

## 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

木下浩平<sup>†</sup> 藤田直生<sup>†</sup> 柳沢 豊<sup>‡</sup> 寺田 努<sup>†</sup> 塚本昌彦<sup>†</sup>

<sup>†</sup>神戸大学大学院工学研究科

<sup>‡</sup>NTTコミュニケーション科学基礎研究所

近年、LEDの登場により、様々な場所に電飾が見られるようになり、注目が高まっている。しかし、大規模な電飾は全体の制御が困難であり、表現力が乏しいという問題がある。本研究では、分散制御された電飾アートを制御するプラットフォームを設計・構築する。分散制御により、一つのコントローラで全体制御するのに対して、電飾アートの変更や故障に対する柔軟性やコスト面など、様々なメリットが考えられる。プラットフォームは、簡単なコマンドにより、点滅パターンなどを描画できるようにすることで、直観的に点滅パターンの設計を可能としている。また、グローバル座標とローカル座標のマッピングの考え方により、複数のLEDマトリックスの連携を可能としている。さらに、電飾アートの実装し、実運用を通して本提案手法の有用性を確認した。

### A Platform for Controlling Illuminations Consisting of Multiple Distributed LED Matrices

Kohei KINOSHITA<sup>†</sup> Naotaka FUJITA<sup>†</sup> Yutaka YANAGISAWA<sup>‡</sup>  
Tsutomu TERADA<sup>†</sup> Masahiko TSUKAMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate school of Engineering, Kobe University

<sup>‡</sup>NTT Communication Science Laboratories

Recently, we can see illuminations in the various places by an appearance of LED, and attracted illuminations. However, the large-scale illuminations have difficulty with total control, and expression is poor. In this research, we design the platform controlling illuminations consisted of multiple distributed LED matrices, and build it. By dispersed control, there are various merits such as flexibility for a change and the trouble of illuminations art or a cost side. The platform can draw LED blinking patterns by simple commands. Further, it enable the cooperation of plural LED matrices by thinking of the mapping of global coordinate and local coordinate. Moreover, we implement a illuminations art and confirmed utility of this suggestion technique through true use.

### 1 はじめに

近年、発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)を中心とした電飾産業が急速に発展している。LEDは、長寿命で低消費電力、豊富な色を表現可能という特徴から、街頭のイルミネーションや照明器具など、生活の様々な場面において利用されている。また、LEDを用いた様々な応用が登場し、電飾アクセサリや電飾パフォーマンス、大規模な電飾アートなどが見られる。

電飾に用いるLEDの量が増加するにつれて電飾の表現力は増すが、それに伴いいくつかの問題点が生じる。電飾の制御は、従来は一つのコントローラにより行われているが、電飾の高密度化と規模の拡大により制御が複雑化し、コストが膨大になるという問題がある。大規模な電飾において、部分的な変更・故障が生じた場合、電飾全体を修正しなければならない。また、大規模な電飾は、大量のLEDを連携させることで図柄や文字などを表現可能しているが、周期を考慮しながら一つ一つのLEDを別々に設定し、電飾全体の制御を行うことは困難である。さらに、電飾の制御は、技術者だけでなくデザ

イナーなどの非技術者を含む様々な分野の人々が、ストレスなく行えることが求められる。しかし、現状ではマイコンへのプログラムの書き込みを、技術者が専用のソフトウェアを用いて行うため、直観的な点滅パターンの設計ができず、設計者の負荷の増大と設計対象者の限定という問題がある。

そこで本研究では、LEDマトリックスとマイコンを一つのユニットとし、複数のユニットを組み合わせ分散制御することで、大規模な電飾アートを実現するシステムを提案する。提案システムを用いることで、電飾が高密度化し規模が拡大してもユニットごとの制御を変更することで対応できる。また、電飾アートの変更や故障にユニット単位で柔軟に対応でき、コストを抑えた規模の拡大も可能となる。さらに、ユニットの汎用化により、安価で大規模な電飾アートの構築や、ユニットの再利用などのメリットが考えられる。一方で、分散制御は、複数のユニットの連携が複雑で困難になる新たな問題を生じる。そこで本研究では、分散制御されたLEDマトリックスを用いた電飾アートの制御プラットフォームを構築する。プラットフォームは、電飾アート全体の

