

# フルカラーLED照明を用いた屋内位置推定手法の検討

梅田 玲旺<sup>1</sup> 間 博人<sup>1</sup> 市川 耀<sup>2</sup> 松井 健人<sup>2</sup> 三木 光範<sup>1</sup>

**概要:** 近年、屋内位置情報を用いたナビゲーションや情報配信サービスが注目をあびており、屋内位置推定の需要が高まっている。また、屋内には必ず照明設備があり調光可能なLED照明を持つ施設が増加している。調光だけでなく調色可能なLED照明も登場しており、今後屋内での照明設備はより多様な色と明るさを実現することが考えられる。そこで本稿では、調光調色可能なLED照明と照明光を検知可能なカラーセンサを用いた位置推定手法を検討する。提案手法は、まず照明を調光調色し、照明の信号値とカラーセンサの値の近似式を作成する。照明をRGBYの各色ごとに段階的に点灯し、カラーセンサの値を取得する。カラーセンサで取得した値と近似式を用い、推定したカラーセンサの値を比較し、センサ位置を推定する。実際の調光調色可能なLED照明とカラーセンサを用いた位置推定手法の位置推定精度を測定し有効性を検証した。実験の結果として、提案手法を用いると1度の調光で平均0.5mの誤差で位置推定ができることを確認した。

## 1. はじめに

近年、屋内位置情報を用いたサービスが注目をあびている。本研究では、ナビゲーションや位置に応じた情報を配信する屋内位置情報サービスを実現するため、調光調色可能なフルカラーLED照明を用いた位置推定手法を検討する。

近年、LED照明が注目されておりビルのスマート化により調光可能なLED照明を持つ施設が増加している。また、調光調色可能なLED照明を持つ施設も存在している。照明の色を用いることにより人の気分や使用目的等に応じ室内を変化させることが可能となり、屋内での照明設備はより多様な色と明るさを実現することが考えられる。そこで本稿では、調光調色可能なLED照明と照明光を検知可能なカラーセンサを用いた位置推定手法を行う。提案手法は、まずフルカラーLED照明を調光調色し、照明をRGBYの各色ごとに段階的に点灯する。点灯後、推定を行う対象空間の任意の場所でカラーセンサの値を取得し、カラーセンサの値と計測した関係式を用い推定したカラーセンサの値を比較し、位置を推定する。

## 2. 関連研究

屋内位置推定手法は様々な手法が提案されている。赤外線 [1]、超広帯域無線 [2]、FM電波 [3][4]、超音波 [5]、Wi-Fi[6]、RFID[7]、Beacon[8] の電波強度などから三辺測量法を行い位置推定を行う手法が提案されている。電波強度を用いた位置推定手法は障害物等による電波の衰減などにより位置推定精度に問題がある。そのため、PDRとWi-Fiなど複数の手法を組み合わせた方法がある [9]。

照明光とフィンガープリントを用いた位置推定手法として部屋の四隅に照明を設置し四隅の照明の点灯、消灯による点灯パターンによる照度変化により位置推定を行う手法である [10]。しかし、照明を点灯、消灯しなければならない、位置推定を行う際に明るさが大きく変わる問題がある。

本研究では、照明を一度点灯させるのみで位置推定が可能となり、点灯パターンを変更しない。照明の点灯回数を1回で位置推定を行うことができる。位置推定の際に照明の明るさが変わらないため通常の照明として使用が可能である。さらに、調光調色可能な照明設備を備えている環境では追加設備を必要とせずに位置推定を行うことができる。

## 3. 光と色の基本的性質

### 3.1 光の基本的性質

本研究ではフルカラーLED照明やカラーセンサを用いるため、照明やカラーセンサ、光度、および照度の基本的性質について説明する。光度は照明の明るさを表し、照度は

<sup>1</sup> 同志社大学 理工学部  
Department of Science and Engineering, Doshisha University, 1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe-shi Kyoto, 610-0394, Japan

<sup>2</sup> 同志社大学大学院 理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, 1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe-shi Kyoto, 610-0394, Japan

単位面積あたりの明るさを表す。照度センサはフォトダイオードを受光素子として用い照度を取得している。カラーセンサはフォトダイオードに特定の色のフィルタを組み合わせることにより特定の光をそれぞれ受光する。照度センサとカラーセンサはともにフォトダイオードを使用し光を受光するためカラーセンサの基本特性は照度センサと同じであり、照度センサと同じく光度、照度が関係する。

照明 a と照度センサ p が位置するとき照明 a の光度が照度センサ p に与える影響を図 1 に示す。一般的に照明の光度が照度センサに与える影響は、照度センサが照明の真下から周辺に行くほど低下する。その要因として距離の逆 2 乗則、照明の配光特性、照度センサの斜入射光特性が存在する。距離の逆 2 乗則は距離が離れるほど照明の光の強さが弱くなり、距離の 2 乗に反比例する。照明の配光特性は照明からの鉛直方向の光は強く、斜め方向の光は弱いという特性である。照度センサの入射角光特性は照度センサも照明同様に斜入射光特性があり、照度センサに入射する入射光の入射角度の余弦に比例し変化する特性である。図 1 のように照明 a の真下に照度センサ p があるとき照度センサ p の照度は照明 a から多くの影響を受け、照明 b、照明 c と遠くなるほど影響が少なくなる。また、照明 b、c の 2 灯間に照度センサ q が存在する場合には照度センサ q の照度は照明 b、c から多くの影響を受ける。

