

非正面視点からの自己像を利用した対話インタフェース における指示容易性評価

細谷 英一^{*1} 原田 育生^{*2} 小野澤 晃^{*1} 村瀬 洋^{*3}

Usability Evaluation of Pointing using Self-Image from Arbitrary Viewpoint

Eiichi Hosoya^{*1}, Ikuo Harada^{*2}, Akira Onozawa^{*1} and Hiroshi Murase^{*3}

Abstract – The pointing operation in video communication with a “shared space” approach is evaluated. The shared space is a constructed image in which remote image is overlaid with self-image. It is known that such way of communication can promote natural conversation including easy gaze recognition, feeling of space sharing, and so on. However performance of pointing operation in the shared space has not been examined fully. Experiments have been done to evaluate it with various parameters such as viewing angle, mirroring of the shared space image, and so on. As the results of experiments, guidelines for the shared space design using pointing are described.

Keywords : self-image, pointing, shared space, arbitrary viewpoint, human-computer interaction

1. まえがき

ネットワークの発展に伴い、遠隔コミュニケーションの高度化への期待が高まり、映像を用いた様々な遠隔対話方式が研究されている。既存のTV会議システムは、相手と自分の画面が分離され、相手との対話に支障をきたす問題があった。これに対し、撮影した自地点の映像を相手地点のそれと重ね、あたかも空間を共有しているかのような映像（以下、「共有空間映像」あるいは「共有空間」と呼ぶ）を作成して、互いにその映像を見ながら対話する手法が提案された^{[1]~[6]}。このような合成表示した共有空間を生成する方法は、ユーザを撮影するカメラとユーザの位置関係に応じて2つの場合に分けることができる。1つは、カメラをその光軸がディスプレイ表面に垂直になるようにディスプレイ中央位置に配置し、ディスプレイに正対するユーザを撮影する（以下「正面視点撮影」と呼ぶ）方法^{[1]~[3]}で、もう1つは、カメラの光軸がディスプレイ表面に対して正面以外の任意の角度になるように配置して撮影する（以下「非正面視点撮影」と呼ぶ）方法^{[4]~[6]}である。いずれの方法でも、その共有空間を用いる場合には、同室にいるかのような感覚（以下「同室感」と呼ぶ）や視線の一致等といった対話のしやすさとともに、共有空間映像における位置の指示

（ポインティング）のしやすさ（以下「指示容易性」と呼ぶ）が重要な要素となる。ここでのポインティングは、目的位置を目で確認して手（の像）をその位置へ移動させる動作であり、目と手の協応動作（Eye-Hand Coordination）の一種であると言える。

正面視点撮影を用いて共有空間映像を生成する方法やシステムは、これまで幾つか提案されており、同室感や対話の容易性が優れていることが知られている^{[1], [6]}。また、指示容易性に関しては、目と手の協応動作における知覚運動学習に関する研究が古くから行われている^{[7], [8]}。例えば鏡映描写の実験は、鏡を通して自分の手を見ながら2本の線の間をなぞっていく課題を行うもので、主に学習による上達過程を調べることを目的とした実験である^{[9]~[11]}。また、VR環境下における被験者の指先位置情報の伝達遅延が、目と手の協調動作における作業時間や作業効率等に及ぼす影響についても評価されている^[12]。さらに、共有空間映像上に自己像を表示した環境での指示容易性についても評価が行われており、正面視点撮影における鏡像の自己像を用いた位置の指示において、その指示容易性が優れていることが示されている^{[2], [13], [14]}。

一方、非正面視点撮影を用いて共有空間映像を生成する方法としては、対話相手を斜め顔とする方法^[4]や、互いの自己像が対面しているかのような映像を合成する方法^{[6], [15], [16]}が提案され、視線の一致、自己像と自分の一体感、同室感といった対話のしやすさを向上させられることが示されている。しかしながら、非正面視点撮影では、画面内の位置の指示が難しくなる可

^{*1}: NTT マイクロシステムインテグレーション研究所

^{*2}: NTT エレクトロニクス株式会社

^{*3}: 名古屋大学大学院

^{*1}: NTT Microsystem Integration Laboratories

^{*2}: NTT Electronics Corporation

^{*3}: Nagoya University

能性が推測される。これは、正面視点撮影で鏡像にした場合の自己像は、鏡に映った自己像と同様にその動きを正確に予測しやすいが、非正面視点で撮影した場合の自己像は、一般には見慣れておらず、また画面上の自己像の手の動きと実空間上の手の動きの対応がとりづらくなることにより、画面上の自己像の動きを正確に予測することが難しいと考えられるためである。

医療の分野では、内視鏡を用いた手術において内視鏡の視軸と手術器具の挿入方向の関係が重要であることが知られており、これに対し、森川らはカメラで撮影した手元の映像を見ながら行う作業において、カメラと作業者の位置関係が作業効率に与える影響について評価している^[17]。その結果、作業ボードとカメラを結ぶ線と、被験者とモニタを結ぶ線のなす角度を θ とした時、 $-60 \text{度} \leq \theta \leq +90 \text{度}$ の範囲では鏡像条件が正像条件より有意に課題遂行時間が短くなる結果を得ており、これにより「ミラーイメージになってしまう術者の正面に左右反転表示したモニタを置くことで、作業効率の低下を最小限に抑えられる可能性が示唆」されている。

非正面視点から撮影した自己像を表示して遠隔対話を行う具体的な適用例として、遠隔講義の実験が行われている^[6]。このような遠隔講義を任意の視点からの映像を用いて行うためには、任意のカメラ角度からの非正面視点撮影映像上に共有スライドやオブジェクト等を表示して相手に位置を指し示す場面が考えられる。この場合、ディスプレイに対するカメラ角度は、 $0 \sim 180 \text{度}$ の任意の値が考えられる。しかし、このような非正面視点撮影の時に、鏡に近い条件である正面（ 0度 ）で鏡像の場合と比べて、指示容易性がどのように変化するか、については詳細に分析されていない。

そこで、本論文では、非正面視点撮影の自己像を用いて遠隔対話を行う場面を対象とし、その上で位置の指示を行う際の指示容易性について取り上げ、カメラ位置に対する依存性等の評価について報告する。実験の結果から、森川ら^[17]の結果と同様に、カメラ位置を前方に置く場合は鏡像表示、後方に配置する場合は正像表示することが好ましいことが確認されたが、本論文ではさらに、当初予想した「非正面視点撮影では画面内の位置の指示が難しくなる」という直感的な仮説に対し、必ずしもそれが成り立つものではなく、非正面視点撮影でも、正面視点撮影の場合と比べ、指示容易性に有意な差がない場合があることが示唆された。これは、非正面視点からの自己像を利用したポインティングインタフェースにおいてこれまでになく有用な設計指針を与えるものであり、本論文ではその設計指針についても考察する。

以下、第2章では自己像を利用したインタフェース

スについて述べ、第3章では実験システムと実験手順について説明する。第4章では実験結果について述べ、第5章で考察する。最後に第6章でまとめと今後の展望について言及する。

2. 自己像を利用したインタフェース

2.1 正面視点による方法

森川らは、各地点の対話者全員が、あたかも同室に居るような様子を鏡に映した内容を、対話に利用する画像として利用する「超鏡」を提案した^{[1], [2], [4]}。超鏡は正面視点撮影に限定する方式ではないが、その一実現例として文献^[1]の図7のようにモニタ上部にカメラを配置した超鏡システムが作られている。また細谷らは、2地点の映像を半透明化して重畳したミラーインタフェース^{[3], [6], [18]}を提案し、モニタとカメラを同じ方向に配置した正面視点撮影のシステムを構築している。これらの方法は、同室にいるような感覚（以下「同室感」と呼ぶ）が高く^[1]、対話の容易性を向上させられる^[6]ことが知られている。

