

SNS 『HuuHoo』 開設1周年記念懸賞論文

遠隔協働環境における  
コミュニケーション促進要因の分析  
Analysis of the promoting factors in the communication via  
remote collaboration space

同志社大学 工学部 情報システムデザイン学科

中堀 友加里

Yukari NAKAHORI

奥村あゆみ

松本拓也

福本尚記

Ayumi OKUMURA

Takuya MATSUMOTO

Naoki HUKUMOTO

指導教員

情報システムデザイン学科

共創情報学研究室

片桐 滋 教授

大崎 美穂 准教授

2008年2月29日

# 概要

近年ブロードバンドの普及や入出力デバイスの低廉化に伴い、遠隔コミュニケーション環境の研究開発や実用化が進んでいる。中でもビデオ会議システムは遠隔コミュニケーション環境の代表格として普及している。しかし、ビデオ会議システムの多くは対面型の映像構成から成り、これが視覚情報における対称性を劣化させ、コミュニケーションの質を低下させると指摘されている。一方、こうした問題の解決を目指して、遠隔地間で映像に関して対称性を成立させる、言い換えれば映像に関する Physical co-presence を成立させるという設計方針で遠隔コラボレーションシステム t-Room の研究開発がされている<sup>1)</sup>。t-Room の設計方針は、遠隔地間の協調作業においてあたかも同じ部屋にいるような感覚 (同室感) を実現することである。山下らは、t-Room を用いた遠隔協働環境では、情報の授受が円滑に行われていることを報告している<sup>2)</sup>。これは遠隔地間の協調作業における t-Room の有用性を示唆する。しかし、t-Room の多種多様な利用方法を考慮すると、様々な状況・条件下で協調作業や円滑な情報伝達に関する更なる評価を試みる必要がある。

本研究では先行研究をふまえ、協調作業における視線や「指す」ジェスチャーの重要性に注目した評価実験を行った。評価実験では、1) face-to-face, 2) t-Room, 3) ビデオ会議システムにおける協調作業を比較し、アンケートデータによる定性評価と達成時間による定量評価を行った。実験を通して、t-Room による遠隔協働環境が基本的にビデオ会議システムより優れており、同室感の実現という t-Room の設計方針が正しいことが分かった。しかし、一方で face-to-face レベルの協働環境を実現できていないことや、評価実験の結果が様々な要素に影響されていることも明らかになった。今後は、同室感をもたらす要因として視線のみならず音声の対称性などにも着目した評価を行い、また部屋デザインやメディア情報の提示法の改良を重ね、t-Room の改良を目指して行きたい。

## キーワード

1. 遠隔協働環境, 2. t-Room, 3. 同室感

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	論文背景	1
1.2	論文目的	2
1.3	論文構成	2
<b>第2章</b>	<b>遠隔コラボレーションシステム t-Room</b>	<b>3</b>
2.1	概要	3
2.2	同室感	4
2.3	t-Room のシステム概要	4
2.3.1	t-Room2.0	4
2.3.2	ハードウェアの構成	6
2.3.3	ネットワークの構成	8
2.4	仮想共有平面	9
2.4.1	仮想共有平面座標	9
2.4.2	入力装置の仮想共有平面	10
2.4.3	出力装置の仮想共有平面	10
2.4.4	入力装置と出力装置の対応	11
<b>第3章</b>	<b>遠隔協働環境の構築</b>	<b>12</b>
3.1	目的	12
3.2	要件	12
3.3	t-RoomX1	13
3.3.1	改良点	13
3.3.2	ハードウェアの構成	13
3.3.3	ソフトウェア構成	16
3.3.4	ネットワーク構成	16
3.4	検討	16
<b>第4章</b>	<b>仮説</b>	<b>18</b>
4.1	協調作業	18
4.2	協働環境	19
4.3	仮説	19
4.3.1	作業効率に関して	19

4.3.2	作業者の評価に関して . . . . .	20
<b>第5章</b>	<b>評価実験</b>	<b>21</b>
5.1	実験目的 . . . . .	21
5.2	実験デザイン . . . . .	21
5.2.1	実験の要件 . . . . .	21
5.2.2	「What am I?ゲーム」 . . . . .	22
5.2.3	解答語の選択 . . . . .	22
5.3	被験者 . . . . .	23
5.4	実験環境 . . . . .	25
5.4.1	実験環境1：同室 (face-to-face) . . . . .	25
5.4.2	実験環境2：t-Room(Physical co-presence が成立) . . . . .	26
5.4.3	実験環境3：ビデオ会議システム (対面構造) . . . . .	29
5.5	実験手順 . . . . .	31
5.6	評価項目 . . . . .	32
5.6.1	定性評価 . . . . .	32
5.6.2	定量評価 . . . . .	32
<b>第6章</b>	<b>実験結果・考察</b>	<b>34</b>
6.1	実験結果 . . . . .	34
6.1.1	定性データ . . . . .	34
6.1.2	定量評価 . . . . .	37
6.2	定性評価 . . . . .	38
6.2.1	手法 . . . . .	38
6.2.2	t-Room への意識調査 . . . . .	39
6.2.3	視線の影響 . . . . .	41
6.2.4	会話の方向 . . . . .	42
6.2.5	実験環境の比較 . . . . .	43
6.2.6	データの信頼性 . . . . .	46
6.3	定量評価 . . . . .	48
6.3.1	手法 . . . . .	48
6.3.2	平均所要時間 . . . . .	50
6.4	考察 . . . . .	51
6.4.1	信頼性について . . . . .	51
6.4.2	被験者の主観的な感じ方について . . . . .	51
6.4.3	視線や方向感覚について . . . . .	52
6.4.4	各協働環境の作業効率について . . . . .	52
6.4.5	実験条件の検討 . . . . .	53
6.4.6	問題点の検討 . . . . .	54

第7章 結論	59
7.1 まとめ	59
7.1.1 今後の課題	59

# 目次

2.1	t-Room の全体像	3
2.2	t-Room におけるサーバ間のデータおよび命令の流れ	5
2.3	サーバ実装の実施状況	5
2.4	ハードウェアの構成	6
2.5	モニリスの実装例	7
2.6	t-Room における IP アドレスの配置例	8
2.7	円柱と仮想共有平面座標	9
2.8	t-Room01 における仮想共有平面座標の使用状況	9
2.9	入力装置の仮想共有平面	10
2.10	出力装置の仮想共有平面	10
2.11	表示系の仮想共有平面	11
3.1	WT610J と従来プロジェクタの投影方法	14
3.2	ハードウェアの構成	14
3.3	プロジェクタ投影面とカメラ	15
3.4	パーティション	15
3.5	t-RoomX1 のネットワーク構成	16
5.1	ハットを装着した様子	23
5.2	実験環境 1 の模式図	25
5.3	実際の様子	25
5.4	実験環境 2 の模式図	26
5.5	実験室 1 の様子	27
5.6	実験室 2 の様子	27
5.7	音声の接続構成	28
5.8	実験用通信システム	29
5.9	実験環境 3 の模式図	30
5.10	実験室 2 の様子	30
5.11	被験者 D から見た被験者 A(a)	30
5.12	被験者 D から見た被験者 A(b)	30
6.1	実験環境・順序別の平均時間	37
6.2	z 得点の比較	39

6.3	z 得点の比較 . . . . .	40
6.4	z 得点の比較 . . . . .	40
6.5	z 得点の比較 . . . . .	41
6.6	z 得点の比較 . . . . .	41
6.7	実験環境 1 における話しやすかった相手の位置 . . . . .	42
6.8	実験環境 1 における話しにくかった相手の位置 . . . . .	42
6.9	実験環境 2 における話しやすかった相手の位置 . . . . .	42
6.10	実験環境 2 における話しにくかった相手の位置 . . . . .	42
6.11	実験環境 3 における話しやすかった相手の位置 . . . . .	43
6.12	実験環境 3 における話しにくかった相手の位置 . . . . .	43
6.13	他の人と最も話しやすかった実験環境 . . . . .	43
6.14	他の人と最も話しにくかった実験環境 . . . . .	43
6.15	一次元上比較 . . . . .	45
6.16	一巡三角形 . . . . .	46
6.17	Q12 の符号の総計 . . . . .	47
6.18	Q13 の符号の総計 . . . . .	47
6.19	Q12 の順序ごとの評点 . . . . .	53
6.20	Q13 の順序ごとの評点 . . . . .	53

# 第1章 はじめに

## 1.1 論文背景

近年ブロードバンドの普及や入出力デバイスの低廉化に伴い、ビデオ会議システムなどの遠隔コミュニケーション環境の研究開発や実用が進んでいる。また、現代の経済や文化のポータレス化や組織のグローバリゼーションに従い、遠隔地間における密なコミュニケーション手段、言い換えればコラボレーション(協働)手段への重要が高まっている。

特に、日本には質の高い遠隔協働環境が求められる以下のような背景がある。少子高齢化による労働力不足や僻地の過疎化、地球温暖化による環境破壊である。減少する労働力を有効に活用するためには、移動などにかかる時間を削減することが必要である。また、過疎地に住む高齢者とのコミュニケーションを容易に実現しなければならない。工業化の推進のために犠牲にした地球環境を良好な状態に戻す義務がある。そこで求められるのは、物流や生産に伴うエネルギー消費を抑えながらも生産性やコミュニケーションの質を落とさない、情報通信ネットワーク社会である。電信から、電話、そしてビデオ会議システムへと発展を続けてきた先には、遠隔地の人が居る空間を丸ごとつなぐ遠隔協働環境の実現に大きな期待がある。遠隔協働環境は、移動に伴うエネルギーと労働力の浪費を抑えることで、地球環境と少子高齢社会に寄与する。遠隔協働環境を日常生活で頻繁に、あるいは常時利用可能なように整備する必要がある。

従来の遠隔コミュニケーション環境に多いビデオ会議システムのディスプレイは、遠隔地のユーザと視覚情報を共有するための窓のような役割を果たす。しかし同時に、ディスプレイが遠隔地間の境界線となり、「こちら側」と「そちら側」をつくりだす。これが従来環境を代表するビデオ会議システムに多い対面型の映像構成で、視覚情報における対称性を劣化させ、コミュニケーションの質を低下させる要因となっている。例えば、複数人で行われているビデオ会議の参加者は、会議を傍観しているような感覚に陥りやすく、白熱した議論をする至っていない。これに相反して山下らは遠隔コラボレーションシステム t-Room を用いた遠隔協働環境では、情報の授受が円滑に行われることを報告している<sup>2)</sup>。

t-Room は遠隔地のユーザとあたかも同じ部屋に居るような感覚(同室感)を得られるという設計方針で研究がされている<sup>1)</sup>。同室感は映像の対称性(Physical co-presence)が成立する環境で生まれ、遠隔地間のユーザ相互の視線や方向感覚が一致する。山下らは、t-Room を用いると、あたかも同じ部屋の中に居るような感覚で、協調しながら PC 修理の作業を遂行したと報告している<sup>2)</sup>。

しかし、t-Room の利用シーンは PC 修理以外にも多く考えられ、さまざまな状況・条件化で協調作業や円滑な情報伝達に関する評価が必要である。また、face-to-face の環境下におけるコミュニケーションの感覚に限りなく漸近した時、最大限の同室感が得られたといえるが、現状の t-Room で得られる同室感は face-to-face レベルに至ってない。遠隔協働環境の日常的な普及のため、さらなる遠隔



地間における協調作業や情報伝達の質の向上が求められている中、遠隔コラボレーションシステム t-Room が実現を目指す同室感に大きな期待がかかる。今後、幾種の条件を制御し徹底した試行錯誤により、遠隔協働環境における同室感を実現する要因を探り、同室感をより高めることが要求される。そして、さらに t-Room が日常的に利用されるためには、同室感の向上に加えて、t-Room の体裁や導入のしやすさなどの検討も必要である。

## 1.2 論文目的

以上のことから、t-Room の同室感を向上させるため、同室感が生まれる要因を分析し考察することが重要となる。そこで、本研究では t-Room が創り出す遠隔協働環境が将来日常的に利用されるための要件を検討する。まず、face-to-face の環境と従来型に多いビデオ会議システムもしくは t-Room による遠隔協働環境における作業効率や情報伝達について比較する。そして得られたデータより、環境の変化が協調作業の効率にどのような影響を与えるのか、またユーザがどのように感じているのかを調査し、遠隔協働環境において協調作業の効率を高める要因を探る。総括して、t-Room が創り出す遠隔協働環境の妥当な在り方を考察し、今後の課題提議をする。

## 1.3 論文構成

本論文は、本章を含め 7 つの章から構成される。

第 2 章では、遠隔コラボレーションシステム t-Room の概要から構成について説明する。

第 3 章では、将来の日常的な利用を視野にいれて構築した t-RoomX1 について説明する。

第 4 章では、第 5 章で行う評価実験について検討した仮説について述べる。

第 5 章では、仮説検証のため評価実験をし、遠隔協働環境を比較する。本実験の設定に至った経緯や実験に用いた実験環境や協調作業などについて詳細に説明する。

第 6 章では、前章の実験で得られた定性・定量データを様々な手法で分析し、得られた知見より、遠隔協働環境におけるコミュニケーション促進要因を分析し、t-Room の問題定義、遠隔協働環境の妥当な在り方を提言する。

第 7 章では、本研究の成果を総括し、今後の課題について述べる。

## 第2章 遠隔コラボレーションシステム t-Room

### 2.1 概要

t-Room は遠隔協働環境を実現し，その視覚情報の対称性 (Physical co-presence) を保障することを目指すシステムである．

ユーザ同士が face-to-face であると，ユーザは互いにどこを見ているかを推定することができ，相手の視線から物事を理解することができる．すなわち，相手の状況や相手の視線の動きなどのアウェアネスを共有しているといえる．これは映像の対称性が成立している状況であり，Physical co-presence が成立しているという<sup>2)</sup>．

t-Room の設計方針は，遠隔地のユーザ間で映像の対称性 (Physical co-presence) が成立することで，遠隔地のユーザとあたかも同じ部屋に居るような感覚を得ることである．この遠隔地のユーザとあたかも同じ部屋に居るような感覚が同室感であり，これについて節 2.2 で述べる．図 2.1 に t-Room の全体像を示す．



図 2.1 t-Room の全体像

## 2.2 同室感

同室感とは遠隔地ユーザとあたかも同じ部屋にいるような感覚のことであり<sup>1)</sup>、Physical co-presence が成立した環境下でユーザが共有すべき映像を、遠隔地のユーザに適切に提示することで得られる。例えば、ユーザが「これ」と指示した対象物が何を指すのか、遠隔地のユーザは理解する。質の高い同室感を得るには、一貫性をもって視覚情報を遠隔地で再現し、かついずれのユーザにとっても Physical co-presence が保障され、物理的な方向感、距離感、位置感が一致することが重要である。t-Room はディスプレイで囲まれた円柱型の仮想共有空間を作ることで Physical co-presence を成立させようとする。これについては 2.4 節で述べる。

t-Room に設計方針は同室感をもたらすことであり、同室感の実現が目標である。

## 2.3 t-Room のシステム概要

t-Room は、映像入力を担うカメラサーバや映像出力を担うディスプレイサーバなどの複数のサーバから構成されるクライアント・サーバ型のマルチメディア通信システムである。各サーバは、例えばビデオカメラを入力機器として持つ 1 台の PC 上でカメラサーバプログラムが走るように、基本的には別々の PC でそれぞれのタスクを実行する。この動作を司るソフトウェアは、t-Room2.0 と呼ばれる、Windows XP を OS とするミドルウェアである。また、t-Room 向けの通信には FTTH 等の高速インターネットを基盤とする VPN を使用する。機能別にサーバを持つ柔軟性故に、t-Room の実現形態は様々である。以下、サーバ群や入出力機器から構成されるハードウェアとソフトウェアの総体を t-Room と呼び、その基本的なメカニズムを紹介する。

### 2.3.1 t-Room2.0

t-Room2.0 は、t-Room のハードウェアを制御するミドルウェアである。t-Room を用いた 2 地点間の通信において、各地点の t-Room のサーバ群はそれぞれ図 2.2 のようにデータあるいはコマンドの送受を行う。

図中の実線矢印は命令のフローを表し、点線矢印は映像データのフローを表す。t-Room2.0 の各サーバのは表 2.1 に示す機能を持つ。

表 2.1 t-Room2.0 の各サーバの機能

	機能	必要数
shuttle	映像データを表示する命令を受け取り、dispsvr2 に送る。	1/t-Room
dispsvr2	画像データをディスプレイに表示する。	1/モニタ
dispatcher	時空間コンテンツの命令を受け取り、各サーバに送る。	1/t-Room
camsvr2	ビデオキャプチャを行う。	1/カメラ
remote	shuttle に命令を送る GUI ツール。	

