

基礎論文

相互モニタリングが可能な遠隔共同作業支援システムの開発

山下 淳*¹ 葛岡 英明*¹ 山崎 敬一*² 山崎 晶子*²
 加藤 浩*³ 鈴木 栄幸*³ 三樹 弘之*⁴

Development of a Remote Collaboration System that Enables Mutual Monitoring

Jun Yamashita,*¹ Hideaki Kuzuoka,*¹ Keiichi Yamazaki,*² Akiko Yamazaki,*²

Hiroshi Kato,*³ Hideyuki Suzuki,*³ and Hiroyuki Miki*⁴

Abstract - When people have casual meetings, it is not unusual that several participants sit around a table and point at and manipulate artifacts on a desktop. Such collaboration includes collaborative design activity with sheets of paper and collaborative learning using tangible device. We are interested in supporting this kind of collaboration in remote setting. In this paper we introduce the video mediated remote collaboration system. This system is designed so that embodiment of participants' conducts can be monitored naturally. To allow a system at least four participants, we employed the roundtable meeting metaphor. Two 60-inch screens are settled along two side of each desk. Images of remote participants are projected onto the screens. Artifacts and gestures on both desktop are shared by using a similar configuration to Double DigitalDesk. In this paper, we describe design principle, architecture, and initial impressions of the system.

Keywords : shared desktop artifacts activity, mutual monitoring, CSCW, embodiment

1. はじめに

本研究では、物理的に異なった場所に存在する複数の作業者が、あたかもひとつの机を囲んで作業しているような感覚で、身振り手振りや視線の変化を感じながら共同で作業を行える環境の構築を目的としている。

従来行われてきた遠隔共同作業支援の研究では、作業対象や作業者同士の顔の様子を、音声回線やビデオ映像回線を通して再現することに重点が置かれており、顔画像や作業対象を各々の環境に提供することで作業内容を支援するシステムが開発されてきた。しかし、Heath [1] は、ビデオ映像を通じたコミュニケーションでは、自分が相手の話を聞く準備ができていないことを示す身体姿勢や、相手の方向をこれから見るということを示す身体動作、相手の行動がわかったことを示す身体動作などは十分な効果を発揮できていないことを指摘した。また、筆者らが行った過去の研究 [2] においても、カメラによって撮影された映像そのものの内容よりも、カメラとモニター、および作業者の身体それぞれの配置の問題の方が

より重要であるということ、身体メタファーという設計指針に基き指摘している。

これらの問題を解決するために、本論文では、筆者らの研究を含めた過去の研究で指摘された問題点や、ビデオ映像を介さない場面での、複数の作業者が参加した共同作業の観察を基に、遠隔共同作業支援に必要な条件を明示化し、システムの設計と実装を試みている。従来のシステムの多くが作業者の顔画像と、作業対象のみを無秩序に提示しているのに対して、本論文で提案するシステムはそれらの画像の配置を、相互モニタリングと身体メタファーという観点から考慮し、より実空間での作業に近いものへと配置している。また、社会学的評価技法のひとつであるエスノメソドロジーを、システムの設計指針の確立と評価に用い、システムの有効性を確認した。

2. エスノメソドロジー的手法による共同作業の解析

2.1 共同作業における身体の動きと配置の役割

複数の作業者によってひとつの机を囲み、共通の問題に対して取り組む過程において、ある作業者が机の上に置かれている物体を取ろうとして手を伸ばしたり、あるいは逆に、他人の動作を自分の手によって抑制するような状況がある。また、相手の視線の変化や身体の動きを読み取ることによって、言葉に表現されない、相手の頭の中での考えに気付くこともある。このように、人は日常生活において、言葉だけでなく、身振り手振りや視線

*1 筑波大学機能工学系

*2 埼玉大学教養学部

*3 NEC C & C システム市場開発推進本部

*4 沖電気工業(株)メディア研究所

*1 Institute of Engineering Mechanics and Systems, Univ. of Tsukuba

*2 Faculty of Liberal Arts, Saitama Univ.

*3 C & C Systems Market Development Division, NEC Corp.

*4 Media Laboratory, Oki Industry Co., Ltd.

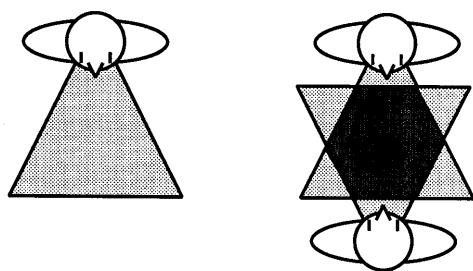


図1 作業空間(左)と共有作業空間(右)
Fig.1 Transactional space (left) and shared transactional space (right).

の変化といった、非言語的な情報も用いることによってコミュニケーションを行っている。また、Tang は、共同描画という作業に注目し、この作業の解析 [3] の中で、身振り手振りに関する次のような考察を述べている。

- 共同で活動している人間は皆、言葉で言い表せない情報を伝達するために、手を使ったジェスチャーを用いる。
- 絵を描いたり、その描いた絵を扱っている過程には、描画された図形には表現されていない、多くの情報が含まれている。
- 描画のための空間は、参加者同士の交流を成立させるための大切な空間である。
- 描画のための空間内では、様々な活動が活発に行われた。
- 参加者同士の空間的な配置や描画空間に対する配置は、活動を構成する役割を持つ。
- 共同作業のためのツールが原因となる時間遅れは極力避けなければならない。

これらより、身振り手振りというものは、ただ相手から見れば良いというのではなく、その動作が自分自身を含めた作業の参加者全員にとって共通の場所である、共有作業空間内で行われなければならないと言える。

共有作業空間とは、ひとつの作業に参加している作業者の作業空間 (transactional space, 図1) が互いに重なりあったものである。Kendon [5] によれば、作業空間とは身体の正面に存在する、作業者が現在志向 (注目) を向けている空間のことを言い、その広さはダイナミックに変化するものである。この作業空間が複数の作業者同士で重なりあうことにより、その空間において相互的な行為が発生する。自分の身体を作業の対象物へ向けるという行為は、自分の作業空間をそれに重ねると同時に、その作業者の注目が作業空間内の物体に向いていることを、外部に示す役割も持っている。

