

三次元デジタイザによる寸法測定条件の最適化（第2報）

Optimization of dimensional measurement condition by 3D digitizer (2nd report)

技術開発部 生産・加工科 清野若菜 近野裕太

技術開発部 工業材料科 矢内誠人

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 夏井憲司

いわき技術支援センター 機械・材料科 緑川祐二

三次元デジタイザによる形状測定から得られる寸法値の精度を明確化し、向上させることを目的として、品質工学的手法により測定精度に影響を与える条件の最適化を行った。測定物表面の塗布物を酸化チタン粉末に変更してL18直交表による実験を行った結果、カメラ角度及び参照点の有無が測定精度に大きく影響することが分かった。設定した最適条件を用いた金属製凸型ブロックの測定では、従来の条件に比べて寸法測定誤差を大幅に改善することができた。

Key words: 三次元デジタイザ、品質工学

表1 センサ設定

カメラ間距離 [mm]	300
レンズ名称	MV300
測定範囲 (横幅×縦幅×奥行) [mm]	300×230×230
点間ピッチ [mm]	0.124
参照点の径 [mm φ]	1.5
測定距離 [mm]	590
カメラ間角度 [°]	25

1. 緒言

図面のない金型等の現物からCADデータを作成するリバースエンジニアリングの用途として、非接触三次元デジタイザによる形状測定が行われている。三次元デジタイザは、複雑な形状を短時間で三次元的に測定できるメリットがある一方、カメラの撮影画像から3Dデータを作成するため、寸法の測定精度は高くない。三次元デジタイザを用いて、精度よく寸法を測定したいという産業界のニーズはあるものの、測定値に影響する要素が多数あるため、精密な寸法測定の利用には利用されていない。

三次元デジタイザによる形状測定から得られる寸法値の精度を明確化し、向上させることを目的として本研究を実施した。

今年度は、測定物表面への塗布物を従来の浸透探傷用現像液から、より粒径の小さい酸化チタン粉末に変更し、品質工学的手法を用いた実験により、測定精度に影響を与える条件の最適化を行った。

2. 実験と考察

2. 1. 測定原理

測定機は非接触三次元デジタイザ（ATOS Compact Scan 5M：GOM製）を使用した。測定原理は、パターン投影方式とステレオ方式を組み合わせたエリア計測方式である¹⁾。本測定機には、中央にプロジェクタレンズとその左右にカメラレンズが設置されており、プロジェクタから青色光による格子パターンを投影し、測定物の表面形状によって変形した状態を左右のカメラで撮影する。1回の撮影で取得できる座標点数は約500万点であり、左右の画像の視差から三角測量により奥行方向の距離を測定し、測定物表面の点群データを取得する。ターンテーブルを回転させて複数の角度

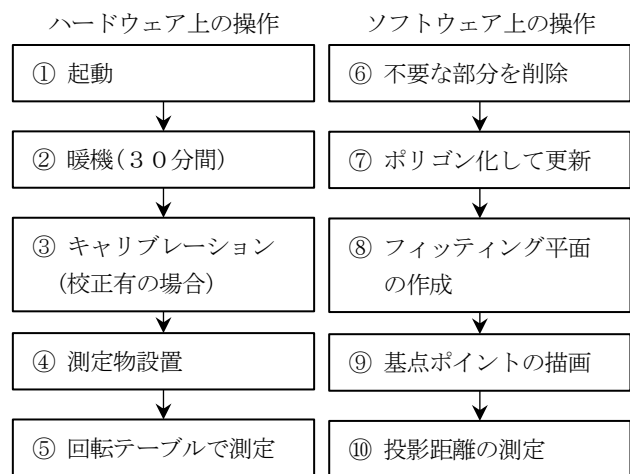


図1 寸法測定の流れ

から撮影し、参照点の座標値又は特徴形状を基準としたベストフィットにより合成することで、測定物全体の3Dデータを作成している。

表1にセンサの設定を示す。測定に用いるレンズは、測定範囲の異なる大中小の3種類が存在するが、本研究では最も使用頻度の高いMV300(中)を使用した。

図1に本研究での形状及び寸法測定の流れを示す。測定した点群データはソフトウェア上でポリゴン化し、測定面に沿ったフィッティング平面の作成と基点ポイントの描画を行った後、基点から平面までの投影距離

を測定した。

2. 2. 酸化チタン粉末を用いた際の最適条件の導出

2. 2. 1. 実験に使用した測定物

セラミック 45[mm]ブロックゲージ ((株) ミットヨ製) を使用し、測定面は精度保証された両端面とした。測定時は、無水エタノール中に分散させた酸化チタン粉末を、エアブラシを用いて測定物表面に塗布した。

