

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

---

## 体内手術用マイクロ刃物の切れ味評価

---

学籍番号：1030131

氏 名：中須賀 元

指導教員：河田 耕一

## 目次

第1章	緒言	
1.1	本研究の目的	2
1.2	研究動向	2
第2章	関連する研究の現状	
2.1	医用メカトロニクスと MIMS	3
2.1.1	マイクロサージェリ	3
2.1.2	内視鏡	4
2.2	低侵襲手術の現状	5
2.2.1	心臓ペースメーカーのリード線除去法	7
2.3	一般の刃物の製作 (安全かみそり)	9
2.4	マイクロ刃物の製作	11
2.4.1	微細放電加工	11
2.4.2	マイクロナイフの製作	12
2.4.3	マイクロリングカッターの製作	17
第3章	実験	
3.1	マイクロナイフ切れ味実験	20
3.1.1	引き切り実験装置	20
3.1.2	引き切り実験結果	21
3.2	マイクロリングカッター切れ味実験	26
3.2.1	マイクロリングカッター押し切り実験装置	27
3.2.2	押し切り実験結果	28
第4章	結言	
4.1	結論	32

謝辞

参考文献・図書

## 第1章 緒言

### 1.1 本研究の目的

近年、内視鏡、腹腔鏡下などによる低侵襲手術の増加に伴い、より微細で操作性の良い手術器具の開発が望まれている。従来では高齢や衰弱、あるいは技術的な理由により手術が困難であったり、不可能であった患者に対しても外科治療の道を開くことが可能となる。低侵襲手術のメリットは患者にとって医療費の低減、入院期間の短縮と日常生活への早期復帰、精神的ダメージの低減などが挙げられる。

例えば、心臓ペースメーカーのリードは放置しておくとも外周に周辺組織が付着しリードを取り除くことが困難になる。現在取り除く方法としてレーザ、及び開胸して周辺組織を切除する方法がある。前者は装置が大型で高価であり現状では使えにくい。後者は術者の技量に頼る部分が多く、また十分なツールがないのが現状である。

本研究では微細な低侵襲手術器具の製作を目指し、微細放電加工によりマイクロ刃物を製作し、その切れ味評価を行った。

### 1.2 研究動向

マイクロ知能化運動システム（Micro Intelligent Motion System ; MIMS）という新しい工学の分野が誕生しつつある。人類の歴史の中で、人間は自分のサイズに合った機械の開発から始め、最近では、自分のサイズより遥かに巨大なものまでつくり、その運行を制御している。一方、エレクトロニクスの世界では、サブミクロンのオーダーまでの加工が可能となり、主として超 LSI の世界では信号処理に用いられている。この超 LSI の技術を超小型の機械の製作に用いて、ミクロの世界での運動を制御できれば、医学、工学、その他の分野での可能性は無限である。マイクロ知能化運動システムの研究は、超小型機械を実現し、それに知能を与えようという試みであり、それを造り上げるため様々な技術を開発し、更に新しい「マイクロ理工学」という基礎科学を確立しようというものである<sup>1)</sup>。

## 第2章 関連する研究の現状

### 2.1 医用メカトロニクスと MIMS<sup>1)</sup>

MIMS に対する考え方は次のことに大別される。

- (1) 機構を有する機械全体が小さいもの
- (2) 制御部などの大きさは問題ではなく、作業するツール部とその作業量が小さいもの
- (3) 機械そのものの寸法は問題ではなく、ツールの作業量のみが小さいもの

(1) は、体内埋め込み式の人工臓器などへの応用があるが、この場合単に機構のみではなくエネルギー源やアクチュエータも体内に埋め込めるほどの大きさである必要があり、その実現にはかなりの時間がかかると思われる。

(2) は、マイクロサージェリ、内視鏡、穿刺の各分野において広く応用が可能であり、もっとも最も実現性が高いものといえる。

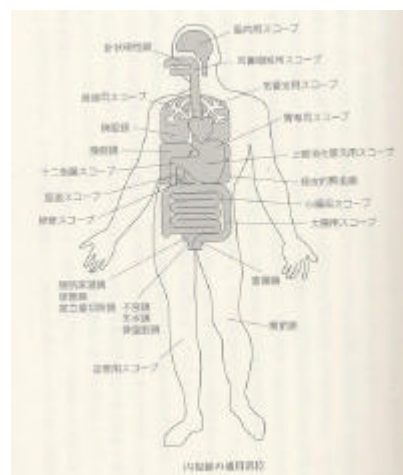
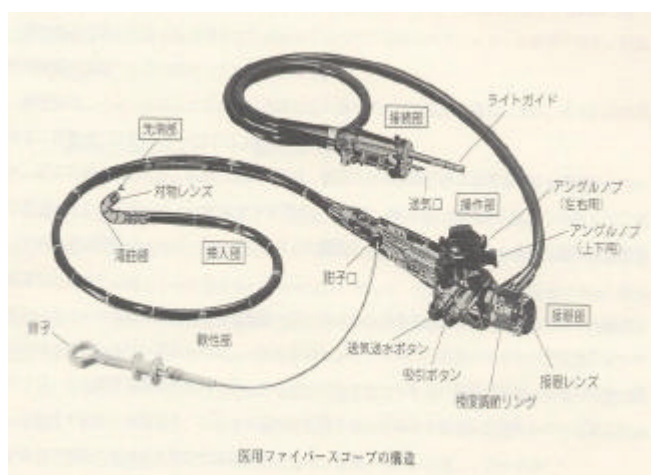
(3) の代表的な例としてルーリングエンジンがあるが、バイオテクノロジーの分野においても細胞操作用マニピュレータやそのためのステージ移動機構のマイクロメカニズムを必要とするものが多い。しかし、マイクロという  $10^{-6}\text{m}$  のオーダーのものよりは、サブミリ領域の数 mm から 0.1mm オーダーのミニチュアサイズのものが最も現実的である。

#### 2.1.1 マイクロサージェリ<sup>1)</sup>

代表的な手術は血管縫合や神経縫合である。通常 3～20 倍の倍率を有する手術用顕微鏡下で、縫合糸は太さ 20～25  $\mu\text{m}$ 、縫合針は太さが 20～100  $\mu\text{m}$  で糸と針の継目に段差のないものを用いて手術を行なっている。また、顕微鏡以外にも眼鏡式や眼帯式の手術用拡大鏡を用いることもある。マイクロサージェリでは、顕微鏡部視野下で手作業により微細な手術を行なうため、高度な技量と熟練、手術全般にわたる集中力が執刀する医師に要求される。マイクロサージェリは、耳鼻咽喉科、脳神経外科、眼科、形成外科、整形外科、一般外科、小児科におけるほとんどの外科系の領域で広く行なわれており、マイクロロボットの応用により、より精密、確実に、そして従来不可能とされた手術の実施も可能となり、適応の拡大、軽侵襲手術が期待できる。

### 2.1.2 内視鏡<sup>2)</sup>

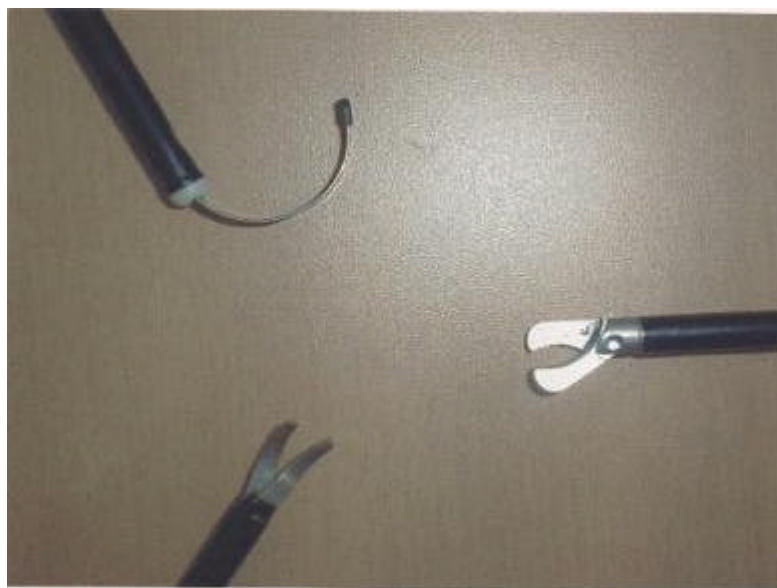
医用内視鏡は体腔内の光学像を見ながら診断と処置あるいは病態、生理機能の研究を行なう医療機器である。これには硬性内視鏡と軟性内視鏡が使用されている。図 2.1、図 2.2 それぞれに内視鏡とそれが使われる身体の部位を示す。硬性内視鏡挿入部の有効長は 100 ミリから 300 ミリで体腔深部の診断治療には不向きであるが体表面にメスで孔を開け外筒を挿入し、その中に光学視管を入れて観察あるいは治療などの処置を行なうことができる。また、胃、十二指腸、大腸等の消化器系、気管支等の呼吸器系および血管、心臓等の循環器系など、深部の検査には軟性内視鏡が使われる。内視鏡は臓器ごとあるいは使用目的ごとに作られており、非常に多くの種類がある。この中で最も多く利用されているのが消化器系内視鏡で、次が呼吸器系内視鏡である。ファイバースコープが開発されてから急速に利用が拡大され、軟性内視鏡の 80 から 90 パーセントはこの二つの分野で使われている。ビデオスコープは径の大きい、消化器系で普及してきている。消化器系内視鏡は口から挿入して食道、胃、十二指腸などの診断治療に使用する上部消化管用内視鏡と、肛門から挿入して大腸の診断治療に使用する大腸内視鏡とがある。ビデオスコープでは細径化に技術的な問題があり、気管支、胆道、血管など細い管腔用はファイバースコープの独壇場になっている。血管用では直径 0.5 ミリのファイバースコープが実用化されている。これだとシャープペンシルの中を通すことができる。胆道の処置用には上部消化管用の太径の親ファイバースコープを挿入して、それから細径の子ファイバースコープを親スコープの鉗子口に挿入して患部に近づける方法が手技として確立している。内視鏡の使用目的の一つである病気診断の方法としては、肉眼による観察診断、写真やビデオ画像による診断、組織を採取して顕微鏡下で病変の良性悪性を診断する組織診断などがある。また、処置治療では、高周波治療器やレーザー治療器による狭窄部の切開や拡張、止血、焼灼、切除、碎石、特別な処置具による採石、異物摘出などがある。内視鏡による処置は患者に対する肉体的精神的負担が少ないのが特徴である。従って、従来、外科手術で行なっていた処置を内視鏡経由で行なう例が増えている。このように今では、内視鏡は単に患部を観察するだけでなく処置を行なうことも不可欠な機能になっている。



## 2.2 低侵襲手術の現状

高齢化社会を目前に控え、近年の医療技術の高度化に伴い身体を開腹せず、侵襲度の低い低侵襲手術が求められている。低侵襲手術とは腹部に小さな穴を数箇所あけ、炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)により腹部を膨張させ内視鏡、鉗子、ハサミなどを挿入し TV モニターを見ながら病巣を切除し内視鏡を挿入していた穴から腹腔外へ摘出するというものである。空気や酸素よりも炭酸ガスの方が発火性がなく体内に吸収されても肺から対外に出て行くので安全性に優れている。

現在、腹腔鏡下手術に用いられている手術機器を図 2.3 に示す。血管内外で動作できる手術機器はより微細で操作性の良い手術機器が望まれており十分なツールがないのが現状である。



