



平成 11 年度ものづくり人材支援基盤整備事業  
- 技術・技能の客観化、マニュアル化等 -

# 「プレス加工用金型の製作に係る技能」 順送型の製作マニュアル

平成 12 年 7 月

中小企業総合事業団  
情 報 ・ 技 術 部

## はじめに

中小企業総合事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業総合事業団では平成 11 年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の継承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、『平成 11 年度ものづくり人材支援基盤整備事業-技術・技能の客観化、マニュアル化等-「プレス加工用金型の製作に係る技能」順送型の製作マニュアル』を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力維持等が問題となってきています。

これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものでありますが、その伝承・技能には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成 12 年 7 月

中小企業総合事業団  
情報・技術部  
部長 鈴木 達也

# 「プレス加工用金型の製作に係る技能」

## 目次

第1章 プレス加工用金型製作技術の変遷 .....	1
1.1 産業技術の変遷と将来 .....	1
1.1.1 産業技術の変遷 .....	3
1.1.2 これからの製造業 .....	3
1.2 金型技術の変遷と将来 ... ..	4
1.2.1 金型技術の変遷 .....	4
1.2.2 これからの金型技術 .....	5
1.3 金型製作のための技能者・技術者 .....	5
1.4 金型の標準化の変遷 .....	7
1.4.1 金型製作における標準化の内容 .....	7
1.4.2 標準化の歴史 .....	9
1.4.3 今後の課題と将来展望 .....	13
1.5 金型加工機械の変遷 .....	16
1.5.1 金型用工作機械の条件 .....	16
1.5.2 金型加工機械の変遷 .....	17
1.5.3 放電加工機の変遷 .....	24
第2章 プレス金型設計と成形シミュレーション技術 .....	34
2.1 プレス金型設計と金型形式 .....	34
2.1.1 金型の作り(構造)と使い方 .....	34
2.1.2 単工程加工 .....	35
2.1.3 トランスファー加工、ロボット加工 .....	37
2.1.4 順送加工 .....	37
2.2 プレス金型設計におけるシミュレーション技術 .....	45
2.2.2 FEM (有限要素法)シミュレーションとCAD .....	45
2.2.3 プレス成形シミュレーションをツールとした金型設計 .....	53
第3章 プレス金型加工上の留意点とノウハウの客観化 .....	60
3.1 切削加工に関するノウハウの客観化 .....	60
3.1.1 穴あけ加工 .....	65
3.1.2 フライス切削加工 .....	71
3.1.3 ツーリングの種類と選択 .....	82

3.2	研削加工に関するノウハウの客観化	84
3.2.1	平面・成形研削加工	84
3.3	ワイヤ放電加工に関するノウハウの客観化	89
3.3.1	加工時の噴流調整	89
3.3.2	垂直精度の保ち方	90
3.3.3	パンチのタイコ形状修正法	91
3.3.4	パンチの切残し部の仕上げ方法	91
3.3.5	ダイ形状のアプローチ部の仕上げ方法	92
3.3.6	ダイの逃がしテーパの加工方法	93
3.3.7	テーパ精度の保ち方	94
3.3.8	ワイヤ接触検出による位置決め及び寸法測定	96
3.3.9	プレートの自動運転加工	96
3.3.10	ワイヤ放電加工面の改善	97
3.3.11	油性(放電加工用油)加工液の用途	99
3.3.12	ワイヤ電極線の種類と用途	100
第4章	実践的プレス加工用金型の製作事例	103
4.1	順送プレス金型の設計・製作事例	103
4.1.1	順送プレス金型設計事例	103
4.2	金型部品の切削加工事例	109
4.2.1	CNC切削加工用プログラム	109
4.3	金型部品のワイヤ放電加工事例	132
4.3.1	上抜きパンチ加工	132
4.3.2	パンチプレート加工	132
4.3.3	入子抜きダイ加工	136
4.3.4	ストリッパプレート	136
4.3.5	ダイプレート	140
4.3.6	プレート加工上の注意	140

# プレス加工用金型の製作に係る技能

## - 順送型の製作マニュアル - をまとめるにあたって

20 世紀後半に始まったコンピュータの急速な普及は、これまでのものづくりの形態を大きく変えてしまった。中でも最も大きく変わった一つに金型製作をあげることができる。

1952 年に数値制御 3 次元フライス盤が開発されて以来、NC 工作機械はめざましい進歩と急速な普及を遂げた。また CAD/CAM システム、高速ミーリング、FEM シミュレーションなど新しいシステム、技術が続々と開発され実用化されてきた。

コンピュータをベースとしたこれらの新しい設計・生産システムの恩恵を最も受けたのが金型製作であったといえるし、逆に新しい金型製作がこれらのシステムを今日のレベルにまで鍛え、育ててきたともいえる。こうした新しい金型製作システムにより、日本の金型は質、量、製作時間の面からも世界のトップの座に着いた。

ここで忘れてはならないのは、日本の金型を世界のトップにまで押し上げた真の力は、金型に携わる人々の技術、技能であったことである。金型製作初期のマニュアル工作機械、コーキングたがね、やすりといった段階から、コンピュータベースの最新の金型製作システムに至るまで、脈々と築き上げてきた金型製作のノウハウがあったからこそである。

しかし、最近のあまりにも激しすぎる技術革新、国際競争の中で、技術ノウハウの貴重さに対する認識が希薄になり、またそれらを若い型技術者・技能者に伝承していく機会もなかなか持てない状況にある。貴重なこれまでの技能テキストすら散逸しつつあることや、最新システムの表面的な操作に追われて、金型製作の本質的な技術、技能の向上は後まわしにせざるを得ないことも多い。こうした傾向は金型分野だけにとどまるものではない。最近の我が国で技能の伝承がさかんに強調され、消えてゆく貴重な技能に警鐘を発しているのもこうした点にある。

このような背景から、金型製作に関する本質的な技術ノウハウをきちんとした形でまとめ、後続の型技術者・技能者に継承して、現在の高レベルの金型技術を維持、発展させることはこの時期にとって大変重要なことである。本マニュアルはこうしたことを目的としてまとめられた。

まとめるにあたって目指したことは、

- (1) 最新の金型製作システムにおける基本技能をわかりやすく整理する。
- (2) 実践的マニュアルとするために、順送型の具体的製作過程を例にとりあげる。
- (3) 最新の金型製作システムにおける加工データベースとしても活用できる。

ことであった。

本マニュアルは、プレス加工用金型製作技術・技能シリーズ第 2 巻としての位置付けもある。第 1 巻ともいえるものは、平成 10 年度にまとめた「技術的プレス加工の製作マニュアル」(平成 11 年 5 月)である。

第 1 巻では、手工具、汎用工作機械を主体とした金型製作を取り上げ、あくまでも金型製作の基本、ノウハウがよくわかることをねらいとした、本マニュアルでは、最新の設備による金型製作を対象とし、その基本技能を中心にまとめた。第 1 巻と合わせて本マニュアルをご活用戴けることを願いたい。

本マニュアルの作成にあたっては、当該事業に精通した下記の専門家各位の執筆、ご協力によりまとめた。

「プレス加工用金型製作に係る技能」のマニュアル作成協力者名簿

氏 名	所 属	役 職 名
小川 秀夫	職業能力開発総合大学校	助 教 授
田村 公男	職業能力開発総合大学校	名誉教授
吉田 弘美	吉田技術士研究所	所 長
磯下 健一	(有)九十九ダイエンジニア	代表取締役
三橋 賢朗	日刊 BT 社	室 長
山口 文雄	山口設計事務所	所 長
小西 敏夫	西原金属工業(株)	取締役社長
野地 一利	(株)ソディック 営業技術研修部	研修課係長
中嶋 次登	(社)日本金属プレス工業会	業務部長

# 第1章 プレス加工用金型製作技術の変遷

## 1.1 産業技術の変遷と将来

### 1.1.1 産業技術の変遷

社会ニーズが多様化・高度化するに従って産業界では水平分業化・異業種交流を初めとし、とくに近年では国際分業化が活発に進められている。また一方では、金型産業にも見られるようにほとんどの業種が構造不況に見舞われ、リストラの必要性が強く望まれている。しかし、その反面、「物づくり」に携わる技能者が不足し、なかでもその育成・継承が大きな課題となっている。

このような情勢のもと、産業技術の変遷をまとめて示したものが、図1.1である。

日本の工業技術は、過去の手工業を主体とした家内工業的社會(I期)が機械化・

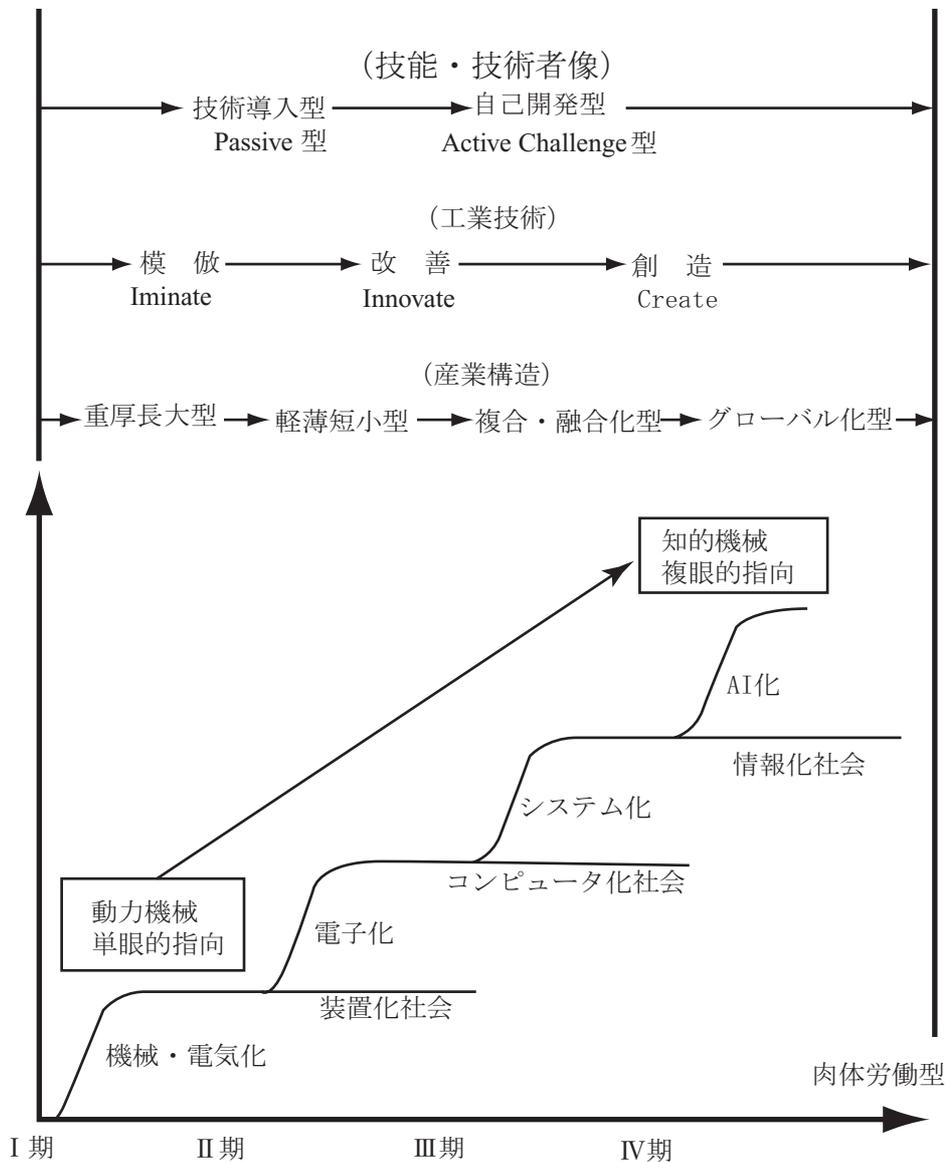


図1.1 産業技術の変遷

電氣化され、装置化社会(Ⅱ期)へと移ったことから始まったと見てもよいであろう。

その後、電子化によるコンピュータ化社会(Ⅲ期)を経て、このコンピュータ化社会がシステム化されたことにより、現在のインターネットなどに見られるような情報化社会(Ⅳ期)へと移ってきた。さらに最近は、ニーズの多様化・高度化に向けて、新たにこの情報化社会のAI化(人工知能化)が進められている。

この間、産業構造は装置化社会の重厚長大型からコンピュータ化社会の軽薄短小型を経て現在の情報化社会を迎え、グローバルな観点に立った複合・融合型さらにグローバル化型へと移ってきた。これと同時に、企業体質も技術導入に頼っていた過去の模倣型から、これに改良・工夫を加える改善型へと進んできた。そして、最近では代替化技術とかデザインインなど自己開発能力が必要とされる提案型・想像型へと移っている。これを全体的に見ると、従来の単眼的指向の動力機械時代から複眼的指向の知能機械時代へと変化しつつあると見てもよいであろう。

図1.2には、この間の技術・技能の進展の様相を示した。社会のニーズに従って産業環境は変化する。場合によっては生産方式のように、少量生産→多量生産→少量生産と繰り返すこともあるが、その場合にも技能・技術は点線の矢印で示したように元の状態に戻るのではなく、基礎技能・基礎技術を基盤とし、これに新技術を支援技術として積極的に取り入れることによりステップアップし、図1.2に示すようにコイル状に進展する。

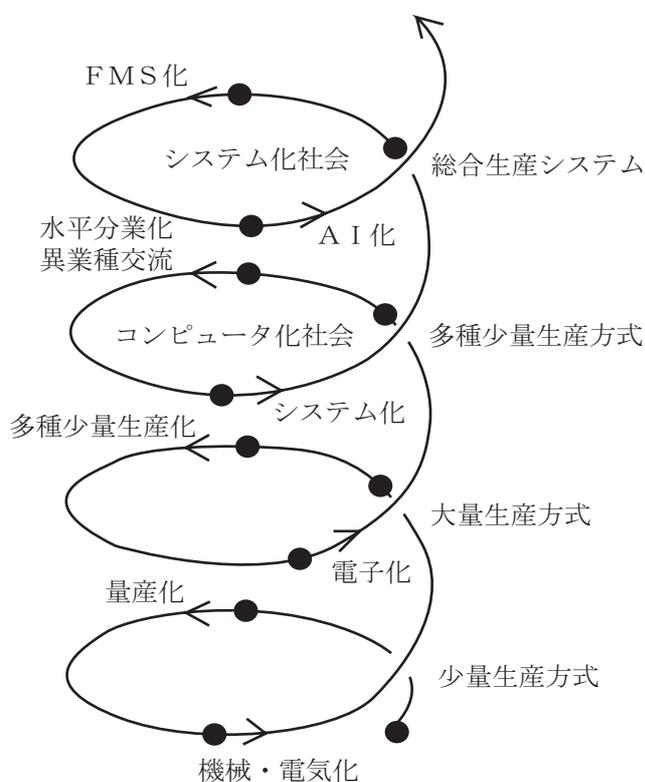


図1.2 技能・技術の変遷

基礎技術が無くては現在のハイテクも成り立たないであろう。

### 1.1.2 これからの製造業

社会ニーズの多様化・高度化のもとで、製造業の進む道は製品の高精度化・高信頼性にあると言われている。このような環境のもと、最近の産業界では従来のCAD/CAMに加えて、設計の最適化のためのCAE、品質を保証するためのCAT、FMSを指向したCADとCAMのインターフェースともなるプロセスプランニングなどの新技術が、実用化に向けて開発されている。そして、これらの新技術が普及するとともに、企業はますます高度な装置産業化への道を進まざるをえなくなる。

また一方では、製品の微細化・複雑形状化に加えて、精度に関しても精密加工から超精密加工・超超精密加工というように、ますます厳しいものが要求されるようになった。このような極限加工を克服するには、代替化技術などの新加工技術から材料技術・環境技術に至るまで、従来は個々に進められていた開発業務の一体化が図られるとともに、試作品など現在の高度化装置では加工できない部品の加工を行う高度熟練技能者の確保とその育成・継承も必要となるであろう。

このような趨勢のもと、産業界では図1.3に示す様に高度情報化時代を迎えて、その生産システムは図1.4に示すように従来の縦の工程別分業に横の専門別分業を加えた構造となり、中小企業を主体とした製造業の体質も従来の大企業依存の受注型企业から自己開発能力を備えた捷案型企业へと変化しつつある。

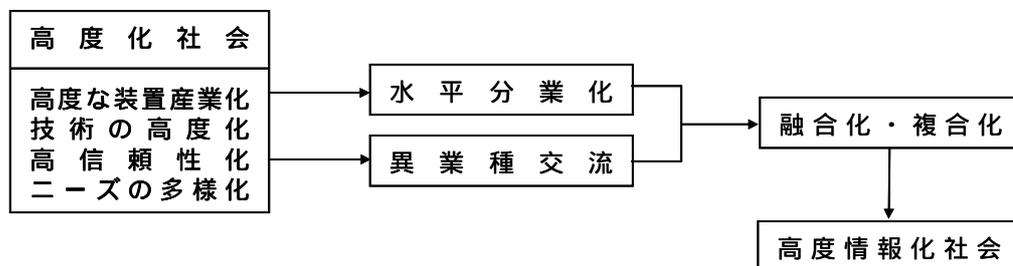


図1.3 高度情報化社会への過程

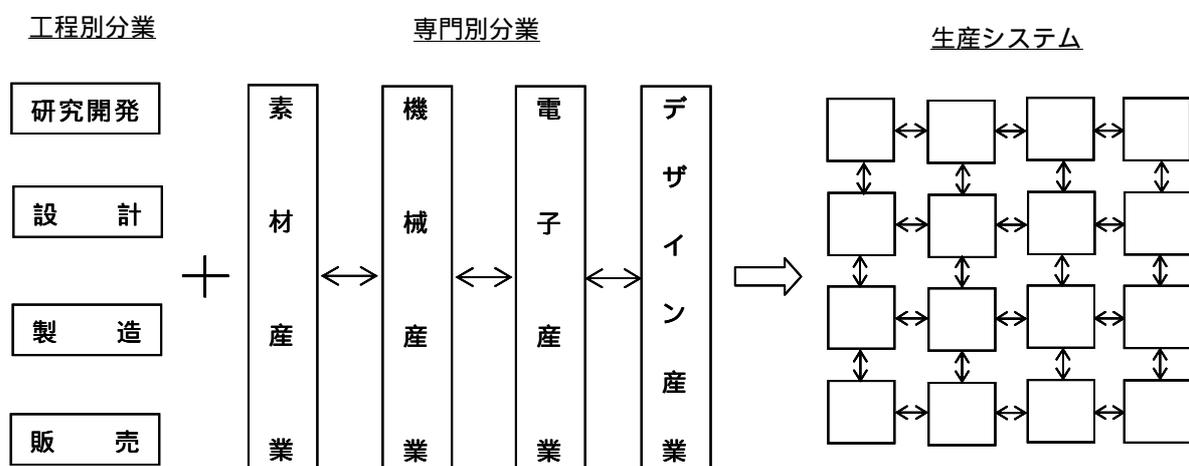


図1.4 高度情報化社会の生産システム

## 1.2 金型技術の変遷と将来

### 1.2.1 金型技術の変遷

産業技術の変遷と対応させて、金型技術の変遷をⅠ～Ⅳ期に分けて示したものが、表 1.1 である。この表で、機械加工化された部分と機械加工化されない部分との比率は時間比率を示している。

表1.1 金型技術の変遷

年代	期	期	期	期	
	1955年	→ 1965年	→ 1975年	→ 1985年	
金型の形式	単機型主体	→	順送型主体	→	
金型の標準化	金型部品の標準化	→	金属部品と加工の標準化	→	金型標準のシステム化
設計方法	ケガキ	→	設計と加工の分離	→	設計手法の確立
				→	CAD → $\frac{CAD}{CAE}$
主な加工機械	ヤスリ		ボール盤		マシニングセンタ
	ボール盤		縦型フライス盤		NC 治具中ぐり盤
	研削盤	→	平面研削盤	→	NC 治具研削盤
	形削盤		成形研削盤		NC 放電加工機
	円筒研削盤		放電加工機		NCワイヤ放電加工機
機械化された部分	$\frac{2}{8}$	→	$\frac{5}{5}$	→	$\frac{7}{3}$
機械化されない部分				→	$\frac{8}{2}$
生産形態	技能集約型	→	機械集約型	→	装置産業型
				→	高度装置産業型

金型の生産形態を見ると、初期(Ⅰ期)の金型はソリッド型がそのほとんどを占め、設計は経験に基づいたケガキで行い、その加工もヤスリとかボール盤などを用いた手加工が主体の技能集約型であった。その後、設計と加工が分離され、加工も円筒研削盤が平面研削盤・成形研削盤に変わるとともに、フライス盤・放電加工機が導入されるなど機械化が進み、金型構造もヨーク型を主体としたⅡ期の機械集約型へと移った。

生産形態が装置産業化型のⅢ期の時代には、コンピュータの発達とともにフライス盤がマシニングセンタに変わるなど、金型加工機械のNC化が進められることにより金型構造もインサート型が主体となり、その設計手法が確立された。次いでⅣ期には、Ⅲ期でNC化されてきた金型加工機械の高効率化を図るためのCAD/CAMが導入され、今日の高度装置産業化型の生産形態を迎えるに至った。

### 1. 2. 2 これからの金型技術

金型産業が高度装置産業化型へと大きく変化した現在では、もはや CAD/CAM は先端技術ではなく普及技術になったと言えよう。そして、これからは AI 化が進むとともに設計熟練者の不足を補うための CAD へのエキスパートシステムの導入が図られるであろう。また一方では、高速切削による仕上げレス加工、設計の適化のための CAE とか品質保証のための CAT が確立されることにより、将来は金型生産形態の FMS 化やトライレス加工も夢でなく現実のものとなるであろう。

しかし、たとえこのように高度装置産業化が急速に進んだとしても、現段階ではまだ仕上げ調整とかトライ調整などは従来の技能に頼らざるを得ないことから、機械化されないというよりもむしろ機械化できない部分が依然として残るであろう。

また一方、金型構造についても環境問題を考えるとサイレントダイに見られるように金型単体としてではなく、グローバルな観点に立ちプレス機械も、含めた全体システムとしての開発が必要なるであろう。

### 1.3 金型製作のための技能者・技術者

金型が高度化・高精度化されるなかで、日本の金型の特質である品質保証は、現在のところ、長年の経験に基づいた仕上げ調整など諸外国には真似のできない優れた技能・技術によって生み出されている。このことを考えると、現在の技能・技術をどのように継承して行くかが今後の大きな課題となる。

金型製作について、金型設計からトライ調整を経てプレス加工に至るまでの一連の流れの中で、技能者・技術者に必要とされる知識と実技を示すと、図 1.5 のようなものとなる。

この図 1.5 から分かるように金型製作は総合的な技能・技術によって支えられ、「物づくり」に関するほとんどすべての知識と実技が融和してはじめて金型が完成する。このような体質は金型に特有なものであり、この体質があるため金型に関して日本の優位性が保たれていると見てもよいであろう。

したがって、今後もこの優位性を保つには、設計からトライ調整に至るまでの金型製作について、単に技能者とか技術者としてだけではなく、これからは図 1.6 にも示すように技能と技術の融和が図れる幅広い知識と実技を備えた人材の育成が必要であろう。

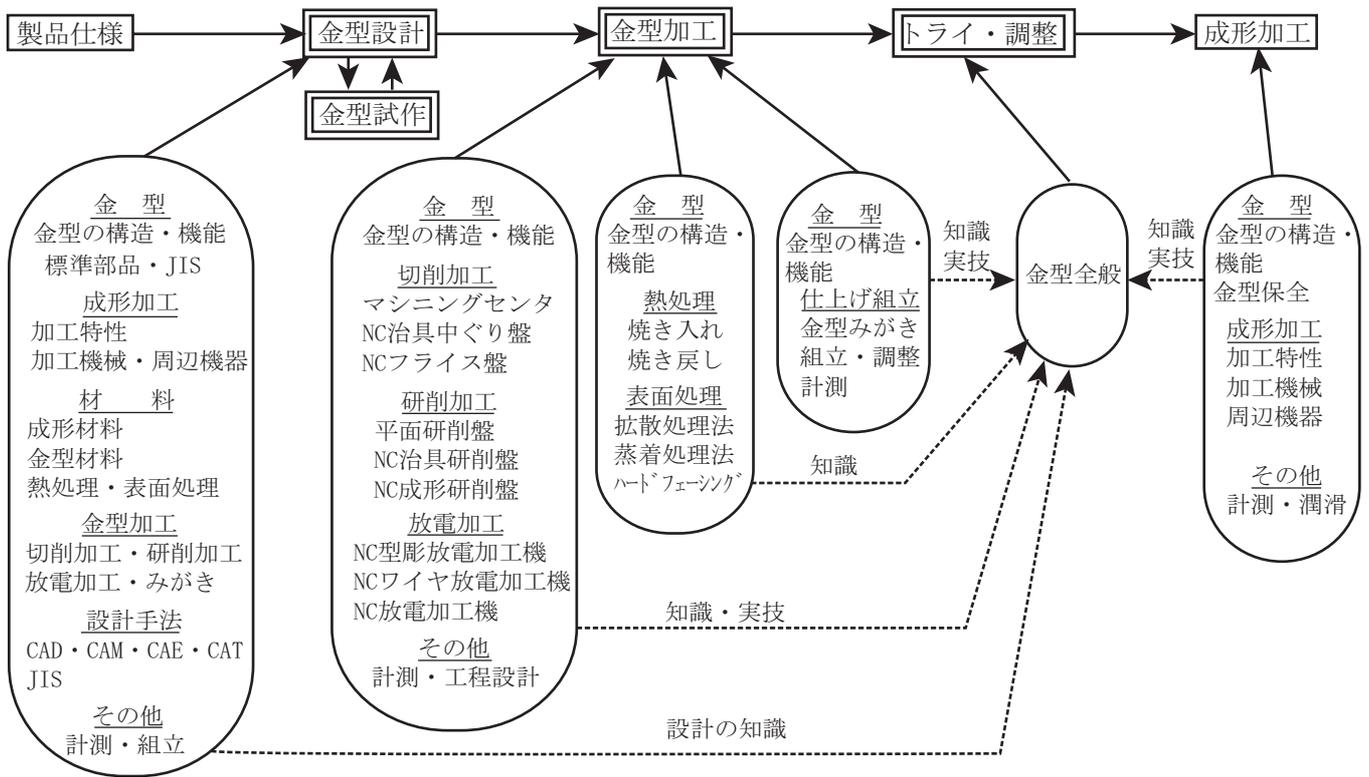


図1.5 金型製作の必要な技能・技術

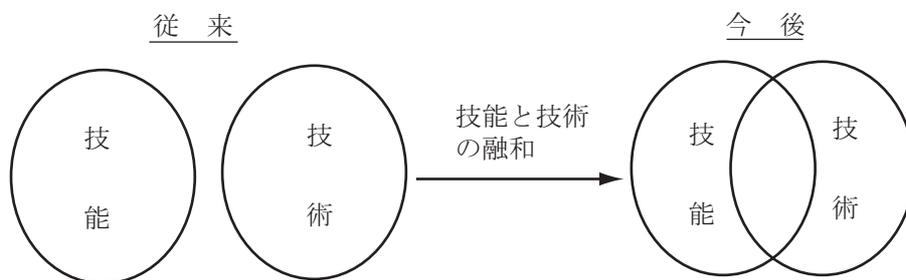


図1.6 これからの技能者・技術者

## 1.4 金型の標準化の変遷

### 1.4.1 金型製作における標準化の内容

#### (1) 金型産業と標準化の推移

戦後の混乱期を終え、本格的な工業化が進む中で、金型の主な需要先である電気および電子、自動車産業などの発展とともに金型産業も急速に発展し、技術的にも大きく進歩した当時の金型製作においては、金型は一型毎に異なるものを作るという受注生産品であり、標準化は効果がないと考えられていた。

しかし、これは「同じものを多量に作る」ことを前提にした標準化の考え方であり、対象を規格品を多量に作る場合を想定したものであった。

その後、熟練者不足の中で金型を多量に作る必要性から新規企業の参入、新人を多く金型部門に投入するなどの対策として、金型製作の分業化が進み、「生産過程(プロセス)を標準化し、違ったものを作る」という新しい思想での金型作りが徐々に浸透した。その結果、標準化の効果が認識され、丸パンチを始めとする標準部品の市販化も活発になり、その後も金型製作での標準化は一貫して発展を遂げてきた。

現在は、CAD/CAM を始めとするコンピュータシステムの効果的な活用のためにも標準化無くして、金型製作は考えられないまでになっている。

#### (2) 標準化の内容

当初は、標準部品を購入することから始めた企業も、その便利さを再認識するとともに、標準化への関心が高まり、標準部品以外への取組みも活発化し、現在では次のような内容を含む総合的なものになっており、受注から完成までのあらゆる面で利用されている。

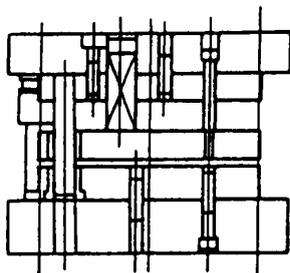
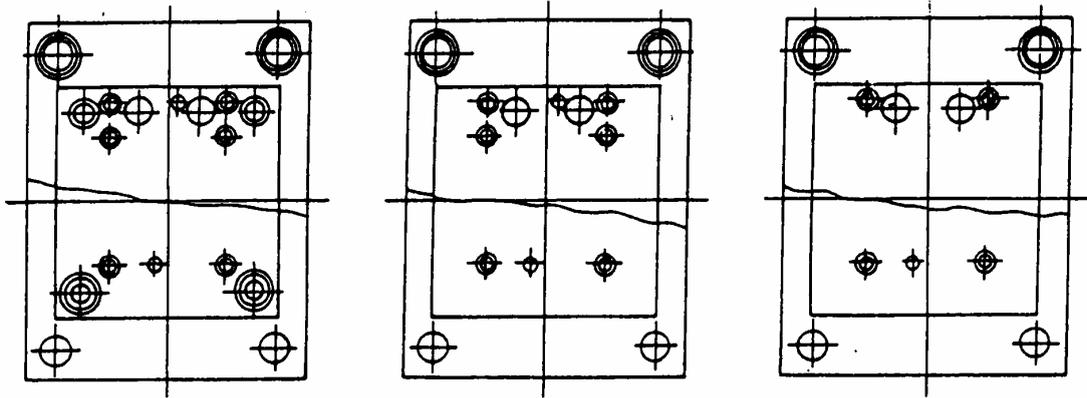
##### 1) 金型構造の標準化

金型設計及び製作の最も基礎である構造を GT(グループテクノロジー)で分類し、種類別に構造を標準化する。

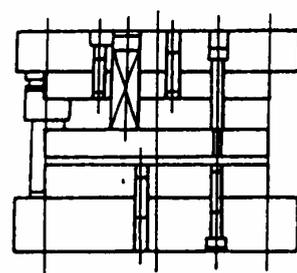
内容は、組立て図の断面図に相当し、プレート構成、部品の組み込みと部品相互の関係などを標準化する。

##### 2) ユニット標準(ユニット化)

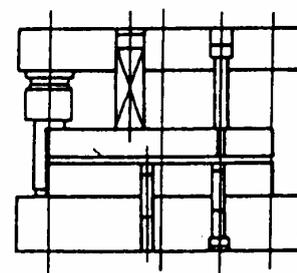
単体の部品をいくつか組合わせたもので、金型に必要な部分的な機能を果たす。金型全体は、ユニットを組合わせたものであり、逆に金型全体を分解すればユニットになる。ユニットを分解すれば単品の部品になるが、この場合は、製品によって変わる部分のみの数値を変えるだけで、部品の設計及び加工ができる(図 1.7)。



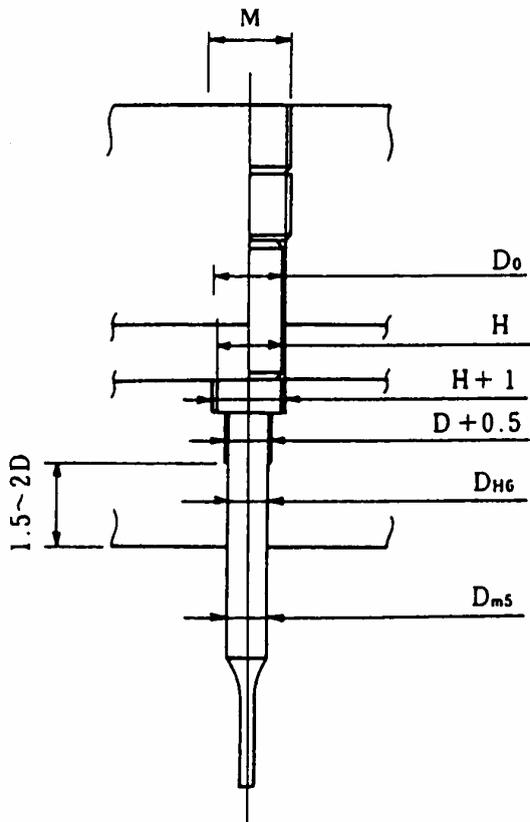
基本構造タイプ



基本構造タイプ



基本構造タイプ



D	D <sub>0</sub>	M
3	6.8	M 8 P1.25
4	8.5	M10P1.5
5	8.5	M10P1.5
6	10.5	M12P1.5
8	12.5	M14P1.5
10	14.5	M16P1.5
13	18.5	M20P1.5
16	20.5	M22P1.5
20	25.5	M27P1.5
25	30.5	M33P1.5

図 1.7 市販のユニットと丸パンチ用サブユニットの例

変化しない部分は共通情報であり、個々の金型については設計を省略でき、先行手配と先行加工も可能である。

### 3) 金型部品の標準化

金型部品の標準化は、市販の標準部品、社内規格品及び特殊部品に分けられるが、情報を共通化することで、特殊部品であっても外部の専門メーカーに発注する例が増え、さらに企業分業化が進んでいる。また、市販の標準部品も完成品を在庫し、注文に応じて出荷する方式から、受注に応じて加工する比率が増え、物としてよりも情報としての価値が高くなっている。

### 4) 金型加工の標準化

金型部品の加工は、NC 工作機械での加工が主流になるとともに、標準化の必要性と効果が重要性を増し、標準化の程度が業績に大きく影響し、企業間格差が開く中で、急速に標準化が普及した。逆に金型加工は、金型部品の種類別の加工工程、加工機械、工具及び加工条件などを標準化することで NC 工作機械の有効活用が可能になり、NC 工作機械も急速に普及した。

### 5) 経験、ノウハウなどの標準化

金型製作は、多くの経験及びノウハウ等を含んでいるが、これらを標準化することで習熟期間を短縮し、個人差を少なくし、再現性を高める上で大きな成果を上げている。しかし、この分野は、業界全体では遅れており、これから普及が進むと期待される。

### 6) その他の標準化

生産管理その他の管理面、教育訓練と業績評価、改善活動とトラブル対策、情報伝達とネットワーク化、その他がある。

これらの標準化は、先進的な一部の企業に限られ、多くの企業でまだほとんど進んでいない。

### (3) 普及の阻害要因と限界

金型製作において標準化の必要性が叫ばれてから久しく、多くの企業が取り組んできたが、期待する成果を上げている企業は少ない。

標準化を阻害する要因として個々の内容以上に、企業体・質と標準化そのものに対する認識不足がある。特に管理者及び熟練者の理解不足が問題であり、職人的な価値観への転換を含む再教育または人事面での再評価が必要である。

## 1.4.2 標準化の歴史

### (1) 第1期 啓蒙時代

金型製作が、個人の技量に任せられ、中小企業では金型の設計をせず、各個人が構造の検討、機械加工および仕上げ組立てまで個別に金型を作っていた時代であり、標準化はほとんど行われておらず、日本工業規格(JIS)および一般の技術情報も、構造事例など、実用性よりも参考資料的な色彩が強かった。

その中で、わずかにダイセットと関連部品が規格化され、市販されていた(図 1.8)。

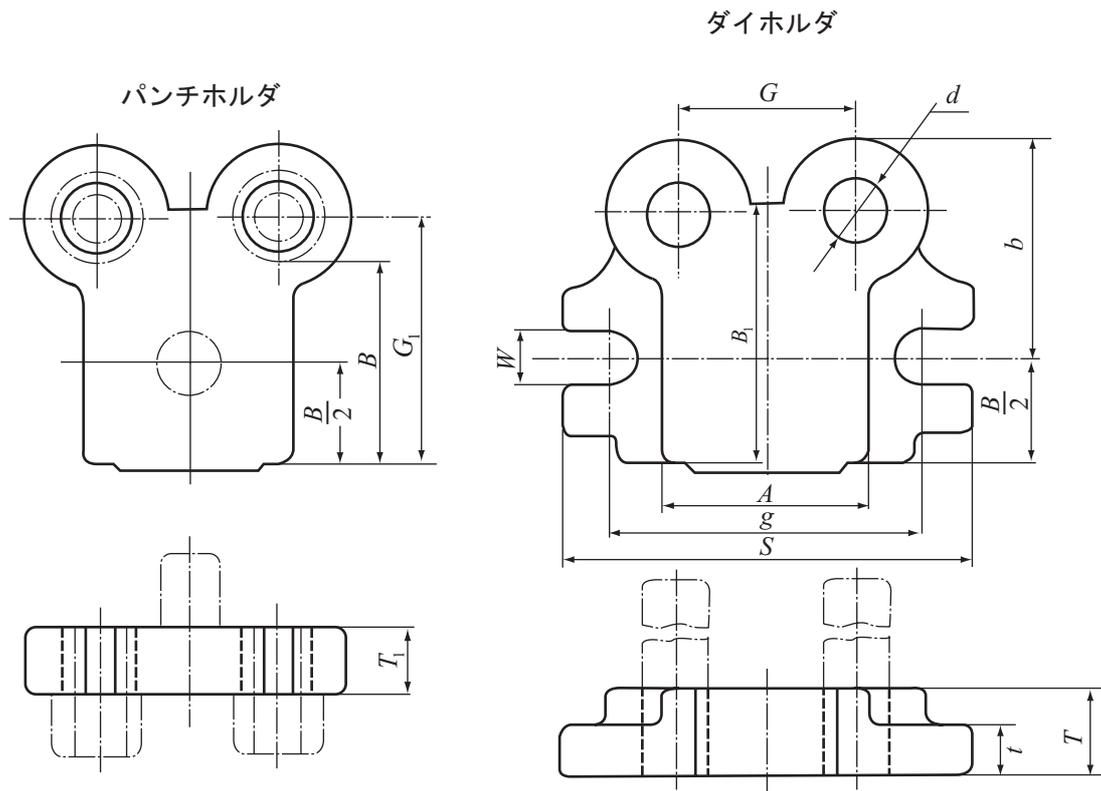


図1.8 プレス用ダイセット (BB型)

金型製作技術の中心は、やすり加工と組立て調整であり、金型の出来映えは職人の技能(熟練度)によって決まり、機械加工はマニュアル機械による補助加工(粗加工)に過ぎない。

(2) 第2期 部品の標準化と市販化

金型の需要が急速に増え、需要に対して供給が間に合わず、新たに金型製作を始める企業も多く、高精度、高機能化が進む中で新人と機械加工による多量生産が必要になった。工作機械も成型研削盤、放電加工機などが普及し、熟練した腕以上に設計と機械加工技術の必要性が高まり標準化も進んだ。

しかし、多くの企業は、標準部品を購入する程度であり、自分で作るよりも完成部品および研削済みの平板などの半完成品を購入した方が、早くて便利という程度であつた。

日本における本格的な金型部品の規格化は、昭和30年代の後半に東京都金属プレス工業会が、プレス型用平板部品、プレス型用丸パンチその他を規格化し、併せて材料メーカー等に働きかけ市販化を進めた。

その後、日本金属プレス工業協会(当時の日本金属プレス工業会)で、標準数の採用その他の見直しを行い、全国規模での普及が進み、販売する業者も増えた。さらにこの規格は、順次日本工業規格になり、プレス型用コイルばね、その他の部品も追加された上で日本工業規格(JIS)に移行され今日に至っている。

### (3)第3期 金型全体の標準化

金型産業の発展とともに企業数も増え、品質とともに納期と価格の企業間競争が激しさを増した。これに対処するため、設計時間の短縮、機械加工の生産性向上、トライおよび修正工数の低減などを進める中で、有効な手法として金型製作の標準化のニーズが一層高まった。

個々の企業が、金型構造を始めとする設計基準、加工基準などを設定するなど、部品以外の標準化に取組み、成果を上げた(図1.9)。

	処理事項	標準データ
	製品の用途および機能の確認 製品加工上の注意事項確認	工程能力データ集
	アレンジ図作成(コピーをした製品図上に追加記入)	アレンジ基準
	アレンジ後の展開図作成	展開計算式 補正值
	工程別にレイアウト図を作成 (アレンジ図より必要部品のみトレース)	GTによるレイアウト データ集
	[省略] 全体ユニット図利用 その他の場合	全体ユニット図 サブユニット規格
	[プレート図省略] (第2原紙の上に追加記入してもよい) 標準部品、ワイヤカット 放電加工部品省略	ユニット用プレート図 標準部品とコード化 ワイヤカット放電加工 用オフセット規格
	ユニット用部品表に追加記入	全体ユニット用部品表

図1.9 標準データを利用するフローチャート

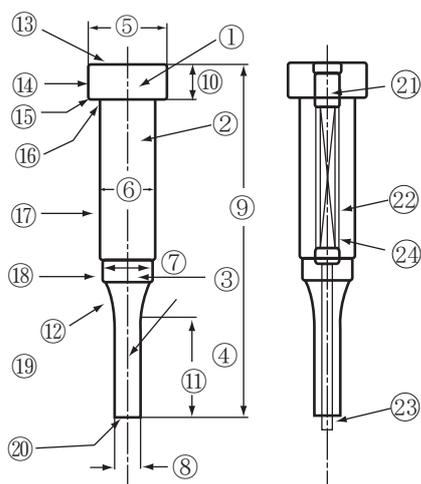
また、専門誌、セミナー等でも数多く、企業での標準化事例などが紹介され、普及に役立った。

#### (4)第4期 CAD/CAM 時代の標準化

昭和49年の第1次オイルショックで需要先産業とともに大きなダメージを受けた日本の金型産業は、一部の企業の淘汰と撤退が進み、その後急速に回復する中で近代化を進め、質量ともに世界のトップレベルに到達した。その原動力になったのは、ワイヤ放電加工機、マシニングセンタを中心とするNC工作機械とCAD/CAMを中心とするコンピュータシステムである。

しかし、一品毎に異なる設計と加工を必要とする金型加工にNC工作機械を使用し、多くの企業で成果を上げたのは、当時の世界では日本だけであり、メモリー量も現在に比べ非常に少なく、処理速度も遅い中で威力を発揮した標準化の成果である。

その後、部品の標準化については日本金型部品工業会(JADT)が内部に規格委員会を設け、日本金属プレス工業協会から引き続いて規格化を進め、ユニット、部品などさらに内容が充実し、ストリップボルトその他の部品のJISへの移行が進められた。この規格は、単に市販する部品の規格だけでなく、それを利用するユーザーのための情報も作成しており、マシニングセンタでの穴加工を容易にするための標準加工形状、丸パンチの部分名称と損傷形態その他の情報の標準化を進めており、その内容は世界に誇れるものである(図1.10)。その後、プラスチック金型用の部品の規格化も進み活用されている。



No	名 称	JIS 記号	No	名 称
1	頭 部		13	頭部底面
2	植込み部		14	頭部ランド面
3	圧入指導部又は 打ち込み案内部		15	頭部座面
4	切刃部		16	頭部肩アール
5	頭部直径	H	17	植込みランド面
6	植込み部軸径又は直径	D	18	誘導部ランド面
7	誘導部直径		19	切刃部ランド面
8	切刃部直径	P	20	切刃部全面
9	全長	L	21	六角穴付止めめじ (参考)
10	頭部厚さ	T	22	バネ (参考)
11	切刃部長さ	B	23	キッカーピン (参考)
12	切り上げ部アール又はかきあげアール		24	キッカーピン ロック穴 (参考)

図1.10 丸パンチ各部の名称

#### ( 5 ) 第 5 期 固有技術と差別化時代(現在まで)

金型製作における NC 工作機械および CAD/CAM などの進歩と普及は、装置産業としての色彩を強め、標準部品と部品加工の企業化、情報伝達と物流の進歩などと併せて、金型製作の合理化を促進させるとともに、国境を越えた技術の平準化が進んだ。その結果は、金型製作を容易にし、世界規模、特に発展著しいアジア諸国との技術格差を縮め、その後の円高と需要先産業の海外進出もあり、世界規模での競争は激しさを増した。

たとえば、高精度金型の代表と考えられ、アジア諸国では製作はできないと考えられていた半導体のリードフレームなども韓国、台湾その他の国々で作られるようになった。

日本国内は、バブル経済の崩壊以後の景気の低迷、過当競争による疲弊、自分たちが世界のトップであるという奢りとマンネリ化、従業員の高齢化と若い人材の不足、設備の老朽化などにより相対的に競争力は低下している。

現在は、例外を除き金型製作は経験のない企業でも容易に参入でき、加工設備がなくても加工を外部に依頼することで製作が可能になっている。いまや金型製作はどう作るかという、作る上の現場的な技術、ノウハウなどよりも経営的なセンスが問われ、世界規模で個々の企業の存在価値が問われている。

金型を製作する企業は、標準部品を使用して標準的な金型を製作していても、厳しい競争に勝てず、金型部品を販売する企業も日本工業規格などの公的な規格に従って部品を作り、販売するだけでは企業としての存在価値が低下し、過当競争の中でじり貧になる。この状態から脱するための新製品の開発、独自金型の開発などが進められている。これは脱標準化とも言えるが、完成品としての金型および金型部品が多様化するほど、情報量が多くなり、プロセスの標準化の重要性はむしろ高まっていると言える。

#### 1. 4. 3 今後の課題と将来展望

今後の金型製作における標準化は、ますます重要性を増し、その内容と経営への概略的な取組みが企業間格差を拡大し、2 極分化が進むと思われ、その中で次のような問題が考えられる。

##### ( 1 ) 金型製作システム化と信頼性の向上

企業の総合力が、個人の能力の総和から、企業の金型製作システムの優劣で決まる時代を迎えつつある。変化が激しく、人の流動化も進む中で多くの年月を必要とする熟練者の育成から、製作システムの完成度を高める方向に転換を図る必要がある。この場合の有力な手法として標準化が欠かせず、ISO9000 シリーズの取得などにも有効である。

##### ( 2 ) ネットワーク化

企業間および企業内を結ぶコンピュータを利用した情報伝達システムが一般化し、インターネットと電子メールでの情報伝達が当たり前になりつつある中で、情報伝達の方法と内容が大きく変わりつつある。これをどのようなシステムで行うか、実務にどう反映させるかが重要であるが、そのシステムの設計者はコンピュータについての専門知識以上に、金型製作についての感性(センス)が問題である。

##### ( 3 ) システム金型

プレス加工システムを構成するプレス機械、装置、金型、材料および人などのうち、従来の金

型が持つ共通機能を共通化して装置とする。

個々の金型は、共通機能だけにする。例としては、市販のQDCユニットの利用があるが、企業で独自のシステムを開発することで、これまでの常識をはるかに超えた短納期とコストを実現できる(図1.11)。今後このようなシステムを持つ企業への集約化が進むと思われるが、これを構成するサブシステムとして標準化がある。

#### (4) 固有技術の標準化

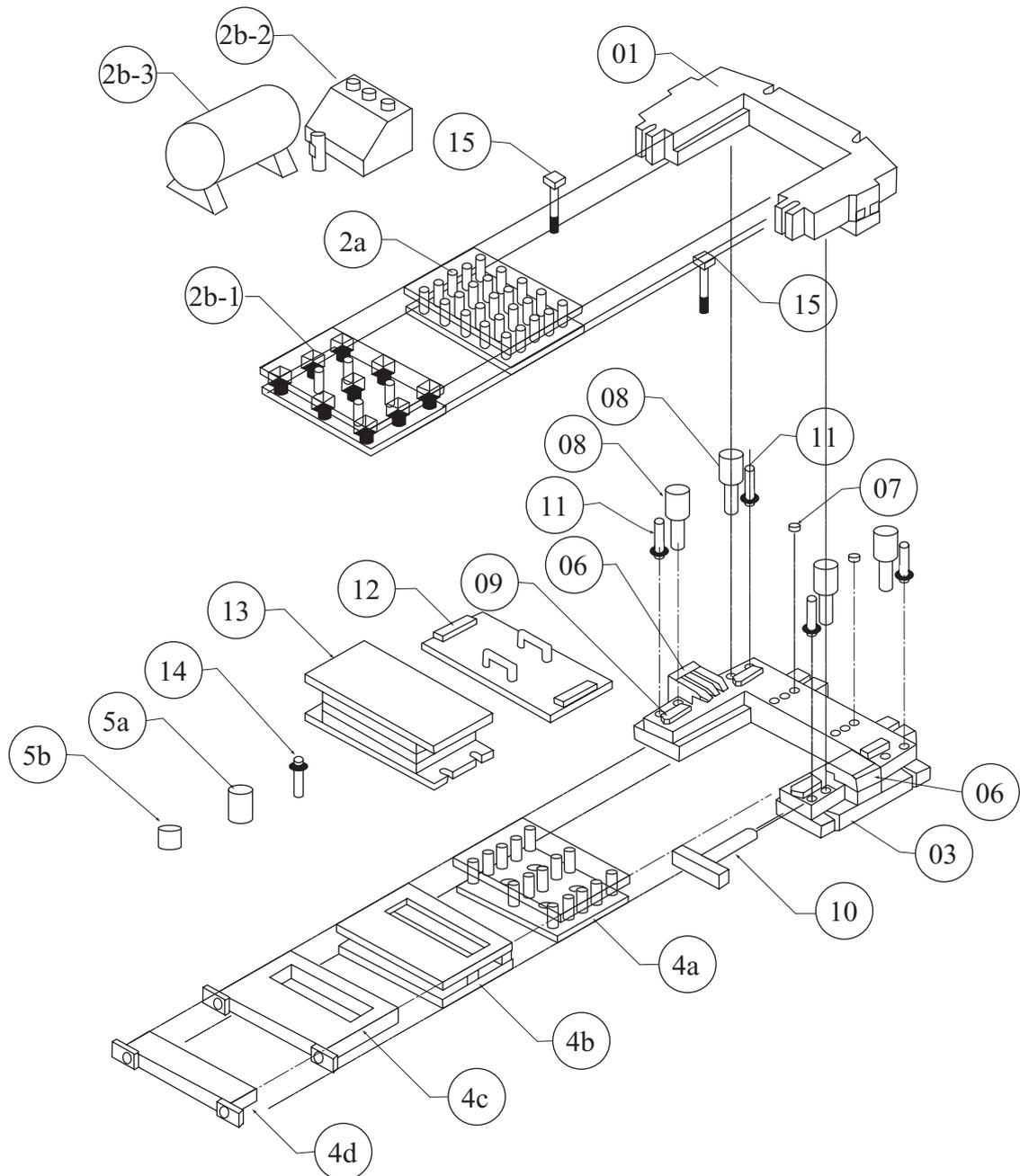
外部情報ではなく、企業内で独自に作ったノウハウを多く含む社内標準、データなどは、知識データベースとして機械設備などに比べてはるかに貴重な財産である。このような企業にとってはかけがえのない財産を蓄積し、その内容を更新し質を高めて行くことが重要である。

#### (5) 企業分業とユニット化

金型の構成要素の基準を機能単位のユニットとし、金型全体はユニットを組合わせたものと考え、このユニットを分解すれば単品部品になると考える。このようなユニット単位での設計および製作は、納期の飛躍的な短縮を始めさまざまな合理化の可能性を秘めている。標準部品も単品だけでなくユニット化したものが考えられ、金型部品業者との取引もユニット単位で行われる比率が高まるものと予想される。双方ともにノウハウを組込んだ企業固有のユニット化と情報伝達のシステム化が必要である。

# 構造

## The structure



01:上ダイセット  
01:The upper die set.

