

塗装表面の形態研究

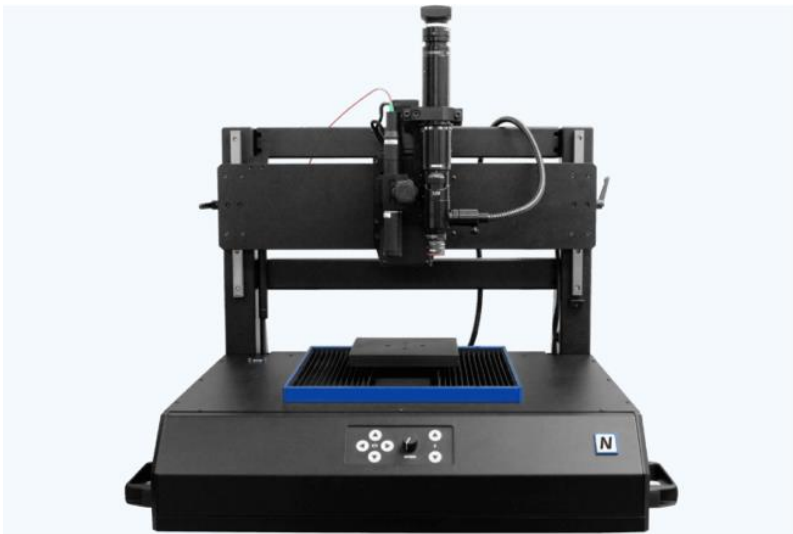


はじめに

塗料の機能のうち表面保護と装飾性は、自動車、船舶、軍事、建設など様々な産業において重要な役割を果たしています。耐食性、紫外線保護、耐摩耗性といった要求特性を達成するため、塗料の配合と構造は慎重に分析、改良、最適化される必要があります。

■塗料の乾燥中の表面形態を3D非接触形状測定する重要性

塗料は通常液体状態で塗布され、乾燥されます。この過程では溶剤が蒸発し、液体塗料が固体膜へと変化します。乾燥過程において、塗膜表面は徐々に形状と質感を変化させます。添加剤を用いて塗料の表面張力や流動特性を調整することで、様々な表面仕上げや質感を形成することができます。しかしながら、塗料の配合設計が不十分であったり、下地処理が適切でない場合には、望ましくない塗膜表面の欠陥が生じる可能性があります。乾燥途中の塗膜表面形態を正確にその場で監視することで、乾燥メカニズムを直接的に把握できます。さらに、表面形態のリアルタイムの変化は、3Dプリンティングなど様々な応用分野において極めて有用な情報となります。ナノピア3D非接触プロファイル測定機は、試料に接触することなく材料の塗膜表面形態を測定するため、スライディングスタイラスなどの接触技術によって生じうる形状変化を回避することができます。



ナノピアST500

本アプリケーションでは、高速ライン光学センサーを搭載したナノピアST500非接触プロファイル測定機を用いて、塗料表面の形態を1時間の乾燥期間中に監視します。ナノピア非接触プロファイル測定機が、形状が継続的に変化する材料を、リアルタイム3Dプロファイル測定を自動的に実現する能力を実証します。



結果と考察

塗料は金属板表面に塗布され、直後に高速ラインセンサーを搭載したナノピア ST500非接触プロファイル測定機を用いて、乾燥塗料の形態変化をその場で自動測定した。実際は指定した間隔（0、5、10、20、30、40、50、60分）でサンプルの3D表面形態を自動的に測定・記録するようにプログラムしました。この自動スキャン機能により、ユーザーは設定した手順を順番に実行して自動的にスキャン作業を行うことができ、手動による試験や繰り返しスキャンに比べ、労力、時間、およびユーザーによるエラーの可能性を大幅に削減できます。この自動化は、異なる時間間隔での複数スキャンを伴う長期測定においても極めて有用であることが実証されています。

図1に示すように、光学ラインセンサーは192点からなる明るいラインを生成します。これらの192個の光点がサンプル表面を同時に走査するため、走査速度が大幅に向上します。これにより、各3Dスキャンが迅速に完了し、個々のスキャン中に表面が大幅に変化するのを防ぐことが保証されます。

