

# イルミネーションパターンの表現を拡張する入力手法の提案 および評価に関する研究

長瀬 大護<sup>1,a)</sup> 藤波 香織<sup>2,b)</sup>

**概要：**イルミネーションは雰囲気を作り上げるために様々なイベントで用いられ、装飾される場所によって多様なデザインが考えられる。市販のイルミネーション用 LED に搭載されている点滅パターンには制限が存在する。そこで、本論文は LED に対して、直感的に多様なイルミネーションパターンを入力する手法を提案する。提案手法に基づいて、LED を受光素子として用いた装置を簡略化し、スマートフォンで設定可能なプロトタイプシステムを作成し評価実験を行った結果、フィードバックが充実している「選択」→「設定」という流れの入力方法は、イルミネーションの装飾をほとんど行ったことがないユーザにとって直感的であることが明らかになった。

## Customizing Illumination Patterns through Spotting with Smartphone

NAGASE DAIGO<sup>1,a)</sup> FUJINAMI KAORI<sup>2,b)</sup>

**Abstract:** Illumination is often used to make atmosphere about various events better, and can be various design by place which is decorated with LEDs. However, LEDs for illumination on the market have few patterns about blinking. In this paper, we suggested input method which allows users to input various illumination patterns intuitively. Also, we experimented the customization method using a prototype system. We define the difference between existing LED devices and proposed system to consider about quality of proposed method from the result. A user study showed that the customization by first-spotting-next-setting was easy for beginners.

### 1. はじめに

近年、様々なイベントにおいて雰囲気を盛り上げる重要な要因のひとつとして、イルミネーションが用いられる。特にイルミネーションに対してユーザが参加できることは、イルミネーションが持つ魅力のひとつであるといわれている [1]。ゆえに、ユーザがオリジナルの点滅パターンを装飾できることは重要であると考えられる。しかしながら、市販されているイルミネーション用 LED にはあらかじめ定められた種類の点滅パターンが搭載されているため、ユー

ザに対して点滅パターンに関する表現の幅は制限されている。また、イルミネーション用 LED に対して点滅パターンの追加や編集を行おうとした場合、ユーザは電子回路等に関する知識や技術などが必要となる。したがって、市販品の改良による点滅パターンの拡張は、イルミネーションの表現拡張における容易な解決方法であるとはいえない。

本研究では、イルミネーションにおける表現の自由度を向上させる入力方法を提案し、プロトタイプシステムの評価を行う。本論文の構成について説明する。まず 1 章で本研究の背景と目的について述べる。次に、2 章で関連研究について述べ、本研究の位置づけを示す。3 章では、新たなイルミネーションパターンの入力方法を説明する。また、4 章ではその入力方法を実装したプロトタイプシステムの設計と実装について説明する。そして、5 章ではプロトタイプシステムを用いて行った評価実験の結果を示し、6 章では本論文のまとめを述べる。

<sup>1</sup> 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻  
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo  
University of Agriculture and Technology

<sup>2</sup> 東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門  
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo  
University of Agriculture and Technology

a) d.nagase0220@gmail.com

b) fujinami@cc.tuat.ac.jp

## 2. 関連研究

1 節で挙げたイルミネーションに関する問題点の解消を目指した LED の直感的な制御に関する研究は複数存在する。Nakata, et al は LED, 光センサを一つずつ小さい基盤の上に配置し, それらをマイコンで制御するデバイスを製作した [2]。複数のデバイスを自由に配置し, プロジェクタを用いて画像を投影し, 投影された範囲内のデバイスの LED を制御する構造である。また, 木下らは専用プラットフォームを設計した上で, LED マトリクスにマイコンを付加し, 多様な表現が可能になる点滅パターン入力システムを提案した [3]。デバイスの配置と, LED の点滅に関する設定を入力することにより, LED の点滅パターンの表現性の向上を可能にした。

しかし, これらの研究は LED の一斉制御や LED を用いて文字などの形状をデザインすることを得意とするシステムである。イルミネーションは LED に対する入力は壁面のような 2 次元的な物体への装飾だけではなく, クリスマスツリーのような 3 次元的な物体への装飾も考えられる。前者の研究はプロジェクタを用いており出力が画像となるため, 3 次元的な物体への投影は出力画像を組み合わせる LED の制御を行う必要があり, その制御は困難だと考えられる。本研究ではより細かい制御, すなわち個々の LED 制御について着目する。このとき, ユーザには複雑な操作や専門知識を求めないことが重要である。また, 使用環境として一般家庭を想定しているため, 個人ユーザに対して高い表現の自由度の提供を目指す。さらに, クリスマスツリーなどの 3 次元的に装飾される LED に対しても直感的な制御を可能にすることが重要であると考えられる。