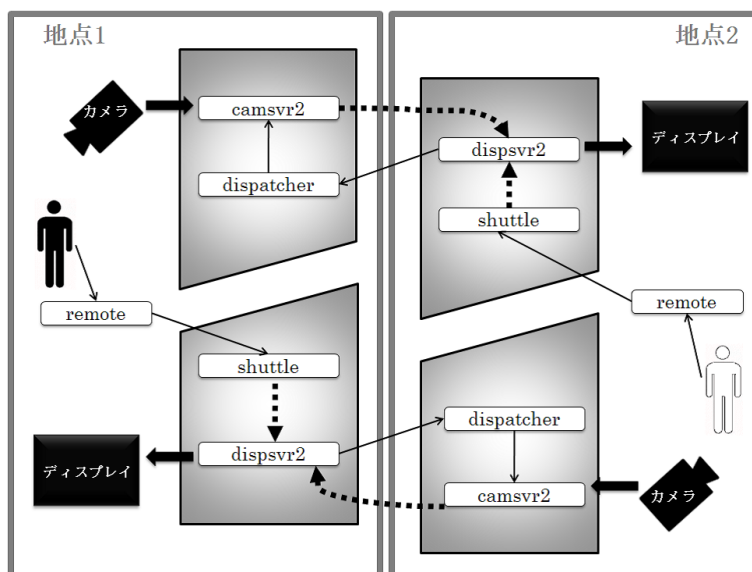


図 2.2 t-Room におけるサーバ間のデータおよび命令の流れ

本研究室では以上の t-Room2.0 の各サーバを図 2.3<sup>1</sup>のように各 PC にインストールした。

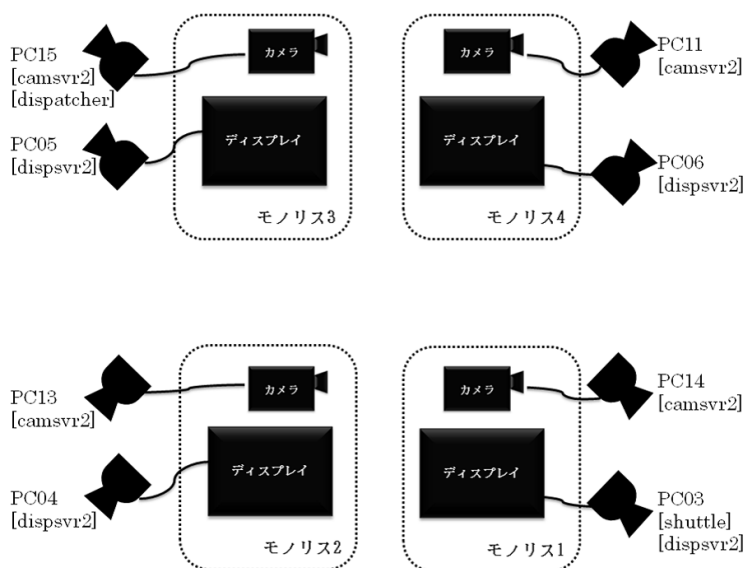


図 2.3 サーバ実装の実施状況

<sup>1</sup>図中には、対応するサーバプログラムが搭載された PC 名称も記載している。

### 2.3.2 ハードウェアの構成

t-Room で使用するハードウェアは環境や用途に応じて、自由なレイアウトができる。ここでは本研究室の t-Room01(図 2.1 参照) のハードウェアの構成を図 2.4 に示す。PC03,04,05,06 は表示用 PC とし PC11, 13,14,15 はキャプチャ用 PC とした。各ハードウェアの仕様を表 2.2 に示す。

カメラとディスプレイを 1 対 1 で対応させて配置し、これを 1 枚の板のように見立ててモノリスと呼ぶ<sup>4)</sup>。t-Room はモノリス単位で組み立てられ、t-Room01 は 4 枚のモノリスで構成される。モノリスの実装例を図 2.5 に示す。

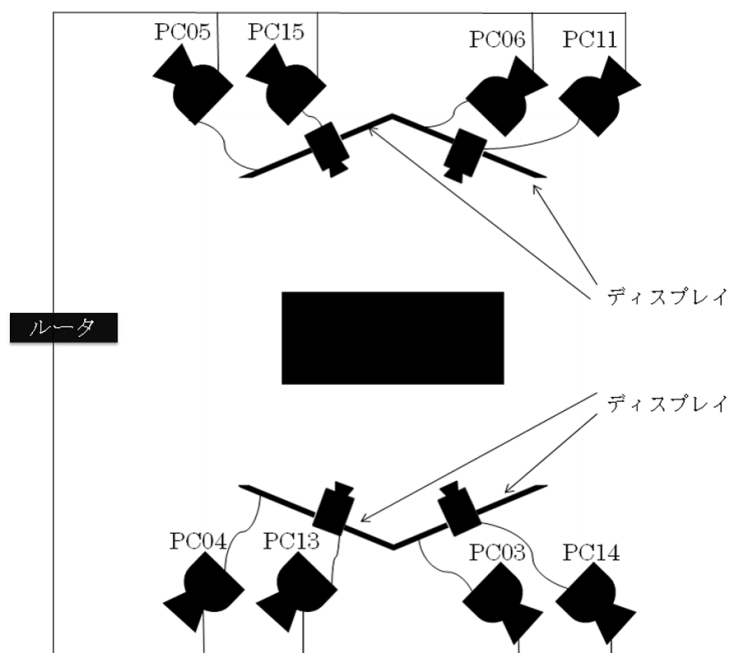


図 2.4 ハードウェアの構成

表 2.2 ハードウェアの仕様

	メーカー	型番	主な仕様
キャプチャ用 PC	DELL	XPS720	WindowsXP,InterCore2CPU6400(2.13GHz), 1.00GB RAM,120GB HDD,NVIDIA GeForceFX5700
表示用 PC	DELL	XPS720	WindowsXP,InterCore2CPU6300(2.14GHz) 1.00GB RAM,120GB HDD,NVIDIARGeForce6600
ディスプレイ	SUMSUNG	SyncMaster 400P	最大表示画素数 1,366 × 768 ドット,315 万画素, コントラスト比 800:1,輝度 500cd/
カメラ	SONY	HDR -HC1	撮像素子 CMOS 1/3 型, 動画有効画素数 198 万画素,光学ズーム 10 倍

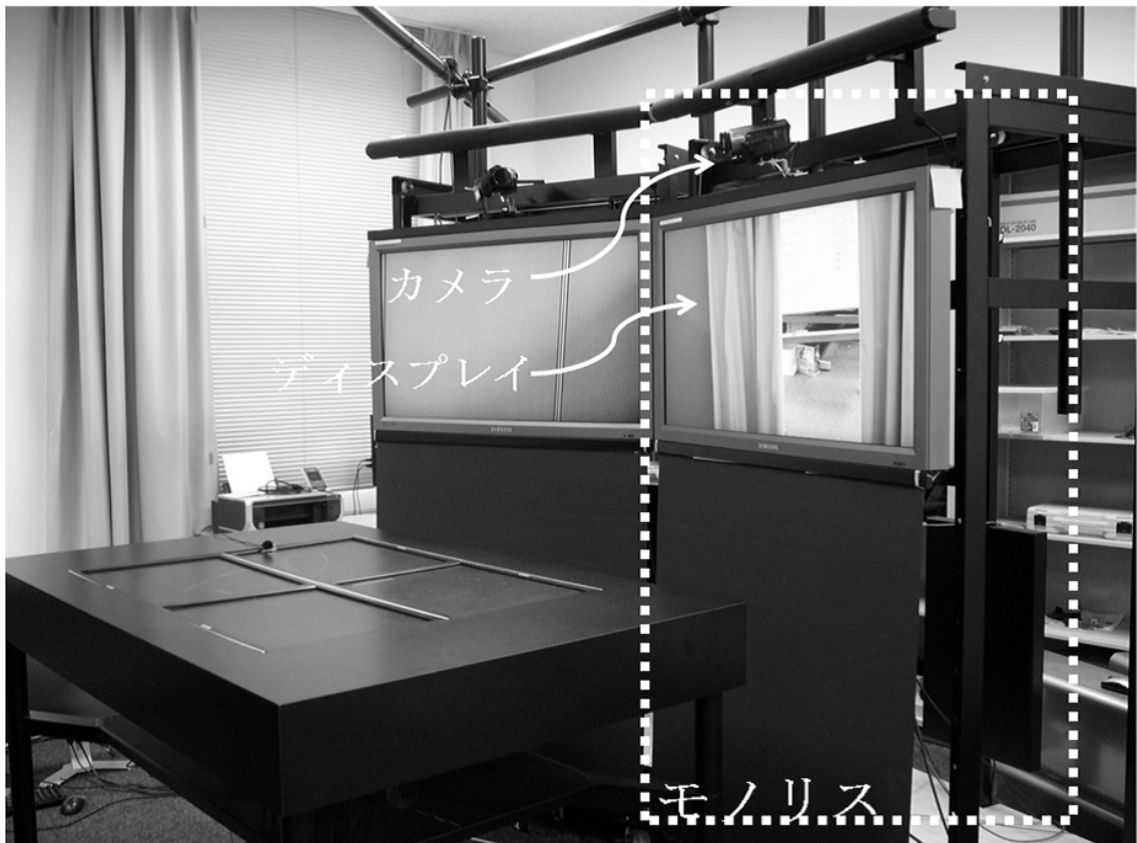


図 2.5 モノリスの実装例

### 2.3.3 ネットワークの構成

通信における安全性と安定性を確保するために、t-Room 内では1つのVPN上に全て配置される。また、t-Roomの各サーバには静的なIPアドレスの割り当てを行っている。図2.6には、本研究室のt-RoomにおけるIPアドレスの配置例を示す。

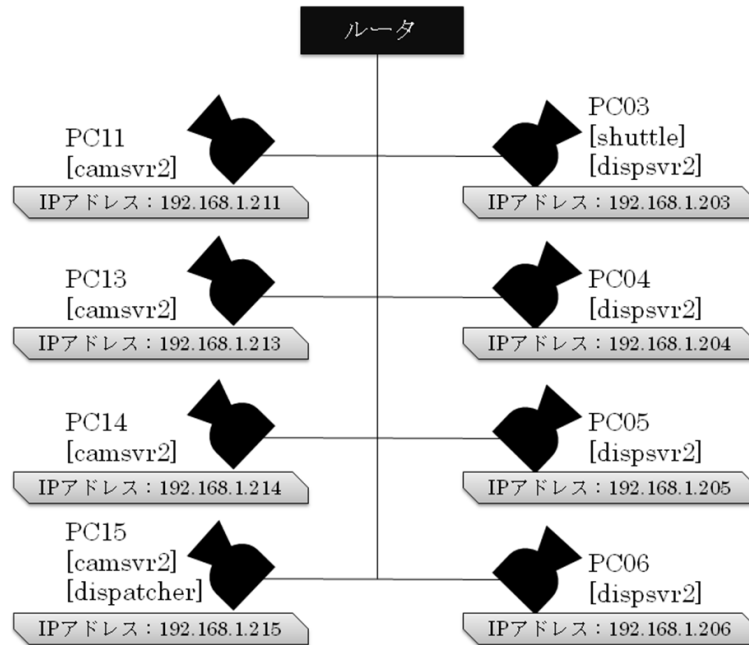


図 2.6 t-Room における IP アドレスの配置例

## 2.4 仮想共有平面

仮想共有平面は、カメラやディスプレイの入出力関係を全て抽象化・仮想化し、遠隔地間で位置情報を共有するための概念である<sup>4)</sup>。カメラがキャプチャした画像を一旦仮想共有平面上に置いて遠隔地間で視覚情報の位置関係を一致させてから、ディスプレイに表示する。このため仮想共有平面は通信する部屋の形状の差異を吸収し、離れた部屋の形状が異なった場合でも通信ができる。

### 2.4.1 仮想共有平面座標

仮想共有平面とはディスプレイで囲まれた t-Room の側面を円柱座標に近似した座標系で、左右 x 軸は-18000~+18000、上下は顔の高さ等に応じて適宜設定する。左右の原点は画面の中心で、上下 y 軸の原点は、円柱座標系の中で見やすい高さに設定する。仮想共有平面座標を図 2.7 に示す。t-Room ではユーザに同室感を提供するため、モニリスを内側に向けて円柱状に並べる。t-Room01 は正八角柱の 4 面にモニリスを並べた配置であるので、正八角柱の側面を円柱座標系に近似し、仮想共有平面座標を分割した。正八角柱の側面を円柱座標系に近似し、8 面のモニリスをそれぞれ M0, M2...M7 とする。そのうち実際に設置したモニリスは M1, M2, M5, M6 となる。つまり、仮想共有平面座標は図 2.8 のような使用状況になっている。

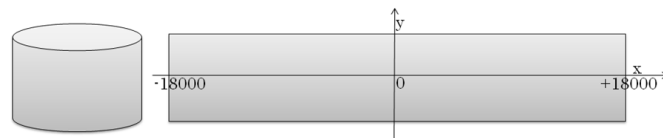


図 2.7 円柱と仮想共有平面座標

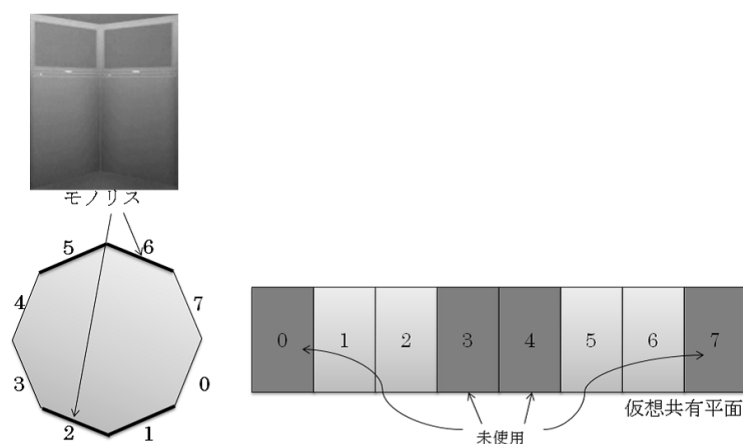


図 2.8 t-Room01 における仮想共有平面座標の使用状況



## 2.4.2 入力装置の仮想共有平面

入力装置の仮想共有平面は、モニリスそれぞれのカメラがキャプチャした画像が仮想共有平面のどの範囲を占めるかを情報として持つ。t-Room01 では先に示した4面のモニリス、M1、M2、M5、M6があり、それぞれのカメラをc1、c2、c3、c4とする。c1、c2、c3、c4がキャプチャした画像は仮想共有平面上に、図2.9に示すよう範囲を定義した。なお、y軸の原点は視線に合わせて設定し、y軸の範囲はカメラの解像度に合わせた。

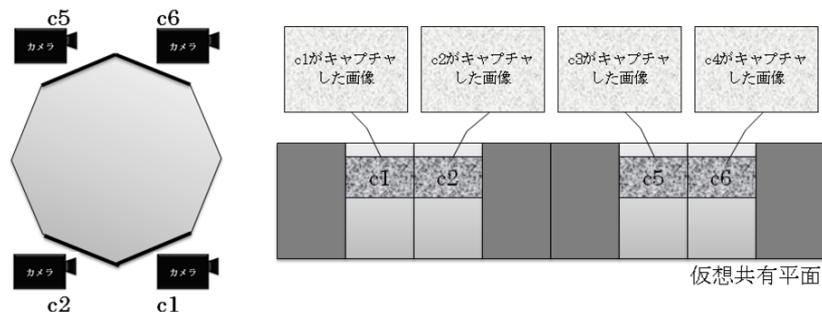


図 2.9 入力装置の仮想共有平面

## 2.4.3 出力装置の仮想共有平面

出力装置の仮想共有平面はディスプレイが仮想共有平面上のどの位置を表示するか定義する。つまり、モニリスごとにどのカメラのキャプチャ画像をそれぞれのディスプレイに表示するか定義する。

t-Room01 では先に示した4面のモニリス、M1、M2、M5、M6があり、それぞれのディスプレイをd1、d2、d3、d4とする。例えば、先のc1、c2、c3、c4がキャプチャした画像を、それぞれd1、d2、d3、d4に表示する場合、図2.10に示すよう仮想共有平面の範囲を設定する。この場合、1枚のモニリスにおいてカメラがキャプチャした画像を自らのディスプレイに表示する。

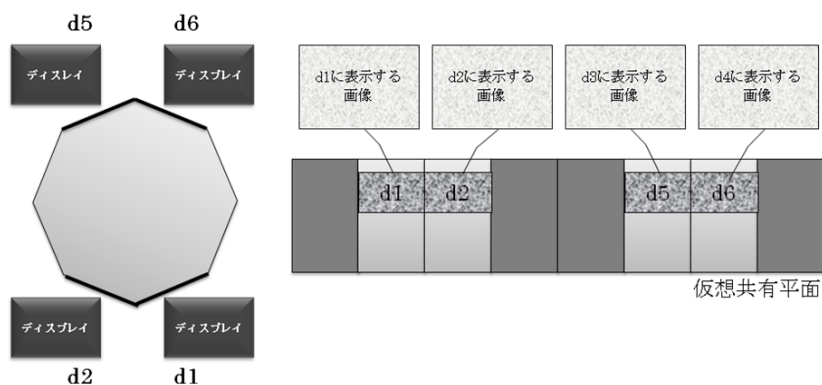


図 2.10 出力装置の仮想共有平面

## 2.4.4 入力装置と出力装置の対応

仮想共有平面により、どのカメラでキャプチャした画像をどのディスプレイに表示するか自由に組み合わせることができ、ユーザはハードウェアの状況に応じて設定する。

カメラがキャプチャした画像をディスプレイに表示する際の、camsvr2 と dispvr2 の手続きを以下に示す。

- (1) camsvr2 により、カメラで画像をキャプチャする。
- (2) キャプチャした画像にキャリブレーション情報(仮想共有平面座標の情報)を付加する。
- (3) 2) を dispvr2 に送る。
- (4) dispvr2 において仮想平面上の出力領域とディスプレイサイズを吟味し、ディスプレイの座標系に変換する。
- (5) ディスプレイに表示する。