正面視点撮影は、図1(a)に示すように、カメラをその光軸がディスプレイ表面に垂直になるようにディスプレイ中央位置に配置して、ディスプレイに正対するユーザを撮影する方法であるが、その指示容易性を評価した研究が幾つか知られている。佐木、渋谷らのアクションインタフェース^{[14], [19]}は、正面視点の自己像とアイコンを合成した映像を用いて、自己像とアイコンの接触判定によりユーザの入力操作を行うインタフェースで、メニューアイコンの表示位置や表示形式に関わる提案や評価^[20]が行われている。また森川らの超鏡^[2]では、対話相手の映像に自己像を合成した対話環境における指差し行為について評価し、自己像を利用した指差しが遠隔地の相手に対する作業指示において有効であることが示されている。また北端らのミラーインタフェース^[13]では、正面視点の自己像とアイコンを合成した映像を用いて、自己像による指示と無線マウス等との比較実験により指示容易性を評価し、自己像を利用したポインティングインタフェースが有効であることを確認している。いずれの場合も、正面視点で撮影した映像を左右反転した鏡像（以下、入力画像を左右反転した画像を「鏡像」、左右反転しない元の画像を「正像」と呼ぶ）を用いることにより、高い指示容易性が得られることが示されている。

2.2 非正面視点による方法

一方、非正面視点撮影による方法としては、遠隔地間で互いの自己像が対面しているかのような映像を合成する方法が提案されている。久保田ら^[15]は、マルチ画面を用いた多地点テレビ会議において、対話参加者の横方向から撮影した映像を使って対話者があたか

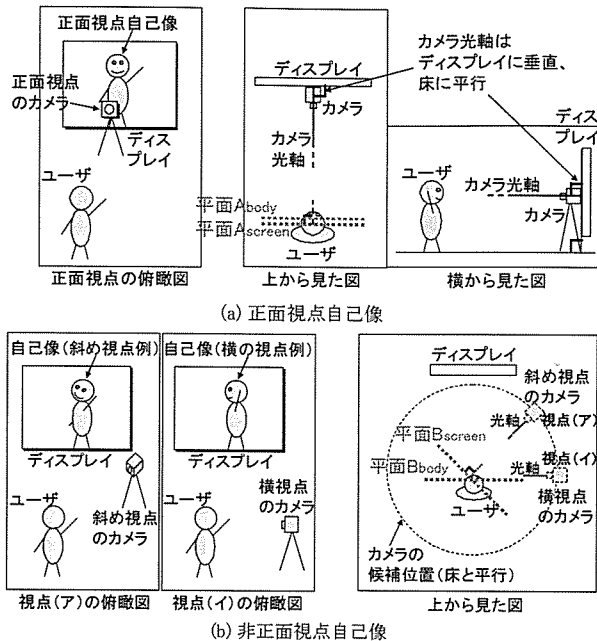


図1 正面視点撮影と非正面視点撮影の自己像例
(いずれもカメラ映像を左右反転して鏡像表示した場合の例)

Fig. 1 Example of self-image from front or arbitrary viewpoint.

も向かい合うかのような映像を合成する方法を提案し、従来の正面視点撮影のみのテレビ会議方式より互いの視線が一致する印象が強くなることを示している。また森川ら^[4]は、超鏡を用いた実験により、画面上で対話相手が斜め顔の映像(対話者の斜め前方の非正面視点から撮影した映像)で自己像の方を向いている場合には、その自己像が自分だと感じられれば自分に注意を向けていると感じられるのに対し、相手が正面顔の映像(正面視点から撮影した映像)の場合には、実空間の自分だけに注意が向けられていると感じ、自己像と自分の一体感が欠如する可能性を示唆するとともに、これが相手との一体感を低減している要因であると推察している。また石井ら^[16]は、自己の斜め後方からの映像と対話相手の斜め前方からの映像をクロマキー合成し仮想的に対面対話の状態を実現した身体的ビデオコミュニケーション手法を考案し、TV会議で用いられるPicture-in-a-Picture (PIP)の場合と比較し、仮想的な対面合成が有用であることを示している。また細谷ら^{[6], [21]}は、対話参加者の非正面視点撮影の像を用いた共有空間映像を利用すると、遠隔講義の課題の場合、TV会議方式(PIP)と比較して同室感・視線の理解が向上することを確認している。このように、非正面視点撮影による方法によって、視線の一致、自己像と自分の一体感、同室感といった対話のしやすさを向上させられることが示されている。

このような非正面視点撮影を用いる場合、図1(b)

に例を示したように、ユーザを撮影するカメラの光軸がディスプレイ面に対して任意の角度でかつ床には平行になるように配置して撮影する方法が考えられる。ここでユーザを含みカメラの光軸に垂直な面を「スクリーン面」と呼ぶこととすると、スクリーン面に射影されるものが、ディスプレイ上に映し出される。

例えば、正面視点撮影で鏡像にした場合、ユーザがディスプレイに正対しているとする、ユーザの身体面(左右の肩位置を含む面とする)(図1(a)の平面 A_{body})と、スクリーン面(図1(a)の平面 A_{screen})は平行となる。この状態でユーザが手を動かすと、実空間の手の動きと画面上の自己像の手の動きが鏡に映った自己像の場合と同様な関係で画面に表示されることから、ユーザが画面上の自己像の動きを予測しやすいと考えられる。これに対し、非正面視点撮影の場合(例えば図1(b)の視点(ア)の場合)、ユーザの身体面(図1(b)の平面 B_{body})と、スクリーン面(図1(b)の平面 B_{screen})が平行ではなくなり、実空間の手の動きと画面上の自己像の手の動きの関係が鏡の場合と異なって表示されることから、その対応関係を認識しにくくなり、ユーザは画面上の自己像の動きを予測しづらくなると考えられる。これにより、画面上で自己像の手を目標位置まで最短距離で移動させることが難しくなり、その移動にかかる時間が長くなることが予想される。画面上でスタートから目標位置を指示するまでの時間は、指示容易性を表す指標と考えられることから、非正面視点撮影では指示容易性が低下する可能性があると考えられる。しかし、非正面視点撮影の場合について、正面(0度)で鏡像の場合と比べて、自己像を用いた指示容易性がどのように変化するか、については詳細に評価されていない。

本論文では、指示する対象は、映像に重畳されているCGのアイコンとし、指示対象が静止している場合を対象とした。また、非正面視点撮影におけるカメラの視点位置は3次元空間中のあらゆる位置が候補となり得るが、本論文では、図1(b)に示したように、ユーザを囲み床からの高さがユーザの目の高さと同様の同心円上の位置のみをカメラ位置の候補とし、光軸は床とほぼ平行となるようにした。これは、斜めや横方向からの非正面視点撮影の場合と、正面視点撮影の場合との比較に目的を絞ったためである。このような視点位置(カメラ角度)において、非正面視点並びに正面視点で指示する課題を設定し、その指示容易性を評価した結果について述べる。

3. 実験

非正面視点撮影における指示容易性を評価するため、画面上で指定位置の指示に要する時間(以下、指示時

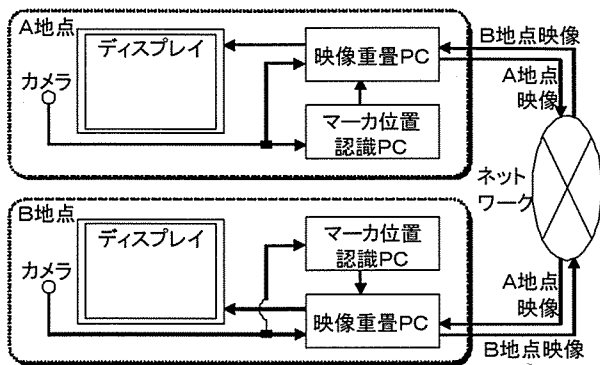


図2 システム構成
Fig.2 System overview.