腹腔鏡下手術には以下のようなメリットがある。

- ・手術後の痛みが少ない
- ・感染の危険性が少ない
- ・癒着が少ない
- ・腹壁の機能障害が少ない
- ・美容的に優れている
- ・入院期間の短縮による医療費の低減
- ・精神的ダメージの低減
- ・社会生活への早期復帰
- ・QOL の向上

などが上げられる一方、デメリットとして以下のようなものがある。

- ・指で触った感覚がない
- ・止血法に限られる
- ・手技的に難しい
- ・手術機器、手術材料が高価
- ・見える範囲が限られ狭く平面的しか見えない
- ・手術するところも狭い

などが上げられ、外科医の技量に頼る部分が多いのが現状であり、患者さんにとってやさしい手術ではあるが、外科医にとってはストレスの大きいのが現状である。また腹腔鏡下手術の手術技術は熟練を要するため、現時点で病院施設によっての手術手技の技術格差がある。どのような手術が腹腔鏡下手術でできるかの手術の適応も病院によってかなり異なっている。

現在、外科で行われている腹腔鏡下手術として以下のものをあげる。

- ・胆石症、胆のうポリープの手術（胆嚢摘出術）
- ・総胆管結石症の手術
- ・そけい部ヘルニアの手術
- ・虫垂炎の手術（虫垂切除術、腹膜炎手術）
- ・十二指腸潰瘍、胃潰瘍穿孔性腹膜炎の手術
- ・早期胃ガンに対する手術（胃切除術、胃全摘出術、胃部分切除術、リンパ節郭清）
- ・胃の粘膜下腫瘍の手術（胃切除術、胃全摘出術、胃部分切除術）
- ・逆流性食道炎の手術
- ・早期大腸、直腸癌に対する手術（大腸切除術、リンパ節郭清）
- ・良性の食道疾患に対する手術
- ・小腸腫瘍に対する手術（小腸切除術）
- ・v 脾臓摘出術
- ・腸閉塞に対する手術

- ・肝臓腫瘍に対する肝臓切除術
  - ・良性疾患に対するすい臓切除術
- などがある。

### 2.2.1 心臓ペースメーカーのリード線除去法<sup>3)</sup>

心臓ペースメーカーのリード抜去が容易かどうかは、リード挿入からの時間が大きく関係している。挿入から1ヶ月以内であれば容易に、3ヶ月以内であれば比較的容易に抜去が可能である。1年以上経過していると、外周に周辺組織が付着し抜去はかなり困難になる。特に、最近のほとんどのリードの先端は錨状になっているため、先端が肉柱間に錨をおろしたようになり、さらに周囲を線維組織でしっかりと固めているので、これをはずすことは至難の技である。リード先端と線維組織が付着している状態を図2.4に示す。したがって、リードを抜去するか、そのまま放置するかは、挿入からの時間で決めるようにするしかない。しかし、感染などの理由で時間が経っていてもどうしても抜去しなくてはならない場合もある。困難が予想される場合には心臓外科医の手に委ねなくてはならない。

外科的抜去法は、心臓血管外科医に依頼し、全身麻酔下に右房あるいは右室を切開しリードを取り出す方法である。一番確実な方法で、敗血症などリード先端に疣贅が形成されて感染源になっているような場合にはこの方法のほうが安全である。

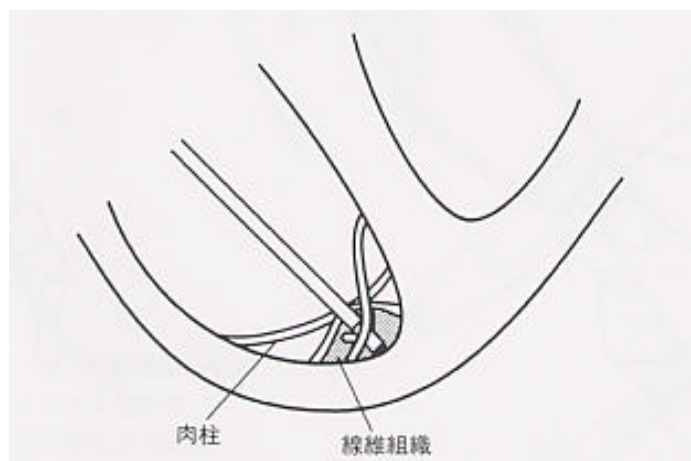


図2.4 リード先端部と線維組織、肉柱との付着

現在、リード外周部に付着した周辺組織を切除する方法として以下の2つがある。

- 1 レーザーによる抜去
- 2 開胸による抜去

前者は装置が大型で高価であり現状は厳しい。後者は術者の技量に頼る部分が多く、患者への負担も大きく、十分なツールがないのが現状である。



一般的な抜去法として図 2.5 に用手牽引法を示す。 のようにリード挿入部に近いところを一方の手で保持し、他方の手の指にリードを巻くか、 のように近いほうの手指にリードを巻いて心拍動を強く感じる程度の力で持続的に牽引する方法である。

用手牽引法で抜去できない場合は、鉗子による牽引法を図 2.6 に示す。導線コイル自体を把持するために、 のようにリードの挿入部に近い所を鉗子で挟むか、 のようにリードを切断して導線コイル断端を鉗子で直接挟むかして、牽引を行う。心拍動でリードが強く引っ張られる程度の強い力で持続的に牽引する必要がある。数回この操作を繰り返して抜去できない場合には、リード抜去システムを用いるなど他の方法に切り替えることが必要である。リード断端部の処理を図 2.7 に示す。抜去を諦めるのであれば、 のようにリードを切断し、断端にキャップをかぶせるか、 のように被覆部を導線コイルより長めに残しておいて被覆部の断端を結紮し、そのまま留置する。

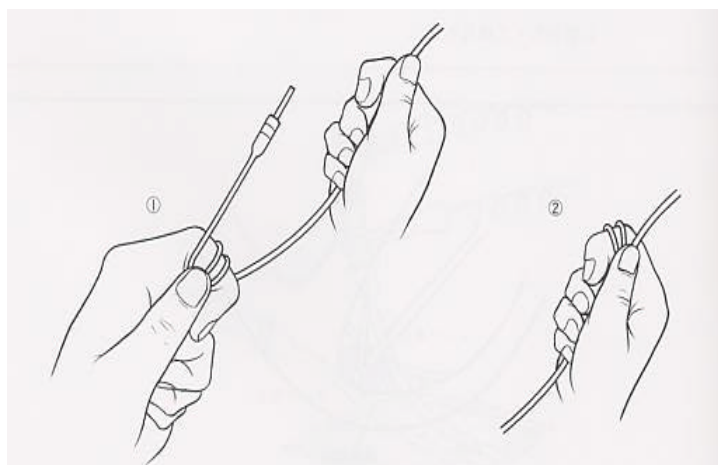


図 2.5 用手牽引法

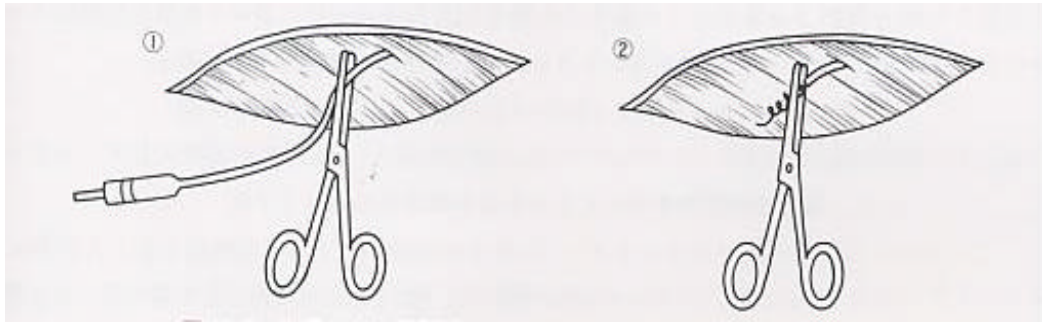


図 2.6 鉗子による牽引法

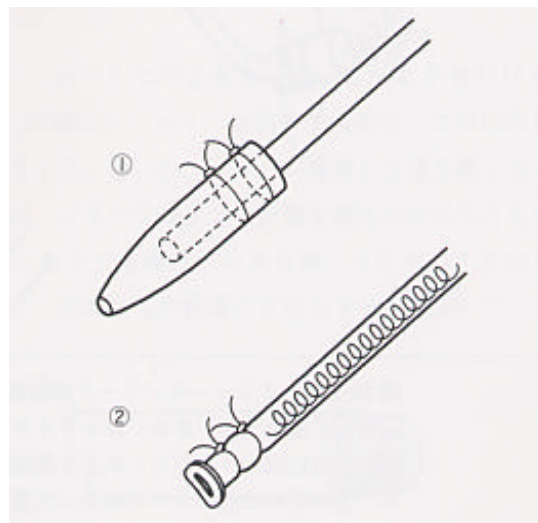
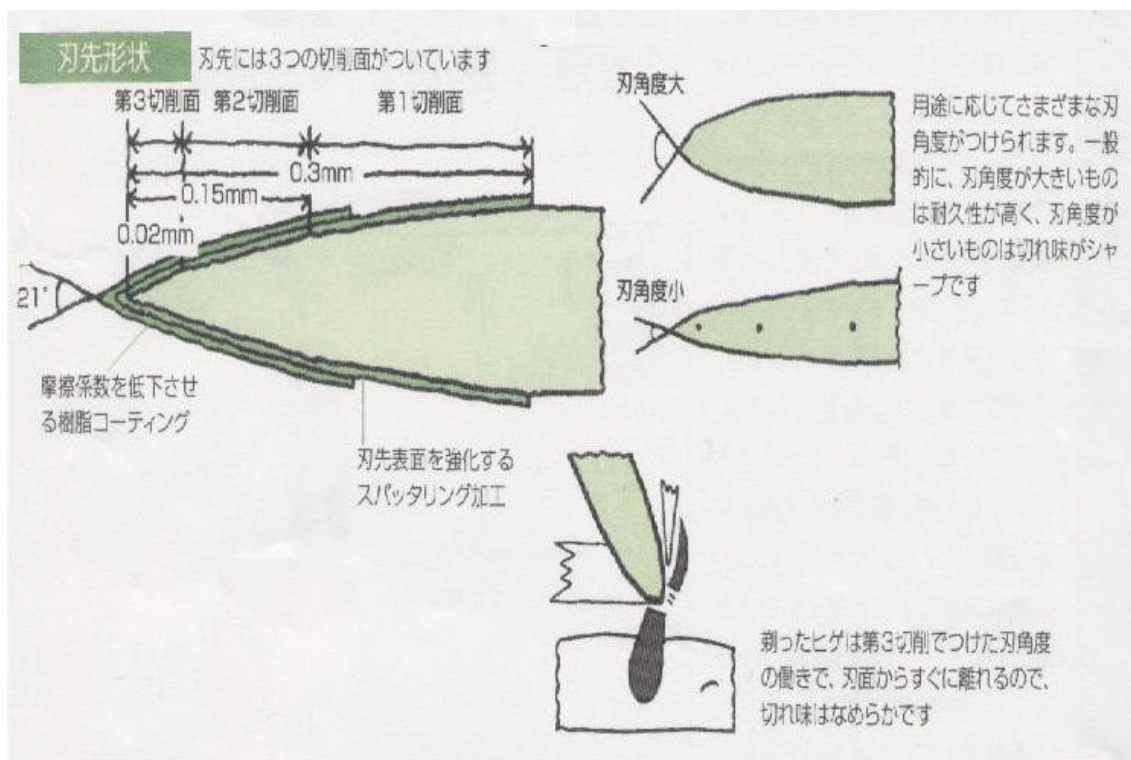
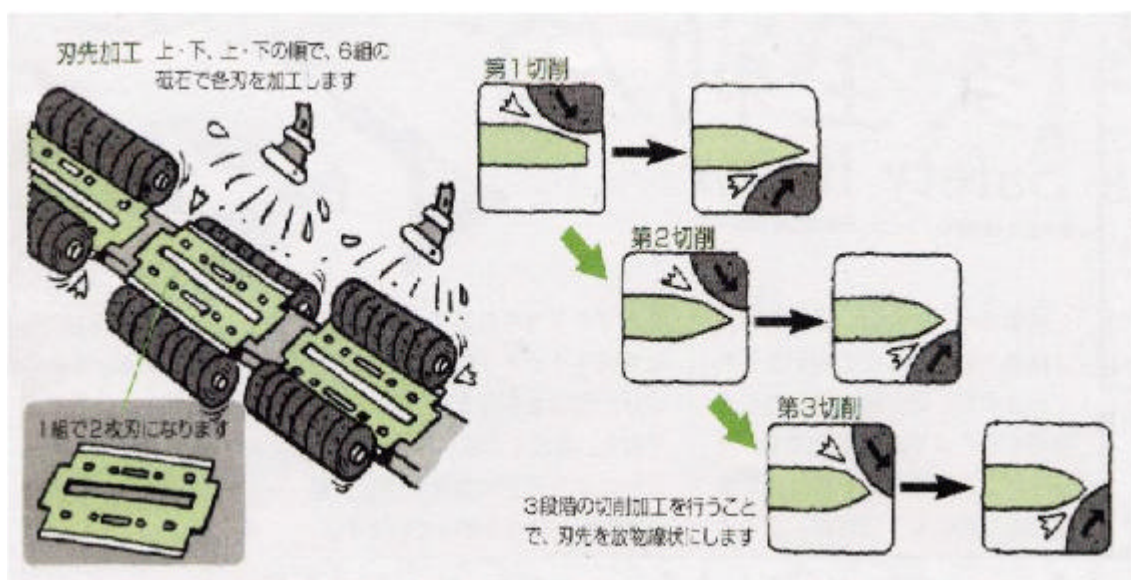


