

顔ロボットを用いた視線誘導における情動表出の影響

近藤 裕三[†] 橋本 稔[†] 玉津 幸政[‡]

[†] 信州大学繊維学部 〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1

[‡] (株)デンソー 〒448-8611 愛知県刈谷市昭和町 1-1

E-mail: [†] f047021@shinshu-u.ac.jp, hashi@shinshu-u.ac.jp [‡] YUKIMASA_TAMATSU@denso.co.jp

あらまし 本研究では、顔ロボットを用いた人間の視線誘導において、顔ロボットの情動表出が人間の視線移動に与える影響について視線計測実験により検討した。その結果、情動を伴わない表情よりも情動を伴う表情の方が人間の視線移動がより確実になることが分かった。とりわけ、ロボットの驚きの表情が最も大きな視線移動を誘発し、時間遅れも少ないことが分かった。

キーワード 視線誘導, 情動表出, 顔ロボット, ヒューマンインタフェース

INFLUENCE OF EMOTIONAL EXPRESSION IN GAZE GUIDANCE USING A FACE ROBOT

Hiromi KONDOU[†] Minoru HASHIMOTO[‡] and Yukimasa TAMATSU[‡]

[†] Fiber Faculty, Shinshu University 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

[‡] DENSO Co. Ltd. 1-1, Showa-machi, Kariya, Aichi 448-8661, Japan

E-mail: [†] f047021@shinshu-u.ac.jp, hashi@shinshu-u.ac.jp [‡] YUKIMASA_TAMATSU@denso.co.jp

Abstract This paper describes the influence of emotional expression in gaze guidance using a face robot. We conducted the experiments of gaze measurement during the gaze guidance with emotional expression to evaluate the role of emotional expression. The results of the gaze guidance experiments showed that the gaze guidance with emotional expression induces more human gaze movement than that without emotional expression. Specially, the surprise expression has the best performance in the gaze guidance among the six basic emotions.

Keyword *Gaze Guidance, Emotional Expression, Face Robot, Human Interface*

1. 背景

近年、ロボット分野において様々なコミュニケーションロボットが普及してきており、人間の身近で利用されるようになってきた。このようなロボットにおいて人間とロボットのコミュニケーション能力は必要不可欠であり、とりわけ感性的な親和性が重要な役割を果たすものと考えられる。著者らは、感性コミュニケーションの実現を目指して Kamin_FA1(Kansei Mind Robot- Facial Animation No.1)の研究開発を行った[1]。

一方人間の情動表出には、おかれている環境の状況を直感的に相手に知らせる効果がある。例えば、火事に気付いたときの表情や音声に含まれる驚きや恐怖の表出は相手に対して、事態の重大性と緊急性を知らせる。これにより、相手の視線を素早く確実に火元に誘導し、的確な対応を促す効果があるものと考えられる。また、ドライバーは、周囲の環境変化を全て把握しながら運転することは困難で、時には注意不足から危険な事態に陥ることもある。そのような場合、同乗者の情動を伴う表出によって視線を移動し、危険を回避できる場合も少なくない。こうした人間の情動表出

をロボットで実現できれば、介護施設、病院、車内などで、ロボットが人間に危険を素早く知らせる一つの方法になるのではないかと考えられる。

そこで、本研究ではロボットの情動表出を伴う視線誘導が人間の視線移動にどのような役割を果たすかについて明らかにすることを目的とする。具体的には顔ロボット Kamin_FA1を用いて、人間の視線移動へのロボットの情動表出の効果を研究する。

本研究では人間の視線誘導のために、ロボットと人間の共同注意を用いる。共同注意とは、複数の固体が相手の視線を追って相手の見ている対象を見ることであり、様々な対象を他者と共有する行動のことである。これは、人間の認知発達のプロセスにおいて、重要な役割を果たしていると言われており、人間は乳児のころから共同注意により未知の対象や他者の理解を行っている。したがって、相手の視線や顔の向きに注意を向けるという行為は、無意識的、自動的に生成されるものと思われる。

