

# LEGOrics: 外観を保ちつつ電氣的に拡張した LEGOブロックの提案

熊谷 明音<sup>1,a)</sup> 沖 真帆<sup>1,b)</sup> 塚田 浩二<sup>1,c)</sup>

**概要:** 近年、ブロック状のモジュールを組み合わせてインタラクティブに動作するシステムが数多く提案されている。しかし、これらの多くはブロックの形状が特殊だったり、電氣的な配線を外部に取り回したりすることが多く、ブロックとしては扱いにくく、美観も損ねてしまうことが多かった。本研究では古典的なLEGOブロックに着目し、その同じ形状・外観を保ちつつ、インタラクティブに動作する新しい電子ブロック「LEGOrics」を提案する。

## LEGOrics: Augmented LEGO Block with Unaltered Physical Appearance

KUMAGAI AKANE<sup>1,a)</sup> OKI MAHO<sup>1,b)</sup> TSUKADA KOJI<sup>1,c)</sup>

**Abstract:** In recent years, many interactive systems have been proposed, which consists of various block-type modules. However, the blocks in such systems often have particular shapes or require external wires for electrical connection. In result, people often have difficulty to treat such blocks. In this study, we propose novel interactive blocks, “LEGOrics” that support electrical functions while keeping physical appearances of traditional LEGO blocks.

### 1. はじめに

近年、ブロック状のモジュールを組み合わせてインタラクティブに動作するシステムが数多く提案されている。

たとえば、製品の事例としては、LEGO Mindstorms, LittleBits, 電子ブロックなどがある。LEGO Mindstorms[1]はLEGOブロックにモーター等を組み合わせて、PCと連携してプログラミングを行うことで、LEGOブロックの一部をインタラクティブに操作することができる。LittleBits[2]は、マグネットで連結するモジュールを任意に組み替えることで、様々なセンサとアクチュエータを組み合わせて単純なインタラクティブ・システムを構築できる。電子ブロック [3] は、各ブロックに電子部品が内包され、それらを平面上に並べて相互に接続することで、電子回路を構築で

きる。この他にも、研究として多くのインタラクティブ・ブロックが提案されている。

しかし、これら既存のシステムの多くはブロックの形状が特殊であったり、電氣的な配線を外部に取り回したりすることが多く、ブロックとしては扱いにくく、美観も損ねてしまう問題があった。本研究では、これらのブロックの中でも特に古典的なLEGOブロックに着目し、その形状・外観を保ちつつも、インタラクティブに動作可能な新しいインタラクティブ・ブロック「LEGOrics」を提案する。尚、本論文においてブロック上面の突起部分を「ポッチ」と呼ぶ。

### 2. 関連研究

ブロックにコンピュータを内蔵し、ブロック同士で通信を行う手法は古くから提案されている。ActiveCube[4]やTriangles[5]はブロックの組み合わせ形状をコンピュータが認識し、仮想空間内で3Dモデルとして表現することができる。Topobo[6]はサーボモーターと回転センサを組み込んだモジュールを複数接続して様々な形状を作成し、ユー

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科

The school of Systems Information Science, Media Architecture, Future University Hakodate

a) b1011175@fun.ac.jp

b) oki@fun.ac.jp

c) tsuka@acm.org

ザが各モジュールを動かした軌跡を記録／再現できるシステムである。StackBlock[7]はブロックの上下の積み重ね状況を細かく検出できるシステムである。ブロックの上下各面に赤外線LEDとフォトトランジスタを敷き詰めることで、重なり状況を検出しつつ、相互に通信を行うことができる。屋敷ら[8]は、信号と電源を重畳させ、LEGOブロック間のバスの最適化を試みる研究を行っている。我々は物理的にLEGOブロックと同一の美しい外観を作ることに焦点を当てているが、基本的な目的は共通しており、今後通信方式などを参考にしていきたい。

また、ブロックにコンピュータを内蔵せずに、仮想空間と連携させる提案もされている。Tsumiki Castle[9]は現実空間で積み木を積み上げ、仮想空間で立体的な城に変化する体験が出来るブロックである。積み木の重さによって積み木の種類を判別し、様々な角度のレーザーによって積み木の位置を認識している。

本研究では、古典的なLEGOブロックの物理的な形状をそのまま活用しつつ、電子的な制御機能を追加する点が特徴である。

### 3. LEGOrics

LEGOブロックの特徴は、多様な大きさ／形状があるにも関わらず、接合部の構造が一定であるため、あらゆるブロック同士を接合できる点にある。本研究のキーアイデアは、LEGOブロックの物理的な接合部を、電氣的な接合部としても活用することにある。一般的なLEGOブロックは(図1左)で示すように、概ね2×2の4つのポッチを一つの単位として構成される。この4つのポッチを独立した電極として扱うことで、2本の電源線(VCC/GND)と2本の通信線を持つ電気回路を構成することができる(図1右)。この4つの電極を電氣的な接合部として扱い、LEGOブロック内部にバッテリー／マイコン／センサ／アクチュエータ等を内包させることで、LEGOブロックを電子的に拡張する。

