

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 中村 俊輝

ユーザの視界中に拡張現実（AR）の情報を表示するARグラスを活用し、遠隔からの業務指示や支援の取り組みが進んでいる。この様なARグラスでは作業者が視野の広い範囲に図面や作業指示書を視認できる広い画角の表示機能と、作業視界を阻害しないシースルー性が強く求められている。近年では、接眼部に透明で平板状の導光板を用いて映像を投影する導光板方式の研究が活発になされている。本論文では、導光板方式の中でも回折格子を利用した導光板に着目し、ARグラスに適用する導光板の広画角化および輝度均一化技術について研究を行った。以下に、各章の要約を示す。

第1章は、序論である。各種情報表示手法の特性を比較することで、現実と仮想の世界を融合するデバイスとして、ヘッドマウントディスプレイの優位性と問題点についてまとめ、本研究の目的と位置づけなどについて述べた。

第2章では、ヘッドマウントディスプレイの画面表示に関わる光学的な背景について述べている。ヒトの眼の視覚機能から、虚像投影の基本原則、表示映像の評価指標、さらに本論文で着眼する導光板方式について詳しい動作原理や現状の課題を提示し、本研究が取り組むべき方向性についてまとめている。特にガラス基板表面に回折格子を低コストで形成できる表面掘り込み回折格子導光板に関して、光線角度と回折格子との相互作用回数が画角毎に大きく異なることや、光線波長や入射角に対する回折効率の依存性を原因として、画角全体での輝度不均一性の課題があることを示した。

第3章では、表面掘り込み回折格子導光板における輝度の均一性の向上と導光板内での光損失を低減すべく、回折格子をセグメント化し、各回折格子の溝深さを個々に変化させて最適化を行う手法を提案し議論を行った。本手法による最適化設計により、水平画角 35° 垂直画角 20° において $315 \text{ cd/m}^2/\text{lm}$ を達成し、光利用効率は従来の導光板と比較し37%増加させることができた。さらに画角全体にわたる輝度均一性も33%から47%へ向上した。一方で、表面掘り込み回折格子導光板では、多層構造が不可欠であること、また理想的な回折格子を仮定しても、これ以上の輝度均一性や画角の大きな向上は見込めず、限界があることを明らかにした。

第4章では、複数の回折格子を同一の場所に重畳記録できる体積ホログラムを活用し単層化されたヘッドマウントディスプレイ導光板の広画角・輝度均一化の手法について検討を行った。体積ホログラム導光板の数学的モデルを構築し、導光板内の信号光と体積ホログラムの相互作用体積を考慮して、観察者が見る虚像を分析した。相互作用体積の変化により、回折光強度が光線角

度ごとに変化し、虚像の輝度均一性が低下するという体積ホログラム導光板特有の課題があることを明らかにした。さらに、この課題に対して、本研究では線対称イメージ入力法による画角の拡大手法を提案した。この手法は、入力画像内の線対称点から来る別の光線によって相互作用体積の変動を補償することで視認像の輝度ムラを低減させる方法である。本手法を用いることにより、従来の体積ホログラム導光板と比較して2倍以上となる水平画角 60° 垂直画角 60° に渡って輝度均一性49%を達成することができた。

第5章では、体積ホログラムのOff-Bragg回折光が表示解像度に及ぼす影響について議論を行った。第4章で構築した導光板の解析モデルに、意図しない方向への回折光であるOff-Bragg回折プロセスを組み込み、表示画像への影響度について定量的な評価を行った。その結果、表示映像に十分な解像度を与えるために必要な導光板厚さは1 mm以上であること、さらに、導光板内で照明領域が減少する光線角度ではOff-Bragg回折が増大し、画面の輝度が低下する画角では、解像性能が著しく低下することを見出した。また第4章で提案した線対称イメージ入力法は、この解像性能の問題に対しても有効に働き、劣化した点像の広がりを92%低減することを示した。

第6章では、ヘッドマウントディスプレイ光学系の今後の展望として、従来の導光板技術と、本研究で実施した広画角・輝度均一化の技術の水準比較を行った。また、さらなる飛躍に向けて、ホログラムの記録技術、フルカラー対応、アイボックスの2次元化、超小型ライトエンジンとの接続技術などの研究が重要であることを論じた。

第7章は、本研究の成果をまとめ、全体の結論とした。