

UDC 531.717.2:
681.2

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-283

三次元座標測定器の試作

染 谷 昭 夫

1975年8月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

三次元座標測定器の試作*

染 谷 昭 夫**

第 1 章 ま え が き

一連の本測定機構は $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$ 以内の加工精度が要求される風胴実験用翼模型、およびこれら模型製作用ゲージ（要求精度 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 以内）の断面輪郭座標をミクロンオーダの測定精度を以って 600 mm (X)、 500 mm (Y)、 200 mm (Z) の範囲にわたっての三次元測定ができる事を主な目的として設計されたものである。

一般に加工物の寸法精度を測定するとき、測定器の測定精度の希望値は加工物の精度目標値の約 10% であることが原則である。すなわち加工物の要求精度が 0.01 のオーダならば、それを測定する測定器の測定精度は 0.001 のオーダでなければならない。

従来から三次元的輪郭座標測定器は種々世に出ているが、いづれも専用機であり、プレス金型のような外面形状寸法測定用とか穴ピッチ測定等であり、その測定精度も高々 $0.03 \text{ mm} \sim 0.1 \text{ mm}$ 位までである。

また、当所において要求されるような広範囲の特殊測定（あらゆるサイズの風胴実験用翼断面形状測定、およびノズル等の如き内面形状測定等）はその機構上、従来の測定器、または市販の三次元測定器では全く不可能である。

その測定方式も電気マイクロメータや空気マイクロメータを応用したもの、および光学的方法のもの等種々あるが、本報告においては微少変位を測定するのに適した角偏位型非接着ストレーンゲージを応用したもの、および簡単な磁気検出器を応用したもの、2種について試作したものについて述べる。

両検出器共、定点検出精度 $\pm 0.3 \text{ ミクロン}$ 以内の高性能を有しており（定点検出精度検定結果表1、表3参照）

、またその触針軸には平行バネを採用し、軸間遊隙に起用する測定誤差を全く無くした方式をとった。

精度検定の結果、あらゆる条件に対して 3 ミクロン の総合測定精度を以って十分測定できる方式が確立された。

また上記の検出器を取付けて実際の測定を行うのに用

いられる三次元座標測定器本体も専用機ではなく汎用機として使用できるように設計した。

すなわち模型翼断面輪郭座標測定、外面形状寸法測定のみならずノズル内面の如き内面形状寸法測定も可能である。

また模型翼断面プロフィールゲージの座標測定が 600 mm (X)、 200 mm (Y) の範囲にわたって行えるようなアタッチメント（従来当所においては、ミクロンオーダで測定できるプロフィールゲージ測定器は 200 mm (X)、 25 mm (Y) の測定範囲の小型のものだけで不便であった）、およびプロフィールゲージ製作に必要なポンチング、ケガキ作業も高精度に行えるようなアタッチメントも同時設計製作した。

第 2 章 三次元座標測定器本体

（図1）は三次元座標測定器本体で、その見取図を（図2）に示す。

断面形状を測定する際、一般市販の三次元測定器の如き構造では検出器が測定物に接触して測定不能なため、図示の如き測定アームが前方に長く突き出しているような構造となった。

設計は詳細設計（組立図面、部品図面）まですべて当所で行い、製作は外註した。

その主要諸元を以下に示す。

（使用目的）

断面形状寸法測定。内面形状寸法測定。プロフィール

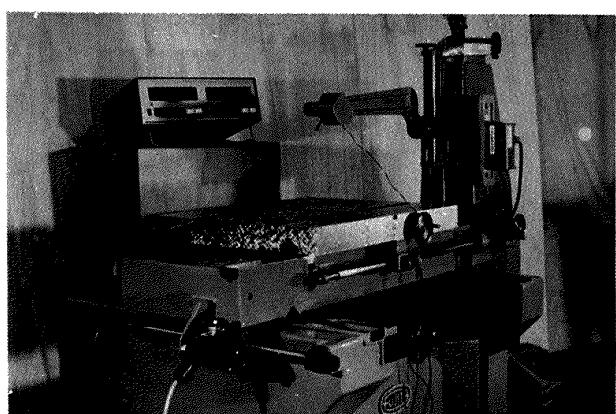


図 1 三次元座標測定器

* 昭和50年6月7日受付

** 計測部

ゲージ座標測定。穴位置（翼模型の静圧孔等）座標測定。
ポンチング作業、およびケガキ作業。角度測定。

ただしZ座標はX滑台上30mm～500mmの範囲内で
任意の200mmが測定可能である。

（測定範囲）

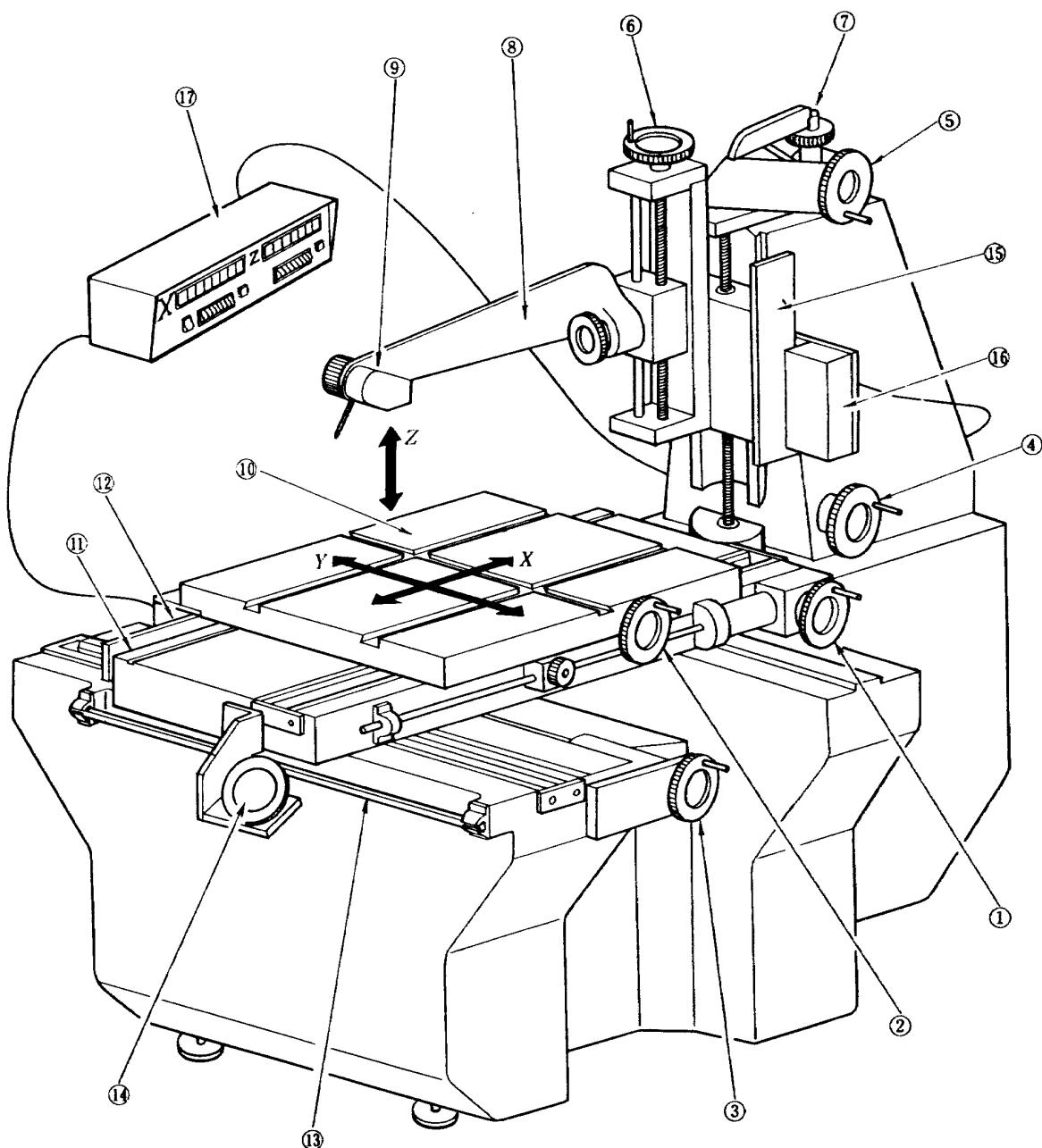
X座標 … 600mm

Y座標 … 500mm

Z座標 … 200mm

（読み取方式）

X座標 … オリンパス光学工業製、モアレ縞格子
スケールGR-600UX（精度±1μ/200mm），お
よび読み取ヘッドMLS21、カウンタCLP261による。



- (1)X方向微動ハンドル(0.1mm/1回転) (2)X方向早送りハンドル(9.4mm/1回転) (3)Y方向粗動
ハンドル(2mm/1回転) クランプをゆるめることにより手送り (4)Z方向微動送りハンドル(0.1mm/
1回転) (5)Z方向粗動送りハンドル(2mm/1回転) (6)測定アーム上下動ハンドル (7)カウンタウエ
イト支柱 (8)測定アーム (9)検出器 (10)X滑台 (11)Xスケール(モアレ縞格子スケール) (12)X座標読み
取ヘッド (13)Yスケール(鋼製) (14)Y座標読み取オブチカルリーダ (15)Zスケール(モアレ縞格子スケール)
(16)Z座標読み取ヘッド (17)XおよびZ座標表示カウンタ

図2 三次元座標測定器見取図

Y座標 … 東京光学工業製 鋼製スタンダードスケール, オプチカルリーダによる。

Z座標 … オリンパス光学工業製, モアレ縞格子スケール GR-201-A4 (精度±1 μ/200 mm), 読取ヘッドMLS11, およびカウンタCLP261による。

回転角度 … ソニーマグネスケール製 回転マグネスケールMSS201 (精度±5秒/360度)。

ただしXおよびZ座標測定値はアイダップ産業製ディジタルプリンタEP103型にて印字記録することができる。

(読取単位)

X座標 … 0.001 mm Y座標 … 0.01 mm

Z座標 … 0.001 mm 角度 … 3秒

(機構の精度) … 実測結果

X滑台 (600 mm×500 mm) の平面度 … 6 μ

Y滑台運動に対するX滑台運動の直角度
… 10 μ/500 mm

X滑台運動の蛇行度 … 垂直面内 3秒/600 mm
水平面内 10秒/600 mm

X滑台使用面とZ滑台運動の直角度

… XZ面内 5 μ/200 mm

YZ面内 3 μ/200 mm

Z滑台運動の蛇行度 … XZ面内 1秒/200 mm
YZ面内 5秒/200 mm

ただし上記の蛇行度とは、運動物体(X滑台またはZ滑台等)上にオートコリメータミラーを置き20 mmとびに運動物体を、その全ストロークまで送り、その時の運動物体の微少回転(蛇行)角をオートコリメータで連続測定した時の読みの最大差と定義した。

なお、各軸運動の案内機構としては、XおよびY滑台にはVミゾ案内面にポールベアリングをクロスに用いた。この案内方式ではテーブル運動は最も軽くスムーズであるが、ベアリング外輪の偏心がテーブル運動の直角度と真直度に悪影響をおよぼすことが予想されるので超精密級を特別に選別して用いることにした。結果は要求精度を略満足しており、中でも測定精度に影響をおよぼすX滑台運動の垂直面内蛇行度3秒/600 mmはよい結果であった。

また、Z滑台の案内機構にはダブテール方式を採用した。本測定器は、その使用目的の特殊性から測定学の基本原理であるAbbeの条件(検出点は読み取りスケール線上になければならないという条件)を全く満足していないような設計にならざるを得なかつた。

言わば測定器としては不利な条件での設計ではあったが、Z滑台運動のXZ面内蛇行度が1秒/200 mm以内とい

う非常に高い精度は、上記の欠点を補ってくれた。

この種の高精度を出すにはダブテール方式が最も適当な案内方式であるように思われる。

また、各軸送りの操作ハンドルはすべて測定者の前面に配置したので非常に操作性のよい測定器となった。

第3章 接触測定方式による三次元輪郭座標測定用検出器の試作

一般に測定子接触測定方式では検出器の測定触針先端が被測定物に接触してから或る一定量の微少変位をした時を測定検出点として読み取る。よって検出器自体が測定誤差に影響をおよぼす因子としては、先づ第一番目に、その検出器の定点検出精度であり、次には非接触測定でない限り不可避であるところの、測定圧による触針軸のたわみが大きな誤差因子となる。

更にまた、測定子先端が理想的な幾何学的点ではなく僅かながら丸みを持っているために起因する誤差も無視できない重要な誤差因子となる。

よって上記の誤差をできる限り僅少にするような方法を考えなければならない。

それには先づ測定軸のたわみ、測定圧、および触針先端半径、その他の因子が測定誤差にどのように関係し合っているかを解明する必要がある。

以下、この不可避的誤差について考察した結果を記す。

3.1 誤 差 解 析

極く一般的な三次元的輪郭座標測定においては、例えれば(図3)に示すように、被測定物の輪郭座標測定基準面A, B, Cが先づ設定され、この基準面に対する輪郭上の或る測定点Pの座標値x, y, zが問題になる。

