

知 識 編

1. ポリゴンミラーとは

(1) ポリゴンミラーの用途

従来ポリゴンミラーは、分割角度精度を測定するための角度基準として使用されていたが、情報社会を支える光学分野の発展に伴い、回転多面鏡としてレーザー等の光線を走査させるスキャナーとして用いられるようになってきた。

スキャナーの用途としては、コンピュータ処理データの出力用としてのレーザービームプリンター、圧延鋼板等の表面欠陥検査、部品の識別、商品のバーコードリーダ、TVフィルムの撮像用テレシネ装置等があり実用化されている。

特にレーザービームプリンター (LBP) は、シリアルプリンターに対しインパクト部分がないため騒音、振動がないという特徴があり、さらに高鮮明度、高速化が可能であり、OA機器の出力印刷装置として脚光を浴びており、商業用高速大型プリンターからマイコン用の小形プリンターあるいは複写機への応用展開等需要拡大が期待されている。

ポリゴンミラーの代表的な使用例とスキャナー部分を図1、図2に示す。

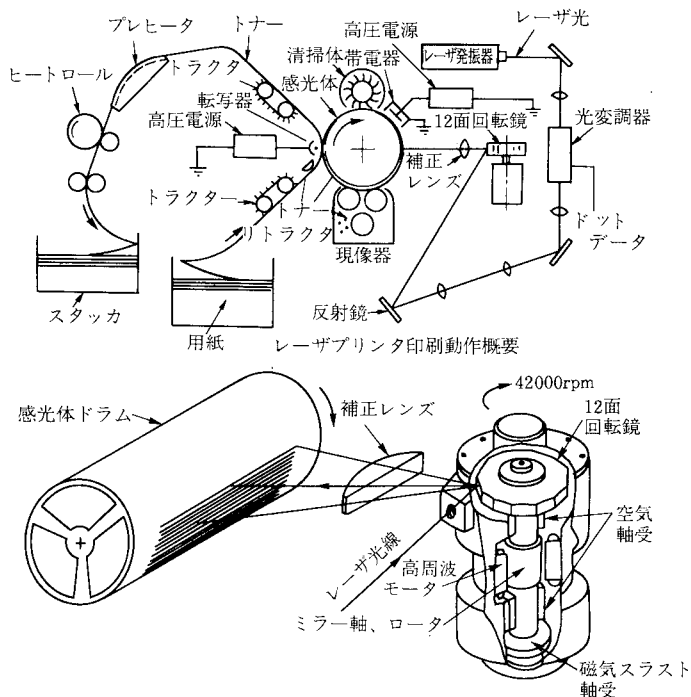


図1 レーザビームプリンターの概要

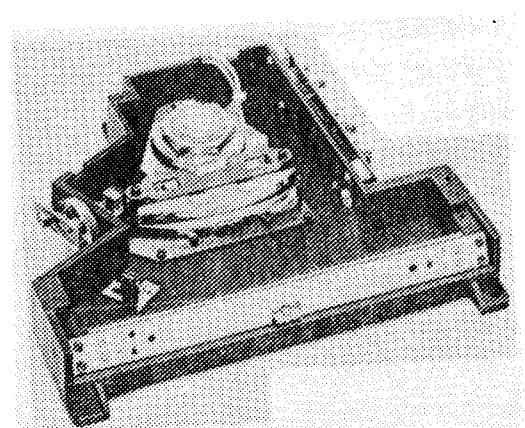


図2 レーザスキャンニングユニット (旭光学)

(2) ポリゴンミラーの形状

ポリゴンミラーの形状寸法は目的、用途、メーカーによってそれぞれ異なるが、一般的な形状を次に示す。LBPに用いられるポリゴンミラーは、6面体から12面体が主に用いられており、大きさは内接円寸法で $\phi 35\text{mm}$ から $\phi 80\text{mm}$ が、ミラーの厚さは4mmから10mmが一般的である。写真1に各種ポリゴンミラーを示し、図3に代表的な形状を示す。

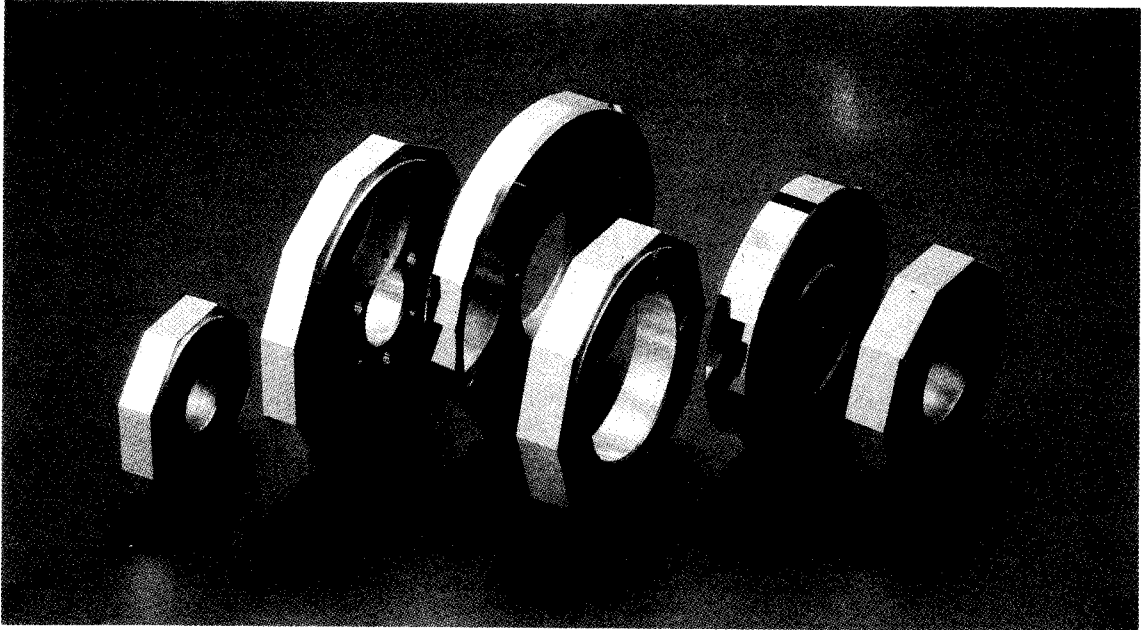


図3 ポリゴンミラーの形状（代表例）

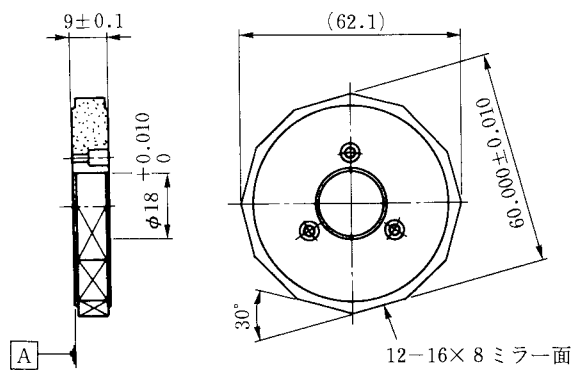


写真1 各種ポリゴンミラー

(3) ポリゴンミラーの仕様

LBPのスキャナーユニットは、ポリゴンミラーとモータ部および補正光学系とから構成され、画像品質を左右する特性は、モータの回転精度、ミラー取付け部の面振れ、およびポリゴンミラーのミラー面の平面度、基準面に対するミラー面の角度精度、ミラー面の反射率、ミラー面の面粗さ等がある。

ポリゴンミラーの標準的な仕様と高品質ミラーの仕様を表1に示す。

表1 ポリゴンミラーの仕様

項目	標準品	高品質品
基準面の平面度	$\lambda/2$	$\lambda/4$
分割角度	$\pm 30''$	$\pm 5''$
基準面に対するミラー面の倒れ相互差P-V	90''	5''
同上隣接	45''	2''
ミラー面の平面度	$\lambda/4 - \lambda/6$	$\lambda/8 - \lambda/10$
ミラー面の面粗さ	0.02 μm 以下	0.02 μm 以下
ミラー面の反射率	85%以上	88%以上

2. ポリゴンミラーの加工方法

ポリゴンミラーの鏡面加工技術の推移により、ポリゴンミラーの構造も複合型、メッキ型、単体型へと変化してきている。

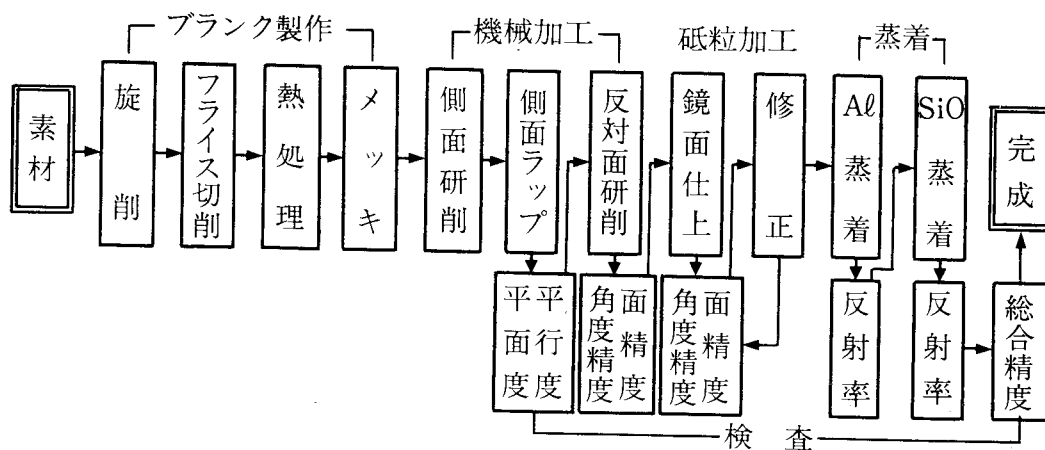
複合型は、台形ミラー片あるいは三角ミラーブロックを貼り付けて多面体形状としミラー面はラップによって加工されている。これは組み立て精度、接着強度等に難点がある。メッキ型は、軽合金母材を多面体形状に加工し表面にメッキを行って反射鏡面を構成している。単体型は、ガラス母材を多面体形状に成型、ラップ仕上げを行い反射膜を蒸着してミラー面を得ている。

これらはいずれもミラー面をラップによって得られており、縁だれが生ずること、非常にコスト高となること、ラップ加工に熟練が要ること等から量産化および低価格化が難しく、多くの問題点を抱えていた。

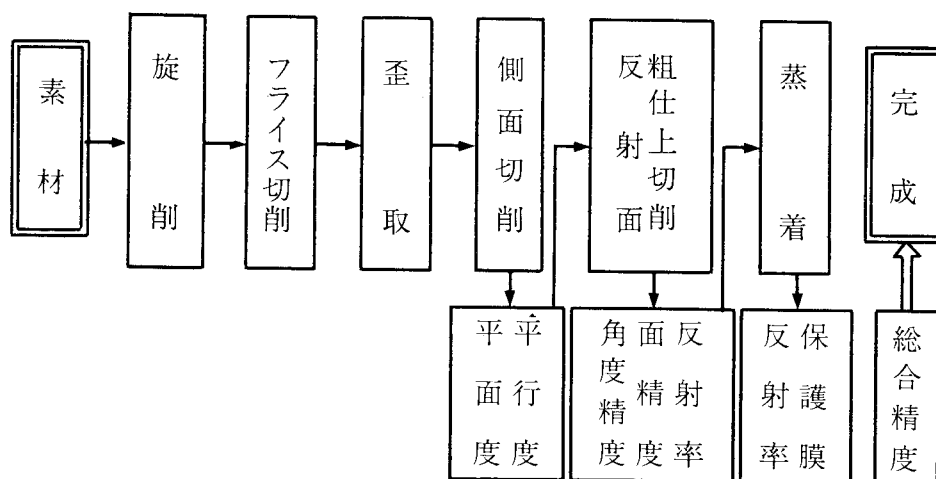
近年の情報社会の発展に伴いプリンターとして高速化、小形化、低価格化、高精度化、高鮮明度化が強く望まれ、特に高速化対応としては、従来のガラス母材が破壊強度的に対応できなくなり、またAl等の軽合金の鏡面加工に超精密ダイヤモンド切削加工技術が開発実用化されてきたのと相俟って現在のAl合金ベースの単体型が主流を占めるようになってきた。従来のラップ加工工程およびダイヤモンドバイトによる切削加工工程を図4に示す。

ダイヤモンドバイトによる鏡面加工の大きな利点は、歩留まりが良く、安定した高精度ミラーが量産加工できることである。特にミラー面周辺のだれがなく、反射率も切削のままで90%前後の高い値が安定して得られ、切削後は保護被膜の蒸着処理を行うだけで良く、工程がかなり集約されている。

ダイヤモンドバイトによる切削加工の問題点はバイト刃先の安定性である。単結晶ダイヤモンドの結晶方位



(a) 従来の多面鏡の製作工程概念図



(b) ダイヤモンド切削による工程

図4 ポリゴンミラーの加工工程

のばらつき、刃先形状のばらつき（形状、シャープ性、面の仕上がり状態）等ダイヤモンドバイトの加工技術、測定技術、評価技術の早期確立が必要である。また加工方法として注意しなければならないことは、バイトの刃先をいかに適確にセットすることができるか、これが不適確である場合、加工面にバイトの加工引き目が生じレーザー光の反射が散乱してミラーの特性が失われてしまうことがある。

3. ダイヤモンドバイト

(1) ダイヤモンドバイトの種類

ポリゴンミラーのようなアルミニウム合金の加工では、ブランクとしての形状加工からミラー面の仕上げ加工まであらゆる切削加工工程でダイヤモンドバイトを使用する。

ダイヤモンドバイトには、多結晶ダイヤモンドバイトと単結晶ダイヤモンドバイトがあるが、天然の多結晶ダイヤモンドは成形が困難なため切削用バイトとしてはほとんど使用されていない。したがって、一般的に多結晶ダイヤモンドバイトといえば焼結体コンパックスダイヤモンドバイトを指す。これらは精度的あるいは経済的理由で、たとえばポリゴンミラーの製造工程では次のように使い分けられる。

