

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05914

研究課題名(和文)メカニカルな可動部をもたない高速注目点移動可能な広角中心窩視覚センサの開発

研究課題名(英文)Development of Liquid Crstal Wide Angle Fovea Sensor by which Attention Point can Change Rapidly Without Any Mechanical Part

研究代表者

清水 創太 (Sota, Shimizu)

芝浦工業大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：20328107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：メカニカルな可動部なしに注目点の高速移動を実現するアフォーカル液晶広角中心窩光学系を考案した。液晶レンズセルの応答速度は液晶層の厚みの二乗に比例して増加するため、アフォーカル光学系は液晶層が薄くとも注目点移動を高速に実現できる。一方で、光軸と平行に近い成分の光線以外を絞りにより除去しているため、レンズとしての結像性能は十分でなく、その像は非常に暗い。使用する液晶レンズセルのレンズパワーと、実現できる像倍率変化、2枚のセル間の距離から、ガリレオ式及びケプラー式望遠鏡の構造を採用したズームレンズと比較することで、ズームレンズユニット部の性能・仕様を事前に計算出来ることを示した。

研究成果の概要(英文)：We have developed the afocal Liquid Crystal (LC) Wide Angle Fovea optical lens system, by which the attention point can change very rapidly without any mechanical part. Since the response time of the LC lens cell increases in proportion to square of a thickness of its LC layer, this afocal optical system can achieve the rapid attention point change even if the thickness is thin. On the other hand, its performance as a lens system is not enough but very dark because of removing optical rays except those parallel and nearly-parallel to the optical axis. This study indicates we can design in advance the performance and specification of this LC zoom lens unit part using its mathematical model, in which the lens power of the applied LC lens cell, the achieved magnification change, and the distance between the two cells are paid attention to. Also we have compared the results with the conventional zoom lens applying the Galilean and Keplerian telescopic structures, respectively.

研究分野：知能機械学

キーワード：ロボティクス 液晶広角中心窩センサ バイオメカニクス メカトロニクス 人間機械システム コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

人間の眼は、左右 120 度の広い視野を有するとともに、中心窩と呼ばれる視野の中心近傍で最も高く視野周辺に行くに従って急激に低下する非一様な視力分布をもつ。すなわち、人間の眼は視野の中に明らかな注目点（詳細に見ることが出来る領域）をもつ有指向性の感覚器である。眼球運動により注視を行うことで、広視野かつ詳細な情報を極力少ない情報量で獲得できる。このように、人間の眼の機能にヒントを得た広角中心窩センサからの画像はデータ通信及びデータストレージにおいて大きな利点をもつ。

研究代表者は、これまで 3 種類の方式が存在する広角中心窩センサの中で、特殊広角レンズを市販の CMOS/CCD カメラに装着してこれを実現する特殊光学系方式を採用してきた。レンズの設計や試作にはコストがかかるものの、視野の中心部分で極めて高精細な画像が得られかつ広い視野範囲でも十分な結像画像が得られる。しかし、この方式は視野の中心部分で高精細な画像を取得するため広角中心窩センサの光軸方向を観測対象に向ける必要があり、センサ本体を回転させる機構やモータを必要とし、このことが小型化、省エネルギー化の足枷となり、普及・実用化の妨げとなってきた。そこで研究代表者は、2 枚の ITO ガラス間に封入し配向状態にある透明化したネマティック液晶が透明電極の形状と外部からの印可電圧により、焦点距離可変のレンズとして働くことに着目した。この液晶を用いたレンズを液晶レンズセルと呼び、液晶レンズセルを応用したメカニカルな可動部なしに、広い視野を保持しつつ注目したい場所の像倍率を自由に拡大できる液晶広角中心窩レンズの着想に至った。ところが液晶レンズセルは、液晶層の厚みが大きいほど像倍率を大きく変えることが出来るがそのトレードオフとして厚みの二乗に比例して応答時間を要するという性質があり、高速な注目点移動のためには、解決しなければならない問題がいくつか存在する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、液晶をレンズ材料として使用し広角中心窩センサを設計・試作することである。液晶は外部から印加する電圧により内部の屈折率の分布を制御することができ、以下の 3 点が実現可能となる。第 1 にセンサにより得られる像の空間解像度分布を制御し、広い視野を維持したままメカニカルな機構やアクチュエータを用いず注目点の位置を随意に変えることができる。第 2 に視野の広さを保持したまま注目点部分の拡大率を随意に可変制御できる。第 3 に視野内に複数の注目点を与えることができる。このようなメカニカルな機構を必要とせずに広い視野内の空間解像度を自在に制御できる広角中心窩センサは、小型化・省電力化に適しており、様々な応用が考えられる。本研究で

