

神奈川工科大学

先端工学研究センター

研究報告

第 29 卷

2024 年度

研究推進機構

目次

- ・異種材料集積導波路型光機能デバイスの基礎研究

工学部 電気電子情報工学科 中津原 克己

応用バイオ科学科 市村 重俊

応用バイオ科学科 和田 理征

創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新

創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 三栖 貴行

工学部 電気電子情報工学科 工藤 嗣友

情報学部 情報工学科 木村 誠聡

健康医療科学部 管理栄養学科 澤井 淳

- ・認知行動特性に基づく人間中心設計に関する研究

情報学部情報システム学科 高尾 秀伸

(ナノテクノロジー研究室・超高速光機能回路研究室 報告書)
異種材料集積導波路型光機能デバイスの基礎研究

研究者名：工学部 電気電子情報工学科 中津原 克己
応用バイオ科学科 市村 重俊
応用バイオ科学科 和田 理征
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 三栖 貴行
工学部 電気電子情報工学科 工藤 嗣友
情報学部 情報工学科 木村 誠聡
健康医療科学部 管理栄養学科 澤井 淳

1. 研究の目的

光電融合技術は、膨大なデータの伝送・処理において熱の発生および電力消費を削減できるため、近年、研究開発が非常に盛んに進められている。本研究は、電子ビーム描画装置、スパッタリング装置、反応性イオンエッチング装置等の本学の設備を用いた微細加工技術を駆使し、小型で集積化に適し、省電力動作が可能な新しい光機能デバイスを開発し、光電融合技術の発展に貢献することを目的としている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

インターネットの普及、進展に貢献してきた光通信技術は、現在、データセンター内のサーバー間通信に導入されている。今後はさらに、AIの利用の増大に伴ない、AIの学習や推論など大量の並列処理を行うAIデータセンターでの消費電力の急増が懸念され、サーバー内、ボード上のチップ間、パッケージ内へ光通信技術を組み込んだ光電融合技術により、低消費電力化の実現に向けた研究開発に注目が集まっている。本研究では高屈折率コア材料を用いた光導波路と有機機能性材料や磁気光学材料を組み合わせた光機能デバイスの開発を進めてきた。通信、信号処理、センシングなど、技術の進展が早いこれらの分野において、新たな光機能デバイスの創成への期待は高く、微細加工技術を必要とするマイクロリング共振器、スロット導波路、グレーティングカプラなどのデバイス開発と、これらと組み合わせる機能性材料の開発を並行して進めることが非常に重要である。

3. 期待される効果

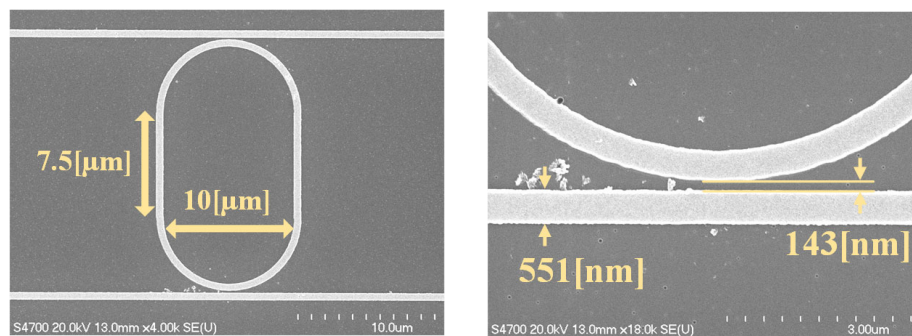
本研究では開発を進めている導波路型光機能デバイスは、高屈折率媒質を用いた導波路構造により集積性が高く、有機機能性材料や磁気光学材料を集積化することで、低消費電力で高機能な光電融合デバイスへの適用が期待される。また、その機能性を活用し、通信分野だけでなく、センシング分野、低遅延・低消費電力な光AI演算への応用展開が期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