空間を、部分空間の集合と考え、全体空間で表現した電飾アートを部分空間毎に分割し分散制御するシステムである。プラットフォームのシミュレータ領域に、LED マトリックスを表した部分空間を複数設定できるようにする。これにより、全体空間上で点滅パターンを設計することで、分散した LED 群において一つの大きなパターンとして再現できる。また、実際の電飾アートのマイコンと対応付けることで、各マイコンに必要なコードを自動で生成する。自動でプログラムを生成するため、設計者はこのプラットフォームを利用することで、簡単な操作で直観的に電飾アートを制御できる。さらに、提案するインターフェースは、コマンドライン方式を採用し、簡単なコマンドで点滅パターンなどを設定しシミュレータで即座に結果が確認できる。視覚的にわかりやすいインターフェースになり、設計者への負担を軽減すると考えられる。

本論文の構成は次の通りである。以下、2章では関連研究について述べる。3章では大規模な電飾アートの制御システムの提案とプラットフォームの要件と設計方針について述べ、4章でプラットフォームの実装について述べる。5章では、実際に電飾アートを制作し、実運用について述べ、6章で本研究の考察、7章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2 関連研究

LED を用いた電飾に対して、動的な動作変更を行うため、様々な制御方法に関する研究が行われている。Bloom Accessory は、遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリについて提案している [1]。アクセサリにはマイクが内蔵されており、遠隔地から超音波を送信し、マイクが受信することで点滅パターンが変化する。筆者らの研究室では、ウェアラブルファッショングのための LED 制御システムの研究を行っており、LED の点滅パターンの動的な書き込みを行うことが可能な明滅プログラミング方式を開発した [2]。この方式では、無線通信を用いることで電飾の制御と、他のデバイスとの連携動作を行っている。また、点滅パターンデータの圧縮の研究も行っている。これにより長時間の制御を可能としている [3]。圧縮手法は、可変周期サンプリングとスクリプト解釈、差分符号化、パレット符号化を用いており、可変周期サンプリングと差分符号化を組み合わせた方が圧縮率が高いことを示している。これらの方針は、マイコンのプログラムを直接書き換えることなく、遠隔地からの制御をすることで、LED の分散制御も可能としている。しかし、数個の LED の制御しか考慮しておらず、大量の LED を用いた電飾に対しては用いることができない。さらに、マイコンのプログラムを直接書き換える場合と比べ、制御の幅に限界がある。

特定のハードウェア専用の一般ユーザ向けアプ

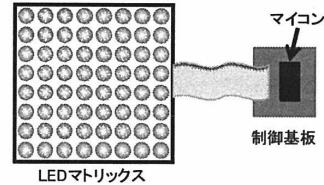


図 1: ユニットの概要図

リケーションインターフェースの研究も行われている。LEGO 社の MINDSTORMS や、バンダイ社の ROBOT WORKS は、条件や動作を記述したブロックをつなげることで簡単にプログラムができる [4] [5]。計算機音楽記述用言語である MAX/MSP は、プログラムをフローチャートのようにボックスと線をつなぎ合わせ、流れとロジックを表現するビジュアルプログラミングと呼ぶ方式を用いている [6]。MAX/MSP は、音と映像を創るためにのプラットフォームとして、多くのアーティストから支持を得ている。これらはグラフィカルな表現を活用したビジュアルプログラミングであり、非技術者にも使いやすいという利点がある。しかし、電飾の点滅設計のような細かい編集を繰り返す場合には適さない。

## 3 電飾アート制御システムの設計

本章では、大規模な電飾アートに対する制御方法として、分散制御による方法を提案する。つぎに、分散制御された電飾アートを制御するプラットフォームの設計方針について述べる。

### 3.1 電飾アートの分散制御

本研究では、モジュール化された LED マトリックスとマイコンを一つのユニットとし、複数のユニットを組み合わせることで、電飾アートを分散制御するシステムを提案する。ユニットの概要図を図 1 に示す。LED の接続において、マトリックス形を用いている理由は、小型のマイコンでできる限り多くの LED を、一つ一つ個別に制御するためである。分散制御により、一つのコントローラで全体制御するのに対して、様々なメリットが考えられる。ユニット単位での設計により、コストを抑えた規模の拡大が可能となり、設計の幅が広がる。また、電飾アートの変更や故障に、ユニット単位で柔軟に対応できる。さらに、汎用化による安価で大規模な電飾を構築と、ユニットの再利用などが考えられる。一方で、分散制御により、位置と周期などを考慮しながら、複数のユニットを連携しなければならないというデメリットも生じる。そこで本研究では、分散制御された電飾アートを制御するプラットフォームの設計および構築を行う。提案するプラッ