は、厚みの二乗に比例して応答時間が長くなる問題を解決するため、液晶層の厚みの薄い応答時間の短いレンズパワーの小さな液晶レンズセル 2 枚で、高速な像倍率変化、すなわち高速な注目点移動を実現することを目指している。そのために光軸に平行に近い成分のみを抽出して使用するアフォーカル液晶広角中心窩光学系を試作し、その性能を評価した。

3. 研究の方法

本研究は 3 年間の計画であり、各年度は設計・モデル化フェーズと試作・評価フェーズによって 2 段階で構成された。初年度の取り組みは、目標仕様として設定した広角中心窩画像を結像させる厚みをパラメータとしてもつ物理形状モデルレンズの設計値に基づいて、平行入射光線に対して液晶レンズが達成できる像の拡大率を推定する手法を確立させ、液晶広角中心窩レンズ 1 次試作機を試作した。2 年目には液晶レンズの屈折率分布状態から平行入射光線に対する物理形状モデルを考え、1 次試作機を改良し動作を確認した。3 年目には、像倍率変化と実現可能な寸法、必要レンズパワーの関係の計算を、ガリレオ式及びケプラー式望遠鏡と比較して研究分担者の佐藤とともに実施した。また、研究分担者である河村の協力の下、より液晶層の厚い液晶レンズセルに基づいてアフォーカル液晶広角中心窩光学系の局所ズームレンズユニットを製作し、改善すべき点を明らかにした。なお、本研究は最初の 2 年は慶應義塾大学と秋田大学の研究室で、最後の 1 年は芝浦工業大学と秋田大学で実施された。

4. 研究成果

- (1) アフォーカル液晶広角中心窩光学系の局所ズームレンズユニット部の改良に取り組み、レンズとして光量や結像性能にはまだ改良の余地が残されているが、目的の局所的な拡大・縮小及び多電極構造による高速注目点移動実現が可能であることを示した。
- (2) 従来の液晶レンズセルのレンズパワーでは屈折率変化が小さく、3 倍以上の像倍率変化には 2 つの液晶レンズ間の距離を 240mm 以上にしなければならない。
- (3) アフォーカル液晶広角中心窩光学系で実現可能な最大像倍率変化と寸法、液晶レンズセルに求められる必要レンズパワーの関係を、ガリレオ式及びケプラー式望遠鏡によるシミュレーション結果と比較しながら定式化し、より液晶層の厚みの大きな液晶レンズセルを製作して実機テストを実施した。
- (4) 液晶レンズセルの厚みを変えると、レンズパワーは厚みに比例して大きくなり、厚みの 2 乗に比例して応答時間が長くなる。しかし、厚みは大きくなりすぎると液晶分子の配向現象による透明化が起きない層が生じ再び濁る。
- (5) 液晶レンズセル駆動電圧を工夫すること

により応答時間を速めることが出来ることを示した。

(6) 液晶層の薄い応答時間の短い液晶レンズを積層することにより、トータルで同じ大きさのレンズパワーが得られるが、液晶レンズセルを構成するガラス等の反射により光の透過率を下げるため、光量の少ないアフォーカル光学系には必ずしもメリットとはならない。

