

三次元測定機評価用ゲージの要素設計と試作

和合 健**、多田 三郎***、松田 次郎****

北上川流域の金型産業技術力向上の一環として、岩手県工業技術センターを中心に市営支援センター、企業の計9機関で持ち回り測定による三次元測定機（以下、CMM）の誤差評価実験を計画している。本稿では、CMMの精度評価を正確かつ容易に行うためのCMM測定用ゲージ試作を目的に、CMMの精度評価に関する文献調査、ゲージの形状設計、測定要素となる球体の選定、熱膨張係数の小さい材料の選定など要素設計を行い、試作ゲージを製作した。

キーワード：三次元測定機、持ち回り測定、試作ゲージ、球体、誤差評価

Element Design and Product of CMM Master Gauge

WAGO Takeshi, TADA Saburo and MATSUDA Jiro

Round robin test on an evaluation of uncertainty of CMM (Coordinate Measuring Machine) are planned by nine organizations, such as Municipal Support Centers and enterprises under the leadership of IIRI(Iwate Industrial Research Institute) for the purpose of the contribution to an industrial development along the Kitakami River industrial area. In order to make the evaluation of uncertainty of CMM exact and easy, a trial gauge (CMM master gauge) was designed through an element design based on a literature investigation on uncertainty of CMM, a shape design of the trial gauge, selections of sphere of measurement element and material with low thermal expansion coefficient. This report treats the process of designing and manufacturing the gauge for the round robin test.

key words : CMM, round robin test, trial gauge, sphere, evaluation of uncertainty

1 緒 言

1-1 はじめに

当センターでは平成10年度から国庫補助「地域産業集積活性化対策補助事業」で北上川流域（花巻市、北上市、水沢市、一関市など）の金型産業技術力向上のための支援を開始する。CMMによる計測の重要性は近年金型業界においてますます高くなってきており、顕著なこととして北上市、花巻市では三次元測定機（以下、CMM）を中心とする開放試験施設の充実を計画中で、北上市の民間企業においても高精度CMMを設備している。しかし、CMMはプローブシャフトのたわみ誤差、プローブヘッド方式に起因する誤差などの解決しなければならない問題が山積みしている。また、複雑形状を測定するた

めの熟練した操作技術修得、関連規格についての知識やトレーサビリティ体系を基本とした計測不確かさに関する知識などCMMを正常に稼働するために把握すべき事項は多い。そこで、当センターを中心に各市、企業と連携しCMMを有効活用するためにCMM評価用ゲージ（以下、試作ゲージ）の持ち回り測定実験を行う。本稿では、初年度として試作ゲージ製作のための文献調査、ゲージ設計及び製作について述べる。

1-2 参加機関及びCMMの主な仕様

表1に持ち回り測定での主なCMMの仕様を示す。持ち回り測定参加者は、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、民

* 持ち回り測定による三次元測定機の誤差評価（第1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

*** 電子機械部（現在 木工特産部）

**** 工業技術院計量研究所計測システム部

表1 持ち回り測定での主なCMMの仕様

参加機関	岩手県工技セ	花巻市起業セ	北上市基盤セ	A社	B社	C社	D社
メーカ	Z社	M社	Z社	L社	T社	T社	M社
型式	UPMC550-CARAT・HSS	BHN706	UPMC850CARAT-SuperACC	PM12106	PJ800A	SP600A	BH710
CNC/手動別	CNC	CNC	CNC	CNC	CNC	手動	手動
プロービング方式	差動トリス平行ハネ方式	タッチトリガ方式	差動トリス平行ハネ方式	差動トリス平行ハネ方式	圧電素子方式	タッチトリガ方式	タッチトリガ方式
構造	ブリッジ移動形	ブリッジ移動形	ブリッジ移動形	固定ブリッジ形	ブリッジ移動形	ブリッジ移動形	ブリッジ移動形
大きさ(X×Y×Zmm)	550×500×450	700×600×600	850×1200×600	1200×1000×600	770×550×370	600×500×300	700×1000×600
測定精度U ₃ (μm)	0.8+L/600	5+5.5L/1000	0.7+L/600	0.8+L/400	2.6+3L/1000 ≤4.5	5.4+5.5L/1000	5.4+5.5L/1000

間企業6社の計9機関により行う。CMMの構造、プロービング方式はメーカ独自の思想や特許の制限が影響するので機種により構造が異なる。そこで本体基本構造、プローブヘッド方式の相違による誤差の大きさを調べるために異なる機種を取り上げた。