図 2.7 リード断端部の処理

### 2.3 一般的な刃物の製作（安全かみそり）<sup>4)</sup>

首振りヘッドなど、安全かみそりには機構上さまざまな工夫がなされているが、切れ味の良し悪しを左右するのは刃先である。刃先の精度を決定する切削加工は、3段階にわたって行われる。まず第1切削で第1切削面をつけた後、その中間付近から先端側を加工して第2切削面をつけ、更に第2切削面の先端部を加工して第3切削面をつけていくことで、刃先を放物線状に加工していく。このような加工がなされるのは、品質の安定化が図れるということもあるが、放物線状の刃先形状により、髭が第1、第2切削面に触れることなく切断されるため、髭との接触面積が小さくなり、小さな力で剃れるからである。しかし、こうした刃先加工を行なったとしても、刃先が髭に食い込んだり、剃り落とした髭の部分に刃面が密着してしまうことがある。そこで、髭と刃面との摩擦抵抗を小さくできるようにフッ素樹脂コーティングがなされている。この加工により、刃面と髭の周囲にある水分との表面張力による密着力が小さくなり、より滑らかに剃れる。さらに刃面にはスパッタリ

ングというアルゴンガス中で、放電によってできたプラズマ中の陽イオンを加速してプラチナとクロムの合金にぶつけ、ここから叩き出された原子で刃先に薄膜を形成する表面処理も行なわれている。これにより刃先の強度が増し、耐久性の向上につながっている。市販かみそりの加工行程を以下の図 2.8 に示す。



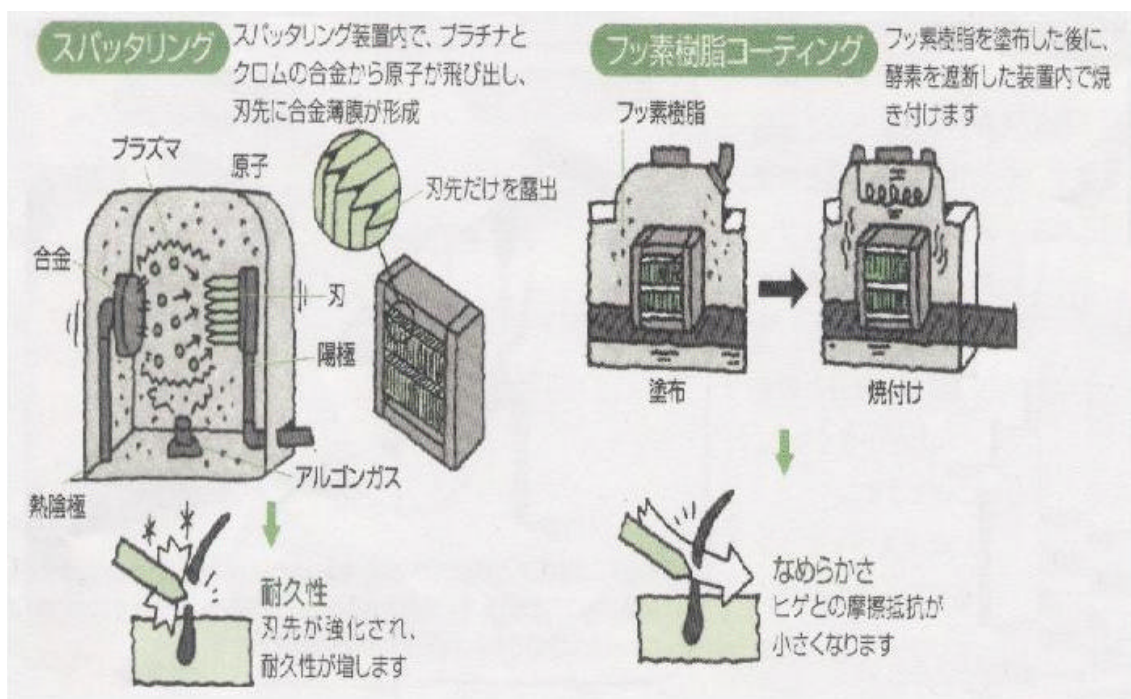


図 2.8 一般的ななみそりの作り方

## 2.4 マイクロ刃物の製作

### 2.4.1. 微細放電加工

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。微細放電加工は、放電エネルギーを微小することによって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物に作用する加工力が非常に小さいため、微細な工作物、工具を変形させることがない。また、導電体もしくは半導体ならば、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。欠点として絶縁体の材料は加工が困難であるという点、条件に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あげられる。

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、流用制御用オリフィス、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。

複雑な3次元形状のマイクロマシンなど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。

#### 2.4.2 マイクロナイフの製作<sup>5)6)</sup>

加工装置は松下電器製の MG-ED82W を用いた。材料は生体に適合し、かつ微細放電加工性の良いものとして純 Ti、及び SUS304 を用いた。加工条件を表 1 に示す。

表 2.1 マイクロナイフの加工条件

加工機	松下電器製 MG-ED82W
加工液	三井スペースカット
放電回路	RC回路(R=1K )
加工電圧	110V
コンデンサ	10 ~ 3300pF
電極	純タングステン線
加工材料	Ti,SUS304
板厚	50 $\mu$ m

刃先の加工方法を図 2.9 に示す。ワーク取り付け台に斜めに 50  $\mu$ m のワークを置き、加工表面を繰り返しなぞるようにして、電極を Y 方向に送ると同時に Z 方向にも切り込みつつ、表面に対して傾斜したスリットを加工する。スリットのエッジが刃先となる。Y 方向に 2 mm 長さのスリットを加工した。Y 方向の送り速度、Z 方向の切り込み速度は共に 1  $\mu$ /s にした。

製作したマイクロナイフを SEM 写真により観察した。その SEM 写真を図 2.10 に示す。SEM 写真を加工角度、加工コンデンサ容量別に Ti と SUS304 で比較した。また、市販のかみそり刃の SEM 写真を図 2.11 に示す。

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  $\mu$ m 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。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。

次に、製作したマイクロナイフの切れ味を評価を行った。切れ味試験は、専用に実験装

置を作り、その装置で行う。試験方法は、まず S U S 304 (板厚 5 0  $\mu$  m ) 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  $\mu$  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した。図 2.12、図 2.13 より評価の結果、製作したマイクロナイフは市販かみそりとほぼ同等の切れ味が得られたと考えられる。

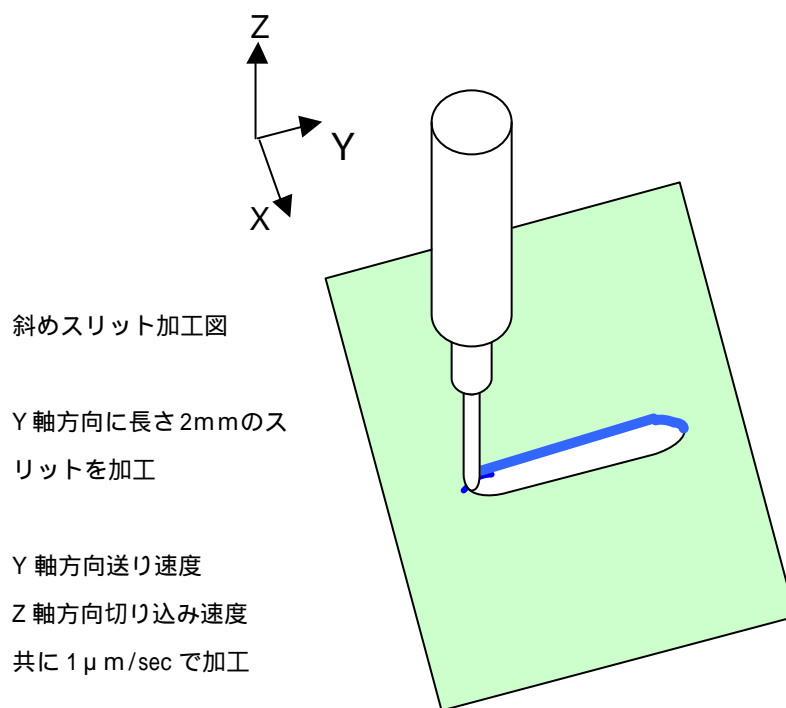
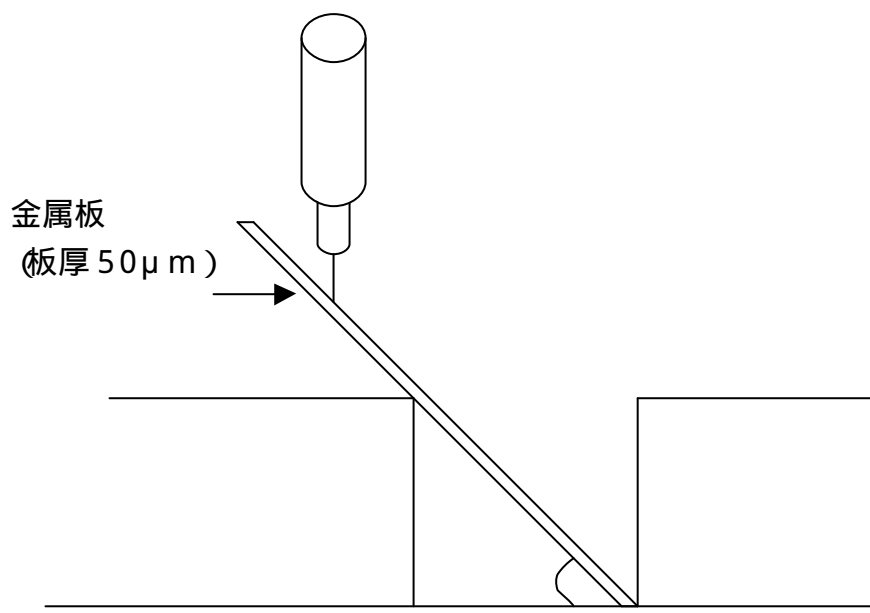


