

室内利用者と外出利用者における
共同外出感を実現する手法に関する研究

張 慶椿

システム情報工学研究科
筑波大学

2014年 3月

要旨

本研究では外出環境を想定した臨場感通信の一つとして、「共同外出感」を定義する。共同外出感とは離れた二人が一緒に外出しているように感じられることであり、両者では同等な共同活動感覚を得ることができる。両者がそれぞれ外出している状況も考えられるが、本研究では一人が外出していて（移動者）、もう一人は室内にいる（観察者）という環境を想定する。本論文では、共同外出感を実現するためのインタラクション手法と技術表現手法に関して行った一連の研究について述べる。

近年、モバイルネットワークの高速化に伴い、モバイル方式による臨場感通信が期待されている。臨場感を強調したビデオ通信に関する研究として、共室感、対面感を強調した研究が多数行われてきた。これらの研究の多くは従来のビデオ会議等の固定された場所でのビデオ通信をさらに強化することを目的としている。しかし、これらの研究は機材を設置した会議室などでのみ利用可能であることが多い為、外出中などにこれらを用いることは難しい。また、これまでのビデオ通信に関する研究は主に相手の顔、体の形状・動き等「相手自身」の情報を表示することが多く、「相手を映した状態」を前提としていた。これらのシステムを用いて、通信相手が外出した場合には周辺環境を共有するのは難しいと考えられる。

そこで我々は、他人と一緒に外出する感覚を作ることを目的として、没入空間内の観察者と遠隔地の移動者との間に、共に外出している感覚を与えるシステムを提案する。

こうした共同外出感の実現を目指し、我々が没入空間内の観察者と遠隔地の移動者との間に、共に外出している感覚を与える WithYou システムを提案する。HMD によって実現される没入空間内で観察者が首振り、移動等を行うことで移動者の胸の前に設置されたカメラが回転、ズームする。これにより、観察者は移動者と共に外出している感覚が持てる。また、観察者と移動者の間にお互いの向きや振り向きを知らせることで、両者の間に直観的な方向提示や注目情報を表現することができ、両者には共に行動している感覚が持てる。また、この研究では多彩な視野提供手法と利用者間のインタラクション手法を考案した。

次に着手したのは、移動者側のカメラをパン・チルトカメラから 360 度全周囲を写すパノラマカメラに変更し、さらに移動者側にもシースルー型 HMD を装着させた WithYou2 システムである。観察者の前に置かれたカメラから観察者の顔の向きとジェスチャーを移動者が確認でき、パノラマカメラにより観察者も移動者の顔を見れる。さらに、移動者は観察者の視野を確認できる。WithYou2 では従来よりも移動者に多くの映像情報を提供し、観察者と同等な程度の共同外出感を目指した手法である。

本論文では、これらの手法と試みを含め、観察者と移動者に「共同外出感」を実現する要素、背景と手法に関した研究内容を述べる。

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	現行研究の問題点と解決提案	2
1.3	本研究の目的	3
1.4	本研究の貢献	5
1.5	論文の構成	5
第 2 章	関連研究	6
2.1	遠隔指示と行動支援	6
2.2	ウェアラブルロボットを用いた仮想的な活動支援	6
2.3	遠隔操作ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援	7
2.4	臨場感通信	8
2.5	ヒューマンインタラクション	9
第 3 章	共同外出感を実現する手法の設計と考査	11
3.1	共同外出感	11
3.1.1	共同外出感の応用例	11
3.2	予備実験	12
3.3	予備実験 A：二人が実際に共同外出する	12
3.3.1	実験目的	12
3.3.2	実験方法と条件	13
3.3.3	実験結果	13
3.4	予備実験 B：テレビ電話を用いて共同外出する	14
3.4.1	実験目的	14
3.4.2	実験方法と条件	14
3.4.3	実験結果	15
3.5	共同外出感を達成するための基本要素の考察	16
3.6	インタラクション手法の設計方針	18
3.6.1	観察者の自由視野	18
3.6.2	向き方向の共有	19
3.6.3	ジェスチャインタラクション	20

第 4 章 WithYou システム	21
4.1 観察者の自由視野の実現	21
4.1.1 相対視野モード	23
4.1.2 絶対視野モード	23
4.1.3 移動者視野モード	23
4.1.4 指差しモード	24
4.2 向き方向の共有及び注目状態の伝達	24
4.2.1 GUI：観察者への移動者の向き情報を伝達する手法	24
4.2.2 移動者へ観察者の向き情報を伝達する手法	27
4.2.3 注目状態の検出	27
4.2.4 共同注目の提示	27
4.3 ジェスチャインタラクション	27
4.3.1 指差し視野モード	30
4.4 実装	30
4.4.1 開発環境と言語	30
4.4.2 システムの構造とハードウェア	32
4.4.3 機能のモジュール化	32
4.4.4 利用者の向き方向と傾き角度の計測	38
4.4.5 WithYou 移動者側システム	39
4.4.6 WithYou 観察者側システム	43
第 5 章 WithYou システムの評価実験	46
5.1 評価実験 A：機能の有効性の検証実験	46
5.1.1 実験目的	46
5.1.2 実験方法	46
5.1.3 実験条件	47
5.1.4 実験パターン	47
5.1.5 実験結果	48
5.2 評価実験 B：外出利用実験	48
5.2.1 実験目的	48
5.2.2 実験方法と条件	49
5.2.3 実験結果	51
5.2.4 議論：共同外出感はどのように達成されたのか	54
第 6 章 WithYou2 システム	56
6.1 WithYou システムで残された課題	56
6.2 WithYou2 システムの設計と構成	56
6.3 自由視野機能の改良	58
6.3.1 パノラマカメラの採用理由	59

6.3.2	WithYou2 システムの GUI	59
6.3.3	観察者と移動者の視野モード	61
6.4	向き方向の共有機能の改良	61
6.4.1	相手へ向き情報を伝達する手法	62
6.4.2	注目状態と共同注目の判定基準の改良	62
6.5	ジェスチャーインタラクション手法の改良	63
6.5.1	観察者側のジェスチャーインタラクション機能	63
6.5.2	移動者側のジェスチャー	64
6.6	実装	64
6.6.1	開発環境と言語	64
6.6.2	システムの構造とハードウェア	64
6.6.3	カメラの制御と画像の処理	66
6.6.4	WithYou2 移動者側システム	71
6.6.5	WithYou2 観察者側システム	74
第 7 章	WithYou2 システムの評価実験	77
7.1	実験設計	77
7.1.1	機能別の有意義性を検証する実験条件設計	77
7.1.2	被験者トレーニング	77
7.1.3	アンケート設計	79
7.1.4	実験録画の分析方法	85
7.2	実験目的	86
7.3	実験方法と条件	86
7.4	実験結果	88
7.4.1	共同外出感の実現について	88
7.4.2	自由視野に関する評価	92
7.4.3	向き方向の共有の実現について	94
7.4.4	ジェスチャーインタラクションについて	94
7.4.5	条件 1 の結果	95
7.4.6	条件 2 の結果	97
7.4.7	条件 3 の結果	99
7.4.8	その他の評価について	101
7.5	議論	101
7.5.1	WithYou で残された課題は解決されたのか?	101
第 8 章	結論	104
8.1	研究成果の概要	104
8.1.1	WithYou システムの研究成果	104
8.1.2	WithYou2 システムの研究成果	105

8.2	貢献	106
8.2.1	臨場感通信分野への貢献	106
8.2.2	ヒューマンインタラクション分野への貢献	107
8.2.3	ユーザインタフェース分野への貢献	107
8.3	今後の展望	107
8.3.1	観察者側ディスプレイ環境に関する展望	107
8.3.2	移動者側装置の小型化に関する展望	107
8.3.3	注目状態の提示手法に関する展望	108
8.3.4	その他の課題	108
付録 A	評価実験のアンケート結果	117
A.1	WithYou 評価実験：観察者のアンケート結果	117
A.2	WithYou 評価実験：移動者のアンケート結果	123
A.3	WithYou2 評価実験：観察者のアンケート結果	127
A.4	WithYou2 評価実験：移動者のアンケート結果	145

