

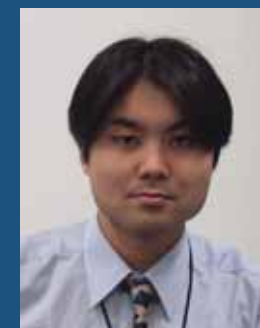
眼球表面の光学系と その注視点検出への応用

中澤篤志 *,** ニチュケ クリスティアン *

* 大阪大学サイバーメディアセンター

** 科学技術振興機構さきがけ

nakazawa@cmc.osaka-u.ac.jp



JSTさきがけ「情報環境と人」研究領域

情報環境と人

Information Environment and Humans

戦略的創造研究推進事業 個人型研究 さきがけ
人間と調和する情報環境を実現する基盤技術の創出

文字サイズ変更
小 中 大

Home >> 研究者 >> 中澤 篤志

研究者

一期生 ▶▶ 二期生 三期生

荒牧 英治	井ノ口 宗成	大澤 博隆	城戸 隆	駒谷 和範	高野 渉
舘 知宏	塚田 浩二	寺田 努	▶▶ 中澤 篤志	三木 則尚	森嶋 厚行



中澤 篤志 ナカザワ アツシ

広領域・非装着型視線検出技術の開発 3年型

所属 大阪大学 サイバーメディアセンター 講師

URL <http://www.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/~nakazawa/wiki/>

研究課題概要

視線検出は現代・次世代の情報環境を構築するために重要かつ必須な技術です。しかし従来のシステムは、実験室環境での使用が想定されているため、視線検出の対象領域は限られており、被験者に特殊なデバイスを装着する必要がありました。本研究では実生活シーン等を対象にし、特殊なセンサを装着せず高精度な視線検出を実現するシステムを開発します。基本的なアイデアは、時空間のパターン光をプロジェクタで環境に投影し、その眼球上での反射光をカメラで検出し解析するというものです。

視線検出と本研究領域

視線検出は「情報環境と人」全てにおいて鍵となる
基盤技術である

1. 知的機能の先端研究

- 視線を用いたユビキタス・アンビエントIF
- 人の意図を理解する知能ロボット
- 視線を用いたコミュニケーション解析

2. 知的機能の評価研究

- 視線を使ったUIや生活環境の評価

3. 知的機能のネットワークング研究

- 実世界型インタフェースに対する視線の利用

究極的な目標：乳幼児の視線を計る

- 乳幼児は最も難しい被験者(動く！言葉が分からない)
- 言葉が話せない彼らを理解するには、何をみているかを知ることが重要(発達過程の理解・発達障害の診断)
- 従来の視線検出システムは使えない or 制約が大きい
 - 装置を装着
 - 実験室環境が必要
- 従来の制約を無くした視線検出システムが必要



[Franchak2010] (NYU)

構想 一非装着型視線検出実験ルームー



- ・非装着
- ・実生活環境(奥行きのある環境)
- ・広い環境(部屋全体をカバー)

視線と自閉症(autism)には関係がある

The Journal of Physiology JP London • United Kingdom March 19-21 • 2012

HOME | CURRENT ISSUE | IN PRESS | ARCHIVE | E-ALERTS AND RSS | SUBSCRIBE | HELP | CONTACT | ABOUT | PERMISSIONS

Institution: Kino Slough-ACCESS, -, (D) Osaka u Kisokogaku, Q05692

User Name: Password: LOG-IN

Search for Keyword: Go
Advanced Search

The application of eye-tracking technology in the study of autism

Zillah Boraston¹ and Sarah-Jayne Blakemore^{1,2}

+ Author Affiliations

Corresponding author
Z. Boraston: Behavioural and Brain Sciences Unit, Institute of Child Health, University College London, London WC1N 1EH, UK. Email: z.boraston@ich.ucl.ac.uk

Abstract

For many decades, eye-tracking has been used to investigate gaze behaviour in the normal population. Recent studies have extended its use to individuals with disorders on the autism spectrum. Such studies typically focus on the processing of socially salient stimuli. In this review, we discuss the potential for this technique to reveal the strategies adopted by individuals with high-functioning autism when processing social information. Studies suggest that eye-tracking techniques have the potential to offer insight into the downstream difficulties in everyday social interaction which such individuals experience.

Autism is a pervasive developmental disorder, characterized by a triad of impairments: social communication problems, difficulties with reciprocal social interactions, and unusual patterns of repetitive behaviour (Wing & Gould, 1979). It was

« Previous Next Article »
Table of Contents

This Article

Published online before print
April 12, 2007, doi:
10.1113/jphysiol.2007.133587
June 15, 2007 *The Journal of Physiology*, 581, 893-898.

Abstract **Free**
» Full Text **Free**
Full Text (PDF) **Free**
Errata (vol. 586, p. 685)

- Collections

TOPICAL REVIEW

- Services

- Email this article to a colleague
- Alert me when this article is cited
- Alert me if a correction is posted
- Similar articles in this journal
- Similar articles in PubMed
- Download to citation manager
- © Get Permissions

+ Citing Articles
+ Google Scholar

This Week's Issue
October 15, 2011, 589 (20)



+ Editor's choice

Alert me to new issues of *J Physiol*

Editorial Board

- Submit a manuscript
- Author Information
- Reviewer Information
- Symposia and Special Issues
- Article and Subject Collections

- Journal of Physiology, <http://jp.physoc.org/content/581/3/893.full>

BRAIN

A JOURNAL OF NEUROLOGY

ABOUT THIS JOURNAL CONTACT THIS JOURNAL SUBSCRIPTIONS CURRENT ISSUE ARCHIVE SEARCH

Institution: **Osaka Daigaku Ningen** Sign In as Personal Subscriber

Oxford Journals > Medicine > Brain > Volume 128, Issue 5 > Pp. 1038-1048.



Keep up to date with the latest articles,
straight from your mobile phone

Neural basis of eye gaze processing deficits in autism

Kevin A. Pelphrey^{1,3}, James P. Morris¹ and Gregory McCarthy^{1,2}

+ Author Affiliations

Correspondence to: Dr Kevin Pelphrey, Duke-UNC Brain Imaging and Analysis Center, Box 3918, Duke University Medical Center, Durham, NC 27710, USA E-mail: kevin.pelphrey@duke.edu

Received August 18, 2004.

Revision received November 3, 2004.

Accepted December 23, 2004.

Summary

Impairments in using eye gaze to establish joint attention and to comprehend the mental states and intentions of other people are striking features of autism. Here, using event-related functional MRI (fMRI), we show that in autism, brain regions involved in gaze processing, including the superior temporal sulcus (STS) region, are not sensitive to intentions conveyed by observed gaze shifts. On congruent trials, subjects watched as a virtual actor looked towards a checkerboard that appeared in her visual field, confirming the subject's expectation regarding what the actor 'ought to do' in this context. On incongruent trials, she looked towards empty space, violating the subject's expectation. Consistent with a prior report from our laboratory that used this task in neurologically normal subjects, 'errors' (incongruent trials) evoked more activity in the STS and other brain regions linked to social cognition, indicating a strong effect of intention in typically developing subjects ($n = 9$). The

« Previous | Next Article »
Table of Contents

This Article

Brain (May 2005) 128 (5):
1038-1048,
doi: 10.1093/brain/awh404
First published online: March 9,
2005

» Abstract
Full Text (HTML)
Full Text (PDF)
Supplementary data

All Versions of this Article:
[awh404v1](#)
128/5/1038 **most recent**

Classifications

Article

Services

Alert me when cited
Alert me if corrected
Find similar articles
Similar articles in Web of Science
Similar articles in PubMed
Add to my archive

Search this journal:

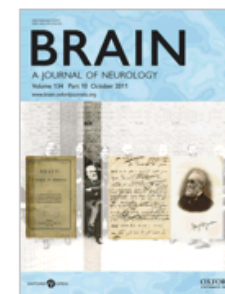
keywords



Advanced »

Current Issue

October 2011 134 (10)



Alert me to new issues

The Journal

About this journal
Rights & Permissions
This journal is a member of
the Committee on Publication
Ethics (COPE)
We are mobile - find out more

Published on behalf of

- The subjects with autism spent a smaller percentage of time examining the core features of the face (eyes, nose and mouth; subsequent analysis showed this effect to be driven by less gaze time to the eyes and nose).

Also, when gaze data were analysed in terms of fixations, fewer of the autism group's fixations were to these core facial features, though these differences were not significant at the level of individual features.

究極的な目標：乳幼児の視線を計る

- 乳幼児は最も難しい被験者(動く！言葉が分からない)
- 言葉が話せない彼らを理解するには、何をみているかを知ることが重要(発達過程の理解・発達障害の診断)
- 従来の視線検出システムは使えない or 制約が大きい
 - 装置を装着
 - 実験室環境が必要
- 従来の制約を無くした視線検出システムが必要



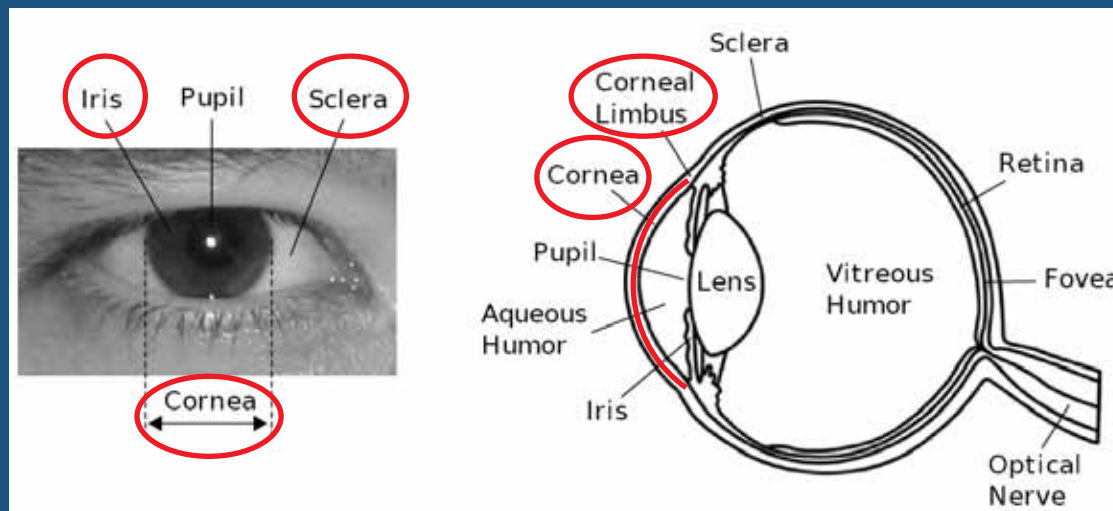
[Franchak2010] (NYU)

本日の内容

- 目の表面反射画像の解析
 - The World in Eye
 - 目の幾何構造と光の伝達
- 眼球の表面反射を使ったディスプレイ・カメラキャリブレーション [Nitschke and Nakazawa, ICCV2009, CVIU2011]
- 眼球の表面反射画像解析による注視点計測 [MIRU2011]
 - 視線計測 v.s 注視点計測
 - 従来の方法
 - 提案法
 - 今後

人間の目の構造

- 瞳 (Iris) と強膜 (Sclera) が外界から見える構造
- 透明な角膜 (Cornea) が瞳を覆っている
 - 角膜・強膜は涙で濡れているため鏡のように周囲からの光を反射する



Outside View

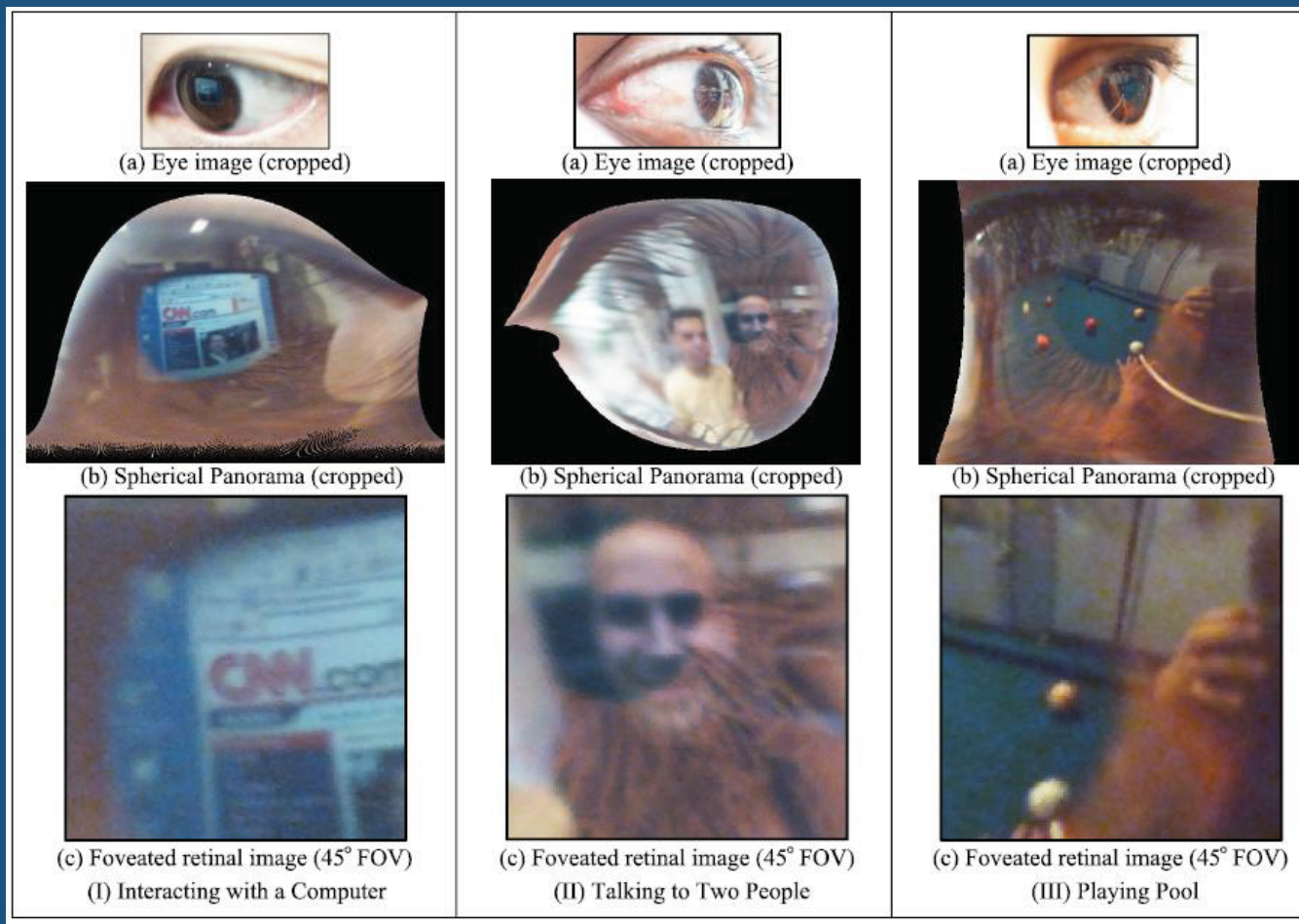
Cross Section

眼球の表面反射画像を解析して
周辺環境の情報を取得する

video

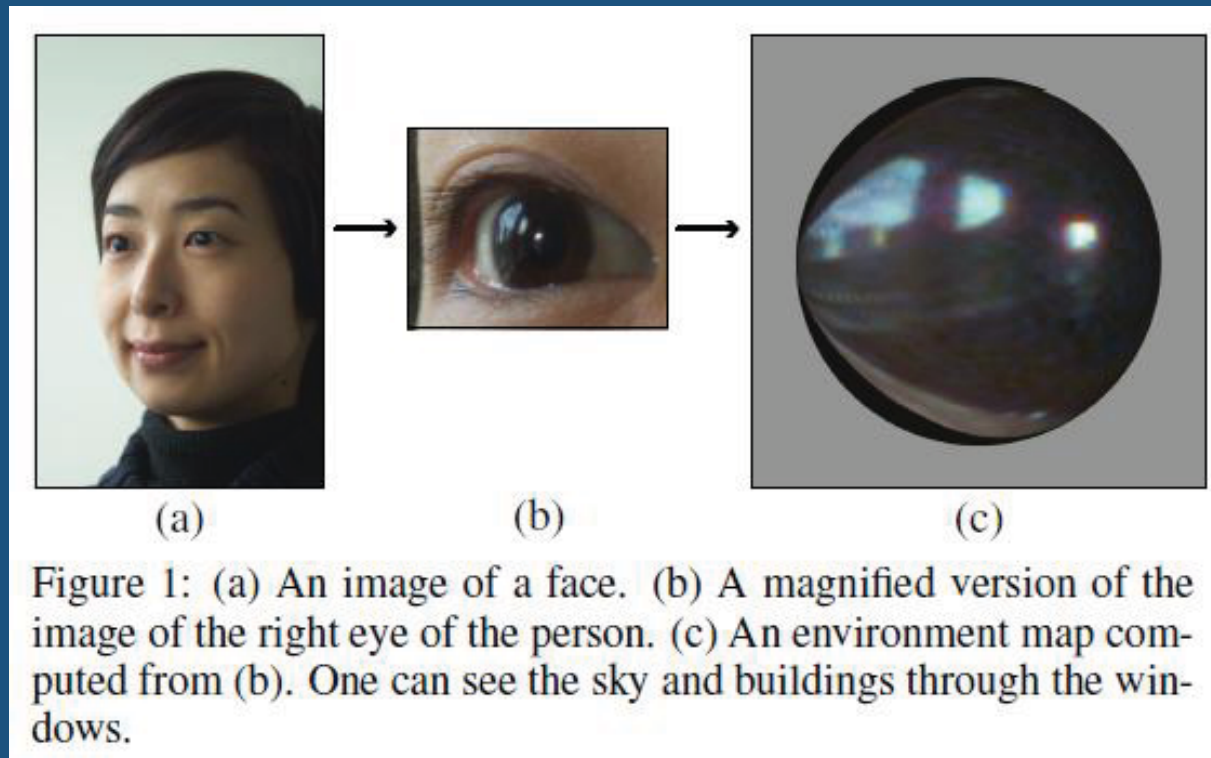
The World in an Eye [Nishino and Nayer, CVPR04]

