

電解研削－N C 治具研削盤への応用－

Application of Electrochemical Grinding for NC Jig Grinder

高精度機械部品の研削加工に用いられる治具研削における研削能率の向上及び砥石寿命の増大を目的として、電解N C 治具研削盤を開発した。本稿は、この機械の原理、構成、研削特性などについて述べる。本研削法により、従来法に比較して研削能率は約3倍に、砥石寿命は約8倍に向上した。

鈴木靖夫* Suzuki Yasuo
君島文雄* Kimijima Fumio
古橋一尊** Furuhashi Kazutaka

1 緒 言

プレス型、各種治具など数ミクロンメートルオーダの高精度を必要とする機械部品の加工には、治具研削盤が重要な役割を果たしている。近年、高精度仕上用の各種研削盤に対して、よりいっそう高精度で、かつ高能率加工を目標とした、ソフトウェア、ハードウェアの両面から技術開発が行なわれている。

治具研削盤についても、複雑形状の輪郭研削を可能にした数値制御(以下、N Cと略す)治具研削盤が米国Moore社より製品化されたが、これもその一例である。

しかし、治具研削作業では、対象の加工材質が超硬合金、焼入鋼及び特殊鋼が主体であり、形状的にも複雑かつ微細なものが多い。このため、使用する砥石直径は数ミリメートル程度であり、研削に要する時間が長いので輪郭形状の研削では砥石摩耗量だけ工具補正をしなければならない。この点から、研削能率の向上とともに砥石寿命の向上が望まれる。

一方、従来の純機械的な研削に電解作用を複合させた研削盤として、電解工具研削盤、電解成形研削盤、電解平面研削盤などが知られており、これらの特長は、加工能率が高い、砥石摩耗が非常に少ない、砥石に目づまりを生じない、研削熱・ひずみ・バリを生じないなどが挙げられる。^{1)~4)}

本稿では、治具研削における研削能率、砥石寿命の向上を図る目的で、N C 治具研削へ前記の特長を持つ電解研削を複合することを試みたもので、以下に電解N C 治具研削盤の原

理、機械の構成、研削能率、研削精度、面あらさ、砥石寿命などの研削特性及び応用例について述べる。

2 電解研削の応用

電解研削は超硬工具の研削を対象とした電解工具研削盤として実用化され、能率、砥石摩耗の点で大きな効果を挙げた。しかしその後、能率、砥石摩耗だけでなく、電解研削の持つ研削熱、圧力が加わらないという本質的な長所を利用して、一般の難研削材料に対し応用が進められ、研削方式も、成形、平面、円筒、内面などへと発展してきた。

この間、加工技術としては、ダイヤモンド砥石のほかに、成形の容易な導電砥石、精度や能率の向上に適した電解液、電源波形などの検討及び無人加工を目的とした最適制御装置などの開発が行なわれた。表1に電解研削の応用の概要を示す。

3 電解N C 治具研削の原理

図1に丸穴を電解治具研削する場合の原理を示す。砥石は高速回転と研削穴を中心とした半径Rの遊星回転及び上下運動を行なう。研削部には電解液を供給し、電解電源の正極を研削物側に、負極を砥石側に接続する。砥石の遊星回転の半径Rを大きくしながら研削物の方向に切込みを与える。砥石は電着ダイヤモンド砥石を用い、砥粒の先端と研削物との間には20～50μmの電解間げきが保持されている。砥粒は電解加

表1 電解研削の応用分野 電解研削の特長である高能率、砥石の低摩耗、無ひずみなどを有効に利用し、各方面に適用されている。

研 削 方 式	適 用 例	電 解 研 削 の 利 点	需 用 先
1. 工具研削	(1) バイト研削 (2) フェース カッタ研削 (3) リーマの研削	(1) 砥石摩耗が少ない。 (2) 高 能 率 (3) 研削熱の発生がない。	(1) 超硬工具メーカー (2) 金属工業
2. 総形研削	(1) プレス抜型の加工 (2) ねじチェーザ型の加工 (3) 深みぞ加工 (4) リレー モールド型の加工	(1) 高 能 率 (2) 砥石摩耗が少ない。	(1) 金型工業 (2) 一般機械工業 (3) 航空機工業
3. 平面研削	(1) 自動車用バルブ ボデーの加工 (2) ステンレス鋼注射針の先端の加工 (3) 編機用針の加工	(1) 無ひずみ加工 (2) 高 能 率	(1) 自動車工業 (2) 一般機械工業
4. 円筒研削	(1) 圧延用ロール	(1) 高 能 率 (2) 砥石摩耗が少ない。	(1) 電線工業

