

# 切削加工支援システムの開発研究

技術第二科 指導係 樋口 英司

あらまし：3成分切削動力計をCNC旋盤の刃物台に取り付ける最適な方法を検討し、その取付け剛性と切削データの関係性を調べ、データ収集のできる最大切削範囲をつかんで、オーステンパ熱処理前の球状黒鉛鋳鉄および機械構造用炭素鋼鋼材の切削実験により試験条件範囲の確認を行った。

## 1. はじめに

生産工程において、加工時間の短縮や準備工程の簡略化による生産性の向上が求められている。

一方、熟練工の減少や生産技術者の不足についても危惧されている。これらの問題に対処するために経験の浅い人が取つきやすく簡単に操作し、利用できNCプログラムが作成できる加工支援システムが求められているところから、

- (1) 準備工程の最適設計が可能
- (2) 作業の簡略化による時間短縮と省力化が可能
- (3) 加工時間短縮と生産効率の向上
- (4) 未経験者の加工分野への進出を容易にする
- (5) ネットワーク上での利用および公開

を目的に今後開発を進める計画ですが、その予備研究として3成分切削動力計の取付けと測定可能範囲の把握、切削実験条件への適用性を調べた。

## 2. 実験

### 2.1 被削材料

球状黒鉛鋳鉄： FCD400-18

形状：  $\phi 42 \times 250$

成分： 表1に示すとおり

機械的性質： 表2に示すとおり

表1 化学成分

試験項目	化学成分 %							
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cu
試験値	3.65	2.30	0.41	0.040	0.008	0.043	0.39	0.29

表2 機械的性質

試験項目	引張試験		硬さ試験
	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	伸び%	HB
試験値	423	18	140

