

## 第2章 素地調整(1) ブラスト・粗面管理 その2

黒木 裕志郎\*

### 12. パワーツール(電動工具)による 表面形状(表面プロファイル)の測定 実験 その1

#### (1) 使用した表面形状測定機器

##### ① レプリカテープ

測定手順は、「10. テープ転写法 (1) JIS Z0313 - 7.f) テープ転写方法 ①手順」を参照。

この表面粗さの測定方法は、比較的簡単でなおかつ安価である。さらに測定対象面の物理的なコピー＝レプリカを保存することができる。塗装業界では、ブラスト加工された表面の山から谷までの高さを現場で測定する最も一般的な方法の1つとなっている。

レプリカテープは、1点または直線上の測定ではなく、2次元の領域で表面形状を測定するという優れた利点を備えている。デプスマイクロメーターの先端は、半径約  $50\ \mu\text{m}$  の1点で測定し、サンプリング面積は  $0.007\text{mm}^2$  である。触針式粗さ計の典型的なサンプルラインは、長さ約  $12.5\text{mm}$ 、幅約  $4\ \mu\text{m}$  で、合計の測定面積は約  $0.05\text{mm}^2$  となる。レプリカテープの測定面積は  $31\text{mm}^2$  である。これは、触針式粗さ計の約 258 倍、デプスマイクロメーターの約 4,400 倍の測定面積に相当する。また、粗面を転写したレプリカテープのデジタル画像から表面形状の 3D 画像を作成することができるため、塗装

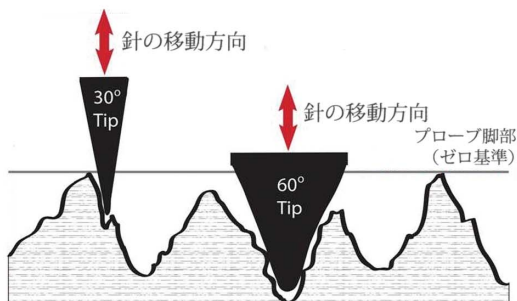
前に実際の表面をじっくり観察することができる。

##### ② 表面プロファイル用デプスマイクロメーター

デプスマイクロメーターは、表面形状の山頂部に載せる平らなベースと、ベース内部に取り付けられたスプリング付きのプロブチップが、谷部に落下する仕組みになっている。第 16 図に示すように、平らなベース(台座)は最も高い山の上であり、各測定値は、最も高い山の部分と、先端が達した特定の谷との距離が測定値となる。

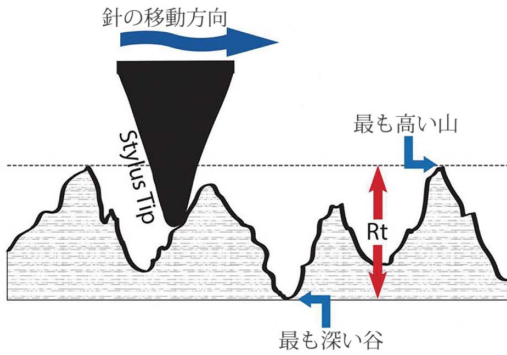
##### ③ 触針式粗さ計

ポータブル触針式粗さ計は、表面上を一定速度でトレースする触針を利用し、その上下の動きを記録して一定の測定長における最も高い頂上と最も低い谷間の垂直距離などを測定する。第 17 図に示すように、針が表面を通過する際



第 16 図 デプスマイクロメーターによる粗さ測定  
の原理模式図

\* くるき ゆうしろう コーテック(株)  
カスタマーサポート部



第 17 図 触針式粗さ計による粗さ測定の実験模式図

の垂直距離を測定し、記録する装置である。

(2) 使用したパワーツール(電動工具)により処理した試験片

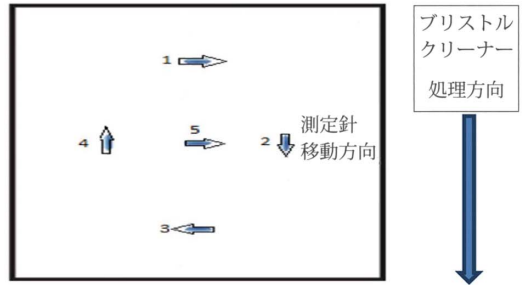
写真-19 に例示した、エアニードルスケラ、ブリストルクリーナー、ロートピーンスケラーの 3 種類のパワーツールを使用して 12 枚の処理鋼板=試験片を準備し、これらの試験片には、各グループで 1~4 のラベルを付けた。評価対象は以下の試験片である。

- ブリストルクリーナーで作成した 4 枚の鋼板 (BB1~BB4 のラベル表示)。
- エアニードルスケラーで作成した 4 枚の鋼板 (NG1~NG4 のラベル表示)。
- ロートピーンスケラーで作成した 4 枚の鋼板 (RP1~RP4 のラベル表示)。

(3) 測定に用いたパラメータ

試験片の表面形状を測定機器を用いて以下のように評価してみた。

- Rz と Rpc (Peak count per unit length : 線形ピーク数) を計測する携帯用触針式粗さ計。ASTM D7127 に基づき、2.5mm のサン



第 18 図 携帯型の触針式粗さ計の測定位置と測定方向

プリング長を 5 つ組み合わせた 12.5mm の評価長を使用。R<sub>pc</sub> (線形ピーク数) は、2 乗し面積化することで Pd (ピーク密度) を推定するために使用。

