

# 知 識 編

## 1. はじめに

1960年代の前半に、米国においてダイヤモンド単結晶を用いた超精密切削加工技術の研究が本格的に着手されて以来、急速に実用化が進んできた。わが国においては、1970年代に入って、電子機器産業および光学部品関係を中心に超精密加工機の開発がなされた。その代表的な例がコンピュータの磁気ディスク記憶装置に用いられるアルミ基板の加工である。ここではこのディスク基板の加工と、これを実現する超精密旋盤および超精密加工について述べる。

## 2. 磁気ディスク記憶装置

図1に磁気ディスク記憶装置の概略を示す。この装置は、記録媒体であるディスクと記録情報の出し入れを行うヘッドと呼ばれる部品から構成されている。そしてこのヘッドは摩耗による記録特性の劣化を避ける、あるいは記録情報のダメージを避けるために、ディスクの表面から規定の高さを維持して浮かんでいる（これをヘッド浮上高さと呼ぶ）。この浮上高さは空気軸受の動圧タイプの原理に従って一定の値を維持しているのであるが、この浮上高さと記録情報のディスク表面での面積の間にはある一定の値が保たれている。そして通常はこの浮上高さが大きければ、それだけ強い磁界を用いなければならないため、一つの記録情報の面積は大きくなり、この結果一枚のディスクに収納できる情報量は少なくなる。このためディスク記憶装置が開発されて以来、面記録密度の向上をはかり、装置の小型化と記録情報量を増大させる努力が払われてきた。この面記録密度増加のための主要因は、前述のように記録時の磁界の強さであり、ヘッドの小型化と浮上高さの低減にある。

図2に装置の出荷年次に従った面記憶密度と浮上高さの関係を示す。図示のように、当初 $1\mu\text{m}$ 強であったヘッド浮上高さは現在 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ となり、その容量は10倍以上に向上している。以上ヘッド浮上高さの低減について述べたが、この浮上高さの低減はディスクの表面精度に大きく関与している。すなわちヘッドが安定して浮上量を維持するためにはディスク表面の粗さや、微少なうねりが問題となるであろうことは想像にかたくない。そしてその値は現在スペック上で $0.018\mu\text{mRa}$ （実際は $0.01\mu\text{m}$ 以下で運用されている）以下が要求

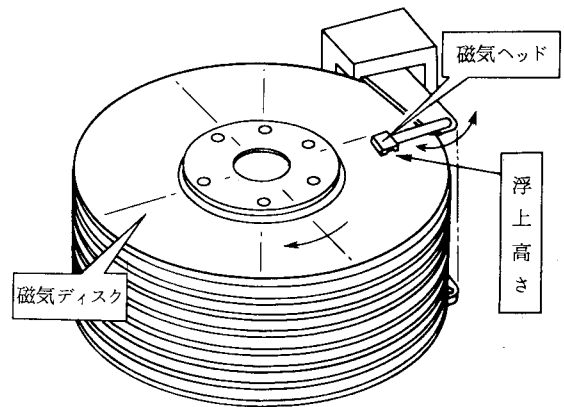


図1 磁気ディスク装置の構造の概要

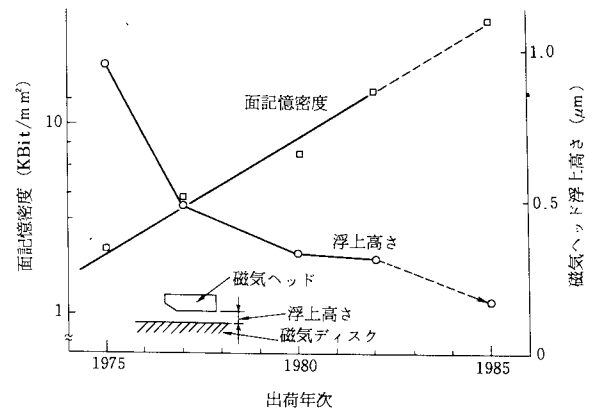


図2 磁気ディスク装置の性能動向

され、量産工程で実現されている。

これらの領域の加工は、従来よりラップやポリシングの領域であると考えられ、当初はディスク加工においても、最終加工でラップやポリシングが行われていたが、軟質金属であるが故の加工の問題、さらには形状精度や生産性などの点、そしてダイヤモンドターニング技術の確立から機械加工によらざるを得ない状況になってきているものと考えられる。

### 3. 超精密加工と加工機械に対する考え方

ダイヤモンドターニング（ダイヤモンドバイトを用いた超精密旋盤加工のこと）は、ダイヤモンドの極めて鋭利で正確な刃先を、高い運動精度と剛性を有する加工機械を用いて加工面に再現する、いわゆる加工の母性原理に基づくものと考えられるが、加工の実現に際しては、種々の要因が関与している。図3にこれらの要因を整理して示す。図から理解されるように、加工を種々の要因を持ったシステムと考え、最終精度実現のため、発生誤差要因を同一レベルで小さくする努力がなされてきた。ここでは、先ず始めに超精密加工と加工機械についてふれてみたい。

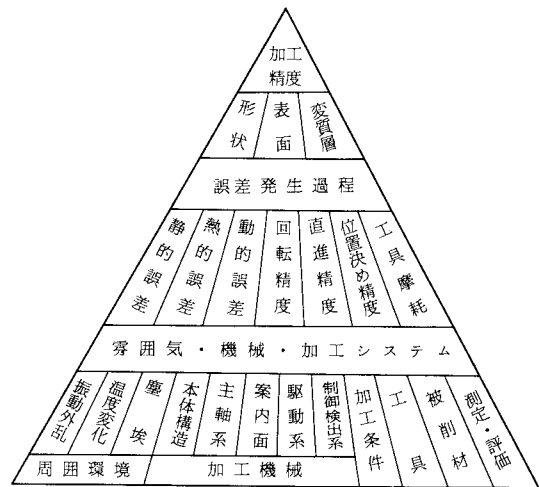


図3 超精密加工システム要因ピラミッド

しからば超精密加工とは、如何なる領域の加工のことなのであろうか、率直な話、どこまでが精密加工で、どこからが超精密加工かと問われても、それを定義づけることは難しい。これは時代と共に進歩するものであり、機械要素の製作限界値にも関係している。

加工機械に要求される根本機能を要約すれば、工具と加工物の相対位置関係を理想状態に保ちつつ、工具の鋭利さを加工表面にいかにして再現して行くかにつきると思われる。機械についてより具体的に表現するならば、ターニングの場合は、切削速度を与える回転軸をいかにして高精度に回転させるかということと、加工物との相対位置関係を規制する工具移動台を、いかに精度良く案内するかということに帰着する。またこの状態が一つの加工物を完成する間、種々の外乱を受けずに持続されなければならない。これら総合の限界値が、超精密加工の現状値を支配することになり、現在その値は表面粗さでは $0.01\mu\text{m}$ 以下、寸法精度では $0.1\mu\text{m}$ 以下であると認識している。

機械についてさらに考えてみるならば、その精度を加工面に再現する以上、各部の運動が、 $0.01\mu\text{m}$ オーダでなければならないわけであるが、それらの構成部品を $0.01\mu\text{m}$ オーダで製作することは極めて難しい、前述の加工の母性原理からすると、これら超精密加工機の部品を製作するマザーマシンの出現がなければ、精度の進歩が無いことになる。これを克服しているのが設計上の工夫であり、製作において人的要因の介在する余地と考える。すなわち軸受で考えるならば、空気膜や油膜のアベレーシング効果を活用することによる部品形状誤差の平均、縮小化であるし、工作機械特有の技術であるきさげによ

るすり合わせ、さらにはねじと数山のかみ合いを持つナットによる単一ピッチ誤差の縮小、ナローガイドによる直線移動体の精度向上などがなされている。また、別なアプローチとしては、計測と補正という手段もある。これはレーザ干渉を応用した $0.01\mu\text{m}$ オーダの計測技術、それを活用する制御系の高分解能化と合いまって発展してきた。前者の手段をハード的と表現するならば、後者はソフト的と表現できる。このように機械個々の要素の誤差を縮小すること、また測定により誤差を補正して母性原理を克服していくことが、超精密加工機械の構成においては、特に重要である。これらの研究は1960年代米国において着手され、超精密加工へのアプローチが始まり、現在では直径2mを越える反射鏡の加工へと進展してきている。それぞれの時代に応じて、その構成要素に対し技術開発がなされてきた。たとえば静圧軸受、案内技術、フレキシブル駆動機構、高減衰能構造、低振動モータ、オイルシャワーシステムなどである。ここでは、当社のディスク加工用超精密旋盤を例に、各構成要素について具体的に述べ、高精度化技術理解の一助としていただきたい。ただし本機は、ディスクの両面（平面）を加工する単純な機械であり、これまで総合的に記述した内容に対し、記述が一部に偏るかも知れないが、その点をご容赦いただきたい。

## 4. 超精密旋盤の構成

写真1に超精密旋盤の外観を示す。本機は、主軸および移動台案内に静圧空気軸受を使用し、高精度な運動を実現している。またこれらの要素をエアクッションで支持された石定盤（ベツト）上に配置して、シンプルで、高剛性な機械を実現している。以下個々の要素について少し詳細に述べる。