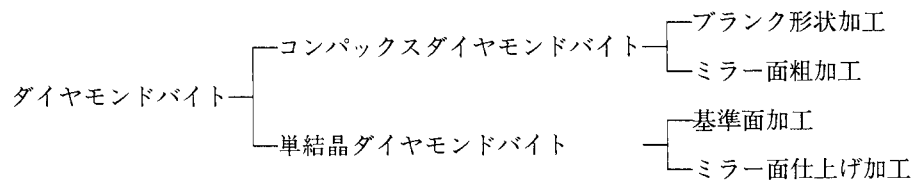


表2にコンパックスダイヤモンドバイトと単結晶ダイヤモンドバイトの特徴を示す。

表2 ダイヤモンドコンパクトと天然ダイヤモンドの比較

比較の項目	コンパクトバイト	天然ダイヤモンドバイト
刃部組成	超硬合金の台に合成ダイヤモンドを同時焼結した微結晶集積体	天然ダイヤモンド原石の単結晶体
耐摩耗性	硬度は天然ダイヤモンドよりやや劣るが、方向性による変化がなく均一	結晶方向により異なる
切刃強度	衝撃に強く、重切削・断続切削可	へき開面に沿って欠けやすく、重切削・断続切削に不適
切刃の尖鋭度	尖鋭で軟かい金属でも良好な仕上げが得られるが完全鏡面には不適	きわめて尖鋭で、完全鏡面仕上げが得られる
性能の持続性	非常に一貫している	変化しやすい
刃部形状	所望の標準形状ができる	大きさが限定され、不揃い
価格・入手の度合い	比較的価格安定、量産可能	原石価格高騰・不安定、有限で入手難

ポリゴンミラーのような光学鏡面では、単に単結晶ダイヤモンドバイトを使用すれば得られるというのではなく、選定に際しては次のような点に注意が必要である。

- ① 原石の種類
- ② 刃先形状
- ③ 結晶方位
- ④ 研磨方法
- ⑤ 刃先精度（鋭利性、輪隔、粗さ）等

表3に単結晶ダイヤモンドバイトの分類を、また表4にダイヤモンドの一般的特性を示す。

表3 単結晶ダイヤモンドの分類

I a	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ダイヤモンドの大部分が属する ・0.1%程度の窒素が偏折して含有される ・紫外線を当てると蛍光を発する
I b	<ul style="list-style-type: none"> ・合成ダイヤモンドの大部分が属する ・窒素が固溶体で含有される ・紫外線を当てると蛍光を発する
II a	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素をほとんど含有しない ・光学的、熱的にすぐれた特性を有す ・合成ダイヤモンドより窒素を取り除くことにより得られる ・天然ダイヤモンドではごくまれ
II b	<ul style="list-style-type: none"> ・I aに硼素をドーブすることにより得られる ・p型半導体の性質を有する ・天然ダイヤモンドではごくまれ

表4 ダイヤモンドの一般特性

性 質	測 定 値	備 考
密 度	$(3.51524 \pm 0.00005) \times 10^3 \text{kg/m}^3$	298Kで測定
硬 度	ヌープ5,700 ~10,400kgf/mm ²	(100) 面
ヤング率	$9.8 \times 10^{11} \text{N/m}^{-2}$	
引張り強さ	$3 \times 10^9 \text{N/mm}^2$	
比 熱	6,195J/mol・K	298K
熱伝導率	タイプI 600 ~1,000W/m・K	298K
	タイプII 2,000 ~2,100W/m・K	
線膨張係数	$0.8 \times 10^{-6} / \text{K}$	298K

(2) ダイヤモンドバイトの形状

超精密切削に用いられる送りバイトは大別すると直線刃とR刃に分けられ、これらは用途によって使い分けられる。表5にこれらの主な特徴を示す。

表5 直線刃とR刃の特徴

	直線刃	R 刃
加工面粗さ	良い	悪い
切削抵抗	大きい	小さい
バイトセットの容易さ	難	易
刃先研磨の容易さ	易	難
主な用途	ドラム、ディスク、ポリゴンミラー	球面、非球面

さらに仕上げ面状態を良くしたり、バイトセッティングを容易にするために刃先に面取りやコーナRを付加する等、各バイトメーカーで工夫・改良がなされている。図5に鏡面加工用刃形の一例を示す。

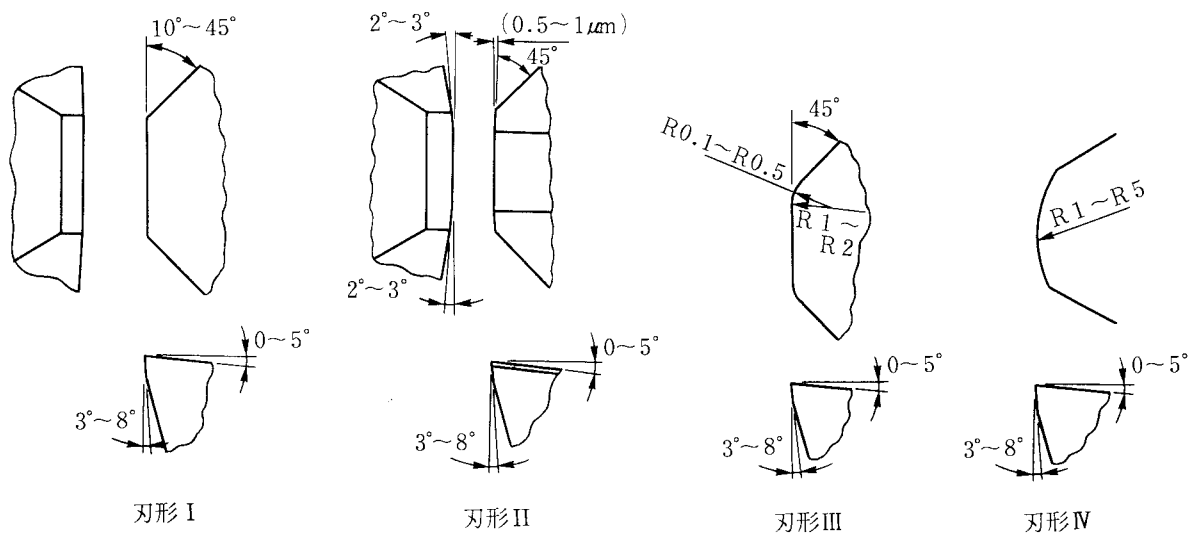


図5 鏡面加工用刃形

図6に示すバイトは、ポリゴンミラーの仕上げ加工に使用しているもので、すくい面が約R40mmの円筒面を形成している。これを前逃げ角からなる平面で切断したとき、刃先面にきわめて大きな近似R (600~800mm) が形成される。これにより切削面粗さとノーズRの関係式から表面粗さの向上が図られるとともに、ワークとの接触が大きくなるため切削における弾性回復分を微小切削する領域を付与することができる。さらに逃げ角2°の微小バニッシュ領域を設けることにより0.01 μ mオーダの仕上げ面粗さが得られている。また、切れ刃前部の面取りは約5°とし、単位刃長当りの切削量を小さくすることで切削性とバイト寿命の向上を図っている。

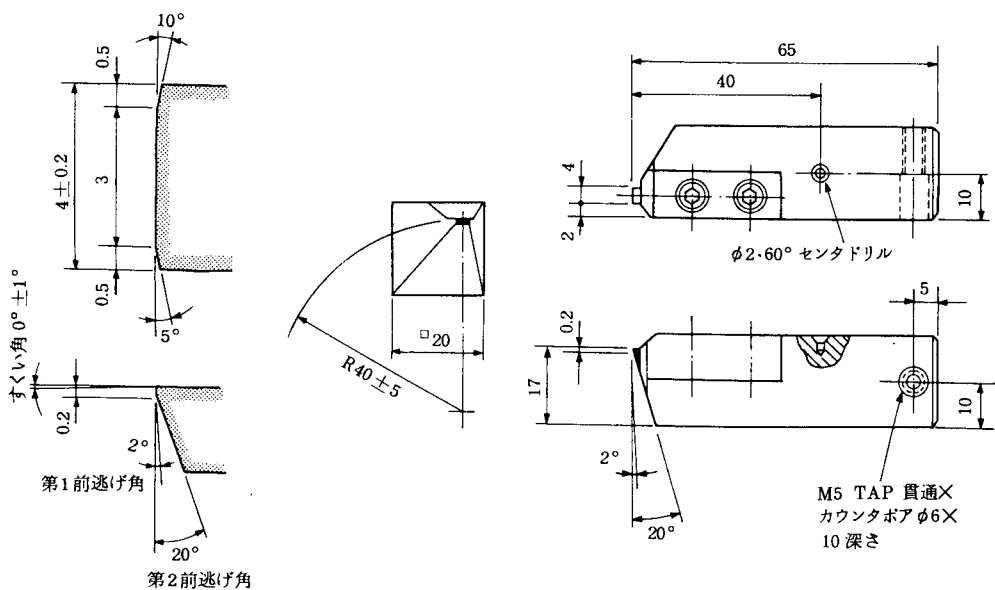


図6 仕上げ切削用バイト

(3) 結晶方位と形状精度の測定

① 結晶方位

ダイヤモンドバイトの使用上、原石や形状もさることながら結晶方位の取り方は、切削面品質や寿命に大きく影響するため気になるところである。結晶方位の測定には一般的にX線ラウエ法やX線回折法が用いられ、特殊な装置が必要である。いずれの方法も結晶におけるX線の回折現象を利用するが、前者は白色X線を使い写真上の回折パターンのずれを読み、後者は単色X線の回折X線をディフラクトメータなどで計測し角度を読む。ラウエ法の方が容易に測定できる。図7に背面反射ラウエ法の概略図を、また図8にそのパターンの一例を示す。

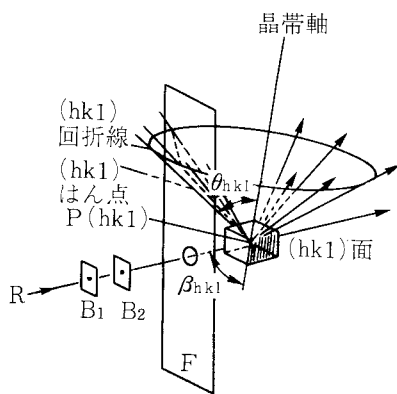


図7 背面反射ラウエ法

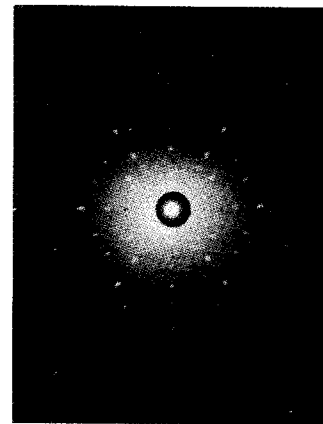


図8 X-ray back Laue reflection pattern of diamond {110}

② 刃先の鋭さ

刃先精度で重要なことは刃先稜丸み半径(刃先の鋭さ)と刃先稜線の均一性あるいはなめらかさである。刃先稜丸み半径は鋭く研磨されたもので数nmともいわれているが、接触・非接触法ともに数値を断定するに到っておらず測定方法が確立されていない。

一例として二次電子検出のSEM(走査型電子顕微鏡)による測定結果を図9に示す。

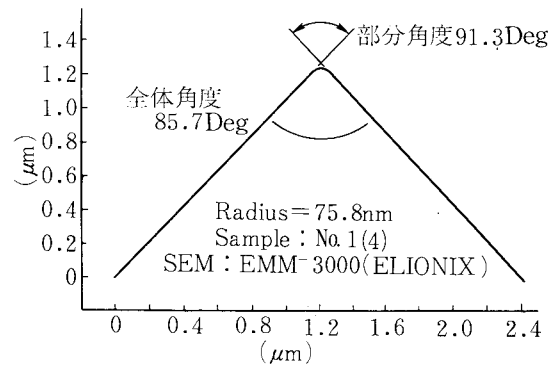


図9 ダイヤモンド工具の切れ刃稜断面曲線とその解析例

③ R形状

R刃の場合は刃先精度にRの輪郭精度も入ってくる。輪郭精度は特に球面・非球面をX-Y同時制御で切削する場合に重要となってくる。従来は接触式で刃先近傍を測定していたがこの方法では本当の切れ刃稜の精度がわからず、逆に刃先稜を直接測定すると破壊検査となる問題があった。最近では非接触式で刃先稜を直接測定する方法が考えられている。一例として測長SEMによる測定の概略を図10に示す。

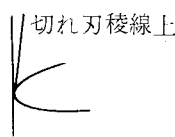
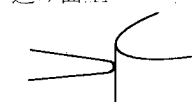
	EMM-3000	従来法
方法	測長SEM (非接触)	触針式形状測定装置 (接触)
測定点		
プローブ径	5nm (電子線)	100nm (ダイヤモンド針)
分解能	垂直 水平 10nm以下	数nm (100nm)
測定範囲	600×600μm	バイト全域 (触針法)

図10 輪郭度測定法の比較²⁾

4. ポリゴンミラーの材料

(1) アルミニウム材料の選択と問題点

ポリゴンミラー用の材料は、高速回転に耐え得る強度を持ち、高品位な鏡面がダイヤモンド切削によって容易に得られることからアルミニウム合金を用いる。材種選定に際しては、ダイヤモンドバイトは材質的に脆弱であるため、加工材料には不純物のないものを選ぶ必要がある。ごくわずかの不純物によっても刃先チッピングを起し、仕上げ面粗さが不良となるばかりでなく、バイト寿命も極端に短くなることがある。さらに表面粗さが1/100μmオーダ、あるいはそれ以下の光学鏡面を得る場合、材料中の析出物・介在物、空孔などの表面露出が問題となってくるため、これらの大きさや均質性にも注意を要する。