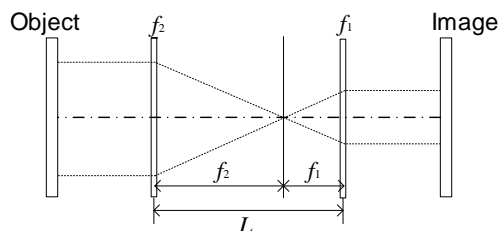


図 1. ケプラー式ズームレンズユニット

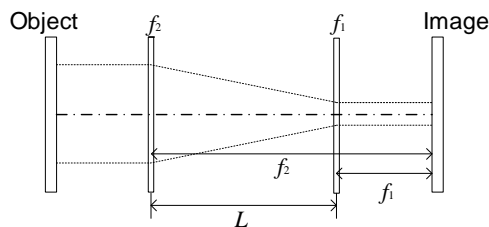


図 2. ガリレオ式ズームレンズユニット

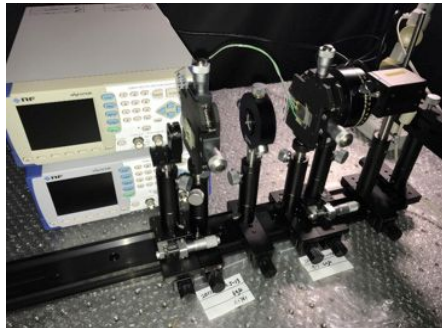


図 3. 検証用液晶ズームレンズユニット

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

Sota Shimizu, Kai Shimada, Rei Murakami, Non-verbal Communication-based Emotion Incitation Robot, Proc. of IEEE AMC, pp. 338-341 (2018.3), 査読有

Sota Shimizu, Ryosuke Iyatomi, Nobuyuki Hasebe, et.al., Man-Machine Interaction using View Line Input -A Proposal of Misdirection Game-, Proc. of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, IS3-3 (2018.3), 査読有

Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Development of Wide Angle Fovea Telescope

with Wide-Field-of-View Immersive Eyepiece, Proc. of IECON, pp.8273-8278 (2017.10), DOI:10.1109/IECON.2017.8217452, 査読有

Tatsuya Yamazaki, Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Considerations about Saliency Map from Wide Angle Fovea image, Proc. of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1330-1335 (2017.6), DOI: 10.1109/ISIE.2017.8001438, 査読有

Yuichi Kobayashi, Mika Tamegai, Kohei Ohnishi, Sota Shimizu, Back Pain Prevention for Professional Caregivers through Inverse Dynamics Analysis -Comparison of Sit-up Support Motion among Several Caregivers-, Proc. of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, SS3-5 (2017.3), 査読有

Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Tessellation for Wide Angle Foveated Image with 4 Regions based on Overlapping Circular Receptive Field Mapping, Proc. of IECON, pp. 6187-6192 (2016.10), DOI: 10.1109/IECON.2016.7793888, 査読有

Sota Shimizu, Data Reduction by Tessellation of Advanced Wide Angle Foveated Model for Planetary Rover, Proc. of the 11th France-Japan Congress and 9th Europe-Asia Congress on Mechatronics, pp. 278-283 (2016.6), DOI: 10.1109/MECATRONICS.2016.7547155, 査読有

Sota Shimizu, Development of Wide Angle Fovea Binocular -Lens Design and Production of Prototype-, Proc. of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, IS3-2 (2016.3), 査読有

清水創太, 中村和貴, 長谷部信行, 惑星探査ローバー遠隔操縦のための広視野視覚システムの開発—視線入力装置を用いたカメラ方向制御の精度評価手法—, 電気学会論文誌, Sec. D, Vol. 135, No. 12, pp.1138-1143 (2015.12), DOI:10.1541/ieejias.135.1138, 査読有

Sota Shimizu, Susumu Sato, Towards Non-mechanical Wide Angle Fovea Sensor -Fundamental Design by Liquid Crystal Lens Cell-, Proc. of IECON, pp.3632-3637 (2015.11), DOI:10.1109/IECON.2015.7392665, 査読有

M. Kawamura, S. Ishikuro, and S. Sato, Imaging System for Determining Depth Mapping Properties by Using a Liquid Crystal Lens, Proc. of IECON, pp.1966-1969 (2015.11), DOI:10.1109/IECON.2015.7392388, 査読有

M. Kawamura, S. Ishikuro, Feature Extraction from Multiply Focal Images by Using a Liquid Crystal Lens, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol.613, pp.51-58 (2015.7), DOI: 10.1080/15421406.2015.1032038, 査読有

M. Kawamura, K. Nakamura, S. Sato, Liquid-Crystal Micro-Lens Array with Square-Shaped Electrodes, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol.613, pp.137-142 (2015.7), DOI:10.1080/15421406.2015.1032104, 査読有
河村希典, ディスプレイ用途を超える液晶の利用の可能性, 応用物理 第 84 巻 第 2 号, 131-136 (2015.2), 査読有

〔学会発表〕(計 24 件)

清水創太, 平井悠華, 河村希典, 佐藤進, ガリレオ式液晶ズームレンズの動作検証, 平成 30 年電気学会全国大会, S26-1, (2018.3)

