

## カメラ注視の判別: 虹彩位置と顔向きとの関係の解析

浅野 哲<sup>†</sup>, 牧 淳人<sup>†</sup>, 松山 隆司<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻

**概要** なぜ人は他人と目が合うとき強烈なインパクトをもって、そしてかくも鋭く気づくのか? 従来、視線推定に関する研究は数多く行われてきたが、カメラを見ているか否かを精度良く検出することに特化した研究はあまり見受けられない。本稿では人のアイコンタクトを参考に、カメラを用いて人のカメラへの注視状態を検出する手法を検討する。まず、人がカメラを見ている状態を知る上で視覚的な手がかりとなり得る虹彩位置の検出及び顔向きとの推定を行い、その上で両者の関係を解析する。特に、人がある点を注視している状態において、虹彩、眼球、頭部の回転角の間の幾何学的関係を基に、上記の両者の間の線形性を示す。これに基づきカメラ注視の判別を行う手法を提案する。

### Detecting direct gaze on camera: A parallel analysis on iris displacement and head rotation

Satoshi ASANO<sup>†</sup>, Atsuto MAKI<sup>†</sup>, and Takashi MATSUYAMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Intelligence Science and Technology,  
Graduate School of Informatics, Kyoto Univ.

**Abstract** In this paper we propose a method for detecting direct gaze on a camera. Although many studies have been made for detecting gaze direction, only little have been reported as to precise detection of whether or not the subject is gazing at the camera. When someone is gazing into your eyes, you instantly notice that with a strong impression. The locus of iris among others as well as the head direction provide strong cues for the eye-contact in the case of human beings. In our study, hence, we also investigate the head direction and extraction of the displacement of iris as observable cues by a camera, and the relation between those factors. We then propose that we can deduce a linear mapping between aforesaid two elements in the situations of “eye-contact”, by the geometric relationship between iris, eyeball, and head directions.

## 1 はじめに

コンピュータなどのシステムと人間とを介する入力インターフェースは、キーボードやマウス、スイッチなど、我々が直接触って操作するものが主流である。しかし、本来、人は意志表示の手段として身体による自然な表現を用いており、会話や見ぶり手振り、視線などありとあらゆる方法を用いて円滑なコミュニケーションを行なっている。そこで我々は、そうした自然な入力システムへの利用可能性を踏まえて有効と考えられる情報の内、視線の情報、特にアイコンタクトという行為に注目する。人は他人と視線が合うとき強烈なインパクトを伴ってそれに気づく。人のアイコンタクトには驚くべき精度がある

と言えるだろう。この仕組みの一部でもコンピュータで実現できれば、入力インターフェースとしてだけでなく、そのような利用の前提となるスイッチとして有用と考えられる。

一方、近年では人間の社会にうまく融け込み、人がより快適にすごせるためのパートナーとしてロボットが認識され始めている。この意味で、本来、無機質なロボットに対しどのような仕組みをつくれれば人同士が接しているときのような親密感が与えられるのか、人からみて自然な動作とはどういうものなのか、という観点が大変重要になってくる。それを解明することは、人と共生するパートナーとしてのロボット製作には必要不可欠であるとともに、ひいては人間自身の理解にもつながることであろう。こ

の観点においても、ロボットとのコミュニケーションの手段としてアイコンタクトを用いることは有用と考えられる。

そのアイコンタクトの仕組みをコンピュータで実現するためにはどういった手法が考えられるだろうか。これまで、人の視線方向の推定を目標とする研究は数多く行なわれてきているが、見たか否かを検出することに特化した研究はあまり成されていない。その理由には十分な画像の解像度が得られないために解析が困難であったこと等が挙げられるだろう。本研究では上記の展望の下に、人にとって目線が合っていると感じる手がかりとなり得る顔向きと虹彩位置の情報に注目する。特に、単眼固定カメラの前で人が顔を回転させながらカメラを注視する状況において虹彩位置と顔向きとを検出しそれらの関係を解析する。特に、人がある点を注視している状態において、虹彩、眼球、頭部の回転角の間の幾何学的関係を基に、上記の両者の間の線形性を示しこれに基づきカメラ注視の判別を行う手法を提案する。