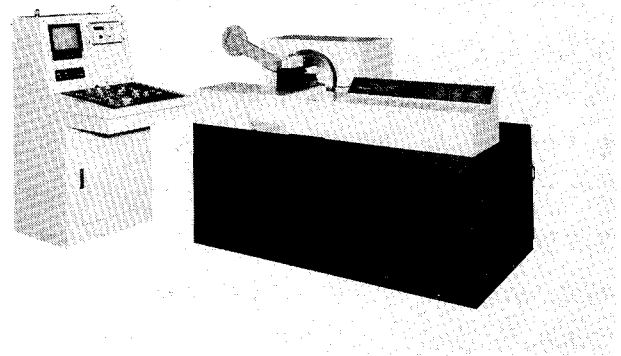


写真1 超精密旋盤 (DDL-400)

### (1) 主軸

#### ① 主軸軸受

主軸に機能上要求されるものは、回転精度と剛性(静的および動的)と熱特性などである。そしてその値は、おおむね選択する軸受の形式によって決定される。軸受の形式としては一般に、ころがり軸受とすべり軸受に分類できるが、選択基準の参考として表1に各形式の定性的比較を示す。超精密加工機にとってその最大の選択基準は回転精度であると考えられる。したがって選択される形式は空気あるいは油の静圧軸受であらう。この軸受の回転精度は、我々

表1 軸受の形式とその性能比較

項目	形式	空気軸受		油軸受		ころがり軸受
		動圧	静圧	動圧	静圧	
回転精度		○	◎	○	◎	△
負荷容量		×	○	○	◎	◎
剛性		×	○	○	◎	◎
減衰性能		△	△	◎	◎	×
高速回転		○	◎	×	△	△
駆動力(発熱)		○	◎	×	△	○
軸心制御		×	○	×	◎	×
加工難易		×	×	○	○	○
保守		○	△	○	○	○
寿命		○	◎	○	◎	×
価格	単体	×	×	○	○	◎
	補機	◎	×	○	×	◎

◎優、○良、△普通、×劣る

の実験によれば両者とも $0.05\mu\text{m}$ 以下である。さらに両形式のどちらを選択するかは設計者の判断によるわけであるが、その判断基準をもう少し述べる。これらの静圧軸受の違う点は作動流体が空気かあるいは油かという点である。これを物理的に表現すれば粘性係数が異なる(空気の粘性係数は油の約 $1/1000$ )ことと、空気は圧縮性流体である点である。このことは具体的には発熱や減衰能の違いとしてあらわれてくる。我々は熱発生が少ない点を考慮して、オリフイス補償形式の静圧空気軸受を採用しているが、減衰能の低い点については十分な検討を行ってきた。この減衰能の問題は工作機械では、俗に加工時のびびり現象としてあらわれる。これは主軸が切削変動力を受けたとき、一種の自励振動を起こすことによるもので、切削点での動特性(動剛性)に起因している。この動剛性を支配している大きな要因は、軸を支持している軸受の剛性と減衰能であることは事実である。しかし、この問題については単に軸受の性能のみならず、軸の曲げ剛性などを考慮した軸系全体の問題として考えなければならないことを、コンピュータ使用による軸系の数値解析より明ら

かにした。その結果、減衰能の低い空気軸受であっても、切削点動剛性の十分優れた軸系を作ることが可能である。

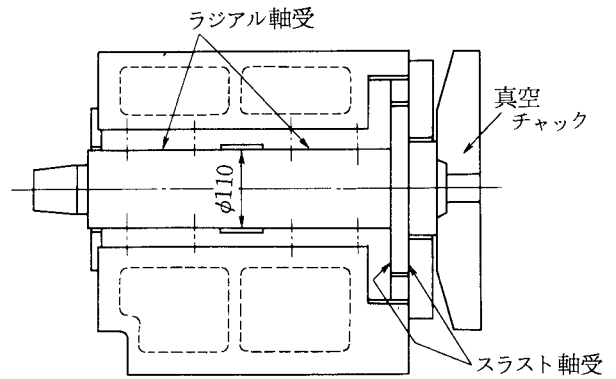
図4に本機の主軸の概略と、使用している空気軸受の性能を示す。本機は端面切削加工を目的とした機械であり、スラスト軸受を切削位置に近いところに配置した。また軸側のスラスト板は、軸と一体構造として剛性を高めるとともに、精度維持をはかっている。また、この軸系の共振点における切削点動剛性は約 $2\text{ kg}/\mu\text{m}$ (共振周波数 $200\text{ Hz}$ )である。この値はこの種の超精密加工機として十分な値であると判断している。

② 主軸駆動方法

本機の主軸にかぎらず、超精密な回転軸は、高精度な軸受を用いて達成できたとしても、それをいかにして駆動系の外乱振動を与えず、トルクのみを伝えて高精度な回転を実現するかと言うことは重要な技術である。

現在用いられている主な形式を表2に示す。いずれの形式も一長一短があり、その欠点を克服するためいろいろな工夫がなされてきた。

本機では図5に示すようなベルトによる駆動方式がとられているが、次のような配慮がなされている。



	ラジアル軸受	スラスト軸受
軸 径	φ110mm	
軸 受 幅	165mm	
外 径		φ230mm
内 径		φ150mm
負 荷 容 量	140kg	316kg
剛 性	$20\text{ kg}/\mu\text{m}$	$50\text{ kg}/\mu\text{m}$
給 気 圧	$6\text{ kg}/\text{cm}^2\text{Gage}$	$6\text{ kg}/\text{cm}^2\text{Gage}$
消 費 流 量	$60 \times 2\text{ Nl}/\text{min}$	$180\text{ Nl}/\text{min}$
	計 $300\text{ Nl}/\text{min}$	

図4 主軸の構造と空気軸受仕様

表2 各駆動形式の問題点と対策

形式	問 題 点	対 策
ビルトインモータ	1 モータの発熱 2 磁氣的振動 (イ) 主磁束 (ロ) ロータとステータの偏心	1 冷却  (イ) なし (ロ) 加工組立精度向上
カップリング	1 駆動軸被駆動軸の心ずれ 2 モータの機械本体への振動	1 加工組立精度向上 2 防振ゴム、モータ別置き
ベルト	1 ベルトの張力変化と振動 2 モータの振動	1 ベルト両面研削シームレス高精度プーリ軸並用 2 機械本体とモータ別置
エアタービン	1 駆動トルク小 2 振動および騒音	1 なし 2 排気に消音器

- (a) モータ別おき；モータの振動等級はV5級とし、かつ機械本体と基礎を別にして配置し、モータの熱や振動が機械に伝わることを防止した。
- (b) ベルト；ベルトは1.2mmのシームレス平ベルトを使用し、さらに両面を研削して厚さの変化を0.02mm以内とした。これにより硬さ変化による張力変動を抑制した。
- (c) モータとベルトの連結；モータ軸の振れ(約0.03mm)が直接ベルトに伝達されるのを防止するため、主軸プーリとベルトで連結される高精度プーリ軸(軸の振れ2 $\mu$ m)を設け、さらにこのプーリ軸とモータをフレキシブルカップリングにて接続した。

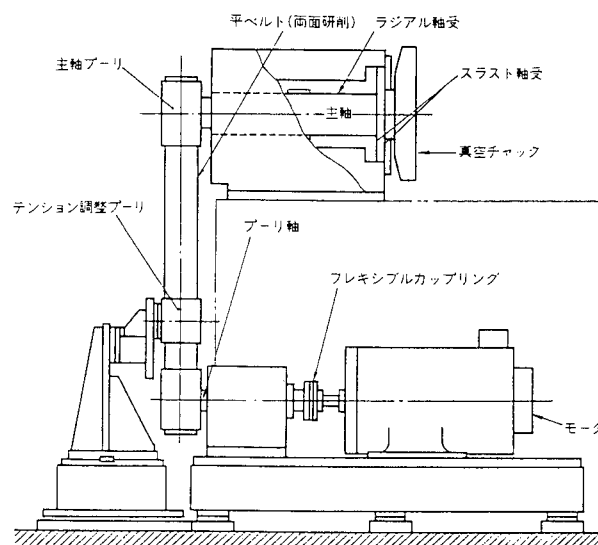


図5 主軸駆動系

以上のごとき方策により、駆動系の外乱を軽減し、本機の主軸は、0.05 $\mu$ m以下(500~3,000rpmの任意の回転数にて)の回転精度を達成している。

(2) 移動台(テーブル)の案内方式とその駆動方法

移動台の案内精度は加工物の形状精度に転写されるものであり、十分な考慮を払わなければならない。案内軸受方式の利害得失は、主軸軸受の形式比較の項で述べたことと類似するのでここでは省略するが、種々検討の結果、図6に示すような断面を有する、両面对向形式の角形空気軸受による案内を採用している。またこの移動台は最大ストローク200mmに対し約4倍の長さを持ち、またナロー比(ガイド幅と移動方向長さの比)を約1対3として、ガイド面の形状誤差の平均化、縮少をはかっている。

