

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280058

研究課題名(和文) 角膜イメージング法を用いた周辺視野計測手法

研究課題名(英文) Estimation of Human Periheral Vision using Corneal Imaging Technique

研究代表者

中澤 篤志 (Nakazawa, Atsushi)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：20362593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、角膜表面反射解析技術(角膜イメージング法)を用いて、人の周辺視野を正確に計測するデバイスである「周辺視野カメラ」を開発した。このデバイスは、我々が確立した眼球表面の光の反射モデルに基づき、人の視線方向とシーンカメラの各画像点でのシーン光との角度を求める原理を用いる。まず角膜イメージとシーン画像の高精度位置合わせ法を開発した。この手法は、シーン画像と眼球の表面反射を三次元光線空間上に投影することで初期位置あわせし、次に初期結果を使って詳細位置合わせを行うことで、精度1度以下の精度を達成した。これを用いることで、角膜イメージカメラから高精度で人の周辺視野を推定することを可能にした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed the "peripheral vision camera" which is a device that accurately measures the peripheral visual field of a human, using corneal surface reflection analysis technology. This device uses the principle of finding the angle between the gaze direction and the scene point at each image point of the scene camera based on the light reflection model. We develop a technique to measure the peripheral vision characteristics of a person in real scenes. We first developed a high-accuracy image registration algorithm between the corneal images and scene images. In this method, the initial position is aligned by projecting the scene image and the surface reflection of the eyeball onto the three-dimensional ray space, then, by performing the detailed registration using the initial result, accuracy of accuracy of 1 degree or less is achieved. By using this, it was possible to estimate the peripheral visual field of a person with high precision from the cornea image camera.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：周辺視 注視点 コンピュータビジョン 画像解析 レジストレーション

1. 研究開始当初の背景

人は外界の環境を、中心窩で捉えられる注視点のみならず、その周辺領域である周辺視野によっても認識していることが知られている。人の視野は垂直方向に上側 60 度、下側 75 度、水平方向では鼻側 60 度、耳側 100 度程度であると言われる。人の周辺視の知覚特性は生理学分野で多く研究されている。またバーチャルリアリティにおいても周辺視ディスプレイ等の研究が行われている。しかし前者は統制された実験室環境での実験であり、後者の研究は頭部に装着されたヘッドマウント環境での実装である。このように、周辺視野の研究は実験室等の統制環境で行われたものが主である。これは、実環境で簡単に使うことのできる周辺視計測装置が無かったことに起因する。

我々は人の角膜反射像を解析し注視点の推定やシーンの推定に利用する手法(角膜イメージング法)を研究している。これは、角膜の表面反射画像を解析し、シーンからの光線の反射を幾何的にモデル化することで、シーン中の人の注視点を計測したり、シーンの超解像再構築を実現した。

2. 研究の目的

本研究では、角膜表面反射解析技術(角膜イメージング法)を用いて、人の周辺視野を正確に計測するデバイスである「周辺視野カメラ(peripheral vision camera)」を開発する。このデバイスは、我々が確立した眼球表面の光の反射モデルに基づき、人の視線方向とシーンカメラの各画像点でのシーン光との角度を求める原理を用いる。このデバイスにより、実験室環境では無く実シーンで人の周辺視野特性を計測する技術を提供し、人の視覚の生理特性や意図の検出、新しい視覚インタフェースに利用できる。この技術を我々が取り組んできた乳幼児の視線検出に適用し、乳幼児の自閉症スペクトラム症候群の早期診断データベースの作成において視線データと共に周辺視野情報も提供し、ASD と周辺視野認識の関係を調べる。

3. 研究の方法

本研究では以下の3つのシステム・アルゴリズムを開発し、性能を評価した。

(1) 角膜イメージングを用いた乳幼児のためのリモート視線検出手法

視線情報はマーケティング・心理学・ユーザインタフェース・コミュニケーション解析などの様々な分野の分析に多く利用されている。特に乳幼児の視線情報は発達の理解に多く用いられている。一方、乳幼児の視線行動を計測するにあたり、市販の視線検出システムを使用するのは困難な点も多い。乳幼児を対象にした場合、頭部装着型のシステムを用いるのは困難なためいわゆるリモートシステムを用いる場合がほとんどだが、

頭を動かせる範囲が限られている。また、これらのシステムではキャリブレーション処理が必要なため、これが煩雑だけではなく、言葉が理解できない年齢の場合にはより困難である。このように、乳幼児を対象にした視線計測の場合、現在の市販システムよりもより簡便かつ拘束の少ない形で計測できるシステムが求められている。これを解決するため、図2のようなシステムを開発した。