- 近接から撮影した眼球画像から，ユーザのしている環境の映像を再構築する。

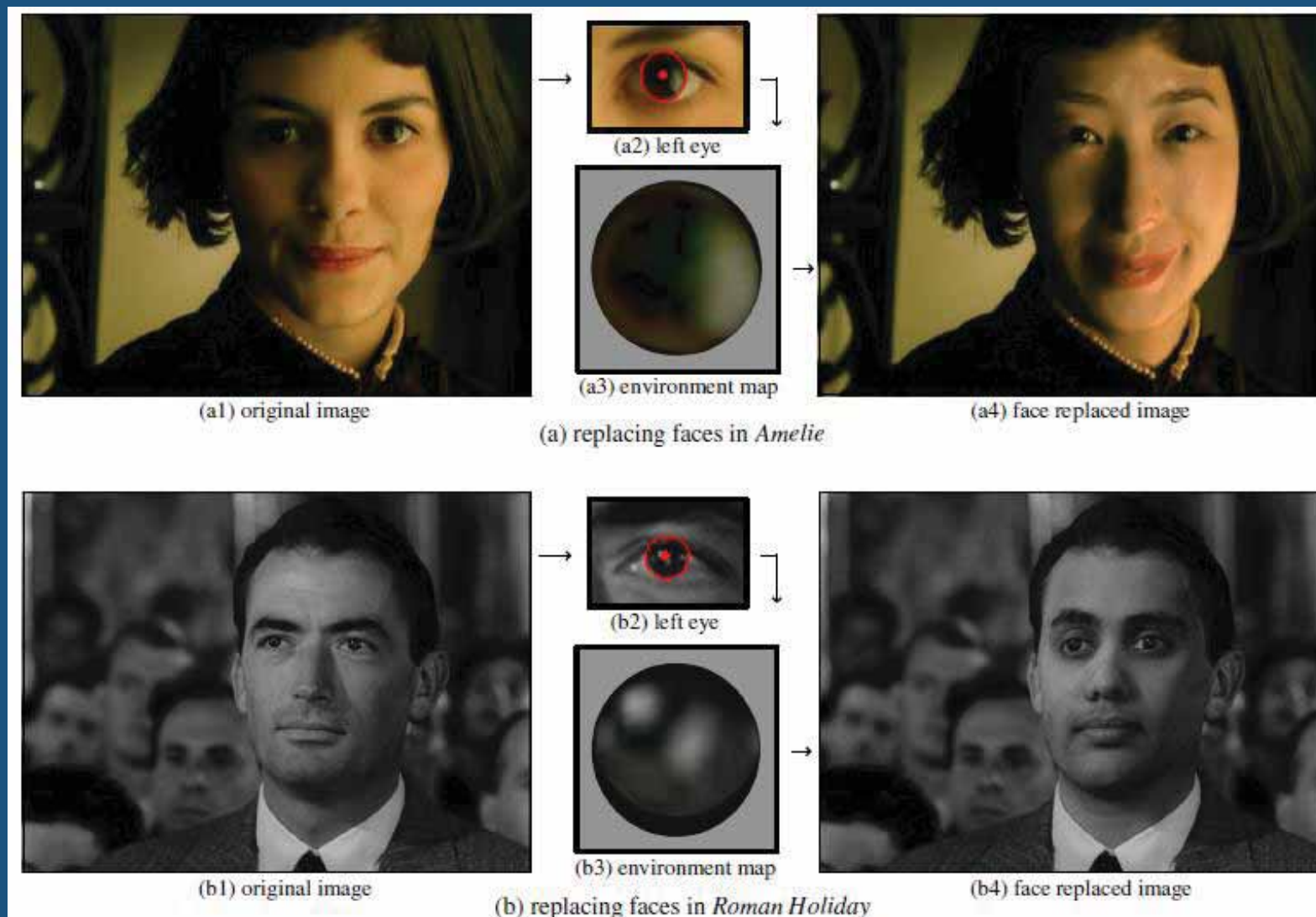


Eyes for Relighting [Nishino and Nayer, SIGGRAPH04]

- 目の反射画像から周辺の光源環境を取得できる



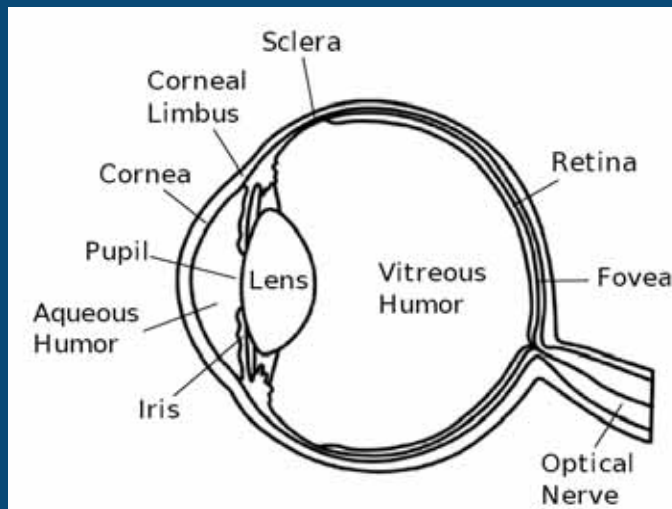
- 画像の目領域の画像から光源環境を取得
→ 得られた環境光を使ってレンダリングし合成



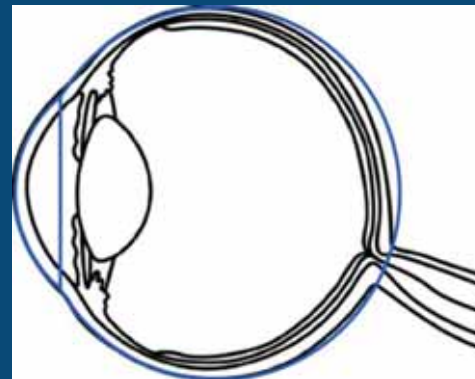
眼球の幾何モデル

- 眼球本体面と角膜球面は異なる形状
 - 2つの球面が合わさった形でモデル化
- 大きさのパラメータ(典型値) (Nishino & Nayar, IJCV 2006) [mm]:

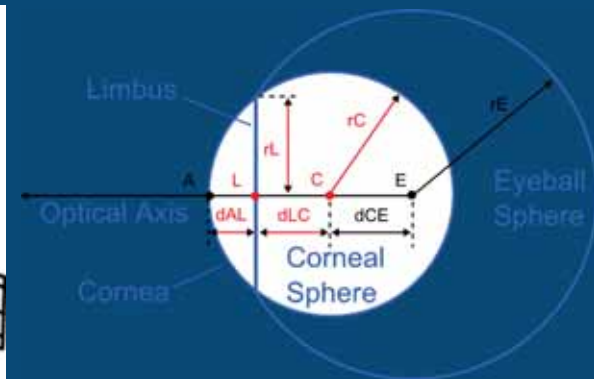
$$r_L = 5.5 \quad r_C = 7.8 \quad d_{AL} = 2.18 \quad d_{LC} = r_C - d_{AL}$$



Cross Section

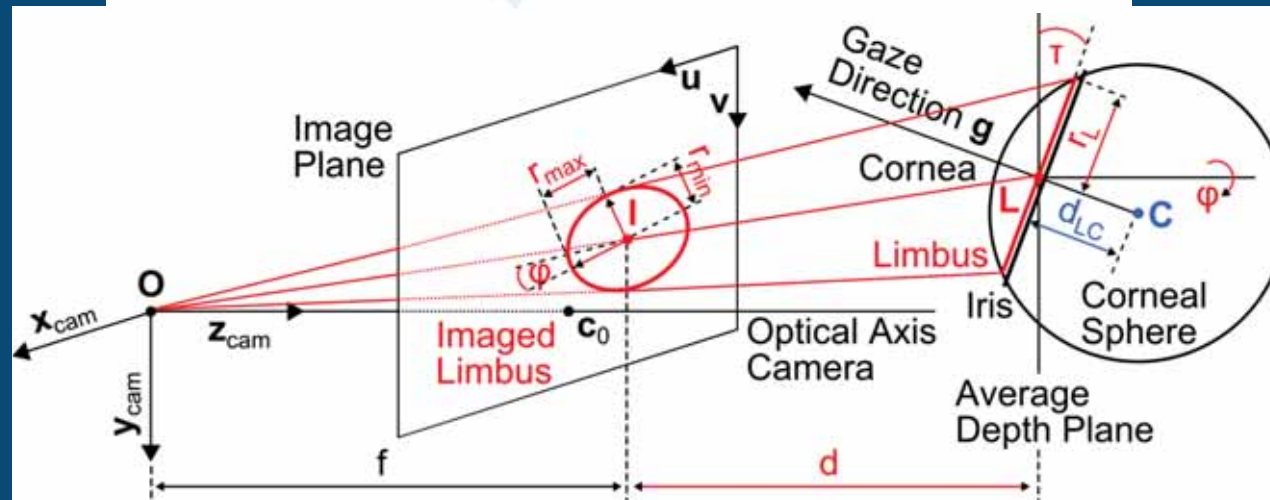
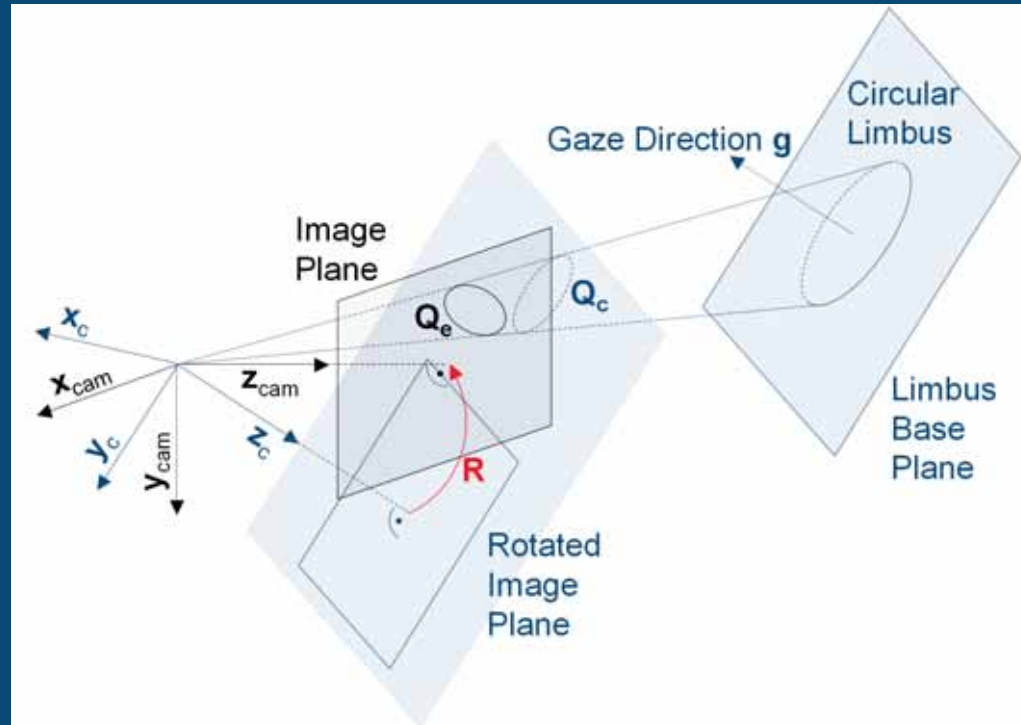


Model Overlap

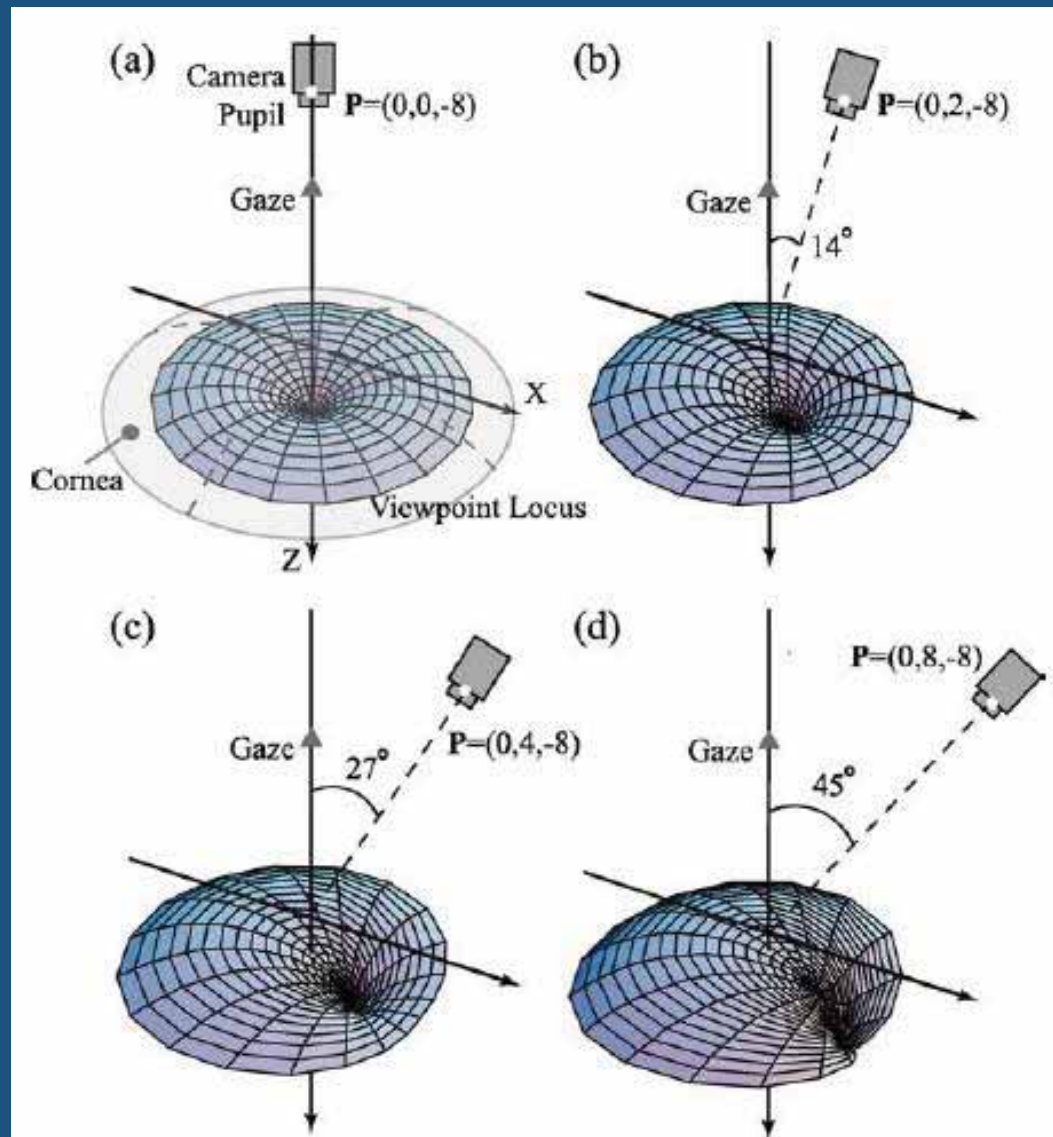


Geometric Eye Model

カメラ・眼球間の幾何関係の取得



カメラの位置関係と周辺光の入射角度



本日の内容

- 目の表面反射画像の解析
 - The World in Eye
 - 目の幾何構造と光の伝達
- 眼球の表面反射を使ったディスプレイ・カメラキャリブレーション [Nitschke and Nakazawa, ICCV2009, CVIU2011]
- 眼球の表面反射画像解析による注視点計測 [MIRU2011]
 - 視線計測 v.s 注視点計測
 - 従来の方法
 - 提案法
 - 今後

