

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K09798

研究課題名（和文）眼振による弱視の治療を目指した光学式マウス検出装置の開発

研究課題名（英文）Development of an optical mouse detection device for the treatment of amblyopia caused by nystagmus

研究代表者

川守田 拓志（Kawamorita, Takushi）

北里大学・医療衛生学部・准教授

研究者番号：80511899

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、眼振によって生じた見る対象との視線のズレ（眼振量）を光学式マウスの原理で検出し、既存の電子ディスプレイで検出した眼振量を反映し、見る対象を動かすことで、網膜に鮮明な映像を結像させ視覚野の発達を促す装置開発を試みることであった。光学式マウスの光学系を調査し、視線解析装置からの視線情報からソフトウェアの開発を行うことが、精度、安全性、汎用性、コストの面で望ましいことがわかった。視線に連動して画像や映像を動かすことに成功し、静止画や動画にも対応させリアルタイムでの提示が可能となった。最終年度においてヴァーチャルリアリティシステムを用いて同機構を採用して精度調査とともに開発を行い、完成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、光学式マウス検出系から着想を得て開発を行い、メカニカル、光学的に眼振を補正する機構を提供することができ、ヴァーチャルリアリティシステムでの使用も可能となった。社会的な意義は、本研究により、眼振患者の視覚野の発達障害を抑制させ、眼振に起因する弱視者の軽減につながる可能性がある。また本研究の過程にて、眼位異常にも対応できるように改良し、精度、安全性、汎用性、コストの面を両立させて技術を提供できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to attempt to develop a device that detects the displacement of the line of sight from the object to be viewed (nystagmus volume) caused by nystagmus using the principle of an optical mouse, reflects the nystagmus volume detected by existing electronic displays, and promotes the development of the visual cortex by moving the object to be viewed, thereby forming a clear image on the retina. We investigated the optical system of an optical mouse and found that developing software based on gaze information from a gaze analyzer was desirable in terms of accuracy, safety, versatility, and cost. We succeeded in moving images and video images in conjunction with eye movement, and were able to make the software compatible with still and moving images, making real-time presentation possible. In the final year of the project, the same mechanism was adopted using a virtual reality system, and development was completed along with an accuracy survey.

研究分野：眼光学

キーワード：眼振 マウス光学系 弱視治療 模擬眼 視線 視覚野 発達 眼光学

1. 研究開始当初の背景

先天的に眼球振盪(以下、眼振)を有している場合、片眼または両眼の不随意的周期的な動きが生じる。この動きによって網膜中心窩に光刺激が適切に送られないために(網膜像が常に揺れている状態のため)視覚野の発達障害が生じる。このような眼振を完全に止めることは難しく、また症例によっては視覚野が発達しないため、眼鏡で矯正しても視力が出ない、視力が出ても見え方の質が悪いまま大人になっていく小児がいるのが現状である(Casteels I et al., Br J Ophthalmol. 1992)。

眼振に効果的と期待される治療法には光学療法と外科的治療法(Anderson JR. Br J Ophthalmol, 1953; Kestenbaum A. Int J Ophthalmol, 1954)があるが、いずれも眼振の軽減を目的とし、眼振を止める治療法はなく、訓練法も確立されていない。

一方で、機能弱視患者の視覚野の発達に関する研究においては、歴史的にも多くの医療者ならびに研究者が携わっている。弱視の有病率は、約3%といわれており(Carton J, Health Technol Assess. 2008)最近では3Dシャッターグラスを用いた両眼開放下の弱視治療(Herbison N, et al. Eye. 2013)や据え置き型電子ディスプレイやヴァーチャルリアリティ(Virtual reality: VR)システムを利用して映像を提示することで弱視治療の有効性が報告されている(Holms JM, et al. Ophthalmology. 2018、Li J, et al. Curr Biol. 2013)。我々は、これらの研究を参考に、光学的かつメカニカルな観点から、カメラの手振れ補正の技術や光学式マウス検出系の技術を活用し、眼振を有する小児の視力向上ができないかと考えた。

