

鋼板からクリアコートまで。自動車の表面を測定

自動車の仕上げ工程を追跡し、品質の確保とスクラップの削減に貢献

塗装プロセス3Dプロファイラ

4D SurfSpec™

4D Technology

An Onto Innovation Subsidiary

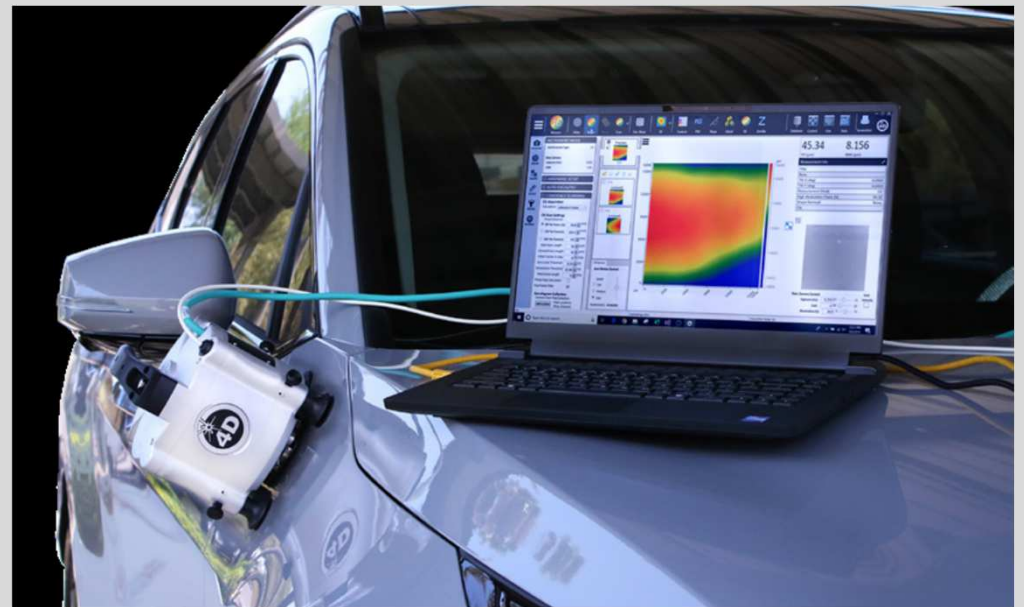


干渉計を使った高精度な表面測定

自動車メーカーは長年にわたり、塗料や塗装の品質を工程終了後にしか確認することができませんでした。塗装工程の最初から最後まで、塗装の仕上がりの品質を追跡する方法がなければ、部品は製造され続け、どんどん価値が上がっていき、最終的に塗装後に廃棄されることとなります。業界や計測の専門家からは、塗装工程の各段階における表面の質感と最終的な塗装品質を関連付けるための新しい製造測定システムが求められています。この新しい測定器、4D SurfSpec™は、その塗装工程の「個別の情報」を取得し、最終仕上げの不良につながる問題を工程の初期段階で特定することができます。

この論文では、ほとんどあらゆる表面形状や素材の素地とコーティング層を迅速に測定する、初の携帯型現場用システムについて説明します。

4D SurfSpecは、品質向上とコスト削減のための継続的なプロセスフィードバックを提供します。



自動車メーカーは、塗装の外観を管理し、仕上げ不良につながる部品を工程の早い段階で取り除く方法を求めています

自動車塗料の基材からの測定 クリアコートを通して

Erik Novak、Mike Zecchino 著

業界と計測の専門家は、塗装工程の各段階における表面の質感と最終的な塗装品質を関連付ける新しい製造測定システムを求めています。この新しい測定器は塗装工程の「個別の情報」の取得を可能にし、最終的な仕上げ不良につながる問題を工程の早い段階で特定することができます。

塗装の仕上がりが重要な理由

自動車を購入する人にとって、第一印象は非常に重要です。そのクルマはよくできていると感じますか？ハンドリングはスムーズで、長持ちしそうですか？そして、最も重要なことは、見た目が良いかどうかです。購入者は、質の高い仕上げを質の高い車と同一視しています。もちろん、何をもち「高品質」な塗装仕上げとするかは、ある程度、主観的なものです。しかし、右図のような不揃いのパネルや、オレンジピール、ぼやけ、くぼみ、凹みなどのある仕上げの車は、大多数の購入者が拒絶反応を示すでしょう。