図 2.9 放電加工機によるマイクロ刃物の加工方図

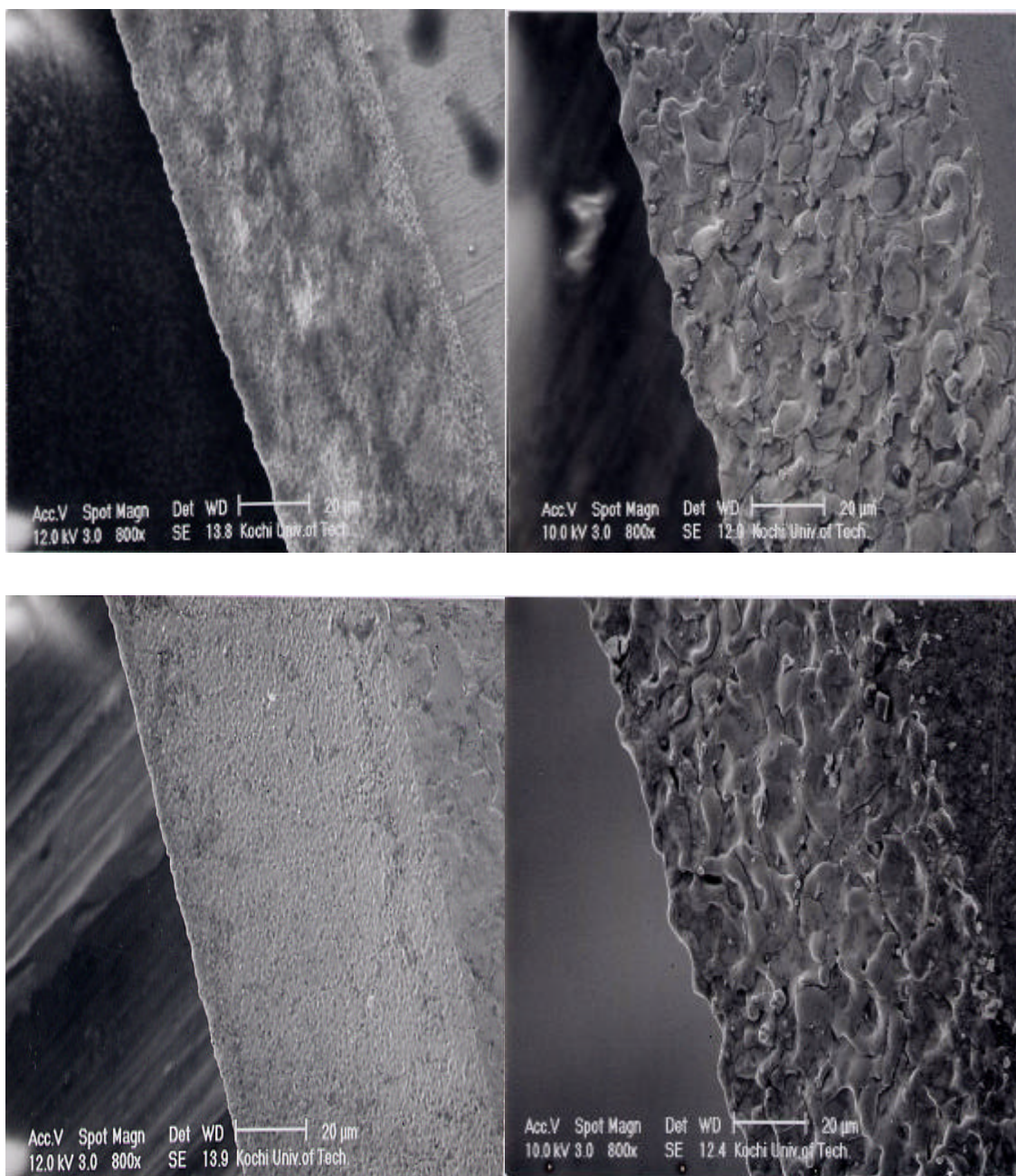


図 2.10 刃先角 30° の刃先先端 S E M 写真

(上 : 純 T i [左 : コンデンサ容量 : 10pF、 右 : コンデンサ容量 : 3300pF])

(下 : S U S 304 [左 : コンデンサ容量 10pF、 右 : コンデンサ容量 3300pF])





図 2.11 市販かみそり刃の刃先先端 S E M 写真

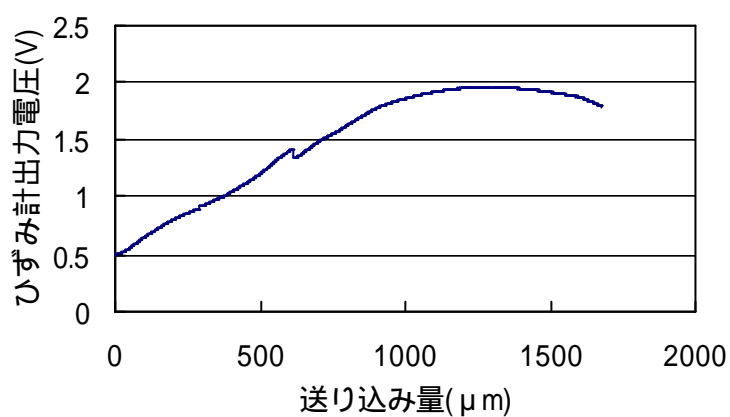


図 2.12 市販かみそりの押し切り結果（対象物：糸こんにゃく）

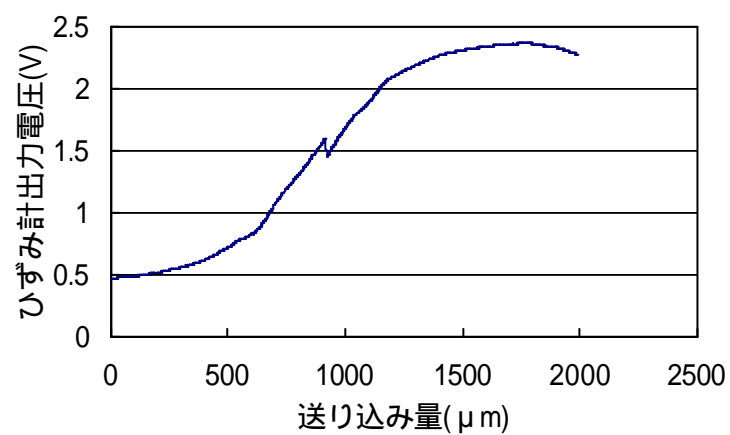


図 2.13 マイクロナイフの押し切り結果（対象物：糸こんにゃく）

### 2.4.3 マイクロリングカッターの製作<sup>6)</sup>

血管内の心臓ペースメーカーリード外周部に付着した組織の切除を目的とし、パイプ外周部に刃部となるテーパ加工を行って試作した。加工方法を図 2.14 に、試作したマイクロリングカッターを図 2.15 に示す。

