

ワイヤカット放電加工の
加工精度向上

電気加工研究室

知能機械コース

1055055 橋本 高志

[目次]

第 1 章 緒論 -----	3
1.1 ワイヤカット放電加工機について-----	3
1.2 研究の目的-----	4
1.3 本論文の構成-----	4
第 2 章 コーナー加工精度の向上 -----	5
2.1 緒言-----	5
2.2 研究目的-----	5
2.3 ダレの原因-----	6
2.3.1 放電圧力によるダレの発生-----	6
2.3.2 ワイヤの加工進行方向への遅れ-----	6
2.3.3 単位時間あたりの加工面積の差-----	7
2.1 ダレ寸法の測定-----	8
2.2 研究で使用された機械、材料-----	8
2.3 ダレに対しての従来加工技術についての調査実験-----	10
2.6.1 通常加工で発生するダレ-----	10
2.6.2 口の字型加工法の調査実験-----	10
2.6.3 セカンドカット加工法の調査実験-----	12
2.6.4 ドウエル加工法の調査実験-----	14
2.7 新加工法の提案-----	16
2.7.1 コーナー加工のシュミレーションソフト-----	16
2.7.2 新加工法の検討-----	17
2.7.3 オーバーシュート加工法の実験-----	20
2.7.4 オーバーシュート加工法による 60° ~ 140° の加工-----	22
2.7.5 オーバーシュート加工の連続精度-----	29
2.7.6 オーバーシュート加工後のコーナーにおける 垂直方向のダレ寸法の変化-----	31
2.8 結言-----	32

第 3 章	テーパカットの加工精度の向上	33
3.1	緒言	33
3.2	テーパカット加工	33
3.3	研究目的	34
3.4	実験機器及び加工条件	34
3.5	諸元出し	36
3.5.1	Z 軸諸元	36
3.5.2	諸元出し方法	37
3.6	テーパ角度の測定方法	38
3.6.1	テーパ加工面の角度測定方法	38
3.6.2	ワイヤの傾き角度の測定方法	39
3.7	テーパカット加工実験	40
3.7.1	テーパ加工後のワーク加工面の傾き角度の調査実験	40
3.7.2	ワイヤテンションの変化に対するテーパ誤差と 加工状態の変化	43
3.7.3	加工後の角度誤差を補正值として加工を行う実験	48
3.7.4	諸元出し段階における測定誤差がダイス間距離に及ぼす影響	52
3.7.5	諸元出しにおけるテーパ角度変化に対するダイス間距離の 変化とばらつき	65
3.7.6	テーパ諸元出し角度に対する上下ダイス間距離の変化	69
3.7.7	諸元出し角度に対する上下ダイス間距離の変化と ワイヤの傾き角度誤差	72
3.7.8	ワイヤの強さによるテーパ角度への影響についての検討	74
3.7.9	ワイヤの傾き角度を求めた状態で諸元出しを行わせる実験	77
3.8	諸元出しについての検討	79
3.8.1	諸元出し方法を用いたワイヤの傾き角度の測定方法の検討	79
3.8.2	新しい垂直度計形状とワイヤの傾き角度測定方法の提案	83
3.9	結言	85
第4章	結論	86
	参考文献	87

第1章 緒論

1.1 ワイヤカット放電加工機について

ワイヤカット放電加工機は、黄銅、銅、タングステン、モリブデンなどの細いワイヤを巻き取りながら、これを電極として2次元輪郭形状を数値制御により送りをかけ、糸鋸式に輪郭をくりぬいて加工する放電加工機である。図1.1に加工機全体の簡単な原理図を示す。

一般に放電加工機は銅やグラファイトなどの比較的加工しやすい導電性材料を工具電極とし、鋼、超合金などの被加工物材料との間に60~300V程度のインパルス電圧を印加しながら、間欠的火花放電を行わせ、その際に発生する異常消耗現象を利用した加工法である。電極と被加工物の対向する極間間隙長は非常に狭く、5~50 μm であり、その間隙にはケロシン(灯油)や水などの絶縁液(加工液)を介在させる。

ワイヤカット放電加工機もメカニズムとしては上記のとおりであるが、電極としてワイヤを用いる点が異なっている。

ワイヤカット放電加工機的主要な役割としては、一般の抜き型はもとより、極薄板(0.05mmのステンレス鋼板)の精密抜き型、順送り型などの製造にいたるまで、活用されている。被加工物を積載しているクロステーブルは、一般にNC制御サーボモーター駆動により、X,Y軸方向に送りが与えられ、2次元形状の加工が行われる。

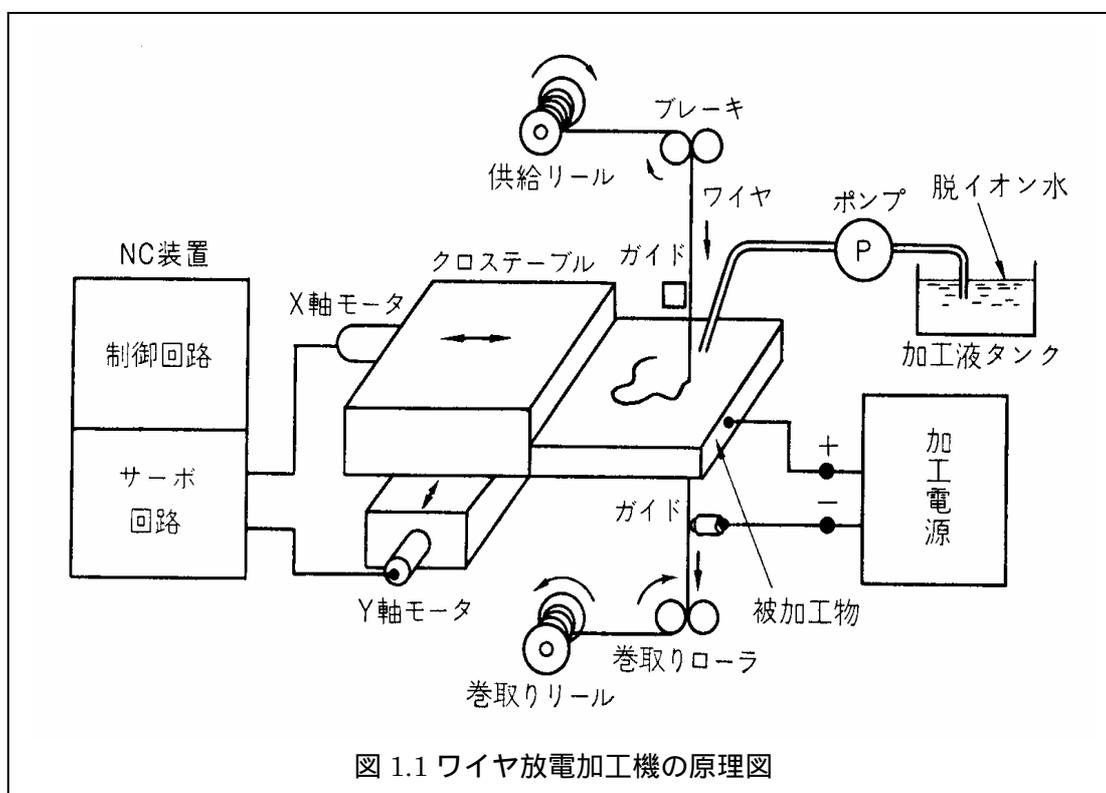


図 1.1 ワイヤ放電加工機の原理図

1.2 研究の目的

ワイヤカット放電加工機の加工精度においては、コーナー加工精度、位置決め精度、ピッチ間寸法精度、加工面寸法精度等があげられる。ワイヤカット放電加工に限らず、最近のもの造りの現場に要求される加工精度は高等の一途をたどっている。携帯電話に代表される移動対通信機器のめまぐるしいモデルチェンジと、そのたびに小型化や軽量化が一段と進んでいる現状が、高精度競争に拍車をかけている。

本研究では、コーナー加工精度、とテーパ加工精度について、加工精度に影響を与える因子に着目しながら、加工状態の解析や、誤差の発生割合を数式を用いて検討するなどし、ワイヤカット放電加工機の加工精度を向上することを目的として研究をおこなった。

1.3 本論文の構成

第1章「緒論」では、ワイヤカット放電加工機の原理、本研究の目的、本論文の構成について述べた。

第2章「コーナー加工精度の向上」では、ワイヤカット放電加工機の通常加工で、コーナーを加工した場合、先端部分の輪郭形状が崩れてしまう。この問題に対して、調査実験や、問題改善のための従来加工法等の調査を行った。

また、コーナー先端部で加工プログラムの軌道修正を行い、ワイヤのたわみを補正させる、新しい加工方法について検討し、従来加工法との比較を行った。

第3章「テーパカット加工精度の向上」では、ワイヤのテーパ角度が大きくなるに従い、テーパ誤差も大きくなってしまいう問題について調査を行った。誤差の発生原因の追究や、諸元出し段階における測定誤差に対して、数式や解析ソフトを用い、誤差の発生割合などを調査し、改善策について検討を行った。

第2章 コーナー加工精度の向上

2.1 緒言

ワイヤカット放電加工機の通常加工でコーナー部分を加工した場合、輪郭精度がくずれ易く、時計部品や、微細形状を加工する際には、コーナー部における加工現象に留意する必要がある、改善策が求められている。

コーナー部分の輪郭形状が崩れてしまう原因としては、ワイヤのたわみ、放電圧力、加工面積の差などが知られている。この輪郭形状の崩れ(“ダレ”)を改善するための従来加工技術としては、セカンドカット加工法、口の字型加工法、やドゥエル加工法などがあるが、一般的には、セカンドカット加工が使用されている。

本章では、ダレの調査、及び従来加工法の調査実験を行ったうえで、今回提案された、新加工方法にたいして、従来加工法との比較などを行った結果を述べる。

2.2 研究目的

ワイヤカット放電加工機でコーナー形状を加工した場合、図 2.1 のように先端部分が丸みを帯びて加工される。この輪郭の崩れは“ダレ”と呼ばれ、この寸法が大きいほどコーナー部の加工精度は低くなり、高精度加工を得意とするワイヤカット放電加工機において、残された改善すべき重要な課題であるといえる。

この問題の改善策としては、セカンドカット加工法が一般的に用いられているが、筆者が行った調査実験においては、通常加工に比べ、加工面は非常にシャープなエッジが得られるが、コーナー両側に長く緩やかなダレの発生が見られた。

よって、本研究の目的は、ダレに対する従来加工法の調査と、ダレの発生を抑える効果の高い新しい加工方法の開発である。



図 2.1 コーナーにおけるダレ

2.3 ダレの原因

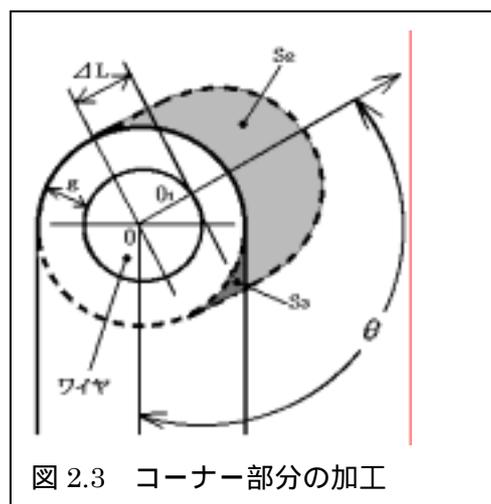
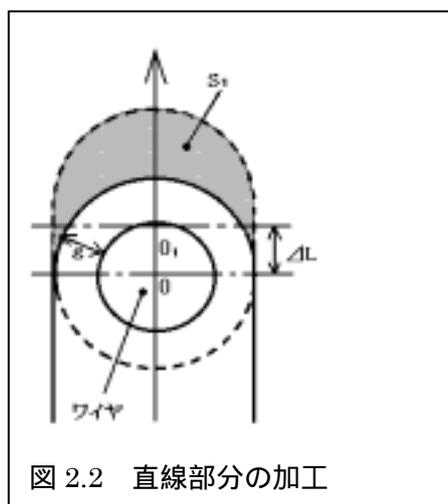
ダレの原因には、放電圧力によるものや、ワイヤの加工進行方向への遅れ（ワイヤのたわみ）、微小円弧における単位時間あたりの加工面積の差、などによって発生することが知られている。各ダレの原因は以下のとおりである。

（図 2.2～図 2.6「ワイヤカット放電加工技術」より）

2.3.1 放電圧力によるダレの発生

コーナーにおける加工面積の変化について図 2.2、図 2.3 に示す。

まず図 2.2 の直線加工での単位時間における加工面積 S_1 と、図 2.3 に示したコーナー部での加工面積 S_2 は直線部の加工面積 S_1 より少なくなり、その分だけ薄い板を加工すると同様に加工溝幅が広がる。また、図 2.3 の S_3 の部分は放電しないために、ワイヤが放電圧力の反力によって S_3 側の方向へ押され、結局コーナー部の形状がダレる形状に加工されることになる。



2.3.2 ワイヤの加工進行方向への遅れ

ワイヤの加工進行方向への遅れもダレの原因である。図 2.4 のようにワイヤガイドは正規の軌跡を描いていても、実際に加工しているワイヤの位置は放電の反発力によりたわみを生じ、張力が弱い場合は特に遅れとなり、自動車の前輪と後輪の関係のようにワイヤはインコーナーを通り、図 2.5 のようにコーナー形状のダレを大きく助長することになる。

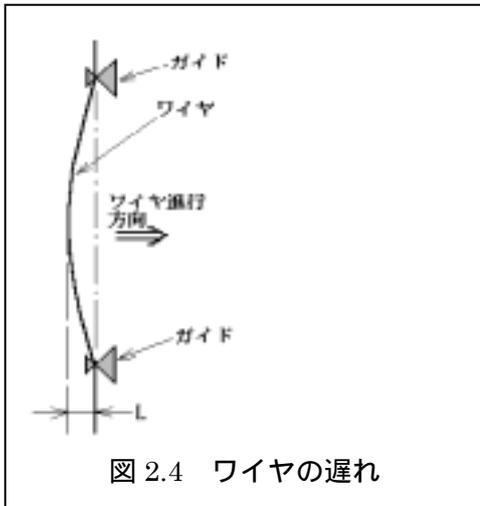


図 2.4 ワイヤの遅れ

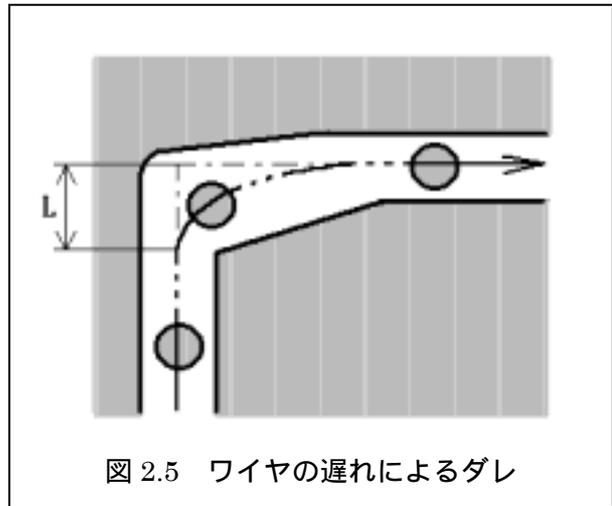


図 2.5 ワイヤの遅れによるダレ

2.3.3 単位時間あたりの加工面積の差

微小円弧の場合には、図 2.6 に示すように、直線部分と円弧ではワイヤの進行方向に対する左右の加工面積に差が生じるため、結果としてコーナー加工精度の悪化を招いている。直線部分では、単位時間における放電時間が同一のため、左右の加工面積は同一となり、放電間隙 G_1 と G_2 は、同一になるが、円弧部においては、内側コーナー部の放電間隙 g_1 の方が、外側コーナー部の放電間隙 g_2 より大きくなるため、やはりコーナー形状に変化を生じさせることになる。

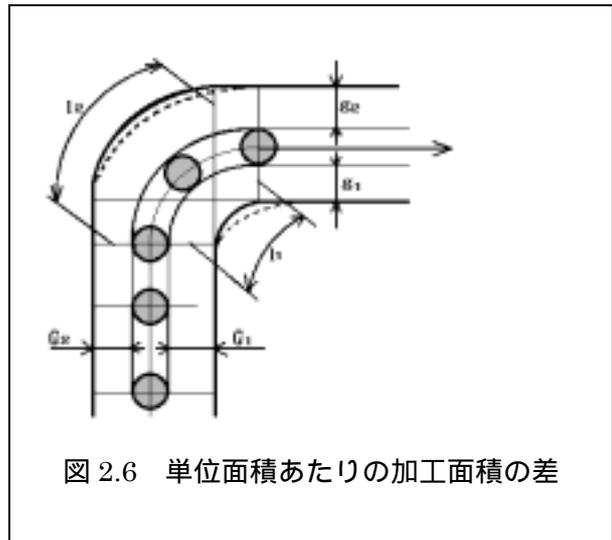


図 2.6 単位面積あたりの加工面積の差

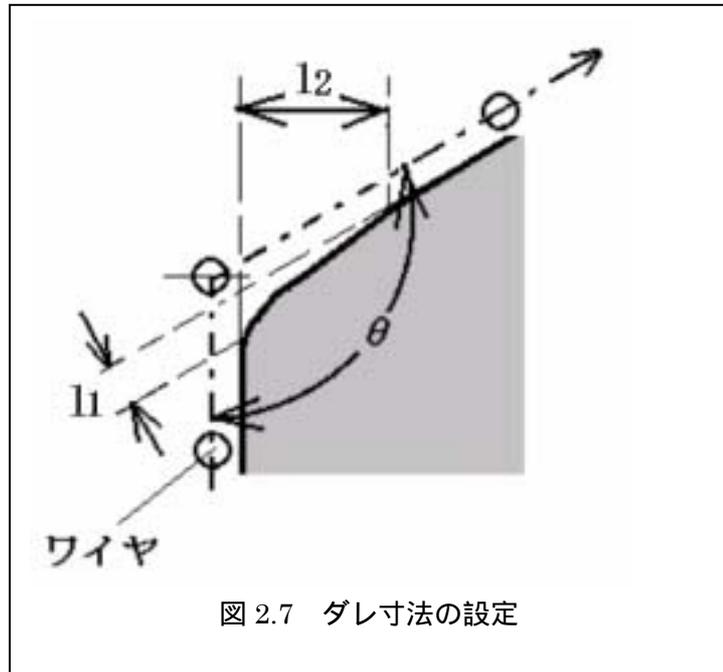
ワイヤの左右の加工面積が等しいとすれば、 $l_1 \times g_1 = l_2 \times g_2$ となる。

円弧なので、 $l_2 > l_1$

ゆえに、 $g_2 < g_1$ となる。

2.4 ダレ寸法の測定

ダレ寸法には、図 2.7 に示したように l_1 ・ l_2 があり、ワイヤの加工進行方向の順に、コーナー先端より手前に生じたダレを l_1 、コーナー先端より後に生じたダレを l_2 とし、区別している。



2.5 研究に使用された機械・材料

- ・ワイヤカット放電加工機 三菱 DIAX SX10 (図 2.8)
- ・ワイヤ 沖電線 OB-20P 0.2mm 黄銅ワイヤ
- ・加工材料 S50C 板圧 10mm
- ・NC プログラム作成ソフト
三菱 MS20
- ・加工データ収集ソフト
三菱 VF モニター



・加工条件

E パック No379 加工条件表 (表 2.1)

表 2.1 加工条件表

E パック番号	379
V0 (ノッチ) 電圧切替え	12
IP (ノッチ) 加工セッティング	7
OFF (ノッチ) 休止時間	1
SA (ノッチ) 安定回路 A	3
SB (ノッチ) 安定回路 B	10 (9~11)
WS (ノッチ) ワイヤ速度	12
WT (ノッチ) ワイヤ張力	8
PT (ノッチ) プリテンション	14
LQ (ノッチ) 加工液流量	2
LR (ノッチ) 加工液比抵抗	9
VG (V) 平均加工電圧	43 (41~45)
SC (ノッチ) 安定回路 C	1
FS (ノッチ) F S 電源	1
AE (ノッチ) 電源モード	21
SE (ノッチ) 安定回路 E	1
FA (mm / 分) 設定加工速度	7.2
FC (mm / 分) 実加工速度	6.3~8.1
オフセット (μm) オフセット量	131 (128~134)
面粗さ (μmRmax) 加工面粗さ	16~18

・測定顕微鏡 MITUTOYO TF - 510F (図 2.9)

測定倍率 (×100)

最小表示値 0.001mm

倍率精度 ±0.1%



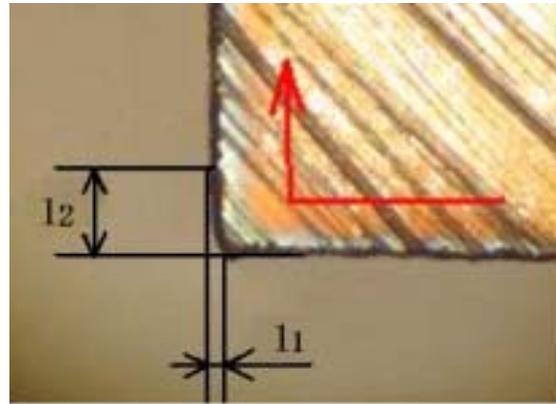
図 2.9 測定顕微鏡の外観写真

2.6 ダレに対しての従来加工技術についての調査実験

2.6.1 通常の加工で発生するダレ

まず、通常の加工で 90° コーナーに発生したダレの写真と、その平均寸法を図 2.10 に示す。

写真のダレは、S50C 板厚 10mm を定速送り (6mm / min) で加工した 90° コーナーである。



90° コーナーのダレ平均

11	0.032
12	0.130

単位 (mm)

図 2.10 90° コーナーに発生するダレ

2.6.2 口の字型加工方法の調査実験

(1) 実験目的

ダレ問題の改善策の 1 つである口の字型加工法を使用する。この加工方法では、ワイヤ側面の放電による圧力が平均化され、ダレの発生に効果があるとされており、コーナー先端部分は直接加工されず、口の字を描いて直線的に加工されている。

よって、この加工方法を使用した場合のダレへの影響を調査する。

(2) 加工形状と加工方法

図 2.11 のように 90° コーナーを 4ヶ所つけた加工形状に、コーナー先端で口の字型に送りをかける。送り量に関しては、約 0.6mm であるため、板厚によって最適な送り量は変化すると考えられる。よって、送り量を 0.2mm ~ 1.0mm まで 0.1mm

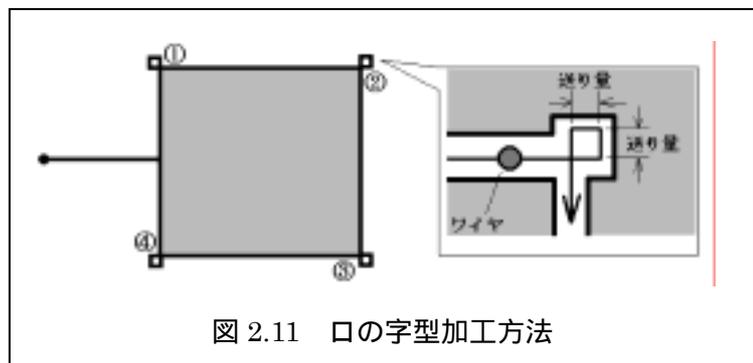


図 2.11 口の字型加工方法

m 刻みで加工を行い、10mm の板厚での最適な送り量を求める。

加工は、
の順に、時計回りに加工を行うが、ダレの測定は加工進行順に、コーナーに対して手前に発生したダレを 11、後に出来たダレを 12 として測定する。

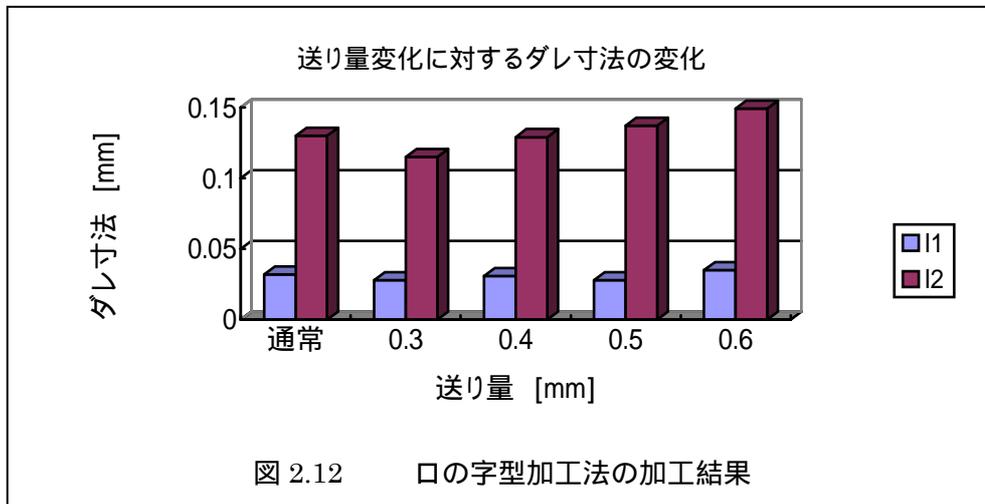
(3) 加工条件

E パック No379 オフセット量 131 μm
加工速度 6mm / min 送り量 0.2mm ~ 1.0mm (0.1mm 刻み)

(4) 加工結果

送り量は 0.2mm 以下ではワイヤ径補正のオフセットにより、口の字を描くことができなかった。また、0.7mm 以上では、“口の字”部分が残って切り落ちてしまい、ワイヤと接触して加工がスムーズに行うことができなかった。切り落ちた部分が下部、または上部ガイドを傷つけてしまうことも考えられることから、口の字型加工の加工可能範囲は送り量 0.3mm ~ 0.6mm の間だと分かった。

送り量 0.3mm ~ 0.6mm 範囲でのダレの変化をグラフに表した。(図 2.12)



(5) 考察

送り量を小さくするに従ってダレが小さくなっていることから、板厚によって最適な送り量が違ってくることが分かる。

通常の加工と比べても 11・12 とともに効果が見られた。0.3mm より小さく送る場合、ワイヤ径補正のオフセットにより、“口の字”部分が描けなかったことに対して、ワイヤ径補正を切り替えることも行って見たが、コーナーを上手く加工できなかった。

口の字型加工における特徴としては、コーナー先端部分を直接加工せずに、直線的に加工を行うことと、放電による圧力を平均化することであるが、コーナーを直線的に加工するという自体には、大きな効果が無いことが推測される。なぜならば、その送り量が長いほどコーナー先端に対しては、安定した状態で加工ができるはずであるが、実際には、送り量が小さいほどダレが小さくなっていたからである。よって、ダレを小さくすることができたのは、放電圧力を平均化することができたからだと考えられる。しかし、最もダレを小さく加工できた送り量、0.3mm の場合においても効果は薄いといえる。

2.6.3 セカンドカット加工方法の調査実験

(1) 実験目的

ダレを押さえる加工法として、一般的に使用されているセカンドカット加工を行い、ダレに対する効果を調査する。

(2) 加工形状・加工方法

図 2.13 のような、90° コーナーを 4ヶ所つけた形状をセカンドカット(4TH CUT)加工する。

加工条件は、1ST (E379) 2ND (E1065) 3RD (E1066) 4TH (E1068) を用いた。

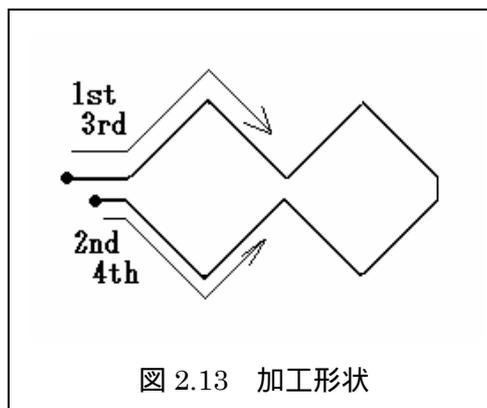


図 2.13 加工形状

(4) 実験結果

加工後のコーナー先端を図 2.14 に表した。

加工面に関しては通常加工に比べ、非常にシャープなエッジが得られているものの、コーナー部では、両辺が先端部分に向かってわずかに傾いた形状に加工されていることが分かった。寸法の測定に関しては、図 2.14 に示したとおり、順方向加工でのコーナーの進行方向順に、 $l_1 \cdot l_2$ 、逆方向の加工進行方向順に $l_1' \cdot l_2'$ というように区別し、測定を行った。結果を表 2.2 に示す。

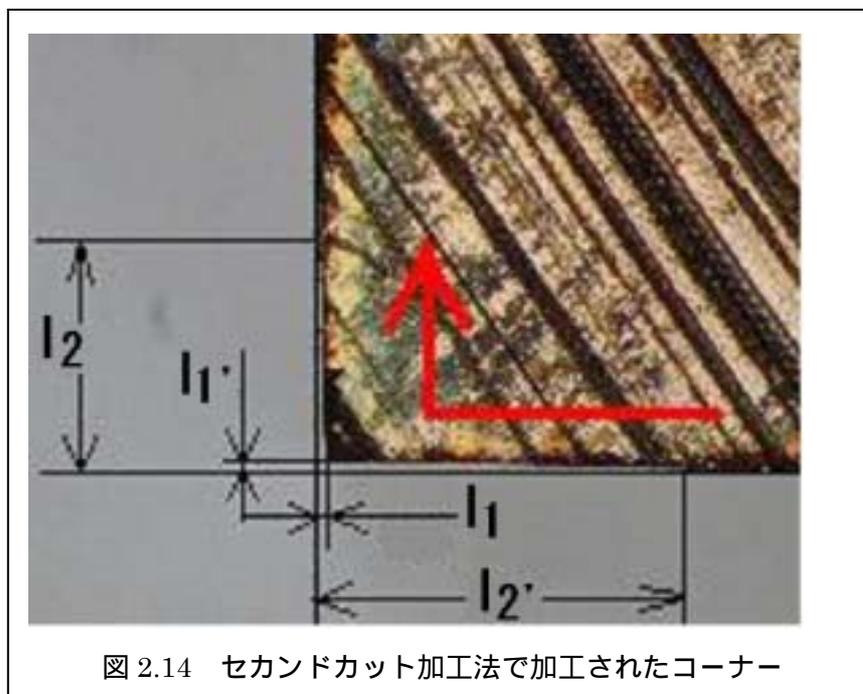


図 2.14 セカンドカット加工法で加工されたコーナー

表 2.2 セカンドカット加工法の加工結果

	コーナー1	コーナー2	コーナー3	コーナー4
11	0.004	0.008	0.016	0.005
11'	0.006	0.007	0.007	0.005
12	0.587	0.290	0.332	0.273
12'	0.056	0.193	0.345	0.301

(単位 mm)

(5) 考察

ダレは順方向(ファーストカット)で加工されたときに、加工進行方向順に、11・12ができるが、逆方向(セカンドカット)ではワイヤ進行方向が反対になるため、コーナーダレも逆向きに発生し、コーナー先端の両側にそれぞれ、11・12、11'・12'ができたと考えられる。図 2.15 のように、1st カットで生じたダレの影響を受け、2nd カットではコーナー通過前、通過後に長いダレ形状が加工され、同じく 3rd・4th カットにおいても、ダレ形状は目立たなくなるものの、結果としてコーナー先端に向かって両辺が傾いた形状に加工されたと思われる。