4.1 機能性有機材料を用いた導波路型光デバイスの検討

本学では光導波路構造と強誘電性液晶（FLC: Ferro-electric Liquid Crystal）を組み合わせた光機能デバイスの研究を行ってきた⁽¹⁻⁷⁾。FLCは自己保持性があり、比較的高い屈折率を持つため小型で低消費電力かつ集積化可能で可変機能を有するデバイスを実現できる。近年、電子ビーム描画装置を駆使した微細パターンニングの技術を向上させることにより、鋭い波長選択性を有し、小型で集積性の高いマイクロリング共振器の製作技術の確立を図っている。

液晶等の機能性有機材料を集積することが可能なレーストラック型マイクロリング共振器を提案し、FDTD法を用いて理論解析を行った。理論解析をもとにレーストラック型マイクロリングフィルタの試作を行った。図1に試作した素子の電子顕微鏡写真を示す。試作素子の上部クラッドとしてSiO₂を成膜し、導波特性測定を行った。光源はASE(Amplified Spontaneous Emission)を使用し、偏光子によってTE偏光を入射させた。図2に波長特性を示す。SiO₂の成膜量は1.5[μm]である。FSR=12.9[nm]、消光比=13[dB]、Q値=3892の共振特性を得た。



(a) 上面写真

(b) 結合器部分拡大写真

図1 レーストラック型マイクロリング共振器の試作結果例⁽¹⁵⁾

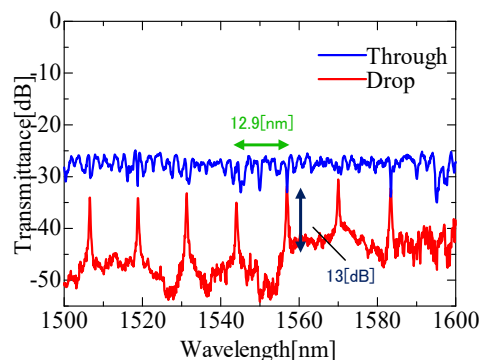


図2 試作したレーストラック型マイクロリング共振器の波長特(上部クラッド SiO₂)

4.2 中空構造を有する水平スロット導波路型センサの開発

高屈折率媒質に挟まれた微小な中空構造を利用する導波路型光センサの開発を行っている^(2,7,11,15)。中空スロット内の付着物や雰囲気による屈折率変化を共振器の波長特

性の変化に反映させることでセンシングを可能にする．高屈折率媒質として Nb_2O_5 を用いた水平スロット導波路を二つの分布反射器(DBR：Distributed Bragg reflector)の間に配置したDBR共振器を提案し，理論解析とともに，製作技術の確立を図り，素子の試作を進めている⁽²⁾．特に，DBR共振器の一部に中空構造を形成する技術の開発を進めている．試薬として用いた水とエタノールの屈折率の差異によって，試作素子の波長特性のシフトが得られ，センシング動作の原理実証に成功した．図3に得られた波長特性を示す．