## 2 背景

以下、眼球の構造、カメラ注視の定義、関連研究について触れる。

**眼球の構造** 人間の目を外部からみた場合、角膜、カメラの絞りに相当する虹彩、その中心にある瞳孔（黒目）、水晶体、目の外側を覆っている強膜などが観測される。以上には画像解析により部分（領域）として検出可能なものが含まれる。例えば日本人の場合の虹彩は、茶色の場合がほとんどで可視光の下では暗く映るが、強膜は明るく映るため、輝度値の差を利用した検出が考えられる。一方瞳孔と虹彩についてはどちらも暗く映るので可視光下において輝度値の差を検出することは困難である。ただし近赤外光を用いると瞳孔は反射率が高く虹彩は反射率が低いことから、瞳孔と虹彩も検出することができる。

**人のアイコンタクトの要素** 我々は普段、五感を駆使して、絶えず外界と自分との空間的、あるいは精神的な『間』を、無意識または意識的に測りながら生活している。そこでは五感から得られる情報をうまく取舍選択し、さらには複合的に評価することで、検出の精度をあげているといえよう。その中で、人はどのような状況をもってアイコンタクトが成立したと感じるのだろうか。ここにも様々に複合的な要

因が関係するものと考えられる。相手の動き、会話の流れ、顔向きの変化、目の連続的な動きなどの動的な要素や下記のような静的な要素が考えられる。

- 距離：空間的な位置関係 注目されるには遠い距離にいる、または近い距離にいるなど。
- 顔の向きや傾き：（姿勢）
- 黒目の位置：瞳の中で黒目の位置がどのあたりにあるかで見ている方向の大まかな見当をつけることができる。
- 角膜への映り込み：至近距離であれば、角膜への映り込みを直接見ることで、何を見ているかを推測できる。
- 虹彩の形状：虹彩の形状が円に近ければ正面を見ている可能性がある。楕円などで歪みの大きい形状ならば、正面を向いている可能性は低い。

**アイコンタクトとカメラ注視の定義** 我々はアイコンタクトという言葉を日常的なものとして用いているが、これは観念的なものであるため、本研究ではあらためて適切な定義を行なう必要がある。光学的に考えると、我々は他人の視線軸と自分の視線軸が一致することを通常アイコンタクトと呼んでいる。しかしながら単眼固定カメラを前提としてカメラの光軸と人の視線とを考えると、人同士のように厳密に互いの光軸同士を一致させるための自由度が非常に低くなることに留意する必要がある。そこで本研究においてはカメラとのアイコンタクトとして以下を指すものとする。つまり、被験者の視線方向と設定するカメラの光軸が交わり、かつその交点がカメラレンズ上にある場合、このときを視線が合っている状態と定義し、カメラ注視と呼ぶことにする。その解析にあたっては人のアイコンタクトの要因を参考にする。

**関連研究** 接触型視線検出法は頭部固定式、ゴーグル式など、視線検出のためにユーザーが何らかの拘束、または器具の装着を必要とするものである。一般に高い検出精度が得られるが、検出時のユーザへの負担が問題として挙げられ、心理的、身体的に視線検出結果に影響を及ぼしていることが十分考えられる。非接触型視線検出法は主に、画像処理技術が応用されていることが多く、検出時に被験者が特別な装置を装着する必要がない。接触型に比べてユーザへの負担の問題は軽減されるが、画像処理を用いることから照明条件の変化による検出精度の低下などが懸念される。上記のいずれにおいても、従来、カ

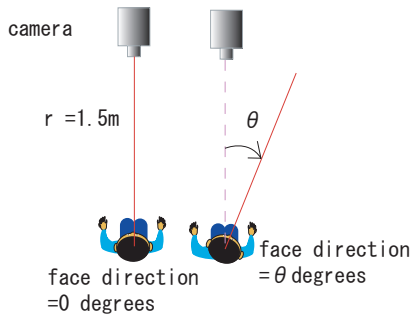


図 1: 顔向き基準

カメラと人が正対した状態で、人がカメラを見たかどうかを検出するといった研究はあまり行なわれていない。以下、人と人がコミュニケーションをとる際のように、身体的に負担をかけない方法、つまり人が特別な装置を装着しない場合を想定し、非接触型のシステムを目指す。