- レプリカテープとデジタルレプリカテーパーリーダーでは、試験片表面を転写したレプリカテープを測定し、線形化アルゴリズムを適用することによる平均最大ピーク高さ HL、ASTM B46.18 に準拠したピーク密度 (Pd)、ピーク数 / mm<sup>2</sup> を測定した。

(4) 試験方法

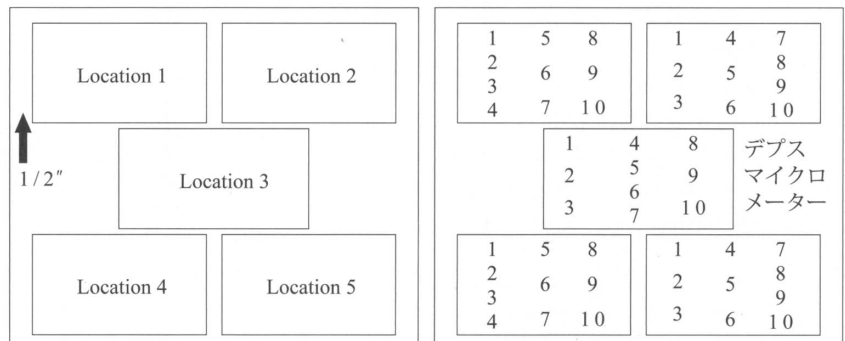
各機器を用いて、以下の要領でテストを行った。

① 触針式粗さ計の測定方向

携帯型の触針式粗さ計を使用して各試験片の Rz と R<sub>pc</sub> (線形ピーク数) を測定した。各試験片の 5 箇所において 3 回のトレース測定を行ったが、各トレース測定は評価長 12.5mm でサンプリング長 2.5mm とした。

測定位置の詳細は、第 18 図に示す。なお、ブリストルクリーナーで処理した試験片では、2 と 4 は処理方向 (筋目に沿う方向)、1 と 3 および 5 は処理の方向と直角方向で測定した。

第 19 図 デプスマイクロメーターの測定位置



ロートピーンスケーラー用試験片では、トレース測定値 2 と 4 は処理方向（筋目）に対して直角方向で、トレース測定値 1 と 3 および 5 は処理方向（筋目に沿う方向）で測定した。

### ② デプスマイクロメーターの測定位置

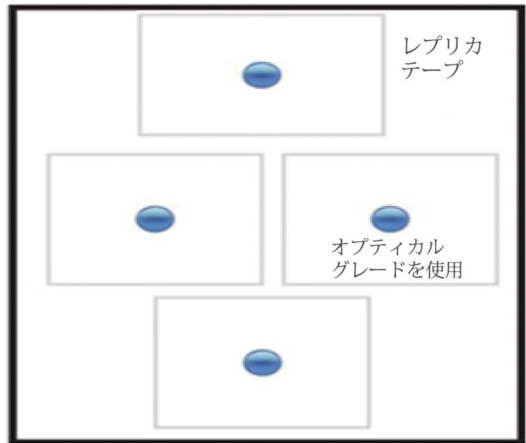
Rt の測定にはデジタルデプスマイクロメーターを使用し、各試験片 5 箇所につき 10 回、合計 50 回の測定を行った。ASTM D4417 に基づき、1 箇所あたり 10 回の読み取りを行った。本試験では 5 箇所を使用し、5 箇所における各 10 回の測定値の最大値を記録し平均した。また、50 個の個々の測定値の平均値も記録した。サンプリング位置の詳細は、第 19 図の通りである。

### ③ レプリカテープによる転写位置

デジタルレプリカテープリーダーの画像化機能とレプリカテープを使用し、HL と Pd を測定した。1 つの試験片につき 4 回の転写を行った。3 箇所は通常のレプリカテープ（コースと X コース）で、1 箇所はオプティカルグレードのレプリカテープで測定した。測定箇所を第 20 図に示す。