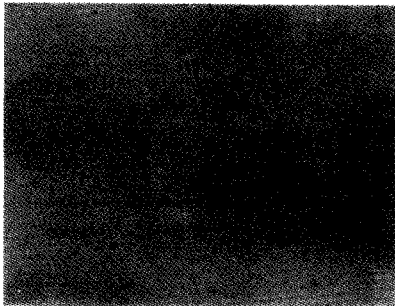
表6に各種アルミニウム合金の化学成分を示す。

表6 Al合金化学成分表

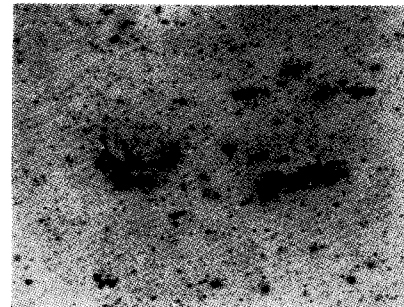
材種	Si	Mn	Mg	Zn	Cr	Fe	Ti	Cu	Al	硬さ	
A5956	JIS	0.3以下	0.05~0.2	4.5~5.6	0.1以下	0.05~0.2	0.4以下	—	0.1以下	残	
	改良	0.05	0.075	4.25	0.004	0.075	0.07	—	0.004	残	HB63
A6061	JIS	0.4~0.8	0.15以下	0.8~1.2	0.25以下	0.04~0.35	0.7以下	0.15以下	0.15~0.4	残	
	改良	0.59	0.01	0.84	0.003	0.02	0.034	—	0.188	残	HB93
A7075	JIS	0.4以下	0.3以下	2.1~2.9	5.1~6.1	0.18~0.35	0.5以下	0.2以下	1.2~2.0	残	
	改良	0.09	0.009	2.49	5.51	0.18	0.16	0.001	1.41	残	HB141
S	0.005 以下	—	3.70~4.50	—	—	0.005 以下	—	0.001以下	残	HB58	

JIS規格の各市販アルミニウム合金やそれらの改良品では、FeやSi等の添加元素が鏡面切削に悪影響を及ぼすが、最近各アルミニウムメーカーで開発されているポリゴンミラー用アルミニウム合金は、きわめて高品位な鏡面が得られるものがある。これらはJISには該当せず、高純度（99.99%以上）アルミニウムベースにマグネシウムを数%添加し、高い加工比率で組織のち密性を高めた合金で、不純物がきわめて少ないためスクラッチが発生しにくく、表面粗さ・平面度・反射率も優れた特性を示すことが確認されている（表中S種）。

写真2にこのS種と市販のA5086材の組織写真を示す。



高純度ベースアルミ合金（S種）



A5086

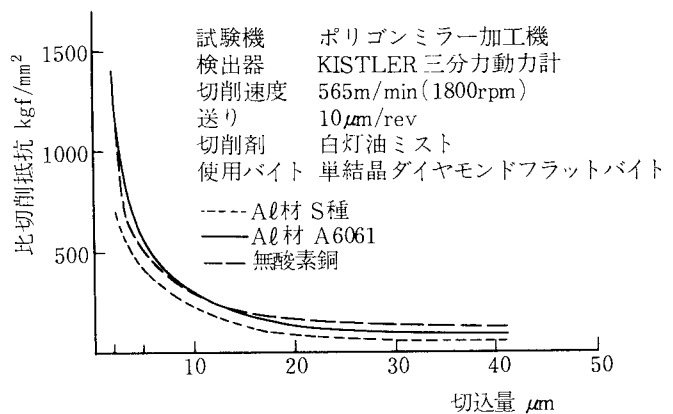
写真2 アルミニウム合金の組織（400倍）

(2) アルミニウム合金の切削抵抗

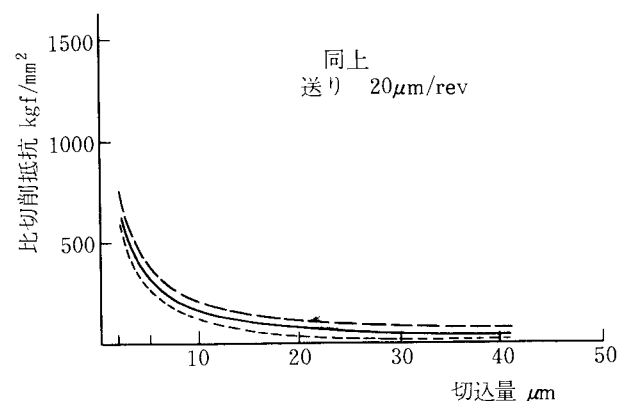
切削抵抗は残留応力や工具寿命などに悪影響を与えるので注意を要する。アルミニウム合金の微小切削領域での切削抵抗を圧電式三分力計（KISTLER）を用いて測定した結果を図11に示す。A6061とポリゴンミラー用S種材、および無酸素銅を試料とし、フラットバイトを用いてポリゴンミラー加工機で鏡面切削し測定した結果である。ポリゴンミラーを加工する条件と同一にしたため、純粋な切削抵抗とバニシング抵抗が同時に作用していることになる。

結果から次のことがいえる。

- ① 切込みが小さくなるほど、比切削抵抗は大きくなる。
- ② この傾向は10 μm 以下の切込みで顕著に現れる。
- ③ 送り10 $\mu\text{m}/\text{rev}$ の比切削抵抗は送り20 $\mu\text{m}/\text{rev}$ のそれに比して1.5~2.0倍大きい。
- ④ 全体的にS種の比切削抵抗は他より小さい。
- ⑤ 送り10 $\mu\text{m}/\text{rev}$ で切込み5 μm の場合では比切削抵抗が500 kgf/mm^2 になっている。



(a) 切削条件



(b) 切削条件

図11 切込みと比切削抵抗の関係

5. ポリゴンミラー加工における環境

(1) 環境について

① 温度

加工・洗浄・蒸着・検査工程は加工材料がAl合金であることから、熱的な影響を避けるために同一温度条件であることが望ましい。

個々の工程が異なる温度環境で作業が進められる場合は、次工程の温度環境に加工物を完全に干してから、次工程作業を行う必要がある。

② 湿度

加工物表面、特に基準面およびミラー反射面の酸化が問題となる。加工後速やかに洗浄を行い脱水、脱脂、異物付着を除去し保護被膜蒸着を行うことが望ましいが、環境としての湿度は、工程間の滞留もあり、各工程特に、洗浄後、検査室で50%前後で管理すべきであろう。

③ クリーン度

切削加工室は加工液あるいはミストを供給するため、ミストの清浄化管理を行う必要はあるが、環境は通常雰囲気が良い。

洗浄・蒸着・検査は、少なくとも清浄雰囲気で管理すべきであるが、クリーン度は100,000以下が望ましいと考えている。

一般的な環境雰囲気を表7に示す。

表7 環境雰囲気

工 程	温度	湿度	クリーン度	備考
基準面旋削	23°C ± 1°C	50~60%	通常雰囲気 (約400,000)	耐振基礎要
鏡面切削				
洗 浄	23°C ± 1°C	45~55%	10,000	クリーンブース
蒸 着	23°C ± 1°C	45~55%	100,000	クリーンルーム
検 査				

※クリーン度：クリーン度10,000とは、1立方フィート中に0.5μm以上の微粒子が10,000個以下ということの意味する。

(2) 空気源について

ポリゴンミラー加工機には、回転主軸に空気静圧軸受スピンドルを使用しているため、空気源が必要である。

精密加工機に用いる空気源は、一般の工場エアラインからの導入は避けるべきである。理由は一般の工場のエアラインは各部所へ分岐されており、使用状態によって圧力変動が激しく、元のコンプレッサー圧力を法的に拘束されない限界の9.9kgf/cm²に設定したとしても、最終末端での圧力は5 kgf/cm²以下に低下しているのが普通である。

空気静圧軸受機素を用いている精密機械は、一般には空気圧インターロックが付加されている。

例えば空気静圧軸受機素が6 kgf/cm²で使用圧を設定した場合、5.0kgf/cm²まで圧力低下すると機械が

自動的に停止するインターロックが付加されている。

コンプレッサーの圧力スイッチのON—OFF設定圧力範囲内で空気静圧機素を使用することは、圧力変動の影響を受け、加工精度に異常が発生する。機械への供給口での圧力は、圧力変動の範囲より下の安定した状態で設定すべきである。使用圧力が例えば6 kgf/cm²の場合はコンプレッサーのONスイッチの圧力設定を7 kgf/cm²以上にすべきである（OFFの圧力設定はコンプレッサー容量一杯の圧力設定にし、ONの圧力設定はできるだけ高くする。例えばOFF=9.0kgf/cm²以上、ON=7.0kgf/cm²以上）。

(3) コンプレッサーについて

空気源に必要な項目として

- ① 圧力変動がないこと
- ② 脈動振動がないこと
- ③ 水分、油分その他異物の混入がないこと
- ④ 騒音が少ないこと

が要求され、一般にはスクリーコンプレッサーが用いられている。スクリーコンプレッサーは雄ロータと雌ロータの噛み合いで歯溝のねじれを利用し、空気を圧縮し高圧化する構造である。

圧縮空気の温度上昇を抑え、また、ロータの潤滑と隙間のシールを効果的に行い高効率の圧縮作用を行うため、ロータの噛み合部へ油を注入する給油方式と、水を供給する無給油方式とがある。

給油方式の場合、脱湿装置のほか、脱油装置が必要となるが最終吐出空気から完全に油分を除去することは不可能である。

新規にコンプレッサーを設置する場合には、無給油方式のスクリーコンプレッサーを選定する方が望ましい。

またコンプレッサー設置の際は、除振台上に設置する等防振対策をとることが望ましい。

6. ポリゴンミラー加工機械

(1) 超精密加工機械

平面度、加工面粗さが $0.01\mu\text{m}$ オーダの鏡面加工を可能とする超精密加工機械であるためには、機械精度、剛性、振動、熱変位等が重要であることは言うまでもない。そのために機械構成部である回転部、摺動部、送り駆動部等の主要部分の機械要素の設計選択が重要な問題となる。図12に主要部の機械要素を示す。回転および摺動部分の軸受は、運動精度、振動、熱変位、メンテナンス等の点から、超精密加工機に対しては非接触の静圧軸受が最適と考えられる。軸受の種類を図13に示す。

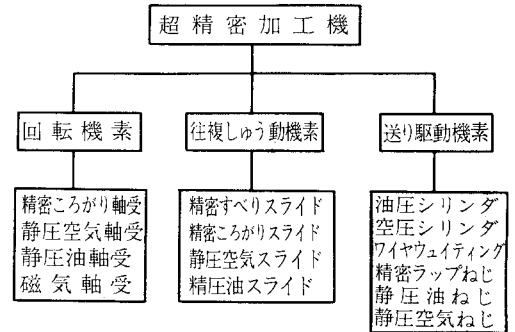


図12 超精密加工機主要部機械要素

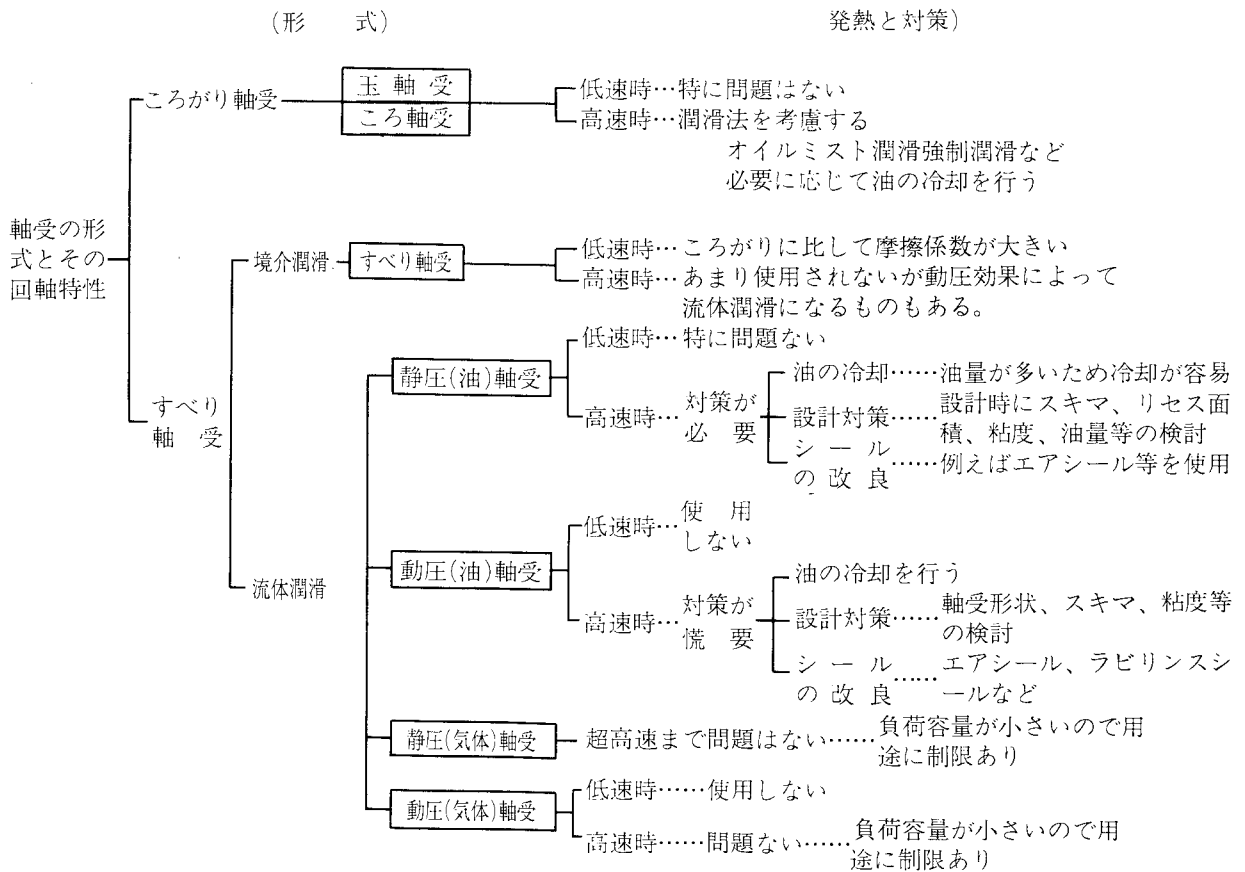


図13 軸受の形式別分類と回転特性

ポリゴンミラー加工機的设计思想は、ラフな前加工多面体ブランクを粗切削で均一な取り代にそろえ、切削量、切削抵抗を均一な状態にして、なおかつ粗切削時の振動および切り屑の干渉を避けるため粗切削と仕上げ切削を別けて2スピンドル方式にまとめて商品化を行った。また、量産化を図るため重ね切りを可能としている。写真3にポリゴンミラー加工機の全景、写真4に仕上げ切削工程での4枚重ね切りの状態を示す。

