

# 糸を用いたボリュームディスプレイの提案

伊藤 巨輝<sup>1,a)</sup> 小野 龍一<sup>1</sup> 羽田 久一<sup>1,b)</sup>

**概要:** ボリュームディスプレイは立体を三次元空間に描画するディスプレイであり、既存の作品及び研究においては空気分子をプラズマ化させる事で空中に像を描画し像に触れた感触を持たせたり、LED を立体の格子状に汲み上げて像を表示するボリュームディスプレイが存在する。しかし、従来のボリュームディスプレイは描画を行う為の設備が大掛かりであったり、特殊な素材を用いる事が多く、安価な素材を用いたり小型化される事が少ない。よって本研究では市販の機材で小型化可能なボリュームディスプレイを開発した。

ボリュームディスプレイの素材には市販のナイロン糸と蛍光塗料を用いる。蛍光塗料で着色を行った糸に紫外線を照射することで蛍光塗料が発光し、ディスプレイとしての役割を担う。また、着色した糸をステッピングモーターで巻き取る事により表示される像の切り替えを行う。糸は一定パターンで着色を行い個々に上下に移動させる事で、様々な形状の立体像を表示する。ステッピングモーターの回転の向きの制御にステッピングモータードライバを用いて、回転数の制御に DMX 信号を用いる事で細かなモーターの制御を行う事で像を変化させ、紫外線を照射する事で蛍光塗料が発光し、像が表示されるボリュームディスプレイを制作した。

**キーワード:** ディスプレイ, 糸, ステッピングモーター, LED

NOBUTERU ITO<sup>1,a)</sup> RYUICHI ONO<sup>1</sup> HISAKAZU HADA<sup>1,b)</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 ボリュームディスプレイについて

ボリュームディスプレイは立体を三次元空間に描画するディスプレイである、既存の作品や研究では空気分子をプラズマ化させる事で像を描画し実際に触れた感触を持たせたり、LED を格子状に汲み上げて像を表示するボリュームディスプレイや紫外線を照射する事で立体像が描画されるディスプレイが作られている。ボリュームディスプレイは立体であるが故に様々な角度から像を視る事が出来る為に、ディスプレイを視る角度によって見える像が異なるという事が可能である。従来のボリュームディスプレイは設備が大掛かりであったり特殊な素材を用いる事が多く、安価な素材を用いたり小型化される事は少ない、そこで本研究は糸を用いて描画するボリュームディスプレイを提案する。本研究では、ボリュームディスプレイの役割を果た

す複数の糸に対して、蛍光塗料の着色を行い UV ライトを照射する事で、像が視認可能なボリュームディスプレイを提案する。糸はステッピングモーターによって着色した部分を巻き取り上下させる事で表示される像の切り替えを行う。アミューズメントの分野での活用が期待される。

## 2. 関連研究

Lumarca[1] は、上下を磁石で固定した絹糸に対してプロジェクションマッピングを行う事で立体的な映像を投影するディスプレイである。絹糸がプロジェクタから受けた光を拡散反射する事で全方向から像を視認する事が出来る。糸の配置をプロジェクタからの光を遮る事無く配置する事によって一方向のみからの映像投影でプロジェクションマッピングが可能である。Lumarca を構成する要素はコンピュータ、映像投影の為のプロジェクタ、絹糸のみである為に作成が非常に安価である。研究の差異は蛍光塗料を着色した糸を垂らし、紫外線を当てる事で像を描画しているのに対して Lumarca は上下に固定した糸に対して映像投影を行う事で像を映し出す。

SlowDisplay[2] は、市販の蓄光塗料に長波長の紫外線レー

<sup>1</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

a) g31180033a@edu.teu.ac.jp

b) hadahskz@edu.teu.ac.jp

ザーを照射する事でエネルギーを蓄積し、その後一定時間発光するディスプレイである。蓄光塗料を表面に塗装する事が出来ればディスプレイの形状に制限は無く、蓄えたエネルギーを基に自ら発光する為、電力を消費する要素は紫外線レーザーによる描画を行う時のみであり、一切の電力を使わずに数時間発光させ続ける事が可能である。このディスプレイは動画の様な高いリフレッシュレートは求めずにサイネージの用途が適切であり、時間経過で暗くなったとしても再び書き込みを行う事で発光させることが可能である。研究との差異として蛍光塗料と蓄光塗料を用いる点である。蛍光塗料は紫外線を当てた時に起こる発光するのに対して、SlowDisplay で用いられるのは蓄光塗料であり、蛍光塗料が紫外線を照射した時のみに反応が起こるのに対して蓄光塗料は紫外線を照射してからの反応時間が長く、一定の情報を長時間流し続けるのに優れている。

