

三次元測定機評価の実験計画*

和合 健**、南幅 留男***

試作した3次元ゲージ¹⁾を使用して、企業6社と花巻市と北上市の支援センター及び工業技術センターの全9機関の参加により、持ち回り測定による三次元測定機の誤差評価実験を行った。ここでは、品質工学に基づく三次元測定機評価のための実験計画と持ち回り実験での留意点、及び代表的な3機関の実験結果を示した。

キーワード：持ち回り測定、実験計画、三次元測定機、品質工学

Experiment Plan for Evaluation of Error of CMM

WAGO Takeshi and MINAMIHABA Tomeo

Roundrobin test on an evaluation of error of CMM(Coordinate Measuring Machine) were experimented using a trial gauge of 3 dimensions by nine institutions, such as six enterprises and Municipal Support Centers of HANAMAKI city and KITAKAMI city and IIRI(Iwate Industrial Research Institute). This report showed experiment plan for evaluation of uncertainty of CMM which is based on the quality engineering, an attention point in experiment and the experiment result of representative three institutions.

key words : round robin test, experiment plan, CMM, quality engineering

1 緒 言

計測の不確かさを見積もるには、タイプA（統計的方法によるもの）とタイプB（タイプA以外のもの）の2通りの積算方法がある。タイプAでは実際の測定機の誤差評価実験が必要になるが、その実験方法はあまり知られていない。また、企業では加工技術と並び品質保証を行う計測技術も重要となるが、実際の計測作業では測定結果の出力値をそのまま信用しているのが現状である。特に、三次元測定機（以下、CMM）は構造が複雑であり、構造に起因する誤差やプローブ方式による誤差が従来から指摘されている²⁾。そこで、測定機の誤差評価手法の修得、自社保有のCMMの誤差把握を目的に、当工業技術センターを中心に企業及び北上市基盤技術支援センター、花巻市起業化支援センターなど全9機関により、持ち回り測定によるCMMの誤差評価実験を行っている。ここでは、CMM評価のための実験計画と代表的な3機関の結果について示す。

2 実験計画及び実験方法

2 - 1 基本機能

三次元測定機の基本機能は、ゲージ寸法値と測定値が

一致していることが良い機能と考え、ゲージの値とCMM測定値の転写性³⁾とし、動特性のSN比により評価した。

2 - 2 誤差因子及び標示因子の設定⁴⁾

図1に誤差因子及び標示因子の説明、表1に誤差因子とその水準、表2に標示因子とその水準を示す。誤差因子は、従来から指摘されている斜め方向でのプロービングによる誤差の大きさを求めるために設定した。標示因子は、スタイラスのたわみによる誤差を求めるためにA：延長スタイラスとし、B：スタイラスの向きとした。ここで向きとはプローブヘッドのセンシング構造に起因する誤差を求めるために45°に意図的に取り付けることとした。C：チップの径はチップ径が大きくなることにより接触点が面接触となる懸念と、チップ径と比例してシャフト径が変化するため細いシャフトでのたわみ誤差も考慮した。さらに、D及びEとしてゲージを置く位置XYはアップの原理に反した三次元測定機の構造による誤差を求めるために設定し、ゲージを置く位置Zは試作ゲージの高さが十分大きくZ方向の誤差は測定値に反映されることからここでは設定はしなかった。

* 持ち回り測定による三次元測定機の誤差評価（第2報）（特定産業集積活性化関連機関支援強化事業）

** 電子機械部（現 企画情報部）

*** 電子機械部

誤差因子：プロービング点数及び方向
標示因子：因子A～E

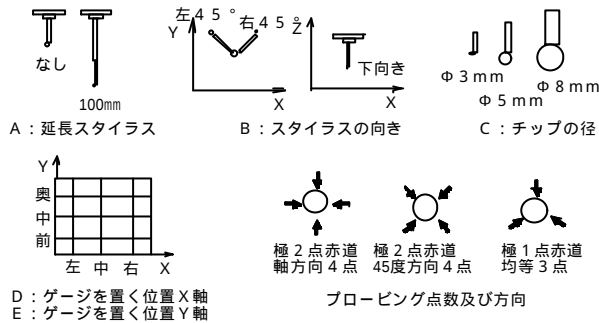


図1 誤差因子及び標示因子

表1 誤差因子

因子	水準		
	1	2	3
プロービング点数及び方向	極2点及び軸方向4点	極2点及び45°方向4点	極1点及び均等3点

表2 標示因子

	因子	水準		
		1	2	3
A	延長スタイラス	なし	100mm	-
B	スタイラスの向き	下	右45°	左45°
C	チップの径	φ3mm	φ5mm	φ8mm
D	ゲージを置く位置X軸	左	中	右
E	ゲージを置く位置Y軸	前	中	奥

