

# 眼球ロボットにより視線を提示するスクリーンの開発

## Development of the Screen with Robot Eyes Showing an Operator's Gaze

岡島 知也<sup>\*1</sup>  
Tomoya Okajima

田中 一晶<sup>\*2\*3</sup>  
Kazuaki Tanaka

中西 英之<sup>\*2</sup>  
Hideyuki Nakanishi

<sup>\*1</sup> 大阪大学工学部応用理工学科  
Department of Mechanical Engineering, Osaka University

<sup>\*2</sup> 大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻  
Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University

<sup>\*3</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
CREST, Japan Science and Technology Agency

Various remote control robots with eyes are being developed now. They reproduce eye movements which are important for communication. However it is not yet apparent whether gazes the robot generated are felt like that an operator did. We focused on the conformity of the robot's eye movements with the operator's video. We developed a telepresence system compositing the video of the operator in the distance and the robot eyes showing the operator's gazes on a elastic screen. With this system, we got a prospect that the gazes the robot generated are felt like that the operator did.

### 1. はじめに

ソーシャルテレプレゼンスとは、遠隔地にいる対話相手とあたかも実際に対面しているように感じる感覚のことである[Finn 1997]. 遠隔地間での対人コミュニケーションにおいて、音声のみの対話と比較して、遠隔操作ロボットにより身体動作を伝達した場合に、話者のソーシャルテレプレゼンスが強化されることが分かっている[Sakamoto 07] [Tanaka 2013]. また、遠隔話者の映像と物理的なロボットとを組み合わせたデザインのテレプレゼンスシステムの開発も行われており、中西らは握手用ロボットハンドを備えたシステムにより身体接触の提示、及びソーシャルテレプレゼンスの強化に成功している[Nakanishi 2014].

また、コミュニケーションに必要とされる眼球動作を物理的に再現する様々なデザインのロボットが開発されており[Breazeal 2001][Miwa 2004], ロボットの生成した視線は、見られている感覚を人に与えることが分かっている[Yoshikawa 2006]. 三澤らはLiveMask[Misawa 2012]において、話者映像提示を行う立体顔形状スクリーンとロボットとの組み合わせにより話者の視線方向を物理的に提示し、視線方向の明確化と、モノリザ効果[Edlund 2011]の抑制に成功している. このように、円滑な遠隔対人コミュニケーションを実現するに当たり、物理的な眼球動作の提示は有効な手段であるといえる.

しかしながら、ロボットの生成した眼球動作が人のもののように感じられる要因は未だ明らかになっていない. 我々は、ロボットの動作と話者映像との整合性に着目し、眼球ロボットと話者映像とを合成して提示する方法により、眼球ロボットが生成した眼球動作を、より対話相手の眼球動きのように感じるかどうか検証を行った. 実験を行うに際して、視線提示を行う眼球ロボットと話者映像とをスクリーン上で合成して提示するデザインのテレプレゼンスシステムを開発した.

### 2. システムの開発

#### 2.1 システムの概要

眼球ロボットと話者映像とを合成するにあたり、眼球ロボットの外観、動きの自然さ及び合成の自然さが求められる. 図 1, 2 に示すように、われわれが開発したシステムでは、眼球動作を提示する眼球ロボットの前面に伸縮性スクリーンを張り、そこへプロジェクタによって話者映像を前面より投影することで、合成を実現している. システムを構成する各部分について以下に示す.

##### (1) 眼球部分

半球形の義眼部品を用いており、左右眼球が独立にそれぞれヨー方向に 1 自由度回転、また、両眼球で同期してピッチ方向に 1 自由度回転する. また、ロボット全体が首に相当する関節によりロール方向に 1 自由度回転する. また、スクリーンと比較して眼球部分が暗く見えるのを防ぐため、背面に設置した白色 LED の光が若干透過するようになっている.

##### (2) 瞼部分

1 自由度回転により瞼の開閉運動を行う. 瞬きの提示と、目の開き具合の調節による視線方向の提示の補助を行う. 瞬きの機構はモータとばねを組み合わせしており、自然で素早い動作を行う.

##### (3) スクリーン部分

白色のストレッチフォームを用いることで、伸縮性のあるスクリーンとなっている. これにより瞼の開閉、眼球ロボットの移動を行うことができ、また皺による映像の歪みの発生を防ぐことができる.

