

平成 13 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

微細放電加工によるマイクロ刃物の製作

学籍番号: 1020099

氏名: 奥村 亮

指導教員: 河田 耕一

目次

第1章

緒論

1.1	マイクロマシンの現状	3
1.2	マイクロマシンの加工	3
1.3	放電加工	3
1.4	微細放電加工	6
1.5	微小手術器具の意義	6
1.6	本研究の目的	7

第2章

加工実験と切れ味試験

2.1.1	マイクロ刃物加工実験方法	8
2.1.2	実験結果	8
	放電加工機によるマイクロ刃物の加工方法(図1)	9
	マイクロ刃物SEM写真(図2~13)	10
	市販のかみそり(図14)	22
	刃先粗さグラフ(図15、16)	23
	簡易比較SEM写真(図17)	24
2.2.1	切れ味試験方法	25
2.2.2	切れ味試験結果	25
	切れ味試験装置	26
	切れ味試験結果グラフ(図19~22)	27

第3章

結論

(1)	マイクロ刃物作製	
(2)	切れ味試験	
(3)	今後の課題	31

参考文献・図書	32
---------	----

謝辞	33
----	----

第 1 章

緒論

1.1 マイクロマシンの現状

マイクロを「微小」程度の意味と定義すると実在するもののない微小な機械の領域を総てマイクロマシンの範囲としてよいことになる。

現在のマイクロマシンの大きさはどの程度のものなのか。一般的な機械では数 mm の腕時計が最も小さく、その時計の中には外形 0.5mm ほどの歯車や、モーターが使われている。

そして、半導体製造技術の産物の静電モーター軸受けまで考えても機械部品の大きさは数 μm までである。部分的な加工・測定では STM (Scanning Tunneling Microscopy) が数 μm の大きさまで取り扱っている。

今後のマイクロマシン技術の流れとしては、1mm～それ以上の大きさの領域は従来の精密加工技術の延長で実現すると考えられる。又、1mm～ μm の領域は現在最も活発な半導体製造技術の応用で活躍すると思われる¹⁾。

1.2 マイクロマシンの加工

腕時計メーカーは外径 0.5mm の歯車や、直径 0.06mm の軸受け等の微小な部品を作り、オートメーションにより大量生産を行ってきた。こういった部品作りなどの分野ではさらに微小な部品を作り出すことも可能と言われている。これらを可能にしている技術が微細放電加工である。ワイヤー放電研削で作り出した電極を用いて放電加工を行い、ケーシングの外径 1mm のエアタービンも作り出している。細い電極さえあれば、さらに微細なものも作ることができる。微細加工の医療方面では、長さ 0.5mm、太さ 20 μm のステンレス製縫合針とそれら进行操作する器具が作られている。

1.3 放電加工

①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。

②型彫り放電加工

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 機能をもっ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出現するにつれて、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 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{s}$ 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0.01～50g/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100～200g/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1μm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±10～20μm、高精度の場合±5μm以内となる。

放電加工は、1回の放電(単發放電)における除去現象の繰り返し、すなわち累積であり、単發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(mm³)や面積(mm²)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)で表示する場合が多い。

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・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²⁾³⁾。

1.4 微細放電加工

本研究では通常の放電加工に比べて、1～2桁放電エネルギーが小さい微細放電加工を用いて研究を行った。微細放電加工とは、従来の放電加工の放電エネルギーを微小化し、さらにサブミクロンの電極回転精度など、高精度の機構によって微細加工を可能とした技術である。この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法をはじめとして、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。複雑な三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挙げられている。

1.5 微小手術器具の意義

近年、医療技術は日々進歩し、それに伴い技術に見合う高性能な医療器具も要求され始めている。人体の治療において、その体の中に入り治療が必要とされる部分のみを手術し、治療するという手法が必然と出てきた。当然のことながら、この体内治療を行うには体内に入る極小の手術器具が必要となってくる。この体内に入る極小の手術器具は、最低限血管の中に入り込めるぐらいの大きさが必要とされるため、より精密なものが要求されている。近年、開腹手術によらず腹腔鏡下に胆嚢切除を行う手法が急速に普及しつつある。腹腔鏡下胆嚢摘出術は従来の開腹による胆嚢切除と比較し、

- ①・・・入院期間の短縮と、日常生活への早期復帰が可能。
- ②・・・手術時の傷痕がほとんど残らない。
- ③・・・手術に起因する腹腔内癒着が生じにくい。

などの利点がある。この利点がある手術を行うのに必要な機材が、微細手術用具を装備した手術ロボットである。開腹をせずに、胆嚢の切除を行うには、まず腹に穴3箇所ほど開け、そこから胆嚢切除に必要な微細な手術用具を挿入する。腹に開けた穴は 10mm～5mm程度で、この穴から挿入できる器具の大きさも自然とmmサイズとなる微細手術器具である。そして、当然腹の中の状況を見ながら手術を行わなければならない。手術を行うには繊細かつフレキシブルな動きが必要とされる。これらの問題を一手に引き受けるものが、ロボットである。このロボットは、術者が自ら操作し、それによって動くタイプである。術者は患者の腹の内部をモニターで除きながら操作をし、ロボットはその操作の動きをダイレクト実行する。このロボットと微細手術器具によって、術者と患者の負担を和らげ、成功を確実なものへと近づける手術が可能となる⁴⁾。

腹腔鏡下外科手術は

- 1. 手術後の痛みが少ない
- 2. 早期離床・早期退院が可能である
- 3. 手術跡が小さく済み、美容面でもよい

などのように患者の体に負担が少ない手術である反面、従来の手術器具を用いて、小さな穴を通して手術を行わなければならないため医者にかかる負担は大きくなってしまふ。また、現在の体内手術は、手術を施す側の操作が難しく、精度にも欠けるため、手術可能な症状が限られている。手術器具のマイクロ、知能化がさらに進めば、より繊細な動作を必要とされる手術や、違った多くの症状にも対応出来る可能性がでてくる。技術が確立されれば子供、老人にかかわらず安全かつ、容易に手術を行うことができ、手術後の傷痕、患者の苦痛の大幅な削減、手術後の早期回復が見込まれる⁵⁾。

このように、微細手術器具の必要性は大きいと思われる。

1.6 本研究の目的

本研究では、血管内に入れる程度の微細手術器具としてのマイクロ刃物を作製し、切れ味試験によって市販の刃物(かみそり)と微細放電加工機で作製したマイクロ刃物(SUS304・Ti)を比較し考察することを目的とする。製作したマイクロ刃物について、各種の材料を用いて切れ味試験を行い、切れ味が良いかどうか、市販のかみそりと比較することを目的とした。

第 2 章

加工実験と切れ味試験

2.1 加工実験方法

まず最初に、マイクロ刃物を金属板（板厚 50 μm ）を加工時の板の角度と放電加工機のコンデンサ容量とで数種類に分けて作製する。加工装置は松下電器製の MG-ED82W を用いた。放電加工機の取り付け台に加工対象の金属板を加工したい角度条件で斜めに置き、金属板の表面を繰り返しなぞるよう Y 軸方向になぞるように、長さ 2 mm のスリットを加工した。加工時は、Y 軸方向に送り速度 1 $\mu\text{m/s}$ 、Z 軸方向に切り込み速度 1 $\mu\text{m/s}$ で加工した。この加工方法は図 1 に示す。

金属の種類、サイズ、コンデンサ容量と角度は以下に示す。

板の種類・・・Ti、 SUS304

サイズ・・・縦 3 mm、横 3 mm、厚さ 50 μm

板の角度・・・45°、60°、75°

コンデンサ容量・・・10 pF、 100 pF、 220 pF、 3300 pF

これら全て、24 パターンを作製する。

2.2 加工実験結果

製作した 24 パターンマイクロ刃物を SEM 写真により観察した。SEM 写真を加工角度、加工コンデンサ容量別に Ti と SUS304 で比較して図 2 ~ 13 に表した。また、市販のかみそり刃の SEM 写真を図 14 に表した。更に、SEM で刃の先端粗さを計測した。スリットの長さ 2mm まで 30 μm 間隔で区切り刃先の最大の山と谷を調べ、平均値を出したものを図 15 に、刃先先端粗さを電極径の違い、刃先先端粗さ、コンデンサ容量の関係で表わしたものを図 16 に示す。