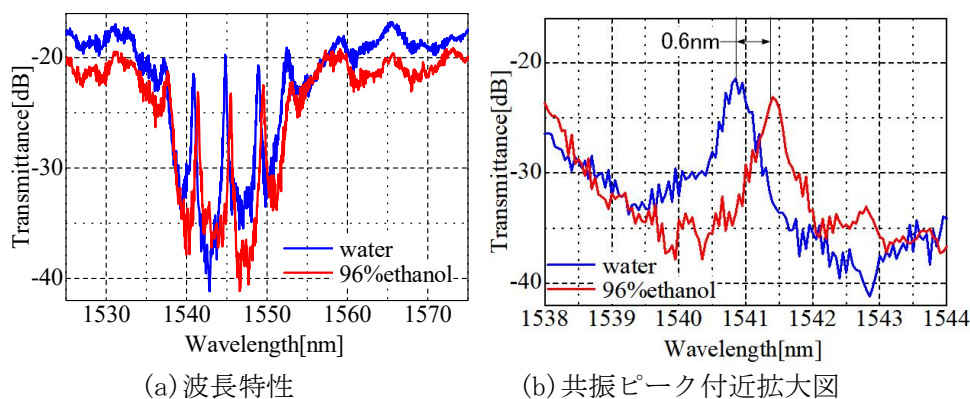


図3 試作した Nb_2O_5 水平スロット導波路の波長特性⁽¹⁵⁾

センサ素子の高感度化のために，スロットの層数，各スロットの層厚を変化させた Nb_2O_5 水平スロット導波路の理論解析を行った．図4に有限要素法を用いて解析した三層水平スロット導波路の光強度分布を示す．各スロット部分での光閉じ込めが得られている．さらに，三層水平スロット導波路形DBR共振器の試作を行った．図5に試作素子の電子顕微鏡写真を示す．DBR間の共振器導波路内に三層の中空スロット構造が形成されていることがわかる．

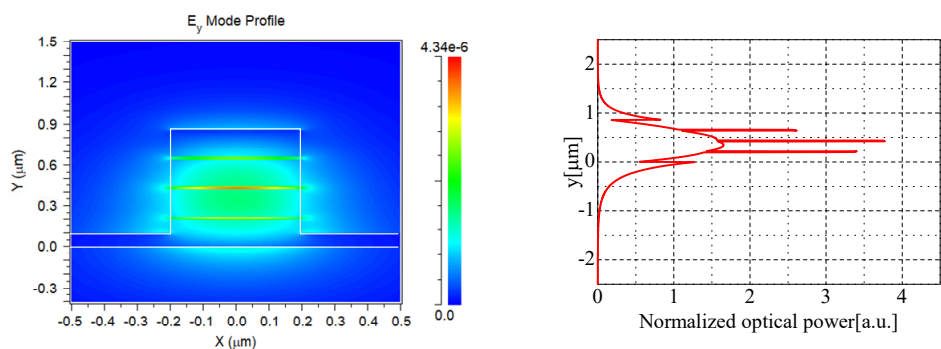


図4 三層水平スロット導波路の光強度分布解析結果例

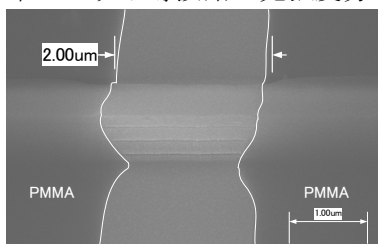
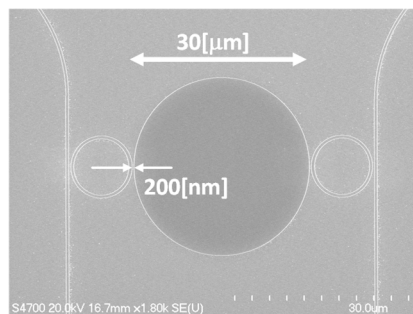


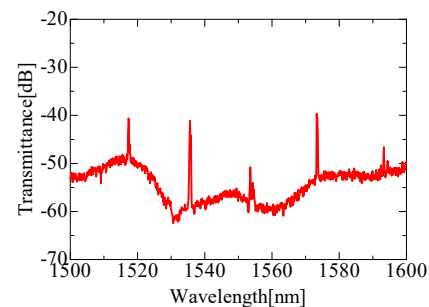
図5 試作した三層中空水平スロット導波路の電子顕微鏡写真⁽¹⁵⁾

4.3 集積型光アイソレータの実現に向けた基礎研究

光電融合技術において光集積回路の高機能化の期待が高まっている．光源となる半導体レーザには動作の安定が一層要求されるとともに，光アイソレータをはじめとする光非相反デバイスの集積化の実現が待ち望まれている．本研究では，Si導波路上に磁気光学材料であるCe:YIGの成膜，結晶化を行うプロセスの検討を行っている．また，新たなデバイス構造として，磁気光学材料をサイドクラッドに集積したディスク共振器を提案し，素子実現のための要素技術の確立を図っている．FDTD法を用いてディスク共振器とリング共振器を組み合わせた構造の特性解析を行うとともに，製作条件を探索を進めている．図6(a)に試作したディスク・リング共振器の電子顕微鏡写真，図6(b)に波長特性を示す．試作したディスク・リングにおいて共振特性を得ることに成功した．