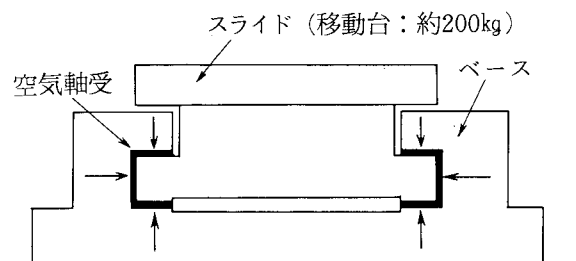


図6 往復台案内構造

表3にはこの案内に用いられている空気軸受と、移動台の運動精度を合わせて示す。超精密加工は一般に微少加工となるので、軸受にとっては軽負荷の場合が多いが、本機の場合は荷重の割にはオーバスペックとも見られがちな移動台である。これは空気軸受の移動方向に対する振動減衰の小さいことを考慮して、移動台の重量を大きくし、その慣性力によって高周波の切削変動力に対抗しようとした設計となっている。

次にこの移動台の駆動方法について述べる。

表3 案内用空気軸受と移動台の精度

項目	内容	
空気パッド	60×180mm	
負荷容量	300kg	
給気圧	5 kg/cm <sup>2</sup> Gage	
消費流量	200Nl/min	
剛性	50kg/ $\mu$ m	
案内精度	垂直方向	0.5 $\mu$ m/100mm 0.05 $\mu$ m/mm以下
	水平方向	0.2 $\mu$ m/100mm 0.015 $\mu$ m/mm以下

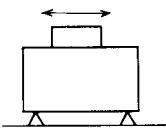
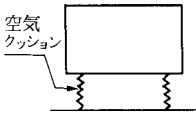
本機の駆動力伝達には直径3mmの航空機用ワイヤーを用いている。これによって最も加工精度に影響の大きい、移動方向と直角な方向の駆動外乱を除去した。また駆動側と反対方向には、これもワイヤーで連結した重りを設け、駆動側に入れた減速機のバックラッシュを除去している。このワイヤーによる方法は前にも述べたように、本機の目的がディスクの平面加工であり、移動台に必要とされる機能が低速(最大250mm/min)で、かつ速度制御のみが最重要であったが故に、なし得た方法である。これが曲面加工などのように、移動台に位置制御機能が必要とされる場合には、ワイヤーの剛性からしてこの方法は、用いることはできない。この場合一般的に考えられる方法は、精密スクルーあるいはボールナットスクルーである。しかしこの場合は、ナットの振れ回りによる外乱が移動台の運動精度を劣化させることは知られており、これを除くため、ナットと移動台をフレキシブルに連結する技術(板バネや静圧カップリングなど)が是非必要となる。

### (3) ベッド

ベッドはその上部に固定された主軸と、工具を保持して移動する移動台の相対位置関係を、静的あるいは動的に規定する重要な基本構造物である。表4にはベッドに要求される基本事項をまとめて示した。本機ではその素材としてグラニットのブロックを用いている。通常、機械のベッドには鋳物や溶接構造物が用いられるが、次のような配慮からグラニットを採用している。

- ① 振動減衰能
- ② 熱的安定性(石の熱伝達率は鉄の約1/50)
- ③ 経年変化に対する精度の安定性

表4 ベッドに要求される事項

項目	留意事項
静剛性	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・静的変位が許容値以内</li> </ul>
動剛性 (耐振構造)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・固有振動数(数Hz以下)</li> <li>・板構造の膜振動</li> <li>・振動減衰能</li> </ul>
温度特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱対称構造</li> <li>・熱的安定材質</li> <li>・温度分布の均一化</li> </ul>
経年変化	



この中で特に振動の問題は重要である。ブロック状の石のベッドはたとえ地盤から振動を受けても、その振動モードは単純で固有振動数も高い、そして支持部の特性を含めた低周波数のローリングやピッチングモードの振動においても、ベッド上の主軸と移動台上の工具との間には、測定可能なオーダ ( $0.05\mu\text{m}$ 以上) で相対変位は認められない。それに対し板やリブからなる通常のベッドは、我々の加振実験した範囲で、ほとんどの場合  $0.1\mu\text{m}$  オーダの相対変位が見られた。当社においても、有限要素法による構造物の動特性解析技術は確立しているが、複雑なリブのある構造物、さらに種々の締結面や案内面を持つ工作機械で、主軸に固定された加工物と工具間の相対変位 (動的特性を含めた) を解析により定量的に厳密に求めることは非常に難しい。これが石のブロックをベッドとして採用した理由であるが、また石はそれ自身、内部構造減衰能が、鉄より数倍優れており高周波の振動減衰性が良い、さらにこのベッド脚部に空気クッションを配置し、その固有振動数 (支持部を含めた機械のローリングモードの周波数) を  $3.5\text{Hz}$  として、外部からの振動を減衰し、超精密加工を阻害する基礎からの振動に対処した。

## 5. ディスク加工

図7に加工に使用したディスク基板のスペックを示す。この基板は、荒加工後プレステンパーを施し、真空チャックで吸引固定して加工を行う。また図8に使用したダイヤモンド工具を示す。ダイヤモンドはその物理特性から言って硬度、剛性、熱伝導率に優れた特性を持っているが、結晶方位によって摩耗特性が極度に異なるため、良好な表面精度を継続して得るには、この最高硬度結晶方位 (110) 面を刃先の逃げ面摩耗角になるようにすることが重要である。

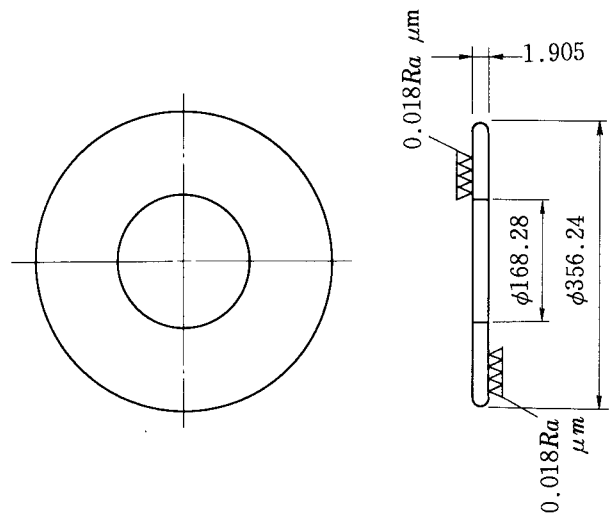


図7 ディスク基板の要求仕様

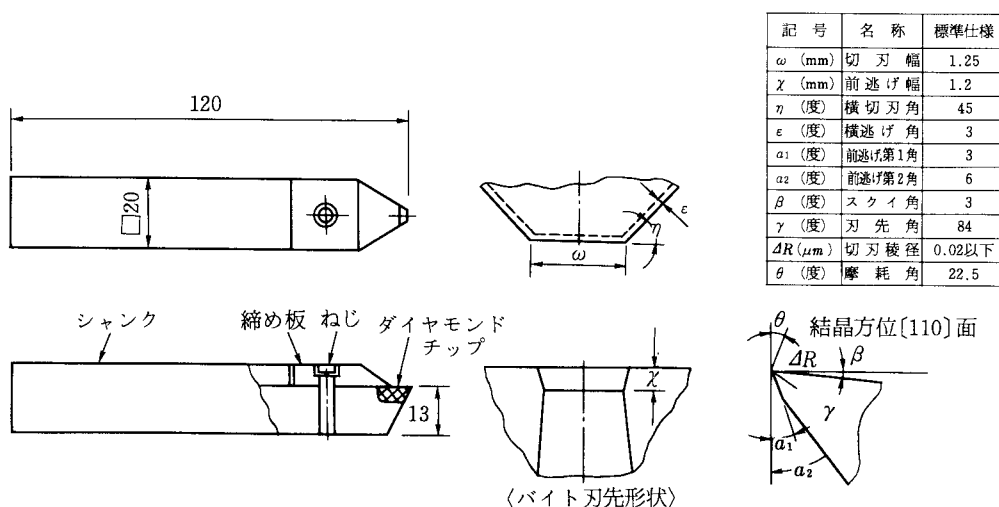


図8 ダイヤモンド工具

図9に摩耗角を変化させた場合の工具の寿命特性の相違の結果を示す。このように切削距離で約3倍以上の相違を示す場合もあり、工具製作にあたっては十分な注意を払う必要がある。また、この工具は刃先先端部に約1mmのフラット部を有しており、実際の使用にあたっては、送り方向とこのフラット部の角度の微少な調整が必要である。図10に工具の送り方向に対するセッティング角を $\theta$ とした場合の得られる表面粗さの理論値計算法を示す。これより例えば $0.01\mu\text{m}$ の表面粗さを得ようとするならば、セッティング角は1分8秒（送りピッチ $0.03\text{mm}$ の場合）としなければならない。