2 CMMの規格調査

2-1 ISO 10360-2^{1994 1)}

ISOにおけるCMMの精度検査について調べた。ISO 10360-2¹⁹⁹⁴では指示誤差Eを求めるために段差ブロックゲージ、プロービング誤差Rを求めるために基準球の使用を強く推奨するしている。また、補足として附属書Aで臨時検査について規定している。附属書Aでは、基準ゲージは、典型的な形状要素を表すような特徴をもつ異形供試体で、寸法が安定し、機械強度が高く、さらに測定の不確かさに大きな影響を及ぼさない表面仕上げを施されたものとしている。例えば、両端がボール上のパー、ボールプレート、リングゲージなどがあげられる。なお、JIS B 7440-2¹⁹⁹⁷はISO 10360-2¹⁹⁹⁴に準拠している。

2-2 VDI/VDE2617パート1~5²⁾

表2 供試体の計測不確かさに
関する主な影響要因

- 1) 温度
- 2) プローブ形状エレメントの形状偏差
- 3) 配置に依存する供試体のたわみ
(特にたわみ中性でない構造の場合)
- 4) 供試体締付け部の安定性
- 5) 長期間安定性
- 6) 測定戦略に依存する誤差増殖
- 7) 供試体の校正不確かさ

表2にVDI/VDE2617パート1~5で明示する供試体(試作ゲージ)の計測の不確かさに関する主な影響要因を示す。VDI/VDE2617パート1~5はドイツ技術協会、ドイツ電気技術者協会による規格で、CMMの精度検査について細かく規定されている。特に基準ゲージについての記述は多く、試作ゲージ製作の参考とした。

3 試作ゲージ設計

3-1 試作ゲージの基本設計

図1に試作ゲージの全体図を示す。CMMの標準器はブロックゲージなどの端度器標準が規格の主流であるが、球を測定要素とした標準器ではドイツ国PTBが開発したボールプレートが実用化されている。ここでは、図1に示す三次元形状の試作ゲージを考案した。特徴は、プレートの角度がCMM定盤面に対して60°と30°の2種類に設定できる、三次元形状のため反転法によりCMMガイド直角測定ができる、コンパクトで持ち運びに容易などの優位点がある。

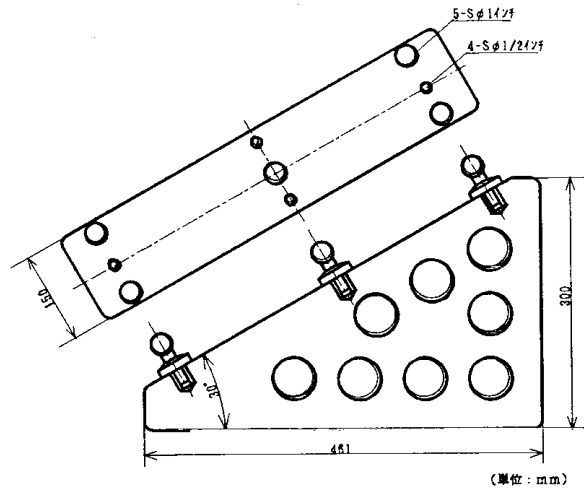


図1 試作ゲージの全体図

3-2 鋼球の選定

表3にJIS規格による鋼球の等級、表4にJIS規格による鋼球の硬さを示す。VDI/VDE指針ではプローブ不確かさ検査、プローブ形状エレメント作成では球体を推奨しており、球体の径は30mm程度、真球度はプローブ不確かさ精度を上回る0.05μm以下が要求される。また、CMM測定用ゲージに用いる鋼球は一般的に径が1インチ(25.4mm)または1/2インチ(12.7mm)が使用されている。そこで、試作ゲージに使用する球体購入の調査を行った。表3に示すとおり球径が1インチ程度では真球度は0.25μmとなり試作ゲージに使用する球体の精度を満たさない。そこで、5級の1インチ球と1/2インチ

球をそれぞれを多数個購入し、測定により真球度 $0.08\mu\text{m}$ 以下を満たしたものを選別し採用した。鋼球の硬さはVDI/VDE指針の規格を満たしている。

表3 JIS規格による鋼球の等級

精度	呼びの適用範囲	真球度 (μm)
3級	0.3~12mm	0.08
5級	0.3~12mm	0.13
10級	0.3~25mm	0.25
16級	0.3~25mm	0.4
20級	0.3~38mm	0.5

