

## 真円度測定機における自動心出し機構

Development of a Centering Mechanism of a Workpiece for Roundness Tester

樋口 俊郎\*・山形 豊\*・石田 宏明\*\*  
Toshiro HIGUCHI, Yutaka YAMAGATA and Hiroaki ISHIDA

## 1. はじめに

真円度測定機は特殊な精密部品の検査だけでなく量産工場の部品の検査工程などでも広く使用されているが、近年検査コストの低減などのために測定の自動化への要求が高まっている。真円度の測定は通常は精密な回転テーブル上に被測定物を置き、回転させることによって行うがその測定に際しては被測定物の測定面からなる円弧の中心と回転テーブルの中心を高精度に一致させる必要がある。従来はこの心出し作業は小型ハンマーを用いて手動で行う方法あるいは手動のXYステージを用いる方法などが使用されてきた。最近ではステージをステップモータなどにより自動化し、測定の自動化を実現した例もある。しかし回転テーブル中に自動ステージを組み込むことはステージの大型化をまねき、またカップリング等によって外部から動力を供給した場合は回転ステージは小型化できるがカップリングの動作に時間がかかるといった問題があった。心出し精度に関しても被測定物が測定機の回転テーブル上に置かれた状態では偏心誤差は数mm程度でありそれだけのストロークを最高1 $\mu\text{m}$ 以下の精度で心出しすることは従来の機構では難しい。

著者らが考案し研究を進めている圧電素子の急速変形を利用した精密位置決め機構<sup>1)</sup>は構造が簡単で数nmという高い位置決め精度が得られるだけでなく原理上可動範囲が無制限であるといった特長をもつために真円度測定機の心出し機構として最適であると考えられる。本稿ではまず従来の心出し機構について触れた後、今回開発した圧電素子を用いた心出し機構の概要について述べる。

## 2. 従来の心出し機構

## 2.1 心出しの必要性

回転テーブルの回転中心に対するワーク (被測定物)

\*東京大学生産技術研究所 第2部

\*\*㈱ミットヨ

の偏心が大きくこの偏心による振れが測定レンジを越えると測定データが一部無効となってしまう測定が不可能となることは言うまでもないが、振れがレンジ内であっても偏心が大きいと幾何学的な誤差を生じる。一例をあげるとこの誤差の値は、ワークの直径と測定子の直径を加えたものが10mmで偏心量が100 $\mu\text{m}$ の場合0.5 $\mu\text{m}$ となる。また検出器の雑音および最小分解能の点からも偏心による測定子の変位をなるべく小さくして純粋な形状偏差のみを測定することが望ましい。したがって高精度な測定を行うには偏心は可能な限り小さくする必要がある。

## 2.2 一般的な心出しの機構および手順

写真1に一般的なネジとステップモータによる心出し機構を備えた真円度測定器の例(㈱ミットヨRA-711)を示す。測定器は回転テーブルに支持された心出し装置、検出器を保持するアーム送り部、検出器、演算制御部からなる。心出し装置はネジとステップモータによって構成され、0.25 $\mu\text{m}$ の分解能と $\pm 2\text{mm}$ の可動範囲を持つ。検出器は差動トランス式の電気マイクロメータで、測定範囲 $\pm 250\mu\text{m}$ 、分解能0.1 $\mu\text{m}$ である。検出器を

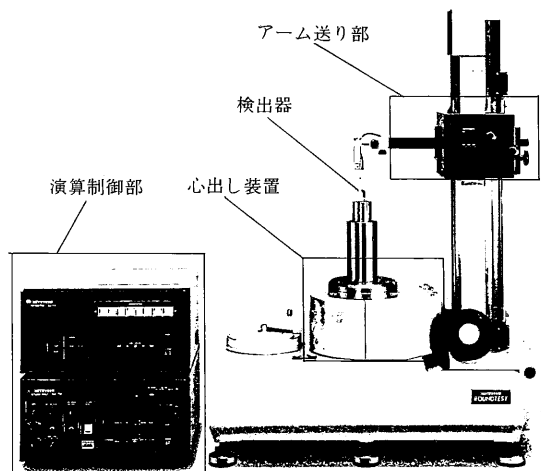


写真1 ステップモータとネジからなる心出し機構を備えた真円度測定器 (㈱ミットヨ製RA-711)

