

振動モーターによる擬似的なボケの生成と被写界深度変化への応用

小野 龍一^{1,a)} 羽田 久一²

概要：本稿では焦点の合っているオブジェクトを焦点が外れてるように錯覚させ、被写界深度を擬似的に変化させる手段として振動モーターの振動により発生するブレを利用する為の装置を開発した。開発した装置をジオラマに応用して焦点を認識できるか、被写界深度が変化する感覚があるか、鑑賞する上で不快でないかを調べる為に被験者実験を行った。結果、ほとんどの被験者が焦点を認識でき、振動によるブレがあると被写界深度が浅く変化すると感じ、快適に鑑賞できたと回答した。

1. はじめに

本研究では振動モーターの振動によって生成されるブレを使い、焦点があっている物体を焦点が外れてるように錯覚させる装置を開発しその応用を提案している。今回、応用として装置をジオラマへ装着し制御する事で写真の作品のような被写界深度の浅いボケた平面での表現を立体でも肉眼で視聴可能とするシステムを考えた。ボケとは焦点の範囲外にうみだれた領域のことを指し、意図的に利用することで奥行き表現や注目させたい領域に視線を誘導する事が可能である。このようなボケを使った奥行き表現や視線誘導は絵画、写真、映像などの分野で頻繁に用いられている。ジオラマとは展示物とその周辺環境、背景を立体的に表現する方法で19世紀初頭、フランス人風景画家で後に写真発明家となったルイ・ジャック・マンデ・ダゲールが、従来のパノラマに代わる新たな投影装置を開発し Diorama と名づけたのが最初である。現代のジオラマは巨大なオブジェクトを小型化したものが一般的である。このシステムを使い焦点とボカす範囲を設定する事で小さなジオラマでもボケによって奥行きを感じ、既存のレンズでは実現が難しいボケが作れ、製作者が見せたい領域に視線を誘導できると考え、被験者実験を行い結果を報告する。

2. 先行研究

現実世界のオブジェクトの見かけを変化させる手法として川鍋ら [1] の、陽炎を重畳させることで物理的なインタフェースを追加することなしに対象物の見かけを変化させ

るシステム atmoRefractor がある。陽炎の発生制御を実現するに当たり、空気の温度及び風の有無と陽炎の見え方の関係を調べる予備検討を行っており、その結果を元にシステムを実装し、システムにより発生させた陽炎を用いて、形状の変化の有無によって現実世界に情報を付加、陽炎の発生する場所を片側から反対側に順に移動させることでユーザに方向提示、ユーザの視界内で任意の方向に陽炎を発生させることで視線を誘導する事が可能になったと記述してある。

現実世界の物体に映像を投影し、見かけを変化させることで視線誘導を行う手法を提案した宮本ら [2] の研究がある。この研究では光軸一致プロカムシステムによって物体を撮影し、視線誘導したい部分以外を画像処理でずらしフィルタを施して撮影した物体に投影する手法を提案。この手法により全体がブレて見える中、一部の領域が鮮明に見える現象を利用して視線誘導を実現している。被験者実験の結果、提案手法の視線誘導効果を確認することができたと記述されてある。

解像度制御によって視線が誘導されるか調査した畑ら [3] の研究がある。この研究では画像の解像度を領域ごとに制御し、高解像度領域と低解像度領域を作り注目させたい領域以外をぼかす事によって視線を誘導させている。さらに動的な解像度制御も行っている。具体的には、鮮明な画像を時間が経つにつれて、ぼかしの強さを徐々に強くしていく、ユーザーが視線誘導された時点で画像を鮮明に戻す、といった処理を行う。被験者実験の結果、人間の視線は高解像度領域に誘導される、ぼかしに気づくときのぼかしの強さは、変化にかかる時間が長くなると小さくなるという事がわかったと記述されている。

