

R-test 装置を用いた工作機械の精度検査に関する研究

濱端直己 指導教員：井原之敏

Study on the Accuracy Test of Machine Tool Using the R-test Device

Student H

Motion accuracy measuring methods of five-axis machining center have been standardized in ISO in the end of 2014. There are newly added measurements that detect the displacements of the rotary axes continuously using the displacement sensor. R-test has begun to attract attention as a measuring device for the newly added measurements. In this study, motion accuracy measurements of several machine tools were performed by using R-test which is expected to be introducing more in the future. As the results of measurement, the characteristic motion errors of the turn-mill machine tool were observed by R-test measurement. In addition, the errors of the linear axis direction were found by calculation using coordinate transformation, because the lathe type machine has a rotary axis with good rotational. Moreover, in this report, the accuracy measurement method for three-axis machining center using the R-test and the rotary table which was purposely mounted was proposed. By the result, the utility of R-test measurement was examined.

Key words: R-test, Five-axis machining center, Turn-mill machine tool, Motion accuracy, Test standard

1 緒 言

多軸工作機械の代表である 5 軸マシニングセンタ (以下MCと略す) は従来の直進 3 軸のMCに工具方向割り出しのための旋回軸を 2 つ併せ持つ工作機械である。5 軸MCの需要の増加に反して、その精度検査方法としては有効なものが最近まで存在しなかった。そこで、2006 年から日本工作機械工業会の提案により、ISOにおいて規格制定の動きが開始し、長期にわたって各国で意見交換や議論が行われた。そして 2014 年に 5 軸MCの補間運動精度検査方法¹⁾がようやくISO規格化された。検査方法には直進 2 軸と旋回 1 軸を同期運動させ、変位計によって旋回軸の変位を連続的に読み取る測定が新たに加えられ、その測定装置としてR-testが注目されている。R-testは 3 つの変位計と 1 つの基準球を用いて運動精度を測定する装置の名称で、動的精度検査で広く用いられているボールバーより測定の能率化に有利と考えられている。R-testはIBS社によって唯一商品化されている。これまで市場に投入された接触式のR-test装置は測定範囲が狭く、現場への導入が進んでこなかった。そのため最近になって非接触式測定ヘッドが開発され、新たに制定されたISO規格の測定器として期待されている (図 1)。そこで本研究では、今後さらに普及することが予想されるR-testを用いて、複数の工作機械の運動精度測定を行い、R-testの問題点や他の測定器にはない有用性について検討する。

2 R-test

2.1 R-test の概要

R-test はスイスの ETH Zurich のグループ²⁾によって名づけられた 3 つの変位計と 1 つの基準球を用いて運動精度を測定する方法である。各変位計が基準球のおおむね中心を向くように設置されており、変位計から取得した出力値を幾何学的な演算を用いて球中心の XYZ 方向の変位として測定することができる。R-test による同時 3

軸制御測定結果についてはボールバーと互換性があることが確認され、検査規格の測定装置として新たに追加された。本研究では、先行研究³⁾により自作した R-test 装置を用いた。自作 R-test 装置を図 2 に示し、その仕様を表 1 にまとめる。



図 1 非接触式 R-test 装置



図 2 自作 R-test 装置

表 1 自作 R-test の仕様

変位計	MT1281 (HEIDENHAIN 製)	
	測定範囲	12mm
	システム精度	±0.2μm
	測定子	平面タイプ
インターフェイス	EIB741 (HEIDENHAIN 製)	
基準球	1inch 鋼球 (真球度 0.13μm 以下)	

2.2 データの処理方法

R-test は座標変換を用いて 3 つの変位計の出力値を工作機械の直進軸方向の変位に演算する。X, Y, Z を工作機械の座標系, (x, y, z) をそれぞれの変位量とし, U, V, W をセンサ座標系, (u, v, w) を変位センサの出力値, また, (ω, φ, θ) をセンサ軸まわりの回転角度とすると式 (1) が得られる。

