研削を終了した. また, 研削抵抗と同時に表面粗さを測定した. 研削抵抗はオシログラフィックレコーダに記録させると同時にデータをパソコンに転送してグラフに変換させた. また, 工作物の表面粗さに関しては 1 パス研削後と研削終了時に測定し, 両者を比較した.

表 1 に今回の実験条件を示す.

表 1 実験条件

砥石	3SG46I $\phi$ 305×32mm
研削液	ユシローケンシンセティック #870 (希釈率20倍)
工作物	S45C 100mm×150mm
ドレッシング条件	
ドレッサ	単石ドレッサ (自転形)
切り込み量	10、20、30 $\mu$ m (×6回)
送り速度	100、300、500mm/min
クリープフィード研削	
切込み量	500 $\mu$ m (アップカット研削)
テーブル速度	300mm/min
送り量	25mm×4回

### 3. 2 実験装置

図 6 から図 9 に実験で使用した工作機械および測定器を示す. また, 表 2, 表 3 に使用した工作機械および測定機の形式、仕様を示す.



図 6 NC 平面研削盤



図 7 3成分動力計





図8 マルチチャンネルチャージアンプ  
およびオシログラフィックレコーダ



図9 表面粗さ計

表2 使用した工作機械

NC平面研削盤	GHL-NB306M (日立精工)
テーブル作業面積	600×300mm
テーブル左右送り速度	2～25m/min
砥石軸回転数	1800min <sup>-1</sup>
砥石軸用電動機	AC3.7kw
油圧ポンプ用電動機	AC0.75kw
テーブル方式	油圧式
テーブルクリープフィード方式	ピニオン・ラック送り
テーブルクリープフィード用電動機	100w (安川電機)
クリープフィード送り速度	10～1000mm/min

