

# ディスプレイキューブの連携による形状可変 UI システム

藤川 晃史郎\* 門本 淳一郎\* 入江 英嗣\* 坂井 修一\*

**概要.** 本論文では、任意の形状に変化させることが出来るブロック型形状可変立体ディスプレイシステムを提案する。モニターなどに代表される従来のディスプレイ機器は主に平面的な表示のみが可能であり、三次元的な情報提示には適していなかった。このシステムは各面にディスプレイを搭載した立方体のブロックで構成され、ブロック同士が相互に通信し、結合することで一体化して立体的な情報表示を実現する。従来の平面ディスプレイの制約を超え、3D モデルをブロック単位で投影し、視覚的に没入感のあるインタラクションを提供するとともに、既存の立体ディスプレイにはない柔軟で直接的な操作可能性とスケーラブル性を実現している。今回は本システムのプロトタイプについてソフト・ハードの両面から実装を行い、また3D モデルの可視化アプリケーションの設計と応用可能性の検討を行った。

## 1 はじめに

ここ数十年の情報技術の発展とともに、モニターやスクリーンなどといったデバイスは我々の生活に溶け込んだものとなった。それらディスプレイ機器は二次元的な情報の出力を行うメディアとして、情報の更新が容易で多彩な表現が可能であるという特徴から紙媒体に取って代わる場面も多く、今やだれもが持つスマートフォンや街中の電子掲示板など非常に広範に利用されている。しかしこれら一般的なディスプレイ機器はそのデバイスの特性上、様々な欠点が挙げられる。例えば、3D モデルなどの三次元的な情報を表現する際、二次元平面では次元が足りないため、一方向の視点からの投影しか行えず情報が失われるという、いわば“次元圧縮”[7]の問題が発生してしまう。また、モニターなどはあらかじめ決まった表示領域を持つハードウェアとして開発されるため、それぞれは固定された平面的幾何学的形状しか持ちえず、情報を最適な方法で表示できない場合がある。加えて、現在のディスプレイは情報の出力こそできるものの我々が豊富に入力を行うことができるデバイスではなく、タッチディスプレイの技術は利用されているものの、限定的なインタラクションしか行うことが出来ない。

この内次元圧縮の問題を解決する立体ディスプレイとして、ボリュメトリックディスプレイなどの光学ディスプレイ [8] や DisplayBlocks[7] などが提案されている。しかしこれらはインタラクティブでなかったり、表示領域が限定的であったりと、既存の問題を全て解決するには至っていない。

そこでこれら課題を解決することのできる新たなディスプレイの形として、図 1 に示したような数

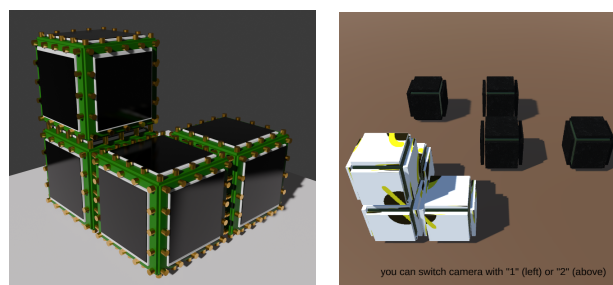


図 1. 左図は形状可変立体ディスプレイの実機モデルのレンダリング画像。右図はこれらの動作シミュレーターの画面

cm 角のキューブの連携による形状可変な立体ディスプレイシステムを提案する。多面的に画像を提示するディスプレイキューブは次元圧縮の問題を解決し、またそれらが自由に組み替わることで形状の可変性を担保し、より没入感のある多様なインタラクションを可能にする。

本稿では関連研究を踏まえたうえで新規デバイスについての提案を行って実装上の新規性について述べたのち、実用的なアプリケーションについての紹介を行う。なおデモンストレーションでは、数個のキューブを用いた立体ディスプレイ表示を実演する予定である。

## 2 関連研究

### 2.1 光学を利用した立体ディスプレイ

光学的な実装で実現される立体ディスプレイの技術としては様々なものが存在し、眼鏡や光の干渉の利用の有無などで分類される [6, 2]。ユーザーに課す制約の少ない裸眼式の立体ディスプレイの例としては、実際に観測者に届く光線を再現するライトフィールドディスプレイや、三次元空間上の媒質に物体を

投影するポリメトリックディスプレイなどが挙げられ [2, 8], 既に実用化されているものも存在する [1].