表 目 次

3.1	インタラクシオンパターン	14
3.2	インタラクシオンパターン	16
3.3	予備実験 B：アンケート結果	17
3.4	予備実験 B：アンケート結果（被験者コメント）	17
4.1	WithYou システム：観察者側の環境	31
4.2	WithYou システム：移動者側の環境	32
4.3	WithYou システムに使われたモジュール	34
4.4	地磁気センサーの出力データ形式	34
4.5	加速度センサーの重力反応	36
4.6	通信速度と画像サイズと圧縮率の条件	36
4.7	Wii Remote Plus の機能と仕様	37
4.8	WithYou システム：移動者側アプリケーションの機能	41
4.9	WithYou システム：移動者側アプリケーションの機能	44
5.1	WithYou 評価実験 A：WithYou 機能検証実験の実験結果	48
5.2	WithYou 評価実験 B の録画内容	49
5.3	WithYou 評価実験 B：アンケート結果	52
5.4	WithYou 評価実験 B：アンケート結果（被験者コメント）	52
5.5	WithYou 評価実験 B：注目インタラクシオンの頻度	53
5.6	WithYou 評価実験 B：インタラクシオンパターン	53
5.7	WithYou 評価実験 B：予備実験 A とのインタラクシオンパターンの比較	54
6.1	WithYou と WithYou2 の違い	58
6.2	WithYou2 システム：観察者側の環境	65
6.3	WithYou2 システム：移動者側の環境	66
6.4	WithYou2 システム：カメラの設置位置による利点と欠点	72
6.5	WithYou2 システム：移動者側アプリケーションの機能	74
6.6	WithYou2 システム：観察者側アプリケーションの機能	76
7.1	実験条件の機能オン・オフ状態	78
7.2	WithYou2 評価実験の録画内容	86
7.3	WithYou2 評価実験の活動エリア	86

7.4	共同外出感の関連質問	88
7.5	自由視野の関連質問	89
7.6	向き方向の関連質問	90
7.7	ジェスチャの関連質問	91
7.8	映像品質とシステムの関連質問	91

目次

3.1	共同外出感の観察者と移動者	11
3.2	予備実験 A の様子	13
3.3	予備実験 B の様子 (左: 移動者 右: 観察者)	15
4.1	観察者の向きによって回転するカメラ	22
4.2	WithYou システムの観察者側 GUI	25
4.3	WithYou システム: 観察者の横向きと GUI の関係	26
4.4	WithYou システム: 観察者の縦向きと GUI の関係	28
4.5	WithYou システム: 移動者はカメラを見て観察者の向き方向を把握する	29
4.6	WithYou システム: 観察者側のモノクロ LCD とその GUI	29
4.7	WithYou システム: 共同注目の流れ	30
4.8	WithYou システム: 観察者はコントローラを握って前後振る	31
4.9	WithYou システムのハードウェア	33
4.10	地磁気, 加速度センサー基板	34
4.11	Wii Remote Plus ワイヤレスコントローラ	37
4.12	WithYou システム: 移動者側の装置	40
4.13	移動者側のパン・チルト台	42
4.14	WithYou システム: 観察者側の装置	44
5.1	実験タスク B,C,D の実験環境	48
5.2	WithYou システム: 移動者の様子	50
5.3	WithYou システム: 観察者の様子	50
6.1	WithYou2 のシステム概要	57
6.2	WithYou2 システムの GUI (観察者, 移動者共通)	60
6.3	WithYou2 システム: 観察者の向きと GUI の表示との連動関係	62
6.4	WithYou2 システム: 移動者の向きと GUI の表示との連動関係	63
6.5	WithYou2 システム: 観察者の映像が遠隔映像に重ねる	64
6.6	WithYou2 システム: 移動者は商品を手に取り観察者に見せる	65
6.7	WithYou2 システムのハードウェア	67
6.8	WithYou2 システム: 合成されたパノラマ画像	68
6.9	WithYou2 システム: パノラマ画像と視野領域範囲	69
6.10	WithYou2 システム: 移動者側の装置	71

6.11 WithYou2 システム：カメラの設置位置による視野の死角	73
6.12 WithYou2 システム：観察者側の装置	75
7.1 被験者トレーニングの様子	79
7.2 WithYou2 システムの評価実験：観察者の様子	87
7.3 WithYou2 システムの評価実験：移動者の様子	87
7.4 質問 2.7 の結果	96
7.5 条件 2 のアンケート結果の比較	98
7.6 質問 3.10, 3.11 と 3.12 の結果	99

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、モバイルネットワーク環境の高速化と共に、スマートフォン及びタブレット PC を用いたビデオ通信システムとそのアプリケーションも多様化になった。このような中、利用者は対面の映像を提供する従来のビデオ通信よりも、もっと臨場感のあるビデオ通信の利用方法を求めている。

モバイルネットワーク環境に関しては、LTE¹ と WIMAX² など技術の応用により、高速かつ安定したモバイル通信が可能になった。また、ビデオ遠隔通信技術の進化により、モバイルネットワーク環境を用いたビデオ通信の実用化も進んでいる。これにより、モバイルネットワークを経由したビデオチャットや、携帯電話でのテレビ電話など遠隔コミュニケーション技術は発達、普及した。

外出状態を想定したビデオ通信技術として、近年 WCDMA³/CDMA2000⁴ 等の通信技術にもビデオ通話サービスを提案した。しかし、発話側も受話側も手で携帯電話で顔を撮影しながらでなければ利用ができず、普及率は低い（利用率 4.4 %、マイボイスコム社調べ⁵）。また、モバイルネットワーク回線速度の向上と MPEG4⁶, H.264⁷ などのビデオ圧縮技術の発展によって、VGA 画質のビデオ通信が可能となった。例えば、スマートフォンによるビデオ通信サービスの例として、Apple 社の Facetime⁸ と Skype⁸ が挙げられている。しかし、ビデオ通信システムとテレビ電話は日常的に利用されるが、これらの通信技術は主に相手の顔と姿を映すことを目的している。これらの通信手法を用いて相手の所在環境を共有するのは難しいと思われる。

しかし、モバイルビデオ通信の応用手段として、他の可能性が存在していると考えられる。例えば、利用者は前述のテレビ電話機能を用いて、カメラで自分の周囲の風景を撮影し、リアルタイムで通信相手に送信することもできる。そうすることで所在環境の映像を共有することができ、家増の内容について会話することもできる。この種のコミュニケーション手法は利用者に「誰かと同じ場所にいる」といった感覚を与える可能性を示している。しかしながら、遠隔映像を見せるだけではこの感覚を十分に与えることができず、見ている人は自

¹LTE : Long Term Evolution - <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

²WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access - <http://www.wimaxforum.jp/>

³WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access - <http://www.umts-forum.org/>

⁴CDMA2000 - <http://ja.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>

⁵携帯電話のTV電話機能に関するアンケート調査 - <http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/9902/index.html>

⁶MPEG4 : 動画圧縮規格 - <http://ja.wikipedia.org/wiki/MPEG4>

⁷H.264 : 動画圧縮規格 - <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264/e>

⁸Facetime : Apple iOS システムのビデオ通信ソフト - <https://www.apple.com/jp/ios/facetime/>

由に遠隔環境を見渡せないだからである。さらに、映像以外にもこの感覚を促進するには他の要素が存在すると思われる。例えば、自然且つ直感な手法でお互いの向き方向を共有することはこの感覚を促進する。また、身ぶりやジェスチャーといった身体の動作によるコミュニケーションもこの感覚に対して重要な側面を持ち、映像の他にこれらの要素も共有すべきと我々は考える。