これらの記述より、身振り手振りは、共同作業を行う上で非常に重要であるが、参加する作業者全員から常に観察可能な場所、つまり共有作業空間の中で行われたいと、効果的に伝達できないと言える。従来の遠隔共同作

業支援システムに多く見られるような、相手の顔画像や作業対象といった、直接的な情報を単に提示するだけでなく、それらの情報の、実空間での配置や、あるいは作業者の身体表現を正確に、そして具体的に反映させることが遠隔共同作業支援システムを構築する上での重要な鍵となる。

さて、このような複数の作業者による共同作業の解析を行うにあたり、CSCW を始めとして HCI (Human-Computer Interaction) 研究などの分野における社会学的な評価技法として最近注目を集めているのが、会話分析や相互行為分析などに代表されるエスノメソドロジック的解析である [4]。エスノメソドロジック的解析とは、複数の作業者による一連の作業の中の、ある瞬間を取り出し、その瞬間そのものが、作業者らによってどのように達成されているのかを記述し、解析する手法である。次節で取りあげる実空間における共同作業も、このエスノメソドロジック的手法を用いて解析した。

2.2 実空間における作業の観察

前節で述べたことが実際にはどのようにして達成されているのかを確認するための予備実験として、実空間で行われている作業の観察を行った。作業には4名の被験者が参加した。作業として、90センチ四方の机を準備し、その上で神経衰弱を行ってもらった。

机の上にカードが並べられた後、カードをめくる順番を決めるためにジャンケンが行われた (図2)。説明のため、活動に参加した作業者には $G1$, $G2$, $G3$, $G4$ と番号を振ることにする。



図2 ジャンケンによる順番決定
Fig.2 Doing "janken" to decide their turns to play a game.

2.2.1 共有作業空間の形成

4人の作業者で机を囲み、神経衰弱を行うという活動において、共有作業空間はカードが並べられた机の上と一致する。これは、4人の作業者が机を囲むという、空間的な位置配置を取ることによって、各々の作業空間が机の方に向けられたためである (図2)。



図3 体勢の変化
Fig. 3 Change of $G1$ and $G2$'s orientation.

カードをめくる順番を決める一番最初のジャンケン、各々の手が机の中心を向く方向に伸びる形で行われた。この時、「順番を決める」という作業は、この4人の作業員全員に関係あることであり、また、この4名の作業員全員が、机の中心を共通の作業空間として認識しているため、4人全ての作業空間が机に向けられている。このジャンケンで、 $G1$ と $G2$ が勝ち残った。

次に、 $G1$ と $G2$ のふたりでジャンケンを行い、最初にカードをめくる作業員を決定する。この時、 $G1$ と $G2$ はお互い向きあうことによって、各々の作業空間をジャンケンを行う相手の方向に変更している。また同時に、 $G1$ と $G2$ だけが共有する、新たな共有作業空間が発生している(図3)。しかし、この共有作業空間は、 $G1$ と $G2$ だけが観察できるものではなく、負けた $G3$ と $G4$ のふたりにも観察可能なものとなっている。

負けて残った $G3$ と $G4$ のふたりは、最終的な勝者が決まるまで、 $G1$ と $G2$ の活動、つまり $G1$ と $G2$ による共有作業空間で行われている作業を観察している。観察することによって、ジャンケンが終了し、ゲームの開始となるタイミングを待っているのである。

2.2.2 身体配置による活動の形成

二度目のジャンケン、 $G1$ の勝利によって終了し、 $G1$ がまず最初にカードをめくる権利を獲得する。それと同時に、 $G1$ と $G2$ だけで構成されていた作業空間は解消され、その作業空間をふたたび机に向けることによって、4人の作業員による共有作業空間が再度構成されている(図4)。 $G1$ と $G2$ が机の方に志向し、共有作業空間を4人の作業員によって再度構成するという活動は、同時に、ゲームを開始できる準備ができていている。そして、図4において、 $G2$ は、 $G1$ の方から $G3$ の方向へ指差しを行い(図中の矢印)、「時計まわりね」と発言することによって、ゲームに参加している作業員全員に対し、進行方向を指示している。この指差しも、

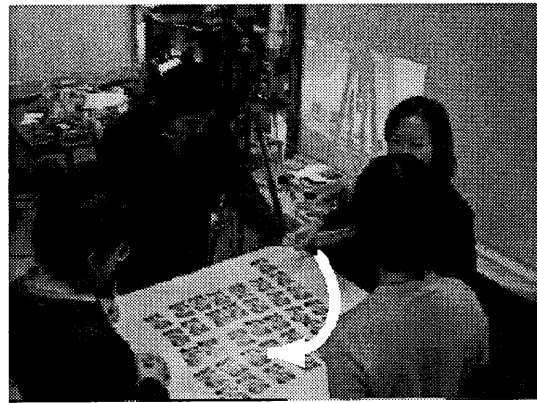


図4 ゲームの進行方向を指示
Fig. 4 $G2$ indicated turn direction.