間と呼ぶ)を計測する被験者実験を実施した。この指示時間が小さいほど指示容易性が高くなると考え、指示時間を指示容易性の評価指標とした。以下、実験の詳細を述べる。

3.1 システム構成

図2に機器のシステム構成を示す。2地点(A, B)をミラーインタフェースシステム^[6]で接続する。各地点は、大画面ディスプレイ(50インチPDP)、カメラ(SONY HDR-SR1)、映像重畳PC及びマーカ位置認識PC(共に、Dell Precision 670, Xeon 3.2GHz 1CPU, メモリ 2GB, ビデオカード NVIDIA Quadro FX 34)で構成されている。システムは、各PC上で、Visual C++ 2003で作成したソフトウェアにより動作する。大画面ディスプレイには、自地点のカメラ映像と相手地点のカメラ映像を映像重畳PCで半透明重畳した共有空間映像が表示される。表示映像はカラーで、解像度は横640pixel×縦480pixel、ディスプレイ表示サイズは横80cm×縦60cmである。画面表示方法は鏡像と正像を切り替えられるようにした。またマーカ位置認識PCでは、予め登録した色のマーカの位置をカメラ映像中からリアルタイムに追跡できる。これにより、映像中に配置した「アイコン」等の特定位置の上にマーカ像を重ねたことが認識できる。以下、このような特定位置にマーカを重ねる操作を「タッチ操作」または単に「タッチ」と呼ぶ。ここで「アイコン」は、共有空間映像に表示したタッチ操作が可能な画像であり、任意の大きさおよび位置に配置可能である^[3]。タッチ認識された時刻[ms]のログが出力されるようにした。実験で用いたマーカは、直径6.5cmの朱色(不透明)で球形の市販ゴムボールを使い、全被験者同一のマーカを用いた。また、マーカ像の中心座標がアイコン領域内に入っている時を「タッチ」としていると見なした。

被験者がアイコンにタッチすると、アイコンの色が変化し、タッチしたことを被験者に視覚的にフィードバックする。タッチが1秒継続すると、ビープ音を鳴

らし、被験者にアイコンへのタッチが完了したことを知らせる。完了の際、その時刻のログが取得される。タッチした瞬間の時刻ではなく、1秒滞留させてから時刻のログをとることとしたのは、タッチ操作の途中で通過しただけのアイコンが誤認識されることを防ぐためである。滞留時間の1秒は、事前の操作確認により、誤認識しない程度の時間として決定した。指示時間は、システムで計測された時間から滞留時間1秒を引いた時間となる。

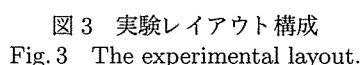
また本システムでは、映像表示や認識処理における処理遅延は避けられないが、「タッチ操作」における映像遅延は約0.1秒(実動作と自己像の動きのずれが約3~4フレーム)であり、また応答遅延時間は約0.03秒以下(アイコンにマーカを画像上で重ねてからアイコンの色が変わるまで)であった。池田らによる正面鏡像の自己像を用いた遅延実験^[22]によると、映像遅延及び応答遅延の時間は、各々0.1秒、0.3秒から操作に影響が出始めることが示されていることから、本実験においてシステムの遅延が操作へ与える影響は少ないと考えられる。

アイコンの状態遷移は、まとめると次のようになる。(1)マーカが映像上でオーバーラップ⇒(2)アイコンの色が変わる(オーバーラップから約0.03秒後)⇒(3)ビープ音になり(オーバーラップから1秒後)同時にログを出力⇒(4)アイコンの色が元に戻る。

3.2 実験レイアウト

図3に実験のレイアウトを示す。2地点に各々大画面ディスプレイを固定配置し、A地点側に被験者、B地点側に実験者がいずれもディスプレイに向かって座った。被験者と実験者の前に、各々の目からテーブル中央までの水平距離が50cmとなる位置にテーブルを置き、テーブル中央を中心とした半円周上(半径140cm)にカメラを移動配置できるようにした。カメラは、22.5度刻みでその位置(カメラ角度)を変えられるようにした(図3中のa~iの全9箇所)。A, B両地点では、常に図3中の同じ記号の位置にカメラを配置した。

このようなカメラ、実験者の配置により、2次元の重畳画像から想定される3次元空間上では、両者が常に正面から向き合う対面対話となる。この際、この想定される3次元空間上の両者間の距離は常に約100cmとなるようにした。カメラ角度が変化すると、重畳映像上では両自己像が接近または重なることがあるが、想定する3次元空間上での対面関係は変わらない。両者間の距離は、日常の会話が行われる対人距離として定義された会話域の距離(50cm~150cm)^[23]に相当するものであり妥当と言える。本実験では、非正面視点から撮影した自己像を表示して遠隔対話を行う場面を対象としており、実際の遠隔対話の利用シーンによ



椅子、カメラの配置は、被験者、実験者の目の高さ
がカメラの高さとほぼ等しくなるように調整された。
また、被験者、実験者の目の位置からディスプレイま
での水平距離は各々約 200cm とした。標準画質の映
像に対するディスプレイの推奨視聴距離は、視野角の
30 度以内と言われており^[24]、実験で利用した 50 イン
チディスプレイ（表示画面：W80cm × H60cm）で
は、それは 200cm 弱に相当することから、被験者に
とっては適正な距離と考えられる。また、各カメラ角
度において、被験者が座ったまま画面上のすべての位
置に自己像の手が届くようにカメラ設定を調整した。
カメラ角度を変えても、カメラから被験者までの距離
は常に等しいため、同じアイコンへのタッチであれば、
被験者の手の動く最短移動距離は常に同じとなる。

被験者は、20代～40代（平均35.9歳）の男女8名（男性7名、女性1名）であった。被験者の選出方法は、本論文で評価されているインタフェースが次世代の遠隔対話システムへ応用されることを考えて、日頃からTV会議に馴染みがあり業務上PC（マウスを含む）を頻繁に利用している人を対象とし、筆者らの職場において該当する候補から無作為に8名を選出した。その結果、被験者のうち男性1名のみが筆記において左利き（一般に左利きの割合は1割前後とされているので自然な数）であったが、PCのマウスを用いたポインティング操作においては8名全員の利き腕は右利きであった。本実験では、鏡映描写で行われるようなペンを持って線を描く課題ではなく、画面上のターゲット位置を腕の像で指し示すポインティング動作を扱うものであること、またマーカは左右どちらの手で持ってもよいと教示していることから、筆記における利き手の違いの影響は無視できる程度か小さいも

3.4 実験課題

カメラ角度、画面表示方法（鏡像・正像）、指示位置の違いによる指示容易性の変化を調べるため、「アイコン指示課題」を行った。図4のように、画面上にスタートアイコンと目標となる1～8の目標アイコンを配置した。アイコンは、画面上の全範囲を指示する可能性があることを考慮して配置してある。またスタートアイコンは、座っている時に待機している手の位置に近い画面中央下部とし、これらは実験条件によらず同じとした。アイコンの大きさはすべて100pixel×100pixel（12.5cm×12.5cm）とし、図4に示す位置に配置した。その大きさや位置は、実験者が事前に行った動作確認において、表示される手の大きさやシステムによる認識のしやすさを考慮して、誤操作が生じない程度の適切なものとした。またマーカのアイコンへの接触検出の範囲は、アイコンと同じ縦横の幅を持つ正方形の領域（100pixel×100pixel, 12.5cm×12.5cm）とした。

指示すべきアイコン番号を被験者に提示し、アイコンへのタッチ操作を行わせ、その指示に要する時間を計測する実験を行った。被験者への提示は、予め用意したランダム順のアイコン番号を、大画面ディスプレイの直下に置いた位置指示用ノート PC 上でのスライド表示と、録音した数字読み上げ音声の再生で実施した。被験者は、アイコン番号の提示を受けた後、最初にスタートアイコンにタッチしてから、提示された目標アイコンにタッチする。両者のタッチ時刻の差分時間を計測し、目標アイコンの滞留時間 1 秒を引いた時間をアイコンの指示に要する時間（指示時間）とした。指示時間の計測には、プログラム（Visual C++）内で時刻出力した値（1ms 単位）を利用した。被験者には、スタートアイコンにタッチ後は、できるだけ速やかに提示された目標アイコンにタッチするよう指示した。被験者側にある位置指示用ノート PC 表示と音声でアイコン番号を提示し、被験者がスタートアイコンと目標アイコンにタッチすることで 1 サイクルの指示