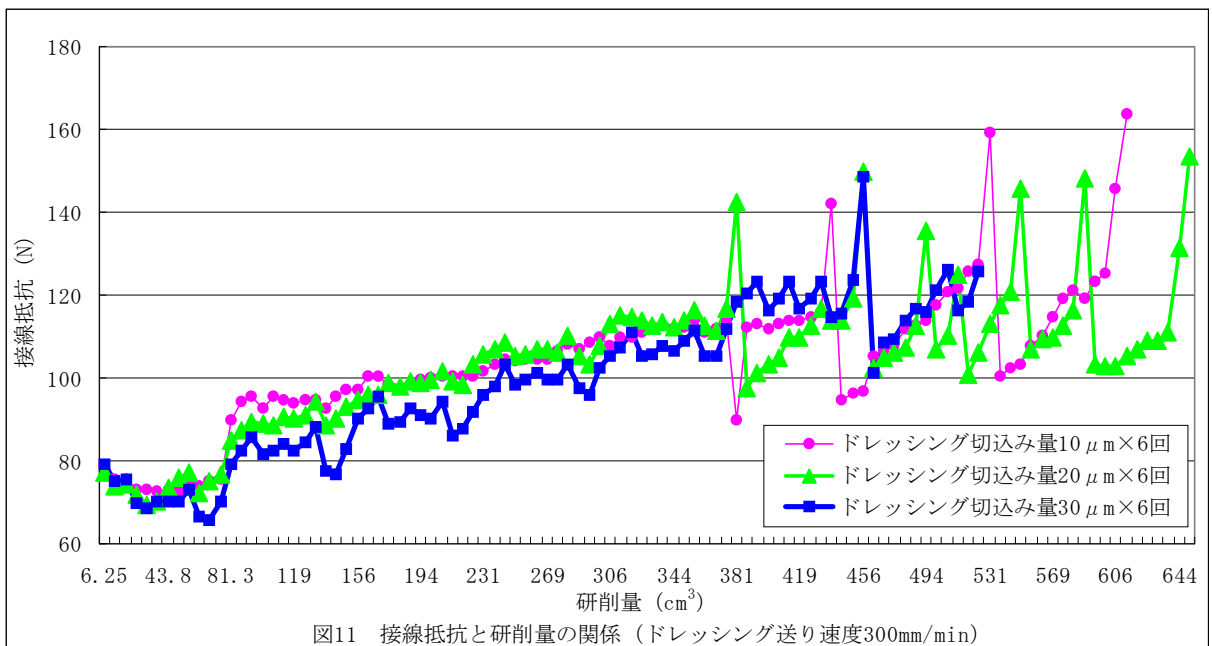
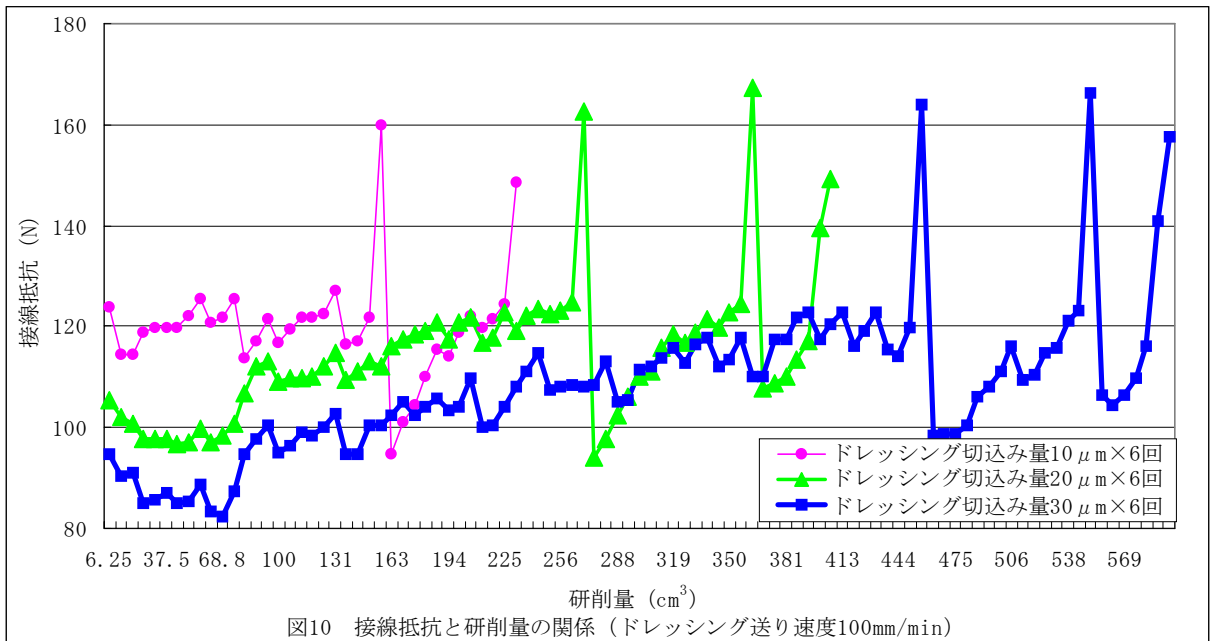
表3 使用した測定機