Photochromic Sculpture[3]では、SlowDisplayと同様に描画にのみ電力を消費し、描画後に像を一定時間表示し続ける透過ディスプレイである。100×100mmの透明な板を複数枚重ねた多層構造のポリウムディスプレイであり、板が単体では平面の像のみ描画されるが、複数枚重ねる事で立体像の描画を行っている。像の描画には長波長の紫外線を照射する事で多彩な色に有色化するフォトクロミズム素材を使用しており、描画された像は一定時間で透明な板に戻る為に繰り返しでの使用が容易である。また、板を複数枚重ねて一度に有色化させる事も可能である。Photochromic Sculptureは本研究やSlowDisplayと同様に紫外線の照射によって起こる反応で像が描画されるディスプレイである。糸を使用している本研究に対してPhotochromic Sculptureとの違いは紫外線を反応させる媒体が異なる点にある。

Fairy Lights in Femtoseconds[4]においては、レーザー光を空気中の一点に合焦させ、発生したプラズマが発光する事で立体像の描画を行う空中ディスプレイである。使用するフェムト秒レーザーはプラズマを発生させる為のレーザーパルス幅が短くレーザー強度が高い為に、従来のナノ秒レーザーと違いプラズマに皮膚が触れた感触は存在しても皮膚の表面が炙られるだけであり、深部まで焼ける前に機械側でレーザー照射を止める事が可能である。Fairy Lightは実際に描画された像に触れた感覚をユーザに与えるディスプレイである。本研究では糸に描画された像に触れる事で像に触れた感触と考えているが糸の用に形状が予め決まっている物質に対してFairy Lightは描画する像を形成するプラズマを1点毎に移動できる点が優れていると言える。

PixieDust[5]では、音波を使い物体を浮遊させる音響浮揚を用いて、浮遊させた物体をディスプレイに見立てる事が出来る。浮遊させる物体は大きさの制約こそあれど材質の制約は無く浮遊させる事が出来る。音波の強弱を機械制

御で行う事で3次元空間で物体を浮遊させるための定常波をコントロールが可能である。また、浮遊する事で出来上がった像は単色であるが浮遊させた像に対してプロジェクションマッピングを行う事で自在に変形するディスプレイとして扱う事が出来る。自己の研究である糸を用いたポリウムディスプレイは定位置が横と奥行きに対して固定されているが、PixieDustは音響浮揚の範囲内であれば横と奥行きに対しても自由に移動可能な点が優れている。

HaptoMime[6]は、空中結像ディスプレイに描画した像に対して皮膚が触れようとした瞬間に超音波を当てる事で実際に指が像に触れたと錯覚させる空中インタラクションタッチパネルである。映像を描画させる為の空中結像ディスプレイに超音波を反射させ、結像された像に対して指が触れる感覚を与える。指が装置の枠に取り付けたタッチセンサの位置を超えると超音波が指に当たる事で像に接触した際の感触を再現している。物理的な接触ではなく触覚のみを再現する事はディスプレイに指紋が残る事が無く、セキュリティ面でも衛生面でも優れた入力装置として扱う事が可能である。糸を用いたポリウムディスプレイは糸に触れる事が出来るがHaptoMimeは物理的な物体に触れることなく疑似的に触感を扱える点が優れている。

A Multi-Layered Display with Water Drops[7]は水滴を列で垂らし、層で並べる事で映像投影を行う多層ディスプレイである。水滴の一滴毎にトラッキングを行い、一滴ごとに映像を投影する事でゲームや動画の投影を行う事が可能である。水滴の生成する為の多肢管バルブから水滴を垂らし、落下する水滴をカメラでトラッキングする事で、リアルタイムでプロジェクタからの映像投影を行う。糸を垂らす本研究に対してWaterDropsは水を垂らしている。糸は巻き取る事で像を切り替えるので糸の容量に限界が来るとそれ以上描画出来ない課題があるが、に対して落下する水滴に投影するので

EnchanTable[8]はテーブル面の反射を使って空中像を表示する直立空中像ディスプレイである。このディスプレイは空中像を表示する為に専用のテーブルを必要とせず、空中像がテーブルから離れる事なく実物同様の影の現れ方や反射を考慮して自然な表現を行う。テーブルに置いたカードによって表示する像を変える為にカードに電子タグを取り付け、読み取ったデータによって光学系から表示される像を切り替えるといったインタラクションが行われている。自己の研究との差異として像に触れる事が出来るかという点である。実際に触れる像を糸を用いて形成するがEnchanTableはテーブル面の反射を用いて像が浮いているように錯覚させるが実際は虚像である点と描画される像がカードを置いた位置によって変わる点が本研究と異なる点である。

