

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06368

研究課題名(和文) 大口径高効率新規液晶レンズの創製及びその応用に関する研究

研究課題名(英文) Study on Development of a Liquid Crystal Lens with a Large-Diameter and Its Applications

研究代表者

河村 希典 (KAWAMURA, MARENORI)

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90312694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：円形パターン電極及び複数の輪帯電極と高抵抗膜を用いた液晶レンズを設計・試作し、液晶レンズにおける有効なレンズ径を拡大・維持しつつレンズパワー(焦点距離の逆数)の可変幅を拡大することができた。さらに液晶レンズに特化した3次元液晶分子配向シミュレータを開発し、3次元電界分布、液晶分子配向分布を計算することができ、基板面から立ち上がる液晶分子のチルト角及び不均一な電界分による液晶分子の方位角分布についても求めることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液晶に関する研究のほとんどがディスプレイを中心に行われており、多くの知見がなされてきた。しかし、ディスプレイ以外の分野で実際にデバイスとして応用されているものは少ない。有効なレンズ径を拡大・維持しつつ、液晶層の利用効率を改善することでレンズパワーの可変幅を拡大する新規液晶レンズの創製を目指すことは学術的に他ではなく、斬新なものである。成熟産業といわれている液晶技術を含む光学部品産業及び電気電子機器産業に、新市場開拓への大きなシースとなることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We proposed a novel liquid crystal (LC) with a circular electrode and ring electrodes having a highly-resistive film between the patterned electrodes and the LC layer. The effective lens region with a widely variable lens power can be obtained. Three-dimensional numerical calculation of molecular orientation of the LC director in the LC lens was carried out and the distributions of the LC directors and phase retardation were simultaneously estimated. The phase retardation obtained from the interference fringes were also obtained experimentally. The experimental results obtained for the optical phase retardation agree well with the numerically calculated results.

研究分野：光デバイス工学

キーワード：液晶レンズ 輪帯電極 光学位相差分布 レンズパワー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電氣的・光学的特性に異方性を示し、液体のような流動性を示す液晶はその分子配向状態を電圧により制御することが可能で、薄型軽量のフラットディスプレイとして目覚ましい発展を遂げている。しかし、液晶が持つ大きな特徴である屈折率異方性を利用したデバイスに関する研究開発は必ずしも盛んではない。これまで、機械的駆動部を必要せず電圧のみにより凸レンズ特性～凹レンズ特性を制御可能な『液晶レンズ』を作製し、そのレンズ特性及び光学システム的应用について研究を行って来た。本研究の目的は、少数の輪帯電極により液晶層の利用効率が最大で且つ滑らかな放物面状の光学位相差分布(屈折率分布)を実現することであり、輪帯電極及び高抵抗膜を有する新規液晶レンズを設計・試作し、理想的な球面状のレンズ特性を示す「有効なレンズ径の拡大」と有効径を維持しつつ「レンズパワー(焦点距離の逆数)の可変幅を拡大」することである。本研究の成果は、機械的駆動部が無いアクティブな光学素子へ広く応用することができ、単一レンズ系における「全焦点位置画像処理システム」及び「遠近両用・老眼用焦点可変メガネ」や「種々の光学デバイスにおけるレンズパワーの可変調整」などに貢献することが期待される。

液晶レンズにおけるレンズパワー(焦点距離の逆数)の可変幅は液晶材料の複屈折及び液晶層厚に依存する。そのためレンズパワーの可変幅を拡大するには複屈折の大きな液晶が必要となるが液晶材料からのアプローチだけでは耐光性の低下、光散乱、及び粘性係数の増大から応答速度の低下を改善することができない。さらに、液晶層厚を厚くすることでも光散乱が増し、応答速度の低下がある。理想的なレンズ特性として放物線状の光学位相差分布が必要であり、液晶レンズの構造パラメータを詳細に設計することである程度克服できるが、有効なレンズ径は円形パターン電極よりも内側にある。有効レンズ径を維持し放物線状の光学位相差分布を示すレンズパワーの可変幅は、液晶材料で決まる複屈折と液晶層厚の積である光学位相差分布で求まるレンズパワーに対して40%程度と見積もっている。また、レンズパワーの可変幅はレンズ半径の2乗に反比例して低下することから、有効なレンズ径を拡大・維持しつつレンズパワーの可変幅を拡大するには、現在の研究段階では構造パラメータ等の改良、または全く新しい電極構造の液晶レンズを提案する必要がある、改善の余地が残されている。