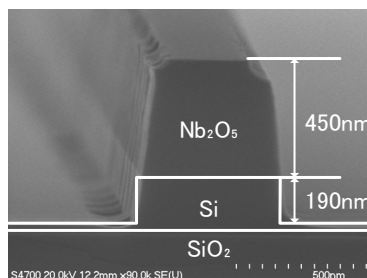
(a) 導波路断面における光強度分布



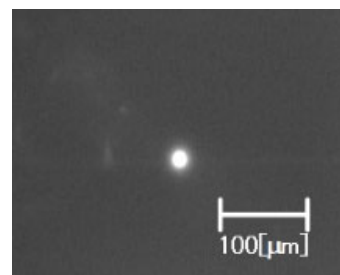
(b) 導波路中央部の光強度分布

図6 三層水平スロット導波路の光強度分布解析結果例

また，並行して，TMモード動作光アイソレータに必要な低損失導波路の実現のために，Nb₂O₅を装荷したSi導波路構造の検討を行った．まず，FDTD法により，伝搬特性の理論解析を行った後，Nb₂O₅装荷Si導波路の試作を行った．SOI基板上に成膜したNb₂O₅をドライエッチングによって加工することで，Nb₂O₅が装荷されたSi導波路構造を形成した．図7(a)にNb₂O₅装荷Si導波路の電子顕微鏡写真，図7(b)に得られた出射光の近視野像を示す．一般に上下方向の光閉じ込めが弱くなるTMモード光に対しても強く閉じ込められた導波光が得られことを確認した．



(a) 電子顕微鏡写真(断面)



(b) 近視野像

図7 Nb₂O₅装荷 Si 導波路

4.4 グレーティングカプラのための微細構造形成技術の開発

グレーティングカプラを用いた空間への光の放射や受光によって，対象物の速度や距

離を計測することが可能である。本学ではこれまでに、レーザドップラー断面速度分布計測のための低損失な集積型センサプロブとして、 Nb_2O_5 材料を導波路のコアとしたグレーティングカプラの設計と特性解析を行ってきた。さらに、今回、電子ビーム描画条件とドライエッチング条件の検討を行い、製作したグレーティングカプラの形状観察を行った。基本要素となるグレーティング構造の製作は、ベースとなるテーパー導波路の製作と、グレーティングの周期構造の製作の2段階で行った。はじめに熱酸化膜付きSi基板上にコア層となる Nb_2O_5 膜を反応性DCスパッタ（昭和真空社製 SPS-208CW）により成膜し、電子線描画（クレステック社製）によって導波路のパターニングをした。その後、リフトオフを行い、Crのハードマスクを得て、ドライエッチングにより導波路を形成した。グレーティングは電子線描画でパターン形成後、レジストをマスクとしたドライエッチングにより形成した。図8に試作したグレーティングカプラの電子顕微鏡写真を示す。深さ約40nmのグレーティング周期構造が Nb_2O_5 導波路上に形成されていることがわかる。