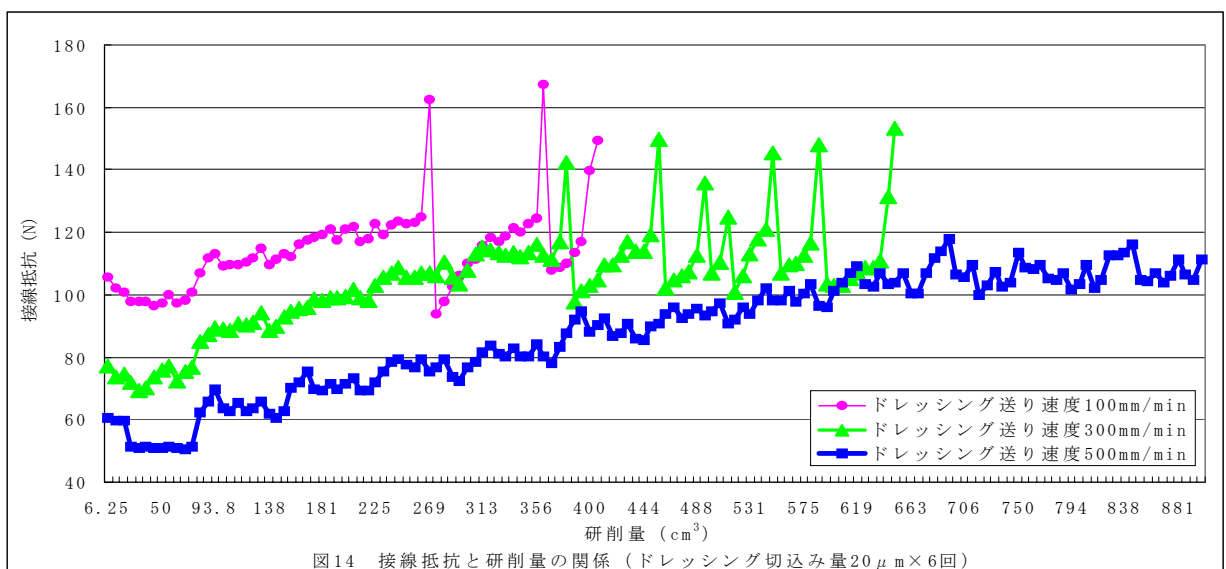
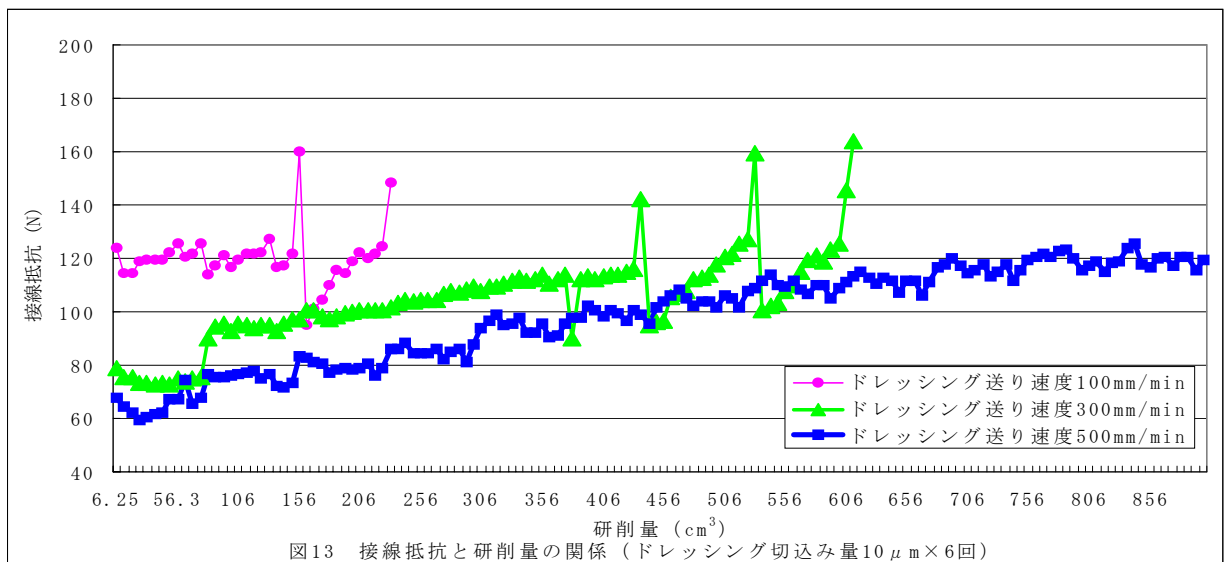
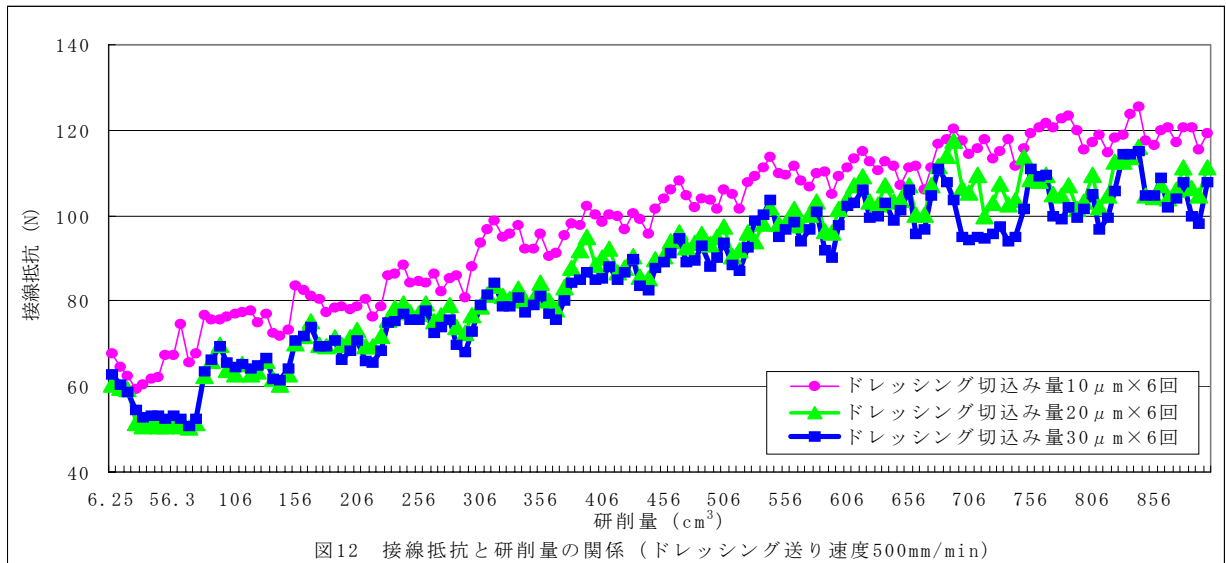
名称	形式 (製造元)	仕様	
3成分動力計	9254 (KISTLER)	測定範囲	Fx, Fy -500～500N Fz -1000～1000N
		チャンネル数	最大3チャンネル
マルチチャンネルチャージアンプ	5019A (KISTLER)	測定範囲	±10～999000pC
オシログラフィックレコーダ	OR1400 (横河電機)	チャンネル数	最大8チャンネル
表面粗さ計	480A-12 (東京精密)	測定範囲	X軸 (横方向) 100mm Z軸 (縦方向) 800 μm
		記録倍率	縦方向 50000倍 横方向 2000倍
データ収集システム	NR-2000 (KEYENCE)	チャンネル数	最大16チャンネル
		測定レンジ	±0.25V～±10V

