

超 精 密 加 工

大阪大学工学部 助教授 明 田 勇 藏

1. はじめに

超精密加工というのは、切削加工、研削加工、ラッピング加工のように、その加工方法によって名づけられたものと並び称されるべきものではなく、あらゆる技術を駆使して達成される最高の精密加工であると考えべきである。そもそも超精密加工は、米国が宇宙開発などの分野における目的達成のために Ultra-precision Machining と称して “Millionths of an inch” (100 万分の 1 インチ, 0.025μ) 単位の加工精度を実現しようとしたのに端を発したもので、長さの測定規準となるブロックゲージの AAA 級の寸法誤差を $\pm 0.025\mu$ (米国連邦規格, 呼び寸法 25mm 以下について) と定めていることから、Millionths of an inch の加工がいかに超精密であるかをうかがうことができる。

このような高精度をどうにか得ることができるものといえば、残念ながらラッピングといわざるを得ず、しかもその方法たるや熟練技術者による仕上げ—計測の繰返しに頼らなければならないようである。それゆえ、寸法精度を 0.025μ 単位に限る狭義の超精密加工について論ずることは時期尚早であり、ここでは広義の超精密加工を考え、種々の加工法のうち特に切削、研削加工において、加工精度向上を達成したものの、精度向上を容易にする方法を開発したもの、新しい精密加工法を思索したものなど、いろいろの具体例をあげることにより、将来の超精密加工を読者諸賢とともに概観しようとするものである。

2. 超精密加工の具体例

2.1 超精密切削

切削加工、研削加工など強制切込み加工全般に通じて云えることであるが、その精度向上を

はかるためには、次のことがらがすべて満足されるように配慮されなければならない。

(a) 切削現象そのものが理想的であり、切込みどおりの切削が行なわれること。そのためには工具が鋭利でその形状を保ち続けなければならない。

(b) 工作物と工具との相對運動が希望どおりの位置関係で行なわれること。そのためには、軸の回転精度、移動台の摺動精度、切削抵抗に対する機械の剛性、発熱による熱変形など、種々の問題を解決しなければならない。

このような問題を解決し、加工精度を向上させる手段はいろいろ考えられるが、まずここでは、切削加工について具体的な解決策をこうじ、精度向上を達成した 2, 3 の例について述べる。

Union Carbide 社が、Heald 社製の旋盤を NC 旋盤 (図 1) に改造して、加工精度が 25μ であったのを 1.25μ と大幅に精度向上を達成している¹⁾。その要点は、精度にもっとも悪影響を及ぼしていた熱変形を少なくすることから始まっている。主軸台中の熱源である油圧モータを取除き、玉軸受を空気軸受に変えることにより、熱膨張による工具台の位置変化や主軸の膨張を $19\sim 20\mu$ を $4\sim 5\mu$ に減少させている。また空気軸受 (主軸: $178\text{ mm}\phi\times 813\text{ mm}$, ジャーナル軸受: 178 mm 長さ, スラスト軸受

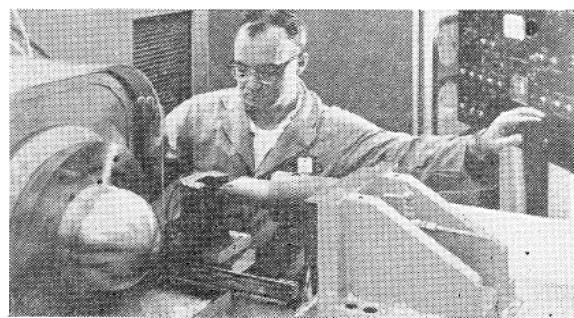


図 1 NC 超精密旋盤 (Union Carbide 社)

: 305 mm^φ, 材料: 多孔質のグラファイト, 圧力: 14 kg/cm², 支持荷重: 180 kg, 空気の膜厚: 7.5 μ) を使用することにより玉軸受より剛性が大になり, 回転精度も0.25 μ(1,400 rpm)以下と非常に向上している. このような主軸台の改良とともに, 電気式変換器による工具の位置決め装置, レーザ干渉計による X-Y 軸の位置測定とそのフィードバック制御を取入れることにより, 種々の原因によって生ずる工作物-工具間の相対的位置決め誤差を補正し, 1.25 μ という高精度を達成しており, その制御系は図 2 のようであると考えられる.

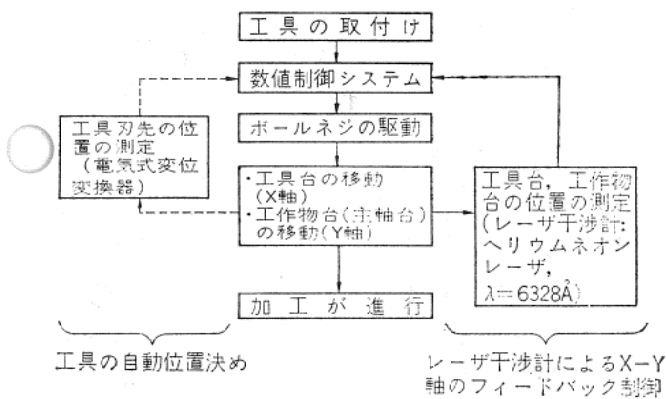


図2 NC超精密旋盤 (Union Carbide) の制御システム

Du Pont 社では汎用機で25.4 μ 以内に加工された複雑な形状の工作物を, 寸法精度0.64 μ 以内, 割出し精度1秒以内の超精密形削加工を実施できる UPPS (Ultra-Precision Positioner and Shaper) を開発している²⁾ (図3)。

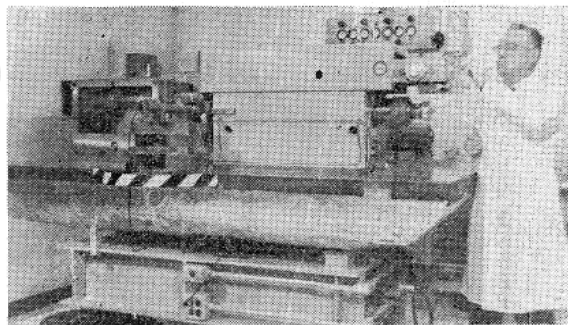


図3 UPPS (Ultra-Precision Positioner and Shaper) (Du Pont 社)

本機の加工精度向上のために払われた技術的内容は次のとおりである。

(a) 工具の切削運動であるラムのV溝上での摺動運動を正確にするため, V溝をラッピン

グとオートコリメータを用いることにより平面度0.5 μ/762 mm という超精密に仕上げている. また摺動面の剛性と安定性を高め, 摺動精度をよくするために, Graphitar (多孔質の焼結グラファイト) による空気ベアリングを使用している.

