

事業成果報告書

事業の名称	前眼部疾患を持つロービジョンユーザーの視覚補助を行う小型・広視野角の網膜投射方式メガネ型ディスプレイの研究開発
事業の概要	視覚障害者でもAR/MRの体験が可能になる小型・広視野角の網膜投射眼鏡型ディスプレイの光学系の構成を実証する。また、視覚障害者であっても、眼鏡型ディスプレイに設置されたカメラ画像とユーザーの視野を一致させることができる調整方法（カメラシステム）を検討する

【研究開発の実施内容と成果】

実施内容

■広視野角の画像表示を可能にする網膜投射型光学系の小型化（緑単色）

今年度の成果として、下記を得られた。

- ・ 緑単色・視野角60度・解像度720pの小型の網膜投射型グラスの新規光学系提案
（本提案について特許出願準備中）
- ・ 映像実験により、縦解像度720本達成を確認。横解像度は428以上640本未満
- ・ 解像度が足りなかった横方向について、解像度劣化の原因を解明。改善策を提案

上記の成果について詳細を述べる。

ホログラムの挙動を正確にシミュレーションできるプログラムを自作し、ホログラム2枚とレンズで構成できる光学系で、視野角水平60°、画質劣化の少ない構成を見つけることができた。この光学構成案を元に、外注先（カラーリンク社）にて、市販ソフトを用いた光学シミュレーションを行い、ホログラム2枚とレンズ（市販品）の最適配置を計算した。この最適配置を求める際、NTT-AT社のホログラムの回折効率を計算するソフトを用い、問題ないことを確認しながら検討を行った。また、メガネの形状を3DCADでモデリングしながら光学配置に問題がないか確認しつつ計算を進めた。

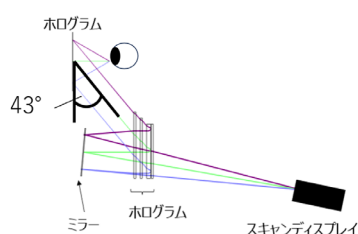


図1 応募時の光学構成

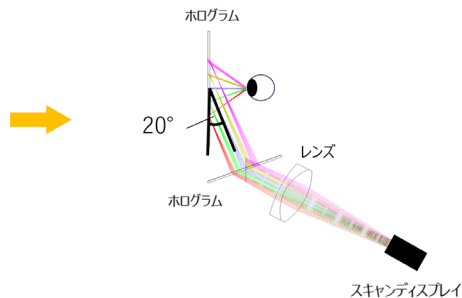


図2 提案した新規光学系

この結果を元に、必要な緑単色のホログラムを2枚、マクスエンジニアリング社で露光し、光学盤上で組立てた。レンズは市販レンズを用いた。映像確認を行った結果を図3に示す。視力0.1未満の研究者3名でも裸眼で文字を読むことができた。しかし、パワーポイントに表示した24ptの文字までははっきり読めたが、20ポイントの文字はぼやけてしまった（図3（a））。また、縦線と横線ともに2ピクセル太さの線を表示させたところ、横線は細いが、縦線がかなり太くなってしまった（図3（b）部屋を暗くして撮影）。

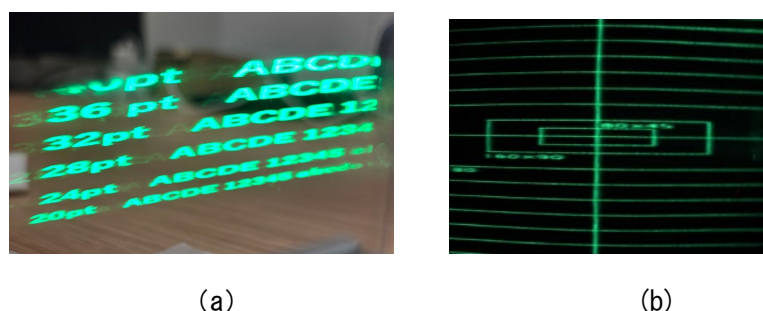


図3 観察できた虚像

視野角について、作製したホログラムと映像照射範囲からの計算では、水平 60° 以上（ 74° ）は達成できている。



図4 縦解像度検証用画像（例）

図4のような緑と黒の縞を表示させ、解像度を定量的に評価した。その結果、縦解像度は720本分解できていることが確認できた。一方横解像度は、428本分解できていることは確認できたが、640本は分解できなかった。測定方法の都合上、横解像度は、1280本、640本、428本の解像可否しか測定できず、その間の解像度を測定することはできない。

