

面粗さ測定時の測定手法の検討

田中 敦士*¹

上原 忍*²

大見 庸平*³

[要 旨]

従来の線粗さ（二次元）よりも広範囲での評価が可能である面粗さ（三次元）を効率的に活用するため、その測定手法について検討を行った。また、その条件を決定するための要素についても検討を行った。検討の結果、表面構造の最も小さいとみなす山のスケールより一定の判断ができることが分かり、それにより単位面積あたりの測定時間を従来よりも大幅に短縮できることが分かった。

1 はじめに

面粗さは、線粗さよりも広範囲での評価が可能であるが、特定の測定方式では、測定点数が多くなり、設定する間隔・範囲によっては測定に要する時間は膨大なものになってしまう。また、面粗さでは、ISO規格及びJIS規格において、Sa等の粗さパラメータと測定間隔・範囲等の関連付けがされていないため、測定間隔・範囲については測定者の判断に委ねられているのが現状である^{1, 2)}。そのため、粗さ要素を飛び越えてしまわぬように測定間隔を小さく設定したことで、測定範囲も小さくなってしまい、という非効率な測定を行ってしまうことが多い。当センターにおいても例外ではなく、測定物や目的に応じた測定間隔等の適切なアドバイスができていないため、本稿では、面粗さ測定時の測定手法の検討を行った。

2 検討方法

粗さ標準片7種類（放電加工・平面研削・手仕上げ（ペーパー）・手仕上げ（ヤスリ）・フライス・正面フライス・円筒丸削）を用いた。各標準片に

* 1 基盤技術課 技師

* 2 基盤技術課 主任研究員

* 3 基盤技術課 主任

(現 基盤技術課 副主査)

において初めに、初期値として測定間隔を小さく（点密度:高）測定し、粗さパラメータを算出する。次に初期値よりも測定間隔を広げて（点密度:低）、同様に粗さパラメータを算出する（図1）。

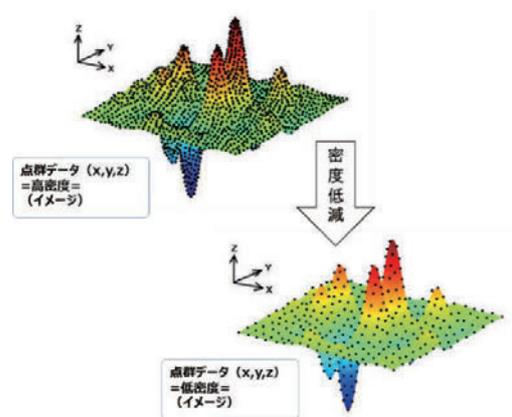


図1 検討イメージ1

これを繰り返し、点密度を低減させても許容できる密度を下限許容密度として算出した（図2）。

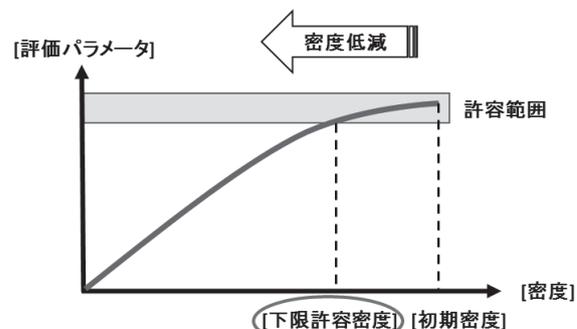


図2 検討イメージ2

算出した下限許容密度での測定間隔を最も効率的な測定とした。

また、下限許容密度を評価する際の粗さパラメータは、各点の平均面からの高さの差の絶対値平均である Sa 値 (算術平均高さ)^{3,4)} 及び、表面凹凸形状の局部的な勾配 (傾斜) の平均的な大きさを表す Sdq 値とした^{3,4)}。測定機器・測定範囲・測定条件等は以下に示す。

・非接触式

使用機器：レーザプローブ式非接触三次元測定装置 [NH-3SP (三鷹光器社)] (点合焦輪郭曲線法^{5,6)})

測定範囲：X=250 μm、Y=250 μm

密度は点密度として算出。X軸Y軸共に測定間隔を広げていくことで点密度を低下させる。測定間隔はX軸Y軸共に、常に同じ間隔とした。

初期密度は 4.0 [点/μm²] (測定間隔：X=0.5 μm、Y=0.5 μm)、所要時間約 5.2 時間。

・接触式

使用機器：曲面微細形状測定システム (接触) [フォームタリサーフ PGI1200 (アメテック社 テーラーホブソン事業部)] (触針走査法^{5,6)})

測定範囲：X=500 μm、Y=500 μm

密度は線密度 (Y軸) として算出。Y軸の測定間隔のみ広げていくことで線密度を低下させる。

初期密度は 1.0 [本/μm] (測定間隔：X=1.0 μm、Y=1.0 μm)、所要時間約 3.6 時間。

※機器の特性上、X軸方向への移動速度は測定点数に依存しないため、X軸の測定間隔を変化させても時間効率は変化しない。

なお、本検討では、パラメータを算出する上でフィルタ処理を行っていない状態で算出している (通常は S-L 曲面を使用)。これは、フィルタ処理による影響 (粗さとうねりの分離による影響) を排除するためである。