ディスプレイ・カメラシステム



Security

Commerce

Interaction/Communication



Mobile

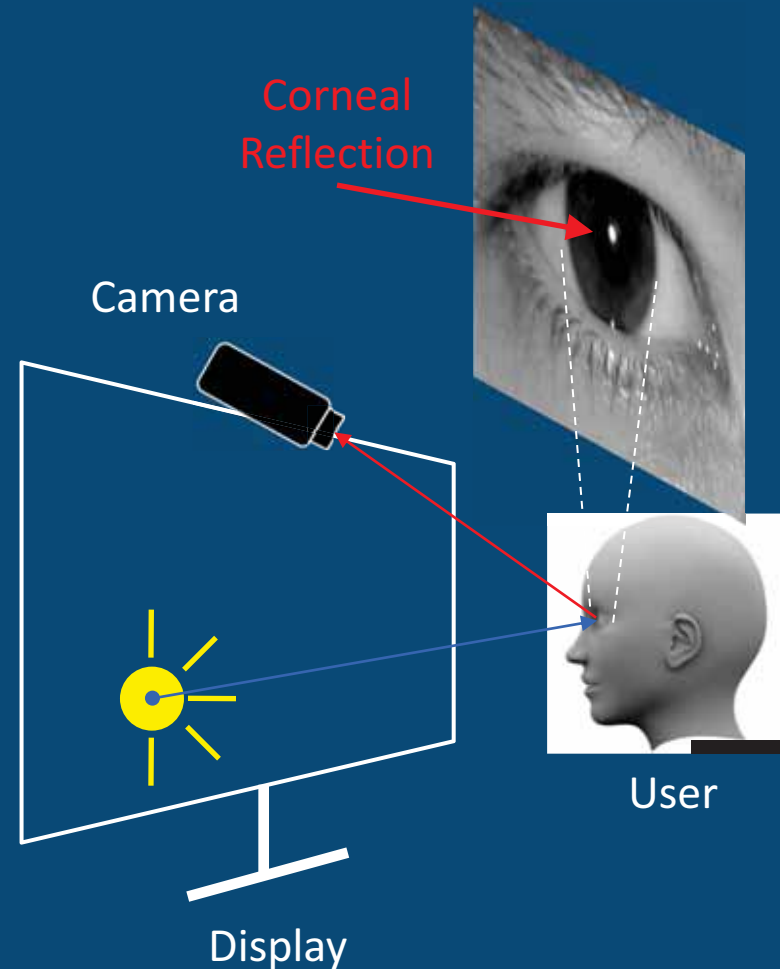
Special Displays

Driver Assistance

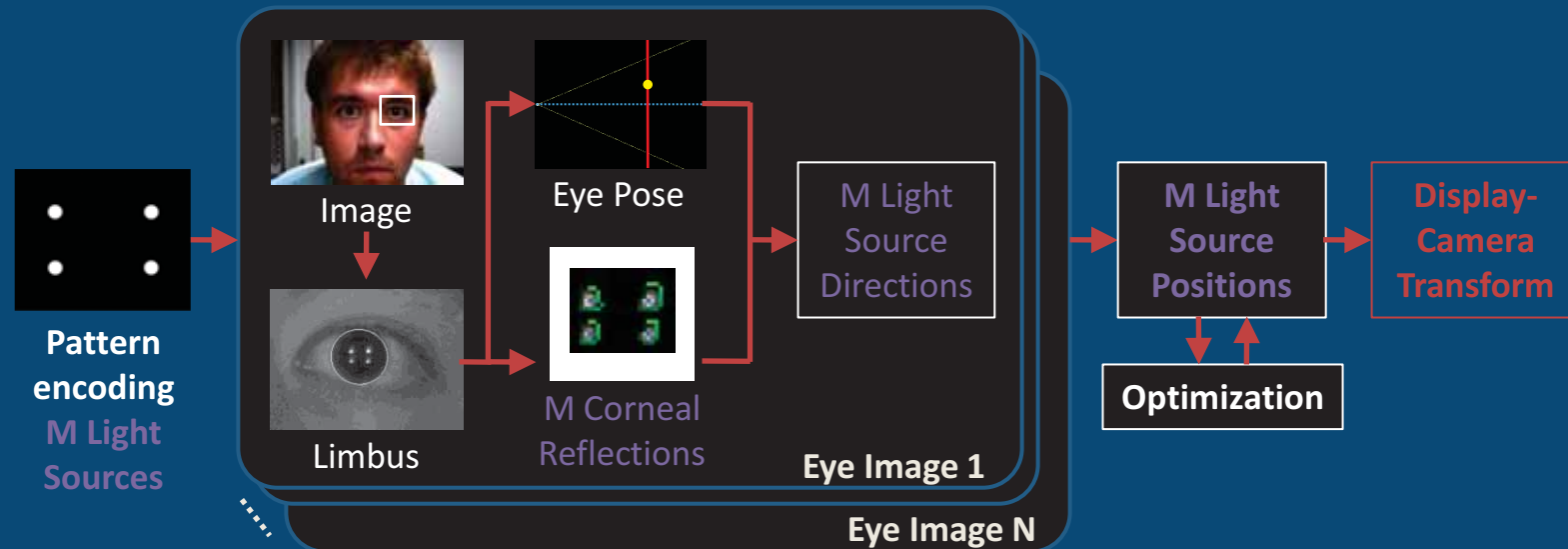
ディスプレイとカメラの幾何関係を 眼球の表面反射から得る [Nitschke and Nakazawa 2009, 2011]

問題

- ディスプレイとカメラの幾何関係(相対位置・姿勢)を, 眼球の表面反射を用いて得る方法を開発

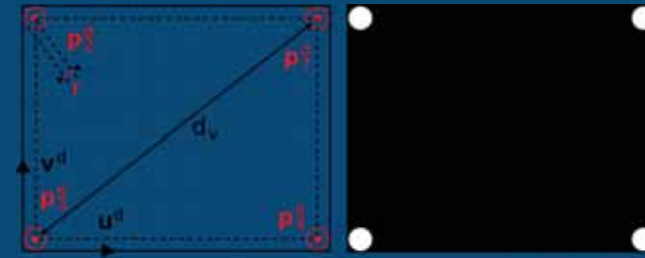
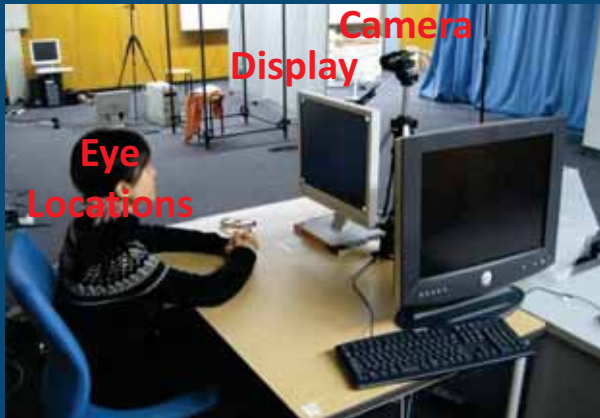


推定アルゴリズム



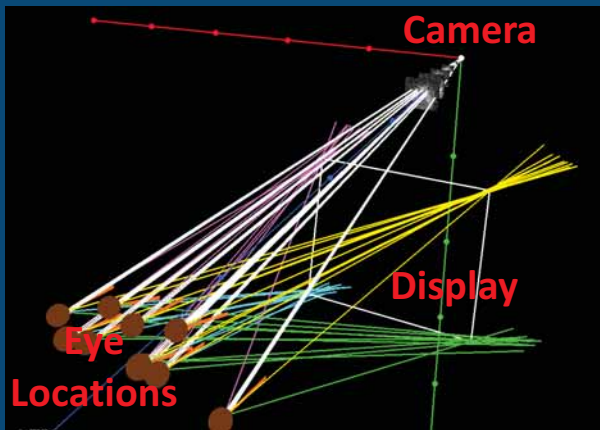
Algorithm

実験環境

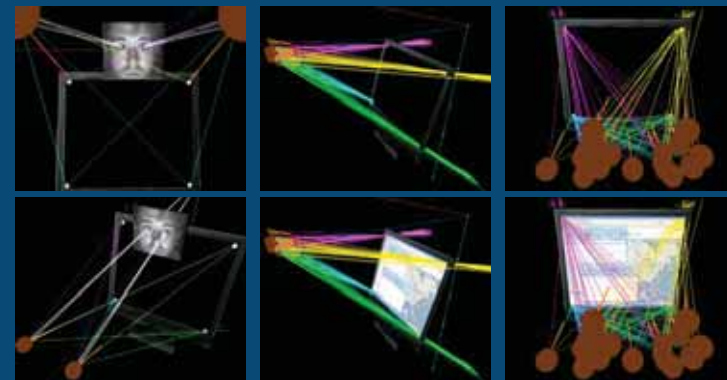


Display Pattern

↓ Setup ↓



Reconstructed Geometry



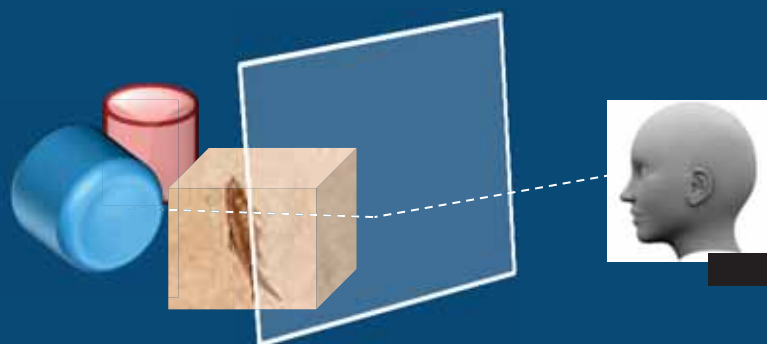
Different Poses

- video

利用用途(UI)

Applications

- Display-camera system enables novel interfaces



Gaze-based Interfaces



Gesture/Body-based Interfaces

- Non-intrusive realization of eye tracking systems
 1. Display-camera calibration in advance
 2. Eye pose estimation at runtime

本日の内容

- 目の表面反射画像の解析
 - The World in Eye
 - 目の幾何構造と光の伝達
- 眼球の表面反射を使ったディスプレイ・カメラキャリブレーション [Nitschke and Nakazawa, ICCV2009, CVIU2011]
- 眼球の表面反射画像解析による注視点計測 [MIRU2011]
 - 視線計測 v.s 注視点計測
 - 従来の方法
 - 提案法
 - 今後

視線検出

- 様々な用途で使われている
 - ユーザーインターフェース, 心理・認知科学, 医療(前述)
- 商用システムも豊富
 - Tobii, NAC, etc ..



視線検出システムの歴史

- L. Young and D. Sheena, "Survey of eye movement recording methods", *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 1975.

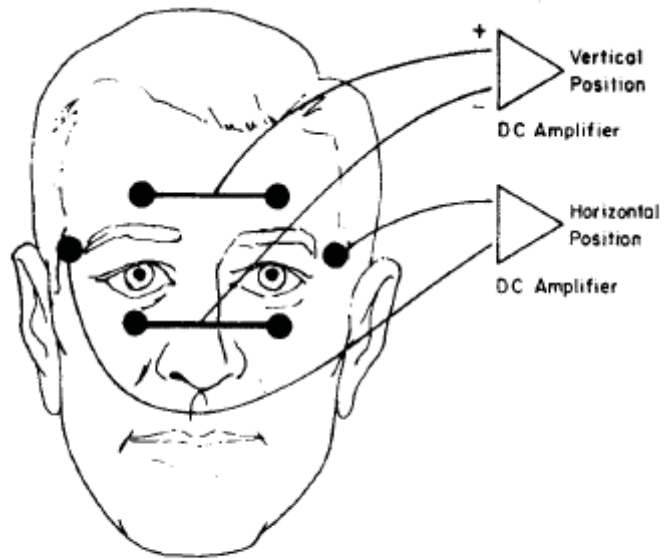


Figure 2. A method for reducing cross coupling in conjugate electro-oculography (Young, 1970 after Jeannerod et al., 1966).

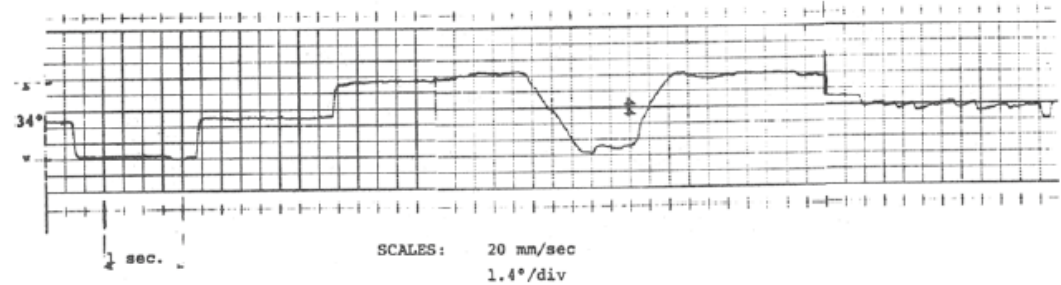


Figure 1. Typical horizontal eye movements recorded with a photoelectric monitor showing saccadic jumps, fixation movements, smooth pursuit, and optokinetic nystagmus. From Young, 1970 (Copyright 1970, McGraw-Hill Book Company. Used with permission of McGraw-Hill Book Company).

Electrooculography (EOG) : 左右・上下の電位差を使って
目の方向を計測
- 精度, ドリフトの問題

光学式(頭部固定型)

点光源(ビーム光)の反射像を使う方式 → 現在の殆どのシステムで採用

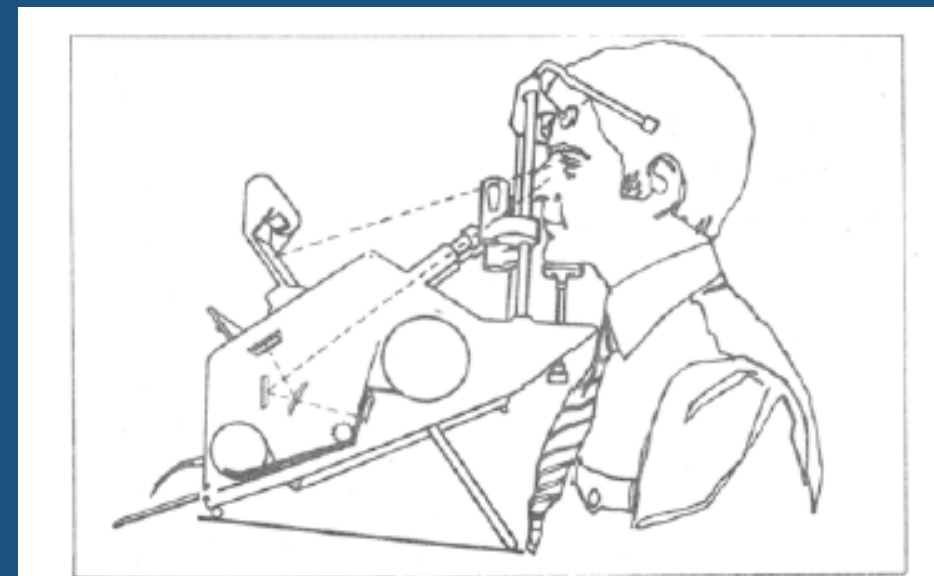
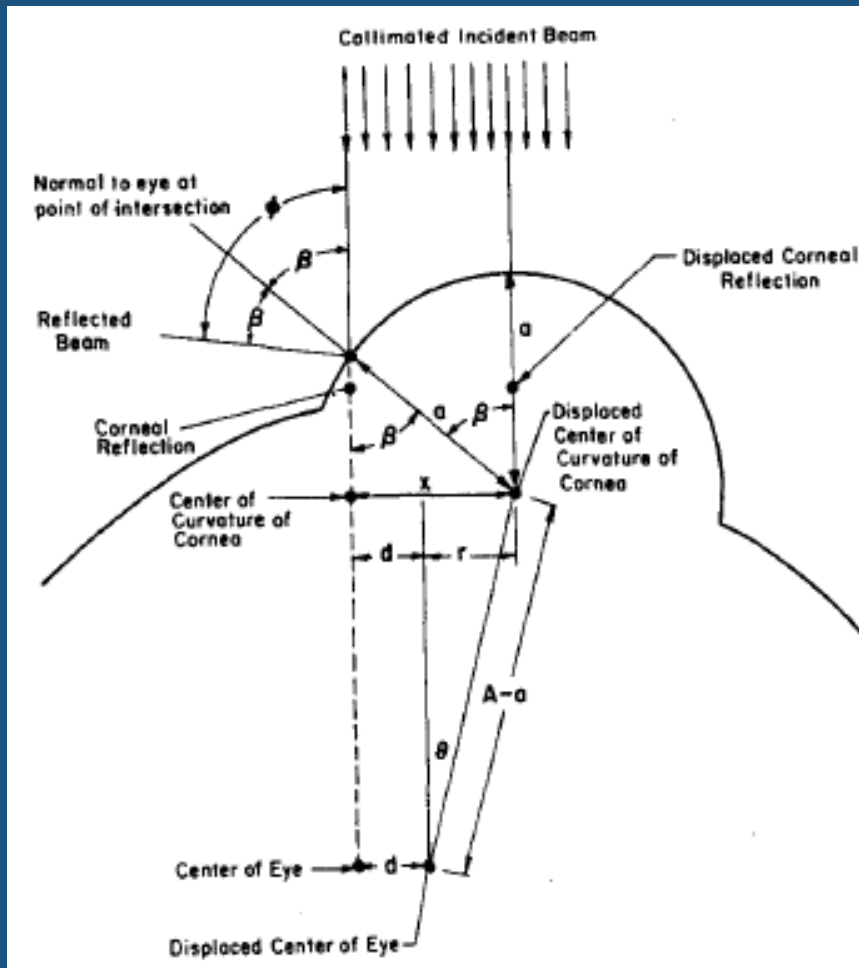


Figure 4. The AO ophthalmograph (Taylor, 1971). Courtesy of Educational Development Laboratories, A Division of McGraw-Hill Book Company .

