

## 放電、電着複合プロセスによるマイクロパイプの作成

Micropipe Fabrication Using EDM and Electroforming Process

郭 佳 隴\*・増 沢 隆 久\*

Chia-Lung KUO and Takahisa MASUZAWA

内径数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ の微細パイプはさまざまな応用分野が期待されるが、これの作成に関する研究は今まであまり例がない。本所では、微細な棒(コア)を自動成形できるワイヤ放電研削(WEDG)と電着プロセスを組み合わせた複合加工法による高精度および高アスペクト比のマイクロパイプを加工できる新しい手法を開発したのでこれについて解説する。

## 1. はじめに

微細パイプは、さまざまな微細メカニカル・デバイス、医療、航空、センサ、生物学等の応用に幅広く使われている。従来の製作技術では塑性加工と電鍍加工の二つの手法がある。塑性加工の場合は、素管を冷間で引抜くのが主に使われていた。しかし、偏肉、絞り加工後の割れなどの原因で加工精度が悪く、また、内径数十 $\mu\text{m}$ 、肉厚数十 $\mu\text{m}$ のマイクロパイプの製作は不可能に近い現状である。

電鍍加工は、コアの上に必要な厚さ電気めっきを行い、その後でコアを取り去ることによりコアと逆の形状のマスターと呼ばれる製品を得る方法である。継ぎ目なしの管にも薄肉( $\mu\text{m}$ )から厚肉(mm)までに自由にコントロールすることが可能である。しかし、コアの作成には特別の注意と熟練が必要である。特に微細パイプを作るには、直径数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ 、長さ数mm、高精度なコア電極が必要であるため、普通の機械加工法でコア電極を作成するのは不可能である。また、コアの表面にわたり均一な電着層を得にくいためにパイプの外径、同心等の管理も困難である。

一方、最近マイクロマシンの製作技術として注目されているLIGA(Lithograph Galvanforming and Abformung)プロセス<sup>1)</sup>は、X線を使った深いリソグラフィと電解めっきで高アスペクト比の微細構造が作れるきわめて有望な方法であるが、マイクロパイプに関する研究例はない。

本研究では、ワイヤ放電研削(WEDG)および電着のそれぞれ利点を用いることにより、最小内径+数 $\mu\text{m}$ 、内外径とも均一に管理された高精度のマイクロパイプを加工できる新しい手法を開発したのでその概要について解

説する<sup>2),3)</sup>。

## 2. 加工原理

本手法の加工プロセスは、図1に示すような五の工程に分けられる。

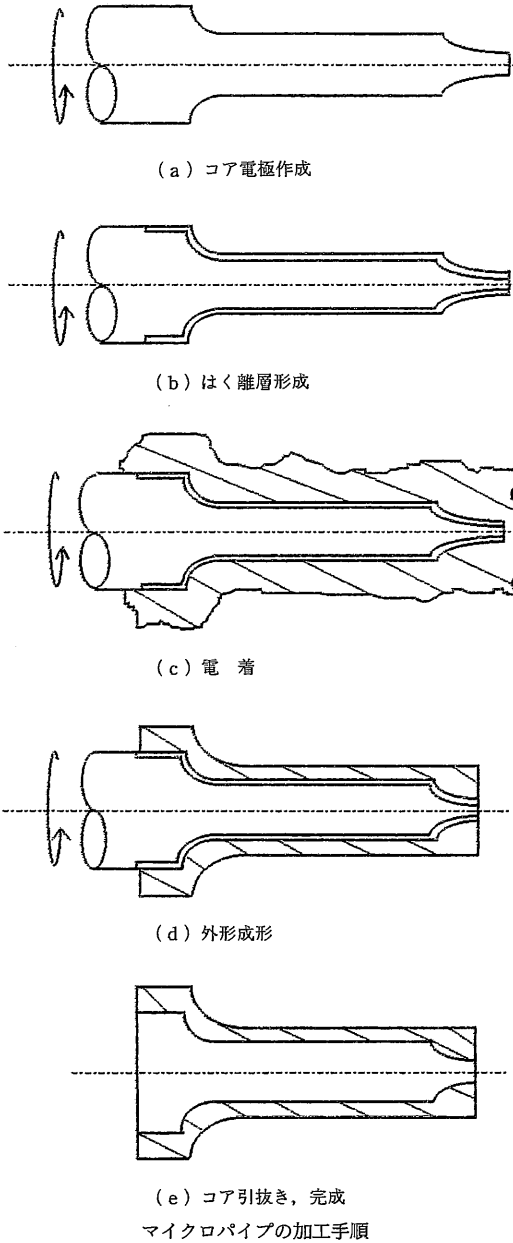
- (a) ワイヤ放電研削でコア電極を成形する。
- (b) 化学処理によりはく離層を作る。
- (c) 電解めっきを行う。
- (d) ワイヤ放電研削でコア電極の表面に付着した不均一の金属電着層を均一に揃える。
- (e) コア電極を引抜く。