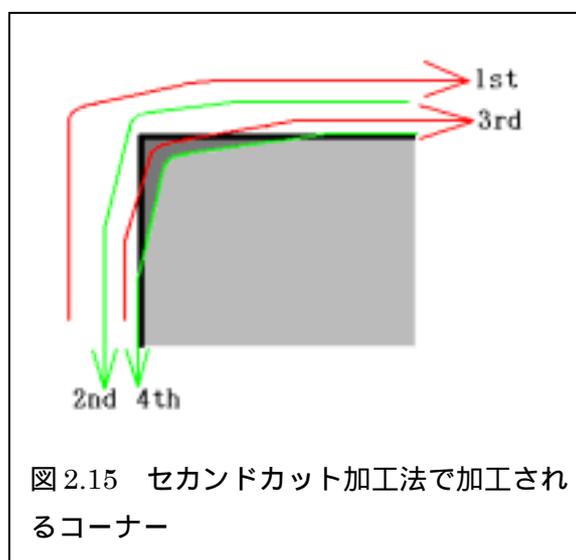


図 2.15 セカンドカット加工法で加工されるコーナー

2.6.4 ドゥエル加工法の調査実験

(1) 実験目的

コーナー先端部分において、G04(ドゥエル)機能を用い、加工テーブルの送りをいったん停止させることで、ワイヤの遅れを取り戻すことができる。よって、コーナー先端において停止時間を変化させて加工を行った場合のダレ寸法の変化を見る。

(2) 実験方法

コーナー先端でドゥエル機能を用いて、テーブルの送りを一旦停止させて加工を行う。コーナー先端部分においても電気条件は一定のまま、停止時間は、0.2秒から5秒の間で変化させて加工を行う。

(3) 実験条件

Eパック No379 オフセット量 131 加工速度 6mm/min

G04X_.5~1.(1秒ごと) G04X0.8~0.2(0.2秒ごと)

(4) 実験結果

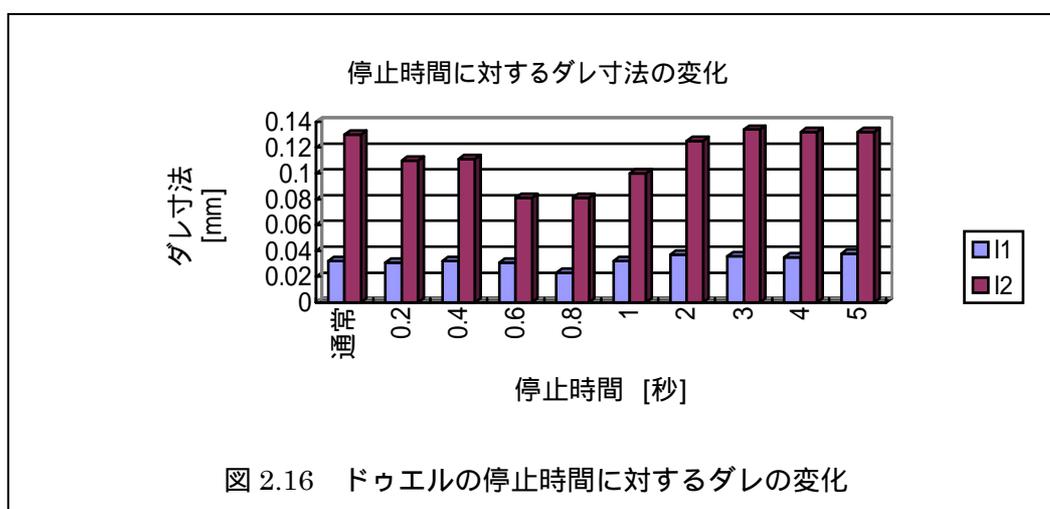
各停止時間ごとに4回加工を行い、ダレ寸法を測定した平均値を表2.3に示した。

表 2.3 ドゥエル加工後のダレ寸法の平均

停止時間	0.2 秒	0.4 秒	0.6 秒	0.8 秒	
11	0.031	0.032	0.031	0.023	
12	0.110	0.111	0.081	0.081	
停止時間	1. 秒	2. 秒	3. 秒	4. 秒	5. 秒
11	0.032	0.037	0.036	0.035	0.038
12	0.100	0.125	0.134	0.132	0.132

(単位mm)

表 2.3 をグラフ (図 2.16) に表した。



(5) 考察

ダレの平均、グラフ(図 2.16)から見て、 $l_1 \cdot l_2$ ともに最もダレを小さくすることが出来たのは、停止時間 0.8 秒の場合であった。($l_1 = 0.023\text{mm}$ 、 $l_2 = 0.081\text{mm}$)

ドゥエルを使用し、NC の送りを止めた時間によってダレが変化していることが分かるが、 l_2 ダレに関しては、0.6 秒・0.8 秒のあたりで最も小さくなる値を取り、これより時間を長く、または短くするに従ってダレは大きくなっている。しかし、3 秒以上 NC の送りを止めた加工においては、大きな変化は見られず、同じような値となった。これはドゥエルを使用している間に放電されて削り取られるワイヤ周辺のワークの量が、NC の送りが止められているため、3 秒以上ではほとんど変化がなかったと考えられる。

逆に停止時間 0.8 秒以下の場合では、停止時間が短くなるにつれてダレ寸法を押さえる効果が小さくなっている理由として、次のように考えた。

図 2.17 の A、ワイヤとワークを真横から見た断面図 (矢印は加工進行方向)

加工中、進行方向にワイヤの遅れ(たわみ)が起きている状態であり、ワークの表面も垂直ではなく、ワイヤと同じ形状に膨らんでいる。

図 2.17 の B、ワイヤとワークを真横から見た断面図。 上(下)部ガイドがコーナー先端部分の座標に到達したが、ワークの加工表面はワイヤの遅れの影響を受け、加工進行方向に対して反対側に膨らんだままドゥエルによって NC の送りが止まる。

図 2.17 の C、ワイヤとワークを真上から見た図。ここで、加工進行方向にたわんだ状態で加工されていたため、ワーク板の中心付近は膨らんだ状態であり、 のような形状に見える。このときワイヤとワーク間の距離 a 、 b の距離を考えた場合、 $a < b$ となる。

図 2.17 の D、ワイヤとワークを真上から見た図。ワイヤが加工進行方向を変え、コーナー部を加工し始めたさい、 の部分に最も放電が集中することから、ワイヤは放電反力をうけて、 の矢印方向にたわむ。

以上のことから、停止時間が短くなるにつれ、図 2.17 の C の の部分が多く残された状態で加工するため、ダレ寸法が長く発生したのではないと思われる。

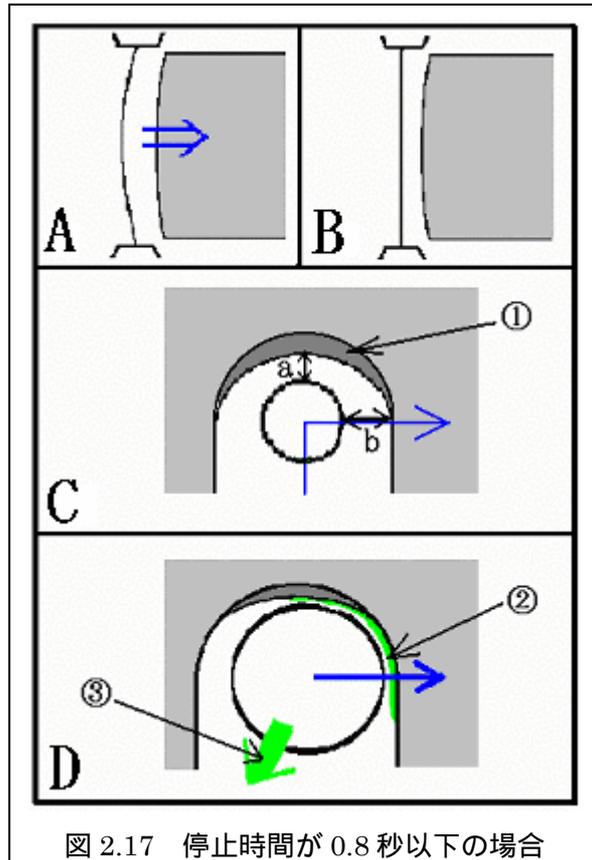


図 2.17 停止時間が 0.8 秒以下の場合

2.7 新加工法の提案

これまでの実験において、ダレ改善のための従来加工法について調査を行ってきた結果、どの加工方法においても効果は見られたが、今回、コーナー先端部分において加工軌道の修正を行わせる新しい加工方法を提案し、検討を行った。その加工方法は、コーナー先端部分で、ワイヤのたわみを補正させるために、図 2.18 のような軌道をもたせて加工を行わせるものである。今回ワイヤのたわみについての調査は、行って

いないが、通常加工で発生する 11 ダレの寸法を見かけ上のワイヤのたわみ量と想定し、送り量 $L1$ として与える。送り量、 $L2$ に関しても 12 ダレの寸法を与える。

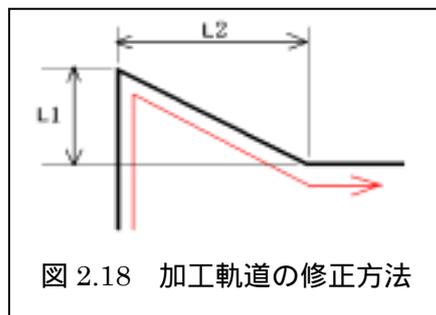


図 2.18 加工軌道の修正方法

2.7.1 コーナー加工シミュレーションソフト

今回提案された加工方法を検討するにあたり、コーナー加工シミュレーションソフトを用いて検討を行った。このソフトプログラムは、C 言語で作成したもので、ワイヤ径、放電ギャップ、ワイヤのたわみ量、放電力による影響度を入力し、ワイヤの加工軌道を座標値で指令することができる。図 2.19 にシミュレーションソフトの全体画面を示した。



図 2.19 シミュレーションソフトの全体画面

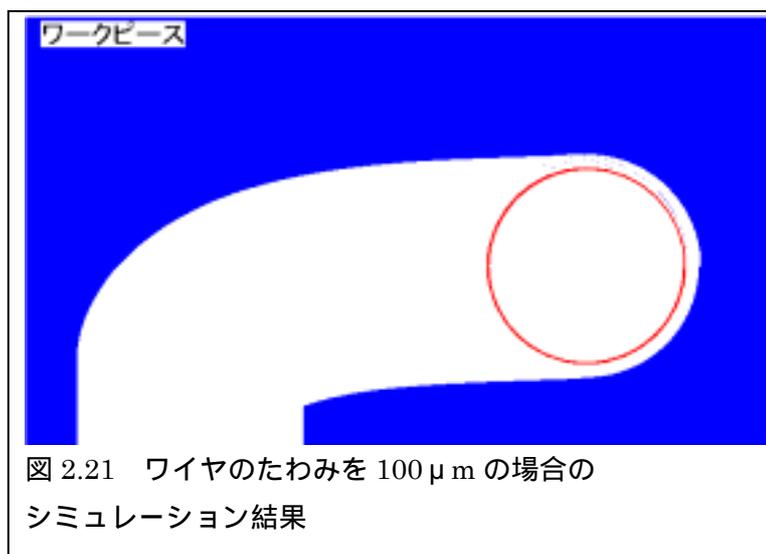
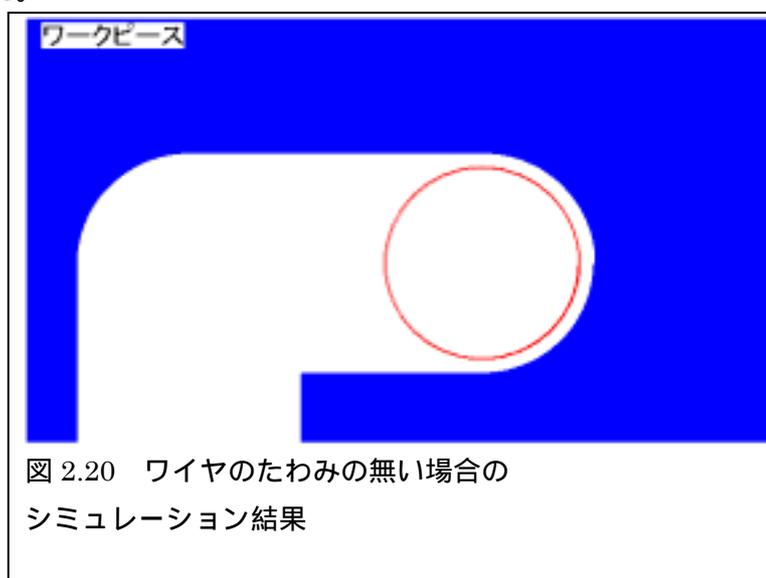
2.7.2 新加工方法の検討

実際の加工において、コーナー部分がどのような状態で加工されているのか、観察することが難しいため、シミュレーションソフトを用いて、検討を行った。

まず、通常加工のシミュレーションを行う。

ソフト画面での設定値は、ワイヤ径 $100\mu\text{m}$ 放電ギャップ $20\mu\text{m}$ と設定し、比較のため、ワイヤのたわみの無い場合と、ワイヤのたわみ量を $100\mu\text{m}$ と設定して、コーナー部分のシミュレーションを行った。ワイヤのたわみの無い場合の結果を図 2.20 に、ワイヤのたわみが $100\mu\text{m}$ の場合を図 2.21 にそれぞれの結果を表した。

結果、図 2.20 のようにワイヤのたわみが無い場合においてはコーナー部分にダレ形状の発生は無く、たわみがある場合に関しては、通常加工と同じようにコーナー先端にダレ形状の発生が見られた。



次に、新しく提案した加工軌道を修正してコーナー加工を行う方法のシミュレーションを行った。設定値は、ワイヤ半径 $100\ \mu\text{m}$ 、放電ギャップ $20\ \mu\text{m}$ 、ワイヤのたわみ $100\ \mu\text{m}$ とし、送り量は $L1 = 100\ \mu\text{m}$ 、 $L2 = 100\ \mu\text{m}$ としてコーナーをシミュレーションさせた。結果を図 2.22 に示す。

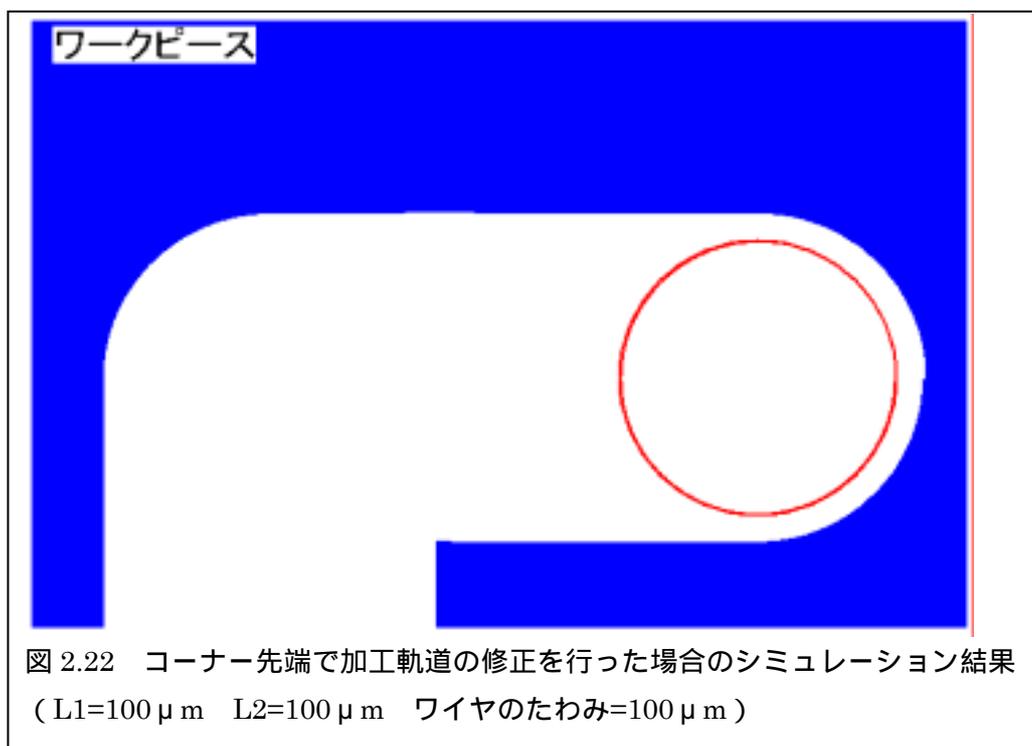
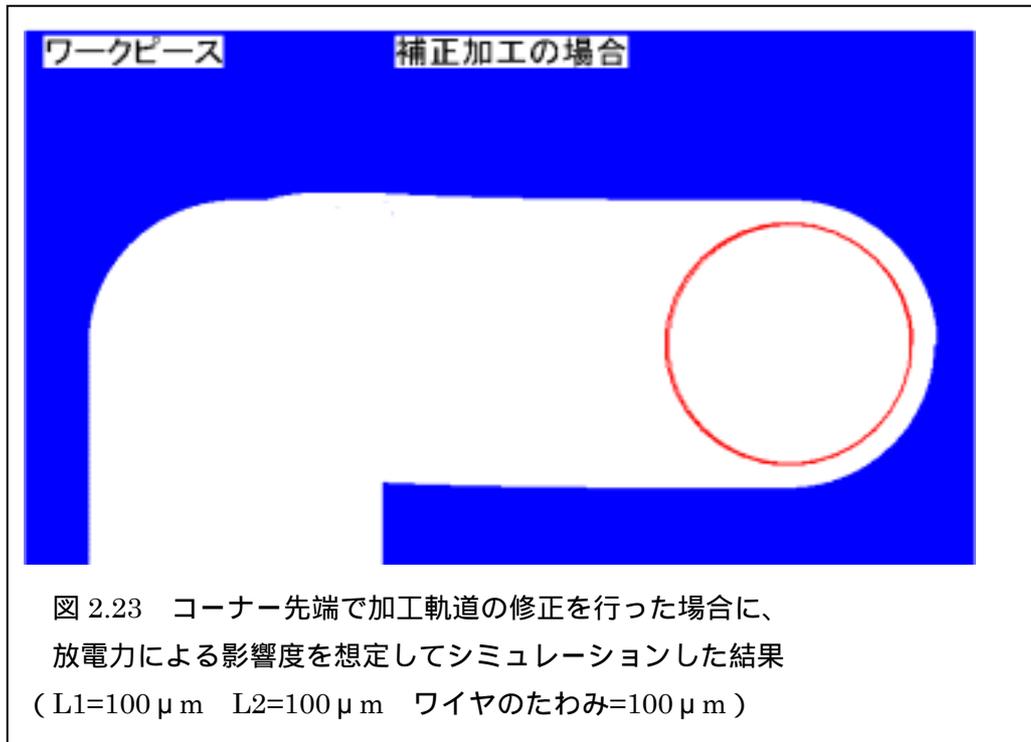


図 2.22 を見て分かる通り、コーナー先端で加工軌道を修正させて加工した場合、先端部分にわずかな取り残しが見られるものの、通常加工時のシミュレーション結果に比べて、輪郭形状の崩れが非常に少ないことが分かる。

次に、実際の加工状態を想定して放電反力による影響度を高めた状態で、 $L1=100\ \mu\text{m}$ 、 $L2=100\ \mu\text{m}$ 、ワイヤのたわみ= $100\ \mu\text{m}$ 、のコーナー加工シミュレーションを行った。結果を図 2.23 に示す。



シミュレーション結果は、図 2.23 のように、コーナー通過後に取り残しが見られる。これは、放電力による影響度を想定してシミュレーションしているため、コーナー直前までの直線加工段階では、ワイヤの動きに大きな変化は見られないが、コーナー部分においては左右の加工面積に差が生じることからハンチングを起こし、コーナー通過後の加工面に長い取り残しが見られた。しかしながら、通常加工のダレ形状の大きさから比べると、輪郭形状の崩れは、小さくコーナー先端部分において、ワイヤのたわみを軌道修正によって補正させる加工方法が、ダレの発生を抑えることに効果があることが推測される。

今回、シミュレーションソフトによって検討を行った加工を軌道修正させる方法は、コーナー先端部分をオーバーシュートして加工を行うことから、以下では、オーバーシュート加工法と呼ぶこととする。

2.7.3 オーバーシュート加工方法の実験

(1) 実験目的

コーナー加工シミュレーションにおいて、コーナー先端部分で加工軌道を修正させてワイヤのたわみを補正させるオーバーシュート加工法について検討を行った結果、ダレ形状の少ないコーナーが得られるという結果を得た。そこでオーバーシュート加工法を、実際の加工にあてはめて加工を行い、ダレへの効果を検討する。

(2) 実験方法

今回は、ワイヤのたわみについて調査を行っていないが、通常加工で発生する l_1 ダレの寸法を、見かけ上のワイヤのたわみ量を想定し、図 2.24 のように送り量、 L_1 として与える。通常加工で発生する l_2 ダレの寸法についても送り量を L_2 として与えてコーナー加工を行う。90° コーナーにおけるダレの平均は加工速度(定速送り)6mm/min の場合 $l_1 = 0.032\text{mm}$ 、 $l_2 = 0.130\text{mm}$ であるため、送り量は、 $L_1 = 0.032\text{mm}$ 、 $L_2 = 0.130\text{mm}$ で加工を行う。

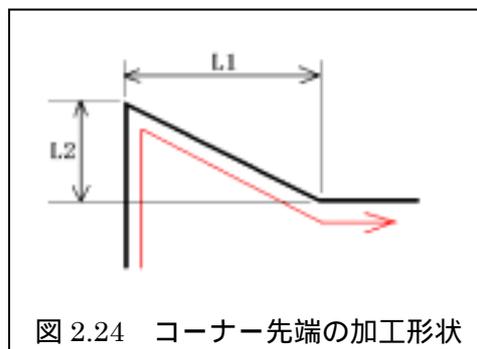


図 2.24 コーナー先端の加工形状

(4) 実験条件

E パック No379 オフセット量 $131\ \mu\text{m}$ 加工速度 6mm / min 定速送り
 オーバーシュート量 $L_1 = 0.032\text{mm}$ 、 $L_2 = 0.130\text{mm}$

(5) 結果

表 2.4 ダレ寸法の平均を送り量として加工した結果

	コーナー-1	コーナー-2	コーナー-3	コーナー-4
11	0.006	0.005	0.004	0.007
12	0.062	0.070	0.061	0.031

単位 (mm)

通常加工の平均ダレ $l_1 \cdot l_2$ を送り量として加工を行った結果、加工後のコーナーは、図 2.25 のように、取り残した形状に加工されていた。しかしながら、送り量を調整し、最適な送り量を求めることで、ダレの少ないコーナーが得られるのではないだろうか。

よって、測定結果の平均値を最初の送り量から引き、 $L_1 = 0.022\text{mm}$ 、 $L_2 = 0.056\text{mm}$ で加工を行った。

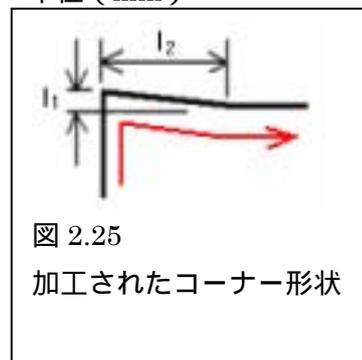


図 2.25
加工されたコーナー形状

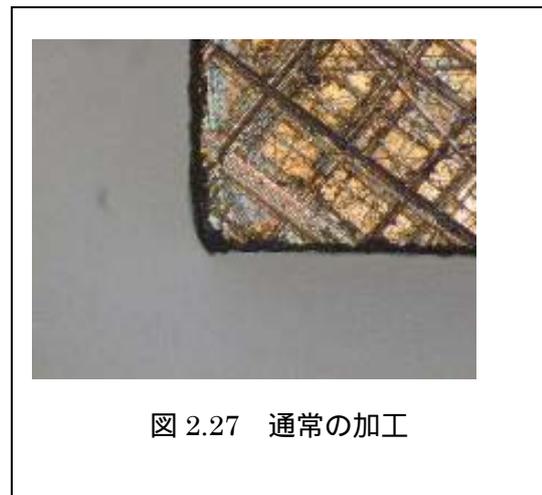
表 2.5 送り量を調整して加工した結果。

	コーナー1	コーナー2	コーナー3	コーナー4	平均
L1	0.016	0.000	0.021	0.017	0.014
L2	0.025	0.000	0.036	0.037	0.025

単位 (mm)

写真は同じ加工速度 6mm / min. で加工を行ったコーナーである。図 2.26 は、オーバーシュート加工法で加工したコーナーであり、図 2.27 は通常の加工を行なったコーナーである。

オーバーシュート加工法で加工した場合、11・12 ダレともにダレ寸法はかなり小さくなっている。写真 (図 2.26) はコーナー2 のもので、測定した限り、ダレ寸法が見られなかったためデータの値は 0.000 とした。他のコーナーにおいても良い結果を出すことが出来たため、オーバーシュート加工法を使用することにより、ファーストカットでダレ発生が非常に少ないコーナー加工を行うことができるのではないかと考えられる。



2.7.4 オーバースhoot加工方法による、60°～140°の加工

(1) 実験目的

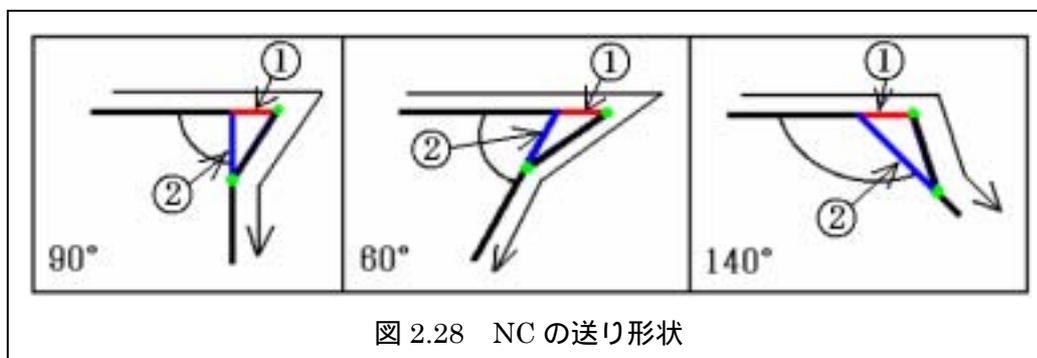
90°コーナーの加工において、オーバースhoot加工方法のダレに対する効果が見られたが、90°以外のコーナーに置いても効果は十分にあると考えられる。よって、60°～140°のコーナーにおけるオーバースhootさせる加工軌道の修正方法と、最適送り量を求めることを目的とする。

(2) 実験方法

まず、60°～140°のコーナーをつけた形状を加工し、それぞれの平均 11・12 ダレを求める。次に、各コーナーのダレ平均を L1・L2 の送り量として加工を行い、ダレを計測する。コーナー先端の尖り具合や、ダレ形状を測定し、次の加工の送り量を調整していく作業を繰り返すことによって、各コーナーに対しての最適な送り量を求める。

オーバースhoot加工方法の先端部分の送り形状は 90°コーナーに関しては比較的簡単に、その形状がイメージできるが、90°以外のコーナーにおける NC の送り形状を、60°、140°コーナーについて検討した結果、図 2.28 のような送り形状となった。

図 2.28 について、加工は矢印の方向に進み、送りに関しては、①の線が、L1 であり、②の線は L2 となる。図の点は、NC 送り加工に必要なコーナー先端の座標であり、計算によってその座標を求めることも出来るが、NC プログラム作成ソフトである三菱・MS20 を使用することにより、簡単に座標を求めることが出来る。



MS20 によるオーバースhoot加工方法のコーナー先端座標、プログラムの作成方法は、図 2.29 によって説明する。

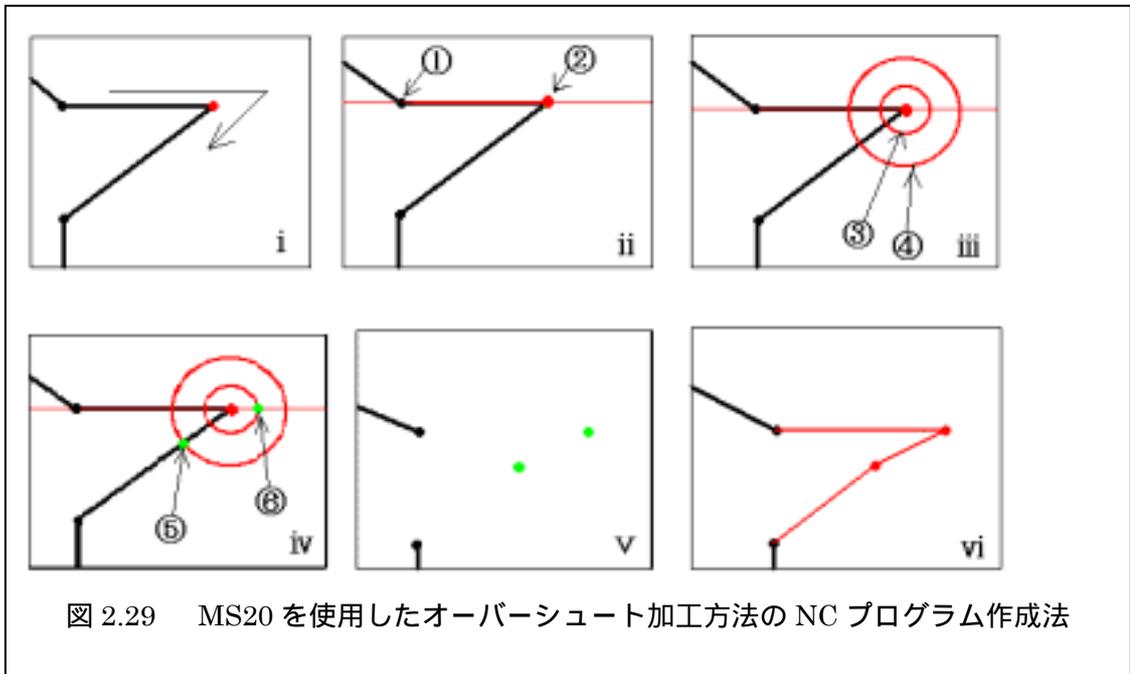


図 2.29 MS20 を使用したオーバーシュート加工方法の NC プログラム作成法

図 2.29 のプログラム作成方法の説明

コーナーの付いた部分。ワイヤの進行方向は矢印の方向で現している。

の点が先端部分の点。 の点と の点で【2点線】を使い2点を通る直線を作る。

コーナー先端の の点を指定し、【円】を使い、円を2つ描く。このとき、円の半径は各コーナーの送り量 $[L1 \cdot L2]$ を代入して作成する。 の円は半径 $L1$ 、 の円は半径 $L2$ 。

始めに【2点線】で描いた直線と、 の円[半径 $L1$ の円]の交点に点を作る(の点)。 の円[半径 $L2$ の円]はコーナーを通過した線との交点で点を作る(の点)。点は交わる線、又は円どうしを選択すれば交点に点を作ることが出来る。