この場合、先づ基準面Aを測定器の載物台運動平面に平行に置き、次に基準面Bを載物台X方向運動に平行に置き、さらに検出器の測定子先端を基準面Bに一致(測定子先端位置決め装置使用)させ、そこからyだけ載物台を送り、その位置でy方向の送りを固定し、しかるのち基準面Cに測定子先端を一致させ、そこからxだけ載物台を送り、この位置で測定子先端を被測定物に接触させて、測定点Pのz座標を読み取って求める測定値 $(z)_M = (Z)_M - (Z_r)_M$ を出すという手順となる。(図5参照)

以後測定値には添字Mを真値には添字Tを付して区別するものとする。

この場合、測定値 $(z)_M$ におよぼす誤差因子としては前述の誤差因子の他、測定点において測定面に立てた法線のXZ平面への正射影と鉛直線とのなす角θ(図5参照)、

および同法線のYZ平面での正射影と鉛直線とのなす角

φ (図4参照) とが関係して来ることが予想される。

今(図4), (図5)において測定値 $(x)_M, (y)_M, (Z_r)_M$

および $(Z)_M$ に含まれる誤差をそれぞれ $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{Z_r}$

および ε_Z とすると求めた測定値 $(z)_M$ は次のように表わ

される。

$$\begin{aligned}
 (z)_M &= (Z)_M - (Z_r)_M \\
 &= \{(Z)_T + \varepsilon_x \tan \theta + \varepsilon_y \tan \varphi + \varepsilon_Z\} - \{(Z_r)_T + \varepsilon_{Z_r}\} \\
 &= \{(Z)_T - (Z_r)_T\} + (\varepsilon_x \tan \theta + \varepsilon_y \tan \varphi + \varepsilon_Z - \varepsilon_{Z_r}) \\
 &= (z)_T + (\varepsilon_x \tan \theta + \varepsilon_y \tan \varphi + \varepsilon_Z - \varepsilon_{Z_r}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

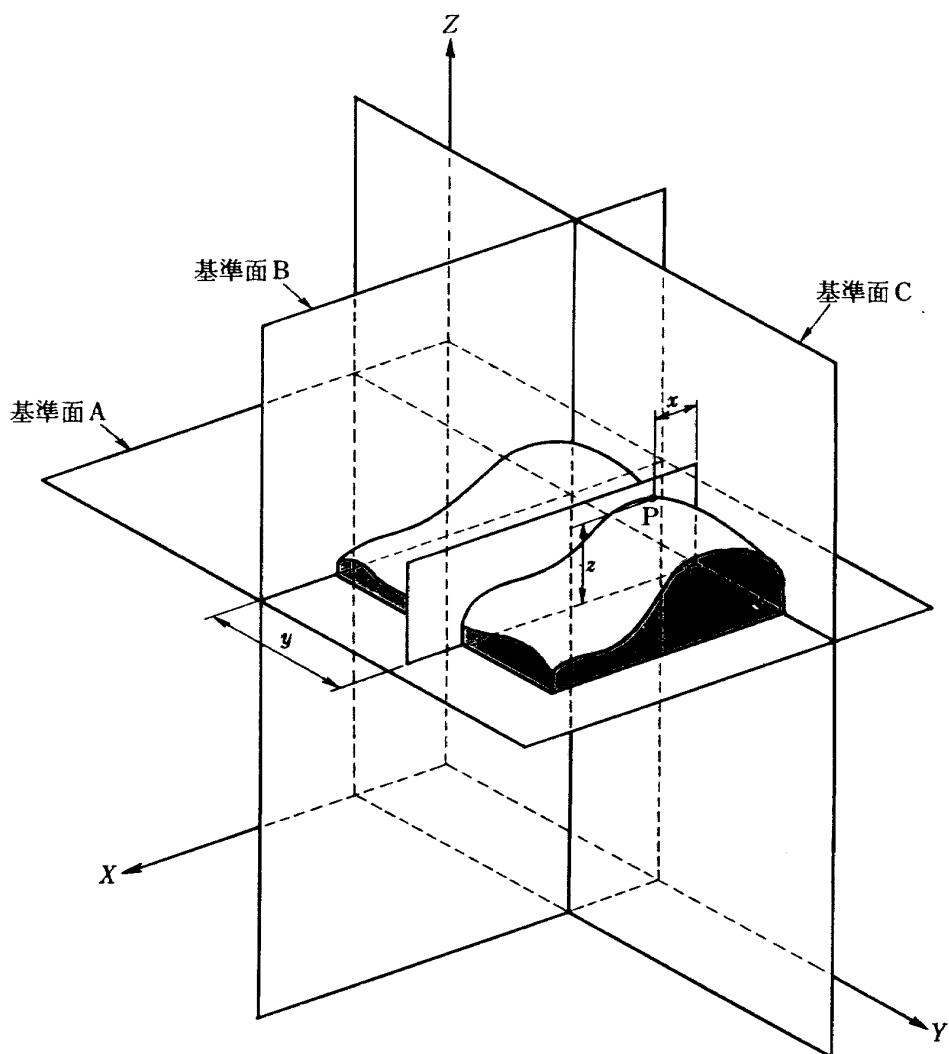


図3 一般的な三次元的輪郭座標測定図

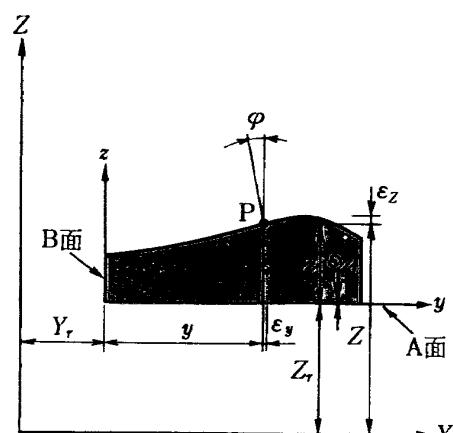


図4 測定点Pを通り平面Cに平行な断面

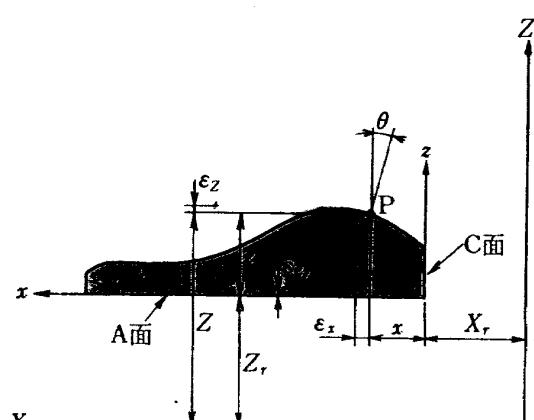


図5 測定点Pを通り平面Bに平行な断面

式(1)において、 $\epsilon_x \tan \theta$ は x 方向測定誤差 ϵ_x のために生ずる z 方向の測定誤差であり、 $\epsilon_y \tan \varphi$ は y 方向測定誤差 ϵ_y のために生ずる z 方向の測定誤差である。

また、 $\epsilon_{Zr}, \epsilon_Z$ は z 方向独自の測定誤差である。

なお、 θ, φ の符号は(図4)においては鉛直線に対して反時計方向を正とし、(図5)においては鉛直線に対して時計方向を正と定める。

ところで、一般の被測定物では θ および φ の中どちらかが0と見なしてよい場合が多い。そこで以下 $\varphi \neq 0$ として考えれば式(1)は次のようになる。

$$(z)_M = (z)_T + (\epsilon_x \tan \theta + \epsilon_Z - \epsilon_{Zr})$$

上式中の ϵ_x, ϵ_Z および ϵ_{Zr} の中には測定触針軸の測定圧によるたわみに起因するものと、測定子先端が僅かながら R を持っているために起因するものが互に関係し合って含まれている。

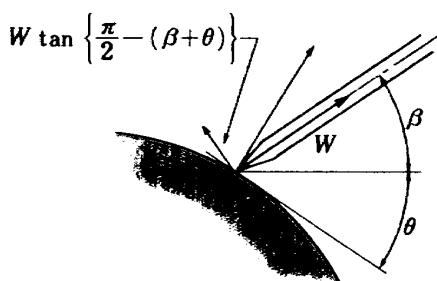


図 6 触針に作用する測定圧の反力関係図

3.1.1 測定圧によるたわみに起因する誤差

今、測定圧の反力は被測定面の法線方向に作用するから、測定圧による触針先端の水平および垂直方向のたわみ δ_x, δ_z は次のようになる。(図6)参照

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= KW \tan \left\{ \frac{\pi}{2} - (\theta + \beta) \right\} \sin \beta \\ \delta_z &= KW \tan \left\{ \frac{\pi}{2} - (\theta + \beta) \right\} \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし K は触針軸を片持りと見なしての荷重に対するたわみの比例定数である。

一般に測定子接触測定方式においては触針軸の傾き角 β は 45° にとれば x, z 座標共、同程度の精度で測定可能であるから、特別の場合を除き $\beta = 45^\circ$ で測定するのが最も一般的である。

よって以後 $\beta = 45^\circ$ として考えれば式(3)は次のようになる。

$$\delta_x = \delta_z = 0.707 KW \tan \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right) \quad (4)$$

(図7)は触針軸下向き $\beta = 45^\circ$ で測定点 P の座標 x, z を測定しようとする場合、触針軸の測定圧によるたわみのために生ずる測定誤差を示したものである。すなわち状態(a)で z 座標基準面を測定する場合のたわみによる誤差は式(4)から $\theta = 0$ の場合として求められ負誤差 -0.707 KW となる。

状態(b)で x 座標基準面を測定する場合のたわみによる誤差は同じく $\theta = \frac{\pi}{2}$ として求められ、この場合は正誤差 0.707 KW となる。この正誤差のため、状態(b)から送り x の後、触針軸先端は測定点 P で接触せず、それより

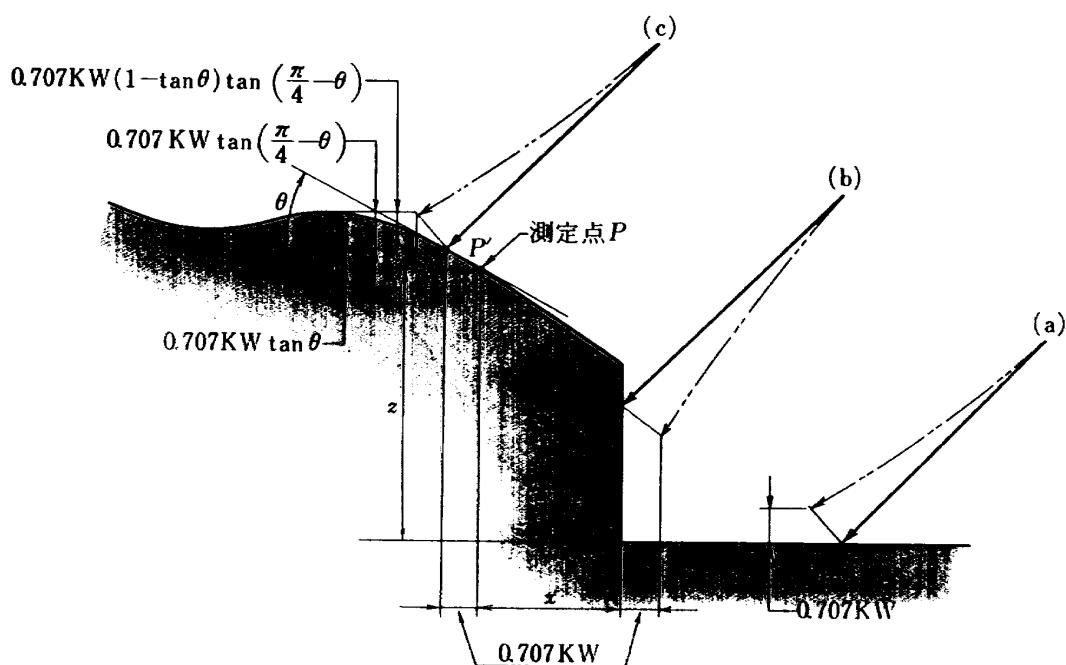


図 7 触針軸のたわみのために生ずる測定誤差

僅かずれた点 P' で接触し、 z 方向誤差 $0.707 KW \tan \theta$ を生ずる。

さらにこの状態(C)でのたわみにより負誤差 $-0.707 KW \times (1 - \tan \theta) \tan (\frac{\pi}{4} - \theta)$ を生ずる。

