

知 識 編

1. 超精密加工が必要な電子部品の概要

最近のエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス技術の発展に伴ない各種結晶材料、フェライト、ガラス、セラミックス等硬脆材料の超精密加工が要求されるようになり、加工方法としてラッピング、ポリッシングも併用されているが、超精密加工が可能な超精密NC研削盤の出現にともない研削加工への依存度が高まってきた。

これは機械精度の向上にともなって超精密加工が可能になったことと機械本来の目的である生産性の向上、NC機能の充実によって複雑形状への対応が可能になったことに起因している。

これら硬脆材料の研削は薄刃砥石での溝入れ、切断研削、総形砥石での成形研削、カップ砥石での鏡面研削と多岐にわたり、いずれもダイヤモンド砥石を使用したクリーブ研削で行なわれることが多い。

研削加工が行なわれている代表的な電子部品として下記のものがある。

(1) 磁気ヘッド

磁気ヘッドにも用途によってオーディオ用、ビデオ用、フロッピディスク用、ハードディスク用があり、使用される材料もパーマロイ、センダスト、フェライト、セラミックス等と異なる。

高精度加工が必要とされるビデオ、フロッピディスク、ハードディスク用ヘッドにしても素材の切断や成形加工のようなラフな研削から面粗さや寸法精度が要求されるギャップ面やトラック幅加工等複雑な工程を経過して製作されるが、加工精度は記録密度によって左右され、記録密度の高いハードディスク用ヘッドに最も高い加工精度が要求されている。

また、大量生産する部品であり、歩留りを考えた各工程毎の加工精度の誤差配分が重要な加工ノウハウとなっている。

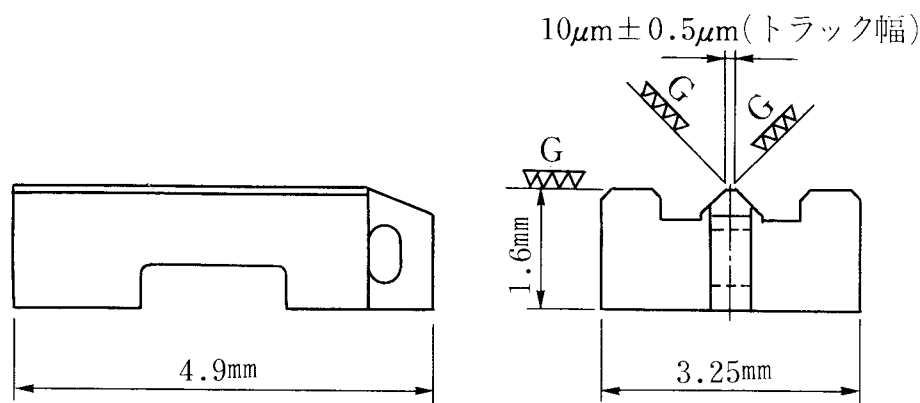


図1 モノリシック形磁気ヘッド
(ハードディスク用)

(2) シリコンウェハ

半導体の基板として使用されるシリコンウェハはインゴットの内周刃砥石による切断 (0.8~1.0mm程度)、ラッピング、エッチング、ポリッシングの工程を経て完成された後、フォトリソグラフィーによって回路パターンを生成する。

パターンが生成されたウェハは製造工程での破損をさけるため厚く作られており、後工程での切断の能率向上のため裏面を0.3~0.5mm研削で除去する。

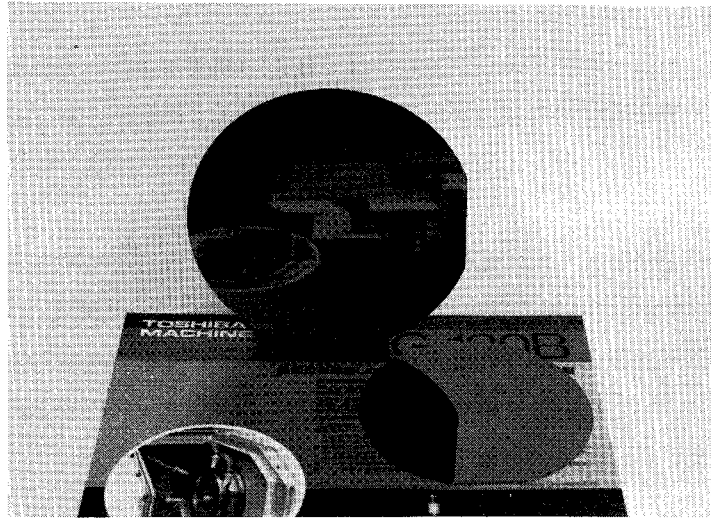


図2 シリコンウェハー

短時間に大量の削除量を得るためセグメント形のカップ砥石が使用され、 $0.5 \sim 1 \mu\text{mRmax}$ の面粗さであることから#400~800のダイヤモンド砥石が使用される。

裏面を研削されたウェハーはチップ1個ずつに切断されるがウェハーの歩留りを高めるため $25 \sim 50 \mu\text{m}$ の極薄の砥石が使用され、パターンへの損傷をさけるためチップングを最少に押えなければならない。

従来は同上の砥石で $25 \mu\text{m}$ 残しの溝を入れた後割られていたが、割った時のチップングをさけるため完全切断が行なわれるようになったが、 $25 \mu\text{m}$ 幅の砥石で $0.2 \sim 0.6 \text{mm}$ 深さの切断は大変むずかしい。

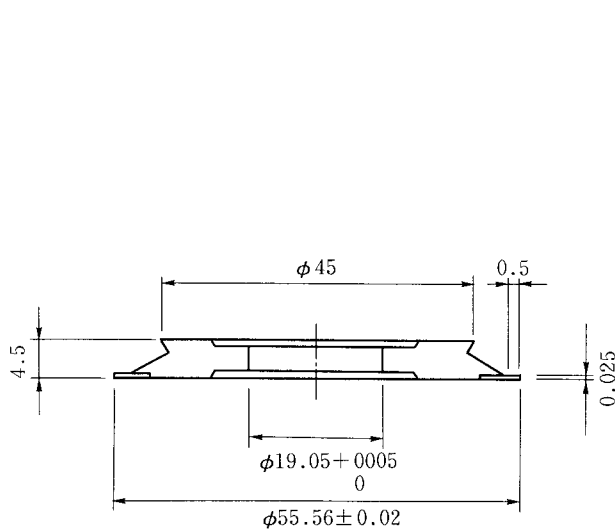


図3 メタルボンドのダイヤモンド砥石

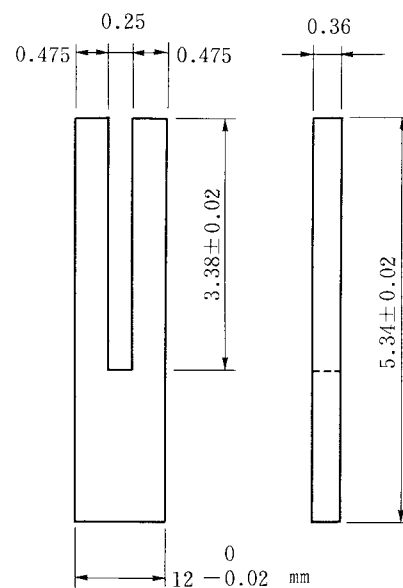


図4 水晶振動子

図3に示すような2インチ程度のメタルボンドのダイヤモンド砥石が使用されるためスピンドルの回転数は30,000rpm以上となりチップングを生じやすい単結晶シリコンであることと合せ、スピンドルには高精度で振動の少ない空気静圧軸受が使用される。

(3) 水晶振動子

音叉形水晶振動子の加工は、水晶の薄片を紫外線硬化形の接着剤やワックスを使用して積層し、遊離砥粒を用いたマルチブレード切断機で溝入れ、切断が行なわれているが、加工工程の簡素化と加工能率、加工精度向上のため超精密研削盤を用いた切断、溝入れが行なわれようとしている。図4から解るように砥石厚さに対して深溝の加工であり、砥石の性能が加工精度を左右する。

表1 フェライト材料の磁氣的・物理的性質

	単結晶 フェライト	高密度 フェライト	ホットプレス フェライト A	ホットプレス フェライト B	ホットプレス フェライト C	焼結 フェライト
組成 (wt%)	MnO 19	NiO 11	MnO 14	MnO 15	NiO 18.9	MnO 21
	ZnO 11	ZnO 22	ZnO 16	ZnO 15	ZnO 13.6	ZnO 10
	Fe ₂ O ₃ 70	Fe ₂ O ₃ 67	Fe ₂ O ₃ 70	Fe ₂ O ₃ 70	Fe ₂ O ₃ 67.5	Fe ₂ O ₃ 60
透磁率 Mg, DC	4,000	850	10,000	3,000	250	3,000
	Mg, 4MHz	600	550	800	800	250
飽和磁束密度 Bs(G)	3,800	3,900	3,800	4,000	3,500	3,200
抗磁力 Hc (øe)	0.05	0.4	0.03	0.1	0.5	0.1
電気比抵抗ρ (Ω-cm)	>1	>10 ⁴	>10	>10 ²	>10 ⁴	>10 ³
キュリー温度Tc (°C)	180	125	110	150	350	150
ビッカース硬さHv (kg/mm)	650	600	600	650	750	600
密度 (g/cm ³)	5.1	5.3	5.1	5.1	5.3	4.9
空孔率 (%)	0	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<5

2. 溝加工用超精密NC研削盤（スライサー）

シリコンウェハー、磁気ヘッド、各種光学素子等硬脆材料の溝入れ、切断、研削を行うための機械としてスライサーあるいはダイサーと呼ばれる研削盤がある。

スライサー、ダイサーの言葉の定義は明確ではないが、一般的にディスク状の単刃またはマルチ刃の砥石でラフな精度の溝入れ、切断を行う高剛性、高能率の機械がスライサーと呼ばれ、単刃砥石で高精度な溝入れを行う機械がダイサーと呼ばれている。

磁気ヘッド、光学素子等の加工では0.1~0.3mmの薄いディスク状のダイヤモンド砥石で溝入れ、切断を行うことやカップ形のダイヤモンド砥石での鏡面研削が行なわれ、溝のピッチ精度、コーナ部のチップングの有無、研削面の面粗さ、微細な寸法精度、平面度が評価の対象となる。

このようなダイサー、スライサーの加工対象となる磁気ヘッドにはVTR用の画像ヘッド、フロッピーディスク用ヘッド、ハードディスク用ヘッド等があり、素材はフェライト、セラミックス、ガラス等の複合材料で数10工程の加工、組立工程を経て製作される。

これらの加工工程の何れにも対応できるスライサー、ダイサーの機能を兼ね備えた溝加工用超精密NC研削盤（USM-200A）を図5に示す。

フェライト、セラミックス、ガラス等硬脆材料の微細な溝入れ、切断、鏡面研削を行うための機械の性能として以下に示すようなことが要求される。

- (a) 溝のピッチ精度、寸法精度を確保するための精密な位置決め精度
- (b) 高速回転に対応できる高精度で振動の少ないスピンドル

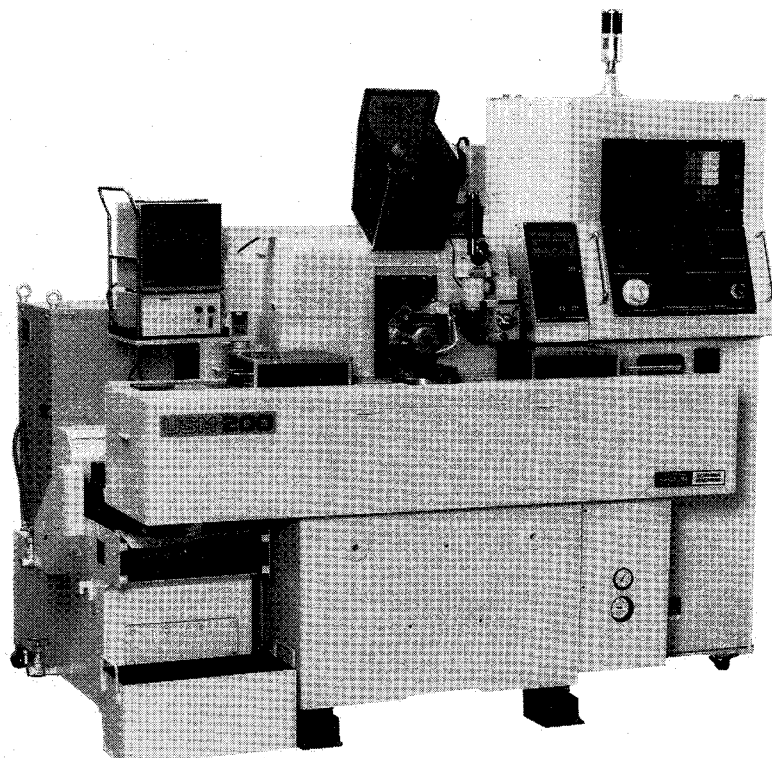


図5 溝加工用超精密NC研削盤（USM-200A）

- (c) 高精度、高剛性で滑らかな送りが得られるテーブル
- (d) 長時間の運転によっても熱変形を生じない機械構造
- (e) 熱変形の原因となる発熱の少ない機構
- (f) コンパクトで剛性の高い構造

