

# 再帰性反射マークを広範囲で検出するためのカメラ用リング照明の設計

著者	川合 健, 関 啓明, 神谷 好承, 疋津 正利
著者別表示	Kawai Takeru, Seki Hiroaki, Kamiya Yoshitsugu, Hikizu Masatoshi
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2013 Autumn
号	K62
ページ	609-610
発行年	2013
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00050343">http://doi.org/10.24517/00050343</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2013A.0.609.0



# 再帰性反射マークを広く検出するためのカメラ用リング照明の設計

金沢大学 ○川合健, 関啓明, 神谷好承, 疋津正利

## Lighting System of Camera for Widely Detecting Retro-reflective Marks

Kanazawa University Takeru Kawai, Hiroaki Seki, Yoshitsugu Kamiya and Masatoshi Hikizu

Marks are often attached on target objects or environment to make object recognition or self-localization easier. However, it is difficult to detect marks on corner of wide angle camera. In this paper, we propose LED lighting system of camera with fisheye lens for detecting retro-reflective marks in wide field. We simulated brightness of retro-reflective mark on the plane away from the camera to design LED arrangement. It is important for this simulation to consider the characteristics of the reflection angle and observation angle because of retro-reflection. We have designed and made LED lighting system effective for wide view by using this simulation. Measured brightness distribution of reflected light agreed very well with simulation.

### 1. 緒言

自己位置推定や物体認識を容易にするために、環境や物体にマークを貼付し、カメラでそれらを検出することがしばしば行われる<sup>1)</sup>。このとき、広角カメラの視野の端の方のマークまで検出するのは難しい。そこで、本研究では、再帰性反射マークとレンズの周りに赤外 LED を配した魚眼カメラを用いて、広視野の反射マーク検出システムを開発している (Fig.1)。再帰性反射マークは照射された LED の光を光源方向へ反射するため、マークを高輝度で撮影することができ、LED 点灯時と消灯時の 2 つの画像の差分をとることで背景を消去し、マーク検出を容易にすることも可能である。魚眼カメラは広視野であるが、例えば通常のリング照明では、Fig.1 の画像 (カメラから 2m 離れた面) のようにカメラ真正面のマーク 1 に比べ、2m 離れたマーク 2 は暗く写りがちで検出しにくい。本研究では、反射光量分布シミュレーションを行い、広視野で、できるだけ一定の明るい反射光を得るための LED の配置を検討・試作した。

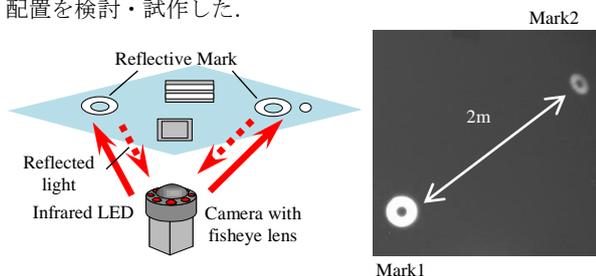


Fig.1 Detecting system of reflective marks in wide field

### 2. 反射マークと LED の特性測定

マークの検出可能範囲は、反射光量の分布によって決まる。そこで、カメラから距離  $z$  にある  $xy$  平面におけるマークの反射光量  $I(x, y)$  の分布を求めることを考える (Fig.2)。

$$I(x, y) = I_D(r) \cdot I_L(\theta) \cdot I_O(\alpha, \gamma) \quad (1)$$

$I_D$  は LED とマークの距離  $r$  [m] による反射光量の特性、 $I_L$  は LED の角度  $\theta$  [°] による指向性、 $I_O$  は反射マークの反射角  $\gamma$  [°] と観測角  $\alpha$  [°] (LED, マーク, カメラのなす角) による反射光量の特性である。各特性を実験により測定し、シミュレーションに必要な近似式を導く。反射光量は、LED を on/off したときのマーク画像 (256 階調) の明るさの差から求める。なお、LED は OSRAM 製 SFH4235, 反射マークは、微小なプリズム形状により再帰性反射させる REFLEXITE 製 JV104E を用いた。

**2.1 距離特性** LED とマークの距離に対する反射光量の変化を調べた。LED とマークの距離を 0.5m 間隔で変化させ、各 2 回測定した結果を Fig.3 に示す。距離が離れるにつれ、反射光量は減少する。この結果を反比例近似し、 $r=2m$  で正規化すると式(2)のように表せ、 $k_D=2.44$ ,  $I_D=0.22$  となった。

$$I_D(r) = \frac{k_D}{r} + I_D \quad (2)$$

**2.2 LED の指向性** LED の指向性を調べた。カメラと LED を 3.5m 離し、LED の角度を変化させて、3 回ずつ測定した結果を Fig.4 に示す。この結果を放物線近似し、正規化すると式(3)のように表せ、 $k_L=-1.21 \times 10^{-4}$  となった。

$$I_L(\theta) = k_L \theta^2 + 1 \quad (3)$$

**2.3 反射角と観測角による特性** マークの各反射角において、観測角の変化による反射光量の変化を調べる。観測角は、カメラと LED の距離  $d$  によって変化させる。観測角は通常 1° 以下の微小な角度であるが、再帰性反射の性質により、このわずかな角度の違いで反射光量が大きく変化する。3 回測定した結果を平均し、正規化したものを Fig.5 に示す。当初、反射角と観測角の特性は独立していると予想したが、測定の結果、独立ではないことが分かった。式では表現しにくいので、この特性  $I_O(\alpha, \gamma)$  は、Fig.5 をテーブルとして記憶しておき、補間計算を行って、シミュレーションに用いる。

