

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 08601

研究開発課題名 ホログラフィックコンタクトレンズディスプレイを実現する革新的基盤技術の開発

(1) 研究開発の目的

サイバー空間を現実空間と一体化させる Society5.0 のバックボーンとなる Beyond5G の能力を最大限に活用し、人々の豊かな生活を実現するためには、生活の中に溶け込む AR 技術の実現が必要になる。本研究開発では、次世代の AR 技術実現のために、目の中に入れることができるコンタクトレンズディスプレイの実現を目標とする。しかし、コンタクトレンズディスプレイには「コンタクトレンズ内の表示デバイスに目がピント合わせできない」という根本的な問題がある。本研究開発では、その解決に「ホログラフィー技術を用いて自然な目のピント合わせを可能にする」という独自の原理を用いる。将来の幅広い普及を可能にするために、ソフトコンタクトレンズと同程度の薄さで高い酸素透過率と含水性をもつ形での実現を目指す。そのためには、従来とはレベルが異なる革新的な小型化・薄型化技術の開発が必要となる。本研究開発は、ホログラフィックコンタクトレンズディスプレイを実現するために最も基盤となるコア技術の研究開発に取り組み、実用化の可能性を明確化することを目的とする。

ホログラムコンタクトレンズディスプレイが実現すれば、インターネットに接続されているサイバー空間と目が直接接続されることになり、必要な情報をいつでもどこでも即座に入手可能になるため、Beyond5G が提供する「拡張性」が最大限活用されるようになる。

(2) 研究開発期間

令和 6 年度から令和 8 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東京農工大学<代表研究者>

国立大学法人徳島大学

学校法人早稲田大学

シチズンファインデバイス株式会社

株式会社シード

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 6 年度 100 百万円 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 ホログラム像形成技術

1-a. 超薄型レーザーバックライト (国立大学法人東京農工大学)

1-b. 視野角拡大技術 (国立大学法人東京農工大学)

1-c. シースルー特性改善技術 (国立大学法人東京農工大学)

1-d. ホログラム計算法 (国立大学法人徳島大学)

研究開発項目 2 超小型・超薄型空間光変調器開発

2-a. 透過率向上技術 (シチズンファインデバイス株式会社)

2-b. 画素微細化技術 (シチズンファインデバイス株式会社)

2-c. パネル化技術 (シチズンファインデバイス株式会社)

研究開発項目 3 超小型電子デバイス開発

3-a. 薄型アンテナおよび共振結合回路 (学校法人早稲田大学)

3-b. 小型回転角センサ (学校法人早稲田大学)

研究開発項目 4 コンタクトレンズ内蔵技術

- 4-a. 構造開発（株式会社シード社）
- 4-b. 防水技術（株式会社シード社）
- 4-c. 溶出検査（株式会社シード社）
- 4-d. 組み立て技術（株式会社シード社）

研究開発項目 5 視機能への影響評価

- 5-a. 焦点合わせ（国立大学法人徳島大学）
- 5-b. 外界との融合（国立大学法人徳島大学）
- 5-c. 眼球運動との整合性（国立大学法人徳島大学）

（6）特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	7	7
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	35	35
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	14	14
	展示会	4	4
	受賞・表彰	3	3

（7）具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 ホログラム像形成技術

1-a. 空間光変調器をレーザー照明する超薄型レーザーバックライトの実現方法について研究を行った。そのために専用のレーザー露光光学系を設計・作製した。厚さ 0.2 mm のレーザーバックライトの作製から始めて、最終的に厚さ 0.1 mm のものを実現した。導波路内での光の全反射を用いて入射レーザー光を2次元的に拡大し、空間光変調器の表示面の大きさ 2 mm×2 mm の四角形のビームに変換することを可能にした。以上により、超薄型レーザーバックライトを実現するための知見を得た。

1-b. サイバー空間にある空間データをホログラフィックコンタクトレンズディスプレイに表示するために、ポリゴンで構成されるデータから波面データへ変換する技術について研究した。そのために、ポリゴンから多視点画像を生成し、ライトフィールド波面変換を行う技術を開発した。また、リアリティある映像表現が可能で、かつ既存技術や今後発展するだろう技術を有効に活用するために CG 技術や GPU を用いた。ソフトウェアを開発し、9,128 個のポリゴンで構成されるデータから画素数 1,280×1,280 の複素振幅形式の波面データに変換することに成功した。以上により、波面データへの変換に関する知見を得た。

研究開発項目 2 超小型・超薄型空間光変調器開発

2-a. 空間光変調器の透過率向上に関する研究を行った。そのため、空間光変調器を構成するガラス、合成石英、シリコン基板の透過率向上のため、まず透過率測定評価装置を構築した。次に研磨加工によりガラス基板は 0.03mm、合成石英基板は 0.015mm、シリコン基板はケミカル加工も加えて 0.003mm までの薄型化を実現し、基板厚さと透過率の関係性を評価した。さらに、屈折率マッチングやその他構成材料を含めた最適化設計検討を行い、新たに多層膜を開発し、可視光領域での透過率向上を確認した。以上により、空間光変調器の透過率向上の実現に関する知見を得た。