3 結果

3.1 非接触式の場合

3.1.1 放電加工品 (Rz6.3)

測定結果を図3、図4に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

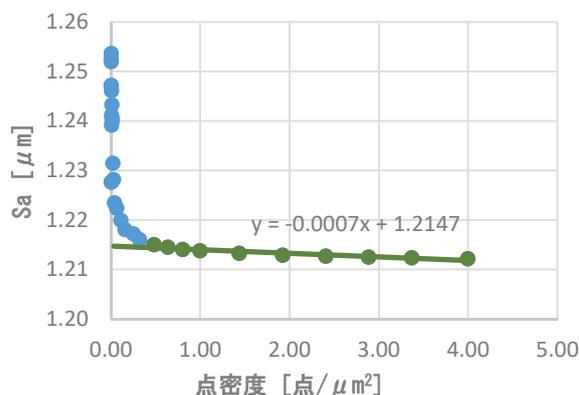


図3 Sa の推移

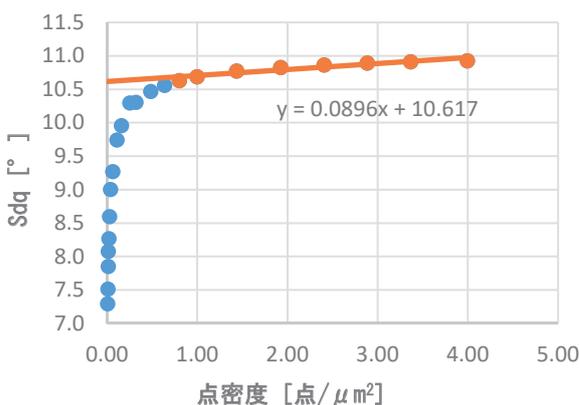


図4 Sdq の推移

図3、図4の推移グラフより、Sa 値評価では点密度 0.48 [点/μm²]、Sdq 値評価では点密度 0.80 [点/μm²] を下限許容密度とした。

3.1.2 平面研削品 (Ra0.4)

測定結果を図5、図6に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

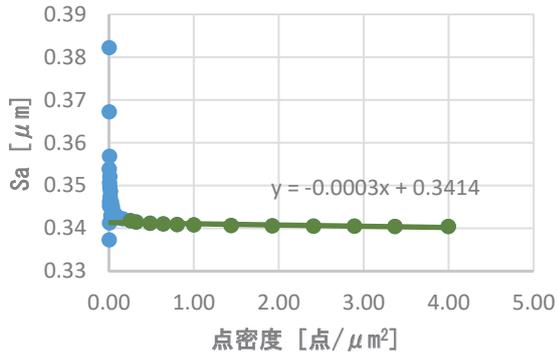


図5 Saの推移

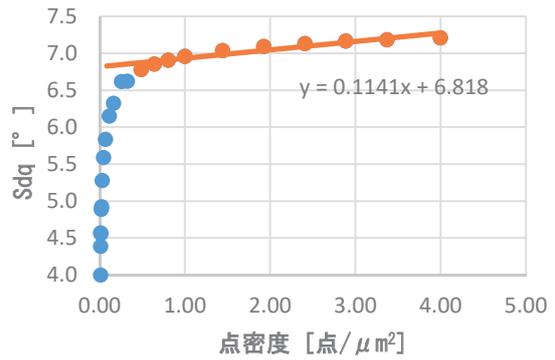


図8 Sdqの推移

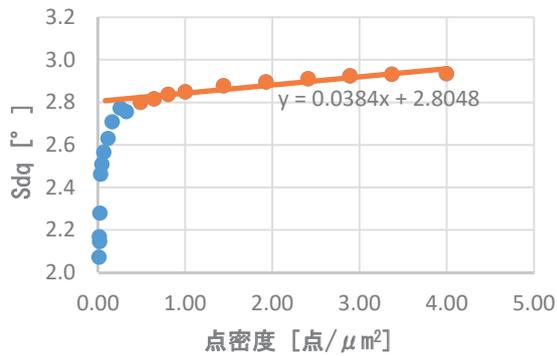


図6 Sdqの推移

図5、図6の推移グラフより、Sa 値評価では点密度 0.25[点/μm²]、Sdq 値評価では点密度 0.48[点/μm²]を下限許容密度とした。

3. 1. 3 手仕上げ加工品（ペーパー）(Rz6.3)

