

頭部移動に対応する自動車ピラーや 建造物等の死角の透明化

静岡大学 工学部 機械工学科
教授 海老澤 嘉伸

2024年2月8日

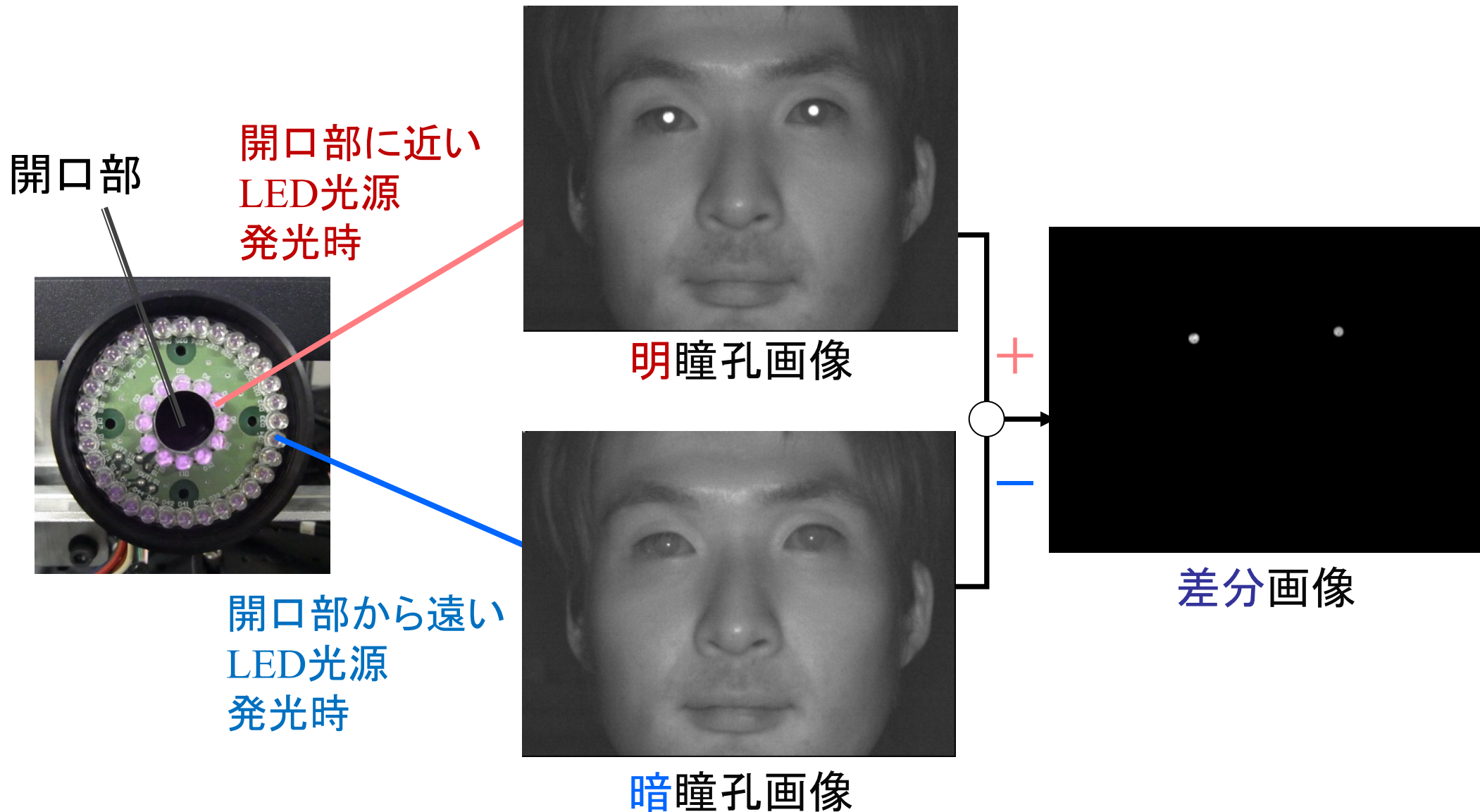
これまでの研究について

近赤外LED光源とビデオカメラを利用して、頭部にセンサー等を一切取り付けず、眼鏡装着と頭部の移動を許容しながら、遠隔から人間の瞳孔を検出する装置の基礎開発およびその応用

近赤外光を使用するため、カラーソフトコンタクトレンズなどの影響は受けない。大抵のサングラスも問題なく、使用できる。

瞳孔検出の原理

カメラの露光に合わせて近赤外光源を交互に点灯し、顔を消失させ、瞳孔を浮き彫りにした差分画像から瞳孔像を検出するので、ロバストに瞳孔検出ができ、演算も高速



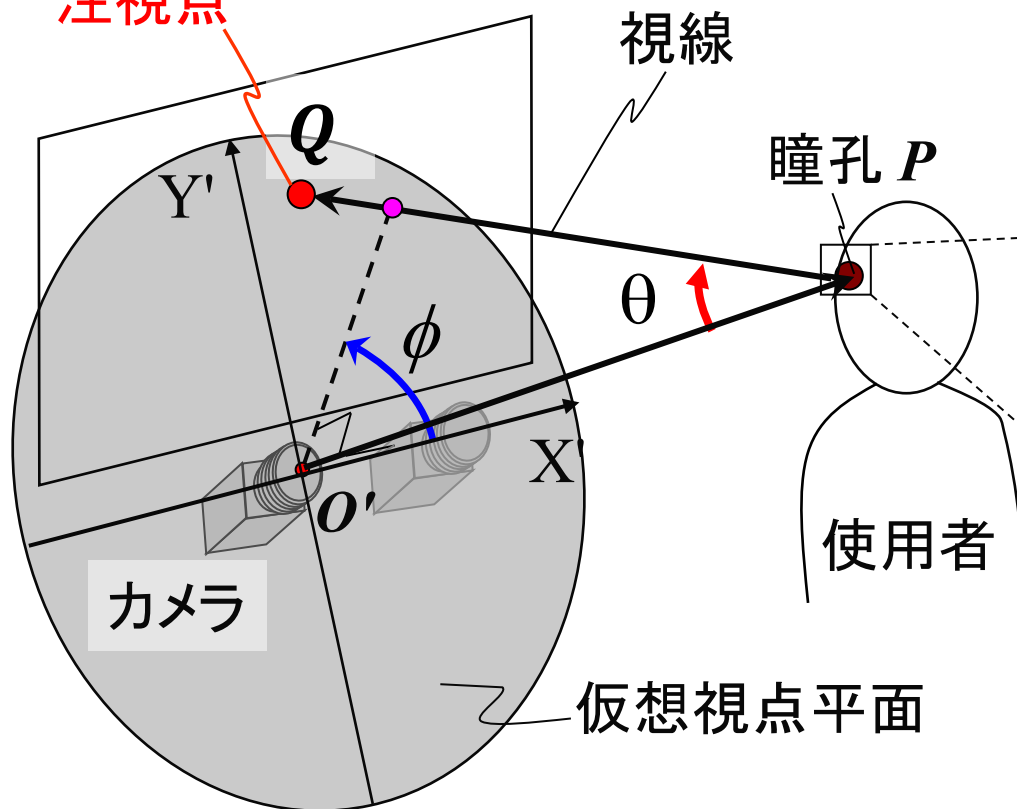
注視点検出原理

2台のカメラから求まる瞳孔の3次元座標 P と画像中の瞳孔-角膜反射ベクトル r から視線を求める。

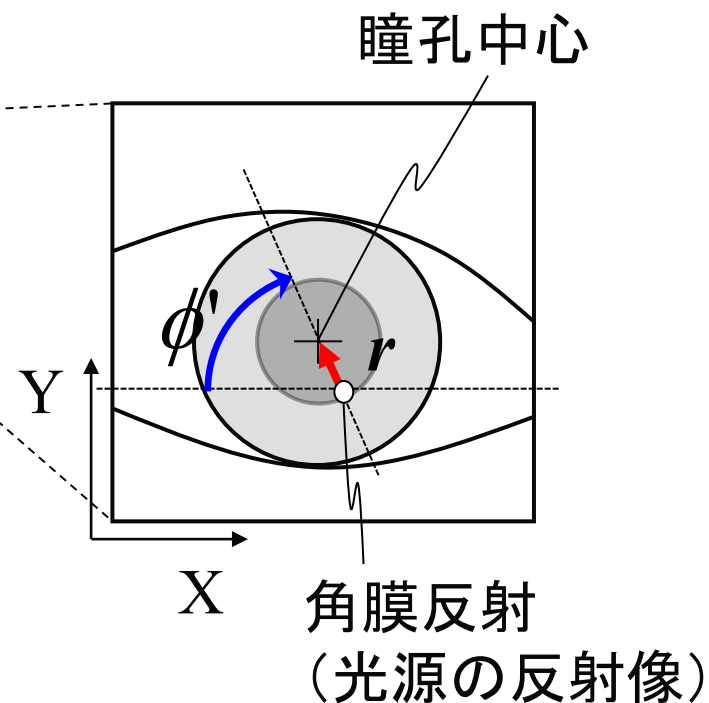
どこから(瞳孔)、どこ(注視点)を見ているのかの両方がわかる。

パソコン画面上の

注視点



【システム全体】



【瞳孔周辺のカメラ画像】

本研究室で開発した標準的な注視点検出 装置のデモ動画



応用研究1 頭部移動に対応する自動車ピラーや 建造物等の死角の透明化

- 視線上に遮蔽物が存在する場合、その背景(死角領域)を見ることはできず、危険な場合がある.
- 車のAピラーや、建造物の壁など、必要な強度や構造の問題でガラスなどでの透明化の実現は難しい場合がある.



提案する方法:

死角領域を映す外部のカメラで撮影し、遮蔽物の前に設置したディスプレイに映し出すことで**擬似的に透明化**

従来の研究例

Aピラーの外側に外を映すカメラを設置し、プロジェクタを使用して
Aピラーの内側に投影



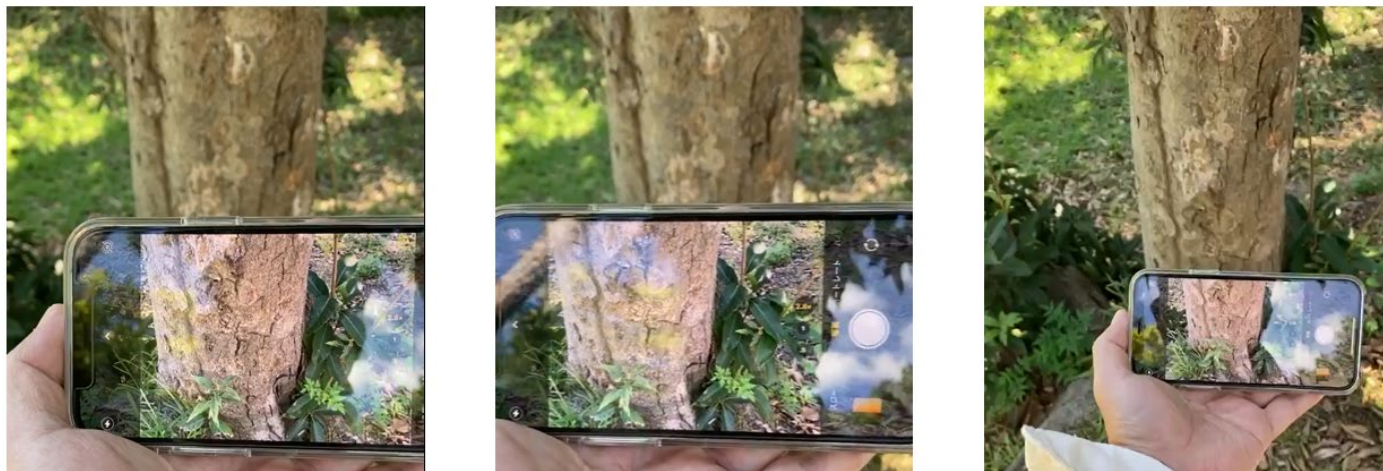
米国2019年

<https://nlab.itmedia.co.jp/nl/articles/1911/14/news102.html>



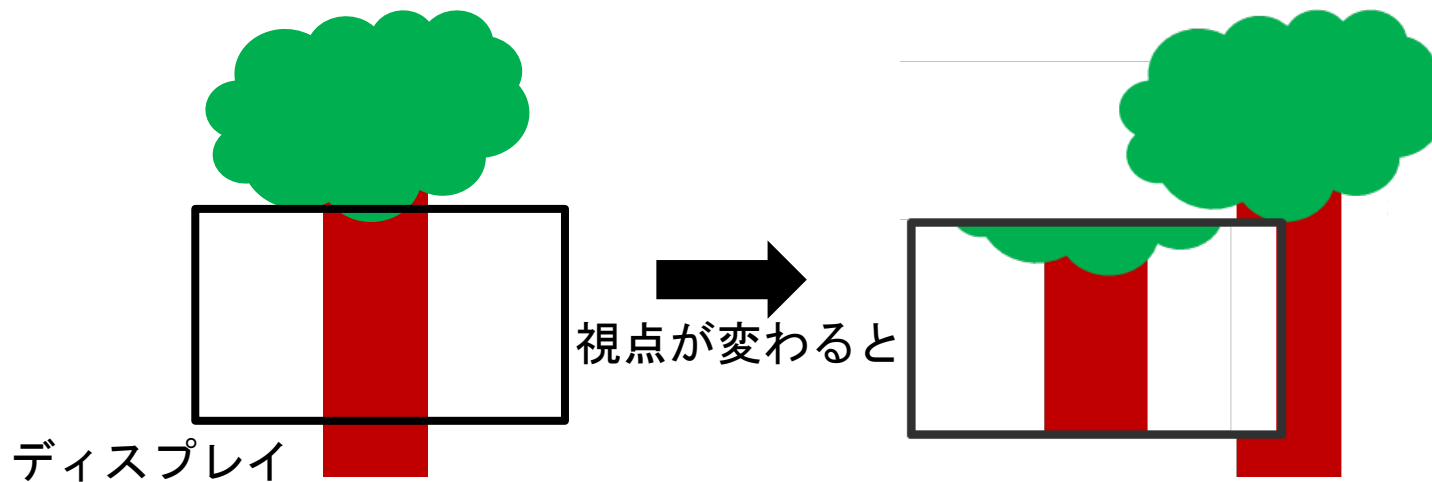
従来法の問題点

目(視点)位置が変わると背景とディスプレイの表示映像にずれが生じてしまう



視点の位置を横にずらすと

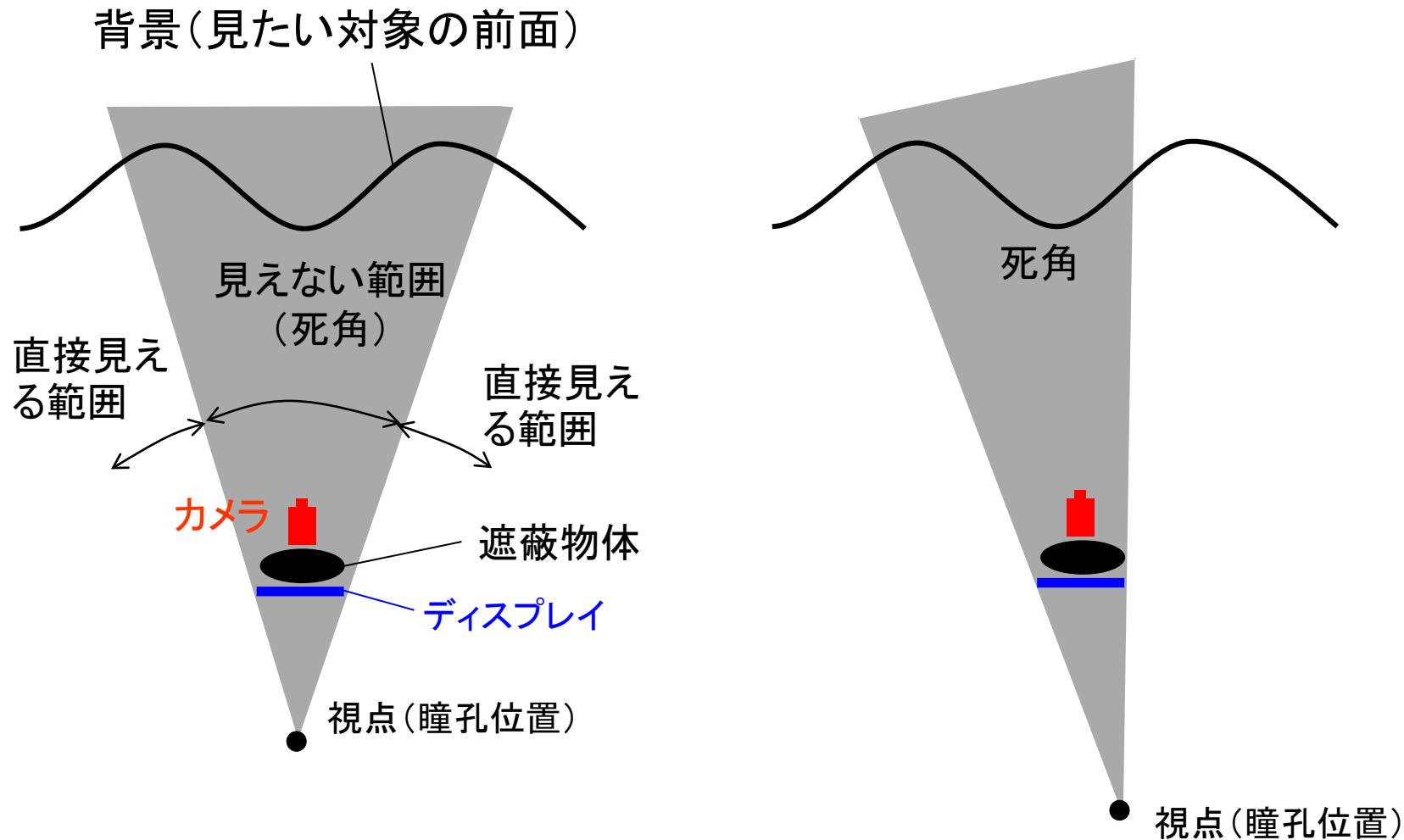
視点位置を遠ざけると



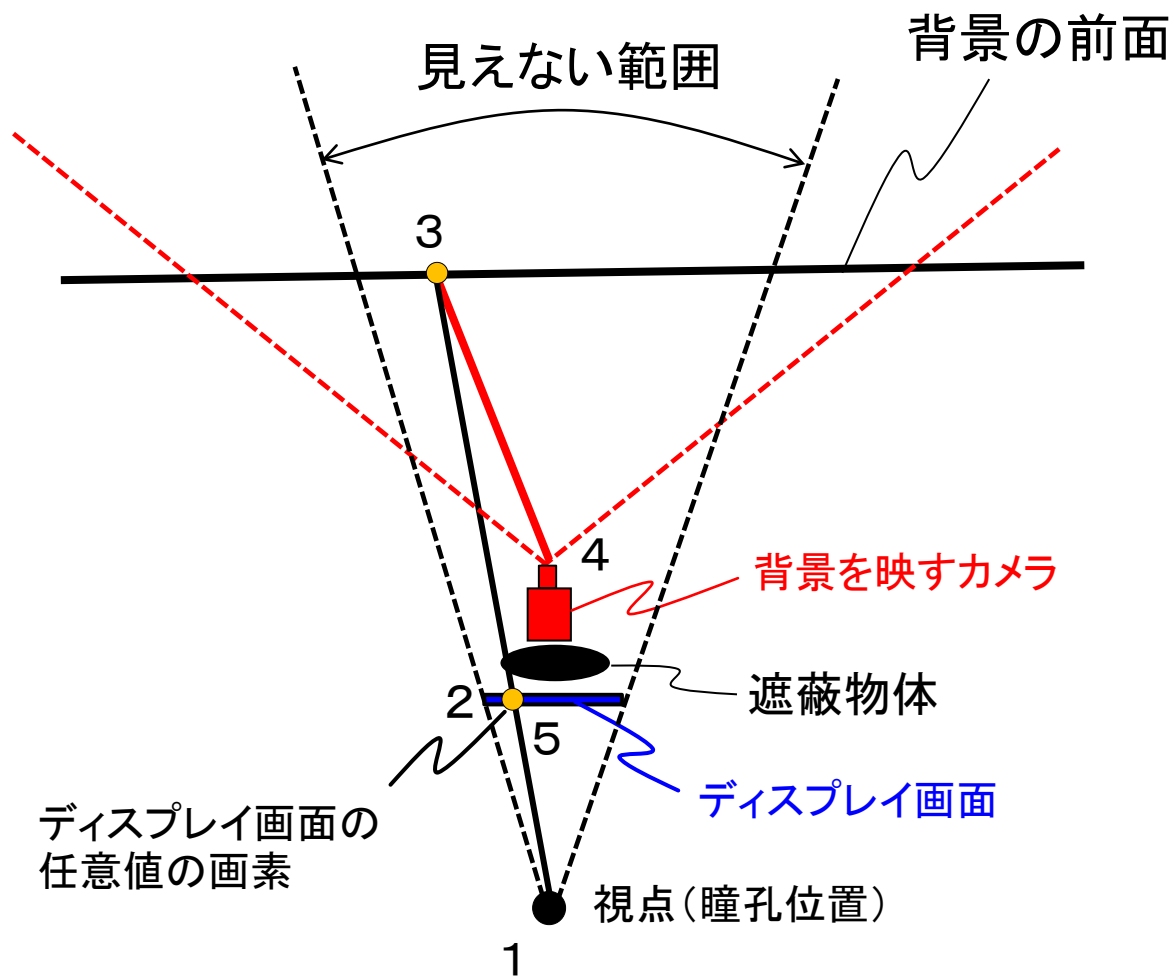
提案法の概要

視点の位置に応じて、見えない範囲(死角領域)をちょうど補完する画像を、遮蔽物体の手前のディスプレイに映し出す

- ・ 視点位置が変わると死角範囲が変わる。
- ・ ディスプレイを斜めから見ると、画像がひずむことにも注意。



提案法の原理 (1)背景が平面等で、式で表せる場合



手順

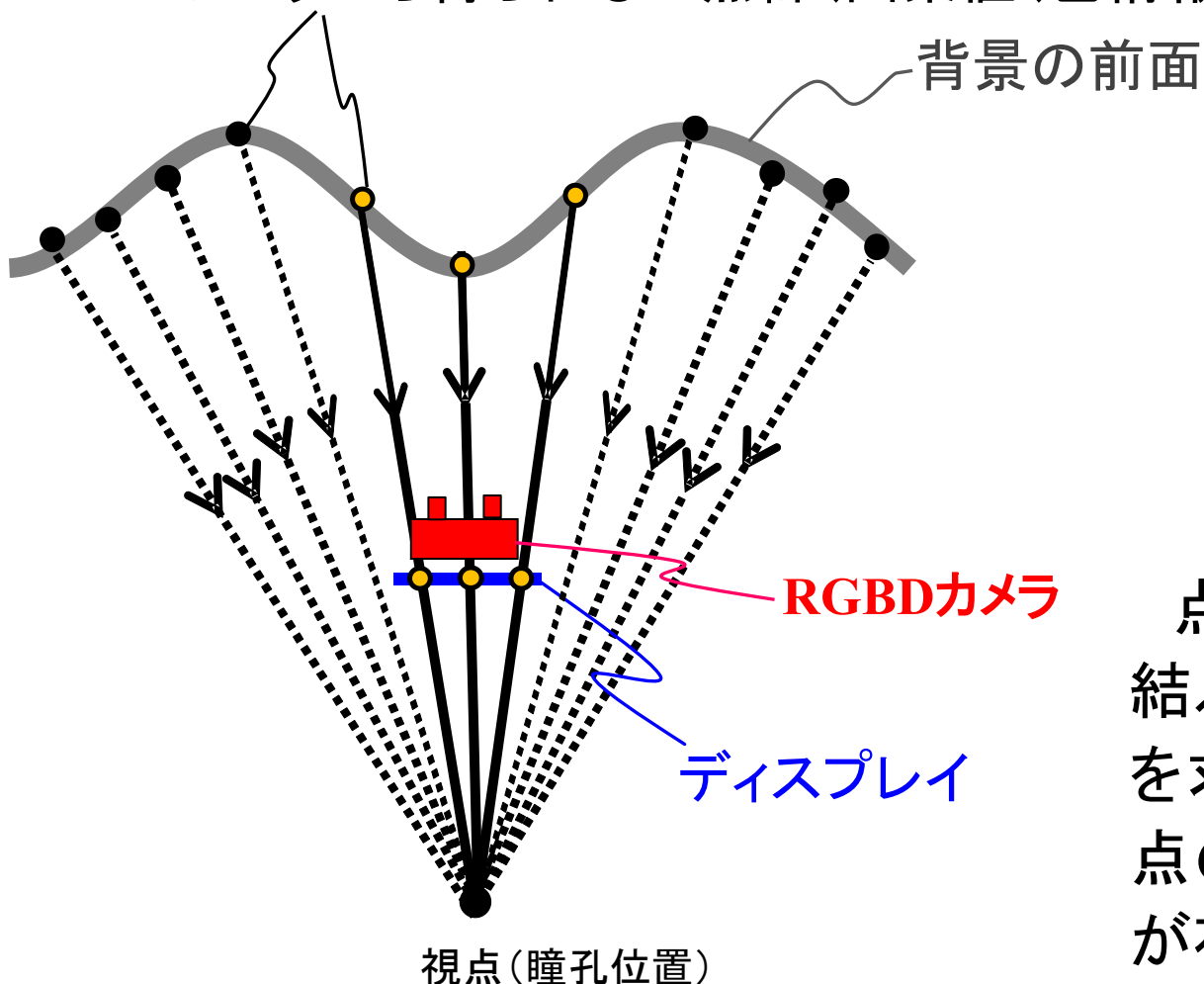
1. 視点(瞳孔)の3次元位置を求める
2. 視点とディスプレイの画像と任意の画素を通る直線を求める
3. その直線と背景との交点を求める。
4. その交点に相当する背景カメラ画像中の画素(座標)を求め、画素値(色)を得る。
5. その画素値をディスプレイ画面上の2で選んだ画素に与える。