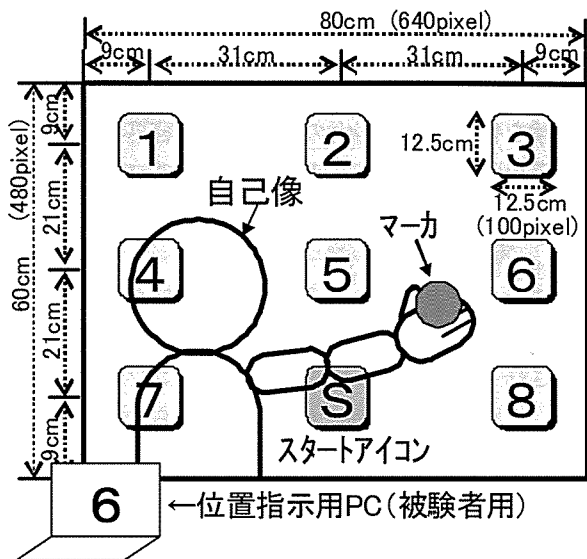


図4 アイコンの指示方法
Fig.4 Operation for touching icons.

動作が終了する。

スタートアイコンへのタッチを開始時刻としたのは、全被験者のスタート位置を同一にすることで画面上で手が動く時間のみを評価できるようにするためである。スタートアイコンへタッチするまでの間に、手の動きを事前検討するための動作や発言は見られなかった。また、左右の手の入れ替えについては、実験ビデオの観察から、スタートのタッチ前の持ち替えとスタート後の持ち替えの場面が複数回確認されたが、前者は指示時間には影響しないものであり、また後者の場合についても、持ち替え前後でマーカの移動速度が極端に変化することはない、指示時間への顕著な影響はなかった。

3.5 実験手順

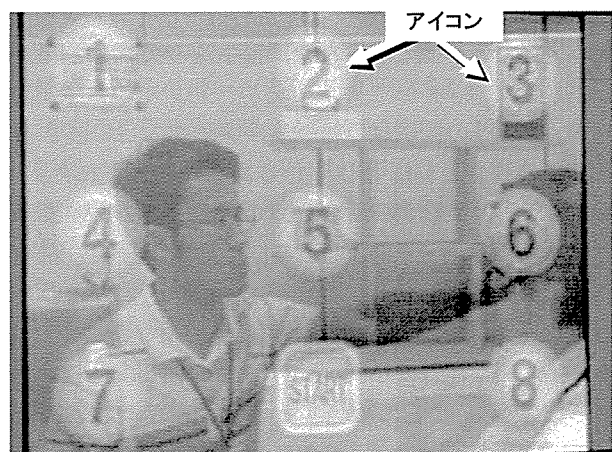
1サイクルの指示動作を、実験条件を変えながら、繰り返し被験者に実行させた。以下に実験のパラメータを示す。

- カメラ角度 : 0~180度 (9種類, 22.5度刻み)
- 画面表示方法 : 鏡像/正像 (2方式)
- 指示位置 : 位置1~位置8 (8種×2回)

被験者1人に対する実験は、以下のような手順で実施される。まず、被験者には、初めに実験内容を説明し、5分程度の事前練習 (角度2種類 (0度と90度) で、各8回タッチ (数字は予め定めたランダム順で全被験者同じリストを使用)、計16回タッチ) を行いシステムの操作に慣れさせた。続いて行う本実験では、画面表示方法を「鏡像」とし、カメラ角度を1個選び、実験レイアウトを設定する。「鏡像」設定の時は、A、B地点の両映像とも鏡像にして、A地点側及びB地点側のディスプレイ上で同じ合成映像を表示する。その状



(a) 実験の様子



(b) 非正面視点映像例

図5 アイコン指示課題の実験例 (カメラ角度: 45度) (※大画面ディスプレイ直下のカメラは録画用。)

Fig.5 Example of touching an icon.

態で、指示位置をランダムに切り換えながら16サイクルの指示を実施する。これを1セットとする。ただし、指示位置の違いによる手の移動距離の違いを考慮して、カメラ角度等の実験条件が異なるいずれのセットにおいても、各指示位置に同じ回数だけタッチするようにし、手の最短移動距離の総和が実験条件によって変わらず偏りを生じない条件とした。具体的には、全8箇所ある指示位置の数字が必ず2回ずつ生じるようなランダム順 (事前に擬似乱数で生成) とし、同じカメラ角度で計16回のタッチを連続で行わせた。

この1セットを、カメラ角度をランダムに9パターン変える (9パターンが必ず1回ずつ生じるようなランダム順とし、その順序は被験者によって異なる) ことで9セット繰り返した。カメラ角度が90度より大きい場合には、共有空間には被験者の斜め後方からの映像あるいは真後ろ (背面) からの映像が映されることに注意する。次に、画面表示方法を「正像」に切り

換えて、同様に（ただし異なるランダム順で）9セット繰り返した。以上で1人分の実験手順となる。「正像」設定の時は、A, B地点の両映像とも正像にして、A地点側及びB地点側の両ディスプレイ上で同じ合成表示をする。実験時間は、1人1.5～2時間程度になる。1セット分の実験は連続して行ったが、各被験者に対して疲労の影響を及ぼさないよう、セット間ではカメラ位置変更作業を含めて約1分の休憩を設けた。

以上を8人の被験者について実施し、すべての指示時間を記録した。その際、画面表示方法の順序による偏りをなくするため、4人は鏡像→正像、別の4人は正像→鏡像の順とした。

図5に実験の様子を示す。図5は、鏡像・45度の場合（カメラ位置は図3のc）で、目標アイコン6にタッチする様子である。

4. 結果

4.1 カメラ角度及び画面表示方法の影響

図6にカメラ角度に対する指示時間の結果を示す。(a)は鏡像、(b)は正像の場合で、細い線は各々アイコン別に集計した被験者平均値であり、太線は全体の平均値を表す。全体の平均値を見ると、鏡像(a)の場合には、前方カメラ角度(0～67.5度)が後方カメラ角度(112.5～180度)より指示時間が小さく、正像(b)の場合には、逆に後方の方が前方より指示時間が小さくなる傾向が見られた。また、(a)では135度前後、(b)では45度前後において、指示時間が大きくなる傾向が見られた。

指示時間に与えるカメラ角度と画面表示方法（鏡像・正像）の影響を分析するため2要因分散分析を行った。その結果、カメラ角度と画面表示方法の交互作用が存在することが分かった($F(8,1134)=15.931, p<.05$)。

そこで、画面表示方法（鏡像・正像）の各水準でのカメラ角度の単純主効果の検定をした結果を表1に示す。表中の値は、列に示すカメラ角度値の指示時間から、行に示すカメラ角度値の指示時間を引いた値である。

画面表示方法が鏡像の場合では、前方カメラ角度(0度, 22.5度, 45度, 67.5度)と、後方カメラ角度(112.5度, 135度, 157.5度, 180度)との間のすべての組み合わせ(16通り)(表1(a)のA1)について、前方の方が指示時間が有意に小さかった($p<.01$)。また、前方カメラ角度間のすべての組み合わせ(6通り)(A2)、及び後方カメラ角度間のすべての組み合わせ(6通り)(A3)については、いずれも有意な差はなかった。また、真横のカメラ角度(90度)とその他のカメラ角度(前方及び後方)との間の全8通りの組み合わせについては、表1に示す4つの角度(0, 135, 157.5, 180度)と

