

## 特別寄稿

## 切粉細分化による品質・生産性向上

杉浦 三夫\*  
Mituo Sugiura

## 1. はじめに

第4工場では毎日8トンもの大量切粉を出しながら生産している。機械加工とは、物を削ることにより、形状・穴位置で $\mu\text{m}$ 単位の精度を保証して、製品を提供することが特徴であるが、そこには必ず切粉が発生する。この切粉が生産性や精度に多大な悪影響を及ぼしており、これを上手に処理することが、機械加工での大きな課題の一つであった。しかし、切粉に対しては捨て去られ物という認識で、関心が低いと形状や量が千差万別で解決困難であるため、対策が遅れていた。

切粉の悪影響の項目を分解したものを表1に示したが、かなり多方面に影響が及んでいる。実際の生産ラインにおいても、全仕事量の1/3を切粉処理に費やしている。機械加工職場にあっては切粉は諸悪の根源であり、これを解決すべく、我々は切粉と激闘してきた。切粉処理は一筋縄で解決は不可なので、体系だてた対策案を構築し、我々の技術ノウハウを開発しつつ取組んできた。

多くの切粉対策方法があるが、その中でも根本は切粉そのものであり、処理しやすい切粉づくりが第一と考え、対策の基本とした。処理しやすい切粉とは流れやすい切粉であり、その第1の方法

は切粉を細分化することであると位置づけた。本報告では切粉の細分化について述べる。

## 2. 展開のプロセス

切粉を細かくしようとし、メーカーから市販されている刃具を次々とテストしたが、目標とする切粉を得られなかった。そこで、独自に切粉を細分化する方法を確立しようと決意し、業務スタートした。展開としては、基礎実験を実験室レベルで実施し、その結果を踏まえて実際の生産ラインに適用していった。そのプロセスを図1に示す。表1のように分析した。切粉の処理方法を表2のように体系的にまとめて、切粉の細分化の役割を明確にして進めていった。

