

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

炭素材料の微細放電加工

学籍番号: 1020088

氏名: 石黒 真路

指導教員: 河田 耕一

—目次—

第1章 緒言

1.1	マイクロマシン研究の現状	1
1.2	放電加工の概要	3
1.3	微細放電加工の概要	6
1.4	本研究の目的	6

第2章 炭素材料の構造と性質

2.1	炭の歴史	7
2.2	炭の種類と性質	7
2.3	備長炭	8
2.4	竹炭	8

第3章 実験と結果

3.1	実験方法	9
3.1.1	実験試料	9
3.1.2	実験手順	9
3.1.3	測定方法	10
3.2	考察	11

第4章 結論

謝辞

参考文献

第1章 緒言

1.1 マイクロマシン研究の現状

現在、工業システムの精密化・複雑化によるメンテナンス等の高度化・困難化への対応、人に優しい医療福祉、省エネルギー対策など、大別すると、産業応用・医療応用という2つの観点から、微細かつ複雑な作業を行うことが可能な微小な機械、いわゆるマイクロマシンの本格的な利用が広く求められている¹⁾。

マイクロマシン技術の開発にあたり、マイクロ世界では支配する物理法則がマクロ世界と大きく異なり、摩擦が無視できず、媒体中では大きな粘性抵抗を受けることを考慮しなければならないため、ニュートン力学を基に設計された既存の機械のサイズを単純に小さくしてもマイクロマシンとして利用することは不可能に近く、従来概念を逸脱した新たなコンセプトのもと、世界各国で研究開発がすすめられている。

日本におけるマイクロマシン研究を牽引しているものとして経済産業省の産業科学技術開発制度（通称、産技プロジェクト）の「マイクロマシン技術の研究開発」がある。このプロジェクトは1991年から10年間、予算総額250億円の研究開発計画のもとで実施され、国立研究所として、機械技術研究所、電子技術総合研究所、計量研究所と国内22企業、2団体と海外2団体が参加し研究に取り組んでいる。プロジェクトではこの10年間で2期に分け、第1期では応用システムとして、(1)発電施設用高機能メンテナンスシステム、(2)マイクロファクトリ、(3)体腔内診断・治療システムの3つを実現するために基礎的研究を中心に研究開発を行った。第2期を1996年より開始し、上記3つのシステム実現のための技術の確立や試作システムを設計して研究開発を行うと同時に、機能デバイスの高度化技術、共通基盤技術に関する研究開発を進めている。

以上のようなマイクロマシンを実現するために必要な技術は、大きく分けて以下に示す3つである。

1)基盤技術

材料技術、マイクロ加工技術、設計技法、評価技術およびマイクロ流体力学、マイクロトライボロジー、アセンブリ技術などのマイクロ理工学で構成される技術である。

2)機能デバイス技術

静電方式、圧電方式および形状記憶合金を使用したマイクロアクチュエータ、センサ技術などの微小機能要素技術や電子回路技術、個々のマイクロマシンのシステムに最適なエネルギー供給を行うために必要なマイクロバッテリーやエネルギー変換器の開発といったエネルギー供給技術である。

3)システム化技術

マイクロマシンシステムを構築するための機能デバイスの集積化・複合化技術、システム運用のための制御技術である。

これらの技術の研究開発、体系的整備が、家電・情報通信や医療、果ては航空・宇宙といった多種多様な産業分野において技術の進歩、発展を促進させることにつながり、近い将来、マイクロマシン産業という新しい産業分野として産業界に新たな風を吹き込むものとして期待されている。

以上のように、様々な産業分野においてその将来性が期待されているマイクロマシンであるが、微小ゆえに環境に及ぼす影響が極めて小さいというマイクロマシン独自の特徴を最大限に活用することが研究開発における重要な課題であり、既存の機械とマイクロマシンが大きく異なる点である。中でも医療分野において、この特徴を利用したマイクロマシンの開発が期待されている。今後の医療現場においては、これからの高齢化社会と増大する医療費の問題に対する何らかの答えを出さなくてはならない。高齢の患者に対する術中・術後の負担を軽減するための高度な低侵襲手術、いち早く社会生活に復帰することが可能な治療法、同時に要求される医療費のコスト削減。これらの問題を解決するための鍵がマイクロマシンに隠されているからである。

医療分野におけるマイクロマシンでは、現在特に外科手術において使用されているが、今後、より高度な低侵襲性、生体適合性を持った材料の研究開発が望まれている。現段階で実用化されている医療用マイクロマシンは、ほとんどの場合、加速度、圧力、流量等のセンサ、血中イオン濃度センサといったセンシング・デバイスである。現在はそうしたセンサ部にアクチュエータ部が付加された限定されたシステムとしての研究が進んでいる段階である。他に医療用カテーテルがある。これは2mmほどの直径で、形状記憶合金の“筋”に通電して関節を模したリング部を自在に曲げ、カテーテルを必要部位まで導入しやすくするものであり、これに、直径100 μ m程度の光ファイバ圧力センサや前方視用の超音波イメージャを備えるような研究が進んでいる。現在最高の性能を持つといわれている内視鏡外科手術支援ロボット「ダビンチ (d a V i n c i)」は、コンソールに座る術者が立体映像で術野を確認しながら挿入したカメラ、鉗子アームなどを間接的に操作することで、手ぶれを防ぎ正確な操作を可能にするものであり、その性能は高く評価されている。また、英国の研究グループが経口式のカプセル型内視鏡の開発に成功したと発表した。これは超小型カメラに光源装置、無線送信機を内蔵しているものである。

いままでマイクロマシンの研究開発の現状について述べてきたが、一部のセンサを除いてはまだ原理が確認されたという段階である。これらの技術を完全に実用化するためにさらなる研究開発を進めていかなければならない。また、マイクロマシンでなければ実現することができない技術や製品を確立していかなければならない。そうすることによって初めて、マイクロマシン技術というものが産業の一分野として広く認められることにつながり、マイクロマシン産業として医療分野に限らず様々な分野での技術の発展に多大な影響を及ぼすことは確実であり、そのようになることが広く求められている。

1.2 放電加工の概要

マイクロマシンの開発にあたり重要な要素として、材料を微細かつ高精度で加工する必要がある。そこで現在マイクロマシン開発の現場で広く用いられている放電加工についての説明を行うことにする。

放電加工とは、液中短間隙（5～50 μ m）での過度アーク放電による熱作用と、加工液体の気化爆発作用により形成された放電痕の累積によって、所定の形状を加工する加工法であり、金型の精密加工などに広く用いられている。

放電加工には現在広く利用されているものとして、特定形状の電極を用いて加工する彫削放電加工と、直径が0.2mm程度のワイヤを巻き取りながら、あらかじめプログラムした形状に加工を行うワイヤ放電加工があり、前述のように過度アーク放電によって加工されるため導電性材料であれば、材料の硬さに関係なく加工することが可能である。

加工のために使用される電極は主にグラファイト電極である。グラファイト電極は銅電極に比べ高速で加工を行う際の電極消耗が少ないという特性を持っている。そのため、高加工速度による材料の加工の発展を促す大きな要因になっている。アメリカではよいグラファイトが早くから生産されたこともありグラファイト電極がさかんに使用されるようになった。日本や欧州では放電加工の黎明期には、銅電極による加工が盛んに行われ技術の発展に貢献した。その後、よいグラファイトが生産されるようになりさかんに使用されている。以下に代表的な電極の種類・性質を示すことにする²⁾。