#### 2.2 操作方法

視線方向の提示はキーボード操作により行い、実験中はあらかじめ設定した方向を向く. これは後述の Telenoid[Ogawa 2011]の操作においても同様である. また、瞬きと、固視微動の再現としての眼球微小振動とをランダムに自動で行っている.

### 3. 実験

開発したテレプレゼンスシステムを用いて、眼球ロボットと話者映像との整合性の差が、ロボットの再現した眼球動作を人のもののように感じる感覚に与える影響を検証した。実験タスクは、システムを介して遠隔話者と向かい合うように被験者が着席し、話者が机の上に置かれたぬいぐるみを視線で示しながら説明するというものである。約 1:30 間の会話中、話者はぬいぐるみの方向に 8 回、視線をそらす動作として右上方向に 2 回視線を向け、その合間には被験者の方向に視線を向けている。システムの改善を 3 段階に分けて行ったため、それぞれの段階で被験者内実験を行った。段階ごとにそれぞれ実験 1, 2, 3 とする。改善の内容は結果の項で述べる。被験者はすべて大学生であり、実験 1:5 人、実験 2:7 人、実験 3:3 人である。

#### 3.1 仮説

話者映像との整合性が高ければ眼球ロボットの提示する眼球動作の信憑性も高くなると考え、次のような仮説を立てた。

仮説:眼球ロボットと話者映像との整合性が高いほど、ロボットによって再現された眼球動作はより人のもののように感じられる。

#### 3.2 実験条件

仮説を実証するために、眼球ロボットと話者映像との整合性の要因について 3 水準を設定し、以下の 3 条件を用意した(図 3, 4, 5)。

- スクリーン+眼球ロボット条件  
スクリーンにより話者映像を提示すると同時に眼球ロボットによって視線の提示を行う。
- ディスプレイ条件  
一般的なビデオ会議と同様に、ディスプレイによって話者映像を提示する。

- ヒューマノイドロボット条件  
話者の映像を提示せず、ロボットの眼球による視線の提示のみを行う。ヒューマノイドロボットとして Telenoid を用いており、眼球動作と首のロール回転を提示する。

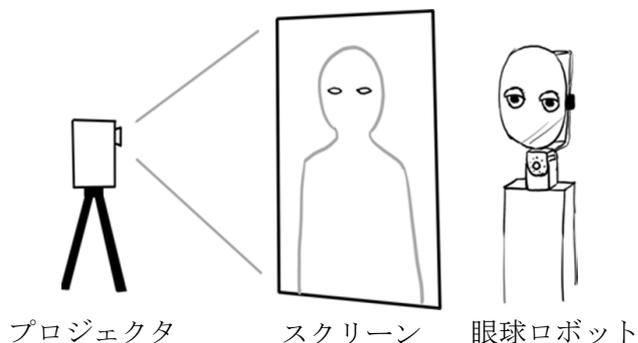


図 1 システム概要

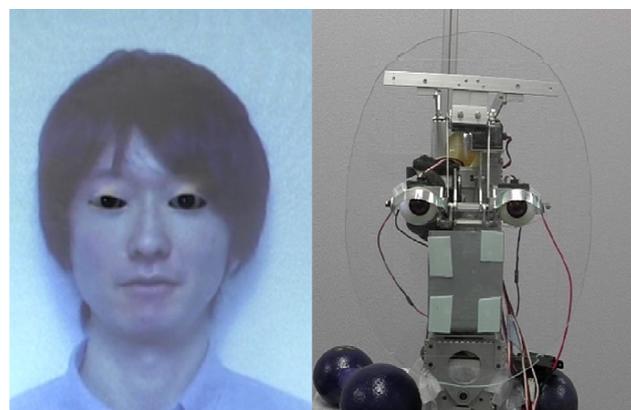


図 2 システム外観(左)と内部構造(右)