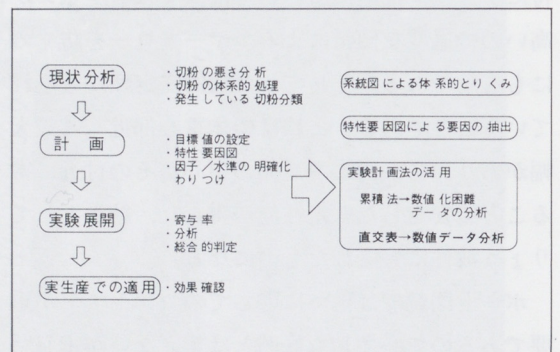


図1 展開プロセス

\* MC事業本部 第4工場

表1 切粉の悪さ分析

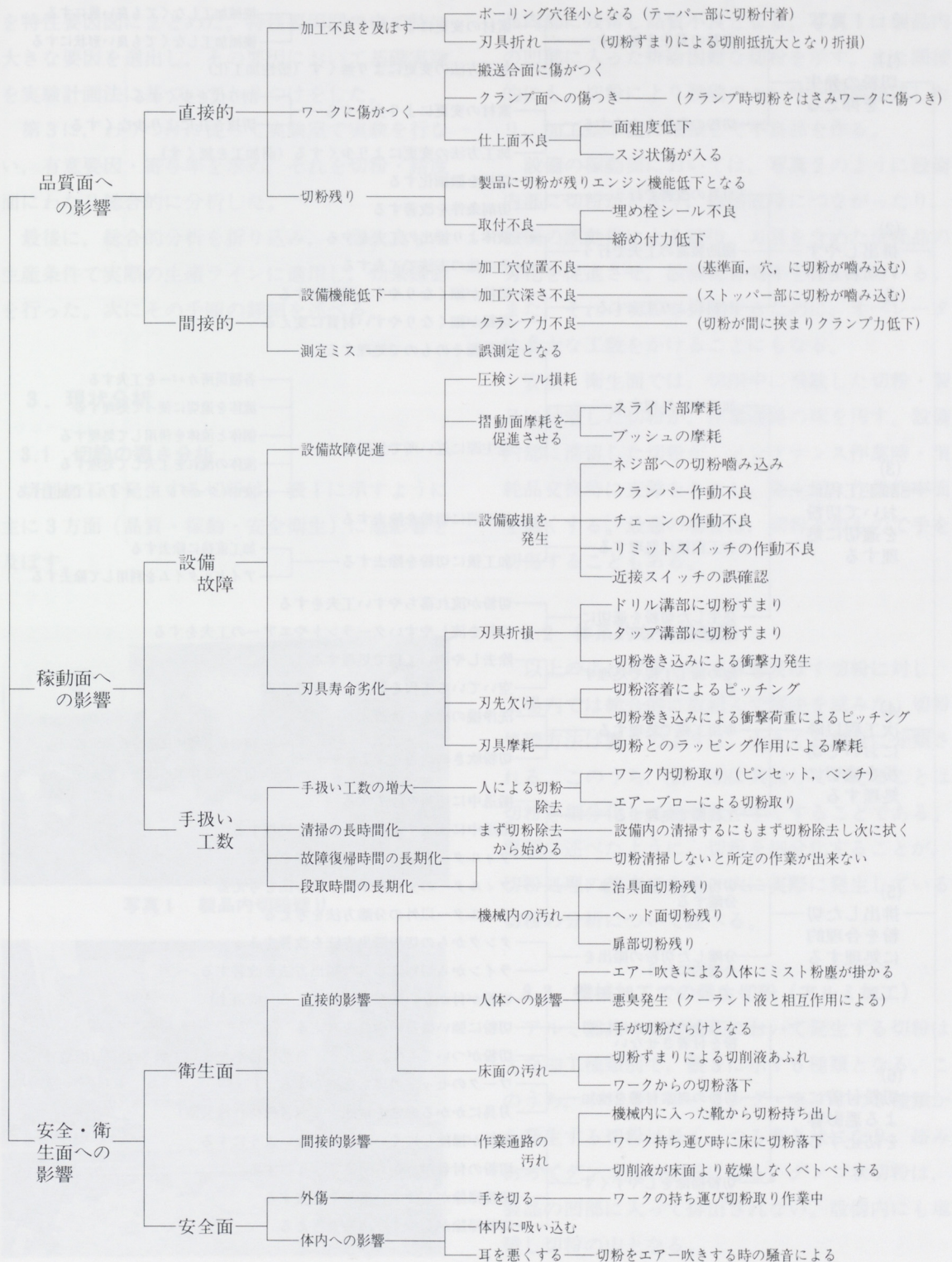
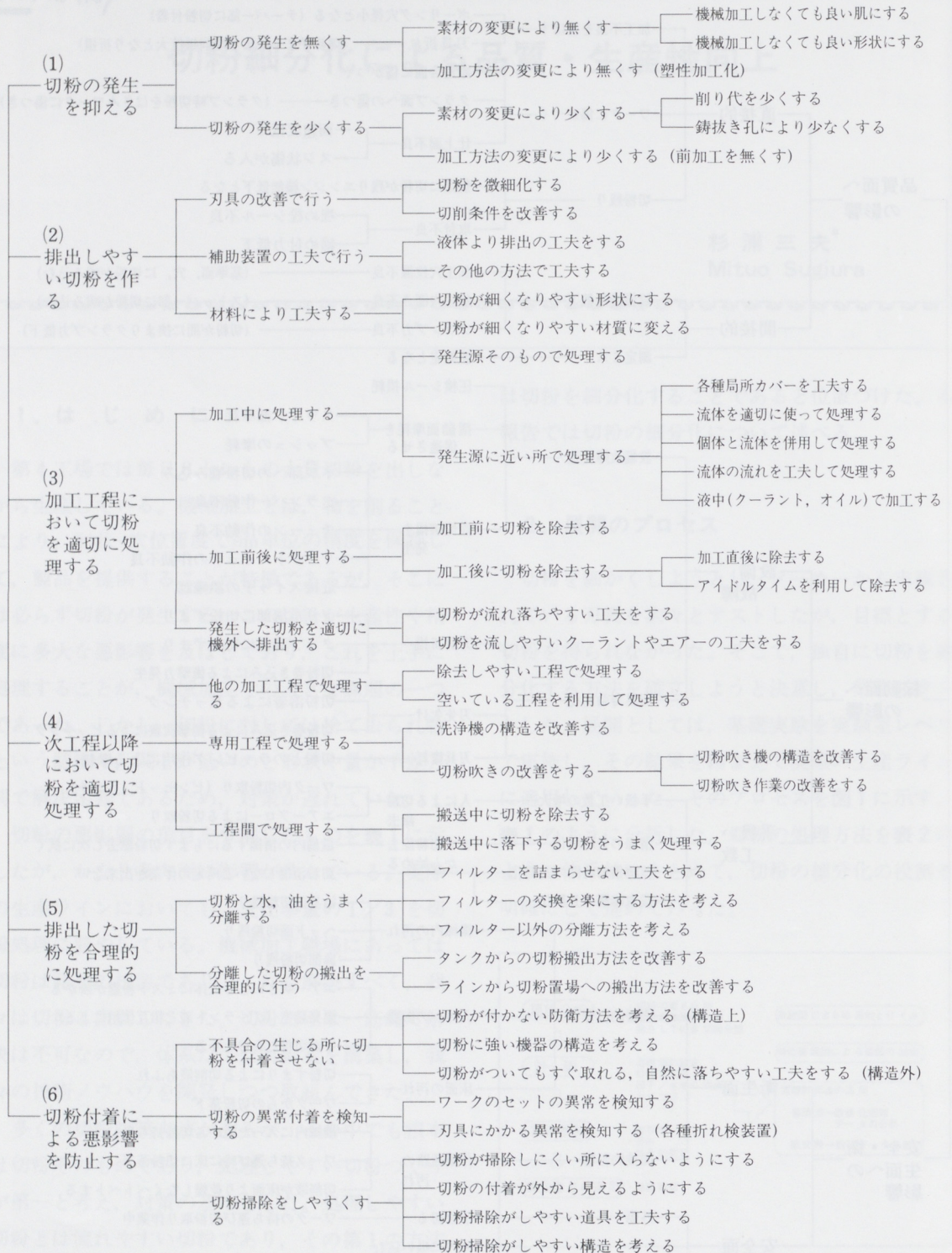


表2 体系的な切粉処理



第2に、計画段階で目標とする切粉の大きさを決め、その大きさ以内にするために関係する要因を特性要因図にまとめた。特性要因図の中で特に大きな要因を選出し、その要因において基礎実験を実験計画法に基づいてわりつけをした。