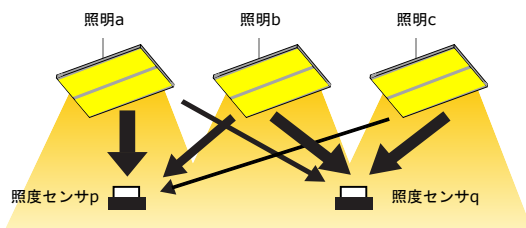


図 1 照明とセンサの影響

### 3.2 色の基本的性質

本研究ではフルカラー LED 照明を用いて調光調色を行うため、色の性質、色の表色系および色の色差について説明する。色には、照明などの光源から見える光を光源色、光源からの光が物体に当たり反射して見える光を物体色がある。照明で色を点灯するとき RGB の LED 照明では色のスペクトルが表現出来ない色のスペクトルが存在する。したがって、色の表現を広げるために RGB の三色に黄色の Y を組み合わせた RGBY が調光調色可能な照明が存在する。

RGBY や RGB を用いると色のスペクトルが異なる場合であっても、人の目には同じに見える色のスペクトルが存在する。人の目で白色光に見える色のスペクトルも複数存在するため白色光を作るためにはいくつか方法がある。白色光の作成方法として補色関係である青色と黄色を組み合わせ

わせ、RGB の三種類を組み合わせるなどの方法がある。人の目には、蛍光灯、白熱ランプなど光源が変化しても白い紙は白い紙に見える。これが色の恒常性であり色の見え方は比較的安定している。さらに色の恒常性に寄与するものとして色順応がある。色順応は赤色を見続けていると赤色から白色方向に見えるように変化する。このように、色を白色方向に見えるようにする効果がある。

色を定量的に扱うための方法として表色系がある。色には複数の要素があり、どの要素に着目するかで用途ごとに様々な表色系が存在する。赤、緑、青の三色を組み合わせるとほとんどの色を作り出すことができるため、赤、緑、青の三色を用いた表色系が RGB 表色系である。色と色を並べて人の目で違いを比べる場合と RGB 表色系で 2 色の値の差をとった場合では、2 点間の距離が大きく異なる。2 点間の距離を人の目で見た時と同じように色の差を表現する表色系が  $L^*a^*b^*$  表色系である。 $L^*a^*b^*$  表色系は 3 つの座標軸が存在する。色の明度である  $L^*$ 、正の値は赤よりで負の値は緑よりである  $a^*$ 、正の値は黄よりで負の値は青よりである  $b^*$  から構成されており、 $a^*b^*$  平面を図 2 に示す。

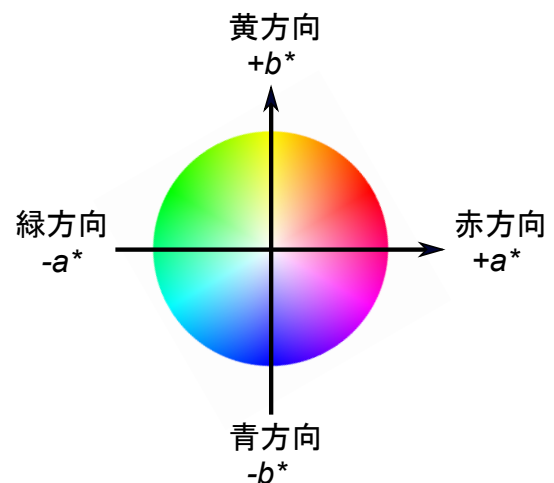


図 2  $L^*a^*b^*$  表色系の色空間の  $a^*b^*$  平面

$L^*a^*b^*$  表色系を用いる事により人の目で見た時の色と色の違いである色差を表現できる。 $L^*a^*b^*$  表色系である図 3 の 2 点  $(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$  と  $(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$  の色差  $\Delta E_{ab}^*$  を式 1 に示す。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

- $\Delta E_{ab}^*$ : 色差
- $\Delta L^*$ :  $L_1^* - L_2^*$
- $\Delta a^*$ :  $a_1^* - a_2^*$
- $\Delta b^*$ :  $b_1^* - b_2^*$

色差  $\Delta E_{ab}^*$  はユークリッド距離によって求まる。しかし、 $L^*a^*b^*$  表色系は色差が完全に均等ではないため、色差 CIEDE2000 を用いることで人の目で色同士を識別した場

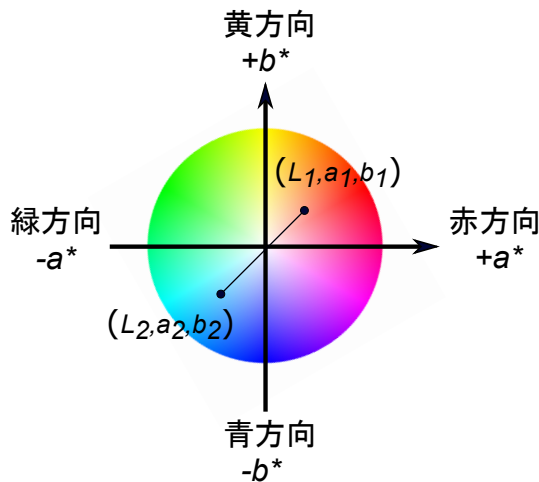


図 3  $L^*a^*b^*$  表色系の色空間の 2 点の色差

合に近づくように  $\Delta E_{ab}^*$  を補正し、より人の目で識別した色差に近似するようにした [11]。CIEDE2000 を式 2 に示す。

$$\Delta E_{00}(L_1^*, a_1^*, b_1^*, L_2^*, a_2^*, b_2^*) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} \quad (2)$$