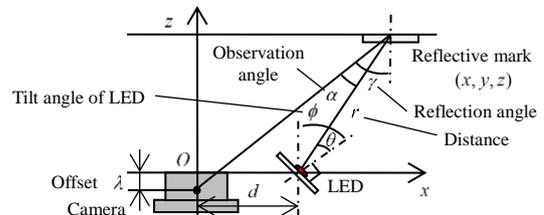


Fig.2 Geometrical relationship of system

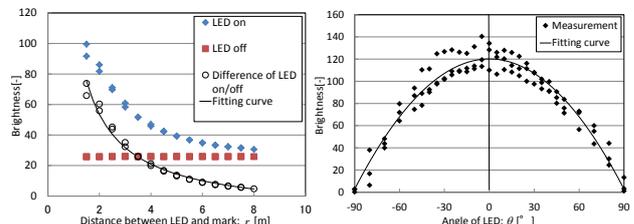


Fig.3 Characteristics of distance

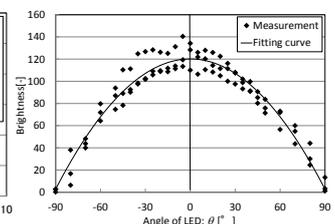


Fig.4 Directivity of LED

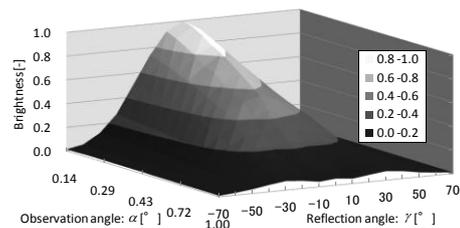


Fig.5 Characteristics of reflection and observation angle

### 3. 反射光量分布シミュレーション

#### 3.1 広指向性 LED を用いたシミュレーション

広視野で明るい反射光を得るための LED の仕様・配置を検討する。そのため、実験で得られた特性をもとに、LED の仕様や配置(LED の位置 $d$ ,傾き $\phi$ )を変えて、一定距離の平面にあるマークの反射光量分布をシミュレーションした。カメラを原点とし、平面までの距離を $z=2\text{m}$ とした。式(3)の指向性をもつ広指向性 LED(LED<sub>a</sub>とする)1個を $d=20\text{mm}$ ,  $\phi=0^\circ$ で配置したときの結果を Fig.6(i),  $\phi=45^\circ$ で配置した結果を Fig.6(ii)に示す。広指向性の LED<sub>a</sub>を傾けても、遠方の反射光量はそれほど増加しないことが分かった。

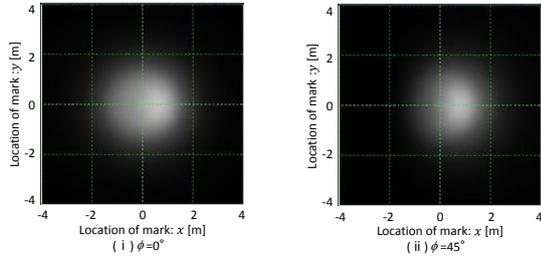


Fig.6 Brightness distribution of reflected light by LED<sub>a</sub>

#### 3.2 狭指向性 LED を加えたシミュレーション

遠方にあるマークの反射光量を増加させるため、狭指向性 LED を利用する。狭指向性 LED は、LED<sub>a</sub>に比べ放射強度が強い。Fig.7の指向性をもつ LED(LED<sub>b</sub>, LED<sub>c</sub>とする), 具体的には, VISHAY 製 TSHG6410 と OSRAM 製 SFH4550 を用いる。環状に LED<sub>b</sub>を $d=30\text{mm}$ ,  $\phi=56^\circ$ で 8 個, LED<sub>c</sub>を $d=40\text{mm}$ ,  $\phi=63^\circ$ で 30 個配置したときの結果を Fig.8(i)に示す。それに加え LED<sub>a</sub>を $d=20\text{mm}$ ,  $\phi=0^\circ$ で 1 個配置した結果を Fig.8(ii)に示し, そのときの $x$ 軸上の反射光量分布を Fig.11 中の細線に示す。遠方のマークの反射光量を増加させるには狭指向性 LED を傾けて用いるのが効果的だと分かった。

