

タイルドディスプレイを用いた
インフォーマルコミュニケーション
支援システムに関する研究

佐久間 悠

(学籍番号：81133263)

指導教員 教授 小木 哲朗

2013 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論 文 要 旨

学籍番号	81133263	氏名	佐久間 悠
論文題目： タイルドディスプレイを用いた インフォーマルコミュニケーション支援システムに関する研究			
(内容の要旨)			
<p>近年、知的生産の向上に、組織や分野を超えたインフォーマルコミュニケーションの重要性が指摘されるようになってきた。この背景として、グローバル化によりオフィスが分散型になったことで、廊下や喫煙所での偶発的なコミュニケーションの機会が減っていることが考えられる。</p> <p>本研究では、同一空間にいる人だけでなく、遠隔地にいる人ともインフォーマルコミュニケーションを行うためのシステムをデザインする。従来のテレビ会議システムでは、利用者が顔を見合わせながら、画面情報を共有し、表示コンテンツの指差し動作などを行うことが困難であった。福数の人間が雑談を含むインフォーマルコミュニケーションを行う上では、高精細で大画面なディスプレイに多種多様な視覚情報を表示できる機能、コミュニケーションを取る上でお互いの視線が合う機能、指差し動作による直観的なインタラクション機能が重要と考えられる。</p> <p>複数の小型魚眼カメラを取り付けたタイルドディスプレイを用いたプロトタイプを実装した。一般にタイルドディスプレイは各液晶パネルのベゼルが目障りになるという問題があった。そこで、本研究では、ベゼル部分に魚眼カメラを取り付け、マルチカメラによりディスプレイ前方を撮影することで、指先位置の検出と人物映像の撮影を同じデバイスによって実現した。また、魚眼カメラで撮影した人物映像は、背景差分法による切り抜きと魚眼レンズによる歪みを補正する処理を行うことで、ビデオアバタとして利用した。このビデオアバタを共有情報である画像に合成してタイルドディスプレイに表示した。</p> <p>本研究で構築したプロトタイプを用いて、システムの検証を行った。画面を指差して、指先位置を正しく認識しなければならないため、指先位置検出の精度について測定を行った。また、本研究で表示するビデオアバタは利用者と視線が合っていると感じられるように表現しなければならない。しかし、システム利用者の立ち位置による影響を受けるため、複数の立ち位置から人物映像を撮影したビデオを元に主観評価アンケートを行い、視線が合っていると感じられるか検証した。最後にプロトタイプを人の集まる所に設置し、実際にシステムを利用して、遠隔地にいる人とコミュニケーションを行う様子を観察・記録した。その記録をエスノメソドロジー的手法で分析し、システム検証を行った。</p>			
キーワード (5語) タイルドディスプレイ、魚眼カメラ、情報共有、インフォーマルコミュニケーション、遠隔コミュニケーション			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81133263	Name	Yu SAKUMA
Title			
Study of Informal Communication Support System Using Tiled Display Wall.			
Abstract			
<p>In recent years, many people have the desire to communicate with their remote colleagues in other office like they would have done during informal way of communication. Informal communication, defined as an accidental communication style with unplanned partners and topics, affects important decision making, sharing information in daily life and maintaining human social networks. This study aims to design of informal communication support system.</p> <p>In conventional remote communication system, it is difficult to realize the natural communication. Because the functions of video communication and information sharing are implemented separately. In this study, the tiled display wall communication environment that uses the video communication and touch interaction functions was constructed based on the fish-eye camera. This paper discusses the method of image processing for the video communication and touch interaction using OpenCV library.</p> <p>We constructed a prototype of informal communication support system which consists of functional verification of finger tip positioning. This is achieved by using multiple fish-eye cameras. The sensitivity allows the video avatar to recreate direct contact environment.</p> <p>We constructed an experiment by communicating between the discussion room and the laboratory. And the results of the experiment suggested that this system can catalyze informal communication effectively.</p>			
Key Word(5 words)			
Tiled Display, Fish Eye Camera, Sharing Information, Informal Communication, Tele Communication			

目次

第 1 章…序章	1
1.1…研究背景	1
1.1.1…インフォーマルコミュニケーション	1
1.1.2…インフォーマルコミュニケーションの課題	3
1.2…研究目的	4
1.3…論文の構成.....	4
第 2 章…関連研究	6
2.1…インフォーマルコミュニケーション支援に関する研究	6
2.2…遠隔コミュニケーションに関する研究	7
2.3…本研究の独自性	10
第 3 章…システム設計	11
3.1…情報共有システムの概念設計.....	11
3.2…遠隔コミュニケーションシステムの概念設計.....	12
第 4 章…プロトタイプ構築	14
4.1…大量の視覚情報表示機能の実装	14
4.1.1…タイルドディスプレイ	14
4.1.2…Scalable Adaptive Graphics Environment(SAGE)	16
4.1.3…タイルドディスプレイに関する関連研究	18
4.2…タッチインタラクション機能の実装	19
4.2.1…ユーザインタフェースの検討	19
4.2.2…タッチインタラクションデバイスの検討	20
4.2.3…魚眼カメラによるタッチインタラクション機能	23
4.3…人物映像の処理	26
4.3.1…ビデオアバタ技術について.....	26
4.3.2…人物像の切り抜き	27
4.3.3…魚眼レンズの歪み補正.....	30
4.3.4…ビデオアバタの表示	33
4.4…情報共有コンテンツ	34
4.4.1…コンテンツの検討	34
4.4.2…実装したアプリケーション.....	35

第5章…プロトタイプ検証	38
5.1…魚眼カメラによる指先位置検出の精度	38
5.1.1…検証の目的	38
5.1.2…検証方法	40
5.1.3…結果と考察	41
5.2…ビデオアバタの検証	42
5.2.1…検証の目的	42
5.2.2…検証の準備	43
5.2.3…検証方法	43
5.2.4…結果と考察	45
5.3…コミュニケーションシステムの検証	46
5.3.1…検証の目的	46
5.3.2…検証方法	46
5.3.3…結果と考察	47
第6章…課題	52
第7章…結論	54
謝辞	56
外部発表	57
参考文献	58
付録	60

図目次

図 1 : インフォーマルコミュニケーションの例.....	1
図 2 : 大部屋でのコミュニケーションの様子	3
図 3 : 本研究の構成	5
図 4 : 個人情報の画面.....	6
図 5 : サイバー囲炉裏を用いてコミュニケーションしている様子	7
図 6 : ClearBoard-1 のシステム概要.....	8
図 7 : ClearBoard-1 使用している様子	8
図 8 : Agora システム概観	9
図 9 : タイルドディスプレイを用いた遠隔コミュニケーション.....	9
図 10 : 情報共有によるインフォーマルコミュニケーション支援の概要	12
図 11 : 本システムの概要	13
図 12 : 4K プロジェクタ (SONY, SRX-S110)	14
図 13 : 本研究で用いたタイルドディスプレイ (表面)	16
図 14 : 本研究で用いたタイルドディスプレイ (裏面)	16
図 15 : SAGE のアーキテクチャ	17
図 16 : タイルドディスプレイに高精細画像を表示した様子	18
図 17 : Lamba Vision Display	18
図 18 : タイルドディスプレイを用いたデジタルガイドマップ	19
図 19 : 指差し動作によるタッチインタラクション概要	20
図 20 : 通常のレンズを用いて撮影した画像.....	21
図 21 : 魚眼レンズを用いて撮影した画像	21
図 22 : ベゼルに取り付けた魚眼カメラ	22
図 23 : ディスプレイに指先を近づけた人物映像.....	23
図 24 : 肌色を検出した画像.....	24
図 25 : 周縁部に設定した領域.....	24
図 26 : 図 24 と図 25 の論理積を取った画像.....	25
図 27 : 魚眼カメラによる指先位置検出.....	26
図 28 : 魚眼カメラで撮影した人物像	27
図 29 : 予め撮影した背景画像	28
図 30 : マスク画像.....	28

図 31 : 切り抜かれた人物像.....	29
図 32 : ノイズ処理をしていないマスク画像.....	29
図 33 : カメラキャリブレーションのための撮影を行う様子	30
図 34 : 撮影されたチェックパターン	31
図 35 : 検出された交点.....	31
図 36 : 歪み補正を行った画像.....	32
図 37 : 歪み補正後、切り出した人物像.....	32
図 38 : タイルドディスプレイに表示したビデオアバタ	33
図 39 : 人物像を反転させない状態.....	34
図 40 : デスクトップ画面を同期させた様子.....	36
図 41 : コンテンツを再構築して表示した様子	37
図 42 : 絵文字を使うコミュニケーション	37
図 43 : 指先位置検出精度を検証するための設定位置.....	39
図 44 : x 座標における誤差の結果.....	41
図 45 : y 座標における誤差の結果.....	42
図 46 : ビデオ撮影の配置図.....	43
図 47 : 実験の様子.....	44
図 48 : 質問 I ~ III の結果	45
図 49 : 実験環境の様子.....	47
図 50 : 本システムを用いてコミュニケーションをする様子	48
図 51 : 画面に触れている様子	49
図 52 : 背景を切り替えて話した様子	49
図 53 : 人が集まり、場を形成する様子.....	50
図 54 : 実験内における人の行動	51
図 55 : 予備実験データ	60

表目次

表 1 : コミュニケーションの特徴.....	2
表 2 : タイルドディスプレイの構成	15
表 3 : 魚眼カメラとパソコンの構成	22
表 4 : 各検証位置の座標値	40
表 5 : 評価基準	45

第1章序論

本章では、本研究の背景、および本研究の目的について述べる。1.1 節で、インフォーマルコミュニケーションについて説明し、研究背景について述べる。1.2 節で、本研究の目的について述べる。1.3 節で、本論文の構成について述べる。

1.1 研究背景

本節では研究背景について述べる。研究背景であるインフォーマルコミュニケーションの重要性と、その課題について述べる。

1.1.1 インフォーマルコミュニケーション

知的生産の向上に、分野を超えたインフォーマルなシチュエーションでのコミュニケーションの重要性が指摘されるようになってきた[1]。

組織内におけるコミュニケーションはそのスタイルから、フォーマルとインフォーマルに分類される。フォーマルコミュニケーションとは、仕事での報告や会議のことである。インフォーマルコミュニケーションとは、休憩所での談話、廊下や喫煙所での立ち話など（図 1）である。



図 1：インフォーマルコミュニケーションの例

表 1 に示すようにインフォーマルコミュニケーションはフォーマルコミュニケーションと比べ、コミュニケーションの相手が不特定で、話題も定まっていない。発生においても、時間、場所共に偶発的に発生するという特徴を持つ。

たしかに、組織の一体感や人間関係の形成はフォーマルコミュニケーションを通して形成される面もあるが、その基盤にはインフォーマルなつながりがある。また、インフォーマルコミュニケーションを通じて、重要な情報を得ている。例えば、会議では本音を言いにくい、喫煙所や廊下での立ち話は本音が出やすいということである。

表 1：コミュニケーションの特徴

フォーマルコミュニケーション	←→	インフォーマルコミュニケーション
予めスケジュールを組まれる。	←→	偶発的に発生する。
予め決められた人と話す。	←→	偶発的に発生する。
立場上の付き合い。	←→	立場を超えた付き合い。
予め目標が決まっている。	←→	目標が決まっていない。
一方向のコミュニケーション。	←→	双方向のやり取り。
内容が薄い。	←→	内容が豊富。
形式的な表現。	←→	口語体での表現。

異なる背景知識を持つ人々相互作用によって生まれるイノベーション狙うナレッジマネジメントの例として花王の「大部屋研究方式」と住友スリーエムの「テクノロジー・プラットフォーム」が挙げられる[2]。大部屋研究方式は、背景の異なる研究者同士がお互いの知識を理解する上で有効な手段である。テクノロジー・プラットフォームは営業担当者や顧客が技術者と対話することで、製品ではなく技術を理解し、新たな応用先を考える場を創り出した。

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科[3]においても、インフォーマルコミュニケーションを起こすための工夫がされている[4]。専門を同じくする教員と学生毎にスペースを区切る従来型の研究室ではなく、フリーシーティング型のミーティングルームにより、学生が目的に応じて、部屋や座席を確保し議論を行うことができる(図 2)。教員の居室はフロア内の一区間に集中させ、教員同士が頻繁にコミュニケーションを取ることができる。



図 2：大部屋でのコミュニケーションの様子[4]

1.1.2 インフォーマルコミュニケーションの課題

そもそも、インフォーマルコミュニケーションが重要視されるようになった背景には、グローバル化によって、オフィスが分散され、仕事の関係者が遠隔地に移ったという点が考えられる。

たしかに、少子化などによる国内市場の縮小や、途上国の市場化が進む中で、企業にとって海外展開は避けて通れない経営判断となっているだろう。しかし、遠隔地にいる人とメールや電話で連絡を取れたとしても、喫煙所や廊下で偶然出会うという状況が起こることは難しいと言える。

映像によるコミュニケーションツールを用いたテレビ会議も考えられるが、あらかじめ明確な議題があり、開始時刻も決められていることから、遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーションを行うことは多くないと考えられる。また単なる映像のストリーミングに留まることが多く、情報の共有とコミュニケーションがばらばらであるという問題点もある。

このため、偶発的に遠隔地の人とコミュニケーションが取れ、必要な情報共有も同時に行えることが遠隔コミュニケーション支援には有用である。

以上のことから、遠隔コミュニケーションツールは、フォーマルコミュニケーションに限らず、インフォーマルコミュニケーションにも有用なツールになり得るにも関わらず、従来の映像ストリーミングだけでは、その有用性を生かし切れていないと考

えられる。

1.2 研究目的

本研究では、同一空間にいる人同士に限らず、遠隔地にある休憩所や廊下をつなげることによって、遠隔地間での人間同士のインフォーマルコミュニケーションを支援するシステムをデザインする。本研究では次のような機能を持ったプロトタイプを開発することで、システムの有効性の検証を行う。

- 遠隔地の休憩スペースなどにいる人と顔を見合せながらコミュニケーションする。
- 同一空間の人だけではなく、遠隔地の人とも多種多様な情報を共有する。
- グループ同士でコミュニケーションをしたい場合でも利用できる。
- 人がコミュニケーションの場に入りやすくするための支援をする。

