

平成 14 年度

高知工科大学 工学部 知能機械システム工学科

卒業論文

C B N の微細放電加工

学籍番号 : 1030095

氏 名 : 大熊光春

指導教員 : 河田耕一

第1章	緒言	
1.1	研究の目的	2
第2章	研究の現状	
2.1	マイクロマシンの現状	3
2.2	精密加工の現状	3
2.3	MEMSに対する加工の現状	4
2.4	微細放電加工の現状	6
2.5	CBNのマイクロマシンへの適用	7
第3章	実験方法	
3.1	微細放電加工機	8
3.2	電極成型	11
3.3	実験条件	12
3.4	測定方法	12
第4章	実験結果	
4.1	放電加工油を用いた場合のCBNと焼結ダイヤモンドとの比較	13
4.2	放電加工油と純水の比較	20
第5章	結論	34
	参考文献・図書	

第1章 緒言

1.1 研究の目的

マイクロマシン材料への利用を目指して微細放電加工による焼結ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンドの加工実験が行われてきた。CBN(Cubic Boron Nitride=立方晶窒化ほう素)はダイヤモンドに次ぐ硬さと熱伝導率を持ち、鉄と反応しにくく、化学的に安定で酸化しにくい、また熱変形が少なく耐熱衝撃性が高いなど多くの特徴を持つ物質である。CBNのマイクロ刃物などへの応用をめざし、その微細放電加工について研究を行った。

1.2 概要

放電加工油でCBNを微細放電加工し加工時間、電極消耗長さ、放電ギャップ、加工体積、消耗比を計測し同じ条件で行った粒径15 μ mの焼結ダイヤモンドと比較した。次に加工液を純水に変えて同じ条件で加工を行い放電加工油との結果と比較した。

第2章 研究の現状

2.1 マイクロマシンの現状

マイクロマシンテクノロジー、超微細精密技術は今後必要不可欠な技術として注目されている。超微細精密な機構を持ったデバイスの作成が可能になることにより、医療分野、情報通信機器分野、自動車分野、メンテナンス分野、環境分野、航空宇宙分野など様々な分野での需要が考えられる¹⁾。現在マイクロマシン技術は開発の初期段階にある。マイクロ世界では各種のスケール効果の影響が無視できない場合が多くある。熱、流体、摩擦、吸着などの表面効果、材料物性、運動制御などについて、機械要素のマイクロ化に起因する特性変化が顕著になってくる。現在これらの具体的な検討はされていないが、マイクロマシンの実用化には不可欠な分野であるため、今後あらゆる各基礎分野からのアプローチが必要になってくる。マイクロマシンと一言でいってもそのサイズは $10^{-2} \sim 10^{-9} \text{m}$ の広範囲に涉ため、実際には大きさの程度により動作原理も研究の実現の方法も異なってくる。

例えば1mm以上の大きさの領域は従来形の精密加工技術の延長でも最も実現可能に近い第1世代MEMS (Micro Electro Mechanical System) であり、1mm～数 μm の領域は半導体技術の活躍の場であり、微小化の特徴が強く現れた原理・構造を持つ第2世代MEMS、最後に数 μm 以下のバクテリア大の機械の領域は生物の機構の研究成果に負い、製造方法も分子から構成される第3世代MEMSという3つの領域²⁾が考えられる。マイクロマシンとしては上述のような特別な制限はなく、数mm以下のどのような機械でも開発研究の対象とされている。

マイクロマシンが活躍する分野の一つとして医療分野での場合を挙げる。現在の医療現場では、体を傷つけることの少ない低侵襲診断・手術が求められている。したがって、内視鏡のように外科的手術から内科手術へと体内での手術に転換され、医療機器と医療技術は飛躍的に進歩している。現代の最先端では、マイクロカテーテル³⁾と呼ばれる血管内を移動し患部を検知、治療するデバイスなどのマイクロマシンが研究開発されていて、今後更なる発展が期待できる。

2.2 精密加工の現状

現在の精密加工は広く分けて2つに分類できる。1つは半導体技術を利用した精密加工で、もう1つは従来の機械加工技術のマイクロ化である。半導体技術はエッチングやLIGAプロセスなどがあり、現在のマイクロマシンの多くは、この半導体技術を使用しているのが現実である。フォトファブリケーションによるプリアセンブリは工学的に複雑なシステムを可能にする有力な手段で、微細で複雑な平面構造を現実できる。この場合にフォトレジストに開けた窓から下の基盤をエッチング(リングラフィ)する除去加工だけでなく、窓の部分に金属を電解めっきする付着加工なども行われる。シンクロトロンからの放射光(X線)で厚いフォトレジストにパターンを転写することによって深い加工もすることができる。

レジストの凹部分に金属めっきすることで、アスペクト比の大きな形状を作り、これにプラスチックを射出成形することも行われている。しかしながら、この方法は、2次元形状の微細加工は可能である反面、アスペクト比の大きい3次元形状の創成は困難であり、非加材が一般にシリコンに限られる。一方、従来の加工技術はレーザ加工や放電加工がある。これは半導体技術に比べ加工精度が劣るところが見受けられる。しかし、放電加工には3次元形状の微細パーツ加工する可能性がある。

2.3 MEMS に対する加工の現状

放電加工は金型の加工を主目的として広く用いられているが、大別すれば次の2つの種類になる²⁾。

ワイヤカット放電加工

形彫り放電加工

ワイヤカット放電加工

ワイヤカット放電加工は電極として走行ワイヤ黄銅、銅、タングステン、モリブデンなどの細いワイヤ(0.2~0.35)を用い、糸のこ状に被加工物を切り抜いていくもので、ワイヤが細ければかなり微細な加工も可能である。また、ワイヤが連続して繰り出されるため、電極の消耗の影響がなく加工精度も高いが、ワイヤ方向に形状の変化しているものは加工できない。加工液としては比抵抗を管理した水を用いるため火災の心配が無く無人化運転が可能であるなどの利点がある。

形彫り放電加工

型彫り放電加工は総型電極を使つての型彫り(転写)が最初に開発、実用化(1948年)され、これを放電加工機と呼称されていた。その後、NC機能をもつた型彫り放電加工機が出現し、必ずしも総型電極での加工のみでなく、エンドミル加工のように、単純形状電極での複雑三次元形状の加工(創成加工、輪郭加工)や、揺動機構(装置)の開発によるテーパ加工、ヘリカル加工、ねじ加工、球面加工などが可能となりはじめ、その利用、応用分野は拡大されている。また、三次元形状を加工することは出来るが、加工形状の大きさ、精度は用意できる電極製作如何に関わってくる。放電加工においては、機械加工におけるバイトや砥石に相当するものが、工具電極または加工電極であるが、通常、これを電極と言ひ、加工素材である工作物と対極して使用する。電極は固定されているので、その消耗は加工精度に影響する。

電源、加工回路では極間において繰り返し放電と、これに伴う放電現象を発生させるために、放電エネルギーを断続的に極間に供給しなければならない。放電加工で一般的に使用されるエネルギー供給方式には大きく分けて蓄勢式と非蓄勢式とがある。優れた半導体素子が登場するにつれて、順次トランジスタによる非蓄製方式加工回路が大半を占めるようになってきたが、きわめて短いパルス幅で、比較的放電電流ピーク値の大きいパルスを得

ることが必要な微細加工の分野ではトランジスタにスイッチング特性などの関係もあり、現在でもコンデンサ加工回路が使用されている。

加工電源として $10^{-7} \sim 10^{-3}$ s のオーダーのパルス電圧を供給するものを用いるため、アーク放電は短時間に消滅する。パワー密度がごく限られた面積に集中するため、放電の起こった部分が融解あるいは蒸発して微小なくぼみ（クレータ）を生じる。この過程を繰り返すことでより多数の放電を起こせば、電極の端面の形に対応したクレータが被加工物部分に生じ、さらに電極を送り込んでいくと電極形状が被加工物に転写される。これと似た現象は電極側にも生じて電極消耗が起こるが、加工条件の選択により、被加工物の除去量より電極消耗の方を十分小さくすることができる。

電極が陰極に、工作物が陽極に接続された状態で加工を行う場合を正極性または正極性加工、逆に、電極が陽極に工作物が陰極に接続された場合を逆極性または逆極性加工と呼称されている。

実際の加工において、電源及び加工回路、電極と工作物の材質の組み合わせ、放電エネルギーの供給形態などによって、加工特性（加工速度、電極消耗量、放電ギャップ、テーパ、加工面粗さ、加工広大代）の極性効果があるので、加工目的に適合する極性加工を選択する必要がある。

放電加工では、加工を安定に行うために加工ギャップ長を常に適正に制御する必要があり、そのためにいろいろな方法が実用されており、最近是最適加工状態に近づけるための適応制御方式が多く用いられている。

型彫り放電加工での電極の役割はきわめて重要であるが、特に総型電極利用の場合は電極の材質的選定、設計、製作の点に不具合があれば、加工の目的達成は不可能になる。

電極材料としては、放電加工特性が良好であること、電極製作上での加工性が良いことが必要であり、沸点、融点が高く、熱伝導が良好で電気抵抗が低く、機械的強度が大きく、安価であるものが適合材料となる。電極の材質としては、銅あるいはグラファイトがもっとも多く用いられている。超鋼合金の加工や加工物形状を反転したものを用いるのが一般的であるが、最近では、エンドミル加工のように、単純な形状の電極を揺動させて形状を創成していく揺動加工法も広く用いられている。

加工液は、絶縁、消イオン、冷却特性、加工屑の排除など加工の促進に大きな影響を持つのでその役割は無視できない。放電エネルギーの利用効率からみると、放電が発生する電極間隙は小さいほうが極間でのエネルギー損失は小さくなる。そこで絶縁耐力の大きい液を用いれば、この要求を満たすことになる。

加工液中に飛散されて混在する加工屑の排除も考慮し、油の中でも比較的サラサラした灯油が加工液としては好都合になる。通常灯油をベースとして、引火点をあげたり、臭気やかぶれの防止、酸化防止のなどのために種々の添加物を混入した物が加工液として用いられている。

加工液は高温状態になった加工部の冷却、溶解状態で飛散されて材料を冷却し、微細な固

体粒子にし加工部からの除去、排出を容易にするとともに、放電柱を冷却することにより、加工部へのエネルギー供給密度を高くし、加工能率を高めることに役立つ。この効果は冷却性の大きい液ほど高く、水加工液の場合は通常の放電加工油と比較して電流密度が1.5倍になるといわれている。

加工速度は、パルス電流値が大きいほど、またパルス幅が長いほど速くなり0.01~50 g/min程度が通常であるが、加工液に導体粉を混入することによって100~200 g/minという値が得られている。加工面は通常方向性の梨地面となるが加工条件によっては1 μm以下の仕上げ面粗さ、及び鏡面が得られる。寸法精度は普通 $\pm 10\sim 20\ \mu\text{m}$ 、高精度の場合 $\pm 5\ \mu\text{m}$ 以内となる。

放電加工は、1回の放電（単発放電）における除去現象の繰り返し、すなわち累積であり、単発放電の除去結果が加工特性のベースとなる。単位時間当たりの加工量が加工速度であり、加工除去重量（g）で表示するほかに、体積（ mm^3 ）や面積（ mm^2 ）で表示する場合もあるが、型彫り放電加工では、重量加工速度（g/min）で表示するが多い。

また、加工速度に対して電極消耗速度（g/min）が問題になるが、両者の比（電極消耗速度/加工速度 $\cdot 100$ ）が電極消耗率（%）であり、この値が小さいほど良好な加工ということになる⁴⁾⁵⁾。

2.4 微細放電加工の現状

近年、情報端末などの電子機器の小型化、高性能化に伴い、マイクロ部品を製作する技術は日々進歩し、要求される精度もより厳しいものになっている。現在、マイクロ部品の微細加工技術、製作には半導体プロセス技術が応用されている。これは、高精度な形状を作るとともにデバイスとしての機能を付加することができ、かつ大量に製作することができるためである。

3次元形状加工を実現するためのキーテクノロジーである微細穴加工技術は、インクジェットプリンタノズル、光通信部品、マイクロコネクタ、流用制御オリフィス、ワイヤードットプリンターのガイド穴金型加工、X線測定用ピンホール、電子顕微鏡電子銃アパーチャー、機械的センサ可動部加工などへ広く応用され、より高精度、高品質が求められている。