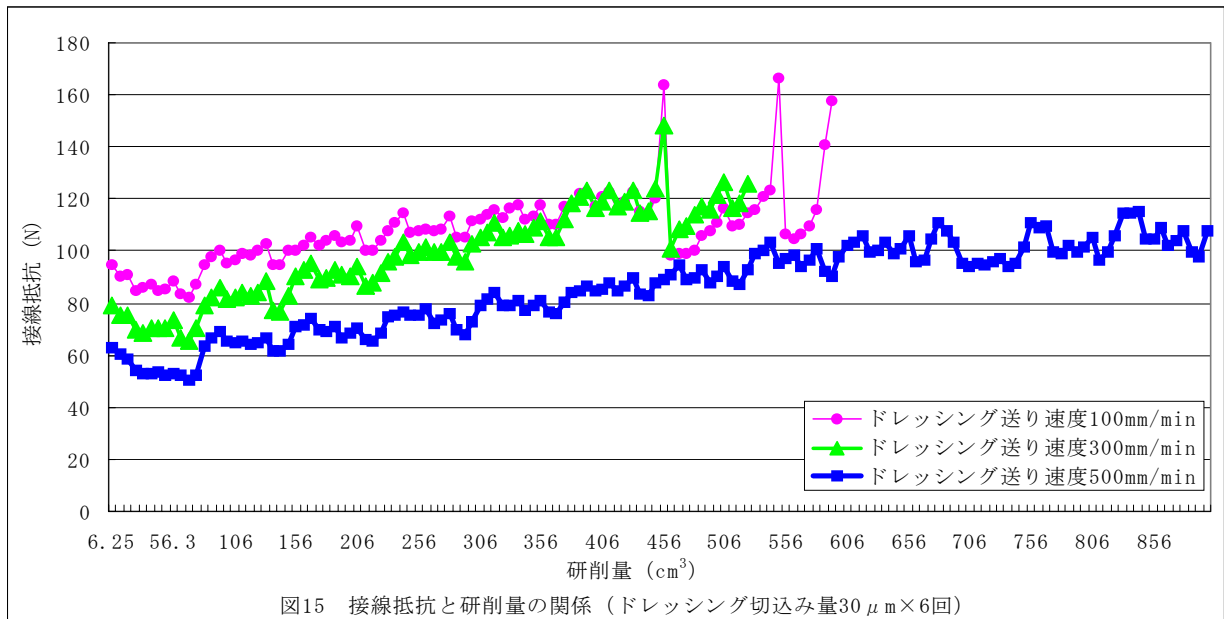
## 4. 実験結果および考察

### 4. 1 ドレッシング条件と接線研削抵抗の関係

図 10 から図 12 に、それぞれドレッシング送り速度が 100, 300, 500mm/min の場合について、ドレッシング切込み量をパラメーターとして、研削量と接線抵抗の関係を示す。また、図 13 から図 15 には、それぞれドレッシング切込み量が 10, 20, 30  $\mu\text{m}$  の場合について、ドレッシング送り速度をパラメーターとして、研削量と接線抵抗の関係を示す。







上記のグラフで折れ線が途中で途切れているものは接線抵抗が 170N を超えたために砥石寿命と判断したものである。また、折れ線が右端に達しているものは最大面積が研削可能であったドレッシング条件を表している。研削量が多いほど砥石寿命が長いことを示している。

図 10、図 11 よりドレッシング切込み量を大きくすると、接線抵抗が小さくなり、砥石寿命が伸びるという結果が得られた。また、図 12 よりドレッシング送り速度 500mm/min の場合では、切込み量に関係なく接線抵抗にはほとんど差はなく、砥石寿命に関しても今回の実験目標範囲内（最大面積）では差は見られなかった。

また、図 13 から図 15 よりドレッシング送り速度を大きくすると、接線抵抗は小さくなり、砥石寿命は伸びるという結果が得られた。

ドレッシング条件が砥石寿命に大きな影響を与える原因としては、切込み量を大きくすることで砥粒の破碎も大きなものが生じ、脱落砥粒も増すので、砥粒切れ刃分布密度は小さくなるため砥石寿命が伸びる。また、送り速度が大きい場合は、砥粒の破碎や脱落が切込み量にそれほど関係なく多くなるために、砥粒切れ刃分布密度は小さくなるため砥石寿命が伸びる。逆に切込み量や送り速度が小さい場合は、微細破碎をして砥粒切れ刃分布密度が大きくなる。そのため切れ刃それぞれの高さが小さくなり、微粒砥石による研削と同じ結果となり、目づまりも生じやすく、砥石切れ味も悪くなり、結果的に研削量も少なくなる。

#### 4. 2 ドレッシング条件と表面粗さの関係

図 16 から図 18 は 1 面削った時点の工作物の 1 パス目の算術平均粗さ Ra と最終的に研削を終えた時点の工作物の算術平均粗さ Ra を示したものである。

