

容易なLED点滅パターン生成を可能にした 制御情報設定手法の提案

長瀬 大護^{1,a)} 藤波 香織^{2,b)}

概要：人々が存在する多様な空間を盛り上げる手段の一つとしてイルミネーションが挙げられる。しかし、市販のイルミネーション用LEDは、一つのコントローラで一括に制御される。さらに、あらかじめ搭載された点滅パターンをコントローラから選択しなければならない。それゆえ、ユーザが独自の点滅パターンを作成することは、LEDを制御するためのマイコンプログラミング等の高度な技術が必要となり、多くのユーザにとって困難だと推測できる。本研究では、ユーザが容易に独自の点滅パターンを制御できる手法を提案する。その制御手法は、スマートフォンをかざす動作を用いた「選択」と、端末上のアプリケーション上からの点滅の「設定」で構成される。これまでの研究で提案手法を組み込んだプロトタイプシステムを用いた結果、イルミネーションにおける表現の向上が示唆された。本稿では、特に提案手法のユーザビリティに対して言及し、多様な状況下におけるその性質を明らかにした。

NAGASE DAIGO^{1,a)} FUJINAMI KAORI^{2,b)}

1. はじめに

近年、様々なイベントの雰囲気盛り上げる一つ的手段としてイルミネーションが用いられる。イルミネーションは使用される状況に応じて点滅等のデザインを変更することでその空間を演出する。そのためイルミネーションの点滅パターンには多様性が望まれる [1]。しかし、一般的なイルミネーションに用いられるLEDデバイスは、一つのコントローラで複数のLEDを一斉制御するものが多数を占める。さらに、LEDに対してあらかじめ搭載されている点滅パターンしか設定できないために、LEDの個別制御やユーザ独自の点滅パターンを新たに追加することは困難である。したがって、イルミネーションにおける表現は制限されていると考えられる。これを直接的に解決するにはLEDを制御しているマイコンをプログラミングしなおす必要があるが、マイコンプログラミングは多くのユーザにとって容易な作業ではないため、LEDの点滅パターンの

増加は困難である。その一方でイルミネーションは、その点滅を個人の好みに合わせることで、およびユーザがイルミネーションに対して参加型であることが、多くの人々に楽しまれるための重要な要因であるとされる [2]。そのためイルミネーションの表現、すなわちLEDの点滅パターンの自由制御の実現により、イルミネーションのデザインの手間軽減および楽しさの向上が期待される。

本研究では、容易かつ自由にLEDの点滅を制御するための手法を提案し、提案手法を組み込んだプロトタイプシステムを用いて、その手法のユーザビリティ評価を行う。ユーザは入力対象物体であるLEDの情報を把握せずに、制御したいLEDを選択し、そのLEDの点滅の設定を可能にすることで、容易かつ自由なLED制御を実現する。また、提案手法に用いる入力デバイスとして普及率の高いスマートフォンを採用し [3]、特に端末に付加されているフラッシュライトを入力に用いる。これにより、提案手法の理解の容易化と直感的なLED制御を実現する。提案した設定手法に基づきプロトタイプシステムを開発し、それを用いた提案手法の評価結果より、提案手法およびフラッシュライトを入力に用いたときの性質を明らかにする。

2. 関連研究

1 節で挙げたイルミネーションの表現に関する制限除去

¹ 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

² 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

表 1 各手法の特徴比較

入力手法	目的	入力距離	入力情報の種類	入力範囲	フィードバック
Hesselmann et al.[7]	ITS との双方向通信の実現	短い	多い	狭い	なし
Yoshida et al.[8]	物理世界と仮想世界のインタラクション技法	遠い	識別物体の種類に依存	広い	投影画像の変化
Akita[9]	離れた LED ディスプレイへの入力	遠い	少ない	狭い	LED 点灯
F2LED 法&無線通信	デバイス ID 等の情報を必要としない詳細制御	短い	多い	狭い	LED 点滅

を目的としたシステムは複数存在する。木下らは、PC 上で動作する専用プラットフォームから LED マトリクスの点滅パターンを制御するシステムを開発した [4]。LED マトリクス同士の連結を PC 側が把握することにより、大きなサイズのイルミネーションのデザインを可能にした。さらに、Nakata et al. は、LED と光センサ、そしてそれらの素子を管理するマイコンを一つの基盤に組み込んだデバイスを開発し、そのデバイスをプロジェクタの光を用いて制御するシステムを提案した [5]。これらはユーザは各 LED の ID 等の情報を把握せずに直感的に制御できる。前者のシステムは LED マトリクスが平面である点や、後者のシステムはプロジェクタの投影面が平面である点から、表面が平らな物体に対する入力は得意であることが推測される。その一方で曲面に対する入力に関して得意でないことも予想される。イルミネーションは壁や天井などの平面へ装飾されるが、クリスマスツリーなどの曲面が多い物体に対して装飾される可能性も考えられる。また上記のシステムは手間軽減を重視しており、それらのシステムは参加型イルミネーションとしての性質は持たない。他方で、参加型イルミネーションの性質を保ちつつ、LED 点滅を制御するシステムは存在するが、そのシステムでは LED の点滅を詳細に設定することは困難である [6]。F2LED 法を適用したイルミネーション制御は、参加型の性質を持ちつつ LED 点滅を詳細に制御できる点が特徴的であると考えられる。