図1. 鉄板の隣にあるアルミ板は、明らかに質感が異なる。
提供：General Motors

自動車メーカーは、塗装の外観を管理し、仕上げ不良につながる部品を工程の早い段階で取り除く方法を求めています

1. コスト

良い印象を与えることは重要ですが、メーカーにとってコストはそれ以上に重要な問題です。塗装とコーティングは、関連するエネルギー、資本、環境コストを考慮すると、自動車の総生産コストの約30%を占めます。また、塗装は組立施設のエネルギー需要の最大70%を占めます。プロセスの後半でコーティングされた部品を廃棄すると、リソースが枯渇します。

2. 変化する基材

基材が多様化することで、塗装の複雑さが増しています。鋼板、亜鉛メッキ鋼、アルミニウム、プラスチック、複合材料、添加物など、同じ塗装工程でも反応はさまざまです。これらの素材に一貫した仕上がりを提供することは重要な課題であり、常に満たされているわけではありません。

NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration：全米道路交通安全局)のウェブサイトによると、2000年以降、米国内では塗装品質の問題から25件以上のリコールが発生し、直接的なコストだけでなく影響も数百万ドルに及んでいます。直接的に数百万ドルのコストがかかるだけでなく、顧客の認知度やブランド・ロイヤルティにも影響を及ぼします。

最終的な塗膜の外観をコントロールするだけでは十分ではない

自動車メーカーは、塗装の外観を制御し、仕上げ不良につながる部品を工程の早い段階で取り除く方法を必要としています。

表面テクスチャは、人間の目が塗装の外観をどのように認識するかを大きく左右する。表面模様は、短波長の粗さから長波長のうねりや形状まで、空間的な波長帯のスペクトラムで構成されている。

様々な波長帯域で光の反射が異なるため、研究により、塗装表面の評価に最も影響を与える主要な波長帯域がいくつか特定されています（図2）。ぼやけ、ローピング、オレンジピールなどは、特定の空間波長帯に起因するものである。各メーカーは、これらの帯域の高さ振幅を許容し、合わせて「高品質」仕上げを構成するための条件の工程を見つけています。

