

## 顔方向の変化に着目した多人数視線推定システムの開発

高橋和希<sup>†</sup> 竹村研治郎<sup>†</sup>

近年、様々な場面で重要性を増しているオーラルプレゼンテーションにおいて、聴衆の視線情報をリアルタイムにプレゼンタにフィードバックできれば、時々刻々と変化する聴衆の興味度を把握し、プレゼンテーション能力を効率的に改善できると考えられる。このため、本研究では視線方向と顔方向が概ね一致すると仮定して、聴衆を撮影した画像に対して顔認識処理および肌色検出処理を行い、これらの処理結果から聴衆の顔方向を推定する手法を提案する。検証実験の結果、提案手法は6名ずつ2列に並んだ12人の聴衆を1台のカメラで撮影した画像を用いて、顔方向の検出範囲が約40°、視線推定精度が約5°であることを確認した。

### Multi Eye-gaze Tracking System Using Head Pose Direction

KAZUKI TAKAHASHI<sup>†</sup> KENJIRO TAKEMURA<sup>†</sup>

With growing interest in oral presentations in various fields, a real-time feedback of eye-gaze direction of audiences may help the presenter to improve their presentation skills grasping the degree of interest in oral presentations. Therefore, this paper proposes an eye-gaze tracking system under the hypothesis that the eye-gaze is almost corresponding to the head pose direction. We use a face recognition technique and a fresh color detection process to identify each subject's head pose direction. Experimental results with 12 subjects confirm that the proposed system could detect the head pose directions with the precision of 5 degrees over the range of 40 degrees.

#### 1. 結論

プレゼンテーションとは、限られた時間に一定の場所で、特定の情報を聴衆に伝達する行為である[1]。特に、スライドを用いたオーラルプレゼンテーション（以降、プレゼンテーションと略す）では、複数の聴衆に対して同時に情報を伝達することができるため、ビジネスや学術研究など多岐に渡る分野において、効果的な情報伝達手段として用いられる。

たとえば、ビジネスの分野では、企業間競争の激化に伴い、ビジネスプランや商品の魅力をアピールするプレゼンテーションの重要性が高まっている。また、学術研究の分野では、研究内容を正しく伝達し、研究成果を広く社会に還元する目的でプレゼンテーションが行われている。こうしたプレゼンテーションにおいて、情報を効率的に伝達するには、魅力的なスライドの作成や効果的な説明が求められる。

プレゼンテーションの良し悪しは、本質的にはプレゼンタの意図する情報伝達が聴衆に対して正確に行われたかに依るが、間接的にはプレゼンテーション中の聴衆の興味度により評価できると考えられる。これはある情報に対する聴衆の理解を促すには聴衆がプレゼンテーション自体に興味を示す必要があると考えられるためである。すなわち、プレゼンテーション能力を向上させるためには、自身のプレゼンテーションに対する聴衆の興味度を定量的に把握する必要がある。これに対し、従来の評価方法としては、プレゼンテーション終了後に聴衆に対して実施するアンケ

ートなどが用いられてきた。たとえば、アンケートで「スライドの見やすさ」や「声の大きさ」などに関して質問することにより、プレゼンテーション全体に対する聴衆からの評価を得ることができる。しかし、この方法では各スライドや各説明に対して、プレゼンテーション中に時々刻々と変化する聴衆の興味度を詳細に知ることは不可能であった。各スライドに対する聴衆の興味度は、図やアニメーションなどの効果を把握する上で重要であり、プレゼンテーション能力の効率的な改善を促すには必要不可欠である。こうした現状に鑑みるに、各スライドや各説明に対する聴衆の興味度をプレゼンタにフィードバックする技術の必要性は高いと考えられる。この他にも、アンケートでは、評価結果が聴衆の主観に強く依存し、それが統計的なデータにも反映されるため、興味度を正確に把握できなかった。つまり、プレゼンテーションの新たな評価方法は、聴衆の興味度を客観的なデータとして取得できなければならない。ここで、プレゼンテーションへの興味度が高い聴衆はスクリーンへの注視率が高いと考えると、聴衆の視線方向を検出することはプレゼンテーションの客観的な評価の有効な手段の一つであろう。

