メタリック調射出成形品における 光輝材混合比の画像解析による識別

須田 高史^{*1}・黒岩 広樹^{*1}・福島 祥夫^{*1}・小宅 勝^{*1}
高岡 登志仁^{*2}・寺内 文雄^{*3}

Identification of Mixing Ratios of Metallic Flakes in Metallic Color Products Injection-Molded by Image Analysis

Suda, Takashi^{*1}/Kuroiwa, Hiroki^{*1}/Fukushima, Yoshio^{*1}/Oyake, Masaru^{*1}/
Takaoka, Toshihito^{*2}/Terauchi, Fumio^{*3}

The exterior components are often painted with metallic color. However, painting increases the cost and environmental impact. So, manufacturing technology that makes metallic-colored plastic parts by injection molding without painting is being developed by many companies. But color unevenness hinders commercialization. In this study, we focused on the dispersion of metallic flakes that cause uneven color in metallic molding and investigated in order to evaluate the dispersion. We made test pieces with different sizes of metallic flakes by injection-molding and evaluated influence of proportion of metallic flakes on the qualities of plastic parts. We took the test pieces using a CCD microscope and compared the results of image analysis. We selected skewness (SKEW), angular second moment (ASM) and entropy (ENT) as values that indicate the features of the image. The following conclusions were obtained. (1) When the ratio of metallic flakes increased, flakes that are present at a position near surface increased. In the gray level histogram, SKEW decreased. The results of the analysis by co-occurrence matrix, ENT increased. (2) When the size of metallic flakes increased, SKEW increased. The results of the analysis by co-occurrence matrix, ASM increased. (3) It was considered that the difference of the ratio and the size of metallic flakes affected the results of image analysis. (4) It was suggested that gray level histogram and co-occurrence matrix were useful for evaluating the dispersion of metallic flakes.

Key words : Metallic, Image analysis, Gray level histogram, Co-occurrence matrix, Injection molding

1. 緒 言

自動車や情報家電等の外観部品においては、高付加価値

化を目的としてメタリック塗装を施す場合が多い。メタリック塗装においては、塗料にアルミニウム粉を混合して金属光沢を付与している¹⁾。金属光沢を付与することによって製品に高級な印象を持たせることが可能であり、様々な分野に使用されているため、塗料・塗装の両面にわたって技術開発が行われている²⁾。

しかしながら、塗装はコストを押し上げる要因となっており、また揮発性有機化合物を発生することから、環境にも悪影響を及ぼしている。塗料そのものを製造するときよりも塗装で使用されるときの方が環境への負荷が大きいと考えられており、国内外において揮発性有機化合物の規制が行われ、その対応が求められている³⁾。

そこで、光輝材を樹脂に混合したものを射出成形することにより、塗装工程を省きつつメタリック調の外観を発現する部品の生産技術の開発が行われている（以下メタリッ

^{*1} 群馬県立群馬産業技術センター
Gunma Industrial Technology Center
前橋市亀里町 884-1 (〒379-2147)
884-1, Kamesato, Maebashi, Gunma, 379-2147, Japan
suda-tak@pref.gunma.lg.jp

^{*2} 株柴田合成
Shibata Gosei Co., Ltd.
甘楽郡甘楽町小幡 270-3 (〒370-2202)
270-3, Obata, Kanra, Kanra, Gunma, 370-2202, Japan

^{*3} 千葉大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Chiba University
千葉市稲毛区弥生町 1-33 (〒263-8522)
1-33, Yayoi, Inage, Chiba, Chiba, 263-8522, Japan
2013.11.22 受理

ク成形⁹⁾と称する)。具体的には、メタリック調の光沢を出すための金属粉である光輝材(アルミフレーク)を樹脂に混合させて成形を行う。

メタリック成形は加飾技術の一つに位置づけられ、様々な技術開発が行われているが、実用化はまだ不十分であり、実用化を阻害している大きな要因として、色ムラの発生がある。代表的な原因として成形品内部における光輝材配向の乱れが挙げられる。光輝材配向の乱れはウェルドライン部での発生が多いことから、ウェルドラインの解消に効果的であるとされている金型温度制御技術^{5)~12)}をメタリック成形へ適用するための技術開発が行われている。また、射出成形機内部で発生した光輝材の凝集解消を目的とした金型内における流路の検討¹³⁾も行われている。