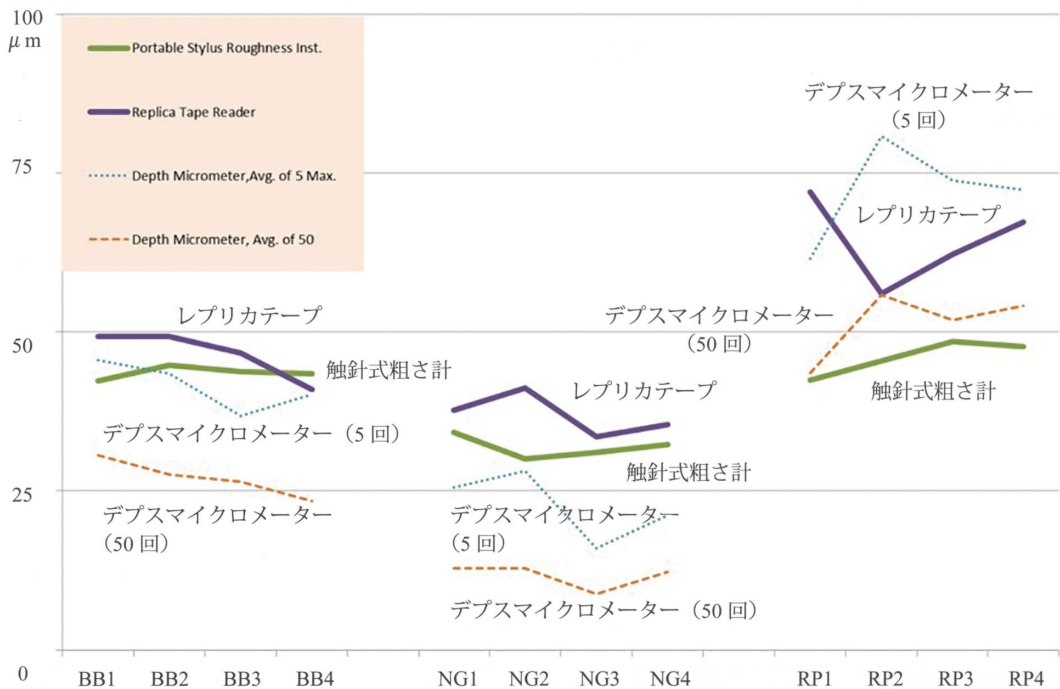
## (5) 最初の試験の考察結果

① 測定結果にあるパターンが見られた。表



第 20 図 レプリカテープで転写した位置

面画像を調べると、ブリストルクリーナーとロートピーンスケーラーで処理した表面には、方向性のある周期的筋目が見られた。触針式粗さ計による検証で、筋目（処理方向）に対する方向性により偏りがあり、筋目に沿って測定した場合と直交する方向で測定した結果には、表面パラメータに明確な違いがあることが確認された。さらに、エアニードルスケラーで作成した表面の



第 21 図 3 つの測定方法による山谷の高さにおける測定結果

画像では、山や谷がほとんどなく、そのためにデプスマイクロメーターが山から谷の高さを十分に捉えることができていないと思われる。

- ② ブリストルクリーナー／ロートピーンスケーラーで処理した試験片は、方向性のある偏りを示し、携帯型触針式粗さ計で測定するには難しい結果となった。測定値が偏りに依存するため、携帯型触針式粗さ計の適用は難しいかもしれないと危惧される。
- ③ エアニードルスケーラーで処理した試験片は、ピーク密度が大変低いことが観察された。デプスマイクロメーターによる測定回数を増やすことで、このピーク密度の減少を考慮すれば、より正確な結果を得ることができる可能性があることが提起された。この仮説を検証するために、次回のテストでは、5箇所全てで1箇所当たり20回、合計100回の測定を行ってみることに

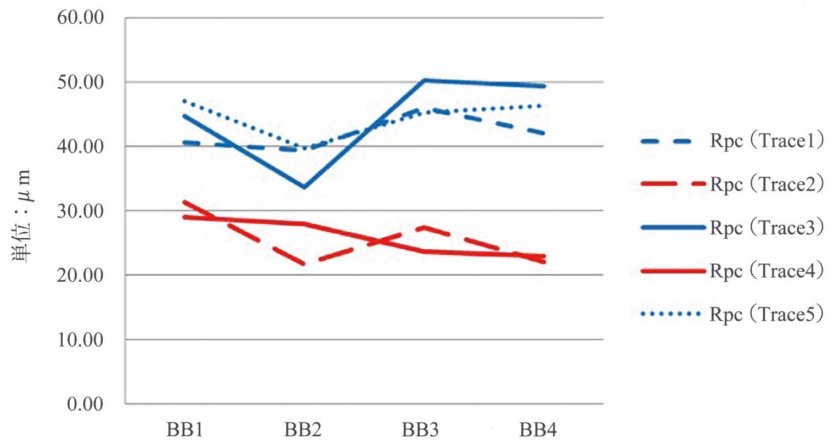
した。

- ④ レプリカテープは、3つのパワーツールで処理された表面形状／表面プロファイルの全てで適切な適用ができることが示された。また、デジタルレプリカテープリーダーで測定した結果は、他の測定器の課題である偏りや密度の影響を大きく受けないため、試験方法を特に修正する必要はないように思われた。
- ⑤ デプスマイクロメーターの結果では、5箇所の最大値の平均を使用することで、50個の個々の読み取り値の平均と比較して、他の測定方法による結果との相関性がより高くなることが示された。

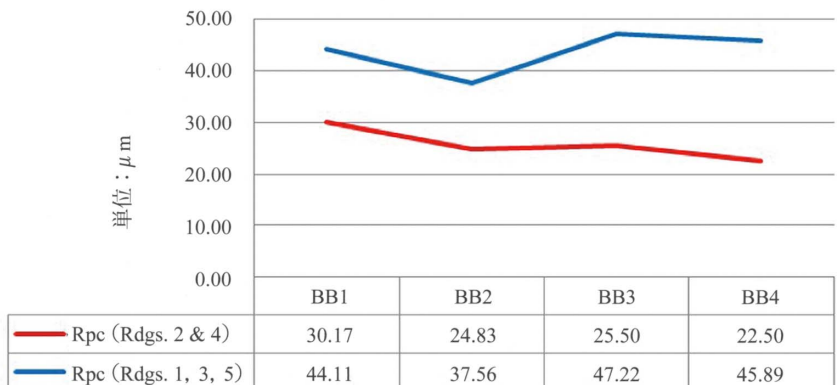
(6) 測定実験その1のまとめ

第21図は、3つの測定方法の最初の実験結果をそのまま示したものである。デプスマイクロメーターの結果は、全50回の読み取り値の平均と、最大値5回の平均の両方で示されてい

