

# 遠隔地間での紙資料受け渡しによる対話相手の存在感の強化

大城 健太郎<sup>†1</sup> 田中 一品<sup>†1</sup> 中西 英之<sup>†1</sup>

**概要:** 遠隔コミュニケーションにおいて資料データなどを画面上で共有するシステムが提案されているが、あたかも対話相手と対面しているような感覚であるソーシャルテレプレゼンスへの影響へ注目した研究はほとんどない。本論文では、遠隔地間で紙資料の受け渡しを疑似的に再現するシステムである DocumentTrans を開発し、開発したシステムを使用して資料提示方法を比較する3つの実験を実施した。その結果、ディスプレイ上での電子的な資料共有において、また物理的な紙資料共有においても、受け渡し動作を再現することがソーシャルテレプレゼンスを強化することが分かった。さらに、物理的な紙の共有と、共有画面を通して書き込み筆跡をリアルタイムで確認できることによって、対話相手から受け取った資料の内容が伝わってきた感じが強化されることが示唆された。

## Sharing Printed Documents in Videoconferencing Enhances the Conversation Partner's Social Presence

KENTARO OSHIRO<sup>†1</sup> KAZUAKI TANAKA<sup>†1</sup> HIDEYUKI NAKANISHI<sup>†1</sup>

**Abstract:** Many researchers have proposed systems which support remote collaboration with documents sharing. This paper focuses on interaction around handing physical documents, we developed an experimental system for sharing physical documents. This system reproduces the feeling of exchanging physical documents with a remote person by movement synchronization of a remote and local paper. The result of three experiments suggested that social presence can be enhanced by sharing physical documents and reproduction of handing over a physical document. In addition, We could observe an advantage of the digital document sharing on dual-displays that participants could check the real-time handwriting on hand. And we could observe an advantage of the printed document sharing method that participants could check the printed document on hand. These advantages enhanced the feeling of being easy to grasp the illustrations drawn by the partner.

### 1. はじめに

遠隔コミュニケーションの手段としてビデオ会議は普及しており、ユーザは対話相手の姿を見ながら会話できることから相手を身近に感じることができる。しかしながら、ビデオ会議はユーザ側の空間と相手側の空間をディスプレイでガラス窓のように隔てた窓越しのコミュニケーションで、対話相手が同じ空間にいないということは明白であり、対面環境のような社会的インタラクションの促進が阻害されている。

ワークスペースの研究は古くから行われている [15][18][19]。ビデオ会議の普及と同時に、資料データを遠隔地間で共有する機会が増えてきており、資料への加筆をリアルタイムに共有する電子ホワイトボードやテーブルトップインタフェースを用いるユーザ同士のより円滑な共同作業を目的としたメディアスペースが提案されている [1][5][11][20][22]。

このようなメディアスペースによって、対面環境のようなリアルでインタラクティブなコミュニケーションの成立が期待されているが完全には実現されていない。そのためソーシャルテレプレゼンス（遠隔地の対話相手とあたかも

対面しているかのような感覚の度合い）の強化によって臨場感のあるコミュニケーションを促進することを目的とした研究がなされている。それらの研究の多くでは、遠隔地において相手の身体を実体化することや身体動作による物理現象を再現するシステムが提案されている。

本研究では遠隔地間での資料提示に注目し、物理的なモノの共有がソーシャルテレプレゼンスに与える影響を検証する。同じ物体を遠隔地間で物理的に共有することは現代の技術では困難であるため、遠隔会議において物理的な紙資料の受け渡しを再現することで、相手が同じ空間に存在することによる物理現象を使用者が知覚することができ、相手が同じ空間に存在するかに感じる可能性がある。我々は、物理的な紙資料の受け渡しの再現するシステムを開発し（図1）、受け渡しの再現によって対話相手とあたかも対面しているかのような感覚が生み出されるか観察した。本システムで再現する受け渡し行為は、机上を滑らせるような動きとした。

### 2. 関連研究

#### 2.1 メディアスペース

多くの研究で、遠隔会議において資料や書き込みなどを

<sup>†1</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

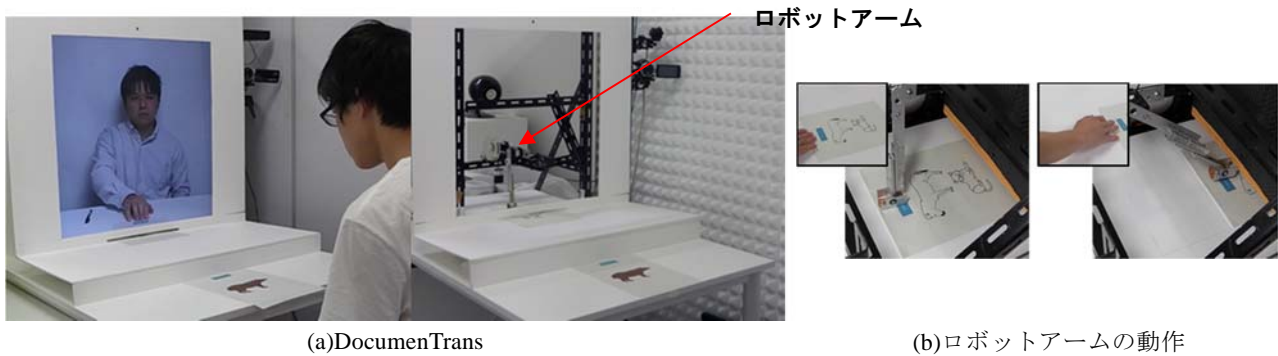


図 1. システム概要

Figure 1. The snapshots of the system.

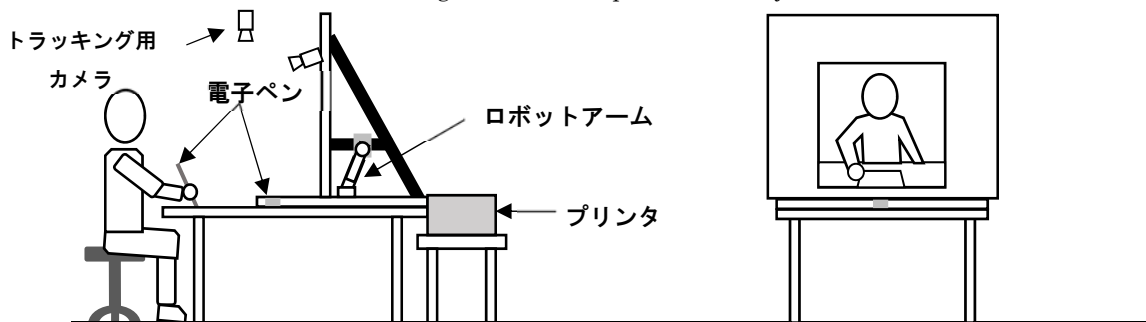


図 2. 双方向システムの装置配置

Figure 2. The structure of the system.