機械構造用炭素鋼鋼材：S45C

形状：  $\phi 80 \times 250$

### 2.2 切削工具

チップ： Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系コーティング  
鋳物用

シャンク 20角

ノーズR 0.8mm

形状： 図1に示すとおり

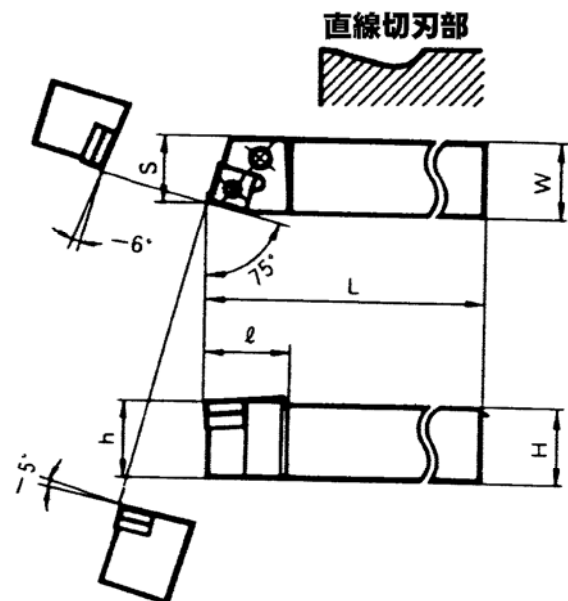


図1 工具形状

## 2. 3 3成分切削動力計

3成分切削動力計： 9121  
KISTLER製

取付け寸法： 図2に示すとおり

測定範囲：

F X (背分力)  
-3,000~3,000 N

F Y (送り分力)  
-3,000~3,000 N

F Z (主分力)  
-6,000~6,000 N

アンプ等： 写真1に示すとおり

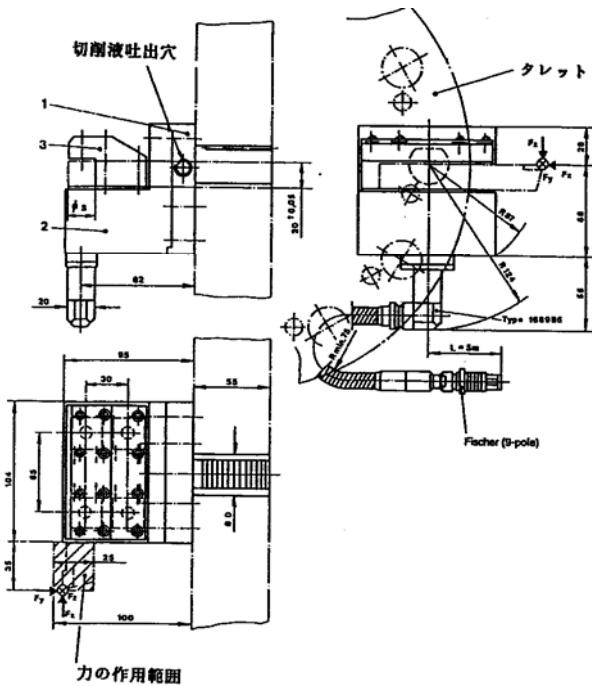


図2 3成分切削動力計の取付け寸法

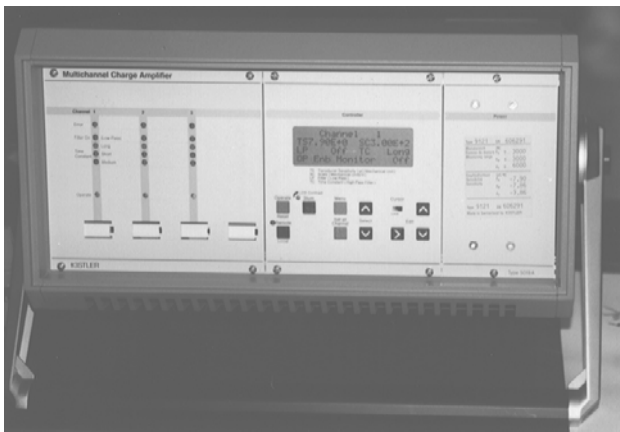


写真1 チャージアンプ

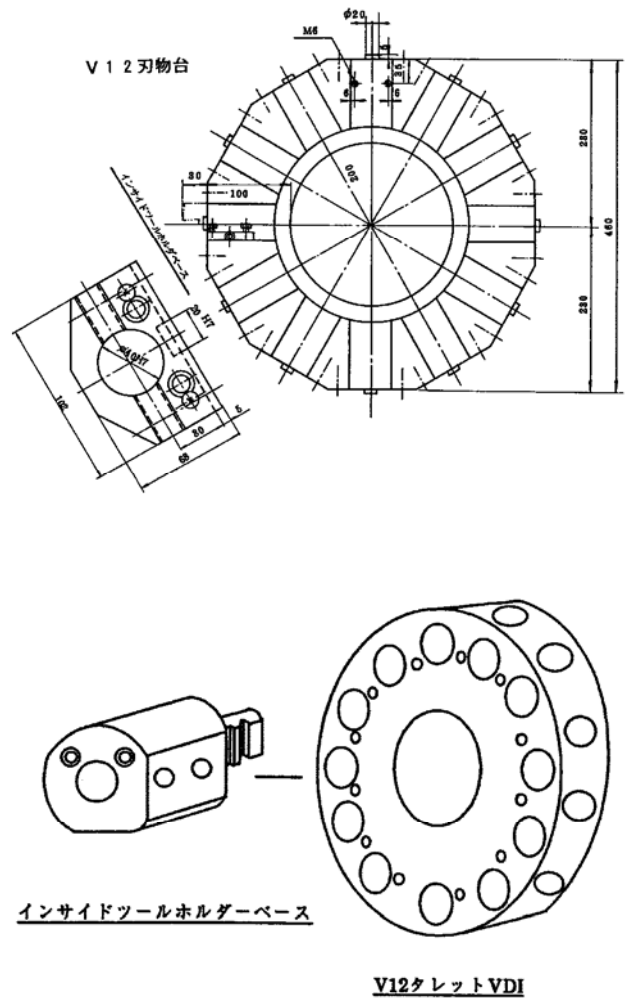


図3 刃物台の構造

## 2. 4 CNC旋盤への取付け

3成分切削動力計の刃物台への取付けにおいてキスラーが指定している刃物台はVDI型ですがセンターが使用している刃物台はV12型である。刃物台の構造を図3に示す。

刃物台にインサイドツールホルダーベースを取付け、そのツールホルダに3成分切削動力計を取付けるのであるが、刃物台より半径で30mm外側になって動力計を4本のボルトで固定する構造になっている。

