

## 三次元位置精度，形状測定技術に関する研究（第5報）

機械金属部 機械研究室

田中久，副島辰夫

工業製品の多様化・複雑化が進む中，製造工程の管理や製品の最終的な品質保証を決定づける評価機器として三次元測定機が多くの工業分野で重要な役割を果たしている。最近では，規格の国際化に向けて，トレーサビリティ体系を含めた幾何特性の標準化の動きが加速されている。1996年9月にはISO/TC213（製品の幾何特性仕様）技術委員会が設置され，計測の不確かさをどのように適用し，見積もるかの検討を進めている。本研究では，三次元測定機の不確かさ成分について要因分析を行い，併せて不確かさを具体的に見積もるための実験を実施した。その結果以下のことが明らかになった。実験に使用した三次元測定機の不確かさとして，中心間距離で $\sigma = 0.54\mu\text{m}$ ，直径測定で $\sigma = 0.37\mu\text{m}$ と見積もることができた。(2)制御因子として考えたプローブ直径，測定点数の各水準間に有意差はなかった。(3)本実験で得られた不確かさはメーカーが保証している測定精度（E）とほぼ同等であった。

### 1. はじめに

工業製品の多様化・複雑化が進む中，製造工程の管理や製品の最終的な品質保証を決定づける評価機器として，三次元測定機が多くの工業分野で重要な役割を果たしている。しかしながら，測定誤差を考慮していない測定値では，許容差近傍で合格・不合格が決定できないという問題も発生している。そこで，トレーサビリティ制度や国際規格(ISO)との絡みで，三次元測定機自体のもつ運動誤差やプロービング誤差などの誤差成分を総合した計測の不確かさの評価方法の統一化が望まれている。

不確かさは計測の信頼性を表しており，ISO不確かさ表現ガイド（1993年）では不確かさを定量的に見積もる方法についての一般的指針を与えている。具体的な国際規格の制定への動きとしては，1996年9月に開催されたパリ会議で，ISO/TC213（製品の幾何特性仕様）技術委員会が設置された。1998年には三次元測定機の作業部会（WG10）が活動を開始しており，2001年には規格化される見通しである<sup>1)</sup>。

本研究では，以上のような流れを受けて，三次元測定機のもつ不確かさ成分について要因分析をおこない，併せて不確かさを具体的に見積もるための測定実験を計画した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 使用測定機および測定環境

実験に使用した三次元測定機は，ライツ社製PMM866P型で，門固定テーブル移動型構造のCNC機

である。プロービング方式は高分解能作動トランス平行バネ方式を採用しており，各軸はエアベアリングでガイドされている。また，外部からの振動を極力抑えるために，ベース面3ヶ所をエアダンパーで支持されている。その移動範囲は800(X)×600(Y)×600(Z)で，カタログ上の精度は，以下のとおりである。

$$\text{空間精度 } E = 0.7 + L / 450 \quad [\mu\text{m}]$$

ここで，Lは測定長 [mm] を示す

$$\text{プロービング精度 } R = 0.6 \quad [\mu\text{m}]$$

精密測定には高度に管理された測定環境が不可欠である。本測定機は，長期に亘って高精度を維持するために，恒温恒湿（ $20 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ， $50 \pm 5\%$ ）および清浄度クラス6に管理された測定室に設置されている。

#### 2.2 計測の不確かさの要因分析

三次元測定機における計測の不確かさを見積もる際に考慮すべき誤差要因についてまとめたものが図1である。不確かさの決定には，測定機自体に起因する要因，プローブ（検出器）に起因する要因，測定対象物に起因する要因および測定環境など多くの要因について詳細に検討しなければならない。一般には，測定機上に測定物をのせた場合の測定機の変形・運動誤差やプローブの形状・向きを変えた場合の安定性が不確かさの大きな割合を占めている<sup>2)</sup>。また，多くの測定機では，データ処理のアルゴリズムが公開されていないため，場合によっては，ソフトウェアに