インフォーマルコミュニケーションでは、誰とコミュニケーションをするかが予め分からないため、同一空間にいる人と遠隔地にいる人の両方に対して、支援を行う必要がある。また、何人でコミュニケーションするのかということについても、決められていないため、グループ同士での利用もできるシステムを目指す。

1.3 本研究の構成

本論文は全7章から構成されている。図3では、システムエンジニアリングにおけるVモデルに各章を当てはめた。

Vモデルとは、システムのデザインに用いられるモデルであり、Vの左側で、システムを分解し、詳細にしていく。Vの右側では、構築されたコンポーネントをサブシステム、システムへと統合し、検証を行うフローを示している。

第2章では、遠隔地にいる人とのインフォーマルコミュニケーション支援のため、遠隔コミュニケーションに関する先行研究と、インフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究についてまとめる。また本研究の新規性について述べる。

第3章では、本章で述べた本研究の目的や先行研究を踏まえ、システムの設計を行う。システムの概要についても述べる。

第4章では、本研究で構築したプロトタイプについて述べる。ここでは、サブシステムとして、タイルドディスプレイを用いた大量の視覚情報表示機能について述べる。魚

眼カメラを用いた人物映像の処理と直観的に操作できる機能についても述べる。また、具体的な状況を考えたコンテンツの実装についても述べる。

第5章では、プロトタイプを用いて行った評価と検証について述べる。指先位置検出精度、人物映像の見え方についての実験と、コミュニケーションを行った分析結果について述べる。

第6章では、1章から5章までをまとめて考察し、課題を述べる。

第7章では、本研究における結論について述べる。

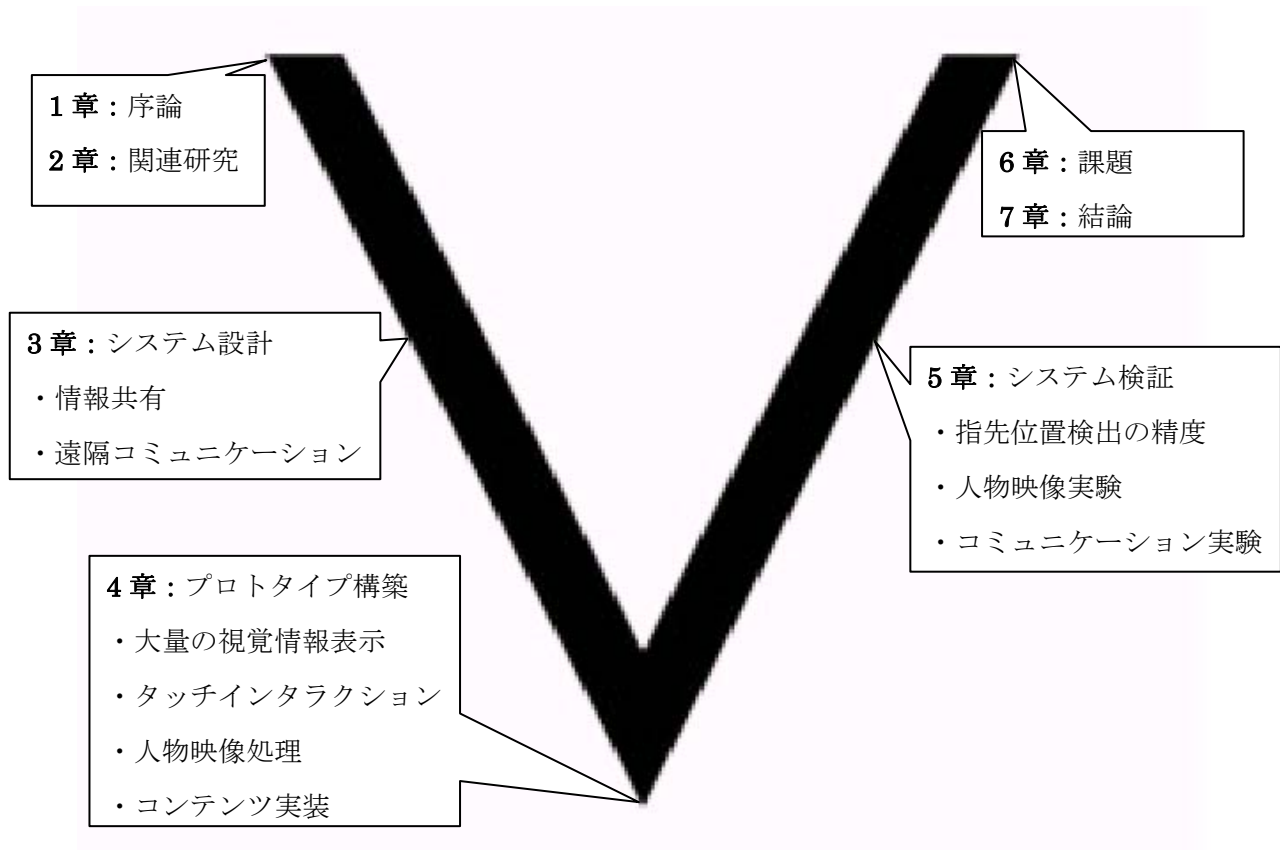


図3:本研究の構成

第2章 関連研究

本研究では遠隔地にいる人とのインフォーマルコミュニケーションを支援するシステムのデザインを行う。そこで、インフォーマルコミュニケーション支援に関する研究と、遠隔コミュニケーションに関する研究の先行研究を挙げ、本研究の位置付けを示す。

2.1 インフォーマルコミュニケーション支援に関する先行研究

和氣らは、パーティーなどで同じ会場に居る見知らぬ人とのインフォーマルコミュニケーションを活性化するために、携帯情報端末を通じて、近隣の人の個人情報を共有する実指向インフォーマルコミュニケーション支援を提案している[5]。初対面の場合、相手がどういう人か分からないために、話題を生成できず、話しかけにくいという問題が挙げられる。周りの人の個人情報を自分と類似度の高い順に簡易表示し、共有することで、話題生成を支援している（図4）



図4：個人情報の画面[5]

杉原らは、サイバー囲炉裏を提案している[6]。インフォーマル空間の利用者は頻繁にオブジェクトに触れることで、距離圧力を回避し、居心地を良くしている。サイバー囲炉裏では、映像の泡に触れると泡がはじけることで、オブジェクトに触れている状態にしている。さらに、泡がはじけるとリンクされた近くの大型ディスプレイでWebページが表示され、コミュニケーションのトピックを提供する（図5）。



図5：サイバー囲炉裏を用いてコミュニケーションしている様子[6]

これらの研究は、情報を共有することで、同一空間にいる人に対して、コミュニケーションの発生を促し、インフォーマルコミュニケーション支援を行っており、遠隔地にいる人は利用できない。

2.2 遠隔コミュニケーションに関する先行研究

小林らは、ClearBoard-1を提案している[7]。遠隔地間の協働作業では、相手を見ながらの対話と協働作業空間での作業をスムーズに切り替える必要がある。そのために表示画面にハーフミラーを利用することで、相手の視線を把握することができる。ユーザ像が表示されているハーフミラーに直接フェルトペンに描画する（図6）。これにより、遠隔に位置する人と、ガラス板に両側から描画を行いながら、互いに向かい合ってコミュニケーションをしながら協働作業ができる（図7）。

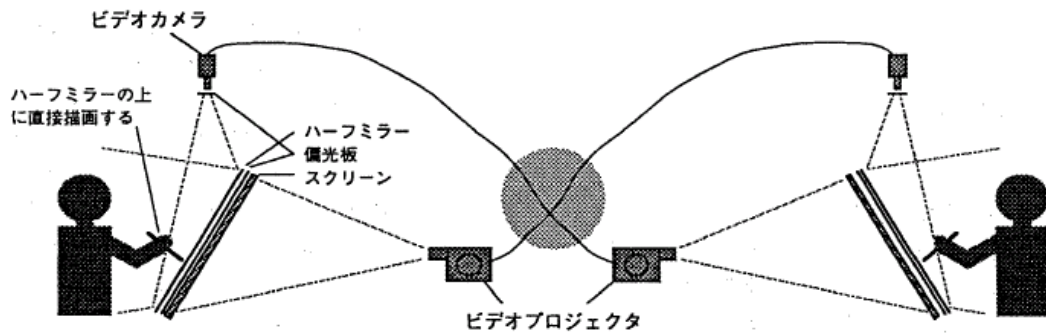


図6：ClearBoard-1のシステム概要[7]

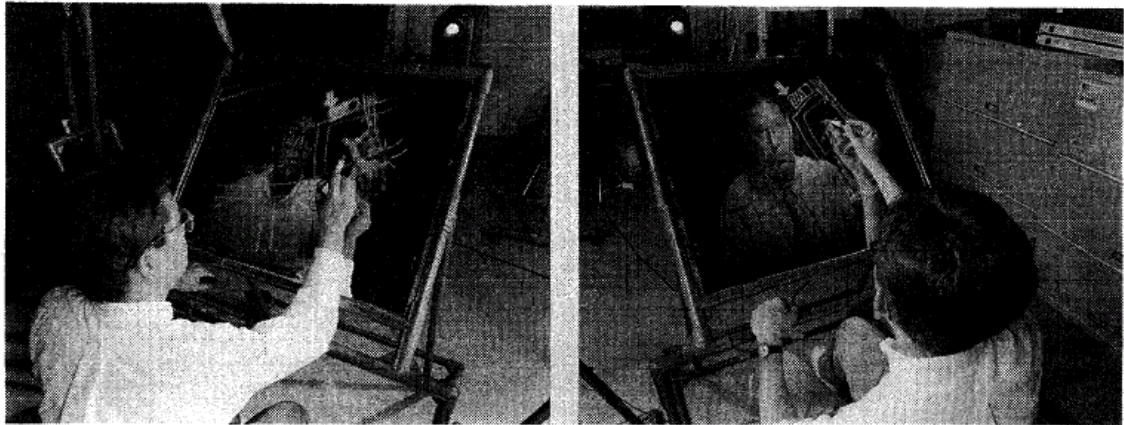


図7：ClearBoard-1を使用している様子[7]

山下らは、Agoraを提案している[8]。遠隔地間のコミュニケーションとして、視線の把握や、映像によって相手の身振りが分かることに加え、半共有領域にある資料や指差し位置を表示する。仮想的に資料を共有しながら指差し動作により直接指示を出すことができる。これにより、遠隔地にいる人と、あたかも1つの机を囲んで作業を行うような感覚で作業できる環境を構築している（図8）。



図8 : Agoraシステム概観[8]

久木元らは、タイルドディスプレイ[9]を用いた遠隔コミュニケーションの研究を行っている[10]。タイルドディスプレイとは、複数の液晶パネルをタイル状に並べ、これらをパソコンによって連動させることにより、複数の画面を1枚の大画面かつ高精細ディスプレイであるかのようにコンテンツを表示できる装置である。

高精細ディスプレイであるタイルドディスプレイを遠隔コミュニケーションに用いることで、高臨場感の遠隔コミュニケーションが可能になる。また、タイルドディスプレイのベゼル部分にカメラを設置することで視線の合ったコミュニケーションが行える(図9)。



図9 : タイルドディスプレイを用いた遠隔コミュニケーション[10]

これらの研究は、予め遠隔地に人がいることが前提になっており、作業のように予定の決められているフォーマルコミュニケーションにおいては有効である。しかし、イン

フォーマルコミュニケーションでは、予定として決まっていないため、コミュニケーションを起こさせる機能が必要となる。

2.3 本研究の独自性

本研究の新規性は同一空間の人だけでなく、遠隔地にいる人も含めたインフォーマルコミュニケーション支援システムの提案である。

大量の視覚情報を提示することで、情報を共有し、喫煙所や休憩所の同一空間内で起こっているローカルなインフォーマルコミュニケーションにおいて情報を共有し、コミュニケーションの場を形成するだけに限らず、遠隔地の人にも人物映像や情報を共有する。それによって、遠隔地の人も含めてコミュニケーションの場を形成するシステムを目指す。

第3章 システム設計

本章では、システムの目的や、関連研究から、情報を共有する機能、遠隔の人とコミュニケーションを行う機能、そして、複数人でコミュニケーションの場を形成する機能という3つの要求に対して、設計された遠隔地の人も含めたインフォーマルコミュニケーション支援システム概要について述べる。3.1節では、インフォーマルコミュニケーション支援のために必要な情報共有システムの概念設計を行う。3.2節では、遠隔コミュニケーションシステムの概念設計を行う。

3.1 情報共有システムの概念設計

休憩所などで、目的もなくいる人に対し、コミュニケーションのための情報を共有して、インフォーマルコミュニケーション支援をするためには、ディスプレイに画像やテキストなど多種多様な視覚情報を表示することが有効であると考えられる。そして、人がシステムの前に集まって利用し、コミュニケーションの場を形成する。そこで、複数の人が同時に利用できる大型高精細ディスプレイが有効と考えられる（図10）。

2章においてインフォーマルコミュニケーションでは、人は頻繁にオブジェクトに触れるという傾向もあるため、本システムにおいては、画面に触れるという機能も重要であると考えられる。そこで、タッチインタラクションによる直観的な操作についても実装を行う。



図10：情報共有によるインフォーマルコミュニケーション支援の概要

3.2 遠隔コミュニケーションシステムの概念設計

遠隔コミュニケーションでは、大画面によって、等身大の人物映像を表示するだけでなく、身振り手振りの動作を相手に伝えられること、お互いの視線が合っている感じられること、指差し動作による指示を相手に伝えられることの3つの機能が挙げられる。

前節で述べた情報共有の機能を遠隔地の人にも伝えられれば、誰が、どんな話題で雑談をしているかが分かる。それによりコミュニケーションに参加するための心理的抵抗感を減らすことができると考えられる。

本研究では、ディスプレイの前に人が集まることで、コミュニケーションの場を形成する。その様子を見た遠隔地の人や新たに談話室に入ってきた人が、コミュニケーションをしている様子とディスプレイに表示された内容に興味を持つことでコミュニケーションへの参加を促す。図11にインフォーマルコミュニケーション支援システムの概要を示す。