Sota Shimizu, Towards Non-mechanical Wide Angle Fovea Sensor -Fundamental Design by Liquid Crystal Lens Cell-, School of Computing, Mathematics and Digital Technology, Manchester Metropolitan University, UK, John Dalton Building 424, (2017.6.22) (招待講演)

河村希典, 液晶レンズとその応用, 男鹿・潟上・南秋テクノフォーラス招待講演, 大潟村サニールール, (2017.5.24) (招待講演)

河村希典, 平成 27 年度 JST マッチングプランナー事業採択「液晶レンズの仕組みについて」, I N S 起業化研究会招待講演, (2017.4.12) (招待講演)

為我井美佳, 小林優一, 大西公平, 清水創太, 逆動力学解析に基づく介護者の起き上がり支援動作によって生じる腰痛原因の解明~複数の介護者の動作~, 平成 28 年産業計測制御研究会, (2016.11)

山崎達也, 清水創太, 長谷部信行, 広角中心窩画像から得られる顕著性マップについての考察, 平成 28 年産業計測制御研究会, (2016.11)

M. Kawamura, Y. Goto, and S. Sato, Liquid Crystal Lens with Circularly-Patterned Highly-Resistive-film, ISOT 2016, 2 pages (2016.11)

Sota Shimizu, Towards Non-mechanical Wide Angle Fovea Sensor -Fundamental Design by Liquid Crystal Lens Cell-, Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, School of Engineering and Architecture, University of Bologna, Italy, (2016.10.28) (招待講演)

清水創太, 中心窩を有する広視野センサシステムの開発, 電子情報通信学会東北支部学術講演会, 秋田大学 理工学部 1 号館 /D230, (2016.10.14) (招待講演)

清水創太, 長谷部信行, 広角中心窩双眼鏡の開発~ガラス・樹脂混合型対物レンズの設計と試作~, 平成 28 年電気学会産業応用部門, 2-S12-2 (2016.9)

小林優一, 為我井美佳, 小川健司, 大西公平, 清水創太, モーションキャプチャとフォースプレートによる臥位姿勢の要介護者の起き上がり支援動作の計測と解析~

筋骨格モデル 3 次元動画の作成~, 平成 28 年電気学会産業応用部門, HA1-2-4 (2016.8)

清水創太, バイオメカニクスにおける画像応用, 慶應義塾大学矢上キャンパス厚生棟 中会議室, (2016.7.25) (招待講演)

Sota Shimizu, Hiroyuki Nishiyama, Nobuyuki Hasebe, Undistorted Image Reconstruction from Advanced Wide Angle Foveated Image, Proc. of ISRS (2016.4)

Sota Shimizu, Towards Non-mechanical Wide Angle Fovea Sensor -Fundamental Design by Liquid Crystal Lens Cell-, Department of Robotics, Italian Institute of Technology, Italy, (2016.4.5) (招待講演)

Sota Shimizu, Towards Non-mechanical Wide Angle Fovea Sensor -Fundamental Design by Liquid Crystal Lens Cell-, Department of Information Engineering, University of Padova, Italy, (2016.3.31) (招待講演)

Sota Shimizu, Development of Wide Angle Fovea Binocular -Lens Design and Production of Prototype-, Gates and Thomas Laboratory, California Institute of Technology, USA, (2016.3.11) (招待講演)

西山裕之, 清水創太, 内藤雅之, 草野広樹, 長岡央, 長谷部信行, アクティブ X 線検出器の動作モニタリングのための探査ローバー用多機能遠隔広視野視覚センサシステムの開発, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学 (2016.3)

河村希典, 革新的液晶レンズの研究開発, 産技連東北地域部会情報通信・エレクトロニクス分科会秋季分科会 (2015.10) (招待講演)

河村希典, 液晶を用いた光学素子とその応用, JACI 電子情報技術部会エレクトロニクス交流会応用技術企画 WG 講演会「ウェアラブルの未来メガネ・レンズ」 (2015.9) (招待講演)

M. Kawamura, K. Nakamura, and S. Sato, Asymmetrical Phase Difference Distribution Properties of a Liquid Crystal Micro-Lens Array with Tetragonally-Patterned Electrodes, Proc. of The international society for optics and photonics, SPIE Organic Photonics + Electronics (OP15P), Liquid crystals XIX 9565-31, Vol. 9565, 9565V-1 - 9565V-6 (2015.8)