(b) 工具の位置決め精度を高めるため, 摩耗の少ない WC 工具やダイヤモンド工具を用い, 摩耗と変形の点から切削抵抗が WC 工具

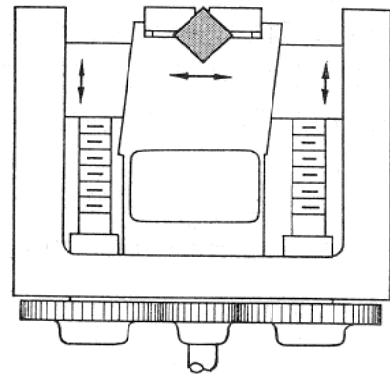


図4 UPPS の工具微動装置

で1.8 kg 以内, ダイヤモンド工具で0.45 kg 以内であるように使用している. 精密な位置決めを行なうため, 図4に示すような歯車-ネジ-くさびを用いた微動装置を用いている. くさびの材料は Graphitar を用い, スティックスリップをなくすると同時に, 1/1000の勾配をつけ, 工具の0.25 μ 単位の移動を可能にしている.

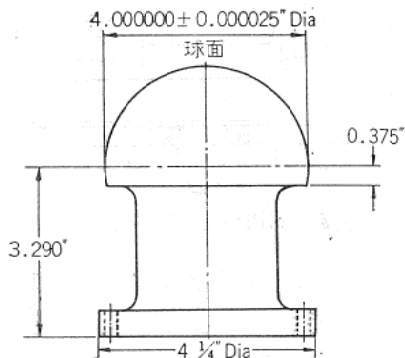
(c) 工作物の割出しは, 工作物軸の回転によって行なわれ, その精度を向上させるために Graphitar による空気軸受を使用し, また内径測定用光波干渉計と特殊ラッピング技術により超精密加工され, 0.025 μ の回転精度を得ている. もちろんこの軸の回転精度は割出し精度だけではなく, 寸法精度, 形状精度にも影響する. 割出しは工作物軸に取付けられた割出し板 (24枚の歯をもつ歯車状のもの, 割出し精度: ±1秒) によって行なわれるが, この割出し板も本機によって加工されたもので, その加工に際して割出しを正確に行なうため, 工作物軸に取付けられた何枚もの鏡とオートコリメータを巧妙に使用し, 精密な割出しを行ないながら, 切削工具の代わりに取付けられたラップ円板 (ダイヤモ

ンド砥粒)によって割出板の溝の両側面を仕上げている。

(d) 機械の熱変形をなくすため、温度制御を行ない、温度変化を $0.5^{\circ}\text{F}/\text{hour}$ 以内におさえ、作業者を機械に近づけないようにほぼ全自動化している。

以上のように、精度向上のためにあらゆる技術が生かされて、はじめて寸法精度 0.64μ という超精密切削が可能になっているのである。

さらに Du Pont 社では、上記の UPPS の実績に基づいて、図 5 に示すような半球を 0.64μ の高精度で旋削加工する機械を開発し図 6 のような超精密半球旋削盤として完成している³⁾。



材料：2014アルミ合金（鍛造品）

図 5 工作物の形状、寸法

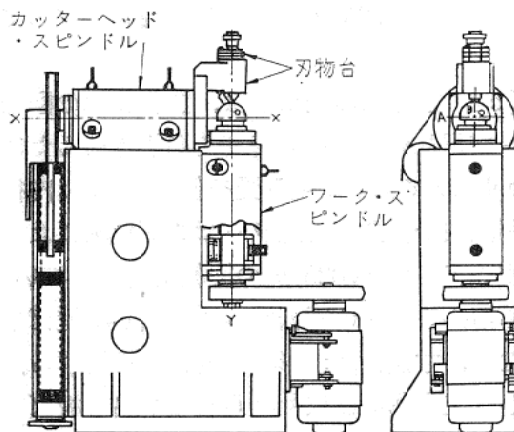


図 6 超精密半球旋削盤 (Du Pont 社)

この開発に際し、設計基準を次のように厳密に定め、それを達成するためのあらゆる努力が払われている。

(1) 工作物軸、工具軸の回転精度およびスラスト精度は 0.25μ 以内のこと。

(2) 両軸の軸受の摩擦係数が 5×10^{-6} 以下のこと。

(3) 工作物軸の回転精度は 2000 rpm の回転数まで 0.125μ 以下のこと。

(4) 工具軸の静バランスが $1.2\text{ kg}\cdot\text{cm}$ 以下のこと。

(5) 工具の最小送りが 0.125μ まで可能のこと。

(6) 運転時振動による工作物と工具との相対変位が 0.125μ 以下であること。

図 6 における X-X 軸、Y-Y 軸はそれぞれ工具軸、工作物軸を示しているが、これらの回転精度については、UPPS の場合と同様、軸受として Graphitar による特殊構造の空気軸受を用いることによって解決し、モータなどによる振動も、吸振材（減衰比 20/1）を用いることにより最大振幅を 0.06μ におさえ、動力伝達機構についても工作物軸は平ベルトクラウンプリー、工具軸は減速モーターネジ棒の回転ナットの直線運動—鋼ベルト工具軸の回転という組合せにより、振動が生じないように配慮している。

