

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22873

研究課題名（和文）顕微視能を拡張する智能眼鏡システムの開発

研究課題名（英文）Development of Intelligent Eyeglass System for Enhancing Microscopic Vision

研究代表者

吉元 俊輔（Shunsuke, Yoshimoto）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：00646755

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ミクロな観察を支援する視覚拡張技術を確立することを目的とした。まず、ステレオカメラの映像が提示されるHead Mounted Displayを装着した状態でアイトラッカにより得られる視線情報を用いて三次元注視位置を推定する手法を提案し、有効性を確認した。次に、四つの電極を備えたバルーン構造のDielectric Elastomer Actuator(DEA)によるレンズ駆動システムを構築し、マイクロスケールの対象物のトラッキングや焦点制御が可能であることを示した。最後に、注視奥行きに応じた動的な焦点調節による映像提示が、静的な映像提示に比べて奥行きの認識率が高い可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視線計測に基づいてリアルタイムにステレオカメラの映像の焦点を変更し、HMDを用いて提示する新しい視覚拡張を実現した点に意義がある。さらに、DEAを用いたレンズ駆動により、肉眼では直接捉えることのできないマイクロスケールの対象物について、インタラクティブな可視化ができた。これらを発展させることで、従来の顕微鏡による観察を効率化したり、新しいVirtual Reality体験を生み出すことができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to establish a visual augmentation technique to support microscopic observation. First, we proposed and confirmed the effectiveness of a method for estimating the three-dimensional gazing position using eye tracking information obtained from an eye tracker on a Head Mounted Display presenting a stereo camera image. Then, we proposed a balloon type dielectric elastomer actuator (DEA) equipped with four electrodes, and constructed an optical system that can drive the three-dimensional position of a lens. We also demonstrated that the system can be used for tracking and focusing microscale objects. Finally, we found that video presentation with dynamic focus control based on the depth of the gazing position may have a higher recognition rate of depth than static video presentation.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：ロボットビジョン 視覚拡張 ユーザインターフェース 誘電エラストマアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

カメラ映像をリアルタイムに Head Mounted Display(HMD)に表示し、身体を自在化したり、視覚機能を増強したりする、身体拡張の技術が着目されている。従来の技術としては、広角カメラによる視野の拡張、サーボ系による頭部の可動範囲の拡張、飛行体による移動の拡張などが実現されており、身体能力を高めたり、作業を効率化したりする上で有用であることが示唆されている。しかしながら、ユーザの注視要求を認識し、最適化した映像を取得・提示する視覚拡張システムは実現されていなかった。また、ロボットビジョンの制御も限定的であり、顕微視の拡張は困難であった。

一方、研究代表者はアイトラッカを利用した注視対象物の自動認識による注視提示システムを構築し、人が見たものを直ちに機械が認識し、音声により読み上げるシステムの開発に成功した。この技術を発展させ、注視対象物の視認性を高めたり情報を重畳表示したりすることにより、ユーザの物体認識能力を高められる可能性がある。また、焦点制御が可能な液体レンズの開発を通して、人の眼の機能を超越する焦点調節機能を有したレンズに関する基礎検討も行ってきた。

これらの背景を踏まえ、ユーザの動作や意図に同調した知的かつ超越的な映像提示を、人の見るという行為に対してシームレスに行うことができれば、視覚インタフェースの新展開をもたらすものとなりうると考え、顕微視能を拡張する知能眼鏡システムの開発という本研究の発想に至った。

2. 研究の目的

レンズを用いた視力の矯正だけでなく、眼球の状態やユーザの意図、環境に応じて見え方を最適化するような知能眼鏡システムは、次世代の支援器具として多様な利用が期待される。本研究の目的は、眼球の運動と注視対象に応じて制御可能なロボットビジョンシステムとその映像提示インタフェースを構築し、ミクロな観察を支援する視覚拡張技術を確立することである。特に、両眼の動きから注視物体を予測し、視認性が高くなるように映像取得・処理を施した一人称立体映像を実時間で提示することで、人の顕微視能を拡張する知能眼鏡システムを実現することが本研究の狙いである。本研究の実施期間には、次の三つの目標に対する技術的な取組と知能眼鏡システムの評価を通し、ヒトの視覚特性に関する新しい発見を目論む。

- (1) 両眼運動のセンシングにより注視対象のリアルタイムな検出を実現する
- (2) 同調性の高い視覚システムを実現するため、ロボットの眼球運動・焦点の制御を可能にする
- (3) 人の顕微視能の拡張を実現するために、視認性を最適化する映像撮影・提示を可能にする

