

小型電子部品の外観検査に関する研究

仮屋一昭* , 永吉弘己**

Study on Visual Inspection of Small Electronic Parts

Kazuaki KARIYA and Hiromi NAGAYOSHI

小型電子部品のLEDは、青色LEDが開発され、RGBの3原色が発光可能になったことで、利用範囲が飛躍的に広がり様々な形状や性能の製品が製造されるようになった。LEDの製造工程は、自動化・省力化が進んでいるものの、外観検査は、現在でも目視検査が行われている。目視検査では、異物の形状や色などの状態から物質を同定できる場合が多い。しかし、画像検査では、検出される多種類の異物の同定は困難である。そこで、異物を色（赤、緑、青）により分類し、これから異物を推定する方法を試みた。あわせて、パラメータ等の変更が容易に行える汎用画像処理ソフトを開発し、異物の色分けから大まかな異物の推定が可能であることを確認した。

Keyword :外観検査, LED, 画像処理, 異物検査

1. 緒言

様々な電子機器が小型化され、近年では、ユビキタスネットワークやウェアブルネットワークなどが提唱されるなど、携帯通信端末などの小型化・高機能化が加速されている状況にある。電子機器の小型化に伴って、使用される部品等も小型化や高集積化がなされている。

電子機器に使用される部品は目的によって多くの種類が存在しているが、光源については発光ダイオード（LED：Light Emitting Diode）に収束している。この背景には、青色LEDが開発され、RGB（赤緑青）の3原色によるフルカラー発光が可能になったことが一因であると考えられる。このようなことから、LEDは、その利用範囲が飛躍的に広がり様々な形状や性能の製品が製造されるようになった。また、従来のように同一製品を大量に製造するだけでなく、少品種で少量生産される場合も多くなっている。

LEDの製造工程は、他の多くの電子デバイス製品と同様に自動化・省力化が進み、さらに、工程管理のために、計測機器を用いた性能検査や、センサを用いた位置検査などの数多くの検査が行われている。この中の外観検査は、LEDチップ実装後の自動外観検査¹⁾が以前から試みられているものの、最近のLEDは、形状や材質などが若干異なる程度ではあるが品種が数多くあるため、新たな外観検査方法の開発やパラメータの設定変更等が必要になり、簡易に自動化できないことが多い。このため、現在でも外観検査は、目視検査で行われているのが実情である。なお、外観検査項目は、品種等で異なるものの基本的な項目は、異物の混入やケース等の傷や欠けである。

本稿ではLEDの外観検査項目の中で異物検出について述べる。

2. LEDの構造

図1はLEDの基本構造である。反射板加工された基板にLEDチップを導電性接着剤で実装し、ボンディング線で他方のリードフレームに接続している構造である。従来は、LEDチップの発光波長に近い色の透明封止材で砲弾型（円筒形）や矩形（四角型）に整形したLEDが主要な形状であった。現在では、LEDの用途の広がりとともに様々な形状や大きさの製品が製造されるようになり、ケースに実装されたLEDや、複数個実装されたLEDなど、多種多様なLEDが生産されている。

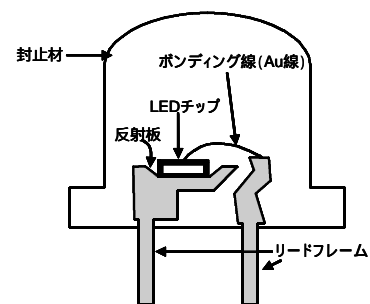


図1 LEDの基本構造

3. LEDの外観検査

3.1 目視検査の現状

図2は、目視検査の状況である。拡大鏡を用いて全品検査を行っており、検査の作業時間を考慮しながら、検査精度の維持に努めているのが現状である。

図3は、従来製品の外観不良である。形状が現在のLED

* 電子部

** 電子部（現 企画情報部）

より大きく、比較的検査を行いやすかったが、現在のLEDは小型化されているものが多く、不良部位が小さくなり検出が困難になっているものが多い。



図2 外観検査状況

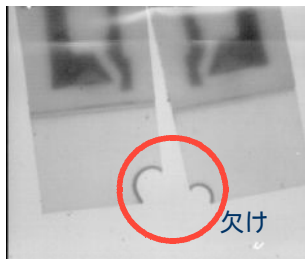


図3 従来製品の不良

3.2 検査対象LED

LEDは、前述したように多種多様の品種があるため、本稿では、図4に示す形状のLEDをモチーフにした。特徴は、白いケースで、ケース内部底面に端子が2カ所あり、一方にLEDチップが実装され、他方の端子にボンディング線が延びている。チップの色は赤色系で、ボンディング線は金線で黄色系である。また、封止材料は無色透明である。この画像を基準画像とした。