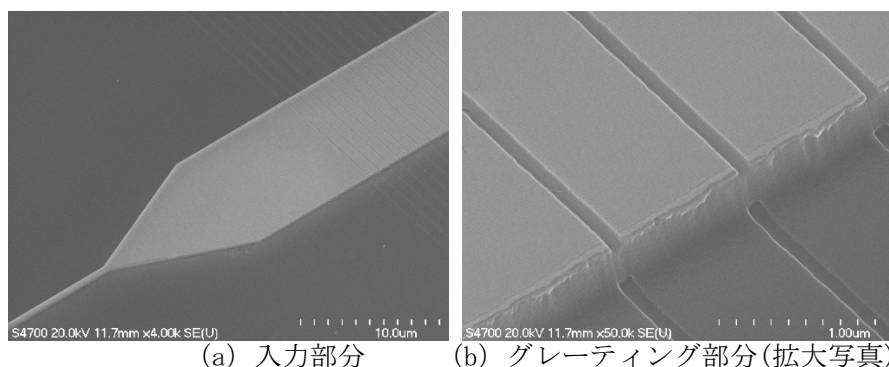


図8 試作したグレーティングカプラの電子顕微鏡写真

5. 今後の計画

機能性有機材料を用いた導波路型光デバイスについては、可変機能動作の実証を目指すとともに、新たな機能性有機材料の開発と評価を行う。中空構造を有する水平スロット導波路型センサについては、溶液濃度の違いに起因した屈折率変化を検出するセンシングの実証を行う予定である。集積型光アイソレータについては、光非相反動作に適した共振器ならびに干渉計デバイスのための低損失な導波路形成技術の確立を進めるとともに、磁気光学材料の結晶化プロセスについても条件探索を進める。グレーティングカプラについては、微細構造形成のための要素技術の一層の向上を図り、空間光結合器としての光学特性の評価を行う。これらの研究課題について進めながら、小型で集積性に優れ、性能が高く、低消費電力な光機能デバイスの実現をする技術開発を行い、光電融合技術をはじめとする、最先端の研究分野への貢献を目指す。また、反応性DCスパッタリング装置を中心とした成膜技術、電子ビーム描画装置を活用した微細パターンニング等の本学の技術力を向上させることで、科研費基盤研究ならびに産学共同研究等での研究を発展させることを図る。また、光電融合技術、機会学習用光回路や量子情報通信に適用可能な集積型の量子光学回路への技術展開を図る。

6. 研究成果の発表

- (1) 木ノ下秀聡, 島村優希, 端山喜紀, 中津原 克己, “強誘電性液晶を用いた可変波長フィルタのためのSi導波路マイクロリング共振器の製作”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-10, (2024).
- (2) 杵淵 大翔, 木ノ下 秀聡, 島村 優希, 端山 喜紀, 中津原 克己, “レーストラック型共振器の曲線-直線導波路接続部の検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-13, (2024).
- (3) 岡崎 元哉, 木ノ下 秀聡, 端山 喜紀, 島村 優希, 中津原 克己, “五酸化ニオブを用いたマイクロリング共振器における結合部の断面構造の検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-3, (2024).
- (4) 鈴木 賢太, 木ノ下 秀聡, 島村 優希, 端山 喜紀, 中津原 克己, “液晶装荷マイクロリング導波路の結合器部分の構造に関する解析”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-11, (2024).
- (5) 木ノ下秀聡, 島村優希, 端山喜紀, 中津原 克己, “液晶装荷可変波長フィルタのためのレーストラック型マイクロリング共振器の検討”, 電子情報通信学会 OPE10月研究会, OPE2024-93, (2024).
- (6) 鈴木賢太, 木ノ下秀聡, 島村優希, 端山喜紀, 中津原 克己, “液晶装荷型マイクロリング共振器のための細線-曲線結合器の製作”, 電子情報通信学会 Photonic Device Workshop 2024, P-17, (2024).
- (7) 木ノ下秀聡, 島村優希, 端山喜紀, 中津原克己, “可変波長フィルタのためのSiレーストラック型マイクロリング共振器における液晶装荷領域の検討”, 電子情報通信学会総合大会, C-3_4-29, (2025).
- (8) 鈴木菜央, 近藤智哉, 遠藤海, 端山喜紀, 中津原克己, “五酸化ニオブ3層水平スロット導波路を用いたセンサデバイスのためのDBR共振器の設計”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-5, (2024).
- (9) 近藤 智哉, 遠藤 海, 鈴木 菜央, 端山 喜紀, 中津原 克己, “ Nb_2O_5 を用いた中空構造を持つ3層水平スロット導波路構造の製作”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-4, (2024).
- (10) 遠藤海, 近藤智哉, 鈴木菜央, 端山喜紀, 中津原克己, “ Nb_2O_5 3層水平スロット導波路を用いた光強度分布解析”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-6, (2024).
- (11) 鈴木菜央, 端山喜紀, 島村優希, 中津原克己, “センシングデバイス応用のための Nb_2O_5 を用いた中空水平スロット導波路DBR共振器の波長特性”, 電子情報通信学会 OPE8月研究会, OPE2024-71, (2024).
- (12) 遠藤海, 近藤智哉, 鈴木菜央, 端山喜紀, 中津原克己, “五酸化ニオブ三層水平スロット導波路を用いたDBR共振器の検討”, 電子情報通信学会 OPE2月研究会, OPE2024-119, (2025).
- (13) 堀内 佑紀, 端山喜紀, 中津原 克己, “導波路型光アイソレータのためのCe:YIGを装荷したMZI構造の理論的検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-15, (2024).
- (14) 小瀬村 正弘, 古屋 歩起, 竹下 樹, 沢柳 直希, 端山 喜紀, 堀内 佑紀, 中津原 克

