

眼の3次元アニメーション表示と視線一致

岸野 文郎・森井 精啓・佐藤 隆宣・鉄谷 信二 (ATR通信システム研究所)

A b s t r a c t

Under the environment of a conversation or a conference, eye movement and gaze provide important information. In this paper, we describe a real-time animation technique to generate blinking and gaze shift, while still considering convergence, using Graphic Workstation. Moreover, we report the experiment results about the feeling of eye contact and the perception of gaze direction when viewers observe this eye animation in 2-D or 3-D display.

1. はじめに

電気通信を用いた人間同士のコミュニケーションとして、音声が主体の電話によるコミュニケーションから、コミュニケーションに必要な視覚情報を用いたテレビ電話、テレビ会議が普及しつつある。しかし、現状の技術では、通常のビジネスでの打合せのように多くの人々が一堂に会して面談会議を行う感覚を再現することは困難である。一堂に会する感覚とは、面談会議で経験するように、会話をしている2人の視線が一致しているのを他の人が確認できたり、また、議長が発言のきっかけを掴みたい人の視線を感じたりすることを言う。筆者らは、「遠隔地にいる人々があたかも一堂に会する感覚で会議を行うことができる通信」を臨場感通信会議と呼び、この会議方式に係わる要素技術の研究を進めている⁽¹⁾。この方式の中で扱う人物

像は、テレビカメラにより撮像した画像を処理し、3次元モデルを生成したCG像を用いる。CGによる人物の視線の動きは、非装着な視線検出装置⁽²⁾を用い、その視線情報を相手側に伝送し、3次元CG像の眼を動かすことによって行われる。すでに、人物の表情を3次元アニメーションで表示する研究が進められているが⁽³⁾、⁽⁴⁾、CGで作成された眼の視線に関する評価は十分になされていない。

本稿では、視線一致の評価のための眼のアニメーション表示として、顔の3次元モデルを生成し、瞼の開閉、眼の輻輳を考慮した視線の変化をワークステーション上でリアルタイムに表示させる手法を述べるとともに、視線一致の評価として、実際の人物における視線と2次元および3次元表示を行ったCG像による視線との比較検討した結果を述べる。

3-Dimensional Eye-Animation Generated by CG, and Evaluation of Eye-Contact
KISHINO Fumio, MORII Kiyohiro, SATO Takanori, TETSUTANI Nobuji (ATR Communication Systems Research Laboratories)

2. 顔・視線の3次元アニメーション

臨場感通信会議におけるCG像表示を用いた視線一致に関する評価のための表示として、以下のモデルを検討した。

2.1 3次元モデルの生成

顔の3次元モデル作成フローを図1に示す。眼の開眼および閉眼両状態について、顔の3次元座標とテクスチャ情報を3次元デジタイザ(サイバーウェア社)を用いて取得する。眼球モデルを作成するために、開眼状態の顔モデルより眼球の直径を求め、眼球を球モデルで近似し、眼球のテクスチャ情報をマッピングする。瞼の開閉を行うために、閉眼状態の顔モデルを用いて、顔のワイヤフレームを瞼の底辺に沿って切開する。瞼を切開した顔モデルを用いて瞼を形成する頂点をマニュアルで移動させて開眼状態を作成する。眼球中心位置は目尻の位置を参照して求め、眼球位置を微調整しながら眼球モデルと瞼を切開した顔モデルの合成を行う。本モデルを用いることにより眼球の輻射変化を実現できる。

2.2 アニメーション表示

2.1で作成した顔、眼球の合成モデルを用いて、瞼の開閉、視線変化のアニメーションを、グラフィックワークステーション(IRIS4D/240VGX)を用いてリアルタイムで表示する。

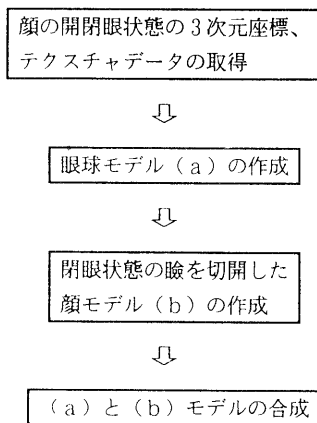
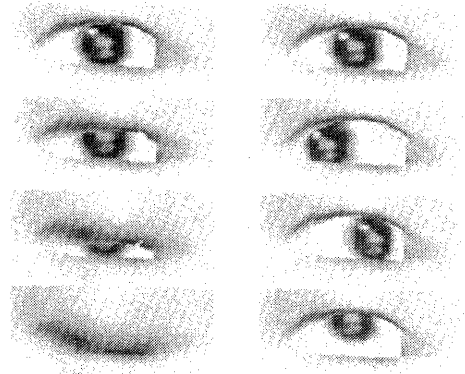