測定結果を図7、図8に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

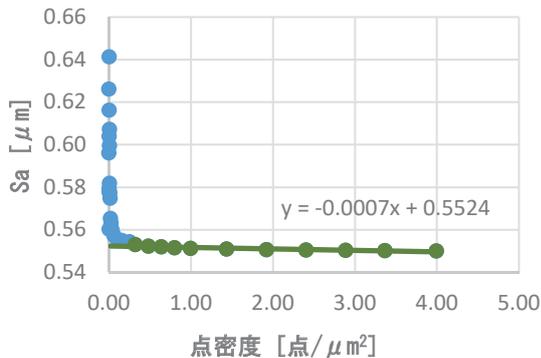


図7 Saの推移

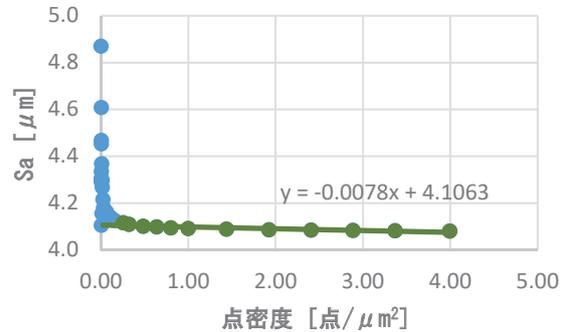


図9 Saの推移

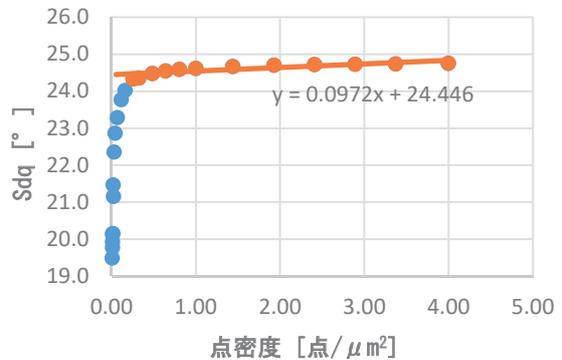


図10 Sdqの推移

図7、図8の推移グラフより、Sa 値評価では点密度 0.32[点/μm²]、Sdq 値評価では点密度 0.48[点/μm²]を下限許容密度とした。

3. 1. 4 手仕上げ加工品（ヤスリ）(Rz25.0)

測定結果を図9、図10に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

図9、図10の推移グラフより、Sa、Sdq値評価共に点密度0.25[点/μm²]を下限許容密度とした。

3.1.5 フライス加工品 (Ra3.2)

測定結果を図11、図12に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

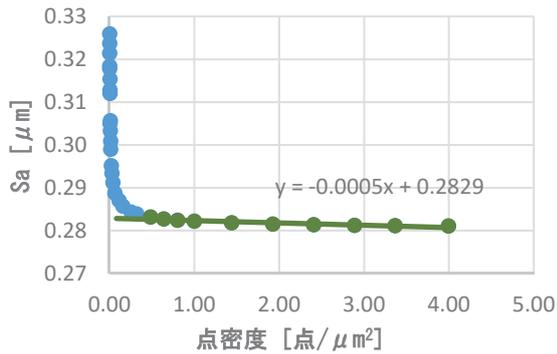


図11 Saの推移

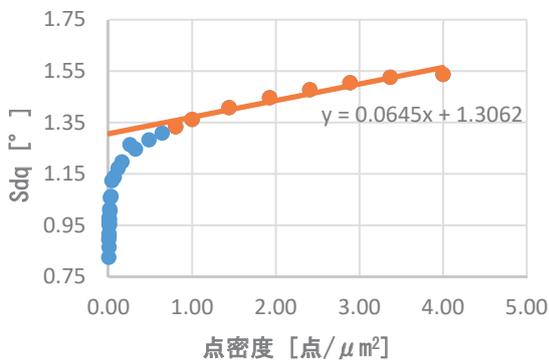


図12 Sdqの推移

図11、図12の推移グラフより、Sa値評価では点密度0.48[点/μm²]、Sdq値評価では点密度0.80[点/μm²]を下限許容密度とした。

3.1.6 正面フライス加工品 (Ra0.8)

測定結果を図13、図14に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

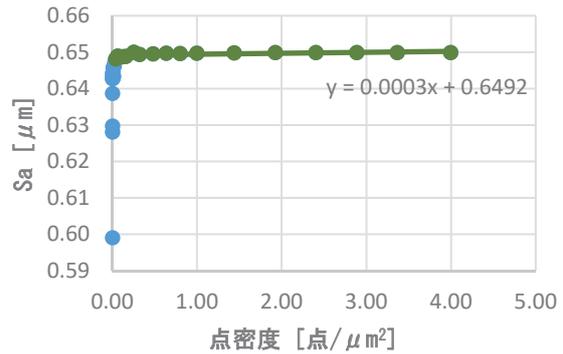


図13 Saの推移

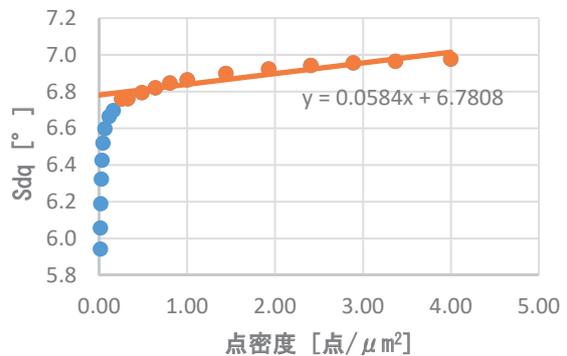


図14 Sdqの推移

図13、図14の推移グラフより、Sa値評価では点密度0.042[点/μm²]、Sdq値評価では点密度0.25[点/μm²]を下限許容密度とした。

3.1.7 円筒丸削加工品 (Ra1.6)