以上のように、メタリック成形の生産技術については様々な研究開発がなされているが、メタリック成形が市場に受け入れられる技術として発展していくためには、生産技術の高度化のみでは不十分であると考えられる。メタリック成形の実用化を阻む最大の要因が色ムラであることを考慮すれば、色ムラを定量的に評価する手法の確立が生産技術の研究開発とともに必要である。色ムラが定量的に評価できれば生産技術の改善効果も定量的に示すことが可能になり、生産技術の発展を促進することができる。また、現在はメタリック成形品の品質として光輝材の粒径や混合比といった材料の仕様が提示されることが多いが、色ムラが製品形状やゲートに大きく左右されることから、材料の仕様のみでは成形品の品質表示としては不十分であると考えられる。材料の仕様のみならず、金型によって形状を付与された後の成形品から得られる特性値によって品質を定めることが重要である。成形品の特性値で品質が定まれば品質管理も定量的に行うことができ、更にはメタリック成形品の仕上がりを設計者やデザイナーが図面等で定量的に指示することも可能になる。

そこで、本研究ではメタリック成形品の品質を定量的に定めるための基礎的な検討を行った。色ムラを定量的に評価するという観点におけるこれまでの研究は、メタリック成形品の評価として、成形品の光沢を計測した事例¹⁴⁾やX線CTを用いた事例¹⁵⁾が挙げられる。また、メタリック塗装の分野では、塗装ムラの定量的な評価として発光素子から塗膜に照射された光を受光して解析するもの¹⁶⁾や測色結果を利用するもの¹⁷⁾といった巨視的な評価方法が検討されている。さらに、メタリック成形以外の成形品におけるフィラーの配向評価に関しては、短繊維強化プラスチック内部における繊維配向の評価としてX線透過像¹⁸⁾や超音波顕微鏡¹⁹⁾を用いた事例も挙げられる。

これまで述べたように、メタリック成形品の色ムラは、光輝材配向の乱れによって発生すると考えられるため、本研究では、CCDマイクロスコープ画像から得られる画像情報を用い、成形品表面近傍における光輝材の局所的な分散状態の観点からメタリック成形品の品質を評価することを目的とする。本方法の特長として、以下の点が挙げられる。(1) 装置が小型であるため、製造現場においても作業者による評価を実施できる。(2) X線等を使用する設備に比べて装置が安価であるため、中小企業等においても導入が容易である。(3) 小型カメラを用いた画像処理の自動化

に本技術を展開できればインライン計測への発展が期待できる。

光輝材の局所的な分散状態を評価するための基礎的な検討として、数種類の粒径の光輝材に対して、混合比を変化させた際の画像解析結果を比較した。メタリック成形品においては、混合した光輝材が成形品の内部よりも表面近傍に集まるほうが加飾効果を高めると思われるが、基礎的な検討として混合比を増やすことで表面近傍の光輝材を増加させることを考えた。また、混合比による光輝材分散状態の変化が画像解析によって識別できれば、その手法を色ムラ評価へ展開することも検討できると考えた。

画像解析の方法として濃度ヒストグラムと同時生起行列を使用した。濃度ヒストグラムとは輝度ヒストグラムとも呼ばれ、これまでに砥石の目詰まり評価²⁰⁾への利用が試みられている。また、同時生起行列とはHaralick²¹⁾らによって提案された画像解析の手法で、これまでにラッピング加工後における鏡面等の評価²²⁾、織物のしわ評価²³⁾やヘアライン加工の仕上げ面評価²⁴⁾への適用が試みられている。以上のようにこれらの手法は様々な外観評価に用いられているが、メタリック成形品を含めた複合材料におけるフィラーの分散状態評価に用いられたことはない。このため、濃度ヒストグラムと同時生起行列の光輝材分散状態評価への適用可能性を検討した。

本研究の手順は次のとおりである。はじめに光輝材の混合比と粒径を変化させた数種類の試験片における外観や断面の画像を撮影した。次に画像解析を用いて外観拡大画像の特性値を算出した。そして算出結果を比較して光輝材の混合比と粒径の変化が外観拡大画像の特性値に及ぼした影響について考察した。

2. 実験方法

2.1 供試材料と成形品

供試材料は、ベース材としてABS(日本エイアンドエル(株)製クララスチック MTH-2)と、光輝材としてマスターバッチ(東洋アルミニウム(株)製)を混合した。ベース材に対するマスターバッチの混合比は、重量比で1.5%と3.0%の2種類とした。またマスターバッチに含まれている光輝材の寸法は表1に示す3種類とした。

