

電 解 加 工 法

Electrochemical Machining

川 船 和 儀* 平 田 健 二 郎*
Kazuyoshi Kawahune Kenjiro Hirata御 子 柴 佑 恭** 巧 刀 能 文**
Tomoyoshi Mikoshiba Yoshiyumi Kunugi

内 容 梗 概

電気分解を利用し金属を成形する電解加工法は、被加工物の硬度に関係ない速い加工速度が得られるので、各応用分野から注目されている。日立製作所では本加工法の調査研究を続け、多くのことを明らかにした。たとえば面あらさは $20(\mu)H_{\max}$ 以下であり、硬度 HRC 60 の鋼材に対し 10,000 A の加工電流で、160 g/min の速い加工速度が得られること、また電解液は 10% 程度から飽和までの NaCl 溶液が適し、超鋼のような特殊材料にはほかの電解液を必要とすること、加工能率の点では、電気洗濯機のパルセータモールド型の形彫で、加工時間は従来の方法の 1/29 となることが判明した。また電極製法と電解液の流し方が重要な因子であることがわかり、これに対し、背圧、逆流、補助スリット、および荒、仕上加工法などの方式を確立し形彫の基礎を固めることができた。本文はその概要を述べている。

1. 緒 言

母形を陰極とし、被加工物を陽極とし、両者を微小間げきを介して相対せしめ、その間げきに高速度の電解液を流し、同時に大電流を通じて被加工物を母形形状どおりに電気分解で電解液中に溶解させ、被加工物にせん孔、形彫などを行なう電解加工法は、従来の加工法に比較して多くの特長を有している。各方面から注目をあびている。アメリカおよびイギリスではタービンプレードの製作などの実用化にはいっており、わが国においても実用化の段階に達しつつあるなど、日立製作所においても 1961 年以来電解加工法の調査研究を始め、1963 年末には、この加工法全般にわたる特性と問題点をほぼは握し、かつ問題点に対して種々の対策を確立して、形彫の基礎を固めることができた。

2. 沿 革

電気分解を利用した金属の成形法は古くからあったが、電解加工法が新加工法として注目をあびたのは 1958 年アメリカシカゴ市における Metal Show にアメリカの Anocut 社が Electrolytic Horizontal Cavity Machine を発表してからである。その後同じくアメリカの Elox 社が Electrochemical Machine を発表し、また Battle Memorial Institute と Steel Improvement & Forging 社は協力してタービンプレードの加工を開発した。また同研究所は Ex-Cell-O 社と形彫、せん孔、切断などの研究を行ないその結果 Ex-Cell-O 社が電解加工機の製品化に成功した。一方 General Electric 社と Cincinnati Milling 社が提携して大形電解加工機を発表している。欧州においてはイギリスの Barmax 社が Rolls Roys 社の特許を使用し電解加工機を製作しており、また Charmilles 社もスイスの Anocut 社と提携して電解加工機を製作している。

このような各国の動きに対しわが国では東京大学、東北大学、茨城大学などの各大学および工業技術院機械試験所、名古屋工業試験所などの官庁研究機関が 1960 年ごろから研究を開始した。また 1962 年の大阪国際見本市では、三菱電機株式会社および Japax 社がおのおの初の国産電解加工機を発表し各方面から注目された。その後本加工法は実用化され始め現在では、能率および精度の向上、より複雑な形状への適用、大容量化の方向に研究がなされ、電解加工

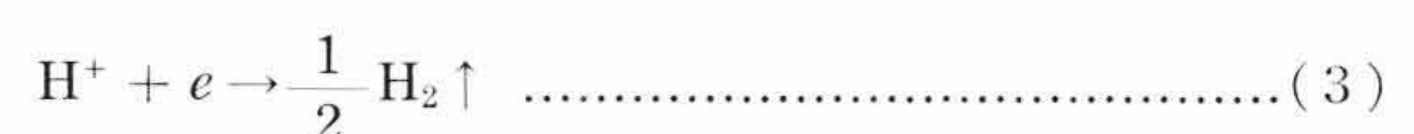
法の体系がしだいに整えられつつある。このような内外の情勢および研究結果から、電解加工は遠からず金属加工における一分野を形成するものと思われる。

3. 原 理

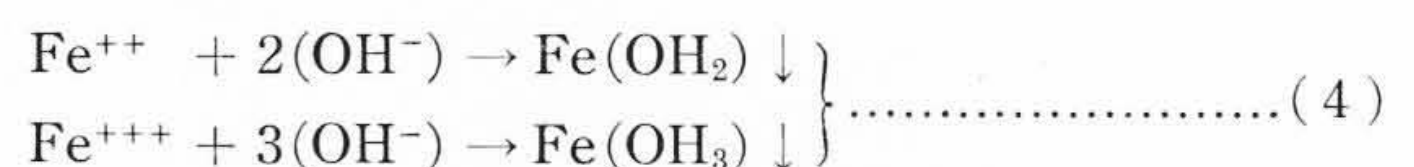
電解加工法の原理は Faraday の法則に基づく電気分解の反応を利用したものである。電解液中に二つの金属を浸し、これらを陽極および陰極とし電解液を適当に選択すれば、陽極金属は陰極金属に最も接近しているところから電解液中に金属イオンとして溶解し、かつ電解液中に沈澱物を生成する。一方陰極においては金属イオンを溶解析出することなく単にガス発生のみとなる。一般に電解液は加工性、経済性、人体に及ぼす影響などの都合から 10~24% の NaCl 溶液が用いられる。上述の反応を陽極金属が純鉄、電解液が NaCl 溶液の場合について詳述する。この場合陰極は導電性金属ならば何でもよいが一般には固有抵抗が小さく、かつ加工性の良好な黄銅か銅が使用される。陽極、陰極、電解液中で種々の反応過程を通し最終的に現われる反応は次に述べるものである。



陰極での反応



電解液中での反応

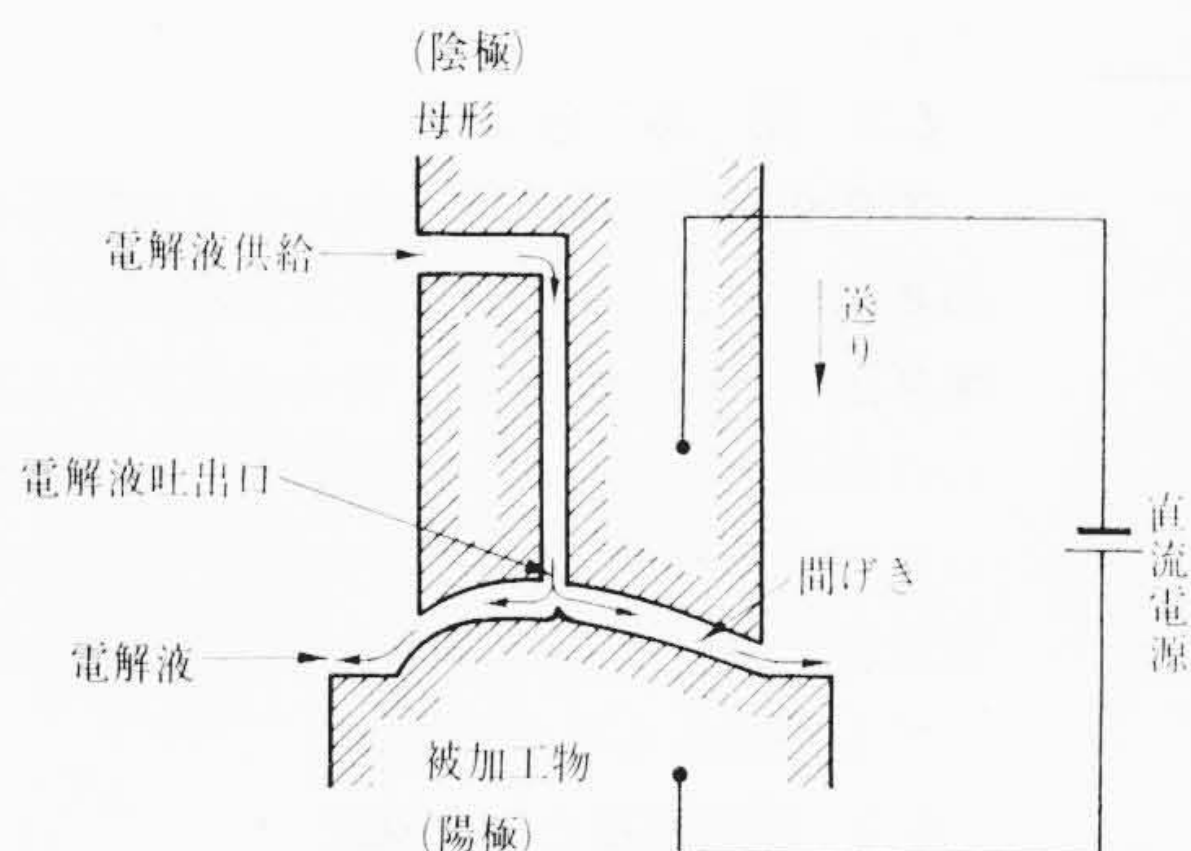


すなわち、電解加工の反応機構は陽極（被加工物）からそのイオンが電解液中に溶解し、電解液中で不溶性沈澱物に化学的に変化する。一方陰極（母形）では水素ガスが発生する。

実際の加工は、第 1 図に示すように被加工物と母形をそれぞれ陽極、陰極とし、間げきを 0.05~0.5 mm に保ち、間げきに 10~数 10 m/s に及ぶ流速をもつ約 10% から飽和濃度の NaCl 溶液を介在せしめ、同時に 3~20 V の直流電圧を電極間に印加する。このとき被加工物と母形と最も近接した部分の電流密度が最大になり、その部分が多く溶解され、しだいに被加工物は母形形状どおりに成形されていく。母形と被加工物を前述の間げきに保つ手段として一般に母形を被加工物に向かって送り込む方法が用いられる。この送り速度は普通 0.2~4 mm/min 程度である。間げきを微小に保つことは、転写精度

* 日立製作所川崎工場

** 日立製作所中央研究所



第1図 電 解 加 工 の 原 理

第1表 電 解 加 工 の 長 所 , 短 所

長 所	短 所
(1) 加工速度が大きい。	(1) 電解液を均一に流すことがむずかしい。
(2) 被加工物の硬度に関係なく速い加工速度が得られる。	(2) 加工精度があまりよくない。
(3) 機械的力が加わらないため、加工ひずみ、加工変質層が生じない。	(3) 電解液による機械の防食対策を必要とする。
(4) 複雑形状の形彫が一工程でできる。	
(5) 電極工具の消耗がない。	
(6) 面あらしが良好である。	

を向上し、かつ間げき間の電力損失を減少させるために必要であり、高速電解液流は前述の生成沈殿物、水素ガスを加工面から除去するのに必要である。

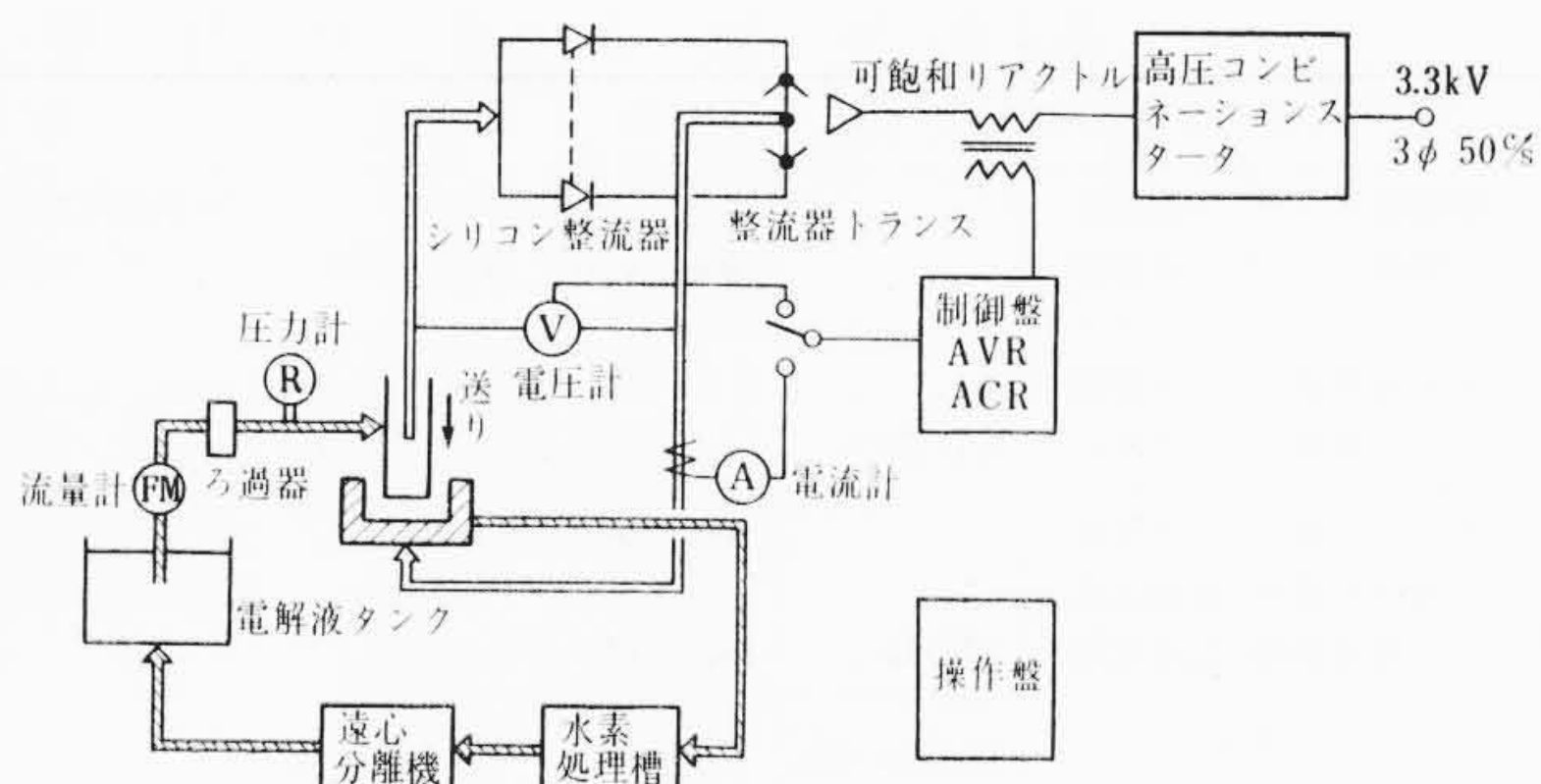
4. 特 長

電解加工の特長は、その加工原理からおのずと明らかである。第1表に長、短所の一覧表を示す。加工速度は通電電流を増加すれば理論上任意に増加できる。たとえば10,000 Aの加工電流（現在実用化の最高電流容量はAnocut社の20,000 Aである）は純鉄の被加工物を157 g/minの速度で加工できる。よって加工速度は従来の放電加工の数10 g/minに対し数10倍に増加する。また電気化学的に金属を溶解するため、被加工物の硬度に無関係に速い加工速度と適当な条件を選ぶことによって1~3 (μ) H_{max} の良好な面あらしが得られる。また被加工物の加工面には機械的力が加わらないためひずみ、加工変質層が生じない。また原理上面加工であるので複雑な形状の加工も電極を適当に製作しておけば一工程で加工ができる。母形は放電加工の電極および一般工作機のカタのように消耗しない。この反面次に述べる短所もある。間げきに一樣な電解液流を得ることがむずかしく、液流が不均一になると加工面に流れの痕跡が発生し、これが母形と被加工物間の短絡発生の原因となる。

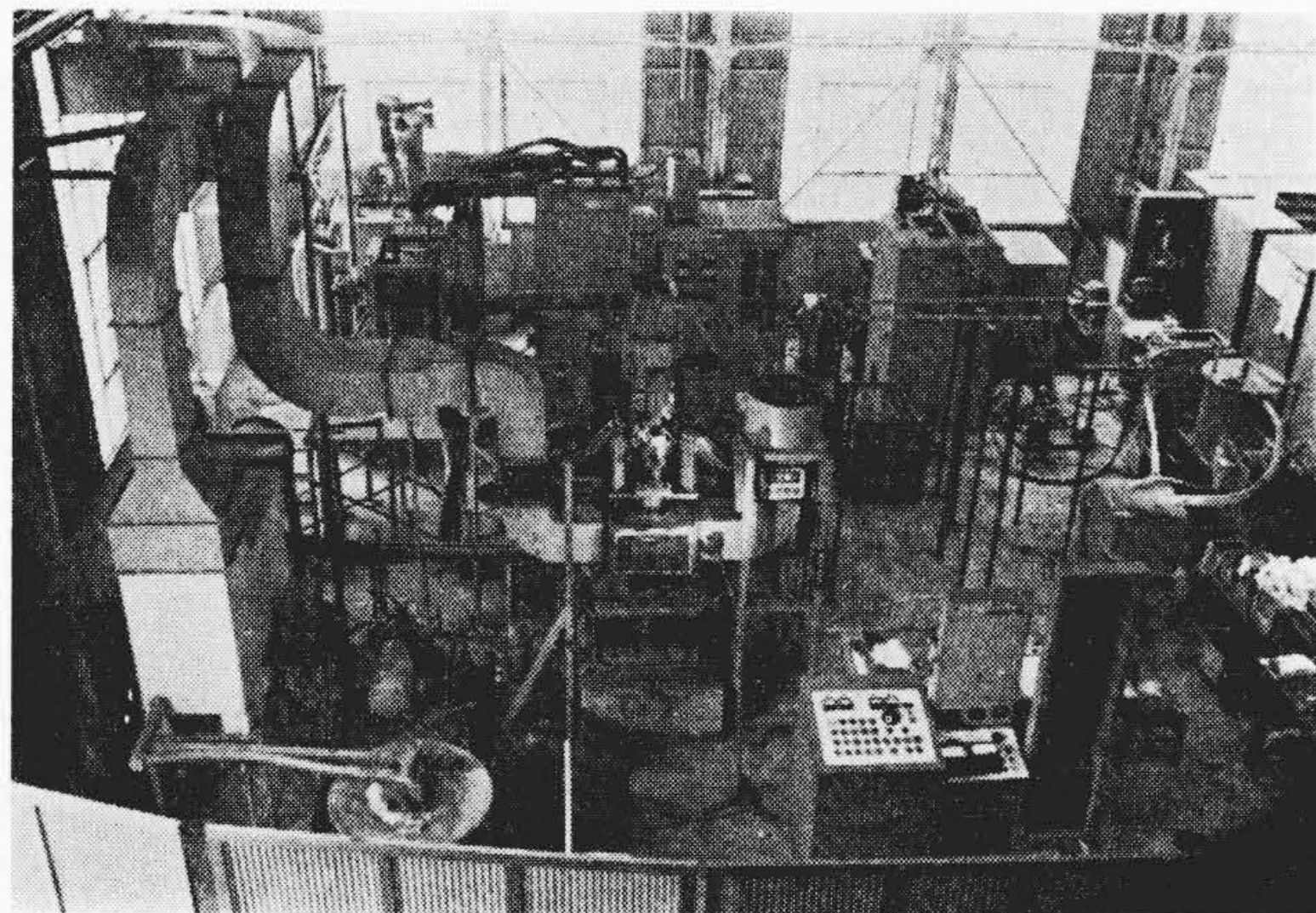
また現状では加工精度が放電加工より若干劣り、 $\pm 0.05 \sim 0.3$ mmの値である。また電解液を使用するため機器にさび止め対策をほどこす必要がある。しかし、このような欠点は漸次改善されるものと思われる。

