

LEDのエージングテスト装置に関する研究

櫛 弘明, 牧野 孝史*1, 塚本 勝孝*2

Study on Aging Test Device of the LED

Hiroaki ICHII, Takashi MAKINO and Katsutaka TSUKAMOTO

In recent years, the need of LED is increasing rapidly. For this reason, the number of production of LED is also increasing. There is a process called an aging test in the production process of LED. This aging test is the process of confirming the durability of LED and looking for what not suiting. There is an examination by people's eye as one of the methods of an aging test. However, since the light of LED is strong, the tester's asthenopia, failure of eyesight, etc. pose a problem. So, in this study, the simple exam device by image processing using a Web camera and a personal computer was developed in consideration of cost and the problem of healthy.

1. 緒言

LED は 1962 年にイリノイ大学の Nick Holonyak Jr. によって開発されて以来, 表示用途やイルミネーション用途として早い段階から用いられてきた。しかし, 明るさとしては当時の通常の電球の 100 分の 1 にしか過ぎず, また, 使用できる色が限られていたことで用途は表示用に限定されていた。

1993 年に高輝度青色 LED の実用化によるフルカラー化により, LED の応用範囲は急速に拡大した。さらに, 1996 年に登場した白色 LED によって現在では, コンビニエンスストアの看板や家庭用の照明などから携帯電話のバックライトにまで, 各種光源用として, 従来の光源に比べて視認性が高く, エネルギー消費量が少なく, また, 保守が不要で寿命の長い LED が採用されており需要が急激に増加している。¹

需要の増加に伴い, 生産数を増してきている。LED の生産工程にはエージングテストと呼ばれる検査工程があ

る。エージングテストは LED が正常に発光しているか, もしくは極端に寿命が短くはないか等の不良を見つける検査である。現在, このエージングテストを行う主な方法として, 高精度であるが高価な検査装置を用いるか, あるいは人の眼による検査が行われている。前者の検査装置を用いる場合では, 検査装置を購入するため費用や検査装置自身のメンテナンス費用などの多くの費用が必要であり, 検査結果も流れている電流の値から正常であるかどうかを判断するため, 実際にどう光っているかまではわからない。後者の人による検査の場合では検査の精度としては不安定であるが, 実際に光っている LED を見て判断するために, 電流は流れているが上手く光っていないなどの機械的な故障も検査することができる。しかし, LED の光は非常に強く指向性も高いため, それを見続ける作業者の網膜にダメージを与え, 眼精疲労や視力の低下, LED の種類によっては免疫力の低下を引き起こすことが報告されている。

そこで, 今回これらの費用や健康上の問題を考慮して, 現状の検査装置よりも安価で人の眼を使わない, Web カメラと通常のパソコンを用いた画像処理による簡易検査装置の開発を目的とする。

*1 電子制御工学科学生 (現 機械制御工学専攻学生)

*2 株式会社三ツ星産業

2. 簡易エージングテストにおける画像処理

2.1 ハフ変換

デジタル画像処理において、画像から直線や円を検出する汎用的な方法として、ハフ変換(Hough transform)がある。はじめに、x-y空間の任意の直線を検出するハフ変換の基本的な考え方を示す。Fig.1に示すように、x-y空間の直線は原点から下した垂線とx軸の成す角度 θ 、垂線の長さを ρ で表すことができる。つまり、直線はパラメータ θ と ρ を用いて表現することが可能である。

