

# マイクロフォーミングとマイクロハンド組立への応用

米山 猛

## 1. はじめに

精密機器や医療機器の分野で微細な機器や要素の製作が必要であり、塑性加工や切削加工の手法を微細加工に応用することは、大変興味深い課題である。本研究では、微小針で箔をインクリメンタルフォーミングする手法と、切削システムを用いて、微小部品を作り、塑性加工の手法を用いて組立を行う手法の二つについて報告する。この二つは直接のつながりが今のところないが、塑性加工をマイクロな分野で活用する研究として捉えたい。

## 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

ここで示す加工方法は、図1のように微小針を薄板上に押し付けながら走査して、徐々に変形させていく加工法である。

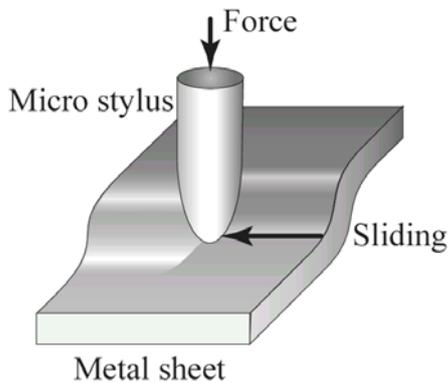
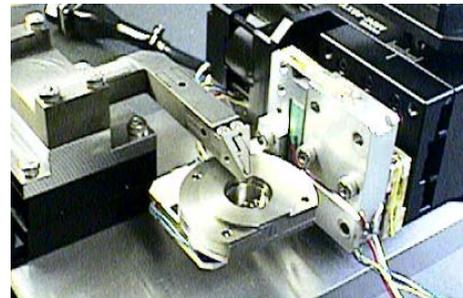
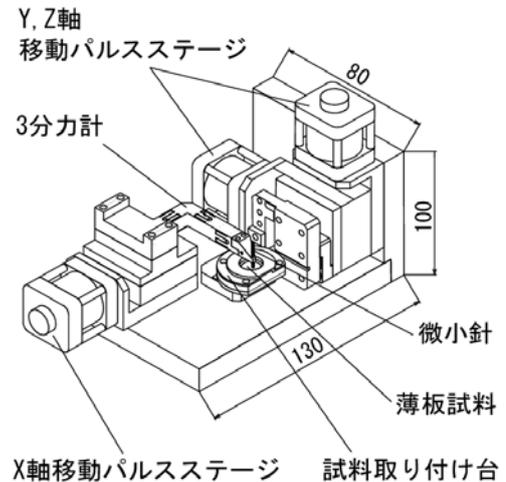


図1 マイクロインクリメンタルフォーミング

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。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ぶつからない構造とした。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。

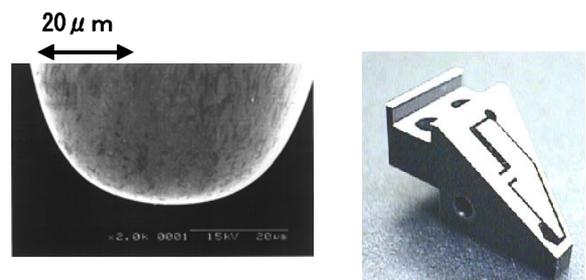
加工針には先端が球面状をしたタングステン針（先端半径  $25\mu\text{m}$ 、雄山商事製）を使用した。使用した針の先端形状とチャックの構造を図3に示す。チャックは、ねじを回すと、テコ機構を介して針のクランプが閉まるように製作した。

3分力計はL形の梁の3箇所平行平板構造をワイヤカ



試料台部分

図2 マイクロフォーミング装置



加工針  
(先端半径  $25\mu\text{m}$ )