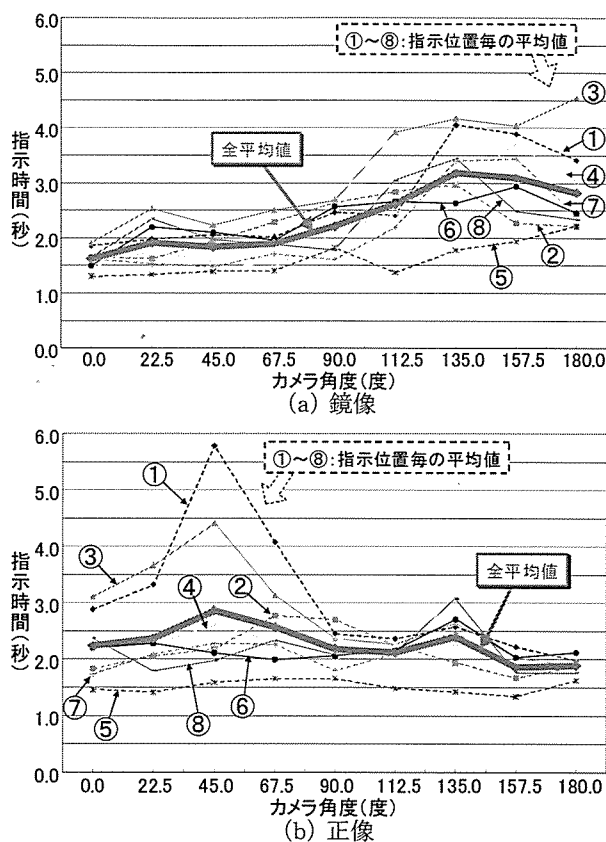


図6 カメラ角度の違いに対する指示時間
Fig. 6 Pointing time at each angle.

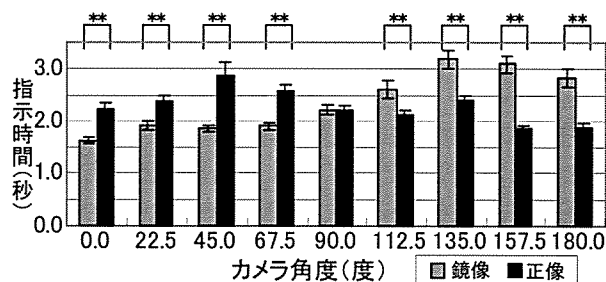


図7 カメラ角度毎の画面表示方法の比較
(Bonferroniの方法。エラーバーは標準誤差。(**: $p<.01$))

Fig. 7 Comparison between different mirror conditions. (Results of Bonferroni)

の組み合わせにおいて、有意な差があった($p<.05$)。

画面表示方法が正像の場合では、前方と後方の間の全16通りの組み合わせのうち14通りで後方の指示時間の平均値が小さく、さらにその14通りのうち5通りの組み合わせ(45度と112.5度, 45度と157.5度, 45度と180度, 67.5度と157.5度, 67.5度と180度)(表1(b)のB1)については、後方の方が有意に小さかった($p<.01$)。また、前方カメラ角度間のすべての組み合わせ(6通り)(B2)と後方カメラ角度間のすべての組み合わせ(6通り)(B3)については、0度と45度の1通りの組み合わせのみ有意な差があり(p

表1 画面表示方法毎のカメラ角度間の比較 (Bonferroni の方法, 値は平均値の差 (=列に示す角度値の指示時間-行に示す角度値の指示時間))

Table 1 Comparison between different angle conditions. (Results of Bonferroni)

(a) 画面表示方法が鏡像の場合におけるカメラ角度の単純主効果

	22.5度	45度	67.5度	90度	112.5度	135度	157.5度	180度
0度	0.295	0.223	0.286	0.590 *	0.995 **	1.564 **	1.472 **	1.212 **
22.5度		-0.072	-0.009	0.296	0.701 **	1.269 **	1.177 **	0.917 **
45度			0.063	0.368	0.773 **	1.341 **	1.249 **	0.989 **
67.5度				0.305	0.710 **	1.278 **	1.187 **	0.926 **
90度		A2			0.405	0.973 **	0.882 **	0.621 *
112.5度				A1		0.568	0.477	0.216
135度							-0.092	-0.352
157.5度								-0.261

(b) 画面表示方法が正像の場合におけるカメラ角度の単純主効果

	22.5度	45度	67.5度	90度	112.5度	135度	157.5度	180度
0度	0.127	0.630 *	0.333	-0.050	-0.114	0.159	-0.381	-0.346
22.5度		0.503	0.206	-0.177	-0.241	0.032	-0.508	-0.474
45度			-0.298	-0.680 **	-0.744 **	-0.471	-1.012 **	-0.977 **
67.5度				-0.383	-0.446	-0.173	-0.714 **	-0.679 **
90度		B2			-0.064	0.209	-0.331	-0.297
112.5度				B1		0.273	-0.268	-0.233
135度							-0.541	-0.506
157.5度								0.035

A1, B1: 前方・後方間の全組合せ
前方・後方で有意差あり
A2, B2: 前方・前方間の全組合せ
A3, B3: 後方・後方間の全組合せ

(**: $p < .01$, *: $p < .05$)

<.05), 他の 11 通りの組み合わせについては有意な差はなかった。また, 真横のカメラ角度 (90 度) とその他のカメラ角度 (前方及び後方) との間の全 8 通りの組み合わせについては, 表 1 に示す 1 つの角度 (45 度) との組み合わせのみ有意な差があり ($p < .05$), 他の角度との組み合わせには有意な差がなかった。

次に, カメラ角度の各水準における画面表示方法の単純主効果の検定をした結果を図 7 に示す。前方 (0 ~ 67.5 度) のすべてのカメラ角度において, 鏡像の方が正像より有意 ($p < .01$) に指示時間が小さく, 後方 (112.5 ~ 180 度) のすべてのカメラ角度において, 反対に正像の方が有意 ($p < .01$) に指示時間が小さかった。また, カメラ角度が 90 度の場合には, 正像と鏡像の指示時間の間に有意な差はなかった。

4.2 指示位置の影響

図 6 において, 指示位置毎の指示時間の変化を比べると, 鏡像の場合の後方 (112.5 ~ 180 度) 及び正像の場合の前方 (0 ~ 67.5 度) では, 指示位置の違いによって指示時間が異なる傾向が見られた。

そこで, 指示時間に与える指示位置の影響を分析するため 2 要因分散分析を行った。その結果, 画面表示方法と指示位置の間には交互作用は見られず, 指示位置の主効果が有意であった ($F(7, 2288) = 27.441$, $p < .01$)。Bonferroni による多重比較を行った結果を, 図 8 に示す。その結果, 指示位置 (アイコン番号) が 1 の場合には, 3 以外のすべての指示位置より指示時間

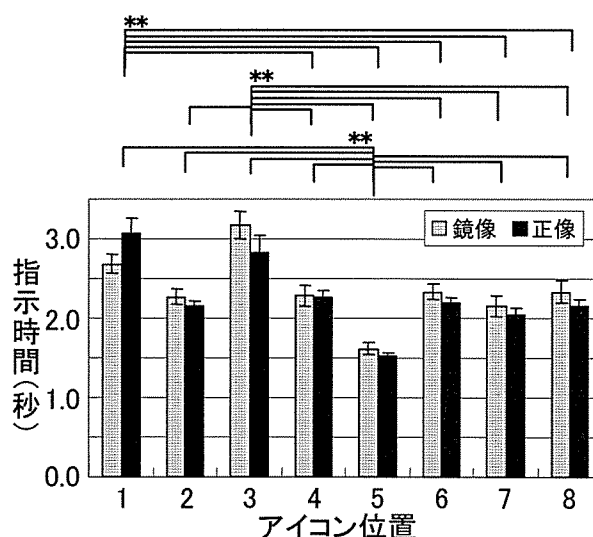
図 8 指示位置による指示時間の比較 (Bonferroni の方法, エラーバーは標準誤差, (**: $p < .01$))

Fig.8 Comparison between different icon-position conditions. (results of Bonferroni)

が有意に大きくなり ($p < .01$), 指示位置が 3 の場合には, 1 以外のすべての指示位置より指示時間が有意に大きくなった ($p < .01$). 1 と 3 の間には有意な差はなかった。また, 指示位置が 5 の場合には, 5 以外のすべての指示位置より指示時間が有意に小さくなった ($p < .01$). その他の指示位置の組み合わせについ