一つのセンサを、工作機械の+Z 軸方向から見て、+X 軸方向と重なり合うように取り付けた場合、センサの設計角度に基づけば、工作機械の座標系と一致するセンサの座標系の回転角度は誤差がないものとする $\omega = 135^\circ$, $\varphi = -35.264^\circ$, $\theta = 0^\circ$ となる。

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \cdots (1)$$

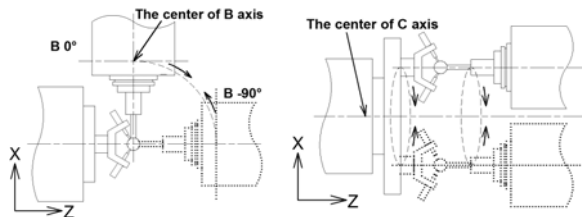
3 複合加工機の補間運動精度検査

3.1 複合加工機の精度検査

複合加工機は旋削加工とミーリング加工を一台で行えることから5軸MCとともに需要が拡大している。複合加工機の精度検査には個別に用意された規格がなく、ターニングセンタの検査規格⁴⁾に従って検査する。しかし、傾斜軸を持った工具主軸を有しているため、その検査規格だけではすべての誤差に対応することができない。また複合加工機では、工作物側と工具側にそれぞれ一つずつ回転軸を持っていることから、混合形5軸MCと同じ形態となり、その機械の検査規格を複合加工機に適用することが可能である。したがって、複合加工機はターニングセンタ用の検査規格⁴⁾と混合形5軸MCの検査規格¹⁾を用いることで検査することができる。ボールバーを使用して複合加工機を検査した事例はいくつか報告されているが、R-testを用いた報告事例は少ない。そこで本研究では、複合加工機の動的運動精度検査にR-testが有効であるかを検証する。また他の測定器でも測定を行い、R-testによって得られた結果と比較する。

3.2 同時3軸制御測定実験

R-test装置を用いてISO10791-6 CK1, ISO 13041-5 AK6を参考に同時3軸制御測定を行う。直進2軸と旋回1軸を工作物から見て工具先端点に変化しないように円弧補間制御を行い、機械の運動精度を評価する。測定された誤差は工作物を基準とした誤差方向と、旋回軸を基準とした誤差方向の2種類の考え方が存在し、同時3軸制御測定の検査規格では旋回軸が工作物にどのような影響を及ぼすかを検査するため、工作物基準の誤差方向で測定を行うことが基本となっており、旋回軸を基準とした誤差方向は代替方法として記されている。ZXB同時3軸制御測定(BK1), XYZ同時3軸制御測定(BK2)をR-test装置で行う概略図を図3に示す。



(a) ZXB同時3軸制御測定 (b) XYZ同時3軸制御測定
図3 測定概略図

3.3 測定対象機と測定装置

測定対象機は工作物側にC軸、工具主軸側に直進3軸(X, Y, Z)と傾斜軸のB軸を有している旋盤型の複合加工機である。図4には対象機械の軸構成を示す。測定対象機をISO10791-6に準拠した構造コードで表すと[w C' b Z Y X B (C) t]となる。

R-test測定の結果と比較するため2次元スケールを用いた測定も行った。HEIDENHAIN製のKGM(図5)は直角格子プレートと走査ヘッドで構成され、非接触測定が可能な測定器である。KGMの測定範囲は直角格子プレートの大きさに依存することから、現在市販されているものでは直径230mmの測定が最大となっている。

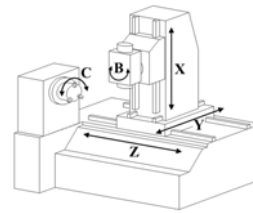


図4 軸構成図

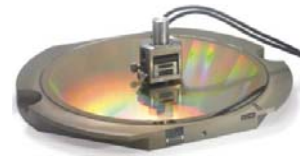


図5 KGM

3.4 測定方向

測定方向はC軸測定の場合、ISO13041-5:2015 AK6, B軸測定の場合、ISO10791-6:2014 CK1の代替方法に従って、旋回軸を基準とした誤差方向である半径方向、軸方向、接線方向とする。R-test測定では、旋回軸の旋回精度が良い場合、旋回軸を基準とした誤差方向から座標変換を用いた演算を行うことで直進軸方向の誤差を求めることができる³⁾。