これまでに提案されている視線推定法は大きく「接触型視線推定」および「非接触型視線推定」に分類される[2]。接触型視線推定は、被験者の眼球または頭部に装置を取り付けて視線を推定する方法であり、被験者が運動中でも視線を推定することが可能である。具体的には、EOG (Electro-oculography) 法[3]やサーチコイル法[4]、眼底像追跡による方法[5]などがある。しかし、装置を体に取り付けるため、被験者に対して物理的な負担がかかり、長時間の視線推定は困難である場合が多い。一方、非接触型視線

<sup>†</sup> 慶應義塾大学  
Keio University

推定は、被験者に対して装置を取り付ける必要がない視線推定法であり、1つの像による角膜反射法[6]や2つの像による角膜反射法[7]、強膜反射法[8]、画像処理による方法[9]などがある。これらの方法では、被験者の物理的な負担や精神的なストレスが少なく、近年の画像処理技術および光学装置の急速な進展に伴い、非接触型視線推定の研究が活発化している。接触型および非接触型視線推定の代表的な方法の比較を表1に示す。

プレゼンテーションにおける聴衆の視線方向を定量的なデータとして取得する際、聴衆への負担は少ない方がよいことを考えると、表1の比較から画像解析による方法が適すと考えられる。しかし、従来の画像解析による方法では、一般的にカメラは聴衆に近接する必要があるため、多数の聴衆の視線方向を同時に検出することは困難であった。

以上より、本研究では聴衆の視線方向を定量的に取得し、プレゼンタにリアルタイムにフィードバックするための多人数視線推定システムの開発を目的とする。

## 2. 顔方向の認識に基づく視線推定手法の提案

多人数の視線をリアルタイムに推定するために、本研究

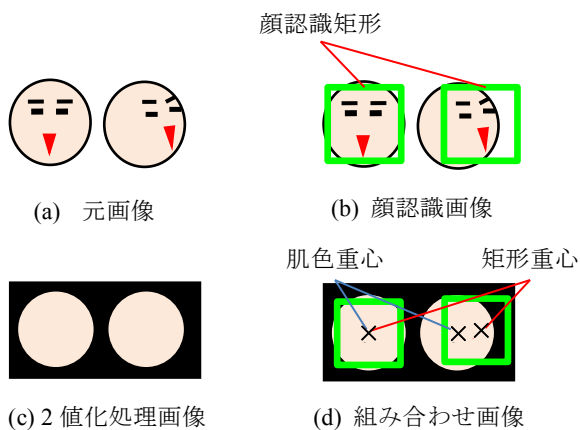


図1 顔方向推定の原理

では聴衆の顔方向が視線方向とおおよそ一致すると仮定する。この仮定の下、本章では静止画像に対する顔認識処理および肌色検出処理の結果を組み合わせる顔方向を推定する方法を提案する。なお、顔認識処理および肌色検出処理の詳細は3章にて説明する。

顔方向推定の原理を図1に示す。まず、カメラを用いて聴衆を撮影し、この画像を元画像とする(図1(a))。つぎに、顔認識処理により元画像上に顔認識矩形を表示させ、これを顔認識画像とする(図1(b))。また、肌色検出処理により元画像から肌色を基準として2値化処理を施した画像を作成し、2値化処理画像とする(図1(c))。つづいて、顔認識画像および肌色検出画像を組み合わせた画像を作成し(図1(d))、これに対して、顔認識矩形の重心および肌色領域の重心を算出する。このとき、顔認識矩形の重心と肌色領域の重心には顔方向に応じてずれが生じるため、このずれ量から顔方向が推定できる。

初めに述べたように、本研究では顔方向と視線方向が概ね一致すると仮定して、顔方向の推定手法を提案した。しかし、上記の仮定には視線推定に対する多くの誤差要因が含まれている。一方で、顔の面積は眼の面積と比較した場合に大きいため、従来の視線推定方法よりも低解像度の映像でも推定が可能となり、1台のカメラでより多くの聴衆の顔方向を推定できる。このため、推定した多くの聴衆の顔方向を統計的に処理することで、仮定に基づく視線推定の不確かさを補える可能性がある。

