

でん粉配合バイオマスプラスチックの白化抑止特性と、摩擦摩耗試験機、分光測色計・二次元色彩輝度計、デジタルマイクロスコープによる定量評価

日本食品化工(株) 研究所 研究二課 高口 均 氏

新東科学(株) 営業部 北田 暢也 氏

コニカミノルタジャパン(株) センシング事業部 顧客サポート部 若園 敏美 氏

(株)ハイロックス 営業部 上代 永 氏 に聞く

1. はじめに

自動車では近年、燃費向上・電費向上 = CO₂ 排出量低減を目的に、軽量化のための部品の樹脂化が進められている。中でも、ポリオレフィン系樹脂のポリプロピレン (PP) は融点が 165℃ と高く、比重も 0.9 と小さいため車体軽量化の効果が高いことなどから広範に使われ、自動車用樹脂の約 6 割を占め、乗用車 1 台に平均 50kg 使われていると推定される。

自動車用 PP でも特に、無機フィラーのタルクを用いたタルク強化 PP は剛性向上などを目的に採用が増えてきているが、その一方でコンパクトクラスでは塗装レスの部品が増加し、タルク強化 PP を用いたダッシュボードやインパネなど自動車内装材において、使用時の引っかき・擦れに伴う傷が目立ちやすい「白化現象」が問題となるケースが報告されている。

こうした中、日本食品化工では、でん粉の粒子を壊さずに PP とコンパウンドする技術を確認し、でん粉 70% 含有バイオマスプラスチック「スタークロス 70PPi」を上市した。プラスチック使用量の削減に貢献するだけでなく、自社の鉛筆硬度試験、引っかき試験の結果などから、タルク強化 PP よりも耐傷付

きが高く、白化しにくいことが確認されている。

今回、コニカミノルタジャパンの呼び掛けにより、塗装不要の高発色・高耐久樹脂の耐傷付き性評価・高発色性評価でかつてタッグを組んだ新東科学、さらにハイロックスが加わって、日本食品化工のスタークロス 70PPi が自動車用内装材などの適用で従来のタルク強化 PP に比べ白化現象が起こりにくいことをより定量的な試験・測定手法で評価し、本誌がレポートするプロジェクトが組まれた。

具体的には、PP 単独、タルク強化 PP、スタークロス 70PPi の 3 種サンプルに対し、新東科学の摩擦摩耗試験機で摩耗試験・鉛筆硬度試験を実施し、コニカミノルタの分光測色計および二次元色彩輝度計を用いて摩耗試験によって傷が付いた箇所の見え方を数値化し、比較評価した。また、新東科学の摩擦摩耗試験機でスクラッチ試験を実施しスクラッチ痕の状態などをハイロックスのデジタルマイクロスコープで比較評価した。これら試験・測定評価によって、白化しにくいというスタークロス 70PPi の特性が確認されたので、報告したい。

2. 日本食品化工のバイオマスプラスチック

我が国では「プラスチック資源循環戦

略」(2019 年 5 月)を策定、加えて 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラル社会の実現に向け取り組む目標を掲げている。その中の施策として、バイオプラスチックの利用が注目されている。政府はまた 2021 年 1 月、プラスチック資源循環戦略の実現に向け“3R + Renewable”の基本原則に基づき、より持続可能性が高いバイオプラスチックへの転換を目指し、「バイオプラスチック導入ロードマップ」を策定、2030 年までにバイオマスプラスチック 200 万 t を導入する目標を設定した。しかしバイオマスプラスチックは成形性が良くない、成形時の臭気になり、一般の樹脂に比べ物性が劣るなど、工業製品としての普及を阻害する要因が少なくなかった。