¹ 東京工科大学 大学院 バイオ情報メディア研究科

² 東京工科大学 メディア学部

^{a)} g311800628@edu.teu.ac.jp

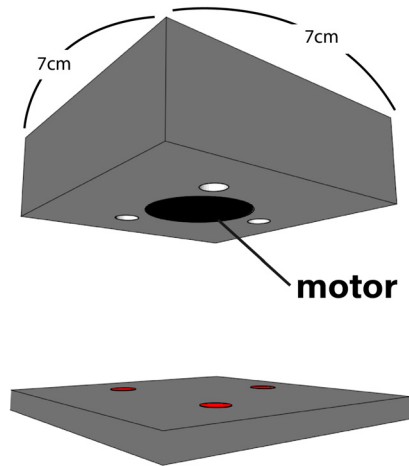


図 1 制作した装置の図

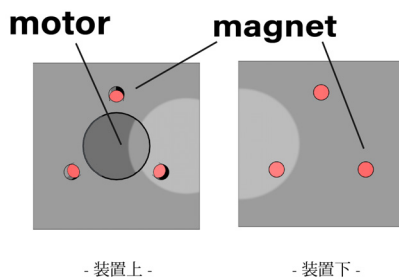


図 2 装置の上側と下側

3. 提案手法

物体の輪郭を曖昧にし、焦点のあっている物体を焦点が外れてるように錯覚させる為に振動モーターの振動によって生成されるブレを利用する。その為には振動モーターを内蔵した物体に振動を伝える装置の開発が必要である。装置をグリット状に分解したジオラマ作品に装着して振動を制御することで擬似的に被写界深度が変化した印象を与えることが可能になると考える。

3.1 振動デバイスの制作

制作した装置の外観は図 1 の通りである。振動デバイスは振動モーター、ネオジム磁石、3D プリンターで造形したケースを組み合わせて制作した。モーターの振動を効率よく装着した物体に伝える為に装置の上側と地面に固定する下側にわけ、図 2 のように 3 つずつネオジム磁石を引き合うように配置した。これにより振動モーターの振動が地面側に殆ど逃げる事なく上側が振動し、ネオジム磁石で 3 点、振動の妨げにならない範囲の強さで固定する事により意図してない可動範囲に移動する事を防いだ。この装置は、上下を除いた前後左右に最大 2mm の幅で振動が可能である。

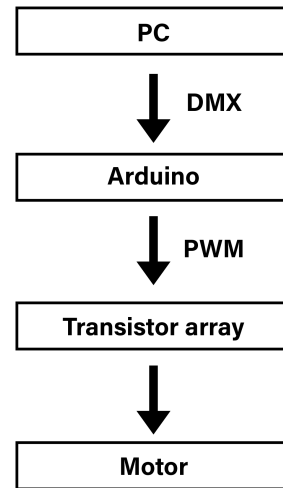


図 3 信号の流れ



図 4 制作したジオラマ

3.2 振動デバイスの制御

モーターの制御の為に DMX を送信するアプリを内蔵したノートパソコン、ArduinoUNO を 2 台、トランジスタアレイの TD62083AP を 2 個、IC の LTC485、DMX インターフェイスの ENTTEC の DMX-USBPRO、安定化電源を用いた。信号の流れは図 3 の通りである。各装置の振動の強弱はパソコン内で起動した DMX 送信アプリで設定した。パソコン側から 0 から 255 の値の DMX 信号を DMX インターフェイスと LTC485 を介して Arduino へ送信した。Arduino 内部で DMX の値に応じた PWM 信号の値に変換し、12V を出力している安定化電源を接続したトランジスタアレイへ送信する事でモーターの制御を行う。

3.3 ジオラマの作成

デバイスを図 4 のように縦に 3 列、横に 3 列のグリット状に配置し、デバイスの上にジオラマ制作によく用いられる木や人の模型を配置し固定した。

4. 実験

ジオラマの無振動時と振動時で被写界深度が変化したように感じるか、焦点を認識できるか、振動によるボケを不

快に感じないかの実験、調査をおこなった。男6人女4人の計10人に被験者実権を行い、被験者たちには事前に被写界深度と実験の流れの説明を行った。実験は図5のような環境で行った。人間の目は明るさによって虹彩の絞りが変化する。絞りが変化すると被写界深度が変化する[4]。その為、照明の明るさによる差異をなくす必要があると考え照明をジオラマ上部に設置し明るさを固定した。被験者はジオラマから80cm離れた位置に図6のように座らせた。この位置は被験者全員がジオラマ全体に焦点が合う位置である。被験者は必要ならば自身のコンタクトレンズや眼鏡を用いて視力を矯正した。

4.1 予備実験

本実験の前に、本実験で適用する振動数の値、焦点となる装置の側面の装置も振動させる事で更に被写界深度を浅く感じるかを調査するために予備実験を行った。

4.1.1 振動数の決定

装置の振動数を決定する為に装置の一つを1人の被験者にみせ、その装置のモーターの回転数を0から一定の速さで増加させていき、被験者がボケを認識し違和感が少なかった動きを記録した。結果、ジオラマの一部が不自然に動くなど意図しない動きがなく全体がなるべく均等に振動し、振動幅が大きく振動数が多いほどボケを感じ違和感のない振動になるという事がわかった。他の装置の振動数はジオラマの部品による差異がある為、振動数が決定した最初の装置の振動の仕方に近くなるように値を設定した。