こうした利用者の所在環境を共有する手法として、相手と同じ部屋に「同室感」と、相手と共にいる「共在感」に関する研究がいくつか提案された。これらの手法を用いて相手がいる室内環境を共有することができる、しかし、応用目的の設定とシステム装置の構成にのより、外出中の周囲環境を共有するのは難しいと考えられる。

1.2 現行研究の問題点と解決提案

我々は「相手と一緒に外出する感覚」を共同外出感と定義し、これを作り出すことで、実際に外出していない人に、人と共に外出するような感覚、体験を与える。

それではなぜ共同外出感が必要とされるのか、共同外出感の実現によってどのような利点が生み出されるのか。これらの疑問に対し、我々は「親しい人間関係の促進と維持」を共同外出感の価値として考えている。例えば遠距離恋愛、単身赴任、留学などの事情で親しい人（恋人、家族）と離れる場合は、どのように相手とコミュニケーションするのか、さらにどのようにして相手の気持ち、意思と気持ちを共有するのかということが課題として考えられる。

既存の手段としては電話、メール、テレビ電話などがあるが、これらの手段によるコミュニケーションは限定的であって、相手が意図して伝達しようとした情報だけが届くという欠点があった。例えばこれらの手段を利用してコミュニケーションをとる場合は「書かないと何も分からない」、「言わないと何も知らない」という現象が起こる。これは相手が意図的に伝達しないと以外に、単純に「伝える方法が分からない」という原因により起こる。さらにビデオチャットとテレビ電話の場合は自分の行動が監視されるような感覚が生まれ、プレッシャーによっていつも通りの行動を取るを期待するのは難しいと考えられる。この場合は不完全なコミュニケーションと考えられる。

我々はこれまでの遠隔コミュニケーション手段は主に「相手は移動しない」という前提で行うに気付いた。前述した手法では遠隔側からもらえる情報は限定的しかも欠けていることを認識している。リアルの人間同士と接する場合はコミュニケーションは必ず言語と表情に限らず、身体的動作、視線、さりげない行為や「相手がそばにいる」といった共在感が感じられるので相手に気を配りながら行動をとるのはコミュニケーションには不可欠の要素であると我々が考えている。

関連する研究として、ロボットの遠隔制御による仮想的な行動が挙げられる。ロボットエージェントシステムを用いてロボットを移動させ、ロボットに搭載されたカメラによって遠隔映像を確認できる。用途として、危険な場所での作業支援と遠隔制御による仮想的な行動などが挙げられる。このようなシステムを用いることで「部屋に居ながら仮想的な外出」ができる。しかし、システムを介して他人とのコミュニケーションはできるものの、システ

ムの用途を分析するとこれらの研究は操縦者の行動範囲の仮想的な延長と考えられる。また、ロボットを用いた仮想的な行動は厳しい環境制限がある。例えば階段と段差などの対応、電力の制限とシステムトラブルによる問題、ロボットが公衆交通機関を利用することによって生じる法律問題など、様々な課題は残されている。

ロボットエージェントシステムの問題と制限に対し、我々は人間同士に経由した共同外出という概念を提案する。ロボットシステムと違い、人間の外出者に実験機材を身につけさせる。また、二人での利用を設定し、室内利用者が一人は外出せずに室内にいて、外出利用者は外出して行動する。ロボットによる仮想的な外出との相違点を挙げてみると、ものを制御するのではなく人間同士との共同活動に変わることである。また、お互いに相手を意識しながら行動を取り、行動は主に外出する人に任せながらカメラのパン・チルトなどの遠隔操作もできる。

ウェアラブルロボットも本研究の関連研究領域の一つとして挙げられる、ウェアラブルロボットは利用者の身体に装着させ、ロボットは可動の頭、目、腕などを備え、表情とジェスチャとを表現できるものが多い。ロボットを乗せた利用者に対し、遠隔地にいるもう一人の利用者がロボットを操作できるのは特徴である。多く場合、ロボットはアバターとして遠隔操縦者を演じ、ロボットを携行した利用者と共に社会的な活動を参加する。なお、ウェアラブルロボットは利用者の肩などに乗せるため、従来のロボットエージェントシステムのような環境制限が軽減される。

ウェアラブルロボットに関する研究の多くは、ロボットとロボットを載せた携行者とのコミュニケーションを、携行者と操縦者によるアクションとジェスチャに任されている。携行者は目でロボットの動作の向き方向などを確認し、遠隔側にいるロボットの操縦者もロボットに搭載されたカメラを通して携行者の行動を把握する。また、本研究とウェアラブルロボットとの違いとして、室内利用者と外出利用者を連携したインタラクション手法の提供に着目する。利用者の中に、お互いの視野、向き方向とジェスチャ等の情報を共有することにより、ロボティクスな表現手法を使わなくても、相手と共に行動する感覚を促進できるのではないかと考えられる。また、室内利用者と外出利用者に対等な共同外出感覚を提供することも本研究とウェアラブルロボットの違いである。

1.3 本研究の目的

本研究は「相手と一緒に外出する感覚」を作り出す、すなわち「共同外出感」を達成することを目的とする。

本研究では前節で述べた問題点を解決するため、共に外出する感覚を作ることを目標とする。外出するシーンを想定して、主な情報ソースは相手の行動と周りの映像とする。いままでの遠隔ビデオ通信に関する応用は主に相手を映した前提で開発したもの、我々はその相手を映した以外の方向に注目する。例えば相手が住んでる家、町、よく出かける場所ないし人間関係など固定地点でのビデオ通信では伝えられない情報に注目する。このようにして、今まで固定地点かつ有限的な応用に制限される遠隔ビデオ通信は新しい用途によって進展させ、様々な新しい用途に対応することが期待される。

我々の最終目標は、遠隔ビデオコミュニケーション技術を最大限で応用することによって、共同外出感を実現することである。共同外出感とは、違う場所にいる二人（室内にいる観察者と外出する移動者）が移動者の所在環境に共同外出するような感覚である。共同外出感を達成するには、まず、共同外出感の基本要素を定義する必要がある。その結果に基づき、共同外出感を実現するインタラクション手法を開発する。共同外出感の基本要素を定義するため、我々は予備実験を行った。予備実験では二人が実際に外出する際とテレビ電話を用いて仮想共同外出する際に起きた行動とそのインタラクションシーンを観察した。予備実験の結果を分析し、我々は共同外出感を達成するための複数の要素を考察した。

これらの要素は以下の通りである。

1. 二人それぞれが周囲を自由に見渡すことができる。
2. 相手がどこを見ているか分かる。
3. ボディアクションとジェスチャで意思を伝達できる。

これらの基本要素に基づき、我々は WithYou システムを開発した。WithYou では二人での応用を想定し、一人は肩掛け装置を装着し実際に外出する。肩掛け装置にパン・チルトカメラを搭載させ、室内に居るもう一人が首を振り向くことでカメラの向きを制御し、外出する人の周囲を見渡すことで仮想的な外出感覚を得る。この他に、二人の向き方向が共有され、お互いがどこを見ているかを把握できる。また、二人が共に一つの方向に注目させるインタラクション（共同注目）とハンドジェスチャ機能によって共同活動の感覚を得る。

また、実装したシステムでは、機能の有効性を検証するため、評価実験を行った。評価実験では WithYou システムを用いて実際に外出し、共同外出感とインタラクション手法の有意性の検証を行った。実験の結果によってシステムの機能は有効であったことと、共同外出感は一定な程度で実現されたことを確認した。

しかしながら、WithYou システムは複数の課題が残されている。主な課題として、観察者は移動者よりも共同外出感を感じたことが被験者から指摘されていた。これは、観察者から移動者へ提供する情報が少ないことが原因と考えられる。WithYou システムで残された課題を解決するため、我々は WithYou2 システムを開発した。WithYou2 システムでは移動者側のカメラをパン・チルトカメラから 360 度全周囲を写すパノラマカメラに変更し、さらに移動者側にもシースルー型 HMD を装着させた、観察者の前に置かれたカメラから観察者の顔の向きとジェスチャーを移動者が確認でき、パノラマカメラにより観察者も移動者の顔を見れる。さらに、移動者は観察者の視野も確認できる。WithYou2 では移動者、観察者に従来より多くの映像情報を提供し、観察者と同等な程度の共同外出感を目指したシステムである。また、評価実験によって、WithYou2 システムは WithYou よりも高い程度で共同外出感を実現できたことと、WithYou で残された課題を多く解決できたことを確認した。