共有するシステムが提案されている [3][6][10][21]. ClearBoard[7]ではガラスの板を挟んで対話する状況を設定し、そのガラス板を描画面とし、書き込みだけでなく視線や指示を遠隔地間で共有する方法が提案された. Agora[9]では遠隔地の対話相手の正面映像に加え、机上の共有領域を用いた資料やジェスチャの提示によって、身体動作と資料との結びつきの提示した. またデジタルペンを用いて遠隔地間で紙への書きこみを共有する対話システムなどが提案されている[23]. このように、様々なシステムが開発されているが、本研究のように紙の資料を受け渡しするなど、物理的な資料共有を行っているものはない.

## 2.2 ソーシャルテレプレゼンス

ソーシャルテレプレゼンスの不足が、対面会議を遠隔会議で代替する上でのボトルネックであるため、それを強化する方法が多く研究されている. 音声だけでなくビデオ映像を用いる方法が一般的な手法で[4], アイコンタクトの成立や、立体映像・等身大映像を使用することがソーシャルテレプレゼンスを強化することが知られている[2][8][16].

遠隔地間で触覚を再現するデバイスが多く提案されており[12][14], 遠隔触覚がビデオ会議を改善することが示されている[17]. 遠隔握手ロボットハンド[13]では、通常のビデオチャットに握手用ロボットハンドを実装することにより、遠隔地間のインタラクションに擬似的な身体接触を付加した. この遠隔握手による擬似的な身体接触の付加がソーシャルテレプレゼンスを強化することが報告されている. また擬似的な身体接触による触覚伝達ではなく、お互いの

空間にまたがる様に配置された長椅子を通した振動の伝達により、対話相手の身体動作を伝えることで対話相手の存在感が強化されることが報告されている[25]. しかしながら、遠隔地との物理的なモノの共有を再現したシステムはほとんどなく、鏡型ビデオ会議システムにおいて回転テーブルを用いて物体共有を再現するシステムがあるが [24], 窓型ビデオ会議システムで物体共有を再現したものはない.

## 3. 遠隔地間紙資料受け渡しシステムの開発

本研究で提案するシステムは、遠隔地の対話相手を提示するディスプレイと、紙資料の受け渡し行為を再現するロボットアーム (図 1) を組み合わせたものである. ロボットアームは、遠隔地の対話相手が紙資料を差し出す・受け取る動作に同期してユーザ側で紙資料を動かす、ディスプレイの下から紙資料を出し入れする仕組みである. ディスプレイによる対話相手の身体動作の提示とその動作に同期した紙の動きにより、紙資料の受け渡しを再現する (図 4). また、筆跡をリアルタイムで取得できるデジタルペンを用いて、ユーザが紙に書き込んだ内容を画像化して取得し、受け渡し行為前に遠隔地であらかじめ印刷しておくことで、書き込みを行った紙資料の遠隔地間での受け渡しを実現する (図 2). 今回は、ソーシャルテレプレゼンスへの影響の評価が目的であるため、片方向のシステムを構成した (図 3).

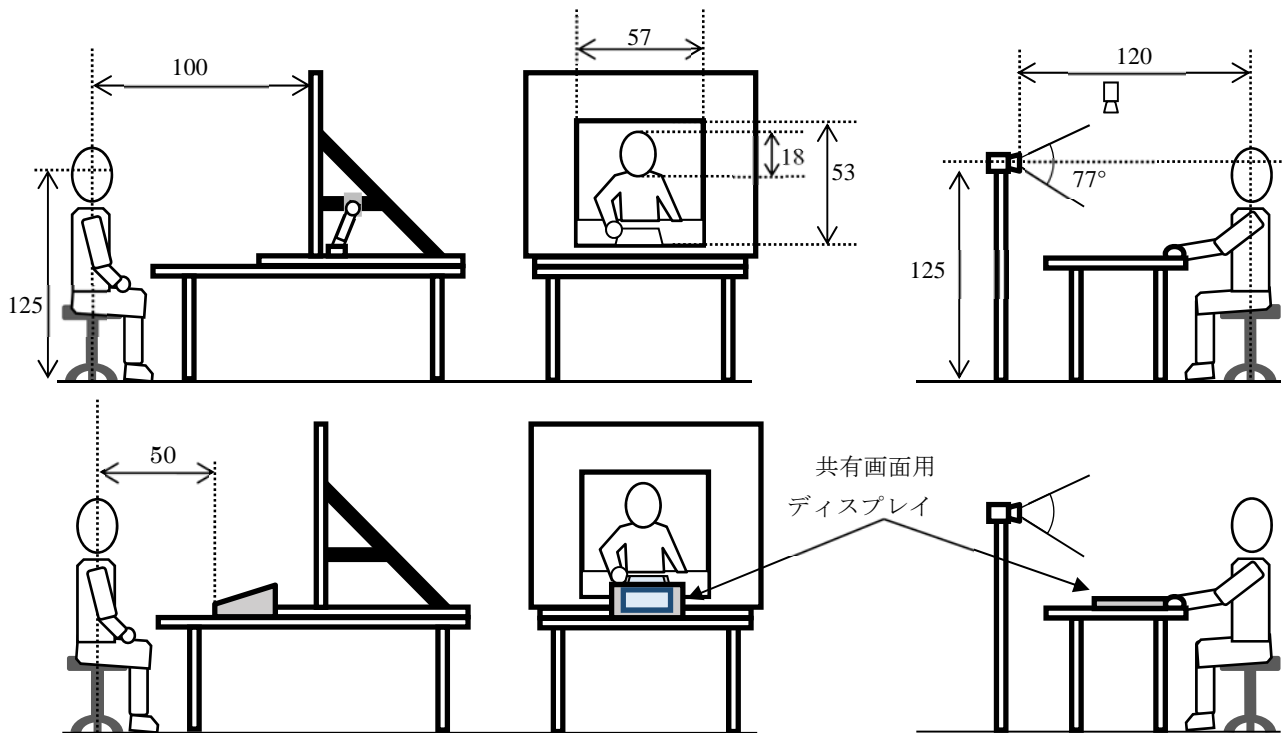


図3. 実験環境 (上: ビデオ会議条件, 紙資料条件 下: デュアルディスプレイ条件) [cm]  
 Figure 3. Setup of experiment. (Upper: Video and Paper conditions, Lower: Dual display condition)[cm]