### 3. 提案するディスプレイ

本研究では垂直に垂らした複数の糸に蛍光塗料で着色する事で奥行きのある像を描画するボリュームディスプレイを提案する。従来のボリュームディスプレイは像を描画する為に特殊な素材を用いる事が多い [3]。市販されているナイロン糸をディスプレイの描画に用いる事で安価で手で触れる事が出来るボリュームディスプレイを提案する。

#### 3.1 ディスプレイの素材としてのナイロン糸

ナイロン糸は細く透明な糸であり、Lumarca[1]と同様に全方向から像を視認する事が出来る。縦に垂らした複数のナイロン糸を並行に並べると、仮に糸に着色を行い像に見立てて並べたとしても透明である為にボリュームディスプレイとして奥に着色された糸を視認する事が出来る。また、糸同士の間空間を設ける事によって奥の糸に手で触れる事が出来る。ナイロン糸はそのままの状態ディスプレイに垂らすと歪んでしまう。そこで糸の端に対して錘を取り付ける事でディスプレイ内で糸が歪むことなく常に張った状態を維持する。

#### 3.2 描画する塗料としての蛍光塗料

蛍光塗料は SlowDisplay[2] で扱われた蓄光塗料と同様に光を吸収して発光を行う。蛍光塗料は蓄光塗料の様にエネルギーを蓄えることなく一瞬で放出するので持続性には劣るが紫外線に反応するので紫外線を照射した暗所においては蓄光塗料以上に発光する。暗所で紫外線を照射しているときのみ発光するのは、暗所で常に発光する蓄光塗料を用いるのと比較して on/off の制御が可能である。また、蛍光塗料は蓄光塗料と同様に安価な素材である上に多彩な色が存在する。よって、本研究では描画する素材として蛍光塗料を利用する。

#### 3.3 ディスプレイの構成要素

提案するディスプレイはフレームに木材を使用しステッピングモーターを固定する台は 3D プリンタを用いて製作した。糸の駆動はステッピングモーターを用い、ステッピングモーターの制御にはステッピングモータードライバで行い DMX 信号でモーターの速度制御を行う。

#### 3.4 蛍光塗料に照射する紫外線ライト

蛍光塗料に紫外線を照射する為の手持ちの紫外線ライトを利用する。本研究で用いたブラックライトは市販の LED ライトの発光部を紫外線 LED と交換する事によってユーザが持つ事の出来るブラックライトとした。ユーザが自ら手を動かす事によって像が可視化される事によりインタラクティブ要素を付与した。糸は蛍光塗料を塗った部分のみ

が光る為にディスプレイに表示されるのは張り詰められた複数の糸ではなく 1 つの像として表示される。

### 4. ディスプレイの実装

#### 4.1 ディスプレイの設計

本システムの駆動部は、ナイロン糸を巻き取るステッピングモーター、ステッピングモーターを制御する Arduino、ステッピングモーターの回転する向きと速度を制御するステッピングモータードライバと DMX 通信から構成される。ディスプレイの構成は図 1 の最上段に 16 個のステッピングモーターをマウントさせる格納部分と二段目の糸を垂らす位置を束ね纏める集合部分、三段目の着色した糸を映すディスプレイ部分、四段目の映した糸を垂れ流す部分の 4 か所に分かれる。図 2 は PC とディスプレイ間の細かな構成図である。図 3 は糸の着色範囲の移動図である。糸が上下に動く事によって見えない位置からの出入りを行い山と谷を表示する事が出来る。