針チャック

図3 加工針とチャック

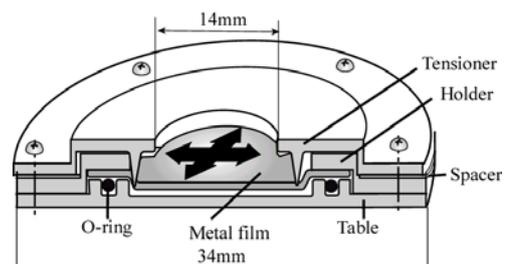


図4 金属箔試料固定台

ット加工により設けたものである。平板部の厚さは0.3mm長さ8mmで、表面に半導体ゲージを貼り付けて、100mN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4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 $12.5 \mu\text{m}$ 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、潤滑条件などが関与すると考えられる。

本研究では、被加工材として厚さ $10 \mu\text{m}$ のSUS304箔を用いた。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、380MPaから670MPaまでの2軸引張応力を与えることができたことがわかった。以後の加工実験において、初期張力を400MPa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。この箔材を引張試験したところ、引張応力約1200MPaでほとんど塑性変形することなく破断した。

## 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した。先端半径 $25 \mu\text{m}$ の針を用い、荷重200mNを保ちながら、走査速度 $5 \mu\text{m/s}$ で、図5のような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6

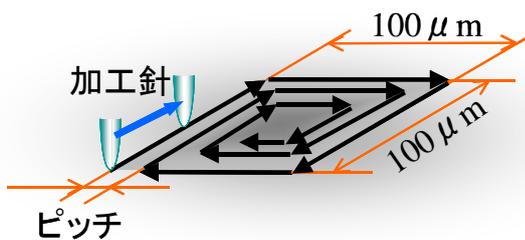


図5 走査経路

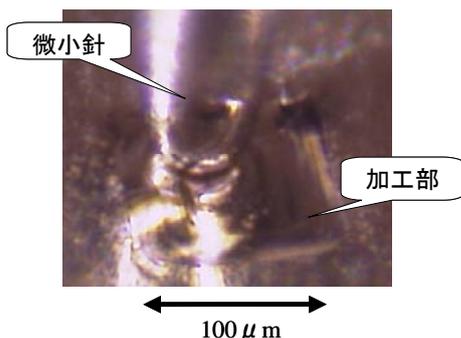
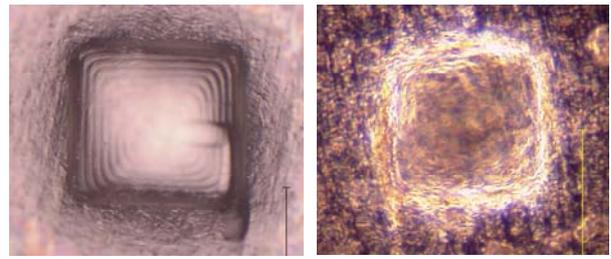


図6 加工状況



表面

背面

図7 加工後の光学顕微鏡写真

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7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、自由局面なため、結晶粒界模様と思われる凹凸のある表面となっている。くぼみの形はきれいな形ではないが、引張試験をするとほとんど塑性変形を示さずに破断した材料でも、インクリメンタルフォーミングすれば塑性変形ができるということは興味深い。

くぼみ作成に関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8に示す。押し込み荷重が大きい方がくぼみ量が大きい。200mN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250mNに上げると加工初期に試料の破断をきたした。

一方、ピッチを小さくすると一回当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200mNでピッチを変えた場合のくぼみ量の変化を図9に示す。ピッチを $3 \mu\text{m}$ にすると、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。さらにピッチを $2 \mu\text{m}$ とすると、3回の走査でくぼみ深さ $39 \mu\text{m}$ が得られた。ピッチ $2 \mu\text{m}$ では押し込み荷重を100mNから150mN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~ $60 \mu\text{m}$ の深さのくぼみを作成することができた。

