

# 双方向サロゲートによる空間的遠隔協調作業の支援

片山直樹<sup>1, a)</sup> 高津良介<sup>1</sup> 井上智雄<sup>2</sup> 重野寛<sup>3</sup>

**概要:** ダンスや演劇, スポーツなどの一定の空間内を移動しながら行うような身体的協調作業では, 作業者は相手との位置関係に応じて行動を決定するため, 作業者は互いの位置関係を齟齬がないよう把握する必要がある. これらの協調作業の遠隔化には, 遠隔地にいる双方の作業者に, 相対的な位置関係を提示できるようなシステムが必要である. そこで, 本研究では双方向サロゲートによる遠隔協調作業の支援を提案する. 遠隔地に自身の動きに合わせて移動し, 一人称視点映像を取得可能なサロゲートロボットを用意する. 双方向で遠隔地に没入することで, 双方の作業者に相手が目の前にいる空間を提示し, 提示する相対的位置関係をシステムを通して設計することが可能である. システムによって等価な情報を双方の作業者に提示し, 作業者の間における認識の齟齬を減らせることが期待できる. 評価実験によってコミュニケーションをとる際, 片方向のサロゲートを行う場合に比べ, 位置関係の把握における齟齬が少なかったことを確認した.

**キーワード:** サロゲート, 双方向, 遠隔協調作業, 身体的協調作業

## Support of Remote Collaborative Work by Mutual Surrogates System

NAOKI KATAYAMA<sup>1, a)</sup> RYOSUKE TAKATSU<sup>1</sup>  
TOMOO INOUE<sup>2</sup> HIROSHI SHIGENO<sup>3</sup>

**Abstract:** In physical cooperation work in which we move in a space such as sports dance, theater, the worker decides the behavior according to the positional relationship with the opponent, so the workers need to grasp the positional relationship of each other so as not to be inconsistent. In these collaborative works, a system that can present the positional relationships as needed to both workers at remote locations is necessary. Therefore, in this research we propose support for remote cooperative work by interactive surrogate. We prepare a surrogate robot that moves to the remote place according to its own movement and can acquire the first person view video. By bidirectional immersing in a remote place, it is possible to design a positional relationship to be presented to both workers by presenting the space in front of the other party. Presenting equivalent information to both workers by the system can be expected to reduce discrepancies in recognition among workers. We confirmed that there is little discrepancy in grasping the positional relation when communicating by the evaluation experiment, compared with the case of doing a surrogate.

**Keywords:** surrogate, mutual surrogates, remote collaborative work, Physical collaborative work

### 1. はじめに

我々は様々な協調作業を行いながら生活をしている. 協調作業とは「複数人が協調することにより, 一人ではなし得ない, あるいはなすことが非常に困難な新しい価値を創造すること」であり[1], 会話や会議, 組み立て作業などの単純なものからスポーツや演劇, ダンス, 演奏活動など様々な作業が含まれる. これらの協調作業では情報, 作業, 意識の共有が不可欠となる. 協調作業を遠隔化するためにはこれらの情報等を遠隔地においても共有できるよう支援する必要がある.

本研究では演劇やスポーツ, ダンスなどでみられる空間的協調作業に焦点を当てる. これらの空間的協調作業では,

作業者がお互いに相手のいる位置や行動にあわせて自身の動きを決定する. 一緒に作業をする際, お互いが認識する位置情報に齟齬がある場合, 作業者が互いの動きに合わせることは難しい. そのため, これらの協調作業を遠隔で行う際には, 位置情報を遠隔地にいる双方の作業者に等しく伝える必要がある. そこで, 遠隔2地点において, 双方向のサロゲートシステムによる遠隔協調作業の支援を提案する. 作業者はHMDを装着し, 自身の動きに合わせて動くロボットに取り付けたカメラから送られてくる遠隔地の一人称視点映像を見る. これを相互に行うことで, 双方の作業者に提示する相手との位置関係に応じた視覚情報をシステムによって望ましい形に設計することが可能である. このシステムによって等価な情報を双方の作業者に提示し, 作業者の間における認識の齟齬を減らせることが期待できる.

本稿の構成は本章以降, 2章では遠隔協調作業の支援研究とその課題を説明し, 3章では本研究の提案, 4章ではその実装, 5章では評価実験について述べ, 最後に6章で結論

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>2</sup> 筑波大学図書館情報メディア系

Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

<sup>3</sup> 慶應義塾大学理工学情報工学科

Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Technology, Keio University

a) katayama@mos.ics.keio.ac.jp

を述べて結びとする。

## 2. 遠隔協調作業の支援研究

人は生活の中で様々な協調作業をしている。これらの協調作業を遠隔で行うための支援研究は昔から盛んに行われている。本章では、これまでの遠隔協調作業の支援研究について取り上げる。