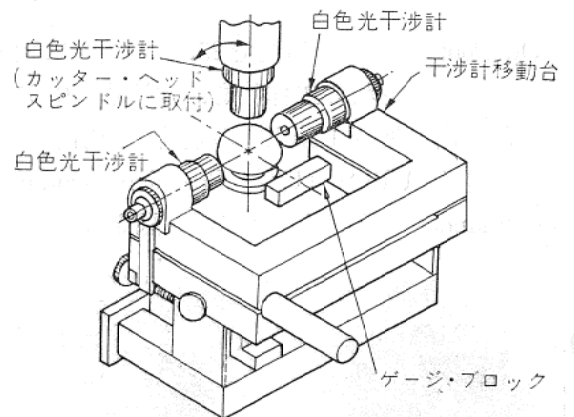


図 7 光波干渉計による工作物精度、工作物軸回転精度、工具切込みの測定

また、工作物の形状、寸法精度の測定、工作物軸の静的、動的回転精度の測定、工具刃先的位置決めおよび切込みの調節は、すべて図 7 に示すような光波干渉計によって行なわれている。3つの干渉計のうち1つは工具軸に、他の1つは空気軸受で支持された移動台上に設置され、工作物の形状、寸法の測定は図 7 に示すように、ブロックゲージとの比較測定が行なわれ

る。工作物軸の回転精度は、干渉計の1つを用い、光源にストロボを用いて回転数と同期させて、静的回転精度との比較によって測定されている。工具軸に取付けられた干渉計の軸は、工具軸の軸心に垂直に設置され、工具切刃稜がその視野の中心線上にくるように調節している。切込み機構は粗調節用のネジ機構と微調節用のくさびで可撓板を変形させる機構とから成立ち、干渉縞の移動により切込量を決定し、 0.125μ の切込みを可能にしている。図8は工具台上

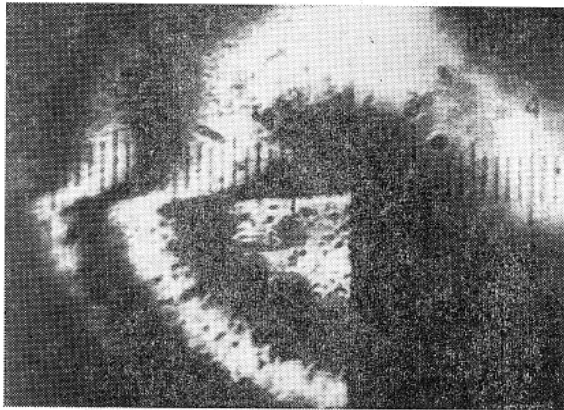


図8 干渉計による工具切込量の測定

の干渉計の視野を示すもので、中央の縦線が工具切刃稜で、その右側が工具であり、左側の干渉縞のずれが、1回の切削による段差を示している。この図では切込みは、 $0.13\sim 0.15\mu$ になっている。工具はダイヤモンド工具を用い、その切刃丸み半径を 0.0025μ という驚異的な鋭さにしているとのことである。

温度制御についても注意を払い、室温を $20\pm 0.15^\circ\text{C}$ に保つとともに、工作物軸の上端に冷却液循環用のマニホールドを取付け、発生する熱を吸収するとともに、切削による発熱現象を把握するため、工作物の下に遠隔温度測定器を設置し、 0.05°C の温度変化をとらえている。

以上のような最高の技術を駆使することにより、図4のような半球を 0.64μ 以内の寸法精度で、仕上面あらさ 0.025μ C. L. A 以下、真円度 0.05μ 以下（極付近では 0.125μ 以下）に切削加工で仕上げている。

2.2 超精密研削

研削加工は切削加工と工具の形状や性能こそ異なるが、工作物の寸法精度や形状精度を支配

するのが工作物と工具の相対的な運動精度である強制切込み加工であることは、まったく同じである。工具である砥石の砥粒切刃は切削工具に比べて鋭く、微小加工が可能であるから、加工現象そのものの精度は優れていると考えられる（その極限は同じであると考えられるべきであるが、切刃の形成という技術的な面からいって）から、研削盤そのものの運転精度向上が研削精度の鍵となる。

Brown & Sharpe Mfg. 社では、研削盤に次の3点についての改良を施し、 $\pm 0.25\mu$ の加工精度を進成している⁴⁾。まず第1に、微小切込み機構についてである。従来から切込み機構は、摺動面上の砥石台をネジによって滑らせる方法がとられているが、 $0.025\sim 0.25\mu$ の微小切込みをそのような方法によって与えることは、機構内部の弾性変形、摺動面でのスティック・スリップなどのため不可能である。そこで、図9のように研削盤のベッドに力を加え、撓ま

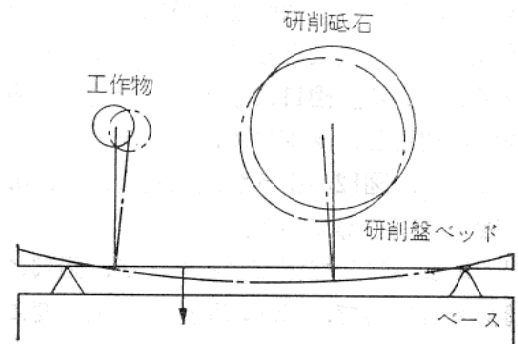


図9 研削盤の撓みを制御することによって砥石の工作物への切込みを 0.025μ 台で与えることができる

せることによって 0.025μ 単位の切込みを可能にしている。図10のレバー（矢印）を回転させるとリンク機構によりベッドが撓み、砥石が工作物に接近し、レバーの 130mm の回転が 1.2μ の切込みを与えることになる。

第2に、寸法制御の問題である。上述のような微小切込みが可能になっても、いくら切込めばよいかかわらなければ、正確な寸法に仕上げることができない。そこで、工作物の寸法を加工しながら測定できる電気式（抵抗線ひずみゲージによる）馬乗りゲージを採用している接触子はラッピングされた超硬のアンビルで、工