図 16 では SEM での測定結果を加工対象金属とコンデンサ容量とで刃先粗さの平均を表している。これから見てもやはり、放電エネルギーの低い方が精度が良く、コンデンサ容量 10pF で加工したものは、刃先端粗さが 1 μm 以下であることがわかった。また、斜めスリットでの加工により、市販のかみそりとほぼ同等の形状ができることが確認できた。

次に、同じ条件で作成したマイクロ刃物の SEM 写真をまとめてコンデンサ容量 10 pF、110 pF、3300 pF にわけて、図 17 に示す。A は Ti、B は SUS304 である。刃先の加工表面に見られるクレーターは高放電エネルギーによるものではなく、逆に低放電エネルギーではクレーターの小さいことがわかった。低放電エネルギーで加工したものの方が良い刃先を形成していることもわかった。

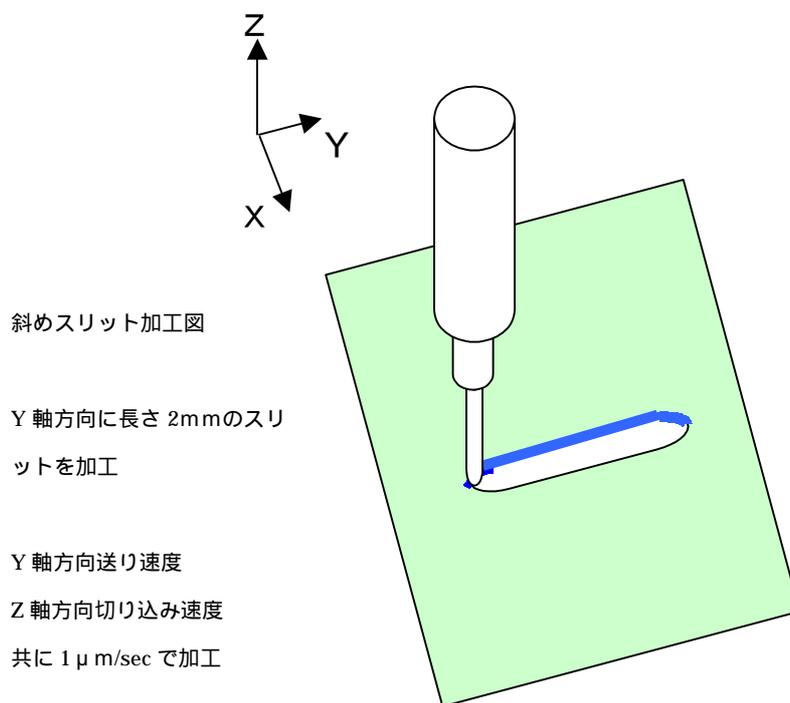
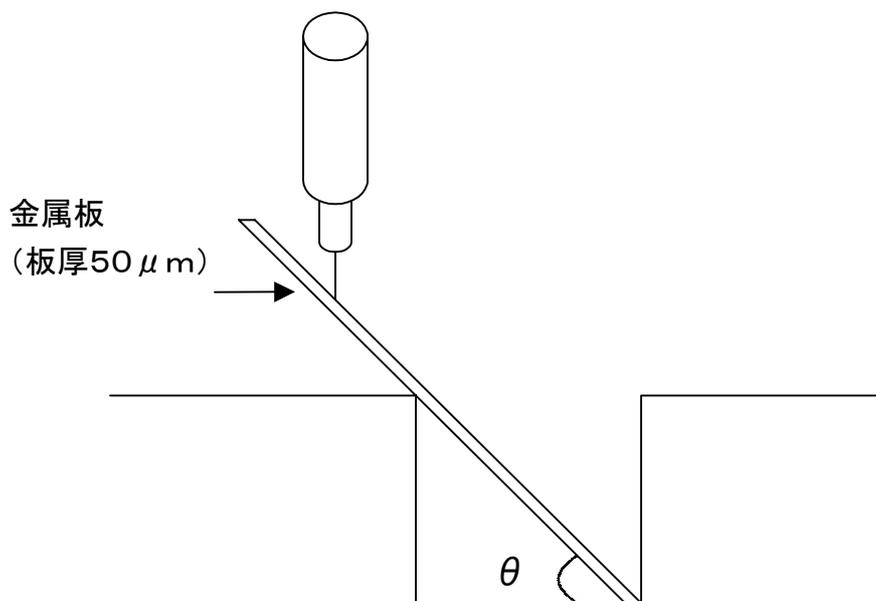


図.1 放電加工機によるマイクロ刃物の加工方図

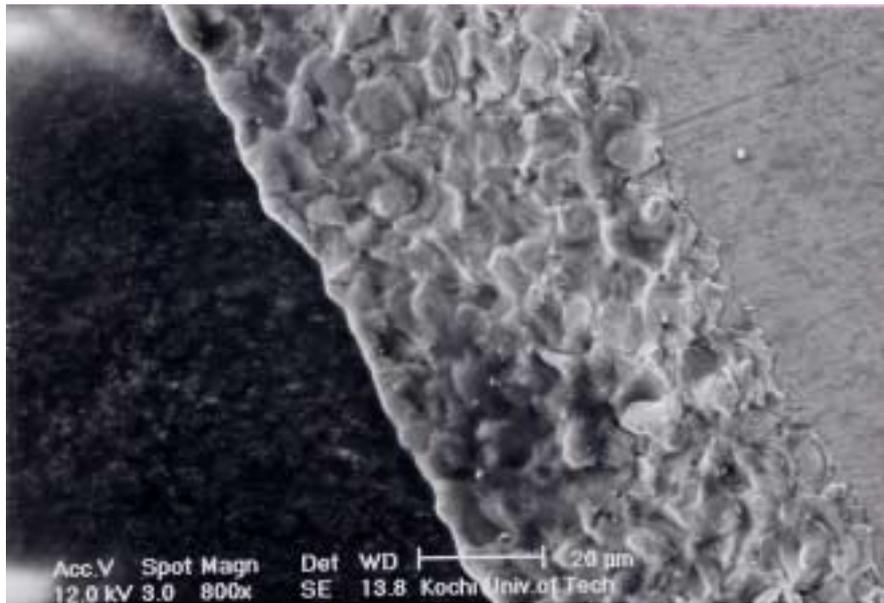


図 2. a



図 2. b

図.2 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 2. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 2. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