リモート注視点推定システムはリモートカメラシステムと注視点推定システムから構成される。リモートカメラシステムでは、まずデジタル一眼レフカメラ(図3左)で乳幼児の顔を遠距離から撮影し、PCにリアルタイムでプレビュー画像を読み込む。そして、取得したプレビュー画像に対して目の検出を行い、検出結果をPC上に表示する。ユーザはPC上のプレビュー画像を確認し、検出した目の位置にフォーカスを合わせることができる。フォーカス設定ソフトウェアの実行画面を図3右に示す。撮影終了後、注視点推定システムで注視点推定を行う。ここでは、撮影された映像の全フレームに対して角膜イメージング法を用いて注視点推定をする。リモートカメラシステムでは、目領域の検出のためにOpenCVの検出器を用いる。フォーカスを合わせるために検出する目は左目か右目のいずれか一方に設定する。OpenCVの検出器には、左目の検出器と右目の検出器がある。どちらの検出器においても、検出対象ではない方の目の検出が見られる。そこで誤検出に対応するために、前フレームで検出した目の位置から一定の範囲内でのみ検出を行うように設計する。注視点推定のために十分に解像度の高い角膜表面反射画像を得る必要がある。そのため、顔をクローズアップした映像を撮影する。このとき、乳幼児が動くことによる目のフレームアウトが想定される。前述のように、目の検出は前フレームにおける目の位置から一定の範囲内



図1 角膜イメージングを用いた乳幼児のためのリモート視線検出システム



図2 カメラおよびフォーカシングシステム

でのみ行われるため、目がフレームアウトし、再度フレームインした際に目の検出に失敗する場合があります。この問題に対処するために、ユーザがマウスポインタを用いて任意の位置にフォーカスの位置を修正できるように設計する。リモートカメラシステムでは、フォーカスの位置を指定するとコントラストオートフォーカス(コントラストAF)方式でフォーカスを合わせるデジタル一眼レフカメラを使用する。コントラストAF方式では、フォーカスを合わせる際に映像がピントが合わなくなるときの乳幼児が静止を続けることは困難であるため、検出した目に常にフォーカスの位置を修正すると修正回数が多くなり、鮮明な映像が得られない。そこで検出した目の位置を強調したプレビュー画像をユーザに提示し、任意のタイミングで検出した目の位置にフォーカスの位置を修正できるように設計する。

注視点推定システムでは我々が開発した角膜イメージング法による注視点推定を行う。まず、角膜表面反射画像から瞳輪郭を認識する。次に、3次元眼球幾何モデルを用いて、得られた輪郭から眼球の3次元姿勢を復元する。そして、得られた眼球姿勢より、視線方向から来る環境光の反射点であるGaze Reflection(GRP)を求める。最後に、眼球の光軸方向と視線方向にある個人差に対応するために、個人誤差パラメータにより校正を行う。個人誤差パラメータは事前に被験者から得た典型値を用いる。

(2) シーン画像と角膜表面反射画像の正確なレジストレーション法と高精度な周辺視野計測

周辺視野を角膜イメージング法で推定するために、通常カメラで撮影された環境画像と角膜イメージングカメラで撮影された角膜反射画像を正確レジストレーションする手法を開発した。これは、眼球の表面が球面であるため、ノンリニア(非線形)の画像変形が起こるため、通常的位置合わせでは解決しない。このため本研究では、シーン画像と角膜反射画像を三次元球面の光線空間に投影し、球面座標で初期位置合わせする手法を開発した(図3,4)。これにより、両者から単一の対応点を求めるだけで位置合わせをすることが可能となった。しかし、この初期位置合わせのみでは精度が不足するため、初期位置合わせから得られた画像を透視投影画像に変換し、その上でより密な対応点をKLTで獲得、パラメータを更新する詳細位置合わせにより精度を向上させる手法を開発した。

(3) 周辺視野カメラの開発

角膜表面表面反射画像を取得するための周辺視野カメラを開発し、注視点推定する方法を開発した。本カメラは、目近くに取り付けられたカメラ(ズーム・フォーカスコントロール可能)からなる(図5)。ここから、角膜イメージングによる視線検出を行うため

