

複数の可動レイヤーを用いた小型没入感提示システムの奥行き提示効果

Controllable Multiple Plastic Layers of Halfreflective Projection in a Portable Immersive Box using Smartphones

不破 峻太[†] 中 祐介[‡] 吉田 直人[‡] 米澤 朋子[‡]
Ryota Fuwa Yusuke Naka Naoto Yoshida Tomoko Yonezawa

1. はじめに

近年, VR システムの発展が目覚ましい. 新規技術の発展だけでなく, 一般ユーザの利用を想定した没入型ディスプレイは, ゲームや映画などのコンテンツ視聴における体験を拡張することが期待される. なかでも, Oculus Rift と呼ばれる HMD 型の没入ディスプレイは, 従来型に比べてかなり小型化されているが, 高価格であるため敷居が高い. その一方で, スマートフォンの表示ディスプレイを反射型照射に用いる廉価な装置は, 非常に軽量の工作物と組み合わせデバイスに乗せるだけで動作し, 持ち歩きながら体験もできる. 大型スクリーンの没入空間を携帯出来るようにした「ハコビジョン」や HMD を簡易にした「ハコスコ」などがその例である. これらは没入型ディスプレイと同じ特徴を持つものである.

しかしこれらの装置は, 視点移動の上下左右方向に対応したコンテンツの提示をすることができるが, 視点の前後移動による焦点距離変更はできない. つまり, 提示画面を拡大表示してユーザの視野角内に拡大提示しているだけの既存のシステムには, 奥行き感や立体感が乏しく, 結果としてコンテンツへの没入感はそれほど高くないといえる.

本研究では, 没入感が生まれる要素として, 立体感, 奥行き感, ユーザの動作との同期インタラクション感があると考えた. そこで, 本来 2 次元の情報である動画像を 3 次元的に感じられるよう, 複数枚の駆動レイヤーを表示照射板とし, さらにユーザの頭部の前後左右上下の動きに対応したレイヤー駆動を実現する手法を考案した. これは従来の小型没入装置と同様な廉価な装置でありつつ, その世界にいるかのような没入体験を得るために有効だと考えられる.

そして, そこに 2 次元動画像を前景と後景に分けて投影し, 前後のレイヤー同士に運動視差を発生させることで, 体験者に立体感や遠近感を与える. それに加えて, ユーザの頭部の動きとレイヤーの動きを同期させることで, 「映像中のある場所に立っている」という感覚ではなく「映像の中に自分が存在している」という感覚を体験

者に与えることで, 従来の小型没入感提示装置に比べ, 没入感を得られるシステムを提案する.

本稿では, 提案システムの複数レイヤーによる提示の有効性について検証するために行った予備検討について述べる.

2. 関連研究

VR を用いた没入型ディスプレイに関する研究や, 運動視差を生じさせることで立体感などを感じさせることを目的とした様々な研究や, 身近なものをを用いた実装例が多数存在する.

2.1 さまざまなディスプレイに関する研究

山本ら [1] は, フィルム型透過スクリーンである DILAD スクリーン [2] の代替として, 安価に制作できる透過スクリーンであるアミッドスクリーンを開発し, プロジェクションマッピングを利用した宣伝広告への利用を提案した. このアミッドスクリーンは網戸のような網の間から投影元の光源や背景が透けて見えるという問題があった. 本研究ではスマートフォンにより上部から投影された映像をスクリーンに反射したものを体験者に見せるため, このような問題は発生せず, 小型ながら大きな画像を提示される没入感を保障できる.

八木ら [3] は霧による光の散乱が指向性を持つことを利用し, 円筒型のフォグスクリーンに対し, 多方向から異なる映像を複数のプロジェクタを用いて投影する手法を提案した. 体験者の視点位置に応じた映像提示ができ, さらに視点の移動によって運動視差を生じさせることにより, 立体感のある映像提示を行うことができる.

立体感を運動視差によって発生させるという点においては, 類似している. しかし, 本研究はシステムの小型化を目指しているため, 表示装置はスマートフォン 1 台である点で異なっている.