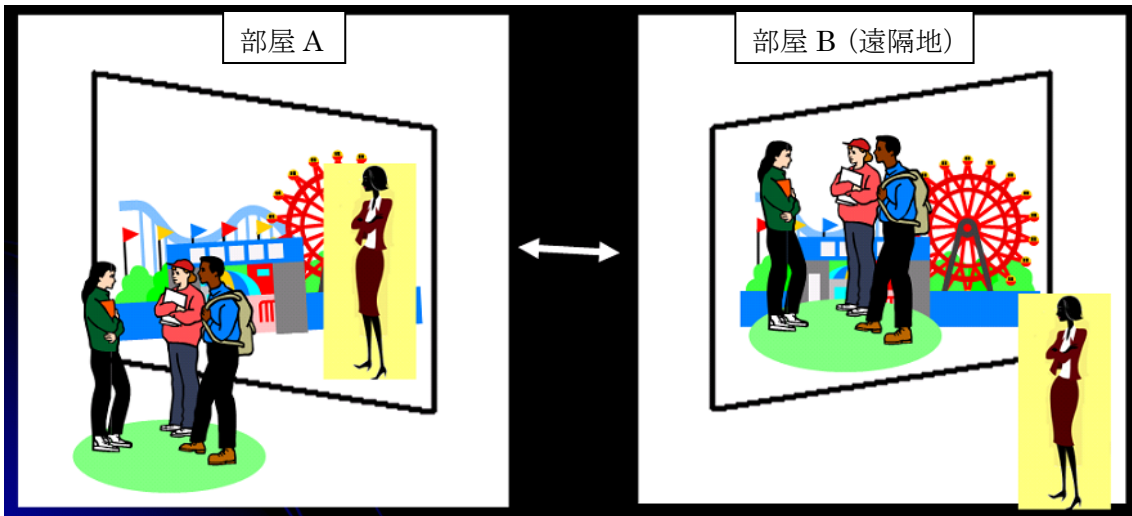


図11：本システムの概要

第4章 プロトタイプ構築

本章では、本研究で構築したプロトタイプについて述べる。4.1節では、情報共有のため大量の視覚情報を表示する機能について述べる。4.2節では、タッチインタラクション機能について述べる。4.3節では人物映像の処理について述べる。4.4節では、遠隔地にいる人と情報を共有するために作成したコンテンツについて述べる。

4.1 大量の視覚情報表示機能の実装

本節ではサブシステムの1つである大量の視覚情報を表示する機能について述べる。ハード面ではタイルドディスプレイについて述べ、ソフト面ではSAGEについて述べる。また、関連研究についても述べる。

4.1.1 タイルドディスプレイ

本研究で用いるディスプレイは、大量の視覚情報を表示する。つまり、大画面高精細ディスプレイが必要である。しかし、4K プロジェクタ（図12）や100インチを超えるようなディスプレイは高価であり、本システムの普及における阻害要因となりうる。



図12：4K プロジェクタ (SONY, SRX-S110)

そこで、大画面高精細ディスプレイを安価に構築できるタイルドディスプレイを表示端末として用いることにした。さらに、タイルドディスプレイはスケールブルなディス

プレイであるため、必要に応じて大きさを変えることができる利点もある。

本研究で用いるタイルドディスプレイの液晶パネルは、縦3×横4の12面である。ディスプレイノード用のディスプレイはDELLの2007FPを用いた。解像度は1600×1200なので、12面全体を1つのディスプレイとして見た時の解像度は6400×3600になり、ピクセル数は約2300万ピクセルである。ディスプレイノードは、DELLのPRECISIONT5500を3台用いた。各パソコンには、NVIDIAのQuadroFX1800を2枚ずつ内蔵しており、1台で4画面に出力する。

本研究で用いたタイルドディスプレイの構成を、表2に示す。図13と図14に実際に用いたタイルドディスプレイを示す。

表2：タイルドディスプレイの構成

	モデル	個数	仕様
マスター ノード	DELL PRECISION 380	1台	プロセッサ：インテルPentium4 OS：Ubuntu8.10 メモリ：4GB グラフィックスカード：NVIDIAQuadroNVS440 ハードディスクドライブ：500GB
マスター ノード用 ディスプレイ	MITSUBISHI RDT201L	1枚	モニターサイズ：20.1インチ 解像度：1600×1200 ピクセル 消費電力：42W 幅×高さ×奥行き：560×515×208 mm 重さ：8.3kg
ディスプレイ ノード	DELL PRECISION T5500	3台	プロセッサ：インテルXeonE5520 OS：Ubuntu8.10 メモリ：4GB グラフィックスカード：NVIDIAQuadroFX1800(2枚) ハードディスクドライブ：500GB
ディスプレイ ノード用 ディスプレイ	DELL 2007FP	12枚	モニターサイズ：20.1インチ 解像度：1600×1200 ピクセル 消費電力：75W 幅×高さ×奥行き：445.3×498×193.5 mm 重さ：6.9kg



図13：本研究で用いたタイルドディスプレイ（表面）



図14：本研究で用いたタイルドディスプレイ（裏面）

4.1.2 Scalable Adaptive Graphics Environment (SAGE)

タイルドディスプレイ環境でマルチディスプレイ上に画像を表示するためのソフトウェアとして、Scalable Adaptive Graphics Environment (SAGE) [11]を用いた。SAGEとは、米国イリノイ大学シカゴ校のEVL (Electronic Visualization Laboratory) [12]

によって開発された複数のアプリケーションから生成される画像をネットワーク経由で表示装置に送信し、高精細画像を表示するためのミドルウェアである。

SAGEのアーキテクチャ概要を図15に示す。Free Space Managerはマスターノードで動作し、SAGEを構成する各要素間で共有すべき、画像の配置情報などを管理し、各構成要素に対して、画像配置情報のやりとりをSage Messageとして中継するプログラムである。SAILは表示アプリケーションに提供されるAPIであり、アプリケーションは、このAPIを経てPixel Streamがネットワークを経て送信される。Display Managerは各ディスプレイノードで実行され、送信された情報を元に、送信されたデータをディスプレイにレンダリングする。この仕組みによって、タイルドディスプレイ上に高精細画像を表示することができる（図16）。

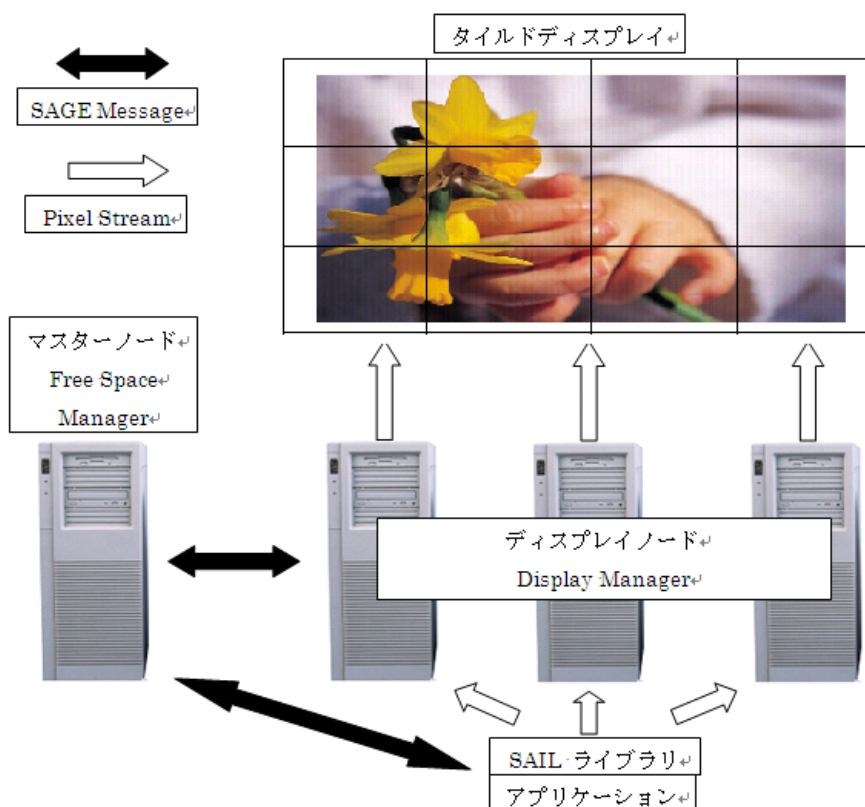


図15 : SAGEのアーキテクチャ



図16：タイルドディスプレイに高精細画像を表示した様子

4.1.3 タイルドディスプレイに関する関連研究

Renambot らは、Lamba Vision Display と呼ばれる大量の視覚情報を用いた協調作業の環境を構築した[13]。縦 5×横 11 の合計 55 面のタイルドディスプレイが用いられている（図 17）。



図17：Lamba Vision Display[13]

河崎らは、タイルドディスプレイを用いたデジタルサイネージを提案した[14]。大画面に大量の視覚情報を提示できるタイルドディスプレイを用いることで、デジタルガイドマップとしての多くの情報を利用者に対して提供する。さらにレコメンデーションの機能を加えることによって、特に目的もなくブラブラしている人やグループに対して、

興味のある場所の情報を表示し、行動支援を行う（図18）。

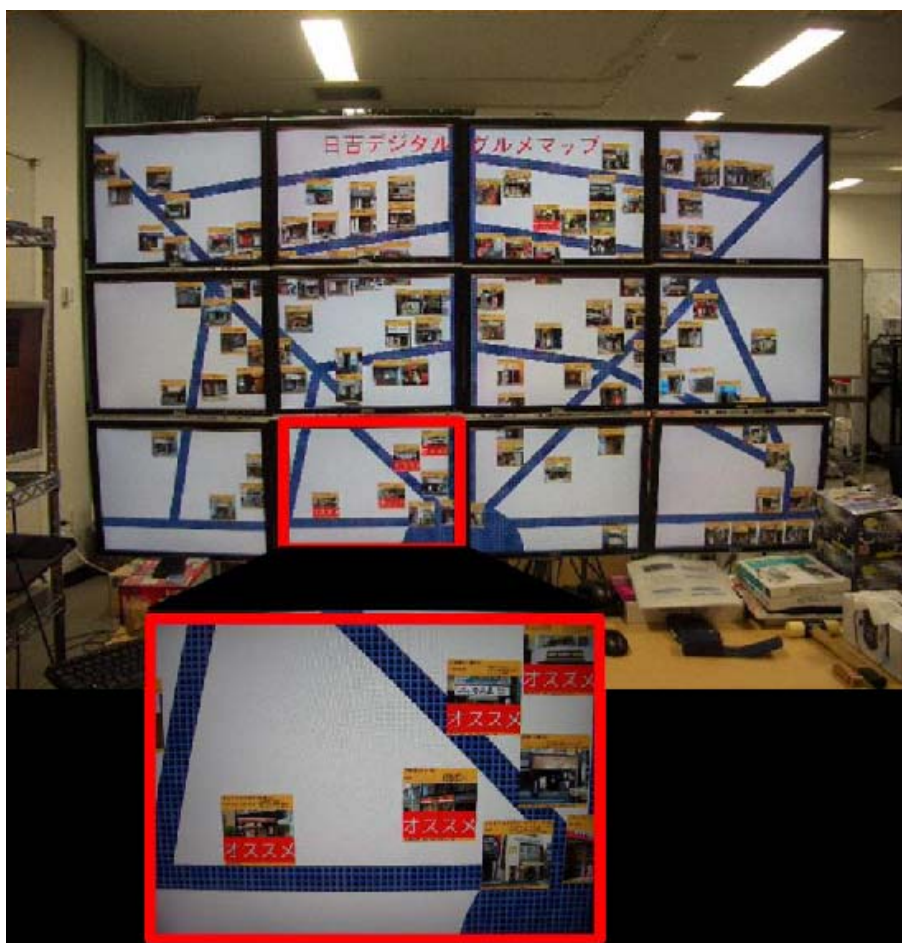


図18：タイルドディスプレイを用いたデジタルガイドマップ[14]

4.2 タッチインタラクション機能の実装

本節ではタッチインタラクションについて述べる。魚眼カメラをデバイスとして用いた理由と、映像の処理について述べる。

4.2.1 ユーザインタフェースの検討

インフォーマルコミュニケーションにおいて、人は何かのオブジェクトに触ろうとする傾向があること、人はどの情報について話しているかを相手に伝えるために、指で差し「これ、あれ」などの指示語を用いること、また、グループで利用している場合にお

いても、どの話をしているのかが共有しやすいという点から、タッチインタラクションによるインタラクションが理想的である。図19で示したように、画面のオブジェクトである”2”を指差してマーカーが相手側の画面に表示されれば、相手には”2”について話していると伝わりやすいと考えられる。

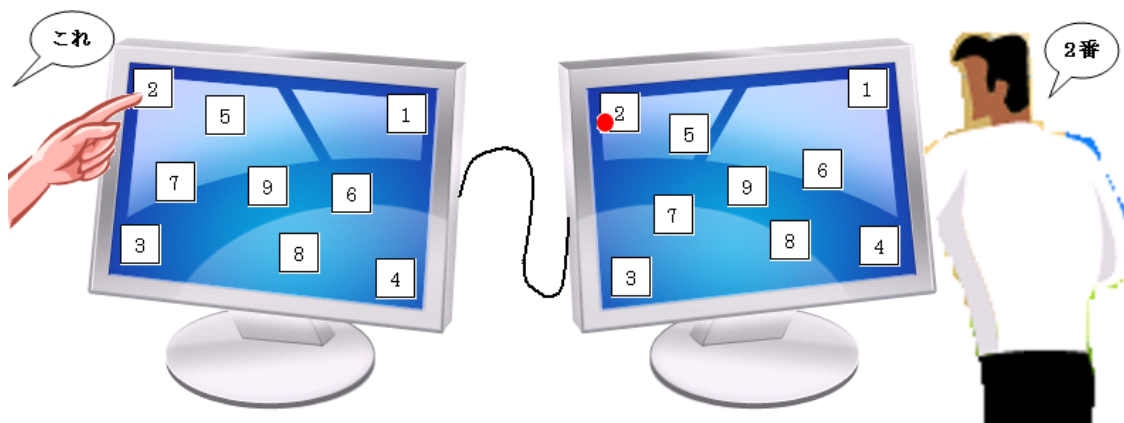


図19：指差し動作によるインタラクションの概要

しかし、SAGEでは、タッチインタラクションをサポートしていないため、独自にタイトルディスプレイ環境にタッチインタラクションの機能を組み込む必要がある。

4.2.2 タッチインタラクションデバイスの検討

本研究で用いるタッチインタラクションデバイスは魚眼カメラを用いることにした。魚眼カメラを用いる利点として、本研究はコミュニケーションに関する研究であることから、人物映像の撮影のためにカメラを用いる。そこで、魚眼カメラをタッチインタラクションデバイスとすることで、人物映像の撮影と、指先位置の検出を同じデバイスで行うことができる。また、複数枚の液晶パネルが組み合わされたタイトルディスプレイを構成している場合にもスケラブルにタッチインタラクション機能を実現することができる。

