

# 微細工具を用いたマイクロ金型の製作とマイクロ成形

金沢大学工学部 人間・機械工学科  
教授 米山 猛  
(平成 13 年度研究開発助成 AF-2001003)

キーワード：マイクロフォーミング，微細工具，塑性加工

## 1. 研究の目的

情報機器や医療機器，科学機器など様々な分野で微細な機械要素が求められている。これらの生産にも，従来からの塑性加工や切削加工が重要な加工方法として活用されると考えられる。本研究では，微小な機械要素や機械システムを加工する方法として，マイクロインクリメンタルフォーミング，マイクロ切削などを試みる。また塑性加工を活用して微小機械要素の組み立てを試みる。これらを通してマイクロ加工分野への塑性加工の活用の展開を図ることを目的とする。

## 2. マイクロインクリメンタルフォーミング

### 2・1 加工方法

筆者らは，微小針を薄板に加圧しながら走査するといふ図1のような単純な方法でマイクロなインクリメンタルフォーミングが行えないかと発案した<sup>1)</sup>。

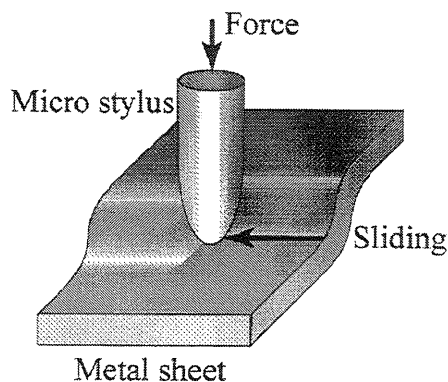


図1 マイクロインクリメンタルフォーミング

製作した加工装置の全体図を図2に示す。工具側は，押し込みを行う加工針，加工針を保持するチャック，加工荷重を検出する3分力計が一軸の駆動ステージに取り付けられている。試料側は，薄板試料を試料台に挟み，この試料台が3軸微動ユニットを介して2軸駆動ステージに取り付けられている。3軸微動ユニットはステージ駆動以外に微小な駆動を圧電素子によって行うためのものである。加工状況を観察するため，斜め方向から光学顕微鏡プローブを近づけて針先が見えるように，チャックが横方向に出張らない構造とした。試料固定台もプローブにぶつからないように一面を落としてある。

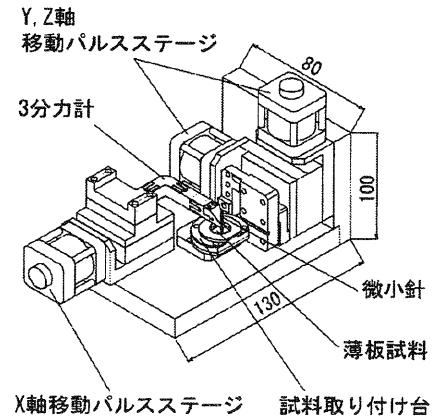


図2 マイクロフォーミング装置

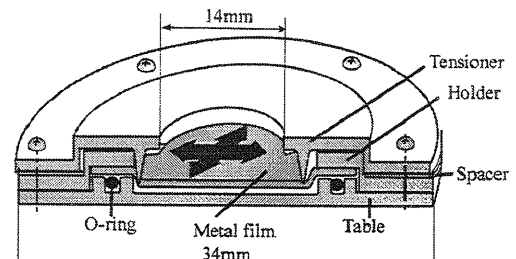


図3 金属箔固定台

加工針には，先端が球面形状をしたタングステン針（先端半径  $25\mu\text{m}$ ，雄山商事製）を使用した。

3分力計はL型の梁の3箇所を平行平板構造をワイヤカット加工により設けたものである。平板部の厚さは  $0.3\text{mm}$  長さ  $8\text{mm}$  で，表面に半導体ゲージを貼り付けて，  $100\text{mN}$  の力に対し，  $1200 \times 10^{-6}$  の出力を得ることができた。

試料の固定方法を図3に示す。金属箔を張った状態で固定しないと押し込み加工ができないと考え，Oリングで周囲を固定した後，周囲にくさび状に固定具を押し込むことで試料に2軸引張応力を発生させて固定した。