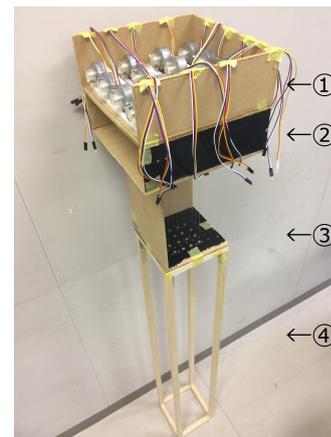


図 1 ディスプレイの全体像

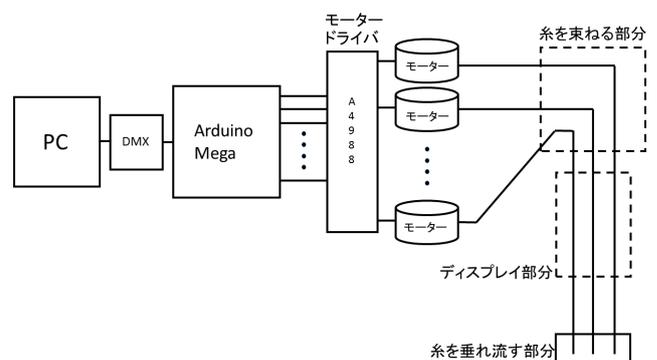


図 2 ディスプレイの構成図

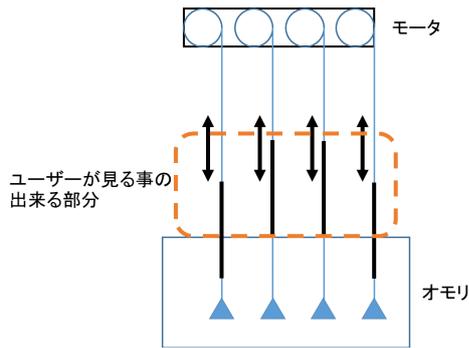


図 3 着色部分の移動図

#### 4.2 DMX 信号によるモーター回転数の制御

モーターの回転量の制御には DMX 信号を用いた。DMX 信号は舞台演出などに用いられるムービングライトやキネティックライトの制御に用いられている。DMX 信号の送信には MacBookPro15inch にインストールした TouchDesigner を用いた。DMX 信号の 1ch から 16ch をそれぞれのモーターの回転量に割りあてた。送信される値は 0 から 255 の範囲であり、その値に応じた糸の長さ調整される。

#### 4.3 ステッピングモーターを載せる台座の作成

稼働中のステッピングモーターは非常に高温であり、調整を行う際に直接接触すると火傷を負う危険性がある為、ステッピングモーターをマウントさせるための台座を作成し 3D プリンタで製作した上で個々に取り付けを行った。

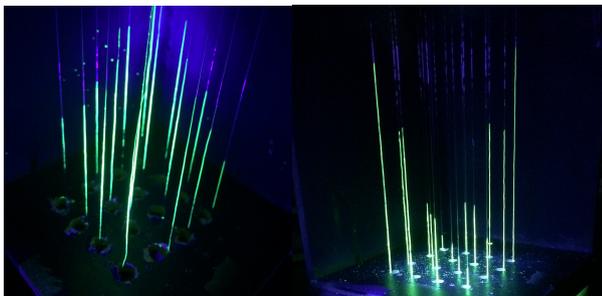


図 4 山の描画

図 5 谷の描画

### 5. 実験

ナイロン糸の半分を蛍光塗料を着色し糸の長さを変化させる事で立体像の描画を行った。図 4 に表示された像は山を表し、図 5 に表示された像は谷を表示している。これらは蛍光塗料で着色した部分を図 3 のように上下に移動させる事で 2 つのパターンを表示した。蛍光塗料を発光させる為には紫外線の照射が必要であるが、ユーザーが手持ちのブラックライトをディスプレイに当てる事で糸が発光し像が描画された。糸は PC からの信号で上下に移動し巻き取りを行う事で像を切り替えた。

### 6. 考察

#### 6.1 糸の太さによる描画の違い

蛍光塗料を着色するナイロン糸は 3 号 ( $\phi$  0.285 mm) とより太い 5 号 ( $\phi$  0.37 mm) で比較を行った。両方の糸に着色を行い垂らしたところ、3 号の方は糸が歪むことなくディスプレイ上に垂らす事が出来たのに対して 5 号の糸は歪みが大きく像の描画には適さない事が判明した為には 3 号に蛍光塗料を着色する事で立体像の描画を行った。

#### 6.2 糸の上下移動による像の描画

着色を行ったナイロン糸を上下に巻き取る事で描画される像を切り替える事が可能である。糸への着色を行う部分と着色をしない部分をパターンとして交互にする事でそのパターンを上下に動かす事で描画される立体像の種類を増やす事ができる。

### 7. 今後の課題

今後の課題として、以下の 3 つが挙げられる。

#### 7.1 蛍光塗料の自動着色と脱色の検討

本研究では糸に対する蛍光塗料の着色を事前に手動で行うことで象の表示を行っていた。その為に描画される象の種類には上限があったが、蛍光塗料の着色を自動で行う事で描画を行う際の制限は糸の長さだけになる。着色方法として蛍光ペンもしくは蛍光塗料を着色した筆かスポンジをディスプレイ部分に糸が出る直前に糸に接触させる事で任意の像を描画する事が可能である。また、現在は一度塗った部分を再利用する事で像の描画を行っていたが、塗った部分をふき取る事で糸に対して再び新しいパターンを着色する事が出来る。これにより着色を行う糸の残量に制限される事無く描画を行える。