実験条件を光学シミュレーションに反映させ、横方向の解像度が出なかった原因をカラーリンク社でシミュレーションを行いながら解析した。その結果、使用したレーザースキャンディスプレイから出射されるレーザーのビーム径が細すぎるため、解像度が十分に出せない状態（回折限界）であることがわかった。図5, 6は実験光学系の空間周波数特性を示したグラフである。縦軸がOTF（光学伝達関数）、横軸が空間周波数であり、光学系の解像性能を数値化したものである。横軸は「分解できる縞模様の細さ」を示し、大きくなるほど、細かい線が分解できることを示している。縦軸はコントラスト比の良さ、映像の鮮明さを示している。OTFが0になると、像は潰れて見えなくなる。グラフに回折限界の曲線も示したが、回折限界よりも高い解像度は出せない。

計算の結果、縦720本に相当する空間周波数は15.6cycles/deg、横1280本に相当する空間周波数は65.6 cycles/degであった。シミュレーションからも、縦720本は問題なく分解できることがわかる（図5）。

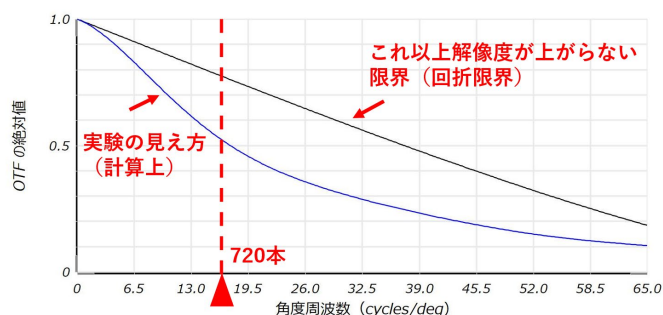


図5 縦方向の空間周波数特性

しかし、横解像度に関しては、回折限界と実験光学系の特性が重なっており、約480本以上の線は潰れて見えなくなることがわかる（図6）。これにより、実験結果は計算通りであることが示された。

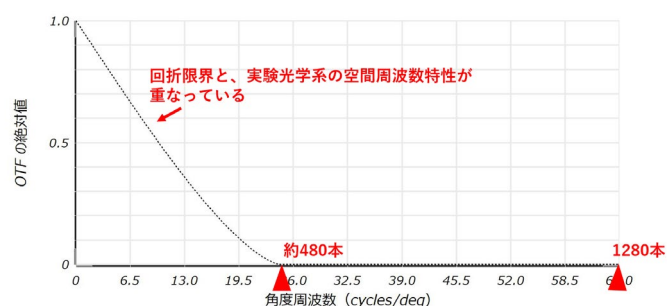


図6 横方向の空間周波数特性

また、ビーム径を2倍にすれば1280本の映像が観察できることが確認できた。

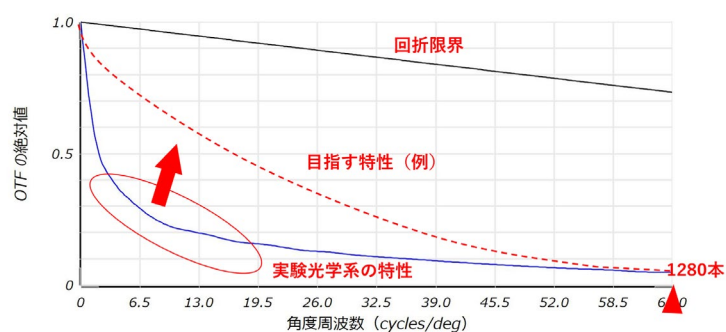


図7 ビーム径を2倍にした際の空間周波数特性

図7の青線がレーザーのビーム径を太くした際の特性であり、レーザーのビーム径を太くするだけでも1280本が解像できるが、低周波数側のOTF値が低い。これは、全体的にぼやけた映

像になることを意味している。くっきりした鮮明な映像にするには、低周波領域の値を向上させる必要がある。そのためには、市販の球面レンズではなく、非球面レンズを用いればよい。まだ製造可否検討が必要な状況ではあるが、非球面レンズを数枚用いることで低周波数側が高くなることは確認できた。また、非球面レンズの採用で光路短縮も可能になることが確認できた。図8に検討の一例を示した。非球面レンズを4枚用いているが、光路を短縮できていることがわかる。

この設計はまだ基礎検討であり、さらに、組立・製造可能なレンズに落とし込む作業（公差検討・詳細設計）が必要になる。非球面レンズが複数枚であることは、スマートフォンのカメラレンズも5〜6枚が通常であることから、商用化の際に問題にはならない。