ほかにも特殊な材質を用いたディスプレイが様々ある. 例えば杉原ら [4] によるかぶり型水ディスプレイ, 水ディスプレイの特徴である球面性やシースルースクリーン機能などを用いて, アートの観点から作られたものである. また, 平山ら [5] によるシャボン膜を用いたタッチ入力可能な実体ディスプレイは, シャボン膜の持つ簡単に構成できる一方で, 表面の色が膜の厚みの差や外光によ

[†] 関西大学総合情報学部, Faculty of Informatics, Kansai University

[‡] 関西大学大学院総合情報学研究科, Graduate School of Informatics, Kansai University

て変化するなどの見た目に多様性があるという特徴を活かすことで、膜の破裂を検知することではハプティックな入力機能を与えたインタラクティブなアート作品を提案している。このような特殊な材質のディスプレイは材質に注目したものが多く、アートの意味合いが強いという点で本研究の趣旨とは異なる。

2.2 立体感提示手法に関する研究

石井ら [6] は、頭部の前後運動と左右運動とで奥行き知覚の度合いが変化することから、前後運動における運動視差の奥行き知覚が生じやすい条件を検証した。頭部の前後の動きによって運動視差が生じることで、立体感が提示されることが示されている。

また、谷ら [7] は高臨場感ディスプレイの位置づけと分類および広画角方式、立体方式、多面空間方式の開発や実用化の動向を調査・考察している。臨場感を従来以上に格段に向上させる為の今後のディスプレイに要求される機能として広画角、奥行き及び立体感、高精細を挙げている。立体感提示手法として、両眼視差知覚方式と多重知覚方式に分類している。両眼視差知覚方式では、人間の自然な立体知覚メカニズムと一致しない部分もあり、表示画像上の焦点と立体像を見る際の輻輳点が一致しないため、目の疲労などの原因となる場合がある。

一方で、自然に近いメカニズムで知覚させる多重知覚方式においては運動視差などで自然視に近い状態になるが、システムが大がかりになるためあまり進んでいないと述べている。また、広画角及び立体表示においては視覚的疲労を伴う場合もあるため、立体表示においては自然な立体視が可能である多重知覚方式の開発及び実現を推進すべきだと述べている。よって本研究においては、運動視差による多重知覚方式を用いることで立体感提示を行う。

3. システム

3.1 システムコンセプト

本研究では、比較的安価な装置を用いたスマートフォン利用型没入提示装置における、空間的な体験の向上を狙いとするよって本システムは、小型没入感提示装置に対し、1) ユーザの頭部動作に応じた提示スクリーンの駆動動作、および2) 複数レイヤーを用いた2次元画像の奥行き付与を行うことで、これまでの2次元動画提示に比べて空間的インタラクションを疑似的に感じられる没入システムとする。1) により、ユーザの動作による焦点距離や位置が変動することを体感でき、2) により前景と後景を分けた奥行き感のある提示が実現すると考えた。

3.2 システム概要

動画を反射させるレイヤーを複数枚重ね、それぞれに異なる2次元動画を投影することで体験者に遠近感を与える。

本システムのフローを図1に示す。体験者の頭部の動きを加速度センサで取得し、サーボモータでレイヤーを動かし運動視差を生じさせ、2次元画像をが3次元空間内に透過的に存在しているかのように見せることで体験者に空間没入感を与える。本システムを使用する際には、HMDを使用する際と同じように頭に装着する。装着後、頭部を動かすことでレイヤーが前後、上下左右に動作する。装着時の例を図2に示す。