03:下ダイセット  
03:The lower die set.

13:金型  
13:The die

2a:上クッションユニット  
2a:The upper cushion unit.

4\*: 補強ブロック  
4\*:The reinforced block.

2b:エアクッションユニット  
2b:The air cushion unit.

06:クランプ  
06:The clamp

図1.11 市販の全体ユニットと丸パンチ用ユニットの例

## 1.5 金型加工機械の変遷

### 1.5.1 金型用工作機械の条件

金型製作は、典型的な単品生産であり、古くは手作業中心の技能に依存していたが、切削、研削などの加工を行う工作機械を用いた加工方式に移行し、最準はコンピュータ利用の CNC 工作機械中心に変化している。すなわち、その時代の最先端加工技術を適用し、かつ高度な生産技術力を必要としており、繰り返し生産する自動車部品などの生産設備に匹敵する質の高い工作機械を必要としているところに特徴を有する。

金型用工作機械の求められている共通的な条件は、次のような内容があげられよう。

- (1)多様な加工形状に対処できる加工機能を有すること。
- (2)高精度な加工が可能な機能を有すること。
- (3)接近性に優れ、ワーク段取りが容易な構造を有すること。
- (4)比較的重量物に対する機械の剛性が十分あること。
- (5)機械操作が容易、かつ汎用性に富んでいること。

しかしながら、最近では CNC 工作機械中心であり、高速・高精度な特性、および CAM データの通信機能など CNC 加工化に伴う新しい要求内容に変化しつつある。

### 1.5.2. 金型加工機械の変遷

#### (1) マニアル操作による金型部品加工時代

##### 抜き型の形状加工

コンターマシンで荒加工を行い、フライス盤とヤスリによる手作業で仕上げ加工を行う工程で製作されていた。コンターマシンで抜き加工を合理化する手段として、型材の表面に白線で表示された加工形状を、光学装置で読みとりながら自動送り切断する「自動コンターマシン」も適用されていた(図 1.12 参照)。

##### 穴加工

ボール盤が多く用いられているが、順送り型、ガイドピン型などの高精度な穴加工には、ジグ中ぐり盤(ジグポラー。図 1.13)を適用していた。ジグ中ぐり盤は、被加工物の X Y 基準面から加工箇所的位置決めを行い、加工する方式であり今日の CNC 加工と同様な考え方である。加工精度は、数マイクロメートルのレベルが可能であるが、作業者の熟練度により大きな差が生じていた。



図 1.12 光学読みとり装置付き  
コンターマシン（出典先：日本工機）

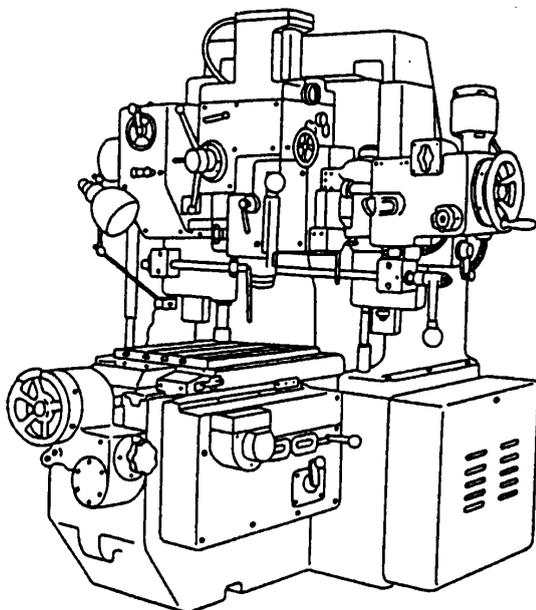


図 1.13 ジグ中ぐり盤

箇所的位置決めを行い、加工する方式であり今日のCNC加工と同様な考え方である。加工精度は、数マイクロメートルのレベルが可能であるが、作業者の熟練度により大きな差が生じていた。

## 1.5 金型加工機械の変遷

### 1.5.1 金型用工作機械の条件

金型製作は、典型的な単品生産であり、古くは手作業中心の技能に依存していたが、切削、研削などの加工を行う工作機械を用いた加工方式に移行し、最準はコンピュータ利用のCNC工作機械中心に変化している。すなわち、その時代の最先端加工技術を適用し、かつ高度な生産技術力を必要としており、繰り返し生産する自動車部品などの生産設備に匹敵する質の高い工作機械を必要としているところに特徴を有する。

金型用工作機械の求められている共通的な条件は、次のような内容があげられよう。

- (1)多様な加工形状に対序できる加工機能を有すること。
- (2)高精度な加工が可能な機能を有すること。
- (3)接近性に優れ、ワーク段取りが容易な構造を有すること。
- (4)比較的重量物に対する機械の剛性が十分あること。
- (5)機械操作が容易、かつ汎用性に富んでいること。

しかしながら、最近ではCNC工作機械中心であり、高速・高精度な特性、およびCAMデータの通信機能などCNC加工化に伴う新しい要求内容に変化しつつある。

### 1.5.2. 金型加工機械の変遷

#### (1) マニアル操作による金型部品加工時代

##### 抜き型の形状加工

コンターマシンで荒加工を行い、フライス盤とヤスリによる手作業で仕上げ加工を行う工程で製作されていた。コンターマシンで抜き加工を合理化する手段として、型材の表面に白線で表示された加工形状を、光学装置で読みとりながら自動送り切断する「自動コンターマシン」も適用されていた(図 1.12 参照)。

##### 穴加工

ボール盤が多く用いられているが、順送り型、ガイドピン型などの高精度な穴加工には、ジグ中ぐり盤(ジグポラー。図1.13)を適用していた。

ジグ中ぐり盤は、被加工物のXY基準面から加工

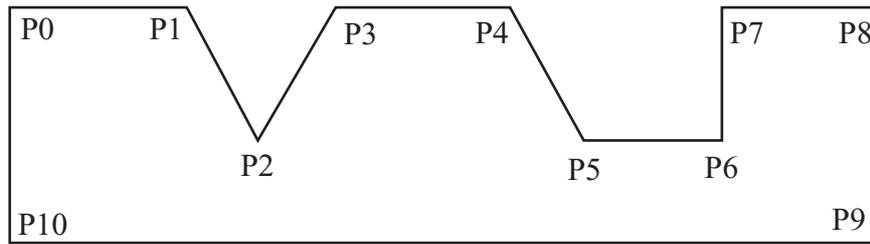


図1.14 ジグ研削加工パターン例（出典先：和井田製作所）

◆高硬度材(焼入れ鋼・超硬合金)の加工

穴(丸穴、異形穴など)の高精度加工には、ジグ研削盤(ジググラインダ)が用いられていた。すなわち、図1.14に示したように砥石を遊星運動、スロットチング動作などと、円形割り出し装置、傾斜テーブルなどの付属品を用いて各種形状、およびマイクロメータのオーダーまで読みとりできる目盛りで高精度な研削加工を行うものである。砥石の摩耗量の予測、砥石の接触研削音による切込み量調整などにおける熟練度で、加工精度と能率に差を生じていた。

◆パンチ、ダイなどの成形研削加工

平面研削盤と成形砥石による研削加工方式、およびシャープな先端形状を有する砥石によるならい研削加工方式に大分類できる。

成形砥石による研削加工は、加工形状に合わせた所定の形状に砥石を成形(ツルーイング)し、平面研削盤と加工装置(異形パンチ用成形研削装置など)などで成形研削加工する。この方式は、同一形状を多く加工する場合に能率面で効果が期待できるが、砥石の成形精度により研削加工精度が変化するため、熟練度によるばらつきは発生する。しかしながら、加工メカニズムは簡単であり、設備コストを低く押さえることができる利点も有する(図1.15)。

ならい研削加工(プロファイル研削)は、図面ならい方式(パンダグラフ方式、投影拡大方式)とゲージ板ならい方式に分類できる。この方式は、図面やゲージを作成する必要があるが、複雑形状の加工において精度と能率面で安定した加工が期待できる。

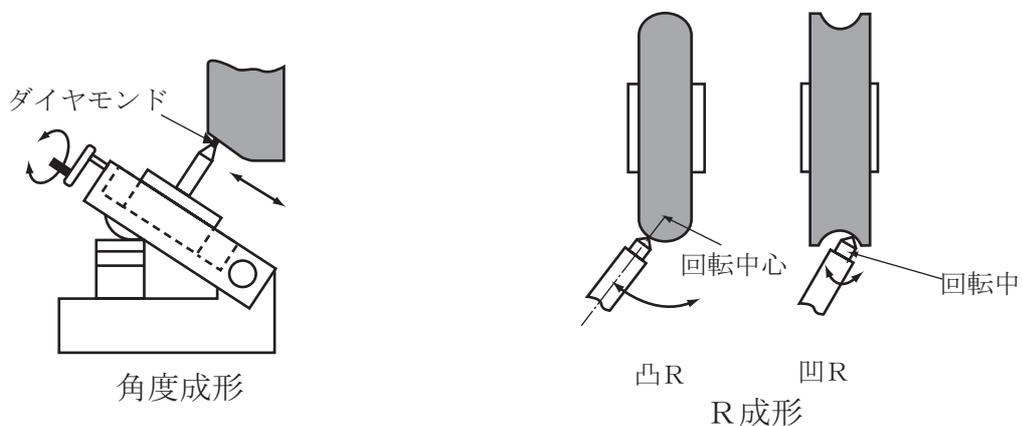


図1.15 成形研削加工例(成形砥石による研削例)

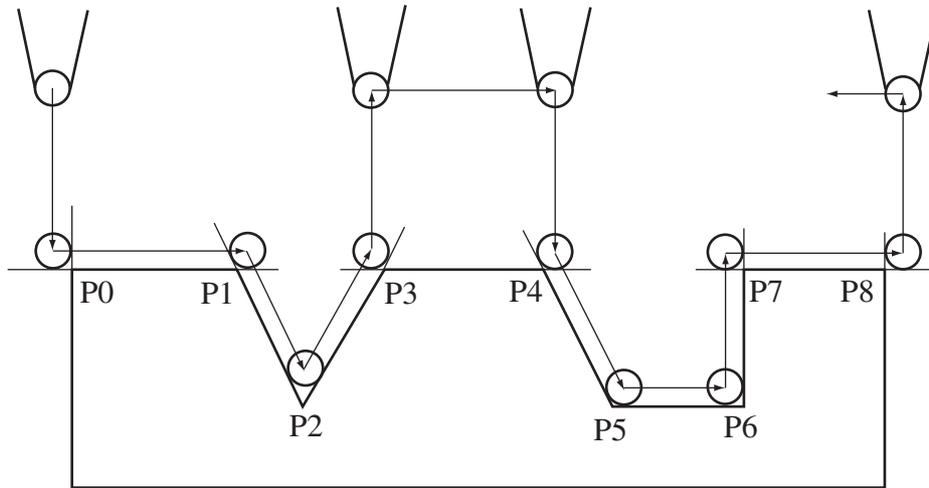


図1.16 倣い成形研削加工例

(2) CNC工作機械による金型部品加工時代

NC工作機械は、NC（数値制御）でコントロールされた動作により精度、再現性に優れており、作業者の熟練度に依存した従来の金型製作方式を大きく変化させた。NC制御は数値制御から、CNC制御（コンピュータ数値制御）に進化しており、最近のNC工作機械と呼ばれているものは、すべてCNC工作機械になっている（図1.17参照）。

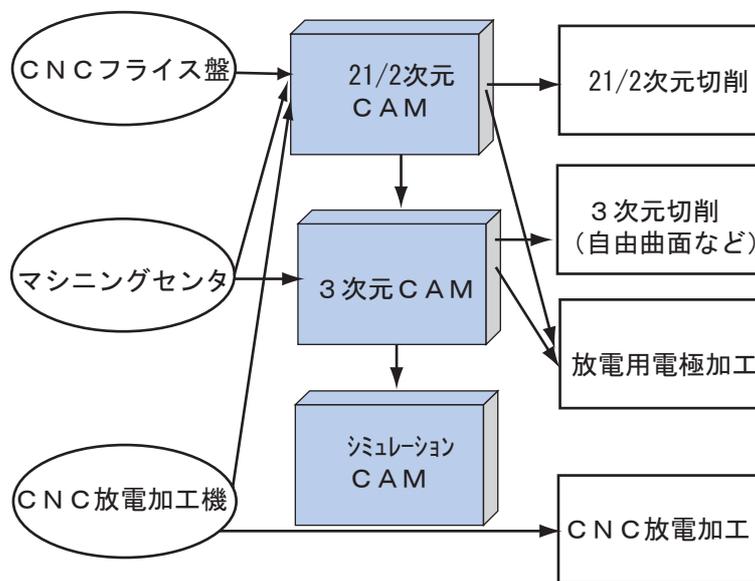


図1.17

◆切削加工:NCフライス盤

NCフライス盤には、図面の加工形状からプログラミングしたNCデータで切削加工する方式と、倣いNCフライス盤と呼ばれるモデルをデジタイジングし加工形状データをNC装置に取り込み、NC切削加工する方式がある（図1.18）。

◆切削加工:マシニングセンタ(図1.19)

マシニングセンタは、自動工具交換および、自動ワーク交換装置を有し、連続自動運転による切削加工が可能な機能を有する（図1.20～1.22参照）。



図1.18 NCフライス盤例（出典先：牧野フライス製作所）

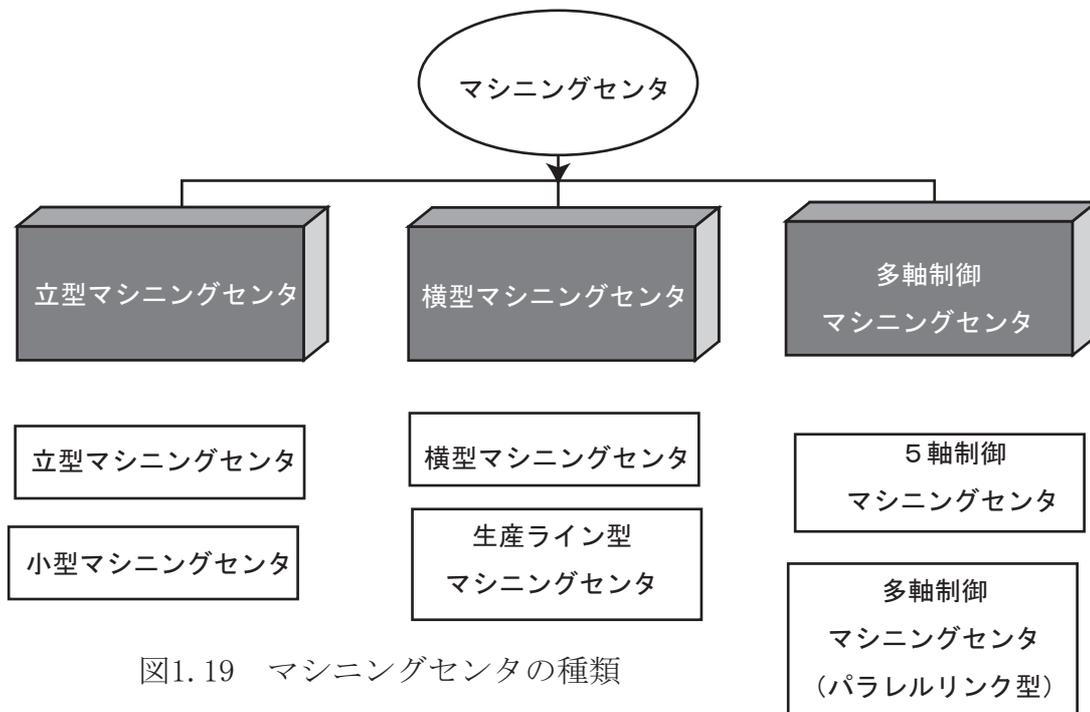


図1.19 マシニングセンタの種類



図1.20 立型マシニングセンタ例（出典先：牧野フライス製作所）



図1.21 横型マシニングセンタ例（出典先：牧野フライス製作所）

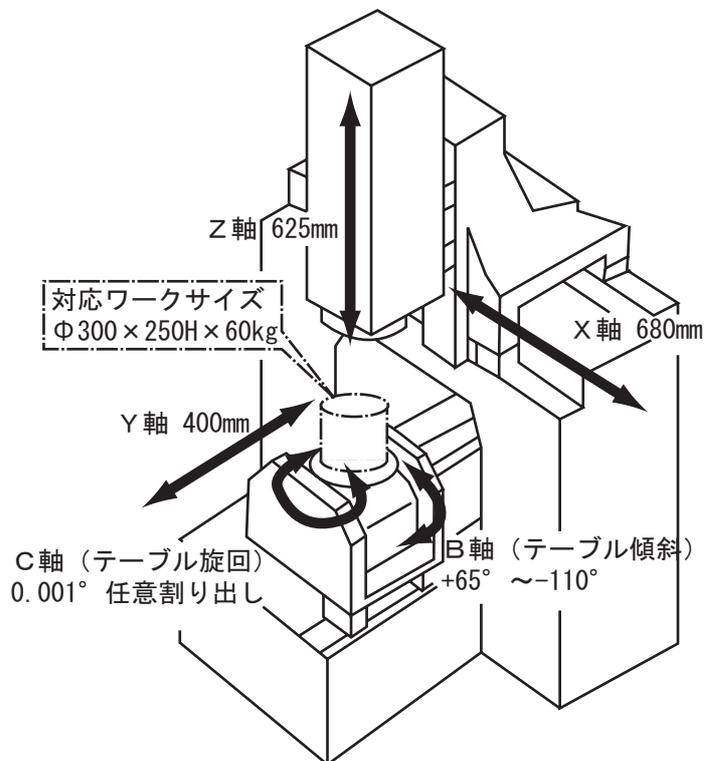


図1.22 多軸型マシニングセンタ例（出典先：松浦機械製作所）

◆研削加工(ジグ研削、成形研削)

CNC制御により高精度・かつ高能率研削が自動運転でき、加工形状はCAD/CAMによる入力ができるなどの特徴を有する(図1.23、1.24)。

(3) 高速ミーリングによる金型部品加工時代

高速ミーリングは、図1.25に示したように高速・高精度な切削加工を指向した、新しい切削技術である。高速ミーリングは、工具の切れ刃の負担を最小限に抑えた切削条件であり、HRC60程度までの高硬度鋼を高速切削条件で加工が可能である(図1.26、1.27参照)。



図1.23 CNC同時4ジグ研削盤例（出典先：和井田製作所）



図1.24 高速型CNC成形研削盤例（出典先：和井田製作所）

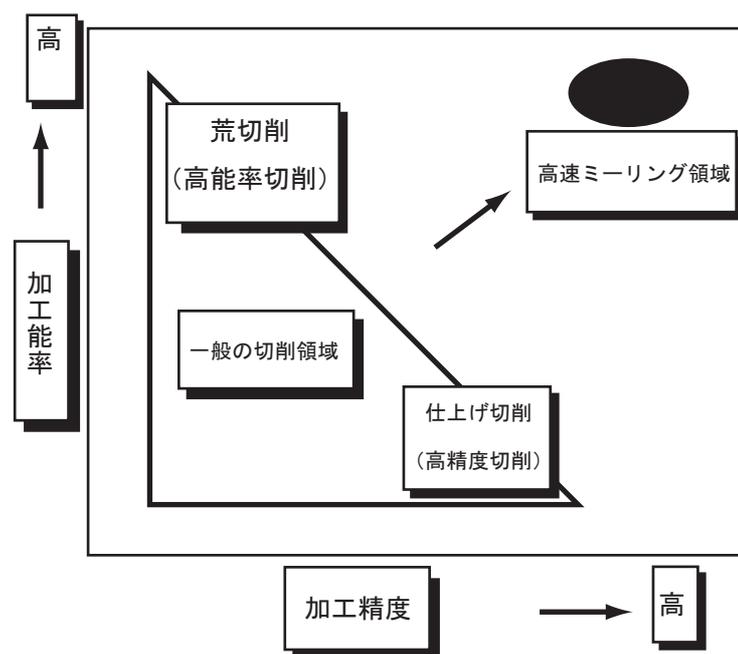


図1.25 高速ミーリングの概念図

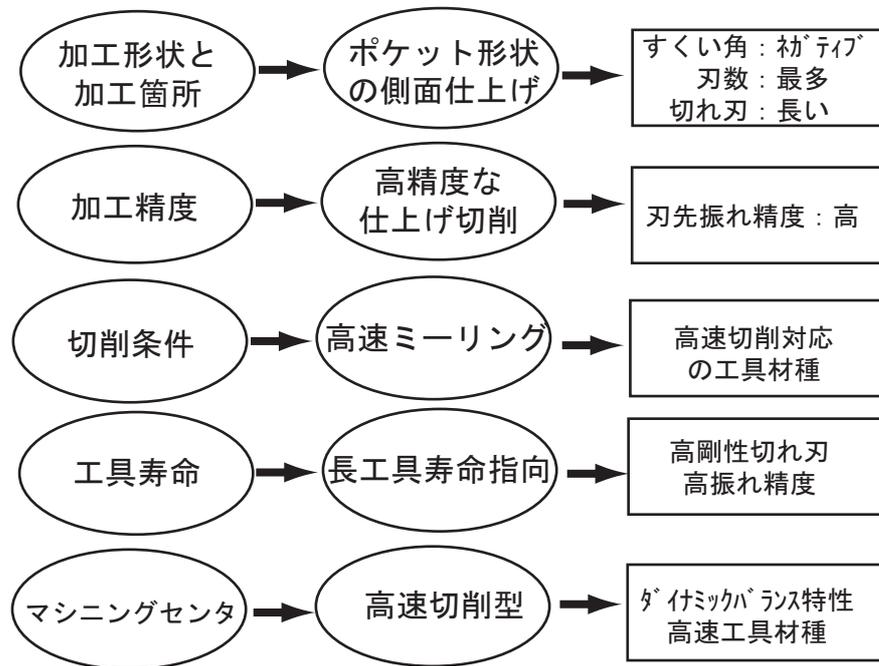


図1.26 高速ミーリング中心の加工要素例

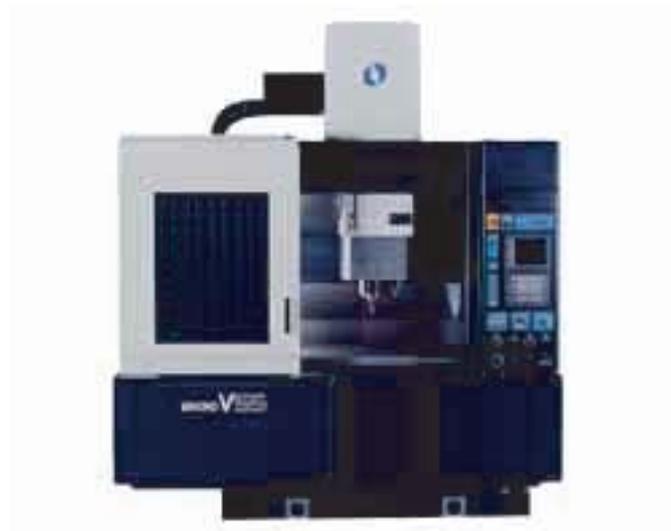


図1.27 高速型マシニングセンタ例（出典先：牧野フライス製作所）

### 1.5.3 放電加工機の変遷

20世紀の中頃に産声を上げた放電加工は難削材を簡単に加工できるため(図1.28参照)、金型製作で重要な役割を担っている。しかし、最初はNC装置も無く、ただ単に穴をあけたり、形状を彫るのみで、ごく限られた用途で用いられていた。

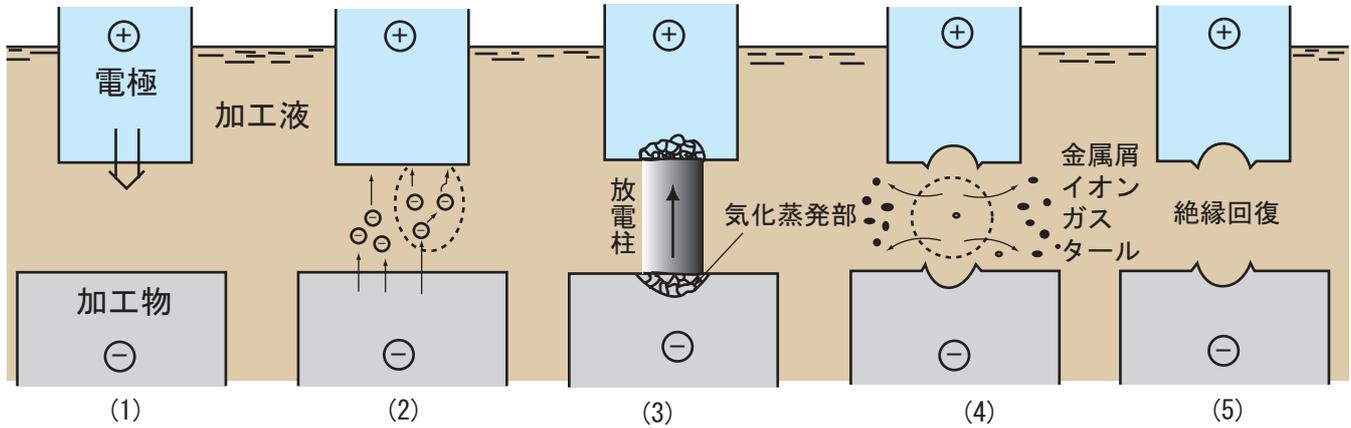


図1.28 放電加工のメカニズム

1. 電圧印加	加工物と電極の間(極間)に電圧(60~280V程度)をかける。加工は、極間の絶縁抵抗を高く保つために、通常油を使用する。極間の絶縁抵抗値が高いと、極間の距離を小さくできるので、転写精度が良くなり、精度ものに有利となる。
2. 絶縁破壊	極間の距離を次第に近づけていくと、ある距離(数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ )で加工液が絶縁破壊を起こし、マイナスの電子イオンが+側へ引き寄せられる。
3. 放電、溶解	一旦絶縁破壊が生じると、-の電子イオンが雪崩のように集中して流れ始める。これが放電である。この部分は、瞬間的に極めて高い電流密度となり、実際の電流は0.1A(アンペア)から、大きいものでは数百Aに達する。このときのエネルギーにより、放電箇所は、高温(摂氏3000度以上)に加熱され、加工物が部分的に溶解される。また、放電が発生した部分の加工液は、発生した熱により気化して局部的に非常に大きな圧力が生じる。
4. 冷却	この圧力により、加工物の溶解した部分が吹き飛ばされ、さらに周辺の加工液に温度を奪われて、急速に冷却され細かい加工屑となる。
5. 絶縁回復	一発の放電が終了した後は、放電電圧をかけずに加工液の絶縁回復を待つ。これは、極間に残留するイオンや放電によって生じた加工屑が堆積して、二次放電や集中放電などの異常放電を防ぐためである。絶縁回復後は、また最初の電圧印加から開始して放電を繰り返す。

1960年代にトランジスタ回路が開発され加工性能が飛躍的に上がり、1970年代にNC機が世に出るから加工精度と操作性が向上し、放電加工機の用途は次第に拡大していった。今では放電加工機(形彫り放電加工機およびワイヤ放電加工機)は金型製作をする上で必要不可欠な存在となり、その重要性はますます大きくなっていくものと思われる。このような放電加工機の発展の経緯と最近の機械の動向を以下に簡単に述べる。

1919年にドイツで発刊された文献の中に、顔料用の金属粉末の作成のため放電を利用した記述がある。それは水を満たしたビーカーの中で同一金属を対向させ、コンデンサの充電放電を連続的に繰り返して両金属間に放電を発生させたものである(図1.29参照)。これが放電現象

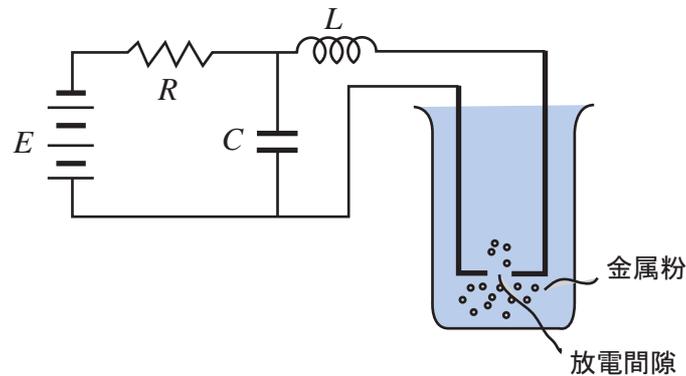


図1.29 金属粉末加工回路 (1919発行文献より)

その後、1940年代の前半にソ連のラザレンコ夫妻によりラザレンコ回路が発表され(図1.30参照)、それが現在の放電加工の原形とされている。

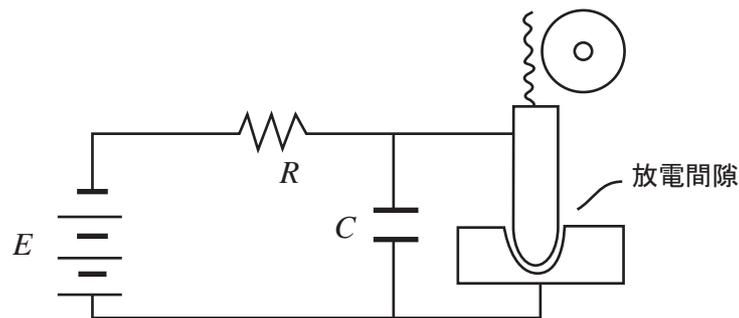


図1.30 ラザレンコによる放電加工回路



写真1.1 国産第1号の放電加工機 JapaxtronD3

また、日本国内においては1948年頃(昭和23年)より東京大学の鳳研究室にて研究が始まり、1954年に国産第1号の放電加工機(写真1.1)が(株)日本放電加工研究所(後のジャパックス(株))により生産されている。

## (2) トランジスタ回路による放電加工性能の向上

初期のコンデンサ充放電回路により放電加工原理は確立されたが、「加工速度が遅い」、「電極消耗が激しい」などの理由により一般には普及されなかった。加工速度が遅い大きな要因として、電源から放電間隙に至る経路上にスイッチ要素が無いためであることが分り、1960年代初頭頃から図1.31のようなトランジスタをスイッチング要素として用いた回路の開発がおこなわれるようになった。

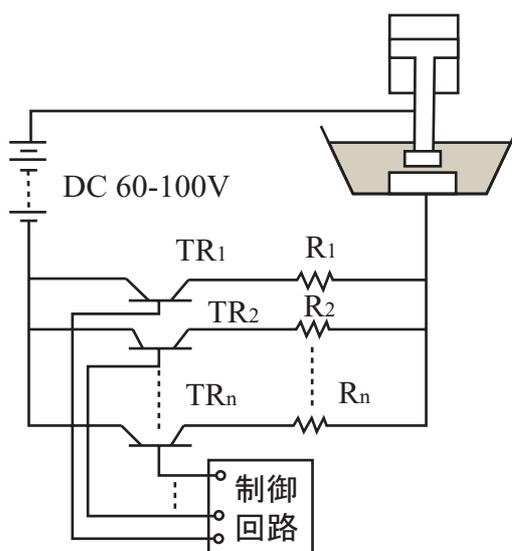


図1.31 トランジスタによる加工回路

放電回路のトランジスタ素子の応用は、単に加工速度を高めるだけではなく、電極消耗の極めて少ない電気条件を得ることにも成功し、今日の放電加工発展のもととなっている。



写真1.2 世界初のNC型彫り放電加工機22NC-8000

### (3) 形彫り放電加工機のNC化

NC装置の開発は1949年頃の米国にて、空軍の依頼を受けたパーソンズ社(ミシガン州)が、MIT(マサチューセッツ工科大学)の協力を得て1951年に研究を完成し、1952年に最初のNC機械が発表された。形彫り放電加工機への応用は、1976年に日本のソディック社が8ビットマイクロコンピュータを搭載したNC放電加工機(写真1.2参照)の発売を行ったことから始まっている。NC装置を付けることにより、電気条件や送り込み量などが自動で切り替えられるようになり、また位置決め精度も大幅に向上し、放電加工の高精度化および自動化を大きく押し進め

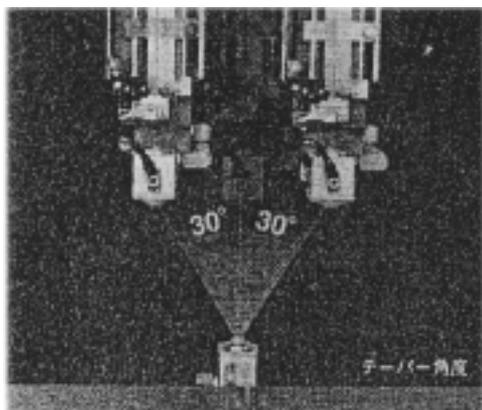


写真1.3 UV軸（テーパカット機能）



写真1.4 自動結線措置

た。現在、日本国内で生産される台数の95%以上がNC機となっている。

### (4) ワイヤ放電加工機

形彫り放電加工機の開発から少し遅れ、1960年(昭和30年)頃にソ連でワイヤ放電加工機の開発が行われた。当時の機械にはNC装置は付いておらず、投影機を見ながらの手動送りで加工を行っていたようである。

NC制御によるワイヤ放電加工機は、1965年(昭和40年)より以前にソ連で発表され、その後東独やスイスでも1968年(昭和43年)頃から製作が開始されている。日本においては、1972年(昭和47年)の第6回国際工作機械見本市に国産初のワイヤ放電加工機が出品されている。

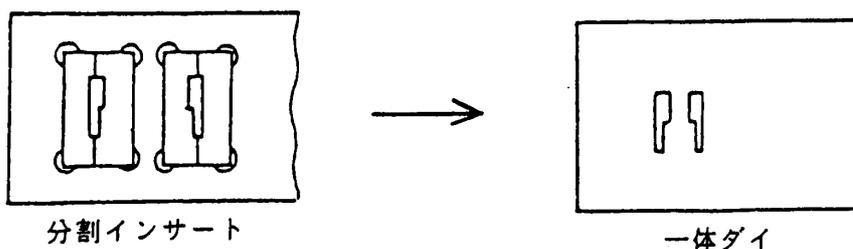


図1.32 ワイヤ放電加工の出現により、ダイの異形穴が一体加工されるようになる

その後ワイヤ放電加工機は発展を続け、UV 軸(テーパカット機能) (写真 1.3 参照) や自動結線装置(写真 1.4 参照) などが開発され、金型業界に広く普及した。

ワイヤ放電加工機の普及は特にプレス型(順送型)の製作に大きな変革をもたらした。従来、研削により入れ子にしていたダイ形状が一体加工できるようになり(図 1.32 参照)、プレートの穴加工も自動結線装置を使用して無人運転できるようになっている。

### (5) 放電加工機の最新動向

20 世紀も終わりを告げ新世紀を迎えようとしている今日、これからの放電加工機寄せられる大きな期待として、

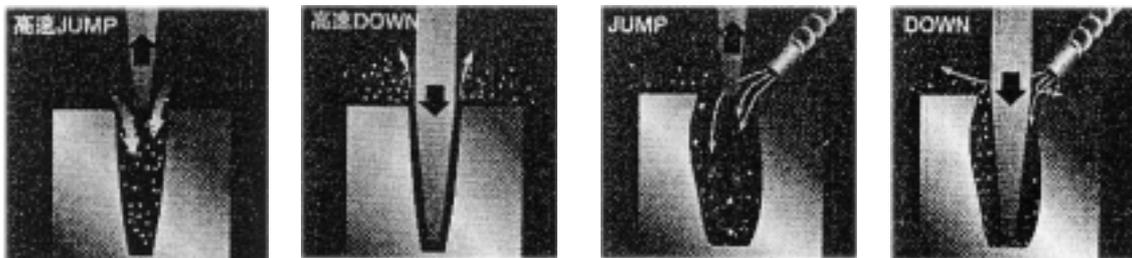


- より速く(加工速度)
- より高精度に(加工精度及び面質)
- より使いやすく

の三点が考えられる。これらの要求に対しての一つの解答として、放電加工機のリニアモーターの搭載があげられる。最近、軸移動高速化を目的としてリニアモーターを採用した工作機械の開発が行われているが、放電加工機にもその波が押し寄せて

写真 1.5 リニアモーター駆動による型彫り放電加工機

いる。写真 1.5 は Z 軸(ヘッド部)にリニアモーターを搭載した形彫り放電加工機の外観である。



負圧となった電極と加工面との間に急激に加工液が流れ込み、チップ、ガス、タールが分散

電極と過去面との間にチップ、ガス、タールが加工液とともに効率よく排出される。

噴流の不均一によってチップ、ガス、タールが残留するととみ、濃度にも差を生じる。

残留したチップ、ガス、タールが 2 次放電を引き起こし、ギャップがバラつき放電ムラや集中放電が発生。

(a) リニアモーターによる高速 AJC 加工

(b) 従来機による AJC + 噴流加工

図 1.33 リニアモーター機と従来機との加工の比較

形彫り放電加工の加工速度を妨げる大きな要因として、加工の深さが深くなるにしたがって加工屑の排出が困難になることがあげられる。加工屑が堆積すると加工速度の低下を招くだけでなく、二次放電による加工寸法狂いや異常アーク(短絡)現象を引き起こしてしまう。対策として、加工入り口より加工液を噴射する噴射法や、Z軸を上下にジャンプさせポンピング作用によって加工屑を排出するAJC (AUTO JUMP CONTROL)法が用いられてきた。しかし、噴射法は加工寸法のバラツキや加工面のムラの要因になることもあり、AJC法は従来のボールネジを使用した送り機構では十分な加速度が得られず、加工屑を完全に排出するまでには至らなかった(図1.33参照)。

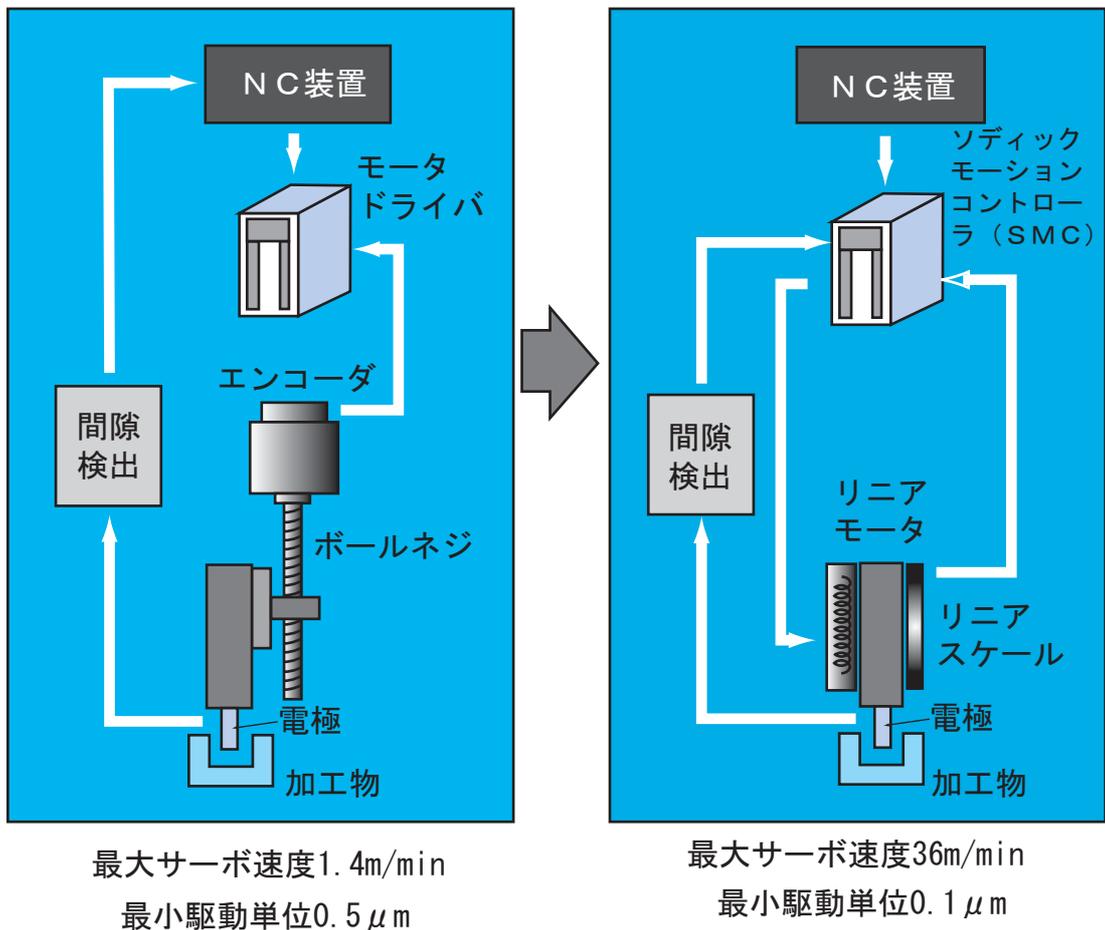


図1.34 従来のボールねじ駆動方式とリニアモータによる直接駆動方式の違い

そこで高速なAJC動作を得るためにZ軸にリニアモーターを採用し、モーターにより直接ヘッドを動かすことで問題を解決することができたのである(図1.34参照)。

図1.35は、従来の形彫り放電加工機とリニア放電加工機との加工性能の違いを表すものである。リニア放電加工機は従来機よりもはるかに高い応答特性を有し、高速加工でも安定して微小放電ギャップを保つことができる。これにより高精度加工と高速加工の両立が図られるものと思われる。

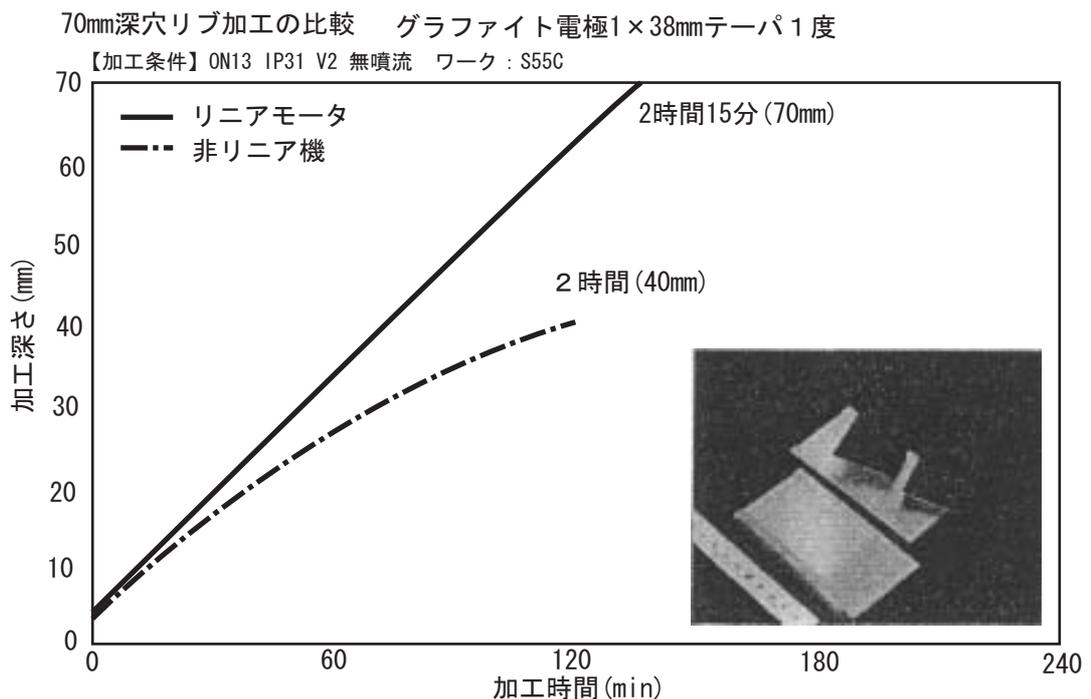


図1.35 深穴リブ加工の比較

## [用語の解説]

### デザインイン:

新製品開発のさい、初期の製品デザインをデザイナーだけで行うのではなく、加工技術者も参加して検討する方式である。生産性の向上・コストダウンなどを目的とし、我が国では自動車産業から始まった。

### CAD/CAM:

設計生産情報を支援するシステムである。例えば金型などの製造のさい、設計生産情報に基づき、コンピュータを利用して製品設計を行うのが CAD であり加工を行うのが CAM である。この CAD/CAM により金型製作の自動化が図られる。

### CAE:

加工のさいに起こる現象などを、コンピュータを利用して解析したり予測したりするシステムである。例えば金型設計のさい、加工時の金型内での被加工材の変形とか金型部品にかかる外力を、CAE を用いて解析・予測し、設計の最適化が図られる。

### CAT:

製品の精度などを、コンピュータを利用して検査するシステムである。例えば金型部品の NC 加工などのさい、加工時の加工精度をオンラインで測定し CAD から出された要求精度と照合し補正を行うシステム。

「オンライン」は「チャッキングしたままで」でもよい。

### FMS:

多種少量生産のためのシステムである。設計情報を基にして自動倉庫から自動搬送装置で工作物を取り出し、多数の NC 工作機械群の中から工程順に適切な NC 工作機械を選んで加工し、加工後には自動搬送装置で工作物を自動倉庫に収めるシステム。

### インターフェース:

2 つ以上のものが存在するとき、その仲介を行う装置や方式のことを言う。例えば金型の CAD/CAM では、CAD から出された設計情報を CAM の NC 工作機械へ加工情報として流すためのインターフェースとして金型および加工の標準化がある。

### プロセスプランニング:

設計情報(設計図など)に基づいて、加工工程の設定から加工機械や加工工具の選定および加工条件の設定までの一連の作業を、コンピュータを利用して自動的に行うシステムである。

### ソリッド型:

金型において、ダイ穴などをボール盤などを用いてダイプレートに直接加工するタイプの金型を言う。初期の金型に多く見られるタイプである。

### インサート型:

金型のダイ穴加工において、あらかじめダイ穴が加工されたをダイブッシュ(ダイボタン)をダイプレートに埋め込むタイプの金型を言う。

### AI 化:

人工知能化の略。人工知能とは問題解決とか判断作業など人間の知的作業を、人間に代わりコンピュータが行うシステムのことを言う。

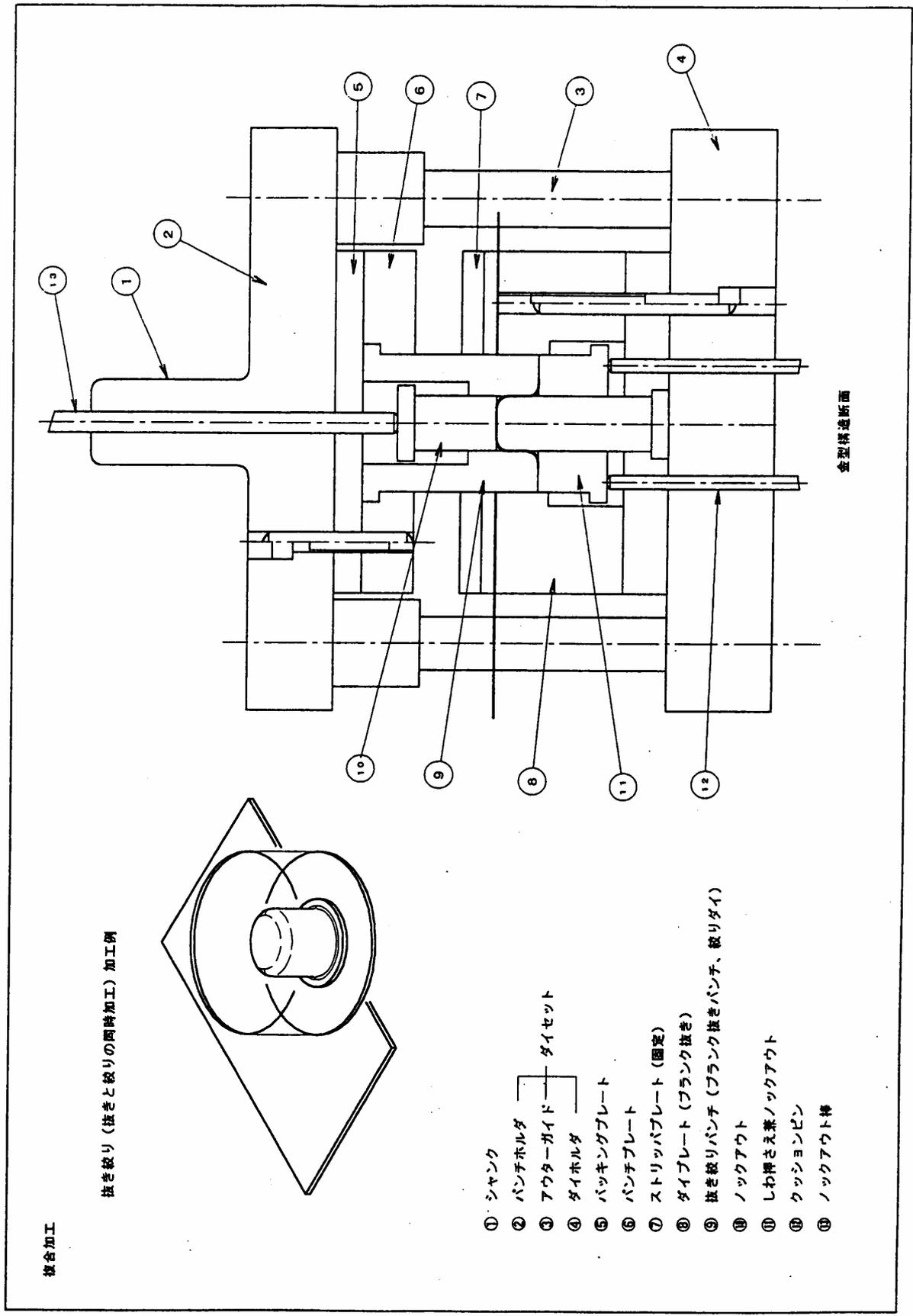


図 2.4 絞り加工の複合加工

エキスパートシステム:

人工知能の一つで、専門家(エキスパート)が持っている知識やノウハウをデータベースとしてコンピュータに取り入れ、専門家が行っているような判断作業などをコンピュータに行わせるシステム。

サイレントダイ:

順送り型の一つで、高速・高精度で低騒音の金型である。最近開発された金型で、構造的にはヨーク型とインサート型を併用したのであり、この金型と同時に開発された専用のプレス機械に取り付けて加工する。

## 第2章 プレス金型設計と成形シミュレーション技術

### 2.1 プレス金型設計と金型形式

#### 2.1.1 金型の作り(構造)と使い方

金型をどのように作り、使ってプレス加工で製品を作るかを示す。

##### (1) 「金型をどのように作り」とは

###### 1) 単能型

穴を抜く、外形を抜くなど特定の機能のみの金型。

###### 2) 複合型

外形抜きと穴抜き(総抜き、コンパウンド型)、外形絞り抜きと絞り(抜き絞り加工)などの異なった内容のものを1動作で加工する金型。

注) 組合せ内容は、プレス加工要素同士のものである。

順送加工をしながらタップ加工をする金型。

注) 組合わせ内容は、プレス加工要素と切削加工など、プレス加工以外の組合せである。

加工と組立てを目的とした金型、例として示すと、2つの順送加工のレイアウトを交差させるように1つの金型の中に組み込み、金型内で接合して1つの部品とする金型。この他に、プレス加工しながらピンなどを型内で組立てるものなどがある。

###### 3) 順送型

コイル材のような材料を金型内に一定の長さ(送りピッチ)で送り(材料送り)、次いで加工を行うことを、交互に繰返して形状加工を進めて、製品を完成させる構造の金型。型内の材料は、どこかでつながっていて最終工程で分離される。

材料を加工するという観点から金型をながめたときには、上記のように整理することができる。

##### (2) 「金型をどのように使って」とは、

###### 1) 単発加工: 人が手作業で金型内に材料を入れ、加工する金型の使い方。

金型は、単能型、複合型、順送型の種類を選ばない。

###### 2) 自動加工: 材料の型内への挿入、形状加工および加工後の製品とスクラップの型

外排出を人手によらず行う金型の使い方。

方法には次のようなものがある。

###### シート材からの自動加工

定尺材から切り出したシート材(短尺材)を、シートフィーダを用いてプレス加工する自動化方法。

(シートフィーダ: 材料ストッカー、材料分離装置、材料搬送装置および2つの送り装置から構成される材料一次送り装置。)

適用される金型は、単能型では切断型、分断型およびブランク抜き型(外形抜き型)などである。複合型では、総抜き型(コンパウンド型)、抜き絞り型などが主で、順送型が使われる

ことはまれである。

コイル材からの自動加工

材料送り装置(一次加工用送り装置)を用いて実施する自動化法で、プレス加工の中で最も効率がよい加工法である。

適用される金型は、単能型では切断型、分断型およびブランク抜き型(外形抜き型)などである。複合型では、総抜き型(コンパウンド型)、抜き絞り型などがあり、それに順送型が加わる。

ブランクまたはスケッチ材(切り板)からの自動加工ロボット加工とトランスファー加工が主な内容である。分離された材料をつかんで、工程間を移動させながら加工を進めていく加工法である。

適用される金型は、単能型と複合型(順送加工を主体にした組立て目的の複合型を除く)が主体である。

### 2.1.2 単工程加工

製品を作るのに複数の金型を用いて加工する方法を単工程と言う。例を図 2.1 に示す。図 2.1 は、曲げ製品の単工程加工の例を示している。この例では、

外形抜き(ブランク抜き)：固定ストリッパ構造型

穴抜き(ピアシング)：可動ストリッパ構造型

曲げ：固定ストリッパ構造型

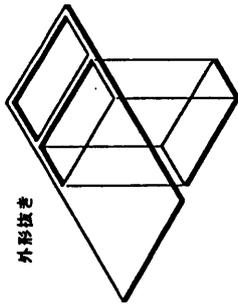
の3つの単能型で構成されている。

単工程型

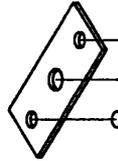
曲げ製品例



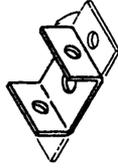
外形抜き



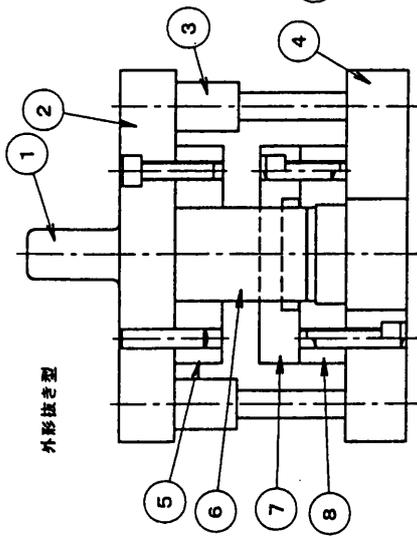
穴抜き



曲げ

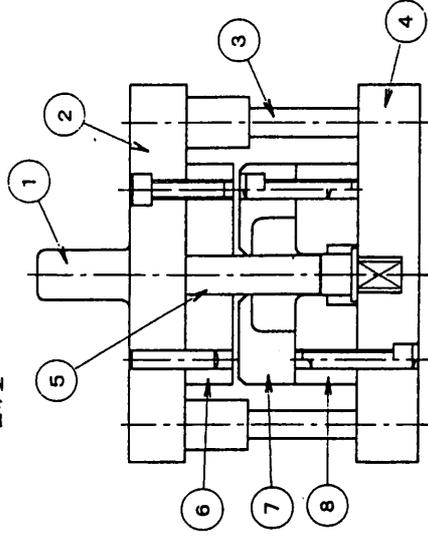


外形抜き型



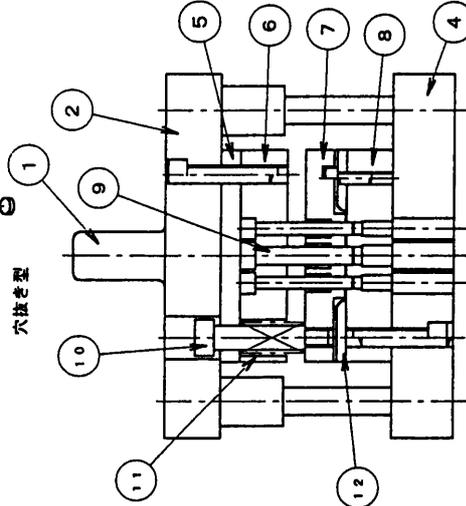
- ① シヤンク
- ② パンチホルダ
- ③ アウターガイド
- ④ ダイホルダ
- ⑤ パンチプレート
- ⑥ パンチ
- ⑦ ストリッププレート (固定)
- ⑧ ダイプレート

曲げ型



- ① シヤンク
- ② パンチホルダ
- ③ アウターガイド
- ④ ダイホルダ
- ⑤ パンチ
- ⑥ パンチプレート
- ⑦ ストリッププレート (固定)

穴抜き型



- ① シヤンク
- ② パンチホルダ
- ③ アウターガイド
- ④ ダイホルダ
- ⑤ パンチプレート
- ⑥ パンチ
- ⑦ ストリッププレート (可動)
- ⑧ ダイプレート
- ⑨ パンチ
- ⑩ ストリップホルト
- ⑪ コイルばね
- ⑫ 位置決めプレート

- ① シヤンク
- ② パンチホルダ
- ③ アウターガイド
- ④ ダイホルダ
- ⑤ パンチプレート
- ⑥ ストリッププレート (可動)
- ⑦ ダイプレート
- ⑧ パンチ
- ⑨ ストリップホルト
- ⑩ コイルばね
- ⑪ 位置決めプレート

製品を構成するプレス加工要素に分割して、それぞれについて金型を作るプレス加工の基本と言えるスタイルである。このような内容に対して外形抜きと穴抜き工程を、図2.2に示すように一体化して、次に示すように工程短縮を図ることはよくある。

総抜き：逆配置可動ストリッパ構造型

曲げ：固定ストリッパ構造型

この工程は、複合型と単能型の組合せであるが、工程の呼び方としては、単工程加工と呼ぶ。絞り加工の例を、図2.3、図2.4に示す。

(図2.2～2.4は39～41頁)

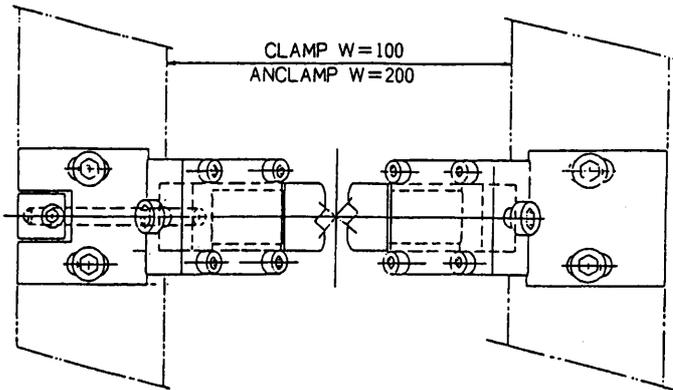


図2.5 トランスファー加工に用いるフィンガー

### 2.1.3 トランスファー加工、ロボット加工

基本は、単工程加工である。単工程加工の自動化と呼ぶことができる。したがって、工程設計の考え方は、同じものにとらえてよい。図2.5は材料をつかむ工具を示している。これをトランスファーフィンガー(通常はフィンガー)と呼ぶ。

このフィンガーで材料をつかみ工程間を移動させるが、金型が加工を開始する前に材料から離れ、逃げてはならない。このときに金型内の材料は、短い時間であるがフリー状態になり、ずれてしまう恐れがある。この対策が取られた金型がトランスファー金型の特徴と言える。

図2.6の部品は、先押えピンと呼ぶが、このピンはフィンガーが材料より離れる直前に材料を押え、材料がフリー状態にならないようにする目的のピンである。材料の位置決めに関する部品である。

ロボット加工もトランスファー加工とほぼ同様にとらえることができる。製品加工に必要な内容は、単工程と変わらない。移送に伴う材料の位置決めを自動化内容に合わせて処置してある構造の金型と言える。

### 2.1.4 順送加工

順送加工では、ブランク同士を材料の一部でつないでおき、トランスファー加工のようにフィンガーで材料をつかまなくても、材料を移送できるように

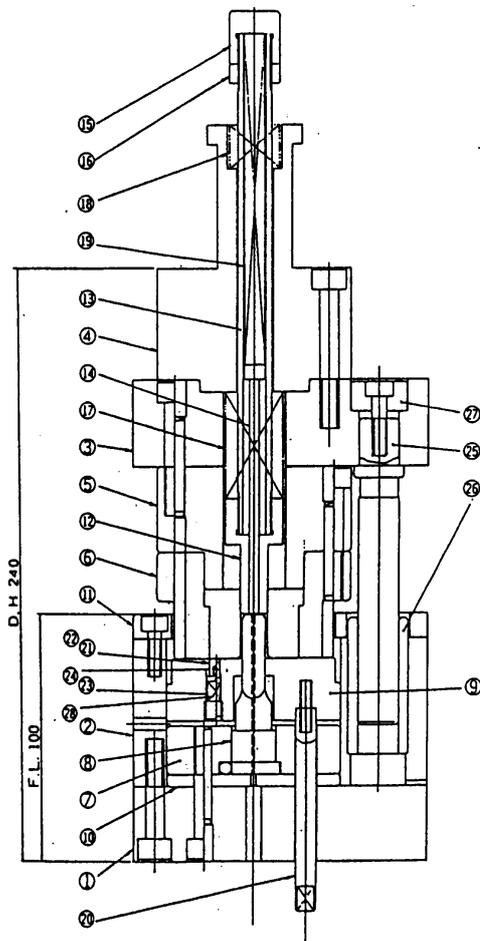


図2.6 トランスファー加工用金型

工程設計したものである。

ブランク同士をつないでいる材料部分をキャリアと呼ぶ。ブランク移送に必要な強さが求められる。したがって、単工程加工より材料の利用率は劣る。図2.7に順送加工例を示す。

順送加工では、外形形状加工をするパンチをいくつかのパンチに分割することがよく行われる。このような加工の仕方を、アウトカット加工と呼ぶが、工程設計が単工程金型より難しくなる。その設計手順のアウトラインを示したものが、図2.8、図2.9である。(図2.7～2.9は42～44頁)

金型製作に当たって与えられるものは、製品図と金型仕様書である。金型製作仕様書は、金型構造や金型材質に関するもの、およびプレス機械との関係を示す内容が主体である。

製品図面は、加工の特徴を示している。その内容を検討して、金型設計の基準図となるアレンジ図を作成する。アレンジ図をもとに展開計算がなされ抜き形状が現れてくる。展開形状をブランクと呼ぶ。

製品形状や加工上の考えられる制約を考慮して、材料配列を決める(これをブランクレイアウトと呼ぶ)。製品形状から曲げなどの成形形状の加工方法を検討して決め、同時に精度対策をする。

曲げで言えば、スプリングバック対策や割れ対策などである。スプリングバック量を経験や過去のデータなどから判断して決め、金型部品設計に盛り込むが、金型完成後のトライアウトで細かな調整が必要となることが多い。この問題の解決策として期待されるものが、加工シミュレーション技術である。

このようにして、製品加工に必要な内容を検討して、ストリップレイアウトにまとめる。ストリップレイアウトは、加工途中の材料の位置決め、金型に部分的に弱い部分を作らない。材料送りに支障ないようにするなどの注意を払い、レイアウトを決める。レイアウトをもとにしてダイの細かな内容を決める。これをダイレイアウトと呼ぶ。同様にストリッパなどについても行う。

その後、金型図面(図2.7参照)を設計して、金型のイメージを明確にする。

プレス加工法と金型の関係は、見方によって変化する。その際に呼び方も変わったりする。目指す内容を自覚して取組まなければならない。

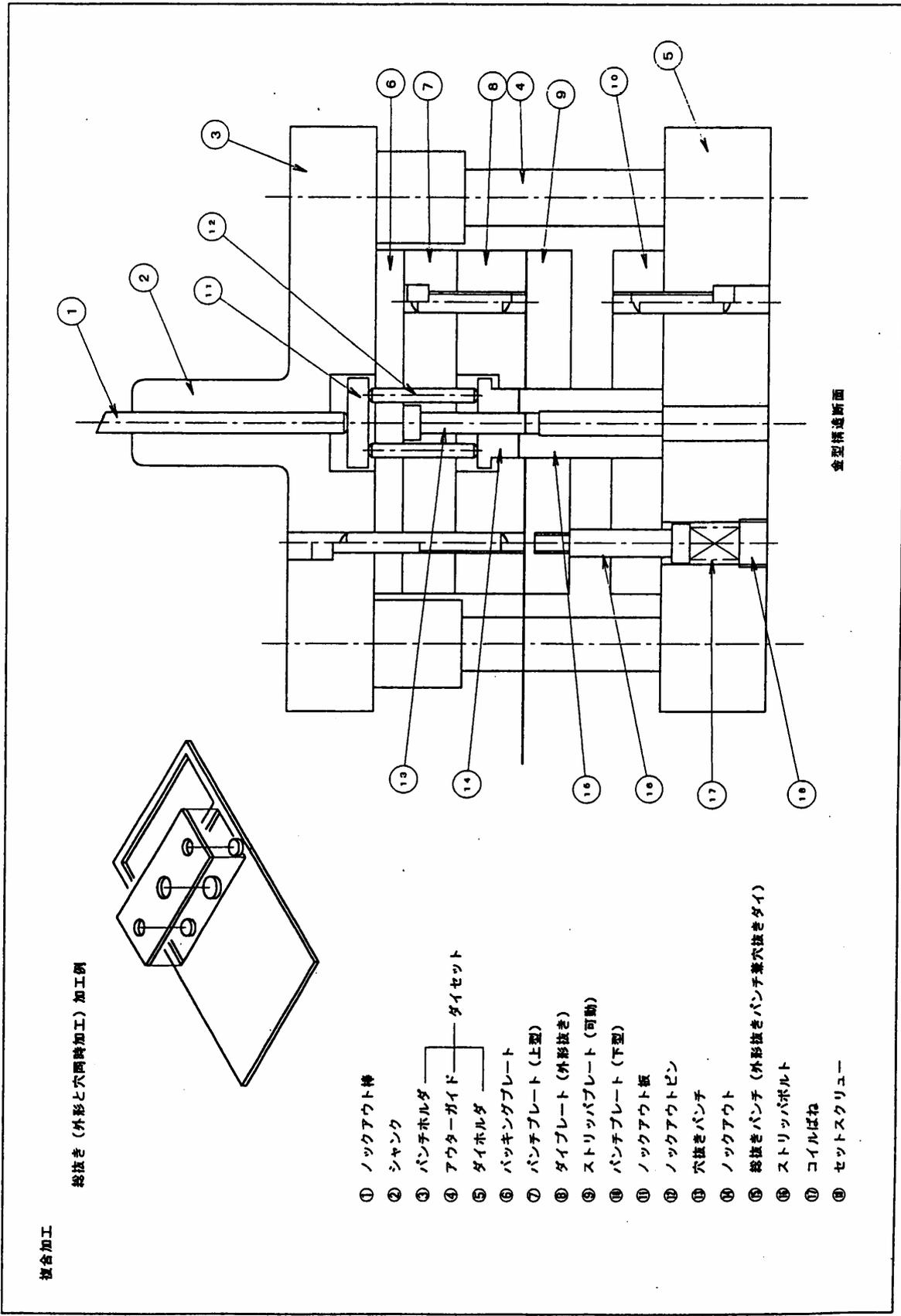


図 2.2 複合加工と金型

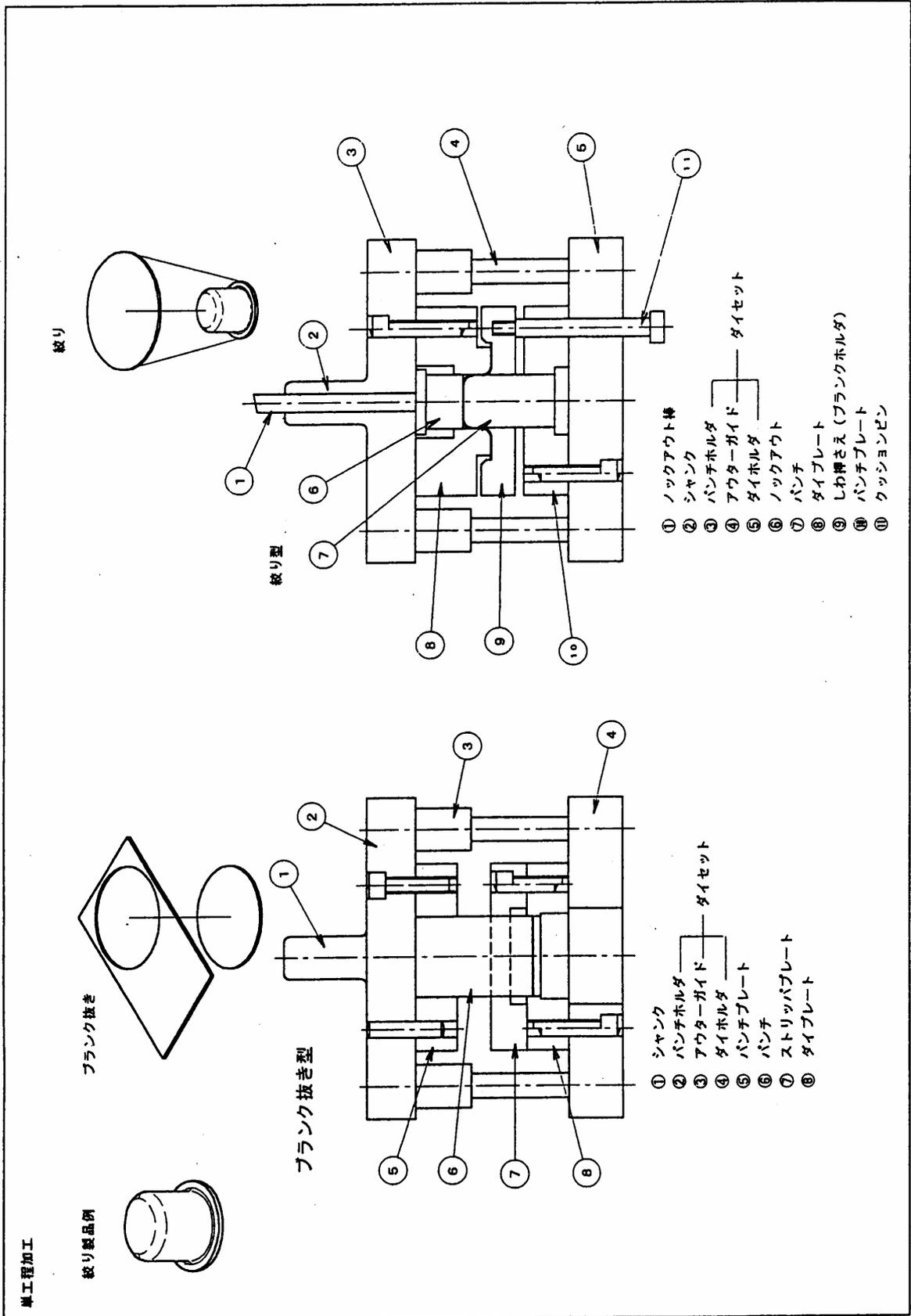


図 2.3 絞り加工の単工程加工

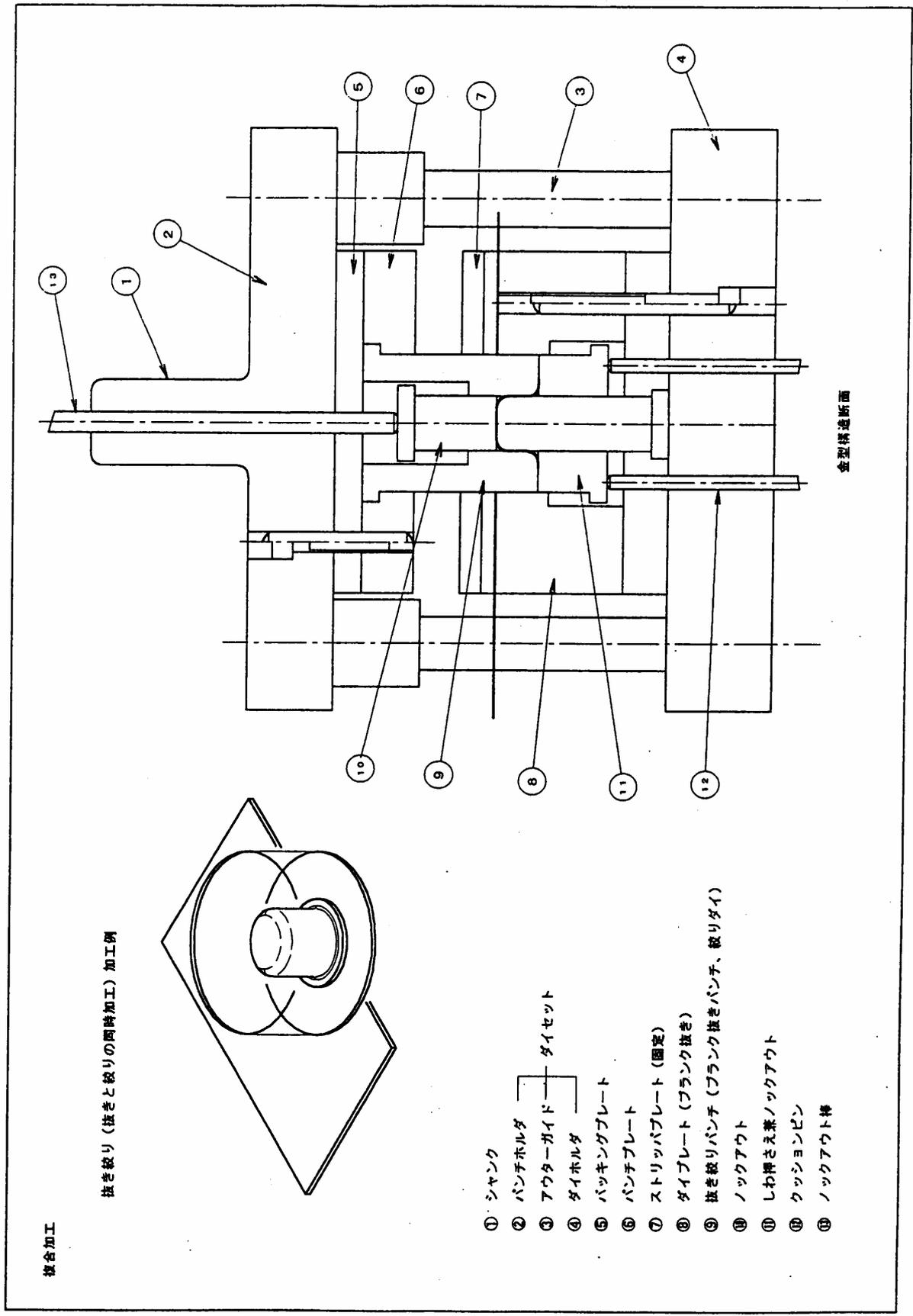


図 2.4 絞り加工の複合加工

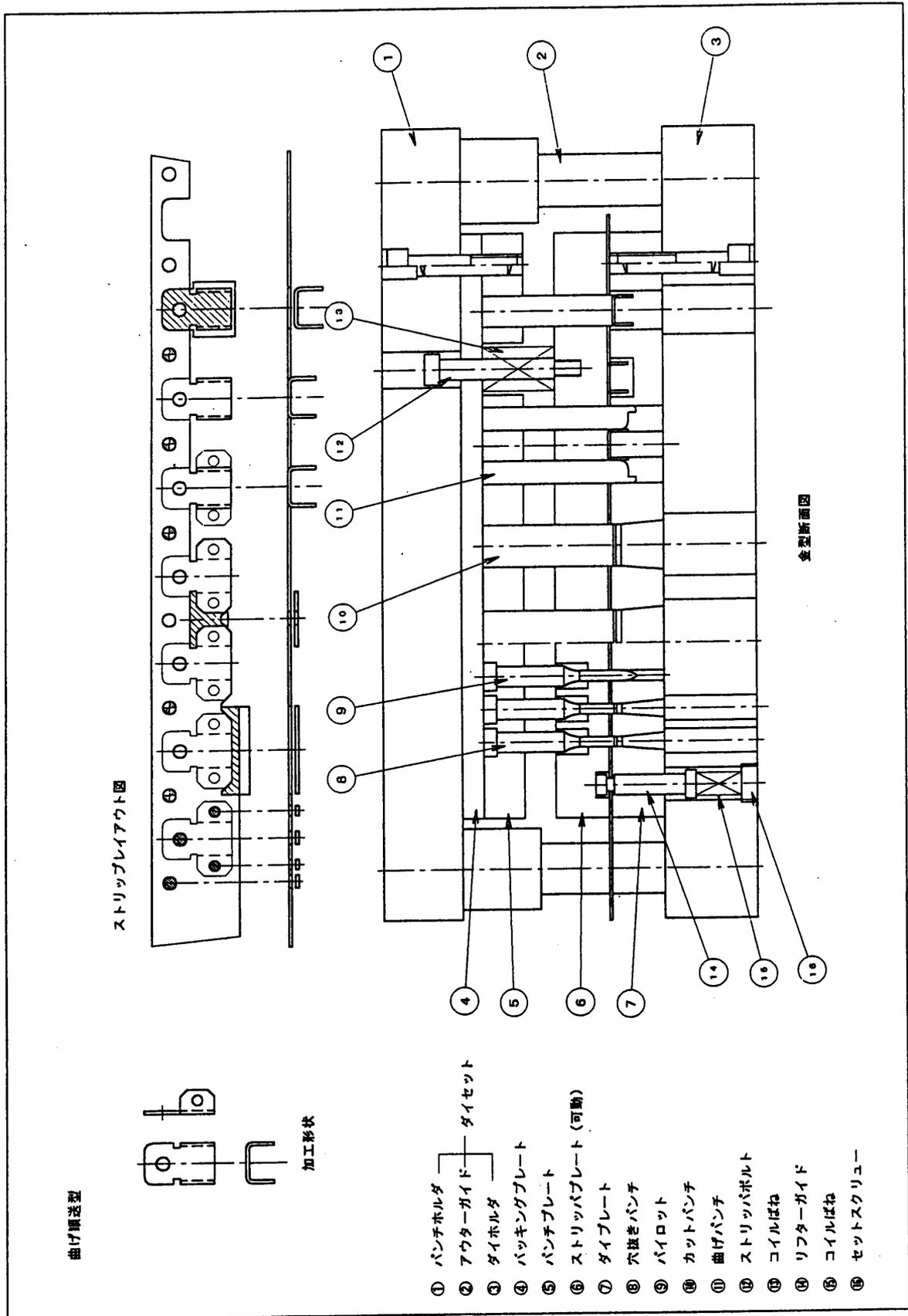
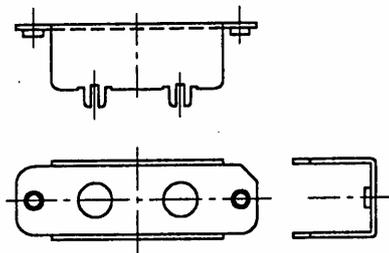


図 2.7 順送加工例

順送金型設計の手順図

製品形状

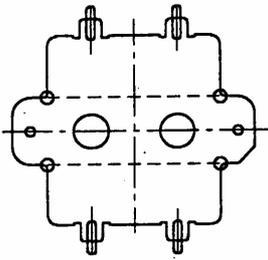


製品検討→アレンジ図→展開

プランクの向き決定の要点

- ①加工が容易になる方向
- ②材料ガイドの安定
- ③リフト量が小さい
- ④製品取り出しが容易
- ⑤材料送りの障害が少ない

展開形状



カットパンチ設計の注意点

- ①カットパンチの数はできるだけ少なく
- ②カットパンチの形状はシンプルに
- ③各パンチの強度バランスを取る  
(弱いパンチを作らない)
- ④マツチングの位置、形状に注意する
- ⑤かす上がりにについても注意を払う

刃先形状

刃具形状検討

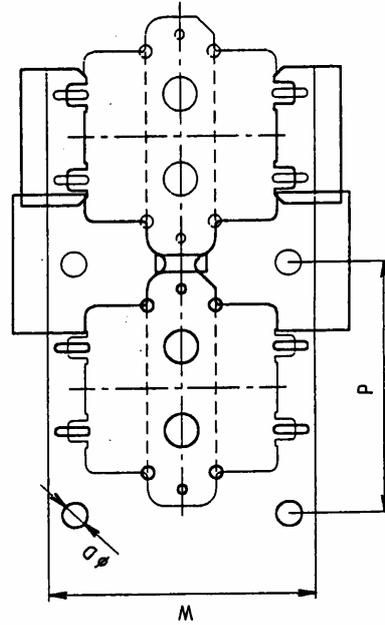
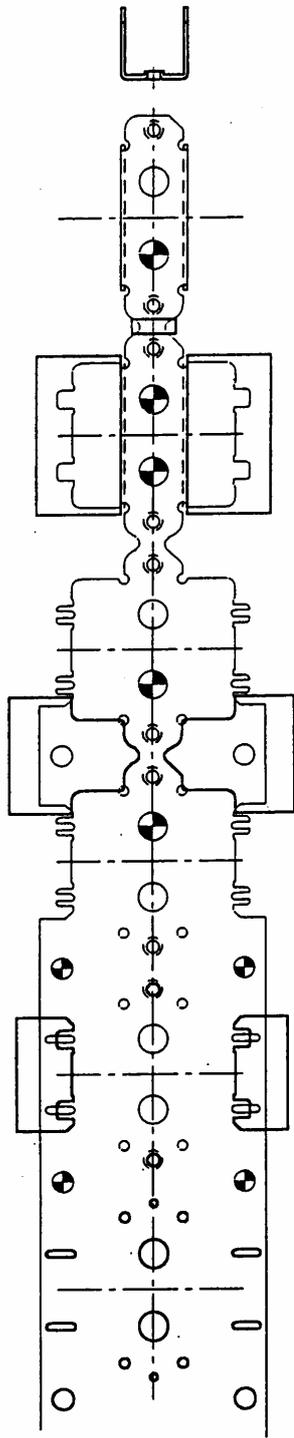


図 2.8 順送型の設計手順

ストリップレイアウト→ダイレイアウト

ストリップレイアウト



ダイレイアウト

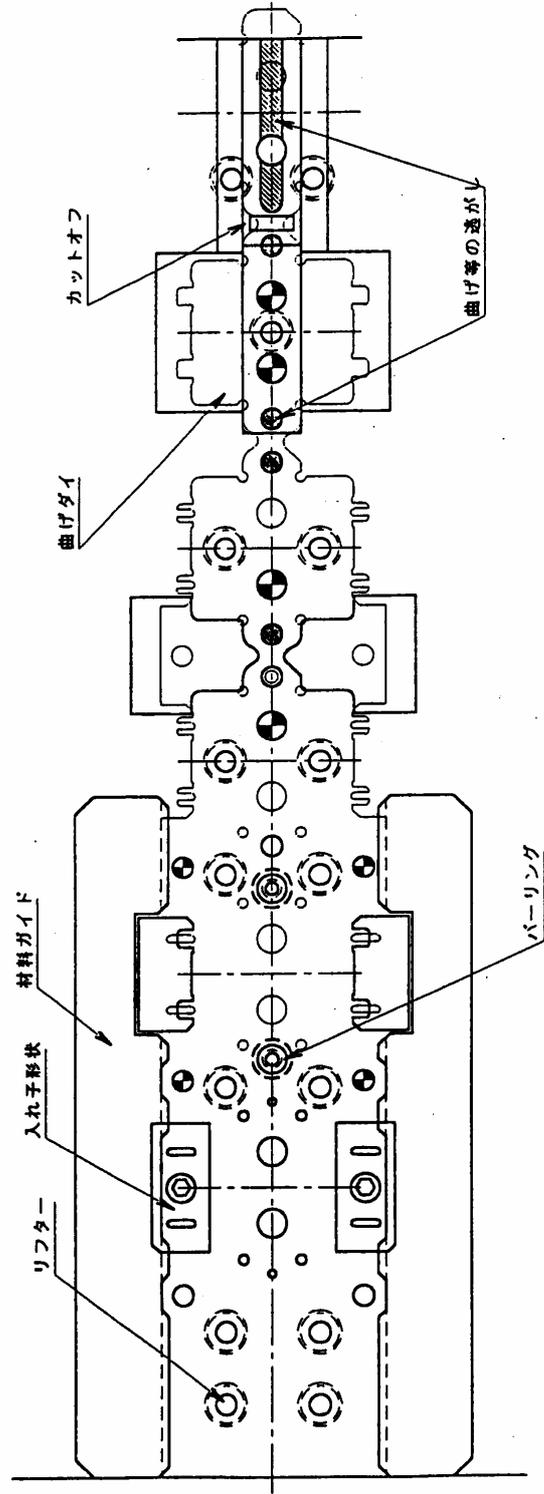


図 2.9 順送型の設計手順 ( 2 )

## 2.2 プレス金型設計におけるシミュレーション技術

### 2.2.1 プレス金型設計におけるシミュレーションの役割

「計算機実験」とも「バーチャルトライ」ともいわれるプレス成形の有限要素法シミュレーションは、自動車車体外板のように複雑な曲面を持つプレス加工において、その工程設計や金型設計に重要な役割をはたすようになってきた。特別な過程や近似を設けることなく、金型内での材料の成形過程をそのままシミュレートできるプレス成形のシミュレーションが重要視され、金型設計や加工条件設定のために急速に普及してきた背景として次のようなことがあげられる。

(1)金型設計・製作期間の短縮が一段と求められるようになったこと。

(2)シミュレーション手法として有限要素法(FEM: Finite Element Method)の開発が実用段階に至ってきたこと。第一の背景は、トライ・型修正工程をなるべく少なくし、できれば皆無にしたいとの要求である。CAD/CAMの高機能化、高速ミーリングの普及によって金型製作時間は大幅に減少したにもかかわらず、製作された金型をプレス機械に取り付けて行うトライ・型修正工程は従来方法と大きく変わっていないことから、金型完成までの全期間を通して見たとき、トライ・型修正工程に占める期間の比率がますます大きくなってしまい、金型設計・製作の全期間の短縮に限界が生じてきたことである。また最新の設備によって製作される金型の精度は飛躍的に向上したにもかかわらず、トライ・型修正での手作業によりせっかくの精度を悪くしてしまうこと、さらには新材料の成形や新しい形状の成形が求められ、これまでの経験からでは成形可否の予測が十分にしきれないことなどの現状に直面し、これらを解決する強力なツールが求められてきたことである。

第二の背景は有限要素法シミュレーションの歴史をふりかえって見るとよく分る。

約10年前には研究室を中心として、少人数でシミュレーションプログラムを開発し、自分たちの実験、加工をシミュレートするという、いわば開発者自らがユーザーであり、ユーザー自らが開発者という形態であった。しかしこの10年間に有限要素法シミュレーションの将来性に確信を持つ開発グループと、シミュレーション結果の有効性に評価を下したユーザーとに完全に分かれてしまった。つまり、ソフトウェア開発のためのプロ集団と、そこからリリースされる商品としてのソフトウェアを活用するユーザー群とはっきり分離してしまったのである。開発者はユーザーの満足する高度なソフトウェアを提供することに全力を上げ、ユーザーはより複雑な成形過程を容易にシミュレートできることを開発者に要求するといった循環により、ますますソフトウェアが充実し、それによってさらにユーザーへの普及が広がるという構図に至ったのである。

ここではプレス成形シミュレーション用ソフトウェアとプレス金型設計におけるシミュレーションの活用について見ていく。

### 2.2.2 FEM(有限要素法)シミュレーションとCAD

#### (1) FEMシミュレーションの特徴

FEMシミュレーションの特徴は、複雑な三次元形状の金型(CADで作成された金型)を用いて、あたかも実成形そのままのように深絞り加工(図2.10、図2.11)や、曲げ加工(図2.12)などを

シミュレートできることである。

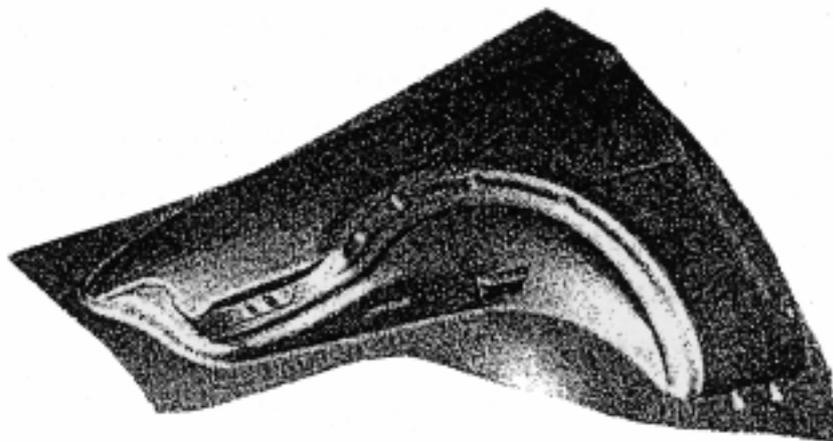


図 2.10 フロントフェインダーの成形シミュレーションの結果<sup>1)</sup>

これまでの変形解析では、多くの仮定や近似を導入しなければ解が得られないのが当たり前のようになっていた。FEM シミュレーションでは、工具形状、材料形状に関しては何ら近似や仮定を加えることなく、しかも加工する材料の材質や加工硬化特性、材料と工具間の摩擦も計算の中に正確に取りこむことができる。しわ押さえ力(図 2.13)や、パンチ速度を変化させたり、ブランク形状をさまざまに変えたりしながら成形をシミュレートでき、またそれらの結果をリアルに表示することもできる(図 2.14)。これらのことから計算機の中とはいえ、実際の成形をしているような状態が出現する。

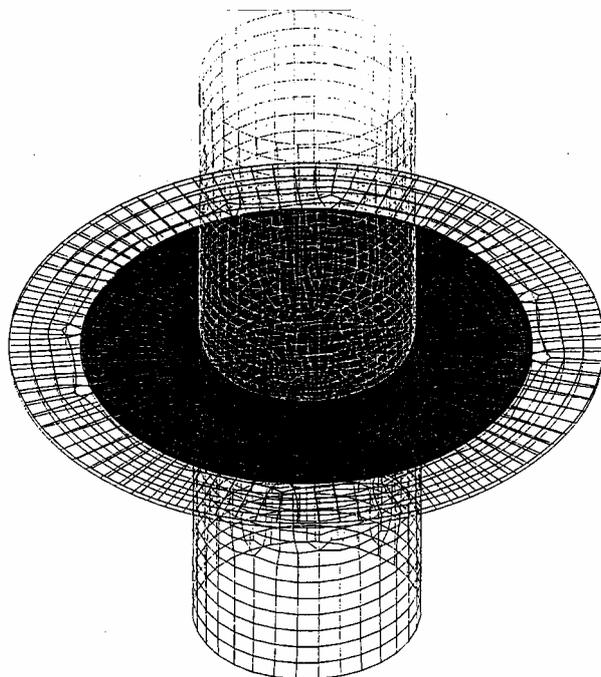


図 2.11(a) 円筒深絞り過程のシミュレーション結果

FEM シミュレーションのもう一つ重要なことは、実際の成形や実験では非常に得にくい情報も容易に得られることである。たとえば、成形過程にしわが発生したそのしわが消えていくような、現実ではなかなか見ることのできない金型内での板の変形過程や、実験で求めることがほとんど不可能な成形品の応力状態(図 2.15、図 16)なども知ることができる。また成形品の板厚分布(図 2.17)なども、実験よりもはるかに効率的に求めることができる。

## (2) プレス成形用 FEM シミュレーションソフトウェア

金属板材のプレス成形のように材料の塑性変形を扱い、しかもスプリングバックの無視できない成形をシミュレートするには、材料の弾性ならびに塑性変形を取り扱うことのできる弾塑性有限要素法が必要となる。

弾塑性有限要素法によってプレス成形過程をシミュレートするには、金型をほんの少しずつ進めた状態毎に変形状態をシミュレートし、それらを積み重ねて最終形状に至る、という手

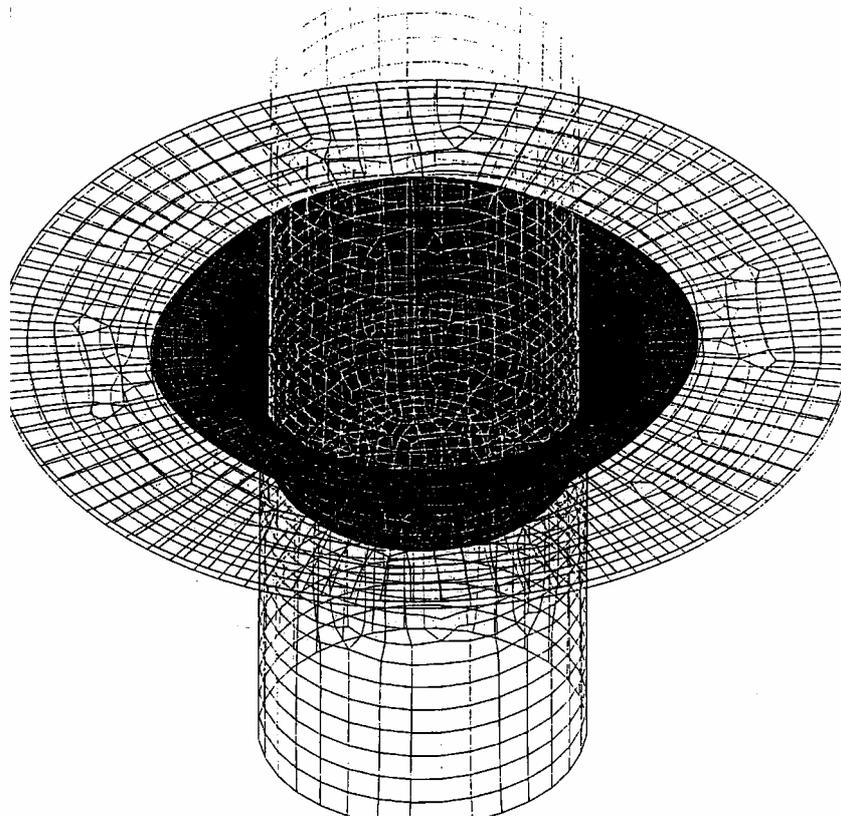


図 2.11(b) 円筒深絞り過程のシミュレーション結果

法をとる。金型を少しずつ進めることを有限要素法シミュレーションでは時間増分ステップと呼ぶが、その進め方には大きく分けて表 2.1 に示すような 2 つの方法がある。

表2.1 弾塑性FEMにおける時間増分ステップの計算法の比較<sup>4)</sup>

解法	静的解析	動的解析
	陰解法	陽解法
解くべき方程式	静的釣り合い方程式	運動方程式
FEMの構造式	全体剛性方程式を解く	接点毎に独立した解を求める
解の安定性	板のプレス成形を対象とした場合、解が収束しないことがある	安定
増分ステップの大きさ	長い	非常に小さい
1増分ステップの計算に要する時間	長い	短い
1部品の成形シミュレーションに必要な増分ステップ数	数百	数万

静的解析は静的な釣り合いが常に保たれるような問題を解くために開発された手法であり、釣り合い方程式を解く。動解析は衝突問題などのような速い現象を解くために開発された手法であり、加速度項が支配的な運動方程式を解く。

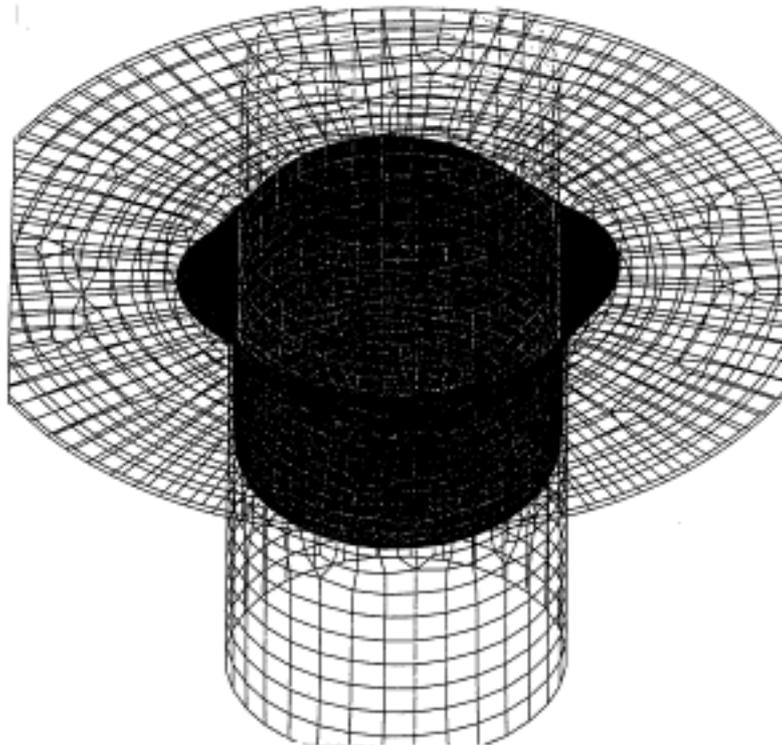


図 2.11(c) 円筒深絞り過程のシミュレーション結果

弾塑性変形のシミュレーションソフトウェアとして有名な MARC、ABAQUS などは静的解析手法を採用しており、LS-DYNA、PAN-STAMP などは動的解析手法を採用している。

さらに方程式を解く方法として、陽解法と陰解法の 2 つがある。陽解法では一つの時間増分ステップの計算において繰り返し計算を行うことなく解が得られるのに対し、陰解法では繰り返し計算を行い、収束値としての解が得られる。静的解析の MARC、ABAQUS はいずれも陰解法によって方程式を解いており、動解析の LS-DYNA、PAM-STAMP はいずれも陽解法によって解を求めている。したがって、これらのシミュレーションソフトウェアの解析手法を正確に言うのであれば、MARC、ABAQUS は「静的陰解法」となり、LS-DYNA、PAM-STAMP は「動的陽解法」となる。

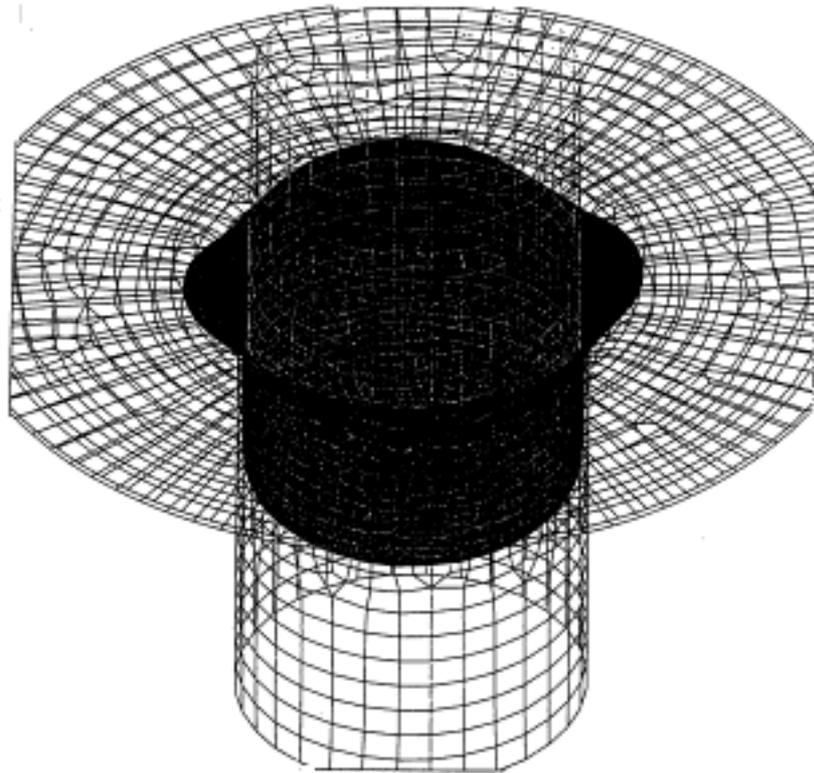


図 2.11(d) 円筒深絞り過程のシミュレーション結果

プレス成形過程のシミュレーションといった同じ目的に「静的陰解法」と「動的陽解法」の 2 つの手法が存在するのは、それぞれに一長一短があるためである。「静的陰解法」では各時間増分ステップ内で必ず釣り合い式を満足するような解を求める。したがって力学手法としては正確と言えるが、ステップ毎に剛性方程式を解かなければならないために、計算に要する負荷は非常に大きくなってしまふ。また、金型と板との接触状態が 1 増分ステップ内で変化してしまうような場合には、釣り合い状態へ計算が収束しないことも起り、その場合には解が得られない。解が得られないとそこで計算は進まなくなりシミュレーションは途中で停止してしまふ。一方、「動的陽解法」は時間増分ステップ内での繰り返し計算を行わないために、1 ステップ毎の計算時間は非常に短くなり、解も確実に得られる。しかし 1 ステップの時間増分を百万分の 1 秒程度の非常に小さい値に抑えなくてはならない。