本方式の利点として、次のことが挙げられる。

- (1) ワイヤ放電研削法(図2)によって直径 $2.5\mu\text{m}$ という超微細電極の成形やアスペクト比の高い微細軸の加工が可能である<sup>4)</sup>。したがって、マイクロパイプの作成に使用するコア電極が高精度に加工できる。これによってコア電極の形状に転写されるパイプの内径の精度は非常に高いものとすることができる。また、パイプの外径も同等な加工精度が得られる。
- (2) ワイヤ放電研削法の機能を活用し、コア電極の断面形状が円形以外の多角形の作成が可能である。これによってパイプの断面形状も円以外の三角形、四角形、スリット形なども加工できる。
- (3) ワイヤ放電研削法によりコア電極の表面粗さは最良の条件で $R_{\text{max}}0.1\mu\text{m}$ が得られる<sup>5)</sup>。これによってコア電極の表面粗さに転写されるパイプの内面粗さが良く、また、コア電極を引抜く時にも有利な面を与える。
- (4) WEDGにおける加工液は純水を使用できるのでめっき前の面倒な前処理はいらない。
- (5) 加工プロセスは単純で、自動化が可能である。

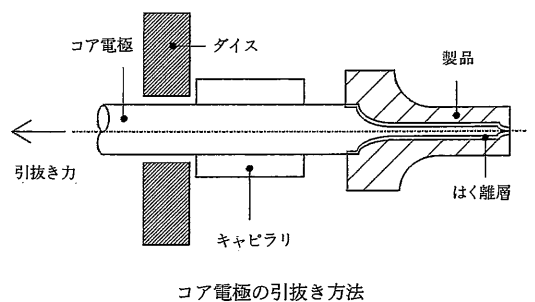
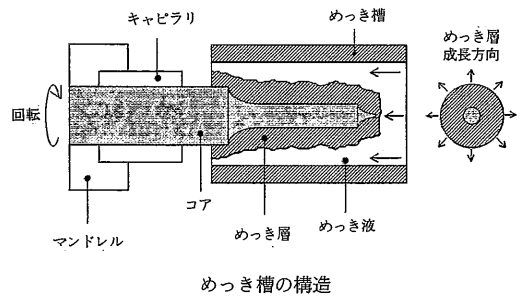
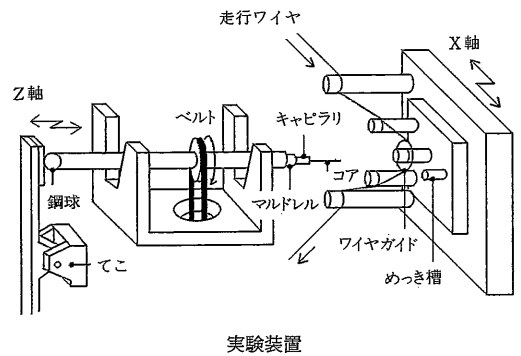
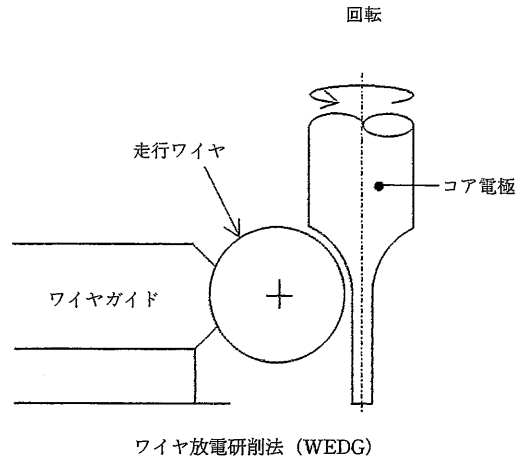
以下、実験により実用性を検証した結果を紹介する。

