

# 高アスペクト比テーパ細穴加工への取り組み －WEDMコアレス加工による実践－

北陸職業能力開発大学校 原 裕 之  
二ノ宮 進 一

Production of a nozzle with a taper small hole of high aspect ratio  
－The practice of a core-less manufacturing by WEDM－

Hiroyuki HARA, Shinichi NINOMIYA

**要約** 地元の企業から依頼される技術的な相談の一つに、テーパ細穴ノズル部品の製作に関するものがあった。相談の内容は、部品の全長110mmに対して両端の穴径が $\phi$  1 mmと $\phi$  3 mmという比較的アスペクト比の高いテーパ細穴部の加工を実現する技術の構築についてである。このようなテーパ細穴の加工に、通常の切削加工を適用するのは容易でないことは相談当初から推察できた。

筆者らは、依頼のあったテーパ細穴部の加工技術について検討した結果、ワイヤカット放電加工機（WEDM）によるコアレス加工を採用することにした。そして、今回実施した加工方法が、高アスペクト比のテーパ細穴加工について非常に有効な手段であることを確認した。また、テーパ細穴部に対する単一的な加工技術だけではなく、部品を完成させるまでの一連のプロセスが重要であることが再認識できた。

## I はじめに

高機能化、高付加価値化が求められる現在の工業製品においては、それぞれの部品が複雑化あるいは小型化が要求されるようになってきている。したがって、企業が従来にはない製品を作り出そうとする場合には、それを作り出すための新しい加工技術に取り組まなければならない。このような背景の中、企業が加工技術に関して抱く悩みというものは、基本に忠実な加工技術に対してではなく、いうなれば“特殊な形状をどのようにして精度よく作ればよいか”といった加工技術に関するものが多い<sup>(1)</sup>。

ここに、ある地元企業から加工技術の相談のあったノズル部品を一例として挙げる。この部品は、ゴム材料に芯材を供給するためのノズルの役割を果たすものであり、自社製品の機能向上を図る目的で生産ラインへの導入を余儀なくされた部品である。部品形状の詳

細については次章で述べることにするが、部品の核である高アスペクト比のテーパ細穴が、その目的機能を左右しており、企業側においても最適な加工方法を決定することに苦慮していた。

今回は、最も効率的であると思われるWEDMによるテーパ加工<sup>(2),(3)</sup>を選択することになったが、ここまでは企業側とも十分に議論をして、検討を重ねた経緯がある。そこで、本稿ではこのノズル部品の製作にあたり、部品完成に至るまでのプロセスについて検討した結果、テーパ細穴を加工する際の最適な加工方法について一定の指針が得られたので報告する。

## II テーパ細穴ノズル部品形状

加工対象である部品の形状を図1に示す。この部品は、外径 $\phi$ 7mm、全長110mmの円筒で、その長手方

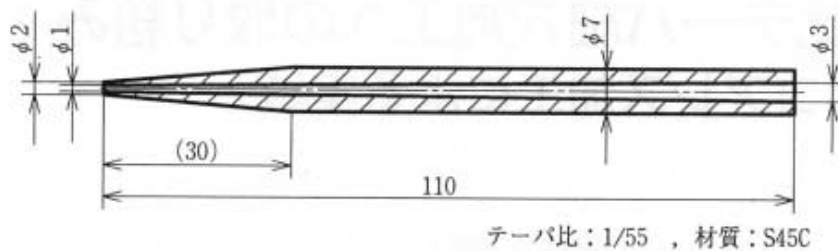


図1 ノズル部品形状

向に沿ってテーバ穴を有しており、両端の径は $\phi 1\text{mm}$ と $\phi 3\text{mm}$ である。つまり、1/55テーバというアスペクト比の高いテーバであること、ならびにテーバ部分の穴径が比較的小さいことが特徴である。さらに、部品の機能面から考えると、ノズルを長時間使用した場合でも、芯材から削られた微粉末が蓄積することの無いように、テーバ細穴内部には段差がなく良好な加工面性状も要求されている。

部品全体の寸法公差は $\pm 0.1\text{mm}$ と中級レベルの精度でよい。しかしながら、材質がS45Cであることを考慮しても、上記のような形状は、通常の切削加工では容易に加工できないことは推察できる。

### Ⅲ 加工工程および加工方法の検討

テーバ細穴部の加工工程は、下穴加工とテーバ加工の2工程に大別できる。ここで、それぞれの工程について、ドリル・リーマによる切削加工を適用した場合の問題点を挙げるとともに、この問題点について対処できる加工方法を検討した。

