

## 画像処理に用いる照明の調整方法に関する研究（第2報）

古屋 雅章・中村 聖名・山田 博之・阿部 治・小谷 信司<sup>\*1</sup>

### Study on Adjustment Method of the Lighting used for Image Processing (2nd Report)

Masaaki FURUYA, Masana NAKAMURA, Hiroyuki YAMADA, Osamu ABE and Shinji KOTANI<sup>\*</sup>

#### 要 約

画像処理技術を応用した外観検査において、照明条件のパラメータである Red, Green, Blue の LED 照明の光強度および照明角度を独立に変更できるシステムを構築した。また各パラメータを独立に変化させた照明条件下において撮影したワーク画像に対して、対数スペクトルを解析することにより、外観検査に適した照明条件を自動出力するシステムの構築を行った。本システムの評価として、プラスチック成形品に対して照明条件を求め、傷および光沢ムラの2種類の不良品を撮像した。その結果、良好なコントラストが得られ本システムの有用性を確認することができた。

#### 1. 緒 言

検査工程の低コスト化および高速化のために、画像処理技術を応用した自動外観検査装置を導入するケースが多くなっており、それに付随する形で、適切な照明設定を行う技術への関心が高まっている。

画像処理技術には、画像の持つ濃淡値を基に算出される特徴量とその S/N 比を使用するが、照明の当て方次第で画像の持つ濃淡値は変化するため、外観検査に利用するためには、画像処理技術だけでなくライティング技術<sup>1,2)</sup>に関する技術も必要となる。そのためライティング技術に関する知識および経験を持たないユーザーが適切な照明を設定することは困難である。また、ライティング技術は検出したい不良に対して照明設定を行うため、あらかじめ生産時に発生する不良が既知でなければならない。よって外観不良の全品検査のように、想定外の不良に対しても検出しなければならない場合、照明調節に既存のライティング技術を適用することはできない。

著者らはこれまでに、検出したい不良（異物、キズ、ムラ、汚れ、凹凸等）とワークの持つ特徴（梨地、鏡面、形状、色、良品のバラツキ）をもとに照明条件を決定し、画像特徴量のコントラストを上げるように照明条件を調節する方法に着目し、RGB 光源の照明強度を独立に変化させた場合のコントラストを評価することにより照明条件の調整の自動化を検討した<sup>3,4)</sup>。

しかし、キズ、ムラ、凹凸、梨地といった特徴は光源の照射角度によってコントラストが変化するため、照明角度についての検討も行う必要があると考えられる。ま

た、コントラストの評価に画像の微分値および SIFT 特徴量を用いたが、微分値は統計ノイズによって値が大きく変動した。SIFT 特徴量も同様に、DoG の高周波成分から算出される特徴量に統計ノイズが付加されるため、表面に凹凸があるワークのコントラスト評価には不向きであった。

そこで本報では、取得される画像が持っている画質を最適化するように照明を自動調節するシステムの構築を試みた。これまでの照明強度の調整に加え、照射角度を調整する機能を設け、画像の持つ対数スペクトルを解析することにより、統計ノイズを考慮したコントラスト評価を行うシステムを構築した。さらには、良品のみを用いて設定された照明条件のもとで、既知でない不良の検出が可能かどうかの検証を行い、システムの有用性を確認した。

#### 2. システム構成

基本システムの概要および外観を、図 1 および図 2 にそれぞれ示す。本システムは、一台の PC とマイコンをコントローラとして照明用電源を制御し、RGB の各 LED の光量をそれぞれ任意に調整できる。また図 3 に示すように、3 軸ロボットに搭載した RC サーボ回転軸上にファイバー照明のヘッドを固定することにより、照射角度を任意に調整することが可能となっている。任意の照明条件で USB カメラを用いた撮像を行い、測定ワーク画像を PC に取り込み、解析するシステムである。

3 軸ロボットは(株)オリジナルマインド製 3 軸ロボットキットを、サーボ回転軸は(株)タミヤ製 TP-S3003 を使用した。コントローラとしての PC は SONY 製 VAIO を、マ

\* 国立大学法人山梨大学

アイコンは ARM 社製 mbed を使用した。ファイバー照明はシーシーエス(株)製 HLV2-3M-RGB-3W を、USB カメラは(株)マイクロビジョン製 MCM-4302LED を使用した。また、画像処理には OpenCV2.2、数値数式処理には R を用いた。

