

局所円弧測定信頼性評価

栗毛野裕太*, 岩本竜一*, 市来浩一**

Evaluation of Reliability on Approximate Measurement of a Local Arc Profile

Yuta KURIGENO, Ryuichi IWAMOTO and Kochi ICHIKI

本報では、工業製品に付加される局所的な円弧形状（以下、局所円弧と呼ぶ）の円弧角度に伴う形状測定値の変化を同一の測定物を用いて種々の測定条件で測定し、信頼性を評価した。その結果、形状評価に用いた測定物の円弧角度が広ければ信頼性の高い測定が可能だったが、円弧角度が狭くなると測定物半径と局所円弧測定値の差分が拡大する傾向が得られた。また、その変化は測定機の仕様や各測定条件の影響を受けていることが確認された。各測定機で得られた点群データ自体にも差が生じることが確認された。

Keyword : 局所円弧, 形状測定, 近似円評価, 信頼性

1. 緒言

工業製品の多くは製品形状に局所円弧を有しており、それらの形状は応力集中緩和による製品の割れや欠けの防止、金型および歯車等に代表されるような機能的役割を担っている。そのため、加工精度だけでなく、検査工程においても厳しい形状評価が要求されている。

形状評価では、一般的に形状測定機を用いて測定物の表面形状を触針子等を用いて倣い、座標情報を持つ点群データに変換して取得し、その点群データから近似線評価や近似円評価を行う。得られた点群データには、測定機の仕様や測定原理、測定条件の違い、測定物の表面性状等による誤差が上乘せされており、測定値に影響を及ぼす。

特に局所円弧は構造物の極一部を成すため、評価範囲（以下、円弧角度と呼ぶ）が極めて狭く、測定箇所を十分に確保できる形状と比較すると、得られる点群データが極端に少ない。そのため、測定値が大きくばらつく原因となる。

これまで局所円弧測定値の変化に関して、数値的シミュレーションで解析された例¹⁾は複数あるが、実際の測定機で検証した例は少なく、特に輪郭形状測定機において検証した例は無い。

そこで本報では、3つの測定機および同一の測定物を用いて種々の測定条件で測定を行い、各測定条件に伴う局所円弧測定値の変化について評価を行った。

2. 測定方法

2.1 測定機

表1に測定機の仕様を示す。本報で使用した測定機は、3種類の接触式測定機である。そのうち、測定機Aおよび

測定機Bは、接触子を用いて測定物の輪郭形状を倣う輪郭形状測定機である。

測定機Cは接触式の三次元測定機である。測定機Cは、点測定を連続で行い、測定物の輪郭形状を取得するスキヤニング測定によって測定を行った。

表1 測定機の仕様

	仕様
測定機A	測定方式：接触子による倣い測定 指示精度：± (0.2+L/1000) μm (X軸) ± (0.2+H/1000) μm (Z軸) ※測定物長さ：L mm, 測定物高さ：H mm 接触子先端角度：40° 接触子先端半径：5 μm
測定機B	測定方式：接触子による倣い測定 指示精度：± (1+2L/100) μm (X軸) ± 2 μm (Z軸) ※測定物長さ：L mm 接触子先端角度：12° 接触子先端半径：25 μm
測定機C	測定方式：接触子によるポイント測定 指示精度：(0.48+L/1000) μm ※測定物長さ：L mm プロービング精度：0.8 μm 接触子先端半径：1 mm

2.2 測定条件

表2に測定条件を示す。本報ではサンプリング間隔d (3条件)、円弧角度θ (12条件) および測定物半径rt (3条件) を測定条件として測定を3回ずつ行い、測定値の変化および繰り返し測定の評価を行った。

ワーク座標系は、円弧角度120°の時の座標を原点とし、測定物の頂点をZ軸方向に設定した。測定機Aの解析ソフトを用いて、得られた点群データから近似円評価を行い、局所円弧測定値について評価した。

*生産技術部

**研究主幹

表2 測定条件

	サンプリング間隔 d [mm]	円弧角度 θ [°]	測定物半径 r_t [mm]
測定機 A	0.2	10~120 (※10°毎に12条件)	1
測定機 B	0.02		2
測定機 C	0.002 (3条件)		5 (3条件)