しかし実際の加工においては、この理論値に工具の形状誤差、ワークと工具間の弾性変形や微少な相対振動が加わり、表面を劣化させることになる。写真2に加工の一例を示す。この加工例の表面あらさは $0.004\mu\text{mRa}$ 、 $0.024\mu\text{mRz}$ （測定長 $0.8\text{mm}$ ）、微少なうねりは $0.02\mu\text{m}/1\text{mm}$ である。これは初めに述べたディスクのスペックからして、良好な結果が得られたものと判断する。

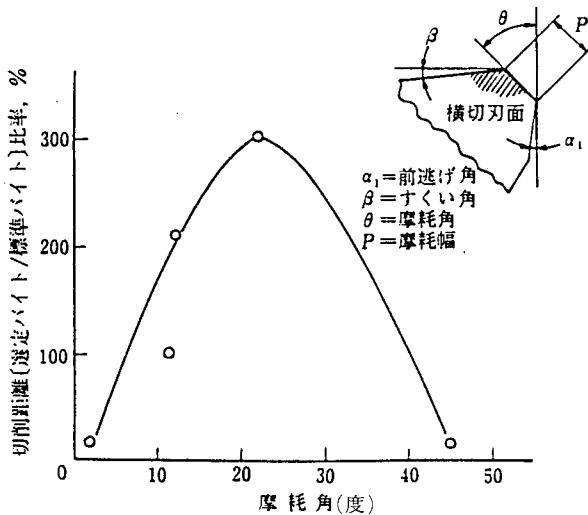


図9 摩耗角とダイヤモンドバイトの寿命

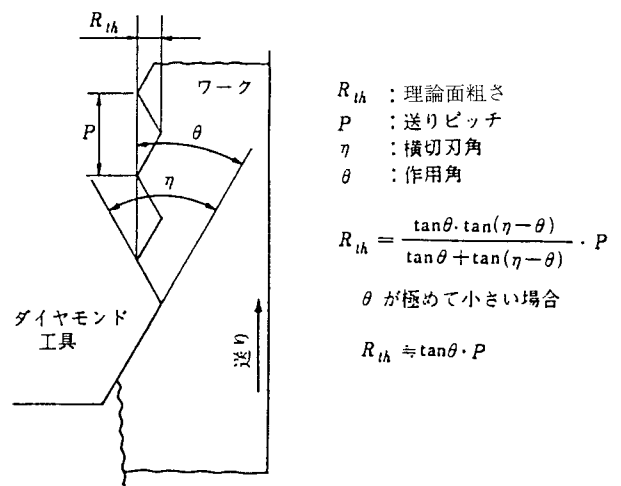


図10 工具セット状態と理論面粗さ

表面粗さ	$0.024\mu\text{mRz}$
	$0.004\mu\text{mRz}$
うねり	$0.03\mu\text{m}/4\text{mm}$
	$0.02\mu\text{m}/1\text{mm}$

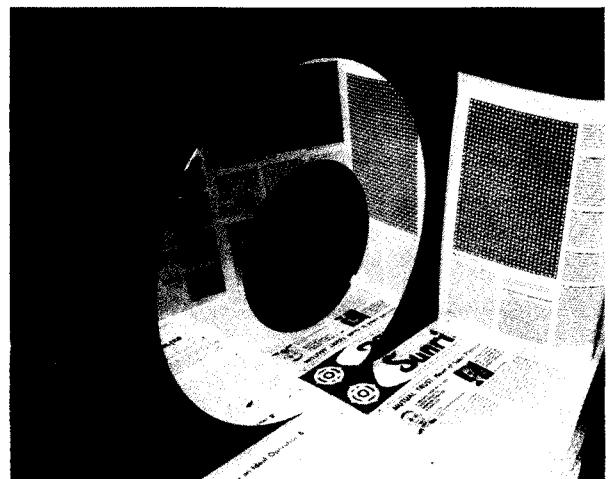


写真2 加工例

## 6. 単結晶ダイヤモンドバイトの研磨

銅、アルミニウム等の非鉄金属材料の鏡面切削加工には、単結晶ダイヤモンドバイトを用いるのが一般的であり、 $0.05\mu\text{mRmax}$ 以下の切削面あらさを得ることが可能である。これはダイヤモンドの鋭利な切刃に依存しており、チッピングのない切刃を有するダイヤモンドバイトを用いることが必要である。

単結晶ダイヤモンドは異方性が強く、結晶方位によって研磨能率が著しく異なるため、研磨作業を行うにあたってはダイヤモンドの物性を理解しておくことが大切である。

### (1) ダイヤモンドの性質

ダイヤモンドはその物理特性から言って硬度、剛性、熱伝導率に優れた特性を持っているが、結晶方位によって摩擦特性が極度に異なる。そのため、ダイヤモンドの選定や研磨作業にあたっては、ダイヤモンドの諸性質並びに結晶形についての特性を知っておく必要がある。

#### ① 一般的性質

表5にダイヤモンドの諸性質を示す。

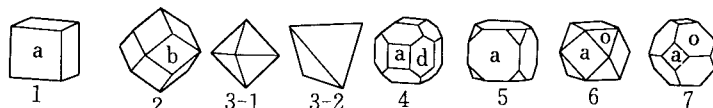
表5 ダイヤモンドの諸性質

性 質	実 測 値 な ど	備 考
密 度	$3.52 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	
ヌーブ硬さ(Hk)	6,000~10,000	方位・温度依存 かなり等方的 顕著な寸法効果
ヤ ン グ 率	$10.5 \times 10^{11} \text{N/m}^2$	
引 張 強 さ	$3 \times 10^9 \text{N/m}^2$	
酸化開始温度	900~1,000K	
黒鉛化開始温度	1,800K (不活性雰囲気中)	900K (鉄粉中)
比 熱	$0.516 \times 10^3 \text{J/kgK}$ (常温)	
熱 伝 導 率	600~1,000W/mK (タイプI、常温) 2,000~2,100W/mK (タイプII、常温)	
線 膨 脹 係 数	$0.8 \times 10^{-6}$ (常温) $1.5 \sim 4.8 \times 10^{-6}$ (400~1,200K)	鋼の約1/10
表面エネルギー	$5.5 \text{J/m}^2$ , (111面)	

#### ② 結晶形

ダイヤモンドを研磨する上で最も重要なことは、研磨する面の結晶方位を推定し、適切な研磨方向を選定することである。

ダイヤモンドの結晶形(図11)のうち、単結晶ダイヤモンドバイトとして用いられるものは、



a : (100)面、d : (110)面、o : (111)面

図11 ダイヤモンドの結晶形

No.2のもの(110の12面体)が多い。

ダイヤモンドは、図12に示すように、各結晶面で研磨容易方向が定まっている。矢印間の中間方向は研磨が困難であるので避けなければならない。

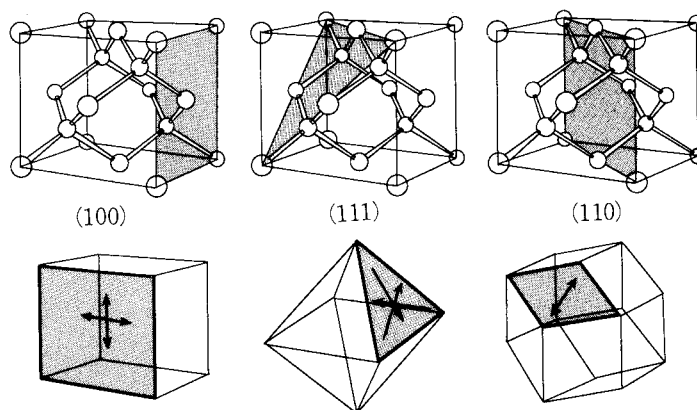


図12 ダイヤモンドの代表的な面構成 矢印：研磨容易方向

## 7. まとめ

以上ディスク加工用超精密旋盤を例にその構造、留意点、さらに加工の一例について述べた。超精密、高精度加工部品が激増するなかで、超精密加工機でありながら量産加工機としての機能を充実した超精密加工システムへの要求は、今後ますます高まるものと思われるし、超精密加工技術の確立も含めて今後一層の努力が必要である。