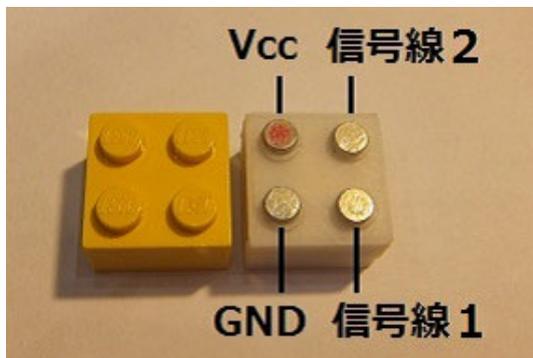


図1 一般的なLEGOブロック(左)とLEGOrics(右)

通信線の通信方式については、I<sup>2</sup>Cを中心に採用する。以下、I<sup>2</sup>Cの詳細について述べる。

### 3.1 I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C(Inter-Integrated Circuit)は、フィリップス社が提唱したマイコンと周辺デバイスとのシリアル通信方式で、主にEEPROM(メモリ)等との高速通信用途に利用されてきた。I<sup>2</sup>Cを用いたシステムは、通信を制御する1台のマスターデバイスと複数のスレーブデバイスから構成される。図3に示すように1台のマスターと複数のスレーブとの間をSCL(クロック信号)とSDA(データ信号)という2本の通信線のみで接続することができる。個々のスレーブはアドレスを持っており、マスターは特定のアドレスのスレーブのみを操作対象とすることができる。

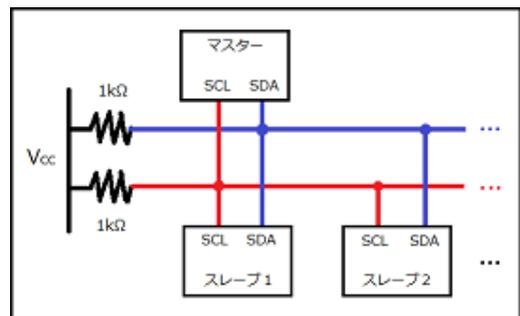


図2 I<sup>2</sup>Cの通信のしくみ

このように、I<sup>2</sup>Cは2本の信号線で複数のデバイスを制御できるという特性から、近年は多様なセンサの通信規格としても注目されている。たとえば、I<sup>2</sup>C経由で制御可能なモーションセンサ\*1やカラーセンサ\*2などが多数存在する。また、Groveシステム[10]のように、複数のI<sup>2</sup>C対応センサ／アクチュエータをまとめてモジュール化し、Arduino等のマイコン開発を支援するツールキットも提案されている。このような点を考慮し、本研究でもI<sup>2</sup>Cを通信規格として採用することとした。

### 4. 実装

本章では、LEGOricsのプロトタイプ構造を説明する。プロトタイプは、主に「ブロック部」「電極部」「基板部」から構成される(図3)。また、サイズ／機能に応じて複数のモジュールを用意する。ここではまず、基本的な構成について紹介し、次にモジュールの機能を説明する。



図3 ブロックの構成。白はブロック部、赤は電極部、黄は基板部を表す。

\*1 例: MPU-6050 <https://www.sparkfun.com/products/10937>

\*2 例: S11059-02DT <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-06793/>

#### 4.1 ブロック部

ここではまず、ブロック部について説明する。ブロック部は、既存のLEGOブロックの3Dデータを3D CAD (Autodesk 123D Design) を用いて製作し、内部構造を修正したうえで、3Dプリンター (UP Plus2) を用いて出力した (図4)。内部構造の修正点を以下にまとめる。

- 基板等を格納するため、ブロック上部に高さ4mm～6mmの中空のスペースを作成した。
- ポッチに電極部を取り付けるため、ポッチの高さを1.8mm→0.6mmに変更し、中央に直径2.6mmの穴を開けた。

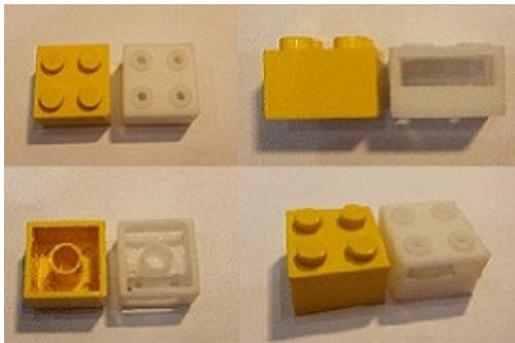


図4 一般的なLEGOブロック (黄色) と3Dプリンタで出力したブロック (白)