このような要求のもとにスピンドルには超精密空気静圧スピンドル、微細な位置決めを行うY軸には高精度なころがり案内と超精密なスケールによる位置決め機構、クリープ研削を行うテーブルには剛性が高く、安定した精度が得られるV-Vすべり案内を持った溝加工用超精密NC研削盤を完成した。

この機械に使用されている機械要素の性能・精度、設計思想、仕様、使用例について説明する。

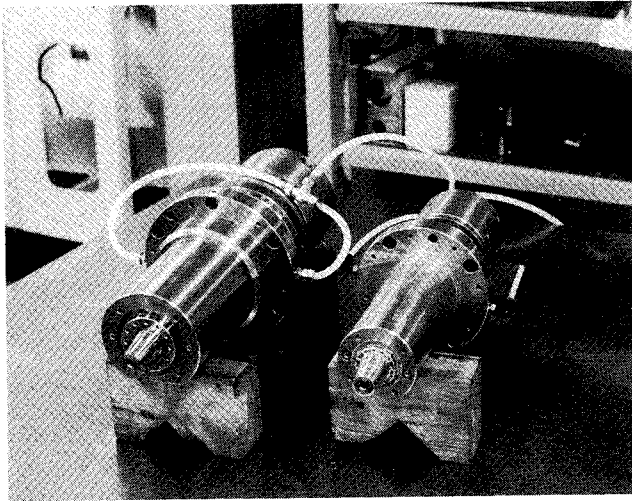


図7-1 超精密空気静圧スピンドルの外形形状

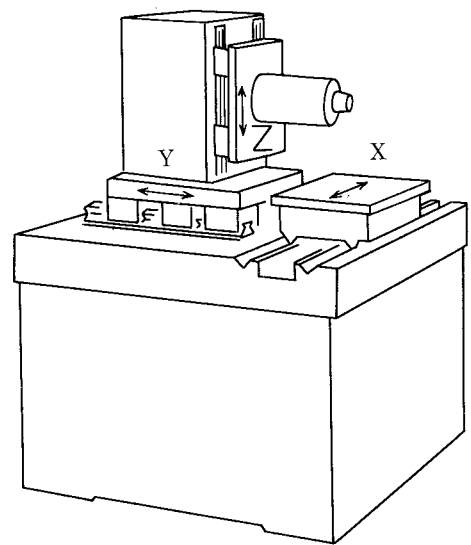


図6 溝加工用超精密NC研削盤の機械構成

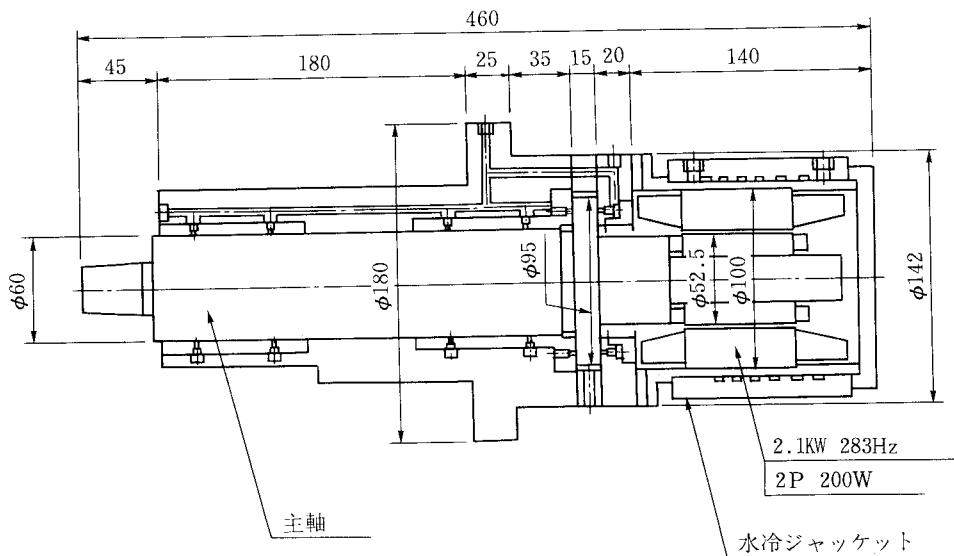


図7-2 超精密空気静圧スピンドルの構造

(1) スピンドル

硬脆材料の研削に必要とされる10,000~30,000rpmの高速回転で振動が少なく、高精度で発熱の少ない軸受として空気静圧軸受があり、最近のほとんどのスライサー、ダイサーには空気静圧スピンドルが使用されている。

溝加工用超精密NC研削盤の機能上VTR用ヘッドのトラック溝加工のように微細なピッチで数時間にわたって連続して加工が行なわれることから空気静圧軸受といえども図8に示すように静圧軸受部の狭い軸受隙間の中での空気の剪断による発熱があり、駆動用の電動機が発熱と合せて熱変形の原因となる。

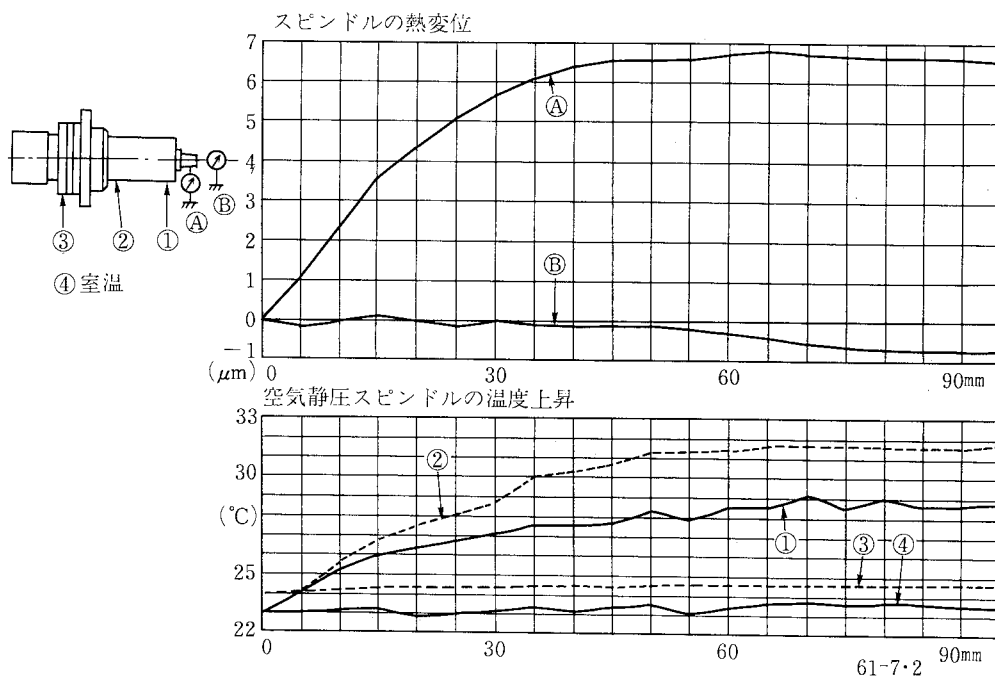


図8 φ60超精密空気静圧スピンドルの発熱と熱変形 回転数：15,000rpm

主軸の伸びは長時間にわたる溝加工ではピッチ誤差の原因となるため主軸の材質、スピンドルの構造、冷却等によって極力少なくしなければならない。

高速回転する空気静圧軸受での発熱対策として下記に示すことが考えられ、これらを実行することによって図8に示したような発熱、伸びも少ないスピンドルを得ることができる。

- (a) 軸径をできるだけ細くする
- (b) 軸受隙間を大きくする
- (c) 空気流量を増やす
- (d) 主軸の面粗さを高める
- (e) 排気をよくする
- (f) 冷却する
- (g) 低熱膨張材料を使用する

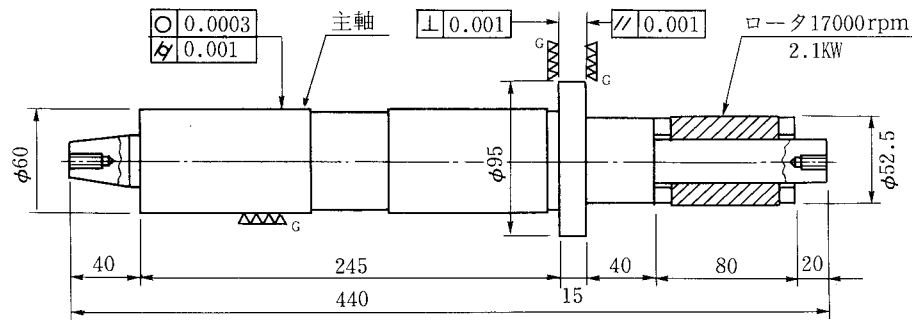


図9 φ60超精密空気静圧スピンドルの主軸形状と精度

高速に回転するスピンドルの駆動方法としてベルト駆動ではベルトがスリップし、ベルトの走行により振動が発生するため図7に示したように主軸にロータをビルトインする方法が最適である。

ビルトインする電動機は高速回転と高出力が得られる誘導電動機が適切であるが誘導電動機による駆動はロータのすべり、トルクリップル等に起因すると思われる低周波振動の発生があり、加工精度にも影響する。このような振動を少なくする対策として軸受剛性を高めることや主軸のアンバランス量を少なくすることが効果的である。

ビルトインされる電動機の出力的については加工内容によって変えなければならないが図7に示したスピンドルでは12,000rpmで1.5kwの出力が得られ70mm幅の総形砥石を使用した加工でも十分余裕があり、4mm厚のジルコニヤを0.3mm厚の6枚組のマルチ砥石で50mm/min送りの切断が可能であった。

高速回転するスピンドルで振動を抑え、高精度を得るには回転体のアンバランス量をいかに少なくするかにかかっている。

図9に示す主軸ではロータのアンバランス量が大きく、まず、動釣合試験機でロータ単体のアンバランス量を修正し、次いで、主軸に取付けた状態(図9の状態)でさらにアンバランス量を修正する。ロータ単体、図9の状態では0.1g/2,000rpmの修正が限界であり、その後は図7の状態に組立て、ビルトインされた電動機で回転させ使用回転数でアンバランス量を修正する。

このためスピンドルは組立てた状態で二面修正ができる構造(図10参照)でなければならない。また、使用状態では砥石、砥石フランジによってアンバランスを生じることもあり、砥石フランジにも図11に示すようなアンバランス修正のためのねじが必要である。アンバランス量の修正はねじ穴にアンバランス量に相当するねじおもりを挿入する。