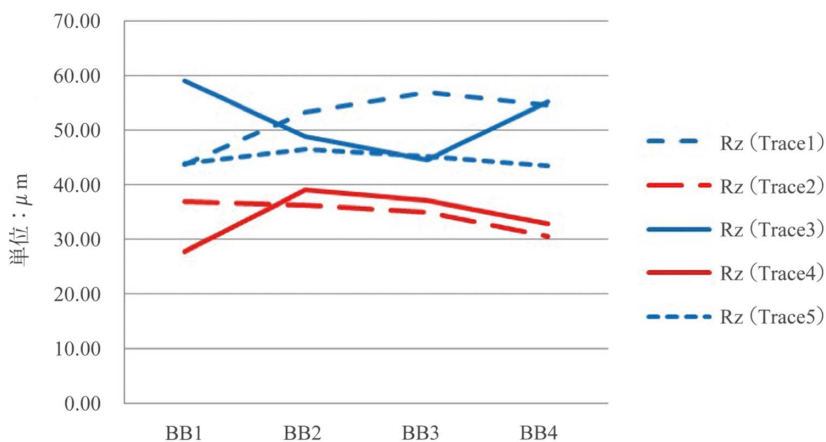
第22図  
ブリストルクリーナー  
処理面  
Rpc (線形ピーク数) :  
筋目方向 (黒), 筋目に  
直交 (網)



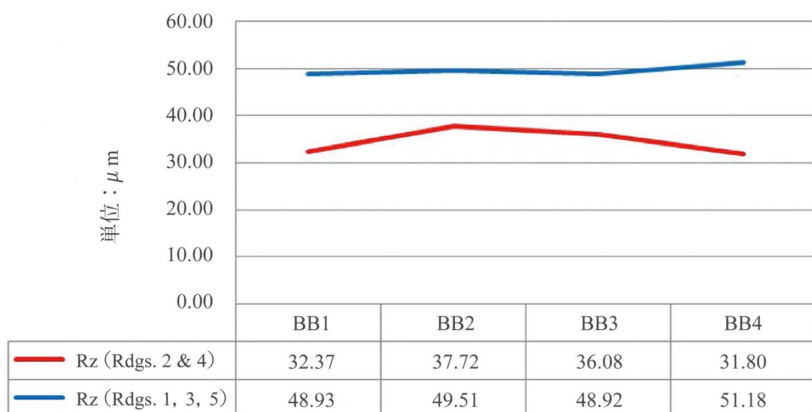
第23図  
ブリストルクリーナー  
処理面  
平均Rpc (線形ピーク  
数) : 筋目方向 (黒),  
筋目に直交 (網)







第24図  
ブリストルクリーナー  
処理面  
Rz(最大高さ): 筋目  
方向(黒), 筋目に直交  
(網)



第25図  
ブリストルクリーナー  
処理面  
Rz(最大高さ)の平均  
値: 筋目方向(黒), 筋  
目に直交(網)

る。パワーツールが生み出す表面形状の特性は、いくつかの測定方法・機器に課題を残し、そのため測定結果の一貫性を損なうことが判明した。

第21図が示すことを考察してみたい。ブリストルクリーナーによる処理面の各トレースを、第22～25図に示す。

ブリストルクリーナーで処理した試験片では、読み取り値2と4が、読み取り値1, 3, 5よりも全てのパラメータで一貫して低い値を示した。

測定値2と4は筋目に沿った方向(黒で表示)、測定値1, 3, 5は筋目に直交する方向(網で表示)で測定したものである。

第23図は、筋目に沿った方向で測定した全てのトレースを平均化したものと、筋目に直交する方向で測定した全てのトレースを平均化した結果を示している。

ロートピーンスケーラーで処理した試験片の

個々のトレースを第26～29図に示す。

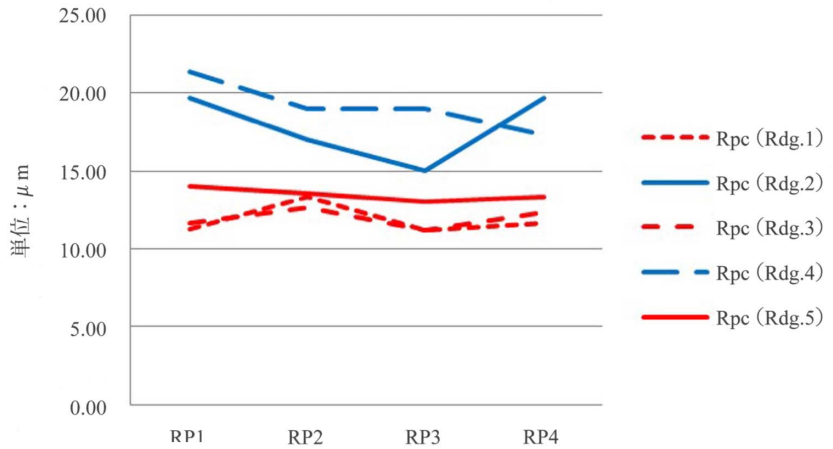
2と4の測定値は、1, 3, 5の測定値よりも全てのパラメータで一貫して高い値を示している。2と4は向に沿って測られたもので(網で表示)、1と3および5は筋目に直行する方向で測定された(黒で表示)ものである。

3種類のパワーツールによる試験片のピーク密度を比較すると、第30図のように、エアニードルスケラーで処理した試験片パネルは、他のパネルに比べて著しく低い測定値を示した。