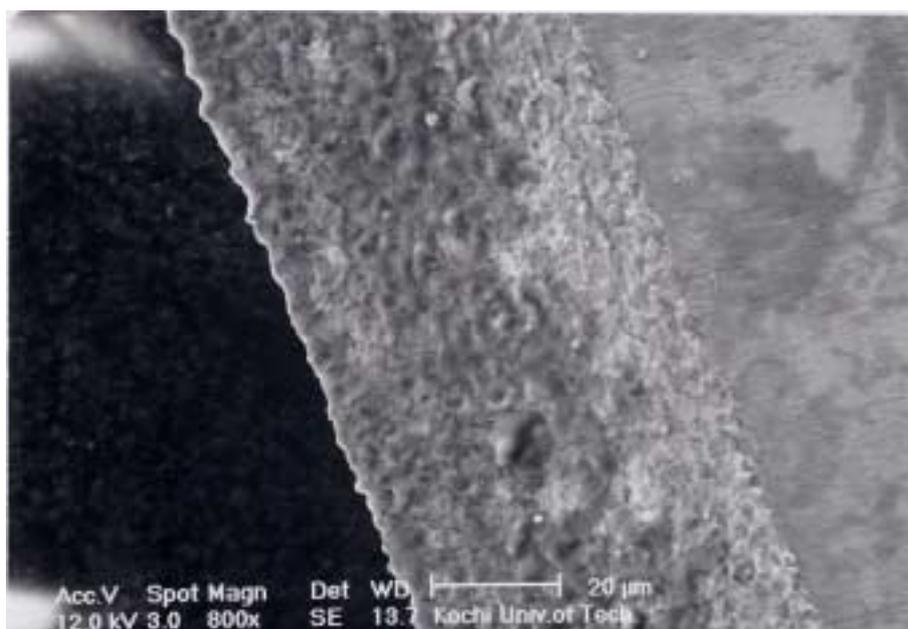


図 3. a

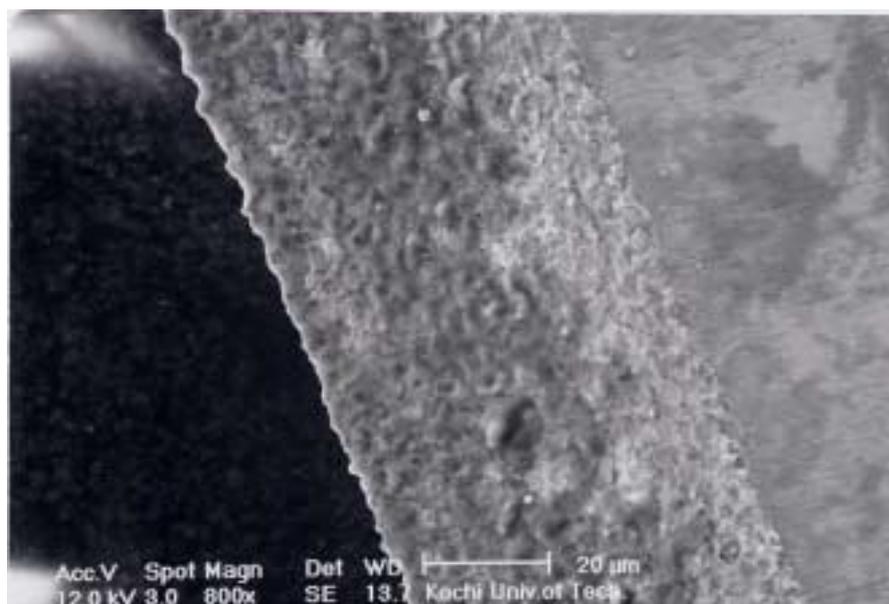


図 3. b

図 3 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 3. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 3. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

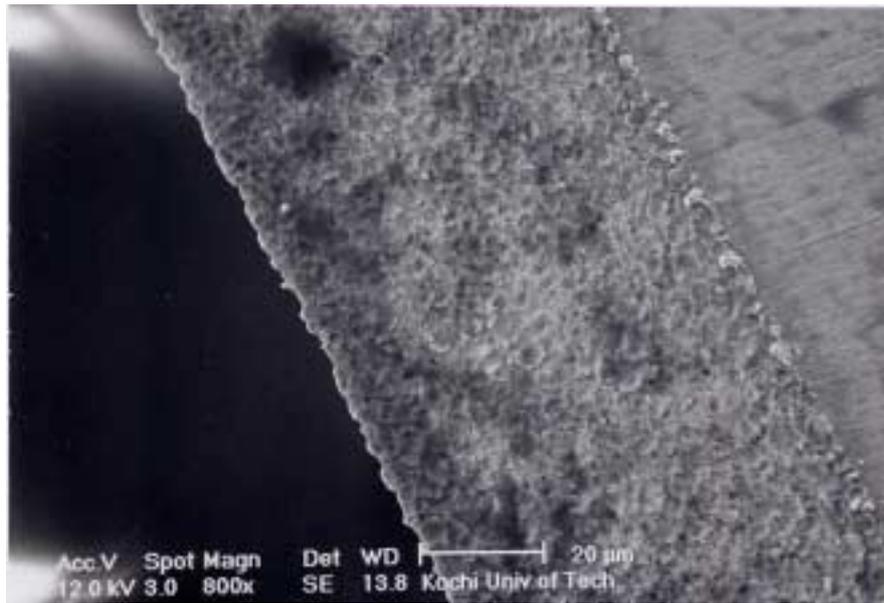


図 4. a



図 4. b

図 4 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 4. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 4. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

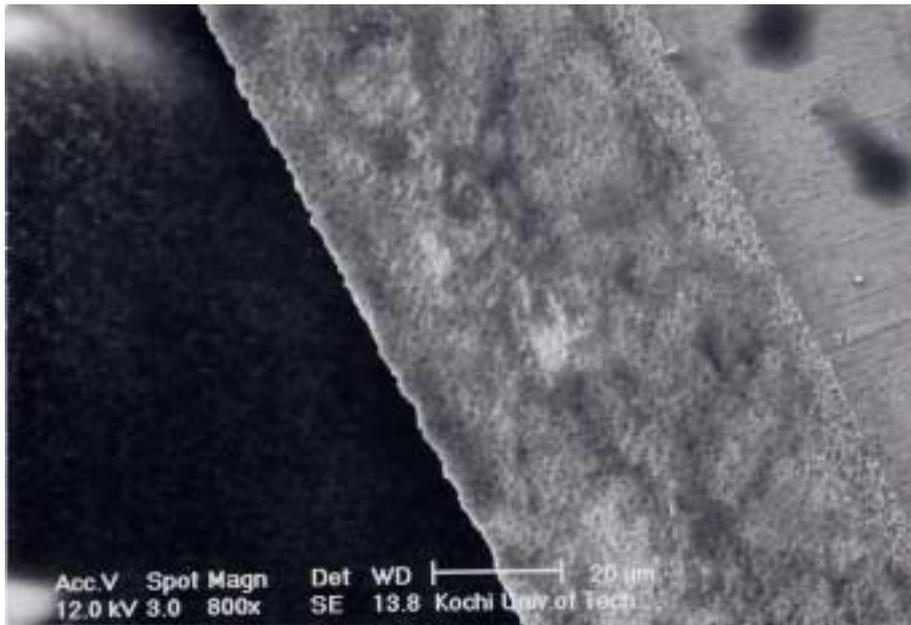


図 5. a

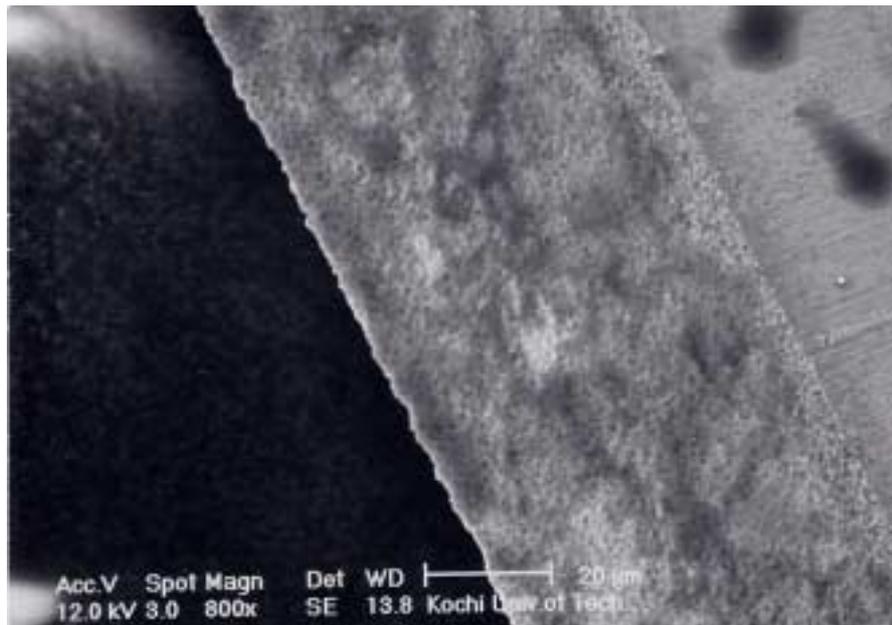


図 5. b

図.5 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 5. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 5. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45° (実際の刃先角度 40°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