2. 研究の目的

本研究グループが長年研究を行っている機械的制御系を一切必要せず焦点距離を電圧のみにより制御可能な『液晶レンズ』を視力補助デバイスとする『遠近可変メガネ』に適用するための基礎研究を本研究の目的とする。研究実施期間では、複数の円形パターン形状の電極及び高抵抗膜を用いた新しい構造の液晶レンズを設計・試作し、①液晶レンズにおける有効なレンズ径を拡大・維持しつつレンズパワー(焦点距離の逆数)の可変幅を拡大すること、焦点可変メガネに適用する際のレンズパワーを矯正するため②凹レンズ特性～凸レンズ特性(逆に凸レンズ特性～凹レンズ特性)を制御することを目的とする。

3. 研究の方法

研究代表者がこれまで研究を行ってきた液晶レンズの作製・評価とその応用計測装置の知見を活かし、下記の研究内容の計画を行い、設計、試作、実証実験を行う。

1. 大口径高精度液晶レンズの設計と作製
2. 光学的・電氣的に評価するための測定評価技術の開発
3. 液晶レンズの電気光学特性の測定とその評価
4. 各々の研究課題の位置付けと問題点等を抽出し、総合的な考察を行う

4. 研究成果

(1)液晶レンズ I (輪帯電極・高抵抗膜)を設計し、液晶レンズにおける有効なレンズ径を拡大・維持しつつレンズパワーの可変幅の拡大を行った。液晶レンズにおける液晶層の厚み、絶縁層極薄ガラス厚、液晶材料の諸パラメータ、誘電率、高抵抗膜(酸化亜鉛膜または有機導電膜)の抵抗値及び輪帯電極の直径・電極数について、液晶分子の配向シミュレーションより構造パラメータを算出した結果から、設計を行った。その結果をもとに、液晶レンズの試作を行った[図1]。その液晶レンズの光学位相差分布、レンズパワー、収差・応答回復時間の測定を行った。

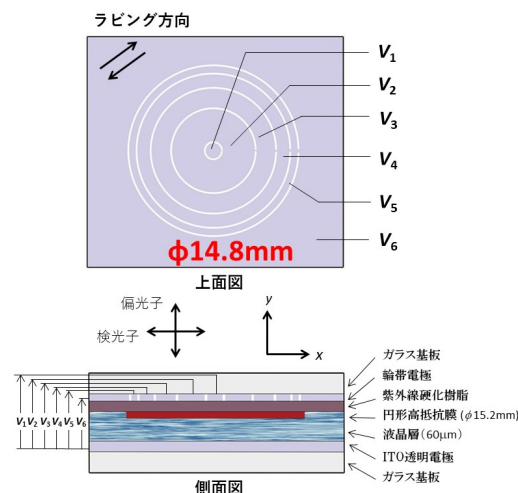


図1 液晶レンズ

(2) 液晶レンズⅡ、Ⅲの試作・評価：輪帯電極と円形高抵抗膜または有機導電膜を用いた液晶レンズⅡの設計・試作を行った。最外輪帯電極縁付近での電界分布を制御することで、理想的な光学位相差分布(放物線特性)に近づける実験的検証を行い、円形高抵抗膜の直径、抵抗値と各部の厚み等の構造パラメータとの関係について明確にした。さらに、理想的な放物面状の光学位相差分布に近づけ、非球面レンズ・2焦点制御機能の可能性を明らかにした[図2,3]。