3. 研究の方法

本研究課題では肉眼では捉えられないような小さく速い、微小生物の観察などのテレプレゼンス体験を想定し、注視と対象に応じたフレーミングとフォーカシングおよび視認性を最適化する映像提示によりヒトの顕微視能を拡張する技術を培う。提案するシステムを構築するためには、(a) 眼球の計測と注視の予測に関する要素、(b) 対象を追跡するロボットビジョンの制御に関する要素、(c) 映像提示に関する要素の三つの観点から技術開発を行う必要がある。

- (a) 眼球運動は2自由度の回転であり、高速な跳躍運動では最高で300 deg/sもの速度に達する。また、予測できない刺激に対しては0.2 s程度の応答の遅れがある。眼球運動は赤外光カメラ画像から推定可能であるが、提案システムではリアルタイム処理を想定しているため、200 Hz以上の高速な計測を目指す。また、提案システムではビデオシースルー型のHeadMounted Display(HMD)との共存を想定しているため、HMDに統合可能なアイトラッカを実装する。取得した視線情報は、機械学習による焦点の推定および注視物体の予測と、ロボットビジョンの制御に利用する。
- (b) 眼球の方向と焦点の調整が可能なステレオロボットビジョンシステムを構築する。特に、数cm程度の対象を扱い、高速な方向と焦点の制御を実現する。方向制御についてはサーボ駆動可能なジンバル機構を、焦点制御には電圧制御可能な可変焦点レンズを使用する。なお、光学設計により表現可能な視覚機能が決まるため、理論設計を試みる。次に、視線と注視対象の情報に基づき、サーボおよびレンズの制御を行う。特に、対象をフレーミングとフォーカシングするような制御を行うことで視覚の時空間特性を拡張する。方向と焦点の制御の応答性は図2のような実験環境を構築し定量的に評価する。
- (c) ロボットビジョンで取得した映像は、注視予測の情報に基づいて視認性を最適化した上で、頭部の方向に応じた映像提示が可能なHMDによりユーザに提示する。視認性の最適化においては、注視対象のコントラストの最大化、周辺視野のボケ状態の調整、画像視野からのトリミング範囲設定などをパラメータとした処理を施す。また、ユーザの頭部や注視の方向に

応じた映像が適切に表示されるようロボットビジョンを設計し、座標系の位置合わせについても自動化する。最後に、開発した知能眼鏡システムを用いていくつかの微小な対象物に対する視認性を評価し、提案システムの有効性を検証する。特に、ヒトの眼球運動の能力に対して十分な計測・制御と、焦点や視野調整の機能を超越するような小空間に対する視覚拡張システムにより、ユーザの物体認識がどのように変容されるかを評価する。

4. 研究成果

(1) 眼球の計測と注視位置の推定

ステレオカメラの映像が提示される HMD を装着した状態で三次元注視位置を推定する手法を提案し、評価を行った。提案手法では、アイトラッカ (Pupil Labs 製) によって得られた視線ベクトルが交差する 3 次元座標を求めて注視点を推定する。さらに、視線ベクトルが計測誤差や視線のゆらぎなどの要因により変動することから、推定位置に応じた誤差範囲を設定し、ステレオカメラの焦点調整に利用する。また、アイトラッカの座標系と、ステレオカメラで捉えた空間の座標系を対応付けるため、予めキャリブレーションを行う。具体的には、HMD による 3 次元映像空間上にステレオカメラの画像平面を配置し、各カメラ画像中に表示した四つの参照点とそれらを注視して得られる瞳孔中心位置の対応関係を求め、さらにステレオカメラの投影行列を用いることで眼球ごとの視線を実空間の座標系に投影する。実装したシステムを用いて注視位置の推定を行ったところ、注視位置に応じて焦点調節する手法では誤差が $-50\sim 50$ mm の間に分布するが、誤差確率を考慮した提案手法では $-15\sim 0$ mm の間に集中して分布しており、誤差が有意に小さくなることを確認した (図 1)。