いま式(2)において示された測定誤差 $\epsilon_x, \epsilon_{Zr}, \epsilon_z$ のうち触針軸のたわみによる誤差をそれぞれ $(\epsilon_x)_D, (\epsilon_{Zr})_D, (\epsilon_z)_D$ とすれば、それらは次の如く表わされる。

$$(\epsilon_x)_D = 0.707 KW, \quad (\epsilon_{Zr})_D = -0.707 KW$$

$$(\epsilon_z)_D = -0.707 KW (1 - \tan \theta) \tan (\frac{\pi}{4} - \theta)$$

よって触針軸のたわみによる z 座標測定誤差 $(\epsilon_z)_D$ はこれを式(2)に代入して

$$\begin{aligned} (\epsilon_z)_D &= 0.707 KW \tan \theta - 0.707 KW (1 - \tan \theta) \\ &\quad \times \tan (\frac{\pi}{4} - \theta) + 0.707 KW \\ &= 2.828 KW \cdot \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta} \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)の関係は触針軸が上向き 45° の場合でも同じである。

3.1.2 触針先端半径 R に起因する誤差

(図 8) は触針軸先端が理想的な点ではなく、僅かながら R をもっているために生ずる測定誤差を拡大して図解的に示したものである。

すなわち式(2)によって示された測定誤差 $\epsilon_x, \epsilon_z, \epsilon_{Zr}$ の中で先端半径 R のために生ずる誤差の部分をそれぞれ $(\epsilon_x)_R, (\epsilon_z)_R$ および $(\epsilon_{Zr})_R$ とすると

$$(\epsilon_x)_R = 0, \quad (\epsilon_{Zr})_R = R, \quad (\epsilon_z)_R = R(\sec \theta - \tan \theta)$$

よって先端半径 R によって生ずる z 座標測定誤差

は、これらを式(2)に代入して

$$(\epsilon_z)_R = -R(\tan \theta - \sec \theta + 1) \quad (6)$$

総合誤差は式(5)と(6)とを加えることによって与えられる。

$$\begin{aligned} \epsilon_z &= (\epsilon_z)_D + (\epsilon_z)_R \\ &= 2.828 KW \cdot \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta} - R(\tan \theta - \sec \theta + 1) \end{aligned} \quad (7)$$

$(\epsilon_z)_D$ と $(\epsilon_z)_R$ との符号は互に逆の関係にあるから R, K および W をどのように決めれば最適条件で測定できるかが式(7)から予測できる。

さて、式(7)で示された検出器自体から生ずる誤差 ϵ_z をできる限り僅少にし、ミクロンオーダの測定を可能にするためには、先づ検出器自体の定点検出精度が 0.1 ミクロノンのオーダであることが必要であり、また測定圧によるたわみを僅少にするために、測定圧は数グラムにしなければならない。

この要求を満足するものとして、非接着型ストレーンゲージを応用した検出器（以下これを U ゲージ式検出器と呼ぶ）、および磁気検出器を応用したもの（以下これをマグネセンサ式検出器と呼ぶ）、2 種を試作した。

3.2 U ゲージ式検出器

非接着型ストレーンゲージ（U ゲージ）は種々の物理量を抵抗値の変化として検出する高感度のトランジスターで原理的には一般的のストレーンゲージと同様であるが、接着貼付を行わず、直接に被検体に取付けて使用する。種類は、その構造原理から直線変位型および、角偏位型の 2 種に分れるが三次元測定器用検出器に用いたのは微少変位を測定するのに適した角偏位型である。

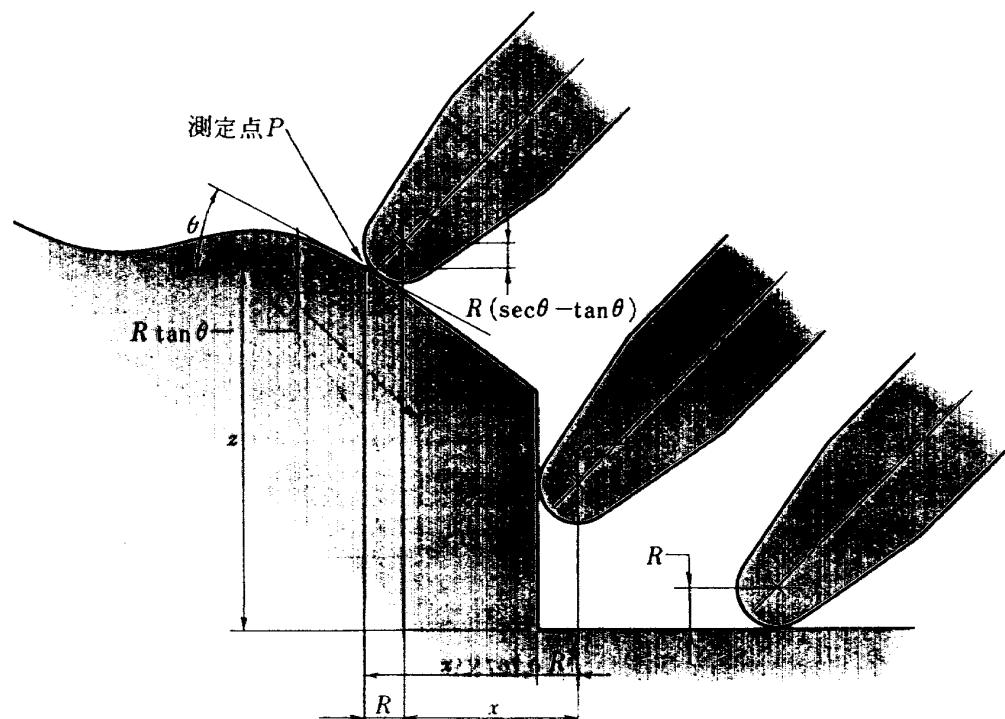


図 8 触針先端の丸み R のために生ずる測定誤差

(図9)にその検出器の機構図を示す。

図において平行ばね(i)に支えられた測定触針(m)が被測定物に接触してから軸方向に或る一定量、微少変位すると、それに接觸している受歪棒(g)が矢印の方向に同量だけ微少変位する。受歪棒(g)は板バネ(h)によって(e)なる固定部に支えられているのでa - b間に張られた抵抗線は縮み、c - d間に張られた抵抗線は伸びる。

実際にはa - b間に相当する場所に2組、c - d間に相当する場所に2組のそれぞれ独立した抵抗線が張ってあるので、これらを4ゲージ法としてブリッジに組めば、測定触針先端が被測定物に接觸してからの或る一定量の微少変位を歪の単位の ϵ (マイクロ)で知ることができ、この時を測定検出点として読取る。

3.2.1 トランジスタ特性

(a) 微少変位 δ - 歪 ϵ 特性

使用機器…ハイドロマスター(三豊製1μ読)

静歪指示計(新興通信機製PS7-LT型)

測定データの回帰分析結果

$$\delta = 88.0 \times 10^{-6} \epsilon \quad (8)$$

単位: δ (mm), ϵ (マイクロ)

(b) 荷重 W_t - 歪 ϵ 特性

使用機器…上皿天秤(秤量100g, 感量100mg)

用分銅

測定データの回帰分析結果

$$\epsilon = 359.5 W_t \quad (9)$$

単位: W_t (g), ϵ (マイクロ)

よって微少変位 δ と荷重 W_t との関係は式(8)と(9)から

$$W_t = 31.6 \delta \quad (10)$$

(c) 定点検出精度

トランジスタの受歪棒先端に矢印方向(図9参照)に微少変位を与えて一定のひずみ量となった時の受歪棒先端の変位を測定し、その繰返しのバラツキを求めた。(表1)にその結果を示す。

定ひずみ量(10^{-6})	1140	2285	3425	4530
バラツキ幅(μ)	±0.3	±0.3	±0.5	±2.1

(表1) Uゲージ式検出器の定点検出精度

3.2.2 平行バネ特性

精密測定器における測定子の案内は穴軸のはめ合いでよいもの、すなわちスピンドル型のものが多いが、三次元的輪廓形状測定のように測定子軸を斜め45°に傾けなければならぬような場合には、このような方式は、穴軸間の遊隙に起因する誤差が一層、致命的となる。二枚の薄板バネを平行に並べて測定子軸を支える平行バネ方式には上記の欠点は全く無い。

たゞこの方式では測定子軸は軸方向に動くと共に、僅かではあるが測定子軸に直角な方向にも変位することが難点とされている。しかし定点検出器として用いる場合には、この欠点は何等、問題とはならない。

(図10)に示す平行バネにおいて左端は固定され右端は垂直方向に自由に動くと共に、僅かではあるが水平方向にも動くが回転はしない。

この条件の下においては荷重 W_p とたわみ δ との間に次のような関係がある。

$$\delta = \frac{E^3 (1 - \nu^2)}{2 E b t^3} W_p \quad (11)$$

ただし E : バネ材料の縦弾性係数

ν : バネ材料のボアソン比

b : バネ板の巾

t : バネ板の厚さ

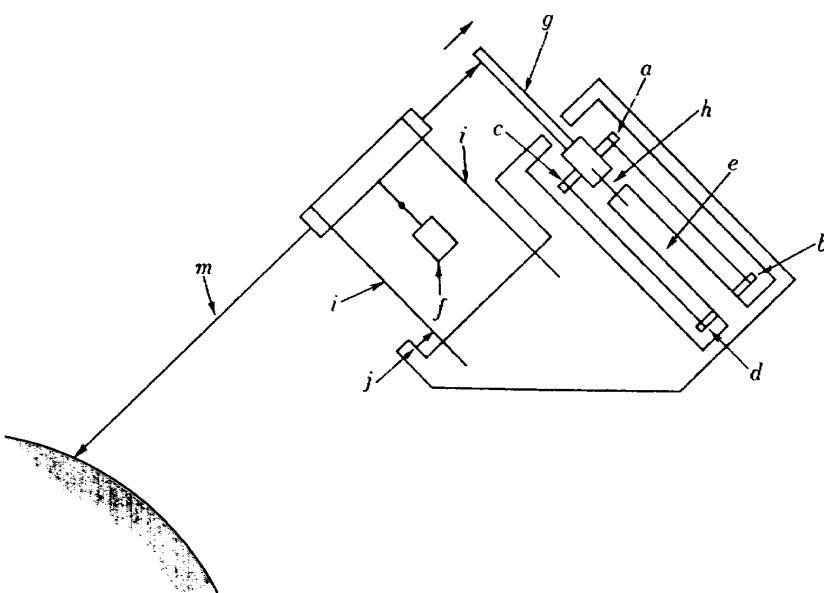


図9 Uゲージ式検出器機構図

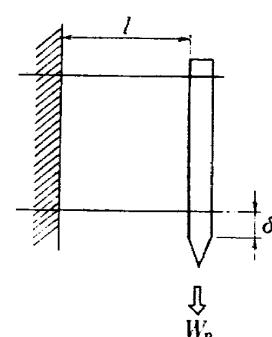


図10 平行バネ

3.2.3 トランスジューサ平行バネ合成系の $W - \delta$ 特性

前述の式(8)と(9)よりトランスジューサの $W_t - \delta$ 特性は次式で示される。

$$W_t = 31.6 \delta \quad (12)$$

よって合成系の W (測定圧)と δ (軸方向微少変位)との関係は式(11)と(12)から

$$W = W_b + W_t = \left\{ \frac{2Ebt^3}{\beta(1-\nu^2)} + 31.6 \right\} \epsilon \quad (13)$$

また δ とトランスジューサの歪量 ϵ との関係は式(8)で表わされるから静歪指示計の歪量指示値 ϵ と測定圧 W との関係は次式で表わせる。

$$W = 88.0 \times 10^{-6} \left\{ \frac{2Ebt^3}{l^3(1-\nu^2)} + 31.6 \right\} \epsilon \quad (14)$$

前述したように、測定誤差は式(7)によって示され、測定触針軸のたわみ定数 K 、測定圧 W 、触針先端 R 、および被測定面の傾斜角 θ によって変化し、更に測定圧 W は式(14)に示す関係にあり、非常に多数の因子が関係しているので、それぞれの因子に対して唯一最適値を算出することはできない。

そこで設計手順として $\theta = 45^\circ$ で誤差が僅少になるような KW と R の組合せの中から製作可能な適当なものを

(図11)を参照にして選んだ。

こゝに(図11)は式(7)において $\theta = 45^\circ$ としたときの ϵ_z 、 KW および R の関係を示したものである。

K は触針軸の形状によって異なる定数で(図12)にその一例を示す。

たゞし I は触針軸断面二次モーメントである。

また平行バネの諸元は式(14)から推定されるが設計に際しては検出器内部のスペースの関係上、バネ材料にはバネ用リン青銅板 P B S · S H, $E = 11.2 \times 10^6 g/mm^2$, $\nu = 0.3$, $b = 6 mm$, $l = 25 mm$ として厚さ t を(図13)から決めた。

こゝに(図13)は式(14)において E 、 ν 、 b および l に上記の値を入れたときの測定圧 W と静歪指示高の歪量指示値 ϵ との関係を平行バネの板厚 t を種々変えて示したものである。

試作した触針軸は(図12)に示したストレート触針軸と曲り触針軸の2種であり、(a)は外面形状測定に適した触針軸であり、(b)はノズル等の如き内面形状測定に適している。