上の1～5をディスプレイ画像を走査して、全画素について行う。

提案法の原理 (2)

背景に凹凸があるなど、式で表現できない場合
⇒RGBDカメラ(ステレオ方式)を用いる

RGBDカメラから得られるの点群(画素値(色情報)を持つ)

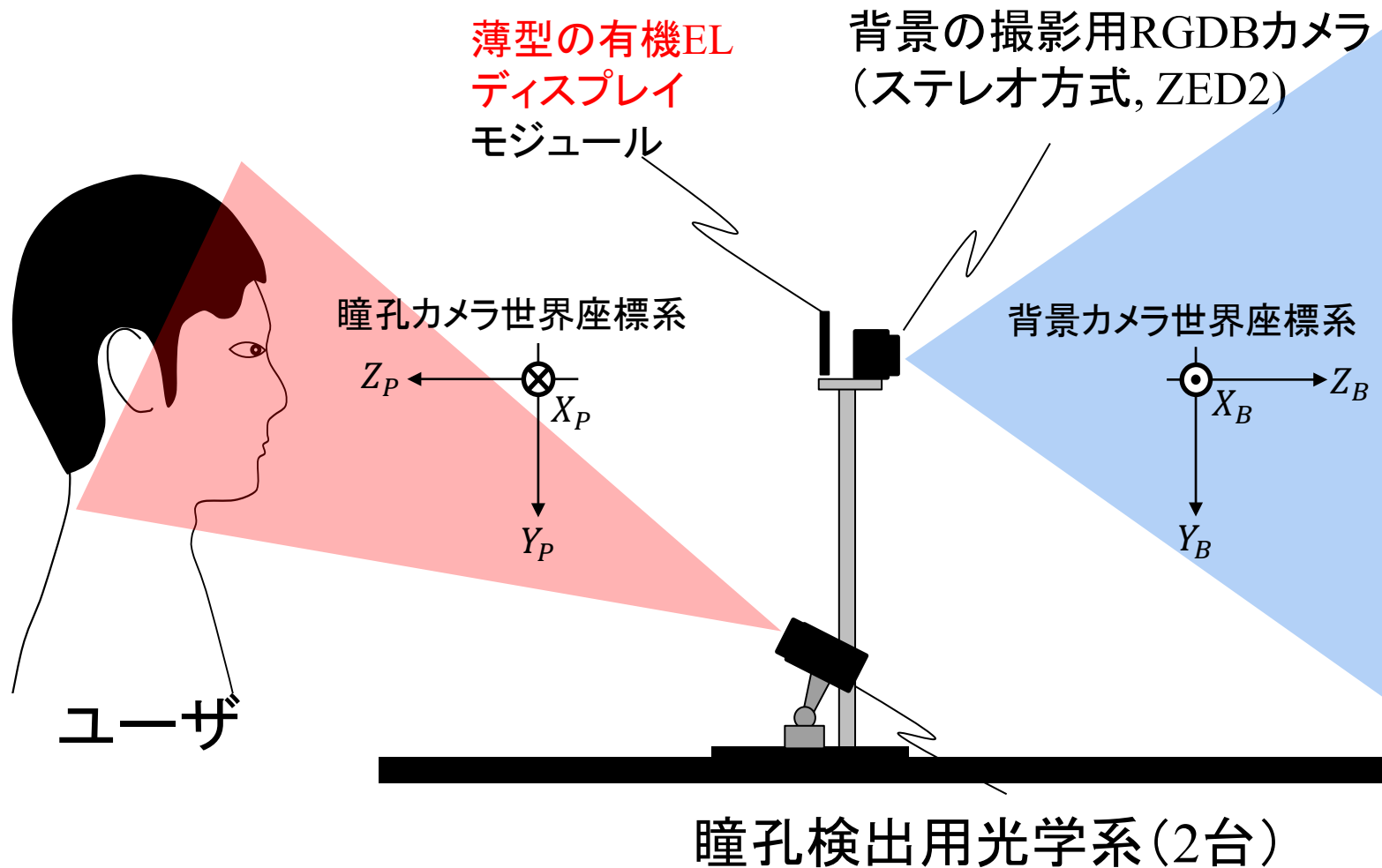


RGBDカメラから得られる背景前面の形状を表す多数の点群の中から、ディスプレイの任意の画素に対応する点を選択するのは、総当たりの演算となり、演算時間が膨大となるので、避ける。

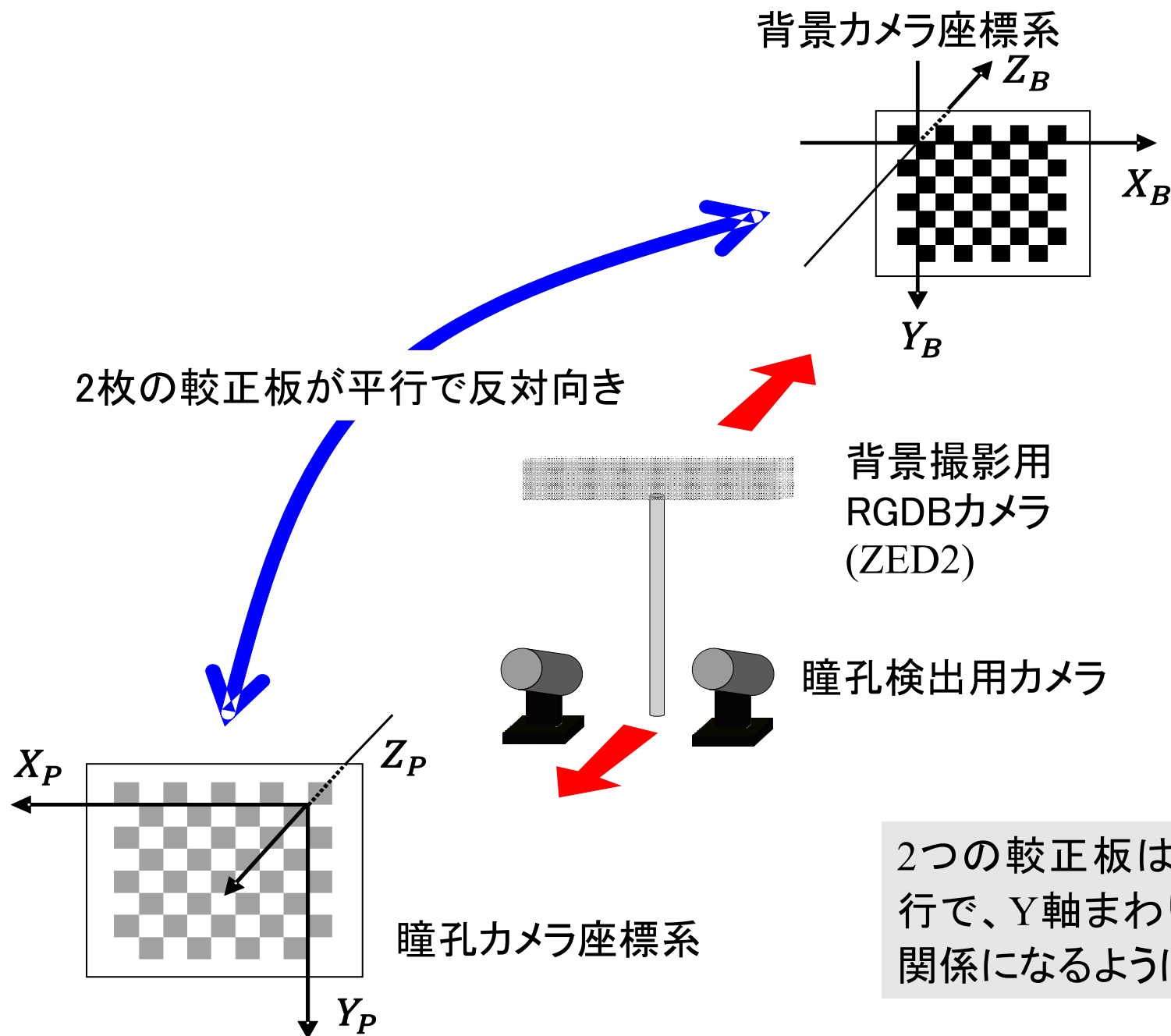
手続き

点群中の各点と瞳孔3次元座標を結ぶ直線とディスプレイ画面の交点を求め、それに相当する画素に各点の画素値を与える。ただし、交点が存在しない場合は、何もしない。

実験装置の構成

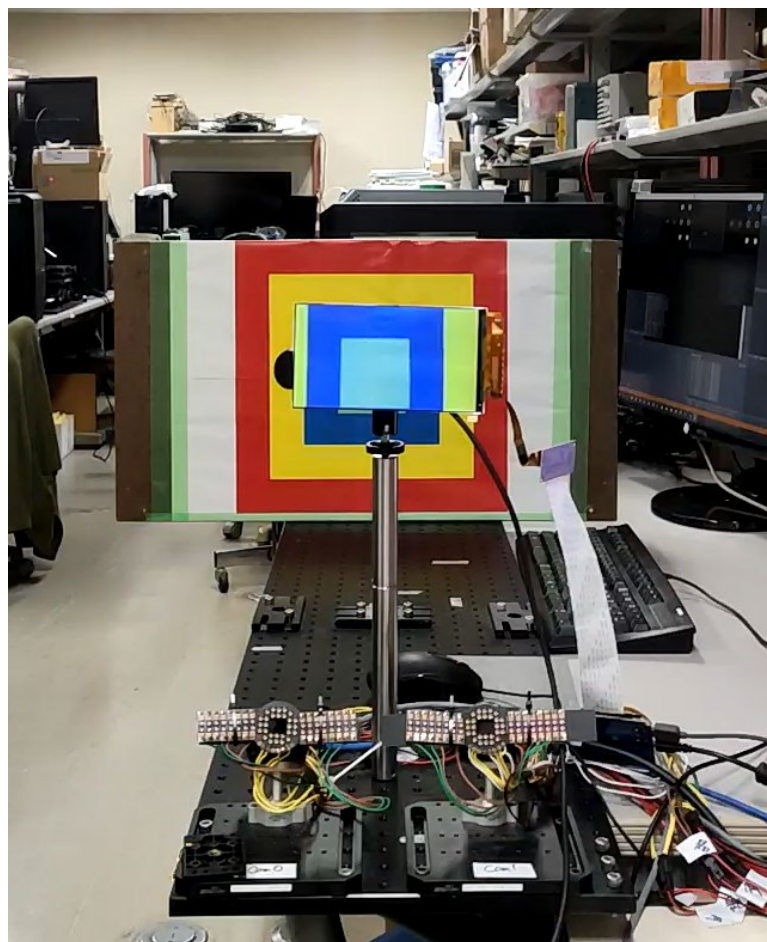


カメラ校正および座標系の決定



瞳孔検出による擬似透明化のデモ動画

背景が平面場合



スマートフォンの裏に、円形の再帰光反射マーカを2つ取付け、それらをユーザの2つの瞳孔代わりにした(擬似瞳孔)。それらを、瞳孔検出装置でトラッキングした。

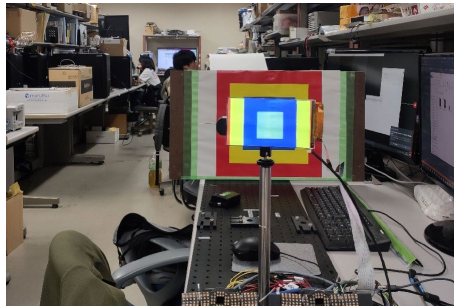
その際、2つのマーカの中央の位置がカメラの位置となるようにマーカを取り付けた。カメラの位置を2個のマーカの中点とにおいて、またカメラの位置を片眼の瞳孔位置と想定して、スマートフォンを3次的に手で持って動かしながら撮影した。