眼振の揺れのパターンも律動眼振(緩徐相速度一定型、緩徐相速度増加型、緩徐相速度減衰型)振子眼振と様々である。また、乳児眼振症候群(乳児眼振と先天周期交代性眼振)、潜伏眼振、眼振阻止症候群、点頭けいれんなどがある。これら、多くの種類があると思われるが、その周波数は1~5 Hz、振幅は度数以内であることから、原理的にはリアルタイムにLEDや赤外線センサー等で位置と動きの情報を取得し、映像位置の補正を行える範囲と思われる、眼振による視覚野の発達障害の抑制を目指した。

2. 研究の目的

本研究は、眼振によって生じた見る対象との視線のズレ(眼振量)を光学式マウスの原理で検出し、既存の電子ディスプレイで検出した眼振量を反映し、見る対象(映像)を動かすことで、網膜に鮮明な映像を結像させ視覚野の発達を促す装置開発を試みることであった。メカニカル、光学的に眼振を補正する機構を開発し、小児の視覚野の発達障害の抑制を目指した。

3. 研究の方法

(1) 眼振の検出および映像追従方法の検討

光学式マウスの光学系を調査し、いくつかの達成の方法の調査を行った。眼に弱い光を入れて反射光を2次元センサーで動きを捉えることを基本原理とし(図1) LED光源を用いた出力での光学系を組み、反射光をセンサーでとらえて光電効果で出力を得て、さらにその位置情報を取得すること(図2) 既存の赤外線マウス光学系を応用して眼球の動きを検出すること、赤外線を使用している視線解析装置からの視線情報からソフトウェアの改良で対応することのアプローチを行った。

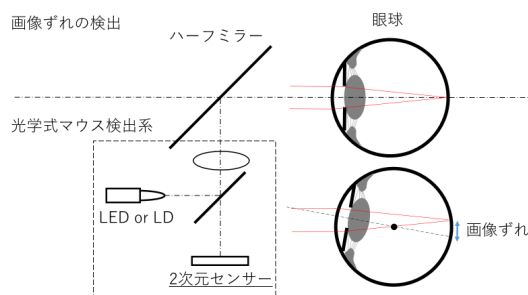


図1. 光学式マウスの光学系

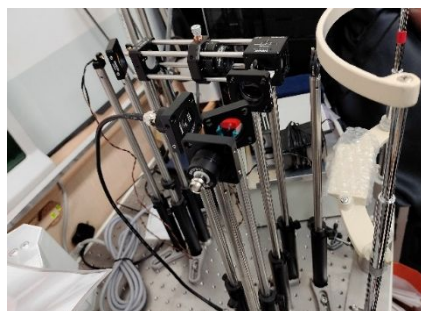


図2. LED光源を用いた出力での光学系

(2) 視線追従ツールの開発

(2-1) 据え置き型電子ディスプレイシステム

据え置き型電子ディスプレイシステムでは、赤外線センサー付きゴーグルで眼の揺れを検出し、揺れに対応した位置ずれ量をディスプレイに画像や映像として出力するシステムを構築した。

精度評価においては、光学シミュレーションソフトウェア LightTools (Synopsis 社) および3Dプリンターで模擬眼を作成し、振動器をベースに置き、評価が可能になると思われたが、研

究期間の関係上、模擬眼で行う方法でなく外部カメラを用いて生体で行う方法を優先的に実施した。

本システム開発に使用した機器は、15.6 inch, 1,920×1,080 pixel (141 pixels per inch) の液晶ディスプレイを搭載したノートパソコン (Dynabook:P1C7VDES, Dynabook 株式会社, 日本) サンプル周波数 120Hz@480p の赤外線センサー付きグラス (Pupil Core, Pupil Labs GmbH 社, ドイツ) である。

本システム構築のために Pupil Core Plugin 「Nystagmus」を開発した。Nystagmus は、ソフトウェア "Pupil Capture" 上で動作するカスタムプラグインである (図 3)。

