

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04226

研究課題名（和文）被らさずかざさず直接見る「パブリックAR」を開拓するガラス窓虚像表示技術の研究

研究課題名（英文）Glass window display technology for "public AR"

研究代表者

圓道 知博（Yendo, Tomohiro）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：70397470

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、「ガラス窓」に注目し、これにARの表示デバイスとしての機能を持たせることを目的として、微小ハーフミラーの集積による透明ミラーアレイスクリーンを提案する。ガラス窓に提案スクリーンを設置し、表示デバイスの画像をこのスクリーンに反射させることによって、ガラス窓の向こうの現実空間と虚像と重ねて観察することができる。微小ハーフミラーアレイの設計法や像の歪み低減方法を提案し、シミュレーションによって原理を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はARを指向し、ガラス窓のような垂直に設置された板状の透明デバイスを用いて、デジタル映像の虚像を現実を重ねて表示する技術を確認する基礎的な提案である。ガラス窓によって重畳表示が実現されれば、普遍的に存在するガラス窓を新しい映像メディアに変貌させ、これまでない映像表現を開拓することとなる。観光業をはじめゲーム・イベント等のエンターテインメント・広告など幅広い応用先と経済波及効果が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focus on the "glass window" and propose a transparent screen consisting of an array of micro half-mirrors, with the aim of making it function as a display device for AR. By installing the proposed screen in a glass window and reflecting the image of the display device onto this screen, the user can observe the real space beyond the glass window superimposed with an imaginary image. We proposed a design method for the micro half-mirror array and a method for reducing image distortion, and confirmed the principle through simulations.

研究分野：三次元映像表示

キーワード：拡張現実

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

拡張現実(Augmented Reality: AR)は一般社会にも広く認知されるようになってきており、例えばスマートフォン用のゲームであるポケモン GO は社会現象と言われるほどの人気を博した。また AR グラスとも呼ばれるシースルー型 HMD(Head Mounted Display)を利用した AR は建築分野の事前シミュレーションやメンテナンス作業支援等で実用となりつつある。このように発展が著しい AR であるが、そのほとんどはシースルー型 HMD やスマートフォン等の携帯端末を利用するものとなっている。しかしながら利用者が個々に携帯する機器を使用しなければならない現状の形態では、利用できるシーンが限られてしまい、AR が持つ潜在的な可能性を大きく損なっているのではないかと懸念されている。もっと手軽に、利用者側が特に機器を使用することなく、現実空間に映像を重ねて見せることはできないだろうか？

残念ながら、SF 映画に登場するような、何も無い空中に映像を浮かび上がらせることは非常に困難である。現状で唯一それを実現している方法として、空中に不可視のレーザー光を照射・集光しプラズマ発光させるというものがあるが、表示可能な空間は装置近傍の狭い範囲に限られており、遠景に地名を重ねて表示するといったことはできない。したがって現実的には何らかの光学的なデバイスを用いて、現実世界からやってくる光と、バーチャルな物体や文字表示等のデジタル映像を表示する光とを重ね合わせて観察することとなる。すなわち、その光学デバイスを通した向こうに現実世界が透けて見える、広い意味での透明なディスプレイが必要となる。

本研究では、世の中に最も普遍的に存在する透明デバイスと考えられる「ガラス窓」に注目し、これに AR の表示デバイスとしての機能を持たせることを考える。ガラス窓での重畳表示が実現されると、例えば列車の窓に用いて車窓から見える風景に解説を加えることや、従来は実際の商品等を「ディスプレイ」するだけであった街中のショーウィンドウで、実物体とデジタル映像を混在させた新しい表現が可能となる。

ところで、単に透明なディスプレイであれば、液晶や有機 EL によるものが既に実用化されているが、それらでは AR に利用するには不十分である。その理由は、それらのディスプレイの画像はディスプレイのある場所、すなわちガラス面上に知覚され、重ね合わせて同時に見たい現実空間の風景とは奥行きが離れてしまうからである。