KGM測定では、評価ソフトウェア ACCOMによってISO230-4を基にした半径方向の偏差に処理され、評価される。しかし実際に得られる測定データファイル(.kkg形式)には、X・Yなどの直交座標系の座標値が記されているため、その2次元データを後処理することが可能である。そこで本研究では、2次元データからR-testと同様の座標変換を用いた演算を行い、半径方向以外の誤差方向を取得する。

3.5 B軸測定時の装置取り付け方法

ISO10791-6 CK1には、図6(a)のように工作物側に測定ヘッドを、旋回軸側に基準球を取り付け、直進軸を基準とした偏差を取得する方法(E-settingと呼ぶ)と図6(b)のように工作物側に基準球を、旋回軸側に測定ヘッドを取り付け、旋回軸を基準とした偏差を取得する方法(Es-setting)の2種類が記されている。

本研究では、E-settingとEs-settingの両方の測定を行う。直進軸を基準とした偏差は座標変換を用いた演算によって旋回軸を基準とした誤差方向に変換し、評価する。

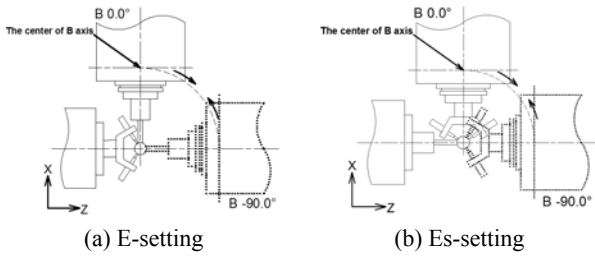


図 6 B 軸測定時の装置取り付け

3.6 実験結果

3.6.1 XYZ 同時 3 軸制御測定

R-test を用いた XYZ 同時 3 軸制御測定の結果を図 7 に示し、KGM を用いた XY 平面の円弧補間測定の結果を図 8 に示す。時計回り(CW)と反時計回り(CCW)の測定結果をそれぞれ赤色、青色で示している。図 7 (a)と図 8 を比較すると、図 8 では円で囲っている 45°と 225°付近に CW と CCW で軌跡に開きが観られる。それに対して、図 7 (a)には回転方向による軌跡の開きは観られない。これは、測定日の違いにより Y 軸方向反転時の挙動が変化したからであると考えられる。この事実を考慮すると軌跡の特徴は異なっていないことが分かる。XY 平面での円弧補間測定と XYZ 同時 3 軸制御測定の結果がほぼ同様の誤差軌跡となっていることから C 軸の旋回精度が良いことが確認できる。それにより、R-test 測定によって得られた半径方向、接線方向の結果から座標変換を用いて直進軸方向の変位に変換した。その結果を図 9 に示す。また KGM 測定によって得られた半径方向の結果から直進軸方向の変位を求め、その後座標変換を用いて接線方向の変位を求めた。その結果を図 10 に示す。

図 9 (a) と図 10 (a) を比較すると、軌跡の特徴が非常に似ていることが分かる。これら軌跡から Y 軸がプラス方向からマイナス方向に切り替わる時、+X 軸方向の誤差がみられ、Y 軸がマイナス方向からプラス方向に切り替わる時には、-X 軸方向の誤差がみられる。これは Y 軸方向反転時に工具先端が X 軸方向に姿勢変化(ピッチング)していることが考えられる。

