

知 識 編

1. 形彫り放電加工の概要

(1) 形彫り放電加工の現状

形彫り放電加工は、三次元形状の成形金型の加工にマザーマシンとして幅広く用いられている。特に、省人性、加工精度、仕上げ面の点で非常に優れていることから、高精度自動加工機として位置付けられている。この背景には、電子・半導体関係の小型精密化をはじめ、ICリードフレームやコネクタなどの金属薄板プレス加工部品、カメラ部品や小型歯車などのエンジニアリングプラスチック射出成形品など精密部品の生産量が急激に増加したことがあげられる。このため形彫り放電加工機に対するニーズは、使いやすさの追求、高性能化はもとよりますます高精度化しているのが現状である。

現在、マシニングセンタ、NCフライス盤等の工作機械において、 $5\mu\text{m}$ 以下の高精度加工機は、全体の5%以下といわれ、表1の到達加工精度と年代に見られるように普通加工で $1\mu\text{m}$ 以下の加工が可能となる時代は21世紀と予測されている。表2は高精度加工領域での加工精度と関連技術を示したものである。

こうした一般動向の中で、ワイヤ放電加工機および型彫り放電加工機における課題と最新技術についてまとめたのが表3であり、高精度加工実現については、加工性能と精度が重要な課題となっている。

表1 到達加工精度と年代 *1)

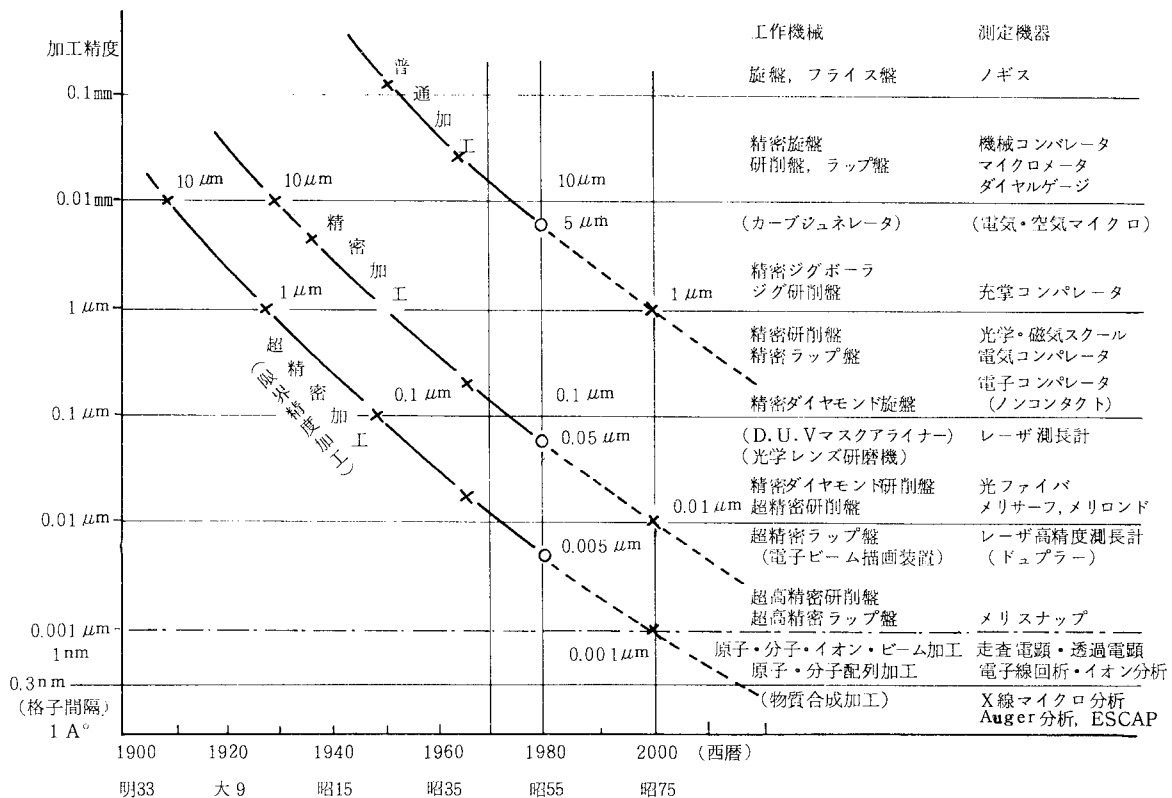


表 2 加工精度と関連技術

※1)

精度	工作機械要素	測定機器要素	工具材料	加工機構	表面分析法 (解析)	工具・加工物 位置制御装置
10 μm	ボール・ローラ (銅)案内・軸受, 精密平軸受・案内, 精密ねじ	空気マイクロ, ダイヤルゲージ, マイクロメータ, 光学偏向	切削工具 高速度鋼(粉末) 超硬合金	放電加工 電解加工 ワイヤカット 放電切断	(成分状態) 光学顕微鏡 (組織), 硬度, 化学分析, 分光 分析(赤外)	(順序・状態) AC・サーボモータ 電気パルスモータ 電気・油圧パル スモータ, リレ ー, ロジクコン トローラ
1 μm	静電空気軸受, 案内, ボール・ ローラー予圧軸 受・案内	差動トランス, インダクトシン, 光・磁気・モア レ尺, 精密空気 マイクロ, スト レインゲージ, ビヂコン, CCD	砥粒・砥石 アラシタム(WA, SA), カーボラ ンダ(GC), ダイ ヤモンド(人工) (フォトレジス ト・N)	精密放電加工 電解研摩加工 微細切削・研削 光リングラフィ ー	紫外線顕微鏡 放射化分析 微量分析 マイクロピッカ ース	DC・サーボモ ータ(セミクローズ) (エンコーダ) 最適制御, トラ ンジスタ・ロジ クコントローラ
0.1 μm	静圧精密空気軸 受・案内, 弾性ばね案内	精密差動トラン ス, レーザ干渉 (光), 容量・電 磁型コンパレー タ, 放射線カウ ンタ	砥粒, CBN, 高 融点金属酸化物 (CeO, MgO, B ₄ C)(フォトレ ジスト・P)	鏡面切削(研削) 真空蒸着, 精密 ラップ, 化学蒸 着(CVD)(光 リングラファイ, 遠・紫外光)	蛍光分析	精密DCサーボ モータ(クロー ズドループ), 適応制御マイク ロコンピュータ
0.01 μm	超硬合金・ルビ ー・ボール・ロ ーラ案内軸受(電 圧), 一体化弾性 ばね軸受, 電磁 ・静電・微動, 熱変形微動	超精密差動トラ ンス, 近接電磁 センサ, レーザ ドップラー干渉, 光ファイバ(光 センサー)	切削工具・砥石 ダイヤモンド (単刃, ペレッ ト)(天然人工) (フォトレジス ト・E)	EEM, メカノ ケミカルラッピ ング, 反応性ラ ッピング, レー ザ熱処理, PVD, 電子ビ ーム露光・SOR	電子回析(ED) X線マイクロ分 析(EPMA)	高精度DCサー ボモータ(クロー ズドループ), 先行制御, 電磁 サーボアクチュ エータ(熱・静 電), ミニコン ピュータ
0.001 μm = 1 nm	静電・電磁偏向 (イオン, 電子) 電磁・磁歪微動	電子線, X線シ ンチレータ, イ オン(SEM, TEM, STEM, IMA)	原子, 分子(反 応, イオン), 活性原子(プラ ズマ), イオン クラスター	非接触ラッピン グイオン加工 (スパッタエッ チ反応エッチ, スパッタデポ, イオンプレーテ ィング, イオン 注入)	イオン分析 Auger分析	電磁・磁歪サー ボ, 超高速電子 計算機(シーケ ンス, プロセス) (無人化)
Sub - nano meter			原子・分子(中 性), 中性子	物質合成加工 (原子・分子配 列, 分子ビーム 加工)		
		温度・圧力・位 置センサー			計算機シミュレ ーション, 有限 要素法, モーダ ル解析(応力)	デジタル制御 (状態)
IMA (イオンアナライザ)			CVD (chemical vapour deposition, 化学蒸着)			
SEM (走査電顕)			PVD (physical vapour deposition, 物理蒸着)			
TEM (透過電顕)			SOR (synchrotron orbital radiation, X線露光)			
STEM (走査透過電顕)						

表3 形彫り放電加工機およびワイヤ放電加工機における課題と最新技術 *9)

〔課題〕		〔形彫り放電加工〕	〔ワイヤ放電加工〕
1. 加工性能	加工速度	<ul style="list-style-type: none"> 不燃性加工 グラファイト電極使用 大電流加工 高速超硬合金加工 高電流ピーク値 	<ul style="list-style-type: none"> 高速加工 250 mm³/min 合金ワイヤ (Cu, Zn, Fe) 高い電流ピーク値 高圧力液流
	加工面性状	<ul style="list-style-type: none"> 鏡面加工 0.2 ~ 0.3 μRmax以下, 揺動加工 	<ul style="list-style-type: none"> 鏡面加工 (FS加工) 0.5 μ Rmax, 水による加工 変質層完全除去 真直度 (タイコ形状) 2 μm以下
	超低消耗加工	<ul style="list-style-type: none"> 高精度複雑加工 特殊放電波形 	
2. 精度	形状精度 超高精度機	<ul style="list-style-type: none"> 揺動加工 電気条件自動切換 低電極消耗 サーボ方式 CPU制御 (4軸同時) 	<ul style="list-style-type: none"> (自動)セカンドカット 加工条件自動切換 コーナ精度 サーボ方式 CPU制御 (4軸同時) ワイヤテンション制御 変動幅 10 μ以下
	ピッチ精度	<ul style="list-style-type: none"> 高剛性構造 静動的特性 高剛性ガイド 	<ul style="list-style-type: none"> 高剛性構造 静動的特性 高剛性ガイド
	熱的要因対策	<ul style="list-style-type: none"> 加工液温度制御 インバータ制御 機械熱バランス構造 	<ul style="list-style-type: none"> 加工液温度制御 インバータ制御 機械の恒温室組立
3. 自動化	NC機能	<ul style="list-style-type: none"> 自動測定 APC加工 データベース内蔵 大容量メモリー グラフィック機能 	<ul style="list-style-type: none"> 上下任意形状テーパ データベース内蔵 大容量メモリー グラフィック機能
	外部接続 (FA対応)	<ul style="list-style-type: none"> カセット入出力 外部端子 RS232C パソコン接続 	<ul style="list-style-type: none"> カセット入出力 外部端子 RS232C パソコン接続
4. 新分野応用	部品加工	<ul style="list-style-type: none"> 放電ミーリング 不燃性加工利用 	<ul style="list-style-type: none"> コンターマシーニング研磨前加工
	三次元形状加工	<ul style="list-style-type: none"> 単純電極加工 ATC, C軸使用 くり抜き加工 フレーム電極 	<ul style="list-style-type: none"> 上下任意テーパカット タービンプレード他 5面加工 形彫り放電加工用電極加工
	セラミックスの加工	<ul style="list-style-type: none"> 導電性セラミックスの放電加工 SiC, ZrB₂, Si₃N₄ 	<ul style="list-style-type: none"> 導電性セラミックスワイヤカット
5. 今後の新技術	シリコンによる放電加工	<ul style="list-style-type: none"> 大面積鏡面加工 磨き加工効果 	
	完全自動運転	<ul style="list-style-type: none"> APCによるワーク 自動搬入出 	<ul style="list-style-type: none"> APC 自動ワイヤ交換 自動切カス処理

(2) 形彫り放電加工機の特徴・用途

① 特 徴

<利 点>

- a. 工作物の硬度に関係なく、また、超硬合金や焼入鋼などの硬い材料でも、通電体であれば容易に加工できる。
- b. 工作物を焼入れした後で加工すれば、焼入れによる歪の心配がない。
- c. 使用する電極は、銅、カーボンなど切削が容易な材料を使用することができる。
- d. 加工精度は $\pm 0.01 \text{ mm}$ の高精度が得られる。
- e. 複雑な形状であっても、単純な形状であっても、形状による加工速度の差異は少ない。切削（研削）加工では形状が複雑になると割り型構造にするが、放電加工は一体構造で加工が可能となり構造が簡単になる。
- f. 複雑な形状であっても、高度な熟練技能を要しない。
- g. 加工中は自動運転であるため省力化、省人化を推進できる。
- h. 金型などでは、上型、下型のクリアランスが均一になり、型寿命が伸びる。
- i. 金型などの納期を大幅に短縮できる。
- j. 切削荷重は発生しないため微細な加工が可能。

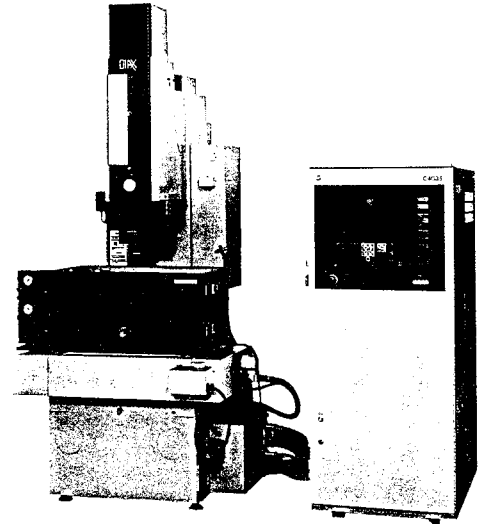


図1 NC形彫り放電加工機

<欠 点>

- a. 切削加工と比べて加工速度は遅い、したがって単純な形状では切削加工が有利である。
- b. 形彫り放電の場合、加工形状に対応した電極が必要である。
- c. 形彫り放電の場合、電極が消耗する（電極消耗率0.1%以下にできる）。このため加工個数が多くなれば複数個の電極が必要になる。
- d. 形彫り放電の場合、加工液に油を使用しているため、火災に対する注意が必要である。

② 用 途

表 4

<p>a. 金型の加工</p> <p>プレス打抜き型 曲げ, 成形金型 絞り金型 プレス連続加工金型 鍛造金型 押し型 (アルミサッシ型など) プラスチックモールド金型 ダイカスト金型 鑄造用金型 粉末冶金型 ゴム型 ガラス金型 窯業用金型 ダイス (線引, ヘッダー) 食・薬品用金型 その他 (化繊ノズル穴加工など)</p>	<p>c. 鉄鋼製造ロール加工</p> <p>ブリケットロール加工 ダル加工 ロールフォーミング加工 スリッタ加工 ロール節付加工</p>
<p>b. 量産部品加工</p> <p>内燃機関用燃料噴射ノズル穴 " 気化器細穴加工 " 燃料コントロールスリット穴 油圧バルブの細穴加工 光学機器への細穴加工 耐熱合金の加工 エアグライнда軸受の細穴加工 マーキング 各種調整弁の加工</p>	<p>d. 治工具類の加工</p> <p>切削工具ホルダの加工 切削工具の形状加工 ダイヤモンドホイール形状加工 各種取付け治具の加工 ねじ切り加工 (超硬合金製)</p>
<p>e. 試験材料の加工</p> <p>金属単結品の加工 標準欠陥加工 ストレインゲージの加工 特殊導電性材料の加工</p>	<p>f. そ の 他</p> <p>タップ折れ除去 ドリル折れ除去 焼入れ後部品の修正 ワイヤカット用下穴加工 ECM用電極スリットの加工</p>

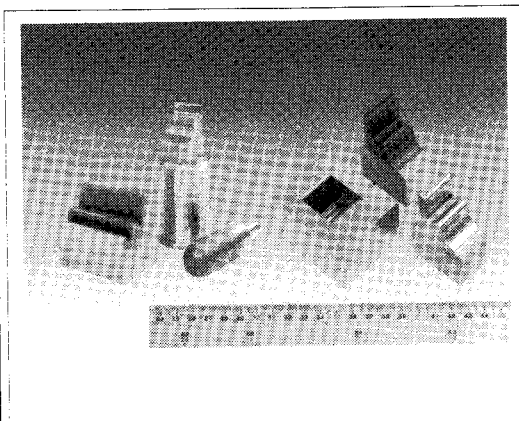


図2 絞り金型の製作

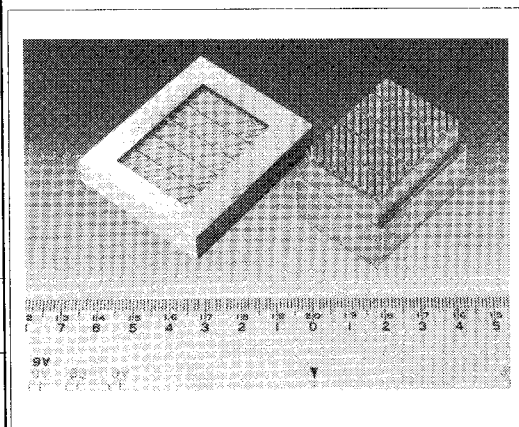


図3 モールド金型の製作

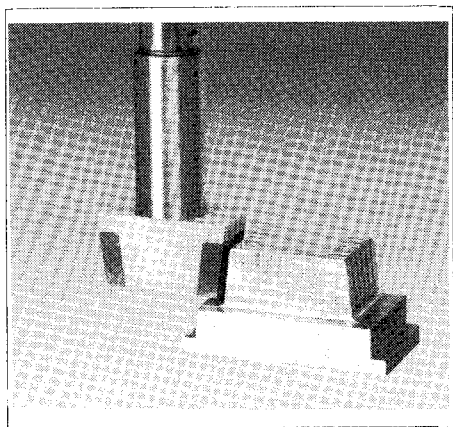


図4 モールド金型 (リブ加工) の製作

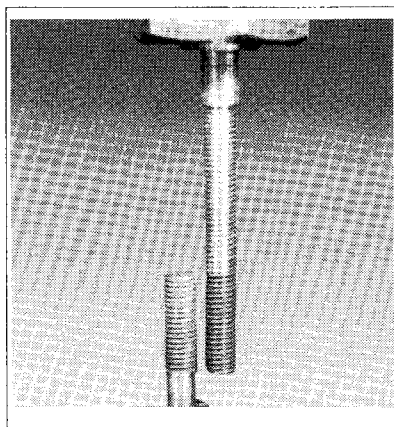


図5 ねじの製作

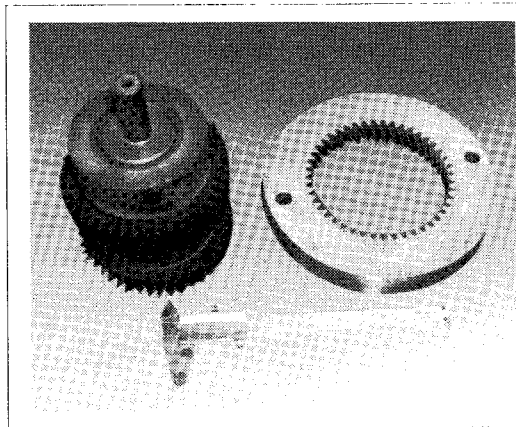


図6 ヘリカルギヤの製作

2. 形彫り放電加工の原理

(1) 加工原理

絶縁性加工液の中に、工具となる電極と工作物を数 μm ～数 $10\mu\text{m}$ を隔てて対向させ、この間に数 $10\sim$ 数 100V の電圧を加えると、電極・工作物の最も間隙の狭い部分で加工液の絶縁が破れて放電が発生する。この放電が持続している時間（ $1\sim$ 数 $1000\mu\text{sec}$ 程度）放電電流が流れ、主に熱的作用により工作物が除去される。放電電流は消弧時間をはさんで断続的に流すことが必要で、この消弧時間がなければ放電加工は行われない。このため、放電加工電源はパルス状の電流を電極・工作物間に供給するようになっており、1回のパルス電流により1個の放電こんが生じ、その累積により加工がなされる。

加工の進行により電極と工作物の距離が増加すると、サーボ機構がその間隙の増大を起こさぬよう電極を追尾させ、この繰り返しにより工作物は電極形状に対応した加工がなされるわけである。図7に放電加工原理図を示す。

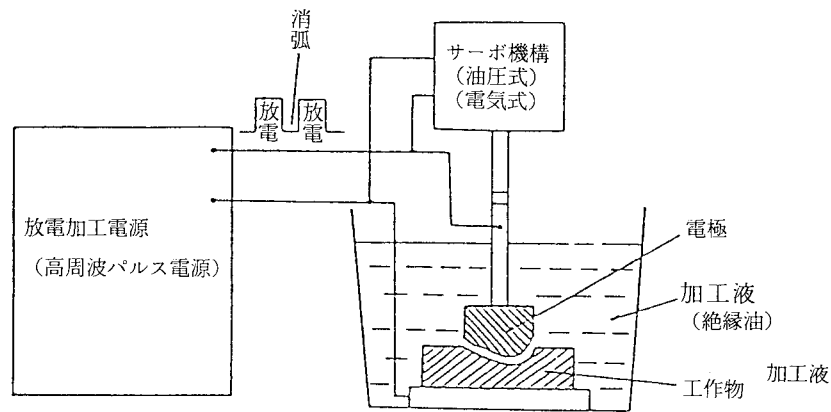


図7 放電加工原理図

高周波パルス電源は、スイッチのON、OFFと同じように、電極と工作物間（以後、極間と呼ぶ）に電圧を与えたり、切ったりするもので、電圧を与えるたびに極間にスパークが発生し、工作物表面層は少しずつ除去される。

このスパークが繰り返されると、電極面に対応する工作物表面層は放電こんに覆われ、極間の間隙が大きくなるため、サーボメカニズムは定められた極間ギャップを保つように、電極を降下させる。この繰り返しによって工作物は電極の形状に応じた加工がなされる。