基づく不確かさも考慮する必要もある。

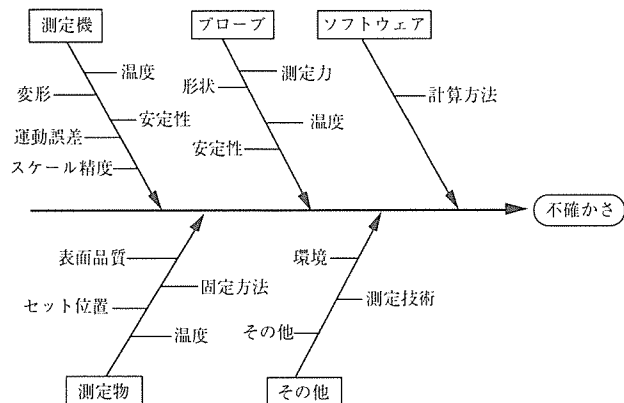


図1 三次元測定機における不確かさ要因

### 2.3 基準ゲージ

実験に使用した基準ゲージは、株式会社浅沼技研製マスターブロックである。鋳鉄製基準ゲージの大きさは一辺が200mmの立方体で、XY平面、YZ平面、ZX平面の各1面にリングゲージ(φ20)が各4個、中心間距離90mmでセットされている。なお、基準ゲージは測定室に搬入後、約1ヶ月間養生してから実験を開始した。

### 2.4 実験計画

図1に示した不確かさ要因から、本実験ではプローブに起因するものとして、プローブ径(A)とプローブ長を変化させるためのエクステンション(L)、測定機および測定物に起因する要因として基準ゲージのセット位置(S)、測定平面(P)を実験に取り上げた。その他、測定機の安定性を把握するために、リングゲージの直径と中心間距離を計算するための測定点数(B)および測定のくりかえし(n)を要因とした。以上6個の要因について各水準値をまとめたものが表1である。実験は、6個の異なる因子の各水準の組合せごとにデータを与えるという6元配置とした。また、表2は100mmのエクステンションを使用しない場合の各プローブ寸法を示している。

今回の実験で取り上げた6個の要因のうち、より精密な測定をしたい場合は、プローブ径(A)と測定点数(B)は、測定精度が高い組合せを選択する必要がある。品質工学<sup>3)</sup>という制御因子として取り扱った。また、エクステンション(L)、セット位置(S)、測定平面(P)の各水準は、測定対象物の大きさ・測定箇所によって決定され、測定者が自由に選ぶことができない。そのため、測定のくりかえしを含む

表1 要因および水準値

要因	水準	1	2	3	4
プローブ径	(A)	φ 1.5	φ 3.0	φ 5.0	φ 8.0
測定点数	(B)	3	4	8	—
エクステンション100mm	(L)	不使用	使用	—	—
セット位置	(S)	中央奥	手前左	手前右	—
測定平面	(P)	XY平面	YZ平面	—	—
測定のくりかえし	(n)	n = 2			

表2 プローブ寸法

プローブ径	シャンク径/シャンク長	プローブ長
φ 1.5	1.0 / 7.0	90.0
φ 3.0	2.0 / 39.0	90.0
φ 5.0	3.5 / 49.0	80.0
φ 8.0	6.0 / 109.0	125.0

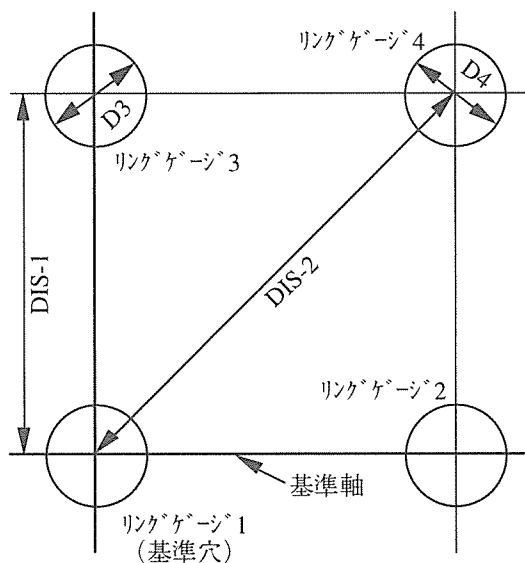


図2 特性値

4つの要因については誤差因子と考えて比例式のSN比を求めた。

### 2.5 特性値

本実験の特性値は、図2に示すようにリングゲージ1とリングゲージ3との中心間距離(DIS-1)、リングゲージ1とリングゲージ4との中心間距離(DIS-2)およびリングゲージ3の直径(D3)とした。なお、測定における座標原点はリングゲージ1の中心とし、基準軸はリングゲージ1の中心とリングゲージ2の中心を結ぶ直線とした。