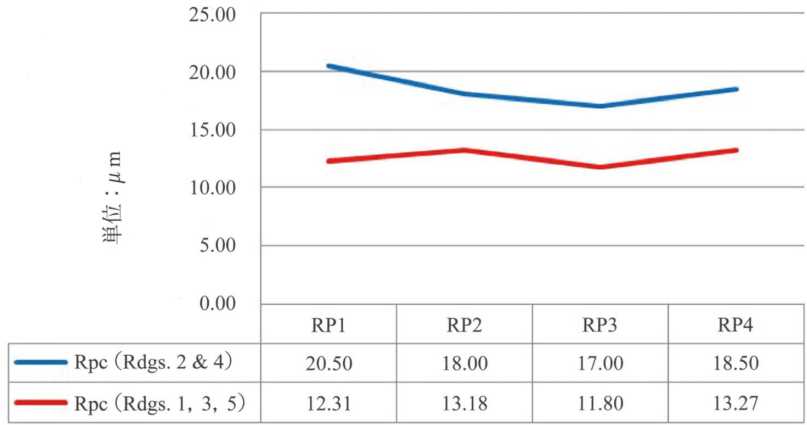
ピーク密度が低いいため、測定針が最も低い谷に到達できる確率が低くなり、測定値に悪影響を及ぼす可能性があるという仮説が立てられた。

測定方法を比較したところ、パワーツールの種類による処理面の表面形状の違いや測定方法の違いの中で、レプリカテープが最も処理方向(筋目)やピーク密度などの影響を受けにくいことがわかった。

第 26 図  
 ロートピンスケー  
 ラー処理面  
 Rpc (ピーク数) : 筋目  
 方向 (黒), 筋目に直交  
 (網)



第 27 図  
 ロートピンスケー  
 ラー処理面  
 Rpc (ピーク数) 平均値:  
 筋目方向 (黒), 筋目に  
 直交 (網)



試験終了後にデータを分析したところ、携帯型触針式粗さ計で得られた結果は、試験片の方向性の偏りに大きく影響を受けていることが理解できた。これは、ブリストルクリーナーで処理した試験片で最も顕著に見られ、エアニードルスケラーで処理した試験片では、その影響の程度は低くなった。

### 13. 方向性のある筋目

ブリストルクリーナーによる処理面をデジタルレプリカテーブリーダーで3D画像化(第31図参照)したところ、ブリストルクリーナーが試験片で処理方向に対応する左から右へ(図中の矢印方向)の処理方向(筋目)を示し、本質的にその方向に並ぶ谷および/またはピークを一般に形成する。2つ目の3D画像は、ロートピンスケーラーの表面で、同様の特徴がさらに顕著に見られる(第32図参照)。

## 14. パワーツール(電動工具)による表面形状(表面プロファイル)の測定実験 その2

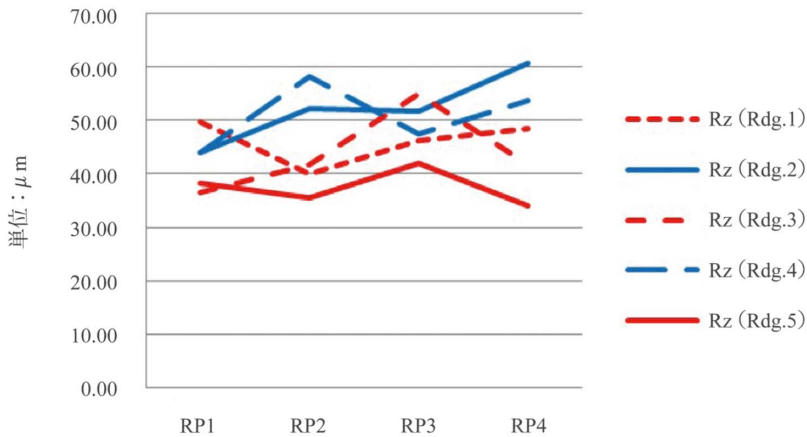
触針式粗さ計で得られる結果に及ぼす影響を確認するため、方向性の偏りに特に注意を払いながら、ブリストルクリーナーで処理した試験片について追加のテストを行った。

### (1) 概要

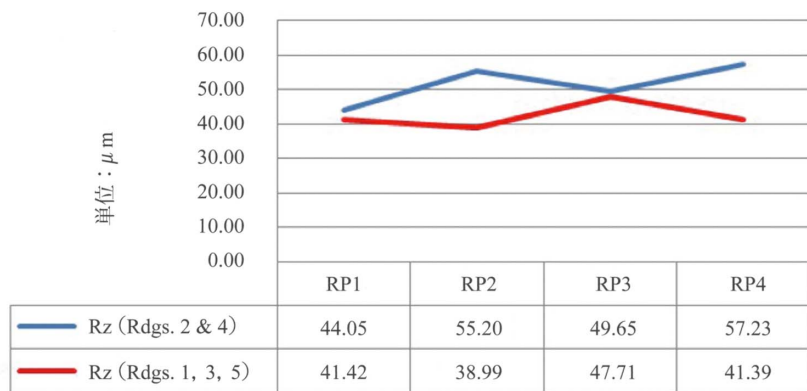
測定実験 その1と同様に、パワーツール、すなわちエアニードルスケラー、ブリストルクリーナー、ロートピンスケーラーによって形成された表面形状の評価方法について解説する。

パワーツールによる表面プロファイルには、方向による偏りが存在することを、パート1では確認した。

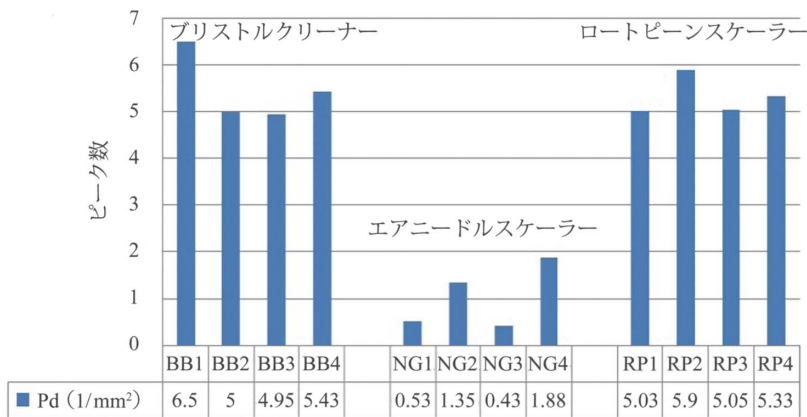
パート2では、その偏りに注意しながら評価



第 28 図  
ロートピーンスケーラー処理面  
Rz (最大高さ)：筋目方向(黒), 筋目に直交(網)



