

## デジタルカメラ画像を用いた照度測定の検討 Study of an illumination measurement using a digital camera image

坂本 優大<sup>†</sup> 安藤 夏生<sup>†</sup> 岡本 健司<sup>†</sup> 宇佐美 真<sup>†</sup> 三栖 貴行<sup>†‡</sup> 一色 正男<sup>†‡</sup>  
Masahiro Sakamoto Natsuki Ando Kenji Okamoto Makoto Usami Takayuki Misu Masao Isshiki

### 1. 緒論

LED 照明は低消費電力などの優れた特性から照明機器として広く普及している。白熱灯や蛍光灯などの従来光源照明は、光源から照明器具まで生産できる企業が優位であった。LED 照明は、LED チップや電源回路、導光板、他の部材を外部企業から購入後、自社で組み立てて生産できるため、新規参入障壁が比較的低い。2012 年の LED 照明市場は前年比 195% の 4,204 億円となり市場規模は拡大している [1]。新規参入メーカーは異業種からの参入も多く、照明器具の評価は簡潔で安価な方法が必要と考えられる。

LED は既存の光源と異なり、集光の役割を持ったレンズを用いるため、従来の放射光源のように照度測定における距離の逆二乗の法則が適用できない [2]。精度の高い照度設計および光学シミュレーションには比較的高価なソフトウェアが必要となる。また 4 点法を用いた照度測定は大面積になるほど測定点数が増加し、多くの測定時間を必要とする。測定時間の減少のために複数の照度計を購入する方法があるが購入台数分の費用が増えるため、低コストで大面積の照度評価方法が必要と考えられる。

近年、HEMS (Home Energy Management System) における照明制御システムは昼光を利用したシステムが考案されている [3]。昼光利用時の照明制御では電動ブラインドが利用されており、太陽光の窓面入射角が時間帯で変化することから不快グレアの発生を抑制する必要がある [4][5]。照度センサは大面積の測定には不向きであり、ブラインドの影を識別することは出来ない。したがって、大面積を照度測定できるような方法が必要とされている。

大面積の明るさを測定する方法として、デジタル画像データを用いた輝度測定方法は既に検討されているが、照度測定方法は検討されていないと考えられる [4][6][7]。

本研究はデジタルカメラ画像を用いることで、大面積照度計測の低コスト化及び HEMS 照明制御への応用を目的としている。デジタルカメラ画像による照度測定の検討のため、机上面のデジタル画像データのヒストグラム (輝度に対するピクセル数) と机上面照度の実測データとの比較を行ったので報告する。

### 2. 実験及び実験方法

色が異なる机上面におけるデジタル画像の輝度と、机上面照度を比較検討するために、デジタル画像の累積輝度値の算出、照度計 (コニカミノルタ社製 CL-200A) を用いた机上面照度の測定を行った。

<sup>†</sup> 神奈川工科大学大学院

Graduate School of Engineering, Kanagawa Institute of Technology

<sup>‡</sup> 神奈川工科大学

Kanagawa Institute of Technology

### 2.1 デジタル画像による机上面輝度の測定

図 1 にデジタルカメラを用いた机上面輝度の測定方法の概略図を示す。実験に使用した暗室 (1200×1200×1200mm) の上部には汎用のデジタルカメラ (Panasonic 製 DMC-FX700) を設置し、机の中心部を撮影できるようにした。表 1 にデジタルカメラの設定を示す。設定内容はほぼ初期設定と同様とし、輝度情報への影響を考慮してフラッシュ発光は禁止とした。LED 電球 (電球色、全光束 520lm) は角度調節が可能な三脚 (Velbon 製 VS-443Q) に E26 型用三脚取り付けソケットで固定し、机上面に対して 45° の角度で設置した (図 1)。LED 電球のエイジングは 1 時間行い、明るさを安定させた。机 (株式会社ニトリ製フリーデスク 1000×600×720mm) はホワイト、ライトブラウン、ダークブラウンおよびブラックの計 4 色の机上面で計測を行った。図 2 に机上面の観測点および測定点を示す。机上面は中心面を