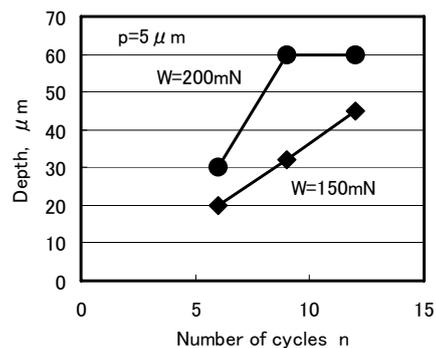


図8 走査回数とくぼみ深さとの関係

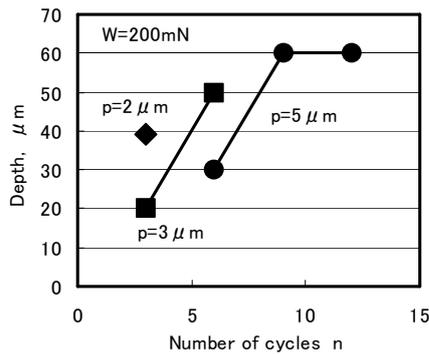


図9 走査ピッチを変えた場合のくぼみ量

走査領域を  $50\mu\text{m}$  にした場合の加工例（走査電子顕微鏡写真）を図10に示す。加工領域が小さくなると、特に背面側は四角錐形状が出ずに、丸い形状になっていることがわかる。

一方、一度くぼみを作成した面に再度針を押し込んで加工を加えることも可能であった。図11に2段のくぼみを作成した例を示す。

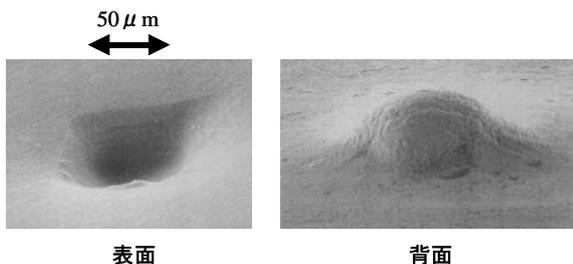


図10 加工領域  $50\mu\text{m}$  の場合のくぼみ例

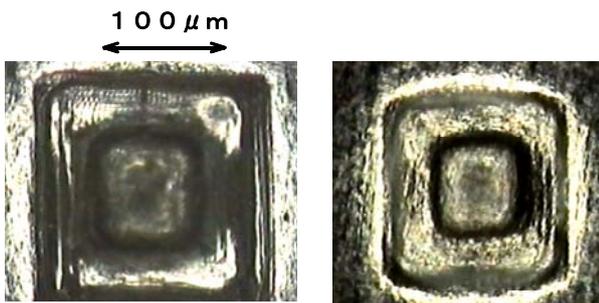


図11 2段くぼみ成形

この加工法はまだまだ初歩的なものであるが、工具や加圧方法の工夫、被加工材の支持方法の工夫などを加えることによって、よりフレキシブルな加工法に発展していくものと考えている。

### 3. マイクロハンドの加工と組立

ここでは、微小部品を接合する方法として、鍛造による圧着を用いてリンク接合を作成し、マイクロハンドを組み立てた例を示す。内視鏡手術などで用いられる鉗子を参考にし、より小さなマイクロ鉗子の作成を目標とした。

#### 3.1 マイクロハンドの設計

全長約  $3\text{mm}$ 、幅  $0.8\text{mm}$ 、厚さ  $0.4\text{mm}$ 、開閉口幅  $2\text{mm}$ 、開閉のためのロッドストローク  $0.6\text{mm}$  のマイクロハンド（図12）を作成する。材質はチタンを使用する。ハンドの機構は四つのリンクを組み合わせたものであり、各部材を微小ピンで接合する。リンクの3次元形状は、既存の腹部外科手術用に用いられている鉗子部品の形状を参考にした。部品それぞれに段差をつけて組み合わせることにより、全体の厚みを均一にしている。ハンドの開閉は、リンクと接合されているロッドを前後に動かすことにより行う。駆動にはボイスコイルモータを用いることを考えた。