第 29 図  
ロートピーンスケーラー処理面  
Rz (最大高さ) の平均値：筋目方向(黒), 筋目に直交(網)



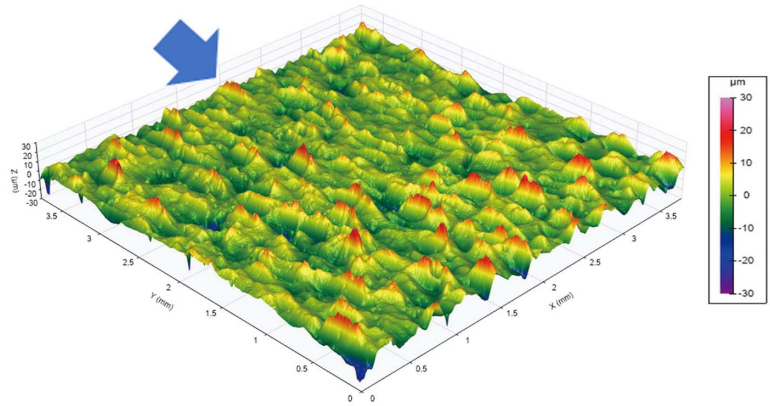
第 30 図  
3 種類のパワーツールによる試験片のピーク密度の比較

方法を再確認していくことにする。

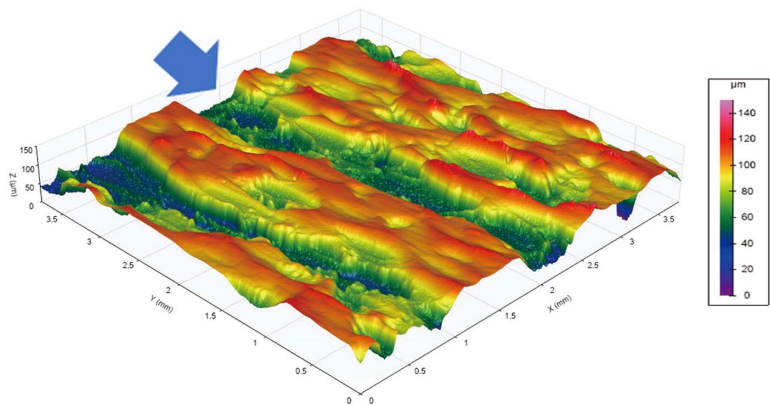
### (2) 測定方向による偏りを意識した試験

この追加テストは、プリストルクリーナーによって生じた筋目に沿って 4 回測定し、さらに筋目に直交する方向で 4 回測定した。そして、2つの値、R<sub>pc</sub> と R<sub>z</sub> を筋目方向と直交方向とで比較した。その結果を第 33, 34 図に示す。

筋目方向に沿って測定した場合と、筋目に直交する方向で測定した場合とでは、明らかに異なる結果が得られた。この方法で測定した場合、方向性の偏りが考慮されない、あるいは意識されていない場合には、表面形状の特性評価が不適切になる可能性がある。このままでは、塗装性能が不適切になったり、下地処理として不十



第 31 図  
プリストルクリーナー  
による処理表面の 3D  
画像 (強調処理済)



第 32 図  
ロートピンスケー  
ラーによる処理表面の  
3D 画像 (強調処理済)

分である可能性がある。レプリカテープやデプスマイクロメーターによる測定では、方向による偏りの影響は限定的かほとんど見られなかった。

### (3) ピーク密度

測定の結果、エアニードルスケーラーで処理した試験片では、他の電動工具で処理した試験片と比較して、ピーク密度が低いことがわかった。ピーク密度が低いと、デプスマイクロメーターで山から谷までの距離を求めることが難しくなる。

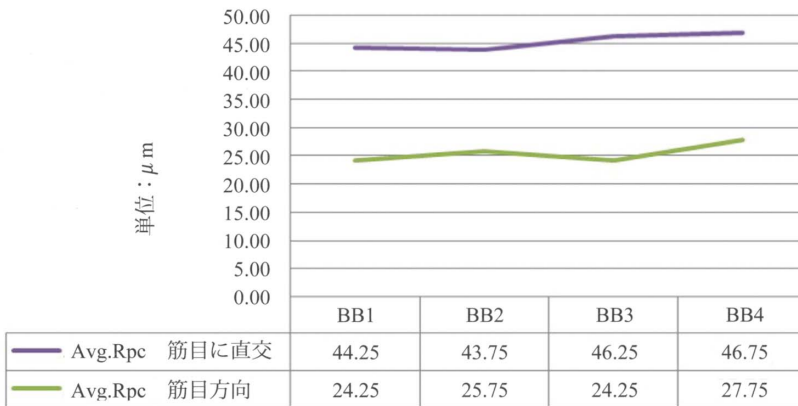
これはマイクロメーターの針先が凹凸の最下点に到達する確率が低いためであると考えられる。この測定器が凹凸の最下点を見つけられない限り、測定結果は誤って低くなってしまふ。第 35 図はエアニードルスケーラーで処理した表面の 3D 画像である (レプリカテープとデジタルレプリカテープリーダーを使用)。表面には明確な山や谷がほとんどなく、丸みを帯びた形状であることがよくわかる。