4人全員が共有できる作業空間内で行われている。

ここで $G2$ は、作業員全員に対し、「あなたは何番目」と細かく指示してはいない。そのかわりに、最初にカードをめくることが決まった $G1$ を起点として、円を描くように指差しと「時計まわり」という言葉だけで確認している。また他の作業員も、これだけの指示で、自分がカードをめくる順番を確実に理解している。つまり、参加者同士の空間的な配置によって、カードをめくる順番を決定するといった活動を構成していることがわかる。

2.2.3 志向が果す役割

$G2$ の指示の後、ゲームが開始された。神経衰弱というゲームには、簡単だが、重要なルールが存在する。それは、

1. 自分が好きなカードを2枚だけめくる。
2. カードの絵柄が2枚とも同じ場合1.に戻る。
3. 違った場合、カードを元通りにもどす。そして、カードをめくる役は次の作業員にうつり、その作業員は再度1.から作業を開始する。

の三つである。簡単なルールであるが、これを実現するためには、常に他の作業員の行動、つまりカードをめくるという作業を観察しておかなければならない。又、それは観察される側から見ると、共有作業空間で行われている活動が、常にどの作業員からも観察可能でなければならないということの意味している。つまり、どの作業員がカードをめくるという作業に志向しているのか正確に確認できなければ、自分がカードをめくるタイミングを知ることもできないのである。このように、共同作業では意識的、あるいは無意識のうちに相手の行動を観察し、また自分の意図を行動によって示そうとする「相互モニタリング」という行為が行われている。作業員同士常にお互いの行為を観察することによって、発話や身振り手振りを行うタイミングを見計らっているのである。

カードをめくるという活動の間、「次はあなたの順番ですよ」といった、活動を促すような発言は見られなかつ



図5 カードをめくる順番を間違えた瞬間
Fig.5 G1 misunderstood that it was his turn.

た。このような発言を行わなくても、時計まわりに活動が進む場合、自分の右隣りにいる作業者がめくった2枚のカードの絵柄が異なっており、そして、もとどおりにカードを戻したことさえ確認できれば、次は自分の順番であることがわかるのである。このように、志向が発生する方向や、あるいは作業者そのものの、共有作業空間に対する配置が、作業の流れを決定する、重要な要素になっている。

図5を見てみる。これは、G4が最初にめくった2枚のカードの図柄が同じだったため、つづけて次のカードをめくろうとした瞬間である。その時、カードをめくる役はまだG4であったにもかかわらず、G1が自分の番だと勘違いして、カードをめくっている。この状態のまま、約1秒間、両者は机の上に手を伸ばしたままであった。

G1は、G4の手が机の上に残っていることを確認すると、「あっ」という発言とともに自分の手を戻した。そしてG4は、再度神経衰弱におけるルール最初から活動を再開する。

G4が手を机の上に置いたままにしたこの行動により、G1が、順番を間違えていることに気付いている。だが、他人の手が机の上に置いてあることが重要なのではなく、自分の右側から伸びてきていることが重要なのである。右側から伸びることによって、自分がめくる順番よりも前に、まだカードをめくる権利を持った作業者がいることを、G1は共有作業空間内の状況を把握することによって気付いているのである。

2.3 システムの設計指針

筆者らが過去の研究から得た知見[2],[6]とその他の研究[1],[3],[5]、及び前節で行った複数の作業者による共同作業の解析結果を基に、作業者の行為をより自然な形で観察することができる共同作業支援環境を構築するための要件を次のように明示化した。

- 複数の作業者によって共有された作業空間を作ることができる。

- 共有された作業空間に対して各々の作業者が志向することができ、またその志向が他の作業者にわかる。
 - 共有された作業空間で行われる身体動作や道具の使用が、時間遅れなく行える。
 - システムを利用している作業者同士自由な編成で作業が行え、その作業内容が相互に観察可能である。
- ひとつめの要件は、Kendon [5] も明かにしているように、共同で作業を行う場合には必要となる条件である。実空間での作業と異なり、遠隔地間に存在する他の作業者との共同作業は、音声・実画像通信などの支援なしでは、遠隔地にいる作業者の作業空間と、自分自身の作業空間を重ねあわせることは不可能である。従って、音声・実画像通信などの技術を用いて共有作業空間を構築する際には適切に再現されるよう注意しなければならない。

ふたつめの要件にある志向とは、注意の方向のこと [6] である。つまり、志向とは共有された作業空間に存在する、ある物体や現象に注意を向けた作業者の視線の変化や指差しなどの身体の動きのことである。筆者らによる過去の研究 [2] から、共有された作業空間内に存在する作業対象に対し、全ての作業者が視線をあわせたり、指差しなどの動作で注意の方向を示すことができるだけでなく、共有作業空間そのものに対して、正しい空間的な位置配置で志向することが可能であり、また、視線の変化や指差しが、他の作業者にもそのままの状態では伝わらなければいけないということがわかっている。

三つめの要件は、Tang らによる実験 [3] から明かなように、共有作業においては、作業効率を決める非常に重要な条件となっている。構築するシステムは、作業者間の共有作業を支援するシステムであり、そのシステムが原因で作業内容に支障がでるようでは、スムーズなコミュニケーションが行えたとは言い難い。

最後の要件は、上の三つの要件が満たされた場合に初めて満たされる要件である。作業者同士自由な編成で作業を行うためには、常に他の作業者の様子が確認できなければならない。共有作業空間内で並列的に作業を行っている他の作業者と、新たに編成を組んで作業を行いたい場合、まず、相手となる作業者が自分の作業に協力できる体制なのかどうかを確認しなければならない。もし、相手の志向が違うところを向いている場合は、その志向がこちらを向くまで待つか、あるいは呼びかけや手招きなどの手段で、相手の志向をこちらに向けさせる必要がある。そのためには、相手の様子が見えていだけではなく、自分の様子も正しく伝わっていなければならない。

日常生活において行われている、視線や身体の動き・配置を利用したコミュニケーションは、実際は無意識のうちに相手の行為を観察し、また自分の振舞いが常に相手に見えるように考慮しつつ行う、相互モニタリングという行為によって達成されており、この相互モニタリン