### 3 虹彩位置と顔向きを検出

本研究ではカメラ注視の検出に向け、前述したように人のアイコンタクトの仕組みを手がかりとする。とりわけ、人がアイコンタクトを検出する際の典型的なメカニズムとして以下を考える。

- Phase1: 顔の大まかな向きを推定する。
- Phase2: 目の部分に注目し、瞳の中の黒目の位置を考慮して視線方向を推定する。ここで、黒目の位置と Phase1 の顔向きの関係から目線が合ったどうかの判断を下す。
- Phase3: アイコンタクトの成立の確認を行なう。そこで確信を得るためには何らかの要素が必要である。確認作業として状況の即座の変化や、会話内容の変化、目を逸すといった動作などが考えられる。

上記の Phase2 で、視線が合っている可能性が高いと判断する条件、これを注意喚起条件と呼ぶことにする。Phase1 と Phase2 についてはカメラからの入力画像においても同様の推定を行なえる可能性があり、アイコンタクトの検出にあたっては、この条件を調べることが必要であると考えられる。人の場合は動的要素、静的要素の両方から視線を予測、検出しているものと思われるが、ここではそのうち静的要素に関する注意喚起条件に着目する。具体的には、視線が合っているときの顔向きと、黒目の中心位置の相関関係を明らかにすることが重要となる。

本章ではそのために、入力画像から顔向きを推定する方法を紹介し、また、瞳のうちで黒目がどの位置にあるかを検出する手法を提案する。

#### 3.1 顔向き推定

顔向き推定には様々な手法が考えられるが、ここでは特徴点ベースの方法を採用する。

**顔向きの基準** いま、図 1 のように顔がカメラと正対し、カメラの高軸が両眼の中点を通る状態を基準とし、顔向き 0 度と定める。被験者から見て顔を右に回転させる方向を正方向の回転の角度  $\theta$  とする。

**顔画像からの特徴点抽出** 人の頭部の運動パラメータを計算するにあたって、まず入力映像から特徴点を検出する必要がある。一般にはコーナーの自動検出とテンプレートマッチングなどによりそれらを追跡する方法などが知られている。本研究では虹彩変位の計算 (3.2 節参照) において目の両端の座標の確実な検出が必須であることから、特徴点としてマーカーを利用する。

**因子分解法による顔向きの復元** カメラを固定し、被験者が顔向きを変化させている状況では、顔向き変化はカメラに対して相対的であり、被験者の顔の位置に対してカメラが相対的に運動していると考えられる。カメラモデルは正射影モデルを仮定し、対象物に対して相対運動するカメラで撮影した  $F$  枚の時系列画像を考える。第 1 フレームから目尻や目頭、鼻孔など顔の特徴点を  $P$  点抽出した後、その動きを順次追跡する。特徴点  $p(p = 1, \dots, P)$  の  $f(f = 1, \dots, F)$  フレーム目の画像上での座標を  $(x_{fp}, y_{fp})$  とし、以下の行列  $W$  を定義し、これより因子分解法 [3] による計算を行ないカメラの運動パラメータを得る。

$$W = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,P} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{F,1} & \cdots & x_{F,P} \\ y_{1,1} & \cdots & y_{1,P} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{F,1} & \cdots & y_{F,P} \end{bmatrix} \quad (1)$$