放電加工は、放電エネルギーを微小にすることにより、微細形状を高い寸法精度で加工することが可能で微細加工に適した特徴を有している。また、工具と工作物が非接触であることから被加工材に作用する加工力が非常に小さいため、微細な工具、工作物を変形させることができない。また、導電体または半導体ならば、硬度に関係なく加工できるので、従来の機械的加工法では加工困難な材料に対しても微細加工が可能である。

微細放電加工技術は、インクジェットプリンタのノズル穴加工をはじめとして、主に微細穴加工法として用いられてきたが、近年急速にその応用分野が広がってきた。

複雑な3次元形状のマイクロマシンなどを実現する有効な加工法の一つとして微細放電加工が挙げられる。しかしながら、逆に欠点として絶縁体の材料は加工ができないという

点と、条件にもよるが加工時間が長いという点、そして被加工材料である電極の消耗が大きいという点、加工精度の信頼性の不安という点などが挙げられる。

2.5 CBNのマイクロマシンへの適用

医療分野で使用するマイクロマシンの材料として望まれることは、

生体に害を与えない材料

科学的に安定な材料

機械的強度が高い材料

高硬度で磨耗が少ない材料

高温で殺菌が可能な材料

であることが望まれる。これらの条件を満たす材料の一つとして、CBNの使用が考えられる。CBNはダイヤモンドに次ぐ硬さと熱伝導率を持ち、鉄と反応しにくく、科学的に安定で酸化しにくい、熱変形が少なく耐熱衝撃性が高いなど多くの特徴があることからである。したがって、過酷な使用状況でも長いライフラインを見越せる。

第3章 実験方法

3.1 微細放電加工機

本研究において加工装置は松下電器製 MG-ED82W を使用した。装置の外観を図 3.1 に示す。加工回路は図 3.2 に示す RC 回路である。単発放電あたりのエネルギーを微小化し、かつ放電のくり返し周波数を高くすることができる。放電電圧は 1V 単位でデジタル設定ができる。設定できる範囲は 0 ~ ±110V で、極性は + が通常の穴加工、- が電極加工である。コンデンサ C は、コンデンサ切り替え回路に取り付けられた 4 個のコンデンサ (10pF, 100pF, 220pF, 3300pF) をリレーによって切り替え選択ができる。RC 回路とした場合には、単発放電エネルギー E (J) は、絶縁破壊電圧が低い場合の近似として下式で与えられる

$$E=1/2 \cdot CV^2$$

ここで、C : コンデンサ容量、V : 極間の印加電圧

C あるいは V によって放電エネルギーは変化するが、電圧 V が高すぎると電極消耗が極端に大きくなり、逆に小さすぎると放電が不安定となるため範囲は限られる。また、放電電圧は放電を発生するために 40V 以上にする必要があり、一方最大でも 110V が設定範囲となっている。このため、主として容量 C によりエネルギーの調整を行う必要があるが、実際には図 3.3 に示すように、放電回路中のコンデンサ C 以外に各構成部品間に浮遊容量 C'_1 、 C'_2 、 C'_3 、 C'_4 などが存在し、これらの合成容量を加えた ($C+C'$) が加工を行う上で実際の容量となる。微細加工領域では、使用するエネルギー E を $10^{-6} \sim 10^{-7}$ J 程度まで小さくする必要があり、容量は数 ~ 数 pF の範囲となる。したがって、浮遊容量をどれだけ低減できるかが放電エネルギーの微小限度を限定する。

本加工機では最良の加工条件では最小穴径 5 μm が可能であり表面粗さは $R_{max}0.1 \mu m$ の超微細放電加工ができる。また、導電性材料 (非抵抗値 1 cm) 以下なら高度材質を選ばずに加工を行うことができ、高アスペクト比加工は 5 ~ 10 倍程度になる。

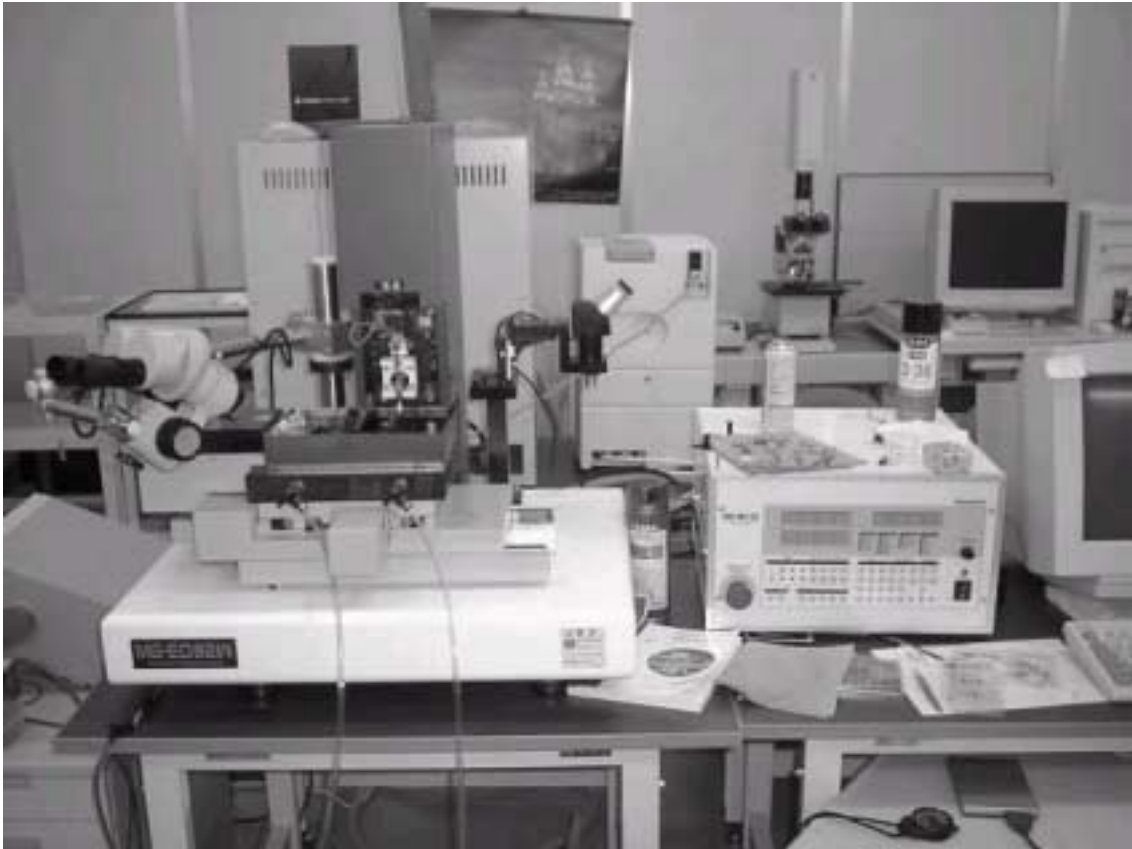


图 3.1 松下電器製 MG-ED82W

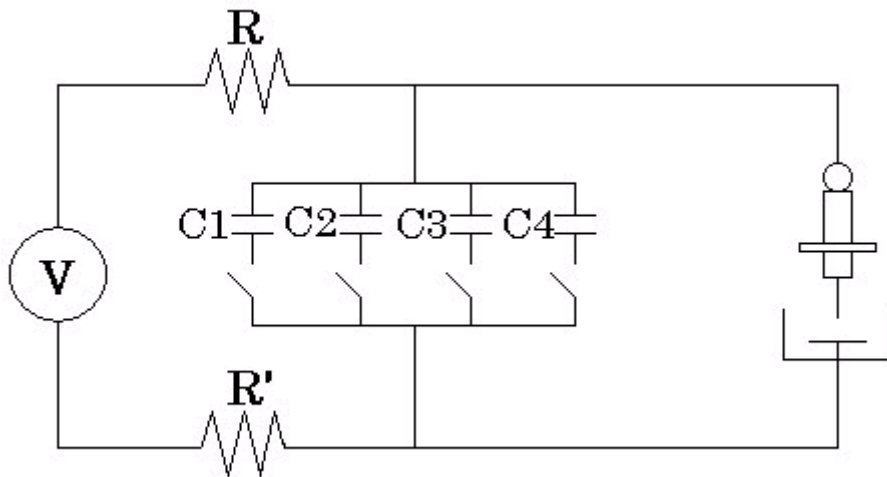


图 3.2 放電回路

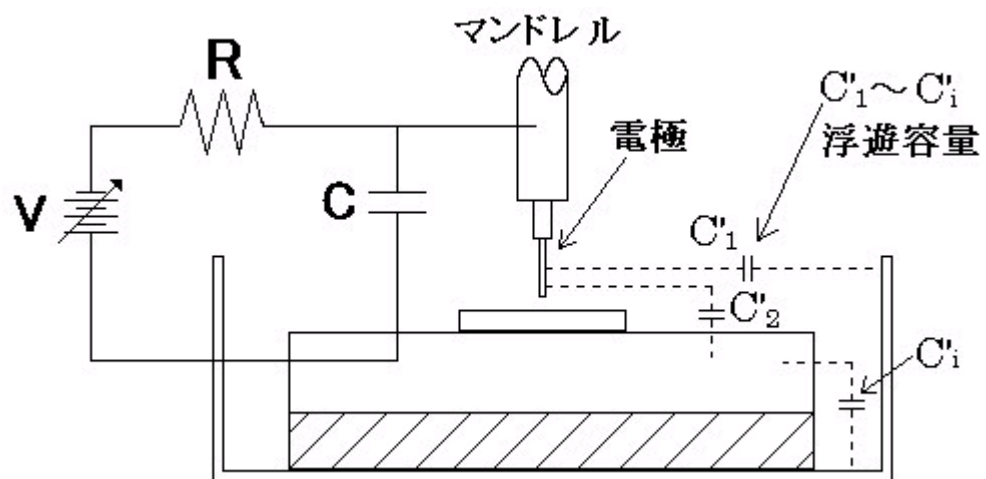


図 3.3 浮遊容量

3.2 電極成型

微細放電加工を行なうためには希望の寸法の電極となる軸の加工が必要になる。前述したように型彫り放電加工において加工形状の大きさや精度は用意できる電極の製作如何に決まってくる。そのためには電極の組み立ても重要になってくる。電極材料としては純タングステン線が用いられている。タングステンを挿入する穴と外周の同心度を正確に加工したセラミックス製ワイヤガイドをアライニングスリーブに介してマンドレルの先端に取り付ける。

微細軸加工を行なう方法の一つとして WEDG (Wire Electro-Discharge Grinding) がある。WEDG の原理を図 3.4 で示す。

WEDG は 2 次電極となるワイヤを被加工軸と対向して配置したワイヤガイド上に走行させ、被加工軸に回転と送り運動を与えつつ、ワイヤ、被加工軸間に放電を行なわせ、目的の形状、寸法に軸加工を行なうため、見かけ上電極消耗量を無視できる。したがって高精度の軸加工が可能である。

走行ワイヤ上に電極がくるように原点を設定し X 軸テーブルの動きによって軸径を定め Z 軸方向の動きによって軸方向の長さを定める。

WEDG による微細軸加工は自動的に進行するが、次の手順に従う。

最初に軸の端面加工を行なうと同時に、Z 軸の原点を設定して軸の長手方向の基準とする。引き続いて径方向の加工を行なうが、電極製作時間、仕上げ面荒さを向上させるためにまず、コンデンサ容量の高い領域で荒加工を行い、次にコンデンサ容量の低い領域で仕上げ加工を行なう。

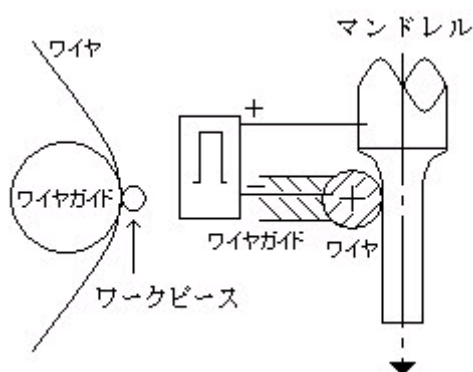


図 3.4 WEDG の原理図

3.3 実験条件

表 3.1 に実験条件を示す。

表 3.1 実験条件

加工機	松下電器製 MG-ED82W	
加工液	放電加工油	純水
	三井スペースカット	比抵抗 18M Ω -cm
放電回路	RC 回路(R=1k Ω)	
加工電圧	100V	
コンデンサ容量	10pF,100pF,220pF,3300pF	
電極	純タングステン線	
電極送り量	100 μ m	
電極径	50 μ m	