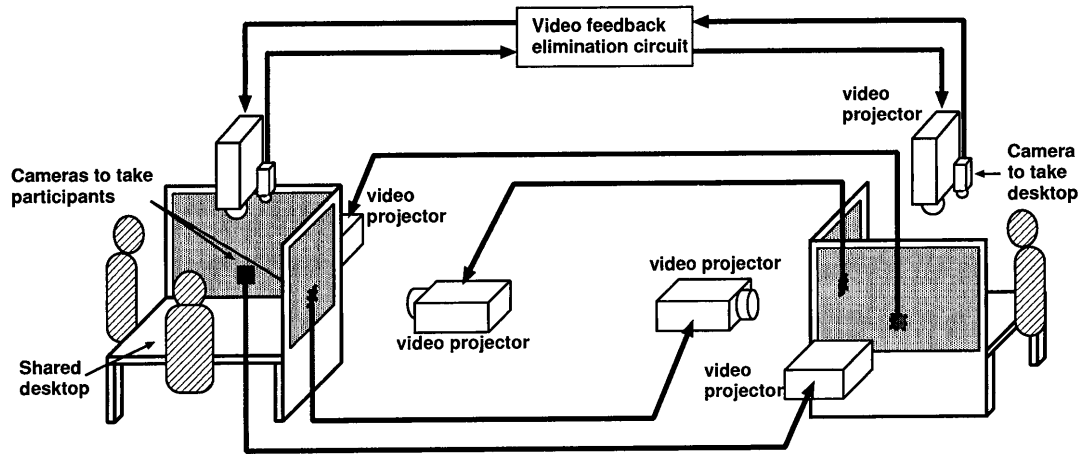


図6 Agora 構成図

Fig. 6 Schematic diagram of Agora system.

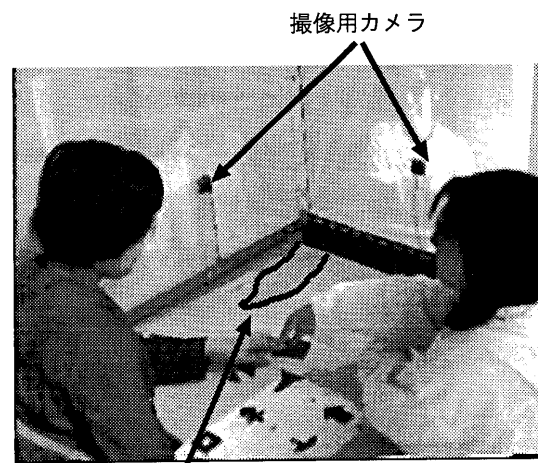
グを支援することが、共同作業においては非常に重要なポイントになる。また、この相互モニタリングを正確に行うためには、身体配置に関して筆者らが提案した身体メタファー [2] を満たす必要もある。もし、遠隔共同作業支援環境において、この節で挙げた 4 つの要件が満たせない場合、作業者に日常生活とかけ離れた行為を強いることとなり、活発な活動は望めない [6]。

3. システムの実装

3.1 システムのデザイン

これまでに述べてきた、実空間での共同作業に特徴的な 4 つの要件を、人工的に作られた遠隔共同作業支援環境においても満たすためには、音声・実画像通信を媒介して伝わる様々な情報が的確に作業者に伝わるようにシステムをデザインしなければならない。しかし、従来研究されてきた遠隔共同作業支援に関する研究 [9], [10] などにおいては、共通の作業対象と作業者の画像の提示を行っているものの、この両者の空間的な配置や、あるいは参加者間の空間的な配置までは完全には考慮されていなかった。そこで本研究で提案するシステムでは、作業者を机を囲むように配置する、円卓会議のメタファー (Round-table metaphor) を採用することで、この問題の解決を試みた。机を囲むように作業者を配置することで、他の作業者の位置を前方および左右と、明確に区別することが可能となる。また、このような配置を取ることにより、他の作業者に志向する時の顔や身体の動きが大きな動きへと変換されるので、他の作業者からその志向の向きを容易に判断することが可能となる。

4 つの要件の中で最も重要な条件となる、複数の作業者によって共有可能な作業空間は、共同作業を行う机の上に直接展開することで再現する。作業内容をこの机の上で行える作業とすることで、同じ実空間内に存在する共同作業者と、机の上でその作業領域を重ねあわせることができる。また、ClearBoard [9] と異なり、作業者の



遠隔地にいる作業者の手

図7 Agora を用いた実験の様子 (作業者の手の映像は、見やすいようにふちどりしてある)

Fig. 7 Agora in use. Remote participant's gesture is outlined in this figure.

画像と共有作業空間の画像を完全に分離しているので、相手が共有作業空間を見ているのか、あるいは作業者を見ているのかを容易に区別することが可能である。遠隔地との作業空間の共有は、DigitalDesk に代表される、プロジェクタ投影方式を用いる。

共有作業空間に対して、正しい空間的位置配置による志向を観察できるように、遠隔地にいる作業者の様子は、机に接した、大型の L 字型スクリーンに投影する。このようにスクリーンを配置することによって、机上の共有作業空間に対し、机を囲む全ての作業者が正しい空間的位置配置によって机を囲むことが可能となる。これらの条件を満たすことができるようにシステムを設計・構築し、Agora と命名した。図 6 に Agora の構成図を示す。

開発は、ハードウェアの基本的な性能を確認するため、共有作業空間と相手の様子を投影するスクリーンを一面

のみ持つプロトタイプの作成及び評価 [11] をまずはじめに行い、ここでの評価を元にして Agora の構築を行い、共同作業実験を行った [12]。

3.2 大型スクリーンを用いた相手画像の提示

相手の画像は机を囲むように、L字型に配置された 60 インチの大型スクリーン 2 面にプロジェクタを用いて背面より投影される。机の高さとスクリーンの下端が同じ高さになるように調整し、机の上に投影される手元の様子と同様の動きが連続して表示されるようになっていく。作業台として用意した机の奥行きは 90 センチとなっているが、これは 3~4 人で囲める一般的な机の奥行きと同じであり、スクリーンに投影される画像の大きさが等身大になるように調整することによって、より自然な対面環境を構成できる [13]。

視線が一致しているような感覚を得るために、ディスプレイを見ている人物の視線の延長線上にカメラを配置する必要があることは、良く知られていることである。例えば従来のビデオ会議システムなどではカメラはディスプレイの上部に設置されているが、相手の顔を見ながら話そうとすると、両者とも下向きの顔が表示され、視線の一致を行うことは不可能であった [14]。今回作成したシステムでは、作業者の正面全体がスクリーンとなるため、作業者の様子を撮影するカメラをスクリーンの正面に置く必要性が生じた。そこでスクリーン下端から伸びる、無色透明の塩基板で雲台を作成し、そこに小型のモノクロ CCD カメラ (双葉工業所 B310HL) を設置した。図 7 は、実際に Agora を用いて共同作業の実験を行っている様子である。矢印で示した小さい黒い四角形が、撮像に用いている CCD カメラである。システム構築の段階では、カラー CCD カメラで、薄くて小型のものが入手できなかったため、かわりにモノクロ CCD カメラを用いているが、モノクロ画像による作業への影響は見られなかった。