成形品の形状はJIS K 7139で規定するダンベル形引張試験片(タイプA 12)に準拠し、片側からの1点ゲートで成形した。本研究においては光輝材の分散状態の把握を主な目的としたことから、ベース材の色は乳白色とし、試験片の色は無彩色のシルバーメタリックとした。

2.2 撮影方法

本研究においては、画像解析用の外観拡大画像と比較のための外観写真および断面拡大画像を撮影した。

画像解析用の外観拡大画像については、試験片平行部の

Table 1 Aluminum flake size

Diameter(μm)	Thickness(μm)
5	0.2
60	7.0
90	7.3

中央付近を CCD マイクロスコープ（本体：(株)キーエンス製 VHX-500，レンズ：(株)キーエンス製 VH-Z 100 R）を使用して撮影した。各比率および各粒径ごとに同一ロットの 3 個の試験片を用意し、1 条件あたり 6 枚の画像を取得した。撮影個所の概略を図 1 の上段に示す。補助照明を用いて光輝材と樹脂部の明暗差が明確になるように調整した。また、得られた画像を 1024×1024 画素にトリミングした。

撮像条件についてであるが、光輝材寸法に応じて解像度を調整することが望ましいと考え、粒径に応じて倍率を変更した画像を用いて解析した。5 μm については粒径が小さいため、倍率を 400 倍とした。撮像領域の大きさが約 0.5×0.5 mm であることから 1 画素あたりの長さは約 0.49 μm である。また、60 μm と 90 μm については倍率を 100 倍とした。撮像領域の大きさが約 2.0×2.0 mm であることから 1 画素あたりの長さは約 1.95 μm である。本研究において想定している色ムラは肉眼で判別できるレベルで、サイズは太さ 0.1 mm 前後の筋状の色むらであることから、必要な分解能は確保できていると判断した。

比較のための外観写真については、デジタルカメラ（カシオ計算機(株)製 EX-ZR 200）を用いてマクロ撮影を行い、上記の試験片の中から代表的な画像を 1 条件あたり 1 枚取得した。また断面拡大画像については、上記の試験片と同一ロットの別の試験片を用意し、樹脂に包埋して研磨した後に CCD マイクロスコープ（本体：(株)キーエンス製 VHX-500，レンズ：(株)キーエンス製 VH-Z 20）を用いて断面観察を行った。試験片中央部より表面側の部位を撮影した。断面については画像解析せず目視による比較のみを目的としたため撮像倍率を 200 倍で統一した。撮影個所の概略を図 1 の下段に示す。

2.3 画像解析方法

本研究では、既に述べたように、画像解析の方法としてこれまでメタリック成形品の評価に適用されたことがない

Fig. 1 Test piece

Fig. 2 Examples of skewness

濃度ヒストグラムと同時生起行列を使用した。具体的には、画像解析ソフトウェア（デジタルビーイングキップ社製 PopImaging）を用いて、画像を解析した。解析方法は、はじめに、カラー画像をグレースケール（256 階調）に変換して濃度ヒストグラムを作成した。また、32 階調に変換したグレースケール画像に対して同時生起行列を求めた。

濃度ヒストグラムとは、元の画像から、各画素の濃度（明るさ）の値を読み取り、各濃度の度数（画素の数）を数えてヒストグラムで表したものである。ヒストグラムの分布形状を見ることによって特徴を把握できるとともに、分布の特徴を示す統計的な指標を算出できる。代表的な指標としては、分布形状に関するものとしてピークの数、大きさや位置、統計的なものとして平均、分散、歪度および尖度が挙げられるが、本研究においては、形状については分布の最大値を示しているピークの値（Peak）を比較し、統計的なものについては分布形状の左右対称性を示すとされる歪度（Skewness, SKEW）を算出して比較した。256 階調で総画素数が 1024×1024 の画像の場合、歪度は次式で与えられる。

$$\text{SKEW} = \frac{\sum_{i=0}^{255} (i-m)^3 \frac{n(i)}{1024^2}}{s^3} \quad (1)$$

ここで、 i ：濃度、 m ：ヒストグラムの平均値、 $n(i)$ ：濃度が i である画素数、 s ：ヒストグラムの標準偏差である。分布形状が左右対称になると歪度がゼロとなり、歪度が正の値になれば右に裾が長い（ピークが左に偏った）分布であるということが出来る。サンプル数が 50 個の分布における歪度の計算例を図 2 に示す。