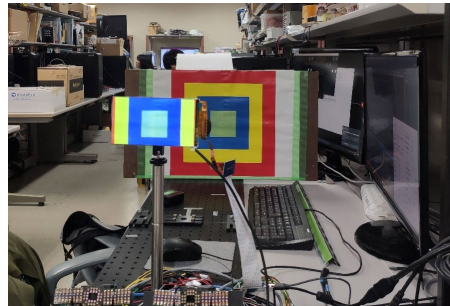
反射マーカの輝度が高すぎたため、ビニールテープで覆った。

平面背景での複数視点からの擬似透明化

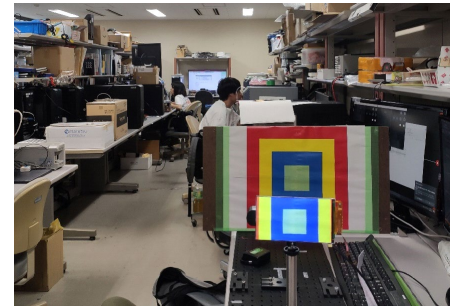
正面



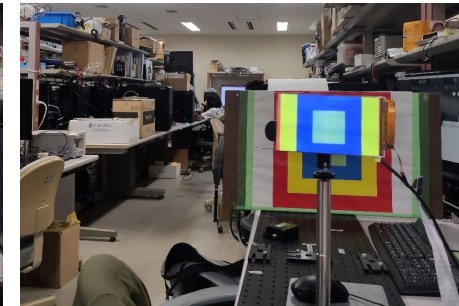
右に移動



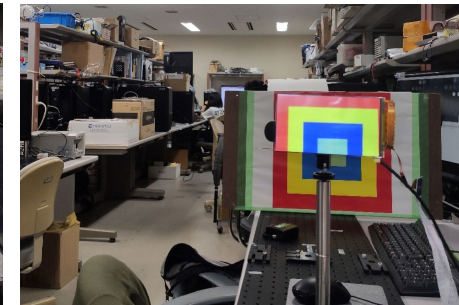
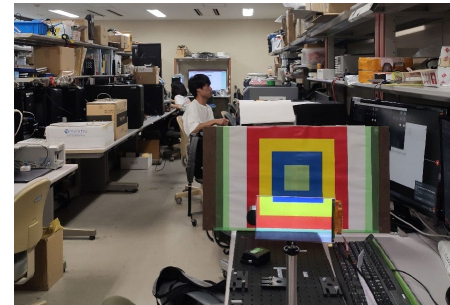
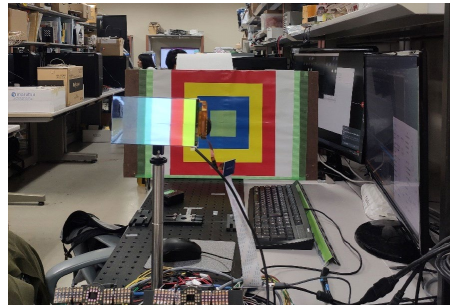
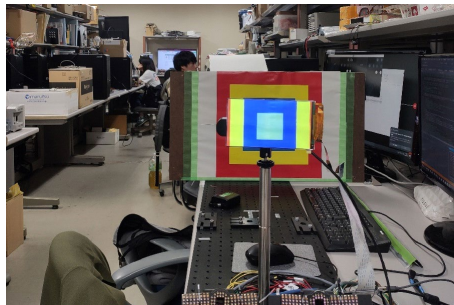
上に移動