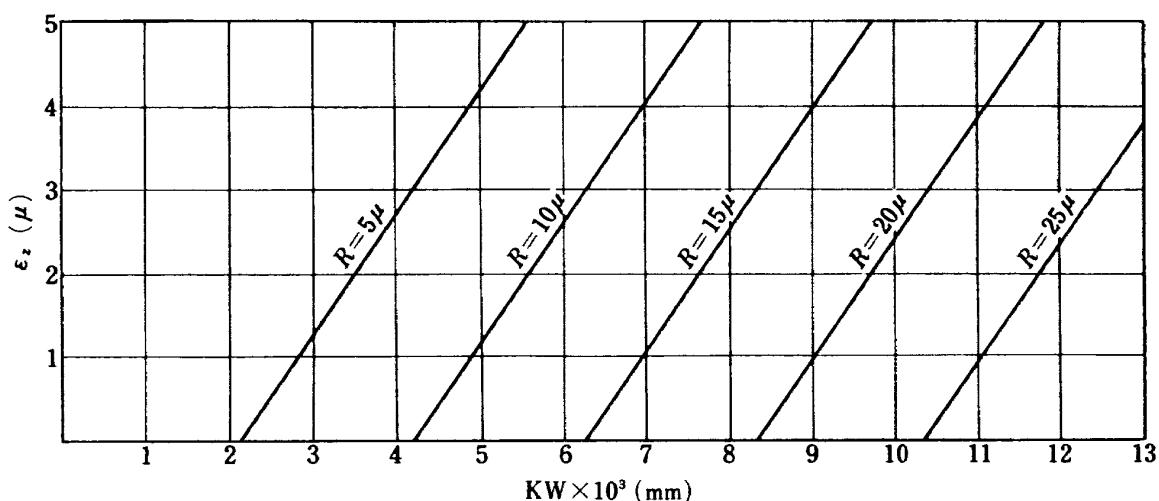
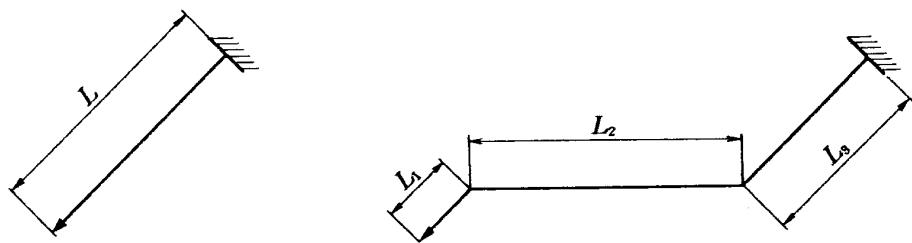


図 11 式(7)において $\theta = 45^\circ$ のときの ϵ_z 、 KW および R の関係



$$K = \frac{L^3}{3EI}$$

(a)

$$K = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} (L_1^3 + \frac{1}{2} L_2^3 + L_3^3) + (L_1 + \frac{1}{\sqrt{2}} L_2)(L_1 L_2 + L_1 L_3 + \frac{1}{\sqrt{2}} L_2 L_3 + L_3^2) \right\}$$

(b)

図 12 触針軸の K

(a) ストレート触針軸検出器

種々の寸法的制約から $L=100\text{ mm}$, $I=7.4\text{ mm}^4$
 $E=21\times 10^6\text{ g}_r/\text{mm}^2$ および $R=6\mu$ の触針軸を用いた。
 よって $K=21.6\times 10^{-4}\text{ mm/g}_r$

(図 11) から $R=6\mu$ の場合, $1KV\times 10^3 \div 2.5$ のところで誤差 ϵ_z が僅少となる。よってパネ板厚 $t=0.25\text{ mm}$ を採用する。この場合(図 13)から静歪指示値 $\epsilon=70$ マイクロを検出点とすれば θ の全域に渡って誤差 ϵ_z が僅少になることが予想される。

決定された上記の値を式(17)に入れると誤差式は次のようになる。

$$\epsilon_z(\mu) = 96.3 \times 10^{-3} \epsilon \cdot \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta} - 6(\tan \theta - \sec \theta + 1) \quad (15)$$

この理論式が実際によくあてはまることは後述の検定結果から確認された。

(b) 曲り触針軸検出器

この曲り触針軸は空力 1 部曾我技官の依頼による、
 70ϕ ガンタンネル M-12 ノズルの内面形状測定用に
 試作したものであり、そのノズル内面の寸法的制約のため(図 12), (b)において $L_1=10\text{ mm}$, $L_2=8.5\text{ mm}$,
 $L_3=8.5\text{ mm}$, $I=7.4\text{ mm}^4$, $E=21\times 10^6\text{ g}_r/\text{mm}^2$ とした。
 よって $K=83.5\times 10^{-4}\text{ mm/g}_r$ また触針先端 $R=27\mu$

を用いた。

(図 11) から $R=27\mu$ の場合, $KW\times 10^3 \div 11$ が適當であることがわかる。平行バネはストレート触針軸と同じものを用いたので(図 18) から $\epsilon=85$ マイクロを検出点とすれば最良の測定条件となることが予想される。

この場合の誤差の理論式は次のようにになる。

$$\epsilon_z(\mu) = 372.6 \times 10^{-3} \epsilon \cdot \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta} - 27(\tan \theta - \sec \theta + 1) \quad (16)$$

3.3 マグネセンサ式検出器

工作機械や計測機器などの精密化や自動化に定点の位置や物理的変位を高精度に検出する装置としてマグネセンサーがソニー・マグネスケールⅡによって開発された。

三次元輪廓座標測定用検出器として応用してみてはどうかと思い早速試作してみた。結果は前述の U ゲージ式検出器に勝るとも劣らない好結果を得たので以下紹介する。

(図 14) はその検出器の機構図である。

(図 14) において(a)はマグネセンサ(検出ヘッド), (b)は発磁体, (c)は平行バネ, (d)はカウンタウエイト, (f)は平行バネ調整ネジ, (e)は測定触針軸である。

マグネセンサは(図 15) に示すように 2 つのアーム

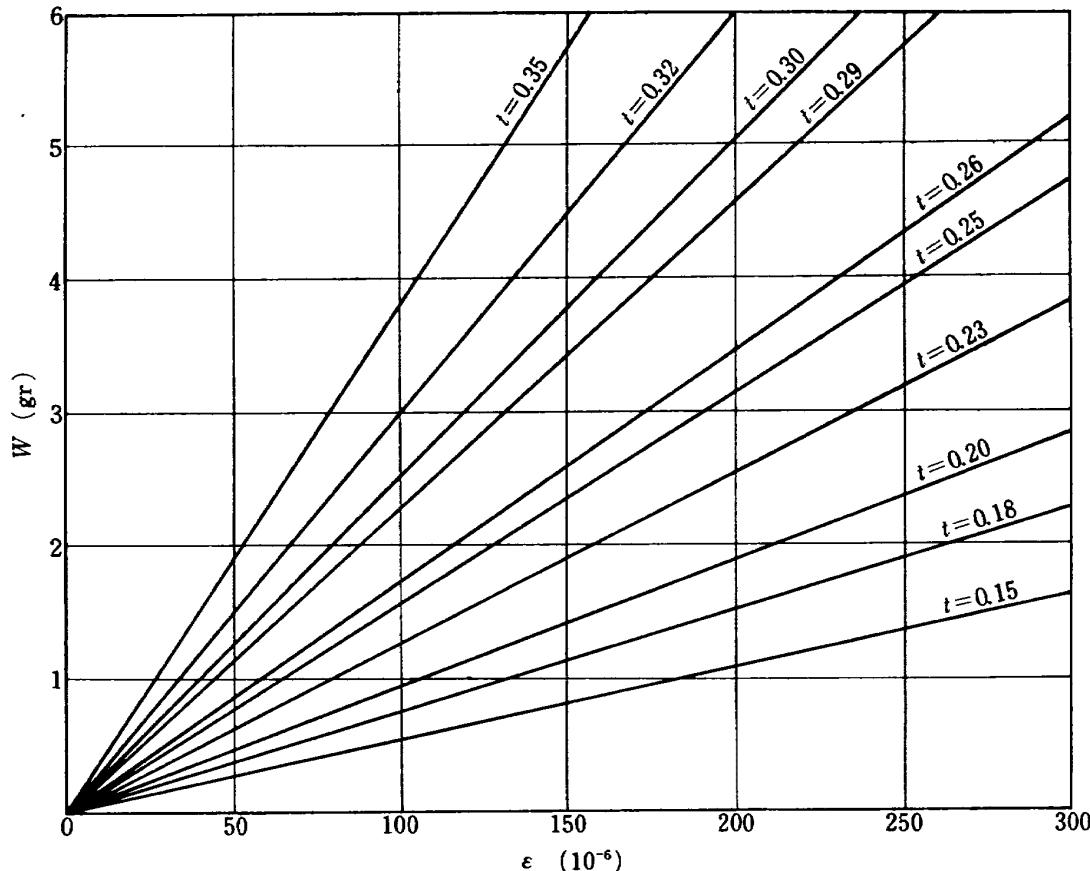


図 13 U ゲージ式検出器の ϵ と V との関係

をもつ可飽和コアを磁気ヨークで両側から包んだ 2 つのギヤップをもつ磁束応答形ヘッドと IC 化された検出回路で構成されている。

可飽和コアに巻かれた 2 つのコイル L_1, L_2 には高周波 (120 kHz) の交流電圧が印加されている。

今 (図 14)において平行パネに支えられた測定触針 (e)が被測定物に接触し、軸方向に或る敏少変位すると触針軸に固定された発磁体 (b)が、それに接近して定位され

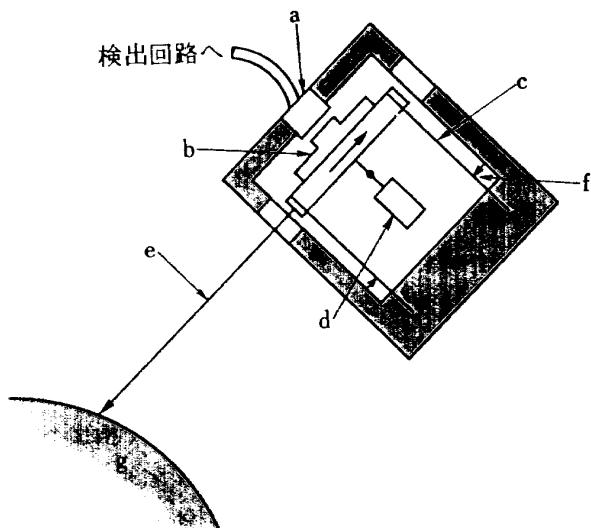


図 14 マグネセンサ式検出器機構図

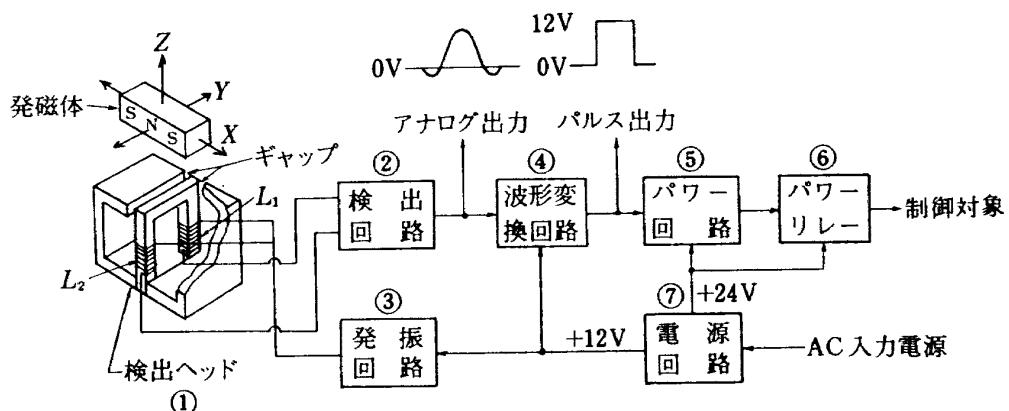


図 15 マグネセンサ概略構成図

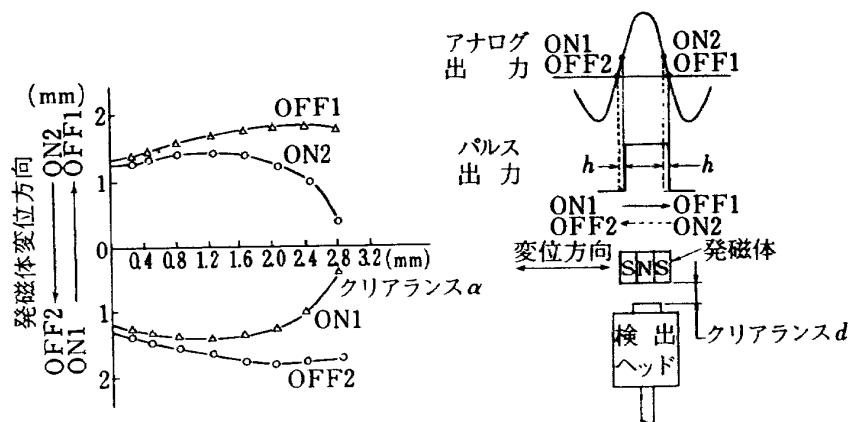


図 16 マグネセンサスイッチ動作領域図

た検出ヘッド (a) に対して矢印の方向に微少変位し (図 16) のようなアナログ出力電圧を生ずる。

この出力電圧を整形回路に通しパルス出力とし、定点で、オン、オフ動作する、いわゆる非接触形スイッチを直結すれば、スイッチ・オンの時を測定検出点として読取ることができる。