高周波パルス電源は $500,000$ 回/sec（精加工）～ 1000 回/sec（荒加工）の割合で電圧のON、OFFを繰り返しているため、見た目には同時に無数のスパークが発生しているように思えるが、ミクロ的に見れば、高周波パルス電源が電圧ONするたびに1発ずつのスパークが発生するのであって、同時に2発以上のスパークが発生することはない。

この高周波パルス電源には、コンデンサ方式、インパルス発電機方式、真空管方式、サイリスタ方式、トランジスタ方式などがあるが、現在ではトランジスタ方式のものが最もすぐれているといわれ、その大半を含めている。

単発放電により工作物が加熱、溶解して、もとの冷えきった状態にもどるまでの過程を図8に示した。

この①～⑤の過程は1 / 500,000 秒～1 / 1000 秒の極めて短い時間にすぎない。

*2)

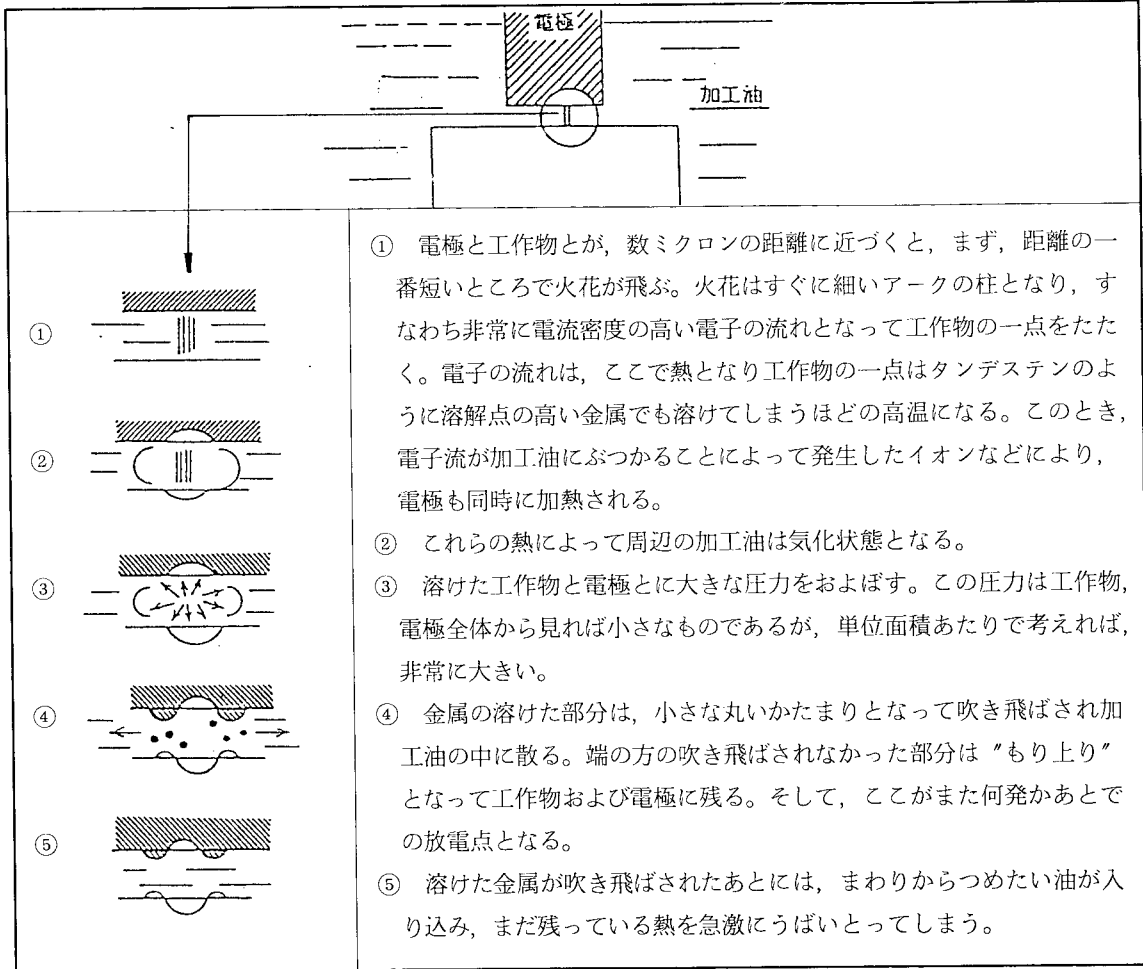


図8 金属が火花放電と油の圧力で加工されていく過程

(2) 加工特性の一般的傾向

① 単発放電エネルギーと加工特性の関係

放電加工は単発放電の累積であるから、単発放電エネルギーが大きければその加工量も多くなり、加工速度、クリアランス、加工面あらさともに大きな値になる。図9にその関係を示す。

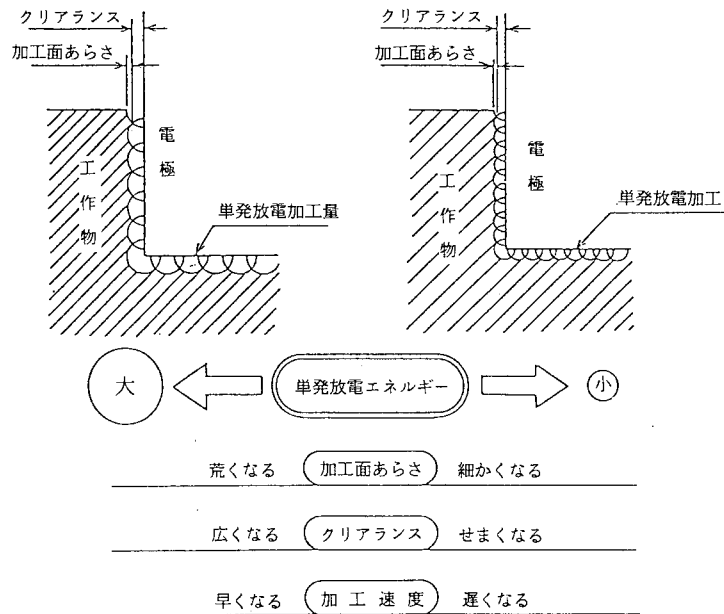


図9 単発放電エネルギーと加工特性の関係

② 加工セッティング (I_p) とパルス幅 (ON time)

単発放電エネルギーの大きさは、単発放電ピーク電流(加工セッティング)と単発放電時間(パルス幅)により決定される。

すなわち図10に示したように、加工セッティングとパルス幅値を大きく設定すれば単発放電エネルギーは大きくなり、反対に加工セッティングとパルス幅値を小さく設定すれば単発放電エネルギーは小さくなる。

加工セッティングとパルス幅の設定組み合わせ数は電源によって異なるが、図10の場合は132通りの組み合わせが可能である。ここで、例えば $H\mu R_{max}$ の加工面あらさを得る加工セッティングとパルス幅の設定は数種類あることになる。すなわち、単発放電エネルギーを同一にすれば良い訳であるから

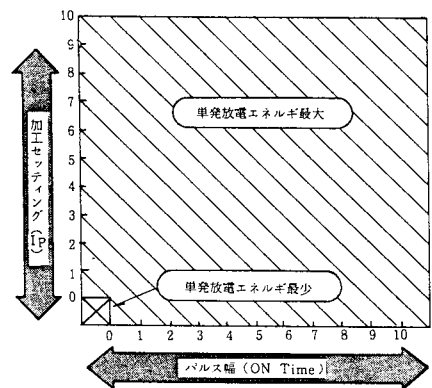


図10 加工セッティングとパルス幅の組み合わせ

- 加工セッティングを大きくして、パルス幅を小さく設定する。
- 加工セッティングを小さくして、パルス幅を大きく設定する。
- 加工セッティング、パルス幅を $a \cdot b$ の中間に設定する。

図11は同一加工面あらさを得るための加工セッティングとパルス幅の設定法と、加工速度、電極消耗の関係を示している。

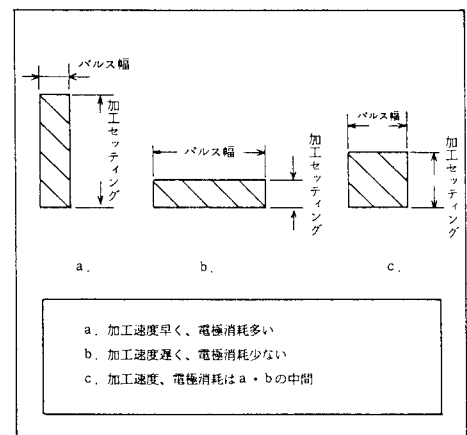


図11 加工セッティングとパルス幅の設定法

③ 休止時間 (OFF time)

要求される加工面あらし、クリアランス、電極消耗によって加工セッティング (Ip) とパルス幅 (ON time) の組み合わせが決定する。

これにより単発放電エネルギーが決定された訳であるから、今度は単発放電までの時間 (休止時間) を決定する必要がある。

休止時間は変化することができ、図12においては、休止時間1で最小休止になり、休止時間12で最大休止になる。

休止時間を小さい値に設定すると定時間における放電繰り返し回数が増加するため加工速度が早くなる。休止時間は単発放電エネルギーを変化させるものではないので加工面あらし、クリアランス、電極消耗には関係ない。したがって、休止時間は小さい値に設定した方が有利であるが、実際の加工においては加工粉の排除能力との関連から適切な設定値にすることになる。

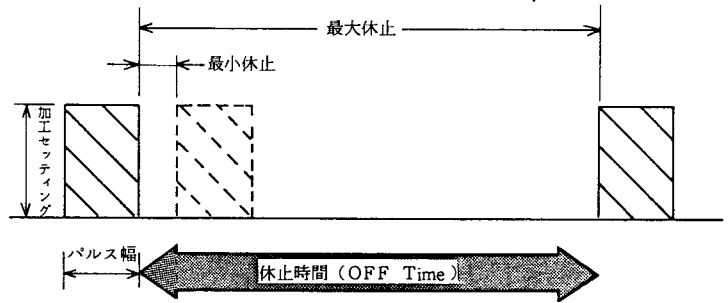


図12 休止時間

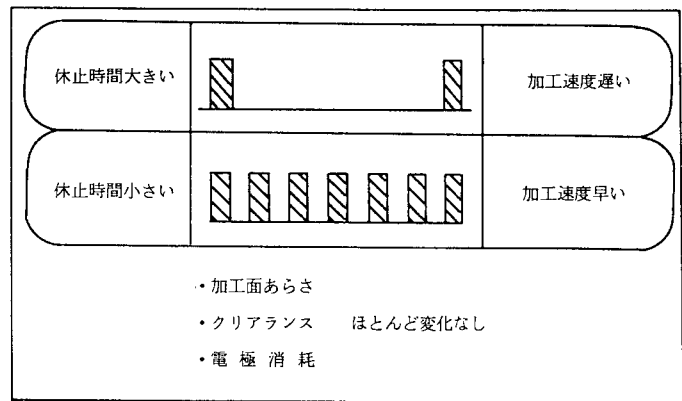


図13 休止時間と加工速度

④ 放電加工特性

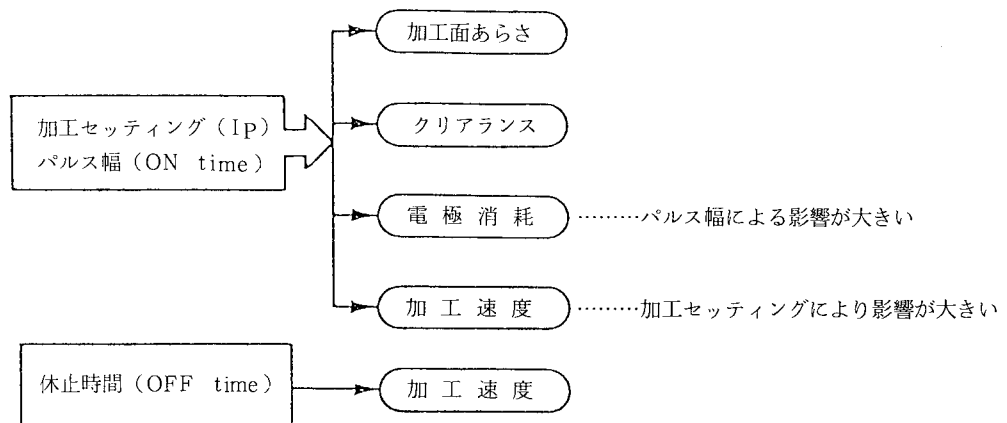


図14 加工セッティング, パルス幅, 休止時間と加工特性との関連

図14に加工セッティング、パルス幅、休止時間と加工特性との関連をまとめたが、加工セッティングとパルス幅の設定において、電極消耗は主にパルス幅、加工速度は主に加工セッティングによって影響を受ける。したがって同一加工面あらさを得る場合、電極消耗を余り問題にしないものは、加工セッティングを大きく、パルス幅を小さくして、加工速度の早い加工条件にした方が得策である。

逆に、電極消耗を問題にする場合は加工速度を犠牲にしても、加工セッティングを小さく、パルス幅を大きく設定することになる。

もちろん、加工面あらさを問題としない荒加工では、加工セッティングを大きく、パルス幅も大きく設定すれば、加工速度も早く電極消耗も少いことはいうまでもない。

このように加工セッティングを大きく、パルス幅を小さく（電極消耗を多くする）設定すると、同一加工面あらさにおける加工速度は早くなる。

その理由は図15に示したように、電極消耗大の方が放電繰り返し回数が多いことから説明できる。

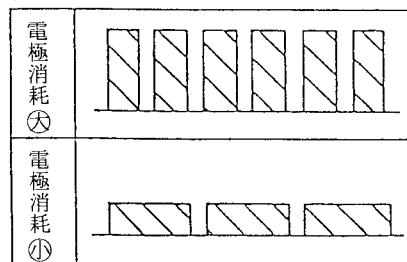


図 15 放電繰り返し回数の比較

以上のように放電加工特性は、加工セッティング (I_p)、パルス幅 (ON time)、休止時間 (OFF time) の3条件によって理論上は決定される。しかしながらその加工特性値は電極材料と工作物材質によって異ってくる。

(3) 揺動加工法

揺動加工は、X、Y、Zの3軸あるいは2軸を多方向に運動制御する加工方式で、放電加工性能に関する従来の欠点を大幅に改善するとともに、形彫り放電加工のNC化、全自動化の出発点といえる重要な機能である。

NC形彫り放電加工機を、より効果的に金型製作に活用するには、揺動加工にはどのようなメリットがあり、それはどのような理由でなされるかを理解し、そのメリットを有効に導き出す加工技術を身に付けることが大切である。

① 放電加工時間を大幅に短縮できる

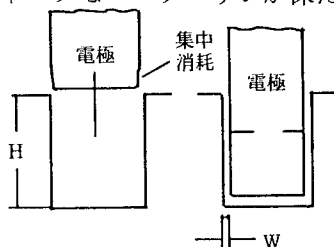
揺動加工中は電極と工作物の間隙を常に開閉し、また、極間の加工液に積極的な流れを与えるので加工粉の排除能力が向上する。このため加工深さが深くなっても加工速度の低下割合が少ない。

さらに仕上げ加工においては、側面方向にも順次面あらさの細かい加工条件に切り換えながら加工できるので、仕上げ加工の最終段階における放電加工代はわずかなものになり、放電加工時間を大幅に短縮できる。

特に、底付き形状の深いリブ加工で、細かい加工面あらさを要求するものほど加工時間の短縮効果は大きく、荒加工では効果は小さい。

② 仕上げ電極のコーナエッジ部の消耗が減少する

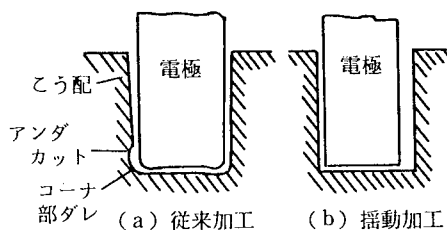
従来の加工法では図16(a)に示したように、加工深さHを電極底面コーナ部で加工するので、加工深さに比例してコーナ部に集中的な電極消耗が発生する。これに対して揺動加工の場合は、工作物の荒加工寸法よりやや小さい寸法の電極を使用して底面だけ仕上げ加工し、次に揺動運動を与えて側面方向を仕上げ加工すれば、電極全面で図16(b)のWを加工することになり、電極コーナ部での集中的な消耗は発生することなく、シャープなコーナエッジが保たれる。



(a) 従来加工 (b) 揺動加工
図 16 電極コーナ部の消耗状態

③ 加工精度が向上する

底付き形状の加工においては、図 17(a)に示すように側面にこう配が付いたり、あるいは局部的なアンダカットやだれが発生して寸法精度を悪くする。揺動加工では加工粉の排除状態がよいので図 17(b)に示すように、放電による拡大代が均一化し、揺動量、クリアランスを見込んで電極を製作すれば、 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以下の加工寸法は容易に実現できる。



(a) 従来加工 (b) 揺動加工
図 17 従来加工と揺動加工の加工形状精度

④ 均一な細かい加工面が得られる（光沢面加工も可能）

揺動加工はX、Y、Z軸方向に加工できるので、加工面全域について段階的に細かい面あらさに加工することができる。また、加工粉が特定箇所滞留することによって生じるアークこんやうねりの発生も防止できるほか、電極と工作物の相対的な運動により前段階における電極、工作物表面の凸凹が平滑化された形となるので、微細エネルギー電源と併用することにより、面あらさ $1 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ 以下の鏡面状の加工面を得ることができる。

⑤ 電極製作を容易にし、使用する電極個数を減少できる

仕上げ電極のコーナ部消耗が減少することは先に述べたが、このことは多数個取り加工において使用する電極を減少することにつながる。

また、従来加工では荒加工用、仕上げ加工用に寸法を変えて電極を製作したが、揺動加工では同一寸法でよいので電極製作は容易になる。さらに電極消耗による多少の変形が許されるものについては、荒加工から最終の仕上げ加工まで1個の電極で完了することもできる。

⑥ 袋形状の加工ができる

揺動加工には、Z軸の動きを任意の位置でロックしてX、Y軸のみ揺動運動させる機能があり、この機能を使用すれば穴の一部を袋形状に拡大できる。

図18に示す穴の内周面への溝加工について、従来の加工(a)ではまず電極の片面で半円分だけ加工を行い、次に電極を軸心を中心に180°反転して、残りの半円分を加工して1対の内周溝を得る。この場合は二次放電による放電間隙のばらつきのため歪んだ円形状になり、また2個の工作物の合せ面が一致しないことが多い。

これに対して揺動加工の場合は、工作物の下穴より電極外径を小さく製作し、また2個の工作物(上型と下型)は基準面を正確に一致させてセットする。次に図18(b)に示したように電極を工作物の内に入れて主軸をロックし、X、Y方向に揺動加工していけば高精度な溝を容易に加工できる。

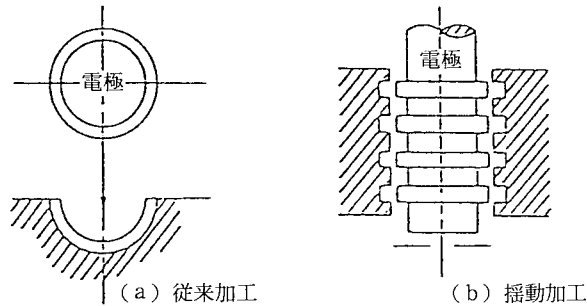


図18 内周溝加工の比較

⑦ 被削性のよいグラファイト電極の使用分野が拡大する

先に述べたように、揺動加工では仕上げ電極底面コーナ部の集中消耗を回避できるとともに、電極消耗を多少与えても形状の変化は目立たない長所がある。

グラファイト電極は仕上げ加工での電極消耗が多いことから、プラスチックモールド金型にはあまり使用されていなかったが、揺動加工の長所とグラファイト材の品質向上により、加工面あらかし10 μ mRmax程度(以上)の仕上げ加工まで、実用的に使用可能になってきており、抜群の被削性のよさを生かした電極製作の合理化・省力化と併せて、すぐれた放電荒加工特性を積極的に利用できる。

(4) NC形彫り放電加工機の構成

NC形彫り放電加工機のシステム構成は図19ようになっており、加工機のX、Y、Z軸にC軸(電極の回転および割出し軸)を加えた4軸を、NC装置の指令により位置制御できる。

従来の形彫り放電加工機は1方向(-Z方向)のみの加工に限定されていたが、NC機では8方向(X、Y、Z、C各軸のそれぞれ+-方向)への加工が可能であり、また、2軸の動きを合成した斜め加工、スパイラル加工、円筒面への転写加工、2次元輪郭加工などの加工法や、3軸の送りを合成したテーパ加工、3次元輪郭加工へとその応用範囲を拡大している。またNC装置はATCや加工電源も制御するので、荒加工から1~2 μ mRmaxの微細面仕上げ加工に至るまで、放電エネルギーと極間状態を最適にコントロールし、電極交換や位置補正も含めて放電加工作業を全自動化している。

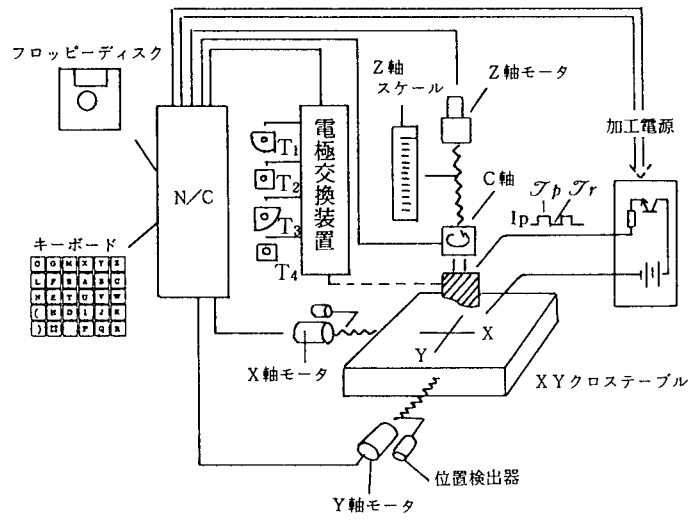


図 19 NC形彫り放電加工機の構成図

3. 導電性セラミックス

(1) 導電性セラミックスの種類と用途

ファインセラミックス（以下、セラミックスと呼ぶ）は、耐摩耗性、高強度・低変形性、潤滑性等の機械的特性及び耐熱性、断熱性、伝熱性、高温強度・耐食性等の熱的特性においてすぐれた性能を持ち、新設計の構造部材として様々な応用がはかられている。しかしながら、加工の点からすれば、これらの機械的特性は短所となっている。セラミックスの加工方法には、ダイヤモンド工具による研削・研磨による方法が一般的であるが、加工速度が遅く、加工できる形状に制限があり、複雑形状部品になると加工コストが著しく高くなるという問題がある。

