



回転するハーフミラーを用いたペッパーズゴーストによる 全方位型立体像提示装置

柴田龍一¹⁾, 橋本渉²⁾, 水谷泰治²⁾, 西口敏司²⁾

Ryuichi Shibata, Wataru Hashimoto, Yasuharu Mizutani, and Satoshi Nishiguchi

- 1) 大阪工業大学大学院 情報科学研究科 (〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1, m1m21a23@st.oit.ac.jp)
2) 大阪工業大学 情報科学部 (〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1,
{wataru.hashimoto,yasuharu.mizutani,satoshi.nishiguchi}@oit.ac.jp)

概要: 本研究では、ペッパーズゴーストの投影面であるハーフミラーを鉛直方向に回転し、同時に全方位へ立体像を提示する。クロストークを防ぎ、法線方向へのみ映像を提示するため、視野角制御フィルムを用いてペッパーズゴーストの視域を制限した。しかし、視野角制御フィルムにより輝度が大幅に低下するという問題がある。そこで DLP 方式のプロジェクタを使用し、短距離に結像させることで輝度を高めることを目的とする。DLP 方式特有のカラーブレイキングが懸念されたが、回転速度を調整することでカラーブレイキングを低減できた。また、視認する上で十分な輝度が得られていることを確認した。

キーワード: 立体・空中像ディスプレイ, ペッパーズゴースト, ハーフミラー, 視野角制御フィルム

1. はじめに

本研究における立体像とは、拡張現実(AR)のような三次元映像が実空間に存在することをいう。これを表示するディスプレイのことをボリュームディスプレイと呼び、商品展示に使用されており、様々な技術で立体像を表示するディスプレイの総称のことをいう。

先行研究として、吉田は複数台のプロジェクタを用いることによって立体像を提示している[1]。複数台のプロジェクタを円環状に並べ、その中心にある円錐状のスクリーンに向かって投影することで、円錐の中心に立体像が提示される。また、Jones らは指向性スクリーンを高速に回転させることで、回転の中心に立体像を提示させている[2]。スクリーンは斜面になっており、上からのプロジェクタの映像を反射する。さらに、吉田らは広視野角なレンズアレイおよびレンチキュラーレンズを使用し、液晶ディスプレイをキューブ状に組み立てることで、キューブの内部に立体像を提示した[3]。

著者らはこれまでに、眼鏡型デバイスなどの人体に装着する機器などを使用せずとも、裸眼立体視することを目指し、ペッパーズゴーストによって生じられる空中像に着目した。ペッパーズゴーストとは、図 1 に示すように、ハーフミラーなどに映像などを観測者に対して反射させることで、ハーフミラー越しの背景と反射した映像が合成されたかのように見せる手法である。こうして見

える空中像を、ハーフミラーおよび映像ごとに回転させる。これによって、回り込んだ映像の提供ができるため、立体像の提示が可能となった[4]。このとき、隣り合う面での映像が見えるクロストークを防ぐために、モニタに視野角制御フィルムを設置し、光の拡散方向を抑制する必要がある。しかし、視野角制御フィルムの光線透過率は約 40% となるため、使用したモニタでは輝度値が不十分で、明るい環境では立体像を視認が難しくなる。

そこで本研究では、高輝度かつ短焦点の DLP 方式プロジェクタを用いることによって輝度を高め、視認性の高い立体像の生成を目指す。DLP 方式のプロジェクタではその構造上、動きが早い場面では三原色の像がずれてしまう、カラーブレイキングが生じる。そこで、ハーフミラーの回転速度を調整するなど、カラーブレイキングが生じない条件を模索する。また、十分な明るさの立体像が得られているかどうかを、輝度測定によって確認する。

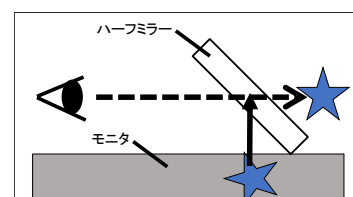


図 1 ペッパーズゴーストの原理

2. 立体像提示の概要

2.1 従来システムの構成

従来の立体像提示を行うためのシステム構成を図 2 に示す。逆ピラミッド状に組み合わせたハーフミラーをモータによって回転させ、角度にあった映像を、下に設置しているモニタに表示させることで、立体像の提示を行う。モニタに表示する映像は Unity を用いて作成する。