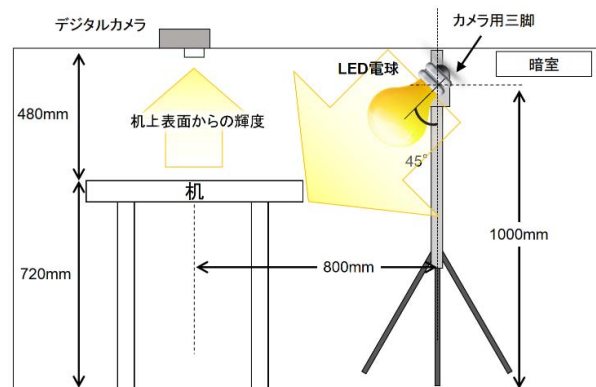


図 1 デジタルカメラを用いた机上面からの輝度測定の概略図

表 1 デジタルカメラの設定

設定項目	設定値・設定内容
露出設定	マニュアル露出
絞り値	2.2
シャッタースピード	1/60
ISO感度	800
記録画素	4:3 14M
フラッシュ設定	発光禁止
ホワイトバランス	オート

縦150×横150mmの4区画(A~D)に分け、9点の照度測定点を設けた。9点の照度測定点は照度計を用いた机上面照度測定で使用する。LED電球からの光は図2の机上面の区画Aから入射する。また測定机上面として縦300×横300mm角の区画を第5の区画Eとした。

デジタル画像はJPEGデータを使用した。JPEGデータは画像処理ソフト(Adobe社製 Photoshop CS6 Extended windows版)を用いて、図2のような区画で分けた。区画A~Eのデジタル画像のヒストグラムは明るさ情報を使用するため、グレースケール画像に変換した後で抽出した。図3にデジタル画像のヒストグラムの一例を示す。抽出されたヒストグラムは横軸がデジタル画像(JPEG)の輝度(1~256)、縦軸がピクセル数となる。測定照度と比較するデジタル画像の累積輝度値の算出式は以下ようになる。ピクセル数×デジタル画像の輝度値を1~256の256段階まで算出し、全て加算した。以下の(1)式に算出方法を示す。

$$\sum_{n=1}^{256} n \times P(n) \dots\dots\dots (2)$$

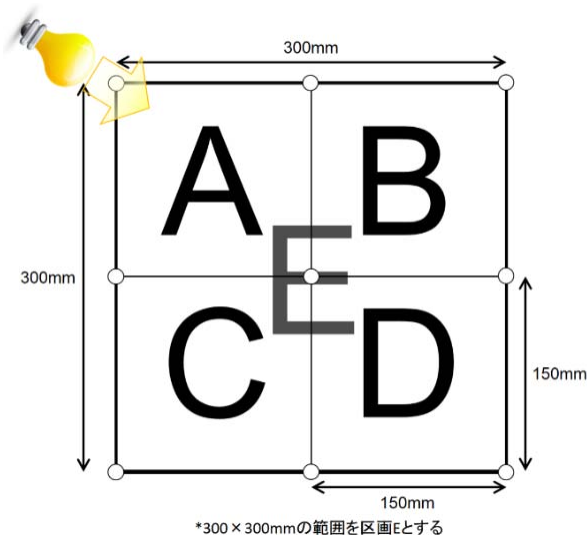


図2 机上面の観測点および測定点

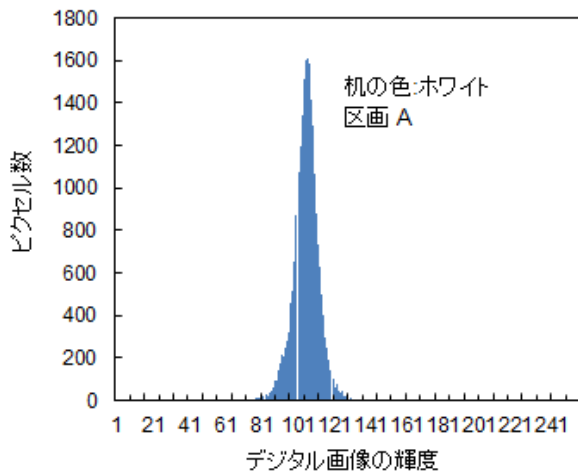


図3 デジタル画像のヒストグラムの一例

$n$  はヒストグラムの輝度値で、 $P(n)$ は輝度に対するピクセル数を示す。以降は算出値を「デジタル画像輝度」とする。

2.2 机上面照度の測定方法

図4に机上面照度の測定概略図を示す。机上面の色はデジタル画像と同様にホワイト、ライトブラウン、ダークブラウンの4色で測定した。照度計を用いて机上面照度を測定した。机上面照度は図2のA~Dの各区画の4隅の点で4点照度法により照度を測定し、計10回の測定値の平均値から決定した。300×300mmの区画Eの照度算出は中心点を含めた5点照度法により決定した。

