

複合加工機における工作精度試験法に関する研究

学生 M 指導教員：井原之敏

Accuracy inspection of finished test piece of multi-tasking machine tool

Student M

Recently, the machine tools that have both the lathe function and the milling function have been developed along with the demand of the user side. Sometimes such kinds of machine are named as five-axis machining centre or multi-tasking machine tool even if there have similar processing functions. The multi-tasking machine tool does not have a certain accuracy test standard currently, however, it is possible to apply the accuracy test standard of both the turning centre and the machining centre considering the ability of the machine. In this study, the accuracy of finished test piece, which is one of the accuracy tests, is dealt with. That is, the difference between test conditions and observations of the accuracy tests provided in ISO13041-6 M3, ISO10791-7 M1, and M4 are compared. And then, the finished test piece accuracy is actually inspected in a real machine, and which test method is more suitable, or the problems of test procedure are examined from those results.

Key Words: multi-tasking machine tool, on-machine, ISO 13041-6 M3, ISO10791-7 M1-M4

1. 緒言

現在、複合加工機は特定の工作精度検査規格が規定されておらず、マシニングセンタの工作精度検査規格に沿って精度検査を実施しているのが現状である。複合加工機の加工能力を考慮すれば、数値制御旋盤及びターニングセンタにおける工作精度検査規格とマシニングセンタにおける工作精度検査規格の両方の規格を適用できると考えられる。しかし、そのどちらの規格も複合加工機で精度検査を実施することは考慮していないので、適用はできても適切かどうかは分からない。

本研究では、小型の複合加工機において ISO13041-6 M3 と ISO10791-7 M1 及び M4 の工作精度検査を実施した。そして、両規格を複合加工機に適用するにあたっての問題点や検査が適切であるかを検討した。

2. 複合加工機

JIS による複合加工機の定義は、「回転工具主軸，連続割出し可能な工作主軸，および工具マガジンを備え，工具を自動的に交換する機能を持ち，工作物の段取り替えなしに，旋削，フライス削り，中ぐり，穴あけ，ねじ切り，ホブ加工などの複数の加工が行える数値制御工作機械」である。現在，一般的に複合加工機と呼ばれているものは，すでに実用化が進み普及している旋削加工とミーリング加工の複合機である。

複合加工機の最大の特長は加工工程の集約にある。今までは複数台の機械を使用して加工していたものが複合加工機 1 台で加工できるようになる。工程集約には様々な利点があり，複合加工機によってそれらは実現可能になる。以下に複合加工機の特長を述べる。

- 1) これまでの加工で必要としていた各機械の段取りが不要になり，工程待ち時間も減少するのでリードタイムの短縮と仕掛品の在庫の圧縮が可能になる。
- 2) 複合加工機での加工は多工程の加工に比べて 1

チャッキング加工が可能になるため，各機械の段取りの累積誤差が発生せず，仕上がりの精度が向上する。

- 3) 複合加工機ではワークをチャックで保持するため，多工程での複雑な治具を必要とせず，ワークの変更に対して非常に柔軟に対応することが可能になる。
- 4) 工程集約により各機械間のワークの運搬が不要になり，省人化が可能になる。
- 5) 複合加工機 1 台で加工が行えると，他の複数台の機械が不要になるため，フロアの省スペース化と設備費用を抑えることができる。

以上のように，複合加工機には工程集約によるさまざまな特長が存在する²⁾。

3. 複合加工機における工作精度検査規格

第 1 章で示したが，現在，複合加工機という工作機械専用の工作精度検査規格は規定されておらず，工作精度を検査する際はターニングセンタの工作精度検査規格とマシニングセンタの工作精度検査規格の都合の良い方を選んで適用している。本研究ではどちらの規格を適用すべきかの検討を行うので，この章はターニングセンタの工作精度検査規格である ISO13041-6 とマシニングセンタの工作精度検査規格である ISO10791-7 を紹介する。

3.1 数値制御旋盤及びターニングセンタにおける工作精度検査規格 ISO 13041-6 M3¹⁾

この検査は，様々な運動学的な状態における機械の位置決め加工及び輪郭加工性能を調べることを目的とする。穴の位置決め加工と様々な輪郭加工を行い，真円度や真直度，直角度などを検査する。この検査の試験片の呼び寸法は 80，160，320 の 3 種類が規定されており，検査を行う機械に合わせて自由に選択できる。図 3.1 に試験片形状を示す。