4.1.2 焦点となるデバイスの側面のデバイスを振動させるかの決定と振動時に錯覚が起きているかの調査

本来の意味での被写界深度では同じ深度のオブジェクトは焦点が合うが、図7のように焦点としたい物体の側面もぼかした方が被写界深度が浅く感じると予想し実験を行った。被写界深度が浅く見えるという結果が出た場合、側面のデバイスが振動することにより焦点のデバイスが前後している錯覚が起きていると予想しその調査も行った。まず、ジオラマの手前側にある3つの装置の中心を焦点とし、背景のみを振動させたもの、焦点の側面も振動させたものをジオラマを斜め30度の角度から見下ろせる80cm離れた位置で視聴させた。その後、どちらが被写界深度が浅く見えるかのアンケートを被験者全員にとった。結果、被験者10人が側面を振動させた方が被写界深度が浅く感じたと回答した。次に側面も振動させた場合、中心の焦点の装置は側面の装置と比較して前後して見えるのか、変化しないのかの調査を行った。ジオラマを斜め30度の角度から見下ろせる80cm離れた図8の0度と45度の2つ位置から視聴させ、各角度から1回ずつ、計2回アンケートをとった。これを被験者全員に行った。結果、正面の0度では8人が前、1人が後ろ、1人が変化なしと答えた。斜め45度の位置では4人が前に、6人が変化なしと答えた。この結

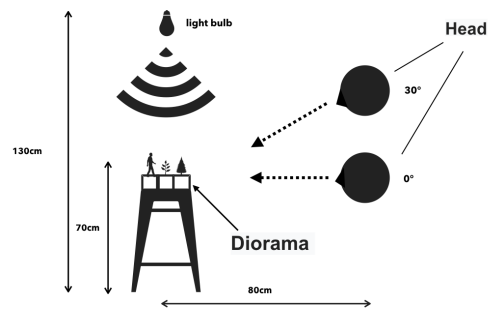


図5 実験環境

果から前後する錯覚はあるが斜めから視聴させる程ほど効果は薄くなると考えられる。それぞれの結果から、焦点となる装置の側面のデバイスを振動させる事で焦点が前後にズレる錯覚が起こり、被写界深度が浅くみえる事がわかった。この為、本実験では焦点となるデバイスの側面も振動させる事にする。

4.2 振動の有無で被写界深度が変化する感覚があるかの実験

本実験ではどの装置が焦点か答えてもらう必要がある為、図9のように装置に数字を割り振った。実験の流れはまず焦点となるデバイスを9個の装置の中からランダムに1個選択しそれ以外のデバイスを「開始」の声の合図と共に予備実験で決めた振動数で振動させる。合図から10秒の間に焦点となっているデバイスを発見させる。発見した場合は装置の番号と発見までの秒数を記録、10秒を過ぎたり間違えた場合は被験者にデバイスの位置を伝えた。次に、焦点となっているデバイスを継続して視聴させつつ「下げます」声の合図とともに振動を停止させる。停止後はアンケートを記入させ、浅い被写界深度が深く変化した印象があったかの質問に対して「1. 変化なし」、「2. 変化した」の2項目の内1項目を選択させた。これを1人の被験者に対して斜め約30度と、約0度の位置から視聴させそれぞれ5回、計10回行った。次に三つアンケートを用意した。まず、振動によるブレが不快に感じたかの質問にたいして「1. 不快ではない」、「2. 不快」の2項目用意し1項目を選択させ、「不快」を選択した被験者には理由も記入させた。次に、焦点のデバイスの位置に視線が誘導される感覚があったかの質問にたいして「1. あった」、「2. なかった」の2項目用意し1項目を選択させた。最後に、ジオラマの焦点を見る際に振動によるボケがあったほうが見やすいかの質問に対して「1. あったほうが良い」、「2. 無くても良い」の2項目を用意し1項目を選択させた。