次にスマートフォンを用いた入力システムについて紹介する。本研究で LED を制御するための入力デバイスはスマートフォンであり、端末に搭載されているフラッシュライトを利用している。携帯型デバイスから照射される光を入力に用いるシステムには様々なものがある。以下にスマートフォンのフラッシュライト、プロジェクタ、レーザーポインタをそれぞれ用いたシステムを示す。Hesselmann et al. はスマートフォンと ITS(Interactive tabletops and surfaces) との連携の実現を目的とし、その双方向通信を可能にしたシステムを提案した [7]。スマートフォンから ITS への通信は、端末のフラッシュライトの点滅を信号化したものを ITS の下に置いているカメラで読み取ることで実現した。その逆方向の通信は、端末の位置をカメラで取得しその ITS に表示している画像で対応する部分の色を遷移させ信号化し、その信号を端末のカメラで読み取ることで実現した。Yoshida et al. はハンドヘルドプロジェクタを用

いて任意の物理的平面と相互作用するための新しいインタフェースを開発した [8]。カメラとハンドヘルドプロジェクタを一体型の入力デバイスとして扱う。入力デバイスのカメラが、実世界の物理的平面と、プロジェクタで投影する円形の白色画像とその円内にあるキャラクタ画像を検知する。実世界の物理的平面とプロジェクタの投影画像を対応付けすることで、投影したキャラクタが実世界の物体に衝突した際、反応を起こす。Akita はレーザーポインタの光を LED マトリクスに照射し入力を行うディスプレイを提案した [9]。LED に光を当てるとき電力が生じる現象を利用して、LED マトリクス自身がセンサとなる入出力一体型インタフェースを提案した。以上の入力システムと本研究で提案する F2LED 法の性質をまとめたものを表 1 に示す。表 1 より、各入力手法の目的や性質の多様性が読み取れる。また、ハンドヘルドプロジェクタやレーザーポインタを入力に用いたシステムの性質の調査は行われている [10] が、スマートフォンのフラッシュライトを入力に用いたシステムの性質調査は少ない。よって、本研究では F2LED 法のフラッシュライトを入力に用いる部分について、詳細な調査を行いその性質を示す。

3. F2LED 法の概要

一般的にイルミネーションに用いられる LED の個数は数十個以上である [11]。そのため、ユーザがイルミネーションを装飾する際に、使用する各 LED の情報、すなわち ID 等を把握することは容易ではない。したがって、ユーザは LED に関する情報把握を不要とする点滅パターンの入力が望まれる。ID を把握する手段として LED の点滅を信号化し、カメラで読み取る手段が存在する [12]。カメラで ID を読み取る場合、平面上に存在する膨大な数の LED の位置把握には有効である一方、曲面や立体の各面に配置されている LED 群の把握が困難だと考えられる。そこで提案手法では曲面が存在する立体への容易な入力も可能にする。本研究で提案する制御方法は「LED 選択」と「点滅設定」の 2 つのステップで構成される。その制御フローを図 1 に示す。LED 選択は LED の個別制御、すなわち精密な制御を可能にするため、一つの LED に対して行われる。点滅設定は「点滅パターンの選択」と「詳細設定」で構成される。イルミネーションには単体で個々の LED が独立して点滅するパターンや、複数の LED が組み合わせさ