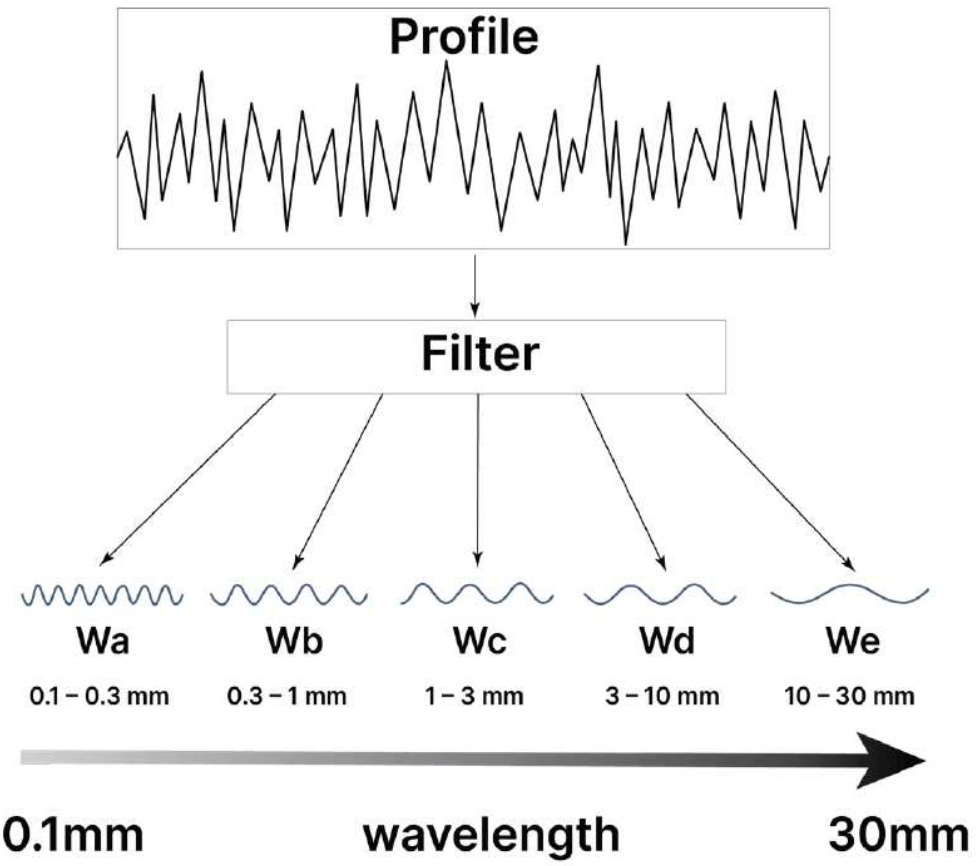


図2. 塗料の外観に重要な5つの空間波長帯（提供：Michigan Metrology）。

塗装の全工程を把握するためには、粗い基材と細かい塗膜の質感の両方を測定できることが必要です

End-to-Endの塗布プロセス制御

過去数年にわたり、自動車業界は自動車塗装工程のEnd-to-Endの計測システムの開発を推進してきました。このようなシステムは、自動車メーカーだけでなく、基板やサブアッセンブリーのサプライヤーにとっても、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができます。このシステムには、以下のような業界要件があります。

- ◆ 最大5mm幅の構造物（人間の目が感知できる大きさ）を定量化できる広視野
- ◆ 20 μ mの横方向寸法を測定する能力
- ◆ 最終的な塗膜を適切に測定するための30nm以上の垂直分解能
- ◆ 最大1 μ m RMS粗さの粗い表面も測定可能。
- ◆ 短い測定時間
- ◆ 過酷な環境に対する堅牢性
- ◆ 使いやすさ
- ◆ オペレータに依存しない結果

塗装の全工程を把握するためには、粗い基材と細かい塗膜の質感の両方を測定できることが必要です

End-to-Endの塗布プロセス制御

最も重要なことは、プロセス全体を追跡するために、粗い基材と細かいコーティングの質感の両方を測定できるシステムであることです。また、測定技術間の相関をとることは非常に困難であるため、一つの測定技術を使い続けることが重要です。空間分解能や垂直分解能、環境の影響に対する感度、測定時間などはすべて、技術間、さらには測定器のブランド間でも異なります。このため、測定装置の影響と実際のプロセスのばらつきを区別することはほぼ不可能です。

4D SurfSpec システム (図 3) は、単一のEnd-to-Endのプロセス測定ソリューションとして、これらの要件を満たします。このポータブルなシステムは、塗装工程のあらゆる段階で、生産現場のその場で表面形状を測定します。コヒーレンス・スキャンニング・インターフェロメトリー」を用いて、粗面と平滑面の両方の3次元表面形状を測定します。一辺が約150 mmのコンパクトな装置で、粗面・平面を問わず、ナノメートルレベルの垂直分解能を実現しました。また16×16 mmの大きなフィールドで、外観に重要な特徴スケールを測定することを実現しました。