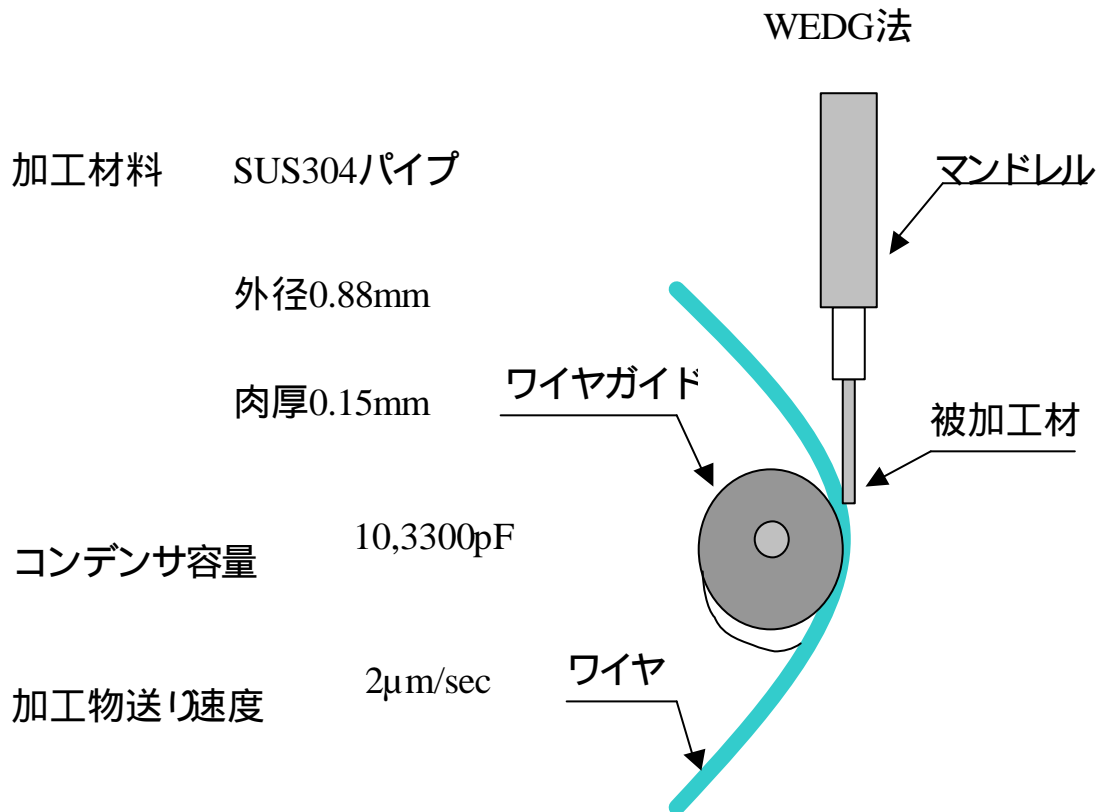


図 2.14 マイクロリングカッターの加工方法

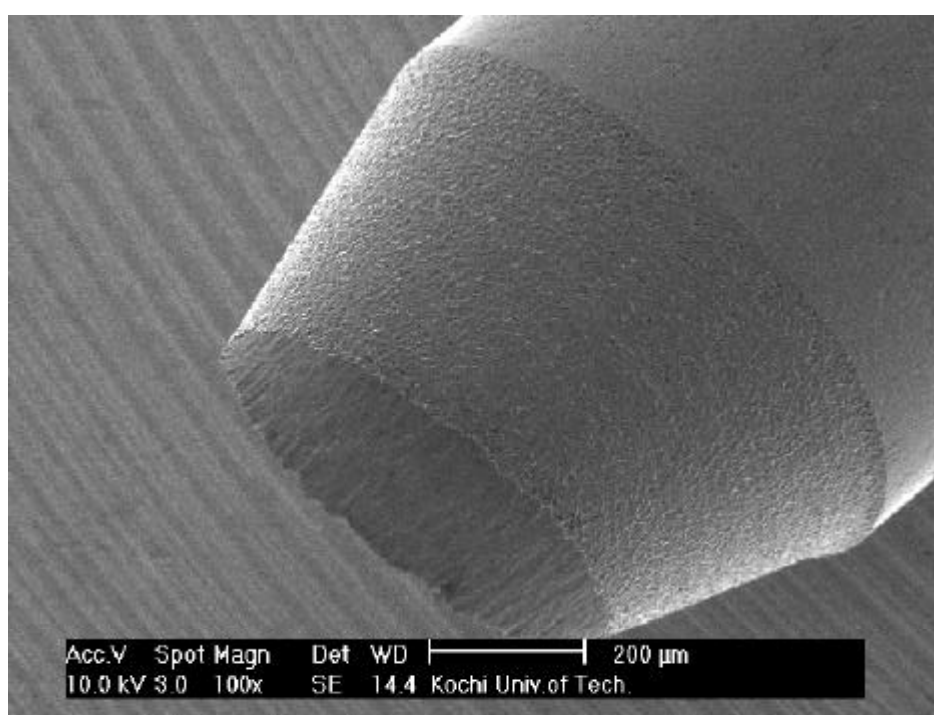
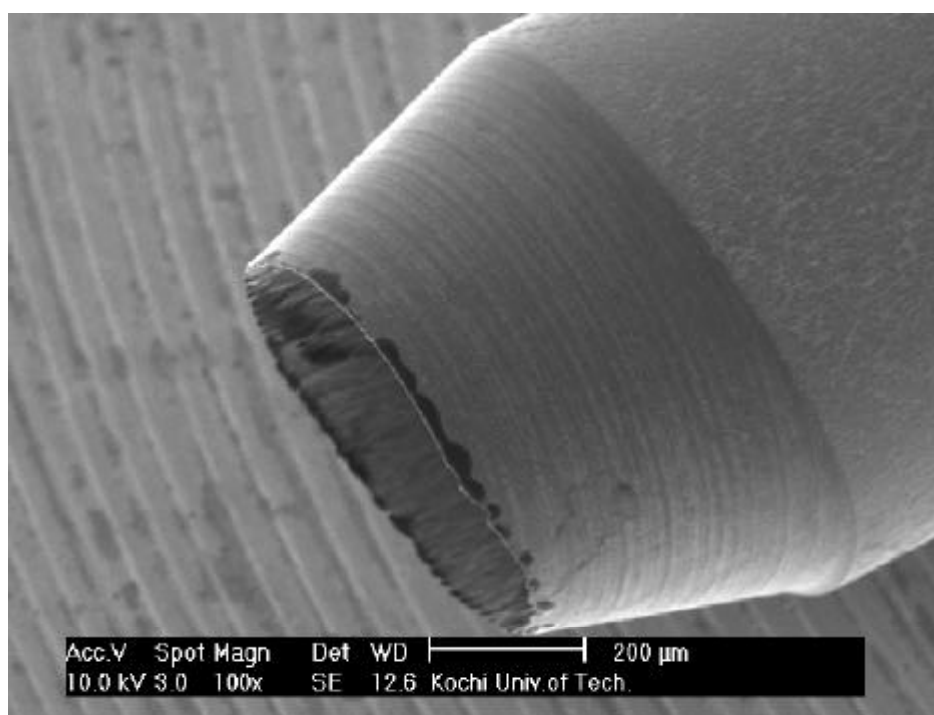


図 2.15 試作したマイクロリングカッター  
 (上：コンデンサ容量 10pF 、下：コンデンサ容量 3300pF)

外径 0.88mm、肉厚、0.15mm の SUS304 パイプを被加工材として WEDG のテーパ加工によりコンデンサ容量 10pF、3300pF、加工物の送り速度 2  $\mu\text{m/s}$  で先端に刃を形成した。WEDG に用いたワイヤは直径 100  $\mu\text{m}$  である。3300pF で加工した刃部にはワイヤの跡が見られるが、放電エネルギーが大きいためであり、コンデンサ容量を 10pF に小さくすることによって改善することができた。

### 第3章 実験<sup>7)8)</sup>

#### 3.1 マイクロナイフ切れ味実験

すでに試作した長さ2mmのマイクロナイフの押し切りによる評価は得られているので引き切り実験装置を試作しマイクロナイフを市販かみそりとの比較によって評価を行った。

##### 3.1.1 引き切り実験装置

試作した引き切り実験装置を図3.1、図3.2に示す。縦1mm 横2mm 厚さ50 $\mu$ mの純Ti板をT字型に接着し、ひずみゲージを貼り、シグマ光機製の移動ステージに固定し、切れ味実験の対象物を取り付ける。刃物は移動方向に対して45°の角度を持たせてバイスに固定し、10 $\mu$ /sの速度で送り込み、送り込み量とひずみ計出力の関係を求めることで切れ味の評価を行った。引き切り対象物は厚さ約1mmの糸こんにゃくと魚肉ソーセージを用いた。



図 3.1 引き切り実験装置

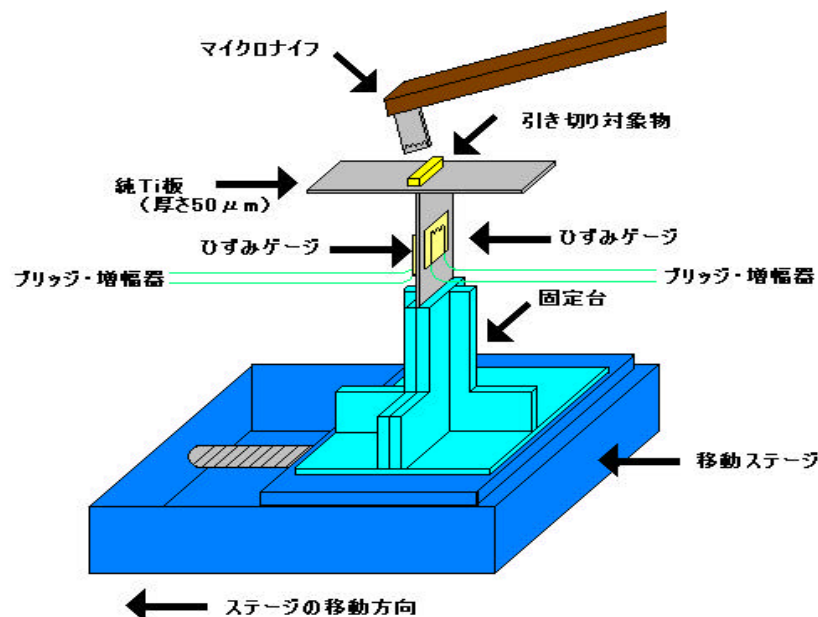


図 3.2 引き切り実験装置概観

### 3.1.2 引き切り実験結果

引き切り実験の結果を図 3.3、図 3.4、図 3.5、図 3.6 に示す。図 3.3 より引き切り対象物が糸こんにゃくの場合、マイクロナイフは市販かみそりに比べグラフの立ち上がりが急であった。また、図 3.4 より糸こんにゃくの切断面は市販かみそりは切り口が鋭利であったが、マイクロナイフによる切り口は市販かみそりに比べ凹凸が見られる。引き切り対象物が糸こんにゃくのような柔軟な弾力性のあるものに対しては市販かみそりは両刃であるがマイクロナイフは片刃であるため、刃面の粗さの違いによるものだと考えられる。しかし、単位あたりの送り込み量の増分はほぼ等しいので切断中の切れ味は同等であると考えられる。図 3.5 より引き切り対象物が魚肉ソーセージの場合、マイクロナイフ、市販かみそりともグラフの立ち上がりが滑らかであった。また、図 3.6 より魚肉ソーセージの切断面は市販かみそりは切り口が鋭利であるが、マイクロナイフは凹凸が見られた。引き切り対象物が魚肉ソーセージのようなものの場合、市販かみそりと同じように滑らかに切り込むことが可能である。

マイクロナイフは、対象物の切り口の粗さのことを考慮しても市販かみそりと同等の切れ味であると考えられる。

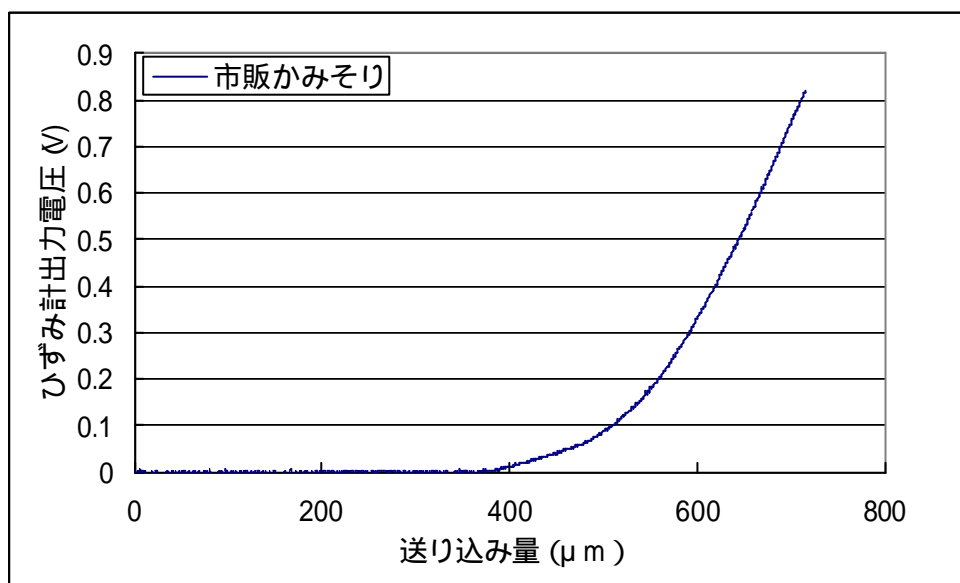
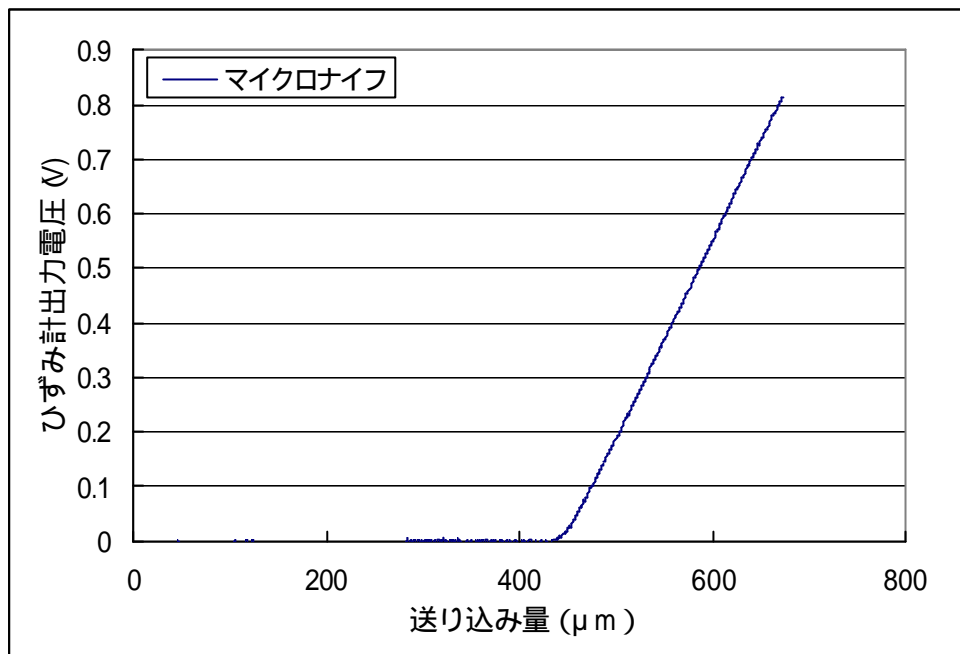