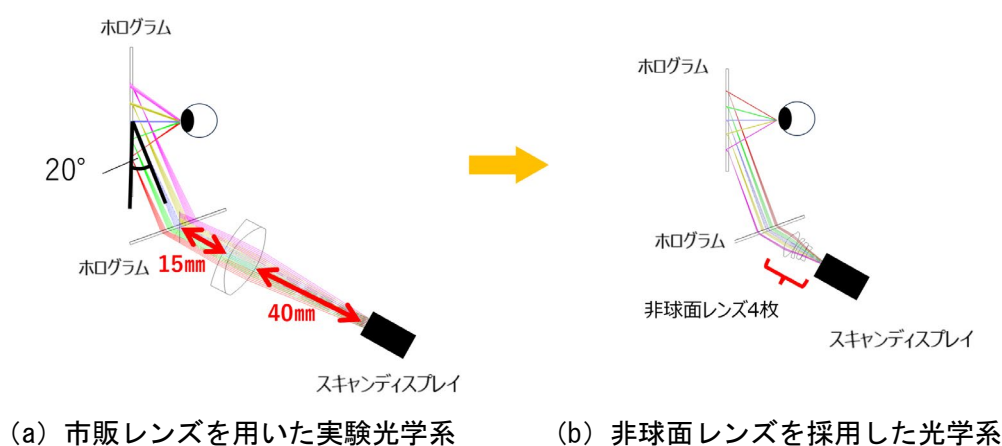


図8非球面レンズ採用による系の小型化例

また、小型化に向けたメカ設計の準備も行った。TriLite社の小型レーザースキャンディスプレイを固定および調整機構の検討しながら治具を設計し、作製した。また、来年度に向け、ビーム径をどの程度太くするかを検討するために、今の装置でのレーザービーム径を測定した（1.1mm程）。

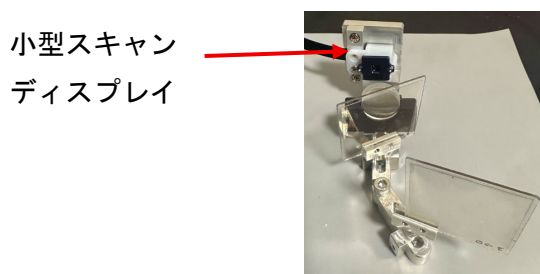


図9 小型レーザースキャンディスプレイ用メカを検討するための検証用治具

■AR/MR実現に向けたカメラ画角と視野を一致させるカメラシステムの実装

今年度の成果として、下記を得られた。

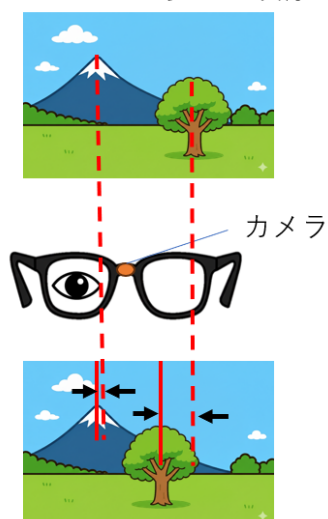
・カメラ画角と現実世界の位置を調整するソフトウェア作成および課題の明確化

具体的には、市販されているスマートグラスXrealOneとXrealEyeというカメラを用いて、カメラで撮影した映像を、ユーザーの視野と合うようにグラスに表示するシステムをパイケーク社に外注して実装した。外付けのダイヤル式のコントローラで、カメラ画像の拡大縮小、左右上下の位置調整ができるようになっている。また、実装したシステムを用いて研究者3名で、周囲の景色とカメラ画像の位置・画角を合わせる操作をしたところ、下記の課題が判明した。

- ・カメラ画像の一部を切り取って拡大表示しているため、表示される映像の解像度が低い
- ・近距離の物を指標として位置を合わせると、遠方の部分が合わない。逆に遠方の物体を指標に位置を合わせると近距離の部分が合わない
- ・頭が動いたときにカメラ画像が少し遅れてついてくるので、調整中に頭が動くと、どこに合わせていたのかわからなくなる

近距離と遠方が一度に調整できないのは、カメラが目の位置から離れているからである。図10のように、カメラから見える映像と目で見える映像とでは、遠方の物体（山）と近い物体（木）のずれ量が異なるため、カメラの画像を切り取って左右上下に平行移動しただけでは、カメラ画像エリア全体を視野と一致させることはできない。その位置ずれを補正するには、カメラ画像内に映っている物体の奥行情報を取得し、その情報をもとに画像補正を行う必要があることがわかった。

カメラから見える映像



人の目で見える映像

10図 遠方物体と近景のずれ



後ろの壁の線がずれている



図11 カメラ画像と実世界景色のずれ