

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「 $\Phi 1 \mu\text{m}$ レベルのマイクロピクスアレイの製法開発」

研 究 開 発 成 果 等 報 告 書

平成22年3月

委託者 四国経済産業局  
委託先 株式会社長峰製作所

## 目次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1) 研究の背景	3
2) 研究の目的	3
3) 研究の目標	3
1-2 研究体制	3
1) 管理員及び研究員	3
2) 実施計画日程	4
1-3 成果概要	6
1) 実施内容	6
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	7
第2章 本論	8
2-1 システム構造	8
2-2 $\phi 1 \mu\text{m}$ の微細パンチの製作技術の開発	8
1) 研削装置の導入	8
2) 先端付近R形状微細パンチ製作の課題	9
3) 強形状微細パンチの製作	10
4) 砥石番手の検討	10
5) $\phi 1 \mu\text{m}$ パンチ加工での課題	11
2-3 微細パンチの機上測定方法の構築	11
1) 穴あけパンチの寸法形状測定の測定精度向上	11
2) 機上測定での課題	12
2-4 微細パンチ、微細ダイの組み付け工法の開発	12
1) マシニングセンタのドリル加工精度の検証	12
2) パンチによるダイの加工工法の開発	13
3) ダイ加工の今後の課題	15
4) パンチ、ダイのクリアランスに関して	15
5) クリアランスに関しての課題	16
2-5 ラップ盤の開発	16
1) ラップ盤の課題点	16
2) マシニングセンタによるラップ	16
2-6 システム化した新規加工機の開発	17
1) ダイテーブルに上下機構の取り付け	17
2) 加工事例	17
3) 今後の取り組み	18
2-7 微細パンチの表面性状評価と成型品の品質評価	18
1) 測定器導入	18
2) 測定器での測定例	19
3) 今後の取り組み	20
2-8 プレス加工後の応力除去工法の開発	20
1) 応力除去の必要性	20
2) レーザーピーニング導入への計画	21
3) レーザーピーニング実験	21
4) レーザーピーニング今後の課題	25
最終章 総評	25

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### 1) 研究の背景

当社が製造するオリフィスプレート（ $\phi 10 \mu\text{m}$ 、公差 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ）は、半導体製造装置の圧力制御式流量コントローラー等の重要部品として使用されているが、近年、半導体製造メーカーから、半導体の高集積化、細線化（線幅  $50 \text{nm}$ 以下）に伴う反応ガスの流量コントロールの高精度化を図るため、 $\phi 1 \mu\text{m}$ レベルの高性能微細穴ネット状金属部材の開発ニーズが急増している。

#### 2) 研究の目的

高精度の穴が規則正しく連続して大量に開いた部材の製法は、プレス加工法が最も得意とする分野である。現状においては、プレス加工法による $\phi 1 \mu\text{m}$ の穴加工は実現されていないが、量産性、品質安定性、コスト優位性は他工法とは比較にならない優位性を有している。

本研究開発は、微細パンチの製作技術や微細パンチと微細ダイを適正なクリアランスでセッティングするシステム等を構築し、金属薄板に $\phi 1 \mu\text{m}$ レベルの穴を大量に明けたフィルター状部材の製造を可能とする一連のプレス加工工程をシステム化した新規加工機の開発を行うものであり、これまで高度熟練技能者でなければ実現不可能であった技能をシステム的な技術に向上させることで、技能、技術の普遍化を図ることを目的とする。

#### 3) 研究の目標

- ① 高度熟練技術者でなければ出来ない加工を、一般技能者が訓練期間1年程度で製作可能にする。
- ② 従来工法ではパンチ穴加工は $\phi 10 \mu\text{m}$ が限界であったものを $\phi 1 \mu\text{m}$ 程度の加工が出来る技術を確立する。
- ③ 従来工法の加工スピードを100倍以上に高速化する(100穴/分)。
- ④ 穴の加工総数を従来工法の100倍以上を可能にする(従来1000穴が限界)。
- ⑤ 1穴当たりのコストを1/100以下にする(穴単価10円以下)。

### 1-2 研究体制

#### 1) 管理員及び研究員

【事業管理者】 株式会社 長峰製作所

##### ①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
長峰 勝	代表取締役	⑧
長峰 考志	専務取締役	⑧
橋田 守雄	技術顧問	⑧
前川 朋美	総務部 総務課	⑧
山内 正輝	製造部 次長	⑧

##### ②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
長峰 勝 (再)	代表取締役	①～⑦
長峰 考志 (再)	専務取締役	①～⑦
中野 良一	生産技術部 副主任研究員	①～⑦
有信 尊由	生産技術部 研究員	①～⑦
千葉 茂樹	生産技術部 研究員	①～⑦
森 邦和	生産技術部 研究員	①～⑦

組織変更と開発のスピード化の為に、平成20年度から管理委員1名、研究員2名増員した。

2) 実施計画日程 (平成19年度～平成22年度)



実施計画内容		実施時期												
		初年度			第2年度				第3年度					
		10	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3		
設備・ 機器 段取り	システム化装置全体の構想検討・設計製作	●	→											
	設備搬入		→											
	マシンングセンター・ELID研削装置・機上寸法測定装置・X,Y軸補助テーブル・ラップ盤	●	→	→										
	マイクロショットピーニング加工機の機種選定・仕様決定・手配	●	→	→										
	マイクロショットピーニング加工機の入荷													
	マイクロショットピーニング加工機の条件だし													
	レーザーピーニング加工機の機種選定・仕様決定・手配													
	レーザーピーニング加工機の入荷													
レーザーピーニング加工機の条件だし														
穴明けパンチ、成型品の評価測定機の機種選定・仕様決定・手配														
穴明けパンチ、成型品の評価測定機の入荷														
外形抜き金型の設計	外形抜き金型の設計	●	→											
	外形抜き金型の加工・仕上げ・組立			●	→									
設備段取り	全ての機器の組立	●	→											
	システム機器改造・自動化		→											
微細パンチの開発	微細パンチ素材の探索	●	→											
	微細パンチ形状の設計	●	→	→										
	φ1μm微細パンチ製作			●	→	→								
微細パンチの機上測定	微細パンチの機上測定	●	→											
	微細パンチの面性状測定			●	→									

微細ダイの開発	微細ダイの材料選定									
	微細ダイの設計									
	微細ダイ穴加工									
	プレス穴明け加工実験									
	連続千穴加工実験									
	千穴完成品試作									
ラップ加工開発	V型面押し逃げ除去工法開発									
	バリ取り加工実験									
歪み取り工法	ショットピーニング 内部応力除去工法開発									
	<del>ショットピーニング 小球の探索</del>									
	<del>ショットピーニングの条件だし</del>									
	レーザーピーニング 内部応力除去工法開発									
	レーザーピーニングの条件だし									
外形抜き実験										
品質評価	穴明けパンチの評価 ーパンチ側面の面粗さ測定ー									
	成型品の評価 ー穴形状、寸法、表面性状測定ー									
	成型品の穴断面評価									

変更内容

## 1-3 成果概要

### 1) 実施内容

#### ① $\phi 1 \mu\text{m}$ の微細パンチの製作技術の開発

円筒研磨、放電加工等の従来工法では、加工対象物があまりにも微細であるため、加工荷重によって曲がり、折れが発生し、加工熱でパンチ先端が溶けるなど、 $\phi 1 \mu\text{m}$ の微細パンチ（以下、微細パンチと言う）の加工は不可能であると考えられる。

この為従来工法に比べ加工荷重、加工熱が小さく、たわみを抑制できる可能性が高いと考えられる（独）理化学研究所が開発した新たな加工工法であるELID研削工法を用いて、微細パンチの製作に必要な材料、形状、加工方法、加工条件等の製作技術を蓄積した。

その結果平成19年度に2軸方式研削装置とELID研削手法の併用の有効性は十分に実証され、その成果として $\phi 3 \mu\text{m}$ 程度の試作は完成した。

平成20年度には $\phi 1 \mu\text{m}$ の製品の実現に向けて技術を蓄積したが、新たにパンチの強度不足（ $\phi 10 \mu\text{m}$ 以下）の課題が判明した。

平成21年度は、平成20年度の結果から $\phi 10 \mu\text{m}$ 以下のパンチ製作技術の確立を行い最終的に $\Phi 1.7 \mu\text{m}$ の試作が完成したが、加工条件に不十分な点が多いので今後は加工条件の確立を行っていく。

#### ② 微細パンチの機上測定方法の構築

微細パンチを加工後、加工機から取り外して精度（寸法・面粗さ等）確認を行い、再度、加工機に設置（誤差範囲：1ミクロン）することは非常に困難であることから、加工機に微細パンチを設置した状態で、微細パンチの加工精度を測定することができるレーザー光等を用いた測定方法を検討した。