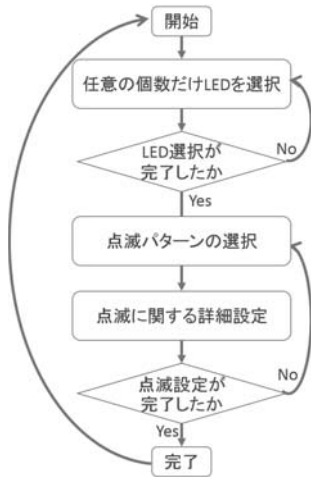


図 1 F2LED 法のフロー

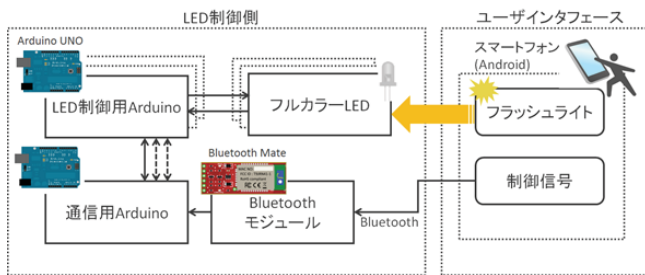


図 2 F2LED 法を組み込んだシステムの構成

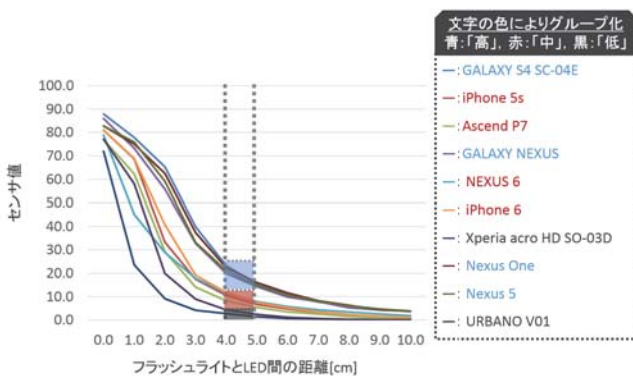


図 3 10 種類の端末のフラッシュライトを LED に照射した際のセンサ値

て形成されるパターンが存在する。これらの LED の点滅の種類を「点滅パターン」と定義する。また LED の点滅は点灯する色や、点滅の周期等も多様である。これらの点滅に関する設定を「詳細設定」と定義する。選択された LED に対して点滅パターンの選択と詳細設定を含む点滅設定を行う。この操作の繰り返しにより、ユーザ独自の点滅パターンの作成を可能にする。本研究ではこの制御方法を F2LED 法 (Flashlight to LED & Flashlight to Lightly Easily Design) と定義する。

4. プロトタイプシステムの実装

4.1 プロトタイプシステム概要

3 節で述べたように複数の入力対象物体が存在する場合、入力対象物体に関する情報把握を不要とした入力が望ましい。そこで F2LED 法では、入力対象を定める LED 選択をスマートフォンのフラッシュライトをかざす動作により実現する。これにより、ユーザは制御したい LED に対してフラッシュライトをかざせばよい。LED に関する情報を把握する必要がなくなる。それゆえ LED 選択の実現には、スマートフォンのフラッシュライトを LED 側が検知しなければならない。本手法では、LED に光を当てると起電力が生じる現象を利用し、LED を受光素子化する [13]。LED を点灯、すなわち電流が流れている状態では起電力を生じないため、高速に消灯状態と点灯状態を切り替えることで、点灯中の入力も可能にする。点滅設定は、選択された LED に対して詳細な設定が必要となる。そのため、スマートフォンに設定用のアプリケーションを搭載し、そのアプリケーション上で LED の点滅制御をする。アプリケーション上で詳細設定を実現することで、今後の機能拡張も容易となる。アプリケーション上から LED に設定された情報を送る必要があるため、スマートフォンと LED との通信が必須となる。

F2LED 法で入力するための LED は NeoPixel Diffused 8mm Through-Hole LED を使用する [14]。その LED の制御には Arduino を利用し、Arduino とスマートフォンとの通信には Bluetooth モジュール (Bluetooth Mate) を用いる [15][16]。Bluetooth モジュールの制御にも Arduino を用い、LED を制御するためのものを制御用 Arduino、Bluetooth モジュールを制御するためのものを通信用 Arduino とする。F2LED 法を適用したシステムの構成図を図 2 に示す。通信用 Arduino と制御用 Arduino の通信にはシリアル通信を用いて、Android アプリケーションから受信した設定情報を伝達する。本研究ではこのシステムを用いて、F2LED 法を評価する。このシステム構成図に基づく場合、Arduino の入力ピン数より、Arduino Uno1 台につき 4 つの LED が制御できる。

4.2 LED 選択の実装

F2LED 法では LED に光を当てるとき電力が生じる現象を用いて、LED の選択を実装する。実装に関する課題として、使用される端末により生じる電力の格差が予想される。そこで、本研究では 10 種類の端末について LED にフラッシュライトを照射したときのセンサ値を計測する。このセンサ値は Arduino を用いて計測しているため、センサ値 1 が約 0.005V に相当する。各端末のフラッシュライトと LED を一直線上に配置し、距離を変えさせたときの