この手続きを図 2.11 に示す。

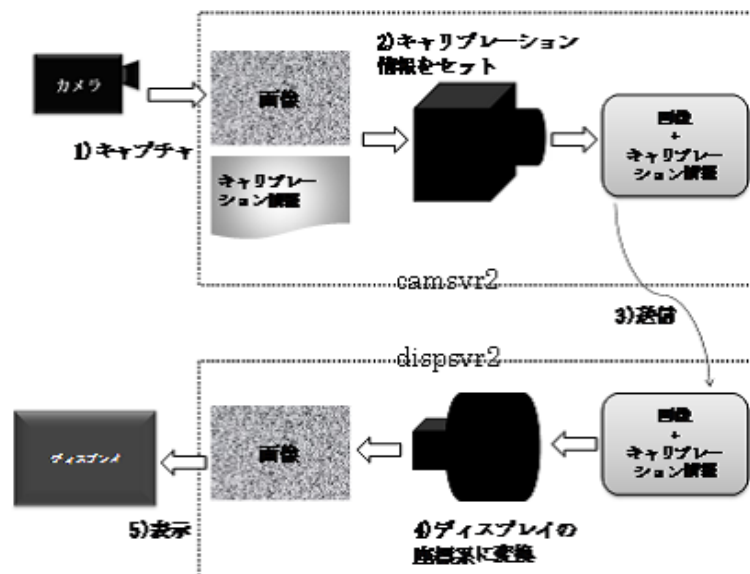


図 2.11 表示系の仮想共有平面

## 第3章 遠隔協働環境の構築

t-Room01 は同室感の他にも体裁や占有面積など、さまざまな問題点がある。問題を解決し、日常的に利用できる将来型に近づく t-Room を再検討する必要がある。本研究では遠隔コラボレーションシステム t-Room01 を基に、将来の日常的な利用を視野に入れた t-RoomX1 を構築した。

### 3.1 目的

t-Room が将来、日常的に利用されることを目指し、導入しやすい t-Room を設計する。オフィスや一般家庭などで日常的に利用されることを考慮し、新たなデザインを提案する。デザインにあたって本研究では特に、普及しやすく日常的な利用を促進する t-Room を目指す。

### 3.2 要件

遠隔協働環境がオフィスや一般家庭で日常的に利用されるために、t-Room のもたらす同室感のレベル以外にも、普及しやすいレイアウトを考慮する必要がある。まず、本研究室の t-Room01 を見直し、新たに構築する t-RoomX1 の要件を以下のように定義した。

#### (1) 低コスト・省エネルギー

t-Room01 はハードウェアのインシャルコストと、電気代、通信費などのランニングコストがかかる。またこれらのハードウェアを動かすためのエネルギー消費は膨大で、これらを減少させる努力が必要である。平田は t-Room 導入時の価格を下げることは、t-Room の新たな利用方法の発見につながるだけでなく、消費電力や重量の低減にもつながることが期待され、これがさらに新たな利用方法の発見につながると述べている<sup>5)</sup>。

以上のことから、廉価なハードウェア構成による低コストかつ省エネルギーである遠隔協働環境のデザインが必要である。

#### (2) 省スペース

t-Room01 は  $2.3\text{m} \times 6.0\text{m} = 13.8$  の面積を要し、使用していなくても移動や収納ができない。約 8 畳分のスペースを常時占有されるため、オフィスや一般家庭への導入を困難にする。また、t-Room01 は使用していない間も容易に片付けることができないため、常時スペースを占有する。

例えば、使用していない間は折りたためるような、スペースを効率的に使うコンパクトな遠隔協働環境が必要である。

### (3) レイアウトの検討

t-Room は機械的な印象が強く、無機質である。一般的なオフィスや居住空間に設置すると違和感が生じる。また t-Room01 の表示のためのディスプレイは、遠隔地ユーザとの間に境界線として立ち上がり、「こちら側」と「そちら側」をはっきりと印象付ける。この違和感が協調作業の効率や円滑な情報伝達を阻害する可能性がある。

機械的な印象や違和感を軽減するため、室内空間に馴染む t-Room のレイアウトを考えたい。

## 3.3 t-RoomX1

先の要件を満たすことを目標とし新たな t-Room をデザイン、構築した。これを t-RoomX1 とよぶ。

### 3.3.1 改良点

先の要件より、ハードウェアの個数を最低限に抑え、低コスト、省エネルギー、省スペースな t-Room のデザインを試みた。また、ディスプレイの代わりにプロジェクタを用い、デザインを一新した。

- 2画面表示

t-Room01 は4枚のモニタで構成されるが、これを2枚にし、2対2のコミュニケーションを想定したシステムに変更した。これに伴い、入出力装置をもそれぞれ2台ずつに削減した。

- PCの削減

表示用とキャプチャ用のPCを1台にまとめ、モニタ1枚を1台のPCで制御するように変更し、PCを計2台に削減した。

- 出力装置にプロジェクタを使用

表示用ディスプレイをプロジェクタに変更し、投影面として部屋の角の壁を利用した。

- パーティションの設置

室内空間の中で、遠隔地ユーザとの共有空間を仕切るため、t-RoomX1の周囲にパーティションを設置した。

### 3.3.2 ハードウェアの構成

従来の t-Room を構成するハードウェアと異なるのがプロジェクタである。プロジェクタは EPSON 製 EMP-74 と NEC 製 WT610J を使用した。WT610J は超短焦点ミラー投写モデルで投影面の下方から 26cm 先に 60 型、46cm 先に 80 型の大画面投影が可能である<sup>6)</sup>。同社のスタンダードモデルでは 220cm 先に 60 型、294cm 先に 80 型の投影が可能である。省スペース性と機械がユーザの視界に入りにくいことから試験的に 1 台を WT610J とした。従来のプロジェクタと WT610J の投影方法の違いを図 3.1 に示す。PC、カメラは t-Room01 の後継機種を使用した。カメラは SONY 製 HDR-HC7 の後継機種である HDR-HC1、PC は従来の t-Room と同じ DELL 製 XPS720 であった。図 3.1 にハードウェアの仕様と価格、図 3.2 にハードウェアの構成図、図 3.3、3.4 に実際の t-RoomX1 を示す。

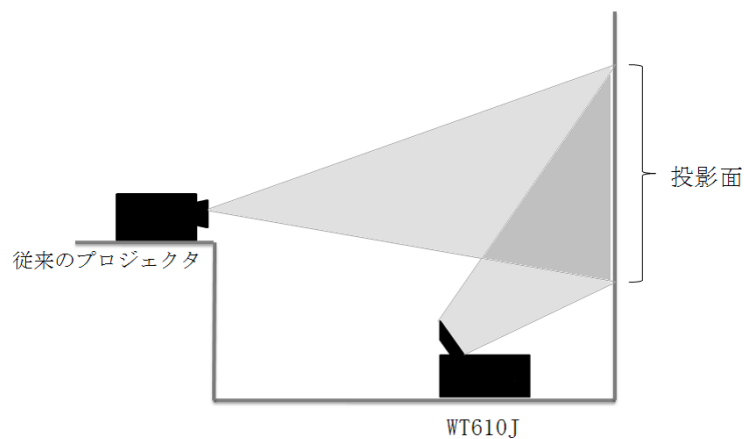


図 3.1 WT610J と従来プロジェクタの投影方法

表 3.1 ハードウェアの仕様と価格

	メーカー	型番	主な仕様	価格
PC	DELL	XPS 720	WindowsXP,IntelCore2CPUE6700(2.66GHz), 2.00GB RAM,320GB HDD,NVIDIARGeForce8600	210,000
プロジェクタ	NEC	WT 610J	輝度 3500lm, コントラスト比 3500:1,UXGA	300,000
	EPSON	EMP-74	輝度 2000lm, コントラスト比 500:1,UXGA	400,000
カメラ	SONY	HDR-HC7	撮像素子 CMOS 1/2.9 型, 動画有効画素数 171 万画素, 光学ズーム 10 倍	150,000

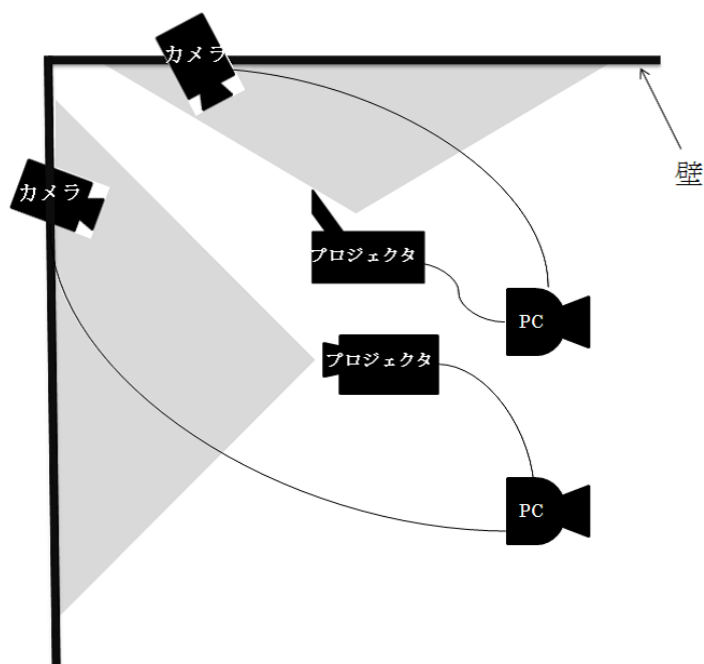


図 3.2 ハードウェアの構成

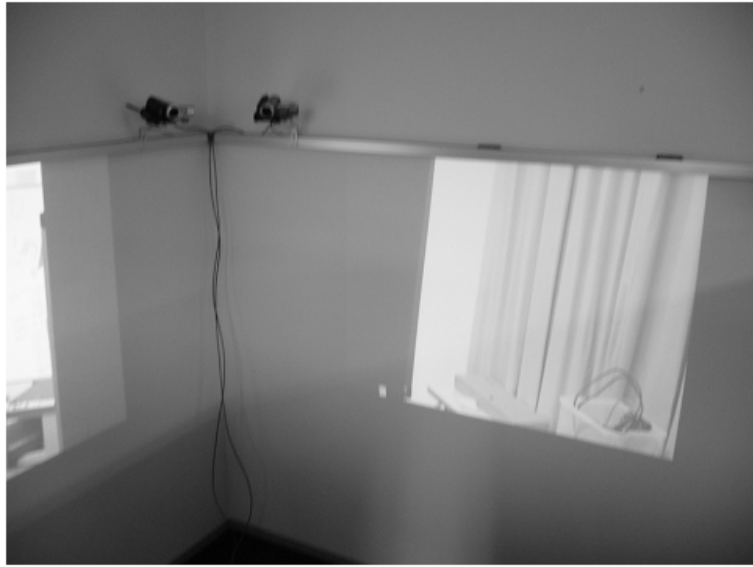


図 3.3 プロジェクタ投影面とカメラ



図 3.4 パーティション

### 3.3.3 ソフトウェア構成

t-RoomX1 では t-Room2.0 の dispsvr2 と camsvr を 2 台の PC 両方にインストールし，さらに一方に shuttle，dispatcher をインストールした．

### 3.3.4 ネットワーク構成

構築した t-Room のネットワークの構成を図 3.5 示す．

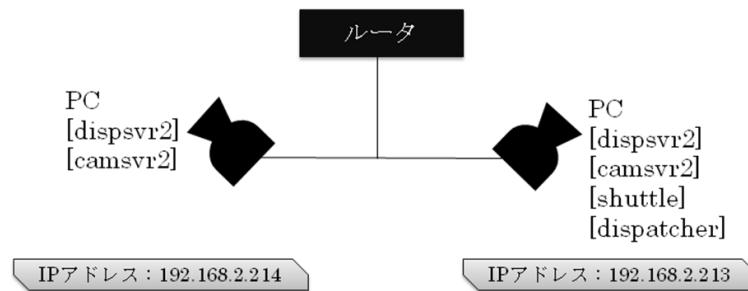


図 3.5 t-RoomX1 のネットワーク構成

## 3.4 検討

### (1) コスト・エネルギー

t-RoomX1 に使用したハードウェアの台数は t-Room01 と比較して大幅に削減できた．また，表示用プロジェクタ単体では t-Room のディスプレイよりも消費電力が大きい，ハードウェアの個数の削減に伴って全体の消費電力は減り，t-RoomX1 の消費電力は約 1100W となり t-Room 約 2700W よりも約 59 %削減できた．

以上より t-RoomX1 のイニシャルコストとランニングコストはどちらも t-Room より低コストを実現しているといえる．しかし，一般家庭の携帯電話や固定電話，インターネットなどの利用料を合わせた「通信費」の月額平均が 1 万円以上 2 万円未満であることなどを考慮すると，高価格である．需要を高め日常的に利用されるためにはさらなる低価格化が必須条件である．

### (2) スペース

本研究室の t-Room は  $13.8m^2$ (約 8.3 畳) のスペースを要するが，t-RoomX1 は  $2.8 \times 2.5 = 7m^2$ (約 4.2 畳) のスペースに抑えることができた．また，プロジェクタは約 6.4kg で移動がし易く，使用しない時は片付け易く，効率的にスペースを利用できる．

### (3) デザイン

t-RoomX1 ではプロジェクタを使用することで部屋の壁に投影できるため、t-Room01 のようにディスプレイが乱立している状況と比較して、機械的、無機質な印象が軽減され、室内空間に馴染んでいるといえる。

また、t-Room は仮想共有平面の概念があるため、形状の異なる 2 地点間の通信が可能であるため、部屋に合ったレイアウトが可能である。t-RoomX1 はさまざまな場所で汎用することが期待できる。

しかしプロジェクタを利用することで部屋の照明を暗くしなければならないため、部屋全体の明度が下がる。これは作業効率の低下につながる恐れがある。



## 第4章 仮説

近年の研究で他チャンネルにオーディオチャンネルを追加することで大いにコミュニケーションが改善するが、オーディオチャンネルに映像チャンネルを追加してもほとんど改善が見られないと報告されていた。しかし、より最近の研究では環境を視覚的に共有することでコミュニケーションが改善すると報告されている<sup>3)</sup>。

山下らの研究においても、t-Room では作業の効率が向上し、また、t-Room を用いると疑問文の数が減少することから、情報の授受が円滑に行われていることが検証されたと報告している<sup>2)</sup>。

これらの研究結果は視覚情報を共有するにあたり、どの要素を共有するかによって、視覚情報の利益の可能性を大きく左右することを示唆する。無論、視覚情報の共有をある要素に限定せず、異なる距離や角度における視覚情報資源を全て利用することができれば、限りなく face-to-face のコミュニケーション品質に漸近するが、帯域制限やコストが高いなどの理由でその実現は難しい。

そこで、代替りのアプローチとして協調作業に必要な視覚情報の重要な要素を特定し、それを伝えることを実現する遠隔協働環境が要求される。本研究では、協働環境に共有視覚情報の可能性が依存すると考え、異なる協働環境を比較し、作業の効率向上に貢献する共有視覚情報の要素を抽出したいと考える。

山下らは、t-Room を用いると、あたかも同じ部屋の中に居るような感覚で、協調しながら PC 修理の作業を遂行したと報告している<sup>2)</sup>。本研究では PC 修理だけでなく、オフィスや一般家庭における日常的な t-Room の利用を目指した評価をし、t-Room の様々な使い方の可能性を探りたい。

以上のことから、t-Room の同室感を向上させる視覚情報の重要な要素を探るとともに、t-Room が日常的にさまざまな場所で利用されるための必要な条件を探るため評価実験をする。

### 4.1 協調作業

Fussell らは、「指す」ジェスチャーの使用は、作業者が共有視覚情報を利用しようとしていることを示すと報告している<sup>3)</sup>。そこで、「指す」ジェスチャーもしくはこれに近い身振りが必要となる作業で比較実験したいと考える。これは、オーディオチャンネルだけでも完了出来るような作業では、共有視覚情報の有用性が無いため、作業の効率向上に貢献する要素抽出が不可能であり、あえて共有視覚情報が必要となる作業にする必要があるからである。よって、実験では「指す」ジェスチャーのような身振りを必要とする作業により作業効率を比較する。

## 4.2 協働環境

本研究では、予備実験として t-Room によるコミュニケーション環境下で多人数が参加する会議を行った。参加者の意見のうち、円滑なコミュニケーションを阻害する原因として視線の不一致ということが目立った。そこで本研究では視線がコミュニケーションに及ぼす影響に注目する。まず指示者と非指示者の共通理解が生まれるまでのフローは、被指示者が指示者の視線から次に示される位置をあらかじめある程度予測し、そして、さらに被指示者もしくは指示者が「指す」ジェスチャーをすることで厳密に互いが理解するとする。ここで共通理解が生まれるまでに重要な視線と「指す」ジェスチャーは Physical co-presence が成立しているからこそ成り立って、互いを理解に導く資源となると考える。これより本研究では、視線や「指す」ジェスチャーなどが成立することを包括して、Physical co-presence とし、これが作業効率に影響をもたらす本質的な要素であると考え、対称性の異なる環境下における作業効率を比較する。

以下の3つの環境下における作業について仮説する。

- (1) 同室：face-to-face な協働環境
- (2) t-Room：遠隔地間で Physical co-presence が成立した協働環境
- (3) 従来テレビ会議システム：遠隔地間で対立構造をとる協働環境

## 4.3 仮説

### 4.3.1 作業効率に関して

#### 仮説 1

作業効率が一番良いのは同室内 (face-to-face) における協調作業と予測する。なぜなら、完全な Physical co-presence が成立し、かつ協調作業における視覚情報を最大限に授受できるからである。遠隔地間における作業は少なからず視覚情報を欠くため、同室内の作業と比較してその作業効率は下がる。