トフォームを用いることで、複数のユニットの連携やマイコンへのプログラムの困難さなどの問題を解消し、分散制御された電飾アートの制御を容易に行えるようにすることを目指す。

### 3.2 プラットフォームの要件

本研究で提案する分散制御された電飾アートを制御するプラットフォームに求められる要件について以下に述べる。

- **視認性**

デザイナーなどの非技術者に対しても、抵抗無く扱ってもらうため、視覚的に扱いやすいプラットフォームにする必要がある。テキスト表示だけのプログラム環境に比べ、視覚的なフィードバックがある開発環境にすることで、習得時間も短時間で済むことが期待できる。また、点滅パターンを視覚的に確認しながら設計する方が、意図した通りに設計でき、設計者の負荷の軽減も期待できる。

- **複雑な点滅パターンの制御**

電飾アートの表現力を向上させるために、多様な点滅パターンを作成できる必要がある。また、設計者が意図したとおりに点滅パターンを作成できる必要がある。さらに、本研究では、非技術者を含む様々な分野の人々でも扱えることを目指している。そのため、作成した点滅パターンを電飾アートに書き込める。

- **分散制御**

本研究で提案するプラットフォームは、分散制御された電飾アートを対象としているため、分散制御を考慮する必要がある。すなわち、複数のLEDマトリックスを扱えるようにし、それぞれの位置と周期、他のマトリックスとの連携を考慮して、制御できるようにしなければならない。

### 3.3 プラットフォームの設計方針

前節で述べた要件を満たすように、プラットフォームの設計方針について以下に述べる。

- **視認性**

視認性の要件を満たすために、インターフェースは、コマンドラインとシミュレータを用いて、簡単なコマンドで点滅パターンなどを描画できるようとする。これにより、電飾アートの専門知識がないユーザも、操作可能なインターフェースが構築できると考えられる。また、点滅パターンをリアルタイムに動画で再生するシミュレータにより、設計者の意図した通りに制御が行いやすくなるなどのメリットも考えられる。

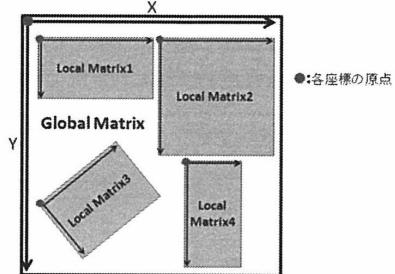


図 2: グローバル座標とローカル座標

- **複雑な点滅パターンの制御**

多くの描画コマンドを用意することにより、様々な点滅パターンを表現できるようにする。設計者が意図したように点滅パターンを設計できるように、点滅パターンは、線や方形、丸などの図形やテキストを表示し、アニメーションで表示する。また、設計した点滅パターンを実行するマイコン用プログラムを出力する機能を実装することで、マイコンプログラミングを行うことなく電飾を制御できるようにする。

- **分散制御**

分散制御の要件を満たすために、座標空間のグローバル座標とローカル座標のマッピングという考え方を利用する(図2)。インターフェースは、グローバル座標の原点とx軸、y軸を設定できるようにし、座標系を作る。その中に、複数のローカル座標を設定する。ローカル座標は、設計者が自由に座標や大きさ、方向などを設定できるようにすることで、様々な電飾アートに対応できるようにする。グローバル空間を電飾アート全体と捉えることで、電飾アート全体で表現したい点滅パターンをグローバル空間内で表示することで、ローカル空間全てにも反映され、全体として分散制御が可能になる。

## 4 電飾アート制御システムの実装

本章では、まず提案するシステム全体の構成を述べた後、3章で述べた設計方針により実装した電飾アート制御プラットフォームについて述べる。

### 4.1 システム構成

提案するシステムの構成を図3に示す。まず、設計者がパソコンの電飾アート制御プラットフォームを利用して、簡単なコマンド操作で電飾アートの点滅パターンを設計する。プラットフォームは、点滅パターンの設計が完了すると、各々のLEDマトリックスと対応するマイコンのプログラムのソース