モバイル(?)型

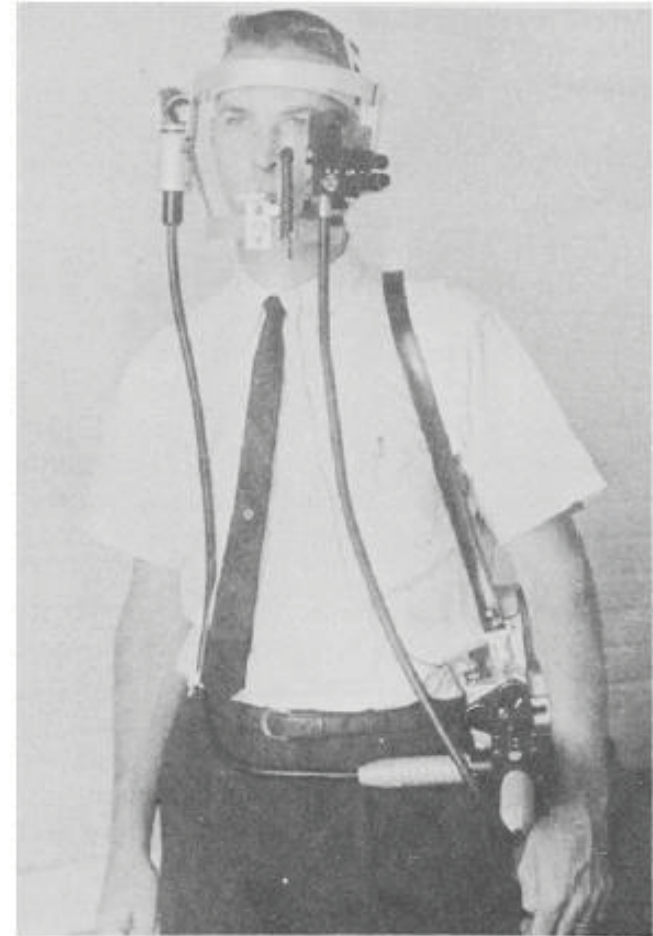
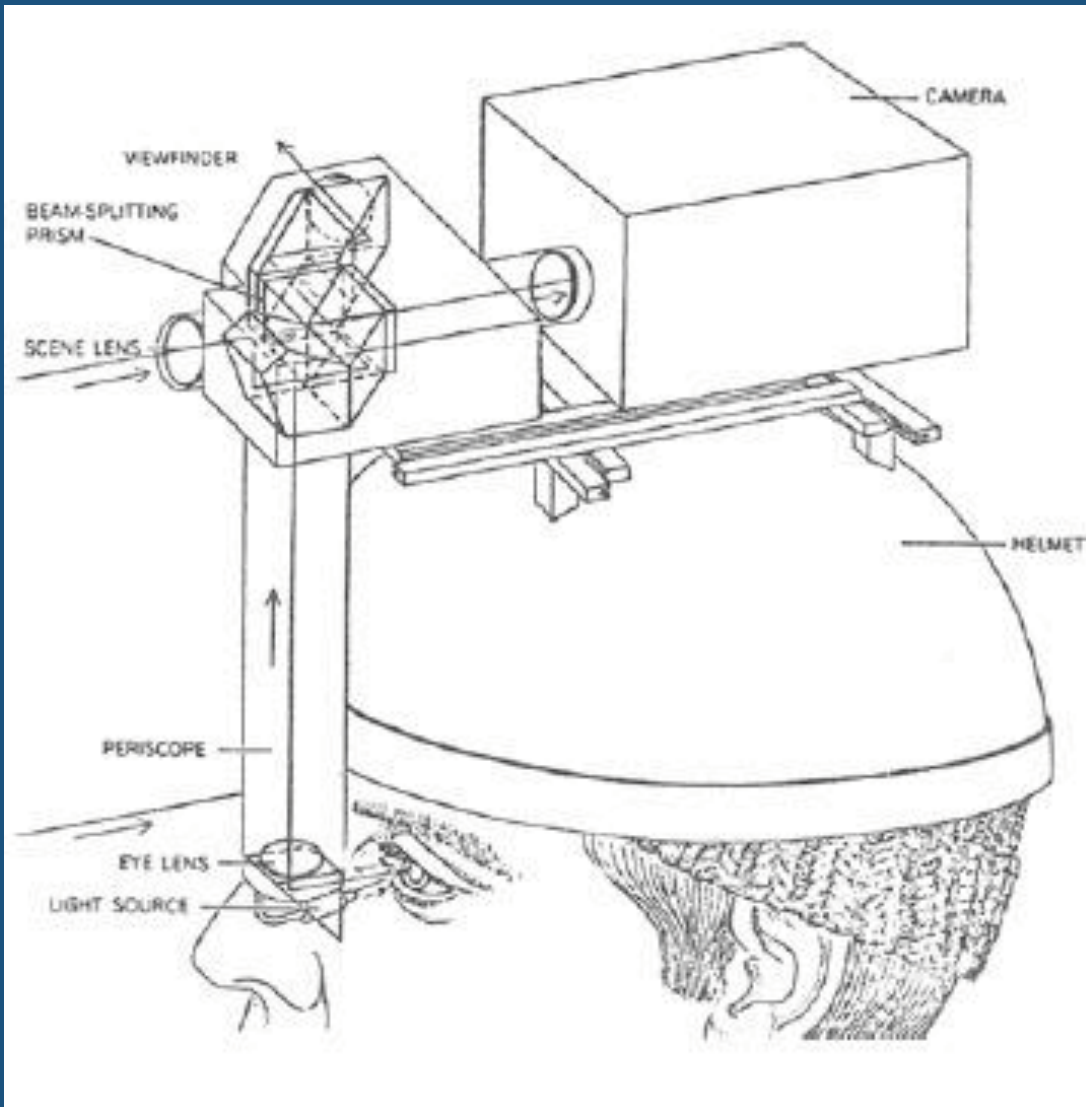


Figure 7. Mobile corneal reflex eye movement camera (Courtesy of Polymetric Company).

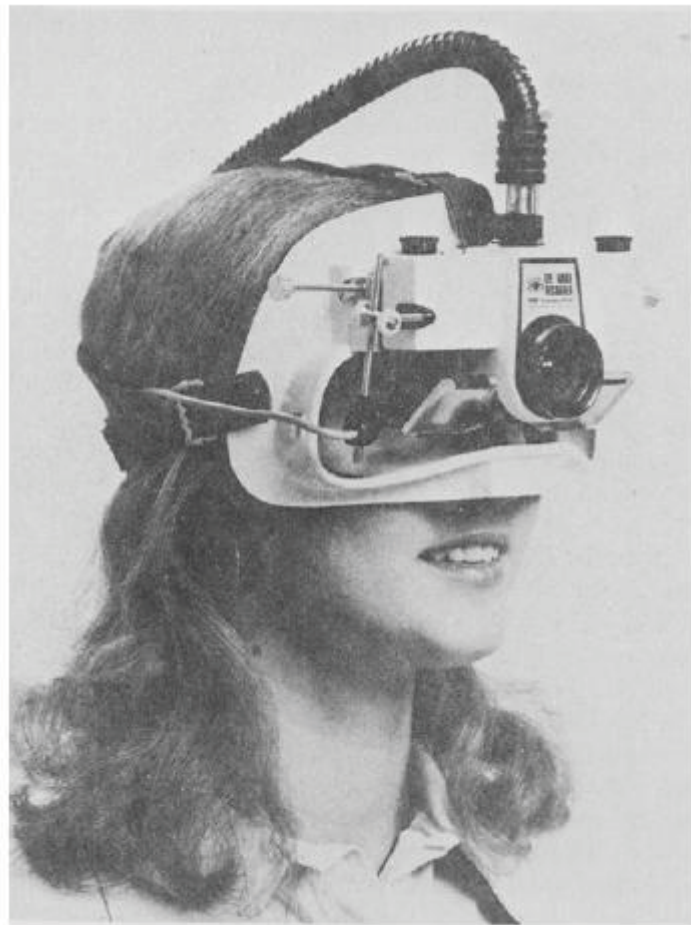


Figure 8. Head-mounted corneal reflex illumination, viewing, and combining optics (Courtesy of Instrumentation Marketing Corporation).

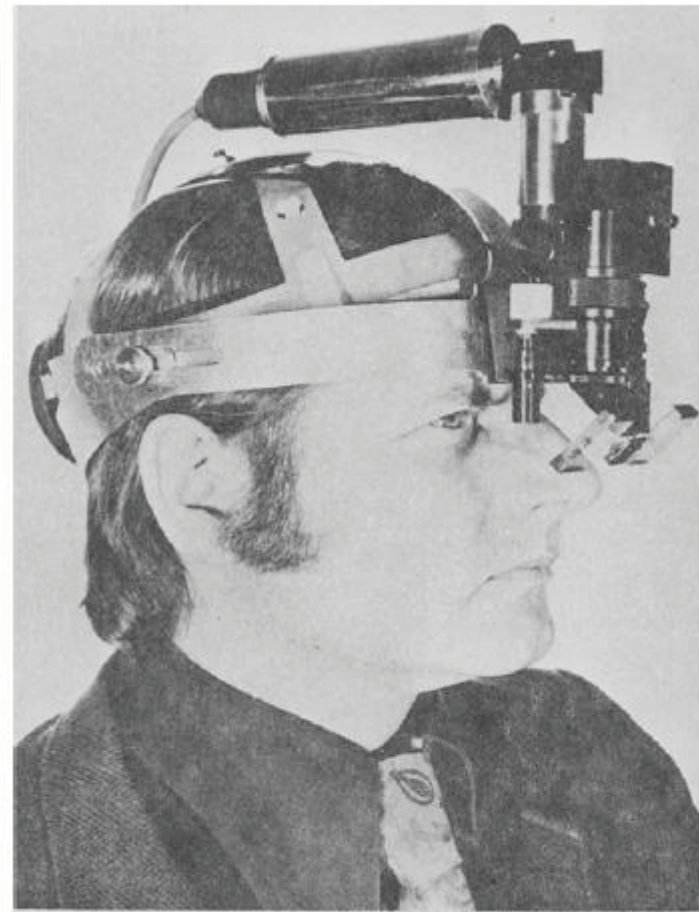
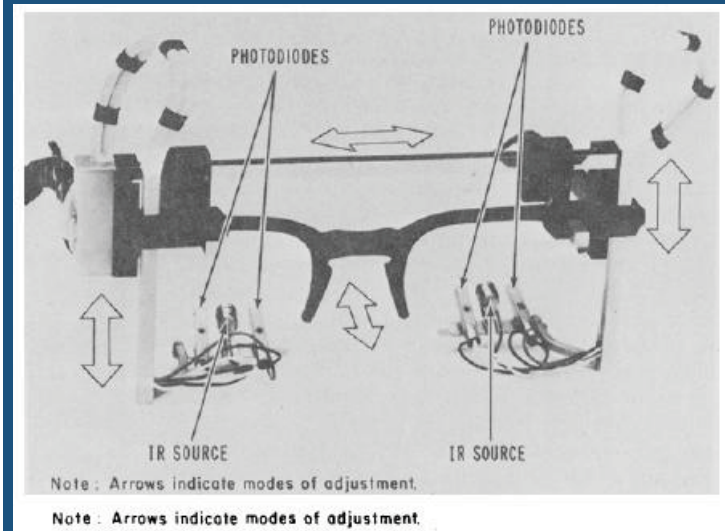
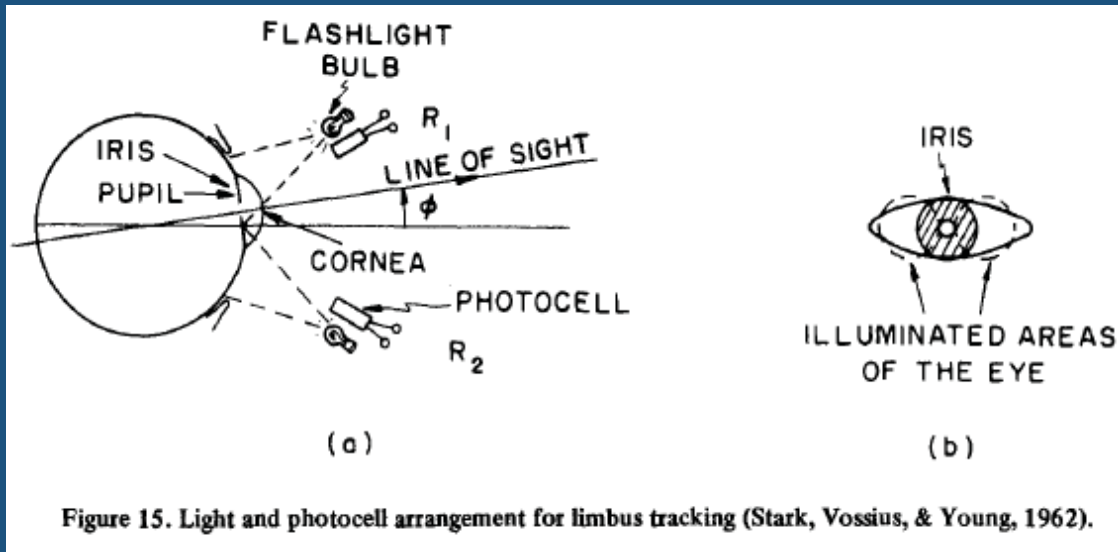
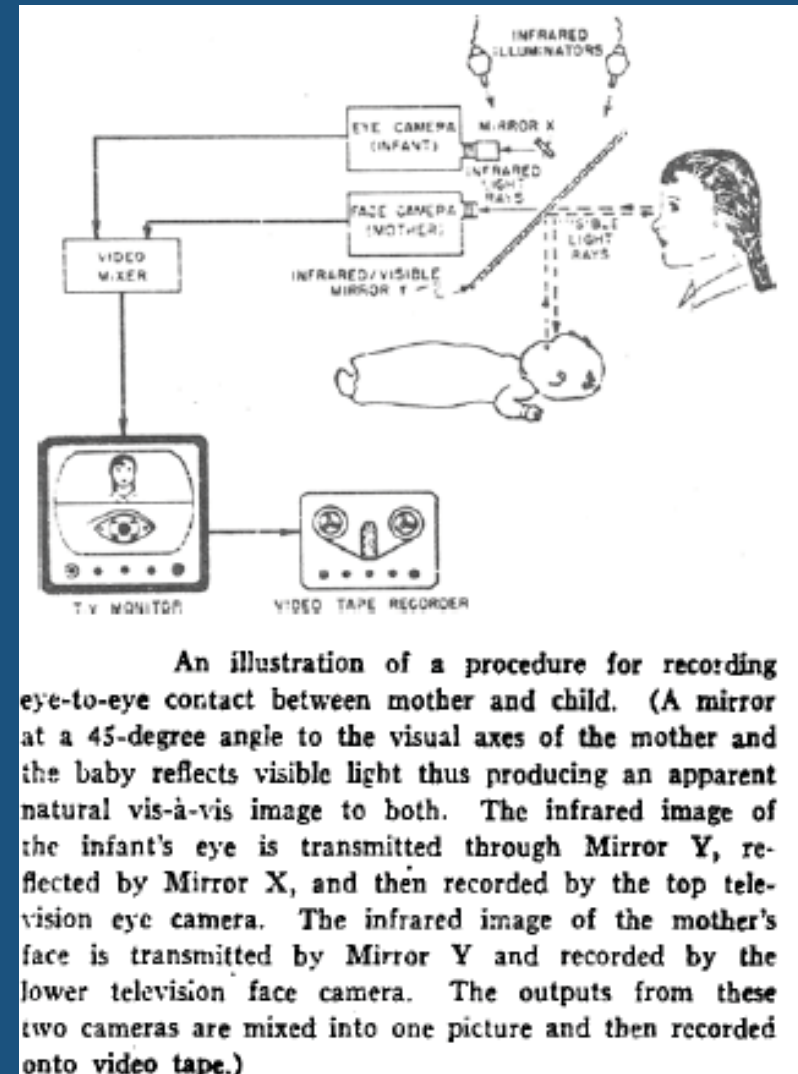
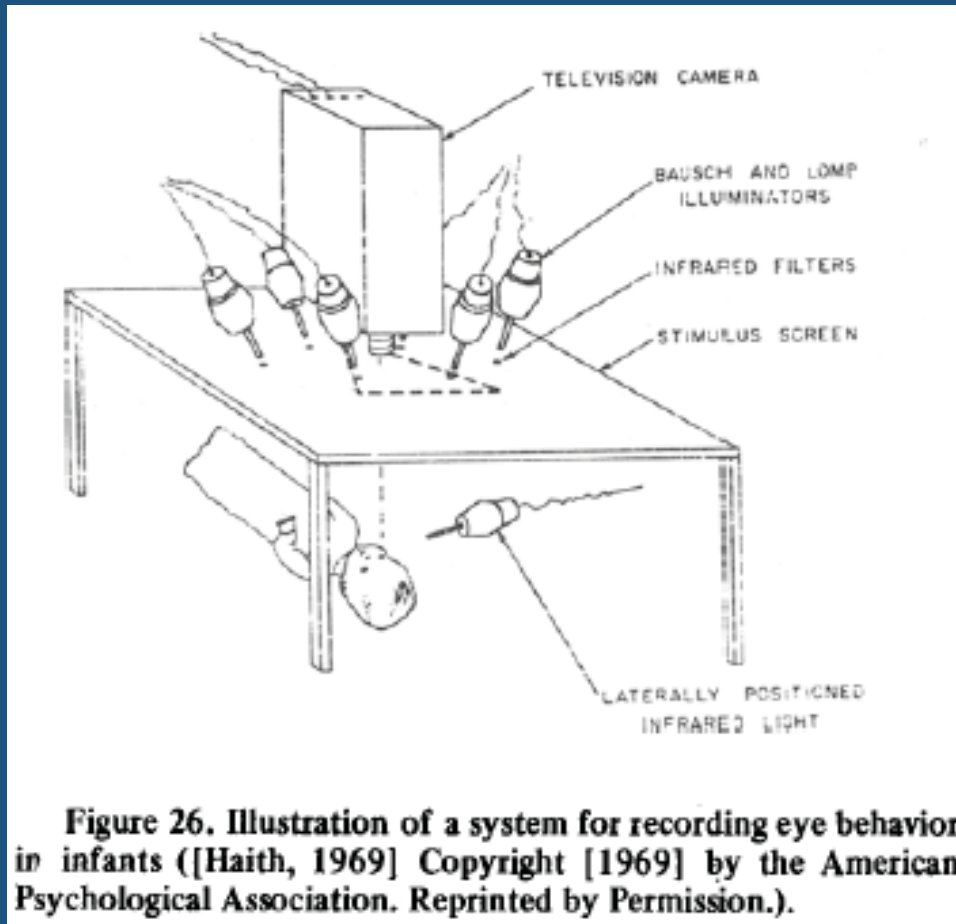