## 3. 入力方法の提案

### 3.1 イルミネーションパターン入力方法の概要

入力手法を提案する際, ユーザが扱うデバイスをひとつに限定することで覚えるべき操作を最低限にする。そこで近年, 普及率が向上しているスマートフォンのみを使用する [4]。スマートフォンを使用した LED 制御システムに関する研究 [5] や製品 [6] が存在することから, その妥当性も伺える。

LED の点滅のパターンとその点滅の詳細な設定を組み合わせたものを, 本研究では「イルミネーションパターン」として定義し, 提案する入力方法の流れについて説明する。提案するイルミネーションパターンの入力方法は 2 段階に分かれている。一つ目が「選択」であり, イルミネーションパターンを入力したい LED デバイスを選択する。選択を行うことによりイルミネーションパターンをデザインする際, パターンに含まれる LED の個数や点滅の順番などを定めることが可能となり表現の拡張が期待できる。そして, 二つ目が「設定」であり, 入力するイルミネーション

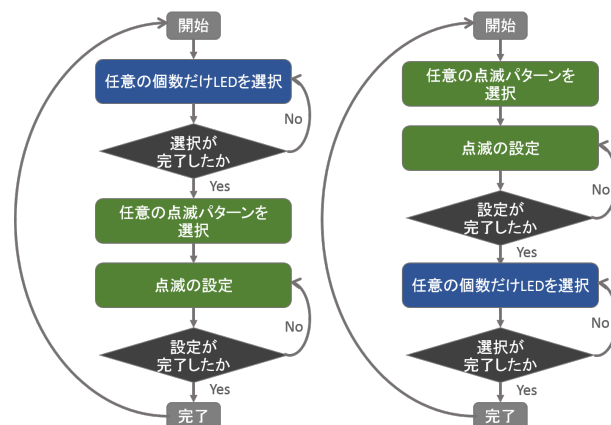


図1 入力フロー（左：選択→設定，右：設定→選択）

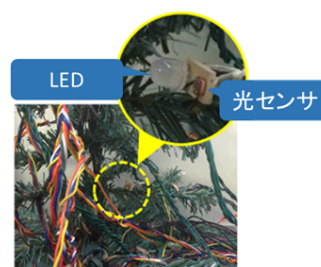


図2 LED デバイス

パターンの詳細をこの操作でユーザが決定する。これらの操作を組み合わせることで, より幅広いイルミネーションのデザインが可能になると考えられる。

以上は図1の左側に示される流れであるが, これら2つの順番の前後を入れ替えた入力も可能である（図1右側）。すなわち, 選択したLEDに対してイルミネーションパターンを入力する方法（左）と, ユーザはイルミネーションパターンを設定した後に, そのパターンを入力したいLEDに対して選択する方法（右）の2種類が考えられる。前者はスマートフォン搭載のフラッシュライトをかざして選択すると, フィードバックとして白色に点滅する。そして, 選択されたLEDに対して点滅の詳細を設定する。この方法は, 入力最中に設定を自由に変更できることから, 特に装飾の楽しさの向上に貢献すると期待される。後者は最初に点滅の詳細な設定を行った後, フラッシュライトをかざして選択されたLEDに対して, 設定に基づいたパターンを入力する。すなわち, 最終的に設定されたイルミネーションパターンがフィードバックとなる。この方法は用意されている点滅の設定を確認することで, 完成イメージを明確化した上で行うことから迅速な入力が期待される。本研究では, この二つの方法の特徴と, イルミネーションパターンの入力に関する適性を明らかにする。

### 3.2 LED 選択

本節ではLEDの選択を実現する方法について説明する。選択を実現する方法として, 既存研究として存在する, LED



図3 イルミネーション設定用アプリケーションのスクリーンショット ((i) 点滅パターン, (a) 点滅色, (b) 点滅周期, (c) 点滅遷移, (d) 点滅リズム)

に対して ID を付加させてその ID を 2 進数に変換し、その数に基づいて点滅させてそれをカメラで読み取る方法が考えられる [7][8]. しかしながら、イルミネーションとして、すなわち出力としての点滅中に ID の点滅を行う場合、出力時の点滅に影響が出る恐れがある. そこで、既報 [9] では、常時選択の検出ができるように図 2 に示すように 1 対の LED と光センサのペアを「LED デバイス」として、フラッシュライト照射の検出を可能にし選択を実現した. しかしながら、この LED デバイスは 2 種類の素子で構成されているため、対象となる物体も 2 種類あると考えられる. すなわち、ユーザは LED と光センサの役割を理解したうえで、光センサを選んでフラッシュライトを照射する必要があり、混乱する可能性がある. そこで、光を当てることで電気を発生させる LED が持つ性質 [10] を利用して、本研究では LED のみを使用する. また、LED に対して光を照射することによる入力を採用している研究 [13] も存在することから、LED を入力および出力としての使用の実現可能性は高い.