平成19年度に $3 \mu\text{m}$ の微細パンチの機上測定は十分に実施できることが判明した。

平成20年度は $\phi 1 \mu\text{m}$ 程度の測定を実施し測定の信頼性を確認した。

平成21年度は、さらに測定誤差を無くす為に平成20年度に導入した非接触レーザー三次元測定器を用いて整合性の確認を行った結果良好であった。

#### ③ 微細パンチ、微細ダイの組み付け工法の開発

従来工法では $\phi 10 \mu\text{m}$ のダイ穴の作成が限界であるため、ダイ材料を塑性加工して穴を縮小する工法を確立した。

また、手作業で微細パンチと微細ダイを適正クリアランスで組み立てることは不可能であることから、上記塑性加工したダイ穴をパンチで突き破ることでパンチ、ダイの相対位置と適正クリアランスを確保した。

#### ④ ラップ盤の開発

ワーク材の強度やハンドリング性能を確保するとともに、アスペクト比の低減を図るため、ワーク材（板厚： $10 \sim 50 \mu\text{m}$ ）にV字型コイニング加工を施し局部板厚を減少（板厚： $1 \sim 3 \mu\text{m}$ ）させる際に発生するワーク材裏面のV字形コイニング突起や裏面バリ等の加工余肉を除去しようとした。

ラップ盤本体は平成19年度に完成したがワーク材の押さえ装置がベースマシンの主軸カバーと干渉して使用ができなかった。

⑤システム化した新規加工機の開発

ベースマシン（マシニングセンター）のテーブル上にELID研削装置（ $\phi 1\mu\text{m}$ の微細パンチ製作）、微細パンチの機上測定装置、XY軸補助テーブル（ワーク材料送り装置）、打ち抜きダイ、ラップ盤（加工余肉取り）、外形打ち抜き金型を設置して、一連の工程を連続して進めることの出来るシステム化した装置を目指し開発を進めた。

一連の作業が系統的に機能することを確認し、多数穴の連続加工実験を進め、ラップ装置に関しては別途再検討する必要があるが残った。

⑥微細パンチの表面性状評価と成型品の品質評価

微細パンチの表面性状が悪ければ切り欠き効果によるパンチ破断に直結し、打ち抜き時の圧縮荷重及び引き抜き時のストリップ荷重にも耐えられない。このため、（独）理化学研究所の指導を受けELID研削工法でRa0.02の面粗さを実現した。

この面粗さ測定にはレーザー顕微鏡メーカーと共同して特注品の製作を行い、測定を可能にした。

平成21年度は、平成20年度に導入した非接触レーザー三次元測定器を用いてパンチの表面粗さ・真円度など、今まで社内の測定器（生物顕微鏡・工具顕微鏡・デジタル、マイクロスコープ）では確認できなかった項目の測定を行い開発内容のスピード化が実現した。

⑦プレス加工後の応力除去工法の開発

当初はマイクロショットピーニングで応力除去を考えたが、この工法では穴が変形してしまう可能性があることがわかったため、不向きと言う結論に至った。

鋭意工法探索を行った結果、レーザーピーニング技術の採用を決めた。

平成21年度は、装置導入を行う。

レーザーピーニング工法等を用いたワーク材の残留応力除去は目論見通り良い結果が得られた。

⑧プロジェクトの管理・運営

本プロジェクトの効率的かつ円滑な推進が図られるよう適正な管理を行った。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

〒766-0026

香川県仲多度郡まんのう町岸上 1725-26

株式会社 長峰製作所

（経理担当者） 総務部 総務課 前川 朋美

（業務管理者） 専務取締役 長峰 考志

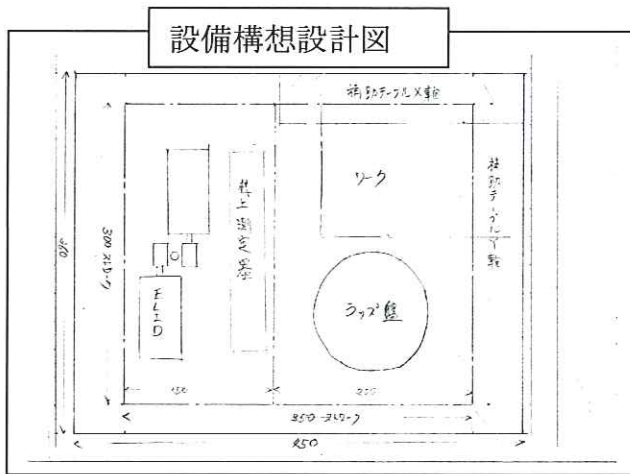
連絡先 tel：0877-75-0007

fax：0877-73-2152

第2章 本論  
2-1 システム構造

本研究開発は、微細パンチの製作技術や微細パンチと微細ダイを適正なクリアランスでセッティングするシステム等を構築し、金属薄板に $\phi 1 \mu\text{m}$ レベルの穴を大量に明けたフィルター状部材の製造を可能とする一連のプレス加工工程をシステム化した新規加工機の開発を行うものであり、これまで高度熟練技能者でなければ実現不可能であった技術をシステムの技術に向上させることで、技能、技術の普遍化を図ることを目的とした。

下図のようなシステムを構築した。



(写真1)



マシニングセンタ

(写真2)



装置構造

マシニングセンタ(パーソナル)は

採用機種：Z $\mu$ 3500 日平トヤマ社製を採用  
テーブルストローク 350 (X軸) × 300 (Y軸)

微細パンチ研削装置

(写真5)の装置を設計開発した。

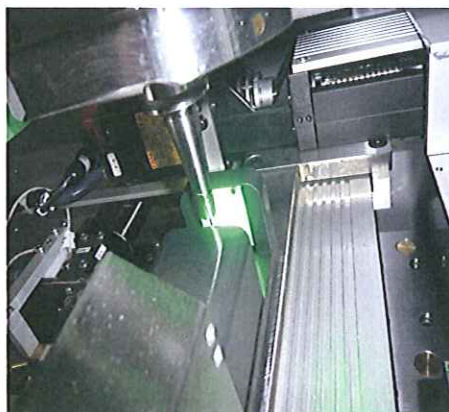
パンチの研削にはELID研削装置を併用し、  
表面粗さRa 0.02を確保した。

机上計測装置

精密測定装置、非接触映像方式ジェイコアを導入、  
機上に設置した。

(写真3) (写真4)

(写真3)



(写真4)





## 2-2 $\phi 1 \mu\text{m}$ の微細パンチの製作技術の開発

### 1) 研削装置の導入

新しく作った微細パンチ研削装置を使用して $\phi 3 \mu\text{m}$ パンチの製作(写真6)は実現した。



(写真5)



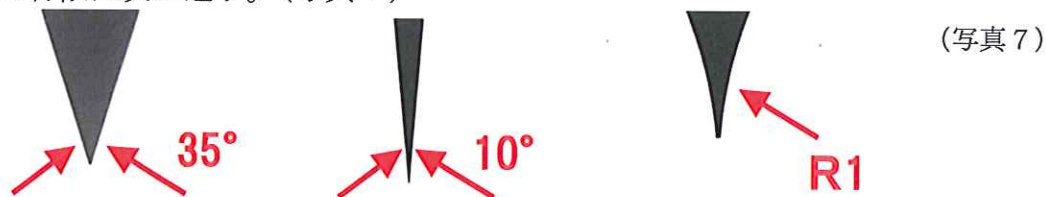
(写真6)

しかしながら、(写真6)のパンチ形状では細すぎて連続ピアス加工に耐えられない事が判明した。(最初の一回で破損が生じた)

### パンチ形状の検証実験

形状の異なるパンチを三種類用意し、実際に連続ピアス加工を行う事により、耐久性、加工性を重点的に比較して、検証を行った。

三種類の特徴は次の通り。(写真7)



(写真7)

### 実験結果(表1)

- $35^\circ$ パンチでは耐久性は高いが、穴周囲の変形が大きく懸念事項となった。
- $10^\circ$ パンチでは耐久性が低く、実用に耐えられそうに無かった。  
(加工の度、先端に破損が生じ $\phi 20 \mu\text{m}$ の太さになるまで損失する)
- R1パンチでは耐久性が高く、穴周囲の変形も小さかった。

実験結果から、連続ピアス加工に要求されるパンチ形状は、先端付近がR形状のものであり、微細化される際もこの形状が維持されなければならない。

パンチ形状	耐久性予想(回)	変形( $\mu\text{m}$ )
$35^\circ$	20以上	5
$10^\circ$	初回から破損	2
R1	20以上	0

今回の実験では20回行った

(表1)

### 2) 先端付近R形状微細パンチ製作の課題

特定形状 $\phi 1 \mu\text{m}$ パンチを製作する為に解決しなければならない課題は次の通り

- ELID研削装置の特性上、砥石径の大きいまま微細パンチを製作すると出来上がるパンチの先端は直線的になる。(写真8)
- パンチ先端付近にR形状を与えるためには、仕上がりパンチ径に合わせて砥石径を小さくする必要がある。(写真9)

