

特集 プラスチックの測定・検査・分析

鏡面塗装品の欠陥検出技術

〈「変曲線マッチング法」による新しい欠陥検出技術の開発〉

バイスリープロジェクト株式会社 菅野 直

1. はじめに

本稿は、画像処理を用いて塗装された製品の欠陥検出を行う際の手法として、新規に開発を行った変曲線マッチング法について記載を行うものである。

変曲線マッチング法は、バイスリープロジェクト株式会社と引地精工株式会社、宮城県産業技術総合センター（以下、当社グループ）が経済産業省の公募事業である平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業で、「外観検査用産業用ロボットを高度化する画像処理組み込みソフトウェアの開発と事業化」というテーマで採択を受けて開発を行い、平成25年1月に特許化した技術である（特許第5182833号 表面検査装置および表面検査方法）。

2. 背景

2-1 目視検査の現状

自動車などの塗装された製品の多くは、目視検査によって欠陥の検査を行っているが、目視検査では、以下の問題点が指摘されている。

- 判定能力における個人の能力差
- 判断基準が疲労や習熟などにより変化する
- 検査員の健康状態の変化により判断基準が変化する
- 再現性の欠如
- 単純作業による検査員の疲労
- 厳しい作業環境による検査員の健康被害

このため、画像処理による塗装欠陥検査について、多方面で検討・開発が行われてきた。一方、目視検査では、検査員はいろいろな角度から検査を行い自動外観検査装置では検出することができない欠陥を検出できる場合がある。また、ユーザーの判定に近い検査を実施できるなど、まだまだ優位な点も多々ある。

当社グループでは、目視検査が苦手な部分を補充し最終的には、無人で自動外観検査を行うことができる設備の開発を目指している。

2-2 マシンビジョン研究会

当地仙台では、画像処理研究の第一人者である東北大学・青木孝文教授を会長とし、東北経済産業局の協力のもと、マシンビジョン研究会を立ち上げ画像処理技術の集積化を行い、「画像処理なら東北」を合言葉に画像処理技術の研鑽に励んでいる。

当社は、十数年にわたり外観検査システムや画像計測システムの受託開発を行っている。また、引地精工は、6軸ロボットを使用した画像検査ロボットを2009年に開催された国際ロボット展に出展し注目を集めている企業である。マシンビジョン研究会のメンバーである両社が、互いの強みを活かして上記課題にチャレンジすることで、外観検査用産業用ロボットの画像処理組み込みソフトウェアの高度化に取り組むこととした。

3. 本手法の概要・特徴・原理

3-1 塗装面の光学特性

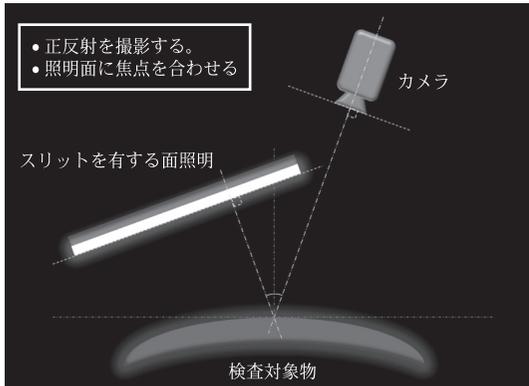
自動車などの塗装は、ソリッド塗装とメタリック塗装に大別され、塗装面の光学特性は、大きく分けて以下の4点より構成される。

- ① 塗装表面に入射した光が正反射する鏡面反射
- ② 層内の顔料による拡散と吸収による層内拡散反射
- ③ 層内の光輝材による方向性を持った反射
- ④ 表面の粗さに基づく表皮拡散反射

このうち、①塗装表面に入射した光が正反射する鏡面反射は、他の反射成分に比べて 10^3 程度の反射を持つ。

3-2 変曲線マッチング法の特徴

当社グループが開発を行った変曲線マッチング法は、上記のような塗装面の光学特性に着目し塗装面を鏡面とみなし、照射する照明装置のスリットを設けた発光面に焦点を当てて画像を取得するところに特徴を持つ（第1図）。



第1図 変曲線マッチング法撮影方法

変曲線マッチング法の基本原理は、照明装置のスリットを設けた発光面が塗装表面の凹凸欠陥やブツ、ハジキなどの欠陥により歪むことを利用して局所的な歪みを見つけ出すことにある。局所的な歪みを見つけ出すために、撮影した画像を設定された画素数のブロックに分割しブロック内に写りこんだスリットの周波数・傾きなどを解析しフィルタ処理を行う。変曲線マッチング法で検出した塗装欠陥検出の例を写真1に示す。