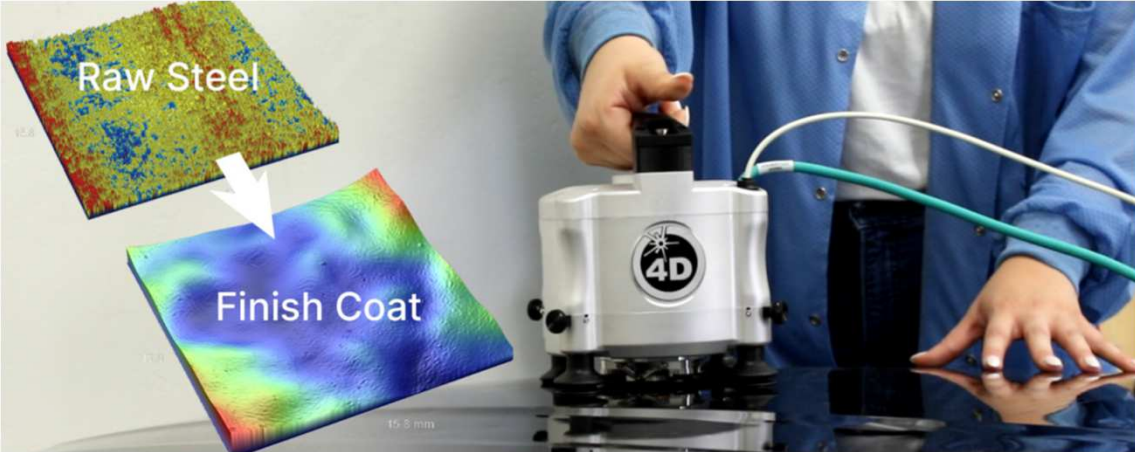


図 3. 4D SurfSpec システムは、自動車塗装プロセス全体の特徴を特定するために、業界の専門家と共に開発されました。3D、EG鋼のフォルスカラー高さ測定、およびグロスコート、表面粗さは左側に示されています。

基板メーカーにとっても、End-to-Endの計測は、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができるといったメリットがあります

End-to-Endの塗布プロセス制御

この新しい測定器による測定/分析サイクルは30秒以内で完了するため、検査担当者はリアルタイムのプロセス管理に使用することができます。また、手持ちでもロボットでも、どのような向きでも測定が可能で、バキュームフットでシステムを試験品に固定することができます。

塗装工程の個別の情報

“個別の情報”は、塗装の各層に必要な条件を決定し、最終的な外観を作り上げるものです。

4D SurfSpecは、個別の情報に必要なデータを提供します。4D SurfSpecは、プロセスの表面の識別に必要なデータを提供し、検査員が要求される品質を達成できるようにします。

- シートメタル製造
- スタンピング
- クロージャアッセンブリー
- ボディ・イン・ホワイト
- プリペイント
- Eコート
- ペイント
- クリアコート
- 最終品質段階

基板メーカーにとっても、End-to-Endの計測は、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができるといいうメリットがあります

検査員は、3D測定データをリアルタイムで解析し、合格品と不合格品を区別することができます。その解析の一環として、データは外観に重要な空間波長帯に「フィルタリング」されます。4D SurfSpecには、このような分析を行う機能が組み込まれています。また、オプションとして、データをBandify3Dソフトウェア又はMountainsMapソフトウェアにエクスポートすることで、包括的なフィルタリング解析を行うことも可能です。

図4は、フィルタリングの結果を示しています。左の画像は、目視では区別がつかない4つのアルミニウム試料を撮影したものです。平均表面粗さ (Sa) などのパラメータも、標準的な0.8mmのフィルターを使用すると、すべての表面で非常に似た値を示します。しかし、波長帯域でフィルターをかけると、データには視覚的、数値的な違いが現れます。右側の2つのサンプルは、最終的な塗装品質が許容できないほど、ローピングのレベルが上がっていることがわかります。3D測定と解析により、この2つのパーツを取り外して再加工することで、さらなる製造コストの削減が可能になりました。

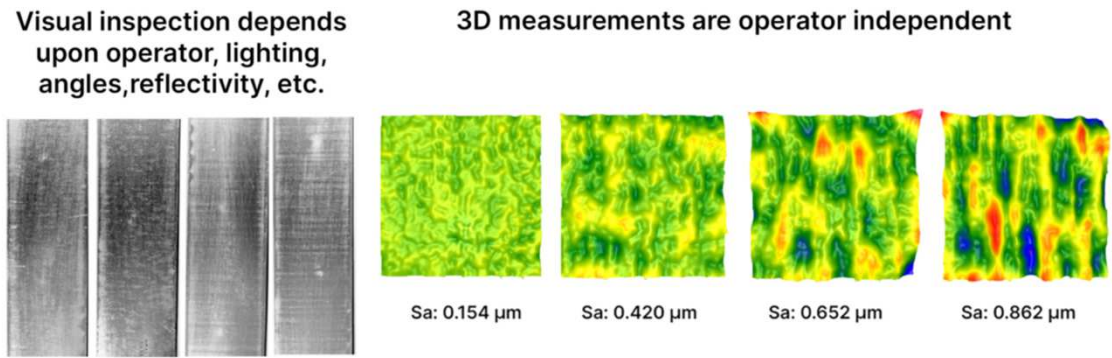


図4：4つのアルミニウムの表面（左）は、同じような質感に見える。しかし、3Dデータを波長バンドにフィルタリングすると（右）、ローピングの度合いが大きくなることがわかる。結果はBandify3Dソフトウェアで表示。データおよび解析はGeneral Motorsの提供によるものです。