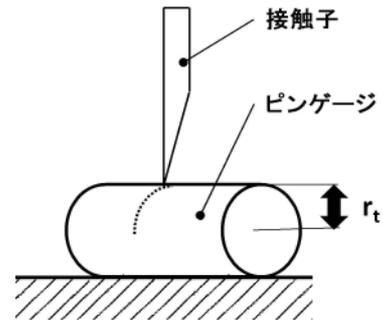


図3 測定物半径 r_t の概要

2.3 サンプリング間隔 d

図1にサンプリング間隔の概要を示す。サンプリング間隔 d とは、形状測定によって取得される点群データの間隔であり、この間隔が大きいかほど取得される点群データ数は少なくなる。

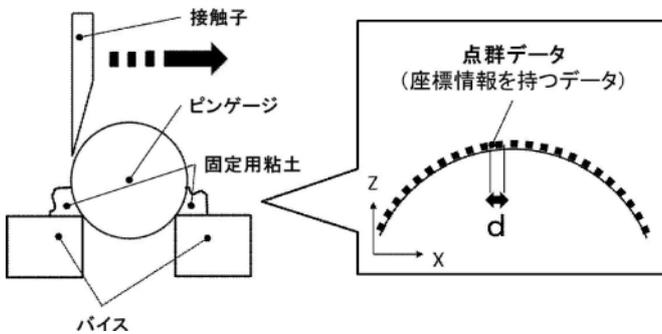


図1 サンプリング間隔の概要

2.4 円弧角度 θ

図2に円弧角度 θ の概要を示す。円弧角度 θ とは、近似円評価に使用する点群データの範囲である。円弧角度はワーク座標系のZ軸によって2等分される角度とした。

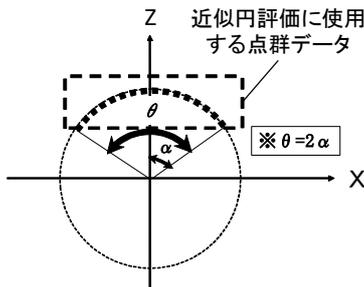


図2 円弧角度 θ の概要

2.5 測定物径 r_t

図3に測定物半径 r_t の概要を示す。本報では半径の異なる3種類のピンゲージを用いて測定を行い、その公称径を測定物径 r_t として用いた。

ピンゲージの仕様は半径精度 $\pm 1 \mu\text{m}$, 真円度 $0.5 \mu\text{m}$, 表面粗さ $Ra0.05\text{mm}$ である。

3. 測定結果および考察

3.1 サンプリング間隔による影響

図4~図6に測定機Aによる測定結果を、図7~図9に測定機Bによる測定結果を、図10~図12に測定機Cによる測定結果を示す。横軸は円弧角度、縦軸はピンゲージの測定物半径と局所円弧測定値 r との差を絶対値で表した。

どの測定機においても円弧角度が広い場合にはサンプリング間隔の影響は見られなかったが、円弧角度が狭くなった場合、サンプリング間隔が大きくなるにつれて測定物半径との差は大きくなり、図4(c)、図8(c)および図10(c)の円弧角度 10° の測定結果に示されるように測定自体が不可能となる場合も確認された。サンプリング間隔と繰り返し精度の明確な相関性は得られなかった。

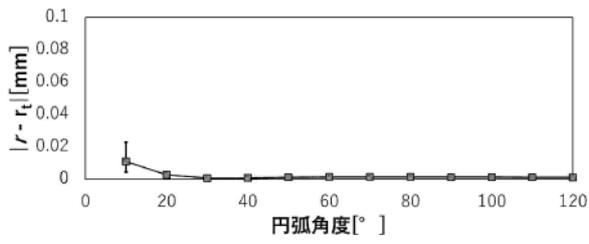
近似円評価を行うために必要な点群データ数は少なくとも3点以上であるが、測定物半径および円弧角度が小さく、サンプリング間隔が大きい測定条件では測定で得られる点群データが少なくなるため、近似評価できなかつたと考えられる。そのため、測定条件によってはサンプリング間隔を考慮する必要がある。

