

X線CT装置を用いた3次元形状の寸法測定の評価

Evaluation of dimension measurement of three-dimensional shapes using X-ray CT equipment

電子・機械技術部 機械・加工科 菊地潤 坂内駿平 渡邊孝康 小野裕道

当所設置のX線CT装置及びCMMを用いて寸法計測を行い、その計測値を評価した。計測対象物には、ホールプレート及び段付き円筒ゲージを使用した。計測の結果、X線CTの倍率補正係数は2値化閾値によらず、1.00であった。また、画像の2値化閾値50[%]の時にCMMの計測値との偏差が最小であった。これらの結果より、適正撮影条件で得られたX線CT画像からはCMMからの偏差50[μm]以下で計測できることが分かった。

Key words: X線CT、寸法計測

1. 緒言

X線CT装置（以下、X線CT）は非破壊で内部形状を観察できることから、物体内部形状の観察に利用されている。

しかし、X線CTを用いて寸法計測を行う場合、計測対象の素材や形状、画像の処理条件等などによって計測結果に偏差が生じると考えられる。

そのため、応募企業ではX線CTを用いた内部形状の寸法計測を積極的に利用することが難しかった。

本研究では、当所のX線CTの寸法計測値の偏差を把握することを目的に、応募企業で使用実績の多いアルミ合金を素材として、X線CT(テスコ(株)製 TXS-CT300)と接触式三次元測定機(以下、CMM)で同一の試料を計測した際の計測値を比較したので報告する。

2. 実験

2. 1. 実験装置

計測に使用したCMMを図1、X線CTを図2に示す。X線CTの投影データの三次元画像再構成は(株)緑野リサーチ製 TomoShopを使用した。再構成後のCTデータの面の定義及び寸法計測はボリュームグラフィックス(株)製 VGStudio MAX2.5を使用した。

2. 2. 実験試料

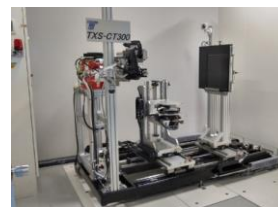
撮影画像の補正倍率の算出のための試料としてアルミ合金製のホールプレートを使用した。計測偏差の算出のための試料には、国立研究開発法人産業技術総合研究所 藤本らが材質の影響による長さ計測への影響を評価することを目的に使用しているアルミ合金製の段付き円筒ゲージ¹⁾を使用した。ホールプレートの外

観及び穴番号を図3に、段付き円筒ゲージの外観を図4に示す。



装置諸元	
メーカー	ミットヨ
型式	CRYSTA-APexS776
最大許容誤差	1.7×3/1000L[μm]

図1 使用したCMM



装置諸元	
メーカー	テスコ
型式	TXS-CT300
最小分解能	4[μm]JIMA

図2 使用したX線CT装置

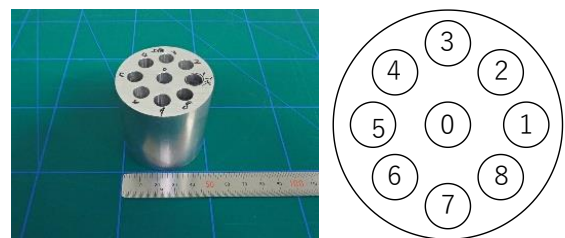


図3 ホールプレートの外観と穴番号

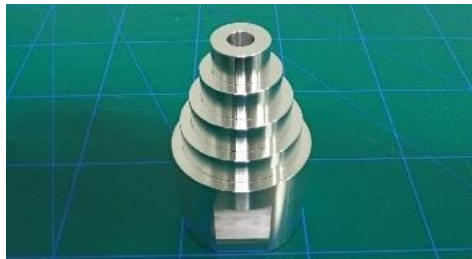


図4 段付き円筒ゲージの外観

2. 3. CMMでの計測

X線CTの計測値の偏差の基準となる値を得るために、ホールプレートと段付き円筒ゲージをCMMで計測した。

2. 4. X線CTでの計測

2. 4. 1. X線CT撮影条件

X線CTでの撮影条件を表1及び表2に示す。X線CTでは、X線源-計測試料-X線検出器の位置関係により撮影像が拡大/縮小する。その影響を抑えるために検出器は最前位置に固定し、試料は撮影画像の範囲の9割程度を占めるように配置した。撮影画像は画像処理フィルタで処理せずに再構成した。