## 2.2 画像表示ユーザーインターフェース (UI)

画像を提示する UI については現在までに様々な研究がなされており, 二次元的あるいは限定的な三次元的表示を行う形状可変 UI として CommuTiles[3] や RFIBricks[4] などが提案されている. また三次元的なブロック型 UI として, DisplayBlocks[7] が提案されている. これは六面にディスプレイを搭載した独立して動作するブロック型 UI であり, 新たなディスプレイ技術として期待されるものであるが, 表示領域が数インチ角のキューブに制限されているという欠点がある.

## 3 提案

本研究で提案するのは, 数 cm 角の立方体の全面に小型ディスプレイを搭載し, ブロック同士が結合し相互に通信を行うことで一つのデバイスとして動作する, 形状可変立体ディスプレイシステムである. 複数のブロックからなるデバイスは個々のブロックの位置を任意に組み替えることができ, 全体として形状が動的に変更可能なディスプレイとなる. 個々のブロックはマイクロコントローラーを搭載し, 相互通信によって相対座標を取得したモジュールは, 適切なルーティング機構の下でホストコンピュータからの指令を受け取る. アプリケーションを実行するホストコンピュータとのやり取りはルートノードが送受信口となり, ルートノードに接続されたノードはネットワークに参加してデータ・指令を受け取る.

## 4 実装

モジュールの構成部品としては主にマイクロコントローラー (RaspberryPi Pico 2), LCD(Adafruit ADA5827) を用いる.

また本研究のブロック型 UI では個々のモジュールが互いに通信を行うことを想定しているため, それぞれのブロックは電力の供給を受けると同時に隣接するブロックとの通信経路を確保する必要がある. 今回の実装では給電と通信はどちらも有線接続で行うこととし, 図 2 のような概形のブロックを構成した. 周縁に配置された円柱型のコネクタは, 赤, 黒, 黄, 青の順にそれぞれ VDD, GND, 送信 (Tx), 受信 (Rx) の役割を担う. 各コネクタは磁力によって結合するが, 内部が中空となっている銅製の円筒にネオジム磁石を入れ込んだ構造になっており, 磁石に回転自由性を残すことで自己嵌合性を備えた新しいコネクタとなっている. これを図 2 のような対称性で配置することで, 任意に回転した同型のモジュールと接続する際に必ず, 赤-赤, 黒-黒, 黄-青, 青-黄

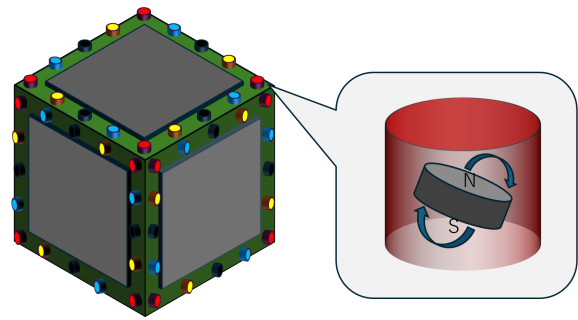


図 2. ハードウェア概形図

というようにそれぞれ適した端子同士で接続することが可能となる.

## 5 アプリケーション

今回はアプリケーションとして図 1 右に示したような 3D モデルの可視化ツールを実装する. 可視化方式は先行研究の DisplayBlocks を踏襲し, まず 3D モデルを立方体単位で分割したのち, 内部の投影図を各面に表示することによって, ブロック内に本当に物体が存在しているように見せる. 物理的形狀の制約があまり無いホログラムなどの光学ディスプレイと比較すると, 観測される立体の再現度という面では劣る場面も多いが, 物理的に存在するアクティブなデバイスであるため触って動かすことが出来るほか, スケーラブルな拡張が可能であるという体験上の利点が存在する.