Figure 9. Head-mounted corneal reflex illumination, viewing and combining optics (courtesy of Instrumentation Marketing Corporation).

- Limbus (瞳)境界追跡型



乳幼児の視線追跡



目の動きと頭の動きの同時計測

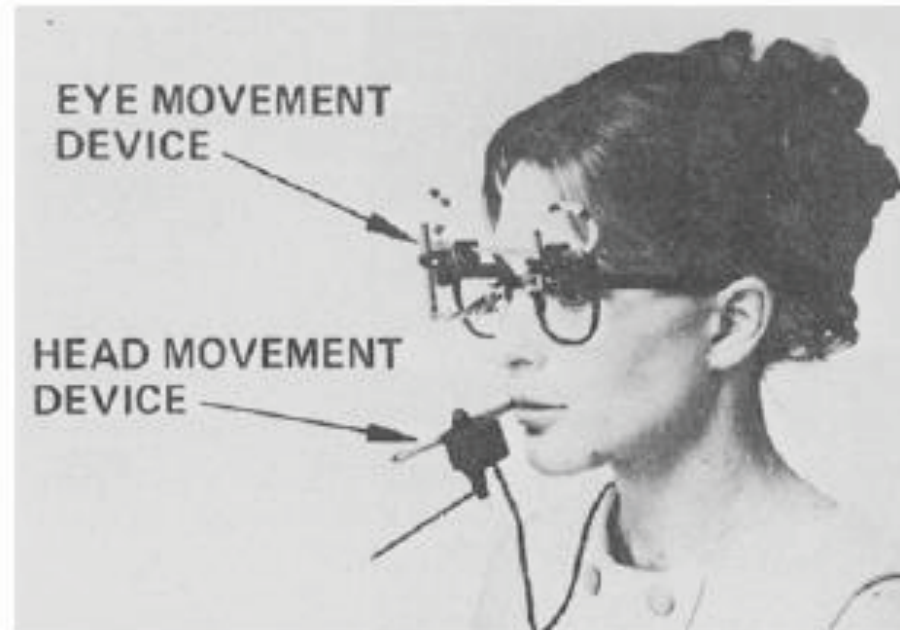
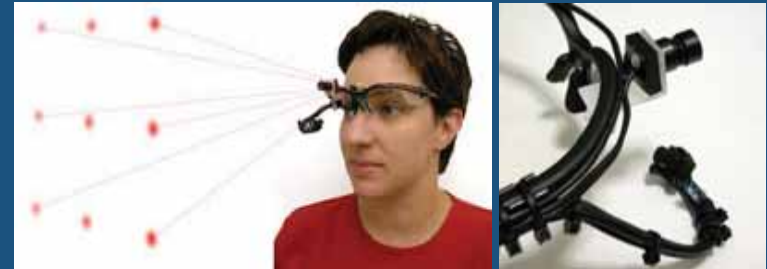


Figure 43. "Pipestem" bite board device for head-position measurement incorporated with an eye movement device (Courtesy Systems Technology, Inc.).

従来の「視線検出」システム

- アイカメラ法
 - 最も一般的な方法(多くの商用製品)
 - アイカメラを装着
 - カメラがズレるとエラーが蓄積



Babcock et al, 2004

- 顔画像ベースの手法
 - 「視線」は計測できるが、「どこを見ているか」は分からない
 - 「視線検出」は出来るが「注視点推定」は出来ない



Wu et al, FG2004, 2004

- 「視線」の計測か「注視点」の計測か?



OMRON OKAO Vision

(<http://www.omron.co.jp/ecb/products/mobile/>)

視線 v.s. 注視点

- 視線：顔(あるいは観測するカメラ)に対する目の方向 → 環境中の何を見ているかは分からない?



- 注視点：環境中のどこを見ているか?
- いままではこの両者が割と混同されてきた

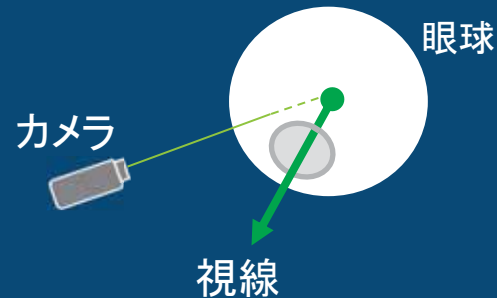
視線・注視点・キャリブレーション

従来法: まず視線を求める → 注視点を推定

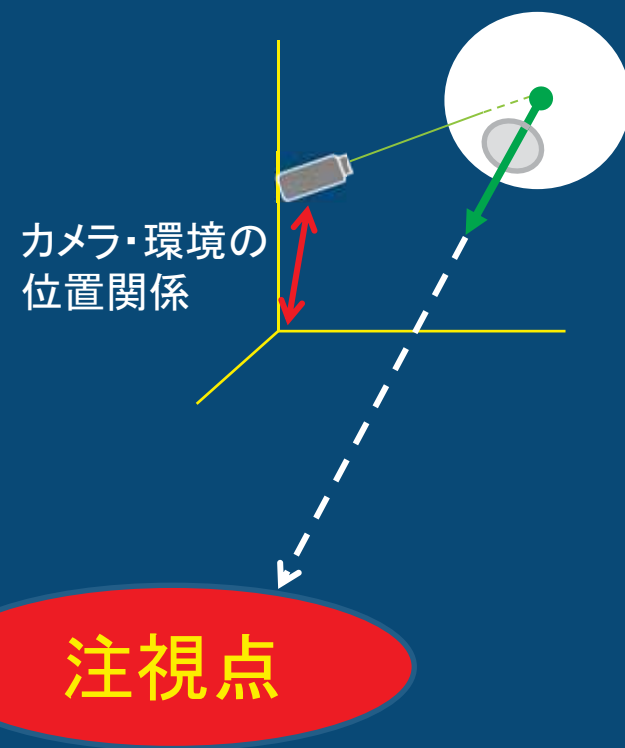
カメラによる
眼球画像



カメラに対する
眼球角度(視線)