2-b. 今年度は画素微細化技術構築の初期調査・検討として、既存 LCOS の消費電力、画素容量、画素面積などの現在値と目標値のスペック差に関する調査や、画素微細化に適した半導体プロセスの調査を行い、シリコンバックプレーンは従来の SOS 構造よりも画素微細化ができる SOI 構造が適していると判断し、当初計画より先行して消費電力シミュレーションや目標画素ピッチに対する画素設計に着手した。以上により、画素微細化に関する知見を得た。

2-c. 今年度はパネル化技術構築のための初期調査・検討に加えて、当初計画より先行して目標の位相変調量 2π を得る液晶パネル設計、小型化のためのシール幅の狭小化、研磨による薄型化に着手した。その結果、現状で、目標の位相変調量を備え、従来の半分のシール幅(0.25mm)で、総厚 0.16mm の薄型化の液晶パネルを実現した。以上により、各パネル化技術の肝となる技術開発の狙いどころに関する知見を得た。

研究開発項目 3 超小型電子デバイス開発

3-a. 今年度は、半導体微細加工技術および無電解メッキ技術などを組み合わせることで、直径 8 mm 以上 12 mm 以下、厚み 0.1 μm 以上 100 μm 以下、幅 0.05 mm 以上 1 mm 以下のアンテナを作製することに成功した。以上により、無線通信アンテナを実現する知見を得た。

3-b. 今年度は、眼の回転角を無線で計測できるセンサの開発に取り組んだ。回転角度センサレンズを実現するために、①計算機シミュレーションによる検出器アンテナおよびレンズに搭載する無線センサの解析、②実際のデバイス試作(メガネ式検出器およびレンズ型センサの開発)、③眼の回転角を測るための回転角制御装置を開発した結果、眼の上下回転角(最大 26°)を無線で計測することに成功した。以上により、回転角計測を実現する知見を得た。

研究開発項目 4 コンタクトレンズ内蔵技術

4-a. ホログラフィックコンタクトレンズディスプレイの基本設計を、3D-CAD を用いて行った。アンテナ、レーザーバックライト、空間光変調器を防水性薄膜パリレン C 膜で包摂し、角膜上での回転を防ぐトーリックデザインを採用したソフトコンタクトレンズに内蔵する設計を行った。以上により、薄型のソフトコンタクトレンズとして実現するための知見を得た。

4-b. 電子部品を水分から保護する防水性薄膜について研究を行った。そのために、水蒸気透過率測定装置を導入し、実験により防水性薄膜に適した材料を検討した。その結果、パリレン C 膜と医用シリコン樹脂(MED6010)を用いると、目的とする水蒸気透過率 10 g/m²/day 以下が達成できることが判明した。以上により、防水性薄膜に用いる材料に関する知見を得た。

4-c. 内蔵部品から物質が外部に溶け出す危険性を評価する溶出検査を、電子部品に対して行った。すべての研究開発項目で利用する可能性がある電子部品について調査し、アンテナの銅、空間光変調器のホウ素を候補物質として選定した。これらに対して溶出検査を実施したところ、生理食塩水中浸漬で溶出量は検出下限以下(測定不能)であることが判明し、該当する研究開発項目へ情報提供した。以上により、電子部品由来の物質の透過が極めて低い確率でしか起こらない知見を得た。

研究開発項目 5 視機能への影響評価

5-c. 眼球運動との整合性を評価するため、目の回転角センサの代わりにアイトラッカーを用いて、眼球運動を 2,000 Hz で、画像更新遅れを 5.6 ms で計測できるシステムを構築した。このシステムを用いて、眼球運動に対応した画像変化(回転角補償)に対する時間遅れの影響を評価した結果、時間遅れの許容値が約 100 ms 以下であるという知見を得た。また、回転角補償により、ヘッドマウントディスプレイと同様な視野角拡大効果が得られるかを評価した結果、表示視野角 5° 以上で視野角の拡大効果が得られるという知見を得た。

(8) 今後の研究開発計画

2025 年度

研究開発項目 1 ホログラム像形成技術

「1-b. 視野角拡大技術」と「1-d. ホログラム計算法」について研究を行う。

研究開発項目 2 超小型・超薄型空間光変調器開発

「2-b. 画素微細化技術」と「2-c. パネル化技術」について研究を行う。

研究開発項目 3 超小型電子デバイス開発

「3-a. 薄型アンテナおよび共振結合回路」と「3-b. 小型回転角センサ」について研究を行う。

研究開発項目 4 コンタクトレンズ内蔵技術

「4-b. 防水技術」について研究を行う。

研究開発項目 5 視機能への影響評価

「5-a. 焦点合わせ」について研究を行う。

2026年度

研究開発項目1 ホログラム像形成技術

「1-c. シースルー特性改善技術」と「1-d. ホログラム計算法」について研究を行う。

研究開発項目2 超小型・超薄型空間光変調器開発

「2-b. 画素微細化技術」と「2-c. パネル化技術」について研究を行う。

研究開発項目3 超小型電子デバイス開発

「3-a. 薄型アンテナおよび共振結合回路」と「3-b. 小型回転角センサ」について研究を行う。

研究開発項目4 コンタクトレンズ内蔵技術

「4-c. 溶出検査」と「4-d. 組み立て技術」について研究を行う。

研究開発項目5 視機能への影響評価

「5-b. 外界との融合」について研究を行う。