$\Delta E_{00}$ : 色差,  $\Delta L'$ : 明度差  
 $\Delta C'$ : 彩度差,  $\Delta H'$ : 色相差

$\Delta L', \Delta C', \Delta H'$  はそれぞれ明るさを示す明度、色の鮮やかさを示す彩度、色合いを示す色相を示しており、 $R_T$  はローテーション関数、 $S_L, S_C, S_H$  はスケール関数、 $k_L, k_C, k_H$  はパラメトリック関数であり、標準条件下ではすべて 1 である。

JIS では、工業利用における色差の許容範囲を段階的に定めており、色差が 25.0 を超えると別の色として認識されるとしている。よって本稿では色差 25.0 以下を同じ色として認識できる閾値とする。

#### 4. フルカラー LED 照明を用いた位置推定手法

フルカラー LED 照明を用いた屋内位置推定手法 (ILUF: Indoor Localization Using Full Color LED Lighting) では、以下の手順で位置推定を行う。始めに照明とカラーセンサの対応関係を求める。照明とカラーセンサを用い、照明を RGBY の 1 色ごとに光度を変化させる。その際に調光する照明の最大光度から最低光度までの光度の強さを調光率とし、最大光度は調光率 100%，最低光度は調光率 0% となる。調光率を変更し、カラーセンサの値を取得する。その後、照明の調光率とカラーセンサで取得したカラーセンサの値を使用し、近似式を作成する。

端から端まで室内の照明の位置により段階的に異なる照度に調光することによって、調光した室内に照度の高い明るいエリアと照度の低い暗いエリアを作り出すことが可能となる。さらに、RGBY の色一つ一つに段階的に異なる照

度エリアを照度エリアの明暗場所を変化させ割り振ることにより RGBY を同時に点灯させた場合に複数の照度エリアを同時に実現できる。

この照明を点灯させた環境で取得した実測値のカラーセンサの値と近似式を使用し算出したカラーセンサの値を比較し、2つの値が最も類似している場所を位置とし位置推定をおこなう。以下に ILUF の 3 段階のフェーズを示す。

- 学習フェーズ: 照明を色ごとに調光調色を行い、カラーセンサの値を取得し、照明の調光率とカラーセンサの値から近似式を作成する。
- 調光フェーズ: 照明を RGBY 各色ごとに室内の端から端まで段階的に点灯し、カラーセンサを用い、カラーセンサの値を取得する。
- 推定フェーズ: カラーセンサで取得したカラーセンサの値と、近似式を用い推定したカラーセンサの値を比較し、最も値に近い場所を推定位置とする。

#### 4.1 学習フェーズ

位置推定を行うための近似式の作成を行う。照明 1 灯とその直下に 1 個のカラーセンサを配置する。この照明 1 灯と 1 個のカラーセンサを用い、RGBY の 1 色ごとに調光率を変化させていき、カラーセンサで調光率毎の値を取得する。その後、照明の調光率とカラーセンサで取得したカラーセンサの値を使用し、照明の調光率を入力として出力をカラーセンサの値になるように近似式を作成する。

その時、調光率を  $s, t, u, v$  とし、 $s$  は赤色、 $t$  は緑色、 $u$  は青色、 $v$  は黄色を調光調色できる。調光率を大きくすると光度が高くなり明るい光となり、調光率を小さくすると光度が低くなり暗い光となる。から推定したカラーセンサの値を  $K_n (1 \leq n \leq 3)$  とする。 $K_1, K_2, K_3$  はそれぞれ調光率を用い推定したカラーセンサの値の赤の光、緑の光、青の光である。 $K_n$  を式 3 に示す。

$$K_n(s, t, u, v) = \rho_n s_n + \gamma_n t_n + \delta_n u_n + \epsilon_n v_n + \zeta_n \quad (3)$$