3.2 円弧角度 θ による影響

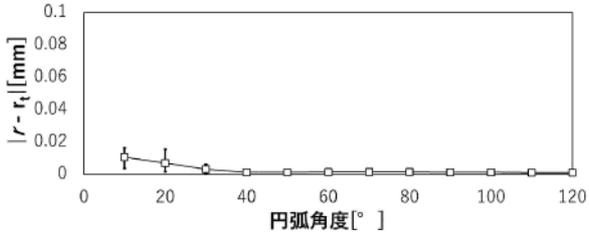
図4~図6より、測定機Aによる測定結果では円弧角度がおおよそ 30° より広い場合、測定物半径との差は 0.01mm 以内となり、繰り返し測定も安定した。円弧角度 30° を下回ると、差は最大 0.05mm 程度生じ、繰り返し測定では最大 0.02mm 程度の誤差が生じた。

図7~図9より、測定機Bは測定機Aと異なり、円弧角度 60° より広い場合に測定が安定した。そのため、円弧角度の変化に伴う測定物半径との差は測定機Aと異なる傾向だった。繰り返し精度は、最大 0.06mm 程度だった。

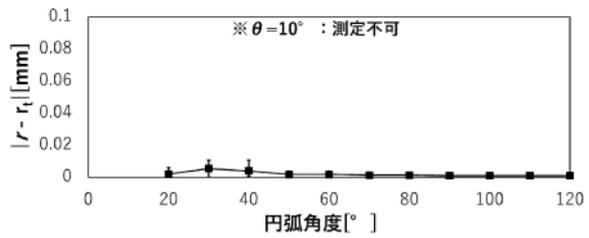
図10~図12より、測定機Cにおいて測定機Aと同様、円弧角度 30° よりも広い場合に測定が安定した。しかし、円弧角度 30° を下回った場合には、差分および繰り返し精度のばらつきが測定機Aの測定結果よりも大きくなる場合があった。これらの違いについては、測定方式や測定精度が関係していると思われるが、今後検証する必要がある。



(a) d=0.002mm

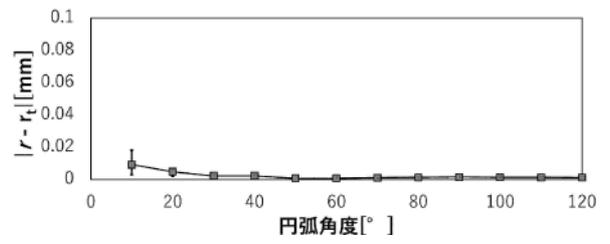


(b) d=0.02mm

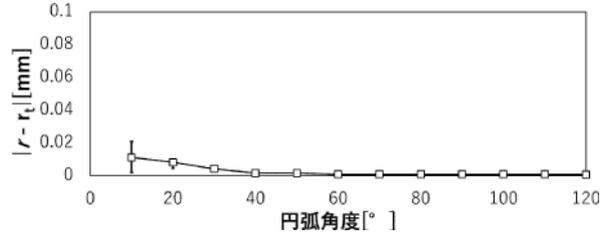


(c) d=0.2mm

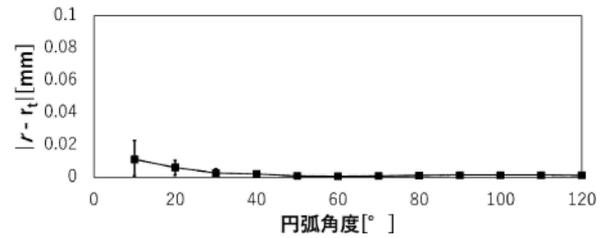
図4 測定機Aによる局所円弧測定値の変化 (r_t=1mm)



(a) d=0.002mm

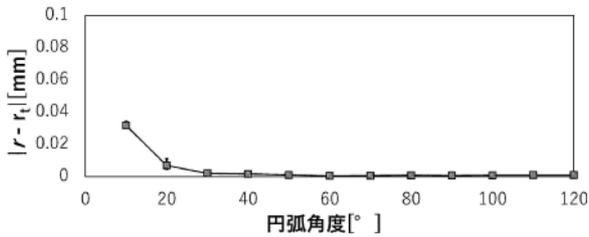


(b) d=0.02mm

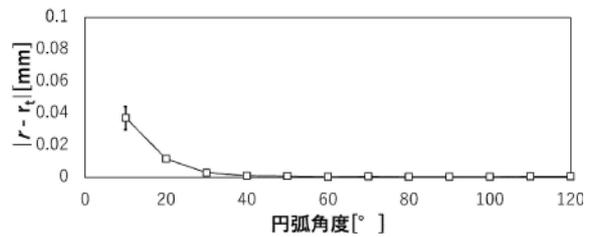


(c) d=0.2mm

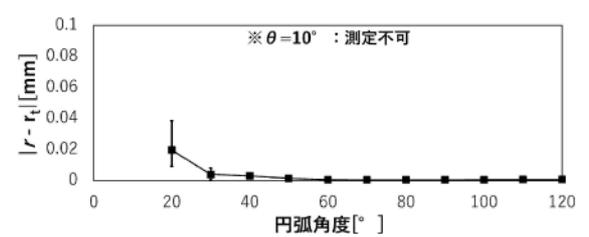
図6 測定機Aによる局所円弧測定値の変化 (r_t=5mm)