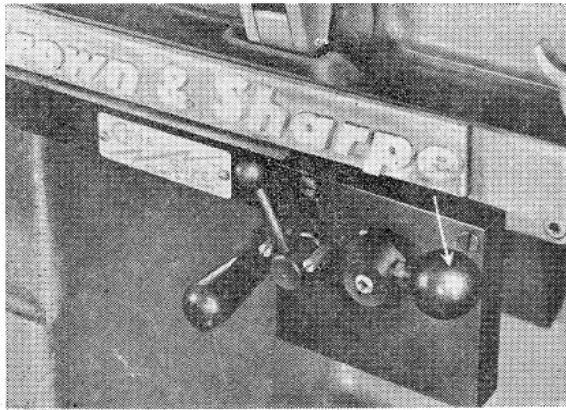


図10 研削盤の前面にある Ceda/size レバー (矢印) を動かすことにより、超微小切込みを与える。このレバーを5インチ動かすことにより、 1.2μ 切込まれる。

作物との摩擦が影響しないように設計され、プラグゲージやマスターとの比較測定によって 0.025μ の測定を可能にしている。

第3に工作物の回転精度の問題である。いかに微小切込みや精密な寸法測定を行なうことができても、工作物の回転精度が悪ければ無意味である。この解決策として主軸の支持に静圧軸受を用いている。図11に示す静圧軸受の自動調心作用を利用し、ラジアル、ストライト軸受の両方に用い、図12のような主軸構造にし、 0.12μ の回転精度を得ている。

以上のようにして完成されたのが、図13に示す超精密研削盤で、 $\pm 0.25\mu$ の加工精度に到達している。

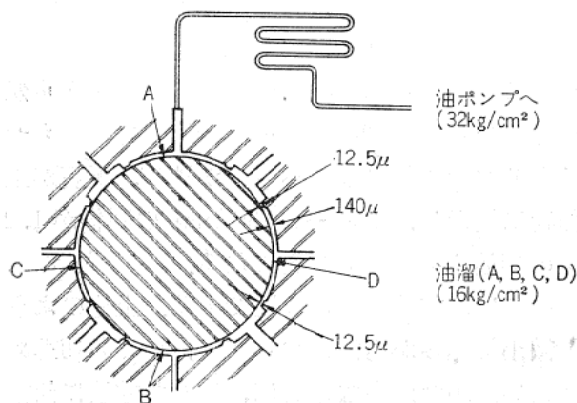


図11 4つの油溜をもつ静圧軸受の断面図 (主軸の片寄りによって一方の油溜の油圧が高くなり、反対側の油圧が低くなって負荷による偏心が自動調心される)

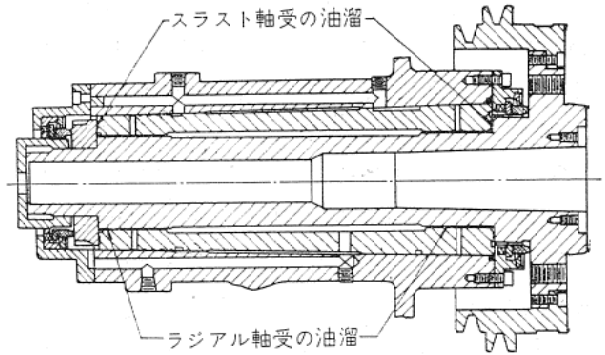


図12 主軸とその静圧軸受

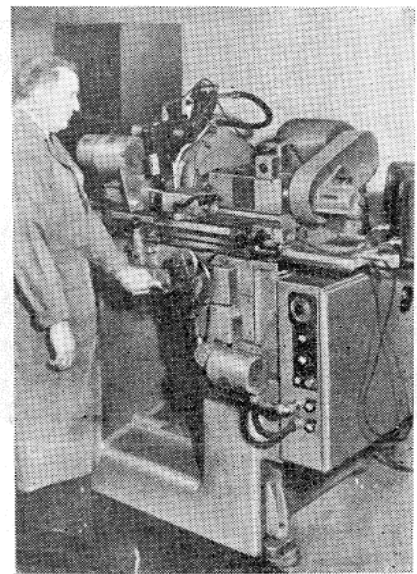


図13 超精密円筒研削盤 (Brown & Sharpe Mfg. 社)

3. 加工現象の精度から見た超精密加工

3.1 マイクロ・バニッシュ加工

切削、研削の加工現象そのものについて考察すると、いずれにしても工作物の塑性変形によるものであるから、理想的な切削が実現したとしても、仕上面として残るのは切削工具の切刃核や研削砥石の砥粒切刃によるバニッシュ面である。

それゆえ、切削、研削加工による現象そのものの到達精度は、マイクロ・バニッシュ加工によって生成される仕上面の到達精度に等価であると考えられる。ここでマイクロ・バニッシュ加工というのは、工具によって工作物表面に軽微な塑性変形のみを生じさせ、切くずを排出することなしに仕上げる方法を云うのである。

マイクロ・バニッシュ加工は、工作物を削って

寸法を大きく変化させて、所定の寸法に仕上げるということはできず、あらかじめ仕上げられた工作物の表面性状を変化させ、必要な表面性状を得ようとするものである。加工法も切削、研削のような強制切込み的なものでは困難で、軽微な定荷重による場合が多く、その仕上面の精度も、工作物の材料物性、工作物と工具との相互作用、工具の性状など種々の未解決の問題があるが、中でもすぐれたマイクロ・バニッシ加工を達成しているものについて述べる。

3.1.1 仕上面平坦化のためのマイクロ・バニッシ加工

切削、研削などによる加工面をマイクロ・バニッシ加工することによって、仕上面を平坦にし、面精度を良くするとともに、仕上面の性能を高める目的で、津和らによって研究が行なわれている⁵⁾。

図14のように、球状のバニッシャでマイクロ・バニッシすると前加工面が平坦化する。たとえば、純銅をダイヤモンド・バイト（先端角160°の剣先バイト）で切削した前加工面（ $1\mu H_{max}$ ）に半径1mmのダイヤモンド・バニッシャで単一のバニッシを施すと、図15のように前加工によるあらさが小さくなった条痕が生

