

建築ファサードにおけるインタラクティブメディア IMSS の 基礎検討とプロトタイピング

須田 拓也¹ 國枝 彩乃¹ 佐藤 輝一¹ 馬場 哲晃^{1,a)} 土屋 真¹ 串山 久美子¹ Adams Verl¹

概要：これまで著者らは IMSS (Interactive Modular Structure System) Project とし、2014 年より光とアクチュエータを利用したモジュール式デバイスの開発を継続してきた。近年では大型 LED による façade のディスプレイ化や、コンピューテーショナルデザインによる幾何学的な façade に関する実装例が、大都市部を中心に数多く報告されている。本研究では幾何学的 façade をモジュールとして設計し、それぞれを独自に制御可能なシステム構築を目指している。メディアインスタレーション等でこのような動きを伴うモジュール群による作品が多く見られる一方、それらを建築 façade に応用する場合、スケール、風、防塵、修理コスト等の問題を解決する必要がある。本研究ではそれら問題に対処する為の検討事項及び、試作過程を報告する。

キーワード：ファサード、インスタレーション、インタラクティブアート、建築情報学

HIROYA SUDA¹ AYANO KUNIEDA¹ TERUKAZU SATO¹ TETSUAKI BABA^{1,a)} SHIN TSUCHIYA¹
KUMIKO KUSHIYAMA¹ VERL ADAMS¹

1. 背景

LED の普及と低価格化により、近年大型 LED パネルと建築物を利用したファサードが都市部などではよく見られるようになった。LED のみならず、建築ファサードにメディア要素を取り入れたものは Media façade と呼ばれている。Haeusler は [1] 著書 Media Facades: History, Technology, Content. の中で、Media façade をダイナミックな対話的要素が実装された外観 (a facade into which dynamic communication elements are embedded. として定義している。建築物においてファサードとは、そもそも外壁や玄関等、外側から見たときの建物の外観を印象づけるために用いられる。それらにデジタル技術を利用して対話性をもたせ、Media façade に様々なコンテンツを載せることで広告や建築意匠の向上、時にはアンビエントメディアとして建築物の可能性を大きく広げている。Afonso ら [2] は大型リアプロジェクションファサードを有する建築物に、種々の絵文字を表示させ、鑑賞者と建築物にお

ける対話を実験している等、鑑賞者と建築物のインタラクションを façade を通じて実験的に行っている。

一般的に Media façade という LED を多用した事例が多く見られるため、このような大型 LED 装置のデザインに関する支援ツール等の研究事例もいくつか報告されている [3][4]。LED 以外にも Telhan ら [5] は PDLC フィルムを利用し、透明度が調整可能な façade を提案しているように、事例は少ないが他の手法による Media façade の報告もされている。一方で日差し、風よけといった機能を持ち、動きを伴う façade 用途のアクチュエータが市販されている*¹。しかし、動きそのもので鑑賞者を魅了することを目的とした façade は、設置及びメンテナンスコスト等の面から LED と比較して報告が少ない。動的な動きを伴う研究領域は、建築分野において Kinetic Architecture と呼ばれる [6]。建築表皮を扱う国際会議 Conference on Advanced Building Skins 2018 では Kinetic Architecture のセッション*²が組まれている。本研究では Media façade と Kinetic Architecture を融合した試みとして位置づけられる。

¹ 首都大学東京
Tokyo Metropolitan University, Asahigaoka, Hino, Tokyo
191-0065, Japan
a) baba@tmu.ac.jp

*¹ <https://www.elero-linear.com/en/> この企業ウェブサイトでは、active façade として分けられている
*² <https://ams.abs.green/program-2018/kinetic-architecture-and-responsive-building-skins/>

すでに著者らは LED 及びアクチュエータにより、機能面のほか、建築意匠の向上を目的として IMSS Project を進めてきた [7]。本稿ではそれらのデザインプロセスを辿りながら、現時点での研究報告を行う。

2. 初期プロトタイプ



図 1 初期プロトタイプ 1: サーボモータによるモジュール扉の開閉と LED 制御が PC より可能となっている。各モジュールはマグネットコネクタにて接続され、ユーザが容易に構築可能である