図1 顔の3次元データ作成フロー



(a) 瞼の開閉
(n=3, D=1)

(b) 視線の変化

図2 アニメーション表示

(1) 瞼の開閉

瞼の開閉は、開眼状態と閉眼状態の3次元ワイヤフレームモデルをキーフレームとし、その間を内挿することによりアニメーション表示する。フレーム間の瞼を形成する各頂点のベクトル V_i は次式で表される。

$$\vec{V}_i = m/n \cdot D \cdot \vec{W}_i + \vec{I} \quad (0 \leq m \leq n)$$

但し、キーフレーム間の内挿数を n 、一定時間内に0から n まで変化するフレーム数を m 、閉眼状態と2.1の操作により作成された開眼状態の差分ベクトルを W_i 、閉眼状態の瞼を形成する頂点のベクトルを I とする。 W_i を基準として眼の開閉度を D で設定する。内挿数 n 、開閉度 D と生成モデルの関係例を図2(a)に示す。

(2) 視線の変化

図3に示すように、視線は眼球を理想的な球と仮定して、眼球中心、瞳孔中心、注視点を結ぶ直線とする。注視点を移動させて、視線方向が注視点と一致するように、眼球モデルを回転移動させて視線変化をアニメーション表示した。視線変化を図2(b)に示す。

上記の人物像は、2次元表示だけでなく、液晶シャッター眼鏡を用いた両眼視差による3次元表示も行うことができる。

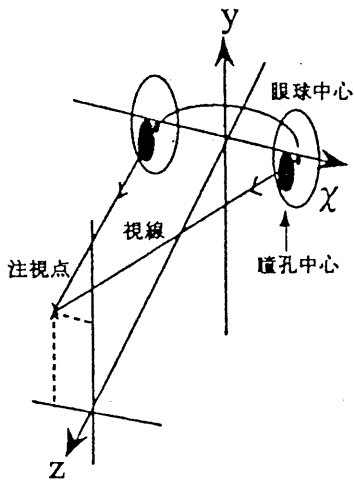


図3 視線と注視点

3. 視線一致の評価

従来のテレビ会議では、対話者の正面にカメラを設置できないため視線一致を行うことができず、自然な会話を行うことができない。この問題を回避するために、各種の視線一致装置が提案されている。ハーフミラーを用いた方法⁽⁵⁾、液晶調光硝子板を用いた光透過制御スクリーンを用いた方法⁽⁶⁾がある。いずれの方法も、テレビカメラで撮像した人物像をディスプレイに映し出すことによって実現されている。筆者らが提案している臨場感通信会議では、3次元モデルからなる人物像を仮想空間に合成し、立体表示でかつ観察者の視点位置に対応した映像を提示する。そのため、実際の会議と同じ条件の下で、視線一致を行うことができる。このような条件下において、実際の人物の視線とCG人物像の視線との差がどのような原因によるものかを検討した。以下に、実験方法ならびに実験結果を述べる。

3.1 実験方法

実験に用いる人物像として、(a)実際の人物、(b)2次元表示による人物像、(c)3次元表示による人物像の3種類を使用する。各人物像に対して、被験者との距離を70cm、150cm および70cmの距離で約35度顔を傾けた人物像（被験者から見て右方向へ）を評価対象とした。これらの距離は、心理学の見地から、距離70cmでは個人的距離、距離150cmでは近い社会的距離に位置づけ

されるものである⁽⁷⁾。実際の人物とCG像は同一人物である。評価カテゴリとしては、表1に示す5段階を用いた。各評価項目に対して2回行い、平均値を評点とした。被験者は、判定開始前は人物上方を見ており、合図とともに人物像の視線を判定する。被験者は、男性2名、女性2名の合計4名である。

表1. カテゴリ

評点	カテゴリー
5	視線を感じる
4	やや視線を感じる
3	分らない
2	やや視線が外れた
1	視線が外れた

(1)実際の人物を用いた場合の実験条件

被験者には、立体用の液晶シャット眼鏡を装着してもらい、3次元表示の観察時と同一条件にした。また、視線移動者の視線位置の視標として、液晶シャット眼鏡に被験者の眼の水平方向に目盛りを付けた。実験風景を図4に示す。