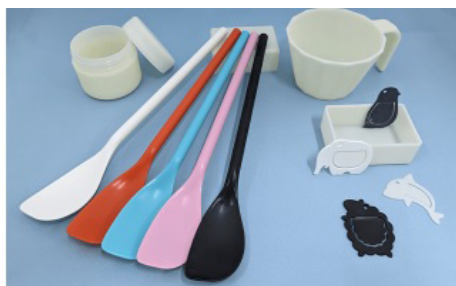
これに対し、でん粉加工で豊富な知見と技術を持つ日本食品化工では、でん粉の丸い粒子を壊さずにフィラー状に PP に分散させたポリオレフィン系材料「スタークロス 70PPi」の開発に成功し、バイオマスプラスチックの上記の課題を解決、以下の特長を有する。

- ・でん粉を 70% 含有する PP とのマスターバッチで、バイオマス度 70% (日本有機資源協会よりバイオマスマークを取得) のため石油由来樹脂の使用量を削減できる

- ・でん粉配合率を 51% 以上にすることでプラスチック識別表示が不要（本製品を PP に 73% 以上配合することでマスターバッチが希釈され、でん粉配合率は 51% 以上になる）
- ・バイオマス系材料ながら射出成形・押出成形での優れた流動性・成形性を有し、成形時の臭気も抑制できる
- ・成形物は石化 PP に比べ成形収縮率が小さく、熱たわみ温度の向上や帯電性の低下などの効果が期待できる
- ・成形品は、表面処理なしで高級感のある滑らかな肌触りが得られる(図 1 参照)
- ・燃焼時の CO₂ 排出量を最大 73% 削減
- ・タルク強化 PP よりも耐傷付き性が向上し、引っかき後の白化も目立ちにくいことが自社試験で確認



図 1 製品外観(左)と成形例(右)



3. 白化抑止性能の定量評価に供した試験機・測定機

3.1 新東科学の摩擦摩耗試験機

摩擦摩耗試験機の中でもパウデン型試験機は、モーター駆動の往復動の移動テーブルと歪みゲージを利用した摩擦力測定部が使用され、静摩擦、動摩擦が測定できる。

今回使用する新東科学のパウデン型摩擦摩耗試験機「HEiDON トライボギア TYPE : 38」(図 2) は、引っかき針やボール圧子などの点接触治具だけでなく、平面接触可能な平面圧子や線接触可能なブレードホルダなど、多彩な測定治具が使用可能となっている。

また、荷重変動型摩擦摩耗試験システム「トライボギア TYPE : HHS2000S」

(図 3) は、荷重変動器による摩擦力測定に加え、変位計による摩擦量、摩耗痕、スクラッチ深さの測定（スクラッチ試験）が可能で、それらのリアルタイムデータを収集することで多角的に物性を解析できる

3.2 コニカミノルタの分光測色計

分光測色計は、試料に照射した光の反射率または透過率を分光して正確に検出し、定量化する。試料にはそれぞれの反射率（反射する光の量）と透過率（透過する光の量）があり、分光測色計は試料の反射光または透過光を測定し、分光データをとらえ、反射または透過する光の量を表示させる。

今回使用するコニカミノルタの分光測色計「CM-26dG」(図 4) は色と光沢の測定を 1 台で行えるため測色計と光沢計をそれぞれ用意して交代で測定する必要がなく、大量のサンプル測定でも作業の効率化を実現できる。加えて、低ノイズ化した電気回路により、特に黒色試料では、SCI 方式および SCE 方式（図 4 右参照）ともに繰り返し性が優れている。