第3に、わりつけに従って実験室で実験を行い、有意要因・寄与率を求め、それを切粉・精度面にわたり総合的に分析した。

最後に、総合的分析を折り込み、一部改良した生産条件で実際の生産ラインに適用し、効果確認を行った。次にその手順の詳細を述べる。

### 3. 現状分析

#### 3.1 切粉の悪さ分析

切削加工で発生する切粉は、表1に示すように主に3方面（品質・稼動・安全衛生）に悪影響を及ぼす。

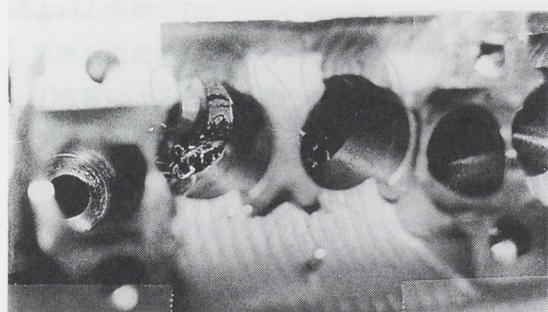


写真1 製品内切粉残り



写真2 設備内切粉残り

品質面においては、切削中に切粉が巻き込んで加工不良になったり、製品表面を傷つけたり、製品内部に残留し品質不良となる。写真1は製品内の凹部に入った排除困難な切粉を示す。また間接的にも、切粉により設備のセンサーが誤確認したり、加工基準面に堆積して不良品を作る。

設備の稼動面においては、写真2のように設備内部に切粉がたまり、設備故障につながったり、設備の誤動作による破損、刃具を含めた消耗品の劣化を促進させ、設備総合効率を悪くしている。また、それら切粉を排除するために、オペレータに多大な工数をかけることにもなる。

安全・衛生面では、切削中に飛散した切粉・製品に付着した切粉が、作業通路の床を汚す。設備内部に滞留した切粉が、メンテナンス作業時・消耗品交換時に支障をきたし、衛生面・作業能率面を悪くする。最悪の場合は、切粉そのもので手を切傷することもある。

#### 3.2 体系的な切粉処理

以上のように多くの悪さを及ぼす切粉に対し、工場内では総合的に取組んで解決を試みた。切粉処理方法は表2のように、大きく6項目に分類される。このうち、(2)~(6)に共通していえることは、切粉を細分化して処理しやすくすることである。冒頭に述べたように、切粉を細分化することが、切粉処理の基本である。次に実際に発生している切粉の分析について述べる。

#### 3.3 機械加工での発生切粉（アルミ加工）

アルミ部品の切削加工において発生する切粉は主な加工種類別で、表3に示す6種類となる。このうち、ドリル・ボーリング・座グリの3種類から発生する切粉は長く、つる巻き状になり、絡みあってダンゴ状の切粉になる。ダンゴ状切粉は、製品の凹部に入って排出されない。設備内にも堆積し切粉の山となる。

一方、タップ・フライス・リーマの切粉は大き

表3 機械加工で発生する切粉(アルミ加工)

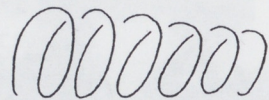
加工種類	加工目的	刃具図	発生する切粉
ドリル	メクラ部の穴あけ 		
ボーリング	最高精度の仕上穴 		
座グリ	平坦な座面を作る 		
タップ	ネジ穴加工 		
フライス	広い巾の平坦な面形成 		
リーマ	小径の仕上穴 面粗さ良好 		

からみあって  
ダンゴ状の切  
粉になる  
製品の凹部に  
入って排出さ  
れない

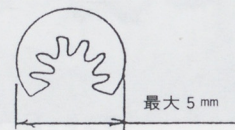
現状レベルで  
OK

さも3~4mm以下で小さく、加工中に使用する切削液で流し去ることが可能である。

取組み課題として、ドリル・ボーリング・座グリの切粉3種類に対象を絞った。このうちでも、特にボーリングの切粉が細く、つる巻き状で最も処理性が悪いので、最初はボーリングの切粉対策から開始した。



大きくなる巻き



最大 5mm

## 4. 計画及び実験

### 4.1 テーマ選定と目標設定

3項に示すように、まずボーリング切粉の細分化から開始した。現状の切粉は右図のようにつる巻き状でからまる切粉である。目標として切粉の流れの簡易テストをして右図のように最大5mm大で、半巻き切粉を作ることとした。