2. 研究の目的

本研究は、誰もが手軽に利用できる「パブリック AR」を標榜し、利用者が個別に機器の使用を使用することなく、ただ見るだけで現実空間とデジタル映像とを重ねて観察できる「ガラス窓」虚像表示技術の確立を目的とする。

HMD 以外で光学的重畳表示を行う主な既存技術として、透明な 2D ディスプレイを用いる方法、Pepper's ghost の原理に基づくもの、自動車用ヘッドアップディスプレイ(HUD)(ウィンドシールドまたはコンパインの反射を用いる方法)が挙げられるが、ガラス窓で AR 表示を実現する上で、既存技術では解決できず主な課題となるのは以下の 2 点である。

- ほとんどのガラス窓は地面に対して垂直である
重畳表示に関する多くの研究例や、博物館やテーマパーク等で実際に見られるものは“Pepper's ghost”の原理に基づき「傾斜した」ハーフミラーを用いており、自動車用 HUD の多くはフロントガラスの傾斜を利用しているか、傾斜したコンパインを用いている。通常のハーフミラーでは虚像と表示デバイスの画面とがミラーに対して面対称の位置関係となるため、地面に垂直なハーフミラーを用いてその向こうに虚像を作るには、表示デバイスを観察者の視線を遮る位置に設置することとなり実現不可能である。
- 窓の向こうの遠い景色に奥行きを合わせた虚像表示を実現する
平面鏡を用いれば虚像を作ることができるが、これは近距離に限られる(傾斜ハーフミラーの例)ので、遠くに見える像を作るには一般には凸レンズや凹面鏡を用いた結像系が用いられる(自動車用 HUD の例)。しかしガラス窓は通常平面であり、凹面鏡にすることは非常に困難である。また通常の結像光学系は収差の影響により大口径のものを実現することが難しく、ガラス窓のような大きな表示領域を実現するのは非常に困難である。

これらの課題を解決するため、本研究では新たに微小ハーフミラーの集積による透明ミラーアレイスクリーンを提案する。ガラス窓に提案スクリーンを設置し、表示デバイスの画像をこのスクリーンに反射させることによって、ガラス窓の向こうの現実空間と虚像と重ねて観察できる技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

下記の項目について理論的検討をおよびシミュレーションにより評価を行った。

- ハーフミラーアレイによって作られる虚像の特性の分析
- ハーフミラーアレイの法線分布決定法

● 歪み補正法の検討

4. 研究成果

提案手法の全体構成は図 1 に示すように、表示用装置とハーフミラーアレイを内蔵した透明なスクリーンで構成される。スクリーンは表示用装置からの光線を反射する。反射光線の方向はハーフミラーアレイ内の各ミラーの法線方向によって決定される。ハーフミラーの法線方向は位置によって異なる。

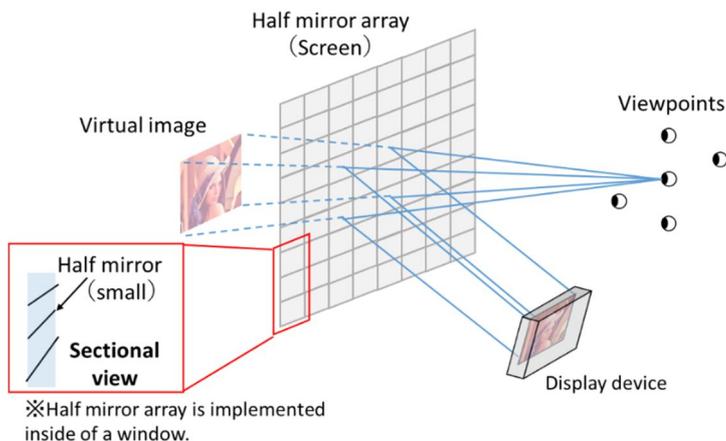


図 1 提案手法の全体構成

中心視点において理想的な虚像が観察されるようにハーフミラーアレイの法線分布を定めてシミュレーションを行ったところ、図 2(a)に示すように他の視点から観察した像に歪みが生じた。白い四角形は各視点での理想的な画像の外枠を示している。