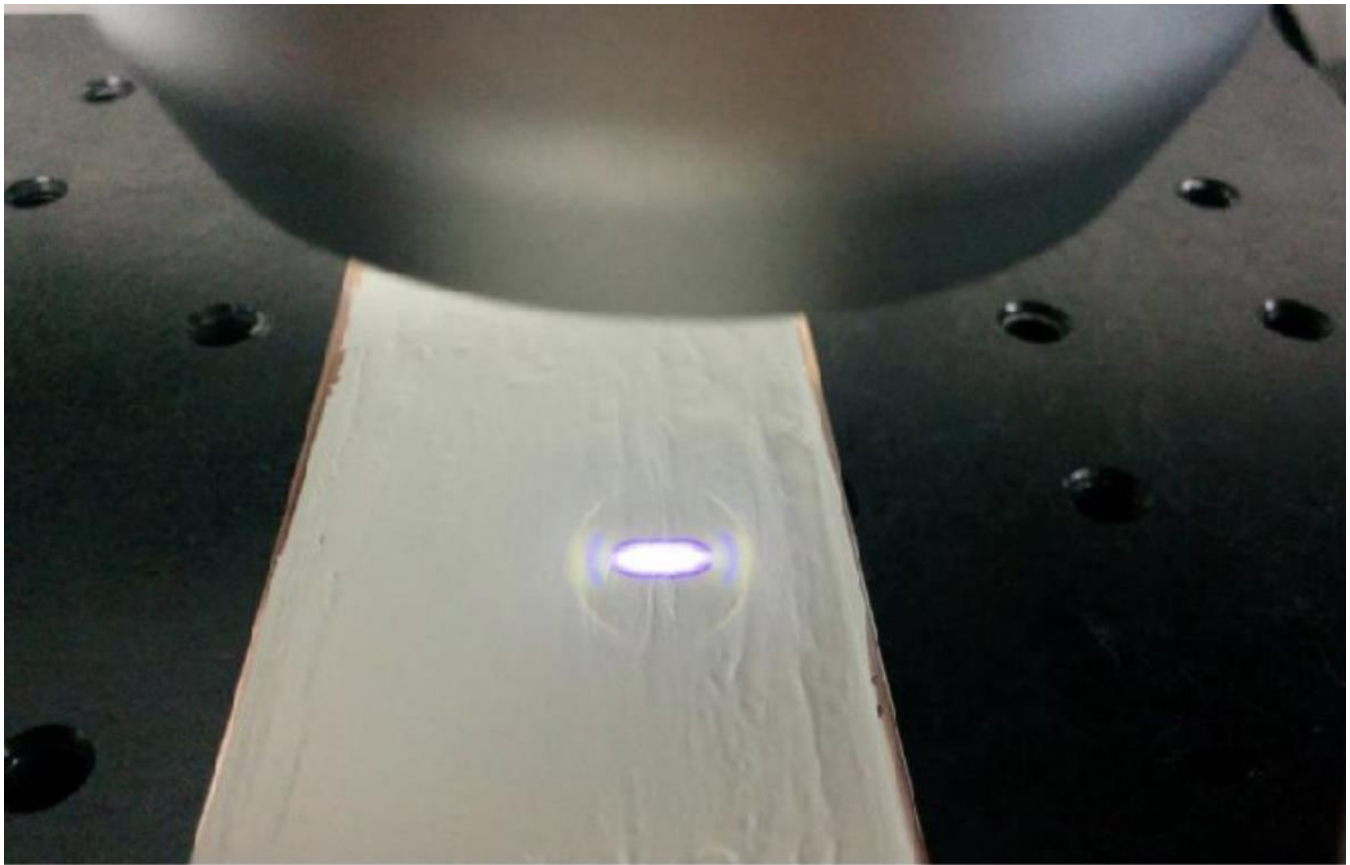


図1) 塗装表面上の光学ラインセンサースポット

乾燥塗料の表面形状を、代表的な時点における偽色画像、3D画像、2Dプロファイルでそれぞれ図2、図3、図4に示します。画像内の偽色は、肉眼では識別しにくい特徴の検出を容易にします。異なる色は、試料表面の異なる領域における高さの変化を表しています。3Dビューは、ユーザーが塗料表面を様々な角度から観察するための理想的なツールを提供します。試験開始後30分間、塗料表面の偽色は徐々に暖色系から寒色系へと変化する、この期間における高さの漸進的な減少を示しています。このプロセスは減速し、30分と60分の塗料を比較すると、色の変化が緩やかであることから明らかです。