そこで本研究では、情報の提示方法の一つとして、ロボットと人間の共同注視を用いて、人間の視線を自然に誘導すると同時に、ロボットに情動表出を付加す

る。これにより、その緊急性や重要性を示し、より確実な視線誘導を促す方法について検討する。

ロボットと人間の共同注視に関する多くの研究が行われてきた（例えば [2], [3]）。しかし、これらは人間が注視している物体をロボットが人間の視線や顔の向きから探し出すといったものや、顔追跡機能によってアイコンタクトが成立したかのような印象を被験者に与えるものである。また、ロボットからの視線誘導に関する研究としては大澤らの研究[4]があるが、この研究は目玉を表示できるディスプレイロボットを物体に取り付けることにより物体を擬人化させようとしたもので、情動表出を伴った視線誘導については検討していない。以上のように情動表出を伴ったロボットによる視線誘導に関する研究は行われていない。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では実験に用いる顔ロボットの情動表出と視線制御法についてまとめる。第3章では情動を伴う視線誘導の実験について述べる。そして第4章にて本研究の結言を述べる。

2. 顔ロボットの情動表出と視線制御

2.1 顔ロボット

ロボットの表情表出の研究は、機構や平面画像を用いて行われることが多い。しかし、機構を用いた場合には表出できる表情が制限され、平面画像を用いた場合には身体との整合性がとれないという問題点があった。それらの問題点を解決するために著者らは曲面画像表示システムを用いた顔ロボット Kamin_FA1 を開発した[1]。このロボットは、表情画像をドーム型スクリーンに投影する方法を用い、画像のフレキシビリティと身体との整合性を統合することができる。

Kamin_FA1 は表情表出部と首機構によって構成される。その構造と外観を図1に示す。本システムは顔ロボットの顔部にドーム型スクリーンが用いられている。顔部内にあるプロジェクターによって顔画像がスクリーンへと投影される。短距離で球面上へ焦点を合わせる為に、プロジェクターの先に魚眼レンズを取り付けた。スクリーンには直径 250[mm] のアクリルドームを使用した。背面投影が可能となるように乳白半透明色のものを使用した。システム全体の高さは 530[mm] である。

首機構は、人間と同程度の頭部運動を実現できるように、前後・左右・回転、そしてあごの上下の4自由度を設けている。滑らかな動作を実現するために、ハーモニックドライブギヤの付いたDCサーボモータを4個用いた。また、下二つのモータを協調動作させる事で前後左右の動きを実現する平行リンク機構を採用している。これらの協調動作することにより、一つのモータにかかる負担を軽減できる。上から二つ目のモータにタイミングベルトを用いる事で首全体の高さを抑えている。可動範囲は、あごを上げる動作が

50[deg]、あごを下げる動作が 30[deg]、首の回転が左右に 90[deg]、首の前後左右への傾斜動作が各 30[deg] となった。

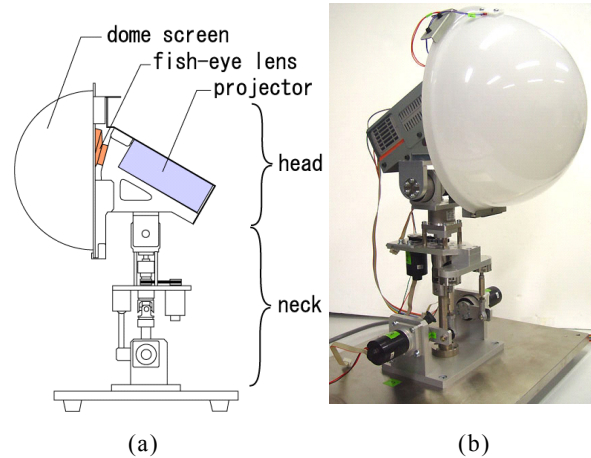


図1 顔ロボットKamin_FA1の構造と外観

2.2 顔画像

顔画像は顔モデルを使用して、モデルパラメータを更新することによりアニメーションで表情表出を行う。直線・ベジェ曲線・円で構成される図形を組み合わせてモデルを作成した。直線は始点と終点、ベジェ曲線は4点を指定することで作成可能であり、それらのパラメータによってモデルは表現される。また、各図形の色や線の太さも数値で指定可能であり、幅広い表現が可能である。アニメーションはモデルのパラメータを変化させることで表示することにより実現できる。