このように、加工困難なセラミックスを構造材料としてその実用性を高めるために、特殊加工は重要な役割を受けもつと考えられる。たとえば導電性材料に対する放電加工の応用は、高温で腐食性の雰囲気で使用される複雑形状の機械部品製作などに試みられている。

現在、材料メーカー各社から数種類の導電性セラミックスが発売されているが、その主なものは、 ZrB_2 （旭硝子）、 Si_3N_4 （住友電工）、 SiC （信越化学）、 $SiAlON$ （日立金属）であり、また、放電加工を可能にするために、 TiN 、 TiC などの導電性物質を添加したものもある。

各材料の比抵抗、熱伝導率、融点もしくは昇華温度等の物性値を表5に示す。

表5 セラミックスの熱伝導率(λ)と融点(昇華) (θm)

*4)

セラミックス	メーカ	比抵抗(Ωcm)	λ [$W/m^{\circ}C$]	θm [$^{\circ}C$]	$\lambda \cdot \theta m$ [W/m]
$SiAlON$ (サイアロン)	日立金属	3.6 ~ 5×10^{-4}	21.3	1900 (以下)	4.05×10^4 (以下)
Si_3N_4 (窒化珪素)	住友電工	5.7×10^{-4}	20.9	1900	3.97×10^4
ZrB_2 (ホウ化ジルコニウム)	旭ガラス	4×10^{-5} (カタログ値)	85.8	2220	1.90×10^5
SiC (炭化ケイ素)	信越化学	1×10^{-1}	73.3	3200	2.35×10^5

また、金属の放電加工とセラミックスの放電加工の相違点としては、セラミックスの種類によっても異なるが、要約すれば、加工速度は鉄鋼と超硬の中間ぐらい、もしくは鉄鋼に近い値が得られる。注意点としては、異常放電（いわゆるアーク）が発生しやすいため、加工液の循環を良くするとともに、鉄鋼では通常0.5程度であるデューティファクタを0.1～0.2程度におさえる必要がある。ここでデューティファクタ（ $D \cdot F$ ）は以下の式で示される。

$$D \cdot F = \frac{\text{パルス幅 (ON TIME)}}{\text{パルス幅 (ON TIME)} + \text{休止幅 (OFF TIME)}}$$

また、加工面はクラックの存在が認められなくとも、表面の変質部分を除去しておくことが必要である。

(2) 導電性セラミックスの加工特性

① 放電加工が可能なセラミックス

放電加工が可能なセラミックスには、セラミックス自体に本来導電性のあるものを焼結したものと、主体をなすセラミックスには導電性はなくとも導電性のある物質を助剤として混合して焼結したものとに分けられる。

セラミックス自体で導電性をもつものは、次のような炭化物、硼化物、窒化物である。

- a. 炭化物ではTiC, ZrC, WC, TaCなどが導電性をもつ。SiCは反応焼結の場合に $0.08 \sim 10^{-1} \Omega \text{cm}$ 程度の比抵抗があり、放電加工可能であるが、比抵抗が $10^4 \Omega \text{cm}$ 程度と高い通常のSiCは不可能である。
- b. 硼化物では、TiB₂, ZrB₂などである。
- c. 窒化物では、TiN, ZrNなどである。

なお、酸化物には通常導電性のないものが多い。

上記の導電性セラミックスを助剤として混合焼結したものにはSi₃N₄-TiNやサイアロン (SiAlON, Si₃N₄, Al₂O₃などの混合物に、TiNなどを混合) がある。

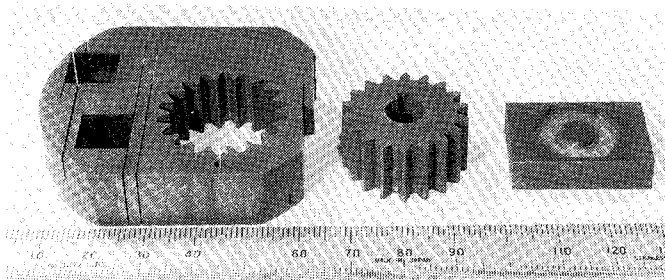


図20 セラミックスの放電加工例

② 放電加工特性

セラミックスは熱伝導率(λ)が金属にくらべて小さく、銅にくらべれば $1/10$ 以下、鉄にくらべても $1/2 \sim 1/3$ のものが多い。

一方、融点(θ_m)もしくは昇華温度は鉄よりも高く、鉄の 1539°C にくらべ、 $1900 \sim 3000^\circ\text{C}$ のものが多い。このことは次のような加工特性を生ずる。

表 6

*7)

材 料	昇 華 温 度 または融点 $\theta_m [^\circ\text{C}]$	$\lambda \cdot \theta_m [W/cm]$
Si ₃ N ₄	1,900	397
SiAlON	1,900	405
ZrB ₂	2,220	1,900
SiC	3,200	2,350
W	3,377	4,940
Cu	1,084	4,000
Ag	960	3,890
Mo	2,577	3,730
Al	659	2,740
Ta	2,997	2,093
Pt	1,770	1,556
Fe	1,539	1,230
Ni	1,455	600
ステンレス鋼	1,425	520
Ti	1,672	315

λ : 材料の熱伝導率 [$W/cm \cdot ^\circ\text{C}$]

θ_m : セラミックスは昇華温度/金属は融点

- a. 材料の高温強度が高く、熱伝導率が低いため、放電点における温度勾配が大きくなり結局応力勾配が大となる。放電点が冷却された後は、材料表面が冷却され材料内部は温度が表面よりも高くなり、表面に引張応力、内部に圧縮応力を生じ、表面応力が材料の引張応力よりも高くなると表面にクラックを生ずる。

材料表面から内部に向けての温度分布と圧力分布を概念的に示したものを図 21 に示す。

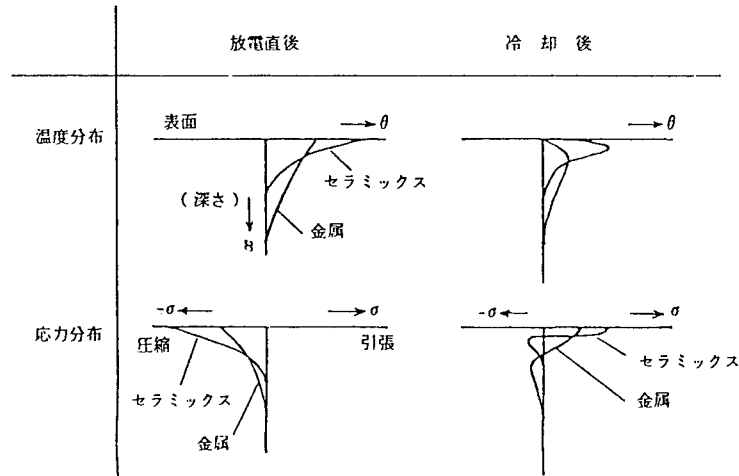


図 21 放電点の温度・応力分布概念図 *7)

- b. 熱伝導率の良好な銅のような電極を用いれば、低消耗加工は得られる。
($\lambda \cdot \theta$ m の積の値が小さいほど、低消耗加工が容易である。)
- c. 融点が高く、熱伝導率が低いことは、放電点が冷却されにくいことを意味し、そのため、放電点は絶縁回復が遅くなる。放電休止時間の割合が小さい場合は(デューティファクタが大きい) つぎつぎに発生する放電が同一放電点に集中し、いわゆるアーク放電となり、欠陥を残しやすい心配がある。したがって、加工条件として休止時間を長くとか適応制御の必要がある。
- d. 放電の集中によるいわゆるアーク放電を生ずる場合や、パルス幅の長い場合および放電痕の深くなるような荒加工条件では、クラックを生じやすい。仕上げ面を微細に加工する必要がある。

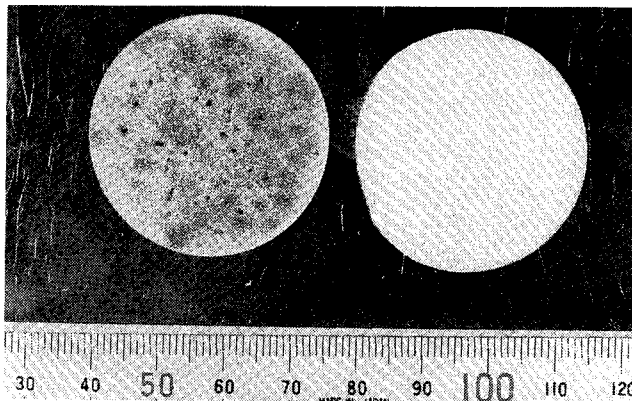


図 22 左：アーク放電加工面、右：正常放電加工面
(材料：炭素鋼、電極材：銅)

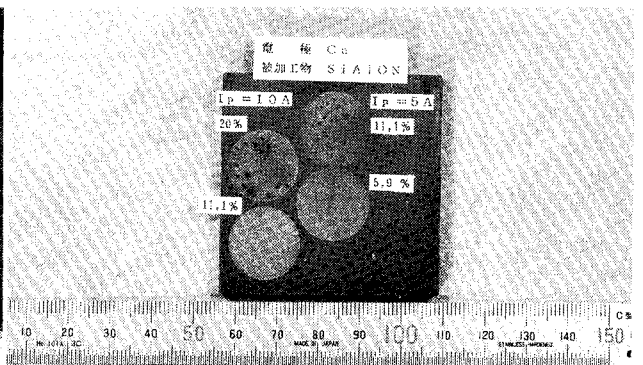
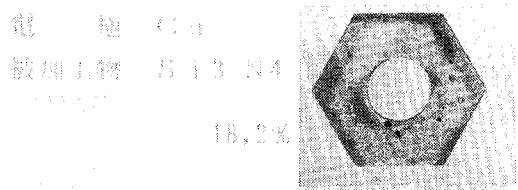


図 24 アーク発生の判定基準

図 23 セラミックスのアーク痕
(Cu 電極、 Si_3N_4 系セラミックス)
デューティファクタ：18.2%



e. 多くのセラミックスは放電加工によって強度が低下し、 $R_{max} = 0.8 \mu m$ 以下とすることが必要であるが、サイアロンは $R_{max} = 7 \sim 8 \mu m$ でも、素材強度はあまり低下しない。

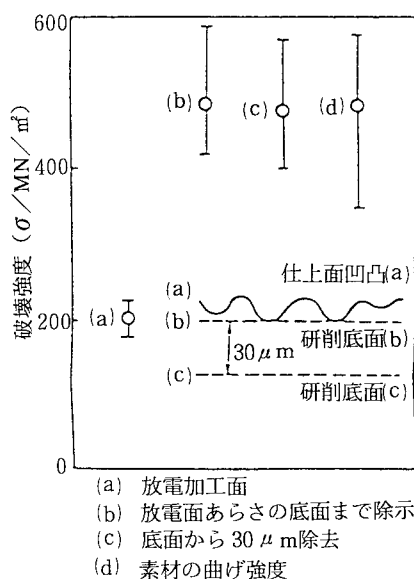


図 25 ダイヤモンド砥石研削による強度の回復 *7)

以上セラミックスの放電加工特性を要約して示すと次のようになる。

油中放電加工（冷却は水中放電加工にくらべ劣る）においては鉄鋼と炭化タングステン（WC-Co）の中間もしくは鉄鋼に近い加工速度で加工できる。加工上の注意としては、加工液の循環を良くしてアークにならないようにデューティファクタ ($D = r_p / (r_p + r_r)$) を $0.1 \sim 0.2$ と小さくとる。

水中放電加工は冷却能が油中よりも高いから、デューティファクタを高くとれる可能性がある。これは、グラファイト電極を用いる形彫り放電加工において水中の方が油中の約 2 倍の電流を投入しても、アーク（放電の集中）が起こらないことと似ている。

(3) 導電性セラミックスの加工例

NC形彫り放電加工機において加工した導電性セラミックスの例を次に示す。これは、銅電極 $\phi 1.5$ をC軸で連続回転させ、アルファベットの文字“DIAX NCEDM”を輪郭加工したものである。

（別名：多軸加工）

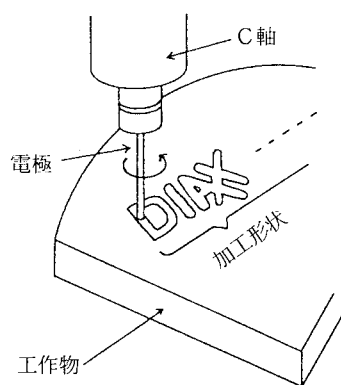


図 26 加工方法

電 極： Cu $\phi 1.5$ 20 rpm

工 作 物： ZrB_2

面あらさ： $5 \mu m R_{max}$

加工時間： 4.5 時間（ドレッシングを含む）

加工のポ： 電極の消耗があるので数回電極修正を加える。
 イント

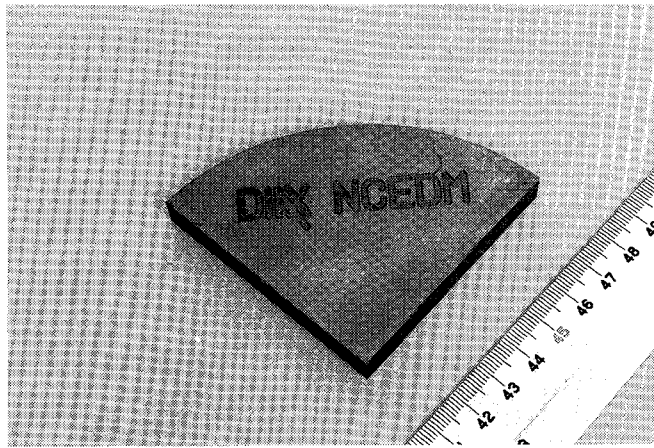


图 27 ZrB_2 輪郭加工例

4. 電極材料の選定

(1) 電極材料の種類と加工特性

電極材料については放電加工特性、価格、被削性などからある程度限定される。

現在使用されている電極材料としては、銅、グラファイト、銅タン、銀タンが代表的で、鋼、黄銅などが使用されることもある。

電極材料と工作物材料の各種組み合わせによる電極極性の選定と電極低消耗加工の可否を表7に示した。ここで電極低消耗とは電極消耗比1%以下の条件を意味している。この表からもわかるように、電極低消耗加工が可能な材料は、電極材料に銅、グラファイト、銅タン、銀タンであり、鋼、アルミニウム、亜鉛、黄銅などの工作物材料を放電加工する場合である。また、セラミックスの場合も、これに準じてよい。

なお、鋼は軟鋼から工具鋼、ダイス鋼を含んだ鋼全般を意味し、電極材料の具体的な選定方法として、電極製作上の特性と放電加工特性の二つの観点からの検討が必要となる。

表 7

*2)

電極材料	工作物材料	電極極性	電極低消耗	電極材料	工作物材料	電極極性	電極低消耗
銅	鋼	⊕	可	銀タン	銅	⊖	不可
銅	銅	⊖	不可	銀タン	銅タン	⊖	不可
銅	アルミニウム	⊕	可	銀タン	銀タン	⊖	不可
銅	黄銅	⊕	可	銀タン	アルミニウム	⊕	可
銅	ベリリウム銅	⊕	可	銀タン	黄銅	⊕	可
銅	超硬合金	⊕ ⊖	不可	銀タン	超硬合金	⊖	不可
銅タン	鋼	⊕	可	銀タン	タングステン	⊖	不可
銅タン	銅	⊖	不可	グラファイト	鋼	⊕ ⊖	可
銅タン	銅タン	⊖	不可	グラファイト	銅	⊖	不可
銅タン	銀タン	⊖	不可	グラファイト	アルミニウム	⊕	可
銅タン	アルミニウム	⊕	可	グラファイト	黄銅	⊕	不可
銅タン	黄銅	⊕	可	グラファイト	超硬合金	⊖	不可
銅タン	超硬合金	⊖	不可	黄銅	鋼	⊖	不可
銀タン	鋼	⊕	可	鋼	鋼	⊕	不可

〔注1〕 銅：超硬合金は通常、荒加工は⊕極性、仕上げ加工は⊖極性。

〔注2〕 グラファイト：鋼は通常、底付加工は⊕極性、貫通仕上げ加工は⊖極性で、電極低消耗（消耗比1%以下）は⊕極性のみ。

(2) 電極材料の熱特性

加工の難易を示すパラメータとして、熱伝導率(λ)と昇華温度(θ_m)を掛け合せた、 $\lambda \cdot \theta_m$ を取り上げると、加工に必要な最低エネルギー(J_{min})は $\lambda \cdot \theta_m$ に比例していることが知られており、それぞれの値は表8に示す通りである。

表 8

*2)

材 料	融 点 θ_m [°C]	$\lambda \cdot \theta_m$ [W/cm]	J_{min} [W/cm ²]
W	3,377	4,940	3.2×10^7
Cu	1,084	4,000	3.2×10^7
Ag	960	3,890	
Mo	2,577	3,730	2.9×10^7
Al	659	2,740	1.5×10^7
Ta	2,997	2,093	1.7×10^7
Pt	1,770	1,556	1.3×10^7
Fe	1,539	1,230	9.2×10^6
Ni	1,455	600	8.2×10^6
ステンレス鋼	1,425	520	1.1×10^7
Ti	1,672	315	4.5×10^6
λ : 材料の熱伝導率 [W/cm・°C] J_{min} : 加工に必要な最低エネルギー密度			

いいかえると、鉄やステンレス鋼のように $\lambda \cdot \theta_m$ の小さい材料は低いエネルギー密度でも加工されやすく、銅やタングステンのように $\lambda \cdot \theta_m$ の大きいものは、高いエネルギー密度を与えないと加工されにくいということになる。すなわち、放電加工の低消費加工は加工に要する最低のエネルギー密度差を利用したものであり、「最低エネルギー密度の高い銅、銅タングステン、銀タングステン電極で最低エネルギー密度の低い鉄鋼類あるいは、セラミックスをこの中間のエネルギー密度で加工するもの。」といえる。導電性セラミックスの場合は、表8に示したように鉄と同等またはそれ以下の最低エネルギー密度をもっているため、銅電極によって低消費加工は実現可能である。

5. 加工条件の選定

工作物として、 ZrB_2 セラミックスを用いた場合の絶縁油中における放電加工特性を次に示す。

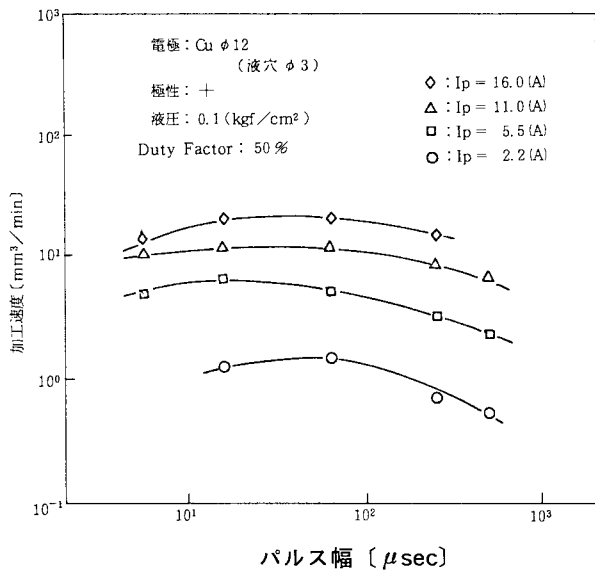


図28 ZrB_2 の加工速度曲線 (+ 極性)

表28, 表29, 表30からもわかるように, 銅電極で鉄を加工した時の特性に比較的近く, 電極消耗率はパルス幅の増加に対して減少していき, 電極体積消耗率が1%以下の加工も可能である。パルス幅を長くしすぎると電極重量が加工前より増加する傾向が見られた。ピーク電流値が低くなるにつれ, パルス幅を短くしても電極低消耗加工ができ, 面粗度も良くなるが, 加工においては非常に異常放電が発生しやすく, 液処理を十分するか, 休止幅を長くする必要がある。

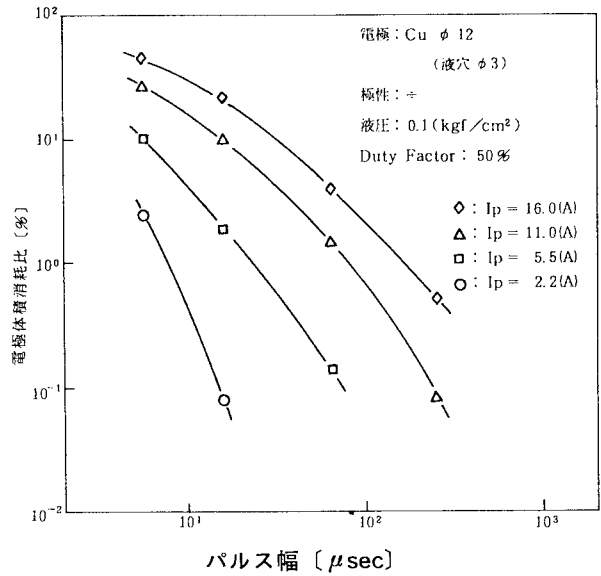


図29 ZrB_2 の電極消耗比曲線 (+ 極性)