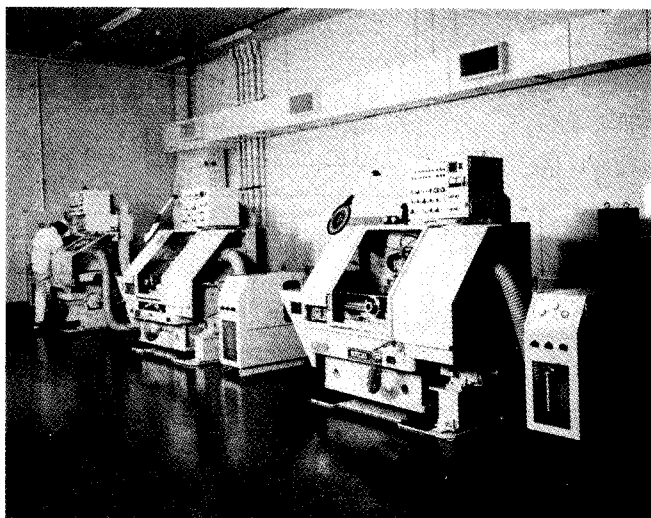


写真3 ポリゴンミラー加工機

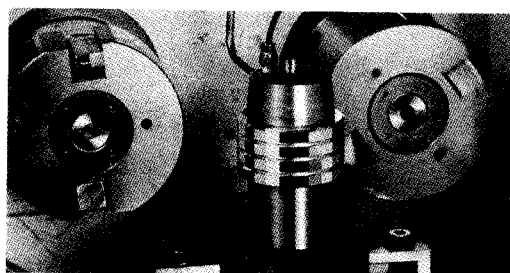


写真4 4枚重ね切削例（2軸加工機にて）

超精密加工機においても低価格形高能率加工のニーズがあり、高精度品加工用の2軸（粗・仕2本スピンドル）加工機に対し、1軸加工機を商品化している。これは1ヶのカッタヘッドにバイトの取り付け半径位置を変えて、粗バイトを外周側に、仕上げバイトを内周側に取り付けて加工するものであるが、ここでは高精度品加工用の2軸加工機を主体として詳述していくこととする。表8にポリゴンミラー加工機の仕様を示す。

表8 ポリゴンミラー加工機仕様

区 分 項 目	(2軸加工機) NUP-FN	(1軸加工機) NUP-FS
最大加工物寸法	220mm	160mm
送りテーブルストローク	350mm	200mm
送りテーブル速度	10~400mm/min	10~400mm/min
切込テーブルストローク	80mm	80mm
主 軸 構 造	エアスピンドル	エアスピンドル
主 軸 本 数	2本	1本
主 軸 回 転 数	~2,000rpm	~3,000rpm
主 軸 駆 動	モータ別置 ベルト・中間軸・カップリング	モータ別置 ベルト・中間軸・カップリング
送りテーブル駆動	モータ別置 プリントモータ	モータ別置 DCモータ0.2kW

(2) 基礎

超精密加工において振動は大きな問題である。振動の少ない環境を得るためには、

- ① 振動発生源の防振支持——空調設備、機械の付帯設備、その他工場設備。

- ② 建屋の基礎——工場全体の床構造、部分的な防振床構造。
 ③ 超精密加工機械の防振支持——外乱振動伝播防止、自己発生振動の吸収・減衰。
 等の項目が必要である。

超精密加工機の設置場所としては、外乱振動の伝播を遮断するため、縁切りされた防振床が望ましい。遮断材としてはコルク、砂、ゴム等があり、砂は古くから一般に使用されている。地盤構造によって異なるが、一般的には掘り起こされたピットの底に砂利・玉砂利・砂利の上に砂を入れ、その上にコンクリート盤を置き周囲を地盤と縁切りして砂を入れておく。地盤が堅い場合は、岩盤まで掘り起こし玉砂利・砂利・砂を敷きその上にコンクリート盤を置く。コンクリート盤の厚さは、剛基礎として固有振動数を下げるために1mあるいは2mと厚くした方がよい。

防振床を設置しても低周波振動は除去できない。外乱の低周波振動の伝播防止と、加工機械から生ずる振動を吸収あるいは減衰するために機械の基礎としても、特別に考慮する必要がある。機械および測定機に用いられる除振台の基本を図14に示す。

各基本形式の用途例

定 盤タイプ：ホログラフイ、レーザ干渉機器

デスクタイプ：表面粗さ計、半導体製造検査機器

ピットタイプ：電子顕微鏡、動的ホログラフイ、三次元測定機

平 台タイプ：精密加工機、精密事務機

懸 垂タイプ：電子顕微鏡、半導体製造検査機器、三次元測定機

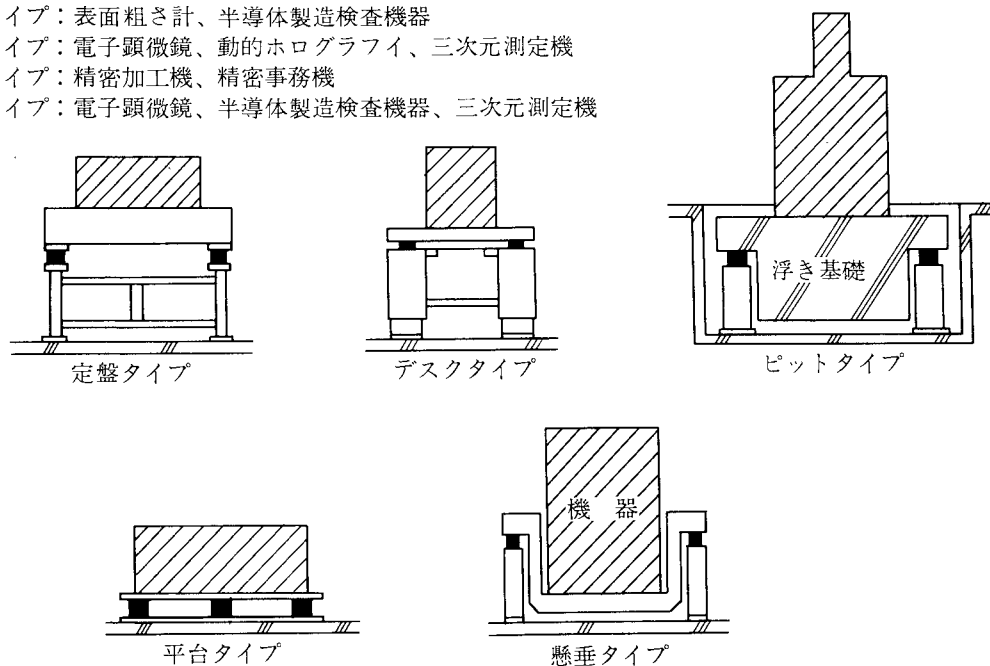


図14 除振台の基本形式

防振材は、そのばね作用により機械本体の慣性力と床からの加振力をバランスさせ、結果的に機械の振動を減少あるいは減衰させるものである。一般に用いられる防振材には、防振ゴム、コイルスプリング、空気ばね等がある。

●防振材の種類

精密除振における防振材とは、そのばね作用により支持機器の慣性力と床からの加振力をバランスさせ、結果的に機器の振動を減少させる目的で使用するものであるが、広義に考えると、例えば定盤上に配置された光学実験系において、定盤自体の振動減衰特性を増大させ、実験の阻害要因を除去す

る振動減衰材も防振材の範囲に入る。

振動減衰材の定盤への使用例は、後の定盤特性の項に示すが、ばね作用として機器の振動を減少させる目的で使用される防振材には、一般に次の3種がある。

防 振 ゴ ム：簡単に使えるが、一般に上下振動で15Hz、回転成分で30Hz以上でないとう有効でないという制約がある。またそれ自体では機器の水平が保てない。

コイルスプリング：比較的低い振動数まで除振可能であるが、サージングにより除振性能が阻害され、ダンピング特性がないので支持機器に安定性が得られず、また機器の水平維持が困難である。

空 気 ば ね：低い振動数まで除振が可能で、実用上サージングが無く、除振性能が優秀である。またオリフィス効果で適当なダンピングが与えられ機器の安定性が得られると共に、自動レベル維持も可能である。ダイヤフラム型、ローリングシール型、ペローズ型が一般的であるがペローズ型は、水平方向の安定性の面などから精密除振分野ではあまり用いられない。

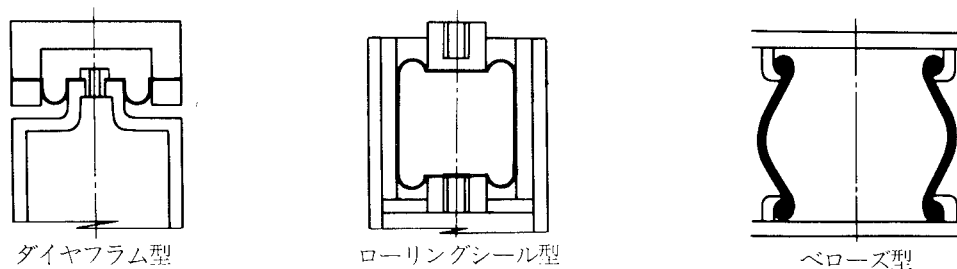
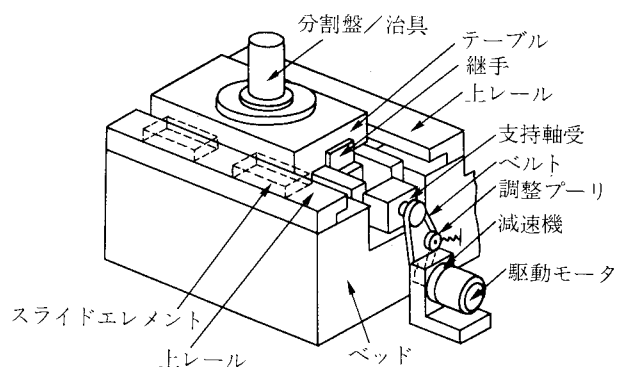


図15 空気ばねの基本形式

(3) ベッド

ベッドは凸字状の箱形鋳物構造として、吸振効果を向上させる意味で特殊なコンクリートを充填している。また、床からの外乱振動伝播防止用に数個のエアクッションを介して取り付けられている。

ベッドの上には、切削工具回転主軸系とワーク保持具および分割盤搭載のX軸送りテーブルがT字形に配列されている。スピンドル駆動および送りテーブル駆動のモータや減速機等はベッド本体から別おきとして、基盤ベース上に取り付けられ、それぞれ平ベルトで接続伝達されている。レイアウトを図16に示す。



(4) 切削送りテーブル

鏡面仕上げ加工の場合、安定した極微量送りが必要であり、また切削方式が断続切削であるため衝撃切削振動の減衰性を良くするために、油静

図16 ワークスライド系システムレイアウト

圧スライドを採用した。断面図を図17に示す。
 スライドの案内面は、駆動軸に対し上下、左右
 対称に配置した対向形スライド構造としており、
 駆動に伴うモーメントが発生しない構造をとっ
 ている。送りねじは油静圧ねじを採用し、油静
 圧スライドを含めた油静圧送りユニットとして
 直進運動精度の向上、スティックスリップの防
 止、切削送り量の変動を極力減少させている。
 送りテーブルの駆動系は、ベッド本体から外し
 基礎ベース上の減速機付きDCモータと平ベル
 トで連結されている。図18に静圧ナットの代表例、図19にバックラッシュ測定結果を示す。

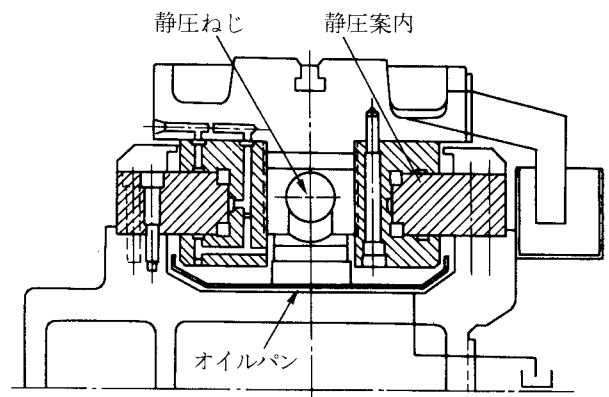
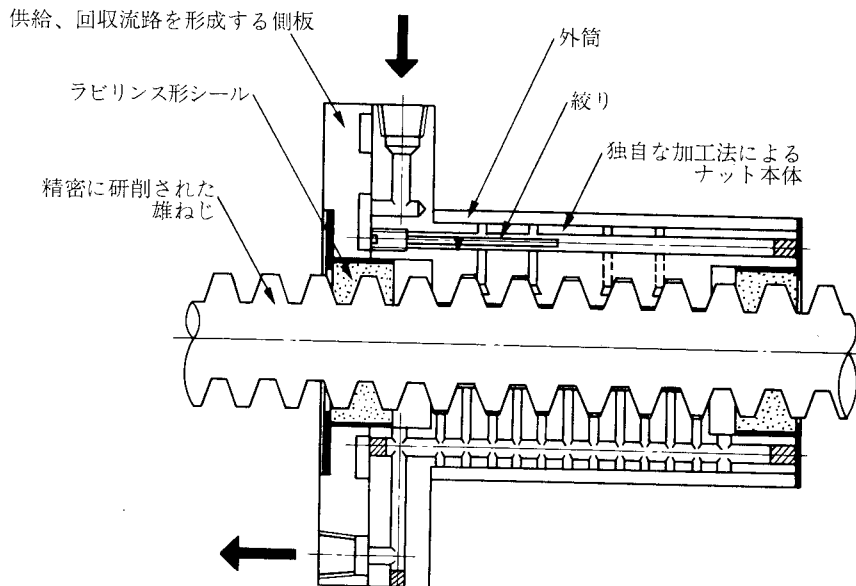