図 3 スクリーン+眼球ロボット条件



図 4 ディスプレイ条件



図 5 ヒューマノイドロボット条件

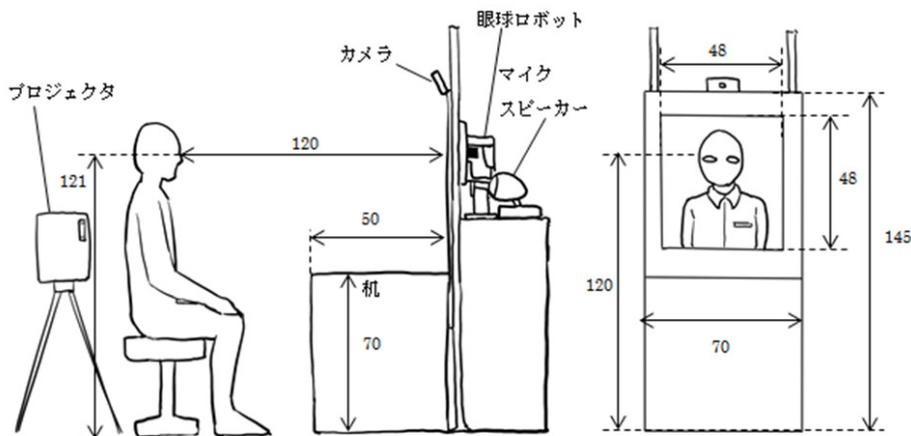


図 6 実験環境(スクリーン+眼球ロボット条件)(単位:cm)

### 3.3 実験環境

実験環境についてスクリーン+眼球ロボット条件の例を図6に示す。各寸法は各条件で同じである。実験者と被験者はそれぞれ別の部屋に居り、被験者は机を挟んで、スクリーン、あるいはディスプレイ、ヒューマノイドロボットと対面して着席する。スクリーン及びディスプレイには、カメラで撮影した実験者の胸から上の映像が表示される。ただし、スクリーンの映像はプロジェクタを用いて前面から投影される。また、両者はそれぞれの部屋に設置されたマイクとスピーカーによって、音声通話ソフトを介して会話をすることができる。被験者側のスピーカーは、実験者の映像、あるいはヒューマノイドロボットの方向と音声の方向とを一致させるため、スクリーン、ディスプレイ、あるいはヒューマノイドロボットの背後に設置した。また、スクリーン及びディスプレイの周囲には枠を取り付けてあり、被験者から見える画面の範囲は $48 \times 48$ [cm]である。この範囲での解像度は $1080 \times 1080$ [pixel]とした。表示される実験者の映像は、床から眼球部分までの高さが $120$ cm、頭部(頭頂から顎まで)の縦の長さが $24$ cmとなるようにした。尚、ヒューマノイドロボットにおいても、眼球部分の床からの高さが $120$ cmとなるようにした。被験者には背筋を伸ばして着席してもらい、そのときの床から眼球部分までの高さが $121$ cm、スクリーン等から眼球部分までの距離が $120$ cmとなるように椅子の高さ、位置を調節した。

また、ヒューマノイドロボット条件で使用している Telenoid について説明する。頭部は正面向きで固定、実験により首関節のロール回転のみをする。眼球部分は眼球ロボットと同様にキーボード操作により3自由度で駆動し、瞬きは実装されていない。口の開きについては実験者の発話音量をリアルタイムに取得し、音量に比例する角度で口が開くようにした。腕部分については今回の実験では使用しないため取り外し、胴部分には実験者と同じ灰色のシャツを着用させている。

尚、実験中、実験者の頭部は背後の壁に固定されており、ピッチ方向、ヨー方向に動かないようになっている。実験者はスクリーン等の上部に設置されたカメラによって、被験者の様子をモニターで確認することができる。実験者は手元のキーボードによって眼球ロボットまたはヒューマノイドロボットを操作する。

### 3.4 アンケート

実験後、被験者に対してアンケートならびにインタビューを実施した。アンケートは実験に関して被験者が抱いた印象の度合いについて質問するもので、全7段階のリッカート尺度を用いて、1:全くあてはまらない、2:あてはまらない、3:ややあてはまらない、4:どちらともいえない、5:ややあてはまる、6:あてはまる、7:非常にあてはまる、というように対応させ評価を行った。アンケートの項目は以下の通りである。