と の点を除いてコーナー部分に作られた線と円を全て削除する。

残った点を【2点線分】で繋ぐ。

(各コーナーのダレ)

まず、60°～140°の平均的なダレを求めるために、各コーナーをそれぞれ8回加工し、その平均を求め、表 2.6 に示した。図 2.30 は、表 2.6 をグラフに表したものである。

表 2.6 各コーナーのダレ平均

	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
11	0.031	0.031	0.031	0.031	0.028	0.023	0.020	0.019	0.018
12	0.174	0.160	0.144	0.130	0.098	0.089	0.057	0.043	0.032

単位 (mm)

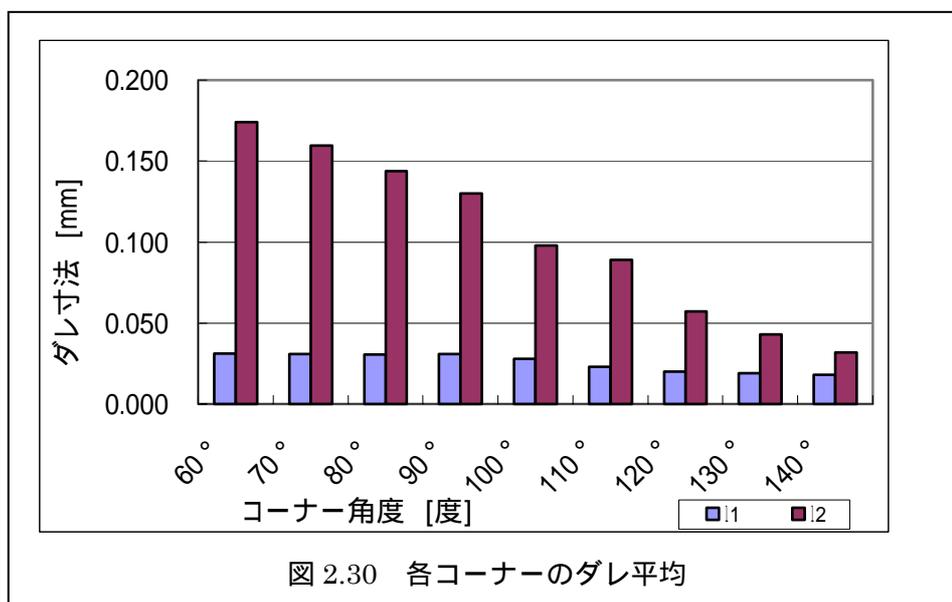


図 2.30 各コーナーのダレ平均

各コーナーのダレ平均 11・12 を基に、これを送り量としてオーバーシュート加工法を行なうが、発生したダレ寸法の平均によって、次の加工の送り量を調整する。送り量は、11 側を L1、12 側を L2 として表す。NC 送り加工は各コーナーの送り量に対して 4 回加工を行い、計測の結果その 4 ヶ所のダレ 11・12 の平均が、それぞれ 0.010mm 未満になった時の L1・L2 をそのコーナーの最適な送り量とした。

(3) 加工条件 E パック No379 オフセット量 131 μ m

加工速度 6mm / min

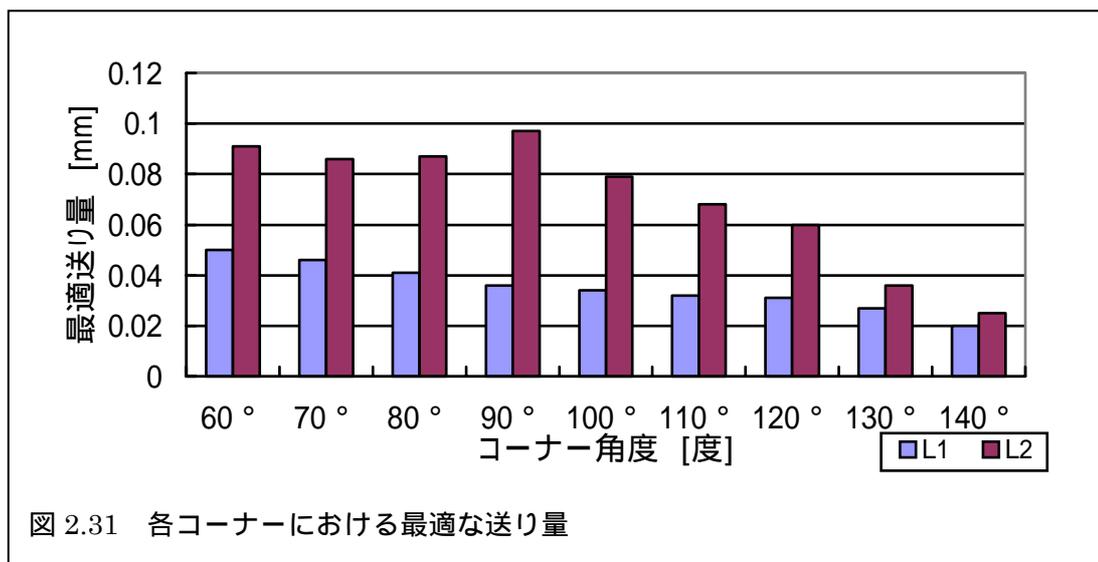
(4) 加工結果

最適な送り量を求めるため、繰り返し加工を行った結果、各コーナーにおける送り量 L1・L2 は、以下の表 2.7、グラフ (図 2.31) のようになった。

表 2.7 各コーナーにおける最適な送り量

	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
L1	0.050	0.046	0.041	0.036	0.034	0.032	0.031	0.027	0.020
L2	0.091	0.086	0.087	0.097	0.079	0.068	0.061	0.036	0.025

単位 (mm)



最適な送り量について、L1 はコーナー角度が大きくなるに従って少なくなり、L2 ダレに関しても全体的に L1 と同じような傾向にあるといえる。

最適送り量 L1 が、コーナー角度が小さくなるに従って大きくなったが、これは図 2.32 のように先端が加工されるためだと考えられ、コーナー角度が小さくなれば、先端の座標からワイヤの中心までが長くなり、これと同時に L2 も長くなるということが説明できる。

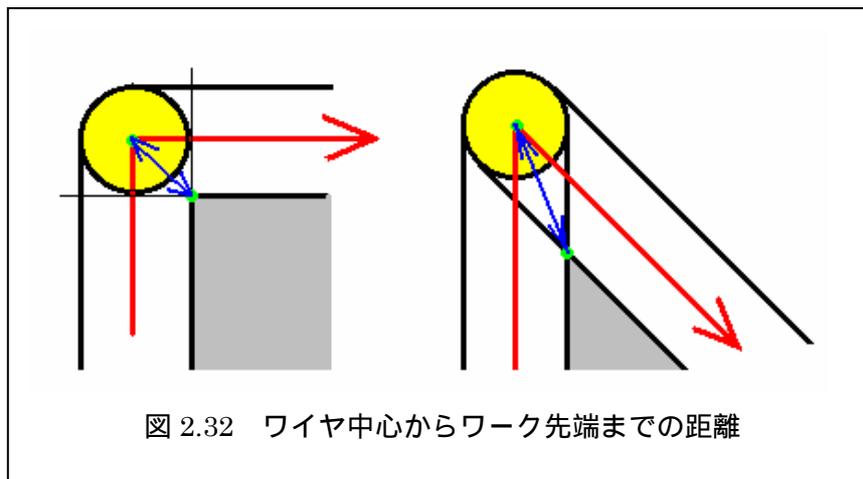
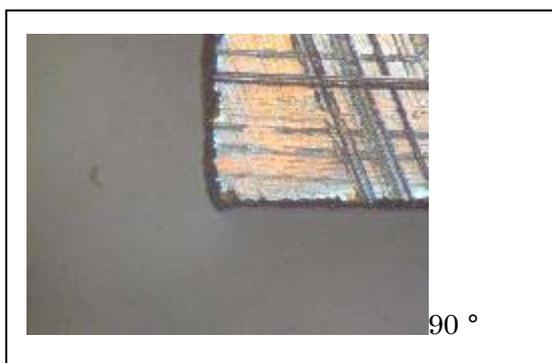
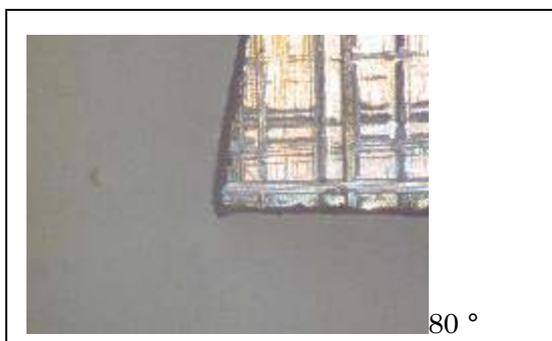
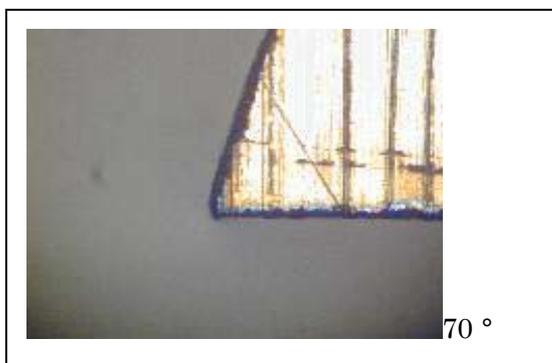
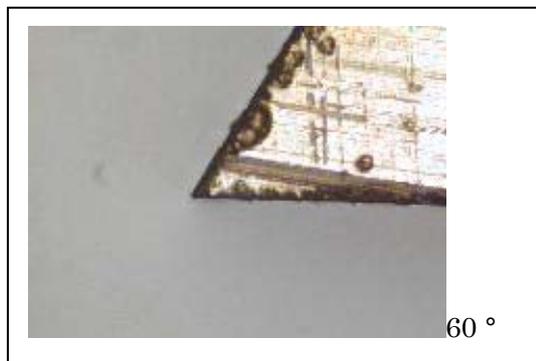


図 2.32 ワイヤ中心からワーク先端までの距離

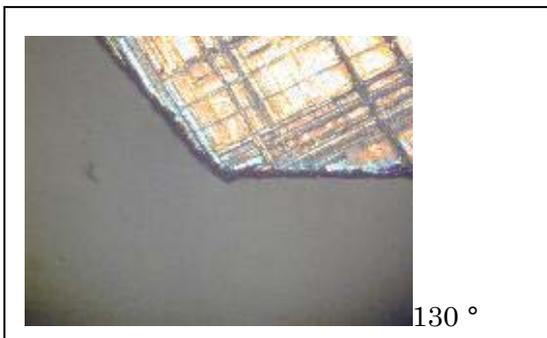
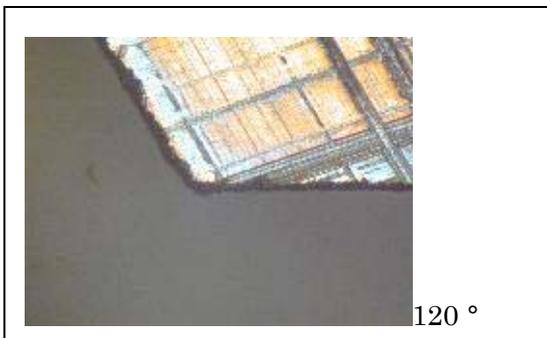
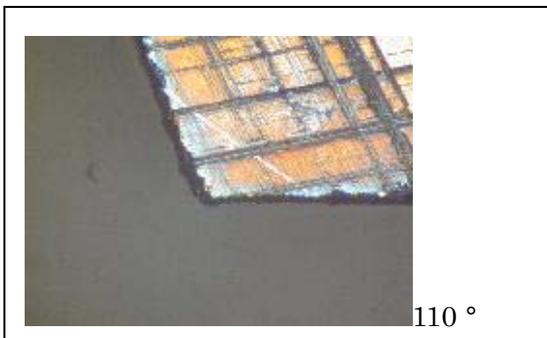
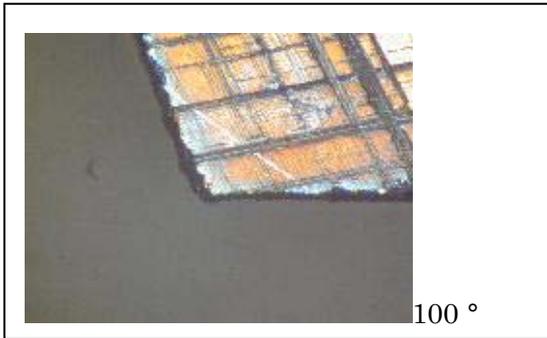
以下の写真は、通常の加工（加工速度 6mm / min）とオーバーシュート加工方法（加工速度 6mm / min）で加工されたコーナーを比較したものである。

通常の加工

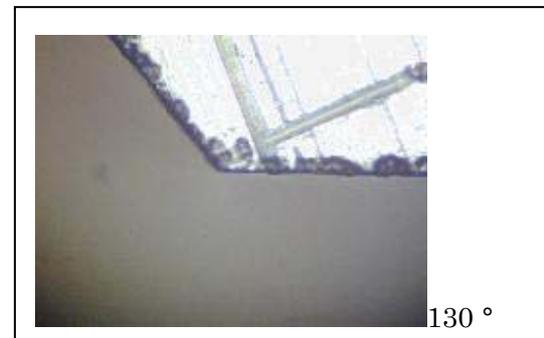
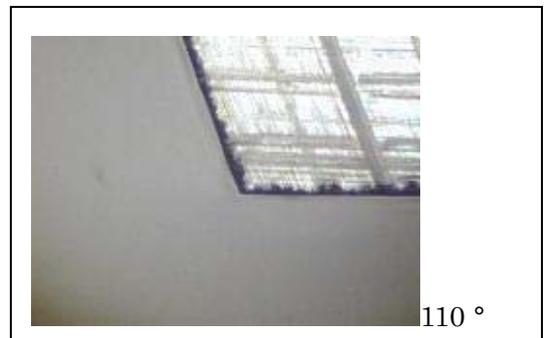
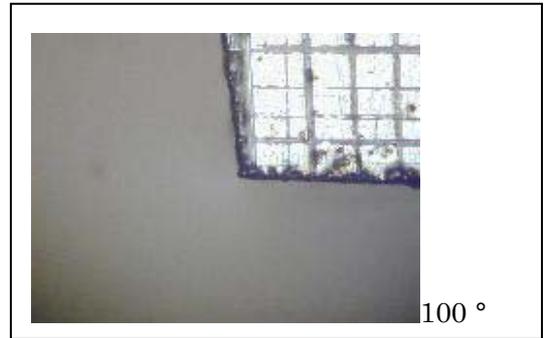
オーバーシュート加工方法



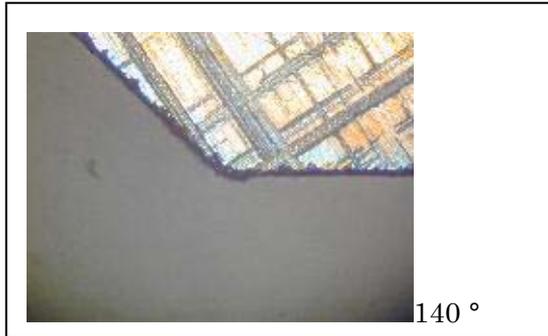
通常の加工



オーバーシュート加工方法



通常の加工



オーバーシュート加工方法



(5) 考察

写真を見比べてもはっきりと分かるように、オーバーシュート加工方法で加工されたコーナーは輪郭形状の崩れが少なく、通常のファーストカットとほとんど同じ時間で加工を行うことができるため、セカンドカット加工と比較すると大幅な時間短縮が可能となる。

ダレの原因は、ワイヤの遅れ、放電圧力、加工面積の差、等の要因があげられるが、このなかで最も大きな原因と考えられるワイヤのたわみに注目し、これをうまく補正させたことで、効果を得ることができたと考えられる。しかしながら、ワイヤのたわみ自体に注目すると、ドゥエル加工法においても、同じような結果を得ることができそうに思われるが、やはり、たわみ以外の原因によってダレ形状を抑える効果が下がってしまうのであろう。

これに対し、オーバーシュート加工法によって、ダレ形状の発生が抑えられているということは、ワイヤのたわみだけでなく、その他の原因をクリアする加工軌道をとっていると考えられる。

2.7.5 オーバースhoot加工法の連続精度

(1) 実験目的

ダレを抑える効果の見られたオーバースhoot加工法であるが、60°～140°コーナーの加工を10回ずつ加工し、連続加工精度について調査する。

(2) 実験方法

60°～140°までのコーナーをオーバースhoot加工法で、10回ずつ加工し、ダレ寸法の発生割合を求める。

(3) 実験条件

Eパック No379 オフセット量 131μm 加工速度 6mm/min 定速送り
コーナー部分はオーバースhoot加工法で加工

(4) 結果

表 2.8 は、60°～140°コーナーを10回ずつオーバースhoot加工法で加工した後、ダレ寸法を測定し、コーナーごとの平均値で表し、図 2.33 に結果をグラフに表した。

表 2.8 オーバースhoot加工法を10回行った場合のダレ寸法平均

コーナー角度	60°	70°	80°	90°	100°
11	0.0058	0.0031	0.0059	0.0036	0.0056
12	0.0057	0.0022	0.0056	0.0071	0.0084
コーナー角度	110°	120°	130°	140°	単位 [mm]
11	0.0042	0.0008	0.002	0.0061	
12	0.0082	0.0047	0.0066	0.0057	

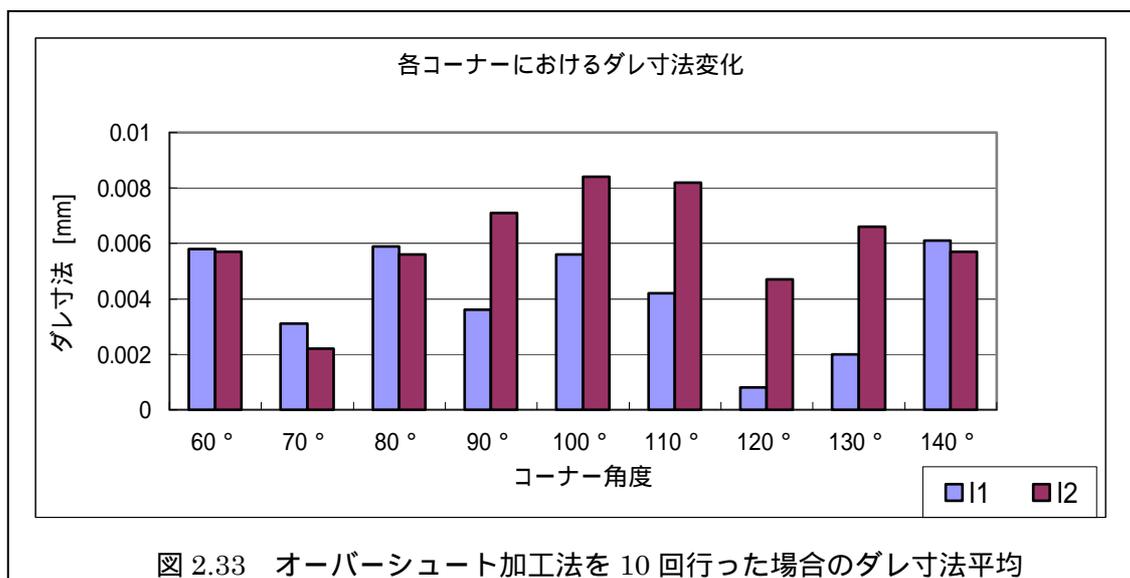


図 2.33 オーバースhoot加工法を10回行った場合のダレ寸法平均

(5) 考察

ダレ寸法の測定を行った結果、オーバーシュート加工後のコーナーに発生したダレ形状は、非常に小さく、測定倍率 100 倍において、ダレ形状が見られないコーナーも見られた。また、ダレ形状とは逆に、コーナー先端を取りこぼした形状も見られた。

10 回加工を行ったダレ寸法の平均値においては、ダレ寸法 11、12 とともに 10 μm 以下に収めることができたが、加工されたコーナーの中には、12 ダレで 20 μm 程度残っているものも見られた。

オーバーシュート加工法は、通常加工に比べ、輪郭形状の崩れを非常に小さく加工することができたが、1st カットの段階においては、コーナー部分での加工溝幅の変化や、ワイヤの振動などが影響し、ばらつきが生じたと考えられる。

以下に、従来加工法との比較を行った。

図 2.34 は、オーバーシュート加工法のダレに対する効果を、口の字型加工法とドゥエル加工法の比較を行った。

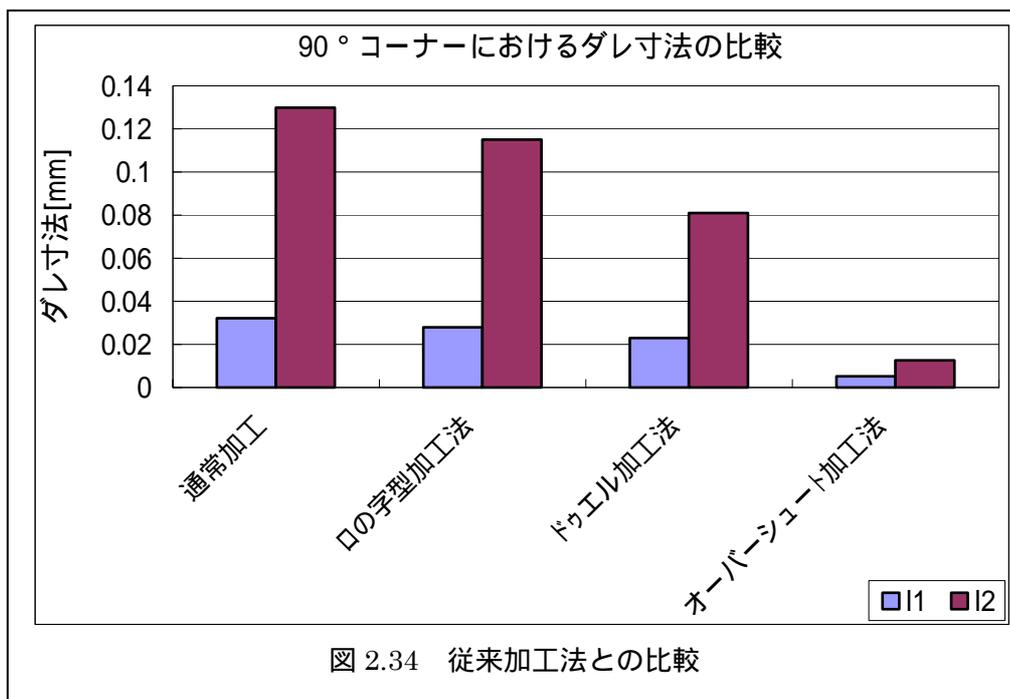


図 2.34 は、90° コーナーにおいて、各加工方法とも、最もダレを小さくすることができた場合の加工条件で加工を行った結果で比較を行っているが、この図から、オーバーシュート加工法が、ダレの発生を抑える効果が従来加工法に比べて高いことが分かる。

2.7.6 オーバーシュート加工後のコーナーにおける垂直方向のダレ寸法変化

(1) 実験目的

従来加工法に比べ、オーバーシュート加工法はダレの発生を抑える効果が高いことが分かったが、ダレ寸法の測定を図 2.35 のように上面、中面、下面でダレ寸法がどのように変化するか通常加工と比較を行う。

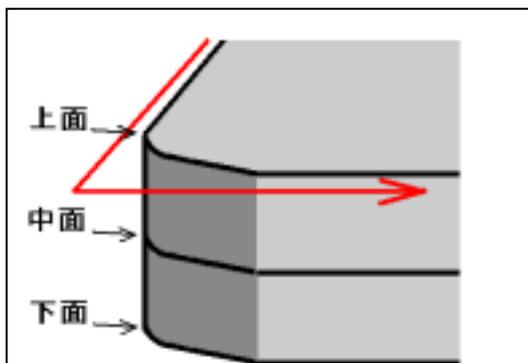


図 2.35 垂直方向のダレの変化

(2) 実験方法

5mm 厚のワークを 2 枚重ね、90° コーナーを通常加工とオーバーシュート加工法で加工する。加工後、コーナー部分の測定を行うが、図 2.36 のとおり上面、中面、下面に加工されたコーナーのダレ形状の測定を行う。

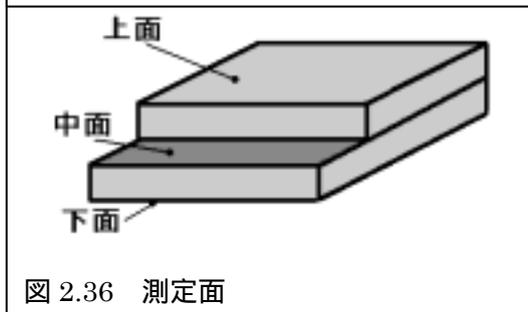


図 2.36 測定面

(3) 実験条件

E パック No379 オフセット量 131 μm 加工速度 6mm / min 定速送り

4 箇所のコーナー加工をそれぞれ通常加工とオーバーシュート加工法で加工を行い、ダレ寸法を測定。

(4) 実験結果

表 2.9 に通常加工とオーバーシュート加工のダレ寸法の測定結果の平均を表した。

表 2.9 通常加工とオーバーシュート加工の平均ダレ寸法

	通常加工の場合			オーバーシュート加工の場合		
	上面	中面	下面	上面	中面	下面
11	0.032	0.039	0.026	0.008	0.010	0.008
12	0.132	0.227	0.132	0.011	0.014	0.010

単位[mm]

(5) 考察

ワークの上面から中面、下面へと垂直方向に位置を変えて測定を行ったことで、ダレ形状に変化があることが分かった。これは、ワイヤのたわみが、中心部分で最も大きくなっていると考えられることから、中面では上面より長いダレが発生していると考えられる。

通常加工が、上面、中面、下面でダレ寸法の測定値に大きな差があるのに対し、オーバーシュート加工法では、その差が非常に小さいことが分かった。

この結果から、オーバーシュート加工法では、加工軌道の修正により、コーナー先端部分でのワイヤのたわみを通常加工に比べて小さい状態で加工することができているのではないかと考えられる

2.8 結言

コーナー部分のダレ形状の発生において従来加工法の調査を行った結果、今回使用した加工条件においてもダレ寸法を小さくできる効果が見られた。ダレの発生原因については、前述のとおりワイヤのたわみ、放電反力、加工面積の差であるが、今回提案したオーバーシュート加工法は、ワイヤのたわみに注目しコーナー先端部分で加工軌道の修正を行い、発生原因であるワイヤのたわみを補正させる加工方法である。

コーナー加工シミュレーションソフトによって、オーバーシュート加工法の検討を行った結果、通常加工に比べて、コーナー先端の輪郭形状の崩れを小さく抑えることが分かった。

オーバーシュート加工法の加工実験を行った結果、コーナー先端に発生するダレ形状を小さく抑えることが可能となり、従来加工法と比較した結果ダレに対する効果が非常に高いことが分かった。このことから、ワイヤのたわみ量を補正させるオーバーシュート加工法によって、ダレ形状の発生を大幅に抑えることができたということは、荒加工の段階におけるダレ寸法の発生原因は、ワイヤのたわみが最も大きな原因であることが推測される。また、ダレ形状の変化を加工断面の上面、中面、下面で測定した結果、通常加工は、中面で12ダレの寸法が長く発生していたのに対し、オーバーシュート加工法で加工されたコーナーは、ワーク上面、中面、下面のダレ寸法の差が小さいことがわかった。

3.3 研究目的

ワイヤカット放電加工機はテーパカット機能の搭載によって部品加工が可能となり、その必要に応じた高精度テーパ加工技術の重要性がよりいっそう高まっている。

これに対し、広角テーパ加工においては、ワイヤを支持するダイヤモンドダイスと、ワイヤとの接触等の要因によりワイヤが振動し、加工面に筋が発生することや、ダイヤモンドダイスのワイヤ支持位置の変化、ワイヤ自体の強さによって目標テーパよりプラステーパに傾いてしまうことなどから、テーパ加工精度の悪化が問題視されている。

本研究においては、テーパ加工誤差の発生原因の追究と、Z軸諸元出し段階での上下ダイス間距離に及ぼす誤差の要因に対して、数式や、解析ソフトを用いることにより誤差の発生割合を求め、改善策を検討するなど、テーパカット加工の高精度化を目的とした研究を行った。

3.4 実験機器及び加工条件

(実験機器)

ワイヤカット放電加工機 三菱 DIAX SX10 (第2章 図2.8 参照)

垂直度計 図3.3 (測定刃の高さ 下部5mm 上部55mm)

機械に付属の垂直度計を用い、加工テーブル面にこれを固定し、NC制御装置の標準機能である垂直測定プログラムで、上下測定刃(図3.2の赤丸部分)にワイヤを接触させ、自動計測・調整を行わせることができる。また、上下ダイス間距離を求める諸元出しにおいてもこの垂直度計を用いる。

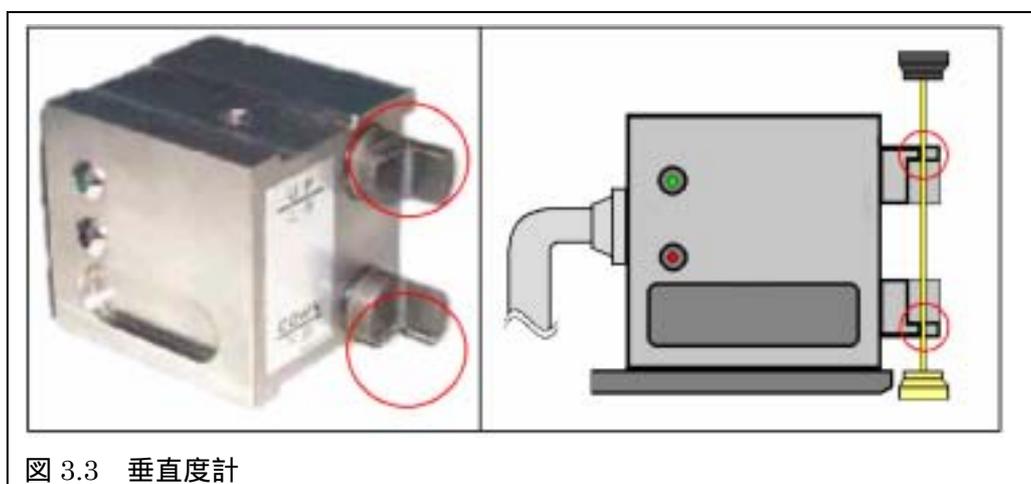
ワイヤ電極 沖電線 OB20P 0.2mm 黄銅製ワイヤ

加工材料 SKD-11 板圧 10mm

測定顕微鏡 MITUTOYO 製 TF-510F (第2章 図2.9 参照)

ブロックゲージ MITUTOYO 製

有限要素法解析ソフト ANSYS5.7



(加工条件)