図 3.3 引き切り結果 (対象物: 系こんにゃく)  
(上: マイクロナイフ、下: 市販かみそり)

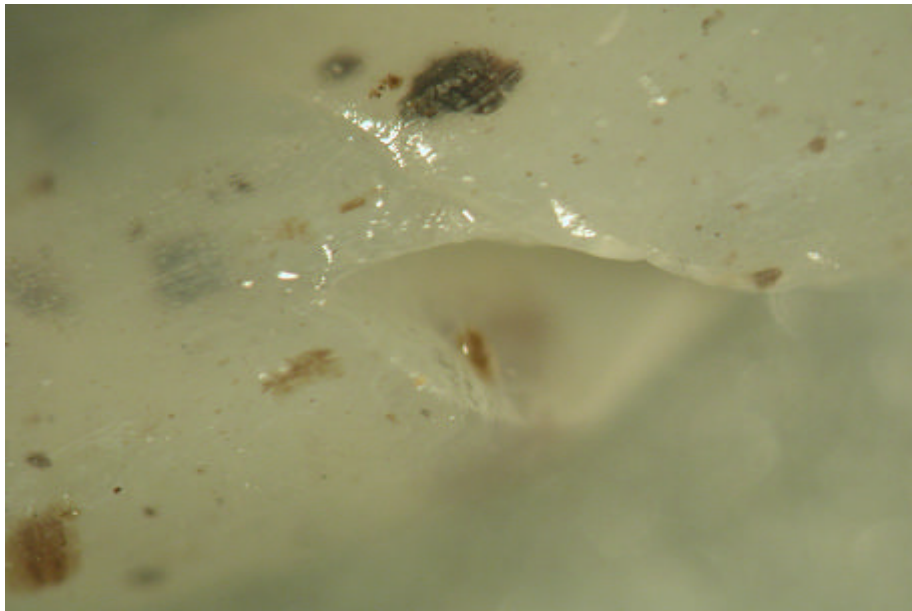


図 3.4 系こんにゃくの切断面  
(上：マイクロナイフ 、下：市販かみそり)



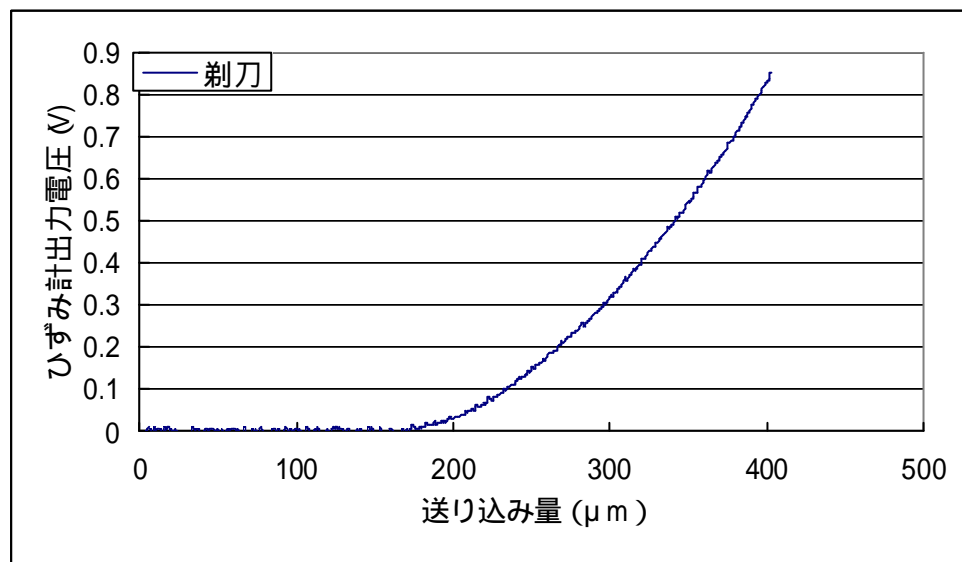
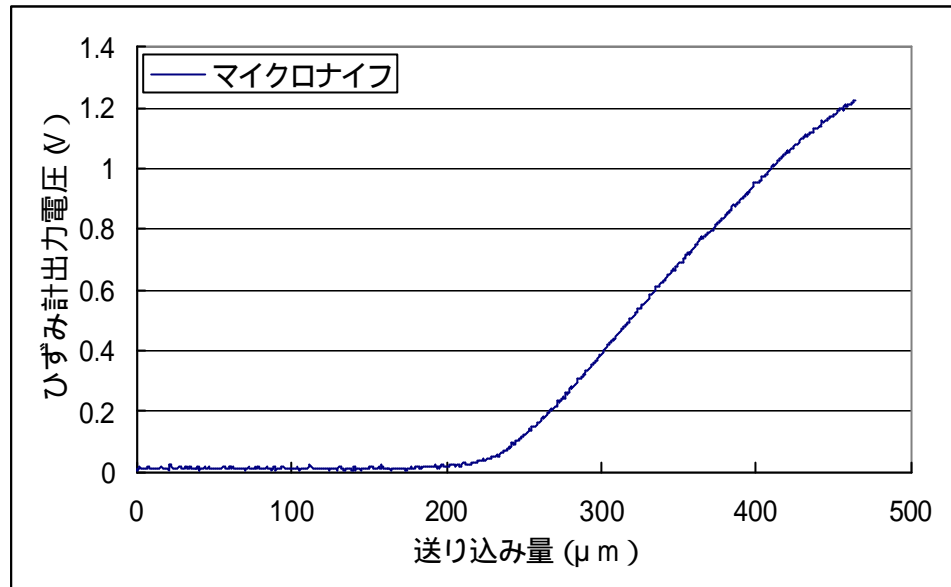


図 3.5 引き切り実験結果 (対象物 : 魚肉ソーセージ)  
(上 : マイクロナイフ 、下 : 市販かみそり)

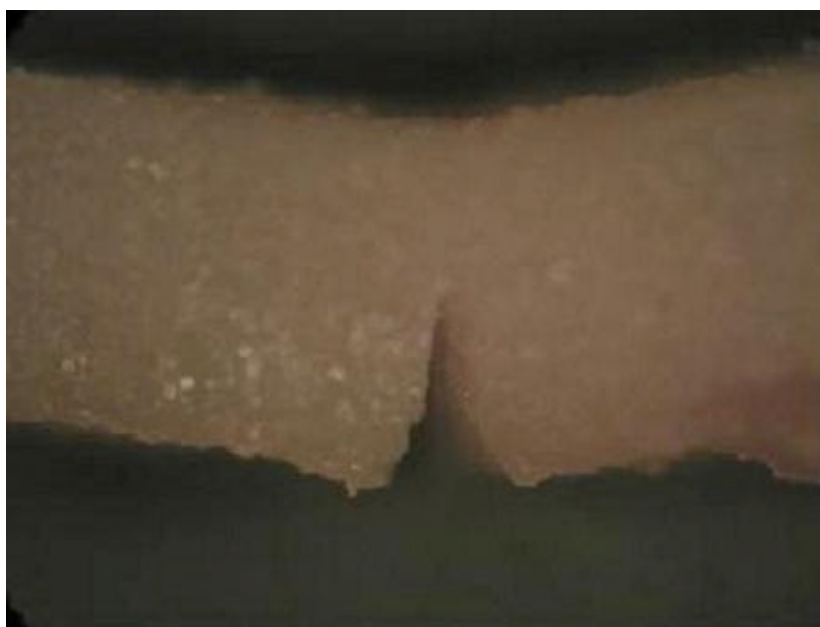
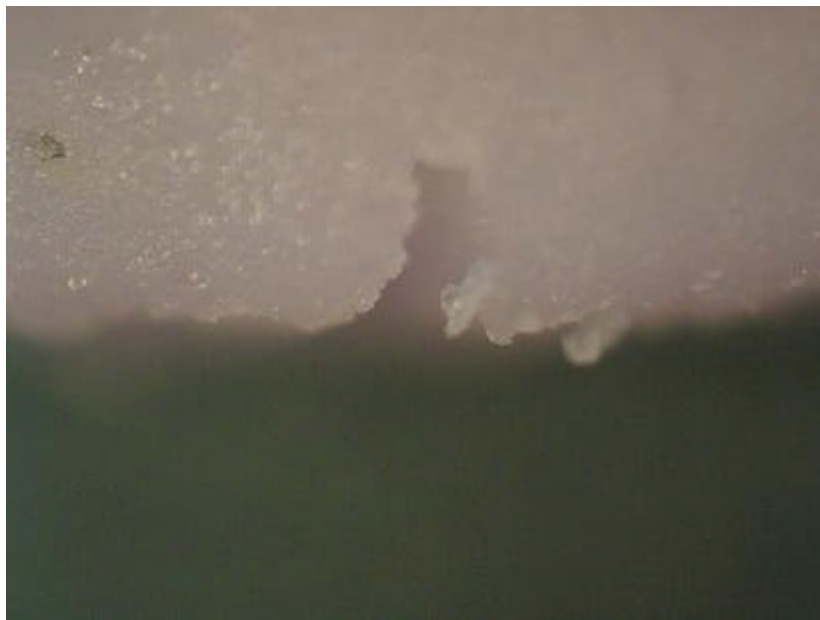


図 3.6 魚肉ソーセージの引き切り切断面  
(上：マイクロナイフ 、下：市販かみそり)

### 3.2 マイクロリングカッター切れ味実験

試作したマイクロリングカッターの切れ味を評価するため押し切り実験装置を試作し比較対象としてマイクロリングカッターの形成前のパイプを用いた。マイクロリングカッターと形成前のパイプを図 3.7 に示す。

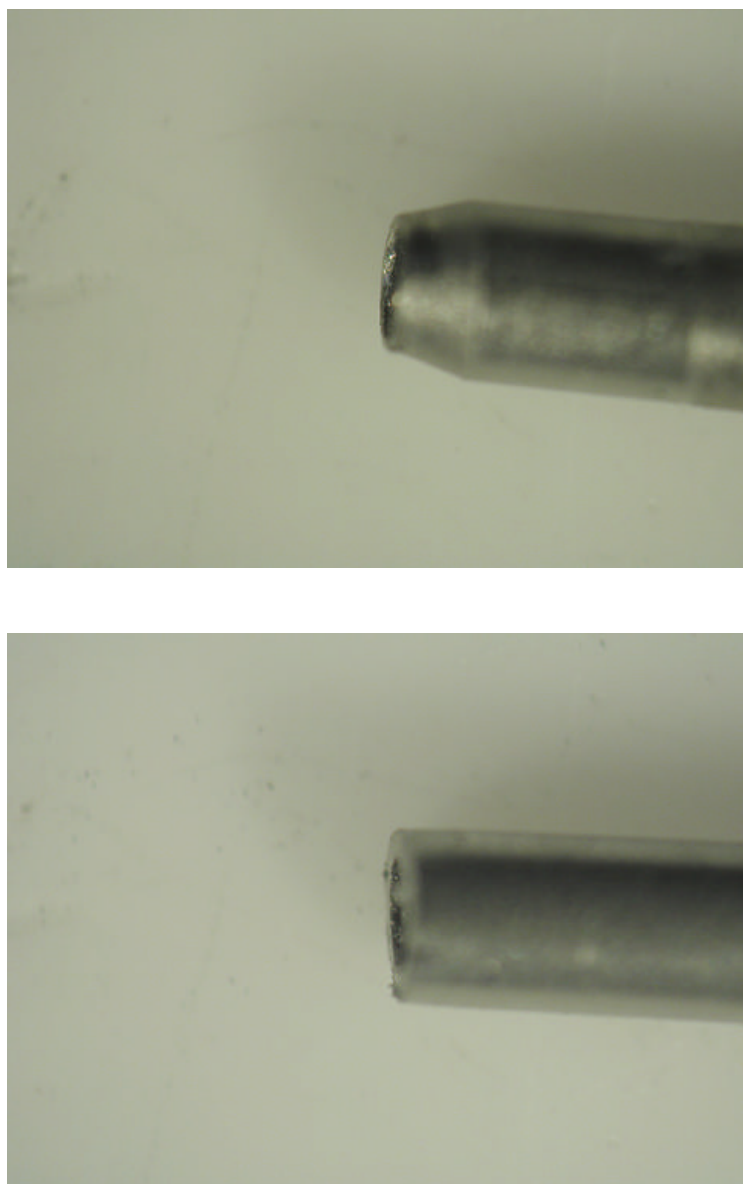


図 3.7 マイクロリングカッターと形成前のパイプ  
(上：マイクロリングカッター、 下：形成前のパイプ)