#### 3.1 下穴加工工程の検討

テーバ小径側の寸法が $\phi 1\text{mm}$ であることから、加工する下穴径は $\phi 1\text{mm}$ 以下である。この際、ドリルによる切削加工を選択した場合、以下の問題が生じる。

① 小径ドリルで深穴を加工することは、比較的切削性の良いS45Cであっても困難である。

例えば、長さ110mmの穴を $\phi 1\text{mm} \times 150\text{mm}$ のロングドリルで加工する時、加工長さよりもドリルの切れ刃になる溝長が60mm程度と短く、切り屑の排除ができないのでマシニングセンタで深穴固定サイクル(G83)が利用される。実際の加工においては、切削時にかかる抵抗とドリルの剛性を加味しなければならず、回転数や送り速度、切込み深さなどの切削諸条件を、経験や勘で、あるいは膨大な切削実験を経て決定することになる。また工具が小径である

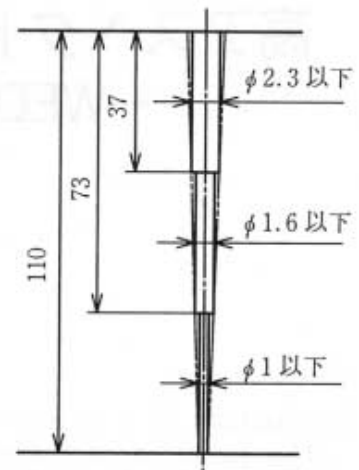


図2 ドリルによる下穴形状

ため、周速度を確保するために高速に回転させなければならず、切削条件だけでは解決できないドリルの回転振れに対する方策も必要である。場合によってはドリルを固定し、ワークを回転させる方法も一案であるが、加工が困難なことには変わりはない。

② 小径ドリルを使った加工長を短くするためには、図2に示すように下穴を段付き形状にすることが考えられる。このことによって、各径毎の加工長さは全長の約1/3になるが、 $\phi 1\text{mm}$ のドリルによる加工開始点は材料の端面から73mm、加工終了点は110mmとなる。よって、ドリルは前述したようなロングドリルを使用しなければならないため、①に示した問題は解決できない。

③ 最小径である $\phi 1\text{mm}$ ドリルの加工を容易にするために、材料の反対側から加工することが可能である。しかしながら、穴の中心位置ずれが起こらないように、工作物を裏返す際の位置決め精度が非常に重要となる。また、最小径ドリルについては対処できるが、それ以降のドリル加工は結局長い工具を使わなければならない。したがって、段数を増加させて、一段当たりの除去加工量を減少させても容易には加工できない。

このように、ドリルによる切削加工でテーバ細穴部の下穴をあけることは難しい。そこで、以上に述べた切削加工に生じる諸問題が発生しない放電加工によって、下穴を加工することにした。図3のような細穴加工機を用いて小径穴をあけることによって高精度な下穴が期待できる、以下に放電加工の利点を述べる。

- 切削抵抗のような大きな力は発生しない。
- 電極径を選択することによって $\phi 1\text{mm}$ 以下の穴の加工ができる。

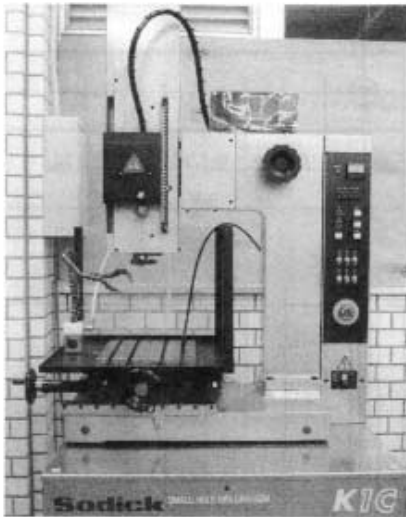


図3 細穴加工機

- アスペクト比の高い穴加工が容易にできる。
- S45Cに限らず導電性であれば材料を選ばない。
- 総加工時間は、段取り等を考慮した場合、切削加工と同等である。

しかしながら、放電加工は電極が消耗するという欠点を持っている。細穴加工機のように小径の電極で加工するときには、その傾向はますます大きくなり、深さ方向に対しての加工位置が不確定となる。このことは、正確な段付き穴の加工を行えないことを意味しており、ストレート穴の加工が一般的である。よって、今回は下穴を $\phi 0.8\text{mm}$ のストレート穴とした。