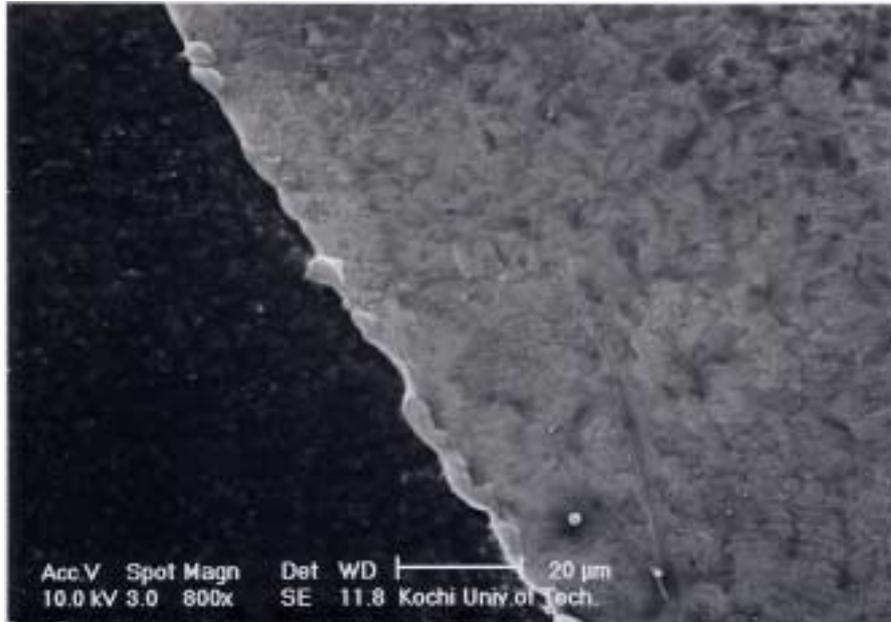


図 6. a

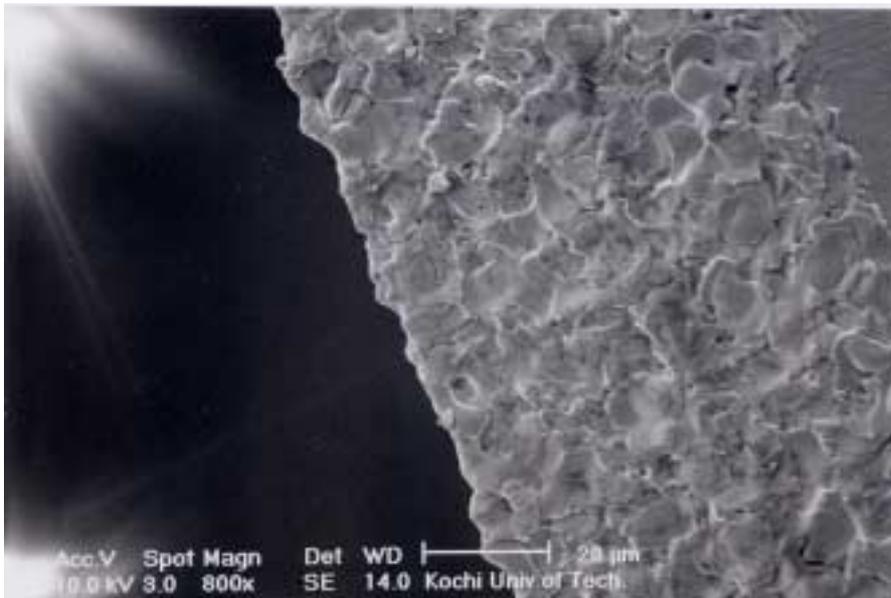


図 6. b

図 6 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 6. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 6. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 7. a

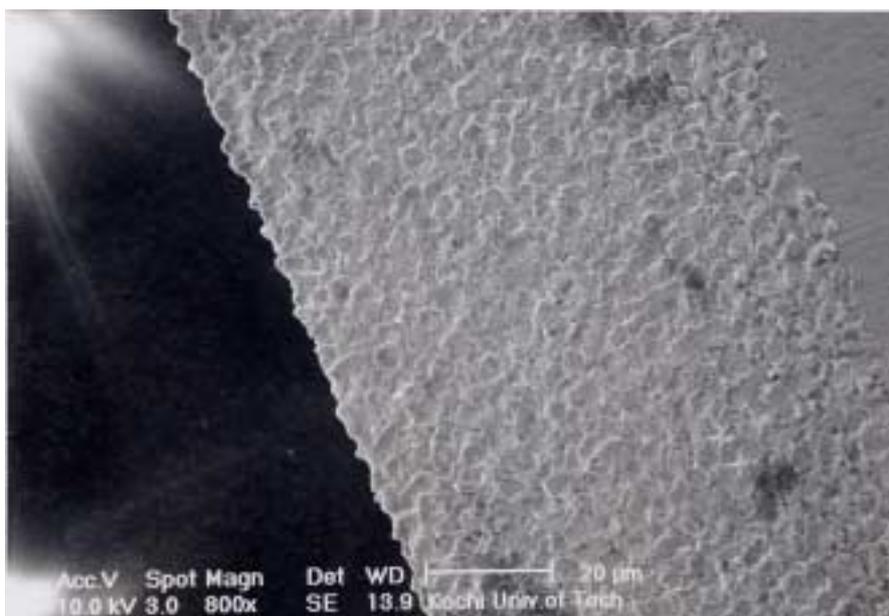


図 7. b

図 7 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 7. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 7. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 8. a

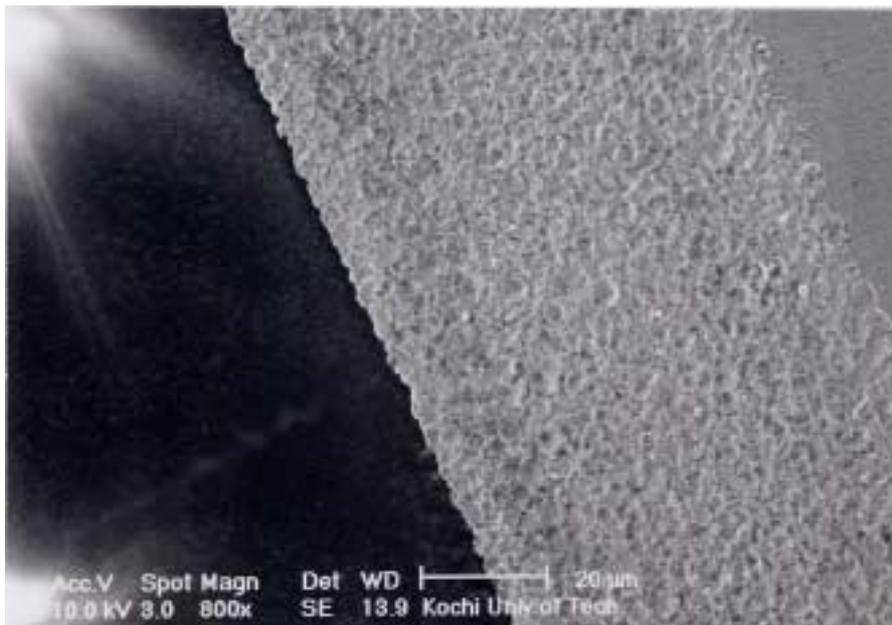


図 8. b

図 8 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 8. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 8. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