)銅

被削性が若干悪いが、価格はグラファイト材とほぼ同等、複雑な三次元形状のものでも、銅電鑄による電極製作法が採用でき、細穴の加工などでは市販の銅パイプが入手できる。しかし、熱膨張係数が大きく、大きな電極による貫通加工では放電加工中の温度上昇により、大きな寸法の電極で加工したようになり、クリアランスが大きくなるので注意が必要である。被加工材が超硬合金の場合、電極消耗比は30～100%に達する。

)グラファイト

被削性は抜群によく、被加工物が鋼の場合、貫通加工形状における加工特性は最も優れており、銅電極にかわって主流になりつつある。底付き加工形状においては、大電流放電加工条件による高速加工が得られやすく、電極消耗特性が他の電極材料よりも優れている。また、グラファイトは熱膨張係数が小さいため、大きな電極による貫通加工には最適である。

)銅タングステン

研削性・電極消耗などの放電加工特性は、銅より優れているが、価格は約40倍と高価なため、その使用は限定される。被加工物が超硬合金の場合に最も多く使用されており、電極消耗比は約15～20%と小さくなる。

)銀タングステン

被削性は、銅タングステンとほぼ同じだが、価格は銅の約 100 倍もするため、超硬合金の加工にときどき使用されるにすぎない。

)黄銅

電極消耗が多く加工速度も遅いため、現在はほとんど使用されないが、放電時の短絡が少ないため、ワイヤ放電加工機のワイヤとして使われる。

次に放電加工の放電発生の原理を述べていくことにする。

1)アークの発生

5 ~ 50 μm の距離に接近すると、一番短い距離で火花放電が発生する。その後細いアーク柱となり、非常に電流密度の高い電子の流れが生じる。

2)熱の発生

アーク柱の温度は、定常状態で 5000 ~ 6000 K、過渡状態では 10000 K といわれている。

3)気化爆発

加工油の急激な気化膨張によって、局所的に高い圧力が発生し、数百気圧にも達する。

4)溶融部分の飛散

金属の溶融部分は、小さな丸い塊となって加工油の中の飛散する。端の方の飛散しなかった部分は、もり上がりとなって電極面に残り次の放電を誘発する放電点となる。

5)絶縁回復

溶融金属が飛散したあとに周囲から加工油が流れ込み、間隙の絶縁回復が行われる。

実際の放電加工は、先に示した放電発生の過程（単発放電）を 1 秒間に数千回から数万回発生（連続放電）させることによって生じ形成される多数の放電痕の累積によって加工が行なわれる。この連続放電において最も重要なことは前回の放電発生箇所と同じ、または近辺なのか（放電の集中）、離れた箇所なのか（放電の分散）ということである。放電が集中した場合、単発放電により生ずる放電痕の約 10 倍前後の凹部を生じ、理想的あらさに対して粗な加工面を生ずるだけでなくクラックの発生なども引き起こす要因となる。このような放電の集中を防ぐためには、絶縁回復に必要な放電停止の時間を与えること、特定箇所に加工粉や分解物が堆積しないようにすること、電位頻度の高い点を多数分布させることで放電を誘発させること、などが必要である。また、面積の大きい電極では加工粉や分解物の偏在のために放電が集中しやすくなってしまふ。これを防ぐために最も有効なのは、シリコン粉体を加工液中に混入し加工を行う粉末混入放電加工法である。これは多くの場合鏡面加工となる。

現在、方筒放電加工機とワイヤ放電加工機はほとんど NC 化されており、企業や研究の現場では主軸（Z 軸）、テーブル（Y 軸）、サドル（X 軸）の送り機構、主軸の回転（C 軸）機構より構成されている NC 放電加工機による加工が主流となっている。NC 放電加工の加工技術上の特徴はつぎのようなものである。

加工深さを自動計測して電極消耗を補正することができる。

加工箇所にも曲線、曲面の移動を加えることによって加工形状を創成することができる。

振動加工によって加工精度を向上することができる。

作業ミスによる誤差を著しく少なくすることができる。

以上のように手動式の放電加工機には無い多くの利点を NC 放電加工機は備えている。

放電を発生させる電源回路には一般的にコンデンサ放電回路とトランジスタ放電回路が使用されている。コンデンサ放電回路は、ピーク電流が高くパルス幅の短い電流が比較的得られやすく有消耗仕上げ加工に適しており多く使われているが、アーク放電といわれる放電の集中が発生しやすいという欠点がある。一方トランジスタ放電回路はスイッチングトランジスタによって、電流を強制的に遮断できるので、絶縁回復のないまま通電することによっておこるアークになりにくく加工効率を表わす衝撃係数 D (デューティーファクター) を高く取ることができる。トランジスタ放電回路の特徴は、 D を大きく取ることにより、電極低消耗加工を確実な技術として成功させたことである。

コンデンサ放電回路に、トランジスタによるスイッチング素子を挿入したものととしてトランジスタ制御付きコンデンサ放電回路がある。このことにより、絶縁回復の達成されない状態での電流の流れ込みを防ぐことができるため、トランジスタ回路による充電電流を大きくして衝撃係数 D を高くすることができるようになる。トランジスタ電源のみでは得ることが困難であった、ピーク電流が高くパルス幅の短い電流が得られ、小孔穿孔加工機、ワイヤ放電加工機、超工合金加工機として広く利用されている。

最後に放電加工の技術の推移と今後の進展を簡単にまとめておくことにする。

放電加工の歴史は古く、1919年にコンデンサ放電回路を使用して金属微粉末を製造するのに用いられたという記録がある。1940年代旧ソ連のラザレンコ夫妻は、高硬度の材料に対しコンデンサ放電により星形のような異形状を加工した。その後手動式油中ワイヤ放電加工、インパルス発電機による低消耗加工などが研究された。日本では1945年、東京大学工学部に旧ソ連大使館から星形電極による焼入れ鋼に対する抜型加工が紹介されたフィルムが貸し出され、これを見た鳳 誠三郎博士は油中でのコンデンサ放電によるものと推測し研究を行い1949年に電気学会で発表したのが始まりである。その後、コンデンサ放電による簡単な抜型加工の時代から半導体電源による低消耗放電加工の時代を経て、コンピュータによる数値制御技術(CNC)が導入され、彫削放電加工では精度自動補正、加工手順のプログラム、電極の自動交換などの技術向上が可能となり、ワイヤ放電加工では加工条件や加工軌跡、加工手順のプログラム化が進み希望する加工形状を容易にプログラムできるようになった。さらに新しい加工現象が発見されるにつれ、粉末混入放電加工によるクラックレス化、鏡面化の実現、金属材料の上に被覆コーティングする技術などを生み出した。今後これらの技術が産業技術として浸透すれば、放電加工の様々な分野への進出とともに新しい技術を生み出すことにもつながると考えられる。

1.3 微細放電加工の概要

微細放電加工の加工原理は1.2で述べた放電加工と同様であるが、放電エネルギーを従来の放電加工の1/100程度まで小さくすることによって、微細形状を高い高い寸法精度で加工することが可能であり、サブミクロンの仕上げ面粗さとミクロンオーダーの加工精度を実現したものである。