魚眼レンズは、通常のレンズとは異なり、約180度の画角がある。しかし、画角を得るために極端なたる型の歪曲が加えられているという光学的な特徴がある。通常のレンズを付けたカメラで撮影した画像と魚眼レンズを付けたカメラで撮影した画像を図20と図21に示す。



図20：通常のレンズを用いて撮影した画像



図21：魚眼レンズを用いて撮影した画像

本研究では、複数の魚眼カメラをタイルドディスプレイのベゼル部分に取り付けることにした（図22）。一般にタイルドディスプレイは各液晶パネルのベゼルが目障りにな

るという欠点があるが、本研究ではこの欠点を逆手に取り、ベゼル部分に魚眼カメラを取り付けることで、ディスプレイ付近を監視したマルチカメラ映像を元にしたタッチインタラクションを実現する。本研究で用いた魚眼カメラとパソコンのスペックを表3に示す。



図22：ベゼルに取り付けた魚眼カメラ

表3：魚眼カメラとパソコンの構成

	モデル	個数	仕様
カメラ	SPK-R705CHB	3台	イメージセンサー：1/3インチSony Super HAD CCD II 有効画素数：38万画素 水平解像度：550TVLines 最低被写体照度：0.05Lux/F2.0 映像出力：1.0Vp-P composite 幅×高さ×奥行き：25×25×28.5 mm 重さ：72g
レンズ	Minilens f1.24mm	3枚	種類：魚眼レンズ 画角：約180度
パソコン	DELL PRECISION	1台	プロセッサ：インテルXeon5482 OS：Windows XP Professional

	380		メモリ : 3.25GB キャプチャボード : BlackMagic Design Intensity Pro ハードディスクドライブ : 136GB
--	-----	--	---

4.2.3 魚眼カメラによるタッチインタラクション機能

魚眼カメラの機能は、映像の入力のみであり、指先位置の検出は、パソコンの処理で実装させる。

魚眼カメラによって撮影された利用者の指先がディスプレイに近付くと、指先位置は画像の周縁部に記録される（図23）。



図23 : ディスプレイに指先を近づけた人物映像

指先位置検出のアルゴリズムは以下のようなになる。

- ① 画像内における肌色部分の抽出を行い二値化する（図24）。肌色検出はOpenCVライブラリ[15]を用いて行った。

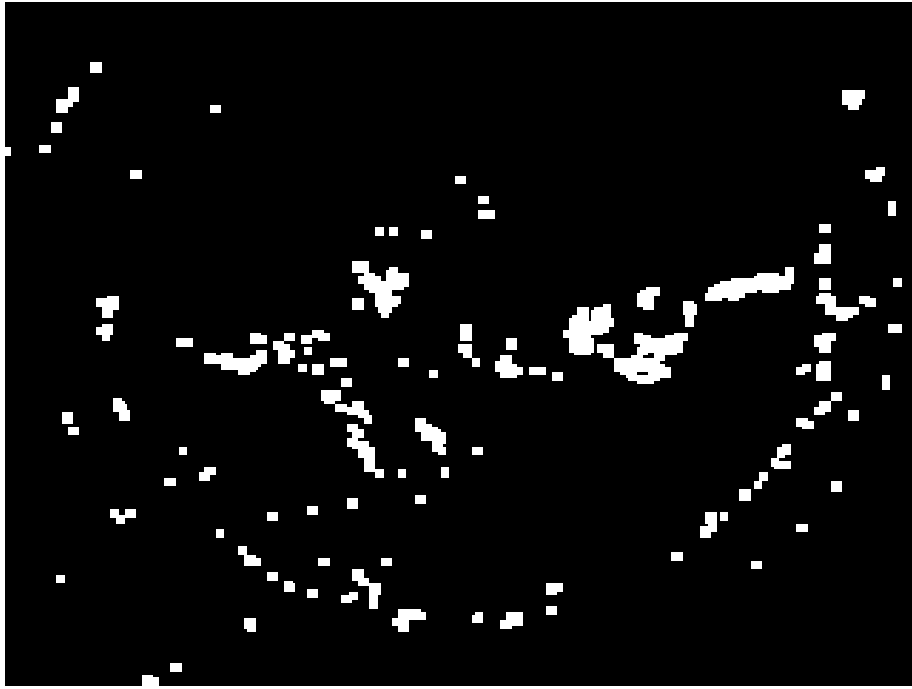


図24：肌色を検出した画像

- ② 画像周縁部に帯状の領域を設定する（図25）。その領域と図24で示した手の画像の論理積を求め、その最大領域を手と認識する（図26）。

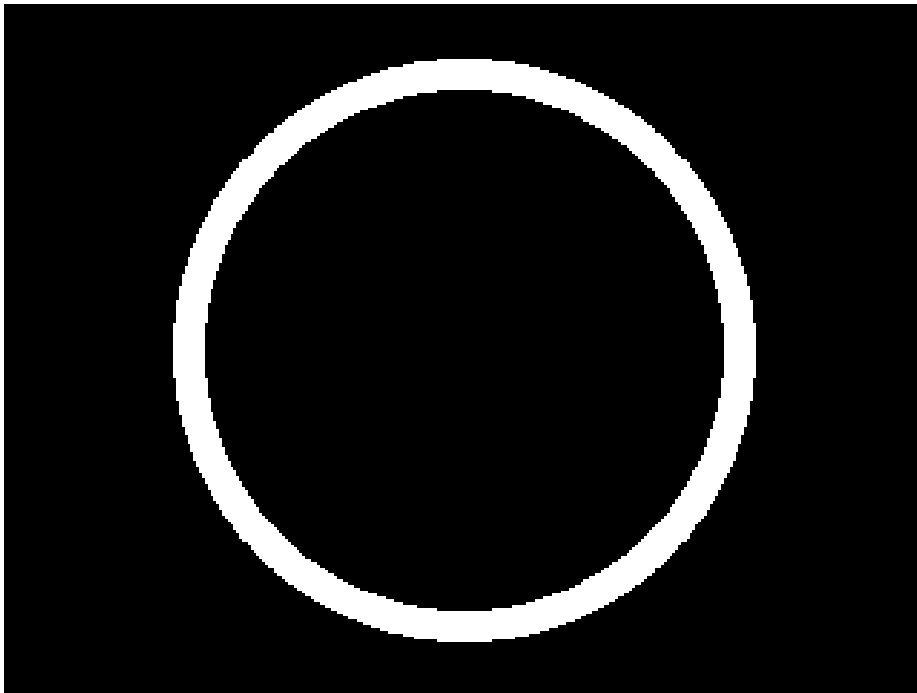


図25：周縁部に設定した領域

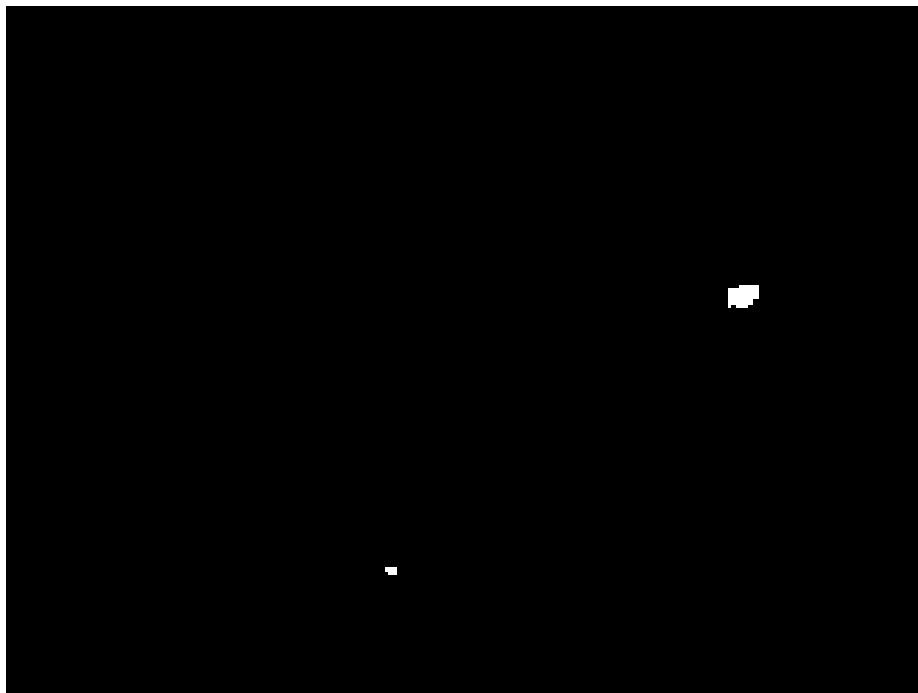


図26：図24と図25の論理積をとった画像

- ③ 画像周縁部の指先映像を抽出し、最大領域の重心をOpenCVライブラリによって求め、画像中心から、この指先位置の方向角度 θ を求める。
- ④ 各カメラ間の距離を w とすると、指先方向 θ の値をパラメータとして指先位置の x 座標 (式1) および y 座標 (式2) を求めることができる (図27)。

$$x = \frac{w \cdot \tan \theta}{\tan(180 - \theta) + \tan \theta} \dots \text{(式1)}$$

$$y = \frac{w \cdot \tan(180 - \theta) \cdot \tan \theta}{\tan(180 - \theta) + \tan \theta} \dots \text{(式2)}$$

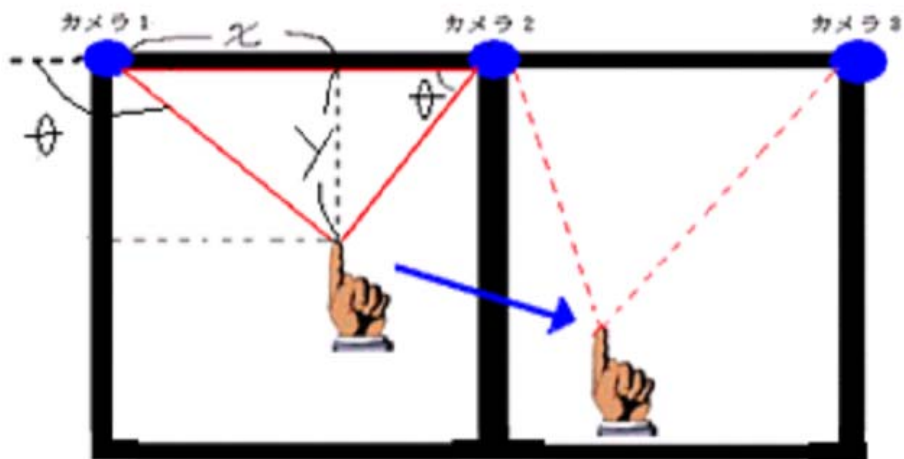


図27：魚眼カメラによる指先位置検出

この方法によりタイルドディスプレイ上に表示されたコンテンツに対する指先での直感的なインタラクションを行うことが可能になる。カメラの切り替えについては、中央に設置したカメラ指先方向が90度未満であれば、手は左側にあると判断され、左側のカメラと中央のカメラを用いて指先検出を行う。90度以上であれば、手は右側にあると判断され、中央のカメラと右側のカメラを用いて指先検出を行う。

4.3 人物映像の処理

本節では、魚眼カメラによって撮影された映像にどのような処理を施して、タイルドディスプレイに表示したかという点について述べる。

4.3.1 ビデオアバタ技術について

遠隔コミュニケーション環境において、人物表現を行う手法としてビデオアバタ技術が注目されている[16]。アバタとは、仮想世界の中で利用者がお互いに自分の姿を表示して、他の利用者とのコミュニケーションに利用することである。ビデオアバタは、利用者の姿をビデオカメラで撮影し、そこから人物像だけを切り抜いて、相手側に送信し、仮想空間に合成することで、コミュニケーションに利用する方法である。つまり、ビデオアバタ技術を用いることで、情報を共有しながら、ビデオ映像を用いた対話を行えるという利点がある。

4.3.2 人物像の切り抜き

魚眼カメラによって撮影された映像をビデオアバタとして利用するために、人物像のみを切り抜いた映像が必要になる。そこで、撮影した映像から背景差分法を用いて人物像をリアルタイムで獲得する方法を用いた。背景差分法とは、予め撮影しておいた背景画像と同じ環境下で撮影した画像の差分から、人物像を抽出する方法である。図28は魚眼カメラで撮影した画像、図29は予め撮影した背景画像、図30は、背景には存在していなかったものを表したマスク画像、図31はマスク画像を元に人物だけ切り抜いた画像である。