図4. 紙資料の受け渡しの再現  
 Figure 4. Sharing printed documents in videoconferencing

#### 4. 予備実験

紙資料受け渡しの再現の有効性を調査するため予備実験を行った。予備実験では、開発したシステムを用いて、遠隔地間における紙資料の受け渡しの再現が与えるソーシャルテレプレゼンスへの影響と、受け渡しの方向・資料への書き込みの有無の影響を調査した。

##### 4.1 実験条件

図5に示す3条件を設定した。

**ビデオ会議条件:** 紙文書の受け渡しを行わない条件

**受け条件:** 被験者が実験者から受け取る条件

**送り条件:** 被験者が実験者へ渡す条件

##### 4.2 被験者

被験者は本学の近くに住む学部生を対象にし、10人(女性3, 男性7)の被験者に参加してもらった。実験は被験者

内計画で実施し、条件を体験する順番はカウンターバランスをとった。

##### 4.3 タスク

タスクとして、説明者役(実験者)が被験者に対してある動物の説明を行うタスクを設定した。まず、被験者側にある動物のぬいぐるみを参考に、その動物の絵を描いてもらう。その後被験者の描き込みに基づき、動物について説明を行った。ビデオ会議条件では、あらかじめ被験者側の机においていた資料に被験者が書き込みを行い、受け渡し行為を行わない。受け条件では被験者が書き込みを行うための紙資料を実験者が渡した。送り条件ではあらかじめ被験者側に用意されていた資料に、被験者が書き込みを行い、その紙文書を実験者が受け取った。



(a)ビデオ会議条件 (b)受け条件 (c)送り条件

図 5. 実験条件(予備実験)

Figure 5. Conditions of the preliminary experiment.

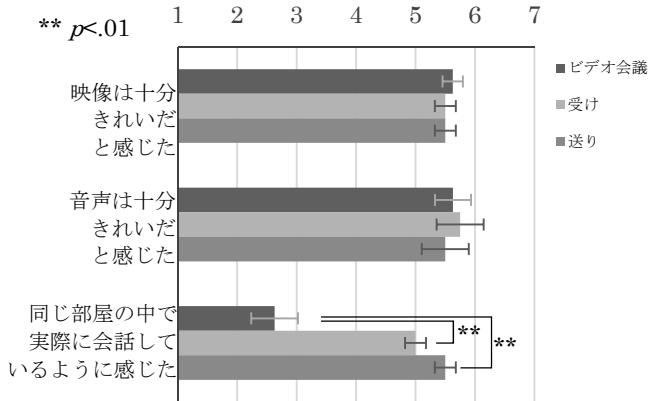


図 6. 予備実験結果

Figure 6. Result of the preliminary experiment.

#### 4.4 アンケート

実験後被験者には7段階のリッカート尺度のアンケートに回答してもらった。全7段階を、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:非常によくあてはまる、に対応させた。予備実験のアンケートの項目は以下の通りである。

- 映像は十分きれいだと感じた。
- 音声は十分きれいだと感じた。
- 同じ部屋の中で実際に会話しているように感じた。

また、システムの仕組みがどのようなものであると思ったか自由記述で回答してもらった。

#### 4.5 実験結果

アンケートの結果を図6に示す。1要因分散分析を行った結果、映像と音声に関する質問では有意な差は見られなかった。したがって、条件間で映像と音声のクオリティの違いはなかったことが確認できた。一方、ソーシャルテレプレゼンスの項目では3条件の差が有意であった( $F(2,18)=13.573, p<.01$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と受け条件の間、ビデオ会議条件と送り条件の間で有意差が見られた(ともに $p<.01$ )。これは、開発したシステムが紙資料の受け渡しを再現し、書き込みの有無・受け渡し方向によらずソーシャルテレプレゼンスを強化することを示唆する。しかしながら、10人中7人の被験者が、対話相手が実際にディスプレイの向こ

う側にいたかと思い込んでいたため、正しくソーシャルテレプレゼンスを評価できていない可能性があった。

インタビューで、6人の被験者が送り条件において紙資料の受け渡しによって加筆した資料の内容を相手が確認したと感じた等の回答をした。そこで、後述の実験では内容が伝わった感覚についてもアンケートで評価した。

### 5. 仮説

予備実験から、我々のシステムが対話相手の受け渡し行為を再現し、その再現によってソーシャルテレプレゼンスが強化される見通しが得られたがソーシャルテレプレゼンスを正しく評価できていない可能性があった。予備実験を踏まえて3つの実験を行い以下の5つの仮説を検証する。

まず、通常遠隔地間で行うことが出来ない紙資料受け渡しの再現によって対話相手が同じ空間に存在するよう感じられると考えられる。

**仮説 1:** 紙資料受け渡しの再現によってソーシャルテレプレゼンスが強化される。

予備実験から、対話相手が書き込みを行った紙資料の物理的な共有が再現されることで、その書き込んだ内容が伝わってきた感覚が強化されると考えられる。

**仮説 2:** 紙資料の受け渡しの再現によって、内容が伝わってきた感覚が強化される。

またテーブルトップディスプレイ(以下TTD)でも電子的な資料の受け渡しを再現することが出来る。紙資料の受け渡しの再現・TTDでの資料の受け渡しの再現は共に、資料を通じて身体動作を伝達するので、お互いの空間が繋がっているという印象を与え、ソーシャルテレプレゼンスを強化する可能性が在る。

**仮説 3:** 資料の受け渡し動作の提示によってソーシャルテレプレゼンスが強化される。

しかし紙資料の受け渡しでは物理的なモノの共有が行われるため、データ資料の受け渡しの再現と比較して、TTDでの資料の受け渡しでは、物理的なモノの共有は行われない。物理的なモノの共有が行われることによって、TTDでの受け渡しの再現より紙資料の受け渡しの再現の方がソーシャルテレプレゼンスを強化すると考えられる。