ては、いずれも有意な差はなかった。

5. 考察

以下に、結果の考察について記す。

5.1 カメラ角度及び鏡像・正像の影響

5.1.1 カメラ角度毎の比較

第 4.1 節で述べた各カメラ角度における画面表示方法の比較結果 (図 7) から、カメラ位置を前方に置く場合は鏡像表示し、後方に配置する場合は正像表示することが好ましいといえる。この結果は森川らの結果^[17]と類似の内容である。

また、第 4.1 節で述べた鏡像・正像各々における前方・後方間の比較結果 (表 1) から、鏡像の場合には、指示時間において前方の方が好ましく、正像の場合には、鏡像の場合ほど明確な差はないが、後方の方が好ましい傾向があると言える。これらは、前述の考察と整合している。

また、表 1 の結果から、鏡像の場合の前方カメラ角度間の全組み合わせ (6 通り) と、正像の場合の後方カメラ角度間の全組み合わせ (6 通り) については、いずれも有意な差はなかった。すなわち、従来有効性が示されている正面 (0 度) の鏡像の場合の指示容易性^{[2], [14]}は、鏡像で 0~67.5 度の範囲内でも同程度に保たれる可能性があることが分かる。また正像の場合も、真後ろ (180 度) の場合の指示容易性は、112.5~180 度の範囲内で同程度に保たれる可能性があることが分かる。

さらに、真横 (90 度) の場合については、鏡像と正像の間に指示容易性に有意な差はなかった (図 7)。よって、カメラ角度が 90 度の場合は、利用場面に応じて鏡像と正像を選択してよいと言える。また、表 1 から、真横 (90 度) については、カメラ角度毎で比較すると、他の各カメラ角度 (0~67.5 度, 112.5~180 度) との間で有意な差がある場合とない場合が混在したことから、前方と後方及び真横の場合にグループ分けして比較を行った。その結果については次節で述べる。

これらから、非正面視点からの映像を用いた共有空間は、カメラ角度と画面表示方法 (鏡像・正像) を適当に選択すれば、同室感や視線の理解、対話の容易性において有効である^[6]だけでなく、画面上の位置の指示を必要とする場面においても、指示容易性を低下させずに利用可能であることが示唆される。

5.1.2 前方・後方・真横の比較

表 1 の結果から、前方 (0~67.5 度) のカメラ角度間 (表 1 の A2, B2)、及び後方 (0~67.5 度) のカメラ角度間 (表 1 の A3, B3) では、ほとんどの場合 (全 24 通りのうち 23 通り) について有意な差がなかったこと、真横 (90 度) の場合には、前方や後方のカメラ角度と

の間で有意な差がある場合とない場合が混在したことから、前方、後方及びその他 (90 度) を各々 1 つのグループとして考え、画面表示方法 (鏡像・正像) の違いを含めた下記 6 通りの場合について、そのグループ間の違いを見るため、さらに分析を行った。T は各場合の平均指示時間で、添え字の “M” は鏡像 (Mirror)、“N” は正像 (Normal) を表し、“Front”、“Side”、“Rear” は各々、前方 (Front)、真横 (Side)、後方 (Rear) のカメラ角度であることを表す。

- T_{MFront} : 鏡像で前方 (0~67.5 度)
- T_{MSide} : 鏡像で真横 (90 度)
- T_{MRear} : 鏡像で後方 (112.5~180 度)
- T_{NFront} : 正像で前方 (0~67.5 度)
- T_{NSide} : 正像で真横 (90 度)
- T_{NRear} : 正像で後方 (112.5~180 度)

6 通りのグループについて、一元配置分散分析を行った。その結果、有意な差が存在した ($F(5,2303)=34.812, p<.01$) ことから、Bonferroni の多重比較を行った所、図 9 に示す結果となった。6 通りの間の組み合わせは全 15 通りあるが、その各組み合わせの比較を見やすくするため図 9 では (a) と (b) に分けて示してある。

図 9(a) の結果から、前方の場合では、自身と画面上の動きの左右方向が合致している T_{MFront} と逆転している T_{NFront} を比較すると有意に T_{MFront} の方が小さく ($p<.01$)、後方の場合では、自身と画面上の動きの左右方向が合致している T_{NRear} と逆転している T_{MRear} を比較した場合も有意に T_{NRear} の方が小さかった ($p<.01$)。これらの結果は、図 7 の結果同様、画面上の動きの左右方向が被験者自身の動きと合致していることが指示容易性を高める可能性があることを示唆している。

また、 T_{MFront} と T_{NRear} との間は、平均値の差としては T_{MFront} の方が小さいがその差は有意ではなかったのに対し、 T_{NFront} と T_{MRear} との間は、 T_{NFront} の方が有意に小さかった ($p<.01$)。 T_{NFront} と T_{MRear} はともに自身の実体の動きと映像上の動きが左右逆転している場合であり、指示容易性がその逆の場合 (左右が合致している場合) より低いことは理解できる。しかし、これらが同程度ではなく T_{MRear} の方が有意により悪いという事実は、両者の間において前方では被験者の身体の前が見えて後方ではそれが見えないという違いがあることをふまえると、被験者の身体の顔を含む前が見えているということが指示容易性にとって重要である可能性を示唆する。自分の身体の正面自己像が見える場合の特徴としては、顔の向きが分かりやすいこと、正面自己像は日頃から鏡で見慣れていることなどが挙げられ、これらが指示容易性に何ら

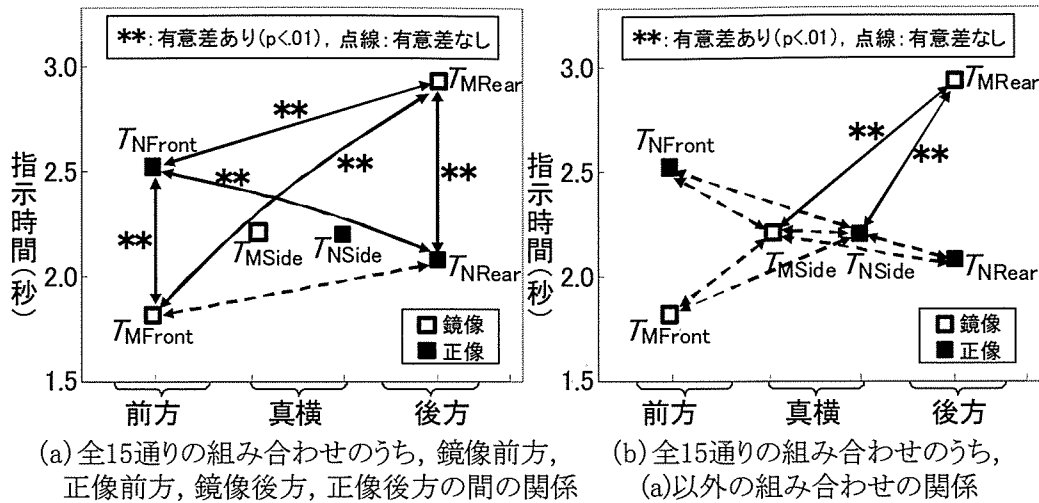


図9 前方, 真横, 後方に関する比較 (Bonferroni の方法)
Fig.9 Comparison between three groups of angles. (Results of Bonferroni)

かの影響を与えている可能性も考えられる。より詳しい分析は今後の課題である。

上記の内容は、正像の場合の前方と後方の差 ($T_{NRear} - T_{NFront}$) が、鏡像の場合の前方と後方の差 ($T_{MRear} - T_{MFront}$) よりも大きくなっていること (図9(a)) にも反映されている。すなわち、

- 実体と映像の動きの左右が一致すること
- 身体の前面が画面上で見えること

が指示容易性に正の寄与を与えるとすると、 T_{MFront} の場合はこれら2条件が共に正の寄与を与えるために最も指示時間が短く、 T_{MRear} はこれら2条件が共に負の寄与を与えるため最も指示時間が長くなることになり、その差は大きくなる (図9(a)) と推察できる。 T_{NRear} と T_{NFront} では、これら2条件のうち片方が正の寄与、片方が負の寄与を与えるため、鏡像の場合に比してこれらの差は比較的小さくなる (図9(a)) と推察される。