$K_n(s, t, u, v)$ : 調光率  $(s, t, u, v)$  の際のカラーセンサの値の推定値

$\rho_n$ :  $s$  の重み,  $\gamma_n$ :  $t$  の重み

$\delta_n$ :  $u$  の重み,  $\epsilon_i$ :  $v$  の重み,  $\zeta$ : 重み

式 3 は、カラーセンサで取得した値と調光率の関係から、調光率  $s, t, u, v$  にそれぞれ重み付けを行いカラーセンサの取得した値を推定する。

#### 4.2 調光フェーズ

位置推定を行うために照明の色グラデーションパターンを構築する。色グラデーションパターンとして全 4 パターンの図 4 を用意した。

すべての色グラデーションパターンは位置推定を行う室

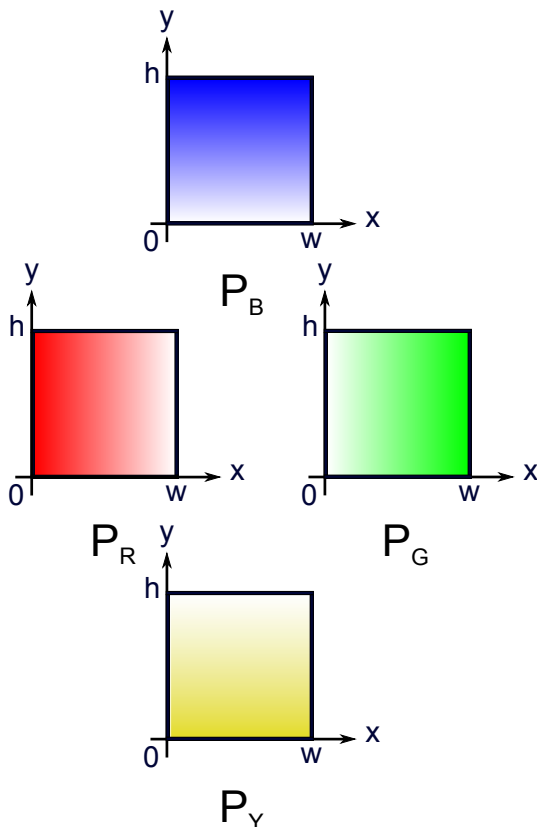


図 4 使用する色グラデーションパターン

内で調光調色した場合を表しており、室内の大きさは長方形形の縦  $h$ 、横  $w$  である。

色グラデーションパターンを  $P_i (P_R, P_G, P_B, P_Y)$  とし、それぞれの光度を  $C_i (C_R, C_G, C_B, C_Y)$  とする。光度は  $0 \leq C_i \leq 1$  とする。次に色グラデーションパターン  $P_i$  について述べる。  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  はそれぞれ赤、緑、青、黄を光度 0 から 1 まで段階的に変化するパターンである。  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  のそれぞれの光度である  $C_R, C_G, C_B, C_Y$  を式 4、式 5、式 6、式 7 に示す。

$$C_R = 1 - \frac{x}{w} \quad (4)$$

$$C_G = \frac{x}{w} \quad (5)$$

$$C_B = \frac{y}{h} \quad (6)$$

$$C_Y = 1 - \frac{y}{h} \quad (7)$$

$x$ : 照明の X 座標

$y$ : 照明の Y 座標

$w$ : 部屋の X 座標方向の大きさ

$h$ : 部屋の Y 座標方向の大きさ

これらの色グラデーションパターン  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  を同時に点灯させると図 5 のように点灯することができる。

図 5 の色グラデーションパターンは  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  を同時に点灯させるため、中央は、補色である赤と緑、青と黄を合わせるため白色に近い色に見える。

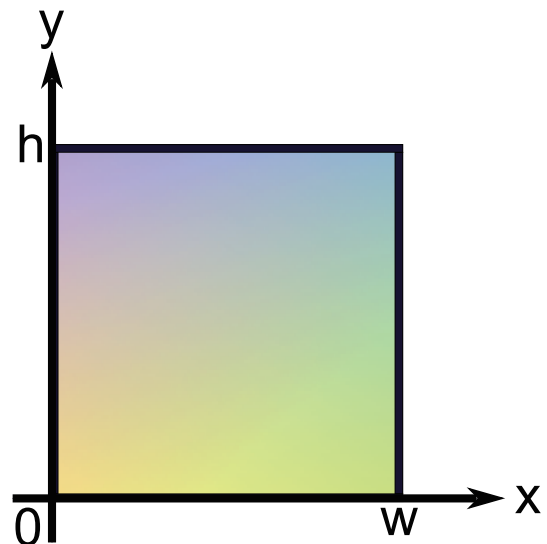


図 5 同時に点灯した色グラデーションパターン

### 4.3 推定フェーズ

ILUF では、照明の図 5 のように色グラデーションパターン  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  をそれぞれを同時に調光する。色グラデーションパターン  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  による調光を行うとき、最高光度  $\beta$  と色グラデーション重み  $\alpha$  を用いる。最高光度  $\beta$  は調光を行う際、フルカラー LED 照明を段階的に変化させるときの最も光度が高い場所での光度を示す。色グラデーション重み  $\alpha$  はフルカラー LED 照明を段階的に変化を行う際、最大光度から最も光度の低い光度の差の光度を示す。最高光度  $\beta$  を大きくすると室内全体が明るくなり、色グラデーション重み  $\alpha$  を大きくするとフルカラー LED 照明の色が段階的に変化させる際に、室内全体が暗くなり最低光度が低くなる。横  $w$ 、縦  $h$  の長方形の室内において座標  $(x, y) (0 \leq x \leq w, 0 \leq y \leq h)$  にあるとき  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  の各パターンは式 8 を利用し光度を決定する。

$$L_{xy} = \beta - \alpha(1 - C_i(x, y)) \quad (8)$$

$L_{xy}$ : 座標  $(x, y)$  にある照明の光度

$\beta$ : 最高光度

$\alpha$ : 色グラデーション重み

$C_i(x, y)$ : 色グラデーションパターン  $P_i$  による座標  $(x, y)$  の光度

図 6 のカラーセンサ  $s$  のように照明の直下にカラーセンサがある場合、センサ直下の光に多くの影響を受けるため、照明の色グラデーションパターンによる光度とカラーセンサ  $s$  の値はカラーセンサ  $s$  を他の場所に設置した場合より類似する。照明の直下にカラーセンサが存在しない場合であってもカラーセンサは周囲の複数の照明から影響を受ける。したがって、図 6 のカラーセンサ  $v$  のように周囲の照明からの合成光が光度となるのでそれを直上の照明として