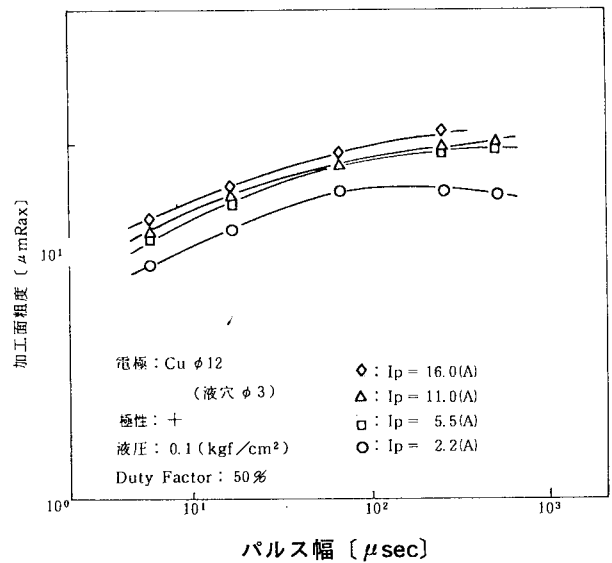


図30 ZrB_2 の加工面粗度曲線 (+ 極性)

6. 加工液の供給

(1) 加工液供給の目的

加工液の供給は、加工粉の排除能力を大きくする方法として最も効果的なもので、加工粉排除の主体をなすものである。

加工液の供給法には、大別して、噴出法、吸引法、噴射法の3種がある。

この3種類の方法は同時に使用することはなく、加工する内容により適切な方法を選択する。

選択の概要を表9にまとめた。

表9 加工液供給法の選択

流通法	貫 通		底 付 き	
	加工液穴のあるもの	加工液穴のないもの	加工液穴のあるもの	加工液穴のないもの
噴 出 法	荒・仕上げ加工共に最も多く使用される。		荒・仕上げ加工共に最も多く使用される。	
吸 引 法	仕上げ加工で最少こう配を希望する場合に使用。		仕上げ加工で最少こう配を希望する場合に使用。	
噴 射 法		加工液穴をあけるのが困難な場合		加工液穴があけられないものに使用。

加工液供給法のうち、噴射法は加工粉排除能力が最も小さい。したがって許される限り、加工液穴を設けて、他の噴出法、あるいは吸引法を使用したい。なお、加工液穴は電極側、また工作物側に設ける。

(2) 加工液の供給法

① 噴 出 法

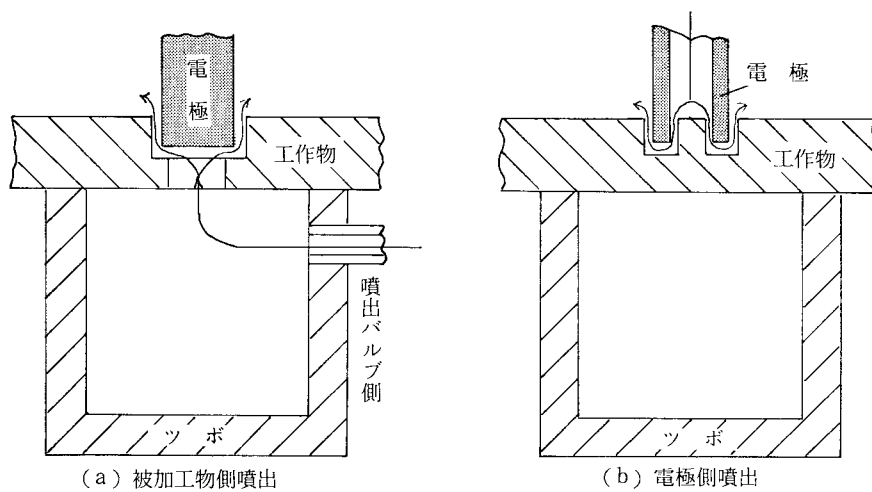


図31 噴 出 法

噴出法を図31に示したが、加工液の供給法として最も多く適用されている。

図(a)は貫通加工に、図(b)は底付き加工に適用される場合が多い。

表 10 加工液噴出法

	噴 出 圧	備 考
貫通加工	・荒加工 0.05 ~ 0.2 kg/cm ²	・貫通穴荒加工のほとんどすべてに適用する。 ・側面にこう配が付く(加工粉の二次放電による) ・細穴加工はパイプ電極を使用する。
	・仕上げ加工 0.1 ~ 0.4 kg/cm ²	
	・細穴加工 0.2 ~ 1.0 kg/cm ²	
底付き加工	・荒加工 Gr 電極 0.1 ~ 0.2 kg/cm ²	・どうしても加工液穴が設けられないものを除いて底付き加工のほとんどすべてに適用する。 ・Cu電極の場合、液圧が高すぎると電極消耗が増加する。
	Cu電極 0.05 ~ 0.1 kg/cm ²	
	・仕上げ加工 Gr 電極 0.1 ~ 0.3 kg/cm ²	
	Cu電極 0.05 ~ 0.1 kg/cm ²	

表 10 に一般的に使用される加工液噴出圧力の範囲を示したが、電極材料と工作物材料の組合せ、加工面積、加工深さ、加工設定条件等によっては、次の点を考慮する。

- 貫通加工において、喰い付き初めは液圧を低くする。
- 底付き加工において、加工面積が広く、かつ電極消耗を多少許しても良い内容のものについては 0.3 ~ 0.5 kg/cm² にすることもある。
- 大面積の底付き加工では多数の加工液噴出穴を電極側に設ける。この場合、図 32 に示したように各加工液噴出穴からの加工液が交差する付近にガス抜き穴を設けると効果的である。

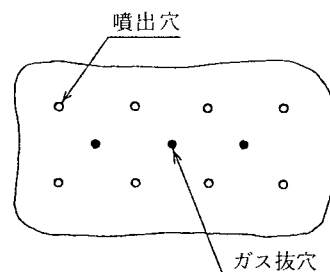


図 32

② 吸引法

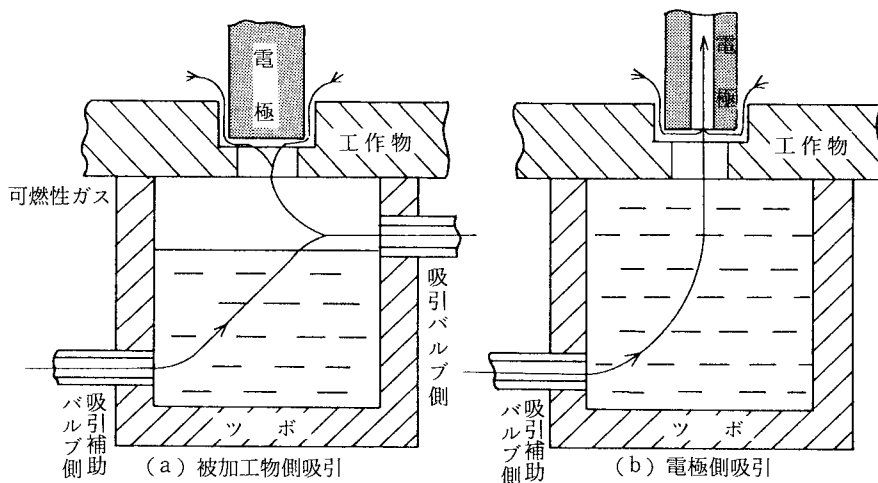


図 33 吸引法

図 33 に吸引法を示した。

加工液の供給法としては、工作物の側面こう配を出来る限り小さくする必要がある場合に適用する。

図 33 (a) のように 工作物側吸引法が良く使用されるが、電極側吸引法が適している。

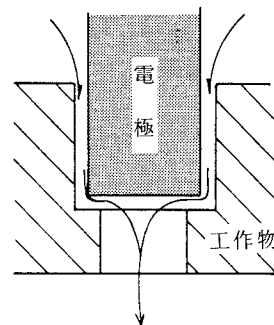


図 34

加工物のこう配が小さい理由として、図34に示したように、電極底面付近に生成した加工粉がすでに放電加工で仕上げられた工作物間を流れないため、加工液による二次放電が生じ難いからである。ただし、工作物上部から供給される加工液が汚濁していると、この汚濁物により二次放電となりこう配が付く、したがって供給される加工液は常に清浄でなければならない。

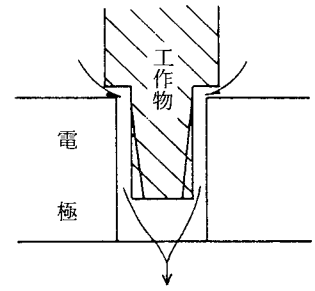


図 35

図35は雌形状電極で雄形状工作物を加工する場合を示したが、吸引法の場合は加工粉による二次放電のためこう配が付くので、この場合は噴出法にすべきである。表11に一般的な吸引法を示した。

表 11 加工液吸引法

	吸 引 圧	備 考
貫通加工	<ul style="list-style-type: none"> 仕上げ加工 10～30 cm Hϕ (標準 15 cm Hϕ) st : st 荒加工 	<ul style="list-style-type: none"> 電極強度が小さい場合は10cm Hϕ前後。 電極強度が大きい場合は20～30cm Hϕでもよい。 吸引圧の設定は、加工槽左側にある吸引バルブを全開にし、吸引補助バルブにより吸引圧を調整する。
底付き加工	<ul style="list-style-type: none"> 仕上げ加工 10～15 cm Hϕ 	<ul style="list-style-type: none"> 噴出法に比して微少流通が困難であるため電極消耗は多くなる。

吸引法は噴出法に比較すると、その取扱いがむずかしく、工作物のこう配を小さくする場合以外は使用しない。

吸引法による取扱い上の注意事項を列挙すると、

- 荒加工に吸引法を使用すると、加工粉によりアスピレータが詰ったり、ビニールホースが熱により変形することもある。
- 吸引圧が強すぎると、加工途中において、電極が前後、または左右に振動して、クリアランスを広げ、加工速度も極めて低下する。

電極強度の大きなものは20～30cm H ϕ に設定する場合もあるが、逆に電極強度の極めて小さいものは10cm H ϕ 以下に設定する場合もある。

なお、電極強度が大きいとは、たんに電極断面積が大きいだけでなく、電極ホルダ部も含めた、電極全体の強度のバランスが良いことも条件の一つである。(図 36 参照)

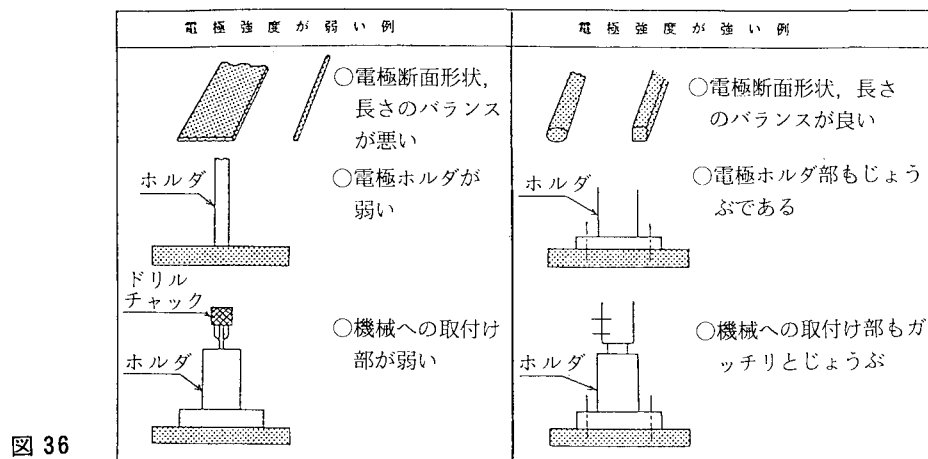


図 36

c. 吸引圧が弱すぎると、ツボ内の可燃性ガスが爆発現象を生じ、電極または工作物の位置がズレてしまう。

図 37 に示したように、極間に近いツボ内部は可燃性ガスに満たされており、ここに酸素（空気）が供給されれば爆発現象を起す可能性を常に有している。

加工液中に空気が含まれているのでこの可能性を皆無にすることは不可能であるが、吸引圧が弱すぎると、この可能性は増大する。

吸引法で最も厄介な問題が、この爆発現象であり、これを少なくするために次のような取扱いがなされている。

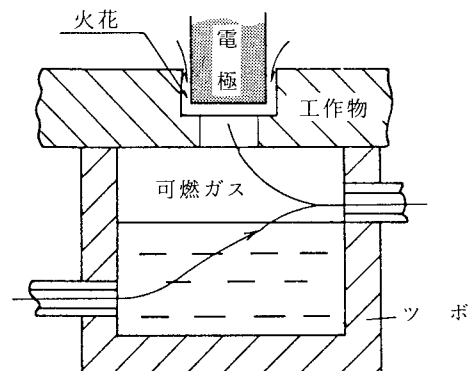


図 37

◎ 酸素（空気）の供給を少なくするために、加工槽内の加工液に気泡が発生しないようにする。

◎ 加工前、噴出法によりツボ内の空気を抜く。

◎ 加工槽左側にある吸引バルブを全開にし、吸引補助バルブにて10～30cmHgの吸引圧に調整する。ツボのバルブから供給された加工液の流速によりツボ内の可燃性ガスの排出効果が増大し、極間を流れる加工液量も増加する。

◎ ツボの吸引口はできるだけ上方に設け、ツボの可燃ガスの溜る容積を小さくする。

図33(b)のように電極側吸引法にすれば最良で、特に電極面積の大きなものは、その効果絶大である。

◎ ツボと工作物の間に敷板を置く場合も、その厚みは10mm程度にする。

◎ ツボの大きさは必要以上に大きなものを使用しない。

たとえ吸引口をツボの上方に設けても、ツボが大きければ可燃性ガスの溜る容積は大きくなる。

したがって大きさの異なる種類のツボを用意して、適したツボを使用する。

◎ ツボは洩れがないように製作する。

◎ 大きなツボには、2個以上の吸引口を設けることは有効である。

◎ 場合によってはツボに安全弁を設ける。

③ 噴射法

図 38 に噴射法を示した。

刻印加工、深リブ加工など、どうしても加工液穴が設けられない場合に適用する。

噴射圧力を表 12 に示す。

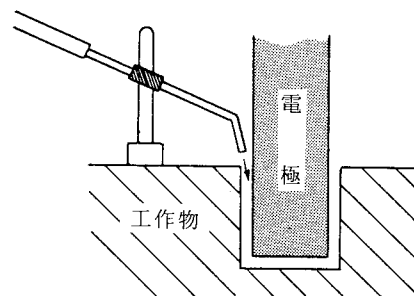


図 38 噴射法

表 12 加工液噴射法

	噴 射 圧	備 考
底付き加工	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荒 加 工 0.2 ~ 0.5 kg/cm² ・ 仕上げ加工 0.3 ~ 0.5 kg/cm² ・ 揺 動 加 工 0.2 ~ 0.5 kg/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加工深さが浅い場合は 0.2 kg/cm²程度に設定することもある（電極消耗の関係）。 ・ 加工深さが深いほど、加工面あらさが細かいほど、噴射圧は強くする。1 kg/cm²にすることも多い。
貫通加工	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荒 加 工 0.5 kg/cm²以上 ・ 仕上げ加工 0.5 kg/cm²以上 	加工液穴をあけるのが困難なもの、あるいは板厚の薄い部品加工などに使用することがある。

噴射法は他の噴出法、吸引法に比較して加工粉排除能力は最も小さく、このため次のような点を考慮する。

- 加工液噴射口はφ3～φ5程度にする。
- 加工液噴射口は出来る限り極間に近づける。
- 加工液噴射角度は、電極側面に対して出来る限り平行に近くして、噴射液が電極底面付近まで届くようにする。

図 39 は噴射角度の効果を示したものである。

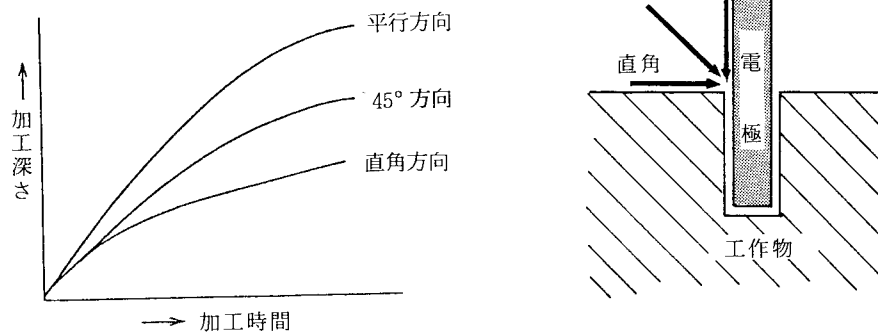


図 39 噴射角度の効果

- 噴射方向は、電極底面まで噴射液がとどきやすい方向を選び、電極形状、面積などによっては数箇所から噴射する。

図 40 は噴射方向の一例を示したものであるが、数箇所から噴射する場合は、加工液がお互いにぶつからない方向、あるいは加工液が電極底面の全体に流れる方向に位置決めすることが大切である。

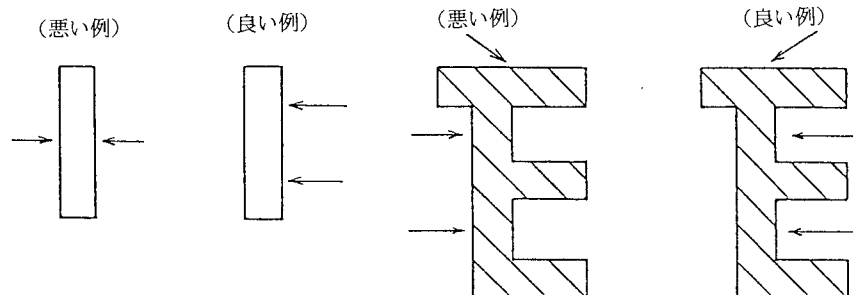


図 40 加工液噴射方向

- 電極強度が小さい場合は、噴射圧力もあまり強くできない。
- 噴射法の場合は必ず放電安定（電極定時引上げ）を併用すること。

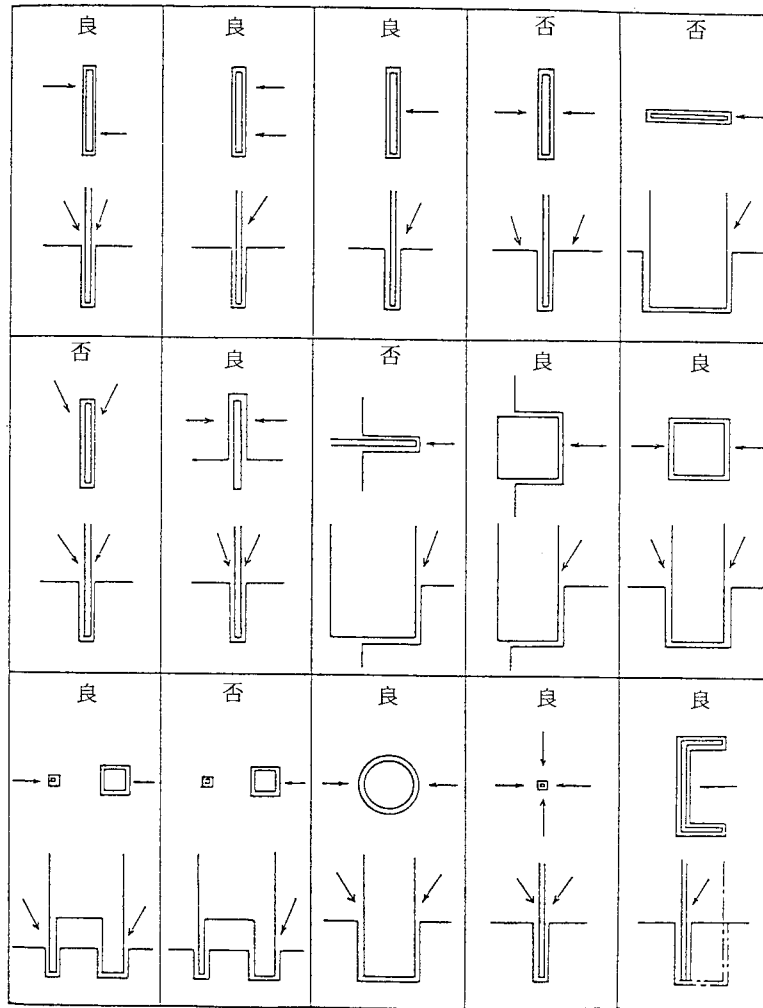


図 41 加工液噴射方法の良否

7. 電極の製作法

放電加工は加工する内容によって貫通加工と、底付き加工に大別される。貫通加工はたとえ電極消耗が激しくても、その電極消耗を見込んで、あらかじめ電極を長く製作し、その電極が完全に貫通するまで電極を送り込めば、予定した精度の形状が得られる。