図17 油静圧スライド



NACHI試作品 (ナット本体は一体構造でボ
 ケットは分割(円周4箇所))

図18 静圧ナット

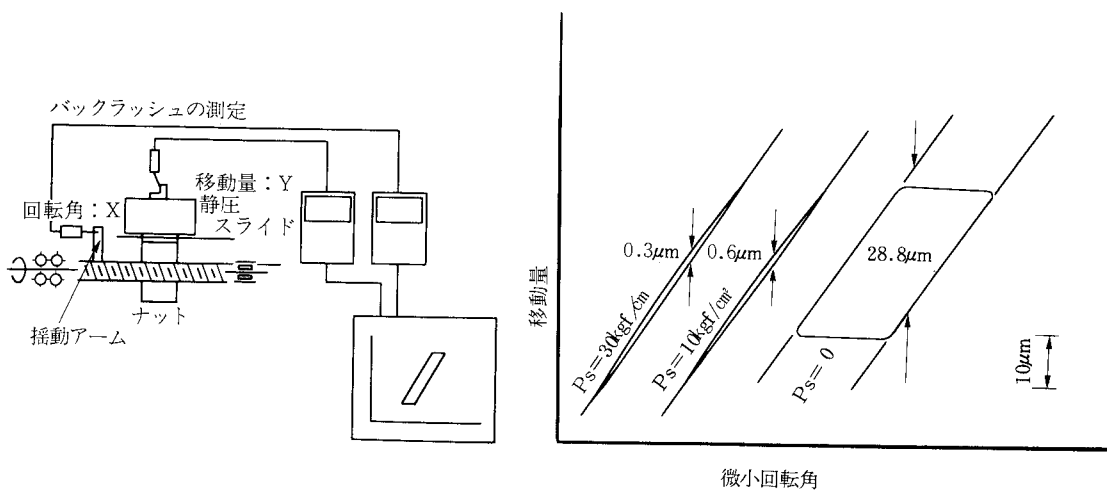


図19 油静圧ねじのバックラッシュ測定結果

また、テーブルと送りねじのナットの連結は、直接固定せずに送り方向にのみ運動を伝達することとし、送り方向と直角方向は無拘束な特殊構造の静圧継ぎ手を採用している。この構造では、軸ねじの曲がり、支持軸受のラジアル振れ、ねじ軸とナットの実アライメント等に起因するラジアルエラーモーションがテーブルの直進運動に悪影響を及ぼさないよう配慮してある。図20に油静圧継手を示す。

静圧送りユニットへ静圧油を供給する静圧作動油ユニットには油温コントロール装置を具備させてあり、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ に温度制御を行い、温度上昇に伴う熱的変動を少なくするとともに、脈動防止のためアキュムレータを配している。

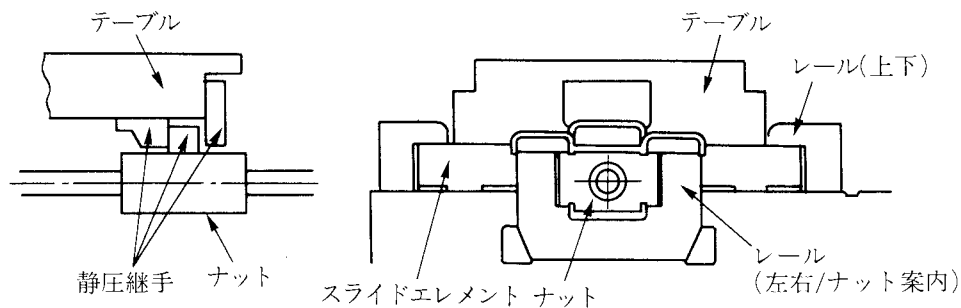


図20 油静圧継手（テーブル送りねじとテーブルの連結部に油静圧継手を採用した例）

(5) 主軸スピンドル

超精密加工機の主軸スピンドルには、回転精度、振動、熱変位などの面から静圧軸受が最適な機械要素であると判断されている。静圧軸受には空気と油の静圧軸受があり、各特性を十分考慮して特徴のある空気静圧軸受スピンドルを採用した。油静圧軸受と空気静圧軸受の対比を表9に、特性比較を表10に示す。

表9 静圧（油）軸受と空気軸受の対比

	静圧（油）軸受	空気軸受
使用する流体	非圧縮性流体（油）	圧縮性流体（空気）
加圧装置	油圧ポンプ（10～50kgf/cm ² で使用）	コンプレッサ（MAX 6～8 kgf/cm ² で使用）
流体膜厚さ	比較的厚い（15～50μm）	比較的薄い
負荷容量、剛性	普通・重荷重用	比較的小さい。軽、中荷重用
摩擦	小さい 低・中速回転で使用	きわめて小さい 発熱小、高速回転用
耐久性	半永久的	半永久的 境界潤滑がきかない
精度（回転精度）	すぐれている	きわめてすぐれている
シール	シール、回収の必要あり	特に配慮しなくてよい
製作の難易度	高い加工精度が要る	きわめて高い加工精度が要る

表10 静圧軸受の特性比較

	油静圧軸受	空気静圧軸受
回転精度	◎	◎
高速回転性	○	◎
剛性	◎	○
負荷容量	◎	○
減衰特性	◎	△
発熱	△	◎
保守	◎	△
駆動力	○	◎
加工難易度	○	△

◎：良好、○：普通、△：不良

主軸スピンドルには、粗切削用と仕上げ切削用の2本を配置している。基礎ベース上に固定されたDCモータとベッド上のスピンドルは平ベルトで接続され、エアクッション支持に伴う軸間距離の変動を中間テンションプーリにより吸収している。ベッド上のスピンドル駆動系は、ベルトの振動を伝達させないため、中間スピンドルでプーリを支持しカップリングを介して主軸スピンドルと連結されている。

スピンドルの熱変位による伸び対策として、軸受のスラスト部分をスピンドルの前部に配置することが考えられるが、本機械の使用回転数が2000rpm以下と一般のエアスピンドルと比較して非常に低速領域であり、発熱による伸びはほとんど考慮する必要がなく、スピンドルの構造から前部にカッタヘッドが取り付けられているため、重量バランスを取るため、さらには最前ラジアル軸受部からのカッタヘッド重心までのオーバハング量を少なくするため、スラスト軸受部をスピンドル後部に配置している。後スラストエアスピンドルの例を図21に、スピンドル駆動系のレイアウトを図22に示す。

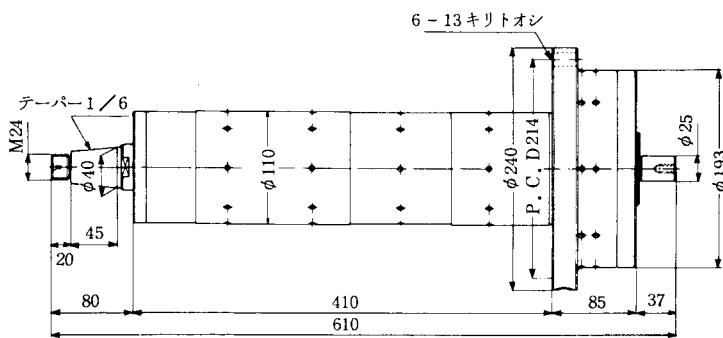


図21 エアスピンドルの例

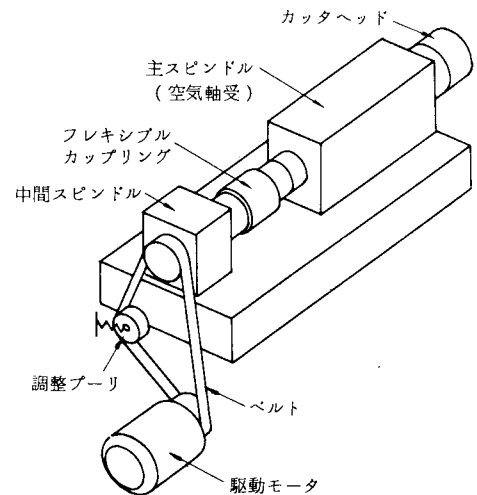


図22 スピンドル系システムレイアウト

(6) カッタヘッドとバイトの調整方法

カッタヘッドは単にバイトを取り付け得るだけでなく、バイトのセッティングが容易にできる構造でなければならない。図23に示すようにピボットポイントと調整ねじの組み合わせにより、10秒単位の角度調整ができるようにしてある。

さらにカッタヘッドの材料は、高剛性エアスピンドルの搭載により回転慣性の大きい鋼材が選択可能となり、その結果より安定したフライカッティングが行える。

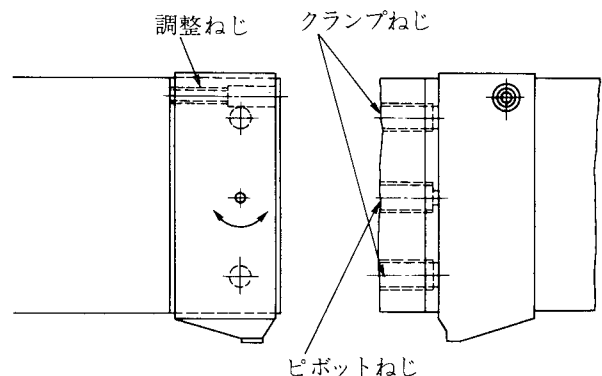


図23 仕上げ切削用バイトの角度調整

(7) インデックステーブルとワーク治具

ワークの多面割出しは、テーブル上に搭載し

たインデックステーブルにより行う。インデックステーブルの機構には、カービックタイプとボールデックスタイプがあり、これらは使用条件により選択する。図24にボールデックスの内部構造を示す。分割精度は高精度級で±1秒、並級で±3～±5秒のものがある。一方、割出精度とともに重要なのは、分割におけるテーブル上面のアキシャル振れと再現性であり、これらは面倒れ精度に影響する。高精度ミラーを加工するためには、インデックステーブル上に搭載するワーク治具との総合精度として治具上面を修正する必要がある。治具上面の振れでTIR0.3～1μmに管理している。

またアルミニウムのような軟質金属で特に薄肉形状のワークはクランプ歪に注意を要する。一般には座金あるいは干渉リングを介して固定ナットで締め付けるが、片締めの影響は避けられない。この問題を解決するために考案したのが図25に示すワーク治具である(PAT)。この方法は、ねじを使わない空圧シリンダ方式を採用しているため全周、全面同時に同一のクランプ力が発生し、アンクランプしてもクランプ歪の影響が全くない。

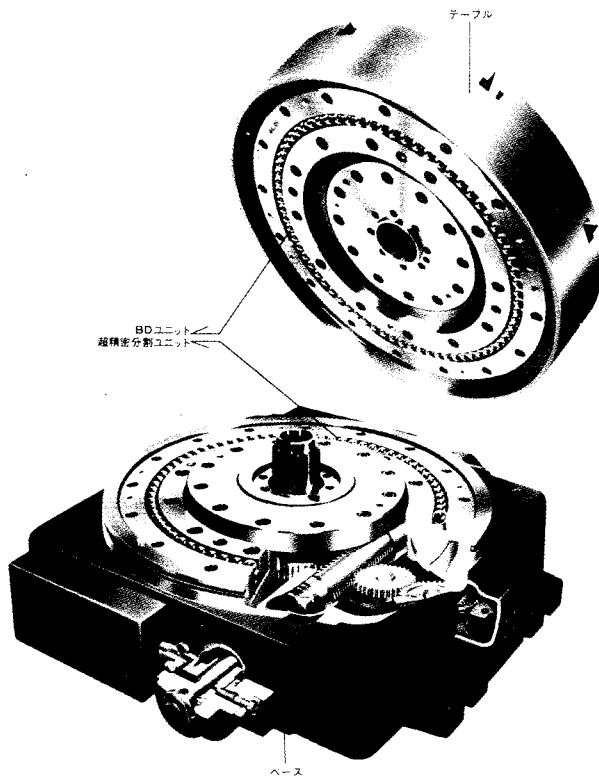


図24 分割盤の1例 (シンボ工業・ボールデックス)

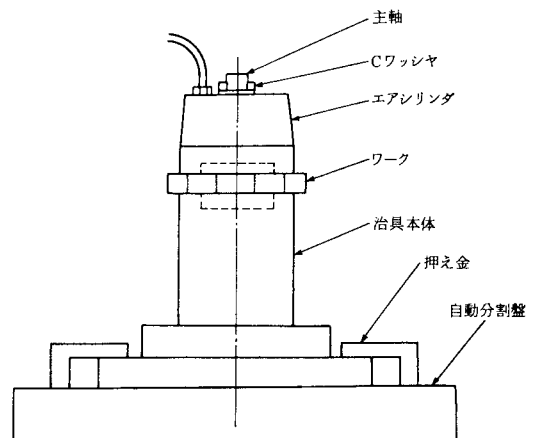


図25 ワーククランプ治具

(8) 切削液供給方法と吸塵装置

鏡面切削において良好な加工面を安定して得るためには、材料、機械、工具、切削条件のほかに切削液の供給と切り屑除去の問題がある。

切削液は冷却および潤滑の本来の効果とともに切り屑の洗い流しの効果を期待し、低粘度の切削液をミスト状にして吹きつけ、切り屑を切削点から吹き飛ばす役目を果たさせている。当然、切削液のフィ