5. 電 解 加 工 装 置

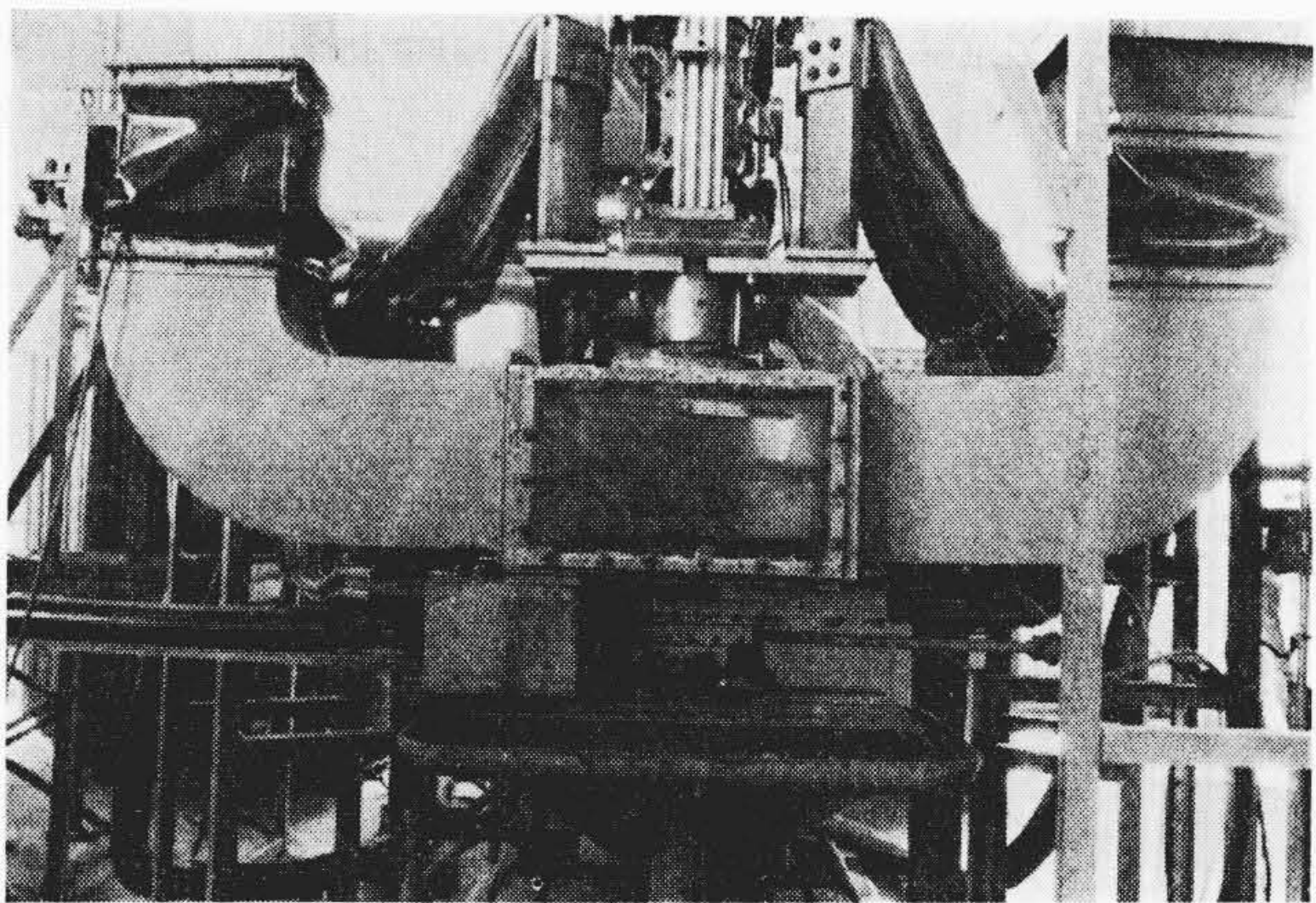
われわれが実験に使用した装置について説明するが、製品化されている加工装置もこれとその構成はほとんど変わらない。第2図にそのブロック線図を、第3図に全体の写真を示す。第2図よりわかるように実験装置は機械本体、直流電源、電解液供給、および操作の4系統から構成される。機械本体は母形を取り付ける部分を先端に有し、400Wサーボータで駆動される送り機構からなる主軸部と被加工物取付用テーブル部およびコラムで構成される。またテーブル部と主軸先端の母形取付部は第4図に示すようなプラスチック製の



第2図 実験装置のブロック線図



第3図 実験装置全体



第4図 加工槽

加工槽の中に入れられ、電解液が周囲に飛散することを防いでいる。直流電源をうるためには整流器用変圧器とシリコン整流器を使用している。シリコン整流器より得られる低電圧、大電流の電力は機械の母形取付部、および被加工物取付テーブルへそれぞれ陰極、陽極となるようにして給電される。電解液供給系統において電解液は容量2,000 lの電解液タンクから、圧力20 kg/cm²、流量200 l/minのステンレス製ギヤポンプで、100 μ のフィルタを通して加工機主軸、さらに主軸先端に取り付けられた母形と被加工物で形成される微小な間げきに供給される。間げきを通過した電解液は加工槽戻り口から水素処理槽に導かれ、そこで液中に混合した水素ガスを排出した後、遠心分離機により加工生成沈殿物と分離される。浄化された電解液は再び電解液タンクに戻る。以上の機器を操作するために操作盤が設けられ、ここで運転操作をする。装置の機器の仕様を第2表に示す。

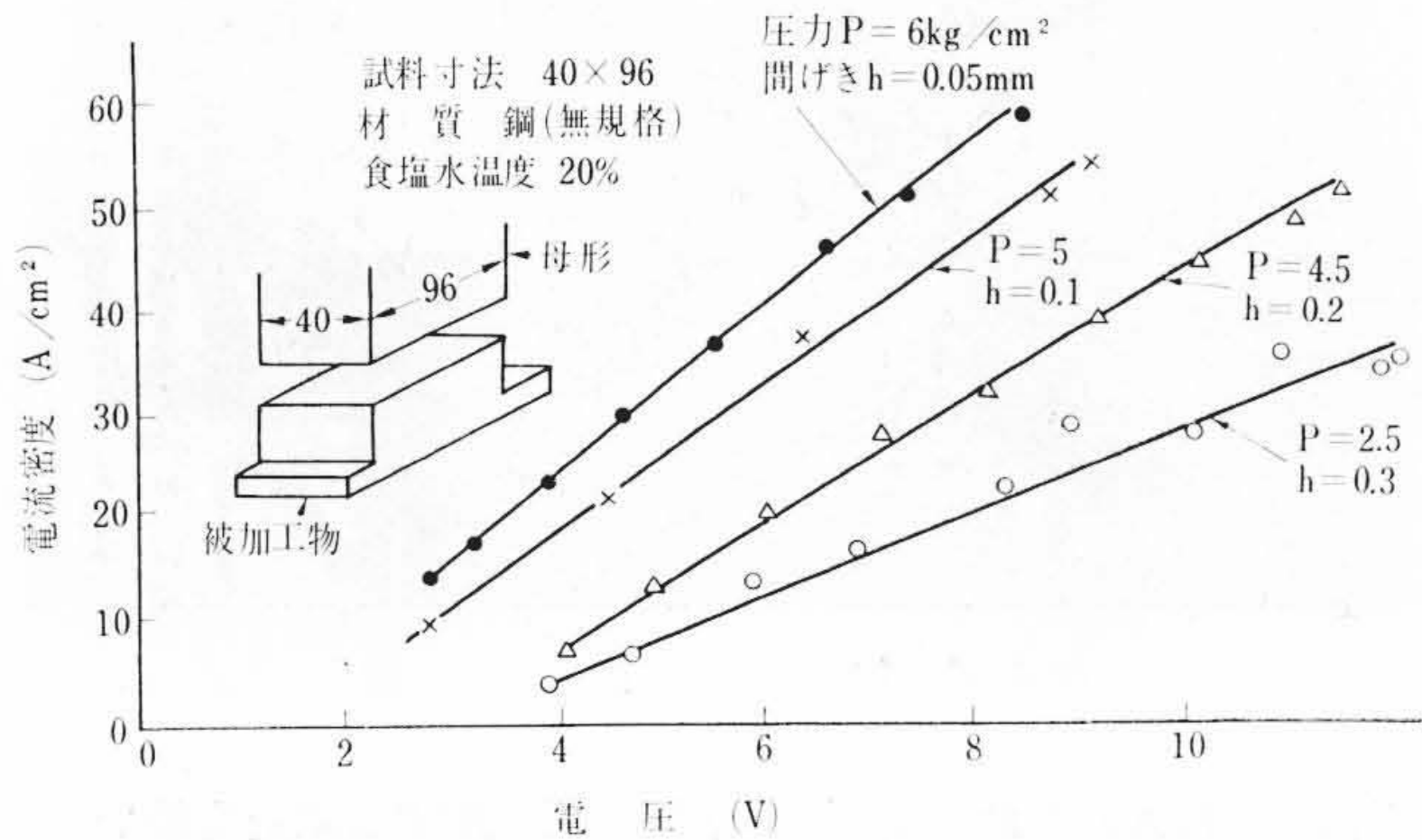
第2表 実験装置の仕様

分類	部 品 名	形 式	仕 様	備 考
電解液供給	電解液タンク (武蔵野)		容 量 2,000 l	自動温度調節範囲 25~40℃
	電解液ポンプ (武蔵野)		20 kg/cm ² , 200 l/min	モータ 1450 rpm 19 kW
	フィルタ (ミクロ)		100 μ	
	水素処理槽 (自家製)		1.5×1.0×0.6 m	ファンにより圧送
	遠心分離機 (アサヒ)	CD-30	バスケット 910φ×350 mm	モータ 1100 rpm, 7.5 kW
加工機	加工槽 (自家製)		500×450×270 mm	プラスチック製, ステンレステーブル
	主軸送り機械(自家改造) 送り用電動機(山洋電気)	MDH	スクリー P=7 mm DC400 W 分巻界磁形	ボール盤改造
直 流 電 源	高圧コンベネーション スタータ (日立)	HC295-086		
	可飽和リアクトル(日立)	SIR-3FX	700 kVA, 3.3 kV	
	トランス (日立)	SIR-3C	650/920 kVA, 3.3kV/DC45 V	
	シリコン整流器 (日立)	FE-6XR	30 V 12,000 A	
	制 御 盤 (日立)			
計 測 装 置	流 量 計 (日本計測)	MG	200 l/min 瞬間指示	フロータ面積式
	圧 力 計 (トキコ)	DS	3/8×100×50 kg/cm ²	ブルドン管
	温 度 計 (日本計測)	TB-4	0~100℃	温度調節弁と連動・水銀式
	直流電流計 (横 川)	MPF	0~15000A, 50 mV, 0.5級	ジャント 7,500 A 2 コ並列
	直流電圧計 (桑 野)	PSM-170	10/30/100/300 V, 0.5 級	
	インジケータ(東京計測)		0.01mm, ストローク50mm	

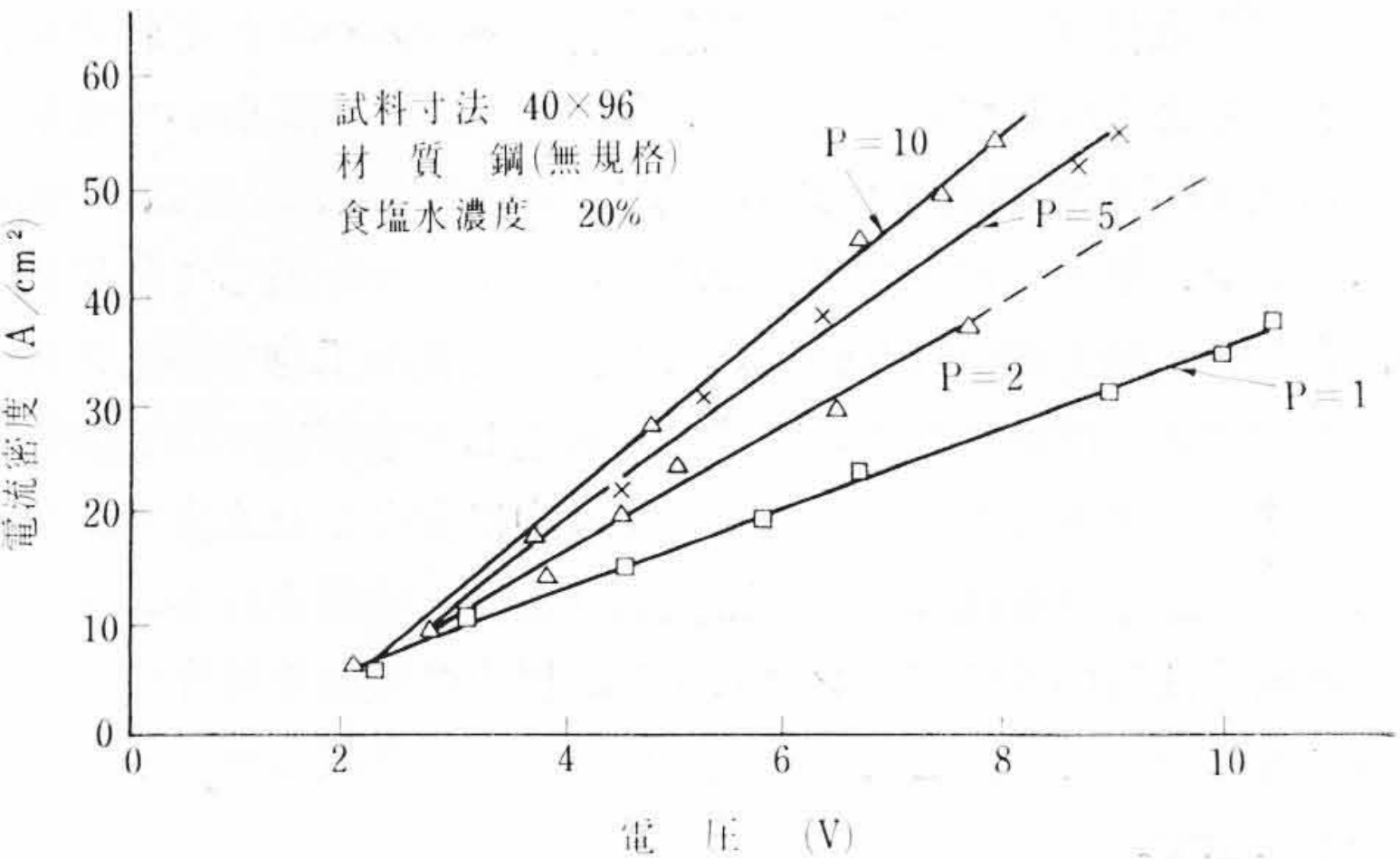
6. 特 性

6.1 電 圧—電 流

電解加工法における電流密度は従来の電気化学で論じている範囲をはるかに越えるもので、そのような電流密度のもとでの陽陰両極間における電圧—電流特性は未知のものであった。第5~7図は間げき、圧力、濃度と材質をパラメータとしたときの電圧—電流特性を示したものである。第5~7図より電解液中で消費される電力を可能な限り小さくしかつ加工速度を上げるためには、間げきを小さくし電解液濃度を飽和濃度としかつ供給圧力を上げることが望ましい。ただし6.8で後述するように圧力を上げるとは加工面に電解液の流れの跡であるうねりを発生する原因となり一概によいともい