駆動ステージには，最小分解能  $12.5\text{nm}$  のパルスステージ（シグマ光機製）を使用した。駆動制御にはシーケンスプログラムシステム（キーエンス KZ300）を使用した。

微小針を薄板に押し込むという単純な加工法であるが，その加工には，工具や被加工材，加工条件など種々

のパラメータが関与すると考えられる。被加工材には、その材質や肉厚そして、固定状態（初期張力）が影響すると考えられる。加工条件には、押し付け荷重や変位、走査速度、潤滑条件などが作用すると考えられる。

本研究では、被加工材試料として厚さ  $10\mu\text{m}$  の SUS304 箔を基本に用いた。試料に 2 軸ひずみゲージを貼り付けて、固定金具の押え具合による初期固定張力の違いを調べた。固定金具にはさむスペーサの量を変えることによって、 $380\text{MPa}$  から  $670\text{MPa}$  までの 2 軸引張応力を与えることができることがわかった。以後の加工実験において、初期張力を  $400\text{MPa}$  以上加えておけば、加圧による変形量には違いが見られなかった。

## 2・2 加工実験

一定荷重まで加工針を押し込み、そのまま走査する方式で四角錐形状のくぼみを作成することを試みた。先端半径  $25\mu\text{m}$  の針を用い、荷重  $200\text{mN}$  を保ちながら、走査速度  $5\mu\text{m/s}$  で、周回経路を渦巻き状に周縁から中心にわたって走査（これを渦巻き経路と呼ぶ）した。加工状況を図 4 に示す。この走査を 3 回繰り返した後の形状を光学顕微鏡で観察したものを図 5 に示す。くぼみ側の写真より、くぼみ部周辺にも変形領域が発生していることがわかる。凸面側は、自由曲面なため、結晶粒界模様と思われる凹凸のある表面となっている。

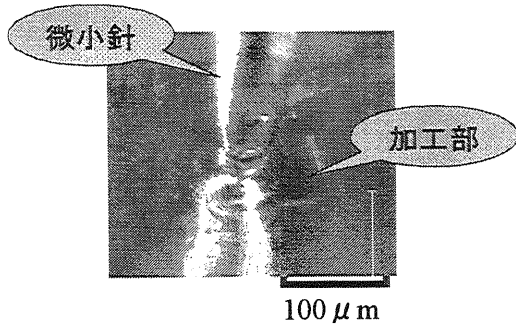


図 4 加工状況

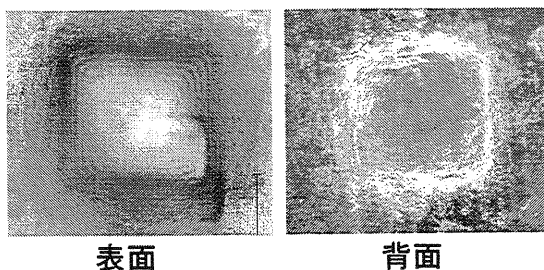


図 5 加工後の光学顕微鏡観察

くぼみに関与する条件に、押し込み荷重とピッチ、そして繰り返し数がある。同じ荷重で走査を繰り返した場合、回数に応じてくぼみ深さが深くなっていくが、ある

程度まで達するとそれ以上深さは進行しなくなる。ピッチ  $5\mu\text{m}$  で走査したときの走査回数とくぼみ深さとの関係を図 6 に示す。押し込み荷重が大きい方がくぼみ量が多いが、 $200\text{mN}$  では約  $60\mu\text{m}$  の深さ以上には進行しなかった。また荷重を  $250\text{mN}$  に上げると加工初期に試料の破断をきたした。