### 3. 実験結果

表3に示す組合せA1B1における測定データから、中心間距離のSN比を求める解析手順は以下のとおりである。

全変動  $S_T$  は,

$$S_T = \text{個々のデータの2乗和}$$

$$= 90.0212^2 + 90.0213^2 + 127.2650^2 + \dots + 127.2661^2 + 127.2664^2$$

$$= 583210.64776652 \quad (f = 48)$$

信号因子の一次効果  $S_\beta$  は,

$$S_\beta = 1 / r (M1y1 + M2y2)^2$$

$$= 1 / 583209.2884 (90.02172 \times 2160.5208 + 127.26538 \times 3054.3748)^2$$

$$= 583210.64775392 \quad (f = 1)$$

誤差変動  $Se$  は,

$$Se = S_T - S_\beta$$

$$= 583210.64776652 - 583210.64775392$$

$$= 0.00001260 \quad (f = 47)$$

誤差分散 ( $Ve$ ) は,

$$Ve = Se / fe$$

$$= 0.00000027$$

となる。以上の計算結果をまとめたものが表4の分散分析表である。

次に、分散分析表より次式でSN比  $\eta$  を求めた。

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

ここで、 $r$  は有効除数と呼ばれ下式で計算した。

$$r = r_0 (M1^2 + M2^2)$$

$$= 24 (90.02172^2 + 127.26538^2)$$

$$= 583209.2884$$

ただし、信号因子  $M1, M2$  の値については、全測定データの平均値を代入した。

同様にして、その他の測定条件についてもSN比を計算し、その結果をまとめたものが表5である。参考までに、各制御因子の組合せごとの測定のばらつきの標準偏差  $\sigma$  を示した。同表より、各組合せの標準偏差は  $0.51 \sim 0.59 \mu\text{m}$  の範囲内である。

さらに、SN比を新しい特性値として分散分析した結果を表6に示す。

表4 分散分析表 (A1B1)

要因	平方和 (S)	自由度 (f)	分散 (V)
一次効果 $\beta$	583210.64775392	1	583210.64775392
誤差 e	0.00001260	47	0.00000027
合計 T	583210.64776652	48	

表5 中心間距離のSN比と標準偏差

測定条件	SN比 $\eta$ (dB)	標準偏差 $\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )
A1B1	65.719	0.55
A1B2	65.213	0.55
A1B3	65.747	0.52
A2B1	64.788	0.58
A2B2	64.807	0.57
A2B3	65.933	0.51
A3B1	65.216	0.55
A3B2	65.543	0.53
A3B3	65.887	0.51
A4B1	65.242	0.55
A4B2	64.646	0.59
A4B3	64.590	0.59
平均値	65.278	0.54

表3 測定データ (A1B1)

測定値		M1 (90.02172)		M2 (127.26538)	
		n1	n2	n1	n2
A1B1L1S1	YZ	90.0212	90.0213	127.2650	127.2651
A1B1L1S1	XY	90.0217	90.0219	127.2653	127.2652
A1B1L1S2	YZ	90.0222	90.0220	127.2659	127.2658
A1B1L1S2	XY	90.0218	90.0221	127.2665	127.2664
A1B1L1S3	YZ	90.0219	90.0223	127.2651	127.2656
A1B1L1S3	XY	90.0217	90.0214	127.2668	127.2664
A1B1L2S1	YZ	90.0211	90.0212	127.2650	127.2651
A1B1L2S1	XY	90.0212	90.0212	127.2648	127.2647
A1B1L2S2	YZ	90.0220	90.0225	127.2654	127.2655
A1B1L2S2	XY	90.0215	90.0218	127.2658	127.2657
A1B1L2S3	YZ	90.0222	90.0221	127.2657	127.2655
A1B1L2S3	XY	90.0211	90.0214	127.2661	127.2664
小計 (y)		2160.5208		3054.3748	

表6 分散分析表 (中心間距離)