測定結果を図15、図16に示す。X軸:点密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

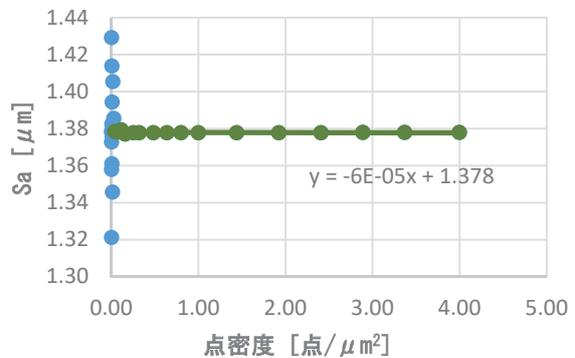


図15 Saの推移

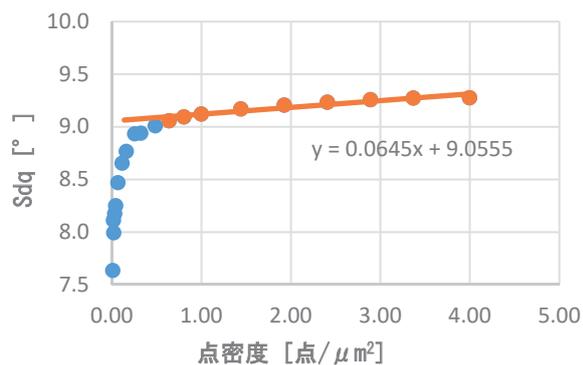


図16 Sdqの推移

図15、図16の推移グラフより、Sa値評価では点密度0.042[点/μm²]、Sdq値評価では点密度0.64[点/μm²]を下限許容密度とした。

3.2 接触式の場合

3.2.1 放電加工品 (Rz6.3)

測定結果を図17、図18に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

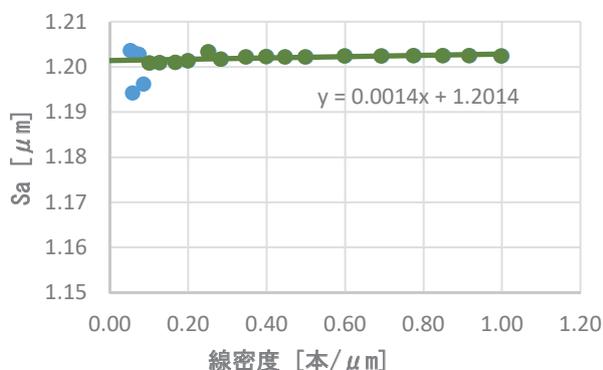


図17 Saの推移

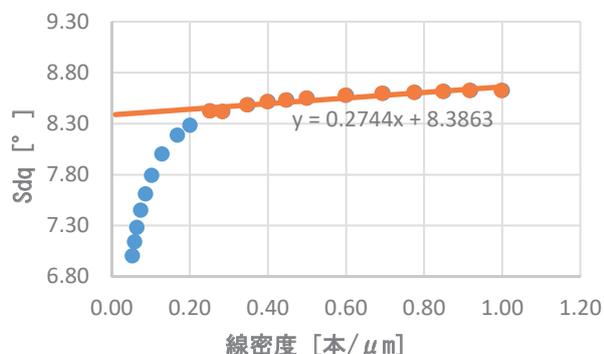


図18 Sdqの推移

図17、図18の推移グラフより、Sa値評価では線密度0.10[本/μm]、Sdq値評価では線密度0.25[本/μm]を下限許容密度とした。

3.2.2 平面研削品 (Ra0.4)

測定結果を図19、図20に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

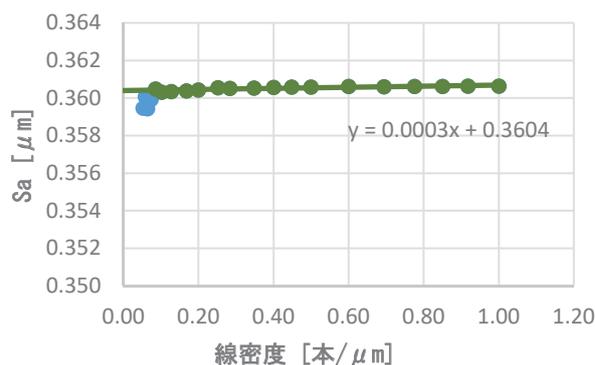


図19 Saの推移

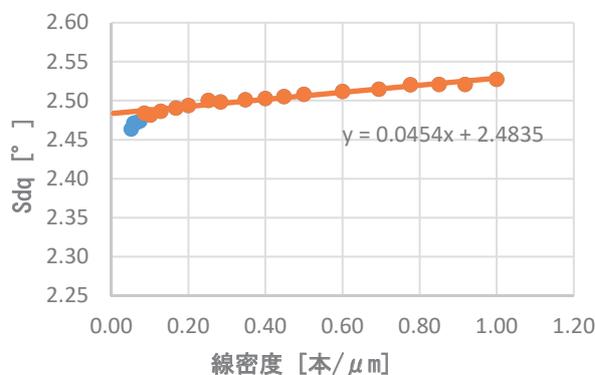


図20 Sdqの推移

図19、図20の推移グラフより、Sa、Sdq値評価共に0.086[本/μm]を下限許容密度とした。

3.2.3 手仕上げ加工品 (ペーパー) (Rz6.3)