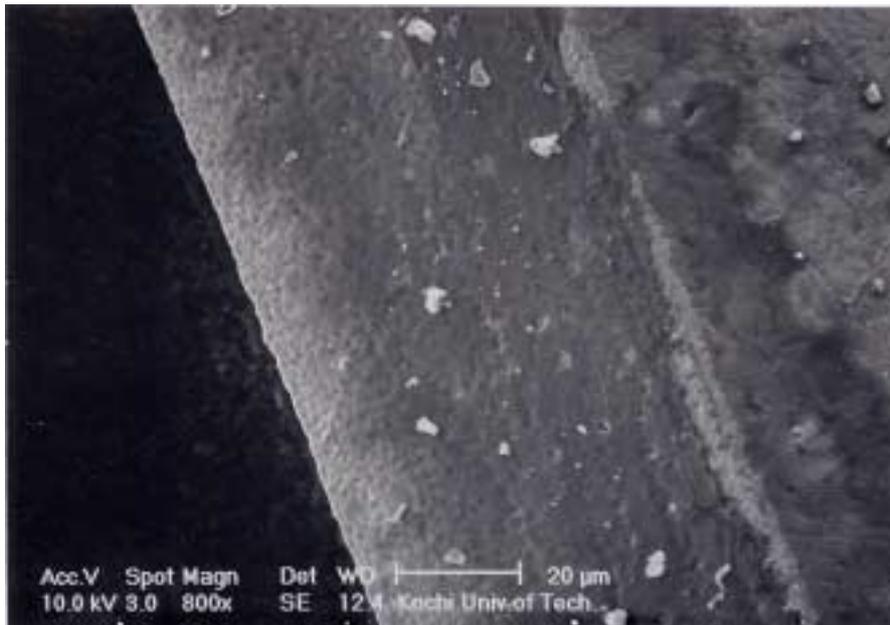


図 9. a

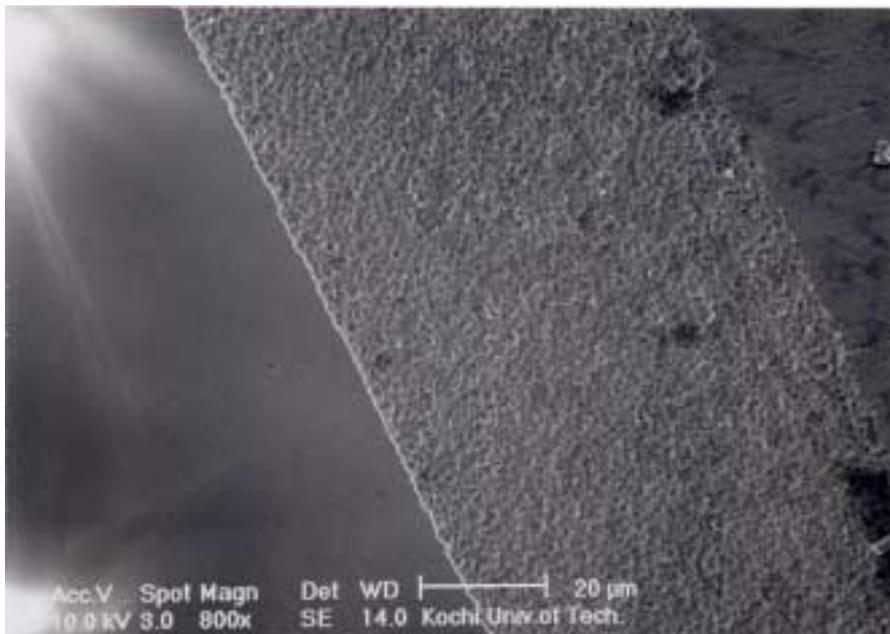


図 9. b

図 9 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 9. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 9. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 60° (実際の刃先角度 35°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 10. a



図 10. b

図 10 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 10. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 10. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 3300 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 11. a

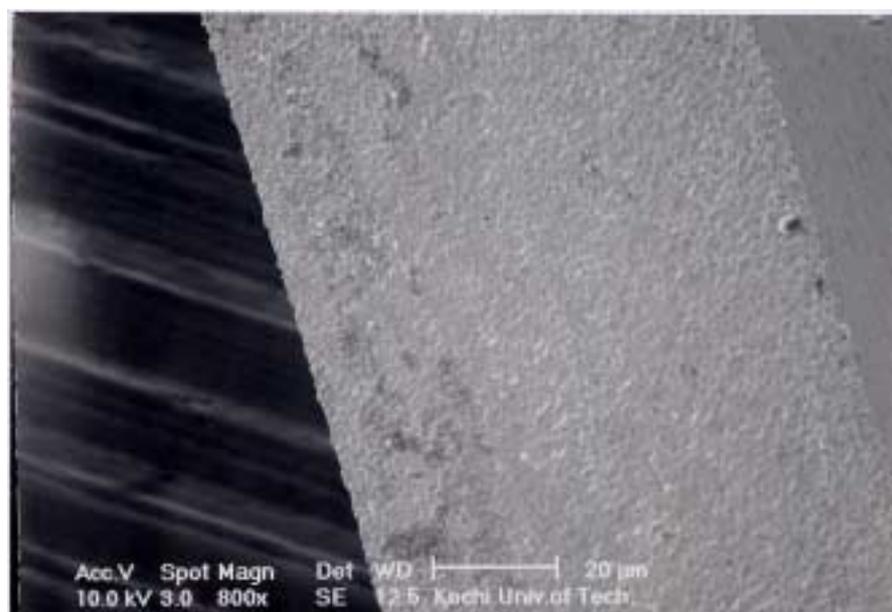


図 11. b

図 11 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 11. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 11. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 220 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 12. a

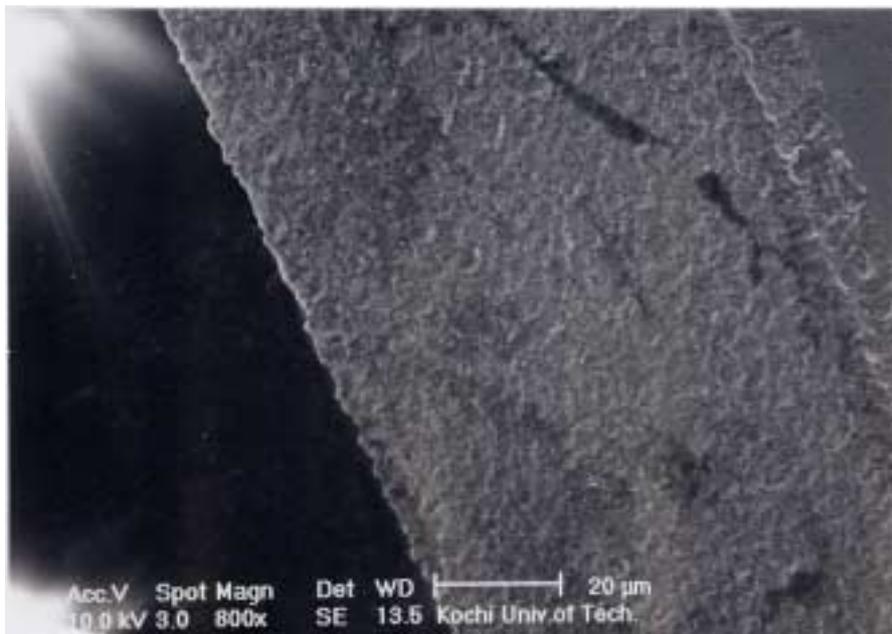


図 12. b

図 12 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 12. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 12. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 110 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 13. a

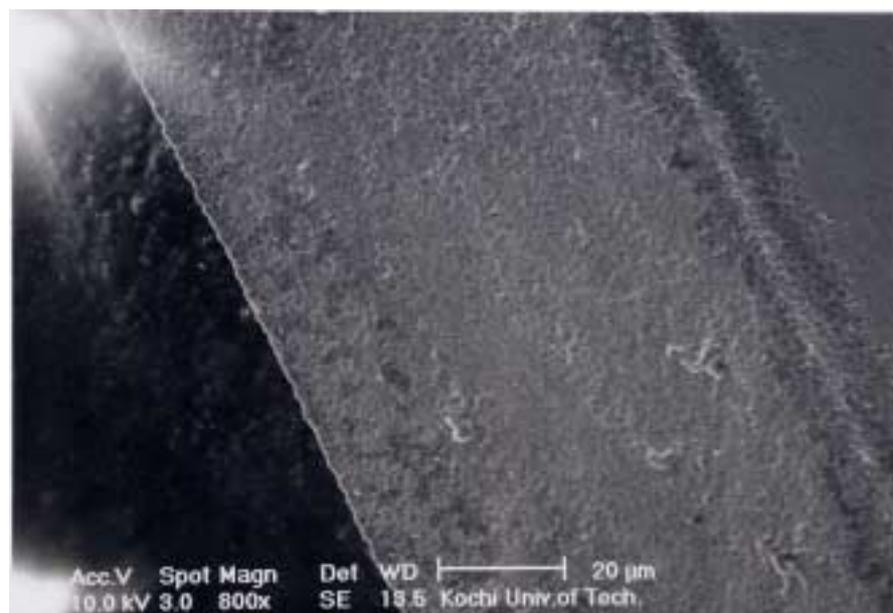


図 13. b

図 13 微細放電加工で作製したマイクロ刃物 SEM 写真

図 13. a . . . 加工金属 Ti 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真

図 13. b . . . 加工金属 SUS304 加工角度 75° (実際の刃先角度 30°)
加工コンデンサ容量 10 pF の条件で加工した μ 刃物 SEM 写真