### 2.1 遠隔協調作業におけるノンバーバル情報共有

遠隔協調作業を支援する研究では、遠隔地にいる相手とノンバーバル情報を共有することで、コミュニケーションを取りやすくしたり、作業の共有を可能にしたりしている。Jonesらはユーザの視線情報をリアルタイムで映像に反映させることでディスプレイ同士の会話において視線の一致やユーザの向いている方向の共有を可能にした[2]。LiveMaskでは顔の形に合わせたディスプレイに遠隔地の相手の顔を表示させることで、平面ディスプレイでは区別のつかなかった視線を正しく認識することが可能となる[3]。t-Roomでは8台の大型ディスプレイを円形に並べて作った小さな部屋を複数用意し、立ち位置に対応したディスプレイに姿を表示させることで小部屋内のどこに配置されているかを共有することができる[4]。ディスプレイの下にロボットの手を設置し、遠隔の相手の手の開閉に合わせてロボットの手を開閉させることで、手の開閉動作を共有し遠隔地間での握手を可能にする研究もある[5]。

これらの研究では、視線や頭、身体の動きといったノンバーバル情報を共有することで遠隔でのコミュニケーションを取りやすくしている。Adalgeirssonらが開発したMeBotや[6]、Kawanobeらが開発したiRISは[7]、操作者の頭の動きに連動してロボットの頭部が動く可動式ディスプレイを持ち、注視方向を共有することができるようになっており、注視方向の共有によって会話中の話題の対象を特定しやすくなり、作業にかかる時間が短縮される等、その効果が確認されている。しかし、これらの研究では空間内の移動がないことを前提としており、空間内を動くような身体的協調作業には使用することができない。

### 2.2 サロゲートロボットによる遠隔作業支援

遠隔地にいながら物理的な代理としてサロゲートロボットを使用することで遠隔地にいる相手と協調作業を行う研究がある。サロゲートロボットの研究では、はじめはロボットをコントローラで自由に移動させ、ロボットからの一人称視点を見ながらコミュニケーションをとるだけであったが[8]、ロボット技術の進歩に伴い、作業者の手の動きに合わせてロボットの手を動かすなど、人間の動きをロボットが再現できるようになってきている[9]。このようにサロゲートするロボットの性能次第で遠隔地でも様々な行動ができるようになる。これらのサロゲートロボットを使用すると、ロボットの操作者は遠隔地の相手の姿を見ることができるようになる。相手側ではロボットの姿しか見ることが

できない。そこで、ロボットにプロジェクションを行ったり、ロボットの頭部に360度のディスプレイを設置したりすることで、操作者の顔を表示し[10]、相手も遠隔地の操作者の顔を見ながら作業を進めることが可能となった。

ロボットの性能が向上し、ダンスやスポーツ、演劇などの動きを再現できるロボットが生まれることで、遠隔地からロボットを操作し、操作者の動きをロボットが再現することでダンスなどの練習にも参加できるようになると考えられる。しかし、遠隔地からサロゲートロボットを操作する操作者とロボットと一緒に作業する作業者とは共有する情報に差がある。操作者が見ている視覚情報はロボットが撮影した映像であり、もう一方の作業者が見ている視覚情報は実際に目で見ているものである。ロボットが撮影する映像はカメラの性能に依存するものであり、例えば、同じ地点から見ているとしても、カメラの画角が狭ければ相手の姿が大きくなり、近くにいるように感じ、逆に画角が広ければ、相手の姿が小さくなり、遠くにいるように感じる。このようにロボットを通して遠隔地を見る場合、実際に目でみる時とは異なった見え方になる可能性があるため、位置関係を等しく共有するにはロボットの取得する映像の画角を調整するなどの工夫が必要となる。

## 3. 双方向サロゲートによる遠隔協調作業の支援

### 3.1 空間的協調作業の遠隔化

ダンスや演劇、スポーツなどの身体的協調作業では、相手との位置関係、距離などをお互いが共有することが重要である。例えば、ダンスでは観客から見た時に整った陣形に見えるよう、一緒にダンスをする他の作業者の見え方(どの程度離れて見えるか、どの方向に見えるか)から推測される位置関係(相対位置)を練習によって事前に把握しておく必要がある。また、スポーツのセットプレイでも他の作業者が指定された位置に到達したことをきっかけに動き出すため、相手が自分から見たときにどの位置に来たかという相対位置を把握し、記憶する必要がある。この時、把握し記憶する相対位置は、一緒に作業している作業者全員にとって共通している必要がある。共通していない場合、一方の作業者にとって適切な相対位置と認識していても、別の作業者にとってはまだ遠い、もしくは近すぎるなどのように認識されるといったように認識に齟齬が生じる可能性がある。認識に齟齬があると、例えば演劇において、特定の距離まで相手が近づいたタイミングで演技を行うような場面で、演技を行うタイミングにズレが生じてしまう。そのため、これらの空間的協調作業を遠隔環境で練習できるようにするためには、遠隔地にいる双方の作業者に必要に応じて適切な位置関係を視覚的に提示できるようなシステムが必要である。