**カメラの回転角度から顔方向の推定** 前述の通り、図 1 のように顔とカメラが正対している状態を顔向き 0 度と設定している。ここで特異値分解などの処

理を経て得られたカメラの運動パラメータから、顔向きの相対的な運動パラメータを得る。いま、水平方向の動きに着目し回転行列を  $R$  とする。顔の回転角  $\theta$  は

$$\theta = \arctan(R_{31}/R_{33}) \quad (2)$$

と表される。

## 3.2 虹彩変位の検出

本節では虹彩が目の中で占める位置を調べる手法を提案する。

### 3.2.1 虹彩検出に関する前提

眼球運動については両眼が相関して動く共同運動、輻輳開散運動と、これらの運動の基となる、各眼ごとに生じる固視微動、随従眼球運動、跳躍運動がある。これらのうち、各眼の運動について、固視微動は高周波の運動で非常に微小な振動でカメラではほぼ観測されない。跳躍運動は非常に速い動きであり 60degrees/sec にもおよび、30fps の性能のビデオカメラを用いれば 20degrees の変化を計測できると期待される。随従眼球運動は 30degrees/sec の滑らかな動きであり、同様に 1degree の変化を計測できると期待される。両眼の運動の内、共同運動を主に考慮することになる。

### 3.2.2 虹彩変位の定義

人間の瞳に注目したとき、強膜（白目）部分と肌の境界、さらにはまつげや目尻、目頭の周りのテクスチャの様子は個人において千差万別である。さらに同じ人でも目頭と目尻の両端ではテクスチャや目の形状は当然対称ではないことが容易にわかるだろう。そこで特に虹彩の変位を考えるとときにはこの左右どちらから変位を計ったかに影響されることのない統一的な指標が必要となる。

そこでまず、左右の目それぞれについて共通の方向で見た変位を考える。虹彩の中心の、目の左の端からの変位を目の幅で正規化したものを虹彩変位 (iris displacement) と呼ぶことにする。いま、虹彩変位を 100 分率で表すものとする (図 3 参照)。さらに目頭と目尻の非対称性を打ち消す必要性を考慮し、それらの平均をとる。以降では、両眼の虹彩変位の平均のことを単に虹彩変位として呼び、記号  $D_c$  で表す。

### 3.2.3 虹彩変位計算時の留意点

両眼の虹彩変位を計算する前に、目の端、すなわち目頭と目尻に基づいて左右それぞれの眼の虹彩変位を計算することになるが、前述の通り個人によって目の形状は様々である。そこで、虹彩変位を計算する際には目頭と目尻それぞれの位置決めを左右の目で対称に行なっておく必要がある。

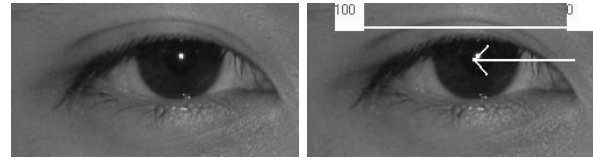


図 2: 入力目領域画像の例

図 3: 虹彩変位

### 3.2.4 虹彩の検出法

2 値化 入力顔画像から、まず特徴点検出の際に得られている目尻、目頭の両端の特徴点を手がかりに、目の周辺の画像を取り出す。例を図 2 に示す。切り出された目の領域画像に対して適当な 2 値化 [8] を行なうと、肌の部分と目の瞼の部分で大まかな境として分けることができる。これによって瞼の中側を残し、残った部分で再度 2 値化を行なうと、図 4 のような画像が得られる。得られた 2 値画像から虹彩の検出を行なう。

円領域検出 いま、目の横幅から 1/2 以下の大きさの直径の円を想定し、実験の始めに手動でその半径を固定しておく。その円で画像上を走査し、その円内にある、輝度 0 の点の総数を数え、その数と中心座標を記録する。操作終了後、総数が最大となるものが、虹彩らしいとして、その円の中心座標を虹彩中心座標として得る。虹彩の円内の点の総数を用いるという点で、境界画素を計算する方法に比べ検出精度が上がるという利点があり、ここではこの手法を利用する。