* 日立製作所生産技術研究所 ** 日立精工株式会社

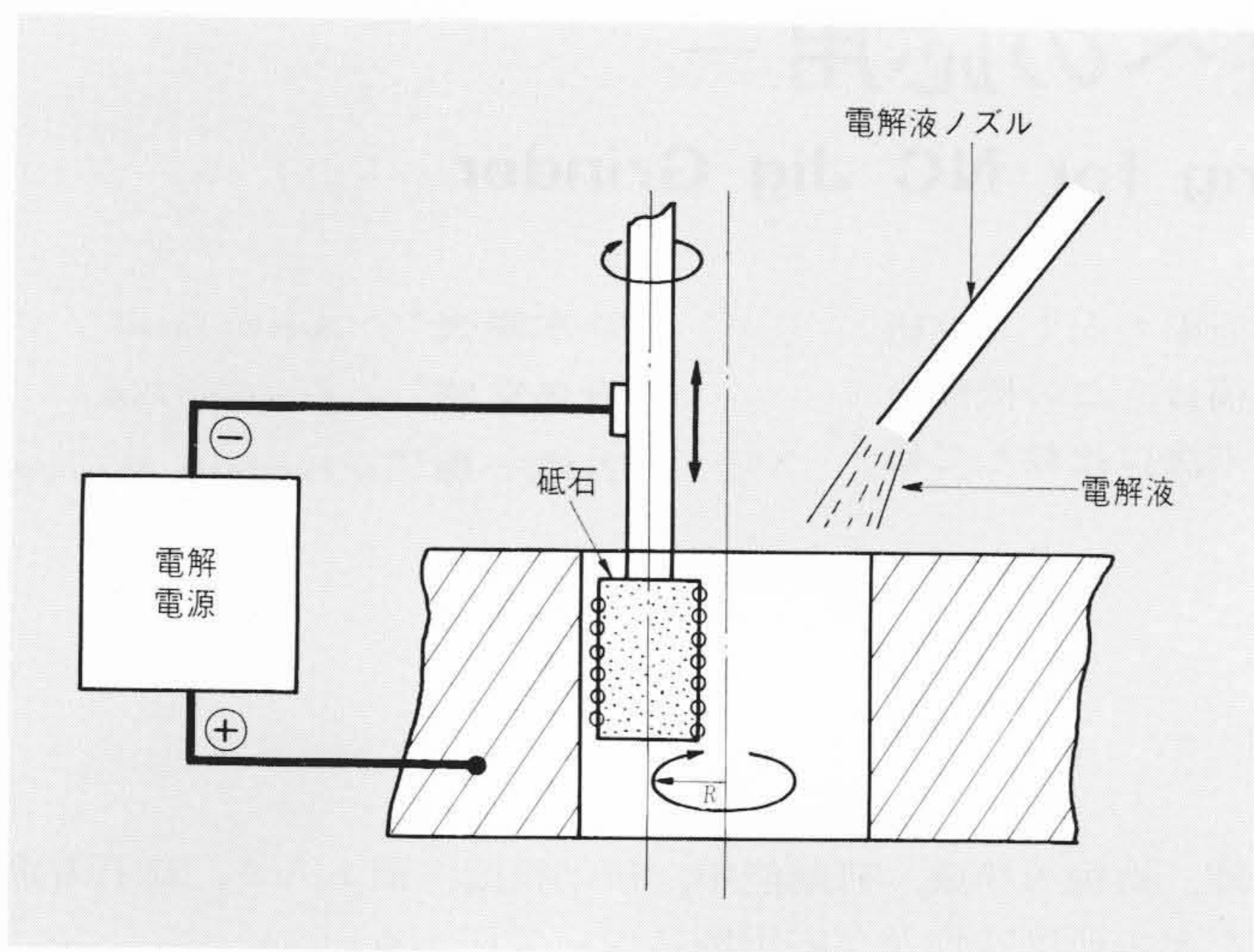


図1 電解治具研削の原理 砥石軸を高速回転させておき、遊星回転半径 R を大きくして電解研削を行なう。

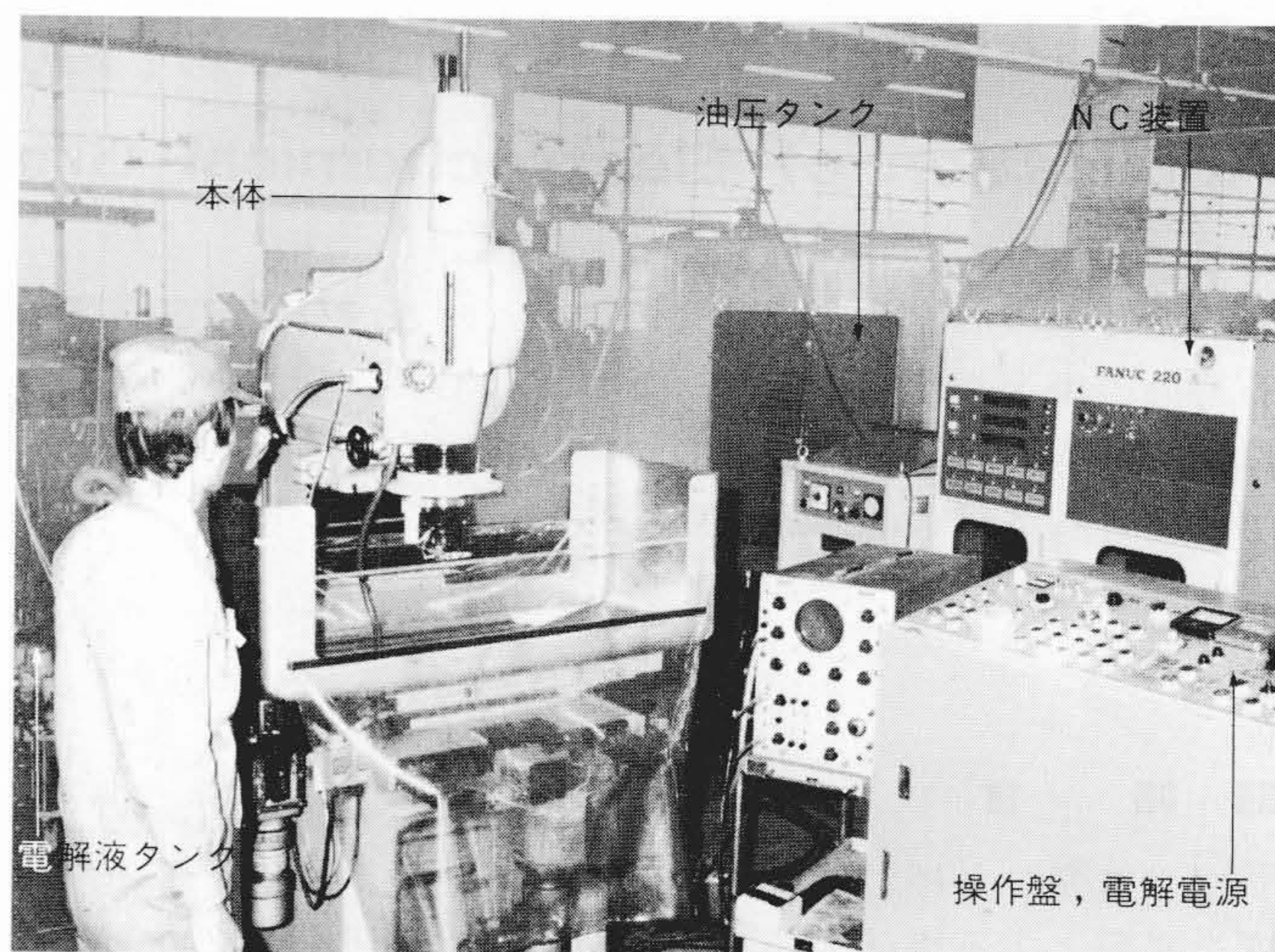


図3 電解NC治具研削盤の外観 通常の治具研削盤と異なり、電解液の飛散を防止するためのカバーが取り付けられている。

工を行なうのに必要な電解間げきの保持と、加工中において加工表面に発生する酸化被膜の除去及び機械的な研削作用を行なう働きがある。

電解研削での電解に必要な電解液の流速は、砥石を回転させることにより得られる。砥石の直径は研削穴径に近いほど電解電流が多く流れ研削速度が速くなるが、電解液の供給状態を考慮して研削穴径に対して約70%に、砥石の長さは研削穴の深さと同一寸法に決めた。上下運動において、砥石の位置は砥石長さの半分が研削物上下端より突き出るように設定した。以上は丸穴研削の場合であるが異形穴、輪郭研削ではNC制御により研削物が位置決めされる。

4 機械の構成

機械の構成を図2、3に、また主な仕様を表2に示す。本機は機械本体、電解液タンク関係、電解電源、NC装置、砥石駆動用高周波電源、オイルミスト供給装置、パルスモータ用油圧ユニット及び機械駆動用油圧ユニットから構成されている。

砥石は高周波モータのロータに直結され、砥石の回転数は $10^4 \sim 8 \times 10^4 \text{ rpm}$ の範囲で連続可変である。高速回転する砥石への電流の供給は、図4に示すように砥石取付軸の上部に設けた通電用カーボンブラシとスリップリングとにより行なっ