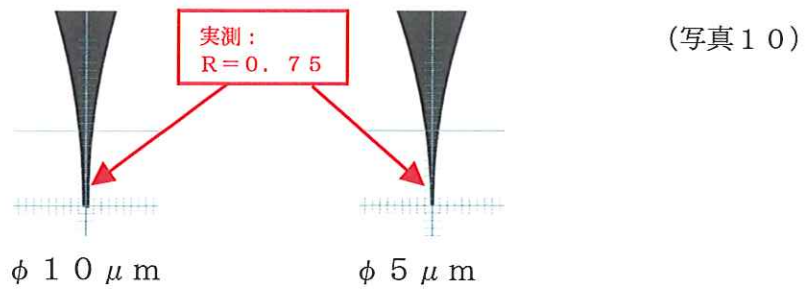


(写真8)



(写真9)

φ 1.5 mmの砥石を作ってφ 10 μmとφ 5 μmのパンチを製作 (写真10)



このパンチを用いてφ 10 μmで1000穴、φ 5 μmで1000穴の加工を行った。(写真32)

パンチ径1 μmの先端付近にR形状を与える為に要求される砥石半径は理論上0.1 mm。

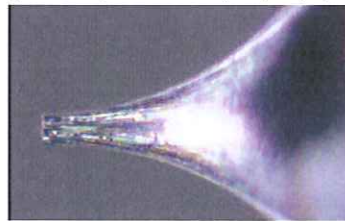
### 3) 強形状微細パンチの製作

φ 0.2 mm砥石は製作不可能なので、円錐形状砥石を用いた研削加工を考案した。

試作した円錐形状砥石は、砥石先端の一部は半径0.1が確保できている。

この円錐形砥石のφ 0.5の位置でパンチの加工実験を行った。

先端R形状φ 5 μmパンチの製作が実現できた。(写真11)

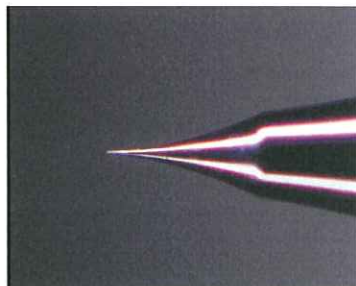


### 4) 砥石番手の検討

平成20年度は電着砥石# 1000を使用したけど、平成21年度は鑄鉄ボンド# 8000の円錐形砥石を使用した。

加工方法は平成20年度と同じように鑄鉄ボンド# 8000の円錐形砥石のφ 0.5の位置で加工を行う。

E L I D砥石なのでドレスを行い、両方の砥石の径をそろえてから加工に入る結果試作品として先端形状φ 1.7 μmパンチの製作が実現できた。(写真12)



(写真12)

上記の加工で1本だけφ 1.7 μmの加工はできたが、あとはφ 2.5 μm～φ 2.0 μmの間の形状にとどまった。

φ 3 μmのパンチで穴加工を行ってφ 3 μmの穴あけまで加工ができた。

(写真33)

5)  $\phi 1 \mu\text{m}$ パンチ加工での課題

$\phi 1 \mu\text{m}$ のパンチ製作に挑戦した際に判明した課題

- ・ 主軸の静圧用の油の脈動によるフレ（機械メーカーと打ち合わせた結果メーカー様でも対策に取り組んでいる課題で解決には時間がかかるとのことであった）特に静圧時の影響が大きい、 $0.2 \mu\text{m} \sim 0.3 \mu\text{m}$ フレが起こる。このフレが穴あけ加工時にパンチが折れやすくなることが判明した。
- ・ 砥石間の正確な位置出し  
円筒砥石はアキュセーター、隙間ゲージで位置を割り出せるが、円錐形砥石ではそれができない。  
現状では、ルーペで確認しながら砥石を微量ずつ移動させて位置を確認する方法をとっている。  
そのため、パンチ加工で狙い通りの寸法に入らないことが起こる。
- ・  $\phi 1 \mu\text{m}$ パンチの研削に最適な砥石間の正確な位置だし方法確立する必要がある。  
現在は $\phi 2 \mu\text{m}$ のパンチ製作が限界である。
- ・ 作業時間の短縮  
円錐形砥石は砥石のドレス等前段取りに時間がかかりすぎる為、いかに作業時間を短縮する等今後の加工の効率化を図る必要がある。

2-3 微細パンチの機上測定方法の構築

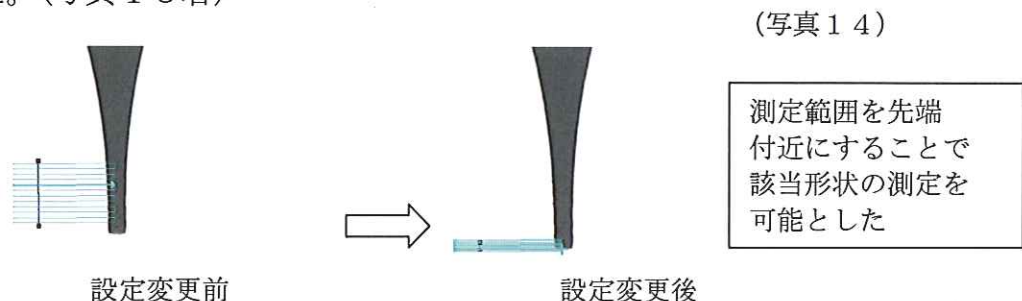
1) 穴あけパンチの寸法形状測定精度向上

測定位置の設定が難しく、測定誤差が発生する。(写真13)

(左)の測定値は25.30、(右)の測定値は20.49と、違いが生じている。



測定範囲等の諸設定を狭める (写真14) 事により、パンチの高精度の測定が可能となった。(写真13右)



$\phi 1 \mu\text{m}$ パンチの測定はできなかった。

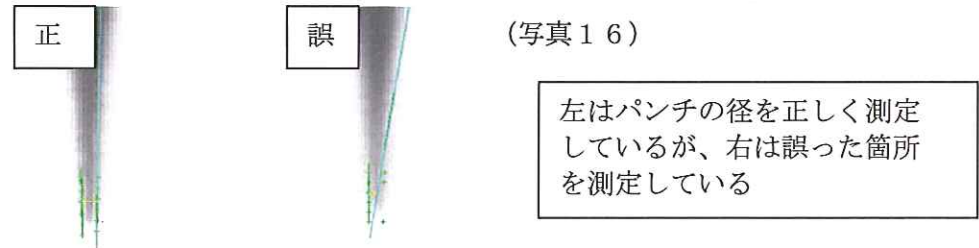
しかし、前述の測定範囲をさらに先端によせることによって $\phi 1 \mu\text{m}$ に近い形状でも測定が可能となった。(写真15)



非接触三次元測定器（後述）と比較を行い信頼性を上げていく。

2) 機上測定での課題

- ・  $\phi 1 \mu\text{m}$  の機上測定は可能にはなかったが、非常に困難な作業である (写真16)



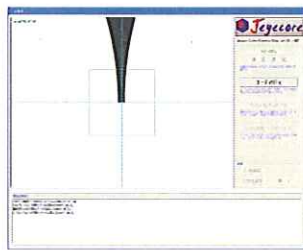
2-4 微細パンチ、微細ダイの組み付け工法の開発

1) マシニングセンタのドリル加工精度の検証

主軸回転時の振れの程度を機上測定器で測定。(写真17)

コレットの取り付け方を  $30^\circ$  毎にずらしていく方法で測定を行った。その結果、振れに大小がある事が判明した。(写真18)

最小  $5 \mu\text{m}$  ~  $14 \mu\text{m}$  程度の振れを確認。(グラフ1)

