

# 角膜表面反射画像を用いた注視点・注視対象推定の研究開発 (122107003)

## Estimating Point-of-Regard and Focused Object using Corneal Surface Image

### 研究代表者

竹村憲太郎 東海大学

Kentaro Takemura Tokai University

### 研究分担者

高松淳<sup>†</sup>

Jun Takamatsu<sup>†</sup>

<sup>†</sup>奈良先端科学技術大学院大学

<sup>†</sup>Nara Institute of Science and Technology

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

## 概要

本研究では、角膜表面に反射している画像情報から、眼球の 3 次元モデルを用いて歪みを取り除いた展開画像の生成を行い、展開画像をデータベースと照合することで注視対象の推定を実現した。また、眼球の 3 次元モデルから視線方向を求めることで、注視点推定も可能である。眼球モデルは角膜球と眼球から構成されており、眼球中心で回転すると仮定しモデルベースの虹彩追跡を実現している。常時装着型の装置としての開発も行い、日常生活中における視野画像の記録し、ガイダンスシステムをはじめとした様々なアプリケーションへの実現可能性を示した。

## 1. まえがき

本研究の目的は、従来の視線計測が必要であった、環境を撮像するためのシーンカメラや、瞳孔・ブルキニエ像検出のための近赤外線照射をなしに、人の注視点・注視対象を推定するストレスフリーな計測技術を確立することである。視線計測は一般に眼球撮像用のアイカメラによって瞳孔中心とブルキニエ像を計測し、その位置関係からシーンカメラで撮像した画像上の注視点を求める。近年では、ポータブルな計測装置も増えてきたが、キャリブレーションが必要であることや近赤外線の照射が必要であることなどから、一般に利用されるようなものには至っていない。そこで、本研究ではこれまでの視線計測とは異なり、角膜表面に反射した画像から注視点、及び注視対象の推定を実現した。角膜表面の画像上から注視点、及び注視対象を直接抽出するため、従来必要であったキャリブレーションや近赤外線の照射も必要なく、ユーザへの負担も軽減され、長時間の利用が期待できる。

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2. 1 角膜表面反射画像展開

角膜表面に反射している画像の歪みを補正するには、角膜の三次元モデルが必要となる。視線計測システムの研究開発では、三次元モデルを利用した計測が盛んに行われており、本研究も先行研究にて提案された角膜の三次元モデルを採用し、角膜球の位置・姿勢を得た。このモデルは、角膜を真球とし、カメラのモデルを弱透視投影としている。これにより虹彩の楕円フィッティング結果を用いて、図 1 のような角膜球と入力画像の位置関係を推定した。角膜球に加えて眼球の三次元モデルも生成しており、これを用いて虹彩のモデルベース追跡も実現している。生成した三次元眼球モデルの眼球中心を回転中心と仮定することで、眼球の姿勢によって虹彩領域がどのように入力画像に映るかをシミュレーションすることが可能である。眼球運動のシミュレーションで虹彩領域の候補を事前に計算し、現在の入力画像の虹彩領域とマッチングを行うことで眼球の姿勢を求めることが可能である。入力画像と角膜球の位置

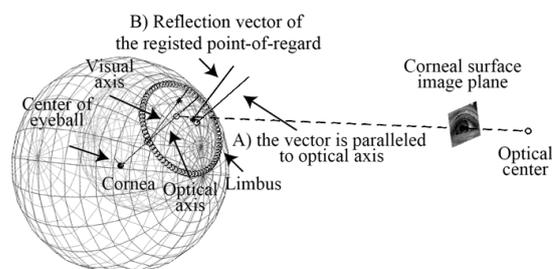


図 1. 角膜と眼球の三次元モデル



図 2. 角膜表面反射画像及び展開画像

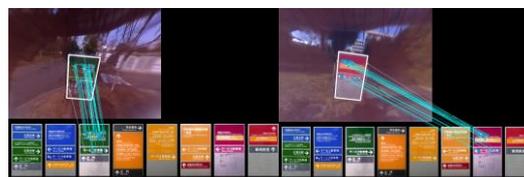


図 3. データベースを用いた注視対象推定結果

関係が推定されると、角膜表面上で光線が反射すると仮定することで、任意の平面画像の生成が可能となる。本研究では、生成する平面を角膜球の接平面とし、角膜上での反射は完全鏡面反射とした。接平面の位置は注視対象が反射する位置として設定する。三次元モデルを用いて接平面上の点から入力画像までの逆レイトレーシングが可能であり、接平面上の点の画素値が得られる。これを接平面上の点すべてに対して、計算することで歪みのない展開画像を生成する。接平面を用いた角膜表面反射画像の補正結果は、図 2 に示す通りである。このように展開画像を生成することで、一般的な画像処理アルゴリズムを適用することが可能となり、図 3 のようにデータベースを用いた注視対象推