一方、x-y空間の点(x,y)は、これを通る複数の直線の交点として表すことができる。この複数の直線は θ と ρ の組み合わせで表すことができ、

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

となる。すなわち、点(x,y)は、 θ - ρ 空間上の1本の曲線と

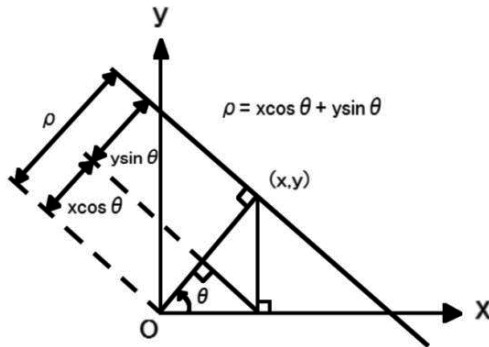


Fig1. Expression of a straight line with the parameters θ and ρ

して表される。同様にして、別の点についても θ - ρ 空間では曲線で表される。Fig2.はx-y空間上の複数の点を θ - ρ 空間上示したものである。曲線が交差する点はx-y空間上の点が同一直線上に存在することを示している。これより、x-y空間上に存在する直線を検出することができる。

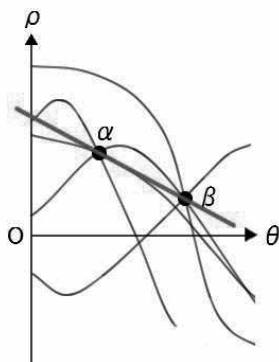


Fig2. Drawing of the curve in θ - ρ space

円の検出においては、Fig3.に示すように、直交座標上の点(x,y)を通るすべての円は、円の中心点(X_0, Y_0)と半径

Rで表される。

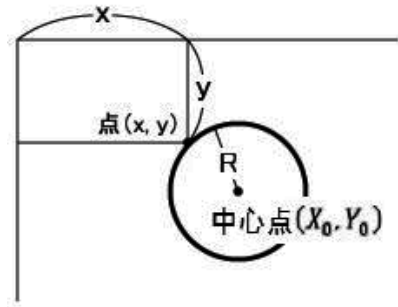


Fig3. Detection of the circle by Hough transformation

この時の点(x,y)を円の中心点(X_0, Y_0)と半径Rの組み合わせに変換する式は

$$R^2 = (x - X_0)^2 + (y - Y_0)^2 \quad (2)$$

と表すことが出来る。この式を用いて、直交座標上の点(x,y)を新たなパラメータ空間 X-Y-R(三次元空間)上に変換すると、直交座標上の1点は三次元空間上の1枚の面として表される。直線の検出時と同じように、直交座標上に多数の点が存在すると三次元空間上にも多数の曲面が表される。この曲面が交差する点が存在すれば、それは元のx-y空間上では同一の円上に並ぶことになり、直交座標上の円を決定することが出来る。

2.2 ヒストグラム

デジタル画像処理分野におけるヒストグラム(Histogram)とは、画像の濃度値(輝度値など)を横軸に、画素の数(頻度)を縦軸に表した、濃度分布を示す統計グラフを指す。

このヒストグラムを異なる2つの画像について求めた時、それらのグラフの形状には差異がある。この差異の程度を数値的に求める方法として

- (1) Correlation 相関係数
- (2) Chi-Square χ^2 検定
- (3) Intersection 共通集合
- (4) Bhattacharyya distance バタチャリヤ距離

などが存在する。

2.2.1 Correlation

Correlation とは相関係数のことで、2つの確率変数の間の相関を示す統計学的な指標のことである。1つ目のヒストグラムの値を $H_1(I)$ 、別のヒストグラムの値を $H_2(I)$ とするとき(Iはヒストグラムの横軸の値(輝度))、相関係数は

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_l (H'_1(l) \cdot H'_2(l))}{\sqrt{\sum_l (H'_1(l)^2) \cdot \sum_l (H'_2(l)^2)}} \quad (3)$$