2. 2. 2. L 1 8 直交表の作成

測定精度に影響を与えるパラメータを明らかにするため、品質工学のL 1 8 直交表を作成し、実験を行った。直交表に割り付けるパラメータ及び水準を表 2 に、パラメータの概念図を図 2 に示す。これらは昨年度の設定項目と同じにした。ショット数はターンテーブル 1 回転当たりの撮影数、測定物位置はターンテーブル回転中心からの距離を示す。カメラ角度及び露光量は、測定物がターンテーブル中心に設置され、かつ測定面中央に焦点が合った状態で設定した。なお露光量は、ソフトウェア上で自動調整される値を通常とし、露光過多・過少になる限界点をそれぞれ多・少とした。寸法測定箇所は、測定物平面上で投影距離を測定する位置を示す。参照点の有無は、測定物の土台及び左右腕部に参照点を貼付した場合を有、貼付しない場合を無とした。特徴形状は、測定物左右に非対称形状のパーツを取り付けた。

表 2 パラメータ条件の割振り

パラメータ	水準 1	水準 2	水準 3
校正有無	有	無	-
ショット数	8	12	24
測定物位置	中心	中心から 5[cm]	中心から 10[cm]
カメラ角度[°]	45	55	35
露光量	通常	少	多
寸法測定箇所	中央	上側	下側
参照点有無	有	無	無(特徴形状)

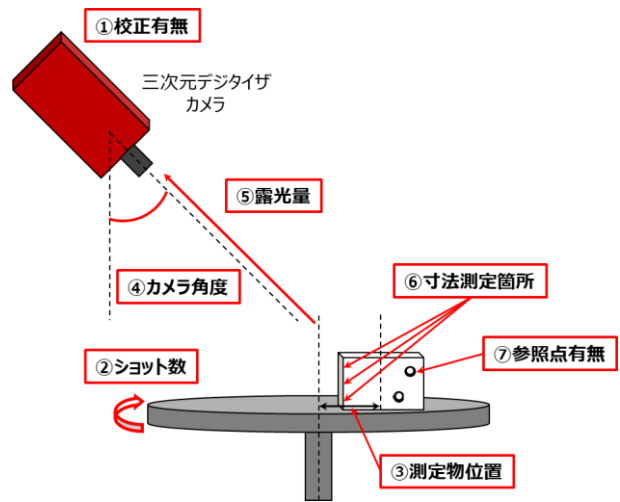


図 2 パラメータ概念図

表 3 L 1 8 直交表への割付け

試験 No.	パラメータ (制御因子)							
	校正	ショット数	測定物位置	カメラ角度[°]	露光量	寸法測定位置	参照点	誤差
1	有	12	中心	45	通常	上側	無	e1
2	有	12	中心から 5[cm]	55	少	下側	無(特徴形状)	e2
3	有	12	中心から 10[cm]	35	多	中央	有	e3
4	有	8	中心	45	少	下側	有	e3
5	有	8	中心から [5cm]	55	多	中央	無	e1
6	有	8	中心から 10[cm]	35	通常	上側	無(特徴形状)	e2
7	有	24	中心	55	通常	中央	無(特徴形状)	e3
8	有	24	中心から 5[cm]	35	少	上側	有	e1
9	有	24	中心から 10[cm]	45	多	下側	無	e2
10	無	12	中心	35	多	下側	無(特徴形状)	e1
11	無	12	中心から 5[cm]	45	通常	中央	有	e2
12	無	12	中心から 10[cm]	55	少	上側	無	e3
13	無	8	中心	55	多	上側	有	e2
14	無	8	中心から 5[cm]	35	通常	下側	無	e3
15	無	8	中心から 10[cm]	45	少	中央	無(特徴形状)	e1
16	無	24	中心	35	少	中央	無	e2
17	無	24	中心から 5[cm]	45	多	上側	無(特徴形状)	e3
18	無	24	中心から 10[cm]	55	通常	下側	有	e1

作成したL18直交表を表3に示す。実験は、各試験No.当たり3回ずつ測定した。直交表第8列の誤差は、各試験No.間の繰り返し測定誤差を示す。

2. 2. 3. SN比の算出及び結果

SN比の要因効果図を図3に示す。各パラメータの水準別SN比は、関係する試験No.のSN比を平均した値である。誤差のSN比の上下幅とほぼ同一のパラメータは、測定精度への影響が小さい。このことから、測定精度に影響を与えるパラメータは、カメラ角度及び参照点有無であることが分かった。なおこのSN比は、信号量Sと誤差Nの比であり、SN比が大きいほどばらつきが少なく、寸法値に対する誤差が小さいことを表している。SN比の算出式を以下に示す^{2), 3)}。

$$\eta = 10 \log \left(\frac{1}{n} \cdot \frac{S_m - V_e}{V_e} \right) \quad (1)$$

$$S_m = \frac{(\sum y)^2}{n} \quad (2)$$

$$V_e = \frac{(\sum y - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (3)$$

y : 出力(測定値) n : データ数
 S_m : 一般平均 V_e : 誤差分散
 η : SN比 [dB]