### 3.2 テーパ加工工程の検討

下穴加工と同様に、テーパ加工を切削加工で行う場合には、テーパリーマやテーパドリルなどを使用することが考えられる。この場合の問題点を挙げる。

- ① 市販されているテーパピン用やモールステーパ用のテーパリーマは、一般的に最小刃径が $\phi 1\text{mm}$ に対して刃長が最長 $50\text{mm}$ 程度しかない。さらに角度も合わないので適用できない。テーパドリルについても、同様である。
- ② 小径のテーパエンドミルやリブスタなども適合するテーパ角度が無いうえに、刃長が短いので、ノズル部品のテーパ加工には使用することができない。また本来、テーパエンドミルやリブスタなどは、横方向に切削していく工具なので、深さ方向に加工を進行させる工具ではない。
- ③ 金型部品のスプール加工用のリーマ工具には、刃長が $100\text{mm}$ で、刃部のテーパ角度が両角 $1^\circ$ （テーパ比 $0.87/50$ ）のものがある。しかしながら、テーパ



図4 WEDM

形状は完全に一致していない。

- ④ このように、ノズル部品のテーパ形状に加工できる切削工具は特注で製作する以外にはない。今回の部品は量産品では無いので、そのために工具を製作することは、コスト的な弊害が伴う。
- ⑤ テーパ長さ、およびテーパ角度の合致するリーマが準備できたと仮定して、ノズル部品のテーパ部を加工した場合について考えてみる。前工程で加工される下穴が $\phi 0.8\text{mm}$ のストレート穴なので、テーパ加工時における除去量は多い。さらに、工具と工作物との接触長さが長いので、加工面にビビリを生じ、穴の内径部分の仕上げ面精度は悪くなることが懸念される。

したがって、テーパ加工工程についても切削加工で実施することは難しい。この工程についても切削加工における諸問題が起きない加工方法を考慮して、放電加工で行うことにした。図4に示すWEDMを用いてテーパ加工をする利点は次のとおりである

- アスペクト比の高いテーパ加工が容易にできる
- 任意の角度でテーパ穴加工ができる
- テーパ部の全長にわたって継ぎ目ができない
- テーパ内面の表面粗さを目的とする面性状に加工することが容易である
- 導電性の材料であれば材料硬さを問わない
- 下穴形状がストレートであることの影響を受けない

### 3.3 プレート加工工程の検討

テーパ細穴部に施す下穴加工とテーパ加工の方法が決定した。しかしながら、この2工程を行うにあたっては、その形状が、比較的高アスペクト比が高い細穴であるため、ワークであるプレートへの配慮が必要となる。

表1 下穴に具備すべき条件

①	穴径はテーパ小径側寸法φ1mm未満であること
②	ワイヤと工作物がショート短絡しないように下穴の直進性が確保されていること
③	WEDMにセッティングする際の下穴の垂直出しが可能であること
④	加工開始位置となる下穴中心への位置決めが可能であること

表2 加工工程

	加工工程	使用機械
1	プレート加工	フライス盤, 研削盤
2	下穴加工	細穴加工機
3	テーパ加工	WEDM

前述した2つの加工工程はそれぞれ別々の加工機を使って行わなければならない。つまり、後工程となるテーパ加工工程で使用するWEDMに、下穴加工工程で細穴加工機を使って加工したワークをセッティングする際、下穴の位置と垂直を正確に再現できなければ、テーパ細穴部を要求する形状で加工できないということになる。またこのことが満足できない場合には、加工が不可能となってしまいうことも考えられる。

下穴は、WEDMで加工を開始させるときのスタート穴となる。ここで、スタート穴としての機能を果たすために、下穴に具備すべき条件を表1に示す。このような条件を満たすためには、下穴加工やテーパ加工を行うプレートの加工精度も非常に重要となってくる。よって、プレート加工についても加工工程の一つに挙げる。表2に今回実施した加工工程をまとめる。

#### IV 加工時における問題点と対処法

これまで、ノズル部品の製作に対する加工工程について詳細に検討してきた。これによって、テーパ細穴部の一連の加工工程が決定した。しかしながら、実際の加工では、各工程にも考慮しなければならない諸問題がある。