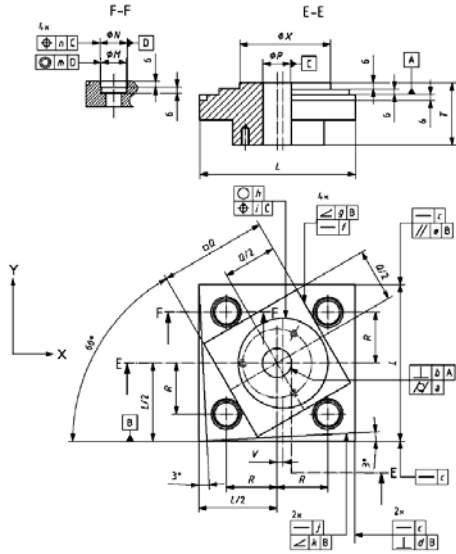


図 3.1 ISO13041-6 M3 試験片形状

試験片の検査を行う面はすべて C 軸と X 軸の補間運動、または X 軸及び Y 軸の直進運動のいずれかを使用して仕上げる。主軸と直進軸 (C 軸と X 軸) の補間を使用して加工を行う場合は、ほかのどの軸 (Y 軸) の運動も介在させてはならない。Y 軸が存在しないタイプのターニングセンタは C 軸と X 軸の補間運動で加工を行う。

3.2 マシニングセンタにおける工作精度検査規格²⁾

3.2.1 ISO10791-7 M1

この検査は、様々な運動学的な状態における機械の位置決め加工及び輪郭加工性能を調べることを目的とする。穴の位置決め加工と様々な輪郭加工を行い、真円度や真直度、直角度などを検査する。この検査の試験片の呼び寸法は 80, 160, 320 の 3 種類が決められている。図 3.6 にブランク材の形状、図 3.2 に試験片形状 (共に呼び寸法 80) をそれぞれ示す。

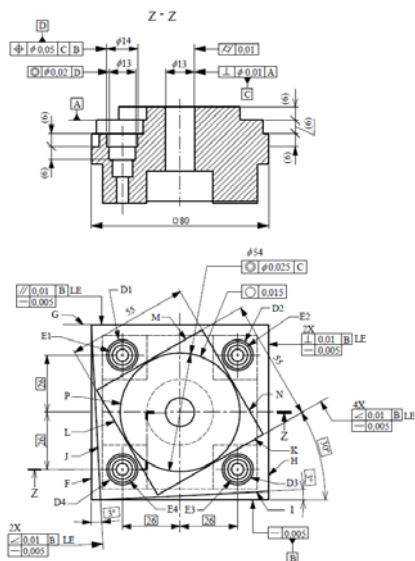


図 3.2 ISO10791-7 M1 試験片形状

3.2.2 ISO10791-7 M4

この検査は旋回の角度位置決めと回転テーブルと旋回軸の位置の精度を調べることを目的とする。この検査は、3つの直線軸と2つの旋回軸をもつすべての5軸マシニングセンタに適用することが可能である。また、この規格の試験片は M1 の試験片の一部として設計し、M1 とセットで検査することが可能である。この検査の試験片の呼び寸法は 80, 160, 320 の 3 種類が決められている。図 3.3 に呼び寸法 80 の試験片の形状、図 3.4 に M1 と M4 を複合したもの (以降は ISO10791-7 M1-M4 とする) の試験片の形状をそれぞれ示す。