放電エネルギーを微小化することにより最良0.1 μm という優れた加工面粗さが得られる。このような特徴を持つため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や、モールド金型、プレス金型、マイクロ機構部品の創成加工など広い分野に利用されており、近年マイクロマシン技術の研究・開発の発展と共にさらなる応用が期待されている。

1.4 本研究の目的

マイクロマシンは現在シリコンや金属材料に微細構造を施して製作されている。本研究は植物に代表される天然材料の持つ、金属材料には無い導管などの微細構造をに着目し、微細なセンサやフィルタ、熱交換器などのマイクロメカニカルシステム(MEMS)への利用が可能ではないかと考えて行った。天然材料では水分を多く含み不安定である。天然材料を精密に加工することは困難である。そこで材料を安定させるため炭化処理を行った。天然材料の持つ微細構造を損なわずに加工を行うために、放電加工は材料に非接触の状態で行うことが可能であるという特徴を生かす。炭化処理によってグラファイト化が進み、放電加工機による微細放電加工が可能となる。炭化処理を行った木材へ微細放電加工機による穴加工を行い、加工時間や放電ギャップを測定し、炭素材料の加工特性について研究を行った³⁾。

第2章 炭素材料の構造と性質

2.1 炭の歴史

炭の歴史は人類が火を使ったと同時に、すなわち大氷河期以前の石器時代前期に始まった。使用された記録としては奈良時代、東大寺の大仏鑄造に使用されたとされている。

炭焼きの技術は平安時代に定着し、室町時代に茶の湯の隆盛に伴い、炭質は著しく向上し、今日に近い技術が確立された。炭はその用途から工業用・暖房炊事用の2つに大別されていたが、近年では炭の持つ人体や環境に与える様々な効能の研究が盛んに行われており、今後炭はエネルギー的な使い方と共に健康や環境といった分野への利用が期待されている⁴⁾。

2.2 炭の種類と性質

炭はその性質により「黒炭」と「白炭」の二種類に分けられ、炭化する際の温度と仕上げ方が異なり見た目にも違いがあり、その炭質はまったく異なったものとなる⁵⁾。同じ原木を焼いた炭でも白炭と黒炭では、炭素、酸素、水素、灰分等の成分、硬度、燃焼性も違ったものになる。空気を制限して木材を過熱していくと、300 の少し手前で発熱分解を起こし木炭に変わる。黒炭の場合、炭化温度 400 ~ 700 で炭化が終わり、その段階で窯口や煙道口を密閉し、そのままゆっくり冷却させたもので表面が黒いので黒炭と呼ぶ。白炭は炭焼きの仕上げ段階で窯口から空気を入れ 1100 前後の高温にして燃やし、ころあいを見て白熱した炭を窯口から取り出し、灰と土を混ぜ水分を含ませた消粉をかぶせすばやく冷却したもので、表面に白い灰がつくことから白炭という。また、炭素含有率は木材で 50%、400 で 72%、600 で 89%、1000 で 95%、1100 で 96%となる。

炭のエネルギー的用途の基本となるカロリーは、木炭は5000カロリーだが、400 で6700カロリー、600 で8010カロリー、1100 で7640カロリーとなる。白炭段階のカロリーが減少するのは炭素が増大する以上に水素が減少するからである。黒炭は着火性が良く、火力が強いが火持ちが悪く、白炭は着火までに時間を要するが、温度調整が容易であり火持ちが良いという特徴がある⁶⁾。

木炭は原木と同様に縦横に空孔の多い多孔体の構造をしているため、内部表面積が大きく吸着力があり、通気性、吸湿性、保水性、排水性、消臭性、蓄熱性といった多くの特性に優れている。この性質により、土壌内に炭をいれた場合、孔に有効菌が入ることによって微生物が繁殖し、土壌内に水や空気を持ち込んで豊かな土壌をつくりあげることになる。また、孔の中の微生物は汚水中の農薬や洗剤といった化学物質などの汚物をエサとして吸収するので、水を浄化する働きがあり、実際に環境改善に炭の浄化作用が利用されている。

2.3 備長炭

ウバメガシを原木とした白炭の代表格が備長炭であり、語源は江戸時代、紀州の商人、備中屋長左エ門が考案、販売したことが由来である。その特徴として硬度 15 以上と非常に硬く、折れ目には貝殻状の光沢があり、叩くと澄んだ金属音を発する。また、火力が強く火持ちが長く温度調整が容易であることから高級調理用に利用されることが多い。

ウバメガシの構造は直径が数～数百 μm の非常に細かい導管の集合体になっており、その側面に無数の穴が開いている。これらは全て外界に通じており、根から吸い上げた成分が穴を通して各組織へ送られる。ウバメガシを備長炭に焼いた場合、その形は約 1/3 に縮小するが、木材の組織構造は変化しないので炭の吸着性が消臭剤や脱臭剤に利用されている。備長炭の空孔の内部表面積は 1g 当たり畳 150 畳分の大きさを持ちこの中に多量の微生物が住み着いている。これらの微生物は汚物を餌として生きているため、結果として水を浄化し、土を豊かにする要因となっている。またこれらの微生物は炭に含まれるカルシウムやカリウム、ケイ素等のミネラル成分の豊富な環境で生活しているため、安定した浄化能力を維持し続けることが出来る⁷⁾。

2.4 竹炭

竹炭の原木は孟宗竹、真竹、破竹などが主に使用される。竹炭は炭素含有率 79%、PH10.5 の強いアルカリ性を示し、その構造は六角形の形をした多孔質であり、導管にそって縦に多くの孔を持ち、一立方 cm 当たり約 10 アールの表面積を持っているおり、備長炭同様に消臭性、吸着性などの多くの特性に優れている。また遠赤外線を大量に放出しており、マイナスイオンを発生しているともいわれ環境の改善や浄化に役立つ性質があるという観点から現在研究がすすめられている⁸⁾。

第3章 実験と結果

3.1 実験方法

3.1.1 実験試料

本実験では材料としてリグナムバイタ、ウバメガシ、タケを用いた。リグナムバイタは比重が1.3と木材の中で最も大きく、緻密な構造を持っている。ウバメガシは白炭の代表格である備長炭の原料として有名であり、他の木材と比べ比較的密な構造を持っている。タケは比重が小さく、六角形の形をした多孔質の構造を持っており、孟宗竹、真竹、破竹などが竹炭の主原料として用いられている。これらの材料を予備焼成として窒素雰囲気にて600で炭化処理を行った後、アルゴン雰囲気にて1000で本焼成を行った。表1に炭化処理条件、図1a)、b)、c)に炭化処理後のSEM写真を示す。

表1. 炭化処理条件

	予備焼成	本焼成
使用炉	管状炉	管状炉
雰囲気	窒素	アルゴン
炭化温度	600℃	1000℃
上昇温度	1時間	2時間
保持時間	2時間	1時間
冷却方法	自然冷却	自然冷却

3.1.2 実験手順

炭化を行った木材に対して松下電器製 ED82W 微細放電加工機を使用しめくら穴加工を行った。微細放電加工を行う際には実験に使用する寸法の電極の加工が必要である。そのためにまず放電加工機付属の電極作成ソフトにより WEDG (Wire Electro-discharge Grinding) を用いて純タングステン線を電極材料とし直径 90 μm の電極を製作した。WEDG とはワイヤ放電加工のことであり、ワイヤ、被加工軸間に放電を発生させ、希望の寸法・形状に加工を行い、コンデンサ容量の高い領域で荒加工を行い、最後にコンデンサ容量の低い領域で仕上げ加工を行うため高精度の軸加工が可能である。