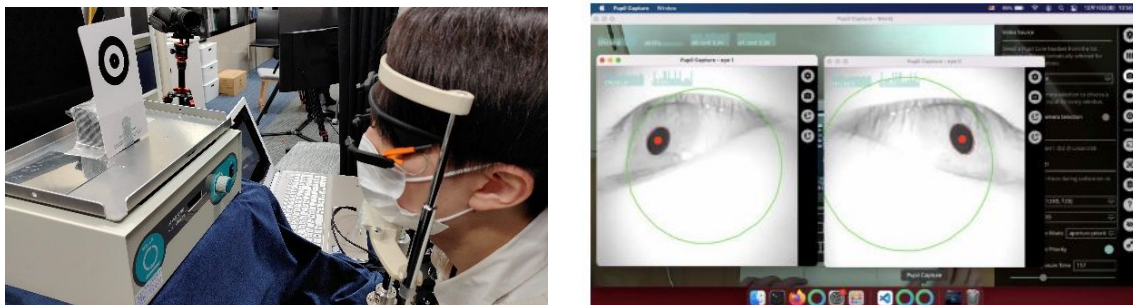


図 3. Pupil Core Plugin 「Nystagmus」(左図：装用時外観およびキャリブレーションシーン、右図：Nystagmus の設定画面)

Nystagmus では、プラグイン上で以下の詳細な設定が可能である。

Monitor

外部接続しているディスプレイをパソコンが認識している場合、プルダウンリストから選択することができる。自動的にディスプレイ上にウィンドウが立ち上がるわけではないが、接続したディスプレイの解像度に合わせてコンテンツサイズが調整される。

Contents

プルダウンリストから、呈示可能なコンテンツ (視覚刺激用の視標) を選択できる。コンテンツはファイルシステム上の以下の特定の場所 ("OS 依存のホームディレクトリ/pupil_capture_settings/plugins/nystagmus/assets/") に追加することで、カスタマイズできる。画像と動画の出力が可能であり、対応している拡張子は jpeg と mp4 である。

Contents Size

Contents で指定した画像や動画の呈示サイズを調整できる。

Saccade

コンテンツが目に焼き付くのを防ぐため、コンテンツの位置はノイズによって常に動いている。そのノイズの大きさを調整できる。

(2-2) バーチャルリアリティシステム

バーチャルリアリティシステム (Virtual Reality: 以下 VR) システムでは、赤外線センサー付き VR ゴーグルで眼の揺れを検知し、揺れに対応した位置ずれ量をヘッドマウントディスプレイに画像や映像として出力するシステムを構築した (図 4)。



図 4. 眼振評価用 VR システム (上図：VR システム外観、下図：設定画面)

本システム開発に使用した機器は、視野角 120 度、リフレッシュレート 120 Hz、2,448×2,448 pixel (141 pixels per inch) のヘッドマウントディスプレイを搭載した VR ゴーグル (HTC Vive Pro2, HTC 社, 台湾) である。本システムはノート PC GP66 Leopard 11U (MSI 社) で制御した。

本システム構築のためにソフトウェア「眼振評価用 VR システム」を開発した (協力：株式会社 PRIDIST)。眼振評価用 VR システムは、Windows で動作するソフトウェアである。

眼振評価用 VR システムでは、ソフトウェア上で以下の詳細な設定が可能である。以下、4 つ

の項目を変更するように開発した。

視線の平滑化データ数

視線の移動距離の算出は、フレーム単位ではなく平滑化によって算出している。平滑化するためのフレーム数を指定することができる。例えば、平滑化データ数を 60 とした場合、今の視線と 1 フレーム前の視線の距離と、今の視線と 2 フレーム前の視線の距離と、
・・・今の視線と 60 フレーム前の視線の距離の合計を 60 で割った値を移動距離として算出している。

$$L = ((\text{eye}[\text{now}] - \text{eye}[0]) + (\text{eye}[\text{now}] - \text{eye}[1]) + \dots + (\text{eye}[\text{now}] - \text{eye}[\text{now}-1])) / 60$$