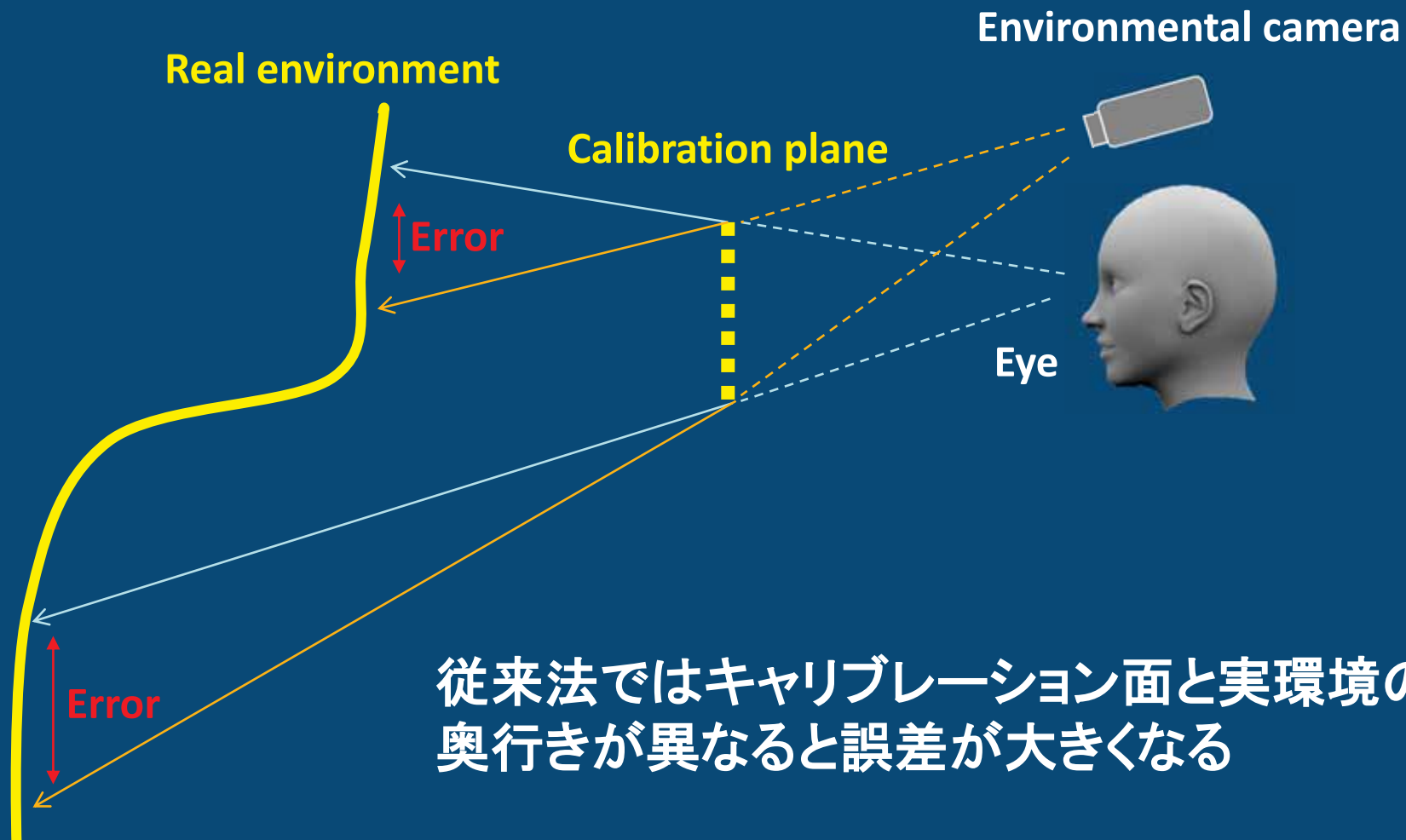
環境に対する
眼球位置・角度



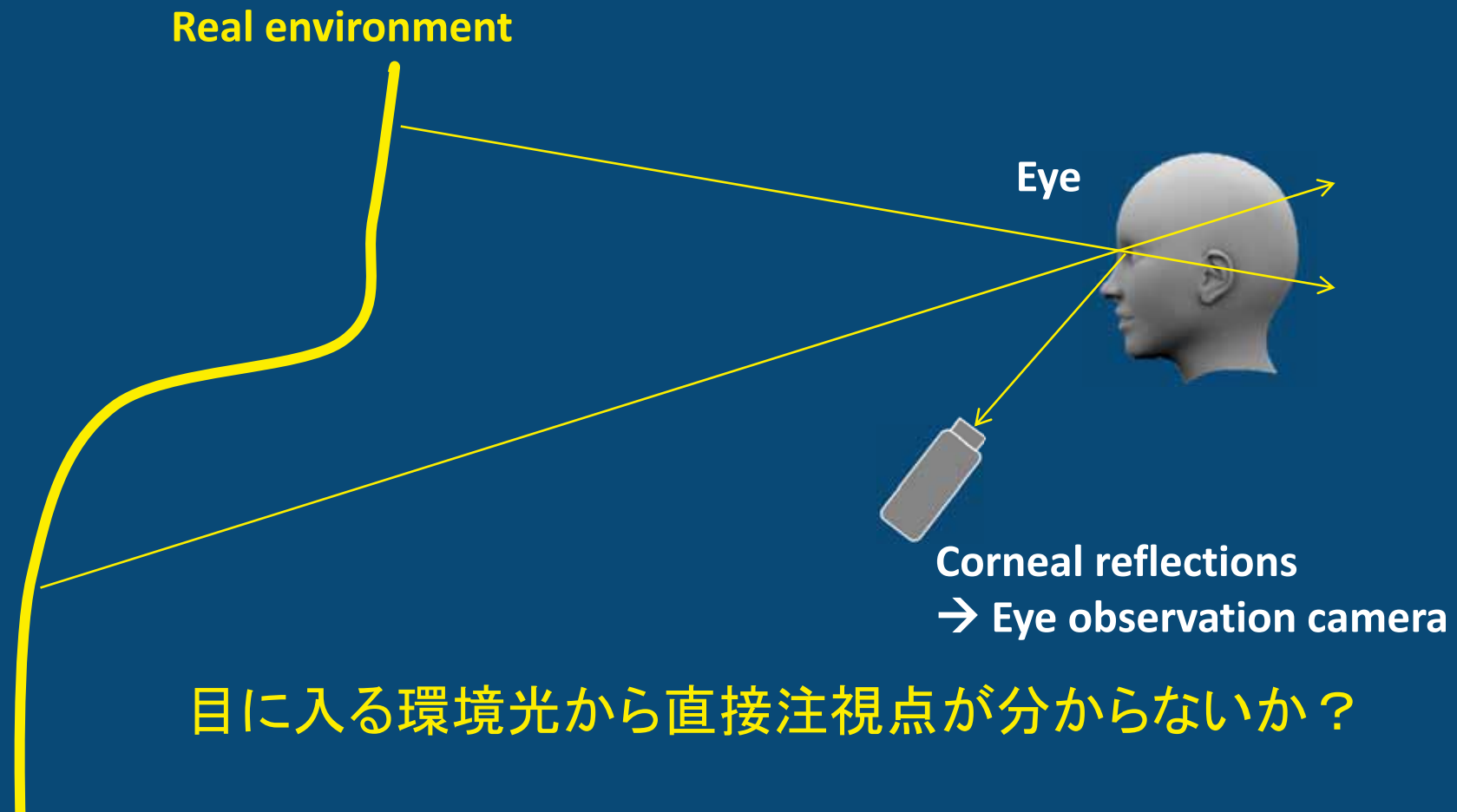
問題点

- カメラと環境の間の位置関係
(キャリブレーション)や
シーンのモデリングが必要

従来法の問題：Parallax誤差問題

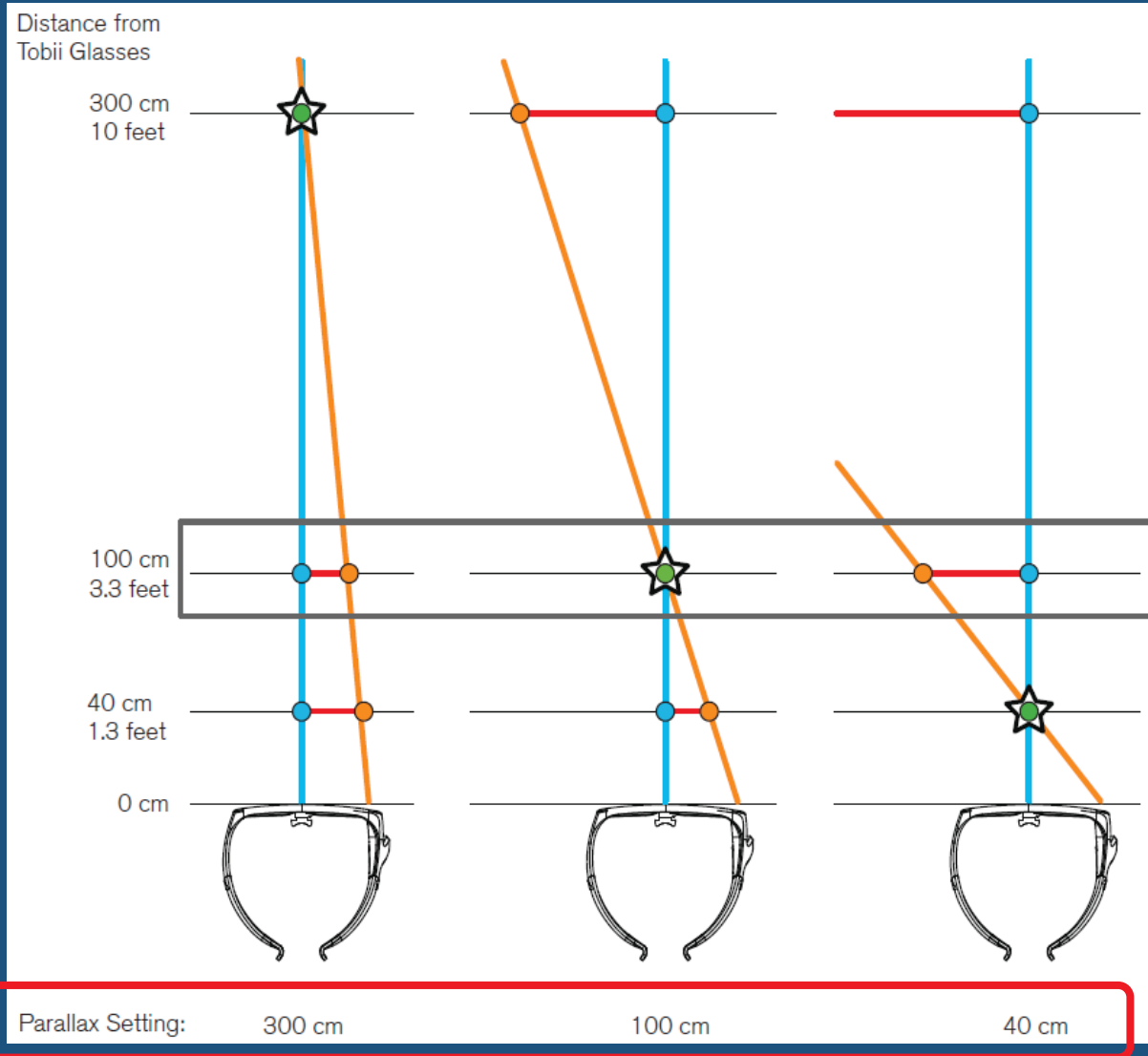


環境光の眼球入射光を直接捉えればParallax誤差は生じない



Tobii(商用アイトラッカ) マニュアル

- 想定されるシーンの奥行きを手動で与えて補正

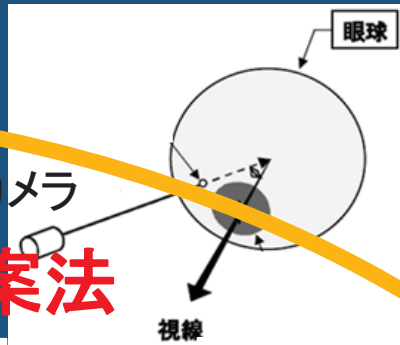


視線検出 vs 注視点検出

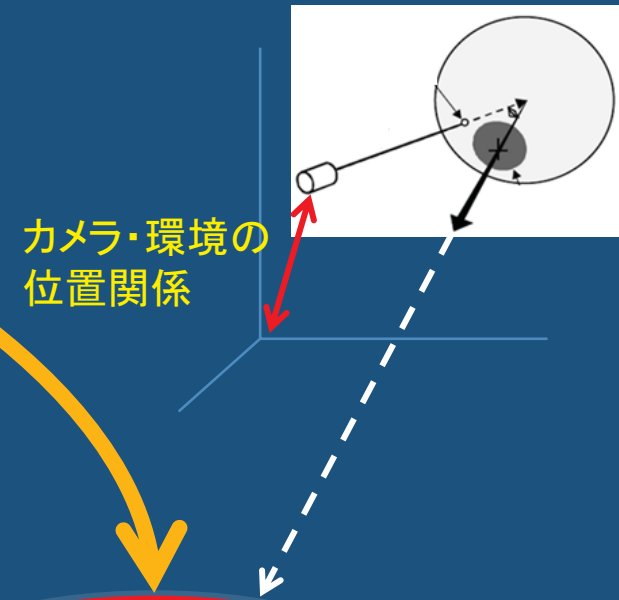
カメラによる
眼球画像



カメラに対する
眼球角度(視線)



環境に対する
眼球位置・角度



提案法
注視点(環境の光)と
眼球表面反射像を
直接対応付けする方法

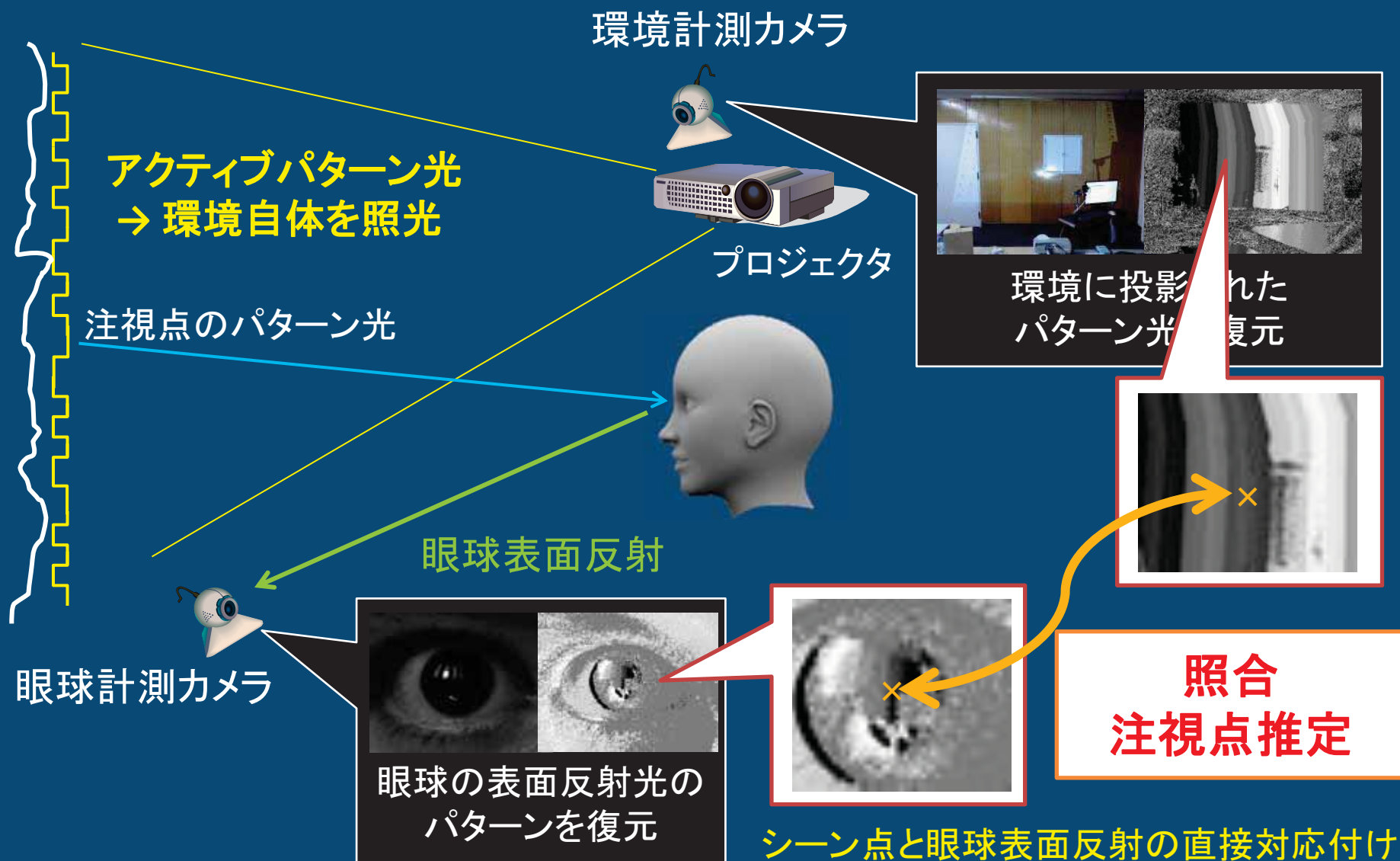
注視点

目(角膜)の表面反射像

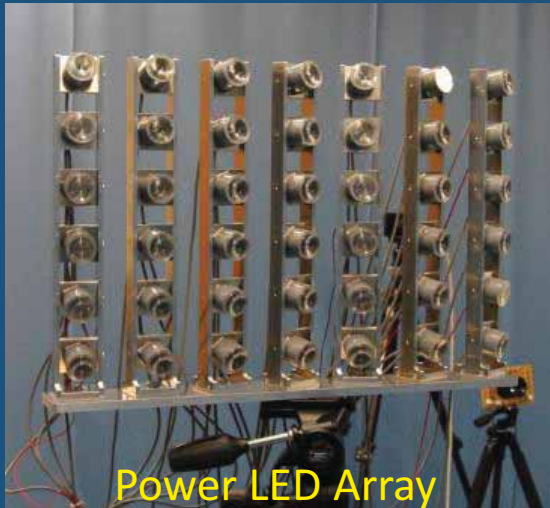


- 目の表面にはその人の見ているシーンが写っている
→注視点は必ずこの像の中にある
- しかし,
 - 角膜反射画像の品質は良くない
 - 低輝度, 低解像度, 眼球テクスチャの混在

[提案法] アクティブパターン光投影による注視点検出



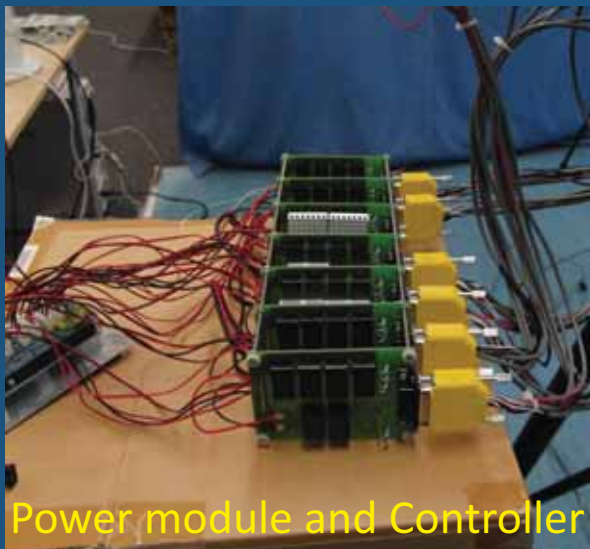
アクティブ照明：高輝度LEDプロジェクタ (High Framerate Programmable Illumination Projector (HF-PIP))



Power LED Array



LED / Lens Unit



Power module and Controller

眼球は動く → 高速なパターン投影が必要

可視光通信の考え方を応用

- ・ 可視光の点滅で通信を実現

高輝度LEDアレイからなるプロジェクタ

個々のLEDを高速(0.05ms)で点滅可能

赤外LEDにも変更可能(ユーザーに気づかれない)

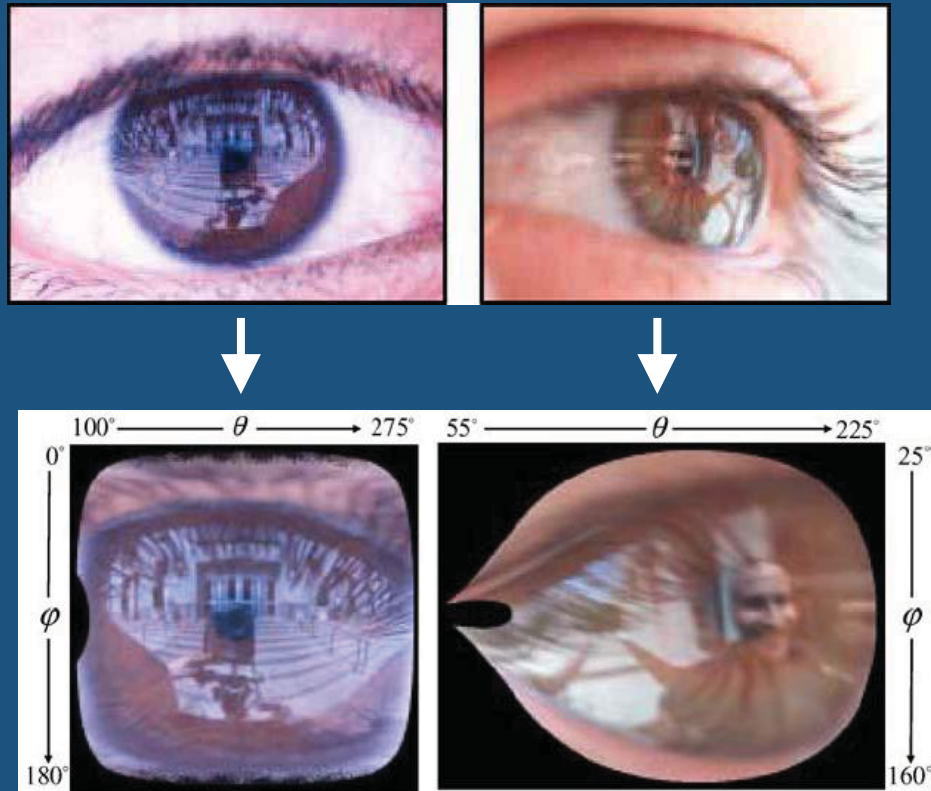
LEDの時間変調

- 各LEDは異なる時間変調パターン光を照光する
- 入力画像列の時間変調を復号することで発光LEDとの対応が取れる → **可視光通信(VLCC)**



表面反射からの注視点探索

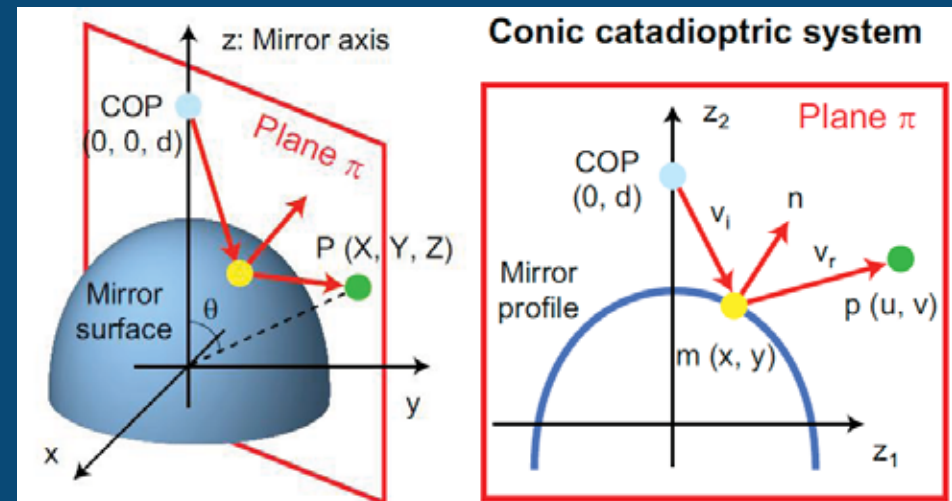
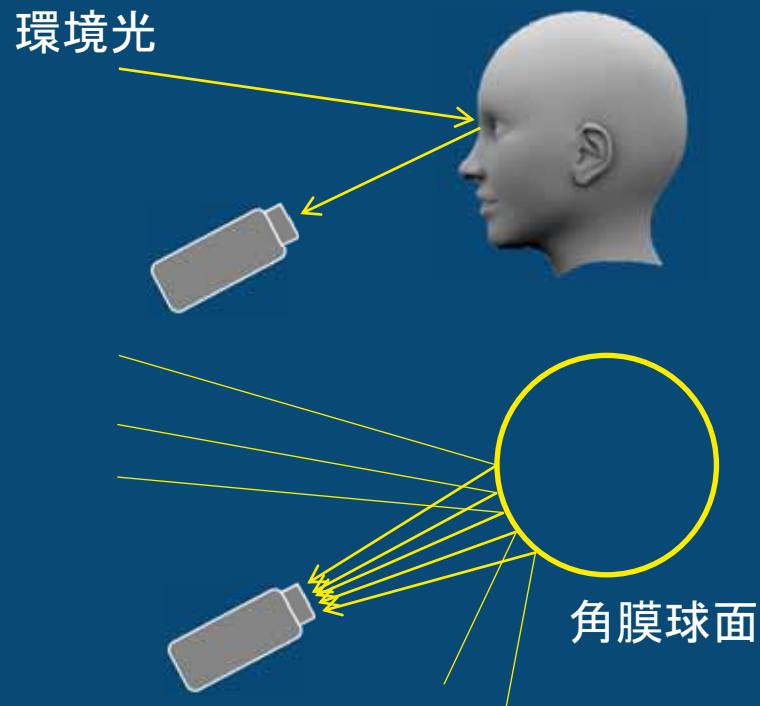
- 問題2
 - 角膜反射像のうち、どの点が注視点からの光なのか？
 - 眼球の幾何モデルを用いた角膜表面反射の光学系を考える