研究速報

支えるアーム送り部は検出器の測定範囲を越える振れに対して追従するように検出器を送る。演算制御部は測定されたデータの処理および測定器全体の制御を受け持つ。

XYテーブル(手動)を用いた一般的な心出しの手順について以下に説明する。ステッピングモータを備えた機構の場合は手順でネジを回す部分が自動化される点異なるだけである。

- ①目視でワークをXYテーブルのほぼ中央に載せる。
- ②検出器の測定子をワークの測定箇所近づけ、テーブルを手で回転させて測定子とワークのすき間の変化を見る。大きく変化する場合は手でワークを中心方向に寄せる。
- ③ある程度すき間の変化が小さくなったら測定子をワークにあて、テーブルを回転させて振れをバググラフなどのメータで確認し、測定レンジ内に入ったならばテーブルの回転中心と測定子を結ぶ直線上にX(あるいはY)方向の心出しつまみ位置を合わせそのときのメータの読みを見る。(図1)
- ④テーブルを180度回転させてそのときのメータの読みと③の読みとの中間をメータが示すように心出しつまみで調整する。(図2)
- ⑤同様にしてもう一つの心出しつまみでY(あるいはX)方向の調整をする。
- ⑥順次レンジアップして所望のレンジでスケールオーバーしないように③~⑥の調整を繰り返す。

3. 新機構の実験システムについて

今回開発した自動心出し機構<sup>2)</sup>は基礎実験を目的とし

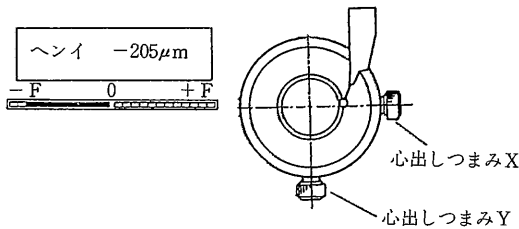


図1 最初の読み

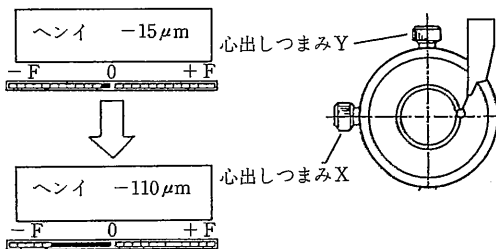


図2 180°回転させたときと調整後の読み

ており、自動アーム送り機構を備えていない。そのため自動心出しの範囲は検出器の測定範囲 $\pm 250\mu\text{m}$ である。

3.1 システムの構成

図3に今回の実験システムの構成をまた外観を写真2にしめす。真円度測定器は株式会社ヨ製RA-112を使用し、一連の心出し操作はパソコンによって制御する。駆動用の圧電素子を内蔵した心出し装置は回転テーブルに積載されワークの偏心量だけ移動する。このときの移動量は、真円度測定で変位検出に用いる電気マイクロメータでモニターする。なお、電気マイクロメータは前述の検出器と同様のものを使用している。

3.2 心出し装置の移動原理

本機構は圧電素子を駆動源とし、圧電素子の急速な変形の際に生ずる慣性力と摩擦力を利用して移動を行うものである。

図4で、質量Mの装置本体が研削あるいはラッピングされたベース上に固体摩擦力によって保持されている。装置本体には圧電素子を介して慣性体と呼ばれる質量mの重りが取り付けられている。