これまで著者らがプロジェクト当初に制作したプロトタイプを図 1 に示す。本プロトタイプでは、各モジュールが独自マグネットコネクタにより接続構成可能であり、一つのモジュールにはそれぞれ LED 及びサーボモータが実装されている。サーボモータにはパネル（前面パネル）が取り付けられており、水平軸回転する。図 1 ではこのモジュールが横 5、縦 4 個組み合わされている。なお各モジュールはシリアル通信を介して前面パネルの開閉及び LED 制御が可能になっている。このプロトタイプでは動きを持つ前面扉に対して LED をあてることで、単色であっても光の変化を調整できることを確認した。一方でマグネットコネクタを利用したことで、モジュール接続が増えた場合に構造の歪みが生じ、正しく各モジュールが接続できない問題があった。

初期プロトタイプ 2（図 2 では、ハニカム構造が構築可能なモジュールとし、各モジュール接続には汎用的なジャック式のコネクタを利用した。構造パネルの一方から光を照射するとパネルの開閉状態により木漏れ日のような影を作り出せる。

これまでの初期プロトタイプではモジュールの簡素化のために回転軸をそれぞれ一軸に限定していたが、動きがシンプルであることから、すでに市販されているアクチュエータとの差異がなく、魅力的な動きは実現できていなかった。

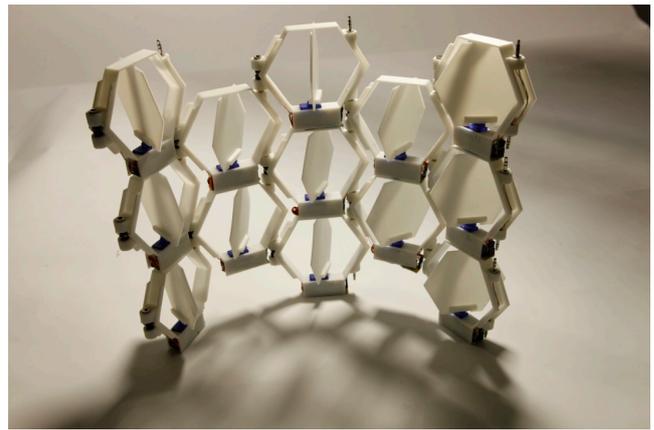


図 2 初期プロトタイプ 2: 各モジュールを六角形としてハニカム構造にて接続ができる。各モジュールにはサーボモータが取り付けられ、前面パネルが垂直方向に回転する。

3. デザイン

本稿では主にこのプロトタイプについて詳しく言及する。これまでの検討を元に著者らは図 3 のスケッチを作成し、モジュールの回転軸に 2 軸を取り入れた設計とした。なおこれまでのプロトタイプでは構造設置と電極接続を同一のコネクタとしていたが、縦横幅がおおよそ 1[m] 弱のモジュールを設置するには、耐久性等の面から現実的ではなかったため、設置フレームと電極接続とに分けた設計に変更した。図 3 に細い線分で描かれたものがフレームにあたる。

これまでの初期プロトタイプと比較し、スケールが大きくなったため、システムの規格についても見直しを行った。アクチュエータに関しては、これまでサーボモータを利用してきたが、ステッピングモータへ変更し精度な角度指定を、通信方式に関しては RS485 規格を利用し、より長距離での安定的な通信を目指した。それぞれの詳細については次節にて述べる。

3.1 Rapid Prototyping

上記デザイン案をベースに主に木材を利用して Rapid Prototyping を行った。実際には金属での加工としているが、本設計前に本デザインの妥当性を検証するためである。デザイン案の時点では動作自体は動画にてイメージ共有を行っていたが、それらをどのように実現するかを具体的に本プロトタイプで検討した。

図 4 が 1 つ目のプロトタイプである。リング状のパネルの上下にモータを取り付け、リング自体の垂直軸回転と、内部での回転を実現した。このプロトタイプから動作に関して検討し、その後 2 つ目プロトタイプ（図 5 参照）を作成した。木材では検証できなかった剛性に関する確認が主であった。リング状パネルを POM 樹脂で作成し直した他、内部回転のギアなどの細かな修正を行った。本プロトタイ