次に、加工時に懸念された問題点とそれぞれの対処法について述べる。

##### 4.1 プレート加工

プレートの寸法は、細穴加工機やWEDMで容易にセッティングができ、また、一度の段取り作業で多数の部品を製作できるように、図5に示すような110×

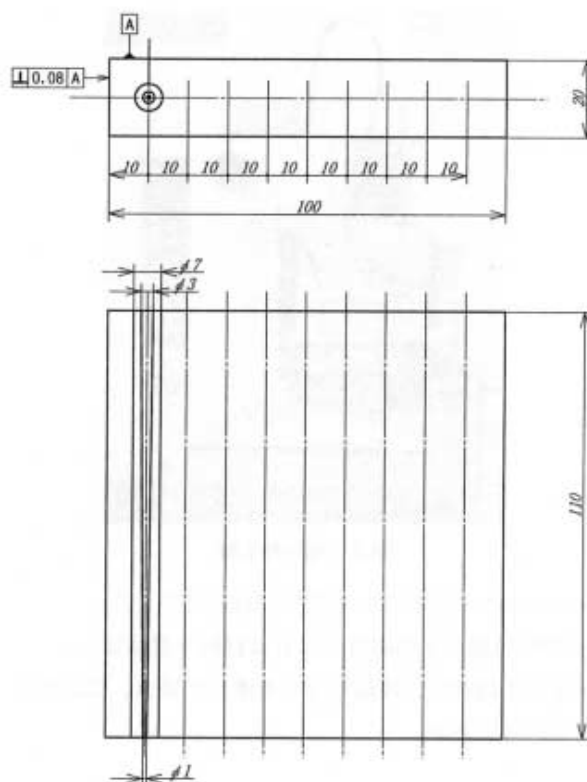


図5 素材ワーク形状

100、板厚20とした。

このプレートは、フライス盤で六面体を作り、各面を研削加工によって仕上げた。プレートは、後の工程となる下穴加工やテーパ加工において、ワークのセッティング時の垂直出し、基準面から加工開始点までの位置決めを正確に行うために、各々の面については正確な直角を出すことと、基準面を明確化しておくことがポイントである。ここでの作業がノズル部品を精度良く完成させる鍵となる。

##### 4.2 下穴加工

細穴加工機を使って加工した下穴径は、電極径+放電ギャップ量となる。放電ギャップ量は0.1mm以下にすることができるので、今回の製品ではテーパ小径側寸法のφ1mmに対して、使用する電極はφ0.8mmとした。したがって、加工後の下穴径はφ0.9mm以下となるので、テーパ加工時の取り代は、径方向に片側で約0.05mmである。

ここで下穴の加工精度が及ぼす影響について考えてみる。以下に各項目について問題点とその対処法を挙げる。

###### 4.2.1 プレートの垂直出し

細穴加工機にプレートを取付ける際、図6に示すよ

うに基準面にダイヤルゲージをあてて垂直を確保しなければならない。これは、次工程を考慮した時、加工する下穴の軸をプレート基準面と平行にしておくためである。次工程のテーパ加工では、WEDMのワイヤが下穴に通されるが、プレートとワイヤがショート（短絡）していると加工を開始させることができない。したがって、ワイヤ方向と下穴の軸との平行度が要求される。しかしながら、下穴の内面にダイヤルゲージを当てることは不可能であるので、プレートの基準面を利用することとなる。

よって、ここでプレート基準面に対して下穴を平行に保つことが肝要である。

#### 4.2.2 加工開始点への位置決め

図7に下穴の基準位置からの位置誤差を示す。基準位置に対する加工開始面と加工終了面での位置誤差をそれぞれ $\Delta \epsilon s$ と $\Delta \epsilon f$ とする。 $\Delta \epsilon s$ は、プレート基準面から下穴の加工開始位置までの位置決め精度によって決まる。前述した、テーパ加工時の取りしろを考慮すると、加工開始面での位置誤差 $\Delta \epsilon s$ は0.05mm以下にしなければならない。これ以上になると、テーパ小径側の取り代が偏り、真円が確保できなくなる。

また、このプレート基準面から下穴の軸の位置決めについては、次工程で精度が再現できるようにしておかなければならない。次工程のWEDMによる加工では、この下穴でワイヤを結線する。下穴径は $\phi 0.8\text{mm}$  + 放電ギャップ量と小さいので、目測で位置決めをし、ワイヤを結線させることは困難である。また、結線ができたとしても、ワイヤとプレートが短絡していれば、加工を開始させることはできない。その対処法として、X、Y座標を利用して数値化することで、ワイヤを下穴中心位置へと容易に移動させることが可能となる。よって、この工程での下穴加工位置への位置決めも、基準面からの距離をX、Y座標によって再現性を確保しておくことが有効である。