したがって 1 秒間かかる変形過程をシミュレートするためには百万ステップも必要となる。また静的な釣り合い状態の解を必要とするスプリングバックの計算には適していない。

### (3) プレス成形の FEM シミュレーション手順

プレス成形の FEM シミュレーションは「計算機実験」などとも呼ばれたように、シミュレーションするにあたって用意するものも実験、あるいは生産時と同様なものが必要となる。つまり金型と成形用の板が必要となる。以下にプレス成形 FEM シミュレーションの一般的な手順を示す。

- 1)金型(パンチ、ダイ、ブランクホルダーなど)と成形する板を CAD により作成する。金型の弾性変形を考慮しない場合、シミュレーションで必撃となるのは金型の表面形状だけでよいが、さまざまなシミュレーションに対応できることを考慮して CAD は一般的に三次元ソリッドが用いられる。
- 2)金型の表面と成形する板の表面にメッシュを張る。
- 3)上記 1)と 2)のデータをシミュレーションソフトウェアに引き渡す。引き渡しにはユニバーサルファイル形式が多く用いられる。

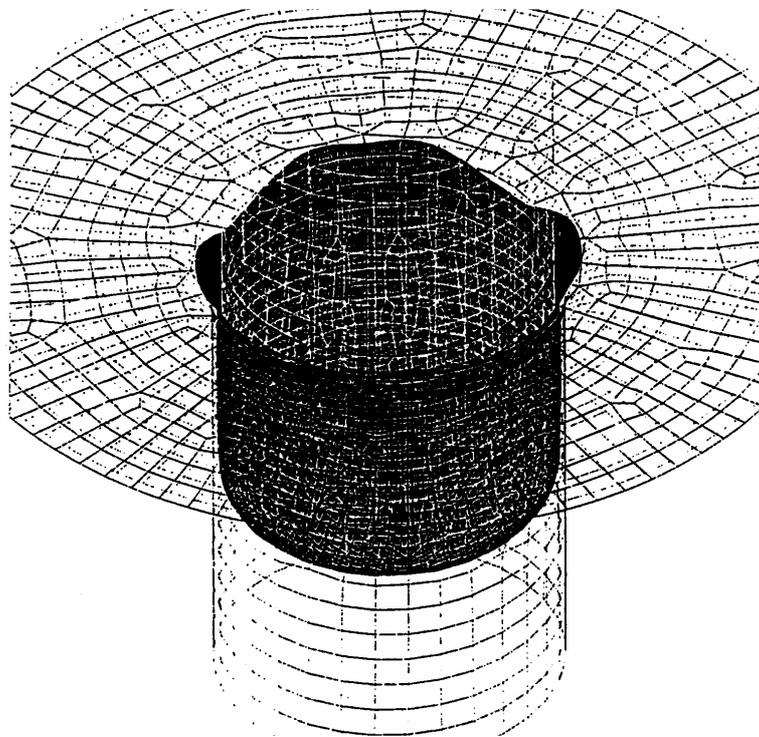


図 2.11(e) 円筒深絞り過程のシミュレーション結果

(材料の異方位を考慮しているため、衣縁部に耳の発生もシミュレートされている。成形条件:パンチ径 40mm、パンチ有半径 4mm、ダイ内径 42.5mm、ダイ肩半径 8mm、板材質 SPCC、板厚 1mm、パンチ速度 5mm/s、しわ押さえ力 4kN、金型と板との摩擦係数 0.1)

- 4)CAD から引き渡しを受けた金型形状データを分解してパンチ、ダイ、ブランクホルダーなどの名前をつける(この段階では各部品に名前を付けるだけで、パンチやダイ、ホルダーなどとしての機能はまだ無い)。
- 5)金型表面を定義して、外側に向く面(板が接触する面)と金型内部に向く面を区別する。

- 6)パンチ、ダイ、ブランクホルダー、成形する板など、各部品間の位置合わせをする。つまり、ダイの上に板を置き、それをブランクホルダーではさみ、パンチを板の上面に接触させる。この操作機能は、通常、位置合わせ機能としてシミュレーションソフトウェアに用意されていることが多い。
- 7)成形する板の材料特性値を定義する。これによって CAD で作成された単なる板形状がプレス成形用材料となる。
- 8)パンチに移動方向と移動速度を定義する。
- 9)ブランクホルダーの動きを定義し。しわ押さえ力を与える。
- 10)ダイの動きを定義する。ダイは実際の成形でも固定されている場合が多いが、この場合は「動かない」という動きを定義する。上記の 8) ~ 10)の手順によって CAD でモデリングされた「金型形状をした部品」が「プレス金型」としての機能をもつことになる。
- 11)摩擦係数を定義する。摩擦係数はパンチと板、ダイと板、ブランクホルダーと板の間毎に個別に定義できる。
- 12)シミュレーション結果の出力に関してさまざまなオプションを設定してプリプロセス(計算の前処理)を終了する。
- 13)計算を実行する。

計算中は全く人の介入を必要としない。計算実行そのものがシミュレーションともいえるが、金型と板との接触状態の自動更新も含めて、計算は全て計算機内で自動的に行われる。プレス成形の FEM シミュレーションでは時間増分ステップ毎に少しずつ成形を進めていくことから、通常多くの時間を要し、短いものでも数分長くなると、数十時間を必要とすることもある。
- 14)計算が終了したら、ポストプロセス(結果処理)により、シミュレーション結果を表示させ、結果を検討する。プレス成形のシミュレーションでは計算が終わった時点からが本当の仕事の始まりともいえる。それはシミュレーション結果を判断しそれらをいかに金型設計に反映させるかが非常に重要となるためである。現在では成形シミュレーションをいくら行っても自動的に適正な金型形状を見出すことはできない。金型設計-のシミュレーション結果の反映は金型設計者のみが行うことができ、また金型設計者の手腕に強く依存する処理である。

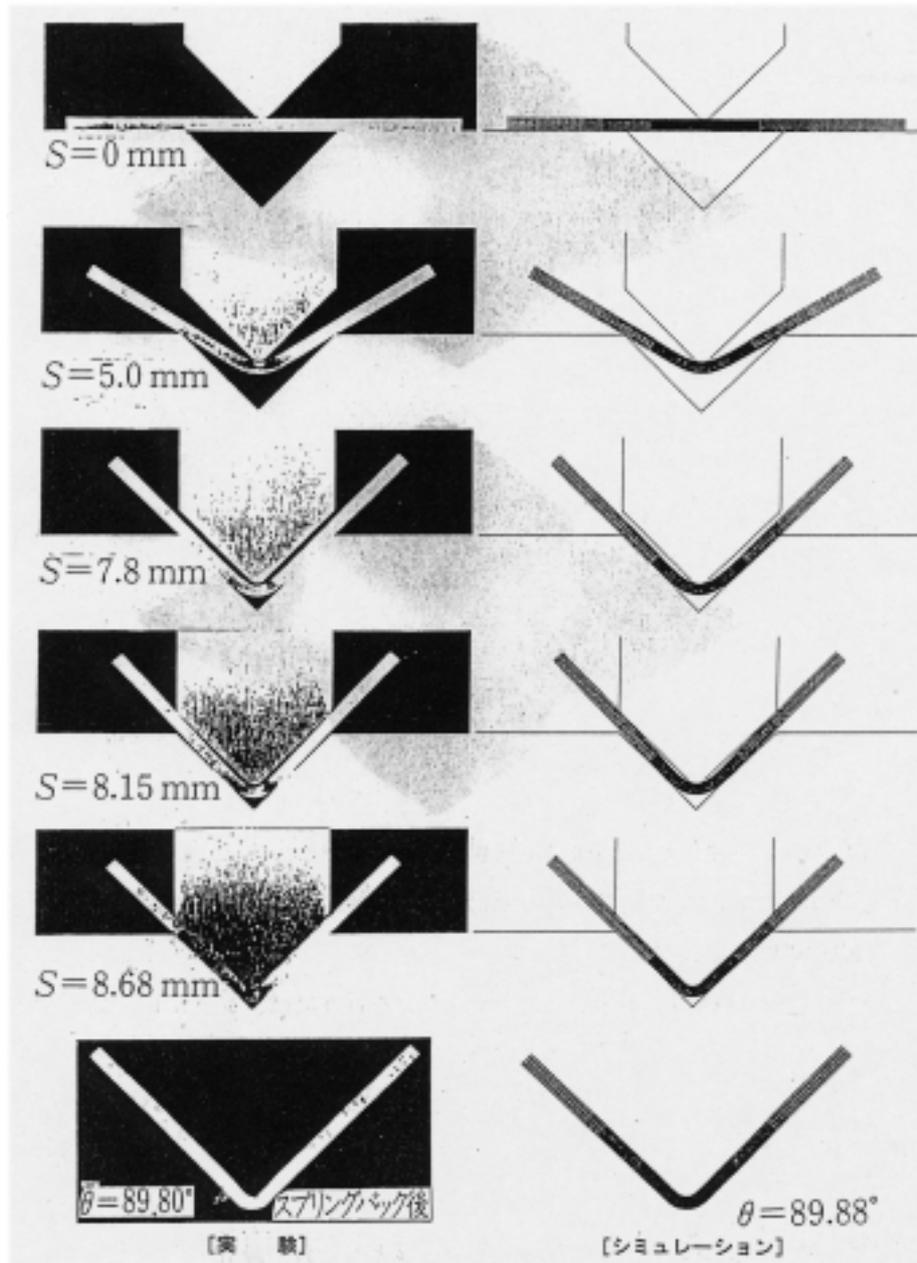


図 2.12 V 曲げ過程の実験結果とシミュレーション結果<sup>2)</sup>

(実験結果、シミュレーション結果ともに、 $S=7.8\text{mm}$  で板の外表面がダイ斜面に接し、 $S=8.15\text{mm}$  でダイ斜面から跳ね上がった板がパンチ肩部に接するなど、シミュレーション結果と実験結果はきわめて良く一致している。  
 成形条件: パンチ先端半径  $1.42\text{mm}$ , ダイ溝幅  $19.84\text{mm}$ , 板材質 SPCC、板厚  $1.57\text{mm}$ )

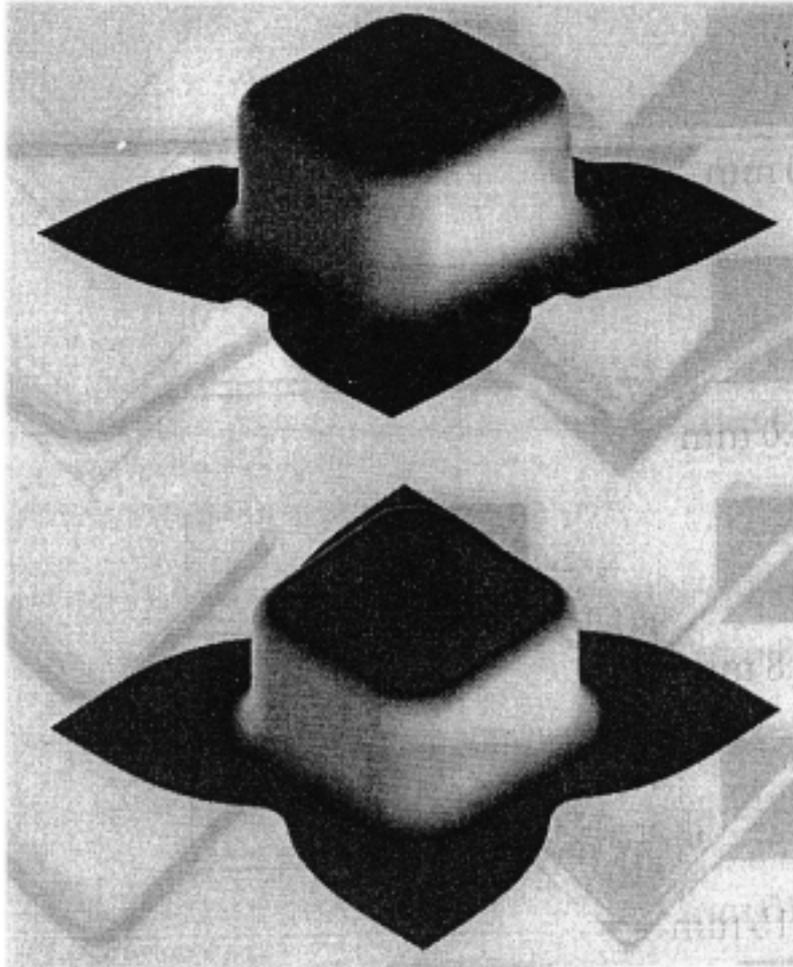


図 2.13 しわ押さえ力を変化させた四角筒絞りのシミュレーション結果  
(上;しわ押さえ力不足、下;しわ押さえ力適正、成形条件：容器一辺 70mm、板材質 SPCC、板厚 1mm)

以上のようにプレス成形の FEM シミュレーションを行うには、シミュレーション用ソフトウェアのほかに CAD、メッシュ生成用ソフトウェア(この機能を併せ持った CAD もある)が必要となる。ヨーロッパ、アメリカ、日本の企業で使われているソフトウェアの例を表 2.2 に示す。

### 2.2.3 プレス成形シミュレーションをツールとした金型設計

プレス成形シミュレーションに期待されることは、以下のような成形不良現象ならびに成形限界の事前予測である。

- (1)破断
- (2)しわ
- (3)寸法精度

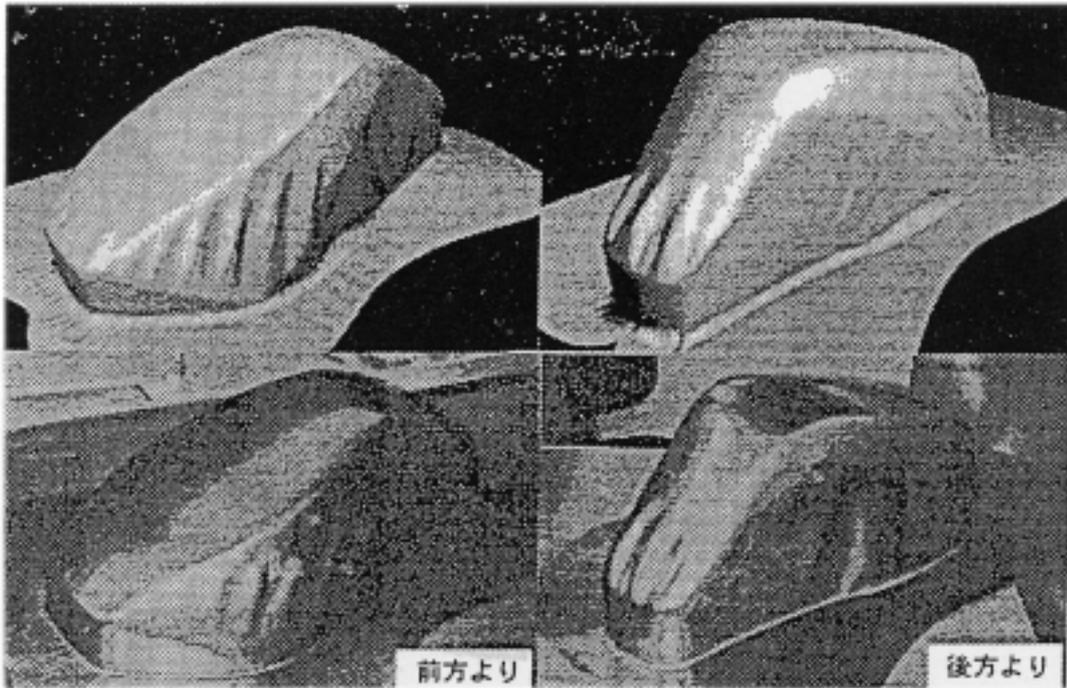


図 2.14 二輪用フェーエルタンクの深絞り成形<sup>3)</sup>  
 (上; シミュレーション結果、下; 実成形品、しわの発生状況がシミュレーション結果からも十分予測できる。

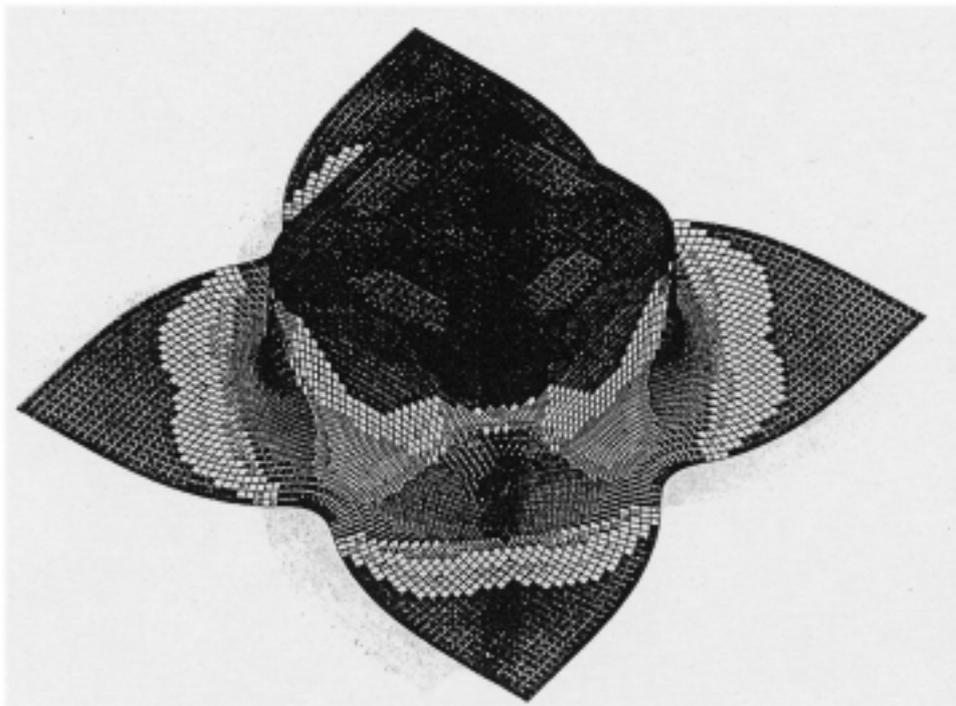


図 2.15 四角深絞り成形品の主応力分布

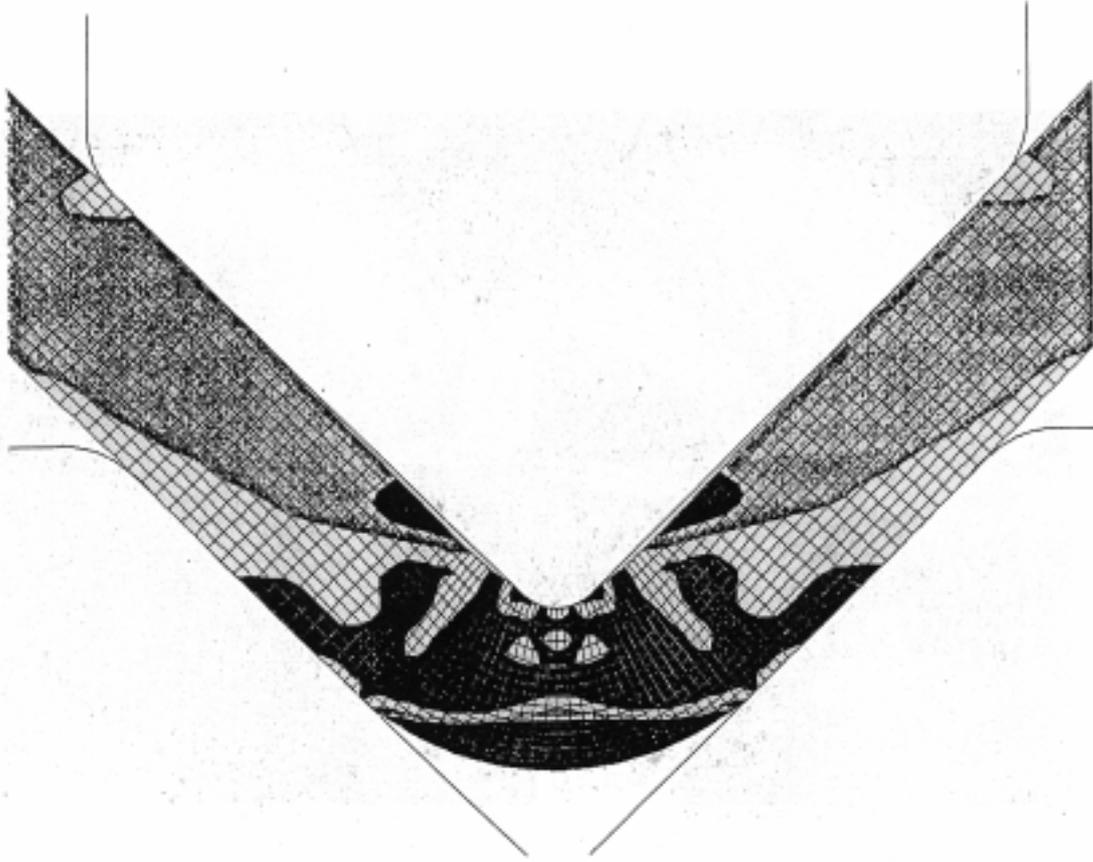


図 2.16 曲げ部の板面に沿った方向の応力分布

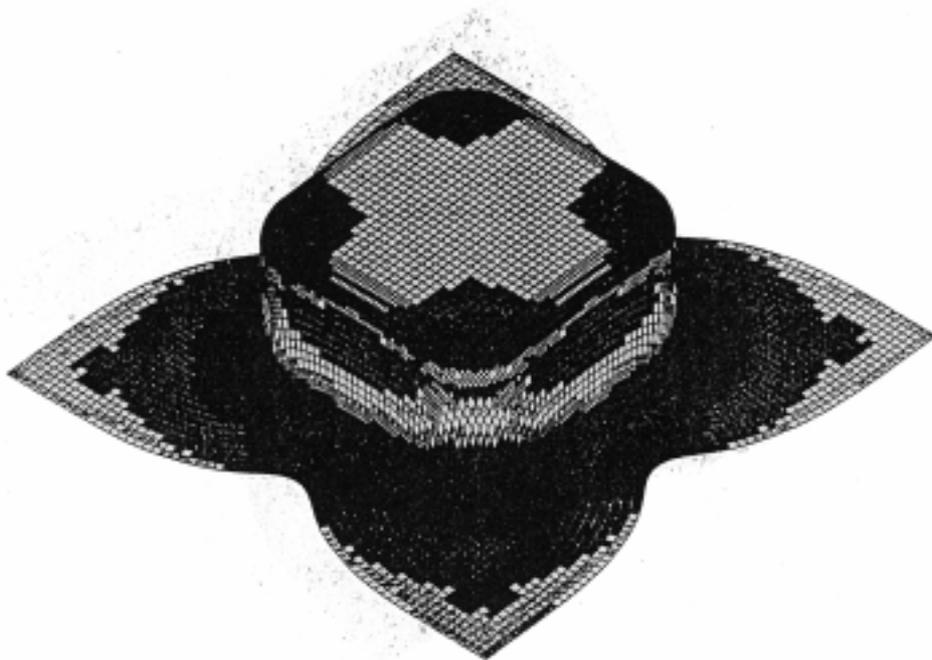


図 2.17 四角筒深絞り成形品の板厚分布

表2.2 世界の自動車会社、鉄鋼メーカーにおいて使われているシミュレーション用ソフトウェアと関連ソフトウェア例<sup>5)</sup>

(a)ヨーロッパの企業で使われているソフトウェア例

企業名	Daimler Benz	Renault Automobile	Volvo Car	Sollac
シミュレーション用ソフトウェア	AUTO FORM LS-DYNA3D LS-NIKE3D OPTRIS INDEED IOSPUNCH AF ONE STEP	SIMEX OPTRIS PAN-STAMP	AF ONE STEP AUTO FORM LS-DYNA3D	ISOPUNCH AUTO FORM PAM-STAMP OPTRIS
CAD	CAITA SYRKO(in house))	I-DEAS EUCLID	CATIA/VAMOS	
メッシュ生成用ソフトウェア	MEDINA DETA MESH TRANSK	HYPER MESH DELTA MESH AMORA	DELTA MESH	TRANSK

(b)アメリカの企業で使われているソフトウェア例

企業名	Chrysler	Ford Motor	National Steel	Us Steel
シミュレーション用ソフトウェア	LSDYNA 3D AUTO FORM	MTLFRM OPTRIS AUTOFORM(EU)	DYNA 3D FAST-FORM3D	
CAD	CATIA	I-DEAS (PDGS)	CATIA	
メッシュ生成用ソフトウェア	DELTA MESH DYNAFORM HYPER MESH	I-DEAS(for tool surface) in house software for sheet mesh	DYNA FORM	HYPER MESH

(c)日本の企業で使われているソフトウェア例

企業名	マツダ	日産自動車	トヨタ自動車	新日本製鐵
シミュレーション用ソフトウェア	PAM-STAMP	ITAS3D AUTO-FORM PAM-STAMP	LS-DYNA3D JOH-NIKE3D	PAM-STAMP ITAS3D
CAD	I-DEAS GNC(in house)	PUNCH(in house)	integrated CAD (in house) Pro-ENGINEER	PRO- ENGINEER
メッシュ生成用ソフトウェア	GNC	I-DEAS	FEMB PATRAN	K-SWAD CADISCT

(4) 面品質

(5) スプリングバック

自動車をはじめとし多くの商品開発において、移り変わりの速いニーズに的確に対応するには、短期間で開発を終え、製品化することが非常に重要となる。そのためには上記のような不良となる現象を事前に予測し、トライ・型修正工程をなるべく少なくし、できれば皆無にしてしまう対策を施すことが必須である。その強力なツールとして登場してきたのが成形シミュレーションである。

自動車開発を例に取り、部品設計、金型設計への成形シミュレーションの適用例を示すと図 2.18 のようになる。部品設計の段階では、部品の機能を満足すると同時に、成形も可能な形状とするための検討に成形シミュレーションが使用される。

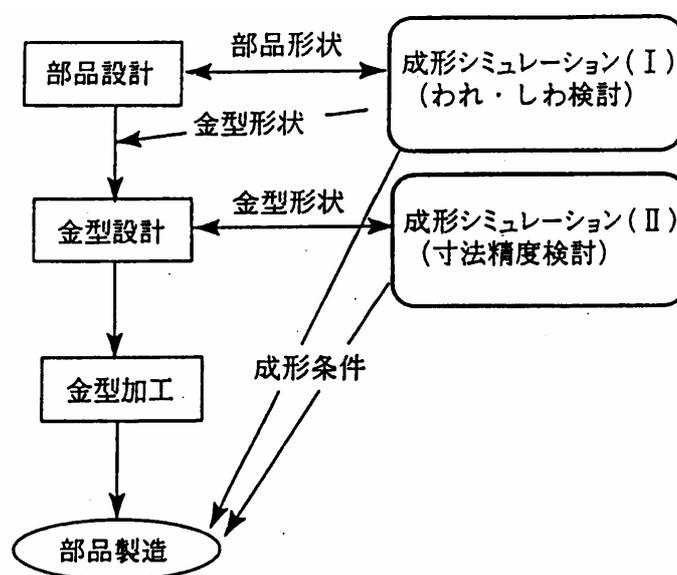


図 2.18 自動車部品開発における成形シミュレーションの適用例<sup>6)</sup>

金型設計段階では、成形品寸法精度の検討に重点のおかれた成形シミュレーションが行われる。この段階でのシミュレーションにはスプリングバックなども精度良く計算できることが要求される。

金型設計の中でも特に重要となるダイフェース設計への成形シミュレーションの適用例を図 2.19 に示す。絞り工程での成形性の予測がシミュレーションの第一段階であり、破断、しわのチェックが行われる。これをクリアしたら第二段階の検討として、トリム後のスプリングバック解析が実施される。こういった二重、多重構造のバーチャルトライを十分に重ね、ダイフェースの形状が問題無しとなった時点でその形状を切削するための NC データを作成する。作成された NC データにより高速度高精度機械加工を行い、トライ・型修正を減少、撲滅して、型製作リードタイムの短縮、コストの低減を実現する。

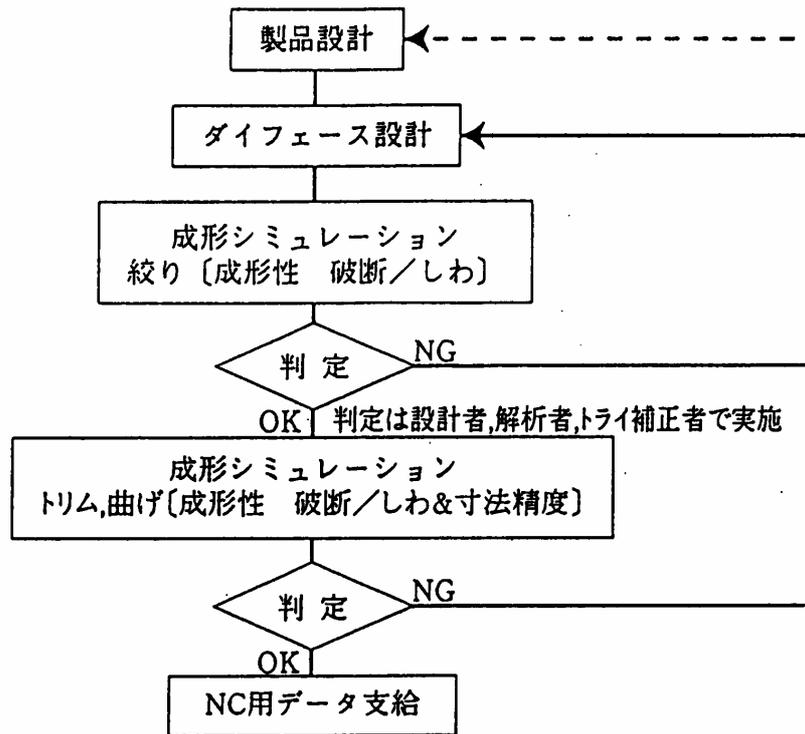


図 2.19 バーチャルトライのフローチャート<sup>7)</sup>

参考文献

- 1) W. Kubli: NUMISHEET'93, (1993), 576-580
- 2) 小川秀夫ほか: 平成4年度塑性加工春季講演会論文集, (1992), 747.
- 3) 素形材センター: 研究調査報告書 No.512, (1997), 33.
- 4) 素形材センター: 研究調査報告書 No.512, (1997), 8.
- 5) 牧野内昭武: 塑性と加工, 40-460(1999), 414.
- 6) 高橋進: 塑性と加工, 40-460(1999), 454.
- 7) 伊倉真ほか: 塑性と加工, 40-460(1999), 459.

## 〔用語解説〕

### バーチャルトライ:

プレス成形過程のシミュレーション結果を計算機上に表示させ、しわや割れなどの不具合を調べて、計算機の中で金型(CADで作成された金型)を修正するプレス加工のトライアル(試し打ち)。

### 有限要素法:

変形、流体、熱伝導などを統一的に解析する方法として、現在多くの理工学分野に使用されている、プレス加工のシミュレーションでは加工する板材を細かく分割し、節点の変位を未知数とする連立方程式を解いて、変形後の形状を求める。

### LS-DYNA:

米国、Livermore Software 社で開発された有限要素法シミュレーションソフトウェア名。衝突などの早い現象の解析に適している。

### PAM\_STAMP:

フランス、ESI 社で開発された有限要素法シミュレーションソフトウェア名。金属板材のプレス成形シミュレーションに適している。

### MARC :

米国、Marc Analysis 社で開発された有限要素法シミュレーションソフトウェア名。鍛造をはじめとして塑性加工全般の解析に適している。

### ABAQUS :

米国、HKS Inc.社で開発された有限要素法シミュレーションソフトウェア名。板材成形、鍛造など塑性加工全般の解析に適している。

### 剛性方程式:

力と変形の関係式

### ユニバーサルファイル形式:

さまざまなシミュレーションソフトウェアが読み込むことのできるようにしたデータ形式。

### メッシュ生成用ソフトウェア:

CAD で作成された金型表面や加工する板の表面を要素分割するためのソフトウェア。板が金型の表面を滑って成形されていく塑性加工のような場合、板と金型の接触状態をきちんとシミュレートするために必要となる。

### 第3章 プレス金型加工上の留意点とノウハウの客観化

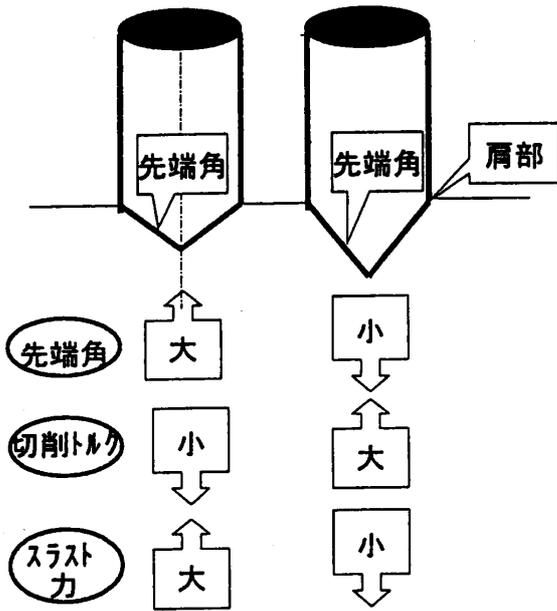


図 3.1 ドリル刃先形状と切削特性

た。刃先のシンニング形状は、目的に応じて各種あるが、被削材と切れ刃部分の接触面積を減少させかつスラスト荷重を軽減するにはX形シンニングのようなチゼル部分を最小限残すシンニング形状の選択が望ましい。

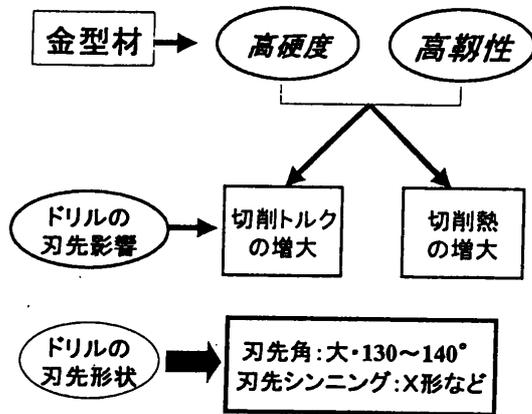


図 3.2 金型材におけるドリルの刃先影響と刃先形状例

#### 3.1 切削加工に関するノウハウの客観化

##### 3.1.1 穴あけ加工

###### (1) ドリルによる穴加工

金型材におけるドリルの最適な刃先形状

ドリルの切れ刃形状は、

先端角(図 3.1)

チゼル部(ドリル先端部)

切れ刃エッジ部(切削する刃の部分)

肩部(図 3.2)

から構成されている。

ドリルの切れ刃の各部分が、切削性能に及ぼす影響については、図 3.1 に説明したが、先端角の大小によりスラスト力と切削トルクが変化する。さらに、金型材の切削における最適なドリル刃先の形状の例を、図 3.2 に説明し

###### ドリルの種類と選択基準例

現在、市販されているドリルは各種あり図 3.3 に、主のものを紹介した。これらのドリルは、用途(被削材、重視する要素: 能率、工具寿命、工具コストなど)に応じての選択が基本であり、各ドリルの特徴を理解することが、最適なドリルを選択する場合の条件と言えよう。

###### 各種工具材種の説明

###### ハイス(高速度鋼)

耐摩耗特性を高める目的で、コバルトなどを添加しておりTiN(窒化チタン)などを数マイクロメートルの厚さでコーティングしたもの

(コーテッドハイスドリル)も市販されている。工具材料の中では、最も高靱性の特性を有しているが、硬度が低いため切削速度は他の工具材種に比べて低い。

###### 粉末ハイス

ハイス材を粉末にしてコバルト(Co)、タングステン(W)など耐摩耗特性を高められる材料を添加し、再びハイス材として用いるものである。表面に数マイクロメートルのTiN、TiCなどの物質をコーティング(PVD: 物理的蒸着法・イオンプレーティング法など)したものが多くドリルとして用いられており、高靱性、かつ比較的耐摩耗特性が優れている。

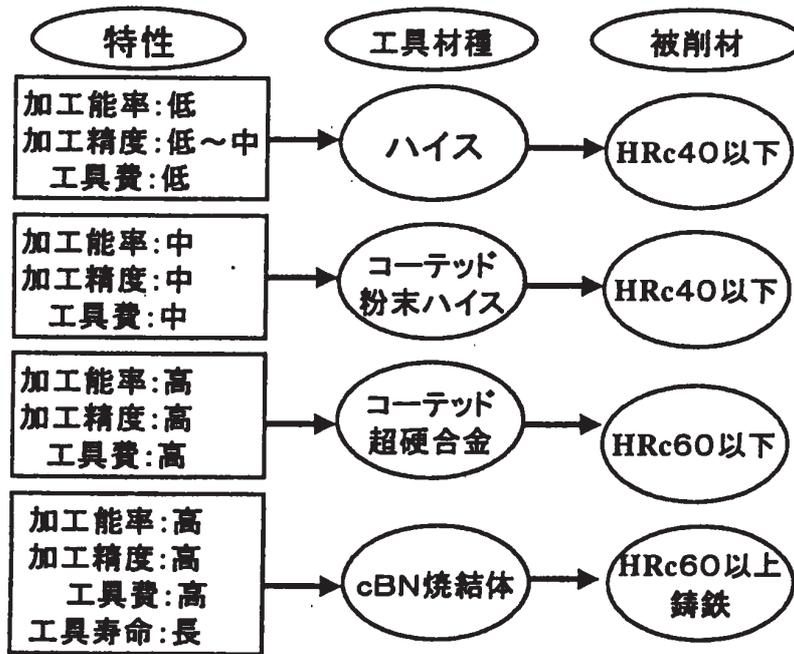


図 3.3 現在市販されている各種ドリルの特徴と適用被削材例

超硬合金

タングステンカーバイト(WC)が主成分であり、コバルト(Co)をバインダーとした焼結合金である。ハイスに比べて高温硬度に優れており、かつヤング率も高いため高速切削条件で高精度な穴加工が可能である。反面、靱性はハイスに比べて劣るため、刃先形状と適用方法などにおいて、

表 3.1 コーテッド超硬合金ドリル標準条件 (出典先: オーエスジー技術資料)

被削材	低炭素鋼・合金鋼 (C<0.3%) SS400・SCM ~710N/mm <sup>2</sup>		炭素鋼・合金鋼 (C≥0.3%) S50C ~1060N/mm <sup>2</sup>		特殊鋼 SUJ2・SUS440		特殊鋼・調質鋼 SKD61(非調質) 34~43HRC		特殊鋼・調質鋼 43~48HRC		特殊鋼・調質鋼 SKD11(非調質) 48~53HRC		鑄鉄 FC250 ~350N/mm <sup>2</sup>	
WORK MATERIAL	LOW CARBON STEELS ALLOY STEELS SS400・SCM ~710N/mm <sup>2</sup>		CARBON STEELS ALLOY STEELS S50C ~1060N/mm <sup>2</sup>		SPECIAL ALLOY STEELS SUJ2・SUS440		SPECIAL ALLOY STEELS HARDENED STEELS SKD61 (unquenched) 34~43HRC		SPECIAL ALLOY STEELS HARDENED STEELS 43~48HRC		SPECIAL ALLOY STEELS HARDENED STEELS SKD11 (unquenched) 48~53HRC		CAST IRON FC250 ~350N/mm <sup>2</sup>	
切削速度 DRILLING SPEED	80~125m/min		80~125m/min		63~80m/min		40~63m/min		32~45m/min		25~36m/min		80~125m/min	
直 径 (mm)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	送り量 (mm/rev)
DRILL DIA. (mm)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)	SPEED (min <sup>-1</sup> )	FEED (mm/rev)
2	12,000	0.06~0.08	12,000	0.06~0.08	11,000	0.06~0.08	8,000	0.06~0.08	6,000	0.05~0.07	4,500	0.03~0.06	15,000	0.06~0.08
3	9,600	0.09~0.12	9,600	0.09~0.12	7,500	0.09~0.12	5,300	0.09~0.12	4,000	0.07~0.11	3,200	0.05~0.09	10,000	0.09~0.12
4	8,000	0.10~0.15	8,000	0.10~0.15	5,650	0.10~0.15	4,000	0.10~0.15	3,000	0.08~0.13	2,600	0.06~0.10	8,000	0.10~0.15
5	6,400	0.12~0.18	6,400	0.12~0.18	4,550	0.12~0.18	3,300	0.12~0.18	2,400	0.10~0.15	2,000	0.08~0.12	6,400	0.12~0.18
6	5,300	0.14~0.20	5,300	0.14~0.20	3,800	0.14~0.20	2,750	0.14~0.20	2,000	0.12~0.18	1,700	0.09~0.15	5,300	0.14~0.20
8	4,000	0.16~0.24	4,000	0.16~0.24	2,850	0.16~0.24	2,100	0.16~0.24	1,500	0.14~0.22	1,300	0.12~0.20	4,000	0.16~0.24
10	3,200	0.18~0.27	3,200	0.18~0.27	2,250	0.18~0.27	1,700	0.18~0.27	1,200	0.15~0.25	1,000	0.13~0.23	3,200	0.18~0.27
12	2,650	0.20~0.30	2,650	0.20~0.30	1,900	0.20~0.30	1,400	0.20~0.30	1,000	0.17~0.26	850	0.14~0.24	2,700	0.20~0.30
14	2,300	0.22~0.35	2,300	0.22~0.35	1,600	0.22~0.35	1,200	0.22~0.35	860	0.18~0.30	730	0.15~0.26	2,300	0.22~0.35
16	2,000	0.25~0.36	2,000	0.25~0.36	1,400	0.25~0.36	1,050	0.25~0.36	760	0.20~0.32	640	0.16~0.26	2,000	0.25~0.36
18	1,800	0.28~0.38	1,800	0.28~0.38	1,250	0.28~0.38	920	0.28~0.38	670	0.23~0.33	570	0.18~0.28	1,800	0.28~0.38
20	1,600	0.30~0.40	1,600	0.30~0.40	1,150	0.30~0.40	850	0.30~0.40	600	0.25~0.35	500	0.20~0.30	1,600	0.30~0.40

ハイスドリルと異なった対応が求められる。

工具表面に数マイクロメートルの複合コーティング(TiN、TiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)を施した、コーテッド超合金ドリルが多く用いられており、高速・高精度穴加工用工具として適用が増えている。

#### cBN 焼結体

cBN 焼結体は、高温高压下で人道的に造られた物質であり、ダイヤモンドに次ぐ硬度を有し、かつ鉄との親和性がないため高硬度鋼、鋳鉄などを高速切削できる。反面、靱性は低いため刃先剛性を高める形状にすることが、安定した切削を指向する場合の必要条件である。

#### ハイスドリル

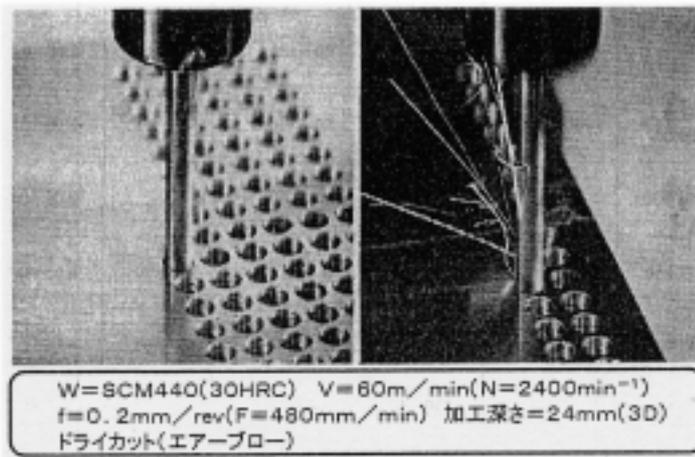
低コスト、かつ伝統的な工具であり切削条件と適用方法が一般化しているため、最も多く穴加工に用いられている工具である。

このドリルは、被削材や穴の深さなどに応じた各種のものがあり、図3.4に1例を示したように先端角、ねじり角、およびシンニング形状などを変化させている。例えば、プラスチック材用ドリルは、ねじり角を15°として切り屑排出性を被削材に対応させ、ステンレス鋼の様な熱伝導率が低く、かつ高靱性な特性の被削材の場合は、先端角を大きくして切削トルクを低く抑え、ねじり角を大きくした形状である。

#### 超合金ドリル

コーテッド超合金ドリル(表3.1参照)

穴加工の高速・高精度化指向で、超合金ドリルの適用が増加傾向にある。超合金は、ハイスに比べて高硬度、かつヤング率が高いため高速切削速度で曲がりの少ないドリル切削が可能で



ドライカット・ドリルが適用できる被削材料例

適用被削材種	適用硬さ	代表的な記号
軟鋼・炭素鋼 ダクタイル鋳鉄	150-200HB	SS・SC FCDなど
合金鋼・工具鋼	20-35HRC	SCM・SUJ SKDなど
プリハードン鋼	35-45HRC	HPM・NAKなど
焼き入れ鋼	45-50HRC	SKD

図3.5 コーテッド超合金切削事例(出典先:日立ツール技術資料)

ある。

ドリル直径の3倍程度以上の深穴加工用は、刃先に冷却液(エア)を出して刃先冷却と切り屑排出性を高めたものが、市販されている。このドリルは、切削速度を高めて加工するため、刃先の振れ精度を高めて高精度穴加工、かつ安定した工具寿命を指向しており、高振れ精度特性の保持具との組み合わせが求められている。

コーテッド超合金ドリルのドライ切削事例と切削条件(図3.5参照)

環境に配慮して切削液を使用しない「ドライ切削」が増えているが、ドライ切削が難しいとされているドリル切削も、ドライ化傾向にあり、既に浅穴加工用のものが市販されており、実用段階に入っている。

刃先交換型ドリル(図3.6)

穴径が12mm以上の浅穴(ドリル直径の3~5倍程度が標準)加工用ドリルは、切れ刃部が交換できる方式のものを用いることがある。この工具は、コーテッド超合金の工具材種、かつ独特な各種チップブレーカ付インサート(切り屑を寸断する特殊形状の溝を有するインサート)を切れ刃としており、切れ刃部が摩耗すると新しい切れ刃(インサート)に交換できる方式が特徴である。

このドリルは、刃先に冷却液を供給するオイルホールがあり、高速切削で穴加工できる。(表3.2)

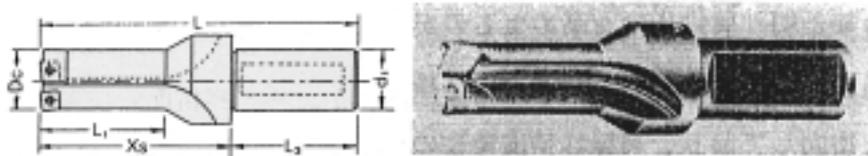


図3.6 刃先交換型ドリル形状例(出典先:オーエスジー)

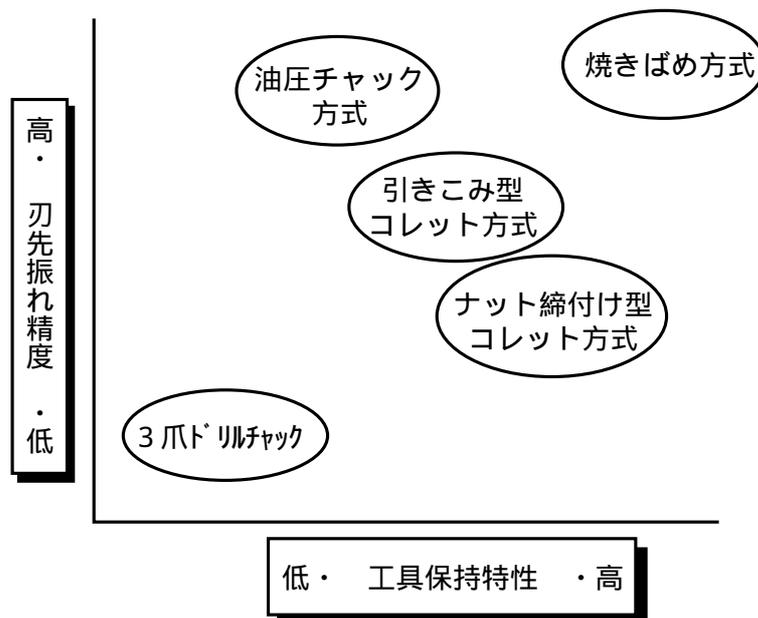


図3.7 主なドリル用保持具とその特性の概念図

表3.2 刃先交換型ドリル切削条件例（出典先：オーエスジー）

被削材質 (Work Material)	材料記号 (Abbeviation)	引張り強さ (Tensile strength)	切削速度(m/min) Milling Speed(m/min)			回転当たりの送り(mm/rev) Feed per rev		
			WTL14	WTL74	WPM	(ドリル径 16~ 20) (Drill Dia 16~ 20)	(ドリル径 21~ 30) (Drill Dia 21~ 30)	(ドリル径 31~ 58) (Drill Dia 31~ 58)
炭素鋼 Carbon Steels 合金鋼 Alloy Steels	S50C SCM440	~500N/mm <sup>2</sup>	120~300	100~250		0.05~0.12	0.08~0.15	0.10~0.20
		~710N/mm <sup>2</sup>	100~200	80~180	50~100	0.05~0.10	0.08~0.13	0.10~0.22
工具鋼 Tool Steels ダイス鋼 Dis Steels	SKS SKD	~980N/mm <sup>2</sup>	80~150	60~120	60~90	0.05~0.10	0.08~0.13	0.10~0.22
ステンレス鋼 Stainless Steels	SUS304	-	180~300	120~250		0.05~0.09	0.08~0.12	0.10~0.15
鋳鉄 Cast Iron	FC250	~350N/mm <sup>2</sup>	100~200	80~170	70~100	0.05~0.13	0.08~0.20	0.10~0.30
ダクタイル鋳鉄 Ductile Cast Iron	FCD450	~500N/mm <sup>2</sup>	100~150	80~130	60~100	0.05~0.10	0.08~0.12	0.10~0.23
アルミニウム合金 Aluminium Alloy Casting (Si<12%)	AC	-	250~400	200~300		0.05~0.10	0.08~0.13	0.10~0.23

## 2) ドリル用保持具の種類と選択基準

ドリル切削も、高速・安定切削化指向が強まっており、ドリルと同時に、保持具の選択も重要視すべきである。

図 3.7 は、ドリル用保持具に適用している主な方式について、振れ精度、および保持剛性の程度について概念的に表している。これら保持具の選択は、加工精度、加工条件、ドリルのサイズなどに応じて、最適な選択をすることが必要である。

### (2) 穴の仕上げ加工

#### 1) リーマによる穴の仕上げ加工

##### リーマの機能と種類

リーマは、比較的の小径の穴の仕上げ加工用工具として、一般的に多く用いられており、刃先調整なしで穴の仕上げ加工ができることに特徴を有している。

リーマは、切削に加えてバニッシング機能を有していることが、他の仕上げ用切削工具と異なる点である。リーマは伝統的な仕上げ用工具として一般的に用いられているが、切れ刃部はストレート状、ヘリカル状、およびブローチ形などが標準品として市販されているが、ストレート切れ刃形状のハイス、および粉末ハイスのものが多く用いられている。最近では特殊切れ刃形状の高速型も紹介されている。(図 3.8、図 3.9)

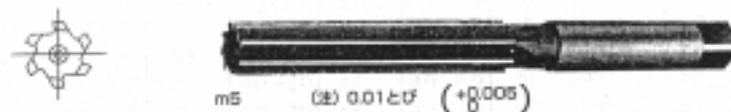


図 3.8 ストレート切れ刃形状リーマ例(出典先：日立ツール・カタログ)

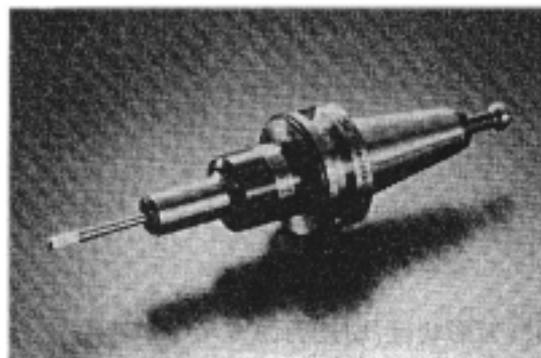


図 3.9 高速型超合金リーマ例

##### リーマの切削条件

切削条件は、切削とバニッシング機能のバランスを考慮して決定することが必要であり、切削速度を高めると切削機能の比率が高まり、切削速度を低下させると逆に、バニッシング機能の比率が高まるためバランスの良い設定が求められる。

具体的には、リーマの切削条件を決める要素は、

リーマ加工代(下穴寸法とバラツキ)

切削速度(m/min.)