(A)ぬいぐるみへの視線がはっきりとわかった。

この質問では、実験者のぬいぐるみへの視線を被験者がはっきりとわかったかどうかを調べた。

(B)実際に同じ部屋の中で説明者があなたのそばにいた感じがした。

この質問では、被験者が実際に同じ部屋の中で人と話しているような感覚になったかを調べた。

インタビューではアンケート点数の理由や、システムの印象や問題点、感想を聞き、最後にデブリーフィングを行った。

### 3.5 結果及び考察

アンケート結果について、各条件を比較した結果を図7, 8, 9に示す。棒グラフは平均値で、バーは標準誤差を表す。各条

項目 (A)ぬいぐるみへの視線がはっきりとわかった。

(B)実際に同じ部屋の中で説明者があなたのそばに

いる感じがした。

■ スクリーン+眼球ロボット  
 ■ ディスプレイ  
 ■ ヒューマノイドロボット

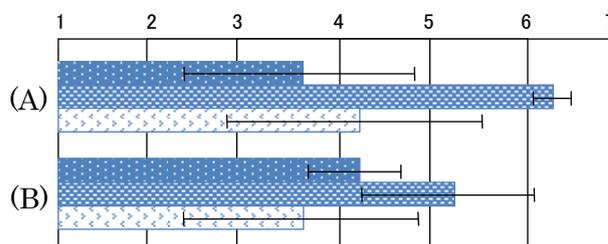


図7 実験1 瞬き,LED,ロール回転なし(被験者数5人)

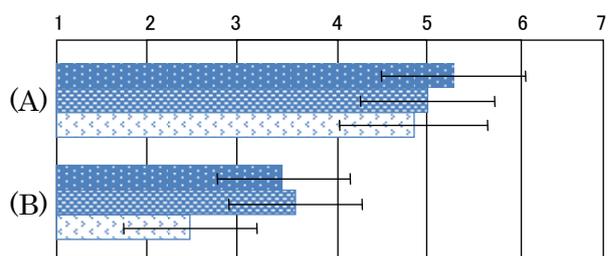


図8 実験2 瞬き,ライトあり,ロール回転なし(被験者数7人)

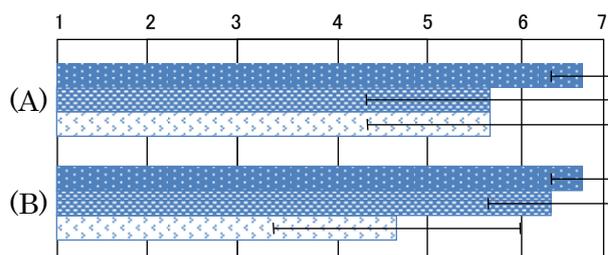


図9 実験3 瞬き,LED,ロール回転あり,サイズ変更(被験者数3人)

件において対応あり1要因分散分析を行ったが、現段階ではどの項目にも有意な差を得ることはできていない。よって平均値とインタビュー結果から考察を行う。

まず、開発したシステムの改善による評価の変化について述べる。実験1の段階ではまだ眼球ロボットのシステムに瞬きの機能及びLEDを実装していなかった。結果、ディスプレイ条件に比べてスクリーン+眼球ロボット条件の評価が低かった。眼球ロボットについて、脛が動かないため動きも少なく、またロボットの眼球部分が奥まわって暗く、視線がわかりづらいという指摘を被験者より受けたため、実験2では瞬きの機能と眼球部分を照らすライトを実装した。結果、眼球ロボット条件の評価は向上している。また、被験者より前述の指摘を受けることはなくなったが、眼球ロボットについて新しく、義眼部品の虹彩が大きく見えること、及び眼球の位置が固定されていることに対する違和感を覚えるという指摘を受けた。実際、映像を等身大にしていたため義眼の虹彩は実際のものより $1$ mm大きかった。よって実験3では、顔と虹彩の大きさの比率を揃え、眼球後背部にはLEDを設置し、首のロール回転も実装した。結果、眼球ロボット条件の評価はやや向上しており、また、被験者より前述の指摘を受けることはなくなった。しかしながら、眼球動作のバリエーションが少ない

という問題は残っている。以上のように、システムの改善によって合成の質を向上させ、ロボットと映像との整合性が向上することにより、話者の視線のわかりやすさ及び存在感は向上するらしいと予想される。