このことから、実際に切削を行って動力計の逃げ具合を測定すると予測したとおり角度で約2度程度逃げる事が判明した。これらの逃げを無くするため回転止めの治具を製作して刃物台にボルトで固定、動力計と治具面の間隙は極薄のりん青銅板を挿入、再切削を行って逃げ具合を測定した

が逃げを確認することはできなかった。

刃物台への取付け状態を写真2・3に示す。

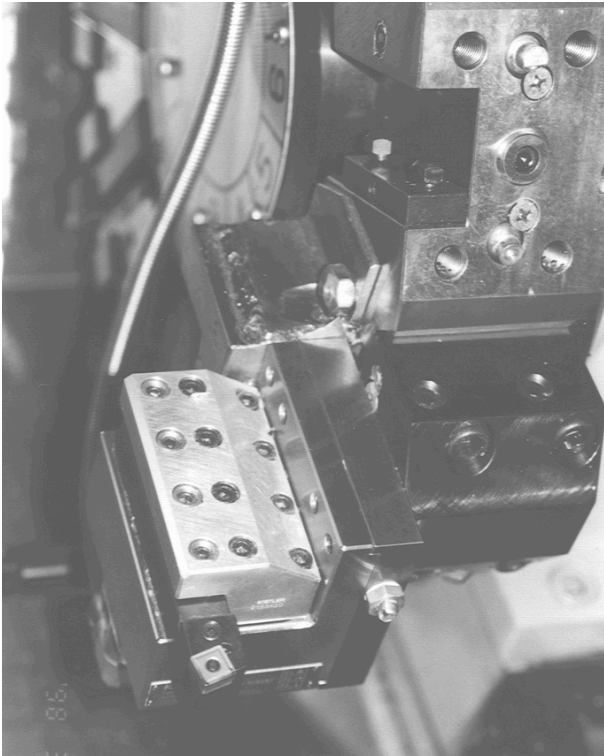


写真2 取付け状態

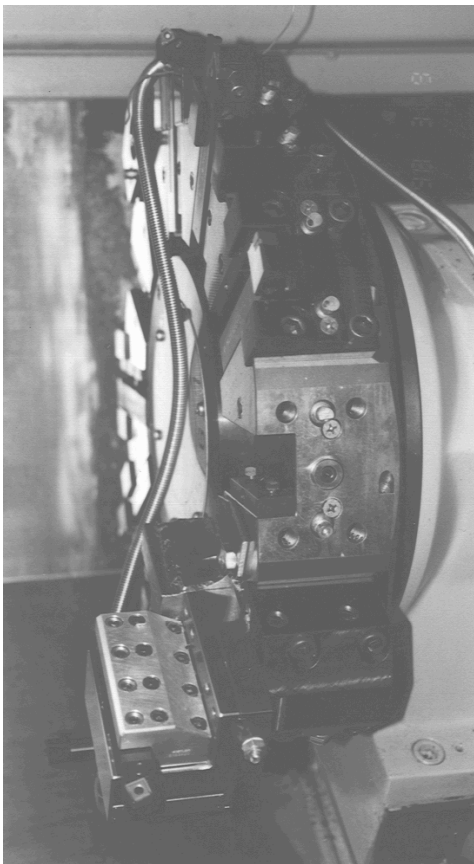


写真3 取付け状態

## 2. 5 切削条件

(1) 機械構造用炭素鋼鋼材 (S45C)

切削速度: 158 m/min

定周速制御

送り速度: 0.4 mm/rev

(2) 球状黒鉛鋳鉄 (FCD400-18)

切削速度: 200 m/min

定周速制御

送り速度: 0.4 mm/rev

## 3. 実験結果

### 3. 1 切削試験

切削試験は外周旋削で行った。

(1) 機械構造用炭素鋼鋼材 (S45C)

切り込み量と切削抵抗の関係をグラフにした結果は図4に示すとおりである。主分力は切り込み量が増えるに従って急激に増加している。他の分力については緩やかな増加を示している。