2. 3. 実験の妥当性の確認

導出したSN比の妥当性を確認するため、各パラメータのSN比が高い水準の組み合わせを最適条件、低い水準の組み合わせを最悪条件とし、セラミック製45[mm]ブロックゲージの測定実験を行った。

実験結果から導出したSN比を表4に示す。計算値のSN比は、L18直交表による実験結果から導出したSN比の全平均と各水準のSN比の差分を求め、それらの差分の合計に全平均を加えたものである。最適条件及び最悪条件ともに、計算値と実験値の差が±30[%]以内であったため、導出した最適条件は妥当であるといえる。

2. 4. 最適条件を用いた測定実験

2. 4. 1. 実験に使用した測定物

測定物は金属製凸型ブロックを使用した。寸法測定箇所を図4に示す。測定物の寸法の真値は、CNC三次元座標測定機 (UPMC550CARAT : カールツァイス製) で測定した値を用いた。

測定物表面には、低圧スプレーガンを用いて酸化チタン粉末を一様に塗布した。塗布液は、酸化チタン粉末 1[g]及び無水エタノール 50[mL]をプラスチック製のボトルに入れ、超音波洗浄装置にて5分間攪拌したものを使用した。

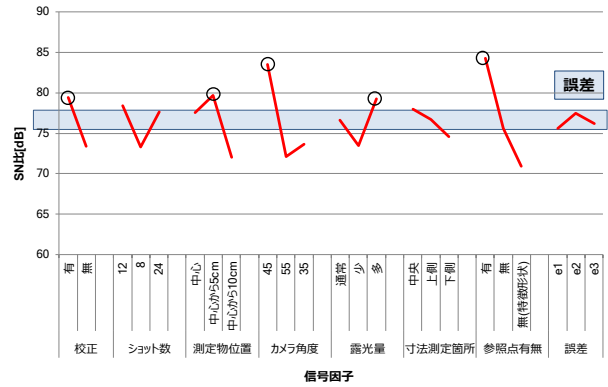


図3 SN比の要因効果図

表4 SN比検証結果

	最適条件	最悪条件
計算値SN比[dB]	103.92	51.23
実験値SN比[dB]	80.48	67.71
誤差[%]	-29	+24

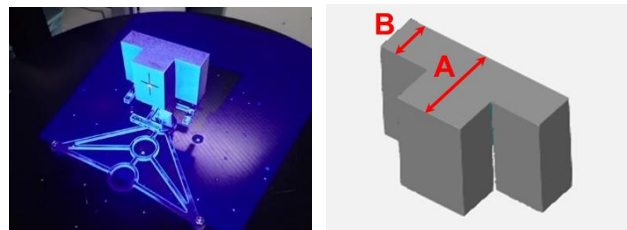


図4 左 金属製凸型ブロック 右 寸法測定箇所

表5 最適条件のパラメータ設定

パラメータ	最適条件
校正有無	有
ショット数	12
測定物位置	中心
カメラ角度 [°]	45
露光量	多 (9.50[ms])
寸法測定箇所	中央
参照点有無	有

2. 4. 2. 最適条件のパラメータ設定

最適条件として設定したパラメータを表5に示す。露光量は、ソフトウェア上で露出過多とならない最大値として、9.50[ms]に設定した。参照点は、ターンテーブル及び測定物下部に取り付けたパーツに貼付した。測定物位置は、繰り返し誤差と比較してSN比が小さく測定精度への影響が少ないことから、配置が容易な中心とした。

2. 4. 3. 測定結果

最適条件を用いた測定実験の結果を表6に示す。通常使用している浸透探傷用現像液を塗布した状態での最適条件及び通常条件の結果は、昨年度の値である。

酸化チタン粉末を塗布した状態での最適条件の誤差は、A部で0.010[mm]、B部で0.012[mm]となった。通常条件での誤差との比は、当初の目標である3分の1を下回った。