(a) d=0.002mm

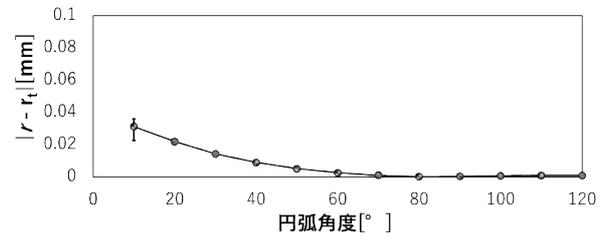


(b) d=0.02mm

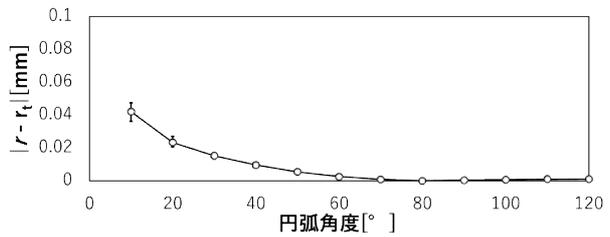


(c) d=0.2mm

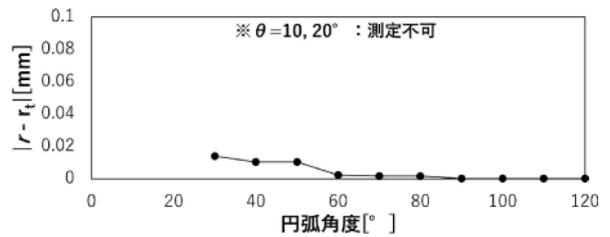
図5 測定機Aによる局所円弧測定値の変化 (r_t=2mm)



(a) d=0.002mm

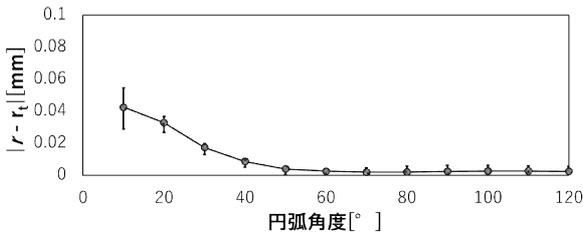


(b) d=0.02mm

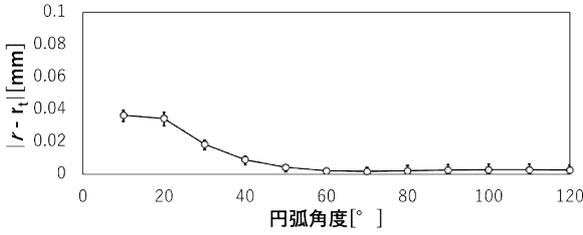


(c) d=0.2mm

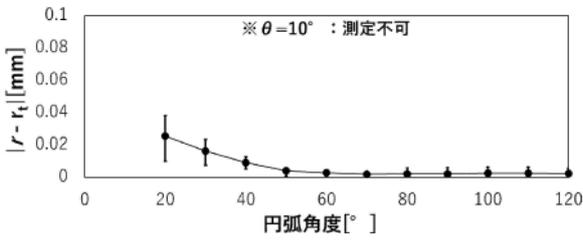
図7 測定機Bによる局所円弧測定値の変化 (r_t=1mm)