**仮説 4:** 資料の受け渡しが再現される場合、紙資料の受け渡しの方がデータ資料の受け渡しよりソーシャルテレプレゼンスが強化される。

また紙資料の物理的な共有において身体動作を伴わない共有が考えられる。身体動作の伝達がない場合でも、物理的な物の共有によって自身の空間と遠隔地の空間との連続性が表現されることで、対話相手が同じ空間にいる感覚が強化される可能性がある。

**仮説 5:** 物理的な紙のリアルタイムな共有によってソーシャルテレプレゼンスが強化される。



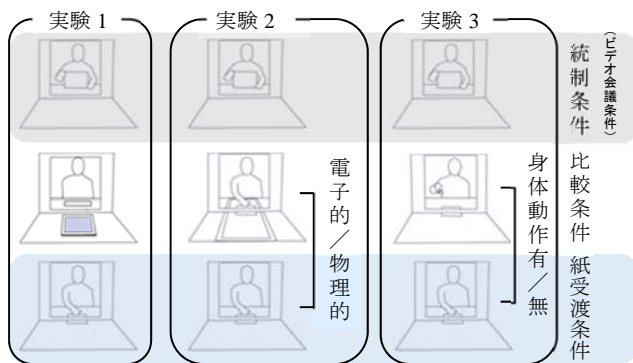


図 7. 実験概要

Figure 7. Outline of experiments.

以上の仮説を検証するため 3 つの実験を行った。実験 1 では、追加のディスプレイを用いた資料提示と提案システムでの資料提示方法との比較し、仮説 1, 2 を検証する。実験 2 では、TTD での電子的な資料の受け渡しと物理的な資料の受け渡しを比較し、仮説 2, 3, 4 を検証する。実験 3 では、提案システムでの紙資料共有における身体動作の有無を比較し仮説 2, 4, 5 を検証する (図 7)。

## 6. 実験 1

受け渡し方向やユーザの書き込みの有無は、受け渡しのリアリティに影響を与えないことが示唆されたことから、この実験では実験の簡易化のため、受け渡しの再現は実験者から被験者への一方向とした。実験 1 では仮説 1, 2 の検証を行う。

### 6.1 実験条件

仮説を調査するために図 8 に示す 3 条件を設定した。

**ビデオ会議条件：**紙資料の受け渡しを行わず説明者を映す正面ディスプレイを使用して資料を提示する条件。

**デュアルディスプレイ条件：**多くの遠隔会議システムで見られる資料提示方法のように説明者映像とは別の表示領域で資料を提示する条件。今回は追加のディスプレイを説明者側・被験者側にそれぞれ設置し、画面を共有しイラストを提示した。この条件では、説明者のタッチディスプレイ上での書き込みの筆跡情報がリアルタイムで被験者側の追加のディスプレイに表示されている。

**紙資料条件：**提案システムを使用した説明者から被験者への紙の擬似的な受け渡しによってイラストを提示する条件。

### 6.2 被験者

被験者は本学の近くに住む学部生を対象にし、18 人 (女性 9, 男性 9) の被験者に参加してもらった。実験は被験者内計画で実施し、条件を体験する順番はカウンターバランスをとった。

### 6.3 タスク

説明者が被験者に対してある動物のイラストを用いてその動物の説明を行うタスクを設定した。使用する資料に描かれた動物には模様が書き込まれておらず、説明の中で説

明者がイラストに書き込みを行い動物について説明をした。実験の流れは、簡単な挨拶の後、説明者がイラストの動物の名称を知っているか模様のないイラストを被験者に見せながら質問し、その後動物のイラストに模様を書き込み、再び資料として提示しその動物の模様についての説明を行う、という流れである。紙資料条件では、受け渡し行為の回数を 1 回とするため、模様のないイラストの提示は、ビデオ会議条件と同様に正面映像を使用して行い、書き込み後、受け渡しを再現してイラストを被験者に提示した。

ソーシャルテレプレゼンスの調査のため、実験タスク前にディスプレイの背面側を見せ、加えて対話相手が別の部屋にいることを実験補助者が伝えることで、相手と同じ空間にいないことを伝えた。

## 6.4 アンケート

実験後被験者には 7 段階のリッカート尺度のアンケートに回答してもらった。質問項目は 5 項目である。

Q1.映像は十分きれいだと感じた

Q2.音声は十分きれいだと感じた

Q3.動物の説明は分かり易かった

Q4.描いた内容が伝わった感じがした

Q5.同じ部屋の中で実際に会話している感じがした

Q1~Q3 は説明のクオリティに関する質問、Q4 は内容が伝わってきた感覚に関する質問、Q5 はソーシャルテレプレゼンスに関する質問である。被験者は回答の理由を自由記述欄に記述した。

## 6.5 実験結果

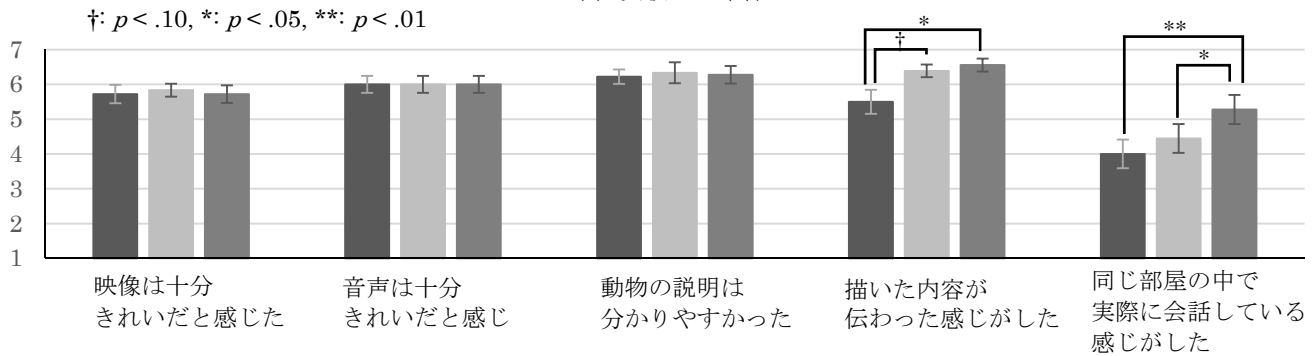
アンケートの結果を図 8 に示す。グラフはアンケートの点数の平均値であり、エラーバーは標準誤差を示す。また多重比較の結果を図中に示す。