図 4 Android アプリケーションスクリーンショット一覧

センサ値を図 3 に示す。図 3 によると、フラッシュライトの光量は端末により、大きく変動することが読み取れる。さらにフラッシュライトと LED の距離が 2.0cm 以上の場合、フラッシュライトの光量に関して大きく 3 グループに分けられる。これにより、LED の閾値を「高」、「中」、「低」と定義することで、多種多様な端末を使用した際のフラッシュライトの光量の変動に対応する。この 3 種類の閾値は各グループごとの平均を算出したものを設定する。本研究では、「低」グループの端末のフラッシュライトを照射した際でも LED が識別できるために照射距離を 5cm と設定する。この照射距離は我々の先行研究で実装した入力システムの照射距離 (2cm) より長い [17]、LED 選択時の疲労蓄積の軽減も期待される。したがって、「高」の閾値を 22、「中」の閾値を 11、「低」の閾値を 3 と設定する。また LED 選択に成功した場合、そのフィードバックとして LED を白色点滅させる。

フラッシュライトを照射したときに LED に発生する電圧は小さいため、ノイズによる LED の誤認識が生じる恐れがある。しかし照射距離をより短く設定すると、ノイズによる LED の誤認識が少なくなる一方、フラッシュライトをかざす際の正確さが失われ、わずらわしさが増加する可能性もある。

4.3 点滅設定の実装

点滅設定は点滅パターンの選択と点滅の詳細設定を実現する。プロトタイプシステムで実装する点滅パターンは以下の 4 種類である。

- (1) LED 単体で光るパターン
- (2) 偶数→奇数と交互に点滅するパターン
- (3) かざした順に点滅するパターン
- (4) かざした順にすべて点灯するパターン

選択された LED が個々に点滅するパターンが「LED 単体で光るパターン」であり、他 3 種類の点滅パターンが複

数の LED と組み合わせられて形成される点滅パターンである。特に複数の LED と組み合わせられて形成される点滅パターンは、LED 選択順に依存するため、より自由なイルミネーションのデザインが可能になる。また実装した詳細設定は以下の 4 種類である。

- (a) 点滅色
- (b) 点滅周期
- (c) 点滅遷移
- (d) 点滅輝度

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 4 に示す。点滅パターンの設定は図 4 (a) に示したとおり、4 種類から選択する。またこの画面で選択した LED の点滅設定の消去も可能である。

(a) 点滅色

図 4 (b) には RGB の 3 色の 8 ビット値を変更可能なシークバーがある。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。図 4 (b) の中部に示すように、画面上には設定した RGB 値に基づいた色のプレビューも表示される。

(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 4(c) に示すように、用意された 6 種類の周期を選択し、LED 点滅にその周期が反映される。

(c) 点滅遷移

図 4(d) 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。プロトタイプシステムでは、離散的遷移、連続的遷移、点灯持続の 3 種類を実装した。

(d) 点滅輝度

図 4(e) に示すように、点滅輝度値を 0 から 100 に設定できるシークバーを用いて点滅の輝度を設定する。また LED 選択時における、点滅輝度値の初期値は 30 である。



図 5 7種類のイルミネーションの装飾環境

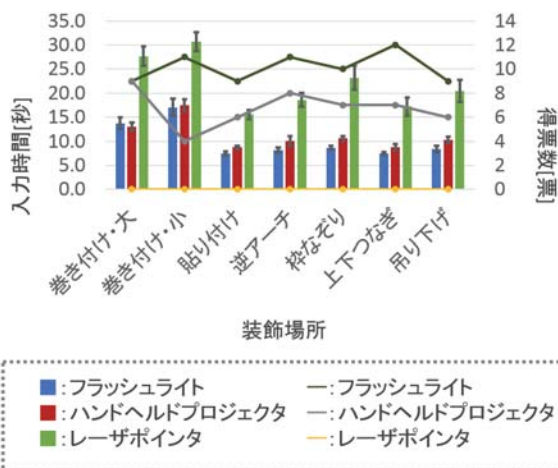


図 6 入力デバイス比較実験結果の 2 軸グラフ (棒グラフ: 入力時間, 折れ線グラフ: かざしやすかったデバイスに関する得票数)

5. F2LED 法の評価

5.1 実験概要

フラッシュライトを用いた参加型イルミネーションの性質を持つ入力方法の表現拡張に関する有効性および、イルミネーションデザインにおける楽しさ向上は、我々の先行研究より示唆されている [17]。ユーザビリティの確保を検証するために新たに評価実験を行った。評価実験では、F2LED 法の大きな特徴である LED 選択、すなわちフラッシュライトをかざすという部分に着目した。まず他の入力デバイスを使用した際の比較調査により、F2LED 法に対するフラッシュライトの適切性の評価、およびフラッシュライトを用いた入力に関する性質を明らかにする。また、F2LED 法の入力範囲は我々の先行研究と比較して照射距離がより長くなったため、その照射範囲拡張によるユーザビリティ向上の有無に関して検証する。二つの評価実験について使用する端末は Huawei 社の Ascend P7 であり、被験者は全員 F2LED 法に慣れていない 20 代の男女である。