で表される。ここで、 $H'_k(l)$ は各データの平均からのずれであり

$$H'_k(l) = \frac{H_k(l) - 1}{N \cdot \sum_j H_k(j)} \quad (4)$$

である(J は l とは別に換算する横軸の値)。ここでの N はヒストグラムのビン(値域)の数である。

(4)式の計算結果は-1から1の間の実数値で表され、結果が1に近ければ2つの確率変数には正の相関、-1に近ければ負の相関となる。

ただし、今回は2つのヒストグラムがどれだけ似通っているかが知りたいので、結果が1に近ければ近いほど2つのヒストグラムは類似していると判断できる。

2.2.2 Chi-Square

Chi-Squareとは χ^2 検定のこと、帰無仮説(ある仮説が正しいと置いて良いかどうかを統計学的・確率論的に判断するためのアルゴリズムのこと)が正しいのであれば、検定統計量が χ^2 分布に従うような統計学的検定法の総称である。今回はその中でも最も良く使用されている、ピアソンの χ^2 検定を行った。

ピアソンの χ^2 検定は“観察された事象の相対的頻度がある程度分布に従う”という帰無仮説を検定するものであり、事象は互いに排他的でなければならない。ここで、各頻度の観測値を O 、帰無仮説から導かれる頻度の期待値(理論値)を E としたとき、ピアソンの χ^2 検定は

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad (5)$$

で表される。これを2つのヒストグラム $H_1(l)$ 、 $H_2(l)$ について考えると

$$d(H_1, H_2) = \sum_l \frac{(H_1(l) - H_2(l))^2}{H_1(l) + H_2(l)} \quad (6)$$

と表される。

(5)式の計算結果が0に近ければ近いほど、2つのヒストグラムは類似していると判断できる。

2.2.3 Intersection

Intersectionとは共通集合(積集合)のことで、与えられている複数の集合の要素の中で、すべての集合に属している要素全体の集合のことである。

この手法で用いる式は

$$d(H_1, H_2) = \sum_l \min(H_1(l), H_2(l)) \quad (7)$$

で表される。ここで $\min()$ とは集約関数のことで、グループの最小値を求めることができる。

よって、計算結果は2つのヒストグラムにおける濃度毎のグループの最小値の和となり、これが高いほど、2つのヒストグラムは類似していると判断できる。また、ヒストグラムが1に正規化されている場合は0から1の間の実数値で表される。

この手法は今回用いた4つのヒストグラム比較の手法の中で最も計算速度が速いという特徴を持っている。

2.2.4 Bhattacharyya distance

Bhattacharyya distanceとはバタチャリヤ距離のことで、2つの離散的確率分布間の距離(類似性)を求める尺度に関する統計学的な指標のことである。また、2つの確率分布の部分的な一致の量の統計的な標本として、バタチャリヤ係数がある。これは、2つの確率変数の相対的な類似性を求めるために使用することができる。

任意の変数 x に関して、同じ変域を持つ2つの離散的確率分布 $p(x)$ 、 $q(x)$ 間のバタチャリヤ係数は

$$B(p, q) = \sum_x \sqrt{p(x)q(x)} \quad (8)$$

と定義される。この時、各確率変数は正規化されていなければならない。

(8)式の計算結果は0から1の値となり、1に近いほど、2つの確率分布は類似している。

また、このバタチャリヤ係数の式を用いて

$$d(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \sum_l \frac{\sqrt{H_1(l) \cdot H_2(l)}}{\sqrt{\sum_l H_1(l) \cdot \sum_l H_2(l)}}} \quad (9)$$

という式を導くことができる。

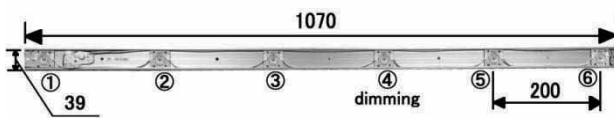
(9)式の計算結果は同じく0から1の値であるが、バタチャリヤ係数の計算式の場合と違い、0に近いほど2つのヒストグラムは類似していると判断できる。

3. 簡易エージングテストの開発環境

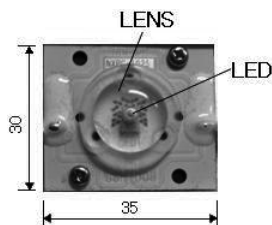
3.1 検査対象 LED

今回検査対象とする LED の外観を Fig4.(a)に示す. 6 つの LED ユニットが 200[mm]間隔でアルミのレール上に並列接続されており, ④の位置にある LED ユニットが減光している.