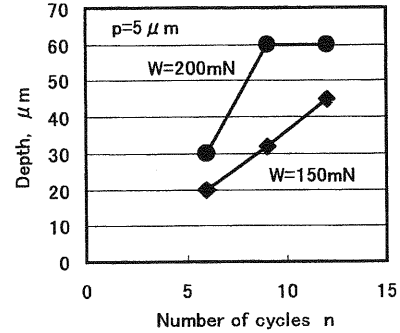


図 6 走査回数とくぼみ深さとの関係

一方、ピッチを小さくすると一回あたりのくぼみ量が大きくなる。押し込み荷重も低荷重にすることができる。押し込み荷重  $200\text{mN}$  でピッチを変えた場合のくぼみ量の変化を図 7 に示す。ピッチを  $3\mu\text{m}$  とすると、ピッチ  $5\mu\text{m}$  の場合よりも同じ回数 6 回で約 2 倍のくぼみ量が得られたが、9 回で破断した。さらにピッチを  $2\mu\text{m}$  とすると 3 回でくぼみ深さ  $39\mu\text{m}$  が得られたが、6 回行くと破断した。ピッチ  $2\mu\text{m}$  では押し込み荷重を  $100\text{mN}$  から  $150\text{mN}$  の範囲で設定すると荷重に応じたサイクル当たりのくぼみ量が得られ、 $30\sim 60\mu\text{m}$  の深さのくぼみを作成することができた。

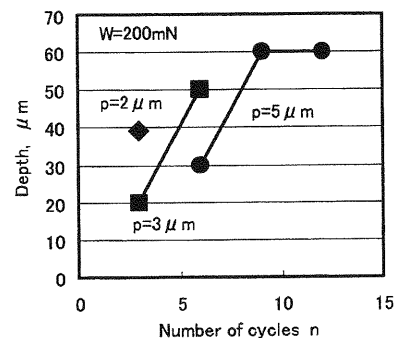


図 7 走査ピッチを替えた場合のくぼみ量

## 3. マイクロ切削システム

### 3・1 加工装置

旋削システムの全体を図 8 に示す。主軸台は一軸の駆動ステージ上に載っており、送りはこのステージの駆動で行われる。使用したステージの駆動の最小分解能は  $4\text{nm}$  である。切削バイトの位置は動かないため、顕微鏡

プローブで観察する位置は動かない。主軸の回転速度はおよそ1万rpmである。切削バイト(加工針)はバイトホルダーに固定し、三分力計を介して、二軸ステージに固定されている。

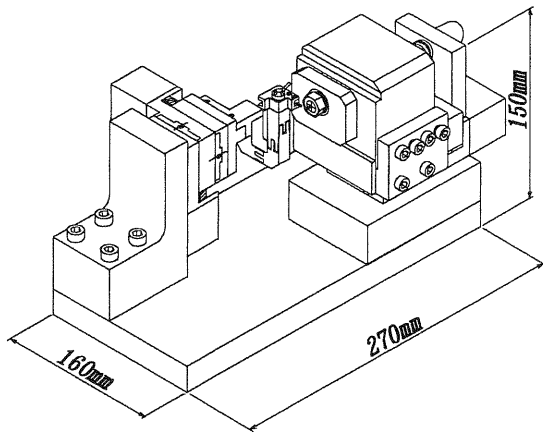


図8 マイクロ切削装置

加工状況の観察は、チャック上部からの顕微鏡プローブ(800倍)と、ワーク端面側からの顕微鏡プローブ(250倍)による。チャック上部からは、切削の切り込みや送り、切屑の排出状況などを観察することができる。ワーク端面からのプローブからは、バイトの刃先先端の高さがワークの軸心と合っているかどうかを確認することができる。

微細加工を行うためには、工具も微小で、かつ強度の高いものでなくてはならない。旋削用のバイトとして、強度を有するのはダイヤモンドである。工作物が微小になると、このバイトの大きさも微小にする必要がある。そこで、一般に走査型トンネル顕微鏡などの探針用に用いられるダイヤモンド針を切削用のバイトとして利用した。この針は図9のように、先端角が約60度の三角錐形状をしている。この三角錐の一面が水平になるように針を傾けて固定し、切削バイトとして利用した。写真から判断する限り、針先の先端半径は0.5 $\mu\text{m}$ 以下である。ダイヤモンドを埋め込んだ軸の直径は0.25mmであり、微細形状の加工に適用しやすい。

外周切削により、直径6 $\mu\text{m}$ まで削り落とすことが可能であった。加工した例を図10に示す。試料の材質は黄銅で、長さ33 $\mu\text{m}$ にわたって直径6 $\mu\text{m}$ の部分を手滑らかに加工している。