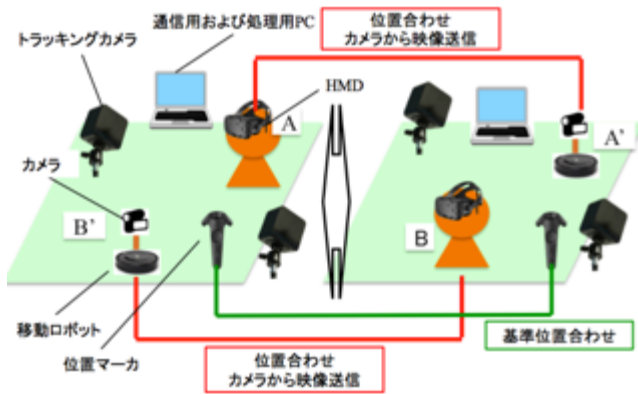


図 1 システム構成図  
Fig. 1 System Configuration

### 3.2 双方向サロゲートシステム

本稿では、遠隔 2 地点の作業者が相手のいる遠隔地に設置されたロボットへ相互に没入する環境を提案する。遠隔環境において同じ大きさ、形の作業空間をそれぞれ用意し、作業者は実空間の遠隔地に没入し、実映像で遠隔地の作業者を視認する。遠隔地にあるロボットを作業者の位置及び頭の向きに合わせて遠隔地を移動させることにより、作業者は遠隔地を一人称視点で確認することができる。この環境を 2 地点間で双方向に用意することで、どちらの作業者も「目の前に遠隔地の作業者がいる空間」を体感することができる。また、作業者双方にシステムを通して視覚情報を提示するため、認識する相手との相対位置をシステムによって設計することが可能である。作業者はシステムが提示する視覚情報をもとに遠隔地の相手との相対位置を認識するため、提示する視覚情報を同じ画角、解像度で撮影された映像にすることで双方の作業者が共有する相対位置を互いに矛盾しないものにすることができる。片方向のサロゲートでは、双方の視覚情報を対称にするためには、サロゲートロボットを通して見る映像を実際にその場で作業者が見たときと同じになるよう設定する必要があるが、視覚情報は人の意識や状態によって見える範囲も変化するものである。そのため、完全にその場から見た視覚情報をカメラによって取得することは難しい。今回は遠隔地の映像の提示に使用するカメラの性能を揃えることで、作業者双方にとって対称な視覚環境を設計することが可能である。これにより、遠隔地にいる互いの作業者が認識する相対位置を矛盾のないものへとすることができる。

## 4. 相互サロゲートシステムの実装

### 4.1 システム構成

今回実装した提案システムの構成を図 1 に示す。同じ大きさ、形の作業空間を遠隔 2 地点に用意し、それぞれに HMD を装着した作業者を配置する。図では位置マーカーとしてコントローラを用いている。加えて、地点間の位置合わせを行うため、各地点の所定の位置に位置マーカーを設置



図 2 作成した移動ロボット  
Fig. 2 Surrogate robot created

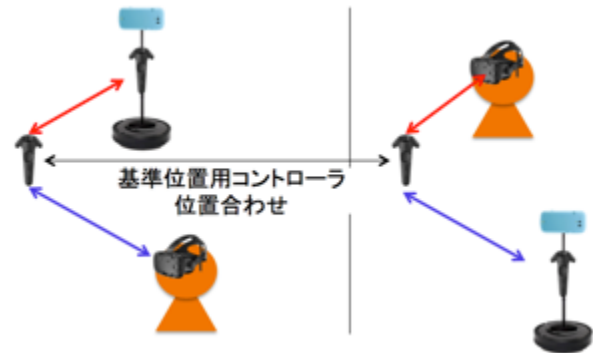


図 3 基準コントローラからの相対的な位置・向き取得

Fig. 3 Acquire relative position and orientation

する。各地点には作業空間の対角線上に 2 つずつトラッキングカメラを設置する。このトラッキングカメラで HMD と位置マーカーの位置と向きをリアルタイムに取得している。このカメラで取得したそれぞれの位置及び向きの情報は各地に設置した処理用 PC で処理された後、遠隔地の PC と通信を行う。PC は通信により取得した遠隔地の作業者の位置及び頭の向きに合わせてロボットの位置と向きを合わせるようにロボットを移動させる。

使用した機材としては、作業者が装着する HMD 及び位置マーカーとしてのコントローラ 2 つ、トラッキングカメラ 2 つは HTC 社の VIVE を用いた。移動ロボットには、iRobot 社の iRobot Create 2 を用いた。iRobot Create 2 は、任意の向きへの回転及び前進と後退が可能な移動ロボットであり、この上に高さの調節が可能なスタンドを立て、スタンドの先端には一人称視点実映像撮影用カメラとして、スマートフォンを取り付けた。作成した移動ロボットを図 2 に示す。VIVE のトラッキングカメラは、2 つのカメラの間の直線距離が 5m 以内であれば正常に機能する。そのため、今回のハードウェア環境においては、作業空間の最大範囲は対角線を 5m とする正方形または長方形の空間となる。