仮定することにより、照明が直上に存在した場合と近似することができる。

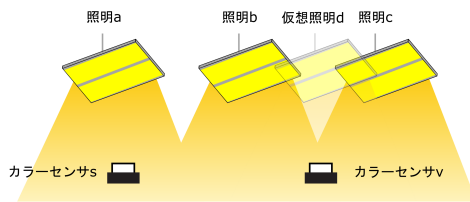


図 6 カラーセンサの影響

カラーセンサの実測値を  $S_n (1 \leq n \leq 3)$  とし、カラーセンサの値を近似式を用い推定した値を  $A_n (1 \leq n \leq 3)$  とする。  $S_1, S_2, S_3$  はそれぞれカラーセンサで取得した値の赤色成分、緑色成分、青色成分である。  $A_1, A_2, A_3$  はそれぞれ近似式を用い推定したカラーセンサの値の赤色成分、緑色成分、青色成分である。

したがって、カラーセンサの値  $S_i$  と近似式を用いたカラーセンサの値  $A_i$  の類似度が最大になる座標  $(x, y)$  が推定位置と考なる。次に、最適化問題の  $x, y$  を設計変数とした、目的関数を式 9 に示す。

$$F = \sum_{k=1}^3 \left( \frac{S_k(x, y)}{\sqrt{\sum_{l=1}^3 (S_l(x, y))^2}} - \frac{A_k(x, y)}{\sqrt{\sum_{l=1}^3 (A_l(x, y))^2}} \right)^2 \quad (9)$$

$F$ : 目的関数

$S_i(x, y)$ : 座標  $(x, y)$  でのカラーセンサの値

$A_i(x, y)$ : 座標  $(x, y)$  での近似式を用いたカラーセンサの値

式 9 はカラーセンサの値から近似式を用いたカラーセンサの値の差の二乗する。また、それぞれの分母はカラーセンサの値と近似式を用いたカラーセンサの値の大きさを揃えるために、カラーセンサの値と近似式を用いたカラーセンサの値をそれぞれ二乗和の平方根で除算する。

## 5. 評価

ILUF の有効性を検証するために、色グラデーションパターンにおける色差計測と、フルカラー LED 照明とカラーセンサを用いて位置推定を行った。検証実験の実験環境は図 7 に示す同志社大学香知館知的システム創造環境実験室で行う。フルカラー LED 照明にはシャープ製グリッド天井用のフルカラー LED 照明 12 灯を用いた。このフルカラー LED 照明は R, G, B, Y の 4 色に対し、それぞれ 1000 段階の調光を行うことができる。

### 5.1 色差実験環境

色グラデーションパターンの色差を求めるために、コニカミノルタ社製の色彩照度計 CL-200 を用いた。色彩照度



図 7 実験環境図

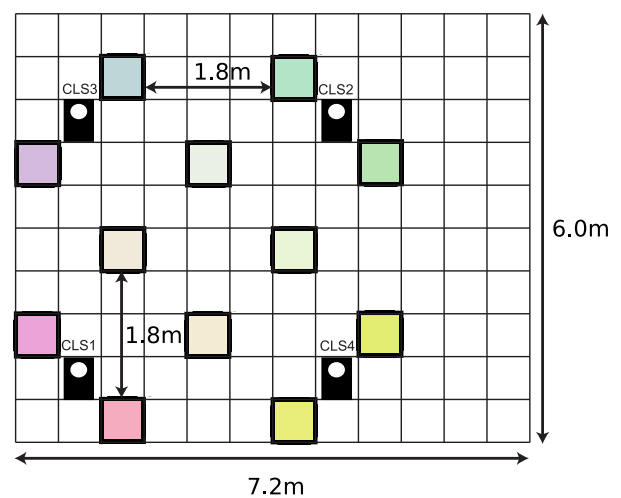


図 8 フルカラー LED 照明および色彩照度計配置図

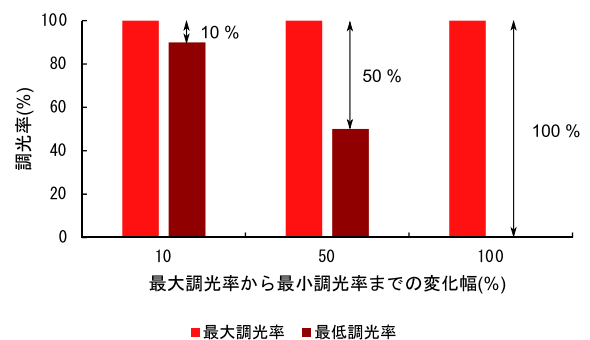


図 9 色グラデーションパターンの最高調光率から最小調光率までの変化幅が変化した場合の点灯調光率

計の設置位置を CLS1, CLS2, CLS3, CLS4 とし、図 8 にフルカラー LED 照明と色彩照度計の配置を示す。

色彩照度計の実測値を元に  $L^*a^*b^*$  に変換し色差を求めた。CLS1, CLS2, CLS3, CLS4, はそれぞれ色グラデーションパターンで R の光度が最も高い場所、G の光度が最も高い場所、B の光度が最も高い場所、Y の光度が最も高い場所である。色差の測定地点を以下に示す。