図28：魚眼カメラで撮影した人物像



図29：予め撮影した背景画像

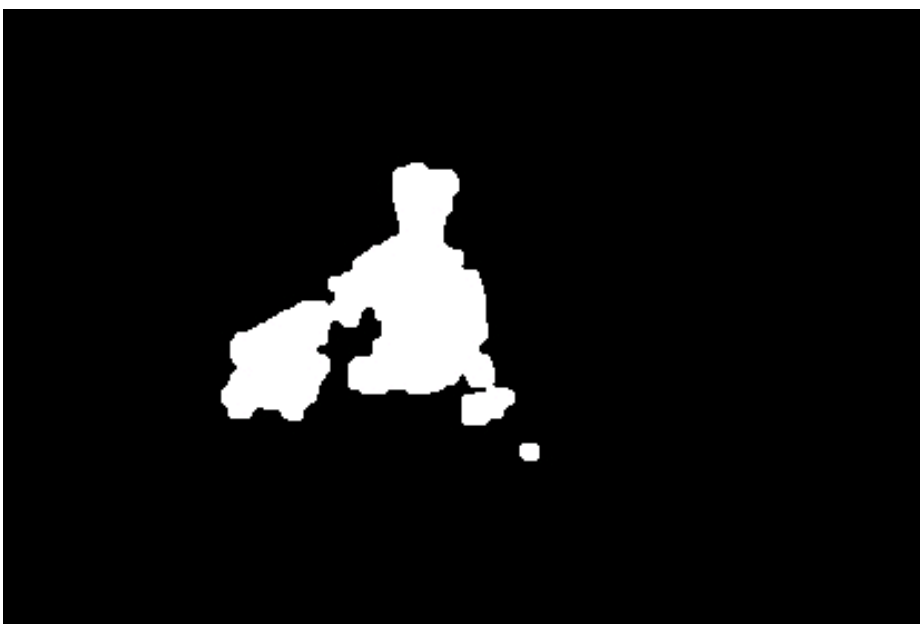


図30：マスク画像

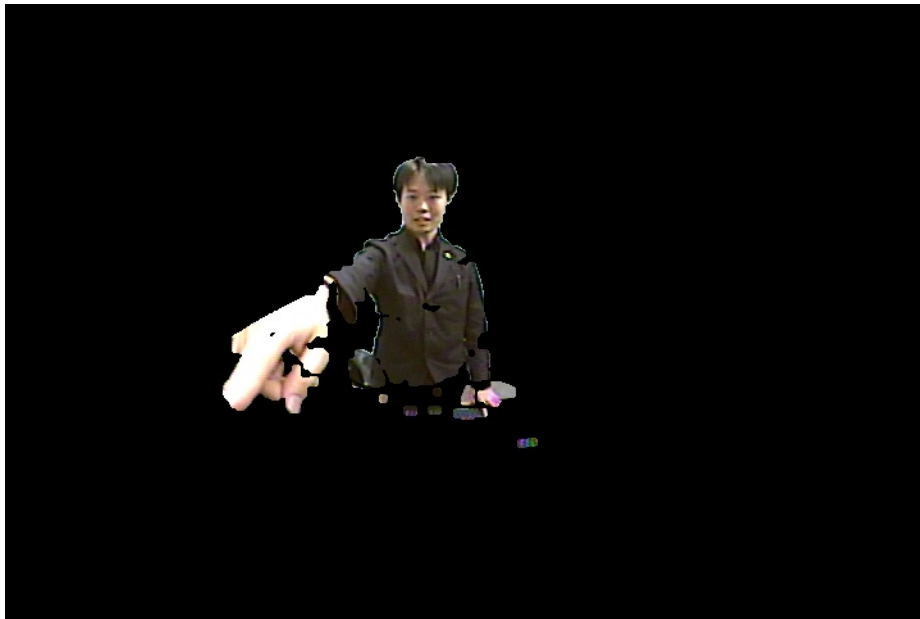


図31：切り抜かれた人物像

図32に示したように背景差分を行う上で発生した画像のノイズが発生する。その除去については、膨張と収縮の処理を行った。膨張処理とは、二値化された白黒画像に対して、1画素でも、白い画素があれば、その周辺も白く置き換える処理のことである。収縮処理とは、1画素でも、黒い画素があれば、その周辺も黒く置き換える処理のことである。



図32：ノイズ処理をしていないマスク画像

4.3.3 魚眼レンズの歪み補正

魚眼カメラは約180度の広い画角を持つが、画像にたる型の歪みが生じる（図20）。そのため、魚眼レンズの歪み補正に対する処理を行う。そこで、歪みのパラメータをZhang法[17]によって求めた。Zhangによるカメラキャリブレーションの手法は、チェックパターンなどの幾何特性が既知の平面パターンを多方向から撮影し、得られた画像中の特徴点をもとにカメラパラメータを推定する。図33に、チェックパターンを撮影している様子を示す。



図33：カメラキャリブレーションのための撮影を行う様子

撮影された画像（図34）にカメラキャリブレーションを行う。チェックパターンの縦線と横線のコーナー座標を特徴点として求める。コーナー座標の検出には、OpenCVライブラリを用いたサブピクセル精度の検出を行う。図35は検出されたチェックパターンのコーナー座標を描画した画像である。しかし、魚眼レンズを用いているため、画像中心付近の 260×260 ピクセルの正方形領域以外の部分は歪みが大きく、コーナー検出を行えなかった。

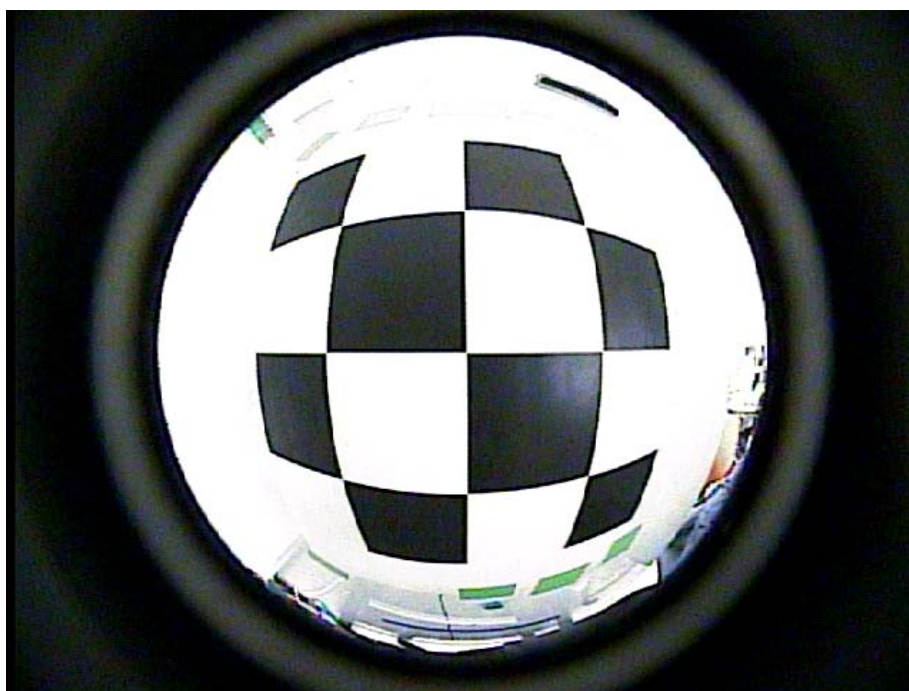


図34：撮影されたチェックパターン

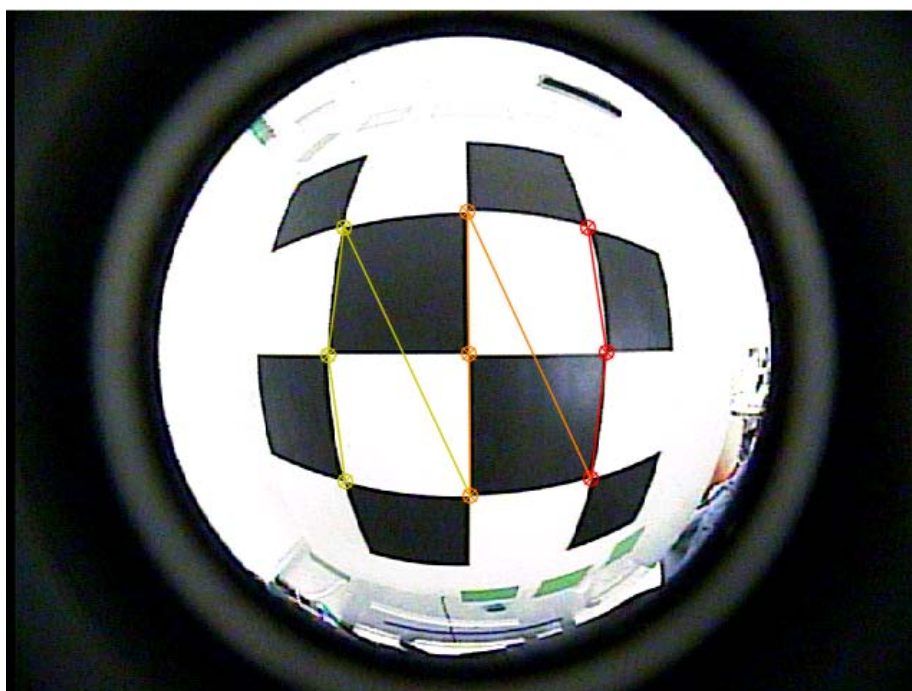


図35：検出された交点

カメラキャリブレーションには、複数枚の画像およびそれぞれに対応する座標の組が必要であり、それを取得して、カメラパラメータの推定を行う。そのカメラパラメータ

を元に画像の補正を行った（図36）。歪みが大きくコーナー検出を行えなかった部分については歪み補正を加えることができなかったため、画像中心付近の260×260ピクセルの正方形部分を切り出して、ビデオアバタとして利用することにした（図37）。

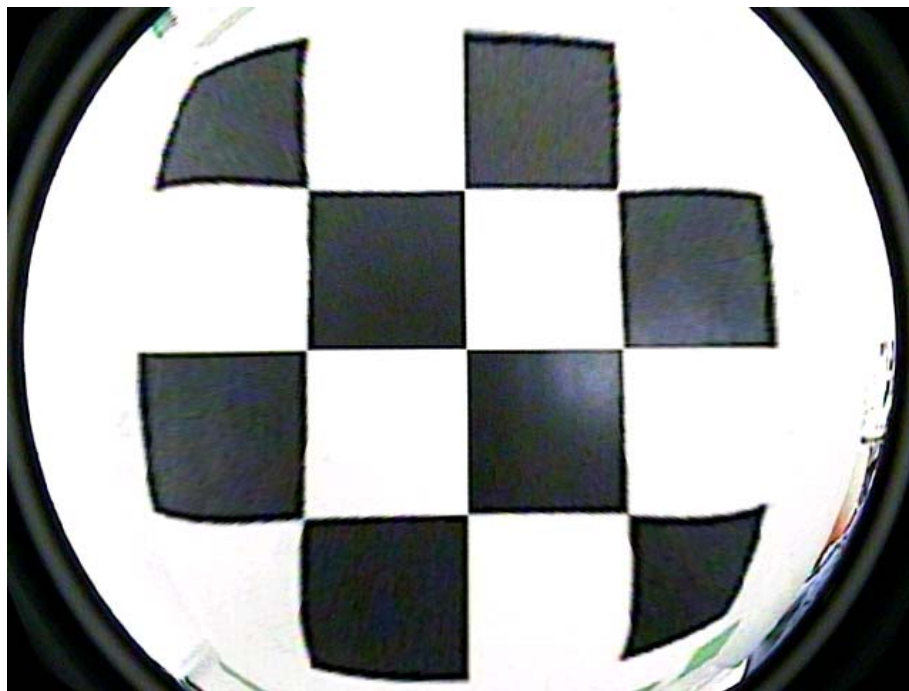


図36：歪み補正を行った画像



図37：歪み補正後、切り出した人物像

切り出した画像をビデオアバタとして、ネットワークを介して、タイルドディスプレイに送信することにした。ネットワークプロトコルは映像の通信なので、UDPを用いた。UDPは、コネクションレス型の通信であり、TCPのように送ったデータが順番通りに必ず届いているかという確認を行っていないため、データの信頼性は低いという問題点がある。しかし、データを送信するだけなので、TCPよりもデータ転送が早く行われることで、リアルタイム性を高めることができる。

4.3.4 ビデオアバタの表示

ネットワークを介して受信した人物像は、マスターノードで背景画像と合成し、タイルドディスプレイに表示した（図38）。合成した画像のレンダリングには、OpenGL[18]を利用した。OpenGLとは、グラフィクスハードウェアのAPI仕様が異なるハードウェアやOS上でも同じ仕様ものを動かすことができる。また、マーカーを表示すると、左側を指差しているのに、人物像は右側を向いているように見える（図39）。そのため、人物像は左右反転させて表示する。背景を反転させることも考えられるが、文字を表示することができない。



図38：タイルドディスプレイに表示したビデオアバタ



図39：人物像を左右反転させない状態

4.4 コンテンツ

本節では、遠隔地の人および同一空間にいる人と情報共有を行うためにどのようなコンテンツが有効したか検討し、実際に構築したスクリーンショットや絵文字を利用したコンテンツについても述べる。

4.4.1 コンテンツの検討

ビデオアバタを表示し、タッチインタラクションによるやりとりを具体的にどのような情報を共有すれば良いか考えた。確かに多種多様な視覚情報をビデオアバタと共に表示することが可能であるが、インフォーマルコミュニケーションは、コミュニケーションをする人や内容が予め決められていないという特徴がある。スポーツに関する画像を大量に表示しても、スポーツに興味を持つ人が、その場にいるとは限らず、話題にならないことも考えられる。このため、利用する人に応じて容易に画像を切り替えられることが理想的である。しかし、不特定多数の人に興味のある話題を記録したICタグのような装置を着用させて、検証を行うことは難しい。本システムを利用する際は、利用者がそれぞれ画像を持ち込むということも考えられるが、これでは、予め話題を用意しなければならず、それではインフォーマルコミュニケーションではない。また、本システムを利用する上での心理的負担となる。

そこで、検証の行いやすさと操作性を考慮して、パソコンのデスクトップ画面と、タイルドディスプレイの表示を同期させ、それを情報共有コンテンツとして利用することを考えた。利用者が必要に応じて、写真やホームページを開き、それを利用者同士で共有することができる。また、デスクトップ画面であれば、操作方法が分かりやすいと言える。

4.4.2 実装したアプリケーション

デスクトップ画面を共有する機能を実現するために、スクリーンショットを利用するシステムを構築した(図40)。利用者が必要な情報をパソコンのデスクトップ画面に表示し、ボタン1つで、タイルドディスプレイの画面をデスクトップ画面と同じ画面に切り替えることができる。スクリーンショットを用いたタイルドディスプレイの切り替えの流れは以下ようになる。