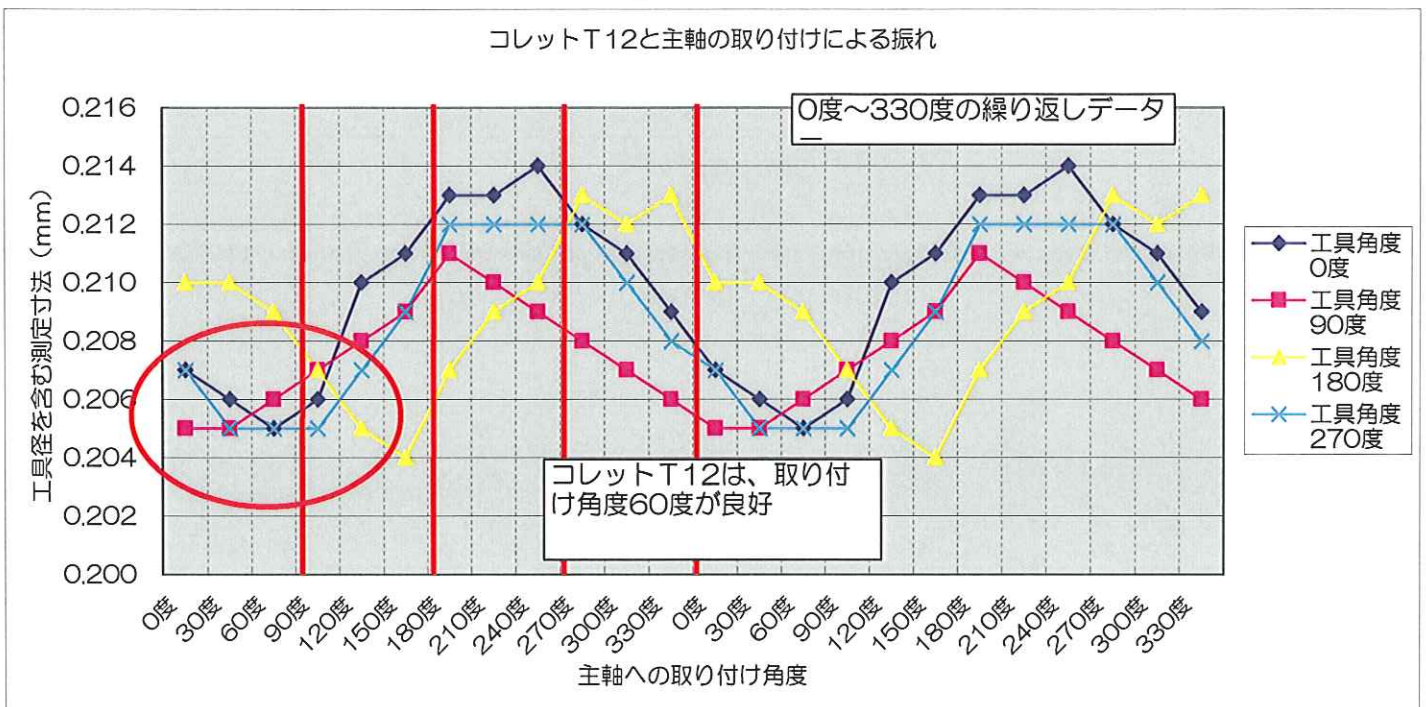


(写真17)

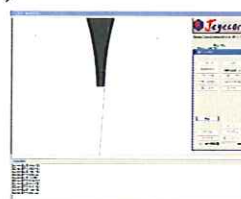
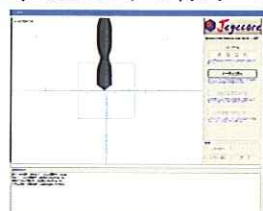


(写真18)

(グラフ1)



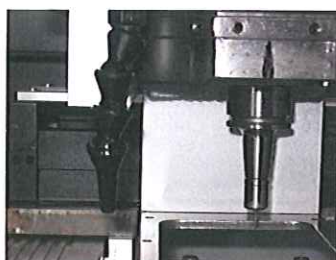
主軸振れ5  $\mu$ に抑えたドリルにて穴加工を行い(写真19左)、工具交換にて主軸にパンチを取り付け、ドリル加工位置と同一座標にパンチを下降させる実験を行った。(写真19右) また、加工時の様子(写真20)



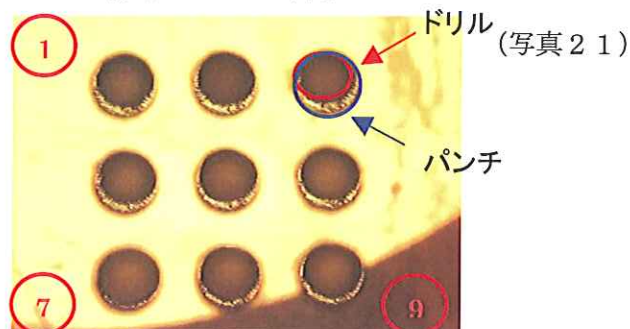
(写真19)

◆微細ドリル(左)

微細パンチ(右)



(写真20)



(写真21)

◆ダイ穴加工時マシニングセンタ

同様の実験を3回行い、Y軸方向に最大10  $\mu$ m位置ずれが生じている事が判明。(写真21)(表2)

これによりドリル加工によるダイの成形工法の見直しが必要となった。

## 2) パンチによるダイの加工工法の開発

- ・ドリル加工でダイ材料の底面を薄く残す。(ダイ素材はプリハードン鋼)
  - ・ダイ仕掛品を反転し、薄い面を上側にする。
  - ・反転した上面に平面研磨を行い、平面を出す。
  - ・平面にパンチで穴形状を成形する。
- 上記の工法での試作品が完成。(写真32)

穴	Y軸の中心ズレ( $\mu$ m)
No.1	8.428
No.2	9.279
No.3	7.740
No.4	7.719
No.5	9.053
No.6	7.904
No.7	6.672
No.8	8.327
No.9	9.203

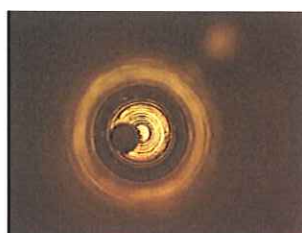
(表2)

## 穴のズレに関して

課題点として、ダイの向きを上下反転させるときに中心位置(最薄部)がマシニングセンタのワーク座標と5  $\mu$ m程度外れ正確な位置合わせができない。(写真22)(表3) 特定の方向にずれている傾向は見受けられない。この状態では $\phi$ 1  $\mu$ m加工は不可能である。

ダイ	中心位置からのズレ量( $\mu$ m)
No.1	5.763
No.2	9.920
No.3	8.787
No.4	7.506
No.5	8.798
No.6	4.626
No.7	5.103
No.8	13.028

(表3)



(写真22)



その対策案として次の案を検討している。

- ・ドリル加工後に反転させるのではなく、ドリル加工を底面から上面に向けて行う加工方法の実現性

### ダイの加工精度の向上

ダイの精度を上げることで、ほぼ同じ穴径のダイの加工が加工になった。(表4)

#### 不良ダイ

ダイ	穴径 (μm)
No.1	19.472
No.2	18.205
No.3	18.172
No.4	18.552
No.5	18.702

パンチ径 18.19 μm  
μm に対し穴径に  
バラつきがある  
(最大 1.2 μm の差)

パンチ径：18.19 μm

#### 高精度ダイ (厚み)

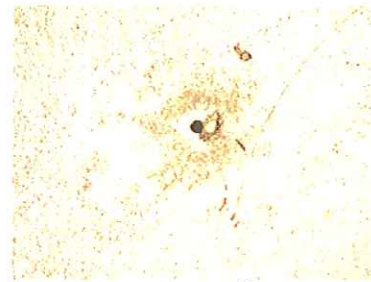
ダイ	穴径 (μm)
No.1	23.104
No.2	23.377
No.3	23.214
No.4	23.388
No.5	23.277

パンチ径 23.47 μm  
μm に対し穴径に  
バラつきは小さく  
なった  
(最大 0.3 μm に改善)

パンチ径：23.47 μm

(表4)

ダイ加工は現在 φ5 μm のダイまで加工ができるようになった。(写真23)



(写真23)

φ5 μm のダイ

加工精度向上によってダイ加工は安定、現在はこの方法で φ10 μm での 1000 穴加工、φ5 μm で 400 穴加工ができるようになった。

(写真34)

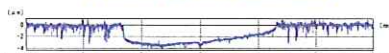
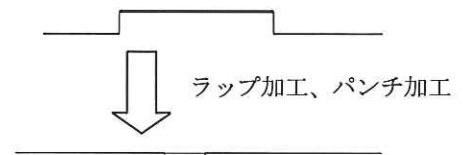
### 穴バリの解決策

現在加工しているダイにはラップを行った部分が 1 段落ちた形状になっている。この段が、パンチ加工時のバリや変形に関係している。(写真24)

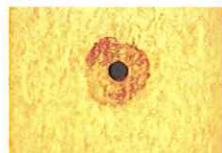


(写真24)

約 2 μm ~ 4 μm の  
段差がある



あらかじめ写真24のような段差を無くすことで、今までに比べてバリの少ない穴ができた。(写真25)



段つきダイ



通常のダイ

(写真25)

### 3) ダイ加工の今後の課題

- ・ダイ加工時に裏返す時の位置精度確保の問題は未解決である。
- ・現在は何とか 5 μm のダイまで加工出来た。1 μm のダイが加工工法の開発を行う。

4) パンチ、ダイのクリアランスに関して

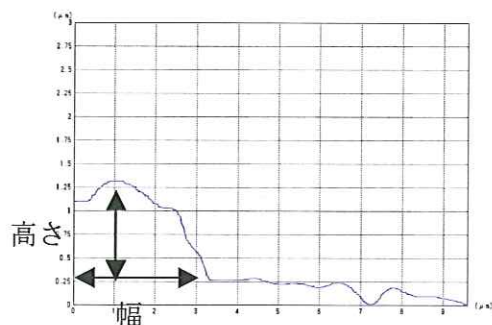
20年度に穴あけ加工をしたものは、裏面にバリが多く存在していた。  
この時は穴をあけることを重点に適正なクリアランスをほとんど考えずに穴加工を行った。

上記のダイの加工精度も関係していたと思われる。

穴あけに適正なクリアランスを探るためのテストを行った。

テストはクリアランス1%、3%、5%、10%、15%の5パターンテストを行った。

クリアランステストの試料を三次元測定装置で測定、1例を表にした(表5)