表1 ホールプレートのX線CT撮影条件

設定項目	設定値
管電圧	175 kV
管電流	120 μ A
フィルタ	銅0.7mm
試料台位置 (SOD)	130mm
検出器位置 (SDD)	750mm
露光時間	700mmsec
撮影枚数	2000枚
撮影時間	約24分

表2 段付き円筒ゲージのX線CT撮影条件

設定項目	設定値
管電圧	180 kV
管電流	120 μ A
フィルタ	銅0.7mm
試料台位置 (SOD)	130mm
検出器位置 (SDD)	750mm
露光時間	700mmsec
撮影枚数	2000枚
撮影時間	約24分

2. 4. 2. 倍率補正係数の算出

再構成像は倍率補正²⁾が必要であり、それにはホールプレートの計測結果から得られる倍率による校正が有効³⁾である。その計測時に、穴内面を定義する際の

2値化閾値による倍率補正値の変化について検証するため、2値化閾値を40[%]と50[%]、60[%]、70[%]と変化させてホールプレートの中心間距離を計測した。倍率補正係数は次式で求めた。

倍率補正係数

$$= \text{CMMの計測値} / \text{X線CTの計測値} \quad \cdots(1)$$

2. 4. 3. 段付き円筒ゲージのX線CTでの計測

段付き円筒ゲージをX線CTで撮影し、外径と内径を計測した。試料は段ごとにX線の透過厚が異なるため、撮影像は各段の計測ごとに必要な部位について再構築を行った。再構築像は境界を定義する際の2値化閾値を40[%]と50[%]、60[%]、70[%]に変化させて内径と外径を計測した。

3. 結果

3. 1. CMMによるホールプレートの穴位置計測

ホールプレートの穴位置をCMMで計測し、座標から穴中心間距離を計算した。計測は、ホールプレートの中央穴の軸方向をZ軸とし、上端面を原点とした。中央の穴を穴0とし、穴0と外周の穴1の中心を結ぶ線をX軸とした。他の穴は穴1から反時計回りに穴2から穴8とした。上面から25[mm]の深さの位置で円を計測し、穴の直径と中心座標を計測した。表3に各穴の直径と中心座標を示す。

表3 CMMで計測したホールプレートの穴中心座標

測定要素名	直径 [mm]	穴中心座標 [mm]		
		X	Y	Z
穴0	8.0536	0.0000	0.0000	-24.9910
穴1	8.0131	14.9789	-0.0226	-24.9905
穴2	8.0150	10.6072	10.6112	-24.9903
穴3	8.0141	0.0195	15.0090	-24.9905
穴4	8.0152	-10.6011	10.6622	-24.9904
穴5	8.0138	-15.0070	0.0049	-24.9904
穴6	8.0144	-10.6237	-10.5734	-24.9903
穴7	8.0487	-0.0502	-14.9772	-24.9917
穴8	8.0156	10.5690	-10.5860	-24.9903

3. 2. X線CTによるホールプレートの穴位置計測

ホールプレートをX線CTで撮影し、各穴の中心座標を計測した。定義面の2値化閾値を40[%]と50[%]、60[%]、70[%]として計測した穴位置中心の座標を表4に示す。

表4 X線CTで計測したホールプレートの穴中心座標

測定要素名	定義面 2値化閾値	穴中心座標 [mm]		
		X	Y	Z
穴0	40	-0.044	-0.734	-6.279
	50	-0.074	-0.721	-6.284
	60	-0.044	-0.736	-6.279
	70	-0.058	-0.730	-6.279
穴1	40	14.896	-0.877	-6.282
	50	14.911	-0.867	-6.286
	60	14.909	-0.875	-6.282
	70	14.898	-0.873	-6.282
穴2	40	10.642	9.818	-6.279
	50	10.621	9.805	-6.285
	60	10.641	9.810	-6.279
	70	10.645	9.814	-6.279
穴3	40	0.059	14.298	-6.285
	50	0.083	14.280	-6.290
	60	0.078	14.305	-6.285
	70	0.072	14.281	-6.285
穴4	40	-10.593	10.025	-6.285
	50	-10.581	10.017	-6.290
	60	-10.592	10.022	-6.285
	70	-10.577	10.025	-6.285
穴5	40	-15.083	-0.560	-6.279
	50	-15.070	-0.550	-6.283
	60	-15.080	-0.571	-6.280
	70	-15.072	-0.551	-6.279
穴6	40	-10.778	-11.210	-6.282
	50	-10.762	-11.223	-6.285
	60	-10.769	-11.227	-6.282
	70	-10.767	-11.223	-6.282
穴7	40	-0.244	-15.706	-6.279
	50	-0.237	-15.705	-6.289
	60	-0.238	-15.703	-6.284
	70	-0.240	-15.706	-6.284
穴8	40	10.415	-11.396	-6.282
	50	10.426	-11.394	-6.288
	60	10.413	-11.397	-6.283
	70	10.418	-11.402	-6.282