図 4: 2 値化後の画像

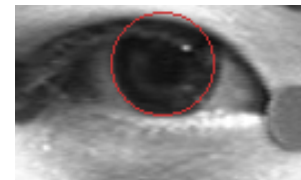


図 5: 虹彩検出結果

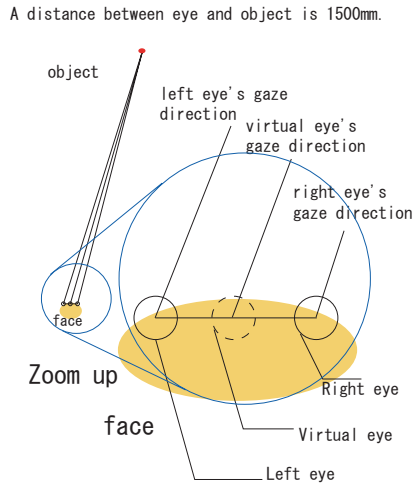


図 6: 視線方向の原点を左右両眼の中心におく、仮想眼球と注視点との関係

## 4 カメラ注視の判別

カメラ注視の判別は前章で記述した顔向きと虹彩位置の関係に基づいて行なう。

中溝 [5] らの著書によれば、人間が両眼で何かを注視しているときの視点の基準として、視線方向の原点となるような場所に仮想的な眼球を置くという考え方がある。そしてその仮想的な眼球は左右両眼の中心などに置かれる<sup>1</sup>。我々は、眼球の回転角度と注視方向の関係の解析を行うにあたり、同様の考え方で視軸の原点としての仮想眼球を両眼の中心に置く(図 6 参照)。前章で定義した虹彩変位を、この仮想眼球における虹彩の変位として扱うことにする。

**顔の向きと虹彩変位のマッピング** 眼球は角膜部分がわずかに突き出た球体であるが、眼球の角度変化を考慮する上で眼球を球体と仮定する。まず、3.1 節の定義通り、図 1 のようにカメラと顔が正対したときを顔向き 0 度の基準とする。いま、同図において顔向きを右方向に回転させたときの角度を  $\theta$ 、両眼の中心位置に設定した仮想眼球において、眼球中心から見て視線方向とカメラ方向との間にできる角度を図 7 のように  $\beta$  とおく。さらに、図中に示すように眼球の半径を  $r$ 、眼球中心から目の両端を結んだ線分をのぞむ角度を  $\alpha$  とおく。顔向きの基準方向から角度  $\beta$  だけずれた場所を注視しながら顔を角度

<sup>1</sup>この仮想的な眼球はサイクロピアンアイと呼ばれるが、その定義は一義ではない。

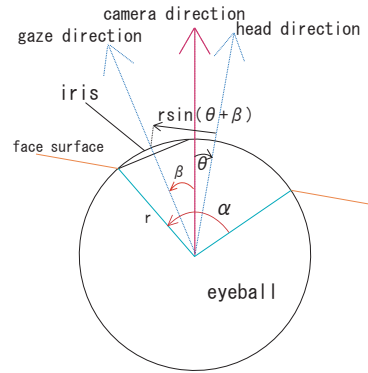


図 7: 仮想眼球の角度変化 - 顔向きが  $\theta$  の時

$\theta$  回転させた場合、虹彩変位  $D_c$  (iris displacement) は図 7 に示す関係から以下のように表される。

$$D_c/100 = 1/2 - \frac{\sin(\theta + \beta)}{2 \sin(\alpha/2)} \quad (3)$$

ここで  $\alpha$  については個人によって差異があり、その値自体を画像から計算して求めることは可能であっても困難である。ここで式からわかるように  $\alpha$  は各人において定数であるので、顔向き  $\theta$  を変化させた際に、 $\sin(\theta + \beta)$  に対する  $D_c$  の分布は直線的となるはずである。 $\beta = 0$  の場合がカメラを注視しているときに相当する<sup>2</sup>。このプロットでは、式 3 において  $\beta = 0$  のとき、 $(\theta, D_c) = (0, 50)$  を通る直線、一般には  $(\theta, D_c) = (-\beta, 50)$  を通る直線となる。

**判別基準** 横軸に  $\sin \theta$ 、縦軸に虹彩変位をとったグラフを作成することを考える。また得られたデータに対して最小二乗近似直線をフィッティングし、その直線からの各点への距離を計算する。そこである閾値を設定し、直線からの距離がある閾値以下にあるデータをカメラ注視の状態にあるものとして判別する。