2.3 頭部運動制御

頭部運動を姿勢 $\mathbf{g} = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)^T$ で表す。ここで図2に示すように頭部前方を基準姿勢における x 軸、左方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とする。 z 軸回りの回転角度を α 、 y 軸回りの回転角度を β 、 x 軸回りの回転角度を γ 、そしてあごの角度を δ とする。

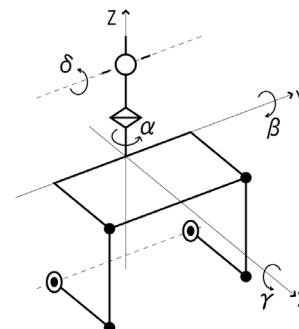


図2 首機構

2.4 視線制御

ロボットの視線を制御するための虹彩位置の決定方法について述べる．図3に，基準座標系 Σ_0 ，眼球座標系 Σ_6 と視線対象点の関係を示した．基準座標系はロボットの台座に固定されており，眼球座標系は頭部に固定されている．ここで，基準座標系で表した視線対象点の位置ベクトルを ${}^0\mathbf{m}$ ，眼球座標系で表した視線対象点の位置ベクトルを ${}^6\mathbf{m}$ とする．いま，基準座標系から眼球座標系への同次変換行列を ${}^6\mathbf{T}_0$ とすると，次式が成り立つ．

$${}^6\mathbf{m} = {}^6\mathbf{T}_0 {}^0\mathbf{m} \quad (1)$$

算出された ${}^6\mathbf{m}$ と半径 r の仮想眼球との交点の位置ベクトルを ${}^6\mathbf{s}$ とすると ${}^6\mathbf{s}$ は眼球座標系での虹彩の位置になり，次式で表される．

$${}^6\mathbf{s} = \frac{r}{\|{}^6\mathbf{m}\|} {}^6\mathbf{m} \quad (2)$$

${}^6\mathbf{s}$ を画像平面上で表す際に X_6 方向への移動は考慮せず，眼球中心から Z_6 方向へ， Y_6 方向への移動のみに基づいて虹彩位置を決定した．同次変換行列 ${}^6\mathbf{T}_0$ は，首機構の各関節の角度を計測し，運動学を用いて実時間で計算する．

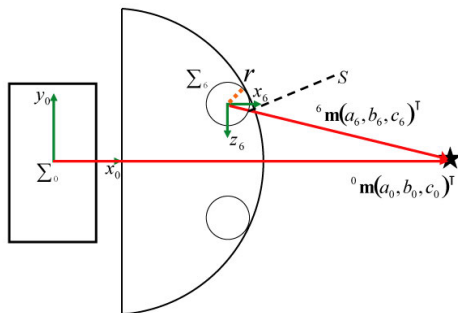


図3 虹彩の位置の決定

3. 視線誘導実験

顔ロボット Kamin_FA1 による視線誘導において情動表出がどのような役割を果たすかを明らかにするために，次の仮説を視線誘導実験により検討する．

- (1) 眼球運動と頭部運動を組み合わせたロボットの運動制御により人間の視線を誘導した場合に，眼球運動のみ，または頭部運動のみの場合よりも効果的な視線誘導ができる．
- (2) 情動を伴わない表情よりも情動を伴った表情の方が効果的な視線誘導ができる．

上記の仮説を立証するために次の実験を行う．実験1では情動を伴わない視線誘導において，ロボットの制御法を眼球運動のみ，頭部運動のみ，眼球運動と頭部運動を用いた場合の3種類で実施し，視線誘導への効果を調べる．実験2ではまず，Kamin_FA1 の情動を伴う表情を作成するために情動表出と顔画像との関係を心理実験により明らかにする．そして，その結果を用いて視線誘導実験を行い，情動表出の効果を検討する．

3.1 視線誘導実験の方法

Kamin_FA1 と被験者の距離は 1.5[m] とした．また，Kamin_FA1 が視線移動した方向にマーカーを設置した．マーカーは直径 2[cm] の白球で，発泡スチロールでできている．また，実験風景を図4に示す．実験環境は暗幕で覆った部屋とする．