### 3.2.1 押し切り実験装置

試作した押し切り実験装置を図 3.8、図 3.9 に示す。厚さ  $50\text{ }\mu\text{m}$  の純 Ti 板にひずみゲージを貼り、微細放電加工機のワーク取り付け台に固定し、切れ味試験の対象物を取り付ける。マイクロリングカッターは加工機の電極保持のためのマンドレルに固定し、マンドレルを対象物に対して  $20\text{ }\mu\text{m/s}$  の速度で送り込んだ。対象物として生体組織を擬似したものとしてコーキング用シリコン充てん材を硬化したもの、厚さ約  $1\text{mm}$  にスライスしたこんにゃくを用いた。

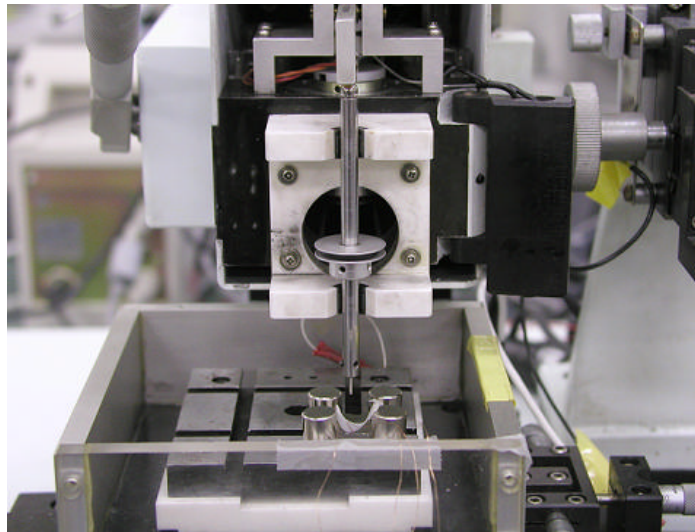


図 3.8 押し切り実験装置

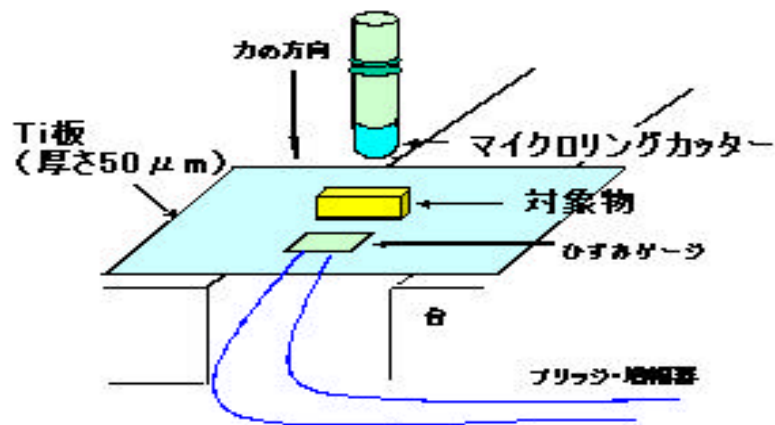


図 3.9 押し切り実験装置概要

### 3.2.2 マイクロリングカッター押し切り実験結果

押し切りの結果を図 3.10、図 3.11、図 3.12 に示す。図 3.10 よりコーキング用シリコン充てん材を硬化させたものを押し切った場合、若干ではあるがマイクロリングカッターの方がかかった力が小さかった。また図 3.11 より、マイクロリングカッターと形成前のパイプでコーキング用シリコン充てん材を硬化させたものを押し切った痕の比較では、形成前のパイプの方が見た目はきれいに切れているが、切り口がマイクロリングカッターに比べて鋭利でなくパイプの径より若干大きく切れていることがわかる。これはマイクロリングカッターに比べパイプの方が押し切り対象物に接する面積が大きいためであると考えられる。

押し切り対象物がこんにゃくの場合は、マイクロリングカッターは波形にひずみが現れうまく値は求められなかったが、形成前のパイプは求めることができた。このことについては何が原因であるかはわからなかったが、形成前のパイプの対象物に接する面がかんけいするのではないかと考えられる。形成前のパイプは対象物に接する面にざらつきがあり、そのざらつきによって滑ることなく対象物に押し切れると考えられる。また、こんにゃくに比べコーキング用シリコン充てん材を硬化させたものを押し切った場合ではある程度の硬度があった為うまく押し切りができたと考えられる。

実験結果より試作したマイクロリングカッターは、ペースメーカーリード外周部に付着する組織を切除できる可能性が得られた。

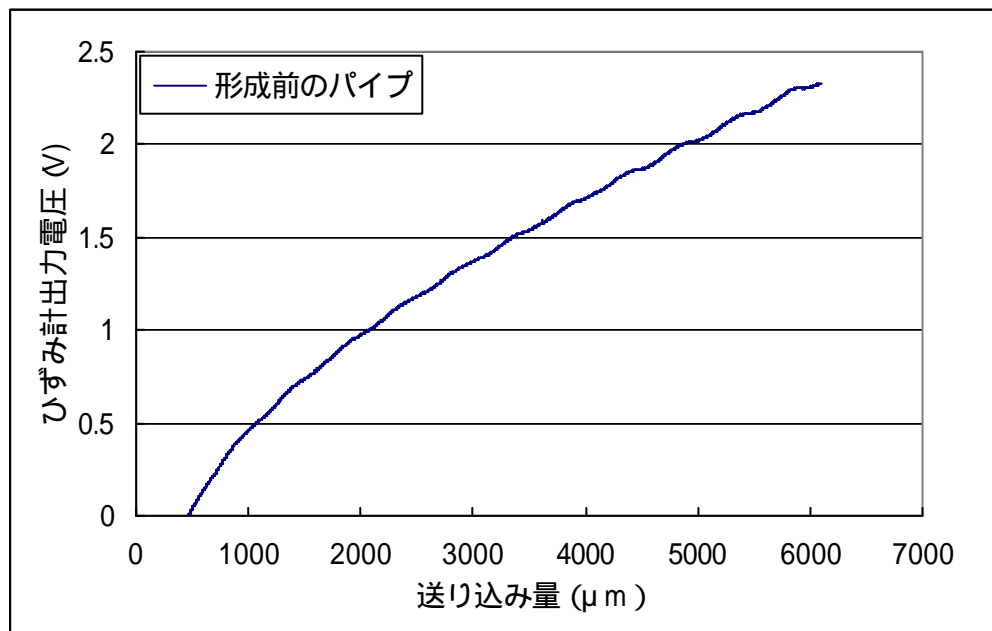
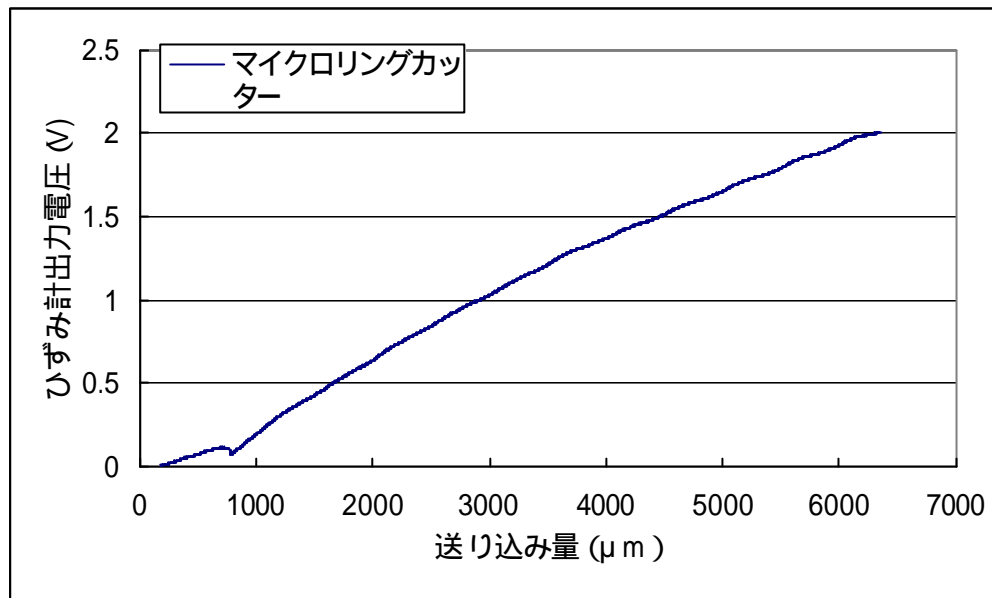