2-3 信号因子及びワーク座標設定

図2にワーク座標設定の定義を示す。信号因子の特性値は球間距離、球径、真球度の3種類とし、球間距離はゼロ点球と球a～球hの中心座標間の距離が8水準でゼロ点比例式によりS/N比を算出した。球径はSφ0.5inch球である球a、球c、球e、球gの4個の総和とSφ1inch球である球b、球d、球f、球hの4個の総和の2水準でゼロ点比例式によりS/N比を算出した。また、真球度は球a～球hのすべての球において真球度が0.08μm以下なので、ゼロ望目特性としてS/N比を算出した。

ワーク座標は、図2に示すとおり球a、球f、球hの3個により平面を作り空間軸とし、球a、球fの2個で回転軸とする。XYZのゼロ点は球aの中心座標とし、ワーク座標設定での球測定はすべて極3点赤道軸方向4点×2回の計11点とした。

2-4 直交表への割付け

表3に直交表への割付け、表4に測定値テーブルを示す。表3及び表4に示す通り直交表L₁₈について、標示因子を直交表の内側、誤差因子を直交表の外側に割り付けた。直交表L₁₈では交互作用は列の犠牲なしに出る。

また、測定の繰り返しはR₁～R₃の3回とした。

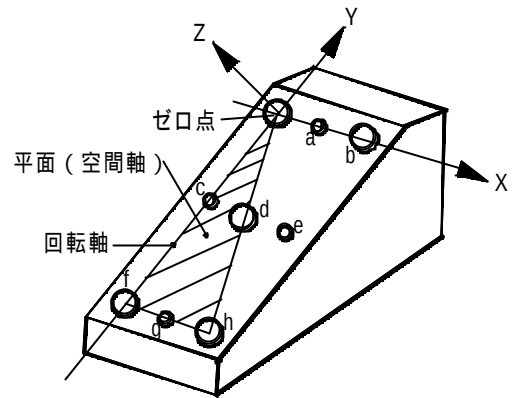


図2 ワーク座標設定の定義

表3 直交表L₁₈への割付け

番号	標示因子				
	a延長ス	b向き	cチップ	d X軸	e Y軸
1	なし	下	φ3mm	左	前
2	なし	右45°	φ5mm	中	中
3	なし	左45°	φ8mm	右	奥
4	なし	下	φ3mm	中	中
5	なし	右45°	φ5mm	右	奥
6	なし	左45°	φ8mm	左	前
7	なし	下	φ5mm	左	奥
8	なし	右45°	φ8mm	中	前
9	なし	左45°	φ3mm	右	中
10	100mm	下	φ8mm	右	中
11	100mm	右45°	φ3mm	左	奥
12	100mm	左45°	φ5mm	中	前
13	100mm	下	φ5mm	右	前
14	100mm	右45°	φ8mm	左	中
15	100mm	左45°	φ3mm	中	奥
16	100mm	下	φ8mm	中	奥
17	100mm	右45°	φ3mm	右	前
18	100mm	左45°	φ5mm	左	中

2-5 持ち回り測定での留意点

- ・基本スタンスとして、通常の生産現場で使用している状態で測定することとする。誤差評価実験だからと言って、いつもは稼動していない空調などは使用しないこと。
- ・測定実験方法は、決められたフォーマットに従い直交表L₁₈による測定実験を行う。
- ・測定データは各自がS/N比算出手順書に従い表計算ソフト(エクセル、ロータス等)により計算し、S/N比による誤差を算出する。
- ・試作ゲージの標準値は岩手工技セのUPMC550-CARAT・HSS(ZEISS)で繰り返し9回測定した値とした。今後、標準値について検討する。
- ・CMMの機種毎による制限からフォーマットに従う測定が出来ない場合は、相談の上最善の方法により対処する。
- ・長さの測定では温度変化が重要となるので、温度を定期的に記録しておくこと。
- ・エージング(温度ならし)については1日程度は測定室の環境にならしておくこと。

表 4 測定値テーブル

番号	因子					特性値：距離											
						軸 - 6 P				45° - 6 P				均 - 4 P			
						R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比
1	なし	下	φ 3	左	前												
2	なし	右45	φ 5	中	中												
3	なし	左45	φ 8	右	奥												
・	・	・	・	・	・												
18	100	左45	φ 5	左	中												