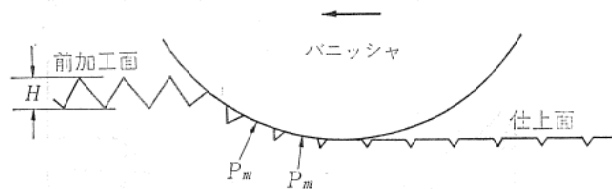


図14 マイクロ・バニッシ機構のモデル

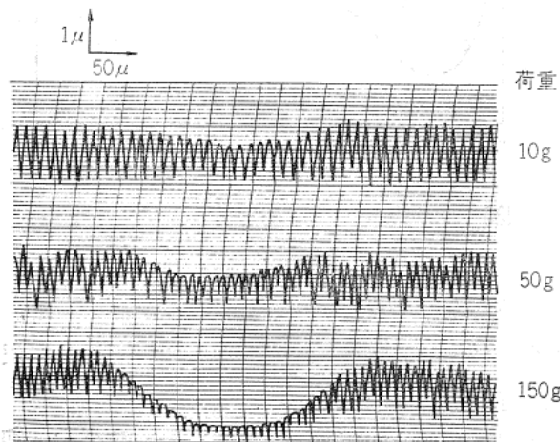


図15 単一マイクロ・バニッシ条痕
 工作物：純銅、旋削面（ $1\mu H_{max}$ ）
 バニッシャ：ダイヤモンド（1mm R）

ずる。そこで、バニッシャに送りかけ、条痕を重ねあわせていくと面全体のあらさが減小し、良好な仕上面を得ることができると考えられる。図15と同じ前加工面をバニッシャに $1\mu/rev$ の送りをかけてマイクロ・バニッシ加工を施したのが図16で、バニッシャは紙面に垂直に運動しながら左から右へ送られている。図15、図16

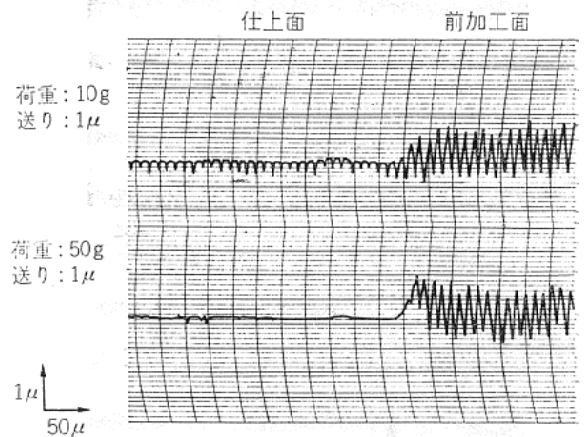


図16 バニッシャに送りを与えたときのマイクロ・バニッシ加工による面の平坦化
 工作物：純銅、旋削面（ $1\mu H_{max}$ ）
 バニッシャ：ダイヤモンド（1mm R）

を比較すると、同じ10g、50gの荷重でも、前加工面のあらさの改善度は単一条痕より送りをかけるとはるかに良く、同じ 1μ の送りでも、10gと50gでは面の平坦化は大きく異なる。つまり、マイクロ・バニッシ加工においては、荷重と送りが大きな因子になっていることがわかる。

マイクロ・バニッシ加工用の装置として、図17に示すものを用いている。マイクロ・バニッシ加工による面の平坦化の状態は顕微鏡で観察

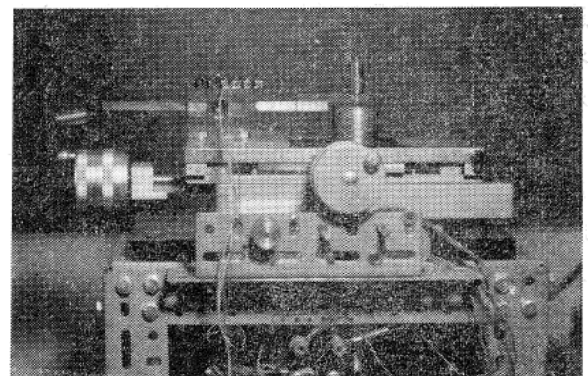


図17 マイクロ・バニッシ加工機

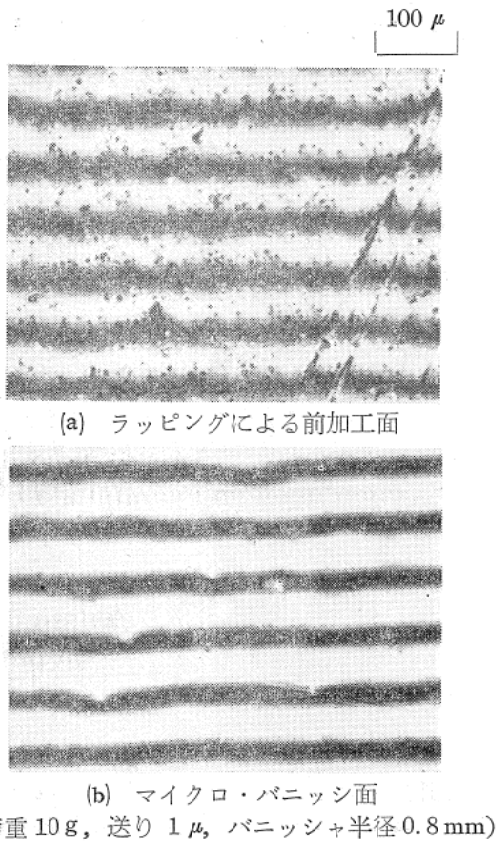


図18 マイクロ・バニッシ加工による面の向上

すると明瞭である。図18ではラッピングされた前加工面をマイクロ・バニッシすることにより、鏡面が生成されていることが明らかであり、図19によれば、エメリ・ペーパーで加工された面をマイクロ・バニッシしたときのバニッシ面と前加工面の境界部の観察から、その面精度の向上を明らかに知ることができるし、バニッシ面の電顕観察でも凹凸がほとんどわからない優れた面であることを示すものである。

仕面上あらさの向上についてみると、本実験の条件では、荷重50g、送り1μの場合がもっとも良く、0.03~0.04 μ H_{max}のあらさに到達しており、荷重と送りについて仕上面あらさを求めると図20のようになり、さらに微細送りを可能にすることによって、ますます仕上面あらさは向上するものと予想される。しかし、工作物材料の種類、平面度の向上などで多くの問題を残しており、今後の研究が期待されるところである。