(2)CG像を用いた場合の実験条件

表示装置として、70インチの背面投影型ディスプレイを用い、2.の手法により人物像をスクリーン上に等倍で表示する。顔を表現する表示画素数は、約160画素（水平方向）であり、表情および眼を表現する情報量としては満足している⁽⁸⁾。3次元表示方法とし

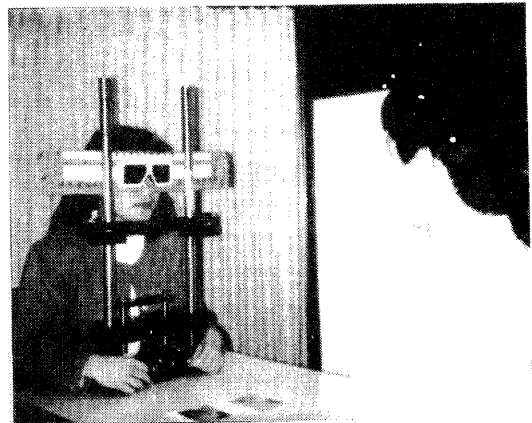


図4 実際の人物を用いた評価実験風景



図5 CG像を用いた評価実験風景

て、液晶シャッター眼鏡を使用する時分割左右画像提示法を用いた。また、人物像の両眼がスクリーン面に位置するように3次元の人物像を設定した。自然感を出すために、約3秒間隔で瞬き（開閉時間は約0.2秒）を行う。眼の輻輳角は、(1)の指標位置と一致させた。実験風景を図5に示す。

3.2 実験結果および考察

(1)実際の人物を用いた評価

実際の人物像における視線一致の実験結果を図6に示す。図中の値0は、被験者の両眼中心を示し、+側は被験者の左側になる。各評価結果は、4人の平均値で表されている。評点4以上の評価では、距離・顔の向きに関係なく、視線一致幅は約8cmとなった。この結果は、映像入力として単眼カメラを用い、正面像のみについて実験を行った従来のテレビ電話の実験結果⁽⁹⁾とほぼ一致した。テレビ電話の実験では、会話をしながら実験を行ったものであるが、本実験とはほぼ同一の結果から、視線一致の判定は会話に関係なく相手の眼の位置情報だけで判断されることが分かる。

図7は、図6の結果を視角度に直して示した結果である。当然、視線一致が距離・顔の向きに依存しないため、遠い距離ほど視角度が小さくなる。文献(9)では、視角度で正規化されているが、視線一致の評価は顔の大きさを考慮した絶対距離で行うべきであると示唆している。

(2)実物と2D、3D表示との比較

実物とCG像を用いた視線一致の結果を図8（正面

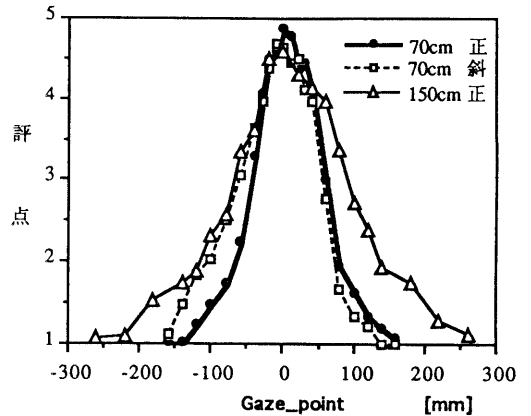


図6 実際の人物における評価

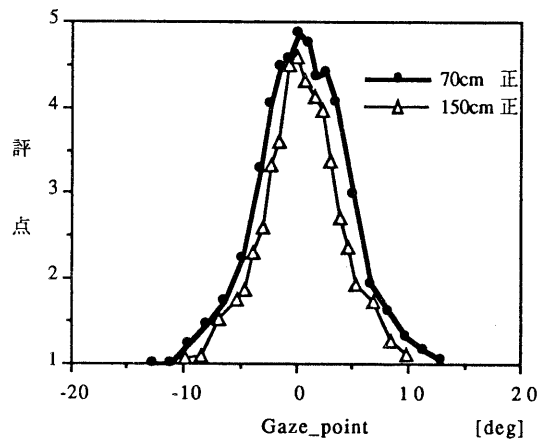


図7 実際の人物における評価
(視角度による表現)