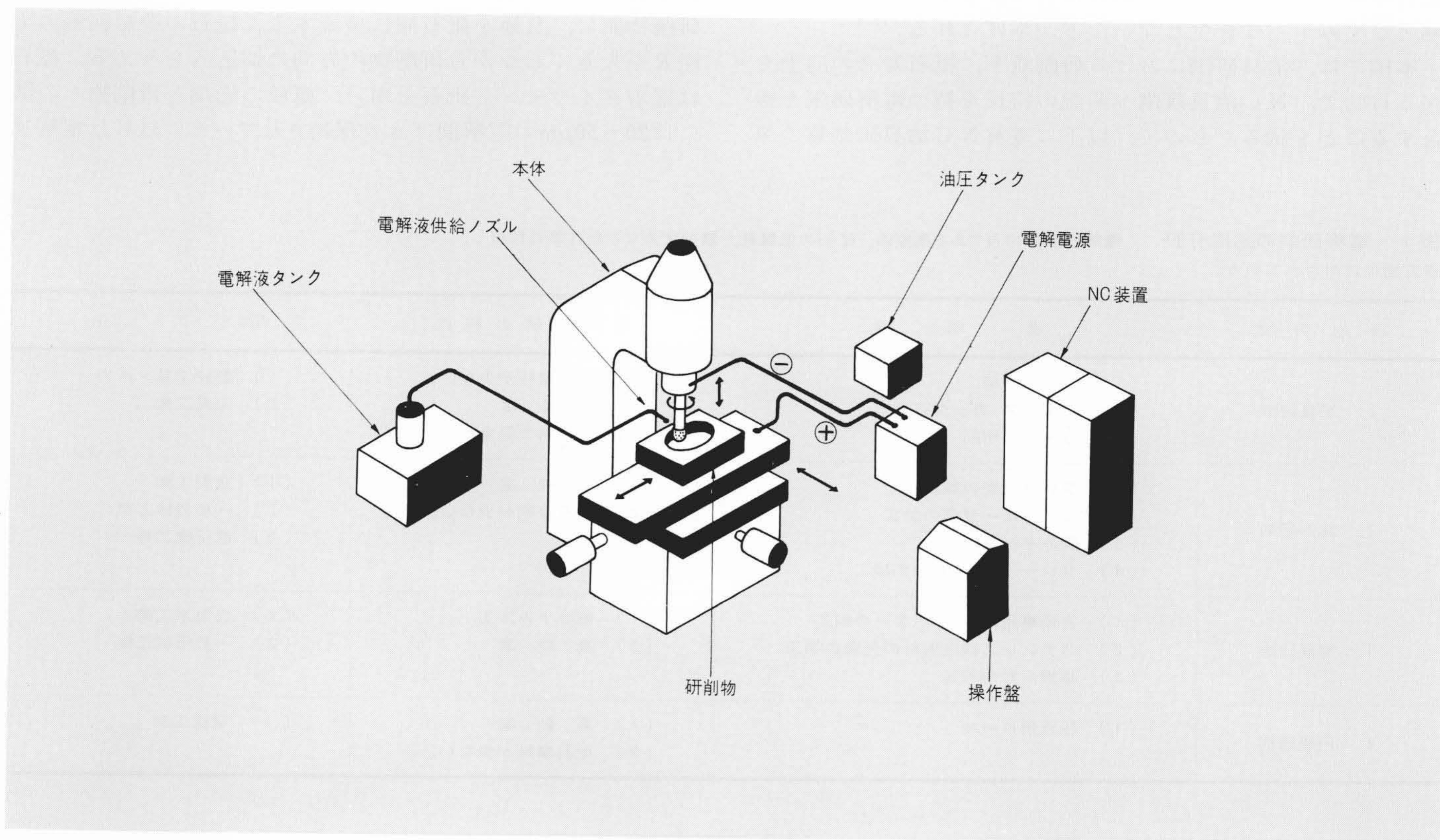


図2 電解NC治具研削盤の構成 本体関係、電解関係、NC装置及び操作盤に大別される。

表2 電解NC治具研削盤の仕様 機械関係、電解関係及びNC関係の主な仕様を示す。

項 目	仕 様
テーブル作業面積	550×320 mm
テーブル移動量	300×200 mm
バーチカル スライド量	400 mm
研削できる最大直径	150 mm
砥石回転数	$10^4 \sim 8 \times 10^4$
研削できる最大テーパ	3 度
砥石上下往復速度	6 m/min
電 解 電 源	12V×300 A
電解液タンク	125 l
電解液ポンプ	75 W
電解砥石スピンドル電源	高周波電源ユニット
NC制御装置	FANUC-220A
NC 軸 数	2 軸
NC補間方式	直線及び円弧
NC設定単位	0.5 μ m/ 1 pulse
NC送り速度(X軸, Y軸)	0.1~240 mm/min

ており、長時間の連続加工に対しても安定した通電が行なえる構造としている。また、スピンドルの高精度を維持するために、冷却性の良いオイル ミストを使用し、同図の点線矢印に示すように、オイル ミストはスピンドルの上部入口から供給され、高速スピンドルの上部ベアリング、高周波モータ、下部ベアリング、通電用カーボン ブラシを通して最下端の砥

石軸部より外部に放出される。

電解液は電解治具研削用に開発したものであり、従来の電解液に比較して低腐食性でかつ研削特性の優れた硝酸ソーダを主成分としたものを使用している。電解液はポンプにより研削部に供給されるが、砥石回転数が高くミスト状となるので、これをファンにより吸引し、ミストはサイクロンにより電解液と空気とに分離される。また、テーブルの周囲にはカバーが取り付けられており、研削部からの電解液が外部に飛散しないような構造になっている。これらにより、長期間の使用に対しても機械は高精度に保持される。

テーブルのX、Y方向の位置決めは、NCで行なっており、テーブルの駆動には油圧パルス モータを使用している。テーブルの送り軸には、ボール スクリューを用いバックラッシュ、スティックスリップのない安定した送りが得られるように配慮した。テーブルの位置決め精度は $\pm 2 \mu$ mである。なお、テーブルには電解電源からのリード線(正極)が接続されている。

5 研削特性

研削特性を表わすものとして、研削速度、研削精度、研削面あらさ及び砥石摩耗が挙げられ、これらの各研削特性を決める主な因子として電解電圧、砥石回転数、砥石寸法、電解液供給量などがある。次に、各研削特性について述べる。

5.2 研削速度

研削速度に与える因子としては、電解電圧、砥石回転数及び研削穴径が考えられるので、これらの因子の影響を述べる。ここで、研削速度は次に述べる方法により求めて定義した。電解治具研削では砥石の切込速度が速すぎると砥石はたわんだ状態で研削するので、設定切込量に達しないで切り残しを生じ、逆に遅すぎると電解作用のため設定切込量より余分に研削される。図5は切込速度と研削量の関係の一例を示した

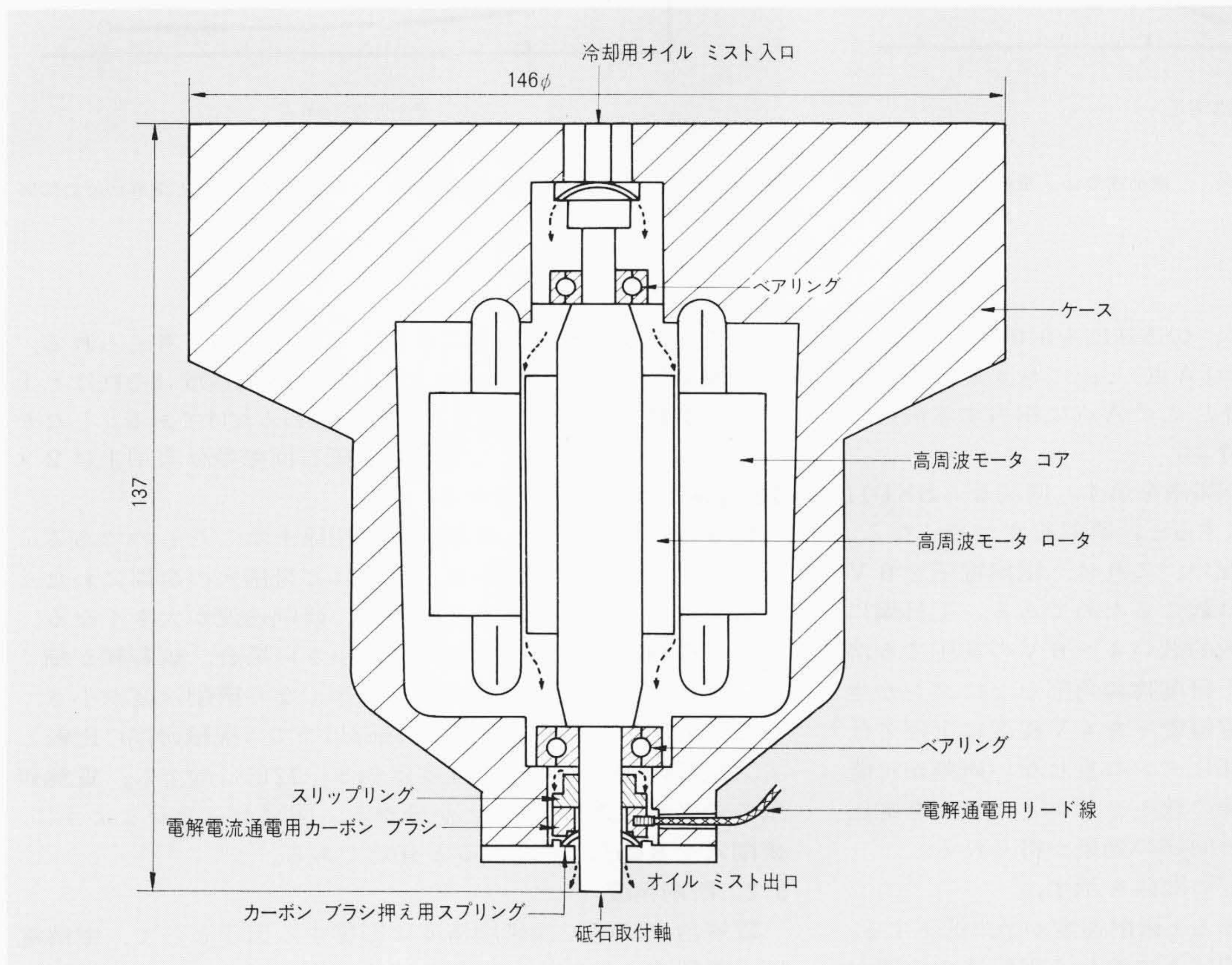


図4 砥石軸高速回転及び電解電流通電部の詳細 電解治具研削の心臓部である電解電流通電用ブラシとスリップリングとの接触面、ベアリング部及び高周波モータは、オイル ミストにより冷却される。