基板メーカーにとっても、End-to-Endの計測は、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができるといいうメリットがあります

特徴を特定することによって、メーカーは最終的な外観との相関性に基づいて、各コーティング層の仕様を策定している。図5は、4つの3次元計測を行った基材と、それに対応する最終的な塗装面を示したものです。基材の測定結果は非常によく似ていますが、塗装されたパネルの特徴の空間スケールは大きく異なっています。4D SurfSpec のデータにより、メーカーは塗装プロセスを開始する前でも、基材に目標を設定し、部品を合格または不合格にすることができます。

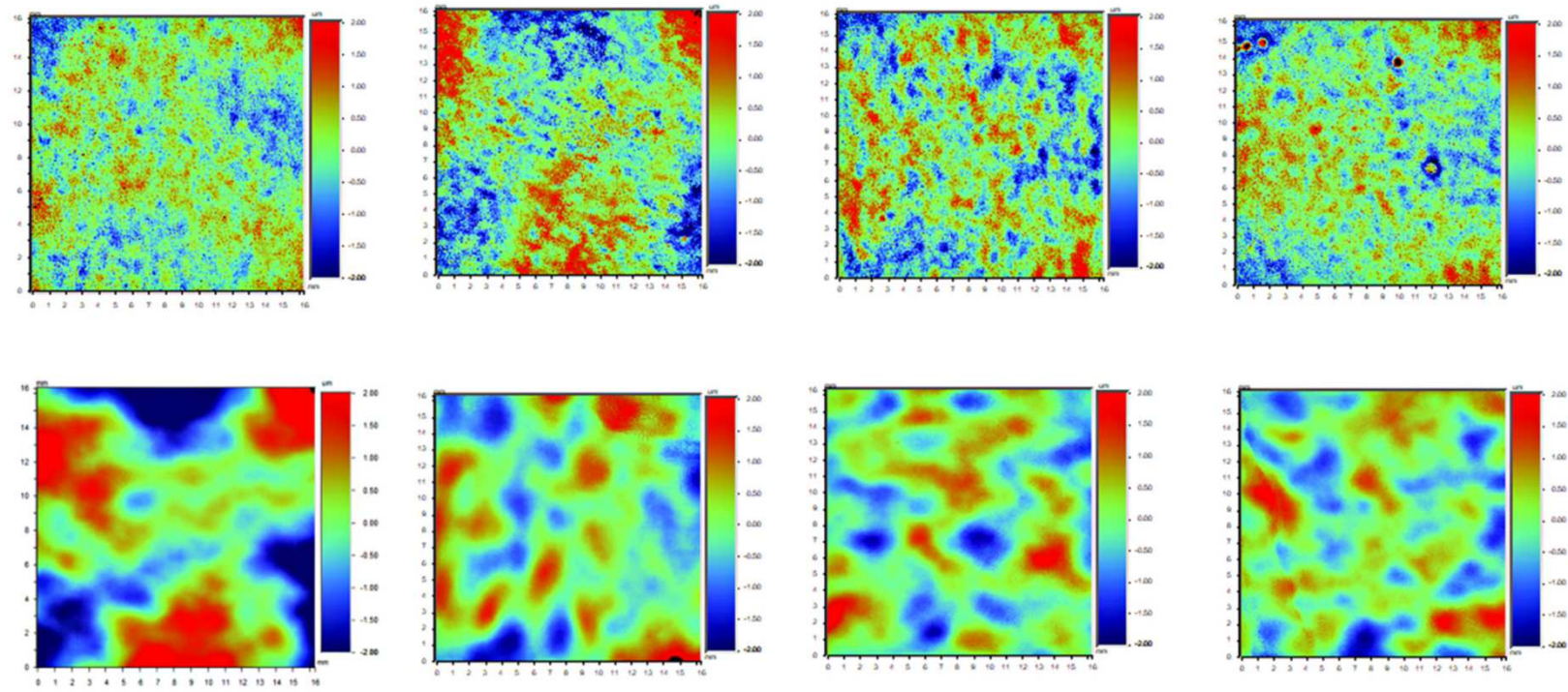
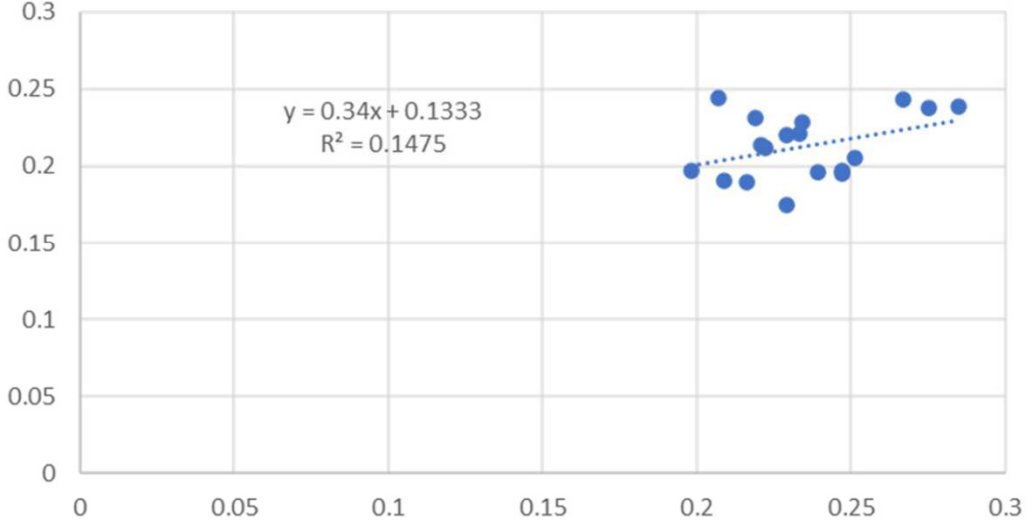