#### 仮説 2

作業効率が最も悪いのは従来テレビ会議システム (対立構造) における協調作業と予測する。なぜなら3環境の中で共有視覚情報を最も欠落させるからである。また、Fussell らは、作業者が共有された視覚空間で対象物を「指す」ジェスチャーをすることができない時、そのことにいらだちを感じていたと報告しており、これよりストレスによる作業効率の悪化も考慮するからである。

### 4.3.2 作業者の評価に関して

#### 仮説 3

t-Room(遠隔地間で Physical co-presence が成立した協働環境)の環境において、作業者が遠隔地の作業者の視線を理解できると主観的に感じると予測する。

#### 仮説 4

t-Room(遠隔地間で Physical co-presence が成立した協働環境)の環境でユーザは、従来テレビ会議システムの環境よりも協調作業が簡単と感じると予測する。なぜならジェスチャーなど、言語以外の要素を普段何気なく使用するのに近い感覚のままであることができるからである。

## 第5章 評価実験

仮説検証のため face-to-face な環境，Physical co-presence が成立している環境，対立構造である3環境における協調作業を比較した．評価実験に用いる協調作業として「What am I?ゲーム」を設定した．

### 5.1 実験目的

先の仮説を検証し，真偽を確認するためである．また，仮説が正しくなかった場合の結果に影響した要因など，新たな知識の発見するためである．

### 5.2 実験デザイン

#### 5.2.1 実験の要件

比較する3環境の協調作業に与える効果を的確に評価するために要件をまとめた．

##### (1) コミュニケーションを必然的に発生させる

Fussell らは，遠隔地間の作業効率はコミュニケーション品質とも関連していたと報告している．これは，作業効率とコミュニケーションが密接な関係にあることを示唆する．よって，コミュニケーションが必然的に起こる，被験者グループの全メンバが互いに働きかけなければならない作業に設定したい．

##### (2) 対面構造を避ける配慮

t-Room を用いた環境では，被験者グループの4メンバは2名ずつ2部屋に分かれる．その際に同じ部屋のメンバ同士の会話に偏り遠隔地間に境界線を引くことを避けるため，グループのメンバ全員が共通の話題についてコミュニケーションするように設定したい．

##### (3) 「指す」ジェスチャーのような身振りを必要とする作業にする

節4.1より，「指す」ジェスチャーや視線が必要となる作業にする．

また，方向感覚や視線がコミュニケーションに及ぼす影響を測るため，定性的もしくは定量的なデータとして測り，コミュニケーションと作業が円滑であつたらう指標が測定できるようにしたい．

ただし，被験者によって難易度が異なることがないように配慮する．

## 5.2.2 「What am I?ゲーム」

「What am I?ゲーム」とは先の要件を満たすために考案したゲームである。グループのメンバ4人が互いにヒントを与え、各メンバが自分の解答語を推測する。

各メンバは1単語から成る解答語がそれぞれ与えられ、解答語が記載されたハットを頭部に装着する。ハットを装着した様子を図5.1に示す。自分自身の解答語を見ることは不可能で、グループの他のメンバからは見ることが可能となっている。以下に示す規定の範囲内であれば、メンバは自由にお互いの解答語に関するヒントを与え合うことができる。制限時間は15分とし、終了条件はグループのメンバ4人全員が自らの解答語と一致する答えを導くことである。

- 解答語または解答語に含まれる語を直接いってはいけない(ex. 単語が「雪だるま」ならば「雪」や「だるま」というヒントをいってはいけない)。
- メンバにヒントを与えるとき、メンバのことを「あなた」としかいってはいけない(ex. 「田中さんの…」 「眼鏡をかけている人の…」 と称してはいけない)。ただし、動作による指示はしてよい(ex. ヒントを与えたいメンバの方向に手を差し出す)。
- 自分の解答語についての質問はしてよい(ex. 「私の単語は食べ物ですか」)。
- 質問に対してメンバは制限内であれば自由に回答できる(ex. 「はい、食べ物です」「正月に食べる」)。
- 解答語が分かったら挙手して発言する。正解の場合、他のメンバが「正解」と伝え、正解者はハットを外す。何回でも誤答できる。
- 解答語は完全一致している場合のみ正解となり、部分一致である場合は不正解となる。
- メンバ4人全員が正解した時点でゲーム終了となる。

## 5.2.3 解答語の選択

「What am I?」ゲームの解答語は単語親密度を基準に選定した。これは、解答語に起因するデータの変動が、観察したい主要因による変動よりも大きくなることを防ぐためである。



図 5.1 ハットを装着した様子

単語親密度 (word familiarity) は単語の重要な主観的特性値の 1 つである。単語親密度は、ある単語を馴染みがあると感じる程度を、複数の被験者が 7 段階等で評価したときの平均値として求められる。すなわち、単語親密度の値が高い単語ほど認知に必要な時間が短く、かつ認知の誤りが少ない。単語親密度は 18 歳以上 30 歳未満の日本人を対象に算出された<sup>8)</sup>。

本実験では、各グループの各ゲームに単語親密度 5.4-5.6 の中から 1 単語、6.1-6.5 の中から 3 単語、計 4 単語選定した。表 5.1 に選定した単語の一例を示す。

単語親密度が 5.4 以上の単語の語彙の誤判断率は約 5 %、6.0 以上で約 2 % である。解答語に起因するデータの変動を小さくするため、誤判断率が 5 % 以下の単語を解答語とするのが妥当とした。3 単語は単語親密度 6.1-6.5 の単語を用いた。

また、ゲームが極端に短時間で終了することを防ぐため、解答語セットの 1 単語の単語親密度は低く設定し 5.4-5.6 の単語を用いた。各グループ間の単語親密度の差を縮めるため、解答語を選出する単語親密度の範囲を必要解答語数に応じて最小限に狭めた。

### 5.3 被験者

被験者は 96 人の本学学生と院生男女 (男性 71.4 %、文系 19.4 %) から成り立った。公募により被験者の背景情報の重複を避けた。被験者はランダムに 4 名を 1 グループとし、24 グループを作成した。

ゲームの特性上グループ内メンバの面識の有無を均一にする必要があったため、所属の異なるメンバで構成した。しかし、被験者の公募範囲に制約があったため、メンバ同士の面識が有るグループもあった。

被験者には謝礼を支払い、別途インセンティブとペナルティを与えた。インセンティブは被験者のゲームに対する意欲を引き出すため、ペナルティは被験者のルール違反による実験の障害を防ぐために設けた。インセンティブはゲーム終了までの時間が 15 分以内であった場合に全 3 回の各ゲームごとに与えた。各グループに対して全 3 環境における実験を試みた。すなわち、環境ごとの母集団は独立である。

表 5.1 単語親密度と単語

5.4-5.6	6.1-6.5		
大理石	ふりかけ	ピッチャー	小学校
いちじく	親知らず	ビリヤード	花火
わかめ	マーガリン	警官	カシューナッツ
花言葉	サボテン	イルカ	人気
寄生虫	中国	退屈	グレープ
祝電	なぜ	ビタミン	ドジ
おしどり	じゃんけん	禁煙	選挙
鉛	マフラー	カラス	サーカス
飢饉	鉛筆	消費税	宝くじ
怪人	自由	アンコール	財布
垣根	おなら	オムレツ	トラブル
乳母車	スイッチ	免許	クイズ
紙吹雪	レモン	優勝	えび
春菊	ラーメン	カステラ	アカデミー賞
せせらぎ	スパイ	家族	先輩

## 5.4 実験環境

先の被験者4名を1グループとした24グループは、以下の異なる3環境で「What am I?ゲーム」を行った。実験環境ごとに使用したゲーム、資料などは全て同一のものである。

### 5.4.1 実験環境1：同室 (face-to-face)

実験環境1は実験室において、4名の被験者が互いに解答語を見れるように着席した形で行った。被験者間の距離は約1.0mで、コミュニケーションを物理的に阻害するものは無かった。実験環境を模式的に図5.2に示し、実験の様子を図5.3に示す。

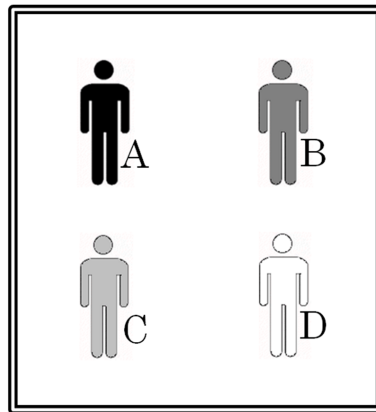


図 5.2 実験環境1の模式図



図 5.3 実際の様子



## 5.4.2 実験環境 2 : t-Room(Physical co-presence が成立)

実験環境 2 は , hysical co-presence が成立し互いにほぼ視線が一致する環境であった .

### (1) 映像チャンネル

映像チャンネルは t-Room01 と先の t-RoomX1 を媒体としている . t-Room01 と t-RoomX1 とを接続し , 各 t-Room に被験者を 2 名ずつ配置した . 実験室 1 では t-Room01 のディスプレイ 2 面を出力装置として使用し , 被験者は決められた定位置に直立した . 実験室 2 では t-RoomX1 のプロジェクタ 2 台を出力装置として使用し , 被験者は投影面に対面して直立した . 遠隔地間の被験者相互の物理的な方向感覚 , 位置感 , 視線の方向を共有できるようカメラの向きを調整した . すなわち Physical co-presence がほぼ成立しており , 別室の被験者がどの被験者の方向を向いているか識別可能であった . 実験環境を模式的に図 5.4 に示し , 実験室 1 の様子を図 5.5 , 実験室 2 の様子を図 5.6 に示す .

例えば , 被験者 A が被験者 D を見ると右方向を向くことになる . その際 , 被験者 D は右方向を向いた被験者 A の映像より , 被験者 A が自分を見ているということが識別できる .

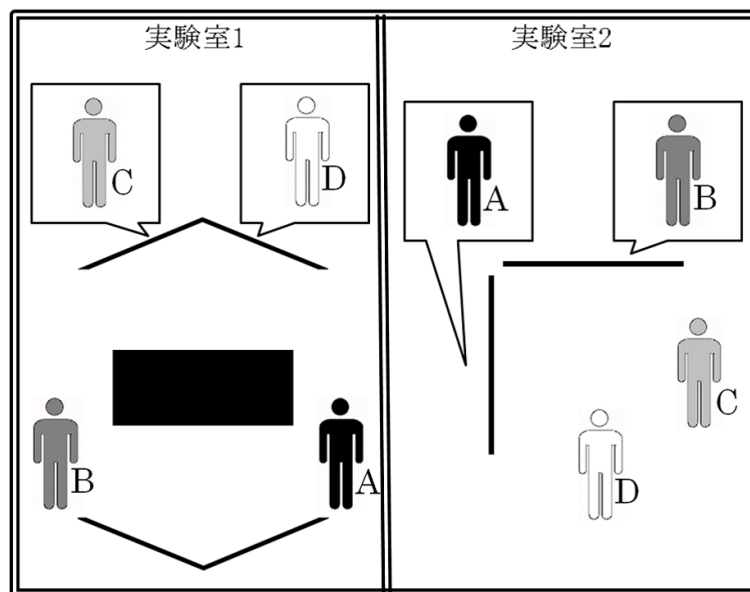


図 5.4 実験環境 2 の模式図

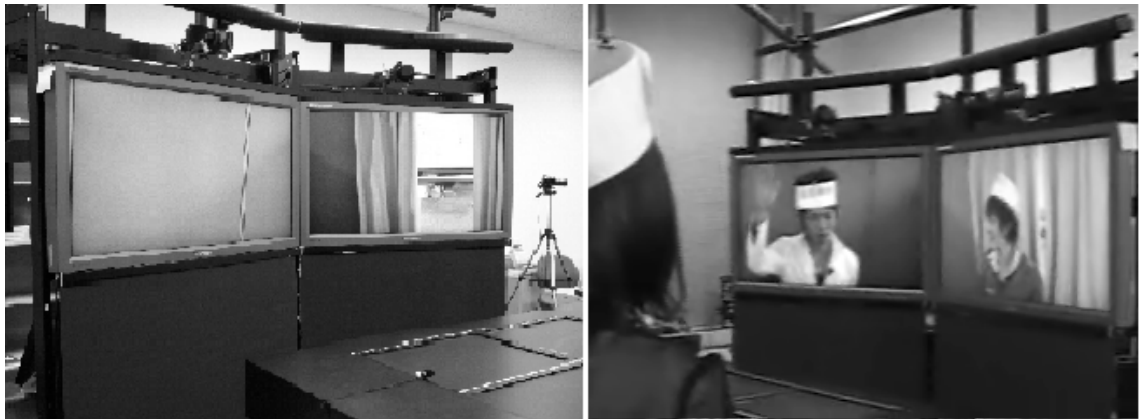


図 5.5 実験室 1 の様子

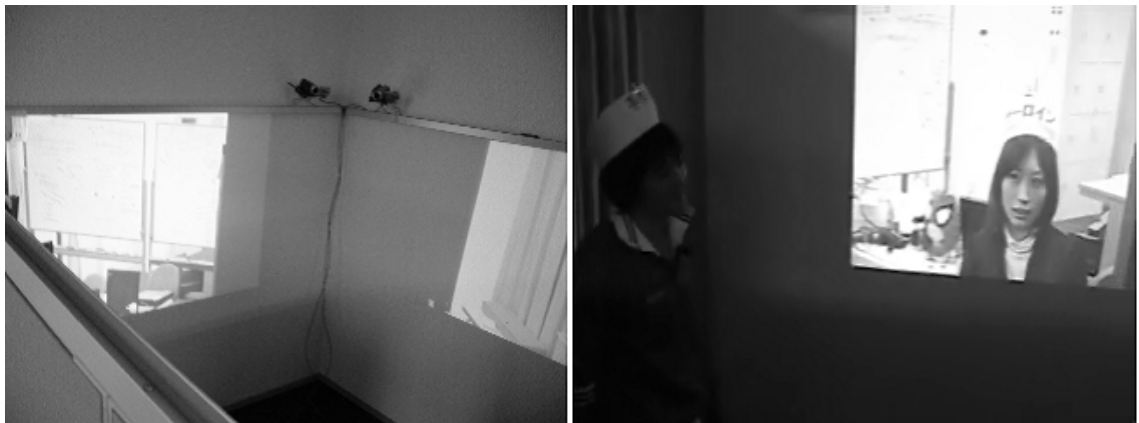


図 5.6 実験室 2 の様子

## (2) 音声チャンネル

実験環境2の音声チャンネルはSkype<sup>7)</sup>を媒体としている。音声の入力装置はAudio-Technica製のピンマイクAT9842，出力装置はSANWA SUPPLY製のスピーカMM-SPL1であった。

各被験者はピンマイクを装着し，各PCにスピーカが接続された。音声チャンネルはSkypeを利用した2チャンネルであった。実験室1には音声通信用のノートPC2台を追加し，その2台と実験室2のPCの計4台のPCにSkypeをインストールした。発話した被験者の映像が表示されている出力装置と聞こえてくる被験者の音声が入るようスピーカを設置した。図5.7に接続構成を示す。図の二重点線はSkypeで相互通信していることを表す。

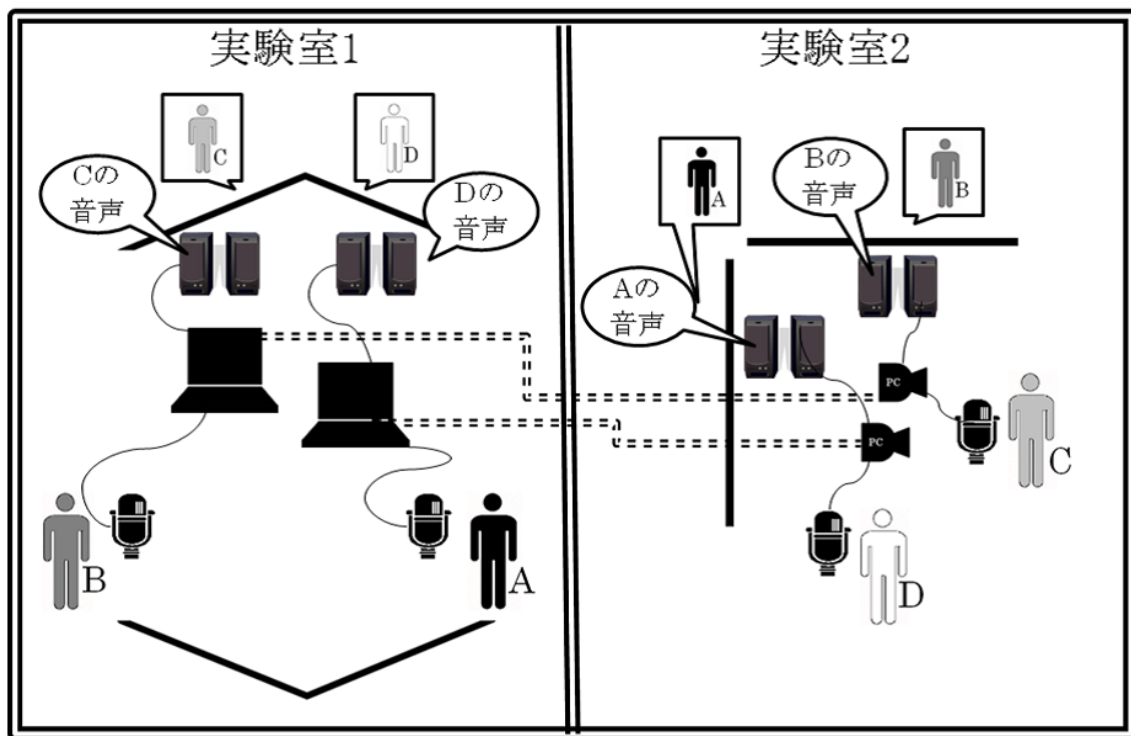


図 5.7 音声の接続構成

### 5.4.3 実験環境 3：ビデオ会議システム (対面構造)

実験環境 3 は，対面構造で physical co-presence が成立しない環境であった．

#### (1) 映像チャンネル

映像チャンネルは t-Room01 と後に示す実験用通信システムを媒体としている．t-Room01 と実験用システムとを接続し，各 t-Room に被験者を 2 名ずつ配置した．意図的に被験者相互の物理的な方向感覚，位置感，視線の方向が共有できないよう調整した．具体的には，先の仮想共有平面上のカメラのキャプチャ映像をディスプレイに表示する割り当てを，実際の関係とは逆になるように設定した．