### 4.2 作業者とロボットの位置及び向きの取得

本システムでは、作業者とロボットの位置及び向きは、同作業空間内に設置した位置合わせ用のコントローラとの相対的な位置関係で取得している。すなわち、図 3 のよう



図 4 iRobot Create2 の前進・後退・回転

Fig. 4 Forward / reverse / rotation of iRobot

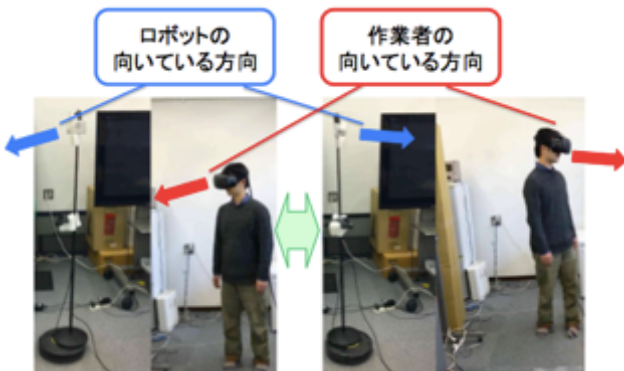


図 5 作業者の向きに合わせてロボットの向き変更

Fig. 5 Changing the orientation of the robot according to the direction of the operator

に、作業者の装着する HMD とロボットに取り付けたコントローラの位置、向きの座標から、位置合わせ用のコントローラの座標を引いた値をそれぞれの座標として PC が認識するようにした。このようにすることで、遠隔 2 地点間でトラッキングカメラなどの配置が異なっても、位置合わせ用のコントローラの位置と向きを合わせるだけで、空間内のロボット、コントローラの座標を一致させることができる。

#### 4.3 通信とロボットの同期移動

ロボットの位置は常に遠隔地の作業者の位置、向きに合わせて動く。今回移動ロボットとして用いた iRobot Create 2 は、左右への回転と前進移動、後退移動が行える。プログラミングにより、 $-500\text{mm/s}$ ~ $500\text{mm/s}$  の任意の回転速度を右の車輪、左の車輪それぞれに設定することができる。図 4 のように、両方の車輪に前方向に速度を与えるとロボットは前進し、両方の車輪に後ろ方向に速度を与えると後退する。ロボットを回転させる場合は、左右の車輪にそれぞれ逆の速度をかけることで、ロボットは移動せずその場で回転する。本システムでは、この前進・後退・回転に静止を加えた状態を状況に応じて切り替えることでロボットを制御している。今回の実装では、カメラの揺れなどを考慮してロボットの速度は  $150\text{mm/s}$  とした。

今回、2 地点それぞれに配置した処理用 PC は、一方の PC をサーバ、もう一方の PC をクライアントとした Socket 通信を用いて 0.2 秒に 1 回位置情報を送り合う。位置や向きの情報を受け取ると、ロボットと作業者の向きのずれと

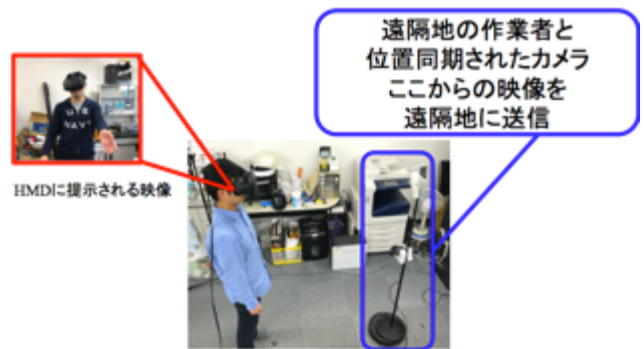


図 6 システムを使用している図

Fig. 6 State of using the system

位置のずれの大きさに応じて処理を切り替えている。アルゴリズムは、以下のようにになっている。なお、ここでの「位置のずれ」は作業空間平面の縦軸のずれと横軸のずれの大きさの合計とする。

- (1) 位置のずれが  $30\text{cm}$  以上になった場合、ロボットはずれの値を小さくする方向に前進または後退をする。
- (2) 位置のずれが  $30\text{cm}$  以内であり、向きのずれが  $0.1$  ラジアン以上の場合、ロボットはずれの値を小さくする方向に回転する (図 5)。
- (3) 位置のずれが  $30\text{cm}$  以内、かつ向きのずれが  $0.1$  ラジアン以内であれば、ロボットは静止する。

上記を 0.2 秒に 1 回の頻度で確認し、ロボットの位置及び向きを遠隔地の作業者の頭の位置、向きに合わせて移動させる。

#### 4.4 作業者への提示映像

HMD に映し出される映像は、遠隔地において作業者と同期移動されるロボットに設置したカメラからの一人称視点映像である。実際にシステムを用いて 2 地点間でコミュニケーションをとっている様子は図 6 のようになる。このように、それぞれの地点においては作業者の目の前にロボットが存在するが、双方向に遠隔地のロボットからの一人称視点を没入型の HMD により見ているため、作業者にはロボットは視認されない。映像はロボットに取り付けたカメラから直接処理用 PC に転送している。具体的には、Skype を使用し、撮影用スマートフォンから PC に繋ぎ、ビデオ通話により映像を送信し、HMD でこれを表示している。ラグについては通信環境に依存するが、正常に映像が映し出されている状態を安定して保てるだけの通信環境があれば、コミュニケーションに影響を与えるようなラグは発生しないことを確認した。