## 3. 提案手法の実装

### 3.1 顔認識矩形の重心および肌色重心のずれの算出

顔認識処理および肌色検出処理の結果を用いて、顔認識矩形および肌色領域の各重心の位置関係から顔方向を推定する手順を図2に示す。まず、1920×1080 pixelで撮影された図2(a)に示す元画像に対して、Intel社が提供するコンピュータビジョンライブラリであるOpenCVによる顔認識処理を実行し、顔認識画像を作成する。このとき、顔認識のための顔領域の最小サイズは80 pixelと設定した。予備実験により、カメラと聴衆の距離が少なくとも8.6 m以下

表1 従来の視線推定方法の比較[11][12]

| 分類       | 方法           | 精度 | 測定範囲 | 頭部の固定 | 被験者の負担 |
|----------|--------------|----|------|-------|--------|
| 接触型視線推定  | EOG法         | ×  | ◎    | 無     | △      |
|          | サーチコイル法      | ◎  | ◎    | 無     | ×      |
|          | 眼底像追跡による方法   | ◎  | ×    | 有     | △      |
| 非接触型視線推定 | 1つの像による角膜反射法 | ○  | ○    | 無     | ○      |
|          | 2つの像による角膜反射法 | ◎  | △    | 有     | △      |
|          | 強膜反射法        | ○  | ○    | 有     | ○      |
|          | 画像解析による方法    | ○  | △    | 無     | ◎      |

◎ 大変良い ○ 良い △ 可(問題あり) × 大きな問題あり

であれば、顔領域のサイズがその最小サイズより小さくなることはなく、顔認識処理が実行できることを確認している。作成された顔認識画像を図 2(b)に示す。つぎに、顔認識矩形が表示された領域のみを新しく取得し、切り取り画像とした(図 2(c))。図 2(c)に示すように、切り取り画像の一边を  $W$  とする。つづいて、切り取り画像に対して肌色検出処理を行い、2 値化処理画像を作成する。肌色検出処理の詳細は以下の通りである。まず、従来研究[10]に示された、あらゆる人種の肌の色相分布を用いて肌色検出ができるよう、元画像を RGB 表色系から HSV 表色系に変換した。つぎに、H (色相)、S (彩度) および V (明度) の各チャンネルに分解し、それぞれの閾値を設定した上で 2 値化処理を行い、肌色領域を決定した。この際、H、S および V の閾値はそれぞれ  $6^\circ \sim 28^\circ$ 、 $50\% \sim 100\%$ 、および  $50\% \sim 100\%$  とした。ただし、H の閾値は文献[10]のデータから定め、S および V の閾値は試行錯誤的に定めた。作成された 2 値化処理画像を図 2(d)に示す。なお、切り取り画像に対して肌色検出処理を行うことにより、元画像全体に肌色検出処理を行う場合と比べて処理時間を短縮できる。最後に、図 2(d)における画像(顔認識矩形)の重心座標および肌色領域の重心座標を算出する。ただし、この際用いる座標系は、図 2(e)に示すように設定した。ここで、各重心座標における  $x$  座標の差を  $d_x$  とし、 $W$  で規格化すると

$$d_n = 10000d_x / W \quad (1)$$

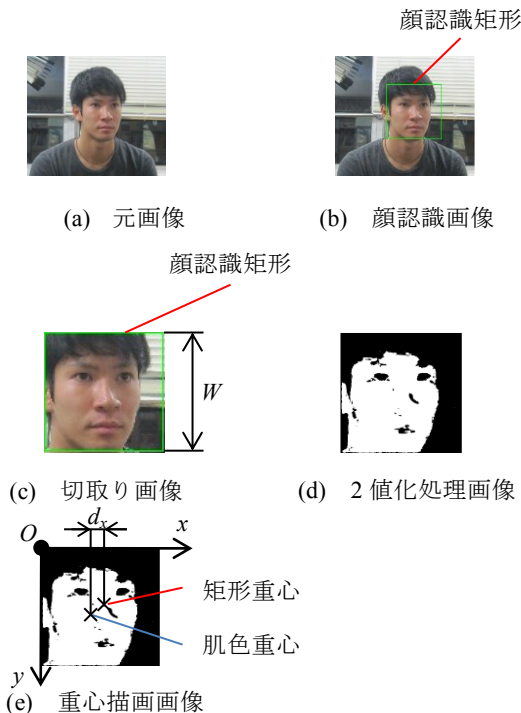


図 2 顔方向推定の手順

が得られる。なお、数値処理の便宜上の理由で 10000 を乗じた。この重心のずれ  $d_n$  を用いれば、聴衆とカメラ間の距離や顔の大きさに関わらず、顔認識矩形と肌色領域の重心のずれを定量化できる。