刃具メーカーに問い合せし、実際に社内でテスト加工してもよい結果が得られないので、社内で

よい切粉を作るための開発に着手した。そのため切粉の出来るメカニズムを考えて進めていった。

### 4.2 実験計画法の採用

切粉を細分化する要因として、図2の特性要因図が示すように数多くある。この要因全てをテストするのは非常に効率が悪いので、実験計画法を採用することにした。

特性要因図のうち、経験や文献で大きく影響しそうな要因を選択し、その範囲でまずテストを実

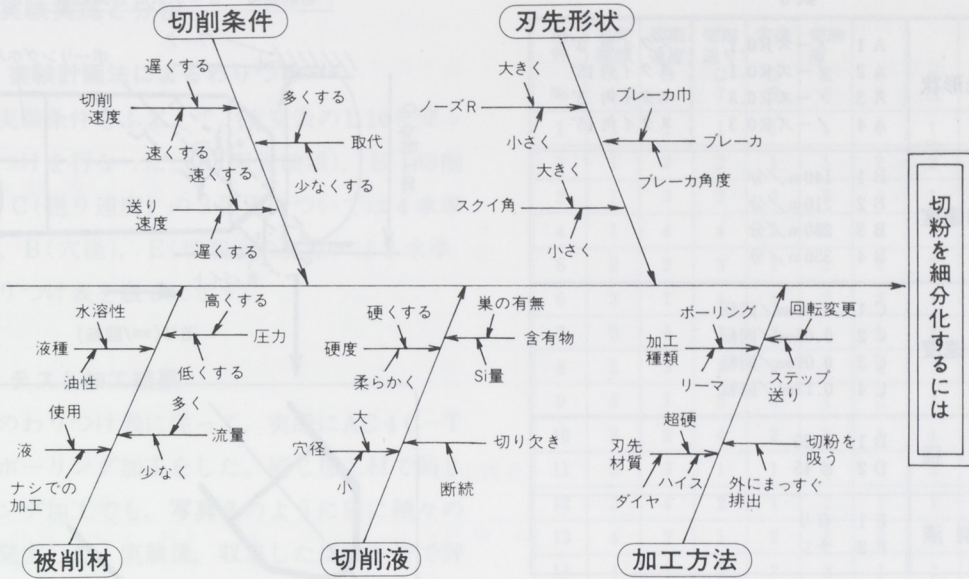


図2 切粉細分化特性要因図

施した。もしこの時選択した要因で切粉が細分化できなかったら、再び要因を組替えてテストすればよいと判断した。

実験計画法の採用理由として

- (1)実験による技術情報の効率アップ
- (2)種々の要因の中から目的に合致した要因の探し出しができる。これは、有意条件や寄与率なる表現で数値化され理解しやすい。

実験計画法の中には、分析する段階で多くの手法があるが、今回の目的は切粉を細分化することであるが、その際にも加工精度を確保するか、もしくはより向上させることは前提条件である。従って、切粉の条件と平行して精度条件の検定も実施した。

表4に示すように、切粉の評価はそのまま数値化が困難なため、計数分類した。計数分類とは、切粉を「よい」～「悪い」の5段階区分して評価する方法である。この方法はコーヒーの味の良し悪判定のように官能検査に多用されている。この計数分類の分析法として、累積法がある。

次に精度面への評価としては、加工穴の①面粗

度、②真円度、③円筒度を評価した。これらは計量値であり、そのまま数値計測した値を扱えるので、そのまま直交表を使い分散分析をした。

表4 採用方法

データ種類	手法	今回の適用
計量値…そのまま数値計測できるデータを扱う (例) 引張強さ、電流、質量、長ちetc.	そのまま直交表分散分析	面粗度 真円度 円筒度
計数分類…官能検査等の数値計測不可のデータ (例) 味のよしあし、品物の外観評価etc.	累積法	切粉の評価

#### 4.3 実験条件

特性要因図により表5の5因子をテスト条件に選択した。大きな影響がありそうな因子は4水準(4条件)とし、その他は2水準とした。

ボーリング加工について補足説明する。ボーリングとは、下穴(粗材穴やドリル加工穴)をくり広げて必要な精度を有する穴に仕上げる加工法の

表 5

A	刃先形状	A 1 ノーズR0.1	スクイ角 3°
		A 2 ノーズR0.1	スクイ角 15°
		A 3 ノーズR0.3	スクイ角 3°
		A 4 ノーズR0.3	スクイ角 15°
B	切削速度	B 1 140m/分	
		B 2 210m/分	
		B 3 280m/分	
		B 4 350m/分	
C	送り速度	C 1 0.01mm/回転	
		C 2 0.05mm/回転	
		C 3 0.09mm/回転	
		C 4 0.13mm/回転	
D	穴 径	D 1 φ 20	
		D 2 φ 45	
E	切 削 液	E 1 有り	
		E 2 ナシ	

ことであり、穴径、真円度、円筒度、真直度、位置度、相互間ピッチ、表面粗さなど、用途に応じそれらを満足させる精度を得ることが可能である。

この加工時に発生する切粉は細長くつる巻き状で、相互にからみ合う。特に仕上げボーリングにおいては、アルミの材質からくる粘つきと削り代が0.25mm程度なため、細く長い切粉が発生し、一段とからみやすい。

ボーリング加工は図3のように、ボーリングホルダの先端に丸バイト（刃先）を取付けて、ホルダを回転させてワークに穴あけをする。この時の切削条件として、

- ⎧ 切削速度（単位：m/分）
- ⎩ 送り速度（単位：mm/回転）

の2要因がある。切削速度はホルダによって回転されるバイト刃先の接触速度のことで、加工物の面粗度、刃具寿命に大きく影響する。切削速度Bは、 $B = \pi \times D \times \text{回転数}$ で示される。