Kamin_FA1 の頭部運動は鉛直軸回りに 25[deg] もしくは -25[deg] 回転させるように制御した．頭部の運動速度は 25[deg/s] とした．眼球運動による視線移動角は，25[deg] もしくは -25[deg] とした．視線先の遠方を見るような制御となっている．Kamin_FA1 が視線を逸らす際の眼球運動の速さは 500[deg/s] とした．これは人間のサッカド(衝動性眼球運動)と同程度の速さである[5]．

視線を計測する試料として(株)ナック社製の EMR-8B を用いた．EMR-8B は頭部に装着するタイプのアイカメラであり，角膜反射方式の眼球運動検出方式を採用している．頭部には 1/4 インチ(25 万画素)の CCD 素子を固定視野カメラに搭載したカメラがある．このカメラ装置で実験環境を撮影し，アイカメラで視野移動を計測する．

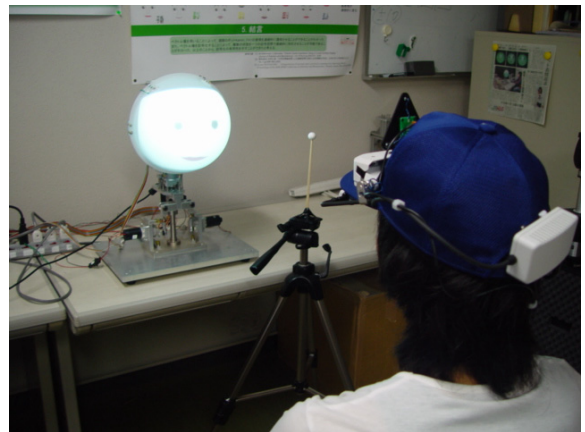


図4 実験風景

3.2 実験1

実験1では仮説(1)を検証することを目的とする．Kamin_FA1 の動かし方は眼球運動のみ，頭部運動のみ，眼球運動と頭部運動を組み合わせた動きの3種類で行った．被験者は各試料 10 人で計 30 人とし，全て別の被験者で行った．Kamin_FA1 の視線移動の様子を図5に示す．