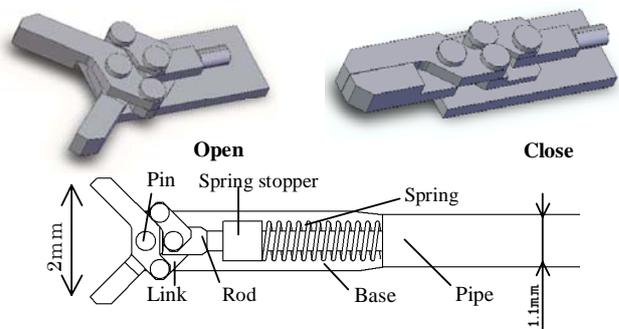


図12 マイクロハンドの設計

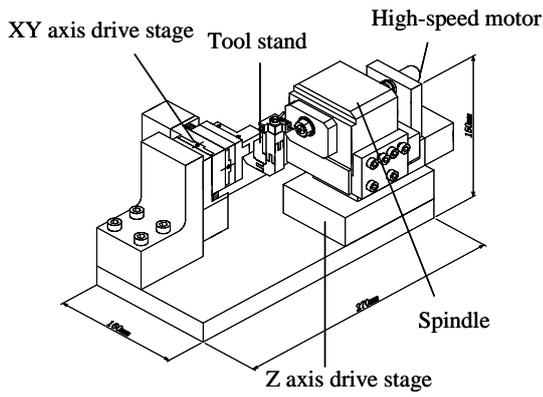
#### 3.2 加工装置

##### (1) マイクロ切削システム

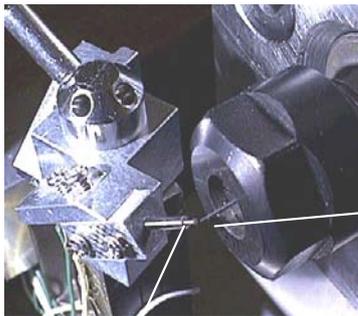
マイクロ切削システムは図13に示すようにZ軸方向に駆動する主軸台部分とXY軸方向に駆動する工具台部分から構成されている。主軸に被加工物を取り付け、工具台に微小切削工具を取り付けて旋削をすることができる。切削工具には、先端に三角錐のダイヤモンドをつけた探針を用いた。軸の部分の剛性が低い問題があるが、通常のダイヤモンドバイトよりも安価である。一方、工具台側に被加工材を取り付け、主軸にマイクロドリル ( $\Phi 150\mu\text{m}$ ) やマイクロエンドミル ( $\Phi 300\mu\text{m}$ ) を取り付けることによって、溝加工などのフライス加工を行うことができる。切削の状況は光学顕微鏡で観察する。

##### (2) 組立装置

組立装置は図14のように2本の針をハンドとして用い、中央の作業台上で2つのハンドにより組立作業を行うものである。ハンドは3軸の微動台上に設置されているが、さらに回転テーブル上に載っており、作業台に対して、ハンドの向きを変えられるようになっている。ハンドは圧電素子によって開閉することができる。光学顕微鏡で観察しながら組立作業を行う。



(a) マイクロ切削装置全体

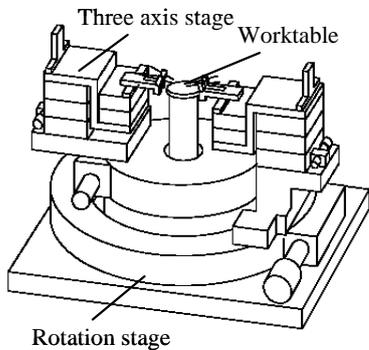


Work piece

Diamond tool

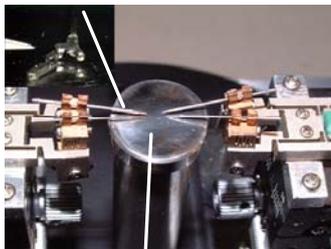
(b) 切削部分

図13 マイクロ切削装置



(a) 組立装置全体

Needle



Worktable

(b) 作業台部分

図14 組立装置

### 3.3 マイクロハンドの作成

#### (1) 部品の加工

マイクロ切削システムを利用して部品を作成する。ハンド部品は軸状の段付きピンと板状のリンクから構成される。段付きピンは、工具台部分にダイヤモンドバイトを設置し、主軸台部分に被削材をチャッキングして旋削加工を行う。加工したピンの例を図15に示す。