これに対して底付き加工では、電極が消耗すればその分だけ形状がくずれるわけで、したがって貫通加工と底付き加工では、電極の製作法が異なる。

表 13、表 14 は貫通加工と底付き加工について、相当する金型をまとめた。

表 13 電極製作法（貫通加工）

電極製作法	使用設備	電極材料	特 徴	適用金型
切削, 研削法	工作機械	Cu Gr Ag-W Cu-W St	<ul style="list-style-type: none"> ○貫通加工用の電極は、ほとんどこの方法で製作している。 ○プレス抜型の場合はポンチと同時加工。 ○多種少量生産に適する。 	金型全般
放電二次電極法	放電加工機	Cu Ag-W Cu-W	<ul style="list-style-type: none"> ○異形微細電極の製作に適する。 ○機械加工が困難な形状にも使用。 ○多種少量生産に適する。 	プレス抜型 異形微細穴
ワイヤ放電加工法	ワイヤ放電加工機	Cu Ag-W Cu-W Gr	<ul style="list-style-type: none"> ○機械加工が困難な形状に適する。 ○多数個組み合わせ電極の製作に適す。 ○多種少量生産に適する。 	複式 プレス型 順送り プレス抜型 アルミサッシ 押出型
市販品使用	購入品	Cuパイプ Cu-Wパイプ Bsパイプ Wロッド	<ul style="list-style-type: none"> ○単純形状の細穴加工に適する。 	細 穴 ・購入品の形状、寸法に制限がある。

表 14 電極製作法（底付き加工）

電極製作法	使用設備	電極材料	母 型	特 徴	適用金型	
切削, 研削法	工作機械	Cu Gr Ag-W Cu-W	石コウモデル 木型モデル	<ul style="list-style-type: none"> ○最も一般的に行われている。 ○多種少量生産に適する。 	金型全般	
鍛造法	熱間鍛造機 冷間鍛造機	Cu	金 型	<ul style="list-style-type: none"> ○同種電極の多量生産向 ○短時間で製作可能 ○小物冷間鍛造は精度良い。 	鍛造型 ・母型として金型が必要。 ・熱間の場合精度矯正が必要。 ・鍛造プレスラインを乱す。	
電 鑄 法	電鑄装置	Cu	樹脂型 石コウ型	<ul style="list-style-type: none"> ○金型を必要とせず多種 少量生産向 ○転写精度が良い。 ○同時に多数個電鑄可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電鑄に長時間要す。 ・荒加工に使用できない。 ・幅に対する深さの制限がある。 	プラスチックモールド型 ダイカスト型 ガラス金型 絞り型 押し型
鑄造法	一般鑄造設備	Cu	砂 型 石コウ型	<ul style="list-style-type: none"> ○同種電極の多量生産向 ○短時間で製作可能 ○設備費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・電極精度悪い ・電極消耗多い ・電極表面があら 	鍛造型

8. 加工変質層とその修復

放電加工は、液中における短時間のアーク放電による高温高圧によって形成される放電痕の累積によるものであり、加工面からある僅少の深さまでの工作物は、急熱、急冷の熱変化と、高温高圧下における物理化学作用の両方の影響を受け、母材とは異った変質層が生ずる。

一般の鉄鋼材料は、油中放電により油の分解で生じた炭素が高温高圧の中で浸炭し、炭素含有の高い状態で硬度の高い表面層（白層）を生成する。この加工面は一度熔融して再凝固した層の存在によって、表面に引張応力が作用した残留応力があり、疲労強度を弱くするので、できるだけ精密な面まで仕上げることが、金型の長命化に適している。

それに対し、超硬合金では浸炭現象は発生しないが、温度が高くなっても材料の強度が下りにくいいため、温度こう配による熱応力に対して弱く、クラックが発生しやすいという特性をもっている。ZrB₂系のセラミックスも超硬に類似しており、ピーク電流が高く、パルス幅が長い条件ではクラックの発生が見られる。図42に加工面の拡大写真を示す。面あらかさは30 μm Rmaxである。

これらのクラックは、仕上げ加工において修復可能とするには、加工面を5 μm Rmax以下に仕上げる必要がある。

図43に4 μm Rmaxまで仕上げた場合の加工面の拡大写真を示す。

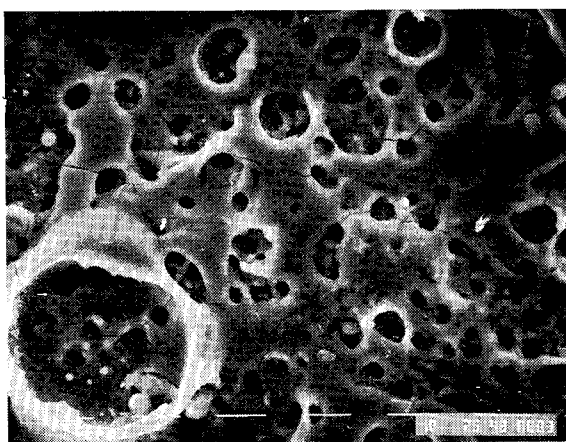


図 42 $\times 1000$

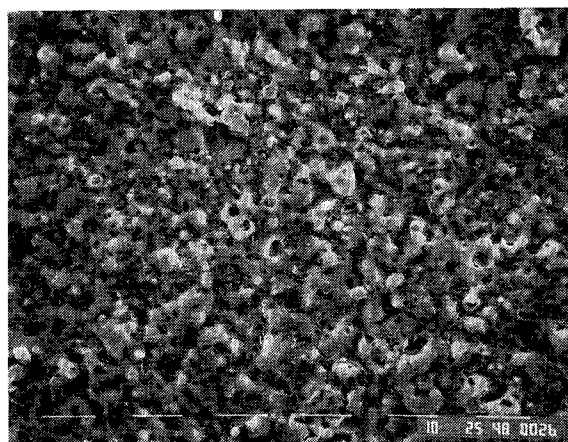


図 43 $\times 1000$

9. 加工データ表の作成

(1) 加工データ表の目的・用途

放電加工は、いわゆる名人芸的な高度な技能は必要としないが実績に裏づけされた放電加工データが重要とされる。そして、それが有効に活用されるならば、放電加工機はだれにでも簡単に使えることとなる。

放電加工機メーカーが示した加工特性データは、そのほとんどのものが簡単な形状の電極（一般に標準電極といわれ、最良の加工性能を得るための理想形状の電極）で加工テストした放電加工の基本性能で、実際の金型などの加工では特性値をそのまま適用できない場合が多い。特に加工速度やクリアランスは電極形状、加工深さ、加工粉排除の状態によってかなりの差が発生する。

放電加工機メーカーの加工特性データ、技術資料は、いわば放電加工技術の基礎であって、各ユーザに適合した加工技術は、これを基にして、「放電加工の計画」→「放電加工の実施と加工状況の資料化」→「加工結果検討と問題把握」→「加工結果を次の加工に活用する」、というサイクルを繰り返しながら技術資料として蓄積し、自社に適合した放電加工データとして完備する必要がある。

加工データのまとめ方としては、そのフォームは種々考えられるが、要は他の人が同じ加工を行った場合、同じ加工結果あるいはそれ以上の結果が得られるよう必要事項を最大限記入し、かつ一枚のシートに収まるよう要領よくまとめることが必要である。また、このデータは次の放電加工に反映されるものであり、このためにはデータの中に問題点あるいは改善点などを記載しておくことも忘れてはならない。

(2) 加工データ表の作成例

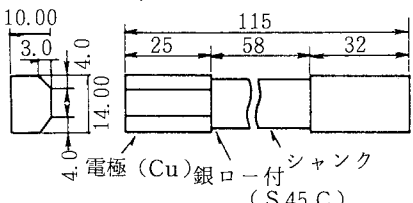
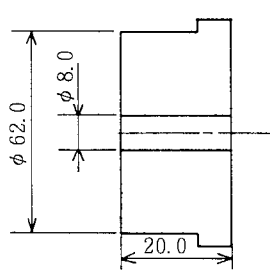
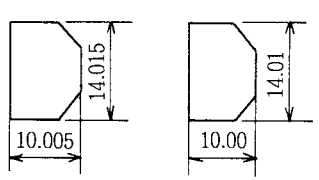
加工データのまとめ方の例を表 15 に示す。

加工品名、加工実施日、使用放電加工機種などを記入した後、電極及び工作物の材質と寸法を記入する。また、荒加工用、仕上げ加工用の電極減寸量の記入も忘れずに記入する。

次に、使用した電気条件を記入し、電極をどの電気条件のところで換えたか、また、揺動条件で使用したプログラムは何か、加工液圧は何 kg/cm^2 かなどなるべく詳細に記入することが大切である。

また、加工が終了したら、工作物の入口側、出口側の寸法をチェックし、加工面にテーパが付いていないか調べる。電極消耗を調べておくことにより、次に加工する場合、何 mm の電極が必要かが明確になってくる。このように、一通り記入したら最後に考察として、気付いたことをメモし、少しでも多くの情報を残すように心がけながら加工データ表を作成する。

表 15 加工データ表

放電加工機加工データ		加工実施日	昭和 年 月 日				
加工品名	粉末冶金用金型（貫通）	使用放電加工機種					
<p>1. 電極形状と材質、個数</p>  <p>注) 荒仕上げ共 片側0.2 mm 減寸 個数は荒・仕上用各1個</p>		<p>2. 工作物材質と予備加工の状態</p> <p>SKH-9</p> 					
3. 加工条件および加工時間							
加工区分		荒		仕 上			
条件項目		9001	9002	9003	9004	9005	9006
電 極 極 性		+	+	+	+	+	-
TP	加工セッティングIp (ΔIp)	3 (5)	2 (3)	1 (5)	1 (3)	1 (2)	-
	パルス幅ON (ΔON)	8 (0)	6 (0)	4 (0)	4 (0)	2 (0)	-
	休止時間OFF (ΔOFF)	10 (0)	6 (0)	4 (0)	4 (0)	4 (0)	-
	F 回 路	0	0	11	12	12	11
SP SF GM	A U X	-	-	-	-	-	4
	P C O N	-	-	-	-	-	3
サ - ボ 電 圧 (V)		0	0	0	0	0	0
加 工 電 流 (A)							
放 電 安 定		切	切	切	切	切	切
加 工 液 圧 (Kg/cm ²)		20	20	20	20	20	20
揺 動 条 件	プログラム選択	円弧	円弧	円弧	円弧	円弧	円弧
		-23.0	-23.0	-23.0	-23.0	-23.0	-23.0
		57	127	147	157	175	185
	Z 軸 動 作	半固定	半固定	半固定	半固定	半固定	半固定
	速度調整 (mm/min)	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
自 動 拡 大	2	5	5	5	5	5	
加 工 時 間		1 : 45 :		1 : 10 :			
総 加 工 時 間		2 : 55 :					
4. 加工精度		5. 電極消耗状態			6. 考 察		
<p>① 加工面あらさ：5.0 μ Rmax</p> <p>② 加工穴寸法</p> 		<p>コーナ部における電極消耗長さの最大は 荒加工電極 2 mm, 仕上げ加工電極 0.5 mm</p>			<p>荒加工電極のコーナ部電極消耗が若干オーバ気味, 次回はON (ΔON) : 8 (5) に設定したい。</p>		

(3) 加工プログラムと電気条件の記入例

加工プログラムと電気条件の記入例を表 16 に示す。電極減寸量を片側 0.2 mm に取った場合、揺動半径：R は、荒加工で 127 μm まで揺動を広げ、仕上げ加工で 147～185 μm まで揺動加工することになる。また、電気条件の登録番号は、E パック 9001～9006 を使用しているのがわかる。

表 16 加工プログラムと電気条件

加工品名： 粉末冶金金型（貫通）																																																																																																																																																									
Cu : SKH 9					入力時間 15分 加工時間 2時間 55分 （荒1時間 45分，仕上2時間 55分） E-PACK（E-PACKに入力して下さい） 注1）EP-SEL（TP= 0, SF= 1, SP= 2, GM= 3, 注2）POL（⊕ = 0 ⊖ = 1） SC= 4）																																																																																																																																																				
荒加工 Cu（電極減寸片 0.2mm）					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>E9***</th> <th>001</th> <th>002</th> <th>003</th> <th>004</th> <th>005</th> <th>006</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>EP-SEL</td> <td>TP</td> <td>TP</td> <td>TP</td> <td>TP</td> <td>TP</td> <td>SF</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>POL</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>AUX</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ip</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>ΔIp</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>GAP</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>ON</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>ΔON</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>OFF</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>ΔOFF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>JUMPU</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>JUMPD</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>PCON</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>JUMP</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>GAIN</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>70</td> <td>60</td> <td>60</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>OPAJ</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>SV</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					No.	E9***	001	002	003	004	005	006	1	EP-SEL	TP	TP	TP	TP	TP	SF	2	POL	+	+	+	+	+	-	3	AUX	0	0	0	0	0	4	4	Ip	3	2	1	1	1	0	5	ΔIp	5	3	5	3	2	0	6	GAP	0	0	11	12	12	11	7	ON	8	6	4	4	2	0	8	ΔON	0	0	0	0	0	0	9	OFF	10	6	4	4	4	0	10	ΔOFF	0	0	0	0	0	0	11	JUMPU	3	3	3	3	3	3	12	JUMPD	1	1	1	1	1	1	13	PCON	0	0	0	0	0	3	14	JUMP	0	0	0	0	0	0	15	GAIN	80	80	70	60	60	50	16	OPAJ	8	8	8	8	8	8	17	SV	0	0	0	0	0	0
No.	E9***	001	002	003						004	005	006																																																																																																																																													
1	EP-SEL	TP	TP	TP						TP	TP	SF																																																																																																																																													
2	POL	+	+	+						+	+	-																																																																																																																																													
3	AUX	0	0	0						0	0	4																																																																																																																																													
4	Ip	3	2	1						1	1	0																																																																																																																																													
5	ΔIp	5	3	5						3	2	0																																																																																																																																													
6	GAP	0	0	11						12	12	11																																																																																																																																													
7	ON	8	6	4						4	2	0																																																																																																																																													
8	ΔON	0	0	0						0	0	0																																																																																																																																													
9	OFF	10	6	4						4	4	0																																																																																																																																													
10	ΔOFF	0	0	0						0	0	0																																																																																																																																													
11	JUMPU	3	3	3						3	3	3																																																																																																																																													
12	JUMPD	1	1	1						1	1	1																																																																																																																																													
13	PCON	0	0	0						0	0	3																																																																																																																																													
14	JUMP	0	0	0						0	0	0																																																																																																																																													
15	GAIN	80	80	70						60	60	50																																																																																																																																													
16	OPAJ	8	8	8	8	8	8																																																																																																																																																		
17	SV	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																		
N																																																																																																																																																									
X																																																																																																																																																									
Y																																																																																																																																																									
Z	- 23.0	- 23.0																																																																																																																																																							
C																																																																																																																																																									
U																																																																																																																																																									
V																																																																																																																																																									
W																																																																																																																																																									
B																																																																																																																																																									
R	57	127																																																																																																																																																							
D																																																																																																																																																									
E	9001	9002																																																																																																																																																							
F																																																																																																																																																									
S	22	25																																																																																																																																																							
H																																																																																																																																																									
M	29	29																																																																																																																																																							
P																																																																																																																																																									
T																																																																																																																																																									
*																																																																																																																																																									
仕上げ加工 Cu（電極減寸片 0.2mm，加工面あらさ 5.0 μ Rmax）																																																																																																																																																									
N																																																																																																																																																									
X																																																																																																																																																									
Y																																																																																																																																																									
Z	- 23.0	- 23.0	- 23.0	- 23.0																																																																																																																																																					
C																																																																																																																																																									
U																																																																																																																																																									
V																																																																																																																																																									
W																																																																																																																																																									
B																																																																																																																																																									
R	147	157	175	185																																																																																																																																																					
D																																																																																																																																																									
E	9003	9004	9005	9006																																																																																																																																																					
F																																																																																																																																																									
S	25	25	25	25																																																																																																																																																					
H																																																																																																																																																									
M	29	29	29	29																																																																																																																																																					
P																																																																																																																																																									
T																																																																																																																																																									
*																																																																																																																																																									

10. 形彫り放電加工機の構成と機能

形彫り放電加工機の機械本体は、次のものから構成されている。

① ヘッドおよびコラム部分

ヘッド部は電極を保持して加工送りを行う部分で、DCモータによるサーボ機構が内蔵されている。ヘッドはベッド部に取り付けられたコラムによって保持されている。

② テーブルサドルおよびベッド部分

工作物を取り付けて前後左右に移動させる部分で、DCモータにより送り制御される。ベッドは機械の基礎となる部分で高い剛性の鋳物フレームで構成される。

③ 加工槽部分

テーブル上に取り付けられた工作物を加工液中に浸すための槽で、液面検出及び液温検出装置が取り付けられている。また加工液圧調整（噴出，吸引）バルブ，圧力計等が内蔵されている。

④ 加工液供給装置

加工液を貯蔵し、沈澱・ろ過などを行い加工槽に加工液を送り込むためのものである。

⑤ 制御盤

機械操作に必要なリレー類が収められた部分である。

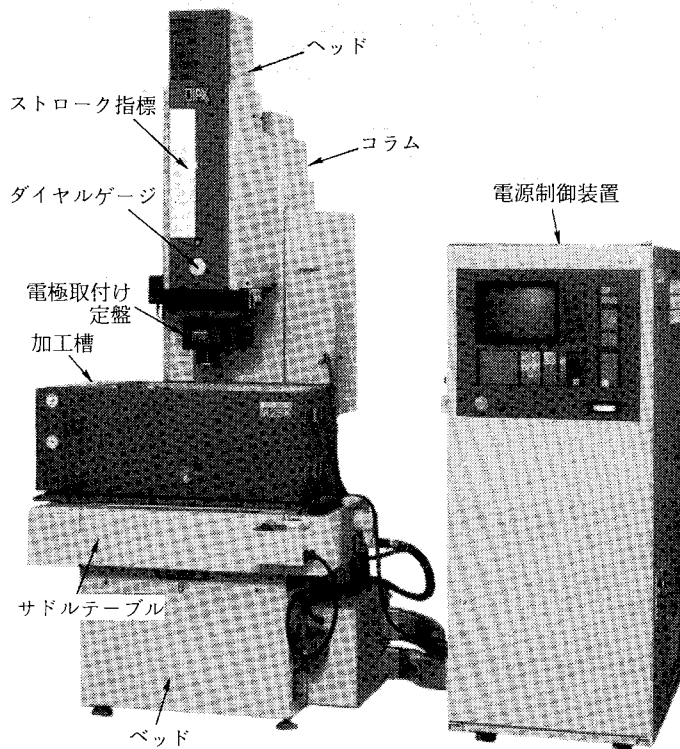


図44 NC形彫り放電加工機の構成

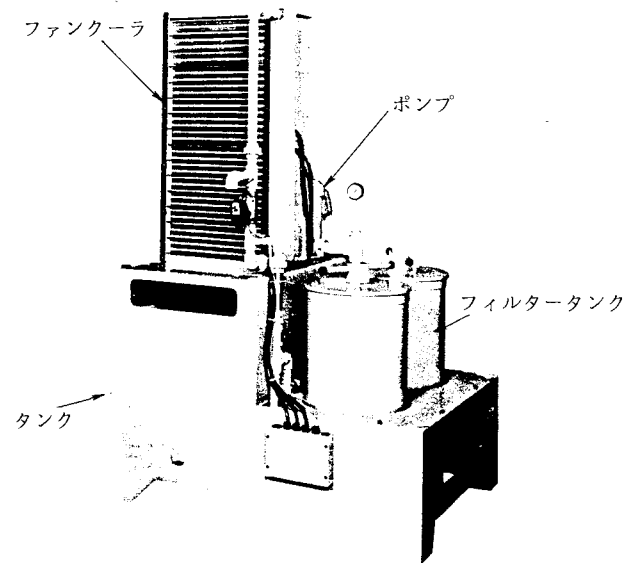


図45 加工液供給装置

11. プログラミング

(1) F A P (Flexible Auto Programing)

F A P は、本教材で使用する N C 形彫り放電加工機のプログラム法であり、N C 言語によるプログラムを必要とせず、C R T 上のプログラム入力画面に加工データを入力していくことによって、N C 装置による自動運転ができる。

以下、F A P のプログラム画面 (F A P 画面) と、アドレスコードの種類と機能を示す。

① F A P 画面

F A P 画面は 1 画面 6 ブロックで構成され、各ブロックには、ガイド No. が順番についている。プログラムが 6 ブロック以上の時は 次画面 キーを押すとガイド No. 7 以降のプログラムを表示する。

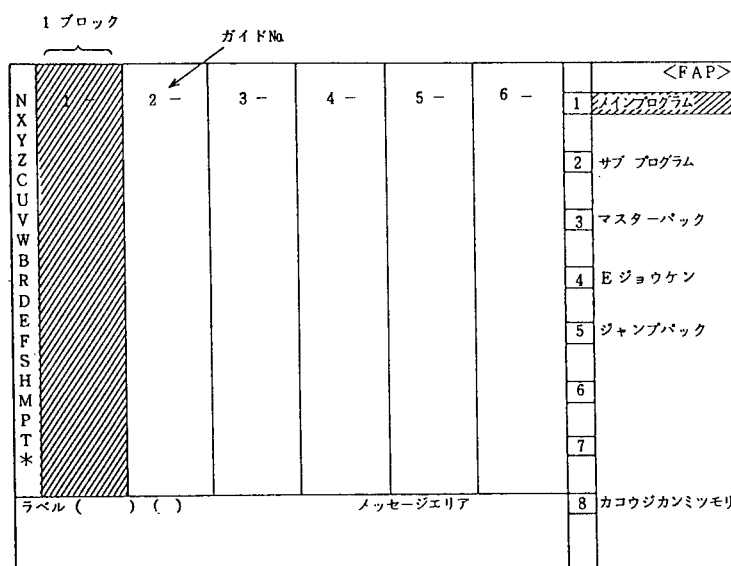


図 46 F A P 画面

② アドレスコードの種類と機能

a. Nコード

- シーケンスナンバーを表す。
- メインプログラムでは 1 ~ 99, サブプログラムでは 100 ~ 999 を指令する。

b. X, Y, Z, C, U, V, W, Bコード

- 軸データを表す。
- X, Y, Z, C は絶対値, U, V, W, B は相対値の指令となる。
- X と U, Y と V, Z と W, C と B は同一ブロックで指令することはできない。

c. Rコード

- 揺動半径または、片側電極縮少代を表す。
- 通常揺動では 0 ~ 32.000, 側面サーボ (M 29) では 0 ~ 16.000 を指令する。

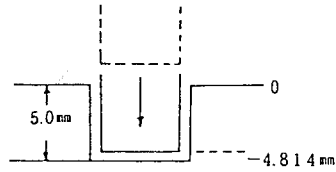
d. Dコード

- 揺動パターンを表す。
- あらかじめ登録されている揺動パターンには、次のような形状がある。

(2) 各種プログラム例

① ストレート加工

EパックNo. 920の加工条件で電極送り深さ4.814mmまで(加工深さ5mm)加工する場合。



○CRT画面下のデータキーを下表の順に押し、プログラムを入力する。

Z [] - [] 4 [] 8 [] 1 [] 4 [] E [] 9 [] 9 [] 2 [] 0 [] EOB

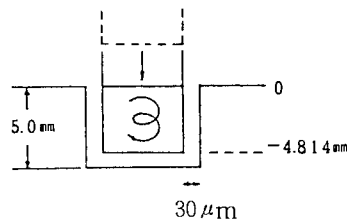
インプット

N	1-	2-	3-	4-	5-	6-
X						
Y						
Z	-4814					
C						
U						
V						
W						
B						
R						
D						
E	9920					
F						
S						
H						
M						
P						
T						
*						