1.4 本研究の貢献

本研究の貢献は以下の通りである。

1. 共同外出感を定義し，予備実験により共同外出感を達成する基本要素を考察した。
2. WithYou という遠隔通信システムとそのインタラクション手法を設計し，共同外出感の基本要素を実現した。
3. WithYou2 システムを設計し，WithYou で残された課題を解決し，共同外出感がより高い程度で実現した。また，本研究で提案した三つのインタラクション手法を有意義であることを評価実験によって証明した。

1.5 論文の構成

本論文は本章を含め 8 章で構成される，各章の概要は下記の通り。第 2 章では，関連研究として，ウェアラブルロボットを用いた仮想的な活動，ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援，臨場感通信とヒューマンインタラクションについて述べる。第 3 章では，共同外出感とその基本要素の考査方法である予備実験について述べる。第 4 章では，WithYou システムとその提案手法について述べる。第 5 章では，WithYou システムの評価実験について述べる。第 6 章では，WithYou2 システムとその提案手法について述べる。第 7 章では，WithYou2 システムの評価実験とその設計について述べる。第 8 章では，結論を述べる。

第2章 関連研究

2.1 遠隔指示と行動支援

遠隔指示と行動支援を行うにあたり，指示者は遠隔地の映像情報などを把握し，作業場所にいる実施者に指示，協力をする．この概念を用いた研究 [3][7][10][28][29][31][32][34][38][52] はいくつか存在した．

システムの利用目標を明確にし，特定の用途に特化した関連研究として，太田らによる開発された Shared-View[34] は遠隔指示・支援システムを用いて遠隔環境で心肺蘇生法を指示する．システムの利用者（ユーザー）では実施者と指示者に分かれており，実施者は HMD とカメラを装着し，指示者の指示で行動する．指示者は遠隔地で CRT 画像を介して実施者と同じ視野をみながら，音声と画面上の指さしにより救急蘇生法の指示を行う．

また，ロボットの遠隔制御により遠隔指示を行う研究として，葛岡らは GestureMan[3][7][28][29][31][32] を開発した．GestureMan ではロボットの頭部に三つのカメラを搭載し，リアルタイム映像を指示者側に送信する．さらにロボットの頭部回転を指示者の頭の振り向きと連動させることで，指示者は頭の振り向きで遠隔環境を見渡せる．また，ロボットでは可動の腕と指示用のレーザーが備えられ，指示者はジョイスティックでロボットの腕を制御する．さらに，指示者は映像表示用のスクリーンをタッチすることでレーザーの照射方向を指定できる．

樋口ら [52] は操縦者の頭部動作による無人航空機の操作システムを開発した．操縦者の頭の向きによって無人航空機が転向し，身体の動作によって無人航空機の高さと水平位置を制御する．操縦者は HMD を付け無人航空機から送られた映像を確認できる．

Hiroshi ら [10] は，ハンドジェスチャを遠隔映像に重ねて表示する手法を用いて，遠隔指示に関する研究を行った．利用者がスクリーンに映された遠隔側の物体を指差すことで，遠隔側の利用者は指と物体が重ねた画像を確認し，相手の意図を理解する．

本研究とこれらの関連研究は同じくライブ映像によって遠隔環境を把握できるが，相違点として，本研究では指示者と実施者という概念はなく，ローカル利用者（観察者）と遠隔利用者（移動者）に対等な体験感を与えることを目指した．例えば，共同注目は両方からも行うことができる．さらに，本研究は遠隔映像を提供するだけではなく，複数のインタラクション手法も提案した．

2.2 ウェアラブルロボットを用いた仮想的な活動支援

仮想的な活動感覚を与えられる研究として，ウェアブルロボットを用いた仮想的な活動と遠隔コミュニケーション支援 [1][22][2][26][5][11][12][44][23][24][25] などが挙げられる．この

ようなシステムローカル利用者は遠隔利用者の体に乘せたロボットを操作しながら仮想的な活動をする。多くの場合、操縦されるロボットは人間の存在を演じ、活動範囲の延長と考えられる。

こうした研究の例として、妻木らが開発した Telecommunicator [1][22][23][24][25] が挙げられる。彼らはウェアブルロボットを用いて遠隔相手とコミュニケーションを取る手法を提案した。Telecommunicator は利用者の肩に乗せたロボットであり、ロボットに回転できるカメラの上下運動のできるシンプルな腕が装着された。利用者はローカル利用者と遠隔側利用者に分かれており、ローカル利用者は HMD を装着し、頭の振り向きによって遠隔のカメラを回転させる。なお、遠隔利用者側の映像はローカル利用者の HMD に表示させる。

また、妻木らも Miniature Humanoid MH-2[11][44] と MH-1[12] という遠隔操作の肩に載せるウェアブルロボットを開発した。MH-2 は 7 自由度の双腕, 3 自由度の頭部,, 3 自由度の体を持ち, 人間の身振り手振りといった身体動作を細かく模倣することができる。また, MH-2 の頭部には二つのカメラを設置し, 操縦者は HMD を通して遠隔側映像を見ながら MH-2 を操縦する。柏原らは Teroos[2][26] というシステムを開発した。Teroos はローカル利用者と遠隔利用者間に共同活動感覚を促進するウェアブルアバターである。アバターはパン・チルト・ロールカメラと表情を演出できる目を装備し, カメラ及び表情はローカル利用者によって遠隔制御される。アバターは遠隔利用者の肩に乗せられ, 遠隔利用者は目でアバターの行動を確認できる他, アバターを制御するローカル利用者也アバターを通して遠隔側にいる他の人物とコミュニケーションを取れる。

本研究ではウェアブルロボットと共通している特徴はいくつがある。本研究のシステムとウェアブルロボットは同じく人間同士に經由した共同外出という概念を採用したが, 本研究においてアバターという概念を採用していない。ウェアブルロボットに関する研究が多くの場合, ロボットは装着した利用者(外出利用者)と独立していて, システムも積極的に装着した利用者の身体情報を計測していない(向き方向, ジェスチャ等)。利用者たちはロボットのカメラを回したり, ロボットを観察したりすることでお互いの意図を理解できる。

これらの研究と比較して, 我々の研究は観察者(ローカル利用者)と移動者(遠隔利用者)において, カメラの主導権(例えば, 誰がカメラの向きを制御する)と向き方向によるインタラクションに着目する。利用者は「移動者視野」と「観察者絶対視野」等といった複数の視野モードを利用シーンに応じて切り替えることで, お互いの意図を明示するインタラクションと考えられる。さらに「共同注目」インタラクションは, 利用者たちに同じ方向に注目させる。我々のシステムでは, 観察者は顔を振り向くことで遠隔地を見渡せる, キーボードとマウスなど操作は必要としない。

2.3 遠隔操作ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援

遠隔操作ロボットを介した遠隔コミュニケーションも本研究の関連研究領域の一つとして挙げられる。遠隔操作ロボットはローカル利用者の操縦による移動, 外出することができ, ロボットの顔の表情, 顔向き, 腕などの身体動作と音声通信により, 遠隔側の人間とコミュニケーションする。ウェアブルロボットと違って隔操作ロボットは携行者を必要としない