実験室 1 では t-Room01 のディスプレイ 2 面を使用し，被験者は決められた定位置に直立した．

実験室 2 には実験用通信システムを構築した．PC と 20 型ディスプレイ，ウェブカメラによって構成される．映像通信のための各サーバは t-Room2.0 を使用している．図 5.8 に実験用通信システムの構成を図示する．各被験者はディスプレイに対面して着席した．実験環境を模式的に図 5.9，実験室 2 の様子を図 5.10 に示す．

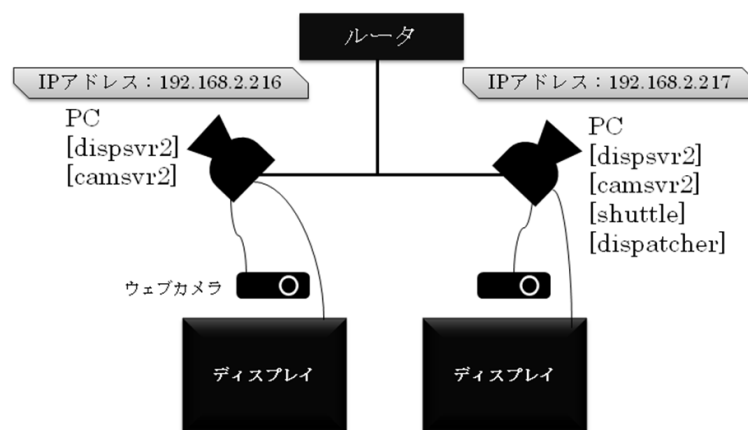


図 5.8 実験用通信システム

例えば，被験者 A が被験者 D を見ると右方向を向くことになる．その際，被験者 D は右方向を向いた被験者 A の映像より (図 5.12(a))，被験者 A が被験者 C を見ているように見える．また，被験者 A が被験者 D を見た場合，左方向を向いた被験者 A の映像より (図 5.11(b)) 被験者 A が被験者 D の右の辺りを向いているように見える．よって別室の被験者がどの被験者の方向を向いているか識別不可能であった．

#### (2) 音声チャンネル

音声チャンネルは先の実験環境 2 と同様に Skype を媒体とした．

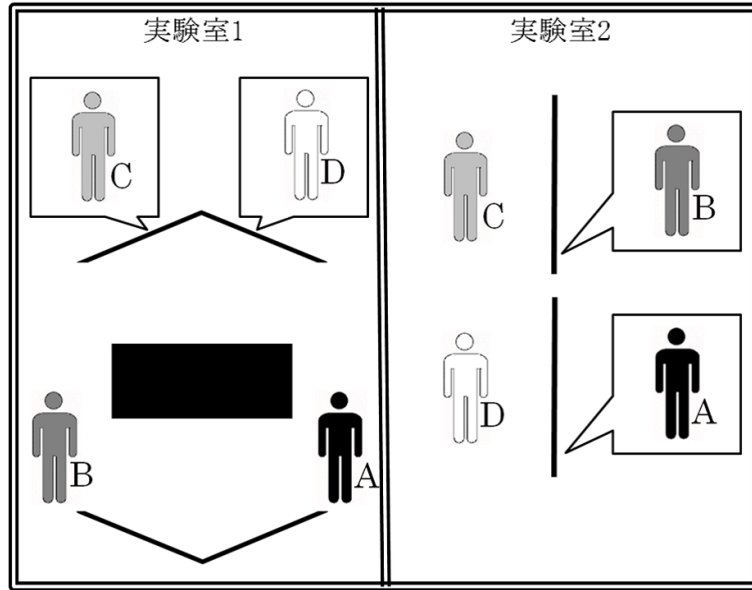


図 5.9 実験環境 3 の模式図



図 5.10 実験室 2 の様子



図 5.11 被験者 D から見た被験者 A(a)



図 5.12 被験者 D から見た被験者 A(b)

## 5.5 実験手順

被験者は資料配布と実験ガイダンスのため実験室に集められた。被験者は5分程度のデモビデオを見た。デモビデオは「What am I?」ゲームのルール通読と実際のゲーム映像から構成された。その後各被験者グループは「What am I?ゲーム」とアンケートを順に行った。全24グループはa-fの6通りの異なる順序で3つの実験環境においてゲームをした。これは、被験者のゲームへの慣れの効果が結果全体に影響しないよう、各実験環境の順序を平均化する目的であった。表5.2に順序を示す。

ゲームは実験者の合図により開始され、終了条件を満たした時点で終了となる。被験者はゲームが終了する度に、ゲームをした実験環境のアンケートに回答した。被験者は全3実験環境に関するアンケートに回答した後、全実験環境を比較するアンケートについての回答と自由記述をした。

表 5.2 実験の順序

グループ	1回目	2回目	3回目	4回目
a	実験環境 1	実験環境 2		実験環境 3
b	実験環境 2		実験環境 3	実験環境 1
c	実験環境 3	実験環境 1	実験環境 2	
d	実験環境 1	実験環境 3	実験環境 2	
e	実験環境 2		実験環境 1	実験環境 3
f		実験環境 3	実験環境 2	実験環境 1

\* は休憩

## 5.6 評価項目

仮説検証のため，定性評価と定量評価をした．

### 5.6.1 定性評価

実験終了後に定性評価として，被験者はアンケートに回答した．被験者の t-Room への主観的な感じ方や定量評価結果の補完または検証するために抽出データを集計する目的であった．以下に示す評価観点 E1～E6 によるアンケート項目が 13 項目あり，自由記述欄もあった．アンケート項目を表 5.3 に示す．

E1) t-Room への意識調査：t-Room にどれだけ違和感もしくは同室感を感じているか．(Q1～3)

E2) 視線の影響：どれだけ視線を感じたか．(Q4，5)

E3) 会話の方向：どの位置，方向の人間と話し易いか．(Q6)

E4) 実験環境の比較：どの実験環境が話し易いか．(Q7～11)

E5) データの信頼性：実験に集中して取り組めたか．実験は難しくなかったか．(Q12，13)

### 5.6.2 定量評価

定性データの結果を裏付ける定量評価としては，ゲーム終了までの所要時間を計測した．

表 5.3 アンケート項目

評価観点	アンケート項目
E1) Q1	(実験環境 1or2or3) ではお互いに話しやすい距離にいると感じることができましたか。
Q2	(実験環境 1or2or3) では実験中ストレスまたはわずらわしさを感じましたか。
Q3	(実験環境 2or3) では同じ部屋の人と比べて、離れた部屋の人とはどれくらい離れているように感じましたか。
E2) Q4	(実験環境 1or2or3) では同じ部屋の人の視線を感じましたか。
Q5	(実験環境 2or3) では離れた部屋の人(モニターに映っている人)の視線を感じましたか。
E3) Q6	(実験環境 1or2or3) の場合で自分の位置に を、一番話しやすかった人に を、一番話しにくかった人に x を右の図に記入してください。
E4) Q7	実験環境 1 から実験環境 3 の中で、他の人と最も話しやすかったのはどれですか。
Q8	実験環境 1 から実験環境 3 の中で、他の人と最も話しにくかったのはどれですか。
Q9	実験環境 1 と実験環境 2 を比べて、話すことの難しさについて次からお選びください。なお、比べる際には、話す相手が同室にいるか、離れた部屋にいるかにかかわらず、実験環境 1 あるいは実験環境 2 それぞれの条件における平均的な話しやすさ(あるいは話しにくさ)についてお答えください。
Q10	実験環境 1 と実験環境 3 を比べて、話すことの難しさについて次からお選びください。なお、比べる際には、話す相手が同室にいるか、離れた部屋にいるかにかかわらず、実験環境 1 あるいは実験環境 3 それぞれの条件における平均的な話しやすさ(あるいは話しにくさ)についてお答えください。
Q11	実験環境 2 と実験環境 3 を比べて、話すことの難しさについて次からお選びください。なお、比べる際には、話す相手が同室にいるか、離れた部屋にいるかにかかわらず、実験環境 2 あるいは実験環境 3 それぞれの条件における平均的な話しやすさ(あるいは話しにくさ)についてお答えください。
E5) Q12	(実験環境 1or2or3) ではゲームに積極的に取り組みましたか。
Q13	(実験環境 1or2or3) のむずかしさ(解答語の難易度でなくゲームの進行のしやすさ)の程度をご記入ください。



## 第6章 実験結果・考察

本章では、評価実験の結果について報告してから、実験結果をそれぞれ分析する。そして、分析データより遠隔協働環境について考察する。

### 6.1 実験結果

評価実験より得られた定性データと定量データを示す。

#### 6.1.1 定性データ

誤記入や記入漏れにより有効回答数は全体の 98.7 %であった。

アンケート項目 Q1～5，12，13 の回答群 A1～A5 に対して順に 5,4,3,2,1 点の重み付けをし、平均値と標準偏差を定量化した。重み付けは協調作業やコミュニケーションが円滑であることを示す回答ほど、高い評点となるようにした。評価観点別に表 6.1～表 6.6 にアンケート結果を示す。

表 6.1 t-Room への意識調査に関するアンケート結果

	実験環境 1		実験環境 2		実験環境 3	
	平均値	[ ]	平均値	[ ]	平均値	[ ]
Q1	4.8	[33.9]	3.4	[10.7]	3	[11.9]
Q2	4.4	[22.1]	3.1	[10.6]	2.6	[9.8]
Q3			2.2	[14.5]	2.0	[15.0]

\*Q1：(実験環境 1or2or3) ではお互いに話しやすい距離にいると感じることができましたか。

\*Q2：(実験環境 1or2or3) では実験中ストレスまたはわずらわしさを感じましたか。

\*Q3：(実験環境 2or3) では同じ部屋の人と比べて、離れた部屋の人とはどれくらい離れているように感じましたか。

表 6.2 視線の影響に関するアンケート結果

	実験環境 1		実験環境 2		実験環境 3	
	平均値	[ ]	平均値	[ ]	平均値	[ ]
Q4	4.6	[27.6]	4.0	[15.8]	3.8	[12.7]
Q5			2.9	[10.2]	2.3	[13.3]

\*Q4：(実験環境 1or2or3) では同じ部屋の人の視線を感じましたか。

\*Q5：(実験環境 2or3) では離れた部屋の人(モニターに映っている人)の視線を感じましたか。

表 6.3 会話の方向に関するアンケート結果

		実験環境 1(%)		実験環境 2(%)		実験環境 3(%)	
		隣	対角	同室	ディスプレイ	同室	ディスプレイ
Q6		36.2	63.8	59.8	40.2	67.0	33.0
	×	84.0	16.0	15.7	84.2	13.1	89.0

\*Q6：(実験環境 1or2or3) の場合で自分の位置に を，一番話しやすかった人に を，一番話しにくかった人に ×を右の図に記入してください。

表 6.4 実験環境の比較に関するアンケート結果

	A1(%)	A2(%)	A3(%)
	: 実験環境 1	: 実験環境 2	: 実験環境 3
Q7	95.7	4.3	0
Q8	0	20.2	79.8

\*Q7：実験環境 1 から実験環境 3 の中で，他の人と最も話しやすかったのはどれですか。

\*Q8：実験環境 1 から実験環境 3 の中で，他の人と最も話しにくかったのはどれですか。

表 6.5 実験環境の比較に関するアンケート結果

	A1(%)	A2(%)	A3(%)	A4(%)	A5(%)
Q9	35.1	54.3	10	1.1	0
Q10	69.1	29.8	1.1	0	0
Q11	30.9	37.2	5.3	23.4	3.2

\*Q9：実験環境 1 と実験環境 2 を比べて，話すことの難しさについて次からお選びください．なお，比べる際には，話す相手が同室にいるか，離れた部屋にいるかにかかわらず，実験環境 1 あるいは実験環境 2 それぞれの条件における平均的な話しやすさ（あるいは話しにくさ）についてお答えください．

\*Q10：実験環境 1 と実験環境 3 を比べて，...(以下，同上)．

\*Q11：実験環境 2 と実験環境 3 を比べて，...(以下，同上)．

表 6.6 データの信頼性に関するアンケート結果

	実験環境 1		実験環境 2		実験環境 3	
	平均値	[ ]	平均値	[ ]	平均値	[ ]
Q12	4.8	[32.1]	4.5	[21.2]	4.3	[19.4]
Q13	4.8	[30.9]	3.1	[10.0]	2.1	[15.9]

\*Q12：(実験環境 1or2or3) ではゲームに積極的に取り組みましたか．

\*Q13：(実験環境 1or2or3) のむずかしさ (解答語の難易度でなくゲームの進行のしやすさ) の程度をご記入ください．

## 6.1.2 定量評価

実験環境別ゲームの所要時間の統計量を表 6.7 に示す。また実験環境別，順序別の平均時間を表 6.8 に示し，グラフ化したものを図 6.1 に示す。

表 6.7 実験環境別所要時間の統計量

実験環境	平均(秒)	標準分散	最小値(秒)	最大値(秒)
実験環境 1	254.1	209	45	900 以上
実験環境 2	404.2	252.9	77	900 以上
実験環境 3	400.8	248.4	110	900 以上

表 6.8 実験環境・順序別の平均時間

	実験環境 1		実験環境 2		実験環境 3		平均	
	平均値(秒)	[ ]	平均値(秒)	[ ]	平均値(秒)	[ ]		
1 回目	329.6	[265.6]	519.1	[281.7]	459.8	[197.1]	436.2	[263.0]
2 回目	234.0	[167.5]	404.7	[264.8]	365.5	[238.7]	334.7	[238.9]
3 回目	198.8	[152.6]	289.0	[126.3]	377.1	[289.7]	288.3	[215.3]
平均	254.1	[209.0]	404.2	[252.9]	400.8	[248.4]		

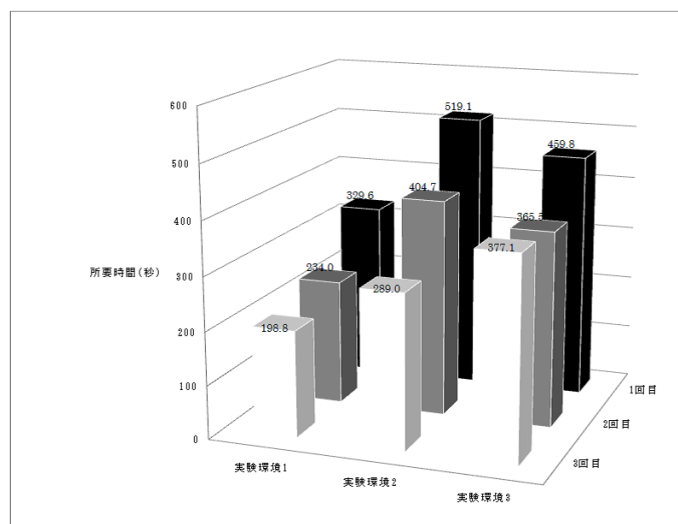


図 6.1 実験環境・順序別の平均時間

## 6.2 定性評価

先の定性データについて、差を吟味するための分析を行った。

### 6.2.1 手法

定性データにより異なる解析手法を用いた。以下に用いた手法を示す。

#### (1) 系列範疇法

系列範疇法とは、段階的な評価の厳密な尺度値を求める手法である<sup>9)</sup>。5段階評価の場合、段階ごとに0~5もしくは-2~+2まで1ステップずつ変化する値を割り当て評価の尺度値とすると、任意に設定した評価に対して評価の全範囲で相互の距離にバラつきが生じ、順序尺度となり厳密には距離尺度をでない。これは、順序尺度のデータにおいて数値間の差の大きさを問題にすることができず、例えば10と9の間の差1と2と1の間の差1が、心理的に等価であるとみなせないことに起因する。そこで、サーストンの比較判断の法則に基づき人間の判断の分布は正規分布するという仮定し、距離尺度を求める。評価段階の距離を調節することで分布を正規型にする。すなわち、比較判断結果の割合を正規分布の割合として、 $z$ 得点を求めて尺度値とする。比率を推定するため多くの回答が必要となる。

また、得られた統計量の有意差の検定は、母集団が正規分布に従うと仮定しているため $t$ 検定を用いた。

#### (2) シェッフェの対比較法

対比較法は評価する比較対象を2つずつの組み合わせにして、被験者に総当りで優劣を比較させ、被験者に総当りで優劣を比較させる<sup>10)</sup>。比較判断によりわずかな評価の違いも明らかにすることが可能である。

本研究では、どちらがどの程度優秀であるか間隔量を持って順序付け、定量的に明かにするシェッフェの対比較法を用いた。また、評価対象者1人がすべての組み合わせを比較し、各条件を体験する順番がランダムであったので「中屋の変法」を用いた<sup>12)</sup>。

#### (3) 符号検定

符号検定とは、比較対象の差の符号(+と-)に注目し、この+と-の数には有意に差があるかどうかを調べる検定である<sup>11)</sup>。評価項目に対して2つの比較対象を比べ、有意に差があるか調べる。