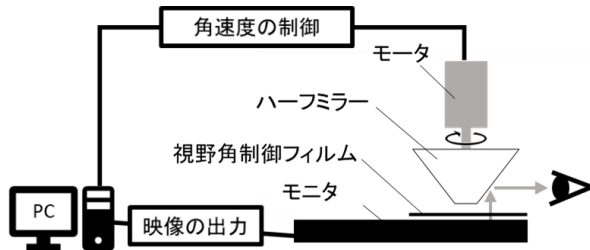


図 2 従来システムの構成図

2.2 使用機器

2.2.1 高リフレッシュモニタ

使用したモニタは、Lenovo 社製の Legion Y25-25 モニタである。採用理由は、画面の更新頻度であるリフレッシュレートが、一般的な 60Hz ではなく 240Hz と高いからである。本研究では、回転する透明板に対して映像を投影する。例えば、角速度 360 度/秒の場合、60Hz では 6 度ごとに画面を更新するのにに対して、240Hz では 1.5 度ごとに画面を更新できる。そのため、より細かい角度で立体像を提示できる。

2.2.2 ハーフミラー

本研究で使用するハーフミラーは図 3 に示すような、厚さ 0.2cm で上辺 21.6cm、下辺 3.6cm、高さ 12.6cm の台形状に切断し、逆ピラミッド状に組み合わせたものである。逆ピラミッド状に成形することで、回転軸の中心に立体像の提示を行うことが可能となる。



図 3 逆ピラミッド状に組み合わせたハーフミラー

2.2.3 視野角制御フィルム

ハーフミラーの形状を逆ピラミッド状にしたが、ペーパーゴーストによって生じられる空中像は水平視野角が 45 度以上あるため、角度によっては図 4 の赤丸内を示すように本来は見えない箇所に 2 つの像が見えてしまう。これは、画面から浅い角度で拡散する光を透明板が反射しているためである。そこで、視野角制御フィルムを使用し、

図 5 に示すように光の拡散を抑えることで、図 4 の右では図 4 の左のような像が見えなくなり、図 6 の右のように正面からは問題なく見ることができる。しかし、視野角制御フィルムが 1 枚のみでは、図 7 の左の黄色の円が示すように見える範囲を楕円形にしか制御できない。このような制御では、クロストークが発生する角度が生まれてしまう。そのため、視野角制御フィルムを直交するように重ねることで図 7 の右の黄色の円のように視野角が円形になり、どの角度からでもクロストークの発生を防ぐことができる。



図 4 視野角制御フィルムの有無による差 (左：無、右：有)

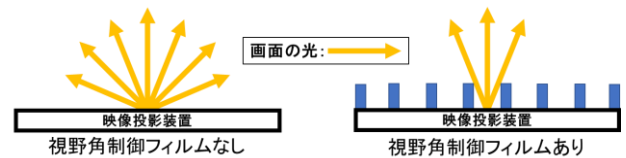


図 5 視野角制御フィルムによる光の拡散の違い

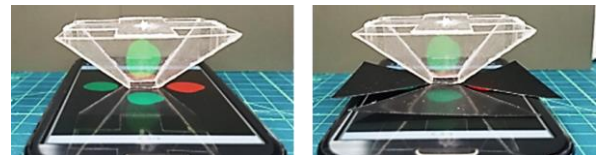


図 6 正面での視野角制御フィルムの有無による差 (左：無、右：有)

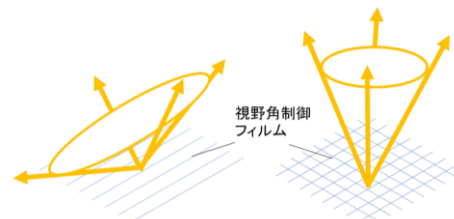


図 7 枚数による視野角制御フィルムの視野角の範囲 (左：1 枚、右：直交するように重ねた 2 枚)

2.3 従来システムの問題点

クロストークを防ぐ目的として視野角制御フィルムを 2 重に組み合わせているが、立体像の輝度が明らかに暗くなり、太陽の光が差し込むような明るい環境において立体像を視認する事が困難となる。そこで、視野角制御フィルムによって、どれほど立体像の輝度が低下するのかをカタログスペックから確認する。

2.3.1 確認方法

使用している視野角制御フィルムは左右 10 度の視野角制御を行うため、信越ポリマーが公開している光学特性表 [5]から左右 10 度まで 1 度ずつ透過率を抽出し、プロットしたものを図 8 に示す。視野角制御フィルムを直交するように 2 枚重ねているため、図 8 の結果を縦横で畳み込んで計算したものが図 9 である。この図の縦軸および、横軸の中心 0 の交点が視野角制御フィルムの中心を表し、そこから左右に何度傾いているのかを表している。2 重の視野角制御フィルムによって、最も透過する中心部においても光線の透過率 40%程となっていることが分かった。