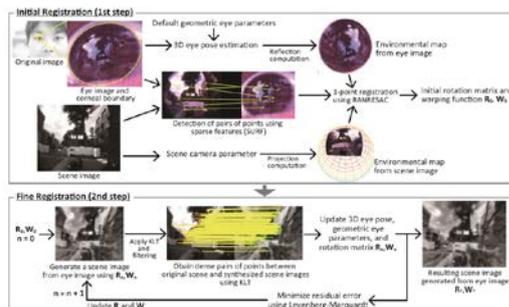


図3 シーン画像と角膜表面反射画像の正確なレジストレーション法

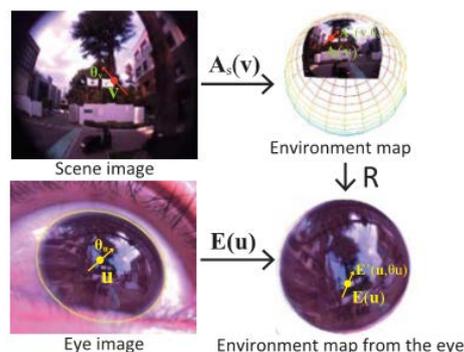


図4 球面座標での位置合わせ

に、目の三次元姿勢を推定する必要があるが、画像ベースのボトムアップの方法では安定せず、三次元モデルに基づいたモデルベースの手法を開発した(図6)。まず目から目尻を特徴点推定で検出する。次に、角膜球面の三次元パラメータを粒子フィルターで追跡することで推定、GRPを用いることで注視点を推定する。

4. 研究成果

(1) 角膜イメージングを用いた乳幼児のためのリモート視線検出手法

被験者に視覚探索課題を課し、左目の注視行動を計測した。本実験における視覚探索課題は目標刺激と妨害刺激が類似した課題である。非装着型カメラでは、撮影できる範囲は限られているため、被験者をチャイルドシートに座らせた。チャイルドシートはスクリーンから2m程度離れた位置に設置した。この環境では、被験者の顔の移動が50cm程度の範囲内であれば問題なく撮影できる(図7)。本実験では、左目を対象にしたため、デジタル一眼レフカメラをスクリーンの左側に設置した。被験者に、正面のスクリーンに表示された課題に対して、手元のボタンを押すことで解答させた。顔から2m程度離れた距離から角膜を直径60~100ピクセル程度の大きさで撮影できた。撮影した映像を基に注視点推定を行った結果を図8に示す。図の黄色い正方形はGRPを表す。スクリーンが被験者の目に映りこんでいるため、被験者がスクリーン中のどの部分を注視しているかを推定できた(図8)。



図 5 開発した角膜イメージングカメラ

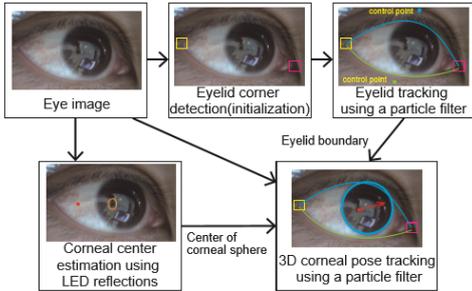


図 6 リアルタイム眼球姿勢推定法

(2) シーン画像と角膜表面反射画像の正確なレジストレーション法と高精度な周辺視野計測

実験結果（入力眼球画像とシーン画像、位置合わせ結果）を図 9 に、精度評価結果を図 10 に示す。その結果、初期位置合わせのみでは 3 度程度の誤差が合ったが、第二段階での詳細位置合わせを行うことで、1 度程度の誤差まで収まることが分かった。図 11 にこれを利用した周辺視野推定結果を示す。目の画像から、注視点からの視野角が求まり、提案する画像位置合わせ法により、シーン画像中での周辺視野マップが得られることが確認できる。

(3) 角膜イメージングカメラの開発

図 12 に角膜イメージングカメラによる注視点検出結果を示す。精度は約 3 度程度である。一方で、従来の注視点検出法 (PCCR) 法に比べ、カメラを着脱した場合にも精度が変わらないという長所が見られた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. 中澤篤志; 医療コミュニケーションにおける人工知能の可能性 医師の「五感」をも定量化できる時代へ、総合診療, 第 27 巻, 第 5 号, pp.621-623, 2017.
2. Nakazawa, A.; Kato, Hiroaki; Nitschke C.; Nishda, T.; Eye gaze tracking using corneal imaging and active illumination devices, Advanced Robotics, vol.31, no.8,