3-3 変曲線マッチング法の処理速度

ブロック毎のフィルタ演算を高速に行うために、GPUを用いた高速処理を行っている。今回の試作

の事例では、140万画素のカメラを使用した。

Xeon(R) E5-2609プロセッサ (2.40 GHz 4コア、10MB、1,066 MHz) メモリ8GBを使用した場合、1画像当りの処理時間は約2.3秒であったがGPU (NVIDIA TeslaC2075) を使用し処理を最適化することで処理時間を0.25秒に短縮できた。最終目標として、ビデオレート (1画像あたりの処理時間0.033秒) への対応を目標に開発を進めている。

3-4 変曲線マッチング法でできること

第1表に、変曲線マッチング法でできること、できないことを一覧にした。

(1) 優位点

変曲線マッチング法は、ワーク表面に写り込んだスリットを利用して欠陥を検出するという特徴があるため、光の陰影が付きにくく目視検査では見落としがちな緩やかな凹凸欠陥の検出に優位性がある。メッキ処理を施したプラスチック部品のヒケやウェルドなどの欠陥の検出にも使用することができる。

(2) 課題

変曲線マッチング法は、ワーク表面に写り込んだスリットを解析するため写り込んだスリットの形状や空間周波数が重要である。塗装面は、欠陥とは判別できない表面の“ゆず肌状のゆらぎ”が発生する場合があります。変曲線マッチング法による欠陥検出の妨げとなっている。ゆず肌状のゆらぎによる誤検出の例を写真2、3に示す。

4. 市場の反応

「戦略的基盤技術高度化支援事業」は、平成24年12月で終了したため事業化に向けて自動車塗装以外のニーズ把握と市場動向調査を行うために、平成25年1月16日～18日に開催されたインターネブコンジャパン中小機構ゾーンに出展した。

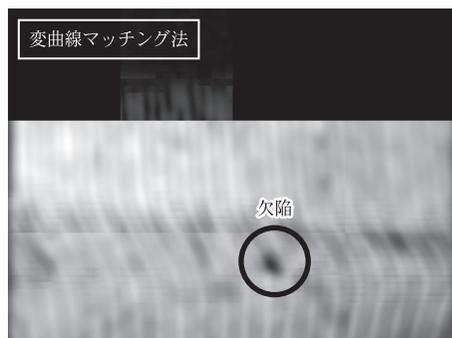
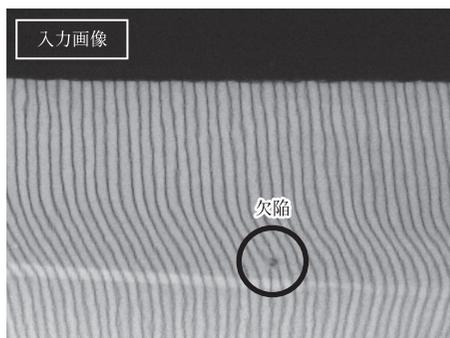


写真1 変曲線マッチング法サンプル

第1表 変曲線マッチング法のできること、できないこと

①検査対象物

対象物	表面状態				
	ゆず※ ¹	微細痕や汚れ※ ²	鏡面	艶有り	艶なし
塗装 (メタリック含)			○	○	
メッキ	—		○	—	—
金属加工	—		○	—	—

凡例	説明
○	対応可能
△	撮影等の条件次第で対応可能
	対応不可

②欠陥、及び検査対象物の形状

表面状態	欠陥				検査対象物の形状				
	線キズ	汚れゴミ	ゆるやかな凹凸	鋭利な凹凸(ブツ含)	平面	ゆるやかな曲面	きつい曲面	カド	複雑な曲面
ゆず※ ¹									
微細痕や汚れ※ ²		—							
鏡面	△	○	○	○	○	○	△		△
艶有り	△	○	○	○	○	○	△		△
艶なし									

※1のサンプル画像



※1：欠陥とまでは見なされない程度のゆず肌（塗装表面の粗さ（ラウンド））のうち、比較的きついもの。
 ※2：表面を研磨した時につく研磨痕のきついもの（光を回折させ虹色に見える縞キズなど）や、表面光沢を失わせる汚れが、検査面全面に付いているもの。