図4 モチーフにしたLED(基準画像)

3.3 外観検査手法

最近では高画素・高精細のCCDカメラが市販され、デジタルデータでの画像転送も規格化されているが、実験で使用したCCDカメラは、NTSC信号を使用したカラーCCDカメラである。画像は、ビデオキャプチャーボードを用いパソコンに入力し、横640×縦480の画素数で画像処理を行った。照明は、高周波点灯電源の蛍光灯ランプとハロゲン光源を用いた。

カラー画像を処理する場合は、画像をHSV色空間に変換して、hue(色相), saturation(彩度), value(明度, brightness)の各値から画像処理を行う方法と、入力された画像をRGBの赤(red), 緑(green), 青(blue)の3原色からなる画像に分解し画像処理を行う方法など、複数の処理方法がある。本稿ではRGBの処理法を用いた。

検出すべき異物は様々な物が存在する。主な物は、繊維、小毛、金属屑などである。工程管理上からは、混入した異物を同定することが望ましいと考えるが、現状の画像処理では困難である。このため、異物を色によって分けることで、物質を推定することにした。例えば、緑系や赤色系は、繊維が多く、青黒系では、小毛、金属屑などが含まれることがある。

4. 検査結果

4.1 LED領域の抽出

画像全体から、LED領域を抽出できれば、異物のLED内部での位置やLED領域外で発生したノイズの除去が容易に行える。図5は、図4をRGBに分解した各画像のヒストグラムである。各画像のヒストグラムは、双峰的な山を持っている。図5のredで説明すると山1と山2の間の谷が比較的大きい特徴があり、濃度値の低い山1がLEDの周辺部、濃度値の高い山2がLED領域である。このようなヒストグラムを持つ画像では、谷で領域を分割すれば必要領域が抽出しやすく、また、谷が広いために領域を分割するしきい値に幅があり、安定した領域分けが可能である。谷を見つける方法として判別分析法²⁾を用いた。結果として、赤画像が緑画像や青画像より安定して領域分けが可能であった。図6は、判別分析法により求めたしきい値で2値化し、ノイズ処理を行った後のLED領域である。

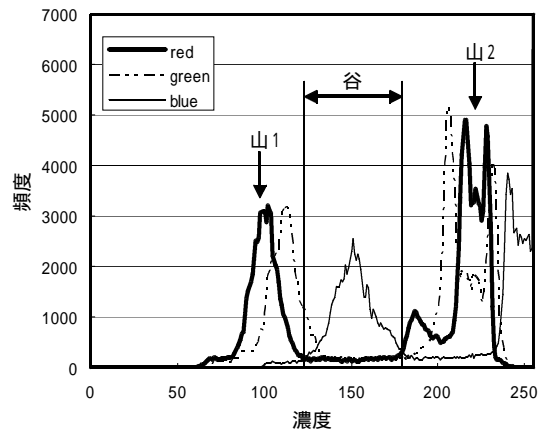


図5 RGBのヒストグラム



図6 抽出したLED領域

4.2 LEDチップの抽出

LEDケース内のLEDチップとボンディング線は、実装位置の許容範囲が広く、検出したい異物と誤認識してしまうおそれがある。図7は、LEDチップとボンディング線の位置が図4と異なっている。このため、ケース内からLEDチップとボンディング線を抽出する必要がある。

図8は、図4からLEDチップとボンディング線を抽出した図である。入力されたカラー画像から分解した赤画像をimgR, 緑画像をimgG, 青画像をimgB, 演算結果の画像をimgEとし

$$imgE(x,y)=(imgR(x,y)-(imgB(x,y)-)) \times \quad (1)$$

と は係数，濃度値は0以上255以下
求めたimgEの画像を2値化した画像である。



図7 LEDチップとボンディング線の位置の違い
(図4と位置が異なる)