スイッチ・オンの時はスイッチの接点の音、ブザー、バイロットランプ、その他種々の方法で確認することができる。また、このスイッチにディジタル・プリンタを結線しておけば、測定検出点におけるディジタルカウンタの表示値をそのままプリントアウトすることもできる。

3.3.1 マグネセンサ・マグネスイッチの動作特性

(a) クリアランス d 一応差距離特性

(図 16) の左に示したプロットはマグネスイッチの動作領域図を示す。この図は S-N-S の発磁体を検出ヘッドに対して変位させた時、マグネスイッチがオン、オフする位置を検出ヘッドと発磁体との間隔 (クリアランス d) を種々変えてプロットしたものである。

この図からクリアランスの変化に対するマグネスイッ

チの動作範囲、検出位置および、応差の距離 h の変化がわかる。(表2参照)こゝに応差の距離 h とは(図16)の右に示す如く、触針が被測定物に接触し、ある一定量の変位の後、マグネスイッチがオンになつた位置(測定検出点)から逆方向の変位により、再び元の状態のオフになるまでの距離である。

(b) 定点検出精度

発磁体に微少変位を与える、マグネスイッチがオンになる位置(測定検出点)の精度(バラツキ)をクリアランス d に対して求めた。

3.3.2 測定誤差

(表3)からクリアランス d は1mm以下ならば定点検出精度は使用上殆んど差支えないが、(表2)から d を大きくすると応差の距離 h が大きくなり、例えば $d=1$ mmとした場合 $h=150\mu$ となり、平行バネのたわみ量が 150μ 以上の点を測定検出点としなければならず、それに従って測定圧も大となる。前述したように測定誤差は測定圧による触針軸のたわみが大きく影響するから測定圧は可能限界最小値にしなければならない。

よって本検出器の設計においては $d=0.1$ mmに設定した。 $d=0.1$ mmにおける応差の距離、すなわちオン、オフ間の距離は(表2)から 25μ であるから、触針が被測定物に接触してから平行バネが 25μ 以上たわんだ位置が測定検出点となるようにしなければならない。

触針軸は前回のUゲージ式検出器と同寸法のストレート触針軸とし、 $R=5\sim 15\mu$ を使用することを前提とすると、(図11)から測定圧 W は約 $2g_r$ が適当であることが予測される。この測定圧の条件と上記の応差の距離の条件とから平行バネの諸元が決まる。

本検出器の平行バネ設計に際しては平行バネたわみ量 $\delta=30\sim 35\mu$ で測定圧 W が約 $2g_r$ になるように設計した。すなわち材質は前回と同じバネ用リン青銅板で $E=11.2\times 10^6 g_r/mm^2$ 、 $\nu=0.3$ 、 $b=6mm$ 、 $l=20mm$ 、 $t=0.15mm$

クリアランス d (mm)	応差の距離 h (μ)
0.1	25
0.2	45
0.5	90
1.0	150

(表2)クリアランス d に対する応差の距離

クリアランス d (mm)	0.1	0.3	0.6	1.2
バラツキ幅 (μ)	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3

(表3)マグネセンサ式検出器の定点検出精度

よつて式(11)から平行バネたわみ量 δ (mm)と測定圧 $W(g_r)$ との関係は $W=6.28\delta$ となり上記の条件を略満足する。

後述の測定精度検定では $W=2g_r$ に設定した。

よつて本検出器の測定誤差式は式(7)に $K=2.16\times 10^{-4}$ (mm/g_r) および $W=2(g_r)$ を代入して

$$\varepsilon_z = 122 \times 10^{-4} \cdot \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta} - R(\tan \theta - \sec \theta + 1) \quad (17)$$

第4章 測定精度の検定

式(7)の誤差式から分るようく測定精度は測定面の傾斜角 θ に關係するから、測定精度の検定には種々の傾斜角を持った斜面上の点の基準面に対する座標値の真値(x_T , z_T)_Tがわかっている何等かの基準ゲージを用いなければならない。

検定方法は種々あるが、本報告においては、基準プラグゲージの円筒面を利用して θ を種々変えて検定した。以下、その検定方法を示す。

4.1 測定精度検定方法

先づ、(図17)において基準プラグゲージの円筒面の稜線を三次元座標測定器本体のY滑台運方向に平行にして定置し、それに接近してハイトマスターの測定面を置く。

次に、本体の測定アーム先端に電気マイクロメータのレバー型検出器を取付けて、プラグゲージの頂点 H と、ハイトマスターの測定面 a とが正確に同一高さになるようハイトマスターを調整する。

次にレバー型検出器を取り外し、測定精度を検出しようとする三次元座標測定器用検出器を測定アーム先端に取付け、その触針を①の状態として、ハイトマスターの測定面 b に接触させて、その面の z 座標 Z_{rb} を読み取って、その測定値を $(Z_{rb})_M$ とする。

以後、測定値には添字 M を、その真値(プラグゲージ、ハイトマスター、その他のセッティングを正しいものと仮定して)には添字 T を付して区別するものとする。

更に触針を②の状態にしてプラグゲージの最右点 V の x 座標を求め、この点を x 座標測定基準とし、この位置より $(x)_M$ だけ送つて触針を③の状態とし、求める測定点 P の z 座標 Z を読み取つてその測定値を $(Z)_M$ として測定点 P の基準面 b からの高さ z_b の測定値 $(z_b)_M = (Z)_M - (Z_{rb})_M$ を求める。

z_b の真値 $(z_b)_T$ はプラグゲージの直径 D 、およびハイトマスターの測定面 a ・ b 間の距離 $25mm$ を正確なものと仮定して次式より求まる。

$$(z_b)_T = 25 - \left\{ \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - x_T\right)^2} \right\}$$

$$\text{ここで } x_T = \frac{D}{2}(1 - \sin \theta)$$

よつて、この場合の測定誤差 ϵ_b は $\epsilon_b = (z_b)_M - (z_b)_T$ として求めることができる。

以上のような操作をハイトマスターの c 面、 d 面、 e 面……等についても無作為にとり x の値も種々に変えて行い、またハイトマスターの位置も測定載物台上で種々変えて行えば測定面の傾斜角 θ の種々の値に対する測定精度の検定を行うことができる。

実際の検定においては $\theta = -10^\circ \sim 80^\circ$ 間を 10° 間隔に変えて与えて各傾斜角 θ に対する測定精度の検定を行つた。

使用した基準器の精度を以下に示す。

基準プラグゲージ……SIP 測長器 MUL 1000 用
マスター プラグゲージ 20℃ KC
おいて直徑 $D = 50,000.5$ mm

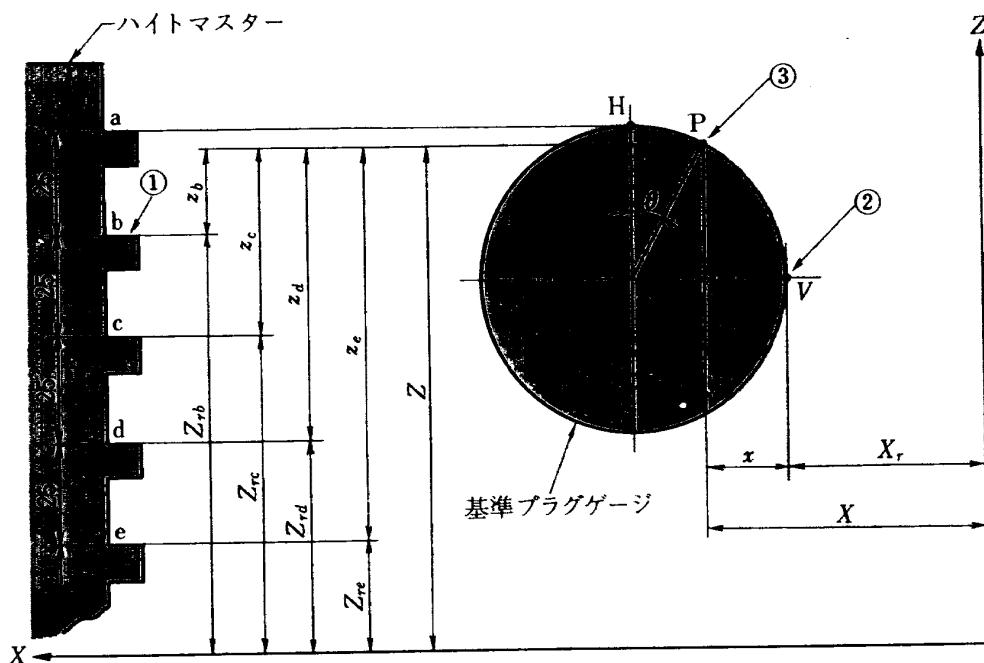


図 17 測定精度検定方法説明図

単位: μ

$\epsilon \backslash \theta$	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
0	\bar{E}	0.9	0.3	-0.4	-0.7	-2.7	-3.0	-4.3	-3.5	-4.1	-5.0
	σ	1.5	1.3	1.3	1.4	1.3	1.6	1.7	1.8	1.8	3.1
100	\bar{E}	-0.3		1.0	1.0	0.2	0.6	0.5	1.9	2.1	1.5
	σ	1.7		1.2	1.2	1.7	1.6	1.8	1.7	2.2	3.2
200	\bar{E}	-1.1		2.0	3.3	3.7	5.2	5.0	8.4	9.5	10.5
	σ	1.5		1.6	1.4	1.4	1.3	1.6	1.7	1.6	3.5

(表4) Uゲージ式検出器、ストレート触針軸を使用した場合の測定誤差検定結果

以下同様

誤差の理論式(15)と検定結果との比較を(図18)に示す。

図中、実線で結んだ折線は、誤差検定20回の平均値 E のプロットであり、鎖線は式(15)からの計算値である。また検定のときの測定圧は(図18)の $t=0.25$ の場合のグラフから、100マイクロで $1.6 gr$ 、200マイクロで $3.2 gr$ である。

(b) 曲り触針軸の場合

前と同一方法にて $\epsilon = 0, 50, 100$ マイクロの3種について行った。たゞし使用した触針は $R = 2.7 \mu$
 $K = 8.35 \times 10^{-4}$ (mm/gr)である。

(表5)にその結果を示す。

前と同様に、(図19)中実線で結んだ折線は(表5)の検定結果のプロットであり鎖線は誤差の理論式(16)からの計算値である。

4.2.2 マグネセンサ式検出器

測定圧 $W = 2 gr$ で触針先端半径 $R = 5 \mu$ 、および 10μ の場合について行った結果を(表6)に、そのプロットを(図20)に示す。たゞし使用した触針軸のたわみ係数 $K = 2.16 \times 10^{-4}$ mm/grである。

第5章 実際の測定方法

5.1 単純曲面上の点の基準面からのX、Z座標の測定

曲面測定の場合は触針軸は斜め 45° の姿勢で測定する方が一般には好都合であるから、触針先端角度を α とするとき、測定点における接線と触針軸とのなす角 β (図21)が $\alpha/2$ より小さい場合には触針先端 R 部が測定面に接触不能となり、測定不可能となるので、このような場合には(図22)または、(図23)に示したように、触針軸を 90° 回転して測定する。