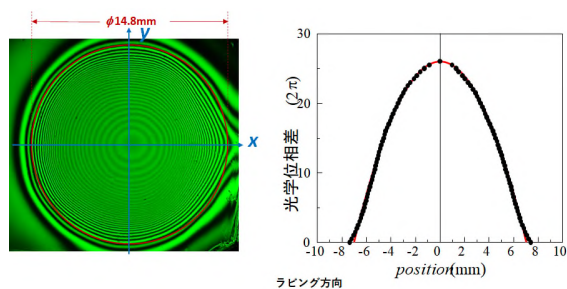


図2 凸レンズ特性

(3) レンズ特性の評価(光学位相差分布・焦点距離・収差・応答回復時間)：高抵抗膜、絶縁膜及び液晶のコンデンサ容量によりインピーダンス特性を示すことから試作した液晶レンズの光学特性の周波数依存性についても実験を行った。その結果、駆動周波数と高抵抗層のシート抵抗値によりレンズ特性に大きく影響することが分かった。

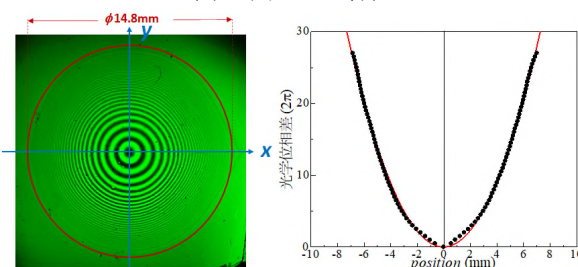
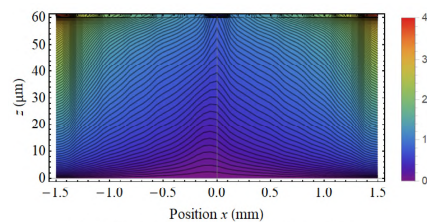
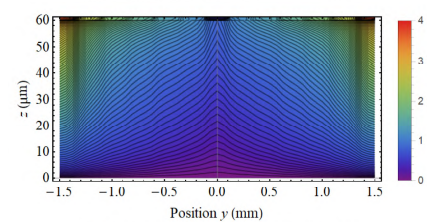


図3 凹レンズ特性

(4) 輪帯電極・円形スリット高抵抗膜及び外部フレネル型電極を有する液晶レンズの試作・評価を行った。大口径のレンズ直径とする約25mm~30mmを維持しつつ、レンズ性能を示す理想的な放物面状のレンズ特性となるレンズ効率の向上とレンズパワーの増大を目的としたフレネル型電極構造を付加した液晶レンズの試作とその光学的な評価を行った。



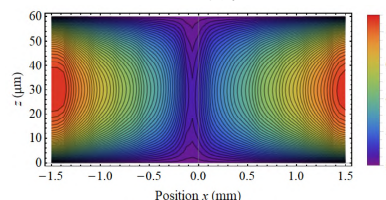
(a) Equipotential lines in the $y = 0$ mm plane.



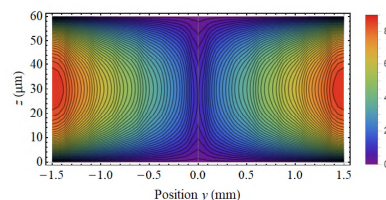
(b) Equipotential lines in the $x = 0$ mm plane.

図4 電界分布

(6) 試作した液晶レンズを用いて、実際に実態顕微鏡に配置し、機械的駆動部無く焦点を移動できる全焦点位置画像処理システムを構築した。この液晶レンズを全焦点位置画像処理システムに適用するための問題点等を明らかにした。



(a) Cross-section at $y = 0$ mm.



(b) Cross-section at $x = 0$ mm.

図5 チルト角分布

(7) これまで輪帯電極・円形スリット高抵抗膜及び外部フレネル型電極を有する液晶レンズにおける干渉縞観察結果から光学位相差分を求めて評価を行っていたが、電界分布と液晶層における液晶分子の分布については明らかになっていなかった。そのため、輪帯電極・円形スリット高抵抗膜及び外部フレネル型電極を有する液晶レンズに対応する3次元液晶分子配向シミュレータの開発を行った。本シミュレータを用いることで、3次元電界分布、液晶分子配向分布を計算することができ、基板面から立ち上がる液晶分子のチルト角及び不均一な電界分による液晶分子の方位角分布についても求めることができた。電圧制御による放物面状のレンズ特性のみならず円錐状レンズ特性についても求めることができ、3次元液晶分子シミュレータにより3次元電界分布、チルト角分布、及び方位角分布を決定することができた[図4~6]。