第5図 間げきと電圧—電流特性



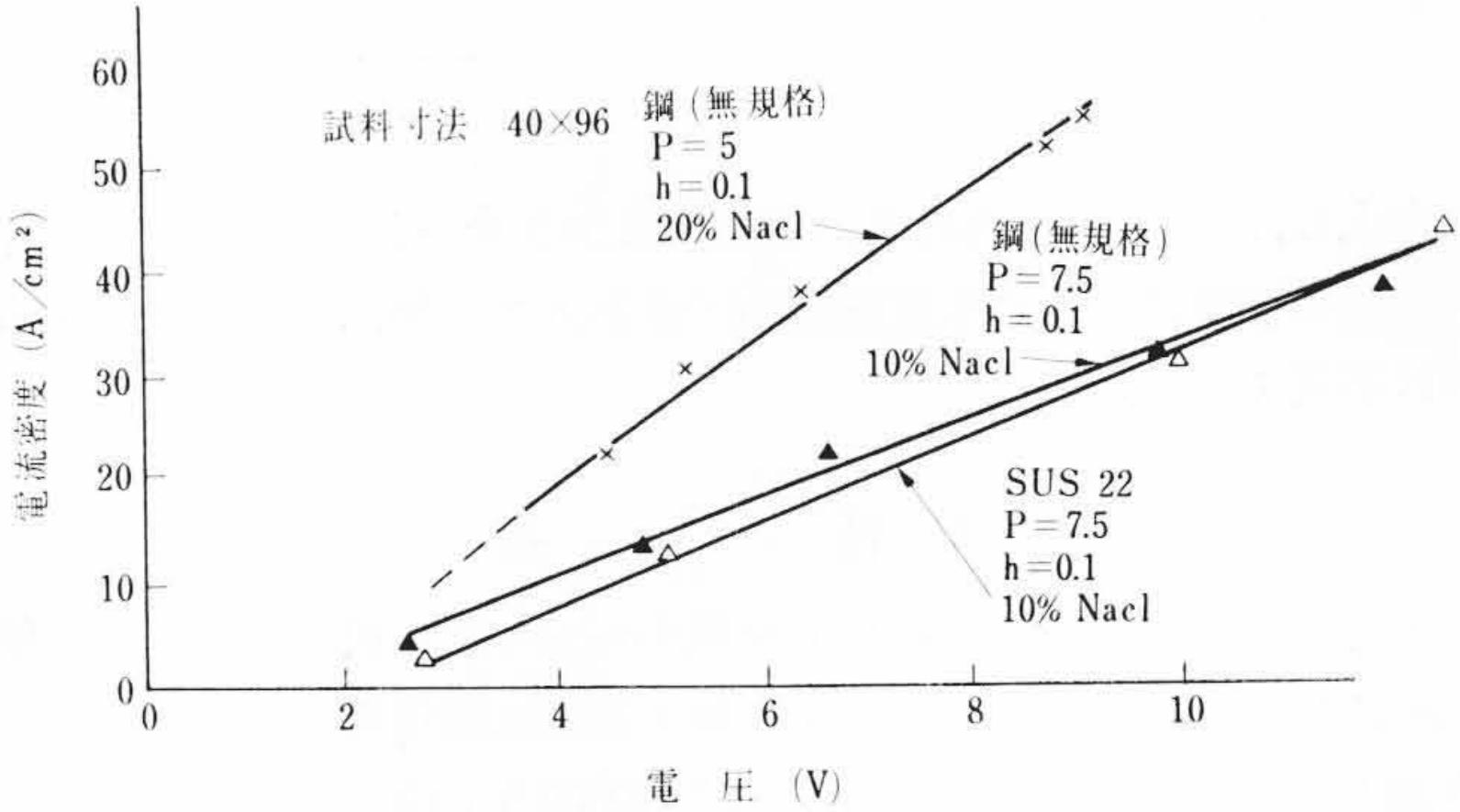
第6図 圧力と電圧—電流特性

えない。
6.2 面 あ ら さ

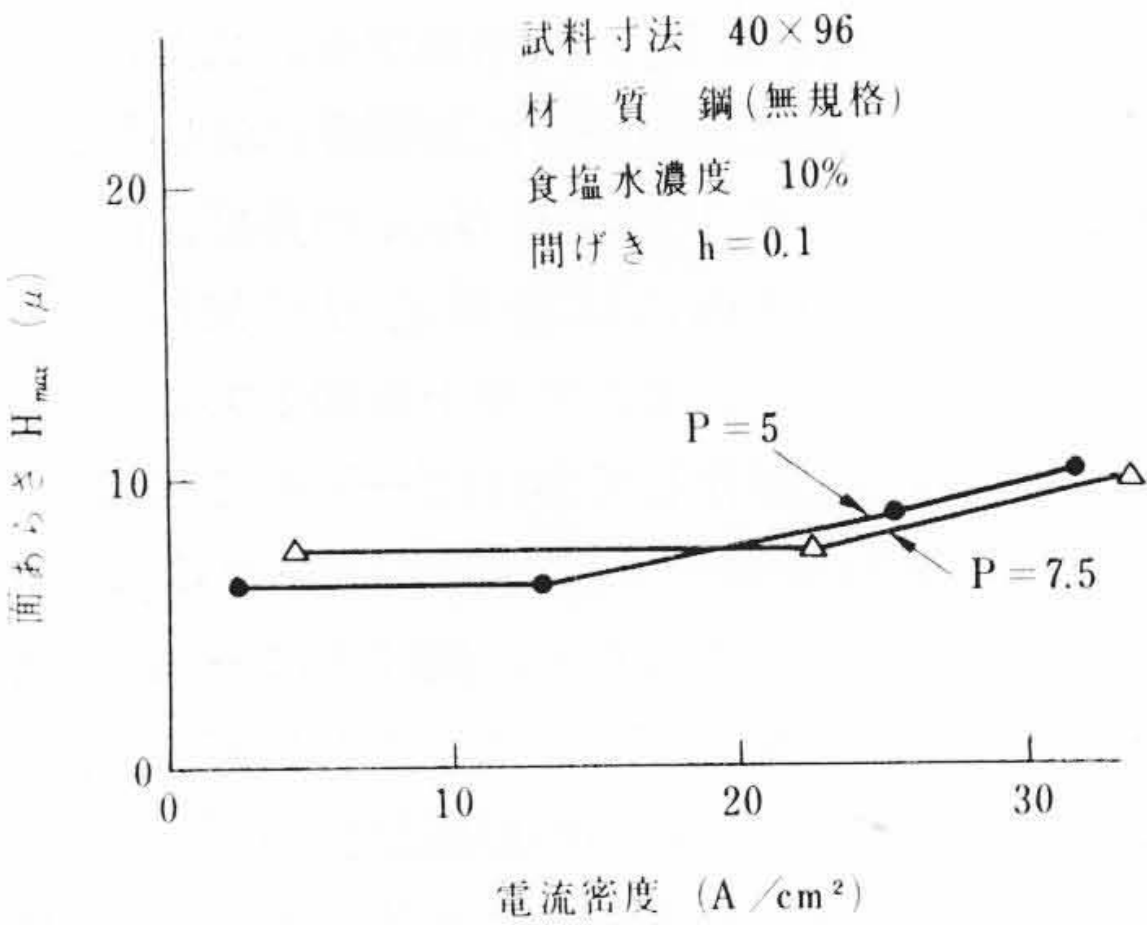
第8,9図に電流密度と面あらしの関係を示す。第8図は被加工物の材質を無規格鋼とした場合、第9図は SUS 22 とした場合の結果である。これらの図からわかるように電解加工で得られる面あらしは $20(\mu)H_{max}$ 以下である。その大きさは電流密度に関係するが同時に、その傾向は材質によっても異なるものである。

6.3 電流密度と加工速度

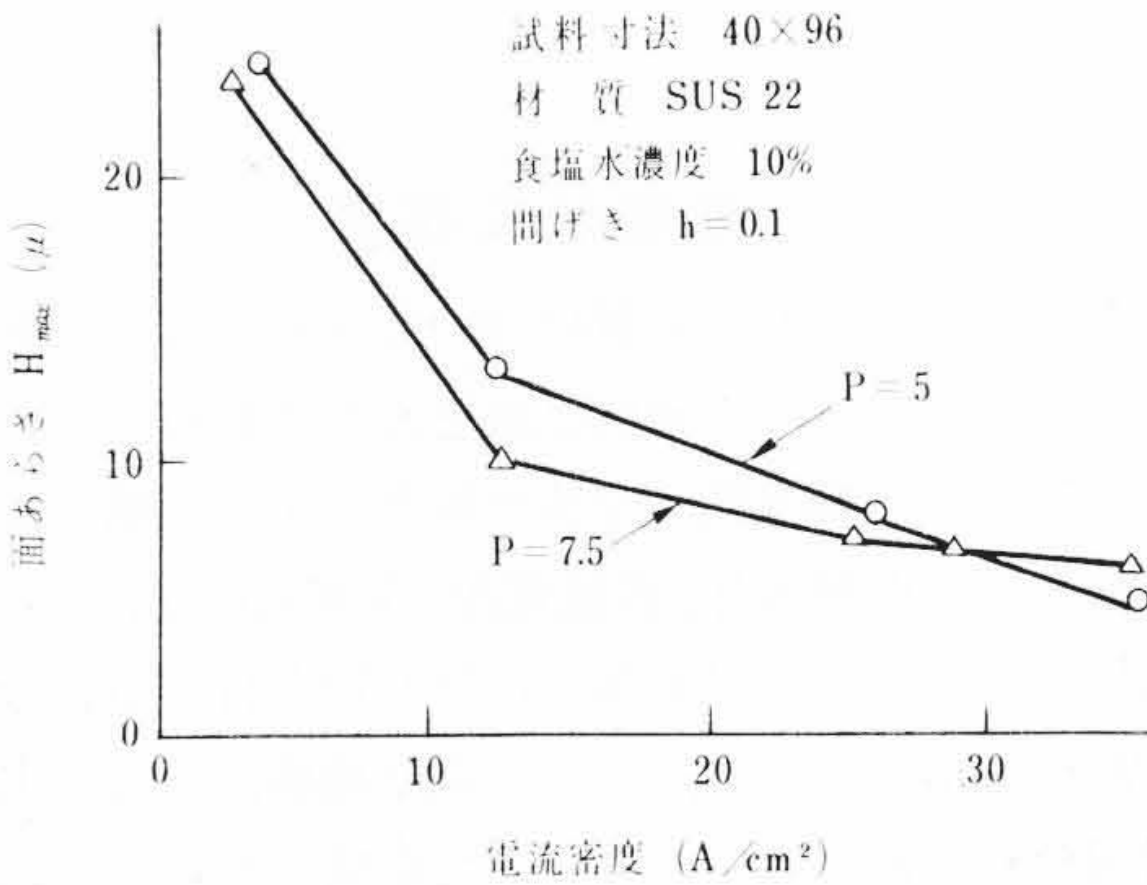
第10図に電流密度と加工速度の関係を示す。図中の加工速度は単位面積当たりの1分間における加工深さで表わしてある。図は外径 62 φ 吐出口 20 φ の丸穴加工用、黄銅製母形による結果であるが、これから加工速度は電流密度 150 A/cm² の範囲ではほぼ電流密度に比例し、150 A/cm² 以上の電流密度になるとそのこう配はしだいに減少する。加工速度は Faraday の法則により導くことができ(5)式のようにになる。