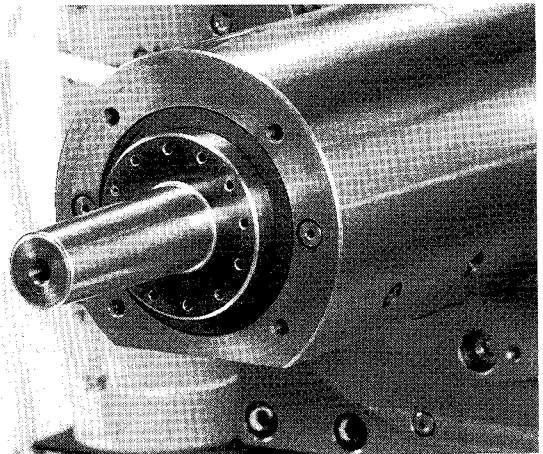


図10 主軸端のバランス修正用ねじ

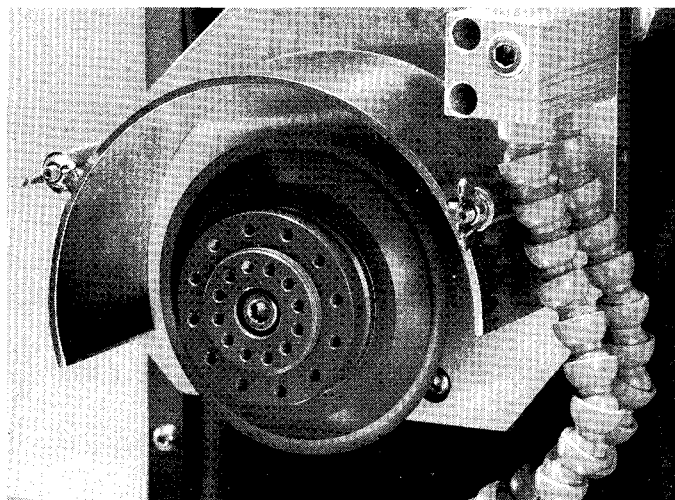
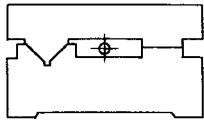
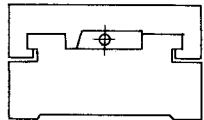
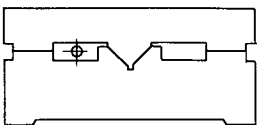
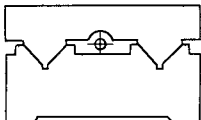


図11 アンバランス量の修正ができる砥石フランジ

(2) テーブル (X軸)

VTR、フロッピディスク、ハードディスク用のいずれの磁気ヘッドを見ても数mm以下の小さな部品であり、部品個々の研削面の真直性は機械精度（テーブルの運動精度）の影響をほとんど受けないと行ってよい。しかし、生産性向上を目的に治具に数10個を取付けて加工するためテーブルの運動精度としても高精度が要求される。

表2 すべり案内の形状と特徴

形 状	特 徴
(A) 	<p>研削盤、旋盤、測定器等で最も多く使用されている案内の形状であり、拘束面が3面であることから製作も比較的容易である。</p> <p>但し、左右の案内の摺動抵抗が異なることから送りねじ等の駆動位置によるヨーイング誤差、移動による油膜の厚さの変化でV、平案内での浮き上がり量が異なるためローリング誤差を生ずる等の欠点がある。</p>
(B) 	<p>最も製作が容易であり、平面研削盤等機械加工のみで仕上げることができるが、ヨーイングを規制する案内内部には必ず、すき間があり、ヨーイング誤差が生じる。フライス盤、横中ぐり盤の案内としては多く使用されているが高精度を目的とした案内としては摺動抵抗と駆動位置を一致させることはできず使用例は少ない。</p>
(C) 	<p>摺動抵抗によるヨーイング誤差と油膜の厚さの変化によるローリング誤差は生じないが摺動抵抗のバランスする位置と駆動位置を一致させることができずこれによるヨーイング誤差が生じる。また、拘束面が4面あることから製作には時間がかかる。</p>
(D) 	<p>左右の案内面の摺動抵抗は等しく、その中央で駆動することができるためヨーイング誤差が生じにくく、両案内面の面積も等しく摩擦も均一となり理想的な案内といえる。</p> <p>ダブルV案内は左右対称であるため水平面に180°旋回させ当りを確認することにより自己補正が可能である。但し、4面の当りが均一になるようすり合せを行うには熟練した技能と長い時間を要する。</p>

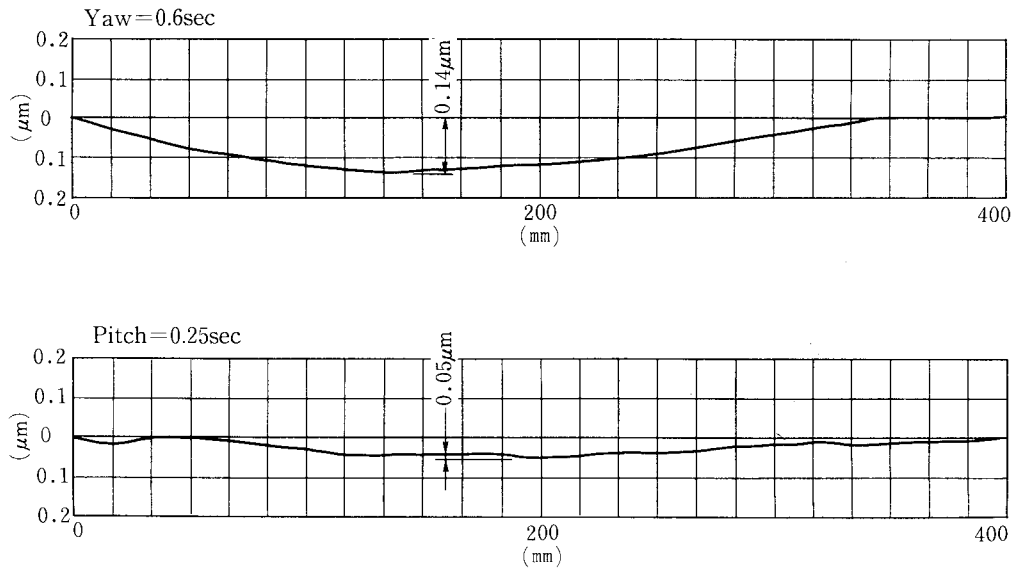


図12 テーブル運動の真直度（X軸）光電式オートコリメータを使用

また、被削材が硬脆材料であるため研削によるチッピングが生じやすく、テーブルの軸受としてはスティックスリップや振動を少なくするため種々の工夫がされており、空気静圧案内、油静圧案内、ころがり案内、すべり案内が使用されている。

筆者らは溝加工用超精密NC研削盤のX軸に空気静圧案内を使用し、良好な結果を得た経験もあるがUSM-200Aの設計に当っては、同等な性能を有し、苛酷な使用条件に耐え、低価格で製作できる案内としてV-Vすべり案内を採用した。

V-Vすべり案内は他のすべり案内に比べ表2に示すような優れた特徴があるが、製作が難しいため使用例が少なくなり、高精度が得やすい空気静圧案内、油静圧案内の使用が多くなったがコスト高はいなめない。

テーブルの駆動はボールねじを使用し、サーボモータを直結しているが1 mm/minの低速送り量に対してもスティックスリップのないなめらかな送りが可能である。

テーブルの運動精度の測定はオートコリメータ、直定規を併用して行っており、水平面内真直度の保証値0.2 μm/300mmを評価する測定方法としては各種の矛盾を含んでいることを前提としてオートコリメータを使用している。

テーブルの駆動方法としては低速域の送りを安定させるため送りねじを使用することが多いが、おねじとめねじの心違いやおねじの曲りによってテーブルの運動精度を損なってしまうことがあり、ボールねじを使用する場合、ラジアル方向、アキシャル方向に拘束力が強く、この影響が大きい。

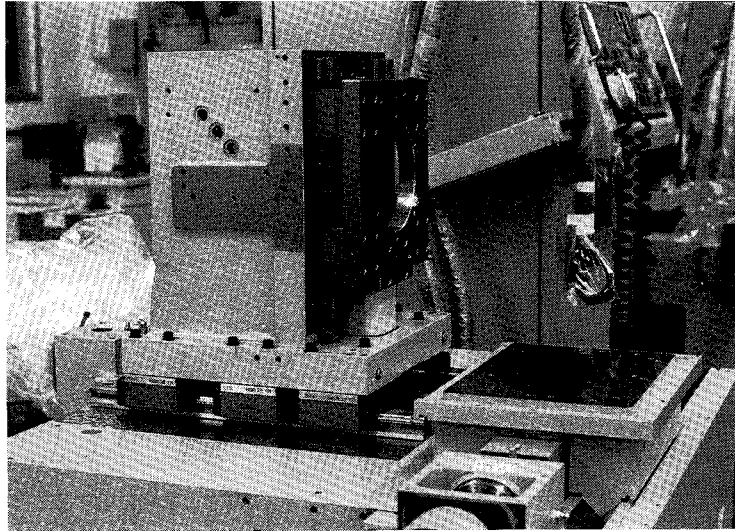


図13 Y、Z軸の案内面

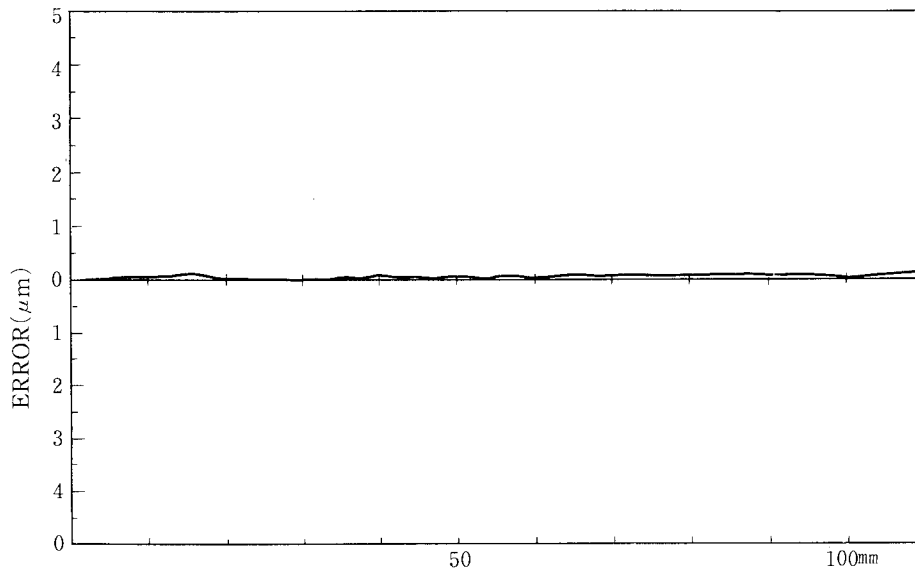


図14 Y軸の位置決め精度 (YHP5528使用)

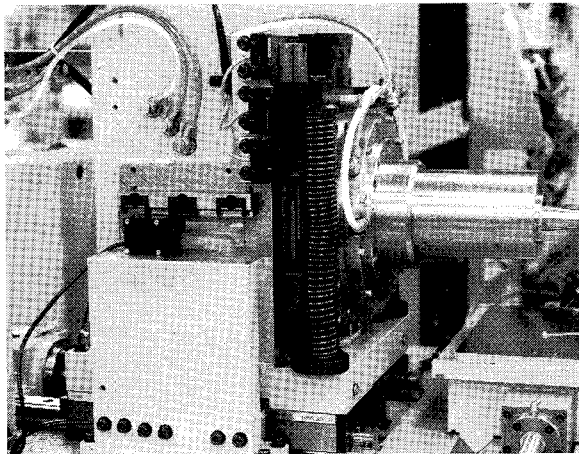


図15 スピンドル中心とスケール
取付位置の不一致

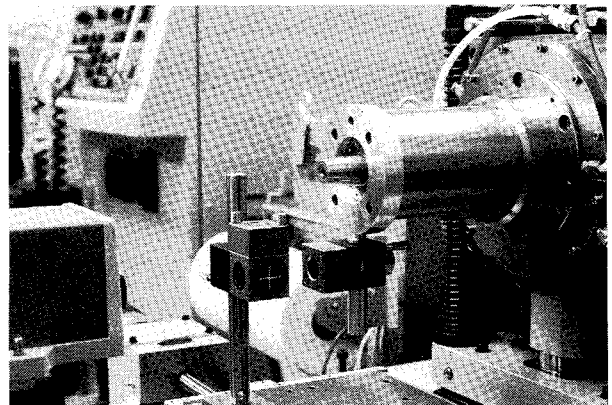


図16 レーザー測長機による位置
決め精度の測定と補正

USM-200Aはボールねじを使用しているが、めねじの取付面の精度(平面度、直角度)をすり合せで修正し、おねじとめねじの心違いを $2\mu\text{m}$ 以下に抑えることによってシンプルな構造で安定した高精度を得ている。