Nishino & Nayar, 2006

眼球表面反射 = 反射光学系

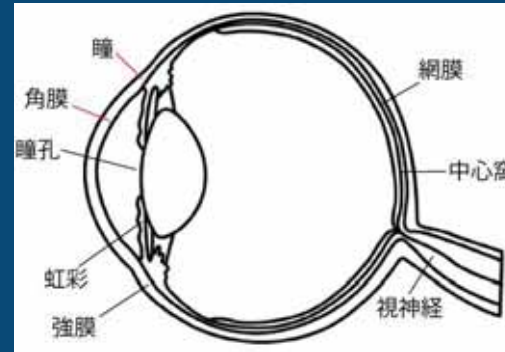
- 眼球表面は二次曲面(球面)と見なせるので, その撮影は**反射光学系(catadioptric system)**である
- Agrawalら: 反射光学系による**任意の3次元点**の投影を解析的に解く → **任意の方向**に拡張



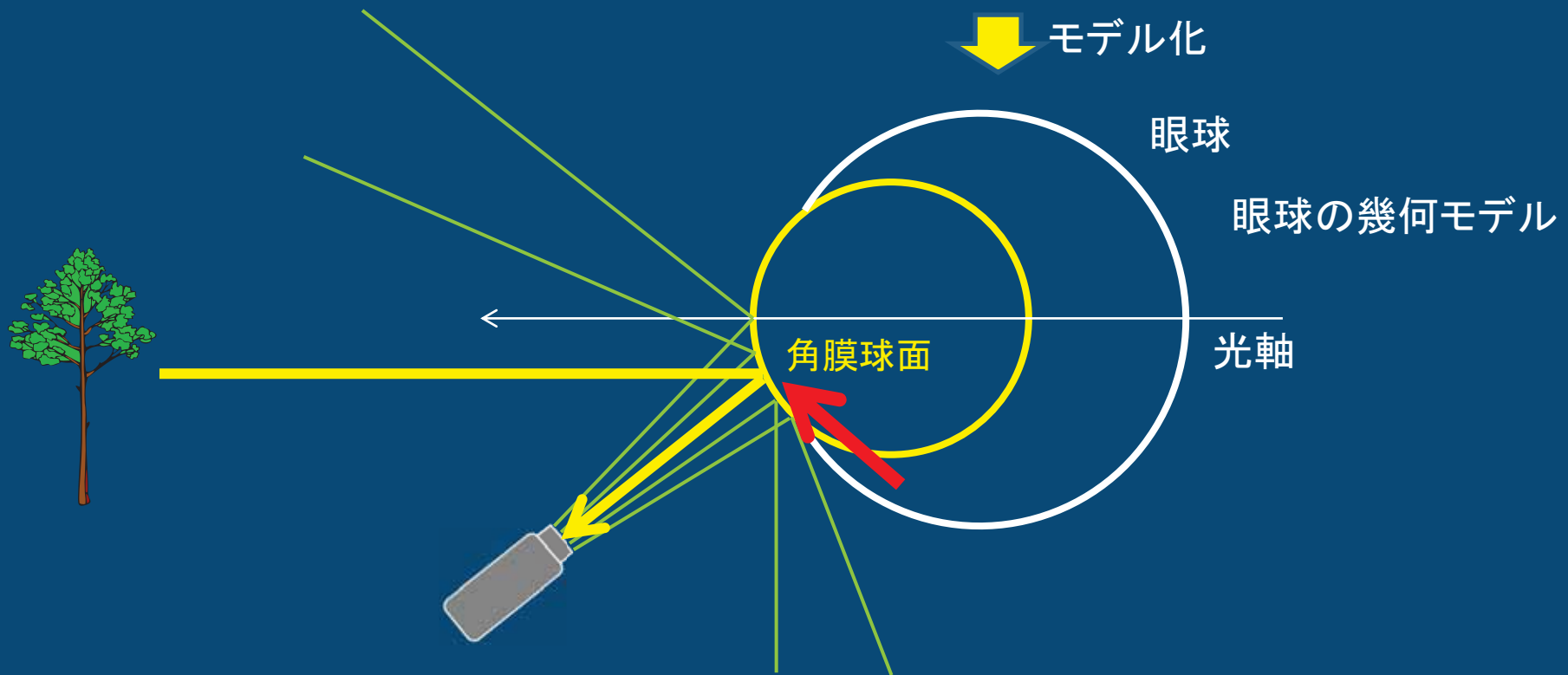
Analytical Forward Projection for Axial
Non-Central Dioptric & Catadioptric Cameras
Agrawal et. al , ECCV2008

眼球モデルと眼球表面のLight Transport

問題：眼球の光軸方向から来る光を反射する点を求める

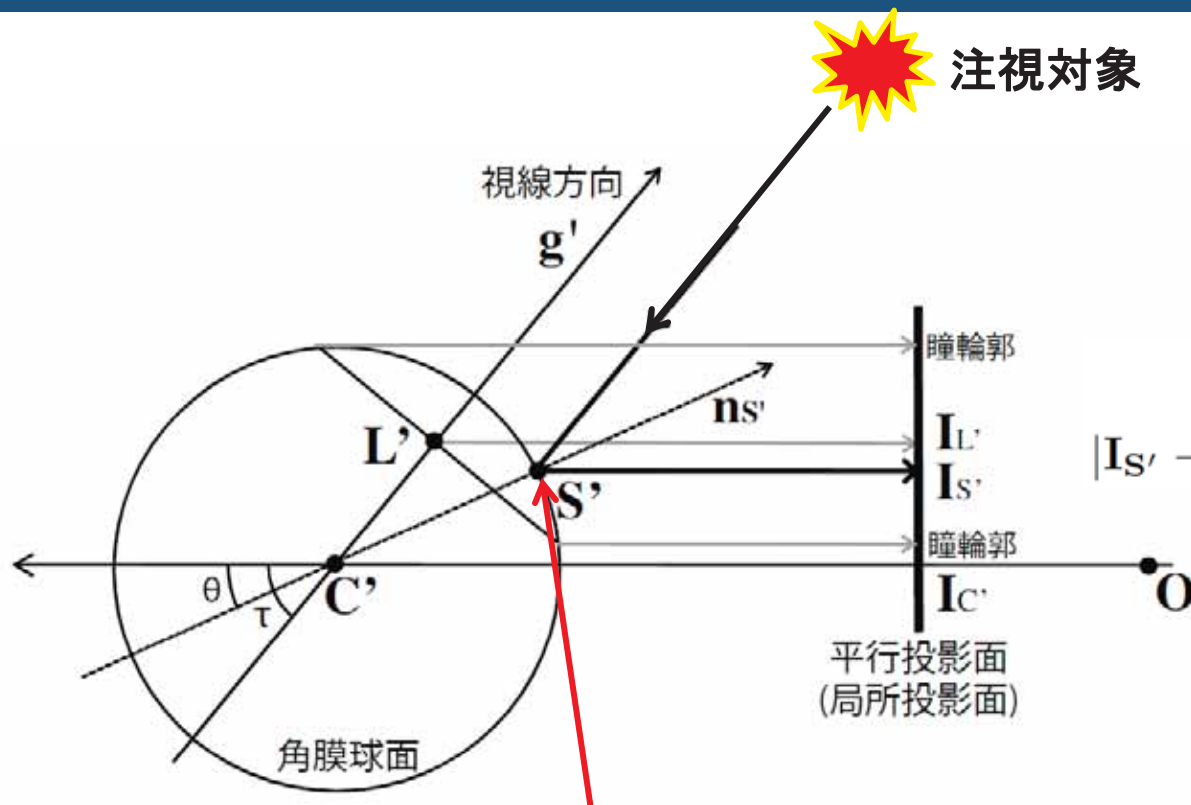


モデル化



Gaze Reflection Point (GRP)

角膜表面反射画像において、視線方向からくる光を反射する点
 → 解析的に求められる (透視投影・弱透視投影モデル)



$$\mathbf{C}' \cdot \mathbf{n}_{S'} = \mathbf{g}' \cdot \mathbf{n}_{S'}$$

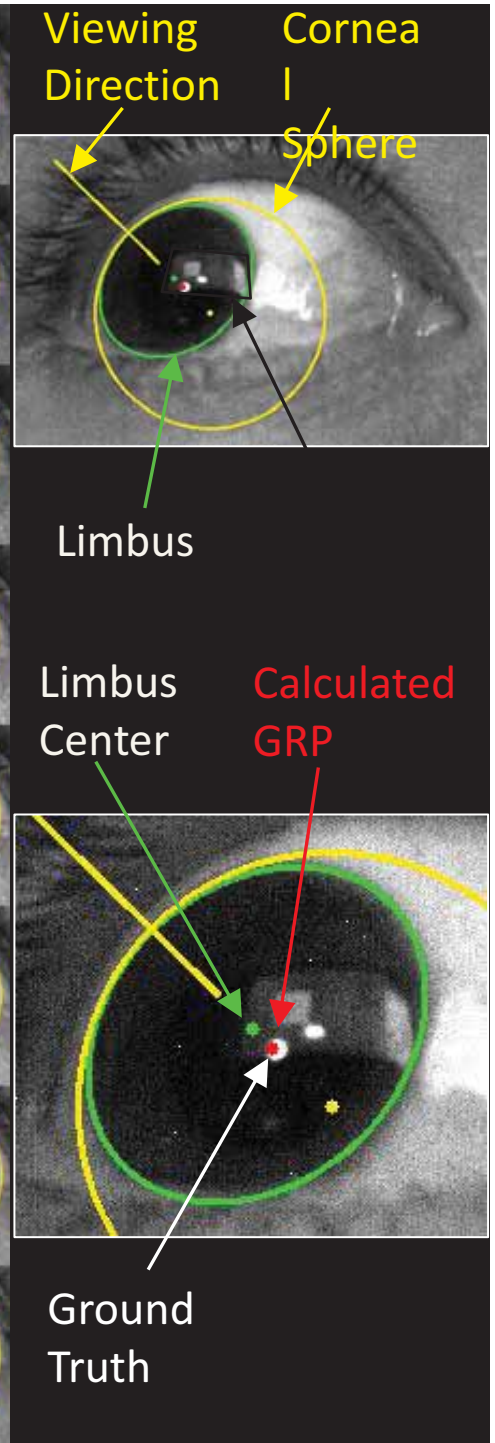
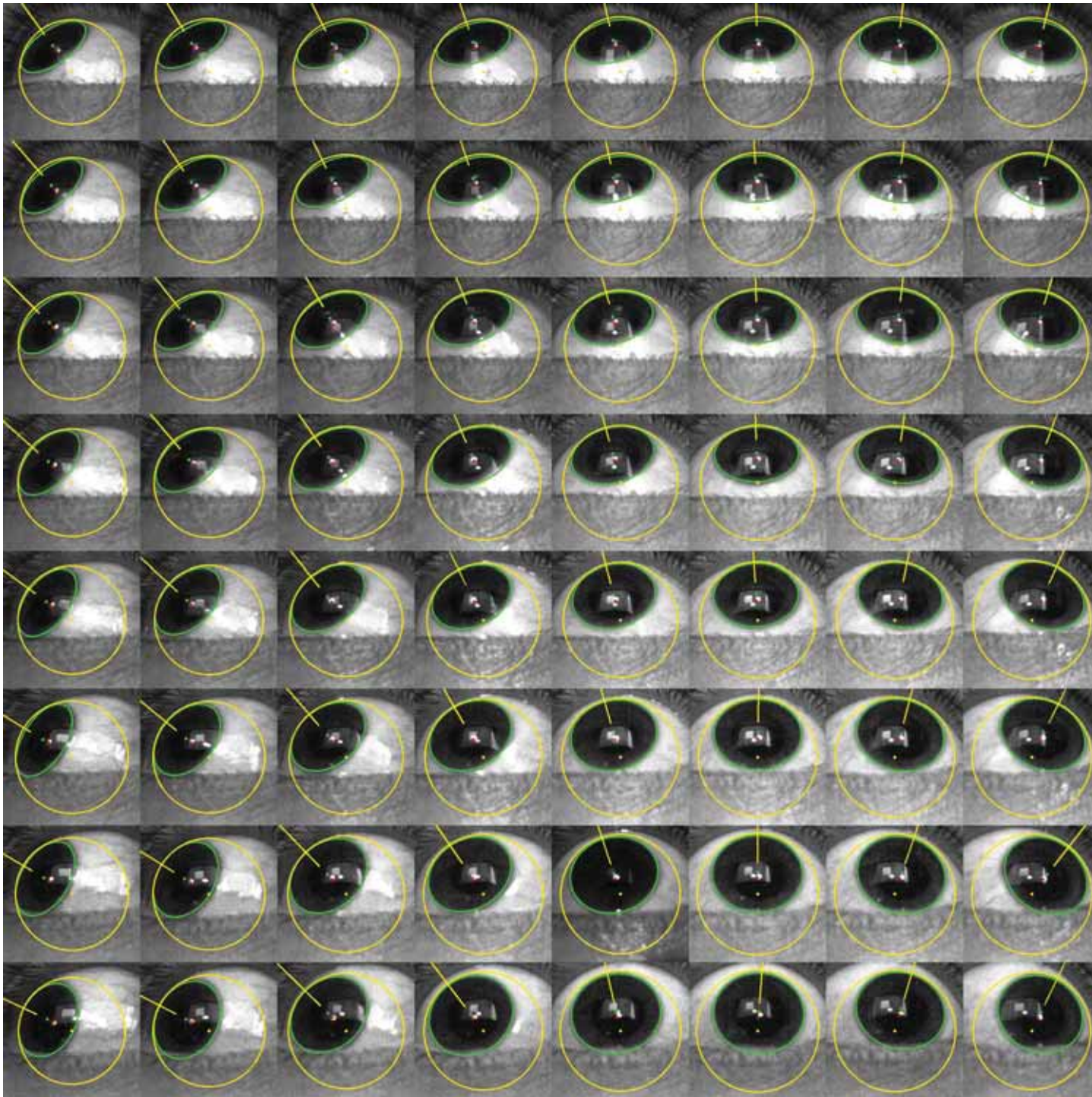
$$\theta = \arctan((1 - \cos \tau) / \sin \tau),$$

$$|\mathbf{I}_{S'} - \mathbf{I}_{L'}| = r_c \cos(\tau - \theta) - d_{LC} \sin \tau.$$