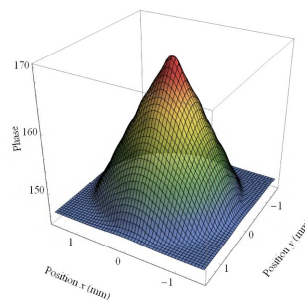


図6 光学位相差分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawamura Marenori, Sato Shogo, Sato Susumu	4. 巻 58
2. 論文標題 Electrically tunable liquid-crystal optical and imaging devices operating in the infrared wavelength range of 10 μ m band	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 086502 ~ 086502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab2c2e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Marenori Kawamura	4. 巻 32
2. 論文標題 Tunable Liquid Crystal Lenses and Their Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 559-562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 河村希典	4. 巻 23
2. 論文標題 液晶レンズの基礎とその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EKISHO	6. 最初と最後の頁 215-221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Marenori Kawamura, and Susumu Sato	4. 巻 57
2. 論文標題 Variable wide range of lens power and its improvement in a liquid-crystal lens using highly resistive films divided into two regions with different diameters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 052602-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.052602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawamura Marenori, Ichimura Yuki, Sugawara Tomoki	4. 巻 60
2. 論文標題 Liquid crystal lens with tunable conical lens properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 042001 ~ 042001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abed63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawamura Marenori, Rasidi Mohamad Ridhuan Nain Bin, Ichimura Yuki	4. 巻 28
2. 論文標題 Driving liquid crystal lens without LC molecular orientation defects induced by an electric field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 295 ~ 303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-021-00661-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 山平大喜, 河村希典
2. 発表標題 液晶マイクロプリズムアレイの偏向特性
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山平大喜, 河村希典
2. 発表標題 2分割・四角形状電極構造を有する液晶マイクロプリズムアレイの光学特性
3. 学会等名 2020年日本液晶学会オンライン研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河村 希典、下村 一郎、米谷 匡弘、須田 真通、武藤 聖英、齊藤 勝俊、佐藤 陽介、伊藤 慎一、田中 元志
2. 発表標題 広域連携プラットフォーム (All Japan Lighting Laboratory) を活用した液晶レンズプロジェクト
3. 学会等名 産学連携学会第18回秋田大会(18th Annual Meeting of Japan Society for Intellectual Production)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山平大喜, 河村希典
2. 発表標題 液晶マイクロレンズアレイにおける液晶分子のダイレクタ分布()
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会IEEJ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村 希典, 市村 優貴, 山平 大喜
2. 発表標題 円錐状レンズ特性を有する液晶レンズの3次元液晶分子配向シミュレーション
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村 希典
2. 発表標題 液晶光学素子の研究開発 広域連携による光産業等の創出と地域活性化への取り組み
3. 学会等名 男鹿・潟上・南秋テクノフォーラス(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 液晶マイクロレンズアレイを用いた採光フレキシブルウィンドウフィルム及びその制御回路電源の開発に係る研究
3. 学会等名 令和元年度 第1回産学官交流プラザ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水木泰仁、吉田裕貴、河村希典
2. 発表標題 PEDOT/PSSを用いた液晶レンズの電気光学特性
3. 学会等名 日本素材物性学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marenori Kawamura
2. 発表標題 Tunable Liquid Crystal Lenses and Their Applications
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 先進光技術で製品開発
3. 学会等名 ものづくり技術連携交流会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水木泰仁, 河村希典
2. 発表標題 近赤外液晶偏向制御素子の電気光学特性
3. 学会等名 2019年度 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅原朋樹, 河村希典, 佐藤 進
2. 発表標題 フレネルレンズ型屈折率分布を有する大口径液晶レンズの光学位相差特性
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 液晶レンズ技術を用いた樹脂応用製品の可能性
3. 学会等名 第20回次世代プラスチック成形技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川亮平, 河村希典
2. 発表標題 円錐状レンズ特性を有する液晶レンズにおける応答特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 スマートレンズ技術の光応用の可能性