セットカンリョウ

② 揺動加工

EパックNo. 920の加工条件で「0」の位置まで降下し、その後、半径30μmで円揺動しながら電極送り深さ4.814mmまで揺動加工する場合。



○プログラム入力

Z [] 0 [] E [] 9 [] 9 [] 2 [] 0 [] EOB

Z [] - [] 4 [] 8 [] 1 [] 4 [] R [] 3 [] 0 [] S [] 1 [] 9

EOB [] インプット

N	1-	2-	3-	4-	5-	6-
X						
Y						
Z	0	-4814				
C						
U						
V						
W						
B						
R			30			
D						
E	9920					
F						
S			19			
H						
M						
P						
T						
*						

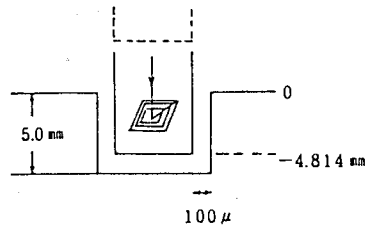
セットカンリョウ

○揺動パターンは、初期値円弧パターンになっているが、他のパターンを実行する場合は、Dコードで指定する。

D	形 状
200	円 弧
202	四 角
203	放 射
260	三 次 元 放 射
250	三 次 元 円 弧
251	"
252	"
259	球 状

③ 自動拡大加工

EパックNo. 920の加工条件で電極送り深さ4.814 mmまでストレート加工後、0→100μm(R)までを5回に分けて四角揺動の自動拡大加工する場合。



	1-	2-	3-	4-	5-	6-
N						
X						
Y						
Z	-4814					
C						
U						
V						
W		0				
B						
R		100				
D		202				
E	9920					
F						
S		26				
H						
M						
P						
T						
*			%			

セットカンリョウ

○プログラム入力

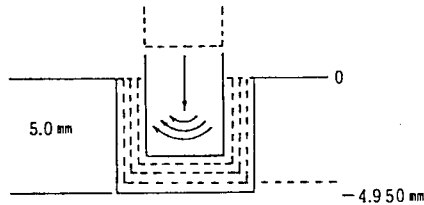
Z - 4814	E 9920	EOB			
W 0	R 100	D 202	S 26	EOB	インプット

- 自動拡大加工を行う場合、Z軸（主軸）は絶対値（Z）または相対値で入力する。
- 自動拡大加工は、自由モードでは実行できないので、SコードはS21～29、S31～39が使用できる。なお、拡大回数はSコードの1の位の数値で指定するので、1～9までの指定となる。

○1回の拡大量（20） = $\frac{\text{開始倍率（0）} - \text{終了倍率（100）}}{\text{繰り返し回数（6）} - 1}$

④ 1本の電極で荒加工から仕上げ加工

荒加工条件から順次細かい加工条件に切換えながら電極送り深さ4.950 mmまで加工面あらし15μmの揺動加工する場合。



	1-	2-	3-	4-	5-	6-
N						
X						
Y						
Z	-4629		-4794	-4894	-4950	
C						
U						
V						
W		0				
B						
R		126	236	304	342	
D		250				
E	9927		9962	9966	9969	
F						
S		22				
H						
M						
P						
T						
*						%

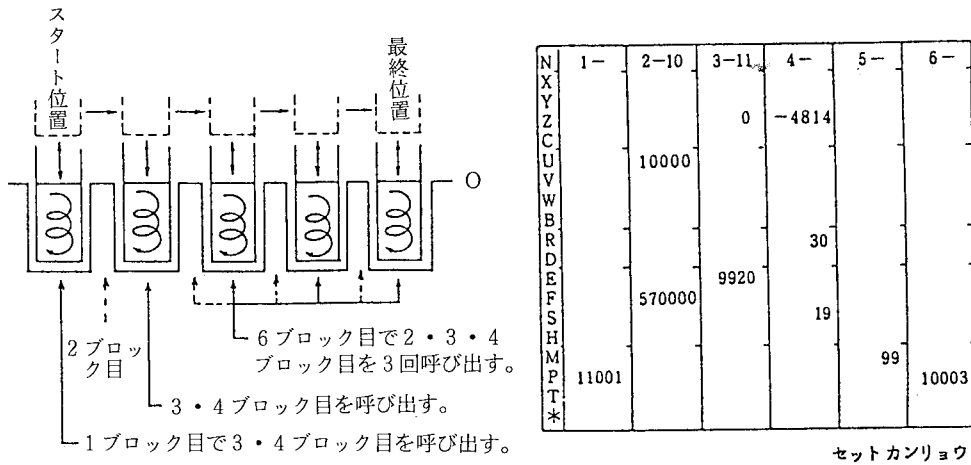
セットカンリョウ

○プログラム入力

Z - 4629	E 9927	EOB		
W 0	R 126	D 250	S 22	EOB
Z - 4794	R 236	E 9962	EOB	
Z - 4894	R 304	E 9966	EOB	
Z - 4950	R 342	E 9969	EOB	インプット

⑤ 繰り返し加工

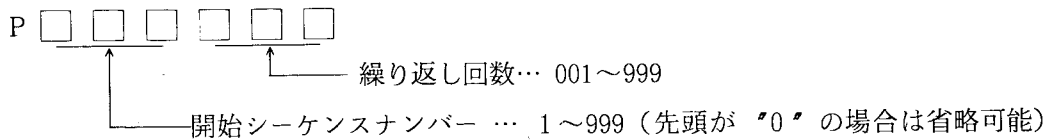
「0」の位置まで降下し、その後、R 30で円揺動しながら電極送り深さ4.814 mmまでの加工を、X軸プラス方向に10 mmの等間隔で5箇所加工する場合。



○プログラム入力

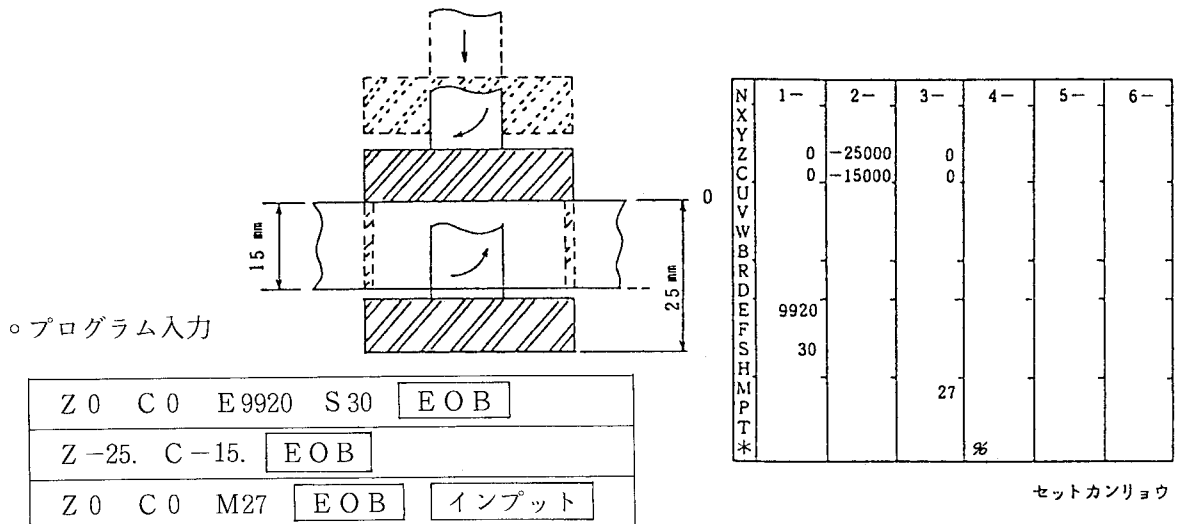
P 11001	EOB	
N 10 U 10. F	EOB	
N 11 Z 0 E 9920	EOB	
Z -4814 R 30 S 19	EOB	
M 99	EOB	
P 10003	EOB	インプット

○Pコードの繰り返しブロックはシーケンスナンバーからM99までのブロック



⑥ ヘリカルギヤ加工

Z軸とC軸（オプション）を使用してワーク厚さ15mmの雌型ヘリカルギヤ加工する場合。

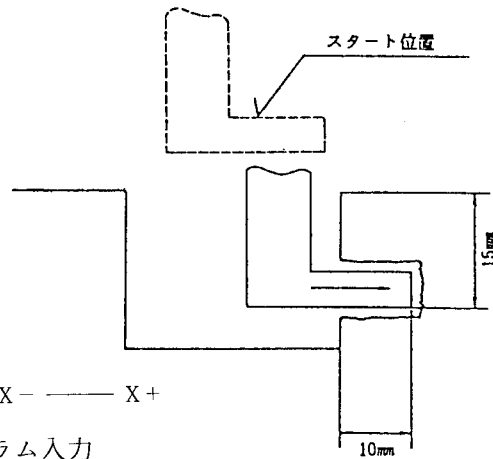


○プログラム入力

Z 0 C 0 E 9920 S 30	EOB	
Z -25. C -15.	EOB	
Z 0 C 0 M 27	EOB	インプット

⑦ 槽揺動加工

角形電極を使用してX軸プラス方向にR 50で放射揺動しながら電極送り10.0 mmまで加工する場合。



○プログラム入力

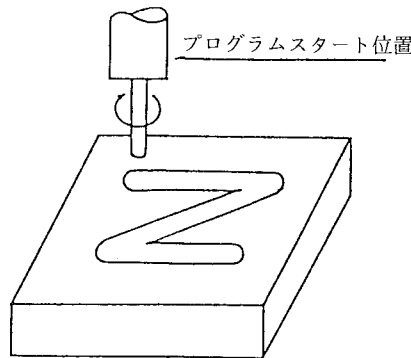
N	1-	2-	3-	4-	5-	6-
X						
Y						
Z	-15000					
C						
U		10000		-10000		
V						
W						
B						
R		50	0			
D		203				
E	9964					
F		30				
S						
H						
M				27		
P						
T						
*					%	

セットカンリョウ

Z-15. E9964	EOB	
U10. R50 D203 S30	EOB	
R0	EOB	
U-10. M27	EOB	インプット

⑧ 多軸加工

単棒電極を連続回転（C軸）してX・Y方向（任意形状）に多軸加工する場合。



○プログラム入力

N	1-	2-	3-	4-	5-	6-
X						
Y						
Z			-2000			
C						
U				10000	-10000	10000
V					-10000	
W						
B						
R						
D						
E	9964					
F						
S			30			
H						
M	41	3				
P						
T						
*						

セットカンリョウ

E9964 M41	EOB	
M3	EOB	
Z-2. S30	EOB	
U10.	EOB	
U-10. V-10.	EOB	
U10.	EOB	次画面
Z2. M27	EOB	
M5	EOB	インプット

(使用コード)

M3 : C軸右回転(連続)

M5 : C軸連続回転・切

M27 : 非サーボ指定

M41 : 20 / 分回転

N	7-	8-	9-	10-	11-	12-
X						
Y						
Z	2000					
C						
U						
V						
W						
B						
R						
D						
E						
F						
S						
H						
M	27	5				
P						
T						
*						

セットカンリョウ

12. 工作物および電極の取付け法

(1) 工作物の取付け法

工作物の底面とテーブル上面は電氣的に確実に接触するよう、ゴミや絶縁物（塗料、さびなど）を除いて取り付け、工作物の加工される面も特殊な加工の場合を除いてテーブルの上面と平行にする必要がある。工作物に貫通穴をあける場合は工作物の下に中空部分を設けることが必要で、その要領を図47に示す。電極を主轴に取り付ける時、電極はテーブルに対して直角に取り付ける。電極がテーブルに対して直角でないと製品に希望通りの形を加工できなくなる場合がある。

対象工作物の高さが小さく加工面が低すぎて、主轴の移動範囲内に加工ストロークが取れない時には図48、図49のような吸引ツボを製作する。なお、図中の寸法A、B、D、Hは対象工作物に合わせて製作する。

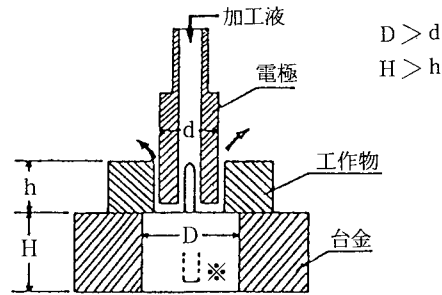


図47 工作物の取付け方法

※のように、最後に中心部抜きクズが完全に下に落ちる深さで、しかも電極の断面積よりも広い空間を工作物の下につくっておく。

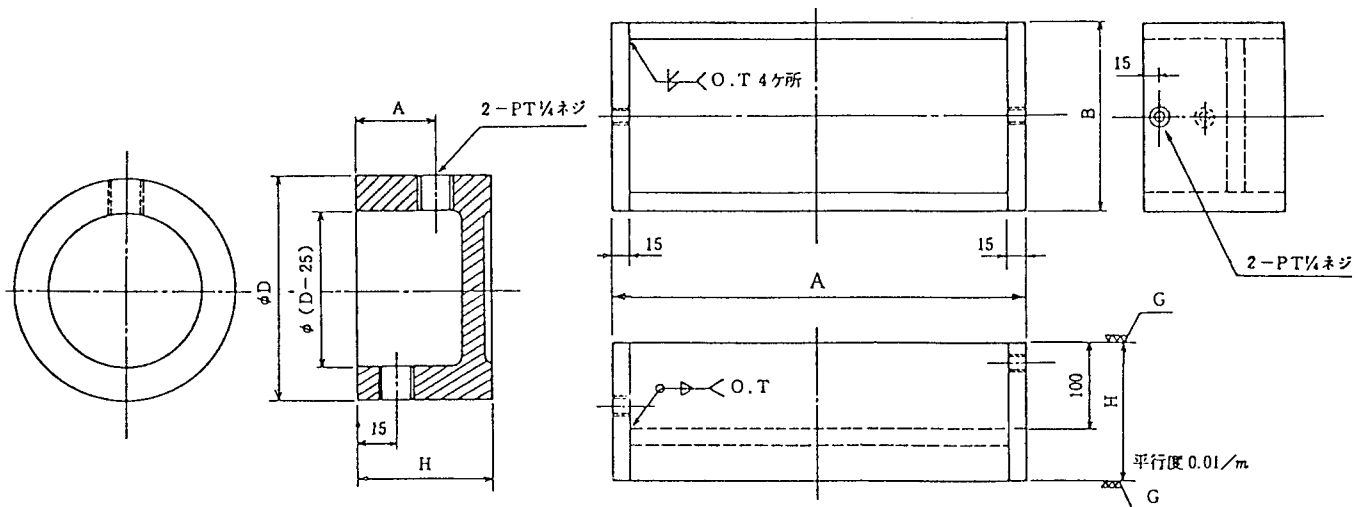


図48 吸引ツボ

図49 吸引ツボ

(2) ツーリングシステム

電極取付け盤には、各種ツーリング（ホルダ）類を取り付けることができるようになっている。図50にそのツーリングシステムを示す。

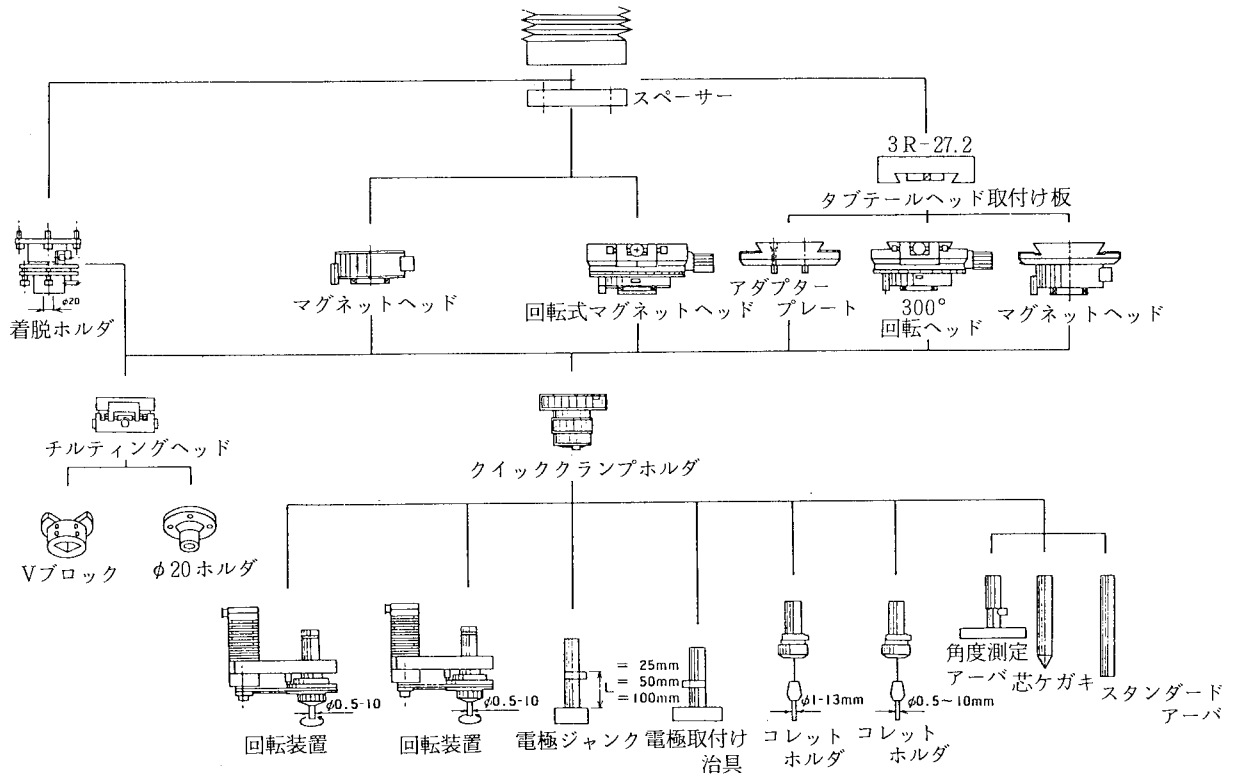


図 50 O T T ツーリングシステム

13. 位置決め法

電極と工作物の位置決め方法は、使用する治工具によりいろいろな方法があるが、いずれの方法を採用するにしても次のことに注意する必要がある。

- ① 電極および工作物に基準面が正確に設けてあること。
- ② 基準面にバリ、塵埃、油脂などが付着していないこと。
- ③ 電極、工作物が主軸およびテーブルの移動方向に対して、垂直あるいは平行に保持されていること。

位置決めの際には、NC放電加工機の位置決め画面（図51）の各種機能を利用すると効率良くできる。詳細は取扱説明書を参照。

<現在位置> X 1 2 3.4 5 6 Y 7.8 9 0 Z 5 4.3 2 1 C 9 8.7 6 5 T 1 0 H 1 2 3		インタロック	<位置カウンタ> X 1 2 3.4 5 6 Y 0 0 0 0 Z 5 0 0 0 0 C 0 0 0 0 <設定位置> X Y Z C F 5 7 0.0 0 0 T H A/I 絶対値 P/S	<手動モード> 1 端面位置決め 2 中心位置決め 3 放電位置決め 4 5 原点復帰 6 セットゼロ(G92) 7 ハンドル有効 8 手元操作有効
<データ設定>モード(A:絶対 I:相対 P:柱 S:プリセット) クリア(*) 軸 () データ () モード () クリア ()				

(1) 電極を工作物に直接接触させて位置決めする方法

ここで位置決め誤差は、その位置決め方法により大きな差が出るが、従来最も多く使用されている方法は、加工物の基準面を電極で図52のように直接検知する方法である。しかしながら、この方法では、接触検知の対象となる電極面が広いため、加工粉等の微細な異物の混入や、電極のバリなどにより、接触検知精度にバラツキが生じやすくなる。