制御因子の種類	平方和 (S)	自由度 (f)	分散 (V)
プローブ直径 (A)	1.10191158	3	0.36730386
測定点数 (B)	0.48225867	2	0.24112933
誤差 (e)	1.04447467	6	0.17407911
計	2.62864492	11	

表より、誤差分散の大きさと比較してプローブ直径、測定点数とも大差なく、有意差がないことが明らかになった。すなわち、今回の実験で考えた各要因の水準値間に差がないことがわかった。次に、制御因子の要因効果図を図3に示す。

同様の手順でリングゲージの直径(D3)についてSN比を計算した結果を表7に示す。さらに分散分析表を表8に示す。表8より、中心間距離同様にプローブ直径、測定点数とも有意差はないことがわかった。このことは、測定対象物の如何にかかわらず、プローブを任意に選択しても、 $\sigma = 0.54\mu\text{m}$ の距離測定と $\sigma = 0.37\mu\text{m}$ の直径測定が保証できることを意味している。また、円測定の場合の測定点数が3点でも十分であることが明らかになったことは測定時間の短縮化につながる。しかしながら、このことは今回の測定物が高精度なリングゲージ(真円度 $0.2\mu\text{m}$ 程度)であったことに大きく関係しているので、実製品の測定では、真円度との絡みで測定点数を決定する必要がある。

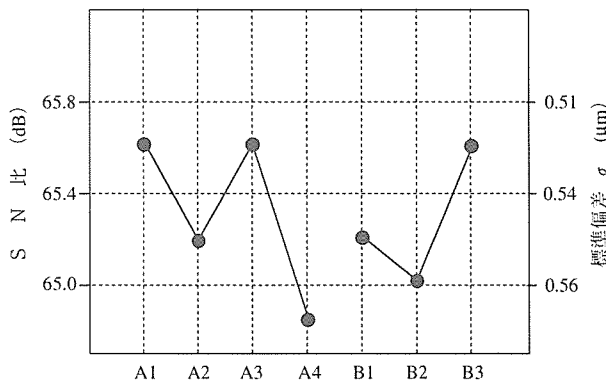


図3 要因効果図 (中心間距離)

表8 分散分析表 (直径)

制御因子の種類	平方和 (S)	自由度 (f)	分散 (V)
プローブ直径 (A)	14.99917367	3	4.99972456
測定点数 (B)	5.72422067	2	2.86211033
誤差 (e)	7.86790333	6	1.31131722
計	28.59129767	11	

表7 直径のSN比と標準偏差

測定条件	SN比 $\eta$ (dB)	標準偏差 $\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )
A1B1	71.753	0.26
A1B2	68.080	0.39
A1B3	69.889	0.32
A2B1	68.548	0.37
A2B2	68.486	0.38
A2B3	68.669	0.37
A3B1	70.254	0.31
A3B2	68.973	0.36
A3B3	68.676	0.37
A4B1	66.787	0.46
A4B2	65.345	0.54
A4B3	68.630	0.37
平均値	68.674	0.37

4. おわりに

今回、三次元測定機における計測の不確かさ成分について要因分析をおこない、不確かさを見積もるための実験を計画した。その際、各要因の水準値は、種々の対象物を測定することを考慮して幅広く設定した。

本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

- (1)実験に使用した三次元測定機の不確かさとして、中心間距離で $\sigma = 0.54\mu\text{m}$ 、直径測定で $\sigma = 0.37\mu\text{m}$ と見積もることができた。
- (2)制御因子として考えたプローブ直径、測定点数の各水準間に有意差はなかった。このことは、測定対象物の如何にかかわらず、任意にプローブを選択しても測定精度への影響はないことを示している。
- (3)本実験で得られた不確かさはメーカーが保証している測定精度 (E) とほぼ同等であった。

最後に、本研究を行うにあたり、基準ゲージを提供して頂いた株式会社浅沼技研に感謝いたします。

参考文献

- 1)小池正義：幾何偏差の計測の不確かさの評価，機械金属連合部会第27回計測分科会論文集 (1998)
- 2)田中久：三次元位置精度，形状測定技術に関する研究，佐賀県工業技術センター研究報告書 (1994)
- 3)矢野宏：品質工学入門，日本規格協会 (1995)