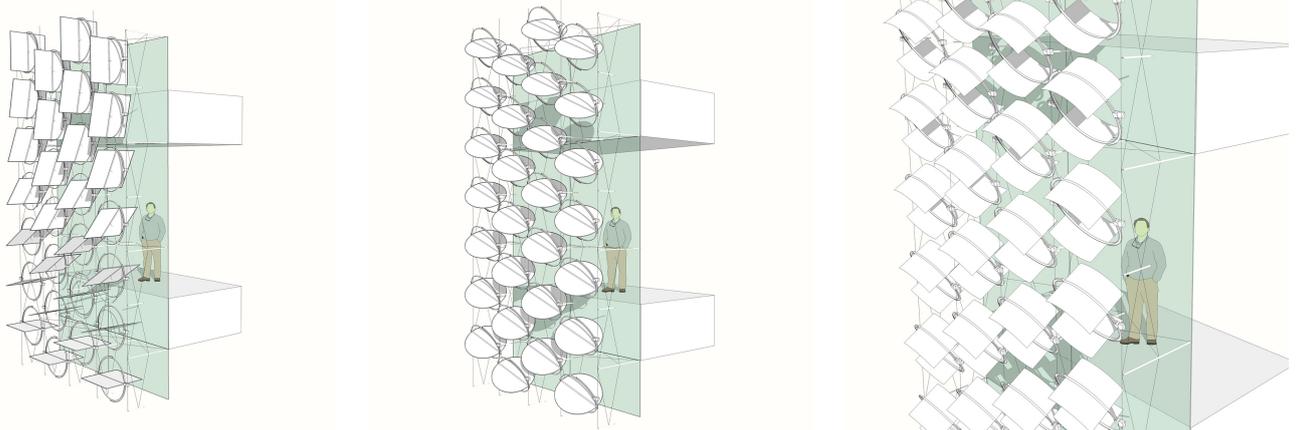


図 3 プロトタイプスケッチ. 各モジュールに 2 軸モータを取り付け, 前面パネルを動作させる. 各モジュールは構造を維持するため別途フレームを設け設置することとした.



図 4 ラピッドプロトタイプ 1: 木材を利用して 2 軸動作を事前に作成した CG 動作ムービーと比較・検討した



図 5 ラピッドプロトタイプ 2: 金属フレームと POM 樹脂を利用して回転軸等で細かな修正を行った.

の際, LED をリング内部に実装するためのスリッピン
グも合わせて実装した.

3.2 Prototype: IMSS MODULE

以上の Rapid Prototype を経て IMSS MODULE プロト
タイプの制作を行った. フレーム全体の剛性を考慮し, 主
にステンレス, アルミを利用し Rapid Prototype2 の再設計
を行った. また連結用コネクタ追加を行い, 量産モジュール
を想定した設計とした. 制作した IMSS MODULE を図
6 に示す. 本モジュールを利用し, LED 発光や回転軸速度
及びモータトルクの検討を行った.



図 6 2 つの Rapid Prototype 検討から制作した IMSS Module プ
ロトタイプ (初号機)

以上の試作を経て, 動作及び構造を確認できたため,
IMSS モジュールの制御回路等の設計に入る.

4. 回路設計

本プロトタイプでは, パネルの精確な角度指定を行うた
め, アクチュエータにステッピングモータを利用し, 各モ
ジュールには, 2 つのステッピングモータを設置した. ス
テッピングモータごとに制御回路を設け, 個別に制御を
可能とする必要がある. また, 本プロトタイプでは, より
長距離での通信を安定して行うため, 通信方式に RS-485

規格を採用した。RS-485 規格におけるデータプロトコルに、照明機器の制御などに利用される DMX512 がある。DMX512 はデジチェーン接続が可能であり、本システムのようなモジュール構造の制御に適している他、Ars Electronica Center の LED ファサードでは DMX 制御が用いられているといった動作実績がある [8]。以上のことを踏まえ、本プロトタイプでは、制御回路をアクチュエータごとにそれぞれ実装し、各制御回路をデジチェーン接続することで、モジュールの個別制御を実現した。したがって、1つのモジュールに同じ構成の制御回路を2つ用いる。図7に制御システムの概略を示す。DMX信号は表1に示す7byte構成になっている。このため各制御回路は固有IDを割り当てられていなければならないため、一般的なDMX照明機器などで用いられているDIPスイッチを基板上に設置する設計とした。実際に制作した実装基板(制御回路)を図8に示す。