(3) 位置決め精度

X軸(テーブル)に関しては高精度でなめらかに運動することが重要であったが、Y軸(割出しコラム)に関しては高精度な位置決めが要求される。

薄刃のダイヤモンド砥石を用いて $0.2\sim 0.3\text{mm}$ の間隔で数10本の溝入れを行い累積ピッチ誤差が $\pm 1\mu\text{m}$ 以下であったり、図1に示したモノリシック形ヘッドのトラック幅の $10\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ を確保するためトラック幅を機上で測定し、目標の数値になるよう切込み等の作業を行うため、位置決め精度、くりかえし位置決め精度、 $0.1\mu\text{m}$ 単位でのスムーズな移動が必要とされる。

Y、Z軸はX軸と異なり位置決めされた状態で静止していること、微細な位置決めが必要であるところからUSM-200Aでは図13に示すようにY、Z軸にはころがり案内を使用している。さらにY軸には高精度(分解能 $0.1\mu\text{m}$)のスケールを用いたクローズドループ制御がされている。

図13に示したころがり案内ではレールの製作方法と組付け状態から垂直面内真直度は比較的高精度

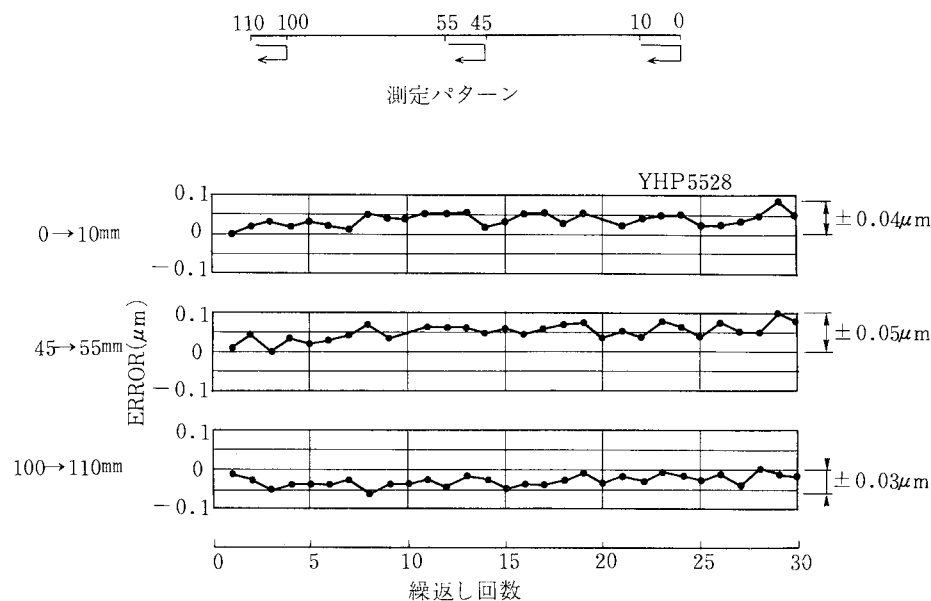


図17 Y軸の繰返し位置決め精度

が得られるが、水平面内真直度は入念に心出ししても $2\sim 3\mu\text{m}$ が限界である。

コラムの運動精度は当然位置決め精度に影響し、スピンドル中心とスケールの位置の不一致によるアッペの誤差も同様に影響する。

このためレーザー測長機を用いてピッチ誤差を測定し、NCのピッチ誤差補正の機能を利用して運動精度による誤差、アッペの誤差、スケールの誤差を補正する。ピッチ誤差を補正する時のレーザーの反射鏡の位置は図16に示すように砥石の加工位置と一致させ、上に述べた誤差の影響をさけている。

筆者らはレーザー測長機(YHP5528A)とパソコン(HP9122)と、機械の制御装置とをつなぎ、ピッ

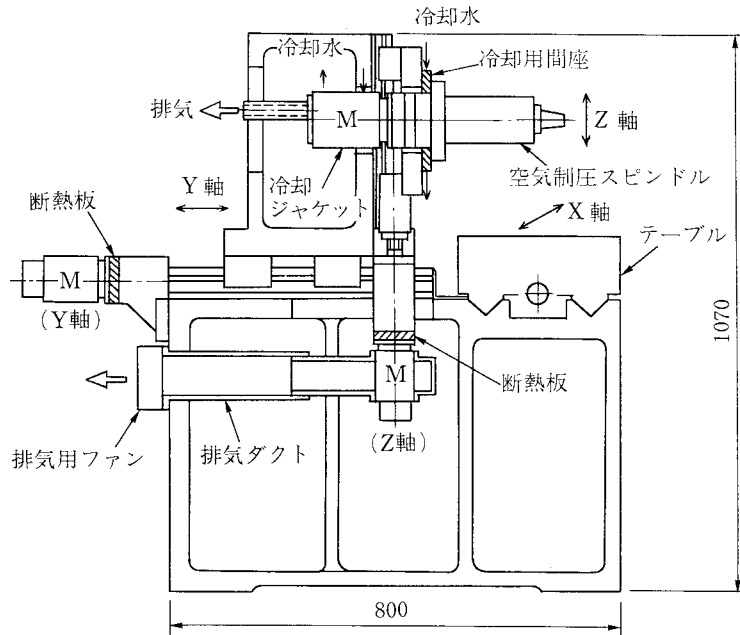


図18 溝加工用超精密NC研削盤の熱変位対策

チ誤差補正、計測を自動化し、短時間で補正、測定を行うことにより、精度と能率を向上させている。

Z軸に関しては最小設定単位も $1\mu\text{m}$ であり、エンコーダフィードバックとしている。しかし、V字形の砥石を使用して溝加工を行う場合、Z軸の繰返し位置決め精度のバラツキが溝幅に影響するため、Y軸と同様にレーザー測長機によるピッチ誤差補正を行っている。

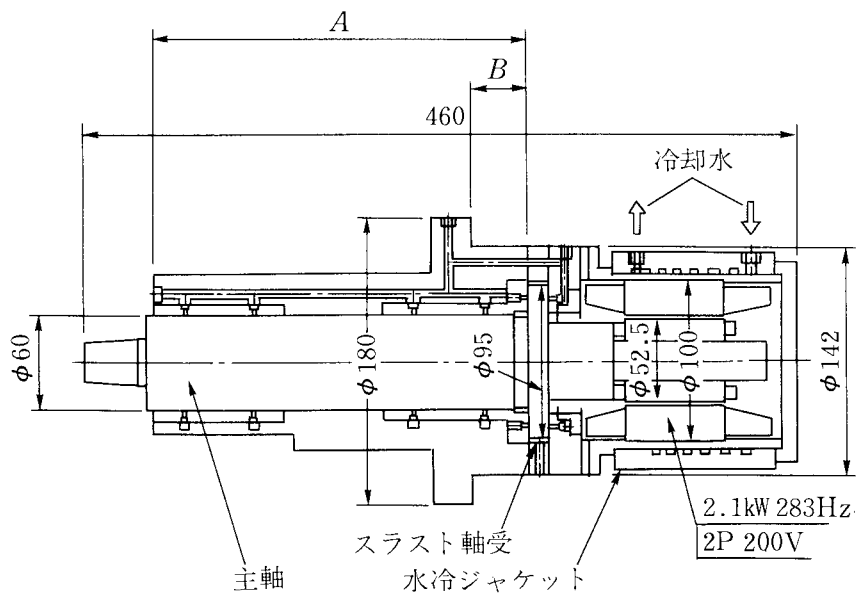


図19 超精密空気静圧スピンドンの伸び対策

(4) 熱的な安定性

静的な状態で高精度であっても、使用状態では各部に温度変化を生じ熱変形となって精度を損ってしまう。

熱変形の原因としてはスピンドルの発熱、駆動モータの発熱、研削熱、室温の変化等があり、これらに対して徹底した設計上の対策が必要である。

① スピンドルの発熱

溝加工用超精密NC研削盤のスピンドルは高速回転で長時間使用されるため空気静圧軸受部分の

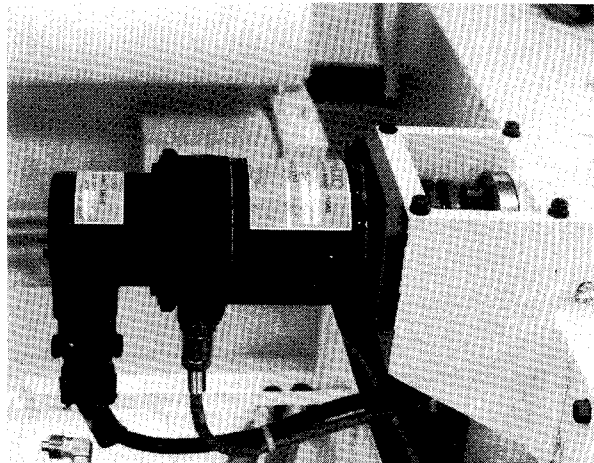


図20 断熱材による熱源の隔離

空気の剪断による発熱とビルトインされている電動機の発熱により図8に示したスピンドルの伸び、コラムの熱変形によるスピンドルの上方向への変化がみられる。前述したようにスピンドルの発熱を少なくする対策やスピンドル、コラムに低熱膨張材を使用する、ステータ部分を冷却する、水冷間座によりスピンドルからコラムへの伝熱を避ける、図19に示すようにスピンドルの伸びをキャンセルするような構造とする、冷却水・研削液の温度制御をする等の対策を施している。

② 駆動モータの発熱

X、Y、Z軸には夫々DCサーボモータがあり、発熱の原因となっている図18、図20に示すようにモータと機械本体の間には断熱材をはさみ、熱電動を避けると図に示すA、Bの寸法を主軸とハウジングの熱膨張の差によって決め伸びを補償するとともにモータは機械外部に配置し、Z軸のモータのようにベッド内部にあるものについてはファンモータで積極的にベッド内の空気を排出している。

③ 研削熱の除去

1,500~4,000m/minの周速で回転する砥石の研削点には大量の研削液が供給され、研削熱を除去し、回収された研削液は室温に同調した温度制御がされ、機械全体の熱変形を防いでいる。また、機械をコンパクトにまとめるため研削液供給装置をベッド内部に収納した機械も見られるが、熱的な安定性を得るためには図5に示したように外部に配置し、研削液も速やかに回収されなければならない。

④ 室温の変化

溝加工用超精密NC研削盤は超精密加工を目的とした機械であり、恒温工場に設置されているが、

一般的には空調装置のランニングコストを考慮して±2℃程度の温度差は許容せざるをえない。

このため機械として室温変化の影響を受けにくくする配慮が必要になり、構造物にも低熱膨張鋳鉄を使用することや、断熱カバーで室温変化の影響を少なくすること、コンパクトで左右対称形の機械とする(図21)、高さによる温度むらの影響を受けにくいよう背の低い機械にする等が考えられる。

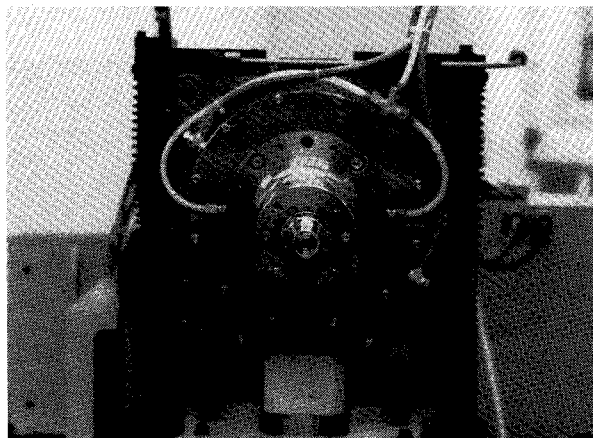


図21 左右対称構造

(5) 高精度加工のための周辺機器

高精度な機械の能力を引き出し、生産性を高めるために必要な周辺機器について述べる。

① 砥石フランジ

砥石と砥石フランジの精度不良(振れ)、アンバランスによって振動が発生する。砥石フランジは錆の発生しにくいステンレス鋼(比重7.9)で製作されてきたが、重量軽減のためチタン合金(比重4.5)が使用されるようになった。