テーパ加工を行うにあたり、加工条件を以下の表 3.1 に示したように設定した。

表 3.1 加工条件表

	テーパ加工	テーパ[5度]	テーパ[10度]	テーパ[15度]
使用テーパ範囲	1~20度	1~6度	7~12度	13~20度
Eパック	200	201	202	203
VO	12	12	12	12
IP	6(-1)	7	5(-2)	5(-2)
OFF	1	1	1	1
SA	3	3	3	2(-1)
SB	12(+2)	12(+2)	13(+3)	13(+3)
WS	12	12	12	12
WT	7(-1)	7(-1)	6(-2)	5(-3)
PT	14	14	14	14
LQ	2	2	2	2
LR	9	9	9	9
VG	49(+7)	48(+5)	48(+5)	53(+10)
SC	1	1	1	1
FS	1	1	1	1
AE	21	21	21	21
SE	1	1	1	1
FA	6	6	5	3.6

3.5 諸元出し

3.5.1 Z軸諸元

テーパ加工時のZ軸諸元の設定

テーパカットを行うにあたり、図 3.4 に示すとおり、Z軸の各諸元値を求めておく必要がある。Z軸諸元値については、Z1、Z2、Z3、Z4、Z5があり、加工に先立ってあらかじめ求めておき、制御装置に基礎データとして入力しておく必要がある。以下に、各諸元値とその意味を説明する。

Z1：プログラム寸法高さ

テーブル面からの高さでプログラムの高さを指定。テーパ加工時のワイヤの回転中心高さを与える。

Z2：速度指令高さ

定速送り加工時、指令送り速度を与える高さを指定する。

Z3：上部ガイドスパン

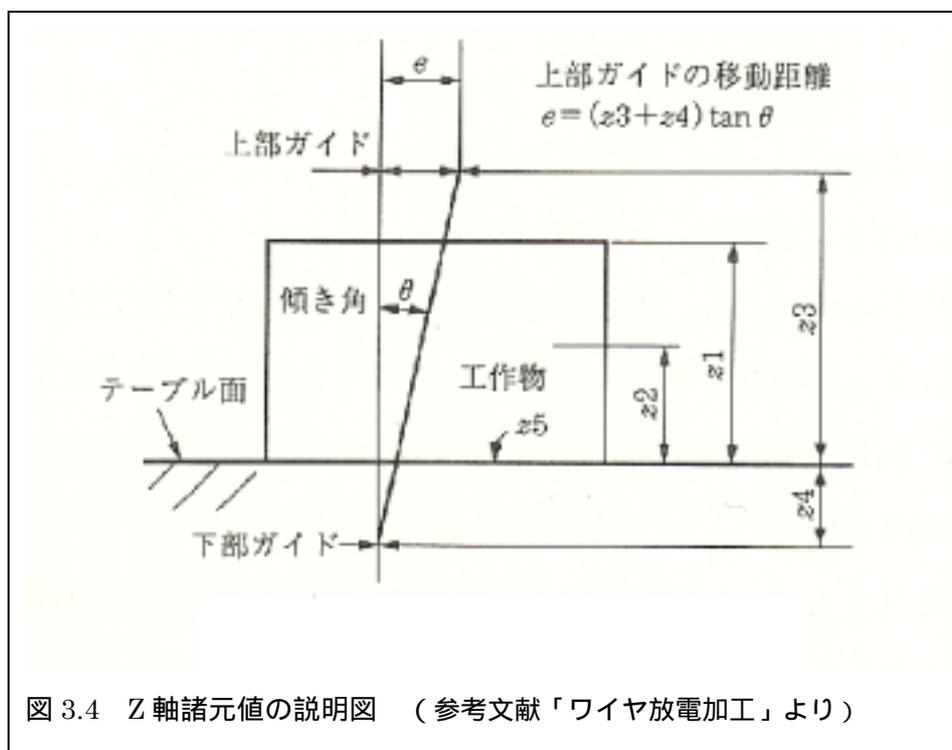
テーブル面から上部ガイドまでの距離。Z軸の上昇下降に同期して変化する。

Z4：下部ガイドスパン

テーブル面から下部ガイドまでの距離。

Z5：任意形状指定高さ

上下任意形状加工を行うときの任意形状の高さを指定。通常のテーパ加工の際には、Z1とZ5の間で指定されたテーパ角度の計算が行われる。



3.5.2 諸元出し方法

テーパ諸元値を加工機に与えることにより、テーパカット加工を行うことができる。以下にテーパ諸元出しを行う手順を述べる。

まず、仮の値として、 $\theta = 1^\circ$ 、 $g = 80\text{mm}$ を設定して上部ダイスの移動量 e を計算する。

例) $e = 80 \times \tan 1^\circ = 1.4$

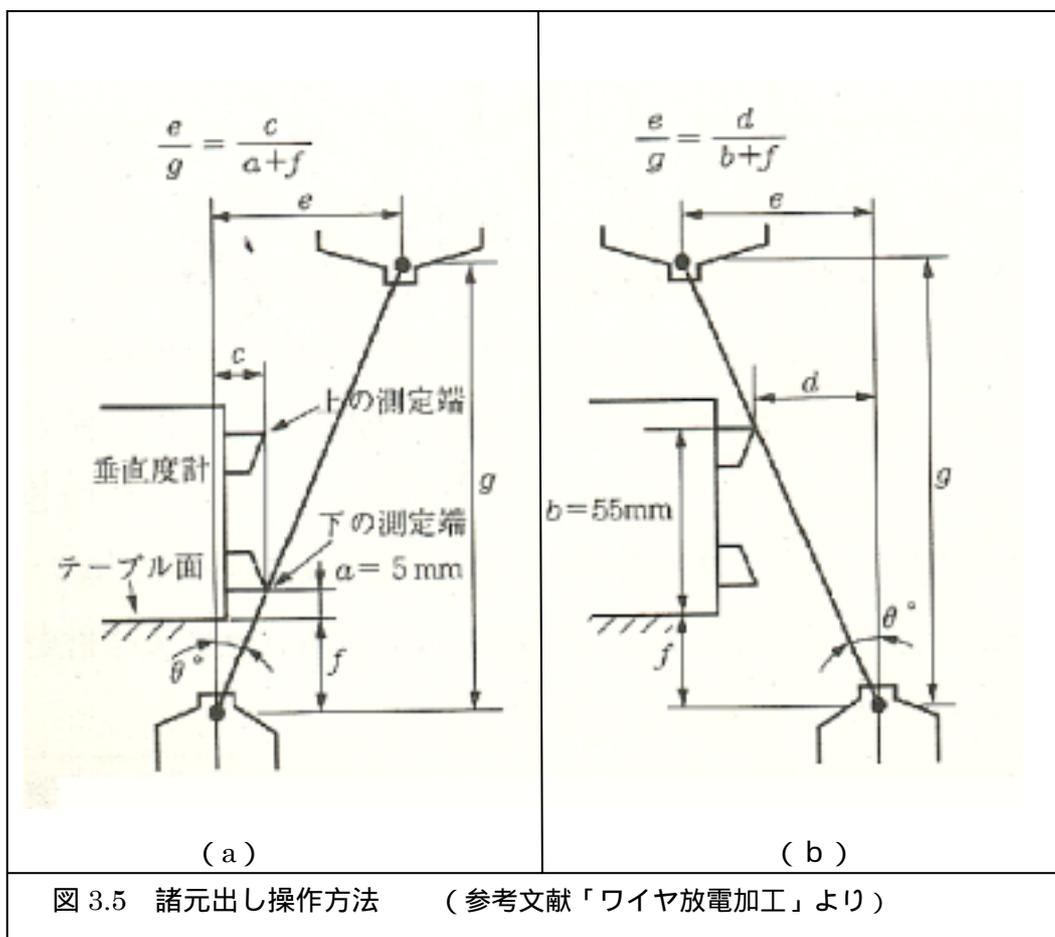
ワイヤが垂直で垂直度計の測定端に接触している状態で U 軸を e の値だけ移動し、ワイヤが離れるので、垂直度計の下の測定端に接触するまで、X 軸をマイナス方向に移動させ、その距離 c を求める。図 3.5 (a)

次に、ワイヤが垂直度計から十分離れるように X 軸をプラス方向に移動させ、U 軸を上で求めた e の値だけマイナス方向に移動し、ワイヤの傾きを逆の方向にする。この状態から、X 軸を再度マイナス方向にワイヤが上の測定端に接触するまで移動させ、このときの X 軸の移動量 d を求める。図 3.5 (b)

以上の操作で求めた値の間には、次の関係式が成り立ち、これから f (すなわち Z4) と、 $g - f$ (すなわち Z3) とを次式から求めることができる。

$$f = bc - ad / (d - c)$$

$$g = e (a + f) / c$$



ここで、a：テーブル面から垂直度計の下の測定端までの距離

b：テーブル面から垂直度計の上の測定端までの距離

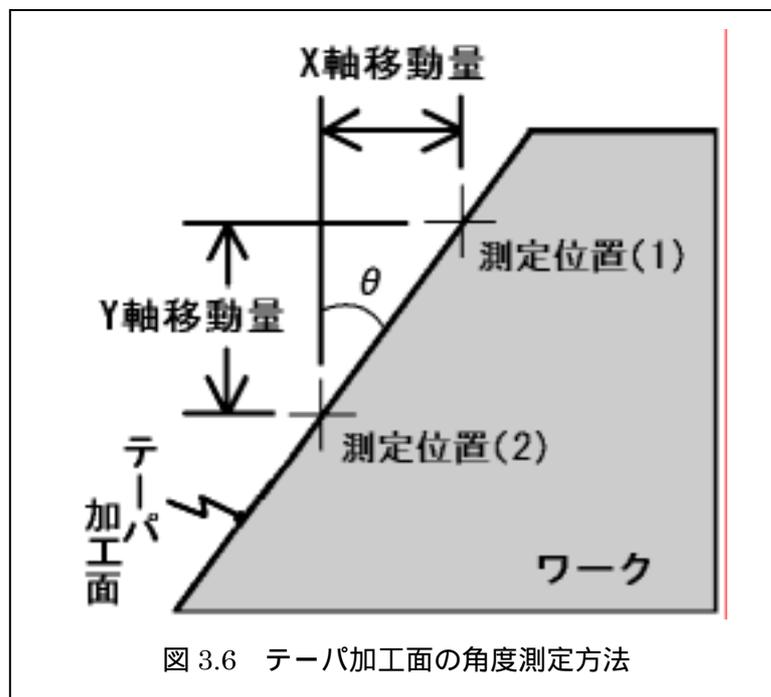
今回使用した垂直時計については、 $a = 5$ 、 $b = 55\text{mm}$ であり、これらの値を上式に代入することで $Z4$ および $Z3$ を算出することができる。

今回使用した、ワイヤ放電加工機においても、この諸元だしを自動設定するソフトプログラムが組み込まれており、ワイヤの垂直度調整後、垂直度計の測定端近傍にワイヤを近づけて、このプログラムをスタートすれば、自動計算し $Z3$ 、 $Z4$ の読み込みを行う。

3.6 テーパ角度の測定方法

3.6.1 テーパ加工面の角度測定方法

測定顕微鏡を用いてテーパ角度の測定を行う方法について説明する。図 3.6 のようにテーパ加工面に対して、測定位置 (1) に位置をあわせ、そこから測定位置 (2) までの X 軸と Y 軸移動量から、 \tan^{-1} を用い、 $\theta = \tan^{-1} (\text{X 軸移動量} / \text{Y 軸移動量})$ でテーパ角度を求める。



3.6.2 ワイヤの傾き角度の測定方法

図 3.7 のように、ブロックゲージと測定刃を用いて、ワイヤの傾き角度を求める。

まず、測定刃をテーブル上に固定し、測定刃の端面の位置決めを行い、その座標を読み取る。(a) この状態から、測定刃の高さをブロックゲージを用いて変化させ、初めと同様に端面位置決めを行う。(b)

その結果、端面位置決め座標値の差と、ブロックゲージの高さから、ワイヤの傾きが求まる。

$$\text{ワイヤの傾き角度} = \tan^{-1} (\text{位置決め座標差} / \text{ブロックゲージ高さ})$$

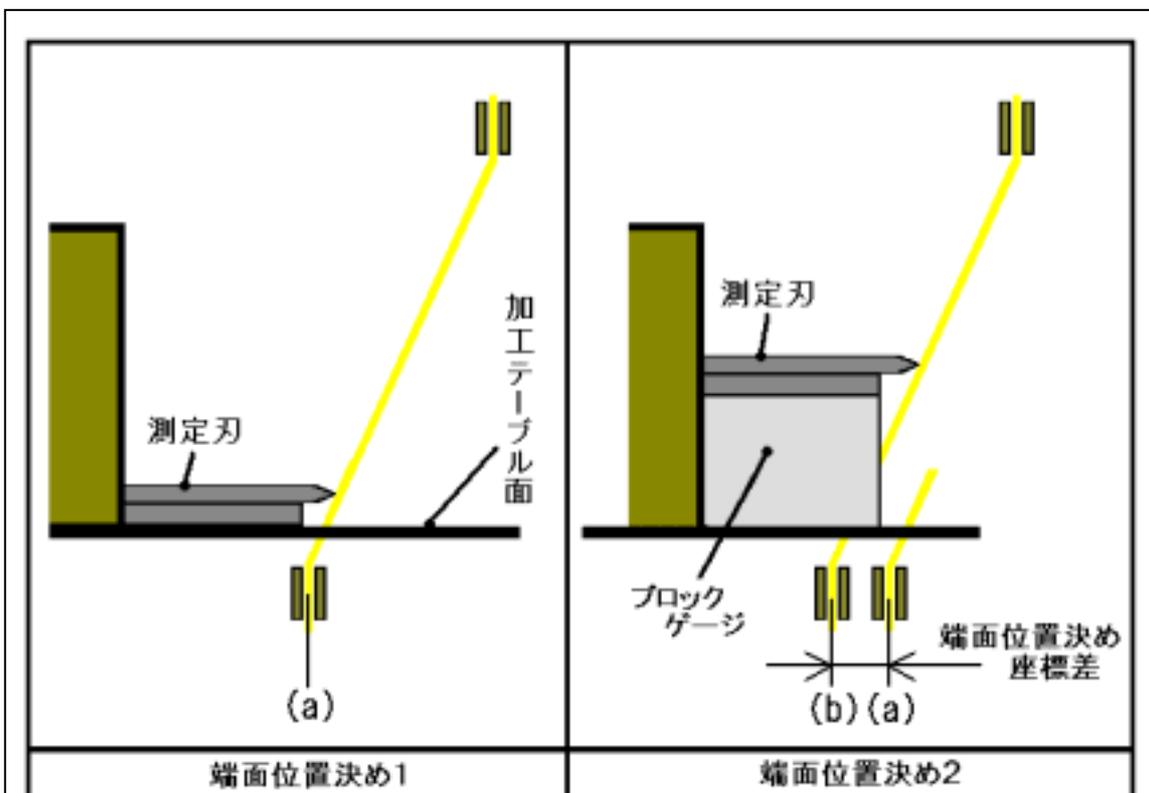


図 3.7 ワイヤの傾き測定方法

3.7 テーパカット加工実験

3.7.1 テーパ加工後の角度の調査実験

(1) 実験目的

テーパ加工の調査実験として、加工後のテーパ面の角度調査を行う。テーパ角度に対する加工誤差の変化を求めることを目的とした。

(2) 実験方法

自動諸元出しを行い、(諸元出し角度 5 度) その諸元値を用いて 1~20 度までのテーパ加工を行い、テーパ角度の測定を行う。加工後のテーパ角の測定は、測定顕微鏡を用い、方法は、前記の図 3.6 に現した通り、X 軸、Y 軸の移動量から求める。加工後のテーパ面の測定は、Y 軸を 3mm 移動させた場合の X 軸方向の移動量を求め、 $\theta = \tan^{-1} (X \text{ 軸方向の移動量} / 3\text{mm})$ でテーパ角度を求める。

(3) 実験条件

Z 軸諸元出しは、自動諸元出し操作にて行った。諸元出し角度 5.001 度

諸元値の値 Z3=18.457mm Z3=7.937mm Z4=7.939mm

加工条件

テーパ加工は、加工条件一定で E200、加工速度(最適送り) オフセット量 133 μm で加工を行った。

(4) 実験結果

表 3.2 に 1~5 度、10 度 15 度 20 度の測定結果を示す。表 3.3 は、テーパ角度に対する角度誤差をまとめて表し、図 3.8 はこれをグラフに表したものである。

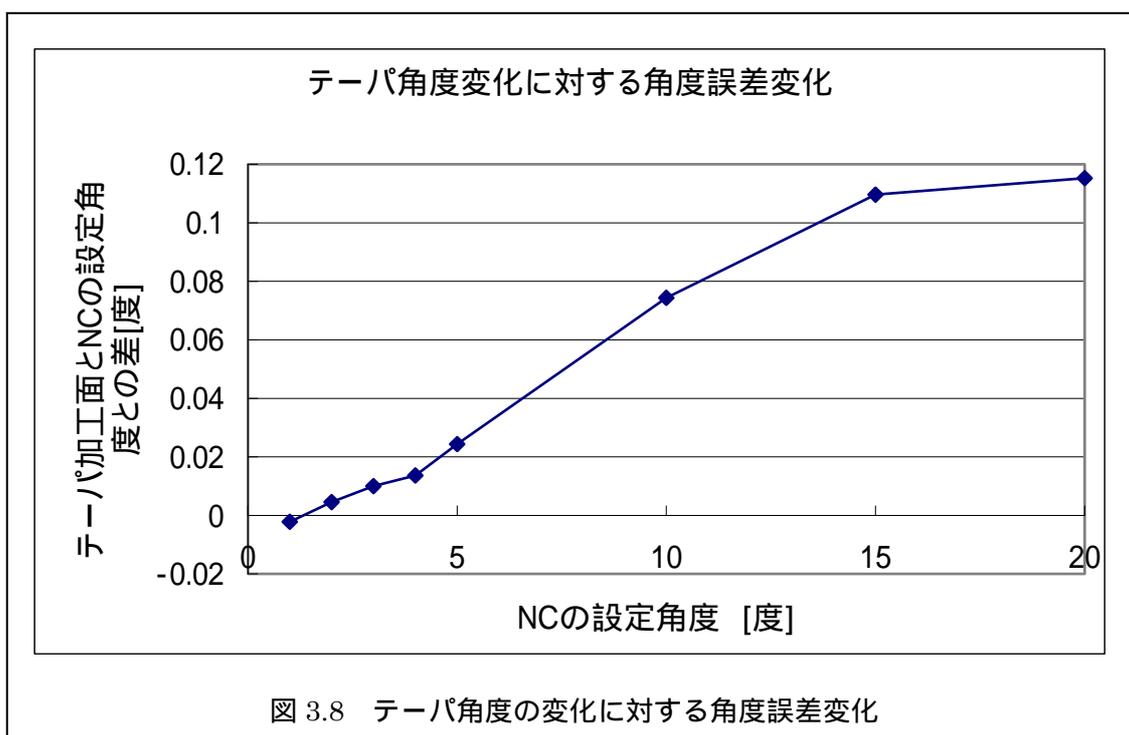
表 3.2 測定結果と角度誤差

NC での設定角度(度)	1	角度測定の Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.052	0.053	0.052	0.052
測定角度 (度)	0.993027	1.01212	0.993027	0.993027
設定角度との差 (度)	-0.00697	0.01212	-0.00697	-0.00697
測定角度平均 (度)	0.997801	設定角度との差平均(度)		-0.0022
NC での設定角度(度)	2	角度測定の Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.104	0.106	0.105	0.105
測定角度 (度)	1.985459	2.023609	2.004534	2.004534
設定角度との差 (度)	-0.01454	0.023609	0.004534	0.004534
測定角度平均 (度)	2.004534	設定角度との差平均(度)		0.004534

NC での設定角度 (度)	3	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.158	0.158	0.157	0.158
測定角度 (度)	3.014792	3.014792	2.995746	3.014792
設定角度との差 (度)	0.014792	0.014792	-0.00425	0.014792
測定角度平均 (度)	3.010031	設定角度との差平均 (度)		0.010031
NC での設定角度 (度)	4	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.21	0.213	0.21	0.209
測定角度 (度)	4.004173	4.061185	4.004173	3.985167
設定角度との差 (度)	0.004173	0.061185	0.004173	-0.01483
測定角度平均 (度)	4.013675	設定角度との差平均 (度)		0.013675
NC での設定角度 (度)	5	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.264	0.265	0.262	0.264
測定角度 (度)	5.029074	5.048025	4.991168	5.029074
設定角度との差 (度)	0.029074	0.048025	-0.00883	0.029074
測定角度平均 (度)	5.024335	設定角度との差平均 (度)		0.024335
NC での設定角度 (度)	10	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.532	0.534	0.532	0.534
測定角度 (度)	10.05591	10.09294	10.05591	10.09294
設定角度との差 (度)	0.055911	0.09294	0.055911	0.09294
測定角度平均 (度)	10.07443	設定角度との差平均 (度)		0.074426
NC での設定角度 (度)	15	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	0.81	0.811	0.809	0.81
測定角度 (度)	15.10958	15.12737	15.09177	15.10958
設定角度との差 (度)	0.109575	0.127375	0.091773	0.109575
測定角度平均 (度)	15.10957	設定角度との差平均 (度)		0.109574
NC での設定角度 (度)	20	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	1.098	1.097	1.1	1.1
測定角度 (度)	20.10263	20.08578	20.1363	20.1363
設定角度との差 (度)	0.102626	0.085782	0.136303	0.136303
測定角度平均 (度)	20.11525	設定角度との差平均 (度)		0.115254

表 3.3 テーパ角度変化に対する角度誤差

NC での設定角度 (度)	誤差平均 (度)	NC での設定角度 (度)	誤差平均 (度)
1	-0.002199411	5	0.024334936
2	0.004533921	10	0.074425648
3	0.010030801	15	0.109574376
4	0.013674566	20	0.115253543



(5) 考察

加工条件一定のまま、1~20度までのテーパカットを行ったが、テーパ角度が大きくなるにしたがって、角度誤差も大きくなるのが分かる。1度テーパに関しては、-0.002度とわずかにマイナステーパとなったが、角度誤差としては非常に小さい。20度テーパに関しては0.115度と大きな誤差が発生している。この原因は、ワイヤを大きく傾けた場合に、ダイヤモンドダイスでのワイヤ支点が変化したことで、見かけ上のダイス間距離が変化し、誤差を大きくしてしまっていると考えられる。今回は、加工条件一定で1~20度テーパの加工を行ってみたが、テーパ角度が大きくなるにつれて加工電圧の変動が激しくなり、短絡現象も見られた。これは、ワイヤを支えるダイヤモンドダイスと、ワイヤ間の摩擦が大きくなり、ワイヤが振動した結果、加工不安定となり短絡現象をおこしたものと考えられる。

3.7.2 ワイヤテンションの変化に対するテーパ誤差と加工状態の変化

(1) 実験目的

角度誤差の調査実験の段階では、2～20度テーパまでを加工条件をすべて一定で加工を行っていたが、テーパ角度が大きくなった場合、加工が不安定になる傾向が見られた。この原因としては、テーパ角度が大きい場合のダイヤモンドダイスとワイヤの摩擦が大きくなっていることが考えられる。ワイヤのテンションを変化させて加工を行った場合の加工の安定性について検討を行う。

(2) 実験方法

加工条件を一定とし、ワイヤテンションのみを変化させて20度テーパの加工を行う。加工後、テーパ面の角度測定を行い、ワイヤテンションの変化に対する角度誤差の変化を求め、また、加工中の電圧の変化を比較するため、テーパ加工途中でワイヤテンションを変化させ、VFモニターを使用し、加工中の加工電圧の変化を測定する。

(3) 実験条件

Z軸の諸元値だしは、自動諸元出しで求めた。諸元出し角度 5.000度

各諸元値は、Z3=18.457mm Z3=7.937mm Z4=7.939mm Z5=10.384mm

加工条件はE200を用い、ワイヤテンションは設定ノッチで5～8のノッチまで変化させて加工を行う。

(4) 実験結果

以下に、各ワイヤテンションに対する角度測定結果と角度誤差を表に示した。

表 3.4 (ワイヤテンション設定値 5)

NC の設定角度 (度)	20	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	1.113	1.112	1.113	1.113
測定角度 (度)	20.35485	20.33806	20.35485	20.35485
設定角度との差 (度)	0.354854	0.338064	0.354854	0.354854
測定角度平均 (度)	20.35066	設定角度との差平均 (度)		0.350656

表 3.5 (ワイヤテンション設定値 6)

NC の設定角度 (度)	20	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	1.106	1.105	1.107	1.107
測定角度 (度)	20.23725	20.22043	20.25406	20.25406
設定角度との差 (度)	0.237249	0.220434	0.254061	0.254061
測定角度平均 (度)	20.24145	設定角度との差平均 (度)		0.241451

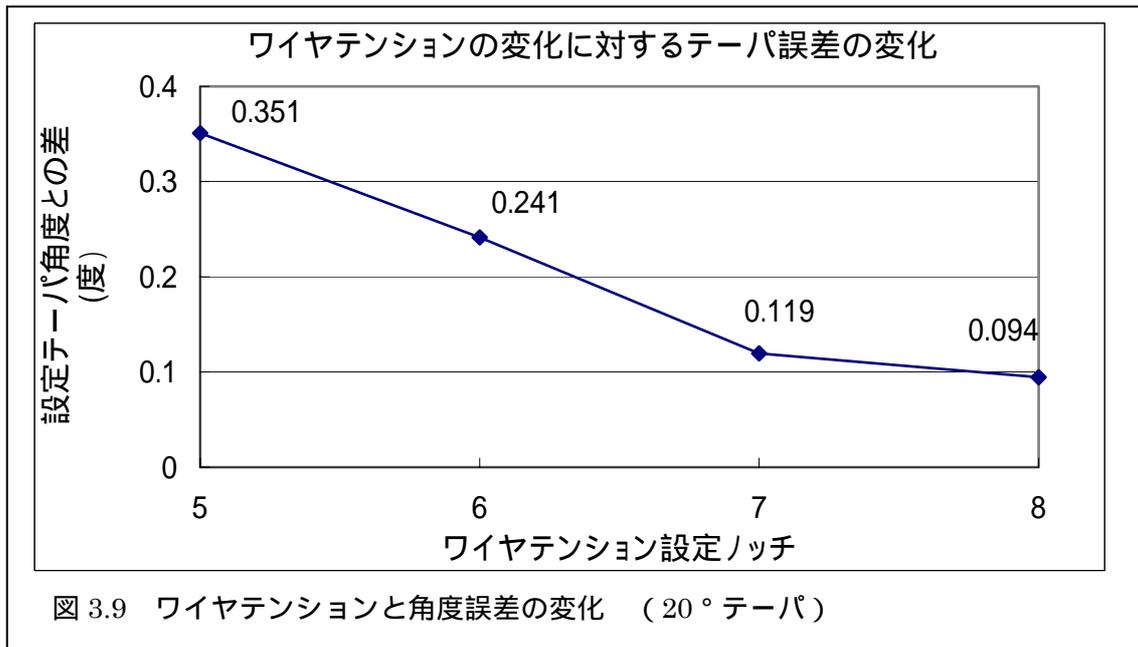
表 3.6 (ワイヤテンション設定値 7)

NC の設定角度 (度)	20	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	1.098	1.098	1.1	1.1
測定角度 (度)	20.10263	20.10263	20.1363	20.1363
設定角度との差 (度)	0.102626	0.102626	0.136303	0.136303
測定角度平均 (度)	20.11946	設定角度との差平均 (度)		0.119465

表 3.7 (ワイヤテンション設定値 8)

NC の設定角度 (度)	20	角度測定 of Y 軸方向の移動量は、3mm		
X 軸測定長さ (mm)	1.098	1.097	1.098	1.097
測定角度 (度)	20.10263	20.08578	20.10263	20.08578
設定角度との差 (度)	0.102626	0.085782	0.102626	0.085782
測定角度平均 (度)	20.0942	設定角度との差平均 (度)		0.094204

図 3.9 にワイヤテンションの変化に対するテーパ誤差の変化をグラフに表した。



ワイヤテンションを変化に対する加工電圧変化

ワイヤテンションを変化させた場合の加工電圧、加工速度の変化と短絡の有無をVFモニターによって測定した。測定結果を図 3.10 と図 3.11 に表した。図 3.10 はテーパカット面でワイヤテンションを順に変化をさせた場合の加工電圧の変化を3次元で表し、図 3.11 は、この電圧の変化を2次元のグラフに表したものである。

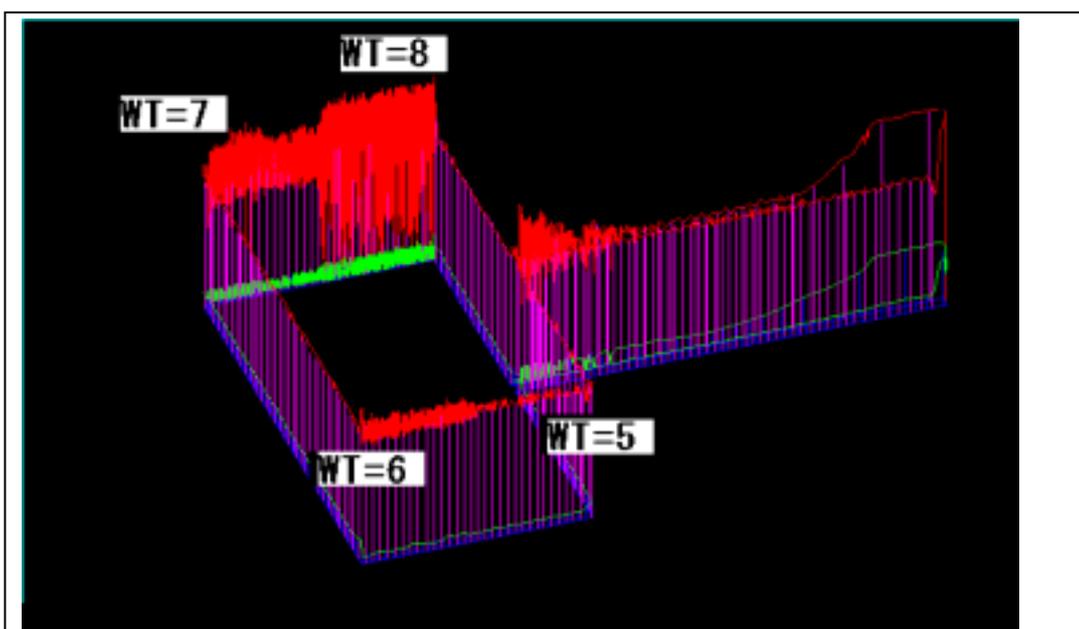


図 3.10 ワイヤテンション変化に対する加工電圧の変化（3次元）

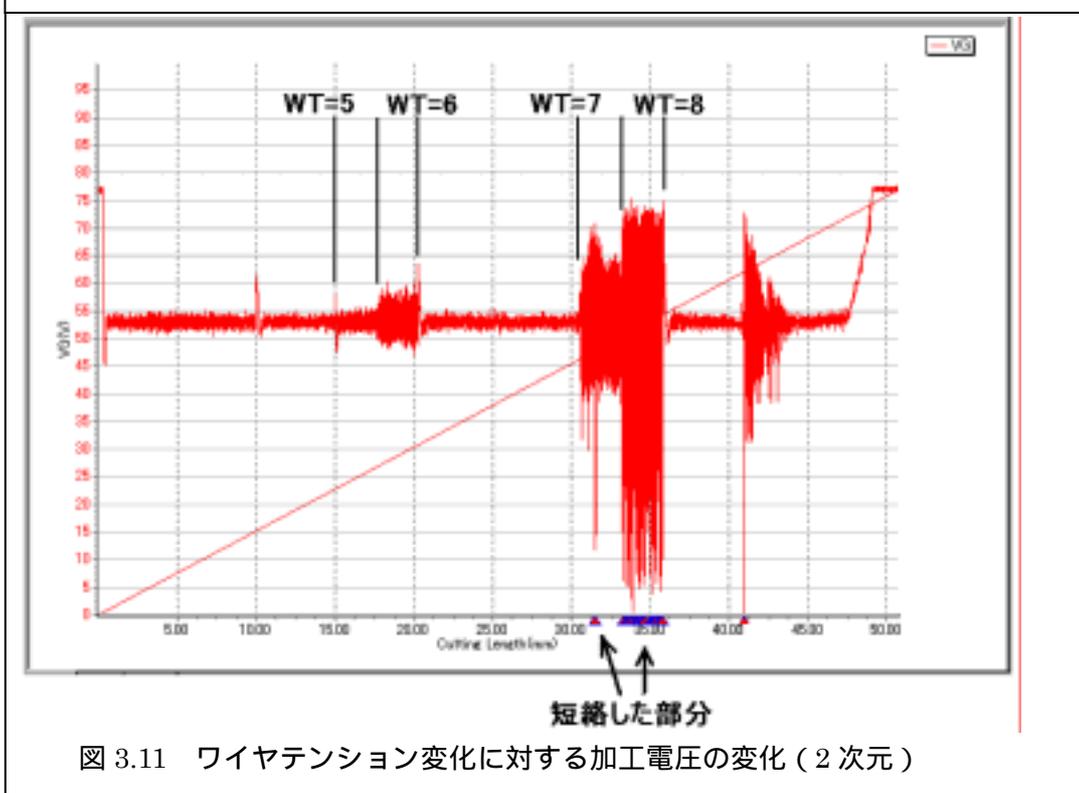


図 3.11 ワイヤテンション変化に対する加工電圧の変化（2次元）

以下にワイヤテンションの変化に対する加工電圧、加工速度を表 3.8 に表した。

表 3.8 ワイヤテンションの変化に対する加工電圧、加工速度の変化

	最小加工 電圧 (V)	最大加工 電圧 (V)	平均加工 電圧 (V)	最小加工速度 (mm/min)	最大加工速度 (mm/min)	平均加工速度 (mm/min)
WT=5	47.47	57.87	52.87	1.93	4.86	2.29
WT=6	47.03	60.36	53.01	1.67	3.11	2.28
WT=7	11.86	70.91	53.68	0.10	4.89	2.23
WT=8	0.58	75.31	55.26	0.01	5.46	1.82

