

研究報告書

「インタフェース技術を活用した次世代建築および都市環境の設計」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成26年10月～平成30年3月

研究者: 竹内 雄一郎

1. 研究のねらい

本研究では、スマートフォンの待ち受け画像を変更するように自由に内装を組み替えられる未来の建物や、オンライン百科事典Wikipediaのように皆で編集・改良し続けられる未来の都市環境を実現するという長期的なビジョンのもと、空間改変技術すなわち物理的環境にデジタルメディアのような可変性・カスタマイズ性を与える諸技術の開発を行った。空間改変技術には、建築物の形状や空間の質を様々に変化させるロボティクス・IoT技術、環境に仮想的な可変性を与える拡張現実技術、環境要素の容易な生成を可能にするデジタルファブリケーション技術などいろいろな種類があるが、本研究では特に学術的新規性や応用可能性が高いと判断した、以下の二つの技術の開発に注力してきた。

1: Integral Illumination(万能の照明技術)

裸眼3Dディスプレイ技術を応用し、蛍光灯・スポットライト・自然光など、多様な光源の照明効果を一台で再現することができる照明装置を開発した。光の色を変えられる照明はすでに珍しくないが、本装置はより細かな制御が可能な、真のプログラマブル・ライティングを実現するものである。住人のニーズに動的に適応する室内照明や、屋内外の公共照明、舞台照明などへの応用が考えられる。

2: Printable Garden(庭を3Dプリントする技術)

ハーブ類や花卉など多様な植物の生い茂る、自由な形状の構造物(便宜上「庭」と呼んでいる)を3Dプリントする技術を開発した。環境スケールの3Dプリンティングにはすでに多くの前例があるが、本技術を用いれば壁面緑化などを組み込んだ建築物のプリントも可能になる。斬新な形状のインテリア・エクステリアの制作や、欧米で近年見られるDIYアーバニズムへの応用などが考えられる。

また上記の技術開発に加え、環境改変技術を中心的なテーマとする新たな学術コミュニティの形成に尽力し、先端技術と建築・都市との関係について広く議論を巻き起こすことを目指した各種アウトリーチ活動も展開した。

2. 研究成果

(1) 概要

上記二つの技術開発プロジェクトのそれぞれについて、発案から原理検証、プロトタイプ制作、論文発表やデモ展示などを行ってきた。

Integral Illuminationは、Integral Imagingと呼ばれる古典的な光学技術を照明用途に応用した装置である。パネル型の装置であり、その表面から射出される光線(正確には、パネル上の点を通る光線群で構成される4Dライトフィールド)を細かく制御することにより、多種多様な光源の照明効果を再現する。本研究では、まず小型プロトタイプを制作して原理

検証を行い、その後はプロトタイプ of 逐次的改良を続けることでゴースティングなどの光学的課題を段階的に解決し、また同時に装置の大型化・高出力化を図ってきた。その過程において、光線を選択的に遮断するため不透明部分を組み入れた独自設計のレンチキュラーシート、システムの制御手法などを新たに考案した。現状電力消費などの課題が残っているが、すでにSIGGRAPHなどの国際会議においてこれまでの成果を発表済みである。

Printable Gardenは、水耕栽培(壁面緑化などでよく用いられる、土の代わりに人工的な培地素材を用いて植物を栽培する技術)を応用した、植物の生い茂る構造物を3Dプリンタで生成することを可能にする技術である。水耕栽培で培地として使用される素材としては例えばスポンジやフェルト、ウレタンフォームなどがあるが、本研究ではまず、これらの素材と同様に幅広い植物の生育に適した性質を持つ樹脂素材を探し当てることに成功した。この樹脂素材は一般的なFDMプリンタで、PLAなど通常の樹脂素材と同じように使用することができる。またプリンタに装着する播種装置を開発し、複数パスでのプリントにはなるが、すでに種の仕込まれた自由形状の構造物を自動生成する技術も開発した。現状、まだ実験結果の大部分は未発表であるが、簡単な技術報告を昨年国際会議CHIにおいて行っている。

また上記の技術開発以外では、空間改変技術全般について論じた論文の発表(2014年に国際会議ITSで優秀論文賞を受賞)や、空間改変技術を扱う国際会議ISSの運営への積極的な参加(来年は運営委員長を務める予定)、アウトリーチ用冊子「未来都市アトラス」の制作などを行ってきた。

(2) 詳細

・Integral Illumination: 万能の照明装置の開発

図1は、本研究で開発した照明装置の構造を図式化したものである。基本的な構成要素

はバックライト・LCD・レンチキュラーシートの3つで、この構造自体は一般的な裸眼3Dディスプレイと同一である。最大の違いはレンチキュラーシートの中身にあり、本装置ではシートを構成