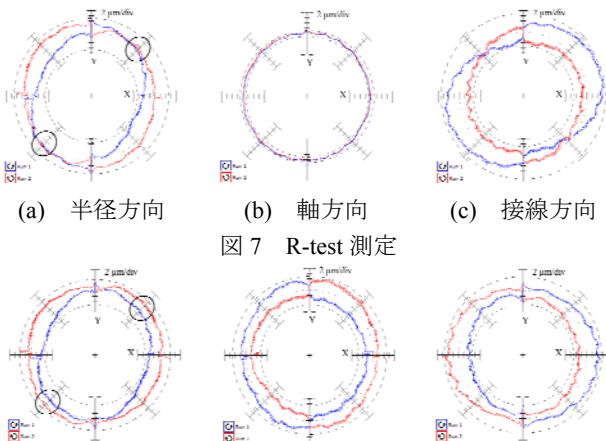


図 7 R-test 測定

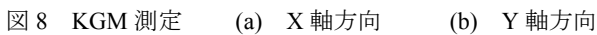


図 8 KGM 測定

図 9 R-test 測定の変換結果

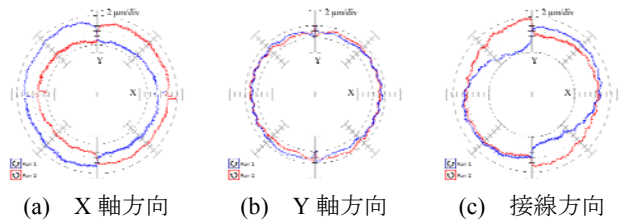


図 10 KGM 測定の変換結果

一般的に、旋盤型の機械では旋回軸にダイレクトドライブモータやビルトインモータが採用されているため、旋回軸の精度が良いことが考えられる。それにより、R-test を用いた直進 2 軸と旋回 1 軸の同時 3 軸制御測定によって直進軸の評価をすることができる。KGM 測定の測定範囲は直角格子プレートのサイズに依存するため、プレートサイズより大きい円弧補間運動は R-test を用いて測定できる。そのため、R-test による測定は大径物を加工するのに用いられる大型の複合加工機の検査に効果的であると考えられる。

3.6.2 ZXB 同時 3 軸制御測定

(1) 装置取り付け方法の検証

B 軸測定には、3.5 節で述べたように 2 種類の測定方法が規格に記されている。その両測定方法で測定を行い、その結果を図 11 に示す。結果には E-setting と Es-setting の CW, CCW 計 4 つの軌跡を示している。E-setting の測定は、半径 308.81mm で行い、Es-setting の測定は 213.4mm で測定した。また指令送り速度は両測定ともに 500mm/min である。

図 11 には装置の取り付け方法によって多少の違いがみられるが、これは工具長の違いにより直進軸の円弧補間半径が異なっていることが原因として考えられる。しかし、これを考慮してもほぼ同様の誤差軌跡が得られていることが確認できる。今回は、旋回軸を基準とした誤差方向で評価するため、E-setting によって得られた結果は座標変換を用いた演算を行い、評価している。演算にはデータ数から求めた仮想的な角度を用いているため、誤差が発生する可能性があるが、工作機械の運動誤差は誤差軌跡の形状によって評価されるため、大きな問題ではない。それにより、2 種類の測定方法は、座標変換を用いた演算を行うことでほとんど同じ結果が取得できることを確認した。