### 3.3 イルミネーションパターンの設定

イルミネーションパターンの入力を行う場合、LED の点滅に関する詳細な設定をユーザが定める必要がある. これはスマートフォン向けのアプリケーション実現する.

LED の点滅の種類は単体の LED で形成されるパターンと、以下に示す 3 種類の複数の LED で形成されるパターンである.

- (1) かざした順に点滅
- (2) かざした順にすべて点灯
- (3) 奇数番目→偶数番目の順に点滅

また、点滅に関する 4 つの設定を以下に定義する.

- (a) 点滅色
- (b) 点滅周期
- (c) 点滅遷移

### (d) 点滅リズム

以上の 4 種類の点滅パターンと 4 種類の点滅設定機能を用意する. それぞれの Android アプリケーションのスクリーンショットを図 3 に示す. 点滅パターンの設定は図 3 (i) に示したとおり、4 種類から選択する. またこの画面でイルミネーションパターンの消去も可能である.

#### (a) 点滅色

図 3 (a) には RGB の 3 色の 8 ビット値を変更可能なスライドバーがある. また、点灯の色は 1 色だけではなく、特定の色から別の色へ点滅する設定も可能である.

#### (b) 点滅周期

点滅周期は点灯から消灯、消灯から点灯に遷移するときの時間として定義する. 図 3(b) に示すように、画面上部のボタンのタップのタイミングを記録して、点滅周期として再生できる.

#### (c) 点滅遷移

図 3(c) に示すように、LED の点滅の移り変わり方、すなわち点灯から消灯への変化、またその逆の遷移の仕方を選択できる.

#### (d) 点滅リズム

図 3(d) では中部に波形が示されているが、これは波形の一回が上部にあるとき HIGH (点灯) を示しており、下部にあるときは LOW (消灯) を示している. この HIGH と LOW のパターンで通常点灯と消灯が繰り返される. この波形をタップすることで、HIGH と LOW がそれぞれ反転し、点滅するリズムの変更が可能である.

## 4. プロトタイプシステムの実装

### 4.1 システム構成

3 節で述べたイルミネーションパターン入力方法を実現するためにプロトタイプシステムを製作した. ユーザが LED に対してスマートフォンのフラッシュライトをかざすことで選択を行い、またスマートフォンにインストール

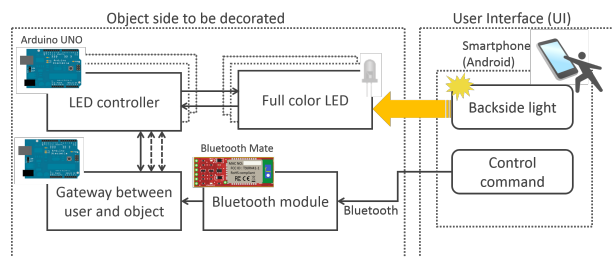


図4 システム構成図

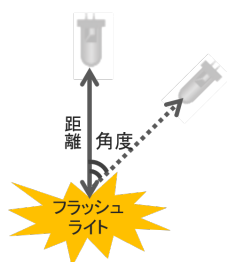


図5 センサ値測定時の条件

された Android アプリケーションで設定を行う。その設定された情報を Bluetooth 通信により Arduino に送信する。そして、送信されてきた情報に基づいて Arduino が LED の制御を行う。プロトタイプシステムではアプリケーションとの通信用と LED 制御用の 2 種類の Arduino を使用する。2 つの Arduino 間の通信にはシリアル通信を用いている。システム構成は図4に示され、LED(NeoPixel Diffused 8mm[14]) と、それを制御するための Arduino(UNO)[15]、また、ユーザが入力を行うためのスマートフォン、そしてスマートフォンと Arduino(MEGA) の通信を可能にする Bluetooth モジュール (Bluetooth Mate) で構成される。