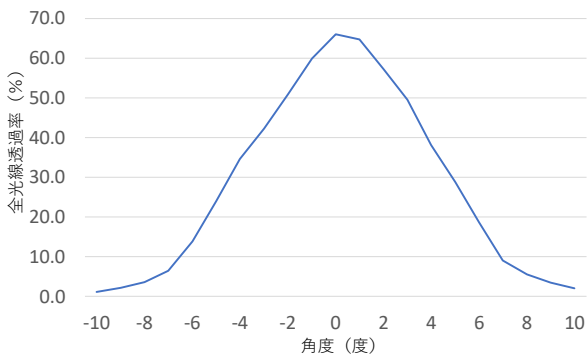


図 8 視野角制御フィルム単体の全光線透過率

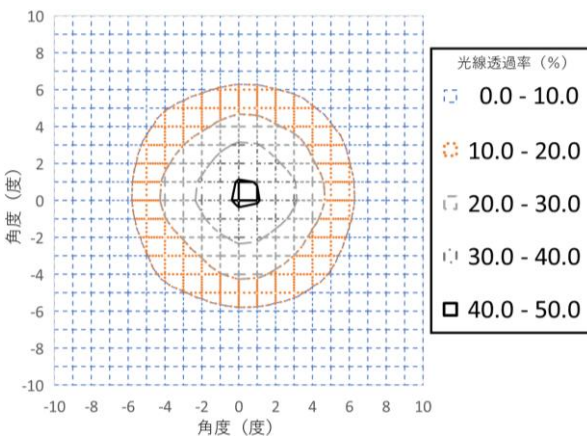


図 9 2 重にした視野角制御フィルムの光線透過率

2.4 提案システムの構成

提案システムの構成を図 10 に示す。立体像の輝度を高めるため、DLP 方式で焦点距離が短い NEC 社製の NP-V300X プロジェクタを用いた。投影距離を短くして輝度を高めるため、ハーフミラーから 1m 程離れた位置に設置した。また投影面にはトレーシングペーパーを用いた。このプロジェクタの明るさは 3000 ルーメンである。ただし、DLP 方式のプロジェクタのため、ハーフミラーの高速回転により三原色が分かれて表示されるカラーブレイキングという現象が発生すると予測される。

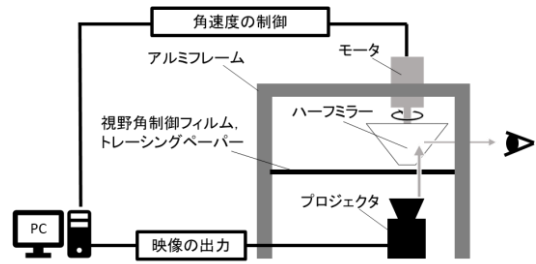


図 10 提案システムの構成図

3. カラーブレイキング

実際に立体像を回転するハーフミラーに投影したところ、カラーブレイキングを目視で確認した。そこで、どの回転速度から、カラーブレイキングが発生するのかを定量的に確認し、最適な回転速度を模索するために、立体像を 120fps の高速で撮影できるカメラを使用し、フレーム単位で確認する。

3.1 カラーブレイキングの確認方法

カラーブレイキングの確認のために使用したカメラは PointGrey 社製の GRAS-03K2M-C で 120fps で撮影が可能で、これをハーフミラーから 70cm ほど離れたところから撮影する。映像はグレースケールで表示されるため、撮影した動画をコマ送りし、カラーブレイキングによる映像のずれを確認する。

3.2 カラーブレイキングの確認

図 11 はハーフミラーの回転速度を 180 度/秒、図 12 は 360 度/秒にしたものである。図 12 の一部を拡大すると、像が 2 重になっているのが確認できる。そのため、今回使用したプロジェクタでカラーブレイキングを起こさずに表示できる回転速度は、180 度/秒程度であることが分かった。