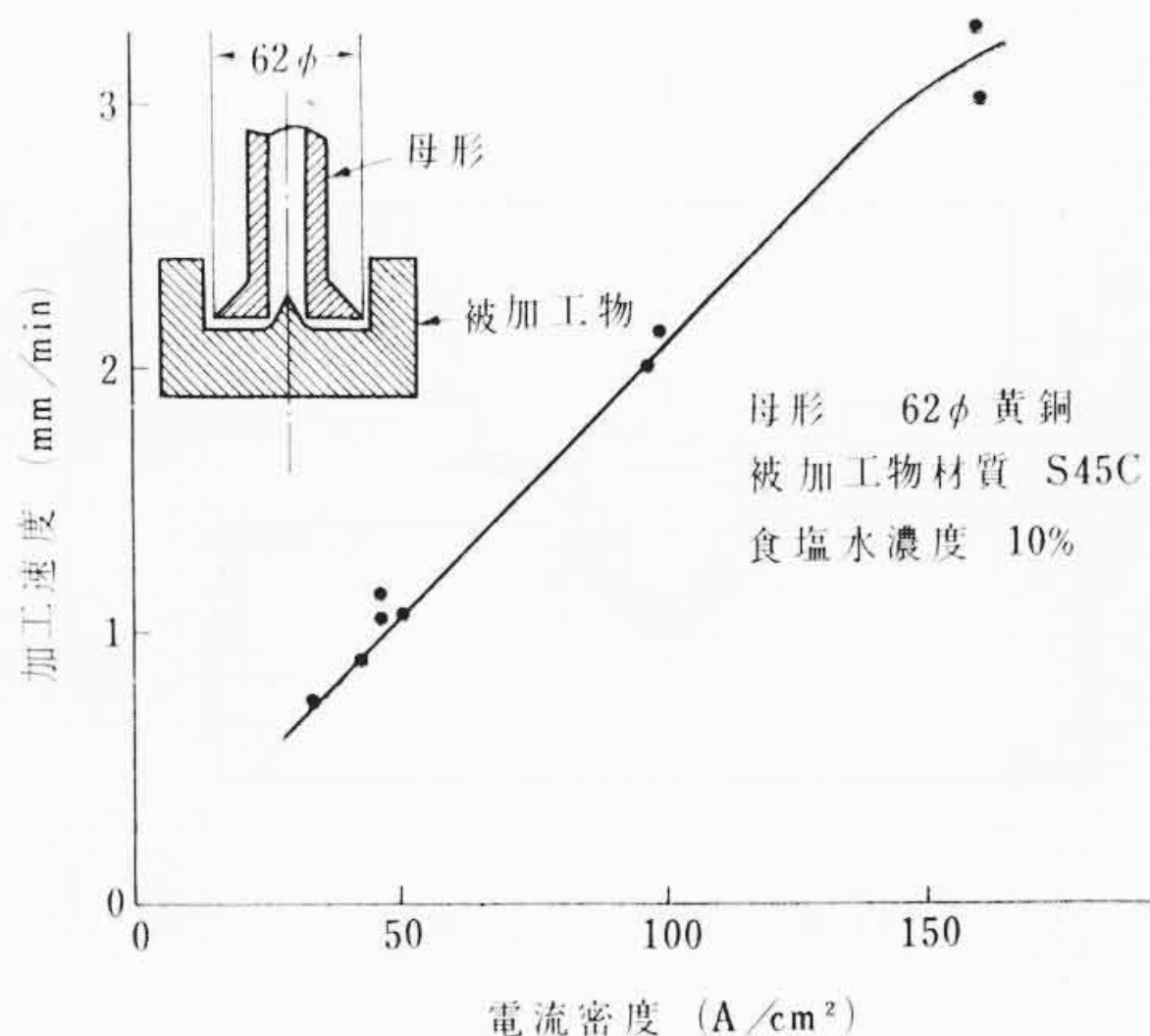
第7図 濃度、材質と電圧—電流特性



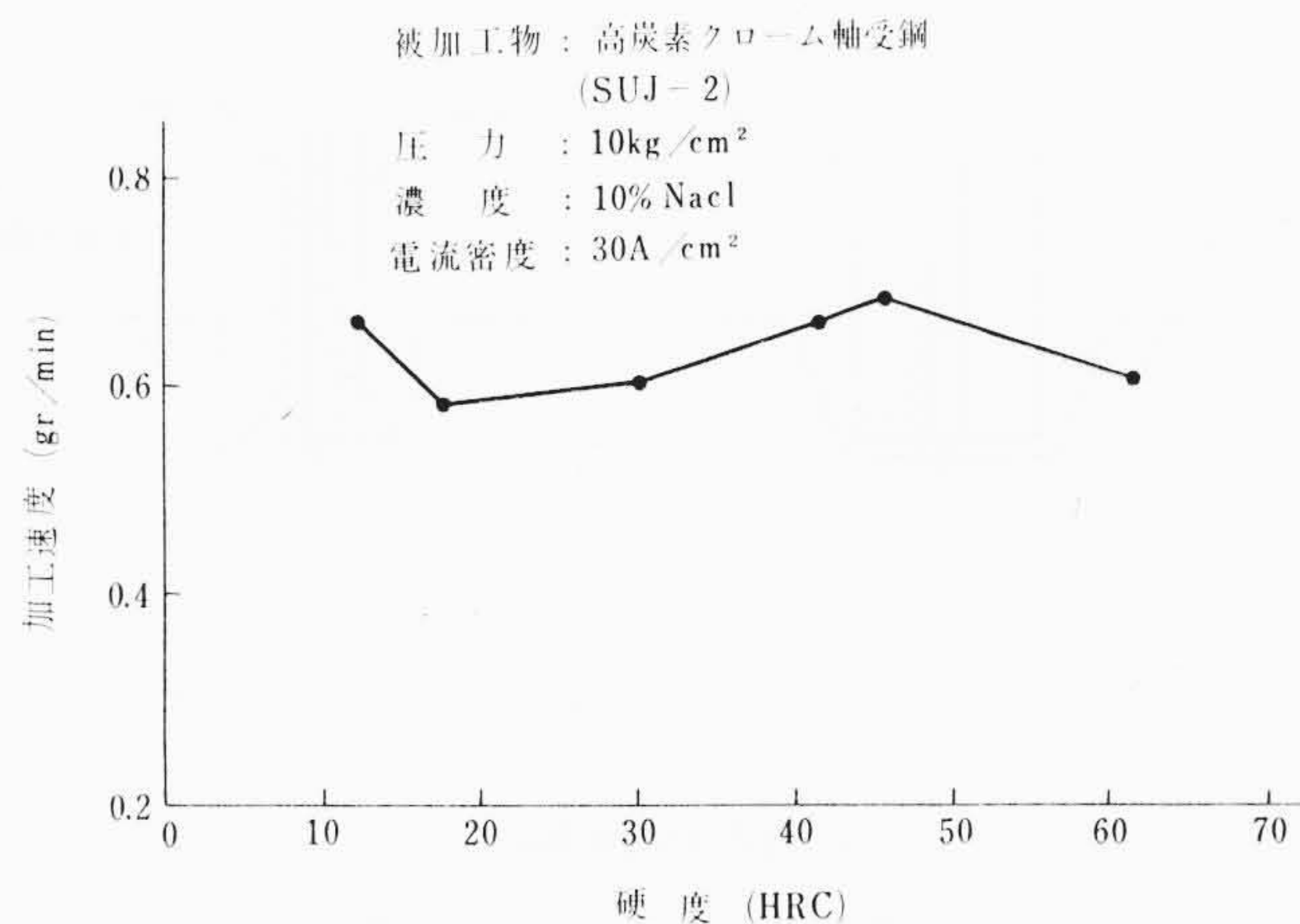
第8図 電流密度と面あらし



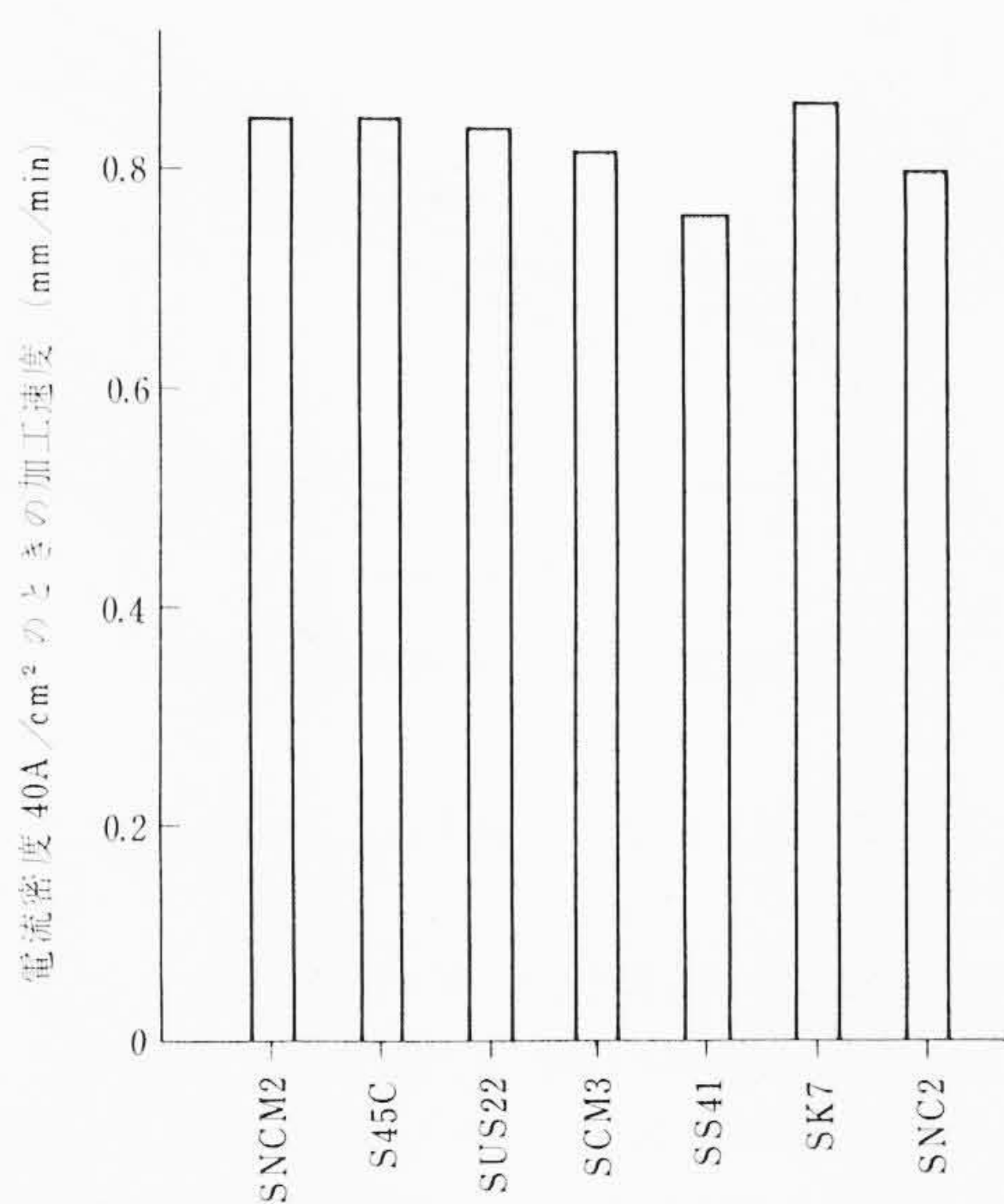
第9図 電流密度と面あらし



第10図 電流密度と加工速度



第12図 硬度と加工速度



第11図 材質と加工速度

$$u = \frac{60 \eta_i M J}{n \rho F} \quad (\text{cm/min}) \quad (5)$$

ここに、 u : 加工速度 (cm/min)

η_i : 電流効率

M : 物質の gr 原子量

J : 電流密度 (A/cm^2)

n : 被加工物々質のイオン価

F : ファラデー定数 96,500 (Coul/g 当量)

ρ : 被加工物の密度 (gr/cm^3)

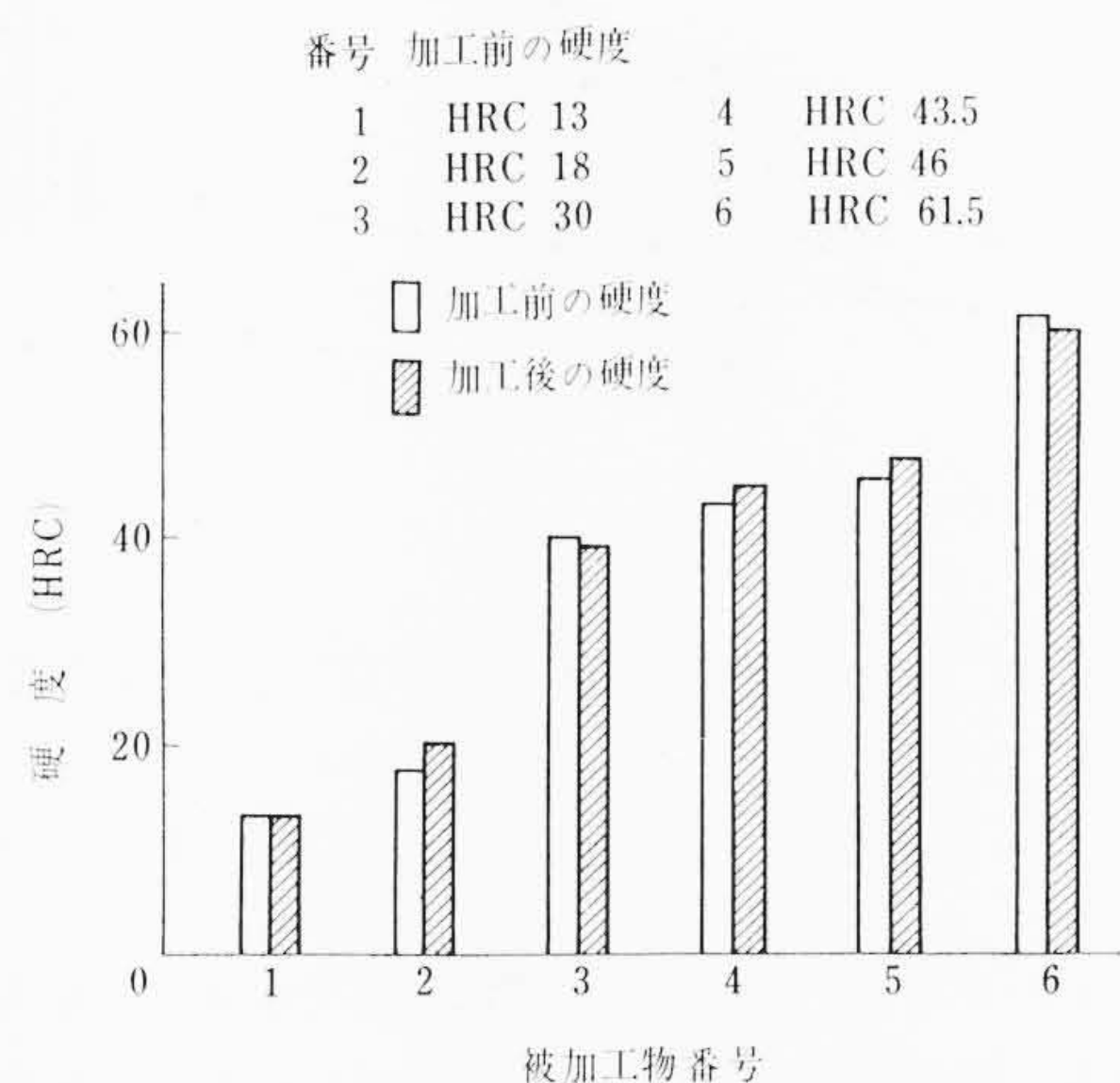
第10図に示す実験結果は $J=150(\text{A}/\text{cm}^2)$ 程度から η_i が減少し比例しなくなる傾向を示している。

6.4 材質と加工速度

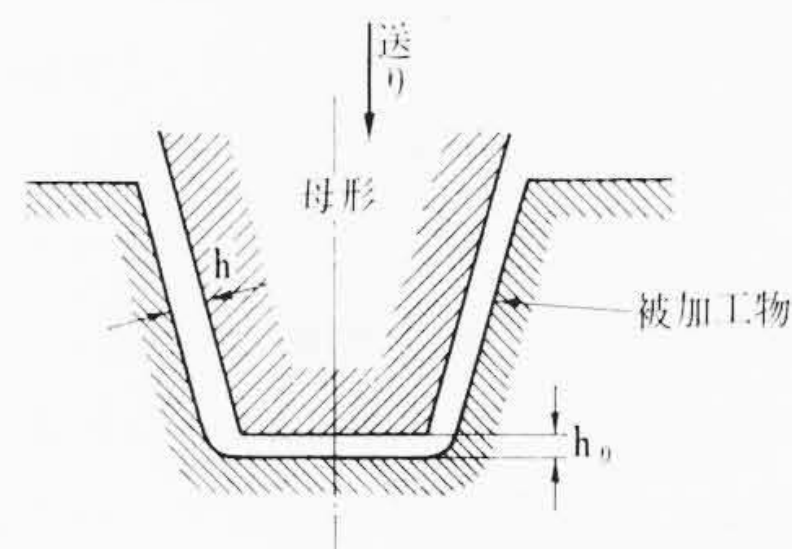
材質と加工速度の関係は材質が非鉄金属の場合については多くの文献に発表されているので省略する。第11図は一般に使用されている炭素鋼、特殊鋼に対して 10% NaCl 溶液中で電流密度 40 A/cm^2 のときの加工速度の差異を示すものである。炭素鋼、特殊鋼に対する加工速度はあまり差がないことがわかる。ただし鋳鉄は遊離カーボンのため NaCl 溶液では加工できない。また超硬金属を加工する場合には特殊な電解液を選定しなければならない。

6.5 硬度と加工速度

従来の機械加工では焼入れを行なった硬度の高い被加工物を加工することは困難であったが、電解加工によれば、原理的には硬度に無関係な加工速度が得られる。第12図は高炭素クロム軸受鋼



第13図 加工前後の硬度変化



第14図 加工精度説明図

(SUJ-2) を硬度 HRC 13 から HRC 61.5 まで焼入した試料で、硬度と加工速度の関係を調べた実験結果である。第12図より加工速度は硬度によって差のないことがわかる。第13図は同試料に対し、加工前後の硬度を比較したものであるが、これからわかるように加工前後の硬度変化はほとんどないといえる。

6.6 加工精度

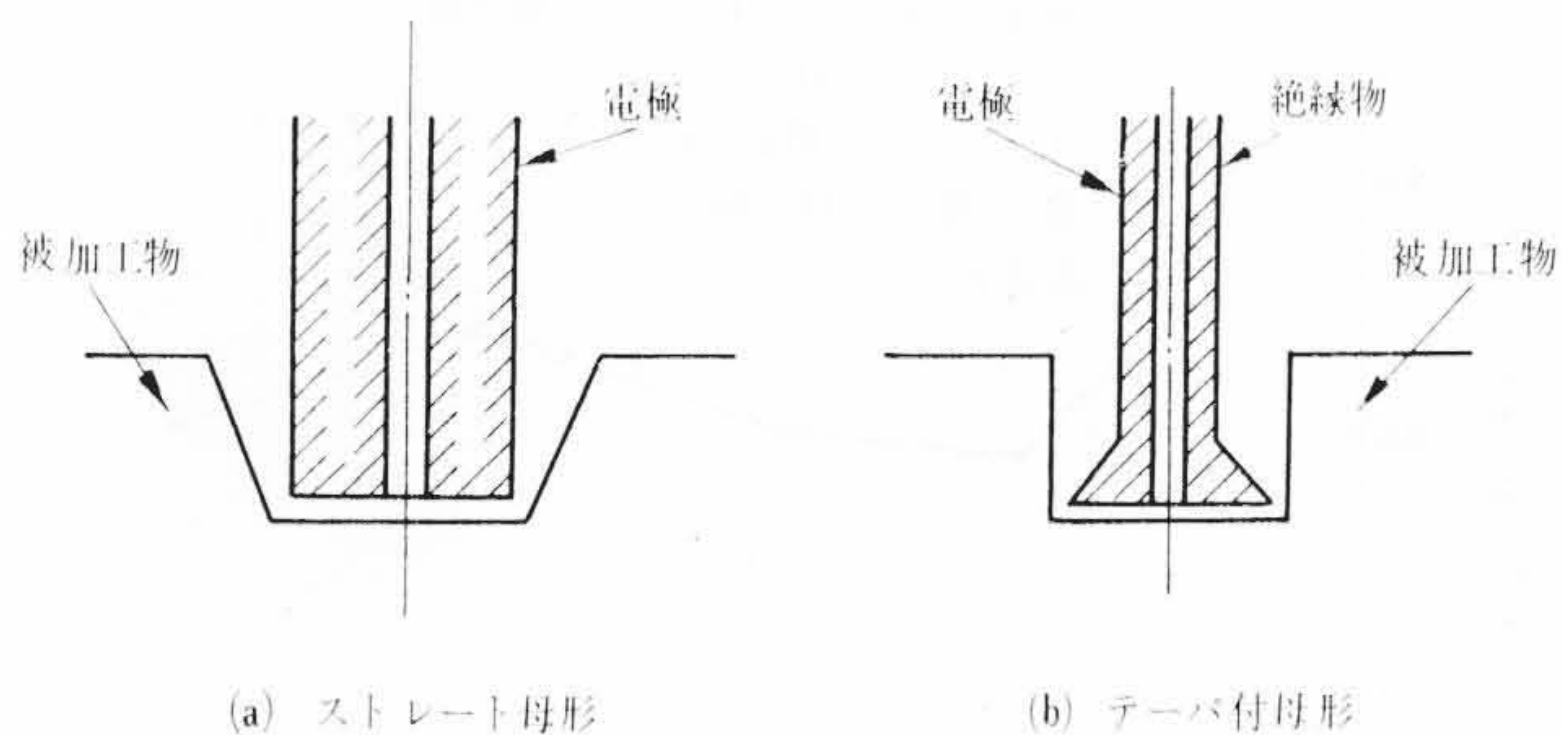
次に加工精度について述べるが、一般に電解加工において母形と被加工物間に生成される間げきは、加工条件はもちろん母形の形状によって部分的に異なるものである。第14図の例では $h > h_0$ となる。特に第15図(a)に示すような丸穴加工では、 h は加工深さによって変化する。よって加工された穴はテーパとなる。このように電解加工では間げきは様にならないので、加工精度の表現法は人によって違っている。われわれとしてはこの不明確さを避けるため、次の表現法を使用している。