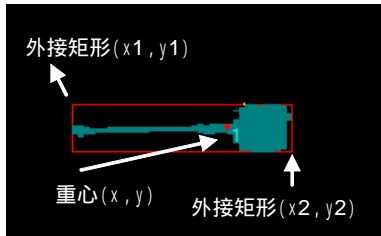


図8 抽出したLEDチップとボンディング線

異物の種類によっては，(1)式での演算結果で，LEDチップとボンディング線と異物も同時に抽出される場合がある。このため，LEDチップとボンディング線の特徴量を計測し異物と識別する必要がある。

計測した特徴量の項目を表1に，図8に項目を図示した。表1の項目のSizeは，面積をa，周囲長をbとしたとき

$$Size = 2a/b \quad (2)$$

で表した。

図8の重心(x,y)は，表1の重心xと重心yであり，画像の左上端からの座標である。また，表1の外接矩形内重心xと外接矩形内重心yは，図8の外接矩形(x1,y1)からの座標である。

図8，図9，図10は同一のLEDであり，図9は，LEDの撮像位置を変え，図10は傾きを加えて再計測した値である。この結果から，位置ずれや傾きが発生した場合でも，特徴量の変化は少ないことが確認できた。

表1の特徴量の項目の中で，面積や外接矩形内重心xとyおよびSizeは，基準画像とデータ2で差が小さく，領域が抽出された場合に識別するための主要特徴量になると考える。条件によっては，面積，周囲長なども考慮してノイズとLEDチップとボンディング線を識別する必要がある。回帰分析等の統計手法を用いれば，より正確に識別が可能と考えるが，今回は基準画像の各項目の値に許容範囲を持たせて簡易的に判別した。



図9 データ1



図10 データ2

表1 LEDチップとボンディング線の特徴量

| | 基準画像 | データ1 | データ2 |
|----------|------|------|------|
| 面積 | 1556 | 1408 | 1608 |
| 重心x | 329 | 329 | 327 |
| 重心y | 293 | 289 | 228 |
| 周囲長 | 352 | 343 | 340 |
| Size | 8.84 | 8.21 | 9.46 |
| 外接矩形x1 | 225 | 225 | 225 |
| 外接矩形y1 | 278 | 274 | 210 |
| 外接矩形x2 | 372 | 372 | 368 |
| 外接矩形y2 | 309 | 304 | 242 |
| 外接矩形内重心x | 104 | 104 | 102 |
| 外接矩形内重心y | 15 | 15 | 18 |

4.3 緑系異物の検出方法

図11は，緑系異物である。



図11 緑系異物

入力されたカラー画像から分解した赤画像をimgR，緑画像をimgG，青画像をimgB，演算結果の画像をimgEとし(3)式で求めた。

$$imgE(x,y)=imgG(x,y)-imgB(x,y) \quad (3)$$

濃度値は0以上255以下

図12は，imgEの画像を2値化した画像で緑系異物が抽出されている。(3)式による画像演算では，LEDチップとボンディング線は抽出されないが，確認のために抽出した異物の特徴量を計測すると表2のようになった。領域1，2の特徴量は基準画像と異なり異物の識別が可能である。この緑系異物は繊維系である。

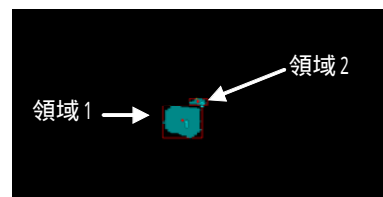


図12 抽出した緑系の異物

表2 緑系異物の特徴量

| | LEDチップと金線 | 領域1 | 領域2 |
|----------|-----------|-------|------|
| 面積 | 1556 | 2132 | 172 |
| 重心x | 329 | 256 | 279 |
| 重心y | 293 | 168 | 138 |
| 周囲長 | 352 | 213 | 63 |
| Size | 8.84 | 20.02 | 5.46 |
| 外接矩形x1 | 225 | 226 | 266 |
| 外接矩形y1 | 278 | 146 | 134 |
| 外接矩形x2 | 372 | 285 | 293 |
| 外接矩形y2 | 309 | 194 | 143 |
| 外接矩形内重心x | 104 | 30 | 13 |
| 外接矩形内重心y | 15 | 22 | 4 |