(a) d=0.002mm

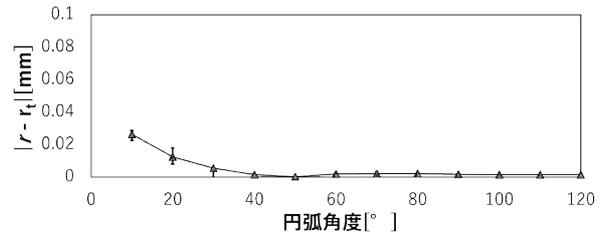


(b) d=0.02mm

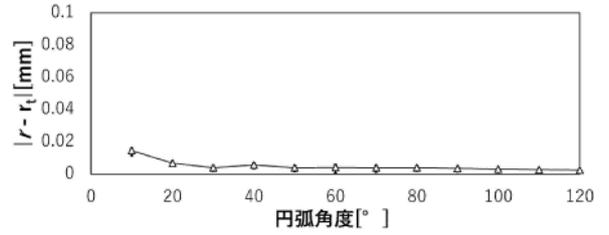


(c) d=0.2mm

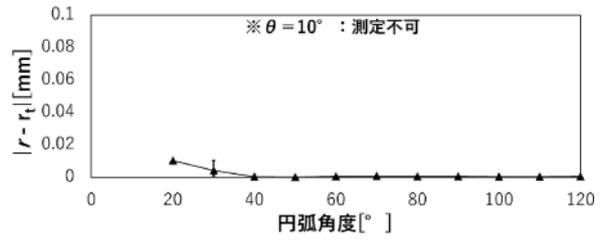
図8 測定機Bによる局所円弧測定値の変化 (r_t=2mm)



(a) d=0.002mm

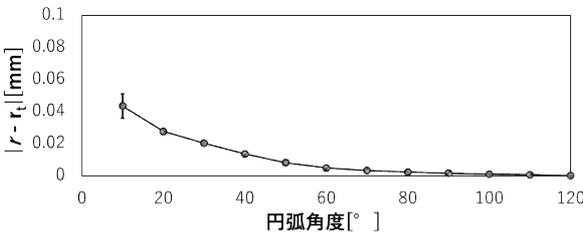


(b) d=0.02mm

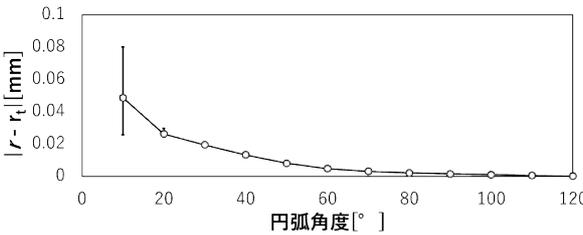


(c) d=0.2mm

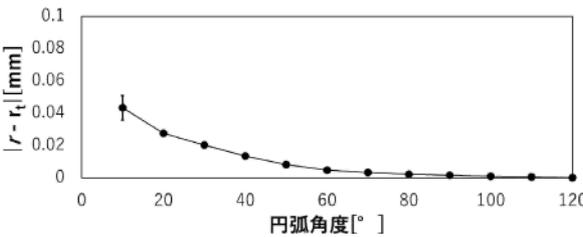
図10 測定機Cによる局所円弧測定値の変化 (r_t=1mm)



(a) d=0.002mm

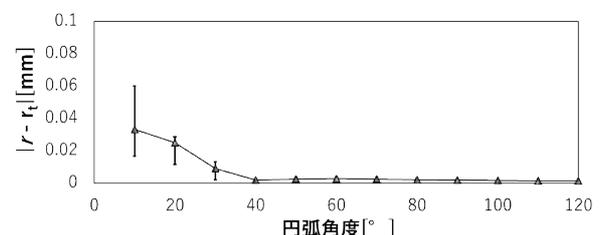


(b) d=0.02mm

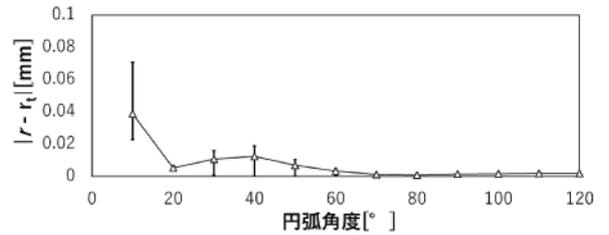


(c) d=0.2mm

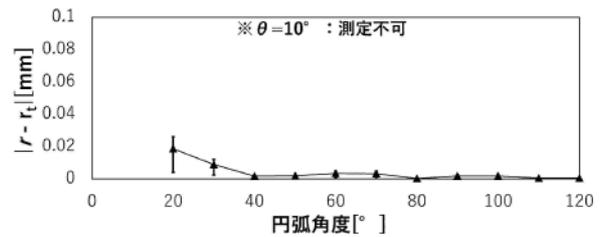
図9 測定機Bによる局所円弧測定値の変化 (r_t=5mm)