ルトレーションは不可欠であり、図26に示すような専用の供給装置が必要となる。

一方、吹き飛ばされた切り屑はワークや刃物への再付着をさけるために、切削点近傍に吸塵ダクトを設置してある。

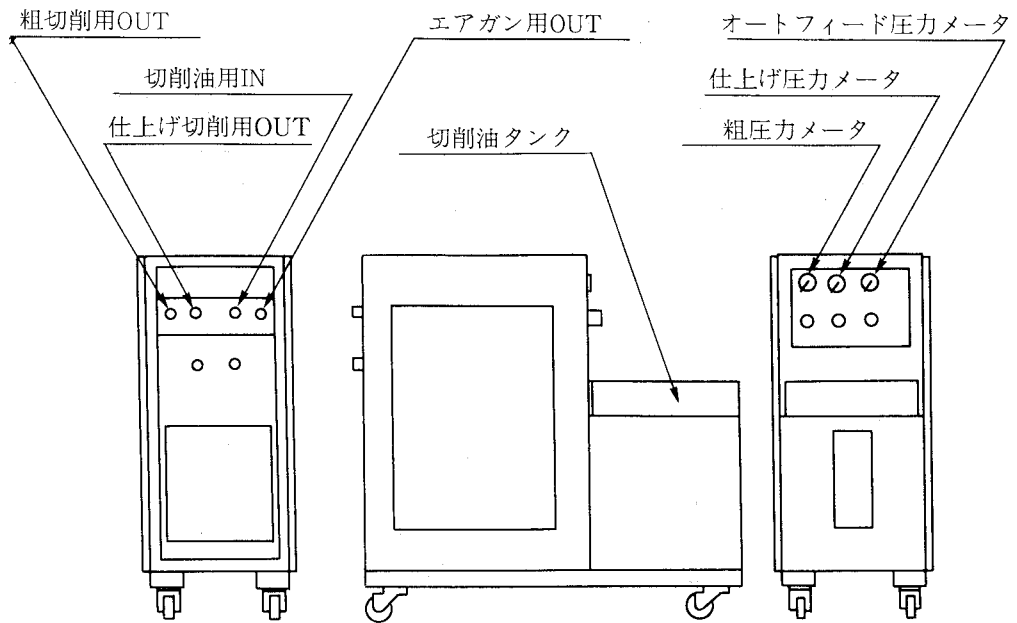


図26 切削液供給装置

7. 加工機械の測定

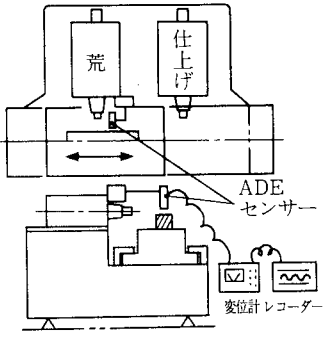
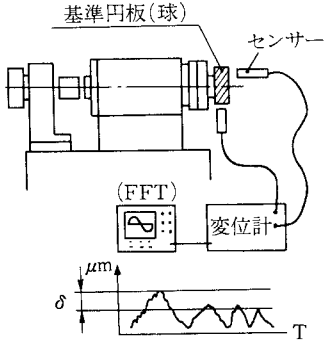
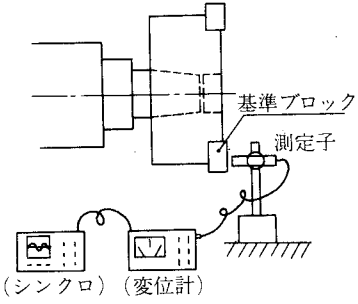
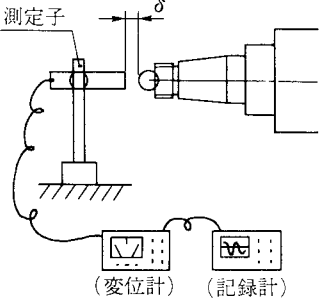
No.	検査項目	測定方法	測定方法略図
1	X-Xテーブル運動線の真直度 上下方向 左右方向	テーブル上面に直定規を置き、テーブルの運動線に対し、平行に取り付け、固定する。これに対向し、非接触変位計をセットし、テーブルを移動させ、変位量の最大差を測定値とする（荒加工側および仕上げ加工側にてそれぞれ測定する）。	
2	主軸回転振れのリピータビリティ	主軸端に基準円板（球）を取り付け、円板のラジアル、スラスト方向にセンサーを対置させ測定し、記録計にて測定波形間の最大間隔を測定値とする。	
3	主軸の軸方向振れリピータビリティ	主軸に基準ブロックを取り付け、これに対向して、非接触変位計の測定子をセットし、主軸を回転(1800rpm)させ、変位量の最大差を測定値とする。	
4	主軸伸び	X軸テーブル上に設置した非接触変位計をスピンドル先端に対向し、主軸を回転(1800rpm)させ、変位量を連続記録する。	

図27 機械精度検査基準

(1) 切削送りテーブルの真直精度の測定

テーブルの運動真直精度の測定は、JISでは直定規を可動テーブル上におき、固定部分からのテストインジケータの読みの最大差で評価されるが、超精密加工機の場合も測定方法は同じで良い。しかし直定規の平面度の良いもの、測定センサーの分解能の高いものを選定する必要がある。

高分解能の測定センサーとしては、一般的に静電容量形の非接触センサー（例えばADEのマイクロセンサー）が用いられる。

テーブル運動の真直精度は、水平成分、垂直（上下）成分と回転成分があるが、回転成分は測定評価が難しく、一般には水平成分と垂直成分で真直精度を評価している。

測定方法は図27No. 1 に示し、水平成分の測定結果を図28に示す。

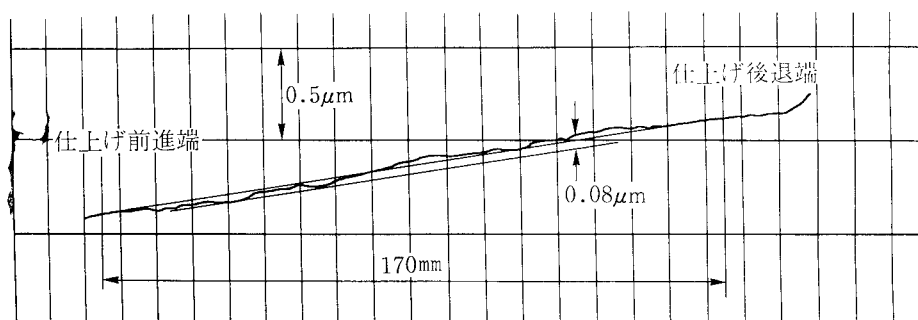


図28 送りテーブル真直度（水平成分）

(2) 主軸スピンドルの回転精度の測定

JISでは回転軸の振れの定義として、回転する円筒形機械部分の回転中心の半径方向の動きの程度となっており、軸を極めて低速度で回転させ、数回転中の軸表面の半径方向の動きの最大値で表わすこととなっている。実際の常用回転数での軸心の振れが加工物精度に影響を及ぼすのであるから、実用回転数での評価が重要である。

測定は回転主軸先端に円板あるいはボールを取り付けてマスターとして、このマスターのラジアル方向およびスラスト方向の変位を読みとり評価する。センサーは非接触の静電容量形の変位計を用いる。測定方法は図27No. 2 に示す。

評価は、シンクロスコープの波形のピーク値の最大・最小の差をとって振れ量とするが、軸心の変動の挙動を見る場合は、リサーチ波形で評価することがある。評価例を図29に示す。また、主軸スピンドルの熱変位を見るため図27No. 4の方法で主軸の伸びを測定する。

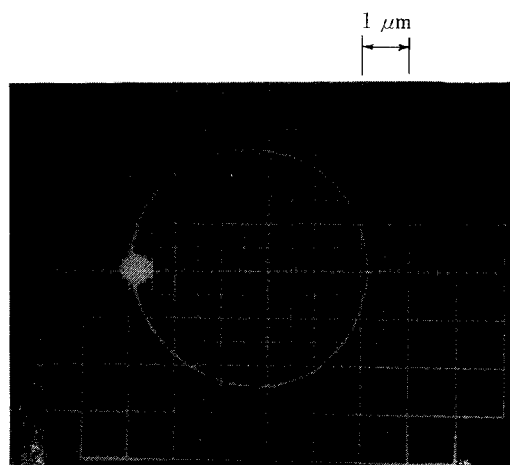


図29 主軸アキシャル振れ（1,800rpm）

(3) 機械総合精度の測定

機械各部の精度測定を行なった後最終段階で、機械の運動総合精度を測定する。

カッタヘッドのバイト取付け部に平面度のでている基準片（例えばブロックゲージ）を送りテーブルの運動線に平行にセットし、送りテーブル分割盤上に非接触変位計を配し、主軸実用回転数およびテーブル切削送り速度の状態では基準片と変位センサーの相対位置の変化を測定し評価する。この方法では、振動、主軸回転精度、テーブルの送り精度等の総合的な運動精度が確認されることとなり、実際の切削時の運動精度が評価されることとなる。測定方法は図27No.3に示し、測定結果の一例を図30に示す。

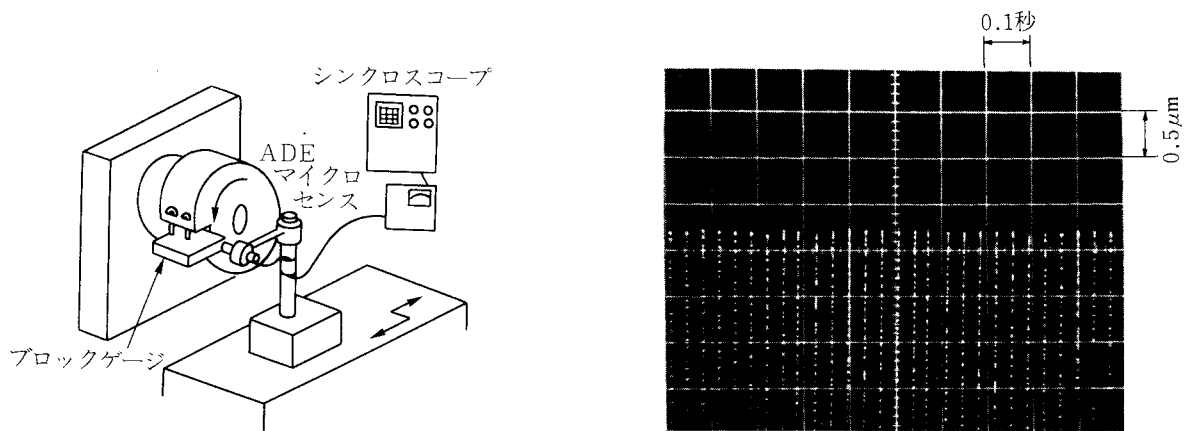


図30 総合機械精度の評価

8. ポリゴンミラーの洗浄方法

鏡面切削されたポリゴンミラーは、切粉と切削液の除去を目的とした洗浄を行う。この洗浄で重要なことは、

- ① 細かな切粉が完全に除去されること。
- ② 切削液（油脂類）が完全に分離除去されること。
- ③ 洗浄液中のゴミ・油・水分が洗浄物に再付着しないこと。
- ④ 液切れがす早く、しみとなって残らないこと。
- ⑤ 洗浄液が洗浄物と化学反応し、侵さないこと。
- ⑥ 洗浄パワーで鏡面に物理的なダメージを与えないこと。
- ⑦ 洗浄液に毒性がなく安全であること。

等があげられる。

これらの条件を満足する方法として、通常ポリゴンミラーの洗浄はフロン溶剤による超音波洗浄を行う。一般的な洗浄工程としては次のようになる。

- ① 超音波洗浄
- ② リンス
- ③ 蒸気洗浄
- ④ 乾燥

洗浄機としては最低上記の工程と水分分離機能を有する自己浄化型のものを使用するが、さらに洗浄効果を高めるために超音波槽を増やしたり、沸騰槽やシャワー槽などを付加したものもある。また洗浄液そのものに添加剤を入れたり、前洗浄としてトリクロールエチレン等のフロン以外の溶剤を使用することもある。

図31に一般的な超音波洗浄システムを示す。

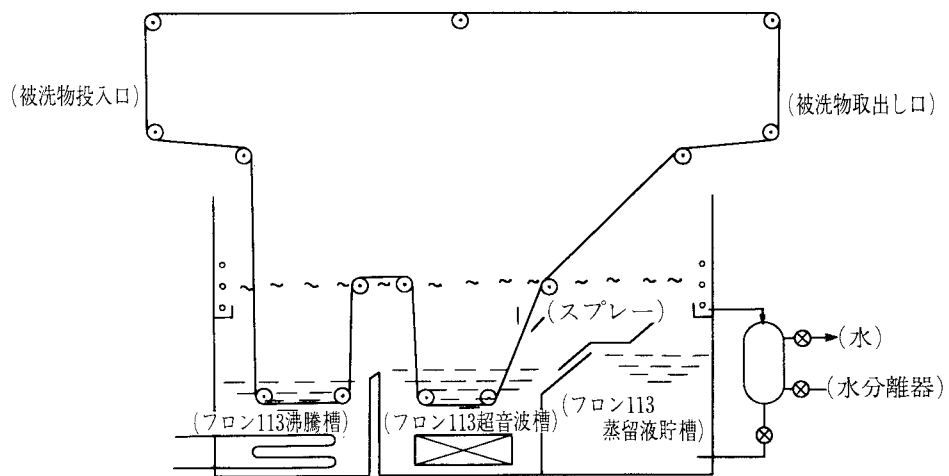


図31 3槽式フロン113完全自動脱脂洗浄設備

9. ポリゴンミラーのコーティング

ポリゴンミラーは鏡面切削した後、表面にコーティングを処す。この目的は大きく次の2つに分けられる。

- ① アルミニウム合金の表面強化、耐蝕・耐酸化性の改善を主目的とする鏡面保護のコーティング
- ② アルミニウムの持つ反射率特性以上の反射率を得るための高反射膜のコーティング