(1) 転写精度

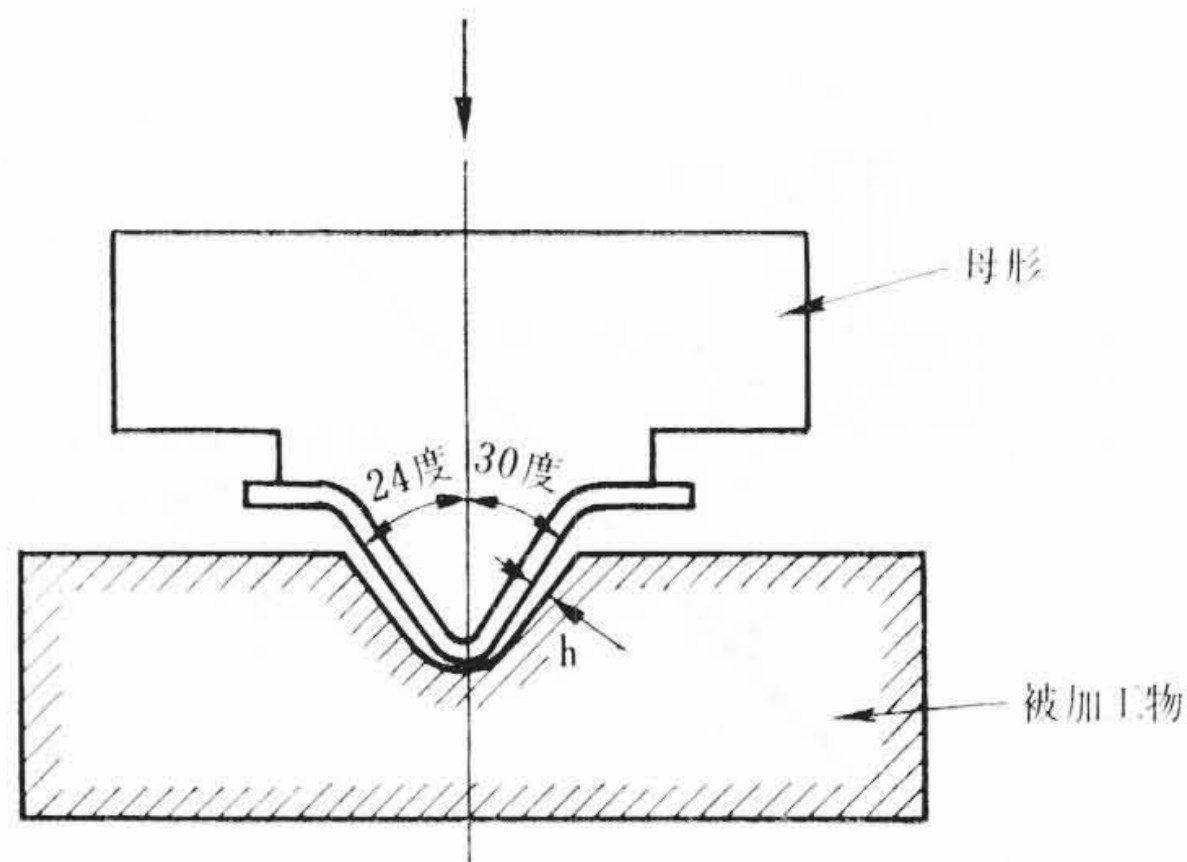
(2) 加工精度

(3) 繰返し精度

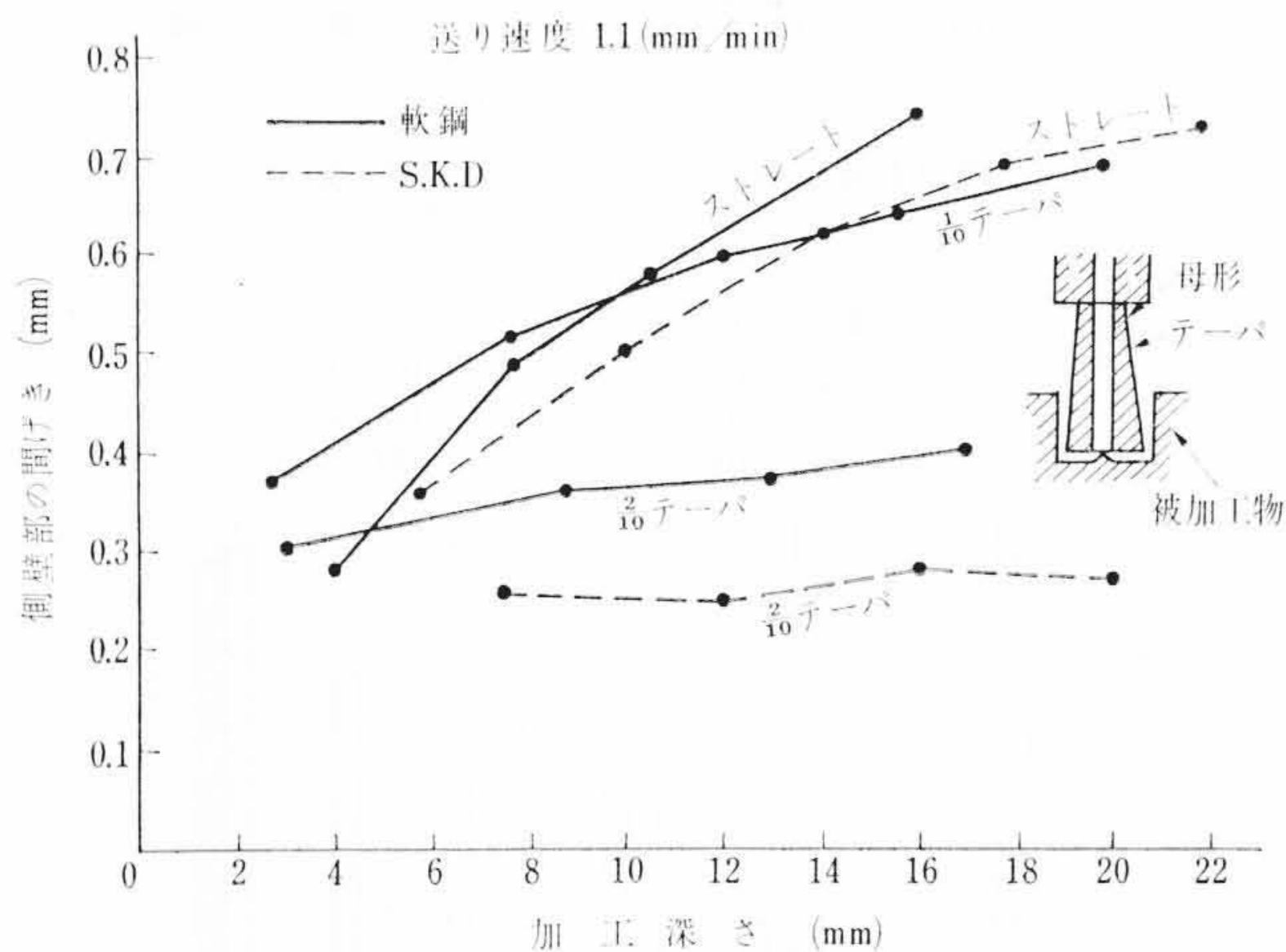
転写精度とは母形と被加工物とを比較した場合の母形からの拡大



第15図 丸穴加工の母形状と被加工物の加工形状



第17図 形 彫 り



第16図 丸穴加工の間げきとテーパ〔文献(13)から引用〕

量を言うものである。このときは第15図で示す h の最大値が転写精度となる。加工精度は与えられた図面寸法に対する被加工物の寸法の増減をいう。この場合には母形の形状は第15図(b)のように修正されている場合もある。繰返し精度は同じ加工条件での被加工物形状の再現性をいう。以上の精度について実験結果を上げて具体的に説明する。第16図は丸穴加工の例である。同図より図面寸法と同一のストレートの母形の場合は大きなテーパがつき、15mmの加工深さで転写精度は0.65~0.73mmである。このとき加工精度は同じ値となる。この場合加工精度をあげるためあらかじめ母形底部の径を0.25~0.35mm小さくし、2/10のテーパを母形につけ加工すれば、転写精度は0.25~0.35程度となり、加工精度はさらによいものとなる。

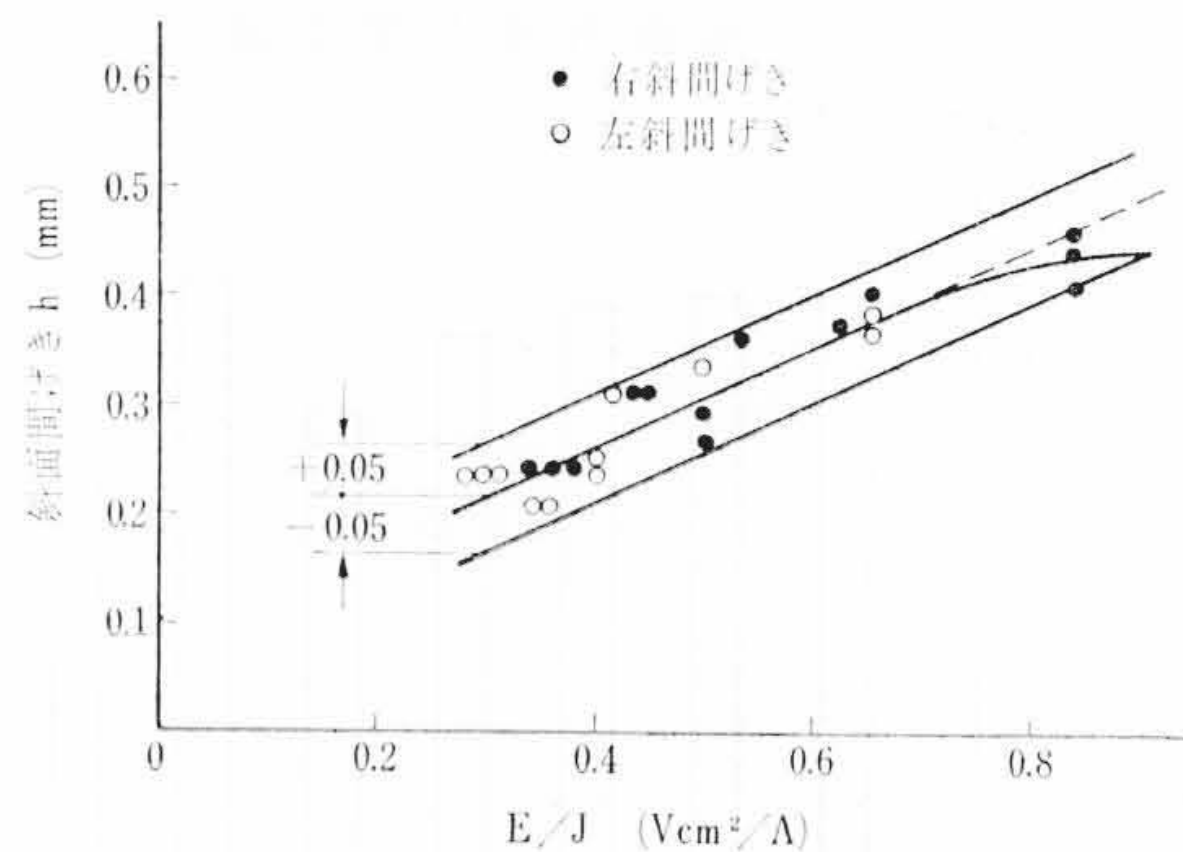
形彫の例として、第17図に示すような形状の母形で実験した結果を次に述べる。左右の斜面間げきと電極間電圧 E と電流密度 J との比の関係は第18図で示される。この場合斜面の角度が24度および30度であるが、斜面に沿った間げき h はほとんど一定であった。同図より得られた最上の転写精度は0.23mm程度であることがわかる。また加工精度は同じく0.23mmである。さらにこの結果を用いて、母形を修正した実験によれば加工精度は0.15mm以内とすることができる。また第18図より E/J を一定にしたときの間げき h のバラツキは ± 0.05 mm以内であるから、この場合繰返し精度は ± 0.05 以内である。一方この結果を理論値と比較してみる。電流密度 J と電極間電圧 E と間げき h との関係はオームの法則により(6)式となる。

$$J = \frac{KE}{h} \quad \dots\dots\dots (6)$$

あるいは

$$h = \frac{KE}{J}$$

ここに、 K : 電解液の導電度



第18図 電圧、電流密度と間げき

(6)式より間げきは E/J に比例することがわかる。 J は(5)式において、

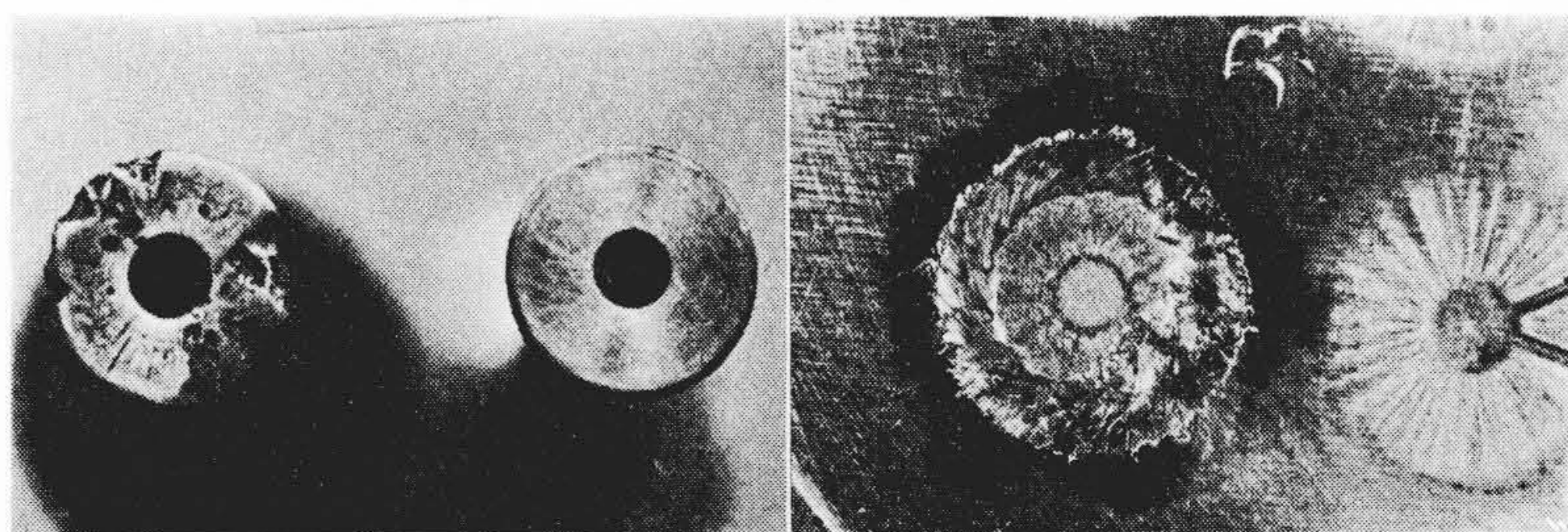
$$\eta_i = 0.8, M = 55.85(\text{g}), K = 0.047 \text{ 1}/\Omega$$

$$n = 2, F = 96,500(\text{Coul/g 当量}), \rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$$

として求めることができるが、これを(6)式に代入した計算結果は第18図の点線のようにになる。よって電解加工では加工精度を上げるには、母形を前もって修正しておけばよく、それは理論的に可能である前述の結果を利用した修正母形で加工した例が後述7.の第32図に示されている。

6.7 放電と短絡

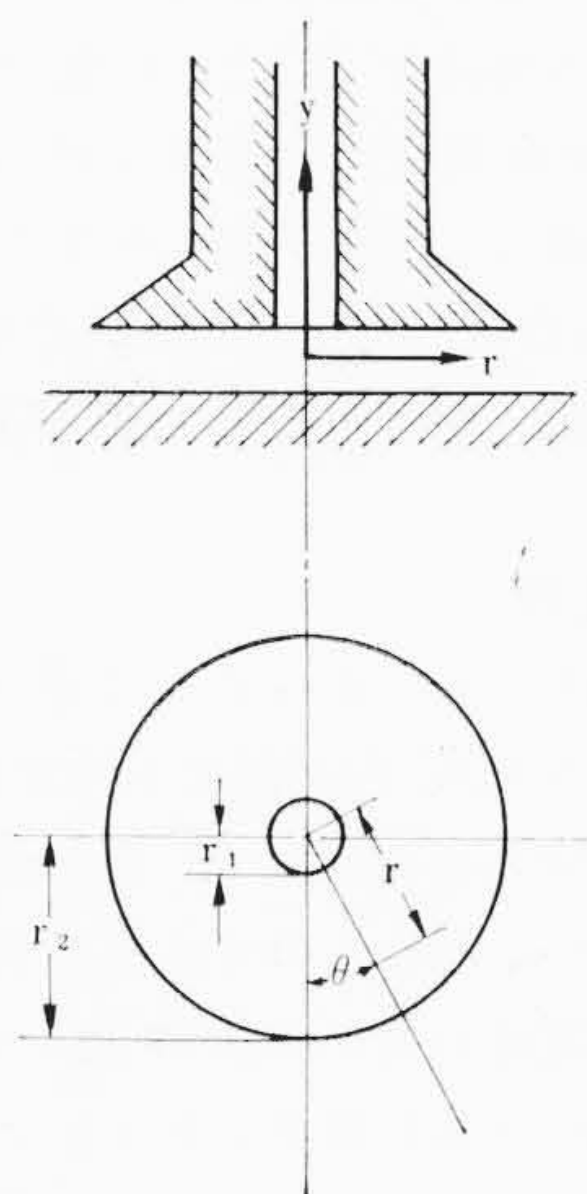
電解加工を行なう場合遭遇する現象で重要なものは、母形と被加工物間で生じる放電および短絡現象である。この現象は母形および被加工物を損傷し、それによって加工精度を劣下させ、あるいは加工不可能な状態になる。放電は電極間電圧が20V以上で生じるが、電極間電圧の常用値は20V以下であるからほとんど発生しない。第19図に短絡時の母形と放電時の被加工物の面を示す。短絡は母形と被加工物の微小間げきに導電性物質がはいったとき、母形の送りが不当に速い場合、および電解液が均一に流れないで未加工部分が被加工物表面に生ずるときなどに発生する。第一の原因の対策には電解液のろ過を十分にすればよいし、第二の原因の対策には適当な送りを与えればよいが、第三の原因の対策はむずかしい問題であり種