2. 5. 塗布物の観察

浸透探傷用現像液を塗布した状態よりも、酸化チタンを塗布した状態での測定誤差が小さくなった理由を調べるため、走査型電子顕微鏡 (S-3700N: (株)日立ハイテク製) を用いて塗布物の表面観察を行った。サンプルは、浸透探傷用現像液及び酸化チタン粉末をそれぞれブロックゲージの表面に塗布し、電子顕微鏡用カーボンテープに転写させた後、スパッタリング装置 (JUC5000: 日本電子(株)製) を用いて白金をコーティングした。電子顕微鏡での観察条件は、焦点距離6[mm]、加速電圧10[kV]とした。観察結果を図5、図6に示す。図5は倍率2000倍、図6は7000倍で撮影した画像であり、1目盛の値は前者が2.0[μm]、後者が0.5[μm]である。図5から、浸透探傷用現像液は粒の大きなものと小さなものが混在していることが分かる。粒子の大きさは最大で約10~20[μm]であることが確認された。一方、図6から酸化チタン粉末の粒子の大きさはほぼ一様で、0.5[μm]以下であることが分かった。

測定物表面に塗布物を塗布した場合、測定物自体の寸法は真値よりも膜厚の分大きくなる。そのため、浸透探傷用現像液を塗布した状態での最適条件の結果には、粉末の粒径以上の誤差が含まれていたと考えられる。一方、今年度使用した酸化チタン粉末の粒径は、浸透探傷用現像液よりも十分に小さいことから、測定物寸法の真値からのずれが最小限に抑えられ、測定誤差が小さくなったと考えられる。

3. 結言

品質工学的手法を用いて、三次元デジタイザの測定精度に影響を与える測定条件の最適化を行った。測定物表面への塗布物を従来の浸透探傷用現像液から酸化チタン粉末に変更し、L18直交表による実験から導出した最適条件を用いて金属製凸型ブロックを測定した結果、従来の条件と比較して寸法測定誤差を大幅に改善することができた。

参考文献

- 1) 吉澤徹. “エリア計測方式による三次元計測”. 最新光三次元計測. 朝倉書店, 2006, p.31-58
- 2) 広瀬健一, 上田太郎. Excel でできるタグチメソッド解析法入門. 同友館. 2003, 246p.
- 3) 田口玄一, 横山巽子. ベーシック品質工学へのとびら. 日本規格協会. 2007, 195p.

表6 測定結果

		A [mm]	B [mm]
三次元測定機(真値)		50.011	25.020
最適条件 (酸化チタン)	1	50.023	25.034
	2	50.020	25.033
	3	50.013	25.024
	4	50.015	25.026
	5	50.032	25.044
	平均	50.020	25.032
	誤差	+0.010	+0.012
最適条件 (浸透探傷用現像液)	誤差	+0.036	+0.037
通常条件 (浸透探傷用現像液)	誤差	+0.093	+0.094

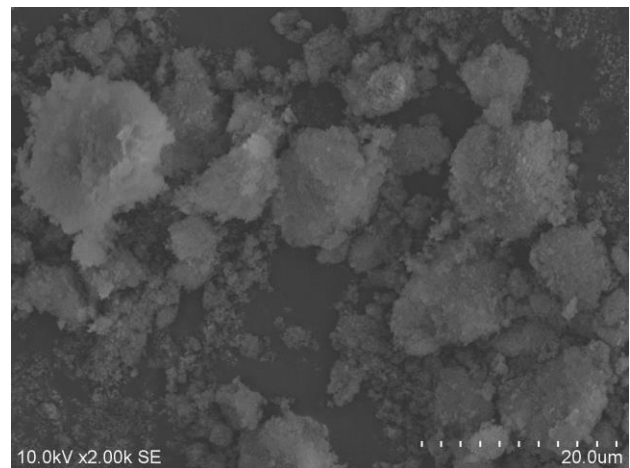


図5 浸透探傷用現像液の観察結果

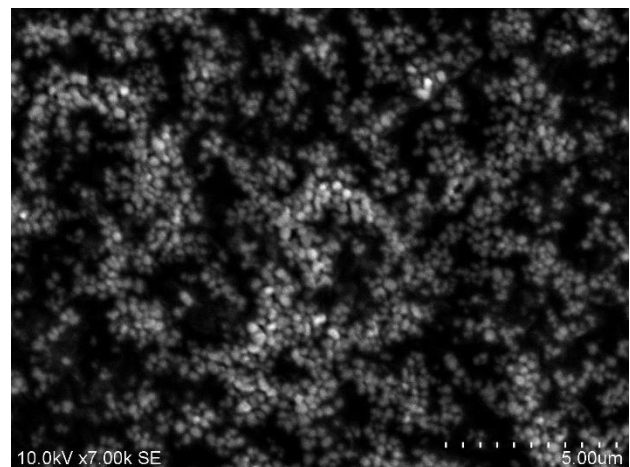


図6 酸化チタン粉末の観察結果