

ゲージの持ち回りによる三次元測定機評価結果*

和合 健**、田中 慎造**

独自のCMM誤差評価ゲージ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、過去3年間に行った共同実験の総括として、実験の要点について纏めると共に、総合的な実験結果及び考察について述べる。

キーワード：持ち回り測定、誤差評価、三次元測定機、品質工学、測定のSN比

Experiment Result for Evaluation of Uncertainty of CMM by Round Robin Test

WAGO Takeshi and TANAKA Shinzo

Round robin test on an evaluation of uncertainty of CMM(Coordinate Measuring Machine) were experimented using a original gauge of CMM's evaluation of uncertainty 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 pieced important point of experiment and showed experiment result and considering for it, as to generalize a joint experiment for the last three years.

key words : round robin test, evaluation of uncertainty, CMM, quality engineering, SN ratio of measurement

1 緒 言

近年、自動車部品や精密機器部品など高い幾何形状精度（直角度、同軸度等）を要求される製品、及び携帯電話カバーやドアノブなど自由曲面形状を有する製品が多く見られる。三次元測定機（以下、CMM）は空間座標における高精度形状測定や自由曲面の評価においては有効な測定機となり、県内企業で多く活用されている。しかし、CMMは測定の自由度が大きい反面、高精度測定を行うためのアップの原理に従っていない構造や、各メーカーの設計思想、方式に起因する誤差傾向が文献等¹⁾で指摘されている。

そこで、我々は平成10～12年度の3年間で特定産業集積活性化関連機関支援強化事業「持ち回りによる三次元測定機の誤差評価」として、独自に製作したCMM誤差評価ゲージを使用してCMMの構造やメーカーの異なる機種を対象として現状の性能を調査するため、岩手県工業技術センター、花巻市起業化支援センター、北上市基盤技術支援センター、県内企業6社の共同実験を行った。なお、表1に参加機関のCMMの主な仕様を示す。第1報²⁾では、「三次元測定機評価用ゲージの要素設計

と試作」とし、ISO10360-2に規定されている基準物体を球とした標準器の設計製作について述べた。また、第2報³⁾では、「三次元測定機評価の実験計画」とし、品質工学に基づいたCMMの誤差評価のための実験計画について述べた。本報では、過去3年間に行った共同実験の総括として、実験の要点について纏めると共に、総合的に実験結果を考察する。

2 実験方法

2-1 基本機能

CMMの基本機能は、ゲージ寸法と測定値が一致していることが良い機能と定義し、ゲージ寸法とCMM測定値とを転写性⁴⁾としてとらえ、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⁵⁾

表2に誤差因子の水準、表3に標示因子の水準を示す。誤差因子はプロービング点数及び方向とし、標示因子は φ ～ ω の5因子とした。

* 持ち回り測定による三次元測定機の誤差評価（第3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

表1 参加機関のCMMの主な仕様

測定機関	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	I社
CNC/手動別	CNC	CNC	CNC	CNC	手動	CNC	CNC	手動	ジョイスティック手動
フローヘッド方式	差動トランス平行バネ	差動トランス平行バネ	3点支持タチトリガ	差動トランス平行バネ	3点支持タチトリガ	3点支持タチトリガ	3点支持タチトリガ	3点支持タチトリガ	3点支持タチトリガ
構造	フリック、門移動形	固定フリック形	フリック、門移動形	フリック、門移動形	フリック、門移動形	フリック、門移動形	フリック、門移動形	フリック、門移動形	フリック、門移動形
測定範囲(X×Y×Zmm)	850×1200×600	1200×1000×600	700×600×600	550×500×450	700×1000×600	700×900×500	500×400×400	600×500×300	770×550×370
測定精度U ₃ (μm)	0.7+L/600	0.8+L/400	5+5.5L/1000	0.8+L/600	5.4+5.5L/1000	2.2+L/350	3+4L/1000	5.4+5.5L/1000	3+4L/1000

表2 誤差因子の水準

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3 標示因子の水準

	因子	水準		
		1	2	3
ア)	延長スタイラス	なし	100mm	-
イ)	スタイラスの向き	下	右45°	左45°
ウ)	チップの径	Φ3mm	Φ5mm	Φ8mm
エ)	ゲージを置く位置X軸	左	中	右
オ)	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1にワーク座標設定の定義を示す。球ゼロ点、球f、球hの3個により平面を作り空間軸とし、球ゼロ点、球fの2個で回転軸とする。XYZのゼロ点は球ゼロ点の中心座標とし、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。