#### 5. 評価実験

本システムによって双方向でサロゲート可能な環境を作ることができる。そこで、双方向サロゲート環境により、コミュニケーションをとる際の齟齬を減らせることを実験で検証した。大学生、大学院生 12 名を対象に 2 人 1 組、計

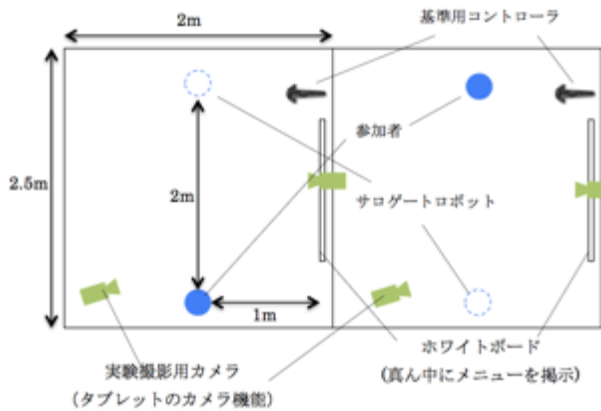


図 7 実験環境 (双方向環境時)

Fig. 7 Experiment environment

6組のペアに対して実験を行った。

### 5.1 実験概要

参加者に2人1組のペアで会話を行ってもらい、各環境で会話をする時の参加者の振る舞いを記録し、評価を行う。以下に今回の実験で会話を行う際の比較環境を示す。

- 双方向サロゲート環境 (提案システム)
- 片方向サロゲート環境
- 対面環境

双方向サロゲート環境は本稿で説明した提案システムである。作業空間を2つ用意し、参加者はそれぞれの作業空間に分かれ、システムを使用して双方向にサロゲートし、会話をしてもらった。これに対し、片方向サロゲート環境では、双方向サロゲート環境同様、2つの作業空間に分かれ、一方の参加者にHMDを装着し、遠隔のロボットにサロゲートしてもらった。もう一方の参加者はHMDを被らず、ロボット相手に会話を行ってもらい、対面環境ではどちらの参加者もHMDを装着せず、1つの作業空間において対面で会話を行ってもらった。

今回の実験では、参加者の会話行動を記録するため、会話中の様子をビデオにて記録し、0.2秒ごとに参加者とロボット (対面環境時はもう一人の参加者) の距離を計測した。距離はVIVEのHMDとコントローラの位置情報から計測するため、HMDを装着しない場合、コントローラを身につけてもらい、距離を測定する。会話行動や会話中の距離や向きを基に双方向サロゲートによってコミュニケーションをとる際の影響を観察した。

### 5.2 実験手順

今回の実験では、自然な形の会話行動を記録するため、会話の話題として料理の写真を複数用意し、各作業空間の2人の参加者の間の位置にホワイトボードを配置し、その上にメニューとなるよう写真を掲示した。また、実験開始時の初期配置として、対面で話すには少し離れていると感じるよう2m離れた位置に参加者を配置した。双方向サロゲート環境時の各配置についてまとめたものを図7に、実験の様子を図8に示す。手順について以下のような手順

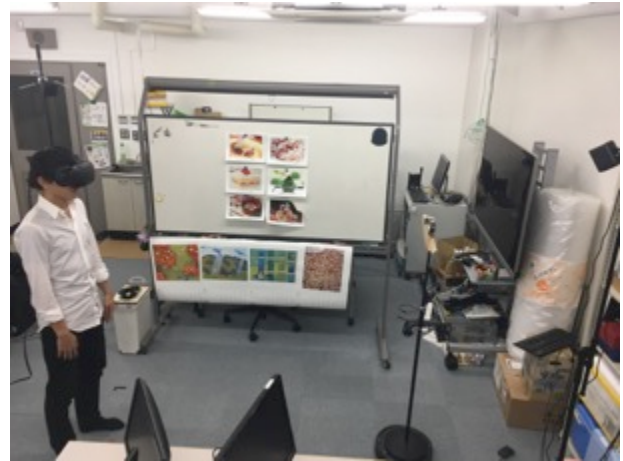


図 8 実験の様子

Fig. 8 The conditions of an experiment

で実験を進めた。

- (1) システムについての説明、実際に使用してもらい、操作などの練習を5分間行う。
- (2) 実験内容の説明を行い、会話行動を検討する旨を伝え、会話中自由に行動してもらいよう説明する。
- (3) 各作業空間に分かれて、それぞれHMDを装着してもらい (対面環境時は同じ作業空間でコントローラを身につける)。
- (4) 初期位置に移動し、実験開始の合図から3分間、自由にペアによる会話を行ってもらい。
- (5) 会話中の行動を2箇所のカメラによって撮影する。
- (6) (3)から(5)を各比較環境ごとに繰り返し行う。