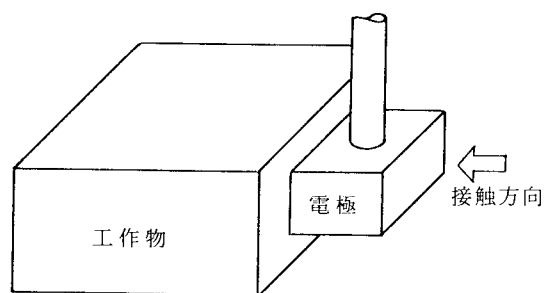


図 52

(2) 鋼球を利用した電極の位置決め法

工作物と電極の接触面積を減らすためには、いくつかの方法があるが、電極と加工物との間に寸法の決った球を挿入する方法を図53に示す。

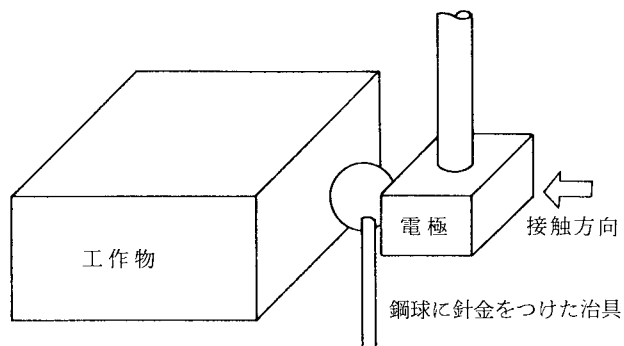


図 53

(3) 基準球と測定子を利用した電極の位置決め法

また、もう1つの代表的な方法としては、測定子を使用したもので図54に示すように、工作物の近くに基準球を立て、あらかじめ工作物の基準面と基準球との距離を測定子により測定しておき、以後電極をセットするたびに基準球に対して位置決めを実施し、上記の測定した距離を送って加工する方法がある。

この方法では、最近のNC放電加工機が持っている柱中心位置決め機能や、穴中心位置決め機能などの自動位置決め機能を使用することができる。

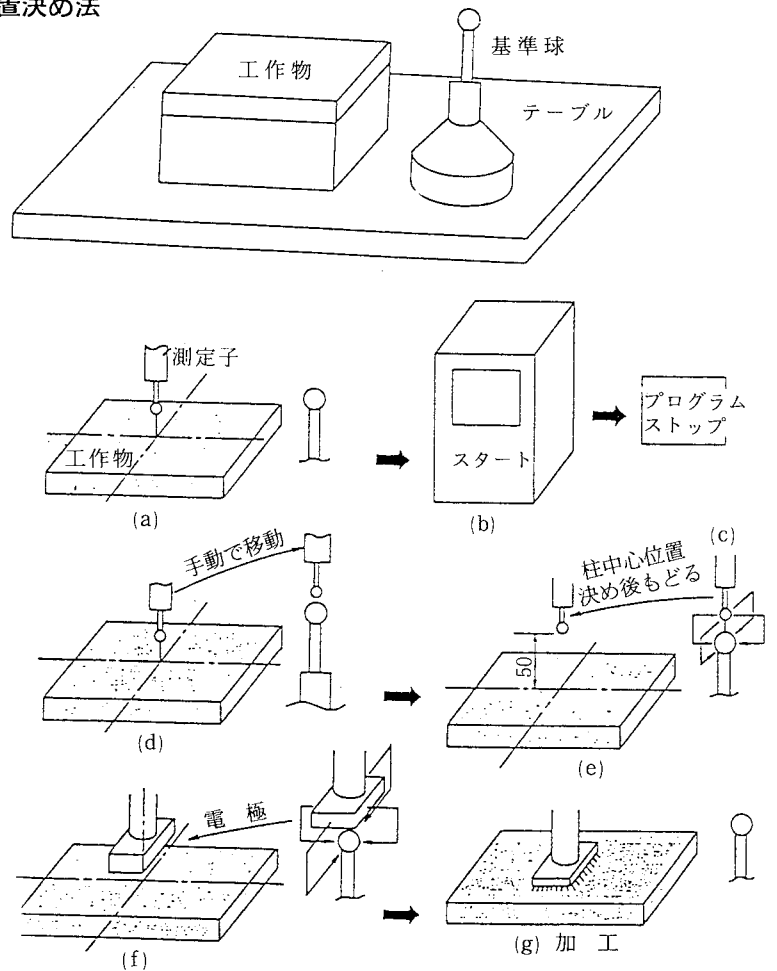


図 54

14. 加工中の操作

放電加工を安定させるためには、放電によって生成される加工粉の量（V）よりも、各種の条件によって決定される排出量（W）が上回っている必要がある。これが達成されない場合は加工が不安定となり、加工が進行しなくなる。主軸上のダイヤルゲージの揺れが大きくなるとともに、図 55 の画面（MCU画面）上の「コンタミネーション」の表示が大きくなる。

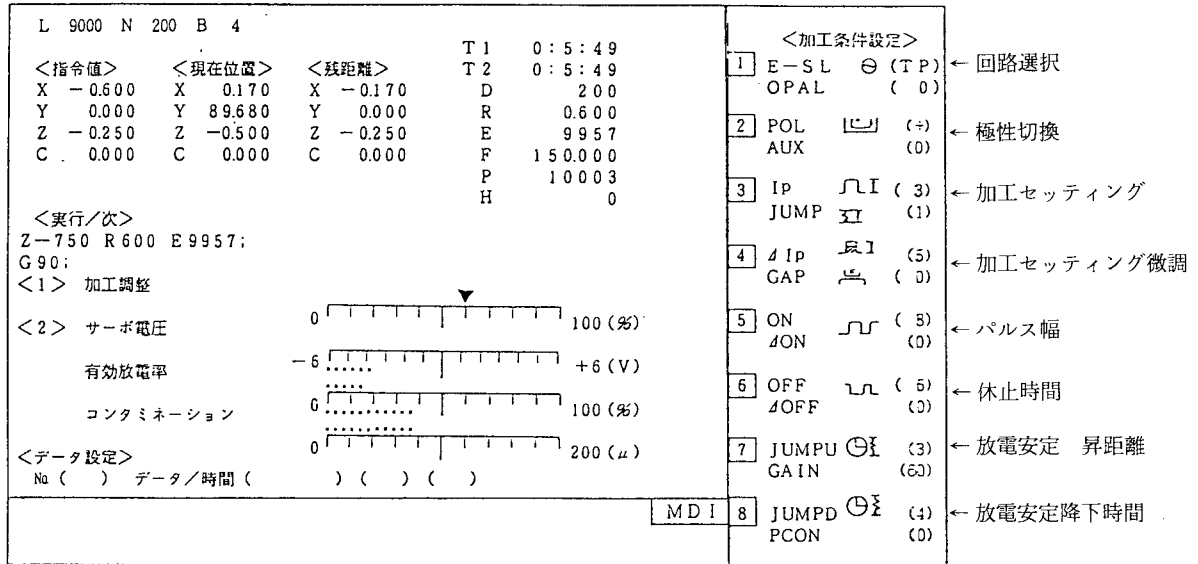


図 55

このVとWの関係を決定する要因として次のものがあげられる。

- ① 加工液処理
- ② 定時引上げ機能
- ③ 休止時間

このうち、加工液処理は、電極、工作物の形状によって制限を受けるため、加工中に操作することはない。残る2つのうち、Vを小さくするものは、定時引上げ機能の電極降下時間（JUMPD）を小さくすること、休止時間（OFF）を短くすることであり、Wを大きくするものは電極引上げ距離（JUMPUP）を大きくすることである。順序としては、

- ① JUMPUPを大きくする
- ② JUMPDを小さくする
- ③ OFF を長くする

で操作するのが、加工の効率の低下を最小限に抑えるのに適している。

資料 1. NC形彫り放電加工機の主な仕様

表17 機械本体の仕様

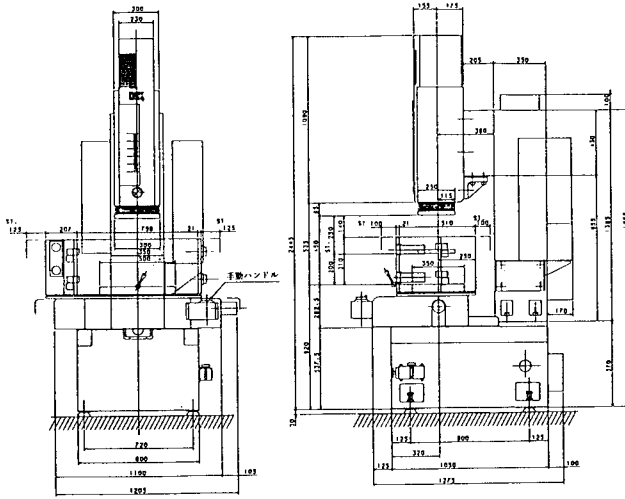


図56 機械本体外形図

No.	項目	
1	加工槽外形寸法(mm)	900×600×380
2	加工槽内形寸法(mm)	800×550×310
3	最大工作物寸法(mm)	750×500×210
4	最大工作物重量(kg)	500
5	テーブル寸法(mm)	700×500
6	テーブル左右移動行程(mm)	350
7	テーブル前後移動行程(mm)	250
8	主軸サーボ送り行程(mm)	350
9	電極取付面寸法(mm)	300×250
10	電極取付面とテーブル面との距離	500~150
11	最大電極重量(kg)	75
12	機械本体寸法(mm)	1611×1525×2430
13	機械本体重量(kg)	3100

表18 補機の仕様

No.	項目	
1	加工液供給装置容量(ℓ)	220(初期充てん量320ℓ)
2	加工液ろ過方式	ペーパーフィルタ
3	使用モートル	Z軸駆動用 三菱HD81B-12S 800W×1台
		X、Y軸駆動用 三菱HD41-12S 400W×2台
		A
4	補機電源入力(KVA)	2.5

表19 NC装置の仕様(1)

諸元	形名
入力方式	3.5インチFD, キーボード
表示方式	14インチカラー-CRT
制御方式	CNCクローズドループ
設定単位	XYZ 0.001mm, C 0.001°
最小駆動単位	XYZ 0.25μm, C 0.00025°
最大指令値	XYZ ±99999.999mm, C±99999.999°
位置指令方式	増分値/絶対値併用
手動送り	高速・中速・低速・超低速・インチング
インチング	1, 10μm/プッシュ
制御軸数	XYZ(C) 3(4)軸
揺動モード	固定パターン及び任意軌跡
揺動制御方式	3種類(自由, 半固定, 固定)
プログラム容量	128KB+フロッピー1MB
最大送り速度(mm/min)	XYZ 1300mm/分, C 7200°/分
バッテリーバックアップ	1カ月
入力(KVA)	2

表20 NC装置の仕様(2)

CRT表示	●	Eバック	●
MDI	●	1000個	●
フロッピーディスク入力(2HD)	●	加工時間見積り機能	●
メモリ運転	●	加工条件自動切換	●
スケール倍率	●	時間加工機能	●
ミラーイメージ	●	漢字表示機能	●
メモリスイクル	●	グラフィック機能	●
軸交換	●	FAP機能	●
図形回転	●	対話形自動プログラミング機能	●
直線, 円弧補間	●	ピッチエラー補正	●
ドライラン	●	バックラッシュ補正	●
ドウェル	●	自動原点復帰	●
ブロックデリート	●	加工液自動給排液	●
マシンロック	●	RS 232C (DCI, 3方式) インターフェイス	●
多数座標機能	●	自動端面位置決め	●
シーケンスナンバサーチ	●	自動穴中心位置決め	●
ユーザマクロ	●	自動柱中心位置決め	●
データ変数演算機能	●	放電位置決め	●
速度割り込み機能	●	揺動加工	●
スキップ割り込み機能	●	加	●
時間読込み機能	●	テーブル加工	●
接点入力読込み機能	●	横方向加工	●
現在値読込み機能	●	自動拡大加工	●
自動リターン	●	機	●
マスターバック機能(20バック)	●	三次元加工	●
		側面サーボ加工	●
		オフセット加工	●
		輪郭加工	●

資料 2. 放電加工上の留意事項

(1) 吹きかけ加工の禁止

加工液を噴射して工作物に吹きかけながら加工すると、引火するおそれがあるので吹きかけ加工は厳禁である。表21の①参照。

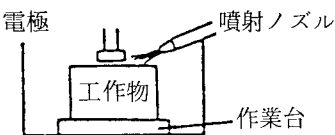
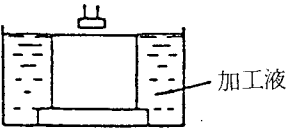
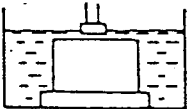
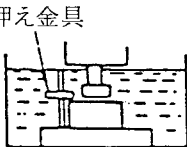
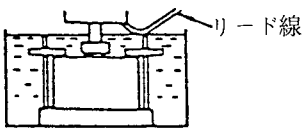
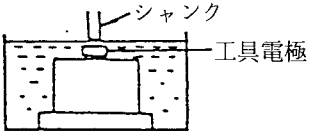
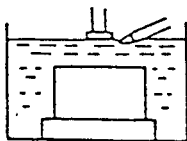
(2) 液面付近での加工等の注意

液面付近で放電しないよう、工作物、電極の取付け方法及び取付け具の位置に注意し、液面が工作物上面から50mm以上の高さを保つよう留意すること。表21の②、③参照。

(3) 自動運転の監視

各種安全装置が装備されている場合の自動運転中であっても、安全上少なくとも、火災の際に適切な措置を構ずることができる人員を配置すること。

表21 禁止事項

①		加工液を噴射しながらの加工。
②		加工槽の深さに対して無理な高さの工作物の加工 加工液面から工作物上面までの深さは最低50mmは必要。
③		加工槽に余裕がありながら液面の高さを十分にとらない加工。
④		工具電極部と工作物押え金具の接近した状態での加工。
⑤		絶縁被覆の破れたリード線と工作物押え金具の接近した状態での加工。
⑥		電極とシャンクの締結がゆるんだ状態での加工。
⑦		電極と噴射ノズルとが接近した状態での加工。

資料 3. CRT設定表示装置

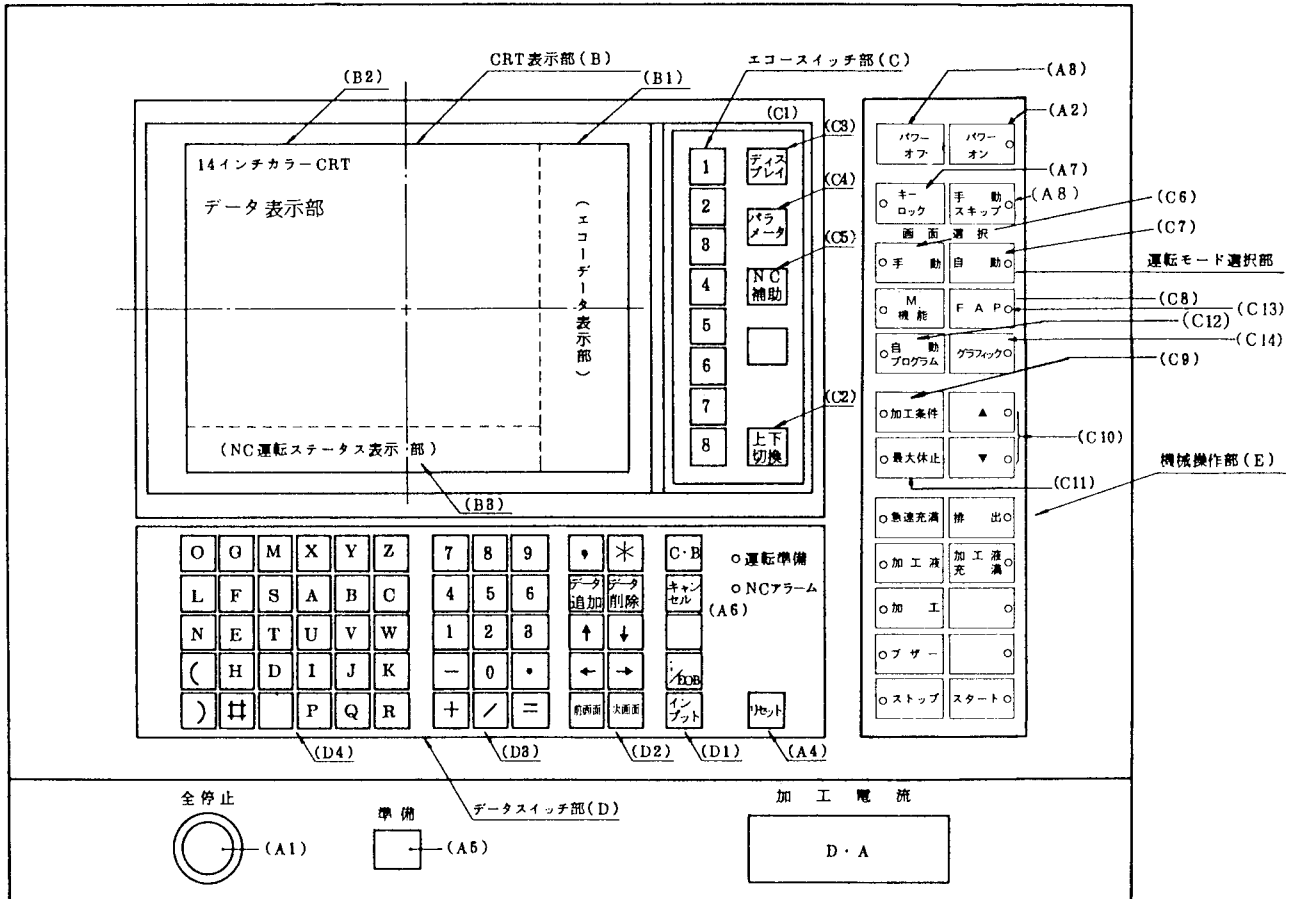


図57 CRT設定表示装置

(A) 制御部基本操作部

- | | |
|----------------|--|
| (A 1): 全 停 止 | 制御装置の電源以外をすべて「切」にする。 |
| (A 2): パワーオン | 制御装置の電源を「入」にする。 |
| (A 3): パワーオフ | 制御装置の電源を「切」にする。 |
| (A 4): リ セ ッ ト | 制御装置をリセットする。電源「入」時、NCアラーム解除等に使用する。 |
| (A 5): 準 備 | 制御装置を運転可能状態にする。 |
| (A 6): NCアラーム | 制御装置にアラームが発生した時、点灯する。 |
| (A 7): キーロック | CRT設定表示装置の全停止(A 1)、パワーオフ(A 3)、キーロック(A 7)、準備(A 5)以外のすべてのキーをロックする。 |
| (A 8): 手動スキップ | 加工中加工ブロックで中途終了させるのに使用する。 |

(B) CRT表示部

- | | |
|------------------|-------------------------------|
| (B 1): エコーデータ表示部 | 各種機能を動作させるためのメニューを最大16まで表示する。 |
| (B 2): データ表示部 | 現在位置表示、加工モニタ、プログラム編集等に使用する。 |
| (B 3): ステータス表示部 | 現在動作中のステータスを表示する。 |

(C) エコースイッチ部

- (C 1) : メニュー選択スイッチ エコーデータ表示部(B 1)に示されるメニューを1～8の番号対応で選択するためのキー。
- (C 2) : 上 下 切 換 エコーデータ表示部(B 1)に示されるメニューは上下段に分れて最大16まで表示されるが、これをメニュー選択スイッチ(C 1)に8コずつに分けて対応させるキー。
- (C 3) : ディスプレイ エコーデータ表示部(B 1)にデータ表示部(B 2)に表示する画面の選択メニューを表示させるキー。
- (C 4) : パラメータ エコーデータ表示部(B 1)にNCプログラム関係のパラメータのメニューを表示させるキー。
- (C 5) : NC補助 エコーデータ表示部(B 1)に機械を動作させる時の状態設定するパラメータのメニューを表示させるキー。
- (C 6) : 手 動 エコーデータ表示部(B 1)に手動モードの動作のメニュー位置決め画面を(B 2)に表示させるキー。
- (C 7) : 自 動 エコーデータ表示部(B 1)に自動モード運転のメニュー、モニタ画面を(B 2)に表示させるキー。
- (C 8) : M 機 能 エコーデータ表示部(B 1)にM機能のメニューを表示させるキー。
- (C 9) : 加工条件 エコーデータ表示部(B 1)に加工電気条件のメニューを表示させるキー。
- (C 10) : ▲▼ 加工電気条件(C 9)によって(B 1)に表示された電気条件を変化させるためのキー。
- (C 11) : 最大休止 休止時間を最大値にするキー。
- (C 12) : 自動プロ 対話形自動プロの画面を(B 2)に、選択メニューを(B 1)に表示させるためのキー。
- (C 13) : F A P F A Pの画面を(B 2)にメニューを(B 1)に表示させるためのキー。
- (C 14) : グラフィック グラフィックのメニューを(B 1)に表示させるためのキー。

(D) データスイッチ部

- (D 1) : 編集およびデータ入力 編集およびデータ入力に使用する。
- (D 2) : データおよび編集 画面やカーソルの制御を行う時に使用する。
- (D 3) : 編集用数字および記号 画面に数字や記号データを設定する時に使用する。
- (D 4) : 編集用アドレスおよび記号 画面にアドレス・記号データを設定する時に使用する。

(E) 機械操作部

機械の制御を直接キーによって行う場合に使用する。

急速
充滿

「急速充滿」スイッチ

放電加工機本体の加工槽に加工液を充滿させる時に用いる。急速充滿スイッチを押すと加工液が加工槽に流入し始め、ランプが点灯する。またもう一度急速充滿スイッチを押すと加工液の流入が止まり、ランプが消灯する。加工槽の所定の位置まで加工液が満たされると自動的に急速充滿スイッチは「切」になる。

排出

「排出」スイッチ

加工槽の加工液を排出する時に用いる。排出スイッチを押すと、加工液が加工槽より排出され始め、ランプが点灯する。またもう一度排出スイッチを押すと加工液の排出が止まりランプが消灯する。排出スイッチを押したままにすれば、約3分後に自動的に切れる。