### 3.2 重心のずれと顔方向の関係

3.1 節で得られる重心のずれ  $d_n$  と顔方向  $\alpha$  を関係づけるキャリブレーションについて述べる。なお、カメラに対する顔の角度を顔方向  $\alpha$  と定義する。

幅  $4k$  のスクリーン上に、 $k$  間隔で 5 つの注視点を設定する。被験者に各注視点を注視させ、その様子をそれぞれ静止画像として取得し、3.1 節で示した手法により、各静止画像から各被験者における重心のずれ  $d_n$  を算出する。なお、聴衆の座席位置、注視位置、スクリーン位置およびカメラ位置の関係から幾何的に各被験者の顔方向  $\alpha$  は算出できる。ただし、被験者には注視点を注視する際は顔自体を注視点に向けるよう指示する。重心のずれ  $d_n$  および顔方向  $\alpha$  の関係をグラフにプロットし、曲線で近似すれば、重心のずれ  $d_n$  と顔方向  $\alpha$  の関係式を導出できる。

### 3.3 スクリーン上での注視位置の推定

3.2 節の手法により得られる重心のずれ  $d_n$  と顔方向  $\alpha$  の関係を用いて、スクリーン上における注視位置を推定する手法について述べる。

スクリーンを注視する聴衆とカメラの位置関係を図 3 とすると、 $l_0$ 、 $l_1$ 、 $\beta$  および  $D$  は座席位置、カメラ位置およびスクリーン位置から算出することが可能な既定値となる。

表 2 正確度および精度

|       | 正確度[m] | 精度[m]      |
|-------|--------|------------|
| 注視点 1 | 0.15   | $\pm 0.15$ |
| 注視点 2 | -0.05  | $\pm 0.27$ |
| 注視点 3 | -0.29  | $\pm 0.14$ |
| 注視点 4 | -0.33  | $\pm 0.12$ |
| 注視点 5 | 0.05   | $\pm 0.12$ |
| 5 点平均 | 0.17   | $\pm 0.16$ |

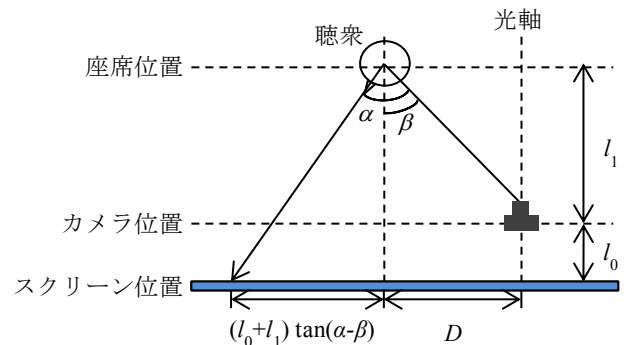


図 3 スクリーンを注視する聴衆とカメラの位置関係

これらの値および 3.2 節で示した手法により得られる顔方向  $\alpha$  を用いれば、幾何的にカメラの光軸とスクリーンの交点から聴衆の注視位置までの距離  $L$  は、

$$L = (l_0 + l_1) \tan(\alpha - \beta) + D \quad (2)$$

となる。

## 4. プレゼンテーション会場における多人数視線推定への適用条件

### 4.1 会場設定

スクリーン位置、座席位置およびカメラの位置を固定し、3 章で示した顔方向推定手法を適用する。想定する会場を図 4 に示す。図に示すように、スクリーン中央を原点とする 2 次元の座標系を設定し、カメラは  $L = 0$  上でスクリーンに近接して設置する。なお、座席の各列とスクリーンは