今回、実験における順序相殺を行うため、参加者が行う比較環境の順番は6組それぞれ異なるよう設定した。

### 5.3 実験結果

実験中の各ペアA~Fの距離をグラフにまとめたものを図9に示す。

#### 5.3.1 双方向サロゲート環境

双方向でサロゲートした状態で会話を行った結果、6組中4組(A・C・D・E)が初期位置からほとんど移動せず会話を行っている。どのペアも頭の向きを変えて話す場面はあったものの、ホワイトボードの絵を見ながら会話をする際、ほとんどボードに顔を向けながら会話をしており、顔の向きを変えて相手の顔をみる動作はあまり見られなかった。会話を始める際、移動を行なった2組(A・F)は対面時よりも2人の距離が遠い位置で停止し、会話を行っていた。また、ホワイトボードに貼り付けられたメニューを見るためにホワイトボードに近づいて絵を見たりと活動的に動いていた。

#### 5.3.2 片方向サロゲート環境

ペアの片方のみがサロゲートした状態で会話を行った結果、3組がほとんど動かずに会話を行い(A・D・E)、2組は実験開始後双方の参加者が近づいて会話を行った(B・C)。近づいて会話を行った2組のうちペアBでは参加者双方が

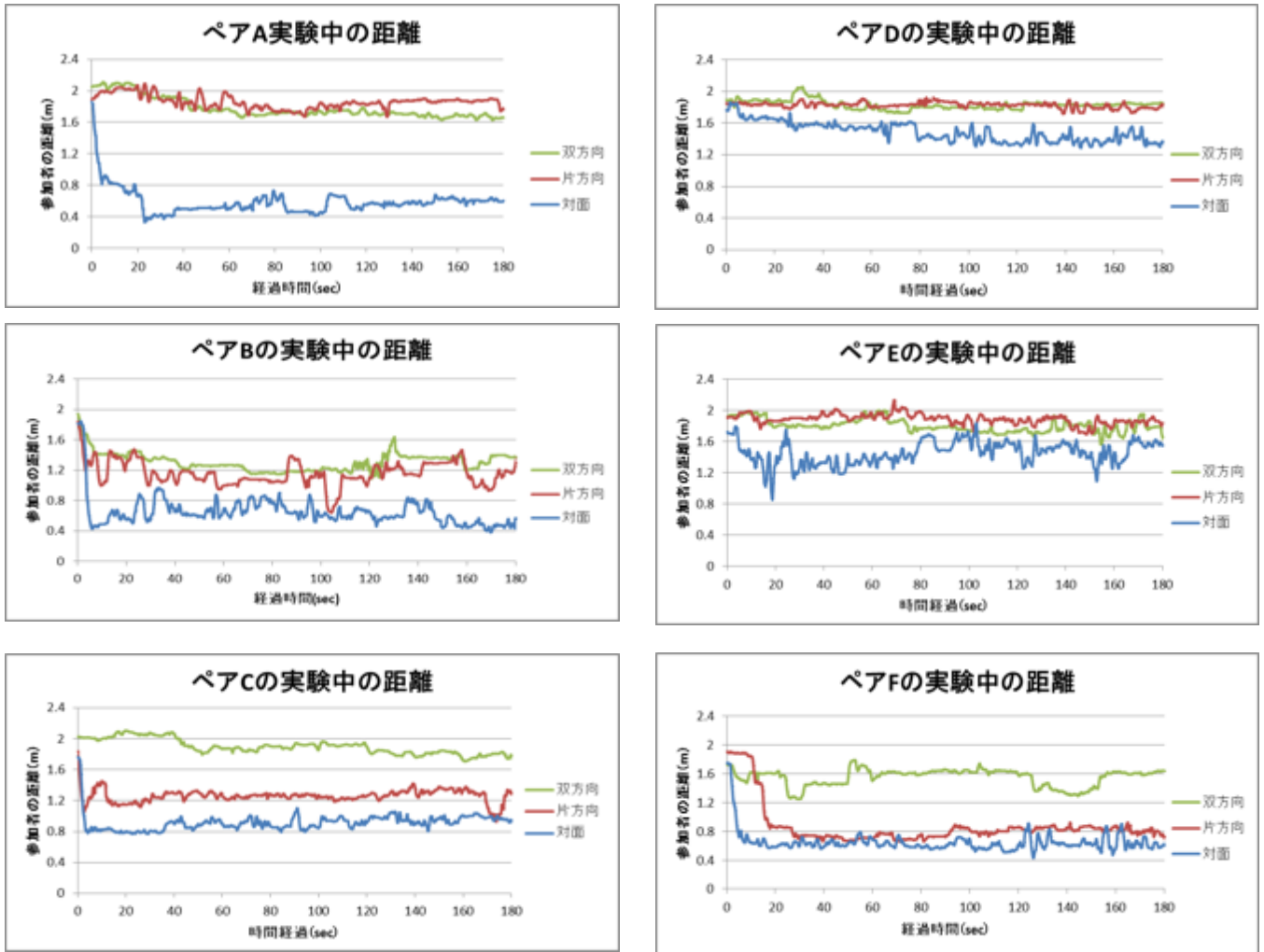


図 9 各ペアの実験中の 2 人の距離（緑：双方向環境，赤：片方向環境，青：対面環境）

Fig. 9 The distance between two people in each pair of experiments

近づいて行ったのに対し，ペア C では HMD をしていない方の参加者が相手に近寄り，会話を行っていた。また B と C に加え，A においても HMD を使用し，サロゲートしている参加者が相手の参加者に「近い」と発言して遠ざかるよう動いている様子が観察された。ペア A に関しては初期位置から大きく後ろに下がることができなかつたため，開始と同時に少し下がったがそれ以上の移動は見られなかつた。ペア F は他のペアと異なり，HMD をしていない参加者がホワイトボードのもとまで移動したり，ロボットの前に立ったりと活発に動き，HMD を装着し，サロゲートしている参加者はあまり動かず，向きを変えながら会話を行っていた。

### 5.3.3 対面環境

2 人の参加者が同じ作業空間で会話をする対面環境では，6 組中 4 組がお互いに近づいて会話を始めていたが (A・B・C・F)，2 組は開始の位置で会話をし，少しずつ近づきながら会話を行っていた。対面環境では，ホワイトボードの

メニューを見て会話をする際も，相手の顔とボードを行ったり来たりしながら会話をしている様子が見受けられた。

### 5.4 考察

#### (1) 会話中の距離の取り方

今回の実験では，システムを使用した際，いずれのペアでも対面環境より遠い距離で会話を行っている。その理由として，今回使用したロボットに取り付けられたカメラの画角が影響していることが考えられる。ロボットには iPhone を設置しており，iPhone にて撮影した映像を HMD に送って遠隔地の映像を見ているため，HMD を通して見ることができる視野は iPhone の画角によって制限される。iPhone の画角は約 73 度であることから，その場に立って見るよりも相手が近くに見えるように見える。そのため，会話する距離が遠くなったと考えられる。