本研究では WEDG により加工された直径 90 μm の純タングステン線の電極を用い、電

極の送り量を 100 μm とし、各材料に対して 10、100、220、3300 とコンデンサ容量を変化させ連続 4~5 個のめくら穴加工を数回に分けて行った。実験条件を表 2 に示す。その後、加工時間、放電ギャップを計測・比較した。また加工を行った材料を超音波洗浄器で洗浄を行い自然乾燥させた後、SEM の試料台にのせ倍率 120 倍で複数の穴写真を、600 倍で単独の穴写真を撮った。穴加工を施した材料の SEM 写真を図 2 ~ 7 に示す。図 8 は実験試料との比較のため、高配向性グラファイトを穴径 200 μm 、コンデンサ容量 3300pF で加工したものである。同材料は高分子材料を何層にもわたり積層し約 3000 で焼成したものであり、厚さ 10~20nm の単結晶フィルムにより構成されている。1000 前後で焼成される炭と違い、完全にグラファイト化している。加工の結果、放電の衝撃により素材が破砕、分離されており、この状態では微細構造物の作成に使用することは困難である。実験試料の 1000 と違い 3000 の高温で焼成されているため完全にグラファイト化しているため、材料が脆くなったのではないかと考えられる。高配向性グラファイトの構造を生かした微細放電加工を実現するためには炭素材料のグラファイト化に適切な温度範囲や条件があると考えられる。

表 2 . 実験条件

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(R=1k Ω)
加工電圧	100V
コンデンサ	10,100,220,3300(pF)
電極	純タングステン線
電極送り量	100 μm

3 . 1 . 3 測定方法

加工時間の測定は加工開始から電極が引き上げるまでの時間とし、ストップウォッチで計測した。

放電ギャップの測定はレーザー顕微鏡（レーザーテック社製 1LM21W）を用いて、加工前の WEDG により製作された電極径と加工後の電極入り口側の加工穴径を計測し、その差を求めた。それぞれの測定結果のグラフを図 9 a)、 b) に示す。

3.2 考察

いずれの材料においても加工は比較的スムーズに進み、ウバメガシ、タケはコンデンサ容量による影響をさほど受けることなく 30 s ~ 40 s で加工することができる。しかし、リグナムバイタは加工時間が長くコンデンサ容量に関わらずばらつきが大きい。加工時間が長かった場合、加工中に気泡の発生が多く見られアーク放電によるものと見られる火花も発生しており、時に発煙も認められた。リグナムバイタは構造が非常に緻密であり空孔が小さく複雑に絡み合っていることから、加工の際内部に空気が残りやすく、この微細空孔内に残った空気の影響により放電が阻害されることが加工時間のばらつきを引き起こす原因ではないかと推測される。

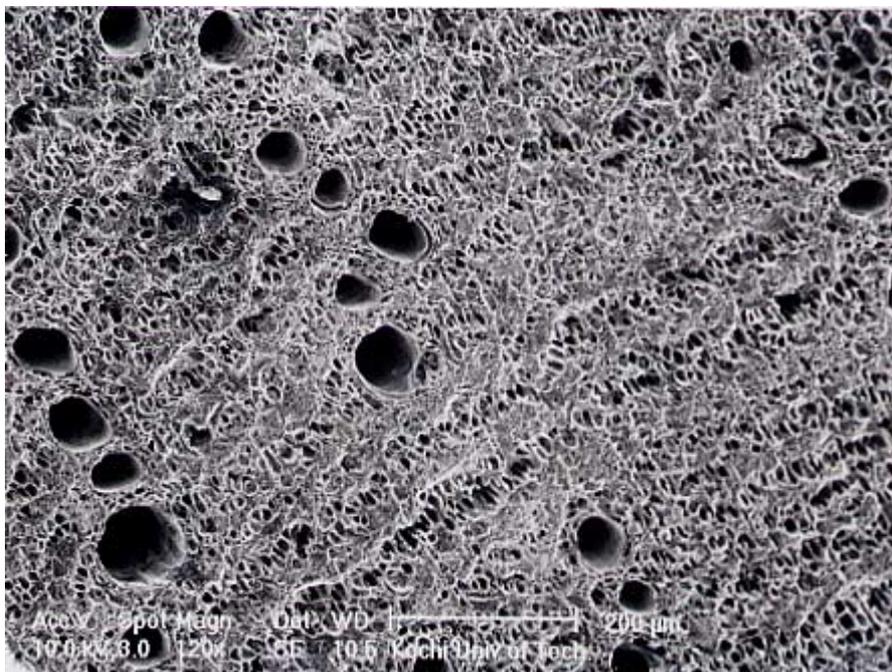
放電ギャップについてリグナムバイタはコンデンサ容量による影響が少なく、ウバメガシはコンデンサ容量の増大と共に大きくなり、タケは放電ギャップが大きく、コンデンサ容量による影響を強く受けた。これらの原因は材料の持つ構造の差が強く影響を及ぼしているからであり、タケのように空孔を多く持つ材料は、リグナムバイタのような空孔が小さく複雑に絡み合っている材料に比べコンデンサ容量による放電エネルギーの影響が大きいと推測される。またその加工面はコンデンサ容量の増大に伴って、本来天然材料が持つ空孔や導管などの微細構造を著しく損傷してしまう傾向が見られた。中でもリグナムバイタ、ウバメガシといった緻密な構造をもつ材料はタケに比べ顕著であった。これは材料が緻密であるほど放電の際に発生する熱により融解した組織が微細な空孔内に侵入し目詰まりを発生させるからではないかと推測される。

なお、電極の消耗はいずれの材料においてもほとんど確認されなかった。これはリグナムやウバメガシ、タケといった天然材料は一般に使用される金属材料に比べ硬度が低いことが原因ではないかと推測される。

また予備実験として、湿度センサとしての応用の可能性を検証するために炭を抵抗計に繋ぎ湿度計で測定した湿度 90% の蒸気にあてると、約 20 秒で 30% 前後の抵抗値の減少が起こり、空気中に戻すと約 22 秒で元の抵抗値に戻った。今後より多くのデータを集める必要があるが、炭の吸着力を利用したセンサの開発が可能ではないかと推測される。