信号因子の特性値は球間距離、球径、真球度の3種類とした。各特性値毎のSN比算出では、球間距離は球ゼロ点と球a～球hの球体直線距離8水準についてゼロ点比例式、球径は $S_{\phi} 0.5$ (インチ)である球a、球c、球e、球gの4個の総和と $S_{\phi} 1$ (インチ)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、真球度は球a～球hのすべての球において真球度が0.08 μm以下でありゼロ望目特性としてSN比を算出した。

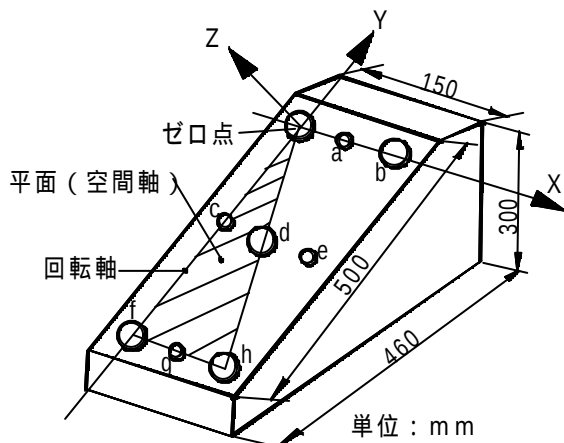


図1 ワーク座標設定の定義

2-4 直交表への割付け

表4に直交表への割付けを示す。直交表 L_{18} を用いて、標示因子を直交表の内側に割り付けた。誤差因子は直交表の外側へ割り付け、表4に示す番号1～18の因子の組み合わせにおいて表2に示す誤差因子3水準のプロービング方法によりそれぞれ18列×3水準=計54通りの測定を行った。直交表 L_{18} 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 $R_1 \sim R_3$ の3回とした。

表4 直交表 L_{18} への割付け

番号	標示因子				
	A延長ス	B向き	Cチップ	DX軸	EY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 SN比の算出

以下にSN比の算出式を示す。

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

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

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。

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

3 実験結果及び考察

3-1 実験での温度環境

図2に実験での温度環境を示す。温度測定方法は、CMM測定テーブル上に置かれた測定精度 ± 1 のデジタ

ル温湿度計を使用し、1 時間毎に測定者がデジタル表示を記録した。JIS B 7506 ブロックゲージの規格では「ブロックゲージの寸法は、温度 20℃、気圧 1013.25hPa におけるものとする。」と規定されている。ここで、固体の線膨張率は、式 (1) で示され、

$$\alpha = (1/l_0) \times (dl/dt) \cdots (1)$$

α : 固体の線膨張率、 l_0 : 0℃における長さ (m)、 l は t ℃における長さ (m) となる。鋼の線膨張率は 20℃で 11.8×10^{-6} であり鋼の温度が 1℃上がると鋼は 1m あたり 11.8 μ m 伸びる。本実験に用いたゲージでは 1mm の差は筐体部で 500mm あたり 2 ~ 5 μ m になる。

図 2 より 20℃からの偏りは平均値で A 社、D 社、I 社が小さく、H 社が最も大きい。実際、工場広さが制限される場合は、事務室と測定室を兼用している場合があり、その場合は作業者が作業し易い 20℃を超える温度設定の場合も見られるがこの場合ワークの膨張による測定誤差が生じる。

温度のばらつきは、標準偏差 σ で示され A 社、B 社、C 社、D 社、I 社で小さく、G 社と H 社で大きい。当然のこととして G 社と H 社では寸法として 5 ~ 13 (μ m) の範囲の変動が予想される。