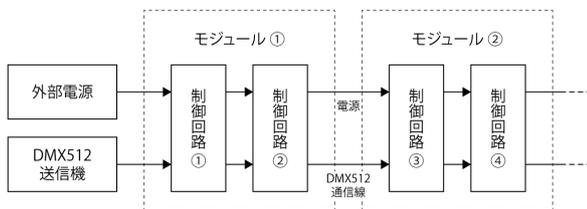


図7 制御システム概略

コンボードによって処理され、ステッピングモータとLEDの制御を行う。マイコンボードやLEDは入力電圧が異なるため、それぞれに電源回路を設けた。また、DMX512規格における受信機器のチャンネルを外部から設定可能にするため、DIPスイッチを備えた。プロトタイプでは比較的回路設置ボックスのスペースに余裕があったため、著者らの設計した基板にそれぞれ既成品を組み合わせた。回路マイコンボードに Arduino Micro^{*3}、ステッピングモータには stepper online 社の 17HS15-1684S-HG30^{*4}、ステッピングモータ制御用 IC に Strawberry Linux 社の L6470 ドライバキット^{*5}、LED に Adafruit 社のフルカラー LED モジュール NeoPixel^{*6}、LED 用電源回路として HRD12003^{*7}を用いた。図9に制御回路のブロック図を示す。

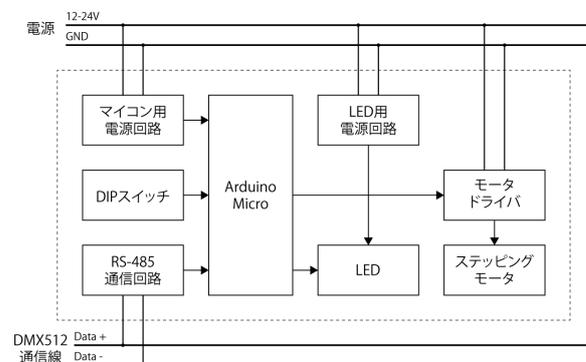


図9 制御回路ブロック図

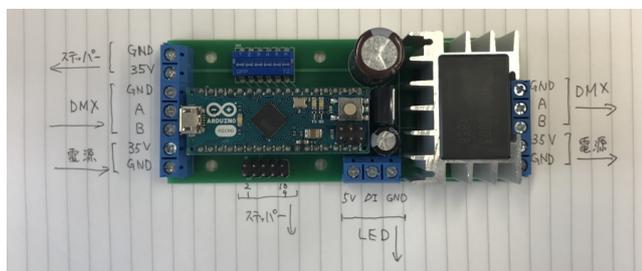


図8 制作した実装基板と簡単な IO 概要

表1 DMX データ通信プロトコル

データ番号	Name	Description
1	Command	制御コマンド
2	Stepper Lower	モータ制御数値 (下位バイト)
3	Stepper Upper	モータ制御数値 (上位バイト)
4	LED CH	制御対象 LED チャンネル
5	LED RED	赤色 (0-255)
6	LED GREEN	緑色 (0-255)
7	LED GREEN	青色 (0-255)

各制御回路は、RS-485 規格の通信線と電源・グラウンドの計5本の接続端子を入出力それぞれに備えている。RS-485通信回路から受け取ったデータは、制御回路に含まれるマイ

5. 制御ソフトウェア

制作したモジュールを制御するためのアプリケーションを作成した。制御システム自体はDMX信号により動作し、すでに表1に有るようにデータフォーマットを決めている為、ソフトウェア上ではそれらの制御信号を直感的に扱えるフロントエンドUIとしてのアプリケーションであればよい。制作したアプリケーションのスクリーンショットを図10に示す。マトリクス状に並べたIMSSモジュールを一括して制御可能なGUIパネルを用意し、ユーザは個別に各モジュールのパラメータを調整できる。画面中央には開発したIMSSモジュールのCADデータを利用し、DMX信号を出力した際、設定されたパラメータに沿って画面上のCGモデルも現物同様に動作する。ただしLED発光に関してはソフトウェア上でのリアルタイムレンダリングは実装していない。