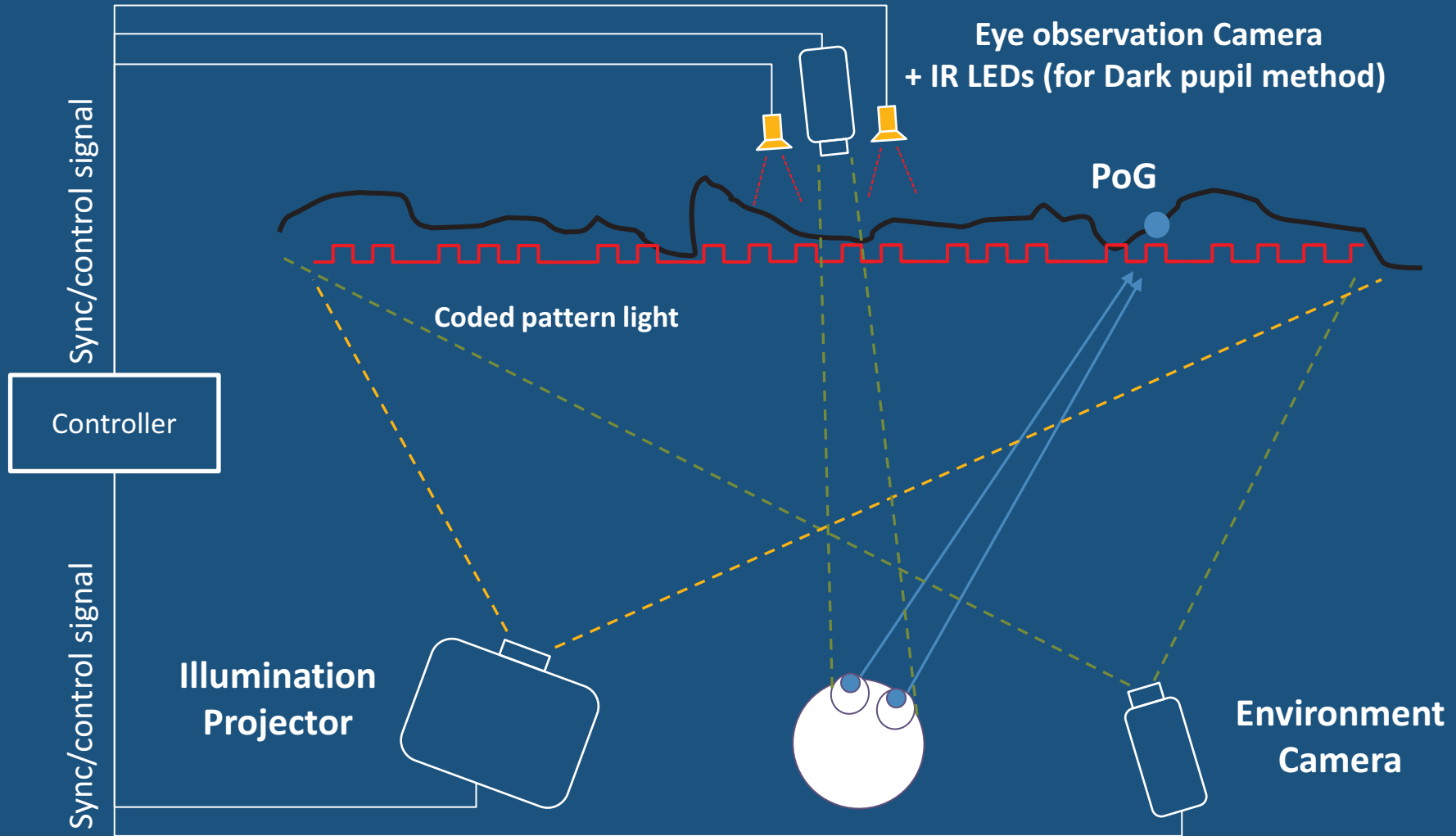
$$\mathbf{i}_{S'} = \mathbf{i}_L + s \cdot \mathbf{v}_{sm} |\mathbf{I}_{g'} - \mathbf{I}_{L'}|$$

$$s = r_{\max} / (r_L \sin \tau).$$

Gaze Reflection Point (GRP)



システム構成



実験環境

- 実験環境

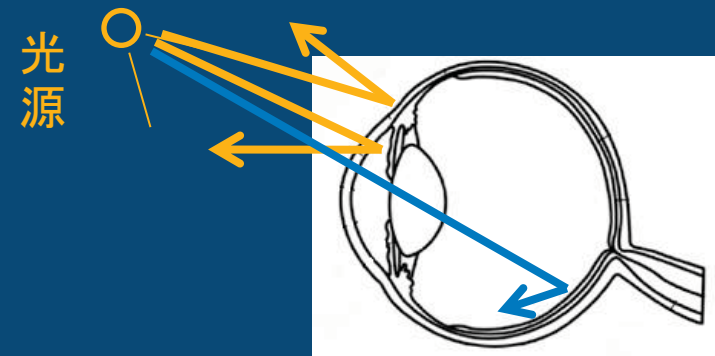


9 LED
顔～壁の距離: 約2.8m

- video

暗瞳孔法による目領域の検出

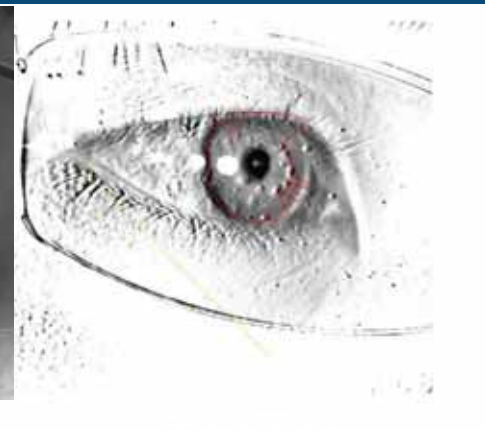
- 目領域(黒目輪郭)の検出
 - 通常の画像のみで行う方法もあるが安定性に欠ける
- 眼球の幾何
 - 瞳孔: 光は眼球に入るので暗い
 - その他の部分: 光を反射する
- 赤外線を高速点滅させ画像を撮影
 - フレーム間差分
 - 画像処理で瞳を見つける



赤外照明OFF

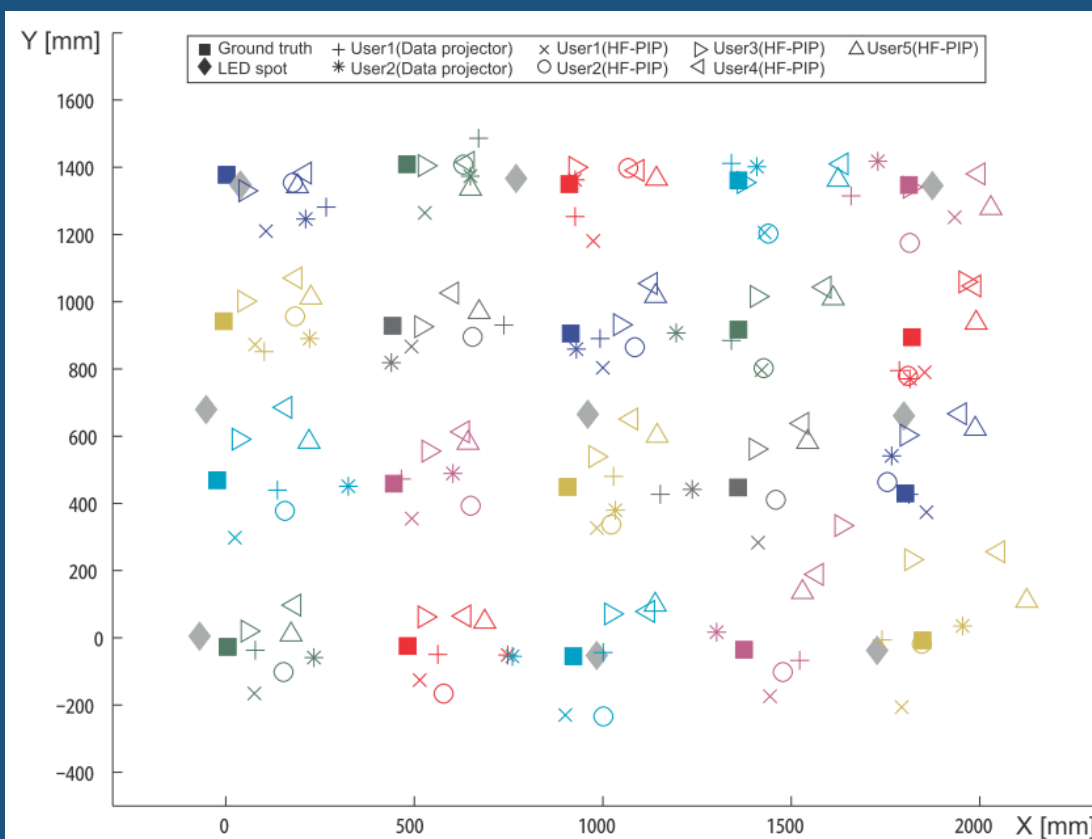


赤外照明ON



左刀画像

結果(非装着・校正無し)



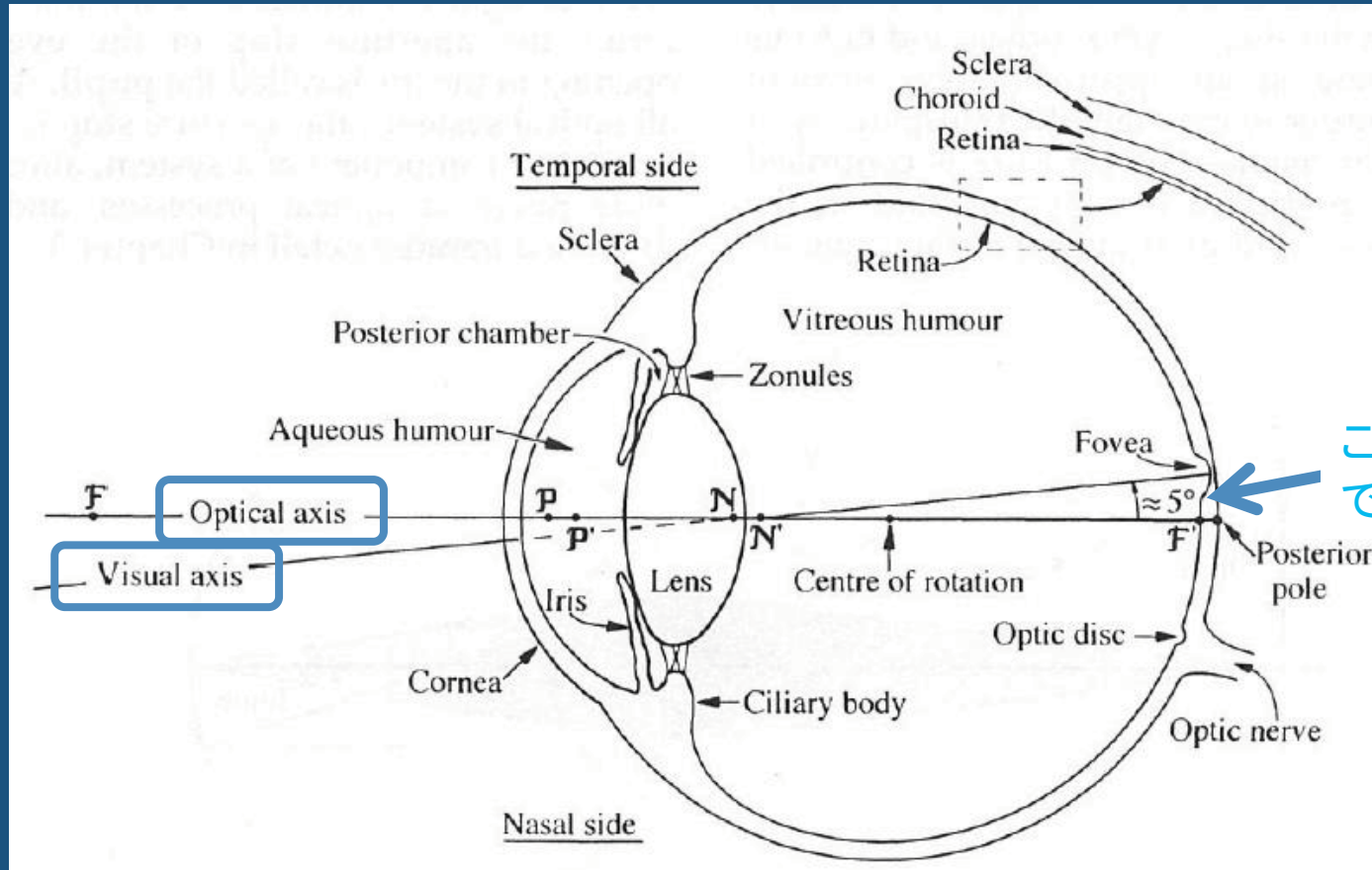
	平均誤差[deg]	SD[deg]
User 1	2.37	--
User2	2.91	--
平均	2.64	--

データプロジェクタによる実装

	平均誤差[deg]	SD[deg]
User 1	3.04	0.678
User2	2.85	0.876
User3	3.69	1.342
User4	2.75	1.012
User5	3.54	0.759
平均	3.17	--

HF-PIPによる実装

視線(Visual axis) \neq 眼球光軸(Optical axis)



この誤差を解消
できないか？

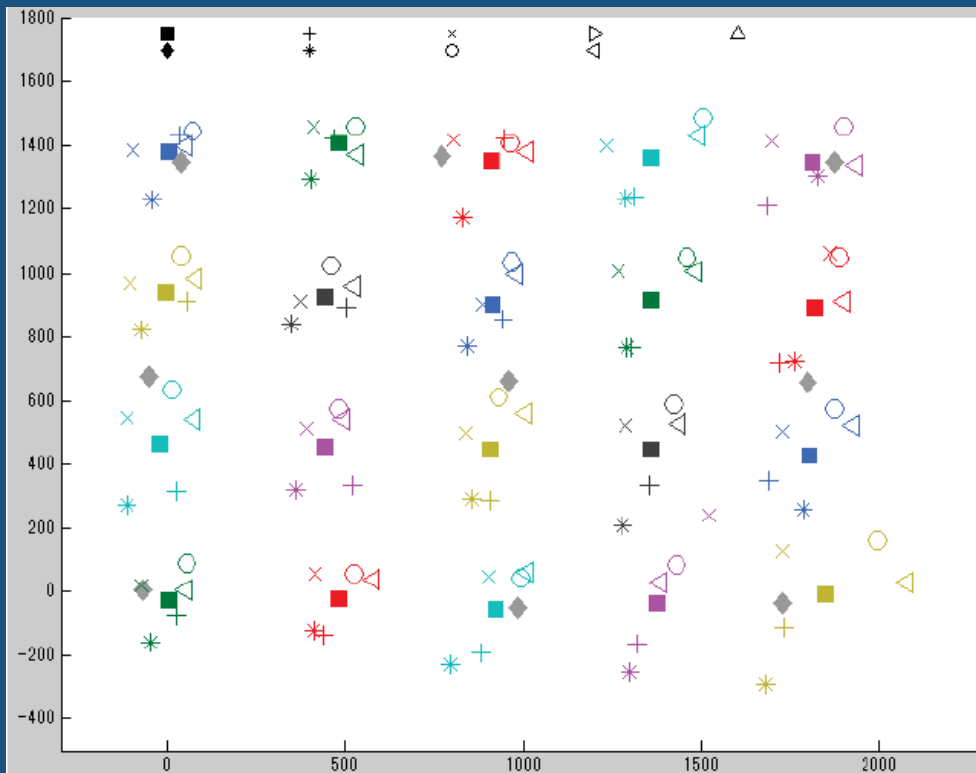
D. Atchison and G. Smith, "Optics of the Human Eye"

Biologicalな問題

- Visual axisとOptical axisの差は個人差がある
 - ただ, 全ての被験者で同様の傾向が見られるため, 統計的な情報を使えば補正が可能
 - Leave-one-outによる統計的誤差補正を利用する
 - ある被験者の推定結果に対して, 他の4人のデータを補正データとして用いて推定を行う.

統計的校正データを使う

- 他のユーザから得たデータの平均(統計的校正データ)を校正データとして適用する



ユーザ#	校正無し	統計的校正データ
1	3.04	2.29
2	2.85	2.32
3	3.69	2.45
4	2.75	2.13
5	3.54	2.54
Ave.	3.17 deg.	2.35 deg.

- TBP

まとめ

- 人の眼球モデル, 表面の光学系とその利用例
 - ユーザーの周辺シーンの復元
- 眼球の表面反射画像を使ったディスプレイ・カメラキャリブレーションシステム
- シーンの眼球表面反射像を用いた新しい注視点推定法
 - 非装着・キャリブレーションフリー
 - 従来法の問題点であるParallaxによる誤差が生じない
 - 複雑な環境でも精度良く推定出来る
- 技術的新規性
 - 可視光通信のアイデアを用いたシーンと画像との対応付け法
 - 高輝度LEDを用いたアクティブ照光デバイス: HF-PIP
 - Gaze Reflection Point (GRP) 眼球画像を反射光学系と見なし, 光線の逆追跡を用いて視線方向からの反射点を推定