送り速度(mm/min)

被削材(被削性)

リーマの工具材種

などが挙げられる。

表 3.3 にリーマの標準切削条件例を紹介した。

表 3.3 ハイスリーマの標準切削条件 (出典先: 日立ツールカタログ)

直径 Reamer Dia. Dmm	リーマ代 Stock Amount (mm)	被削材 Work		鋳 鉄 Cast Iron		炭 素 鋼 Carbon Steels		合 金 鋼 Alloy Steels		工 具 鋼 ステンレス鋼 Tool Steels・Stainless Steels		非 鉄 合 金 アルミニウム合金 Non Ferrous Metals Aluminium Alloys	
		FC200		S45C・SS400 ( ~200HB)		SNC・SNCM (200~250HB)		SKD・SKT・SUS304 (25~35HRC)					
		切削条件 Condition		切削速度5~8m/min Cutting Speed		切削速度5~7m/min Cutting Speed		切削速度4~6m/min Cutting Speed		切削速度3~5m/min Cutting Speed		切削速度6~15m/min Cutting Speed	
		回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev	回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev	回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev	回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev	回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev	回転数 Revolutions min <sup>-1</sup>	送り速度 Feed mm/rev
2	0.1~0.2	1,100	0.3~0.5	950	0.2~0.3	790	0.2~0.3	630	0.1~0.2	1,500	0.3~0.5		
4	0.1~0.2	550	0.3~0.5	470	0.2~0.3	390	0.2~0.3	310	0.1~0.2	790	0.3~0.5		
6	0.2~0.3	370	0.5~1.0	310	0.3~0.5	260	0.3~0.5	210	0.2~0.3	530	0.5~1.0		
8	0.2~0.3	270	0.5~1.0	230	0.3~0.5	190	0.3~0.5	150	0.2~0.3	390	0.5~1.0		
10	0.2~0.3	220	0.5~1.0	190	0.3~0.5	150	0.3~0.5	120	0.2~0.3	310	0.5~1.0		
12	0.2~0.3	180	0.5~1.0	150	0.3~0.5	130	0.3~0.5	100	0.2~0.3	260	0.5~1.0		
16	0.2~0.3	130	0.5~1.0	110	0.3~0.5	100	0.3~0.5	80	0.2~0.3	190	0.5~1.0		
20	0.2~0.3	110	0.5~1.0	95	0.3~0.5	80	0.3~0.5	65	0.2~0.3	150	0.5~1.0		
25	0.3~0.5	90	1.0~1.5	75	0.5~0.6	65	0.5~0.6	50	0.3~0.4	120	1.0~1.5		
30	0.3~0.5	75	1.0~1.5	65	0.5~0.6	55	0.5~0.6	40	0.3~0.4	100	1.0~1.5		
40	0.3~0.5	55	1.0~1.5	45	0.5~0.6	40	0.5~0.6	30	0.3~0.4	80	1.0~1.5		
50	0.3~0.5	45	1.0~1.5	40	0.5~0.6	30	0.5~0.6	25	0.3~0.4	65	1.0~1.5		
刃 形 Tooth shape		直 刃 Straight tooth		直刃またはねじれ角 Straight tooth or spiral tooth		直刃またはねじれ角 Straight tooth or spiral tooth		ねじれ刃 Spiral tooth		ねじれ刃 Spiral tooth			
切 削 油 Cutting fluid		乾式または水溶性油 Dry or water soluble oil		不水溶性油 (塩化油、硫化油) Non-soluble oil (Chloridized oil, sulfide oil)		不水溶性油 (塩化油、硫化油) Non-soluble oil (Chloridized oil, sulfide oil)		不水溶性油 (塩化油) Non-soluble oil (Chloridized oil)		不水溶性油 (鉱油) Non-soluble oil (Mineral oil)			
期待値 Expected value	穴公差 Hole tolerance	h7		h7		h7		h7~h8		h7			
	面粗さ Surface roughness	6.3S		12S		12S		12S		6.3S			

標準的なリーマの形状を図 3.10 に示したが、切削作用を行うのは先端の食い付き部である。

図 3.11 に示した 2 段食い付き角切れ刃形状は、切れ刃のガイドが十分行われるため高精度な穴仕上げ加工が可能である。すなわち、食い付き部切れ刃摩耗の進行を遅らせたり、切れ刃による条痕を仕上げ面に残さない等の効果が期待でき、かつ穴の拡大しるをコントロールできるなどの機能を有する。

リーマの種類と切れ刃形状、下穴寸法、および切削条件などの標準化とデータベース構築は、高精度な穴の仕上げ加工を安定化するためには不可欠である。

## 2) ボーリング工具による穴の仕上げ加工

比較的に大きな直径の穴の仕上げ用工具であり、刃先位置をマイクロメータ単位で調整できる機構を有する。

図 3・12 にボーリング工具の 1 例を紹介しているが、切れ刃交換方式でありコーテッド超硬合金、サーメット、および cBN 焼結体などの工具材種を被削材に応じて選択できる(表 3.4 参照)。

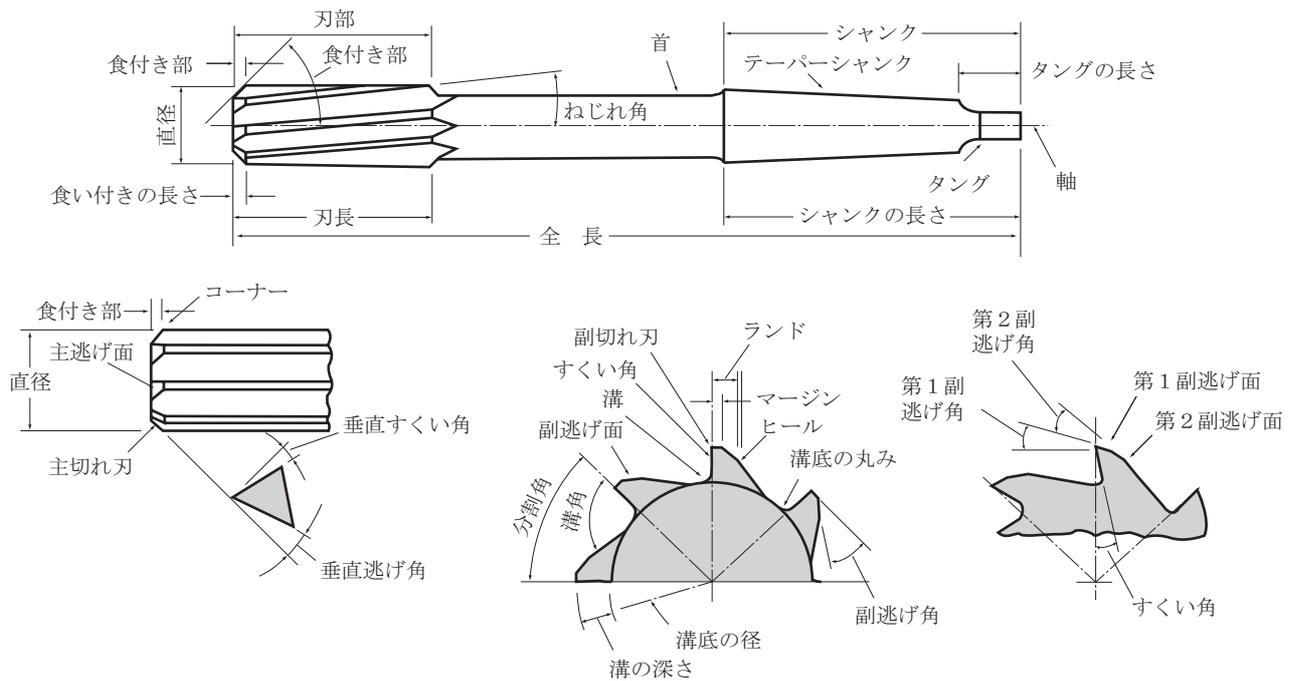


図3.10 標準的なリーマ切れ刃形状と名称

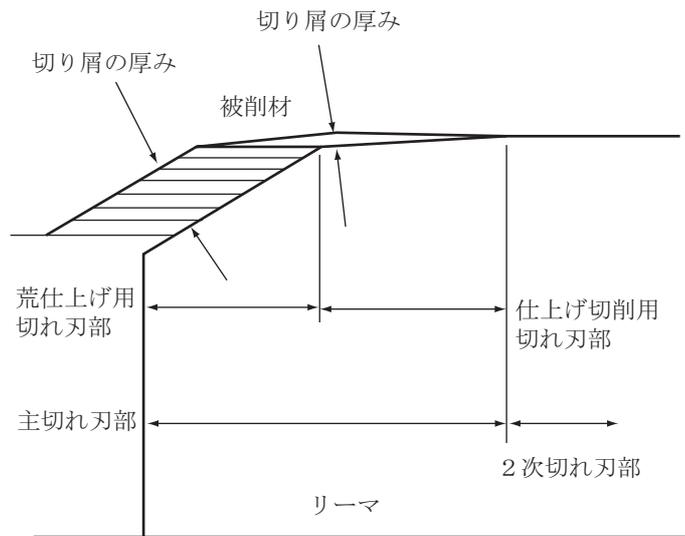


図3.11 リーマの刃先形状例（2段食い付き角部分）



図3.12 高速型ボーリング工具例（出典先：MSTコーポレーション・カタログ）

表 3.4 ボーリング切削条件例

ワーク	チップ材質	切り込みφ	ヘッド	シャンク	エクステンション	全長	ノズル	加工径	切削速度	一刃	回転数	送り	Ra	Rmax
S45C	NX33	0.2	20	A63-MS0-150	-	150	0.2	21.0	300	0.1	4547	455	1.39	6.82
							0.4	20.8	150	0.1	2298	230	0.98	5.52
							0.2	24.2	300	0.1	3946	395	1.59	6.89
							0.4	24.6	300	0.1	3882	388	0.92	4.55
							0.2	24.4	300	0.1	3914	391	1.92	9.11
							0.4	24.8	300	0.1	3851	385	0.96	4.94
			24	A63-MS1-150	MS1 × 1-30	180	0.2	29.4	300	0.1	3248	325	1.57	7.12
							0.4	29.8	300	0.1	3204	320	1.12	4.94
							0.2	29.8	300	0.1	3204	320	2.04	9.09
							0.4	30.0	300	0.1	3183	318	0.94	4.60
							0.2	36.2	300	0.1	2638	264	2.00	9.38
							0.4	36.8	300	0.1	2595	259	1.04	4.74
			29	A63-MS2-150	-	150	0.2	36.4	300	0.1	2623	262	2.14	9.34
							0.4	36.6	300	0.1	2609	261	1.19	6.07
							0.2	50.2	300	0.1	1902	190	2.01	8.84
							0.4	50.8	300	0.1	1880	188	1.11	5.61
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.04	8.73
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	1.15	5.30
			36	A63-MS3-150	-	150	0.2	50.2	300	0.1	1902	190	1.64	7.94
							0.4	50.8	300	0.1	1880	188	1.36	7.00
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.14	9.34
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	0.76	4.30
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.14	9.34
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	0.76	4.30
SS	NX33	0.2	20	A63-MS0-150	-	150	0.2	20.8	300	0.1	4591	459	2.25	9.91
							0.4	21.4	150	0.1	2231	223	0.95	5.29
							0.2	24.2	300	0.1	3946	395	1.59	6.89
							0.4	24.6	300	0.1	3882	388	0.82	3.35
							0.2	24.4	300	0.1	3914	391	1.87	7.97
							0.4	24.8	300	0.1	3851	385	0.89	4.22
			24	A63-MS1-150	MS1 × 1-30	180	0.2	29.4	300	0.1	3248	325	1.39	6.58
							0.4	29.8	300	0.1	3204	320	0.57	3.36
							0.2	29.6	300	0.1	3226	323	1.99	9.56
							0.4	30.0	300	0.1	3183	318	0.93	4.51
							0.2	36.2	300	0.1	2638	264	1.77	8.42
							0.4	36.8	300	0.1	2595	259	1.35	6.74
			29	A63-MS2-150	-	150	0.2	36.4	300	0.1	2623	262	2.12	9.44
							0.4	36.6	300	0.1	2609	261	0.89	4.69
							0.2	50.2	300	0.1	1902	190	1.64	7.94
							0.4	50.8	300	0.1	1880	188	1.36	7.00
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.14	9.34
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	0.76	4.30
			36	A63-MS3-150	-	150	0.2	50.2	300	0.1	1902	190	1.64	7.94
							0.4	50.8	300	0.1	1880	188	1.36	7.00
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.14	9.34
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	0.76	4.30
							0.2	50.4	300	0.1	1895	189	2.14	9.34
							0.4	50.6	300	0.1	1887	189	0.76	4.30

(3) ねじ穴の切削加工

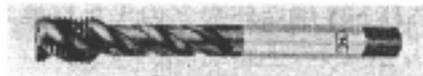
1) タップによる加工

タップの種類と用途 (出典先: オーエスジー・カタログ)

ハイス・スパイラルタップ: 止り穴ねじ加工用・不水溶性切削液



コーテッドハイススパイラルタップ: 水溶性切削液



高硬度用鋼用タップ



超合金シンクロタイプ



タップ加工例

表 3.5 金型材におけるタップ加工事例（出典先：オーエスジー）

	項目	改善前	改善後
ワーク	材質	SKD11	←
	硬さ	20HRC	←
工具	品名記号	EX-SFT	CPM-SFT
	品名	一般用スパイラルタップ	難削材用スパイラルタップ
	呼び	M10×1.5	←
	精度	OH2	OH3
	材質	HSSE	CPM
	表面処理	無処理	←
	食付山数	2.5山	←
	条件	切削速度 (m/mim)	8
回転速度 (min <sup>-1</sup> )		254	←
下穴径		φ8.5	←
ねじ立て長さ (mm)		15 (止)	←
下穴深さ (mm)		20	←
切削油剤		水溶性切削油剤	←
機械	使用機械	M/C	←
	立・横	立型	←
結果 (寿命)		210穴/本	1000穴/本

EX-SFT : ハイス・スパイラルタップ CPM-SFT : TiCN 系コーテッド粉末ハイス・スパイラルタップ

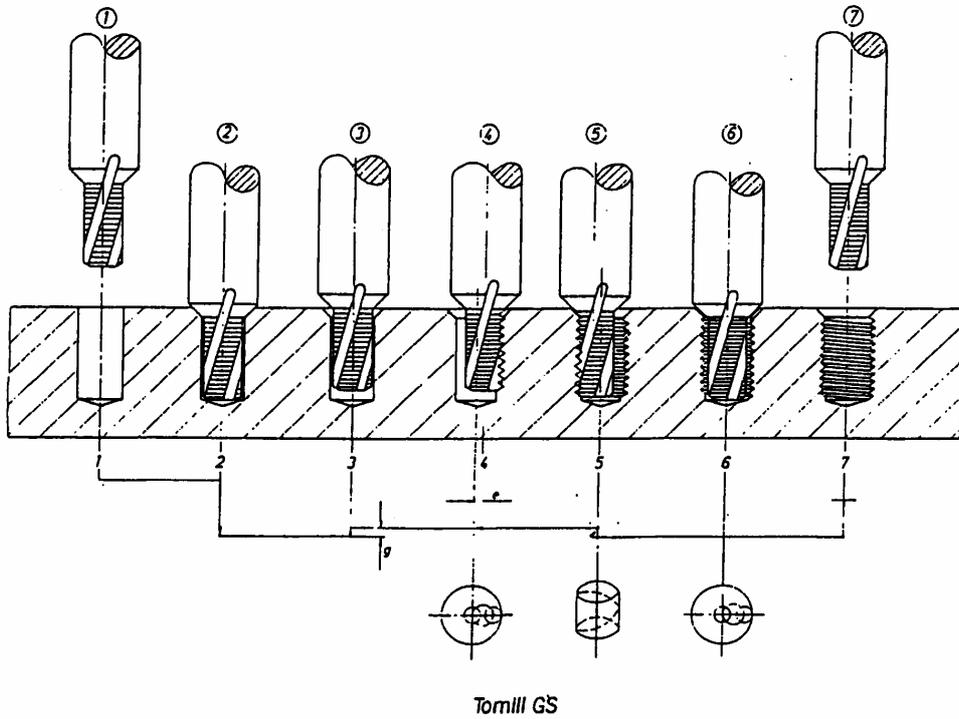
表 3.6 高硬度鋼におけるタップ加工例（出典先：オーエスジー）

	項目	加工データ
ワーク	材質	SKD11
	硬さ	60HRC
工具	品名記号	VX-OT
	品名	高硬度鋼用超硬タップ
	呼び	M3×0.5
	精度	OH3
	材質	UMA
	表面処理	TiCN処理
	食付山数	5山
	条件	切削速度 (m/mim)
回転速度 (min <sup>-1</sup> )		320
下穴径		φ2.6
ねじ立て長さ (mm)		6 (止)
下穴深さ (mm)		10
切削油剤		不水溶性切削油剤
機械	使用機械	M/C
	立・横	立型
結果 (寿命)		15穴/本

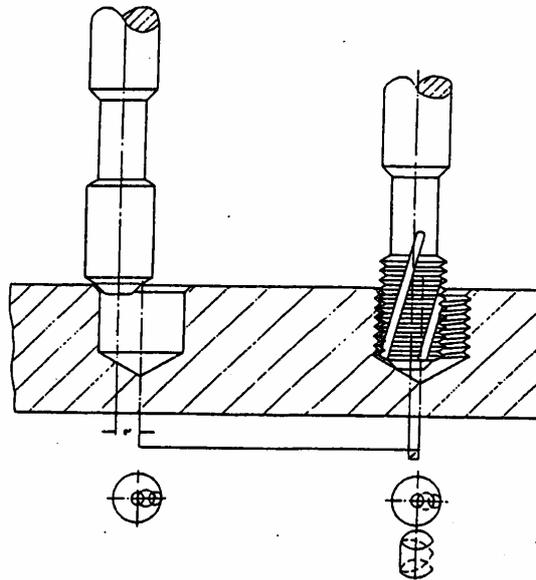
VX-OT:TiCN コーテッド超硬合金高硬度鋼用タップ

## 2) ねじ切りフライス工具による加工

ねじ切りフライス工具形状例(出典先:JEL Precision Tools・ドイツ)



切削事例:ヘリカル補間によるねじ切削方式



### 3.1.2 フライス切削加工

#### (1) フェースミル切削加工

フェースミルの機能

フェースミルの各部名称を、図 3.13 に示したが

1) 切込み角を小さくすると、切込み深さに対する切れ刃長は長くなり、大きなインサートを

必要するが工具寿命の面では有利になる。特に金型材の様な比較的到高靱性、かつ高硬度な特性を有する被削材には、切込み角の小さな(例:  $45^\circ$ )フェースミルを適用すると、安定した切削が期待できる。

- 2) すくい角は、アクシャルレーキ(軸方向のすくい角)と、ラジアルレーキ(半径方向のすくい角)があるが、すくい角がポジティブの場合は、切削抵抗を減少できるが刃先強度は低下する。これらの切れ刃角に応じて、図 3.14 に示したように切り屑形状と排出方向が変化する。
- 3) 被削材の切削幅の 30~50%程度大きな直径のフェースミルを用いると、図 3.15 に説明したようにエンゲージ角が小さくなり、切削する場合に、切れ刃先端部が最初に被削材と接触する事が防げ、刃先破損を含めて工具寿命の面で有利である。
- 4) 図 3.16 に示したように、工具直径が被削材の切削幅に比べて大きすぎると、工具移動距離が長くなり、かつ工具回転数は工具直径に比例するため大径ほど低速回転になり、1 刃当たり送り量が同一の場合は送り速度(mm/min.)は低くなり、加工能率は低下する。

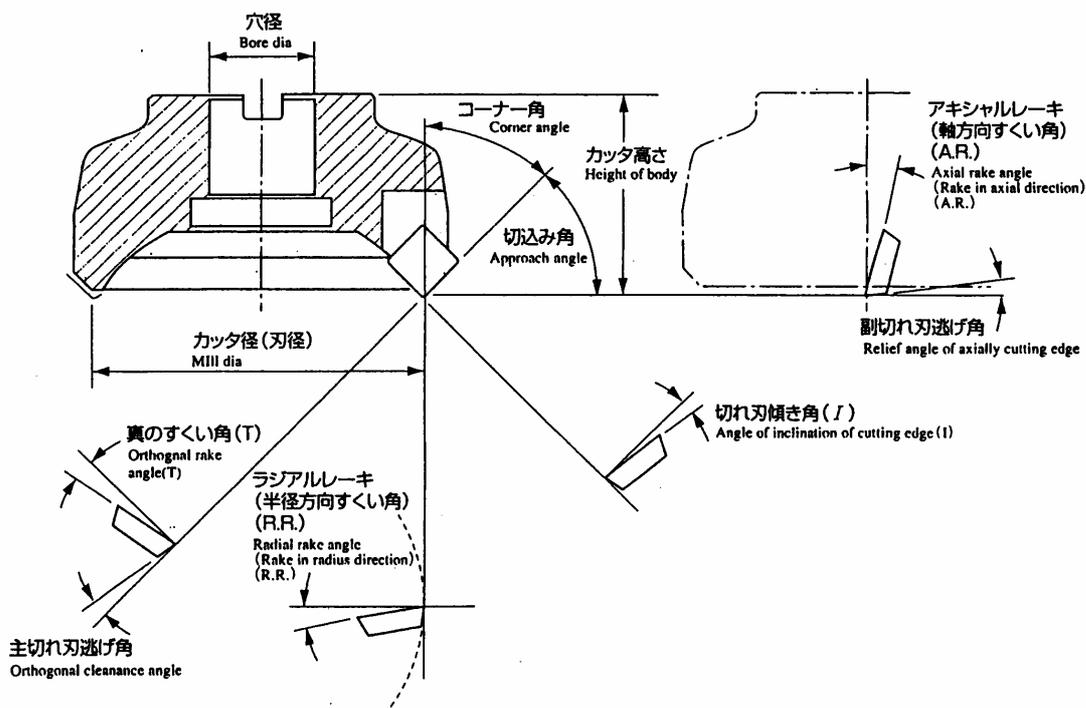


図 3.13 フェースミルの各部名称例(出典先:日立ツール・カタログ)

刃形 Cutter shape		ダブルポジ Double poji	ダブルネガ Double nega	ネガ・ポジ Nega posi	ポジ・ネガ Posi nega
刃形形状と切り屑排出状況 Cutter shape and chips ejection	アキシヤル角 Axial angle				
	ラジアル角				

図3.14 各切れ刃角と切り屑排出の関係例 (出典：日立ツール・カタログ)

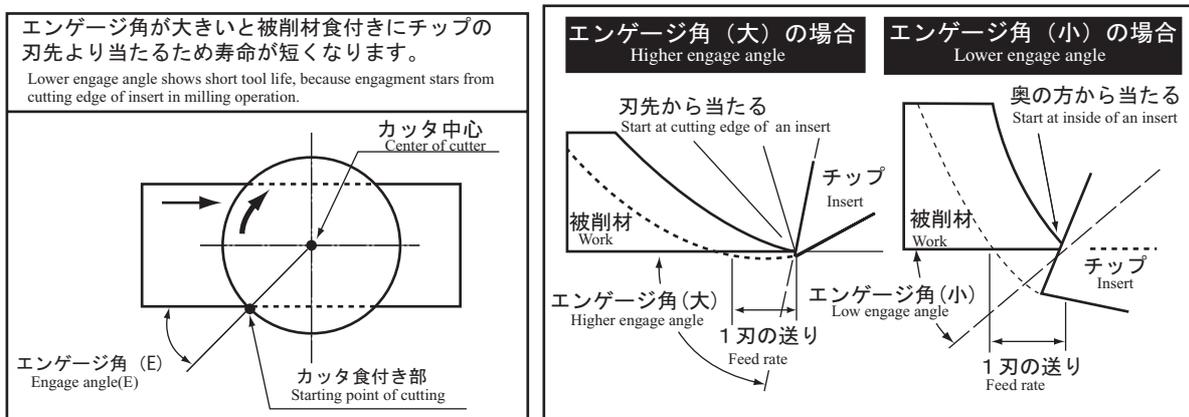


図3.15 エンゲージ角による切れ刃と被削材の接触の違い (出典：日立ツール・カタログ)

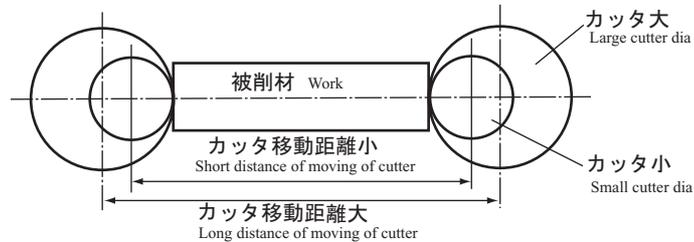


図3.16 工具径と加工能率 (出典先：日立ツール・カタログ)

## (2) エンドミル切削加工

### ■エンドミルの種類と適用法

エンドミルの選択は、加工形状、加工精度、加工における制約条件、工具軌跡、切削条件などを考慮して最適なものを選択すべきである。最初にエンドミルありきの加工プランは、高い目標(加工精度、能率など)を達成することが困難になる。

図3・17は、これら金型加工を行う上で発生する各種条件と、適用できるエンドミルの種類を示す。

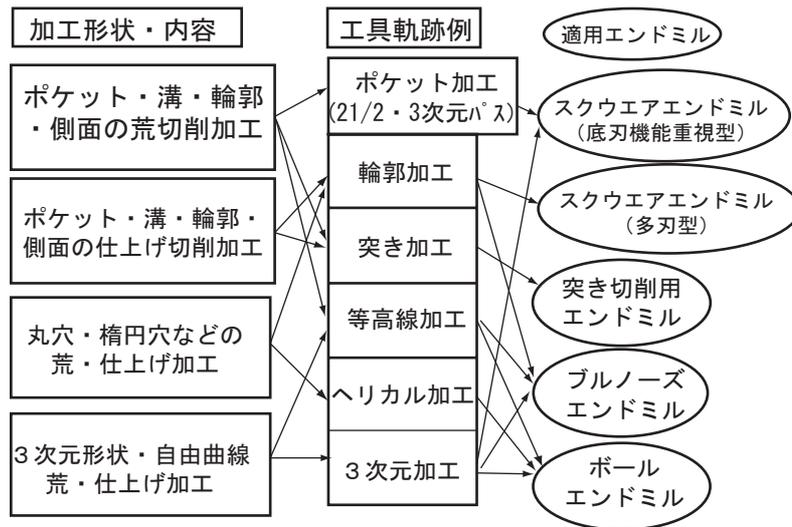


図3.17 エンドミルの選択例

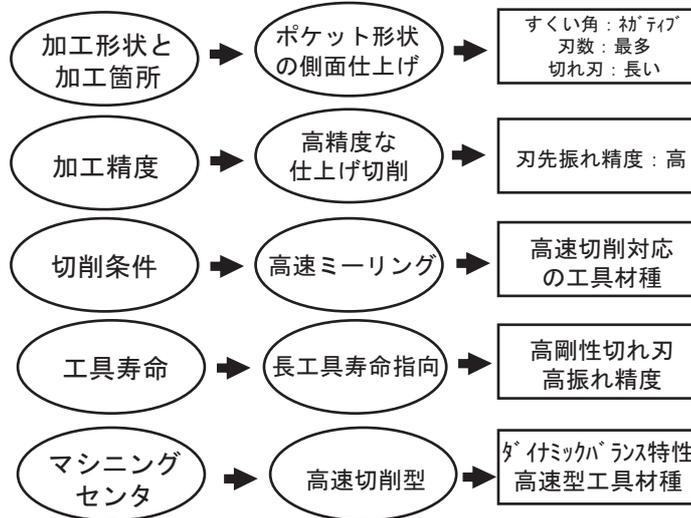


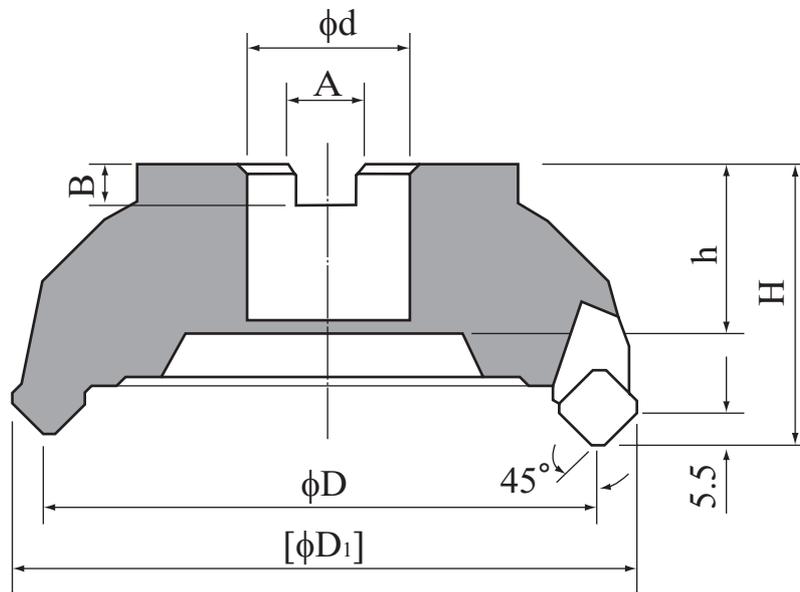
図3.18 エンドミルに要求される諸特性

		4枚刃 超硬コーティング	ハイヘリタフ 超硬コーティング
倒れ量			
面粗さ	2.4μmRy	3.7μmRy	3.2μmRy
切削条件	工具：波形φ10 S=1600min <sup>-1</sup> V=50m/min F=220mm/min AdxRd=20x0.1mm 乾式ダウンカット		

図3.19 エンドミル切れ刃形状と加工精度比較例 (日立ツール技術資料)

表3.7-1 フェースミル標準切削条件例（出典先：日立ツール・カタログ）

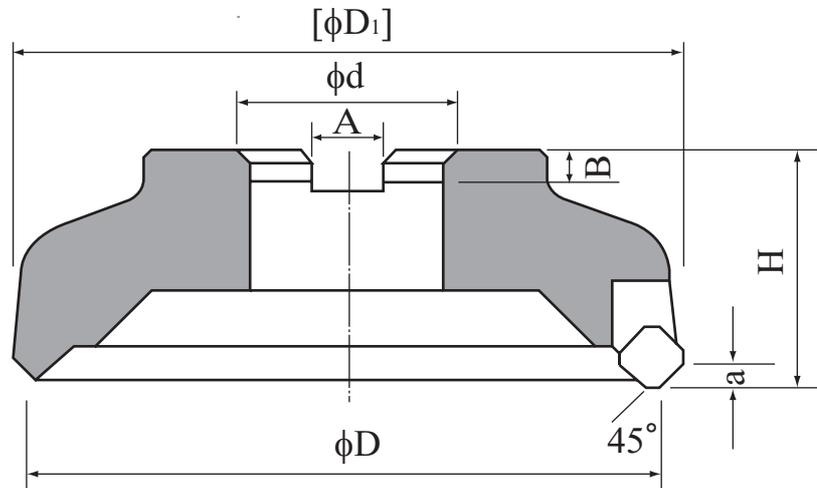
用途 Applications		汎用 General
被削材 Work Materials		鋼・鋳鉄 Steel, Cast Iron 軽合金 Light alloy
刃形 Edge Shape	切込み角 Cutting edge Angle	45°
	すくい角 Rake Angle	A. R. = 21° R. R. = 3°



被削材 Work Materials	作業区分 Application	標準切削条件 Recommended cutting conditions	
		切削速度 (m/min) Cutting speed $v$ (m/min)	1 刃当たりの送り (mm/刃) Feed rate $f_t$ (mm/t)
軟鋼 Mild steel SS, SM (200HB以下)	汎用 General	150~250	0.1~0.2
	荒用 Roughing	150~250	0.1~0.3
炭素鋼・合金鋼 Carbon steels, Alloy steels S-C, SCM (300HRC以下)	汎用 General	100~200	0.1~0.2
	荒用 Roughing	100~200 100~160	0.1~0.3 0.1~0.3
調質鋼 Hardened steel (30~40HRC)	汎用 General	80~150 100~180	0.1~0.2 0.1~0.2
	汎用 General	120~220	0.1~0.3
ステンレス鋼 Stainless steel SUS	汎用 General	100~200 (80~150)	0.1~0.3 (0.1~0.3)
	汎用 General	300~600	0.05~0.2

表3.7-3 フェースミル標準切削条件例（出典先：日立ツール・カタログ）

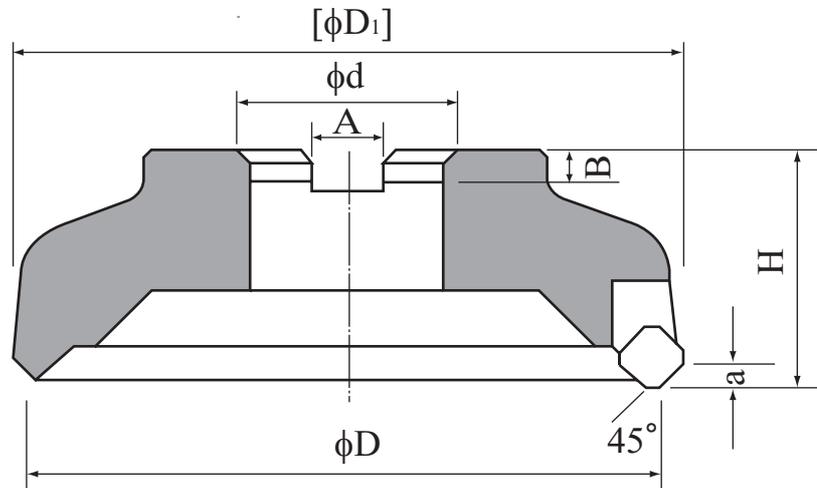
用途 Applications		汎用 General
被削材 Work Materials		鋼・鋳鉄 Steel, Cast Iron 軽合金 Light alloy
刃形 Edge Shape	切込み角 Cutting edge Angle	45°
	すくい角 Rake Angle	A. R. =25° R. R. =-4°



被削材 Work Materials	作業区分 Application	標準切削条件 Recommended cutting conditions	
		切削速度 (m/min) Cutting speed $v$ (m/min)	1刃当たりの送り (mm/刃) Feed rate $f_t$ (mm/t)
軟鋼 Mild steel SS, SM (200HB以下)	汎用 General	150~200	0.1~0.2
	荒用 Roughing	125~250	0.1~0.3
炭素鋼・合金鋼 Carbon steels, Alloy steels S-C, SCM (300HRC以下)	汎用 General	125~200	0.1~0.2
	荒用 Roughing	100~180	0.1~0.3
調質鋼 Hardened steel (30~40HRC)	汎用 General	60~100	0.1~0.2
ステンレス鋼 Stainless steel SUS	汎用 General	125~200	0.1~0.3
鋳鉄 Cast Iron FC, FCD	汎用 General	80~200	0.1~0.3
アルミ合金 Aluminium Alloys	汎用 General	400~1000	0.05~0.2

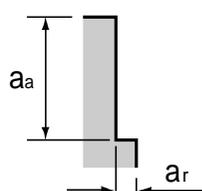
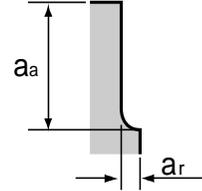
表3.7-3 フェースミル標準切削条件例（出典先：日立ツール・カタログ）

用途 Applications		汎用 General
被削材 Work Materials		鋼・鋳鉄 Steel, Cast Iron 軽合金 Light alloy
刃形 Edge Shape	切込み角 Cutting edge Angle	45°
	すくい角 Rake Angle	A. R. =25° R. R. =-4°



被削材 Work Materials	作業区分 Application	標準切削条件 Recommended cutting conditions	
		切削速度 (m/min) Cutting speed $v$ (m/min)	1刃当たりの送り (mm/刃) Feed rate $f_t$ (mm/t)
軟鋼 Mild steel SS, SM (200HB以下)	汎用 General	150~200	0.1~0.2
	荒用 Roughing	125~250	0.1~0.3
炭素鋼・合金鋼 Carbon steels, Alloy steels S-C, SCM (300HRC以下)	汎用 General	125~200	0.1~0.2
	荒用 Roughing	100~180	0.1~0.3
調質鋼 Hardened steel (30~40HRC)	汎用 General	60~100	0.1~0.2
ステンレス鋼 Stainless steel SUS	汎用 General	125~200	0.1~0.3
鋳鉄 Cast Iron FC, FCD	汎用 General	80~200	0.1~0.3
アルミ合金 Aluminium Alloys	汎用 General	400~1000	0.05~0.2

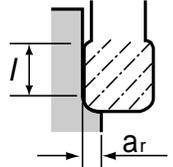
コーテッド超硬合金エンドミルの切削条件（出典先：オーエスジー）  
側面切削（短刃長エンドミル）

被削材	一般構造用鋼・炭素鋼・鋳鉄 SS400・S55C・FC250 (引張り強さ ~ 750N/mm <sup>2</sup> )		合金鋼・工具鋼 SCM, SKT, SKS, SKD (~ 30HRC)		調質工・ プリハードン鋼（快削） SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30 ~ 38HRC)		ステンレス鋼・調質鋼 SUS304・SKD (38 ~ 45HRC)		調質鋼 (45 ~ 55HRC) 超耐熱合金		調質鋼 (55 ~ 60HRC)		調質鋼 (60 ~ 65HRC)																													
	MILD STEELS, CARBON STEELS, CAST IRON, SS400, S55C, FC250 (TENSILE ~ 750N/mm <sup>2</sup> )		ALLOY STEELS, TOOL STEELS SCM, SKT, SKS, SKD (~ 30HRC)		HARDENED STEELS, PREHARDENED STEELS (FREE-CUTTING) SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30~38HRC)		STAINLESS STEELS, HARDENED STEELS SUS304, SKD (38~45HRC)		HARDENED STEELS (45~55HRC) HEAT RESTANT STEELS		HARDENED STEELS (55~60HRC)		HARDENED STEELS (60~65HRC)																													
呼び (mm)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)																												
MILL DIA (mm)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)																												
1	20,000	600	20,000	560	20,000	280	18,000	180	9,500	70	6,350	40	-	-																												
2	15,500	990	11,500	735	10,500	440	9,500	285	4,750	120	3,150	70	2,700	40																												
3	10,500	1,350	7,950	1,000	7,000	625	6,350	405	3,150	165	2,100	95	1,800	60																												
4	7,950	1,450	5,950	1,050	5,250	625	4,750	395	2,350	195	1,550	95	1,350	60																												
5	6,350	1,500	4,750	1,100	4,200	625	3,800	395	1,900	195	1,250	95	1,050	55																												
6	5,300	2,500	3,950	1,750	3,500	1,150	3,150	905	1,550	270	1,050	145	900	80																												
8	3,950	2,300	2,950	1,700	2,600	1,150	2,350	915	1,150	270	795	140	675	70																												
10	3,150	2,000	2,350	1,450	2,100	1,050	1,900	855	955	280	635	130	540	65																												
12	2,650	1,850	1,950	1,300	1,750	965	1,550	730	795	275	530	120	450	60																												
14	2,250	1,600	1,700	1,150	1,500	865	1,350	640	680	245	455	105	385	50																												
16	1,950	1,450	1,450	1,000	1,300	780	1,150	545	595	210	395	95	335	45																												
18	1,950	1,450	1,300	935	1,150	690	1,050	495	530	190	350	80	300	40																												
20	1,750	1,300	1,150	825	1,050	680	955	450	475	170	315	80	270	35																												
25	1,250	1,150	955	725	840	670	760	470	380	175	255	80	215	35																												
30	1,050	990	795	600	700	555	635	395	315	145	210	65	180	30																												
切り込み量	<table border="1"><tr><td></td><td>a<sub>a</sub></td><td>a<sub>r</sub></td></tr><tr><td>D φ1.5</td><td>1.5D</td><td>0.02D</td></tr></table>			a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>	D φ1.5	1.5D	0.02D	<table border="1"><tr><td></td><td>a<sub>a</sub></td><td>a<sub>r</sub></td></tr><tr><td>φ1.5&lt;D φ2.5</td><td>1.5D</td><td>0.05D</td></tr><tr><td>φ2.5&lt;D</td><td>1.5D</td><td>0.1D</td></tr></table>			a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>	φ1.5<D φ2.5	1.5D	0.05D	φ2.5<D	1.5D	0.1D					<table border="1"><tr><td></td><td>a<sub>a</sub></td><td>a<sub>r</sub></td></tr><tr><td>D φ1.5</td><td>1.5D</td><td>0.02D</td></tr><tr><td>φ1.5&lt;D φ2</td><td>1.5D</td><td>0.05D</td></tr></table>			a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>	D φ1.5	1.5D	0.02D	φ1.5<D φ2	1.5D	0.05D	<table border="1"><tr><td></td><td>a<sub>a</sub></td><td>a<sub>r</sub></td></tr><tr><td></td><td>1.5D</td><td>0.02D</td></tr></table>			a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>		1.5D	0.02D
		a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>																																							
D φ1.5	1.5D	0.02D																																								
	a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>																																								
φ1.5<D φ2.5	1.5D	0.05D																																								
φ2.5<D	1.5D	0.1D																																								
	a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>																																								
D φ1.5	1.5D	0.02D																																								
φ1.5<D φ2	1.5D	0.05D																																								
	a <sub>a</sub>	a <sub>r</sub>																																								
	1.5D	0.02D																																								
DEPTH OF OUT																																										

1. 機械、チャックは剛性のある精度の高い物をご仕様下さい。
2. エアブローをご使用ください。切削油を使用する場合は揮発性の少ないものを選定してください。  
工具突き出し量が必要な場合は回転速度、送り速度を下げてください。

コーテッド超硬合金エンドミルの切削条件（出典先：オーエスジー）

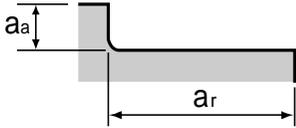
側面切削（標準刃長のエンドミル）

被削材	一般構造用鋼・炭素鋼・鋳鉄 SS400・S55C・FC250 (引張り強さ ~ 750N/mm <sup>2</sup> )		合金鋼・工具鋼 SCM, SKT, SKS, SKD (~ 30HRC)		調質工・ プリハードン鋼（快削） SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30 ~ 38HRC)		調質鋼 (45 ~ 55HRC) 超耐熱合金		調質鋼 (55 ~ 60HRC)		調質鋼 (60 ~ 65HRC)	
WORK MATERIAL	MILD STEELS, CARBON STEELS, CAST IRON, SS400, S55C, FC250 (TENSILE ~750N/mm <sup>2</sup> )		ALLOY STEELS, TOOL STEELS SCM, SKT, SKS, SKD (~30HRC)		HARDENED STEELS, PREHARDENED STEELS (FREE-CUTTING) SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30~38HRC)		HARDENED STEELS (45~55HRC) HEAT RESTANT STEELS		HARDENED STEELS (55~60HRC)		HARDENED STEELS (60~65HRC)	
切削速度 CUTTING SPEED	200m/min		200m/min		200m/min		150m/min		150m/min		100m/min	
呼び (mm)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)
MILL DIA (mm)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)
10	6,400	2,120	6,400	1,700	6,400	1,060	4,800	800	4,800	640	3,180	420
12	5,300	2,120	5,300	1,700	5,300	1,060	4,000	800	4,000	640	2,650	420
14	4,550	2,120	4,550	1,700	4,550	1,060	3,400	800	3,400	640	2,270	420
18	3,500	1,750	3,500	1,400	3,500	1,060	2,650	800	2,650	640	1,750	420
22	2,900	1,450	2,900	1,150	2,900	1,060	2,170	800	2,170	640	1,450	420
切り込み量	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>a_a = l (\approx 1.5D)</math>  <math>a_r = 0.05D</math> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <math>a_a = l (\approx 1.5D)</math>  <math>a_r = 0.05D</math> </div> </div>											
DEPTH OF OUT												

- この切削条件は、エンドミルの突き出し巾が、(刃径×4倍)を基準としたものです。  
 (刃径×5倍)の場合は、回転速度、送り速度ともに10~20%程度下げてください。  
 (刃径×6倍)の場合は、切り込み量 $a_r$ を1/3以下にし、回転速度、送り速度ともに30~40%程度下げてください。
- 切り込み量、機械剛性等使用状況により、回転速度、送り速度を調整下さい。
- エアブローをご使用下さい。切削油を使用する場合は、揮発性の少ないものを選定下さい。

コーテッド超硬合金エンドミルの切削条件（出典先：オーエスジー）

掘り込み切削

被削材	一般構造用鋼・炭素鋼・鋳鉄 SS400・S55C・FC250 (引張り強さ ~ 750N/mm <sup>2</sup> )		合金鋼・工具鋼 SCM, SKT, SKS, SKD (~ 30HRC)		調質工・ プリハードン鋼 (快削) SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30 ~ 38HRC)		調質鋼 (45 ~ 55HRC) 超耐熱合金		調質鋼 (55 ~ 60HRC)		調質鋼 (60 ~ 65HRC)	
WORK MATERIAL	MILD STEELS, CARBON STEELS, CAST IRON, SS400, S55C, FC250 (TENSILE ~750N/mm <sup>2</sup> )		ALLOY STEELS, TOOL STEELS SCM, SKT, SKS, SKD (~30HRC)		HARDENED STEELS, PREHARDENED STEELS (FREE-CUTTING) SKT, SKD, NAK55, HPM1 (30~38HRC)		HARDENED STEELS (45~55HRC) HEAT RESTANT STEELS		HARDENED STEELS (55~60HRC)		HARDENED STEELS (60~65HRC)	
切削速度 CUTTING SPEED	200m/min		200m/min		200m/min		150m/min		150m/min		100m/min	
呼び (mm)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)	回転速度 (mm <sup>-1</sup> )	送り速度 (mm/min)
MILL DIA (mm)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)	SPEED (mm <sup>-1</sup> )	FEED (mm/min)
10	6,400	2,120	6,400	1,700	6,400	1,060	4,800	800	4,800	640	3,180	420
12	5,300	2,120	5,300	1,700	5,300	1,060	4,000	800	4,000	640	2,650	420
14	4,550	2,120	4,550	1,700	4,550	1,060	3,400	800	3,400	640	2,270	420
18	3,500	1,750	3,500	1,400	3,500	1,060	2,650	800	2,650	640	1,750	420
22	2,900	1,450	2,900	1,150	2,900	1,060	2,170	800	2,170	640	1,450	420
切り込み量												
DEPTH OF OUT												
	$a_a = 0.1D$								$a_a = 0.05D$		$a_a = 0.02D$	
	$a_r = 0.3D \square 0.5D$								$a_r = 0.2D \square 0.3D$		$a_r = 0.2D \square 0.3D$	

- この切削条件は、エンドミルの突き出し巾が、(刃径×4倍)を基準としたものです。  
 (刃径×5倍)の場合は、回転速度、送り速度ともに40~50%程度下げてください。  
 (刃径×6倍)の場合は、切込み量 $a_a$ を1/2以下にし、回転速度、送り速度ともに40~50%程度下げてください。
- 切込み量、機械剛性等使用状況により、回転速度、送り速度を調整下さい。
- エアブローをご使用下さい。切削油を使用する場合は、揮発性の少ないものを選定下さい。

### エンドミル切込み時の工具軌跡

エンドミルは横方向に切削する工具であるが、切削スタート時の切込みは垂直方向(ドリル切削)が多く適用されている。

しかしながら、図 3・20 に示したような傾斜切削の工具軌跡は、エンドミルの中心刃切削を避けるため、工具切れ刃の負担を軽減でき、切り屑形状からも安定した切削状態が推察できる。