映像・音声・説明の質に関する質問では、差は見られずそれぞれの各条件間で映像・音声・説明のクオリティの違いは無かったことが確認できた。

「描いた内容が伝わった感じがした」の質問で 1 要因分散分析を行い、提示方法の要因の単純主効果が有意であった ( $F(2,34)=6.081, p<.01$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と紙資料条件の間で有意な差が認められた ( $p<.05$ )。また有意傾向ではあるが、ビデオ会議条件とデュアルディスプレイ条件の間にスコアの差が見られた ( $p=.093$ )。ほとんどの被験者は、デュアルディスプレイ条件・紙資料条件で、イラストを手元で確認できたことを理由にビデオ会議条件よりも高い点数をつけていた。また相手を書き込みを行った紙が共有されたため、紙資料条件の点数をデュアルディスプレイ条件より高く付けた被験者がいた。これは相手を書き込みを行った紙がそのものを共有しているという印象が内容が伝わってきた感覚を向上させていると考えられ、仮説 2 を支持する結果である。一方、ビデオ会議条件よりデュアルディスプレイ条件で点数を高く付けた被験者は、相手の書き込み



(a) 実験 1 の条件



(b) 実験 1 の結果

図 8. 実験条件と実験結果 (実験 1)

Figure 8. Conditions and results of the experiment 1.

がリアルタイムに手元で確認できたため内容が伝わってきた感覚がしたなどの理由を挙げた。

「同じ部屋の中で実際に会話している感じがした」の質問で、1 要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であった ( $F(2,34)=8.926, p<.01$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行ない、ビデオ会議条件と紙資料条件、デュアルディスプレイ条件と紙資料条件との間で有意な差が認められた (それぞれ  $p<.01, p<.05$ )。紙資料条件で他 2 条件より高い点数をつけた被験者のほとんどは、説明者から紙を受け渡しされたように感じたことを理由に点数を高くつけており、仮説 1 を支持する。紙を受け渡された感覚になった理由をほとんどの被験者は、提示された紙の動きと実験者の手の動きが同期していたためと回答した。

紙資料の受け渡しの再現によってソーシャルプレゼンスが強化されることが示されたが、紙資料の受け渡しは、現代の技術では困難であるリアルタイムな物理的なモノの共有と、それに伴う対話相手の身体動作による物理現象の伝達の組み合わせであると考えられる。次章で述べる実験 2 では、資料受け渡しの再現において、資料が物理的な紙資料であるかデータ資料であるかがソーシャルプレゼン스에与える影響を調査した。また 8 章で述べる実験 3 では、物理的なモノの共有が行われる場合、身体動作による物理現象の伝達の有無がソーシャルプレゼン스에与える影響を調査した。

## 7. 実験 2

実験 2 では、TTD と提案システムでの資料提示方法を

比較し、仮説 2,3,4 を検証する。被験者側・実験者側の TTD が繋がって見えるように配置し、資料をタッチ操作により資料の受け渡しを再現した。

### 7.1 実験条件

実験条件は、図 9 に示す。

**ビデオ会議条件:** 実験 1 と同様。

**TTD 条件:** データ資料の受け渡しによる資料提示。

**紙資料条件:** 紙資料の受け渡しによる資料提示。

### 7.2 被験者

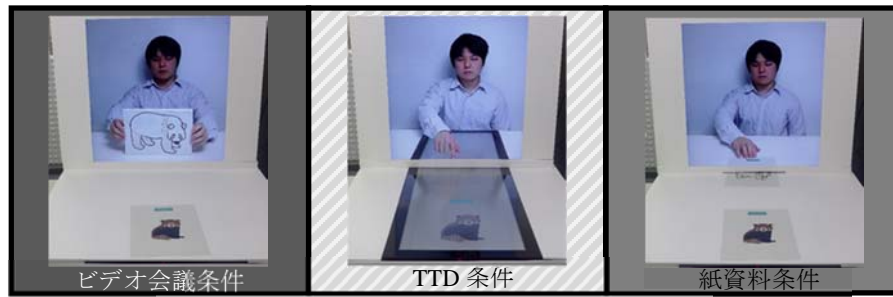
被験者は本学の近くに住む学部生を対象にし、17 人 (女性 9, 男性 8) の被験者に参加してもらった。実験は被験者内計画で実施し、条件を体験する順番はカウンターバランスをとった。

### 7.3 タスク

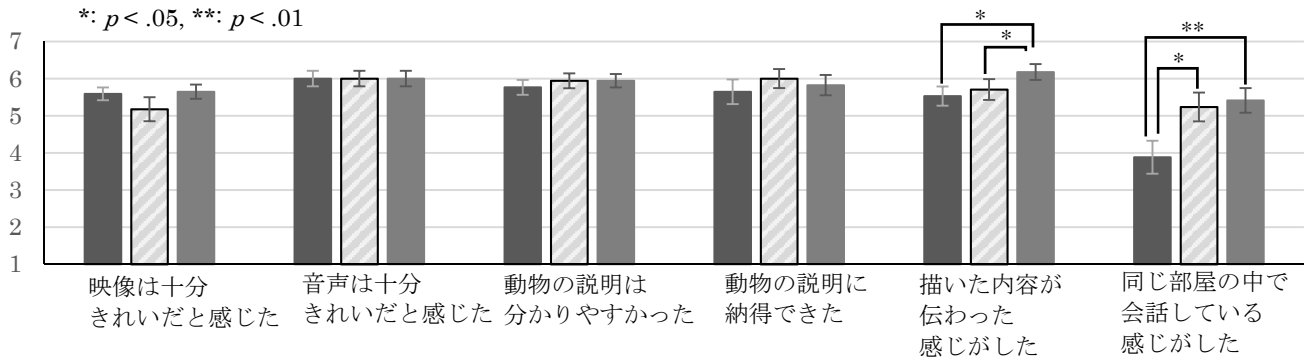
タスクは基本的に実験 1 と同様でイラスト資料を用いた動物の説明であるが (6.3 節)、実験 2 では被験者側にあらかじめ説明する動物と近い種類の動物のイラスト資料を用意しておき、説明者は説明する動物のイラストに書き込みを行った後被験者に提示し、2 種の動物の模様を対比し、模様についての説明を行った。タスク変更した理由は、TTD 条件では、実験 1 の紙資料条件でのタスクの様に説明者側のイラストを、受け渡しを伴わず提示することが困難であるためである。

### 7.4 アンケート

実験 1 と同様に被験者にはアンケートに回答してもらった。説明の納得し易さへの影響を見るため、以下の質問を



(a) 実験 2 の条件



(b) 実験 2 の結果

図 9. 実験条件と実験結果 (実験 2)

Figure 9. Conditions and results of the experiment 2.