今回は、プレート基準面から加工開始位置までの位置決めで、加工機に付属のデジタル式計測機能を利用して正確に距離を数値化した。

#### 4.2.3 加工機の影響

電極棒を送り出す直進性とたおれ（方向性）といった加工機によってもたらされる影響も、下穴の基準位置からの位置誤差を左右する要因となる<sup>2)</sup>。図7に示した、 $\Delta \epsilon s$ と $\Delta \epsilon f$ を比較すると、

$$\Delta \epsilon s \leq \Delta \epsilon f$$

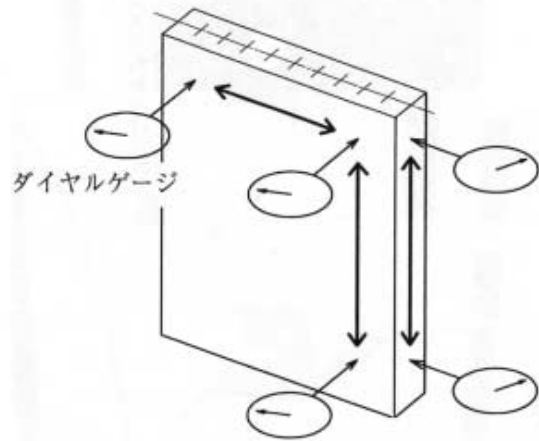


図6 基準面の垂直出し

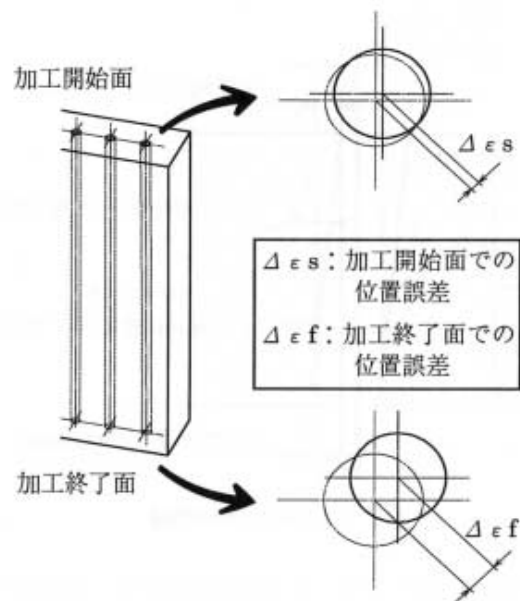


図7 下穴の基準位置からの位置誤差

となる。これは、加工終了面の方が加工機の影響を大きく受けるためであり、この傾向は、加工長が長くなるほど大きく出る。したがって、加工機の精度を確認し、下穴の位置精度を許容範囲内に確保しておかなければならない。

使用した細穴加工機の場合、加工した下穴の真直度については確保されていたが、下穴の軸が基準面に対して傾斜してしまっていた。これは、電極棒を送り出す方向性の影響であり、図8に示した細穴加工機ノズル部の中でノズルガイド部取り付け角度のずれに起因したものであった。よって、後に角度の調整を施すこととなった。

また、ノズルガイド部の調整を十分に行ったとしても、今回のように下穴径に対して加工長さが110mmと長い場合には、 $\Delta \epsilon f$ をテーパ加工時の取り代であ