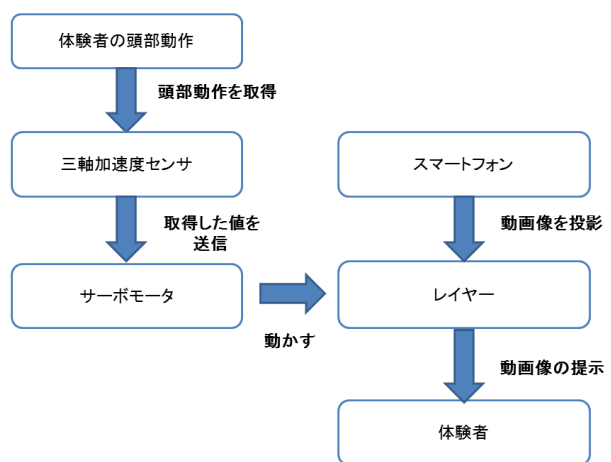


図1: フローチャート

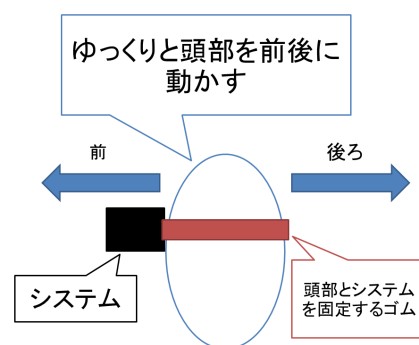


図2: システム装着時の体験例

3.3 小型没入感提示システムの装置構成

透過型スクリーンに対して動画を投影し、反射させることで体験者に動画が見えるように、疑似的なプロジェクション環境を構築する必要がある。そのため、本稿では、黒いプラスチックダンボールを用いて暗室の再

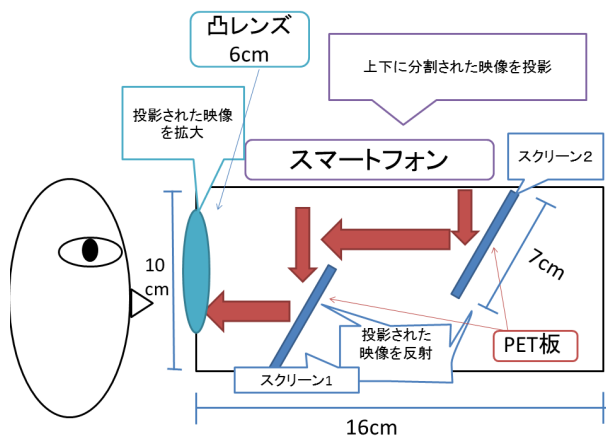


図 3: システム構成

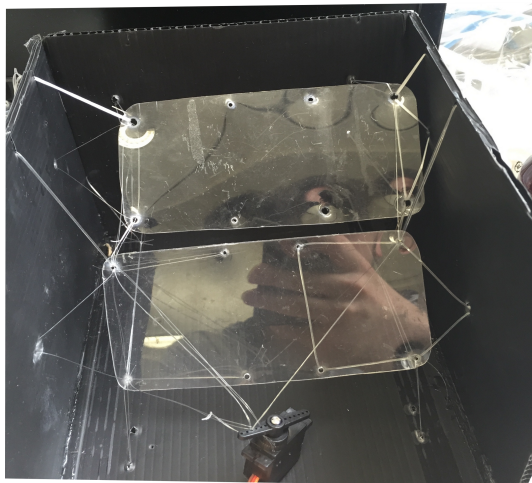


図 4: システム外観

現を行った (図 3)。全体構成を図 4 これにより、投影する動画を鮮明に提示する効果が期待できる。体験者はシステムに取り付けた凸レンズを通して動画を拡大して鑑賞する。

小型の没入感提示装置の構築を目的としているため、スマートフォンをプロジェクタとして用いることで、時間にとらわれずシステムを体験することを可能にした。また、複数のレイヤーを重畳表示に用いるため、透過型スクリーンとなるプラスチック板を、ユーザの目の方向に 45 度に配置し、上部に設置したスマートフォンの画面を半透明な状態で反射するよう設置した。スマートフォンに提示する動画の例を図 5 に示す。スマートフォンの事前設定として画面の明るさは最大に設定することで画像の明度を高くする。本稿では iPhone6 を利用した。投影する動画は前のレイヤーに投影するものと、後ろのレイヤーに投影する動画とで上下を分割しておく。