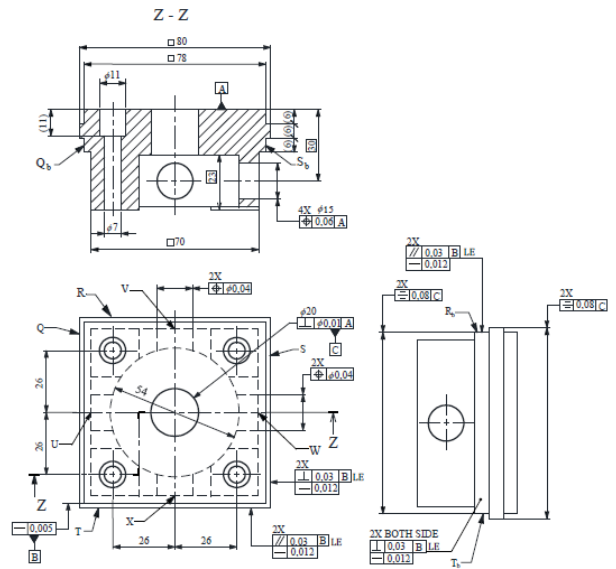


図 3.3 ISO10791-7 M4 試験片形状

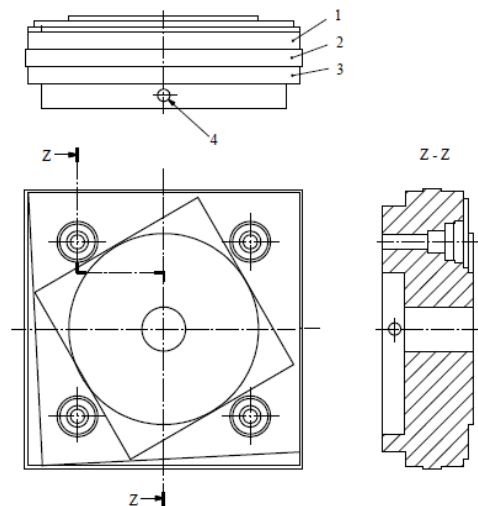


図 3.4 ISO10791-7 M1-M4 試験片形状

4. 試験片の加工

4.1 対象機

本研究で検査の対象として試験片の加工を行った工作機械は、DMG 森精機製の複合加工機 NT1000 である。外観を図 4.1、軸構成を図 4.2 に示す。また、機械の仕様

を表 4.1 に示す. この機械は図 4.2 に示す通り 5 つの制御軸を有しており, 工具主軸側に直進 3 軸と Y 軸周りの旋回軸である B 軸を持ち, ワーク主軸側に Z 軸周りの旋回軸である C 軸を持つ.



図 4.1 DMG 森精機製 NT1000³⁾

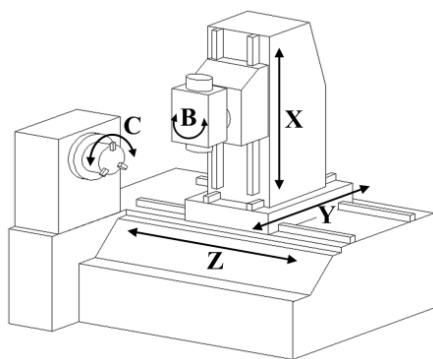


図 4.2 DMG 森精機製 NT1000 の軸構成

表 4.1 DMG 森精機製 NT1000 の仕様

工具主軸	最高回転数[rpm]	12000
		テーパ穴
直進軸の移動距離 [mm]	X 軸	380
	Y 軸	±105
	Z 軸	460
旋回軸の駆動範囲 [deg]	B 軸	±120
	C 軸	360

4.2 複合加工機で試験片を加工する際の問題点

ターニングセンタの工作精度検査規格とマシニングセンタの工作精度検査規格は複合加工機で行うことを想定していない. ターニングセンタ用規格では問題がなかったが, マシニングセンタ用規格の試験片を複合加工機で加工する際にいくつかの問題が生じた. 次にその問題点について述べる.

4.2.1 ワークを取り付ける際の問題

本研究で使用した複合加工機はワークをチャックで保持するが, ISO10791-7 M1-M4 はチャックで保持することを想定していない. 設置の方法には治具の作成や円形状以外のものが保持できるチャックの使用などがある.

チャックの交換は調整などが困難であるため, 今回は試験片をねじで固定してチャックに保持できるような治具を作成した.

4.2.2 直進軸のストロークによる問題

本研究で使用した複合加工機で輪郭加工や穴あけ加工を XY 平面で行う際, B 軸を -90° 回転させた状態で行わなければならない. B 軸を -90° にした状態の工具主軸は, ワーク主軸中心と工具主軸中心を一致させた状態から X 軸方向の -50mm までしか移動できない. ISO10791-7 M1-M4 の試験片で一番小さい規格を採用した際の輪郭部の寸法は最大 80mm である. 推奨される直径 $\phi 30\text{mm}$ のエンドミルを使用して寸法を 80mm に加工しようとする, 工具主軸をワークの中心から 55mm 以上移動させなければならない. しかし, 上で述べた様にこの加工において工具主軸は X 軸方向の -50mm までしか移動できない. そのため, 試験片をワーク主軸中心で設置した場合, X 軸のストロークを考慮すると使用できる工具は直径が $\phi 20\text{mm}$ 以下のものとなる.