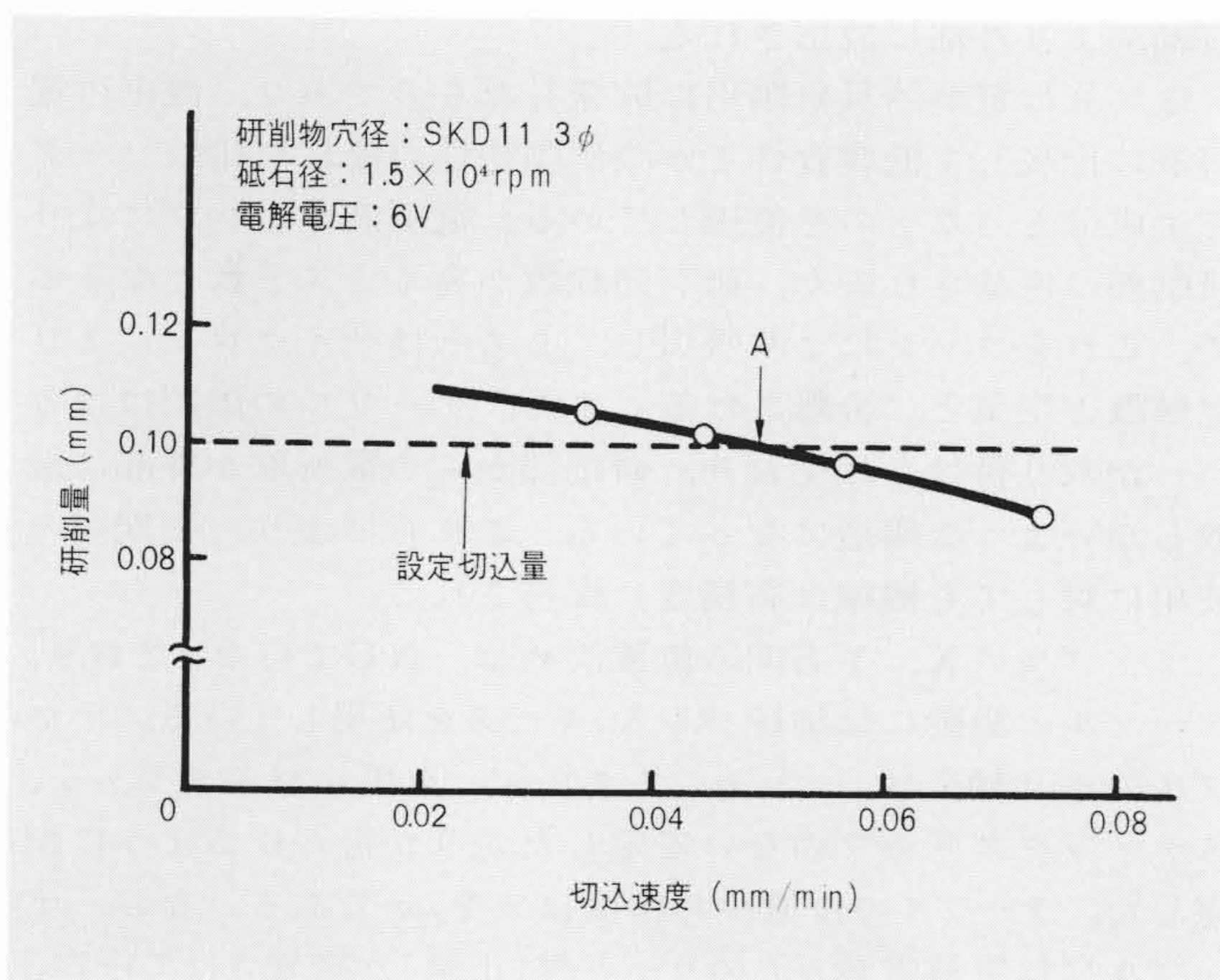


図5 切込速度と研削量の関係 切込速度が速すぎると切り残しを生じ、逆に遅すぎるとオーバーカットとなり、最適な切込速度が存在する。

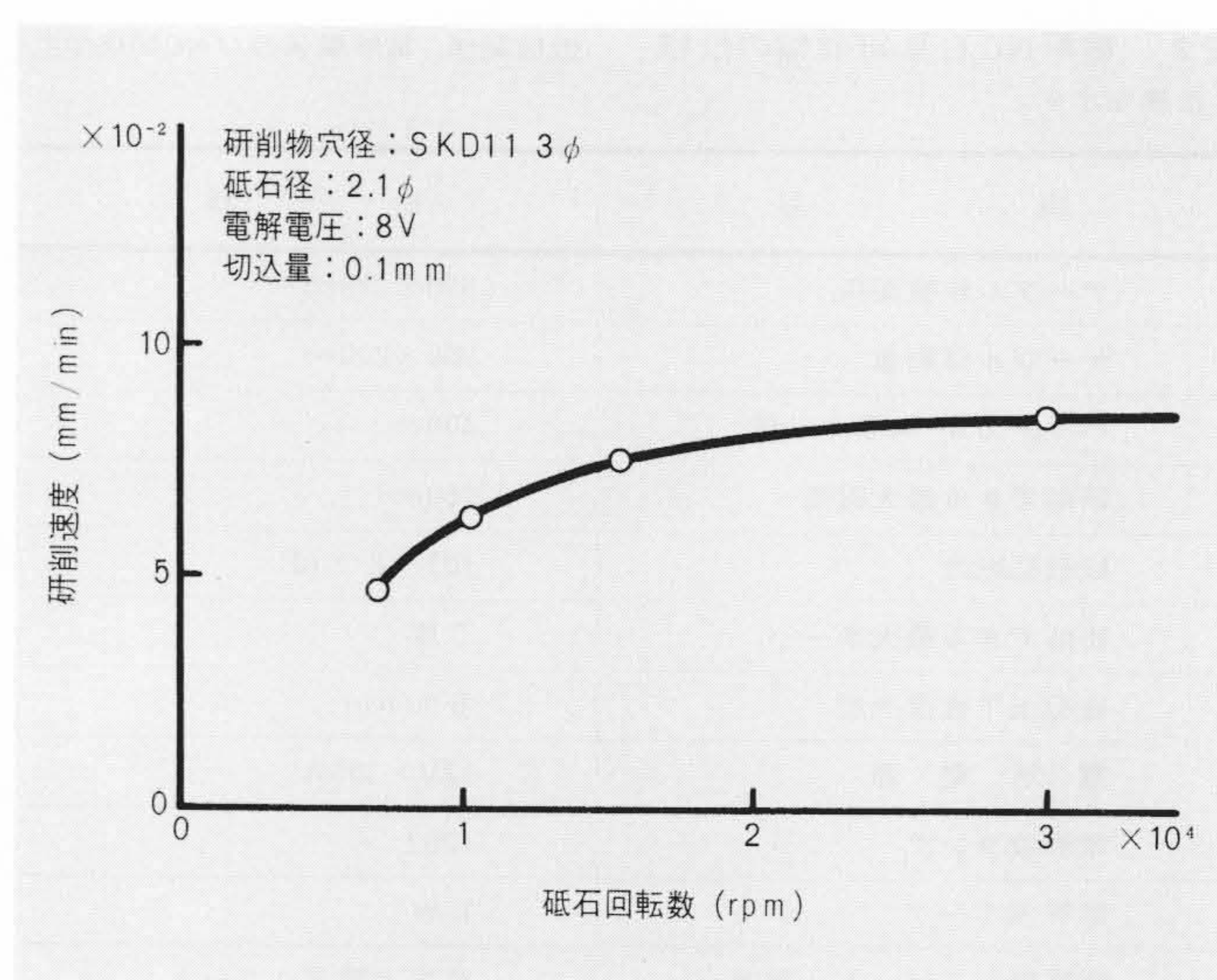


図7 砥石回転数と研削速度の関係 砥石回転数を 10^4 rpm以下にすると研削速度は急に低下する。

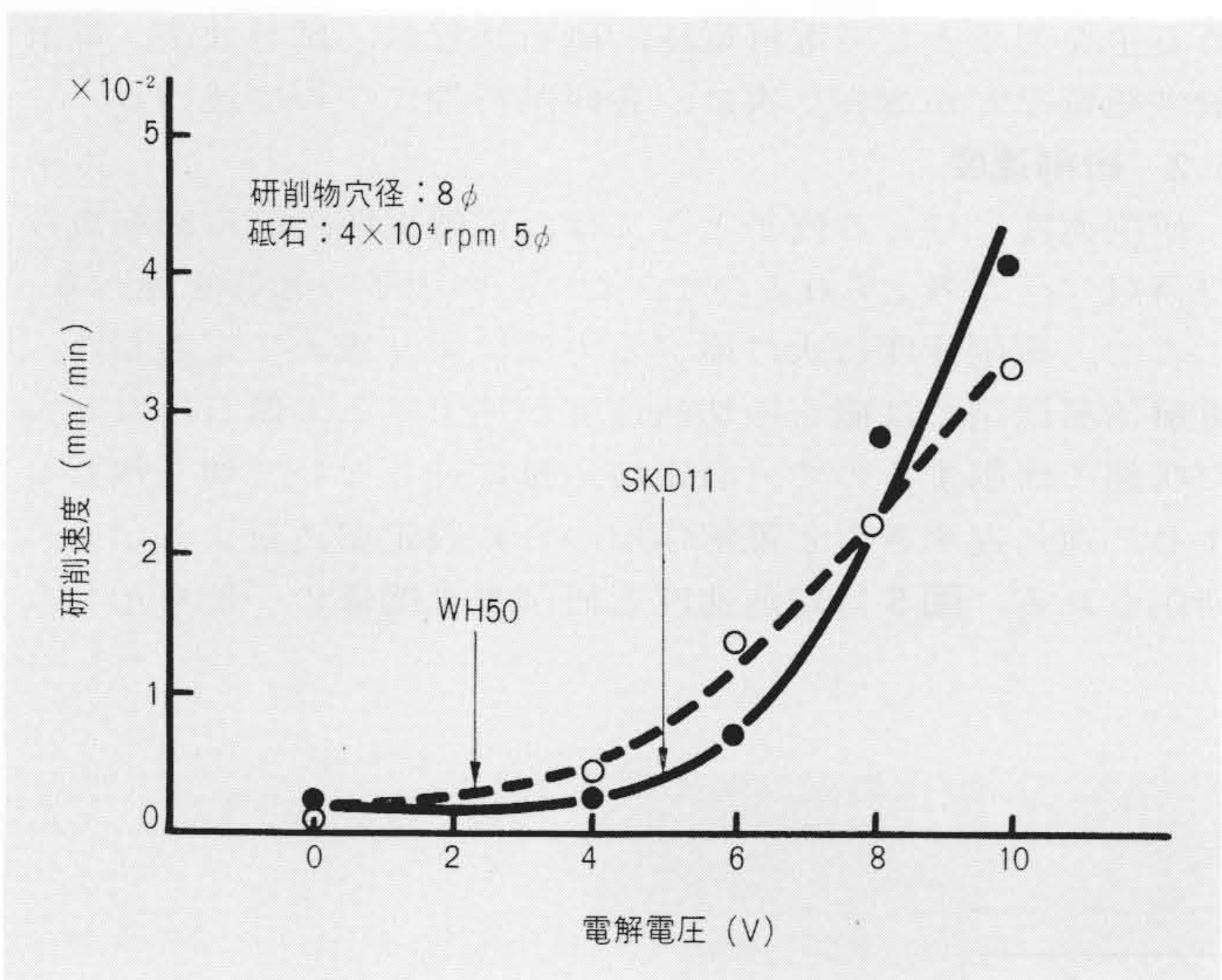