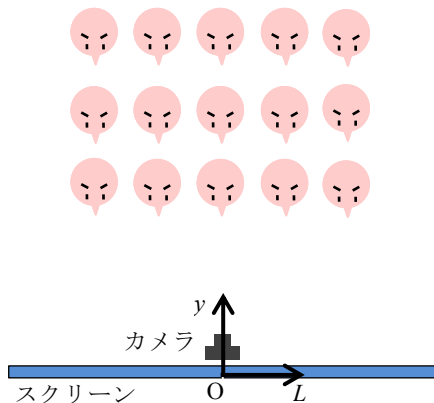


図 4 想定する会場配置

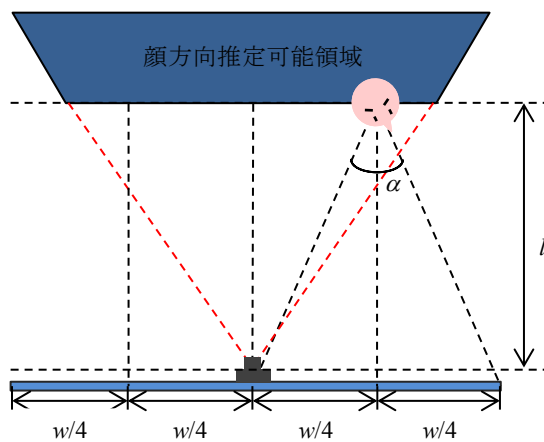


図 5 顔方向推定可能領域

平行である。

### 4.2 顔方向推定可能領域

顔方向推定可能領域の概略を図 5 に示す。OpenCV を用いた顔認識では、カメラに対する顔の角度  $\alpha$  がある値  $\alpha_{\max}$  を超えると顔認識ができない。このため、スクリーンを注視する聴衆の顔の角度を  $-\alpha_{\max} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$  の範囲に収める必要がある。図 5 に示すように、幅  $w$  のスクリーンからの距離が  $l$  でスクリーンに平行な直線上に聴衆が座る場合と想定すると、カメラとスクリーンの端を結ぶ線の垂直二等分線上に座る聴衆が、スクリーンの端を注視する際にカメラに対する顔の角度が最大となる。この最大角度を  $\alpha_{\max}$  以下にするには、カメラから聴衆までの距離を、

$$l_{\min} = w/4 \tan(\alpha_{\max}/2) \quad (3)$$

以上にする必要がある。このため、カメラの最大視野角内で、かつ  $l \geq l_{\min}$  が成り立つ領域では、スクリーンを注視する聴衆全員の顔方向の推定が可能である。

## 5. 多人数顔方向推定実験

### 5.1 実験条件

図 6 に実験会場の様子を模式的に示す。図に示すように 6 人ずつ 2 列に 12 人の被験者を座らせた。スクリーンとカメラ間の距離は 0.15 m、幅 3 m のスクリーンと前列の聴衆間の距離は 5.1 m、聴衆の左右の間隔は 0.58 m、前後の間隔は 1.65 m である。なお、図に示した会場は、4.1 節で示した会場の定義および 4.2 節で示した顔方向推定可能領域の条件を満たしている。なお、スクリーンの幅と顔認識の角度限界  $\alpha_{\max}$  から算出される  $l_{\min}$  は 4.25 m である。

### 5.2 キャリブレーション

図 6 に示すように、1~5 の 5 つの注視点をスクリーン上に 0.75 m 間隔で配置した。ここで、被験者全員に 1, 2, 3, 4, 5 の順に注視点を注視させ、その様子をそれぞれ 1 枚ずつ計 5 枚の静止画像として取得した。なお、静止画像の画素数は、幅が 1920 pixel、高さが 1080 pixel である。つづいて、3.1 節で示した手法を用いて重心のずれ  $d_n$  を算出し、

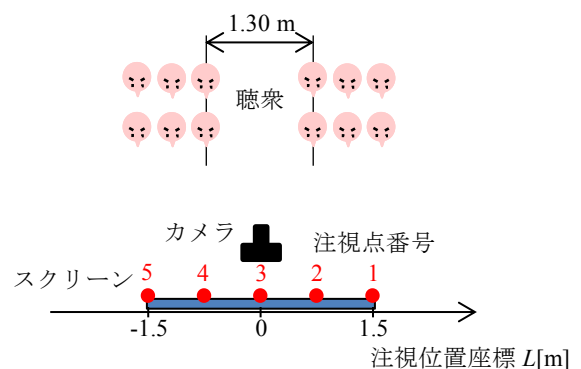


図 6 実験会場

顔方向 $\alpha$ の関係を図7に示す. 重心のずれ $d_n$ と顔方向 $\alpha$ の関係を3次関数により近似すると,

$$d_n = -0.0427\alpha^3 + 0.0505\alpha^2 + 52.2\alpha - 26.9 \quad (4)$$

となり,  $R^2$ 値は $R^2 = 0.7664$ となった. なお, 予備実験により, 顔方向 $\alpha$ の増大に伴って重心のずれ $d_n$ の増加率が小さくなるため, 重心のずれ $d_n$ と顔方向 $\alpha$ の関係は3次関数で近似することが適当であると考えた.