**時間的変化の観測** 第 2 章でも紹介したように、人間は動的な情報も利用してアイコンタクトを判別していると考えられる。提案手法において、観測されるデータは虹彩変位と顔向きであるので、これらの時間的変化を別々に可視化することを考えてみる。具体的には、横軸に時間軸 (フレーム)、縦軸にそれぞれ虹彩変位あるいは顔向きの変化を取ったプロットを行なう。これにより、ある注視点を見る時の顔向きの運動の変化、虹彩位置の運動の変化が観察で

<sup>2</sup>本研究では  $\beta = 0, -5, -10$  の場合について実験を行なう。



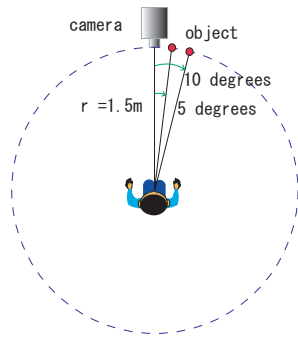


図 8: 配置図



図 9: 実験配置:被験者の視点

きると考えられる。

## 5 実験

### 5.1 設定

顔にあらかじめ、マーカとしてカラーシールを貼る。内訳は両目の目頭、目尻、両まゆげの両端、および鼻頭の 9 点とする。

1930(pixel) × 1080(pixel) の解像度、30fps を用いる。実験時の被験者とビデオカメラ、仮想眼球の位置関係は図 8 のような状況とした。被験者を原点とする半径 1.5m の円周上に模造の仮想的な眼球が取り付けられている。各眼球の被験者から見た回転角度はビデオカメラ正面を 0 度として、右に 5 度、10 度となっている。なお 1.5m 先において 5 度の角度はビデオカメラに対して水平方向に 13.12cm のずれ、10 度の角度は 26.44cm のずれに相当する。よって、5 度のずれは大体顔一つ分のずれである。

実験 1 虹彩変位と顔向きとの関係を求め、4 節で示した関係を実証する。ビデオカメラを注視しながら顔を水平方向へ回転させる被験者の様子を、そのビ

デオカメラによって撮影する。次に、ビデオカメラ正面から右側に 5 度だけずれた点にある仮想的な眼球を注視しながら顔を水平方向へ回転させる様子を、同様にビデオカメラによって撮影する。さらに 10 度ずれた点について同様に行なう。以上の撮影を 4 人の被験者 (A,B,D,E) に対して行なった。ここまでの実験をキャリブレーション実験と呼ぶことにする。

実験 2 実験 1 で求められたマッピングに基づいて、新規の入力画像系列の各フレームにおいて被験者がカメラ注視の状態にあるか否かを判定する。図 8 に示すようにビデオカメラと注視点が設定されている状況で、被験者に対し、それらの点とビデオカメラを被験者の意志で自由に見るように指示をした。そしてその様子を被験者に正対するビデオカメラで撮影した。この試行を以降、自由試行と呼ぶことにする。自由試行の映像は第三者に提示し、目線があったと感じる区間を判定させ、記録した。

### 5.2 結果

実験 1 図 10 に結果のグラフを示す。グラフ上に、プロット項目の上から順に、カメラ注視の状態、5 度の視線のずれの状態、10 度の視線のずれの状態における頭部の左右の回転角に対する虹彩変位を示した。

実験 2 結果を図 11 ~ 図 15 に示す。図 11 ~ 図 14 中で記号+で表示されている点が、主観評価により、カメラを注視していると感じられた区間である。ここで、第 4 章で提案した顔向きと虹彩変位のプロットに対し、縦軸方向に時間 (フレーム数) を入れ、3 次元プロットを行うことにする。図 14 は自由試行の結果を三次元プロットしたものである。図 15 はキャリブレーション実験から得られた 0 度の平面を図 14 に重ねて表示したものである。

### 5.3 実験 1: 考察

#### マッピングの誤差要因

- 誤差要因 1: マーカの重心座標を計算する際、マーカの色相情報、彩度情報を用いたが、照明変化によってそれらに変化が生じた結果、必ずしも重心が一定にならず微妙に誤差を生じた。