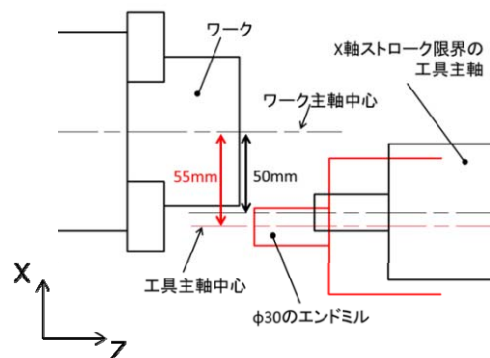


図 4.3 主軸同士の位置関係図

4.3 加工条件及び加工方法

ISO13041-6 M3 と ISO10791-7 M1 及び M4 の工作精度検査を行うため, 対象機で試験片の加工を行った. なお, ISO10791-7 に関しては M1 と M4 の両方を行うため ISO10791-7 M1-M4 の試験片を加工した. ターニングセンタ用規格の試験片形状は図 3.1, マシニングセンタ用規格の試験片形状は図 3.3 に示した通りである.

本研究では試験片の材質に A2017 を採用した. これはマシニングセンタ用規格にアルミニウムを使用した際の推奨切削条件が記載されていたためである. また, 4.2.2 で述べた対象機のストロークの問題より, 両規格とも呼び寸法が 80mm の試験片を加工した.

設定した仕上げ加工の切削条件を表 4.2 に示す.

表 4.2 仕上げ加工の切削条件

	輪郭	中ぐり穴
使用工具	ハイスエンドミル	ハイスエンドミル
刃数	2	2
工具直径 [mm]	10	10
送り速度 [mm/min]	300	150
回転数 [rpm]	3000	1500
切込み量 [mm]	0.2	0.2

5. 試験片の計測方法

5.1 機上計測

機上計測とは、加工を行ったワークの測定を工作機械上で行うことである。通常、工作機械で加工されたワークは各加工の工程が終了する度に測定器に運ばれて寸法・形状の測定が行われる。そのため測定後に再加工を行う場合、測定が終了する度に機械の段取りを行う必要がある。工作機械からワークを取り外すことなく寸法等の測定を行うため機械の段取りが短縮でき、段取りによる精度低下も防ぐことができる。また、測定機として単体の3次元測定機は非常に高価であり場所も取ってしまうが、機上計測は工作機械に測定子を取り付けるだけで計測可能であるため非常に安価で済む。しかし、機上計測は測定に工作機械自体の運動を使用して測定を行うため、計測に特化した測定機よりも精度は劣ると考えられる。機上計測で使用されるセンサはタッチトリガプローブ方式やレーザ方式、画像方式などがある。

本研究では HEIDENHAIN 製 TS740 というタッチトリガプローブを使用した。図 5.1 に TS740 の外観図、表 5.1 に TS740 の仕様をそれぞれ示す。

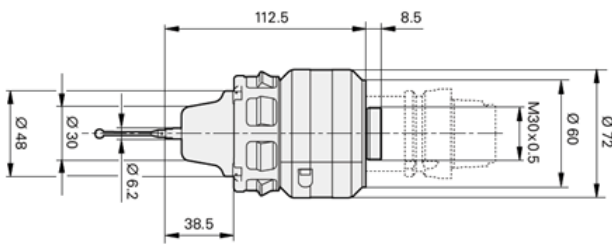


図 5.1 HEIDENHAIN 製 TS740⁴⁾

表 5.1 HEIDENHAIN 製 TS740 の仕様

繰り返し精度(2 σ) [μm]		0.25
標準スタイラス長 [mm]		40
可動範囲 [mm] (標準スタイラス時)	半径方向	5
	軸方向	5
測定圧[N] (標準スタイラス時)	半径方向	0.2
	軸方向	0.6
最大測定速度 [mm/min]		250
検出方法		圧力センサ

本研究では機上計測専用ソフトウェアとして、BLUM 製 Form Control V4 を使用した。このソフトウェアは工作機械内でのワークの輪郭形状計測を目的としている。3DCAD モデル上で指定した測定点の座標値とタッチトリガプローブが実際に接触した点の座標値との差異を X 成分、Y 成分、Z 成分ごとに結果として出力するソフトウェアである。