(1) R と G: CLS1 と CLS2 の場所



図 10 色グラデーションパターン最高調光率から最小調光率までの変化幅 10 % の点灯の様子

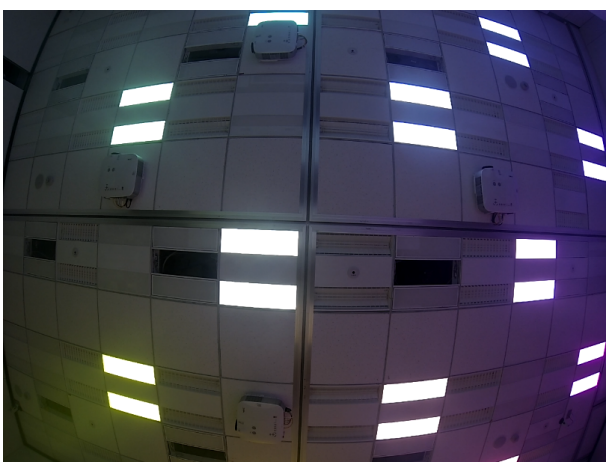


図 11 色グラデーションパターン最高調光率から最小調光率までの変化幅 100 % の点灯の様子

- (2) R と B: CLS1 と CLS3 の場所
- (3) R と Y: CLS1 と CLS4 の場所
- (4) G と B: CLS2 と CLS3 の場所
- (5) G と Y: CLS2 と CLS4 の場所
- (6) B と Y: CLS3 と CLS4 の場所

## 5.2 色差評価

最大調光率が変化した際の色差の検証を行い、最大調光率から最小調光率までの変化幅も変化した際の検証をした。色グラデーションパターンの最大調光率を 100 % とし最小調光率までの変化幅を 10 % とした場合、最小調光率までの変化幅を 50 % とした場合、最小調光率までの変化幅を 100 % とした場合の照明の調光率は図 9 となる。その場合の点灯の様子を図 10、図 11 に示す。

変化幅の少ない点灯の様子である図 10 は、室内が明るく白色に近い色をしている様子がわかる。変化幅の多い点灯の様子である図 11 では室内が暗くフルカラー LED 照明の端は赤色、緑色、青色、黄色に変化している。したがって、変化幅が大きくなると色の変化が起きるが色順応があ

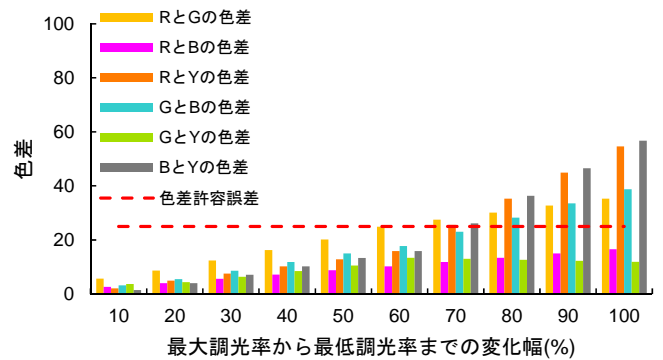


図 12 最大調光率 20 % のときの色差

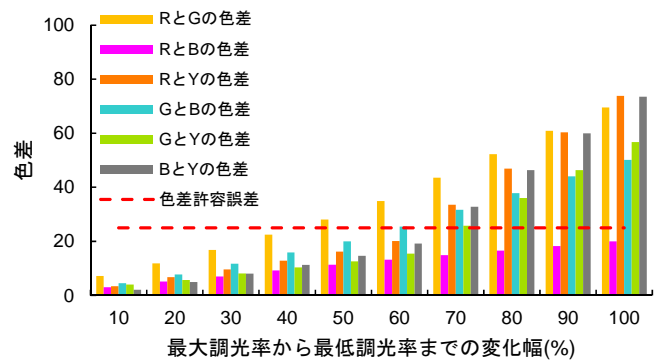


図 13 最大調光率 40 % のときの色差

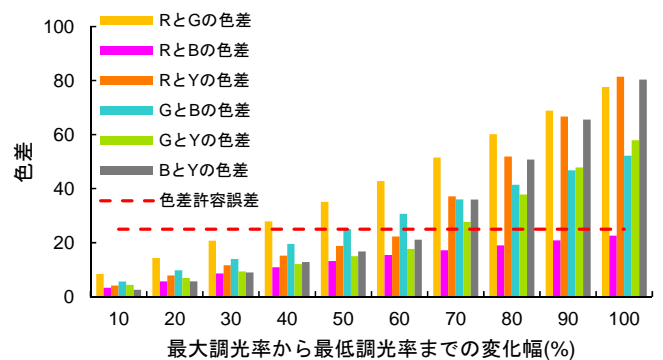


図 14 最大調光率 60 % のときの色差

るため同一室内に居続ける場合は白色に近い色に見えるようになり、照明の色が白色とは異なる色でも白色に感じるようになる。

JIS において、色差が 25.0 を同じ色として認識できる閾値とする。それぞれ最大調光率を 20 %、40 %、60 %、80 %、100 % に設定した際の色差を図 12、図 13、図 14、図 15、図 16 に示す。