また、分光測色計 CM-M6 (図 5) は、

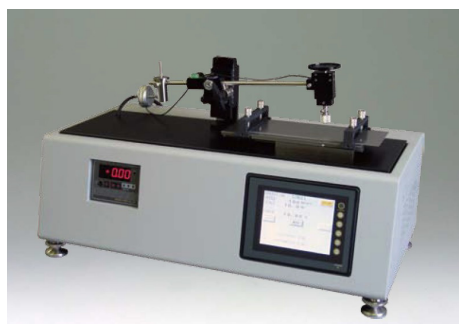


図 2 摩擦摩耗試験機「HEiDON トライボギア TYPE : 38」

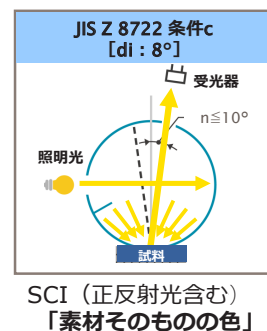


図 4 分光測色計「CM-26dG」



図 3 荷重変動型摩擦摩耗試験システム「HEiDON トライボギア TYPE : HHS2000S」

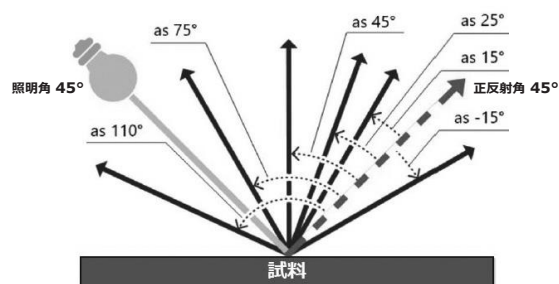


図 5 分光測色計「CM-M6」

従来の3角度から6角度に光学系を進化させ、さらに、測定器の中心軸に対し対称に配列された二つの照明・受光系「ダブルパス光学系」の採用により、測定時に測色計が傾いた場合でも高い安定性を実現する。

3.3 コニカミノルタの二次元色彩輝度計

コニカミノルタの二次元色彩輝度計「CA-2500」(図6)は、 0.05cd/m^2 の低輝度測定が実現し、対物レンズを変更することで測定箇所を拡大して測定できる。そして、一般的なカメラと異なりCIE 1931等色関数に近似した分光応答度を持つXYZフィルターの採用で、より人の目の感度と高い相関性のある輝度・色度の測定が行える。

3.4 ハイロックスのデジタルマイクロスコープ

ハイロックスのデジタルマイクロスコープ「HRX-02」(図7)は、被写界深

度が深いレンズ、立体視を可能にするさまざまな光学アダプタといった光学的アプローチと画像深度合成によるデジタルアプローチで立体視にこだわり、まるで手の上に対象物を載せて360°方向から見まわすかのような立体動画観察ができる「ロータリヘッド」や、照明の照射角度を操り対象物のフラットな表面に陰影をつけて立体的に観察する「DIC (Dynamic Illumination Contrast) -Effect 機能」「Light-Select 機能」などに特徴がある。これらの光学的な立体視は対象物の形状の把握、傷や異物の発見に効果を発揮し、ユーザーにストレスのない観察を提供する。

4. 耐摩耗・白化抑止性能の試験・測定結果

4.1 摩耗試験

4.1.1 摩擦摩耗試験機による摩耗試験結果

新東科学の摩擦摩耗試験機 HEIDON

トライボギア TYPE: 38 を用いて、試験荷重: 500g、移動速度: 100mm/sec、移動距離: 10mm、測定子: ガーゼ、接触面積: 20mm × 20mm の実施条件で、PP 単独、タルク 30% 配合 PP (以下、タルク入り PP)、でん粉 30% 配合 PP (スタークロス 70PPi、以下、でん粉入り PP) の3種サンプルの摩耗試験(図8)を実施した。

1000 回往復動摩耗試験後および 3000 回往復動摩耗試験後のサンプルを見ると、でん粉入り PP が最も傷が見えにくい(耐傷付き性が高い)ことが分かる(図9)。

動摩擦係数が大きいほど摩耗が大きくなる傾向があるが、1000 回往復動摩耗試験の摩擦係数グラフを見ると、動摩擦係数はいずれもでん粉入り PP が最も小さく、耐傷付き性(耐摩耗性)の高さが定量的に示されている(図10)。

4.1.2 摩耗試験後サンプルの分光測色計による測定結果

コニカミノルタの分光測色計 CM-26dG を用いて、上記摩耗試験後の3サンプルを測定した。評価指標は、色を表現する三つの要素「明るさ(明度)」(L^*)、「色合い(色相)」と「鮮やかさ(彩度)」(a^*b^* の二つの数値が揃って色相と彩度を表現)で表現する表色系 $L^*a^*b^*$ 色空間、正反射角 60° での光沢の変化量、全反射光量に対する正反射光量の割合の変化、全反射光量に対する拡散反射光量の割合の変化とした。