測定結果を図21、図22に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq値で推移を評価する。

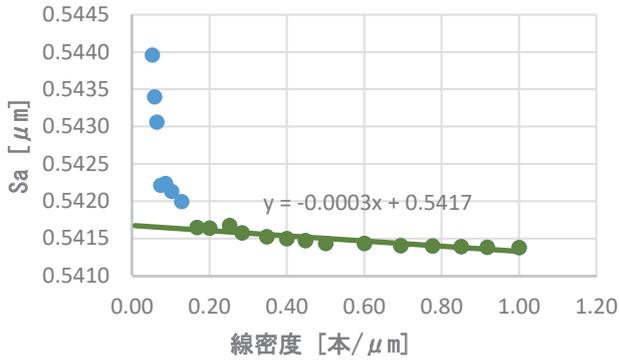


図 21 Sa の推移

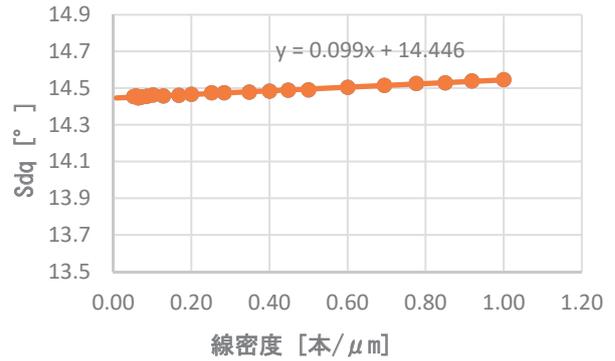


図 24 Sdq の推移

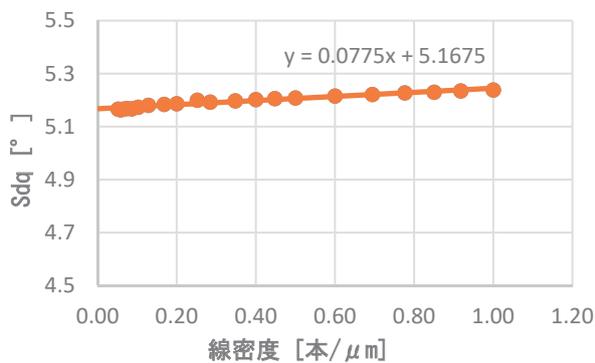


図 22 Sdq の推移

図 21、図 22 の推移グラフより、Sa 値評価では線密度 0.17[本/μm]、Sdq 値評価では線密度 0.052[本/μm]を下限許容密度とした。

図 23、図 24 の推移グラフより、Sa 値評価では線密度 0.17[本/μm]、Sdq 値評価では線密度 0.052[本/μm]を下限許容密度とした。

3. 2. 5 フライス加工品 (Ra3.2)

測定結果を図 25、図 26 に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

3. 2. 4 手仕上げ加工品 (ヤスリ) (Rz25.0)

測定結果を図 23、図 24 に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

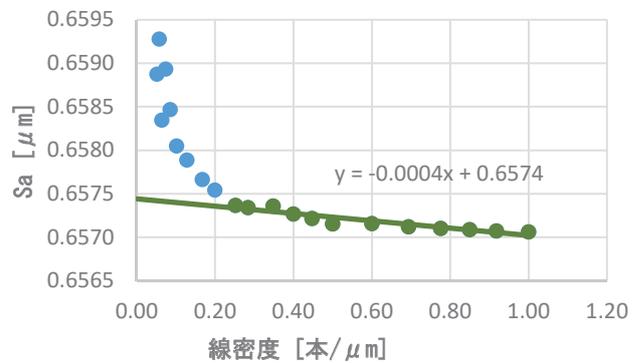


図 25 Sa の推移

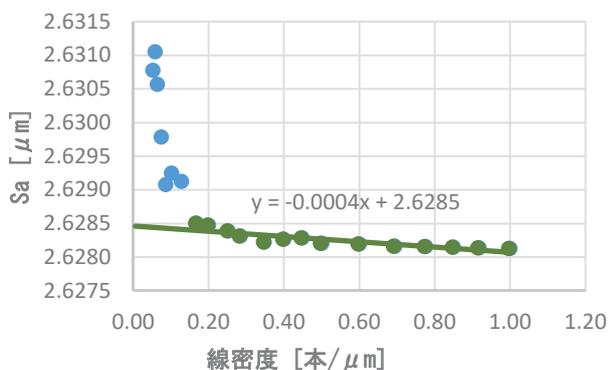


図 23 Sa の推移

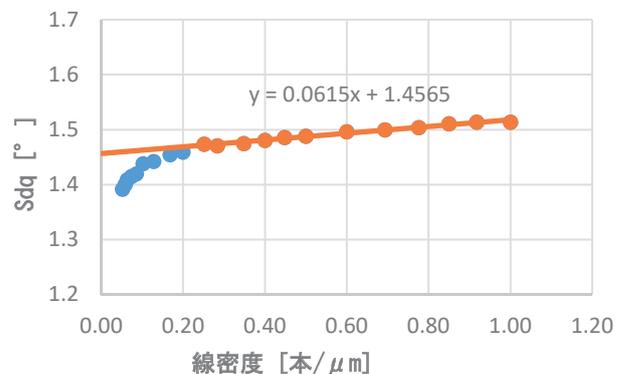


図 26 Sdq の推移

図 25、図 26 の推移グラフより、Sa、Sdq 値評価共に線密度 0.25[本/μm]を下限許容密度とした。

3. 2. 6 正面フライス加工品 (Ra0.8)