図 5: 提示画像の例 (上: 後景, 下: 前景)

図 5 では前のレイヤーに車を後ろのレイヤーにはビル街を投影する。

3.4 レイヤー駆動部構成

透過型レイヤーは透明であるため投影された動画がまるでそこに存在しているかのような感覚を与える。DILAD スクリーンと呼ばれる透過型スクリーンは高価であるため、本研究ではアミッドスクリーンやポリッドスクリーン [8] のような安価な透過型スクリーンを参考とし、PET 板を用いてレイヤーを構築した。ユーザの目の方向に 45 度のむきで設置された 2 枚のレイヤーの設置俯瞰図を図 6 に示す。このように、レイヤーを手前と奥に間隔を空けて複数枚重ね、それぞれに異なる動画を投影することで、半透明な動画が遠近感のある重畳表示となり、元の 2 次元画像にさらにこれらのレイヤーが、ユーザの頭部運動に応じた前後左右上下の動作をするよう駆動すれば、体験者が動いた場合に、立体感の提示を行うことが可能である。

この手法は運動視差立体視と呼ばれている。動画ではなくレイヤーが動くことで目の焦点が変わるため、2 次元映像の中のものが近づいてくるよりも強い臨場感、没入感を感じることができる。スクリーン枚数による見え方の違いを図 7 に示す。レイヤーが 2 枚の場合、体験者が見る動画はレイヤーが 1 枚のときに比べ、焦点距離の違いから、提示コンテンツに立体感や遠近感が感じられると考える。

これまでに針金を用いてレイヤーを固定した。これを加速度センサで計測したユーザの頭部動作に応じてサーボモータを動かし、レイヤーの距離を変化させることで遠近感に変化を生じさせ、ユーザに映像の中に存在しているという感覚を与えることを目指した [9]。しかし、この構成では、針金の柔軟性の問題で多方向制御に適していなかったことや、レイヤー表示部への重なりにより没入感が損なわれる恐れがあった。これらの問題を改善す

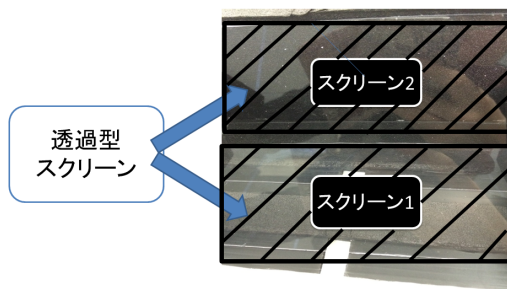


図 6: 2枚の可動レイヤーの俯瞰図

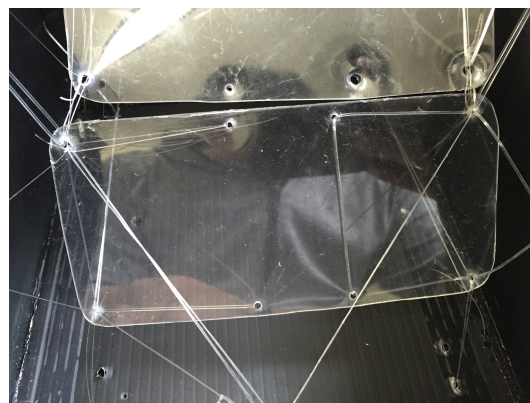


図 8: テグス牽引駆動レイヤー



図 7: スクリーン枚数による見え方の違い

るため、レイヤーを固定するため針金ではなくテグスと透過ゴムを用いることで、問題の解決を目指す(図8)。さらに、テグスとゴムを共通の穴に通すことで斜めへの動きも可能となった。

まずシステムを使用する際は、サーボモータの初期位置を90に設定し、サーボモータでテグスを引っ張ったり緩めたりすることで、ゴムの張力を利用してスクリーンを稼働させる。レイヤーを稼働させるためにテグスと透過型ゴムを用いたことで、スクリーンの後ろに針金などが見えなくなり、DILADスクリーンやアミッドスクリーンなどのような透過型ディスプレイと同じく、投影された動画像がその空間に存在している感覚を体験者に与える。レイヤー駆動部の構成の例を図9に示す。