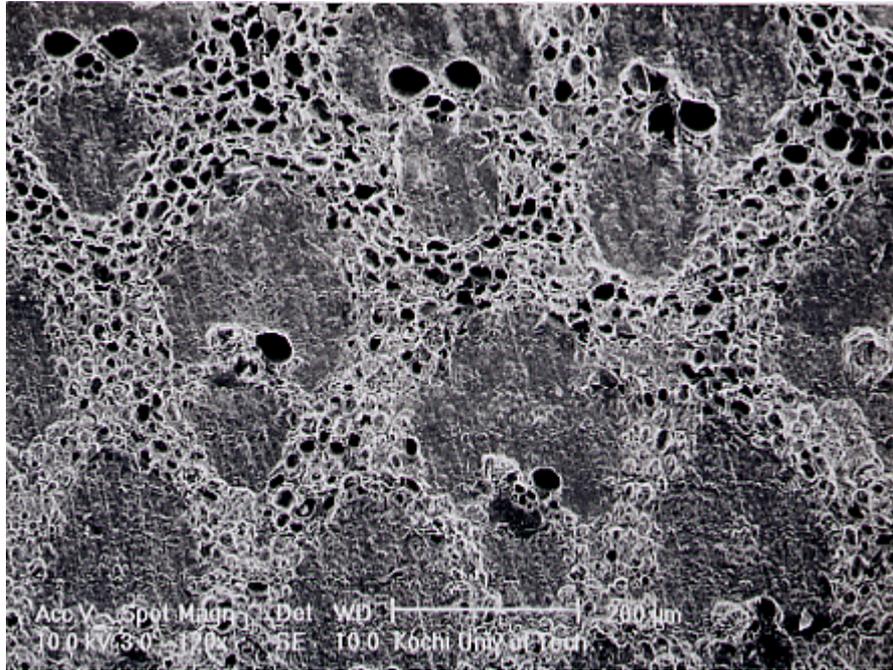


a) リグナムバイタ



b) ウバメガシ

図1 炭化処理後の各材料の表面



c) タケ

図1 炭化処理後の各材料の表面

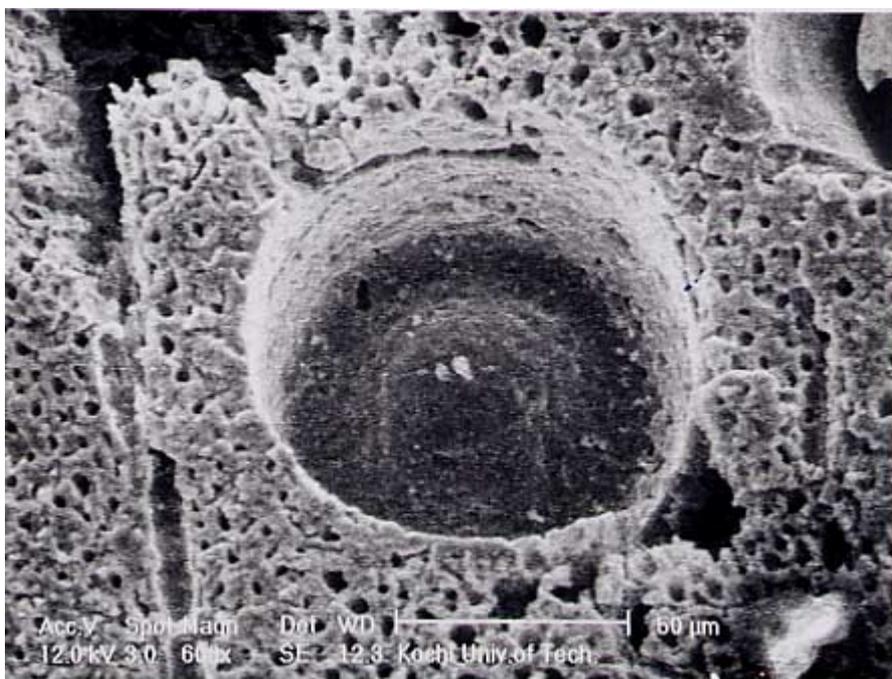


図2 リグナムバイタの穴加工結果
C=3300pF 穴径 90 μ m

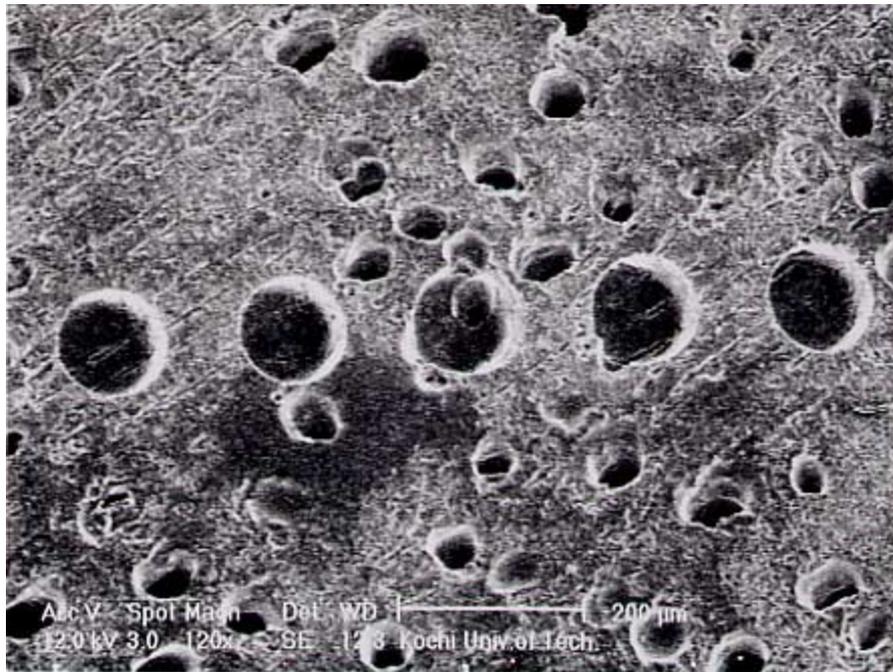