像で距離70cm)、図9（正面像で距離150cm）および図10（斜め像で距離70cm）に示す。図中には、評点4以上の視線一致を感じる範囲を示している。実際の人物を用いた評価では、いずれの場合も大きな個人差はないが、斜めに顔を向けた場合は、視線移動者が被験者に向けた方向に視線一致の評価が偏る傾向がある。実際の人物を用いた評価と2D、3D表示の比較では、正面像で距離70cmの場合、2D、3D表示が多少一側に偏っているが大きな差は見られない。正面像で距離150cmの場合、実物と比べて2D、3Dの視線一致を感じる範囲が広がっている。これは、表示解像度が+

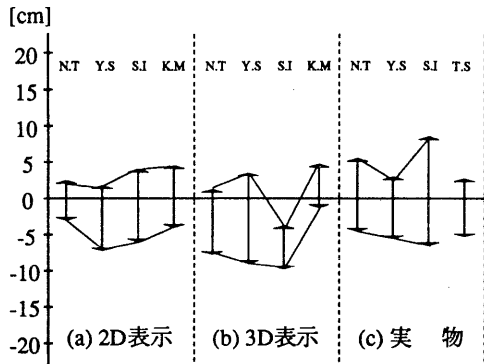


図8 距離70cm, 正面像の評価結果

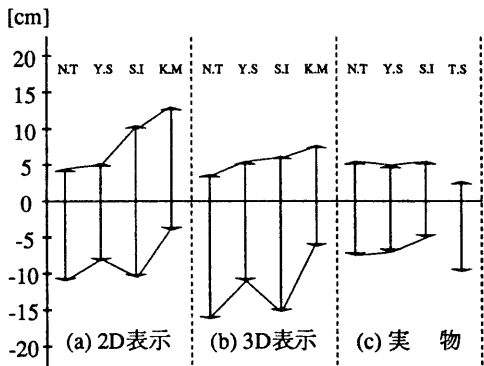


図9 距離150cm, 正面像の評価結果

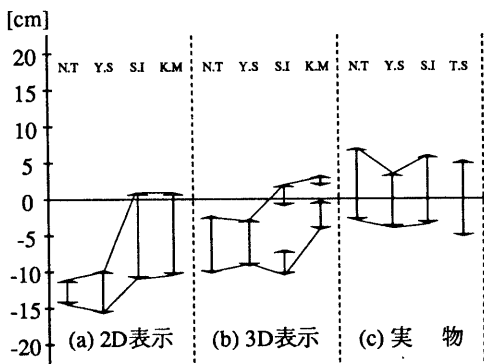


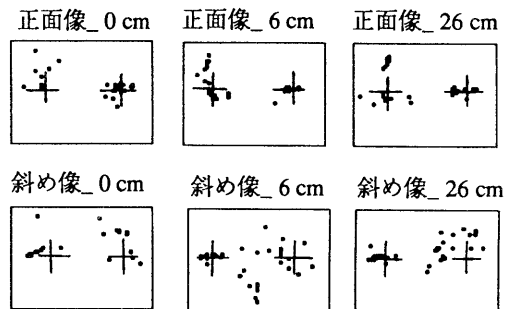
図10 距離70cm, 斜め像(35度)の評価結果

分でないため、細かな方向を判断できないためと考えられる。斜め像の場合、実物と2D, 3D像とでは、逆の方向に視線一致範囲がずれている。この原因としては、CG像の眼球回転と顔の向きとの関係が実際の動きとは異なること、および、斜め像では、正確な判断をするための解像度が正面像の場合よりさらに必要であることが考えられる。また、2Dと3Dとの比較で、3Dの方が実物に近い傾向がある。これは、3Dだと顔の向きが容易に分かり、顔の向きの情報も判断に用いられた結果であると思われる。

(3)視線一致を行う時の眼の動き

視線一致の評価の実験で、少なからず評価の個人差が生じている。特に図10においては、個人差が大きい。視線一致を行う時の被験者は、どのように眼の動きをさせているのかを調べた。視線検出装置として、ASL社:アイトラッキングシステムを用いて測定した。測定結果を図11に示す。図中では、2名の被験者に対して、距離70cmで実際の人物の正面像と斜め像について、視線の位置を0cm(顔の中心)、6cm(顔の端)、26cm(大きく外す)の3視線方向について、約1秒間に20点のサンプリングレートで視線を求めた結果をドットにして表示されている。被験者T. Sは、正面像に対して、視線移動者の左眼を固視するが、右眼方向は広く見る傾向があり、斜め像では近い方の右眼を固視するが、遠い方の左眼はかなり広く見る傾向にあった。被験者Y. Sは、いずれの結果に対してもほぼ両眼を等しく見て、視線方向を判定している。いずれの被験者も、必ず両眼を見て判定している。この結果