図6 電解電圧と研削速度の関係 研削速度は、電解電圧を4V以下にすると機械研削と同じになる。

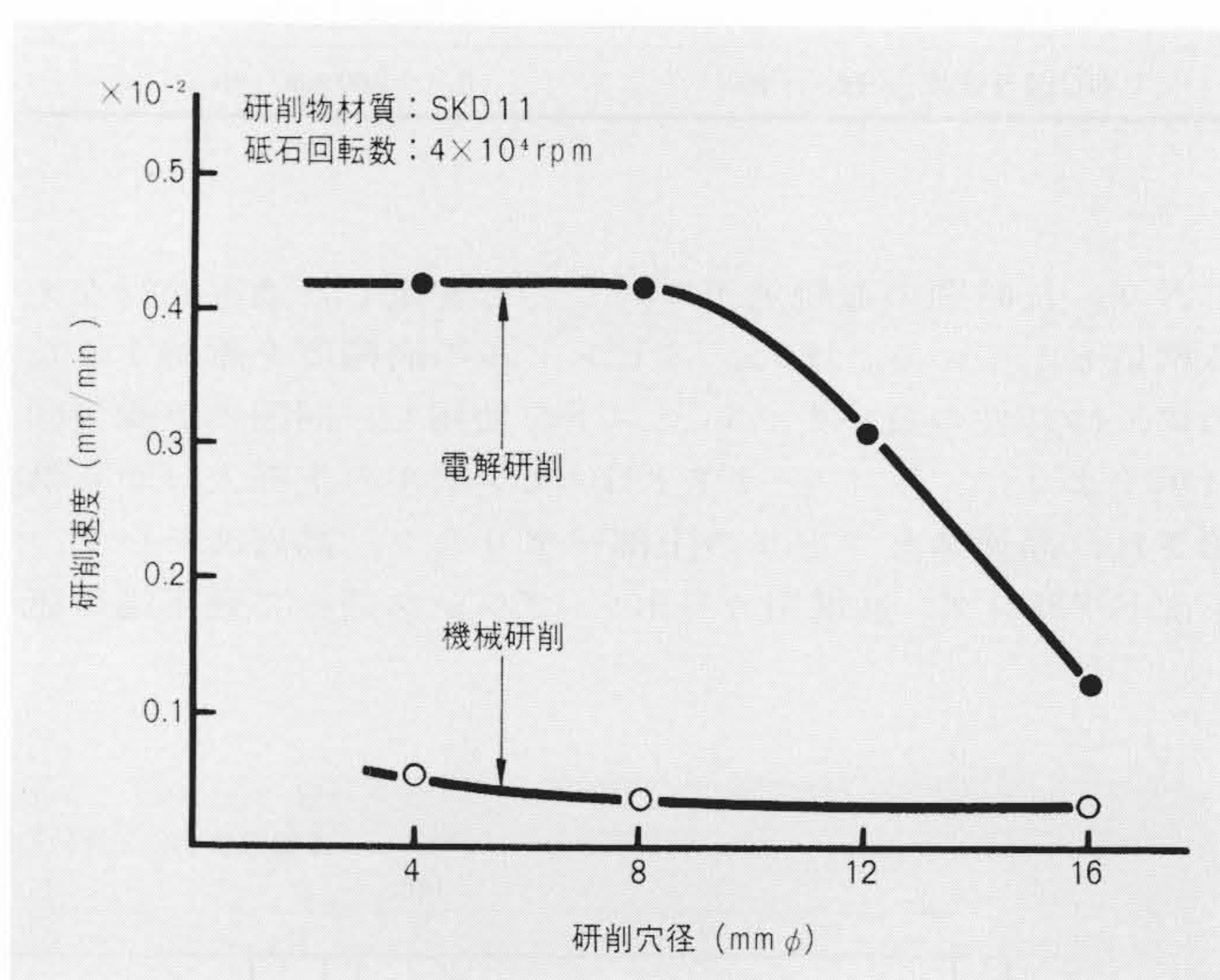


図8 研削穴径と研削速度の関係 穴径が小さいほど電解研削の効果が大きくなる。

ものである。同図に示すように、切込速度を 0.045mm/min にすると研削量は設定切込量と一致(A点)し、これが最適な切込速度であることが分かる。以下、このA点に相当する最適な切込速度を単に「研削速度」と呼ぶ。