3.4 測定方法

計測方法を下記に示す。

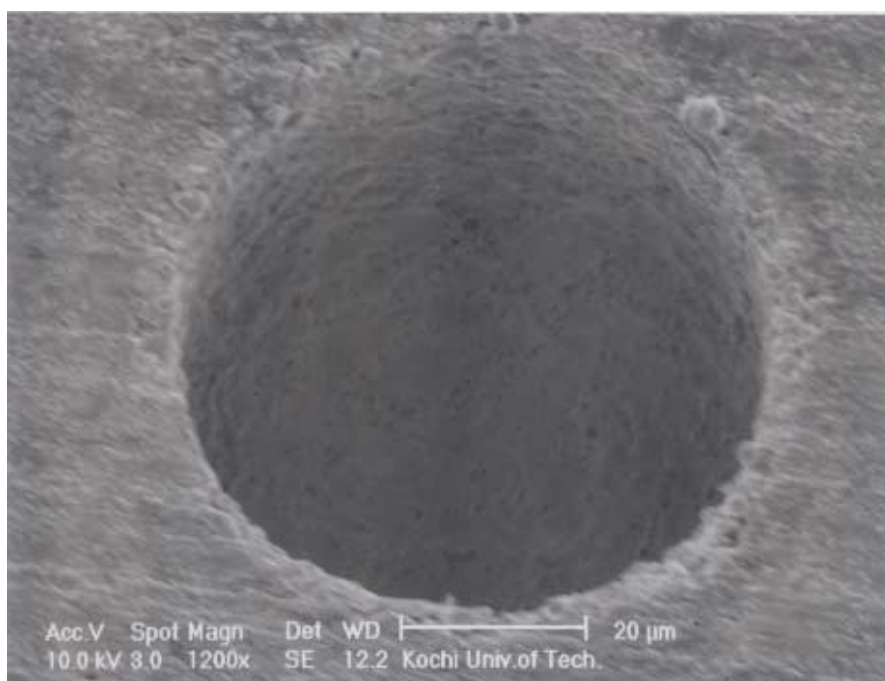
- 1) 加工時間 : 放電が開始されてから電極を目標量送った後に引き上げ開始を行うまでの時間をストップウォッチによって測定した。
- 2) 電極消耗量 : 加工前の電極長と加工後の電極長を Lasertec 社製レーザ走査顕微鏡 1LM21W により測定した。
- 3) 放電ギャップ : WEDG によって 50 μ m に製作された加工前の電極径と電極入り口側の加工穴径をレーザ走査顕微鏡によって測定しその差より求めた。
- 4) 加工体積 : Lasertec 社製レーザ走査顕微鏡 1LM21W により加工体積を測定した。
- 5) 消耗比 : Lasertec 社製レーザ走査顕微鏡 1LM21W により測定した電極消耗量と加工体積の比である。
- 6) SEM 画像 : 穴加工後の材料と使用した電極を philips 社製電子走査型顕微鏡 (SEM)XL20 により撮影した。

第4章 実験結果

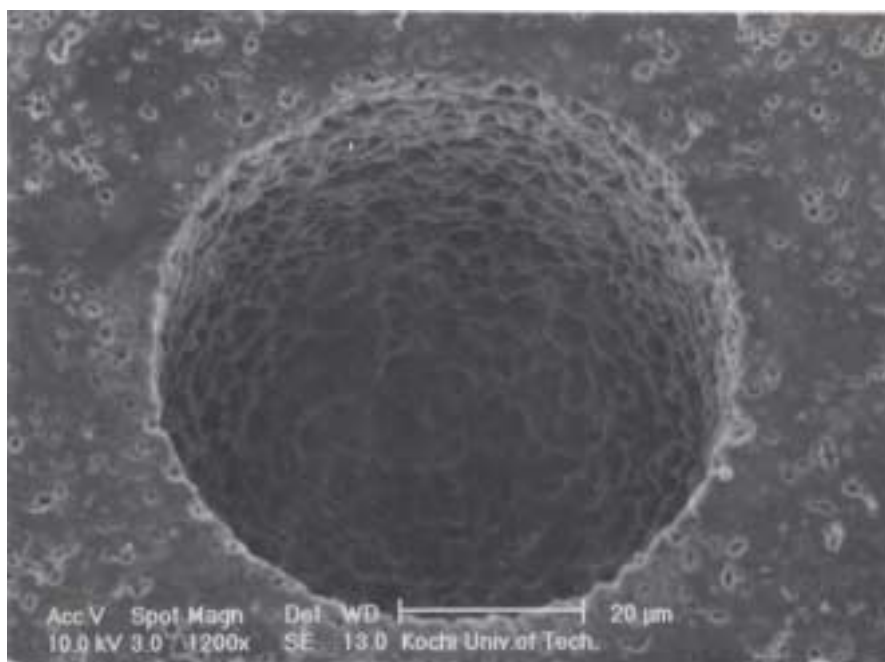
4.1 放電加工油を用いた場合の CBN と焼結ダイヤモンドとの比較

CBNにタングステン電極で、電極径 50 μm 、電極送り量 100 μm 、放電加工油を用いて加工を行った。図 4.1 の (a~d) は各コンデンサ容量で加工した CBN と焼結ダイヤモンドの SEM 写真、図 4.2 の (a) は加工時間、(b) は電極消耗量、(c) は放電ギャップ、(d) は加工体積、(e) は消耗比の CBN と焼結ダイヤモンドの比較を示す。

図 4.2 (a) の加工時間では放電エネルギーの大きい領域では CBN と焼結ダイヤモンドの差はほとんどないが、放電エネルギーが小さくなるにつれその差は増し、10pF では CBN は焼結ダイヤモンドの約 2/3 の加工時間になる。(b) の電極消耗量では CBN も焼結ダイヤモンドと同様 100 ~ 220pF に最小値があるが、差は加工時間と逆に放電エネルギーの大きい領域で大きくなり、3300pF では CBN は焼結ダイヤモンドの約 1/2 になる。(c) の放電ギャップではばらつきはあるが、CBN でも焼結ダイヤモンドとほぼ同等で 5 ~ 12 μm の範囲にある。(d) の加工体積では 220pF で近似している他は、CBN は焼結ダイヤモンドの約 1/2 になる。(e) の消耗比では 10pF で CBN は焼結ダイヤモンドの約 2.5 倍になっている他はほぼ同等という結果が得られた。