測定結果を図 27、図 28 に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

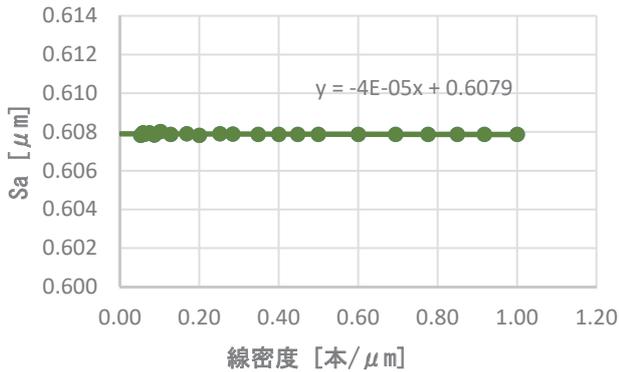


図 27 Sa の推移

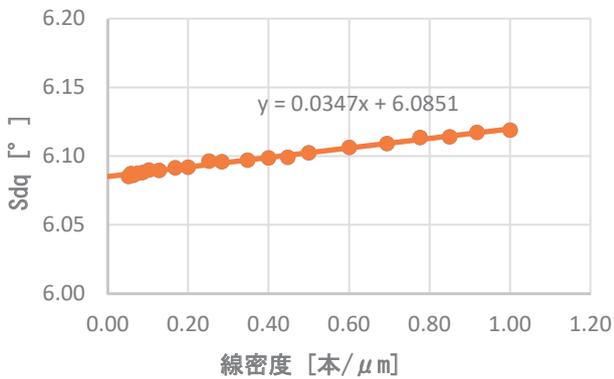


図 28 Sdq の推移

図 27、図 28 の推移グラフより、Sa、Sdq 値評価共に線密度 0.052[本/μm]を下限許容密度とした。

3. 2. 7 円筒丸削加工品 (Ra1.6)

測定結果を図 29、図 30 に示す。X軸:線密度、Y軸:Sa、Sdq 値で推移を評価する。

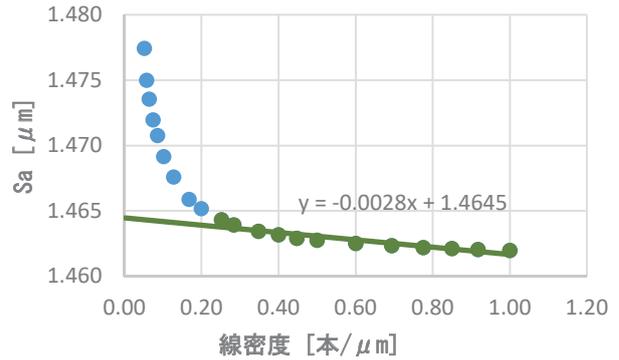


図 29 Sa の推移

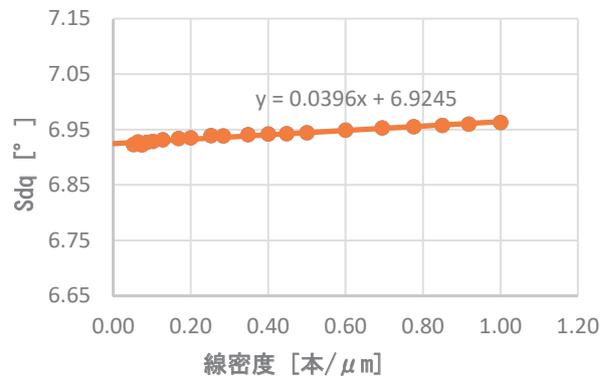


図 30 Sdq の推移

図 29、図 30 の推移グラフより、Sa 値評価では線密度 0.25[本/μm]、Sdq 値評価では線密度 0.052[本/μm]を下限許容密度とした。

4 考察

4. 1 測定時間・範囲への影響について

各標準片における下限許容密度の結果を表 1 にまとめる。

表 1 下限許容密度の結果

粗さ標準片	下限許容密度			
	Sa値評価	Sdq値評価	Sa値評価	Sdq値評価
	点密度 [点/μm]		線密度 [本/μm]	
放電加工品	0.48	0.80	0.10	0.25
平面研削品	0.11	0.48	0.086	0.086
手仕上げ加工品 (ペーパー)	0.32	0.48	0.17	0.052
手仕上げ加工品 (ヤスリ)	0.25	0.25	0.17	0.052
フライス加工品	0.48	0.80	0.25	0.25
正面フライス加工品	0.042	0.25	0.052	0.052
円筒丸削加工品	0.042	0.64	0.25	0.052

4. 1. 1 非接触式の場合

非接触式測定における下限許容密度（点密度）の評価として、どの標準片においても、Sa 値評価 \leq Sdq 値評価の関係となった。これは、算術平均高さの変化よりも局部的な勾配（傾斜）の変化のほうがよりシビアに表面形状の変化を表していることが要因と考えられる。

より評価が厳しいSdq 値評価での下限許容密度を採用しても、測定時間においては、初期条件と比較して約1/4に短縮できることが分かった（約5.2時間から約1.3時間に）。または、初期条件と同等の測定時間で測定範囲を4倍に広げることができることが分かった（X=Y=250 μ m からX=Y=500 μ m へ）。