- 己, “導波路パターンを有するSi基板上へのコンタクトエピタキシャル法によって形成したCe:YIG膜の形状評価”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-14, (2024).
- (15) 遠藤 昂, 田中 佑樹, 古屋 歩起, 堀内 佑紀, 端山 喜紀, 中津原 克己, “FDTD法を用いた光アイソレータ用ディスクリング結合型共振器の波長特性”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P1-12, (2024).
- (16) 古屋歩起, 遠藤昂, 田中佑樹, 端山喜紀, 中津原克己, “TE モード動作光アイソレータのためのディスクリング結合型共振器の検討”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-3_C-4-12, (2024).
- (17) 堀内 佑紀, 遠藤 昂, 端山 喜紀, 中津原 克己, “TM モード光アイソレータのためのNb₂O₅装荷Si導波路の製作”, 電子情報通信学会 Photonic Device Workshop 2024, P-16, (2024).
- (18) 島村優希, 木ノ下秀聡, 端山喜紀, 中津原 克己, “光機能デバイスに用いるNb₂O₅導波路の導波特性評価”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-2, (2024).
- (19) 島村優希, 遠藤琢磨, 堀尾昭仁, 玻座真奈由, 端山喜紀, 中津原克己, 丸浩一, “Nb₂O₅/SiO₂多重反射層上グレーティング構造の製作技術の検討”, 電子情報通信学会 PICS7月研究会, P15, (2024).
- (20) 玻座真奈由, 遠藤琢磨, 堀尾昭仁, 島村優希, 端山喜紀, 中津原克己, 丸浩一, “多重反射層上光空間結合器のためのグレーティング構造の実験的検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, P2-1, (2024).
- (21) 端山喜紀, 遠藤昂, 島村優希, 中津原克己, 丸浩一, “集積型レーザドップラー速度計プローブのための五酸化ニオブグレーティングカプラの構造製作”, 電子情報通信学会総合大会, C-3_4-43, (2025).

謝辞

本研究は一部, JSPS科研費基盤(C)(23K03977, 22K04141)の助成を受けていることを記して謝意を示す. また, 同様に, 様々なサポートをいただいた株式会社昭和真空, 三菱ケミカル株式会社に感謝する.

認知行動特性に基づく人間中心設計に関する研究

研究者名：高尾秀伸

1. 研究の目的

人間中心設計に基づいた「人に優しい」ものごと作りに資する各種研究を行う。具体的には重度視覚障害者が単独で購買行動を可能とする支援技術の開発研究および次世代車載情報機器の音声ユーザインタフェースの開発研究を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、AI（人工知能）の急速な進歩に象徴される社会のデジタルトランスフォーメーション（DX）が加速している。こうした現代社会における製品やメディアシステムの開発においては、超高齢社会を含むユニバーサル社会の多様なニーズに応えることが強く求められている。

そのためには、ユーザーである人間の生理機能や脳における認知機能など、人間特性を踏まえた設計が重要となる。しかし、これまでの工学研究の多くにおいては、人間特性を踏まえた研究は世界的にも少なかった。そこで、この問題を体系的に解決するアプローチが、国際標準規格「ISO 9241-210」で定義される人間中心設計（HCD: Human-Centered Design）である。HCDでは、「ユーザビリティ」を含む利用時品質の向上が求められる。利用時品質とは、製品やサービスがユーザーのニーズを満たし、目標を達成する能力を評価する概念である。

当研究室では、平成21年度の文部科学省「私立学校施設整備費補助金」により整備された感覚・認知行動測定システムを中核とし、システムのユーザビリティ評価や、先端技術の人体への影響を科学的に解明する研究を進めている。これにより、「人に優しいものごとづくり」を支える人間中心設計の実現を目指している。