\*東京大学生産技術研究所 第2部



### 3. 実 験 装 置

実験装置の本体(図3に示す)は、X軸、Z軸の2自由度を持つ横形の微細放電加工機である。X軸は、加工テーブルの位置決めにあずかる軸である。これの制御によってワイヤガイドやめっき槽(図4)の位置の設定を行う。めっき槽はX軸の加工テーブルに固定してある。Z軸は、工程(a)、(d)での放電加工制御にあずかる主軸であり、工作物は主軸まわりに回転できる構造である。コア電極の引抜きは、図5に示すように静荷重を加える



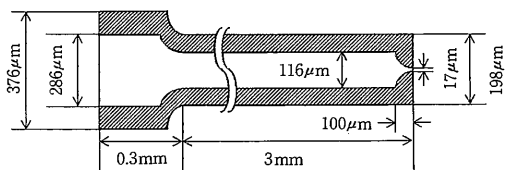
ことによって行う。WEDG用の加工回路はRC回路、加工液には比抵抗  $4 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$  の純水を用いた。

#### 4. 実 験

- (a) コア電極加工：電極材料は $\phi 0.3 \text{ mm}$ の黄銅，仕上加工の加工電圧は60Vの正極性，加工電圧は浮遊容量のみで行った。
- (b) 化学処理：WEDGで成形したコア電極を1%亜セレン酸に10秒間浸せきさせてはく離層を作った<sup>6)</sup>。
- (c) 電解めっき：めっき浴はスルファミン酸ニッケル浴，めっき温度とpH値は電着層の内部応力が小さくできる50°Cおよび4.0とし，めっき電流は定電流とした<sup>7)</sup>。
- (d) 外径加工は(a)と同じ条件で行った。
- (e) 引抜き静荷重は約10N (1 kgf) とした。

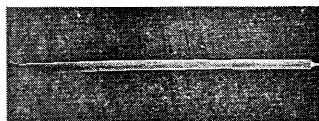
#### 5. 結 果

図6に加工したマイクロパイプの各部寸法と，全体の外観を示す。マイクロパイプの全長は3 mm以上で，曲がりのないまっすぐな状態である。図7は引抜いたコア電極の外観である。図8(a)にコア電極を引抜く前のマイクロパイプ先端部分を，(b)にコア電極を引抜いた状態を示す。図9に引抜き後のコア電極の先端部分の拡大図を示す。図6のマイクロパイプと図7のコア電極の長さを比べると若干の差が見られる。これは図10に示すようにコア電極を引抜くときにネッキング現象を伴ってコア