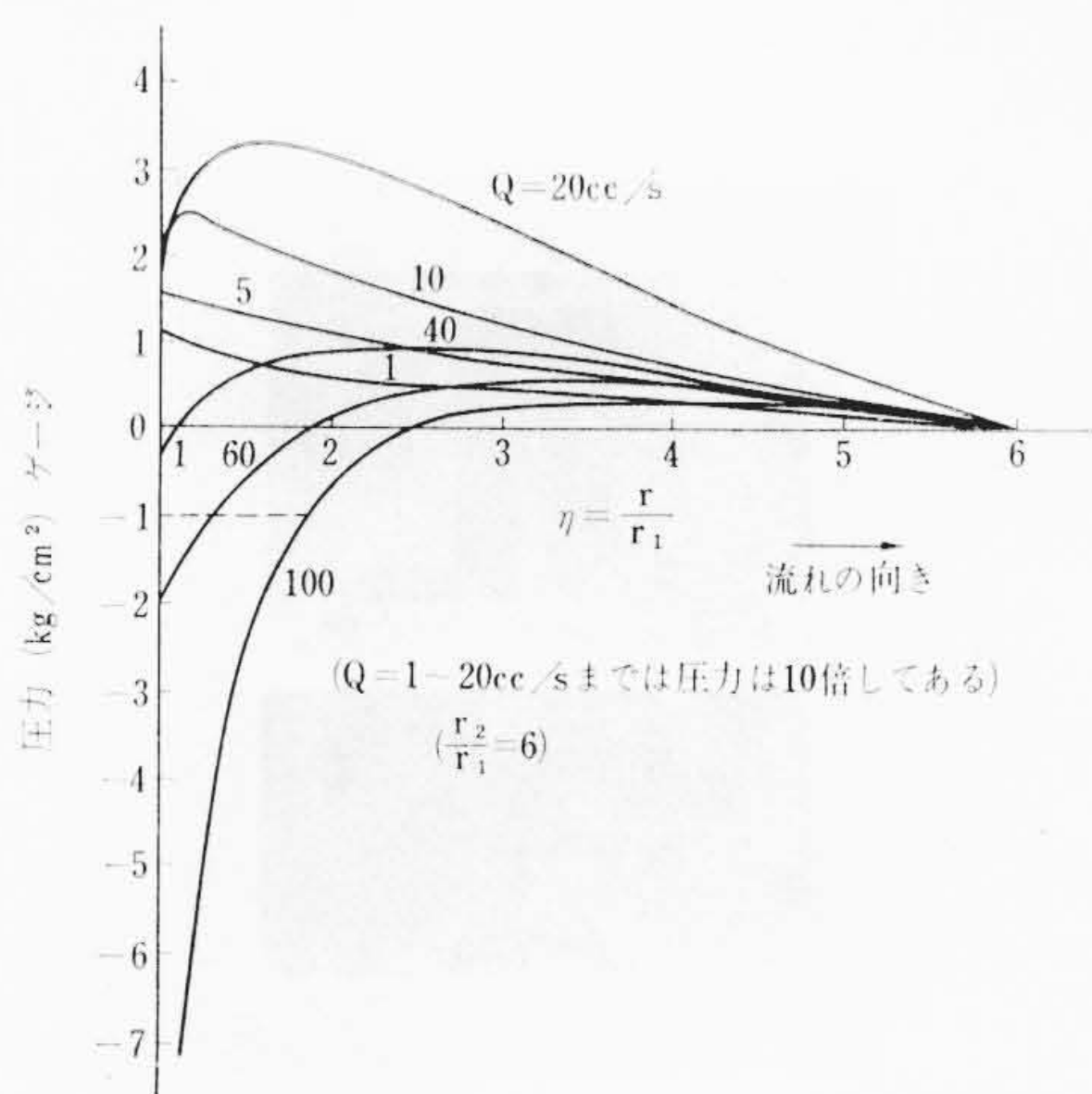
(a) 左: 短絡時の母形面 右: 正常な母形面

(b) 放電時の被加工物面

第19図 放電、短絡時の電極と被加工面



第20図 丸穴加工の流れの説明



第21図 丸穴加工時の圧力分布（理論値）

々の方法が考えられている。詳細は6.8で述べる。

6.8 電解液の流れとうねり

6.7で述べたように、電解液不均一な流れは短絡発生の原因となり、またそれほど発展しなくとも加工面に流れの痕跡(こんせき)、すなわちうねりを発生し精度を著しく低下させる。不均一な流れの発生原因としては流れそのものの現象であるキャビテーション、剥離(はくり)、よどみが考えられる。電解加工ではこれらの現象が発生しないように母形吐出口の形状および位置が設計され、かつ電解液の流動方式が考えられねばならない。たとえば第15図に示される丸穴加工の場合について述べる。第20図で示すように座標系をとると、この場合の圧力分布は(8)式で示される。

$$p = H - \frac{\rho Q^2}{8\pi^2 h^2 r_1^2} \cdot \left(\frac{r_1}{r}\right)^2 - \frac{6\mu Q}{\pi h^3} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_1}\right) \dots\dots (8)$$

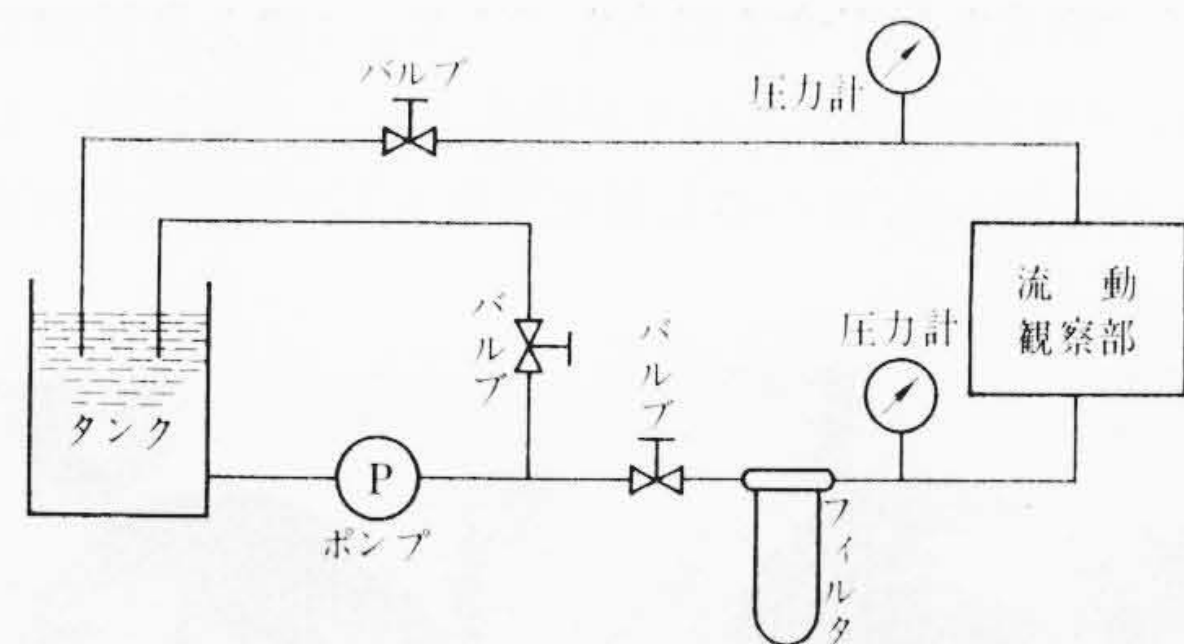
ここで、 h ：間 げ き (mm)

Q ：流 量 (cc/s)

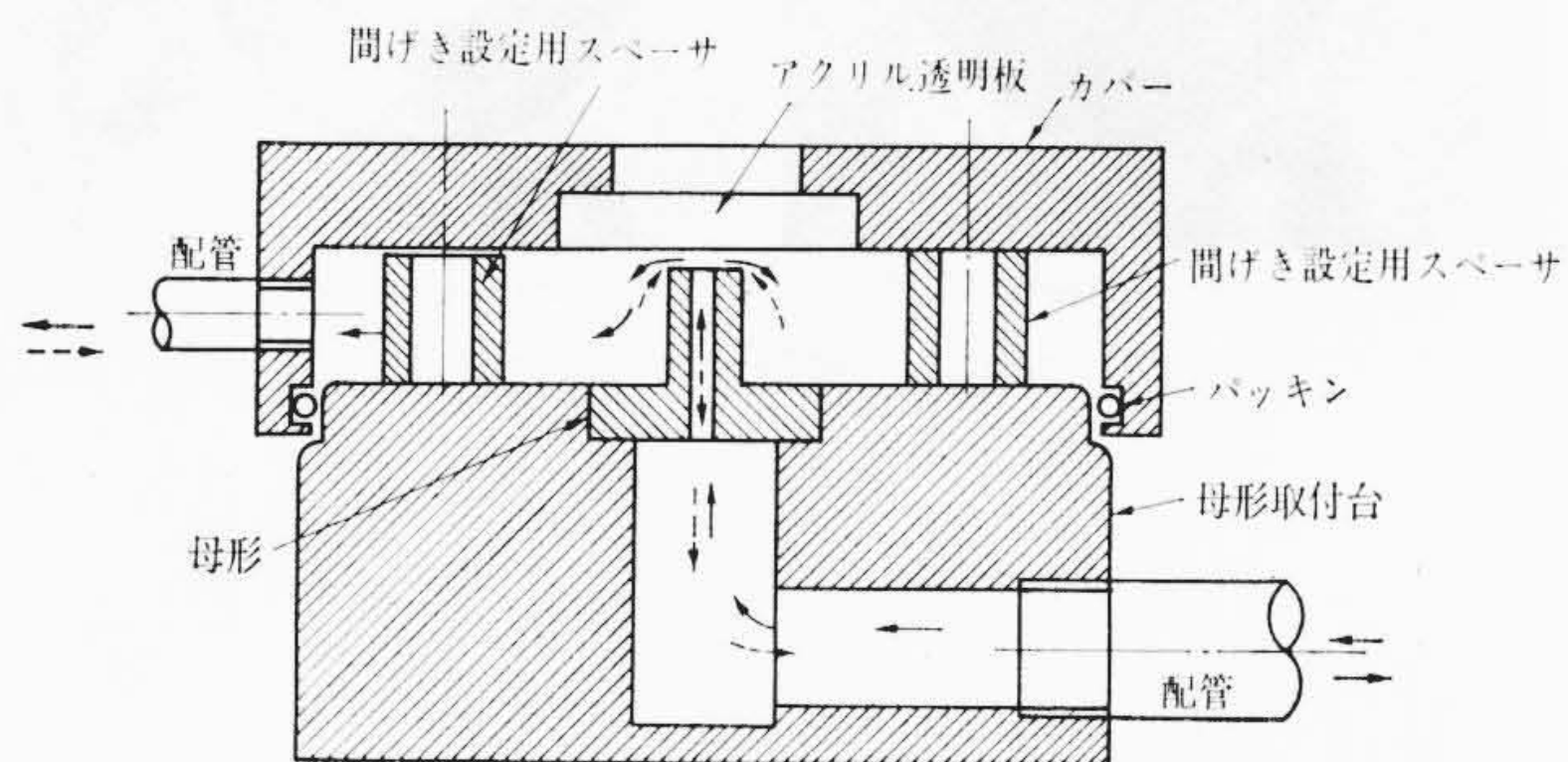
H ：供 給 圧 力 (kg/cm²)

p ：任意の点 r の圧力 (kg/cm²)

(8)式に $h=0.1$ mm, $r_1=1$ mmを代入したときの圧力分布が第21図に示されている。同図より流量 Q が大であると圧力 p は数気圧の負圧になるが、実際には -1 kg/cm²以下にはなり得ず、圧力がその温度における電解液の飽和蒸気圧以下となればキャビテーションが発生する。第22図に示す観察装置で観察した流れの様子と実際に加工したとき被加工物面に生ずる流れの痕跡の写真が第23図に示されている。このようにキャビテーションは加工面に流れの痕

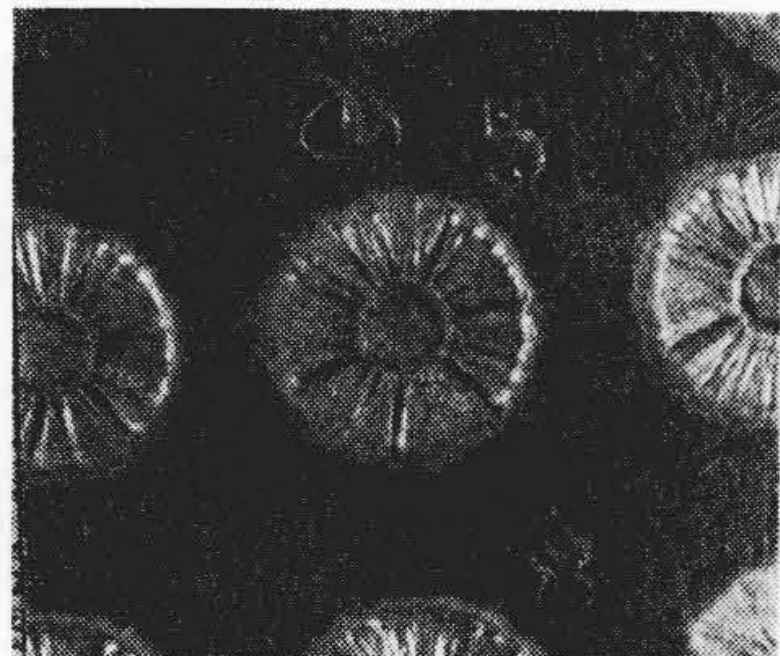
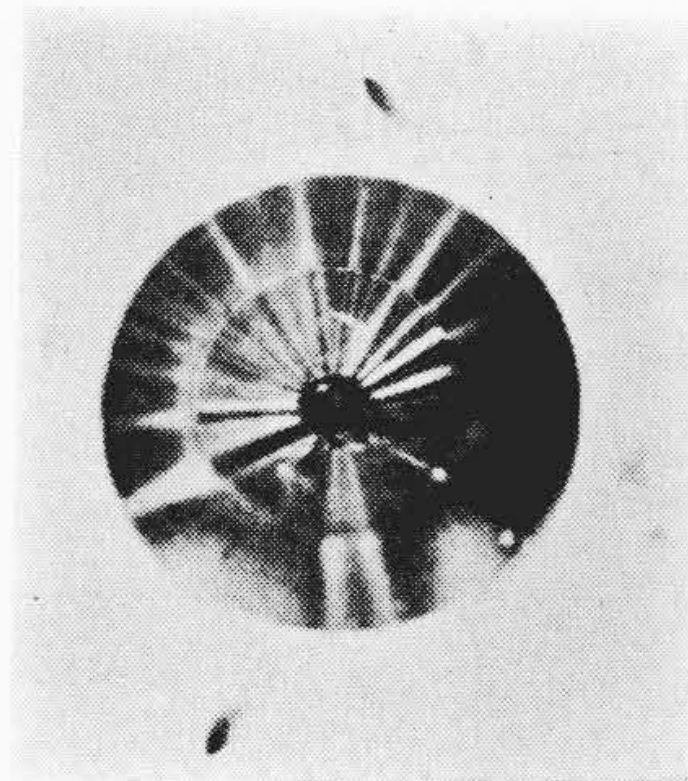