5. 結果と考察

実験の結果、被験者の10名は10秒の間に焦点となるデバイスを見つけれられた。正答率は0度、30度ともに100%

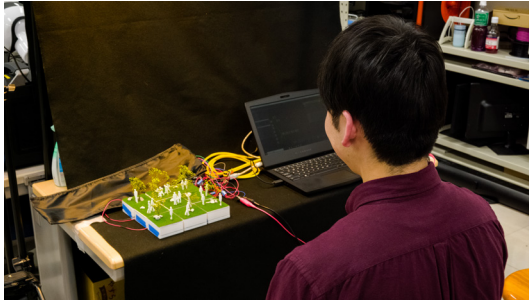


図 6 実験風景



図 7 側面のデバイスを振動させた時の写真

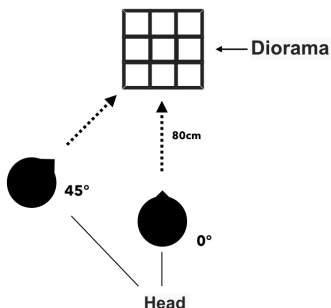


図 8 錯覚調査時の上面図

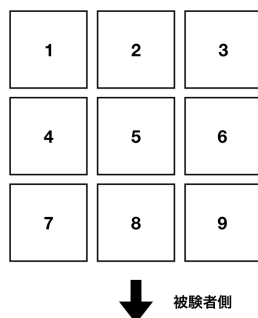


図 9 装置の番号

表 1 視聴角度別の焦点を見つけた速度の平均

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	3.9	2.6	2.7	3.6	3.6	2.7	3.4	3	2.9
30°	3.8	2.7	3.1	2.97	1.6	2.8	2.8	2.8	2.3

単位：秒

表 2 視聴角度別の被射界深度の変化を感じた割合

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	83	100	100	60	100	80	33	83	100
30°	80	83	100	50	100	100	60	80	100

単位：%

で見つけた速度の平均は表 1 のようになった。浅い被射界深度から深くなった印象があったと答えた割合は表 2 のとおりで殆どの被験者は振動の有無によって被写界深度の変化を感じていた。振動によるブレが不快に感じたかの質問では全員が不快でなかったと回答した。焦点のデバイスに視線が誘導される感覚があったかの質問では 10 人中 8 人が誘導される感覚があったと回答した。ジオラマの焦点を見る際に振動によるボケがあった方がいのかの質問では 10 人中 9 人があった方が良いと回答した。

この結果から、提案手法によってジオラマ鑑賞時に被写界深度の浅い表現を不快感なく提示する事が可能であると考え。同時に、焦点のデバイスに視線が誘導される効果も確認できた。しかし、被写界深度の変化を認識できなかった被験者も存在する。認識できなかった被験者は「注視した時に視野が狭くなり振動してる部分が視界に入らなかった。」とコメントしている。この結果について考察すると実験で使用したデバイスが被験者の注視した際の視野の範囲がデバイスの大きさより小さくなってしまったのと、物体の重なりがあまりない角度からの視聴だった為、被写界深度の変化に気づけなかったと考える。

6. 今後の展望

今後の展望としては作品としての完成度の向上を目指していく必要がある。その為に以下のような課題があると考え。

6.1 ボケの数値化

今回、ボケに見える振動数の設定は目測によって行った。しかし、正確な調査をする上でボケの数値化は欠かせない。これを解決するためにボケさせるオブジェクトと振動数の関係を調査する必要があると考える。

6.2 縦振動を追加しての調査

今回、製作した装置では縦の振動が不可能であった。縦の振動と横の振動が合わさると更にレンズのボケに近い表現が可能になると思われる為、縦の振動が可能な装置を開発し現状の装置と比較する必要があると考える。

6.3 振動デバイスの小型化

注視した際に視野がデバイスの大きさよりも小さくなった為、被写界深度の変化が感じられない被験者がいた。これを解決する為、注視した際の視野の範囲を調査しその視野に合わせた大きさのデバイスの開発が必要であると考ええる。

7. まとめ

本研究では振動モーターの振動によって生成されるブレを使い、焦点があっている物体の輪郭を曖昧にする事で焦点が外れてるように錯覚させる装置を開発しその応用を提案した。応用とはグリット状に分解したジオラマに装置を装着して焦点となる装置以外を振動させることによりジオラマ鑑賞時に被写界深度が浅い表現が肉眼で可能になるといったものである。そこで、被写界深度を変化させる効果があるか調べるために被験者実験を行った。実験の結果、ほとんどの被験者は振動の有無で被写界深度が変化した印象があると答え、振動は不快でなく、振動によるボケがあった方が焦点のデバイスが鑑賞しやすいと回答した。この結果から振動モーターの振動から生成されたブレを使い被写界深度が変化した印象を与える事は可能であると考ええる。

参考文献

- [1] 川鍋 徹, 橋田 朋子: “実世界に陽炎を重ねさせて対象物の見えを変化させる空間ディスプレイ”, http://www.ias.sci.waseda.ac.jp/GraduationThesis/2015_summary/5114E004_s.pdf
- [2] 宮本 純平, 小池 英樹, 天野 敏之, 実物体への映像投影による見かけの変化を用いた視線誘導の提案, 第26回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2018) 論文集, 2018.
- [3] 畑 元, 小池 英樹, 佐藤 洋一: 解像度制御を用いた視線誘導, 情報処理学会論文誌, 56(4), pp. 1152-1161, 2015.
- [4] 内川恵二, 篠森敬三: 視覚1, 朝倉書店, 2007.