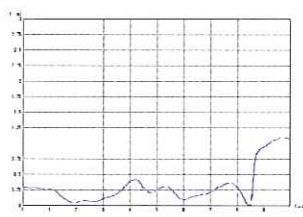
クリアランス	測定位置	変形量	
		幅(μm)	高さ(μm)
1%	右	0.00	0.00
	左	1.40	0.80
3%	右	0.00	0.00
	左	3.20	1.98
5%	右	10.00	2.00
	左	10.00	2.60
10%	右	3.60	1.10
	左	1.80	0.80
15%	右	6.80	2.00
	左	5.20	2.70

(表5)

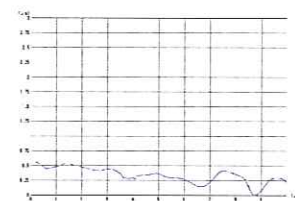
テストからクリアランス1%~3%が変形量が小さくなっている。

1%と3%の時の裏の状態の写真と三次元測定データを(写真26)(写真27)に示す。

(写真26)

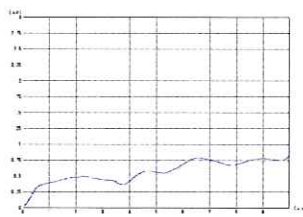
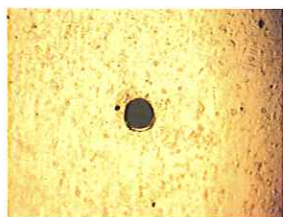


穴

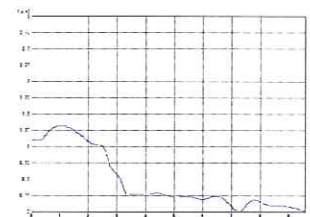


クリアランス1%

(写真27)



穴



クリアランス3%

クリアランスに関しては1%~3%内にするのが理想と思われる。

5) クリアランスに関する課題

- ・今回は1%~3%という数字のみなので正確な数字を見つけ出す必要がある。
- ・クリアランステストに関して、パンチの突くストローク、つく時の送り速度についても検証を進める必要がある。

## 2-5 ラップ盤の開発

### 1) ラップ盤の課題点

初期導入したラップ盤は、他装置との干渉が生じた為、再設計の必要が生じた。  
(写真28)

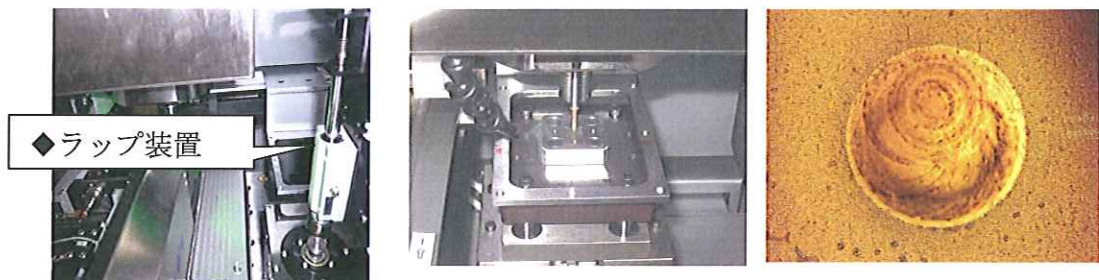
ラップ加工装置は取り外し、予備実験を精密ラップ盤にて実験を行った。

### 2) マシニングセンタによるラップ

予備実験結果を踏まえ、マシニングセンタの主軸に砥石を取り付ける方法でラップ加工を行う。(写真29)

(写真28)

(写真29)



### ラップ条件の確立

平成20年度にテストした砥石を付けてラップ加工を方法でラップ加工の条件の確立と加工時間の短縮のテストを行った。

- ・使用する砥石番手の選択
  - ・使用するダイヤモンド砥粒の変更
  - ・プログラムの変更
- 等を行う。

### ラップ加工時間の短縮

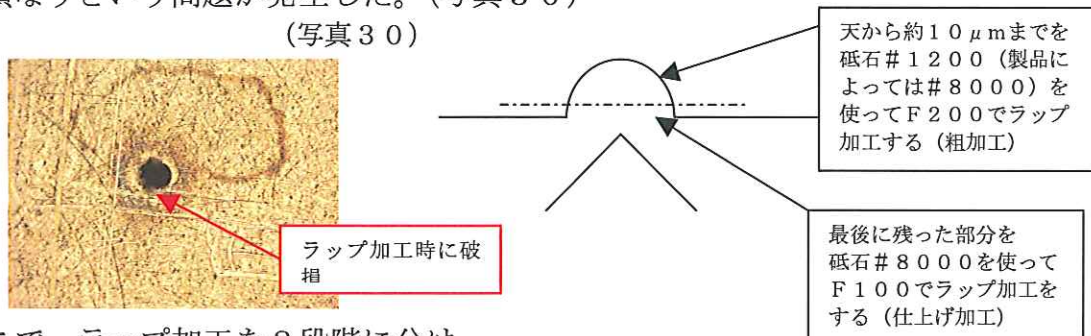
ラップ加工時間の短縮の方法としてプログラムの変更を行った。

プログラムの変更点はラップ加工時の送り速度を速くした。

送り速度FをF100(現在) → F200(今回)に変更した。

送り速度を速くすることで、加工速度は上がったが、試作品によっては製品価値を損なうという問題が発生した。(写真30)

(写真30)



そこで、ラップ加工を2段階に分け、

この方法に変更したことで試作品で発生した問題を解決した。

この方法にしたことでラップ加工に必要な時間は

- ・ダイ加工：30分 → 20分 に短縮
- ・試作品：20分 → 15分 に短縮

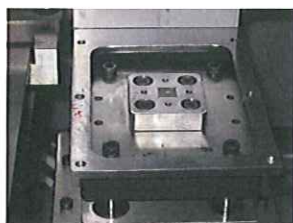
することができた。



## 2-6 システム化した新規加工機の開発

### 1) ダイテーブルに上下機構の取り付け

平成19年度に、XY補助テーブルとダイの干渉が生じた為、今年度、改善策としてダイの上下機構を追加した。(写真31)



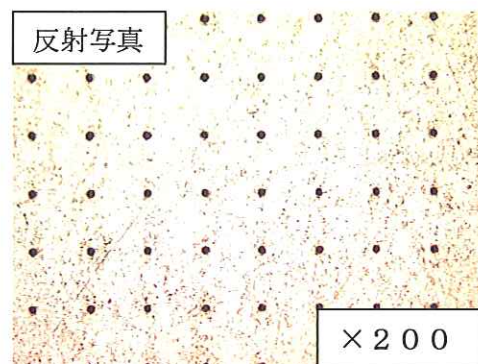
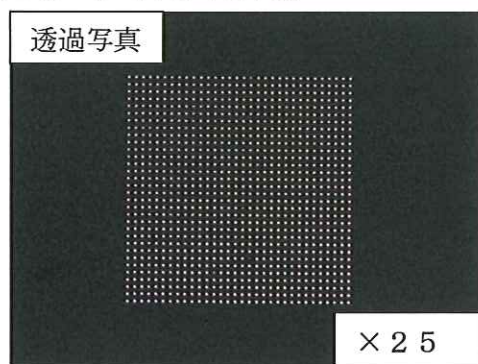
(写真31)

### 2) 加工事例

ステンレス箔連続穴加工。

- ・SUS316  $t = 10 \mu\text{m}$
- ・パンチ  $\phi 10 \mu\text{m}$  (超微粒子超硬)
- ・ダイ  $\phi 10 \mu\text{m}$  (プリハードン鋼)
- ・穴数1024穴

ピッチを  $80 \mu\text{m}$  にして加工を行ったことで、変形が少なめで全部の穴が貫通したものが作成できた。

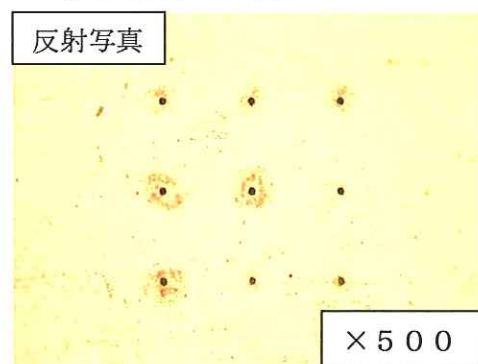
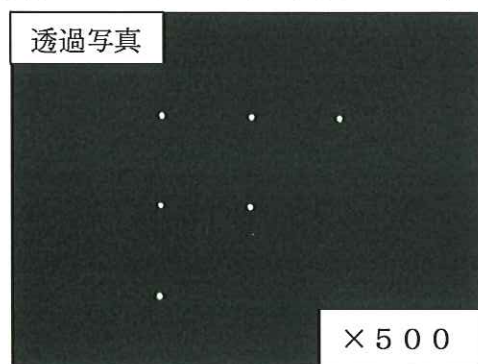