特性値：球径																	
軸 - 6 P				45° - 6 P				均 - 4 P									
R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比						

特性値：真球度																	
軸 - 6 P				45° - 6 P				均 - 4 P									
R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比	R ₁	R ₂	R ₃	SN比						

R₁ ~ R₃は繰り返し

- ・ゲージの底面はラッピング加工面となっており小さい力でゲージが動きやすいので、ゲージ側面の貫通穴を利用してクランプで2カ所CMM測定定盤に固定すること。
- ・企業で生産に使用しているCMMなので、CMMの測定誤差などデータは部外秘としデータの取り扱いには十分注意すること。
- ・学会等の外部発表については研究会の了解を得ること。
- ・ゲージは石製であり、球は破損し易いのでゲージの取扱いは慎重に行うこと。
- ・ゲージの鋼球は錆に注意すること。
- ・実験を行うにあたり初日に岩手工技セの担当者が立ち会い、実験のノウハウ及び実験計画について説明する。

2 - 6 持ち回り日程

表 5 に持ち回り日程を示す。日程はゲージの受け渡しの容易性を考慮して南から北に北上する経路とした。各機関 2 週間の測定期間として測定を行うが、会社業務の都合等で不具合のある機関は事務局（岩手工技セ）まで前もって連絡すること。

表 5 持ち回り日程

No.	日程	機関
1	7/21 ~ 8/3	北上市基盤技術支援センター
2	8/19 ~ 9/1	(株)阿部製作所
3	9/2 ~ 9/15	花巻市起業化支援センター
4	9/16 ~ 9/29	岩手県工業技術センター
5	9/30 ~ 10/13	横河電子機器(株)
6	10/14 ~ 10/27	セイコーインスツルメンツ(株)
7	10/28 ~ 11/10	(有)小林精機
8	11/11 ~ 11/24	美和ロック(株)
9	11/25 ~ 12/8	アルプス電気(株)

2 - 7 SN比の算出

以下にSN比の算出式を示す。

$$\eta = 1 / (3 \times r) \times (S_{\beta} - V_e) / V_e \quad (\text{mm}^{-1})$$

$$\eta = 10 \times \log (1 / (3 \times r) \times (S_{\beta} - V_e) / V_e) \quad (\text{dB})$$

$$\text{誤差限界 (これはほぼ 95 \% 信頼限界に相当する。)} \\ \pm 3 / \sqrt{\eta} \quad (\text{mm})$$

ここで、 η : SN比、 r : 有効除数、 S_{β} : 比例項の変動、 V_e : 誤差分散とした。

3 実験結果及び考察

表 6 に代表的な 3 機関の実験結果、図 3 に A 機関の SN 比の要因効果図、図 4 に B 機関 SN 比の要因効果図、図 5 に C 機関の SN 比の要因効果図を示す。A 機関と B 機関の CMM は同一メーカーであり、CNC 機、プロービング方式、機械構造は全く同等であるが、測定範囲のみが異なる。A 機関と B 機関の誤差限界は A 機関が 0.0040 mm、B 機関が 0.0041 mm と全く等しくなった。これは、同一方式の CMM を使用していることから CMM のばらつきの再現性は高いと推測できる。一方、C 機関の CMM は手動方式でプローブヘッド構造が 3 点支持のタッチトリガ方式であるが、誤差限界は 0.0288 mm と 30 μm 程度のばらつきとなった。C 機関の CMM で誤差が大きくなった原因は、手動によるプロービングと、プロービング方向²⁾の違いにより誤差の大きさが変化するとされている 3 点支持タッチトリガ方式の 2 つが影響したものと推測される。

各因子間の効果の大きさについて A 機関の CMM では、誤差因子とした 3 種類のプロービングでは大きさ差は見られない。しかし、因子 E の水準 1 で SN 比が小さくなっており、これはゲージを置く位置 Y 軸 - 前である。また、B 機関の因子 B で SN 比が小さく、これはスタイラスが下向きの場合である。A 機関と B 機関の同一構造の CMM による効果の大きな因子の種類の違いは、今後の追加実験で検討が必要と思われる。C 機関の CMM では、特に因子 A のプロービング手動及び延長スタイラ

スの使用でSN比が大きくなっている。通常は延長スタイルスのたわみが誤差となるが、タッチトリガ方式では測定圧が小さく、手動プロービングによる操作性の善し悪しが誤差に影響を与えていると推測される。