通常のポリゴンミラーは①の鏡面保護を目的としたコーティング処理を行うが、高い反射率が要求されるような特殊なものには多層膜や金属膜の高反射コーティングを処す。

コーティング物質の選定にあたっては次の点が要求される。

(1) 保護膜・多層膜コーティング用物質として

- ① 耐摩強度が高く、アルミニウム合金に対し腐蝕防止・酸化防止の役割をなすこと。
- ② 透明で無吸収であること。
- ③ 蒸着が容易で光学特性も含めて安定であること。
- ④ 所定の屈折率を有すること。
- ⑤ 基板（ここではアルミニウム）との付着性が良好なこと。

(2) 高反射金属膜コーティング用物質として

- ① 所定波長のレーザ反射特性が優れていること。

表II 蒸着材料の諸性格

化学記号	物質名	融点 °C	蒸着温度 °C	蒸着源	屈折率	備考
ZrO ₂	酸化ジルコニウム	2,700	2,500~2,800	E、W	2.05	E：電子ビーム加熱、W：抵抗加熱 (タングステンボード)
Al ₂ O ₃	酸化アルミニウム	2,015	2,000~2,400	E	1.63	
TiO ₂	酸化チタン	1,640	1,800~2,200	E	2.35	
SiO ₂	酸化シリコン	1,700	1,600~2,500	E	1.46	
CeO ₂	酸化セリウム	1,950	2,000~2,400	E、W	2.3	
WO ₃	酸化タングステン	1,750	1,500~1,600	Mo、Ta	1.68	昇華 Mo：抵抗加熱(モリブデンボード) Ta：抵抗加熱(タンタルボード)
Cr ₂ O ₃	酸化クロム	1,990	1,400~1,700	W	2.4	
Y ₂ O ₃	酸化イットリウム	2,410	2,500	E	1.87	昇華
ZnO	酸化亜鉛	1,725		E	2.1	
HfO ₂	酸化ハフニウム	2,810	2,500	E	2.0	
MgO	酸化マグネシウム	2,850	2,800~3,200	E	1.7	分解
SiO	一酸化シリコン		1,200~1,600	Mo、Ta、W	1.8~1.0	
Ta ₂ O ₅	酸化タンタル	1,470	2,000	E、Ta、Mo	2.1~2.2	
MgF ₂	弗化マグネシウム	1,260	1,300~1,500	Mo、Ta、W	1.38	昇華
CeF ₃	弗化セリウム	1,320	1,300~1,600	Mo、Ta、W	1.63	
ZnS	硫化亜鉛	1,020	1,000~1,200	Mo、Ta	2.3	
PbF ₂	弗化鉛	855	900~1,200	Mo、W	1.75	
LiF	弗化リチウム	870		Mo、Ta、W	1.3	

- ② 熱電導度が良いこと。
- ③ 耐蝕性・耐酸化性に優れていること。
- ④ 蒸着が容易で基板との付着性に優れていること。

しかし、これらの要求される特性すべてを満足する物質は現在のところほとんどなく、蒸着物質の各種組み合わせ、蒸着技術の改善で工夫しているのが実情である。

保護膜、多層膜には表11に示すような物質が広く用いられている。また各種金属の反射特性を図32に示す。

一般的にポリゴンミラーの保護膜としてはSiOあるいはSiO₂が用いられ、フレネルの方則に従い要求される反射率特性を満足する膜厚設計を行う。

蒸着方法としては真空蒸着法、スパッタリング法、気相成長法など多種あるが、ポリゴンミラーの蒸着で最も一般的な方法としては真空蒸着法が用いられる。蒸着条件は膜厚・膜質・密着性等の品質に大きく影響するので重要である。特に重要と考えられるコントロール条件を表12

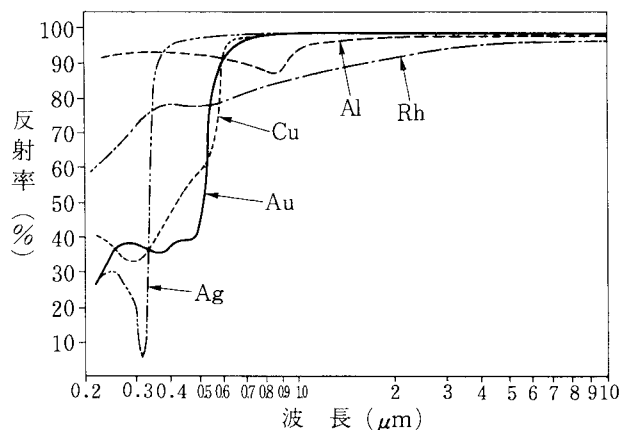


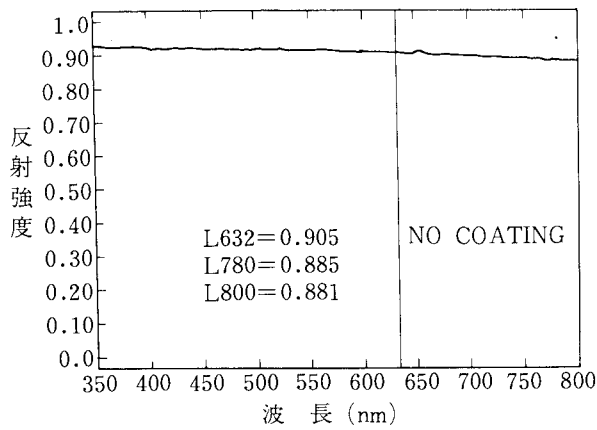
図32 各種金属の反射率特性曲線
(波長0.2~10μmレーザによる)

表12 コーティング品質に影響を及ぼす蒸着技術

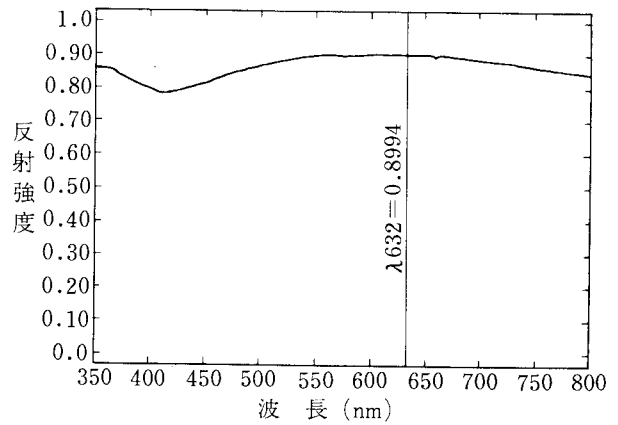
装 置		要 因
加熱蒸発手段	抵抗加熱	抵抗加熱電流、電圧、(蒸発速度) ボート材質、形状
	電子ビーム加熱	電子ビーム電流、加速電圧、ビーム径、 (蒸発速度)、電子ビーム発生方式
真 空 度		添加ガスの要否、添加ガスの種類・量 残留ガス濃度、真空排気ポンプの性能・特性
真空チャンバー内構成		蒸発源と基板間距離、基板回転の有無 蒸発原子の入射角補正

に示す。

以上の点に十分注意してコーティングされたポリゴンミラーでは、鏡面切削直後のアルミニウムの持つ反射率特性をほとんど損なうことのない高品位な膜が形成される。図33に切削直後のアルミニウムの反射率と、SiOコーティングした後の反射率を示すが、膜厚設計条件の波長 $\lambda = 632.8\text{nm}$ においてほとんど低下していない。



(a) Al切削直後の反射率



(b) SiO₂コーティング後の反射率

図33 ポリゴンミラーの反射率特性

また高反射金属膜コーティングされたポリゴンミラーの反射率特性を図34に示すが、波長 $\lambda=800\text{nm}$ において97.2%という高反射率が得られている。

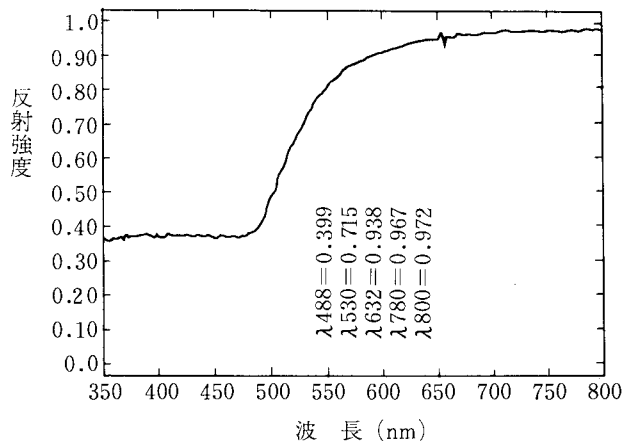


図34 Auコーティングの反射率特性

10. ポリゴンミラーの精度測定

(1) 平面度

ミラー面の平面度はレーザ光波干渉計 (He-Neレーザ、 $\lambda=632.8\text{nm}$) を使用して測定する。干渉縞のシャープ性から鏡面品位、特に粗さやうねりについても判断できる。

写真5に干渉計を示す。CRT上に干渉縞が写っている。

干渉縞の評価方法の具体例を図35に示す。

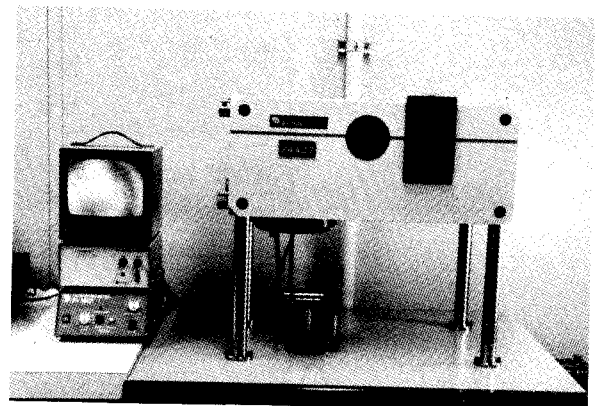
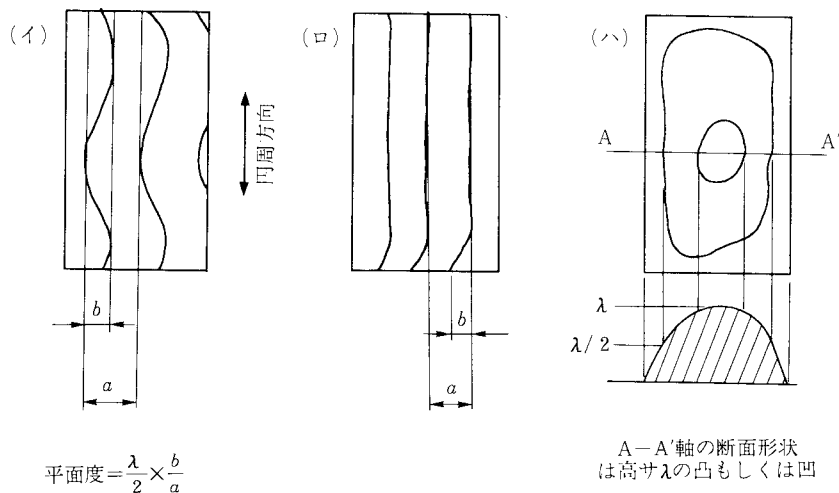


写真5 レーザ干渉計



- (イ)の場合 全体的に波うっている場合で、仮にaを1としてbがその1/4であるとλ/8
- (ロ)の場合 端部がダレている場合で、aを1としてbがその1/2であるとλ/4
- (ハ)の場合 λ/2間隔の等高線とみなせるので、ミラー中心から2本交わるのでλ/2×2=λ
(ダイヤモンドバイトでのフライカットの場合このような面はない)

図35 干渉縞の評価方法

(2) 面倒れ

角度精度は一般的にオートコリメータ（写真6）を使用して測定する。面倒れは基準面に対する各ミラー面の角度相互差を測定するので、被測定物の保持方法と回転させたときの基準面の振れ成分誤差に注意する必要がある。ポリゴンミラーをモータに組み付けてしまったものはモータの回転軸基準に測定すれば良いが、ミラー単体測定の場合はエアースピンドル上に設置し、スピンドルを回しながら測定する方法が最も良く、再現性も0.1秒以内を有する。