前方に移動

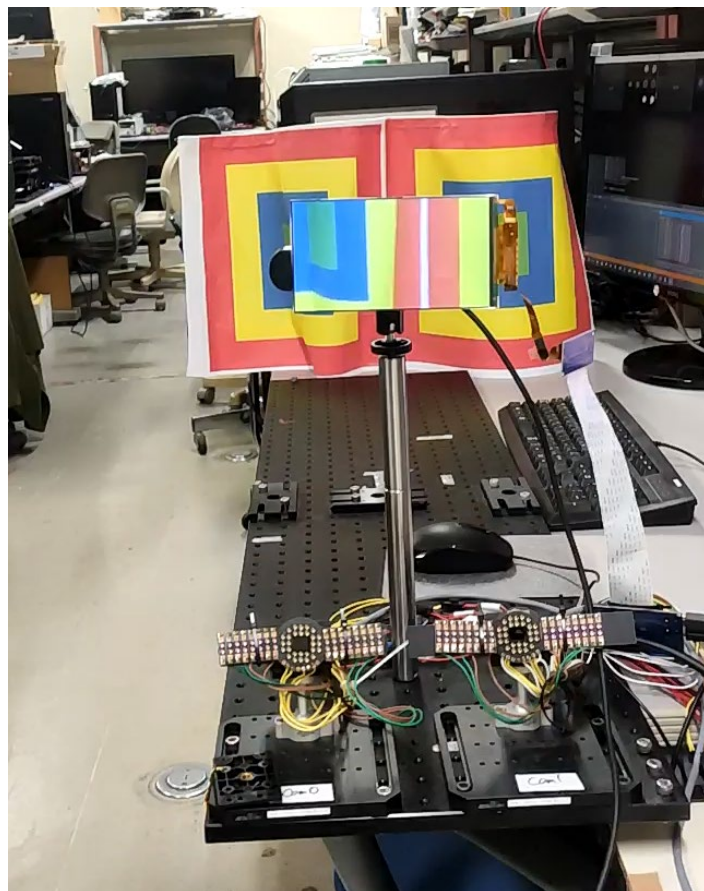


背後の画像を
サイズ調整だ
けをしてその
まま映した

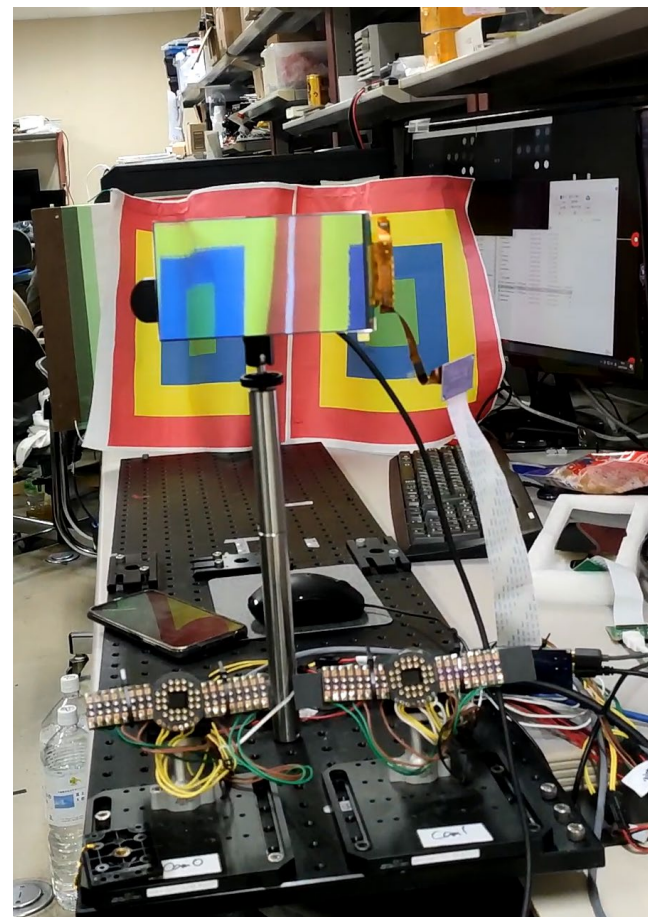


擬似瞳孔の位
置に基づいて
映像を生成し
た場合

凹凸のある背景の擬似透明化の動画デモ



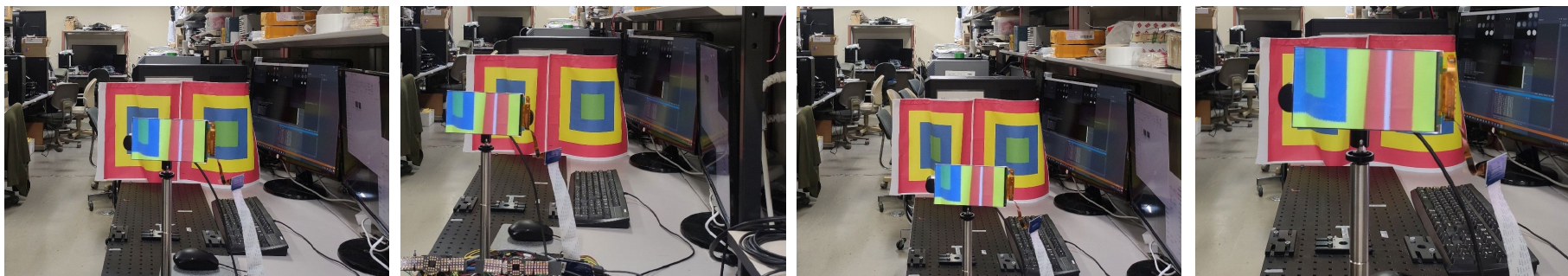
背後の画像をサイズ調整
だけをしてそのまま映した



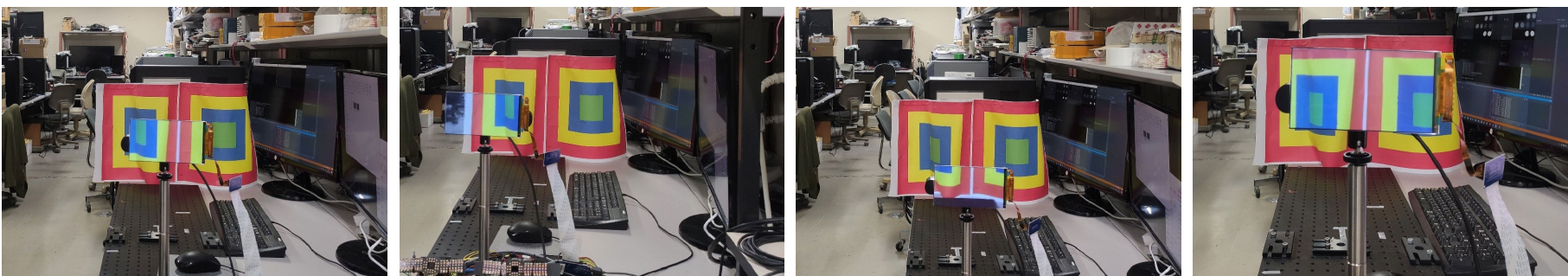
擬似瞳孔の位置に基づい
て映像を生成した

凹凸のある背景の擬似透明化の様子

背後の画像を
サイズ調整だ
けをしてその
まま映した

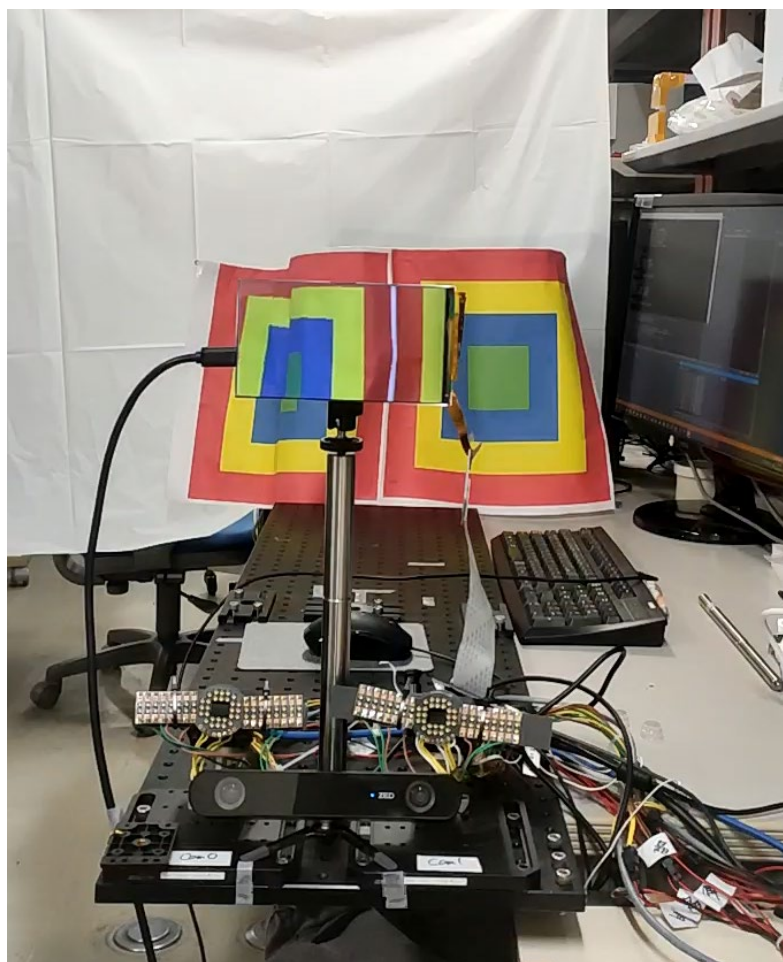


擬似瞳孔の位
置に基づいて
映像を生成し
た場合



◎有機ELディスプレイを円柱状に湾曲させた場合について、
同様の方法で実現できることをすでに確認した(未発表)

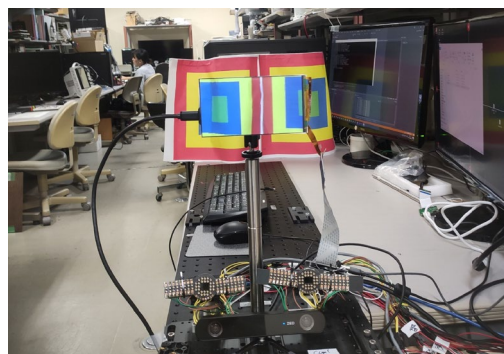
瞳孔の代わりに背景撮影用とは別のRDGDカメラ(ZED2)で 目を検出し、ディスプレイ映像を生成した場合のデモ動画



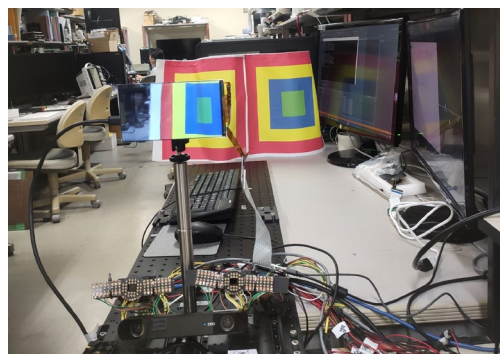
フリーの顔写真の瞳孔位置に穴をあけ、スマートフォンのカメラで撮影を行った。

瞳孔の代わりに背景撮影用とは別のRDGDカメラ(ZED2)で目を検出し、ディスプレイ映像を生成した場合

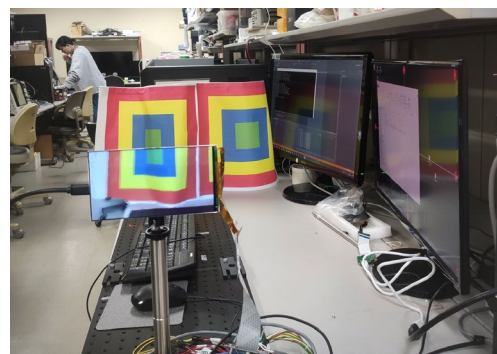
正面



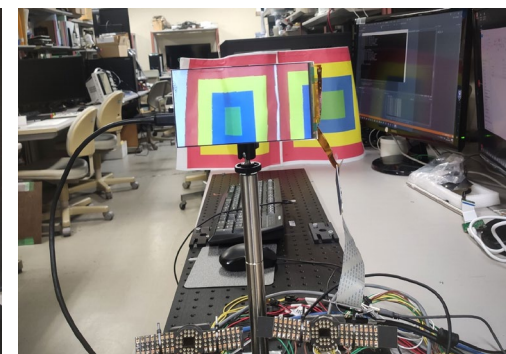
右に移動



上に移動



前方に移動



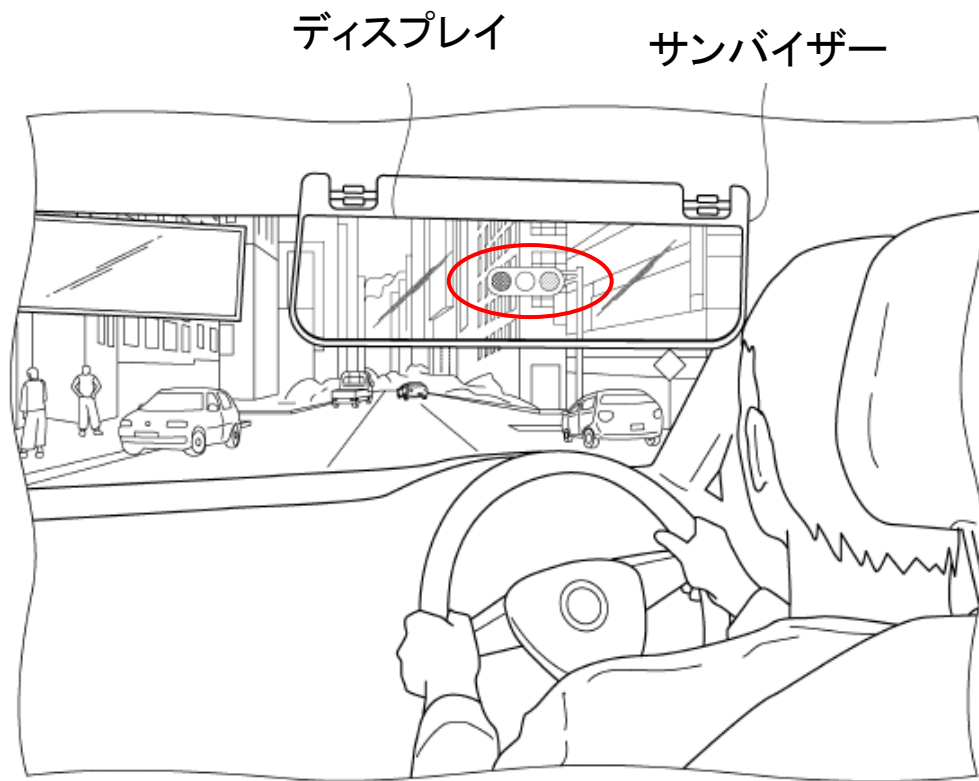
◎瞳孔検出の場合に比較して、ZED2での擬似透明化の場合の方が、位置ずれが大きく、即応性も悪いが、一定のレベルの擬似透明化が行われた。

考察

本来、両眼のそれぞれに別の映像を用意しなければならないと考えられる。そのためには、ステレオディスプレイを要する。

しかし、擬似透明化が正しくできていれば、利き目（優位眼）の方の映像だけを用意すれば、ほぼ問題がないことがわかってきた。

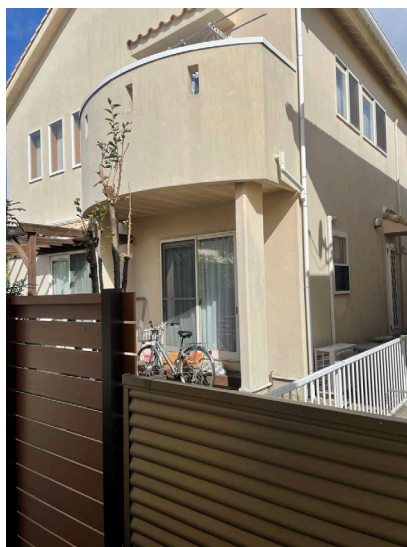
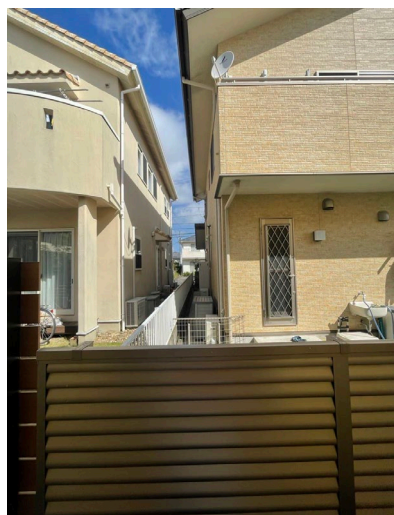
- 本技術は、自動車においては、サンバイザーにおいても有効であると考えられる。
- 市販品として、サングラスのように偏光ガラス等で、透明だが光の透過度が低く、暗く見せるものが存在するが、例えば、太陽は極端に明るいので、太陽を暗く見せようとするすると他の暗い部分は見えにくくなってしまふ。本技術の方法であれば、太陽は輝度的に飽和してしまい、輝度を十分に低下させることができ、そのうえで、太陽以外は本来の明るさで表示することが可能である。サンバイザーに隠れしまふ信号等も明瞭な映像として認識できる。



『建造物の壁を窓化する』

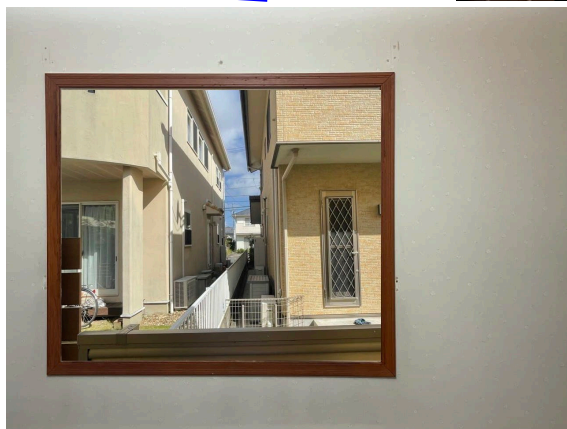
視点の位置に応じた映像を窓を模したディスプレイにリアルタイムに表示する

閉鎖的な空間が開放的な空間になる(例えば、病室などに利用)



車のAピラーの場合のように背景画像とずれないようにする必要がないので、RGBDカメラでの視点検出でも実現が容易かもしれない。

次ページの瞳孔検出装置も利用できると考えられる。

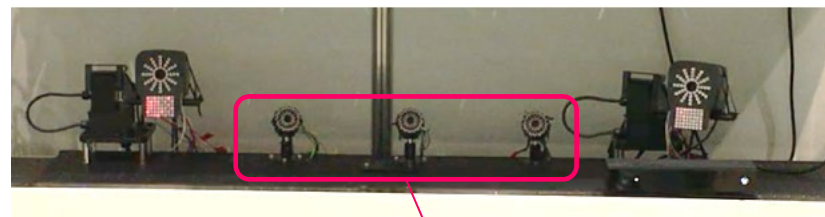


上はイメージ図(現在、開発中)

数m離れたところからの瞳孔検出に基づいた注視点検出 デモ動画



左右両側のパンチルト台に乗せた大型の光学系は注視点検出には必要だが、**中央の小さな3式の光学系だけで瞳孔の3次元座標が精度よく検出でき**、頭部の移動にも対応できるため、この技術が透明化に利用できると考えられる。