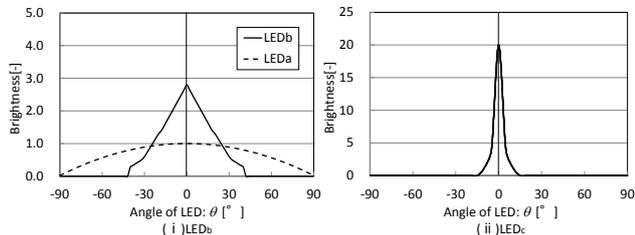


Fig.7 LED with narrow directivity

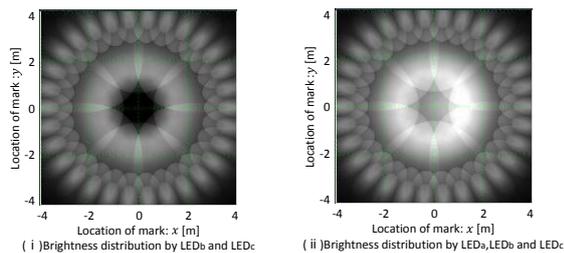
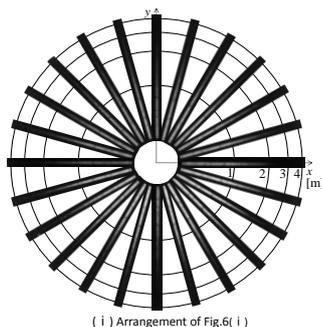
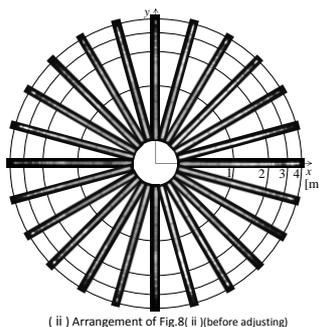


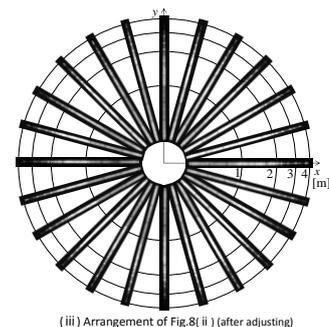
Fig.8 Brightness distribution of reflected light by many LEDs



(i) Arrangement of Fig.6(i)



(ii) Arrangement of Fig.8(ii) (before adjusting)



(iii) Arrangement of Fig.8(ii) (after adjusting)

Fig.10 Measured distribution of reflected light (Fisheye image)

### 4. LED 照明の試作と反射光量分布の測定

3.2 の Fig.8(ii)のシミュレーション結果をもとにした LED 照明をカメラの周囲に試作した(Fig.9). カメラは Marlin 製 F-131B NIR(1280×1024pixel), 魚眼レンズは FIT 製 FI-23 (焦点距離 2.3mm) を用いた。各 LED の電流は約 150mA, 点灯時間は 40msec とした。カメラから 2m 離れた天井に幅 5cm×長さ 4m の反射テープを貼付し, カメラを 15° 毎に回転させて反射光量分布の様子を撮影した画像を Fig.10 に, そのときの $x$ 軸上の反射光量分布を Fig.11 に示す。当初の測定では, 測定値がシミュレーションと大きく乖離している所が一部あった。そこで, LED の角度を微調整し, 再度測定を行った結果, 測定値とシミュレーションの値は, よく一致した。

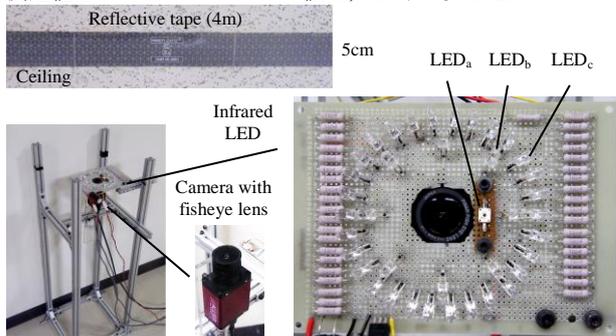


Fig.9 Camera with proposed LED light and measurement setup

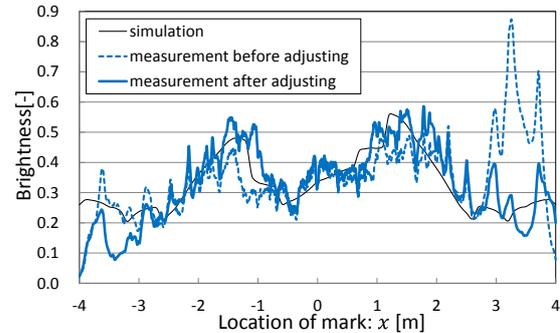


Fig.11 Brightness of reflected light along  $x$ -axis.

### 5. 結言

反射マークや LED の特性を測定し, 近似式を求め, カメラから一定距離の平面にある反射マークの光量分布をシミュレーションすることにより, 広視野で明るい反射光を得るための LED の配置が検討できた。実際に LED 照明を試作し実測したところ, よくシミュレーションと一致した。特に, 独立でない反射角と観測角の特性を考慮した点が効果的であったと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 中里祐介, 他: ウェアラブル拡張現実感のための不可視マークと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, 10,3(2005)295-304.