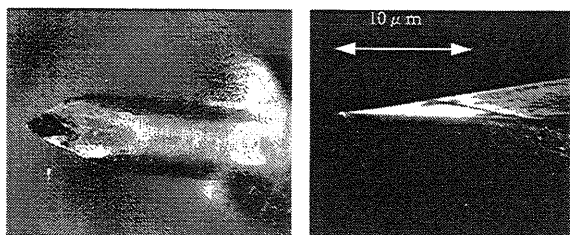


図9 ダイヤモンド工具

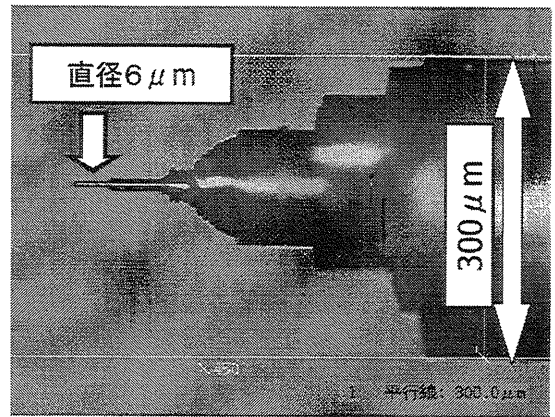


図10 切削した最小径

### 3・2 微小部品の製作

このシステムを用いてマイクロピンなどの微小部品の製作を試みた。加工後の部品の例を図11に示す。左側に示した寸法どうりの部品を製作することができた。このように直径数10 $\mu\text{m}$ 程度の軸部品を容易に製作することが可能となった。

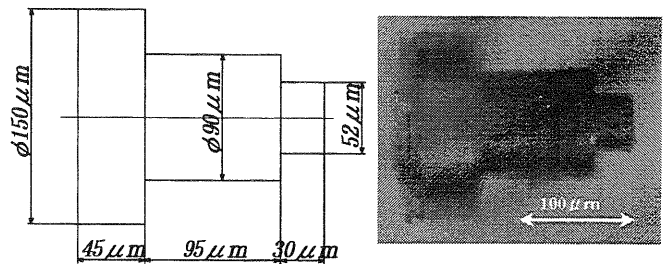


図11 微小ピンの製作

さらに微小機構の組み立てをめざして、同じマイクロ切削システムを活用して、微小リンクの製作を行なった。直径100 $\mu\text{m}$ のエンドミルを主軸側に取り付けて、厚さ300 $\mu\text{m}$ のリン青銅板を対象に加工を行い、また直径50 $\mu\text{m}$ のドリルを用いて穴あけ加工を行って、図12のようなリンク部品を作成した。

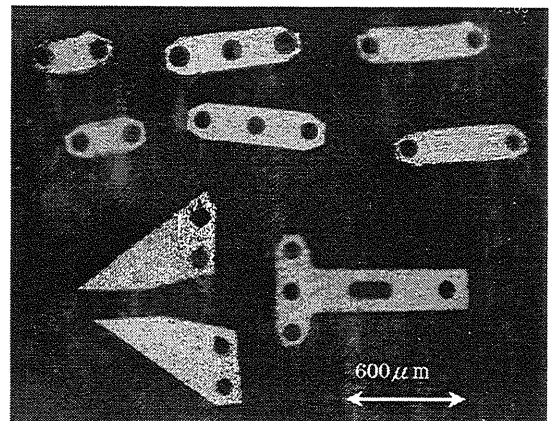


図12 製作したリンク部品

#### 4. マイクロ機構の組立

##### 4・1 ハンドリングと加圧装置

図13のような微小ハンドを持つハンドリング装置を用いて、リンク穴にピン軸を挿入して組み立てることを試みた。このハンドリング装置には圧電素子で開閉する微小ハンドが手動ステージ上に設置されている。