L：移動距離， eye：視線データ， now：現在のフレーム数

眼球運動の追従のしきい値

視線が動いたかどうかを判別するための閾値である。移動距離が、指定された数値を超えた時に視線が動いたと判断し、メディアの移動処理が開始される。

メディアの移動時間

指定した画像や動画が視線に向けて移動する時間である。指定した時間が短いほど、視線の場所に速く移動する。

メディアのサイズ

指定した画像や動画は眼からヘッドマウントディスプレイを通じて 1.1 m 先に縦 0.9 m x 横 1.6m の大きさを基準として出力される。この基準から表示するサイズの比率を指定することができる。例えば、0.5 と入力した場合には眼からヘッドマウントディスプレイを通じて 1.1m 先に縦 0.45 m x 横 0.8 m の大きさで出力される。

(3) 視線追従ツールでの測定と解析法

据え置き型電子ディスプレイシステムでは、眼振のない人 1 名を対象に、VR システムでは、眼振のない人とある人各 1 名を対象に眼球運動に対する出力画像の位置ずれ量 (cm) を解析した (いずれも成人)。研究は、北里大学医学部・病院倫理委員会の承認元に実施した。

位置ずれ量は視線と出力された画像のずれを撮影した測定動画を基に画像処理ソフトウェア ImageJ (Ver1.53) を使用し、pixel の値から位置ずれ量を算出した。

$$\text{位置ずれ量 (cm)} = \text{視線と出力画像のずれた pixel 数} * 1 \text{ pixel あたりの大きさ (cm)}$$

据え置き型電子ディスプレイシステムの測定は、観測者の 50 cm 前方にディスプレイを呈示し、ディスプレイの中央を注視した後、右端から左端に視線を動かした。解析は、ディスプレイの中央を注視した 3 秒間と、右端から左端に視線を動かした 3 秒間の水平移動に対して 0.3 秒毎の 10 シーンの視線と出力画像のずれた pixel を平均化した。

VR システムの測定は、観測者のヘッドマウントディスプレイを通じて 1.1m 先を注視した後、右端から左端に視線を動かした。解析は、ディスプレイの中央を注視した 3 秒間と、右端から左端に視線を動かした 3 秒間の水平移動に対して 0.3 秒毎の 10 シーンの視線と出力画像のずれた pixel を平均化した。

4. 研究成果

(1) 眼振の検出および映像追従方法の検討

LED 光源を用いた出力での光学系を組み、反射光をセンサーでとらえて光電効果で出力を得て、さらにその位置場を取得すること、既存の赤外線マウス光学系を応用して眼球の動きを検出すること、赤外線を使用している視線解析装置からの視線情報からソフトウェアの改良で対応することのアプローチを行った。

結果、すべて試したところ、やでは増幅器を使用したが高ノイズ成分が多く、信号検出が十分の精度ではなかった。一方、では市販機器を使用できる可能性があり、高精度の眼球トラッキング機能を用いることができ、かつ生体使用の安全性も担保されている点、小型で持ち運びやすいことから、市販機器を用いて据え置き型電子ディスプレイシステムおよび VR システム両面から視線追従ツールの開発を行った。特に VR ではコスト面でも大きな利点があると考えられた。

(2) 視線追従ツールの開発

(2-1) 据え置き型電子ディスプレイシステム

プラグイン上の Saccade を最小にした際のディスプレイの中央を注視による位置ずれ量は平均 ± 標準偏差で 1.70 ± 0.54 cm、水平移動による位置ずれ量は 4.50 ± 1.88 cm であり、視線が動く際に、垂直や水平にずれて出力されることがわかった (図 5)。