完全な視線の一致を図るには、投影された相手画像で目にあたる部分にカメラを置かなければならない。しかし、視線を一致させるために、投影された相手の顔の部分にカメラを配置すると、顔の表情を読み取ることが困難になる。また、作業者の姿勢は一定ではないために、恒久的なカメラ配置を決定することは難しい。しかしその一方、カメラの位置は必ずしも目の部位と同じである必要はなく、カメラの配置に関して、ある程度の誤差が許容できるという報告 [15] もある。ここでは、この報告を参考にし、作業者が机の正面に立った際の頭部の位置を基準とし、カメラが投影された相手画像の顔以外の部位にくるように設置した。

3.3 プロジェクタ投影による机の共有

机上の様子を共有するためには、DigitalDesk [7], [8] に代表される、カメラとプロジェクタを用いた投影方式

を用いる。頭上に設置したカメラで遠隔地の机の上の様子を撮像し、その様子を手元の机の上に置かれたプロジェクタで投影することで、遠隔地の机上の作業を見ることが可能となる。またこの逆の動作も行うことで、手元の様子を遠隔地に伝えることも可能となる。この装置を用いることによって、机上の動作に関して、遠隔地との間で共有することが可能となる。図 8 は、このシステムを通して行われている作業の様子である。

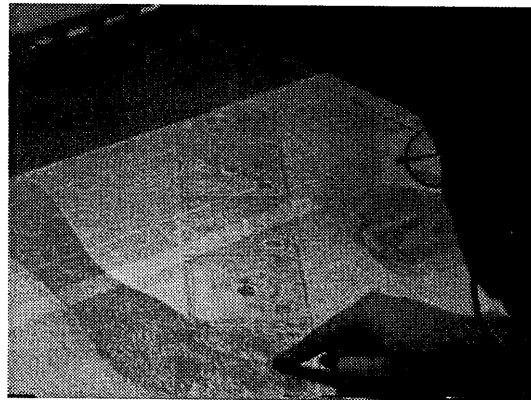


図 8 プロジェクタ投影を用いた作業空間の共有
Fig.8 Shared workspace using video projection.

ただし、このシステムをそのまま構築した場合、ビデオループが発生し、画質が劣化してしまうという問題が発生する。DoubleDigitalDesk では、この問題を回避するためにソフトウェアによる処理を行っている [7], [8]。DoubleDigitalDesk の例では、カメラによって撮影された画像に対し閾値を設定し、閾値以下の画像は利用しないようにしているが、カメラやプロジェクタの性能が原因で、誤って関係ない物体も消してしまう恐れがあった。また、処理自身がソフトウェアによって行われているため、時間遅れが生じてしまうこともある。偏光板を用いたシステム [9] もあるが、偏光板を通して投影された画像は、机の表面で乱反射してしまうため、このシステムでは利用することができない。そこで、従来の手法とは全く異なった手法でビデオループを回避する手法を考案し、ハードウェアによってこのシステムに実装している [11], [12]。ハードウェアによる実時間処理のため、時間遅れは生じていない。

ビデオループは、机の上の画像を撮像し、それを表示するといった処理を絶えず行っているために発生する。プロジェクタで画像を投影している間はカメラによる撮像を中止し、カメラによって机の上の様子を撮像している間は、プロジェクタによる遠隔地の様子の投影を中止することができれば、原理的にはビデオループが発生しないことになる。

Agora に実装されたハードウェアでは、プロジェクタで投影される机上の画像に対し、フレームの間引きを行

い、その間引いた画像の所に淡いブルーバック画像を挿入している。同様に、遠隔地の机に投影される画像も、間引きが行われたものを用いる。この際、手元の机に投影されている画像が、ブルーバック画像でないものを間引く。この処理によって、手元の机には、遠隔地の机の上の様子と、何も写っていないブルーバック画像が連続して交互に投影される。手元の机の上に、遠隔地の机の上の様子が投影されている時は、遠隔地の机の上はブルーバック画像が投影されており、逆に、手元の机の上がブルーバック画像の時は、遠隔地の机の上には手元の机の上の様子がプロジェクタによって投影されている。この処理により、秒間 30 枚の画像が 15 枚へと減るが、作業への支障は生じていない。また、投影のために利用しているプロジェクタは液晶を利用したものであるため、その性質上残像がわずかに残ってしまい、実際に投影される映像から完全にループを消すことができない。しかし、この残像は作業に影響を与えるほどのものではないことを、プロトタイプを利用したシステムの評価実験を通して確認した。

この処理のために利用している CCD カメラは、垂直同期信号を外部から入力できる製品でモノクロのものを、プロジェクタは小型のもの (SONY CPJ-D500) を利用した。カメラとプロジェクタのレンズ中心が机の上で交差するようにそれぞれ配置されており、カメラが撮像できる範囲は、A2 の紙より若干広い領域となっている。表 1 は、このシステムに用いられている、投影・撮像系のデータである。

表 1 撮像・投影系における光学系データ
Table 1 Optical data of capture and projection systems.