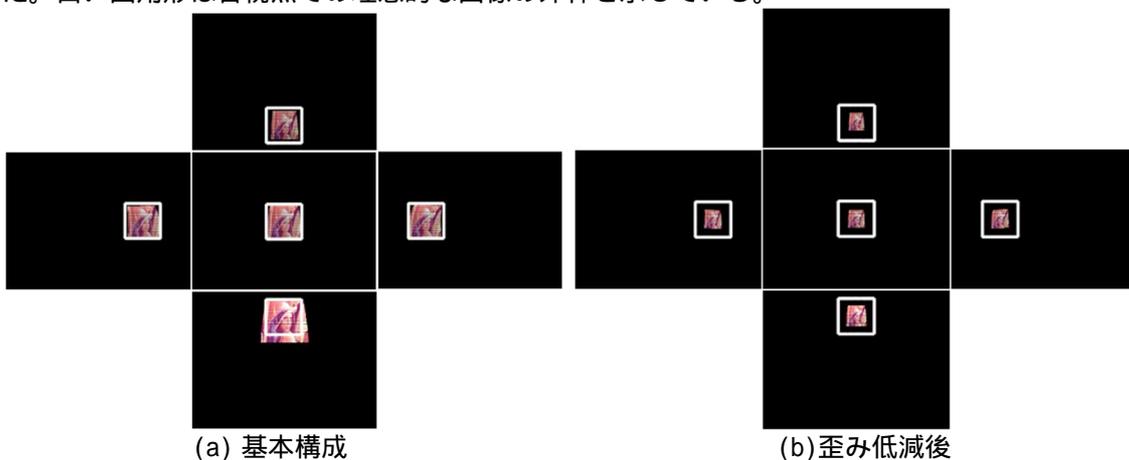


図 2 各視点から観察される虚像

この歪みに対し、ハーフミラーアレイの法線分布、表示用画面の配置と形状を最適化することに改善を試みたところ、図 2(b)に示すようになった。歪みの程度には改善が見られたが全体的に理想に比べて画像が小さくなった。

次に、歪みの補正法として図 3 に示すように表示画面にレンチキュラーシートを用いて視点位置に応じて表示画像を切り替える方法を提案し、検討を行った。

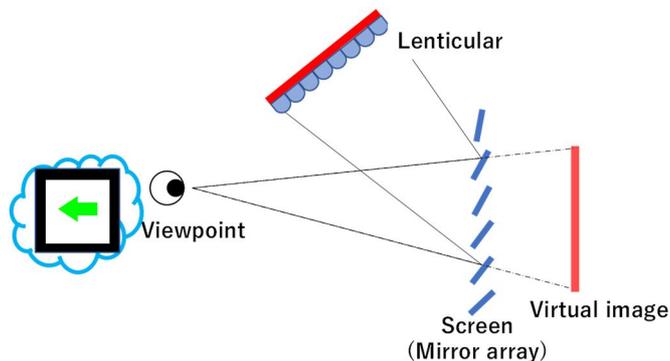


図 3 レンチキュラーシートを用いた歪み補正法

画像の歪みは主に視点が上下方向に移動した場合に大きく、左右方向に移動した場合は小さいことから、レンチキュラーシートは視点が上下方向に移動した場合に画像が切り替わる向きで用いた。この手法についてシミュレーションで評価を行ったところ、図4に示すように歪みの低減が確認された。