各顔方向 $\alpha$ の標準偏差 $\sigma_\alpha$ は,  $i$ 番目のプロットの重心のずれ $d_n$ を(4)式に代入することにより算出される顔方向 $\alpha_i'$ を用いて,

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i')^2} \quad (5)$$

と表される. (5)式より, 各顔方向の標準偏差 $\sigma_\alpha$ は $\sigma_\alpha = 5.82^\circ$ となった. したがって, 顔方向の推定精度は $\pm 5.82^\circ$ であると言える.

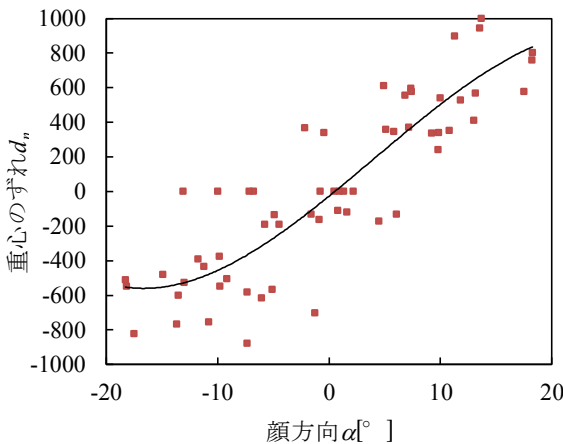


図7 重心のずれ $d_n$ と顔方向 $\alpha$ の関係

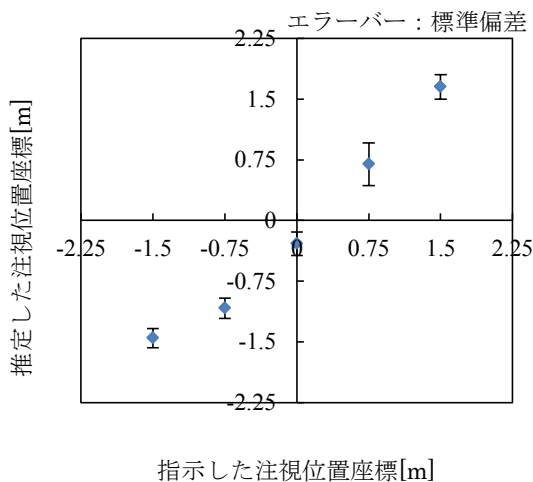


図8 注視位置座標の推定結果

### 5.3 注視位置の推定

被験者全員に1, 2, 3, 4, 5の順で5秒間ずつ各注視点を注視させ, その様子を動画像として取得した. なお, 動画像の画素数は幅が1920 pixel, 高さが1080 pixelであり, フレームレートは27 fpsである. この動画像から重心のずれ $d_n$ を算出し, (4)式を用いて顔方向 $\alpha$ を算出した. さらに, (2)式を用いて顔角度 $\alpha$ から注視位置座標 $L$ を算出した.

被験者12人の注視位置の推定結果を図8に示す. なお, 横軸は指示した注視位置座標, 縦軸は推定した注視位置座標である. 推定した注視位置座標における正確度および精度を表2に示す. 表に示したように12人の被験者における5点平均の精度は $\pm 0.16$  mであり, (5)式を用いて顔方向 $\alpha$ の標準偏差 $\sigma_\alpha$ を算出すると $\sigma_\alpha = 1.66^\circ$ となった. したがって, 12人の顔方向の推定精度は $\pm 1.66^\circ$ であると言える. 12人の顔方向の推定結果をあわせて, 統計的に扱うことにより, 5.2節で示した顔角度の推定精度よりも高い精度が得られることが確認された.

### 6. 注視位置呈示手法

5章で示したように, 提案手法によって少なくとも12人の被験者のスクリーン上での注視位置を推定できた. 本章では推定した注視位置をプレゼンタに直感的にフィードバックする手法を提案する. ここで, 注視位置の推定結果は, 推定手法自体の不確かさと被験者の顔方向の個人差によって図8に示すようにばらつくため, 注視位置座標の平均値とばらつきを以下のように呈示する.