### (4) 追加試験…ピーク密度

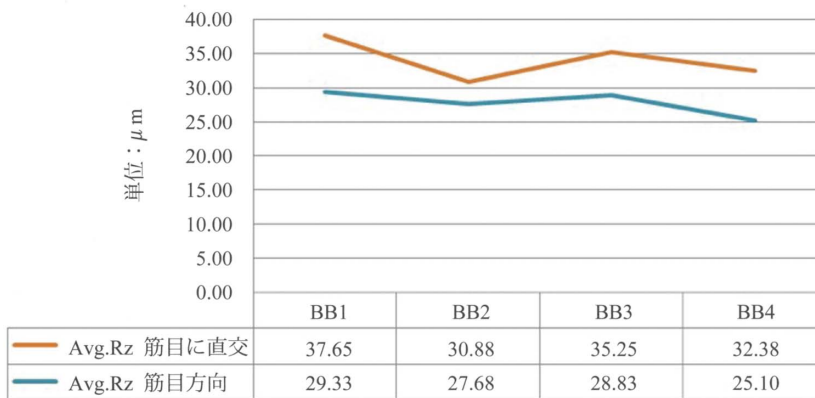
レプリカテープのデジタル画像処理でピーク密度が低いことが確認されたため、デプスマイクロメーターの測定回数を増やすことで、より正確な山谷の測定が可能になると判断した。この仮説を検証するために、各スポットの読み取り回数を 2 倍の 20 回に増やし、1 枚の試験片あたり 100 回の読み取りを行った。測定回数を 2 倍にすることで、第 36 図に示すように、触針式粗さ計やレプリカテープによる測定結果によく追従するようになることを示している。

触針式粗さ計もピーク密度の低下により同様の影響を受けられると思われる。しかし、触針式粗さ計はデプスマイクロメーターよりも広い面積で測定するため、最高ピークと最低の谷を捉える可能性が高くなり影響を抑制できていると思われる。しかし、エアニードルスケーラーで加工した表面では、山と谷の数が少ないため、最高ピークと最低の谷の高低差を見つけれられる確率はずっと低くなる。

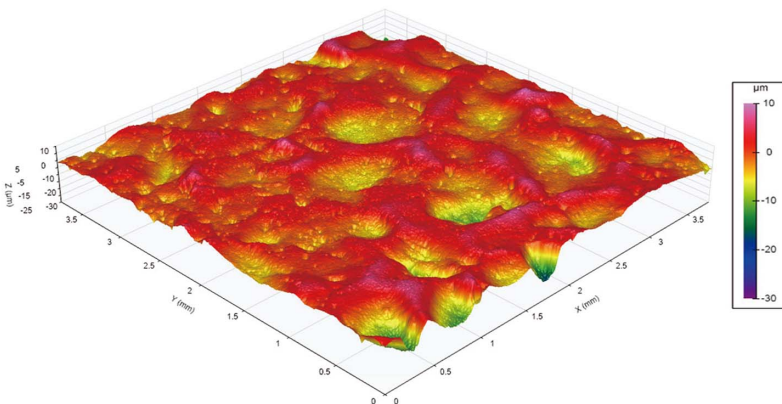




第 33 図  
ブリストルクリーナーによる処理面  
Rpc (ピーク数) : 筋目方向・直交方向の測定結果



第 34 図  
ブリストルクリーナーによる処理面  
Rz (最大高さ) : 筋目方向・直交方向の測定結果



第 35 図  
エアニードルスケラーによる処理表面の 3D 画像 (強調処理済)

#### (5) レプリカテープによる結果観察

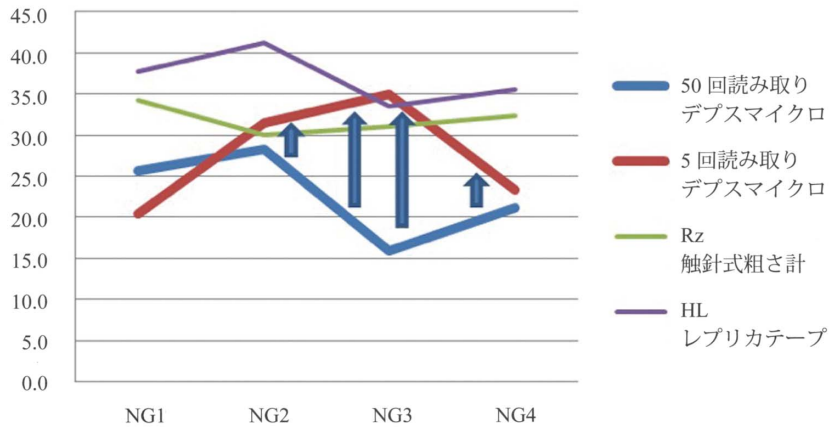
レプリカテープによる測定は、他の測定方法による結果と異なり、方向性の偏りやピーク密度の影響を受けないことが確認された。このことは、パワーツールを用いて下地処理した3つの表面全てにおいて一貫している。

方向による偏りの影響を受ける試験片では、

レプリカテープの測定領域が偏りの両方向のパターンを捉える。HLはエリア全体の最大山谷の距離として測定されるため、偏りは影響しない。このため、レプリカテープによる測定結果は、より表面形状を代表しており、有効な結果を得るために測定手順を修正する必要もない。