表6 3機関のSN比と誤差限界

機関名	SN比 η (db)	誤差限界 (mm)
A 機関	57.51	0.0040
B 機関	57.36	0.0041
C 機関	40.36	0.0288

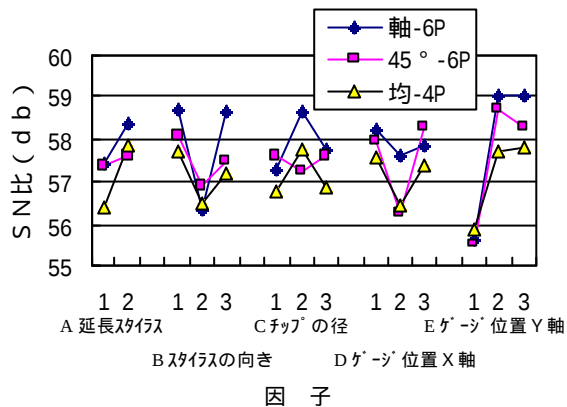


図3 A機関のSN比の要因効果図

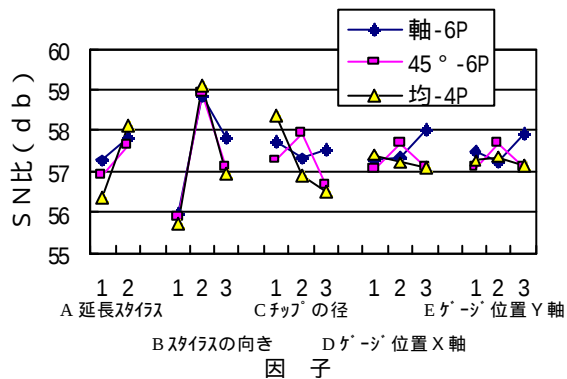


図4 B機関のSN比の要因効果図

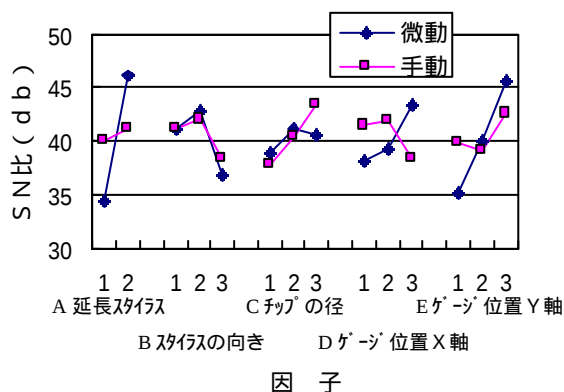


図5 C機関のSN比の要因効果図

4 結 語

試作3次元ゲージを使用して9機関の参加により、実際の持ち回り測定実験を行い、以下の結果が得られた。

- ・平成11年度は前年度に設計製作した試作三次元ゲージ¹⁾を使用して、全9機関により各機関2週間の測定期間の割り当てで持ち回り測定を行い、年度中に全9機関の測定が終了した。
- ・誤差限界でA機関とB機関は両者同等の4 μ mとなり、CMMは同一メーカーであり測定範囲以外は同一構造であることからばらつきの再現性は良いと推測される。
- ・C機関の手動方式のCMMでは因子Aのプロービング手動及び延長スタイルスの使用でSN比が大きくなっており、手動プロービングによる操作性の善し悪しが誤差に影響を与えていると推測される。

5 今後の予定

研究会内で各機関での測定結果について議論すると共に、SN比算出式等の勉強会を行う。以上の活動を通して自社保有の三次元測定機の誤差を把握し、実生産業務に役立てる。

本研究は、(株)阿部製作所、横河電子機器(株)、セイコーインスツルメンツ(株)(有)小林精機、美和ロック(株)、アルプス電気(株)、北上市基盤技術支援センター、花巻市起業化支援センター、岩手県工業技術センター(順不同)の全9機関の共同研究として行った。また、実験を進めるにあたりご指導を頂いた工業技術院計量研究所計測システム部 松田次郎主任研究官に感謝いたします。

文 献

- 1)和合 健ほか：三次元測定機評価用ゲージの要素設計と試作，工技セ報告 P121 - P124 (1999)
- 2)丸山六男：三次元検出器の動作特性，機械の研究 .39 .3 (1987)
- 3)田口玄一ほか：転写性の技術開発，日本規格協会 (1992)
- 4)松田次郎ほか：リングプレートメソッドによる三次元測定機の誤差評価，精密工学会秋季大会論文集 (1994)