ワイヤテンションの変化に対する 20 度テーパ加工面の写真

以下に、各ワイヤテンションで加工を行った場合のテーパカット面の写真を図 3.12 ~ 図 3.15 に表した。

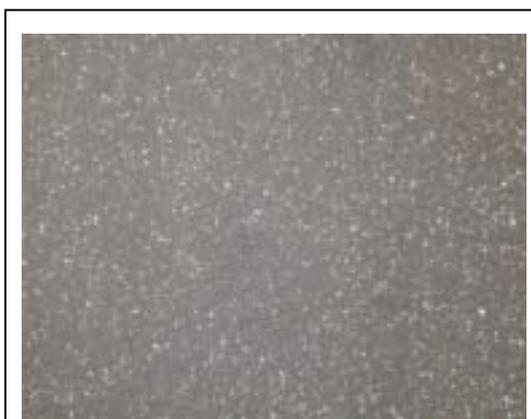


図 3.12 ワイヤテンション設定値
5 ノッチ



図 3.13 ワイヤテンション設定値
6 ノッチ



図 3.14 ワイヤテンション設定値
7 ノッチ



図 3.15 ワイヤテンション設定値
8 ノッチ

(5) 考察

図 3.9 を見て分かる様に、ワイヤテンションが強いほど角度誤差が小さくなることが分かるが、加工の安定性を加工電圧の変化で見た場合、ワイヤテンションが強くなるにつれ、電圧の変化が激しく、図 3.11 から短絡現象の発生箇所が見られた。また、各ワイヤテンションで加工されたワーク表面の写真においては、テンションが強くなるにつれて表面に縦筋の発生が見られた。ワイヤテンション設定値 8 ノッチで加工されたワーク表面(図 3.15)は、目で見てもはっきりと分かる程の筋が残されていた。

この筋の発生は、短絡現象によって残されたものであることが考えられるが、短絡現象は、ワイヤの振動が原因であると思われる。ワイヤテンション設定値 8 ノッチで 20 度テーパにワイヤを傾け、ワイヤを送ってみたところ振動していることが分かった。これに関しては、ワイヤを支えているダイヤモンドダイスとワイヤが、テーパ角度が大きくなったことで、摩擦が大きくなったからだと考えられる。ワイヤテンション設定値 5 ノッチで加工を行った場合には、加工電圧の変動も小さく縦筋の発生も見られなかったことから、ワイヤの振動も小さいということが考えられる。

よって今後のテーパ加工においては、テーパ角度に応じて、前記、加工条件の表 3.1 のとおりに加工条件を設定し、加工を行うこととした。

3.7.3 加工後の角度誤差を補正值として加工を行う実験

(1) 実験目的

テーパ角度が大きくなるにつれて NC の設定テーパ角度と加工後のテーパ面の角度の差が大きくなる傾向が見られたが、その角度差を求め、次の NC 設定角度に補正角度として与え、繰り返し加工を行う方法でテーパ誤差を小さく抑えることを目的とした。

(2) 実験方法

NC の設定角度 12 度、14 度、16 度、18 度、20 度でそれぞれテーパ加工を行う。加工後、測定顕微鏡を用いてワークのテーパ角度を測定し、NC の設定テーパ角度と加工後のテーパ角度の差を求める。測定時の Y 軸の移動量は 5mm とし、10 回測定を行った結果からワークのテーパ角度を求め、NC の設定角度との角度の差を求める。

求められた角度の差は、補正角度として NC の設定テーパ角度に与え、補正加工を行う。設定テーパ角度を補正する加工は各テーパとも 2 回まで行った。

(3) 実験条件

Z 軸諸元出しは、自動諸元出し機能を用いて自動入力を行った。諸元出し角度 4.998 度
Z3=18.556mm Z3=7.911mm Z4=7.934mm

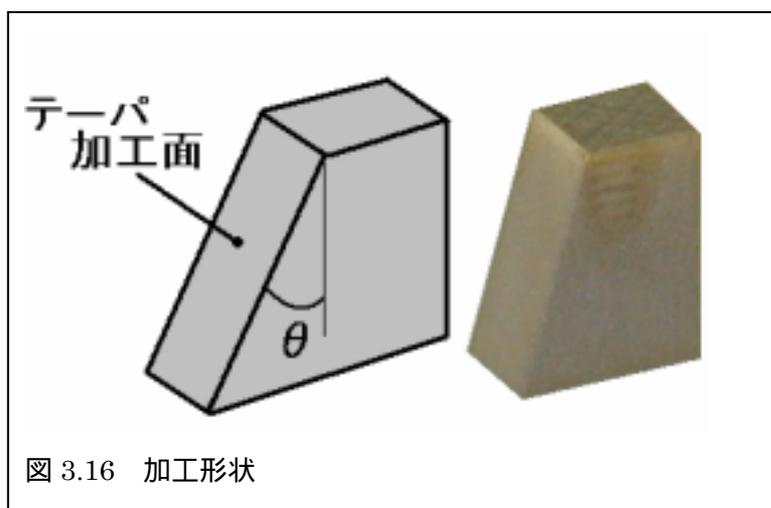
加工条件

12 度は E202 14 度 16 度 18 度 20 度は E203 を使用して加工を行った。

加工速度 最適送り オフセット量 133 μ m

加工形状は、図 3.16 のような、片側にテーパ面を持たせた形状を加工した。

加工後のテーパ角度の測定について、測定顕微鏡の Y 軸移動量は、5mm で測定を行い、10 回測定を行った平均からテーパ角度の割り出しを行った。



(4) 加工結果

表 3.9 12 度テーパ

目標テーパ角度 12 度	補正なし	補正 1 回目	補正 2 回目
U 軸移動量 (mm)	5.631	5.567	5.517
テーパ入力角度 (度)	12.000	11.868	11.764
平均測定結果(X 軸移動量) (mm)	1.0748	1.0603	1.0622
テーパ角度結果 (度)	12.1317	11.9728	11.9936
テーパ誤差 (度)	0.1317	-0.0272	-0.0064
入力角から見たテーパ誤差 (度)	0.1317	0.1045	0.2298
目的テーパからの角度の差 (度)	0.1317	-0.0272	-0.0064

表 3.10 14 度テーパ

目標テーパ角度 14 度	補正なし	補正 1 回目	補正 2 回目
U 軸移動量 (mm)	6.605	6.522	6.423
テーパ入力角度 (度)	14.000	13.832	13.630
平均測定結果(X 軸移動量) (mm)	1.2622	1.2498	1.2463
テーパ角度結果 (度)	14.1677	14.0341	13.9967
テーパ誤差 (度)	0.1677	0.0341	-0.0033
入力角から見たテーパ誤差 (度)	0.1677	0.2018	0.3663
目的テーパからの角度の差 (度)	0.1677	0.0341	-0.0033

表 3.11 16 度テーパ

目標テーパ角度 16 度	補正なし	補正 1 回目	補正 2 回目
U 軸移動量 (mm)	7.569	7.456	7.319
テーパ入力角度 (度)	16.000	15.720	15.446
平均測定結果(X 軸移動量) (mm)	1.4602	1.4332	1.4335
テーパ角度結果 (度)	16.2799	15.9944	15.9976
テーパ誤差 (度)	0.2799	-0.0056	-0.0024
入力角から見たテーパ誤差 (度)	0.2799	0.2743	0.5518
目的テーパからの角度の差 (度)	0.2799	-0.0056	-0.0024

表 3.12 18 度テーパ

目標テーパ角度 18 度	補正なし	補正 1 回目	補正 2 回目
U 軸移動量 (mm)	8.607	8.463	8.370
テーパ入力角度 (度)	18.000	17.717	17.534
平均測定結果(X 軸移動量) (mm)	1.6519	1.615	1.6204
テーパ角度結果 (度)	18.2825	17.9005	17.9565
テーパ誤差 (度)	0.2825	-0.0995	-0.0435
入力角から見たテーパ誤差 (度)	0.2825	0.1830	0.4220
目的テーパからの角度の差 (度)	0.2825	-0.0995	-0.0435

表 3.13 20 度テーパ

目標テーパ角度 20 度	補正なし	補正 1 回目	補正 2 回目
U 軸移動量 (mm)	9.642	9.470	9.483
テーパ入力角度 (度)	20.000	19.672	19.368
平均測定結果(X 軸移動量) (mm)	1.8523	1.8175	1.8212
テーパ角度結果 (度)	20.3277	19.9762	20.0136
テーパ誤差 (度)	0.3277	-0.0238	0.0136
入力角から見たテーパ誤差 (度)	0.3277	0.3039	0.6452
目的テーパからの角度の差 (度)	0.3277	-0.0238	0.0136

目的テーパ角度からの、加工テーパ面の角度の差を表 3.13 にまとめ、これをグラフに表したものを図 3.17 に示した。

表 3.14 目的テーパ角度からのテーパ誤差

測定角度 (度)	通常加工 目的テーパからの 角度の差 (度)	補正 1 回目 目的テーパからの 角度の差 (度)	補正 2 回目 目的テーパからの 角度の差 (度)
12	0.1317	-0.0272	-0.0064
14	0.1677	0.0341	-0.0033
16	0.2799	-0.0056	-0.0024
18	0.2825	-0.0995	-0.0435
20	0.3277	-0.0238	0.0136

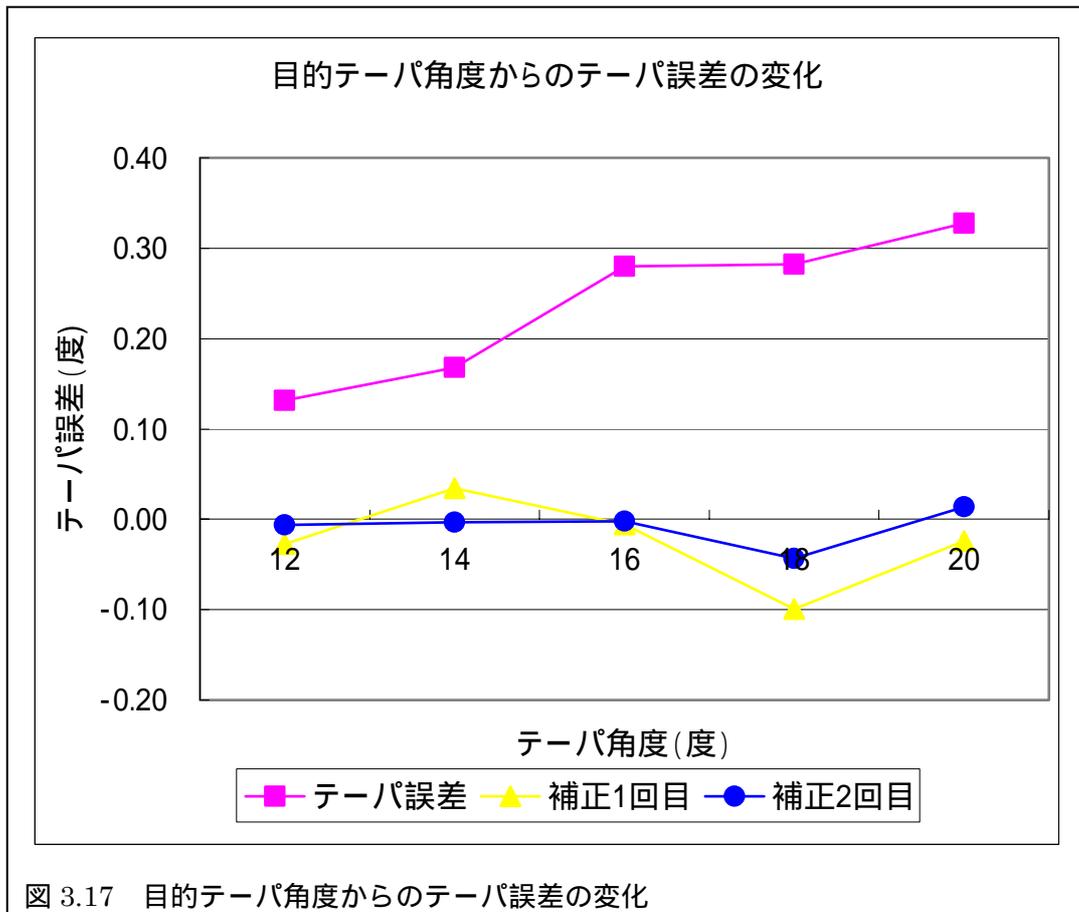


図 3.17 目的テーパ角度からのテーパ誤差の変化

(5) 考察

図 3.17 を見て分かる様に、補正を行うごとに角度誤差を小さく抑えることができた。このような加工結果から求められたテーパ誤差を、次の加工の補正角度として与え、テーパ誤差を小さく抑える方法に関しては、テストカットを行う必要があることや、実際のワイヤの傾きを測定せず NC で計算され、設定されたワイヤの傾きが正しいとして加工を行っているため、実際のワイヤの傾きが何度に傾けられていたのかが分からず、加工後のテーパ誤差がワイヤの傾き自体の設定誤差なのか、それとも加工誤差が大きいのか判断ができない状態である。このため、テーパ加工の精度を向上させるためには、ワイヤの傾きを測定し、求められた角度と、加工後のワークのテーパ角度との差を求め、加工誤差を正確に求めることが必要である。

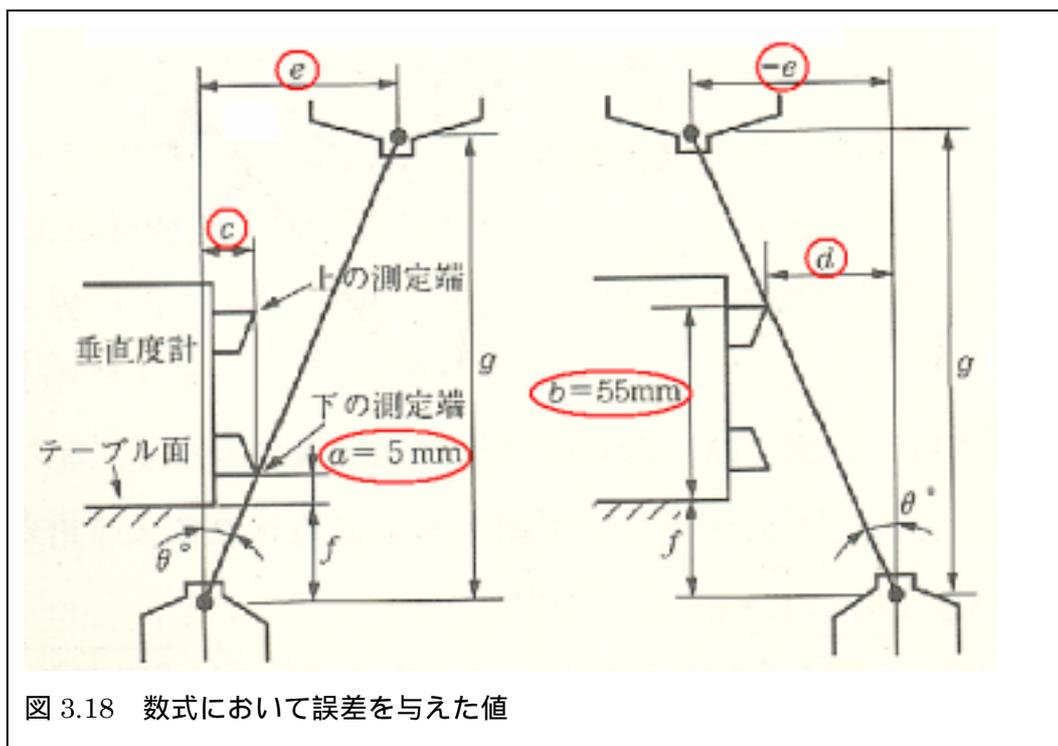
3.7.4 諸元出し段階における測定誤差のダイス間距離に及ぼす影響

(1) 実験目的

諸元出し段階において、測定誤差がダイス間距離にどのように影響を及ぼすか、理論式を用いて検討する。

(2) 実験方法

ダイス間距離を求める際に必要な数値に対して、それぞれ誤差を与えて、理論式を計算する。誤差を与える数値としては図 3.18 のように、測定刃の高さ (a 、 b)、端面位置決めで求まる座標測定値 (c 、 d)、U 軸移動量 (e)、これらについて、それぞれ誤差として a 、 b 、 c 、 d 、 e 、を与えて計算し、最終的にダイス間距離 (g) にかかわってくる誤差 (g) の割合を求める。諸元出しを行った角度の変化については、2 度と 14 度で諸元出しを行った場合について、誤差が及ぼす影響について検討する。



(3) 実験条件

誤差の与える範囲は、0~0.5%の範囲として計算結果に誤差を与えた。

- ・ 垂直度計の測定刃の高さ $a=5\text{mm}$ 、 $b=55\text{mm}$
 - ・ 2 度の場合、U 軸移動量 3.041mm 上下ダイス間距離 87.091mm
 - ・ 14 度の場合、U 軸移動量 21.454mm 上下ダイス間距離 86.049mm
- これらの数値を計算式に与えて、最終的な誤差 g の割り出しを行った。

(4) 実験結果

1. c、dについて誤差がある場合

$$f = \frac{bc - ad}{d - c} \dots$$

$$g = \frac{e(a + f)}{c} \dots$$

cの誤差を Δc 、dの誤差を Δd とおくと

c $c + \Delta c$ 、d $d + \Delta d$ となる。

これを f と g に代入する。

$$f = \frac{b(c + \Delta c) - a(d + \Delta d)}{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)}$$

$$g = \frac{e(a + f)}{(c + \Delta c)}$$

fをgに代入すると

$$\begin{aligned} g &= \frac{e \left\{ a + \frac{b(c + \Delta c) - a(d + \Delta d)}{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)} \right\}}{(c + \Delta c)} \\ &= \frac{e[a\{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)\} + b(c + \Delta c) - a(d + \Delta d)]}{(c + \Delta c)\{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)\}} \\ &= \frac{e(b - a)}{(d - c) + \Delta(d - c)} \\ &= \frac{e(b - a)}{d - c} \left\{ 1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{-1} \end{aligned}$$

$\left\{ 1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{-1}$ をテーラ展開すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \left\{ 1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{-1} &= 1 - \frac{\Delta(d - c)}{d - c} + \left\{ \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^2 - \left\{ \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^3 + \dots (-1)^{n-1} \left\{ \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{n-1} \\ &+ \dots \approx 1 - \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \end{aligned}$$

よってgは

$$g = \frac{e(b - a)}{d - c} \left\{ 1 - \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}$$

したがって g は

$$\Delta g = \frac{e(b-a)(\Delta d - \Delta c)}{(d-c)^2}$$

実際に 2 度と 14 度テーパの時、緒元だしするダイス間距離の誤差(g)を計算で求めた式で求める。

$$\Delta g = \frac{e(b-a)(\Delta d - \Delta c)}{(d-c)^2} \dots$$

の式を使って 2 度と 14 度の誤差の影響を調べる。

2 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 0.464 \quad d = 2.210 \quad e = 3.041$$

$$\Delta g = \frac{e(b-a)(\Delta d - \Delta c)}{(d-c)^2} = \frac{3.041(55-5)}{(2.210-0.464)^2} \Delta(d-c) = 49.880 \Delta(d-c) \dots$$

の式に誤差を代入してみる。

c,d の誤差 (c、 d) に 0~0.5% 与えた時ダイス間距離 (g) の誤差(g) を求める

表 3.15 c、 d に 0~0.5% 与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g) の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
c (mm)	0.00000	0.00046	0.00093	0.00139	0.00186	0.00232
d (mm)	0.00000	0.00221	0.00442	0.00663	0.00884	0.01105
g (mm)	0.00000	0.08709	0.17418	0.26127	0.34836	0.43545
g/g (%)	0.00000	0.10000	0.20000	0.30000	0.40000	0.50000
角度 (度)	1.99996	1.99796	1.99597	1.99398	1.99199	1.99001
角度誤差 (度)	0.00000	0.00200	0.00399	0.00598	0.00796	0.00994
角度誤差 / 角度	0.00000	0.09992	0.19984	0.29976	0.39968	0.49959

14 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 3.218 \quad d = 15.694 \quad e = 21.454$$

$$\Delta g = \frac{e(b-a)(\Delta d - \Delta c)}{(d-c)^2} = \frac{21.454(55-5)}{(15.694-3.218)^2} \Delta(d-c) = 6.903 \Delta(d-c) \dots$$

の式に誤差を代入してみる。

c,dの誤差 (c、 d) に 0~0.5%与えた時ダイス間距離 (g) の誤差(g)を求める

表 3.16 c、 d に 0~0.5%与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g)の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
c (mm)	0.00000	0.00323	0.00646	0.00968	0.01291	0.01614
d (mm)	0.00000	0.01569	0.03139	0.04708	0.06278	0.07847
g (mm)	0.00000	0.08605	0.17210	0.25815	0.34420	0.43024
g/g (%)	0.00000	0.10000	0.20000	0.30000	0.40000	0.50000
角度 (度)	13.99957	13.98613	13.97272	13.95933	13.94597	13.93264
角度誤差 (度)	0.00000	0.01344	0.02685	0.04023	0.05359	0.06693
角度誤差/角度	0.00000	0.09607	0.19214	0.28822	0.38430	0.48038

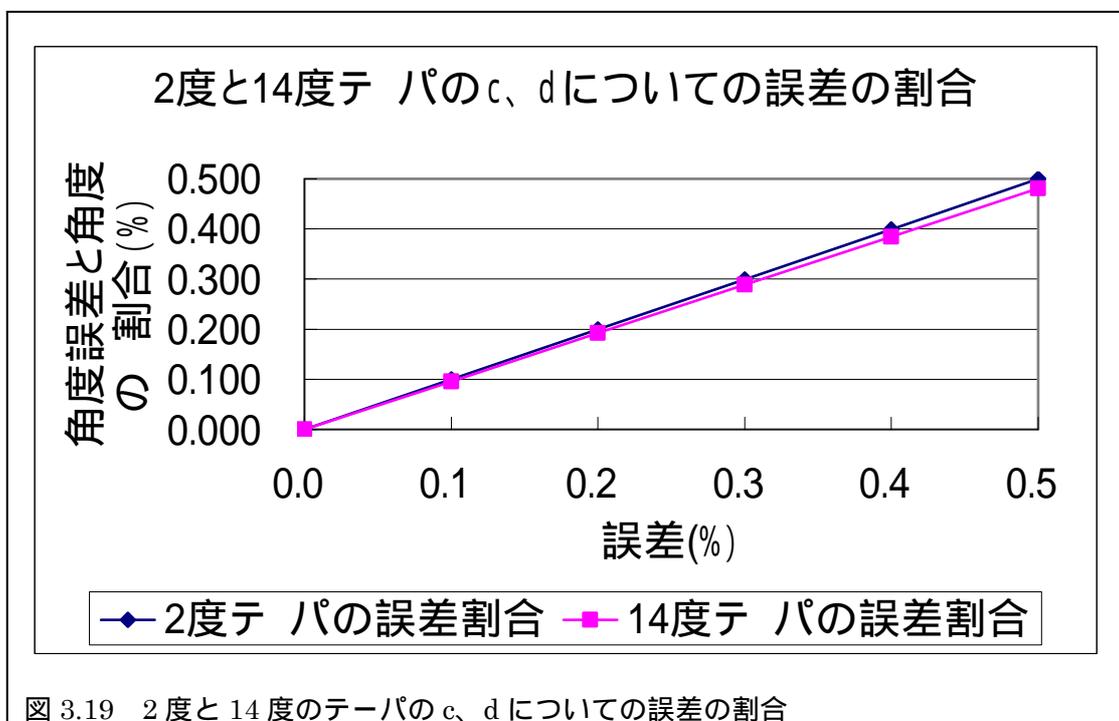


図 3.19 は、2度と14度のテパ角度において、cとdにそれぞれ誤差を持たし、その誤差を 0~0.5%の範囲で変化させたときの計算結果を、角度誤差と角度の割合で表したものである。求められた g は、

$$2 \text{ 度の場合 } g = 49.880 (d - c)$$

$$14 \text{ 度の場合 } g = 6.903 (d - c) \text{ である。}$$

このことから分かる様に、例えば d と c にそれぞれ誤差をもっており、その差 $d - c$ が 1μ であった場合、2度の場合には $49.880 \mu\text{m}$ の誤差となり、14度の場合には、 $6.903 \mu\text{m}$ の誤差が g に加わってくることが考えられ、両条件の差は $42.977 \mu\text{m}$ となる。よって、諸元出しの角度が大きいほど測定誤差を小さく抑えることができるということが分かる。

2. a, b に誤差がある場合について

$$f = \frac{bc - ad}{d - c} \dots$$

$$g = \frac{e(a + f)}{c} \dots$$

a と b の誤差を a と b とおくと
 $a \rightarrow a + \Delta a$ $b \rightarrow b + \Delta b$ となる。
 これを , の式に代入する。

$$f = \frac{(b + \Delta b)c - (a + \Delta a)d}{d - c}$$

$$g = \frac{e\{(a + \Delta a) + f\}}{c}$$

f を g に代入する

$$\begin{aligned} g &= \frac{e \left[(a + \Delta a) + \left\{ \frac{(b + \Delta b)c - (a + \Delta a)d}{d - c} \right\} \right]}{c} \\ &= \frac{e\{(a + \Delta a)(d - c) + (b + \Delta b)c - (a + \Delta a)d\}}{c(d - c)} \\ &= \frac{e\{(b + \Delta b) - (a + \Delta a)\}}{d - c} \\ &= \frac{e(b - a)}{d - c} + \frac{e(\Delta b - \Delta a)}{d - c} \end{aligned}$$

したがって g は

$$\Delta g = \frac{e(\Delta b - \Delta a)}{d - c}$$

実際に 2 度と 14 度テーパの時、緒元だしするダイス間距離の誤差(g)を計算で求めた式で求める。

$$\Delta g = \frac{e(\Delta b - \Delta a)}{d - c} \dots$$

の式を使って 2 度と 14 度の誤差の影響を調べる

2 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 0.464 \quad d = 2.210 \quad e = 3.041$$

$$\Delta g = \frac{e\Delta(b - a)}{d - c} = \frac{3.041}{2.210 - 0.464} \Delta(b - a) = 1.742 \Delta(b - a) \dots$$

の式に誤差を代入する。

a,bの誤差 (a、 b) に 0 から 0.5%与えた時ダイス間距離 (g) の誤差(g)を求める

表 3.17 a、 b に 0~0.5%与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g)の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
a (mm)	0.00000	0.00500	0.01000	0.01500	0.02000	0.02500
b (mm)	0.00000	0.05500	0.11000	0.16500	0.22000	0.27500
g (mm)	0.00000	0.08709	0.17418	0.26127	0.34836	0.43545
g/g (%)	0.00000	0.10000	0.20000	0.30000	0.40000	0.50000
角度 (度)	1.99996	1.99796	1.99597	1.99398	1.99199	1.99001
角度誤差 (度)	0.00000	0.00200	0.00399	0.00598	0.00796	0.00994
角度誤差/角度	0.00000	0.09992	0.19984	0.29976	0.39968	0.49959

14 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 3.228 \quad d = 15.694 \quad e = 21.454$$

$$\Delta g = \frac{e\Delta(b-a)}{d-c} = \frac{21.454}{15.694-3.228} \Delta(b-a) = 1.721\Delta(b-a) \dots$$

の式に誤差を代入する。

a,bの誤差 (a、 b) に 0 から 0.01%与えた時ダイス間距離 (g) の誤差(g)を求める

表 3.18 a、 b に 0~0.5%与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g)の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
a (mm)	0.00000	0.00500	0.01000	0.01500	0.02000	0.02500
b (mm)	0.00000	0.05500	0.11000	0.16500	0.22000	0.27500
g (mm)	0.00000	0.08605	0.17210	0.25815	0.34420	0.43024
g/g (%)	0.00000	0.10000	0.20000	0.30000	0.40000	0.50000
角度 (度)	13.99957	13.98613	13.97272	13.95933	13.94597	13.93264
角度誤差 (度)	0.00000	0.01344	0.02685	0.04023	0.05359	0.06693
角度誤差/角度	0.00000	0.09607	0.19214	0.28822	0.38430	0.48038