加工
液

「加工液」スイッチ

加工液を流す時に用いる。加工液スイッチを押すと、加工液が流れ始め、ランプが点灯する。またもう一度加工液スイッチを押すと、加工液の流れが止まる。

加工液
充 満

「加工液充滿」表示

「急速充滿」スイッチまたは「加工液」スイッチによって、加工槽の所定の位置まで加工液が入った場合にランプが点灯する。

ブザー

「ブザー」スイッチ

「ブザー」スイッチを押してランプを点灯させておくと、M02またはM30が有効となったときブザーが鳴る。

「ストップ」スイッチを押すことにより、ブザー音は止まる。

スト
ップ

「ストップ」スイッチ

自動運転でNCプログラムを実行している時、途中で止めたい時（フィードホールド）に使用する。

スタ
ート

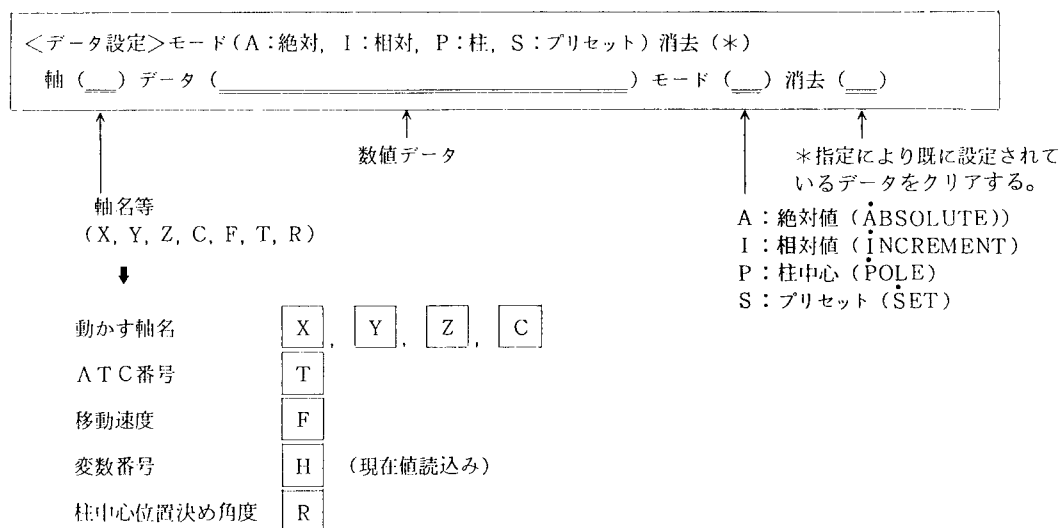
「スタート」スイッチ

自動運転を始める時に使用する。「スタート」スイッチを押すとランプが点灯し自動運転が開始される。なお、このスイッチはサイクルスタート（同一プログラムを二度以上続けて実行する時）およびシングルブロックスタート（1ブロックずつのNCプログラム実行）の時も使用する。

資料 4. 位置決め画面

<現在位置>		インタロック	<位置 カウンタ>		<手動モード>
X	0.000	# 1	X	0.000	1 端面位置決め
Y	0.000	# 1	Y	0.000	2 中心位置決め
Z	0.000	# 1	Z	0.000	3 放電位置決め
C	0.000	# 1	C	0.000	4
			<設定値>		5 原点 復帰
			X		6
			Y		7
			Z		8
			C		
T	0		F	150.000	
H	50		T	H	6 セットゼロ (G92)
			A/I	絶対値	7 ハンドル 有効
			P/S		8 手元操作有効
<データ設定>モード (A:絶対, I:相対, P:柱, S:プリセット) 消去 (*)					
軸 () データ () モード () 消去 ()					

図58 位置決め画面



資料 5. 運転状態の表示画面

				位置表示	<位置表示サブ>
				運 転	
L 6550	N 200	B 4	NC-タイマー 220:0:31		1 運転状態
FC 0.214	S 1.000	A 0.000			2 指令値
G 2 11 17 40 54 71 91					3 位置カウンター
<指令値>	<現在位置>	<位置カウンター>	<残距離>		4 現在位置
X 0.300	X 0.116	X 0.116	X 0.184		5 機械座標位置
Y 0.000	Y 0.095	Y 0.095	Y -0.095		6 ワーク座標位置
Z 0.000	Z -4.750	Z -4.750	Z 0.000		7 ブランク
C 0.000	C 0.000	C 0.000	C 0.000		8
<実行中>					
X2, 11;					
<次指令>					
G1X-1;					

図59 運転状態の表示画面

《表示内容》

NCの運転状態を表示する。

《詳細説明》

L (LABEL) : 実行中のラベル (プログラムNo. 以下ラベルという)

N () : 実行中ブロックのシーケンスNo.

B (BLOCK) : 実行中ブロックのブロックNo.

NCタイマ : NCがPOWER ONされている積算時間 (最大 9999:59:59)

FC : 実加工速度 (最大 8桁) 加工時のみ表示

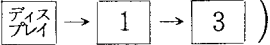
S (SCALE) : 図形倍率 (最大 7桁) リセット時 (1.00)

A (ANGLE) : 座標回転角度 ($-180.000 \leq A < 180.000$)

G : 現在選択されている各モーダルグループ内のGコード (8コまで)

< 指 令 値 > : NCプログラムよりの指令値 (最大 8桁)

< 現 在 位 置 > : 手元操作箱でセットゼロを行った点または, G92指令から相対置 (最大 8桁)

<位置カウンター> : 当画面または, 位置カウンター () の画面にて

0セットされた点からの相対位置

< 残 距 離 > : 指令値と現在位置の残距離

< 実 行 中 > : 現在実行中のブロック内容

< 次 指 令 > : 次ブロックの内容

資料 6. 加工状態の表示画面

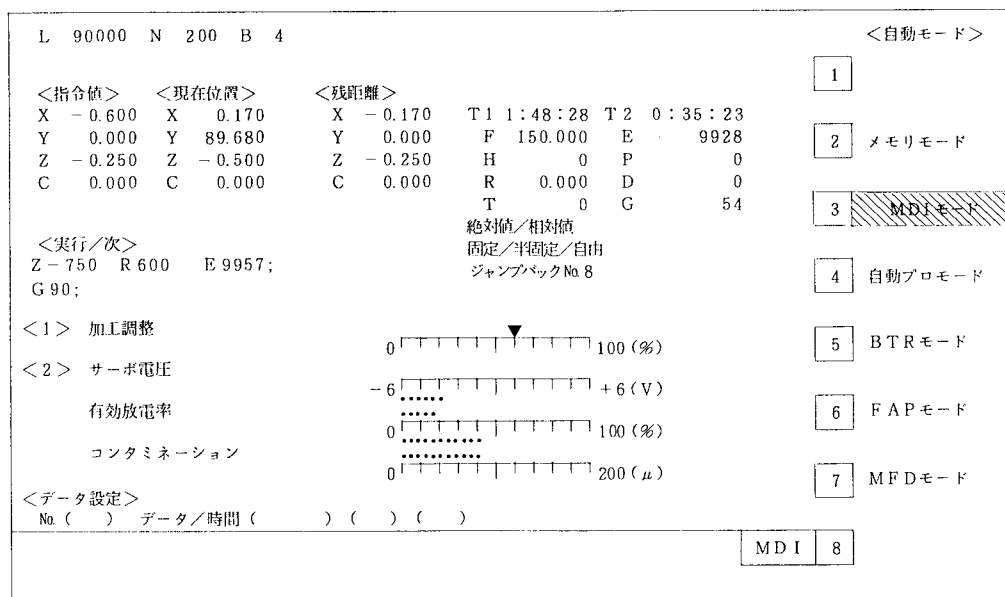


図60 加工状態の表示画面

《表示内容》

- L, N, B …… N C 言語レベルで実行中の L, N, B を表示する。
- 指令値 …… 指令値表示
- 現在位置 …… 現在値表示
- 残距離 …… 指令値に対する残距離
- T 1 …… 加工中タイマー (1) [設定可能]
- T 2 …… 加工中タイマー (2) [設定可能]
- F …… 送り速度 [設定可能]
- E …… E パック番号
- H …… 時間加工残時間 (分単位) [設定可能]
- P …… 繰返し回数及び F A P 時のサブプロ番号表示
- R …… 揺動半径
- D …… 揺動パターン
- T …… 電極番号
- G …… 選択されている座標系
- ジャンプパック No. …… ジャンプパックの番号 [設定可能]
- 実行/次 …… 実行中ブロック, 次実行ブロックの表示
- 加工調整 …… 加工調整 (ゲイン) [設定可能]
- サーボ電圧 …… サーボ電圧 (基準値と実値) [設定可能]
- 有効放電率 …… 有効放電率
- コンタミネーション …… 加工粉のたまり具合表示

資料 7. アドレス一覧表

表 22

(略記は J I S B 6313 に準拠)

アドレス	単 位	最 大 値	略 記	備 考	小数点 有 効	データ 絶対値
A	0.001°	± 180000	A + 53	座標回転角度	○	
B	1 分	30000	B 5	揺動加工時間	○	
C	0.001°	± 99999999	C + 53	移動指令 C 軸	○	
D	0.001 mm 0.0001 inch	〃	D + 53	揺動加工 4 Z 指定	○	
E	整 数		E 4	電気加工条件 特定数値以外プログラムエラー		○
F	0.001 mm 0.0001 inch/分	99999999	F 53	加工速度指令他	○	○
G	整 数		G 3	準備機能 特定数値以外プログラムエラー		○
H	〃		H 4			○
I	0.001 mm 0.0001 inch	± 99999999	I + 53	円弧 X 軸補助軸	○	
J	〃	〃	J + 53	円弧 Y 軸補助軸	○	
K	〃	〃	K + 53	円弧 Z 軸補助軸	○	
L	整 数	9999	L 4	プログラム番号 (L 番号)		○
M	〃		M 2	補助機能 特定数値以外プログラムエラー		○
N	〃	9999	N 4	シーケンス番号		○
P	〃	30000	P 5	メモリサイクルまたは揺動サイ クル繰返し回数	○	○
Q	0.001 倍	99999999	Q 53	揺動終了倍率	○	○
R	0.001 倍 または 0.001 mm	± 99999999	R + 53	揺動開始倍率または R 指定円弧 半径	○	
S	0.001 倍	99999999	S 53	加工倍率	○	○
T	整 数		T 2	A T C 工具切換機能		○
X	0.001 mm 0.0001 inch	± 99999999	X + 53	移動座標値	○	
Y	〃	〃	Y + 53	〃	○	
Z	〃	〃	Z + 53	〃	○	

資料 8. 準備 (G) 機能一覧表

表 23

Gコード	グループ	機能
G 00	A*	位置決め早送り
G 01	A	直線補間
G 02	A	円弧補間C W
G 03	A	円弧補間C C W
G 04	※	ドウェル
G 10	B*	固定モード
G 11	B	半固定モード
G 12	B	自由モード
G 13	※	サーボ逃げ方向指定
G 14	※	現在値読み込み
G 17	C*	平面選択 (X-Y平面)
G 18	C	平面選択 (Z-X平面)
G 19	C	平面選択 (Y-Z平面)
G 22	D	サブプログラム呼出し/図形回転
G 23	D	サブプログラム復帰/図形回転終了/揺動プログラム復帰
G 26	D	揺動プログラム呼出し
G 28	※	原点復帰
G 29	※	自動端面位置決め
G 30	※	自動中心位置決め
G 31	※	柱中心位置決め
G 40	E*	工具径補正キャンセル
G 41	E	工具径補正 (左)
G 42	E	工具径補正 (右)
G 43	※	工具径補正量設定/ワークオフセット設定/芯ズレ量転送
G 44	※	工具径補正量転送/芯ズレ量読み込み
G 52	※	ローカル座標プリセット
G 54	F*	ワーク座標系 # 1 選択
G 55	F	ワーク座標系 # 2 選択
G 56	F	ワーク座標系 # 3 選択
G 57	F	ワーク座標系 # 4 選択
G 58	F	ワーク座標系 # 5 選択
G 59	F	ワーク座標系 # 6 選択
G 62	※	G指令ミラーイメージ
G 69	※	円弧終点エラーチェック解除
G 90	G	絶対値指令
G 91	G*	相対値 (増分値) 指令
G 92	※	座標プリセット
G 97	※	X Y軸交換

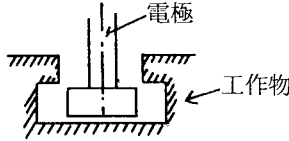
- (注) 1. M02, M30, M00 (リセット選択時) 実行後, またはリセット後の各グループの初期状態は, 各グループの*印のG機能となる。ただしG90/G91はパラメータにより選択可能。
2. ※印を除く各グループは各々モーダルであり, 一度指令すると, 同一グループの他のGコードが指令されるまで有効。
3. ※印のGコードはモーダルではなく, 指令されたブロックのみ有効。
4. 同一ブロック内におけるGコードの指令順序は任意であるが, 同一モーダルグループのものを2個以上指令すると後から読み込まれた指令が有効となる。
5. G00, G01, G02, G03, G04については最初の0を省略しても同一指令となる。

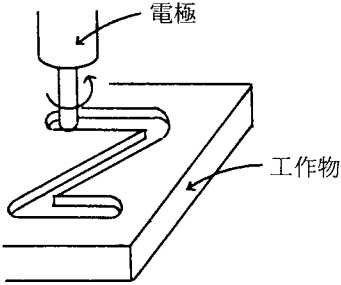
資料 9. 補助 (M) 機能一覧表

表 24

Mコード	名 称	機 能
M 00	プログラムストップ	自動運転の停止
M 01	オプションストップ	オプションスイッチ入の時のみM 00 と同じ
M 02	プログラムエンド	自動運転の終了及びリセット
M 03	C 軸 回 転 入 (正 転)	C 軸または高速回転装置を正回転させる
M 04	C 軸 回 転 入 (逆 転)	C 軸または高速回転装置を逆回転させる
M 05	C 軸 回 転 切	C 軸または高速回転装置の回転を止める
M 25	接 触 停 止 解 除	指定ブロックのみ接触停止を解除する
M 26	自 動 リ タ ー ン 解 除	M 26 M 00 で停止させたときは自動リターンを解除する
M 27	非 サ ー ボ 指 定	指定ブロックのみ極間サーボを行わない
M 28	揺 動 倍 率 無 視	揺動パターン中に指定すると揺動倍率を無視する
M 29	側 面 サ ー ボ 指 定	揺動加工での側面サーボを指定する
M 30	プログラムエンド	自動運転の終了, リセット
M 40	C 軸 回 転 × 10	C 軸回転を 10 rpm で行う
M 41	C 軸 回 転 × 20	C 軸回転を 20 rpm で行う
M 60	ツ ボ 選 択 No. 1	ツボNo.1 選択
M 67	ツ ボ 選 択 No. 8	ツボNo.8 選択
M 68	加 工 液 噴 射 入	加工液噴射開始
M 69	加 工 液 噴 出 入	加工液噴出開始
M 70	加 工 液 吸 引 入	加工液吸引開始
M 71		
M 72	加 工 液 噴 射 切	加工液噴射停止
M 73	加 工 液 噴 出 切	加工液噴出停止
M 74	加 工 液 吸 引 切	加工液吸引停止
M 75		
M 80	加 工 液 入	加工液を流す
M 81	加 工 液 切	加工液を止める
M 84	加 工 入	加工電源をONする
M 85	加 工 切	加工電源をOFFする
M 86	間 欠 噴 射 入	加工液の噴射 (または噴出) 量を増減する
M 87	間 欠 噴 射 切	加工液の噴射 (または噴出) 量を増減させなくする。
M 88	急 速 充 満	加工液を加工槽に満たす
M 89	加 工 液 排 出	加工液を加工槽より排出する
M 93	全 停 止	準備切
M 95	OP 3 K 通常 ON	通常加工用でOP 3 Kを動作させる
M 96	OP 3 K 揺動 ON	揺動加工用でOP 3 Kを動作させる
M 97	OP 3 K 切	OP 3 Kの動作を停止する
M 99	FAP サブプロエンド	FAP サブプログラムの終了 メインプロへのリターン (FAPのみ使用可)

資料10. 主な用語の意味

No.	用語	意味
1	加工セッティング(Ip)	単発放電ピーク電流の大きさをさす。加工セッティングの値の大きくなる程、電極と工作物の間で放電する電流は大きくなる。
2	パルス巾 (ONtime)	単発放電時間をさす。パルス幅の値を大きくすることにより、電極と工作物の間で放電している時間は長くなる。
3	休止時間 (OFF time)	単発放電から次の単発放電までの間の時間をいう。休止時間の値を小さくする程、単位時間に放電する回数が増すことになるので、加工速度も上昇する。しかしながら、単発放電により発生する加工粉を除去する必要があるので、無制限に休止時間を小さくすることはできない。
4	揺動加工	加工する方向に対して、横方向に揺りながら加工していく方法である。揺動加工の効果として、従来、特に加工が困難とされていた深リブの加工が可能になる。理由としては加工中、キャビティ内に一種のポンプ作用がはたらくためである。
5	アンダーカット	底付形状加工などにおいて、局所的なくぼみの発生をさす。
6	クリアランス	単発放電エネルギーにより発生する。電極と工作物間のすき間をいう。揺動加工の場合は、揺動量も考慮する必要がある。
7	アーク痕	加工粉が特定箇所に滞留することによって、発生する集中放電によりできるくぼみ。
8	袋形状	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>左図に示すような形状で、Z軸の動きを任意の位置でロックして、X、Y軸のみ揺動運動させる機能を使って得られる袋形状をさす。</p> </div> </div>
9	C 軸	Z軸を中心に回転及び割り出しする軸を通常C軸と呼ぶ。ちなみに、X軸→A軸、Y軸→B軸になる。
10	デューティファクタ	<p>次式で表される。</p> $\text{デューティファクタ (D. F.)} = \frac{\text{パルス幅 (ONtime)}}{\text{パルス幅 (ONtime)} + \text{休止幅 (OFFtime)}}$ <p>すなわち、D. F. の値を大きくすることにより、加工効率は向上する。</p>
11	熱伝導率 (λ)	<p>熱が固体内を伝わる場合のように、物質内部を物質の移動を伴わず伝わるのを熱伝導という。物体内の微小面積 dS を通り時間 dT 間に流れる熱量 dQ は次式で表される。</p> $dQ = -\lambda dS \frac{\partial t}{\partial n} dT$ <p>ただし、t は温度、n は dS に垂直で熱の流れる方向に向いた座標。 上式のλは、物質とその状態により定まる定数で、熱伝導率 kcal / m²・h・°C という。</p>
12	昇華温度 (θ m)	金属の場合は融点であるが、セラミックスの場合には昇華温度の名称と相当する。
13	噴出法	加工粉の排除能力を大きくする。加工液の供給法の一つ。加工する形状の中に加工液を流すための穴を設け、加工液を流す方法。

No.	用語	意味
14	吸引法	噴出法とは逆の方法で、電極または工作物に加工液を吸引する穴を設け、加工液を引く方法。
15	噴射法	刻印加工、深リブ加工など、どうしても加工液穴が設けられない場合に適用する加工液供給法。
16	ガス抜穴	大面積の底付加工の場合、加工によって発生するガスを排除するため、加工液が交差する付近に設ける穴をいう。
17	MCUモニタ	放電加工の状態を観察する画面の名称。
18	FAP	Flexible Auto Programing の略称で、三菱NC形彫り放電加工機の自動プロの一つ。通常一番使い易いプログラミング方式である。
19	Eパック	放電加工に使用する電気条件を一まとめにしたものをいう。現在最大1000個のEパックの登録が可能である。
20	揺動パターン	揺動加工に使用する動き方の種類。円モード、角モード、放射モード、三次元放射モード、球モード等のパターンが用意されている。
21	自動拡大加工	揺動加工時、揺動半径を少しずつ大きく広げてゆく加工法。
22	繰り返し加工	加工箇所として、多数個の加工する場合、同一プログラムで繰り返し実行する加工。
23	ヘリカルギヤ加工	Z軸とC軸（オプション）を同時に使用した。ヘリカルギヤの加工をいう。
24	横揺動加工	X軸またはY軸方向に揺動しながら加工していくものをいう。
25	多軸加工	加工方向が変化しながら連続加工していく加工をいう。 通常は、単棒電極を連続回転させて、任意の形状に加工する。
		
26	ディスプレイ	三菱NC形彫り放電加工機の制御装置の操作画面を出すための、基本画面の名称。
27	ラベル	プログラムを保存する時に付ける見出しをさす。 (例. L 1000 に登録 …… ラベル 1000 番に登録) 標準 200パックまで登録可能。
28	カットオフ	加工面の面あらしさを測定する場合、その面で大きな間隔の表面うねりがある。これは、面あらしとは区別しなければならない、このうねりの成分を除く限界の波長をいう。(通常、カットオフ値は 0.8 mm を使い、測定長さはカットオフ値の 3 倍の値にとる。)
29	メジャー (MEASURE)	面あらし測定器のスタートボタンの名称。測定をさす。

参 考 文 献

- * 1) 谷口紀男；“超音波加工の動向”，日本能率協会ならびに日本工作機械工業会主催’80，工作機械関連技術者会議
- * 2) 斎藤長男；“図解，放電加工のしくみと100%活用法”（株）技術評論社 03(262)9351
- * 3) 万波和夫；セラボレックスの放電加工特性 旭硝子(株) 研究開発部
- * 4) 斎藤長男；ファインセラミックスの特殊加工の展望
- * 5) 三菱電機 N C形彫り放電加工機 K シリーズ取扱説明書
- * 6) 尾崎好雄 鈴木俊雄；導電性セラミックスにおける放電加工特性 電気加工学会報告
- * 7) 斎藤長男；セラミックス導電性材料に対する放電加工 精機学会講演（昭62 秋）
- * 8) 斎藤長男；新しい金型製造法と新しい放電加工の応用
- * 9) 三菱電機記念講演；ワイヤ放電加工機，形彫り放電加工機による高精度加工について