摩耗試験の回数の増加とともに、光沢の変化量は増える傾向に、拡散反射光量の割合は減少する傾向にあったが、でん粉入り PP ではいずれも変化量が緩やかで、特に光沢の変化量はタルク入

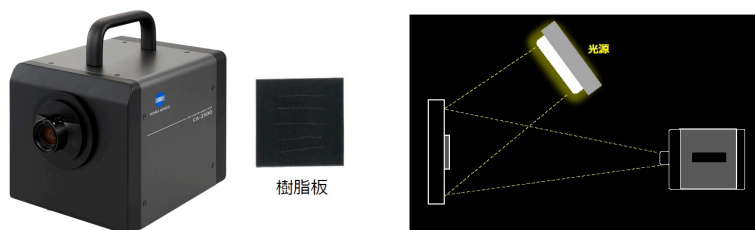


図6 二次元色彩輝度計「CA-2500」



図7 デジタルマイクロスコープ「HRX-02」

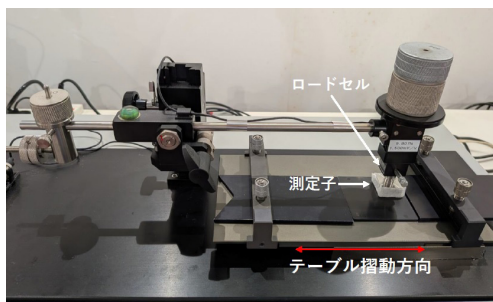


図8 摩耗試験のサンプルセッティング状態

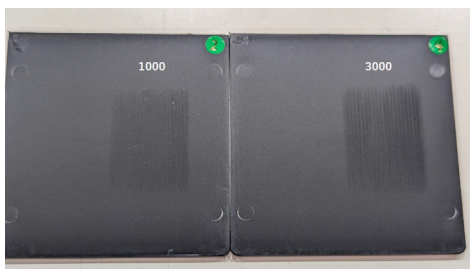


図9 傷の見えにくさの比較(左: PP、中央: タルク入り PP、右: でん粉入り PP)

り PP に比べて半分以下だった (図 11)。

また、CM-M6 を用いて、照明角 45°、6 方向受光 (-15°、15°、25°、45°、75°、110°) での反射光量測定を実施した。評価指標は受光 6 角度での摩擦試験箇所と試験未実施箇所との $L^*a^*b^*$ の変化量とした。図 12 が示すとおり、明度 (L^*) の変化量を見ると、でん粉入り PP では 1000 回の摩擦試験後の箇所が未実施箇所と比較して、どの角度から見ても変化がほとんどない結果となった。

4.2 鉛筆硬度試験

4.2.1 摩擦摩耗試験機による鉛筆硬度試験結果

新東科学の摩擦摩耗試験機 HEiDON トライボギア TYPE : 38 を用いて、試

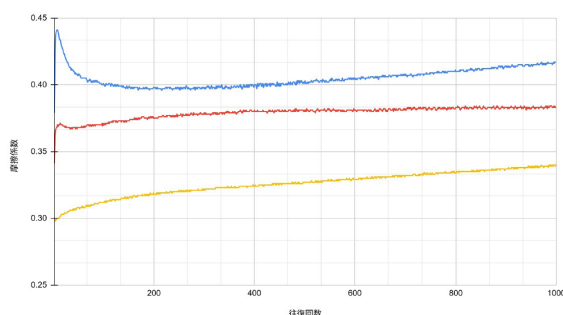


図 10 1000 回往復動摩擦試験の摩擦係数グラフ
上が PP、中央がタルク入り PP、下がでん粉入り PP

験荷重 : 750g、移動距離 : 30mm、移動速度 : 1mm/sec の実施条件で、3 種サンプルに対し B、F、2H、4H、6H の鉛筆硬度試験 (H の数字が大きいほど芯が硬く、B の数字が大きいほど芯が柔らかい) を実施した。