同様に、レプリカテープによる測定は、ピー

第 36 図  
Rt, デプスマイクロ  
メーターの読み取り回  
数の増加の影響



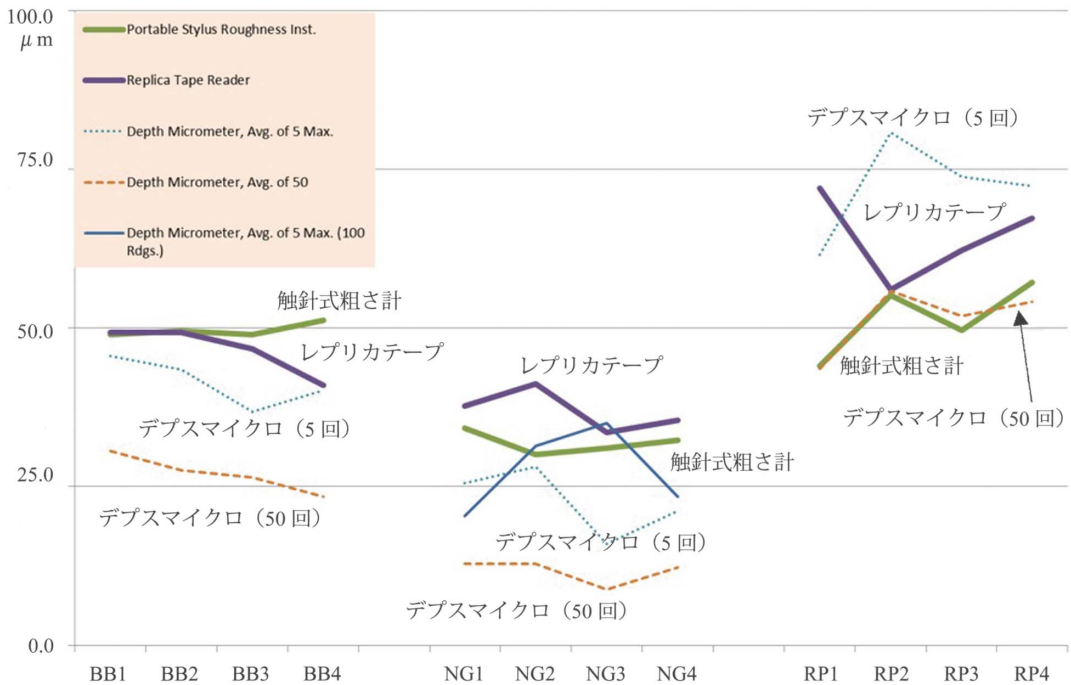
ク密度による悪影響を受けなかった。レプリカテープの測定領域は、山と谷の間の水平距離よりも大きいため、ピーク密度の低下は悪い要因とはならなかったのである。この場合、レプリカテープの測定面積は大きいため、デプスマイクロメーターや触針式粗さ計よりも代表性の高い測定値が得られる。

(6) 結 論

レプリカテープに表面形状を転写しスプリング式のマイクロメーターで測定する方法は、主にサンプリングされた表面積が他の方法よりも

大きいため、3種類の工具で作られた表面形状を最も正確に測定することができた。レプリカテープの測定面積が広いことは、他の測定方法では悪影響を及ぼすような電動工具で作られた表面形状でもその特性をよく表現していた。

パワーツールで得られた表面には、表面形状の測定方法を選択する際に考慮しなければならない特性がある。表面に方向性のある筋目を残すパワーツールは、携帯型触針式粗さ計を使用した場合に、不正確な測定結果につながる可能性がある。ピーク密度の低い表面形状になるパ



第 37 図 最終的な測定結果

ワーツールは、ASTM D4417では想定されていないため、ASTM D4417の規格に従ってデプスマイクロメーターを使用した場合、山谷の測定値が低くなってしまふことがある。これらの特性を考慮しないと、不正確な結果になることがある。

パワーツールで加工された表面に携帯用触針式粗さ計やデプスマイクロメーターを使用するには限界があるが、測定方法を修正・改善することで、これらの機器でもより効果的に測定することはできそうである。触針式粗さ計は、方向性のある筋目に直交するように測定しなければ、これらの表面の表面形状を測定するには適していない。デプスマイクロメーターの測定では、低いピーク密度を考慮し、測定回数を増やすことで結果が改善されることが示唆された。

第37図は、方向性のある筋目と低いピーク密度による誤差を考慮した調整を行った後の、全ての測定方法での結果を示している。方向性のある筋目は、筋目方向に沿った測定を排除す

ることによって、ブリストルクリーナーとロートピーンスケーラーで処理した試験片を評価した。その結果、ブリストルクリーナーで処理した試験片は、レプリカテープの測定値に平均13.2%近く、ロートピーンスケーラーで処理した試験片では、レプリカテープの測定値に平均8.9%近くなることが確認された。

エアニードルスケーラーで処理した表面形状においてピーク密度が低い場合は、1箇所当たり10回と20回の読み取りで結果をプロットし、5箇所の最大値の平均を採用することで対応した。これにより、デプスマイクロメーターの測定値は携帯型触針式粗さ計の測定値と15.9%、レプリカテープの測定値と14.2%近い相関を示した。

以上の測定方法・手順の変更が求められる中で、レプリカテープによる測定結果は、修正せずにそのまま表示した。第31図に示されているように、レプリカテープの測定結果は、特別な修正の必要はなく、修正後の他の測定方法とほぼ同じであることがわかる。