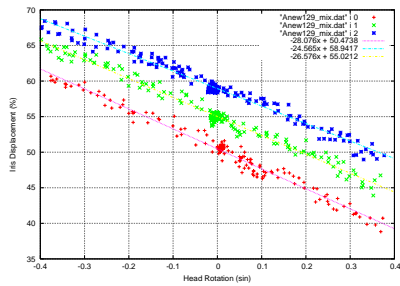


図 10: 実験 1:被験者 A のキャリブレーション実験  $\sin\theta-D_c$

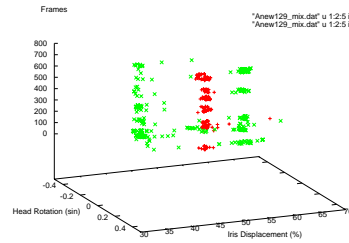


図 14: 実験 2:被験者 A の自由試行. 時間軸を縦軸とした 3 次元プロット

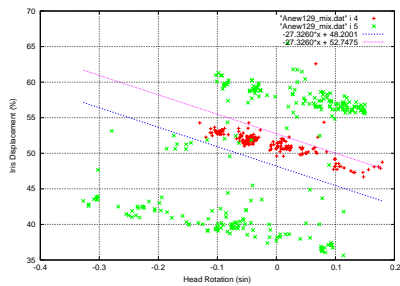


図 11: 実験 2:被験者 A の自由試行の判別境界の同時表示

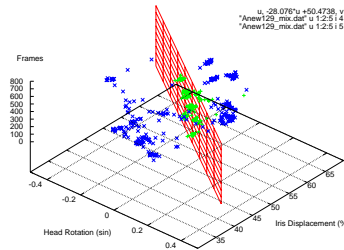


図 15: 実験 2:被験者 A 自由試行と 0 度の最小二乗近似直線による平面を同時表示

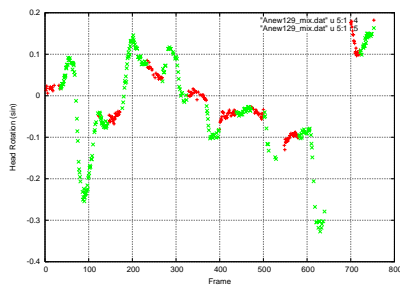


図 12: 実験 2:被験者 A の顔向きの変化

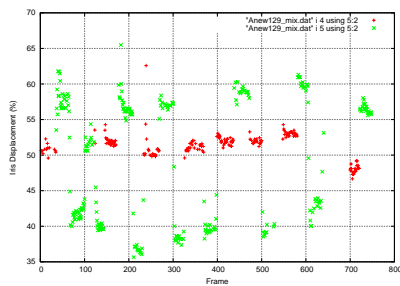


図 13: 実験 2:被験者 A の虹彩位置の時間変化

- 誤差要因 2: マーカと目頭, 目尻の位置関係を画像の目視で決定しているが, 目の形状は個人によって差があり, 目尻, 目頭の位置に関する統一的な基準がなく, 主観的に決めざるをえない. このことにより, 正面を向いていても, 虹彩変位が厳密に 50 にならない場合がある. もし, 50 になるように強制的に決めたととしても, 決定された目頭, 目尻の位置は人間が自然と思う位置にはならないことがある. このことにより, グラフが全体的に上部に移動したり, 下部に移動したりすることがある. また現在のところ目尻, 目頭の位置合わせを正面画像で行っているが, 顔向きが回転すれば, マーカとの位置関係は必ずしも一定とはならず, また誤差要因 1 の重心の検出誤差とあいまって誤差が拡大することが考えられる.
- 虹彩位置の検出に関してはほぼ成功しているが, 顔向きを変化させたときに照明の影響によって虹彩への光量が変化し, 2 値画像に影響を及ぼす. その結果として虹彩の検出位置が変化する

恐れがある。

- 眼球の構造のうち、角膜部分は僅かに膨らんでおり、凸レンズのような形になっているので、眼球自体が完全な球体ではない。またこの膨らみにより側面から見たときにオクルージョンも起こり得る。