鉛筆硬度試験後のサンプルからは、でん粉入り PP は最も硬い 6H でも比較して傷が見えにくく、耐傷付き性が高いことがうかがえたが、写真では判別が難しいと思われるため、その検証は 4.2.2 項の測定結果に譲る。

4.2.2 鉛筆硬度試験後の二次元色彩輝度計による測定結果

鉛筆硬度試験後の 3 種サンプルの表面の輝度について精度よく比較できるように、照明 (ムラのない拡散面光源) と二次元色彩輝度計 CA-2500 を同じ光学系に配置して比較測定を実施、鉛筆硬度試験後の 3 サンプルの傷を輝度の変化量で評価した。

図 13 左から B、F、2H、4H、6H の 5 カ所の傷が付いた箇所での輝度の変化

が認められるが、PP 単独、タルク入り PP では 5 カ所で輝度の変化量が多いのに対し、でん粉入り PP は 6H の傷の箇所以外は輝度の変化がほぼ認められず、白化しにくい材料であることが示された。

4.3 スクラッチ試験

4.3.1 摩擦摩耗試験機によるスクラッチ試験結果

新東科学の荷重変動型摩擦摩耗試験機 HEiDON トライボギア TYPE : HHS 2000S を用いて、移動速度 : 1mm/sec、移動距離 : 50mm、使用治具 : サファイア針 0.05mmR、荷重範囲 : 0 ~ 100g の実施条件で、3 種のサンプルのスクラッチ試験 (図 14) を実施、評価した。

スクラッチ痕と荷重の検知では PP 単体が荷重 10g 程度から、タルク入り PP、でん粉入り PP がともに荷重 12g 程度からスクラッチ痕が認められた。一方、タルク入り PP で摩擦抵抗が大きく波形の激しい乱れが記録され、表面の破壊とそれに伴う削りカスの発生が早い段階から確認されたのに対し、でん粉入り PP では摩擦抵抗が小さく、記録された波形の乱れは比較して小さかった。