実験 1 の Q3 の後に追加した。

- 動物の説明に納得できた

また実験前に同じ部屋の中に説明者がいないことを確認しているので、「実際に」の文言のために直感的に答えられない可能性が考えられたため Q5 を次のように改変した。

- 同じ部屋の中で会話している感じがした

被験者は回答の理由を自由記述欄に記述した。

### 7.5 実験結果

実験の結果を図 9 に示す。グラフはアンケート点数の平均値であり、エラーバーは標準誤差を示す、また多重比較の結果を図中に示す。

「映像は十分きれいだと感じた」の質問で 1 要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であったが ( $F(2,32) = 3.663, p < .05$ )、ボンフェローニ補正法を用いて多重比較の結果、各条件間には有意な差は見られなかった。TTD 条件は説明者側のテーブルトップディスプレイの視野角や照明の反射によって、イラストに書き込みを行っている様子が見えづらく感じた被験者が 4 人いたため、平均値が下がっている。この映像のクオリティの差に関してはソーシャルテレプレゼンスの質問には影響していないと回答している。

「描いた内容が伝わった感じがした」の質問で、1 要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であった ( $F(2,32) = 5.279, p < .05$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と紙資料条件との間、TTD 条件と紙資料条件との間に有意な差が見られた

(ともに  $p < .05$ )。相手の書き込みを行った紙を実物で見ることができたため内容が伝わってきた感覚が強かったと回答した被験者がいることから、これは 5 章の仮説 2 を支持する。しかしながら説明者の手元の視認性の差が統制できていないことが影響を与えている可能性が考えられる。

「同じ部屋の中で実際に会話している感じがした」の質問で、1 要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であり ( $F(2,32) = 8.49, p < .01$ )、ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と紙資料条件との間、ビデオ会議条件と TTD 条件との間に有意差 (それぞれ  $p < .01, p < .05$ ) が確認できた。これは仮説 3 を支持するが仮説 4 は支持しない結果で、資料が実体か否かによらず、受け渡し行為の再現による説明者の身体動作の伝達がソーシャルテレプレゼンスを強化することを意味している。

## 8. 実験 3

実験 1 では紙資料の受け渡しの再現によって、ソーシャルテレプレゼンスが強化されることが示唆された。実験 3 の目的は、紙資料の共有において遠隔地の説明者の身体動作の有無を比較し、仮説 2,3,5 を検証することである。

### 8.1 実験条件

実験条件は、図 10 に示す。

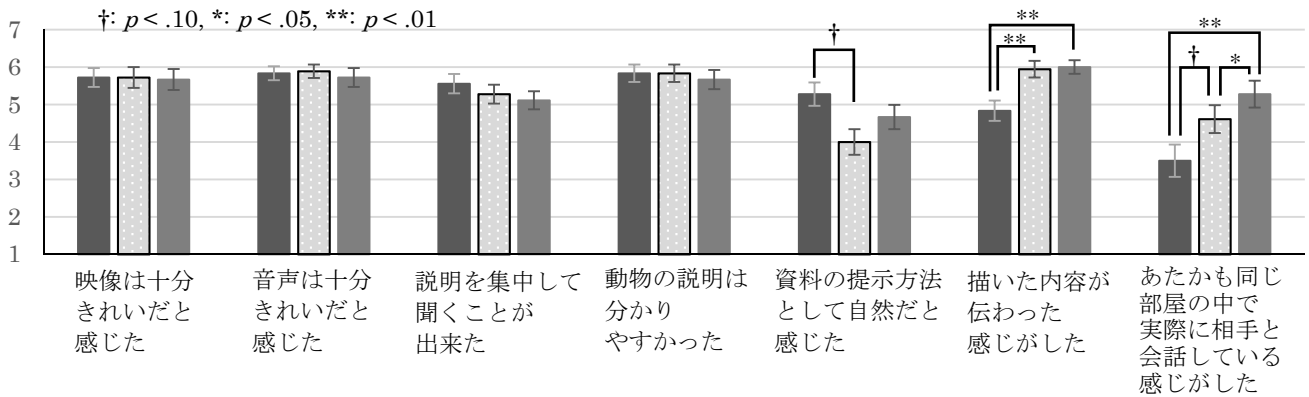
**ビデオ会議条件**：実験 1 と同様

**自動条件**：身体動作を伴わない紙資料共有をする。

**手動条件**：紙資料の受け渡しを再現する。



(a) 実験3の条件



(b) 実験3の結果

図10. 実験条件と実験結果 (実験3)

Figure 10. Conditions and results of the experiment 3.

## 8.2 被験者

被験者は本学の近くに住む学部生を対象にし、18人（女性8、男性10）の被験者に参加してもらった。実験は被験者内計画で実施し、条件を体験する順番はカウンターバランスをとった。

## 8.3 タスク

タスクは実験1、2と同様に説明者が被験者に対してある動物のイラストに書き込みを行いその資料を提示し、その動物のタスクを設定した。自動条件は、資料が動きかけとして説明者がリモコンのボタンを押すと被験者側・説明者側の紙の動きが同期して排出される仕組みとした。

## 8.4 アンケート

実験1、2と同様に実験後被験者にはアンケートに回答してもらった。実験1のQ2の後に実験順序のタスクへの影響を調べるため以下の質問を追加した。

- 説明を集中して聞くことが出来た  
また、どのような資料の提示方法が自然であるかデザイン検討のため以下の質問をQ3の後に追加した。
- 資料の提示方法として自然だと感じた  
実験1、2を比較し「実際に」の有無の回答への影響が見られなかったため、「実際に」の文言を付け加えた。また会話している対象を明確にするため以下のようにQ5を改変した。
- あたかも同じ部屋の中で実際に相手と会話している感じがした

被験者は回答の理由を自由記述欄に記述した。

## 8.5 実験結果

実験の結果を図10に示す。グラフはアンケート点数の平均値であり、エラーバーは標準誤差を示す、また多重比較の結果を図中に示す。「提示方法が自然だと感じた」の質問で、1要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であった ( $F(2,34)=3.789, p<.05$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と自動条件との差が有意傾向であった ( $p=0.091$ )。ほとんどの被験者は、予期せずに紙資料が共有されたため驚きが大きかったことに加えて、機器が被験者から見えないにも関わらず、FAXのような動きで紙が出てきたことで違和感が強まったと回答している。一方で、対面環境であれば紙資料を共有できることが自然であると回答し、手動条件のスコアを高くつけた被験者が3人いた。