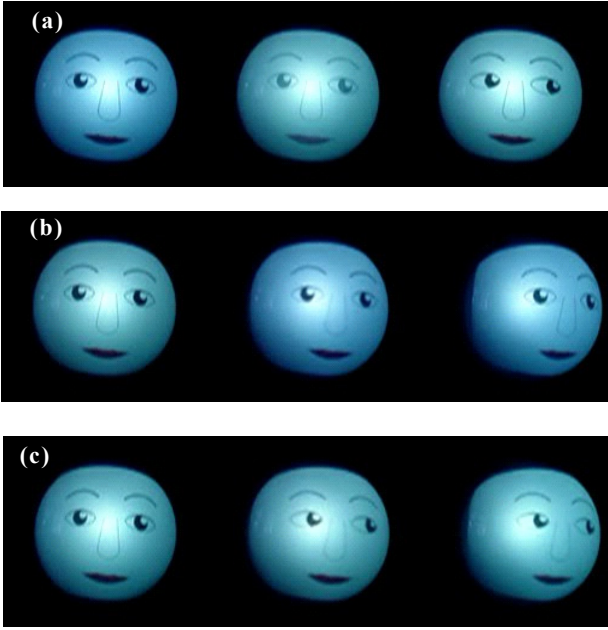


図5 顔ロボットの視線移動. (a)眼球運動のみ, (b)頭部運動のみ, (c)眼球運動と頭部運動

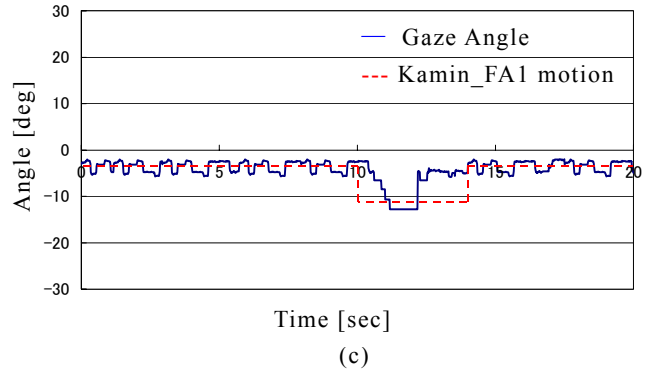
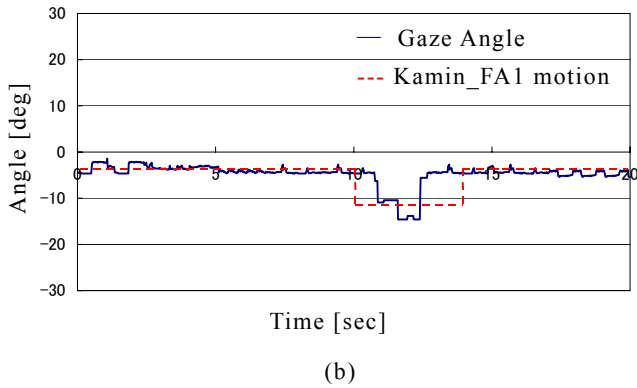
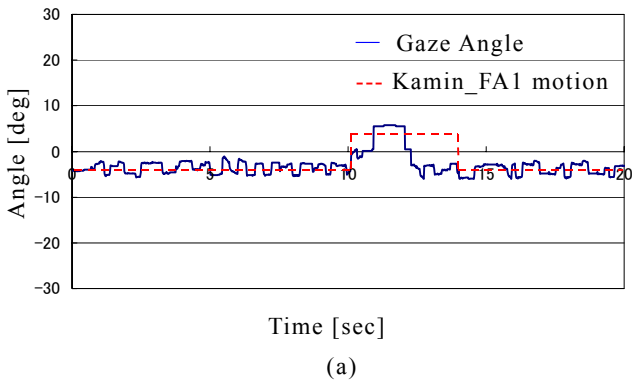


図6 被験者の視線の時間変化. (a)眼球運動のみ, (b)頭部運動のみ(c)眼球運動と頭部運動を組み合わせた動き

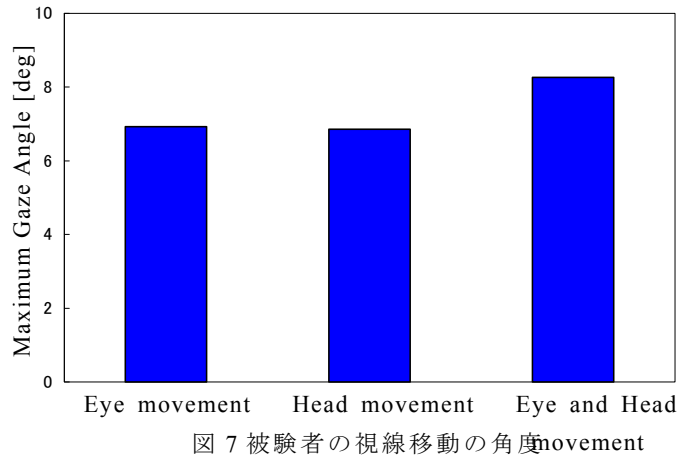


図7 被験者の視線移動の角度

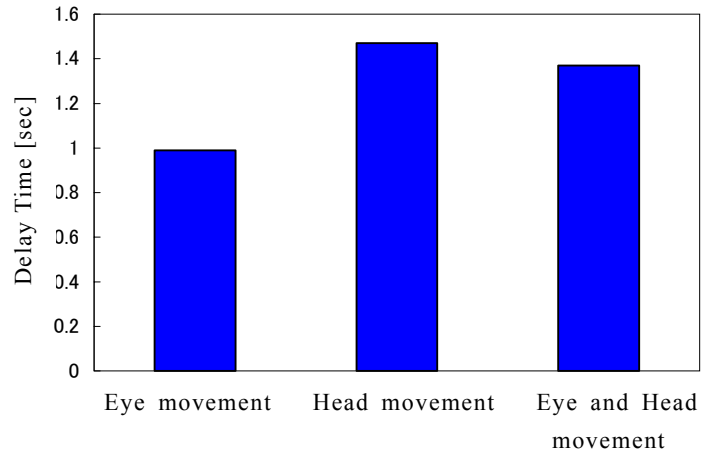


図8 被験者の視線移動の遅れ時間

実験1の結果を図6～図8に示す. 図6は実験1の3種類の方法で視線誘導を行った時の一人の被験者の視線移動の結果である. 実線は被験者の視線の動きを表し, 破線は Kamin_FA1 の動きを示す. Kamin_FA1 の運動に伴って, 被験者の視線が移動していることが分かる. 図7は被験者の視線移動角の最大値の平均を示したものである. 図8は Kamin_FA1 が視線を変えてから被験者が最大の視線角になるまでの遅れ時間の平均