(写真32)

チタン箔連続穴加工。

- ・純チタン箔  $t = 2 \mu\text{m}$
- ・パンチ  $\phi 3 \mu\text{m}$  (超微粒子超硬)
- ・ダイ (アルミA1005)
- ・穴数9穴

最も細いパンチでの穴あけはこの  $\phi 3 \mu\text{m}$  が現在成功した例。



(写真33)

加工事例として、ステンレス箔又はチタン箔に、数百から数千までの連続穴加工を行った試作品の1例と厚板試作の1例。(表6)(表7)

連続穴加工試作

試作品	材質	板厚(μm)	穴径(μm)	ピッチ(μm)	穴数	備考
No.1	ステンレス	20	20	50	100	
No.2	ステンレス	20	20	70	384	
No.3	ステンレス	20	20	70	1024	
No.4	ステンレス	20	20	100	625	
No.5	ステンレス	20	20	100	625	
No.6	チタン	20	20	40	2500	破れ
No.7	チタン	20	20	50	2500	
No.8	ステンレス	10	10	50	100	
No.9	ステンレス	10	10	50	400	
No.10	ステンレス	10	10	50	1024	
No.11	ステンレス	10	10	80	1024	
No.12	チタン	3	5	80	100	つまり有
No.13	チタン	5	5	80	400	つまり有
No.14	チタン	5	5	80	1024	つまり有
No.15	チタン	2	3	50	9	つまり有

(表 6)

加工はパンチφ3μmで9穴の加工が成功、φ5μmなら1000穴の加工が成功した。しかし、φ5μm以下の試作では穴のつまりが多かった。

### 3) 今後の取り組み

装置の動作プログラムを改善はまだ不十分なので、生産性・効率性を上げて行く上で今後も改善を続ける。

- ・サイリン機構のプログラムの最適化
- ・装置間の一連作業を円滑に行うためのプログラム改善

φ5μm以下の穴あけでは、穴のつまりが多く発生しているのので、穴のつまりに関して改善をする必要がある。

検討している案は

- ・φ5μmではチタン箔を使用したのが、SUS箔で同じ厚みのものを探して加工して、比較を行う。
- ・前述の段付きのダイを用いて穴あけのテストを行う。

φ3μm以下の穴あけが不十分な点が多いので、引き続き加工テストを行い、連続穴加工できるようにする。

## 2-7 φ1μmの微細パンチの表面性状評価及び成型品の品質評価

### 1) 測定器導入

非接触三次元測定装置導入。(写真34)

測定原理

- ・ステージ走査型非接触レーザプローブ方式により、ワーク表面の色や反射率の影響を受けることなく広範囲の高精度測定が可能。
- ・レーザのスポット先端径は0.4μmと非常に小さく、これをプローブとして表面形状を探り、寸法測定を全自動で行う。



(写真34)

厚板試作

試作品	材質	板厚(μm)	穴径(μm)	穴数	備考
No.1	純アルミ	200	10	1	
No.2	純アルミ	300	20	1	
No.3	ハステロイ	50	53	1	
No.4	純アルミ	300	15	1	
No.5	SUS304	600	20	1	
No.6	SUS304	600	25	1	
No.7	SUS304	50	18	1	
No.8	SUS304	300	20	1	
No.9	SUS304	300	15	1	
No.10	SUS304	300	20	4	

(表 7)

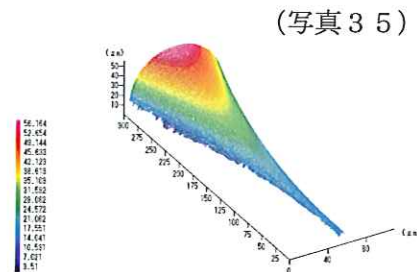
測定機能

- ・ 断面形状／三次元形状測定
- ・ 表面粗さ測定
- ・ 自動寸法測定

2) 測定器での測定例

測定器での測定例を以下に示す。

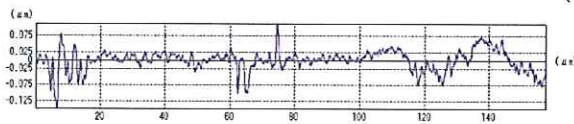
①パンチの表面性状評価 (写真35)



(写真35)

パンチ径5 μm (砥石#8000  
で製作) の三次元形状測定を行った

②パンチの面粗さ測定 (写真36)

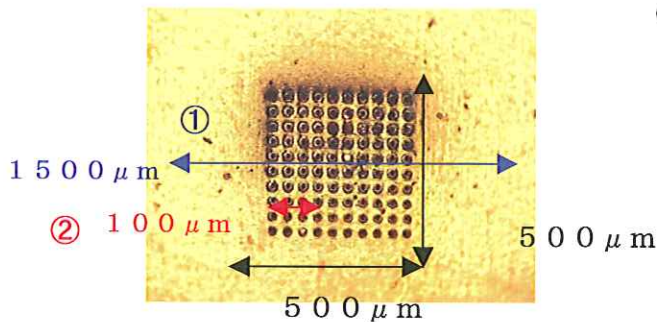


(μm)

(写真36)

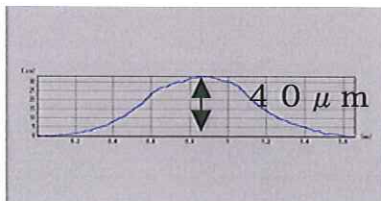
上記のパンチの面粗さを測定  
このパンチの場合面粗さは  
Ra : 0.0169 μmであった

③成型品の品質評価 (写真37)

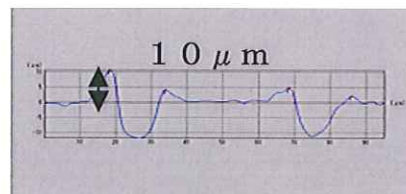


(写真37)

素材 : SUS316 t = 15 μm  
に φ20 μm のパンチでピッチ  
50 μm で100穴あけてある。  
この製品の裏面を①と②の2カ所  
の断面形状を測定



①の範囲で約40 μmの歪みが  
生じている



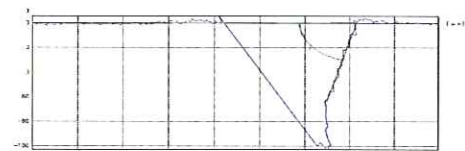
②の範囲で約10 μmのバリが  
生じている

④テーパ穴に対する断面形状測定 (写真38)



(写真38)

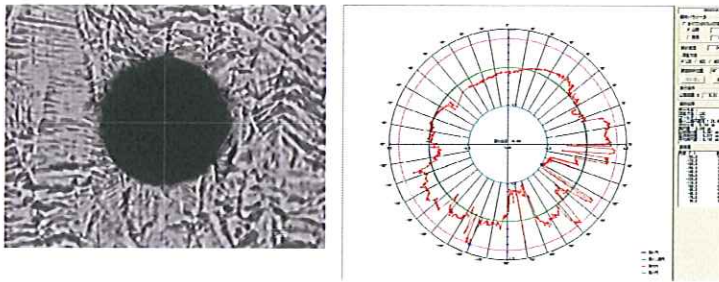
30° Vブロック



Vブロックで傾けた状態で測定  
次に上面を水平に合わせて角度を  
演算することで断面形状が測定  
できる

Vブロックを用いて角度を45° or  
30° に下げることでテーパ穴の  
断面形状を測定が可能となった。

⑤貫通穴の真円度測定 (写真39)



(写真39)

測定者の測定能力の向上

これらの測定が可能になった事により、試作品のフィードバックがより可能となった。

3) 今後の取り組み

同様の手法でφ1μmパンチを測定した所、面粗さは測定出来たが、三次元形状測定は測定結果に整合性が得られなかった。

これは、三次元測定器の構造上、測定子となるレーザースポット径が0.4μmである為、φ1μmの曲面の測定は困難であると言える。

2-8 プレス加工後の応力除去工法の開発

1) 応力除去の必要性

三次元測定器により応力変形が数値として認識しやすくなった。

先述のステンレス箔 (写真37) に発生した応力変形は40μm程度。

これは、素材の厚み自体が15μmに対して倍以上となっている。

薄板が波打っている状態では、後々製品価値の低下が懸念される。

応力除去工法の開発の経緯

当初の計画ではショットピーニングによる応力除去を検討していた。

しかしながら穴径が数μmに対し現状のメディアの粒子径は数十μmとなっている。

メディアが大きいと、ピーニング時に穴が潰され変形する懸念があった。

そこで、直接接触させるのではなく、衝撃エネルギーのみを与えるレーザーピーニング工法の検討に至った。

レーザーピーニングの概要 (図1)