「描いた内容が伝わった感じがした」の質問で、1要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が有意であった ( $F(2,34)=18.398, p<.01$ )。ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と自動条件との間、ビデオ会議条件と自動条件との間に有意な差が見られた (ともに  $p<.01$ )。ほとんどの被験者は、手元に紙資料があったことを理由にビデオ会議条件より他2条件の点数を高く回答しており仮説2を一部支持する結果である。

「同じ部屋の中で実際に会話している感じがした」の質問で、1要因分散分析を行い提示方法要因の単純主効果が



有意であった ( $F(2,34)=10.364, p<.01$ ). ボンフェローニ補正法を用いて多重比較を行なった結果、ビデオ会議条件と手動条件、自動条件と手動条件との差が有意であり (それぞれ  $p<.01, p<.05$ ), 紙資料の受け渡しの再現がソーシャルテレプレゼンスを強化している。これは仮説 1,3 を支持する。またビデオ会議条件と自動条件との差が有意傾向であり ( $p=.073$ ), 物体共有がソーシャルテレプレゼンスを強化する可能性を示唆しているものの、仮説 5 は支持されなかった。

## 9. 考察

### 9.1 ソーシャルテレプレゼンス

実験の結果、通常のビデオ会議における映像での資料提示と比較して、物理的な紙資料の受け渡しの再現によってソーシャルテレプレゼンスが強化されること (実験 1), TTD において映像上で資料の受け渡しを再現した場合でも、ソーシャルテレプレゼンスが強化されること (実験 2) が分かった。また、物理的に紙資料を受け渡す場合には、自動的に紙を送り出すのではなく、紙を渡す対話相手の動作に同期して紙を送り出すことでソーシャルテレプレゼンスが強化されることが示唆された (実験 3)。

実験 1, 2, 3 の結果 (図 8, 9, 10) から、紙資料条件 (または手動条件) のソーシャルテレプレゼンスが最も高いことが見受けられる。これは、説明者が書き込んだ内容が反映された資料が即座に、物理的に手渡される状況をシステムが再現したことにより、空間が繋がっているかのように感じさせたためだと考えられる。被験者へのインタビューによると、対話相手が別の部屋にいることを伝えていたにも関わらず、予備実験 (4 章) の被験者と同様に、ディスプレイの向こう側に人がいるのではないかと考える被験者もいたため、物理的な共有は空間の繋がりを強く意識させる効果があると思われる。

実験 2 において、紙資料条件と TTD 条件に差が無かったことから、資料の共有が物理的であるかどうかに関わらず、資料を受け渡す動作を提示することがソーシャルテレプレゼンスの強化に寄与していたと考えられる。しかしながら、17 人中 7 人の被験者は TTD 上の資料の受け渡しではビデオチャットであるという認識が強いという理由で紙資料条件の点数を TTD 条件より高くつけており、物理的な資料共有が好まれる場合もあった。その一方で、紙資料条件で、サーボモータの動作音を理由に機械を使用して紙資料を共有していたと感じ、TTD 条件より低い点数をつけた被験者も 4 人いたため、動作音を低減する等の工夫を行えば物理的な資料共有の効果が十分に得られた可能性がある。

実験 3 では、自動条件はビデオ会議条件よりも有意傾向ではあるがソーシャルテレプレゼンスが高く、手動条件より低いスコアとなった。自動条件より手動条件に高い点数をつけた 18 人中 7 人の被験者は、自動条件は FAX のよう

な機械的な印象を持ったことを理由として述べていた。実験 2 の結果と同様に、基本的に紙資料の物理的な共有を再現することはソーシャルテレプレゼンスを強化すると思われるが、その再現が機械によるものであるという感覚を与えてしまうことはソーシャルテレプレゼンスに悪影響であるため、注意する必要がある。このことから実験 2 で 7 人の被験者が TTD 条件より紙資料条件で高い点数をつけたことは、TTD での資料共有は機械による資料共有である印象を与えていると考えられる。

実験 3 では、紙資料の提示において遠隔地の説明者の身体動作の有無を比較したが、TTD を用いたデータ資料の提示において身体動作が無い自動共有の方法も考えられる。TTD での資料提示では、身体動作の有無に関わらず機械による資料共有であるという印象を与えるので、自動・手動の違いが与えるソーシャルテレプレゼンスへの影響は小さいかもしれない。TTD を用いたデータ資料提示での身体動作提示の効果を調査することは今後の課題である。

### 9.2 内容が伝わってきた感覚

実験の結果、通常のビデオ会議における映像での資料提示と比較して、物理的な紙資料として書き込みを手元で確認できることによって内容が伝わってきた感覚が強化されること (実験 1~3), 共有画面を通して書き込み筆跡をリアルタイムで確認できることによって内容が伝わってきた感覚が強化されること (実験 1) が分かった。

実験 2 では、手元でデータ資料が確認できたことを理由にビデオ会議条件より TTD 条件の点数を高くつけた被験者が 17 人中 6 人いた。一方で、1 人の被験者が TTD で提示されることで資料がデジタルなものであると感じたことを理由に、また 2 人の被験者が TTD の反射光でイラストを見づらく感じたことを理由に TTD 条件よりビデオ会議条件を高くつけた被験者がいたため、有意な差は得られなかった。したがって、視認性を統制できれば、手元で資料を確認できる効果が得られた可能性がある。4 人の被験者が物理的な紙を手元で確認できたことを理由に紙資料条件を TTD 条件より高く点数をつけていたが、これも TTD 条件の視認性の問題が影響していた可能性があるため、物理的な紙資料を手元で確認できることによる内容が伝わってきた感覚への影響を明らかにすることは今後の課題である。

### 9.3 受け渡しのリアリティ

我々が開発したシステムでは、資料への書き込みによって、遠隔地の対話相手と同じ資料を受け渡ししているという印象を与えていた。また、映像側の紙資料とユーザ側の紙資料がディスプレイをまたいで連続して見えることで空間が繋がっていると印象付けていた。したがって、資料への書き込みや、視覚的な連続性が受け渡しのリアリティに寄与していたと考えられるが、これらの工夫がソーシャルテレプレゼンスや内容が伝わってきた感覚にどのように寄与していたか明らかにすることは今後の課題である。