移動を引き起こすには圧電素子に図5のような波形の電圧を印加する。ここで、添字の①~⑤は図4の移動図

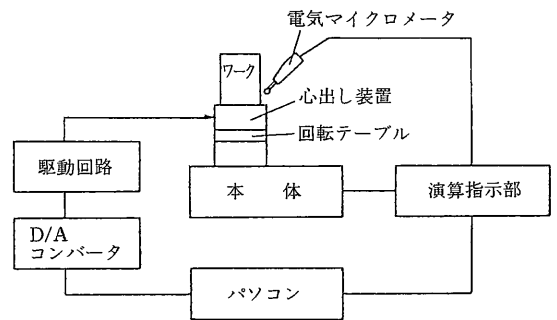


図3 今回開発したシステムの構成

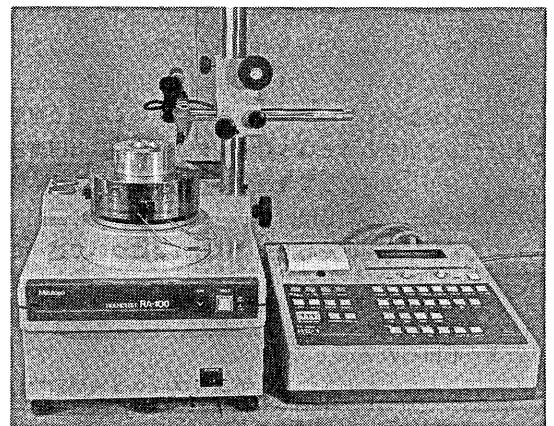


写真2 今回開発したシステム

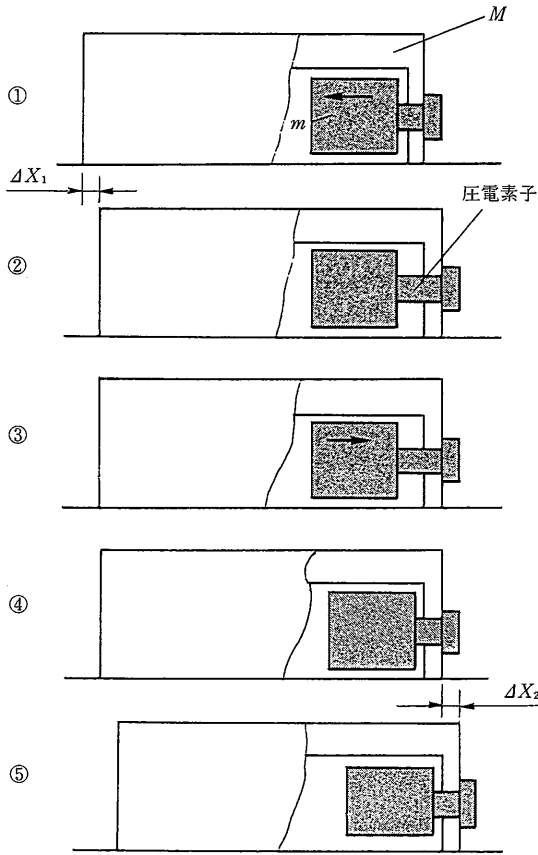


図 4 移動原理

①～⑤の圧電素子の印加電圧に対応する。以下に移動図①から順を追って説明する。

・移動図①→②

電圧波形の①→②の立ち上がりで圧電素子の急速伸張により慣性体に慣性力が発生し、この反作用により装置本体は $\Delta X_1$ だけ移動する。

・移動図②→③

この区間は次の引き戻しの動作に移る前に移動が完全に停止するまでの待ち時間である。

・移動図③→④

電圧波形③→④のように圧電素子を一定の加速度で引き戻しながら急速に停止させる。このとき引き戻しの加速度は装置本体が逆方向に移動しないように慣性体に生じる慣性力が静止摩擦力よりも小さくなるように制御する。