（Dは加工穴径）

送り速度は穴をあけるに刃具が進む速度のことで1回転あたりの進む長さで示す。

次に刃先形状については、多くの考えがある。一般的に切粉を細分化する場合、ブレーカーとい

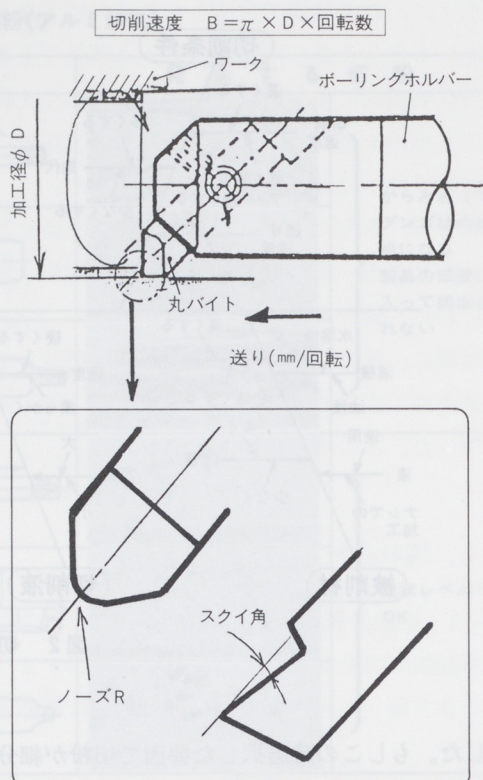


図 3

う刃先に段差を付ける方法を採用するが、刃先の再研性を考えて、ブレーカーなしの方法とした。刃先形状としては、ノーズRとスクイ角を要因に選んだ。ノーズRとは刃先の先端の鋭利度合で切れ味にそのまま影響する。一般的に、ノーズR大程面粗度が向上し、刃先も安定するが、切削抵抗大となる。スクイ角とは刃先が削り込む角度で、被削材の仕上面に対する垂線と工具すくい面（切粉が擦過する切削仕上面）とのなす角をいう。スクイ角が大きい程、切削抵抗は減少するが、その反面刃先が欠けやすくなる。

その他の要因として、穴径の差異、切削液の有無についても実験要因とした。

## 5. 実験実施と分析

### 5.1 実験計画法によるわりつけ

先の実験条件をふまえて、直交表のL16を使ってわりつけを行なった。A(刃先種類), B(切削速度), C(送り速度)の3要因については4水準である。B(穴径), E(切削液の有無)は2水準で、わりつけ表を表6に示す。

### 5.2 テスト加工結果

表6のわりつけ表に従って、実際にAC4C-T6材のボーリング加工をした。同じ加工材で同じボーリング加工でも、写真3のように実に種々の切粉が発生した。実験後、収集した切粉を皆で評価した。また、単に切粉が小さければOKではなく、あくまでも要求精度を満たす必要があり、真

表6

条件 No.	刃先 種類 A 1	切削 速度 B 4	切削 送り C 7	穴径 D 5	切削 液 E 6	e 9	e 11	e 12	e 13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	1	1	2	2	2	2
3	1	3	3	2	2	1	1	2	2
4	1	4	4	2	2	2	2	1	1
5	2	2	3	1	2	1	2	1	1
6	2	1	4	1	2	2	1	2	2
7	2	4	1	2	1	1	2	2	2
8	2	3	2	2	1	2	1	1	1
9	3	1	3	2	1	2	2	1	2
10	3	2	4	2	1	1	1	2	1
11	3	3	1	1	2	2	2	2	1
12	3	4	2	1	2	1	1	1	2
13	4	2	1	2	2	2	1	1	2
14	4	1	2	2	2	1	2	2	1
15	4	4	3	1	1	2	1	2	1
16	4	3	4	1	1	1	2	1	2