金属片を水中に入れ、金属表面にパルスレーザーを照射する。

金属に接している水が高温高圧のプラズマ状態となり、水蒸気爆発を発生させる。

この水蒸気爆発のエネルギーを応力除去に利用する

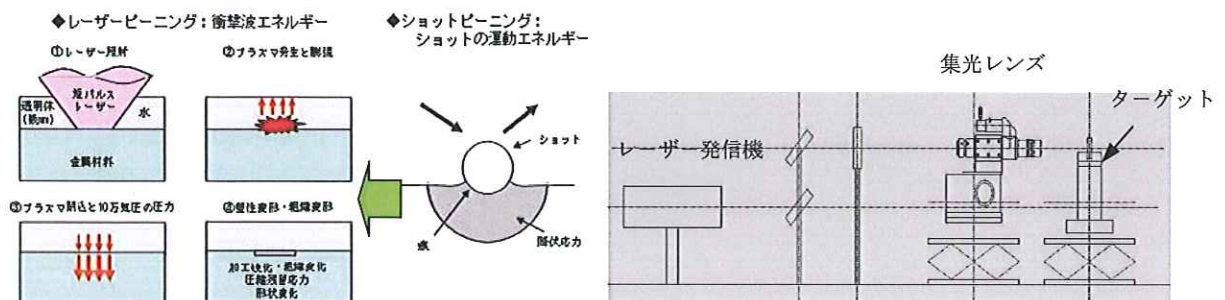


図1 LP (左) とショットピーニング (右) の原理図

## 2) レーザーピーニング導入への計画

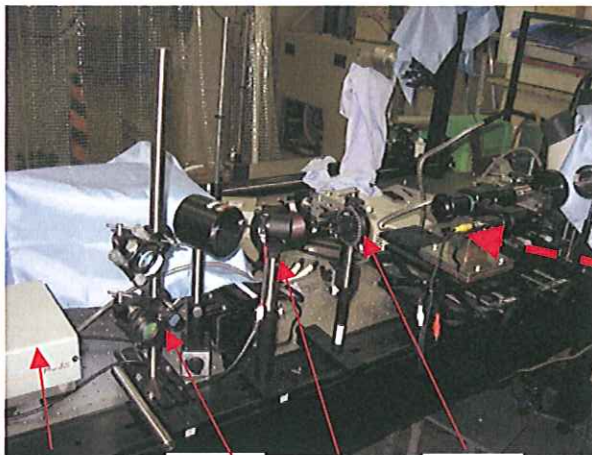
産業技術総合研究所（高松）へ協力を依頼し、レーザー設備を使用させていただく形で、基礎実験を行う。

レーザーピーニングに適した条件の割り出しを行い、レーザー装置メーカーと共同で装置の製作を行った。

導入したレーザー装置で、案件毎の最適な条件を割り出していく。

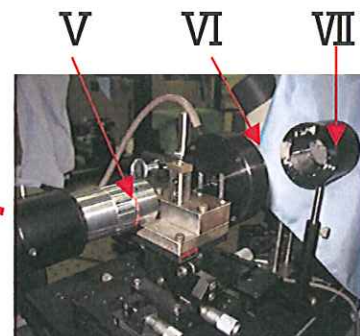
産業技術総合研究所四国センター大家先生に指導を頂き、基礎実験用のレーザー装置一式を借用させて頂いた。（写真40）

- I 発信機（YAG532nm）
- II ミラー
- III シャッター
- IV 偏光フィルター（プリズム）
- V レンズ
- VI ワーク（ターゲット）
- VII パワーメーター（ジュール計）



I II III IV

（写真40）



ワークは、石英セルを水槽として、板厚  $t 20 \mu\text{m}$  ステンレスを長峰製治具にて水槽内に固定した。水槽の容積は  $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 50\text{mm}$ 。

（写真41）



（写真41）

## 3) レーザーピーニング実験

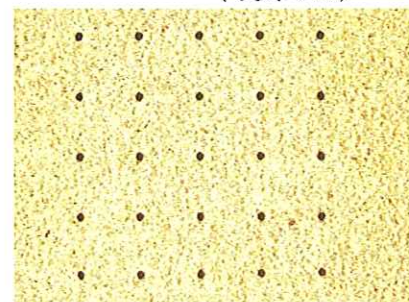
ある程度の傾向がつかめた為、マイクロピアスアレイのレーザーピーニングに取り掛かった。

前回実験の反省から、歪みの量を段階的に増やして行く事にした。

$10 \mu\text{m} \rightarrow 20 \mu\text{m} \rightarrow 30 \mu\text{m}$  へと。

まずは  $10 \mu\text{m}$  相当の歪みである25穴から取り掛かった。（写真43）

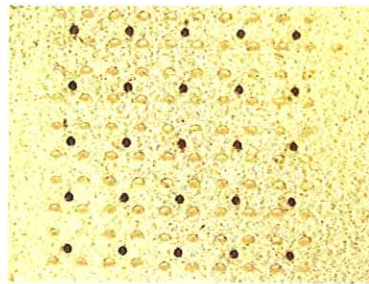
（写真42）



マイクロピアス1穴に対してレーザー照射4箇所の配分で実験を行った。

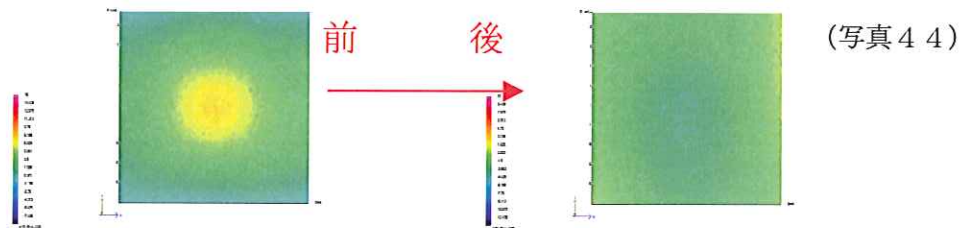
(写真45)

照射条件は、スポット径50μm、  
エネルギー量20μJ、  
照射回数は5回に設定。



(写真43)

結果、歪みが逆転した。これは、レーザーが強すぎた為と考えられる。(写真44)



(写真44)

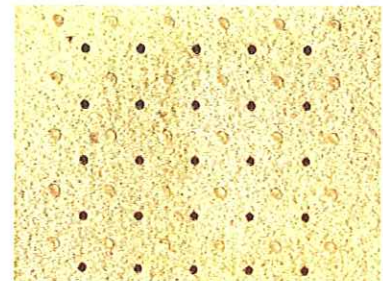
そこで、照射数を減らし同様の実験を行った。(写真45)

実験結果を表にまとめた。(表8)

No	日時	照射範囲	照射箇所	ピッチ	変形	備考
1	10月26日	1mm角	10×10=100	O. 10mm	16μm→-6μm	
2	10月28日	1mm角	10×10=100	O. 10mm	22μm→16μm	
3	10月28日	1mm角	10×10=100	O. 10mm	10μm→-6μm	
4	10月28日	1mm角	10×10=100	O. 10mm	8μm→-4μm	
5	11月4日	1mm角	6×6=36	O. 10mm	5μm→0μm	
6	11月4日	1mm角	5×10=50	O. 20mm	11μm→2μm	
7	11月4日	1mm角	5×10=50	O. 20mm	5μm→-1μm	

(表8)

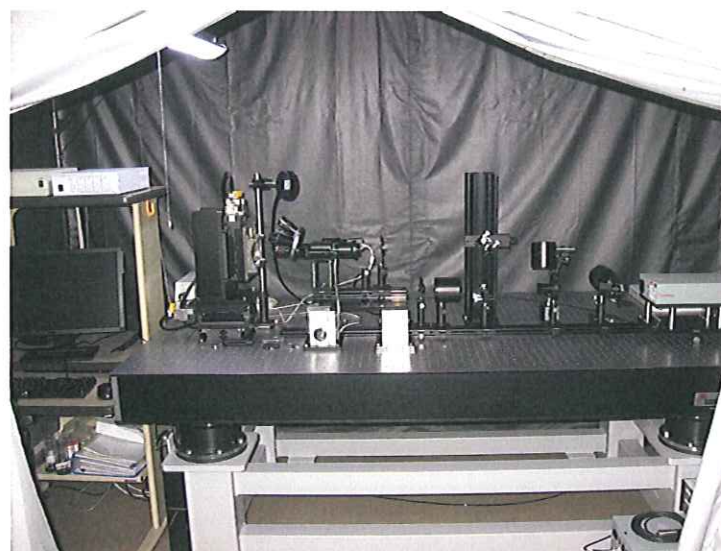
(写真45)