# 資料1. ディスク加工用超精密旋盤の主な仕様

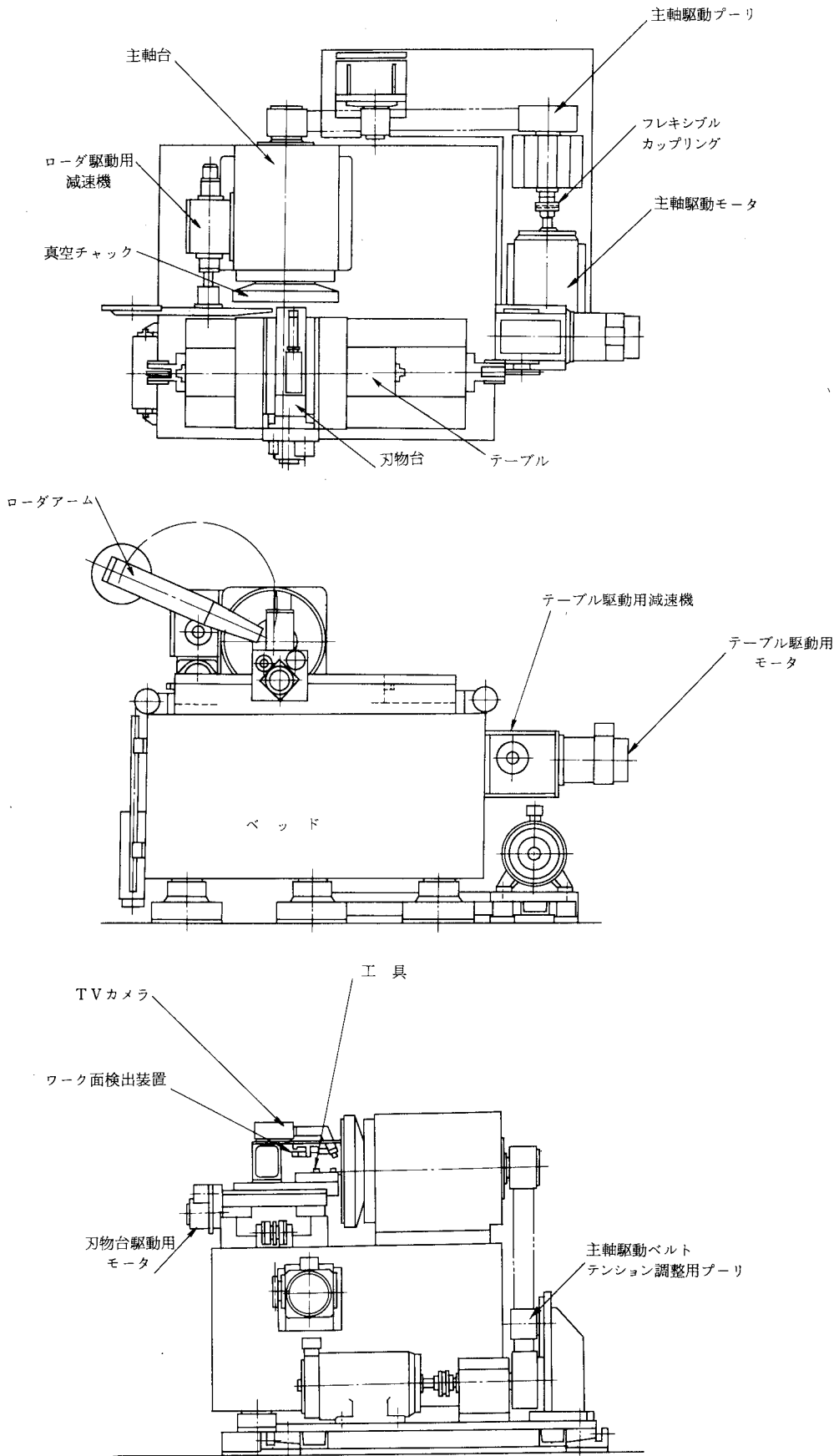


図13 機械主要部の名称

No.	項 目	内 容
1	主 軸	スイング径 : $\phi 400\text{mm}$ MAX 回 転 数 : 500~3500 rpm (連続可変) 軸 受 方 式 : 静圧空気軸受 駆動力伝達方式 : 平ベルト 電 動 機 : 3.7KW DCモータ
2	往 復 台	ストローク : 200mm 送り速度 : 0.01~0.15mm/rev (9ステップ) 早戻り速度 : 1500mm/min 案内面方式 : 静圧空気案内面 駆動力伝達方式 : ワイヤー 電 動 機 : 0.4KW DCモータ
3	刃 物 台	ストローク : 40mm 送り速度 : 1000mm/min 最小移動単位 : $1\mu\text{m}$ (自動) $0.5\mu\text{m}$ (手動) 案内面方式 : ころがり (ニードル) 案内 位置決め方式 : 非接触微小変位計によるワーク表面検出 駆動力伝達方式 : ボールネジ 電 動 機 : 50W DCモータ
4	ベ ッ ド	材 質 : ブラックグラニット 寸 法 : 1200×1000×550 (幅 × 奥行×高さ)
5	脚部除振方式	サーボエア・マウント
6	ワークのチャッキング	真空吸着方式
7	主 な 機 能	自動切込みを含む自動サイクル 自動ワークローディング
8	重 量	機 械 本 体 : 約3000kg 制 御 装 置 : 約600kg
9	据 付 環 境	機 械 本 体 温 度 : $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 湿 度 : 75%以下 振 動 : $1.5\mu\text{m}$ 以下 (P-P)      周波レンジ: オーバオール 制 御 装 置 温 度 : 0~40 $^{\circ}\text{C}$ 湿 度 : 20~80% 振 動 : 加速度0.3G以下
10	電 源	3相、AC200V、50Hz 容 量 20KW以上
11	空気軸受用空気源	供給圧力 : 6 kg/cm <sup>2</sup> Gage (Min) 流 量 : 500Nl/min (空気軸受用) 塵 埃 : ゴミの最大粒径 $0.2\mu\text{m}$ 以下 相 対 湿 度 : 80%以下 (冷凍機形式のドライヤー使用)

## 資料 2 . 制御盤各部の名称と機能

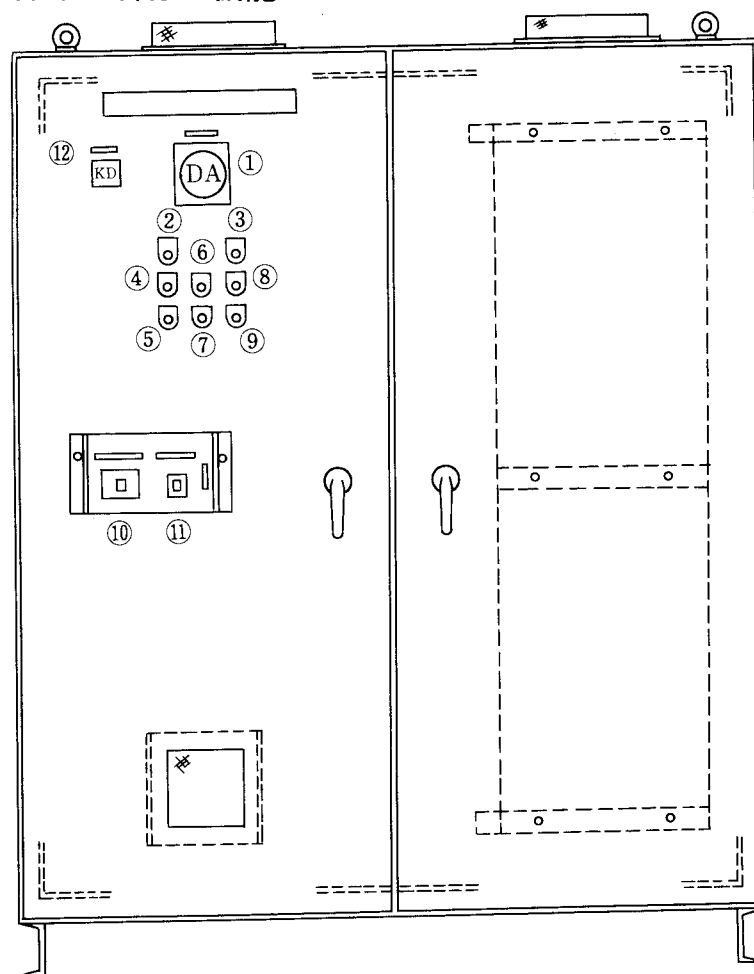


図14 制御盤

### ① 主軸電流計

主軸回転中、主軸駆動用モータへ供給されている電流を示す。モータの定格電流は27.0Aであるが、起動、あるいは停止時には、この1.5倍程度の電流が表示される。

無負荷運転中の供給電流は、3000rpmで約5 Aである。このメータを見ることによって、主軸に使用している空気軸受の異常チェックをすることができる。

### ② 電源「入」表示灯 (白ランプ)

電源「入」押ボタン④を押し、機械の電源が投入されると点灯する。

### ③ 異常表示ランプ (赤ランプ)

本ランプが点灯すると、運転準備完了はリセットされる。以下に、その点灯条件を示す。原因を確認修正してから再度運転すること。

#### a. サーボバック異常

刃物台サーボバック、往復台サーボバック、主軸サーボバック異常により点灯する。

#### b. モータ過負荷

モータに過電流が流れサーマルトリップすると点灯する。

#### c. モーションバック異常

モーションパック（刃物台位置決め装置）の異常により点灯する。

d. 過電流

本機シーケンサ内のサーキットプロテクタに過電流が流れると点灯する。

e. 電池異常

シーケンサおよびモーションパック内のバッテリー（電池）が低下すると点滅する。

④ 電源「入」押ボタンスイッチ

機械の主電源ボタンで、これを押すと、電源が投入され表示灯②と、操作盤上の電源表示ランプが点灯する。ただし、主回路電源入スイッチ（ブレーカータイプ）が投入されていないと本ボタンは無効である。