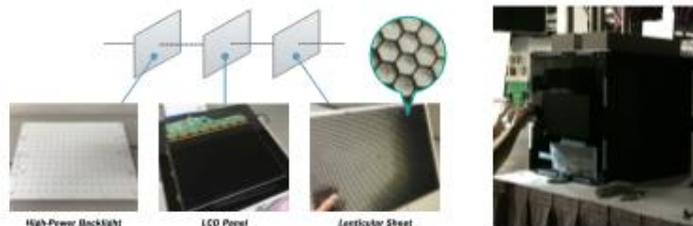


図1. 開発した照明装置

する各レンズレットを囲むように、不透明な黒色の壁を設けている点に特色がある。これは、ゴースティング(意図しない光線の射出によるアーティファクトの出現)を低減するための工夫である(効果は実験を通して実証した)。このような複雑な光学部品の製造には通常高いコストがかかってしまうが、本研究ではデジタルファブリケーション技術を活用した独自の製法を考案し、安価な製造を実現している。

システムの制御は、図2のようにLCDの点灯パターンを操作することで行う。再現すべき光源の種類や位置のデータから、モンテカルロ法を用いてシート上の各レンズレットから射

出すべき光線群を導出し、そのような光線群を射出するLCDの点灯パターンを計算する。以上のような処理により幅広い光源の照明効果を、本装置を用いて再現することができる。

現状未解決の主な問題点としては、効率が悪く消費電力が大きいこと、光線の最大出射角が35度弱と小さいこと、そして精度に限界があること(LCDのピクセルピッチに依存)などが挙げられる。バックライト

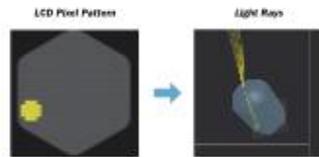


図2. LCD 点灯パターン制御

の改良(部分駆動や指向性の向上)によってある程度の改善は可能だと予想されるが、実用レベルに達するまでにはまだ相当の開発が必要だと考えられる。

・Printable Garden:庭を3Dプリントする技術の開発

図3は、本研究を通して割り出した樹脂素材の培地で植物(ハーブ類や花卉など)が育っている様子を示す。培地中で、植物の根が太く成長していることがわかる。複数の植物種を用いた実験を通して、本技術の培地



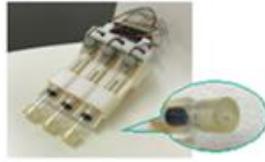
図3. 本研究成果である樹脂素材培地での植物育成

の生育性能は、一般的に水耕栽培で用いられる培地素材と比べそれほど大きくは劣らないことが確認されている。また本技術では樹脂素材をメッシュ状にプリントしていくことで培地を形成するが、そのメッシュ構造のパラメータ(粗さなど)と生育性能の関係についても確認している。

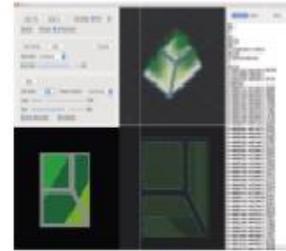
図4(a)(b)は3Dプリンタとプリンタヘッドに取り付ける播種装置を示す。粘土などペースト状の物質を用いた3Dプリントに用いられるPaste Extruderとほぼ変わりはないが、本技術では高分子ゲルに固体である植物の種を加えた混合物を押し出すため、ノズルが詰まることを防ぐため先端部の設計に工夫を加えている。図4(c)は構造物を設計し、プリンタを駆動させるソフトウェアの操作画面の一例を示す。構造物の形状自体はこのソフトウェアでは操作できない(市販のモデリングソフトで作成したものをインポートする)が、播種のレイアウトを決定したり、水の流れを制御するパイプラインを内部に形成することなどができる。



(a)3D プリンタ



(b) プリンタヘッドに
取り付ける播種装置



(c) 開発したソフトウェア

図4. 培地加工・播種用3D プリンタ

図5は光と水、および水耕栽培用肥料を一ヶ月程度与え続けた構造物を示す。水は循環装置を通して一定時間ごとに自動で供給される。本技術で用いる培地素材は、スポンジなど一般的な水耕栽培用素材と比較して保水力が低いため、手灌水でうまく植物を育てることは困難であることが実験を通して確認されている。



図5. 水耕栽培 1 か月経過後の構造物

・その他

アウトリーチを目的として、「未来都市アトラス / Atlas of Future Cities」という冊子を作成し、計1000部を印刷して無償配布を行った。元ニューヨーク市都市デザイン局長のアレックス・ウォッシュバーン、MITのカルロ・ラッティ、サンタフェ研究所のルイス・ベッテンコートなど都市に関する第一線の研究者や実務家による論考をまとめたものであり、冊子の制作・配布を通して形成した学際的なコミュニティは、今後の研究活動(例えば、現在JST未来社会創造事業において進めているプロジェクト)において大きく役立つものと考えている。

またさがけ期間を通して、空間改変技術の開発を研究テーマとして盛り上げるべく積極的な学会への働きかけを続けてきた。来年東京で開催される国際会議ISS 2018の運営委員長を任されたことはその一つの成果であり、これを機に空間改変技術をよりメインストリームなテーマへと押し上げていきたいと考えている。