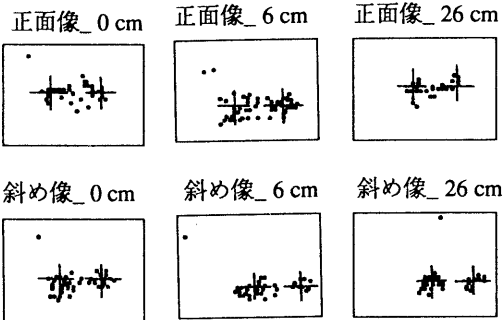
T.S



(図中の+は眼球中心を示している)

図11 視線一致の評価時の視線位置(1)

Y.S



(図中の+は眼球中心を示している)
図11 視線一致の評価時の視線位置(2)

の判定時間は、1～2秒である。但し、図8、9、10の実験の場合で、判定時間に数秒かかることも多かった。

視線一致の判定を被験者が行う場合、視線一致の評価実験を通して、以下の判断が行われていると推測される。

- (1)両眼を見て、三角測量式に視線方向を判定する。
- (2)両眼を見て、視線が合う方の眼で判定する。
- (3)顔の向きを考慮する。

これらの要素が、視線一致の判断の個人差として生じるものと考えられる。また、視線の動きに対して、被験者に好ましい顔写真と好ましくない顔写真を示すと、好ましくない顔に対する停留点が好ましいものより分散しており、男女によって結果が逆転するという報告があり⁽¹⁰⁾、この現象が今回の実験の個人差に全く影響していないとは言いきれない。

本評価実験においては、CG像の眼は瞬きの動作をするが一点を凝視し、また、実際の人物の場合も同様に一点を凝視した条件で評価実験を行った。しかし、人同士が視線を感じる時には、こちらが視線をはずすと相手側もはずし、眼を見ると相手側も見返すフィードバック機能が重要な役割を果たしているように思われる。上記の好き嫌いによる視線の違いも含め、今後心理学的な検討も重要な課題となろう。

4. むすび

視線一致の研究として、リアルタイムで眼球および

瞬きを行うことができるCG像を開発し、このCG像を用いて、視線一致の評価を行った。その結果を以下にまとめる。

- (1)眼球モデルを用い、リアルタイムで眼球および瞬きを行うCG像を開発した。
- (2)視線一致を感じる範囲として、距離および顔の向きに関係なく視線一致幅は、約8cmであった。
- (3)実物を用いた場合と、2D像および3D像とを比較すると、実物の方が評価の個人差が小さい。この原因に対し、表示の解像度および、眼球の回転方法を検討する必要がある。
- (4)2D像と3D像とを比較した場合、3D像を見る場合に顔の向きの情報を判断に用いる分だけ、実像の場合に近い結果が得られた。
- (5)評価の個人差は、被験者の視線を探す眼の挙動が異なることに起因する。

今後は、開発したCG像を用いて、視線の動的状態における視線一致、解像度の関係、輻輳との関係を求め、視線一致の臨場感の把握を行う。

参考文献

- (1)岸野、山下：臨場感通信のテレコンファレンスへの適用，信学会研究会IE89-35，1989
- (2)伴野、岸野：臨場感通信会議におけるヒューマンインタフェース技術，人工知能学会誌 Vol.6, No.3, pp. 358-369, 1991
- (3)金子、小池、羽鳥：テキスト情報に対応した口形状変化を有する顔動画像の合成，信学会論文誌D-II, Vol. J75-D-II, No.2 pp.203-215, 1992
- (4)原島：モナリザの横顔はどんな顔，シンポジウム顔 pp.3-10, 1992
- (5)末武、吉川：視線一致型—小型テレビ電話装置の開発，信学会秋季全大，D-1-38, 1988
- (6)志和、中沢：視線一致型表示装置の表示特性，テレビジョン学会技術報告，Vol.16, No.10, pp.37-42, 1992
- (7)加藤：空間の認知とイメージ，新曜社出版，pp.139
- (8)鑑沢：ヒューマンファクタ，テレビジョン学会誌，Vol.42 No.11, pp.1193-1198, 1988
- (9)佐藤、三浦、永田：映像電話における撮像管の位置に関する検討，昭和42年電気四学会連合大会，講演番号1998, 1967
- (10)岡本：こころの世界，新曜社発行，pp.37-38