図3 リグナムバイタの穴加工結果
C=10pF 穴径 90 μ m

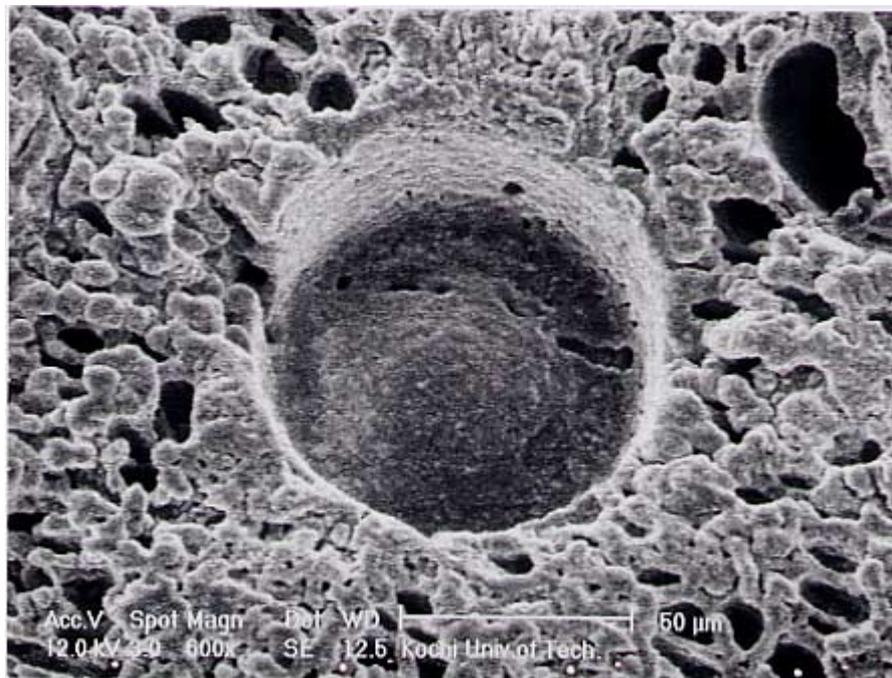
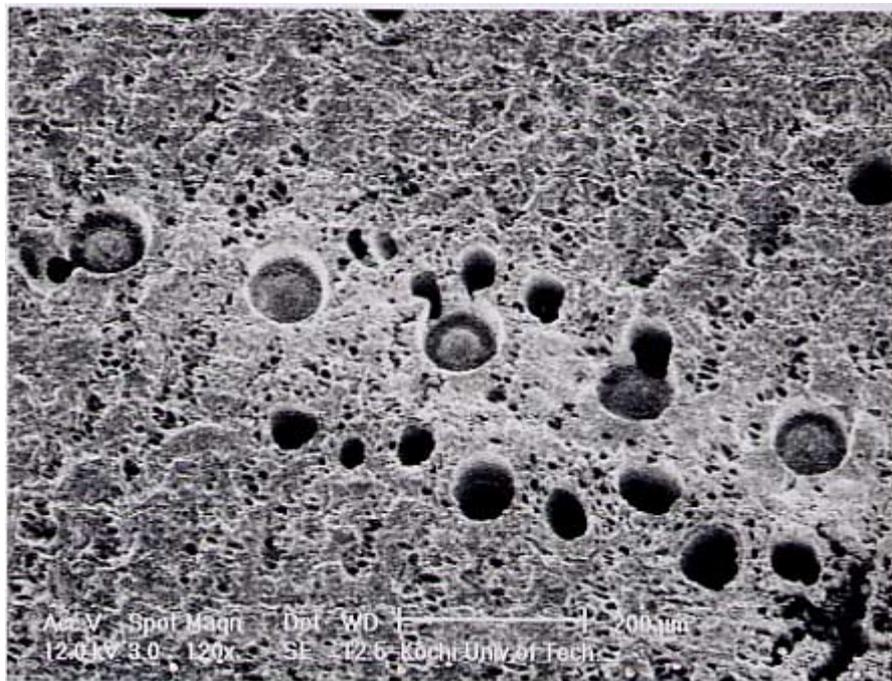


図4 ウバメガシの穴加工結果
C=3300pF 穴径 90 μm

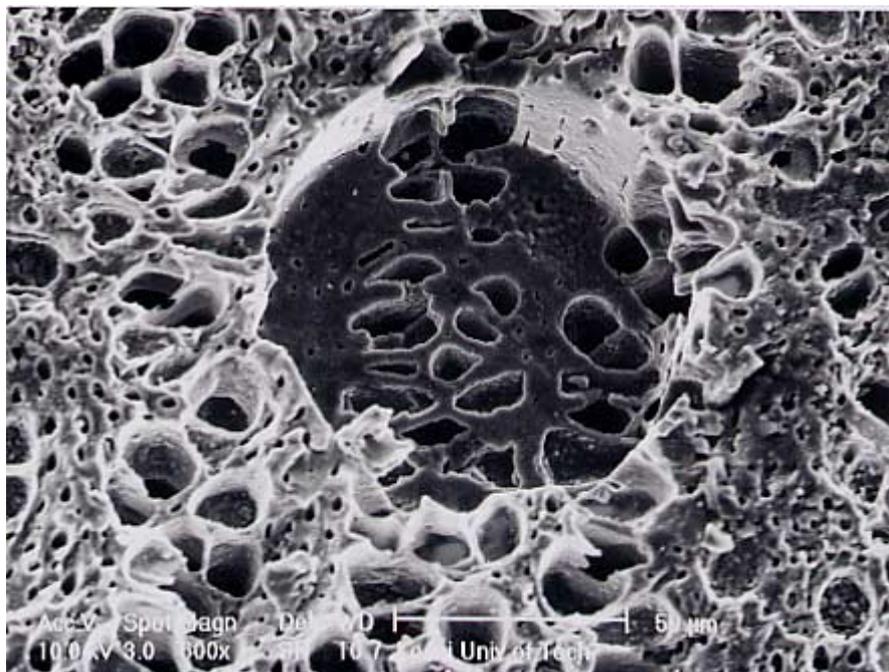
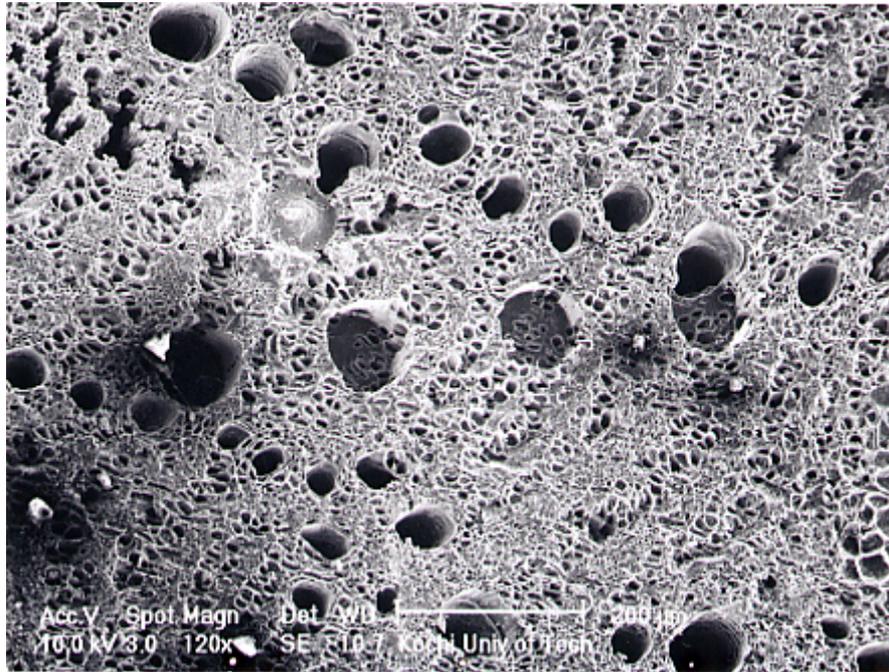