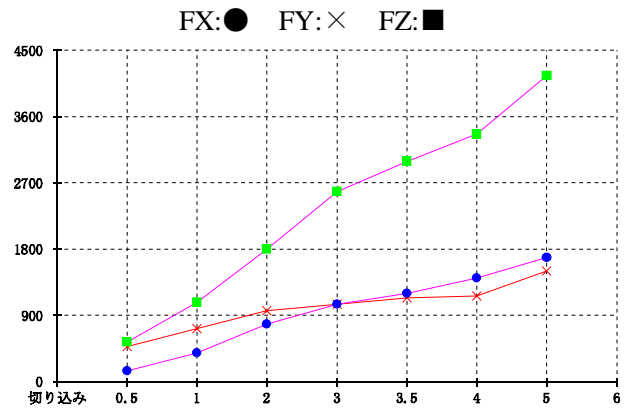


図4 S45Cの切り込み量と切削抵抗

なお、実験当初の切削条件では200 m/minの定周速制御の予定だったのですがNCプログラムの書き込みミスから2.4項(1)の切削速度が一定になってしまった。

(2) 球状黒鉛鋳鉄 (FCD400-18)

送り速度・切削速度を一定にした場合の切り込み量と切削抵抗の関係および送り速度と切り込み量を一定にした場合の切削速度と切削抵抗の関係

は図5および図6に示すとおりである。

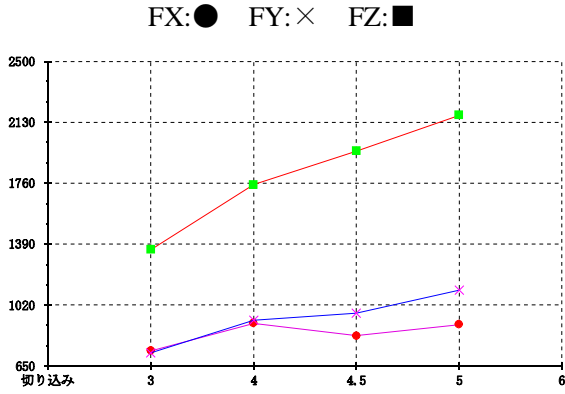


図5 切込み量と切削抵抗

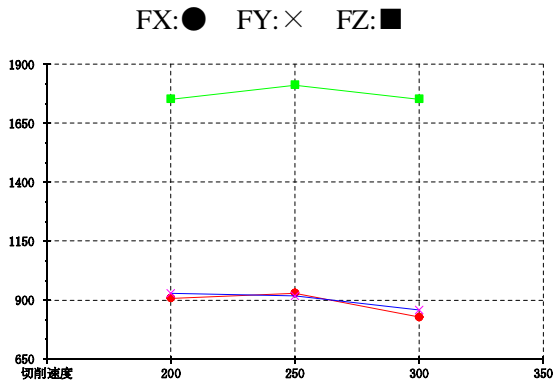


図6 切削速度と切削抵抗

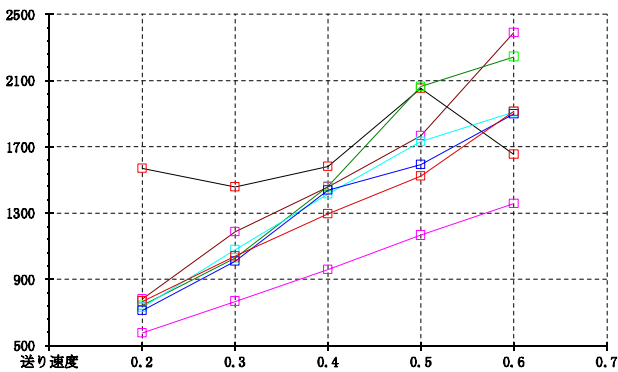


図7 主分力の送り速度と肉厚感度

主分力における送り速度と被削材の肉厚感度の関係は図7に示すとおりである。

### 3. 2 切削抵抗

#### (1) センサ感度

$$FX (ch 1) \quad 7.90 E+0 / pC$$

$$7.90 pC / N$$

$$FY (ch 2) \quad 7.86 E+0 / pC$$

$$7.86 pC / N$$

$$FZ (ch 3) \quad 3.86 E+0 / pC$$

$$3.86 pC / N$$

pC : 電荷量

#### (2) スケール

$$FX (ch 1) \quad 3.00 E+2 / V$$

$$300.0 N / V$$

$$FY (ch 2) \quad 3.00 E+2 / V$$

$$300.0 N / V$$

$$FZ (ch 3) \quad 6.00 E+2 / V$$

$$600.0 N / V$$

#### (3) 測定値

スケール (N/V) × 出力電圧 (V)