LED ユニットの拡大図を Fig4.(b)に示す. ユニットの基盤中心部に直径 1[mm]程度の LED が配置され, その上に半径 4.5[mm]程度の凸レンズが被されている. これにより, 指向性が強い LED の光が拡散され, 正面以外からでも明るく見えるようになっている. また, 電源として, 秋月電子通商のスイッチング AC アダプター GF18-US24075-T (24[V], 0.75[A], 内径 2.1[mm]) を用いている. 画像処理ライブラリとしては OpenCV を, 開発言語は Microsoft Visual C++ 2010 Express を用いた.



(a) LED bar



(b) LED unit

Fig4. LED bar and LED unit

3.2 エージングテスト実験装置

Fig.5 に実験装置の概略図を示す. アルミフレームで制作した 300×500×650mm の直方体上部中央に Web カメラを設置する. レール上にある検査対象 LED ユニットは, Web カメラから得られる画像中央にユニット画像がくるように, また, 常にカメラと対象物との距離が一定になるよう配置する.

1 つの LED ユニットの画像の取り込みが終われば, レールをスライドさせて別の LED についても続けて検査することができる. また, レールを支えるガイドを上下に

動かすことで, カメラと LED ユニットとの距離は調節が可能となっている.

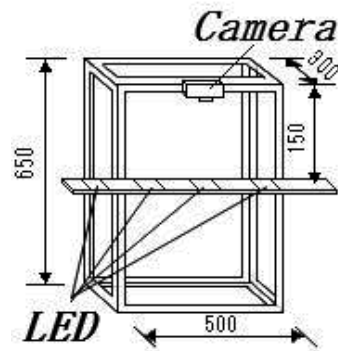


Fig5. Experimental device

4. 簡易エージングテストにおける処理手順

今回制作した簡易エージングテスト装置は, 1) カメラから画像を取り込む. 2) 取り込んだ画像をハフ変換する. 3) 画像から検査領域を切り取る. 4) ヒストグラムを比較する. 5) 結果を表示する. といった処理手順により LED の簡易エージングテストを行う.

はじめに, Web カメラから取り込まれた画像から下図のような円とその中心点を求める. Fig.6 は, 検査対象 LED と Web カメラの距離を 200 mm とし, LED ユニット ③の画像を取り込んだものである. 画像中には, ハフ変換によって得られた円も示している.

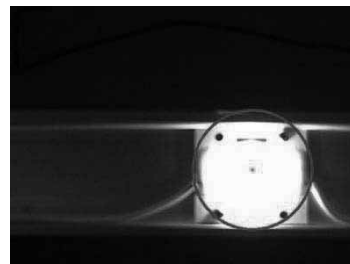


Fig. 6 Hough Transform

ヒストグラムによる比較を行うには, 比較する検査領域を統一しておかなければ正しい検査ができない. ここではハフ変換で求めた円の中心座標を用いて, 中心座標の周囲 300×300 ピクセルを切り取りこの領域を検査領域とする.

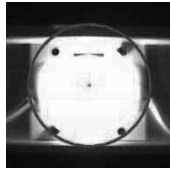
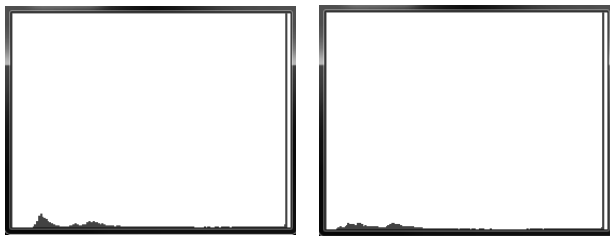