同時生起行列とは、ある画像において、濃度 i の画素から一定の距離と角度 $\delta = (r, \theta)$ だけ離れた位置にある画素の濃度が j となる確率 $P(i, j)$ を要素とする行列である。本研究では、隣接する画素同士（すなわち $r=1$ ）の關係に着目して、横方向 ($\theta=0^\circ$)、右斜め方向 ($\theta=45^\circ$) 縦方向 ($\theta=90^\circ$) および左斜め方向 ($\theta=135^\circ$) の 4 つの方向について同時生起行列を作成した。4 階調で 4×4 画素の画像における、隣接する横方向の画素同士の關係 $\delta = (1, 0^\circ)$ を同時生起行列にまとめた計算例を図 3 に示す。具体的な計算方法は、①元の画像に対して、②各画素の濃度を求め、③隣接する画素同士の濃度の關係を行列の形式にまとめ、④得られた行列の成分の総和が 1 になるように正規化して同時生起行列を作成する。

同時生起行列の成分を用いて特徴量が算出でき、本研究では角2次モーメント (Angular second moment, ASM) とエントロピー (Entropy, ENT) を特徴量として用いた。画像の諧調数を32に変換した後、以下の式によって算出した (画像の諧調数は32とする)。

$$ASM = \sum_{i=0}^{31} \sum_{j=0}^{31} P(i,j)^2 \quad (2)$$

$$ENT = - \sum_{i=0}^{31} \sum_{j=0}^{31} P(i,j) \ln P(i,j) \quad (3)$$

4つの方向の同時生起行列から角2次モーメントとエントロピーが4個ずつ算出されるため、4個の平均値をある粒径および混合比における角2次モーメントとエントロピーの値とした。4諧調で4×4画素の画像における、同時生起行列および隣接する横方向の角2次モーメントとエントロピーの算出例を表2に示す。表2において、左側は単一の画像で全ての画素が同じ濃度になっている事例を示し、右側は様々な濃度の画素が分散している事例を示している。左側のように同時生起行列において特定の濃度対が多く現れるとき、すなわち、同時生起行列のある要素が大きな値になるときに角2次モーメントの値が大きくなる。また、右側のように同時生起行列において各濃度対が一様に存在するとき、すなわち、同時生起行列の各要素が近い値になるときにエントロピーの値が大きくなる。

Fig. 3 Example of calculation of co-occurrence matrix

3. 実験結果と考察

3.1 外観拡大画像、外観および断面拡大画像の観察結果

図4にマイクロスコープで撮影した試験片の外観拡大画像の一例を、図5に外観のマクロ撮影画像を、そして図6に断面拡大画像を示す。

外観拡大画像およびマクロ撮影画像の観察結果から、粒径が5 μmの試験片は光輝材粒子が肉眼では判別できないレベルとなり、60 μmと90 μmは肉眼でも光輝材粒子が判別できるレベルとなった。混合比が多くなると光輝材粒子の分布が相対的に密になり、また粒径が大きくなると粒子間の隙間が相対的に大きくなった。

断面拡大画像を見ると、写真下端側の試験片コア層に相当する部分において光輝材が多く集まっており、光輝材が集中している部分を外れると試験片表面のスキン層まではほぼ均一に光輝材が分布した。混合比の増加に応じて粒子が密になり、粒径が大きくなると粒子間の隙間が相対的に大きくなることが確認できた。以上より、今回の試験片においては、光輝材の混合比が増えたことによって表面近傍の粒子が増えたことが示唆された。

3.2 濃度ヒストグラムによる解析結果

図7に濃度ヒストグラムの一例を示す。横軸に画素の濃度 (明るさ) を記し、縦軸に各濃度における画素数を全体の画素数に対する百分率で記した。原点付近は画像内の暗い領域の比率、横軸の値が125前後となる中間付近は灰色領域の比率を示し、横軸の値が250前後となる最大値付近は明るい領域の比率を示している。

図8に濃度ヒストグラムにおけるピークの大きさを示す。各条件について6枚の画像解析結果の平均値と標準偏差を示した。粒径は同一で混合比が異なる条件の平均値同士を比較した結果、粒径5 μmにおいては危険率1%の有意差が見られ、粒径60 μmにおいては危険率5%の有意差が見られた。粒径90 μmにおいては平均値が低下したものの有意差は認められなかった。粒径90 μmにおいては標準偏差も大きかった。すなわち粒径5 μmと60 μmにおいては、混合比が増加した結果、ピークの値が低下した。