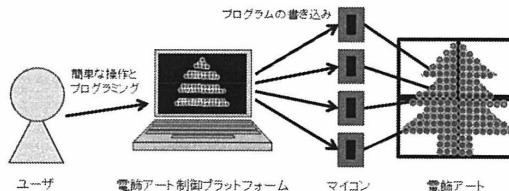


図 3: システム構成

コードを自動で生成する。設計者が、この生成したコードを、各マイコンに書き込むだけで、全体として連携のとれた一つの動きを実現する。これにより、プラットフォーム上で設計された点滅パターンを、分散した LED 群において一つの大きなパターンとして再現できる。また、点滅パターンを短時間で変更可能にするシステムが構築できる。

## 4.2 電飾アート制御プラットフォーム

### 4.2.1 インタフェース

本システムで構築したインターフェースを図 4 に示す。インターフェースの開発環境は、Processing を使用して実装した [7]。インターフェースは、シミュレータ領域、コマンドライン領域、時間表示領域の三つの領域からなる。シミュレータ領域では、複数の LED マトリックスの表示や様々な点滅パターンの図柄などが表示される。コマンドライン領域では、設計者がシミュレータ領域上に、LED マトリックスの位置や大きさの設定や点滅パターンの図柄の表示、様々な設定などを行うために、コマンドを入力できる。時間表示領域は、電飾アートの点滅時間を表示し、アニメーションに合わせて時間は変化する。電飾アートは、音楽や人の動作のタイミングなどに合わせて制御されることも考えられるため、この機能を実装した。分散制御を行うため、シミュレータ領域全体をグローバル空間と捉え、グローバル座標は最大 (80, 60) である。ローカル空間である LED マトリックスは、コマンド入力により設定でき、他のローカル空間との接続や傾けるなどもできる。ローカル座標は最大 (30, 30) である。

### 4.2.2 コマンド制御

インターフェースの様々なコマンドについて述べる。

#### 実行制御コマンド

実行制御コマンドにより、電飾アートの LED マトリックスの配置や大きさなどの設定を行う。実行制御コマンドを表 1 に示す。各コマンドにある  $a$  は、ローカル空間の名前を表し、 $(a, b, \dots, g)$  まで設定できる。線形変換は、ローカル空間を傾けるためにある。connect のつなぎ合わせの辺などの設定は、アニメーションを見ながらキー入力で行う。save の

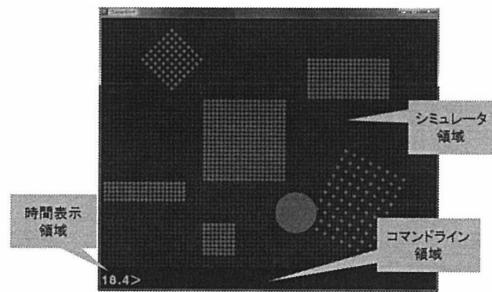


図 4: 電飾アート制御インターフェース

表 1: 実行制御コマンド

| コマンド                        | シミュレータへの作用                       |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <code>lc+a=x,y</code>       | ローカル空間 $a$ の原点 $(x, y)$ を設定する。   |
| <code>matrix+a=x,y</code>   | ローカル空間 $a$ の大きさ $(x, y)$ を設定する。  |
| <code>linear(n×a)</code>    | ローカル空間 $a$ を $n$ で線形変換する。        |
| <code>move+a</code>         | ローカル空間 $a$ の原点を $(x, y)$ に移動する。  |
| <code>connect a to b</code> | ローカル空間 $a$ をローカル空間 $b$ につなぎ合わせる。 |
| <code>delete a</code>       | ローカル空間 $a$ を消去する。                |
| <code>grid/nogrid</code>    | セルの表示/非表示を設定する。                  |
| <code>cellsize n</code>     | セルの大きさを $n$ (1~5) の 5 段階で変更する。   |
| <code>reset</code>          | 初期状態にリセットする。                     |
| <code>save filename</code>  | ローカル空間ごとに点滅パターンのプログラムを書き出す。      |
| <code>load filename</code>  | filename のテキストファイルを読み込み、実行する。    |

プログラム数は、ローカル空間の数だけあり、ファイル名は `filename-local(1,2,⋯)` で出力される。同じ電飾アートの制御を行う場合、`load` を用いることで、一度 LED マトリックスの配置ファイルを作成しておけば、描画制御系コマンドの入力だけで、点滅パターンの編集が行える。