## 10. おわりに

本研究では、遠隔地間での資料提示方法として物理的な紙資料の受け渡しを再現し、その再現がソーシャルテレプレゼンス、内容が伝わってきた感覚に与える影響を調査した。3つの実験を通じて、電子的・物理的な資料共有において、対話相手の受け渡し動作をともなって資料共有を行うことでソーシャルテレプレゼンスが強化されることがわかった。実験2では、物理的な資料と電子的な資料の共有に明確な差は見られなかったものの、本実験での紙資料の受け渡しの再現において機械音などの機械的な印象を低減すれば、物理的な資料の受け渡しの再現がTTDによる資料の受け渡しの再現より効果的である可能性が示唆された。また、物理的な紙資料として書き込みを手元で確認できることによって内容が伝わってきた感覚が強化されることがわかった。これまで遠隔地間での資料共有は、主に共同作業を支援する技術として研究されてきた。本研究では、ソーシャルテレプレゼンスを強化するという資料共有技術の新たな可能性を示すことができた。本研究では、ソーシャルテレプレゼンスと内容が伝わってきた感覚についてのみ焦点を当てたが、受け渡しの再現が資料内容に対する印象や資料への集中度合いなどに与える影響を調査する予定である。

**謝辞** JSPS 科研費 JP26280076, JP15K12081, KDDI 財団, 科学技術融合振興財団, 電気通信普及財団からの支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Apperley, M., McLeod, L., Masoodian, M., Paine, L., Phillips, M., Rogers, B., and Thomson, K. Use of video shadow for small group interaction awareness on a large interactive display surface. *Proc. AUIC 2003*, 18 (2003), 81-90.
- [2] Bondareva, Y. and Bouwhuis, D. Determinants of Social Presence in Videoconferencing. *Proc. AVI 2004 Workshop on Environments for Personalized Information Access*, (2004), 1-9.
- [3] Gaver, W. W., Sellen, A., Heath, C., and Luff, P. One is not enough: Multiple views in a media space. *Proc. CHI 1993*, (1993), 335-341.
- [4] de Greef, P. and IJsselstein, W. Social Presence in a Home Tele-Application. *CyberPsychology and Behavior*, 4(2), (2001), 307-315.
- [5] Genest, A. M., Gutwin, C., Tang, A., Kalyn, M., Ivkovic, Z. KinectArms: a toolkit for capturing and displaying arm embodiments in distributed tabletop groupware. *Proc. CSCW '13*, (2013), 157-166.
- [6] Higuchi, K., Chen, Y., Chou, P. A., Zhang, Z., and Liu, Z. Immerseboard: Immersive telepresence experience using a digital whiteboard. *Proc. CHI 2015* (2015), 2383-2392
- [7] Ishii, H., and Kobayashi, M. ClearBoard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact. *Proc. CHI 1992*, (1992) 525-532.
- [8] Isaacs, E.A. and Tang, J.C. What Video Can and Can't Do for Collaboration: a Case Study. *Multimedia Systems*, 2(2), (1994), 63-73.
- [9] Luff, P., Heath, C., Kuzuoka, H., Yamazaki, K., and Yamashita, J. Handling documents and discriminating objects in hybrid spaces. *Proc. CHI 2006*, (2006), 561-570.
- [10] Luff, P. K., Yamashita, N., Kuzuoka, H., & Heath, C. Flexible Ecologies And Incongruent Locations. *Proc. CHI 2015*, (2015), 877-886.
- [11] Morris, M. R., Fisher, D., & Wigdor, D. Search on surfaces: Exploring the potential of interactive tabletops for collaborative search tasks. *Information processing & management*, 46(6), (2010), 703-717.
- [12] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces. *Proc. CHI 2009*, pp.433-442, (2009).
- [13] Nakanishi, H., Tanaka, K., and Wada, Y. Remote handshaking: touch enhances video-mediated social telepresence. *Proc. CHI 2014*, (2014), 2143-2152.
- [14] Onishi, Y., Tanaka, K., & Nakanishi, H. PopArm: Embodiment of Video-mediated Communication Enhances Social Telepresence, *Proc HAI2016*, (2016), 171-178.
- [15] Pedersen, E. R., McCall, K., Moran, T. P., & Halasz, F. G. Tivoli: An electronic whiteboard for informal workgroup meetings. *Proc CHI 1993*, (1993), 391-398.
- [16] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M. Telepresence in Videocommunications. *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, (1994), 25-38.
- [17] Samani, H.A., Parsani, R., Rodriguez, L.T., Saadatian, E., Dissanayake, K.H. and Cheok, A.D. Kissenger: Design of a Kiss Transmission Device. *Proc. DIS 2012*, (2012), 48-57.
- [18] Streit, N. A., Geißler, J., Haake, J. M., and Hol, J. DOLPHIN: integrated meeting support across local and remote desktop environments and LiveBoards. *Proc. CSCW 1994*, (1994), 345-358
- [19] Tandler, P., Prante, T., Müller-Tomfelde, C., Streit, N., and Steinmetz, R. Connectables: dynamic coupling of displays for the flexible creation of shared workspaces. *Proc. UIST 2001*, (2001), 11-20.
- [20] Tang, A., Pahud, M., Inkpen, K., Benko, H., Tang, J. C., and Buxton, B. Three's company: understanding communication channels in three-way distributed collaboration. *Proc. CSCW 2010*, (2010), 271-280.
- [21] Tang, J. C., and Minneman, S. L. VideoDraw: a video interface for collaborative drawing. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 9(2), (1991), 170-184.
- [22] Tuddenham, P., and Robinson, P. Territorial coordination and workspace awareness in remote tabletop collaboration. *Proc. CHI 2009*, (2009), 2139-2148.
- [23] Weibel, N., Signer, B., Norrie, M. C., Hofstetter, H., Jetter, H. C., & Reiterer, H. PaperSketch: a paper-digital collaborative remote sketching tool. *Proc. IUI 2011*, (2011), 155-164.
- [24] 歌星, 田中 一晶, 中西 英之. 同期回転テーブルによる遠隔相席感の創出. 第 29 回人工知能学会全国大会, 1N3-5in, (2015).
- [25] 田中一晶, 加藤良治, 中西英之. 鏡型ビデオ会議による空間の視触覚的合成. *インタラクシオン 2016*, pp. 38-46, (2016).