混合比は同一で粒径が異なる条件の平均値同士を比較した結果、粒径60 μm混合比1.5%と90 μm混合比1.5%の比較においては有意差が見られなかったものの、その他

Table 2 Examples of co-occurrence matrix

The relationship of the gray level of adjacent pixels	0 1 2 3	0 1 2 3
	0 (0 0 0 0) 1 (0 24 0 0) 2 (0 0 0 0) 3 (0 0 0 0)	0 (2 2 1 1) 1 (2 2 1 1) 2 (1 1 2 2) 3 (1 1 2 2)
Co-occurrence matrix	(0 0 0 0) (0 1 0 0) (0 0 0 0) (0 0 0 0)	(0.0833 0.0833 0.0417 0.0417) (0.0833 0.0833 0.0417 0.0417) (0.0417 0.0417 0.0833 0.0833) (0.0417 0.0417 0.0833 0.0833)
Angular second moment	1.0	0.0694
Entropy	0.0	2.716

Fig. 4 Micrographs of surface of test pieces

Fig. 5 Photographs of surface of test pieces

の条件の比較については有意差が見られた。

図 9 に歪度の算出結果を示す。各条件について 6 枚の画像解析結果の平均値と標準偏差を示した。粒径は同一で混合比が異なる条件の平均値同士を比較した結果、全ての粒径において危険率 1 % の有意差が見られた。すなわち全ての粒径において、混合比の増加に伴って、歪度の値が減少した。

混合比は同一で粒径が異なる条件の平均値同士を比較した結果、粒径 5 μm 混合比 1.5% と 60 μm 混合比 1.5% の

比較においては危険率 5 % の有意差が見られ、その他の条件の比較については危険率 1 % の有意差が見られた。すなわち粒径の増大に伴って歪度の値が増加した。

図 8~9 の解析結果と図 4~6 の画像との関係性を検討すると、以下のように考えられる。混合比の変化に関する影響に関しては、混合比が増加すると表層のみならず内部の粒子も増加して、表面からの画像として見たときには様々な濃さの粒子として画像に表れ、また粒子間の隙間も少ない画像となった。様々な濃さの粒子が増えて隙間が減った

Fig. 6 Micrographs of cross section of test pieces

Fig. 7 Gray level histograms for various sizes and mixing ratios of flake

結果として、図2で例示したように濃度の分布が相対的に平準化して図8に示したピークの高さが下がり、図9に示した歪度も低下したと考えられる。粒径の変化による影響については、粒径の大きい画像の方が粒子間の隙間が多いため樹脂領域の面積が広がり、その結果として、図8におけるピーク値の上昇や図9における歪度の増加につながったと考えられる。

3.3 同時生起行列による解析結果

図10に角2次モーメントの算出結果を示す。各条件について6枚の画像解析結果の平均値と標準偏差を示した。粒径は同一で混合比が異なる条件の平均値同士を比較した結果、粒径5 μm と粒径60 μm においては危険率1%の有意差が見られた。粒径90 μm においては平均値が減少したものの有意差は認められなかった。粒径90 μm においては標準偏差も大きかった。すなわち粒径5 μm と60

μm においては、混合比の増加に伴い角2次モーメントの値が減少した。

混合比は同一で粒径が異なる条件の平均値同士を比較した結果、全ての条件の比較について危険率1%の有意差が見られた。すなわち粒径の増大に伴って角2次モーメントの値が増加した。

図11にエントロピーの算出結果を示す。各条件について6枚の画像解析結果の平均値と標準偏差を示した。粒径は同一で混合比が異なる条件の平均値同士を比較した結果、全ての粒径において危険率1%の有意差が見られた。すなわち全ての粒径において、混合比の増加に伴いエントロピーの値が増加した。

混合比は同一で粒径が異なる条件の平均値同士を比較した結果、粒径5 μm と60 μm の比較においては、混合比1.5%、混合比3.0%ともに有意差は見られなかった。粒