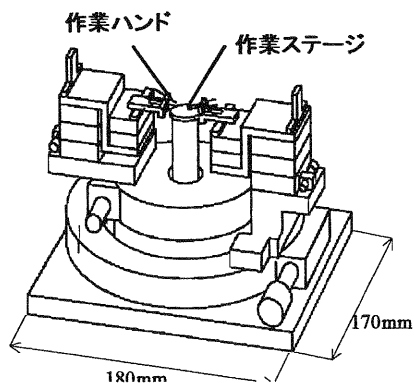


図13 マイクロハンドリング装置

リンク穴にピンを挿入した後、図14のように、リンク（止め輪）をはめ、図15のようにピンを圧縮してリンク内で塑性変形させることによって固定する方法を試みた。

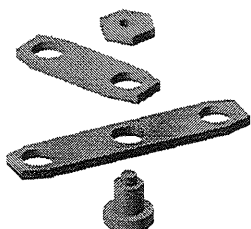


図14 リンクとピンのはめ合わせ

微小要素の組立において、ねじ等を用いた接合は、ねじの加工の困難さがあり、このような塑性加工による接合が重要な役割を果たすと考えられる。

##### 4・2 組立作業

製作目標を図16に、ハンドを使った組み立て作業のようすを図17に示す。

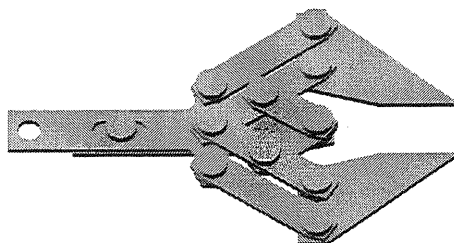


図16 製作目標

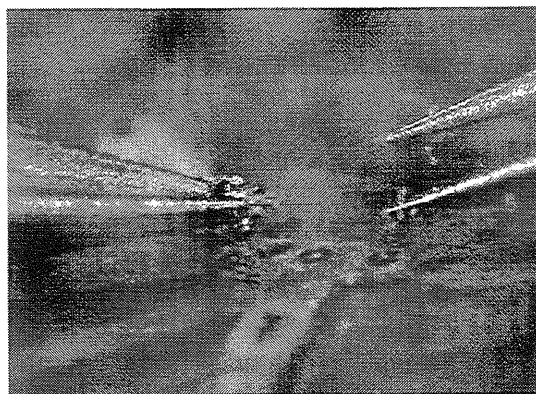


図17 ハンドを使った組立作業

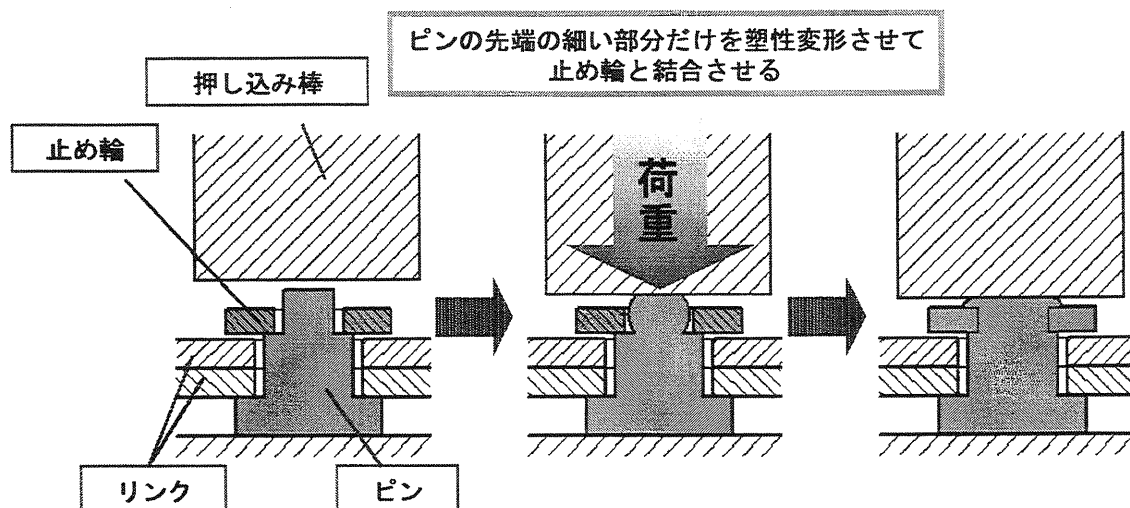


図15 圧縮変形によるピンジョイントの作成

ピンにリンクおよび止め輪をはめる作業状況を図18に示す。ピン固定台を製作して、圧縮中にピンが傾くことを防ぐようにした。圧縮成形する状況を図19に示す。加圧により、直径の小さい先端部だけが圧縮塑性変形して、止め輪と接合させることができた。