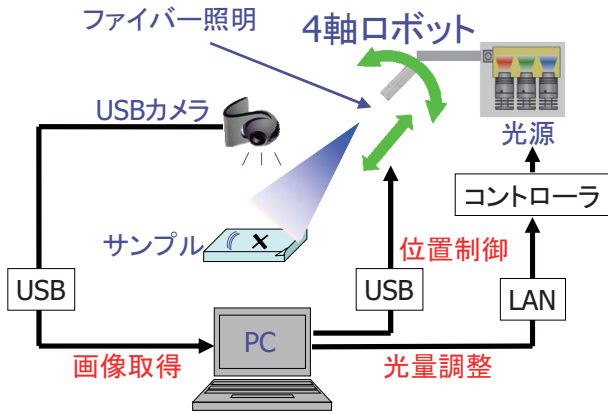


図1 システム構成

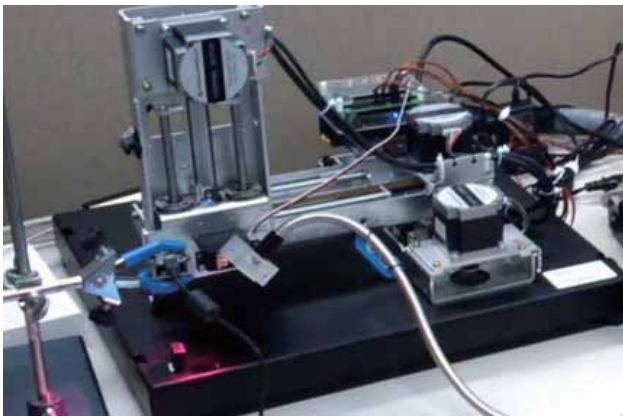


図2 システム外観

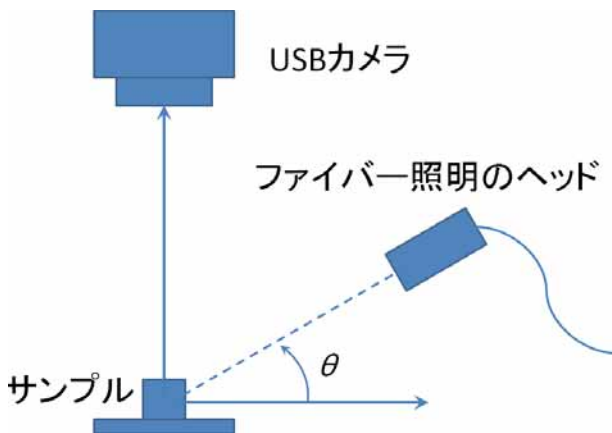


図3 照射角度

### 3. 方法

#### 3-1 画像の取り込み

RGB 各 LED の印加電圧を 0V, 1V, 2V, 3V, 4V, 5V の 6 段階、図 3 に示すファイバー照明のサンプルに対する角度  $\theta$  を 30deg, 45deg, 60deg の 3 段階に変化させ、648 (6×6×6×3) 通りの画像を取り込んだ。

#### 3-2 対数スペクトル解析

フーリエスペクトルを用いた画質評価は、様々な画像応用機器の画質評価に用いられている。例えば、焦点ズレにより発生したボケ量をフーリエスペクトルのもつ勾配情報を用いて評価し、高コントラスト画像に変換する手法<sup>9)</sup>や、放射線撮像装置におけるウィナーズスペクトル(粒状度評価におけるパワースペクトルの別称)を用いた統計ノイズの強度評価<sup>6)</sup>などがある。

本研究ではこれら先行研究と同様に、フーリエスペクトルを用いてコントラスト値およびノイズ量の評価を行った。

フーリエスペクトルの算出方法は、取得画像をグレースケール画像に変換し、前処理としてハミング窓を用いたデータ切片の連続化を行い、続いて二次元フーリエ変換後、得られた二次元スペクトル画像を一次元スペクトルに変換し、その勾配に着目した。比較のためグラフ両軸は対数で表示している。

#### 3-3 コントラスト値およびノイズ量の数値化

事前の実験として、コントラスト変化および統計ノイズ付加に対するスペクトルの変化を観察した。

コントラスト変化に対するスペクトルの変化を観察するために、図 4(a)に示すテストパターンに対して、図 4(b)および(c)に示す平滑化処理を行い、コントラストを低下させた場合のスペクトルを比較した。その結果、図 5 に示すように、平滑化処理によるコントラストの低下に伴い高周波成分が低下し、テストパターンが本来持っていた波形が変形していることがわかった。

また、統計ノイズ付加に対するスペクトルの変化を観察するために、図 4(a)に示すテストパターンに対して、図 4(d)および(e)に示す統計ノイズ付加を行った場合のスペクトルを比較した。統計ノイズにはホワイトノイズを使用し、テストパターン 1 ピクセル当たり任意の確率で画素値を反転することで生成した。ピクセル値を変更する確率を増減することでノイズ量の調節が可能である。その結果、図 6 に示すように、ノイズ量が増加するとスペクトルの高周波成分が増加し、テストパターンが本来持っていた波形が変形していることがわかった。