瞳孔位置検出光学系

現状

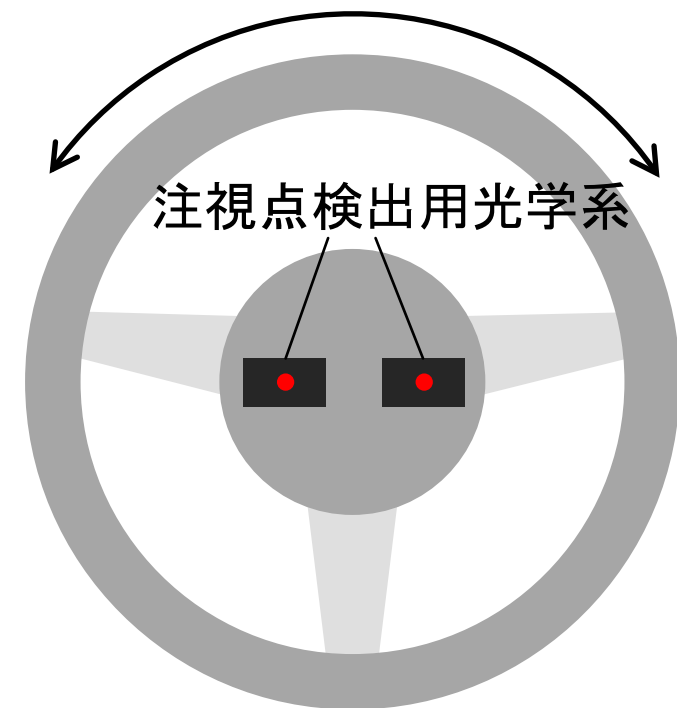
- 簡単な試みとして、数十mから数十km離れた(無限遠にあるとみなせる)風景を撮影し、瞳孔の移動に合わせて、映像を変化させる研究を進めている。

擬似透明化に関する技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 画像処理システム及び画像処理方法
- 出願番号 : 特願2023-200904
- 出願人 : 静岡大学
- 発明者 : 海老澤嘉伸

応用研究2 瞳孔検出用の光学系が回転・移動した場合の対応法

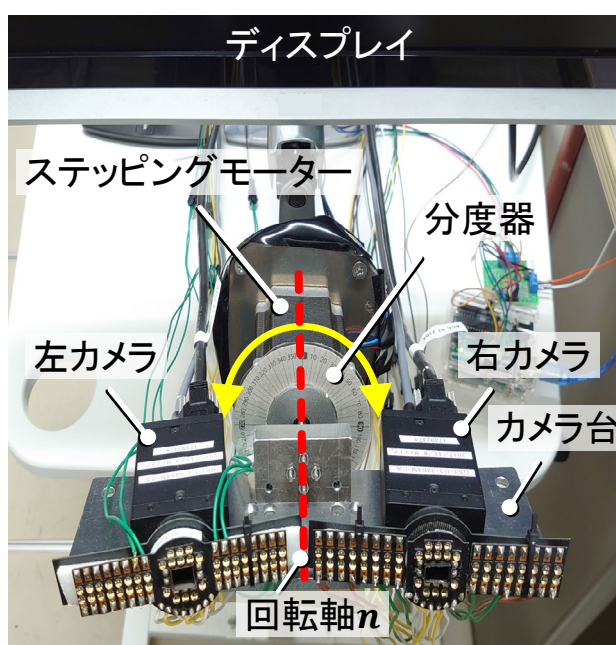
- ドライバー等の瞳孔位置かつ視線を検出することを前提とする
 - 瞳孔位置が分かれば、先述の透明化に利用できる
 - 眠気検知や後述のドライバー認証にも利用できる
 - 視線が検出できれば、ドライバーの注意方向などの推定ができる
- センターコンソールなどにつけた場合、正面付近の高精度な視線検出の維持は難しい
- ドライバの正面のやや下に設置するが適切だが、ハンドルを回すと、顔が映らなくなる



⇒ 今回の紹介では、光学系をステアリング中央の部分に内蔵させることを想定した。

課題：光学系が回転すると、その角度がわからないと瞳孔位置も視線方向も正しく計測できない。

相対的な位置が固定された2台の光学系がロールに回転すると想定し、被験者周辺に設置した反射マーカ像とユーザの瞳孔を同一のカメラ画像から取得し(両者の同期が容易に取れる), カメラの姿勢推定と注視点検出する

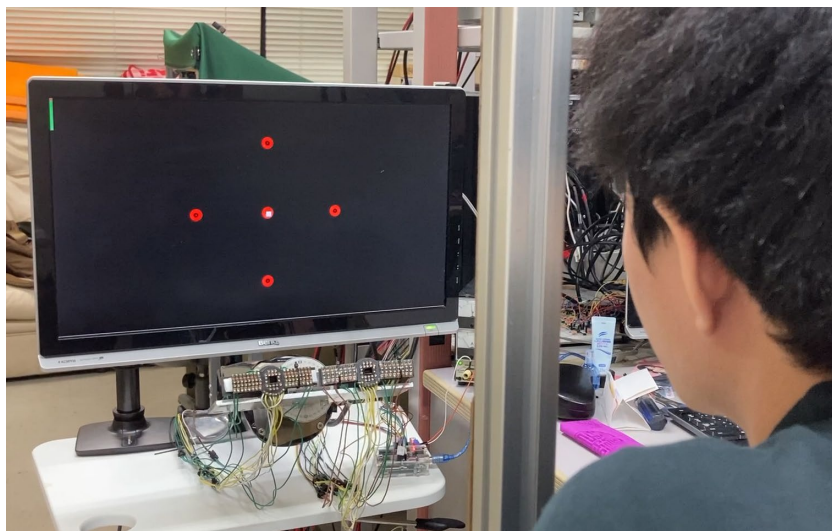
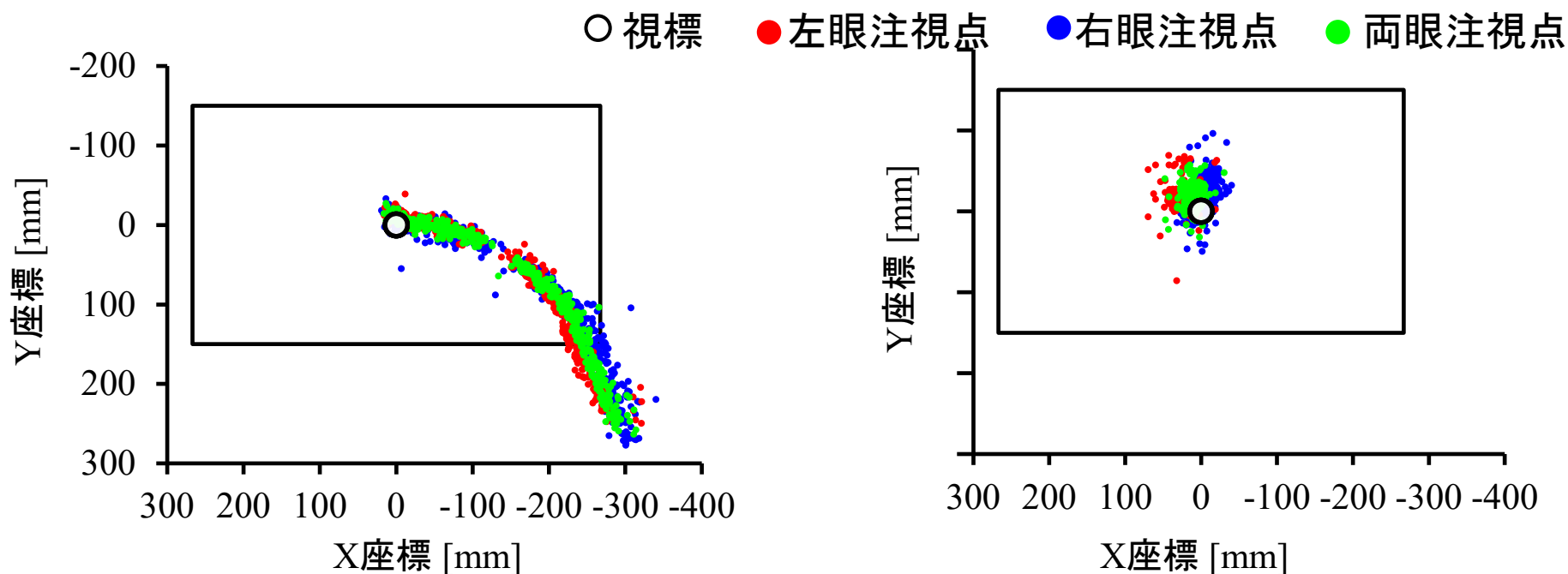


カメラ画像中のユーザと反射マーカ

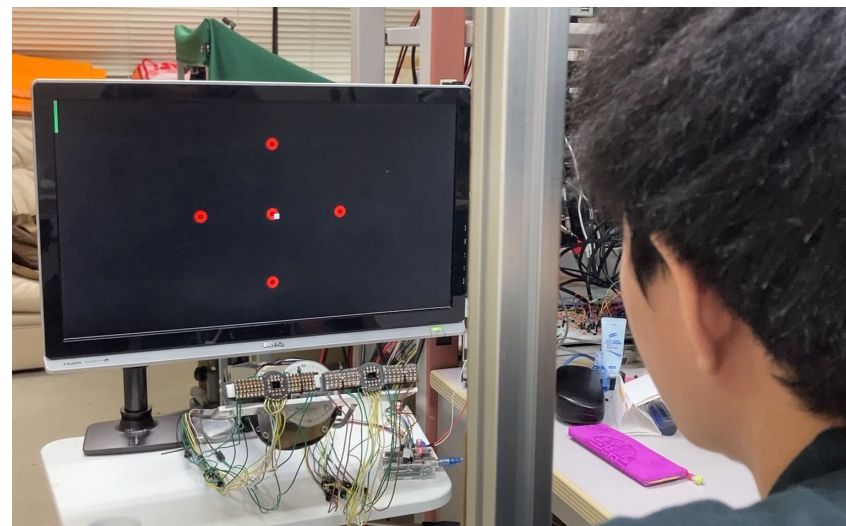
- 2台のカメラが同一のカメラ台に固定されており、それらの姿勢の関係は一定
- 反射マーカは、ヘッドレストなどに取り付けることを想定している