- ① スクリーンショットをファイルとして出力する。
- ② 画像ファイルはネットワークを介して、マスターノードと共有可能なサーバに格納される。ファイル共有には、Samba[19]というフリーソフトを用いた。
- ③ 新たに画像ファイルが保存されれば、マスターノードで新しい画像ファイルを読み込み、タイルドディスプレイに表示する。画像が保存されている時刻であるファイルスタンプの変更によって、新たな画像ファイルが保存されたと判断されるようにした。

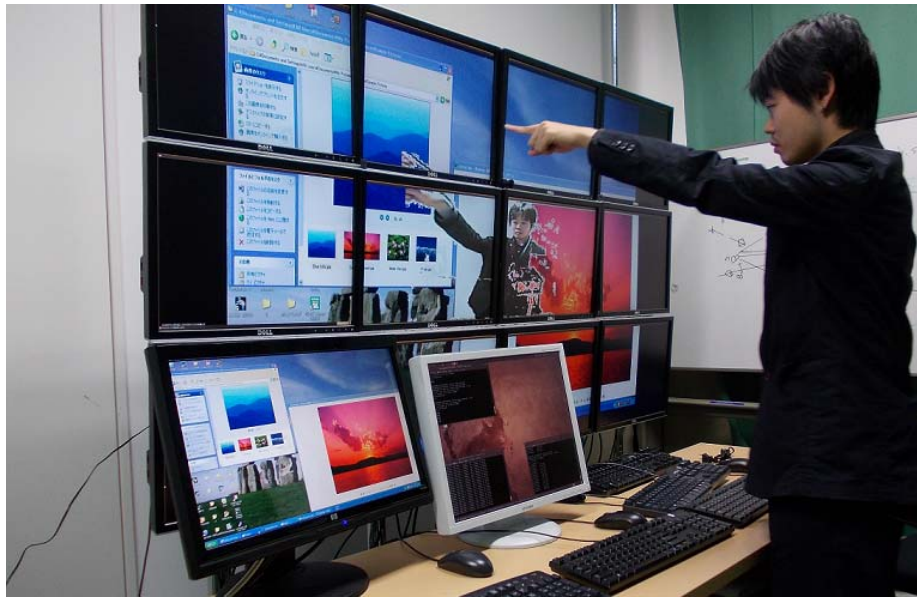


図40：デスクトップ画面を同期させた様子

しかし、ビデオアバタを表示すれば、デスクトップ画像と同期した視覚情報がビデオアバタによって見えなくなる問題が起こる。この結果を受けて、タイルドディスプレイの表示方法を再構築した。ここでは、ビデオアバタを表示して遠隔地の人とコミュニケーションで使う領域をタイルドディスプレイ中央部分に限定し、タイルドディスプレイの両サイド部分は情報表示専用領域とした（図41）。

両サイド部分においても、多様な視覚情報を表示できることから、様々な使い方が考えられるが、いくつかの使い方を提案する。例えばビデオアバタのないスクリーンショットを複数表示できる領域にする使い方がある。雑談をしているときに、話題が変わり、何の話をしていたか分からなくなることがある。情報表示用領域は、複数のスクリーンショットを表示しておくことで、何の話をしていたか思い出すことに使える利点もある。また誰かが本システムの近くを通りがかった際に、コミュニケーションで用いたスクリーンショットが見られることで、どのような話の流れを経て、何の話題について話しているか分かりやすくなるため、コミュニケーションに入りやすくなるということも考えられる。これは、コミュニケーションで使う領域の画面を切り替えた際に、画面表示専用領域にも、デスクトップのスクリーンショットを表示していくアプリケーションを実装することで実現した。

顔文字を両サイドの領域に表示して、遠隔地の相手に感情を伝えるという使い方も考えられる（図42）。仕事で使うようなフォーマルなメールでは、絵文字を使うことは考えにくいですが、友人と行うインフォーマルなメールでは絵文字を利用することから、インフォーマルコミュニケーションにおいて有効であると考えられる。本プロトタイプでは、

画面に表示された絵文字に触れることで、相手側に対して、どの絵文字に触れたかを表示する。それによって、現在の利用者の感情やニュアンスを遠隔地にいる相手に対して伝えることができる。



図41：コンテンツを再構築して表示した様子



図42：絵文字を使うコミュニケーション

第5章 プロトタイプ検証

タイルドディスプレイを用いたインフォーマルコミュニケーション支援システムのプロトタイプを用いて、システムの検証を行った。

5.1節では、魚眼カメラを用いたタッチインタラクションの精度について検証を行った。

5.2節では、ビデオアバタの評価について、プロトタイプで人物の映像を流し、それで視線の合うように感じるか実験を行った。

5.3節での、コミュニケーションに関する検証では、タイルドディスプレイを人の集まる協生館3階の大部屋に設置し、実際に大部屋と実験室の間で行われたコミュニケーションを行う様子を観察し、検証した。

5.1 魚眼カメラによる指先検出の精度

5.1.1 検証の目的

指差し動作を用いたコミュニケーションを行うにあたり、魚眼カメラを用いた指先検出について、どれくらいの精度があるか検証する。

5.1.2 検証方法

タイルドディスプレイは、6400×3600 ピクセルの大画面であるため、ベゼルを除く400ピクセル毎に検証位置を定める。図43は、3つの魚眼カメラの位置および検証位置を図に示したものである。表4は検証位置の座標の一覧である。12×6 箇所の計72箇所について、指を当てて、それぞれの検証位置ごとに、50個ずつx座標とy座標のデータを得る。それを検証に利用した。

1 2 3 ● ● ● 13 14 15 ● ● ● カメラ 1	4 5 6 ● ● ● 16 17 18 ● ● ●	7 8 9 ● ● ● 19 20 21 ● ● ● カメラ 2	10 11 12 ● ● ● 22 23 24 ● ● ● カメラ 3
25 26 27 ● ● ● 37 38 39 ● ● ●	28 29 30 ● ● ● 40 41 42 ● ● ●	31 32 33 ● ● ● 43 44 45 ● ● ●	34 35 36 ● ● ● 46 47 48 ● ● ●
49 50 51 ● ● ● 61 62 63 ● ● ●	52 53 54 ● ● ● 64 65 66 ● ● ●	55 56 57 ● ● ● 67 68 69 ● ● ●	58 59 60 ● ● ● 70 71 72 ● ● ●

図43：指先位置検出精度を検証するための設定位置

表4：各検証位置の座標値

図 43 の 番号	x 座標	y 座標	図 43 の 番号	x 座標	y 座標	図 43 の 番号	x 座標	y 座標
1	400	400	25	400	1600	49	400	2800
2	800	400	26	800	1600	50	800	2800
3	1200	400	27	1200	1600	51	1200	2800
4	2000	400	28	2000	1600	52	2000	2800
5	2400	400	29	2400	1600	53	2400	2800
6	2800	400	30	2800	1600	54	2800	2800
7	3600	400	31	3600	1600	55	3600	2800
8	4000	400	32	4000	1600	56	4000	2800
9	4400	400	33	4400	1600	57	4400	2800
10	5200	400	34	5200	1600	58	5200	2800
11	5600	400	35	5600	1600	59	5600	2800
12	6000	400	36	6000	1600	60	6000	2800
13	400	800	37	400	2000	61	400	3200
14	800	800	38	800	2000	62	800	3200
15	1200	800	39	1200	2000	63	1200	3200
16	2000	800	40	2000	2000	64	2000	3200
17	2400	800	41	2400	2000	65	2400	3200
18	2800	800	42	2800	2000	66	2800	3200
19	3600	800	43	3600	2000	67	3600	3200
20	4000	800	44	4000	2000	68	4000	3200
21	4400	800	45	4400	2000	69	4400	3200
22	5200	800	46	5200	2000	70	5200	3200
23	5600	800	47	5600	2000	71	5600	3200
24	6000	800	48	6000	2000	72	6000	3200

5.1.3 結果と考察

実験で得た検証位置における50個の座標データの平均値と、表4で示した座標値の差の絶対値を誤差とした。72箇所の検証位置において誤差を求めた。実験から、検証位置によって、誤差は大きく変化することが分かった。

x座標については、全体の平均値については、144.5895ピクセルの誤差があり、最大で、339.84ピクセルの誤差が発生している（図44）。

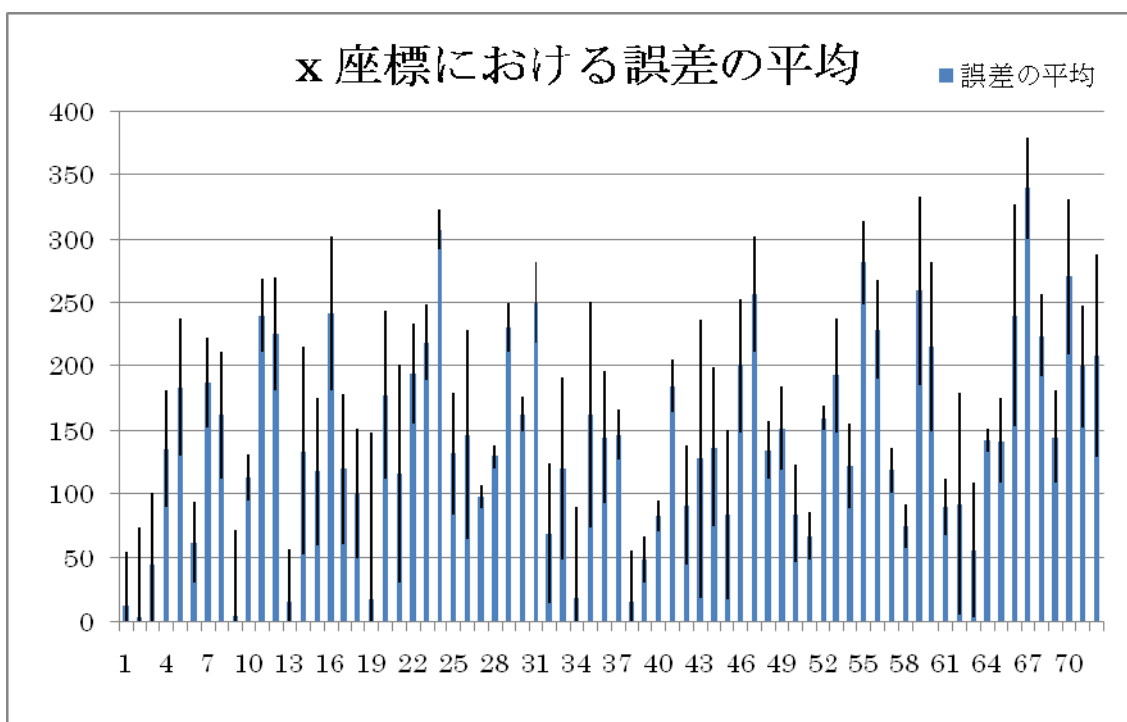


図44：x座標における誤差の結果

y座標については、全体の平均については107.4733ピクセルの誤差があり、最大で、306.66ピクセルの誤差が発生している（図45）。

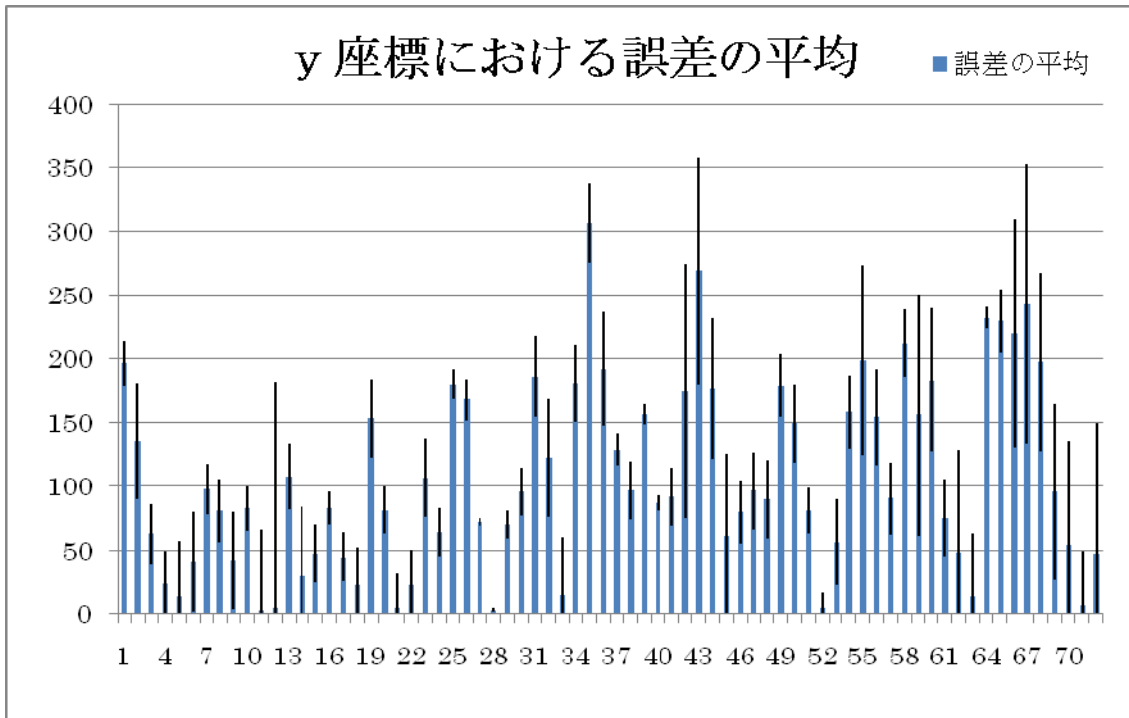


図45：y座標における誤差の結果

x座標、y座標共に最大で約400ピクセルのずれがあることから、10cmほどの、識別が可能である。

10cmほどの識別が可能であることから、画面のどの辺りを指差しているか、遠隔地にいる人もおおよそ理解できると考えられる。

また位置がずれる原因としては、カメラの性能の低さと、設置した数の少なさが挙げられる。タイルドディスプレイのベゼル部分に付けられる小型カメラであるため、カメラの画質が粗く、指の位置を正確に検出するのが難しいと言える。USBカメラの数については、各ディスプレイのベゼル部分に設置することを考えていたが、USBカメラ3つ以上接続すると、バス帯域がオーバーフローするため、新たにキャプチャボードを用いたとしても、4つ以上のカメラを1つのパソコンに接続することは難しいと言える。そのため、各カメラ間の距離が大きくなるために、指先検出の精度が落ちていると考えられる。