図6に電解電圧と研削速度の関係を示す。同図からSKD11の場合、電解電圧を6V以上にすると、研削速度が速くなる。逆に4V以下では研削速度が遅い。これは、電解電圧を6V以上にすると電解反応が活発に起こるためである。工具鋼に比較して超硬合金のほうが比較的低い4～6Vの電圧でも溶解されるので、砥石から離れた研削物の角部などにダレが生じやすい。この対策として、電解電圧を4V程度に下げて仕上研削を行なうことにより角部にダレの生じない研削が可能となる。工具鋼についても最後の数ミクロンメートルを電圧を6V程度に下げて研削すると同様の効果が得られる。

図7に砥石回転数と研削速度の関係を示す。

砥石回転数を 10^4rpm 以下にすると研削速度が急に低下する。この理由は、砥石と研削物の間げきに流れる電解液の流速が

低くなり、電解作用が起こりにくくなるためと考えられる。砥石回転数を $3 \times 10^4\text{rpm}$ 以上にしても研削速度はそれほど上昇せず機械的な研削による上昇分が加わるだけである。したがって、電解治具研削として必要な砥石回転数は実用上は $2 \times 10^4\text{rpm}$ でよいことが分かる。

図8は、研削穴径と研削速度の関係を示したものである。電解研削では、穴径を小さくするほど研削穴の全周にわたって電解電流が流れやすくなるので、研削速度が大きくなる。一方、機械研削では、研削穴径が小さい場合、砥石軸が細くなるため、砥石軸のたわみ量が大きくなり研削速度が小さくなる。同図から、研削穴径が $15\text{mm}\phi$ 以下では機械研削に比較して、電解研削による研削速度は約5～12倍に向上し、電解研削の効果が大きくなることが分かる。同図から分かるように、研削穴を $8\text{mm}\phi$ 以下にすると有効である。