値を示したものである。図7を見ると眼球運動と頭部運動を組み合わせた動きが被験者の視線移動角を最も大きくすることが分かる。このことは、眼球運動と頭部運動を組み合わせることにより、眼球運動のみ、頭部運動のみの場合よりも、確実に視線誘導ができることを示している。図8を見ると Kamin_FA1 が眼球運動のみで視線誘導を行った時が、被験者の視線を早く移動させることが分かる。これは、Kamin_FA1 の眼球運動の速度が、頭部運動の速度よりも速いためであると考えられ、被験者の視線移動が Kamin_FA1 の視線移動に引き込まれているためであると思われる。しかし、これらの結果には、有意な差はなかった。

以上のことから、実験2では Kamin_FA1 の眼球運動と頭部運動を組み合わせることで視線誘導を行うこととした。

3.3 実験2の予備実験

実験2を行う前に Kamin_FA1 の情動を伴う表情を作成するため、基本六感情を表すと考えられる実験者が作成した10個の表情について、情動表出の点からそれぞれ評価を行った。作成した表情については図8に示す。顔の表情作成にあたっては P.Ekman の FACS (Facial Action Coding System) [6]に基づき作成した。心理評価で用いた情動の種類は怒り・驚き・喜び・恐れ・嫌悪・悲しみの六感情と平静とその他(どれにもあてはまらない)の8種類である。被験者は20人で、Kamin_FA1により、図9の10種類の表情を提示し、被験者に8種類のどの情動に相当するか回答させた。その際、被験者への表情の提示の順番をランダムに変更した。

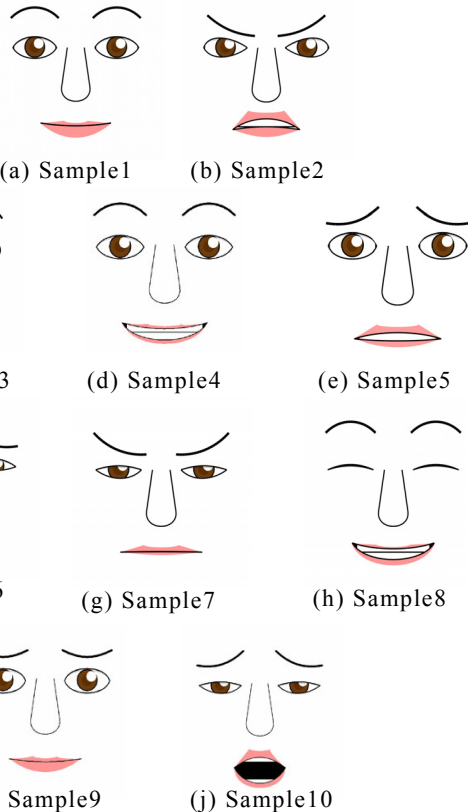


図9 Kamin_FA1の表情のサンプル

表1:実験者の提示と被験者の回答

	Answers							
	Normal	Angry	Surprise	Joy	Fear	Disgust	Sad	Others
Sample1	20	-	-	-	-	-	-	-
Sample2	-	20	-	-	-	-	-	-
Sample3	-	-	20	-	-	-	-	-
Sample4	-	-	-	20	-	-	-	-
Sample5	-	-	-	-	17	2	1	-
Sample6	-	3	-	-	2	14	-	1
Sample7	-	-	-	-	-	4	15	1
Sample8	-	-	-	18	-	-	-	2
Sample9	1	-	-	-	4	4	9	2
Sample10	-	-	-	-	7	4	9	-