⑤ 電源「切」押ボタンスイッチ

このボタンを押すと機械の主電源が切れる。すべての作業が終了後このボタンを押す。

⑥ コンプレッサ「入」押ボタンスイッチ

空気軸受へエアを送るエア源（コンプレッサ）の起動ボタンである。エア源はオプションなので、ユーザがエア源を用意する場合はこのボタンでコンプレッサのON、OFFをコントロールする必要はない。しかし、このボタンは、エア源からの湿った空気をCleanかつDryにするユニット（CKD製ドライアユニット）の起動ボタンも兼用しているので、ユーザが用意したエア源を使用する場合は、エアを供給する前に必ずこのボタンを押すこと。ただし、周辺機器電源「入」（ブレーカータイプ）が投入されていないと無効である。

湿った空気を空気軸受に供給する事は厳禁である。

⑦ コンプレッサ「切」押ボタンスイッチ

このボタンを押すとコンプレッサ、エアユニットの電源が切れ運転が停止する。ただし、ユーザがエア源を用意する場合は、まずエア供給を停止し、その後このボタンを押してエアユニットの運転を停止すること。

⑧ 真空ポンプ「入」押ボタンスイッチ

真空ポンプ用電源ボタンで、これを押すと真空ポンプが運転し真空チャック（主軸およびローダ）の動作が可能となる。ただし、周辺機器電源「入」スイッチ（ブレーカータイプ）が投入されていないと本ボタンは入らない。

⑨ 真空ポンプ「切」押ボタンスイッチ

このボタンを押すと真空ポンプが停止する。

⑩ 主回路電源「入」スイッチ（ブレーカータイプ）

本機制御盤に電源を投入するスイッチで、本スイッチが投入されていないとすべての操作ボタンが無効となる（普段はONの状態にしておく）。

⑪ 周辺機器電源「入」スイッチ（ブレーカータイプ）

本機に取付く周辺機器（コンプレッサ、クリンエアユニット、真空ポンプ）の電源を投入するスイッチで、本スイッチが投入されないと⑥、⑧のスイッチが入らない（普段はONの状態にしておく）。

⑫ 積算稼働計

電源「入」押ボタンスイッチ④が押され電源が投入された回数をカウントするカウンタである。



### 資料3. 操作盤各部の名称と機能

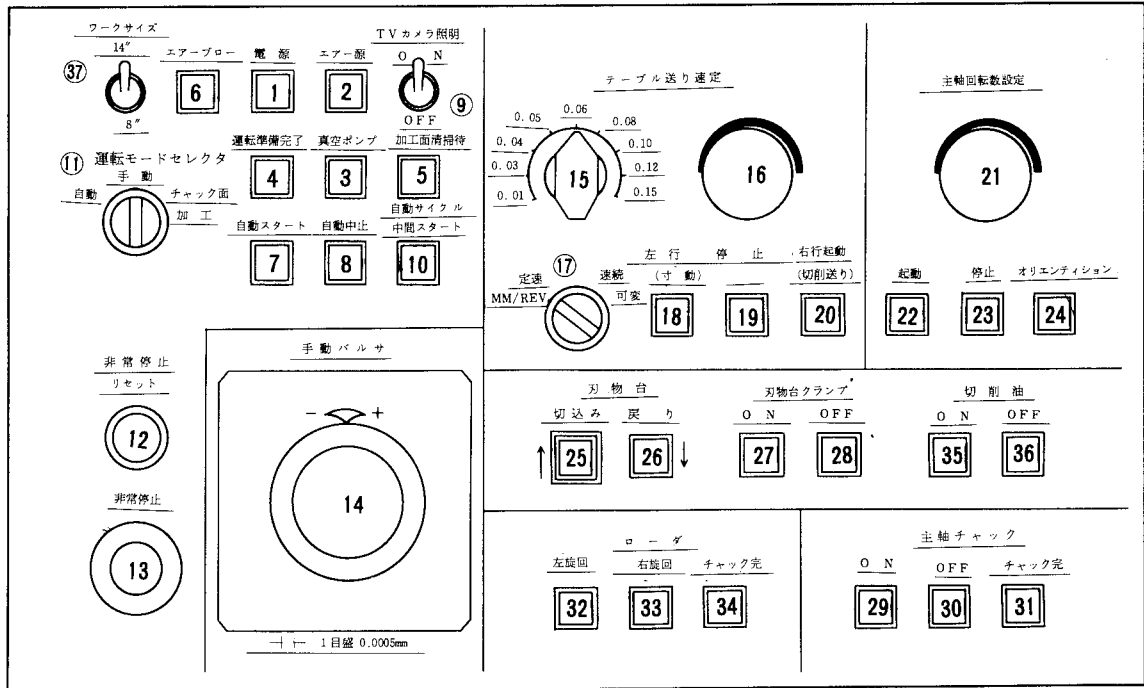


図15 操作盤

- ① 電源投入表示ランプ (白ランプ)  
制御盤上の電源「入」押ボタンスイッチで電源を投入すると点灯する。
- ② エアースource電源投入表示ランプ (白ランプ)  
制御盤上のコンプレッサ「入」押ボタンスイッチで電源を投入すると点灯する。
- ③ 真空ポンプ電源投入表示ランプ (白ランプ)  
制御盤上の真空ポンプ「入」押ボタンスイッチで電源を投入すると点灯する。
- ④ 運転準備完了ランプ (白ランプ)  
電源ON、エアースourceON、制御回路異常なし、非常停止リセット状態で点灯する。このランプが点灯した状態で、装置の起動が可能となる。
- ⑤ 加工面洗浄待表示ランプ (白ランプ)  
自動サイクル中、主軸チャック面および加工後のワーク表面を清掃するために、計2回主軸回転のまま待期している状態を示す。
- ⑥ エアースource  
主軸チャックに付着した切屑などを除去したい時、本ボタンを操作すると主軸チャックのバキューム穴から、エアースourceが吹出す。
- ⑦ 自動スタート  
自動サイクルの起動ボタンで、運転モードセレクト①を自動モードに設定した場合有効となる。運転時は緑ランプが点灯し、起動可能な場合は点滅する。
- ⑧ 自動中止

自動運転で加工中、テーブルの送りを中止する(主軸は停止しない)。このまま加工を終わらせる場合は、運転モードセクタ⑩を手動へセットし、各部を原点へ戻す。そのまま加工を継続する場合は、再びボタンを押す。中止が働いている時は赤ランプが点灯する。

⑨ TVカメラ照明

照明用豆ランプの点灯、消灯切換スイッチで、電源ONなら有効である。

⑩ 自動サイクル中間スタート

自動サイクルで加工面洗浄待でサイクルがストップしている時、洗浄が終り、再び、サイクルをスタートさせたい時押すボタンである。加工面洗浄待ランプ⑤点灯時のみ有効である。

⑪ 運転モードセクタ

自 動

本機の設定した自動運転シーケンスにより自動運転を行う。

本モード時有効なボタンは、自動スタート、自動中止、主軸回転数設定ボリューム、テーブル定速送り設定、自動サイクル中間スタート、非常停止、非常停止リセットである。

手 動

各個の動作をそれぞれのボタンで操作する。手動パルサも本モードで操作する。

チャック面加工

チャック面加工(セルフカット)を行うとき本モードにセットする。本モードでは、チャック面を加工(セルフカット)する時、誤操作によりチャック真空ボタンを押しても電磁弁が切換らない機構になっている(ランプは点灯する)。その他の操作は、手動モードと同様である。

⑫ 非常停止リセット

非常停止の解除を行うもので、非常停止ボタン⑬を押した時、および何らかの異常で、非常停止がかかった時、ボタン内の白ランプが点灯する。本ボタンを押すとボタン内の白ランプは消灯し、運転準備完了ランプが点灯して再運転が可能となる。

⑬ 非常停止(赤キノコ型)

すべての動作を停止する。

主軸チャックにワークが吸引されている場合は、そのまま吸引が継続される。

本ボタンを押すと非常停止リセットボタン⑫内の白ランプが点灯する。

注) 主軸駆動系はイナーシャが大きいので完全停止するまでに時間がかかるので注意すること。

⑭ 手動パルサ

刃物台の手動送り量を設定する。

(-) 方向: 切込方向

(+) 方向: 戻り方向

移動量は $0.5\mu\text{m}/\text{pulse}$ (1目盛)で、手動・チャック面加工モード時有効である。

⑮ テーブル送り(定速送り)設定

テーブル右行送り(切削方向)の主軸同期速度の設定を行う。

全ての運転モードで有効。

⑯ テーブル送り(連続送り)設定ボリューム

テーブル右行送り速度の設定を行う。設定は、連続可変（0～1500mm/min）となっている。  
全ての運転モードで有効。

⑰ テーブル送り定速、連続可変切換えスイッチ

テーブル右行送りを定速、連続可変どちらかに設定するスイッチである。主軸が停止している場合は、連続可変側に切換えて駆動する。

⑱ テーブル左行（白ランプ付）

手動モード時テーブル左行を行うボタンである。

移動速度は、1500mm/minで、本ボタンを押している時のみ移動する。ON時グリーンランプが点灯する。

⑲ テーブル停止

テーブルの右行送りを停止する。

⑳ テーブル右行（白ランプ付）

手動モード時、テーブル右行を行うボタンである。このボタンを押すことによって設定された送りに従ってテーブルが移動開始する。ON時グリーンランプが点灯する。

㉑ 主軸回転数設定（ボリューム）

主軸回転数を設定する。

連続可変である。

設定回転数は、主軸速度計にデジタル表示される。

㉒ 主軸起動（緑ランプ付）

手動モード時このボタンを押すことによって主軸が起動し、グリーンランプが点灯する。

㉓ 主軸停止

手動モード時このボタンを押すと主軸が停止する。

㉔ オリエンテーション（白ランプ）

主軸オリエンテーション動作時点灯する。

㉕ 刃物台切込み（スイッチカバー付）

手動モード時、計測点まで任意の切込み方向の移動が可能である。

本ボタンを押している時のみ有効で移動速度は、1000mm/minである。

㉖ 刃物台戻り

手動モード時、刃物台後退端（原点位置）まで任意の切込み方向の移動が可能である。

本ボタンを押している時のみ有効で、移動速度は、1000mm/minである。

㉗ 刃物台クランプON（白ランプ付）

手動モード時、このボタンを押すことによって刃物台がエアクランプされ、グリーンランプが点灯する。本ボタンを押しても確認用のプレッシャスイッチが入らない場合は白ランプが点滅する。