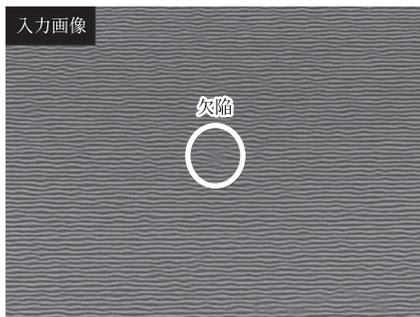


写真2 ゆず肌入力画像

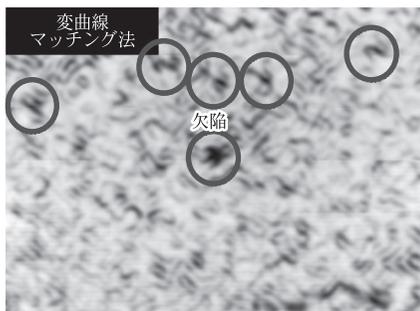


写真3 ゆず肌出力画像

その結果、製品の塗装検査を目視検査で行っている製造業の方々より良好な反応を得ることができた(写真4)。



写真4 インターネフコン展示風景

その中で、プラスチック材料にクリア塗装を行っている製品の外観検査について相談頂きテストを行った。テストを行ったワークの塗装面はゆず肌の影響がなく、変曲線マッチング法に適したワークであることが判明した。ゆず肌状のゆらぎの影響による

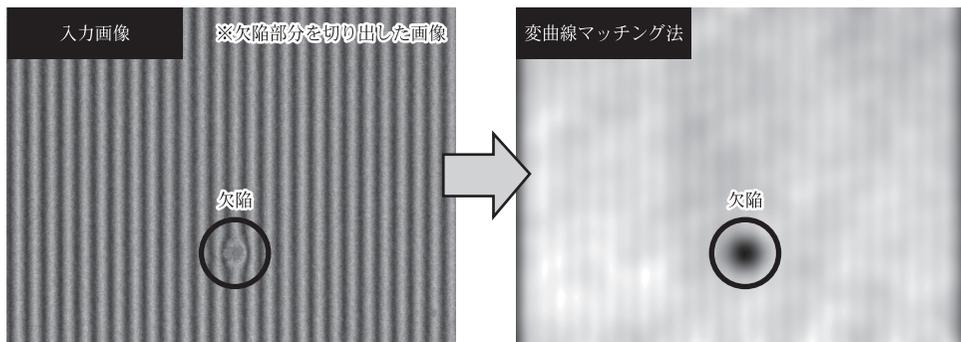


写真5 クリア塗装ワーク

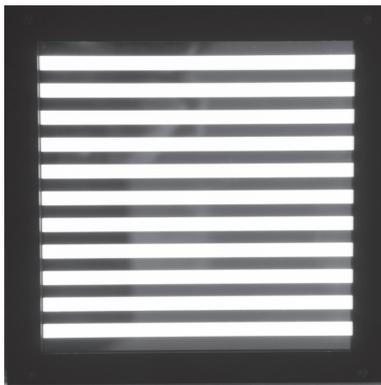


写真6 有機EL照明（4 mm幅のスリット）

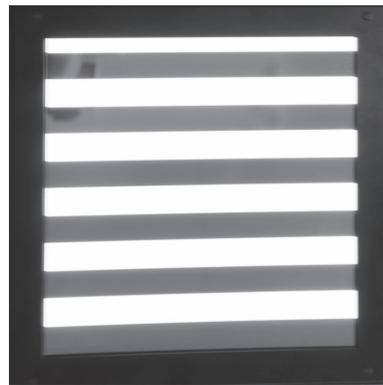


写真7 有機EL照明（8 mm幅のスリット）

誤検出の例と比較して、スリットがきれいに映り込んでいる状況が分かる。欠陥の検出についても良好な結果を得ることができる（写真5）。

5. おわりに：今後の展開

当社グループでは、スリットを設けた発光面を持つ照明装置としてスリット幅を可変することができる有機EL照明を開発した（写真6、7）。有機ELは均一な光を面で発光することができる利点があり、変曲線マッチング法の照明として適している。試作した照明は $2,000 \text{ cd/m}^2$ の照度を持ち、約1万時間の寿命がある。

スリット幅を可変できる有機EL照明の量産化については、現在検討中であるが変曲線マッチング法を用いた外観検査装置としてはスリット幅を固定した別方式の照明で製品化を行い、平成25年度中に市場に投入する予定である。変曲線マッチング法を用いた外観検査装置は、滑らかな塗装面の欠陥検出やメッキ品の欠陥検出に優れており、新しい検査手

法として市場のニーズに応えることができると考える。

【謝辞】

本研究開発を進めるに当たり、多くの皆様にご協力を頂きましたことに感謝の意を表します。

【筆者紹介】

菅野 直

バイスリープロジェクト株式会社 代表取締役

〒981-3212 仙台市泉区長命ヶ丘4-15-22

TEL：022-342-7077 FAX：022-342-7079