径 90 μm と他の粒径との比較においては、混合比 1.5%、混合比 3.0% ともに有意差が見られた。

角 2 次モーメントの定義式(2)より、同時生起行列において特定の濃度対が多いとき、すなわち、同時生起行列のあ

Fig. 8 Peak

Fig. 9 Skewness

る要素が大きな値になるときに角 2 次モーメントの値が大きくなる。またエントロピーの定義式(3)より、同時生起行列において各濃度対が一様に存在するとき、すなわち、同時生起行列の各要素が近い値になるときにエントロピーの値が大きくなる。粒径 5 μm と 60 μm においては、混合比を増加した場合に、濃度ヒストグラムにおけるピークの値が低下した結果、同時生起行列の要素の差が相対的に減少して表 2 で例示したように角 2 次モーメントの減少やエントロピーの増加につながったものと考えられる。

図 10~11 の解析結果と図 4~6 の画像との関係性を検討すると、以下のように考えられる。3.2 でも述べたように、混合比の変化に関する影響に関しては、混合比が増加すると表層のみならず内部の粒子も増加して、表面からの画像として見たときには様々な濃さの粒子として画像に表れ、また粒子間の隙間も少ない画像となった。表 2 で例示したように、画像内における色の組合せのバリエーションが多いときには角 2 次モーメントは低下しエントロピーは増大する。混合比の増加によって様々な濃さの粒子が増えた結果として組合せのバリエーションが増え、図 10 に示した角 2 次モーメントが低下し図 11 に示したエントロピーが増大したと考えられる。粒径の変化による影響については、粒径の大きい画像の方が粒子間の隙間が多いため、樹脂領域の面積が広がり、その結果として色の組合せのバリエーションが減少して図 10 における角 2 次モーメントの増加につながったと考えられる。

また、粒径が大きい 90 μm の画像については解析結果の平均値が変化したもの有意差が出ない項目があり、また標準偏差が大きくなる傾向となった。90 μm の画像では粒子間の隙間が大きくなっていることから、本手法では

Fig. 10 Angular second moment

隙間の大きい画像に対しては解析結果がばらつくおそれがあると考えられる。ばらつきを抑制するためには、粒径に合わせた撮像倍率の選定といった撮像条件の更なる検討が必要であると考えられる。

上記の算出結果を歪度、角2次モーメントおよびエントロピーを座標軸とする3次元座標にプロットしたものを図12に示す。混合比の増加に着目すると粒径5 μm と60 μm においてはすべての項目について画像解析結果が変化する傾向が認められた。粒径90 μm においては歪度やエントロピーが変化する傾向が認められた。

以上のように、同一粒径の画像同士に関して、混合比の違いによって画像の濃度分布が変化した結果、画像処理結果に影響を及ぼしたと考えられる。本手法の更なる検討により混合比や粒径による光輝材の分散状態の変化が識別で

きれば、光輝材分散状態の評価へ展開できるのではないかと考えられる。

本研究においては、表1のとおり材料メーカーが提示している光輝材の寸法をそのまま用いたが、成形過程における光輝材寸法の変化も考慮する必要があると考えられる。繊維強化樹脂においては、射出成形の過程において破断等によって繊維の寸法が変化するという報告があるため²⁵⁾、光輝材寸法も同様に変化することが想定される。光輝材分布を画像解析で正確に表現していくためには、成形過程における光輝材寸法の変化も検討しておく必要があると考えられる。

4. 結 言

本研究では、光輝材を樹脂に混合したものを射出成形することにより、塗装工程を省きつつメタリック調の外観を発現する射出成形品の生産技術（メタリック成形）に関する光輝材の局所的な分散状態を評価するための基礎的な検討を行った。評価の方法として、これまでメタリック成形品に適用されることがなかった濃度ヒストグラムと同時生起行列といった画像解析手法を使用した。数種類の粒径の光輝材に対して混合比を変化させた試験片をCCDマイクロスコープで撮影して得られた画像の解析結果を比較した。その結果を以下に記す。

- (1) 光輝材の混合比が増加した結果、表面近傍の粒子が増えたことが示唆された。濃度ヒストグラムにおいては、粒径5 μm と60 μm においてピークの値が低下した。また全ての粒径について歪度が減少した。同時生起行列の解析結果から、粒径5 μm と60 μm において角2次モーメントは減少し、全ての粒径についてエントロピーは増加した。
- (2) 光輝材の粒径が増大した結果、濃度ヒストグラムにおいては、歪度が増加した。同時生起行列の解析結果から、角2次モーメントが増加した。
- (3) 混合比や粒径の違いによって画像の濃度分布が変化し、画像解析結果に影響を及ぼしたと考えられる。
- (4) 光輝材分散状態の評価における濃度ヒストグラムと同時生起行列の適用可能性が示唆された。