(a) d=0.002mm

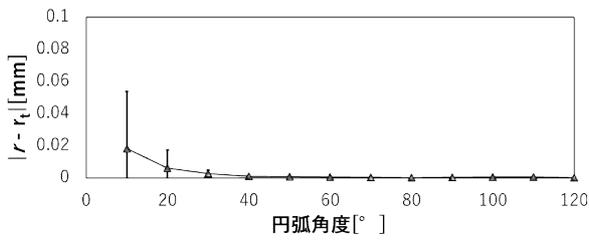
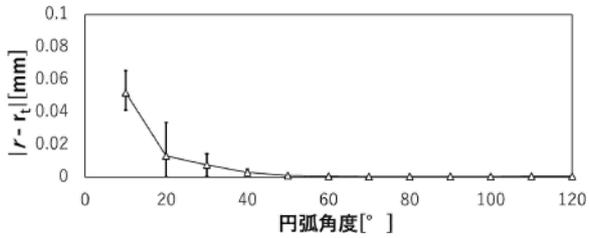
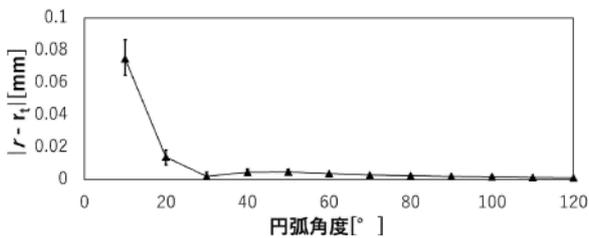


(b) d=0.02mm



(c) d=0.2mm

図11 測定機Cによる局所円弧測定値の変化 (r_t=2mm)

(a) $d=0.002\text{mm}$ (b) $d=0.02\text{mm}$ (c) $d=0.2\text{mm}$ 図12 測定機Cによる局所円弧測定値の変化 ($r_t=5\text{mm}$)

3.3 測定物半径 r_t による影響

測定物半径による局所円弧測定値の変化の影響について、図13(a)～(d)にサンプリング間隔0.002mmの測定例を示す。各測定機の測定結果より、測定物半径による影響は見られなかった。数値シミュレーションにおいて局所円弧測定値の変化と測定物半径の相関性は見られないという報告²⁾があり、今回の測定結果でも同様の傾向が得られた。

3.4 点群のばらつきが測定値に与える影響

円弧角度が狭くなるにつれて形状測定で得られた近似円半径のばらつきが拡大する原因を調査するために、各測定機によって得られた点群データ自体の誤差を評価した。具体的には直交座標系から極座標系に変換して得られた半径値 r と被測定物半径 r_t との誤差を評価した。図14に極座標変換の模式図および図15に各測定方式による点群のばらつきの例を示す。

横軸は円弧角度を示しており、円弧角度 60° のスケールを示す。縦軸は点群データのばらつき Δr を表したものである。図15に示すように、点群データのばらつきには差が生じていることが確認された。どの測定結果も指示精度内には収まっているものの、点群データのばらつきにはそれぞれ異なる傾向が見られた。標準偏差は、測定機A、測定機C、測定機Bの順で点群のばらつきが大きくなった。