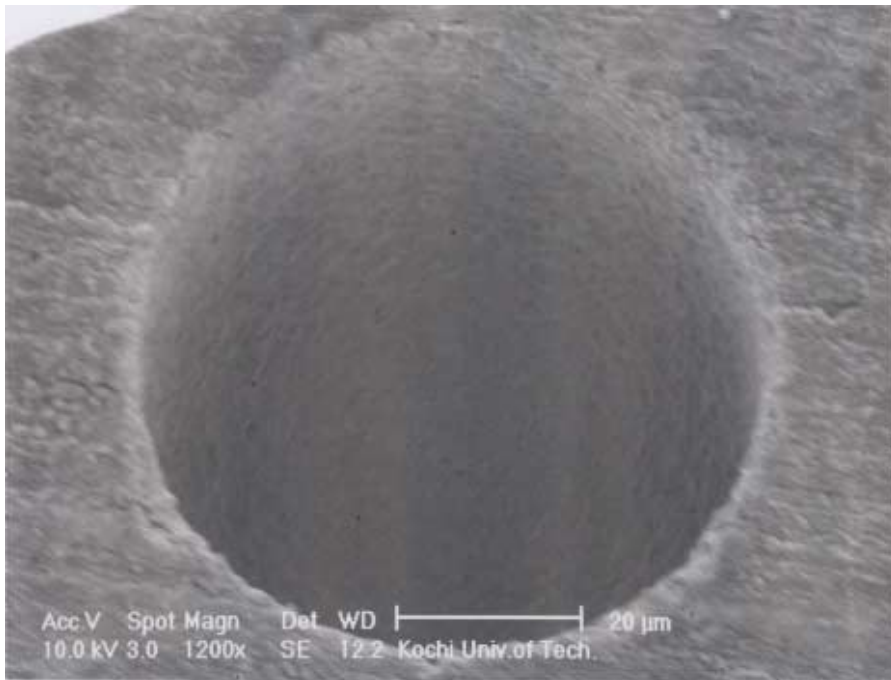


CBN

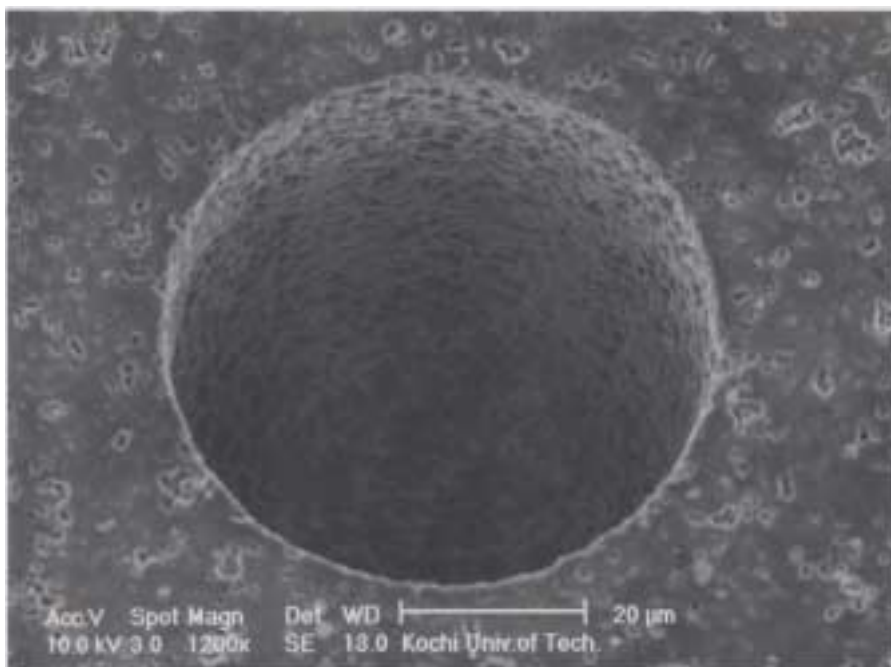


焼結ダイヤモンド

図 4.1(a) コンデンサ容量 3300pF

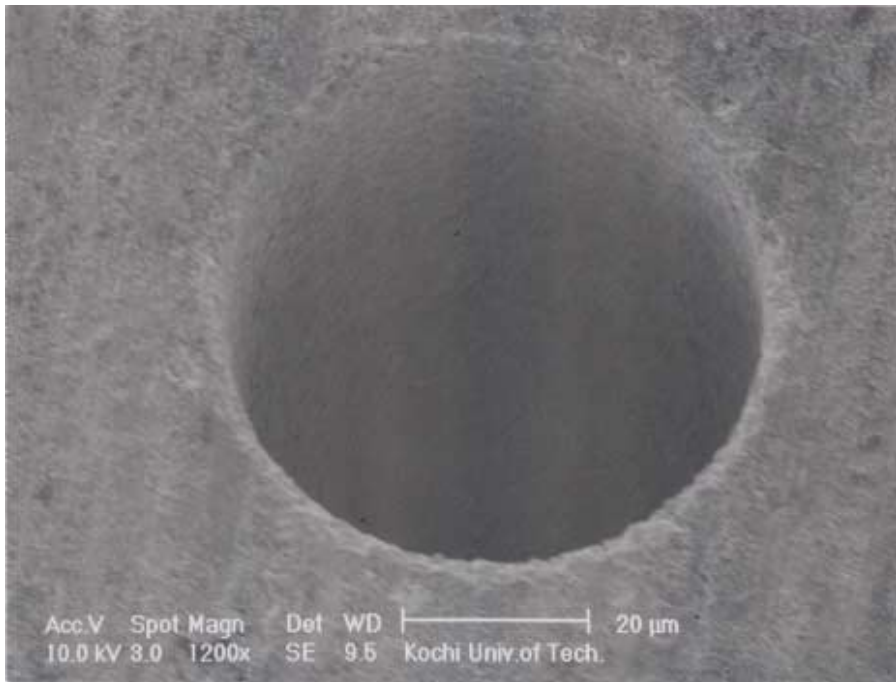


CBN

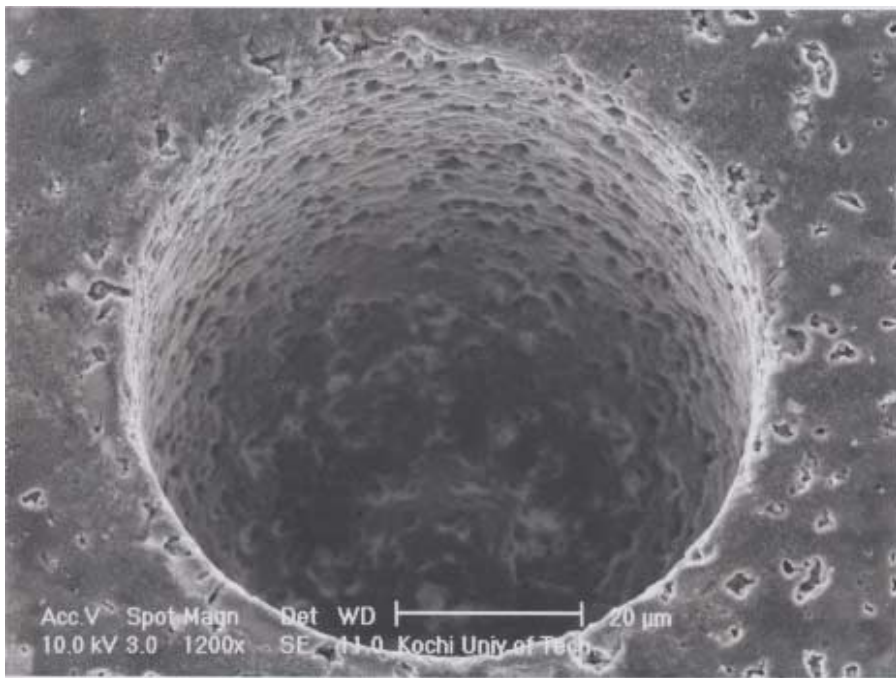


焼結ダイヤモンド

図 4.1(b) コンデンサ容量 220pF

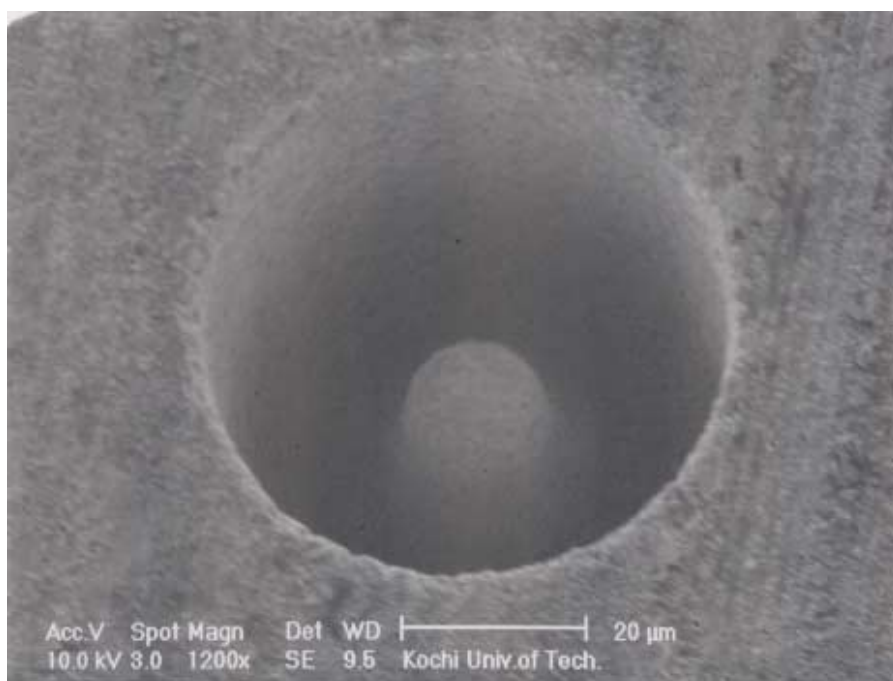


CBN

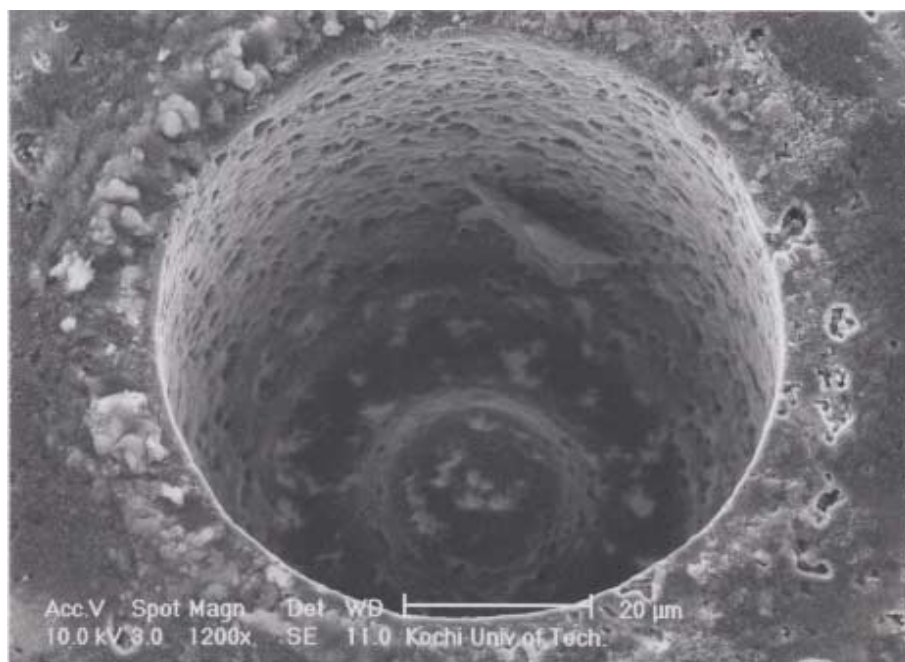


焼結ダイヤモンド

図 4.1(c) コンデンサ容量 100pF



CBN



焼結ダイヤモンド

図 4.1(d) コンデンサ容量 10pF

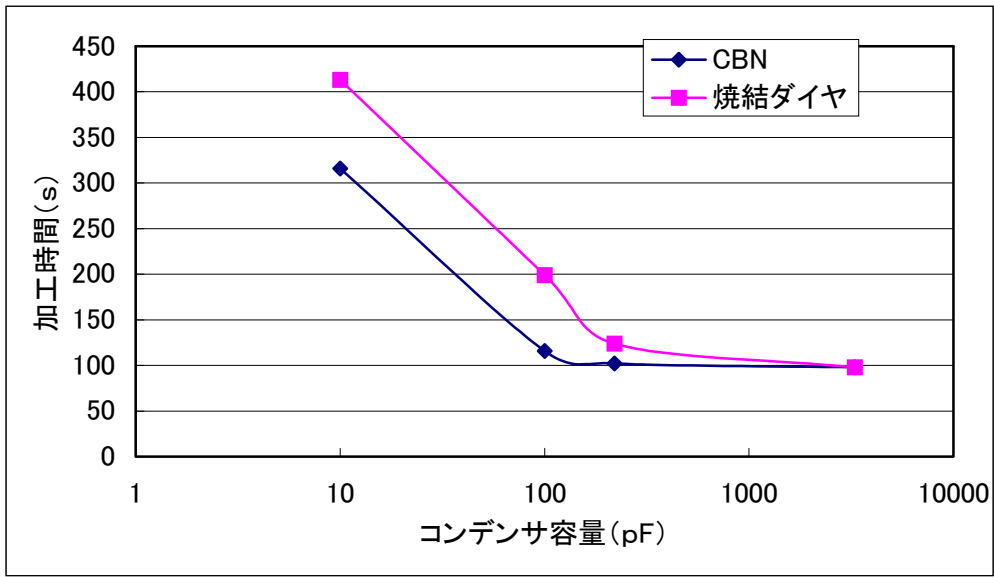


図 4.2(a) CBN、焼結ダイヤモンドの加工時間の比較

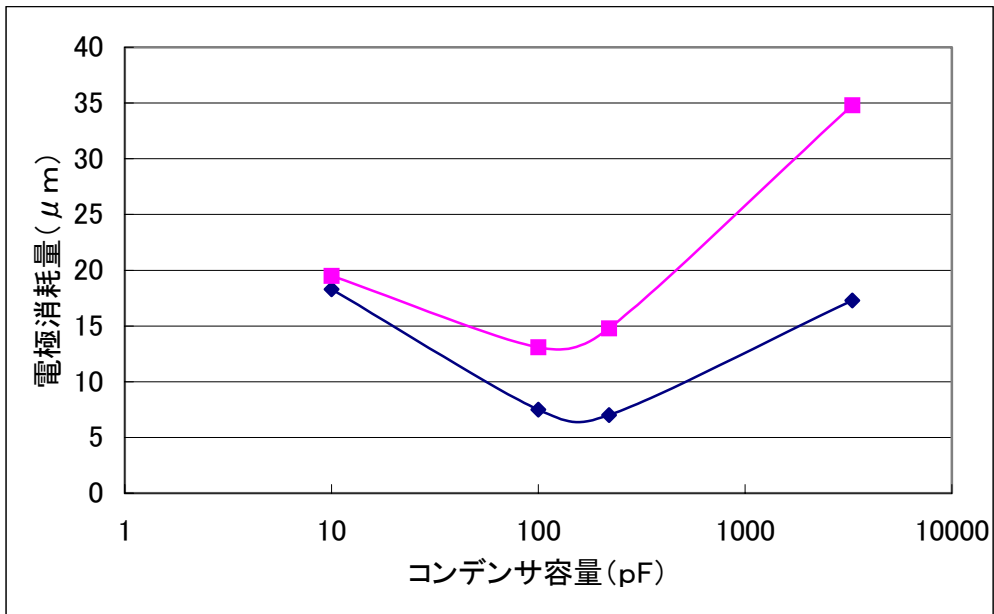


図 4.2(b) CBN、焼結ダイヤモンドの電極消耗量の比較

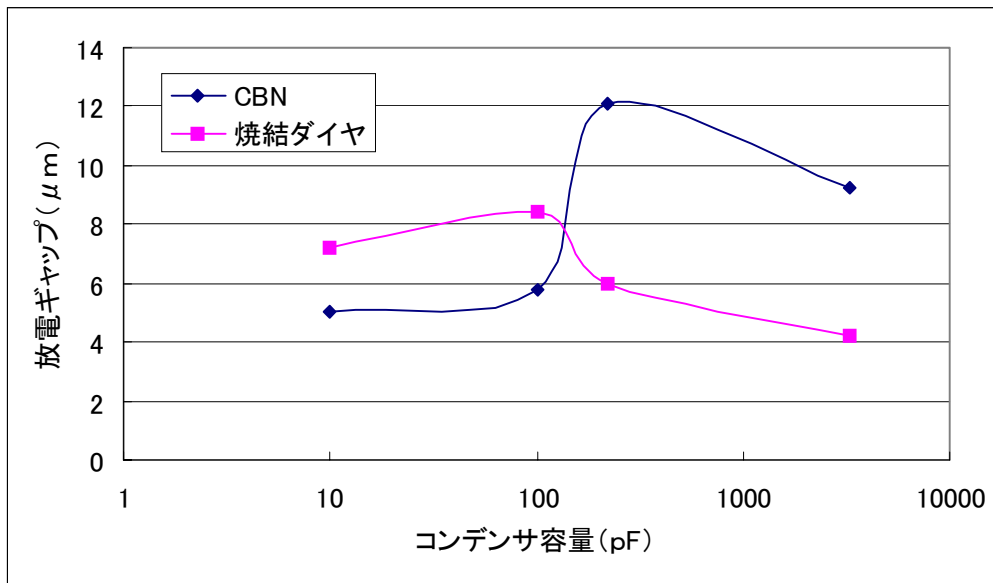


図 4.2(c) CBN、焼結ダイヤモンドの放電ギャップの比較