本研究では、1つのアンケート項目に関して3つの実験環境で比較しているものがある。比較している実験環境がアンケート項目に関して差異があるか調べるため符号検定を用いた。

## 6.2.2 t-Room への意識調査

### (1) Q1<sup>1</sup>

系列範疇法を用い3つの実験環境を比較した。得られたz得点の比較図6.2に示す。これより以下の点を確認できる。

- ・被験者は実験環境1の方が実験環境2よりもお互いに話しやすい距離にいると感じる ( $p < .01$ )
- ・被験者は実験環境1の方が実験環境3よりもお互いに話しやすい距離にいると感じる ( $p < .01$ )
- ・被験者は実験環境2の方が実験環境3よりもお互いに話しやすい距離にいると感じる ( $p < .05$ )

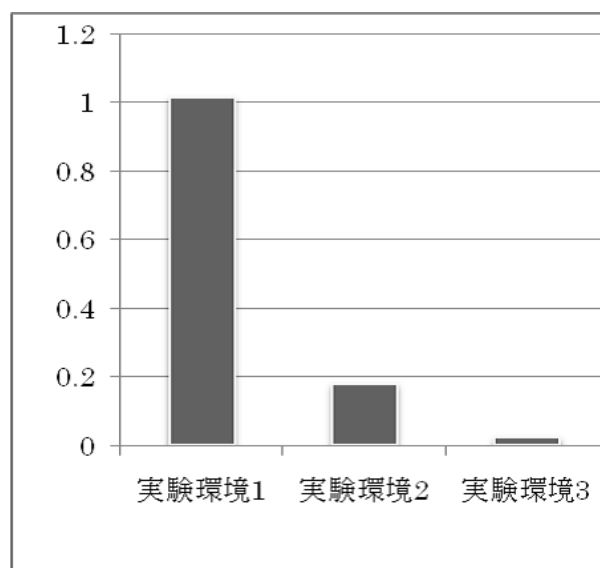


図 6.2 z 得点の比較

### (2) Q2<sup>2</sup>

系列範疇法を用い3つの実験環境を比較した。得られたz得点の比較図6.3に示す。これより以下の点を確認できる。

- ・被験者は実験環境1の方が実験環境2よりも実験中にストレスまたはわずらわしさを感じない ( $p < .01$ )
- ・被験者は実験環境1の方が実験環境3よりも実験中にストレスまたはわずらわしさを感じない ( $p < .01$ )
- ・被験者は実験環境2の方が実験環境3よりも実験中にストレスまたはわずらわしさを感じない ( $p < .05$ )

<sup>1</sup>(実験環境 1or2or3) ではお互いに話しやすい距離にいることができましたか。

<sup>2</sup>(実験環境 1or2or3) では実験中ストレスまたはわずらわしさを感じましたか。

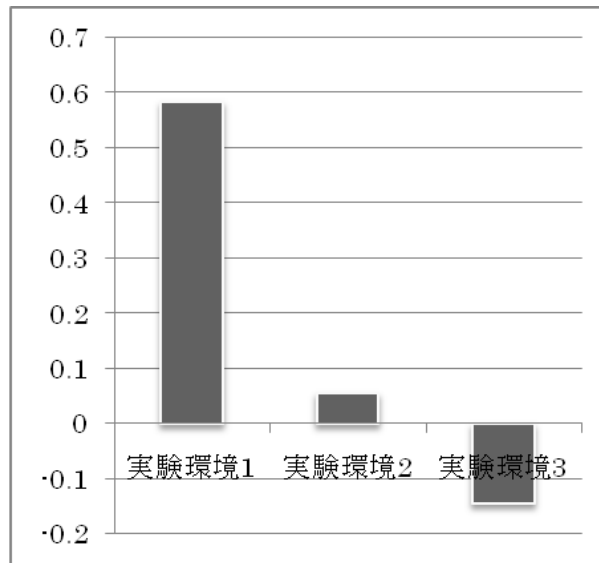


図 6.3 z 得点の比較

(3) Q3<sup>3</sup>

系列範疇法を用い 3 つの実験環境を比較した。得られた z 得点の比較図 6.4 に示す。これより以下の点を確認できる。

- ・被験者は実験環境 2 の方が実験環境 3 よりも離れた部屋の人と近いと感じる ( $p < .05$ )

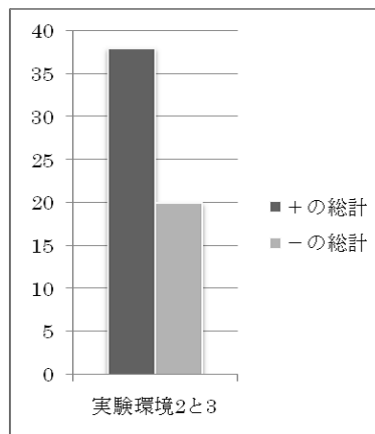


図 6.4 z 得点の比較

<sup>3</sup>(実験環境 2or3) では同じ部屋の人と比べて、離れた部屋の人とはどれくらい離れているように感じましたか。

### 6.2.3 視線の影響

#### (1) Q4<sup>4</sup>

系列範疇法を用い3つの実験環境を比較した。得られたz得点の比較図6.5に示す。これより以下の点を確認できる。

・実験環境2と実験環境3において「同じ部屋の人の視線を感じましたか」というアンケートに対する被験者の回答の差は無い。

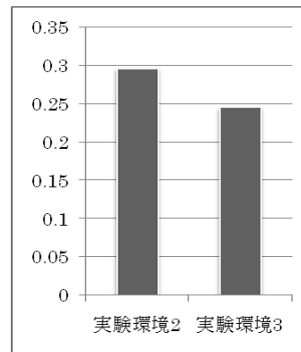


図 6.5 z 得点の比較

#### (2) Q5<sup>5</sup>

系列範疇法を用い3つの実験環境を比較した。得られたz得点の比較図6.6に示す。これより以下の点を確認できる。

・被験者は実験環境2の方が実験環境3よりも同じ部屋の人(ディスプレイに映っているひと)の視線を感じている ( $p < .01$ )。

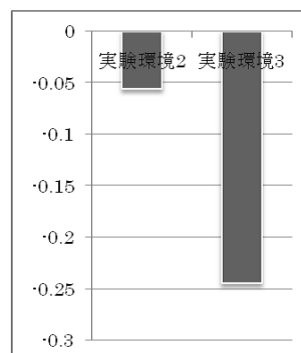


図 6.6 z 得点の比較

<sup>4</sup>(実験環境 1or2or3) では同じ部屋の人の視線を感じましたか。

<sup>5</sup>(実験環境 2or3) では離れた部屋の人(モニターに映っている人)の視線を感じましたか。



## 6.2.4 会話の方向

### (1) Q6<sup>6</sup>

結果を円グラフにし、3つの実験環境を可視化した。これを図6.7～6.12に示す。これより以下の点が確認できた。

- ・実験環境1において被験者は、隣の位置にいる相手と話しやすく、対角の位置にいる相手と話しにくい。
- ・実験環境2において被験者は、同室にいる相手とやや話しやすく、ディスプレイに映る相手と話しにくい。
- ・実験環境3において被験者は、同室にいる相手とやや話しやすく、ディスプレイに映る相手と話しにくい。

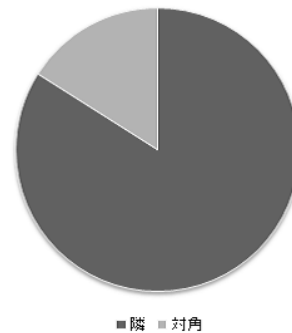
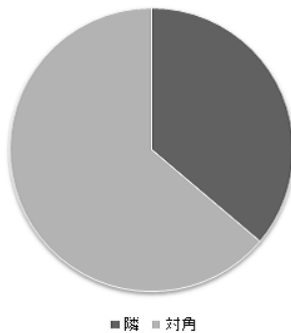


図 6.7 実験環境1における話しやすかった相手の位置 図 6.8 実験環境1における話しにくかった相手の位置

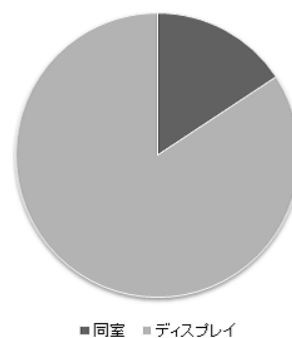
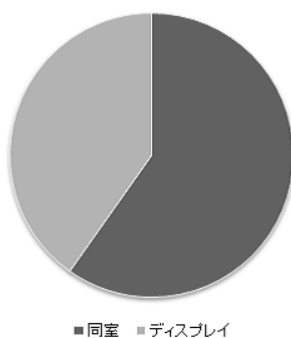


図 6.9 実験環境2における話しやすかった相手の位置 図 6.10 実験環境2における話しにくかった相手の位置

<sup>6</sup>(実験環境 1or2or3) の場合で自分の位置に を、一番話しやすかった人に を、一番話しにくかった人に x を右の図に記入してください。

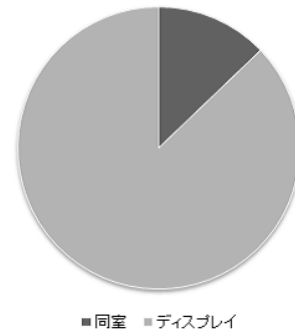
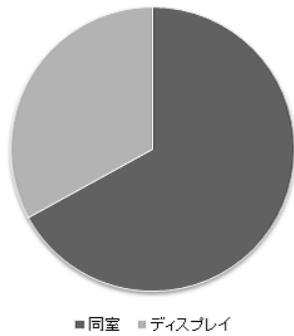


図 6.11 実験環境3における話しやすかった相手の位置 図 6.12 実験環境3における話しにくかった相手の位置

## 6.2.5 実験環境の比較

(1) Q7<sup>7</sup>, Q8<sup>8</sup>

結果を円グラフにし、3つの実験環境を可視化した。これを図 6.13、6.14 に示す。これより以下の点が確認できた。

- ・実験環境1において、被験者は他の人と最も話しやすい。
- ・実験環境3において、被験者は他の人と最も話しにくい。

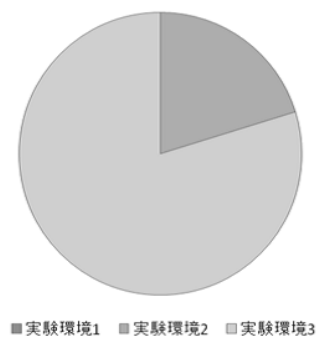
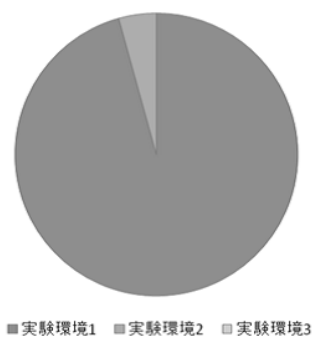


図 6.13 他の人と最も話しやすかった実験環境

図 6.14 他の人と最も話しにくかった実験環境

<sup>7</sup>実験環境1から実験環境3の中で、他の人と最も話しやすかったのはどれですか。

<sup>8</sup>実験環境1から実験環境3の中で、他の人と最も話しにくかったのはどれですか。

(2) Q9<sup>9</sup>, Q10<sup>10</sup>, Q11<sup>11</sup>

シェッフェの対比較法を用い、3つの実験環境を比較した。比較対象は実験環境1, 2, 3であり、この中から2つずつ取り出す組み合わせは、 $3C2 = 3$ 通りである。実験環境1を $A_1$ 、実験環境2を $A_2$ 、実験環境3を $A_3$ とすると、 $A_1A_2, A_1A_3, A_2A_3$ の3組となる。被験者はそれぞれ、Q9で $A_1A_2$ 、Q10で $A_1A_3$ 、Q11で $A_2A_3$ を評価した。評価は段階評価(得点)であり、例えばQ9で $A_1$ と $A_2$ を比較した場合の回答に対して、表6.9に示す5段階評点を与える。

本研究では、最終的な結果として実験が複雑でない方が、対比較法の結果として良い評価となるようにした。

表 6.9 設定した5段階評価

実験環境 2( $A_2$ ) ほうが複雑	+ 2
少し条実験環境 2( $A_2$ ) のほうが複雑	+ 1
どちらともいえない	0
少し実験環境 1( $A_1$ ) のほうが複雑	- 1
実験環境 1( $A_1$ ) のほうが複雑	- 2

ここで、ある被験者が表6.10に示す評価をした場合、これを表6.11のように置き換える。

表 6.11 評価値を置き換えた表

表 6.10 評価値の例

組合せ	評価
$A_1A_2$	-2
$A_1A_3$	-1
$A_2A_3$	0

$i \backslash j$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$x_{i \cdot 1}$	$x_{i \cdot 1}^2$
$A_1$		-2	-1	-3	9
$A_2$	2		0	2	4
$A_3$	1	0		1	1
$x_{j \cdot 1}$	3	-2	-1	0	14

\* $x_{i \cdot 1}$  : 横合計,  $x_{j \cdot 1}$  : 縦合計

\*対角線左下半分は、右上半分に対応する値の逆符号の値。

<sup>9</sup>実験環境1と実験環境2を比べて、話 $A_3$ すことの難しさについて次からお選びください。なお、比べる際には、話す相手が同室にいるか、離れた部屋にいるかにかかわらず、実験環境1あるいは実験環境2それぞれの条件における平均的な話しやすさ(あるいは話しにくさ)についてお答えください。

<sup>10</sup>実験環境1と実験環境3を比べて、...(以下、同上)。

<sup>11</sup>実験環境1と実験環境3を比べて、...(以下、同上)。

これらの作業を対象人数分に行い，その合計をまとめ表 6.12，表 6.13 に示す．以上の結果より主効果についての分析を行った．

表 6.12 主効果の平均値

$i$	$x_{i..}$	$\bar{x}_i = x_{i..}/tN$
$A_1$	274	0.972
$A_2$	-45	-0.160
$A_3$	-229	-0.812

\* $t$  : 実験環境数

\* $N$  : 被験者数

\*  $\bar{x}_i$  : 主効果の平均値

表 6.13 被験者の評価値の合計

$i \backslash j$	$j$			$x_{i..}$	$x_{i..}^2$
	$A_1$	$A_2$	$A_3$		
$A_1$	×	116	158	274	75076
$A_2$	-116	×	71	-45	2025
$A_3$	-158	-71	×	-229	52441
$x_{j..}$	-274	45	229	0	129542

表 6.12 から得られた値より以下の手法で比較を行った．

(a) 一次元上比較

主効果の平均値  $\bar{x}_i$  を一次元のスケール上にプロットし，評価の高い条件はどれであるかを調べる．一次元上比較を図 6.15 に示す．

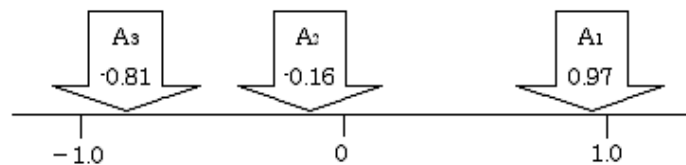


図 6.15 一次元上比較

(b) 一巡三角形

表 6.13 の値をもとに各要素間の関係をベクトルで示す．2 要素の比較で良い方がベクトルの先となる．値の大きさによってベクトルの大きさを変えることで全要素間の評価の差を表すことができる一巡三角形を図 6.16 に示す．

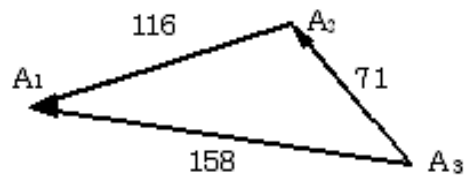


図 6.16 一巡三角形

(c) 分散比の算出

主効果すなわち実験環境間の評価差と ( $F > F(0.01) = 4.881$ ) , 主効果×個人すなわち被験者間の評価差が認められた ( $F ( ) > F(0.01) = 1.630$ ) . また組合せによる評価差があると認められた ( $F > F(0.05) = 3.960$ ) .

以上 (a) , (b) , (c) より , 話すことが複雑な順に実験環境 3,2,1 といえ , 実験環境間に有意な差があることが認められた .

## 6.2.6 データの信頼性

(1) Q12<sup>12</sup>

符号検定を用い 2 つの実験環境を比較した . 得られた符号の総計を図 6.17 に示す . 得られた値より , 以下のことがいえる .

- ・ 実験環境 1 の方が実験環境 2 よりもゲームに積極的に取り組んでいる ( $p < .01$ ) .
- ・ 実験環境 1 の方が実験環境 3 よりもゲームに積極的に取り組んでいる ( $p < .01$ ) .
- ・ 実験環境 2 と実験環境 3 において「ゲームに積極的に取り組めたか」というアンケートに対する回答の差は無い .

(2) Q13<sup>13</sup>

符号検定を用い 2 つの実験環境を比較した . 得られた符号の総計を図 6.18 に示す . 得られた値より , 以下のことがいえる .

- ・ 実験環境 1 の方が実験環境 2 よりもゲームが簡単に進行できると感じている ( $p < .01$ ) .
- ・ 実験環境 1 の方が実験環境 3 よりもゲームが簡単に進行できると感じている ( $p < .01$ ) .
- ・ 実験環境 2 の方が実験環境 3 よりもゲームが簡単に進行できると感じている ( $p < .01$ ) .

<sup>12</sup>(実験環境 1or2or3) ではゲームに積極的に取り組みましたか .

<sup>13</sup>(実験環境 1or2or3) のむずかしさ (解答語の難易度でなくゲームの進行のしやすさ) の程度をご記入ください .