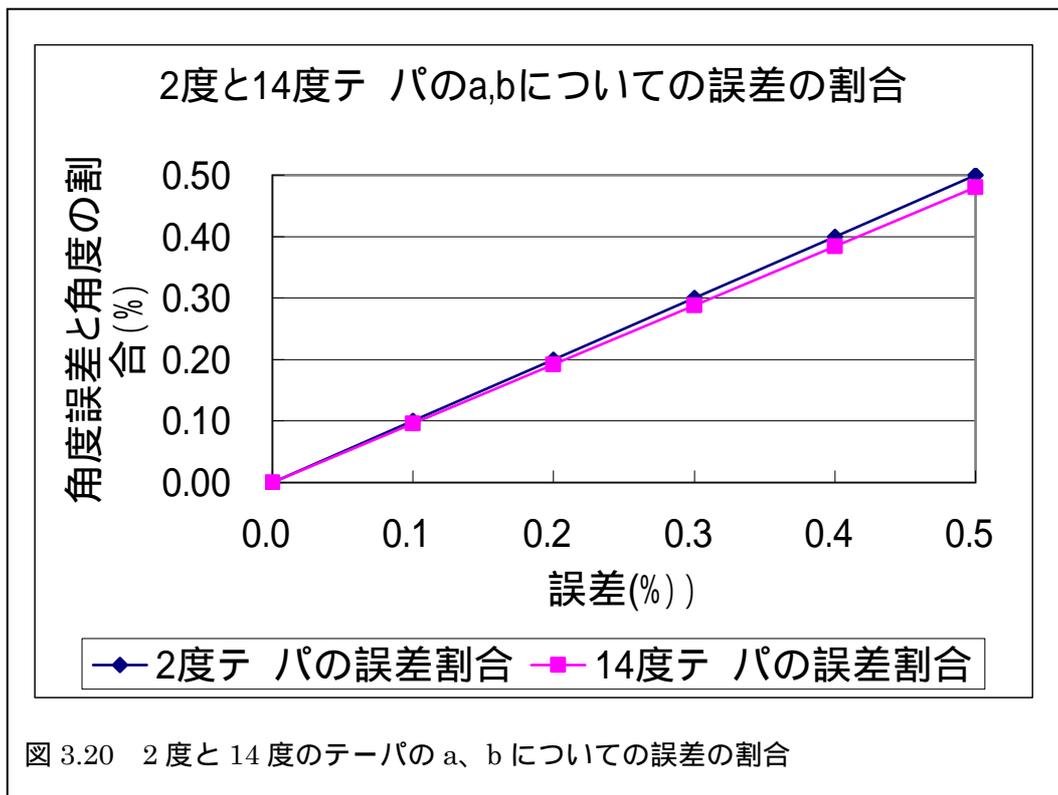


図 3.20 は、2度と14度のテーパー角度において、a と b にそれぞれ誤差を持たし、その誤差を 0~0.5%の範囲で変化させたときの計算結果を、角度誤差と角度の割合で表したものである。

求められた g は、

$$2 \text{ 度の場合 } g=1.742 (b-a)$$

$$14 \text{ 度の場合 } g=1.721 (b-a) \text{ である。}$$

このことから分かる様に、例えば a と b にそれぞれ誤差をもっており、その差 $b-a$ が 1μ であった場合、2度の場合は $1.742 \mu\text{m}$ の誤差となり、14度の場合は、 $1.721 \mu\text{m}$ の誤差が g に加わってくることが考えられ、両条件の差は $0.021 \mu\text{m}$ となり、差は小さいものの、約 $1.7 \mu\text{m}$ の誤差がダイス間距離の加わることとなる。

3. U軸のバックラッシュによる誤差について

$$f = \frac{bc - ad}{d - c} \dots$$

$$g = \frac{e(a + f)}{c} \dots$$

バックラッシュによる誤差を u とおくとU軸移動量は

$e \rightarrow e + \Delta u$ となる

と の式に代入する。

$$f = \frac{bc - ad}{d - c}$$

$$g = \frac{(e + \Delta u)(a + f)}{c}$$

f を g に代入する

$$g = \frac{(e + \Delta u) \left(a + \frac{bc - ad}{d - c} \right)}{c}$$

$$g = \frac{(e + \Delta u) \{ a(d - c) + bc - ad \}}{c(d - c)}$$

$$g = \frac{(e + \Delta u)(bc - ac)}{c(d - c)}$$

$$g = \frac{(e + \Delta u)(b - c)}{d - c}$$

$$g = \frac{e(b - c)}{d - c} + \frac{\Delta u(b - c)}{d - c}$$

したがって g の誤差 Δg は

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b - c)}{d - c}$$

実際に 2 度と 14 度テーパの時、緒元だしするダイス間距離の誤差 (Δg) を計算で求めた式で求める。

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b - c)}{d - c} \dots$$

の式を使って 2 度と 14 度で誤差の影響を調べる。

2 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 0.464 \quad d = 2.210 \quad e = 3.041$$

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b - c)}{d - c} = \frac{55 - 5}{2.210 - 0.464} \Delta u = 28.637 \Delta u \dots$$

の式に誤差を代入する。

U 軸移動の際発生するバックラッシュ(u)を 0 から 0.005mm まで与えた時のダイス間距離の誤差(g)を求める

表 3.19 u に 0~0.005mm 与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g)の変化

誤差 (mm)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Δg (mm)	0.00000	0.02864	0.05727	0.08591	0.11455	0.14318
$\Delta g/g$ (%)	0.00000	0.03288	0.06576	0.09864	0.13153	0.16441
角度 (度)	1.99996	1.99996	1.99996	1.99996	1.99996	1.99996
角度誤差 (度)	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
角度誤差 / 角度	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

14 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 3.228 \quad d = 15.694 \quad e = 21.454$$

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} = \frac{55-5}{15.694-3.228} \Delta u = 4.011 \Delta u \dots$$

の式に誤差を代入する。

U 軸移動の際発生するバックラッシュ(u)を 0~0.005mm まで与えた時のダイス間距離の誤差(g)を求める

表 3.20 u に 0~0.005mm 与えた時のダイス間距離 (g) の誤差(g)の変化

誤差 (mm)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Δg (mm)	0.00000	0.00401	0.00802	0.01203	0.01604	0.02005
$\Delta g/g$ (%)	0.00000	0.00466	0.00932	0.01398	0.01864	0.02331
角度 (度)	13.99957	13.99957	13.99957	13.99957	13.99957	13.99957
角度誤差 (度)	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
角度誤差 / 角度	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

表 2.18 と表 2.19 は、2 度と 14 度のテーパ角度において、U に誤差を持たし、その誤差を 0~0.005mm の範囲で変化させたときの計算結果を、表したものである。

求められた g は、

$$2 \text{ 度の場合 } g=28.637 \text{ U}$$

$$14 \text{ 度の場合 } g=4.011 \text{ U} \text{ である。}$$

U 軸移動量の誤差について計算した結果においても、諸元出し角度 14 度の方が、ダイス間距離に影響する誤差は小さくなるのが分かった。

角度誤差については、U 軸移動量の誤差と同じ割合で g の値も変化するため、計算上での誤差は発生しない。

4. すべての誤差 (a, b, c, d, u) について

$$f = \frac{bc - ad}{d - c} \dots$$

$$g = \frac{e(a + f)}{c} \dots$$

c, d, a, b, e に誤差を与えると以下のようになる。

$$c \rightarrow c + \Delta c \quad d \rightarrow d + \Delta d \quad a \rightarrow a + \Delta a \quad b \rightarrow b + \Delta b \quad e \rightarrow e + \Delta u$$

これらの誤差を と の式に代入する。

$$f = \frac{(b + \Delta b)(c + \Delta c) - (a + \Delta a)(d + \Delta d)}{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)}$$

$$g = \frac{(e + \Delta u)\{(a + \Delta a) + f\}}{(c + \Delta c)}$$

f を g に代入する

$$\begin{aligned} g &= \frac{(e + \Delta u) \left\{ (a + \Delta a) + \frac{(b + \Delta b)(c + \Delta c) - (a + \Delta a)(d + \Delta d)}{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)} \right\}}{(c + \Delta c)} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \left[(a + \Delta a) \{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)\} + (b + \Delta b)(c + \Delta c) - (a + \Delta a)(d + \Delta d) \right]}{(c + \Delta c) \{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)\}} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b + \Delta b)(c + \Delta c) - (a + \Delta a)(c + \Delta c)\}}{(c + \Delta c) \{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)\}} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b + \Delta b) - (a + \Delta a)\}}{(d + \Delta d) - (c + \Delta c)} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b - a) + \Delta(b - a)\}}{(d - c) + \Delta(d - c)} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b - a) + \Delta(b - a)\}}{(d - c)} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b - a) + \Delta(b - a)\}}{1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c}} \\ &= \frac{(e + \Delta u) \{(b - a) + \Delta(b - a)\}}{d - c} \left\{ 1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{-1} \end{aligned}$$

$$\left\{ 1 + \frac{\Delta(d - c)}{d - c} \right\}^{-1} \text{ をテーラ展開する}$$

$$\left\{1 + \frac{\Delta(d-c)}{d-c}\right\}^{-1} = 1 - \frac{\Delta(d-c)}{d-c} + \left\{\frac{\Delta(d-c)}{d-c}\right\}^2 - \left\{\frac{\Delta(d-c)}{d-c}\right\}^3 + \dots (-1)^{n-1} \left\{\frac{\Delta(d-c)}{d-c}\right\}^{n-1}$$

$$+ \dots \approx 1 - \frac{\Delta(d-c)}{d-c}$$

よって g の値は

$$g = \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-c)\}}{d-c} \left\{1 - \frac{\Delta(d-c)}{d-c}\right\}$$

$$= \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-c)\}}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2}$$

$$= \frac{(e + \Delta u)(b-a)}{d-c} + \frac{(e + \Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2}$$

$$= \frac{e(b-a)}{d-c} + \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} + \frac{(e + \Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2}$$

したがって g の誤差 g は

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} + \frac{(e + \Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2}$$

実際に 2 度と 14 度テーパの時、緒元だしするダイス間距離の誤差 (g) を計算で求めた式で求める。

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} + \frac{(e + \Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2} \dots$$

の式を使って 2 度と 14 度で誤差の影響を調べる。

2 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 0.464 \quad d = 2.210 \quad e = 3.041$$

$$\Delta g = \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} + \frac{(e + \Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e + \Delta u)\{(b-a) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2}$$

$$= \frac{55-5}{2.210-0.464} \Delta u + \frac{(3.041 + \Delta u)\Delta(b-a)}{2.210-0.464} - \frac{(3.041 + \Delta u)\{(55-5) + \Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(2.210-0.464)^2}$$

$$= 28.637\Delta u + 11.742\Delta(b-a) + 0.573\Delta u\Delta(b-a) - 49.880\Delta(d-c) - 16.401\Delta u\Delta(d-c)$$

$$- 0.998\Delta(b-a)\Delta(d-c) - 0.328\Delta u\Delta(b-a)\Delta(d-c) \dots$$

の式に誤差それぞれに0~0.5%与えたときの g の値を求めた

表 3.21 a b c d u に 0~0.5%与えた時のダイス間距離 (g) の誤差 (g) の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
g (mm)	0.00000	0.81998	1.63979	2.45941	3.27884	4.09808
g/g (%)	0.00000	0.94153	1.88285	2.82395	3.76485	4.70551
角度 (度)	1.99996	1.98197	1.96431	1.94699	1.92998	1.91328
角度誤差 (度)	0.00000	0.01799	0.03564	0.05297	0.06997	0.08667
角度誤差 / 角度	0.00000	0.90761	1.81443	2.72044	3.62565	4.53005

14 度の場合

$$a = 5 \quad b = 55 \quad c = 3.228 \quad d = 15.694 \quad e = 21.454$$

$$\begin{aligned} \Delta g &= \frac{\Delta u(b-a)}{d-c} + \frac{(e+\Delta u)\Delta(b-c)}{d-c} - \frac{(e+\Delta u)\{(b-a)+\Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(d-c)^2} \\ &= \frac{55-5}{15.694-3.228}\Delta u + \frac{(21.454+\Delta u)\Delta(b-a)}{15.694-3.228} - \frac{(21.454+\Delta u)\{(55-5)+\Delta(b-a)\}\Delta(d-c)}{(15.694-3.228)^2} \\ &= 4.011\Delta u + 1.721\Delta(b-a) + 0.08\Delta u\Delta(b-a) - 6.903\Delta(d-c) - 0.322\Delta u\Delta(d-c) \\ &\quad - 0.138\Delta(b-a)\Delta(d-c) - 0.006\Delta u\Delta(b-a)\Delta(d-c) \dots \end{aligned}$$

の式に誤差を代入する。

誤差それぞれに 0 から 0.5%与えたときの g の値を求めた

表 3.22 a b c d u に 0~0.5%与えた時のダイス間距離 (g) の誤差 (g) の変化

誤差 (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
g (mm)	0.00000	0.01600	0.03183	0.04749	0.06297	0.07828
g/g (%)	0.00000	0.01860	0.03699	0.05519	0.07318	0.09098
角度 (度)	13.99957	13.99769	13.99585	13.99403	13.99224	13.99048
角度誤差 (度)	0.00000	0.00187	0.00372	0.00554	0.00733	0.00909
角度誤差 / 角度	0.00000	0.01339	0.02658	0.03958	0.05238	0.06499

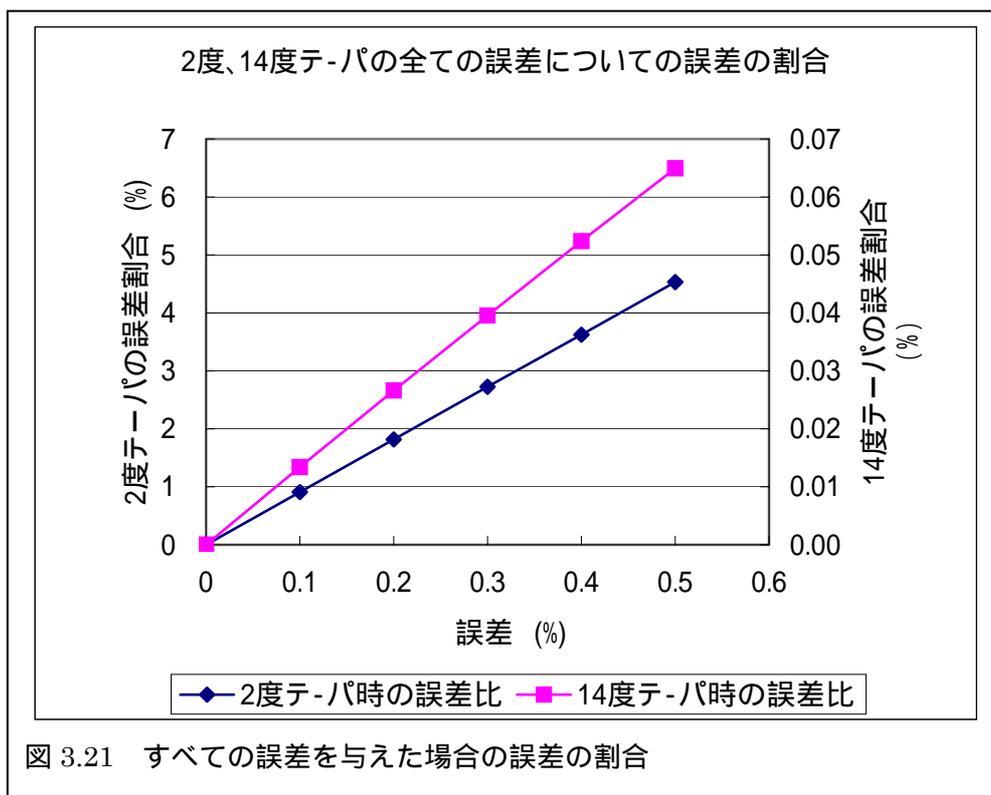


図 3.21 すべての誤差を与えた場合の誤差の割合

図 3.21 を見ても分かる様に、2 度で諸元出しを行うよりも、14 度で諸元出しを行う方が、はるかに誤差を小さく抑えることができることが計算結果から分かった。

例として、0.1%の誤差を与えた場合、2 度と 14 度で、ダイス間距離 g の値に影響する誤差を比較してみると、2 度の場合、0.812mm に対し、14 度の場合、0.016mm となり、0.796mm の差が見られる。

(5) 考察

諸元出し段階において、諸元出し角度 2 度と 14 度の場合においての、誤差の発生割合を計算式を用いて、割り出しを行った。考えられるすべての要因において、諸元出し角度 14 度で諸元出しを行わせた方が、ダイス間距離に影響する誤差を小さく押さえることができるという結果を得た。

諸元出し方法において、計算式で割り出される誤差の大きさは、大まかに言うと c と d の差によって決まる。これは、誤差を計算式で求めた場合、分母に全て $(d - c)$ を持っていることから、分母が大きくなればなるほど、発生する誤差 (分子) の割合を小さくすることができるのである。よって、今回の数式を用いた誤差の発生割合の調査において、諸元出し角度は大きいほど、誤差の割合を小さくすることができるという結果を得た。

3.7.5 諸元出しにおけるテーパ角度変化に対するダイス間距離の変化とばらつき

(1) 実験目的

諸元出し段階の測定誤差に関して、計算式を用いてダイス間距離に及ぼす影響を検討した結果、諸元出し角度の大きい場合の方が、測定誤差を小さく抑えることができるという結果を得た。よって、今回の実験では諸元出しを2度と14度で行わせ、求められるダイス間距離のばらつきについて比較調査をする。

(2) 実験方法

ワイヤのテーパ角度を大きく設定した場合(14度)と、小さく設定した場合(2度)において諸元出しを5回ずつ行い、求められたダイス間距離のばらつきを求める。

テーパ角度2度で自動諸元出しを行い、求められたダイス間距離を用いて、2度テーパに傾けるU軸移動量の割り出しを行う。

その後の諸元出しについては、求められたU軸移動量を用い、手動操作で諸元出しを行い、テーブルの移動量、c、dを求め、ダイス間距離の割り出しを行う。14度においても同じ操作手順で実験を行った。

(3) 実験条件

テーブルからジェットノズルまでの距離はブロックゲージとすきまゲージを用いて70.1mmに設定。

2度テーパで自動諸元出しを行った結果、求められた上下ダイス間距離

87.089mm (諸元出し角度 1.994度)

14度テーパで自動諸元出しを行った結果、求められた上下ダイス間距離

86.046mm (諸元出し角度 14.006度)

(4) 実験結果

2度で諸元出しを行った場合の結果を以下に示す。

初めに自動諸元出しを行った結果 ダイス間距離は、87.089mm

ダイス間距離から求められる、U軸移動量 = $87.089 \times \tan 2^\circ = 3.041\text{mm}$

表 3.23 諸元出し角度2度 測定結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
c(測定値) (mm)	0.464	0.461	5.000	0.465	0.461
d(測定値) (mm)	2.211	2.215	55.000	2.216	2.211
テーブルから下部ダイスまでの距離 f (mm)	8.280	8.141	8.288	8.278	8.171
ダイス間距離 g (mm)	87.041	86.694	87.091	86.842	86.892
諸元出し角度 (度)	2.001	2.009	2.000	2.006	2.005

次に、14度で諸元出しを行った場合の結果を以下に示す。

初めに自動諸元出しを行った結果 ダイス間距離は、86.046mm

ダイス間距離から求められる、U軸移動量 = $87.089 \times \tan 14^\circ = 21.454\text{mm}$

表 3.24 諸元出し角度 14度 測定結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
c [測定値] (mm)	3.228	3.228	3.226	3.227	0.461
d [測定値] (mm)	15.694	15.694	15.694	15.694	2.211
テーブルから下部ダイスまでの距離 f (mm)	7.947	7.947	7.937	7.942	7.944
ダイス間距離 g (mm)	86.049	86.049	86.035	86.042	86.056
諸元出し角度 (度)	14.000	14.000	14.002	14.001	13.998

図 3.22 に、2度と14度で諸元出しを行った場合のダイス間距離のばらつきをグラフに表した。

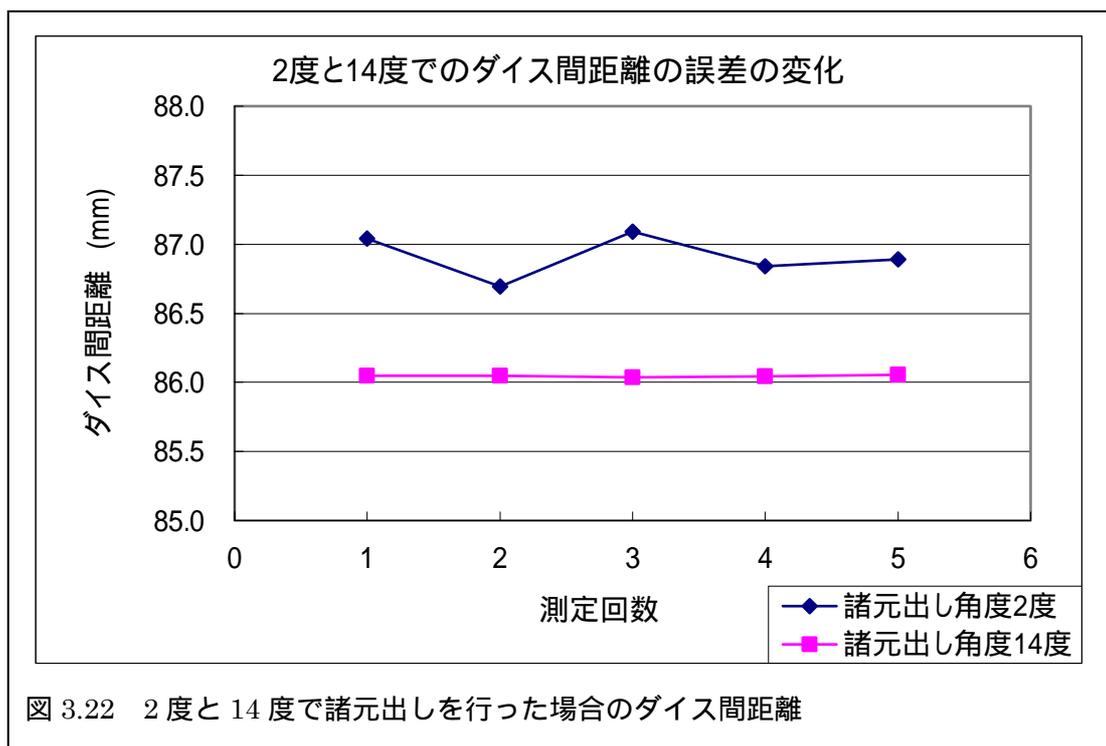


図 3.22 2度と14度で諸元出しを行った場合のダイス間距離

図 3.23 は、諸元出し角度 2 度と 14 度でのダイス間距離のばらつきを測定結果の平均値から求めたものを表した。

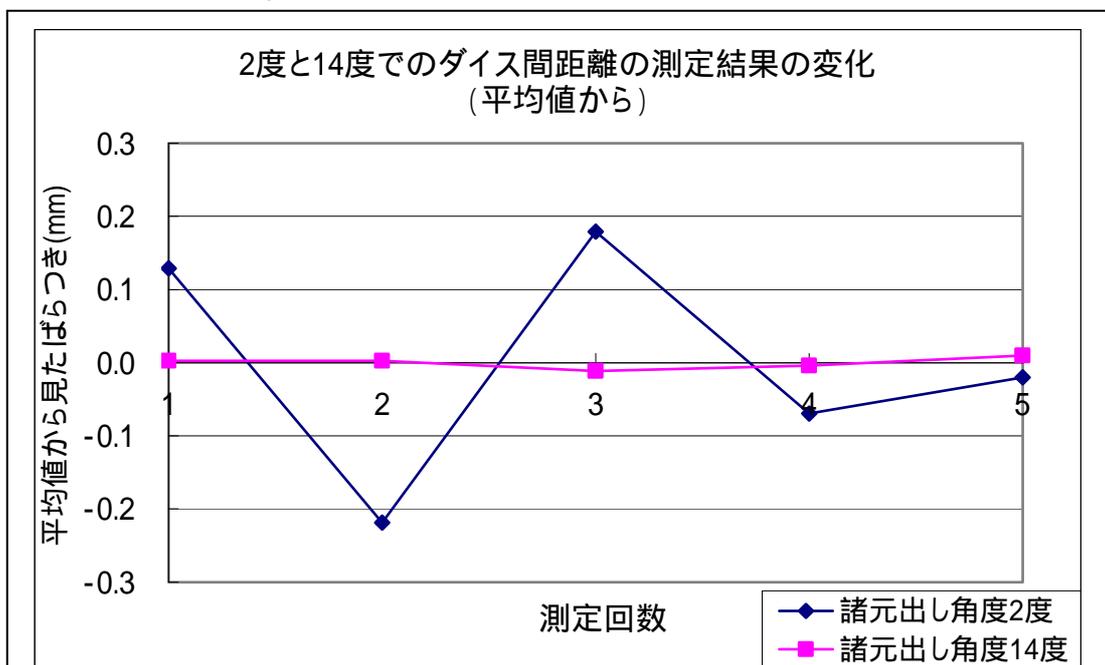


図 3.23 2 度と 14 度でのダイス間距離の測定結果の変化

図 3.24 は、諸元出し角度 2 度と 14 度でのテーブルから下部ダイスまでの距離を測定結果の平均値から求めたものを表した。

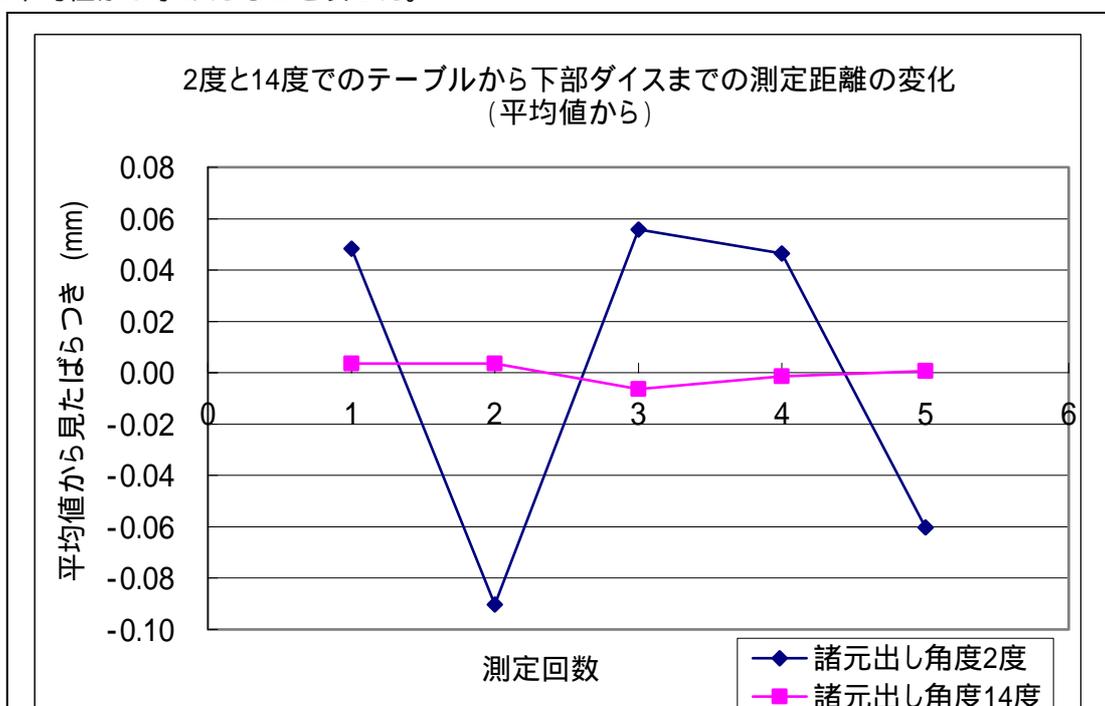


図 3.24 2 度と 14 度でのテーブルから下部ダイスまでの測定距離の変化

(5) 考察

諸元出し角度が大きいほど、測定誤差を小さくおさえることができるという結果を、計算式によって得たが、実際に諸元出しを2度と14度で行ってみたところ、諸元出し角度が14度の場合は、2度の場合にくらべ、ダイス間距離、テーブルから下部ダイスまでの距離ともばらつきが非常に小さいことが分かった。しかしながら、測定値c、dの値を見てみると、諸元出し角度14度の場合に比べて、諸元出し角度2度で行った場合においては、この値にばらつきが見られることから、この値のばらつきが、ダイス間距離の値に直接影響を及ぼしたと思われる。これに関しては、図3.25のように、測定刃とワイヤの接触面が、2度の場合と14度の場合では、わずかに14度の方が狭い接触面積で位置決めを行うことができているのに対し、2度の場合は接触面積が広いために測定位置にばらつきが生じたと思われる。

また、図3.22の結果より、2度に比べて14度で諸元出しを行った場合のダイス間距離の方が、0.866mm短く求められていることが分かるが、この原因については、ワイヤの強さが原因として考えられる。

今回、テーブルから上部ジェットノズルまでの高さは70.1mmに設定し、その後Z軸は移動させずに実験をいっているため、真のダイス間距離は変化していないはずである。しかしながら、諸元出し角度の違いによって、ダイス間距離が変化する原因については、図3.26のようにワイヤの強さによって諸元出し角度が大きい場合ほど、見かけ上のダイス間距離が短く求められてしまうと考えられる。

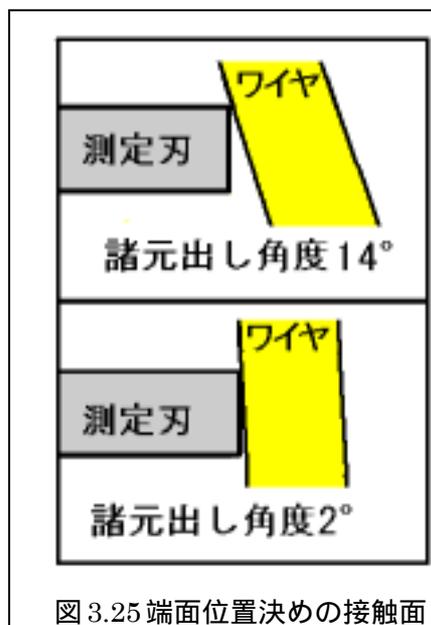


図3.25 端面位置決めの接触面

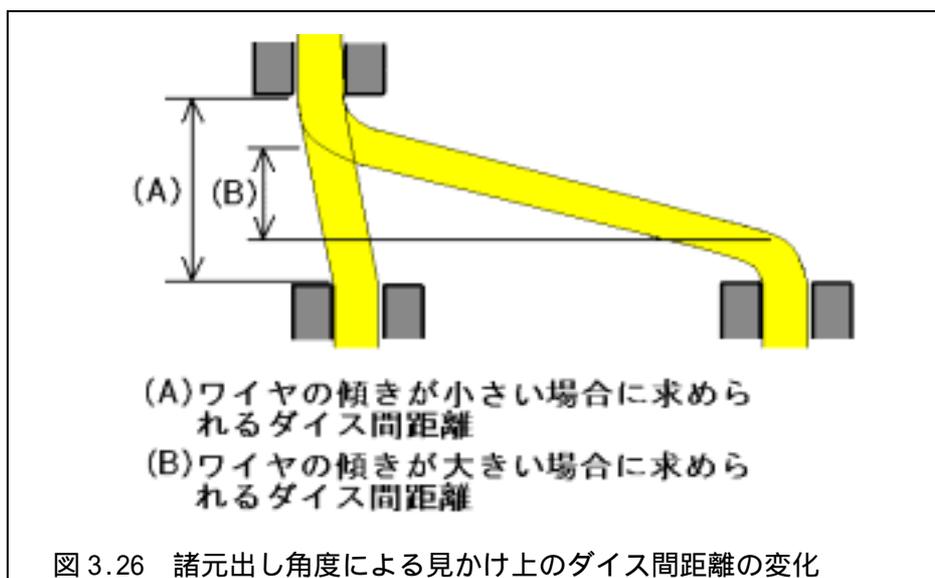


図3.26 諸元出し角度による見かけ上のダイス間距離の変化

3.7.6 諸元出し角度に対する上下ダイス間距離の変化

(1) 実験目的

テーパ諸元出し角度が大きくなるにしたがって、上下ダイス間距離は短く、見かけ上のダイス間距離が求められることが、前項の実験結果から考えられた。今回の実験においては、諸元出し角度を2~20度(2度きざみ)で自動諸元出しを行い、諸元出し角度の変化に対する上下ダイス間距離の変化を求めることを目的とし、調査を行った。