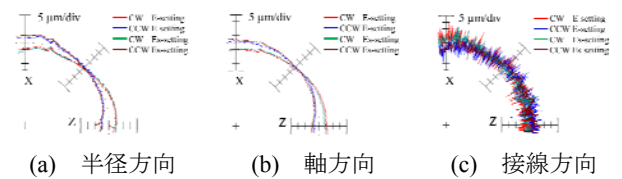


図 11 装置取り付け方法の検証

(2) 運動誤差の評価

ZXB 同時 3 軸制御測定の結果から複合加工機の運動誤

差を評価する。2種類の指令送り速度 (500mm/min, 1000mm/min) で測定範囲を 110°とした測定を行った結果を図 12, 図 13 に示す。

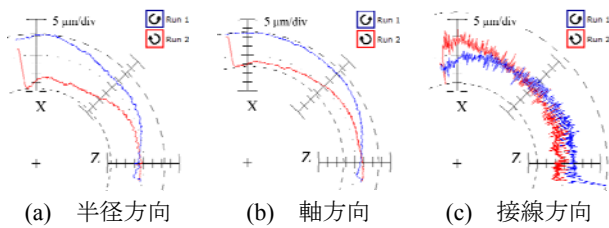


図 12 500mm/min の測定結果

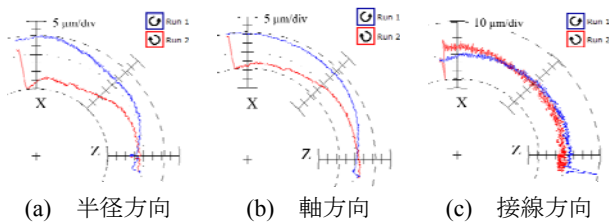


図 13 1000mm/min の測定結果

各送り速度での接線方向の結果から、送り速度に依存した高周波の振動がみられる。一般的に接線方向の結果では、直進軸と回転軸との同期速度の狂いが現れると考えられるため、この誤差は B 軸の回転速度が不安定である可能性が高いことを示している。軸方向の結果から、時計回りの運動に伴いプラス方向の誤差が現れている。これにより、時計周りに移動する時、工具主軸が手前 (測定対象機では、+Y 軸方向が扉側であるため) に倒れていることが分かる。

各送り速度による半径方向、軸方向の CW 測定の結果から機械が動き始めてすぐに半径方向に $-20\mu\text{m}$ 、軸方向に $-15\mu\text{m}$ の段差がみられる。これらは送り速度を変化させても同量の誤差が現れている。接線方向の結果でも機械が動き出してすぐに誤差がみられる。これは送り速度を変化させることによって誤差の大きさが変化している。この誤差の発生原因が B 軸にあるのか、直進軸 (X, Z) にあるのかを調べるためにボールバーを用いて ZX 平面での直進 2 軸の圆弧補間測定を行った。その結果、ZXB 同時 3 軸制御測定の結果で現れた機械動き始めの誤差は確認されなかったことから、B 軸の旋回に依存して現れる誤差であることが分かった。

4. 回転テーブルを用いた補間運動精度測定

4.1 実験目的

R-test は一度のセットアップで 3 方向の誤差を取得でき、それ以外の測定方向に演算することによって 3 方向以上の誤差についても検討できる。回転軸の回転精度が良い場合には直進軸に存在する運動誤差を容易に検出することが可能である。そのため、回転軸を有していない直進 3 軸のみの機械においても、回転機構を付加することで R-test 測定が可能になり、直進軸の評価に効果的である

あると考えられる。そこで本研究では直進 3 軸のみを有する機械の直進軸を検査することを目的として、5 軸 MC の補間運動検査規格を参考に、外部取り付けの回転テーブルと R-test を組み合わせた測定方法を提案する。

4.2 同時 3 軸制御測定

ISO10791-6 BK2 を参考に R-test を用いた同時 3 軸制御測定を行う。直進 3 軸のみを有する機械のワークテーブル上に 1 軸回転機構を持ったテーブルを設置し、機械側の直進 2 軸の圆弧補間と回転テーブルの 1 軸回転を、工作物から見て工具先端点が変わらないように等速運動させることで、機械の運動精度を評価する。

4.3 測定対象機と測定装置

2 台の 3 軸 MC を対象に測定を行った。表 2 に測定対象機の仕様を示す。機械 A はリニアスケールを備えていないセミクロズドループ制御、機械 B はリニアスケールによるフルクロズドループ制御の機械である。両測定対象機は同様の軸構成となっており、ISO10791-6 に準拠した構造コードで表すと $[w X' Y' b Z (C) t]$ となる。