が、活動環境もロボットの性能に制限される。こうした遠隔操作ロボットを用いた研究がいくつ挙げられている [4][5][6][13][20][45]。/Sigurdur らは Mebot[4] という人間の身体活動と表情を表現することができるテレプレゼンスロボットを開発した。Mebot はロボットには可動の頭と腕が装備され、さらに、スマートフォン或いはタブレット PC はロボットの頭の位置に装着されたため、指示者はリアルタイムで遠隔相手と対面コミュニケーションが取れる。指示者はジョイスティックでロボットの腕の運動を操縦する。ロボットの頭のパン・チルドは指示者の顔向きと連動する。

Michaud ら Telerobot[5] という家庭看護するためのテレプレゼンスロボットを開発した。テレビ電話をロボットの頭に固定され、ロボットはナビゲーションの機能が備われた。オペレータは操縦画面のマップにて目標地点をクリックすることでロボットを該当の場所に移動させる。Koizumi ら [6] は駅やショッピングセンター等でヒューマン活動を協力する遠隔操縦するコミュニケーションロボットを開発した。オペレータはビデオと音声で来客とコミュニケーションを取ることができ、さらに、オペレータは周囲に設置された固定カメラの映像も確認できる。ロボットの遠隔操縦における画像伝送遅延の問題について、大垣らは自律動作の協調手法 [13][45] を提案した。操作者の操作とロボットの自律動作を協調させることで、通信環境等が不安定な場所でも支障なく目的を遂行できる。また、彼らの研究は伝送遅延を考慮しないロボット操縦システムとの比較も行った。

遠隔ロボットの操作方法について、Fernando ら [20] は HMD とジェスチャを用いた遠隔操作手法を提案した。HMD にセンサーを搭載し、遠隔ロボットの動作は利用者の頭と同期し、また、利用者の肩と指にセンサーを装着させ、利用者の指先の動作によって遠隔ロボットが細かい行動（囲碁など）にも行えるような操作手法を提案した。

これらの研究では、操縦者がロボットを利用して遠隔地の社交活動への参加や仮想的な外出ができるが、本研究の目的である「共同外出」と違って「一人で外出」になる。操縦者が仮想的な外出によって臨場感を得る。しかし、遠隔映像の表示手法に関しては本研究のシステムと類似している研究も存在した。

2.4 臨場感通信

本研究は「相手と一緒に外出する感覚」を作り出すことを目的とする。これと関連した研究分野として、臨場感通信が挙げられる [9][14][15][17][18][27][30][33][35][36][37][39][40][43][46][49]。臨場感を感じることで錯覚が起り、遠くにいる人が側にいるような感覚が与えられる。また、遠隔環境を高臨場感手法を用いて表現すると、遠隔環境を実世界のように見える錯覚も起こる。本研究も同様に、臨場感のある仮想的な外出と共同活動感覚を利用者に与えることを狙いとする。

臨場感が得られる通信手法として、原田らが研究した同室感通信 [37] を紹介した。同室感通信は 2 つの部屋の間で同室感のある共同作業手法を提案する。部屋の中にはそれぞれ作業用テーブル設置し、その周りに 3 枚のホワイトボードを置く。また、カメラとプロジェクターで自身側の様子を遠隔地のホワイトボードに投影する。こうすることで、ホワイトボードは鏡のように遠隔の環境と利用者を映し、側に人がいるような気配を与える。さらに、ホワイ

トボードの上に記事などを書くことで、遠隔地の人との共同協調作業もできる。

遠隔相手の所在場所を共有する手法として、平田らが開発した t-Room[39][40][42] が挙げられる。t-Room は複数の大型ディスプレイを用いて利用者を囲むように排列する。それぞれのディスプレイの上にはカメラを設置し、囲まれた空間の様子を撮影する。また、t-Room のローカル側と遠隔側にそれぞれ t-Room のハードウェア環境を設置する。こうすると利用者の周囲はディスプレイ環境に囲まされ、遠隔の通信相手が等身大でディスプレイに表示され、二人が同じ部屋にいるような感覚である「同室感」を提供することができる。

また、t-Room の環境を利用した研究 [14][17][43] も多数上げられている。代表な応用例として、入江らが t-Room 環境を利用した遠隔合奏支援システム [43] を提案した。演奏者がそれぞれ違う時点で演奏した様子を t-Room によって録画し、録画された演奏の様子を一齐に表示することで仮想的な合奏を実現した。

Hirata ら [17] は、t-Room 環境を用いて共有的な仮想空間を実現する手法を提案した。Hirata らの研究では、複数 t-Room 環境を用意し、ローカル利用者と遠隔利用者に対面感を提供する。

また、t-Room 2.0 の環境を利用し、遠隔相手とのコミュニケーション要因を分析する研究として、中堀ら [41] の研究が挙げられる。中堀らの研究は同室環境、t-Room 2.0 と従来のビデオ会議システムを用いて利用者間のコミュニケーション要因がどのように変化したのを考察した。結果として、t-Room 2.0 では完全な同室感を意味する「Physical co-presence」が成立できなかったが、遠隔地のユーザとの距離感を縮めたことを検証した。また、こういった遠隔ビデオ通信を利用した利用者間に行われた行動、反応と社会的な行為に関する分析について、Dourish らの研究 [9] は詳しく述べていた。

本研究が提唱した「共同外出感」は外出利用を想定した臨場感通信の一つとして考えられる。本研究の観察者ディスプレイ環境では没入空間の概念を利用し、臨場感を重視していた。これらの研究と比較して、研究目的の設定は違うものの、いくつか共通している概念がある。例えば、本研究が開発したシステムで t-Room のハードウェア環境を観察者の没入空間として使える。また、将来にも本研究がこれらの臨場感通信の実現手法を参考して、観察者と移動者のハードウェア環境と映像等の提示手法を改良する余地もある。

2.5 ヒューマンインタラクション

本研究が提唱した「共同外出感」を実現する手段として、遠隔映像、顔向きとジェスチャを用いた複数のインタラクション手法を提案した。これらの手法に関連するヒューマンインタラクション領域の研究 [50][53] は多く挙げられていた。利用者の顔向きと注目情報を利用したインタラクション手法 [8][16][19][21][51][54] はいくつ存在した。Sugimoto ら [16] らの研究は利用者の視線を測定し、ステレオカメラも用いて向いている方向の映像を特定する手法を提案した。Kouroggi ら [21] はパノラマ画像を表示する大画面ディスプレイ環境において、画面の前に立つ利用者がどこを見ているかを抽出する方法を提案した。また、矢谷ら [51] は室内にいる利用者に対し、顔向き、位置とジェスチャを認識するシステムを開発した。

ジェスチャを用いたインタラクション手法に関する研究と、ジェスチャを表現する手法に

関する研究 [46][47][48] も多数挙げられている。

細谷ら [46][47] は離れた利用者側の環境映像を重畳する表現手法を提案した。利用者が重畳した映像を見て遠隔の環境を共有し、身振りとジェスチャを用いて遠隔側にいる相手とコミュニケーションする。また、指差し用いた実空間へ指向手法も提案された。

山下らは [48] 利用者と遠隔相手に対面感を提供する共有作業空間を提案した。共有作業空間は複数のカメラとプロジェクタによって構築され、利用者は遠隔相手の行動を確認しながら共同作業を行う。

第3章 共同外出感を実現する手法の設計と 考査

3.1 共同外出感

本研究では外出環境を想定した臨場感通信の一つとして、「共同外出感」を定義する。共同外出感とは離れた二人が一緒に外出しているように感じられることである。両者がそれぞれ外出している状況もかんがえられるが、本研究ではまず一人が外出していて、もう一人は室内にいるという環境を想定する。

共同外出感の利用者は観察者（室内利用者）と移動者（外出利用者）に分かれている（図3.1）。二人はシステムを用いて、相手と一緒に出かけるような感覚を味わう。



図 3.1: 共同外出感の観察者と移動者

3.1.1 共同外出感の応用例

共同外出感が実現できればその応用範囲は広い。以下は応用例を挙げる。

離れた家族のコミュニケーション

海外に留学した息子と母親とが利用することが考えられる。母親は息子の生活を心配し、本研究のシステムを用いて息子の生活環境を把握することができる。息子のガイドにより住居や周囲の町を見回りしたり、ルームメイトと担任先生との挨拶もできる。