このような触針軸の姿勢変更に際しては図示のように、

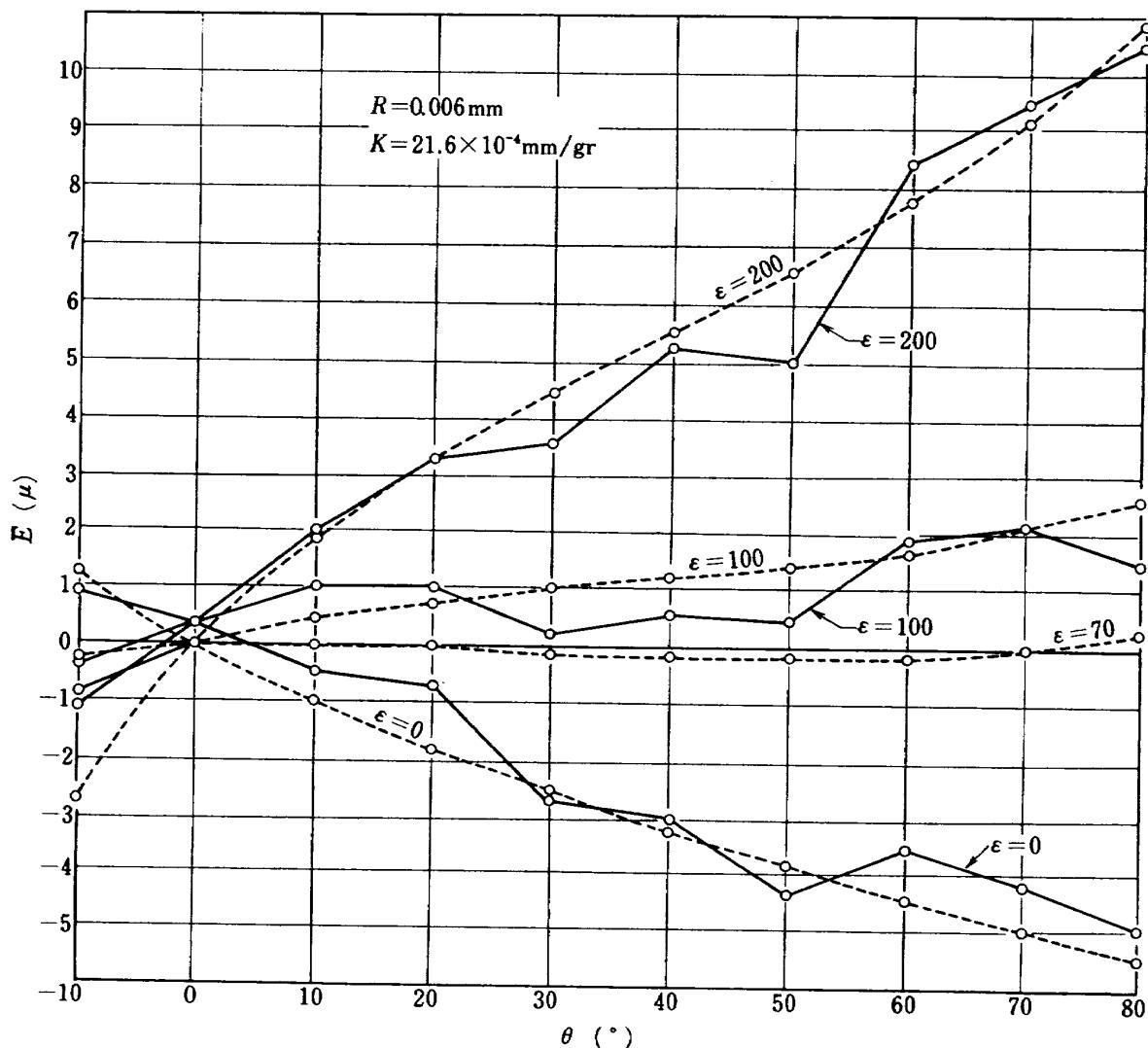


図 18 U ゲージ式検出器、ストレート触針軸を使用した場合の誤差検定結果と理論値との比較

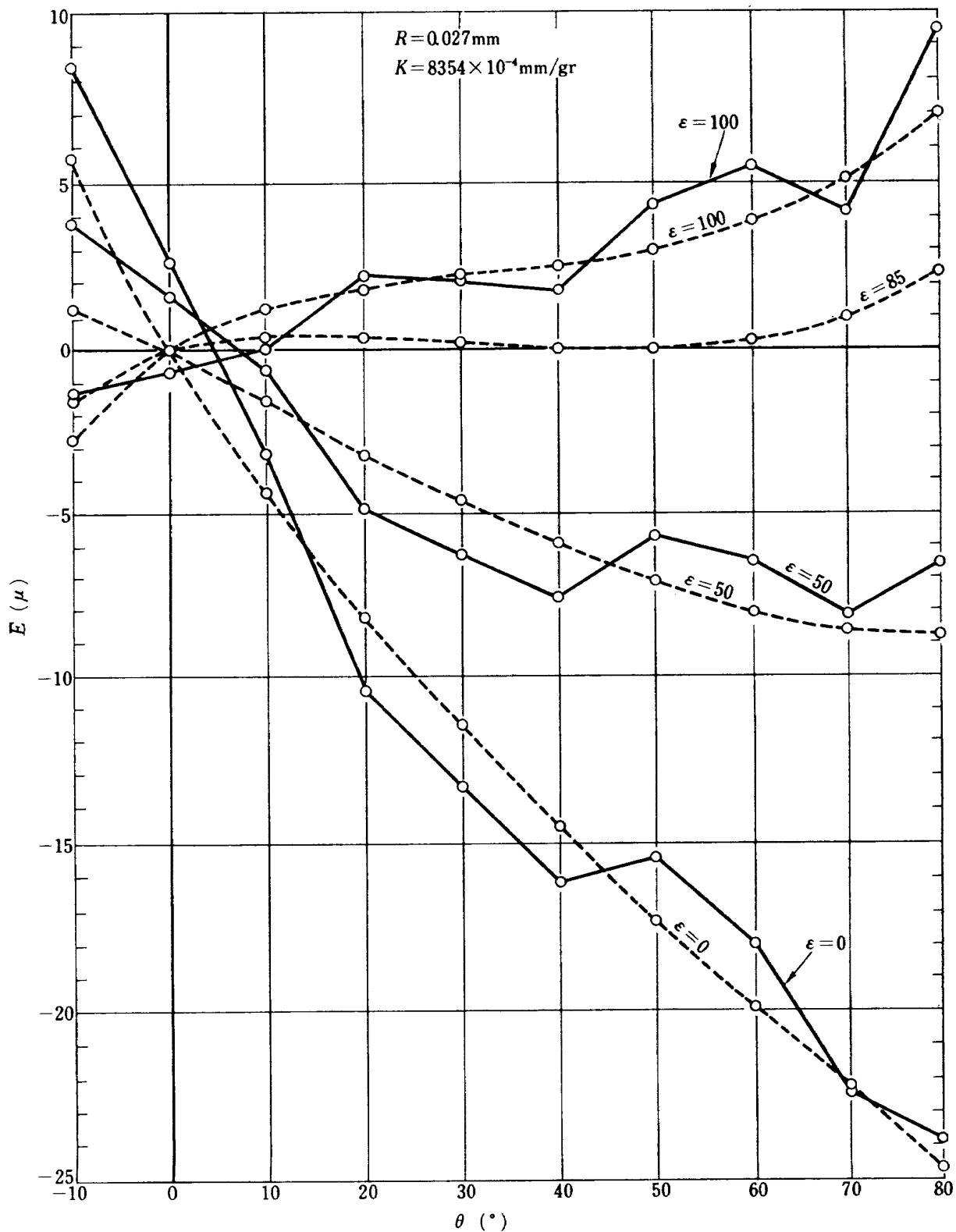


図 19 U ゲージ式検出器、曲り触針軸を使用した場合の誤差検定結果と理論値との比較

		単位: μ									
ϵ	θ	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0	\bar{E}	8.5		-3.1	-10.4	-13.3	-16.1	-15.3	-17.9	-22.9	-23.8
	σ	0.9		0.8	1.1	1.7	1.0	0.7	2.1	2.9	4.0
50	\bar{E}	3.8		-0.5	-4.9	-6.2	-7.7	-5.7	-6.4	-8.1	-6.6
	σ	1.6		1.8	1.6	1.9	1.9	2.5	2.9	3.6	4.6
100	\bar{E}	-1.3		0	2.2	2.1	1.8	4.4	5.5	4.1	9.5
	σ	1.2		0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	1.3	2.3	3.9

(表5) Uゲージ式検出器、曲り触針軸を使用した場合の測定誤差検定結果

$R(\mu)$	θ°	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
5	\bar{E}	-0.3	-0.5	0.1	0.5	1.4	1.9	2.8	3.8	3.0	6.1
	σ	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.0	1.7	2.1	2.3	3.6
10	\bar{E}	-0.7	-0.4	-0.1	-0.2	-0.8	-1.0	-0.1	-0.8	-0.4	0.4
	σ	2.0	1.7	2.1	1.9	1.9	2.2	2.7	2.8	3.8	4.7

(表6) マグネセンサ式検出器の測定誤差検定結果

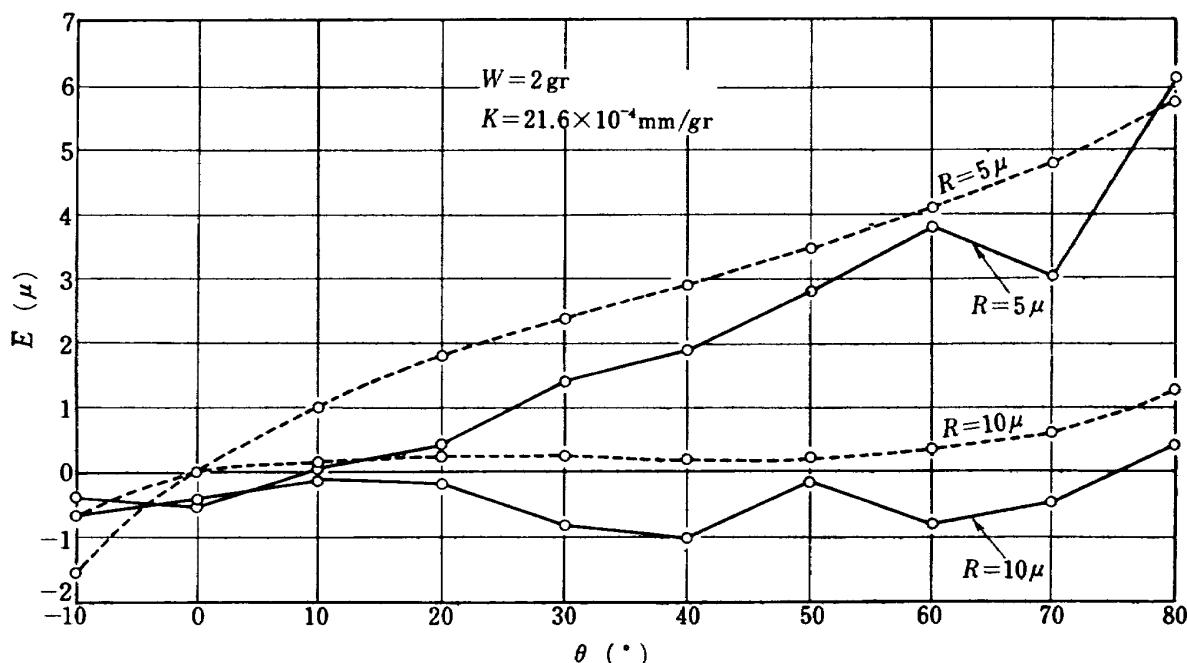
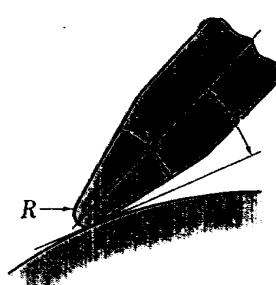


図 20 マグネセンサ式検出器の測定誤差検定結果と理論値との比較

図 21 触針先端丸み R と測定傾斜面との接觸関係

ブロックゲージを用いて、 x 座標読取値の変換を行う。すなわち、(図 22)の場合では⑤の状態から 90° 回転した⑥の状態における x 座標読取カウンタの表示値を⑥の状態における表示値にブロックゲージの値 A を加えた値にセットする。次に触針を⑦の状態とし、この時の z 座標読取カウンタの表示値を最初の①の状態における表示値に等しくセットする。

然る後、⑧からの測定を開始する。

(図 23) の場合では、⑥の状態における x 座標読取カウンタの表示値を⑤の状態における表示値からブロックゲージの値 A を減じた値にセットする他は、(図 22) の場合と同じ手順となる。

なお、図中の番号は測定の順序を表わしたものである。

5.2 模型翼断面のような形状の輪郭座標測定

(図 24) はこのような場合の測定順序を示したものである。 z 座標測定基準線は翼弦線と呼ばれ、測定可能な平面としては存在しないのが一般であるから、このよう

な場合には全測定値から最小二乗法によって最も確かな基準を決定しなければならない。

また前述したように、測定点における接線と触針軸とのなす角が $\alpha/2$ より小さくなるような測定面は同一姿勢では測定不能となるので、このような場合には、(図 25) に示すように触針軸の姿勢変更を 8 回行なわなければならない。