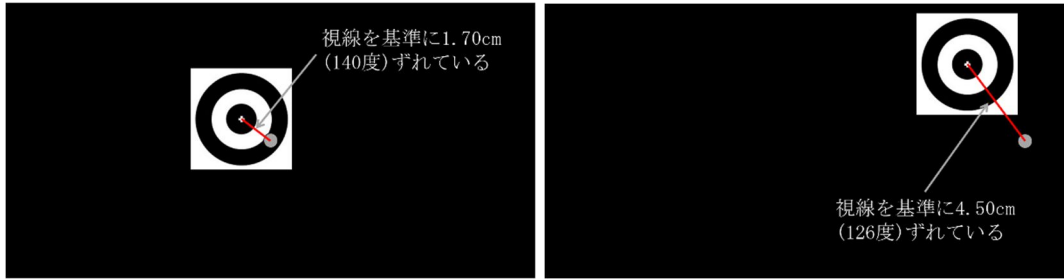


図5. 視標を注視しているときの位置ずれ量（視線はグレーの丸、赤線は位置ずれ量を示す。左図：中心固視、右図：右方向固視）

(2-2) バーチャルリアリティシステム

眼球運動の追従のしきい値 0.01、メディアの移動時間 0.01 にした際の眼振の無い人のディスプレイの中央を注視による位置ずれ量は、平均±標準偏差で 0.01 ± 0.01 cm、水平移動による位置ずれ量は 0.03 ± 0.01 cm であった。

眼振のある人のディスプレイの中央を注視による位置ずれ量は 0.04 ± 0.02 cm、水平移動による位置ずれ量は 0.06 ± 0.05 cm であり、眼振があっても、垂直や水平のずれが僅かであり、正しく出力されることがわかった（図6）。

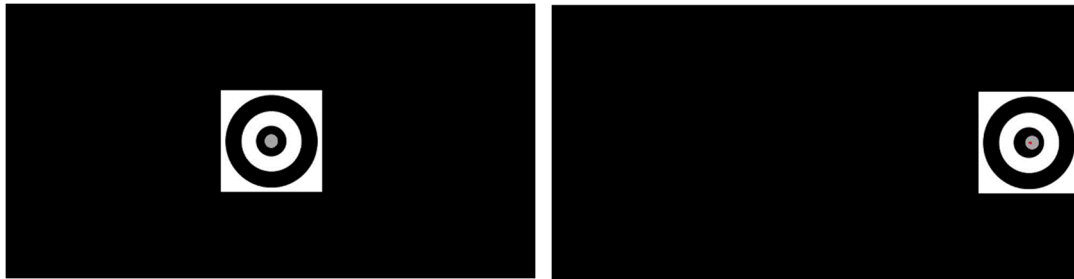


図6. 視標を注視しているときの位置ずれ量（視線はグレーの丸、赤線は位置ずれ量を示す。左図：中心固視、右図：右方向固視）

眼球運動の追従のしきい値 0.10、メディアの移動時間 0.10 にした際の眼振のある人のディスプレイの中央を注視による位置ずれ量は平均±標準偏差で 0.10 ± 0.05 cm、水平移動による位置ずれ量は 0.10 ± 0.04 cm であり、画像の出力が視線に対してやや遅れるが、画像は滑らかに追従されていることがわかった。

また、本システムは任意の静止画や動画を任意に設定し、出力することができ、両眼視あるいは両眼分離させるモードなども設定できるように設計した（図7）。前者は、子どもが飽きずに訓練ができたり、最適な視標提示の研究に応用でき、後者は斜視のある患者にも適用できる可能性がある。ただし、VRには、利用年齢のガイドラインや安全規制ガイドなどがあり、使用の際は確認と注意が必要である（報告書作成時点においては、本機器では注意喚起を行われているものの、現在明示的な年齢制限はない。ただし、立体視や眼位への影響については慎重な取り扱いが必要と思われる）。