5.2 研削精度

電解治具研削では研削精度に影響する因子として、電解電圧、電解液の供給法、砥石の切込速度、砥石回転数、砥石の

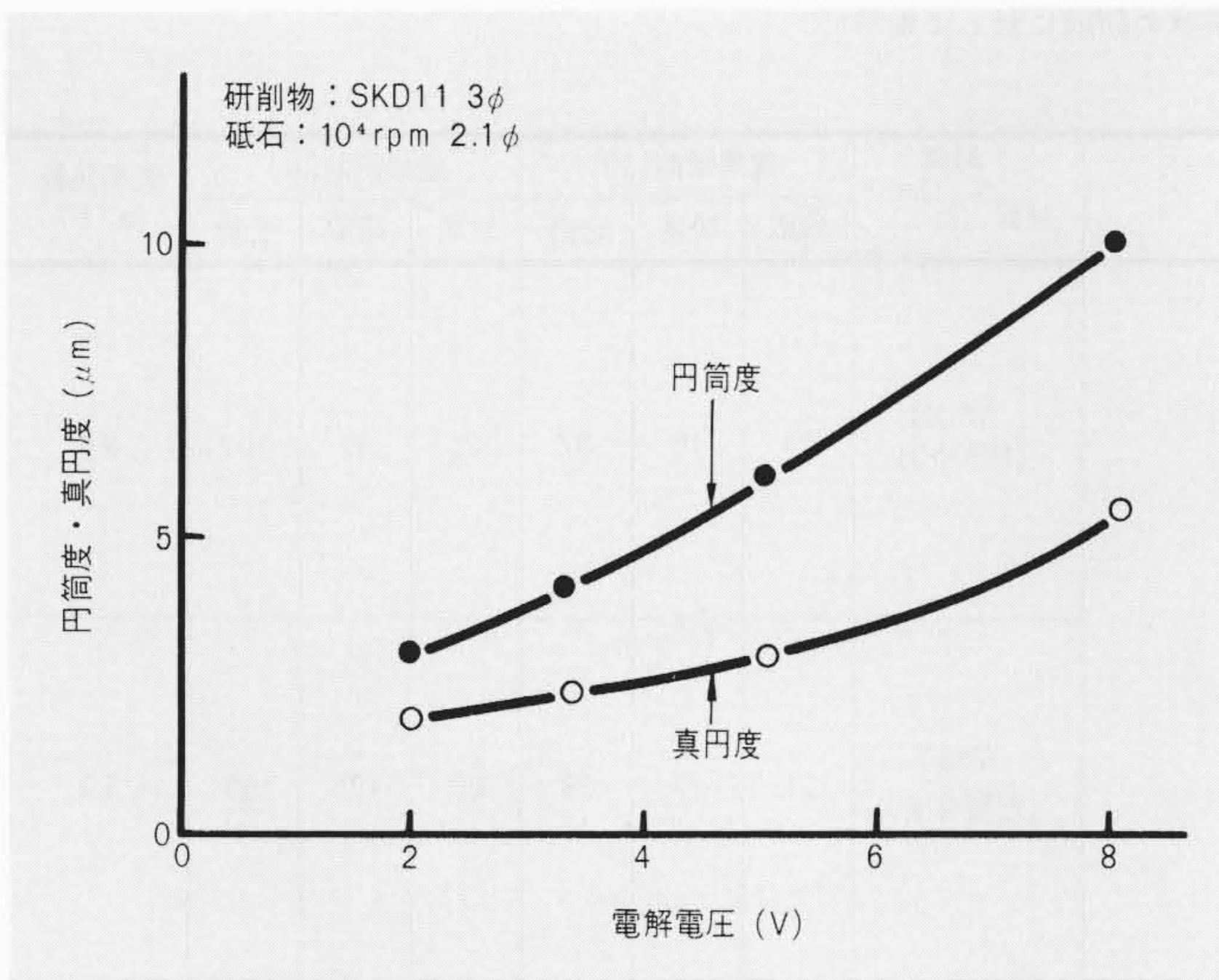


図9 電解電圧と研削精度 電解電圧を下げると良い研削精度が得られる。

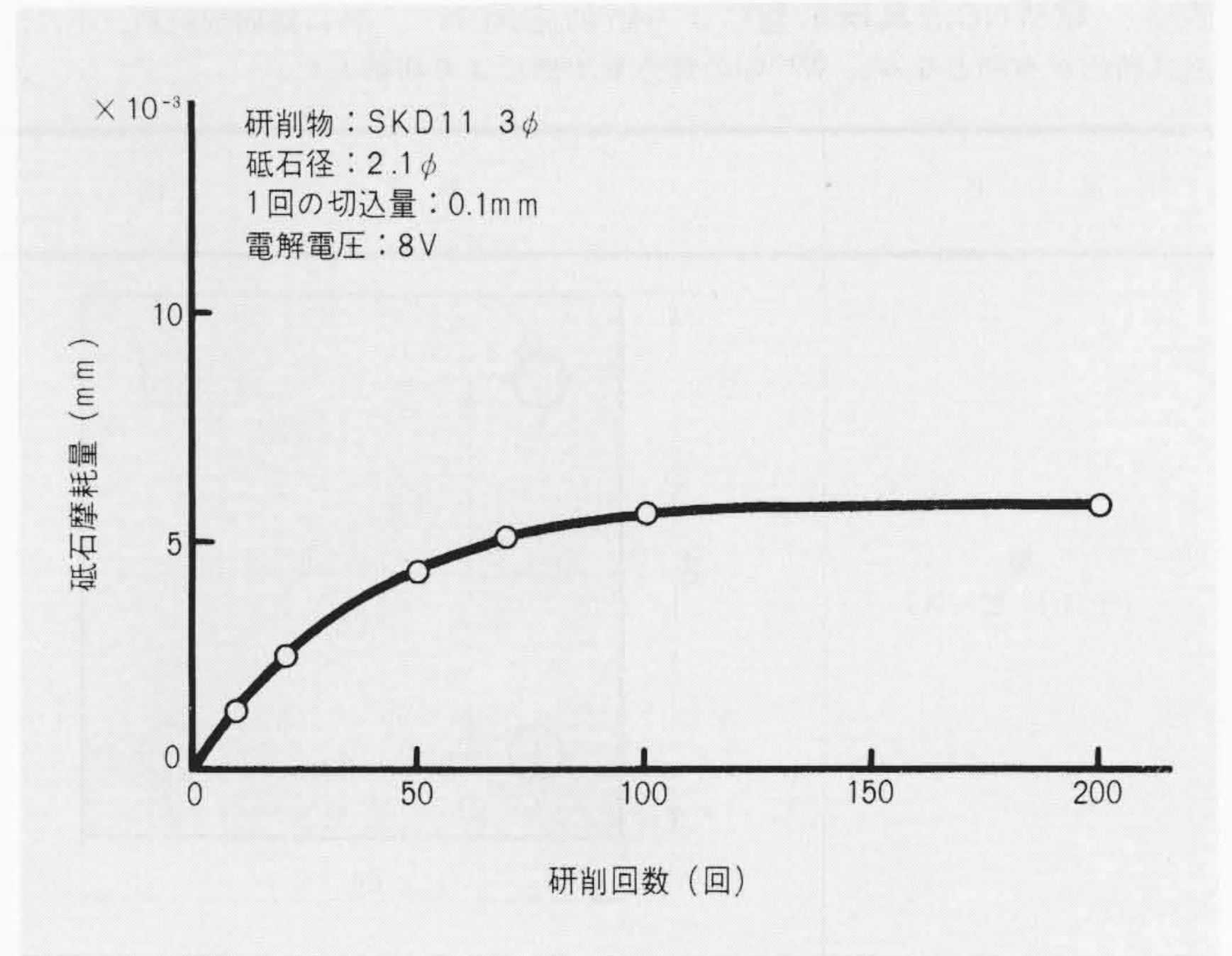


図11 砥石摩耗の推移 研削回数50回程度までは初期摩耗がみられ、それ以降は砥石摩耗が少ない。

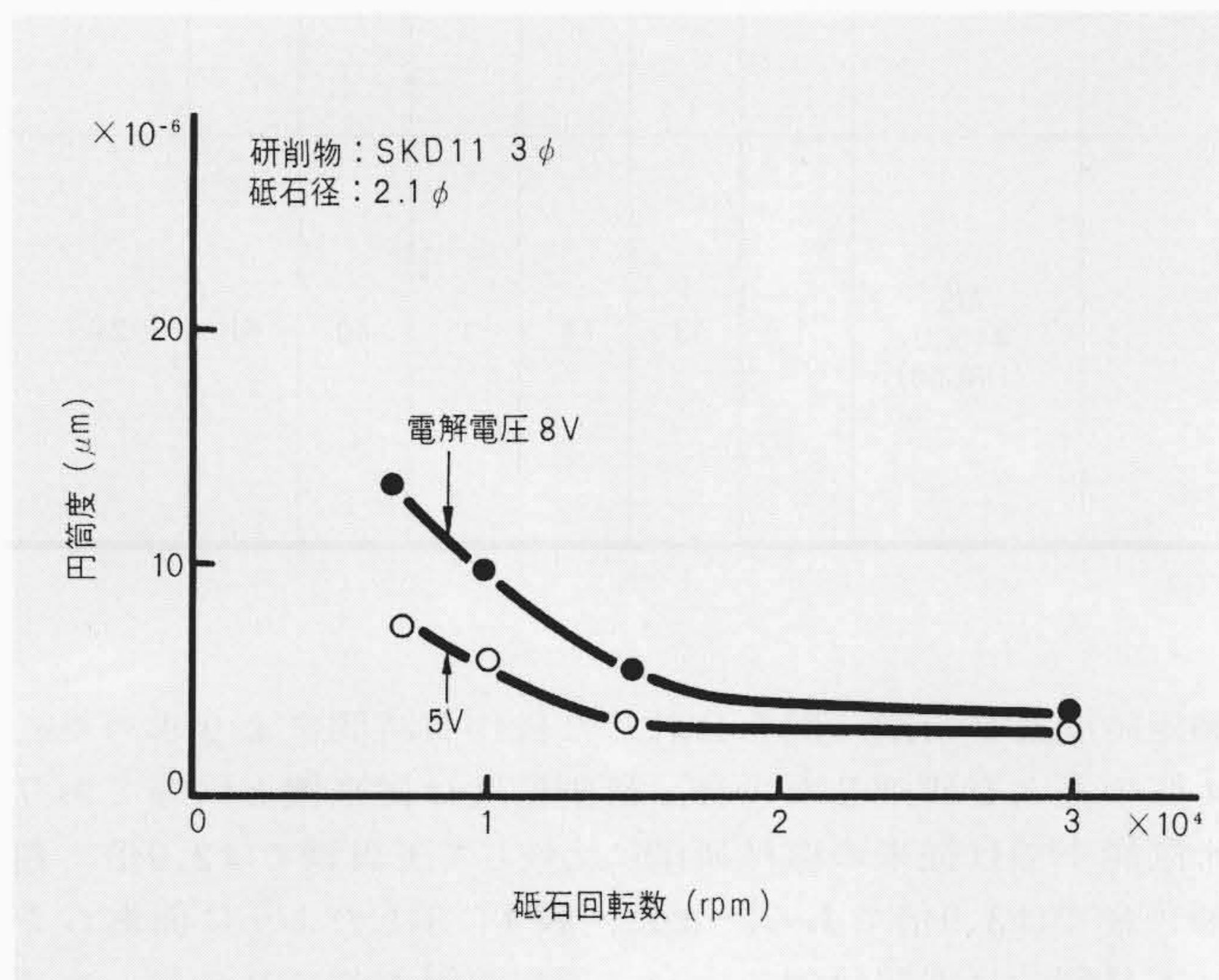


図10 砥石回転数と研削精度の関係 砥石回転数を上げると、余分な電解液が遠心力により除去され、研削精度が向上する。

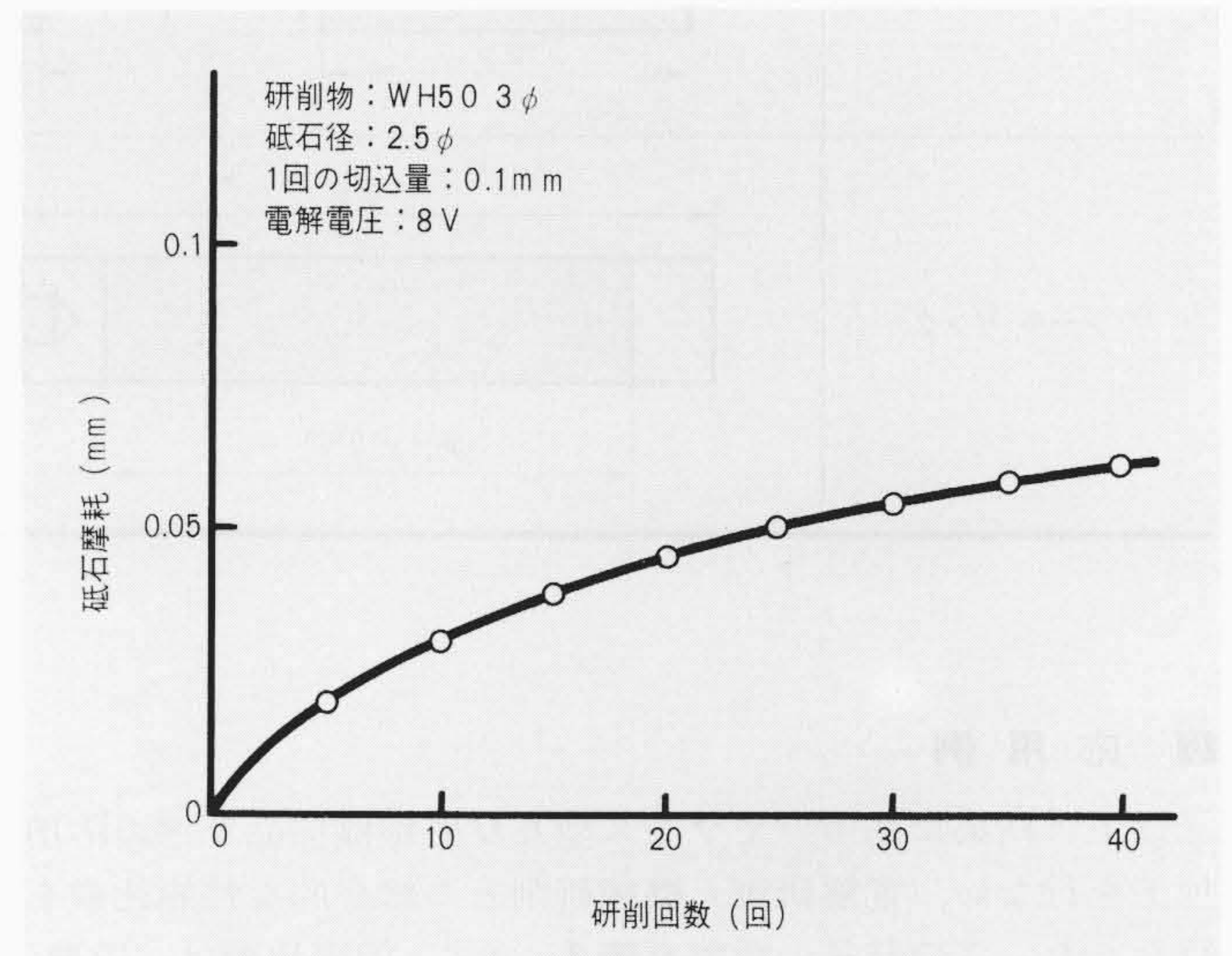


図12 超合金を研削した場合の砥石摩耗の推移 超合金の電解研削では、鋼材に比べて砥石摩耗が多く、研削比を求めると283になる。

形状精度などが考えられる。図9は電解電圧による研削精度への影響を調べたもので、研削精度、特に円筒度に対して電解電圧を上げると悪くなることが分かる。真円度よりも円筒度が悪い理由は砥石軸側に余分な電解電流が流れやすく、砥石軸側が広がった円すい形状となるためである。また、電解液供給量によって円筒度が大きく変わるので必要な量(20μm程度の層の厚さ)だけ供給されるのが望ましい。このためには、余分な電解液を除去することが必要であり、この方法として図10に示すように砥石回転数を上げることが精度向上に効果がある。しかし、砥石回転数を上げすぎるとベアリングの寿命が短くなるため、実用的には1.5～4×10⁴rpmの砥石回転数がよい。また、電解液を噴霧状にして供給すると電解電圧を上げても研削精度が向上し、真円度及び円筒度は共に3μmが得られる。その他の研削条件として、切込速度を速くしすぎると砥石軸はたわんだ状態で研削するので、従来の治具研削と同様に軸側が広がったテーパ状となる。また、砥石自体の形状精度が悪いと研削精度は低下する。

研削面あらさは砥石径を大きくすると向上し、砥石径2mmφでは2μm Rmax.、12mmφでは0.5μm max.であった。

5.3 砥石摩耗

砥石摩耗は切込速度を遅くすれば電解による加工割合が増大するため減少する。研削能率、精度の点から、切込速度を図5のA点に設定して電解研削を行なったときの工具鋼研削時の砥石摩耗の推移を図11に示す。研削回数50回程度までは、砥石が新しいため砥粒の脱落による初期摩耗が認められるが、これ以降になると摩耗量は減少する。研削比(研削量/砥石摩耗量)は760となり、従来の機械研削に比較して約10倍である。すなわち、砥石寿命は機械研削に比べ約10倍である。また、超合金を研削したときの砥石摩耗の推移を図12に示す。超合金を研削したときの研削比は283となり、機械研削に比較すると砥石寿命は8倍に向上する。このように、機械研削に比較して砥石摩耗が少ないので、輪郭研削に際し砥石摩耗の補正を行なわないで研削できる。