測定機Aの点群データは比較的安定していたが、測定機

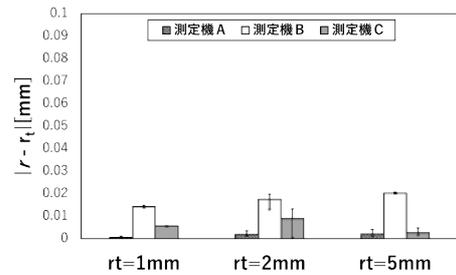
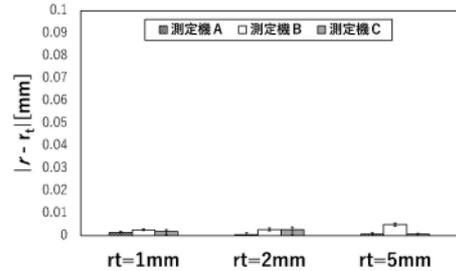
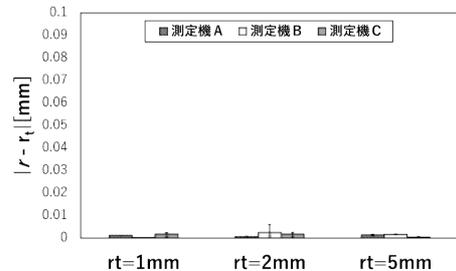
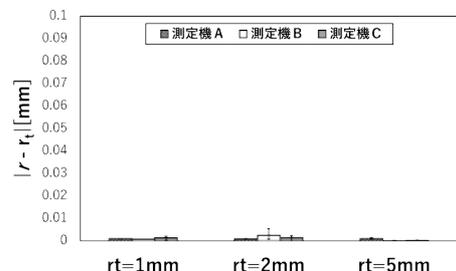
(a) $\theta=30^\circ$ (b) $\theta=60^\circ$ (c) $\theta=90^\circ$ (d) $\theta=120^\circ$

図13 測定半径による局所円弧測定値の変化

Bの点群データには周期的に起伏が生じるような変動が生じた。特に円弧角度 60° の範囲内では、より大きな変動が見られる。点群データの選択範囲、すなわち円弧角度が広い場合には点群データの変動の影響は小さいが、円弧角度が狭くなるにつれてその影響を大きく受けてしまう。そのため、測定機Bはその他の測定機と異なり、円弧角度 60° から測定結果がばらつくものと考えられる。

測定機Cの点群データは全体的に帯状にばらつく傾向が見られ、測定機Bと異なり、一様な変動が生じた。そのため、測定機Bの測定よりも安定しやすいと考えられる。

これらの差については今回検証できなかったが、差が生じる原因を検証する必要がある。

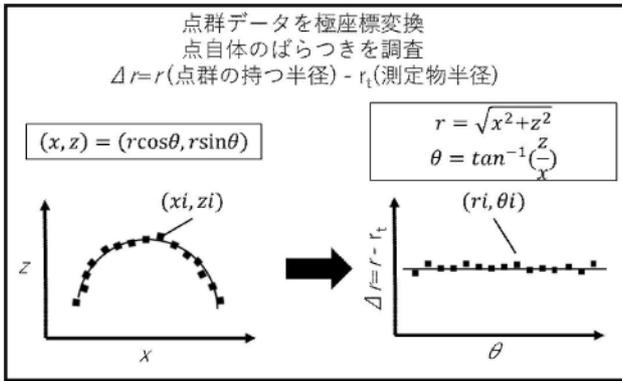


図14 極座標変換の模式図

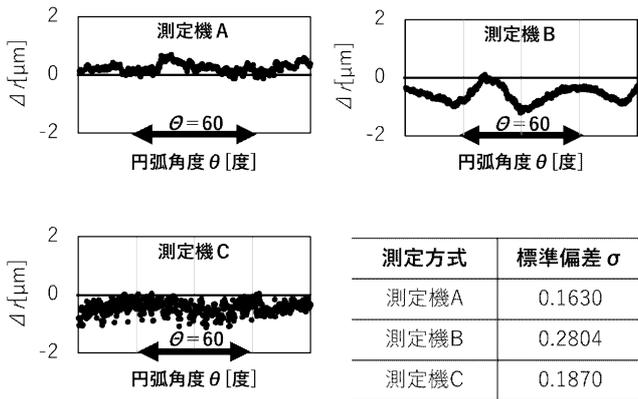


図15 測定機による点群のばらつきの例
($r_t = 5 \text{ mm}$, $d = 0.002 \text{ mm}$)

4. 結 言

各測定機において局所円弧測定の信頼性評価を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 局所円弧の形状評価で得られる近似円半径は、円弧角度が広範囲になるほど信頼性の高い測定が可能になることが分かった。
- (2) 測定機Aおよび測定機Cは、円弧角度 30° より広い場合、測定機Bは円弧角度 60° より広い場合、誤差 0.01 mm 以内で測定が可能である。
- (3) 点群データ自体のばらつきは各測定機毎に相違があり、測定誤差に大きく影響していた。その原因については今後、検討が必要がある。

参 考 文 献

- 1) 山口勝己：大阪府立産業技術総合研究所テクニカルシート，99009(1999)
- 2) 田中敏幸ら：長野県工業技術センター研究報告，10，P46-50 (2015)