CM-26dG

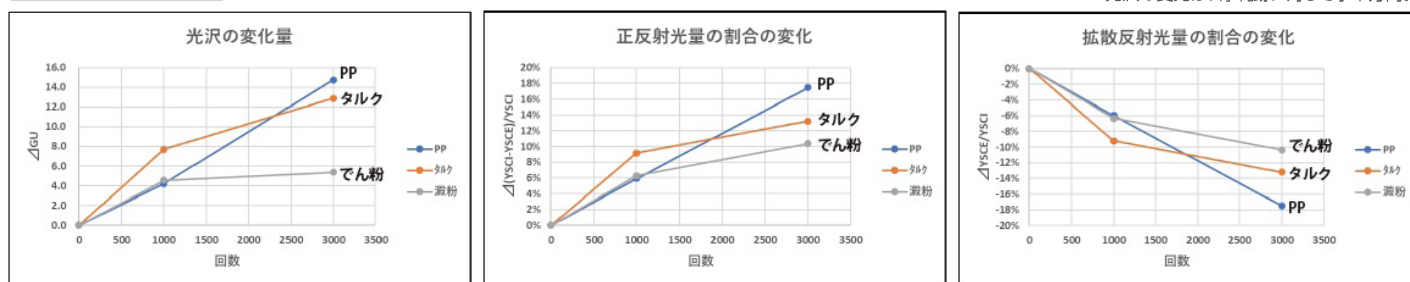


図 11 光沢の変化量、全反射光量に対する正反射光量の割合の変化、全反射光量に対する拡散反射光量

CM-M6

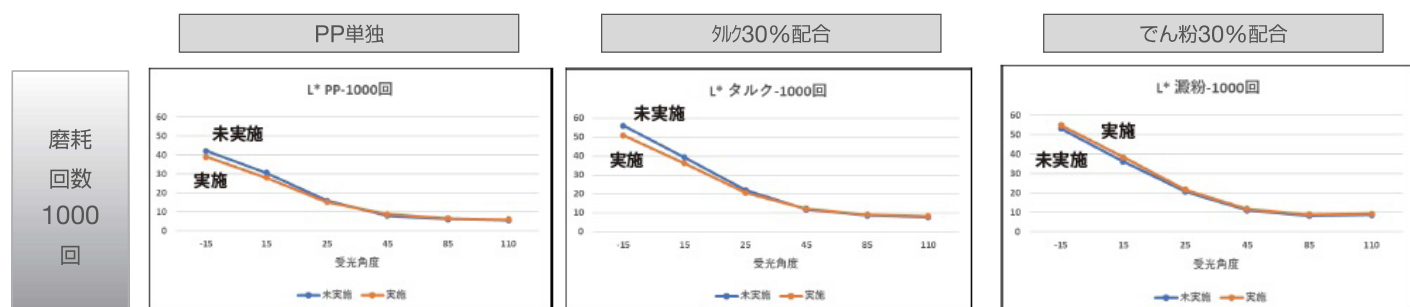


図 12 摩擦試験後の明度 (L^*) の変化量

4.3.2 スクラッチ試験後のデジタルマイクロスコープによる測定結果

ハイロックスのデジタルマイクロスコープ HRX-02 を用いて、サンプル 3 種の表面状態と上記スクラッチ試験後のスクラッチ痕の 3D 計測と 500 倍撮影の連結画像を取得した。

サンプル 3 種の表面状態の観察からは、タルク入り PP はタルク粒子粒径が $15\mu\text{m}$ 程度ながら粗い表面なのに対し、でん粉入り PP はでん粉粒子の粒径が $20\mu\text{m}$ ながら滑らかな表面であることが確認され、別途取得したコニカミノルタの二次元色彩輝度計 CA-2500 による標準偏差からの表面状態の情報と一致した。

スクラッチ痕終点までの連結画像からは、タルク入り PP が最も激しく白化していることが確認でき（図 15）、3D 計測像からはタルク入り PP の深いスク

ラッチ痕が確認できる（図 16）。タルク入り PP におけるスクラッチ痕の白化の原因はスクラッチ試験後にスクラッチ痕内部に形成された繊維状の削りカスでの粉体反射により強い拡散反射が起こった結果と考えられる。

5. おわりに

PP 単独、タルク 30% 配合 PP、でん粉 30% 配合 PP（スタークロス 70PPi）の 3 種のサンプルに対し、新東科学製の摩擦摩耗試験機、コニカミノルタ製の分光測色計および二次元色彩輝度計、さらにはハイロックス製のデジタルマイクロスコープで試験・測定評価を実施し、白化しにくいというスタークロス 70PPi の特性が確認できた。

日本政府策定の「バイオプラスチック導入ロードマップ」に加えて、使用済み自動車（ELV）の廃棄やりサイクルに関する EU 指令「ELV 指令」の

2025 年 2 月公表の修正案（第二版）において再生プラスチックの定義に「バイオマスプラスチック」が追加されるなど、バイオマスプラスチックの使用をめぐる動きが活発化する中で、タルク入り PP に比べ白化しにくいというスタークロス 70PPi は、タルク入り PP が適用される自動車内装材として、環境面および性能面でより優位性があると見られる。

一方、現在進められている製造業の DX 化では要件定義から設計、解析、実験、生産という一連の工程でのデータ連携が重要になるが、こうした中においては、目視などによる官能評価ではなく、数値による定量評価のデータの蓄積が不可欠となる。

自動車における樹脂化が進む中、本稿で紹介した新東科学の摩擦摩耗試験機とコニカミノルタの分光測色計・二次元色彩輝度計、ハイロックスのデジタルマイクロスコープの組み合わせによる定量評価手法に基づく数値データの提供も、新材料の適用拡大に向けた諸特性を訴求する上で極めて有用であると思われる。