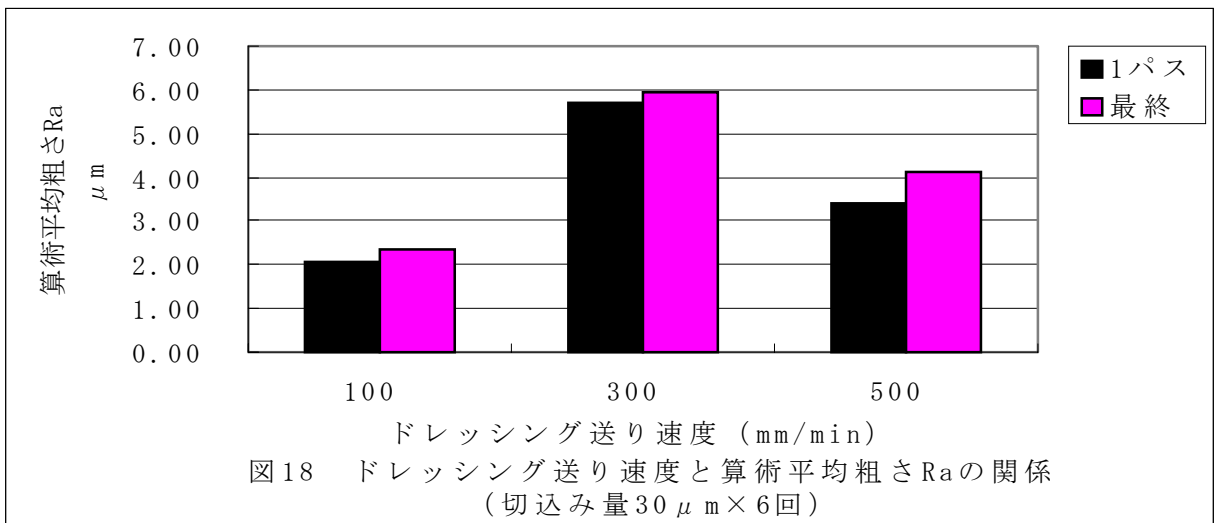
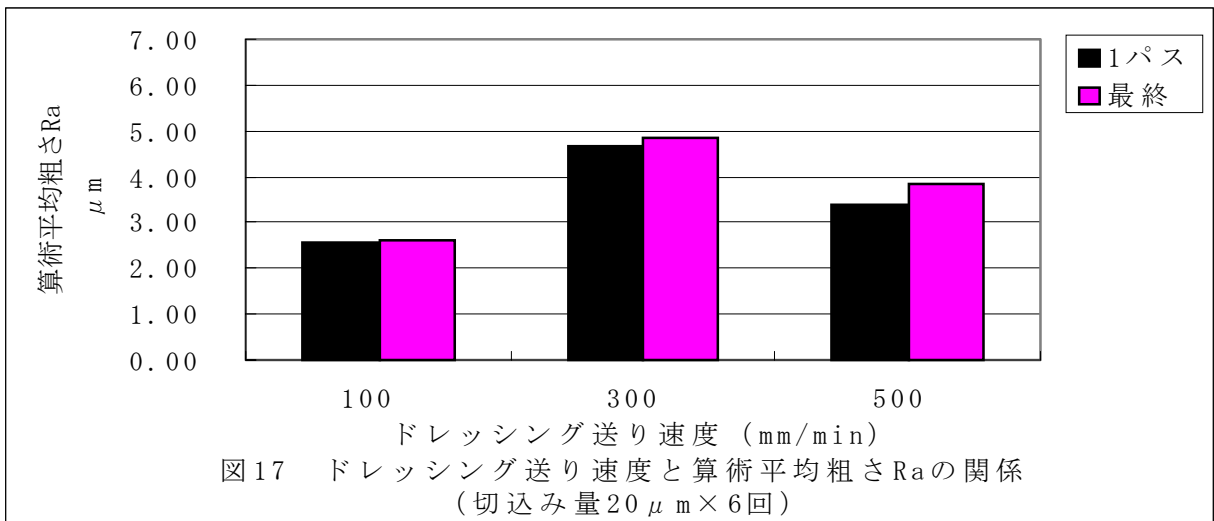
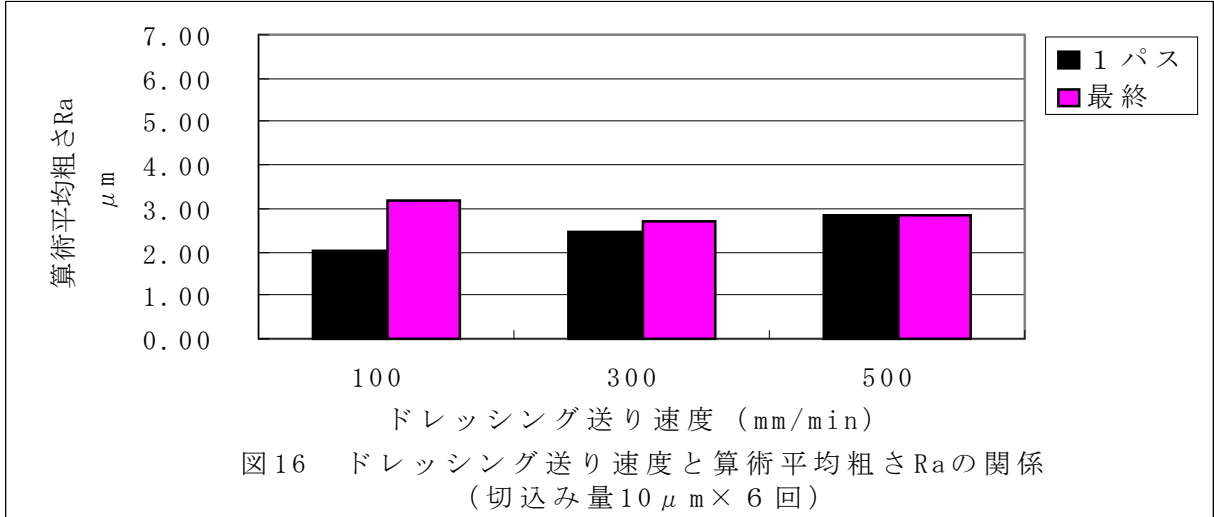