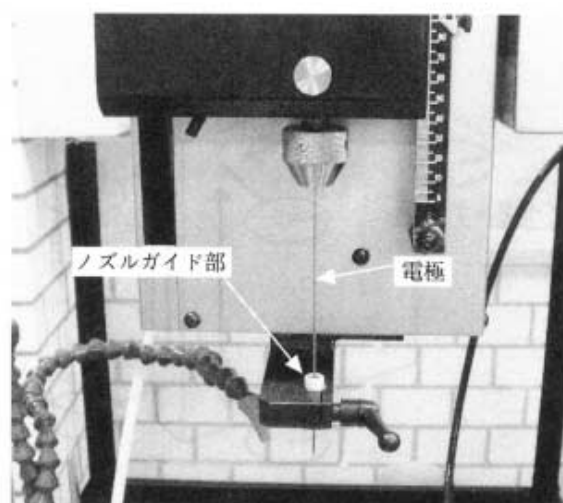


図8 細穴加工機ノズル部

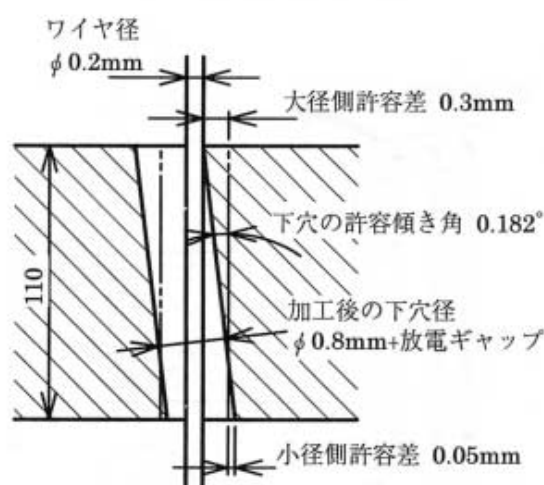


図9 ワイヤと下穴の関係

る0.05mm以下にすることは容易ではない。これについては、位置誤差の大きい下穴加工時の加工終了面を、テーバ加工時の大径側にする方法で対処した。

### 4.3 テーバ加工

#### 4.3.1 段取り作業

この工程での段取りとしては、WEDMへのプレートのセッティングと、下穴中心でのワイヤ結線である。

放電加工を開始するためには、電極となるワイヤと加工対象物とが絶縁状態であることが要求される。すなわち、下穴の軸をWEDMに対して垂直に取付けることとなるが、ここで、下穴の許容される傾きについて考えてみる。使用するワイヤ径はφ0.2mmであり、ワイヤと下穴の関係を図9に示す。テーバ小径側については、下穴径と最終加工形状との寸法差が取りしろとなるので、許容差は径方向に片側で0.05mm以下でなければならない。テーバ大径側については、プレートとワイヤとの短絡が問題となってくるので、許容差

は片側で0.3mm以下である。下穴全長が110mmなので、基準面に対する下穴の許容される傾きは0.182°以下でなければならない。下穴径とワイヤ径の差は十分にあるものの、プレートにわずかな傾きが生ずるとワイヤとプレートが接触してしまうこととなる。下穴はプレート基準面に対して平行であるので、プレート基準面を使って垂直を出した。

ワイヤを結線するための下穴中心への位置決めについては、前工程によって基準面からの距離が数値化されている。これに従い、位置決めを行った。

このように、前工程で行った下穴加工には、今工程で行う段取り作業内容を見据えたうえでの配慮が必要であり、そのことがここでの段取り作業をより簡便なものとしている。

#### 4.3.2 コアレス加工

テーバ細穴部についての加工は、コアレス加工を実践している。通常、WEDMで加工をする場合には、2次元の輪郭加工を行うことが一般的である。しかしながら、この部品のように加工領域が小さくなると、加工後に残留する芯部（コア）をうまく取り除くことができないので、ワイヤが断線する等の諸問題が生じる。よって、小領域部分の高精度加工を実現するためには、輪郭加工ではなくコアレス加工を採用することが必須である。

コアレス加工では、切込み深さをワイヤ径以下とするので、除去量が少なく安定した加工状態が得られる。また、加工領域内全ては放電せずとなる。このことは、輪郭加工にみられるようなコアを取り除く手間が省略できることを意味しており、結果的に、加工が中断されないで作業性の向上につながる。さらに、加工するテーバ部の径が加工機の噴流ノズル径（φ6mm）よりも小さいため、コアの落下による噴流ノズルの破損を防ぐことができる。一方、加工周長については延長されるが、比較的加工領域が小さいこと、ならびに低切込み深さによって送り速度が向上するため総加工時間に差異はない。

したがって、今回のテーバ細穴部品の加工は、コアレス加工によって実施することとした。

#### 4.3.3 テーバ部の加工手順

最初に、テーバの基準面となる小径側をφ0.7mmと固定して、テーバ角0.520°までの領域を10passでテーバ角度を徐々に広げながらコアレス加工を施した。ステップ角度を0.052°/passとすることで、1pass毎の

