

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 藤井 賢吾

本論文は「再帰反射による空中結像を用いた空中ディスプレイ光学系の多機能化に関する研究」と題して、空中ディスプレイの新しい光学設計を明らかにするものである。空中ディスプレイ技術は、フィジカル空間とサイバー空間を融合した将来の高度情報化社会（いわゆるSociety5.0）における情報インターフェース技術として期待されている。昨今の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大を受けて、エレベーターのボタンや病院の受付会計端末などの操作パネルを非接触化する技術として空中ディスプレイの社会実装が加速している。このように、現在実用化されている空中ディスプレイは突然の需要に即応するために、従来の空中表示光学系にセンシングユニットを後付けして実装されているものであり、撮影と表示を統合するような光学設計はなされていない。これまでの空中ディスプレイ光学系においては、ユーザーの姿の取得、操作に対する感覚フィードバックの提示、実物体に重畳する拡張現実（AR）表示において多くの課題を残している。

本論文において、これらの課題を解決するために空中ディスプレイの新規光学系が提案され、プロトタイプの開発により光学設計の有効性が示される。空中映像の形成には、再帰反射素子を用いることで広い範囲から光を集束することで空中に映像を形成する技術、すなわち、再帰反射による空中結像（AIRR: aerial imaging by retro-reflection）が用いられる。AIRRの構成要素は、光源、ビームスプリッター、再帰反射素子の3要素であり、これらを巧みに組み合わせることで光学系に機能を持たせることが可能になることを本論文で実証している。

第1の光学系の機能は、AIRR構成の内部カメラからのシースルーユーザー撮影である。偏光変調を用いることでビームスプリッターの反射で生じる光源の映り込みを除いてユーザーを正面から撮影可能とする。この機能はビデオ通話における視線一致や、動物実験向けの映像提示と撮影に有効である。第2の光学系の機能は、リアルタイム空中3D表示である。レンズアレイを用いて撮影された3D情報を空中に拡大して表示する光学系を明らかにした。第3の光学系の機能は、視覚と聴覚のマルチモーダル化である。AIRRを構成する再帰反射素子にボイスコイルを取り付けることでスピーカーの機能を実現している。第4の光学系の機能は、実物体と観察者の間に空中映像を形成することによるAR表示である。

本論文は7章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景、本研究の動機と目的が示される。

第2章では、これまでの空中ディスプレイ技術のレビューと、本研究の位置づけが示される。

第3章から第6章において、上記の4種類の光学系の原理と実証実験が記述される。

第7章では、本論文のまとめと今後の展望が記述される。

本論文については、令和4年8月9日に審査委員ならびに関連分野の研究者等の出席のもとで、公聴会が開催され、論文内容の発表および質疑応答が行われた。公聴会終了後に審査員全員による学位審査委員会が開催され、本論文の内容が詳細に検討された。その結果、偏光変調を巧みに用いて撮影機能を有する空中ディスプレイの光学設計や物体の上に映像を重畳表示するAR表示などの光学系の新規性と、視線一致ビデオ通話や空中ディスプレイのマルチモーダル化による豊かな情報インターフェース応用などの有効性が認められた。つまり、本研究によって得られた成果は工学的な価値が高く、研究内容の学術レベル、研究としての独創性・実用性において優れたものと判断した。

以上により、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。