4. 奥行き方向の複数レイヤーに関する予備検討

本稿では、複数枚のレイヤーを奥行き方向に配置することで、被験者が投影された2次元動画像に対し、立体感を感じるかについての予備実験を行った。

4.1 実験設定

仮説

本稿における実験を行うにあたって以下のような仮説を立てた。

- 複数のレイヤーに対して2次元画像を前景と後景に

分けて投影することで、被験者は投影された世界に対して立体感を感じる。

レイヤーの枚数を1枚と2枚の場合を比べ、2枚の場合の方が被験者の感じる立体感が強いと推測し、また閲覧する画像の差異によっても被験者が感じる立体感に影響がある場合を考え、それぞれ前景と後景の異なる画像を3枚用いて予備実験を行った。使用した画像3枚を図10に示す。



図 10: 実験用画像 上半分-奥 下半分-手前

被験者

総合情報学部の学生6人に参加してもらった。

実験システム

提案システムのレイヤー枚数を変更できるようにし、図11に示す3種類の画像をそれぞれ枚数の違うレイヤーに投影する。3種類の画像はそれぞれ背景及び前景が異なるものを使用した。

実験手順

実験者が提案システム上部に画像提示用スマートフォンを設置し、被験者がシステムを頭部に装着し、好きな

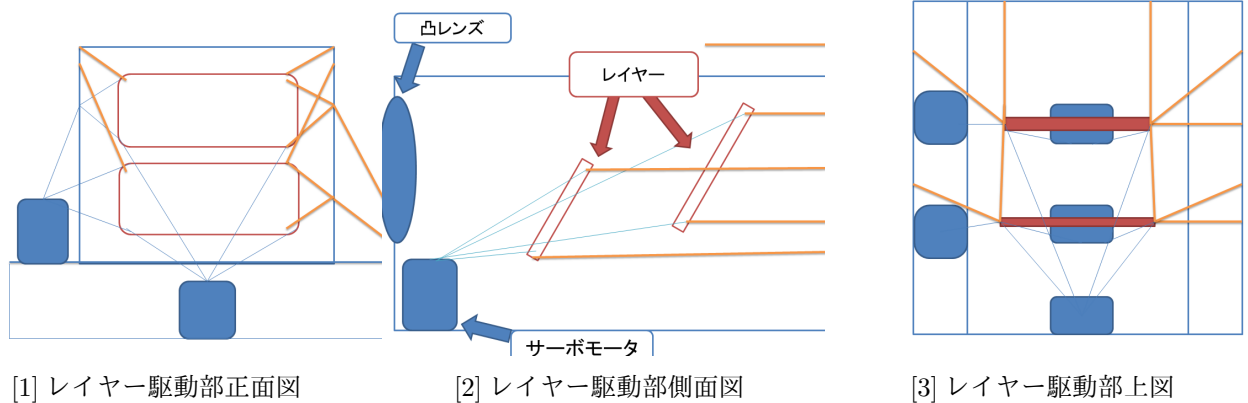


図 9: レイヤーの駆動例

時間だけ自由に閲覧してもらい、閲覧終了後、解答用紙の説明に従って、評価項目に回答してもらった。これを1セッションとし、条件ごとに繰り返した。条件は全て順序交差にて行った。

実験条件

要因としてレイヤーの枚数（1枚または2枚）の2通りの2水準、画像の違い3種類の3水準の合計6条件で行った。

評価項目

実験参加者は、以下の評価項目に5段階（1：あてはまらない 2：まああてはまらない 3：どちらでもない 4：まああてはまる 5：あてはまる）で主観評価を行った。以下に本実験における評価項目を示す。評価項目の設定に関しては、飯村ら[10]の実験の評価項目を参考にした。

1. 投影された世界が遠くにあると感じた
2. 投影された世界に立体感を感じた
3. そこに本物があるように感じた
4. 投影されたものが大きく感じた
5. 投影された世界に迫力を感じた
6. 投影された世界に違和感を感じた
7. このシステムをまた使いたいと感じた
8. 投影された世界を不鮮明に感じた