図5 ウバメガシの穴加工結果
C=10pF 穴径 90 μm

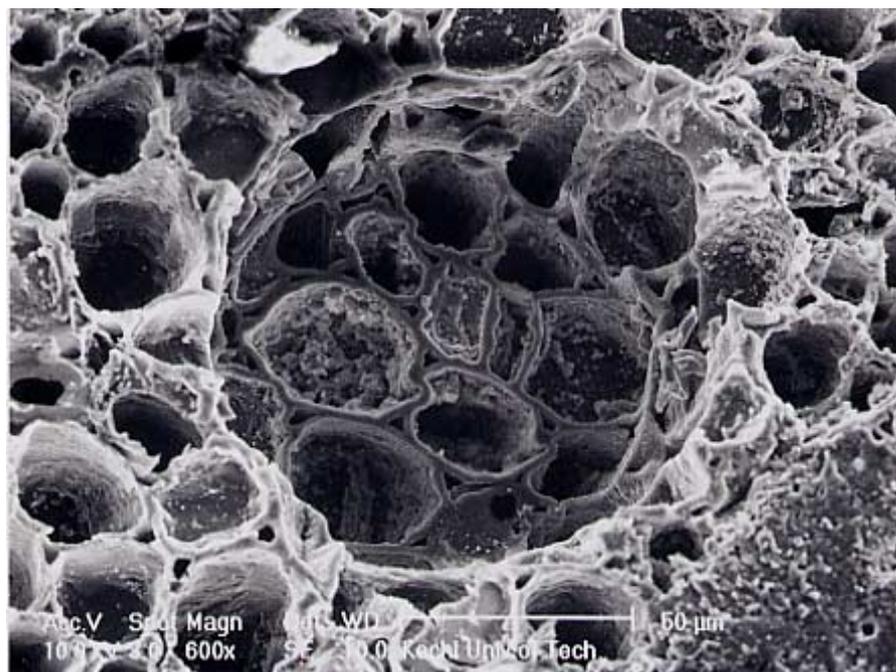
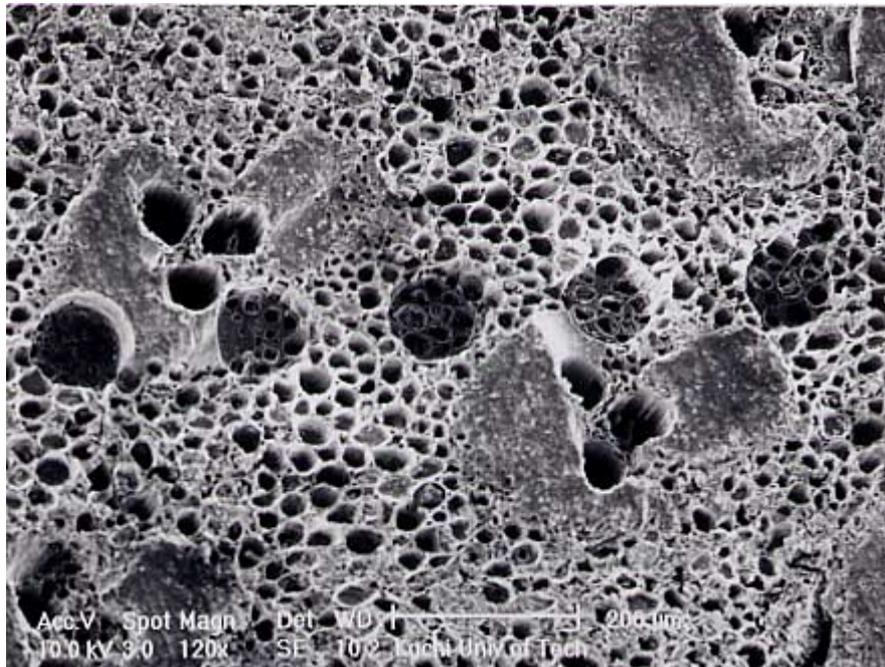


図6 タケの穴加工結果
C=3300pF 穴径 90 μm

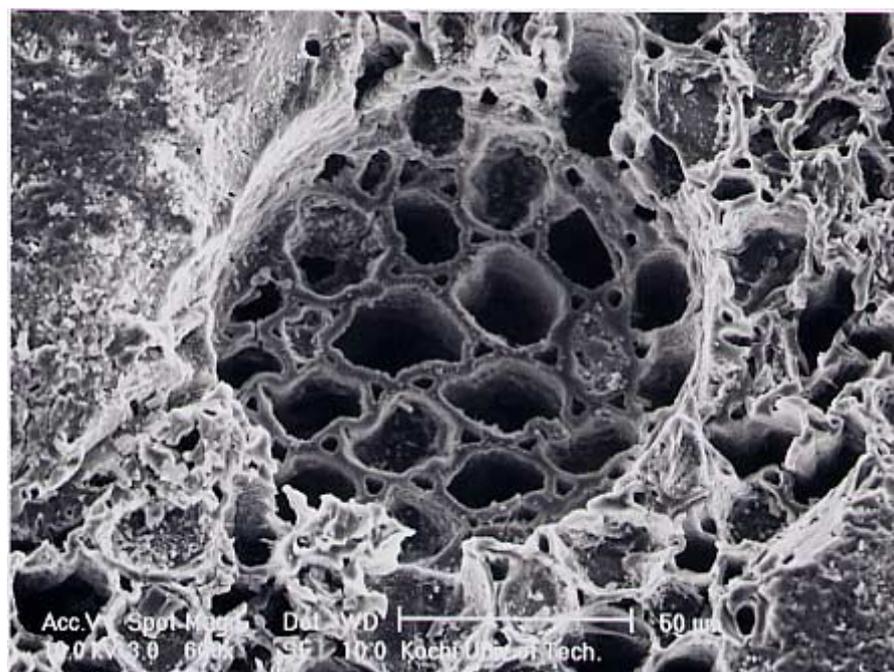
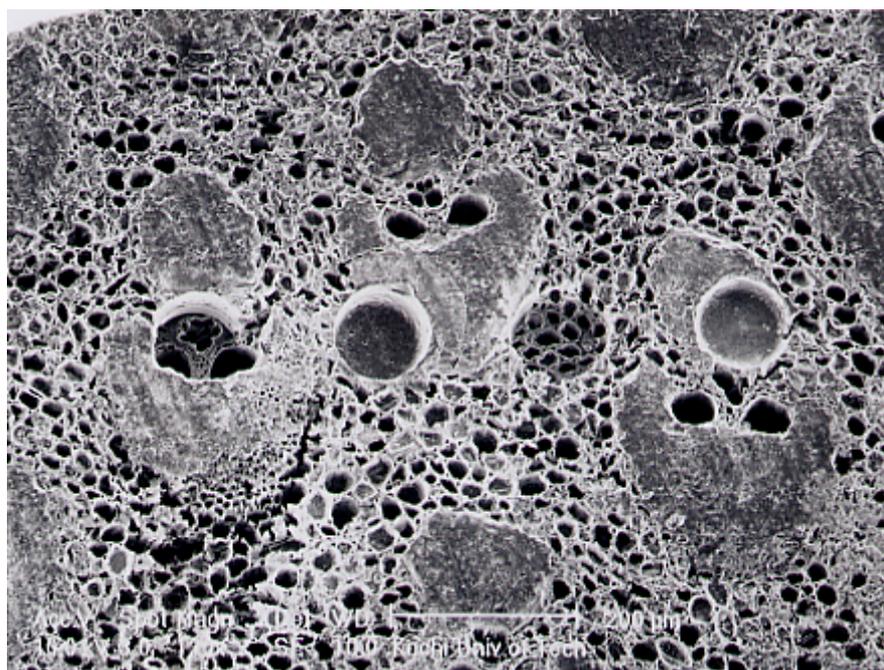