回転テーブルには 5 軸 MC の回転軸に用いられているウォームギア駆動の CNC 円テーブルとロールコーターなどに用いられている DD モータ駆動のサーボモータに R-test 装置を設置できる治具を取り付け回転テーブルとして使用した。回転機構の仕様を表 3 にまとめる。

表 2 測定対象機的主要仕様

	機械 A	機械 B
主軸回転数	10000rpm	6000rpm
移動量 (X×Y×Z)	450×410×410mm	630×410×460mm
早送り速度 (XY×Z)	20×16m/min	30×20m/min
NC 装置	MELDAS500	MELDAS730

表 3 回転テーブルの主要仕様

	CNC 円テーブル	DD モータ
テーブル直径	250mm	170mm
重量	90kg	5.5kg
最高回転数	166rpm	300rpm
最大トルク	255Nm	22.5Nm
検出パルス	100000ppr	2000000ppr

4.4 回転テーブルの制御方式

ウォームギア駆動の回転テーブルは NC 制御装置に直進 3 軸に加え、4 軸目の送り軸アンプを取り付け、付加軸として制御した。本実験では、機械 A のみ 4 軸目を付加している。付加軸制御の場合、NC で直進 2 軸と回転 1 軸を一括して制御しているため、各軸のサーボのゲイン調整によって直進軸と回転軸の同期精度を向上できる。

DD モータ駆動の回転テーブルはモータを NC とは別の AC サーボドライバで制御している。その構成を図 14 に示し、ドライバの仕様を表 4 にまとめる。サーボドライバはエンコーダフィードバックによるセミクロードループ制御を行う。またドライバのデータ編集用ソフトウェアによってパラメータの調整、1 軸回転の運動を行っている。速度・位置ループゲインを調整し、それぞれの値を 20 と 35 [s⁻¹] と設定した。DD モータ駆動の回転テーブルは付け替えによって機械の状態に関わらず測定が可能である。しかし、直進軸は NC によって制御され、旋回軸はサーボドライバによって制御されるため、厳密には同期をとることができない。

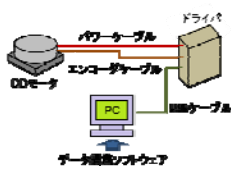


図 14 モータ構成図

出力容量	200W
入力電源	単相 AC100V
制御方式	セミクロードループ
駆動方式	3 相正弦波 PWM

4.5 測定方向

測定方向は旋回軸を基準とした誤差方向である半径方向、軸方向、接線方向とする。接線方向の測定では一般的に直進軸の円弧補間と旋回軸との同期誤差が現れる。ウォームギア駆動の旋回軸においては、機械的な減速機構によるウォームホイールの歯ピッチに依存した回転むららが同期精度に影響を与え、DD モータ駆動の回転テーブルでは、DD モータ固有のコギングの発生やノイズによって微小な速度変動が生じることにより、同期速度に影響する。また直進軸と旋回軸が別の制御装置によって制御されている時、起動のタイミングによる測定開始時の誤差は接線方向の結果に半径の誤差となって現れる。今回の実験では接線方向の結果に旋回軸の特性が及ぼす誤差が確認されたため、評価項目には含まない。しかし、R-test 測定の利点は、座標変換を用いた演算によって、旋回軸を基準とした誤差方向から直進軸方向に変換し、直進軸の評価を行えることにある。そのため接線方向の結果に現れる旋回軸の誤差を改善することによって、R-test 測定の有用性を最大限活かすことができると考えられる。

4.6 測定結果

4.6.1 回転テーブルの旋回精度

図 15 のように主軸側に R-test 装置、回転テーブル側に基準球を取り付け、回転テーブルの旋回精度を確認する。回転テーブルの回転軸中心と基準球の中心を一致させる調整を行い、その後回転テーブルを 5 回転させ、そのときの基準球の変位を測定した。ウォームギア駆動の回転テーブルの結果を図 16 に示し、DD モータ駆動の回転テーブルの結果を図 17 に示す。両回転テーブルとも軸方向にはほとんど誤差が確認されなかったため、半径方向の結果のみ表記している。