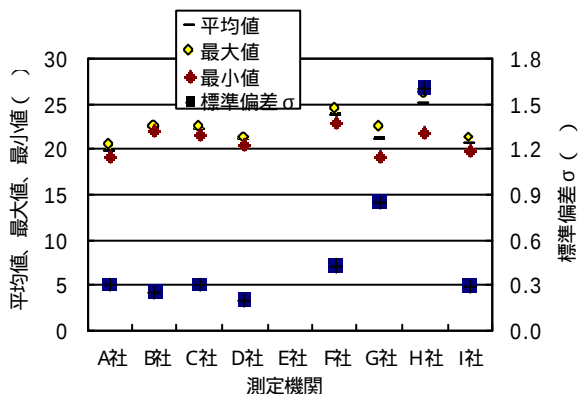


図 2 測定での温度環境

3 - 2 測定誤差の評価

(1) 特性値毎の誤差限界

図 3 に S/N 比による測定誤差の比較、表 4 に誤差限界を示す。ここで、S/N 比は信号 / 誤差の比であり大きいほど誤差が小さいことを意味する。実験では特性値として測定項目が距離による評価、球径による評価、真球度による評価の 3 つの場合により評価し、値は各特性値の平均値である。3 つの特性値について S/N 比を比較すると、(球径、真球度) > 距離の関係となり、距離の S/N 比が最も小さい。距離の S/N 比が小さいのは、球径測定では $\phi 1$ (インチ)、 $\phi 0.5$ (インチ) の測定長さに対し、距離測定では最大で約 400 (mm) の測定長さとなるため測定長さに起因する累積誤差及び温度変動の影響が考えられる。

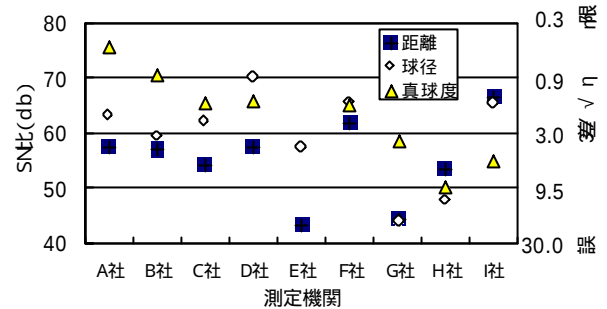


図 3 S/N 比による測定誤差の比較

表 5 実験での誤差限界

(単位: μ m)									
特性値	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	I社
距離	4.1	4.3	5.7	4.2	26.4	2.6	18.4	6.8	1.5
球径	3.4	5.1	2.3	1.5	5.2	2.4	19.9	17.3	1.9
真球度	0.6	1.1	1.6	2.0	-	1.9	3.8	9.9	5.4

(2) メーカー保証精度と誤差限界の比較

図 4 にメーカー保証精度(空間精度 U_3)と誤差限界($\pm 3 / \sqrt{n}$)の比較を示す。誤差限界は平均値であり、誤差限界に示されている誤差範囲は標準偏差 2σ (片側) である。実験ではほとんどの測定機関で実験での測定誤差を表す誤差限界とメーカー保証測定精度である空間精度 U_3 がほぼ同等の値になった。しかし、測定機関 E 社と G 社で誤差限界がメーカー保証精度に対して誤差が大きい結果となった。原因は、測定方法の間違い、ワーク保持不足、温度等環境の影響の他に測定機自体の校正のずれなどが考えられるが明確な原因はわからない。今後、再実験を行い測定誤差が生じた原因を追及する必要がある。

ここで、空間精度 U_3 とはメーカーが示す保証測定精度であり、誤差限界とは、実験結果であり 95% 信頼限界に相当する。

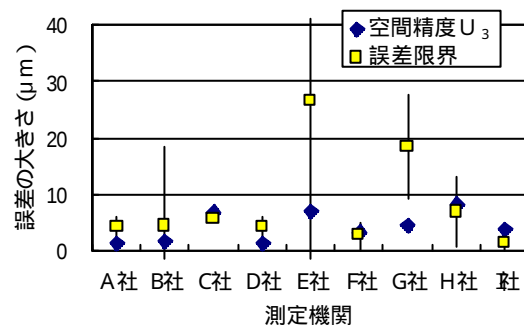


図 4 メーカー保証精度と誤差限界の比較

(3) 温度のばらつきの誤差限界への影響

図 5 に温度のばらつき(標準偏差 σ)と誤差限界($\pm 3 / \sqrt{n}$)の比較を示す。図から温度のばらつきが小さい測定機関では誤差限界も小さくなっており、温度の影響と測定誤差に関連性があることが認められる。