4.2 実験結果

今回は予備実験のため、平均及び標準偏差のみを記載する。検証した結果のグラフを図11に示す。評価項目2, 3, 4, 8において、レイヤーの枚数によって平均と大きな差が見られた。以上の結果からレイヤーが2枚の方が立体感を強く感じるという傾向が見られた。さらに、投影された世界が本物に感じたり、不鮮明に見えるという傾向が見られた。しかし、評価項目1, 5, 6, 7におい

ては余り平均に差が見られなかった。特に、評価項目5に関しては、他の項目においては、画像の違いにより平均に違いが生まれたが、この項目ではほぼすべての条件で平均に差が生じなかった。今後より被験者を増し、さらに細かいデータを得ることで、詳しい結果を検証する。

5. 考察

本稿での予備実験の結果として、画像の違いによって立体感に差が生じなかったことから、その差が生じた要因としてレイヤーの枚数の違いが大きいと考えられる。このことから画像の違いによって感じる立体感に差が生まれることはないと予想される。

また、投影された世界に対して迫力を感じなかった要因としては、被験者の動きに対して、投影された世界に変化がなかったことが原因であると考えられる。今後、頭部動作に応じたインタラクションをレイヤーおよび投影された世界に与えることで、立体感だけでなく投影された世界の迫力や、臨場感などを被験者に感じさせる要素を実装することで解決すると考えられる。

評価項目6の結果として、レイヤー1枚の場合に比べ、2枚の場合の方が投影された世界に違和感を感じる傾向があった。この項目に関しては、被験者によって評価の数値の差が大きかった。この原因としてはレイヤー2枚の場合、被験者が見る角度によって投影された画像の前景がぼけてしまったり、前景に対して後景の方が明るく見えたことがあると考えられる。この項目に関しては、被験者数を増やすことでさらに正確なデータを得ることで詳しく検証する。

評価項目8の結果として、レイヤー2枚の場合に画像に対して不鮮明だと、被験者が感じる傾向があった。この原因としてレイヤーやレンズが汚れていたり、評価項目6と同じく画像がぼけて見えてしまったことが影響し