材料 : JIS G 4805 (高炭素クロム軸受鋼鋼材) による

表4 JIS規格による鋼球の硬さ

呼び径	硬さ	
	H _v	HRC
0.3~3mm	772~900	(63~67)
3.5~30mm	-	62~67
32~65mm	-	61~67

3-3 本体の材種選定

表5 ブロックゲージJIS B 7506¹⁹⁹⁷

硬さ	HV 800以上
熱膨張係数	$(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
材料	高炭素鋼クロム鋼 クロムカーバイド タングステンカーバイド
等級	変化量の許容値 ($\mu\text{m}/\text{年}$)
00, 0	$0.02 + 0.0005L_0$
1, 2	$0.05 + 0.001L_0$

※ L_0 は、mmで表した呼び寸法とする

表5にブロックゲージJIS B 7506¹⁹⁹⁷を示す。試作ゲージ本体を製作する上で材種の選定を行った。持ち回り試験では長期間で実験が行われることから、長期間安定性の項目が重要な影響要因となる。試作ゲージは500×300mm程度の比較的大型なプレートで応力ひずみによるワーク変形が考えられるので、ひずみ除去のための材料選定、熱処理方法、硬度や熱膨張等について検討した。また、測定でのハンドリングの容易性が重要となり、試作ゲージの落下によるCMMの損傷などを避けるために試作ゲージの軽量化が要求される。以上の点を考慮して、試作ゲージ本体の材料は石定盤等を使用される花コウ岩(御影石)を採用することとした。花コウ岩は密度 $2.7(\text{g}/\text{cm}^3)$ で、鉄の密度 $(7.86\text{g}/\text{cm}^3)$ と比較して約3倍小さく軽量化が図られる。石を使用して軽量化が図られることで、本体全体を三次元的なブロック形状にすることが可能であり、補助的な固定治具製作が不要となった。また、反転法によるCMM相互の直角測定を行うために、試作ゲージの基準面の平面度が $2\mu\text{m}$ 以下になるように加工した。

3-4 鋼球の本体への固定

図2に鋼球の保持具、表6にはんだの熔融温度、表7に接着剤種による接着強さを示す。鋼球をプレートに固定する方法について、鋼球の硬さはHRC62~67であり鋼球に取付穴を切削により加工するのは難しい。また放電加工による取付穴加工では熱による応力ひずみの影響から真球度が悪くなることが予想される。そこで、鋼球を加工する方法ではなく、接着により鋼球とプレートを接合する方法が良いと考えられる。接着では一般に溶接、はんだ、接着剤の3つの方法があるが、溶接は金属が熱により溶融することを利用した接合方法であり、アーク溶接では電極面で $4,000\sim 5,000^\circ\text{C}$ 、最低の場所でも $2,500^\circ\text{C}$ となる。そこで、はんだと接着剤の方法について調べた。はんだの熔融温度は 220°C 前後と低く応力ひずみが発生しない。接着剤では金型等に使用する金属系接着剤が有効と考えた。以上の候補から熱ひずみ、応力ひずみ、接着強さを考慮し接着剤による方法を採用した。表7に示す材料試験機による引張り試験の結果、接着強さは接着剤Aが優れていることから最終的に鋼球の接合方法として接着剤A(シーカデュア31)を採用した。また、図2に示す様に鋼球をゲージ本体(石)に固定する場合に球保持具を使用した。これは、鋼球を直接ゲージ本体(石)に取り付ける方法ではCMMプローブチップでの球測定でチップとゲージ本体との干渉で測定可能範囲が狭くなり、誤差が大きくなると考えた。そこで、図2に示す球保持具を取り付けることにより干渉を防ぎ、球の測定範囲が広がることで測定精度が向上する。また、球保持具の材料は熱膨張を考慮してグラファイトとした。

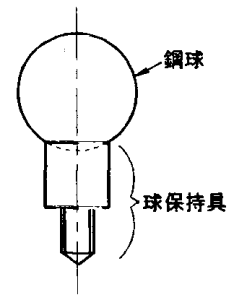


図2 鋼球の保持具

表6 はんだの熔融温度

合金系	種類	固相線温度 $^\circ\text{C}$	液相線温度 $^\circ\text{C}$	比重
Sn-Pb系	Sn95Pb	約183	約224	約7.4
Pb-Sn系	Pb55Sn	約183	約227	約9.1
Sn-Ag系	Sn96.5Ag	約221	約221	約7.4
Pb-Ag系	Pb97.5Ag	約304	約304	約11.3