以上のように、光輝材の粒径が同一の試験片において、混合比の違いによる粒子の増減から画像解析結果が変化し、

Fig. 11 Entropy

Fig. 12 Scatterplot of the result of image analysis

成形品から得られた特性値を用いて光輝材分散状態を定量的に識別できた。数種類の粒径に対して同様の結果が得られた。光輝材分散状態の変化が画像解析によって捉えられたことから、メタリック成形品における光輝材分散状態の定量的な評価の可能性が示唆された。

今後の課題としては、現時点では限定的な粒径や混合比についての結果が得られたが、メタリック成形品における様々な混合比や粒径に対する光輝材分散状態の本格的な評価に適用するためにはサンプル数を増やした更なる検討が必要である。また、粒径の大きい画像については標準偏差が大きくなる傾向となったことから、ばらつきを抑制するための撮像倍率等の撮像条件の更なる検討が必要である。様々なメタリック成形品に対する計測事例を増やしてデータ処理方法についての更なる検討を加えて、照明をはじめとする撮像条件の最適化や目視による評価との比較を進めたい。さらに成形過程における光輝材寸法の変化を考慮した詳細な検討を行いたい。そして光輝材の配向が原因となる色ムラの識別への適用を検討したい。また、他の複合材料におけるフィラーの分散状態評価や、ガス焼けやウェルドラインなどの一般的な外観不良評価への展開も視野に入れていきたい。

謝 辞

本研究の一部は、経済産業省平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業により遂行されたものであることを示し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤豊, 金丸哲郎: 色材協会誌, **52**(6), 311(1979)
- 2) 永野裕幸: 色材協会誌, **78**(8), 372(2005)
- 3) 西村幸男: 表面技術, **56**(10), 594(2005)
- 4) 秋元英郎: 成形加工, **23**(11), 638(2011)
- 5) 和田明紘, 川端繁忠: 成形加工, **3**(2), 165(1991)
- 6) 田中秀雄, 舘山弘文, 鈴木淳広: 成形加工, **5**(2), 107(1993)
- 7) 片岡紘, 梅井勇雄, 加藤厳生: 成形加工, **9**(11), 889(1997)
- 8) 岩沢知幸, 福島祥夫, 黒岩広樹, 石月言義, 桐生英幸: 成形加工'11, 91(2011)
- 9) 村田泰彦: 成形加工, **23**(12), 700(2011)
- 10) Renou, N. and Feigenblum, J.: 成形加工, **23**(12), 705(2011)
- 11) 今泉賢: 成形加工, **23**(12), 711(2011)
- 12) 戸田直樹: 成形加工, **23**(12), 718(2011)
- 13) 中井秀, 荻野輝明: 成形加工シンポジウム'11, 137(2011)
- 14) 道井貴幸, 大島順敏, 瀬戸雅宏, 山部昌, 石川達夫: 成形加工, **17**(5), 349(2005)
- 15) 多比良恵, 滝克彦, 横井英俊: 成形加工'12, 127(2012)
- 16) 五十嵐浩史, 竹内徹: 塗装工学, **40**(9), 339(2005)
- 17) 瀬戸口俊一: 塗装工学, **45**(3), 125(2010)
- 18) 関根英樹, 鈴木寛, 山本圭介: 日本機械学会論文集(A編), **62**(594), 313(1996)
- 19) 川村宗弘, 守田了, 田中稔, 橋輝夫: 成形加工, **9**(11), 913(1997)
- 20) 安井平司, 田中勇輔, 丸尾賢二, 神谷隆仁, 坂本竜司郎: 精密工学会誌, **74**(12), 1313(2008)
- 21) Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I.: *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, **3**(6), 610(1973)
- 22) 加藤和彦, 五百井俊宏, 松永正久, 井口信明: 精密工学会誌, **63**(2), 208(1997)
- 23) 森俊夫, 脇田登美司, 遠藤善道: 繊維学会誌, **55**(9), 424(1999)
- 24) 樋口静一, 本橋康之: 精密工学会誌, **70**(8), 1059(2004)
- 25) 小川俊夫, 美馬正道, 田矢直紀: 成形加工, **7**(5), 315(1995)