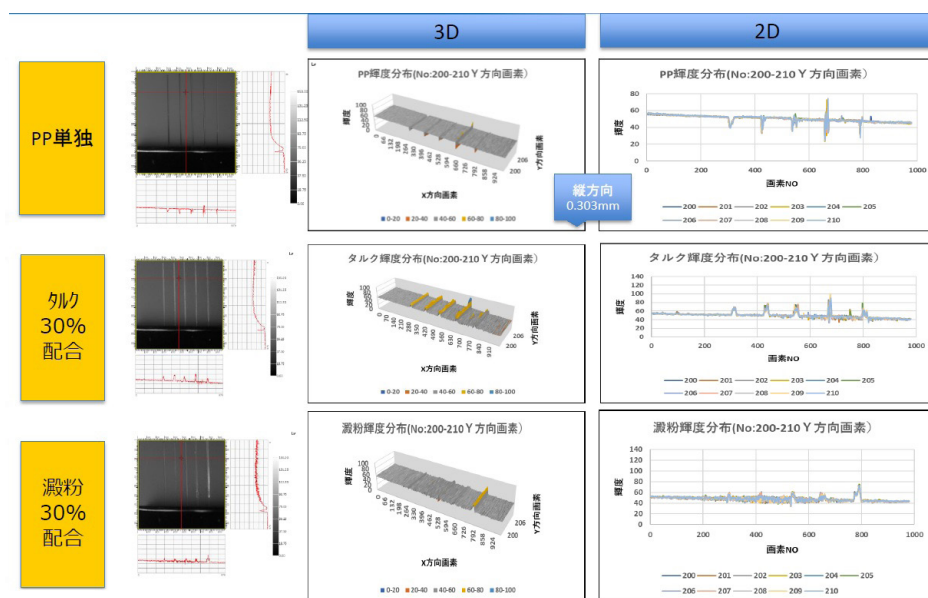


図 13 面分析での輝度の変化

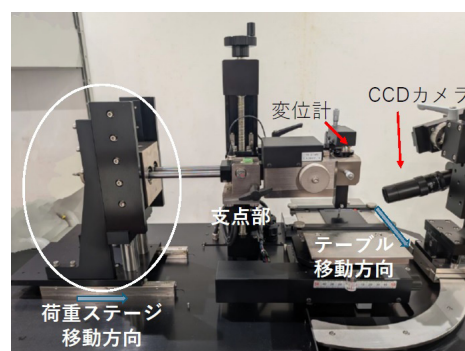


図 14 スクラッチ試験のサンプルセッティング状態

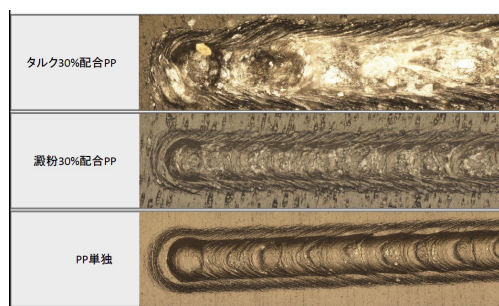


図 15 スクラッチ試験痕の連結画像（× 500）

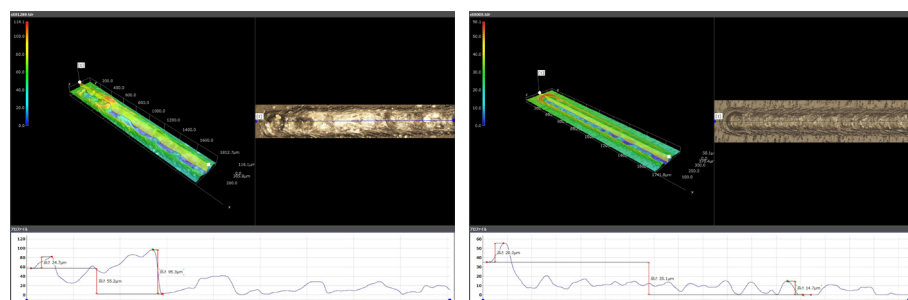


図 16 3D 計測像によるスクラッチ痕の深さ比較：タルク入り PP（左）とでん粉入り PP（右）