4. 1. 2 接触式の場合

接触式測定における下限許容密度（線密度）の評価として、非接触式測定とは対照的に、放電加工品以外では、Sa 値評価 \geq Sdq 値評価の関係となった。測定した表面形状を図31に示す。

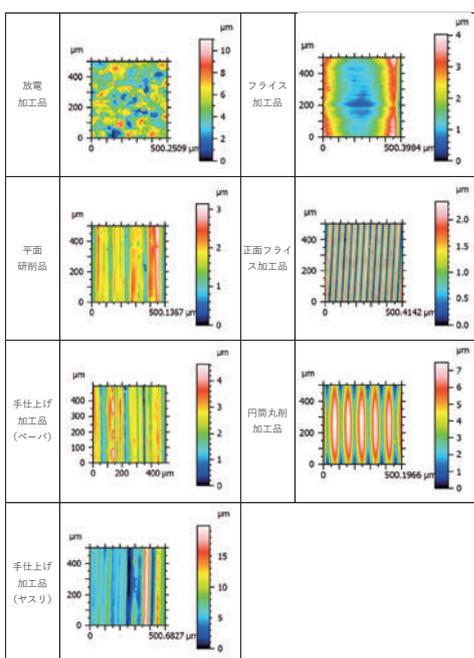


図31 接触式での表面形状

放電加工品以外の表面形状は、Y軸平行の断面変化が乏しいため、Y軸の測定間隔のみを推移させた本測定では表面形状にあまり変化が見られなかった。（図32・図33参照）

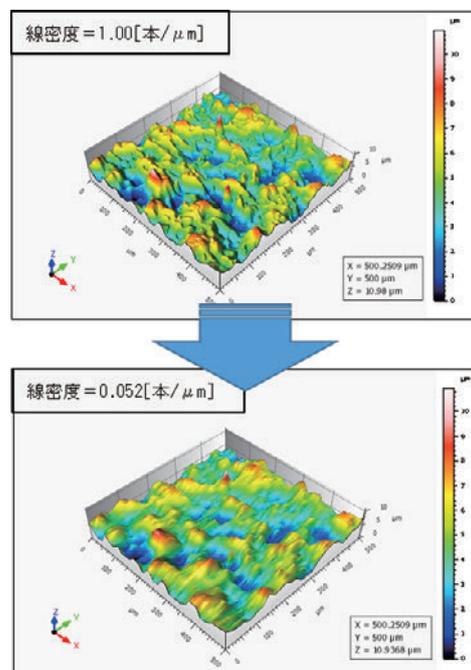


図32 表面形状変化（放電加工品）

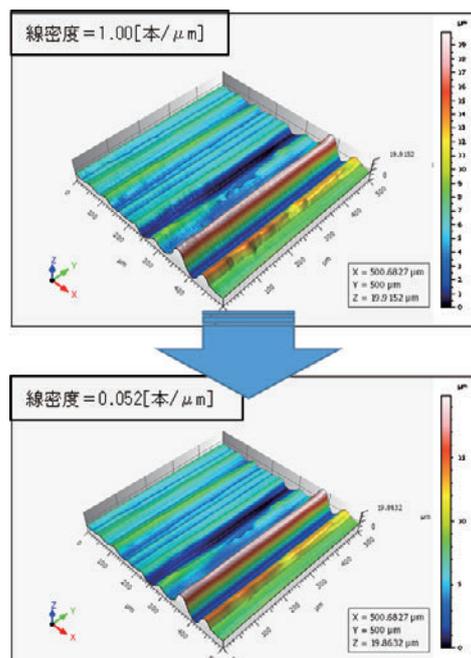


図33 表面形状変化（手仕上げ加工品ヤスリ）

このことから、表面形状の変化があまりないため、Sdq 値もあまり変化せず、Sa 値評価 \geq Sdq 値評価の関係となったと考えられる。

Sa 値または Sdq 値のどちらの評価の下限許容密度を採用しても、測定時間においては、初期条件と比較して約 1/4 に短縮できることが分かった。

(約 3.6 時間から約 1.0 時間に) または、初期条件と同等測定時間で測定範囲を 4 倍に広げることができることが分かった (X=Y=500 μ m から X=Y=1.0 mm へ)。

4. 2 測定間隔について

点群密度を低減させることで下限許容密度を求めてきたところであるが、実際の測定時にこのような方法をとると多くの時間がかかってしまう。そこで、測定断面から下限許容密度、つまりは測定間隔の目処が立たないかを非接触式測定で検討した。

放電加工品 (非接触式測定) での X 軸・Y 軸断面をそれぞれ 3 断面抜出し、測定断面における表面構造の最も小さいとみなす山のスケールを 3 箇所ずつ測定した。これを図 34、図 35 に示す。