#### 7.2 紫外線を照射する異なる方法の提案

本研究では紫外線は手に持ったライトによって照射したが、紫外線の照射を手持ちのライトではなく紫外線 LED をディスプレイに組み込むことで像が綺麗に描画されるのではと考える。ステッピングモーターの制御に用いた ArduinoMega を紫外線 LED の制御に用いる事で像が切り替わる間は LED を消灯し、別の像が表示されたら LED を点灯にする事で像の切り替えの際に糸が上下に移動する変化をユーザーに視認させない事で消灯中の上下の変化を高速で行いストップモーションのように像の変化をユーザーに提示する事が出来る。

#### 7.3 使用用途の検討

着色した糸を巻き取る事で一度出した糸を再び巻き戻して再利用する事が可能である。一度巻き戻した糸を再利用

する用途としてディスプレイに1から9までの数字を表示し、1から始まり9まで表示したら再び1から表示を行う。これを繰り返す事で時計としての使用が可能である。また、糸に着色を行う蛍光塗料を複数色使用する事で寒暑といったような周囲の気温が変化する際に温度の変化によって気温の表示と暖かい所では赤色の蛍光塗料で着色し、寒い所では青色の蛍光塗料で着色をするといったような、状況に応じて色が変化するサーモディスプレイとしての使用方法が挙げられる。

## 8. まとめ

本研究では糸と蛍光塗料を組み合わせたディスプレイの提案と制作を行った。ナイロン糸を蛍光塗料で着色し、UVライトを照射する事で像が視認できるディスプレイであり、UVライトをディスプレイを視るユーザー自身が持つ事でインタラクティブ性を付与した。

ステッピングモーターの制御にはステッピングモータードライバを用いて行った。ステッピングモータードライバでステッピングモーターの回転する向きとステップ数の制御を行い、DMX通信を用いてPCからの制御を可能とした。蛍光塗料を着色したナイロン糸をステッピングモーターで上下に移動させる事でディスプレイに表示される像の切り替えを行った。透明な糸をディスプレイに使用する事で奥行を持った像を描画する事が出来る。また使用するナイロン糸を細い糸と太い糸で比較したところ、細い糸を垂らした方が糸が張り像を正確に表示する事が出来た。

## 参考文献

- [1] Parker, M.: Lumarca, *ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Art Gallery* #38; *Emerging Technologies: Adaptation*, SIGGRAPH ASIA '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 77-77 (online), DOI: 10.1145/1665137.1665196 (2009).
- [2] Saakes, D., Chiu, K., Hutchison, T., Buczyk, B. M., Koizumi, N., Inami, M. and Raskar, R.: Slow Display, *ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 22:1-22:1 (online), DOI: 10.1145/1836821.1836843 (2010).
- [3] Hashida, T., Kakehi, Y. and Naemura, T.: Photochromic Sculpture: Volumetric Color-forming Pixels, *ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 11:1-11:1 (online), DOI: 10.1145/2048259.2048270 (2011).
- [4] Ochiai, Y., Kumagai, K., Hoshi, T., Rekimoto, J., Hasegawa, S. and Hayasaki, Y.: Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields, *ACM SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 10:1-10:1 (online), DOI: 10.1145/2782782.2792492 (2015).
- [5] Ochiai, Y., Hoshi, T. and Rekimoto, J.: Pixie Dust: Graphics Generated by Levitated and Animated Objects in Computational Acoustic-potential Field, *ACM*

- [6] Monnai, Y., Hasegawa, K., Fujiwara, M., Yoshino, K., Inoue, S. and Shinoda, H.: HaptoMime: Mid-air Haptic Interaction with a Floating Virtual Screen, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 663-667 (online), DOI: 10.1145/2642918.2647407 (2014).
- [7] Barnum, P. C., Narasimhan, S. G. and Kanade, T.: A Multi-layered Display with Water Drops, *ACM SIGGRAPH 2010 Papers*, SIGGRAPH '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 76:1-76:7 (online), DOI: 10.1145/1833349.1778813 (2010).
- [8] 山本紘暉, 梶田 創, 小泉直也, 苗村 健: EnchanTable: テーブル面の反射を用いた直立空中像ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 401-410 (2016).