5.2 機上計測の方法

測定点の座標値を設定するためにモデルの原点を設定する。中心穴の中心座標を X, Y の原点とし、また試験片の上面(真円部分)を Z の原点とする。

測定点は真直度を検査する面は 10 点、真円度を検査する面は 15°毎に 24 点、位置度や同心度を検査する面は 45°毎に 8 点、基準面は 1 方向に 5 点で可能な限り大きく四角が取れるように設定した。図 5.2 に試験片の 3次元モデルに測定点を指定したものを示す。青い点で示しているのが測定点である。

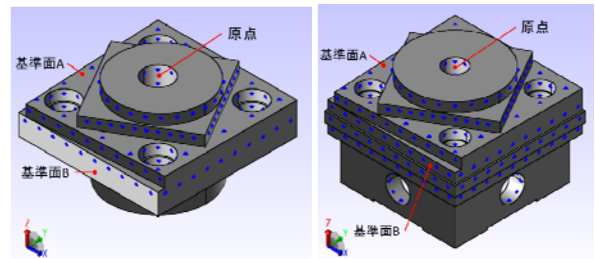


図 5.2 試験片の測定点指定

6. 結果と考察

6.1 ISO13041-6 M3:2009

ISO13041-6 M3 の検査を機上計測で行った結果を表 6.1 に示し、以下に考察を述べる。

表 6.1 ISO13041-6 M3 の計測結果

検査事項		計測結果 [μm]	許容値 [μm]	
中心穴	円筒度	173.8	10	
	直角度	56.9	10	
正方形	真直度	1	1.4	
		2	1.8	
		3	0	
	4	2.3	30	
直角度	1	1.4	40	
	2	2.4		
平行度		2.2	40	
ひし形	真直度	1	1.8	30
		2	1.4	
		3	4.3	
		4	2.0	

	傾斜度	1	1.8	40	
		2	1.5		
		3	10.8		
		4	2.0		
円	真円度	/		30	
	位置度	/		40	
緩斜面	真直度	1	3.8	30	
		2	3.0		
	傾斜度	1	4.8	40	
		2	4.3		
中ぐり穴	位置度	φ 14	1	28.2	50
			2	30.9	
			3	29.7	
			4	28.7	
		φ 16	1	30.9	50
			2	30.4	
			3	30.9	
			4	30.6	
	同心度	1	3.0	20	
		2	1.2		
		3	2.0		
		4	2.0		

真直度や直角度など平面を測定して算出した幾何公差は、すべて許容値に収まっており、対象機の直進軸の直線補間運動は精度が良いと考えられる。

円の真円度や中心穴の円筒度など曲面を測定して算出した幾何公差は、真直度などに比べて大きい値を示している。また、中心穴の真円度を高さごとにいくつか算出するといずれも 155μm 前後と大きい値であり、対象機の直進軸の円弧補間運動の精度が悪いと考えられる。

4 つの中ぐり穴の位置度は許容値には収まってはいるが大きい値を示している。中ぐり穴の同心度は小さいので、位置度が大きいのは中心穴の円筒度が影響していると考え、直進軸の位置決め精度は悪くないと考えられる。

6.2 ISO10791-7 M1 及び M4:2014

ISO10791-7 M1-M4 の検査を机上計測で行った結果を表 6.2、表 6.3 に示し、以下に考察を述べる。

表 6.2 ISO10791-7 M1 の計測結果

検査事項		計測結果 [μm]	許容値 [μm]		
中心穴	円筒度	/	40.7		
	直角度	/	2.3		
正方形 (1 段目)	真直度	1	0.9	5.0	
		2	1.7		
		3	1.0		
		4	2.0		
	直角度	1	1.5	10	
		2	1.0		
平行度	/		1.5		
	/		10		
ひし形	真直度	1	1.4	5.0	
		2	1.3		
		3	1.6		
		4	2.0		
	傾斜度	1	2.1	10	
		2	1.9		
		3	6.5		
		4	2.0		
	円	真円度	/	10.5	
		位置度	/	11.6	
緩斜面	真直度	1	4.9	5.0	
		2	5.2		
	傾斜度	1	5.8	10	
		2	5.8		
中ぐり穴	位置度	φ 13	1	1.8	50
			2	4.4	
			3	2.7	
			4	1.2	
		φ 14	1	1.5	50
			2	4.5	
			3	2.3	
			4	4.5	
	同心度	1	0.3	20	
		2	0.2		
		3	0.4		
		4	3.6		