・移動図④→⑤

慣性体が装置本体に衝突するような形となり移動体は $\Delta X_2$ だけ移動する。

このようにして図5のような波形の電圧を連続的に印加すると装置本体はステップ状に移動する。また反対方

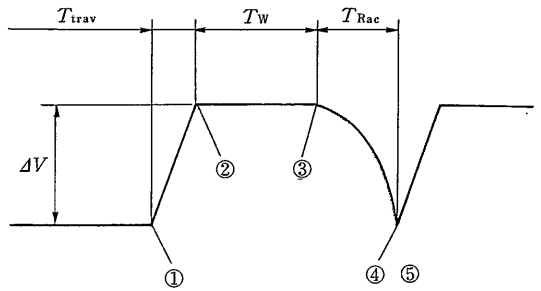


図 5 印加電圧波形

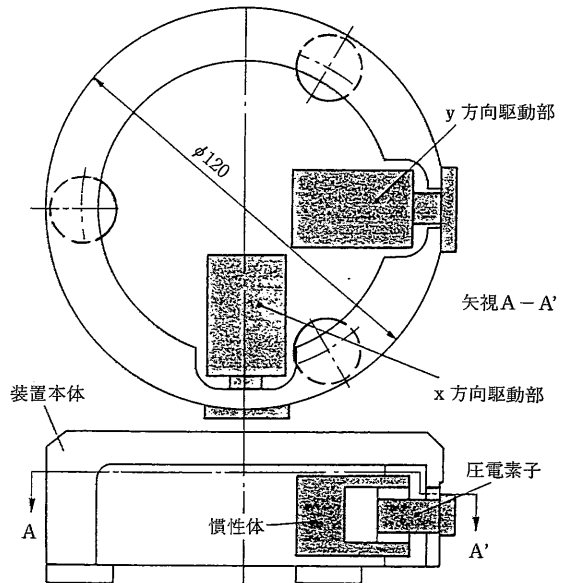


図 6 圧電素子の急速変形を利用した心出し装置の構造

向への移動は波形を上下逆にした電圧を印加することで可能である。

3.3 心出し装置の構造

図6に今回試作した心出し装置の構造図を写真3にその外観を示す。おわんを伏せたような移動体に圧電素子と慣性体からなる駆動部が90度の向きに2組取り付けられているだけの非常に簡単な構造で回転テーブルとの接触は平面の足3点で支持されている。摺動面は焼き入れ鋼をラッピングしたものを使用している。

装置本体と慣性体の質量はそれぞれ2kg、120gである。また圧電素子はPMN系積層型素子(NEC製)でサイズが断面10mm×10mm長さが20mmで、150Vの印加電圧で16 $\mu$ m伸び、伸びを抑制した場合は350kgfの力を発生する。