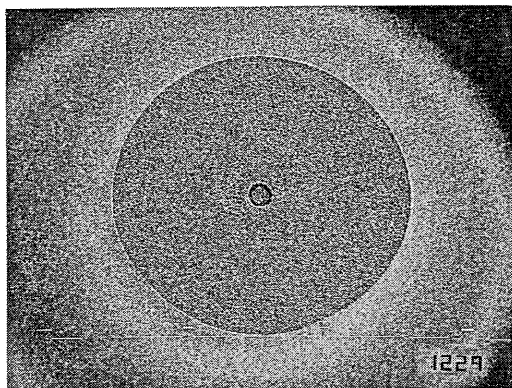
1000 μm

完成したマイクロパイプの寸法と外観



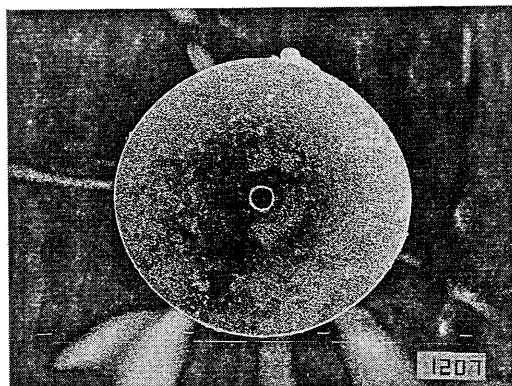
1000 μm

引抜いたコア電極の外観

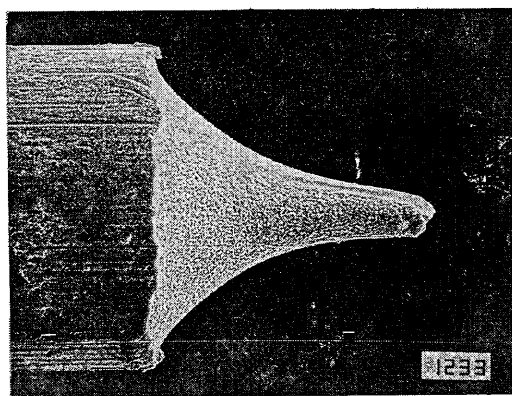


100 μm

コア電極を引抜く前

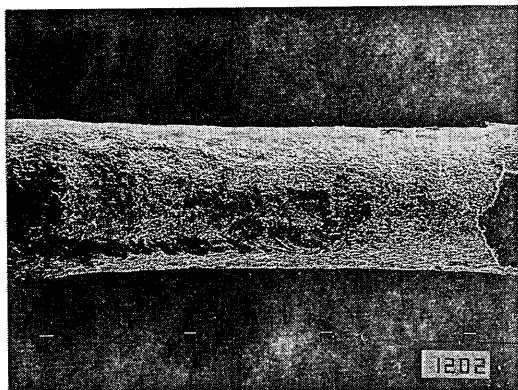


コア電極を引抜いた後  
マイクロパイプの先端部分



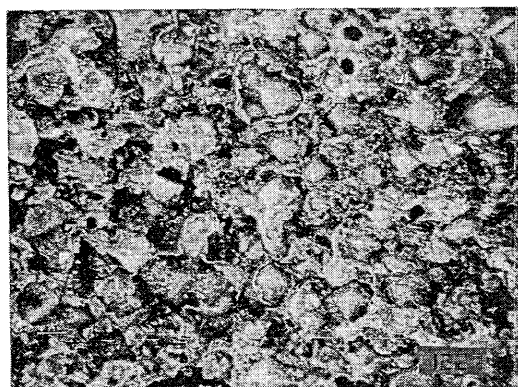
100 μm

引抜いたコア電極の先端部分の拡大図



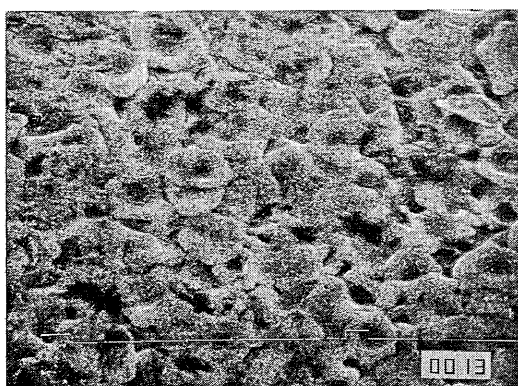
100μm

コア電極のネッキング現象



10μm

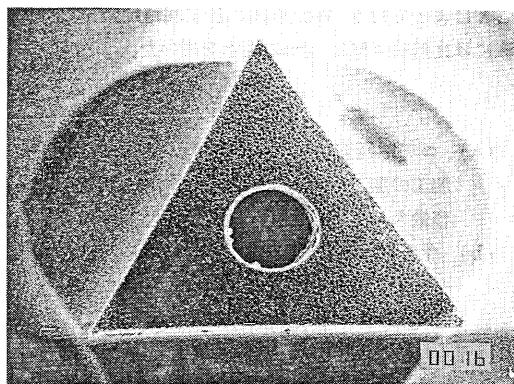
内 側



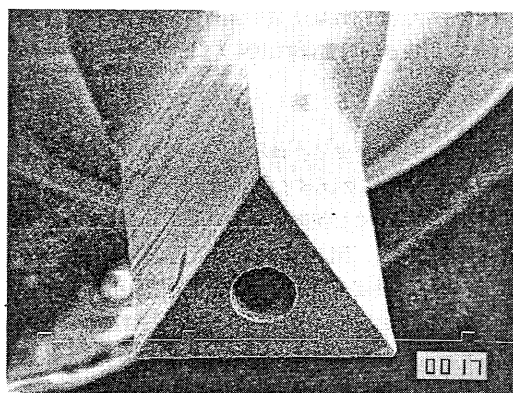
10μm

外 側

マイクロパイプの内外側加工面の外観

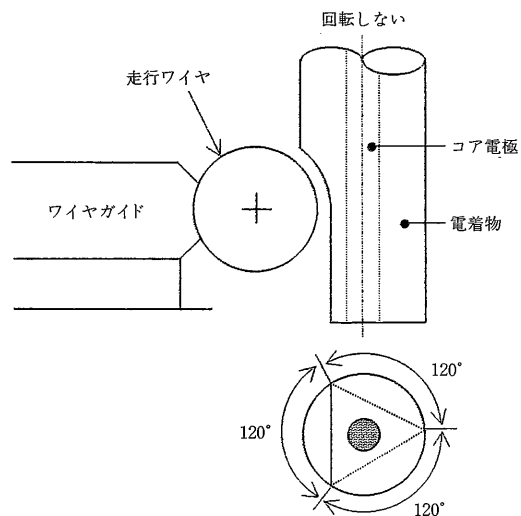


100μm



100μm

断面形状が三角形のマイクロパイプ



ワイヤ放電研削による三角形パイプの加工

電極が延びたためである。図11(a)と(b)に示すのは、それぞれマイクロパイプの内側および外側の加工面であるが、内面にははく離層が残っていることが観察できる。

図12に示すのは、内径 $40\mu\text{m}$ 、各辺長さ $160\mu\text{m}$ 、断面形状が三角形のパイプである。図13にその加工のプロセスを示す。パイプの外径を均一に揃えた後、 $120^\circ$ ずつ回転させて3回側面加工を行った。

以上により、本手法によりマイクロパイプ作成が行えることが確認できた。また、WEDGを生かし、パイプの断面形状が円形以外の三角形などの作成もできることを確認した。

### 5. まとめと今後の課題

本実験の結果により、ワイヤ放電研削(WEDG)および電着加工を組み合わせることにより内径十数 $\mu\text{m}$ の内径共に管理されたマイクロパイプの加工が行えることが明らかになった。特に、従来困難であった内側の寸法を設計どおりに加工することを可能にし、形状を自由に作れる技術を確認したのは本研究最大の特徴である。