また、実験3の段階では、スクリーン+眼球ロボット条件はディスプレイ条件と同程度の存在感を提示しつつ、視線の提示ができるようになってきている。その理由として、映像が提示されることで相手が実在しておりこちらを見ているという印象を受けるという意見や、ヒューマノイドロボットにおいては、眼球が動いているのは分かったが視線というようには思えず、相手の顔が映されていることで見ている方向が分かったという意見が被験者より得られた。また、眼球ロボットの立体感と質感、動作から、実際に話者がスクリーンの向こう側から覗いているように感じたと話した被験者もあり、その被験者はスクリーン+眼球ロボット条件を高く評価した。以上のように、アノミクスなデザインであるヒューマノイドロボット条件と比較して、スクリーン+眼球ロボット条件では話者映像が合成されており、ロボットと映像との整合性がとられることにより話者の存在感が増し、提示される視線が話者のものであるという信憑性が向上するのではないかと予想される。

以上、システムの改善によって合成の質を向上させた結果と、3水準の実験結果の比較から、話者映像と眼球ロボットとの整合性が高いほど、ロボットによって再現された眼球動作はより人のもののように感じられるという見通しを得ることができた。

#### 4. おわりに

本研究では、ロボットの生成した眼球動作が人のもののように感じられる要因を検証するために、ロボットと話者映像との整合性に着目し、視線提示を行う眼球ロボットと話者映像とをスクリーン上で合成して提示するテレプレゼンスシステムを開発し、実験により評価を行った。その結果、有意な差は得られていないが、システムの改善とインタビューの結果から、ロボットの再現した眼球動作が人のものであるかのように感じられるという見通しを得られた。今後は眼球動作、実験タスク、及びアンケート項目の改善を行い、実験を継続する予定である。

#### 謝辞

実験に協力していただいた山口隆浩氏に深く感謝する。本研究は、JST CREST「人の存在を伝達する携帯型遠隔操作アンドロイドの研究開発(研究領域:共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築)」からの支援を受けた。

#### 参考文献

- [Breazeal 2001] Cynthia Breazeal, Aaron Edsinger, Paul Fitzpatrick, Brian Scassellati: Active Vision for Sociable Robots, Socially Intelligent Agents - The Human in the Loop, Special Issue IEEE Transactions on Man and Cybernetics, and Systems, Part A: Systems and Humans, IEEE, 2001.
- [Edlund 2011] Jens Edlund, Samer Al Moubayed, Jonas Beskow: The Mona Lisa Gaze Effect as an Objective Metric for Perceived Cospatality, Proc. of the IVA, 2011.
- [Finn 1997] Kathleen E. Finn, Abigail J. Sellen, Sylvia B. Wilbur, Abigail Sellen, Sylvia Wilbur: Video-Mediated Communication, Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [Misawa 2012] Kana Misawa, Yoshio Ishiguro, Jun Rekimoto: Livemask: A telepresence surrogate system with a face-shaped screen for supporting nonverbal communication, Proc. of the Interaction, 2012.

- [Miwa 2004] Hiroyasu Miwa, Kazuko Itoh, Munemichi Matsumoto, Massimiliano Zecca, Hideaki Takanobu, S Rocella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario, Atsuo Takanishi: Effective emotional expressions with expression humanoid robot we-4rii: integration of humanoid robot hand rch-1, Proc. of the IROS, IEEE, 2004.
- [Nakanishi 2014] Hideyuki Nakanishi, Kazuaki Tanaka and Yuya Wada: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, Proc. of the CHI, 2014.
- [Ogawa 2011] Kohei Ogawa, Shuichi Nishio, Kensuke Koda, Giuseppe Balistreri, Tetsuya Watanabe, Hiroshi Ishiguro: Exploring the Natural Reaction of Young and Aged Person with Telenoid in a Real World, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 2011.
- [Sakamoto 07] Daisuke Sakamoto, Takayuki Kanda, Tetsuo Ono, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita: Android as a Telecommunication Medium with a Human-like Presence, Proc. of the HRI, IEEE, 2007.
- [Tanaka 2013] Kazuaki Tanaka, Satoshi Onoue, Hideyuki Nakanishi and Hiroshi Ishiguro, Motion is Enough: How Real-Time Avatars Improve Distant Communication, Proc. of the CTS, 2013.
- [Yoshikawa 2006] Yuichiro Yoshikawa, Kazuhiko Shinozawa, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita, Takanori Miyamoto: Responsive robot gaze to interaction partner, Proc. of the RSS, 2006.