## 4.2 受光素子として用いる LED

LED を受光素子として扱うにあたり調査を行った。

### 4.2.1 Arduino を用いたセンサ値の計測

様々な研究で、LED に光を照射した場合の調査が行われている [10][11] が、制御機器として Arduino を用いているものは少ない。そこで、プロトタイプシステムに組み込むにあたり、Arduino 上での実現可否を調査した。実際に LED に対してスマートフォンのフラッシュライトを図5に示すように距離と角度をパラメータとして変化させて照射したときの電圧を Arduino を用いて計測する。発生した起電力は Arduino のアナログ入力ピンで計測され、0 から 5V までの電圧を 10bit に AD 変換して取得する。図6に2つのパラメータと読み取った値の関係を示す。

図6より、約 55 の小さなセンサ値 (電圧値 0.2695V) が読み取れており、わずかながら起電力の発生が確認できる。ゆえに、この起電力を認識することでフラッシュライトの検出が可能であると推測できる。また、角度を変更してもセンサ値に大きな変化は見られない。しかしながら、

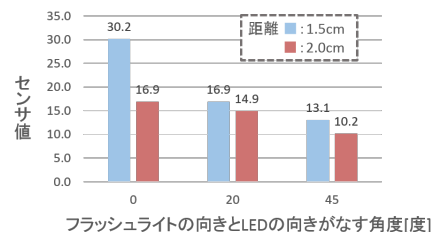
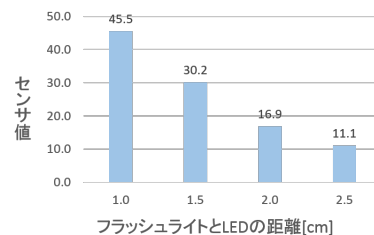
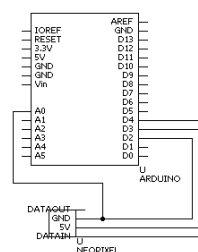


図6 フラッシュライトを LED に当てたときのセンサ値 (上: 距離を変化, 下: 角度を変化)



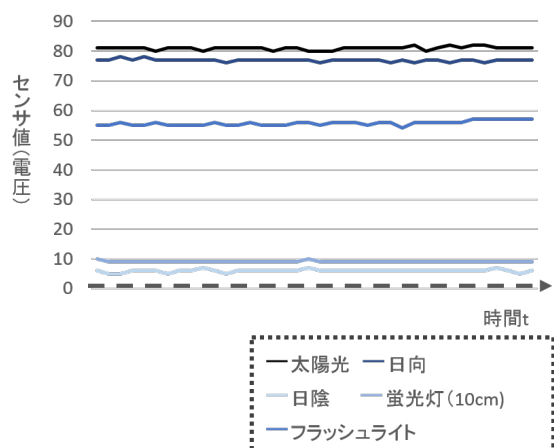


図 8 様々な状況下で発生する LED のセンサ値

れにより、LED は入力状態と出力状態を高速に変化させた場合でも、どちらの役割も失わずに機能できる。

#### 4.2.3 環境光の影響調査

提案する入力方法では光を使用しているため、環境光による影響も考慮しなければならない。イルミネーションの装飾を行う際に、想定できる環境光について、屋外（天候：晴れ）、屋内かつ日向、屋内かつ日陰、蛍光灯の近くの 4 つを想定し、これらの状況下で発生する LED の起電力を調査した。その結果を図 8 に示す。

図 8 を見ると、太陽光が関係している屋外と日向では高い値を出力し、屋内環境では比較的低い値であった。そして、フラッシュライトをかざしたときのセンサ値はその中間に位置していることがわかる。ゆえに、閾値の範囲に下限だけではなく上限を定めることによって、環境光による影響の除外が可能であると推測される。

以上をふまえて、本研究で定める閾値はセンサ値 25 以上 70 以下（電圧値 0.1225～0.343V）とする。しかしながら、この閾値はスマートフォンのデバイスに依存するため、汎用性を高めるためにはこの制限を除去する必要がある。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験概要

3.1 節で提案した二つの入力方法適性を理解するために、プロトタイプシステムを用いて、イルミネーションの装飾を行ったことがほとんどない被験者（男性 6 人、女性 2 人）により、評価実験を行った。まず被験者らには、実際に LED に対してフラッシュライトをかざしてもらい、選択方法に慣れた後で、全被験者共通の特定のイルミネーションパターンを提案した二つの入力方法、すなわち「選択→設定」と「設定→選択」を搭載したシステムで入力してもらった。このとき、入力方法が直感的であればその入力時間も短いものであると考えたため、評価指標として入力時間を計測した。また、被験者らが用いた入力方法の順番の影響を回避するために、最初に扱う方法が「選択→設