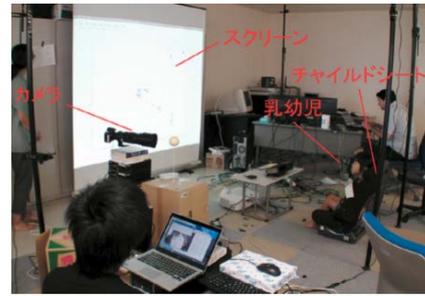


図 7 実験環境

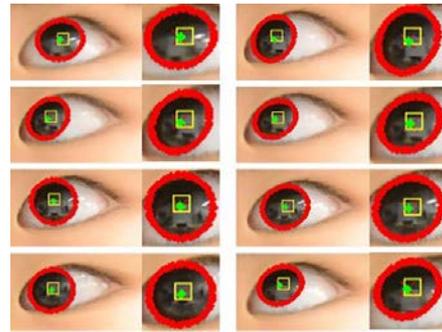


図 8 注視点検出結果

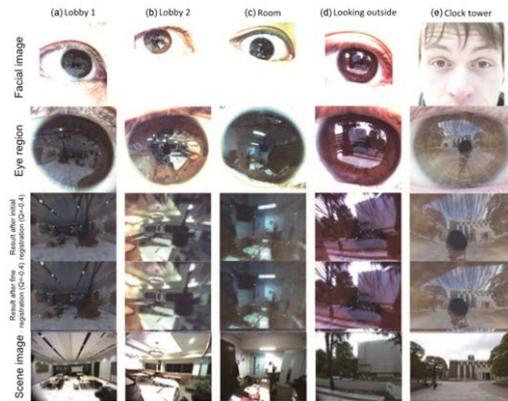


図 9 シーンと角膜表面反射のレジストレーション結果

		Q = -0.4 (Ellipsoid)				Q = -0.2 (Ellipsoid)				Q = 0.0 (Sphere)			
		Initial Regist.		Fine Regist.		Initial Regist.		Fine Regist.		Initial Regist.		Fine Regist.	
		Err [deg]	SD	Err [deg]	SD	Err [deg]	SD	Err [deg]	SD	Err [deg]	SD	Err [deg]	SD
(a) Lobby 1	Subject 1	2.60	1.17	1.61	0.89	2.06	0.98	1.43	0.84	4.87	2.07	2.07	1.69
	Subject 2	2.62	1.35	0.68	0.23	2.51	1.64	0.62	0.40	3.88	1.64	0.73	0.47
	Subject 3	2.56	1.72	1.09	0.75	2.42	1.60	1.40	1.32	2.27	1.85	1.17	0.89
	Subject 4	2.08	1.22	0.53	0.19	2.13	1.35	0.48	0.22	2.23	1.42	0.66	0.24
	Average	2.42	1.21	0.91	0.28	2.28	0.98	1.11	0.31	3.31	1.42	0.66	0.24
(b) Lobby 2	Subject 1	4.79	2.34	1.74	0.99	4.13	2.80	2.69	2.28	5.09	3.54	2.61	2.23
	Subject 2	2.34	1.15	0.88	0.65	2.63	1.75	0.83	0.71	2.77	1.28	1.19	1.05
	Subject 3	3.36	2.04	2.09	1.72	3.00	2.17	2.68	2.00	3.95	2.90	2.43	2.40
	Subject 4	2.36	1.51	0.62	0.44	2.69	1.70	0.62	0.30	2.60	1.67	0.71	0.47
	Average	3.21	1.51	1.32	0.82	3.12	1.79	1.79	1.29	3.68	2.43	1.74	1.42
(c) Room	Subject 1	2.59	2.06	1.45	1.25	3.39	1.59	2.34	1.89	2.92	1.49	1.75	1.63
	Subject 2	3.14	1.98	1.22	0.60	1.51	1.12	1.27	0.63	1.92	1.38	1.84	0.93
	Subject 3	1.89	1.14	0.97	0.74	1.62	0.78	1.08	0.60	2.79	1.48	0.99	0.64
	Subject 4	1.87	1.00	1.04	0.75	1.50	0.69	1.13	0.84	2.52	1.15	1.17	0.91
	Average	2.37	1.17	1.17	0.82	2.00	0.96	1.46	0.96	2.94	1.42	1.17	0.91
(d) Looking outside	Subject 1	1.62	1.19	0.71	0.70	1.43	0.67	0.69	0.54	1.56	0.98	0.67	0.48
	Subject 2	3.71	1.54	0.56	0.49	3.75	1.55	0.52	0.47	3.65	1.49	0.53	0.39
	Subject 3	5.83	3.49	0.76	0.71	6.20	3.48	0.85	0.69	5.90	3.61	0.92	0.82
	Subject 4	5.44	3.46	0.91	0.40	5.51	3.29	0.72	0.50	4.59	2.27	1.01	0.71
	Average	4.15	0.74	0.74	0.69	4.22	0.69	0.69	0.52	3.92	0.78	0.78	0.52
(e) Clock tower	Subject 1	2.95	1.96	1.03	0.63	2.25	1.91	1.06	0.52	2.71	2.05	1.57	1.45
	Subject 2	3.64	2.23	1.22	0.65	3.81	2.40	1.03	0.65	4.38	2.17	1.10	0.53
	Subject 3	3.94	3.00	1.45	0.71	3.86	3.58	1.48	0.82	3.29	2.12	1.61	0.70
	Subject 4	3.09	2.60	0.84	0.47	3.13	2.80	0.79	0.46	3.27	2.87	0.95	0.39
	Average	3.01	1.73	1.09	0.61	3.26	2.09	1.31	0.59	3.41	2.51	1.51	1.27