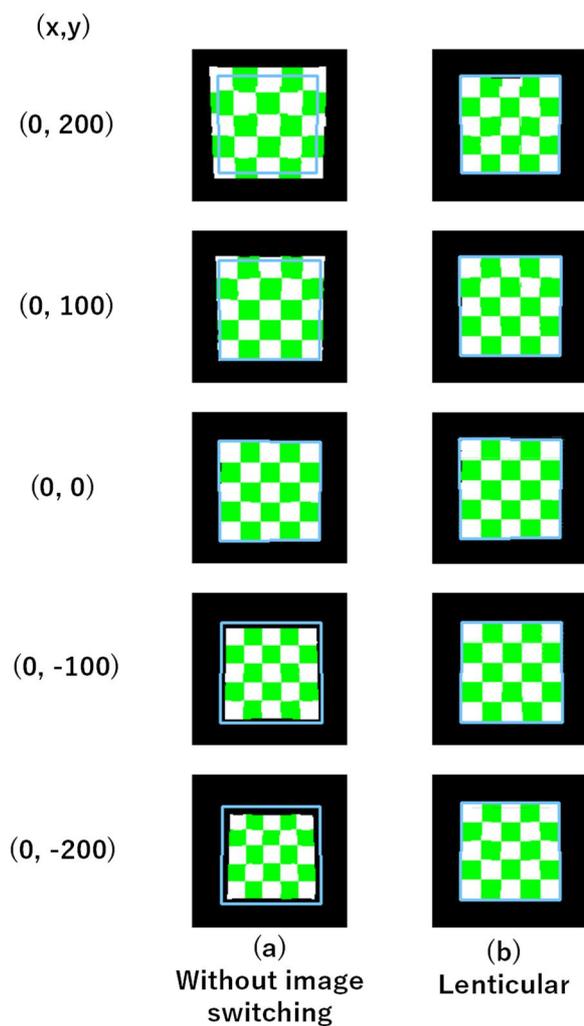


図4 レンチキュラーシートを用いた歪み補正の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Yano Hiroaki, Yendo Tomohiro	4. 巻 11
2. 論文標題 [Paper] Light-field Display Using Kaleidoscope-like Optics and Single Projector	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 43 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.11.43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamauchi Masaki, Yendo Tomohiro	4. 巻 11
2. 論文標題 [Paper] Light Field Display Using Wavelength Division Multiplexing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 49 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.11.49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsunaga Hiroaki, Yendo Tomohiro, Arai Shintaro, Yamazato Takaya	4. 巻 15
2. 論文標題 Exposure Synchronization in Optical Camera Communications for Time Division Multiplexing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2023.3247908	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yano Hiroaki, Yendo Tomohiro	4. 巻 66
2. 論文標題 Wide-viewing-zone Light-field Capturing Using Turtleback Convex Reflector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Imaging Science and Technology	6. 最初と最後の頁 060406-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2022.66.6.060406	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Yano, T. Yendo	4. 巻 -
2. 論文標題 Kaleidoscopic Display: easy-to-make light-field display	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. ACM SIGGRAPH Asia	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3476124.3488627	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Nakashima, T. Yendo	4. 巻 -
2. 論文標題 360° see-through full-parallax light-field display using Holographic Optical Elements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. IS&T Electronic Imaging	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2352/EI.2022.34.2.SDA-310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Sato, K. Fujii, T. Yendo	4. 巻 30
2. 論文標題 Development of Vertical Diffusive Reflection Screen with Background Transparency for AR 3D Display	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. The International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 664-667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.36463/idw.2023.0664	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N. Murakoshi, K. Fujii, T. Yendo	4. 巻 30
2. 論文標題 HOE Screen Generating Multiple Viewpoints for Transparent 3D Display	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. The International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 678-681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.36463/idw.2023.0678	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Shiratori, K. Fujii, T. Yendo	4. 巻 30
2. 論文標題 Depth Enhancement of Time Multiplexed Light Field Display by Multilayering Display Surface Using Two Lens Arrays	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. The International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 1270-1273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.36463/idw.2023.1270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 R. Kida, K. Fujii, T. Yendo	4. 巻 30
2. 論文標題 Distortion Reduction of Transparent Display Perceived Beyond the Surface of the Display Using Small Mirror Array Screen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. The International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 1280-1283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.36463/idw.2023.1280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Inaba, K. Fujii, T. Yendo	4. 巻 30
2. 論文標題 Reduction of Image Distortion for Vertically Shifted Viewpoints on Superimposed 3D Display Viewable from 360 Degrees	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. The International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 1284-1287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.36463/idw.2023.1284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 H. Yano, T. Yendo
2. 発表標題 Wide-viewing-zone Light-field Capturing Using Turtleback Convex Reflector
3. 学会等名 Image Sensors and Systems Conference in Electronic Imaging Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	坪根 正 (Tsubone Tadashi) (50334694)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------