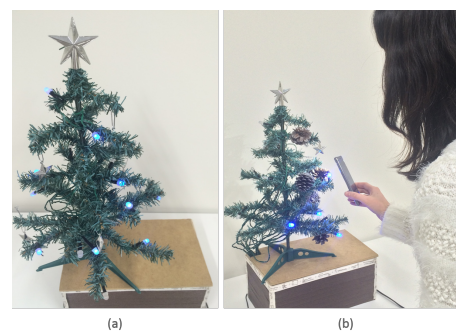


図 9 (a) プロトタイプシステムと (b) 評価実験風景

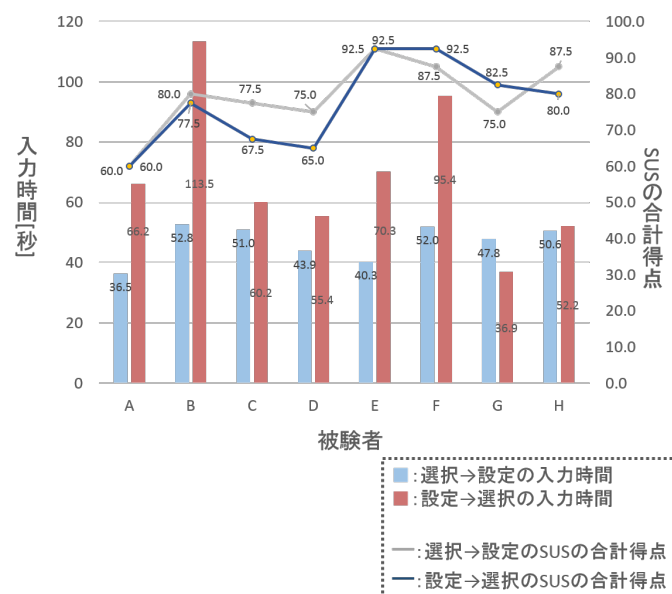


図 10 入力時間と SUS の合計得点の 2 軸グラフ

定」が 4 人、「設定→選択」が均等になるよう 4 人ごとに分けた。入力方法を扱ってもらった後、被験者らに対してアンケートの記入とインタビューを行った。アンケートにはユーザビリティを簡易的に数値化できる System Usability Scale(SUS)[16]を用いた。あらかじめ 16 個の LED を高さ 40cm のクリスマスツリーに飾り付けておき、被験者は図 9 に示すようにパターンの設定を行った。また、実験風景も図 9 に示す。

### 5.2 結果および考察

それぞれの入力方法を用いたときの時間と、SUS の合計得点を図 10 に示す。8 人中 7 人のユーザが「選択→設定」の方法を用いた場合、「設定→選択」の方法を用いた場合より入力時間が短くなった。一方、SUS の得点には大きな差が見られなかった。それぞれの平均点を算出した結果、「選択→設定」の方法が 79.4 であり、「設定→選択」の方法が 77.2 であった。どちらの方法についても SUS の平均点である 68[17] を超えていたため、最低限のユーザビリティが確保できたと考えられる。以上のことから、「選択」と「設定」の二つの操作は複雑ではないことが推測される。し

かしながら、図 10 の被験者 A, C, D は「設定→選択」の SUS の得点は比較的低い。その理由をたずねた結果、アプリケーションのユーザインタフェースが起因していることがわかった。同時にこれらの被験者らは操作の流れに関しては複雑ではなかったと回答した。

さらに、インタビューでより入力が容易であった方法を尋ねた結果、6 人が「選択→設定」と回答した。その理由として、「選択時だけでなく設定が変更された時も LED にフィードバックがあることから、操作に安心感をおぼえる」という回答が得られた。特にアプリケーション上だけではなく、実際の LED のフィードバックが重要であると、被験者の半数以上である 5 人が回答した。逆に、「設定→選択」の方法がわかりやすいと回答した被験者らは、「イルミネーションを装飾する場合、最初にデザインを定めるものだと思うのでこちらのほうが適している」と回答した。