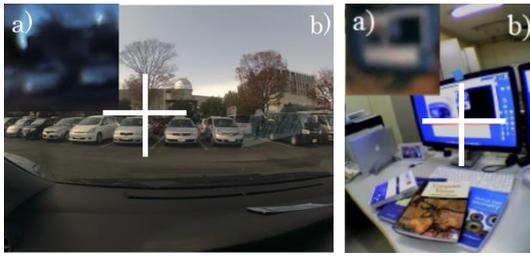


図 4. 注視点推定結果  
a)角膜表面反射画像、b)環境画像

定を実現した。視軸を考慮した画像展開では、視線推定精度の評価を行ったところ平均誤差約 7.6 度での視線推定を実現している。

### 2.1 環境カメラを用いた注視点推定

角膜表面反射画像によって環境情報を取得することは可能であるが、高解像度の環境画像との対応を明らかにするため、環境中に設置されたカメラ及び頭部に装着したカメラによって撮像された環境画像に対してキャリブレーションなしに注視点を求める手法を開発した。図 4 は環境カメラとして車載カメラ及び頭部装着型カメラを用いた例であり、図上の十字は推定された注視点である。角膜表面反射画像から画像特徴量を抽出するのではなく、テキスト情報を用いてマッチングを行うことで注視点を求めている。

## 2. 2 常時装着型角膜表面反射画像撮像装置

図 5 に示すようにメガネ型、環境カメラ併用型、ヘッドマウント型の常時装着型角膜表面反射画像撮像装置を開発した。これにより、アプリケーションへの展開が可能となり、ガイドシステムに関連したデータベースに基づく注視対象推定に加えて、注視方向を用いた電動車椅子の操作や、図 6 に示すようにドライバの視野画像を記録することも実現した。また、両眼の角膜表面反射画像展開を行うことで、人の視野 200 度程度の画像を取得することが可能であることも確認しており、認知科学・心理学分野等への貢献する新しい計測手法となると期待している。

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究の成果は美術館、博物館のガイドシステムへの展開・実用化を見込んでいる。ユーザが注視した対象に対して自動的に情報を提示するサービスなどが実現されることで、従来とは異なる新しい展示等が実現できる。また、ポータブルな装置も開発してきたことで、視線情報を用いた日常生活の支援も期待できる。本プロジェクトにおいても、プロトタイプシステムを製作したが、視線駆動型の車椅子などは福祉機器としての期待も大きいと考えている。

また、視線計測技術としても本研究の成果は有効に活用出来ると考えており、視線キャリブレーション等の問題解決に取り組み、視線インタフェースが一般に普及するブレークスルーになることを期待し、今後も取り組む予定である。

## 4. むすび

本研究では、角膜表面反射画像を用いた注視点・注視対象推定に取り組み、角膜表面に反射した画像を手掛かりに注視点・注視対象を推定することを実現した。従来は注視対象を求めることは容易ではなかったが、注視対象の映っ



図 5. 常時装着型角膜表面反射画像撮像装置



図 6. ドライバの視野画像生成

た画像を直接取得できる本手法によって、注視対象の特定が可能であり、日常生活での利用も期待できる。また、ガイドシステムや視線駆動型車椅子等のアプリケーションへの展開も試み、実現可能性を確認することができた。

### 【誌上発表リスト】

- [1] Kentaro Takemura, Tomohisa Yamakawa, Jun Takamatsu and Tsukasa Ogasawara, "Estimation of a focused object using a corneal surface image for eye-based interaction," Journal of eye movement research, 7(3):4, pp.1-9, 2014.
- [2] Kentaro Takemura, Kenji Takahashi, Jun Takamatsu, Tsukasa Ogasawara, "Estimating 3-D Point-of-Regard in a Real Environment Using a Head-Mounted Eye-Tracking System," IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Vol.44, Issue 4, pp.531-536, 2014.
- [3] Yuki Uratsuji, Kentaro Takemura, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara, "Mobility Assistance System for an Electric Wheelchair Using Annotated Maps," Advanced Robotics, Vol.29, No.7 pp.481-491, 2015.

### 【申請特許リスト】

- [1] 竹村憲太郎、角膜表面反射画像を利用した視線計測方法及びその装置、日本、2013年12月27日

### 【受賞リスト】

- [1] 竹村憲太郎、山川智久、高松淳、小笠原司、SI2012 優秀講演賞、“角膜表面反射画像を用いた注視対象推定”、2012年12月20日
- [2] 竹村憲太郎、日本ロボット学会第29回研究奨励賞、平成26年9月5日

### 【報道掲載リスト】

- [1] “視線計測補正いらず 角膜表面反射画像 カメラ画像と照合 東海大が装置”、日刊工業新聞、2014年1月31日
- [2] “何をみているか推定 東海大 眼鏡型装置で解析”、日経産業新聞、2014年2月7日
- [3] “テクニカルショウヨコハマに3件の研究成果を出展”、東海大学新聞、2014年3月1日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://takemura-lab.org/>