5.2 他の入力デバイスとの比較

5.2.1 実験方法

本実験では、携帯型デバイスと光を組み合わせた入力システムに良く用いられるデバイスであるハンドヘルドプロ

ジェクタとレーザーポインタと比較する [10]。本実験は 12 人の被験者が参加した。なお、3つの入力デバイスを使用する順番の影響を除去するために、使用するデバイスの順番を 6 グループに分けた。被験者には 3 種類のデバイスを使用してもらい、10 個の LED に対する光の照射、すなわち LED 選択を行ってもらった。イルミネーションが装飾される環境は多様であるため、インターネット上から屋内イルミネーションに関する画像と屋外イルミネーションに関する画像をそれぞれ 100 件列挙し、図 5 に示す 7 種類の装飾環境を定義した。定義した 7 種類の装飾環境下に 10 個のロープ状 LED を装飾し、この LED 群に対して入力してもらった。なお、「巻き付け・大」として全長 150cm のクリスマスツリー、「巻き付け・小」として全長 20cm の卓上クリスマスツリーを用意した。評価項目として、10 個の LED を入力する時間を計測し、さらに各装飾環境ごとにかざしやすかったデバイスについて複数回答を許容し答えてもらい、適宜インタビューを実施した。使用するハンドヘルドプロジェクタはシーエフ・カンパニーの L1 レーザーピコプロジェクターであり [18]、レーザーポインタはコクヨの IC-GREEN for PC である [19]。なお、ハンドヘルドプロジェクタの入力には白色画像を用いた。

5.2.2 結果

5.1.1 節で示した実験の結果を図 6 に示す。図 6 の棒グラフより、「巻き付け・大」ではハンドヘルドプロジェクタの入力時間が最も短く、それ以外の装飾環境下ではフラッシュライトの入力時間が最も短かった。この入力時間について、3つのデバイスの入力時間について有意差を検証するため、Tukey 法を用いた多重比較を行った。Tukey 法により算出した値を表 2 に示す。算出された値をスチューデント化された範囲の表に照らし合わせることで有意差について検証できる [20]。なお、有意水準は 5% とする ($p < 0.05$)。スチューデント化された範囲の表より使用すべき値は、比較するデータ群の数とデータの繰り返し数によって一意に定まる。本実験で比較するデータ群は 3 つであり、データの繰り返し数、すなわち被験者数は 12 である。これをスチューデント化された範囲の表に照らし合わせると、Tukey 法において算出した値が 3.77 以上の場合有意差が認められる。以上より、いずれの装飾環境においても

表 2 Tukey 法による入力時間の多重比較 (A:フラッシュライト, B:ハンドヘルドプロジェクタ, C:レーザーポインタ, 色つきの箇所が有意差あり:値が 3.77 以上)

入力デバイス	巻き付け・大	巻き付け・小	貼り付け	逆アーチ	枠なぞり	上下結び	吊り下げ
A-B	0.51	0.24	1.88	1.79	1.34	1.11	1.33
A-C	9.73	8.17	12.55	9.90	9.87	8.49	8.35
B-C	10.24	7.93	10.67	8.12	8.53	7.38	7.02

表 3 イルミネーションとして装飾された LED を対象としたときの各入力デバイスの性質比較

入力デバイス	デバイスの一般性	高低差がある環境への有用性	フィードバックの視認性	照射角度
フラッシュライト	○	△	○	大
ハンドヘルドプロジェクタ	△	○	△	中
レーザーポインタ	△	×	△	小

表 4 7 種類の装飾環境における各入力デバイスの性質比較

入力デバイス	巻き付け・大	巻き付け・小	貼り付け	逆アーチ	枠なぞり	上下結び	吊り下げ
フラッシュライト	△	○	○	○	○	○	○
ハンドヘルドプロジェクタ	○	×	○	○	○	△	△
レーザーポインタ	×	×	×	×	×	×	×

レーザーポインタと他の 2 つのデバイスには有意差が見られた一方で、フラッシュライトとハンドヘルドプロジェクタの入力時間には有意差が見られなかった。また図 6 の折れ線グラフより、いずれの装飾環境においてもフラッシュライトがかさしやすかったデバイスとして最も選ばれた。その一方で、レーザーポインタはいずれの環境においても選ばれなかった。