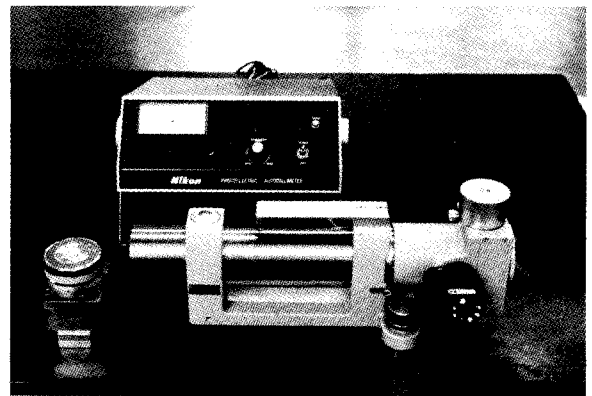


写真6 オートコリメータ

このようにして各ミラー面の角度を読み取った後、図36に示すようにP-V値と隣接最大値を求め評価する。

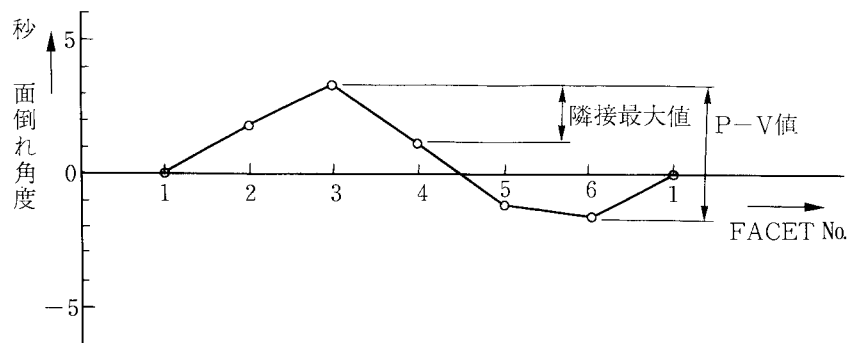


図36 面倒れの評価

(3) 分割角度

分割角度は2台のオートコリメータを用いて測定する方法がJISで定められている。

N面鏡の分割角度精度は次の手順で求める。

- ① N面鏡を回転テーブル上に設置し、オートコリメータ2台を基準反射面およびその反時計方向の隣接反射面に正対させる。
- ② 基準反射面側のオートコリメータを基準とし、その読みが0となるように回転テーブルを調節した時の他方のオートコリメータの読み f_1 を第1面に対する測定値として求める。
- ③ 回転テーブルを $\frac{360^\circ}{N}$ づつ時計回りに回転し、その都度基準側オートコリメータの読みが0となるように回転テーブルを調節した時の他方のオートコリメータの読み f_2, f_3, \dots, f_N を第2面、第3面……第N面に対する測定値として求める。
- ④ 補正值 ϵ を次式で算出する。

$$\epsilon = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

- ⑤ 隣接角度の誤差 δ_i を求める。 $\delta_i = f_i + \epsilon$
- ⑥ 第i面の角度精度 α_i は

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^i \delta_j \text{である。}$$

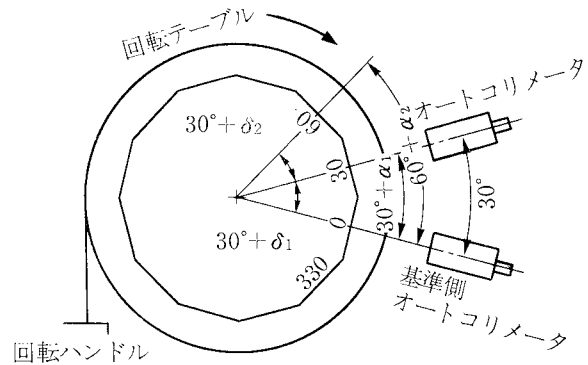


図37 角度精度の測定方法
(12面鏡の例)

(4) 反射率

反射率は一般的に分光光度計(写真7)によって測定する。この方法は広い波長範囲にわたって反射率特性が評価できるため多くの情報が得られる。しかしながら被測定物の大きさに制限があったり、置き方によって測定誤差が大きくなる場合がある。また、ミラー面を直接試料台に乗せるタイプでは破壊検査となるなど使いにくい面もある。

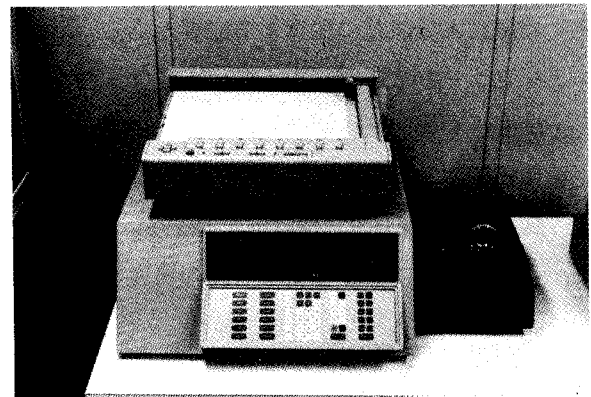


写真7 分光光度計

一方、ポリゴンミラーが実際に使われるときのレーザを用いて、そのレーザ強度を光センサーで測定する方法は簡単で現実的に即した方法である。図38に概略図を示す。この場合ミラー面を介さないダイレクト測光値 I_0 を最初に測っておき、次にミラー面による反射光強度 I_1 を測れば、反射率 R は $R = I_1 / I_0$ で求まる。ただし、 I_0 と I_1 は同じセンサーを用いるか、特性の同じ物が必要であり、またセンサーの受光ポイントや入射角度により生じる測定誤差に注意を要する。

(5) 仕上げ面粗さと散乱光

触針法による測定は破壊検査となるため、この方法で評価する場合はダミーワークにより測定する。ポリゴンミラーの製品検査をする場合は、レーザ光の反射スポットの散乱パターンを代用特性として評価する。実験的には $R_{max} \leq 0.02\mu m$ となると ± 1 次の回折光は存在しなくなることが知られている。

図39に散乱光パターンのチェック方法を示す。

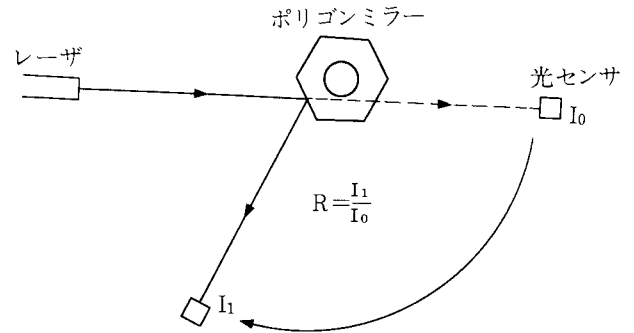


図38 反射率の測定

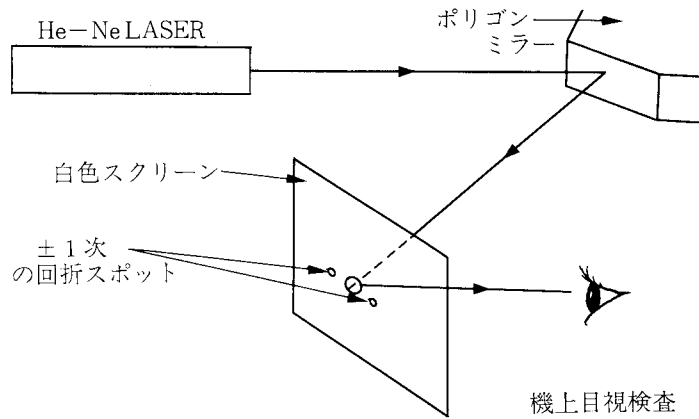


図39 散乱光パターンのチェック

(6) 外観

ミラー面の外観は目視で検査する。チェックポイントとしては、

- ① 鏡面切削におけるスクラッチ、送りマーク
- ② 材料欠陥に起因するきずや巣
- ③ 洗浄不良によるしみ、汚れ
- ④ 取扱いミスによる汚れ、きず

等を反射率特性と外観品質を基準に評価する。

資料1. ポリゴンミラーの測定データ

実際に加工したポリゴンミラーの測定データを次に示す。

(1)レーザ干渉計による平面度の測定結果

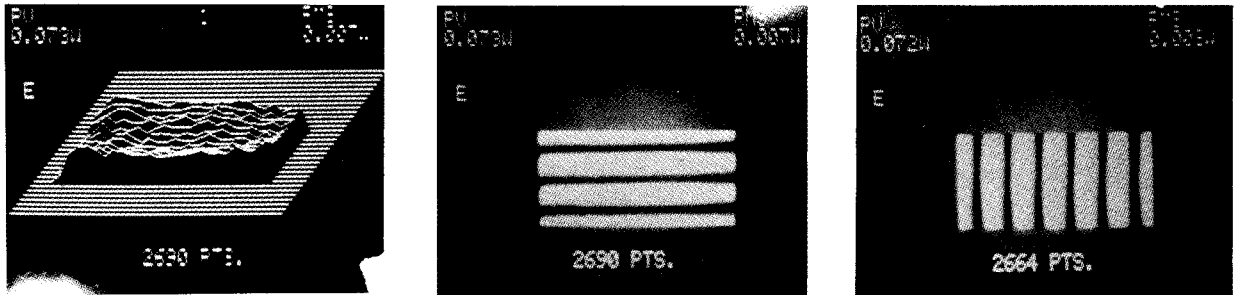


写真8 平面度干渉縞と解析結果

(2)オートコリメータによる面倒れの測定結果（1枚切りの場合）

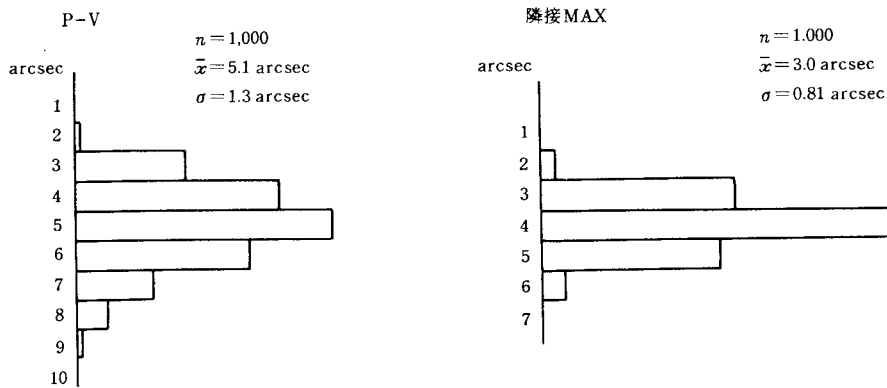


図40 基準面に対するミラー面の角度相互差

(3)オートコリメータによる面倒れの測定結果 (12枚重ね切りの場合)

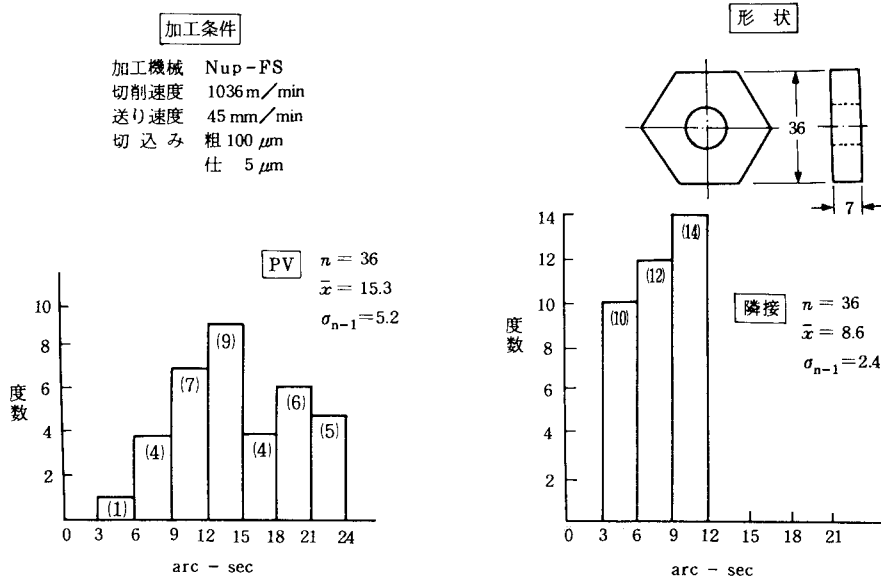


図41 12枚重ね切りによる加工精度

(4)分光光度計による反射率の測定結果 (Al材表面切削直後)

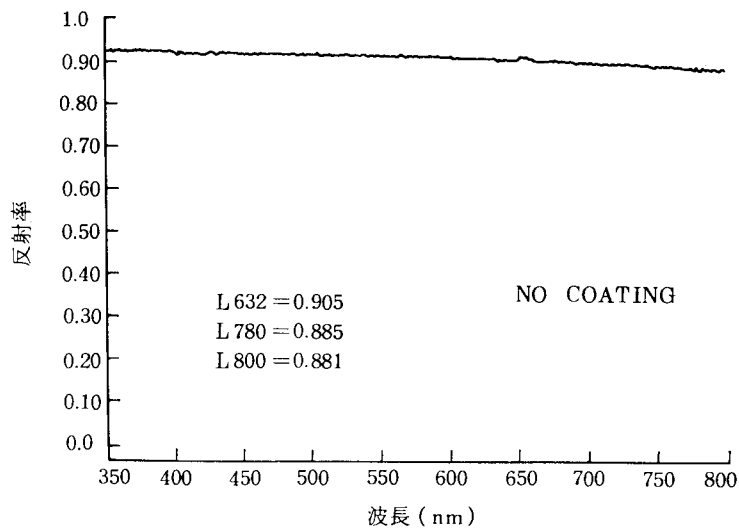


図42 Al切削直後の反射率

(5)表面あら土の測定結果

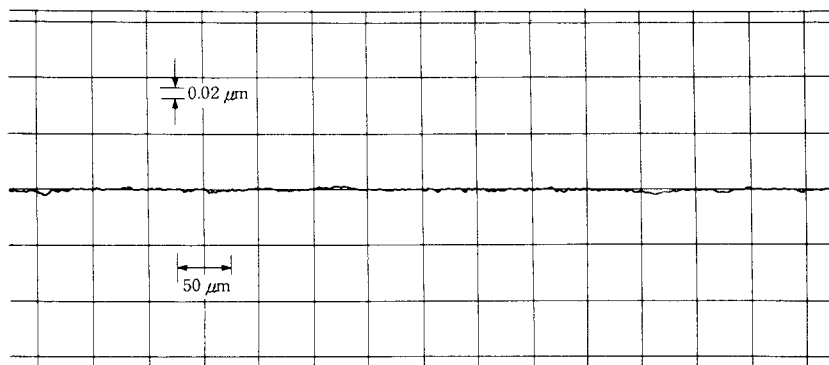


図43 ミラー仕上げ切削面の面あらし (タリーステップによる測定)



写真9 レーザ光反射スポット
〔He-Neレーザー発信装置 (2mW)による測定結果〕