

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 園田 哲理

本論文は「オーグメンティドリアリティのための頭部搭載型プロジェクタに関する研究」と題し、7章からなる。近年、実世界にコンピュータで得られた情報を加えて実世界を増強するオーグメンティドリアリティ（拡張現実、AR）の研究開発が進められている。ARのための機器としては、See-Through HMD（透視式頭部搭載型ディスプレイ、ST-HMD）と、HMP（頭部搭載型プロジェクタ）があるが、提示における実世界と情報世界との遮蔽矛盾を解決し、かつ、提示機器で使用者の顔を隠してしまわないフルオープン方式は実現されていなかった。本論文では、再帰性投影技術（RPT）を用いたフルオープン型 HMP を提案し、その設計法を明確にし、実機を構成して、提案法の有効性を実証したものであり、AR 応用への道を拓いている。

第1章「序論」は緒言で、本研究の背景となる AR の概念について触れ、AR 環境を視覚的に実現するためのディスプレイについて、従来研究を示しながら述べ、機能要求を定義している。特に、ウェアラブルで AR 環境を実現する ST-HMD や RPT による HMP などの AR ディスプレイにおける、遮蔽矛盾や狭隘な視野、使用者の顔が機器により隠されてしまうなどの問題解決の必要性について考察し、遮蔽矛盾無く提示可能でかつ使用者の顔を隠さないフルオープン型の AR 機器を構築する方式を提案し、その設計指針を導いて行くという本研究の目的と立場と意義とを明らかにしている。

第2章は、「フルオープン型 HMP の構成」と題し、既存の ST-HMD における問題点を解決する方式として、使用者の瞳孔径より小型のフルミラーを目の前に配置するフルオープン型 HMP を提案している。フルオープン型 HMP の光学系では、スクリーンとする再帰性反射材が、光線の入射方向を中心として投影光を再帰反射しつつ、ある程度の拡散反射を持っている必要がある。この入射方向に対するオフセット角を持った反射特性は、オフセット角が  $1[\text{deg}]$  になるまでに反射光の輝度が急激に減少する。ハーフミラーを用いる RPT 光学系、提案のフルオープン型 HMP の光学系、頭部側面からの投影による光学系の 3 つを構成し、画像投影による比較を行ったところ、提案法であれば、ハーフミラー光学系と遜色がないが、頭部側面からの投影では鮮明な映像が得られず、従って、顔の側面から投影するというような安易な方法では目的が達成できず、提案方式の光学系が必要であるとしている。

第3章は「フルオープン型 HMP の設計検討」と題し、フルオープン型 HMP において、小型軽量で、かつ広視野角を実現するための投影光学系について種々の設計方式を示し、比較を行っている。ここで目標とする視野角は、上方の実視野角で  $42.4[\text{deg}]$ 、提示視野角は水平  $45[\text{deg}]$ 、垂直  $34[\text{deg}]$  とし、比較設計方式としては、実視野角の確保の点から 3 案、提示視野角の確保の点から 4 案、両方の視野角の確保を目指した 2 案の計 9 案を示し比較している。その後、前述の比較で好成績であった 2 案について、実際に実験装置を作成し比較投影実験を行い、結果、組合せレンズによる光学系の短焦点化の方式が最も効果的であるとしている。

第4章は「フルオープン型 HMP "X' TALVISOR"の実装と評価」と題し、第3章において比較基準

とした光学系を用いた試作機 X'talVisor1 と、視野拡大のための方式として最終選択した組合せレンズによる光学系の短焦点化方式に基づいて設計し試作した X'talVisor2 を比較している。X'talVisor1 は提示視野角が水平 26.2[deg]、垂直 19.8[deg]であるのに対して、X'talVisor2 は水平 32.5[deg]、垂直 26.2[deg]と提示視野角が向上している。なお、X'talVisor2 では画像素子の交換により、本来の設計値である水平 45[deg]、垂直 34[deg]の提示視野角を達成可能である。次に、従来のハーフミラーを用いた光学系による HMP を基準として、X'talVisor1 と X'talVisor2 を比較すると、投影輝度は、RPT ハーフミラー光学系が最大 2.8[cd/m<sup>2</sup>]に対して、X'talVisor1 では最大 12.5[cd/m<sup>2</sup>]、X'talVisor2 では最大 12.3[cd/m<sup>2</sup>]と向上、コントラスト比は、RPT ハーフミラー光学系に対して、X'talVisor1 では最大+2.7[dB]、X'talVisor2 では最大+16.9 [dB]と、特に X'talVisor2 で著しい改善が確認されている。空間解像度については、RPT ハーフミラー光学系が視力換算で 0.06 相当に対して、X'talVisor1 が 0.51、X'talVisor2 が 0.33 での画像提示が可能であることが示されている。さらに、X'talVisor2 の視差による立体画像の提示性能について検証するために、提示画像、実物体双方の指標を用いて、被験者による奥行き知覚実験を行い、実験の結果、被験者個人による差が大きいものの、視差画像が融像している場合には被験者全体で弁別閾が 200[mm]程度、被験者によっては 100[mm]以内であり、十分に実用にたえるとしている。

第5章は「レイグジスタンスへの応用」と題し、提案した HMP を、遠隔地の相手と臨場感を伴ったコミュニケーションを可能とする相互レイグジスタンスに応用している。本応用例では、再帰性反射スクリーンで構成されたダミーボディに対して、遠隔地の相手の立体画像を投影することで、臨場感のある対面コミュニケーションをとることが可能となるというものである。X'talVisor を使用しているため、使用者の顔が、実際の顔としてダミーボディに投影されるため、ダミーボディが使用者であるかのような感覚がダミーボディを見る人に生じる。顔がみえ表情もわかるので自然なコミュニケーションが可能となる。なお、ダミーボディ内には 1 対のカメラを備えており、使用者は、このダミーボディの中にあるような臨場感をもってレイグジスタンスが可能となり相互レイグジスタンスが成立する。

第6章は「ユビキタスコンピューティングへの応用」と題し、もう一つの応用の方向性として、場所や形状を問わずあらゆる場所に配置可能な実世界指向インタフェースであるユビキタススクリーンへの応用を提案している。ユビキタススクリーンは、画像を投影する再帰性反射スクリーン、ユーザの入力を検出する触覚センサ、スクリーンの位置姿勢をトラッキングする赤外線画像認識マーカの機能を統合し、安価かつ高機能な情報入出力装置としての機能を持つ。提案したユビキタススクリーンの実現可能性を示すために、スクリーンをバーチャルなピアノとして演奏することができるデモンストレーションの実装を行い動作を確認している。

第7章「結論」は結語で、本論文の結論をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本論文では、提案したフルオープン型 HMP について小型軽量で広視野角の達成を目標として、そのための設計法を明確に示し、その設計法に基づいた試作機を実装し有用性を示して、今後のオーグメントリアリティのためのディスプレイ機器の設計論への道を拓いたものであって、システム情報学、特にバーチャルリアリティ学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。