カメラ回転中の注視点検出結果

カメラ台を約90 degまで回転. ディスプレイ画面の中央の視標を注視させた

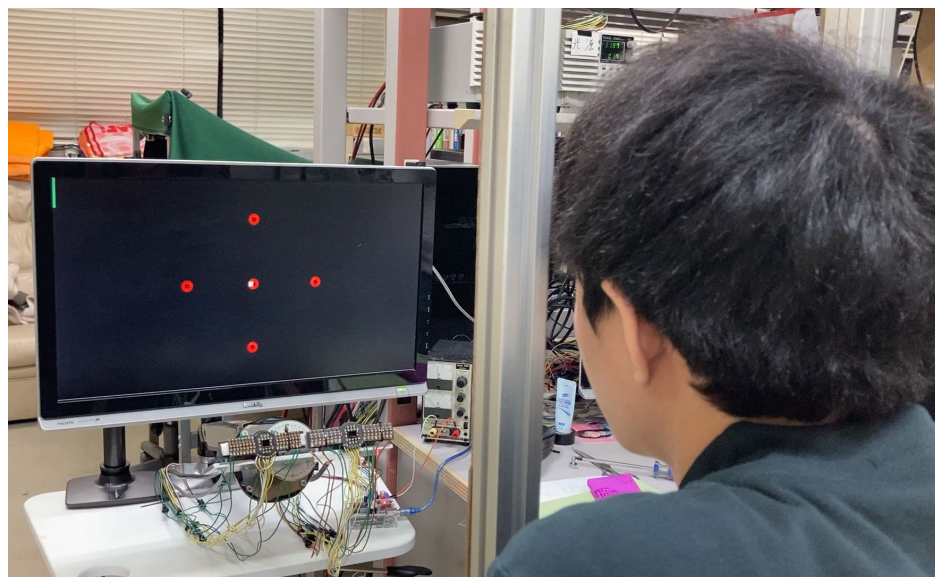
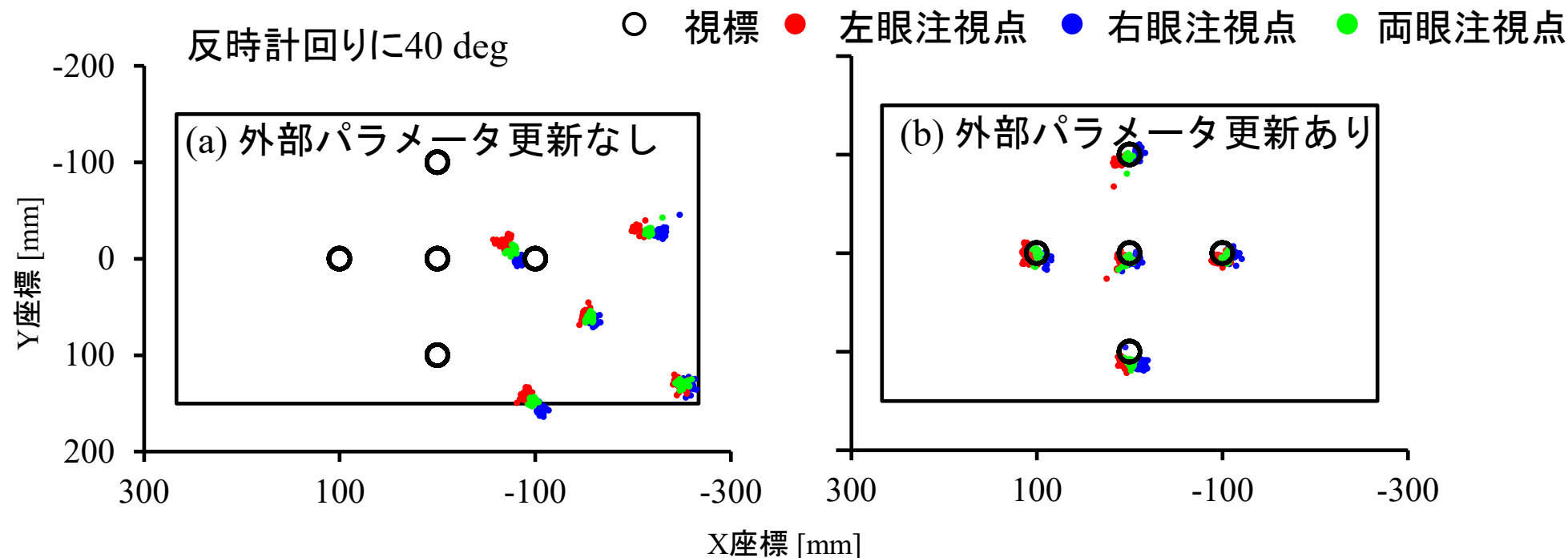


(a) 外部パラメータ更新なし



(b) 外部パラメータ更新あり

カメラ回転前後での視標5点の注視実験



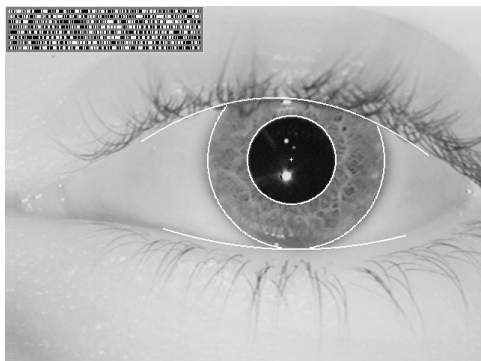
光学系が回転中

- カメラ(光学系)をロール方向に回転させても、被験者の周辺の反射マーカからカメラ姿勢を推定し、**カメラの外部パラメータをフレーム毎に更新**して正しい注視点検出を実現。
- 他にも、光学系を平行移動させたり、チルトさせたりした経験がある
- 現在、マーカを使わない方法も研究中

瞳孔検出用光学系が回転・移動した場合の対応法 に関する知的財産権

- 発明の名称 : 顔画像処理装置、画像観察システム、
及び瞳孔検出システム
- 出願番号 : 特願2018-225770
- 登録番号 : 特許第7269617号
- 出願人 : 静岡大学
- 発明者 : 海老澤嘉伸

- 登録ドライバーの判別により、自動車の設定を変えられると便利
- 登録ドライバー以外は運転できないようにする(盗難防止)
- 先に述べた瞳孔・視線検出と同じ装置でユーザ判別もできる。



➤ 眼を使った個人認証の例

- 虹彩模様を用いた方法

J. G. Daugman, Trans. Circuits Syst. Video Technol. 14, 1, 21–30, 2004.

➤ 本研究室の装置

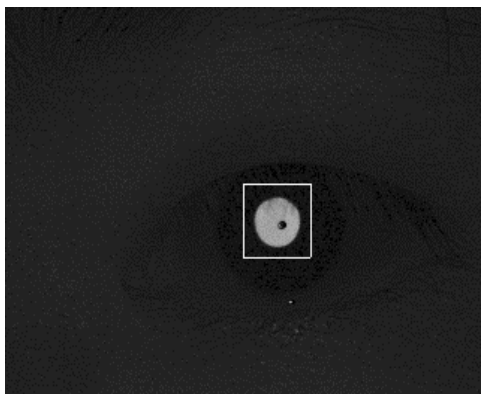
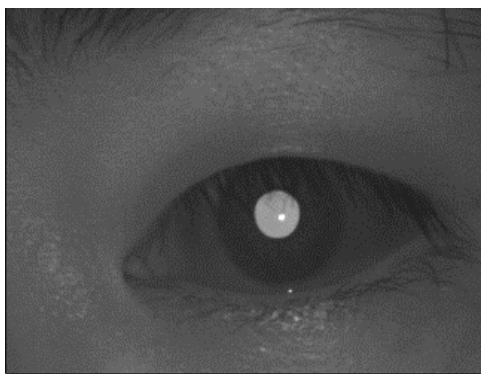
- 遠方から近赤外光をほぼ同軸照射

➡ 鮮明な虹彩模様を得にくい、

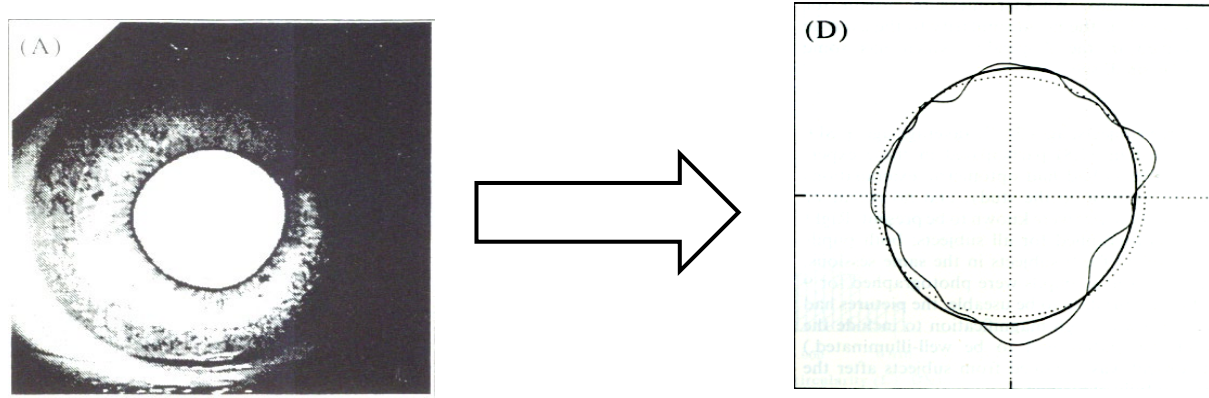
- 画像差分による瞳孔検出によって、

➡ 鮮明な瞳孔形状が得られるメリットがある。

瞳孔はサイズが変動し続けているため、なりすましは困難



瞳孔形状には円の形状から外れた**歪み**が
個人ごとに存在することが知られている



H. J. Wyatt: "The Form of the Human Pupil", Vision Research, 35, 14, pp.2021-2036(1995)

⇒瞳孔形状を用いてユーザ判別できる

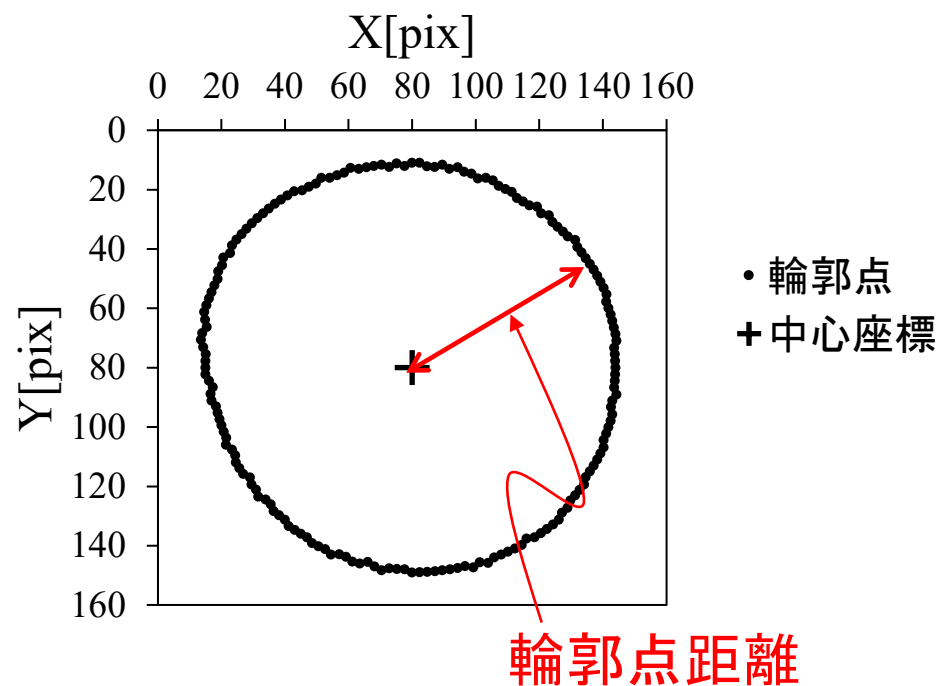
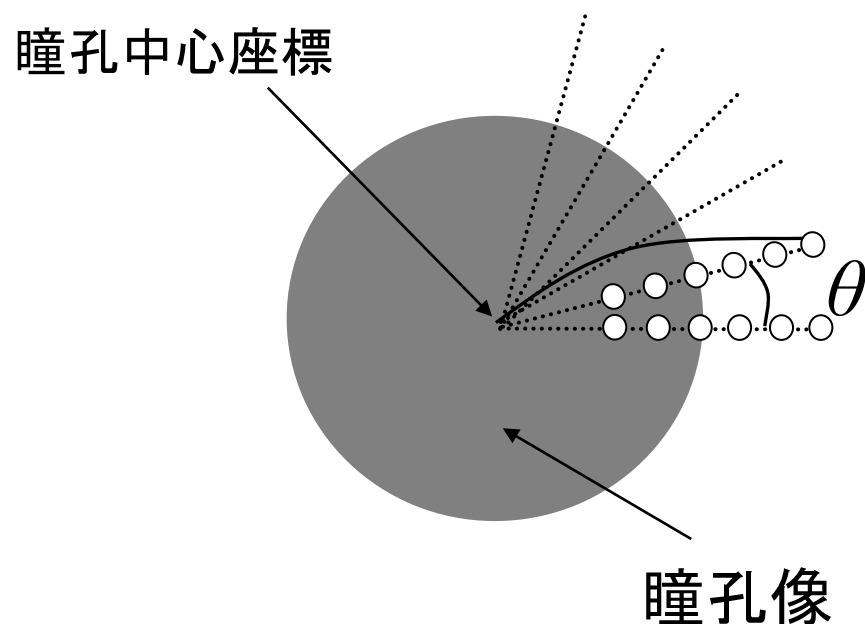
我々の実験では、10名の被験者を区別、判定できた。