図 14 市販のかみそり

かみそりをマイクロ刃物と同じサイズに切り抜いた SEM 写真

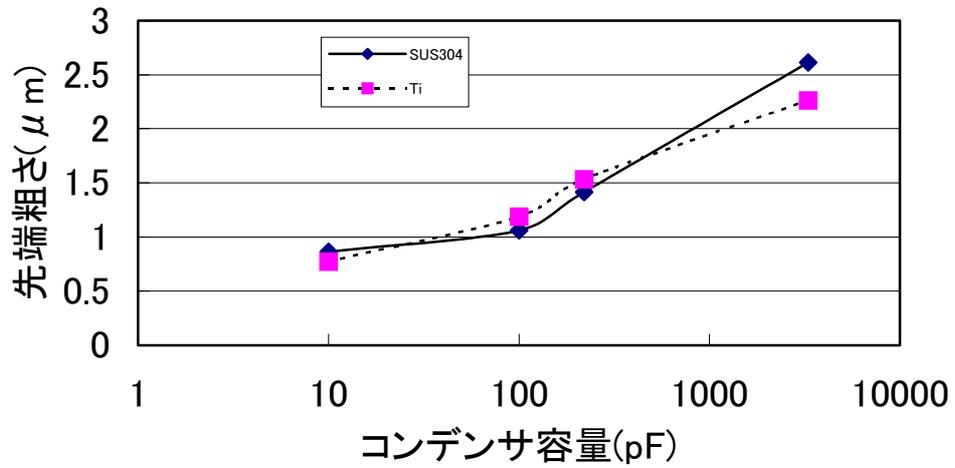


図 15 マイクロ刃物刃先粗さ加工金属別平均

電極径の違いによる先端粗さの関係

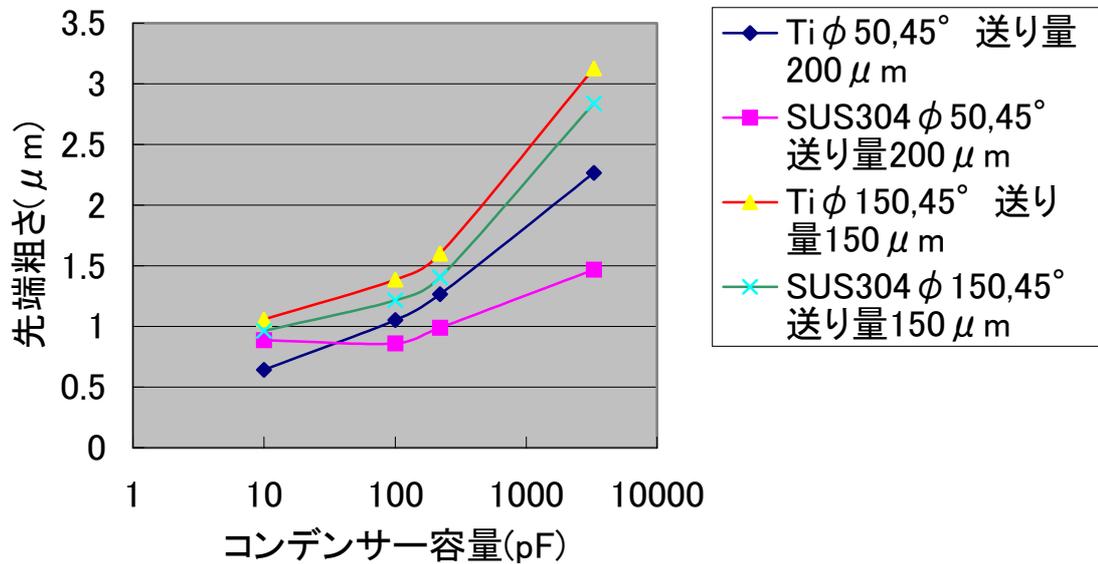


図 16 電極径の違いによる刃の先端粗さ

A



B



10pF

110 pF

3300 pF

図 17 加工条件 刃先角 30° の刃先先端 SEM 写真

A・・・加工金属Ti

B・・・加工金属SUS304

2.2.1 切れ味試験方法

作製したマイクロ刃物の切れ味試験を行う。なお、製作した刃物だけでは何と比較して切れ味が良いと言えるかわからない。そこで、市販の刃物も切れ味試験を行い、その結果を比較し考察する。市販のかみそりは、マイクロ刃物と同じサイズに切り抜き、マイクロ刃物と同じ条件下で切れ味試験を行う。切れ味試験は、専用実験装置を作り、その装置で行う。試験方法は、まず SUS304 (板厚 50 μm) の金属板にひずみゲージを張り、金属板の上に対象物を置く。その対象物に対しマイクロ刃物を垂直に一定の力で速度 20 $\mu\text{m/s}$ で切り込ませ、押し切り切断を行い、対象物が切れる瞬間のひずみを検出する。対象物切断中は肉眼でひずみ系出力電圧の数値と、対象物を自分の目で確認。検出した数値をグラフ化して比較、考察する。今回の切れ味試験を行うために作った切れ味試験装置を図 18 に示す。

2.2.2 切れ味試験結果

切れ味試験による結果は、図 19~図 22 に示す。糸こんにゃくを押し切り切断した図 19 に注目すると、グラフ中のひずみ出力電圧が急激に変化している個所が切断開始点であった。ここで、切断開始点が低いことを切れ味が鋭いと仮定すると、弾性を持った生体に近い対象物に対しては微細放電加工で作製したマイクロ刃物は、市販のかみそりの切れ味とほぼ同等と言っても良い結果が出た。糸こんにゃくのほか、レタス、キュウリと切れ味試験では切断ひずみ出力電圧が検出できたが、市販のかみそりの方が精度がよく感じられる結果が出た。図 20 は製作した刃物で切れ味試験対象物をキュウリとし、押し切り切断をしたものである。これに対し、図 22 (a) は市販のかみそりでキュウリを押し切り切断したものである。この 2 つの図を見比べると、切断開始地点は市販のかみそりの方で低い位置で見られた。また、図 21 は切れ味試験対象物をレタスとして、製作した刃物で押し切り切断を行ったものである。これに対して図 22 (b) は市販のかみそりでレタスを押し切り切断したものである。図 21 と図 22 (b) は開始時に差があるが、差をさし引いて見比べると、やはり切断開始地点は市販のかみそりの方が低い地点で見られた。これについては、市販のかみそりは両刃であり、試作したマイクロ刃物は片刃であったことが上げられる。この差が、切断時に弾性のない対象物に対して摩擦などの負荷がかかったためだと考える。また、柔軟な生体材料の押し切り切断では、切断開始点のひずみは検出できず、肉眼では切断は確認出来なかった。