図 3.10 押し切り結果（対象物：コーキング用シリコン充てん材）  
（上：マイクロリングカッター、下：形成前のパイプ）

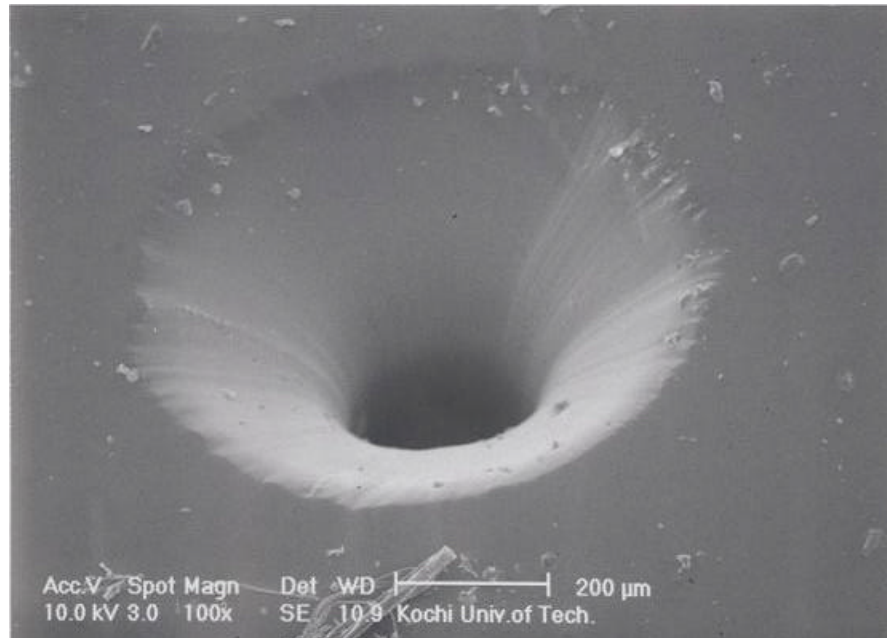
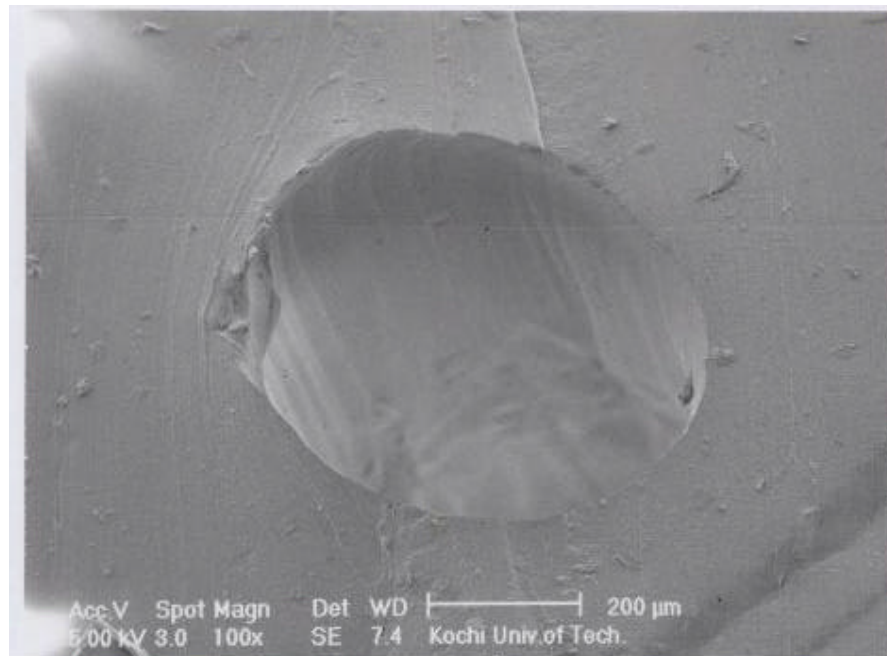


図 3.11 押し切り痕（対象物：コーキング用シリコン充てん材）  
（上：マイクロリングカッター、下：形成前のパイプ）

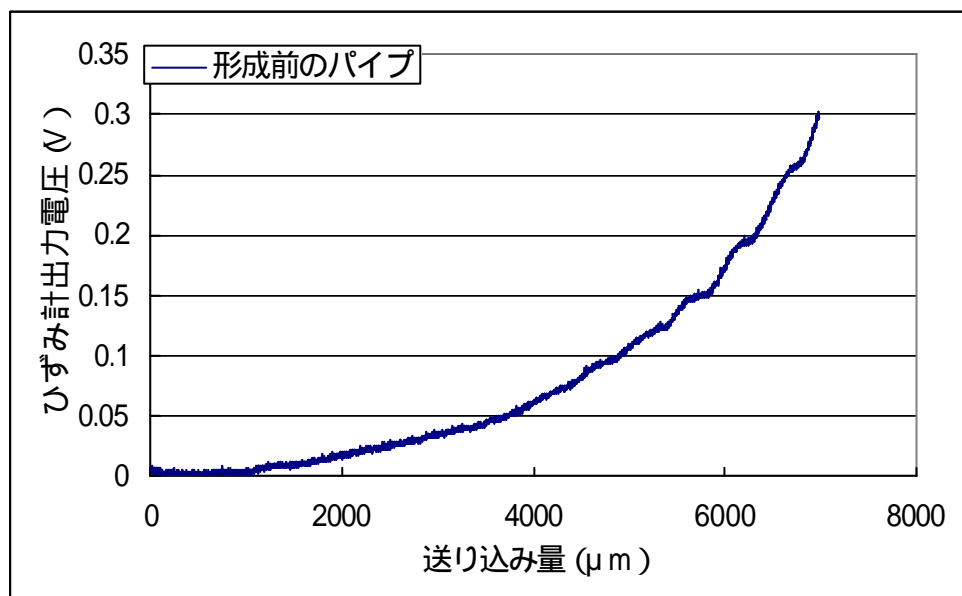
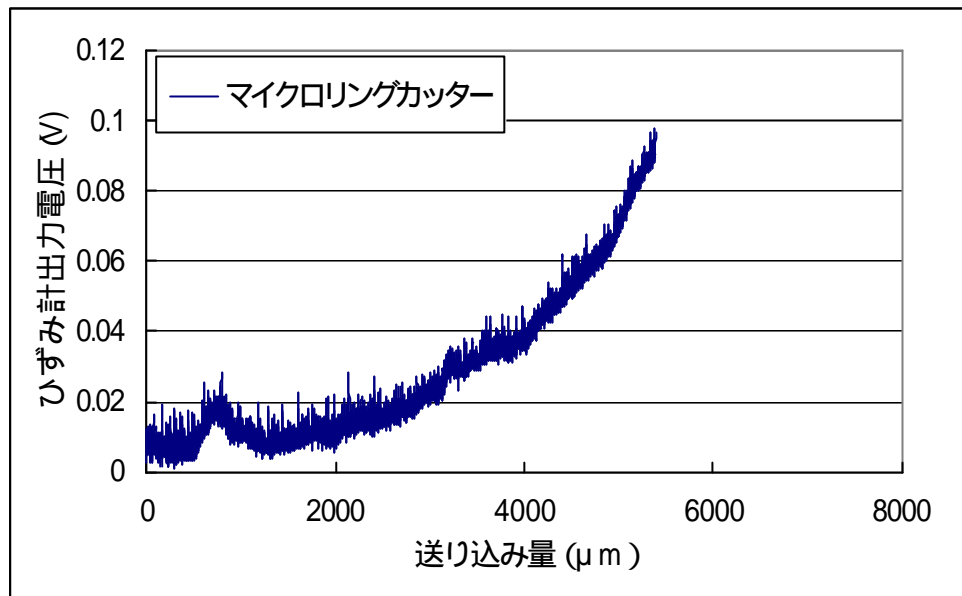


図 3.12 押し切り結果 (対象物: こんにゃく)  
(上: マイクロリングカッター、下: 形成前のパイプ)



## 第4章 結言

本研究では、同研究室で試作されたマイクロナイフおよび、ペースメーカーのリード外周部に付着した組織切除の為にマイクロリングカッターを実用化に向け、切れ味がどのくらいであるかを測るため引き切り実験装置、押し切り実験装置を試作し評価を行うことができた。

本研究で得られた結果を以下に示す。

### 4.1 結論

#### 1) マイクロナイフ

- ・ マイクロナイフの切れ味を評価する為の引き切り実験装置の試作を行った。
- ・ 試作した引き切り実験装置によってマイクロナイフの評価を行うことができた。
- ・ 引き切り対象物が糸こんにゃくの場合では、市販かみそりは切り始めがスムーズであったが、マイクロナイフの切り始めは急であった。切り始めの差は大きかったが、その後の単位送り量あたりの力の増分はほぼ等しいので切断中の切れ味は、ほぼ同等であると考えられる。
- ・ 糸こんにゃくの引き切り痕では、市販かみそりの切り口は鋭利であったが、マイクロナイフの切り口は凹凸が見られ粗いことがわかった。
- ・ 引き切り対象物が魚肉ソーセージの場合も、市販かみそりの切れ始めはスムーズであった。マイクロナイフは、対象物が糸こんにゃくの時よりは切れ始めがスムーズであった。
- ・ 魚肉ソーセージの引き切り痕では、市販かみそりは切り口が鋭利なのに対してマイクロナイフでの切り口はかなり粗いことがわかった。
- ・ マイクロナイフの切れ味は、切り始めはスムーズではないが切断中の切れ味は、ほぼ同等で切り口が粗いことから刃面の粗さが関係していることが考えられる。

#### 2) マイクロリングカッター

- ・ マイクロリングカッターの評価を行うための実験装置の試作を行った。
- ・ 試作した押し切り実験装置によってマイクロリングカッターの評価を行うことができた。
- ・ 押し切り対象物がこんにゃくの場合では、切れ味比較対照の刃を形成する前のパイプとマイクロリングカッター共に、ノイズが発生した。特にマイクロリングカッターの方がノイズが大きく発生した。ノイズの原因として、こんにゃくの中に含まれる粒子とこんにゃく内に含まれる水分が関係しているのではないかと考えられる。
- ・ こんにゃくの押し切り痕の SEM を撮ろうと試みたが、こんにゃくは水分があるので失敗した。
- ・ 押し切り対象物がコーキング用シリコン充てん材を硬化したものの場合では、刃を形成する前のパイプよりマイクロリングカッターの方が若干ではあるが切れ味が良いという結果が得られた。

- ・また、グラフの立ち上がり方がこんにゃくの場合と異なる原因として、シリコンが弾性変形したからだと考えられる。
- ・コーキング用シリコン充てん材を硬化したものを押し切った痕では、刃を形成する前のパイプはパイプの径より若干大きく切り取られていたが、マイクロリングカッターは切り口が鋭利に切り取られていた。
- ・マイクロリングカッターの切れ味の評価としては、心臓ペースメーカーリードに付着した組織を切除できる可能性が得る事ができた。

### 3)今後の課題

- ・マイクロナイフは市販かみそりと同形状の両刃にし、理想的な刃先角を検討する必要がある。また、市販かみそりと同等の切れ味が得ることができたら、実際に手術に使用されるメスとの切れ味の比較評価を行いたい。
- ・マイクロリングカッターについては、心臓ペースメーカーリードに付着した組織を切除できる可能性が得る事ができたので、切除した組織を効率良く取り除くための構造検討を行いたい。

## 謝辞

本研究に対し終始ご親切にご指導賜りました高知工科大学大学院知能機械システムコース 河田 耕一教授に謹んで感謝の意を表せて頂くととも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、ご協力してくださった日本紙管株式会社 奥村 亮氏、高知工科大学 河田研究室 山岡正和先輩、医学的な立場から適切な助言を頂いた高知医科大学第二外科 小田勝志先生に心から厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献・図書

- 1) 原島文雄・江刺正喜・藤田博之編：マイクロマシンの工学的実現 マイクロ知能化運動システム (1991) .
- 2) 諸隈 肇著：内視鏡テクノロジー - 狭い入り口から深奥を探索 - (1999) .
- 3) 山本豊、図解 心臓ペースング、中外医学社、(2000) .
- 4) モノ知り学ノススメ【第二巻】：日刊工業新聞社 (2002) .
- 5) 山岡正和、奥村亮、河田耕一、佐藤健夫：2001 年度精密工学会春季大会学術講演論文集、(2002) .625.
- 6) 山岡正和、奥村亮、河田耕一、佐藤健夫：第 7 回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集、(2002) .39-44.
- 7) 山本明、中須賀元、山岡正和、河田耕一、奥村亮、佐藤健夫：2002 年度精密工学会徳島地方学術講演論文集、(2002) . 9-10.
- 8) 中須賀元、山本明、山岡正和、河田耕一、佐藤健夫：2003 年度精密工学会春季大会学術講演予定.

#### 本研究に関わる講演

- (1) 山本明、中須賀元、山岡正和、河田耕一、奥村亮、佐藤健夫：2002 年度精密工学会徳島地方学術講演論文集、(2002) . 9-10.
- (2) 中須賀元、山本明、山岡正和、河田耕一、佐藤健夫：2003 年度精密工学会春季大会学術講演予定.