21 M. Kawamura, K. Tamura, M. Chida, and S. Sato, Multifocal Liquid-Crystal-Lens Properties with an Additional Ring-Electrodes, Proc. of The international society for optics and photonics, SPIE Organic Photonics + Electronics (OP15P), Liquid crystals XIX 9565-45, Vol. 9565, 956519-1 - 956519-6 (2015.8)

22 M. Kawamura, and S. Ishikuro, Three-Dimensional Imaging System by Using a Low-Voltage-Driving LC Lens, Proc. of The

international society for optics and photonics,
SPIE Organic Photonics + Electronics
(OP15P), Liquid crystals XIX 9565-46, Vol.
9565, 95651A-1 – 95651A-6 (2015.8)

- 23 西山裕之, 清水創太, 長岡央, 長谷部信行,
遠隔操作時の時間遅れ問題を解決する
SIFT を用いた過去から未来へのビジュアル
ルトラッキング, 日本地球惑星科学連合
2015 年大会, 幕張メッセ, (2015.5)
- 24 清水創太, 丹澤祥晃, 菊地秀一, 橋詰匠,
周辺視野は別の顔, 平成 27 年産業計測制
御研究会 (2015.5.22) (招待講演)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 照明システム
発明者: 河村希典
権利者: 秋田大学
種類: 特許
番号: 特願 2016-184460, 特開 2018-49744
出願年月日: 2016 年 9 月 21 日
公開年月日: 2018 年 3 月 29 日
国内外の別: 国内

取得状況 (計 8 件)

名称: マトリクス駆動液晶光学素子及び装置
発明者: 佐藤進, 清水創太
権利者: 秋田県
種類: 特許
番号: 6149210 号
出願年月日: 2012 年 6 月 26 日
取得年月日: 2017 年 6 月 2 日
国内外の別: 国内

名称: Geometric Transformation Lens
発明者: Sota Shimizu, Susumu Sato
権利者: Sota Shimizu
種類: 特許
番号: U.S. Patent 9658369
出願年月日: 2012 年 5 月 12 日
取得年月日: 2017 年 5 月 23 日
国内外の別: 国外

名称: 液晶レンズ
発明者: 河村希典, 佐藤進
権利者: 秋田大学
種類: 特許
番号: 6128719 号
出願年月日: 2016 年 8 月 31 日
取得年月日: 2017 年 4 月 21 日
国内外の別: 国内

名称: 幾何学変換レンズ
発明者: 清水創太, 佐藤進
権利者: 清水創太
種類: 特許
番号: 6019016 号
出願年月日: 2012 年 5 月 11 日
取得年月日: 2016 年 10 月 7 日
国内外の別: 国内

名称: 液晶光学デバイス
発明者: 佐藤進, 葉茂, 高橋慎吾
権利者: 秋田県
種類: 特許
番号: 5906366 号
出願年月日: 2010 年 12 月 27 日
取得年月日: 2016 年 4 月 1 日
国内外の別: 国内

名称: 低電圧駆動液晶レンズ
発明者: 佐藤進, 葉茂, 高橋慎吾
権利者: 秋田県
種類: 特許
番号: 5776135 号
出願年月日: 2010 年 3 月 1 日
取得年月日: 2015 年 7 月 17 日
国内外の別: 国内

名称: 注目度検出システム, 注目度判定装置,
注目度判定装置用のプログラム及び画像配信シ
ステム
発明者: 清水創太, 橋詰匠
権利者: 早稲田大学
種類: 特許
番号: 5733658 号
出願年月日: 2011 年 3 月 18 日
取得年月日: 2015 年 4 月 24 日
国内外の別: 国内

名称: 液晶シリンドリカルレンズアレイおよび
表示装置
発明者: 佐藤進
権利者: 秋田県
種類: 特許
番号: 5699394 号
出願年月日: 2011 年 1 月 6 日
取得年月日: 2015 年 4 月 8 日
国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等
www.intelligent-robotics.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者
清水 創太 (SHIMIZU SOTA)
芝浦工業大学・デザイン工学部・教授
研究者番号: 20328107

(2) 研究分担者
佐藤 進 (SATO SUSUMU)
秋田大学・理工学研究科・名誉教授
研究者番号: 50005401

(3) 研究分担者
河村 希典 (MARENORI KAWAMURA)
秋田大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 90312694