㉘ 刃物台クランプOFF

手動モード時、このボタンを押すことによって刃物台エアクランプが解除される。

㉙ 主軸チャックON（白ランプ付）

手動モード時、主軸チャックの「ON」ボタンである。ONした後チャックの真空度が設定圧以上にな

ると、グリーンランプが点灯する。ワークをチャッキングしても確認用のプレッシャスイッチが入らない場合は、グリーンランプが点滅する。

③⑩ 主軸チャックOFF

手動モード時、主軸チャックの「OFF」ボタンである。

③⑪ 主軸チャック完 (緑ランプ)

主軸チャックにワークが取り付けられ、チャックの真空圧が設定値 (圧力スイッチの設定圧) 以上になると点灯する。

③⑫ ロータ右旋回 (白ランプ付)

手動モード時、ワークローダアームの右旋回 (寸動、ワークローディング方向) を行う。

ON時グリーンランプが点灯する。ただし、刃物台、テーブルが原点位置にあって、主軸が停止していないと動作しない。

③⑬ ロータ左旋回 (白ランプ付)

手動モード時、ワークローダアームの左旋回 (寸動、ワークアンロード方向) を行う。

ON時グリーンランプが点灯する。ただし、刃物台、テーブルが原点位置にあって、主軸が停止していないと動作しない。

③⑭ ロータチャック完 (緑ランプ)

ローダチャックにワークが取り付けられ、チャックの真空圧が設定値 (圧力スイッチの設定圧) 以上になると点灯する。ワークをチャッキングしても確認用のプレッシャスイッチが入らない場合は、グリーンランプが点滅する。

③⑮ 切削油ON (緑ランプ付)

手動モード時このボタンを押すことによって切削油ノズルからクーラントミストが噴射される。

ON時グリーンランプが点灯する。

クーラントミストは混入バルブの絞りによっても停止可能であるが、万一、本ボタンランプが点灯している状態でミストが噴射されない場合は、テレビモニター台側面にある混入バルブをチェックする。

③⑯ 切削油OFF

手動モード時このボタンを押すことによってクーラントミスト噴射が停止する。

③⑰ ワークサイズ切換スイッチ

加工するワークのサイズが8インチか14インチかの切換を行う。

## 資料 4 . ワーク表面検出装置

### (1) ワーク表面検出装置

ディスクの高精度加工に際しては、ディスクが薄い円盤であるため、表面、裏面の加工を行うとき各々の面の取代が極端に異なった場合、その加工歪の相違によってディスクにそりが生じてしまうことが確認されている。そこで本機ではディスクの加工表面位置をチャッキング後測定を行い、表面位置から取代を設定する方式を標準としている。そのため以下で説明する検出装置は重要であり、操作をよく理解しておく必要がある。

なお、本装置は加工素材の板厚がかなりバラツキを持っていることを前提に考えられたものであり、素材の板厚がミクロンオーダーで管理されているならば定位置切込み方式でも加工は可能であり、本機はその機能も有している。

### (2) 検出装置の構成

ワーク面検出装置は図16に示す如くマイクロメータヘッドにより微動可能なスライド機構に取り付けられた検出部（非接触微小変位計）と検出した値をデジタル表示し、かつオートサイクル加工中にこの検出した値により刃物台の移動量をコントロールするコントロールユニットから成っている。

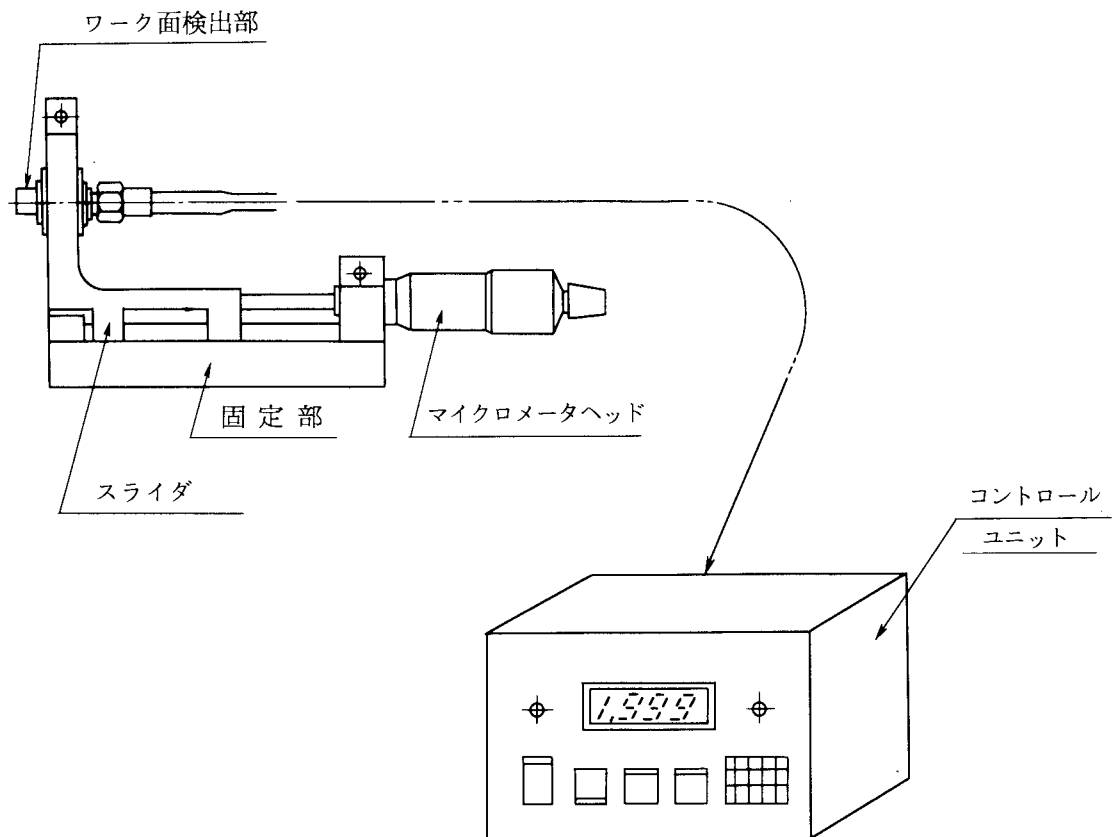
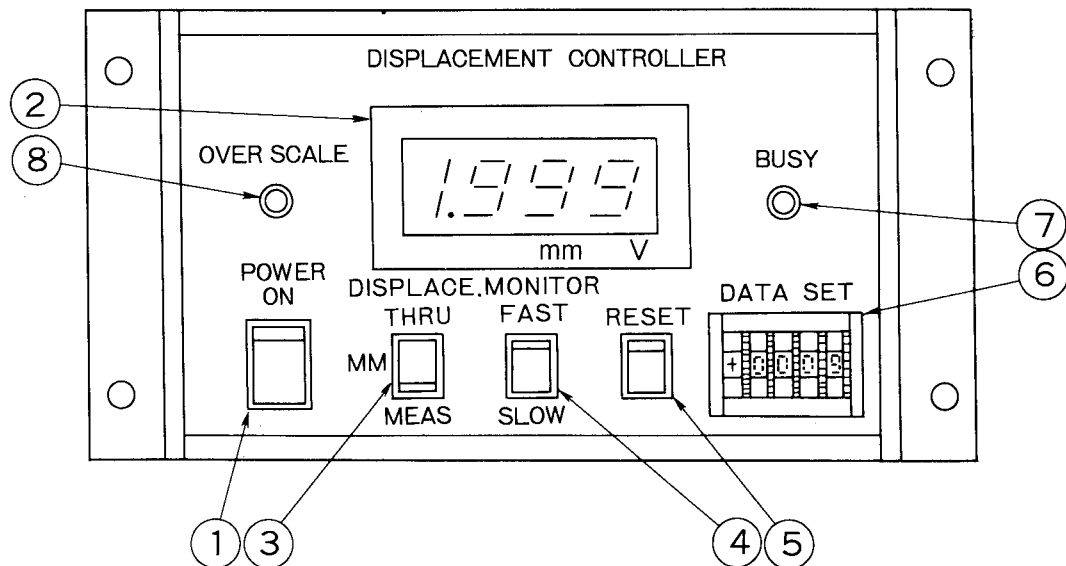