5.2 ビデオアバタの検証

5.2.1 検証の目的

本研究では、タイルドディスプレイのベゼル部分にカメラを設置したことで、コミュ

ニケーションの中で、相手と視線が合うと感じられることを重視している。先行研究でも、タイルドディスプレイによる遠隔コミュニケーションが提案されている。しかし、本研究では魚眼カメラを用いているため、被写体の向きや位置に影響を受けやすいと考えられる。そこで、魚眼カメラの映像から作られたビデオアバタであっても、視線が合っていると感じられるか検証を行った。

5.2.2 検証の準備

実験として被験者に見てもらうため映像の撮影および録画を行った。魚眼カメラから75cm離れ、カメラに対して正面と左右それぞれ2.5度、5度、7.5度の7箇所場所に立ち、前を見た状態で人物像を撮影した(図46)。それぞれの位置で3回ずつ撮影し、合計21個の人物映像を実験用に利用した。

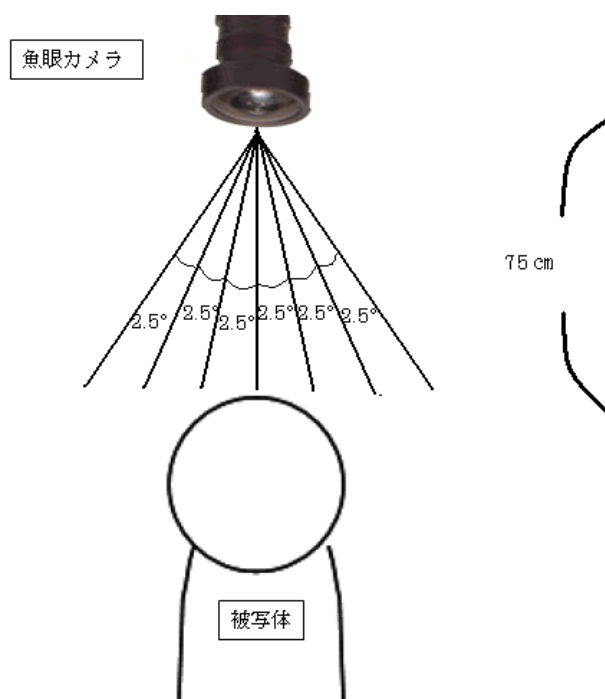


図46：ビデオ撮影の配置図

5.2.3 検証の方法

実験準備終了後、本実験は次のような手順で行った。

- ① 被験者は、具体的な状況として協生館3階の大部屋で、人と偶然出会ったことを想定する。
- ② 録画した映像を被験者に見る。各映像はループしており、1つの映像につき、2回流れたら、止まる。
- ③ 映像終了後、質問Ⅰ,Ⅱ,Ⅲに答えてもらう。その後次の映像を見る。

映像を流す順番は被験者ごとに、ランダムで変えている。本実験では映像を判断してもらうことが目的であるため、音声は用いていない。また、各被験者の身長に差があるため、被験者は高さを調節できる椅子に座ってもらい目の高さを調節した上で、実験を行った（図47）。



図47：実験の様子

5名の被験者にご協力を頂いた。主観評価アンケートは、思う・やや思う・どちらでもない・あまり思わない・思わないという5段階評価で行った。質問内容は以下の通りである。

- I. 映像の人物はあなたを見ていると思いますか。
- II. 映像の人物はあなたに話しかけていると思いますか。

Ⅲ. あなたは映像の人物に話しかけようと思いますか。

5.2.4 結果と考察

表5に示すように主観評価アンケートの回答結果を5段階の評価値として扱った。

表5：評価基準

点数	評価基準
+2	思う
+1	やや思う
0	どちらでもない
-1	あまり思わない
-2	思わない

質問Ⅰ～Ⅲの結果については、図48に示す。

質問Ⅰは、人物像の視線について問う質問である。質問Ⅱは、人物像が話しかけているか問う質問である。質問Ⅲは、被験者が人物像に話しかけるか問う質問である。

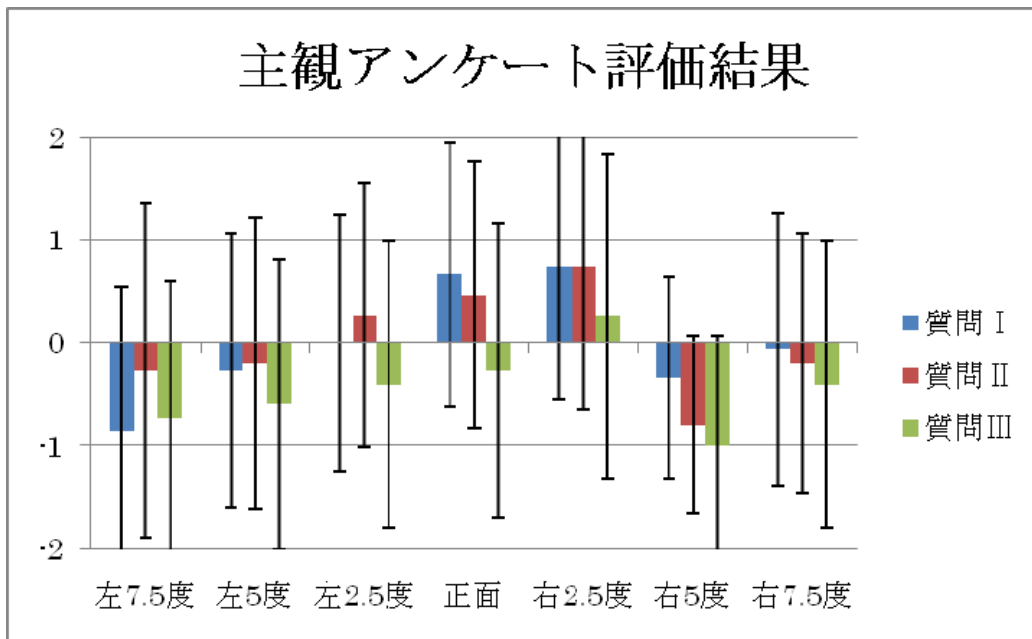


図48：質問Ⅰ～Ⅲの結果

質問Ⅰ～Ⅱの結果から、左右ともに5度以上ずれると、被験者は見られていないと思うようになり、さらに、話しかけられているとも思わなくなる。つまり、視線が合わなくなり、他の人と話をしているように思われると言える。

質問Ⅲの結果については、音声を用いていないことや、ビデオの映像であり、被験者とインタラクティブなやりとりができないため、話しかけようと思わなかったというコメントを頂いた。そのため、全体的に数値が低くなっていると考えられる。

本実験について、人物像の向きは、2.5度ずつの変化であり、角度が小さいこともあって、実験後に被験者からは違いが分からなかったというコメントも複数頂いた。そこで、質問Ⅰ～Ⅲそれぞれの結果について、一元配置分散分析を行った。分析結果より、質問Ⅰ～Ⅲそれぞれの結果について、5%有意で差が認められた。これにより、魚眼カメラを用いた本システムにおいて、利用者は立ち位置によって生じる人物像の向きに影響を受けると考えられる。

5.3 コミュニケーションの検証

5.3.1 検証の目的

魚眼カメラによって、人物像の撮影と、指先位置の検出を行い、タイルドディスプレイを用いてビデオアバタと共有する情報を合成して表示することができることが分かった。これを人の集まる場所で利用し、同一空間にいない人も含めたインフォーマルコミュニケーションが行えるのかを検証する。

5.3.2 検証方法

本実験は協生館3階の大部屋—実験室間でコミュニケーションを行う。これは、大部屋であれば、多くの人が集まるだけでなく、実際にインフォーマルコミュニケーションが起きている場所を選んだためである。

タイルドディスプレイは1台しかないため、実験室側では、ノートパソコンで代用した。また、音声については、既存のインターネット電話アプリケーションを用いた。

実験方法としては、プロトタイプを大部屋に移動し、実際に大部屋にいる人に使ってもらう。偶発的なコミュニケーションが行われることが本研究の目的であるため、事前にメーリングリストやソーシャルネットワークワーキングサービス等を用いた告知は行って

いない。

実験室の人とのコミュニケーションの様子や、プロトタイプの前方の領域の様子については、システム外部から撮影した映像をビデオカメラで録画・録音（図49）した。被験者と本システムの距離を測るため、本システムから40cmから1mの間に15cm間隔で目印を付けた。1回の実験で1時間の撮影を5回行った。実験時間は合計5時間である。

本システムで企図していた以下の項目を満たしているか検証する。

- 遠隔地の人ともコミュニケーションをする。
- 画面に触れて、情報共有をする。
- コミュニケーションの場を形成する。



図49：実験環境の様子

5.3.3 結果と考察

本システムがシステム要求を満たしつつ、遠隔地の人も含めてインフォーマルコミュ

コミュニケーションを支援しているか検証するために、実験で録画したビデオ映像をエスノメソドロジータ手法により観察し、分析した。

分析の結果、次のことが確認された。

- ① 本システムを利用し、画面越しに遠隔の人とコミュニケーションをしている様子が確認された。
- ② 画面の切り替えによる情報共有や、表示された絵文字に触れて、感情やニュアンスを相手に伝えた。
- ③ コミュニケーションを行っている様子を見て、新たな人が集まり、ディスプレイ前方の領域にコミュニケーションの場が形成された。

コミュニケーションについては、講義の合間などの時間に数分程度行われた(図50)。全体を通して、画面を見てから約10秒で、コミュニケーションを始めた。これは、リアルタイムでのコミュニケーションであることに気づき、手を振るなどして確認してからコミュニケーションを始めているためだと考えられる。また、本システムに対する質問が多く、コミュニケーションの内容は、本システムに関することが中心だった。



図50：本システムを用いてコミュニケーションをする様子

実験についての説明や本システムの説明を事前に行わなかったこともあり、利用者はタッチインタラクションの機能があることを理解していなかった。しかし、説明を行う

と、タッチインタラクションの機能を利用し、感情を共有するようになった（図51）。画面を見てから触れるまで、約44秒かかっている。また、利用者は画面から離れている傾向にあるが、画面に触れるために画面に近付いてコミュニケーションする様子も見られた。



図51：画面に触れている様子

画面の切り替えについては、ビデオアバタについて、ハワイの景色を背景にビデオアバタを合成できないかと質問を受け、背景を切り替えたところ、コミュニケーションが盛り上がったことを確認した（図52）。



図52：背景を切り替えて話した様子

タイルディスプレイ前方の領域にて、新たに人が加わり、コミュニケーションの場を形成していく様子が確認された（図53）。このコミュニケーションは、予め決められていたものではないということである。偶然その場に居た人同士が、本システムを利用している様子を見て集まってきたということである。

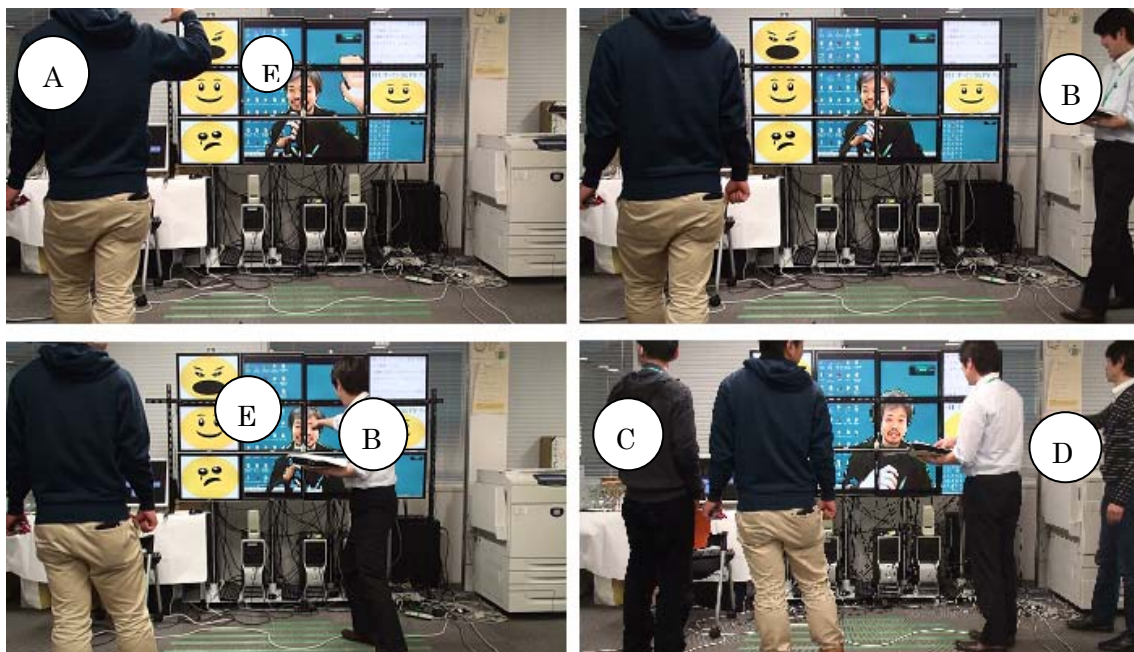


図53：人が集まり、場を形成する様子

- ① 図53・左上図の中で、Aと画面上のEが互いに手を振る。その様子を見て、Bが本システムに近づいてくる（図53・右上図）。これにより、1対1のコミュニケーションが1対2に変化し始めている。
- ② Bはビデオアバタの背景差分処理のチラつきが気になり、Eに対して指差しを行った（図53・左下図）。
- ③ コミュニケーションの様子を見て、CとDが本システムに近付いてくる（図53・右下図）。これにより遠隔地1人を含めた合計5人から成り立つコミュニケーションの場が形成されたことになる。