図5：4つの基材（上）と最終塗装品（下）。すべての測定は、同じフォールスカラーの高さスケールを使用している。

基板メーカーにとっても、End-to-Endの計測は、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができるといいうメリットがあります

図6にある波長での相関関係を示します。Band1の短波長を分析しても（左）、基板測定と最終品質との間に相関は見られない。しかし、Band 2の中空間波長を調べると、より高い相関があることがわかります（右）。

Band 1: Substrate vs Clearcoat Sa



Band 2: Substrate vs Clearcoat Sa

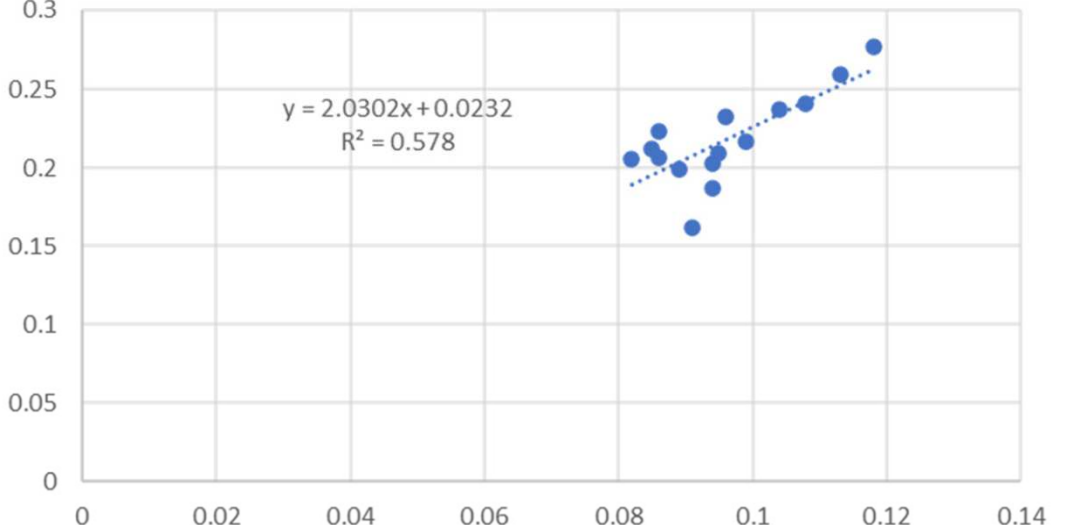


図6：ある波長帯を分析しても、この基板セットは区別できないが（左）、別の波長帯を分析すると、より高い相関があることがわかる（右）。

基板メーカーにとっても、End-to-Endの計測は、品質問題で製品が返品されることがないようにすることができるといったメリットがあります