図16 ワーク表面検出装置の構成

また検出部の取り付けられているスライダの固定部は刃物台に取り付けられており刃物台と一体となって移動して、刃物台（工具）とワーク面の距離を検出する。

一方コントロールユニットは操作卓のパネルに組み込まれている。

### (3) コントロールユニット各部の名称と機能



No.	名 称	機 能
①	POWER	電源投入用のトルグスイッチで、ON側に倒すと電源が入る。通常は操作せずONにしておく。本機の電源が投入されると同時に、電源が投入される。電源投入時はスイッチ内の白ランプが点灯する。
②	デジタル表示器	5桁の表示器で、ディスプレイセレクト③で選択された内容を表示する。
③	ディスプレイセクタ	②の表示器に表示する内容を選択するスイッチで、内容は下記に示す3つである。 THRU；ワーク面と検出器の距離（ギャップ）は電圧変化として検出され、その電圧を表示する。通常は使用しない。 MM；ギャップに対応した電圧（V）を距離（ミリメートル）に換算した値で表示する。最小桁は1μmである。 MEAS；原点移動（ゼロリセット）等を行った後のギャップ（ミリメートル）を表示する。通常はこの状態で使用する。
④	MONITORスイッチ	測定値の表示速度を変えるもので、FAST、SLOWを任意に設定できる。
⑤	ZERO RESET	検出器の測定可能範囲（0～2mm）内の任意の位置で検出器のMEASにおける表示を零にするボタンである。
⑥	デジタル設定器	4桁のデジタル設定器で、オートサイクル加工中に切込量を設定するのに使用する。ただし、符号は無視される。
⑦	BUSY表示	センサーがワークに接近し、入力を開始すると点灯する。
⑧	OVER SCALE表示	入力電圧が2VDC以上になると点灯する。

(4) ワーク面検出装置の使用法

本検出装置は非接触式の微小変位計である。測定可能範囲(※)は2mmでその直線性はフルスケール(2mm)の±0.5%である。またこの微小変位計は非接触であるため、あらかじめ適当なギャップを設けて使用する。従って実際の作動ギャップは測定対象物から2mm+(初期ギャップ)となる。

次に実際の使用状態におけるギャップと表示部の値を例をもって示す。

状態	検出器の位置	表示値		
		THRU (単位：mV)	MM (単位：mm)	MEAS (単位：mm)
①	<p>初期ギャップ 0.5mm</p> <p>ワーク面</p>	0.000	0.000	0.000
② ギ①の ャップ の状態 から 1mm 広げた	<p>1.5mm</p>	0.500	1.000	1.000
③ R E S E T ボ タ ン を 押 し た	<p>注1)</p> <p>1.5mm</p>	0.500	1.000	0.000
④ ギ③の ャップ の状態 から 0.5mm 広げた	<p>2.0mm</p>	0.750 (0.250)	1.500 (0.500)	0.500 (-0.500)

(※)測定可能範囲とはDISPLAY SELをMMにして表示値が0～1.998の範囲内にある場合である。

注1) ZERO RESETボタンを押すときはDISPLAY SELをMEASにしておく。

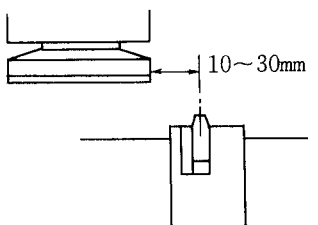
他の状態でボタンを押しても表示部の値は変わらない(ゼロリセットできない)。

## 資料5．スタート条件の設定とリミットスイッチ

### (1) スタート条件の設定

テーブル原点、刃物台原点、ローダ原点とは自動加工のスタート条件を意味し、加工の最初にこれらの部分を原点に移動する操作を実行しなければならない。それぞれの部分の操作内容を以下に示す。

スタート条件の設定

スタート条件	設定のための操作
1. テーブル原点 位置L・S・ON	 <p>10~30mm</p> <p>テーブル左行ボタンを押し、リミットスイッチによって工具先端がチャック外周より10~30mmのところまで停止した位置</p>
2. 刃物台原点 位置L・S・ON	刃物台戻りボタンを押しリミットスイッチによって自動的に停止した位置
3. ローダ原点 位置L・S・ON	ローダ左旋回ボタンを押しリミットスイッチによって自動的に停止した位置

### (2) リミットスイッチ

本機には以下の10ヶのリミットスイッチ (LS) を使用している。

No.	名称	用途備考
LS1	テーブル左行限	手動操作時の左行限検出
LS2	テーブル右行限	手動操作時の右行限検出
LS3	テーブル切削開始点	自動サイクル時の左行限検出
LS4	テーブル原点	自動サイクル時の右行限 (テーブルの原点) 検出
LS5	刃物台切込 (後退) 限	刃物台の切込側ストローク限検出
LS6	刃物台計測点	非接触変位計による計測開始点検出
LS7	刃物台原点	刃物台の戻り端 (原点) 検出
LS8	ローダ右旋回端	ローダアームのワーク・ローディング完了位置検出
LS9	ローダ左旋回端	ローダアームのワーク・ローディング完了位置検出
LS10	刃物台減速点	刃物台原点減速位置検出
LS11	リアカバー取付け確認	リアカバーが確実に取り付けられているかを確認
LS12	リアカバー取付け確認	



スイッチ形式はLS1からLS10までフォトスイッチでLS11とLS12はメカスイッチである。

リミットスイッチは各部の運動の範囲を規制するものであり誤って移動すると危険をともなう場合がある。したがって、故障の時以外は手を触れないこと。ただし、テーブルの運転範囲についてのみ変更しなければならない場合があるので以下に示す。

テーブルの有効ストロークは200mmで、この限界を検出しているL.S.はNo.1とNo.2である。手動操作時はこの範囲内であれば運動は自由である。しかし、自動操作にて加工を行なう場合、切削に関与しない無駄な運動を避けるため切削範囲に応じてテーブルの運動範囲を規制することが必要である。そのためのL.S.がNo.3とNo.4である。

本機の標準加工物は14"ディスクで、現在は14"ディスクが加工できる範囲にドッグがセットされている。しかし本機はオプションで8"ディスクの自動加工も可能となっている。したがって8"ディスクを自動操作にて加工する場合はこのL.S.No.3とNo.4をONにするためのドッグの位置を移動して切削に必要な運動範囲を決めなければならない。

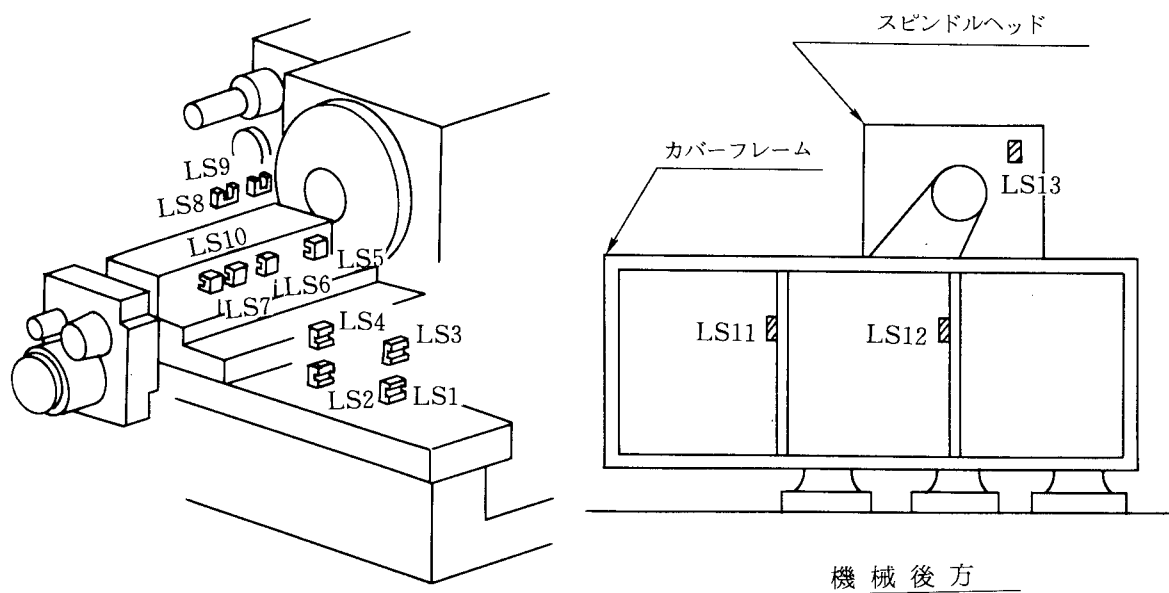


図17 LSの配置