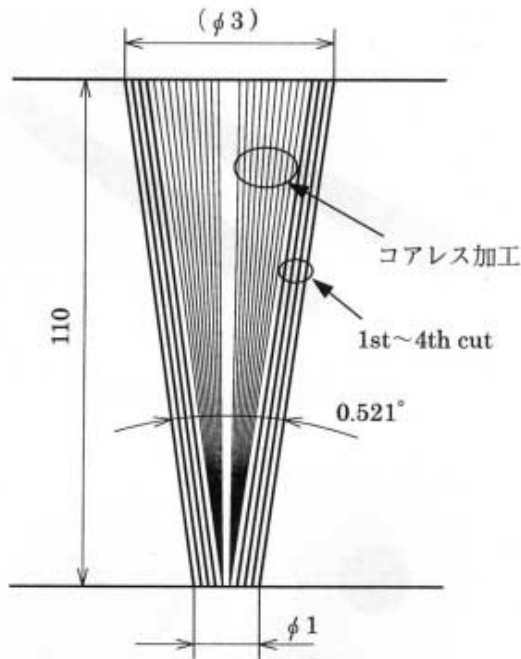


図10 WEDM加工軌跡

切込み深さをワイヤ径φ0.2mm以下にしている。

テーパ部は、最終的な仕上げ面性状や寸法精度を確保するために、4th cutまで実施している。1st cutから4th cutまでの各加工では、テーパの基準面となる小径側をφ1mmと固定している。テーパ角0.521°とし、それぞれのオフセット量でワイヤ径補正をかけながら加工をしている。

さらに2nd cutでは、同一オフセット量での加工を2回実施している。この目的は、3rd cutおよび4th cutでの切込み深さを安定させるためである。ワイヤの動作イメージを図10に、WEDM加工プログラムを図11に示す。

## V 完成した部品の評価

この部品は、外周にも1/15テーパ部を有しているが、外周部テーパについては、依頼のあった企業側で旋削加工を行うことになった。したがって、外周部の加工は図12に示すφ7mmの円筒形までとした。

図13に完成した部品の両端面を示す。ここで、テーパ部両端面の穴径を0°および90°方向に対して光学顕微鏡（Nikon社製）で測定した。測定結果を表3に示す。サンプリングした製品の穴径の寸法精度に関してはいずれも寸法許容差内であった。しかしながら、小径側の直径寸法について、測定方向に若干ばらつきがみられるものが数本あった。これは、数本の部品に対

(	ON	OFF	IP	HRP	MMO	SV	V	SF	C	WT	WS	WP	WC
C000	=004	020	2215	000	0350	030	8	0020	0	120	130	0	0
C410	=002	023	2215	000	0751	048	8	6018	0	120	130	0	0
C802	=000	001	1015	000	0000	030	7	7050	0	120	130	0	8
C805	=000	001	1015	000	0000	018	3	7060	0	120	130	0	8
H010	=+00000100												
H200	=+00002000												
H133	=+00001330												
H111	=+00001110												
H108	=+00001080												
N0001(CORELESS TAPER)													
G54													
G92X0Y0													
C000													
T84													
G51A0G01X0.35													
A0.052G02I-0.35													
G01X0Y0G50A0													
G51A0G01X0.35													
A0.104G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.156G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.208G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.26G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.312G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.364G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.416G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.468G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
G51A0G01X0.35													
A0.52G02I-0.35													
G50A0G01X0Y0													
T85													
C410													
G51A0G42H010G01Y0.5													
A0.521H200G02J-0.5													
G50A0G40H010G01X0Y0													
G51A0G42H010G01Y0.5													
A0.521H133G02J-0.5													
G50A0G40H010G01X0Y0													
G51A0G42H010G01Y0.5													
A0.521H111G02J-0.5													
G50A0G40H010G01X0Y0													
C802													
G51A0G42H010G01Y0.5													
A0.521H111G02J-0.5													
G50A0G40H010G01X0Y0													
C805													
G51A0G42H010G01Y0.5													
A0.521H108G02J-0.5													
G50A0G40H010G01X0Y0													
M02													

コアレス加工	
・小径側寸法をφ0.7mmと固定して、テーパ角度のみを変化させたテーパ加工	
・0.520°までのテーパ角をステップ角0.052°で10pass加工する	
・オフセットなし	
1st Cut	オフセット量 200μm
2nd cut	オフセット量 133μm 同一オフセット値で2回加工
3rd cut	オフセット量 111μm
4th cut	オフセット量 108μm