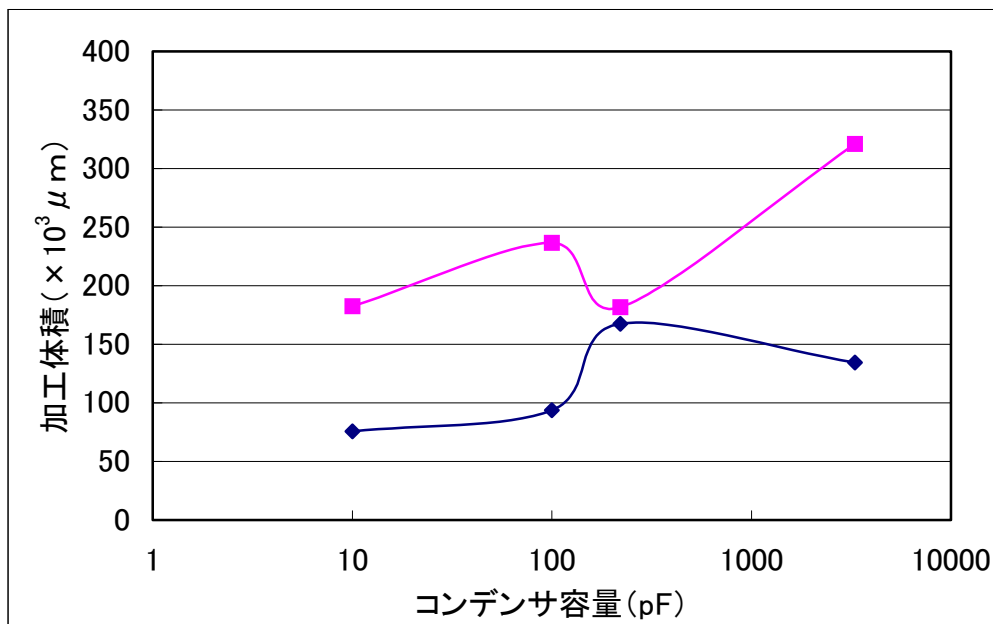


図 4.2(d) CBN、焼結ダイヤモンドの加工体積の比較

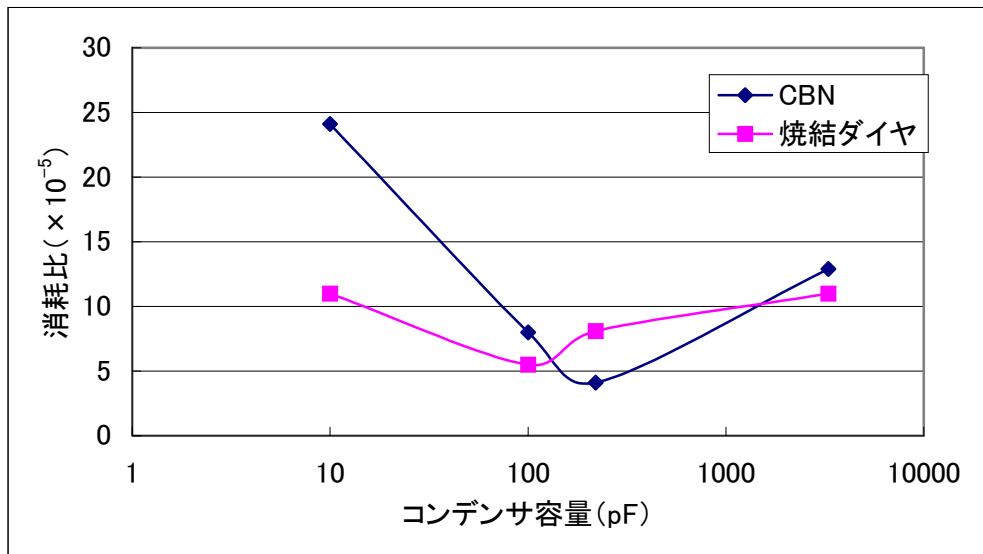


図 4.2(e) CBN、焼結ダイヤモンドの消費比の比較

4.2 放電加工油と純水の比較

CBNにタングステン電極で、電極径 $50\mu\text{m}$ 、電極送り量 $100\mu\text{m}$ 、純水を用いて加工を行った。図 4.3 の (a~d) は各コンデンサ容量で加工した CBN の SEM 写真、図 4.4 の (a) は加工時間、(b) は電極消耗量、(c) は放電ギャップ、(d) は加工体積、(e) は消費比の放電加工油と純水の比較を示す。

図 4.4 (a) の加工時間では $100\sim 3300\text{pF}$ では差はないが、 10pF では放電加工油の約 $1/2$ の時間で加工できる。(b) の電極消耗量では純水は放電加工油の約 $1/2\sim 1/3$ になる。(c) の放電ギャップでは、純水は放電加工油に比べ非常に大きく 10pF で約 8 倍になる。(d) の加工体積では、放電エネルギーの大きい領域で差が大きい。(e) の消費比では、純水は小さく、放電加工油との差は 10pF で約 10 倍になっているという結果が得られた。