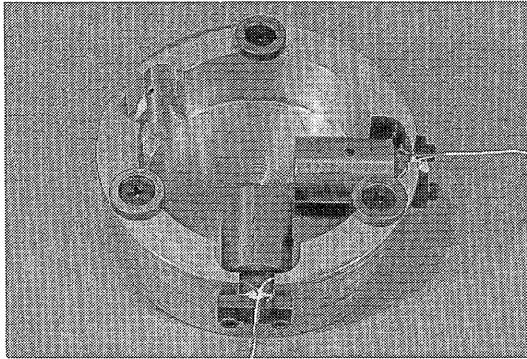


写真3 圧電素子の急速変形を利用した心出し機構

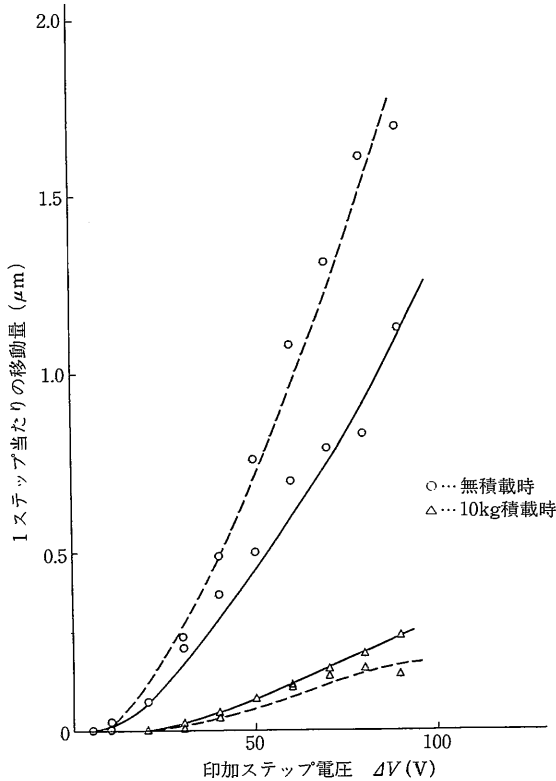


図7 印加電圧振幅と1ステップあたりの移動量の関係

4. 心出し装置の移動特性

図7は無積載時と10kg積載時の印加ステップ電圧と1ステップあたりの移動量の関係を示している。実線のグラフが、図4で右方向への移動に相当し、破線はその反対方向への移動でそれぞれの進行方向を正としている。無積載時移動方向によって移動量に顕著な差がみられるが、10kg積載時には同程度の移動量となっている。これらのデータから本装置の可動積載質量は10kg以上であるとみることができる。安定した移動は無積載時では印

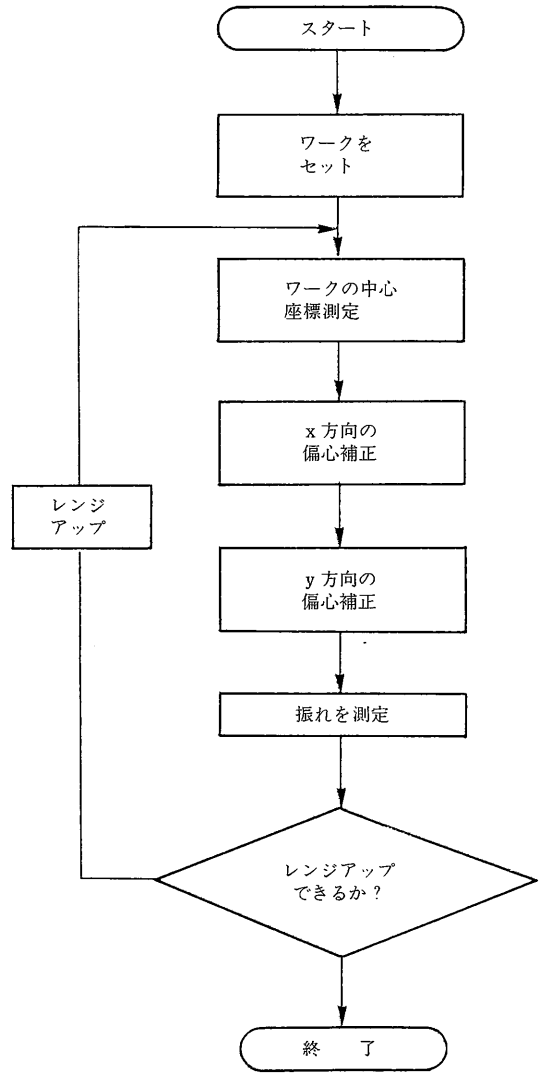


図8 心出しのフローチャート

加ステップ電圧10V以上で、10kg積載時は30V以上で確認でき、1ステップあたりの移動量は $0.02\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ である。なおこのときの電圧波形のパラメータは

$$T_{\text{trav}}=200\mu\text{s}, T_w=7.5\text{ms}, R_{\text{ac}}=10\text{m/s}^2$$

( $R_{\text{ac}}$ : 図5の③→④の引き戻し加速度)