Fig7.Cutting of image

次に、検査対象のLEDユニット画像のヒストグラムと、あらかじめ保存してある“正常”に動いているLEDのヒストグラムとを比較する。今回の研究では③のLEDが正常なLEDとして基準LEDとした。

Fig8の(a)には、検査対象のLEDユニット画像のヒストグラムを、(b)には“正常”な③のLEDの画像のヒストグラムを示したものである。



(a) Input Image

(b) Normal Image

Fig8. Histogram

2つのヒストグラムを比べると、2つのヒストグラム左側に小さな山が存在する。基準である(b)のヒストグラムは山がなだらかで小さいことに比べ、(a)の検査対象の画像の方では山の勾配が(b)に比べて大きい。これは画像中のLEDの光が弱く届いていない領域の量を表すものである。つまり、検査対象LEDは基準となるLEDよりLEDの明るさの値が小さいことを示している。

5. 簡易エージングテスト実験

5.1 ヒストグラムの比較結果

2つのヒストグラムを比較して類似度を算出する。類似度を計算する式は 2.2 節の理論を用いて各値を計算し値を比較した。検査対象となるLEDの結果を Table.1 に示す。比較に用いた式中の $H_1(I)$ には基準画像の濃度 I の頻度(基準画像中に存在する濃度 I の pixel の総数)が、 $H_2(I)$ には検査画像の濃度 I の頻度(検査画像中に存在する濃度 I の pixel の総数)がそれぞれ取られる。表 1 の上から 3 つ目までが正常に動いているLED(上から③、②、

⑤)で、4つ目が商品としては扱えない減光しているLEDである。

Table.1 Result

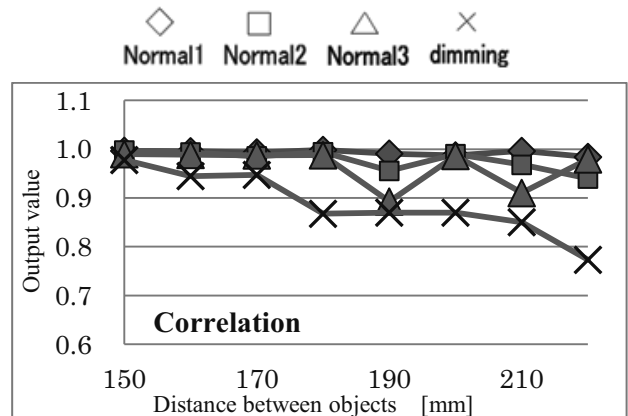
LED	Correlation	Chi-Square	Intersection	Bhattacharyya distance
③ Normal 1	0.999	0.011	0.948	0.054
② Normal 2	0.993	0.058	0.900	0.131
⑤ Normal 3	0.997	0.049	0.899	0.114
④ Dimming	0.989	0.115	0.855	0.195

結果より、減光している④のLEDの値が他のLEDよりも類似の程度が低い。すなわち、LEDの動作に問題があることがわかる。

5.2 エージングテスト条件の検証

今回製作した簡易エージングテスト装置の検査値精度を高めるため、WebカメラとLEDの最適距離の条件を調べた。方法は、Webカメラ直下150mmの位置にLEDユニットを設置し、③、②、⑤、④のLEDユニットの画像を取り込み、そのヒストグラムの処理を行う。次に、対象間の距離を10mm増加して同じ手順で画像の取り込みと処理を行う。これを220mmまで繰り返し、対象間の距離による検査精度の変化を考察した。

Fig. 9は、相関係数、 χ^2 検定、共通集合、バタチャリヤ距離の各比較方法に対して、WebカメラとLEDユニット間の距離を変化させたときの各LEDユニットの結果を示したものである。