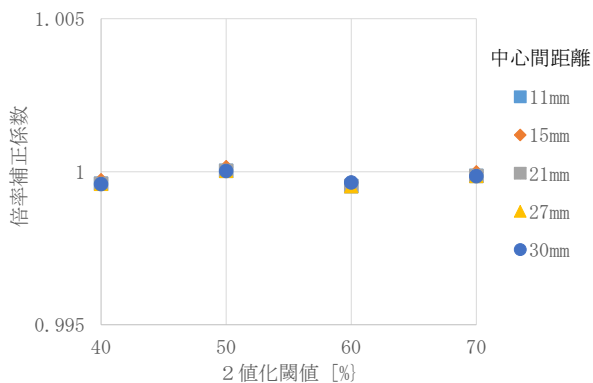


図5 X線CTの2値化閾値と倍率補正係数

表3及び表4より、ホールプレートの9個の貫通穴から2個の穴を選んだ際の36通りの中心間距離を算出し、(1)式により倍率補正係数を算出した。それぞれの2値化閾値での倍率補正係数について図5に示す。

求められた倍率補正係数は最小0.9995、最大1.0002であり、2値化閾値の値に影響されなかった。このことから、以後のX線CTによる計測では倍率補正係数は1.00とした。

3.3. CMMによる段付き円筒ゲージの内径と外径の計測

段付き円筒ゲージの内径と外径をCMMで計測した。計測は、段付き円筒ゲージの中央の穴の軸方向をZ軸とし、最も下の段をZ軸の原点とした。また、Y軸は、最も太い軸に設けたDカットの平面と平行に設定した。

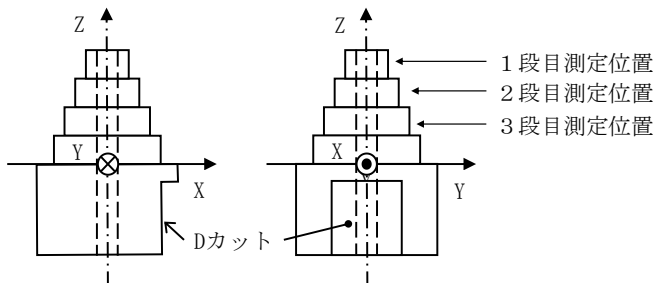


図6 段付き円筒ゲージの計測部位

計測時の軸と部位について図6に示す。上から1段目、2段目、3段目について中央の高さで、内径と外径を計測した結果を表5に示す。

表5 CMMによる段付き円筒ゲージの計測値

	測定箇所	直径 [mm]
1段目	内径 8mm	8.0361
	外径 18mm	18.0087
2段目	内径 8mm	8.0375
	外径 26mm	26.0126
3段目	内径 8mm	8.0390
	外径 34mm	34.0126

3.4. X線CTによる段付き円筒ゲージの内径と外径の計測

段付き円筒ゲージをX線CTで撮影し、外径と内径を計測した。定義面の2値化閾値を40[%]、50[%]、60[%]、70[%]として計測した内径と外径の計測値について表6に示す。

表6 X線CTによる段付き円筒ゲージの計測値

	測定箇所	2値化閾値			
		40%	50%	60%	70%
1段目	内径 8mm	8.0089	8.0375	8.0627	8.0966
	外径 18mm	18.0410	18.0018	17.9834	17.9526
2段目	内径 8mm	8.0081	8.0281	8.0641	8.1239
	外径 26mm	26.0434	26.0145	25.9911	25.9598
3段目	内径 8mm	8.0222	8.0338	8.0868	8.1714
	外径 34mm	34.0460	34.0208	33.9944	33.9719