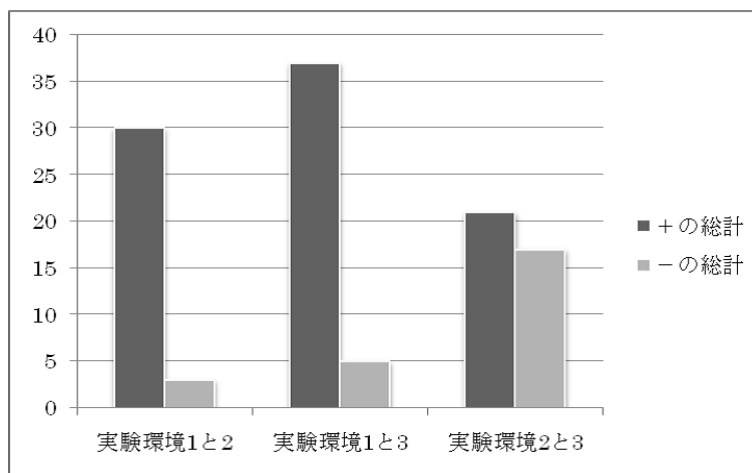


図 6.17 Q12 の符号の総計

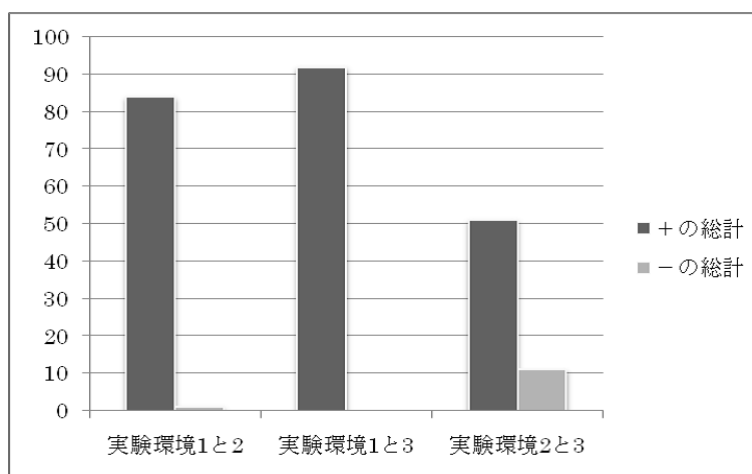


図 6.18 Q13 の符号の総計

## 6.3 定量評価

### 6.3.1 手法

先の定量データの結果について、順序と各環境間における有意差が認められるかマン・ホイットニーの検定 (Mann-Whitney test) を用いて調べた。

マン・ホイットニーの検定は、対応がない2つの条件の中央値を比較する際に用いられるノンパラメトリック検定である<sup>13)</sup>。ノンパラメトリック検定はパラメトリック検定と比較して前提条件がなく、1) 外れ値が存在する、2) ~以上または~以下といった正確な値の得られていないデータがあるため算術平均を求めることができない、3) 標本の大きさが小さく、分布の正規性が保障されない、などの場合でも適用が可能である。

パラメトリック検定は母集団について前提条件があるが、観測値の大小の程度まで考慮して解析できる方法で有意差もでやすい方法である。ノンパラメトリック検定は測定した数量データを順位データに置き換えて統計量を算出するため<sup>14)</sup>、前提条件はないがパラメトリック検定より優位差のにくい方法である。

本研究結果の比較では、1) 被験者にとって未知の単語である場合、極端に所要時間が長引き外れ値が発生した。2) 900秒以上という正確な値の得られていないデータがある。3) 分布の正規性が保障されない、という理由よりマン・ホイットニーの検定を適用した。

マン・ホイットニーの検定では、2つの条件(それぞれA,Bとする)の間のすべての測定値の対 ( $a_i$  VS  $b_j$  :  $i = 1, n_a, j = 1, n_b$ ;  $n_a, n_b$  はそれぞれの条件のサンプル数) に関して大小比較をし、一方の条件の各測定値が他方の条件の各測定値よりも大きい対の総数という統計量Uを用いて「両条件の母集団の中央値は等しい」という帰無仮説について検定する。データから算出されたUの値が設定した有意水準以下でしか生起しないような値である場合に帰無仮説が棄却され、両条件に有意差があると判断できる。サンプル数により以下のように場合分けし有意差の有無を判断する。

- サンプル数が小さい場合 ( $n_a < 15$  かつ  $n_b < 15$ )

検定統計量Uと統計数値表より棄却臨界値を求め、帰無仮説の採否を決める。

- ・  $U >$  棄却限界値のとき、帰無仮説を採択する。「両条件の母集団に差があるとはいえない」。
- ・  $U <$  棄却限界値のとき、帰無仮説を棄却する。「両条件の母集団に差がある」。

- サンプル数が大きい場合 ( $n_a > 15$  または  $n_b > 15$ )

検定統計量Uの平均値 ( $\mu_U$ ) および標準偏差は ( $\sigma_U$ ) は、それぞれ式6.1, 式6.2のように表される。

$$\mu_U = \frac{n_a n_b}{2} \quad (6.1)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_a n_b (n_a + n_b + 1)}{12}} \quad (6.2)$$

サンプル数が大きくなるとUの標本分布は近似的に正規分布に従うので、 $n_a > 15$  または  $n_b > 15$  の場合には、次の式6.3より標準得点zを用いて検定する。

$$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} = \frac{U - \frac{n_{ANB}}{2}}{\sqrt{\frac{n_{ANB}(n_A+n_b+1)}{12}}} \quad (6.3)$$

また，式 6.3 に連続のための修正を施すと，次の式 6.4 になる．

$$z = \frac{|U - \mu_U| - 0.5}{\sigma_U} = \frac{|U - \frac{n_{ANB}}{2}| - 0.5}{\sqrt{\frac{n_{ANB}(n_A+n_b+1)}{12}}} \quad (6.4)$$

同順位の測定値 (結び) がある場合には，結びに対する修正を施した次の 6.5 式により検定する．

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_A n_B}{N(N-1)} \left( \frac{N^3 - N - \sum_i^q (t_i^3 - t_i)}{12} \right)} \quad (6.5)$$

ただし， $N$ ：2つの条件を合わせたデータ数 ( $na + nb$ )

$T$ ：ある順位に対して同点になっている測定値の数 (結びの大きさ)

$q$ ：結びのある測定値の種類の数

標準得点  $z$  と正規分布表参照より棄却臨界値を求め，帰無仮説の採否を決める．

- ・  $P > \alpha$  のとき，帰無仮説を採択する。「両条件の母集団に差があるとはいえない」。
- ・  $P \leq \alpha$  のとき，帰無仮説を棄却する。「両条件の母集団に差がある」。



### 6.3.2 平均所要時間

先の定量データの結果について、マン・ホイットニーの検定にて各環境間に有意差が認められるか調べた。検定結果を表 6.14 に示す。得られた値より、以下のことがいえる。

- ・実験環境 1の方が実験環境 2よりもゲーム所要時間が短い( $p < .05$ )。
- ・実験環境 1の方が実験環境 3よりもゲーム所要時間が短い( $p < .05$ )。
- ・実験環境 2と実験環境 3においてゲーム所要時間の差は無い。

表 6.14 定量データの各環境間の代表値の差の検定結果

条件 A[na]	条件 B[nb]	統計量 U	標準得点 z	有意確率 p
実験環境 1[24]	実験環境 2[24]	176	2.29	<b>0.0214</b>
実験環境 1[24]	実験環境 3[24]	166	2.49	<b>0.0125</b>
実験環境 2[24]	実験環境 3[24]	283	0.0824	0.934

## 6.4 考察

### 6.4.1 信頼性について

節 6.2.6 に示した分析結果より，実験環境 1 と実験環境 2 もしくは実験環境 1 と実験環境 3 を比較すると，実験環境 1 の方が有意に積極的にゲームに取り組めたという結果がでている．また，表 6.6 に示したゲームの進行のしやすさを問う Q13 では，実験環境 2 において「どちらともいえない」を意味する 3.0，実験環境 3 では「少し難しい」を意味する 2.0 に近い評価である．

表 6.6 に示したデータの信頼性に関して，積極的に取り組めたかどうか問う Q12 に対する回答は，全ての実験環境において「やや取り組めた」を意味する 4.0 を上回っていることや，自由記述に「ゲームは素直に楽しいと感じた」など前向きにゲームに取り組む積極的な意見が多かった．

以上のことから，被験者のゲームに対する積極性は高いが，ゲームや実験環境が被験者にとって取り組みにくかった可能性が考慮できる．

### 6.4.2 被験者の主観的な感じ方について

表 6.1 に示した t-Room への意識調査より，t-Room 環境における協働作業では，ユーザ同士の距離感，ストレスの程度を問う Q1，Q2 に対する回答は「どちらともいえない」を意味する 3.0 は上回っており悪印象ではないが，同室内における協働作業程の高評価は得られていない．また，節 6.2.2 に示した分析結果より，話しやすい距離とストレスについて実験環境 1 の評価が最も高く，以下，実験環境 2，実験環境 3 と続いている．表 6.5 に示した実験環境の比較では，最も話しやすかったのは実験環境 1 であり，最も話しにくかったのは実験環境 3 であるという被験者の意見がはっきりと表れている．実験環境 2 が最も話しやすかったという回答が全体の 4.3 % を占める結果となったが，これは t-Room というメディアを通すことで対人圧力が軽減され，ユーザ間に適度な距離感が生まれたことが，互いに初対面の被験者にとってはコミュニケーションしやすかったからではないかと考えられる．以上のことから，距離感，ストレスの程度，話しやすさに関する被験者の評価は一様に実験環境 1 の評価が最も高く，以下，実験環境 2，実験環境 3 という結果になっており，協働環境における距離感やストレスと話しやすさは密な関連していると考えられる．

節 6.2.5 に示したシェッフェの一对比較法で得られた，一次元上比較と一巡三角形は実験環境における話しやすさの差を数値的な間隔量で表す．図 6.15 より，実験環境 1 がプラスの評価を独占し，マイナスの評価を実験環境 2 と実験環境 3 で分け合う結果となっている．しかし，実験環境 2 は実験環境 3 よりもマイナスの評価が小さい．これより，t-Room はビデオ会議システムよりも遠隔地にいるユーザ間の距離感を縮め，ユーザにかかるストレスや煩わしさを軽減することで，face-to-face で協働作業をする際にユーザが感じる距離感，ストレスの程度に近付いたといえる．しかし，face-to-face の協働作業の際にユーザが感じる，距離感やストレスの程度に達しておらず，t-Room では多くの同室感をもたらす要素を欠落させていると考えられる．

### 6.4.3 視線や方向感覚について

節 6.2 に示した離れた部屋の人の視線を感じたか問う Q5 に対する回答より、視線の影響に関してビデオ会議システムより、t-Room の方が遠隔地ユーザの視線を感じることができるものの、「どちらともいえない」という評価にとどまっていることが分かる。また、節 6.3 に示した会話の方向に関して、t-Room はビデオ会議システムとほぼ同じ結果となり、ユーザにとって話しやすいのは face-to-face のユーザであり、遠隔地のユーザとは話しにくいという結果がでている。これは、t-Room 環境において、遠隔地ユーザがどのユーザを見ているか識別はできるものの、厳密には視線がずれていたことに起因すると考えられる。t-Room においてユーザはディスプレイ(もしくはプロジェクタ投影面)よりも上方のカメラから撮影されるため、遠隔地ユーザにはうつむいている映像が送信される。つまり、t-Room で表示される遠隔地ユーザの視線を座標に置き換えたとすると、視線の x 座標は実際の視線とほぼ一致するが、y 座標は実際の視線よりもマイナス方向を向いているといえる。また、ディスプレイ(プロジェクタ投影面)に映し出される遠隔地ユーザが「映像」であり「実像」でないというユーザの先入観が、視線を感じさせないとも考えられるし、日常生活においてディスプレイやプロジェクタはテレビ番組や映画を觀賞するために利用する経験が多いことから、「視線を感じるものでない」という偏見があるとも考えられる。

### 6.4.4 各協働環境の作業効率について

節 6.3.2 の分析結果より、face-to-face の協調作業効率が一番良いことを示す定量的なデータ結果が得られたことが分かる。しかし、t-Room とビデオ会議システムにおける作業効率の差を示す定量的なデータ結果は得られていない。表 6.8 から、t-Room とビデオ会議システムにおけるゲームの平均所要時間にほとんど差がなかったことが分かる。

表 6.7 より、t-Room における作業の最短所要時間が 77 秒であるのに対し、ビデオ会議システムでは 110 秒と長くかかっている。ビデオ会議システムでは約 30 秒長いですが、この差は協働環境における協調作業効率の差によるのではないかと考える。実験中の被験者の発話内容より、実験環境 3 では「視線が分からない」「(手による指示をして)これで分かりますか?」「指しても分からないのですね」「どっちを指しているの?」など、ゲーム最中に被験者が視線や指示の方向に関して理解しにくい状況が多かった。「What am I?ゲーム」の特性上、ヒントをくれる相手の視線とジェスチャーの方向を理解することが必要であったが、実験環境 3 では Physical co-presence があえて崩されているがゆえに、誰に向けられたヒントなのかを理解に要するのに長い時間を要したと考えられる。

図 6.1 より、実験環境と実験の順序も考慮したゲームの所要時間を検討する。ここで、分散値が小さいことから実験環境やゲームに不慣れであることによる影響が一番少ないと考え、3 回目の結果に注目する。実験環境 1, 2, 3 の順にゲーム所要時間が短くなっており、視線を合わせやすい実験環境における協調作業ほど、作業効率が良いことが分かる。

表 6.8 より、1 回目、2 回目、3 回目と実験経験が重なっていくにつれて、ゲーム所要時間が短縮されているため、順序効果が結果に与える影響は大きく、得られた定量データは順序に起因する誤差を多く含んでいる可能性があると考えられる。先の定性評価からも実験環境 2 の方が実験環境 3 よりも

作業効率が良いと予測できる結果が得られていることから、3回目の結果だけに焦点を当てることは妥当だろうと考えられる。

### 6.4.5 実験条件の検討

#### (1) 学習効果について

節 5.5 に示すよう、被験者が「What am I?ゲーム」や実験環境に対する学習による効果が結果に影響しないよう、実験の順序を制御し、全体の結果として順序効果が平均化されるようにした。しかし、被験者の「What am I?ゲーム」や t-Room に対する馴染みが無いことや、グループのメンバが互いに初対面である割合が高かったことから、実験の順序による実験の学習量の違いは、結果に大きく影響したと考えられる。

節 6.4.4 で述べたように、被験者の実験経験が増す程作業効率が向上している。被験者の「What am I?ゲーム」や実験環境、グループのメンバについての学習量の増加が作業効率の向上に影響したと考えられる。これを探るために、図 6.19 に積極性について問う Q12 の順序ごとの評点、図 6.20 にゲームの進行しやすさについて問う Q13 の評点を順序別に示す。これより、実験環境2における被験者の積極性とゲームの進行のしやすさへの評価が、実験の回を増すごとに高くなっていることが分かる。これより、「What am I?ゲーム」や実験環境に対する学習量が少ないため、1回目と2回目では被験者が滞りなく実験に取り組めず誤差が生じたが、節 6.4.4 で述べたように3回目ではある程度の経験量があるため誤差が少ないと考えられる。

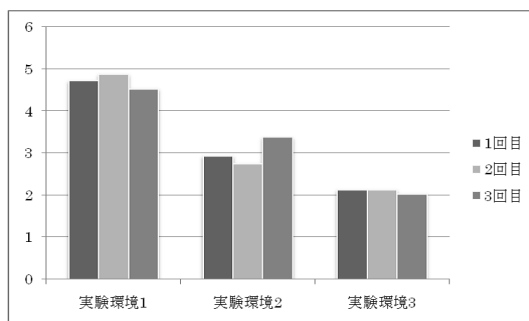


図 6.19 Q12 の順序ごとの評点

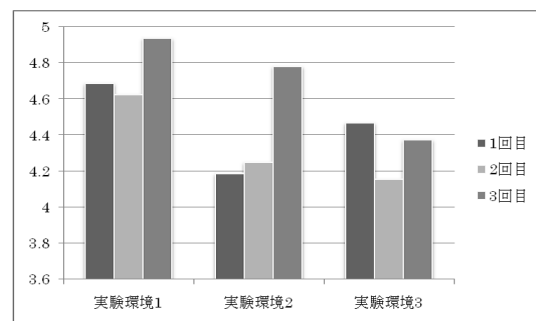


図 6.20 Q13 の順序ごとの評点

#### (2) 「What am I?ゲーム」について

本実験では仮説を検証するための協調作業として、「What am I?ゲーム」を用いた。「What am I?ゲーム」は独自のルールを設定したゲームであったため、被験者間でゲームに対する知識の差などは無かったといえる。また、実験ごとに被験者に与える情報に差が生じないように、「What am I?ゲーム」のルールを説明するデモビデオを作成し、毎回デモビデオを用いてルール説明を行った。これにより、実験によって与える事前情報の差はなかったと考えられるが、デモビデオを1回見ただけでは「What am I?ゲーム」を理解するのは困難であったと考えられる。

また実験ごとに「What am I?ゲーム」の解答語に起因する難易度差が生じないように、解答語の難易度を単語親密度という客観的な指標を用いることで制御した。しかし、単語親密度としては同レベルの解答語であっても、被験者が自身の解答語の単語自体を知らない場合がある。この場合、グループの協調作業効率が高くても、解答語を知らないがゆえにゲームの所要時間が長引いたことがあった。これはデータの外れ値となり、結果に大きな影響を与えた。