実験2の予備実験の結果を表1に示した。正答率の高い Sample1~Sample7 を用いることとした。実験2で用いる Kamin_FA1 の表情は、平静: Sample1, 喜び: Sample4, 怒り: Sample2, 驚き: Sample3, 悲しみ: Sample7, 恐れ: Sample5, 嫌悪: Sample6 とすることとした。

3.4 実験2

実験2では仮説(2)を検証することを目的とする。Kamin_FA1 の表情は予備実験の結果を用いた。被験者は30人とし、実験1を行った被験者は含めなかった。情動の提示の順序は被験者ごとにランダムに変更した。

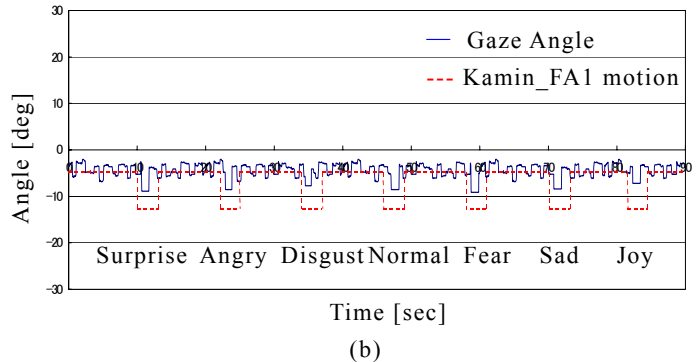
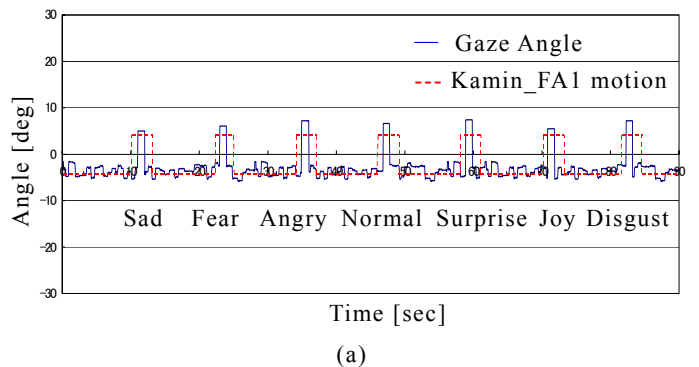


図10 被験者の視線移動。(a) 悲→恐→怒→平→驚→喜→嫌の順で提示 (b) 驚→怒→嫌→平→恐→悲→喜の順で提示

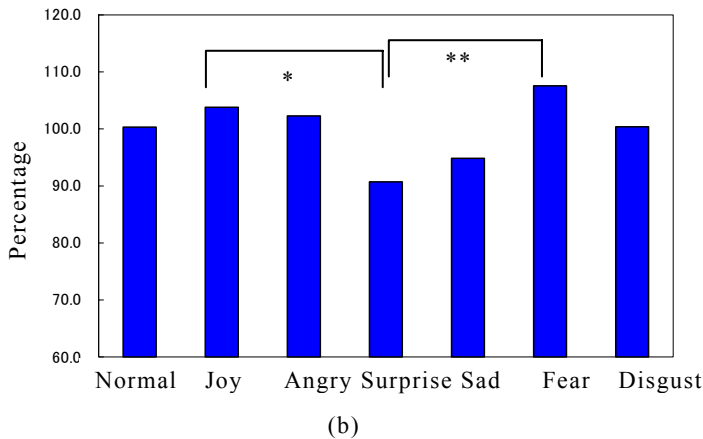
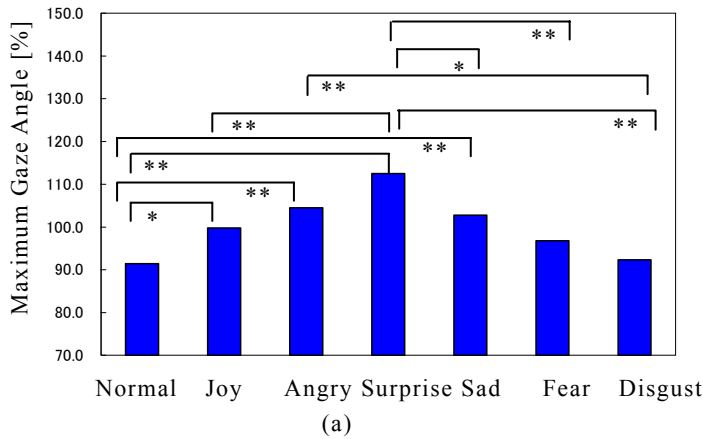