(a) 実験装置配置図



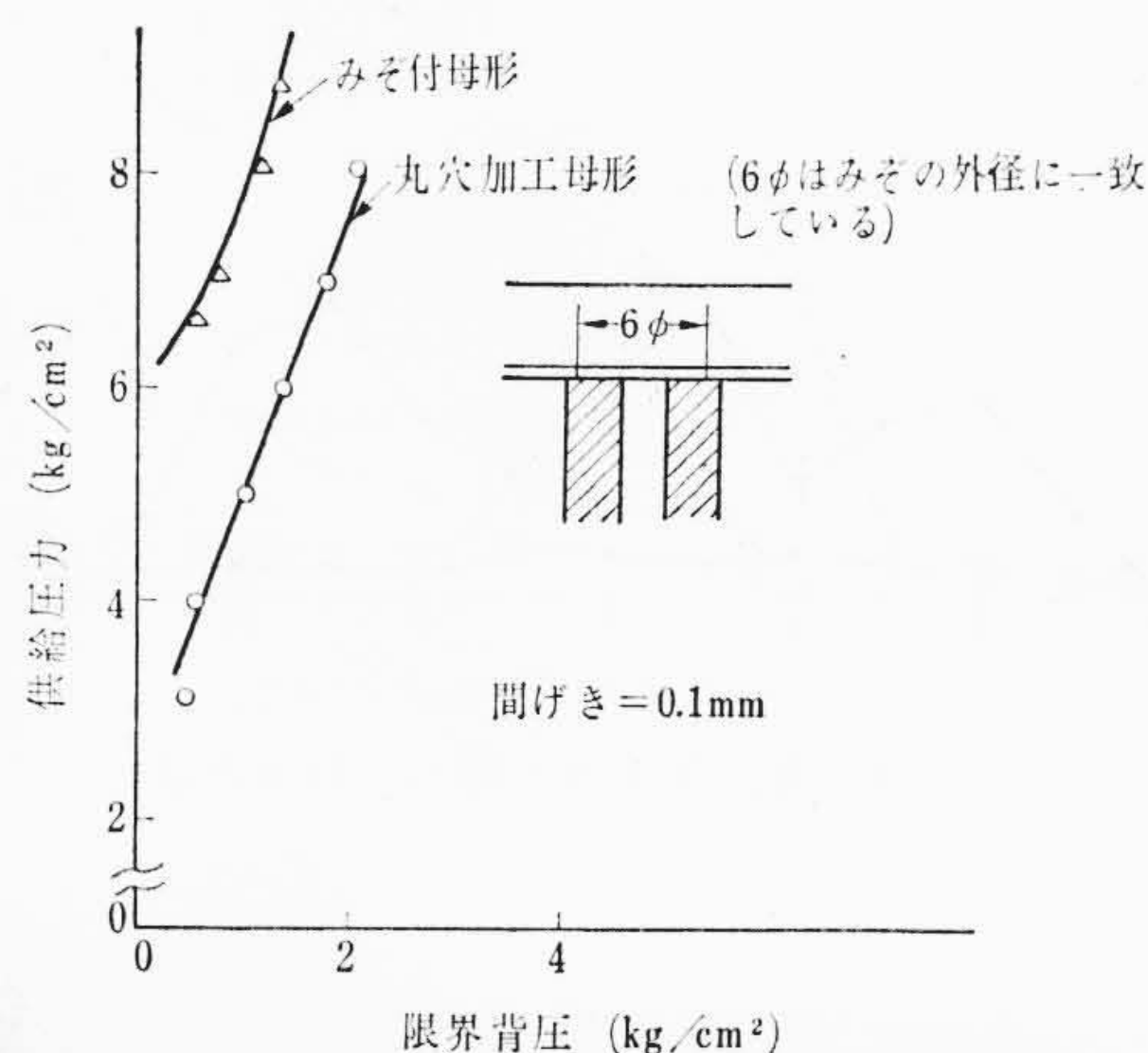
(b) 流れ観察装置

第22図 流れの観察装置



(a) キャビテーション発生時の流れ (b) キャビテーション発生時の加工面

第23図 キャビテーションと被加工物面

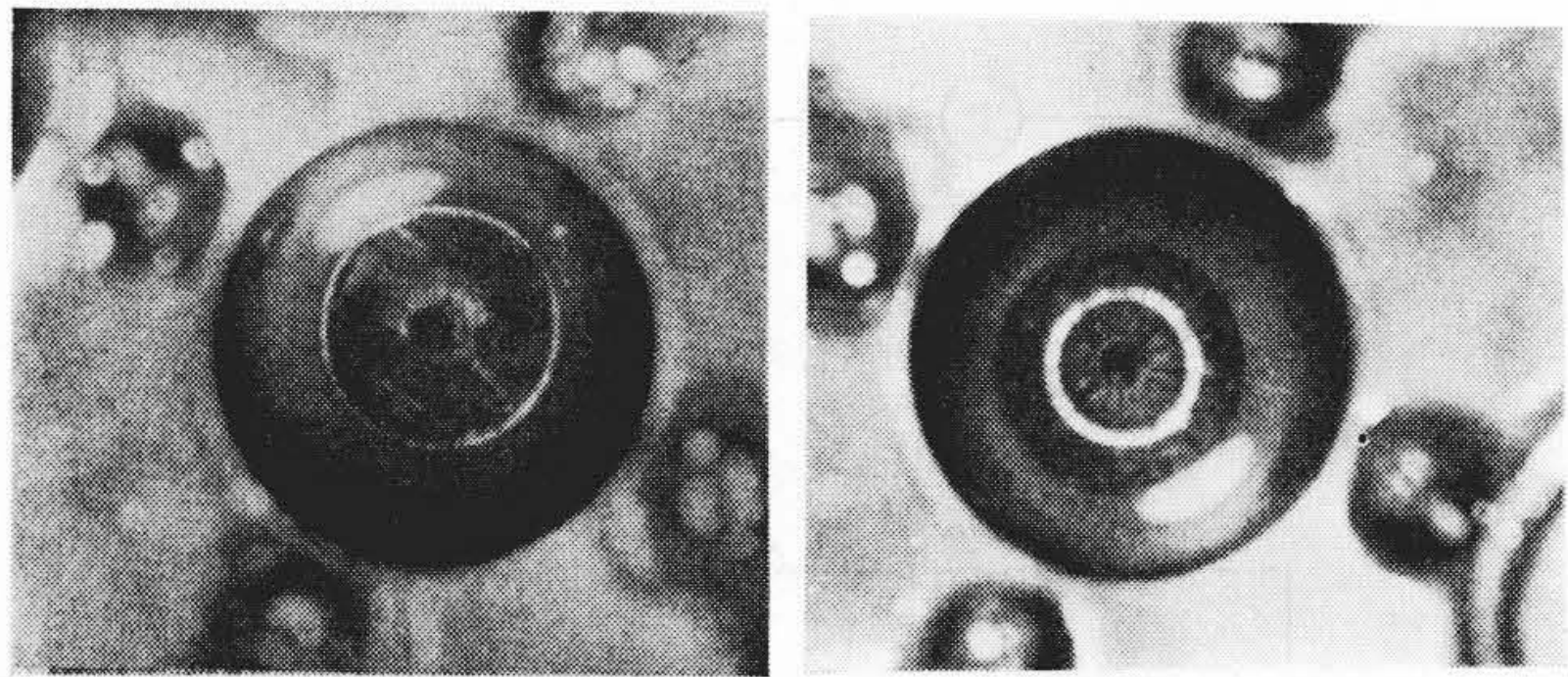


(みぞを設けた母形と、設けない母形との比較実験結果)

第24図 キャビテーションと背圧の関係

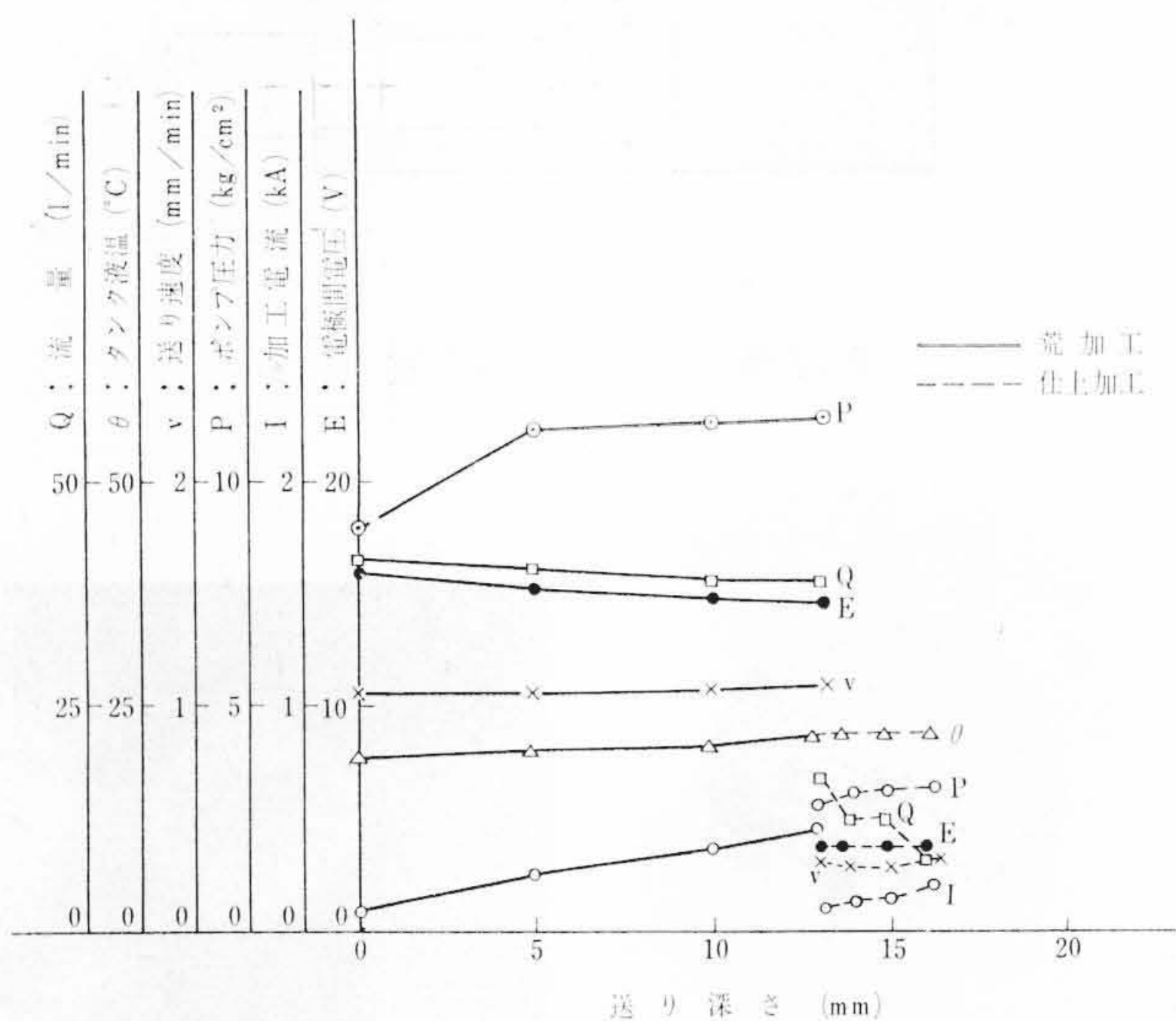
跡を生じさせ、その結果加工精度を劣下させ、短絡を発生させる。この対策として背圧をかける方法(背圧法)、液を逆に流す方法(逆流法)、および母形底面に補助スリットを設ける方法(補助スリット法)などが考えられた。第24図は前述の方法において供給圧力とキャビテーションを生じない最低背圧の関係を示している。第25図は背圧法、補助スリット法の流れの状態を示す。他の例として第

17図に示す形状を加工する場合を考える。このとき被加工物の加工面には流れの痕跡であるうねりが発生する。この対策として前述の方法は有効であるが、ほかの有効な方法として荒、仕上加工法が考

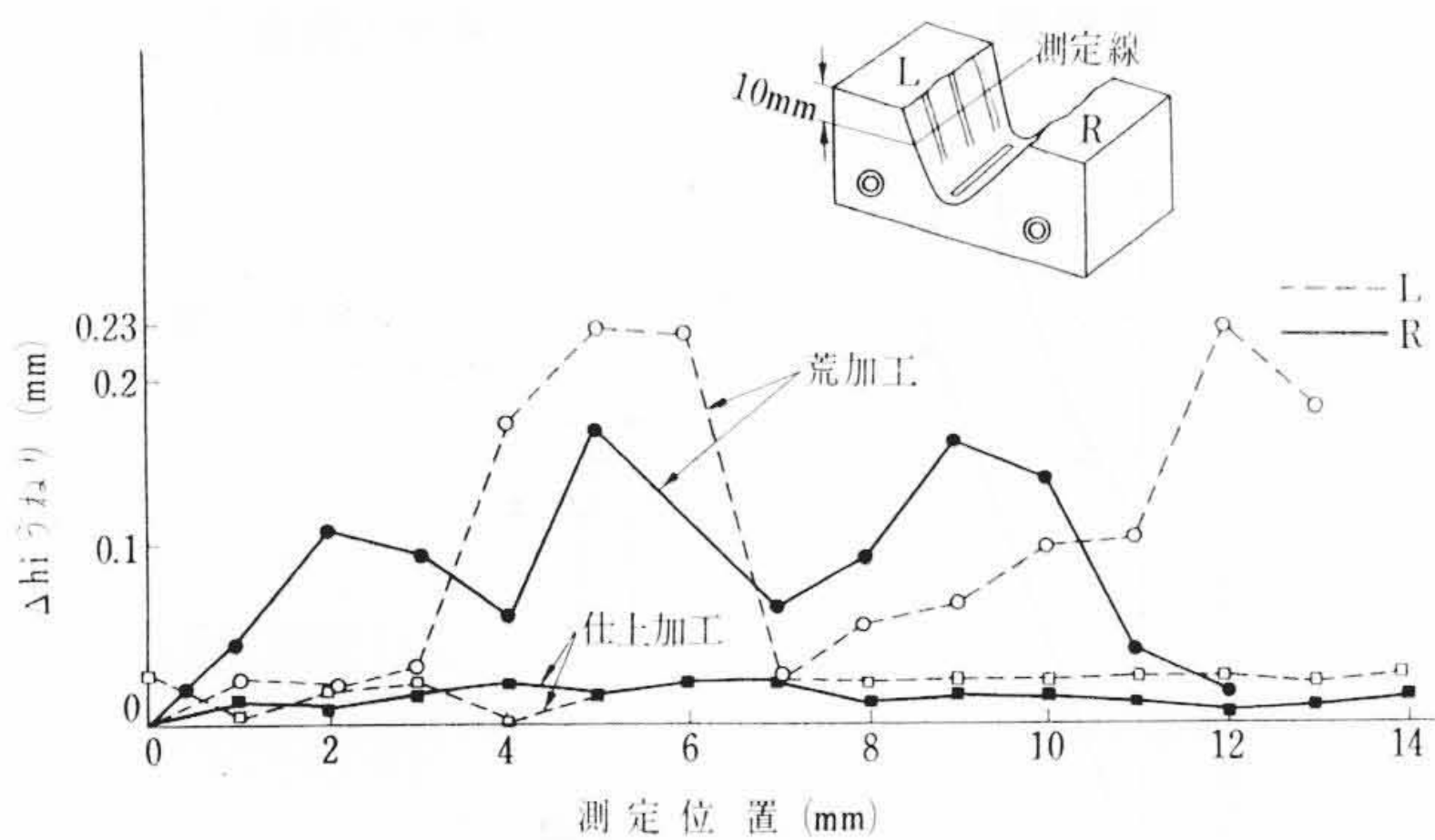


(a) 背圧法による流れの状態 (b) 補助スリット法による流れの状態

第25図 背圧法、補助スリット法による流れ



第26図 荒、仕上加工法の加工状態

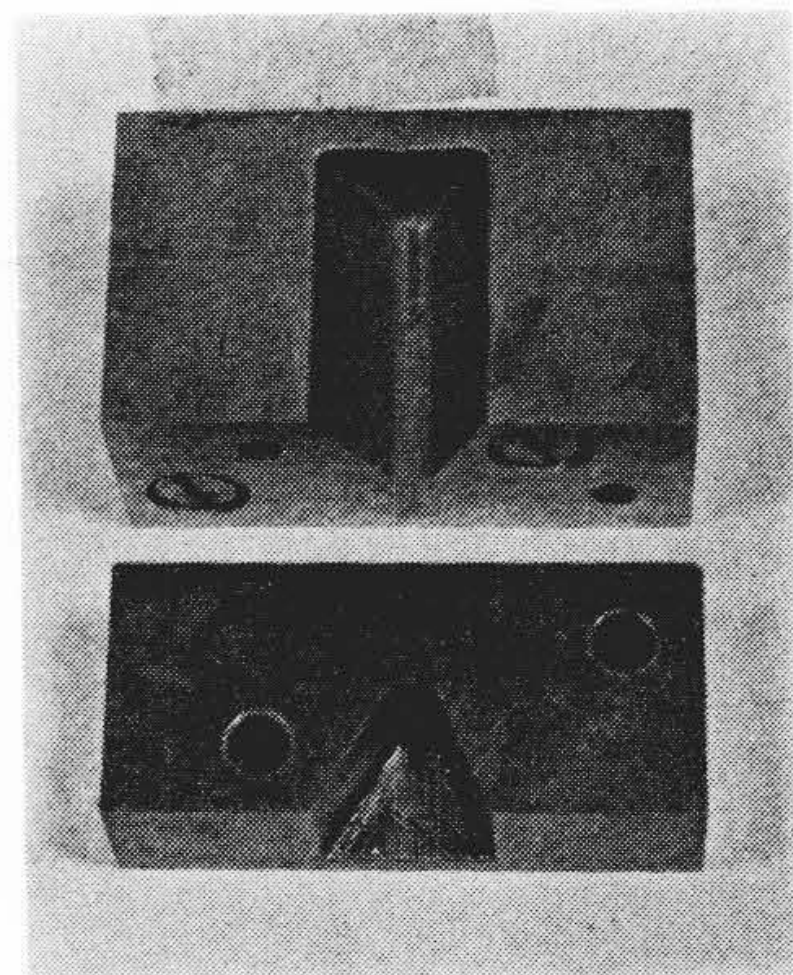


第27図 荒、仕上加工時のうねりの高さ

られた。これは加工全深さの数 mm 手前まで電圧、供給圧力を従来一般に用いられている短絡を生じない程度の加工条件で加工し（このとき加工面に 0.2 mm 程度の高さのうねりが生じている）、加工終期に電圧、圧力を低くして仕上加工をする（このときうねりの高さは 0.02 mm 程度になる）方法である。その加工状態を第26図に示す。またうねりの高さの測定結果を第27図に、仕上加工面を第28図に示す。

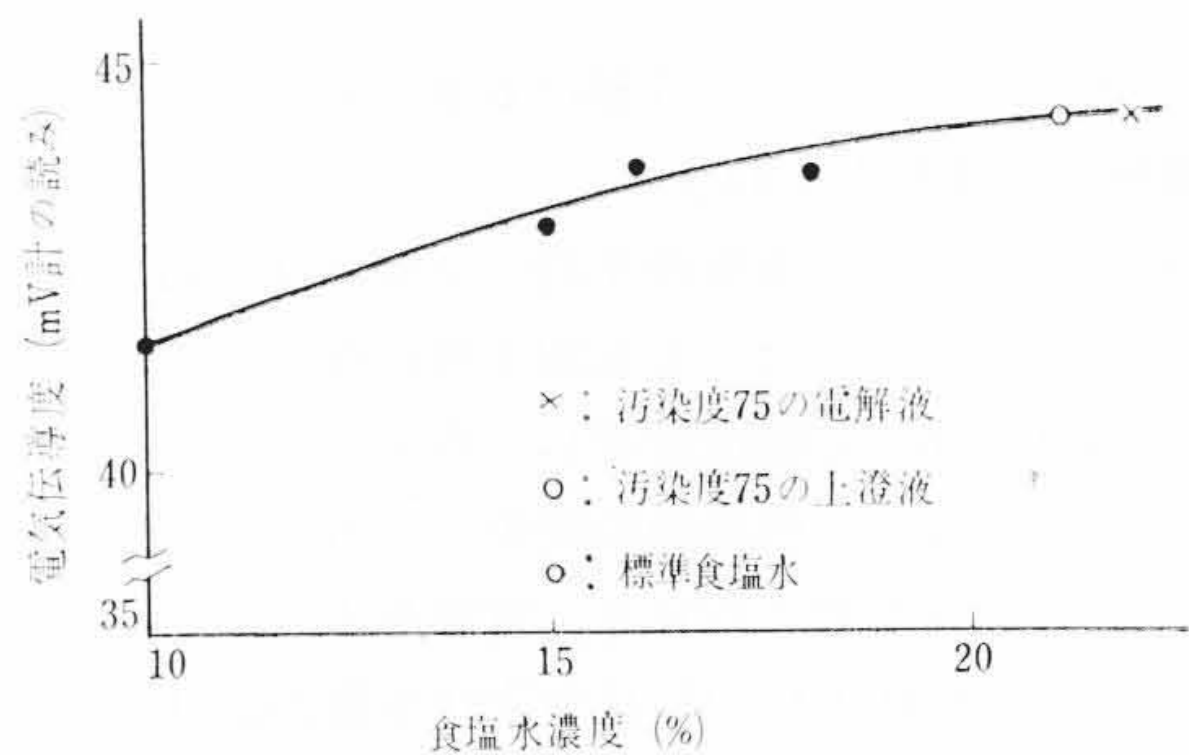
6.9 電解液の処理

電解液の濃度は加工するに従って3.で述べたように H_2O が減少し、かつ周囲温度より $50^\circ C$ 程度温度上昇する。よって濃度を一定に保つため水を補給する必要がある。また電解液は加工時に生成する沈殿物のためしだいに汚れるので、沈殿物を分離する必要がある。沈殿物による導電度の変化は第29図に示すように小さいから、粘性の変化と加工面に付着し短絡を発生しないようにする処理が必要である。処理方法としては、沈降法、連続シクナ、液体サイクロン、フィルタ、遠心分離機などが使用されているがまだその優劣は明確になっていない。