#### 描画制御コマンド

描画コマンドにより、電飾アートの点滅パターンの設計を行う。描画制御コマンドを表 2 に示す。コマンドの移動方向は、 $(\text{up}, \text{down}, \text{left}, \text{right})$  の 4 方向の設定ができる。

以上が電飾アート制御インターフェースのコマンドである。つぎに、実際にこのインターフェースを用いて、電飾アートの点滅パターンを制御するときの使用手順について述べる。手順の流れを図 5 に示す。まず、今回制御を行う電飾アートの保存データがあるか無いかを確認する。過去に一度制御を行った電飾アートの場合、保存データがあれば、データの読

表 2: 描画制御コマンド

| コマンド          | シミュレータへの作用                      |
|---------------|---------------------------------|
| text a 移動方向   | 文字 a を表示する。                     |
| circle n 移動方向 | 円の図形を表示する。<br>n(1~5) で大きさを設定する。 |
| tatejima n    | 縦縞を n 本表示する。                    |
| yokojima n    | 横縞を n 本表示する。                    |
| start/stop    | シミュレーションの開始と停止をする。              |
| speed n       | 図柄や文字の移動速度を n(1~5) で変更する。       |
| time t        | 時間 t 秒まで戻る。                     |
| play          | 点滅パターンを再生する。                    |

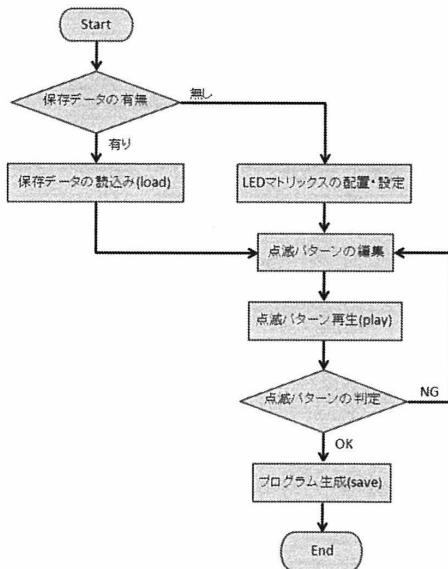


図 5: インタフェースの使用手順

み込みを行うことで、LED マトリックスの配置などの細かな設定を省略できる。初めて制御を行う電飾アートや保存データがない場合は、複数の LED マトリックスの配置や設定などを、実行制御系コマンドを用いて行う。データの読み込み、LED マトリックスの配置・設定が完了すると、点滅パターンの編集に移る。点滅パターンの編集は、描画制御系コマンドを用い、様々な図柄や文字などを組み合わせて行う。点滅パターンが完成すると、play を用いてアニメーションの再生を行い、点滅パターンを確認する。この点滅パターンで良ければ、save を用いて各 LED マトリックスに対応するマイコンのプログラムソースを生成し、終了する。もし、点滅パターンが意図したものと違うならば、点滅パターンの編集に戻る。以後、終了するまで、点滅パターンの編集、再生を繰り返す。以上のように使用するこ

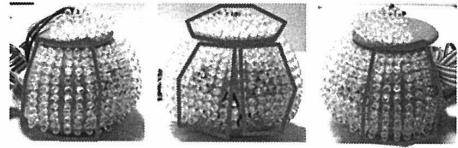


図 6: かぼちゃの電飾アートとユニットの構成

とで、電飾アートの点滅パターンの制御を行うことができる。

## 5 電飾アートの制作

本章では、構築した電飾アート制御システムを使用するため、複数の LED マトリックスによる分散制御をした電飾アートを制作した。まず、製作した電飾アートの実装について述べた後、電飾アート制御システムを使用しプログラムの圧縮について評価する。最後に、電飾アートの実運用について述べる。

### 5.1 電飾アートの実装

制作する電飾アートの要件としては、大量の LED をマトリックス構造で接続し、マイコンで制御したユニットを複数個用い、実装しなければならない。この要件を満たすように、かぼちゃの置き物に大量の LED を張り付けた電飾アートを製作した。まず、分散制御用のユニットの実装について述べる。LED マトリックスを制御するマイコンは、Microchip Technology 社製のマイコンである PIC(Peripheral Interface Controller)を使用している。PIC は、動作周波数は最大 20MHz で速いとはいえないが、内蔵の EEPROM やタイマなど付加機能を有し、また消費電力も小さいため近年様々な分野で使用されている。本研究では、プログラムメモリが 8k ワードと PIC の中では比較的大きい PIC16F876A を使用した。動作周波数は、最大の 20MHz を使用した。動作電源は、9V 形電池を使用し、電池からの 9V 電源を電源回路により 5V の定電圧に変換し、供給している。