4.4 赤系異物の検出方法

図13は赤系異物である。



図13 赤系異物

図13を(1)式によりLEDチップとボンディング線を抽出した画像が図14である。LEDチップとボンディング線は、赤系の領域として抽出しており、これと同色系の異物なども抽出されている状態である。図14からLEDチップとボンディング線を除くと残りの領域は異物と判定できる。赤系異物の特徴量は表3のとおりである。領域1は、基準画像と類似しており、面積、Size,周囲長などから、LEDチップとボンディング線と容易に判定できる。領域2と領域3は基準画像と類似点がほとんど無い。

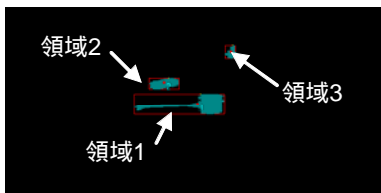


図14 赤系異物の抽出結果

表3 赤系異物1の特徴量

| | 基準画像 | 領域1 | 領域2 | 領域3 |
|----------|------|------|------|------|
| 面積 | 1556 | 1492 | 546 | 204 |
| 重心x | 329 | 289 | 239 | 339 |
| 重心y | 293 | 145 | 113 | 67 |
| 周囲長 | 352 | 349 | 106 | 62 |
| Size | 8.84 | 8.55 | 10.3 | 6.58 |
| 外接矩形x1 | 225 | 194 | 216 | 330 |
| 外接矩形y1 | 278 | 130 | 106 | 57 |
| 外接矩形x2 | 372 | 329 | 261 | 345 |
| 外接矩形y2 | 309 | 160 | 122 | 76 |
| 外接矩形内重心x | 104 | 95 | 23 | 9 |
| 外接矩形内重心y | 15 | 15 | 7 | 10 |

4.5 青黒系異物の検出方法

図15は青黒系異物である。



図15 青黒系異物

(1)式で抽出したLEDチップとボンディング線が図16である。

青黒系異物は、RGBの各画像で濃度値が低くなっている。このため、濃度値の低い領域を抽出した場合は、LED領域外のノイズが影響して、異物の判定が困難な場合がある。

図17は、「4.1 LED領域の抽出」の手法で抽出したLED領域

である。このLED領域内を処理することでLED領域外のノイズを除去できる。LED領域のエッジ部で発生するノイズを減少させるために領域の縮小化を行っている。また、図16のLEDチップとボンディング線は、領域としては画像処理を行わなくてもよい領域になる。図16と図17からマスク画像を作成すると、図18になる。

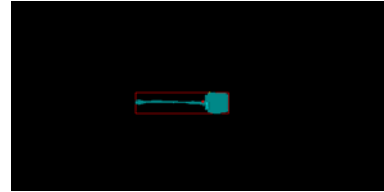


図16 LEDチップとボンディング線



図17 LED領域

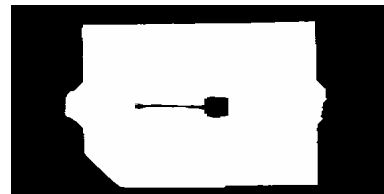


図18 処理領域のマスク画像

画像の特徴として、「図5 RGBのヒストグラム」のように、双峰的な山を持っており、特に谷が広い赤と緑のような画像では、画像からモノクロ濃淡画像に変換した場合と同様な結果になる場合が多い。モノクロ濃淡画像をimgGRAY、赤画像をimgR、緑画像をimgG、青画像をimgBとし

$$imgGRAY(x,y) = imgR(x,y) \times 0.3 + imgG(x,y) \times 0.59 + imgB(x,y) \times 0.11 \quad (4)$$