## 5.4 実験 2: 考察

閾値の設定 カメラ注視を判別する境界として、視線 0 度の最小二乗近似直線と、視線 5 度の最小二乗近似直線との平均を取ることにする。この 5 度の差は顔一つ分のずれ相当する。いま、キャリブレーション実験 (図 10) により、被験者 A に関するその境界は

$$y = -27.3260x + 52.7475 \quad (4)$$

および

$$y = -27.3260x + 48.2001 \quad (5)$$

と求められた。図 11 はこの境界と自由試行の結果をプロットしたものである。図中の赤い点は自由試行の点群の内の主観評価によって目線があつていと感じられた点 (true points と呼ぶ) である。いま、境界内にある点 (目線があつてい本研究でシステムが判断する点:以降 detected points と呼ぶ) の総数は 175 点となった。

主観的判断による検討 第 3 者による主観の評価によって目線が一致したと判定された点の総数は 175 点であった (detected points の総数と同じになっているがこれは偶然である)。true points のうち 5.4 節で設定した境界内に収まった点は 168 点であった。よって、人間による判定を正答とすれば、精度は  $(168/175) \times 100 = 95.43\%$  となる。設定した境界外にある true points は 7 点であった。これらの点のうち、特に大きく外れている点について調べたところ、まばたきの瞬間に対応するものであった。このような瞬間には虹彩検出が失敗することがわかっている。以上のことから、5 度程度の視線のずれを検出できる精度の目安が得られた。

動的情報の表示と空間的プロットの検討 第 4 章で述べたとおり、顔向きの変化および虹彩変位の時間的变化が記録できる。その様子を図 12 および図 13 に示した。ここからわかるように 0 度付近を見ているときには、虹彩位置並びに顔向きが停止する傾向にあることがわかる。また、自由試行に関して、時間軸 (フレーム) を加えた 3 次元プロットを行った

ところ、理論の示すとおり、観測点群が各注視点に応じて平面状に分布した。図 15 において記号+で示されているのが true points である。

## 6 おわりに

本研究では人のカメラ注視について顔向きと虹彩位置の関係に注目し解析を行ない、特に顔向きと虹彩位置のマッピングについて提案した。またキャリブレーション実験を通して閾値を設定することで、視線 0 度、つまりカメラ注視の状態を精度よく検出できる可能性を示した。一方、時系列的な観測を行ない、顔向きと虹彩位置の時間変化の提案手法の枠組における可視化を行なった。しかし、まだ被験者が少ないことやデータ系列が短いことを考えると、今回の実験はあくまで一つの例であり、一般的な結論を導くには早尚である。今後十分な議論と、評価実験の必要がある。今後の課題としてマーカを用いない顔特徴点の自動検出、縦方向の顔の角度変化の考察、虹彩検出の高精度化、そして動的情報の解析が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 16680010 及び 13224051 の補助を受けて行った。

## 参考文献

- [1] 辻 徳生, 柴田 真吾, 長谷川 勉, 倉爪 亮, "視線計測のための LMedS を用いた虹彩検出法", MIRU2004 pp.I-684-689, 2004
- [2] 宮内 大, 中村 明生, 久野 義徳, "機械とのアイコンタクトシステム", CVIM, 2003
- [3] 金出 武雄, ユンラッド ポールマン, 森田 俊彦, "因子分解法による物体形状とカメラ運動の復元", 電子情報通信学会論文誌, 1993, 8
- [4] 西内 信之, 栗原 謙三, "虹彩輪郭抽出による視線の検出", O plus E, 2004, 12
- [5] 中溝 幸夫, "視覚迷宮 - 両眼視が生み出すイリュージョン-", プレーン出版株式会社, 2003
- [6] 福井康之, "まなざしの心理学 視線と人間関係", 創元社, 1984.
- [7] ぐうたら射撃術 眼球の構造, <http://www11.plala.or.jp/guutara/html/kyousitu/index.html>
- [8] 大津 展之, 栗田 多喜夫, 関田 巖, "パターン認識 -理論と応用-" 朝倉書店, 1996