しかし、チタン合金は高価であり、入手がむずかしいのと被削性が悪く精密加工がむずかしいと云う欠点を持っている。

筆者らはチタン合金より軽く、安価で精密加工も容易な高張力アルミニウム合金(比重2.8)を使用し、硬質アルマイト処理をすることで耐摩耗性を高め、傷の付きにくい高速、高精度用の砥石フランジとして使用している。

② チャック(マグネットチャック、真空チャック) 図22、図23

微細なワークピースはワックスで治具プレートに接着され、治具プレートを磁力・真空でチャック面に固定する。磁力を利用したチャックにはパーマネントチャック、電磁チャック、電永磁チャックがあり、発熱のある電磁チャックは水冷されることが多い。

これらのチャックは着脱を繰り返すことによって吸着面が変形し、頻繁に吸着面を修正する必要がある高精度加工には不向きである。

真空チャックはマグネットチャックのような変形もなく高精度加工用として使用されているが吸着力には制限があり、ワークピースを直接吸着する場合や小さな治具プレートでは使用できない場

合がある。

③ 加工後の観察および測定

ワークピースの心出し(図24)、砥石の合わせ、加工後のチッピングの有無の観察、ピッチ精度測定、寸法測定には光学式の顕微鏡(図25)が付属される。接眼レンズから直接のぞく方法からモニターテレビを使用する方法、さらにCCDを利用した画像処理による自動計測、補正へと発展しつつある。

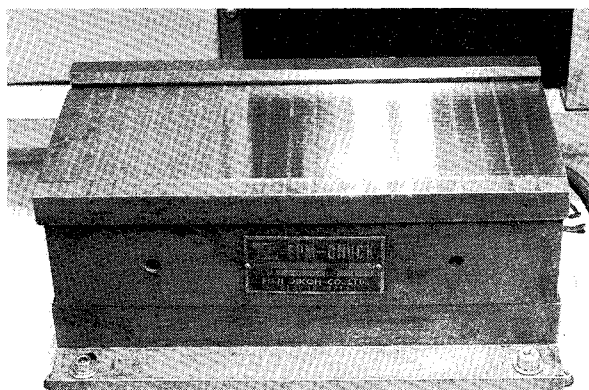


図22 電永磁チャック

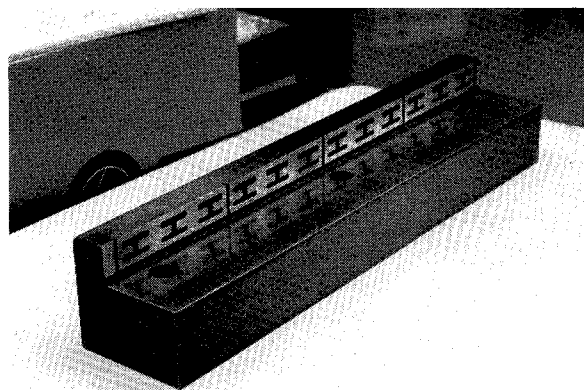


図23 真空チャック

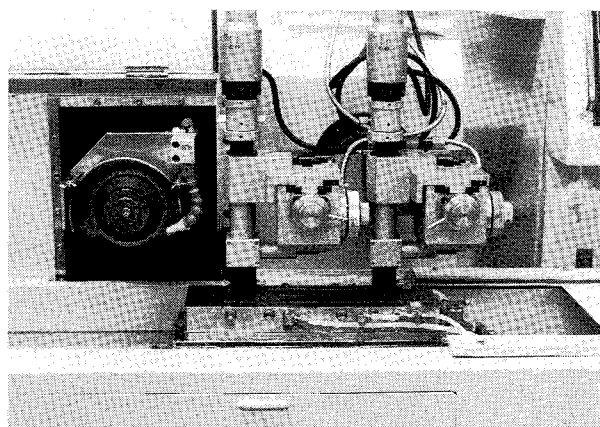


図24 2台の顕微鏡によるワークピースの心出し

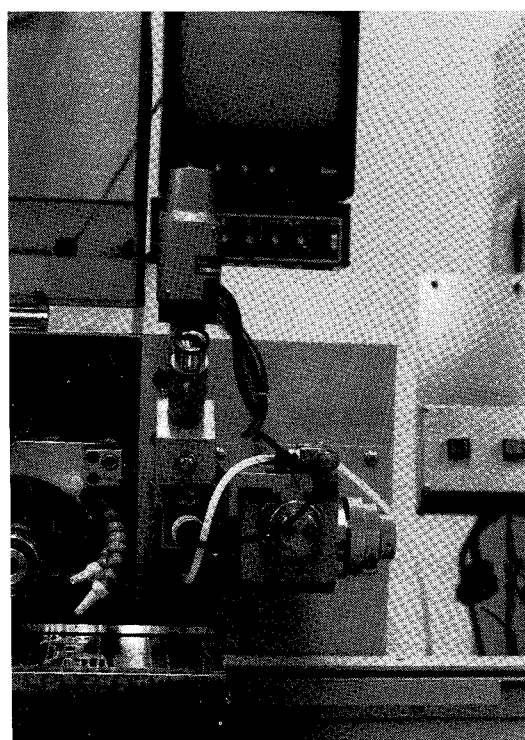


図25 測定観察用顕微鏡

3. 加工内容とダイヤモンド砥石

溝加工用超精密NC研削盤でのフェライト、セラミック等硬脆材料の加工は能率を重視した切断や総形加工からチップングやピッチ精度を重視した溝加工、面粗さやチップングを重視した鏡面研削と多岐にわたっている。

(1) 単刃研削

Y軸の位置決め精度に依存し、単刃で正確な位置決めによって溝加工を行う。10数本の溝加工を行った時の累積ピッチ誤差、単一ピッチ誤差、チップングが重視され、#2,000~4,000のメッシュサイズのレジンボンドのダイヤモンド砥石が使用されることが多い。研削は通常クリープ送りで行なわれる。

最近、CBN、その他の超硬度材料についての溝入れ、切断はレジンボンドのダイヤモンド砥石を使用し、1回の切込み量を少なく、テーブルの移動速度を早くするトラバース研削が効果的な加工方法として取り入れられつつある。

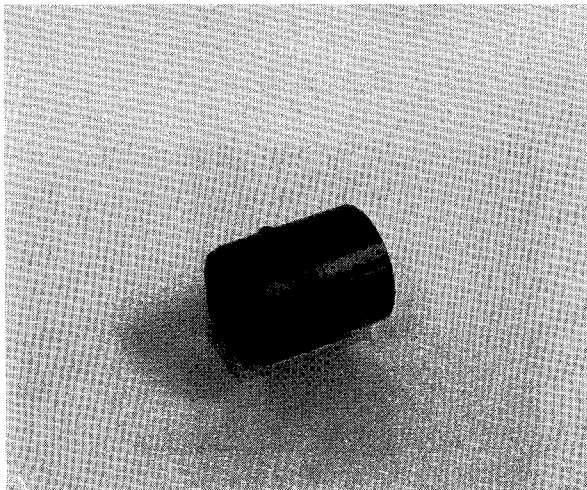


図26 単刃砥石 $\phi 52 \times 0.16t \times \phi 40$

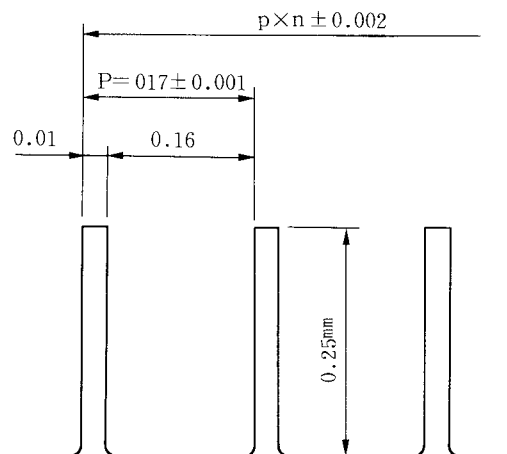


図27 単刃加工の一例

(2) マルチブレード研削（切断） 図28

Y軸の位置決め機能と複数枚の薄刃砥石を組合せて高能率研削を行う。切断加工ではワークピースをカーボン、ガラス、快削性セラミックにワックスで接着して完全切断した後加熱して1個1個に分離する。

(3) 総形研削

工程集約による能率向上を目的として図30、図31に示すような総形砥石を用いて形状の生成、切断を同時に行う。研削方式はクリープ送りである。

機械剛性、スピンドルの剛性、スピンドルモータの出力が大きいことが総形研削を行う条件である。

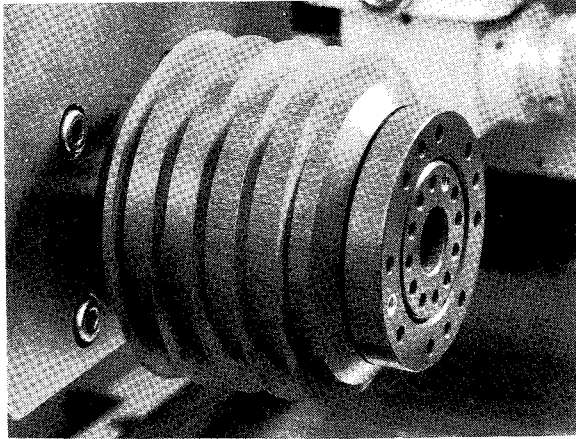


図28 マルチブレード砥石

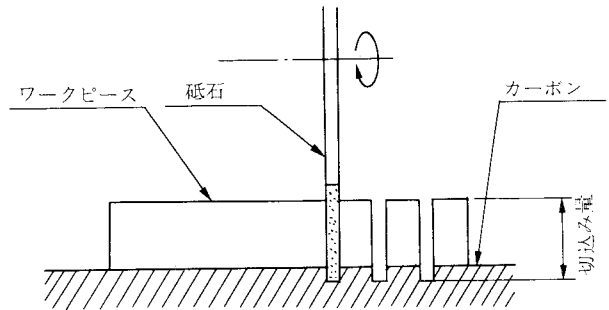


図29 薄刃砥石による完全切断

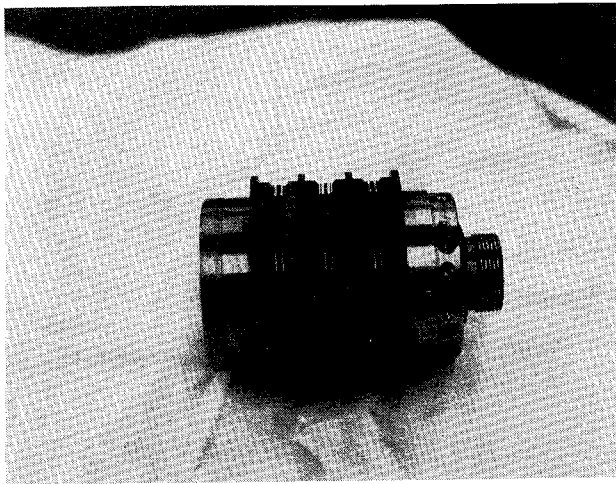


図30 総形砥石

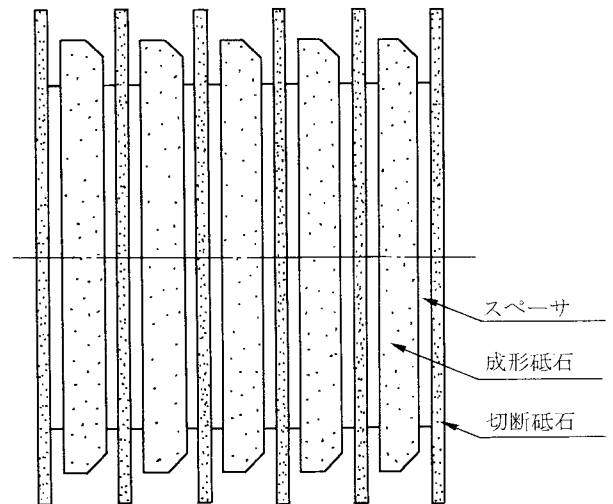


図31 総形砥石

(4) 鏡面研削

図1に示したモノリシック形磁気ヘッドのトラック幅を決めるための平面研削は面粗さ、稜線のチップングが重要視され超微粒(#4,000~#7,000)のレジンボンドのカップ砥石を使用し、クリーブ研削で行なわれる。