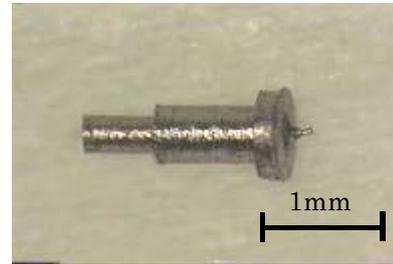
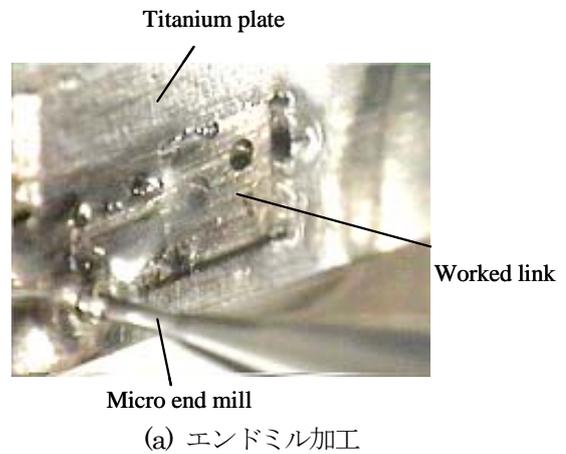
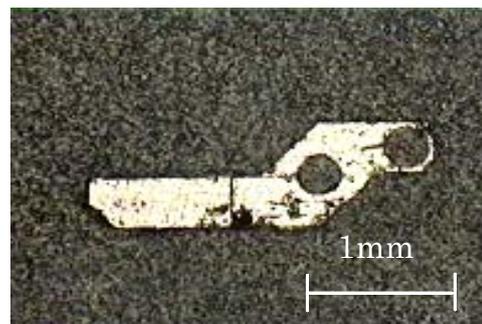


図15 加工したピン部品の例

リンク部品は、主軸側にマイクロエンドミルやマイクロドリルをチャッキングし、工具台側にチタン板(厚さ  $400\mu\text{m}$ ,  $200\mu\text{m}$ )を貼り付けた真鍮の土台ブロックを保持することでエンドミル加工(フライス加工, 溝加工)を行う。リンク部品の加工中の様子と加工したリンクの例を図16に示す。段差をつけた部品を作成するため、一段目エンドミル加工(フライス加工, 溝加工), 穴あけ, 二段目エンドミル加工(溝加工)の3工程を行った。段付きピン, リンクともに数 $\mu\text{m}$ の加工誤差で加工を行うことができた。



(a) エンドミル加工



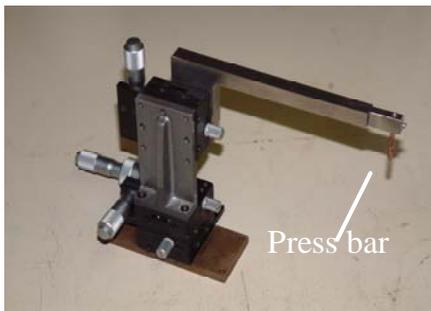
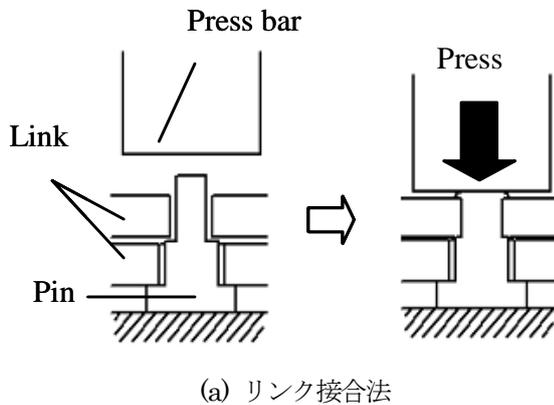
(b) 製作したリンクの例