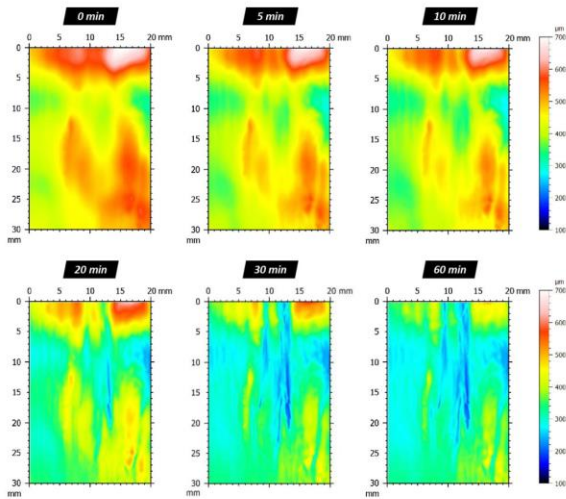


図2) 乾燥塗膜表面形態の時間経過に伴う変化

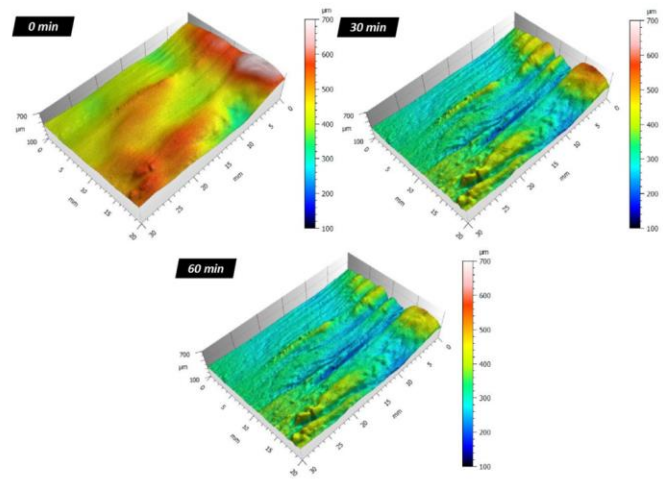


図3) 異なる乾燥時間における塗装表面の変化の3D表示

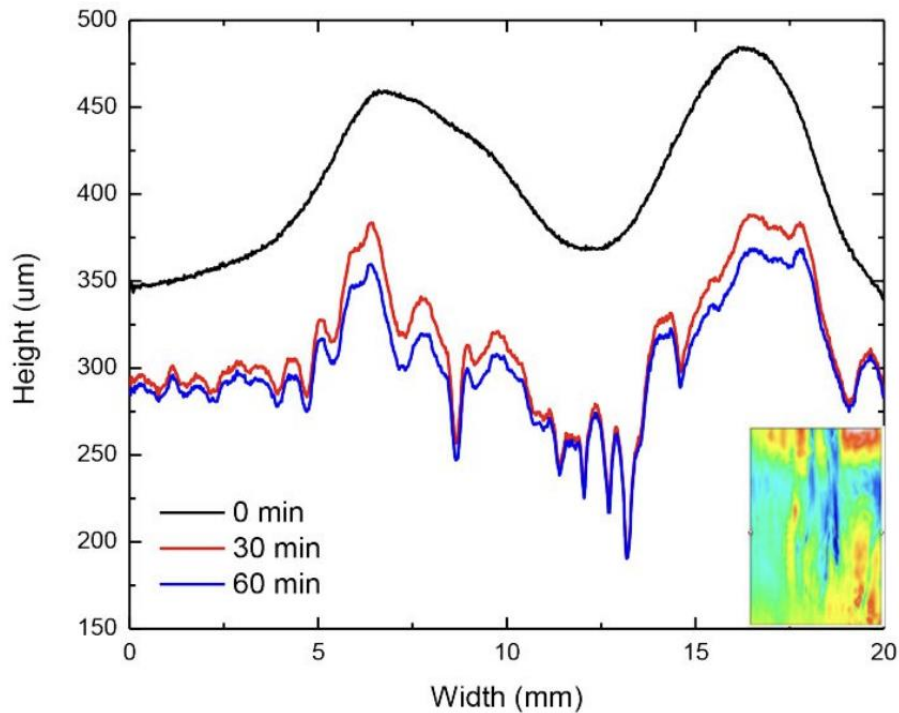


図4) 異なる乾燥時間後の塗料サンプルの2D断面プロファイル

塗料の乾燥時間に対する平均サンプル高さおよび粗さSa値を図5にプロットしました。乾燥時間0分、30分、60分後の塗料の完全な粗さ解析は表1に示します。塗料表面の平均高さは、乾燥時間開始後30分間で471 μm から329 μm へと急速に減少することが確認できます。表面のテクスチャーは溶剤が蒸発するのと同時に形成され、粗さSa値が7.19 μm から22.6 μm へと増加する。その後塗料の乾燥速度は低下し、60分時点ではサンプル高さが317 μm 、Sa値が19.6 μm へと徐々に減少しました。

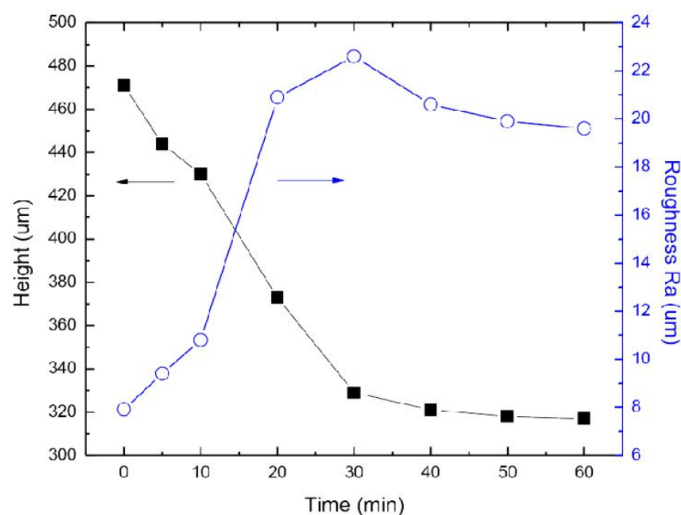


図5) 塗料乾燥時間に対する平均サンプル高さおよび粗さ値Saの変化

ISO 25178 - Surface Texture Parameters

Drying time (min)	0	5	10	20	30	40	50	60
Sq (μm)	7.91	9.4	10.8	20.9	22.6	20.6	19.9	19.6
Sku	26.3	19.8	14.6	11.9	10.5	9.87	9.83	9.82
Sp (μm)	97.4	105	108	116	125	118	114	112
Sv (μm)	127	70.2	116	164	168	138	130	128
Sz (μm)	224	175	224	280	294	256	244	241
Sa (μm)	4.4	5.44	6.42	12.2	13.3	12.2	11.9	11.8

Sq - Root-mean-square height | Sku - Kurtosis | Sp - Maximum peak height | Sv - Maximum pit height | Sz - Maximum height | Sa - Arithmetic mean height