図 10 シーンと角膜表面反射のレジストレーション結果(精度)

- pp.413-427, 2017.
3. Nakazawa, A.; Nitschke C.; Nishda, T.; Registration of eye reflection and scene images using an aspherical eye model,

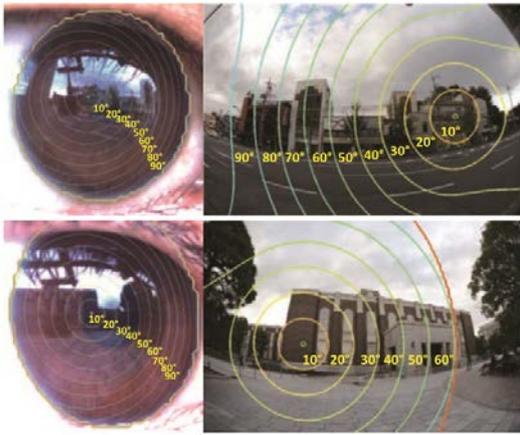


図 11 周辺視野マップ

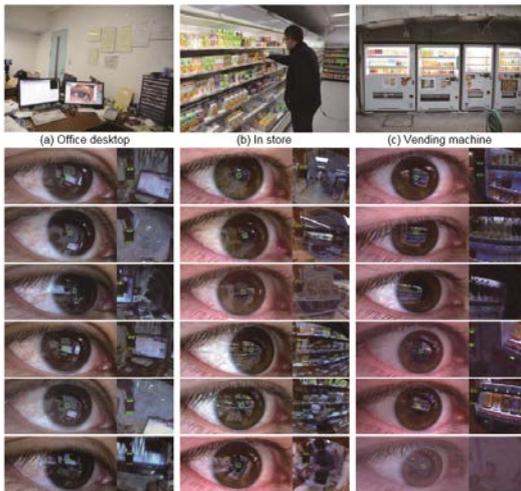


図 12 角膜イメージングカメラによる
注視点検出結果

JOSA A, vol.33, no.11, pp.2264-2276, 2016. (Selected as a 'Spotlight on Optics' paper)

4. 中澤篤志、角膜上の画像を利用し注視点を検出、日経テクノロジー、2014.8.4. pp.59068, 2014.
[学会発表] (計 21 件)
1. Nakazawa, A.; Okino Y.; Honda M.; Evaluation of face-to-face communication skills for people with dementia using a head-mounted system, 3rd International Workshop on Pattern Recognition for Healthcare Analytics, 2016
3. Lala, D.; Nakazawa, A.; Heat map visualization of multi-slice medical images through correspondence matching of video frames, Proceedings of the Ninth

Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, vol., no., pp.119-122, 2016.