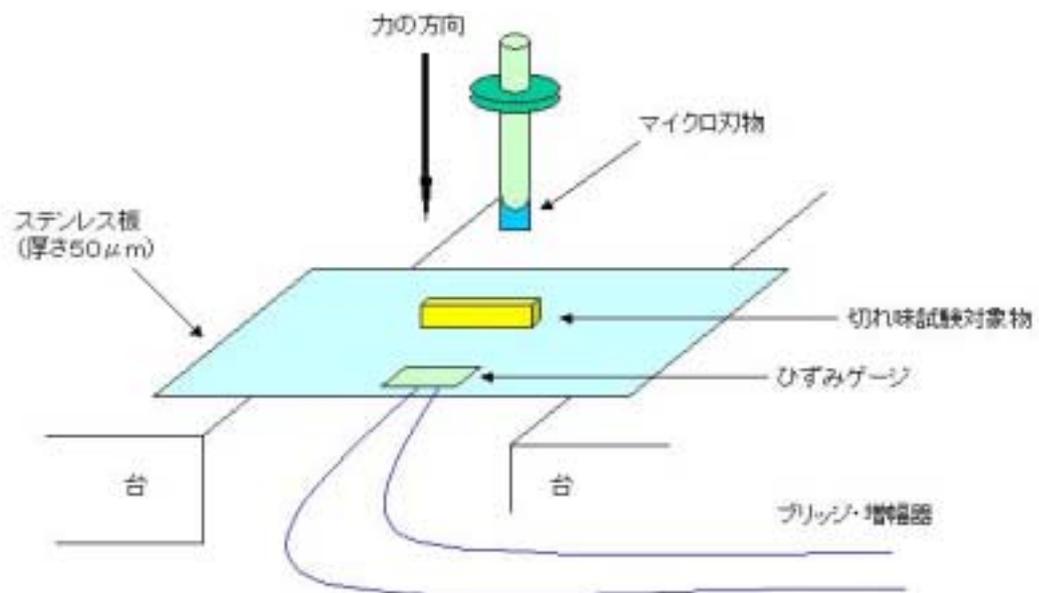


図 18 切れ味試験装置

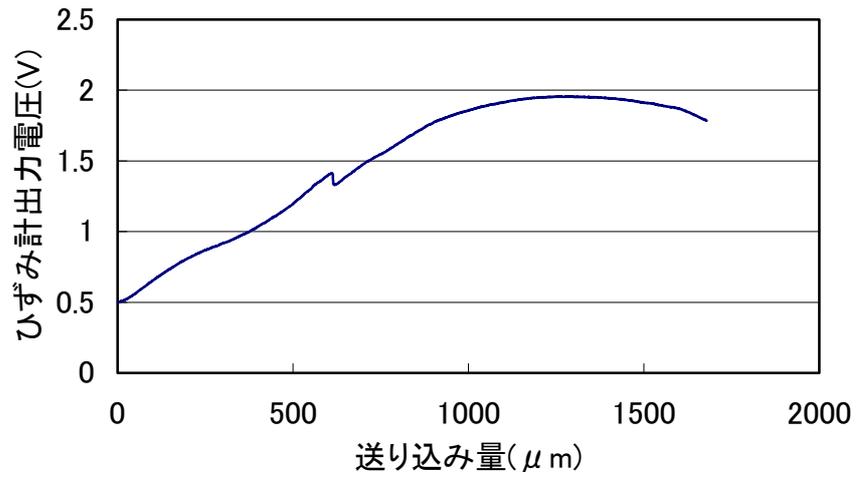


図 19 (a)

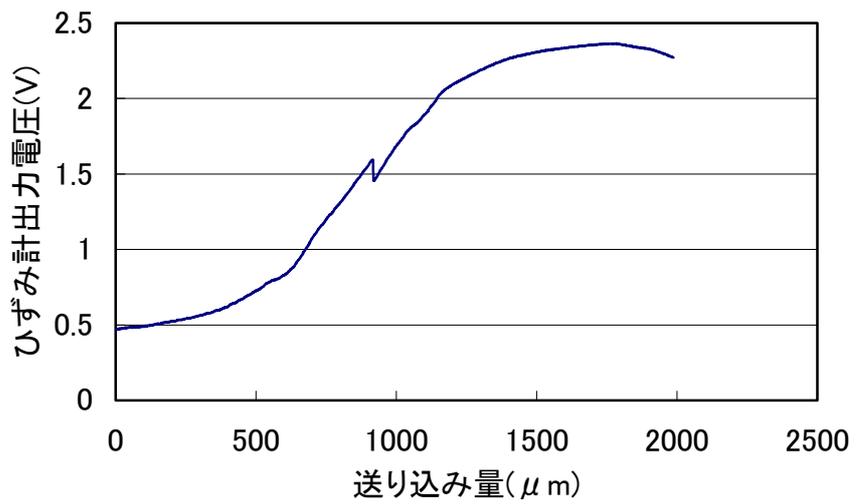


図 19 (b)

図 19 切れ味試験対象物系こんにゃく

(a) . . . 加工金属 T i 加工角度 45 ° 実際の刃先角度 40 °
加工コンデンサ容量 10 pF

(b) . . . 市販のかみそり

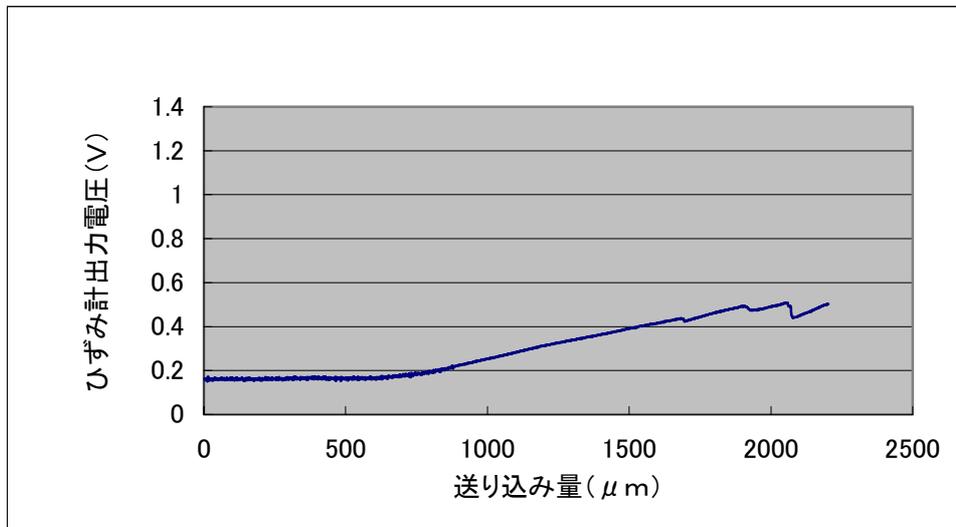


図 20 (a)

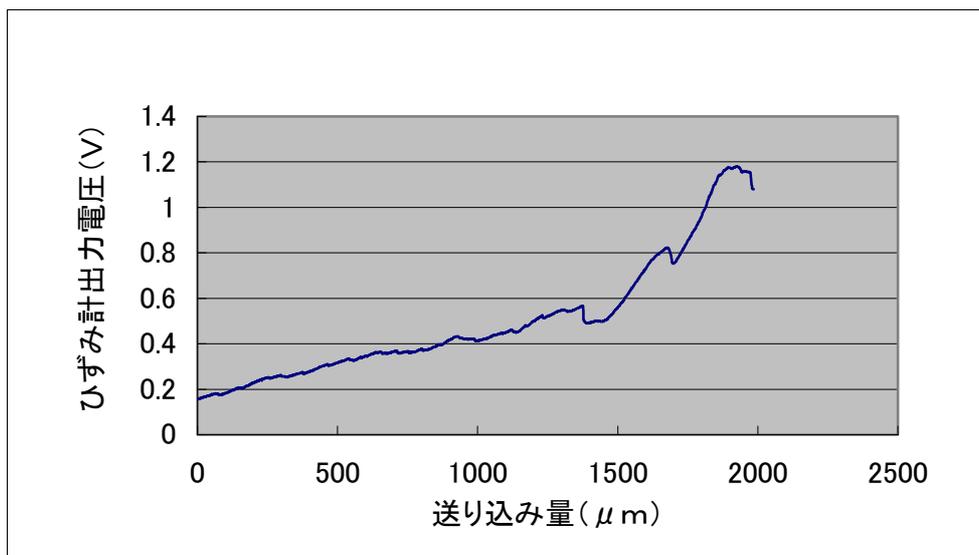


図 20 (b)

図 20 切れ味試験対象物キュウリ

(a) . . . 加工金属 T i 加工角度 45 ° 実際の刃先角度 40 °
加工コンデンサ容量 10 pF

(b) . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45 ° 実際の刃先角度 40 °
加工コンデンサ容量 10 pF

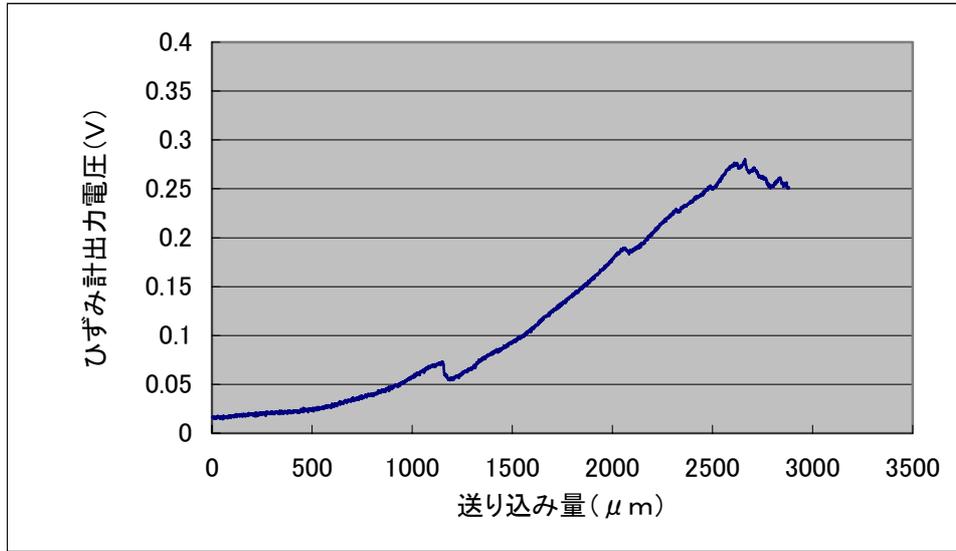


図 21 (a)