ブロック部は、現時点では $2 \times 2$ 、 $2 \times 4$ 、 $12 \times 6$ 、 $16 \times 8$ 、 $16 \times 16$ の5つの異なるサイズを作成した。 $2 \times 2$ のブロックは幅15.9mm×奥行15.9mm×高さ9.6mm、 $2 \times 4$ のブロックは幅15.9mm×奥行31.8mm×高さ9.6mmである。 $12 \times 6$ 、 $16 \times 8$ 、 $16 \times 16$ のブロックはベースプレート (最下部に配置するプレート) として設計したため高さが低く、1.4mmである。これらのサイズは、(電極部を装着した状態で) 市販のLEGOブロックと全く同一になるように配慮した。なお、ベースプレート部には、ブロックの接続位置の目安となるよう、 $2 \times 2$ ポッチ毎に0.5mmの溝を掘った。ベースプレート部にブロック部を接続した様子を図5に示す。

#### 4.2 電極部

次に、電極部について説明する。電極部には、マックエイト製スルーホール取り付けネジ2.6MT-9を利用した。このネジは本来スルーホール基板にはんだ付けして利用するネジであり、ネジの頭部が完全にフラットで薄いため、電極としての利用に適すると考えた。このネジの頭部は直径5mm、厚み1.1mm、軸部は直径2.6mm、長さ9mmである。ここで、頭部の直径はLEGOブロックのポッチ部と完全に同一であり、軸部の長さはちょうどLEGOブロックを重ねた際の上下のポッチ間の距離とほぼ同一である。よっ

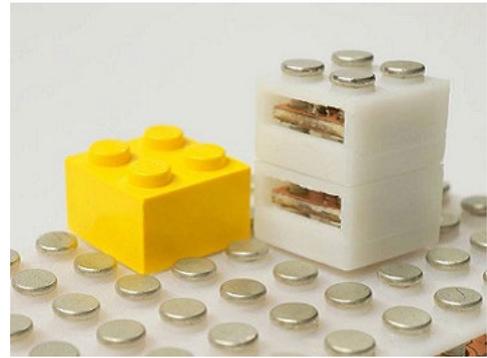


図5 プロトタイプの外観。ベースプレート部にブロック部を接続した。

て、LEGOブロックの物理的な結合機能を保ちながら、電気的な接続機能を加えることができる。なお、2.6MT-9の電気抵抗値は $0.1 \sim 0.2 \Omega$ と十分小さいものである。

#### 4.3 基板部

基板部はモジュールの機能毎に異なる機能を持つ。現在は、「フルカラーLEDモジュール」「ベースモジュール」の実装を進めている。

まず、フルカラーLEDモジュールの外観を図6に示す。ここでは、2種類のフルカラーLEDモジュールを実装した。図6 (左) は、AdaFruit社のカスケード接続フルカラーLED「WS2812B」を、図6 (右) はフルカラーLED4「LATBT66B」とAVRマイコン「ATTiny85」を中心として、4つの基板取り付けネジ穴 (マックエイトスルーホールタップTH-1.6-M2.6-B) を搭載する。基板をブロック部の内部に挿入し、このスルーホールタップにネジを通すことで、電気的に安定した接続を行うことができる。試作したフルカラーLEDモジュールをブロック部に格納した外観を図7に示す。

WS2812Bは、複数のフルカラーLEDをカスケード接続で連結して制御できるデバイスであり、非常に安価 (10個500円) かつ高輝度で、制御が容易な特徴を持つ。ただし、通信規格がI<sup>2</sup>Cとは異なり、「入力端子」と「出力端子」を交互に接続する必要があるため、2種類のブロックを用意し、交互に組み合わせる必要がある。ATTiny85とLATBT66Bを用いたバージョンは、ATTiny85を用いてI<sup>2</sup>Cスレーブ機能を実装することで、マスターとなる装置からI<sup>2</sup>C経由でフルカラーLEDを制御できる。



図6 フルカラーLEDモジュールの外観。左: WS2812Bを利用、右: LATBT66BとATTiny85を利用。

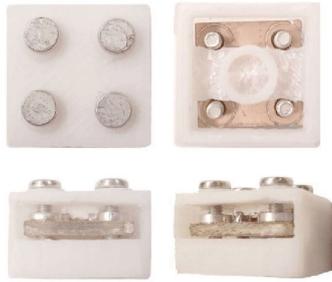


図 7 ブロック部に格納したフルカラー LED モジュールの外観例。上面 (左) と背面 (右)。

## 5. 議論

### 5.1 ブロックの構造

LEGOrics は 4 つの電極を一つの単位として回路を構成しているため、ブロックを指す向きや位置に一定の制約が生じるが、現段階では十分な逆接続の防止機能が搭載されていない。そのため、今後は逆接続を防ぐための機構を実装していく。逆接続を避ける案として以下の 3 点を検討している。