最大調光率が増加するほど色差は大きくなる。したがって、最大調光率が 40 % 以上は同じ色以外でない色グラデーションパターンの最高調光率から最小調光率までの変化幅が 40 % 以上にならなかった。しかし、最大調光率が 20 % であるなら色グラデーションパターンの最高調光率から最小調光率までの変化幅が 60 % まで色差が閾値を下回った。

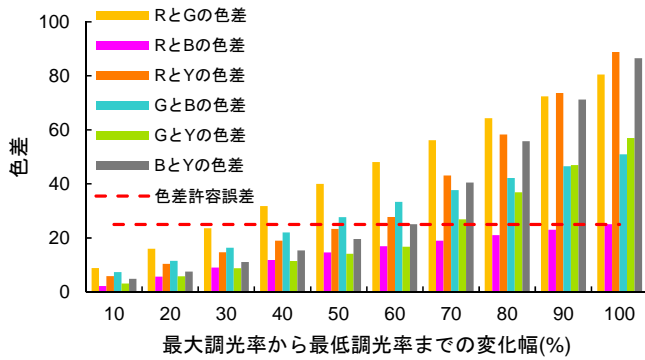


図 15 最大調光率 80 % のときの色差

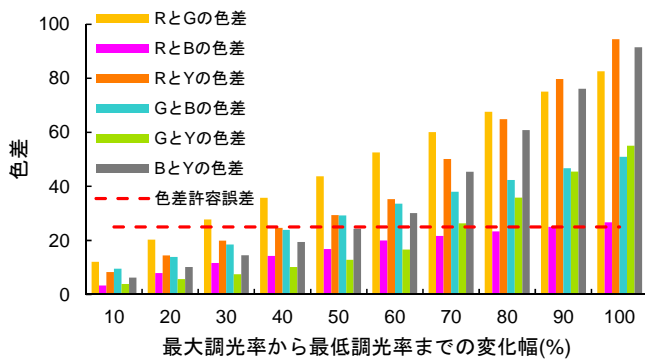


図 16 最大調光率 100 % のときの色差

### 5.3 位置推定実験環境

フルカラー LED 照明の光の RGB 成分を検知することができるセンサとして図 17 の浜松ホトニクス社製のデジタルカラーセンサを用いた。カラーセンサを Arduino に接続しデータを取得した。R, G, B, Y それぞれに対し、調光率を 1 から 1000 まで 2 秒ごとに变化させカラーセンサで値を取得した。

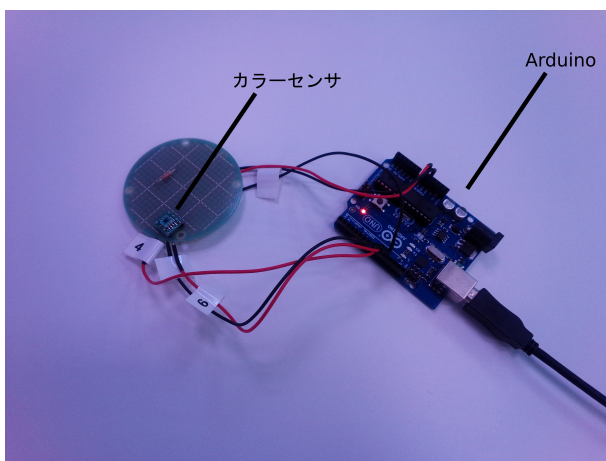


図 17 カラーセンサ (左) と Arduino (右)

位置推定に用いる色グラデーションパターンを点灯させるとき、色差のときと同じく最大調光率を变化させ、最大調光率から最小調光率までの变化幅も变化し位置推定精度を検証した。カラーセンサを図 18 のように配置した。色