表 6.3 ISO10791-7 M4 の計測結果

検査事項		計測結果 [μm]	許容値 [μm]	
正方形 (2 段目)	真直度	S	1.2	12
		R	1.0	
		Q	1.0	
		T	1.3	
	直角度	S と B	2.8	30
		Q と B	2.8	
	平行度	R と B	1.5	30

		T と B	3.0	
	対称性		30.8	80
	XY 平面間の サイズ差		50.4	100
正方形 (3 段目)	真直度	S _b	0.9	12
		R _b	0.9	
		Q _b	1.2	
		T _b	1.3	
	直角度	S _b と B	2.6	30
		Q _b と B	3.4	
	平行度	R _b と B	7.2	30
		T _b と B	5.5	
	対称性		50.6	80
XY 平面間の サイズ差		10	100	
ラジアル 穴	データム A との 位置度	W	61.8	60
		V	56.9	
		U	27.5	
		X	35.6	
	穴同士の 位置度	W と U	42.1	40
		X と V	24.6	

表 6.3 に示したラジアル穴のそれぞれの位置度が大きい値を示している。各ラジアル穴の真円度を算出すると、いずれも 5 μ m と小さいため、ワーク主軸とワークの心ずれ及び治具によるワークの傾きが影響していると考えられる。ラジアル穴は穴の中心座標と基準面 A との距離から算出しているため、心ずれの影響が大きく出たと考えられる。

表 6.3 に示した XY 平面間のサイズ差の値が 2 段目正方形と 3 段目正方形で差があるのは、工具補正によるものと考えられる。今回の加工で工具長補正は行ったが工具径補正は行わなかったため、エンドミルの半径方向で加工を行った 2 段目正方形のサイズ差が大きい値を示したと考えられる。

6.3 結果の比較

6.1 と 6.2 の結果を比較して複合加工機にどちらの規格を適用した方が良いかを検討する。

どちらの結果も中心穴の円筒度が大きくなっているが、ISO13041-6 M3 と ISO10791-7 M1 では結果の値に大きな差がある。これはターニングセンタ用規格の検査を行った後、一度対象機の調整が行われ、その後マシニングセンタ用規格の検査を行ったためと考えられる。調整があったため、マシニングセンタ用規格の円の真円度はそれほど大きな値を示さなかったと考えられる。

また、どちらの計測結果でも円の真円度に比べて中心穴の円筒度が大きな値を示しているのは、加工にエンドミルを使用したためだと考えられる。中心穴は深さが 30mm 以上あり、エンドミルが奥に入るにつれて力がか

かりエンドミルが傾いたため円筒度に影響したと考えられる。

ISO13041-6 M3 と ISO10791-7 M1 の測定結果について、対象機の調整やワークの設置によって計測結果にばらつきがあるが、適用した規格ごとで明確な差は見取れない。よって、適用する上でいくつか変更すべき点があるものの、旋回軸の精度検査も行うことができるマシニングセンタの工作精度検査規格を適用した方が良いと考える。

7. 結 言

本研究では複合加工機においてターニングセンタの工作精度検査とマシニングセンタの工作精度検査を行い以下の結果を得た。

- (1) 複合加工機で ISO10791-7 M1 及び M4 の検査を行う際には、治具の作成や加工方法の変更が必要になる。
- (2) 対象機において、工具主軸のストロークの問題によって試験片の形状が限定されること、B 軸の駆動範囲によって加工方法の変更が必要であることを確認した。
- (3) ターニングセンタ用規格とマシニングセンタ用規格の 2 つの検査を行い検討した結果、ISO13041-6 M3 と ISO10791-7 M1 の計測結果については明確な差異が見られなかったため、旋回軸についても検査ができるマシニングセンタ用規格を適用した方が良いと考えられる。

参考文献

- 1) ISO13041-6:2009 Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres -Part 6: Accuracy of a finished test piece
- 2) ISO 10791-7 Test conditions for machining centres—Part7 : Accurac of finished test pies
- 3) DMG 森精機株式会社, 製品情報 5 軸制御高精度立形マシニングセンタ NMV シリーズ
http://www.moriseiki.com/japanese/products/multi/05/nmv_index.html, 2016/01/27
- 4) 工作機械用タッチプローブ, HEIDENHAIN 社カタログ