図 4.5(a)~(h)はレーザ走査顕微鏡 1LM21W による加工穴プロファイルの測定結果を示す。

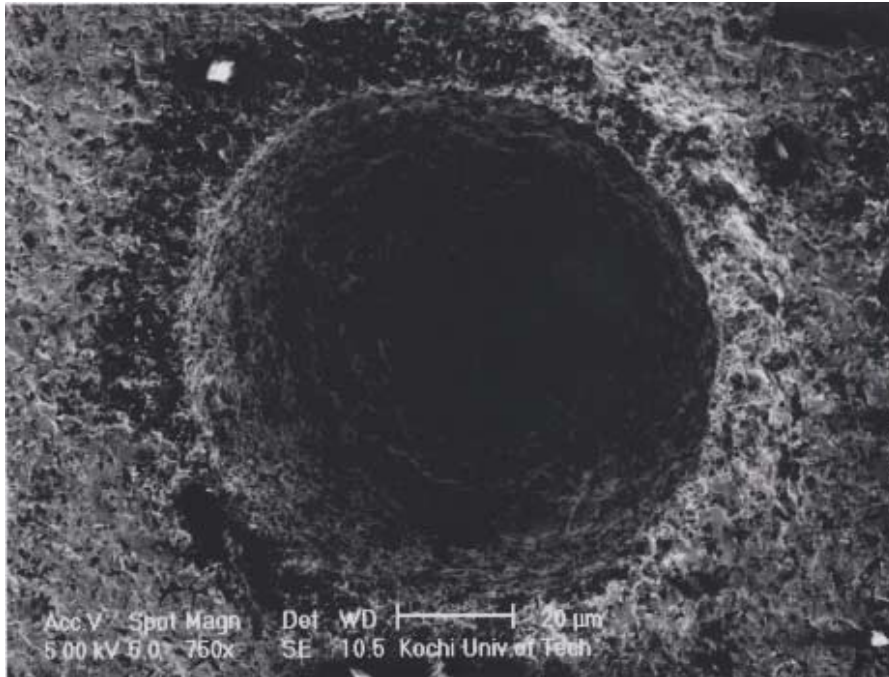


図 4.3 (a) コンデンサ容量 3300pF

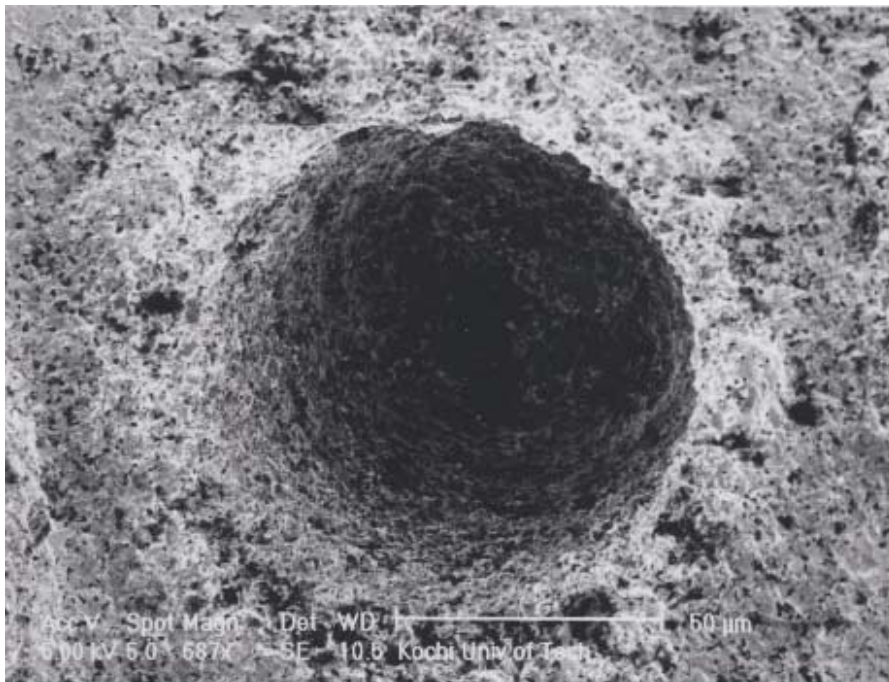


図 4.3 (b) コンデンサ容量 220pF

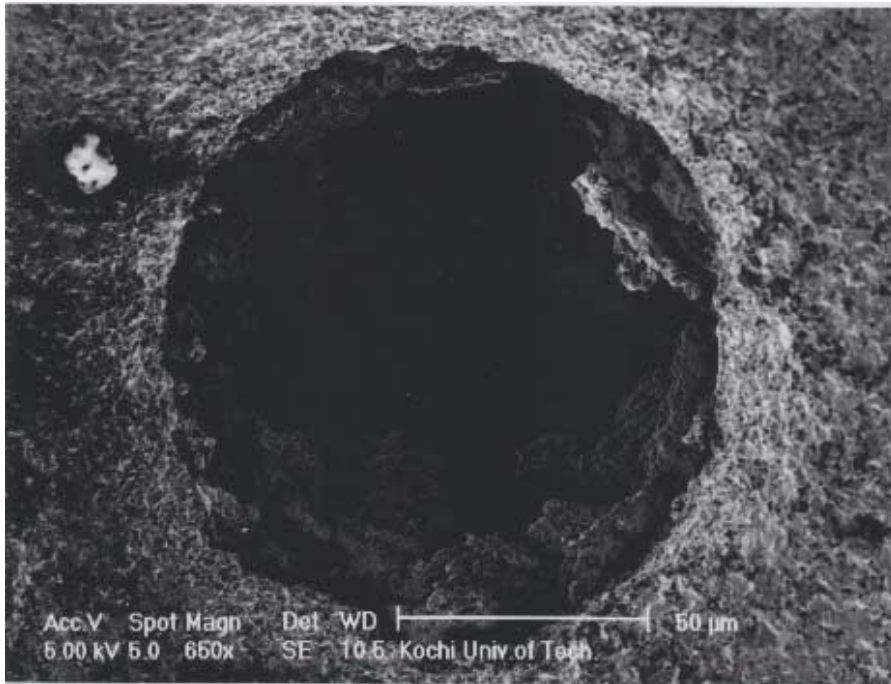


図 4.3 (c) コンデンサ容量 100pF

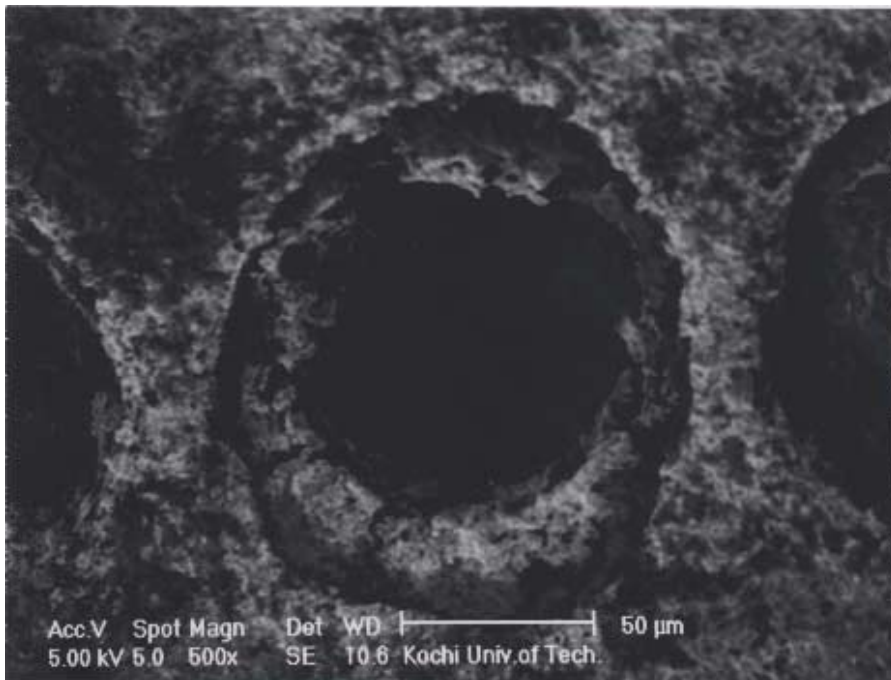


図 4.3 (d) コンデンサ容量 10pF

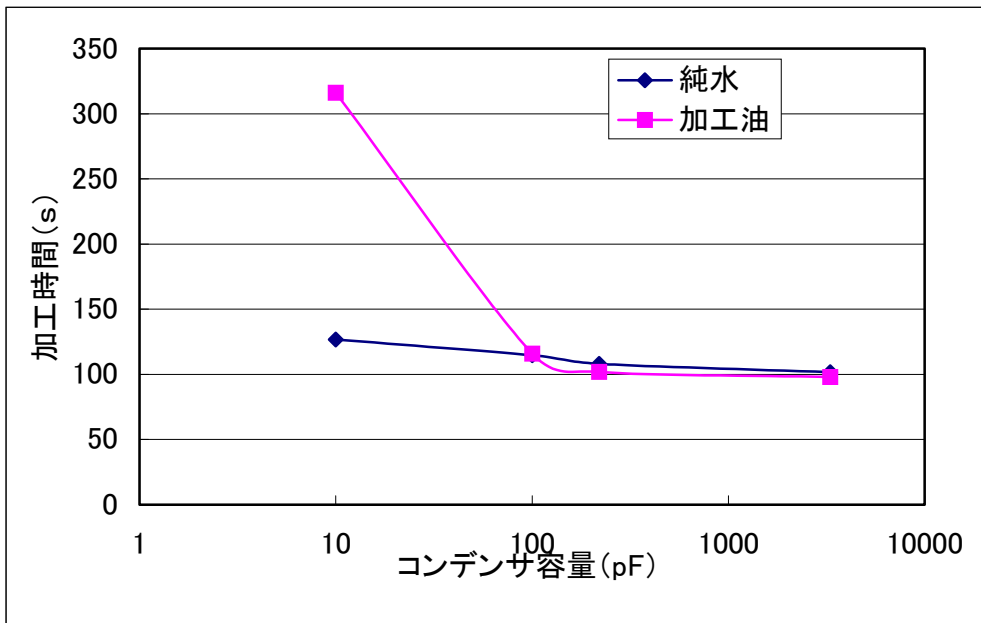


図 4.4(a) 放電加工油と純水の加工時間の比較

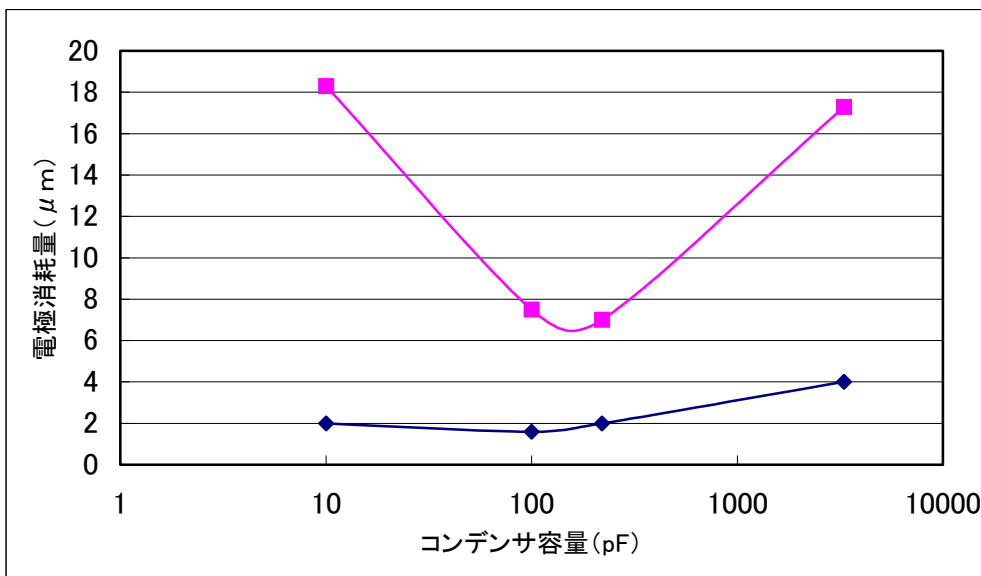


図 4.4(b) 放電加工油と純水の電極消耗量の比較

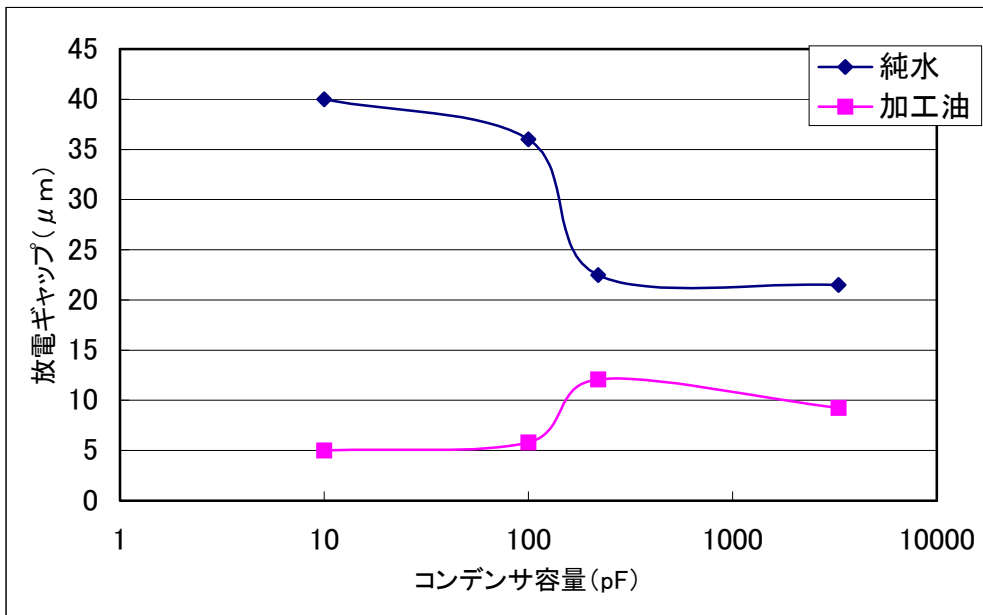


図 4.4(c) 放電加工油と純水の放電ギャップの比較

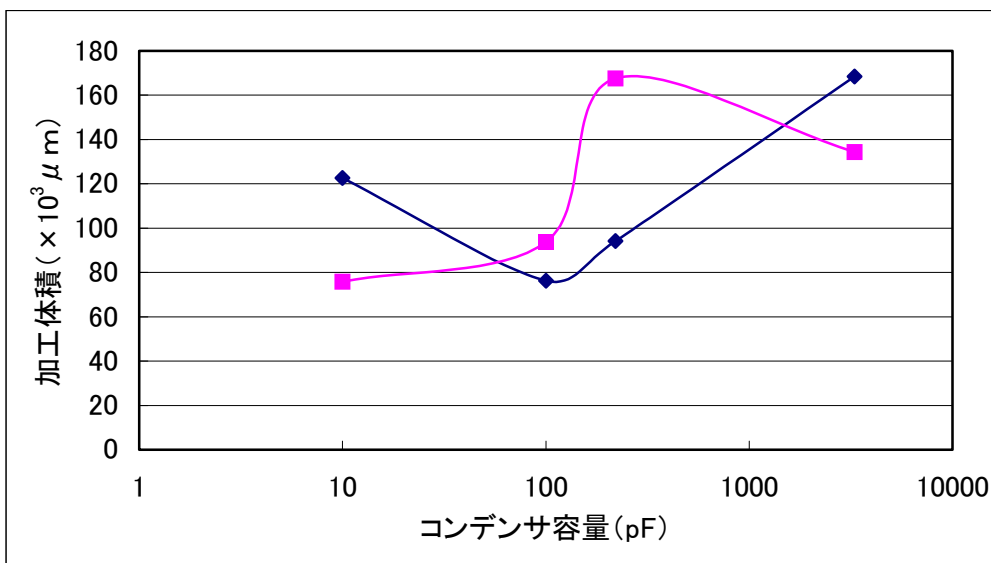


図 4.4(d) 放電加工油と純水の加工体積の比較

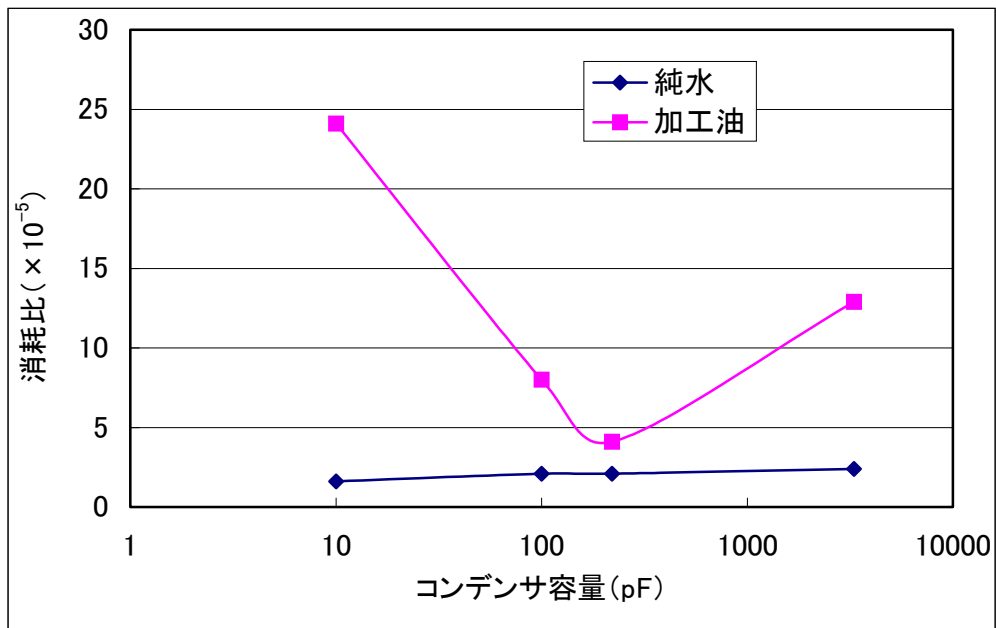
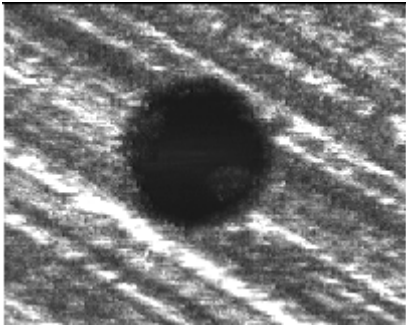
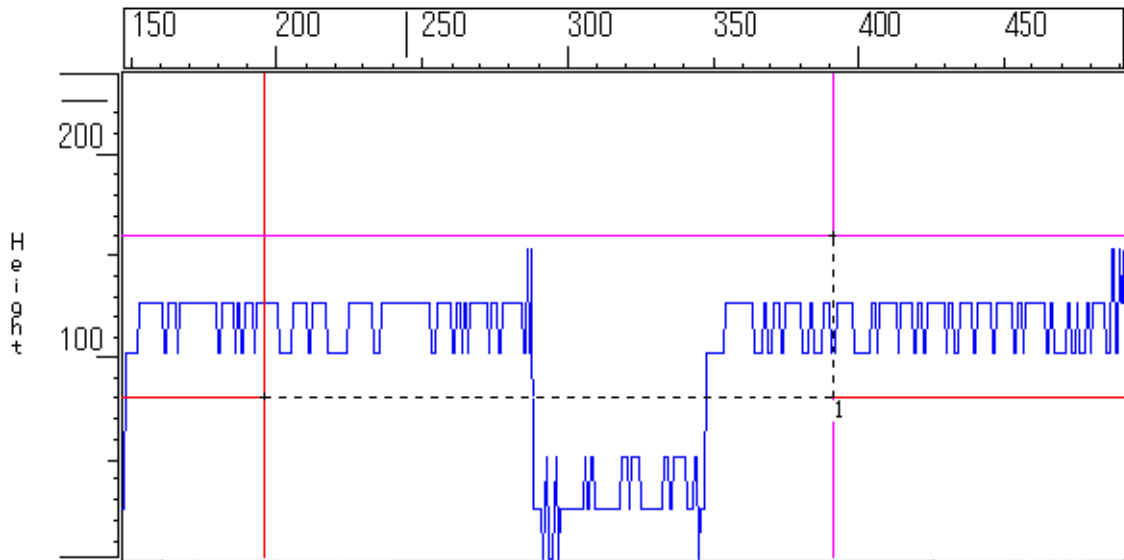