実験全体でのデータを図54に示す。

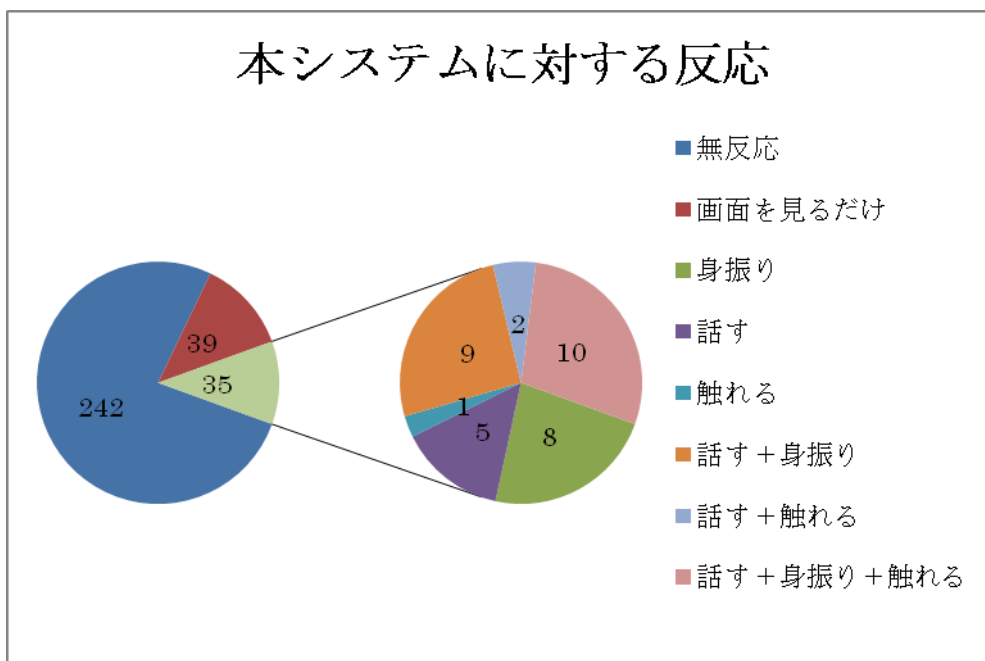


図54：実験内における人の行動

5時間の実験の中で人は316回タイルディスプレイの前方領域を通っていることを観察した。通った人の中で画面を見たと判断されるのは約23.4%の74回あった。本システムに対して触れる、話しかけるなどの行動を起こしたのは、その約47.3%である35回あった。つまり、画面の前を通り、画面越しに人を認識すると約半数の人が、遠隔地にいる人に対して何かしらの行動を起こしたと言える。

以上をまとめると、人は、本システムの前を通り過ぎる際に、約11.1%の可能性で画面を通して遠隔地の人に対して何かしらの行動を起こし、遠隔地の人とインフォーマルコミュニケーションを始めるきっかけになり得ると考えられる。

第6章 課題

本研究で判明した課題と実装できなかった課題について述べる。次の3点が課題として挙げられる。

- ハードウェアに関する課題
- コンテンツに関する課題
- 検証に関する課題

本研究では、タイルドディスプレイのベゼル部分取り付けるために小型魚眼カメラを用いている。しかし、現状の小型カメラでは、画質が粗く、指位置検出に影響が出るだけでなく、ビデオアバタがぼやけてしまう。画面に触れるために利用者は画面に触れられる距離でシステムを利用することから、ビデオアバタの画質が良くなれば、相手の細かい表情を読み取ってコミュニケーションを行うことができると言える。今後のカメラの性能が向上した際に、再検討する必要がある。

魚眼カメラに関しては、数もバス帯域がオーバーフローするために、3つしか取り付けることができなかったが、それぞれの液晶パネルのベゼルにも魚眼カメラを取り付けることができれば、各カメラ間の距離が短くなり、指先検出の精度が改善されると考えられる。また、多くのカメラを接続することで、利用者の立ち位置や背の高さに合わせて、人物像を撮影するカメラをリアルタイムに切り替えることができ、より視線の合ったコミュニケーションが実現できると考えられる。このため、パソコンのスペック向上や代用技術によって、課題が解決されると考えられる。

本研究では、指先位置検出を行って、画面のどの部分を触れているか相手に伝えることが中心となったが、画面の切り替え作業など、他の作業をするためには、別のデバイス进行操作しなければならない。スマートフォンのように、ディスプレイを見たまま、あらゆる操作が行える方が画面付近に利用者がある時間も長くなり、細かい表情を読み取ることができると言える。また、ビデオアバタ以外の視覚情報は静止画像であった。動きのある視覚情報を表示することで、タイルドディスプレイの特長を生かしたシステムが構築できると考えられる。パソコンのデスクトップだけでなく、スマートフォンからの操作など、他のデバイスからも簡単に操作できることも、情報共有において重要であると考えられる。これらのコンテンツが改善されることで、より多くの人々が本システムの前に集まり、偶発的なコミュニケーションの発生を促すと考えられる。今回は、2地

点間での遠隔コミュニケーションしか行っていない。それ以上の数の遠隔地を同時に結ぶことで、より多様な人同士のコミュニケーションが発生すると考えられる。

今回はシステム検証のみに終わってしまったため、システムにおける妥当性の確認が必要である。そのためには、プロトタイプを複数用意して、遠隔地に設置し、長期的にデータを集めて観察・分析する必要がある。

第7章 結論

本研究では、物理的に遠隔地にいる人も含めて情報を共有し、インフォーマルコミュニケーションを行うことのできるインフォーマルコミュニケーション支援システムのデザインを行い、実際にプロトタイプを開発して、システムの検証を行った。

複数の人と同時に情報共有を行うため、大画面を用いて大量の視覚情報を表示することが有効と考え、高精細情報表示機能をデザインした。また、遠隔地の人とも視線を合わせながら、指差し動作を伝えて、コミュニケーションを行うため、遠隔コミュニケーション機能のデザインも行った。

安価に大画面高精細情報表示機能をデザインするためにタイルドディスプレイを利用した。また、魚眼カメラをタイルドディスプレイのベゼル部分に設置したことで、視線が合うと感じられる人物の撮影と、指先位置検出の2つの機能を同じデバイスで実現した。

タイルドディスプレイ環境で画像表示を行うため、SAGEというミドルウェアを用いた。魚眼カメラの映像の処理には、OpenCVという画像処理のライブラリを用いた。

情報共有のコンテンツには、スクリーンショット画像を使うことで、ボタン1つで、パソコンのデスクトップ画面と同期させることができるようにした。その他、会話のログを残す使い方や、絵文字による感情表現の使い方を提案し、そのために必要なアプリケーションを実装した。

プロトタイプを用いた検証では、指先位置検出の精度、ビデオアバタの主観評価アンケート、協生館3階の大部屋—実験室間でのコミュニケーション実験の3つを行い、システムの検証を行った。指先位置検出では、約10cmの識別が可能であることが検証できた。ビデオアバタでは、被験者に主観アンケートを行った結果から、カメラの正面から5度以上ずれたに位置に立って、遠隔地の人とコミュニケーションを行うと、視線が合わないと感じるようになるため、カメラの正面から2.5度以内に立つことで、遠隔地の人と視線の合ったコミュニケーションが行えると検証できた。コミュニケーション実験では、協生館3階の大部屋と、実験室の間でコミュニケーションを実施した。その様子を記録したビデオをエスノメソドロジエ的手法により分析した。その結果、本システムを利用して、遠隔地にいる人に対して、何かしらの行動を起こし、インフォーマルコミュニケーションのきっかけとなった。さらに、前方の領域で、偶発的に居合わせた人が集まり、遠隔地の人も含めたコミュニケーションの場が形成されることを確認した。また、利用者は画面に触れるために画面に触れられる程度の距離を保ってシステムを利用するた

め、カメラの性能が向上すれば、遠隔にいる人の細かい表情を読み取ったコミュニケーションも行えると考えられる。

以上のまとめから、タイルドディスプレイと魚眼カメラを用いたことで、本システムの前を人が通ると、遠隔地にいる人に対して、何かしらの行動を起こし、インフォーマルコミュニケーションのきっかけとなった。また、等身大に映る遠隔地の人と視線が合った状態で、情報共有をしながらコミュニケーションを行うことができる。さらに、コミュニケーションの様子を見た人も興味を持ち、システム前方の領域でコミュニケーションの場を形成した。これにより、遠隔地の人も含めたインフォーマルコミュニケーション支援に有効なシステムを実現できると考えられる。

謝辞

本研究では、多く方からのご指導、ご支援があり、感謝いたします。慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の小木哲朗教授には、毎週のゼミ活動で色々なアドバイスや指摘を受け研究全体を通じて、指導していただきました。誠にありがとうございます。副査として、指導していただきました手嶋龍一教授と神武直彦准教授にお礼申し上げます。また、研究室において、立山義祐助教と、李河燮特任講師より、数多くの助言を頂き、感謝いたします。

本研究での指先位置検出技術について、京都大学学際融合教育研究推進センターの久木元伸如講師から情報提供をしていただきました。ご協力を心からお礼申し上げます。

実験にご協力していただいた方にも感謝いたします。

最後に修士課程での間、指導、助言やディスカッションにご協力いただきました皆様に感謝いたします。今まで得てきたものを生かせるように努めます。

外部発表

佐久間悠, イハソップ, 立山義祐, 小木哲朗, 久木元伸如, 葛岡英明 : 魚眼カメラを用いた空間センシングによるタイルドディスプレイ・コミュニケーション, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.89-90, 2011.9.20-22

参考文献

- [1] Kraut, R. E., Fish, R. S., Root, R. W., and Chalfonte, B. L.:
Informal communication in organizations: Form, function, and technology, In S.
Oskamp & S. Spacapan (Eds.), Peoples's Reactions to Technology, pp.145-199, Sage
Publications London, 1990.
- [2]野村恭彦,ストラテジック・ナレッジ・パターン (SKP) : 自発的な知識創造の場を
生み出すグループウェア設計,情報学会論文誌,Vol45,No.1, 2004-1
- [3]慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
<http://www.sdm.keio.ac.jp/>
- [4]神武直彦,前野隆司,西村秀和,狼嘉彰: 学問分野を超えた「システムデザイン・マネ
ジメント学」の大学院教育の構築,シンセシオロジー研究論文, Vol3, NO.2, pp112-126,
2010-5
- [5]和氣弘明, 能登信晴, 竹野浩: 実世界指向インフォーマルコミュニケーション支援
の検討, 情報処理学会研究報告. [グループウェア] 97(91), 61-66, 1997-09-18, 一般社
団法人情報処理学会
- [6]杉原孝志, 臼杵正郎, 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, Vol44, No.12,2003-12
- [7]小林稔, 石井裕: ClearBoard: シームレスな共同描画空間のデザイン, 情報処理学
会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, 1992-3
- [8]山下淳,葛岡英明, 井上直人, 山崎敬一: コミュニケーションにおけるフィードバッ
クを支援した実画像通信システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol45, No.1, 2004-1
- [9] Humphreys, G., Hanrahan, P., "A distributed graphics system for large tiled
displays," in Visualization '99: celebrating ten years, 1999
- [10] 久木元伸如, 江原康生, リー・ジェイソン, 小山田耕二: タイルドディスプレイを
用いた遠隔コラボレーションに関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE,
マルチメディア・仮想環境基礎, vol. 106, No. 91, pp. 61-64, 2006-5.
- [11]SAGE
<http://www.sagecommons.org/>
- [12]EVL(Electronic Visualization Laboratory)
<http://www.evl.uic.edu/index2.php>.

[13] Renambot, L., Jeong, B., Jagodic, R., Johnson, A., Leigh, J., : Collaborative visualization using highresolution tiled displays, in Workshop on Information Visualization Interaction Techniques for Collaboration Across Multiple Displays, 2006.

[14]河崎純一, 立山義祐, 小木哲朗 : タイルドディスプレイを用いたデジタルマップによる行動支援システム, システムデザイン・マネジメント研究科,2011-3.

[15]OpenCV

<http://opencv.org/>

[16]日本バーチャルリアリティ学会編 : バーチャルリアリティ学, 日本工業調査会,2010-1

[17]Zhengyou Zhang, : A Flexible New Technique for Camera Calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11: 1330-1334, 2000.

[18]OpenGL

<http://www.opengl.org/>

[19] Samba

<http://www.samba.org/>

付録

予備実験のデータ

5.2 節での実験で被験者の座高を考慮せず、高さを調整できない椅子で 15 人の被験者から主観評価アンケートを取っていたため、それについて図 57 に示す。

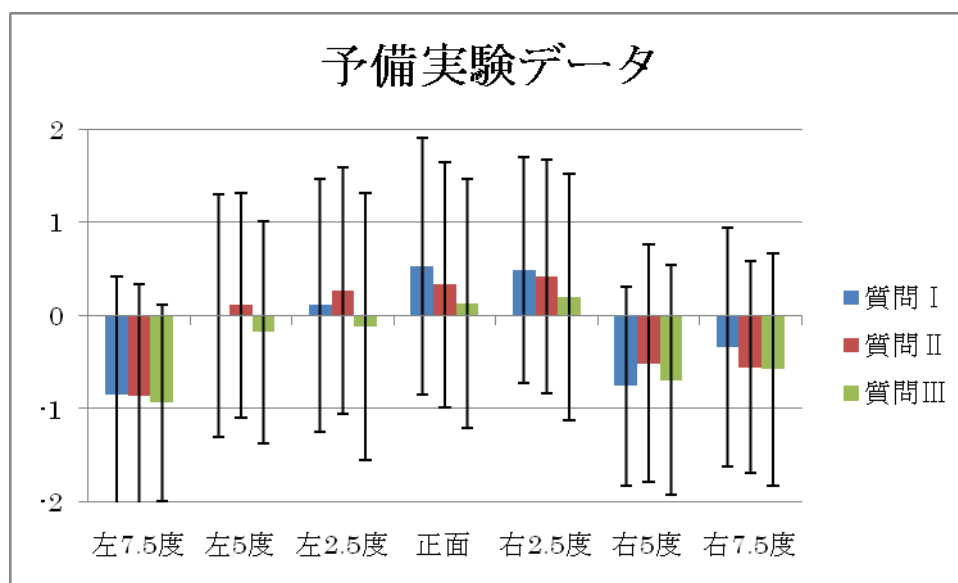


図 55 : 予備実験データ