*3 <https://store.arduino.cc/usa/arduino-micro>

*4 <https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-stepper-motor-139mm-gear-raio-301-high-precision-planetary-gearbox-17hs15-1684s-hg30.html>

*5 <https://strawberry-linux.com/catalog/items?code=12023>

*6 <https://www.adafruit.com/product/2959?length=4>

*7 <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-01610/>

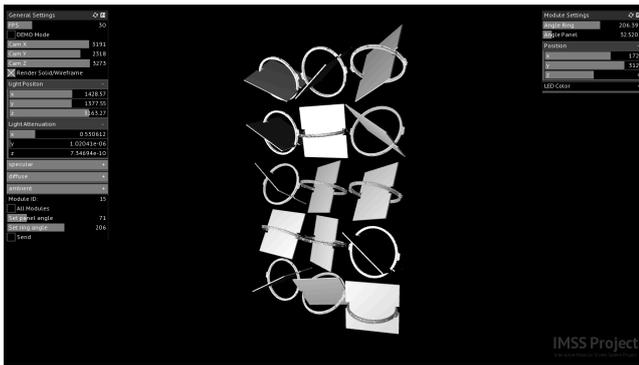


図 10 制御ソフトウェアスクリーンショット。左 GUI では全体設定，右 GUI では個別モジュールのパラメータ値が閲覧できる。モジュールの個数はソフトウェア上で自由に増減可能なため，実際に設置するモジュール個数に合わせて設定する。ユーザはカメラ視点をマウス操作等で自由に変更できる。

6. 今後の課題

本稿では相互に連結可能なファサード型インタラクティブメディア，IMSS Module に関する基礎検討からプロトタイプリング，及びその設計プロセスをまとめた。現時点では 1 基の IMSS Module プロトタイプを制作したのみであり，2019 年度に数十台のモジュールを製作，設置の予定である。動作のための基本的なフレームワーク開発は済んでいる一方，LED の発光パターンや鑑賞者とのインタラクション等今後検討すべき内容があり，今後はそれらを実装していく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16H03023 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Haeusler, H.: *Media Facades: History, Technology, Content*, Avedition, (2009).
- [2] Afonso, A. G., Bragança, L., Couto, A., Miccoli, S., Padovani, M. and Schieck, A. F. g.: Emojis on the Facade: Exploring Social Media Graphics to Transmit Urban Issues on Media Facades, *Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 29:1–29:2 (online), DOI: 10.1145/3078810.3084354 (2017).
- [3] Gehring, S., Hartz, E., Löchtefeld, M. and Krüger, A.: The Media Façade Toolkit: Prototyping and Simulating Interaction with Media Façades, *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 763–772 (online), DOI: 10.1145/2493432.2493471 (2013).
- [4] Hoggenmüller, M. and Wiethoff, A.: LightSet: Enabling Urban Prototyping of Interactive Media Façades, *Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 925–934 (online), DOI: 10.1145/2598510.2598551 (2014).
- [5] Telhan, O., Casalegno, F., Park, J., Kotsopoulos, S. and Yu, C.: Interaction Design with Building Facades, *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 291–294 (online), DOI: 10.1145/1709886.1709948 (2010).

- [6] Russell Fortmeyer, C. D. L.: *Kinetic architecture : designs for active envelopes*, Mulgrave, Victoria : Images Publishing Group (2014).
- [7] 松岡 湧紀他：建築物とメディア表現技術の統合を目指すインタラクティブな空間構成のためのモジュール構造体：IMSS Project, 情報処理学会インタラクション 2016, JSPS (2016).
- [8] Wiethoff, A. and Gehring, S.: Designing Interaction with Media Façades: A Case Study, *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, DIS '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 308–317 (online), DOI: 10.1145/2317956.2318004 (2012).