5.2.3 フラッシュライトと他の入力デバイスとの比較

前節に示した結果より、LED に対する入力手法である F2LED 法にはフラッシュライトの利用が最適手段であることがわかった。その理由は 2 つ考えられる。一つ目は、スマートフォンが普及率が高く、多くのユーザが慣れ親しんだデバイスである点である。本実験に協力してもらった被験者も全員スマートフォンを所有しており、被験者らはハードウェアに関する操作方法を覚える必要がなかった。近年ではプロジェクタを搭載した携帯型端末が開発されてきたが、そのインタラクション技術に関する調査も多く、普及率は高くない [21][22]。したがって、他の二つの入力デバイスより普及率が高く慣れが強いフラッシュライトが支持されたと考えられる。二つ目はデバイスが発する光の照射角度の影響が推測される。フラッシュライトは光源から発せられる光の照射角度が広く、ハンドヘルドプロジェクタやレーザーポインタの光の照射範囲は狭い。また、本実験で使用した LED はシリアル LED であるため、LED キャップの中に含まれている構成要素は発光素子だけではない [14]。それゆえ、LED の正面から光を照射しなければ起電力が生じづらい。さらにイルミネーションに装飾されている LED の向きは多様であるため、照射角度が広いフラッシュライトが選定されたと予想できる。しかし、図 6 より「巻き付け・大」の環境下ではハンドヘルドプロジェクタより劣っていることが読み取れる。巻き付け・大とし

て用いたクリスマスツリーは全長 150cm である。フラッシュライトの照射距離は長くないため、被験者らはツリー上部から下部まで端末を移動させる必要がある。ハンドヘルドプロジェクタはフラッシュライトより照射距離が長く、端末の移動距離の短縮が期待できる。したがって、ハンドヘルドプロジェクタのほうが入力時間が短く、かさしやすいデバイスとして多くの被験者が挙げたと推測できる。以上より、入力対象物体の位置について高低差がある装飾環境下では F2LED 法のユーザビリティは十分に発揮されないことが示唆された。

ハンドヘルドプロジェクタは、白色画像、すなわちフィードバックが明晰に見える装飾環境下が被験者から支持された。その一方で、入力対象が空中に存在したり投影面が平らでない場合、ハンドヘルドプロジェクタの投影画像は認識しづらい。そのため投影面が平らである「貼り付け型」などでは好まれる意見が多く得られたが、投影画像が崩れてしまう曲面を持つ「巻き付け・小」でのかさしやすかったデバイスとしての支持率が低かったと推測できる。また照射距離はフラッシュライトに比べて長い場合、広範囲かつ LED が密集していない装飾環境である「巻き付け・大」で支持されたと考えられる。

レーザーポインタは照射距離は他の 2 つのデバイスに比べて長い場合、その照射範囲は極小である。そのため、レーザーポインタを用いた LED 選択は困難な作業となり、入力時間が最も長くなってしまった。ゆえに、F2LED 法には最も不向きであると考えられる。

以上を踏まえ、装飾された LED に対して、3 種類のデバイスを入力に用いる際の性質を表 3 に示す。フラッシュライトを用いた F2LED 法はイルミネーションの装飾には有効である一方、高低差がある装飾環境下で使用する場合、そのユーザビリティが低下する恐れがある。ハンドヘルド

プロジェクタは広範囲に LED が存在する場合、入力時の疲労が最も少ないことが予想される。その一方で光源からの光の照射角度がフラッシュライトより小さいため、入力対象物体の広角な識別が必要となる。これに加えて投影面が曲面であると投影画像、すなわちフィードバックが崩れてしまう。投影画像の理解が必要でなくても、ユーザは投影画像を頼りに入力範囲を認識するため、平らな投影面での使用が望まれる。

レーザポインタを小さい素子への入力に用いる際、そのユーザビリティはとても低いものであった。さらに、レーザポインタの入力を固定するには数秒の時間がかかり、その照準に少しのずれが生じる [23]。以上より、入力対象物体のサイズが大きく、正確性が求められない状況においてレーザポインタは適用できると考えられる。

また表 3 を踏まえて、7 種類の装飾環境下における 3 種類の入力デバイスの性質をまとめたものを表 4 に示す。表 4 よりフラッシュライトはいずれの装飾環境下でも高いユーザビリティを持つ入力デバイスであることが示唆された。他方で、LED が広範囲に存在する場合、表 4 に示したもののより低い評価になる恐れがある。