図 16 では、ほぼ真円を描いており、旋回精度が良いことが分かる。図 17 から DD モータ駆動の回転テーブルの半径方向に多少の誤差がみられた。今回実験に使用した DD モータ駆動の回転テーブルでは、ウォームギア駆動のものより半径方向の旋回精度が低下する。そのため、実際に DD モータ駆動の回転テーブルを用いた R-test 測定を行い、測定対象機の直進軸の運動誤差を検出できるか確認する。

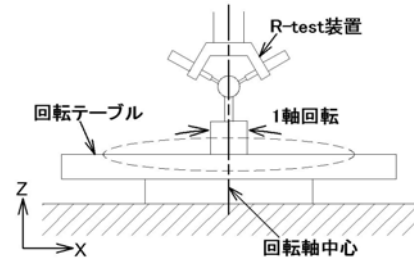


図 15 旋回精度測定

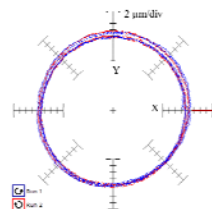


図 16 ウォームギア駆動

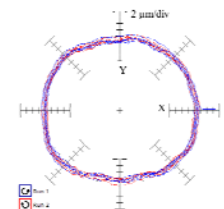
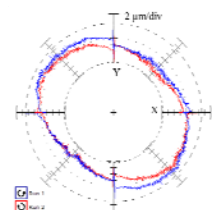


図 17 DDモータ駆動

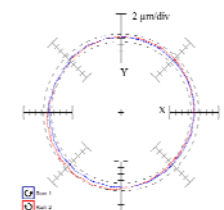
4.6.2 同時 3 軸制御測定

(1) 機械 A

機械 A では、ウォームギア駆動の回転テーブルと DD モータ駆動の回転テーブルによる測定の両方を行った。測定半径 100mm、送り速度 500mm/min とした。その結果を図 18、図 19 に示す。回転テーブルを用いた R-test 測定により、機械の運動誤差を取得できているかを検証するため、ボールバーを用いた XY 平面での円弧補間測定を同じ測定条件で行った。その結果を図 20 に示す。

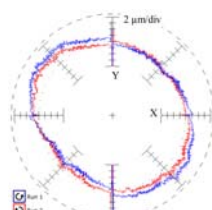


(a) 半径方向

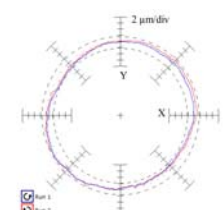


(b) 軸方向

図 18 ウォームギア駆動による測定結果 (機械 A)



(a) 半径方向



(b) 軸方向

図 19 DDモータ駆動による測定結果 (機械 A)

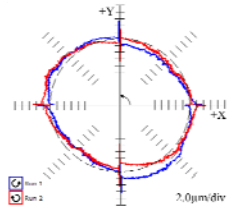


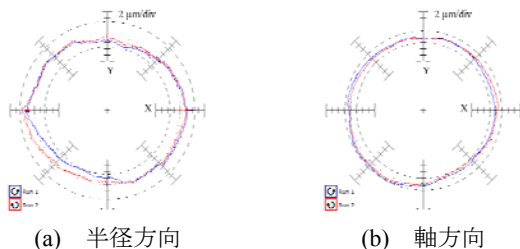
図 20 XY 平面の円弧補間測定 (機械 A)