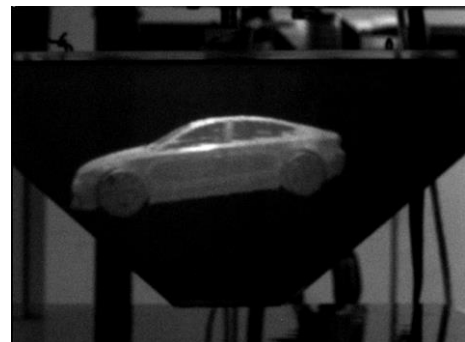


図 11 ハーフミラーの回転速度が 180 度/秒での映像

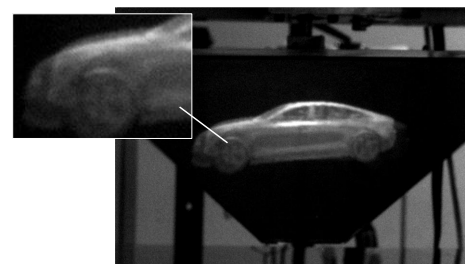


図 12 ハーフミラーの回転速度が 360 度/秒での映像

4. 輝度測定評価

4.1 2重の視野角制御フィルムによる光線透過率の低下

クロストークを防ぐために、信越ポリマー社の視野角制御フィルム(VCF1002000-PC200)を2重にし、立体像の輝度がどの程度低下するのかを測定し求めた。そして、低下した輝度を改善させるために、プロジェクタを使用した結果、目視において太陽が差し込むような明るい環境でも、十分な輝度が確保されていることを確認した。そこで、モニターとプロジェクタから提示される映像の輝度を測定し、輝度がどれほど改善されたのかを確認する。

4.2 立体像の輝度の測定方法

立体像の輝度を測定するために、デルタオーム社製の輝度計(MODEL HD2102.2)に輝度を測定するプローブ(LP471LUM2)を使用した。これを図13に示すように、ハーフミラーから7cm離れた位置に設置し、ハーフミラーに投影した白色の画像(RGB値:255, 255, 255)から立体像の輝度を測定した。また、視野角制御フィルムの有無によって輝度がどれほど低下するのかを調べるために、視野角制御フィルムを設置した状態としない状態で、モニターおよびプロジェクタの4種類のパターンで測定を行った。測定中は機器の回りを遮光し、環境光が入らないように注意した。

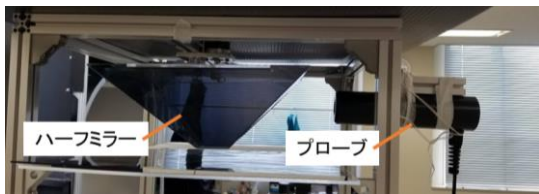


図13 輝度測定のための機器設置位置

4.3 測定結果

モニターおよびプロジェクタでの測定結果を表1に示す。モニターからプロジェクタに変えることによって、輝度は約32倍増加することが分かった。また、視野角制御フィルムによって、輝度は35%にまで低下していることが分かる。

今回使用したモニターに実験で使用した白色の画像を表示させた時の輝度値は180.6cd/m²のため、視野角制御フィルムが有る状態のプロジェクタから提示される立体像の輝度値1127.6cd/m²は視認する上で十分な輝度値が確保できていると考えられる。

表1 モニターおよびプロジェクタの輝度測定結果

	モニター	プロジェクタ
視野角制御フィルム無し (cd/m ²)	94.7	3179.0
視野角制御フィルム有り (cd/m ²)	34.5	1127.6

5. おわりに

本稿では、視野角制御フィルムによって低下した輝度を高め、視認性の高い立体像の生成することを目的とし、映像投影装置をモニターから高輝度かつ短焦点のDLP方式プロジェクタに変更した。DLP方式のプロジェクタではカラーブレイキングが予測されるため、発生する回転速度の模索を行い、回転速度が180度/秒程度であればカラーブレイキングが発生せずに、立体像を提示出来ることが確認した。また、映像投影装置をモニターからプロジェクタに変更したことで、クロストークを防ぐ目的として使用した視野角制御フィルムによって低下した立体像の輝度を、向上させることが輝度値の測定結果から確認した。今後は立体像の視認性向上を目指し、他の投影方式のプロジェクタやより正確にカラーブレイキングが発生しない回転速度について調べたい。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K11415 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 吉田俊介：“メガネなしテーブル型3Dモニター技術fVisiOn”，The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan vol.45 No.3, pp392~396(2016)
- [2] A. Jones, I. McDowall, H. Yamada, M. Bolas, P. Debevec：“Rendering for an Interactive 360° Light Field Display”，ACM Transactions on Graphics, vol.26, No.3, Article 40, (July 2007)
- [3] 吉田俊介, R. Lopez-Gulliver, 矢野澄男, 安藤広志, 井ノ上直己：“gCubik:手に取り複数人で観察可能なキューブ型裸眼立体ディスプレイの実装手順”，映像情報メディア学会誌 vol.64, No.4, pp.570~576(2010)
- [4] 柴田龍一, 橋本 渉, 水谷泰治, 西口敏司：“回転透明板を用いた立体視が可能なペッパーズゴーストの視認性の向上”，映情学技報, vol.45, No.3, AIT2021-142, pp.1~4(2021)
- [5] 信越ポリマー株式会社：“SN-VCF 超狭視野改”，<https://www.shinpoly.co.jp/ja/product/product/vcf/n-vcf/main/011113/teaserItems2/00/link/sn-vcf%20-01.pdf>，(参照日：2022年7月18日)