記録密度の向上にともなってトラック幅と寸法公差は微細化し、機械精度、治具精度を含め各種の磁気ヘッドの中で最も高精度な加工である。

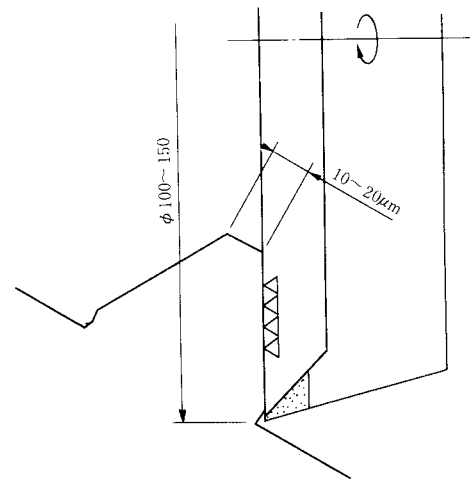


図32 カップ砥石による鏡面研削

資料1 ダイヤモンド砥石

1. ダイヤモンド・CBN砥石の構成要素

ダイヤモンド・CBN砥石の表示はIDAS (Industrial Diamond Association Standard、ダイヤモンド工業協会規格) により図33のごとく規定されている。ここに表示されている砥粒の種類、粒度、結合度、集中度、結合剤の種類がダイヤモンド・CBN砥石の重要な構成要素である。

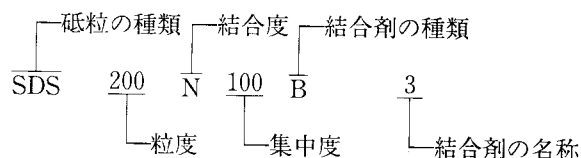


図33

2. 砥粒の種類

表3 砥粒の種類

砥粒の種類	記号
天然ダイヤモンド	D
合成ダイヤモンド	SD
金属被覆した合成ダイヤモンド	SDC
立方晶窒化ほう素	CBN
金属被覆した立方晶窒化ほう素	CBNC

3. 粒度

ダイヤモンド・CBN砥粒の粒度はJISB 4130に表4のごとく規定されている。JISに規定されているのはいわゆるメッシュサイズと呼ばれる粗粉だけであるが、実際にはミクロンサイズと呼ばれる微粉まで幅広く利用されている。

4. 結合度

砥粒と結合剤の度合いを示す指標でJISではNを中央値とし軟らかいものをHまで、硬いものをTまでの範囲で分けている。ダイヤモンド・CBN砥石の結合度は Al_2O_3 やSiC砥粒を用いる在来砥石の結合度ほど厳密には規定しておらず、同じ結合度でもメーカーの間で差がある。

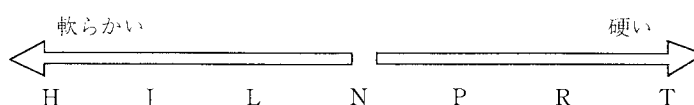


図34

表4 ダイヤモンド・CBN砥粒の粒度

表示粒度 メッシュ	JIS粒度 メッシュ	平均粒径 μm
16	16/ 20	1190
20	20/ 30	840
30	30/ 40	590
40	40/ 50	420
50	50/ 60	300
60	60/ 80	250
80	80/100	177
100	100/120	149
120	120/140	125
140	140/170	105
170	170/200	88
200	200/230	74
230	230/270	63
270	270/325	50
325	325/400	44
400		37
600		30
800		20
1000		15
1500		10
2000		8
3000		5

5. 集中度 (コンセントレーション)

砥粒層中にダイヤモンド・CBN砥粒がどれだけ含まれているか、すなわち砥粒率を示すものである。砥粒率が容積パーセントで25% (4.4ct/cm³)を集中度100と定義し、一般的には20~200の範囲で使用されている。

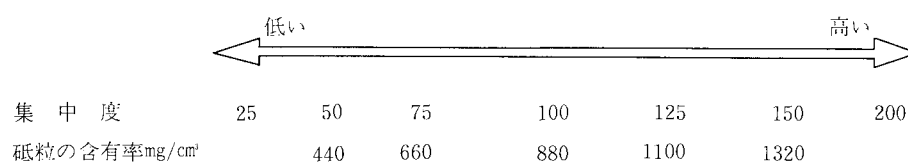


図35 集中度

6. 結合剤の種類

ダイヤモンド・CBN砥石に使用される結合剤は大別してレジンボンド（B）、メタルボンド（M）、ビトリファイドボンド（V）、電着法によるもの（P）に分かれている。

(1) レジンボンド

樹脂を主成分としフィラーと呼ばれる充填剤を加えたものである。樹脂は一般的にフェノール樹脂が用いられ、最近、耐熱性が優れたポリアミド樹脂も広く用いられるようになってきた。充填剤としては耐摩性、耐熱性、潤滑性の改善など必要とされる性能に応じてSiCやAl₂O₃粉末、銅や銀などの金属粉末、グラファイトや二硫化モリブデン粉末などが使用される。

レジンボンドはヤング率が小さいことが一番の特徴で、これが良好な工作物表面品位をもたらす。また、一般的に耐摩耗性は劣り、砥粒の保持力も小さい。このことは必ずしも欠点ではなく難削材の研削において良好な切れ味とそれを維持する効果がある。一番の欠点は耐熱性が劣ることで、これを補うため一般的には金属被覆した砥粒を用いる。

超硬合金、サーメット、高速度鋼などの金属材料はもとより、セラミックス、フェライト、ガラスなどの硬脆材料の研削に広い範囲で使用されている。

(2) メタルボンド

メタルボンドは銅、錫、銀、鉄、コバルト、タングステンなどの金属の単一成分または合金で構成され、SiC、Al₂O₃、グラファイトなどがフィラーとして用いられることがある。

耐摩耗性に富み砥粒の保持力も大きく石材、ガラス、陶磁器などいわゆる硬脆材料の加工には最も多く用いられている。砥石寿命が長いばかりでなく、これらの材料ではレジンボンドより研削性も優れている。

(3) ビトリファイドボンド

ケイ酸ソーダを主成分とするガラス質セラミックスボンドである。在来砥粒の結合剤として最も古くから利用されてきた結合剤であるが処理温度が高いためダイヤモンド砥石の結合剤として採用されることは少なかった。

最近、製法が改善されたこと、気孔を有する、ヤング率が比較的大きい、硬脆であることなどの特性による良好なドレッシング性が見直され、特にCBN砥石用の結合剤として脚光をあびている。

電着ボンド

メタルボンドの一種であり、ダイヤモンド・CBN砥粒を台金上に電気メッキで単一層を保持したものである。台金の制作が可能であれば比較的簡単に複雑形状の砥石を作ることができる。また、砥粒の保持力が大きく砥粒の突き出し量も大きくできるため他の結合剤と比べて多量の切屑を生成、排出する能力のある切れ味のよい砥石ができる。

一方、電着砥石は砥粒層が台金上の単一層であるため砥石のイニシャルコストが低い反面、砥石寿命が短く、砥粒切れ刃の高さが不揃いのため表面粗さが粗くなり粗加工用として用いられることが多かつ

た。制作時に他の結合剤のように熱が加わらないという製法上の特性を生かし、高精度の砥石の製造が可能になっており、用途が拡大している。

資料2 溝加工用超精密NC研削盤の仕様

1. 溝加工用超精密NC研削盤の仕様

表5

砥石軸		
超精密空気静圧スピンドル直径		60mm
回転数		300~25000rpm
高周波誘導電動機		3kW/25000rpm
テーブル (X軸)		
ワーク作業面の大きさ		150×300mm
テーブル移動距離		400mm
テーブル送り速度		1~1500mm/min
最小設定単位		1μm
テーブル上荷重		50kgf
ワーク割出しコラム (Y軸)		
コラム前後移動距離		110mm
コラム送り速度		10~1000mm/min
最小設定単位		0.1μm
砥石頭 (Z軸)		
砥石頭上下移動距離		80mm
砥石頭送り速度		10~1000mm/min
最小設定単位		1μm
数値制御装置		FANUC SYSTEM 10M
所要床面積		幅2000×奥行1200mm
機械本体重量		約1200kgf

2. 溝加工用超精密NC研削盤の保証精度

砥石軸の回転精度	ラジアル方向の心振れ	0.2μm
	アキシャル方向の心振れ	0.2μm
テーブルの運動精度	水平面内真直度	0.2μm/300mm
	垂直面内真直度	0.5μm/300mm
位置決め精度	繰返し位置決め (Y軸)	±0.1μm
	繰返し位置決め (Z軸)	±1.0μm

資料3 溝加工用超精密NC研削盤のNC仕様一覧表

表6 FANUC SYSTEM 10M-MODEL A 特殊仕様

No.	項 目	仕 様
1	制 御 軸	X、Y、Zの3軸
2	同 時 制 御 軸 数	同時2軸（早送り、切削送り） ただし、手動は同時1軸
3	設 定 単 位	最小設定単位 X、Y、 0.001mm Y 0.0001mm 最小移動単位 X、Y 0.001mm Y 0.0001mm
4	最 大 指 令 値	±99999.999mm
5	位 置 検 出	X、Y パルスコード Y リニアスケール
6	プ ロ グ ラ ム の 入 力	MDIのキーから入力
7	プ ロ グ ラ ム 記 憶 容 量	8,000文字分（テープ長換算で約20m）
8	プ ロ グ ラ ム 編 集 機 能	あ り
9	入 力 フ ォ ー マ ッ ト	G 02、XL+053、YL+053、ZL+053、 F053、H02、S05、H02、N04
10	小 数 点 入 力	あ り
11	自 動 加 減 速	あ り
12	準 備 機 能	Gコード一覧表による
13	補 助 機 能	Mコード一覧表による
14	主 軸 機 能	S5桁直接指令
15	シ ン グ ル ブ ロ ッ ク	あ り
16	オ プ シ ョ ナ ル ブ ロ ッ ク ス キ ッ プ	あ り
17	マ シ ン ロ ッ ク	あ り
18	フ ィ ー ド ホ ー ル ド	あ り
19	非 常 停 止	あ り
20	手 動 連 続 送 り	あ り
21	プ ロ グ ラ ム 番 号 サ ー チ	あ り
22	シ ー ケ ン ス 番 号 サ ー チ	あ り
23	バ ッ ク ラ ッ シ ュ 補 正	あ り
24	MDI 及 び CRT	あ り
25	手 動 ハ ン ド ル 送 り	あ り（オプション仕様）
26	記 憶 形 ピ ッ チ 誤 差 補 正	あ り（オプション仕様）
27	カ ス タ ム マ ク ロ	あ り（オプション仕様）
28	RS 232 C インターフェイス	あ り（オプション仕様）

資料 4 . 溝加工用超精密NC研削盤の操作説明書

機械の操作方法について説明する。機械の使用に当っては、本説明書を熟読の上、安全に操作すること。

なお、NC装置については日常的に使用するものについてのみ書かれているので、詳細は、NCメーカー発行の取扱説明書を参照する。特に、NCプログラムによる自動運転については、加工方法によっていろいろ操作方法が変わるので、使用の前に必ず一読すること。

(1) 運転準備

は押ボタンを意味する。

表 7

No.	項 目	内 容
1	電源の投入（注 1）	1) 主電源スイッチON、ランプ点灯 (別置制御操作盤) 2) エアドライヤ電源スイッチON (別置制御操作盤) 3) NC電源押ボタンON (別置制御操作盤) 4) 非常停止押ボタンRESET (別置制御操作盤) 5) <input type="checkbox"/> CNTRL ON 押ボタンON (別置制御操作盤)
2	油空圧回路の点検	1) 各部の圧力計が所定の圧力を指示していること。 2) 潤滑油、及び研削液が不足していないこと。 3) エアフィルタのドレン抜きを確実に行うこと。
3	原点復帰（注 2）	1) モードセレクトスイッチをREF ZERO位置にする。 2) 各軸の位置が、原点から（+）側最低40mm以上離れていることを確認する。 3) <input type="checkbox"/> REF ZERO 押ボタンを押すと、ボタン内のランプがフリッカーし、機械はZ軸、Y軸、X軸の順序で早送りで原点方向へ動く。 4) 全軸が原点復帰完了すると、ランプは点灯したままとなり、その後軸移動すると消灯する。
4	主軸の慣し運転	加工作业前に、最低30分間の主軸慣し運転を行い、異状音などが発生しないことを確認すること。 精度上からも慣し運転は必要。