図 20 と図 18 (a), 図 19 (a) がほとんど同様の誤差軌跡が得られている。それにより、R-test 測定によって直進軸の運動誤差が検出されていることが確認できる。各半径方向の結果より、誤差軌跡が 45°方向の楕円形状を示していることから、X 軸と Y 軸の 2 軸間に直角誤差が存在すると考えられる。測定半径を直進軸の移動量を最大限使用できる 200mm に設定し、測定を行った。その結果から、直角誤差が存在する誤差軌跡は、測定半径の大きさによって楕円形状が変化し、測定半径が大きいくほど楕円の影響が大きくなることが確認された。KGM 測定の測定半径は直角格子プレートのサイズに依存し、ボールバーを用いた測定では、基準半径が 100mm で、測定半径を変更するためには長さが決められたアクセサリツールを使用する必要がある。それに対して、R-test 測定では、旋回軸中心の位置と基準球中心の位置との距離が測定半径となるため、装置の取り付け位置によって任意に測定半径を決めることができる。それにより直進軸の移動量を最大限に使った検査ができ、直角誤差が存在する機械に対して、その影響をより明確に確認できる。

軸方向の結果 (図 18 (b), 図 19 (b)) では、DD モータ駆動の回転テーブルの回転による軸方向の特性が誤差軌跡に現れたと考えられるが、それを考慮すると、大きな誤差はみられず、X 軸と Y 軸の移動に伴う、Z 軸方向の特徴的な運動誤差はほとんど現れていないと考えられる。

(2) 機械 B

機械 B では、DD モータ駆動の回転テーブルによる測定を行った。測定半径 100mm、送り速度 500mm/min とした。その結果を図 21 に示す。またボールバーを用いた XY 平面の円弧補間測定を行った。結果を図 22 に示す。



(a) 半径方向 (b) 軸方向
図 21 DD モータ駆動による測定結果 (機械 B)

図 22 と図 21 (a) がほとんど同様の X 軸方向に伸びた楕円形状になっていることが分かる。機械 B はフルクローズドループ制御であるため、リニアスケールの一様

な伸びによる X 軸の位置決め誤差であると考えられる。

軸方向の結果 (図 21 (b)) では、機械 A の測定と同様に回転テーブルの軸方向の特性が現れているが、それを考慮すると、直進軸の誤差はほとんど現れていない。

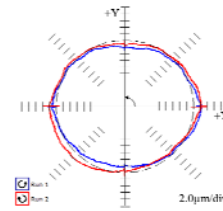


図 22 XY 平面の円弧補間測定 (機械 B)

5. 結 言

本研究では R-test 装置を用いて複数の工作機械の精度検査を行った結果、以下の成果を得た。

- 1) 実際の測定により複合加工機の精度検査に R-test が有効であることを確認した。
- 2) R-test は 5 軸マシニングセンタの旋回軸の精度検査を目的として開発されたが、旋盤型の機械に対しても R-test 測定を行うことができる。また旋盤型の機械では旋回軸の旋回精度が良いと考えられるため、基本的に直進軸方向の誤差が取得される。
- 3) KGM 測定では基本的に ISO230-4 に基づいた半径方向の誤差にのみ処理され、評価される。しかしさらに R-test と同様の座標変換を用いた演算を行うことにより、それ以外の多くの情報を取得することができる。
- 4) 直進 3 軸のみを有する機械においても、回転テーブルを取り付けることで R-test 測定が可能になり、実際の測定によって、直角誤差や位置決め誤差などの直進軸に存在する運動誤差を検出することができた。
- 5) R-test 測定では測定半径を任意に決定できるため、機械のフルストークを使用した検査やボールバーの円弧補間測定では得られない軸方向の誤差も取得できるため被測定機に適した精度測定を行える。

参考文献

- 1) ISO10791-6:2014, Test conditions for machining centres — Part 6:Accuracy of speeds and interpolations.
- 2) Weikert, S., Knapp, W., R-test: A New device for accuracy measurement on five axis machine tools, Annals of CIRP, Vol. 53, No. 1, (2004) pp. 429-432.
- 3) Yamaji, M., Hamabata, N., Ihara, Y., Design of motion accuracy measurement device with three displacement sensors for machine tool and comparison of its setting method, Bulletin of the JSME, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing Vol. 8, No. 4, (2014).
- 4) ISO13041-5:2015, Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres — Part 5: Accuracy of speeds and interpolations.