このアプリケーションが最も活用される例としては, 建築分野における設計段階の作業が挙げられる. 建築業界で使用される三面図はちょうどこのアプリケーションにおける各面への投影図を表しており, 実際にオブジェクトとして顕現させることで設計構想のサポートとなることが考えられる. その他にも, ディスプレイ機器が元来持つ情報更新の容易性を利用した, 製造業におけるプロトタイピングの簡易化や, 他のブロック型 UI 研究 [4, 5] で示されているようなメディアアートの分野など, さまざまな領域への活用が期待される.

## 6 まとめ

本論文では, 全面にディスプレイを搭載し動的に形状を変更できる新しいブロック型 UI による立体ディスプレイを提案し, 実装概要と新たなアプリケーションについて紹介した. 今後の展望としてはより多くのモジュールを作成しより幅広い表現を可能にすることや, タンジブル性を活用した形状可変 UI としてのアプリケーションを新たに開発することなどを考えている.

## 謝辞

本研究の一部は株式会社 Premo および JSPS 科研費 JP23H00465, JP23K16857 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] K. Aoyama, K. Yokoyama, T. Yano, and Y. Nakahata. 48-5: Eye-sensing Light Field Display for Spatial Reality Reproduction. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 52:669–672, 05 2021.
- [2] J. Geng. Three-dimensional display technologies. *Adv. Opt. Photon.*, 5(4):456–535, Dec 2013.
- [3] M. Goto, I. Sugiyama, K. Higuchi, T. Goto, J. Kadomoto, H. Irie, and S. Sakai. CommuTiles: Shape-Changeable Modular Computer System Using Proximity Wireless Communication. In *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [4] M.-J. Hsieh, R.-H. Liang, D.-Y. Huang, J.-Y. Ke, and B.-Y. Chen. RFIBricks: Interactive Building Blocks Based on RFID. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, p. 1–10, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [5] J. Lee, Y. Kakehi, and T. Naemura. Bloxels: glowing blocks as volumetric pixels. In *ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '09, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [6] T. Okoshi. Three-dimensional displays. *Proceedings of the IEEE*, 68(5):548–564, 1980.
- [7] P. Pla and P. Maes. Display blocks: a set of cubic displays for tangible, multi-perspective data exploration. In *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '13, p. 307–314, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [8] D. Smalley, E. Nygaard, K. Squire, J. Wagoner, J. Rasmussen, S. Gneiting, K. Qaderi, J. Goodsell, W. Rogers, M. Lindsey, K. Costner, A. Monk, M. Pearson, B. Haymore, and J. Peatross. A photophoretic-Trap volumetric display. *Nature*, 553:486–490, 01 2018.

## 未来ビジョン

文字や絵画などの二次元の情報メディアは情報技術の発展とディスプレイ技術の進歩によって電子的な表現が可能となり複製が容易になったが、我々人間が暮らすこの三次元空間の物体について複製を三次元的に表現することは現時点で容易ではない。本文で紹介した光学ディスプレイはその手段として一定の評価を受けているものの、基本的に実体が無いことからインタラクションが難しく、またコストの点からも利用される場数が少ないのが現状である。一方で提案したブロック型形状可変ディスプ

レイは実体があるため多様なインタラクションが可能であり、また技術的なコストの点でも比較的単純に構成が可能であるという特徴がある。今回実装するプロトタイプは一辺10cm弱のサイズとなっているが、これは主にディスプレイ部品の制約によるものであり、仮に部品を自由に選択できるならば更なる小型化を図ることができる。小型化されたブロックを数十個用いることができれば、幅広い三次元立体について実体を持った複製が簡単に構成できるようになる。