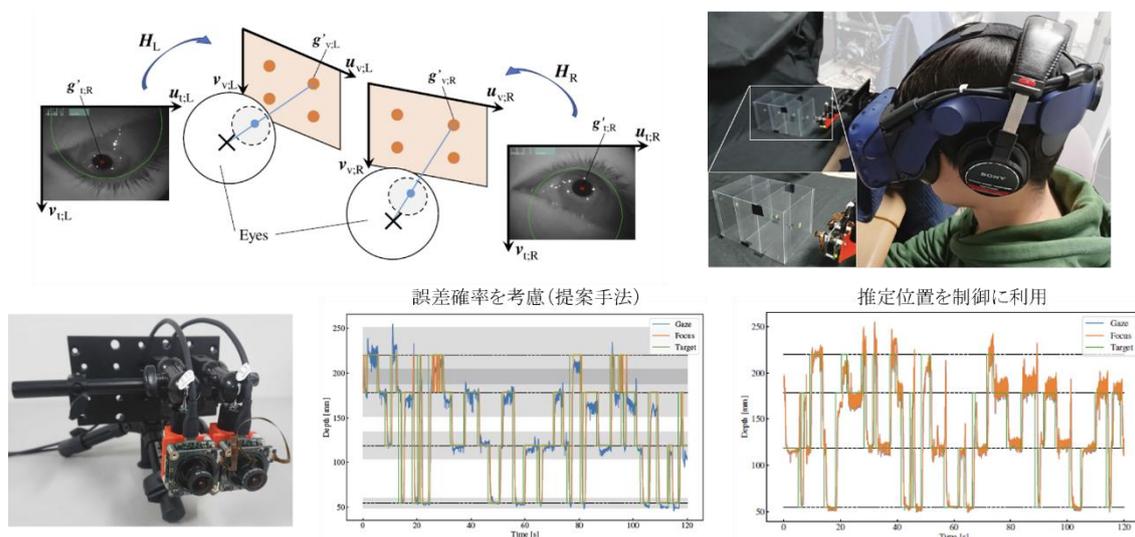


図 1 視線情報を用いた注視位置推定とカメラの焦点位置調整に関する実験 [1]

(2) ロボットビジョンの制御

カメラの光軸をアクチュエータにより駆動し、ユーザの頭部または眼球の運動に応じた映像の取得が可能なロボットビジョンシステムを構築することを想定し、その基礎技術の開発を行った。軽量で小型なアクチュエータとして、誘電エラストマアクチュエータ (Dielectric Elastomer Actuator: DEA) に着目し、四つの電極を備えたバルーン構造の DEA を新たに提案することによって、レンズの三次元位置を駆動する方法、即ち光軸と焦点の駆動が可能な光学系を構築した。実験では、実装した直径 24mm と 40mm のアクチュエータを用いて駆動と変位の関係を調べた。その結果、いずれも電圧の 2 乗に比例した変位が得られることが確認された。また、バルーンの空気量を増すことで線形性が高まること、異なるサイズのアクチュエータに応用可能であることなど、新たな知見が得られた。さらに、電圧-変位特性、過渡特性、周波数特性、空気圧依存性について評価し、2kV の駆動電圧ではいずれの駆動方向においても 0.2 mm 程度の変位が得られること、10 Hz 程度の駆動が可能であることを明らかにした。また、そのアクチュエータを利用したレンズの 3 次元位置の制御により、マイクロスケールの対象物に対して焦点調整や平面方向のトラッキングが可能であることを実証した (図 2)。

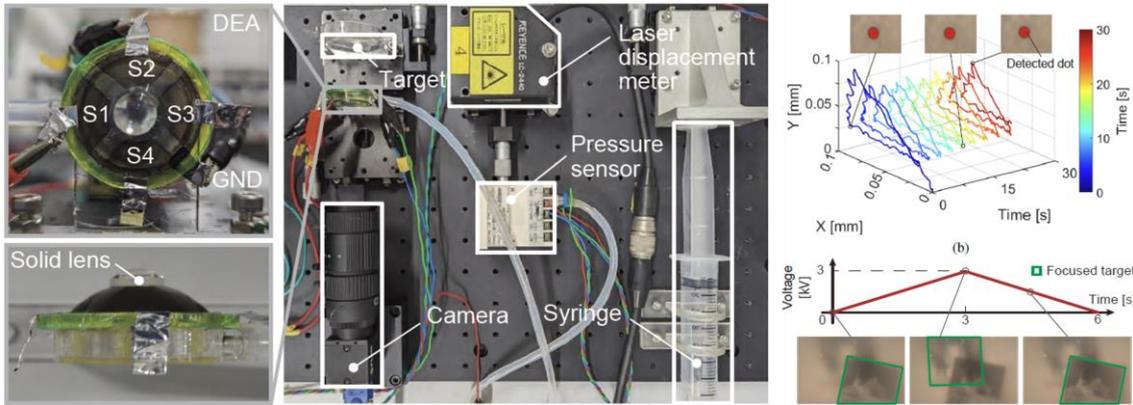


図2 4電極バルーンDEAによるレンズ駆動システムと光軸・焦点制御に関する実験 [2]