液晶プロジェクタ SONY CPJ-D500	
液晶パネル	1.3 インチ, 921,600 画素
投影レンズ	F1.8, f=55mm
CCD カメラ用 C マウントレンズ	
撮像レンズ	F1.2, f=8~48mm (システムでは 10mm に固定)
対応 CCD サイズ	1/2 インチ

4. 実験及び考察

4.1 実験方法

物理的に離れた二つの場所に Agora を設置し、実際に複数の作業員同士で遠隔共同作業を行わせた。対象は大学生で、15 セッションの実験を行った。1 つのセッションあたり 3 人から 6 人が参加し、延べ 66 人が参加した。本論文では、幾種か行った作業のうち、タングラムを用いた共同作業についての解析と、解析結果に対する考察を述べる。

タングラムとは、図形パズルの一種であり、図 9 に示すように、7 分割された様々なピースを組み合せ、指示

書に書かれたものと同じ図形を作り上げるパズルゲームである。タングラムを実験のタスクとして用いた理由は、タングラムには、「ピースを組み合わせてひとつの形を作りあげる」という明確な目標があり、被験者が目的意識をもって共同作業に取り組みると考えたためである。

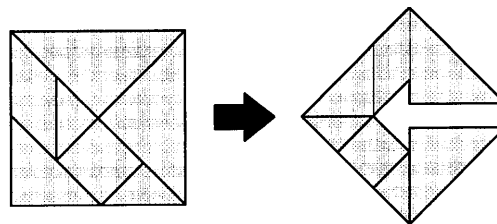


図 9 タングラム
Fig. 9 Tangram

タングラムを用いて、共同で図形を作成する作業は全部で 4 セッション行った。ひとつのセッションに参加した作業員は 4 名、4 セッションあわせて男性 4 名女性 12 名の計 16 名が参加した。映像回線の他に、発話内容を伝えるための音声回線を準備した。本章における解析では、女性 4 名が参加した 3 番目のセッションの記録を元に行った。図中、実空間に居る女性を、向って左側から $Ft1$, $Ft2$ とし、スクリーンに投影された女性を向って左側から $Ft3$, $Ft4$ とする。

タングラムを利用した全ての実験において、各々のセッションにおける共同作業員による作業のパターンを、遠隔隣、実空間隣、遠隔協力の三つに設定した。三つのパターンにおける作業内容は以下の通りである。

遠隔隣 $Ft1$ と $Ft3$, $Ft2$ と $Ft4$ のように作業員を二組に分け、それぞれ個別にパズルを解かせる。各々の組では、タングラムの 7 つのピースのうち 3 枚を遠隔側、残り 4 枚を手元におき遠隔地と協力して一つの図形を作成する。解かせる問題は双方の組で同じものを用いる。

実空間隣 $Ft1$ と $Ft2$, $Ft3$ と $Ft4$ のように、各々の環境で個別にパズルを完成させる。解かせる問題は双方の組で同じものを用いる。

遠隔協力 参加者全員で 7 つのピースを用い、図形をひとつ完成させる。7 つのピースのうち 3 枚を遠隔地、残り 4 枚を手元に置く。

作業の様子は、システム外部からの俯瞰撮影及び天井方向から撮影した映像をビデオテープに録画・録音し、これをエスノメソドロジー的手法を用いて解析した。ひとつのセッションにかかった時間は 50 分前後である。

4.2 考察

Agora システムが 2.3 節で述べた 4 つの要件を満しつつ、遠隔共同作業を支援しているかどうかを確認するため、実験で録画したビデオをエスノメソドロジー的手法により観察し、分析した。分析の結果、次のことが確

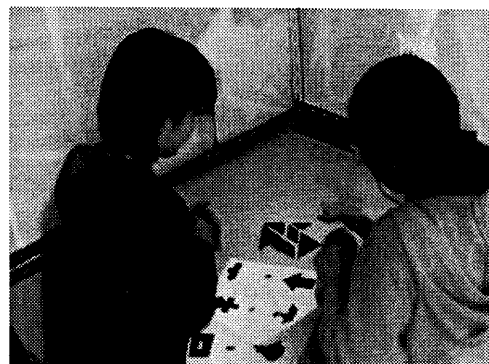
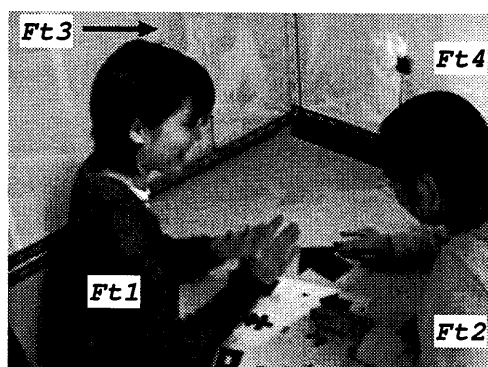


図 10 パズルピースを共有作業空間の中央に移動する前(左)と移動した後(右)
Fig. 10 The scene when Ft2 moved puzzle pieces into the shared workspace

認された。

1. 複数の作業者が、実際に机の上を共同の作業空間として利用していることが確認された。
2. 机を囲む作業者の空間的配置や志向を明確に確認できるので、作業者の作業対象がどこに向いているかが、正面及び側面のスクリーンに映った相手の体勢の変化や視線の変化によって確認できた。また、机の上に投影された手の画像の動きによって作業者が共有作業空間に志向していることを他の作業者が確認できた。
3. ある作業者が作業を行ったり言葉を発した後、それに呼応して他の作業者が共有作業空間で手や物を動かして作業を行うというように、相互行為が共有された作業空間で行われていることが確認された。
4. 作業者間の編成を自由に变化させながら作業が行えていることを確認した。つまり、最初は分担して作業を行い、最後に全員一緒に作業を行うといった行為が実験を通して見られた。

この4つの要件が、実際の遠隔共同作業において、どのように満たされているかを以下の節で検証する。

4.2.1 共有作業空間の利用

遠隔隣、実空間隣、遠隔協力の三つのパターンにおいて、プロジェクタによって投影された机の上を共通の作業空間として作業を行っていることを確認した。これは、遠隔隣、遠隔協力の二つのパターンにおいては、実際に机の上で、お互いの手持ちピースを出しあい、ひとつの図形を作成していることから確認できる。

実空間隣というパターンにおいては、協力している作業者の組は、実際に隣に存在している作業者との組であり、一見、その実際に隣に居る作業者とだけ作業空間を共有できれば良い問題に思える。しかし、以下の事例により、実空間隣というパターンにおいても、共有作業空間は相互モニタリングの資源として有効に利用されていることが確認できる。