1 つめは、ブロックの接続部にマグネットを追加する手法である。LittleBits がこの手法を活用しており、磁石同士が物理的に反発することで、逆接続を防止することができる。2 つめは、ブロックの物理形状を微細に変化させ、逆差しを不可能にする手法である。こちらも逆接続を効果的に防止できると考えるが、通常の LEGO ブロックとの親和性を保てるように配慮したい。3 つめは、ブロックに極性表記を追加するなど、視覚的なデザインで逆差しを防止する手法である。この場合の実装は比較的容易に行えるが、防止能力は低いといえる。各手法の特性を踏まえつつ、逆接続防止機能を実装していきたい。

### 5.2 応用例

LEGOrics を用いた具体的な応用例として、まず「組み上げた後に色を変更できる LEGO ブロック」の実装を予定している (図 8 上)。フルカラー LED を内蔵した  $2 \times 2$  ブロックをベースプレート上に多数配置し、マイコンモジュールから制御することで、ブロックの積み重ね形状を組み替えつつ、自由に色を制御できる新しい LEGO 体験ができると考える。このような、いわば「物理形状を組み換え可能な LED マトリクス」の実装にまずは取り組む。

さらに、センサモジュール等を実装することで、ユーザの操作や行動によってインタラクティブにブロックの色が変化する機構を実装していく (図 8 下)。

## 6. おわりに

本研究では、古典的な LEGO ブロックの形状・外観を

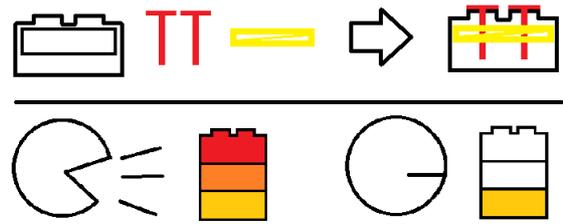


図 8 インタラクティブな LEGO ブロックの一例。上: 色を自由に変更できるブロック, 下: 音に反応して色が変わるブロック。

保ちつつも、インタラクティブに動作可能な新しいインタラクティブ・ブロック「LEGOrics」を提案した。LEGO ブロックの物理的な接合部である 4 点のポッチを電極として、電気的な接合部としても活用することが特徴である。LEGOrics のプロトタイプは大きく分けて、「ブロック部」「電極部」「基板部」から構成され、本稿では各部の詳細と一部のモジュールを紹介した。今後は、多様なモジュールの実装を進めると共に、議論で述べたような問題解決を行い、システムの完成度を高めたい。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 25700019 の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] LEGO Mindstorms, <http://education.lego.com/ja-jp/preschool-and-school/secondary/mindstorms-education-ev3> (※ URL は 2014 年 12 月 19 日に確認)
- [2] LittleBits, <http://jp.littlebits.com/> (※ URL は 2014 年 12 月 19 日に確認)
- [3] 電子ブロック, <http://www.denshiblock.co.jp/> (※ URL は 2014 年 12 月 19 日に確認)
- [4] 伊藤 雄一, 北村 喜文, 河合 道広, 岸野 文郎: リアルタイム 3 次元形状モデリングとインタラクションのための双方向ユーザインタフェース ActiveCube, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1338-1347 (June 2001).
- [5] Matthew G. Gorbet, Maggie Orth and Hiroshi Ishii: Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography, Proceedings of CHI1998, pp.49-56.
- [6] Hayes Solos Raffl e, Amanda J. Parkes and Hiroshi Ishii: Topobo: A Constructive Assembly System with Kinetic Memory, Proceedings of CHI2004, pp.647-654.
- [7] 安藤 正宏, 細井 俊輝, 中島 康祐, 高嶋 和毅, 伊藤 雄一, 足立 智昭, 尾上 孝雄, 北村 喜文: StackBlock: 積み重ね形状構築を可能とするブロック型デバイス, 情報処理学会インタラクション 2014 論文集, pp.135-142 (Feb, 2014).
- [8] 矢敷 貴之, 秋田 純一: 電力重畳通信機能を持つブロック型デバイスとその実装, 情報処理学会インタラクション 2014 論文集, pp.412-415 (Feb, 2014).
- [9] 永井 淳之介, 沼野 剛志, 東 孝文, Matthieu Tessier, 宮田 一乗: StackBlock: TSUMIKI CASTLE - 積み木を用いたインタラクティブな VR システム, 芸術科学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 67-75.
- [10] Grove システム, <http://www.seeedstudio.com/wiki/GROVE-System> (※ URL は 2014 年 12 月 19 日に確認)