注 1) 電源の切断は操作パネルの非常停止ボタンを押した後、3) → 2) → 1) の順にスイッチを切る。また、主電源スイッチとエアドライヤ電源スイッチは同レベルにあるので、主電源を切ってもエアドライヤ電源スイッチを切らなければエアドライヤだけを運転することができる。通常は、エアドライヤ電源スイッチは入れたまま切らない。なお、エアドライヤはエアドライヤ電源スイッチONの後、2分間経過してから運転を開始する。

エアドライヤが付属しない場合は、2) エアドライヤ電源スイッチは操作不要。

注 2) ① 原点復帰動作中に機械を停止したい時は、送り停止ボタン を押す。

再起動は、 REF ZERO ボタンを押す。また、原点復帰モードで各軸の⊖手動送りボタンを押すと、押した軸の原点復帰が完了していれば、 REF ZERO ボタンのランプが点灯するので、原点復帰完了の確認ができる。

- ② 原点復帰動作前に、各軸を低速（500mm/min程度）で慣し運転を行うこと。また、原点復帰を行わないとソフトリミットが生かされないのでそのまま動かすと、非常限リミットを踏むことになり危険である。また、NC運転も原点復帰前に行うことができないので十分注意すること。なお、間違っって非常限リミットを踏んでしまった場合は、手動モードでその非常限と反対方向の軸移動ボタンを2秒以上続けて押す。最低40mm以上動いたら止めて、原点復帰を行う。

注3) 付属品の取扱い

付属品については、各メーカー発行の説明書を参照すること。

(2) 手動運転

付図を参照。











は押ボタン、 を意味する。

表8

No.	操作項目	モード 切換	操作ボタンまたは ダイヤル	運 転 内 容
1	主軸運転	MPG 		主軸は時計方向に連続回転する。
				主軸は停止する。
				このボタンを押した時はSPINDLE SPEEDダイヤルが有効。 このボタンを押さないで運転すると現在入力されているSコードの速度が有効になる。
			SPINDLE SPEED ダイヤル	このダイヤルの切換により主軸回転を変速できる。
				注) 主軸の寸動運転はできない。
2	ジョグ 送り運転	MPG 	  	各軸の(-)方向に寸動で動く。
			  	各軸の(+)方向に寸動で動く。
				注) このボタンを押している間、MPG軸選択スイッチ及びMPGダイヤルは無効になる。
			FEED RATE ダイヤル	選択した速度で動く。 ただし、コラム(Y)、砥石頭(Z)については1000mm/minでクランプする。
			  	各軸の(-)方向に連続で動く。
			  	各軸の(+)方向に連続で動く。
				送り停止する。

No.	操作項目	モード 切換	操作ボタンまたは ダイヤル	運 転 内 容
			FEED RATE ダイヤル	選択した速度で動く。 ただし、コラム(X)、砥石頭(Z)については1000mm/ minでクランプする。
3	MPG運転	MPG 	MPG軸選択 スイッチ	動かしたい軸と倍率を選択する。
			MPGダイヤル	選択した倍率で選択した軸が1パルスごとに動 く。
4	テーブル スベリ面 潤滑ポンプ 運転	全モード		ボタンを押すとランプ点灯し、潤滑ポンプが吐 出を繰り返し、潤滑油吐出検知スイッチがON した後停止する。 ポンプが5回吐出を繰り返しても、検知スイッ チがONしない場合はアラームとなる。
5	割出台 クランプ	全モード		クランプする。
				アンクランプする。
				注) 手動モードでクランプあるいはアンクラン プを選択し、そのままの状態NCモード にすることはできる。ただし、一旦NCモー ドになると手動ボタンで切替えることはで きない。 なお、本機能は割出台 (オプション) が付 属する場合のみ有効なので、仕様説明書に より確認すること。
6	クーラント運 転	全モード		ボタンを押すとクーラントポンプのみ運転する。 再度ボタンを押すとポンプ停止する。 クーラントポンプを運転し、ノズルより吐出す る。 クーラント停止する。ただし、ポンプは運転を 続行する。
				
7	真空チャック 操作	全モード		押ボタンを押すと真空ポンプのみ運転する。再 度ボタンを押すとポンプ停止する。
				チャックする。真空ポンプが運転されんない 場合は、自動的に運転される。
				アンチャックする。

No.	操作項目	モード 切換	操作ボタンまたは ダイヤル	運 転 内 容
				注) なお、本機能は真空チャック(オプション)が付属する場合のみ有効なので、仕様説明書により確認すること。
8	非常停止	全モード	非常停止 押ボタン 	手動、自動を問わず全てのモードに於いて押ボタンにより全ての機能を瞬時に停止する。 このボタンを押すと押した状態でロックされる。 解除したい時は矢印の方向にボタンを回す。

(3) 自動運転

下図を参照すること。自動運転の前に必ず全軸原点復帰を行う。

なお、NC装置の操作に関しては、詳細はFANUC SYSTEM 10M-MODEL A取扱説明書を参照のこと。日常使用するもので最低限必要なことだけを説明する。

はボタンを意味する。

○内の番号は、操作順序を示す。

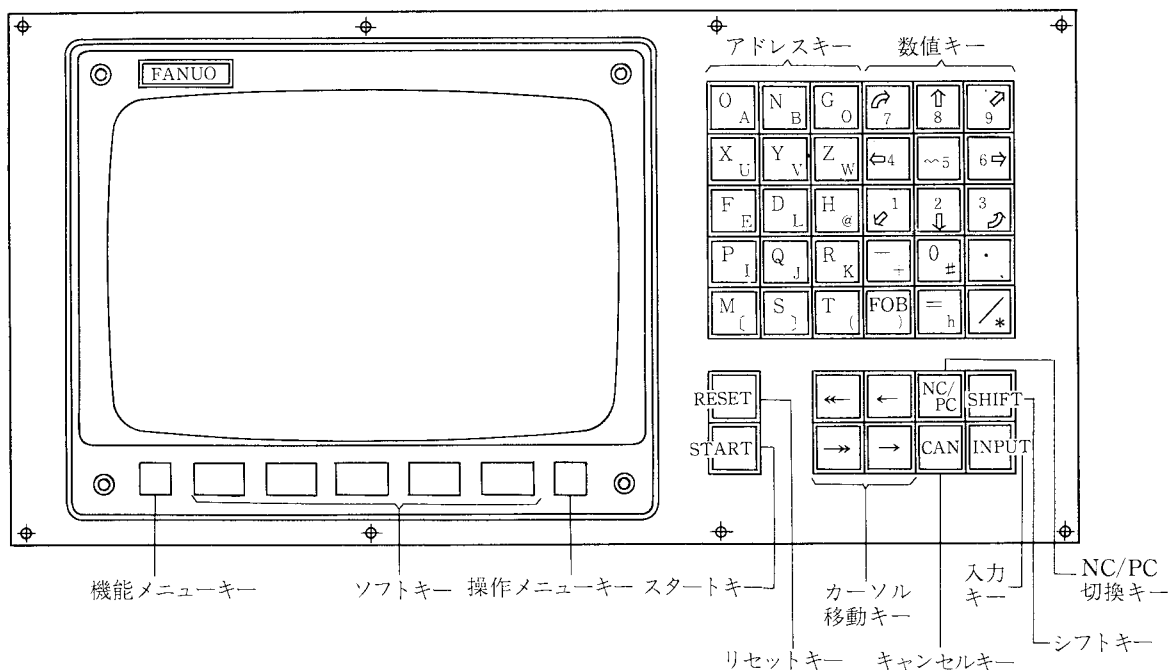








図36 FSIOM・A用小形MDI/CRTパネル

表 9

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ダイヤル	運 転 内 容											
1	MDI運転	MDI	① <input type="checkbox"/>	機能メニューキーを押してソフトキーを機能選択キーにする。											
			② PROGRAM <input type="checkbox"/>	プログラムのテキストを表示する画面にする。											
			③ <input type="checkbox"/>	操作メニューキーを押してソフトキーを操作選択キーにする。											
			④ データ 入力キー	運転したい内容のプログラム1ブロック分を入力する。 例) X軸を早送りで100mm動かす場合 INSERT <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>G</td><td>0</td><td>0</td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>X</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>.</td> </tr> </table> INSERT <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>EOB</td><td><input type="text"/></td> </tr> </table> このように順に入力する。	G	0	0	<input type="text"/>	X	1	0	0	.	EOB	<input type="text"/>
			G	0	0	<input type="text"/>									
			X	1	0	0	.								
EOB	<input type="text"/>														
⑤ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>START</td></tr> </table> 又は <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>CYCLE START</td></tr> </table>	START	CYCLE START	プログラムがスタートする。												
START															
CYCLE START															
	注) MDI運転ではあくまでも1ブロック分のプログラムにより、運転するだけで数ブロックにわたるようなものは入力できない。														
2	自動運転	 プログラム番号選択スイッチによりプログラムを選択する場合	① <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>RESET</td></tr> </table>	RESET	NCがリセット状態になる。										
			RESET												
			② プログラム番号選択スイッチ	プログラム番号を選択する。											
		③ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>START</td></tr> </table> 又は <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>CYCLE START</td></tr> </table>	START	CYCLE START	プログラムがスタートする。										
		START													
		CYCLE START													
 キー入力によりプログラムを選択する場合	①	No.1の①～③を行う。													
	② プログラム番号選択スイッチ	0を選択する。													
	③ FW-SRCH <input type="checkbox"/>	FW-SRCHキーを押す。													

No.	操作項目	モード 切換	操作ボタンまたは ダイヤル	運 転 内 容
			④ (PROG#) <input type="checkbox"/>	キー入力バッファに0が入力され、サーチしたいプログラム番号の入力を促す。
			⑤ データ入力キー	実行したいプログラム番号をキーインする。 例) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 (No.1 2 3 4の時)
			⑥ EXEC <input type="checkbox"/>	サーチが実行される
			⑦ <input type="checkbox"/> CYCLE START	プログラムスタートする。
				注) 自動運転の場合、事前に実行するプログラムがNCに登録されていないなければならない。
3	フィード ホールド	MDI 	<input type="checkbox"/> FEED HOLD	送りは減速停止する。 ドウェル実行中の時はドウェルを休止する。M, S, Tの動作は実行された後停止する。
4	シングル ブロック		① <input type="checkbox"/> SINGL BLOCK	シングルブロック機能がONになり、1ブロッ ク実行後停止するようになる。
			② <input type="checkbox"/> CYCLE START	次のブロックを実行後停止する。
5	オプション ブロック スキップ		<input type="checkbox"/> OPTNL SKIP	プログラム中の/ (スラッシュ) を含むブロッ クの指令を無効にする。
6	マシン ロック	全モード	<input type="checkbox"/> HACHN ROCK	機械は動かずに表示だけがされる。 プログラムのチェックに使用する。 但し、M, S, Tの機能は実行される。
7	オーバ ライド	MDI 	OVER RIDE ダイヤル	切削送りに対して0～150%の範囲でオーバ ライドが有効。 Fコードで指令した送り速度に対して10%毎に 加減できる。





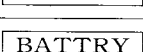
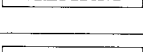
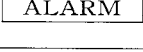










(4) 操作パネルの各種操作

日常的に使用するものだけを説明する。

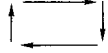
詳細はFANUC SYSTEM 10-MODEL Aの取扱説明書を参照のこと。

は押ボタン、 ※はランプを意味する。

表10

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ランプ表示	操 作 内 容
1	アラーム表示 およびリセット	全モード	NOTICE 	機能メニューキーを押した後、NOTICEキーを押してアラームメッセージを表示させる。
			 ※	NCアラームはCRT画面に表示され同時にパネル下部のNCアラームランプが点灯する。
			 ※	主軸モータ駆動用インバータの異状。(点灯) 主軸モータ冷却水量の不足。(点滅)
			 ※	オーバートラベルアラーム。
			 ※	停電時主軸ブレーキ用バッテリーがチャージされていない。
			 ※	研削剤装置の異状。 研削剤不足あるいは冷却機をチェックする。
			 ※	エアドライヤの異状。 ファンモータまたはコンプレッサの過負荷。
			 ※	主軸静圧異状。
			 ※	真空元圧異状。
			 ※	アラームの原因を除いた後、リセットする。
2	現在位置表示 およびリセット	全モード	① 	機能メニューキーを押す。
			② POSITION 	4種類の表示画面がある。 1) 総合位置表示 2) 相対座標系での位置表示 3) ワーク座標系での位置表示 4) 機械座標系での位置表示
			③ ORIGIN 	現在位置を0とする場合
			④   又は 	相対座標系又はワーク座標系の位置表示に於いて座標値が0にリセットされる。 全軸同時に0にしたい時はALL-AXSキーを押した後EXECキーを押す。
			⑤ EXEC 	