一方、真横の場合については、図9(b) から、 T_{MSide} と T_{NSide} は、他の T_{MFront} , T_{NFront} , T_{NRear} と有意に差は見られなかった。しかし、平均値でみると、動きの左右が一致している T_{MFront} , T_{NRear} とそれが一致していない T_{NFront} と T_{MRear} の中間にあることが分かる。すなわち、自身の動きの左右が画面内では画面奥行き方向となる真横 (90度) の視点は、指示容易性において動きの左右が一致する場合と不一致の場合の中間であることが分かる。さらに、 T_{MSide} , T_{NSide} はいずれも、 T_{MRear} とは有意な差があり、前述までの結果をふまえると、 T_{MRear} (鏡像後方) の場合は、特に指示容易性が低くなる場合であることが示唆される。

5.2 指示位置の影響

図8の結果で示したように、指示位置が1, 3の時は、それぞれ1と3の間の組み合わせを除いた他のすべての指示位置に比して指示時間が有意に大きかった。その原因としては、画面上で1と3はスタートアイコンから最も遠いこと、画面上を斜めに移動する位置にあること、などの条件が影響している可能性が考えられる。被験者へのインタビューで「大きく移動したり、移動経路が判断しにくい指示の場合は難しい」というコメントもあり、その可能性を示唆している。また、図6では、鏡像の後方 (112.5~180度) 及び正像の前方 (22.5~90度) において、指示位置の違いによる指示時間のばらつきが大きくなる傾向があったが、これは、自身の動きと画面上の自己像の動きの左右方向が合致していない場合であり、それが指示時間を大きくする影響を与えている可能性が考えられる。

これらのような傾向は、実際に実験を録画したビデオの観察においても、画面上で斜めに移動する指示位置の場合や、自身の動きと画面上の動きの左右方向が合致していない場合において、被験者が方向を迷いながら指示を行う場合が多く見られ、それらを裏付けるものである。図10に、そのような場合の例として、カメラ角度45度で正像の場合に被験者が迷いながら指示した際の軌跡例を示す。図10中の軌跡例(1)(2)を見ると、いずれも指示開始直後に、画面上で目標アイコンと左右反対方向へ動き始めていることが分かる。また、各々の場合について、画面上でスタートアイコンと目標アイコンの間の軌跡長と最短直線距離を比較すると、軌跡例(1)は1.9倍、軌跡例(2)は2.7倍の軌跡長であり、最短ルートを通れず迷いながら指示していることが分かる。ここで、軌跡例(1)(2)は各々ア

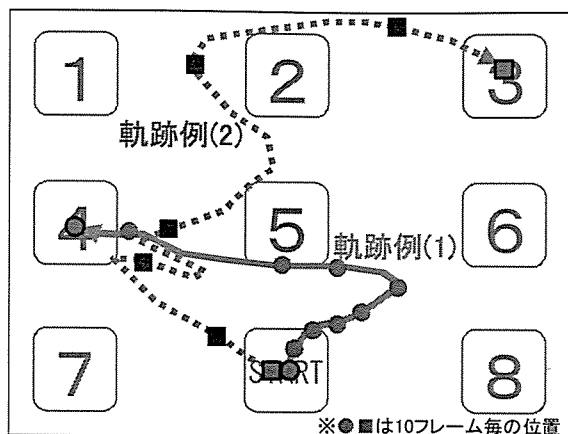


図 10 迷いながら指示する場合の軌跡例（2例ともカメラ角度 45 度正像の場合）

Fig. 10 Examples of pointing trajectory on the display.

アイコン番号 4 と 3 が目標アイコンであり、軌跡中の印は各々スタートから 10 フレーム毎の位置を示す（システムの映像表示は約 27fps）。

また、アイコン位置 5 では、他のすべてのアイコン位置より有意に指示時間が小さくなった。これは、スタートアイコンから近く、かつ上下のみの移動であることが指示時間を短くする影響を与えている可能性がある。本実験では、被験者の周囲に水平に角度を変化させたカメラ位置としたため、自身の手の上下方向の動きは、カメラ角度や画面表示方法によらず、常に画面上の手の動きの方向と一致していたことに起因する。より自由な視点からの共有空間映像の構築を考え、上下角度も含めた視点の変化による影響の評価は今後の課題である。

5.3 共有空間表示の設計指針

以上の分析の結果から得られる、非正面視点から撮影した映像を用いた共有空間において、指示容易性の観点から見た設計上の指針についてまとめる。

1. カメラ角度と画面表示方法の設定

- 前方（0～67.5 度）のカメラ角度を利用する場合、鏡像にすることが望ましい。（図 7）
- 後方（112.5～180 度）のカメラ角度を利用する場合、正像にすることが望ましい。（図 7）
- 真横（90 度）のカメラ角度を利用する場合、鏡像・正像どちらでもよい。（図 7）
- 鏡像を利用する場合は、前方（0～67.5 度）のカメラ角度の範囲内で指示容易性を同程度に保てる。（表 1）
- 正像を利用する場合は、後方（112.5～180 度）のカメラ角度の範囲内で指示容易性を同程度に保てる。（表 1）
- 前方（0～67.5 度）で鏡像の場合と、後方

（112.5～180 度）で正像の場合では、前者を利用の方が望ましい。（図 9）

- 真横（90 度）のカメラ角度を利用する場合は、鏡像・正像に関わらず、動きの左右が一致する場合と不一致の場合の中間程度の指示容易性を保てる。（図 9）

2. 指示位置の設定

- 指示位置は、画面上で指示に要する移動距離が小さい方がよい。
- ユーザ自身の手の斜め方向の移動が少ない配置であることが望ましい。

本論文で対象としているコミュニケーションの利用形態としては、対話中の話者や話題の変化、指示対象の位置等に応じて、いわばテレビの対談番組のように撮影方法（カメラ角度等）を適宜に変化させながら進めていくような利用場面が考えられる。複数のカメラ視点映像からカメラワークを適切に制御する自動撮影の研究^[25]も行われているが、カメラ角度を頻繁に切り替えて利用するような場合は、切り替える直前の利用環境（画面表示方法とカメラ角度）の違いやその頻度などによって、指示容易性が影響を受ける可能性も考えられる。本実験では評価していないが、今回の指針も念頭に置きつつそのような利用形態（動的なカメラ制御）を考慮した評価は今後の課題である。

また本実験では、遠隔対話における共有空間映像上でアイコン等の位置を指し示す場面を考慮したサイズのアイコンとしたが、より小さいものや位置精度の高い指示を行う場面を想定すると、アイコンサイズ（接触判定の範囲）をより小さくする必要があり、それが指示時間に影響を与える可能性も考えられる。アイコンサイズを小さくした場合、正面視点、非正面視点のいずれの場合でも、目標アイコンに近づいてからの位置調整に時間がかかり、指示時間が長くなることが予想される。また、実験ビデオの観察から、非正面視点の場合に、目標アイコン付近で位置調整に時間がかかる場面が比較的多く見かけられたことから、正面視点よりも、非正面視点の場合の方が、より時間が長くなる可能性が考えられる。そのようなアイコンサイズをパラメータとした評価についても、自己像を用いたインタフェースにおける設計指針となり得ることから、今後の課題である。

また、事前練習（5 分程度）により、被験者はシステムの利用方法について十分に慣れているため、実験中でのシステムに対する慣れの影響はほとんどないと考えられるが、更に長期間利用した場合の学習効果については今後の課題である。長期間利用した場合の学習効果があるとした場合、非正面視点の場合の指示時間が短縮される可能性も期待できる。