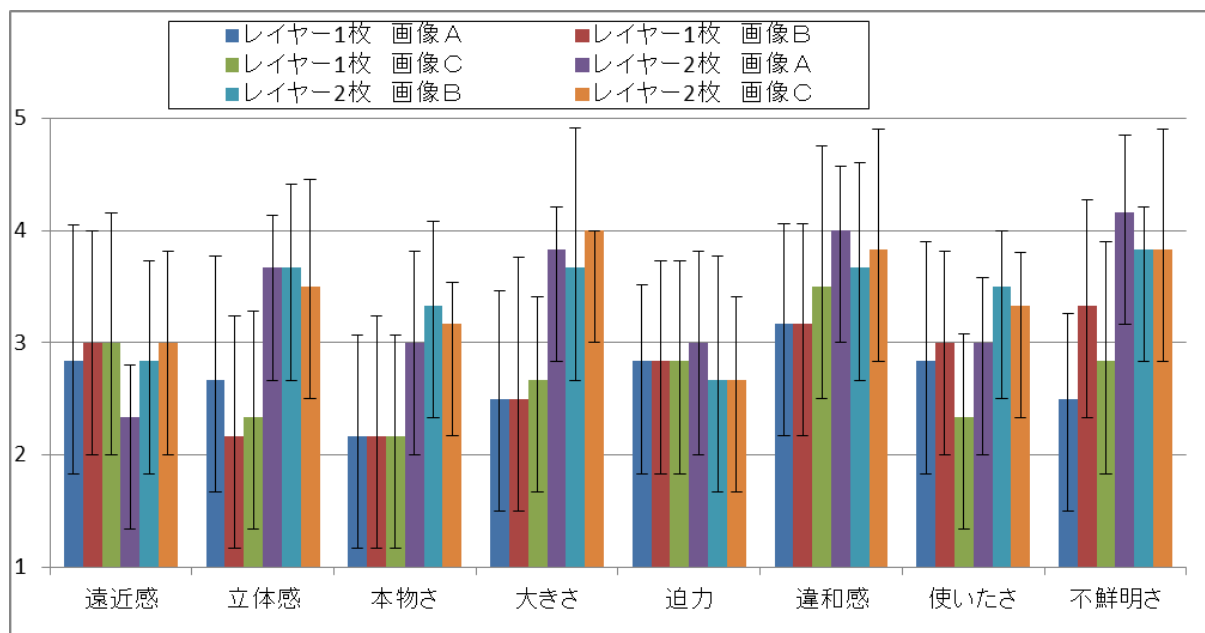


図 11: 平均と標準偏差

ていると考える。本実験を行う際は、実験開始前にレンズやレイヤーを綺麗に拭いておくことで正確なデータを得られるようにする。

6. おわりに

本稿では汎用性の高い小型の没入問提示装置において、コンテンツ体感時の空間的体験や立体感を高めることを狙いとし、1) 複数のプラスチック板によるレイヤーを用いて透明スクリーンの重畳表示を実現するとともに、2) それらのレイヤーを駆動可能にし、ユーザの動作に応じた焦点距離や焦点位置の変化を実現した。これにより、「映像中のある場所に立っている」という感覚ではなく「映像の中に自分が存在している」という感覚を体験者に与え、没入感を得られるシステムを提案した。奥行きに対して複数配置したレイヤーが立体感が与える影響に関してたしかめるための予備実験を行った。その結果から、立体感やリアリティへの評価は、複数レイヤーの重畳表示を用いることで高くなっていると考えられる。一方、迫力や違和感などの項目に関しては差は明確でない、もしくは、複数レイヤーの重畳表示のほうが評価が低い傾向が見られた。これらに関しては、被験者数を増加させ統計的分析を行うことで、今後詳しく検証する。

今後は、頭部動作に応じて提示される動画像を動作するアプリケーションを制作し、また、それに加え頭部動作と連携したレイヤー動作の有無による没入感への影響を実験を通して検証する予定である。

謝辞

本研究は科研費 15H01698, 24300047 および 25700021 の助成の一部を受け実施したものである。

参考文献

- [1] 山本建太 伊藤弘樹 菊池司, アミッドスクリーンを用いたプロジェクションマッピングによる宣伝広告の提案, 映像情報メディア学会技術報告 38(16), pp211-pp213,, 2014.
- [2] 株式会社きもと, DILAD スクリーン, <http://www.kimoto.co.jp/products/image/d.screen.html>
- [3] 八木明日香 井村誠孝 黒田嘉宏 大城理, 多視点観察可能なフォグディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 17(4), 409-417,, 2012-12-31.
- [4] 杉原有紀 館障, かぶり型水ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 6(2), 145-152, 2001-06-30.
- [5] 平山詩芳 家計康明, アート表現のためのシャボン膜を用いたタッチ入力可能な実体ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 16(3), 469-477, 2011-09-30.
- [6] 石井雅博 藤井稔, 前方・後方への頭部移動が生む運動視差と奥行き知覚～水平移動との比較～, 映像情報メディア学会技術報告 36(52), pp5-pp8, 2012.
- [7] 谷 千束, マルチメディア時代における高臨場感ディスプレイ, 映像情報メディア学会技術報告 23(1), 83-89, 1999-01-21.
- [8] ポリッドスクリーン, ポリッドスクリーン, <http://polidscreen.com/index.html>
- [9] 不破峻太 吉田直人 米澤朋子, 複数の可動透明反射板レイヤーを用いた没入感提示システムの提案, ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.17 No.1, 31-34, 2015-3-19.
- [10] 飯村浩平 小松剛 中村広幸 大倉紀子, 臨場感と現実感の評価の実験, 電子情報通信学会技術研究報告., MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, 112(106), 61-66, 2012-06-19.