欠陥の特定と定量化

人間の目は、全体的な質感よりも、ピットなどの小さな傷に敏感である。このような欠陥が工程の初期に現れると、検査官はその欠陥が最終塗装まで残っているのではないかと推測し、部品を不合格にする傾向がある。目視検査では小さな欠陥の寸法を特定することができないため、検査担当者は最終的に許容できる仕上がりになるはずのパーツを廃棄するなど、慎重な判断を迫られることとなります。

しかし、4D SurfSpecは、ピットやスクラッチなどを容易に定量化し、欠陥の寸法を自動的に報告します（図7）。全体的な質感と同様に、欠陥の量と大きさは最終的な塗装品質と関連付けることができます。また、欠陥に対する数値的な閾値を設定することで、検査員が客観的に部品を選別できるようになり、歩留まりの向上や不要なスクラップの発生を防ぐことができる。

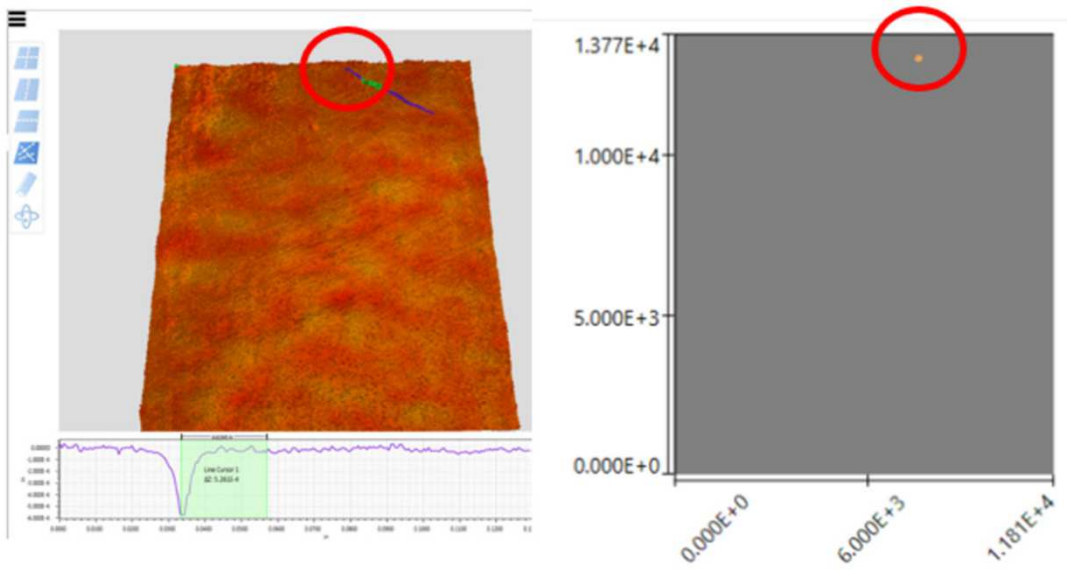
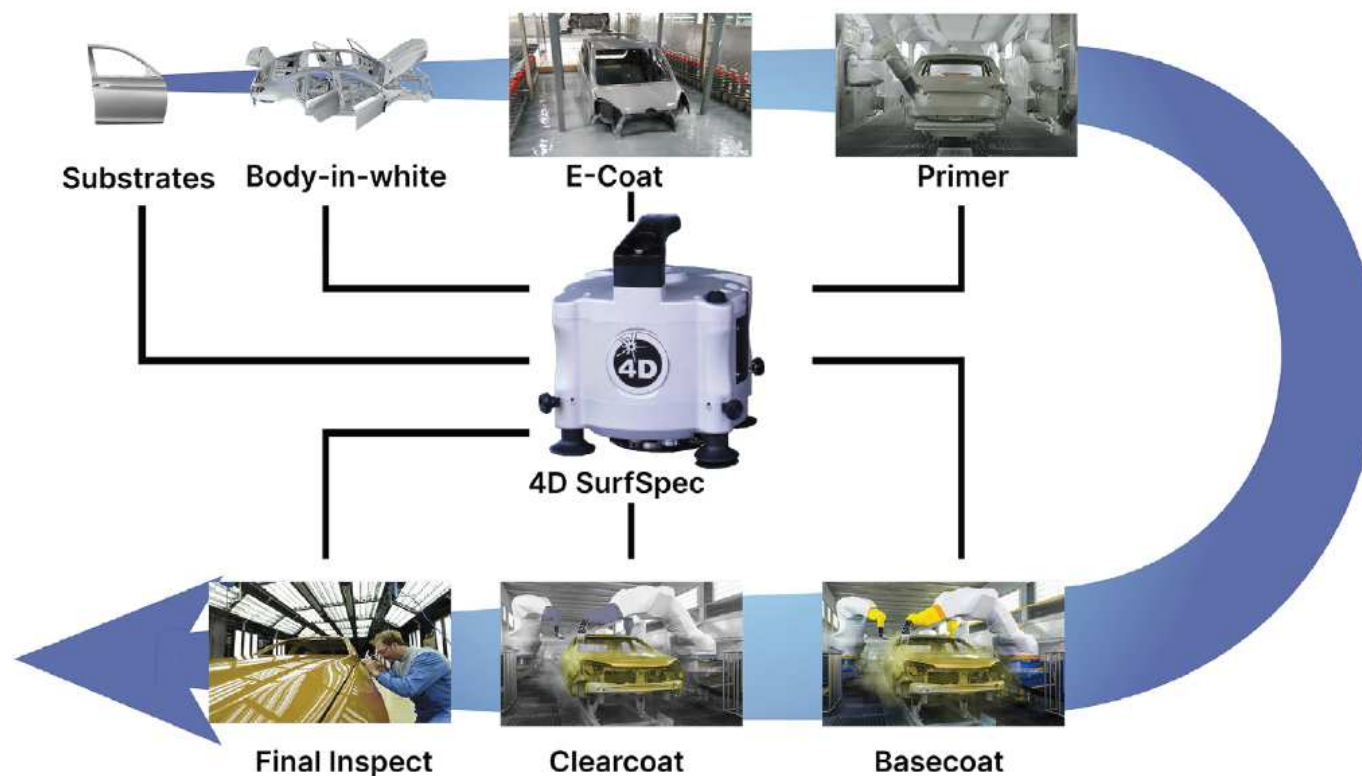