3. 学会等名 大学講座：超スマート社会構築に向けたイノベーション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 環境に配慮した液晶レンズアレイ照明装置の開発
3. 学会等名 JST 環境 新技術説明会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典, 菅原朋樹, 佐藤進
2. 発表標題 液晶レンズとそれを用いた光学システムへの応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marenroi Kawamura, Shintaro Saito, and Susumu Sato
2. 発表標題 Optical phase properties of a large diameter liquid crystal lens
3. 学会等名 IEEE Photonics North 2018 (Montreal, Canada) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marenori Kawamura, Shintaro Saito, and Susumu Sato
2. 発表標題 Large Diameter Liquid-Crystal Lens with Multiple-Ring-Electrodes and Highly Resistive Film
3. 学会等名 ILCC2018 27th International Liquid Crystal Conference (Kyoto) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marenori Kawamura
2. 発表標題 Tunable Focus Liquid-Crystal Lenses with Multiple Ring-Electrodes and Highly-Resistive Film
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2018, Annual Joint Symposia on Optics (Tokyo) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原朋樹, 河村希典, 佐藤 進
2. 発表標題 大口径液晶レンズのフローティング電極の影響
3. 学会等名 2018年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川亮平, 河村希典, 佐藤 進
2. 発表標題 輪帯電極構造を有する液晶レンズにおける応答特性
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 メカニカルフリー焦点制御機能を持つ液晶レンズ開発とその応用
3. 学会等名 第19回秋田大学医理工連携“夢を語る会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 液晶材料を用いた光学素子の基礎と応用
3. 学会等名 日本表面真空学会 東北・北海道支部「サイエンスカフェ in Akita」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 電子制御屈折率分布型液晶レンズアレイの開発とその応用
3. 学会等名 JST新技術説明会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅原朋樹, 河村希典
2. 発表標題 円錐状レンズ特性を有する液晶レンズの光学位相差分布()
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村 希典, 菅原 朋樹
2. 発表標題 円錐状レンズ特性を有する液晶レンズの球面収差
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 液晶レンズの仕組みについて
3. 学会等名 I N S 起業化研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 液晶レンズとその応用
3. 学会等名 男鹿・潟上・南秋テクノフォーラス (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斉藤 慎太郎, 後藤 祐紀, 河村 希典, 佐藤 進
2. 発表標題 高抵抗膜及び浮遊電極を有する輪帯電極型液晶レンズ
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 及川健太, 河村希典, 佐藤 進
2. 発表標題 輪帯電極及び高抵抗膜を用いた大口径液晶レンズの光学特性
3. 学会等名 2017年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荻原和哉, 河村希典, 佐藤 進
2. 発表標題 輪帯電極構造を有する液晶レンズの応答特性
3. 学会等名 2017年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斉藤 慎太郎、後藤 祐紀、河村 希典、佐藤 進
2. 発表標題 高抵抗膜を有する輪帯電極構造液晶レンズにおける浮遊電極の効果
3. 学会等名 2017 年 (平成 29 年) 応用物理学会東北支部 第 7 2 回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 Liquid Crystal Lens and It ' s applications
3. 学会等名 アルベルト・ルートヴィヒ・フライブルク大学 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 Liquid-Crystal-Lenses with Variable Focal Length and Their Applications
3. 学会等名 アーヘン工科大学（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河村希典
2. 発表標題 Liquid-Crystal-Lenses with Variable Focal Length and Their Applications
3. 学会等名 カールスルーエ工科大学（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斉藤 慎太郎、河村 希典、佐藤 進
2. 発表標題 輪帯電極及び高抵抗膜を用いたフレネル型大口径液晶レンズ
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 位置合わせ装置	発明者 河村希典、下村一 郎、米谷匡弘、須田 真通、武藤聖英	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-193978	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 液晶レンズ	発明者 河村希典、佐藤進	権利者 秋田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6128719号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 照明システム	発明者 河村希典	権利者 秋田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6798686号	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

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	佐藤 進 (SATO SUSUMU) (50005401)	秋田大学・名誉教授・名誉教授 (11401)	

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
---------	---------