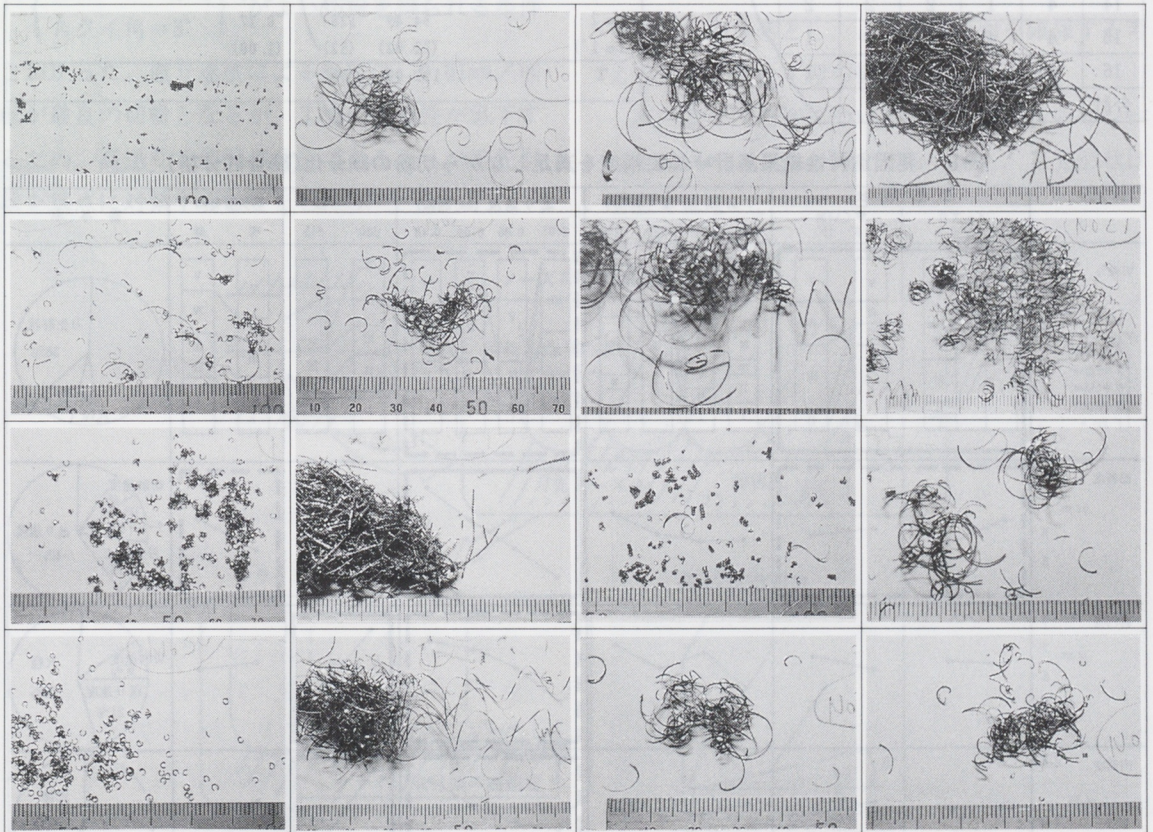


写真3 発生切粉→同じ加工でも発生する切粉は種々

表7 直交表へのわりつけと結果  
(数値化困難データの分析に累積法活用)

A よい切粉  
B ややよい切粉  
C 中くらいの切粉  
D やや悪い切粉  
E 悪い切粉

条件 No.	刃先 種類	切削 速度	切削 送り	穴径	切削 液	e 9	e 11	e 12	e 13	評価	密度度数					一度数				
											良い	やや 良い	中	やや 悪い	悪い	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	A A B	2	1	0	0	0	2	3	3	3	3
2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	A A B	2	1	0	0	0	2	3	3	3	3
3	1	3	3	2	2	1	1	2	2	A A A	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3
4	1	4	4	2	2	2	2	1												
5	2	2	3	1	2	1	2													
6	2	1	4	1	2	2	1													
7	2	4	1	2	1	1	2													
8	2	3	2	2	1	2														
9	3	1	3	2	1	2														
10	3	2	4	2	1	1														
11	3	3	1	1	2	2														
12	3	4	2	1	2	1														
13	4	2	1	2	2	2														
14	4	1	2	2	2															
15	4	4	3	1	1															
16	4	3	4	1	1															
合計																				

分散分析

	S	f	V	Fo	S'	p (%)
A 80.74	R 24.15	4	6.04	6.04**	20.15	10.5
	$\theta$ 29.56	4	7.39	7.39**	25.56	13.3
	$R \times \theta$ 27.03	4	6.76	6.76**	23.03	12.0
B	11.71	12	0.98*	-		
C	31.50	12	2.62	2.62*	19.50	10.2
D	13.29	4	3.32	3.32*	9.29	4.8
E	4.00	4	1.00*	-		
e 1	16.31	16	1.02	3.78**		
e 2	34.49	128	0.27			
(e 1')	(32.02)	(32)	(1.00)			
T	192.00	188				

表8 要因別特性結果集計⇒加工精度を満足しながら切粉の細分化(総合的分析)

	刃先形状		切削速度 (m/分)	送り速度 (mm/回転)	穴径	切削液有無	寄与率
	ノーズR 0.1 0.3	すくい角 3° 15°					
切粉%							
面粗度 $\mu m$							
真円度 $\mu m$							
円筒度 $\mu m$							

円度・円筒度・面粗度も評価対象とした。切粉の分析は先に述べた累積法を用いて、よい～悪いの5段階評価した。ここでは累積法の計算手順は省く。精度面では、2回の繰り返しデータに基づく分散分析を実施した。切粉細分化の分析を表7に示す。精度関係の3項目も同様に分析した。

### 5.3 分析

分散分析によって得られた結果の一覧を表8に示す。この表について、2重線の実線で囲んだ要因は99%の信頼性で有意を示し、破線で囲んだ要因は95%の信頼性で有意を示す。

各項目について

#### (1) 切粉の大きさ

刃先形状に大きく影響を受け、寄与率も36%と高い。次に送り速度に寄与率10%で影響を受ける。さらに最大寄与率の刃先形状については、

$\left\{ \begin{array}{l} \text{ノーズR}=0.1 \\ \text{スクイ角}=3^\circ \end{array} \right\}$  がよい切粉を得られる条件

とわかった。送り速度による影響は、0.01mm/回転が最良の切粉となるが、工場の生産性が低下するため、高送りで切粉細分化できるように刃先形状を重点に対策することとした。

#### (2) 面粗度・真円度・円筒度

同様に精度関係の3項目を比較してみると、面粗度面では送り速度が寄与率大で、速くなる程低下する。これは、ノーズRと送り速度fから求まる面粗度の理論式である。

$$\frac{f^2}{8R} \text{ と一致する。}$$

### 5.4 まとめ

分析結果をまとめると、切粉に対しては刃先形状が大きく寄与し、具体的には

$\left\{ \begin{array}{l} \text{ノーズR小}=R0.1 \\ \text{スクイ角小}=3^\circ \end{array} \right\}$  が良好とわかった。

しかし表8からも示されるようにノーズRが小となると面粗度が悪くなる。また実際の生産性を考えても、送り速度を向上させたい。その矛盾する事象の解決方法として、刃先にサライ刃を追加して対処した。