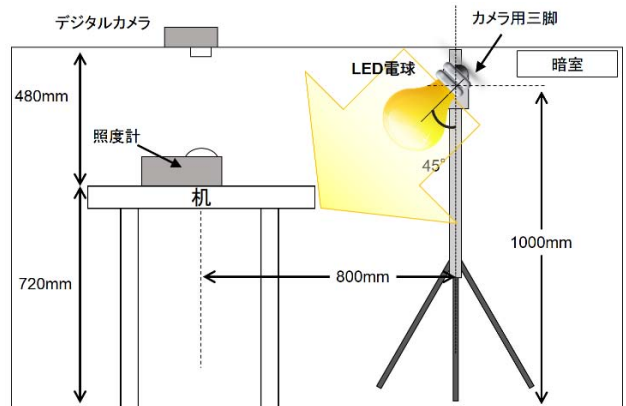


図4 机上面照度の測定概略図

3. 実験結果

図5に机上面のデジタル画像を示す。図5(a)および(b)のように明るい色の机上面では光源からの光が均等に拡散しているように見える。また図5(c)および(d)は机上面が暗く光が拡散されていないと思われる。したがって以降の結果は明度の高い色の机上面(ホワイト、ライトブラウン)の場合、明度の低い色の机上面(ダークブラウン、ブラック)の場合の二つに分ける。

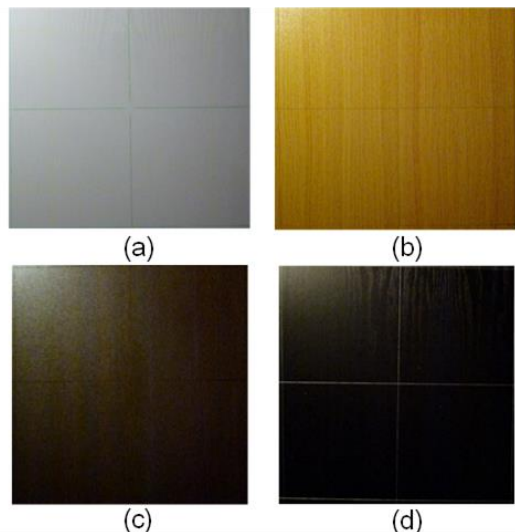


図5 机上面のデジタル画像 (a)ホワイト, (b)ライトブラウン, (c)ダークブラウン, (d)ブラック

### 3.1 明度の高い色の机におけるデジタル画像輝度と机上面照度の比較

図 6 に机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ホワイト) を示す. また図 7 に机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ライトブラウン) を示す. デジタル画像輝度は, 机上面照度と同じ変化が得られている. 全体を表す区画 E でのデジタル画像輝度はホワイトで約 2.83, ライトブラウンで約 2.27 が得られた. また区画 E の机上面照度はホワイトで約 181 lx, ライトブラウンで約 187 lx とほぼ同じ値が得られた.

### 3.2 明度の低い色の机におけるデジタル画像輝度と机上面照度の比較

図 8 に机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ダークブラウン) を示す. また図 9 に机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ブラック) を示す. デジタル画像輝度は, 机上面照度と同様の変化が得られている. 全体を表す区画 E でのデジタル画像輝度はダークブラウンで約 0.654, ブラックで約 0.505 が得られた. また区画 E の机上面照度はダークブラウンで約 155 lx, ブラックで約 154 lx とほぼ同じ値が得られた.