図 10左において、Ft1 と Ft2 の組が先に答を見付け、図形を完成させた。遠隔地側に居る Ft3 と Ft4 の組は

正面画像を通じて Ft1 と Ft2 が図形を完成したことに気付いている。その後、完成した答を遠隔地の作業者に教えるという過程で、Ft4 による「もうちょいこっちきて」という音声による指示と、Ft2 から Ft3 の方への、図形の移動を促すようなジェスチャーに従い、Ft2 は完成した図形を Ft3 の方へ移動し、さらに答がわかりやすいように、ピースを分解している(図 10右)。Ft3 と Ft4 は、机の中心に置かれた答と、Ft1, Ft2 の指差しによる指示を参考に図形を完成させた。この一連の作業は、共有作業空間が有効に利用された例に他ならない。

4.2.2 共有作業空間に対する志向の確認

図 11は、パズルを組み立てるという作業を遠隔協力のパターンで行っている時の様子の変化である。各々の図の左下には、遠隔地での机上の様子がわかるように、天井方向から撮影した映像を挿入している。この時点では、まだ答はみつかってない状態であり、各自独立した状態でピースを移動している状況である。

図 11左は、Ft3 が机の上に投影された、Ft1, Ft2 側のピースを指差ししているところである。この動作は無言で行われたが、Ft3 の指差し動作にあわせて、Ft1, Ft2 も対象となっているピースに指差しを行っている。また、Ft1 は、腕が伸びてきた方向である Ft3 に顔を向け、Ft3 の指示を待っている状態である。その後 Ft2 も Ft3 の様子を観察する行動に出ている(図 11右)。

つまり、この状況は、自分では動かすことのできないピースを Ft1 や Ft2 に動かしてもらうため、そのピースに対して Ft3 が指差し動作、つまり志向を示すことによって Ft2 の志向を自分の方へ向けさせた例である。この一連の動作によって、共有作業空間が机上での志向を効果的に伝達できていることを示している。

4.2.3 インタラクティブ性の保証

この要件は、例えば遠隔協力のパターンにおいて、遠隔地側に居る Ft4 が、Ft1 側の机の上に置かれているピースを指差しし、「これを」と発話したのに対して即座に Ft1 が「これを」と応答し、また、Ft4 が「ここに」

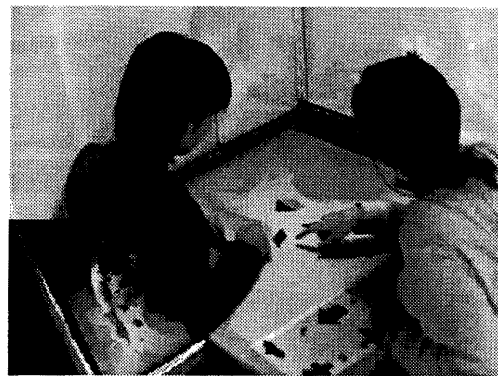


図 11 相手の指差し位置を確認後、その志向が発生した方向を確認した例
 Fig. 11 *Ft3's* orientation was confirmed by *Ft2* after she noticed *Ft3's* pointing.

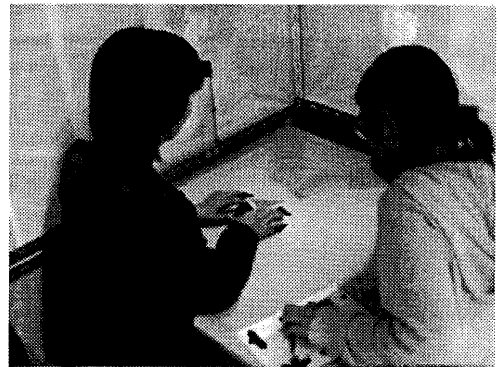


図 12 視線一致を区切りとした、編成変化の発生日
 Fig. 12 In this example, formation of collaboration was changed after the eye contact.

と言いながら机の上の別の地点を指差しした動作にすぐに反応して、その指示された場所にピースを移動している例から確認できる。

4.2.4 作業者間での編成の変化

遠隔協力のパターンにおいて、共有作業空間を通しての共同作業における、作業者間での協力関係が(3+1)人や(2+2)人、あるいは4人全員と変化して行く様子が確認された。

ここで注意しなければいけないのは、これら編成の変化が、偶発的に行われたのではないということである。作業者どうし、机上の共有作業空間や正面および側面スクリーンに写し出された相手の様子を常に観察しあい、そこでの志向や作業内容より、相手が自分との協力体制を取れることを確認した後に、編成の変化が生じているということである。

遠隔協力パターンでの作業において、終盤における作業者間での編成は *Ft1*+*Ft2*, *Ft3*, *Ft4* のように、(2+1+1)人という編成になり、各々のグループで個別に答を模索している状態になる。*Ft1*+*Ft2* のグループは先に答を見付けるが、すぐには作業に移らず、*Ft1* はスクリーンに写された *Ft3* と *Ft4* の作業の様子を観察している(図 12左)。その後、*Ft1* は *Ft4* と視線を一致しており、そ

れと同時に *Ft4* は *Ft1* に対して「わかった?」と質問している(図 12右)。この質問の後、*Ft1* と *Ft2* は *Ft4* に対し、指差しなどを用いて、遠隔地の方に置いてある図形の移動を指示している。つまり、この視線一致を切っ掛けとして、それまでの(2+1+1)人による作業体制から、*Ft1*+*Ft2*+*Ft4* と *Ft3* という、(3+1)人の作業体制に変化したことになる。

5. システムの限界点と今後の課題

Agora システムでは、遠隔地との作業の共有にプロジェクトによる投影方式を用いた。Agora は、従来のテレビ会議型システムに多い、GUI を用いた共同作業とは異なり、作業自身に直接、自分の手や手振りなどを使える、実空間指向型の共有作業システムである。この方式の大きな特徴は、第 4. 章で示したように、この共有作業空間内で行われた指差しなどの身振り手振りが、マウスポインタのような単なるポインティングデバイスとしてではなく、作業者の志向として、他の作業者から観察可能であるという点にある。