(2) 実験方法

ブロックゲージとすきまゲージを用い、テーブル面から上部ジェットノズルまでの高さを70.1mmに設定する。諸元出し角度2度~20度(2度きざみ)で自動諸元出しを行い、上下ダイス間距離を求め、諸元出し角度に対するダイス間距離の変化を求める。

実験時、Z軸は変化させず、諸元出し角度のみを変化させて自動諸元出しを行う。

(3) 実験条件

テーブル面から上部ジェットノズルまでの距離は70.1mmに設定。

Z軸は移動させず、与えるテーパ角度のみを変化させて諸元出し作業を行う。

諸元出し角度は2度~20度(2度きざみ)で自動諸元出しを行う。

(4) 実験結果

表 3.25 は、与えたテーパ角度ごとに、求められたダイス間距離と、テーブルから下部ダイスまでの距離。求められたダイス間距離と U 軸移動量から求められた諸元出しを行った際のワイヤの傾きをまとめた。

表 3.25 ダイス間距離 g 下部ダイスまでの距離 f 諸元出し時のワイヤの傾き

与えたテーパ角度	テーブルから下部ダイスまでの距離 (mm)	上下ダイス間距離 (mm)	諸元出し角度 (度)
2 度	8.217	86.888	1.998
4 度	8.014	86.291	4.004
6 度	7.970	86.176	6.008
8 度	7.954	86.135	7.998
10 度	7.944	86.080	10.003
12 度	7.945	86.041	12.002
14 度	7.957	86.053	14.006
16 度	7.931	86.010	16.001
18 度	7.927	85.989	17.995
20 度	7.928	85.967	20.014

図 3.27 は、ワイヤの傾き角度に対する上下ダイス間距離の変化を表した。

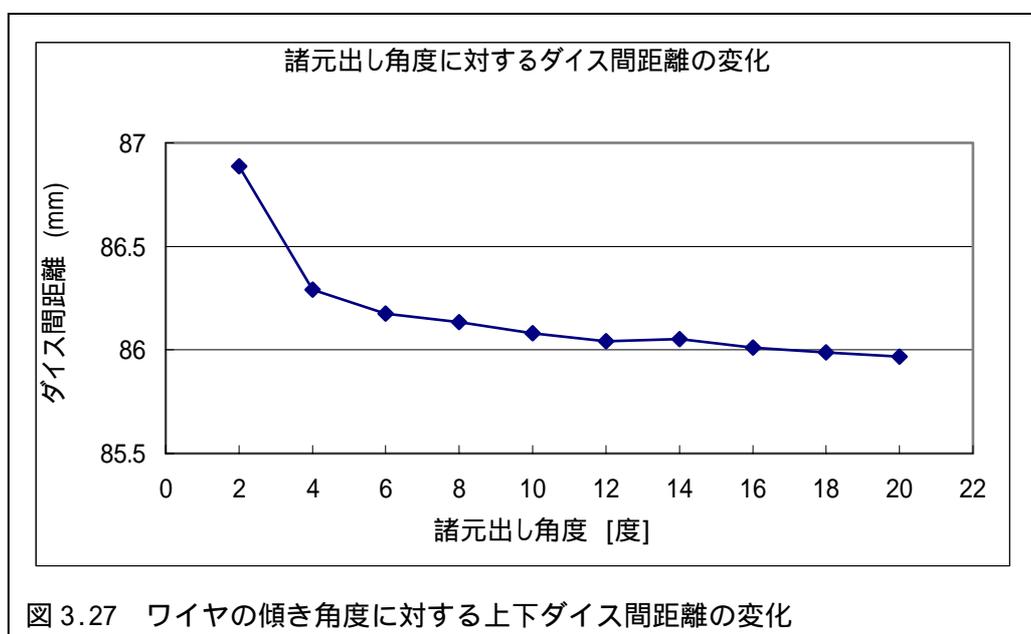
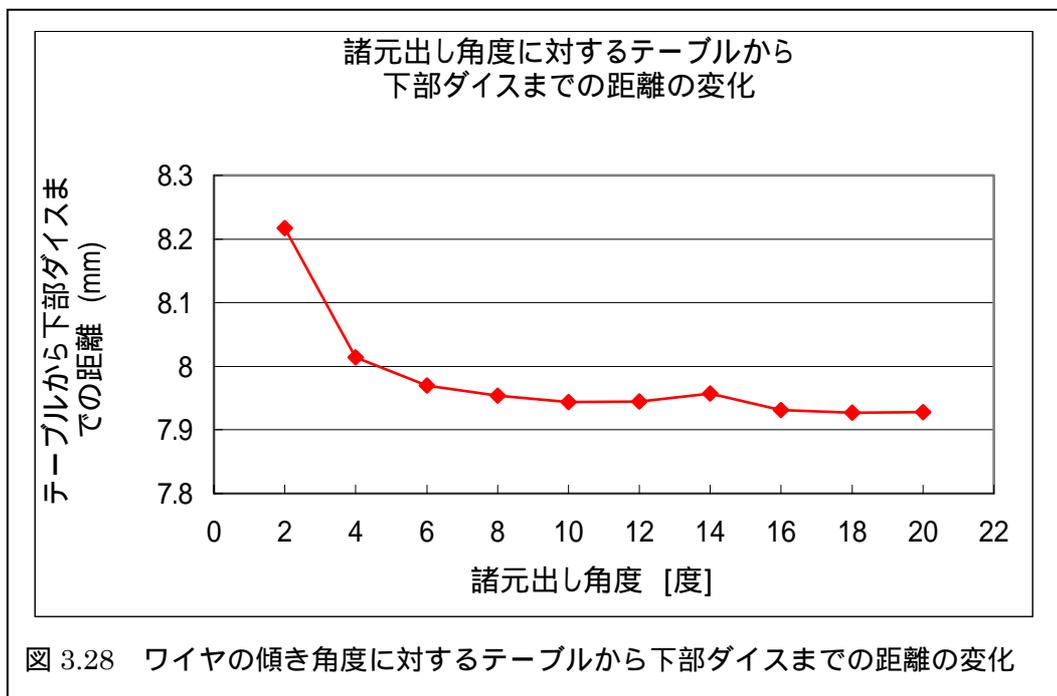


図 3.27 ワイヤの傾き角度に対する上下ダイス間距離の変化

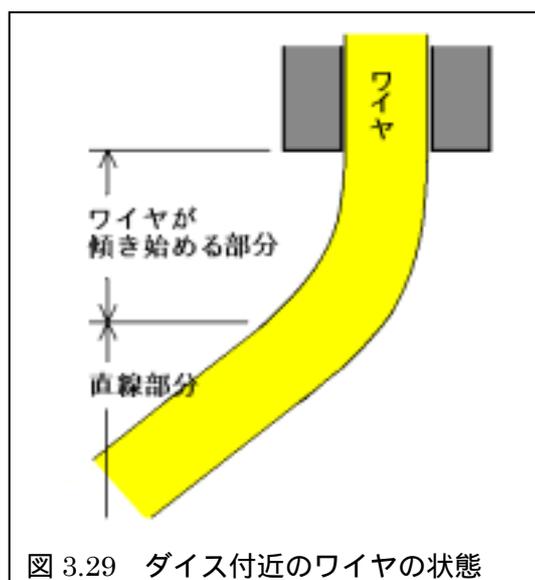
次に、ワイヤの傾き角度に対するテーブルから下部ダイスまでの距離の変化を図 3.28 に表した。



(5) 考察

諸元出し角度の変化によって、ダイス間距離が変化することが分かったが、角度が大きくなればなるほど、ダイス間距離、テーブルから下部ダイスまでの距離ともに短くなっていることが図 3.27、図 3.28 から分かる。この原因については、前項の実験の考察で述べたように、ワイヤの強さによる影響を受けていると考えられる。

図 3.29 のようにワイヤは、ダイスを出てすぐに目標のテーパ角度には傾かず、ダイス直前では、ほとんど垂直に近い状態から徐々に目標のテーパ各度に傾いていき直線状態となる。よって、テーパ各度が大きいほど、この長さが長くなることから結果としてダイス間距離が短く求められてしまうと考えられる。



3.7.7 諸元出し角度に対する上下ダイス間距離の変化とワイヤの傾き角度誤差

(1) 実験目的

諸元出しの段階において、テーパ角度が大きくなるに連れて上下ダイス間距離が短く求められてしまうことがこれまでの実験で明らかとなったが、見かけ上のダイス間距離の変化が、ワイヤの傾き角度に対してどのような影響を及ぼすのか、調査を行う。

(2) 実験方法

まず、テーブルから上部ジェットノズルまでの高さをブロックゲージとすきまゲージを用い、70.1mm に設定する。

諸元出し角度は、5、10、15、20 度で諸元出しを行い、その後、与えた角度ごとに求められた上下ダイス間距離を用いて U 軸移動量を求め 5、10、15、20 度にワイヤを傾け、ワイヤ自体の傾き角度の測定を行う。測定方法は、前記 3.6.2 図 3.7 のとおり、ブロックゲージと測定刃を用いて測定を行った。

(3) 実験条件

テーブルから 70.1mm の高さに上部ジェットノズルを設定し、その後は、同じダイス間距離で諸元出しを行わせるため、Z 軸を移動させずに実験を行う。

(4) 実験結果

以下に諸元出しを行った結果を示す。

テーブルから下部ダイスまでの距離を f 、上下ダイス間距離を g として表す。

- ・ 5 度 (5.000 度) で諸元出しを行った結果 $f=8.173\text{mm}$ $g=86.684\text{mm}$
- ・ 10 度 (9.996 度) で諸元出しを行った結果 $f=7.950\text{mm}$ $g=86.148\text{mm}$
- ・ 15 度 (15.004 度) で諸元出しを行った結果 $f=7.962\text{mm}$ $g=86.106\text{mm}$
- ・ 20 度 (20.005 度) で諸元出しを行った結果 $f=7.951\text{mm}$ $g=86.054\text{mm}$

表 3.26 に、諸元出しで与えたテーパ角度に対するテーパ角度誤差の測定結果を示した。

表 3.26 諸元出しで与えたテーパ角度に対するテーパ角度誤差の変化

ワイヤの傾き角度 誤差 (度)		[諸元出し角度]			
		[5 度]	[10 度]	[15 度]	[20 度]
測定 テー パ 角 度	5 度	0.0136	-0.0007	-0.0017	-0.0036
	10 度	0.0745	0.0192	0.0183	0.0118
	15 度	0.1297	0.0367	0.0268	0.0201
	20 度	0.1535	0.0594	0.0469	0.0340

表 3.26 の結果をグラフに表したものを図 3.30 に表した。

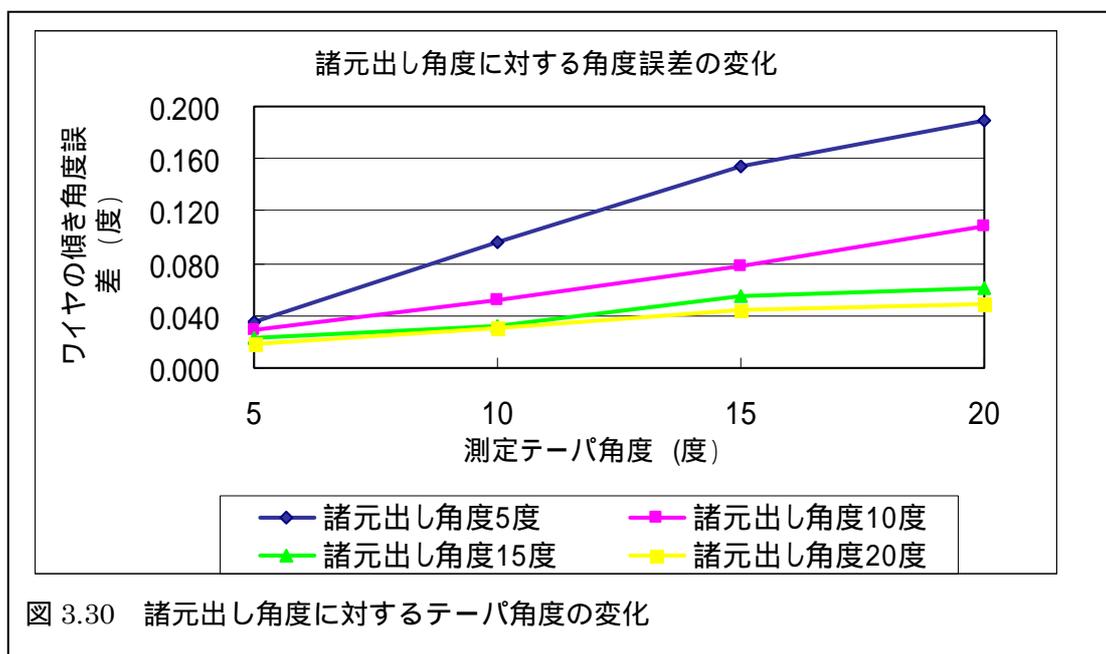


図 3.30 諸元出し角度に対するテーパ角度の変化

(5) 考察

図 3.30 を見て分かるように、諸元出し角度を大きくするに従って、全体の傾き角度誤差は小さくなっていることが分かるが、ワイヤの傾き角度が大きくなるにつれて傾き角度誤差も大きくなっていることが分かる。これは、図 3.31 のように、ワイヤの傾き角度が大きくなればなるほど、ワイヤの強さの影響を受け、実際のワイヤの傾きが理想のワイヤの傾きより大きく傾いてしまうことが考えられる。

20 度テーパで諸元出しを行った場合は、ワイヤの強さの影響を受け、ダイス間距離が短く求められていることから、U 軸移動量が少ないために、全体的に傾き角度誤差が小さくなったと考えられる。

しかしながら、ここで問題となるのは、20 度近辺 (20.005 度) で諸元出しを行ったにもかかわらず、諸元出し後に 20 度テーパにワイヤを傾けた場合、0.034 度の傾き角度誤差が見られ、前項 3.7.4 において諸元出しにおける誤差の発生割合を計算式により求めたが、この時、誤差の要因として考えられたもの以外にも誤差の発生原因があると思われる。

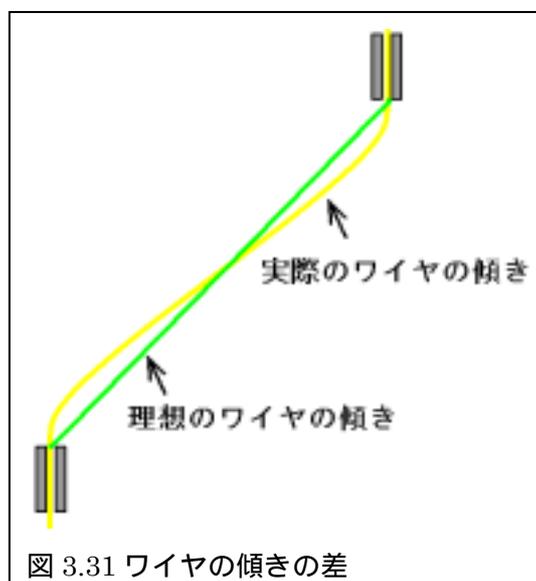


図 3.31 ワイヤの傾きの差

3.7.8 ワイヤの強さによるテーパ角度への影響についての検討

(1) 実験目的

これまでの実験の結果、ワイヤの強さにより、ワイヤの傾きが大きくなるにつれて角度誤差も大きくなるという傾向が見られた。今回は、ワイヤの強さによる角度誤差とダイス直後の、ワイヤの強さを受けている部分のワイヤの状態を ANSYS5.7 を用いて解析する。

(2) 実験方法

今回は、0.2mm、長さ 160mm のワイヤを想定し、実際に諸元出し角度 5 度、10 度、15 度、20 度で諸元出しを行った結果、得られた U 軸移動量とダイス間距離を用いて、これらを与え、ワイヤの傾き角度誤差の傾向について、ANSYS 5.7 による解析を行った。

(3) 実験条件

実際に諸元出しを行った結果を以下に示す。

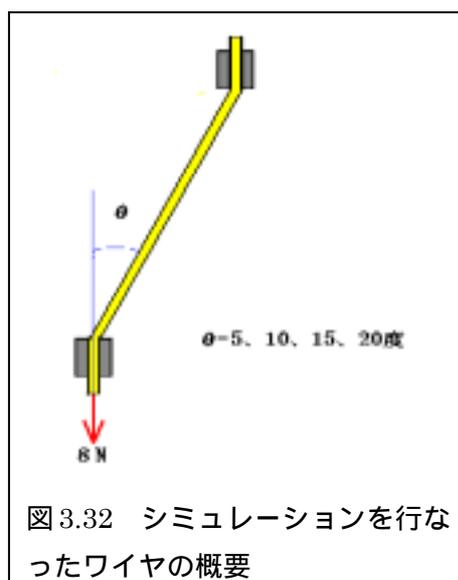
5 度で諸元出しを行った結果	上下ダイス間距離 26.536mm	U 軸移動量 2.298mm
10 度で諸元出しを行った結果	上下ダイス間距離 26.057mm	U 軸移動量 4.560mm
15 度で諸元出しを行った結果	上下ダイス間距離 25.904mm	U 軸移動量 6.906mm
20 度で諸元出しを行った結果	上下ダイス間距離 26.070mm	U 軸移動量 9.479mm

0.2mm の黄銅ワイヤ

ヤング率： 1×10^5 (N/mm ²)	ポアソン比：0.35
断面積： 0.03141592654 (mm ²)	断面二次モーメント： $4.908738521 \times 10^{-6}$ (mm ⁴)
ワイヤテンション：8 (N)	

Nodes 数 16000 個

図 3.32 のように各諸元出し角度で実際に諸元出しを行った結果から、求められたダイス間距離を用いて、ワイヤの傾き角度を (5 度、10 度、15 度、20 度) に傾けたときのワイヤの状態を、ANSYS5.7 を用いて解析を行った。



(4) 実験結果

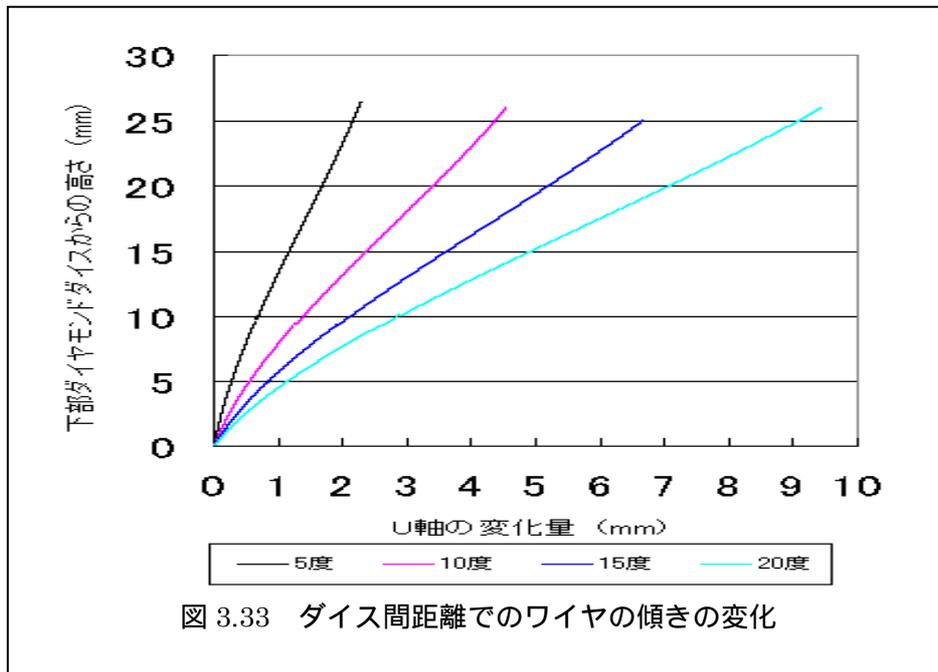


図 3.33 はダイス間距離の間での、ワイヤの傾きの変化を見たグラフである。

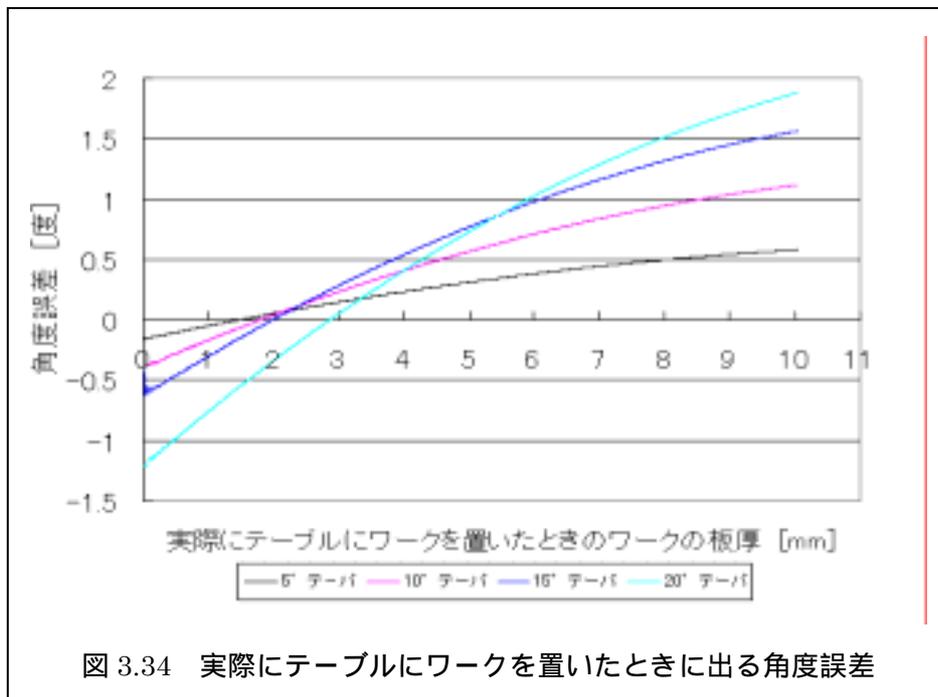


図 3.34 は図 3.33 のデータを元に、板厚 10mm のワークを加工する場合を想定し、加工範囲内のワイヤの強さがどれだけワイヤの傾きに影響するかを、グラフに表したものである。

(5) 考察

図 3.33 の結果を見て分かるように、ワイヤは強さの影響を受けてダイスから離れるに従い、徐々に変形量は小さくなり、直線に近づいて行くことが分かる。

ワイヤがほぼ直線となる部分は、ダイス間距離における中央付近であり、ワイヤの傾き角度 5 度の場合においては、ワイヤの強さの影響が小さくワイヤの変形量も小さかった。その他の傾き角度において、その傾き角度に対しワイヤが直線状態となる範囲としては、傾き角度 10 度では下部ダイスから 11.04mm ~ 23.28mm の約 12mm の範囲、傾き角度 15 度では下部ダイスから 12.31mm ~ 21.76mm の約 10mm の範囲、傾き角度 20 度では、13.79mm ~ 20.62mm の約 7mm の範囲であった。これより、ワイヤの傾き角度が大きくなればなるほど、ワイヤが強さの影響を受けて直線状態に近づく範囲が小さくなることが分かる。

図 3.34 は、横軸にテーブルからの高さを取り、板厚 10mm までのワークを加工する場合を想定し、ワイヤの傾き角度誤差を縦軸に表したものである。これより、板厚 1mm のワークを加工する場合と、板厚 10mm のワークを加工する場合とでは、5 度テーパでは約 0.5 度、10 度テーパでは、約 1 度、15 度テーパでは、約 1.5 度、20 度テーパでは約 2.5 度の角度誤差の傾向が見られる。つまり加工する目的のテーパ角度が広角になればなるほど、角度誤差も大きくなるという解析結果を得た。

ANSYS5.7 の解析結果においても、ワイヤを傾ける角度が大きくなればなるほど、ワイヤの強さの影響が大きくなり、前項 3.7.7 図 3.31 のように NC の設定角度に対して実際のワイヤの傾きは大きくなるということが分かった。

3.7.9 ワイヤの傾き角度に対する加工誤差

(1) 実験目的

従来のテーパ加工においては、NC の設定角度により、ワイヤに傾きを与えて加工を行っており、加工後にワークのテーパ加工面の角度を測定し、比較したとしても、これは NC 設定角度と加工結果との比較であり、実際のワイヤの傾き角度が分からないために加工誤差を求めたことにはならない。よって、本実験においては加工誤差を求めるため、ワイヤの傾きを求めた後で加工を行い、加工誤差を求めることを目的とし、実験を行った。

(2) 実験方法

まず、Z 軸を板厚 10mm のワークを加工できる状態に位置決めを行う。今回の実験で Z 軸の位置決め後のダイス間距離は、26.728mm であった。

次に、上下ダイス間距離から目標のテーパ角度に傾けるために U 軸移動量を求め、ワイヤを傾けるが、その後ワイヤの傾き角度を測定し、U 軸移動量を調整してワイヤの傾き角度を目標テーパに近づける。ワイヤの傾き角度の測定方法は、前記 3.6.2 の図 3.7 のとおりに行い、測定刃の高さを変えるブロック

ゲージには、5mm のものを使用した。測定は 10 回行い平均値からワイヤの傾きを求めた。

ワイヤの傾き角度を測定後図 3.35 のように、ワイヤを傾けたままワークに切り込む加工を行い、加工後のワークのテーパ加工面の角度を測定し、ワイヤの傾き角度に対する加工誤差を求めた。ワークのテーパ面の測定は、前記 3.6.1 図 3.6 のとおりに行い、測定顕微鏡の Y 軸方向の移動量は 5mm とし、測定は 10 回行い平均値からテーパ面の角度を求めた。

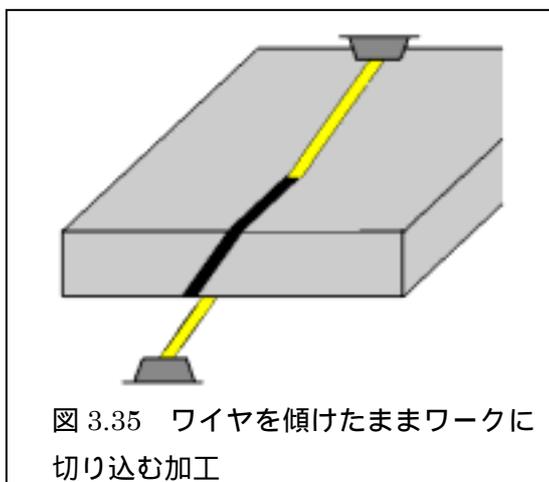


図 3.35 ワイヤを傾けたままワークに切り込む加工

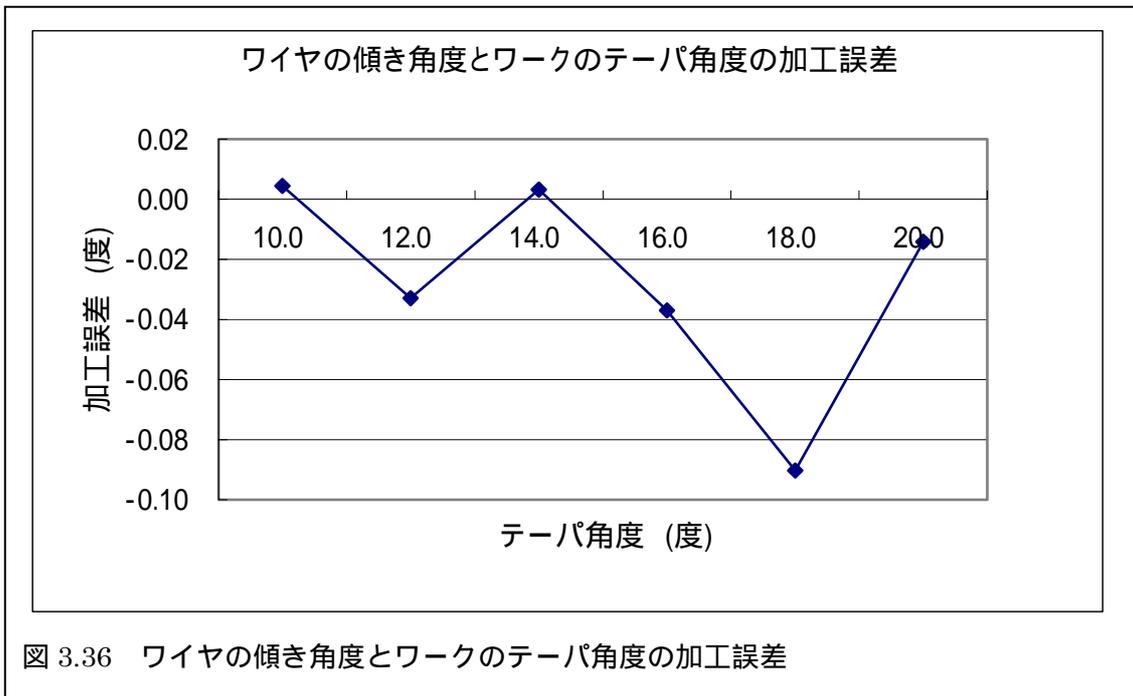
(3) 実験結果

ワイヤの傾き角度と加工誤差の結果を表 3.27 に表す。

表 3.27 ワイヤの傾き角度と加工誤差

ワイヤの傾き角度 測定結果 (度)	10.000	11.993	14.000	15.998	18.003	20.008
加工後のテーパ面の角度 測定結果 (度)	10.004	11.960	14.003	15.961	17.913	19.993
加工誤差 (度)	0.004	-0.033	0.003	-0.037	-0.090	-0.014

表 3.27 の結果をグラフに表したものを図 3.36 に表す



(4)考察

図 3.36 の結果から、ワイヤの傾き角度とワークのテーパ角度の加工誤差は 18 度を除けば、0.004 度から -0.04 度の範囲で多少のばらつきは見られるものの、加工誤差の値は小さいと言える。ワイヤの傾き角度 18 度に関しては突発的に誤差が大きく出てしまったものと考えられるが、全体的に見てみると加工誤差はマイナスにでてしまうものの加工誤差は小さく、加工誤差よりもワイヤの傾き角度誤差を小さく押さえることの方が重要であるといえる。

今回の実験より、ワイヤの傾き角度を正確に傾ける方法を見つけ出すことができれば、テーパ加工精度の向上は十分に考えられることが分かった。

3.8 諸元出しについての検討

諸元出し方法については、3.5.2 諸元出し方法で説明した。これまでの実験の結果から、ワイヤを正確に傾けることと、ワイヤの傾き角度を正確に測定することが重要であると考えられたが、ワイヤの傾きを求める方法を検討中に、諸元出し方法の重要な問題点が浮かび上がってきた。よって本節では、諸元出し方法の問題点と、ワイヤの傾き設定方法について検討した。