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ランプ表示	操 作 内 容
3	セッティング パラメータの 表示と設定	MDI	① <input type="checkbox"/>	機能メニューを押す。
			② SETTING <input type="checkbox"/>	SETTINGキーを押し、パラメータの画面を表示させる。
			③ <input type="checkbox"/> → ← <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> → ← <input type="checkbox"/>	設定したい項目にカーソルを合わせる。 <input type="checkbox"/> → と <input type="checkbox"/> → または <input type="checkbox"/> ← と <input type="checkbox"/> ← を同時に押すとページが切替る。
		MDI	④ <input type="checkbox"/>	操作メニューキーを押す。
			⑤ INP-No <input type="checkbox"/>	INP-Noキーを押し、希望するパラメータ番号をキー入力する。
			⑥ EXEC <input type="checkbox"/>	EXECキーを押す。
			⑦ <input type="checkbox"/>	操作メニューキーを押す。
			⑧ ON:1, OFF:0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> またはINPUT <input type="checkbox"/>	1, 0 のデータの場合はON:1またはOFF:0キー、1, 0 以外のデータの場合はINPUTキーを押し、データをキー入力する。
			⑨ EXEC <input type="checkbox"/>	EXECキーを押す。
4	プログラムの メモリへの登録	EDIT	① <input type="checkbox"/>	機能メニューキーを押す。
			② PRGRM <input type="checkbox"/>	プログラムのテキスト表示画面にする。
			③ <input type="checkbox"/>	操作メニューキーを押す。
			④ INSERT <input type="checkbox"/>	INSERTキーを押す。
			⑤ (PROG#) <input type="checkbox"/>	(PROG#)キーを押す。

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ランプ表示	操 作 内 容
			⑥ <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/>	プログラム番号を入力する。 (左記はプログラム番号1234の場合)
			⑦ EXEC <input type="text"/>	プログラム番号が登録される。
			⑧ 各ワードキー	以下プログラムをワードごとにキーインして INSERTキーにより登録する。
			⑨ INSERT <input type="text"/>	注) 各ブロックの終りに <input type="text" value="EOB"/> を入力する ことを忘れないこと。
5	プログラム 番号サーチ	EDIT または 	① <input type="text"/>	機能メニューキーを押してソフトキーを機能選 択キーにする。
			② PROGRAM <input type="text"/>	プログラムのテキストを表示する画面にする。
			③ <input type="text"/>	操作メニューキーを押してソフトキーを操作選 択キーにする。
			④ FW-SRCH <input type="text"/>	FW-SRCHキーを押す。
			⑤ (PROG#) <input type="text"/>	キー入力バッファに0が入力され、サーチした いプログラム番号の入力を促す。
			⑥ データ入力キー	実行したいプログラム番号をキーインする。 例) <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/> (No.1 2 3 4の時)
			⑦ EXEC <input type="text"/>	サーチが実行される。
6	プログラムの 削除	EDIT	① <input type="text"/>	No.4の①～③を行う。
			② DELETE <input type="text"/>	DELETEキーを押す。
			③ PROGRAM <input type="text"/>	PROGRAM-を押す。
			④ (PROG#) <input type="text"/>	(PROG#)キーを押す。

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ランプ表示	操 作 内 容
			⑤ <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</div> </div>	プログラム番号を入力する。 (左記はプログラム番号1234の場合)
			⑥ EXEC <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	EXECキーを押す。
7	全プログラムの削除	EDIT	① <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	No.6の①～③を行う。
			② ALL <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	ALLキーを押して全プログラムを消去する。
8	カスタム マクロ変数値 の表示と設定	MDI	① <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	機能メニューキーを押す。
			② SETTING <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	SETTINGキーを押し、マクロ変数の画面を表示させる。
			③ <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">←</div> </div>	表示、設定をしたいページを表示させる。
			④ <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">→→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">←←</div> </div>	設定したい変数番号の位置へカーソルを移動させる。
			⑤ <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	操作メニューキーを押す。
			⑥ INPUT <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	INPUTキーを押す。
			⑦ データ入力 キー	設定値をキーインする。
			⑧ EXEC <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	変数値が入力される。
9	プログラム 編集 (ワードの挿入) 変更消去方法	EDIT	① <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	機能メニューキーを押す。
			② PROGRAM <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	プログラムキーを押して、プログラムのテキスト表示画面を表示させる。
			③ <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	操作メニューキーを押す。
			④ FW-SRCH <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div>	FW-SRCHキーを押す。

No.	操作項目	モード 切換	押ボタンまたは ランプ表示	操 作 内 容
			⑤ (PROG#) <input type="checkbox"/>	(PROG#)キーを押し、編集したいプログラム番号をキー入力する。
			⑥ EXEC <input type="checkbox"/>	EXECキーを押す。
			⑦ 	変更したいワードをサーチする。 挿入、変更又は消去によってサーチする場所が違う。 以下に説明する。
			⑧ INSERT <input type="checkbox"/>	前記により挿入したい場所の直前のワードをサーチした後、INSERTキーを押す。
			⑨ WORD <input type="checkbox"/>	WORDキーを押した後、挿入したいワードをキー入力する。
			⑩ EXEC <input type="checkbox"/>	EXECキーを押すと、サーチしたワードの次に挿入される。
			⑪ ALTER <input type="checkbox"/>	⑦により、置換えたいワードをサーチした後、ALTERキーを押す。
			⑫ WORD <input type="checkbox"/>	WORDキーを押した後、新しいワードをキー入力する。
			⑬ EXEC <input type="checkbox"/>	EXECキーを押すと、サーチしたワードが新しいワードに置換わる。
			⑭ DELETE <input type="checkbox"/>	⑦により、消去したいワードをサーチした後、DELETEキーを押す。
			⑮ WORD <input type="checkbox"/>	WORDキーを押すと、サーチしたワードが消去される。
10	リセット	MDI  EDIT	<input type="checkbox"/> RESET	アラーム解除に使用できる。 NCをリセットする。これによりNCの指令がイニシャル状態になるものがあるので、注意すること。 また、MDI運転又は自動運転中にこのボタンを押すとトラブルのもとになるので、できるだけやめること。 詳細はNCの取扱説明書を参照のこと。

資料5 溝加工用超精密NC研削盤 (USM-200A) のメンテナンス・カレンダー
(M/Cオペレータ用)

表11

*印は特別付属品として付属する場合

	点検調整箇所	作業内容	毎日	毎週	毎月	六ヶ月	一年	備考	
* 機	テーブル回り	清掃	○					ふき取、掃除機使用	
	主軸回り								
	カバー内換気ファン	清掃・交換			○	○		ファンふき取 フィルタ交換	
	テーブルV-Vスベリ面	給油	○					給油押ボタン 〔TABLE LUB〕	
	Y, Z, 案内潤滑	① 全ストローク移動 ② 給油 (グリス)	①			(②)	②	給油配置図 (取扱説明書)	
	X, Y, Z, ボールネジ ベアリング								
	潤滑油タンク	油補給			○			油面を見て、適宜補給	
	同上ドレンロ	油抜き		○				空圧ユニット内のドレン コック開閉 油面は油窓中心以下	
	本	圧力計	設定圧(銘板記載)確認	○					空圧ユニット前面および 側面の圧力計
	* 体	フィルタ目詰り (差圧計)	点検 (差圧0.7kgf/cm ²)	○					油空圧機器配置図 (取扱説明書)
空気圧用フィルタ		点検、水抜き	○						
バキューム用フィルタ		水抜き	○					アンチェック押ボタン	
DCモータブラシ		点検					○	NC保守説明書	
* 注 水 装 置	研削液液面	点検、研削液補給	(○)	○				液面計を見て適宜補給	
	ペーパーフィルタ	交換		(○)	(○)				
	カートリッジフィルタ	圧力計点検、交換		(○)	(○)			注水装置 取扱説明書	
* 別 置 操 作 ・ 制 御 盤	換気ファン、フィルタ	清掃			○	○		ファン：ふき取、掃除 機使用 フィルタ：洗濯	
	押ボタン、ランプ	ランプチェック	○					操作パネルのボタ ンを押す <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ALARM RESET</div>	
	停電時主軸制動用 バッテリー	① メータ点検 ② バッテリー液点検補給	①			②		別置操作、制御盤 (取扱説明書)	
	NCバッテリー	交換					○	NC取扱説明書	

資料6 WAX選択表

表12

ワックスの 選択表 Selection of WAX	軟 化 点 ℃ Softening Point	接 着 力 kg/cm ² Adhesive strength	作 業 温 度 ℃ Working Temp.	加 工 内 容 Process							表 面 保 護 Surface Protect 磨	精 密 研 磨 Precision lapping	洗浄剤の記号 Dewaxing Solvent	備 考
				カ ッ テ ィ ン グ Cutting	ス ラ イ ジ ン グ Slicing	ラ ッ ピ ン グ Lapping	ポ リ ッ シ ン グ Polishing	ダ イ シ ン グ Dicing	サ ン ド ブ ラ ス ト Sand Blast	エ ッ チ ン グ Etching				
洗 剤 可 溶 W A X	アドフィックス ADFIX	75	162	120 ↓ 140	◎	◎			○	○			CLAIL NORMAL-A RUNGEL NaOH3%aq Mt.	
	アドフィックスA ADFIX-A	71	170	120 ↓ 140	◎	◎			○	○				
	ローディング WAX LOADING WAX	70	52	90 ↓ 120	◎		△							
	AAR-30	68	44	90 ↓ 120	◎		△							
	ベースWAX P-25 BASE WAX p-25	60	31	90 ↓ 120	◎		○							
有 機 溶 剤 可 溶	ステップWAX STEP WAX	78	17	100 ↓ 130	◎		○		○				AC・MEK MC・Mt・C	
	フタリックグルー PHTALIC GLUE	69	43	80 ↓ 100	◎		○		○	○			AC・MEK	
	シービーWAX CB WAX	66	16	80 ↓ 100	○		○		◎				AC・MEK MC・C	
	ホワイトWAX WHITE WAX	130	147	160~	◎	○			○				MC	
塩 素 系 溶 剤 可 溶	スカイWAX-M1 SKY WAX-M1	76	27	90	○		◎	◎	○			◎	TCE・C	
	スカイWAX 415 SKY WAX 415	76	25	90	○		◎	◎	○			○	TCE・C	
	ブルーフWAX PROOF WAX	77	50	140 ↓ 180	○		△		○	○	◎		TCE・C TO・MC	
	スロットWAX-M SLOT WAX-M	65	29	100	○		◎		○		△		TCE・C	
	メロウワックス MELLOW WAX	65	25	80	○		◎	◎				◎	TCE・C	
	ミクロンWAX MICRON WAX	57	17	70			◎	◎				◎	TCE・C DEVEAL	
	フラットローWAX FLAT LOW WAX	53	11	70			◎	◎				○	TCE・C DEVEAL	
	ホットマックス HOTMAX	86	27	100			○	◎			△	○	TCE	
プロテクトWAX PROTECT WAX	80 ↓ 120	7	100 ↓ 150						○	◎		TCE・ TO		
液 状 W A X	スカイリキッド SKY LIQUID	—	—	100 ↓ 140			◎	◎			○	◎	AC・MEK TCE・C TO MC Mt	
	スカイコート SKY COAT	—	—	100 ↓ 140			○	○			○	◎		
	プロテクトリキッド PROTECT LIQUID	—	—	100 ↓ 150						○	◎	○		
常 温 タ イ プ	Z-BOND Epoxy	—	250	常~100	○	◎			○				GELPEE	
	スカイボンド SKY BOND	—	190	常温	◎								AC・NORMAL -A	