図 16 から図 18 を見ると、ドレッシングの送り速度が 100mm/min の場合は、切込み量にはほとんど関係なく 1 パス目の表面粗さは他の条件に比べて非常に小さかった。研削終了後の表面粗さに関しても小さいといえる。よって、ドレッシング送り速度を小さくする方が表面粗さが小さくなると言える。しかし、図 10 から送り速度が 100mm/min の場合は全体的に砥石寿命が短いため、目標とした最大面積を削ることができたドレッシング条件は 1 つだけだった。

また、ドレッシング切込み量について見ると、切込み量が小さいほど表面粗さが小さいことがいえる。さらに、図 12 と図 16 からドレッシング切込み量  $10\mu\text{m}$ 、ドレッシング送り速度 500mm/min で研削した場合は最大面積を研削することができた上に、1 パス目の表面粗さと研削終了後の表面粗さの差はほとんどなかった。

ドレッシング条件が表面粗さに影響する理由としては、ドレッシング切込み量が小さい場合は前節で述べたとおり砥粒が微細破砕をして砥粒切れ刃分布密度が大きくなるために、切れ刃それぞれの高さが小さくなるためである。

これらの実験結果より、本研究の目標であった最大面積 ( $300\text{mm}\times 600\text{mm}$ ) を途中でドレッシングすることなく研削できた。また、ドレッシング条件が砥石寿命に及ぼす影響について、明らかにすることができた。

## 5. 結言

トラバースクリープフィード研削特性を調査した結果，以下のような結果が得られた．

- (1) ドレッシング条件を変えることにより，砥石表面の状態が大きく異なるため砥石寿命に大きく影響する．
- (2) ドレッシング切込み量や送り速度を大きくすることによって，砥石寿命が伸びる．
- (3) ドレッシング切込み量や送り速度を小さくすることによって，1パス目の表面粗さが小さくなる．
- (4) ドレッシング切込み量  $10\mu\text{m}$ ，送り速度  $500\text{mm}/\text{min}$  の条件により目標とする最大面積 ( $300\text{mm}\times 600\text{mm}$ ) が研削できる．

今後の課題として，研削条件が砥石寿命に及ぼす影響について検討が必要と考えられる．

## 参考文献

- 1) 伊東 誼 森脇俊道：工作機械工学，コロナ社，(1989) 17
- 2) 川村 聡 中越 順也：トラバースクリープフィード研削の基礎特性—砥石の工作物の位置合わせの効率向上—，(2001)