3.8.1 諸元出し方法を用いたワイヤの傾き角度の測定方法の検討

従来の諸元出し手順を用いてワイヤの傾き角度を求める方法について検討した。図 3.37 は、諸元出し時に必要な値と測定値を分かりやすく、図で表したものである。

従来の諸元出し方法では、諸元出し後に求められた上下ダイス間距離と、諸元出し中に移動したU軸移動量を用いて諸元出し角度の割り出しを行っていたが、ワイヤの強さによって、諸元出し角度が変わると上下ダイス間距離も変化してしまうことや、変形したワイヤの部分を含めた状態で諸元出しを行っていることから、諸元出し時のワイヤの傾き角度の割り出しが、正確に行うことができないのではと考え、諸元出し段階で求められる値、 d 、 c に注目し図 3.38 の灰色で表された三角形を用いて、ワイヤの傾き角度を求める方法を提案した。この測定方法においては、ワイヤの強さの影響を受けない箇所でワイヤの傾き角度を求めるため、ワイヤの傾き角度が正確に求めることができるのではないかと考えたのである。ワイヤの傾き角度を求めるための式を以下に示す。

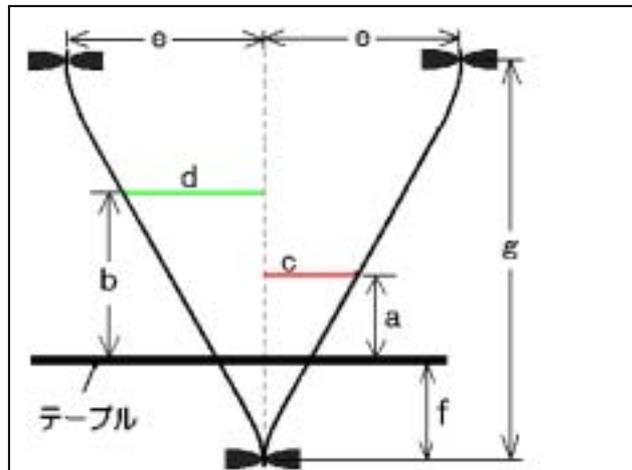


図 3.37 諸元出し方法

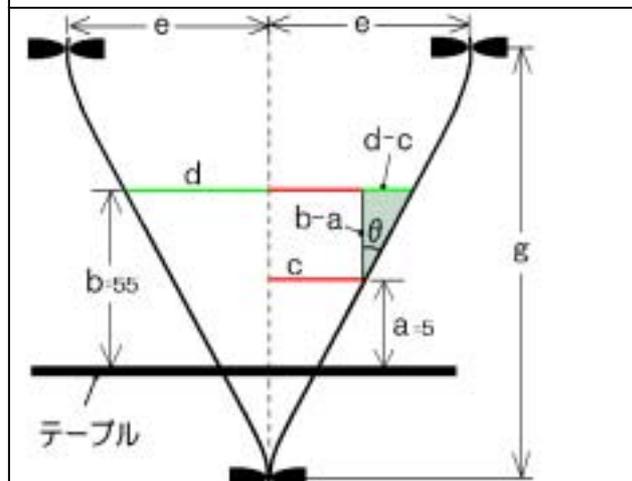


図 3.38 ワイヤの傾き測定方法

$$\text{ワイヤの傾き角度} = \tan^{-1} \left(\frac{d-c}{b-a} \right)$$

この方法を用いて、ワイヤの傾き角度を求めることができるのではないかとと思われる。

しかしながら、諸元出し方法や、提案されたワイヤの傾き角度測定方法においても、図 3.39 のように、緑色で表された三角形 D と赤色で表された三角形 C とが相似であることが条件となるが、ワイヤが径を持たない線であると考えた場合、ワイヤの左右の傾き角度が等しければ三角形 D、C は相似であることがいえる。

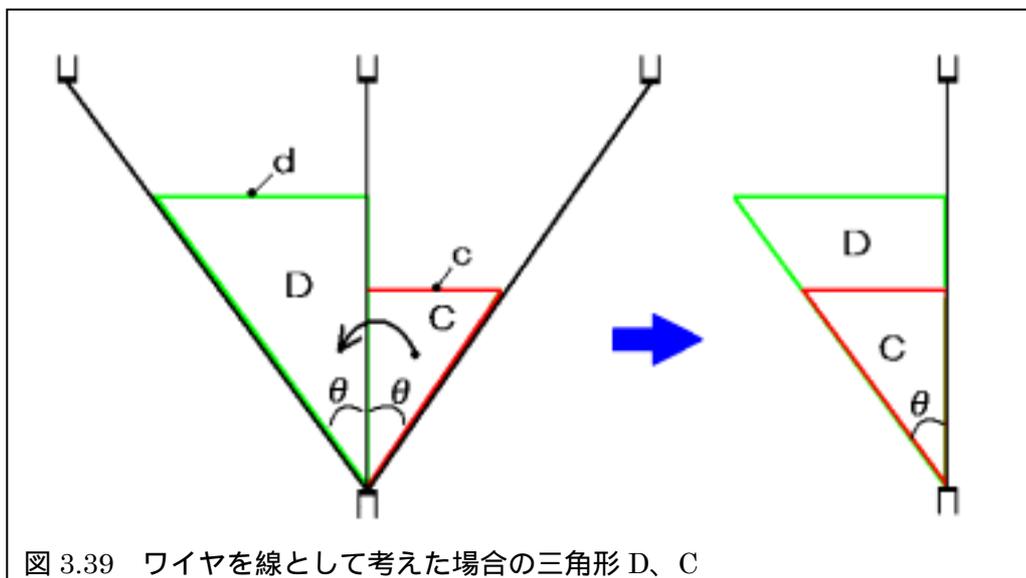


図 3.39 ワイヤを線として考えた場合の三角形 D、C

図 3.39 においては、ワイヤを線として考えた場合であるが、図 3.40 は、実際のワイヤのように径を与え、同じように三角形の相似を考えてみた。その結果、青丸で囲まれた部分を見て分かるように三角形 C がわずかに小さく、二つの三角形が相似でないことが分かる。

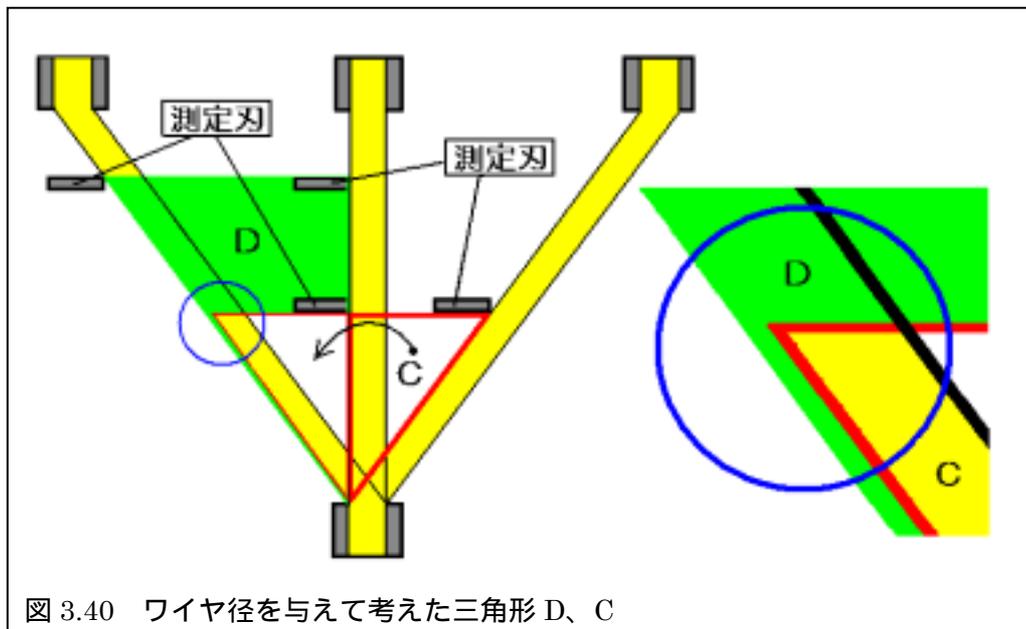


図 3.40 ワイヤ径を与えて考えた三角形 D、C

図3.40において三角形Dと三角形Cを重ね合わせた結果、三角形Cがわずかに小さく、二つの三角形は相似とならないことが分かった。これは図3.41に示す、青い矢印部分の長さは同じであるのに対して、ワイヤの幅を示す黒い矢印部分は、図3.42に現したように、垂直状態のワイヤ幅と、傾いた場合のワイヤ幅に差が生じることが原因である。

また、ワイヤ幅の差を K と表した場合、今回使用したワイヤの直径が 0.2mm であるため、 K は以下の式で表される。

$$K = 0.2 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$$

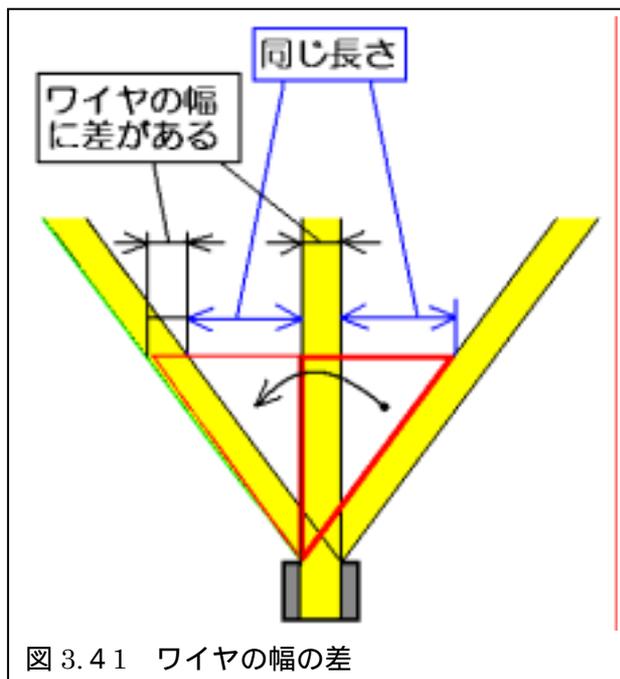


図 3.41 ワイヤの幅の差

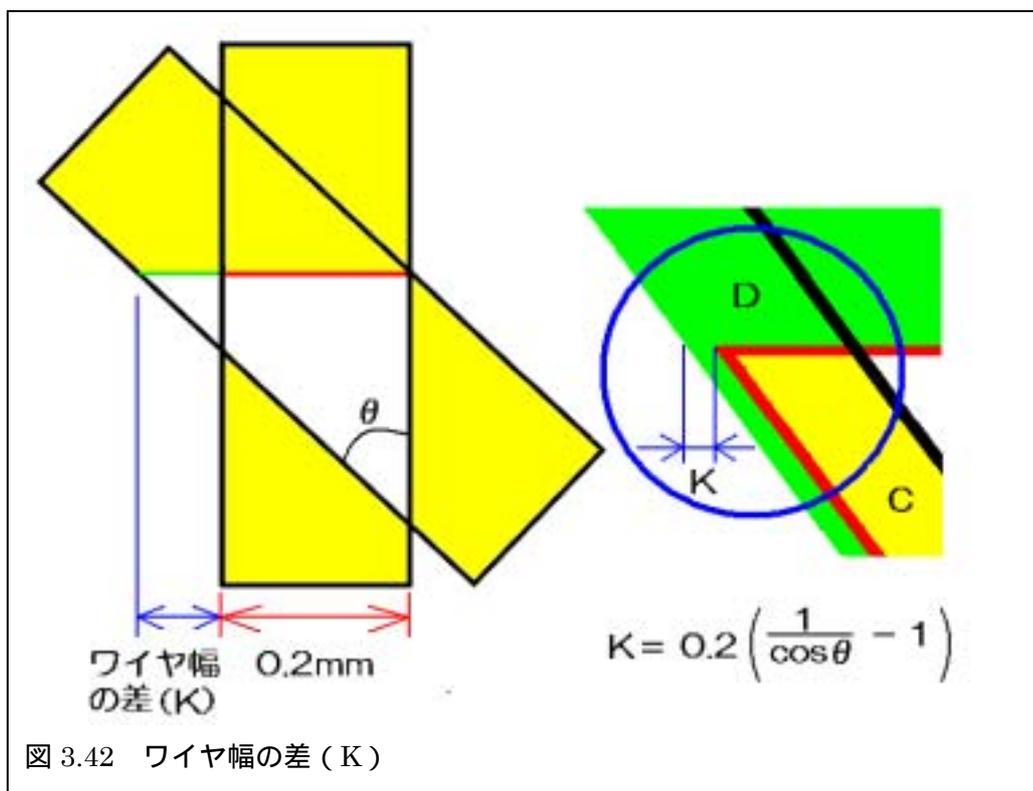


図 3.42 ワイヤ幅の差 (K)

諸元出し段階において、垂直状態でのワイヤ幅とワイヤを傾けた場合のワイヤ幅との差が生じることが分かったが、ワイヤの傾きが大きくなればなるほどワイヤ幅の差 K も大きくなること分かる。よって、諸元出し角度の変化に対するワイヤ幅の差の変化を図 3.43 に表し、そのワイヤ幅の差から生じる角度誤差を求めたものを図 3.44 に表した。

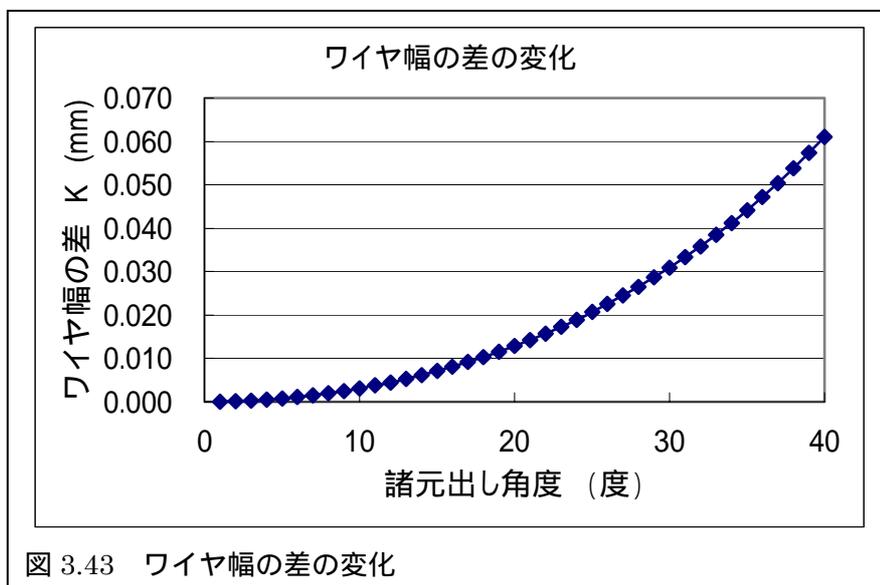


図 3.43 ワイヤ幅の差の変化

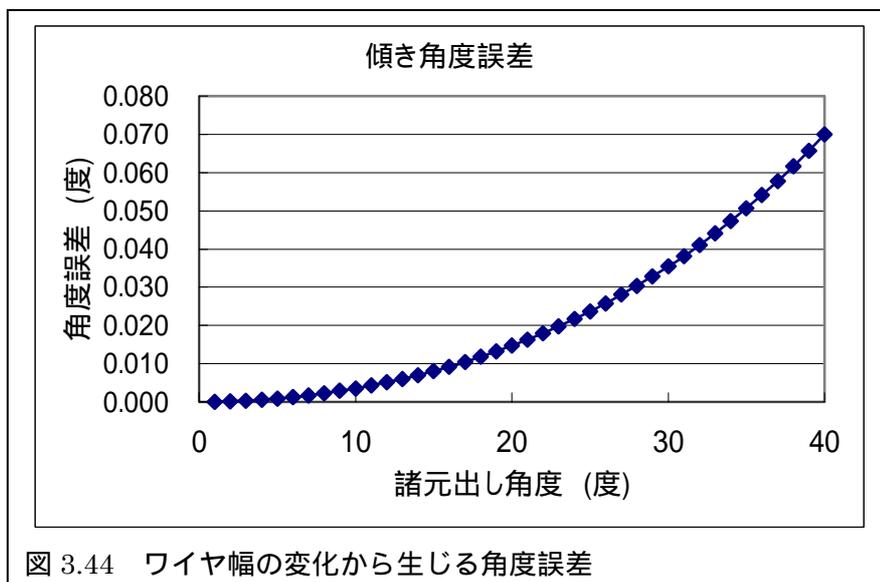


図 3.44 ワイヤ幅の変化から生じる角度誤差

図 3.43 より、諸元出し角度が小さい場合は、ワイヤ幅の差も小さいが、ワイヤの傾きが 40 度の場合においては 0.06108mm と非常に大きな値となることが分かった。また、角度誤差においても同じく 40 度の場合には 0.06999 度の角度誤差となってしまうことが明らかとなった。従来の諸元出し方法においては諸元出し角度が大きくなればなるほど、求められる角度自体に誤差を含むことになるため、結果として従来の諸元出し方法のまま広角テーパでの諸元出しを行うことはできないことが分かる。また、始めに提案された従来の諸

元出し操作を用いたワイヤの傾きを求める方法においても、同じく求められる角度に誤差を含むことから、ワイヤの傾き角度の測定に適用することはできないことが分かる。

また、このような誤差を発生させないためには、やはりワイヤを左右に傾けず一方のみ傾けた状態で傾き角度を測定しなければならないことが分かる。

3.8.2 新しい垂直度計形状とワイヤの傾き角度測定方法の提案

従来の諸元出し方法においては、求められる諸元出し角度に誤差を含み、広角テーパ加工を行う際には適用できないことが分かった。

ワイヤの傾き角度の測定に関して、ワイヤ幅の差を補正することで、従来の諸元出し方法を用いることも考えられるが、やはりワイヤの傾き方向を左右のいずれかに限定して、傾きの測定を行わせる方がより正確に測定することができると思われる。

しかしながら、従来の垂直度計では、ワイヤを一方に傾けた状態だけで傾きを測定することができないため、今回新しい垂直度計の形状を提案した。

新しい垂直度計の形状を図 3.45 に示す。従来の垂直度計は上下の測定刃の長さが同じであったが、提案した垂直度計は上下の測定刃の長さが違っており、下側の測定刃が、上側よりも長くなっている。測定刃の長さが違っているが、通常通りワイヤの垂直出しを行うこともできる。

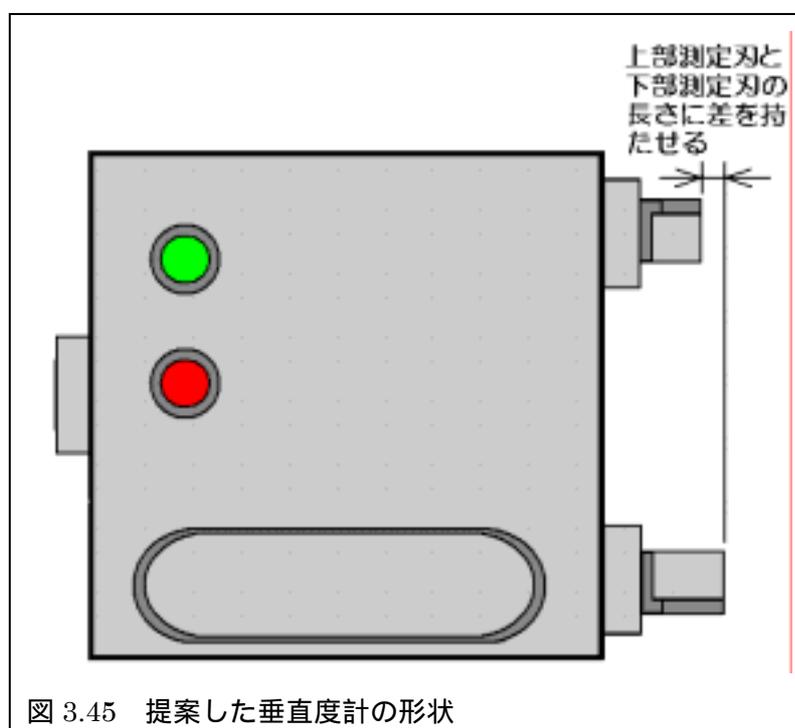


図 3.45 提案した垂直度計の形状

また、提案した垂直度計を用いれば、ワイヤを一方向のみに傾けた状態で、ワイヤの傾き測定を行うことができる。傾き測定方法を図 3.46 に示す。

まず、垂直度計を従来の垂直だし時と同じように加工テーブル上にセットし、ワイヤに傾きを与え、初めに上部測定刃に対して端面位置決めを行いその時の X 軸座標をゼロとする。次に、下部測定刃のみにワイヤが接触できる範囲内まで Y 軸方向にワイヤの位置をずらす。続いて下部測定刃で端面位置決めを行うことによって、X 軸座標の移動量を求める。上下の測定刃間隔は、従来と同じく 50mm とした場合、ワイヤの傾き角度は、次の式によって求めることができる。

$$\text{ワイヤの傾き角度} = \tan^{-1}\left(\frac{\text{X軸の移動量}}{50}\right)$$

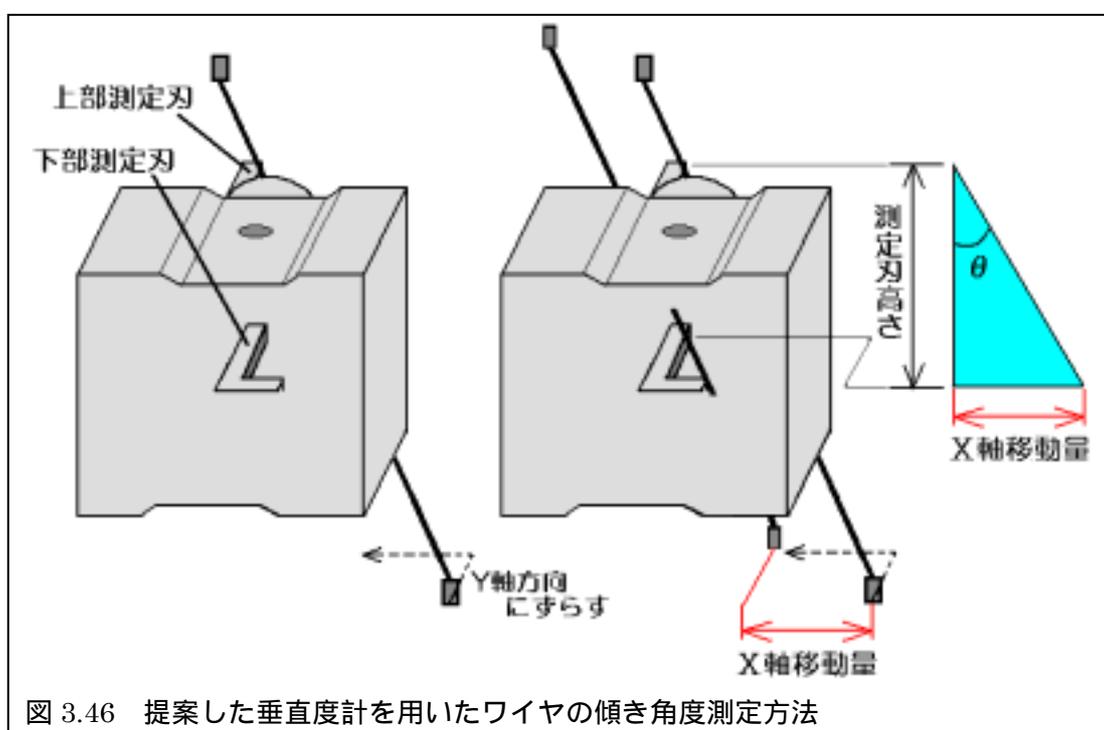


図 3.46 提案した垂直度計を用いたワイヤの傾き角度測定方法

ワイヤの傾き角度の測定方法について説明したが、傾き角度を求めた後、U 軸移動量を調整し再度傾き角度の測定を行う自動プログラムを加工機の NC に設定すれば、目標テーパ角度に近づくまで、繰り返し測定を行わせることも可能と思われる。

また、ワイヤの傾き角度が求めれば、その時の U 軸移動量から上下ダイス間距離を求めることも可能である。

今回、提案した垂直度計とワイヤの傾き角度測定方法を用いれば、ワイヤの傾き角度を正確に求めることができ、更に広角テーパにおいてもこの方式を適用することは可能であるため、テーパカット加工精度を向上させることは十分に期待できる。

3.9 結言

テーパカットについて加工実験の他、解析ソフトや数式等を用いてテーパカット加工の誤差について研究を行ってきた。ワイヤの傾き角度自体に影響を及ぼす要因は、ワイヤの強さであることが結果として言え、前記図 3.31 に表されたように NC で計算された理想のワイヤの傾きよりも実際のワイヤの傾きはワイヤの強さによって傾きが大きくなることが分かった。また、諸元出し段階における測定誤差が、ダイス間距離に及ぼす影響を計算式で求めた結果、諸元出し角度を 2 度と 14 度で設定し比較した場合、14 度の方が、2 度の場合に比べ、発生する誤差の割合を小さく抑えることができるという結果を得た。この結果を調査するため、実際の諸元出しを 2 度と 14 度で行ったが、計算結果と同じく、諸元出し角度 14 度で行った場合の方が、求められたダイス間距離のばらつきは小さいことが分かった。しかしながら、このばらつきの差の原因は、測定刃とワイヤの接触面が、2 度の場合と 14 度の場合では、わずかに 14 度の方が狭い接触面積で位置決めを行うことができていたのに対し、2 度の場合は接触面積が広いために測定位置にばらつきが生じたためだと思われた。

従来、テーパ加工の加工誤差については、ワイヤの傾き角度が NC の計算によって、設定していたために、実際ワイヤが何度傾いた状態で加工を行っていたのかが分からず、NC の設定テーパ角度と加工後のワークのテーパ角度との差を誤差としていた。今回の研究においては、ワイヤの傾き角度を測定後、ワイヤをそのまま傾けた状態でワークに切り込む加工を行い、加工誤差の調査を行った。その結果 20 度テーパまでにおいては、加工誤差はばらつくものの、誤差は小さいことが分かった。このことから、ワイヤの傾き角度を正確に測定し、ワイヤを傾ける方法を検討する必要性が見えてきた。よってワイヤの傾き角度測定方法を検討し、諸元出し方法を用いた角度測定方法を提案したが、調査の段階で従来諸元出し方法自体に誤差の発生原因があることが明らかとなった。その誤差の発生原因は、垂直状態のワイヤ幅と、傾けた状態のワイヤ幅の差であり、諸元出し角度が大きくなるに従って発生する誤差も大きくなるという結果となった。従来のような 5 度程度のテーパカット加工においては、発生する誤差は非常に小さいものであったため従来の諸元出し方法においても問題は無いが、広角テーパでの諸元出しは、発生する誤差が大きくなるため、従来方法は適用できないことが分かった。

以上のことから、垂直度計の測定刃形状の改良点と、これを用いたワイヤの傾き角度測定方法を提案した。実際にその垂直度計を試作し、測定を行う調査を行っていないが、ワイヤの傾き角度を求める方法としては、操作が容易であり正確にワイヤの傾き角度の測定を行うことができる。さらに NC 側に測定プログラムを設定すれば、自動で繰り返し測定を行い、目標テーパ角度にワイヤを傾けることも可能であると思われる。

今回の研究における、従来諸元出し方法の問題点の発見と、垂直度計を用いたワイヤの傾き角度測定方法の提案は、テーパ加工精度の向上につながる成果であり、今後のテーパ加工精度の向上は期待できると思われる。

第4章 結論

本研究は、ワイヤカット放電加工機における加工精度向のうち、コーナー加工精度とテーパ加工精度について研究を行い、従来加工法の調査や、原因追究のための調査実験などを行ったのち、計算式を用いた誤差の割り出しや、解析ソフトを用いて加工状態をシミュレーションするなど、さまざまな視点から調査を行い結果として、以下に示す結論を得た。

第2章 コーナー加工精度の向上

- ・セカンドカット加工後のコーナー先端部分は、加工面のエッジは、シャープに加工されているが、コーナー先端の両辺が、先端に向かってわずかに傾いた形状に加工される。
- ・ドゥエル加工法においては、今回の加工条件の場合、停止時間 0.8 秒付近でダレを小さくすることができる。
- ・オーバーシュート加工法は、通常加工で発生するダレ寸法をもとに、最適送り量を求めることで、ダレ寸法の小さいコーナー加工を行うことができる。
- ・コーナーダレの寸法は、角度が小さくなればなるほど 11、12 ダレ共に長く発生する。
- ・最もダレ形状に影響を及ぼす要因は、ワイヤのたわみである。
- ・オーバーシュート加工法で加工を行ったコーナーは、通常加工に比べて、ワーク断面の上面、中面、下面でのダレ寸法の差が小さい。

第3章 テーパカット加工の加工精度向上

- ・ダイス間距離を一定として、ワイヤの傾きを設定した場合ワイヤの傾き角度誤差は、傾き角度が大きくなるにつれて角度誤差も大きくなるという結果を得た。
- ・計算式から求められた結果においては、諸元出し角度が大きいほどダイス間距離に影響を及ぼす誤差の割合を抑えることができることがわかった。
- ・諸元出し角度が大きくなるとワイヤの強さの影響も大きくなり、見かけ上のダイス間距離が短く求まってしまう。
- ・諸元出し角度と同じ傾きにワイヤを傾け、その傾き測定を行った結果、諸元出し角度が大きいほど傾き誤差の発生は小さいものの、プラス方向にわずかな角度誤差が生じる。
- ・現在の諸元出し方法では、測定時にワイヤを垂直状態から左右にワイヤを傾けて測定を行うことから、ワイヤの状態によってワイヤ幅の差だけ誤差が生じることから、広角テーパでの諸元出しを行うことはできない。
- ・新しく提案した垂直度計とワイヤの傾き角度測定方法を用いることによって、ワイヤの傾き角度の測定は容易にかつ正確に求めることが可能と思われる。

以上、本研究はコーナー加工精度とテーパカット加工精度において、加工精度に影響を及ぼす誤差の要因を明らかにしながら、その改善策を提案し、その改善策を適用することでそれぞれの加工精度が向上することを示したものである。

参考文献

- 小原治樹 大住剛 今井渉 山岸亮法
「電気加工学会全国大会・論文
ワイヤ放電加工の小円弧凹コーナーRの加工精度改善方法の検討」 (1999)
- W.J.Hsue; Y.S.Liao
International Symposium for ElectorMachining
「A CONTROL STRATEGY FOR FINISH-CUT OF WIRE-EDM
BASED ON A MATERIAL REMOVAL MODEL」 (1995)
- 斎藤長男 小林和彦 仙北谷英次
「ワイヤカット放電加工技術」 (1971)
- 三菱電機(株) / 斎藤長男
「放電加工のしくみと100%活用法」 (1979)
- 眞鍋明 葉石雄一郎
「ワイヤカット放電加工」(1997)
- 真柄卓司
「ワイヤ放電仕上げ加工における加工精度向上に関する研究」(1993)