単語親密度により客観的に解答語の難易度を制御したが、これにより「What am I?ゲーム」の解答語の難易度として完全に制御したといえない。協調作業の効率を観測する評価実験において、被験者の知識が結果に影響しない配慮が必要であるといえる。

### (3) 実験条件の制御について

本実験では視線などの視覚情報が協調作業にどのような影響を及ぼすか検証するため 1) 同室, 2) t-Room, 3) ビデオ会議システム, の3つの環境下で実験を行った。この3つの環境において特に 1) face-to-face, 2) Physical co presence の成立, 3) 対面構造, という状況の差が作業成果に及ぼす影響を検証するためであった。しかしこれ以外に、実際の実験環境ではハードウェアなどの条件の差があった。例えば、実験環境1では着席したが、実験環境2では直立したことや、実験環境2において t-RoomX1 を用いた部屋はプロジェクタ投影のため部屋が暗かったことなどが挙げられる。また、公募により被験者を召集し、顔見知りの被験者がグループ内にいることがないようグループ分けしたが、顔見知りの被験者が同グループに存在するケースもあった。これらの要因が結果に影響を及ぼした可能性がある。

今後の評価実験においては様々な条件を徹底的に制御し、条件を一定にする必要がある。

### (4) t-Room について

本実験では t-Room01 と t-RoomX1 を用いて、実験環境を構築し、視線などの視覚情報の重要性を探った。構築した実験環境2は t-Room の設計方針に従い、Physical co-presence が成立するように配慮した遠隔協働環境を構築した。しかし、t-Room が目指すのは視覚的環境全体の共有であり、本実験環境では t-Room の設計方針を充足しているとはいえない。視覚的環境全体の共有する構成として、全身を表示する多画面のディスプレイを持つ t-Room が開発されている。本実験の目的は、遠隔協働環境における協調作業における重要な視覚情報を探ることであり、これに関しては t-Room01 と t-RoomX1 を用いた実験環境で検証できた。今後、t-Room についてさらに検討するには、t-Room の設計方針を可能な限り実現した実験環境において評価が必要である。

## 6.4.6 問題点の検討

### (1) 視線

被験者の感想よりカメラに対する意識、視線、違和感、不安、実験環境3に関して表 6.15 に示す意見が得られた。これより、ユーザがコミュニケーションにおいて非常に視線を気にすることが分

かる．また t-Room 環境における視線の一致が不完全であることを指摘し，その改善を求める声が多い．視線以外にも，ユーザの意識が，ユーザを撮影するカメラに向いていることを示唆する内容も多く，カメラの存在により，ユーザは視線をどこに向けるべきかとまどう可能性があることが分かる．face-to-face では自分が相手の目にどのように映るか予測できるが，t-Room ではそれができず自己像が確認できないことがユーザに不安を与える要因となることも分かる．そして，これらの要因がユーザに違和感を感じさせているといえる．

t-Room ではカメラを表示装置の上方に固定するためユーザがディスプレイに映る遠隔地ユーザに視線を向けると，遠隔地のユーザにはユーザのうつむいた映像が送信される．これを改善するためには，ユーザがディスプレイに映る遠隔地ユーザに視線を向けている時，カメラのレンズにも視線を向けている必要がある．物理的な対処法としてはカメラのレンズを表示デバイスの中心に設置することが考えられる．このためには，超小型カメラなどを用いて，プロジェクタ投影面の中心に埋め込むなどの実現方法が考えられる．また，ユーザはカメラの存在自体に違和感を感じる可能性があるため，カメラの存在をユーザに気付かせないような設計が良いと考えられる．

しかし，表示デバイスの中心にカメラのレンズがあった場合にも，ディスプレイに映った遠隔地ユーザの映像が動くことによって，視線がずれることが予測できる．厳密に遠隔地間のユーザ相互の視線を一致させるためには，遠隔地のユーザ映像の目の位置に合わせてカメラが移動するようにするか，カメラの位置に遠隔地のユーザ映像の目を合わせて，表示される位置を調整することが必要である．前者はハードウェア的な制約が多いため実現が困難だろう予想できるが，後者はソフトウェア的な処理で実現可能であるため安価であり現実的である．

表 6.15 視線に関する感想

カメラに対する意識	カメラを意識してしまい視線が合わなかったりする。
	自分がどう映っているか知りたかった。
	どこを見ればモニタの相手と目が合うのかわからないので、視線先の印が欲しい。
	慣れればカメラへ視線をうまく向ける事ができると思うが、今回の実験では、モニターばかりに集中してしまい、声だけでやりとりしている感じであった。
	けっこう画面に熱中してしまって、視線が全然合わないので、カメラの位置をもう少し下に出来たらいいかなと思った。
視線	同じ部屋のように人の視線と感じとれたらいい。
	実験環境2と3は視線を感じる事があまりなく、どのように考えているかあまり分からなかった。
	相手の視線が明確になるともっと話しやすと感じた。
	モニターを通して視線を感じ取ることが難しかった。
	実験環境3では相手がどこを見て誰を指しているかわかりにくかったので「視点合う」ということが重要であると感じました。
	視線が合わないことよりストレスを感じるので、どうかすべきてしょう。
	実験環境2と3のようなカメラを用いて、離れた部屋同士で会話をする際に一番話しにくいと感じる原因は視線が合わせずらい事だった。
違和感	自分と画面にうつっている相手がなかなか目が合いにくいいため、少し違和感を感じた。
	違う空間にいる人ともっと視線の一致があれば、違和感がなくなると思う。
	カメラで撮られた相手を、画面で見るとどうしても視線が合わないので変な感じがする。
不安	視線が合わない分、自分が相手からちゃんと見えているのかの確信が持てなくて不安でした。
	話す時に視線があわないと、きちんと相手に伝わっているか分からず心配だった。
実験環境3	実験環境3のように同じ部屋にいても、2対2で平行に向かい合うよりも4人の視線が1箇所集まるような感じを得る実験環境2のような感じが話しやすかった。
	実験環境3では特に視線が合わず、どちらを見ているか、指しているかわからなかった。

## (2) 表示

被験者の感想より表 6.16 に示す意見が得られた。これより、ディスプレイ表示やプロジェクタによる壁への投影であると、遠隔地のユーザ映像が 2 次元で表示され、これがユーザに違和感をもたらすことが分かる。日常生活でディスプレイやプロジェクタはテレビや映画など鑑賞することへの利用がほとんどであり、相互のコミュニケーションでなく一方的に見ることが多い。このような普段の利用方法が影響し、ユーザが t-Room の表示デバイスに違和感を感じる可能性が高いと考えられる。

t-Room の映像表示は 2 次元であるが、同室感の向上のためには 3 次元映像出力の検討が必要である。3 次元映像の技術の研究で顕著なものとして、産総研、慶應大 (株) パートンが共同で「リアルな 3 次元映像」の空間表示に成功している<sup>15)</sup>。従来の 2 次元描画装置を改良し、焦点位置を制御するリニアモーターシステムと、高品質・高輝度赤外パルスレーザーを組み合わせた 3 次元映像である。表示に関して将来的にこのような 3 次元映像技術を取り入れることを視野にいたした研究開発が必要である。

表 6.16 表示に関する感想

立体感がないから、距離を感じるので、立体感を出すようにしたら話しやすくなると思う。平面な画像では違和感がでてしまう。
遠隔地の相手がモニター越しで平坦だったのが視線や手で示される時に違和感を感じた。
モニターに映った、映像だと相手の視線や動作が分かりにくいので立体映像にすれば、もっと分かり易いと思います。
平面的なのでもう少し立体的にしないと相手との距離を感じる。
やっぱり画面だから平らでそこに少し離れている感を感じたから、立体とか、感触を感じるとか、そんなことができたらいいなと思った。

## (3) 音

被験者の感想より表 6.17 に示す意見が得られた。これは、実験環境 2 と実験環境 3 における被験者が感じた距離感やストレスが音に起因する可能性があることを示唆する。2 対 2 の双方向で音の通信をする際に、ハウリングがコミュニケーションの質に関して大きな問題となる。例えば、聞こえやすくするためにスピーカの音量を上げると、その音をマイクが拾い、結果ハウリングが起こる。本実験において、被験者によって声量や声のトーンが異なるため、音量のは実験者の主観で適宜調整をし、実験前にマイクテストを行うことで滞りなく会話ができることを確認したが、実験の各回により音量が異なり、条件は一定でなかったといえる。また、ピンマイクが被験者にとって馴染みの薄い機材であり、被験者の意識がマイクに向けた可能性も考えられる。以上のことから、t-Room の音声通信の質の向上が必要だと考えられる。まず、ユーザが意識しないように、マイクとスピーカは全て固定する。そして、映像チャンネルと同様に仮想共有平面を利用し、音に関しても対称性を成立させ、遠隔地の被験者映像が表示されている位置から声が聞こえてくるように、厳密に映像と音声の発信元を一致



させる必要がある。また、ハウリングを解消するため適宜音量などを調節するソフトウェアの開発や音の遅延を最小限に抑えることも要求される。

表 6.17 音に関する感想

映像よりも、音の聞こえてくる方向の方が、相手がそこにいるということを感じるためには重要なんじゃないかと思った。
映像のぎこちなさの改善や音声をもっと上手く拾えるようになれば良いと思う。
音声の多少の遅れなどにより意思疎通が難しく、相手の心情をよめない。
離れている人の音声が少し聞き取りにくかったです。
マイクの音量が小さかったり、マイクをつける位置によって話がしにくくなったので、もう少し音量をあげるといいと思います。
たまに声がきこえにくいときがあると、室と室との距離感を感じ疎外感が感じられました。
ピンマイクを使うのは複雑だと感じるかもしれない。
少し声が聞こえにくかったので、もう少し聞き取りやすくしてほしいです。
マイク越しの声は、聞き取れないほどではないので、問題ないかと思ったけど、別の部屋にいる人の話しだそうとするタイミングが読めなくて同時にしゃべりだす場合が何度かあった。
自分の声が相手にきちんと伝わっているのがどうか分からないという不安が実験環境2と3ではあった。
音声が遅れるのは絶対に対処した方がいいです。相手の口の動きと音のタイミングが合わないだけでもかなり違和感がありました。
口の動きと音声があわないとわずらわしさを感じました。
マイクで話すと聞き取りにくいので、離れている者との距離をさらに感じた。

#### (4) デザイン

t-Room01 における実験で被験者より「t-Room は少し堅苦しいので、もう少し親しみのある雰囲気の方が良いように思います。真っ黒な部屋なんて実際そうそうないでしょうし。」という意見を得た。やはり、t-Room01 は機械的な印象が違和感をもたらすと考えられる。t-Room が日常的に利用されるためには、節 3.2 に示した設計方針により、さらに室内空間に馴染むデザインを考慮することが必要といえる。

## 第7章 結論

### 7.1 まとめ

本研究では、遠隔協働環境に同室感をもたらす要因を探り、今後の t-Room の設計方針を提言すべく、face-to-face、t-Room、ビデオ会議システムを用いた3つの協働環境下で、作業効率とユーザの主観的意見について評価を行い、その分析結果について報告した。また、得られた結果から遠隔協働環境において協調作業の効率性や円滑な情報伝達に影響を及ぼす視覚情報についての考察も行った。

face-to-face の環境では完全な Physical co-presence が成立し、協調作業に必要な視覚情報を最大限に授受できるため、作業効率は最も良く、ユーザの評価も一番高かった。この face-to-face の環境における作業効率や円滑な情報伝達が遠隔協働環境で実現することが同室感の実現であり、t-Room の目標である。

t-Room を用いた遠隔協働環境における協調作業に関して本実験の達成効率に関する限りは、ビデオ会議システムと同レベルであるという結果となった。しかし、実験環境以外の要因による誤差が含まれる可能性も考えられ、実験条件の設定に問題があると指摘できた。協調作業に関するユーザの評価は、face-to-face の環境に及ばなかったが、ビデオ会議システムより作業がしやすく、遠隔地のユーザとの距離感が縮まったと高評価を得られた。

t-Room がもたらす視覚情報は遠隔地のユーザ相互に視線を感じさせ、これが話しやすさの向上や遠隔地ユーザとの距離感を縮める要因となっていると考えられる。しかし、完全な Physical co-presence が成立していないことから視線の不一致が生じ、これが face-to-face レベルの作業効率や情報伝達に及ばなかった要因と考えられる。また、ユーザの「相手の視線が明確になるともっと話しやすと感じた。」など多くの視線を意識する意見より協調作業における視線の重要性を認識した。さらに、音や表示デバイスなどさまざまな要素が協調作業に影響していることも確認できた。

#### 7.1.1 今後の課題

本実験の達成効率に関する限りは t-Room はテレビ会議システムと同レベルという結果であったが、実験環境の音量、被験者の「What am I?ゲーム」に対する慣れなどの、予測しなかった要因が作業の成果に影響を及ぼしていること考慮すると、t-Room の方が作業効率が良いと考えられる。得られた定性評価からは基本的にテレビ会議システムよりも t-Room の環境の方が高評価を得ているため、t-Room の方がテレビ会議システムより作業効率が高い可能性がある。よって、評価実験について再考し、様々な状況における条件を制御・徹底し、再度評価する必要がある。

t-Room の Physical co-presence の成立による同室感の実現という設計方針は、従来のコミュニケーションシステムでは得られなかった作業効率や視覚情報を提供すると考えられる。今後は、この設計

方針で、遠隔地ユーザ相互の視線が一致するための試行錯誤を試みたい。また、本実験で確認できたコミュニケーションの基本的な要素である音の通信や表示デバイスにおける問題を解決する必要がある。そしてさらに次の段階として、映像の3次元表示なども視野に入れての研究開発が必要である。

本実験では99人の被験者の貴重な意見を得ることができ、様々な角度から見たt-Roomの問題点を認識できた。将来、t-Roomが日常的に利用されるようになるためには、多種多様な評価実験を行い、多くのユーザの意見を得ることが重要である。平田はt-Roomの研究開発の留意点としてt-Roomというシステムを日常生活の一部になるまで使い込んで日々改良していかなければならないと述べている<sup>16)</sup>。これよりユーザと開発者の両者による評価の蓄積が、t-Roomをより良いものにしていくのではないだろうかと考える。

## 謝辞

本論文は、同志社大学工学部情報システムデザイン学科において片桐滋教授と大崎美穂准教授のご指導の下に中堀が執筆した卒業論文を基に若干の改編を加えたものです。本研究は、奥村あゆみさんと松本拓也君、福本尚記君との共同研究、まさに協働の成果であり、実験の実施を共同で行ったことに加え、これら共同研究者の分析努力の結果は本論文中においても参考文献の形をとりながら引用掲載をしています。

片桐先生には、研究においてたくさんの道しるべを示して頂きました。先生のとて丁寧なご指導により研究に対するおもしろさを発見し、非常に意欲的に研究に取り組みました。本当に感謝しております。

大崎先生には、実験のデザインにおいてたくさんのアイデアを頂きました。先生のように多様な考え方ができるよう、私も成長していきたいと思います。本当にありがとうございます。

そして共創情報学研究室の皆様、皆様がいる研究室にはいつも楽しい空気が流れていて、笑顔が絶えませんでした。今思い返してみると、共創情報学研究室の熱心にご指導して下さる先生方、切磋琢磨できる仲間がいたからこそ、極めて充実した1年間が送れたのだと思います。言葉で言い表せない程、感謝の気持ちでいっぱいです。共創情報学研究室の今後更なる発展を願って、本論文の謝辞とさせていただきます。

## 参考文献

- 1) Mirai no Denwa t-Room, <http://www.mirainodenwa.com/index.html>(2008/02/10 アクセス).
- 2) 山下直美, 平田圭二, 遠隔コラボレーションシステムにおける物体の共有, The 20th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2006, pp.1-4.
- 3) Fussell, S. R., Kraut, R. E. and Siegel, J.: Coordination of Communication: Effects of Shared Visual Context on Collaborative Work, Proceedings of CSCW, 2000, pp. 21-30.
- 4) 平田圭二, 原田康徳, 高田敏弘, 青柳滋己, 白井良成, 山下直美, 大和淳司, 梶克彦, 遠隔ビデオコミュニケーションシステムのための仮想共有面の実装方式, 2007, pp. 1-6.
- 5) オープンハウス×未来総論, NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 2007, pp. 64-65.
- 6) NEC, <http://www.nec.co.jp/>( 2008/02/10 アクセス) .
- 7) skype, <http://www.skype.co.jp/>(2008/02/10 アクセス)
- 8) 天野成昭, 近藤公久, NTT データベースシリーズ 日本語の語彙特性 第1巻 単語親密度, NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 三省堂, 1999, p.XXV.
- 9) 松本拓也, 遠隔協働作業におけるメディア空間の影響の分析, 卒業論文, 2008.
- 10) 奥村あゆみ, 遠隔協働システムにおける同室感の実験的評価について, 卒業論文, 2008.
- 11) 福本尚記, 遠隔協働システムの試作とその有効性に関する実験的検討, 卒業論文, 2008.
- 12) 菅民郎, すべてがわかる アンケートデータの分析, 現代数学社, 1998, pp. 110-136.
- 13) 森敏昭, 吉田寿夫, 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 北大路書房, 1990, pp. 204-209.
- 14) 菅民郎, 「EXCEL 統計」のための統計分析の本, 株式会社エスミ, 2006, p.186 .
- 15) 産業技術総合研究所, <http://www.aist.go.jp/>(2008/02/10 アクセス).
- 16) 平田圭二, 未来の電話を考える-遠隔コミュニケーションシステム t-Room, NTT 技術ジャーナル Vol.19.No.6(2007年6月号), pp. 10-12.