サライ刃の方法は、一度削った表面を後刃でサライながら削り落とし、より平坦な面を確保する考えである。サライ刃の機構を図4に示す。

真円度・円筒度については、上記刃で同等レベルを確保できる。分析上においても、刃先形状は有意ではない。

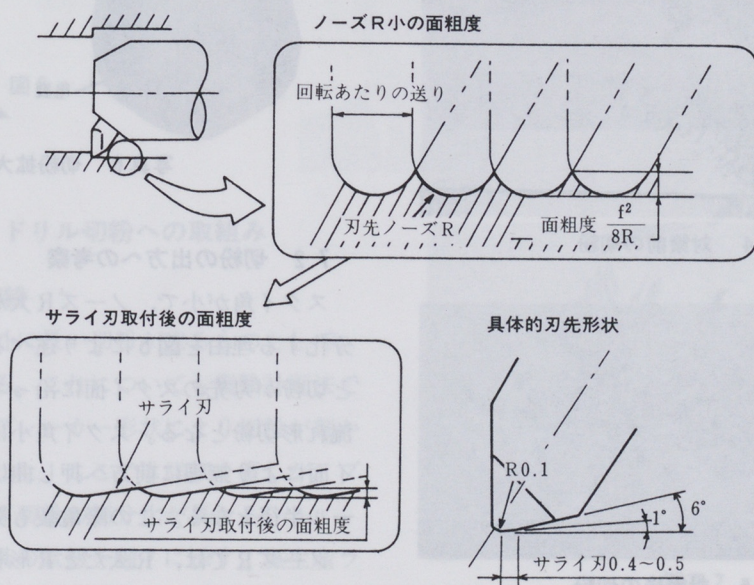
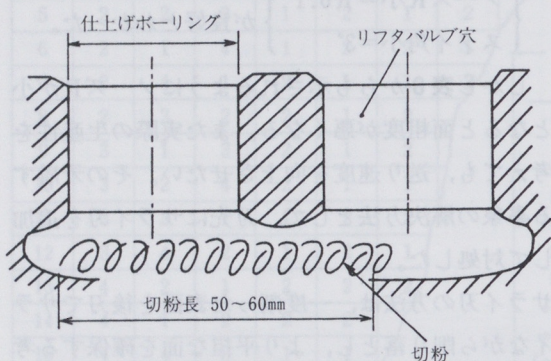


図4

## 6. 実加工ラインでの適用

先に判明した刃先形状を実際の生産ラインに適用した。最初にヘッドシリンダのリフトバルブの入る穴を対象とした。このリフトバルブ穴仕上げボーリングでは図5のように穴径よりも長い切粉が発生して、洗浄しても切粉がワーク内の凹部から排出されず、オペレータが引っかき棒で排除していた。品質上・安全上問題の工程であった。



対策前に発生していた切粉を写真4に示す。

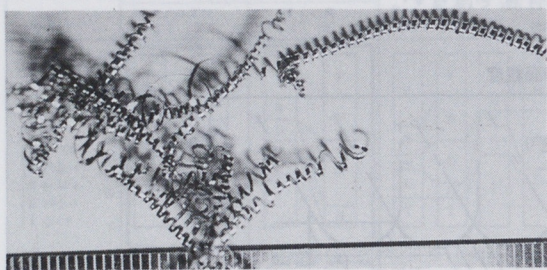


写真4 対策前の切粉

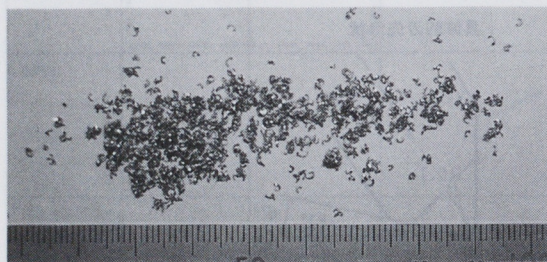


写真5 対策後の切粉

ここに図4の対策バ이트の刃先形状を折り込んで加工した所、写真5に示すように直径2～4mm程度の半巻き状の切粉となった。この大きさになるとワーク内の切粉残り、設備内の切粉残りが全くといえるほどなくなった。

この結果、先浄工程のみでワーク内切粉残りがなくなり、切粉除去の手作業工数をワーク1個で1分間削減できた。エアブローを廃止し環境向上できた。精度面においても、真円度・円筒度は従来の刃具と同等以上、面粗度も同レベルに確保できた。刃具寿命は従来に対し、20%程向上した。

## 7. 細分化のりくつ

### 7.1 切粉の観察

実験結果から得られた切粉の拡大写真6から判断すると、長い切粉は薄く断面に亀裂がない。細分化された切粉は小径で丸くなり、厚い断面で深い亀裂が入っている。この亀裂の発生の有無が、切粉細分化の要因になっている。

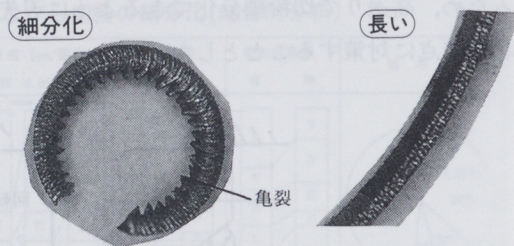


写真6 切粉拡大

### 7.2 切粉の出方への考察

スキイ角が小で、ノーズR大が、発生切粉を細分化する理由を図5により述べる。スキイ角大だと切粉が刃先のスキイ面に沿って流れやすくなり流れ形切粉となる。スキイ角小は発生切粉がスキイ面により無理に前方へ押し曲げられて小径のカーブ半径となる。この際亀裂も発生しやすい。