つぎに、かぼちゃの電飾アートの実装について述べる。かぼちゃの電飾アートには、5つのユニットを繋ぎ合わせて実装している。ユニットは、6×10 程度の LED マトリックスを使用している。5つのユニットの実装の構成図を図 6 に示す。かぼちゃの目・鼻・口の部分は、ユニットとは別の LED を用いた。

### 5.2 実運用

2008 年 12 月 4 日～15 日に開催された神戸ルミナリエの会場において、本研究で製作したかぼちゃの電飾アートを実運用した。思わず入れたくなる募金箱を制作し、募金箱に使用するという形で電飾



図 7: 神戸ルミナリエ会場での様子

アートを使用した。会場での様子を図 7 に示す。募金箱には、電飾アートの他にスピーカーを内蔵し、電飾アートの点滅パターンとクリスマスソングと同期して光るようにした。同期させることにより、電飾アートの光の魅力を引き立たせるのに効果的であるという考察を得た。また、電飾アート制御プラットフォームも音楽との連携に関する機能を追加することで、より点滅パターンの制御の幅も広がると考えられる。

## 6 考察

実運用を通して、本研究で構築した電飾アート制御プラットフォームは、簡単なコマンドにより、複数の LED マトリックスを配置し、点滅パターンを設計することで、設計通りに分散制御された電飾アートの制御を行えることを確認できた。マイコンへのプログラムを書く場合に比べ、複数のマイコンへ一つ一つプログラムを書く必要が無くなり、短時間で設計することができた。また、実際に点滅パターンのアニメーションを見ながら設計できるため、直観的に点滅パターンの制御ができ、設計者の負担を軽減できたと言える。

しかし、描画コマンドがまだ少ないため、完全に意図したとおりの点滅パターンの再現はできなかつたため、機能の充実をする必要がある。プログラムの生成部分は、プログラムの圧縮などを行うことで、コードの縮小などが考えられるため、検討していく必要がある。さらに、実運用で行ったように、電飾アートと音楽との同期をすることが考えられるため、音楽との連携機能を追加する必要がある。以上のように、今後さらに機能の充実を図ることで、制御の幅も広がり、電飾アートの表現力の向上に繋がることが考えられる。

## 7 おわりに

本研究では、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を提案し、

構築を行った。また、電飾アートを実装し、実運用を通じて、構築したプラットフォームの有用性を検証した。

今後の課題として、コマンドの増加や音楽との連携機能を追加することで、機能の充実を行う。また、プログラムの生成コードの縮小を行うため、プログラム圧縮の検討も行う。さらに、多くの人に実際に利用してもらい、インターフェースの操作性や有用性などの検証を行い、さらなる機能の強化を行う。

### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(20240007)、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(20240009) および中山隼雄科学技術文化財団研究助成の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] Y. Kishino, H. Fujiwara, T. Tanaka, A. Shimosuka, T. Yoshihisa, M. Tsukamoto, T. Itao, M. Oe and S. Nishio: Bloom Accessory: Accessories Using LEDs with Remote Control, *Proc. of IEEE Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 2004)*, pp. 180-181 (2004).
- [2] S. Hosomi, M. Tsukamoto and S. Nishio: Co-operation of LED Control Chips in Ubiquitous Environment, *Proc. of IASTED Int'l Conf. on Circuits, Signals, and Systems (CSS 2007)*, pp. 249-254 (2007).
- [3] S. Hosomi, M. Tsukamoto and S. Nishio: A System for Controlling LED Blink in Wearable Fashion, *Proc. of Int'l Conf. on Wireless Communication and Mobile Computing (IWCMC 2007)*, pp. 665-670 (2007).
- [4] LEGO: MINDSROEMS,  
<http://mindstorms.lego.com/japan/products/>.
- [5] BANDAI: ROBOT WORKS,  
<http://www.roboken.channel.or.jp/borg/>.
- [6] 増井俊之: インタフェースの街角, アスキー出版, pp. 74-75 (2005).
- [7] Processing, <http://processing.org/>.