図 11 視線誘導実験の結果。(a) 被験者の視線移動角の平均値[%], (b) 被験者の視線移動の遅れ時間の平均値[%]

実験 2 の結果を図 10 と図 11 に示した。図 10 の(a) と(b)は 2 人の被験者の視線移動の様子を示している。実線は被験者の視線の動きを表し、破線は Kamin_FA1 の動きを示す。(a)は全ての表情で大きな視線移動が発生しているが、(b)ではわずかな視線移動しか生じていない。表出された情動の違いにより、視線移動の大きさが異なることが分かる。表出表情の視線移動へ与える影響を明らかにするために、表情による視線移動の違いを評価した。図 11 (a)では Kamin_FA1 が視線誘導を行っている間で最も大きな被験者の視線移動角を求めた。被験者ごとに最大視線移動量の 7 種類の表情に対する平均値を計算し、その平均値からの変動分を百分率で示したものである。図 11(b)では Kamin_FA1 が視線誘導を始めてから被験者の視線移動が始まるまでの遅れ時間を求め、7 種類の表情の平均値を計算した。その平均値からの変動を百分率で示した。(a)では大きな値ものほど大きな視線移動が発生したことを表し、(b)では小さな値のものほど視線移動が早く起こったことを表している。**は 1%有意差を表しており、*は 5%有意差を表している。情動を伴わない表情(平静)と

情動を伴う表情(基本六感情)で比べてみると、(a)では平静と怒り、平静と驚き、平静と悲しみの間に 1%有意差がみられ、平静と喜びの間に 5%有意差がみられた。また平静の百分率が一番低かった。このことから、Kamin_FA1 の表出において、平静よりも情動を伴ったほうがより確実に視線誘導ができることが分かる。また、驚きの表情が視線誘導に最も効果的であることが分かる。(b)では、驚きの表情の場合が、視線移動の遅れ時間が小さいことが分かる。以上のことから情動を伴わない表情よりも情動を伴う表情の方が視線誘導されやすく、また、驚きの場合に視線移動の遅れ時間が小さくなることが分かった。

4. 結言

本研究では、顔ロボットを用いた人間の視線誘導について研究を行った。顔ロボットの視線移動や情動表出が人間の視線誘導にどのような影響を与えるかを検討した。その結果、ロボットの眼球運動と頭部運動を組み合わせた動きが視線誘導に効果的であることが分かった。また、情動を伴わない表情よりも情動を伴う表情の方がより大きな視線移動が実現できることが分かった。とりわけ、ロボットの驚きの表情が、最も大きな視線移動を誘発し、時間遅れも少ないことが分かった。

5. 参考文献

- [1] M. Hashimoto and D. Morooka, "Robotic Facial Expression Using a Curved Surface Display," *Journal of Robotics and Mechatronics*, 18, 4, 504-510, 2006.
- [2] 陳彬, 目黒光彦, 金子正秀: ユーザとロボットとのインタラクションにおける共同注意の形成手法; 情報科学技術フォーラム (FIT2002) 講演論文集, 第 3 分冊, K-22, pp. 411-412, 2002.
- [3] 森田章生, 吉川 雄一郎, 細田耕, 長井志江, 浅田稔: 自己組織化マップによる共同注意の学習速度の向上; 第 21 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3B34, 2003.
- [4] 大澤博隆, 向井淳, 今井倫太: ディスプレイロボットを利用した物体の擬人化; 人工知能学会第 20 回全国大会 (JSAI2006), 3F3-2, 2006.
- [5] 大山正, 今井省吾, 和気典二 編: 新編 感覚・視覚心理学ハンドブック, 誠信書房, p853
- [6] P.Ekman and W.V.Friesen: *Facial Action Coding Consulting*, Psychologist Press, 1977.