図7 タケの穴加工結果
C=10pF 穴径 90 μ m

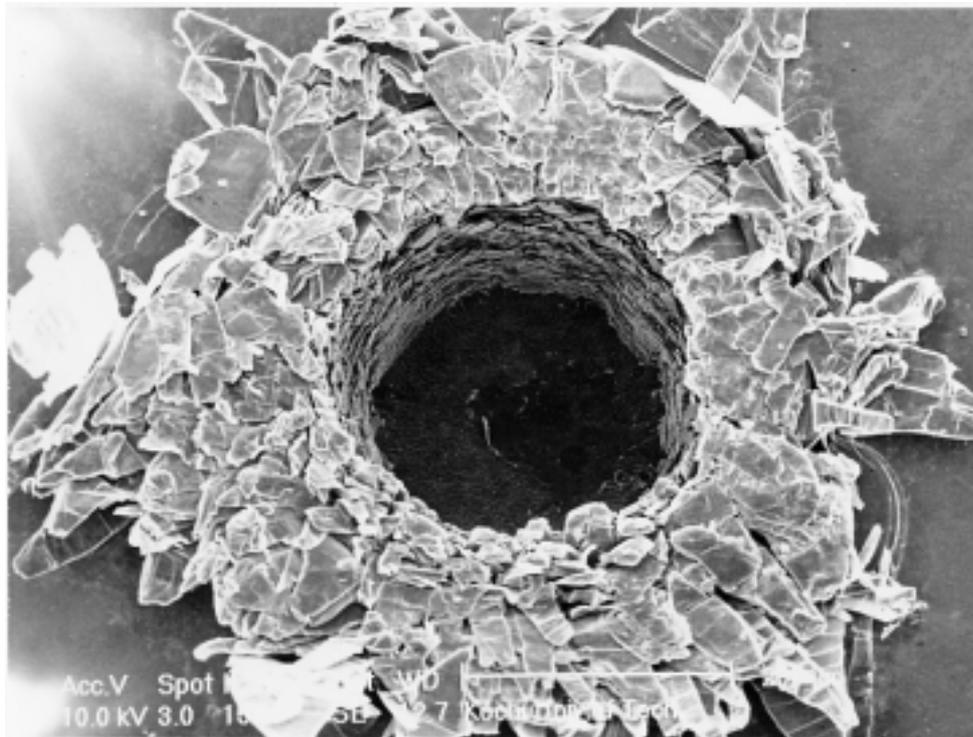
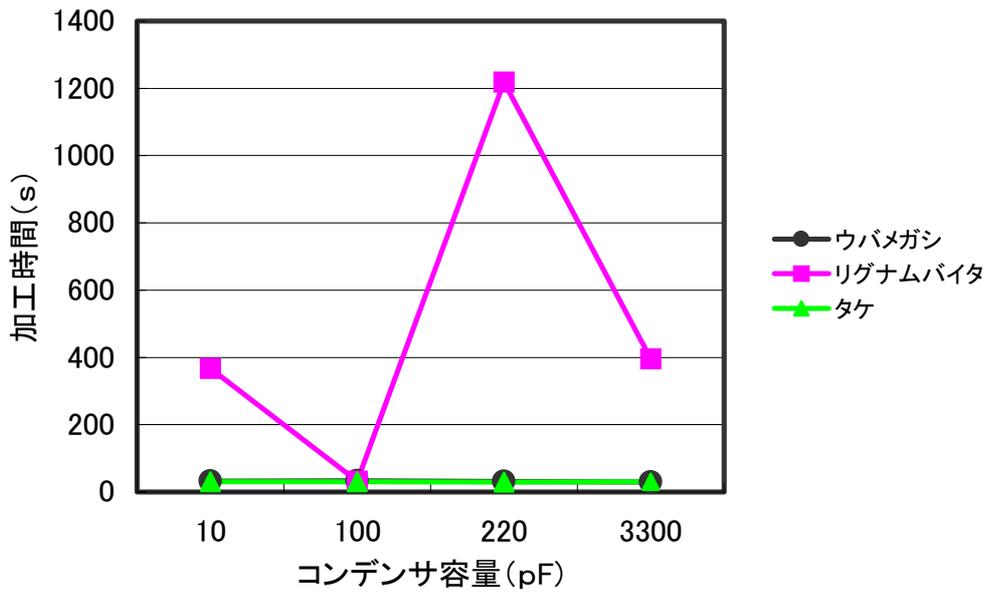
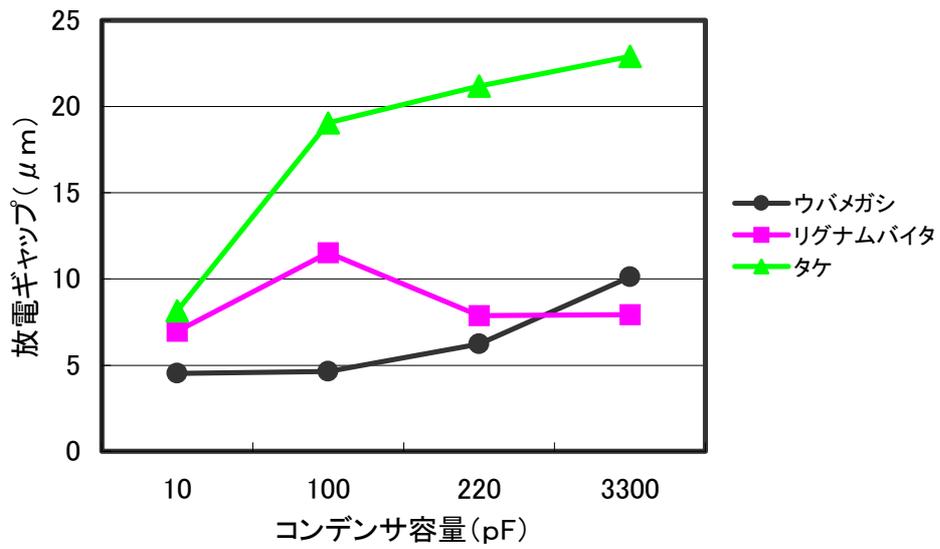


図8 高配向性グラファイトの穴加工結果
C=3300pF 穴径 200 μm



a)



b)

図 9 a) b) 各種炭化材料のコンデンサ容量と加工時間、放電ギャップの関係

第4章 結論

1) 木材に炭化処理を行うことによりグラファイト化が進み、導電性を持つため放電加工機による微細放電加工を行うことが可能であり、その微細構造を損なうことなく加工を実施することが可能である。

2) 加工液を効果的に微細空孔内に含浸させ空気を排除することができれば、空気による放電の阻害を抑え加工時間のばらつきを軽減することができ、より効率的な加工が可能になると考える。

3) また、湿度 90% で約 30% の抵抗値の減少が見られ、応答比較的早かったことから湿度センサとしての利用も可能ではないかと考えられる。

4) これらの実験結果より、より良い加工条件のもとで加工することが可能であれば、炭素材料のセンサや熱交換器などのマイクロメカニカルシステムへの利用も十分に可能ではないかと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始ご親切なご指導を賜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、また、木材の炭化にご協力くださいました高知県工業技術センター浜田和秀主任研究員、高知工科大学坂輪光弘教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本ロボット学会誌、特集：マイクロマシン技術 第19巻 第3号(2001)
- 2) 斎藤長男、毛利尚武、高鷲民生、古谷政典：放電加工技術 基礎から将来展望まで、日刊工業新聞社、(1997)
- 3) 福本泰章、石黒真路、河田耕一：2002年度精密工学会春季大会学術講演予定
- 4) 炭ワールド (http://www.masudaya.co.jp/sumi_world.html)
- 5) 黒炭と白炭の違い (<http://www.kishu-binchotan.jp/mame/page3.html>)
- 6) 炭化温度による炭の性質
(<http://www.shiratori.com/jyuutaku/osusume/sumisetsu1.htm>)
- 7) 備長炭と木酢液 (<http://www.kenyu-kan.com/bincho.html>)
- 8) 竹炭の構造と特徴 (<http://www.jin.ne.jp/sinko/sumi/sumi1.htm>)