$$FX (ch 1) \quad 3,000 N$$

$$300.0 N / V \times 10 V$$

$$FY (ch 2) \quad 3,000 N$$

$$300.0 N / V \times 10 V$$

$$FZ (ch 3) \quad 6,000 N$$

$$600.0 N / V \times 10 V$$

出力された切削抵抗のデータは図8のパーセントの数値で表示、プリントアウトされる。データの中で値の高いもの5点の平均値をch1 (FX)の切削抵抗値とした。

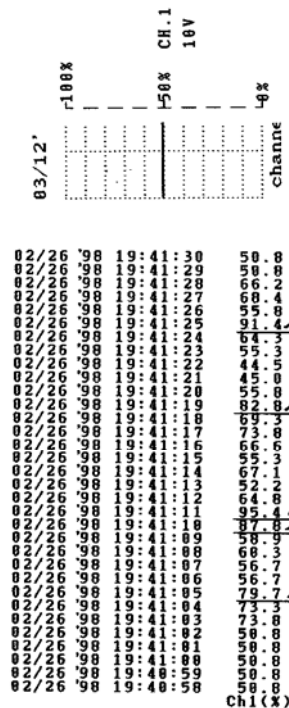


図8 切削抵抗データ

## 4. 考察

### 4.1 機械構造用炭素鋼鋼材

3成分切削動力計の取付け剛性を確認することを主眼に切削抵抗を測定、機器の操作と測定データのチェックを行った。従って、切削条件をいろいろと変えた測定データは収集しなかった。

特に切り込み量が3mmのところでは背分力と送り分力が逆転した現象については、次年度の研究の中で解明し他の切削条件についても若干の切削データを取らなければならない。

### 4.2 球状黒鉛鋳鉄

#### (1) 切り込み量と切削抵抗の関係

図5の送り速度・切削速度を一定にした場合の切り込み量と切削抵抗の関係から理解できるとおり、切り込み量に比例して主分力が大きくなっており妥当な結果である。

この場合、他の切削条件は切削速度： $200\text{ m/min}$ ・送り速度： $0.3\text{ mm/rev}$ である。

#### (2) 切削速度と切削抵抗の関係

送り速度と切り込み量を一定にした場合の切削速度と切削抵抗の関係は図6に示すとおり際だった変化はみられないが若干、切削速度の高い方が切削抵抗は減少する傾向にあることが分かる。この実験では切削速度の幅が狭いため明確な変化が出ていない。

この場合、他の切削条件は切り込み量： $4\text{ mm}$ ・送り速度： $0.3\text{ mm/rev}$ である。

構成刃先が発生する低炭素の機械構造用炭素鋼鋼材(S10C)で、この関係データを取ってみると構成刃先の発生(低切削速度側)＝切削抵抗は小さい・消滅(高切削速度側)＝切削抵抗は大きい、ことを知ることができる。

#### (3) 送り速度と切削抵抗の関係

切り込み量と切削速度を一定にした場合の送り

速度と切削抵抗の関係を図9に示す。

この場合の、切削条件は切り込み量： $2\text{ mm}$ ・切削速度： $200\text{ m/min}$ である。

背分力・主分力ともに放物線状に顕著な変化を示している。一般的に送り量が増すと切削断面積が大きくなるため切削抵抗が増大すると言われ種々の文献で同様な実験データを確認することが出来る。

しかし、高送り切削がそのメリットを発揮するのは、高速切削より中・低速切削であるが大きな切削抵抗が発生するため、これに耐えられる機械出力や剛性を十分考慮しなければならない。