一方、このシステムは共同作業に重要な要素となる、遠隔地との実物体の共有を支援できていない。現在のシステムでは、遠隔地の机上の様子をプロジェクトによって、手元の机の上に重ねあわせて表示しているだけであ

り、直接、遠隔地にある物体を操作することはできない。このために、遠隔地にある物体を操作するためには、指差しや音声などなどによる指示が必要となってくる。遠隔地との間で実物体を共有すること自身、システムの機構として限界がある。しかし、両者に同じ物体を置く必要はあるが、PSyBench [16] のようなシステムと組みあわせることにより、遠隔地との間で実物体を共有することに関する可能性を広げることが可能であろう。

本研究ではシステムが原因となる時間遅れを極力防ぐための機構を考案し、実装したが、これが有効に働かない場合もあり得る。例えば、音声・実画像通信が、通信衛星などを經由して行われた場合である。本研究では詳しく調査していないが、今後は共同作業における、時間遅れの許容度を調べ、また、時間遅れを有効に補償できるシステムを検討する必要があるだろう。

6. おわりに

本論文では、物理的に異なった場所に存在する複数の作業者が、あたかも同じ場所で作業しているような感覚で作業を行うために必要な条件を、過去の研究や実際の共同作業を参考に明示化した。そして、この明示化した要件を満たすためには、音声・実画像情報をどのように提示すべきかを検討し、そこでの検討を元に Agora システムを構築した。また、Agora を用いた遠隔共同作業実験と観察より、システムが4つの要件を満しつつ、効果的に共同作業を支援していることを確認した。本論文で述べた、エスノメソドロジ的分析に基づく身体配置の問題及び相互モニタリングという考え方は、このような遠隔共同作業支援や遠隔作業指示支援への適用だけでなく、ビデオアバターやエージェントが人間と接する時の振舞い方などに応用することもできよう。

しかし、本論文で提案したプロジェクタ投影による作業空間の共有と、L字に配置した大型スクリーンによる作業者画像の提供は、本研究の最終的な形ではない。本研究では相互モニタリングを支援するために、円卓会議のメタファを採用し、机を囲むように作業者を配置することで、作業者同士の身体配置を正確に再現し、各作業者の微妙な志向の変化をより明確に確認できるようにした。しかし、カメラ配置の問題に伴う視線の不一致、あるいは作業者を投影した2面のスクリーン間に生じる不連続な繋ぎ目が、作業に与える影響について、まだ完全に解析を行えていない。加えて、今回はエスノメソドロジ的手法をシステムの設計と評価に用いたが、定量的な評価も併せて行う必要があるだろう。

遠隔共同作業支援システムの研究において、人間の行動を観察することによってシステムに対する考察を行い、その考察結果に基づいて次のシステムをデザインするという、繰り返し手法の有効性が主張されている [17]。本研

究もその手法に基いた、システムの見直しを行い、個々の技術の長所・短所やその組み合わせについて様々な視点から評価し、さらに改良を進めたいと考えている。

謝 辞

実験を行うにあたって、埼玉大学教養学部現代社会学コースに所属している学生の皆様にご協力いただいた。感謝の意を表したい。この研究は文部省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)の一部を用いて行われた。

参考文献

- [1] Heath, C. and Luff, P.: *Disembodied Conduct: Communication through video in a multi-media environment*, Proc. of CHI'91, pp.99-103, 1991.
- [2] 山崎, 三樹, 山崎, 鈴木, 加藤, 葛岡: 指示・道具・相互性—遠隔共同作業システムの設計とそのシステムを用いた人々の共同作業の分析, 認知科学, Vol.5, No.1, pp.51-63, 1998.
- [3] Tang, J.: *Findings from observational studies of collaborative work*, Int. J. Man-Machine Studies 34, pp. 143-160, 1991.
- [4] 三樹: CSCW 研究における社会的分析の利用, 情処研報, 98-GW-28, pp.25-36, 1998.
- [5] Kendon, A.: *Conducting interaction; patterns of behavior in focused encounters*, Cambridge University Press, 1990.
- [6] 鈴木, 加藤: 協同学習のための教育ツール「アルゴブロック」, 認知科学, Vol.2, No.1, pp.36-47, 1995.
- [7] Wellner, P.: *The DigitalDesk: Supporting Computer-based Interaction with Paper Documents*, imagia'93
- [8] Newman, W. and Wellner, P.: *A Desk Supporting Computer-based Interaction with Paper Documents*, Proc. of CHI'92, pp.587-592, 1992.
- [9] Ishii, H., Kobayashi, M.: *ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact*, Proc. of CHI'92, pp.525-532, 1992.
- [10] Okada, K. et al.: *Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design*, Proc. of CSCW'94, pp. 385-392, 1994.
- [11] 山下, 葛岡, 山崎: 臨場感のある遠隔共同作業空間の構築, 第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.463-468, 1998.
- [12] Kuzuoka, H., Yamashita, J., Yamazaki, K., Yamazaki, A.: *Agora: A Remote Collaboration System that Enables Mutual Monitoring*, Extended Proc. of CHI'99, pp. 190-191, 1999.
- [13] 黒須, 山本, 本宮, 三村: 臨場感通信における画面上の人体サイズ, 情処研報, 95-GW-13, Vol.95, No.67, pp.43-48, 1995.
- [14] 吉田編, 岡崎他著: ヒューマンマシンインタフェースのデザイン, 分散協調メディアシリーズ2, 共立出版, 1995.
- [15] 森井, 岸野, 鉄谷: 眼のCGアニメーションと視線の知覚に関する検討, 信学術報 IE93-32, pp.17-24, 1993.
- [16] Scott B., Hiroshi I., and Andrew D.: *Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication*, Proc. of CSCW98, pp.169-178, 1998.
- [17] 平川・安村編, 葛岡他著: ビジュアルインタフェース・ポスト GUI を目指して-, bit 別冊, 共立出版, pp.98-116, 1996.

(1999年6月28日受付)