図7：3次元表面計測（左上）、ピット（右上）の確認、ピットの深さ、面積、体積の定量化（下）。

Color	% Weighted Height (μm)	Area (μm ²)	Area (%)	Volume (μm ³)	Feature Width (μm)	Feature Length (μm)
	-14.38	3.605E+4	0.02%	-2.480E+5	229.5	214.2

まとめ

ポータブル型 4D SurfSpec は、塗装工程のすべての層（未加工の基材を含む）の表面テクスチャを定量化し、相関させるための 3D 生産測定を提供します。この装置では、表面の良し悪しを区別する波長帯を統合的に分析することで、プロセス全体の特徴を特定することができます。プロセス全体を通して1つの技術で測定することにより、検査員は各層での品質と最終仕上げの品質を自信を持って関連付けることができます。4D SurfSpec は、各工程で品質を保証し、さらに処理する前に許容できない部品を取り除くことで、コストと生産時間を大幅に削減します。



参考文献

- (1) Don Cohen et al., “Substrate Surface Texture “Spectroscopy” and the Prediction of Final Paint Appearance”, PNT1004 USCAR Painted Surface Prediction Project SO242895
- (2) N. Jouini et al., “Multi-scale analysis of high precision surfaces by Stylus Profiler, Scanning White-Light Interferometry and Atomic Force Microscopy”, International Journal of Surface Science and Engineering 3(4):310 – 327, 2009
- (3) Caber, P. J. (1993). “Interferometric profiler for rough surfaces”. Appl Opt. 32 (19): 3438–3441

---製品に関するお問合せ---

イネイブル株式会社
埼玉県さいたま市大宮区桜木町1-12-7



TEL:048-729-7310
<http://enablekk.com/>