5.3 内面形状の輪郭座標測定

ノズル内面形状の測定のような場合には(図 12) b に示したような曲り触針軸を用いる。

一例として(図 26) にその測定順序を示す。

第 6 章 三次元座標測定器本体へのアタチメント

以上、述べて来た 2 種類の検出器を用いての、三次元的断面形状測定、および内面形状寸法測定のほかに、三

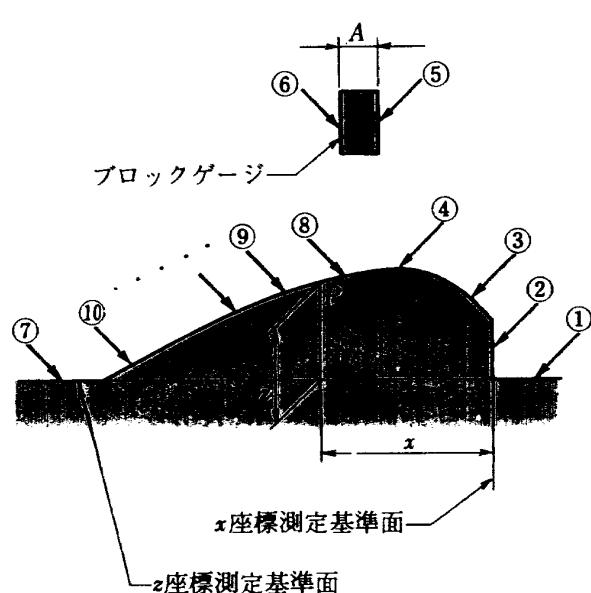


図 22 実際の測定手順 その 1

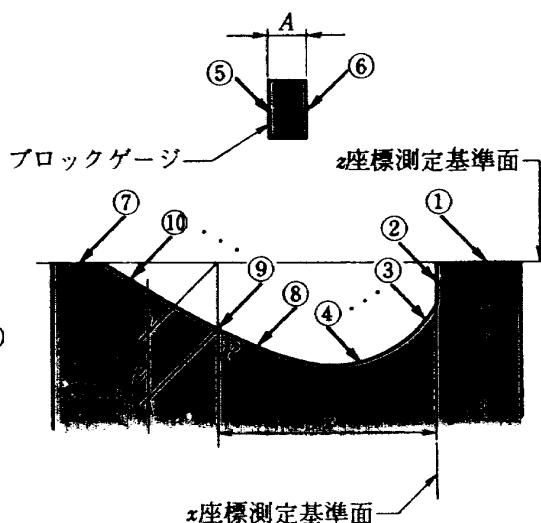


図 23 実際の測定手順 その 2

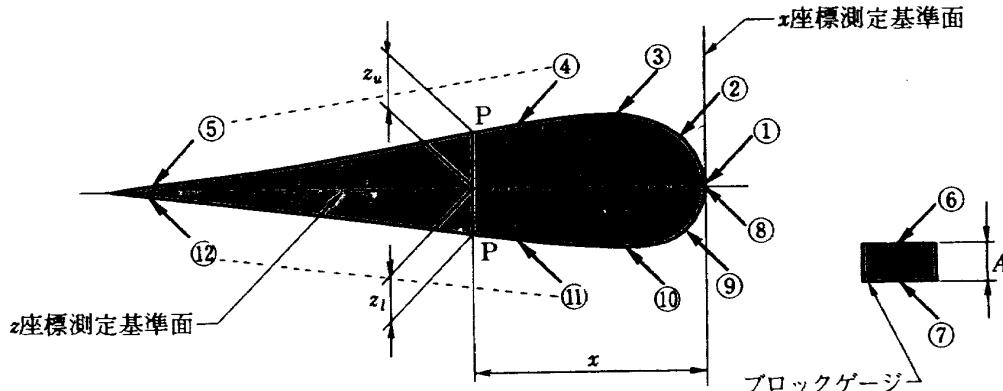


図 24 実際の測定手順 その 3

次元座標測定器本体のX, Y, Z可動機構、および座標読取機構を利用したアタチメントを二、三設計製作し好結果を得たので以下に示す。

6.1 立型座標測定器

風洞実験模型翼断面加工用プロフィルゲージ等の精密測定には、従来当所においては8LP測長器の読取機構を利用した自家製作の小型座標測定器を用いていたが測定範囲が小さく高々X座標200mm, Y座標25mmであ

り不便を感じていた。

今回、設計製作されたものは被検体を置く載物ガラス面が垂直に保存され、従ってプロフィルゲージも垂直に保持された状態で測定される。言わば立型座標測定器とでも言えるもので、その可動機構、および座標読取機構は、三次元座標測定器本体のそれ、そのままを用いている。

(図27)は本装置を示し、その主要諸元を以下に示

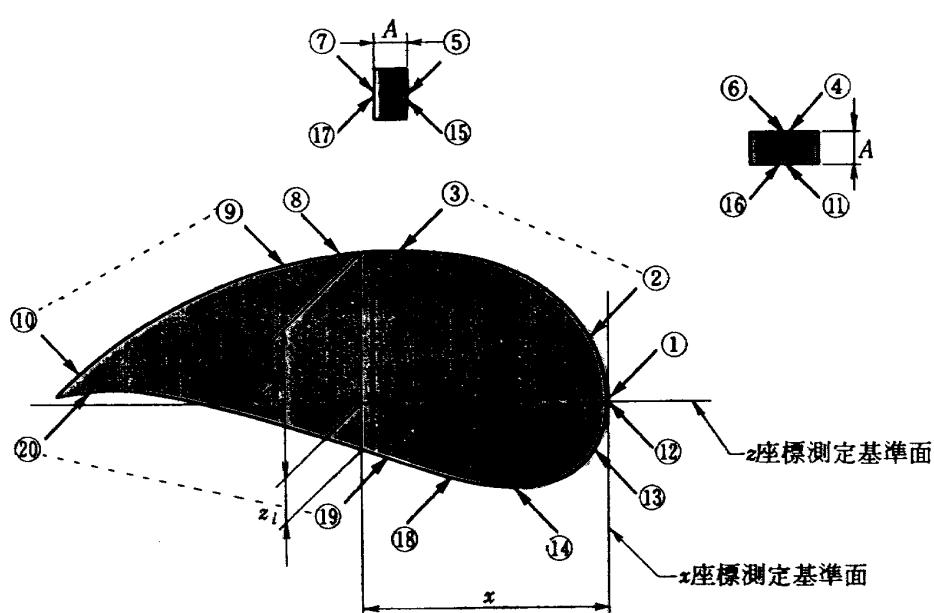


図 25 実際の測定手順 その4

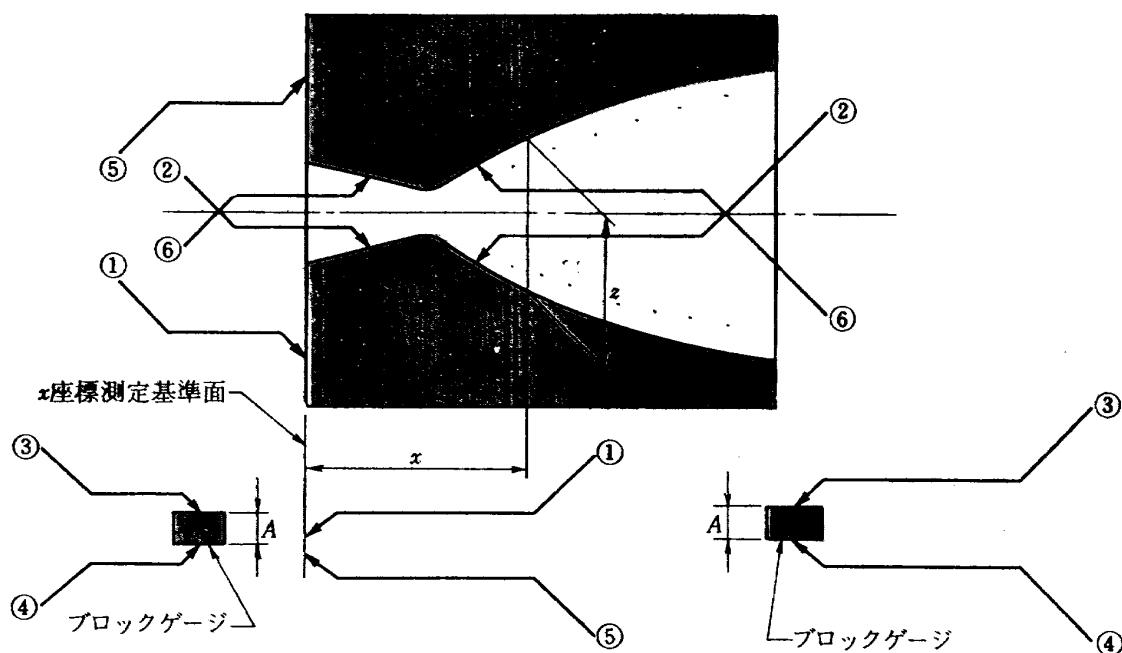


図 26 実際の測定手順 その5

す。

(使用目的)

プロフィールゲージの輪郭座標測定

(測定範囲)

X 座標 …… 600 mm, Y 座標 …… 200 mm

座標読取方式

X 座標 …… オリンパス光学工業製, モアレ縞格子スケール GR-600UX。読取ヘッド MLS-21, およびカウンタ CLP 261 による。

Y 座標 …… オリンパス光学工業製, モアレ縞格子スケール GR-201-A4。読取ヘッド MLS-11, およびカウンタ CLP 261 による。

測定顕微鏡倍率 …… 20 倍および 57 倍

(読取単位)

X 座標 …… 0.001 mm, Y 座標 …… 0.001 mm

(測定輪郭線の傾斜角 (θ) に対する y 座標の測定精度)

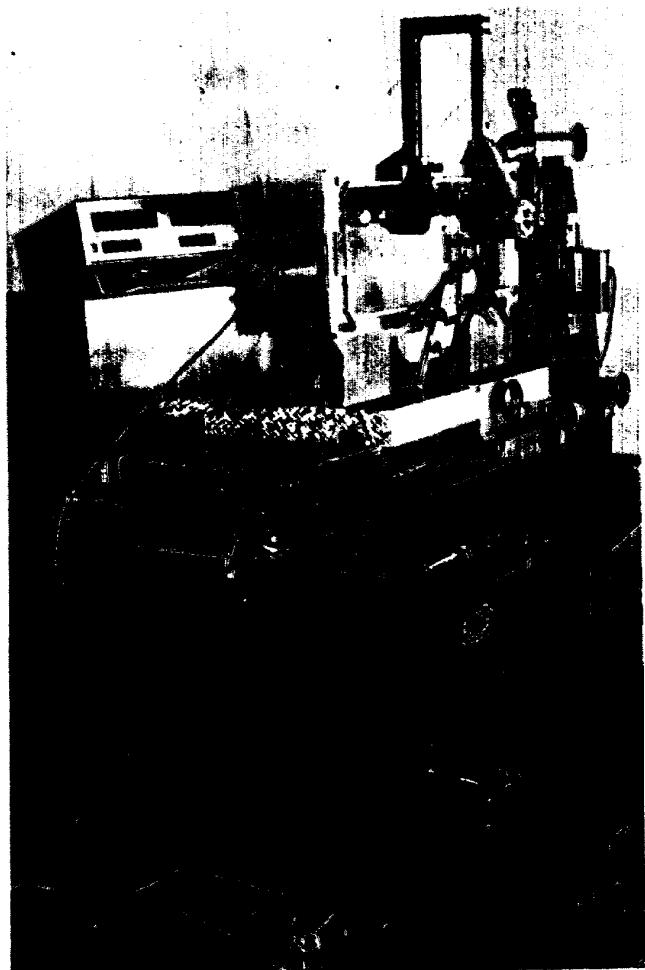


図 27 三次元座標測定器本体に取付けた立型座標測定器装置

6.2 ポンチングおよびケガキ機構

プロフィルゲージ、その他種々の工作物を加工する場合、先づ素材にケガキまたはポンチングを行う。

そして実際の加工作業では、このケガキ線またはポンチング点を目標にして加工する。中就、プロフィルゲージ製作のための精密ケガキは一般にはブロックゲージによるケガキ法を用いており、非常に手間と時間のかかるものであり間違いも起り易く、また座標点は十字ケガキ線の交点として示されるので高精度は期待し難い。

本機構は三次元座標測定器本体の測定アーム先端に取付けて用いられるもので、その X, Y および Z 可動機構、座標読取機構を用い、左右方向 600 mm, 前後方向 500 mm, 上下方向 200 mm にわたつてのケガキ、およびポンチング作業を迅速かつ、高精度に行うことができる。

(図 28) に本機構の構造図を示す。

精密級リニヤーモーションボールベアリングを主軸に 2 コ、副軸に 1 コ用いており、そのラジアルすきまはマイナスすきまに調整してあるので軸のガタツキが全くない。

以下にそのポンチングおよびケガキ精度を示す。

ポンチング精度

X 方向 …… ± 0.005 mm, Y 方向 …… ± 0.01 mm

Z 方向 …… ± 0.005 mm

ケガキ精度

X 方向 …… ± 0.005 mm, Y 方向 …… ± 0.01 mm

Z 方向 …… ± 0.01 mm

6.3 サーキュラーテーブル

従来のサークュラー・テーブルの一般的な機構は回転軸を丸穴にはめこみ、丸穴の円筒面を基準にして回転させるものである。この場合には回転中の軸心の振れを少くするためには、軸および穴の直径の同じ呼称寸法に対して、それぞれの公差を小さくし、両者をはめ合わせたときのすきまができるだけ小さくするとともに、両者の真円度を寸法公差よりも小さくしておくことが大切である。従つて、この機構では、寸法精度と形状精度とを、軸と穴の両方について、厳密に守らなければならない。