4. Matsumoto A.; Tange Y.; Nakazawa, A.; Nishida, T.; Estimation of Task Difficulty and Habituation Effect While Visual Manipulation Using Pupillary Response, International Workshop on Face and Facial Expression Recognition from Real World Videos, vol., no., pp.24-35, 2016.
5. Nakazawa, A.; Noise stable image registration using random resample consensus, Pattern Recognition (ICPR), 2016 23rd International Conference on, vol., no., pp.853-858, 2016.
6. Nakazawa, A.; Nitschke C.; Nishida, T.; Non-calibrated and real-time human view estimation using a mobile corneal imaging camera, Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), 2015 IEEE International Conference on, vol., no., pp.42741, 2015.
7. 加藤大暁、中澤篤志、西田豊明、アクティブマーカを用いた注視判別システム、電子情報通信学会 MVE 研究会 2014.6.6.
8. 中澤篤志、ニチュケ クリスティアン、西田豊明、Random resample consensus 法を用いた角膜表面反射とシーン画像の位置合わせ、第 17 回画像の認識・理解シンポジウム、2014.7.28.
9. 丹下雄太、中澤篤志、西田豊明、認知的負荷と瞳孔径変化及び心拍の関係、ヒューマンインタフェースシンポジウム、2014.9.9.
10. 沖野祐介、大泉建人、加藤大暁、中澤篤志、西田豊明、角膜イメージング法によるリモート注視点推定システム、電子情報通信学会 MVE 研究会、2014.10.

11. 丹下雄太, 松本麻見, 中澤篤志, 西田豊明, 視覚操作タスクでの集中度と瞳孔径変化の定量的関係, 画像の認識と理解シンポジウム, 2015.7.27.
 12. 大泉建人, 中澤篤志, 西田豊明, 一人称視点映像による実環境の記憶可能性推定, 画像の認識と理解シンポジウム, 2015.7.27.
 13. Atsushi Nakazawa, A Mobile Corneal Imaging Camera for Estimation of Human's View, 画像の認識と理解シンポジウム, 2015.7.27.
 14. 中澤篤志, 角膜イメージング法の基礎理論と応用, 精密工学会 画像応用技術専門委員会, 2014.11 (招待講演)
 15. 中澤篤志, Affective Computing, 自動車技術会ヒューマンファクター部門委員会, 2015.8.27. (招待講演)
 16. Atsushi Nakazawa, NON-CALIBRATED AND REAL-TIME HUMAN VIEW ESTIMATION USING A MOBILE CORNEAL IMAGING CAMERA, Japan-Korea Workshop on Information and Robot Technology for Daily Life Support (招待講演)
 17. Atsushi Nakazawa, NON-CALIBRATED AND REAL-TIME HUMAN VIEW ESTIMATION USING A MOBILE CORNEAL IMAGING CAMERA, Are robots and digital humans becoming partners in Human daily life?, 2015.12.13(招待講演)
 18. Nakazawa, A., Evaluation of Care Skills using First Person Video (FPV), AAAI 2017 Spring Symposium, Wellbeing AI: From Machine Learning to Subjectivity Oriented Computing, Palo Alto, CA, USA (2017.3.28). (招待講演)
 19. 中澤篤志, シンポジウム: これからの認知症ケアとデータ活用, IT ヘルスケア学会第 10 回記念学術大会, 東京医療センター, 東京 (2016.5.21). (招待講演)
 20. 中澤篤志, 認知症ケアの視覚化, 第一回高齢社会デザインシンポジウム, 東京大学, 東京(2016.7.10). (招待講演)
 21. 中澤篤志, 我々はまだ何も見えていない~PRMU 第二期グランドチャレンジ~, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会(PRMU), 鳥取大学, 鳥取 (2016.12.15). (招待講演)
- [図書] (計 3 件)
1. Nishida, Nakazawa, et al., Conversational Informatics, Springer, 2015.
 2. 中澤篤志, Affective Computing, 自動車技術 69 (3), 2015.
 3. 中澤篤志, 角膜イメージング法による視覚推定とその将来展望、学術の動向、Vol. 3, 102.
- [産業財産権]
- 取得状況 (計 2 件)
- 名称: 個人パラメータ算出装置, 個人パラメータ算出方法, プログラム, 及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体
 発明者: 中澤篤志, ニチュケクリスティアン
 権利者: 科学技術振興機構
 種類: 特許
 番号: 特許第 5467303 号(P5467303)
 出願年月日: 平成 25 年 7 月 24 日(2013. 7. 24)
 国内外の別: 国内
 名称: Point-of-gaze detection device, point-of-gaze detecting method, personal parameter calculating device, personal parameter calculating method, program, and computer-readable recording medium
 発明者: Nakazawa, A.; Nitschke C.
 権利者: Japan Science and Technology Corporation
 種類: Patent
 番号: US9262680 B2 (USA), F150008528 (Taiwan), CA2870751 C (China)
 取得年月日: 2016. 2. 16
 国内外の別: 国外
- [その他]
- <http://www.ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp/~nakazawa.atsushi/>
6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
 中澤 篤志 (NAKAZAWA, Atsushi)
 京都大学・情報学研究所・准教授
 研究者番号: 20362593