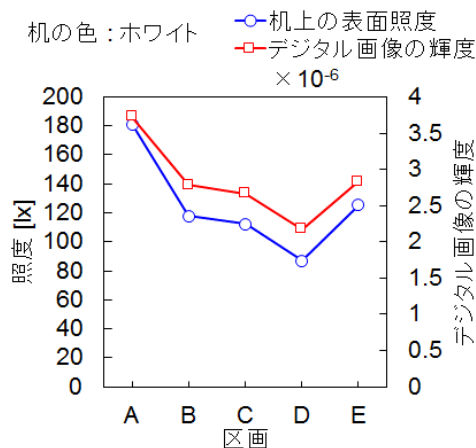


図 6 机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ホワイト)

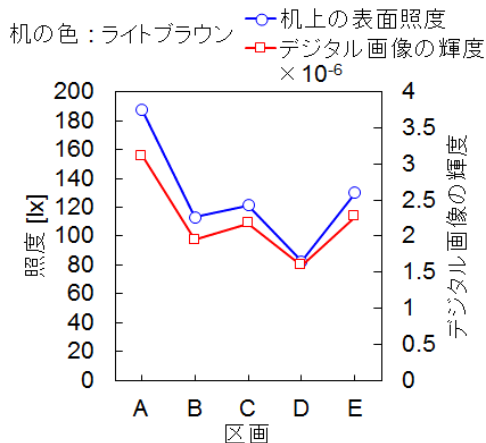


図 7 机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ライトブラウン)

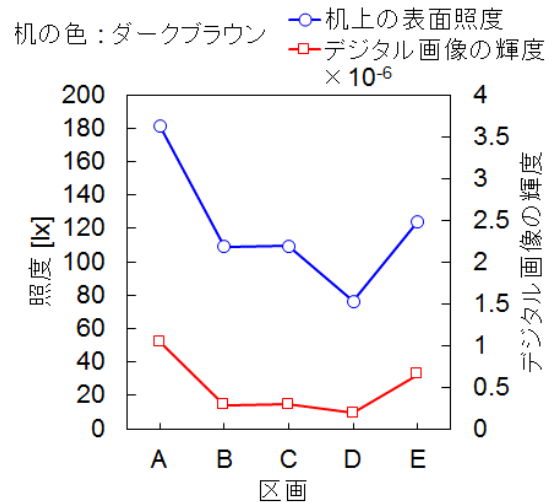


図 8 机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ダークブラウン)

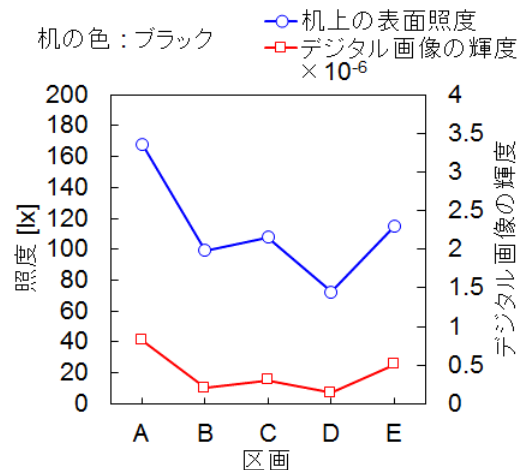


図 9 机上面の各区画のデジタル画像輝度と机上面照度との関係 (ブラック)

## 4. 考察

### 4.1 デジタル画像輝度と机上面照度の関係

明度の高い机と明度の低い机において, デジタル画像輝度と机上面照度の相関を以下の CORREL 関数の数式により算出した[7].

$$Correl(X,Y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots(2)$$

表 2 にデジタル画像輝度と机上面照度の相関を示す. 相関係数はどの机の色においても 1 に近い値が得られており, デジタル画像輝度と机上面照度は強い相関関係にあることがわかった. 明度の高い色の机はデジタル画像輝度が高く, 明度の低い色の机ではデジタル画像輝度が低い.

机上面の色は机上の拡散反射光で変化するため, 机上面の拡散・反射係数により輝度が異なっていると考えられる. また, デジタル画像輝度と机上面照度の相関係数はほぼ等しい. したがって, 測定に用いた机上は均等拡散面と考え

られる。均等拡散面では輝度  $L$ 、照度  $E$ 、反射率  $\rho$  とすると以下の式が成り立つ[9]。

$$L = \frac{\rho}{\pi} E \dots\dots\dots(3)$$

デジタル画像輝度は机上面からの反射光のため、反射率  $\rho$  のみの式を示す。

4.2 デジタルカメラ画像を用いた照度測定の提案

デジタル画像輝度は汎用性の高いデジタルカメラの JPEG データを用いており、露出時間、ホワイトバランス、ISO 感度などにより影響を受ける。このような影響を与える要素を  $\alpha$  係数、デジタル画像輝度を  $L_D$ 、机上面照度を  $E_{SD}$  とすると式(3)より、