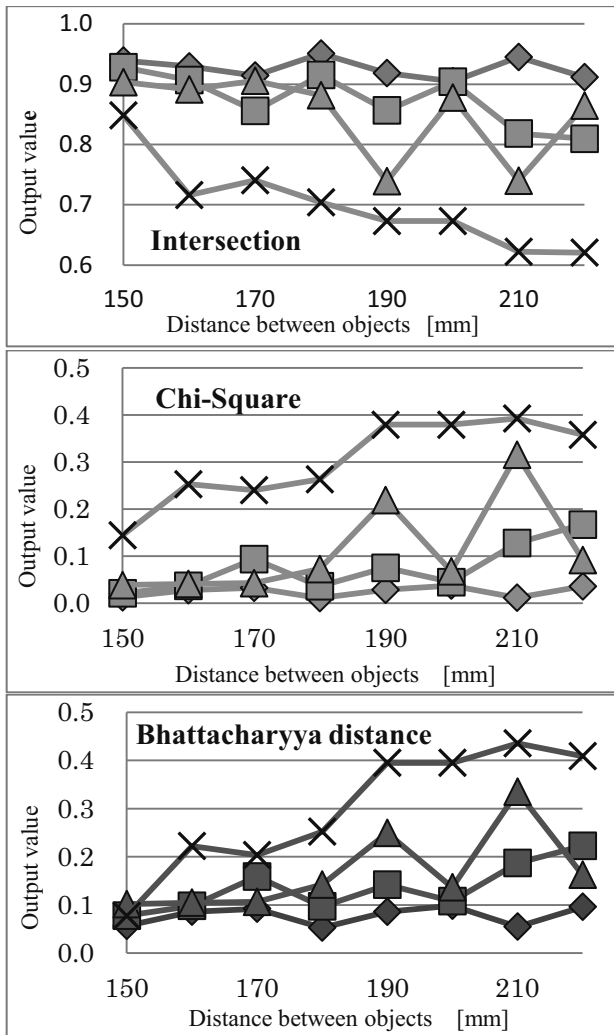


Fig9. Change of the result of every condition

Fig.9 より、距離が 150mm の場合には 4 つの LED ユニット全てで比較結果の数値が近く“正常”、“不良”を判断する閾値を設定するのが難しいことが分かる。しかし、距離が大きくなるにしたがって、4 つの LED の比較結果の差が大きくなる。つまり、距離がおおきくなれば閾値を設定するための値域の幅が大きくなる。

ただし、距離を大きく離すとハフ変換が難しくなり、適切な検査領域の切り取り画像を抽出できず、検査結果の値が急激に変わる。今回の実験では、対象間距離が 200mm のところでハフ変換での LED の位置検出が難しくなった。したがって、製作した実験システムの場合、閾値の決定しやすさとハフ変換の精度のバランスが取れている最良の対象間距離は 180mm であると考えられる。

6. 結言

本研究では、簡易エージングテスト装置の作成と、作成した簡易エージングテスト装置のヒストグラムの比較

方法における性能評価を行った。また、検査画像の取り取り条件である Web カメラと LED ユニット間の距離について実験的な考察を行った。この結果、製作した簡易エージングテスト装置は最大で 10% 前後の誤差を持つが、比較的簡単なシステムで良品か不良品かを見分けることができることが分かった。

ただし、今回の簡易エージングテスト装置は LED ユニットの設置環境に依存する“閾値”の設定に人間の判断を必要としている。今後の課題としては、完全な自動化による人間の負担の軽減を目指すと共に、今回使用した 6 つの LED ユニット以外の LED 光源についても簡易検査結果のデータを取り、より汎用性を高くする必要があると思われる。

参考文献

- [1] トランジスタ技術編集部, “高輝度/パワーLED の活用テクニック”, CQ 出版社, pp.10-17, 2008.
- [2] 奈良先端科学技術大学院大学 Open CV プログラミングブック制作チーム, “Open CV プログラミングブック第 2 版”, 株式会社 毎日コミュニケーションズ, pp.194-198, 2009.
- [3] 鈴木智之, “同一性評価と組み合わせ最適化手法を用いた断片化歩行者導線の復元手法”, pp.21-22, 2007.