カメラの画角によって遠隔地の相手の姿が近くに見える影響は片方向サロゲート環境において大きな影響を与えている。この影響はペア B の時間経過における距離の変化に

顕著に現れている。ペア B では双方向サロゲートに比べ、度々距離が 0.2~0.4m ほど変化していることがわかる。そこに着目して会話の様子を観察すると、会話中、HMD を使用してサロゲートしている参加者が細かく動いている様子が確認できる。その原因として、相手を見て認識する相手との距離が異なることが考えられる。先ほど述べたように、サロゲートしている参加者にはもう一方の参加者よりも相手が近くに見える。そのため、会話をしている際に近づいた時、相手との距離をサロゲートしていない参加者よりも近くに感じ、離れるよう動いているのではないかと考えられる。これは参加者たちの会話中の「近い」発言からも推測することができる。ペア B では、開始と同時に互いに近づき、10 秒前後で HMD を付けた参加者が「近い」と発言している。会話をしている際に、サロゲートしていない参加者にとっての会話をしている際に適した距離と、サロゲートしている参加者にとっての会話に適した距離が一致しないことからこのような現象が起きていることが考えられる。

ペア B 以外にも A, C においても同様に「近い」発言があることから (A では実験開始後相手が近づいてすぐ、C では開始後近づいてゆき 5 秒後にそれぞれ発言)、同様の現象が起きていると考えられる。ペア B とペア A および C の違いは、A, C の場合下がろうとしても後ろに下がることができない状態になってしまったことである。サロゲートロボットの移動速度は歩くよりも多少遅いため、双方の作業者が近づいた場合、サロゲートしていない参加者の方が速く近づくことができる。そのため、サロゲートしている参加者は後ろに下がることが気なくなり、相手からもっとも離れた位置で停止し、それ以上の距離の変化がなかったことが考えられる。このことから、A, C を含めた 6 組中 3 組において片方向サロゲート環境で会話を行うと距離の認識に齟齬が生まれ、お互いの適した距離で会話することができないことが考えられる。

これに対し、双方向のサロゲート環境では、各ペアのグラフにおいて急激な変化が少ないことから、いずれのペアにおいても安定した距離で会話ができているように考えられる。これらのことから、双方向にサロゲートすることにより、遠隔地にいる双方の作業者に位置関係の共有において齟齬の少ない認識が可能となることがわかった。

## (2) 比較環境ごとの会話行動

対面環境で会話を行う際にはどのペアも相手の顔を見ながら会話を行い、ホワイトボードにある写真をもとに会話をする際も、会話相手を見たりホワイトボードを見たりしながら会話を行っていたのに対し、双方向サロゲート環境では、ホワイトボードを見て会話を行う際、相手の顔を見ずにホワイトボードのみを見ながら会話していた。今回実装したロボットは移動に関してはラグが多少出るものの、回転して向きを合わせることにっては大きなラグは見受けられない。それにも関わらず、対面環境の時のように会