3.1.2 マイクロ・バニッシ加工による回折格子の製作

日立製作所中央研究所で開発された回折格子

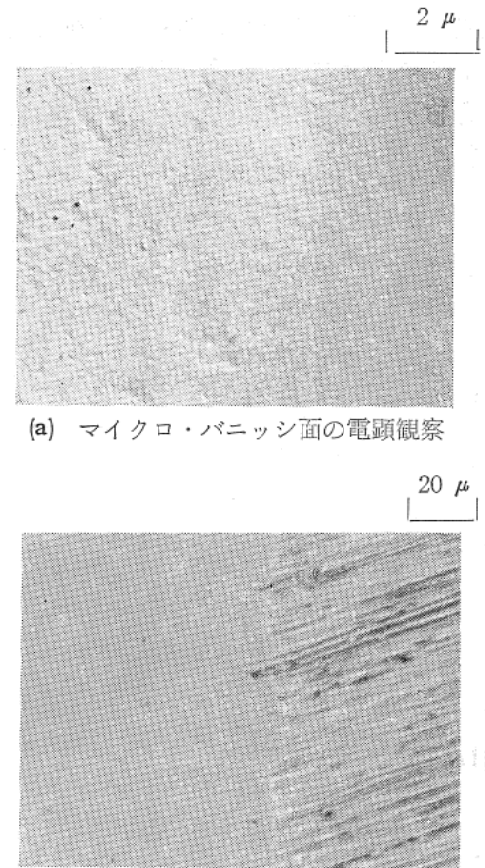


図19 マイクロ・バニッシ面の観察
(a) マイクロ・バニッシ面の電顕観察
(b) マイクロ・バニッシ面と前加工面(エメリペーパー)の境界(位相差顕微鏡)

図19 マイクロ・バニッシ面の観察

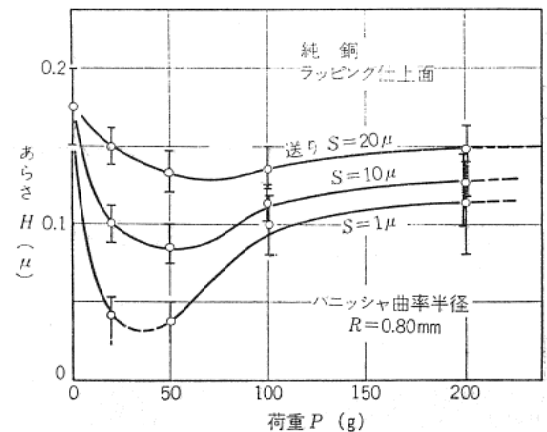


図20 マイクロ・バニッシ面あらしさにおよぼす荷重と送りの影響

の格子溝を彫刻するルーリング・エンジンは、マイクロ・バニッシ加工と精密工学技術を駆使した超精密加工機である⁶⁾。

製作しようとする回折格子の断面形状は、図21に示すような山形溝を有するもので、格子間隔 $a \approx 14 \sim 0.8 \mu$ 、最大彫刻面積 $150 \times 75 \text{ mm}^2$

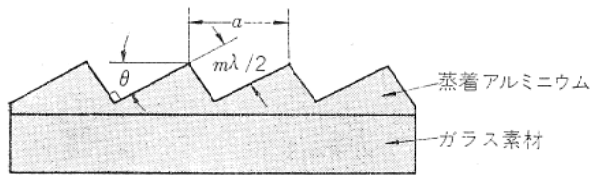


図21 回折格子の断面形状

a : 格子定数 λ : プレーズ波長
 θ : プレーズ角 m : 回折次数

までのものである。そして、回折格子としての使用に耐えるためには、周期的な格子間隔誤差が $\pm 0.01 \mu$ 以内にあり、格子溝の直線度は使用光波長 λ の $1/32$ ($0.02 \sim 0.03 \mu$) 以下、山形溝の斜面の傾斜角 $\theta = 8^\circ \pm 10' \sim 5'$ 、平坦度は $\lambda/8$ ($0.1 \sim 0.05 \mu$) 以下というすさまじいまでの精度が要求される。

加工機構そのものは、図21のようにガラス板上に蒸着されたアルミニウム薄膜をマイクロ・バニッシにより塑性変形させるものであるが、溝形状精度を上記のようにするためには、少くとも工具の形状精度もそれ以上に必要であり、図22に示すダイヤモンド工具の製作が困難

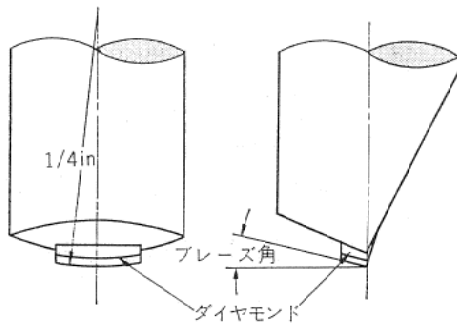


図22 ダイヤモンド・バニッシャ

な問題である。ダイヤモンド工具によるマイクロ・バニッシそのものが所要の精度で実現できたとしても、刻線の間隔精度や直線精度を $\pm 0.01 \mu$ という精度にすることは至難の技であり、そのためにダイヤモンドキャリッジの運動機構、プランクの送り機構およびそれらの誤差の補正、防振装置、温度制御、気圧の変動補正など、ありとあらゆる技術が使われているのである。

本体は図23に示すように恒温室内に設けられた空気ばね上の防振床に設置され（固有振動数 $2c/s$ ）、温度制御は、実験室全体、その中の恒温室内、ルーリング・エンジンを漬けた油タンク