表7 接着剤種による接着強さ

接着剤	球径	引張強さ(N)		
		1回目	2回目	平均値
接着剤A	S ϕ 1インチ	1274	1764	1519
	S ϕ 1/2インチ	490	539	515
接着剤B	S ϕ 1インチ	0	0	0
	S ϕ 1/2インチ	測定不可	測定不可	結果無し

3-5 各構成要素の熱膨張係数

表8に各構成要素の熱膨張係数を示す。長さ測定では温度による影響が大きく、各構成要素の熱膨張がCMMの測定精度と比較して十分に小さいことが要求される。

接着剤Aは熱膨張係数が 60×10^{-6} (1/°C)と他と比較して大きい。これは接着剤の厚さ1mmで $0.06 \mu\text{m}$ でありCMMのメーカー保証測定精度より十分に小さい。

表8 各構成要素の熱膨張係数

品名	材種	熱膨張係数 α ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)
本体	花コウ岩 (御影石)	4-10
接着剤A	-	60
接着剤B	-	70
球保持具	グラファイト	3.1
鋼材 (参考)	炭素鋼	11.5
アルミ材 (参考)	A1 (アルミニウム)	23.8

4 試作ゲージの完了検査

図3に測定でのワーク座標系、表9に測定結果を示す。高精度三次元測定機 (PMM12106、ライツ製) を用いて、完成した試作ゲージを測定して値付けを行った。ワーク座標系は3つの1インチ球により平面を作成して空間軸補正をし、ゼロ点位置と位置fの1インチ球により回転軸補正を行う。ゼロ点は図に示す左上の1インチ球とする。ここでの球測定は極1点赤道4点の計5点測定とし、表9に示す真球度、直径、距離の項目について算出した。今後、他の高精度三次元測定機による測定を行い、その測定結果と照合して標準値を決定する。

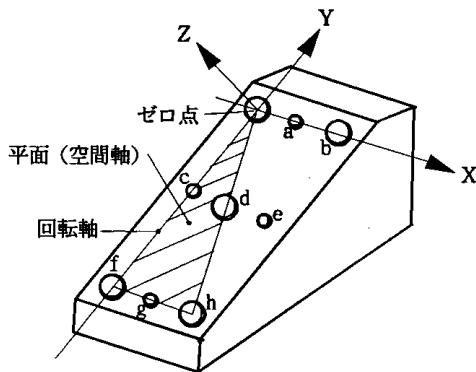


図3 ワーク座標系の設定

表9 測定結果

(単位: mm)

位置	真球度	直径	距離
a	0.0002	12.7003	48.9685
b	0.0002	25.4010	90.3593
c	0.0001	12.6999	201.8189
d	0.0002	25.4009	206.9010
e	0.0002	12.7002	221.5412
f	0.0000	25.4007	403.6743
g	0.0002	12.6995	406.6212
h	0.0001	25.4006	413.8319

5 まとめ

持ち回り測定によるCMMの誤差評価実験の1年目として、持ち回り測定への参加者集め、CMM文献調査、試作ゲージ設計、試作など実験を始めるにあたり準備を行った。以下に主な内容についてまとめる。

- 1) 持ち回り測定に参加者9機関で測定実験を行う。
- 2) CMMの測定実験で使用する試作ゲージ製作のために、ISO 10360-2:1994、VDI/VDE2617Part1~5など規格の調査を行い、試作ゲージ本体は石(花コウ岩)を材料として三次元形状とした。この球体の選定、球体の固定方法、各構成要素の熱膨張について検討したことによりCMMガイド直角度評価が可能になる。
- 3) 試作ゲージの完了検査として簡易的な値付けを行った。今後、他の高精度三次元測定機での測定結果と照合させ標準値を決定する。

6 今後の予定

- 1) 数台の高精度三次元測定機で試作ゲージを交互に測定し、測定結果を照合して試作ゲージの正確な値付けを行う。
- 2) 品質工学に基づいてSN比による評価のための実験計画を作成する。
- 3) 持ち回り測定参加者による打ち合わせを行い、今後のスケジュール、実験計画等について意見交換を行い実験を開始する。

本研究を進めるにあたり、試作ゲージ製作において多大なるご協力を頂いた株式会社阿部製作所に感謝いたします。

文献

- 1) ISO 10360-2:1994, ISO規格
- 2) VDI/VDE2617Part1~5, ドイツ技術協会, ドイツ電気技術者協会