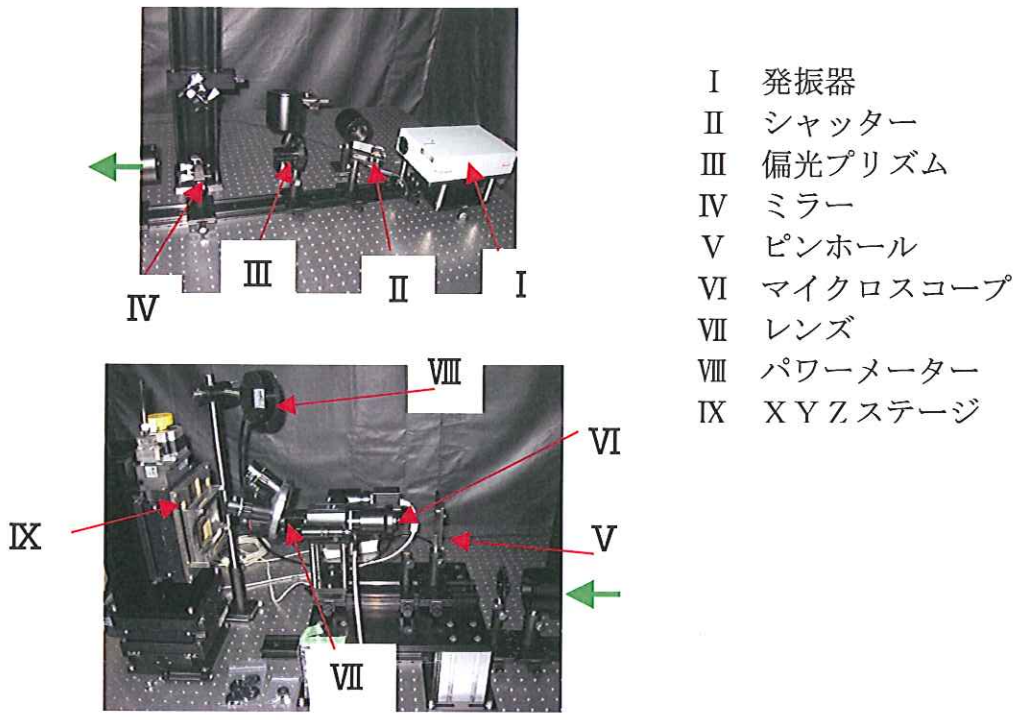
結果、マイクロピアスアレイn二乗に対し、レーザー照射(n+1)二乗の配分で歪みが相殺されるか、多少残る程度となるはずである。

新規発注装置を導入、自動ステージ送りが可能となった。(写真46)

レーザー装置全体写真

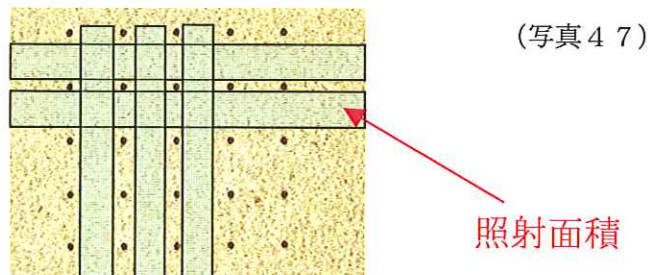


(写真46)

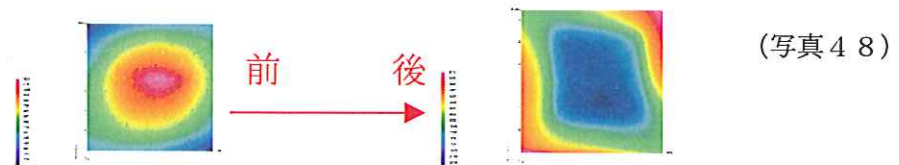


導入機による実験

穴を避けた状態で、照射面積が最大となるよう図のように照射した。(写真47)



ステンレス材  $t 20 \mu\text{m}$  穴径  $20 \mu\text{m}$  ピッチ  $200 \mu\text{m}$   $100$  穴マイクロピースにレーザー照射を行ったところ、 $+10 \mu\text{m}$  の歪みが  $-20 \mu\text{m}$  となった。(写真48)



◆三次元測定結果



◆三次元測定結果ヒストグラム

同様に、ステンレス材  $t 20 \mu\text{m}$  穴径  $20 \mu\text{m}$  ピッチ  $80 \mu\text{m}$   $100$  穴マイクロピースにレーザー照射を行ったところ、 $+10 \mu\text{m}$  の歪みが  $-15 \mu\text{m}$  となった。(写真49)

(写真49)



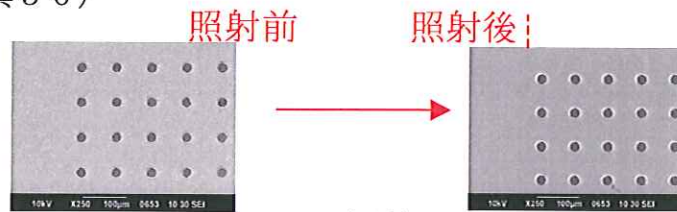
◆三次元測定結果



◆三次元測定結果ヒストグラム

これを踏まえ、ステンレス材 t 20 μm 穴径 20 μm ピッチ 80 μm 400 穴  
マイクロピースにレーザー照射を行ったところ、+40 μm の歪みが -5 μm と  
なった。(写真50)

(写真50)

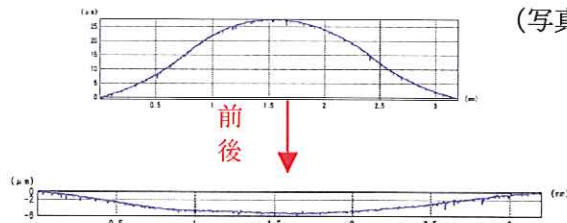


◆SEM写真×250



◆SEM写真×1000

(写真51)



◆三次元測定断面形状

(写真52)



◆三次元測定結果



◆三次元測定結果ヒストグラム



8回分の実験データを表にした。(表9)

No	日時	照射範囲	照射面積	照射方法	変形	備考
1	2月8日	2.0mm角	3.75/4m <sup>2</sup>	連続照射	12μm→-23μm	100穴
2	2月15日	0.8mm角	0.55/0.64m <sup>2</sup>	連続照射	12μm→-16μm	100穴
3	2月18日	1.6mm角	2.2/2.56m <sup>2</sup>	連続照射	38μm→-4μm	400穴
4	2月18日	1.6mm角	1.1/2.56m <sup>2</sup>	連続照射	45μm→25μm	400穴
5	2月19日	1.6mm角	2.2/2.56m <sup>2</sup>	連続照射	40μm→-6μm	400穴
6	2月19日	1.6mm角	2.2/2.56m <sup>2</sup>	連続照射	60μm→40μm	マイクロピアス不良
7	2月22日	1.6mm角	0.85/2.56m <sup>2</sup>	等間隔照射	38μm→23μm	400穴
8	2月22日	1.6mm角	0.85/2.56m <sup>2</sup>	等間隔照射	41μm→16μm	400穴

尚、レーザースポット径φ50μm、エネルギー量25μJは共通。

(表9)

No1、No2、No6を除外して考えれば、照射面積と変形量は比例すると考えられる。

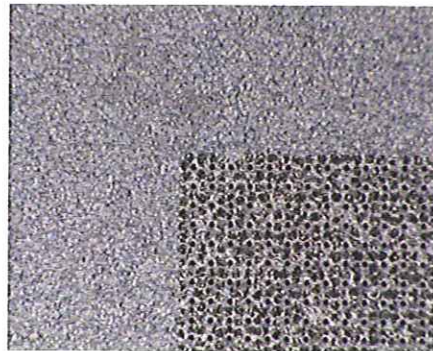
#### 4) レーザーピーニング今後の課題

今回の実験結果から、マイクロピアスのピッチ間隔が狭くなるほど、レーザーピーニングの歪み矯正は難しくなる事が分かった。

現状では、φ20μmマイクロピアスの場合、ピッチ間隔は80μmがレーザーピーニングの限界と考えられ、これより狭いピッチ間隔は軽減し切れない恐れがある。根拠は、レーザーピーニングの効果は面積に比例するので、ピッチ間隔が狭まれば、レーザー照射可能面積が小さくなることから、効果も小さくなる。

この為、レーザーピーニングの開発と並列して、マイクロピアスの穴加工時に残留応力の小さい工法も開発していく必要がある。

また、レーザーピーニングのエネルギーを強くすれば、照射跡が残り、顧客にとっては商品価値を損なう可能性がある。(写真53)



(写真53)

マイクロピアス

そこで、今後マイクロピアス製品が出来る事は、客先の要望を、穴径、ピッチ間隔、許容できる歪みの程度、表面状態、から取捨選択により近付けていく事となる。

尚、レーザーピーニングに関しては、産業技術総合研究所四国センターに多大な協力を頂いたことを付記しておく。

#### 最終章 全体総括

金属箔(t=10μm~50μm)にφ2μmまでのプレス穴加工工法は確立できた。市場ニーズとして、φ5μm程度の数万~数百万穴あきプレートのニーズは有る(再生医療)が、現在の1穴ずつ連続して加工していく工法では市場価格に合わせられない

当システムで市場に受け入れられる商品として穴単価100円考えれば、おのずと穴数は千個までと判断している。

さらなる工法開発と、コストダウン工法を迫及する必要がある。

例えばインクジェットノズルの1穴コストは当プロジェクトが迫及した10円/1穴の1/10すなわち、1円/1穴以下にできる手法を開発する必要がある。