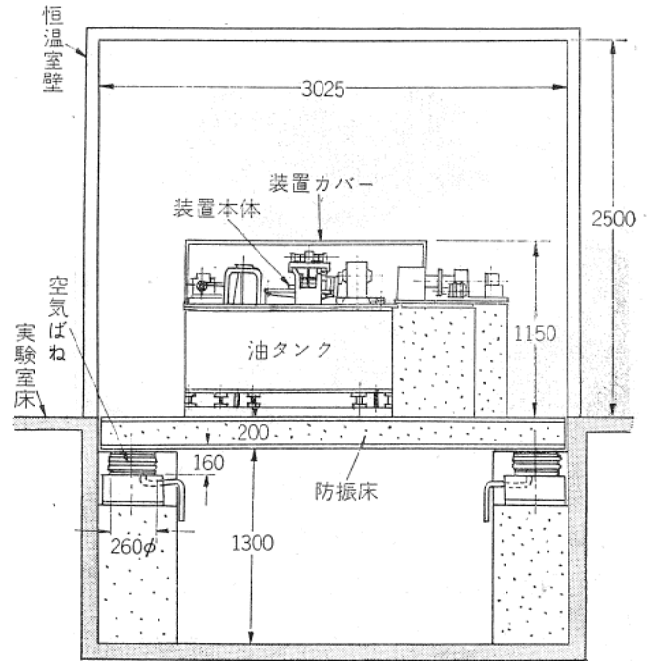


図23 ルーリング・エンジンの基礎

と3段階に行ない、油の温度変化は $\pm 0.002^\circ C$ に保たれている。

ダイヤモンド・キャリッジの運動は、クランクと鋼ベルトによる往復直線運動機構を採用し、そのしゅう動はテフロンしゅう動子によるが、ダイヤモンド工具の真の案内は光学平面によって行なわれている。また、ダイヤモンド工具によるバニッシは、定荷重で行なわれるのであるが、ダイヤモンド・バニッシャの左右の剛性を高め、ゆらぎをなくすために十字ばね（板厚 50μ ）によって支持している。

プランクの送りは、主要部はウォームとはすば歯車、主ねじによるものであるが、しゅう動面でのスティック・スリップやバックラッシュの誤差を生じさせないため、加工中は連続的に送りをかけている。プランクの送り速度の制御は、格子間隔精度と格子溝の直線精度を保つ上で重要な問題で、機械的精度のみでは到達不可能な精度であるから、光波干渉を利用した自動制御を行なっている。

また本機の主要部の部品は、現在の技術で可能な最高の精度で加工されていることはいうまでもない。

以上のように現在の最高水準の技術を取り入れて、図24のルーリング・エンジンが完成された。

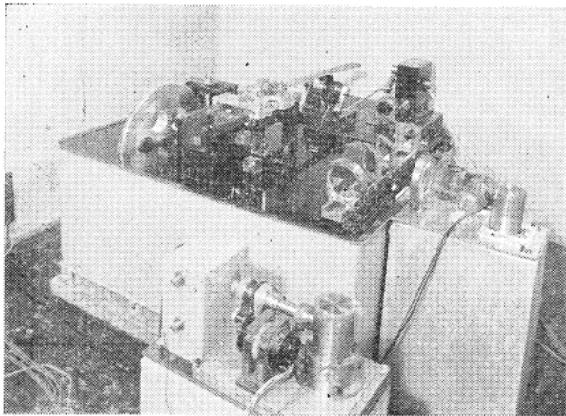


図24 完成されたルーリング・エンジン (日立製作所)

3.2 液中鏡面ラッピング

機械加工によって最高の精度を得ることのできる方法は、ブロック・ゲージの加工で代表されるようにラッピング加工である。ラッピング加工は、現象的には切削、研削における切刃やマイクロ・バニッシュ加工におけるバニッシャを微小にすることによって、加工単位をできるだけ小さくし、それによって加工現象そのものの精度を向上させようとしたものである。このような微小な工具を保持し、その加工単位に見合うような微小切込みを与える強制切込み加工が不可能であるため、従来から定圧加工によらざるを得なかったと考えられる。それゆえ、ラッピング加工による寸法精度向上は使用するラップの精度と作業者の熟練に依存しなければならないのである。寸法精度を機械自体によって規定できるラッピング技術の発達が望まれるのであるが、現在その可能性は少ないようである。

面精度向上に関するラッピング技術の研究は、津和らによってなされ、従来困難であった鏡面加工が液中ラッピングによって容易に行なえるようになった⁷⁾。これまでラッピングによって鏡面を得ることがむずかしかったのは、粒径の様な微細粉末を得ることが困難であり、塵埃やラップ内の介在物などのため、仕上面に大きな傷を生じるためである。そこで津和らは図25のような液中ラッピング法を考え、微細な粉末を液中に分散させることによって、大きな粉末が沈降し、小さな粉末のみで加工が行なえるようにするとともに、ラップにポリウレタンを使用し、その弾性作用によってさらに小さな

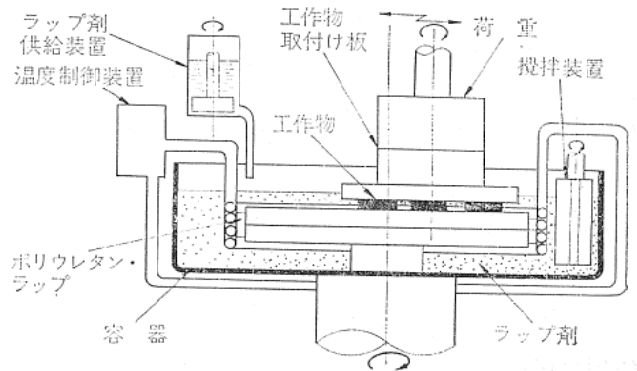


図25 平面の液中ラッピング装置

粉末として作用するように工夫している。また、空気中の塵埃も大きなものは液中を沈降し、その悪影響を小さくすることができる。

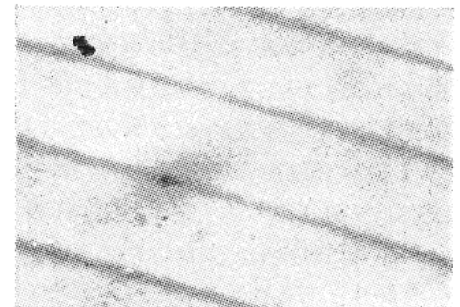


図26 液中鏡面ラッピングによる Si 仕上面の繰返し反射干渉縞
ウレタン・ラップ : Hs 90
ラップ圧力 : 300 g/cm²
粉末 : ZrO₂ (平均粒径 0.1 μ) 光源 : Na

仕上面あらさは、図26の繰返し反射干渉縞からわかるように、表示できないような鏡面で、レプリカ法による電顕観察ではその凸凹を見ることができない。この液中ラッピングによれば、Si 単結晶のみではなく、他の材料の鏡面加工も容易である。