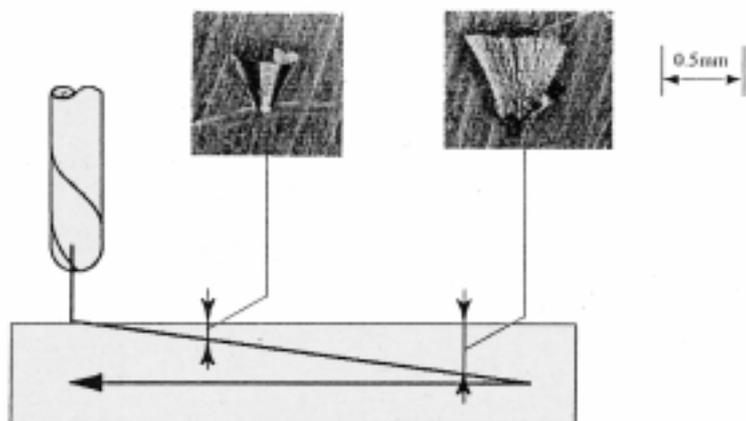


図 3.20 傾斜切削工具軌跡と切り屑形状例 (出典先：理化学研究所・研究論文)

エンドミル加工事例例 - 1 (出典先：オーエスジー)

エンドミル加工事例例 - 2 (出典先：オーエスジー)

エンドミル加工事例例 - 3 (出典先：オーエスジー)

エンドミル加工事例例 - 4 (出典先：オーエスジー)

エンドミル加工事例例 - 5 (出典先：オーエスジー)

<http://www.osg.co.jp/tool/products/pdf/index.html> 参照

### 3.3.1 ツーリングの種類と選択

#### (1) 主軸との接続方式

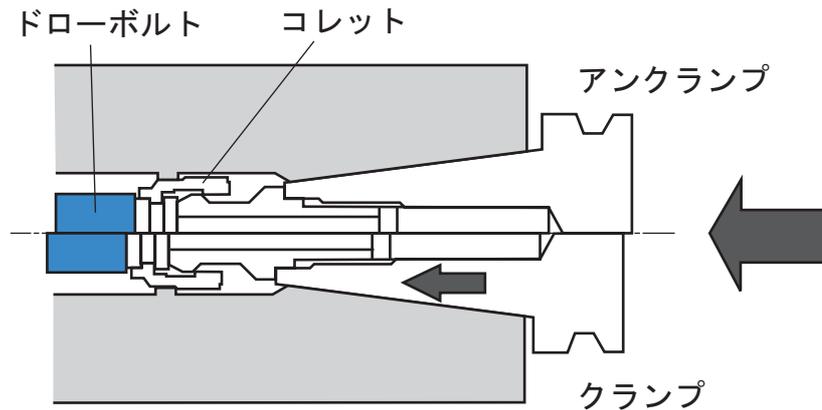


図3.21 BT方式（テーパ拘束接続方式：現在の中心的な接続方式）

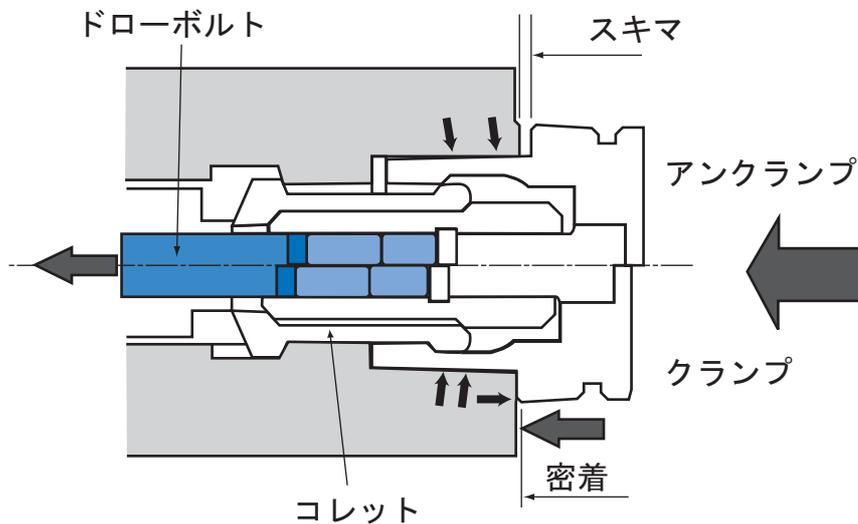


図3.22 HSK方式（2面拘束接続方式：高剛性・ISO化推進中）

#### (2) 切削工具と保持具の種類例

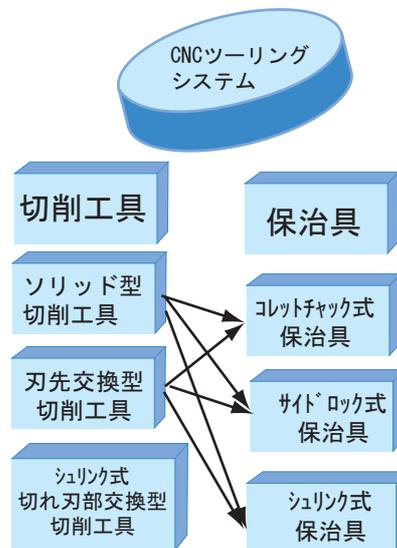


図3.23 切削工具と保治具の組み合わせ例

図 3.24 ~ 3.28 ( 出典先 : MAT コーポレーション )

<http://www.yamazen.co.jp/yz/seisanzai/maker/maker4.html> 参照

## 3.2 研削加工に関するノウハウの客観化

### 3.2.1 平面・成形研削加工

#### 平面研削加工

##### 平面研削加工における高精度・能率化実現のポイント

- 1) 高硬度鋼の場合は、仕上げ面粗さ、平坦度共に、2~5 マイクロメータ程度の加工精度を切削加工で得ることが可能になっている。しかしながら、現実には、平面研削加工に依存しており、仕上げ面の品位(加工硬化、残留応力など)を高める上では、cBN 砥石による研削加工が望ましい。
- 2) 従来の WA、および GC 砥石による研削と、cBN 砥石による研削方式は細部で異なっており、これらの点に留意する必要がある。  
cBN 砥石はダイヤモンドに次ぐ高硬度であり、切れ味に優れているためほぼ指示通りの切込みで研削でき、かつ研削時の熱影響は低く高品位な仕上げ面を得ることができる。  
砥石は摩耗が進行した時点で、ツルーイング(砥石に表面形状を整える)、およびドレッシング(ボンドを交代させ砥粒の突き出し量を確保する)作業を行う。  
メタルボンドの様な砥粒保持強度が高い砥石では、研削速度を大幅(100m/sec. 以上)に高めることができる。
- 3) 切削による研削前加工で、研削代を可能な限り少なくすること(50 マイクロメータ以内)が研削加工の高能率化を指向する上で重要なポイントである。
- 4) 超硬合金を素材としたパンチなどの研削加工には、ダイヤモンド砥粒の砥石が用いられるが、レジンボンド、ビトリファイドボンド砥石の場合はツルーイング、およびドレッシング作業を行いながら研削作業する。

#### CNC 成形研削加工

CNC 成形研削は、CAD などから加工形状データ、および素材形状データを入力し、加工設定で所定の砥石の軌跡を指示、かつ加工条件を選択して加工を実行する。成形研削加工は、あらかじめシミュレーションすることで、プログラムの内容を確認することが可能である。NC プログラム・データによる加工を、図 3.29 に紹介した。(出典先：全て和井田製作所・技術資料)

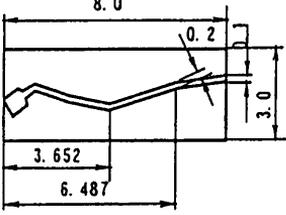
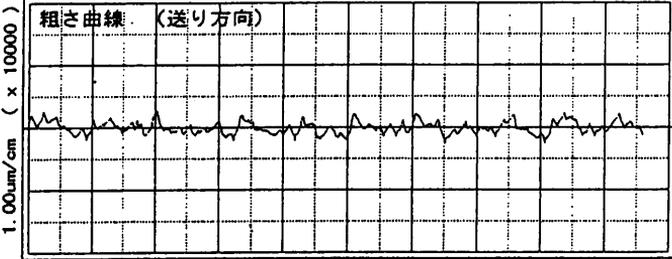
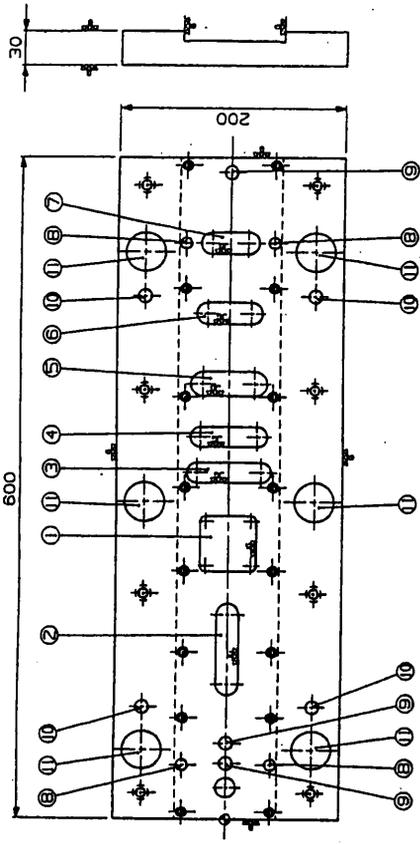
CNC成形研削事例 (超硬合金パンチの成形研削)					
加工品	品名	L/Fパンチ NO. 13		プログラミング時間	30分
	材質	超硬 FM10		加工品セッティング時間	45分
	形状	有効長	8 mm	粗加工時間	20分
				中仕上げ加工時間	9分 × 2回
			仕上げ加工時間	9分	
			研削時間合計	47分	
			加工精度	+0.0020 mm -0.0015 mm	
面精度	研削送り方向面粗さ				
		Ra 0.078 μm Ry 0.528 μm Rz 0.468 μm			
研削条件	項目	粗加工	中仕上げ加工	仕上げ加工	
	研削方法	手動	コンタリング	コンタリング	
	乾式/湿式	乾式	乾式	乾式	
	使用砥石	φ75SD170レジ 1mm巾スレート/片刃15°	φ75SD 400メタル 片刃15°	φ75SD 400メタル 片刃15°	
	砥石回転数 min <sup>-1</sup>	7000	10500	10500	
	揺動条件	Zピッチ mm	—	—	—
		揺動回数 min <sup>-1</sup>	200~300	200	200
		上死点 mm	+5	+5	+5
		下死点 mm	-9.0	-8.0	-8.0
	切り込み条件	取り代 mm	2.0	0.015~0.020	0.005
切込量 mm		0.05~0.3	0.005~0.010	0.005	
仕上代 mm		0.015~0.02	0.005	0	
	送り速度 mm/min	~20	3.0	3.0	
	最終速度 mm/min				
	コーナ速度 mm/min				

図 3.29 CNC 成形研削事例 (超硬合金パンチの成形研削)

JG-70UMX加工データ

■品名	ダイプレート	■加工機	JG-70UMX
■材質	SKD-11	■加工方法	角穴・長円穴 丸穴 輪研加工 逆星加工
■プレート寸法	(幅×長さ×厚さ) 200×600×30	■加工使用輪	角穴・長円穴 丸穴
■加工公差	±0.005 0~+0.003 ±0.003 1.5μm	■加工仕様	XYC同時S輪、Zオシレーション XY位置決め、Zオシレーション U切込み 公転輪
■丸穴			
■ピッチ			
■加工面粗さ			

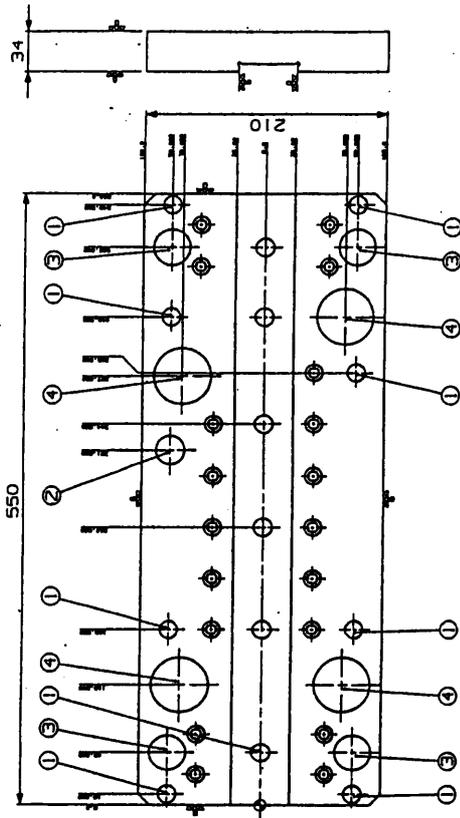


加工形状	角穴			長円穴												丸穴					
	No.	寸法	加工	② 83.6×20	③ 74.96×18	④ 68.4×18	⑤ 68.0×22	⑥ 58.5×20	⑦ 51.80×20	⑧ 4-φ10	⑨ 3-φ12	⑩ 4-φ12	⑪ 6-φ35	φ8		φ10		φ24			
加工工程				仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上	仕上		
砥石種類				#270	#270	#270	#270	#270	#270	#270	#270	#270	#270	#270	#240	#240	#240	#140	#140		
砥石外径				φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8		
砥石周速			1000	1000												3000		1400			
取代			0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
切り上げ/下し			14000	14000												1000		500			
送り速度			20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20		
公転回転数				無												180		100			
切込量			0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.006	0.003	0.006	0.004	0.006		
スパウト回転数			0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0.006	0.003	0.006	0.004	0.006		
研削液			無	無												25		15			
ピッチ			—	0.0010	—	0.0012	—	0.0016	—	0.0022	—	0.0022	—	0.0025	—	0.0020	—	0.0017	—		
寸法精度			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
穴径			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
形状			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
仕上面粗さ			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
段取り			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	10	5	5		
加工時間			55	40	45	34	40	29	37	26	44	32	36	25	28	20	64	22	58		
加工時間			105	89	79	73	86	71	58	58	83	134	213	101	93	134	90	34	128		
合計加工時間																					

図 3.30 CNC ジグ研削事例-1 (ダイプレート)

JG-70UMX加工予一タ

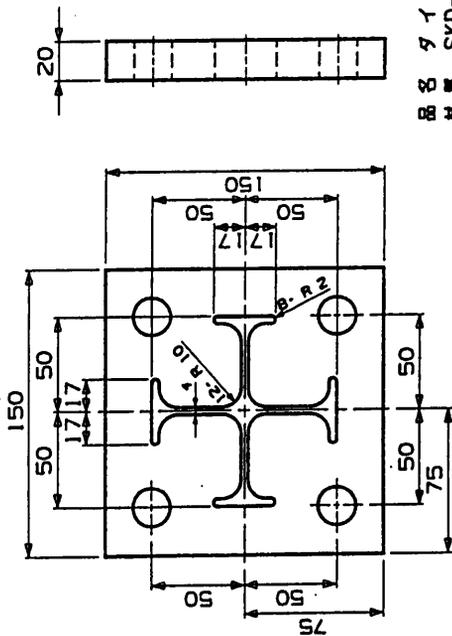
<b>加工機</b> ■加工機 JG-70UMX ■加工方法 遠隔加工 ■加工使用油 丸穴 ■加工使用油 丸穴 ■加工公差 0 $\pm$ 0.003 ■加工公差 $\pm$ 0.003 ■加工面粗さ 1.5 $\mu$ m	<b>ダイブレード</b> SKD-11 (幅×長さ×厚さ) 210×550×34 丸穴 0 $\pm$ 0.003 ピッチ $\pm$ 0.003 加工面粗さ 1.5 $\mu$ m
---	---



加工形状	丸 穴									
	① 14-φ16	② 1-φ25.5	③ 4-φ32	④ 4-φ50	⑤ 1-φ16	⑥ 1-φ25.5	⑦ 4-φ32	⑧ 4-φ50	⑨ 1-φ16	⑩ 1-φ25.5
加工工程	粗	仕上	仕上	仕上	粗	仕上	仕上	仕上	粗	仕上
砥石種類	CBN	#120	#270	#120	#120	#270	#120	#270	#120	#270
砥石外径	φ14	φ14	φ14	φ24	φ14	φ14	φ24	φ14	φ14	φ24
砥石周速	m/min	1200	1200	1400	1200	1200	1400	1200	1200	1400
取 代	mm	0.3	0.04	0.3	0.04	0.3	0.04	0.4	0.04	0.4
ワーク・ラン速	mm/min	400	300	400	300	400	300	400	300	400
送り速度	mm/min	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公転回転数	min <sup>-1</sup>	140	140	100	80	140	100	80	140	80
切込量	mm	0.007	0.004	0.007	0.004	0.007	0.004	0.007	0.004	0.004
1/4-770回數	回	—	—	—	—	—	—	—	—	—
研削被	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ピッチ	mm	—	0.0020	—	0.0015	—	0.0015	—	0.0015	—
	穴径	mm	—	0.0010	—	0.0010	—	0.0007	—	0.0012
形状	mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—
仕上面粗さ	μm	—	1.2	—	1.0	—	1.2	—	1.2	—
取取り	min	10	5	10	5	10	5	10	5	15
加工時間	min	308	186	15	10	100	50	120	175	175
計	min	519	40	165	320	—	—	—	—	—
合計加工時間	min	1044								

図 3.31 CNC ジグ研削事例-2(溝形状を有するダイブレード)

CNCジグ研削盤加工事例



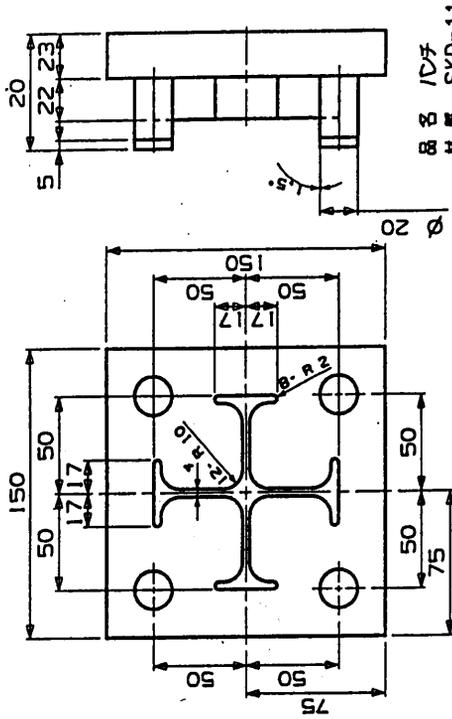
品名 / 円子  
材質 SKD-11

加工機 JG-35CPX

加工方法 円筒3軸 輪郭加工

加工工程	荒	仕上
砥石種類	-	CBN-325
砥石径	mm	φ3
砥石周速	m/min	750
取	mm	0.03
切込量	mm	0.01
送り速度	mm/min	15
加工精度	mm	0.0037
面粗さ	μm	0.8
加工時間	分	210

CNCジグ研削盤加工事例



品名 / 円子  
材質 SKD-11

加工機 JG-35CPX

加工方法 円筒3軸 輪郭加工

加工工程	荒	仕上
砥石種類	-	CBN-325
砥石径	mm	φ8
砥石周速	m/min	750
取	mm	0.03
切込量	mm	0.01
送り速度	mm/min	15
加工精度	mm	0.0035
面粗さ	μm	0.8
加工時間	分	210

図 3.32 CNC ジグ研削事例-3 (異形状のダイ輪郭加工)

### 3.3 ワイヤ放電加工に関するノウハウの客観化

#### 3.3.1 加工時の噴流調整

ワイヤ放電加工では図3.33のように上下ガイド部のイズルより噴流を出して加工屑の排出を行う。その際の噴流調整により、加工速度や加工形状精度に影響を及ぼすので注意が必要である。調整は上ガイドノズルと加工物上面との間隙(a)と機械に付いている流量計(図3.34参照)の値および噴流圧力で行う。

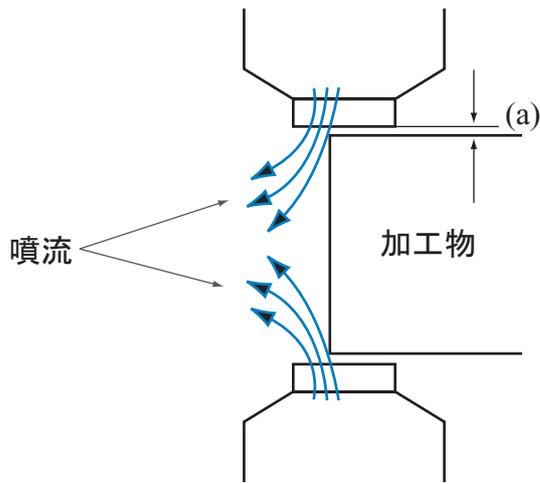


図 3.33 ワイヤガイド部

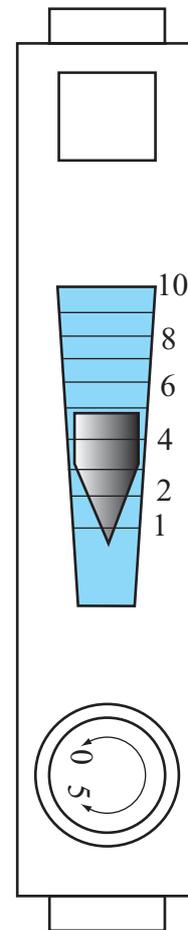


図3.34 流量計

### 3.3 ワイヤ放電加工に関するノウハウの客観化

#### 3.3.1 加工時の噴流調整

ワイヤ放電加工では図 3.33 のように上下ガイド部のイズルより噴流を出して加工屑の排出を行う。その際の噴流調整により、加工速度や加工形状精度に影響を及ぼすので注意が必要である。調整は上ガイドノズルと加工物上面との間隙(a)と機械に付いている流量計(図 3.34 参照)の値および噴流圧力で行う。

荒加工・(1 st cut)時は加工速度を重視するため、間隙(a)は小さく(0.1mm 程度)設定し、噴流圧力を高く 1.2~1.8Mpa (12~18kgf/cm<sup>2</sup>)する。間隙(a)の調整は、加工物上面にガイド部を接近させて噴流を出した時の流量計の値で確認することができる。流量は噴流圧力およびノズル穴径によっても異なるが、間隙(a)が大きければ流量は高くなり、間隙(a)が小さければ流量は下がる。ノズル径 φ6mm、噴流圧 1.5Mpa (15kgf/cm<sup>2</sup>)の場合に、間隙(a)を 0.1mm に設定するには 5 ㊦/min 位の流量を目安とする。

仕上げ加工時の噴流は加工形状精度に影響をおよぼすので、あまり強く(流量を多く)出し過ぎないように注意が必要である。噴流が強すぎると 2nd cut 時のサーボが上手く働かなくなり、加工寸法や面粗度不良の原因となる。仕上げ加工時の噴流は圧力 0.1Mpa (1kgf/cm<sup>2</sup>)、流量 1~2 ㊦/min 位を目安とする。その際、上ガイドノズルと加工物上面との間隙(a)は 1~2mm 程度開けた方がよい。

### 3.3.2 垂直精度の保ち方

加工物の垂直度を保つには、予めワイヤ線の垂直を機械上で出し(図3.35参照)、加工物を取付ける際にダイヤルゲージにて加工物の水平出しをすることが基本である(図3.36参照)。ワイヤ放電加工の場合、機械テーブル上に加工物の端部のみ載せて固定するため(図3.37参照)、固定具合により加工物上面の水平が狂ってしまう。

水平調整機構付きの治具を用いて加工物を固定するか、加工物と一テーブル間にシックネスゲージ等を挟んで調整する必要がある。また、どうしても加工物の水平が出難い時は図3.38のように、加工物自体を用いて垂直出しをおこないワイヤ線の傾きを加工物にあわせて加工する方法もある。

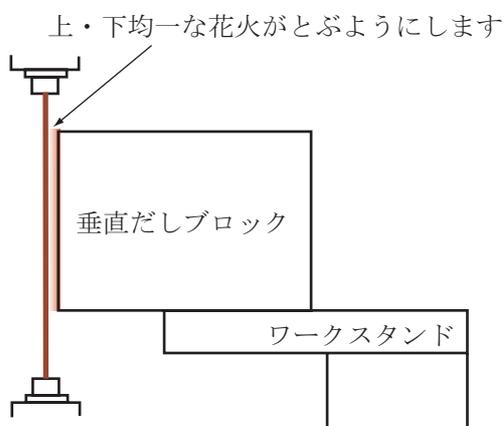


図3.35 ワイヤの垂直出し

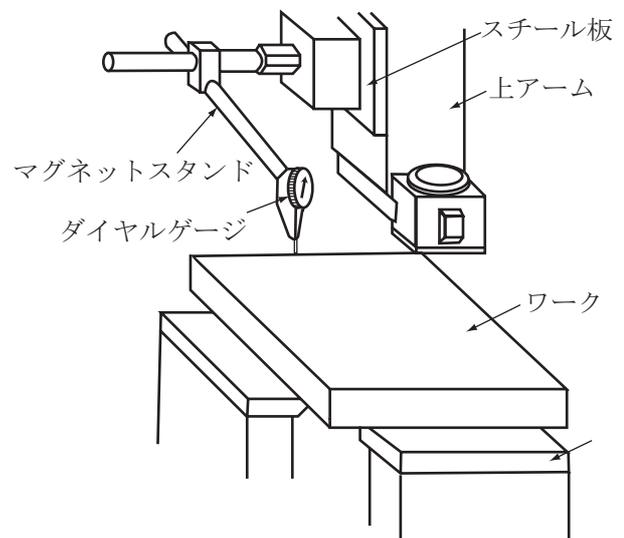


図3.36 加工物の平行および水平出し

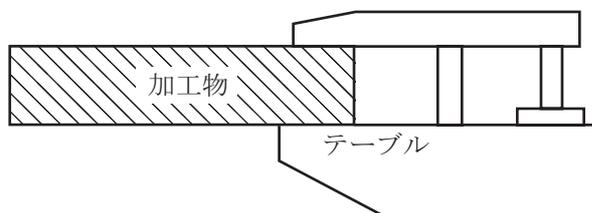


図3.37 加工物の固定

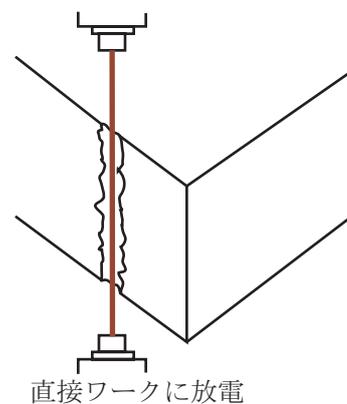


図3.38 加工物に空放電しての垂直出し

### 3.3.3 パンチのタイコ形状修正法

パンチ加工は加工材料の厚みが比較的厚くなってしまいうため、加工した際にワイヤ放電加工特有のタイコ状態になりやすい(図3.39参照)。加工中のワイヤ線の振幅・遅れ、加工屑による二次放電等が主な原因とされ(図3.40参照)、1st cutのみで加工した場合必ず加工物中央部が上下部よりも小さくなってしまふ。

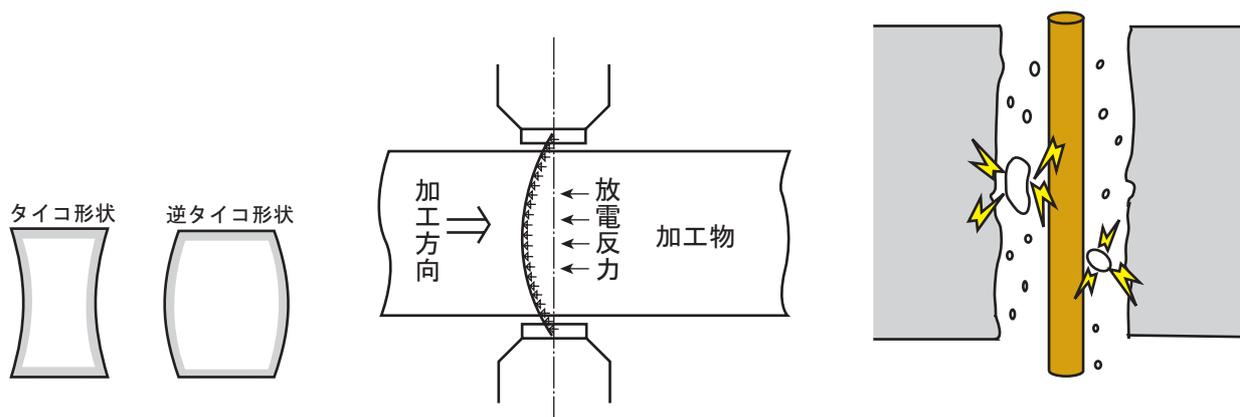


図3.39 パンチのタイコ状態

図3.40 加工中のワイヤの遅れと加工屑による2次放電

タイコ状態は仕上げ加工を行うことにより取り除くことができるが、それでも取りきれずに多少残ってしまう場合がある。その時は2nd cut 時の平均加工電圧(サーボ基準電圧: SV)の値を変更することにより調整することができる。中央部が上下部よりも小さくなる「正タイコ」の時は、平均加工電圧(サーボ基準電圧: SV)の値を低く設定し、中央部が上下部よりも大きくなる「逆タイコ」の時は平均加工電圧(サーボ基準電圧: SV)の値を高く設定すれば良い。それでも取りきれずに残ってしまう場合は、1st cut時の加工オフセット量の値を変更する。「正タイコ」時は加工オフセット量を0.01mm程度大きくし、「逆タイコ」時は加工オフセット量を0.01mm程度小さくする。

### 3.3.4 パンチの切残し部の仕上げ方法

パンチ形状を多重カットする場合、中子のように切残し部を設定して中子(加工形状)が落ちないようにする。単純形状であれば、仕上げ加工終了後に残した個所は荒加工(1st cut)条件のみで切り落とし、後から研磨加工で仕上げる。しかし、後から機械加工が困難な形状の場合、ワイヤ放電加工にて切り残し部も以下のような手順で仕上げる事ができる。

- ①切残し部を残して形状を仕上げ加工まで行う。
- ②ワイヤ線を切断して、ワイヤガイド部を加工物より離す。
- ③加工物上面および加工した溝の中をエアガンにて掃除する。
- ④加工した溝の中にワイヤ線を二つ折りしたものを差し込み、瞬間接着剤(アロンアルファ)を一滴流し込む(図3.41参照)。

- ⑤完全に固定するまで15分位放置する。
- ⑥ワイヤガイド部を元の位置まで戻し、手動にてワイヤを繋ぐ。
- ⑦切残り部を仕上げ加工まで行う。
- ⑧加工終了後、形状の外周を加工してくり抜く(図3.42参照)。
- ⑨アセトン液の中にしばらく浸し、接着剤を溶かす。

この時の注意点としては、

- ・接着剤の量を多く入れすぎると接着剤が加工部まで流れてしまい、加工ができなくなることもあるので注意すること。

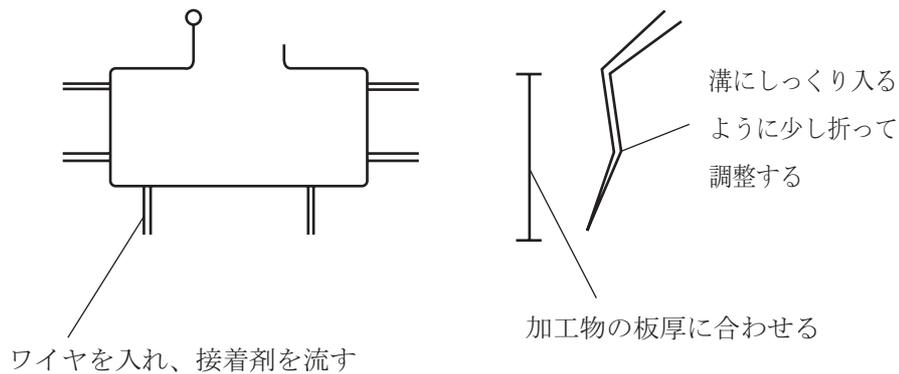


図3.41 瞬間接着剤による加工形状の固定

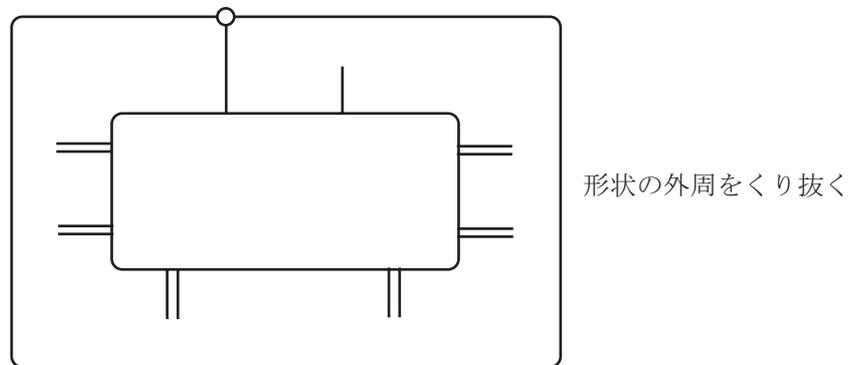


図3.42 加工終了後の加工形状の切り出し

- ・入れるワイヤ線の本数は加工形状の大きさによって異なるがなるべく左右均等に入れること。
- ・入れるワイヤ線は通電の役割をするので、溝にしっかりと入るものを用ること。  
( $\phi 0.2\text{mm}$ のワイヤで加工する時は、 $\phi 0.25\text{mm}$ のものを使用する)
- ・傷がつきやすい材料でなければ、加工終了後に叩いて落しても良い。

### 3.3.5 ダイ形状のアプローチ部の仕上げ方法

ダイ形状を加工した場合、アプローチ部(形状の入り口部)にくい込みや出っ張りが多く残ってしまい、それが製品形状にも現れてしまうことがある。原因としては、

- ・噴流圧力や軌跡の方向変換によるワイヤ線の振幅の乱れ
- ・アプローチ部のIN、OUTの軌跡の重なりによる放電ギャップの拡大(図3.43参照)などが挙げられる。

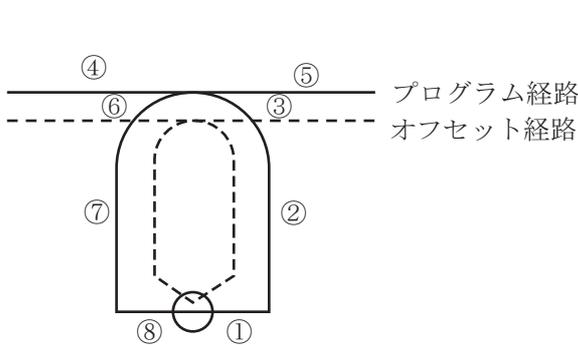


図3.43 円弧によるアプローチ方式

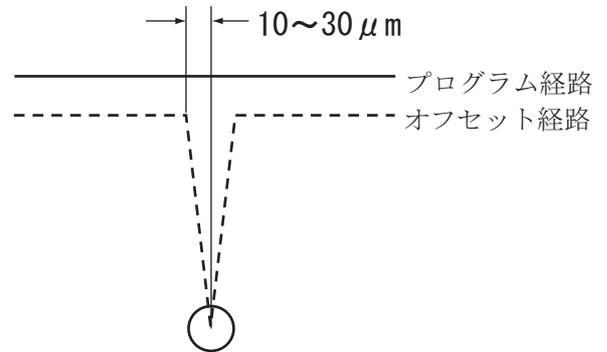


図3.44 直線によるアプローチ方式

その対策として

- ・荒加工(1st cut)で中子が切落ちた後、必ず噴流圧力を弱くする
- ・IN、OUTの軌跡が重ならないようなアプローチ方法をとる(図3.44参照)
- ・形状のコーナー部やブロックのつなぎ目等の目立たない場所にアプローチするなど等が考えられる。

図 3.44のように直線でアプローチする場合、IN側の補正量(オフセット量)を0.03mm、OUT側の補正量を0.01mmとし、加工軌跡を左右交互に変えて加工するとよい。

また、荒加工(1st cut)、のみで終わる場合は、アプローチの直線の補正量をマイナスの値にして、入り口で軌跡が交差するようにすればよい。

### 3.3.6 ダイの逃がしテーパの加工方法

抜いた時にカス詰まりを起こさぬようにダイ側にテーパ(傾き)を付けるが、加工物上面から下面まで全てテーパにする場合と、図3.45のように上部にストレートの切刃を設ける場合がある。



図3.45 ストレートの切り刃のあるダイ形状

切刃を設ける時の加工手順は、一般にテーパの角度によって異なる。角度が大きい(1度以上)の場合は先にテーパ部を荒加工条件で加工し、後から仕上げ加工条件で切刃を付けた方が加工時間の短縮を図れる。それに対して角度が小さい(1度未満)場合、先にテーパ加工して後から切刃を付けようとしても、その時の加工しろが非常に少ないため均一に仕上げることが困難である。したがって角度が小さい場合は、先にストレートで仕上げ加工まで行い、後からテーパの逃がしを付けた方がよい。また、テーパ加工の基準面(プログラム面、図3.46参照)の位置は、機械テーブル上面に設定した方が、寸法のバラツキが少ないようである。機械テーブル上面を常に基準面にすれば、加工物の厚みが変わっても基準面の位置を変えなくても済むからである。

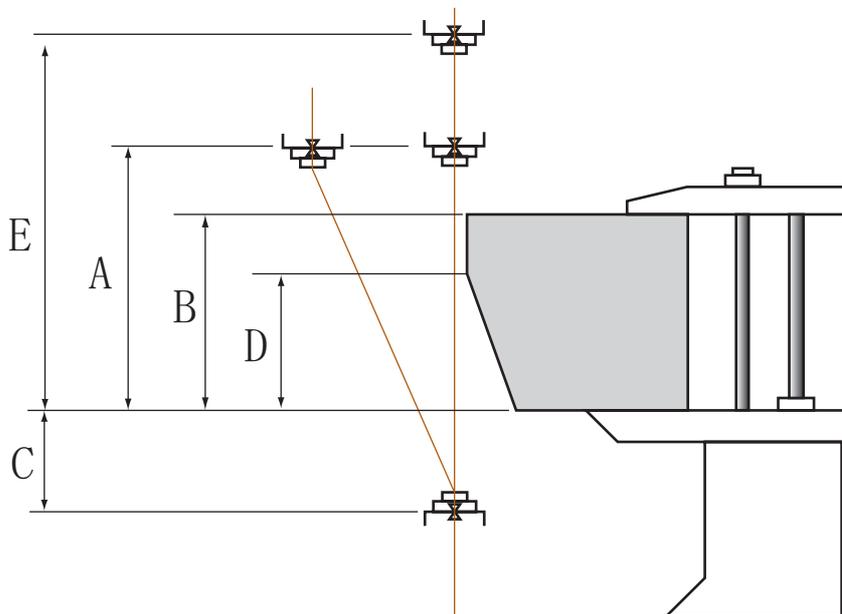


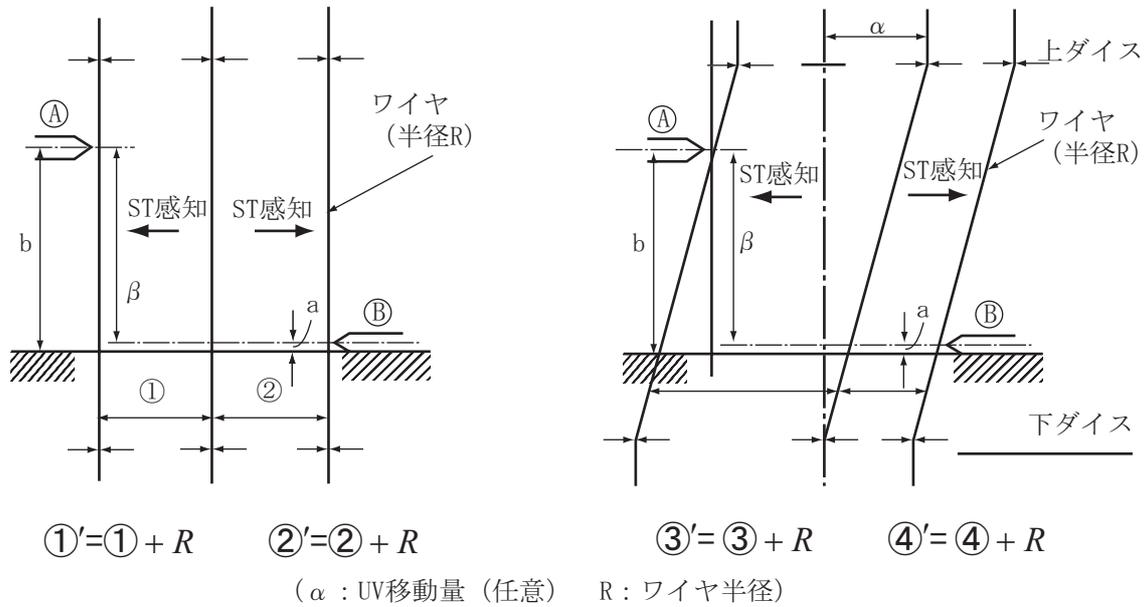
図3.46 テーパー加工に必要な設定データ

- |                   |   |
|-------------------|---|
| A : テーブル上ダイス間距離   | テーブル面から上ガイドまでの距離                        |
| B : テーブル縦プログラム面距離 | テーブル面から寸法の欲しいもう一方の面までの距離<br>(図はワーク上面まで) |
| C : テーブル下ダイス間距離   | 下ガイドとテーブル面との距離(通常は固定)                   |
| D : テーブル主プログラム面距離 | テーブル面からプログラム面までの距離                      |
| E : テーブル2軸リミット間距離 | テーブル面からZリミットまでの距離(通常は固定)                |

### 3.3.7 テーパー精度の保ち方

テーパ加工した際の精度不良(角度および加工寸法)の主な要因として、

- ①ワイヤ線を保持するダイスガイドの摩耗等によるガイド不良



接触検出により①' ②' ③' ④' の値を求め、以下の計算式より、ZL、LUを求める。  
 (ZL: テーブル-下ダイス間距離    ZU: テーブル-上ダイス間距離)

$$X + ①' + ②' = ③' + ④'$$

$$②' = ④' + Y$$

$$\therefore X = (③' + ④') - (①' + ②')$$

$$\therefore Y = ②' - ④'$$

$$\frac{X}{\beta} = \frac{\alpha}{Z} \quad \therefore Z = \frac{\alpha \cdot \beta}{X} \quad \text{※ } \beta \text{ の値は垂直だし治具の高さ}$$

$$\frac{X}{\beta} = \frac{Y}{ZL} \quad \therefore ZL = \frac{Y \cdot \beta}{X}$$

$$\therefore ZU = Z - ZL$$

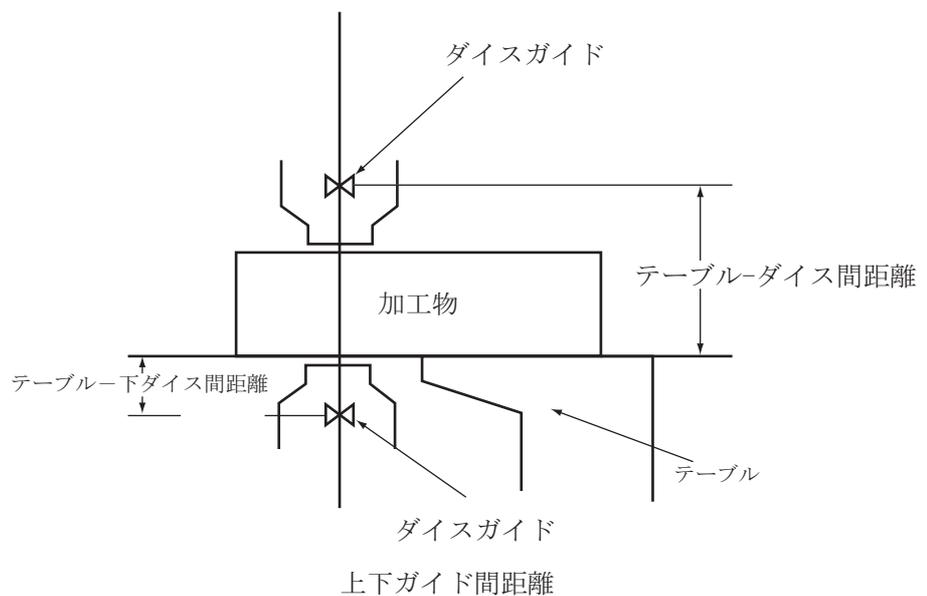


図3.37 上下ガイド間距離の測定法

テーパー加工に必要な設定データの狂い

の二点が挙げられる。ワイヤガイド部を加工物にぶついたりした後にテーパーの精度不良が  
ることが多いが、その原因は によるものである。テーパー加工に必要な設定データとして  
は図 3.46 に示すようなものがあり、設定データが狂ってしまった場合はそれを測定し直さな  
ければならない。測定は図 3.47 に示すような、上下に尖端がある治具を用いて行うことが  
でき、計算により値を求めることができる。

### 3.3.8 ワイヤ接触検出による位置決め及び寸法測定

ワイヤ放電加工機による加工物の位置決めは、従来から接触検出機能を用いて行われてき  
た。接触検出とはワイヤ線と加工物との間に電圧(5v ~ 12v 程度)をかけておき、電圧の状態に  
よりワイヤ線と加工物の接触を感知して停止するものである。

従来の機械の検出は直流回路を使用しており、接触面での加工液(水)の付着が位置決め誤  
差の要因となるので、エアガンを使用しての掃除が必要であった。しかし最近の機械の検  
出は交流回路が多く使われており、加工液の付着による誤差はほとんど無い。またファジー推  
論機能により走行中のワイヤ線の振幅等も考慮されており、接触検出による位置決め精度は  
格段に良くなっている。

そこで最近では位置決めをする際に、ガイド部より噴流を出したり、加工槽内に加工液を溜  
めて行うことが多くなっている。乾燥した状態で行うと上ガイド部とワイヤ線の接触部分よ  
りワイヤ線の微小な粉が削れて落ちてきて、それが位置決め誤差を招く大きな原因となっ  
てしまうからである。

また最近では噴流のみで加工するよりも、加工槽に加工液を溜めて液中で加工するケー  
スが増えている。乾焼した状態で位置決めを行い、その後加工液を溜めて加工をすると、加工液  
の重みによる歪みにより誤差が生じてしまう。加工する時と同じ状態で行えば、そのような誤  
差が入らずに正確に位置決めすることができるのである。

この接触検出機能は加工前の位置決めだけではなく、加工終了後の寸法測定でも用いるこ  
とができる。プレート加工の寸法測定で、ブロックゲージやリングゲージなどが多く使われて  
いるが、それにより加工面に傷を付けてしまうこともある。接触検出を使用すれば傷つけるこ  
となく簡単に測定ができるのである。

### 3.3.9 プレーターの自動運転加工

金型の短納期化とコスト削減が叫ばれている今日、「如何にプレート加工を夜間無人で自  
動運転できるか」がポイントである。ワイヤ放電加工機に自動結線装置があるのが普通となり、  
切残し部以外の形状加工は連続運転できるようになっている。

しかし切落しの中子処理やプレートを替える際の段取り作業で、どうしても人手が必要で  
あった。それを解決する手段として、最近では中子処理装置(写真 3.1 参照)やパレットチェン  
ジャー(写真 3.2 参照)などが開発され、加工物の取り付けから加工終了まで全て無人で行え  
るようになっている。これからこのような機械や装置の普及がますます増えていくものと思  
われる。

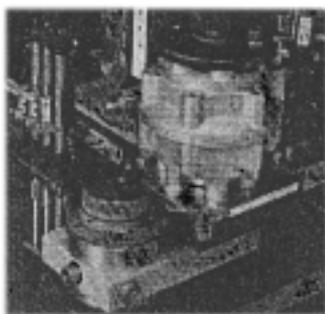


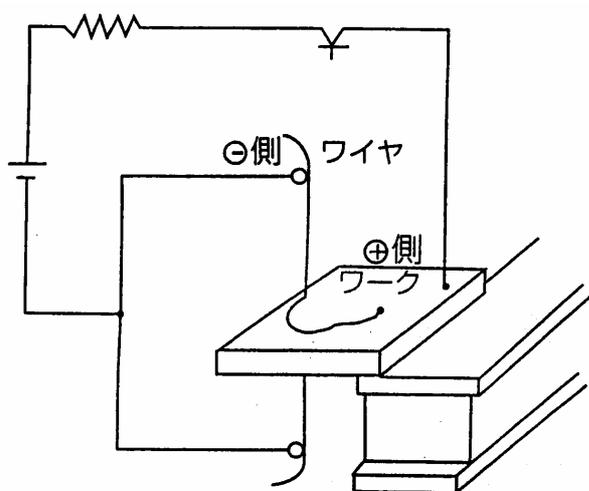
写真 3.1 中子処理装置(加工が終わった加工物を自動的に取出し、脱落した加工物との接触による、ガイド周りの損傷や2次放電を防止する)



写真 3.2 パレットチェンジャーシステム 提供：KAWATEC CORP.