表 3 電解NC治具研削盤による研削応用例 特に難研削材料、小穴、複雑形状の研削に対して電解NC治具研削が有利となる。W^G印の部分の本機により研削した。

品 名	形 状	時間 (min) 材質	電解研削(a)			機械研削(b)			能率比較 (a/b)
			段取	研削	合計	段取	研削	合計	
型 (テスト ピース)		SKD11 (HRC60)	21	16	37	25	82	107	2.9
		WH50 (超硬合金)	21	17	38	25	125	150	3.9
ストリップ ブレード		SKH-9 (HRC62)	4	4	8	4	15	19	2.4
シール リング		AIS 440CD (HRC56)	1	13	14	1	40	41	2.9

6 応 用 例

以上の結果に基づいてプレス型及び圧縮機部品などの応用加工を行ない、電解研削と機械研削との総合的な性能比較を行なった。この結果の数例を表3に示す。能率比較は、段取、

表 4 従来の機械との精度、あらさ比較 加工材質によって異なるが、加工精度、面あらさはほぼ同等が得られる。

研 削 方 法	加 工 材 質	加 工 精 度 (μm)	面 あ ら さ μm Rmax.
電 解 研 削	SKD11 (HRC60)	3	3.1
	WH50 (超硬合金)	5	3.7
機 械 研 削	SKD11	4	2
	WH50	5	5

注：加工条件
穴 寸 法：8φ×8l
砥 石：5φ×12l、4×10⁴rpm
電解電圧：8V

測定時間及び研削時間を合計した総作業時間により求めた。
4個の丸穴を研削した場合、研削精度は従来機と同等であり研削能率では従来の機械研削に比較して工具鋼では2.9倍、超硬合金では3.9倍である。また、表4に示したように面あらさは工具鋼では電解研削の場合、選択溶解が起こりやすいため機械研削のほうが良く、超硬合金では逆に電解研削のほうが良い結果が得られているが、この程度の面あらさの差異は実用上問題とならない。材質が異なる他の二つの例では2.4～2.9倍の能率向上が得られた。

7 結 言

以上、電解NC治具研削の原理、機械の構成、研削特性及び応用例について述べた。本研削法は、研削能率、砥石寿命の点で従来のものより優れており、難研削材料、複雑形状の各種機械部品、例えば、プレス型やポリゴン形状を持つ精密な穴の研削に対して有効と考える。なお現在、金型、機械部品などに対して本研削の適用の拡大を進めている。

参考文献

- 1) 御子柴，鈴木ほか：「超硬合金の電解加工法」，日立評論49，319（昭42-3）
- 2) 古橋：「電解研削盤とその使い方」機械技術，21，p.45（1973-2）
- 3) 御子柴，鈴木：「電解研削による小穴加工の研究」，昭和50年度精機学会春季大会学術講演前刷p.517
- 4) 古橋，水原：「電解研削による研削加工の能率化」，応用機械工学，p.75（1967-1）