5.3 照射範囲拡張によるユーザビリティ向上の検証

4.2 節より、F2LED 法の照射距離は我々の先行研究より 2.5 倍長くなった [17]。この照射距離の拡張によるかざしやすさの向上、およびその向上による疲労軽減が期待できる。本節ではこの照射距離拡張によるユーザビリティ向上の検証について述べる。本実験は 8 人の被験者に、様々な装飾が施された 150cm のクリスマスツリー（巻き付け・大）に装飾された LED に対して F2LED 法を使用してもらった。その入力は図 7 に示す 3 つの LED の配置形状に対して行った。3 つの配置形状に対する入力は、「直線状」の LED 5 個を 2 種類、「らせん状」の LED 10 個、「稲妻状」の LED 10 個とした。さらに各配置形状への入力には狭い照射範囲と広い照射範囲の手法、すなわち既存研究における入力手法と F2LED 法の 2 つをそれぞれ 3 度の入力を実施した。このとき被験者らには、操作の不慣れの軽減および LED の位置把握のために、各配置形状について事前に一回入力を行ってもらった。評価項目として各形状における入力時間を計測し、F2LED 法における LED 選択についてユーザビリティを簡易的に数値化する SUS(System usability scale) を用いた [24]。

各形状における平均入力時間を図 8 に示す。図 8 より、いずれの配置形状に関して照射範囲を拡張した場合の方が、入力時間は短くなった。また、入力時間について有意水準を 5% としたときの有意差を t 検定により検証した結果、いずれの配置形状においても有意差は見られた。SUS の得点は 78.4 となり、一般的に SUS の平均点とされる 70 および [25]、既存入力手法の 74.7 を上回った [17]。以上の

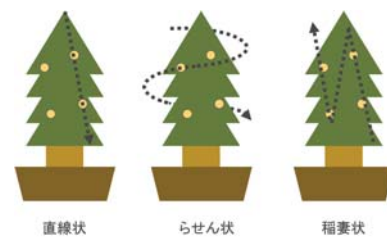


図 7 LED 配置形状

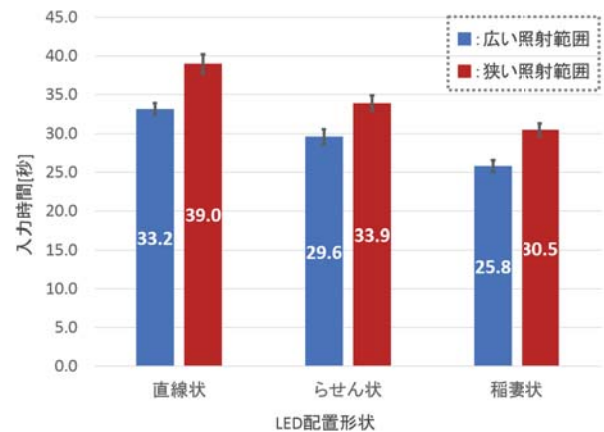


図 8 照射範囲を変化させたときの入力時間



図 9 入力が困難だと推測される LED の配置状況 (点線枠：奥にある LED, 実線枠：下向きの LED)

結果より、F2LED 法における LED 選択は最低限のユーザビリティの確保できたと考えられる。さらに本研究において照射範囲拡張による、既存入力手法と比較した際のユーザビリティ向上も示唆された。

照射範囲が短いと図 9 に示すような下向きに設置してある LED や、クリスマスツリーの奥に存在する LED の選択が難しい。しかし照射範囲の拡張により、そのような LED への入力が容易となり、入力時間が軽減したと推測される。また、日常生活に存在する一般的なかざすデバイスである IC カードの識別距離は数 10cm 程度であるが [26]、F2LED 法では、その半分の照射距離でも最低限のユーザビリティの確保が示唆された。IC カードは読み取り部にかざす際、多様な情報を送信している。それゆえ、その処理時間に最低 0.2 秒必要となり、ある程度の距離からの識別開始が望

まれる [27]。その一方で、F2LED 法における読み取り部、すなわち LED はフラッシュライトの検知のみを行えばよい。そのため、LED 選択において送信される情報は「かざしているか否か」であり、F2LED 法のユーザビリティはユーザに許容されたと考えられる。

6. おわりに

本研究ではイルミネーションの表現拡張のための LED の点滅を制御する F2LED 法を提案した。提案した F2LED 法、特にフラッシュライトを入力に用いた LED 選択に関するユーザビリティの評価を行った結果、フラッシュライトが LED 単体に対する入力に最適であることが示唆された。これにより、LED だけでなく散在する小さな素子に対する入力システムへの適用も可能であると考えられる。F2LED 法を用いることで、散在する LED などの小さな素子に対して、ID 等の情報把握する必要なく、詳細な情報設定が可能になる。

一方、F2LED 法は高低差がある環境でのユーザビリティ低下や、広範囲に LED が存在する環境での疲労蓄積が懸念される。よって F2LED 法を適用する場合、入力対象物体の素子の配置状況の十分な検討が必要である。また、LED や端末が変更した際、LED 内で発生する起電力に差が生じる可能性がある。このため、未知のフラッシュライトおよび LED に照射した場合に、自動的に閾値を算出する手法を考案する必要がある。さらに、膨大な数の LED を制御する場合の電子回路の小型化も望まれる。