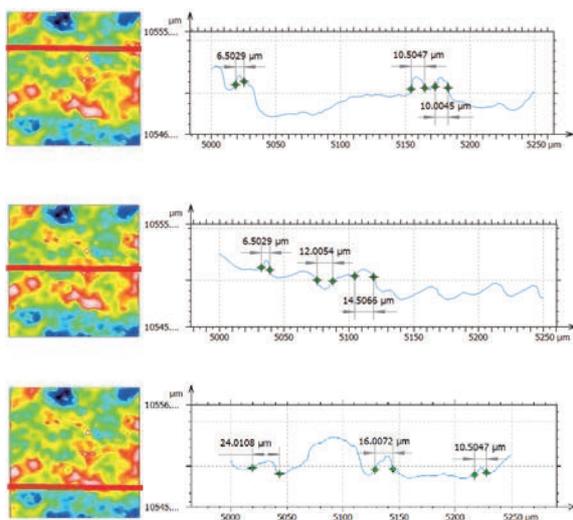


図 34 放電加工品 (Rz6.3) X 軸断面測定

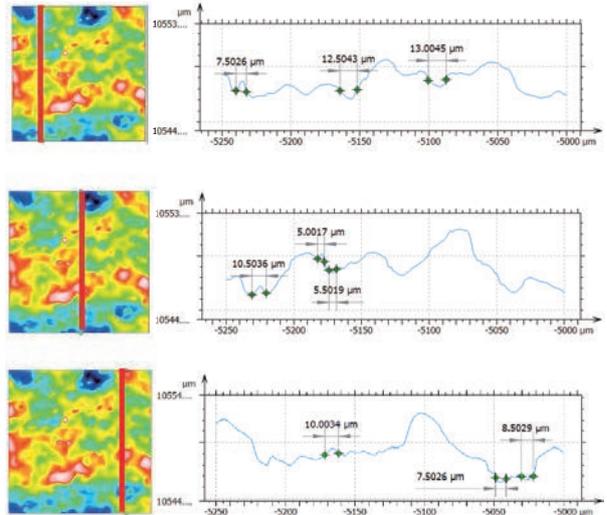


図 35 放電加工品 (Rz6.3) Y 軸断面測定

他 6 種類の試験片においても、同様に測定を行ったが、放電加工品以外の表面形状は、Y 軸平行の断面変化が乏しいため、X 軸断面のみを行った。測定結果を表 2 に示す。

表 2 平均山スケールの算出

粗さ標準片	断面	山スケール (μ m)								平均山スケール (μ m)	
		6.50	10.5	10.0	6.50	12.0	14.5	24.0	16.0		10.5
放電加工品	X軸断面	6.50	10.5	10.0	6.50	12.0	14.5	24.0	16.0	10.5	10.6
	Y軸断面	7.50	12.5	13.0	10.5	5.00	5.50	10.0	7.50	8.50	
平面研削品	X軸断面	14.0	15.0	15.0	8.01	6.50	11.5	11.0	18.0	13.0	12.5
	X軸断面	9.01	8.01	8.51	9.01	9.51	11.5	11.0	8.01	11.0	9.51
手仕上げ加工品 (ヤスリ)	X軸断面	24.5	10.5	21.5	13.0	21.0	8.51	15.0	10.0	20.5	16.1
	X軸断面	7.50	13.5	15.5	12.5	8.00	11.0	6.00	7.00	9.00	10.0
正面フライス加工品	X軸断面	38.0	38.0	37.0	38.0	37.5	37.0	37.5	38.5	38.0	37.7
	X軸断面	40.0	39.0	37.0	39.0	38.0	39.0	37.0	39.0	35.0	38.1

表 2 で求めた平均山スケールと、表 1 でまとめた Sa 値評価での下限許容密度から、1 山あたりに必要な測定点数を求めた。結果を表 3 に示す。

表 3 必要測定点数の算出

粗さ標準片	下限許容密度 [点/ μ m ²]	X、Y の測定 間隔 [μ m] (A)	平均山 スケール (μ m) (B)	1山あたりの 点数 (点) (B/A)	1山あたりの 平均点数 (点)
放電加工品	0.48	→ 1.45	10.6	7.31	7.0
平面研削品	0.25	→ 2.00	12.5	6.25	
手仕上げ加工品 (ヤスリ)	0.32	→ 1.77	9.51	5.37	
手仕上げ加工品 (ヤスリ)	0.25	→ 2.00	16.1	8.05	
フライス加工品	0.48	→ 1.45	10.0	6.90	
正面フライス加工品	0.042	→ 5.00	37.7	7.54	
円筒研削加工品	0.042	→ 5.00	38.1	7.62	

これより、Sa 値評価での下限許容密度付近での測定を行いたい場合は、測定断面曲線における表面構造の最も小さいとみなす山のスケールから一定の判断ができると考察できる (一山 7 点程度の間隔)。

5 まとめ

点密度を低下させていくと、面粗さパラメータ Sa は指数関数的増加（または減少）傾向にあるため、測定時間効率のよい点間隔（測定間隔）は存在することが判った。

上記の間隔は、表面構造の最も小さいとみなす山のスケールより一定の判断ができることが判った。

現状の測定方法と比較して、単位面積あたりの測定時間を少なくとも 75% 削減できることが判った。

（参考文献）

- 1) JIS B 0681-3:2019 仕様オペレータ
- 2) ISO 25178-3:2012 Specification operators
- 3) JIS B 0681-2:2018 用語、定義及び表面性状パラメータ
- 4) ISO 25178-2:2012 Terms, definitions and surface texture parameters
- 5) JIS B 0681-6:2014 表面性状測定方法の分類
- 6) ISO 25178-6:2010 Classification of methods for measuring surface texture