製作したマイクロハンドを図20に、直径0.5mmのシャーペン芯と比較したものを図21に示す。

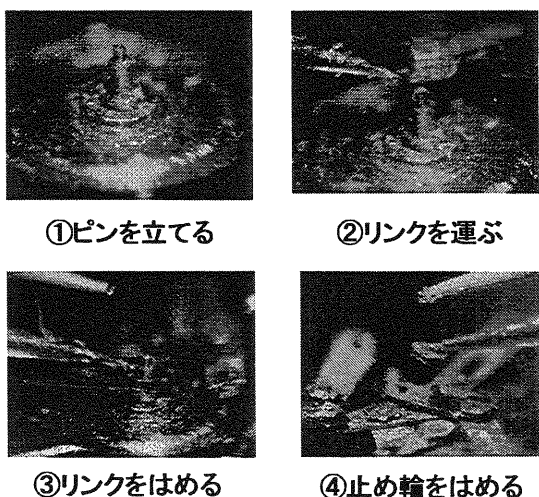


図18 ピンジョイント部のはめ込み作業



図19 ピンジョイント部の圧縮成形

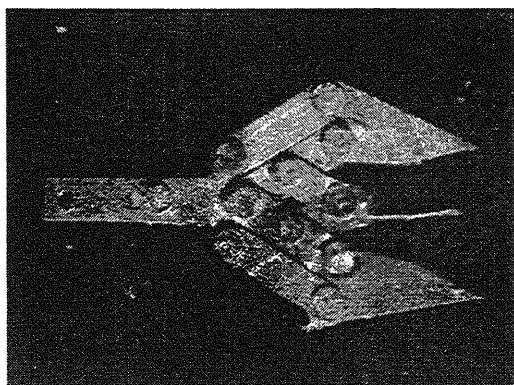


図20 製作したマイクロハンド

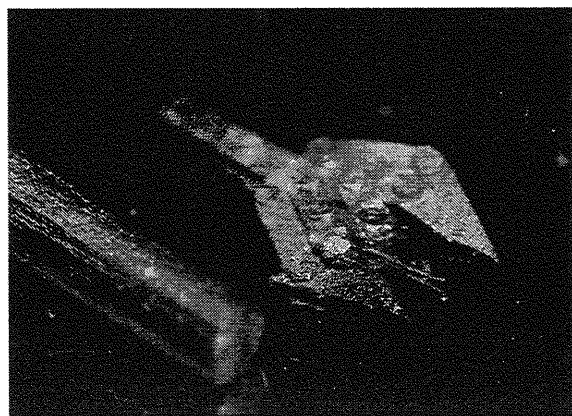


図21 製作したハンドと0.5mm芯との比較

## 5. 結言

本研究では、マイクロフォーミングやマイクロ切削加工システム、マイクロ組立・成形システムを製作し、微小機械部品の製作と組み立ての試みを行った。マイクロフォーミングは金属箔の成形から、金型の製作への基礎となると考えている。マイクロ切削システムは各種工具の製作に応用され、マイクロ組立システムでは、塑性加工を利用した組み立ての流れを組むことで、マイクロ昨日の一例として、リンク機構を組み立てることができた。

## 参考文献

- 1) 米山猛, 長縄智義, 微小針を用いたマイクロインクリメンタルフォーミング, 平成11年度塑加春講論, 313-314.
- 2) 北市奈美, 米山猛, 微小針を用いたマイクロフォーミング, 第52回塑加連講論(2001), 145-146.
- 3) 米山猛, 陸子男, マイクロ旋削加工システムの試作, 精密工学会誌, 64-4(1998), 598-602
- 4) Zina, Lu, T.Yoyeyama, Micro cutting in the micro lathe turning system, Int. J. Machine Tools and Manufacture, 39(1999), 1171-1183.
- 5) 米山猛, 陸子男, マイクロエンドミルの試作と3次元加工, 日本機械学会 2000年度年次大会講演論文集, 561-562.
- 6) 米山猛, 中川朝博, 沢田学, 山本正, 卓上型マイクロ切削システムによる微細加工, 2002年度精密工学会春季大会講演論文集, 355-356.