ノーズRでは、R大だとR形状部で削るようになり、断面も長く薄い切粉で排出され、つながり

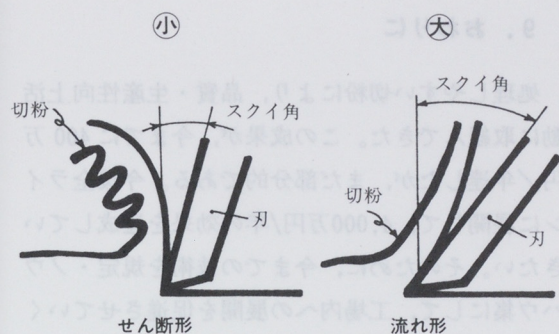


図5 スクイ角

やすい。R小だと削る断面が四角形に近い形となり、断面も短かく厚い切粉となり、しかも円周上で小径に丸くなり剪断されやすい。(図6)

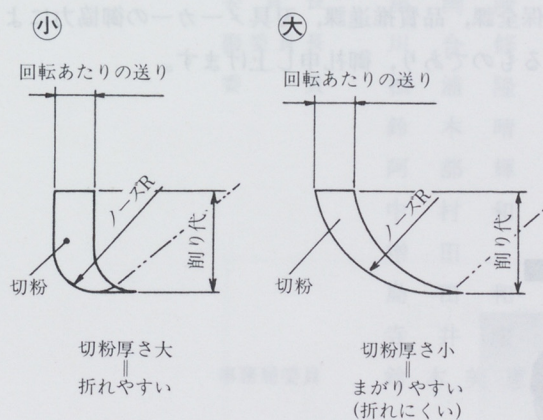


図6 ノーズR

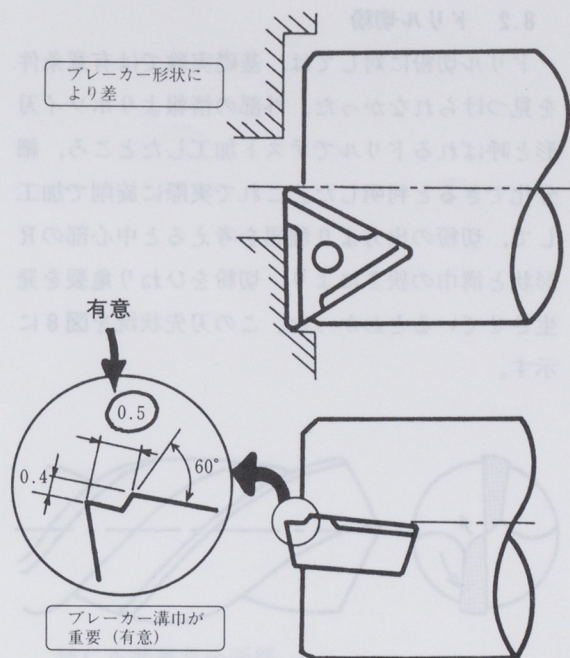
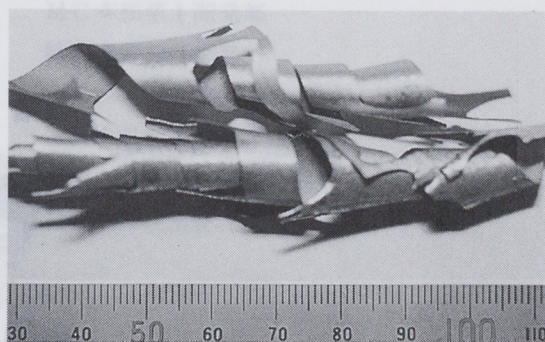


図7

対策前



対策後



写真7

## 8. 座グリ・ドリル切粉への取組み

### 8.1 座グリ切粉

ボーリング以外に長い切粉が出るものとして、座グリ加工がある。これについても実験計画法でテストした所、ブレーカー形状により切粉が細くなる事が判明した。ここでは詳細を省くが、ブレーカ溝巾により切粉の細分化が異なる。

細分化した刃具の状態を図7に示す。実生産ラインでの対策前後の切粉を写真7に示す。

## 8.2 ドリル切粉

ドリル切粉に対しては、基礎実験では有意条件を見つけられなかった。外部の情報よりホソイ刃形と呼ばれるドリルでテスト加工したところ、細分化できると判明した。これで実際に旋削で加工して、切粉の出方より理屈を考えると中心部のR形状と溝巾の狭さにより、切粉をひねり亀裂を発生させているとわかった。この刃先状況を図8に示す。

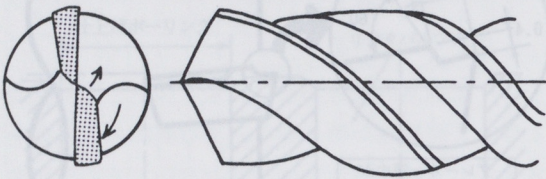


図8

## 9. おわりに

処理しやすい切粉により、品質・生産性向上活動に取り組んできた。この成果が、今までに400万円/年達したが、まだ部分的である。今後全ラインに展開して、4,000万円/年の効果を達成していきたい。そのために、今までの技術を規定・ノウハウ集にして、工場内への展開を促進させていく考えである。

本報告はアルミ部品加工の切粉についてであるが、鋼物加工でも切粉により悪影響を大きく受けている。鋼物加工における切粉対策も今回同様に取り組み中である。今回学んだ実験計画法を利用しつつ解決していきたい。

最後に、本報告は、生産31課、生産32課、第4保全課、品質推進課、刃具メーカーの御協力によるものであり、御礼申し上げます。

## ■ 著 者 ■



杉 浦 三 夫