本実験の被験者らはイルミネーションの装飾をほとんど行ったことがなかったため、フィードバックが整備されており、なおかつ完成イメージにとらわれる必要がない「選択→設定」の方法が、より優れた評価を得られたと考えられる。また、この方法であれば入力途中で設定の変更が可能である。したがって、イルミネーションパターンをデザインする際の補助となる可能性がある。一方、「設定→選択」の方法はイルミネーションの完成デザインが存在する場合、より適切な方法であると考えられる。したがって、すでにデザイン案が存在するものをより少ない手間で作成する必要があるような場（たとえば公共の場など）でのイルミネーションの入力に適していると推測される。しかしながら、評価実験ではこの入力方法を用いた際、2 人の被験者が入力する LED の個数を間違えたため、選択後のフィードバックは必要である。以上のことから、本研究の想定環境である一般家庭において、イルミネーションの装飾をほとんど行ったことがないユーザに対しては、「選択→設定」の順番で入力する方法が、より直感的にイルミネーションパターンの入力を行えると考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、イルミネーションにおける表現の自由度を向上させる二つの方法を提案し、その二つの方法を比較した。イルミネーションを装飾する際に一般家庭のような装飾を楽しみつつ、なおかつ直感的に入力を行う場合、スマートフォンをかざしてパターンを入力する LED を選択し、その後点滅の詳細な設定を行う方法が適していることがわかった。

一方、本研究で扱った LED の個数は 16 個であるが、イルミネーションの装飾を行う場合、より多くの LED を扱う状況も想定される。その際、個別に光をかざして選択する方法ではパターン入力時に莫大な手間がかかり、ユーザに強いストレスを与えてしまうことが予想される。したがっ

て、今後はより多くの LED に対する入力を視野に入れたイルミネーション設定手法を開発していく。

## 参考文献

- [1] 朴泓?, 他. “冬季の屋外イルミネーションに関する評価構造”, 学術講演梗概集 2014(環境工学 I), pp. 425-426, (2014)
- [2] Mami Nakata, et al. “Design and Implementation of a Ubiquitous Optical Device Controlled with a Projector”, Proc. of International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2008), pp. 130 - 135(2008)
- [3] 木下浩平, 他. “分散制御された LED マトリックスを用いた電飾アート制御プラットフォーム”, 情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメントコンピューティング (26), pp. 65-70, (2009)
- [4] 総務省 | 平成 26 年度版 情報通信白書 | 主な情報通信機器の普及状況(世帯) <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc253110.html> (2015 年 12 月 20 日閲覧)
- [5] 小山祐, 他. “iPhoneOS と Arduino を用いた照明制御システム”, 東京都市大学横浜キャンパス情報メディアジャーナル (13), pp. 16-23, (2012)
- [6] Meet hue | ja-JP <http://www2.meethue.com/ja-jp/> (2015 年 12 月 20 日閲覧)
- [7] Naoya Isoyama, et al. “A method to control LED blinking for position detection of devices on conductive clothes”, Proc. of the 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia(MoMM '11) pp. 123-130, (2013)
- [8] 鈴木源太, 他. “u-Photo: ユビキタス情報を付加した画像を実現する環境情報スナップショットの開発”, 情報処理学会研究報告. OS, [システムソフトウェアとオペレーティング・システム] 96, pp. 65-72, (2004)
- [9] 長瀬大護, 他. “表現の自由度を高めるイルミネーションパターン入力手法の提案”, 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム] 2015-UBI-47, (2015)
- [10] 鈴木康祐, 他. “LED を受光素子とする双方向可視光通信に関する基礎的検討”, 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク 110(50), pp. 5-10, (2010)
- [11] 斎藤翼, 他. “可視光通信におけるちらつき軽減の方法”, 電子情報通信学会技術研究報告. CS, 通信方式 106(450), pp. 31-35, (2007)
- [12] Shirakawa Yasutomo, et al. “JR East Contact-less IC Card Automatic Fare Collection System “Suica””, IEICE transactions on information and systems E86-D(10), pp. 2070-2076, (2003)
- [13] Junichi Akita, et al. “Interactive block device system with pattern drawing capability on matrix leds”, Proc. of The ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012), pp. 1059-1062(2012)
- [14] Adafruit Industries, Unique & Fun DIY electronics and kits <https://www.adafruit.com/> (2015 年 12 月 20 日閲覧)
- [15] Arduino HomePage <http://www.arduino.cc/> (2015 年 12 月 20 日閲覧)
- [16] John. Brooke. “SUS - A quick and dirty usability scale, Usability Evaluation in Industry”, pp. 189-194, (1996)
- [17] System Usability Scale (SUS)—Usability.gov, <http://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html> (2015 年 12 月 20 日閲覧)