これに対して、軸と穴のはめ合いでなく、どちらか 1 つの形状精度を規定するだけで回転装置を構成することができれば、その製作は容易になり回転精度も出し易くなる。

測定輪郭線の傾斜角 (θ)	$0^\circ \sim 40^\circ$	$50^\circ \sim 70^\circ$	80°
y 座標の測定精度 (μ)	± 5	± 8	± 15

(表 7) 立型座標測定器の測定精度

なる。

本サークュラー・テーブルは、このような考え方から、(図29)に示すように、2つのローラの軸を台に固定し、他の1つのローラはテーブルを常に2つのローラに接触させる役目を持たせれば、テーブルの外周面が回転接触させる役目を持たせれば、テーブルの外周面が回転

運動の基準となるから、この外周面をできるだけ真円に仕上げるとともに回転精度のよいローラ(玉軸受)を使用すれば、高精度が得られるという想定のもとに、設計、製作した。

(図30)にその構造図を示す。

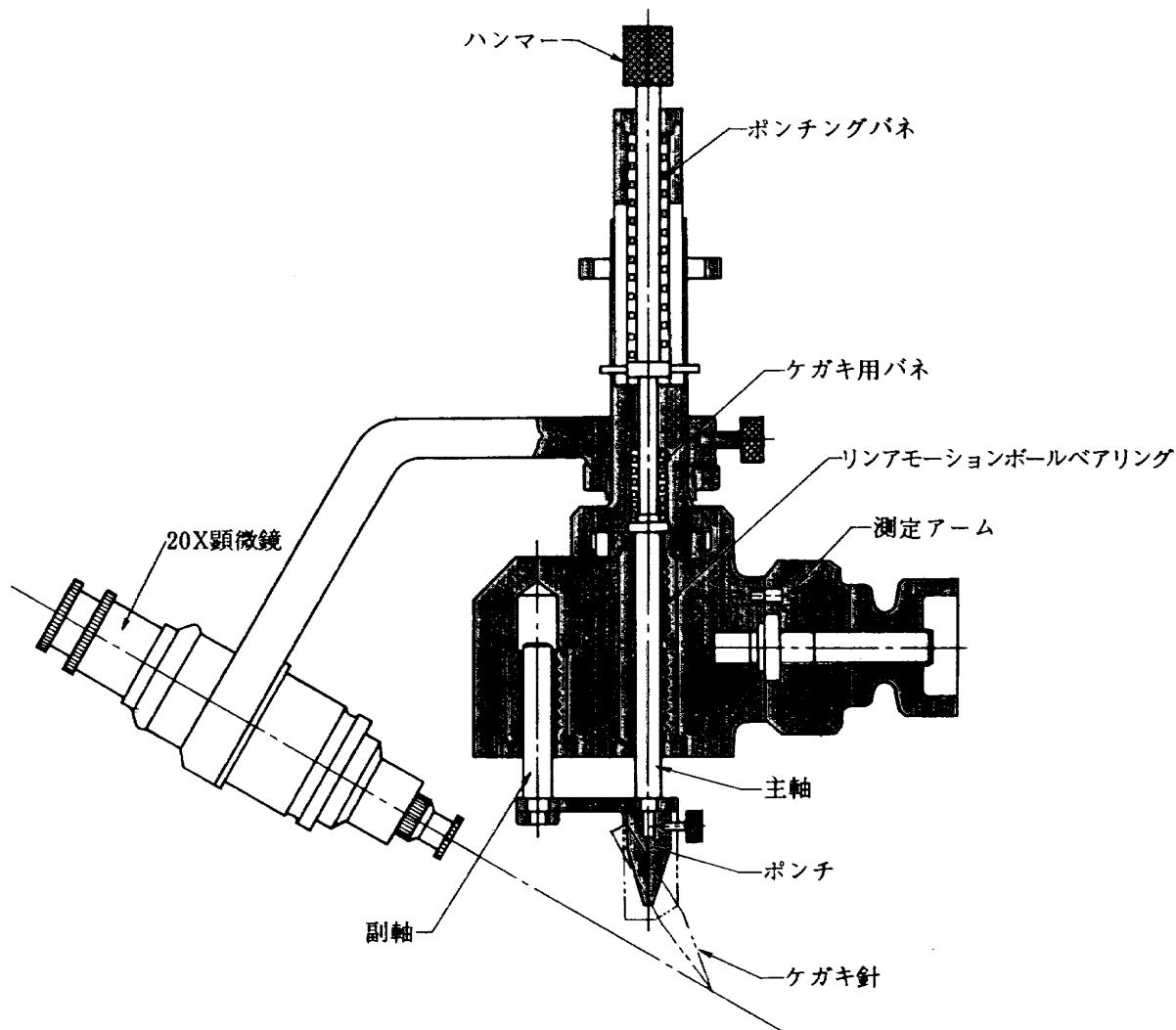


図 28 ボンチング、ケガキ機構の構造図

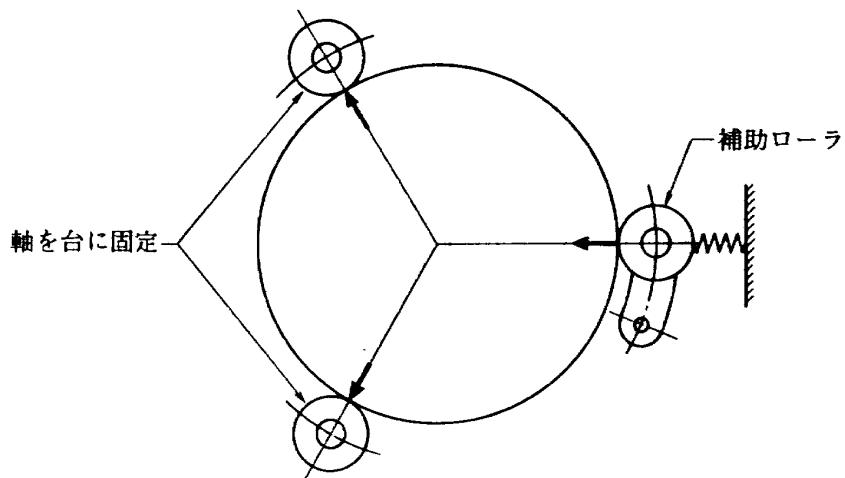


図 29 ころがり接触によるテーブルの回転機構

図において、円形のテーブル(1)の外周面(8)は 2コの固定ローラ(3)と 1コの補助ローラ(4)で支えられている。ローラは 3コ共超精密級玉軸受を使用している。

テーブル(1)の軸方向荷重は 8コのストロークベアリング(7)によって固定台(9)に支えられている。

さらに、テーブルに取付けられた軸(2)の下端にはスラストベアリング(5)が取付けられ、この玉軸受は、スラスト荷重を軽く受ける程度に固定台側に載せられた状態で取付けられている。

軸(2)の先端はテープになつており、ソニーマグネスケールⅡ製の回転マグネスケール MSS-201(6)がフローテングの状態で、このテープ軸に、ネジ(10)によって取付けられている。

なお、本装置は、三次元座標測定器本体のX滑台上に取付け固定できるようになっており、そのX,Y,Z可動機構、および座標読取機構と併用して、測定アーム先端に種々のダイヤルゲージ、指針測微器、または前述のポンチング・ケガキ機構を取付けて角度測定を含めた広範囲な測定、およびポンチング・ケガキ作業ができるように設計されている。

(1) 角度の最少読み取り単位… 3秒

(2) 回転マグネスケール、および同カウンタの総合表示精度…± 10秒

6.4 その他のアタッチメント

その他、チャッキング偏心度 0.03 mm 以内の心出しチャッキング装置、およびシリンドラゲージセッティング装置が含まれている。

第7章 むすび

以上、§4の検定結果より、試作した2種類の触針式検出器共、その測定誤差は、ほど、誤差式(7)に従って生ずることが確認された。すなわち、一般に触針式測定法において、触針が測定物に接触してから測定検出点まで変位するまでの触針先端の力学的挙動は、誤差式(7)によって律せられるのであり、したがって例えば、Uゲージ式検出器の場合、検定に供した触針軸および触針を用いようとすれば、ストレート触針の場合 $K = 21.6 \times 10^{-4}$ mm/gr, $R = 6 \mu$ であるから $\epsilon = 70$ マイクロ(測定圧 1.19g)が最適条件であり、曲り触針軸の場合、 $K = 83.5 \times 10^{-4}$ mm/gr, $R = 27 \mu$ であるから $\epsilon = 85$ マイクロ(測定圧 1.89g)が最適測定条件となる。

マグネセンサ式検出器の場合も全く同様である。

すなわち、誤差式(7)によって、いろいろの K, W および R の組合せに対して、 $\theta = 45^\circ$ 前後で ϵ_z が最小のものを選べば、それが最適測定条件となり、この条件での測定精度は両者とも表8で示される。

触針軸の形状はストレート形以外に被測定物に応じた種々の寸法の曲り触針軸を取付けることができる。

ただし、正確な K の値が判っていなければならない。

この K の値に対して、可能な最適の W, R の組合せを選べばよい。触針軸の姿勢は斜め 45° 以外に必要に応じて垂直でも水平でも測定可能であり、非常に広範囲に応用できるものと思われる。

また、測定圧は数グラムであるので被測定物を傷付け

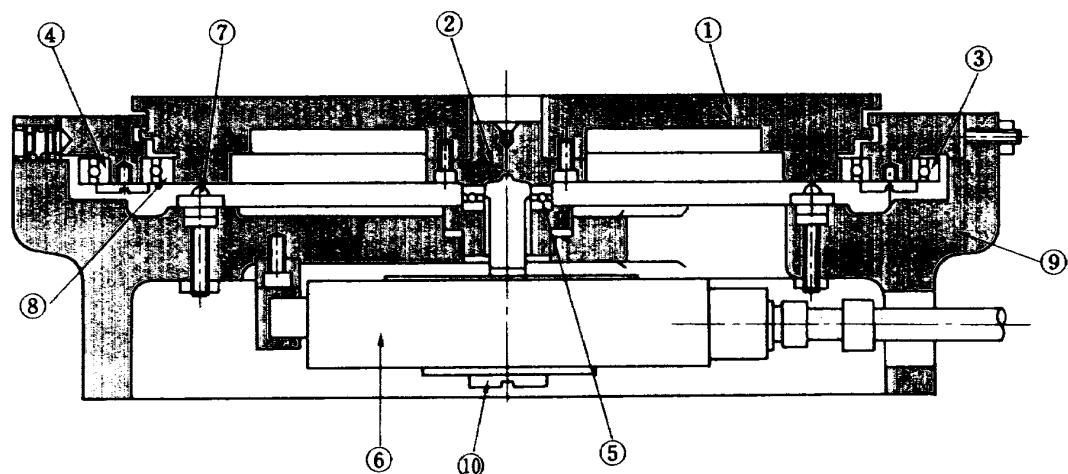


図 30 サーキュラーテーブル構造図

ることもない。

三次元座標測定器本体へのアタチメントの中の立型座標測定器は、本体に取付けてある高精度モアレ縞格子スケール読取機構を巧妙に利用し、またこの種の測定器としては前例のない立型方式を採用した。

また、ポンチング・ケガキ機構におけるポンチング精度が、X および Z 方向に対して $\pm 5 \mu$ というのは従来の目見当でポンチングする以外に方法がなかったのに比べ格段の差がある。

プロフィルゲージ製作の場合、不鮮明なケガキ線の交点を加工目標とする従来の方法の代りに、座標点ポンチングの鮮明なる中心点を加工目標とするならば、より容易に正確なものが期待されるであろう。

以上、ミクロンオーダの精度での測定を可能とするために、二種類の検出器について精度検定を行い 0.1 ミクロンのオーダの定点検出精度を有する検出器を試作し、これを三次元座標測定器用検出器として採用し、また座標値の読み取りに高精度のモアレ縞格子スケールを用いた。更に測定器本体の可動部の加工精度に十分留意した結果、良い運動精度の測定器が得られ、当初の目的を果すことができた。

終りに三次元座標測定器本体、および、そのアタチメントの製作に当って御尽力いただいた、(株)藤田製作所の森川茂雄氏、ならびに佐久間到氏に厚くお礼申し上げます。

測定面の傾斜角 (θ°)	-10~40	50~60	70	80
z 座標の測定精度 (μ)	± 3	± 4	± 5	± 10

(表 8) 三次元座標測定器の測定精度

航空宇宙技術研究所資料 283号

昭和 50 年 8 月 発行

発 行 所 航 空 宇 宙 技 術 研 究 所

東 京 都 調 布 市 深 大 寺 町 1880

電 話 武 蔵 野 三 鷹 (H22)47-5911(大 代 表) 182

印 刷 所 株 式 会 社 東 京 プ レ ス

東 京 都 板 橋 区 桜 川 2~27~12

Printed in Japan