バーチャル旅行

本研究のシステムを用いて、バーチャル旅行が可能になる。ガイドが名所を紹介しながら歩き回ると、バーチャル観光客も自由に周囲を見物して観光した気分になれる。ガイドはバーチャル観光客が見ているものを把握し、由緒や見所を紹介することができる。

外出できない人の利用

病気で外出できない患者や高齢者の利用が想定できる。本研究のシステムを介してバーチャル外出ができれば、家に帰りたい場合はバーチャル帰宅としての利用も考えられる。また、仕事と任務によって家に帰れない人たちの利用も考えられる。

遠距離恋愛

本研究のシステムを用いて、離れた恋人同士が一緒に外出したり、デートしたりすることが可能になる。共同外出の感覚により「相手が側にいる」ような感覚を与えることができる。

3.2 予備実験

二人が実際に共同外出する際と、テレビ電話を使って（その内の一人が室内にいる）仮想共同外出の際では、どういったインタラクションパターンを取るのを確認するため、予備実験を行った。予備実験は実験 A（二人が実際に共同外出する実験）と実験 B（テレビ電話を用いて仮想共同外出する実験）に分けられた。実験中、被験者は自分で任務を決める（買い物、商品を調査する等）。なお、実験 A、B 共に二組（四人）の被験者が参加した。

3.3 予備実験 A：二人が実際に共同外出する

3.3.1 実験目的

実験 A は、実際に共同外出する時、二人がどのようなインタラクション手法を使うのを確認する。この実験では、二人の被験者を秋葉原電気街でショッピングさせる（図 3.2）。被験者は 20 分間に与えられ、自分で決めた目標を達成する。なお、この実験の主な目的は実際の共同外出中にどうなコミュニケーションを取ったのかを観察する。

3.3.2 実験方法と条件

二組（四人）の被験者がペアで実験に参加した。実験が始まる前に10分間の説明を行い、被験者に「実験ということを意識しないでいつも通りに行動する」を伝え、また、実験のタスクと任務についても説明した。前述の通り、被験者は実験の任務（買い物か、気になる商品を調査するか）を自由に決める。実験が開始すると、被験者は20分に与えられた。被験者は街で自由に移動し、店に入って商品を探ることができる。

実験中、二人のスタッフが被験者たちの後ろにつき、一人は実験の過程を録画する。もう一人は被験者二人の中で行われたインタラクション手法を記録する。なお、入った店によって撮影が禁止されたところもあるため、録画された実験過程が一部であった（20分の実験タスクに対し、録画ビデオの長さは13分5秒であった）。また、録画の分析は著者自身が行った、録画の中から被験者の行動を選出する基準は「情報交換するため行った行動（インタラクション、身振り、ジェスチャ等）」であった。基準を満たした行動を見つかれば、その内容、特徴と時間（開始時間、終了時間）を記録した。



図 3.2: 予備実験 A の様子

3.3.3 実験結果

実験の録画とアンケート結果を分析すると、表 3.1 に示したように、実験中に行われたインタラクションパターンを観察し、回数を集計した。これらインタラクションパターンの中

表 3.1: インタラクションパターン

予備実験 A : インタラクションパターン		回数
P1	相手の向き方向を気づき, 自分も同じ方向を見る	12
P2	指差し	7
P3	相手が止まってどこかを注目していることに気づき, 同じ方向を見てみる	5
P4	手で物 (商品) を持って一緒に見る	5
P5	ジェスチャーで説明する	3
P6	後ろを振り返って相手はついて来ているかを確認する	2

に, P4:「手で物 (商品) を持って一緒に見る」は重要であると考えられる. 被験者たちは電気商品とパソコンの周辺機器等, 色んな物を手にとって, スペックと外観について話した.

また, P2:「指差し」も被験者の間に行われた重要なインタラクションと考えられる. 実験中, 被験者がよく興味のある商品に指を差した. これらの商品は大きくて, 手に取ることが難しいと思われる. 例えば, 二人の被験者が店の前に貼り付けた価格リストを見て, 書かれた内容に指差しながら商品の価格について話した.

これらの結果により, お互いの注目方向に関するインタラクションとジェスチャーは共同外出の感覚を促進する二つの要素であると考えた. このことから, 我々のシステム (WithYou と WithYou2) では観察者と移動者に, 向き方向の共有と注目状態の検出という機能とインタラクション手法を優先的に提供する.

3.4 予備実験 B : テレビ電話を用いて共同外出する

3.4.1 実験目的

予備実験 B では, 二人が観察者と移動者に分けられた場合, テレビ電話を用いて仮想的に共同外出する時はどのようにコミュニケーションを取るのかを検証する. 実験中, 被験者に与えられた任務は予備実験と同じである. なお, この実験の主な目的はテレビ電話を用いて仮想共同外出する時, 予備実験 A と比較して被験者がどのような問題に直面し, そして, どのようなインタラクション手法を使って問題を克服するのかを確認する.

3.4.2 実験方法と条件

二組 (四人) の被験者がペアで実験に参加した. ペアになった二人の被験者は一人を観察者担当させ, もう一人を移動者に担当させた, 二人の被験者は実験場所であるヨドバシカメ

ラ秋葉原店でショッピングする。観察者は休憩エリアで座り、テレビ電話を用いて商品と周囲場所の様子等を確認し、移動者は観察者の要求によって各販売フロアに移動ながらショッピングする(図 3.3)。被験者は 15 分間に与えられ、自分で決めた目標を達成する。実験中、二人のスタッフは被験者たちの後ろに付き、一人は実験の過程を録画し、もう一人は被験者二人の中で行われたインタラクション手法を記録する。なお、予備実験 B では実験過程をすべて録画した(録画ビデオの長さは 31 分 23 秒であった)。また、録画の分析は著者自身が行った、録画の中から被験者の行動を選出する基準は「情報交換するため行った行動(インタラクション、身振り、ジェスチャ等)」であった。基準を満たした行動を見つかれば、その内容、特徴と時間(開始時間、終了時間)を記録した。

実験後、被験者にアンケートを行い、5 段階評価を用いて各質問を被験者に評価される。なお、点数の基準は以下の通りになる。

1 : 非常に同意しない 2 : 同意しない 3 : どちらでもない, 普通 4 : 同意する 5 : 非常に同意する



図 3.3: 予備実験 B の様子(左: 移動者 右: 観察者)

3.4.3 実験結果

実験の結果を分析すると、被験者はビデオ電話を用いてコミュニケーションを取った場合、多くの問題が発見された。これらの問題は共同外出感を制限すると考えられる。まず、観察者は思い通りに見え難かったことが挙げられている。テレビ電話機能ではカメラの向き方向は完全に移動者にコントロールされ、観察者は特定の方向を見なければ移動者に要請するしかない。なお、観察者は移動者の向き方向を認識し難く、これも観察者は思い通りに見え難かったことの原因と考えられる。また、実験中、テレビ電話の映像品質の低下と遅延により、

会話は主なコミュニケーション手段となった。

予備実験 A では、被験者はよく「指差し」をしたが、予備実験 B では、観察者が最も頻繁に行ったインタラクションパターンは「カメラの向き方向を変えるように要求した」（表 3.2 の P5 に参照）であった。実験の録画ビデオを分析した結果、この二つのインタラクションパターンでは同じ意図を持つことを確認した。予備実験 B では、移動者は指差しの代わりにカメラを商品に向けさせ、商品の映像などを観察者にみせた。

録画ビデオの分析により、表 3.2 では実験中に行われたインタラクションパターンとその回数を示した。表 3.3 と表 3.4 はアンケートの結果と被験者コメントを示した。アンケートの結果によると、観察者と移動者が「ビデオ電話は共同外出感を実現する適宜な手段」とは思わなかった。さらに、Q1:「テレビ電話を使って、共同活動感覚を感じましたか」という質問に対し、被験者の平均点数は 3 点であり、「どちらでもない」という結果になった。また、表 3.4 の被験者コメントによると、ある観察者は商品を見るために、カメラの向き方向の変更を頻繁に要求した。