濃度値は0以上255以下

(4)式で求めた濃淡画像を判別分析法でしきい値を求め、

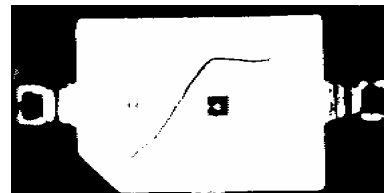


図19 モノクロの濃淡画像の判別分析の結果

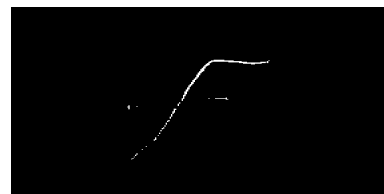


図20 抽出した青黒系異物

2 値化した図が図19である。図19の反転画像から図18の反転画像を引いた画像が図20で抽出した青黒系異物である。

5. 外観検査工程の自動化

5.1 異物抽出の流れ

これまで、緑系異物、赤系異物、青黒系異物について個々に説明したが、これらの異物抽出を一連で処理する場合については、図21のように行った。

異物は、1個のLEDに、複数種類混入することは希である。大小を問わず1個か、同一の異物が複数個混入する程度である。このため、何らかの異物が検出されれば処理を終了し、新しい画像を入力する方法にした。赤系異物抽出時にLEDチップとボンディング線を抽出し、青黒系異物抽出時にLED領域の抽出を行う。何も抽出されなければ、良品と判定し画像の入力を行う。

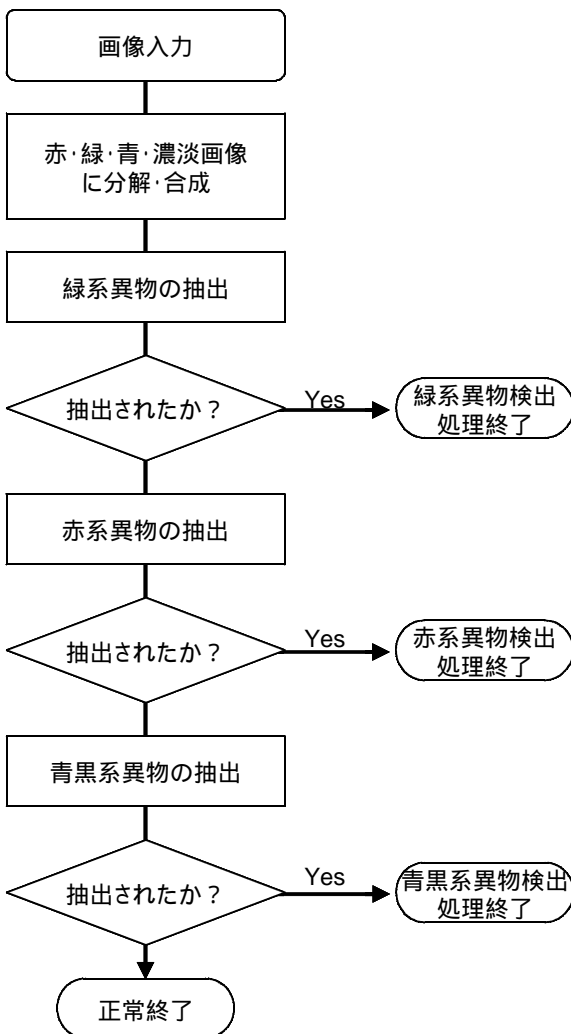


図21 処理の流れの概要

5.2 異物抽出のまとめ

本来ならば異物を同定できる抽出方法を検討することが望ましいが、画像のみからでは、様々な形状や大きさのあ

る異物を同定することは困難である。本稿では、赤、緑、青の3系統色に分類する検出方法を検討した。この結果、異物を3つのカテゴリ(色)に分類できることが確認できた。

製造現場では、過去の生産管理データからどのような異物が混入するか把握してるため、色から異物を推定できる場合が多い。

大まかな判定ではあるが、色により分類可能な異物は多いと思われる。ただし、類似した色で異質の異物(例えば黒系の繊維と金属線など)は、推定が困難であるが、識別できる色数が増えると可能になるとと思われる。

LEDチップとボンディング線の周辺に混入した異物は、LEDチップとボンディング線の誤差(特徴量の許容値)の範囲内に入ってしまう場合があり、検出できない場合があった。また、細すぎる異物や、数画素程度の大きさの場合はノイズで除去されてしまう場合があった。このような異物を検出するためには高画素のカメラを使用する必要があると考える。