図16 マイクロハンドリンクの加工

## (2) 部品の組立

マイクロハンドリング装置を使って針を用いて部品をすくい上げるなどして部品の組立を行った。リンク部分の接合は、図 17(a)のように、段付きピンを圧縮加工して行う。一方のリンクの穴を大きく、他方のリンクの穴を小さくし、段付きピンの小径部分の長さを小穴のあいたリンクの厚みよりも長くしておく。段付きピンを大穴のリンクおよび小穴のリンクの順に通すと、ピンの小径の先がリンク面よりも突き出す。このピンの頭を図 17 (b) に示す加圧ピンで圧縮して、ピンの小径の部分だけを塑性変形させる。この部分が穴径の小さいリンクをかきめ、リンク接合ができる。段付きピンの径の大きい部分の長さは大穴のリンクの厚みよりわずかに長くしてあり、圧着後にリンクどうしが締まらないようにしてある。

マイクロ部品の組立では、ねじ接合要素を作成することが難しいため、このような塑性加工を活用した接合法が有用であると考えている。



(b) 加圧ピン

図 17 塑性加工によるリンク接合

## 3. 4 マイクロハンドの駆動

組み立てたマイクロハンドを図 18 に示す。大きさの比較のために直径 0.5mm のシャープペンシルの芯と並べて示す。使用したロッドに曲がりがあったため、ハンドの開口方向が斜め方向を向いている。また押し込み操作時の影響でリンクとピンにずれが生じたが、概ね設計した寸法のマイクロハンドを作成することができた。

ボイスコイルモータをアクチュエータに用いた駆動装置を図 19 に示す。変位計を取り付けてフィードバック制御を

することでマイクロハンドの開閉をさせた。図 20 は、駆動テストとして、ハンドがリード線の先をつかんで引っ張っている様子である。

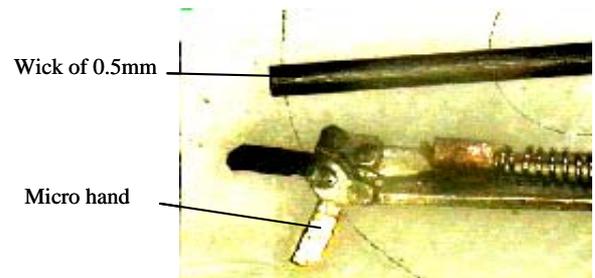


図 18 製作したマイクロハンド

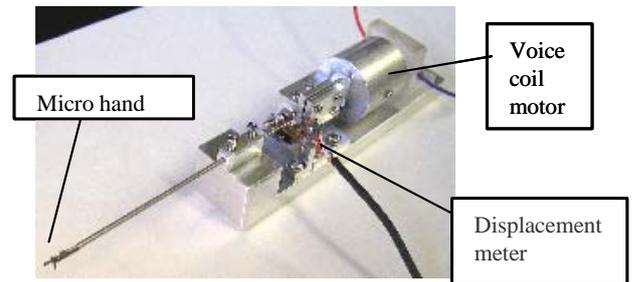
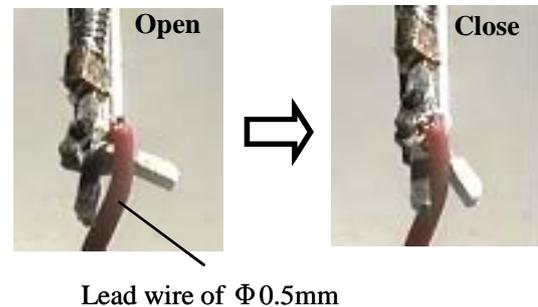


図 19 マイクロハンド駆動装置



Lead wire of  $\Phi 0.5\text{mm}$

図 20 マイクロハンドの駆動テスト

## 4. おわりに

本研究では、マイクロ板成形と、塑性加工を活用したマイクロ部品の接合について述べた。マイクロ部品の製作・組立において、塑性加工の活用を今後も推進していきたい。

本研究を進めるに当たり、平成 13 年度研究助成をいただいた天田金属加工機械技術振興財団に感謝申し上げます。

## 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) 福岡大, 米山猛, 近藤升孝, マイクロ加工システムを用いたマイクロハンドの作成, 2005 年度度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 993-994.