### 3.3.10 ワイヤ放電加工面の改善

ワイヤ放電加工は放電発生時の熱エネルギーで金属を溶解させて加工を進行させる。その過程で加工表面に熱による加工変質層ができたり、電界腐食による錆が発生したりする。(図 3.48 参照)。



簡単な基本回路構成図

#### < ワイヤ放電加工の問題点 >

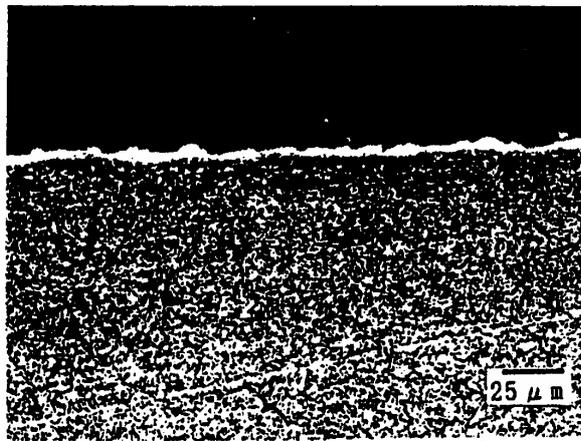
- ・ 物理的：熱影響、再凝固層（白層）
  - ・ 化学的：電解腐食
- 加工液に水を使用するワイヤカットは、電解電流による加工物の電解が問題となる。
- ・ 超硬合金：バインダー（コバルト）の溶出によるタングステンカーバイドの欠落
  - ・ 鉄系材料：錆発生、孔食
  - ・ 非鉄材料：酸化膜、不動態膜、変色

図 3.48 電解防止電源によるワイヤ放電加工面の改良

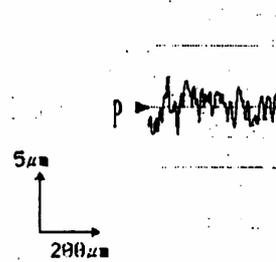
変質層の表面には溶解した金属が再び付着して形成される再凝固層(白層)があり、そこには小さなクラック等が多く見受けられる。そしてそのクラックが型割れの原因となることがある。この変質層の除去にはブラスト処理が有効であるが、ブラスト処理をおこなうとエッジが飛んでしまったり、細かい形状が処理できなったりする場合がある。

それに対しての有効な手段として、無電解電源回路(BS 回路)を使用しての鏡面仕上げ加工が挙げられる。BS 回路は従来の直流回路(ワイヤ電極と加工物の極性が固定)と異なり、極性を交互に変えて加工が行える交流電源回路である。また極性を変えるだけでなく、面粗度を小さくする鏡面仕上げ機能も持ちあわせている。

加工変質層の厚みは面粗度が大きい程厚くなり、面粗度が小さくなるにしたがって薄くなるということが分かっている。



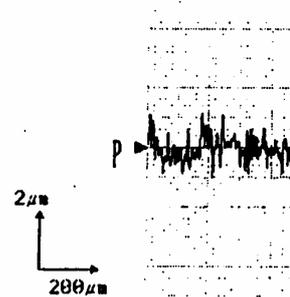
通常回路 4 回加工  
SKD-11(HRC-59), t = 40mm  
エッチング液 ナイタル 3% 1分



Ra = 0.84 μ  
Rmax = 5.56 μ  
Rz = 4.44 μ



No.2 BS II 4 回加工  
SKD-11(HRC-60), t = 40mm  
エッチング液 ナイタル 3% 1分



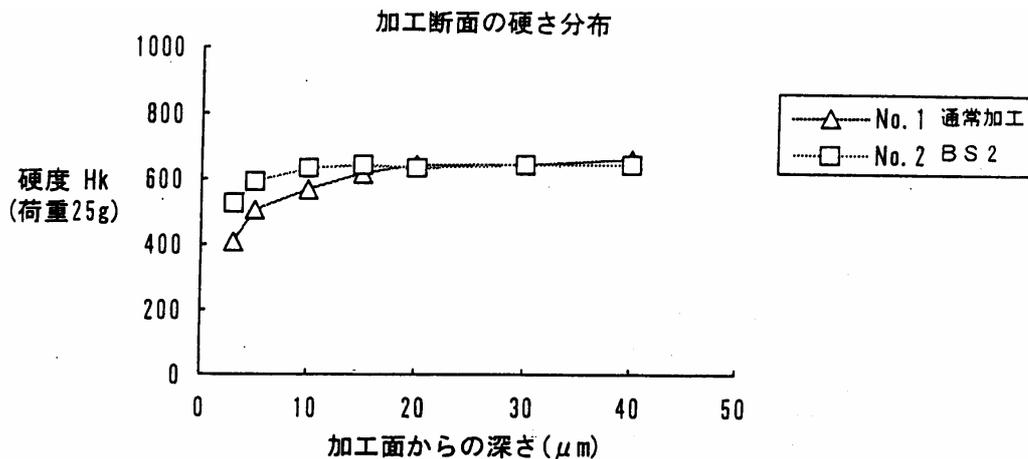
Ra = 0.28 μ  
Rmax = 2.16 μ  
Rz = 1.96 μ

写真 3.3 加工面の状態

写真 3.3 は通常回路(直流回路)で 4 回加工した面と BS 回路で 4 回加工した面を電子顕微鏡で観察したものである。通常回路で加工したのものには表面に再凝固層(白層)が観られるが、BS 回路で加工したものには観ることができない。

また図 3.49 は加工面の硬度の比較を示すものである。

このような回路を用いることにより長時間加工しても錆が少なく高品位な加工面が得られ、それにより金型の耐久性も向上するものと思われる。



ヌーブ硬さ測定データ

深さ μm	通常加工		BS II	
	圧痕幅	硬さ Hk	圧痕幅	硬さ Hk
3	59	409	53	526
5	53	507	49	593
10	50	570	47.5	633
15	48	618	47	644
20	47	644	47.5	633
30	47	644	47	644
40	46.5	661	47	644

加工液 水 比抵抗  $5 \times 10^4 \Omega \text{cm}$   
 No. 1 通常回路 4 回加工  
 SKD-11 (HRC-59)  
 No. 2 BS II 4 回加工  
 SKD-11 (HRC-60)

図 3.49 加工断面の硬さ比較 (SKD11)

3.3.11 油性(放電加工用油)加工液の用途

形彫り放電加工の加工液は油性液(放電加工用油)が用いられているが、ワイヤ放電加工の加工液としては一般に水性液(イオン交換水)が使用されている。水性液の方が油性液よりも絶縁抵抗値が低く、加工中の放電間隙が大きくなる。それによって加工屑の排出が良くなり、放電エネルギーを高く設定できるので加工速度が速くなるのである。

荒加工時の加工速度を比べると水性液は油性液の 2~6 倍速くなる。しかし水性液の欠点として、加工中の電解腐食による錆の発生や超硬材のコバルトの溶出による劣化等が挙げられる。最近は無電解電源回路の使用により大幅に軽減することができるが、全く無くすまでには至っていない。

そこで電解腐食を根本から無くす手段として、油性加工液によるワイヤ放電加工が行われている。特に超硬材の加工が多い場合や IC リードフレーム等の微細で精度の高い加工では、油性加工液によるワイヤ放電加工機が多く使用されている。

油性液は水性液と比べて絶縁抵抗値が非常に高く、加工中の放電間隙も小さくなり、微小な放電エネルギーをコントロールして加工することができる。したがって高精度な加工にも適しているのである。写真 3.4 に油性加工液によるワイヤ放電加工機の外観を示す。



写真 3.4 油性加工液によるワイヤ放電加工機(Sodick AP200L)

表 3.8 ワイヤ電極線の種類と用途

種類		用途	線形	自動結線
真鍮	軟線	広角度テーパ・上下異形上加工	0.1 ~ 0.3mm	
	硬線	一般向き	0.07 ~ 0.3mm	
タングステン・モリブデン		細線加工用	0.03 ~ 0.1mm	
複合材料		高速加工・細線加工	0.03 ~ 0.3mm	

### 3.3.12 ワイヤ電極線の種類と用途

ワイヤ放電加工で用いる電極の線材として一般に真鍮が多く使用されているが、それ以外のものとしてタングステン・モリブデン・複合材(芯線に他の材料をコーティングしたもの)などがあり、その用途は表 3.8 に示す通りである。

またワイヤ放電加工の場合、必ず内コーナーに R が付いてしまうので(図 3.50 参照)、ワイヤの線径を選定する際には加工する形状のコーナー R を考慮する必要がある。

IC リードフレーム型や時計の小径ギア形状等の小径コーナー R が必要とされる加工では 0.03 ~ 0.07mm 位の細線ワイヤを使用される。しかし細線ワイヤの場合、断線し易いのでそれに適したテンション機構を有する機械を用いる必要がある。一般に、0.1 ~ 0.3mm の真鍮線を使用する機会が多く、それに合わせてワイヤのテンションや送り機構が造られている機械が多い。

細線ワイヤを使用して加工するには、まずそれに適した機械の選定を行う必要がある。写真

3.5 に細線ワイヤを使用する小型精密加工にその機械を使用した加工例を示す。

<参考文献>

鳳誠三郎・倉藤尚雄共著：改訂・放電加工(コロナ社)

斎藤長男著：放電加工のしくみと100%活用法(技術評論社)

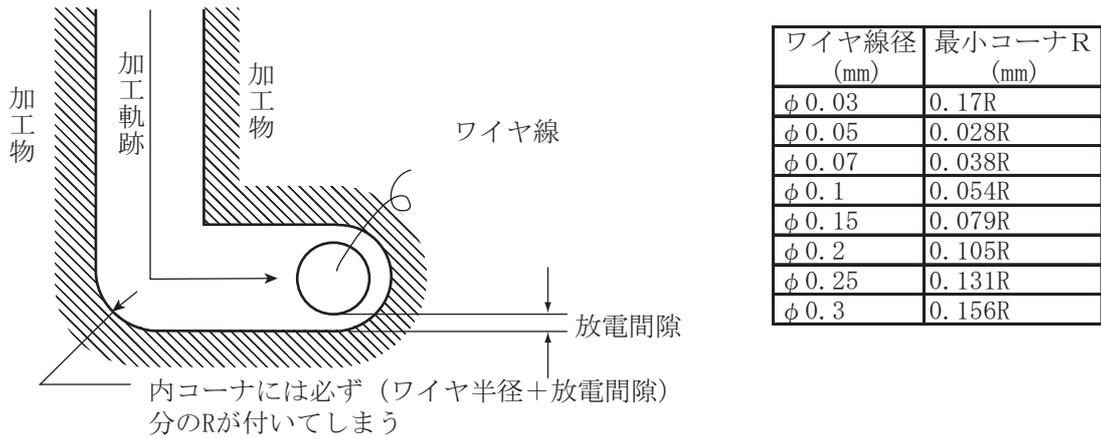
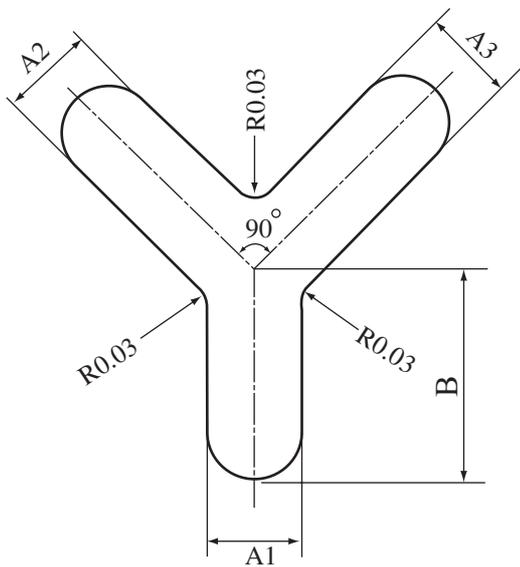


図3.50 ワイヤ放電加工によるコーナ形状およびワイヤ線径別最小コーナR



- 加工材質 SKD11
- 板厚 2.5MM
- 使用ワイヤ φ 0.03MM
- 加工回数 1回
- 加工時間 7分30秒
- 面粗度 1.5 μ Rmax

寸法測定結果

測定道	A 1	A 2	A 3	B
測定値	0.12	0.12	0.12	0.404
図面寸法	0.12	0.12	0.12	0.405

単位：mm

測定機器：西独Leitz社製の光学顕微鏡

図3.51 細線ワイヤによる加工例



写真3.5 ワイヤによる小形精密加工用放電加工機

## 第4章 実践的プレス加工用金型の製作事例

### 4.1 順送プレス金型の設計・製作事例

実際に設計、製作された金型を参考事例として、設計構想の立て方や細部の製品加工上の注意、および構造設計についての注意について解説する。その後、この金型を構成する金型部品をNC加工(マシニングセンタ加工とワイヤカット放電加工)するとした場合の方法および注意点を解説する。

ここでのねらいはCAD/CAMを活用した金型製作についての設計の役割、NC工作機械の役割と使い方の参考となるように示した。

#### 4.1.1 順送プレス金型の設計事例

##### (1) 製品の特徴 (図4.1)

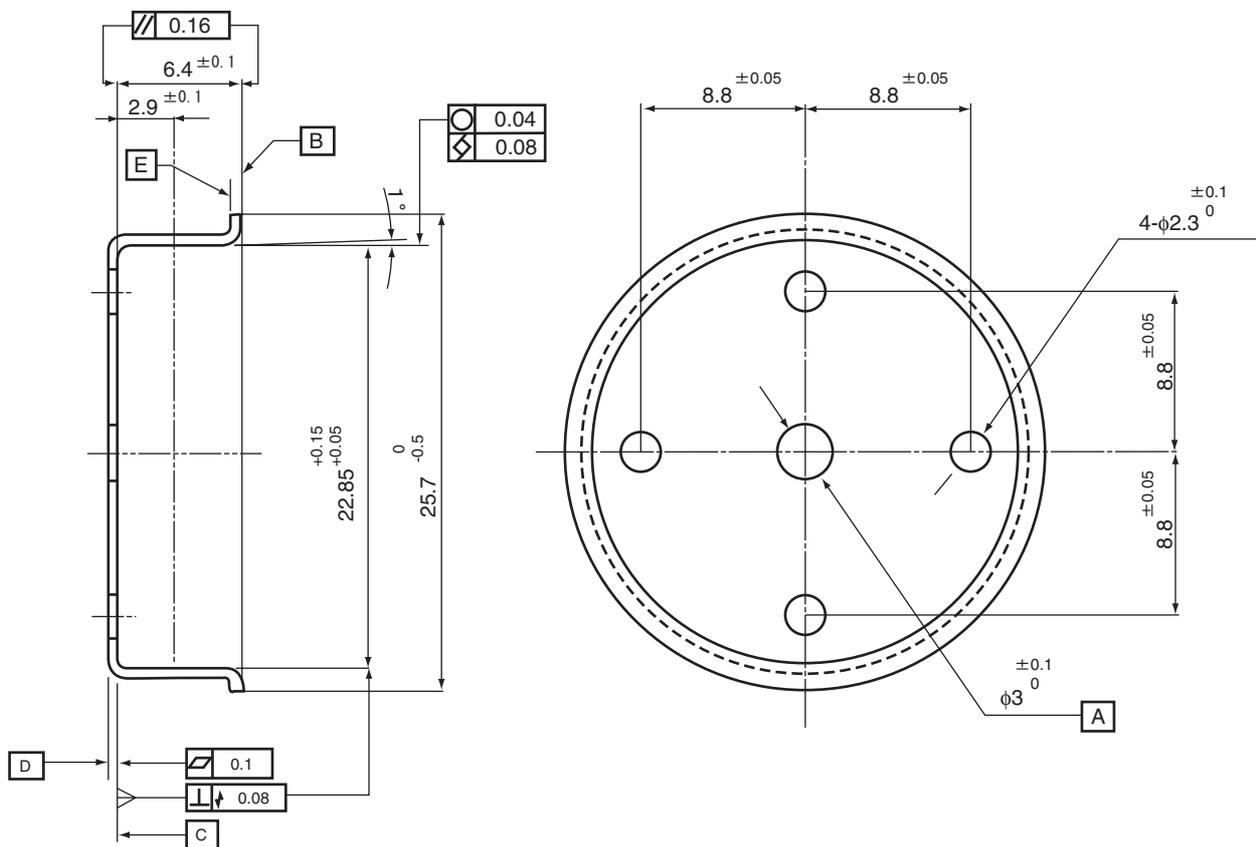


図4.1 製品図

品名: コア 材質: パーマロイ(PC)、 $t 0.5 \pm 0.03$

この製品は精密機器に使用される部品である。見て分かるように浅い絞り加工製品である。製品の材質はパーマロイ(ニッケルと鉄の合金でニッケルの含有量の多いPC材)である。材料の板厚は0.5mmである。この材料はよく使用される軟鋼(SPCC)に比較すると大変絞りづらく、金型の摩耗がはげしい。

製品の形状の特徴としては、絞り高さとフランジ部の平行度および高さ寸法の公差が厳しく、絞り底部のそりに注意しなければならない。絞り底の内 R0.5 も直径と同時に寸法を出すことは難しく、リストライク(成形絞り)が必要ある。

## (2)プレス加工上の注意点(金型製作上のポイント)

この製品は量産品であり、したがって量産に耐える金型としなければならない。絞り加工の行いやすさや金型強度および製品のバリ方向指定などの制約条件等を加味して、絞りの方向を決める(上向き絞りが下向き絞るか)。この製品では、絞りの行いやすさと穴のバリ方向指定の関係から下向き絞りとした。

また、金型の主要な機能部分の金型材質を決めた(超硬合金)。その他に、営業情報をもとに予算に合わせた金型製作内容と設計、製作の日程の調整、金型製作者と設計者の打ち合わせで設計と製作の意志の疎通を図るなどの実施後具体的な設計に入る。

## (3)ストリップレイアウトの工夫

### 1)ブランクの作り方で注意事項(写真 4.1 参照)

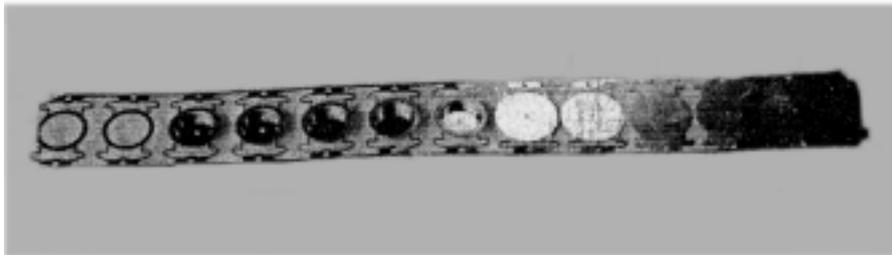


写真 4.1

製品図の公差付き寸法を加工特性(たとえば、絞りのパンチはメンテのたびに磨かれ、細くなる。ダイは逆に広がる。)を考慮し、ねらい寸法を決める。この際にフランジ部にはトリミングを考慮して、トリミング代を加えたフランジ寸法とする、などの後に、ブランク展開を行いブランク寸法を算出し決める。

順送加工では、ブランクはキャリアにつなぎ工程間を移動する必要がある。絞り加工では更に絞り加工に伴うブランクの収縮対策を考えて置かなければならない。以上の内容に注意して決めることになる。図 4.2 に示したレイアウト図がこの金型で採用したキャリアとブランクの関係である。キャリアとブランクはブリッジと呼ぶつなぎさんで結ばれている。絞り加工されたときブランクの収縮をブリッジの伸びで吸収し(クッションを持たせると呼ぶ)材料幅に影響が及ばないようにしている。図 4.3 は少し発想を変えたブランクの作り方である。図 4.2 ではキャリア方向のみでブランクを保持しているが、図 4.3 は送り方向でもつなぎ(ブランクどうしで)安定を高めている。この方が良いように見えるが、なぜ図 4.2 の方法を採用したかを説明すると、図 4.3 の方法では抜きパンチの数が多く、中に弱いパンチ(ブランク間を抜いているパンチ)がある。順送加工ではできる限り弱い部分を作らないことが鉄則である。また、キャリアとつながっているブリッジ部分のクッション性が図 4.2 の方が形状的に優れている。などの理由から図 4.2 のブランクの作り方を採用した。

## 2) 絞り工程での注意事項

何工程で絞れるか絞り率をもとに計算する。自信のないときにはアイドルステージを設けて安全をはかる。時には、試作型を作りテスト絞りも検討する。内側底RおよびフランジRは小さく絞り後にリストライク加工が必要である。リストライクでは肉あまりによる、たるみで底の部分が平坦でなくなってしまうことがある。このような状態になったものはいくらたたいても平坦にならない。肉あまりにならないようにリストライク工程では各方向に引っ張りが働くようにすることがポイントである。

また、順送絞り加工では絞り工程で材料が上下に変動する。この変動の影響が送り方向に働き、絞り不良の原因となることがある。ストリッパ等の材料に当たる角は斜面で逃がし、材料の傾き勾配をゆるくしたり、材料の折れ曲がりが発生しないように注意する。

## 3) 穴抜き工程での注意事項

穴抜きのある製品では絞りだけのことを考えずに穴抜き等の関連事項にも注意を払う。この製品のように外形に近いところに穴がある場合、このレイアウトと逆の方向から穴抜きをすると、図4.4のようになりダイ強度が弱くなり破損しやすくなる。

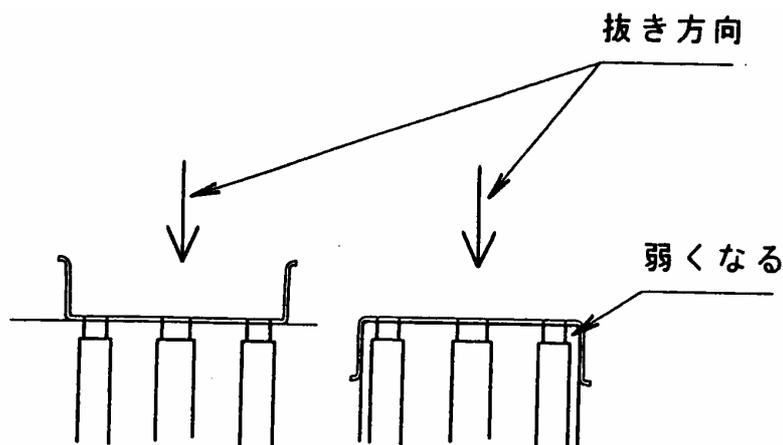


図 4.4 穴抜き方向とダイ強度

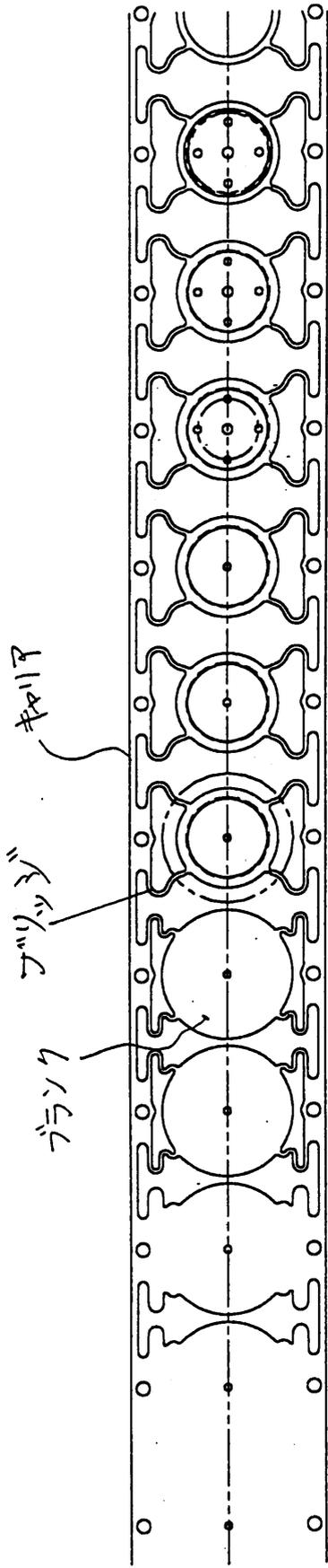
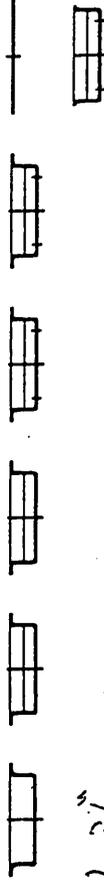


図 4.2 ストリップレイアウト (1)



ブリスツジ

使用材料=57.0- $\phi$ .1mm  
 使用材質=東芝製7パーマロイ  
 使用材厚=t0.50 $\pm$ 0.03mm  
 金型送りピッチ=40.0mm

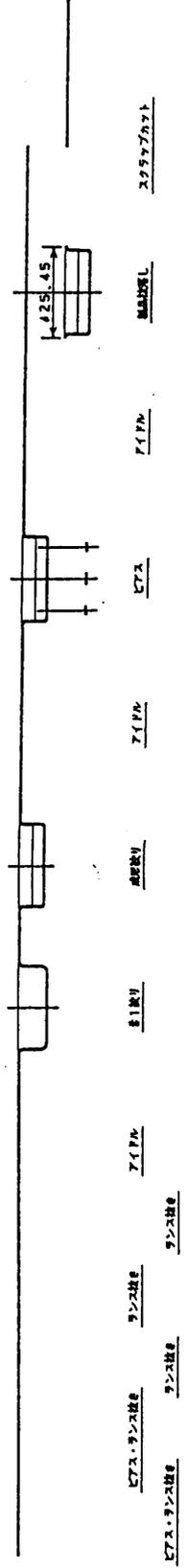
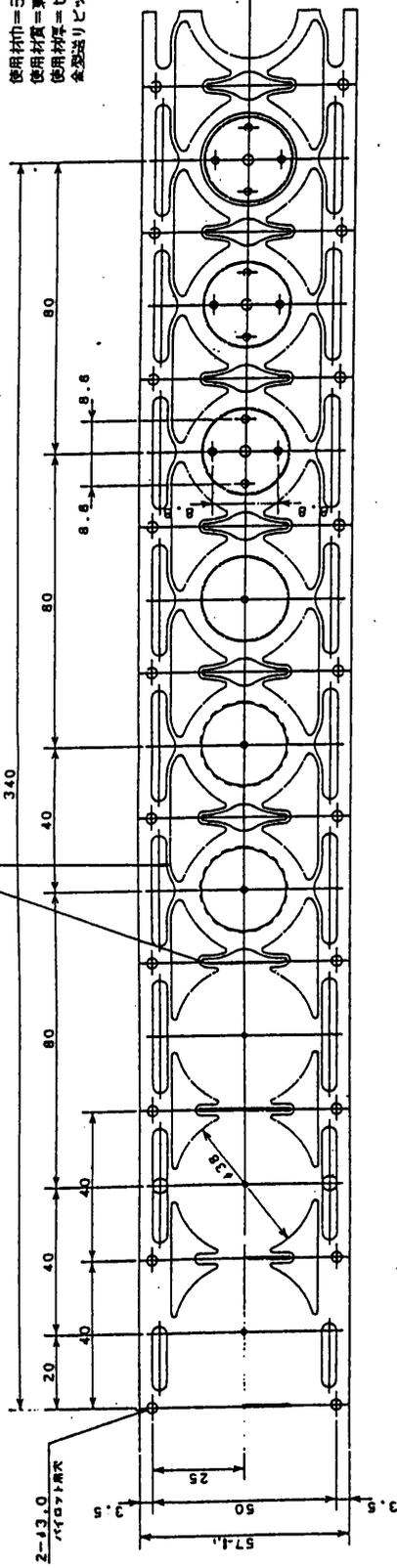


図 4.3 ストリップレイアウト (2)

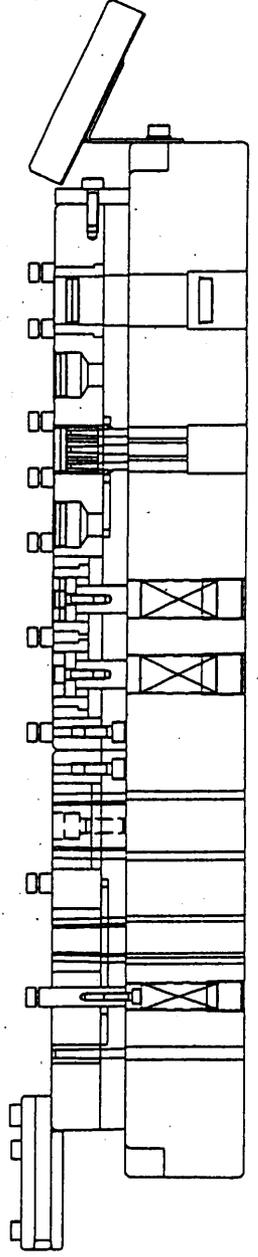
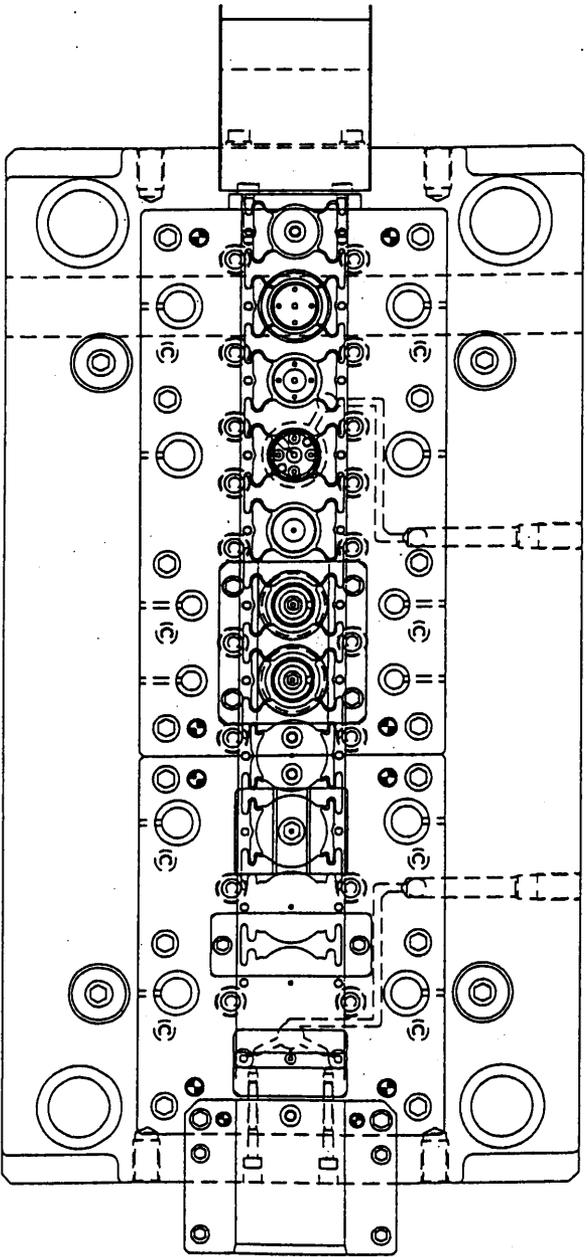
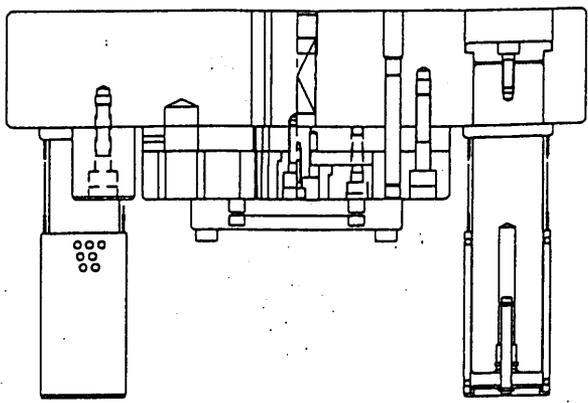


図 4・5 下型組立て図

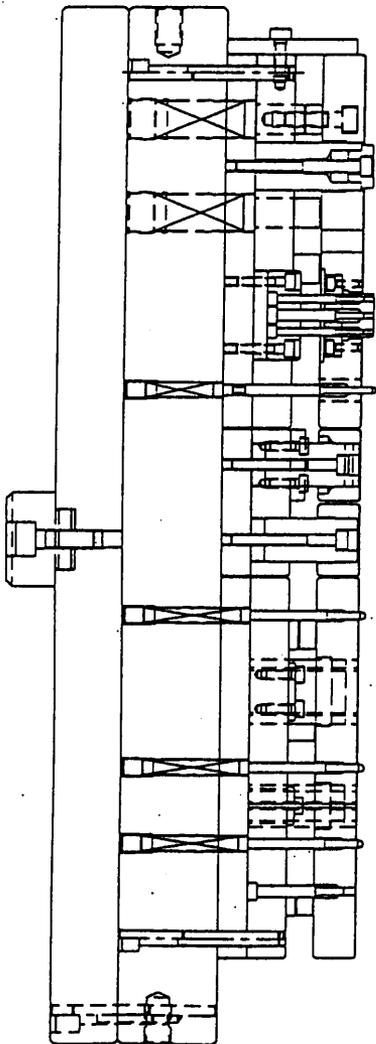
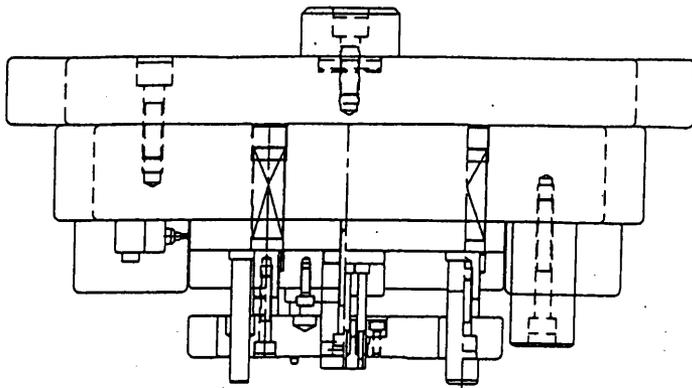
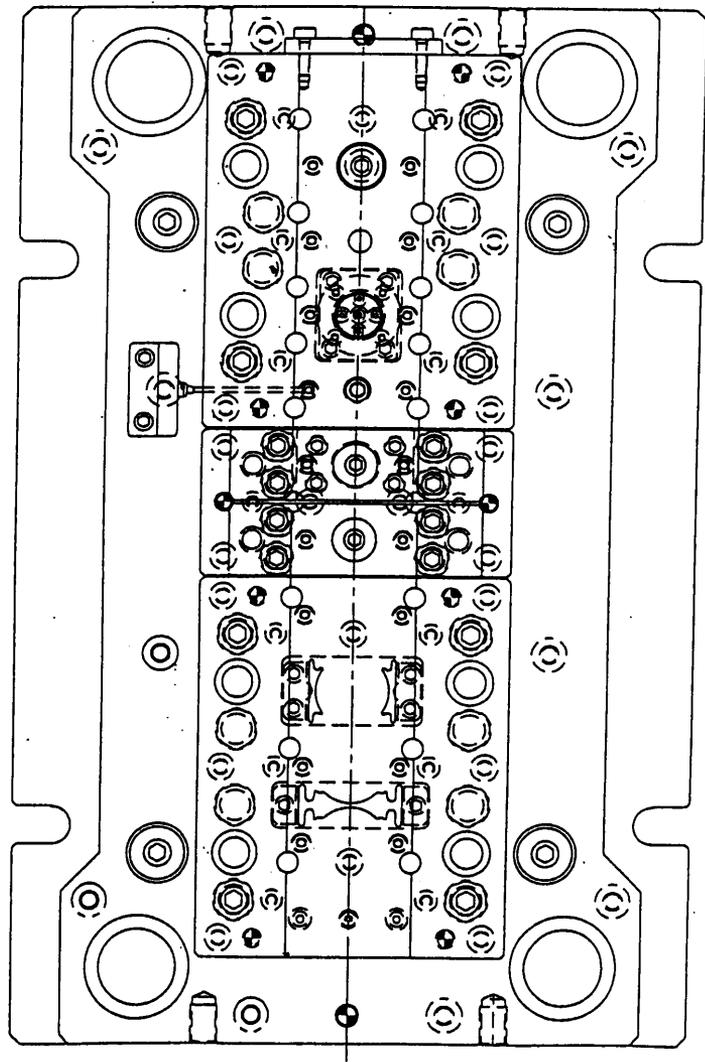


図 4.6 上型組立て図



#### 4) トリミング工程での注意事項

この製品ではフランジがあるので、トリミングに関する問題はない。フランジが大きくなるとトリミングでフランジ部の平坦度を悪くすることがある。ダイ内に入り込んだトリミング後の製品取り出しは絞り部を押すのではなく、フランジ部を押すようにする。

#### 5) 材料送り、位置決めに関する注意事項

この事例の絞り順送加工では、加工中の材料の上下変動とブランク収縮による位置ずれ、時には材料幅の変動が考えられる。有利な点は絞り径に対して絞り高さが低いことで、材料の上下変動に対して絞り部の傾きが出にくいことである。

注意事項として、材料ガイド部で材料に折れ曲がりなどが発生しないこと、パイロットによって材料が吊り上げられないようにパイロットに近いところでガイドすること、幅ガイドだけでは幅方向の中央でたるみが出るようなときにはリフターなどで、たるみ防止を図ることが必要である。

#### (4) 金型構造の特徴(図 4.5、図 4.6 参照)

この絞り順送金型の構造はパンチが上、ダイが下の構造(順配置)の可動ストリッパ構造を基本としたものである。

絞りの各工程の上下変動の影響を避けるために、工程ごとに分割した絞り加工独特の構造である。ダイはメンテナンスを楽にするため入れ子(インサート式)を採用している。金型の前後にある抜き部(節: ブランク抜き、後: 穴、トリミング)にはインナーガイド(ストリッパガイド)を入れパンチ、ダイの関係精度を高めるようにしている。その他では、抜きスクラップのカス詰まり、カス上がり対策として下型にエアーを吹き込み排出する工夫をしている。ミス加工があったときに加工を停止させるためのミス検出も備えている。また、パイロットは後ろにスプリングを組み込み一定以上の圧力が働いたときに逃げるようにしている。

以上がこの金型の特徴的な部分であるが、一般的な注意事項を示すと次のようになる。

金型のトライ・調整後に良かった、悪かった点を記録に残すと良い。以後の設計の参考資料となる。

ストリッパは単にカス取りの役目だけでなく、材料押さえを働かせることで平坦度確保に役立つ。インナーガイドの使用で構造金型精度向上につながる。

パンチ、ダイについては、

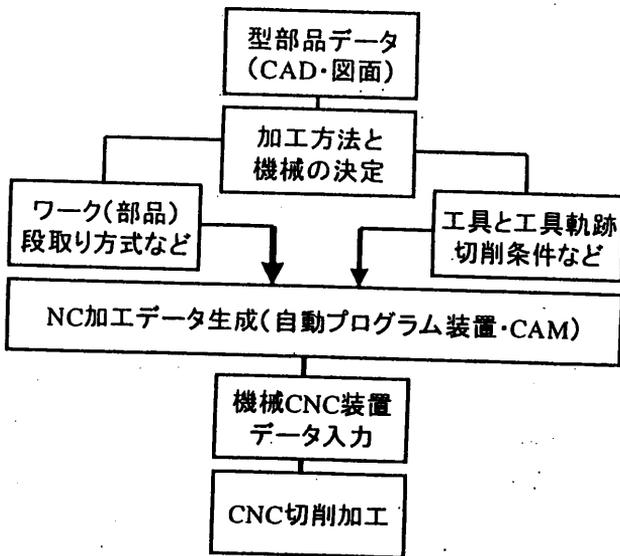
- ・加工数量との関係から金型材質を選ぶ。
- ・工作方法(研削かワイヤーカット加工か等)はなにが適しているか・金型への組み込み時の位置決め、抜け止めの方法は。
- ・メンテナンス時の処置方法(高さ、長さ調整方法等)

など注意する点も多い。加工レイアウトとともに金型構造の最適化努力も必要であり、両者のバランスのとれた金型が良い金型といえる。

## 4. 2 金型部品の切削加工事例

### 4. 2. 1 CNC 切削加工用プログラム

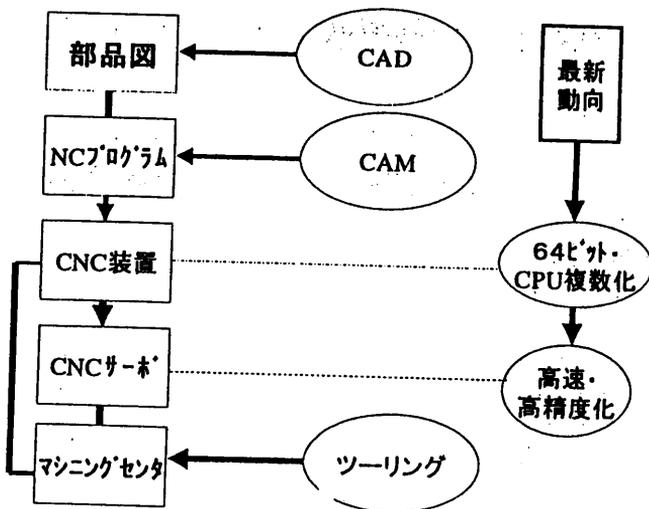
#### (1) CNC 切削加工のプロセス



#### (2) CNC プログラミング

##### 1) CNC プログラミングの基礎

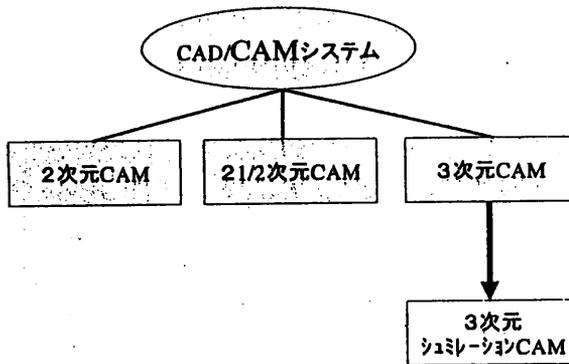
##### ■ CNC 切削加工データの流れ



## ■ CNCプログラムの基本機能

- プログラム構成 : アドレス+数値
- ▲例 S -100      アドレス    数値
- プログラム番号 : ▲ 例 0 1000 / プログラムを区別する
- シーケンス番号 : ▲ 例 N 1 / プログラムの要所の先頭に付ける
- 準備機能 (G 機能) : ▲ 例 G 00 / ブロックの命令の意味を指令する
- 送り機能 (F 機能) : ▲ 例 F 1100 / 毎分の送り速度を指令する
- 主軸機能 (S 機能) : ▲ 例 S 10000 / 主軸の回転数を直接指令する
- 工具機能 (T 機能) : ▲ 例 T 01 / 工具の自動選択を行う
- 補助機能 (M 機能) : ▲ 例 M 01 / 主軸の起動・停止、クーラント起動・停止など種類の ON/OFF 制御

## ■ CAMによるプログラミングの種類



### 2) 2 1/2・CNCプログラミング事例

#### ① ダイプレート加工例 (図 4.7)

穴 (ドリル、ボーリング、リーマ) 加工

ポケット加工

(2 1/2 次元 CAM によるプログラム例)

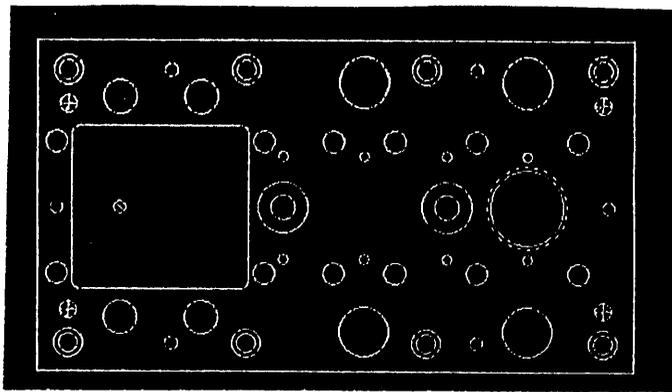


図 4.7 ダイプレート加工図例

■ ダイプレート (図 4.7) の NC プログラム事例

◆ メインプログラム

O1100

M01

M81H01Z0T02S2000

(+INC DAI-01 +)

(M98P1101)

M82M0

M01

M81H02Z0T03S2000

(+INC DAI-02 +)

(M98P1102)

M82M0

M01

M81H03Z0T04S1061

(+INC DAI-03 +)

(M98P1103)

M82M0

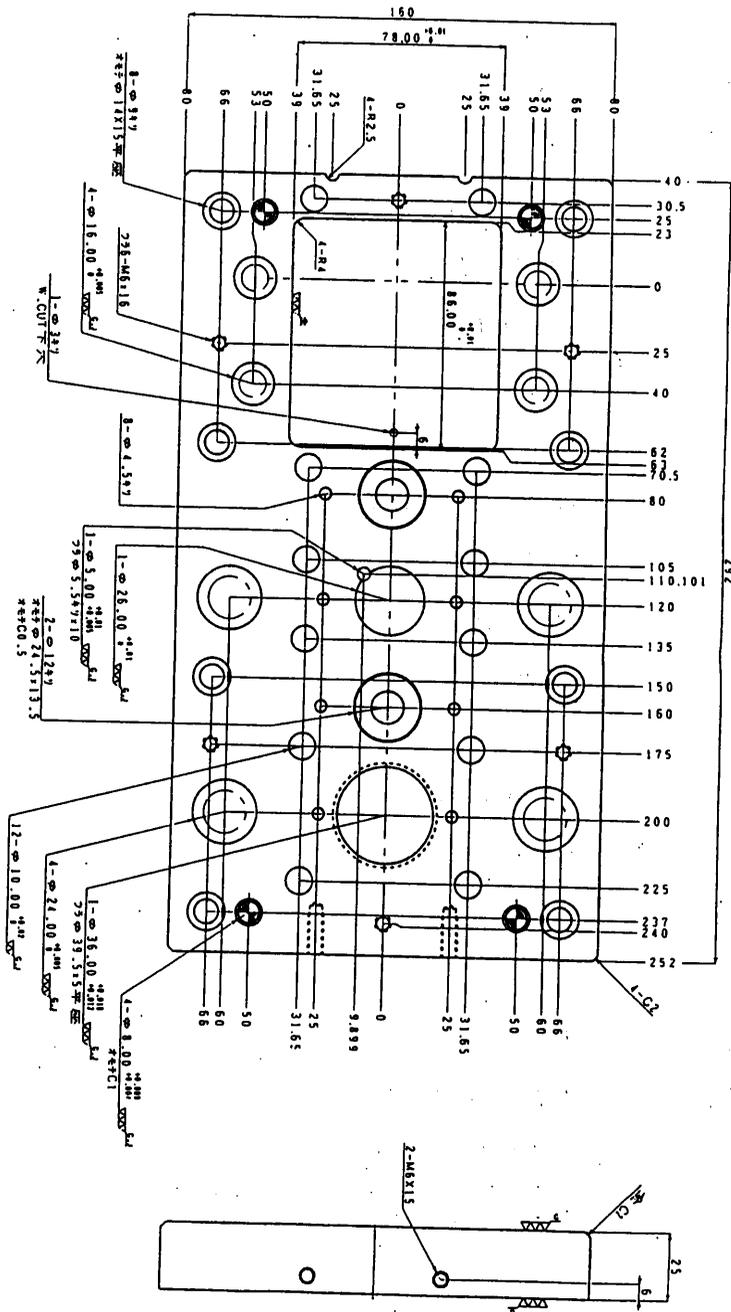
M01

M81H04Z0T05S795

(+INC DAI-04 +)

(M98P1104)

■ ダイプレート



M82M0

M01

M81H05Z0T06S612

(+INC DAI-05 +)

(M98P1105)

M82M0

M01

M81H06Z0T07S530

(+INC DAI-06 +)

(M98P1106)

M82M0

M01

M81H07Z0T08S477

(+INC DAI-07 +)

(M98P1107)

M82M0

M01

M81H08Z0T09S397

(+INC DAI-08 +)

(M98P1108)

M82M0

M01

M81H09Z0T10S298

(+INC DAI-09 +)

(M98P1109)

M82M0

M01

M81H10Z0T11S217

(+INC DAI-10 +)

(M98P1110)

M82M0

M01

M81H11Z0T12S350

(+INC DAI-11 +)

(M98P1111)

M82M0

M01

M81H12Z0T13S242

(+INC DAI-12 +)

(M98P1112)

M82M0

M01

M81H13Z0S700

(+INC DAI-13 +)

(M98P1113)

M82

M99

◆ 全穴のセンタードリル加工

01101

G90

G17G80G40

( CDR-D3-T1-P1 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G81X-30500Y31650Z-3000R3000F60

/N0004 X-30500Y0

/N0005 X-30500Y-31650

/N0006 X0Y-53000

/N0007 X25000Y-66000

/N0008 X40000Y-53000  
/N0009 X70500Y-31650  
/N0010 X80000Y-25000  
/N0011 X105000Y-31650  
/N0012 X120000Y-25000  
/N0013 X135000Y-31650  
/N0014 X175000Y-31650  
/N0015 X160000Y-25000  
/N0016 X200000Y-25000  
/N0017 X225000Y-31650  
/N0018 X240000Y0  
/N0019 X225000Y31650  
/N0020 X200000Y25000  
/N0021 X160000Y25000  
/N0022 X175000Y31650  
/N0023 X135000Y31650  
/N0024 X120000Y25000  
/N0025 X105000Y31650  
/N0026 X80000Y25000  
/N0027 X70500Y31650  
/N0028 X0Y53000  
/N0029 X25000Y66000  
/N0030 X40000Y53000  
/N0031 X0Y0  
/N0032 X175000Y-66000  
/N0033 X-25000Y66000  
/N0034 X-25000Y-66000  
/N0035 X62000Y-66000  
/N0036 X150000Y-66000  
/N0037 X237000Y-66000

/N0038 X237000Y66000

/N0039 X150000Y66000

/N0040 X62000Y66000

/N0041 X80000Y0

/N0042 X160000Y0

/N0043 X80000Y0

/N0044 X160000Y0

/N0045 X120000Y-60000

/N0046 X200000Y-60000

/N0047 X200000Y60000

/N0048 X120000Y60000

/N0049 X175000Y66000

N0050

N0051 G80

N0052 G00Z100000

N0053 M09

N0054 G00X0Y0

N0056

N0057 M99

◆スポットドリル加工 (8φリーマ穴)

01102

G90

G17G80G40

( SPOTDRL-D8-T2-P2 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G81X-25000Y50000Z-3300R3000F60

/N0004 X-25000Y-50000

/N0005 X237000Y-50000

/N0006 X237000Y50000

N0007

N0008 G80

N0009 G00Z100000

N0010 M09

N0011 G00X0Y0

N0013

N0014 M99

◆4.5φドリル加工

O1103 .