グラデーションパターンである  $P_R, P_G, P_B, P_Y$  を同時に調光し、図 18 のように点灯させ、カラーセンサで値を取得した。

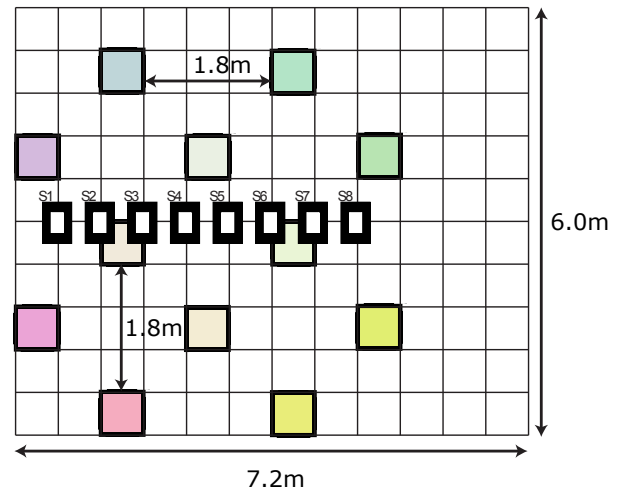


図 18 位置推定時の色グラデーションパターンとカラーセンサの配置

### 5.4 ILUF の位置推定精度評価

図 19 は、それぞれ最大調光率を 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 % に設定した場合の ILUF のセンサ 8 個の平均位置推定精度の実験結果である。位置推定誤差が最小では 0.47 m, 最大では 3.30 m となった。最大調光率から最小調光率までの变化幅を大きくすると位置推定誤差が最大調光率 20 % 以外は誤差が減少した。また、最大調光率が 20 % の場合も变化幅が 60 % までは誤差が減少傾向している。最大調光率から最小調光率までの变化幅を大きくすることにより位置推定誤差を減少させることができる。

最大調光率を大きくすると最大調光率 20 %, 100 % 以外は最大調光率から最小調光率までの变化幅が同じ場合、位置推定誤差が減少した。最大調光率 100 %, 最大調光率から最小調光率までの变化幅 10 % のとき位置推定誤差が増加したのは、フルカラー LED 照明の光度が高いため直上のフルカラー LED 照明以外のフルカラー LED 照明や反射光の影響が大きくなってしまったためだと考えられる。最大調光率を大きくすることで位置推定精度を向上できる。

## 6. 結論

本研究では、フルカラー LED 照明を用いた屋内位置推定手法を提案した。提案手法は、フルカラー LED 照明の RGBY の各色を照明の場所ごとに段階的に異なる明るさに点灯し、その照明の色をカラーセンサで受光するにより実現した。位置推定精度は、実験環境においてセンサ 8 台の平均の推定精度誤差が最も良い場合で 0.5 m であった。

また照明の調光变化幅を、最大調光率から最低調光率までの变化幅が 30 % 以下の場合、人の目に色の差を認識で

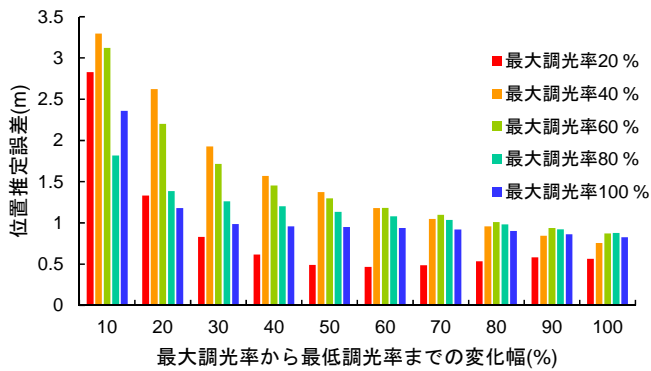


図 19 位置推定結果

きない微小幅で照明の色を変化させることが可能であり、変化幅 30 % の場合には位置推定精度は平均 1.3 m であった。したがって、本研究は照明を 1 度点灯させ人の目で色の変化がわからない点灯で位置推定可能である。

### 参考文献

- [1] Want, R., Hopper, A., Falcao, V. and Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, Vol. 10, No. 1, pp. 91–102 (1992).
- [2] Sahinoglu, Z., Gezici, S. and Gvenc, I.: *Ultra-wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, and Protocols*, Cambridge University Press (2011).
- [3] Krumm, J., Cermak, G. and Horvitz, E.: Rightspot: A Novel Sense of Location for a Smart Personal Object, *UbiComp*, Vol. 2864, Springer, pp. 36–43 (2003).
- [4] Popleteev, A., Osmani, V. and Mayora, O.: Investigation of Indoor Localization with Ambient FM Radio Stations, *Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2012 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 171–179 (2012).
- [5] Priyantha, N. B., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H.: The Cricket Location-support System, *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, ACM, pp. 32–43 (2000).
- [6] Niculescu, D. and Nath, B.: Ad hoc positioning system (APS) using AOA, *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies*, Vol. 3, IEEE, pp. 1734–1743 (2003).
- [7] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C. and Patil, A. P.: LAND-MARC: Indoor Location Sensing using Active RFID, *Wireless networks*, Vol. 10, No. 6, pp. 701–710 (2004).
- [8] Wang, Y., Yang, X., Zhao, Y., Liu, Y. and Cuthbert, L.: Bluetooth Positioning using RSSI and Triangulation Methods, *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 2013 IEEE, IEEE, pp. 837–842 (2013).
- [9] Miyazaki, K., Mochizuki, M., Murao, K. and Nishio, N.: Cross-assistive Approach for PDR and Wi-Fi Positioning, *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, ACM, pp. 777–786 (2014).
- [10] 坂本一樹, 安本慶一, 孫 為華, 柴田直樹, 伊藤 実: 照明点灯パターンの切り替えによる高精度な屋内位置推定法とその評価 (モバイルアドホックネットワーク, モバイル

時代を支える次世代無線技術, フィールドセンシング及び一般), 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信, Vol. 111, No. 476, pp. 173–180 (2012).

- [11] CIE: Improvement to Industrial Colour-difference Evaluation, *Vienne: CIE Publication*, No. 142-2001, Central Bureau of the CIE (2012).