(3) 映像提示と視認性の評価

(1)で開発した注視位置の推定では、ステレオカメラの画像をリアルタイムにHMDにより表示する映像提示システムの構築も同時に行った。カメラには解像度3088×2076、更新周波数58Hzのイメージセンサを搭載したカメラモジュールを使用し、4mmから無限大の範囲の焦点制御が可能な液体レンズ(Varioptic製)を搭載した。これらにより、注視位置に応じて焦点距離の調整が可能な視覚拡張システムを実装することができた。また、視認性の評価として、単眼カメラの映像と注視位置に応じた焦点制御の有無による奥行き知覚への影響について被験者実験による調査を行った。その結果、注視位置の奥行きに応じた動的な焦点調節による映像提示は、静的な映像提示に比べて奥行きの認識率が高い可能性を示した(図3)。これらに加え、バルーンDEAにより駆動されるレンズを介して計測された映像をHead Mounted Display (HMD)を用いて提示し、視線情報に基づいて光軸を制御することによって、肉眼では直接捉えることのできないマイクロスケールの対象物をインタラクティブに可視化でき、目標としていた視覚拡張インタフェースを構築することができた。

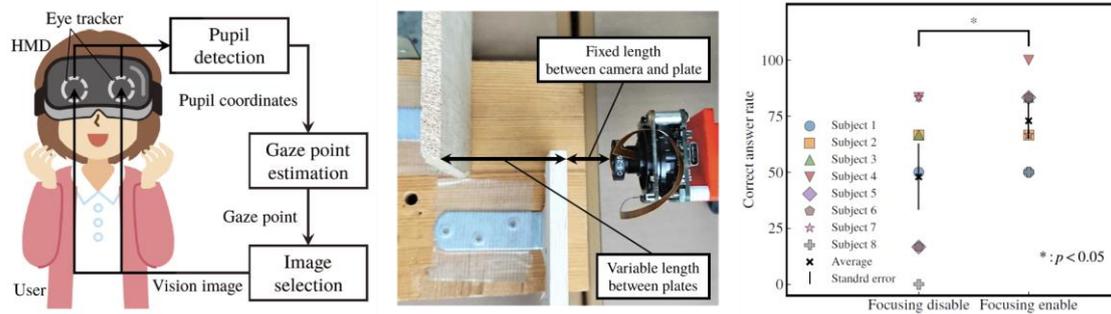


図3 焦点制御による視認性評価に関する実験 [3]

<引用文献>

- [1] 澤井智紀, 池田聖, 吉元俊輔, 石塚裕己, 黒田嘉宏, 大城理, ビデオ透過型可変焦点双眼拡大鏡, システム制御情報学会研究発表講演会論文集, 2020.
- [2] 澤井智紀, 吉元俊輔, 池田聖, 石塚裕己, 黒田嘉宏, 大城理, 注視による焦点調節を行う頭微視覚拡張インターフェイス, 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会予稿集, 2019.
- [3] 三林弘季, 吉元俊輔, 池田聖, 山本晃生, 光軸制御が可能なバルーンDEA レンズの時空間特性の評価, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉元俊輔
2. 発表標題 生体インタフェースの基礎とその応用技術
3. 学会等名 日本テクノセンターセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三林弘季, 吉元俊輔, 池田聖, 山本晃生
2. 発表標題 光軸制御が可能なバルーンDEA レンズの 時空間特性の評価
3. 学会等名 第22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤井智紀, 池田 聖, 吉元俊輔, 石塚裕己, 黒田嘉宏, 大城 理
2. 発表標題 ビデオ透過型可変焦点双眼拡大鏡
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三林弘季, 吉元俊輔, 池田 聖, 山本晃生
2. 発表標題 光軸の回転制御が可能なバルーンDEAレンズの開発
3. 学会等名 2021年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤井智紀, 吉元俊輔, 黒田嘉宏, 大城 理
2. 発表標題 視覚拡張のための三次元注視位置推定
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤井智紀, 吉元俊輔, 池田 聖, 石塚裕己, 黒田嘉宏, 大城 理
2. 発表標題 注視による焦点調節を行う顕微視覚拡張インターフェイス
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会予稿集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学 大学院新領域創成科学研究科 吉元俊輔 https://www.aml.t.u-tokyo.ac.jp/~yoshimoto/</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	池田 聖 (Ikeda Sei) (40432596)	大阪大学・基礎工学研究科・准教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------