図7. VRシステムにおける任意画像および動画設定（左図：任意画像および映像指定、右図：両眼視および両眼分離モード）

(3) まとめ

以上より、VRシステムでは眼振があっても、視線に対して正確に画像を出力することができ、位置ずれ量は非常に小さく、光学的に視線の先、すなわち網膜中心窩に画像を出力することができ、先天性眼振の訓練の応用につながることを示唆された。また、VRシステムの設定を調整することで、位置ずれ量の幅を自由に調整でき、個々の訓練に応じた細かな治療計画を立てることができる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5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 Iizuka T, Kawamorita T, Handa T, Ishikawa H	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Refractive and visual function changes in twilight conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0267149	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 Seki Y, Kawamorita T, Yamamoto N, Tanigawa T, Mita N, Hatsusaka N, Kubo E, Sasaki H	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Analyzing effect of waterclefts on visual functions via optical simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Invest Ophthal Vis Sci	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1167/iovs.63.2.22	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 Iizuka T, Kawamorita T, Takenaka C, Tsuji H, Kanai H, Hirai T, Suzuki H, Handa T, Ishikawa H	4. 巻 11
2. 論文標題 High visibility conditions in a sunset environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app11167229	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 Kamiya K, Fujimura F, Kawamorita T, Ando W, Iida Y, Shoji N	4. 巻 10
2. 論文標題 Factors influencing contrast sensitivity function in eyes with mild cataract	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Clin Med	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jcm10071506	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 Kawamori T	4. 巻 51
2. 論文標題 Effects of displays on myopia and possible countermeasures based on epidemiology in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SID Symposium Digest of Technical Papers	6. 最初と最後の頁 1-2
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 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10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 川守田 拓志
2. 発表標題 屈折を再考する ; 日本人模型眼の重要性
3. 学会等名 第57回日本眼科学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田 拓志
2. 発表標題 多焦点眼内レンズ挿入眼の視機能への影響因子 ; 眼内レンズ偏位と 角の影響
3. 学会等名 第36回JSCRS学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田 拓志
2. 発表標題 乱視の検査と矯正法 ; 乱視の検査と矯正法
3. 学会等名 第36回JSCRS学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田 拓志
2. 発表標題 視機能・前眼部評価アップデート；前眼部画像解析
3. 学会等名 第36回JSCRS学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田 拓志
2. 発表標題 視機能検査結果と日常生活の接点
3. 学会等名 第15回さがみ眼科研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田拓志
2. 発表標題 水晶体の加齢変化・白内障と高次収差
3. 学会等名 第125回日本眼科学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田拓志
2. 発表標題 眼から考える交通安全
3. 学会等名 2020年度JAF関東交通安全実行委員会総会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川守田拓志
2. 発表標題 老視の眼光学
3. 学会等名 第59回日本白内障学会総会・第46回水晶体研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川守田拓志
2. 発表標題 屈折と視力検査
3. 学会等名 第124回日本眼科学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawamori T
2. 発表標題 Effects of displays on myopia and possible countermeasures based on epidemiology in Japan
3. 学会等名 SID Symposium (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 川守田 拓志 (分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 220
3. 書名 眼内レンズの選び方-患者の満足度を高めるコツと方法	

1. 著者名 川守田 拓志 (分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 805
3. 書名 眼科検査ガイド第3版	

1. 著者名 川守田 拓志 (分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 総合医学社	5. 総ページ数 319
3. 書名 最新主要文献でみる眼科学レビュー	

1. 著者名 川守田 拓志 (分担執筆)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社技術情報協会	5. 総ページ数 655
3. 書名 ヒトの感性に寄り添った 製品開発とその計測、評価技術	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 視覚情報補正装置、視覚情報補正方法、及びプログラム	発明者 学校法人北里研究所, 川守田拓志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-66039	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	山崎 健 (YAMAZAKI TAKESHI)	北里大学・医療衛生学部・視覚機能療法学専攻・特別研究補助員 (32607)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	飯塚 達也 (IIZUKA TATSUYA)	北里大学・大学院医療系研究科・眼科学・博士課程2年 (32607)	
研究協力者	野平 博希 (NOHIRA HIROKI)	北里大学・医療衛生学部・視覚機能療法学専攻・特別研究補助員 (32607)	
研究協力者	半田 知也 (HANDA TOMOYA)	北里大学・医療衛生学部・視覚機能療法学専攻・教授 (32607)	
研究協力者	石川 均 (ISHIKAWA HITOSHI)	北里大学・医療衛生学部・視覚機能療法学専攻・教授 (32607)	
研究協力者	神谷 和孝 (KAMIYA KAZUTAKA)	北里大学・医療衛生学部・視覚機能療法学専攻・教授 (32607)	
研究協力者	庄司 信行 (SYOJI NOBUYUKI)	北里大学・医学部・眼科学・教授 (32607)	

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