3. 期待される効果

人間中心設計研究を推進することにより、DX時代におけるユーザの求める豊かさについて明らかにしつつ、それらのニーズを各種人間特性に合致させることで確実に実現可能な技術、機能ならびに製品開発に資する知見を得ることが可能となる。その結果、良いUX（ユーザエクスペリエンス）の提供による製品の利用時品質の向上、障害者・高齢者の生活支援および健康寿命延伸、脱炭素社会実現への貢献等、超高齢社会を含むユニバーサル社会の多様なニーズに応えることが期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

4.1 視覚障害者支援研究

まず、視覚障害者単独での商品の選択・獲得を可能とするインタフェースを試作し、その概念実証を行った。その結果、本インタフェースを用いることで当事者単独での商品の選択および獲得が概ね可能であることを確認した。

次に、食器位置提示における空間情報要因および仮想聴取位置要因が食器位置把握へ与える影響について、実験的に検討した。その結果、仮想聴取位置を示指とし、空間情報に距離情報を使用した提示方法が迅速性および快適性が高いことが明らかになった。

4.2 次世代車載情報機器のバディ AI 機能に関する研究

本研究では、覚醒度を維持する方法として会話に着目をし、生成 AI を活用した音声対話型ドライバ覚醒度維持インタフェース・システムの提案を行った。実験協力者 6 名を対象に生成 AI との会話が覚醒度維持に対して有効性について評価実験を行い、今後システム上で覚醒度の推定を行う際の生理情報として、瞳孔径、瞬目回数に着目し、主観覚醒度との関連性について調査を行った。その結果、生成 AI との会話が覚醒度維持に有用であると考えられる。加えて、瞳孔径変動の LF のパワースペクトルの変化特性が覚醒度維持に有用であると考えられた。

5. 今後の計画

5.1 視覚障害者支援研究

今後、商品を上下にも配置、商品間隔を小さくするなど実際の状況に近づけていき、そこでの商品選択方法の検討および商品獲得が可能かの確認を行う。また、今後は食事支援を目的とすると、2 次元での食器位置情報提示では不十分である。今後は、3 次元への食器位置情報提示へと拡張を行う予定である。

5.2 次世代車載情報機器のバディ AI 機能に関する研究

今後の展望は瞳孔のゆらぎについて先行研究のような単調縮瞳が現れなかった要因を探るとともに LF の範囲だけでなく HF 範囲にも着目し、解析を進めるとともに、瞬目特性やについて詳細な解析を進めていく。

6. 研究成果の発表

- 1) 複合現実感技術を用いた 重度視覚障害者向け商品選択・獲得インタフェースの検討～インタフェース機能の概念実証～，棟近 子竜，高尾 秀伸，第 33 回 日本人間工学会 システム大会 2025 年 3 月 15 日
- 2) 重度視覚障害者向け食器位置提示複合現実インタフェースの基礎研究～2 次元位置関係提示方法の検討（第 2 報）～，棟近 子竜，森 怜依，高尾 秀伸，ヒューマンイン

タフェースシンポジウム 2024 2024 年 9 月 20 日

- 3) 生成 AI を用いた音声対話型ドライバ覚醒度制御インタフェースの開発 ～AI との雑談が運転パフォーマンス，心拍変動，皮膚電気活動に与える影響～ ，小椋 優太，佐藤 達也，飯島 榛氣，高尾 秀伸，川田 歩，谷澤 悠輔，橋本 拓昌，藤野 留佐子，永田 英記，大杉 淳，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2024 2024 年 9 月 19 日
- 4) 生成 AI を用いた音声対話型ドライバ覚醒度維持インタフェースの開発 ～瞳孔ゆらぎと瞬目特性に着目して～ ，佐藤 達也，小椋 優太，飯島 榛氣，高尾 秀伸，川田 歩，谷澤 雄輔，橋本 拓昌，藤野 留佐子，永田 英記，大杉 淳，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2024 2024 年 9 月 19 日