話中相手の顔を見るために顔の向きを変更することはほとんどなかった。その理由として、ロボットの視野角が狭いことで相手に見られていたとしても気づくことができないため、顔の向きを変える回数が少なくなったことと、HMD を装着しているため、相手の方向を向いたとしても目などが見られないことが考えられる。顔の向きによってある程度の方角は推測できるものの、目が見えないことから相手が自分を見ているアウェアネスを感じにくくなり、結果として相手の顔を見る回数の低下に繋がったことが推測される。これらのことから、HMD に相手の顔を重畳するなど、相手の視線が感じられるようシステムを改善していく必要がある。

また、片方向サロゲート環境での会話行動を観察すると、HMD をつけていない参加者が HMD をつけてサロゲートしている参加者よりも多く行動していることがみ受けられ、特にペア F においてその様子が顕著に観測された。ペア F では HMD をつけていない方がホワイトボードまで移動し、写真を隠してクイズを出題する等、主体となって動いている様子が見られる。この時、ロボットの操作者は顔の向きを変えるだけでほとんど移動していない。このように片方向サロゲート環境では、メディアの非対称性から遠隔地の人間がその場にいる相手と対等なコミュニケーションをとることは難しい。双方向サロゲート環境では、メディアが対称であるため、片方向で確認されたような会話行動はみられなかった。

## 6. おわりに

我々は普段の生活から様々な協調作業を行いながら生活している。協調作業を行うためには、情報、作業、意識の共有が不可欠となる。協調作業を遠隔化するためにはこれらの情報等を遠隔地においても共有できるよう支援する必要がある。本研究では演劇やスポーツ、ダンスなどでみられる身体的協調作業に焦点を当てた。これらの身体的協調作業を行う際、作業者は相手との位置関係に応じて行動を決定するため、位置関係を齟齬がないよう互いに把握する必要がある。これらの協調作業の遠隔化においては、遠隔地にいる双方の作業者に必要に応じた位置関係を提示できるようなシステムが必要である。そこで、本研究では双方向サロゲートシステムによる遠隔協調作業の支援を提案する。遠隔地に自身の動きに合わせて移動し、一人称視点映像を取得可能なサロゲートロボットを用意する。双方向で遠隔地に没入することで、双方の作業者に相手が目の前にいる空間を提示し、提示する位置関係をシステムを通して設計することが可能である。システムによって等価な情報を双方の作業者に提示し、作業者の間における認識の齟齬を減らすことができる。

双方向サロゲート環境、片方向サロゲート環境、対面環境のそれぞれの環境においてペアで会話をおこなってもら

い、その時の会話行動を観察する評価実験を行った。その結果、システムを使用することで会話をする際の距離が安定していることから、システムによって遠隔地間にいる双方の作業者のメディアを対称にし、コミュニケーションをとる際の齟齬を減らせることを確認した。

### 参考文献

- 1) 岡田謙一. 協調作業におけるコミュニケーション支援. 電子情報通信学会誌. 2006-03-01, 89, p213-217,
- 2) Andrew Jones, Magnus Lang, Graham Fyffe, Xueming Yu, Jay Busch, Ian McDowall, Mark Bolas, Paul Debevec, Achieving Eye Contact in a One-to-Many 3D Video Teleconferencing System, ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2009, Volume 28, Issue 3, Article No.64, August 2009.
- 3) Kana Misawa, Yoshio Ishiguro, Jun Rekimoto, LiveMask: A Telepresence Surrogate System with a Face-Shaped Screen for Supporting Nonverbal Communication. AVI '12 Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces Pages 394-397
- 4) Keiji Hirata, Yasunori Harada, Toshihiro Takada, Shigemi Aoyagi, Yoshinari Shirai, Naomi Yamashita, Katsuhiko Kaji, Junji Yamato, Kenji Nakazawa, t-Room: Next Generation Video Communication System, Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. IEEE.
- 5) Hideyuki Nakanishi, Kazuaki Tanaka, Yuya Wada. Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. CHI 2014, April 26 - May 01 2014, Toronto, ON, Canada.
- 6) S. Adalgeirsson, C. Breazeal "Mebot, a robotic platform for socially embodied telepresence," HRI '10 Proceedings of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, Pages 15-22
- 7) Hiroaki Kawanobe, Yoshifumi Aosaki, Hideaki Kuzuoka, Yusuke Suzuki. iRIS: A Remote Surrogate for Mutual Reference. the 8th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction(HRI), pp. 403-404 (2013).
- 8) Norman P. Joppi. First steps towards mutually-immersive mobile telepresence. CSCW '02 Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work, Pages 354-363
- 9) Susumu Tachi. Telexistence: Enabling Humans to Be Virtually Ubiquitous. IEEE Computer Graphics and Applications, Volume: 36, Issue: 1, Jan.-Feb. 2016.
- 10) Susumu Tachi, Kouichi Watanabe, Keisuke Takeshita, Kouta Minamizawa, Takumi Yoshida, and Katsunari Sato. Mutual. Telexistence Surrogate System: TELESAR4 - telexistence in real environments using autostereoscopic immersive display -. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems September 25-30, 2011

**謝辞** 実験タスクについて貴重なアドバイスをいただいた筑波大学葛岡英明教授に感謝いたします。