瞳孔形状の検出

1. 瞳孔形状として、瞳孔中心-瞳孔輪郭点の距離を用いる

瞳孔中心より、等角度 θ (1deg) に方向を変えて放射状走査

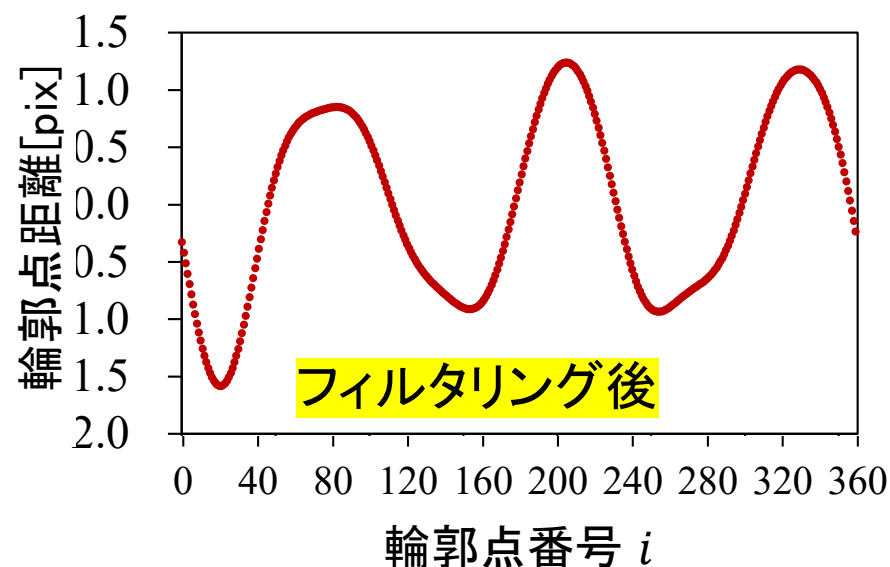
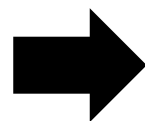
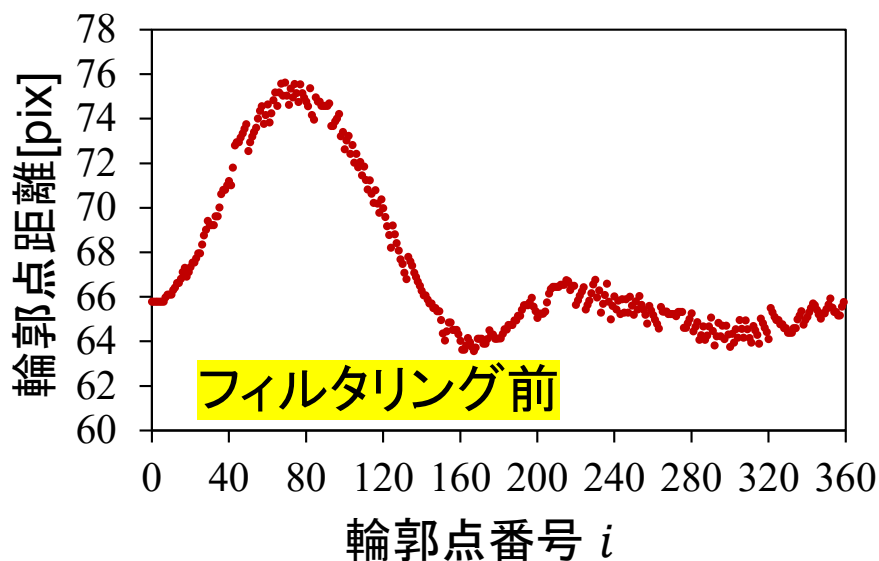
瞳孔の大きさ、解像度に関わらず、一定数の輪郭点(360点)を検出し、瞳孔中心から各輪郭点までの距離(輪郭点距離)を求める



2. 輪郭点距波形に対して、経験的に決定した3～9Hzの正弦波を重ね合わせたフーリエ級数をフィッティングすることで最小二乗法を用いて、フィルタリングを行った

$$f(i) = \sum_{j=3}^9 \left\{ a_j \cos \left(2\pi j \cdot \frac{i}{360} \right) + b_j \sin \left(2\pi j \cdot \frac{i}{360} \right) \right\}$$

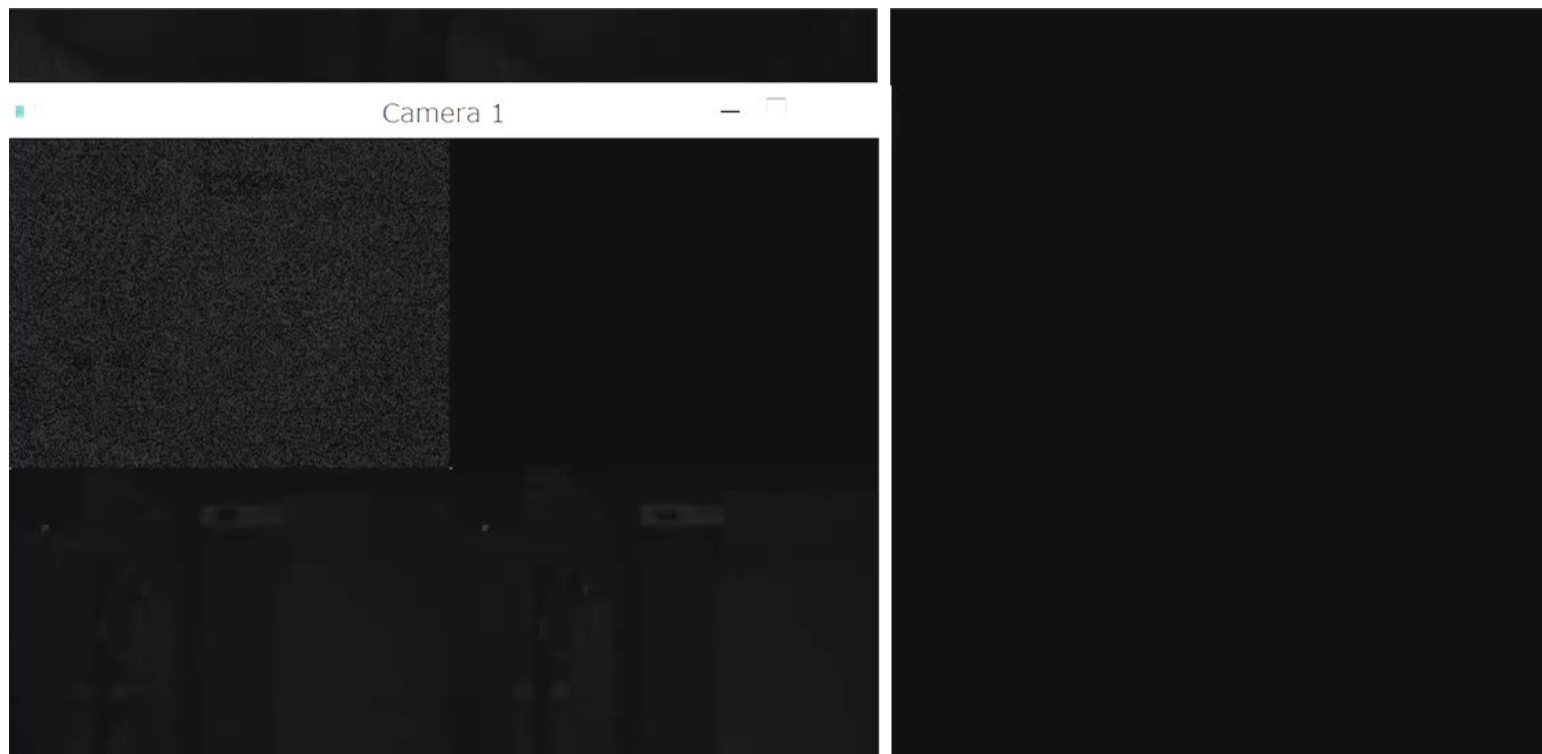
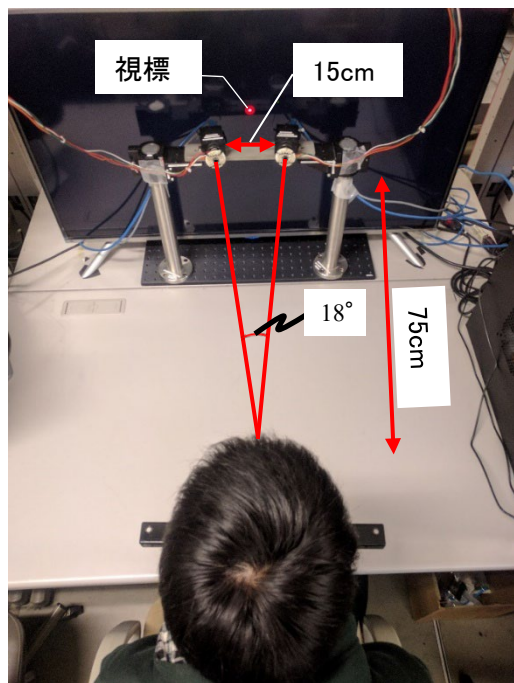
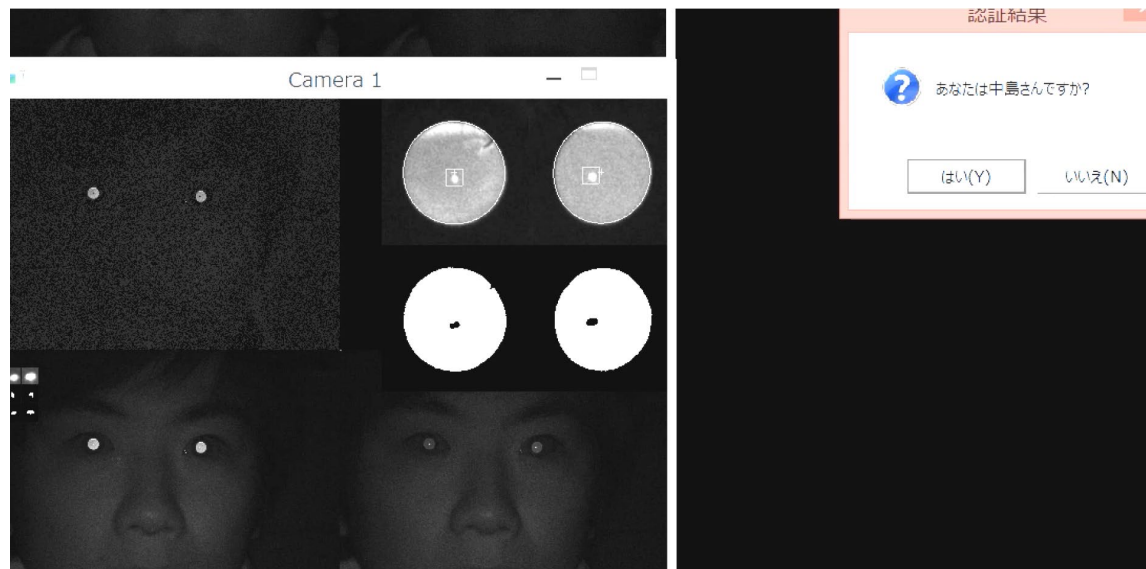
i : 輪郭点番号
 j : 周波数



3. データベースのすべてのフィルタリング後の輪郭点距離波形との間で最大の相互相関係数を示すユーザを選択

瞳孔形状によるユーザ判別のデモ

- 登録された10名データベースを使用して、登録済みの5名が一人ずつ順番に認証を行った様子。
- 瞳孔が登録されている被験者として判断されたときのフレームが10フレームになったとき登録されている被験者として認証した。
- 認証されるまで平均2.3秒(約7年前)。



自動車以外での瞳孔形状によるユーザ判別 (個人認証)について

- 最近、ズームレンズを使用して、光学系から2メートル離れている場合でも、瞳孔形状が認識できることを確かめた。同様の方法で同様にユーザ判別できることを確かめた。また、波形の相互相関係数を計算する部分を変更した結果、その部分の演算時間が、約1/100に短縮できた(未発表)。
- 顔認証などと組み合わせることにより、遠方からの非常に剛健な個人認証ができるセキュリティーシステムになると考えられる。
⇒歩いている人間の個人認証

瞳孔形状によるユーザ判別に関する知的財産権

- 発明の名称：眼球識別装置及び眼球識別方法
- 出願番号：特願2014-248169
- 登録番号：特許第6452236号
- 出願人：静岡大学
- 発明者：海老澤嘉伸

企業への期待

自動車のAピラーの死角を改善することを目指している企業との共同研究等を特に期待する

その際、自動運転やドライバー監視（わき見運転、居眠り運転の防止など）等を、既に実施している（あるいは実施しようとしている）企業との連携を希望する

お問い合わせ先

静岡大学

イノベーション社会連携推進機構

TEL 053-478-1701

FAX 053-478-1711

e-mail sangakucd@adb.shizuoka.ac.jp