#### 6.1 注視位置の確率分布の導出

5.2節で示したように, 顔方向の標準偏差 $\sigma_\alpha$ は重心のずれ $d_n$ および顔角度 $\alpha$ の関係式を導出したのち, (5)式から算出される. 一般に, 顔方向の標準偏差 $\sigma_\alpha$ と注視位置座標の標準偏差 $\sigma_L$ の関係は,

$$\sigma_L = \sigma_\alpha \times (\partial L / \partial \alpha) \quad (5)$$

であり, 勾配 $\partial L / \partial \alpha$ は(2)式を顔角度 $\alpha$ により微分することで得られ,

$$\partial L / \partial \alpha = (l_0 + l_1) / \cos^2(\alpha - \beta) \quad (6)$$

となる.

ここで, 正規分布における確率密度関数 $f(x)$ は, 平均 $\mu$ および標準偏差 $\sigma$ を用いて,

$$f(x) = (1/(2\pi)^{1/2}) \times \exp(-(x - \mu)^2 / 2\sigma^2) \quad (7)$$

となることを考慮すれば, 本手法における注視位置の確率密度関数 $f(x)$ は, 注視位置座標 $L$ および注視位置における標準偏差 $\sigma_L$ を用いて,

$$f(x) = (1/(2\pi)^{1/2}) \times \exp(-(x - L)^2 / 2\sigma_L^2) \quad (8)$$

と書ける. ただし,  $x$ は図4で示した座標系により定義され, 本研究での $x$ の範囲は $-1.50 \text{ m} \leq x \leq 1.50 \text{ m}$ である.

## 6.2 注視位置呈示手法の提案

5章で推定した注視位置と6.1節で示した確率分布関数を利用して、プレゼンタに対して聴衆の注視位置をフィードバックする手法を以下のように提案する。

まず、画面上にスクリーン幅に相当する横長の矩形領域を準備し黒色に表示する。これに対して、推定された注視位置座標  $L$  に相当する位置に緑色の縦線を呈示する。つぎに、注視位置の推定結果のばらつきを赤色の濃淡として先ほどの画像に重ねて表示することによって、平均位置とのばらつきを同時に呈示することとした。

赤色の濃淡は、6.1節で算出される確率分布の値  $f(x)$  を、RGB 表色系における R 値(0~255)に線形変換することにより決定した。ただし、 $f(x)$  の最大値が R 値の最大値で表示されるように設定した。たとえば、 $n$  人の聴衆の場合、(8)式で算出される値の最大値  $f_{peak}$  は、 $x = L = 0$  として聴衆全員の値を合計することにより、 $f_{peak} = 0.80n$  となる。したがって、 $-1.50 \text{ m} \leq x \leq 1.50 \text{ m}$  の任意の位置  $x$  における  $f(x)$  を R 値  $R(x)$  に変換するための式は、

$$R(x) = 255 / 0.80n \times f(x) \quad (9)$$

となる。

幅 3.00 m のスクリーンを幅 0.01 m の 300 個の短冊状の領域に分割し、(9)式で算出される R 値  $R(x)$  を用いて各領域を塗りつぶすことによって注視位置のばらつきを表現した。