5.3 画像処理ソフトの開発

画像検査項目の追加や処理方法の変更を行う場合は、検査装置に組み込まれた画像処理のプログラムの変更が必要になる場合がほとんどである。検査装置のプログラム開発ツールが製造現場にある場合は、変更がたやすいが、大半は、検査装置の製造メーカーに依頼することになる。このような事態になる前に現場で予備的なデータ収集や基礎実験を行いたいとの要望は多い。

汎用の画像処理ソフトがあれば、予備実験や、パラメータの設定等を行う実験が簡単に行える。このような利用を目標に、汎用画像処理ソフトの開発を行った。図22は、開発した汎用画像処理ソフトの画面である。

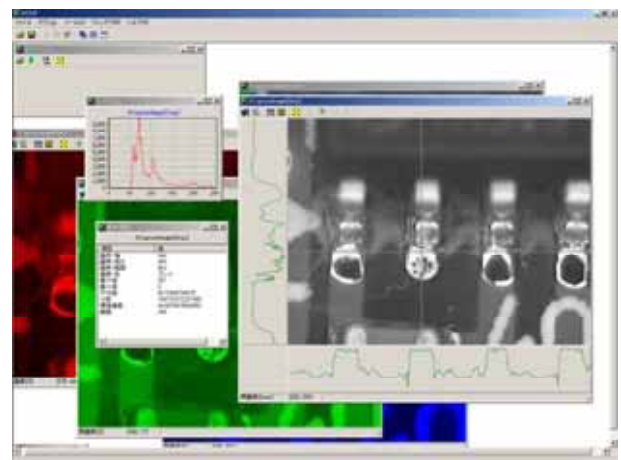


図22 開発した汎用画像処理ソフト

5.4 画像処理ソフトの特徴

基本的な操作は、マウスで画像処理項目を選びながら、パラメータの設定を行い、逐次、画面で確認しながら処理

を進めるタイプのソフトである。しかし、同じ処理を繰り返し行いたい場合などが煩雑になってしまうため、マクロプログラムを実行する機能を付加した。

マクロ機能の特徴は、C++言語ライクなフリーフォーマット型式であるためテキストエディタで簡単に記述でき、インタプリタのため即実行できることである。図23は、マクロプログラムの実行過程である。

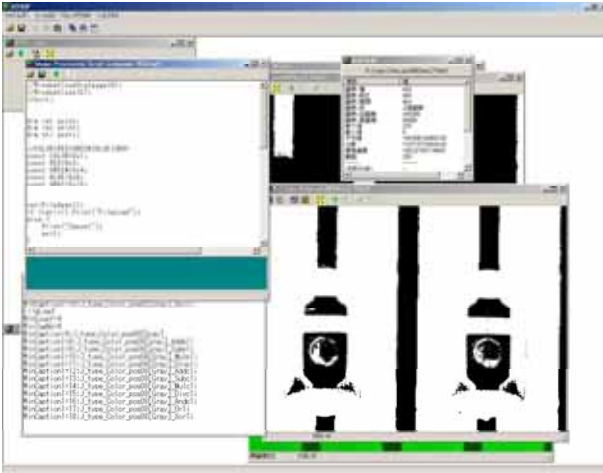


図23 マクロプログラムの実行

6. 結 言

外観検査の多くは、未だに目視検査で行われている場合が多い。これは、検査しなければならない項目の全てを画像処理やその他のセンサに置き換えることが不可能であるため、検査工程の中の一部の自動化できない検査項目があれば、全て目視検査で行った方が、検査の応用範囲が広く、検査項目の違いなどに柔軟性に対応でき、効率的であるとの考え方に起因していると推測できる。しかし、一方では、コストなどの観点から検査工程の自動化は避けられないと考える。

外観検査工程の自動化は、今後の課題であり解決すべき課題が多い。本稿では、LEDの異物検査に絞って外観検査手法を検討したが、全てのLEDの外観検査が行える普遍的な手法は現在のところないと考える。このため、対応できるLEDは限定的かもしれないが、外観検査の自動化を考える場合の一手法として参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1)加藤誠：精密工学会誌,56,1403-1406(1990)
- 2)奥水大和：“目視検査の自動化技術”,49-75(1995)