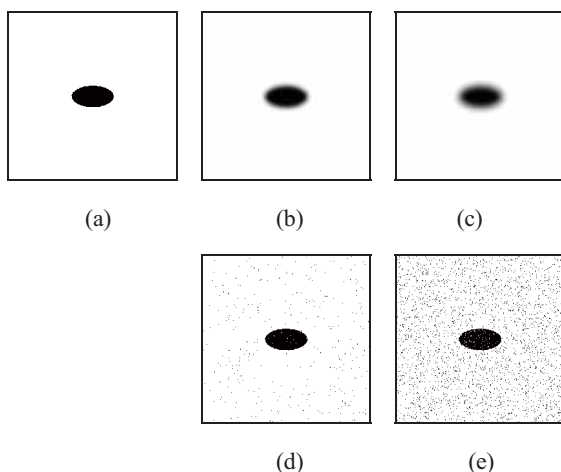


図4 スペクトルの比較に用いる画像 (a)処理なし, (b)平滑化 31×31pixel, (c) 平滑化 51×51pixel, (d)ノイズ付加 5%, (e)ノイズ付加 10%

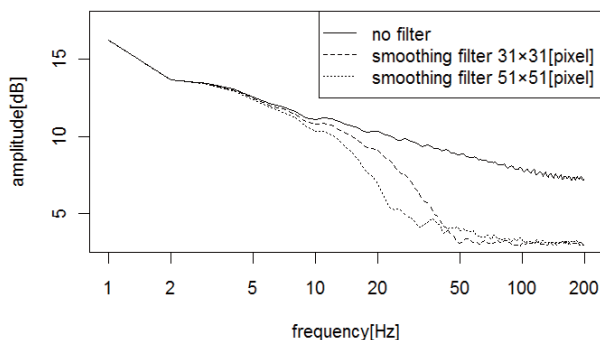


図5 コントラスト低下によるスペクトル変化

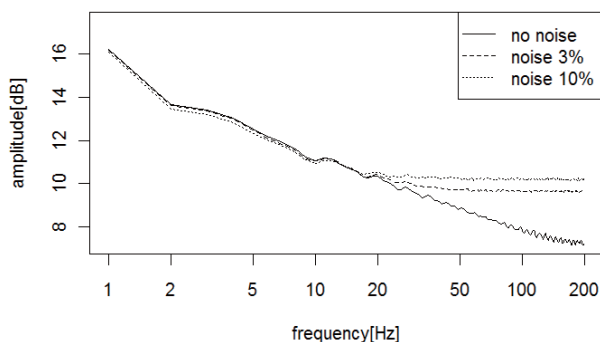


図6 統計ノイズ付加によるスペクトル変化

## 4. 評価

### 4-1 評価方法

画像取得に使用するサンプル部品は、前報<sup>9)</sup>と同じく、図7に示すウレタン系熱可塑性エラストマー材(大日精化工業(株)製レザミン P-4597)を射出成形機(ファナック(株)製 ROBOSHOT  $\alpha$ -30C)を用いて成形した部品を使用した。本部品はガス付着による外観不良が発生しやす

いが、目視による不良の発見が困難なサンプルである<sup>7)</sup>。このサンプルの良品画像のみを用いて照明条件を求め、得られた照明条件下において傷および光沢ムラの2種類の不良品を撮像し、不良品のもつ特徴が得られているかの確認を行った。



図7 評価に用いたサンプル

3-3章で述べた事前実験を踏まえると、コントラストが低い、もしくはノイズ量が多い画像は直線性が失われていくことが分かる。よってサンプルの良品画像のみを用いて照明条件を求める方法として、対数スペクトルに対して直線近似を行い、近似直線算出後の残差平方和を直線性を表す数値として利用した。近似直線算出後の残差平方和が最小となる照明条件を最適な照明条件として評価した。

### 4-2 結果

実験で得られた対数スペクトルおよびその近似直線の例を図8に、各照明条件の近似直線算出後の残差平方和の上位8位を表1にそれぞれ示す。最適な照明条件は、ファイバー照明のサンプルに対する角度 $\theta$ が30deg、各LEDの印加電圧がRed:5V, Green:0V, Blue:1Vであった。この最適な照明条件において取り込んだ不良品画像を図9に示す。また比較のため、一般的な工場照明下での観察イメージ、および最適でない照明条件下での撮影画像もあわせて図9に示す。最適な照明条件下での撮影画像では、傷および光沢ムラといった不良品の特徴に対して良好なコントラストが得られた。