$$L_D = \frac{\rho}{\pi} E_{SD} \times \alpha \dots\dots\dots(4)$$

となる。 $\frac{\rho}{\pi} \times \alpha$  を  $x$  とし、机上面照度  $E_{SD}$  を求める式に変換すると、

$$E_{SD} = x L_D \dots\dots\dots(5)$$

となる。本研究における  $x$  は、照度測定区画 E の 5 点法により求めた平均照度で算出した。表 3 に照度測定区画 E での各机上面色における  $x$  を示す。本研究の測定システムでは机上面の色がホワイトで相関値が最も高くなり、測定精度も高いと考えられる。

デジタルカメラ画像を用いて輝度を測定する場合は撮像素子の反応値(RAW データ)が用いられており、RGB の輝度情報の分析が行われている[4][6][10]。本研究は目的上汎用性の高いデジタルカメラを使用するため RAW データを扱わない方法で高い精度の照度測定を目指したいと考えている。今後はメーカーの異なるデジタルカメラ、撮像素子の違い露出時間の変化などでの精度向上照度測定を検討していく[6][10]。

表 2 デジタル画像輝度と机上面照度の相関

	ホワイト	ライト ブラウン	ダーク ブラウン	ブラック
相関係数	0.996	0.996	0.952	0.962

表 3 照度測定区画 E での各机上面色における  $x$  値

	ホワイト	ライト ブラウン	ダーク ブラウン	ブラック
$x$ 値	$4.44 \times 10^{-5}$	$5.72 \times 10^{-5}$	$1.90 \times 10^{-4}$	$2.27 \times 10^{-4}$

5. まとめ

デジタルカメラ画像を用いた照度測定の検討を行った結果を以下にまとめる。

- ・ デジタル画像輝度は机上面の色で異なることがわかった。
- ・ デジタル画像輝度と机上面照度の相関係数はホワイトとライトブラウンで 0.996、ダークブラウンで 0.952、ブラックで 0.962 が得られた。
- ・ デジタル画像輝度と机上面照度の関係式を求めた。
- ・ 机上面照度をデジタル画像から予測する方法を検討し、その可能性を見出した。

謝辞

本研究は科研費 JSPS 科研費 (26750006) の助成を受けている。

参考文献

- [1] 株式会社矢野経済研究所 “照明市場に関する調査結果 2013” ,<http://www.yano.co.jp/press/pdf/1142.pdf>
- [2] 田口常正: “白色 LED 照明システム技術と応用”, 株式会社シーエムシー出版, (2008)
- [3] 岡本健司, 今泉優樹, 斉藤龍児, 湯田和馬, 渡邊亮, 吳天, 横山悠平, 杉村博, 三栖貴行, 一色正男, 今吉秀幸(株式会社ニチベイ): “電動ブラインドによる光環境最適化システムの検討”, 第 29 回光源物性とその応用研究会, LS-14-05, pp.20-27, (2014)
- [4] 岩田利枝, 塚見史郎: “CCD カメラの光環境計測への応用技術”, 照明学会誌, Vol.81, No.3, pp.246-249 (1997)
- [5] 谷口智子, 岩田利枝, 伊藤大輔: “窓周辺遮蔽物を考慮した不快グレア指標 PGSV に基づく自動ブラインド制御に関する研究”, 照明学会誌, Vol.98, No.5, pp.211-217, (2014)
- [6] 三木洋平, 宮原浩二: “デジタルカメラを用いた輝度計測手法の検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.2011, No.2, p.78 (2011)
- [7] T. Moore, H. Graves, M. J. Perry and D. J. Carter: “Approximate field measurement of surface luminance using a digital camera”, Lighting Reserch and Technology, Vol.32, No.1, pp.1-11, (2000)
- [8] 一般社団法人照明学会編, 「大学課程照明工学」, 株式会社オーム社, (2007)
- [9] Microsoft office EXCEL サポート “CORREL 関数”, <http://office.microsoft.com/ja-jp/excel-help/HP005209023.aspx>
- [10] 江見明彦: “輝度分布を最適化する照明制御システムにおける輝度計測システムの精度の検討-デジタル一眼レフカメラを用いた輝度計測システムの構築-”, 同志社大学知的システムデザイン研究室第 140 回月例発表会, pp.1-3 (2012)