表 3.2: インタラクションパターン

予備実験 B: インタラクションパターン		回数
P1	移動者が商品の情報（価格等）を携帯のカメラに介し観察者に見せた	7.5
P2	移動者が価格及び商品情報を観察者に読み上げた	4
P3	観察者が移動者をどこかに移動するように要求した	4
P4	移動者が観察者のために商品を探した	3.5
P5	観察者はカメラの方向を変えるように要求した	3
P6	移動者がカメラで商品と店の様子等を観察者に見せた	3

3.5 共同外出感を達成するための基本要素の考察

実験 A のインタラクションパターン（表 3.1）を分析すると、P1:「相手の向き方向に気づき、自分も同じ方向を見る」と P3:「相手が止まってどこかを注目していることに気づき、同じ方向を見てみる」は向き方向の共有との関連性を示した。お互いの向き方向を把握することは共同外出中において重要であることが分かった。

さらに、P2:「指差し」と P4:「手で物（商品）を持って一緒に見る」により、ジェスチャーもコミュニケーションを取るため不可欠の要素であることが分かった。

実験 B のインタラクションパターン（表 3.2）により、P3:「観察者がカメラの方向を変

表 3.3: 予備実験 B: アンケート結果

質問		観察者	移動者
Q1	テレビ電話を使って、共同活動 感覚を感じましたか？	3	3
Q2	携帯電話は共同外出の実現手段 として適宜だと思いますか？	2	2
Q3	テレビ電話の画質について評価 してください（1, 悪い - 5, 良 好）。	2	2

表 3.4: 予備実験 B: アンケート結果（被験者コメント）

質問	回答
実験中、観察者と一番よく行われたイ ンタラクションを説明してください	(移動者): カメラを商品に向け、 値札等を観察者に読んであげた
実験全体の印象を述べてください	(移動者): 移動者がカメラを回 し、観察者は映像を確認しなが ら再びカメラの向き方向を変え るように要求した
	(移動者): 観察者の顔を見る時 間はなく、音声通話と変わらな かった
	(観察者): 映像の焦点がぼける と解像度が悪かったので、商品 包装に印刷された文字は読み難 かった

えるように要求した」と被験者のコメント：「移動者がカメラを回したところ、観察者は映像を確認しながら再びカメラの向き方向を変えるように要求した」では、観察者は見たい方向を見るには移動者に要求するしかなかったという環境制限を示した。よって、周囲を自由に見渡せることは重要であることが分かった。

以上の結果により、共同外出感を実現するには多くの要素が必要であると考えられるが、基本的な要素として以下の3つを挙げる。これらの要素は、相手の存在に気付き、そして行動を把握できる環境を構築するために必要な要素であると考えられる。

1. 二人それぞれが周囲を自由に見渡すことができる。
2. 相手がどこを見ているかを理解し、且つ、会話が無くてもお互いに相手はどこを注目しようとしているかを伝達できる。注目方向は相手の興味を表し、注目方向を提示することで会話が無くとも相手の興味と傾向を伝達できる。
3. ボディアクションとジェスチャも共同外出の重要な要素である。人間は会話だけでコミュニケーションするだけではなく、共同外出感を実現するにはある種の非言語、且つ直接的なインタラクション手法が必要とされる。

3.6 インタラクション手法の設計方針

3.5 節では共同外出感の基本要素を考察した。このことから、本研究では離れた観察者と移動者の間に共同外出感を提供するため、これら基本要素を対応するインタラクション手法を設計する。

3.6.1 観察者の自由視野

「二人それぞれが周囲を自由に見渡すことができる」という基本要素に対し、移動者が実際に外出して外出環境を見渡せるため、本研究の利用場面においては「観察者が移動者の周囲を自由に見渡すことができる」と言い換えることができる。それを実現するために、何らかの手段で「観察者は移動者の周囲を見渡せるよう」にする必要がある。観察者は移動者の周囲を見渡せることによって移動者の所在環境を共感し、共に外出する感覚を得ると考えられる。

ここで我々は「観察者が首を振り向くことで遠隔地を見渡す」という手法を考えた。例えば観察者は右 30 度の方向に振り向くと、移動者の向きより右 30 度辺りの遠隔映像が見えて、遠隔地から伝わった映像は観察者が向く方向と一致する。こうした手法は人間の行為を模倣し、観察者は直感的に移動者の所在環境を共有することができると考えられる。

また、移動者側の遠隔映像を観察者に見せる時には、相応しいディスプレイ環境を用意する必要がある。共同外出感を促進するためには、臨場感のあるディスプレイ装置を利用する方が好ましい。また、観察者が頭を振り向くため、ディスプレイ装置の表示エリアも観察者の

頭向きを追従しなくてはならない。こうした条件と一致したディスプレイ装置はヘッドマウントディスプレイ (HMD) である。よって、本研究において観察者のディスプレイ装置は HMD を採用する。

3.6.2 向き方向の共有

「相手がどこを見ているかを理解し、且つ、会話が無くてもお互いに相手はどこを注目しようとしているかを伝達できる」という基本要素に対し、「観察者と移動者はお互いの向き方向を知り、さらに注目の状態を検出する」というインタラクション手法を設計する必要がある。まず、観察者と移動者それぞれの向き方向を計測する必要があり、向き方向については体の向きと頭の向きに分かれられるが、ここでは体より頭の相対の向き角度と定義する。例えば体の向きを変わらないまま頭だけを右 30 度方向に向けば、向き方向は右 30 度とする。

向き方向を共有するには、観察者の向き方向を移動者に、そして移動者の向き方向を観察者に伝えなければならない。また、観察者は移動者側の遠隔環境を見ているから「自分がどこを向いているか」を自覚し難いと思われるため、移動者より左向いたり右向いたりといった自分側の相対的な向き方向を知る必要もある。

移動者の向き方向を観察者に伝達するには、我々はグラフィックユーザインタフェース (GUI) を用いた表現手法を採用した。例えば GUI に表示されたグラフによって観察者は自分と移動者の向き方向を把握する。また、観察者は移動者と同じ方向を見ようとする時では、グラフを見て調整することもできる。

観察者の向き方向を移動者に伝達するには、移動者側がディスプレイ装置がある場合とない場合によって、それぞれ違う伝達手法を使わないと行けない。移動者側ではディスプレイ装置 (HMD 等) がある場合では、観察者と同様に GUI のグラフによって伝達できるが、ない場合では物理的な手法で観察者の向きを表現しなければならない。

注目状態の伝達

基本要素に対応するには、向き方向の共有する他、観察者と移動者それぞれの注目状態も検出しなければならない。二人が実際に外出する時では相手の顔向きとその行動パターン (例えば、相手はある店に向いている) を見て、注目しているかどうかを気付くことができるが、本研究において、観察者が移動しない、且つ観察者が離れた場所から移動者を観察できないため (観察者の仮想存在位置は移動者側のカメラの装着位置にある)、もっとポジティブな手法を用いてお互いの注目状態を伝達する必要がある。

ここで、我々は「じっとして、ある方向を一定時間以上見続ければ注目になる」を注目状態の検出条件として考案した。さらに、一人が注目している状態で、もう一人が同じ方向を見れば、共同注目行為として検出する。注目状態と共同注目行為を検出すると、お互いにその情報を伝達する。相手の注目状態を知ることによって、相手の行動を把握し、さらに相手の興味と意向を理解できるのではないかと我々は考えた。また、共同注目行為の伝達により、