## 5. 結言

照明条件のパラメータであるRed, Green, BlueのLED照明の光強度および照明角度を独立に変更することができるシステムを構築した。また各パラメータを独立に変化させた照明条件下において撮影したワーク画像に対して、対数スペクトルを解析することにより、外観検査に適した最適な照明条件を自動出力するシステムの構築を行った。本システムの検証として、プラスチック成形品に対して照明条件を求め、傷および光沢ムラの2種類の不良品を撮像した。その結果、良好なコントラストが得られ本システムの有用性を確認することができた。

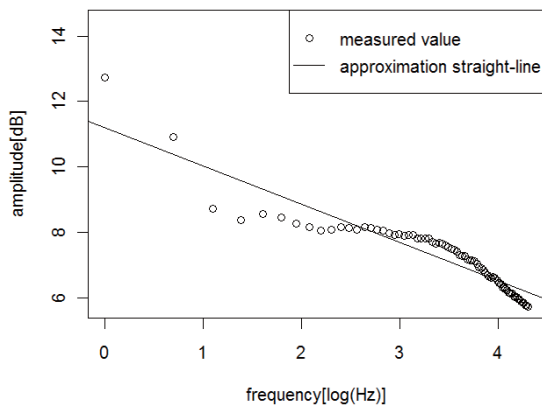
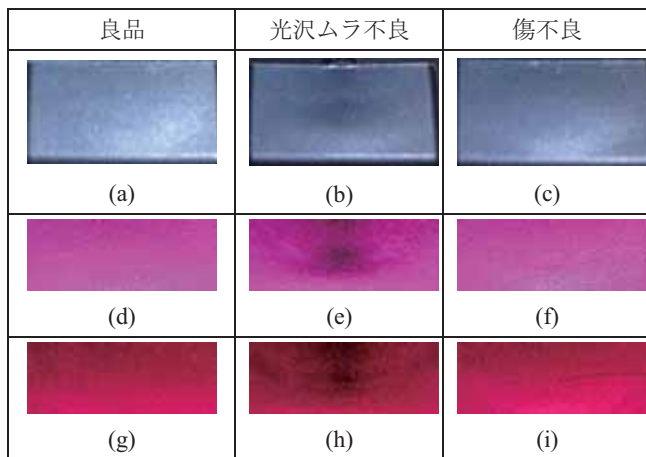


図8 取得した対数スペクトルおよび1次近似直線の例 (照明角度 30deg, 各 LED の印加電圧 Red:5V, Green:5V, Blue:5V の場合)

表1 近似直線算出後の残差平方和 (上位8位)

$\theta$ [deg]	R[V]	G[V]	B[V]	approximate error
30	5	0	1	12.5357
45	2	0	0	12.5369
30	5	0	0	12.6757
30	4	0	1	12.9488
30	4	0	0	13.1907
30	0	0	1	13.3227
45	3	0	0	13.5224
45	0	0	3	14.0162



(a)(b)(c):一般的な工場照明下での観察イメージ

(d)(e)(f): 比較のために最適でない照明条件 (照明角度 60deg, 各 LED の印加電圧 Red:3V, Green:0V, Blue:2V) で撮影した画像

(d)(e)(f): システムにより推定された最適照明条件 (照明角度 30deg, 各 LED の印加電圧 Red:5V, Green:0V, Blue:1V)で撮影した画像

図9 照明条件による不良特徴の違い

## 参考文献

- 1) 増村茂樹：マシンビジョンライティング基礎編第3版，日本インダストリアルイメージング協会 (2010)
- 2) 増村茂樹：マシンビジョンライティング 応用編第1版，日本インダストリアルイメージング協会 (2010)
- 3) 古屋雅章，吉村千秋，山田博之，阿部治，布施嘉裕，小谷信司，渡辺寛望：画像処理に用いる照明の調整方法に関する研究，動的画像処理実用化ワークショップ DIA2013, P.272-275 (2013)
- 4) 寺澤章裕，山田博之，阿部治，西村通喜：プラスチック射出成形におけるガス成分付着による外観不良対策の研究(第1報)，山梨県富士工業技術センター平成23年度業務・研究報告, P.66-71 (2012)
- 5) 坂野盛彦，末竹規哲，内野英治：焦点ずれ PSF の推定とその画像復元への応用，ファジィシンポジウム講演論文集, Vol.21, P.564-569 (2005)
- 6) 杜下淳次，藤田広志，大塚昭義，上田克彦，藤川津義，山内秀一，西原貞光，橋田昌弘，神崎竜二，金井一美，田中貞人，中西敬：コンピュータドラジオグラフィの基礎的な物理特性，日本放射線技術學會雑誌, Vol.46(6), P.824-830 (1990)
- 7) 古屋雅章，吉村千秋，山田博之，阿部治，布施嘉裕，小谷信司，渡辺寛望：画像処理に用いる照明の調整方法に関する研究，山梨県富士工業技術センター平成24年度業務・研究報告, P.73-76 (2013)