図 4.4(e) 放電加工油と純水の消費比の比較



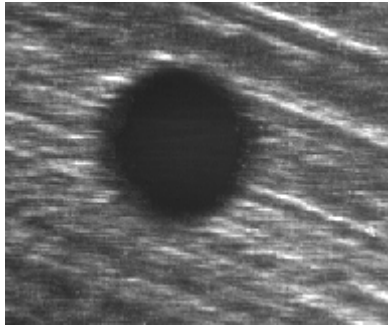
項目 番号	1 高度差
1	79.122420

始点X:195.537 始点Y:315.466 始点Z:79.1224
 終点X:391.074 終点Y:315.466 終点Z:158.245
 高度差:79.1224 角度:22.0903 距離:196.189 空間距離:211.642
 X座標(um)



項目 番号	1 番号	2 体積
1	1	134306

図 4.5(a) CBNを放電加工油で加工 C = 3300



項目	1
高度差	264.896346
番号	1

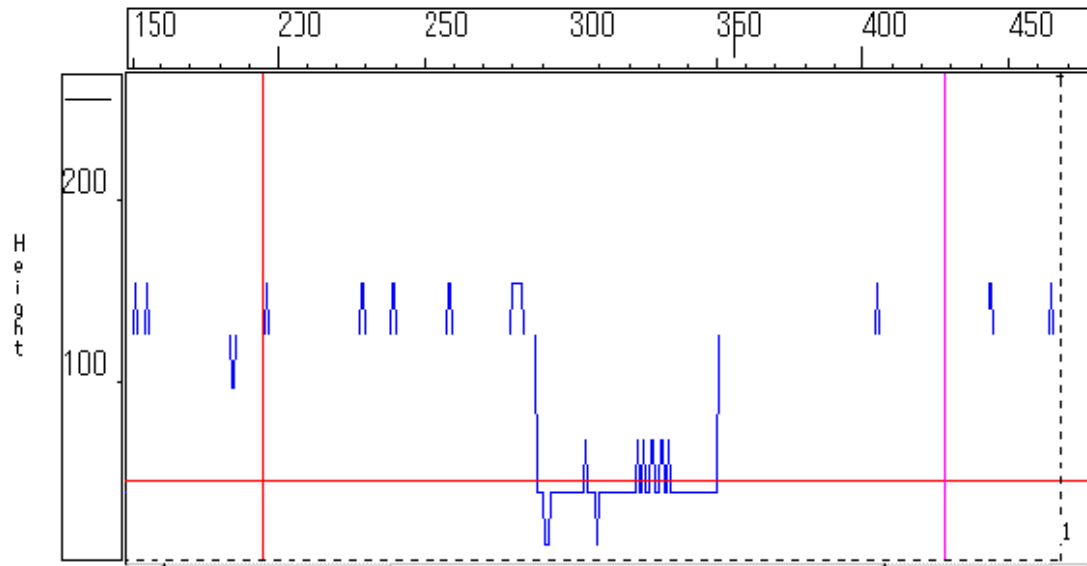
始点 X : 194.293
 終点 X : 427.574
 高度差 : 150.177

始点 Y : 315.466
 終点 Y : 315.466
 角度 : 92.7652

始点 Z : 49.8018
 終点 Z : 193.979
 距離 : 233.993

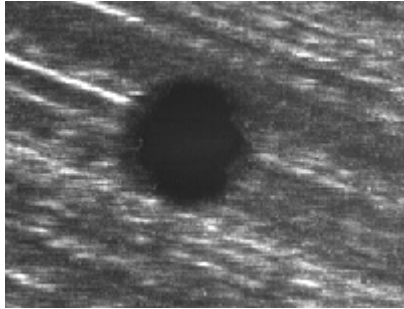
空間距離 : 278.266

X座標 (um)



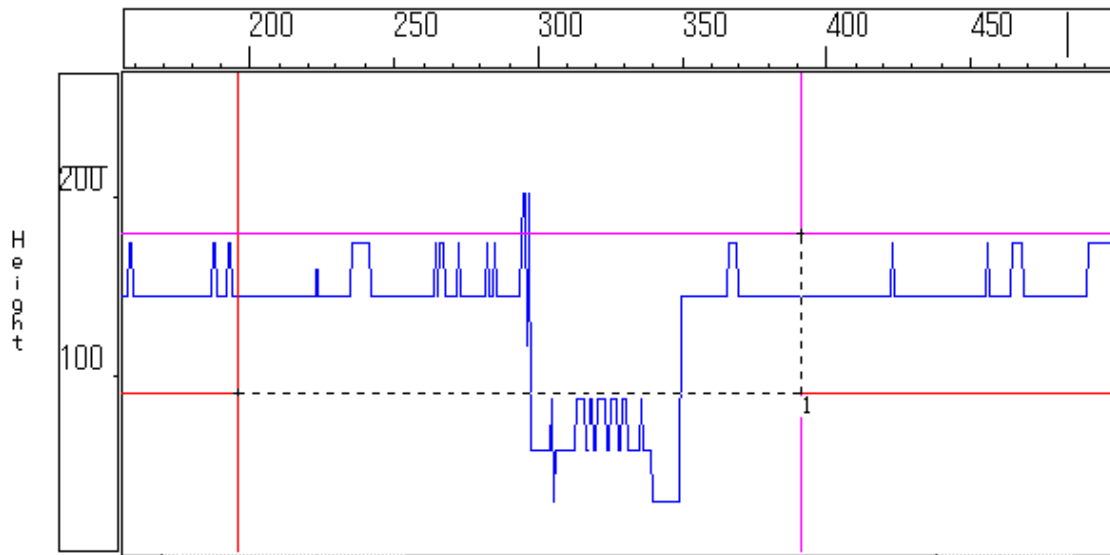
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	167618

図 4.5(b) CBN を放電加工油で加工 C = 220



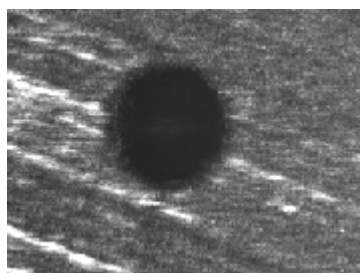
項目	1
高度差	88.646415
番号	1

始点 X : 195.537 始点 Y : 315.466 始点 Z : 88.6464
 終点 X : 391.074 終点 Y : 315.466 終点 Z : 177.293
 高さ差 : 88.6464 角度 : 24.3871 距離 : 196.189 空間距離 : 215.408
 X座標 (um)



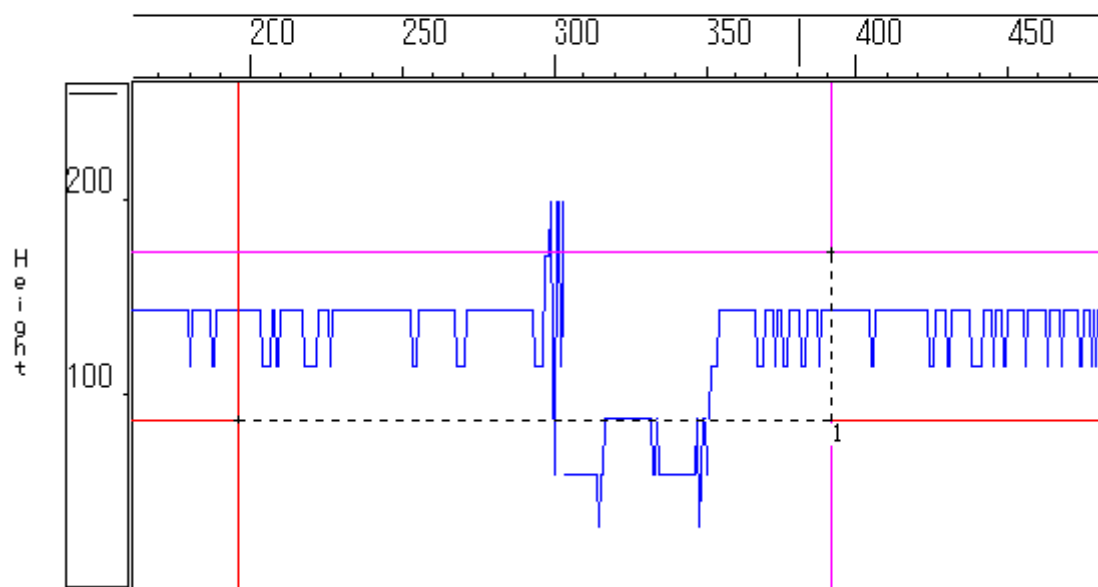
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	93651

図 4.5(c) CBN を放電加工油で加工 C = 100



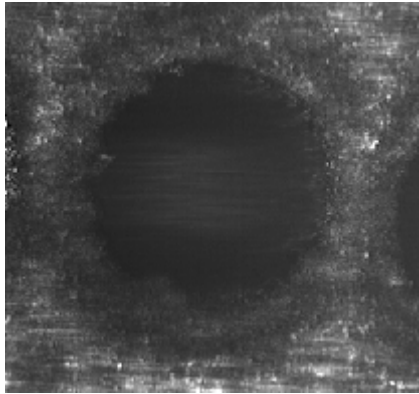
項目	1
番号	高度差
1	85.715955

始点X:195.537 始点Y:315.466 始点Z:85.716
 終点X:391.074 終点Y:315.466 終点Z:171.432
 高度差:85.716 角度:23.6708 距離:196.189 空間距離:214.211
 X座標(um)



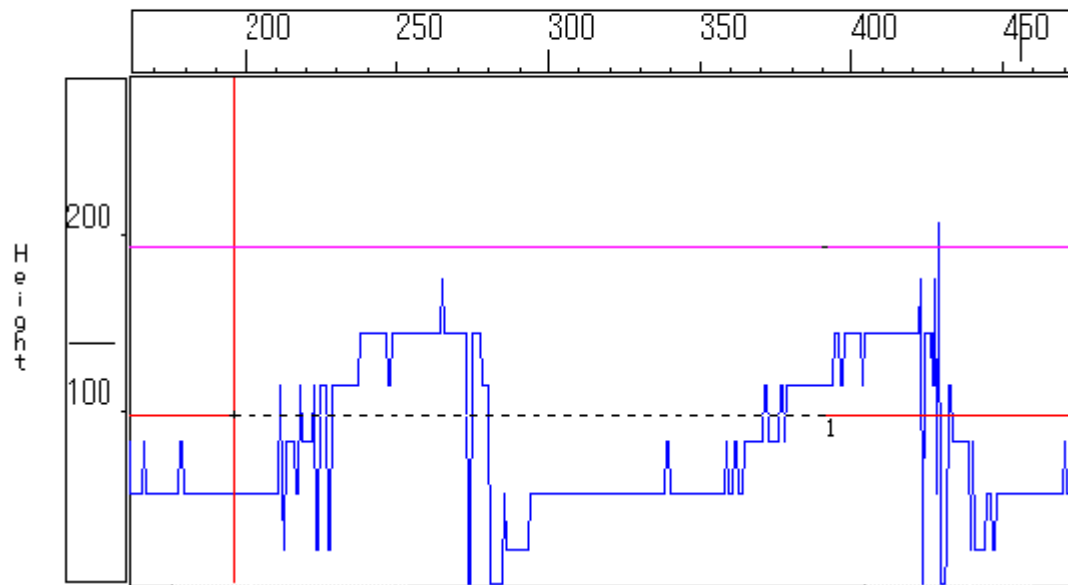
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	75793