参考文献

- [1] 高台泳, 他. 都市空間における環境グラフィックの提案. 日本デザイン学会研究発表大会概要集, vol. 54, p. F13, 2007.
- [2] 朴 泓妹, 他. 冬季の屋外イルミネーションに関する評価構造. 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演会・建築デザイン発表会.” 学術講演梗概集, vol. 2014(環境工学 I, pp. 425-426, 2014.
- [3] 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>, 2017 年 2 月 8 日アクセス
- [4] 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. 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), vol. 2009, no. 26, pp. 65-70, 2009.
- [5] M. Nakata, et al. Design and implementation of a ubiquitous optical device controlled with a projector. In Proc. of 6th International Conference on Mobile Computing and Multimedia (MoMM '08), pp. 130-135, 2008.
- [6] 宇根健一郎, 他. 拍手音を用いた対話的イルミネーション演出. 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), vol. 2009, no. 15, pp. 1-6, 2016.
- [7] T. Hesselmann, et al. FlashLight - Optical Communication Between Mobile Phones and Interactive Tabletops. In Proc. of International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, pp. 135-138, 2010.
- [8] T. Yoshida, et al. Twinkle: Interacting with physical surfaces using handheld projector. In Proc. of Virtual Reality Conference (VR), 2010 IEEE, pp. 87-90, 2010.
- [9] J. Akita. Matrix LED unit with pattern drawing and extensive connection. In Proc. of SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies, p. 1, 2010.
- [10] R. Ballagas, et al. The Smart Phone: A Ubiquitous Input Device. IEEE Pervasive Computing, vol. 5, no. 1, pp. 70-77, 2006.
- [11] イルミネーション入門: コロナ産業株式会社, <http://www.christmas-light.jp/beginner/index.html>, 2017 年 2 月 15 日アクセス.
- [12] N. Isoyama, et al. A method to control LED blinking for position detection of devices on conductive clothes. In Proc. of the 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia, pp123-130, 2011.
- [13] S. Schmid, et al. (In) visible Light Communication : Combining Illumination and Communication. In Proc. of SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, p. 13, 2014.
- [14] NeoPixel Diffused 8mm Through-Hole LED - 5 Pack ID: 1734 - \$4.95 : Adafruit Industries, Unique&fun DIY electronics and kits, <https://www.adafruit.com/product/1734>, 2017 年 2 月 10 日アクセス
- [15] Arduino - Home, <https://www.arduino.cc/>, 2017 年 2 月 10 日アクセス
- [16] SparkFun Bluetooth Mate Silver - WRL-12576 - SparkFun Electronics, <https://www.sparkfun.com/products/12576>, 2017 年 2 月 10 日アクセス
- [17] D. Nagase, et al. Spot and set: Controlling lighting patterns of LEDs through a smartphone. In Proc. of 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.145-146, 2015
- [18] shareEDGE プロジェクト-L1 レーザーピコプロジェクター, <http://www.shareedge.com/modules/hardware/view.php?lid=20100422-001&cid=0>, 2017 年 2 月 12 日アクセス
- [19] パワーポイント対応タイプ 1 ページ目 (緑色光) - レーザーポインター - コクヨ ステーションナリー, <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/lp/powerpoint/index01.html>, 2017 年 2 月 12 日アクセス
- [20] Q Table for Tukey's HSD, <http://www2.stat.duke.edu/courses/Spring98/sta110c/qtable.html>, 2017 年 2 月 12 日アクセス
- [21] L.G. Cowan, et al. Projector phone use: practices and social implications. Personal and Ubiquitous Computing, vol.16, no.1, pp.53-63, 2012
- [22] E. Rukzio, et al. Projector phone interactions: design space and survey. Workshop on coupled display visual interfaces at AVI, 2010.
- [23] C.H. Peck. Useful parameters for the design of laser pointer interaction techniques. In Proc. of CHI'00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.461-462, 2001.
- [24] J. Brooke, 1996. SUS - A quick and dirty usability scale. Usability Evaluation in Industry, London: Taylor and Francis, pp. 189-194, 1996.
- [25] A. Bangor, et al. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. Journal of usability studies 4.3, pp.114-123, 2009.
- [26] 森田秀則, 他. 自動改札機のしくみ. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol.15, pp.34-35, 2010.
- [27] S. Yasutomo, et al. JR East contact-less IC card automatic fare collection system. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, vol. 86, no. 10, pp.2070-2076, 2003.