〔1st~4thカットでのテーパ角度は0.521°〕

図11 WEDM加工プログラム

して、前述のテーパ加工時の下穴への位置決め精度に起因している。これまで検討してきた各工程におけるポイントを十分に再現できれば、真円は確保される。

また、下穴径を小さくすることで、テーパ加工時の取り代は増し、小径穴を真円にすることが容易となる。しかながら、小さい下穴径と各工程の作業性はトレードオフとなるため、一概に望ましい方法とはいえない。

テーパ部内面の表面粗さを計測するため、図14に示すテーパ部分のカットモデルを作成した。表面粗さ計(SV-600:ミットヨ社製)によって、算術平均粗さを測定した結果、十分に要求を満足していることがわかった。

今後は、HRC60以上の高硬度材料について、さらにアスペクト比の高いテーパ細穴への有効性を検討していく予定である。

## VI 工程検討の重要性

今回の部品加工を通して、テーパ加工に至るまでの一連の作業内容を整理すると、部品が完成するまでには、プレート加工・下穴加工・テーパ加工という3つの加工工程になる。それぞれの工程の中には考慮すべき点が非常に多く、また、各工程の内容は互いに深く関連しているため、以降の工程を正しく見据えた作業内容を選択し、実施することが重要であった。

一般に、機械加工は単独の工程ではなく複数の工程の集合体である。各工程は、前工程に依存して、かつ以降の工程に影響を及ぼす<sup>4)</sup>。部品を最終的に完成させ、目的の機能を具備させるためには、最適な加工工程を見出すための十分な工程検討が大切である。

## VII おわりに

比較的アスペクト比の高いテーパ細穴部品をWEDMによるコアレス加工を採用して製作した。今回実施した一連の加工方法は、高アスペクト比を持つテーパ細穴加工について有効な手段であることが確認できた。さらに、この加工方法によって、任意のテーパ角度や、高硬度材料への適用も可能であることがわかった。

また、テーパ部の加工に関する技術的な手法だけでなく、テーパ加工に至るまでの各工程の詳細な検討が最も重要であると認識できた。

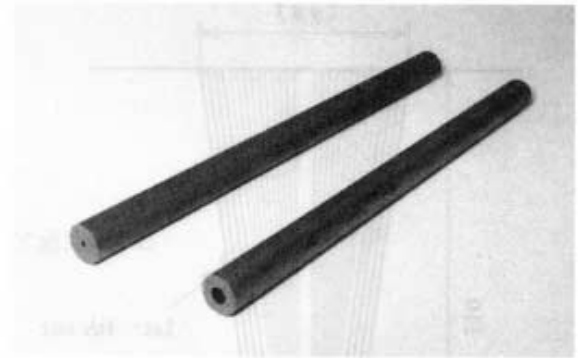


図12 完成したテーパ細穴部品

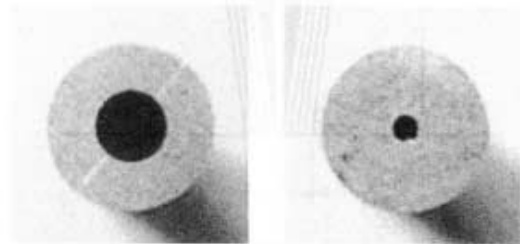


図13 テーパ部両端面

表3 テーパ両端面穴径の測定結果

測定箇所	基準寸法	測定値 (mm)
小径側	φ1	1.05~1.10
大径側	φ3	3.00

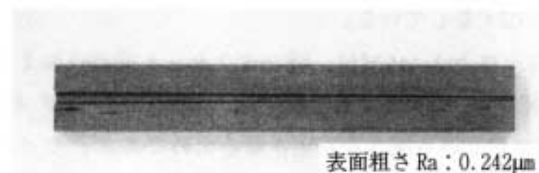


図14 テーパ部カットモデル

### 【参考文献】

- (1) 原裕之、二ノ宮進一：「テーパ細穴加工にみる工程検討の重要性」、北陸職業能力開発大学校紀要、第1号、2001年3月
- (2) 吉田弘美、高津喜一郎：「ワイヤカットノウハウ集」、加工技術交流センター、1989
- (3) 「ワイヤ放電加工機加工ガイドブック」、ソディック、1998
- (4) 二ノ宮進一、東江真一：「品質工学を用いた作業条件の最適化」、第6回職業能力開発発表会講演会講演論文集、1998年10月、P43-44