3. 今後の展開

さがけで開発してきた二つの技術のそれぞれについては、これまで国際会議などでその内容を段階的に発表してきたが、2018年前半を目処により包括的な議論を展開した論文を投稿する予定である。またこれらの技術を含む空間改変技術全般について広く議論した論文についても現在準備していて、同様に2018年前半に投稿する予定である。

当初の目論見では、さがけ研究期間内に限定的な社会実装まで進められると考えていたが、見通しが甘く基礎的な技術開発で終わってしまった。今後は、JST未来社会創造事業など別のプロジェクトの枠内で、今回さがけで開発してきた技術の実用化を目指していきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

学会に貢献するだけでなく、社会に対しより直接的なインパクトを与えることを目指すというこの領域の趣旨に鑑み、当初の計画ではさきがけ研究期間中に個別技術の実用化(Integral Illuminationの商業建築への応用、Printable GardenのDIYアーバニズムへの応用など)はもちろん、それらを通じた新しい建築・都市環境のあり方の提案および限定的スケールでの実証も実行する予定でいた。今から振り返ると、この計画は(特に技術開発の速度について)楽観的に過ぎ、実際には技術開発の途中で期間も研究費も尽きてしまうという結果に終わった。これは反省点ではあるが、大きな経験にもなった。

また今回のさきがけでは狭義の研究活動以外にも、冊子「未来都市アトラス」の制作などアウトリーチ活動にも尽力したが、こちらについては予想以上の成果が得られた。アウトリーチ活動が単に社会的意義のある活動というだけでなく、似た関心を持つ仲間を引き寄せたり、議論の場の形成に貢献したりといった形で、後の研究活動に直接役立つことがあるのだということを理解できたことは大きな収穫であった。

まとめると、今回のさきがけではスケジュールの立て方などに甘さがあり、当初思い描いていた目標の途中段階までしか到達することができなかった。しかし今後さらに野心的な研究(例えば、Wikipediaのように「みんなで」作り上げる都市の実現を目指す、JST未来社会創造事業における私のプロジェクトなど)を進めていく上で、ここで与えられた貴重な成長の機会は大きく役立つだろう。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

多くの情報技術が、AR や VR などとして、人の身体の近傍で目や耳を通じた外部情報と脳とのインタラクションを試みようとしている中で、建築や都市の物理的環境そのものを自在に改変する技術を作ろうとした試みであり、新しい技術や文化の潮流を作る可能性がある。発想が常識を超越しているために、技術的かつ資金的に当初計画通りには進まなかった部分もあるが、基本構想とその原理的な検証およびプロトタイプの実成には成功している。Integral Illumination 技術は、比較的簡単な仕掛けで環境照明を制御する技術であり、舞台照明や室内照明、さらには都市全体の照明への実用化が期待できる。Printable Garden も、我々の住環境を大きく変える可能性のある技術で、盆栽などの伝統文化との融合も期待したい。デジタル環境改変技術という新しい分野を創造する研究であり、情報、建築、都市設計、照明など幅広い分野の人々を巻き込み、未来都市の構想を示すなど社会的な活動も活発に行って、この分野のパイオニアとしての地位を確立している。今後もこの分野を世界的に牽引してほしい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Takeuchi, Y., Suwa, S., Nagamine, K. AnyLight: Programmable Ambient Illumination via Computational Light Fields. In Proc. of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS 2016). pp.39-48.
2. Takeuchi, Y., Suwa, S., Nagamine, K. AnyLight: An Integral Illumination Device. In SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies. Article No.1.
3. Takeuchi, Y. Printable Hydroponic Gardens: Initial Explorations and Considerations. In Ext. Abst. (alt.chi) of the 34th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2016). pp.449-458.
4. Takeuchi, Y. Towards Habitable Bits: Digitizing the Built Environment. In Proc. of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS 2014). pp.209-218.
5. Takeuchi, Y. Building a World of Habitable Bits. ACM Interactions, vol.21, no.6. pp.52-57. 2014.

(2)特許出願

研究期間累積件数:5件

1.

発明者: 竹内 雄一郎

発明の名称: 立体形状情報生成システム、立体形状形成装置、立体形状情報生成方法、およびプログラム

出願人: ソニー株式会社

出願日: 2015/6/03

出願番号: 2015113049

2.

発明者: 竹内 雄一郎

発明の名称: 照明装置

出願人: ソニー株式会社

出願日: 2015/8/25

出願番号: 2015165380

3.

発明者: 竹内 雄一郎、諏訪 俊一、長嶺 邦彦

発明の名称: 照明装置

出願人: ソニー株式会社

出願日: 2016/4/13

出願番号: 2016080455

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

JST 未来社会創造事業 H29 年度採択:「超スマート社会の実現」領域(2017年)

受賞:Architizer A+ Awards Finalist(2015年)

受賞:ACM ITS Honorable Mention Award(2014年)

出版:“未来都市アトラス / Atlas of Future Cities”

株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所発行(2017年)