表1) 異なる乾燥時間における塗膜の粗さ

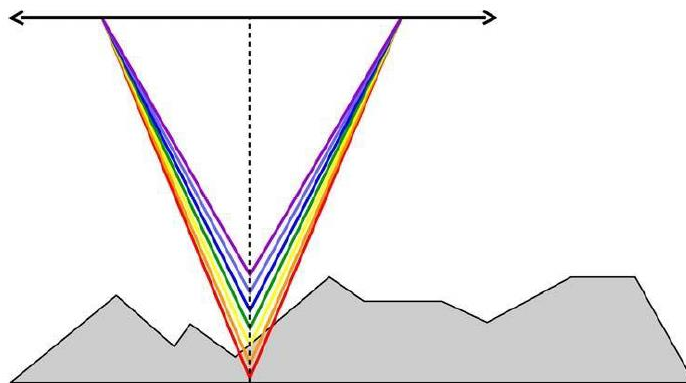
本研究は、ナノピア3D非接触プロファイル測定機が乾燥塗料の3D表面変化をリアルタイムで監視する能力を明らかにし、塗料乾燥プロセスに関する貴重な知見を提供しようとしています。試料に接触せずに表面形態を測定することで、本プロファイル計は、スライド式スタイラスなどの接触技術で生じる未乾燥塗料への形状変化を回避することができます。この非接触アプローチにより、乾燥塗料表面形態の正確かつ信頼性の高い分析が保証されるのです。

おわりに

本アプリケーションでは、ナノビアST500 3D非接触プロファイル計を用いて、乾燥プロセス中の塗膜表面形態の変化をモニタリングする能力を実証しました。192個の光スポットで構成されるラインを発生させ、試料表面を同時に走査する高速光学ラインセンサーにより、比類のない精度を確保しつつ研究時間を効率化しました。柔軟なソフトウェアのマクロ機能により、3D表面形態の自動測定を現場でプログラミング可能であり、特定の目標時間間隔で複数回のスキャンを伴う長期測定に有用です。これにより、時間と労力、およびユーザーエラーの可能性を大幅に削減します。塗料の乾燥に伴い表面形態の漸進的な変化がリアルタイムで継続的に監視・記録され、塗料乾燥メカニズムに関する貴重な知見を提供します。ここに示したデータは、解析ソフトウェアで可能な計算の一部に過ぎません。ナノビアプロファイル計は、透明、暗色、反射性、不透明を問わず、事実上あらゆる表面の測定が可能です。是非、研究開発、品質保証にお役立て下さい。

リアル3Dプロファイル測定原理

軸上色収差法では白色光源を使用し、光は高度の色収差を持つ対物レンズを通過します。対物レンズの屈折率は光の波長に応じて変化します。つまり、入射白色光の各波長は、レンズから異なる距離（異なる高さ）で再焦点を結びます。測定対象サンプルが測定可能な高さの範囲内にある場合、単一の単色点に焦点が結ばれ、画像が形成されます。システムの共焦点構成により、焦点が合った波長のみが高効率で空間フィルタを通過するため、他の波長はすべて焦点が合わなくなります。スペクトル分析は回折格子を使用して行われます。この技術は各波長を異なる位置で偏向させ、CCDのラインを遮断します。このラインは最大強度の位置を示し、Z高さ位置への直接計測を可能にします。



■クロマティック共焦点白色光による測定

プローブ接触や走査的な干渉法によって生じる誤差とは異なり、白色光軸上色収差技術では、焦点が合ったサンプルの表面に当たる波長を検出して高さを直接測定します。これは、数学的なソフトウェア操作を必要としない直接測定です。データポイントはソフトウェアによる解釈なしに正確に測定されるか、まったく測定されないかのいずれかであるため、測定された表面に関して比類のない精度が得られます。ソフトウェアは未測定ポイントを完了しますが、ユーザーはそれを完全に認識しており、ソフトウェアによる推測によって作成された隠れた波乱要因がないことを確信できます。Nanovea光学センサーは、サンプルの反射率や吸収率の影響を受けません。測定装置にはサンプルの準備が必要なく、高い表面角度を測定できる高度な機能があります。広いZ軸測定範囲に対応しています。透明または不透明、鏡面または拡散性、研磨済みまたは粗い材質など、あらゆる材料を測定できます。



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926