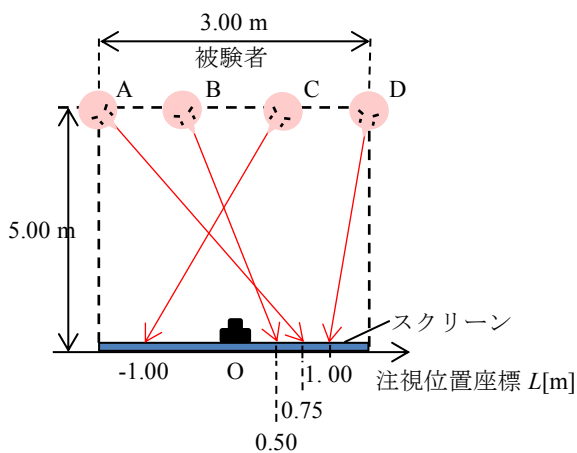


図9 4人の被験者における注視位置推定環境

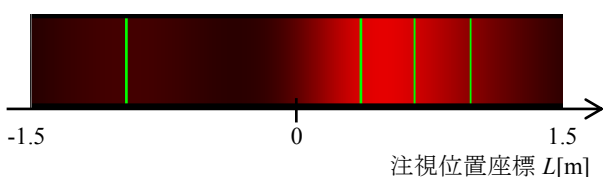


図10 注視位置呈示結果

## 6.3 注視位置呈示手法の検証

6.1節および6.2節に示した注視位置呈示手法の有効性を確認するために、4人の被験者がスクリーン上で異なった位置を注視した場合の例を示す。まず、被験者 A, B, C および D の4人の被験者を図9に示すように配置した。被験者間の間隔は 1.00 m である。つぎに、被験者 A には  $L = 0.75 \text{ m}$ , B には  $L = 0.50 \text{ m}$ , C には  $L = 1.00 \text{ m}$ , D には  $L = -1.00 \text{ m}$  の位置を注視させ、その様子を静止画像として取得した。この静止画像から提案手法を用いて注視位置を推定し、6.1節および6.2節の手法を用いて注視位置を画面上に呈示すると図10のようになる。それぞれの被験者の注視位置が緑線で明確化されるとともに、全体としては  $+0.50 \text{ m}$  付近に注目が集まっている様子が見て取れる。

## 7. 結論

本研究では、視線方向と顔方向が概ね一致するという仮定の下、顔認識処理および肌色検出処理を組み合わせることにより、プレゼンテーションにおける聴衆の視線方向を定量的に取得し、プレゼンタにフィードバックするための多人数視線推定手法を開発した。そして、6人ずつ2列に並んだ12人の被験者を1台のカメラで撮影した画像を用いて顔方向推定実験を行い、同時に12人の顔方向推定が可能であることを示した。さらに、スクリーン上での聴衆の注視位置をプレゼンタにフィードバックする呈示手法として、注視位置の確率分布を色の濃淡を用いて視覚的に表示する手法を提案した。

### 参考文献

- 1) 渡部理恵子: 相手の立場を考えながら、論理的に話す力・主体的に聞く力を育成する指導の工夫-「プレゼンテーション」を取り入れた学習活動を通して-  
[http://www.kyoiku-kensyu.metro.tokyo.jp/information/kenkyuh\\_oukoku\\_kiyou/pdf/ka19/ka19-04.pdf](http://www.kyoiku-kensyu.metro.tokyo.jp/information/kenkyuh_oukoku_kiyou/pdf/ka19/ka19-04.pdf)
- 2) 古賀一男: 眼球運動実験ミニ・ハンドブック, (財)労働科学研究出版社(1998).
- 3) 真鍋宏幸, 福本雅朗: 常時装着インターフェースの実現を目指したイヤホンによる視線検出技術, NTT DOCOMO テクニカルジャーナル, Vol 18, No.3, pp.13-17(2010).
- 4) D.A.Robinson: A method of measuring eye movements using a search coil in a magnetic field, IEEE Transactions in Biomedical Engineering, 10, pp.137-145(1963).
- 5) 稲富昭太, 寺尾直道, 可児一孝, 阿部国臣, 大野隆: 眼底の観察できる新しいハプロスコブ(Fundus Haploscope)について, 臨眼 34, pp.815-819(1980).
- 6) C.A.Hazal and A.W.Johnston: Recording eye movements using coaxial cameras-Applications for visual ergonomics and reading studies, Optometry and Vision ergonomics, 72, pp.679-683(1995).
- 7) 日本視覚学会, 情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 東京(2000).
- 8) 阿部清彦, 大井尚一, 大山実: 強膜反射法を用いた画像解析による視線入力システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.418, pp.47-52(2002).
- 9) 清水祐司: 眼球計測による斜視定量システム  
<http://oshiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/thesis/bachelor/2009/shimizu>

pdf

10) Chai,D: Face segmentation using skin-color map in videophone applications, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Vol.9, Issue.4, pp.551-564(1999).

11) 山川奏明, 坂口豊: 情動解析を目指した視線計測システムの提案, 電気通信大学大学院情報システム学研究科シンポジウム第8回「Sensing and Perception」, pp.127-134(2001).

12) 齋田真也: 各種眼球運動測定方式の比較

<http://www.vision.phys.waseda.ac.jp/vision/koumokuPDF/06kai/setu/E1991.03.02.06.pdf>