図 4.5(d) CBNを放電加工油で加工 C = 10



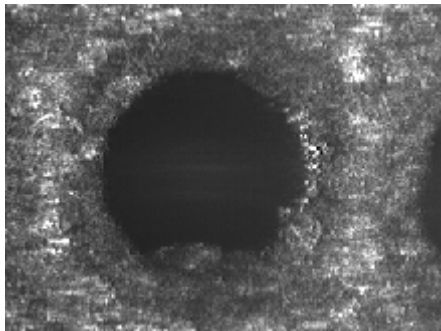
項目	1
高度差	95.972565
番号	1

始点X:195.537 始点Y:315.466 始点Z:95.9726
 終点X:391.074 終点Y:315.466 終点Z:191.945
 高度差:95.9726 角度:26.1425 距離:196.189 空間距離:218.546
 X座標(um)



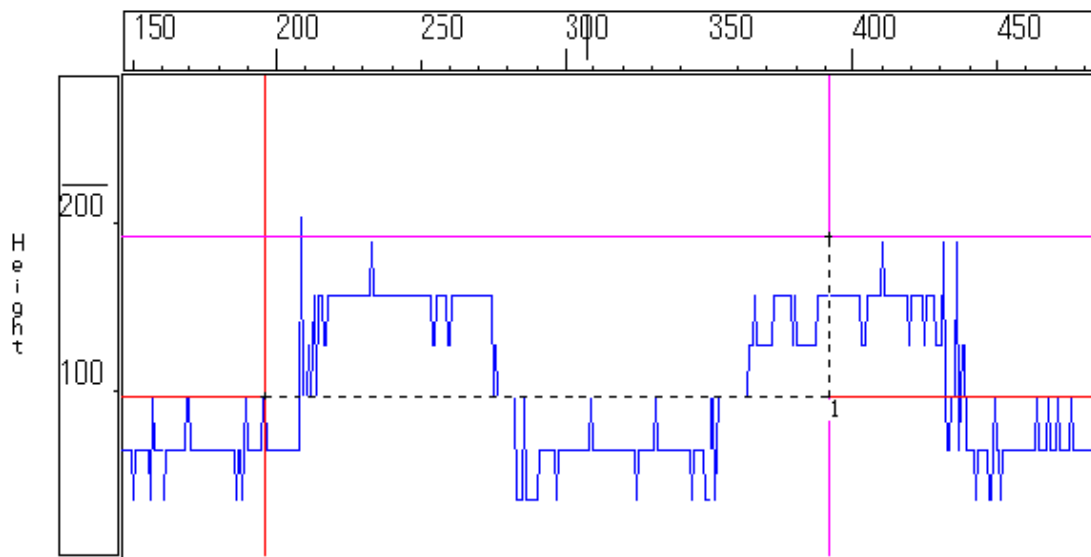
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	168378

図 4.5(e) CBNを純水で加工 C = 3300



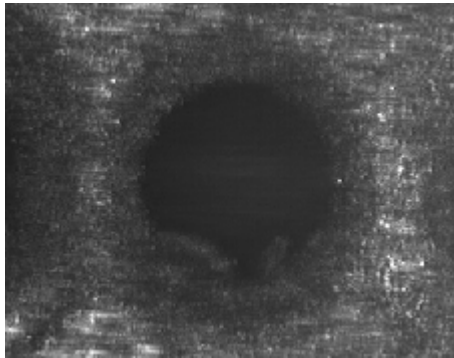
項目	1
番号	高度差
1	95.239950

始点 X: 195.537 始点 Y: 315.466 始点 Z: 95.24
 終点 X: 391.074 終点 Y: 315.466 終点 Z: 190.48
 高度差: 95.24 角度: 25.9693 距離: 196.189 空間距離: 218.223
 X座標 (um)



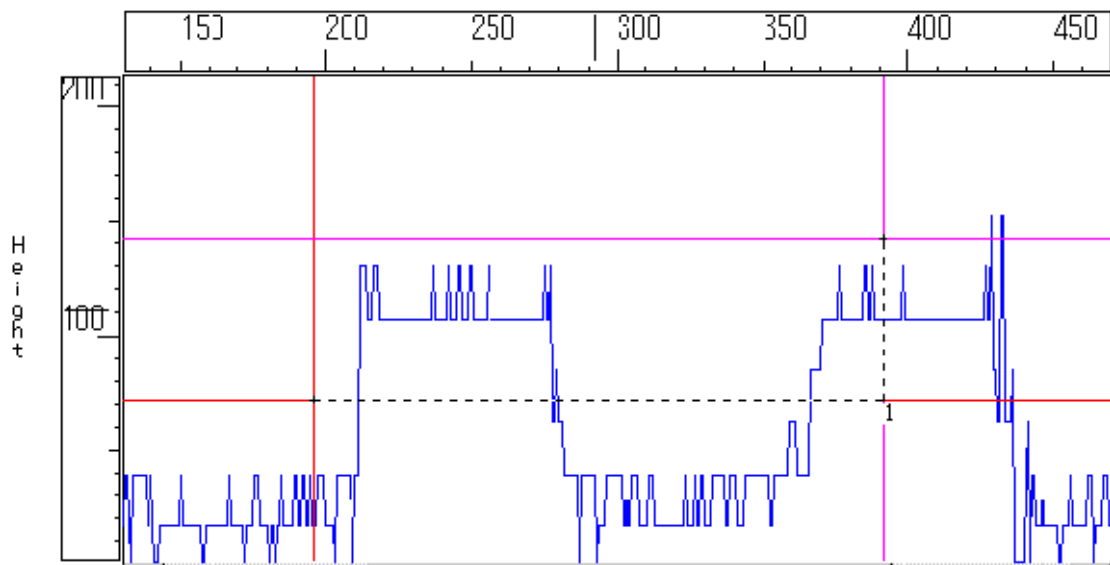
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	94173

図 4.5(f) CBNを純水で加工 C = 220



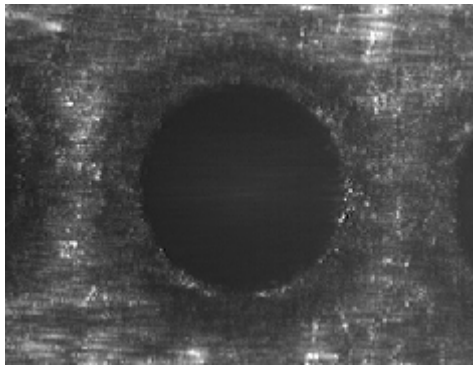
項目	1
高度差	70.331040
番号	1

始点X:195.597 始点Y:315.466 始点Z:70.331
 終点X:391.074 終点Y:315.466 終点Z:140.662
 高度差:70.331 角度:19.7827 距離:196.189 空間距離:208.493
 X座標(um)



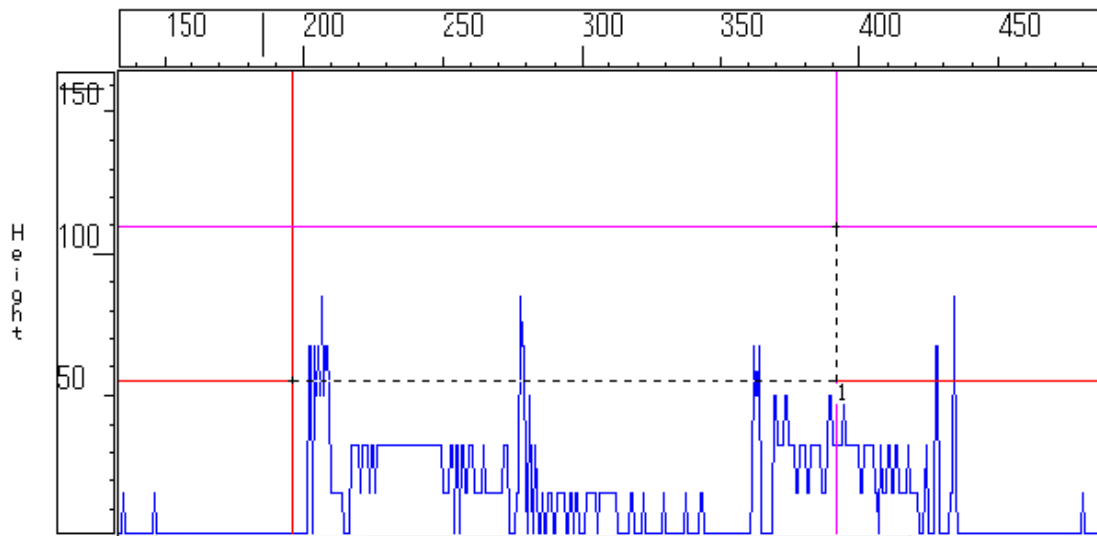
項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	76322

図 4.5(g) CBNを純水で加工 C = 100



項目	1
番号	高度差
1	54.213510

始点X:195.537 始点Y:315.466 始点Z:54.2135
 終点X:391.074 終点Y:315.466 終点Z:108.427
 高度差:54.2135 角度:15.4963 距離:196.189 空間距離:203.59
 X座標(μm)



項目	1	2
番号	番号	体積
1	1	122584

図 4.5(h) CBNを純水で加工 C = 10

第5章 結論

- 1) CBNは良好に加工できる。しかし焼結ダイヤモンドに比べると加工穴周辺にだれが見られる。また 10pF では突起のような物があるがそれは、電極は回転しながら加工を行いその回転で切りくずを排出しながら加工を行うが、電極中心部では収束が 0 になり切りくずは排出されず堆積してしまい切りくずと二次放電が起き加工が進行せず切り残しがあると考えられる。CBN は焼結ダイヤモンドの比べ加工時間は放電エネルギーが小さくなるにつれ短くなり、電極消耗量も比較的小さく加工しやすい。しかし、加工体積はCBNの方が小さく消耗比が大きくなり切り残しがあるためである。放電ギャップはばらつきがあるがほぼ同等であり実験のばらつきであると言える。
- 2) 純水を用いた場合でも良好に加工できているが放電加工油に比べ加工穴周辺にだれが多く見られ加工面が粗い。純水は放電加工油に比べ加工時間が短く、電極消耗量が小さい。また消耗比も小さい。しかし放電ギャップが非常に大きく、加工はしやすいが加工精度はよくない。

謝辞

本研究に対し終始熱心にご指導いただいた高知工科大学知能機械システム工学科河田耕一教授に心から厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、CBNの提供をしてくださった高知県工業技術センター西村一仁氏に心から厚く御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、御指導、ご協力してくださった高知工科大学大学院知能機械システムコース山岡正和先輩、高知工科大学精密工学研究室藤村秀樹君に心から厚く御礼申し上げます。

参考文献・図書

- 1) (財)マイクロマシンセンター監修：マイクロマシン革命、日刊工業新聞社、(1999).21-52.
- 2) 林 輝也：マイクロマシンと材料技術、シーエムシー、(1991).4.5.196
- 3) 諸隈 肇：内視鏡テクノロジー、シーエムシー、(1999).
- 4) 精密工学会編：精密工作便覧、コロナ社、(1992).455.
- 5) 「マイクロマシン技術による製品小型化・知能化辞典」編集委員会：マイクロマシン技術による製品小型化・知能辞典、産業調査会 辞典出版センター、(1992).32.