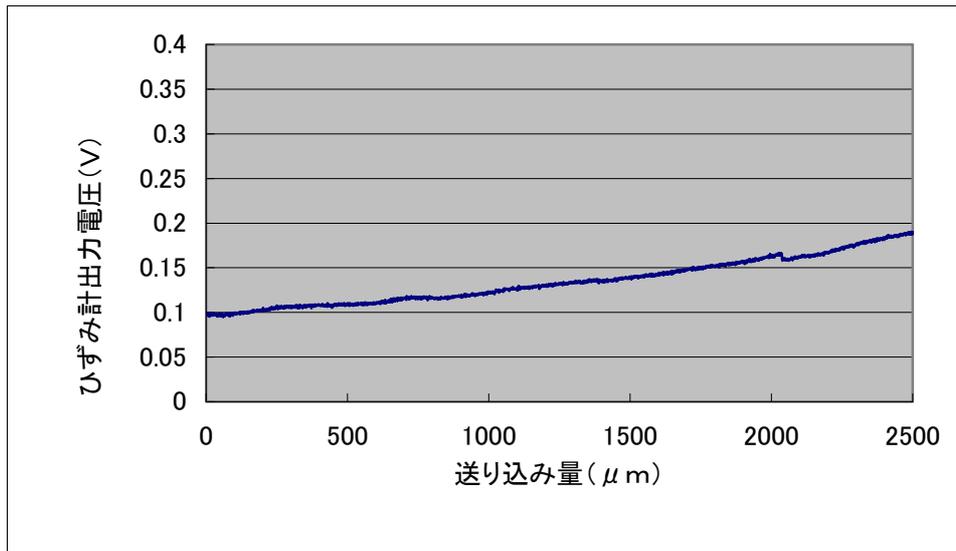


図 21 (b)

図 21 切れ味試験対象物レタス

(a) . . . 加工金属 T i 加工角度 45 ° 実際の刃先角度 40 °
加工コンデンサ容量 10 pF

(b) . . . 加工金属 SUS304 加工角度 45 ° 実際の刃先角度 40 °
加工コンデンサ容量 10 pF

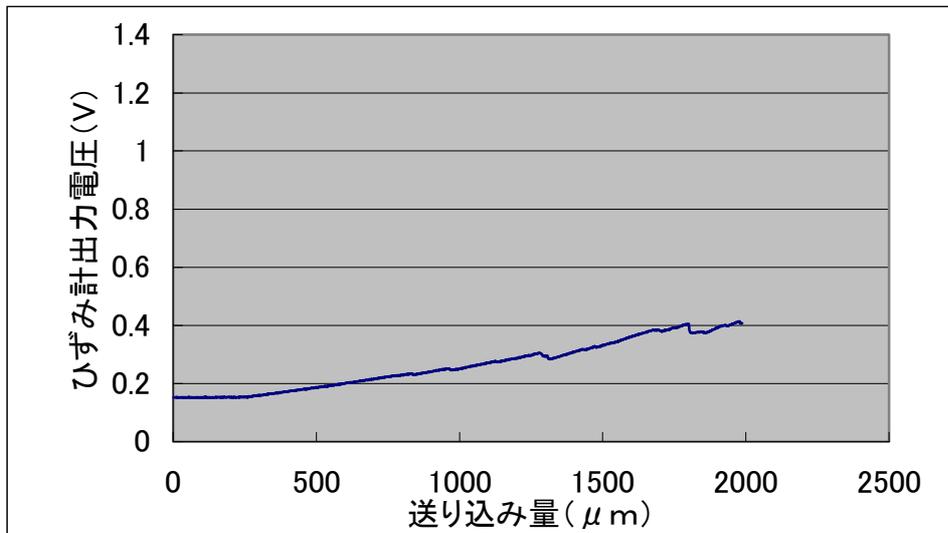


図 22 (a)

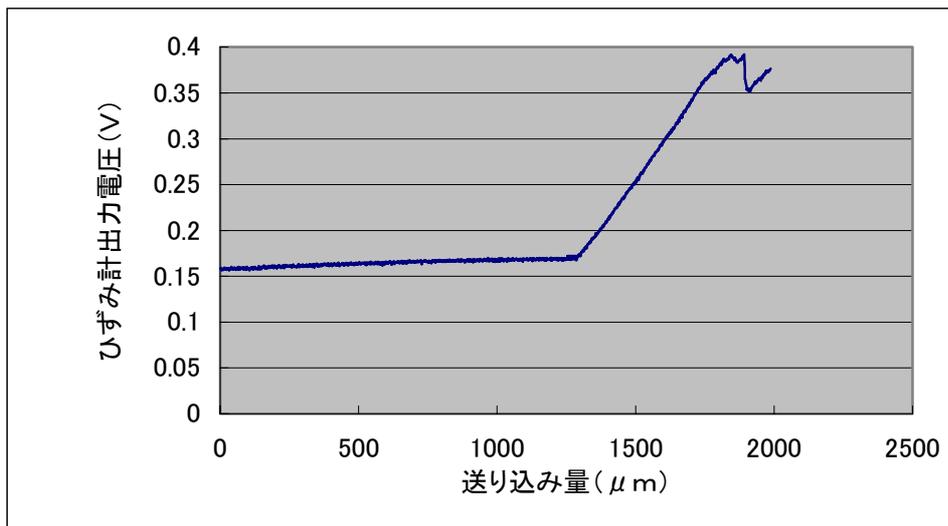


図 22 (b)

図 22 市販のかみそりでの切れ味試験

(a) . . . キュウリでの切れ味試験

(b) . . . レタスでの切れ味試験

第3章

結論

(1) マイクロ刃物の製作

斜めスリットを微細放電加工で形成し、スリットの**エッジ**を刃先とした。これにより、粗さ $1\mu\text{m}$ 以下の良好な刃先を得ることが出来た。

(2) 切れ味試験

TiとSUS304の刃物での切れ味試験においては、レタスとキュウリで切断開始地点はほぼ同じであった。これを市販のかみそりの切れ味と比較すると、切れ味に差が見られた。この原因を考察すると、製作した刃物は片刃であり、市販のかみそりは両刃であったことが考えられた。両刃と片刃の差が切断対象物に対して、摩擦などの力が影響したと思われる。しかし、糸こんにゃくの柔軟な弾性を持った素材に対しての押し切り切断では、製作した刃物は市販のかみそりに近い性能が得られたと言える。また、柔軟な生体材料の切れ味試験では、対象物の切断点の検出が出来ず、残念であった。上から刃を押し当て対象物を押し切るという動作では、弾性を持った対象物を切断するまでにいたらなかったと考えられる。対象物に対して引き切るという動作が出来るならば、柔軟な生体材料も切断可能と思われる。今回の実験より、刃物としての精度は十分に持っていることが確認出来た。

(3) 今後の課題

今回の実験で、マイクロ刃物を利用した微細手術器具への可能性が確認できた。今後はマイクロ刃物を応用したより精度が高い、マイクロはさみ等の実用的な微細手術器具に期待したい。

参考文献・図書

- 1) マイクロマシンと材料技術 , 監修・・・林 輝 , 発行・・・CMCBOOK
- 2) 精密工作便覧 , コロナ社 (1992)
- 3) 「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・知能化辞典, 産業調査会 辞典出版センター (1992)
- 4) Micromachine
Journal of Micromachine Society , volume 4. NO.1 March, 1991
マイクロマシン研究会雑誌
[シンポジウム3] 内視鏡とマイクロマシン
腹腔鏡下胆嚢摘出手術 , 伊藤 徹
- 5) 外科手術ロボティクス
A Research on Medical Robotics
<http://www.ynl.t.u-tokyo.ac.jp/projects/research/medical/medical/whatsMR.html>

謝辞

本研究に対して、熱心にご指導をたまわりました高知工科大学知能機械システム工学科
河田 耕一教授には心から深く御礼を申し上げます。

また、本研究を進めるに当たり、ご指導ご協力いただきました高知工科大学大学院知能シ
ステム工学科の山岡 正和先輩に心から御礼申し上げます。