6. むすび

相手像と自己像を合成した共有空間映像を利用して行う遠隔コミュニケーションでは、非正面視点から撮影した自己像を用いることにより、同室感や視線の理解を向上させることができる [4], [6], [15], [16]。本研究では、そのようなコミュニケーション方式を利用する上で、非正面視点撮影の場合の指示容易性に着目し、カメラ角度、画面表示方法、指示位置等の条件が指示容易性に与える影響について実験を通して評価した。その結果、当初は非正面視点撮影時に指示がしにくくなることを予想していたのに対し、非正面視点撮影においても、正面視点撮影の場合と比して、一定の条件下では指示容易性において有意な差がない場合があることが分かった。以上から本論文では、非正面視点から撮影された場合の指示容易性について明らかにするとともに、自己像を用いたポインティングインタフェースにおける有益な設計指針を得ることができたと考えられる。これにより、非正面視点撮影を用いた遠隔コミュニケーションの可能性が広がることが期待できる。

今後は、特定のコミュニケーション課題（例：装置の操作指示 [26]、コンテンツの協同作成、ナビゲーション等）における、多様な利用局面での指示容易性並びにコミュニケーションの質の評価を進める予定である。

参考文献

- [1] 森川 治: 超鏡: 魅力あるビデオ対話方式をめざして; 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3, pp.815-822, (2000).
- [2] 森川 治, 福井 幸男, 山下 樹里, 佐藤 滋: 人に優しい超鏡対話における指差し行為; 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.5, pp.1290-1297, (2000).
- [3] 細谷 英一, 北端 美紀, 佐藤 秀則, 原田 育生, 小野澤 晃: ミラーインタフェースを用いた双方向型インタラクティブコミュニケーションの実現; 2005 信学総大, A-16-20, p.296, (2005).
- [4] 森川 治, 橋本 亮一: ビデオ対話に正面顔が必要不可欠か; 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.283-286, (2002).
- [5] 石井 裕, 渡辺 富夫: ビデオコミュニケーションにおける自己映像の合成対話配置の評価; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.291-298, (2005).
- [6] 細谷 英一, 橋本 佐由理, 原田 育生, 小野澤 晃, 上田 繁: 仮想共有空間の客観視映像を用いた遠隔講義システムとその評価; 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.8, pp.2742-2756, (2008).
- [7] 梅岡 義貴, 大山 正: 学習心理学; 東京誠心書房, pp.293-295, (1966).
- [8] 心理学実験指導研究会: 実験とテスト心理学の基礎 (解説編); 培風館, pp.101-106, (1985).
- [9] 心理学実験指導研究会: 実験とテスト心理学の基礎 (実習編); 培風館, pp.47-51, (1985).
- [10] 山上 暁: 認知ゲーム実験 (1) 鏡映描写; 甲南女子大学研究紀要人間科学編, Vol.42, pp.7-11, (2006).
- [11] 山本 豊: 学習・教育; 新曜社, pp.40-43, (2008).
- [12] 小谷 賢太郎, 古澤 憲治, 堀井 健: VR 環境下にお

- ける情報伝達遅延が眼と手の協調動作に与える影響; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.4, pp.51-60, (2004).
- [13] 北端 美紀, 野島 久雄, 細谷 英一, 小野澤 晃: ミラーインタフェースにおけるキャラクタエージェントとのインタラクション方法の評価; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, pp.531-534, (2003).
- [14] 佐木 俊史, 渋谷 雄, 田村 博: パソコン映像入力を用いたアクション・インタフェースの試み; 第12回ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.213-218, (1996).
- [15] 久保田 秀和, 亀田 能成, 美濃 導彦: 遠隔地間通信会議における「横顔視線一致」における対話の実現; 信学技報, Vol.HIP98-8, pp.55-62, (1998).
- [16] 石井 裕, 渡辺 富夫: ビデオ面接における自己映像の仮想対面合成による身体的インタラクション評価; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.145-153, (2008).
- [17] 森川 治, 熊谷 徹, 山下 樹里, 横山 和則: 内視鏡手術はどのくらい難しいか?—カメラ視軸が作業効率に及ぼす影響—; 日本コンピュータ外科学会誌, 8-3, pp.186-187, (2006).
- [18] 原田 育生, 細谷 英一, 服部 静枝, 小野澤 晃: ミラーインタフェース: 鏡メタファによる遠隔対話—遠隔協調作業実験による一評価—; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, pp.559-564, (2006).
- [19] 渋谷 雄, 中村 重雄, 物部 文彦, 成田 智也, 倉本 到, 辻野 嘉宏: アクションインタフェース: 画像入力を用いた非接触型インタフェース; HI 学会第5回ノンバーバルインタフェース研究会講演論文集, pp.17-24, (2002).
- [20] 高橋 一真, 田村 博, 渋谷 雄, 中島 健, 奥田 糧: アクション・インタフェースのためのメニューの動的配置; 第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.327-332 (1997).
- [21] 小野澤 晃, 橋本 佐由理, 細谷 英一, 原田 育生, 上田 繁: ミラーインタフェースを用いた遠隔講義システムの実装; 2007 信学総大, A-15-15, p.302, (2007).
- [22] 池田 大輔, 倉本 到, 渋谷 雄, 辻野 嘉宏: タッチ動作を用いたミラーインタフェースにおける映像・応答遅延の影響; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.253-263, (2008).
- [23] 松原 孝志, 白杵 正郎, 杉山 公造, 西本 一志: 言い訳オブジェクトとサイバー囲炉裏: 共有インフォーマル空間におけるコミュニケーションを触発するメディアの提案; 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.3174-3187, (2003).
- [24] DAC-JAPAN: ビデオ (映像) スクリーンサイズ・視聴距離, http://www.dac-japan.com/training_vsize.htm (参照 2011-1-28).
- [25] 尾関 基行, 中村 裕一, 大田 友一: 机上作業シーンの自動撮影のためのカメラワーク; 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-D-II, No.11, pp.1606-1617, (2003).
- [26] 葛岡 英明, 庄司 裕子: 空間型共同作業の評価手法の提案とその応用; 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-A, No.6, pp.915-922, (1994).

(2011 年 1 月 28 日受付, 5 月 11 日再受付)

著者紹介

細谷 英一 (正会員)



1993 年千葉大学大学院電子工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話（株）入社。2000 年 NTT コミュニケーションズ（株）。2002 年 NTT マイクロシステムインテグレーション研究所（現職）。この間、並列処理 LSI、ヒューマンインタフェース等の研究開発に従事。2006 年から 2008 年まで NICT 特別研究員。ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会、情報処理学会、日本認知科学会各会員。

原田 育生 （正会員）



1983 年大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。同年、日本電信電話公社（現 NTT）入社。2000 年（株）国際電気通信基礎技術研究所出向。2002 年 NTT マイクロシステムインテグレーション研究所。この間、LSI CAD、感性情報処理、CG、HCI 応用システムの研究開発に従事。2010 年 NTT エレクトロニクス（株）入社（現職）。2006 年から 2008 年まで NICT 特別研究員。博士（工学）。ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE 各会員。

小野澤 晃 （正会員）



1985 年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程電子通信学専門分野修了。同年、日本電信電話（株）入社。2002 年より現所属。この間、同社にて LSI CAD、ヒューマンインタフェース等に関する研究に従事。2005 年から 2008 年まで NICT 特別研究員。博士（情報科学）。2006 年ヒューマンインタフェース学会論文賞受賞。ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会、情報処理学会、ACM、IEEE 各会員。

村瀬 洋



昭和 55 年名古屋大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社（現 NTT）入社。平成 4 年から 1 年間米国コロンビア大学客員研究員。平成 15 年より名古屋大学大学院情報科学研究科教授。文字認識、画像認識、マルチメディア認識の研究に従事。工学博士。平成 6 年 IEEE-CVPR 最優秀論文賞、平成 13 年高柳記念奨励賞、平成 14 年電子情報通信学会業績賞、平成 15 年文部科学大臣賞、平成 16 年 IEEE Trans.MM 論文賞、平成 22 年通信協会前島賞ほか受賞。IEEE フェロー、電子情報通信学会フェロー、情報処理学会会員。