である。

5. 心出し実験結果

5.1 心出しのアルゴリズム

心出しは次の手順で行う。また図8に手順をフローチャートで示す。

- ①最低レンジ ( $\pm 250\mu\text{m}$ ) でワークの振れがフルスケー

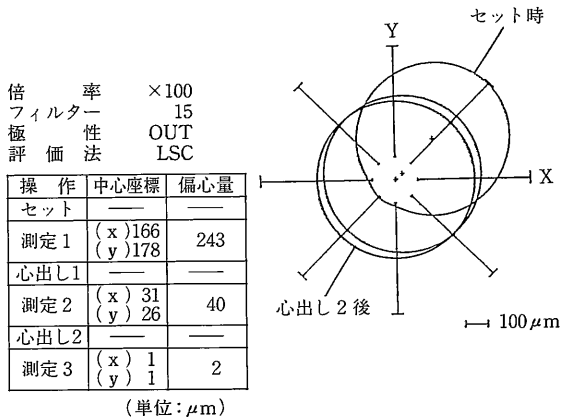


図 9 心出しの過程

ル内に入るように手でワークを心出し装置上にセットする。

②通常の真円度を測定する要領で、データのサンプリングを行いパソコンに転送する。

③パソコン指令で心出し装置を X 方向に偏心量だけ移動させる。このときの移動量は電気マイクロメータでモニターする。

④パソコン指令で回転テーブルを 90 度回転させて Y 方向の偏心を③と同じ要領で補正する。

⑤ワークの振れを測定し、レンジアップできるか判断する。

⑥レンジアップできる場合はレンジアップして②～⑥を繰り返す。

またワークの真円度が測定レンジを越えてレンジアップできない場合は心出しを終了する。

### 5.2 実験結果

図 9 は心出しの過程を示しており、原点より最も離れた点がセット時のワーク中心でほぼ原点に位置する点が心出し 2 回目のワーク中心である。セット時 240 μm あった偏心量が 2 回の心出し操作でほぼ中心の 2 μm まで心出しされていることがわかる。なおワークは真円度 7 μm、質量 200g であった。

図 10 は積載質量と心出し精度の関係で、積載質量がワークを除いて 0, 3, 10kg の時におのおの 2 回心出し実験を行った平均を表している。このグラフから重量物を積載した場合でも心出し回数、精度ともほとんど変わらないことがわかる。

### 6. お わ り に

圧電素子を駆動源とした心出しシステムで積載質量

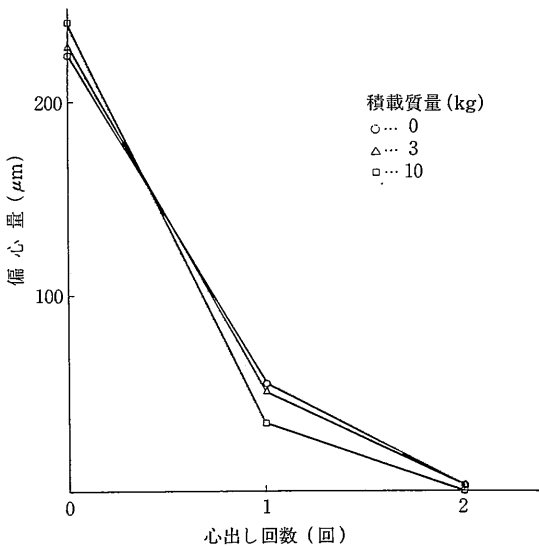


図 10 積載質量と心出し精度

10kg までの偏心を数 μm 以内におさめることが確認できた。さらに、心出し機構は簡単な構造ながら 0.02 μm の送り分解能を有する事が確認できた。この機構によれば低コストでの心出し機構の高精度化が期待できる。

今回の実験システムはアームの自動送り機構をもたないために自動心出し範囲が ±250 μm と小さくこのままでは実用向きではない。今後はさきに紹介した既存の自動心出し機構と同じようにアームに送り機構を取り付け ±数 mm の自動心出し範囲に対応させる予定である。

また近年部品形状の高精度化に伴い、従来の真円度測定による二次元的な評価に加え、三次元的な円筒度や同軸度による評価へと高度な測定が要求されている。これら高度な測定を行うためには、単にワークの一断面の心出しだけでは不十分でワークの軸心とテーブルの回転軸心を一致させるアライメントが必要である。したがって将来的には本稿で説明した心出し機構にワークを傾斜させる機能を加え、自動アライメント機能として実用化する予定である。

(1991年 8月22日受理)

### 参 考 文 献

- 樋口, 渡辺, 工藤: 「圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構」精密工学会誌 vol. 54, No. 11 (1988, Nov.) pp 2107-2112
- 樋口, 山形, 古谷, 石田: 「圧電素子の急速変形を利用した真円度測定器自動心出し機構の開発」1990年度精密工学会春季大会講演論文集 pp 9-10