今後の課題としては、以下に述べるような点を検討する必要がある。

#### (1) 各種加工条件の加工特性に対する影響

たとえば、加工電流のめっき速度およびはく離静荷重に対する影響、亜セレン酸浸せき時間のはく離静荷重に対する影響などや、加工条件による最大可能アスペクト比などが挙げられる。

#### (2) パイプの内形状も自由自在に

ワイヤ放電研削(WEDG)の機能を活用し、パイプ外径の断面形状が円形以外の異形状はもちろん、パイプ内径の断面形状でも三角形、四角形、スリットなどの作成もさらに検討する必要がある。

#### (3) コア材質の最適化

マイクロパイプの作成時に約 $1.5\mu\text{m}$ のはく離層がパイプの内面に残っている。このはく離層はパイプの内径が小さいほど加工精度に大きな影響を与える。したがって、はく離層を付けなくても引抜くことができるコア電極の材料を検討しなければならない。

(1991年8月8日受理)

### 参 考 文 献

- 1) Ehrfeld, W., "The LIGA process for Microsystem", MST 90, pp. 521-528, 1990.
- 2) L.C.-Kuo, Masuzawa, T. Fujino, T., A MICROPIPE FABRICATION PROCESS, Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System Workshop, (1991-2), 80-85.
- 3) 郭佳儒, 増沢隆久, 藤野正俊; 1991年度精密工学会春期大会学術講演会論文集 p. 441.
- 4) 増沢; 放電マイクロ加工の研究, 昭和61年度科学研究費補助金研究報告書, 昭和62年3月
- 5) 正木 健; 機械設計, 34, 15 (1990. 11), 38-42.
- 6) 木下直治, 豊島五十二; 金属表面技術, 11, No. 12, 28 (1960).
- 7) Richard C. Barrett; Nickel Plating from the Sulfamate Bath, Plating, Sept., (1954) 1027-1033.