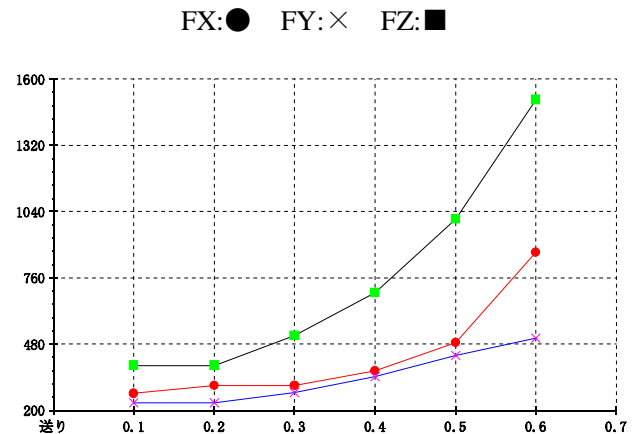


図9 送り速度と切削抵抗

#### (4) 送り速度と肉厚感度の関係

図7の示すとおり黒皮部分から中心部に切削を進めるにしたがって主分力のデータ変動が安定することが分かる。

この場合、他の切削条件は切削速度： $200\text{ m/min}$ ・切り込み量： $2\text{ mm}$ である。

本実験に用いた被削材は、ADI (オーステンパ球状黒鉛鋳鉄) 用デンスパーと呼ばれるADI用連続鋳造鋳鉄棒の中でも、柔らかくて、伸び、靱性の高いフェライト基地のD-4材(引張強さ $392\sim 490\text{ N/mm}^2$ )を使用した。連続鋳造法で製造されているため、砂型鋳物と比べて品質が安定している。念のため切削実験後、被削材のブリネル硬さを一本当たり5点測定で5本測定した結果、HB138～HB143の範囲にある。

このことから、連続鋳造法の場合においても冷却時の熱影響を受ける外周表面から中心部に入る（表面から10mm）と組織が均一化して安定するためと考えられる。

球状黒鉛鋳鉄には、ねずみ鋳鉄に比べて、耐熱性、引張強さに優れるなどの特性がある。近年、機械部品の高能率化により、ねずみ鋳鉄部品の高強度化、軽量化のため、および鋼部品の低コスト化のためにこれらの代替品として球状黒鉛鋳鉄の需要が増加している。

しかし、球状黒鉛鋳鉄には、その特性から被削性が悪いという問題点がある。球状黒鉛鋳鉄と呼ばれるとおり、黒鉛が球状化している。これにより、ねずみ鋳鉄のもろい欠点が改良され、マトリックスの組織であるフェライトやパーライトの性質が強くなり、引張強さが高くなって被削性が悪くなる。これは、切削時、切屑と一緒に発生する黒鉛を主体としたフェライトの微粉が、被削材と工具逃げ面の間に入り込み、切削熱と切削力により工具逃げ面に凝着するためといわれている。

また、球状黒鉛鋳鉄の種類はJISによりFCDで示され、材質記号の数値は、引張強さを示している。他方、その強さは一般にマトリックスの組織のフェライトとパーライトの割合により説明される。

パーライトの引張強さは $50 \sim 80 \text{ N/mm}^2$ （HB170～330）、フェライトは $35 \sim 45 \text{ N/mm}^2$ （HB70～180）である。球状黒鉛鋳鉄は材種記号の数値が小さいほどフェライトの割合が多く、数値が大きくなるにつれてパーライトの割合が増えて高強度となって被削性が悪くなる。

FCD400のマトリックスの組織はフェライトが多く、FCD材の中では硬さ、引張強さが低く被削性が比較的良いことから比較的データが安定したと考えられる。

逆にFCD700とパーライト組織が多くなると主分力のデータは大きく変動することが考えられる。

## 5. まとめ

本実験では、3成分切削動力計のCNC旋盤への取付けと測定できる切削条件範囲の確認および切削条件への適用性を調べた結果、以下の結果が得られた。

- (1) FCD400では、切り込み量MAX6mm・送り速度0.6mm/revが測定限度である。
- (2) 送り速度については、350m/min以上の速度限界を確認しなければならない。
- (3) 3成分切削動力計の取付け方法による実験への影響は確認できなかった。
- (4) 検討が必要なところ
  - イ. 引張強さと切削抵抗に影響を及ぼす送り速度と肉厚感度の関係。
  - ロ. 刃先の集中冷却（切削油ノズル）の切削抵抗への影響。

### 参考文献

- 1) 佐藤 俊史:タタイル鋳鉄の切削加工技術,機械と工具,41,11(1997)
- 2) 陳 平,慶島 敏弘:オーステンパ<sup>®</sup>球状黒鉛鋳鉄(ADI)の高能率切削加工,精密工学会誌,61,4(1995)
- 3) 狩野 勝吉:切削加工のトラブルシューティング,112