G90

G17G80G40

( DRLS-D4.5-T3-P3 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X80000Y-25000Z-29900R3000Q1000F42

/N0004 X120000Y-25000

/N0005 X160000Y-25000

/N0006 X200000Y-25000

/N0007 X200000Y25000

/N0008 X160000Y25000

/N0009 X120000Y25000

/N0010 X80000Y25000

N0011

N0012 G80

N0013 G00Z100000

N0014 M09

N0015 G00X0Y0

N0017

N0018 M99

◆ 6 φ ドリル加工

01104

G90

G17G80G40

( DRLS-D6-T4-P4 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X-30500Y0Z-30300R3000Q1000F39

/N0004 X25000Y-66000

/N0005 X240000Y0

/N0006 X25000Y66000

/N0007 X0Y0

/N0008 X175000Y-66000

/N0009 X175000Y66000Z-16800

N0010

N0011 G80

N0012 G00Z100000

N0013 M09

N0014 G00X0Y0

N0016

N0017 M99

◆ 7.8 φ ドリル加工

01105

G90

G17G80G40

( DRLS-D7.8-T5-P5 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X-25000Y50000Z-32800R3000Q1000F47

/N0004 X-25000Y-50000

/N0005 X237000Y-50000

/N0006 X237000Y50000

N0007

N0008 G80

N0009 G00Z100000

N0010 M09

N0011 G00X0Y0

N0013

N0014 M99

◆ 9 φ ドリル加工

01106

G90

G17G80G40

( DRLS-D9-T6-P6 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X-25000Y66000Z-31200R3000Q1000F46

/N0004 X-25000Y-66000

/N0005 X62000Y-66000

/N0006 X150000Y-66000

/N0007 X237000Y-66000

/N0008 X237000Y66000

/N0009 X150000Y66000

/N0010 X62000Y66000

N0011

N0012 G80

N0013 G00Z100000

N0014 M09

N0015 G00X0Y0

N0017

N0018 M99

◆10φドリル加工

01107

G90

G17G80G40

( DRLS-D10-T7-P7 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X-30500Y31650Z-31500R3000Q1000F45

/N0004 X-30500Y-31650

/N0005 X70500Y-31650

/N0006 X105000Y-31650

/N0007 X135000Y-31650

/N0008 X175000Y-31650

/N0009 X225000Y-31650

/N0010 X225000Y31650

/N0011 X175000Y31650

/N0012 X135000Y31650

/N0013 X105000Y31650

/N0014 X70500Y31650

N0015

N0016 G80

N0017 G00Z100000

N0018 M09

N0019 G00X0Y0

N0021

N0022 M99

◆12φドリル加工

01108

G90

G17G80G40

( DRLS-D12-T8-P8 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X80000Y0Z-32100R3000Q1000F43

/N0004 X160000Y0

N0005

N0006 G80

N0007 G00Z100000

N0008 M09

N0009 G00X0Y0

N0011

N0012 M99

◆16φドリル加工

01109

G90

G17G80G40

( DRLS-D16-T9-P9 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X0Y-53000Z-33300R3000Q1000F39

/N0004 X40000Y-53000

/N0005 X0Y53000

/N0006 X40000Y53000

N0007

N0008 G80

N0009 G00Z100000

N0010 M09

N0011 G00X0Y0

N0013

N0014 M99

◆22φドリル加工

01110

G90

G17G80G40

( DRLS-D22-T10-P10 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G83X80000Y0Z-21600R3000Q1000F34

/N0004 X160000Y0

/N0005 X120000Y-60000

/N0006 X200000Y-60000

/N0007 X200000Y60000

/N0008 X120000Y60000

N0009

N0010 G80

N0011 G00Z100000

N0012 M09

N0013 G00X0Y0

N0015

N0016 M99

◆12φエンドミル加工（荒加工）

01111

G90

G17G80G40

( RML-D12-T11-P11 )

N0001 G00X-25000Y66000

N0002 G00Z3000

/N0003 M08

/N0004 G90G01Z-3000F10

/N0005 G04P500

/N0006 G01X-24500Y66500F70

/N0007 G03X-25000Y67000I-500F35

/N0008 G03X-25000Y65000J-1000

/N0009 G03X-25087Y66996J1000

/N0010 G03X-25542Y66455I43J-498

/N0011 G01X-25000Y66000F70

/N0012 G90G00Z90000

/N0013 G00X-25000Y-66000

/N0014 G00Z3000

/N0015 G90G01Z-3000F10

/N0016 G04P500

/N0017 G01X-24500Y-65500F70

/N0018 G03X-25000Y-65000I-500F35

/N0019 G03X-25000Y-67000J-1000

/N0020 G03X-25087Y-65004J1000

/N0021 G03X-25542Y-65545I43J-498

/N0022 G01X-25000Y-66000F70

/N0023 G90G00Z90000

/N0024 G00X62000Y-66000

/N0025 G00Z3000

/N0026 G90G01Z-3000F10  
/N0027 G04P500  
/N0028 G01X62500Y-65500F70  
/N0029 G03X62000Y-65000I-500F35  
/N0030 G03X62000Y-67000J-1000  
/N0031 G03X61913Y-65004J1000  
/N0032 G03X61458Y-65545I43J-498  
/N0033 G01X62000Y-66000F70  
/N0034 G90G00Z90000  
/N0035 G00X150000Y-66000  
/N0036 G00Z3000  
/N0037 G90G01Z-3000F10  
/N0038 G04P500  
/N0039 G01X150500Y-65500F70  
/N0040 G03X150000Y-65000I-500F35  
/N0041 G03X150000Y-67000J-1000  
/N0042 G03X149913Y-65004J1000  
/N0043 G03X149458Y-65545I43J-498  
/N0044 G01X150000Y-66000F70  
/N0045 G90G00Z90000  
/N0046 G00X237000Y-66000  
/N0047 G00Z3000  
/N0048 G90G01Z-3000F10  
/N0049 G04P500  
/N0050 G01X237500Y-65500F70  
/N0051 G03X237000Y-65000I-500F35  
/N0052 G03X237000Y-67000J-1000  
/N0053 G03X236913Y-65004J1000  
/N0054 G03X236458Y-65545I43J-498  
/N0055 G01X237000Y-66000F70

/N0056 G90G00Z90000  
/N0057 G00X237000Y66000  
/N0058 G00Z3000  
/N0059 G90G01Z-3000F10  
/N0060 G04P500  
/N0061 G01X237500Y66500F70  
/N0062 G03X237000Y67000I-500F35  
/N0063 G03X237000Y65000J-1000  
/N0064 G03X236913Y66996J1000  
/N0065 G03X236458Y66455I43J-498  
/N0066 G01X237000Y66000F70  
/N0067 G90G00Z90000  
/N0068 G00X150000Y66000  
/N0069 G00Z3000  
/N0070 G90G01Z-3000F10  
/N0071 G04P500  
/N0072 G01X150500Y66500F70  
/N0073 G03X150000Y67000I-500F35  
/N0074 G03X150000Y65000J-1000  
/N0075 G03X149913Y66996J1000  
/N0076 G03X149458Y66455I43J-498  
/N0077 G01X150000Y66000F70  
/N0078 G90G00Z90000  
/N0079 G00X62000Y66000  
/N0080 G00Z3000  
/N0081 G90G01Z-3000F10  
/N0082 G04P500  
/N0083 G01X62500Y66500F70  
/N0084 G03X62000Y67000I-500F35  
/N0085 G03X62000Y65000J-1000

/N0086 G03X61913Y66996J1000

/N0087 G03X61458Y66455I43J-498

/N0088 G01X62000Y66000F70

/N0089 G90G00Z90000

N0090

N0091 G00Z100000

N0092 M09

N0093 G00X0Y0

N0095

N0096 M99

◆ 8 φ リーマ加工

01112

G90

G17G80G40

( REMH7-D8-T12-P12 )

N0001 Z88000

/N0002 M08

/N0003 G98G81X-25000Y50000Z-29500R3000F30

/N0004 X-25000Y-50000

/N0005 X237000Y-50000

/N0006 X237000Y50000

N0007

N0008 G80

N0009 G00Z100000

N0010 M09

N0011 G00X0Y0

N0013

N0014 M99

◆ 1 2 φ エンドミル加工 (仕上げ加工)

01113

G90

G17G80G40

( FML-D12-T13-P13 )

N0001 G00X-25000Y66000

N0002 G00Z3000

/N0003 M08

/N0004 G90G01Z15000F10

/N0005 G04P500

/N0006 G01X-24500Y66500F120

/N0007 G03X-25000Y67000I-500F60

/N0008 G03X-25000Y65000J-1000

/N0009 G03X-25087Y66996J1000

/N0010 G03X-25542Y66455I43J-498

/N0011 G01X-25000Y66000F120

/N0012 G90G00Z90000

/N0013 G00X-25000Y-66000

/N0014 G00Z3000

/N0015 G90G01Z15000F10

/N0016 G04P500

/N0017 G01X-24500Y-65500F120

/N0018 G03X-25000Y-65000I-500F60

/N0019 G03X-25000Y-67000J-1000

/N0020 G03X-25087Y-65004J1000

/N0021 G03X-25542Y-65545I43J-498

/N0022 G01X-25000Y-66000F120

/N0023 G90G00Z90000

/N0024 G00X62000Y-66000

/N0025 G00Z3000

/N0026 G90G01Z15000F10  
/N0027 G04P500  
/N0028 G01X62500Y-65500F120  
/N0029 G03X62000Y-65000I-500F60  
/N0030 G03X62000Y-67000J-1000  
/N0031 G03X61913Y-65004J1000  
/N0032 G03X61458Y-65545I43J-498  
/N0033 G01X62000Y-66000F120  
/N0034 G90G00Z90000  
/N0035 G00X150000Y-66000  
/N0036 G00Z3000  
/N0037 G90G01Z15000F10  
/N0038 G04P500  
/N0039 G01X150500Y-65500F120  
/N0040 G03X150000Y-65000I-500F60  
/N0041 G03X150000Y-67000J-1000  
/N0042 G03X149913Y-65004J1000  
/N0043 G03X149458Y-65545I43J-498  
/N0044 G01X150000Y-66000F120  
/N0045 G90G00Z90000  
/N0046 G00X237000Y-66000  
/N0047 G00Z3000  
/N0048 G90G01Z15000F10  
/N0049 G04P500  
/N0050 G01X237500Y-65500F120  
/N0051 G03X237000Y-65000I-500F60  
/N0052 G03X237000Y-67000J-1000  
/N0053 G03X236913Y-65004J1000  
/N0054 G03X236458Y-65545I43J-498  
/N0055 G01X237000Y-66000F120

/N0056 G90G00Z90000  
/N0057 G00X237000Y66000  
/N0058 G00Z3000  
/N0059 G90G01Z15000F10  
/N0060 G04P500  
/N0061 G01X237500Y66500F120  
/N0062 G03X237000Y67000I-500F60  
/N0063 G03X237000Y65000J-1000  
/N0064 G03X236913Y66996J1000  
/N0065 G03X236458Y66455I43J-498  
/N0066 G01X237000Y66000F120  
/N0067 G90G00Z90000  
/N0068 G00X150000Y66000  
/N0069 G00Z3000  
/N0070 G90G01Z15000F10  
/N0071 G04P500  
/N0072 G01X150500Y66500F120  
/N0073 G03X150000Y67000I-500F60  
/N0074 G03X150000Y65000J-1000  
/N0075 G03X149913Y66996J1000  
/N0076 G03X149458Y66455I43J-498  
/N0077 G01X150000Y66000F120  
/N0078 G90G00Z90000  
/N0079 G00X62000Y66000  
/N0080 G00Z3000  
/N0081 G90G01Z15000F10  
/N0082 G04P500  
/N0083 G01X62500Y66500F120  
/N0084 G03X62000Y67000I-500F60  
/N0085 G03X62000Y65000J-1000

/N0086 G03X61913Y66996J1000  
/N0087 G03X61458Y66455 43J-498  
/N0088 G01X62000Y66000F120  
/N0089 G90G00Z90000  
N0090  
N0091 G00Z100000  
N0092 M09  
N0093 G00X0Y0  
N0095 M99

### 3次元工具軌跡例

最近は3次元CAMによるNCプログラミングが行われるようになっているが、以下に3次元工具軌跡例を紹介する。

#### ヘリカル補間

ボールエンドミル、ブルノーズエンドミルなど底刃切削機能を有する切削工具を、ヘリカル形状の軌跡で切削を行う。

#### 同時3軸直線補間によるヘリカル補間・プログラム例

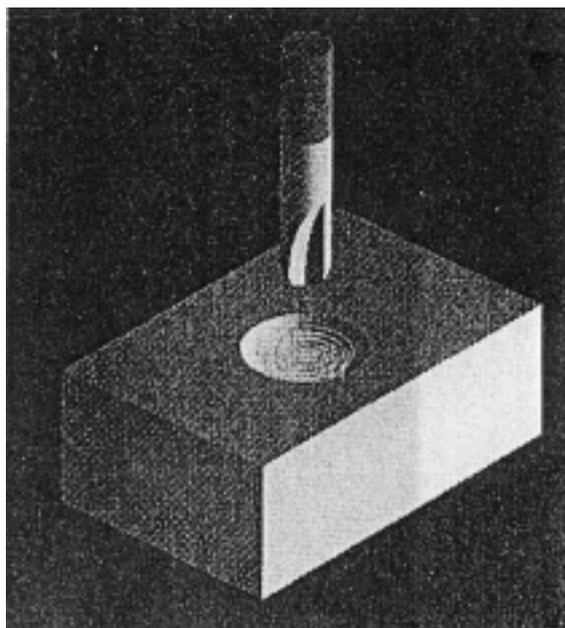
##### マクロ呼び出し指令

G65P9100L\_R\_Z\_F 引数L 繰り返し回数

R\_半径

Z\_Z軸移動量

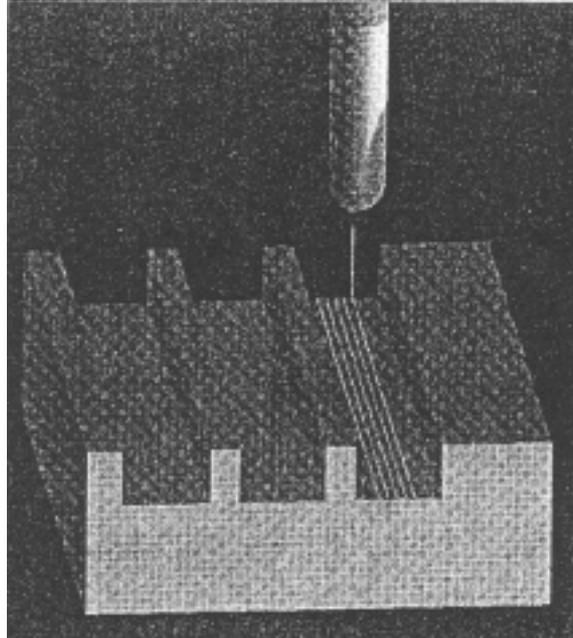
F\_送り速度



#### ジグザグ工具補間(溝形状の加工)

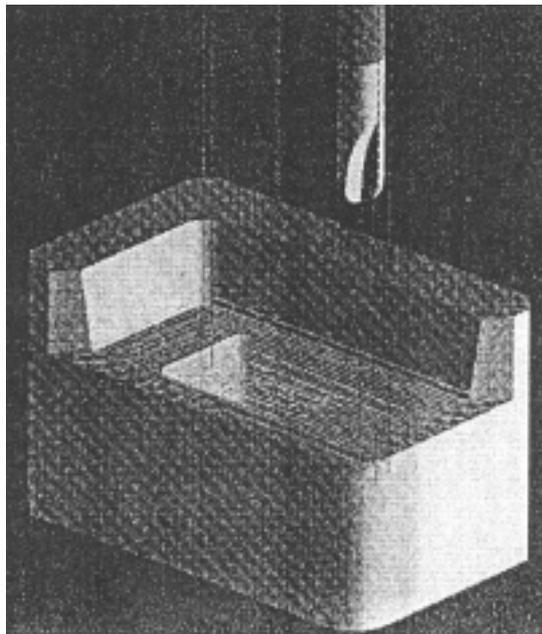
ボールエンドミル、ブルノーズエンドミル、スクウェアエンドミルなどをジグザグに移動する工具軌跡で、溝形状の切削加工を行う。

エンドミル 1 回の切り込み深さのレイヤー(層)で 1 レイヤーずつ切削を行い、所定の加工深さまで繰り返し切削する方式である。



#### 等高線工具補間(ポケット形状の加工)

等高線でト具を移動させながら、ボールエンドミル、ブルノーズエンドミル、および底刃切削機能を有すスクウェアエンドミルなどを用いてポケット形状などの切削加工を行う。



### 4.3 金型部品のワイヤ放電加工事例

図 4.8 のような順送型を製作する場合、ワイヤ放電加工するものとしては、  
上抜きパンチ  
パンチプレート  
入子抜きダイ  
ストリッパプレート  
ダイプレート

などがある。ワイヤ放電加工する上での要点を、各部品について以下に述べる。

#### 4.3.1 上抜きパンチ加工

図 4.9 および 4.10 の上抜きパンチを加工する工程を図 4.11 に示す。上抜きパンチは加工材料の厚みが厚く、形状寸法及び垂直度が要求される加工である。したがって、通常 3 回～4 回カットまで行う必要がある。1 回～2 回カットのみだとワイヤ放電加工特有のタイコ現象が現われてしまい(3.3 - 図 3.39 参照)、金型のガタの原因となってしまう。多重カットを行う際、中子(加工形状)が落ちないように切り残し部を設定する必要がある。通常、残した個所は 1 回加工(荒加工条件のみ)で切り落とし、後から研磨仕上げを行う。切り落とす際は 0.05mm～0.1mm 程度の研磨しろを付けることが必要である。

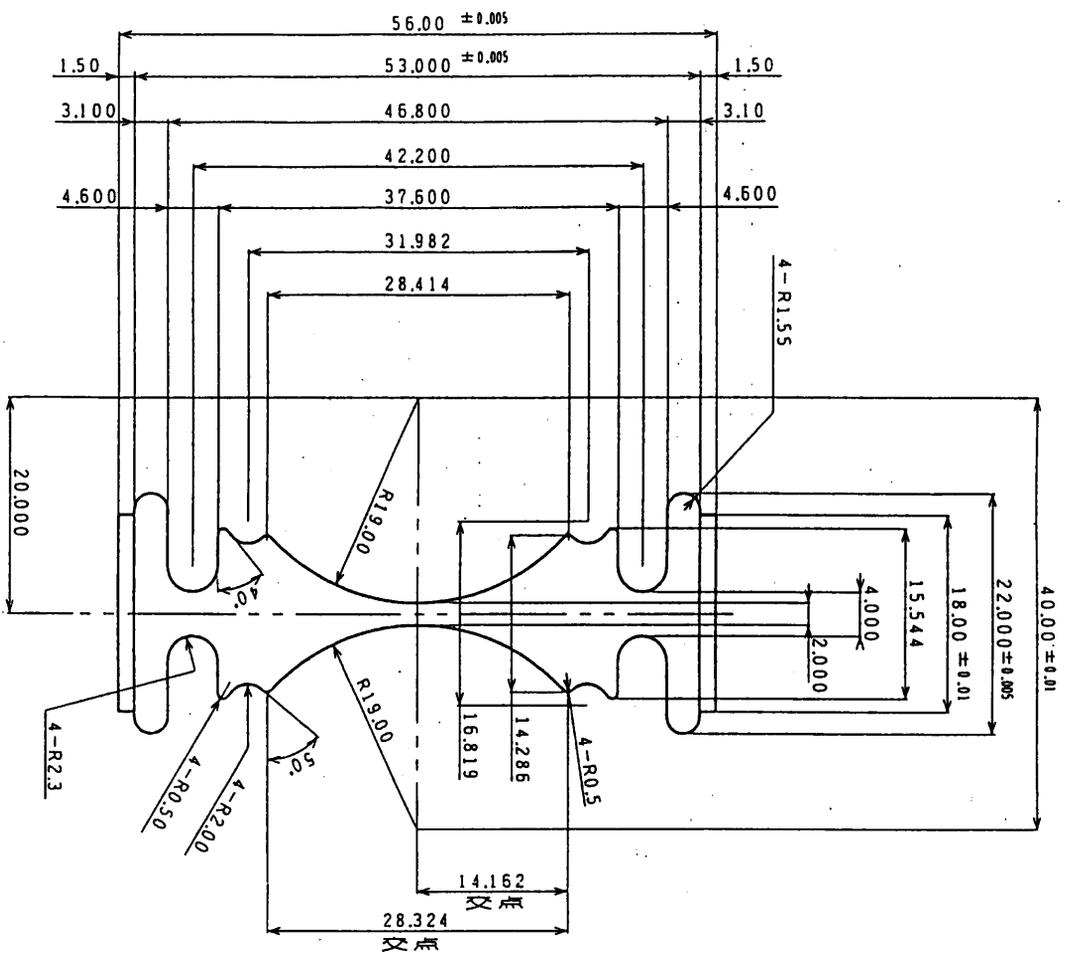
プログラム作成上の注意点としては加工軌跡を一定方向のみではなく、必ず往復の軌跡のプログラムを出力させることである。一定方向のみだと、一回加工する度にワイヤを切ったり繋いだりの動作が入るため、トータルの加工時間が長くなってしまう。

また切り残し部の位置は、後から研削加工を行う段付きの個所に設けるのがよい。パンチは耐久性が求められるため、SKD11 や SKH 材の焼き入れしたもの(焼き入れ硬度は HRC58 以上が望ましい)、または超硬材などが使用される。

#### 4.3.2 パンチプレート加工

図 4.12 のパンチプレートは上抜きパンチを固定するものであり、上抜きパンチがガタ無くきつく入るように加工することが肝心である。したがって、異形穴はパンチ寸法よりも 0.01mm(片側 0.005mm)程度大きくなるように加工オフセット量(工具補正量)を調整する。また、パンチに角部、(エッジ)がある場合は異形穴の角部を逃がす必要がある。ワイヤ放電加工の場合必ず内コーナーに <ワイヤ半径 + 放電ギャップ> 分の R が付いてしまうからである。上抜きパンチと加工形状がしっかりと合うように、加工回数は 2 回～3 回カットまで行った方がよい。





全 ± 0.01 以下

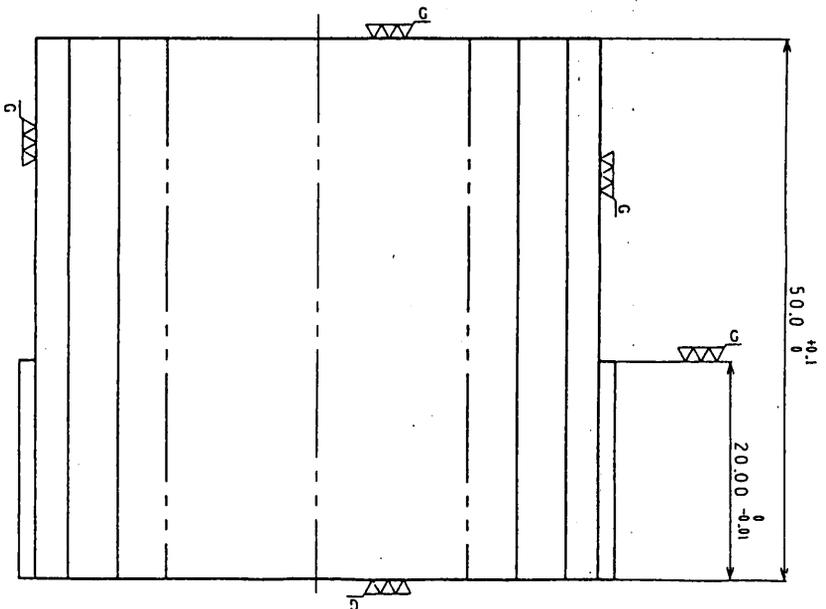
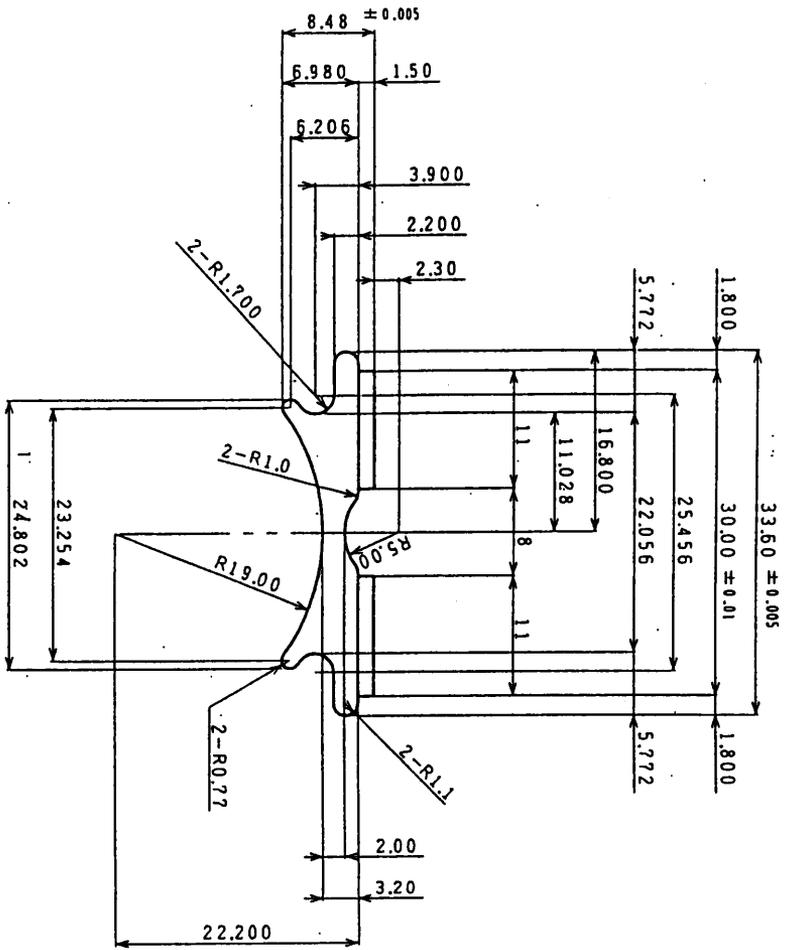


図 4.9 上抜きパンチ (1)



全 ± 0.01 以下

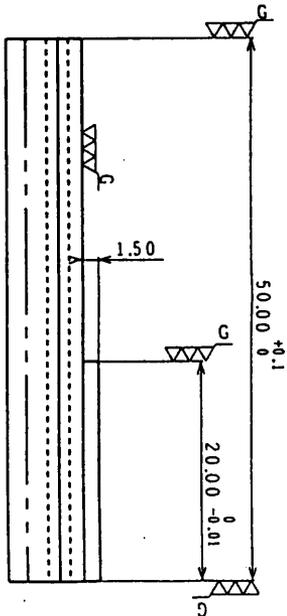


図 4.10 上抜きパンチ (2)

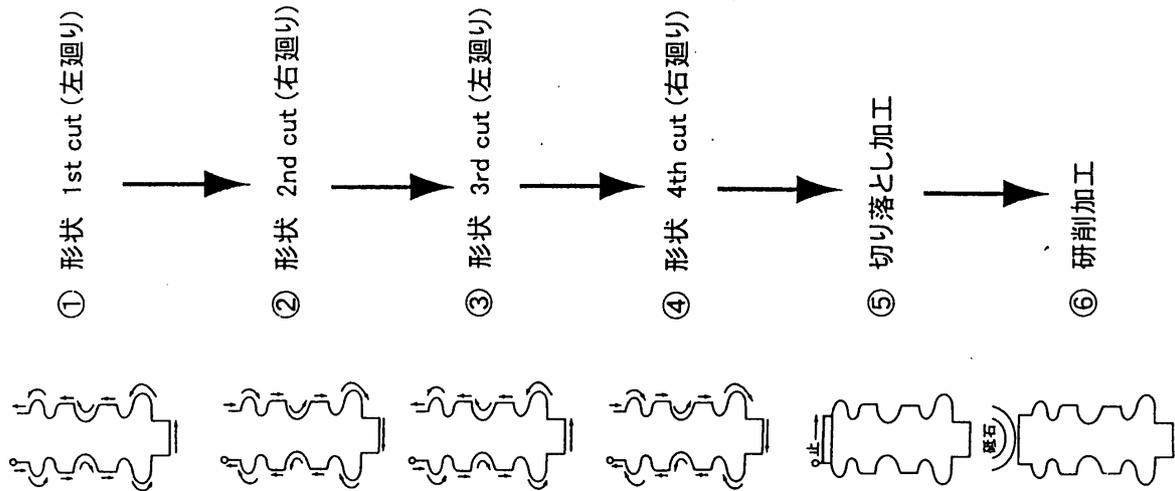


図 4.11 上抜きパンチの加工工程

#### 4.3.3 入子抜きダイ加工

図 4.13 および 4.14 のようにダイ形状を入子にする場合、外形に対する異形穴の位置が重要となる。加工中、応力開放による歪みで位置がずれないように図 4.15 のような加工工程をとった方がよい。

異形穴の加工形状精度はそのまま製品に反映されるため、上抜きパンチ加工同様に 3 回～4 回カットまで行う。しかし外形加工は面粗度はさほど必要ないので 2 回～3 回カットでよい。ダイとパンチとのクリアランスは抜く製品の厚みや材質等により異なるが、加工オフセット量にて調整する。また、抜いた際にカス詰まりが起きないようにテーパ（勾配）を付けることが必要である。

加工終了後、ダイプレートに圧入するので外形寸法は 0 狙いとする。また、角部が当たらないように外形の四隅は C 面を取っておく。ダイ形状は上抜きパンチ同様に耐久性が求められるので、加工材は SKD11 や SKH の焼き入れしたもの（HRC60 以上）、または超硬材などを使用する。

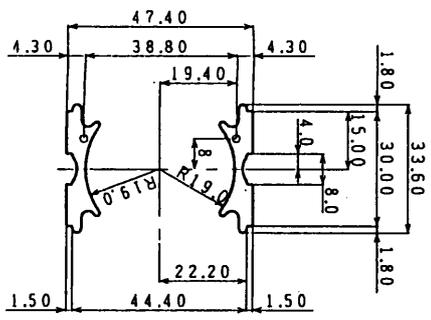
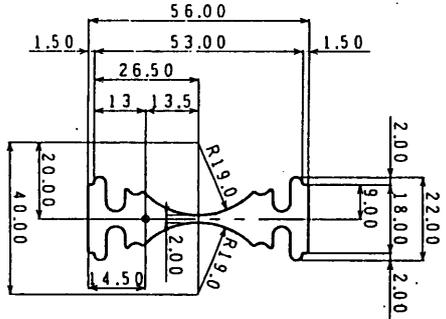
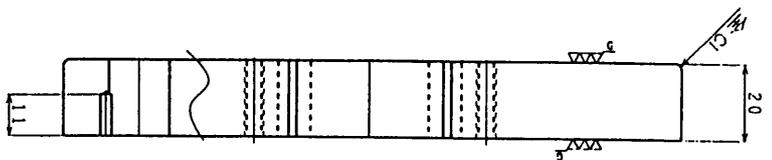
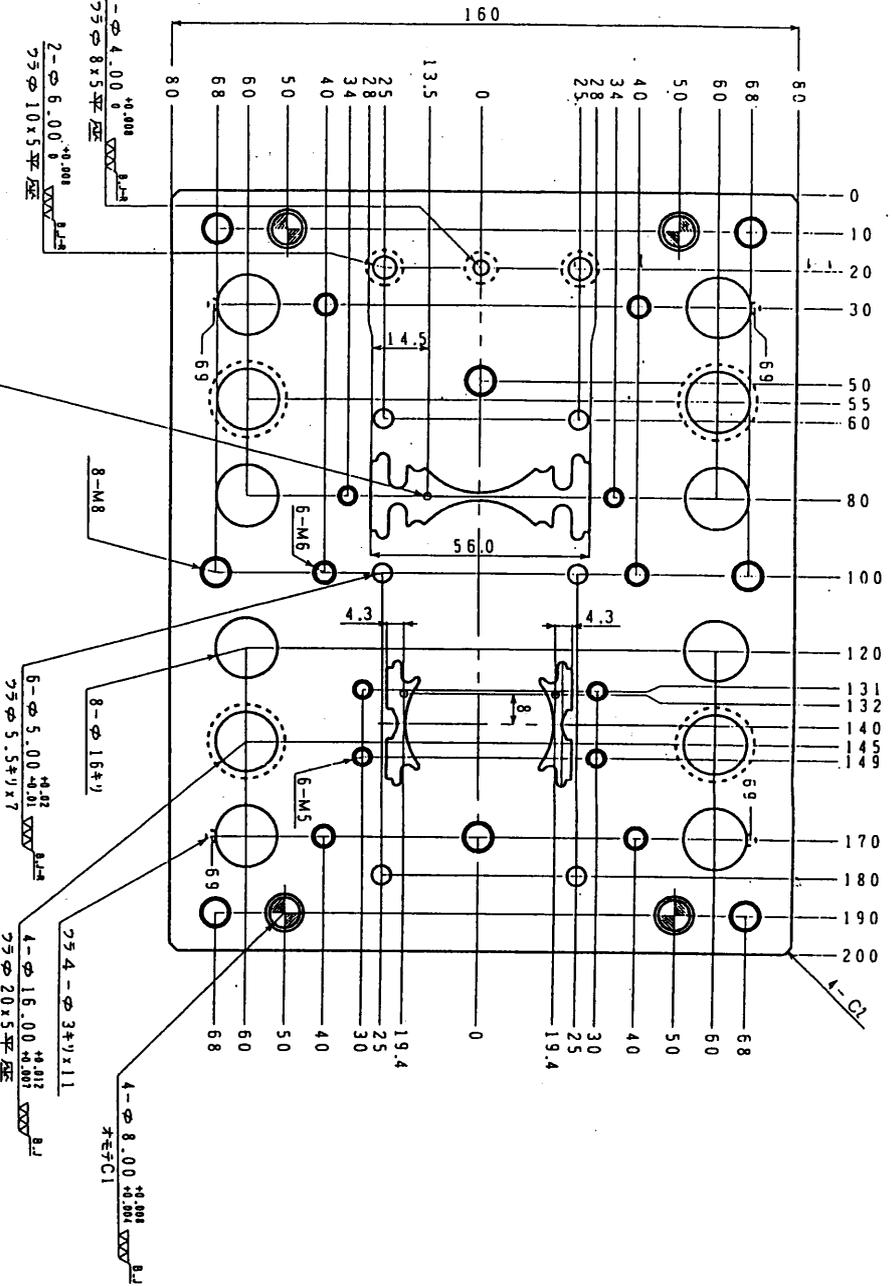
#### 4.3.4 ストリッパープレート

ストリッパープレートは、上抜きパンチをダイの異形穴へ導くガイド役をするもので、金型の位置精度を決める重要な役割を果たすものである。

上抜きパンチが確実にダイの穴位置に来るように、ストリッパープレートの異形穴の加工寸法はパンチ寸法とダイ寸法の間となるように加工オフセット量にて調整する。

ストリッパープレートの加工回数は、入子抜きダイ同様に 3 回～4 回カットまで行った方がよい。また、加工工程中に上抜きパンチと噛んで破損を起ささないように、加工材の焼き入れ硬度はパンチよりも低いものを使用する（図 4.16）。

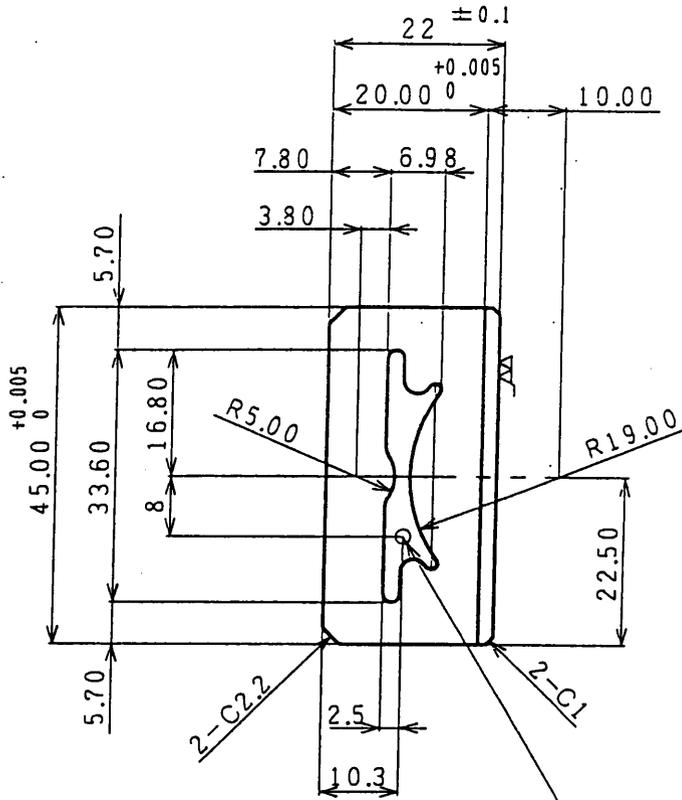
異形部全周W.CUT仕上り  
 3-φ27W.CUT下  
 W.CUT加工部上り寸法より  
 全周で0.005~0.017の事  
 詳細寸法は上り図参照の事



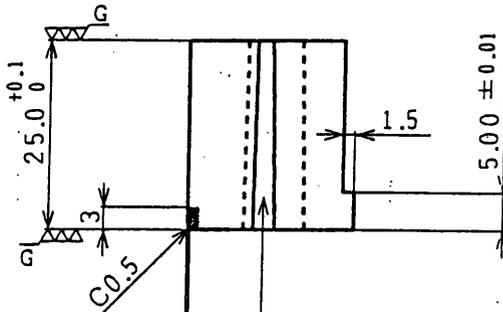
注意  
 G.J加工部各E\*ラテ間±0.005以内の事  
 W.CUT加工部各E\*ラテ間±0.01以内の事



≡ ±0.005 ~ 0.01



抜き刃部全周W.CUT仕上げ  
W.CUT下穴φ2キリ  
抜き刃部上刃寸法で記入  
詳細寸法は上刃図参照の事  
W.CUT仕上りは上刃寸法より片側  
0.03~0.035プラス仕上りの事



稜線-0.01~0.02  
導入用

抜き刃部全周抜きテーパー  
1/200~1/250

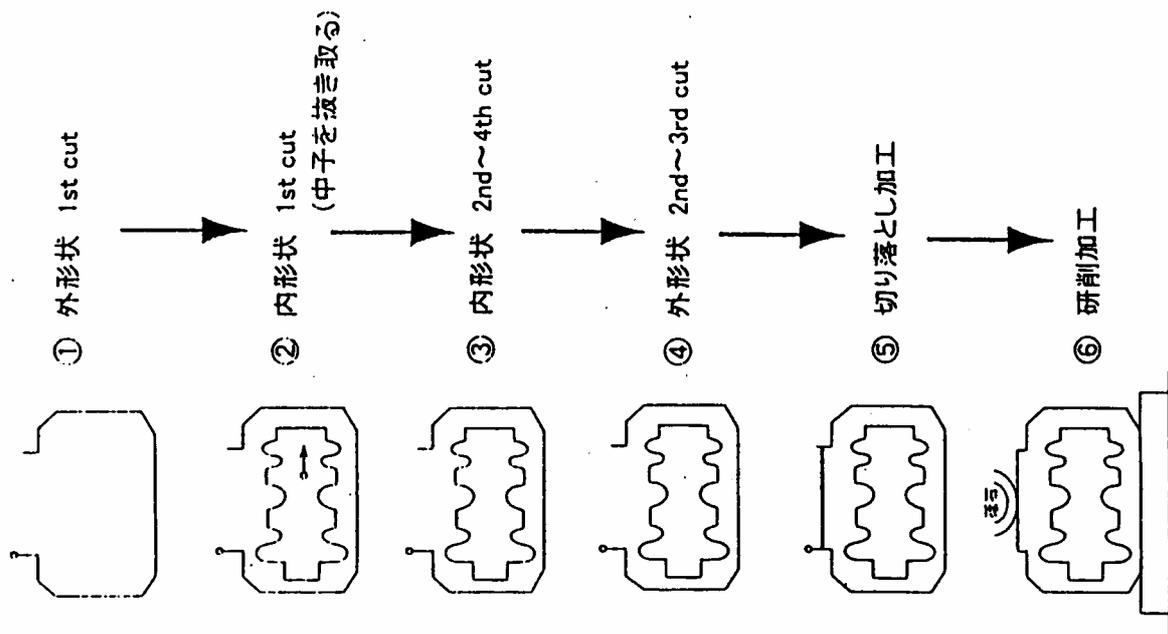


図 4.15 入れ子抜きダイの加工工程

#### 4.3.5 ダイプレート

異形穴が入子となっているため、ダイプレートには図 4.13 および 4.14 の入り抜きダイが入る角穴を加工する。角穴は位置精度が重要で面粗度はそれ程必要ではない。

加工回数は 2 回 ~ 3 回でよい。入子は圧入するので、加工寸法は 0 狙いで行う(図 4.17)

#### 4.3.6 プレート加工上の注意

プレート加工をする上で一番重要なのは、「如何に各形状穴間のピッチを保つか」ということである。最終形状加工において複数の機械を使用した場合、段取り替えによる位置決め誤差が生じやすい。最近ではワイヤ放電加工機の加工精度が良くなっているため、穴加工はすべてワイヤ放電加工で行うケースが多くなっている。一台の機械ですべて加工してしまえば、各形状穴のピッチはその機械精度の範囲内に抑えられるからである。

図 4.8 の順送型のように治具研とワイヤ放電加工機を併用する場合は、先に治具研で精度穴を加工した後、その穴を基準としてワイヤ放電加工を行う。その時に注意しなければならないのは、各プレートとも同じ基準穴を用いて同じように位置決めを行うことである。また、ワイヤ放電加工中に加工材料内部の残留応力が開放されて加工形状が歪んでしまい、それが形状誤差やピッチ誤差の原因となることが多い。加工材は予め熱処理(焼き入れ・焼戻し)を施して、応力開放が極小となるようにしておくことが必要である。

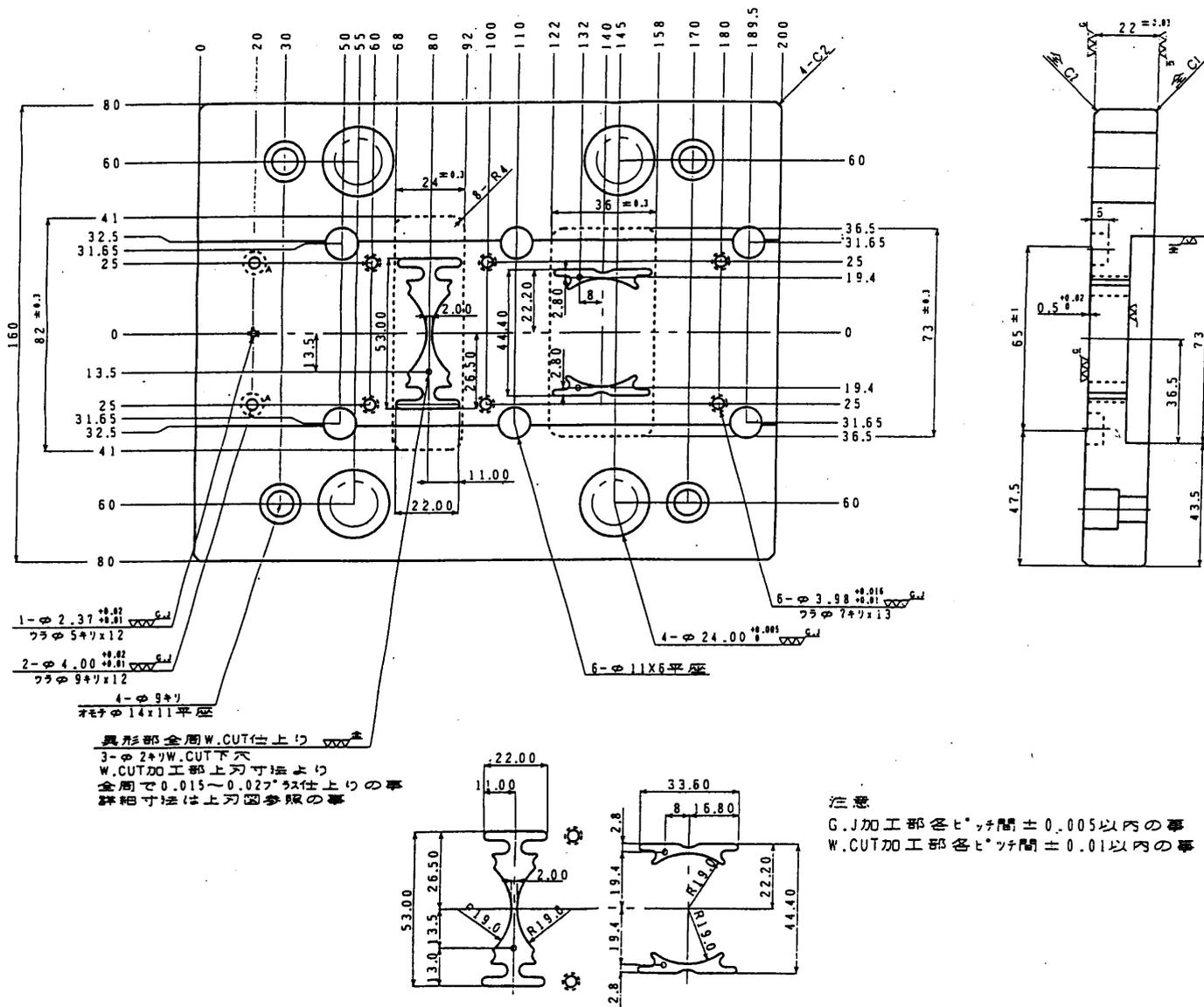
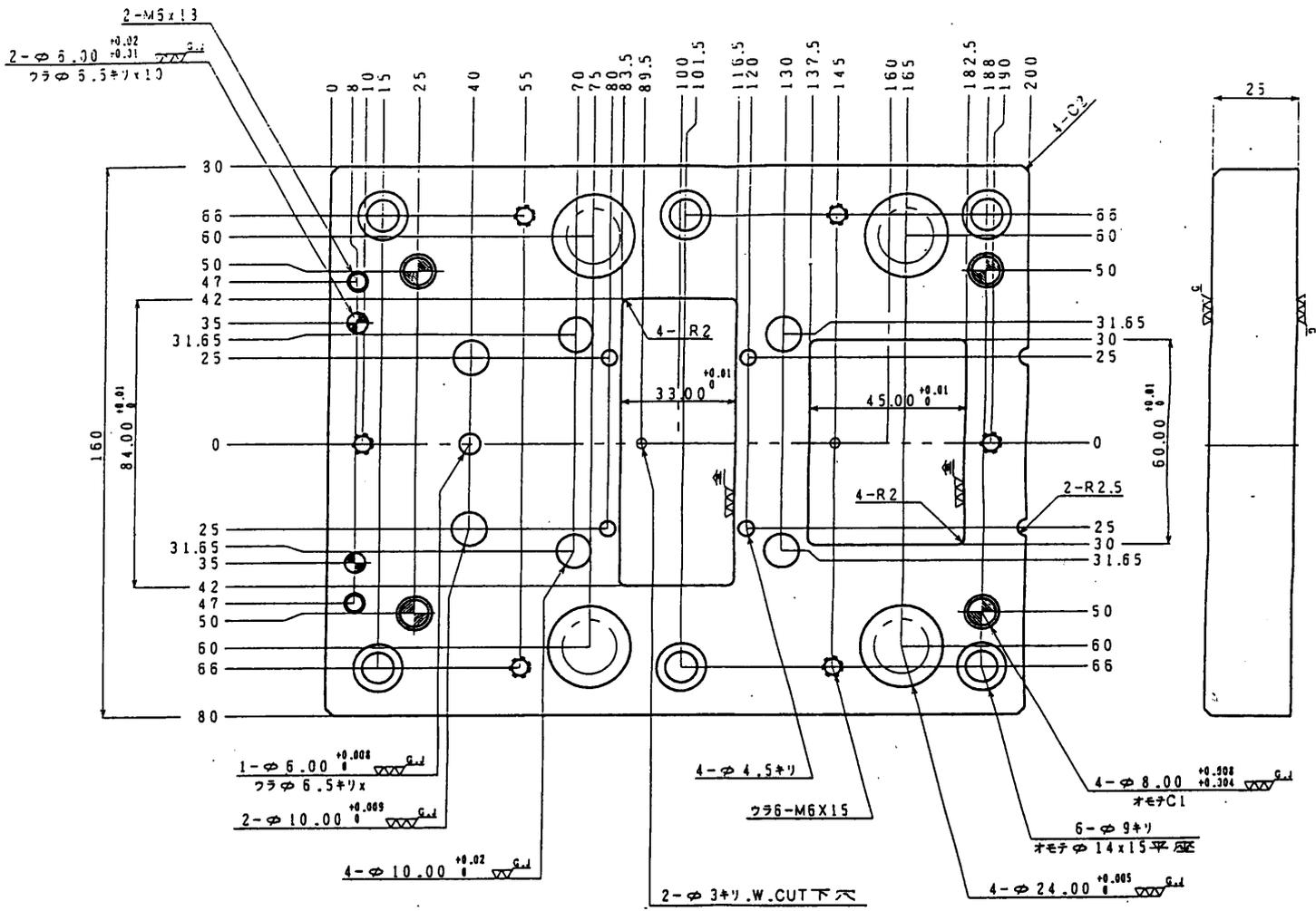


図 4.16 上ストリップ



注意  
 G.J加工部各ヒッチ間±0.005以内の事  
 W.CUT加工部各ヒッチ間±0.01以内の事

図 4.17 ダイプレート

平成 11 年度ものづくり人材支援基盤整備事業  
-技術・技能の客観化、マニュアル化等-

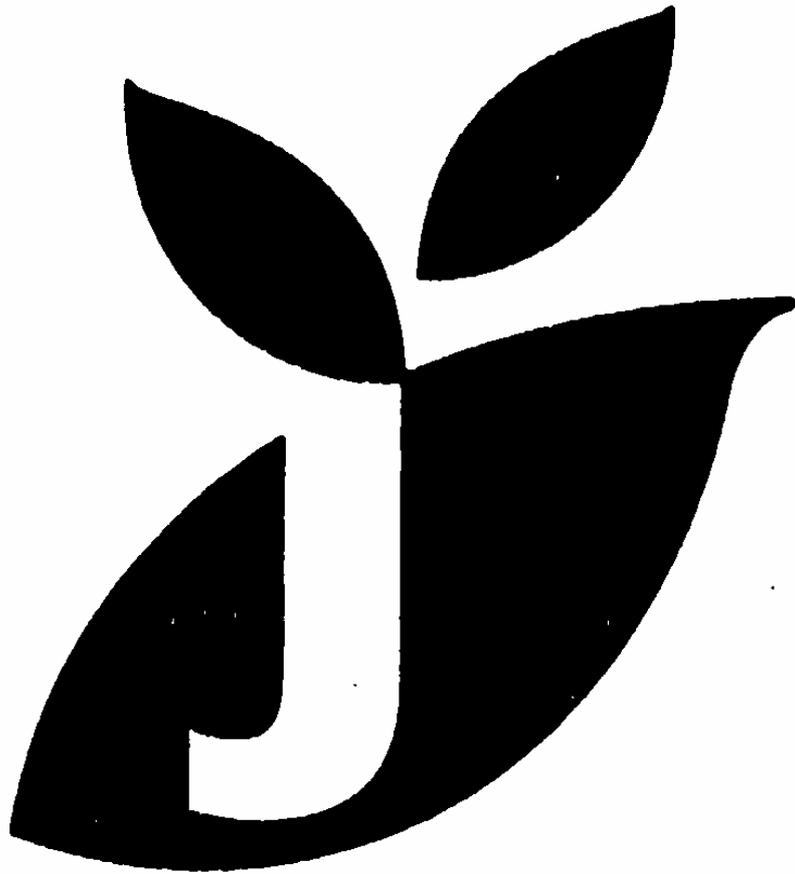
「プレス加工用金型の製作に係る技能」  
順送型の製作マニュアル

発行 中小企業総合事業団情報・技術部技術振興第二課  
〒105-8453  
東京都港区虎ノ門 3-5-1 虎ノ門 37 森ビル  
TEL 03-5470-1523 FAX 03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright 2000 中小企業総合事業団. All right reserved.

このマニュアルは、(社)日本金属プレス工業協会の協力を得て  
中小企業総合事業団が作成いたしました。



## 中小企業総合事業団

〒105-8453 東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

03-5470-1523

情報・技術部

事業団ホームページ URT <http://www.jasmec.go.jp/>