4. 考察

4. 1. 段付き円筒ゲージの2値化閾値による計測値の偏差

2値化閾値を変化させた際の計測物の輪郭についてCMMの計測値とX線CTの計測値の偏差を算出した。段付き円筒ゲージの定義面の2値化閾値を40[%]と50[%]、60[%]、70[%]として計測した際の偏差を図7に示す。偏差は定義面の2値化閾値によって変化し、2値化閾値が50[%]の際に最小となった。また、閾値が10[%]ずれた40[%]及び60[%]の状態であっても、偏差は50[μm]以下の範囲に収まっていた。

5. 結言

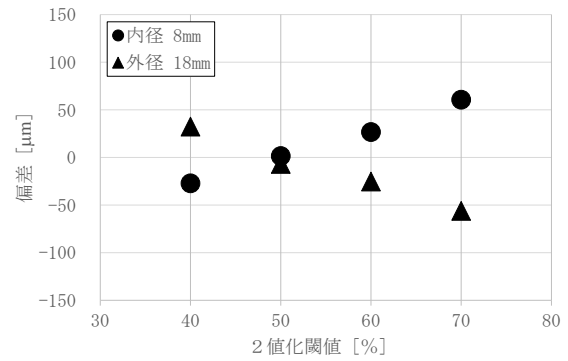
ホールプレートと段付き円筒ゲージを作製し、CMMとX線CT装置により寸法を計測した。その結果より、次の結言を得た。

- ・ホールプレートの穴中心間距離からX線CTの倍率補正係数を求めた結果、2値化閾値によらず1.00であった。
- ・X線CTの計測面の2値化閾値により、アルミ製段付き円筒ゲージの寸法の偏差は変化した。
- ・X線CTの定義面の2値化閾値が50[%]の時にCMMの計測結果との差が最小となった。

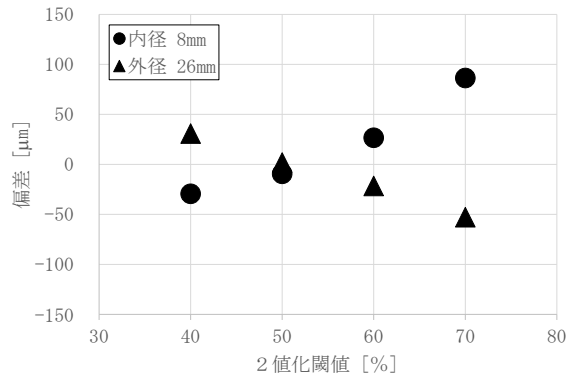
これらの結果より、寸法計測結果は測定画像の2値化閾値に影響されることが分かった。また、この段付き円筒ゲージを適正な撮影条件下で得られた画像からは、CMMからの偏差50[μm]以下で計測値が得られることが分かった。

文献

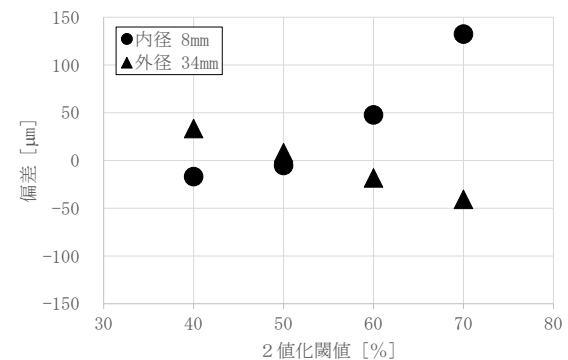
- 1) 藤本弘之, 佐藤理ら: X線CT装置の精度評価法標準化と高度化, 精密工学会誌, Vol182, No6, pp. 502-505 (2016)
- 2) 山本紘司, 水野和康ら: X線CTを用いた寸法測定 of 精度評価, あいち産業科学技術総合センター研究報告 2014, pp. 22-25
- 3) 相澤淳平: X線CT装置による寸法測定の誤差評価長野県工技センター研報, No 7, pp. M39-M41



(a) 1段目の測定偏差



(b) 2段目の測定偏差



(c) 3段目の測定偏差

図7 段付き円筒ゲージの計測値の偏差