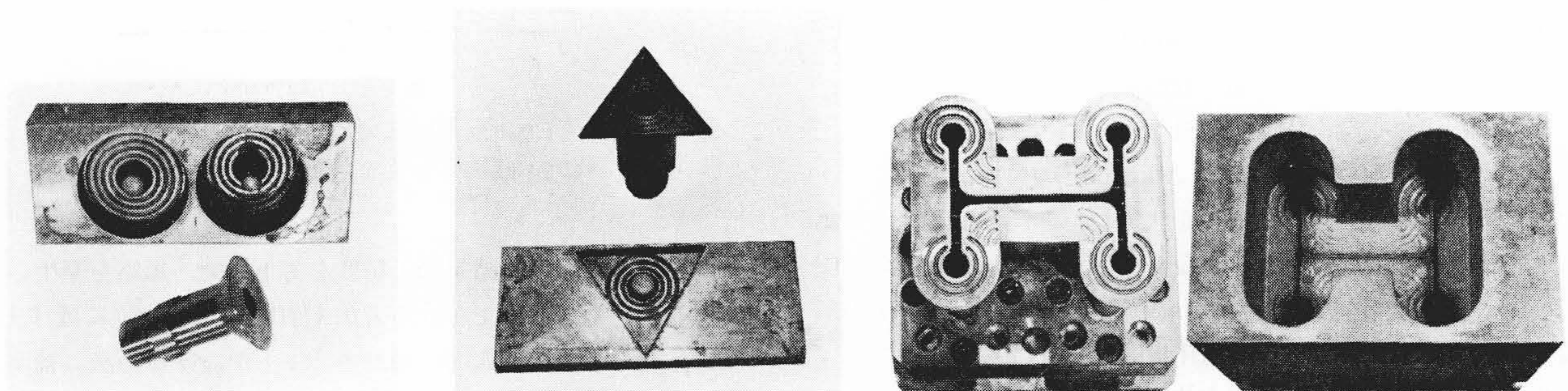
材質: S45C

第28図 荒、仕上加工法の加工面



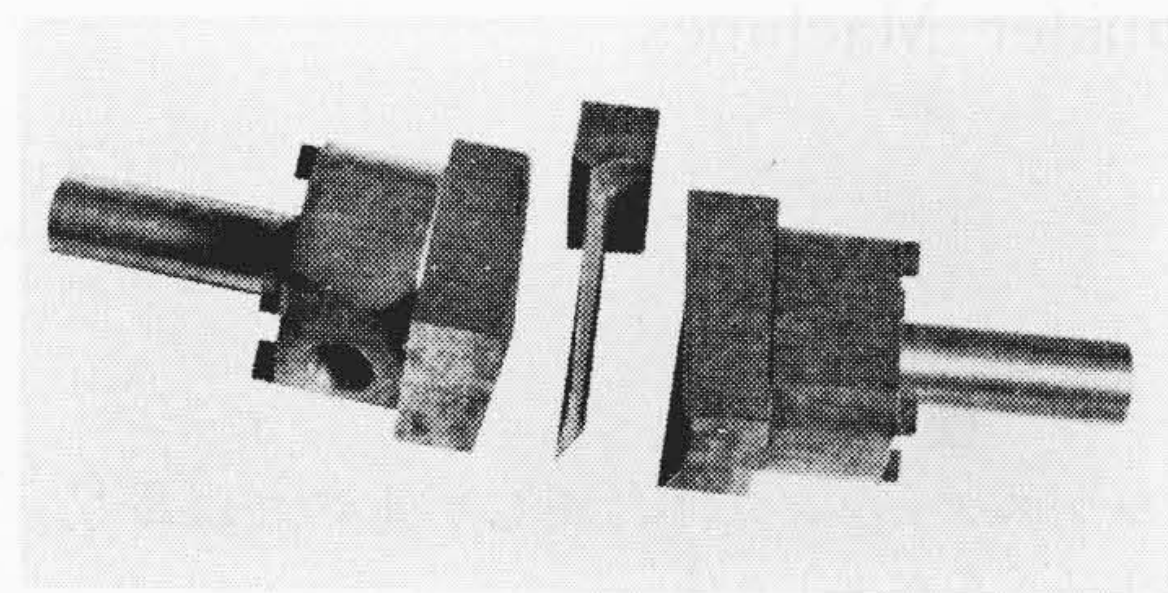
ただし、汚染度: 汚液を100ccのメスシリンダにとり、無限大時間静止したときの沈殿相の占める容積(cc数)
常用の電解液の汚染度は5以下程度である。

第29図 電解液の電気伝導度

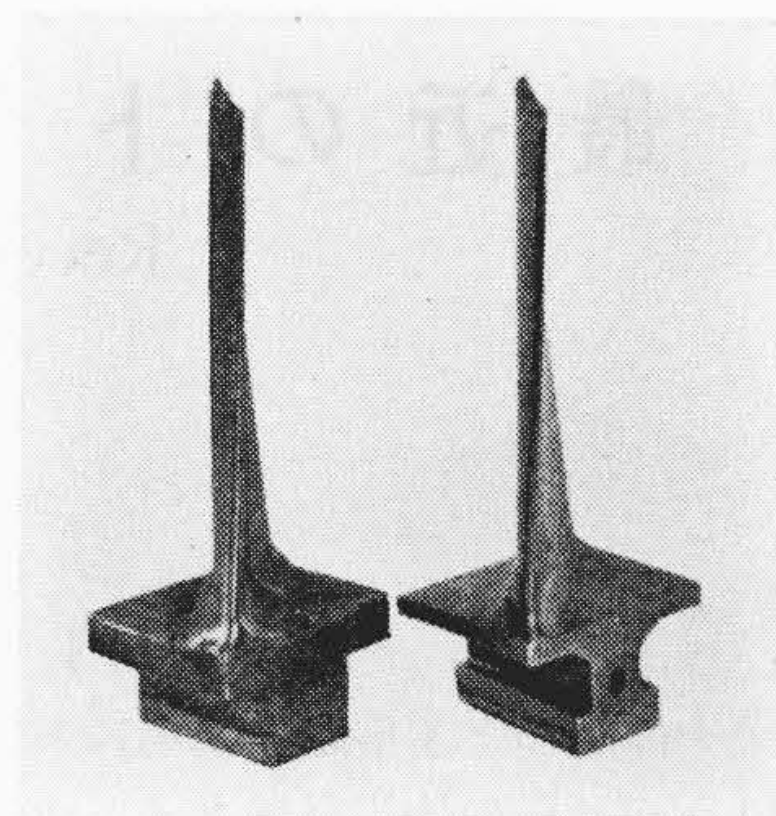


(a) 丸穴加工の母形(材質BS)と被加工物(材質S45C) (b) 三角穴加工の母形(材質CU)と被加工物(S45C) (c) ノックアウト穴バー溝の母形(材質BS)と被加工物(材質S45C)加工深さ60mm

第30図 2次元抜穴の加工例

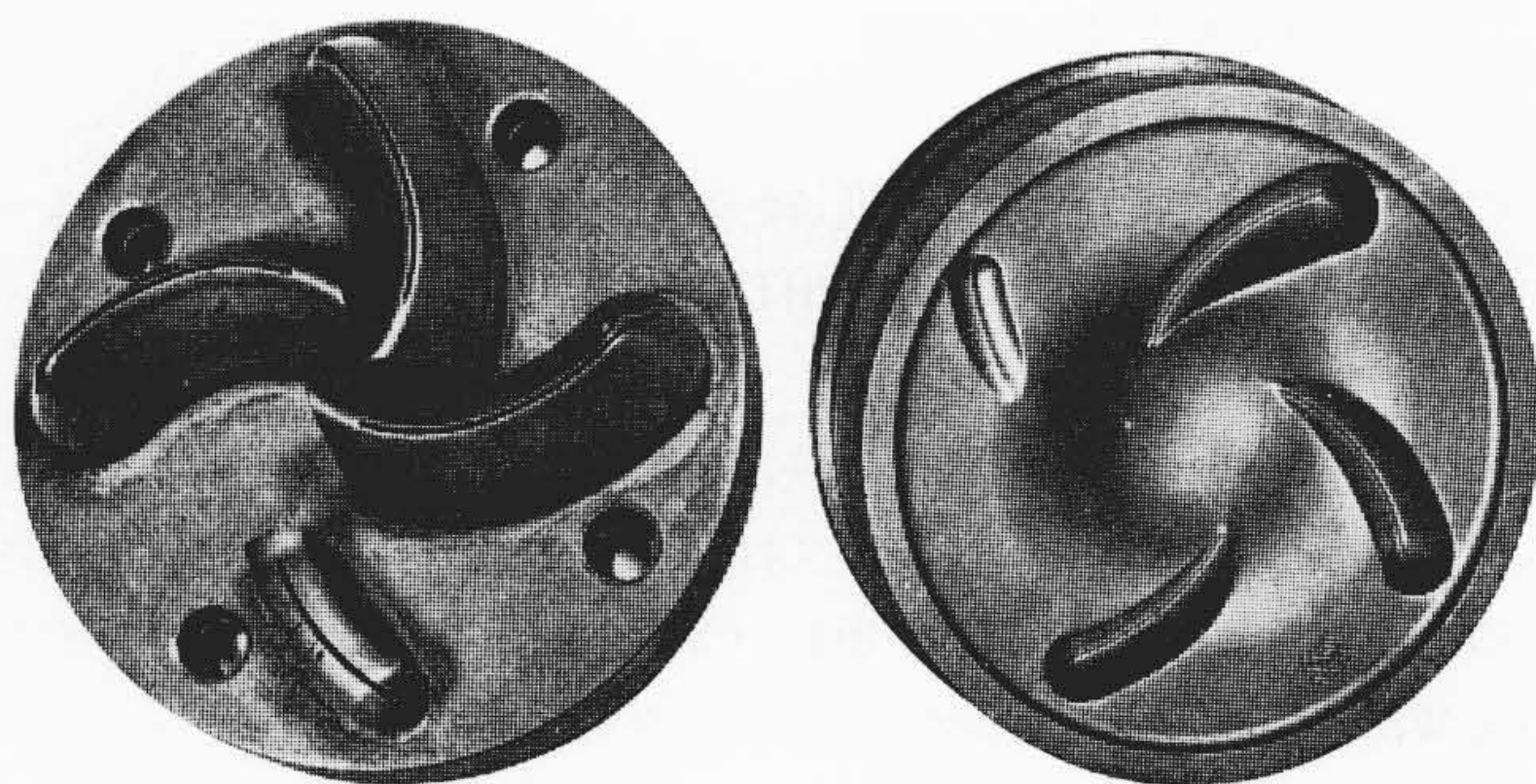


(a) 左：背部母形 右：腹部母形 中央：被加工物
母形材質 SUS22 被加工物材質 SUS27 加工深さ 2mm



(b) 左：電解加工による動翼
右：従来の機械加工による動翼

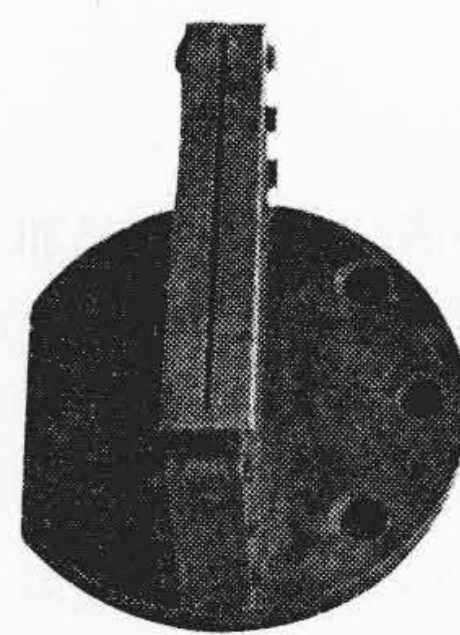
第31図 軸流圧縮機動翼加の母形と被加工物



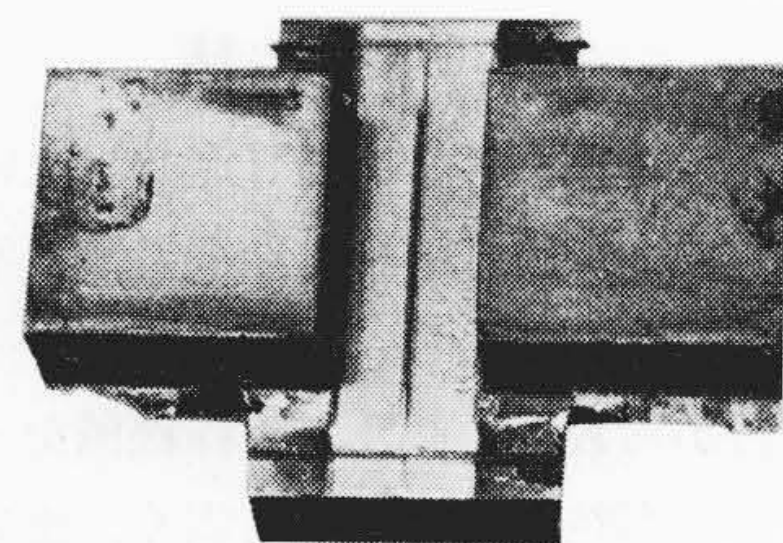
(a) 母形 材質 BS

(b) 被加工物 材質 DAC
加工深さ 20mm

第32図 電気洗濯機モールド型加工の母形と電極



(a) 母形 材質 CU



(b) 被加工物材質ステライト
加工深さ 約40mm

第33図 難切削材の荒加工

7. 加 工 例

以上のような特性を有する電解加工の加工例を次にかかげる。第30図は2次元抜穴の例である。この場合は補助スリット法を適用している。第31図は軸流圧縮機の動翼で加工精度は翼の腹、背部で $\pm 0.1\text{mm}$ 面あらさは 14.8μ 以下であった。第32図は3次元形彫の例で、電気洗濯機のバルセータモールド型であり図面寸法に対し $\pm 0.15\text{mm}$ の精度が得られた。第33図は難切削材の荒加工の例であり、材質はステライトである。このように複雑な形状、難切削な材質の被加工物が非常に速い時間で加工できることがわかる。

8. 経 済 性

本加工法と従来の加工法による純加工時間を第31～33図の加工例について比較すると、第3表のようになる。これら加工時間の比率は $1/6 \sim 1/39$ になっており、加工能率は向上することがわかる。

9. 結 言

以上電解加工法全般にわたって述べたが、本加工法は今後急速に発展するものと考えられるので、さらに細部にわたって詳細に研究して行くつもりである。またこの加工法は利用面、具体的な加工技術をさらに開発する必要があり、需要者が現実の製品加工に積極的に応用して問題点の抽出とその改善に協力されることを切望する。

終わりにのぞみ本加工法の開発にあたり常にご指導いただいた日立製作所機械事業部、中央研究所、川崎工場、その他関係事業所の各位に厚くお礼申し上げる。

第3表 従来の加工法と電解加工による加工時間の比較

加工例	加工時間 (分)	従来の加工法 (min)	電解加工法 (min)	備 考
ノックアウト穴バー溝		360	30	第30図
軸流圧縮機動翼		24	4	第31図
洗濯機モールド型		1,300	38	第32図
難切削材 ステライト		切削不可能	247	第33図

参 考 文 献

- (1) Development in Electrolytic Machining of High-Temperature Machine Design (Aug. 1962)
- (2) Electrochemical Machining Unit Handles Varied Production, Iron Age (Nov. 1962)
- (3) Anocut 社カタログ
- (4) Electrochemical Machining Equipment Results from Cosperative Efforts of Thsee Orgnization Machinery (Sept. 1962)
- (5) Electrochemical Machining of Metals by Matachemical Processes Ltd., Aircraft Engineering (Feb. 1961)
- (6) Electroshaping, Aircraft Production (Mar. 1961)
- (7) Electrochemical Machining, Aircraft Production (Feb. 1961)
- (8) Barmax Fully-Autmatic Electro-Chemical Metal Forming, Machinery (Nov. 1962)
- (9) 前田ほか：電解加工法，三菱技報 No.9 (1962)
- (10) 前田ほか：電解加工機，三菱技報 No.3 (1963)
- (11) 前田ほか：電解加工法(第3報)極間流動状態について，三菱電機，1963年春季精機学会前刷
- (12) 前田ほか：電解加工法の研究(第2報)臨界間げきについて，三菱電機，1963年春季精機学会前刷
- (13) 伊藤ほか：電解加工法の研究(第1報)定速送りによる加工，機械試験所，1963年春季精機学会前刷
- (14) 井上：電解形彫り，第32回工経連講座前刷