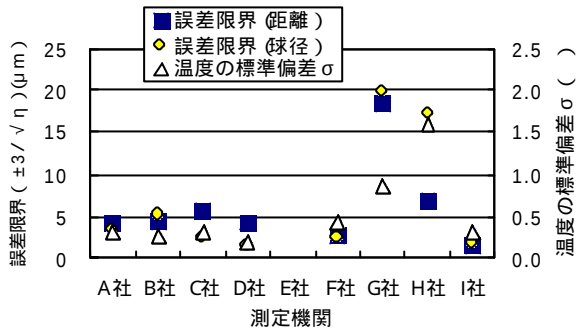


図5 誤差限界と温度の関連性

3-3 因子が及ぼす効果の分析

直交表への標示因子の割付けで列にア)：延長スタイラス、イ)：スタイラスの向き、ウ)：チップの径、エ)：ゲージを置く位置(X軸)、オ)：ゲージを置く位置(Y軸)の5因子の設定が可能な7つの測定機関において、水準間で効果が大きかった因子を3つの特性値毎に抽出した。抽出数は7(測定機関)×3(特性値)の合計で21個とした採点表を表6に示す。表6よりスタイラスの向きが実験で取り上げた中で最も水準間の効果が大きい、つまり直交表L₁₈の各行において誤差が大きい(S/N比が小さい)行と誤差が小さい(S/N比が大きい)行にスタイラスの向きの関与が大きいと推測された。経験的にCMM測定ではプロービング(測定子をワークに接触させる)時にチップ(プローブ先端球)をワーク表面に垂直に当てることで、誤差が小さい測定法と経験的及びメーカ指摘によりわかっている。スタイラスの向きで水準間の効果が大きい理由は、実験計画によりスタイラスをXY平面上に水平にしY軸に対して左右に45°傾ける指示、さらにワークをCMMのX軸に対して45°または50°に傾けて置く指示により、手動または自動測定においてワーク表面に対して垂直にプロービングすることが難しかったため誤差が生じたものと推測される。プロービング圧により生じるスタイラスシャフトの機械的たわみ誤差の影響を考慮して設定した延長スタイラスとチップの径(チップ径が小さくなるとシャフトも細くなる)の影響はあまり大きくない結果となった。

表6 水準間の効果の大きい因子

No	因子	特性値	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	I社	合計
ア)	延長スタイラス	距離										0
		球径										
		真球度										
イ)	スタイラスの向き	距離		*	*	*			*	*	*	16
		球径		*	*	*			*	*	*	
		真球度		*	*	*			*	*	*	
ウ)	チップの径	距離				*						3
		球径	*									
		真球度	*									
エ)	置く位置(X軸)	距離									*	1
		球径										
		真球度										
オ)	置く位置(Y軸)	距離	*									1
		球径										
		真球度										
			3	3	3	3	-	-	3	3	3	21

4 結 言

独自のCMM誤差評価ゲージを考案・試作して県下の9機関の参加により、持ち回りによるCMMの誤差評価実験を行い、以下の結果が得られた。

- 3種類の特性値のうち、測定項目で距離測定が内径測定、真球度測定に比較して誤差限界 $\pm 3/\sqrt{\eta}$ (95%信頼限界に相当)が大きく悪い値となっているが、これは測定長さが大きいことによる累積誤差の影響と推測される。
- 実験により算出した誤差限界とメーカ保証精度(空間精度U₃)ではほぼ同等の値になったが、2社で実験による誤差限界が大きく悪い値となっており、今後の検証実験が必要である。
- 測定温度のばらつきが大きい機関では、誤差限界も大きく両者の関連が推測されることから、温度管理の再検討が課題である。
- 因子による測定誤差への影響として、スタイラスの向きで水準間の効果の大きい機関が多いことから、スタイラスをXY平面と水平の向きにした測定では誤差のメカニズムが異なることを理解しておくべきである。

本研究は、(株)阿部製作所、横河電子機器(株)、エスアイアイ・ダイ・エンジニアリング(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)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工技院機械金属連合部会計測分科会幾何形状評価研究会で議論して頂き、当研究会代表幹事の独立法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 松田次郎主任研究官にはご指導頂き深く感謝いたします。

文 献

- 丸山六男：三次元検出器の動作特性,機械の研究,39,3(1987)
- 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,岩手工技セ報告P121-P124(1999)
- 和合 健ほか：三次元測定機評価の実験計画,岩手工技セ報告P137-P140(2000)
- 田口玄一ほか：転写性の技術開発,日本規格協会(1992)
- 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)