さらに、この液中ラッピング法を円筒ラッピングに応用した例を図27に示す⁸⁾。本機は真円度の優れた円筒を容易に製作可能にするために試作されたもので、工作物をラップ液中で回転しながら、ポリウレタンラップのついたラップヘッドを上下運動させ、加工とともに真円度の向上をねらったもので、その様子を図28に示す。ほぼ0.1 μの真円度の円筒の加工が可能である。

以上のように液中ラッピングによってラッピング現象そのものの精度は容易に向上すること

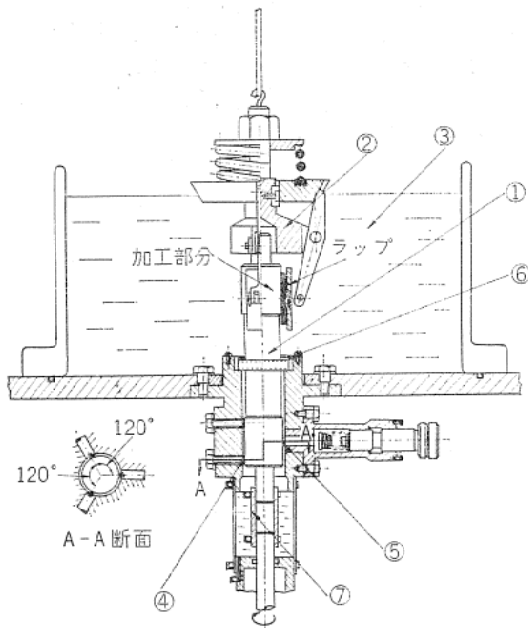


図27 円筒面の液中ラッピング装置

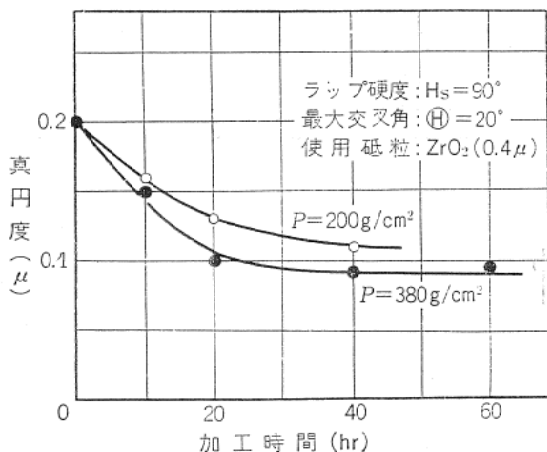


図28 液中ラッピングによる真円度の向上

ができたが、寸法制御を押し進めることが今後の問題である。

3.3 粉末による極微量加工⁹⁾¹⁰⁾

加工の窮極の単位である原子のオーダの加工が機械的な加工法によって可能であるかどうかを吟味し、その可能性のある方法を加工現象の面について追求しようとして著者が行なった研究がある。

これまで述べてきたように、切削、研削、マイクロ・バニッシュ加工、ラッピング（鏡面ラッピングについては明らかではないが）などの加工ではその加工現象には必ず塑性変形をとまなうものである。それゆえ、それらの加工単位（精度）は転位密度に依存するものと考えら

れ、転位の存在する最小の転位間隔が塑性変形による加工法の到達精度ではないだろうか。このように考えると、原子のオーダの加工は不可能ではないかということになるが、著者は極微小弾性破壊の可能性を仮想したのである。つまり、先在する転位や微小クラックに作用しないような微小領域を微小な工具で破壊させようとしたとき、転位の増殖、発生をとまなわずに、原子間の理想的な結合状態を打ち破る弾性破壊が生ずるのではないかということである。

このことを実験的に吟味するための一つの方法として特殊振動加工装置によって実験を行っている。このことは本誌23巻、5号で¹¹⁾述べたので省略するが、その後、粉末粒子を加速する方法として、ブローアによるもの、回転円板によるものなどを行ない、Siのような脆性材料はもちろん、Al, Feのような延性材料でも電子回折的観察では塑性変形をとまなわない弾性破壊による加工が可能であることを明らかにしている¹²⁾。

参考文献

- 1) Turing to microinches, American Machinist, (Nov, 7, 1966), 145
- 2) T. G. Lewis: Maching to Millionths, The Tool and Manufacturing Engineer, (Aug. 1962), 65
- 3) L. G. Whitten and T. G. Lewis: Machining and Measurement to Submicron Tolerances, Machine Tool Design and Research(1966), 491
- 4) R. H. Spiotta: Millionths can be ground, Machinery, 68, 8 (April, 1962), 108
- 5) 津和秀夫, 山田秀次郎; Micro-Burnishingに関する研究, (第1報)精機学会昭和43年度関西地方定期学術講演会前刷集, 25, (第2報)昭和44年度春季学術講演会前刷集, 67
- 6) 山田弥彦, 原田達男, 森田健二: ルーリング・エンジンの試作, 日本機械学会誌, 69巻, 575号 (1966), 11
- 7) H. Tsuwa, T. Yamada and M. Hida: Mirror Lapping of Si Single Crystal and Its Deformed Surface Layer, Tech. Reports of the Osaka Univ., vol. 19, No. 906(1969), 641
- 8) 津和秀夫, 井上捷昭, 竹田武志: 超精密円筒ラッピングに関する研究, 超精密加工専門委員会誌“高精度”, 1巻, 2号(1969), 16
- 9) 津和秀夫, 明田勇蔵, 村上修一: 粉末によ

生産と技術

- る特殊振動加工に関する研究，精機学会関西地方定期学術講演会前刷集（1969），37
- 10) 明田勇蔵，村上修一：極微小量加工，超精密加工専門委員会誌“高精度”，2巻，1号（1970），11
- 11) 明田勇蔵：極微小量加工の思索，生産と技術，23巻，5号（1971），37.
- 12) 明田勇蔵，津和秀夫，清水泰洋，杉山和久：極微小量加工の研究（第3報），精機学会昭和47年度春季学術講演会前刷集（1972），391