利用者も「相手も同じ方向を見てくれる」というように思われ、共同活動感覚を促進すると考えられる。

3.6.3 ジェスチャインタラクション

「ボディアクションとジェスチャ」という基本要素に対し、予備実験 A では、実際に共同外出の被験者たちは積極的にボディアクションとジェスチャを使ってコミュニケーションを取ったことを確認した。ボディアクションに関するインタラクションパターン（表 3.1）は多くが相手の注目行為を気付くための行動であり（P1, P3 に参照）、これらの行動は前節（3.5.2 節に参照）で提案した「向き方向の共有」というインタラクション手法を用いて実現できる。しかし、ジェスチャに関しては新たなジェスチャインタラクション手法を考案する必要がある。本研究の観察者がカメラを通して移動者のジェスチャが見えるが、観察者のジェスチャはどのように移動者に伝えるのは重要である。

移動者のジェスチャ

観察者は移動者側のカメラを通して移動者のハンドジェスチャを見ることができるため、移動者にはジェスチャインタラクション機能を設計する必要性が低いと思われるが、観察者の注意を喚起するため、手持ちの装置のボタンを押して「知らせのメッセージ」を送る機能を設けている。

観察者のジェスチャインタラクション手法

本研究の観察者では、移動者と離れた室内環境にいるため、「物をもって見せる」等といった現物を触るジェスチャができない。代わりに「指示する」、「自分の意図を伝達する」と「相手の注意を喚起する」といったジェスチャインタラクション手法を着目する。

我々は最初に、観察者ではジェスチャ行うことで、特定情報を移動者側に送信する手法を考案した。さらに、移動者に「観察者がジェスチャを行う様子」を見せる方法も実現手法の一つとして考えられる。

第4章 WithYou システム

本研究では共同外出感を実現する手法を提案し、WithYou というプロトタイプシステムを設計、実装した（以下、WithYou システムと呼ぶ）。WithYou システムの利用者は室内にいる観察者と実際に外出する移動者（図 4.1）に分けられる。移動者はパン・チルトカメラと各種センサーを搭載したウェアラブル機器を装着して、自分が居る環境の情報を観察者側に提供する。観察者は固定した場所で HMD を利用し、移動者の遠隔環境を共有する。観察者は室内で没入的表示システムを利用して仮想外出できる、また、移動者も WithYou システムが提供したインタラクション機能を利用し、観察者と共同外出する感覚を得ることができる。

パン・チルトカメラは移動者の胸の前に設置し、観察者の頭の振り向きによって移動者側のパン・チルトカメラを制御する。こうして観察者は移動者の遠隔環境を見渡すことができる。また、移動者はカメラの向き方向を見て観察者の向き方向を把握できる。

WithYou システムでは以下三つのインタラクション手法を提供した。なお、これらの手法は前述した共同外出感の基本要素と対応している。

1. 観察者の自由視野の実現
2. 向き方向の共有及び注目状態の伝達
3. ジェスチャインタラクション

4.1 観察者の自由視野の実現

WithYou システムでは「観察者が頭の振り向きによって移動者の所在環境を見渡せる」という手法を提案した。観察者側がヘッドマウントディスプレイ（HMD）によって没入型表示空間を構築し、移動者の外在環境を遠隔で体感する。

WithYou システムでは、移動者は肩掛けの装置を装着したまま外出し、カメラは移動者の胸の前に設置される（図 4.1）。これにより、揺れは大幅に少なくなり、より安定した映像が得られるようになった。カメラを移動者の胸の前に設置すると、カメラの向きが移動者の頭部の向きに影響されない利点がある。

こうして、観察者が頭の振り向くことで移動者の胸の前に設置されたカメラのパン・チルト回転を制御し、移動者の周囲を見渡すことができる。さらに、「観察者は常に移動者と同じ方向を見たい」、「移動者が体の向きを変えても観察者は固定の視野を維持したい」と「移動者もカメラを制御して観察者に特定の方向を見せたい」といった需要を対応するため、

WithYou システムでは観察者に対して四つの視野モードを提供した。これらの視野モードを利用することで、観察者と移動者の間の共同外出感覚を促進することができる。

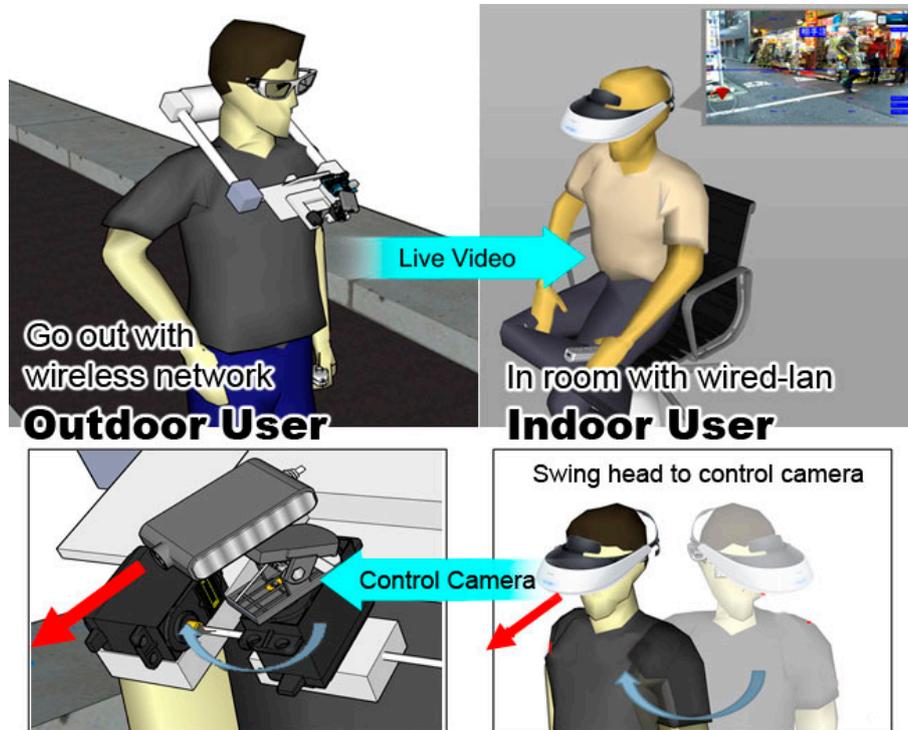


図 4.1: 観察者の向きによって回転するカメラ

1. 相対視野モード：カメラの写す方向は移動者の体の向きによって変わる。
2. 絶対視野モード：移動者の体の向きが変わってもカメラは本来の写す方向へ補正する。
3. 移動者視野モード：カメラは移動者の顔向きを追従し、移動者の視野と一致させる。
4. 指差しモード：手持ちコントローラを指すことでカメラの写す方向を制御する。

観察者によるズームイン・ズームアウト機能

観察者は手持ちのワイヤレスコントローラのズームイン・アウトボタンを押すと、遠隔から伝わった映像をズームイン(拡大)・ズームアウト(縮小)することができる。こうすることで、観察者は看板など細かい文字を読むことができる。なお、視野モードが変更された時と共同注目がおきられた時ではズーム機能自動的に解除される。

4.1.1 相対視野モード

このモードでは、カメラの向き方向は移動者の体の向きに依存する。例えば、観察者の頭の向き方向を変わらなくても、移動者が体のある方向に振り向けば、カメラが向く絶対角度も変わられる。このモードは WithYou システムのデフォルトの視野モードであって、観察者の視野は移動者の行動に依存しながら、ある程度の自由視野を保つことができる。

4.1.2 絶対視野モード

このモードでは、観察者に固定且つ安定な視野を提供する。観察者が頭の向きを変えない限り、カメラが向いている絶対角度は変わらない。よって、観察者は固定の視野を見ることができる。このモードでは、観察者が何かをずっと注目したい時に使う。

絶対視野モードでは、カメラの向き方向を移動者の体の振り向きと逆方向に校正することによって実現される。例えば、観察者が正面 0 度に向いて移動者の正面の視野を見ている場合、移動者が体を右 30 度に振り向けば、カメラは自動的に左 30 度の方向に回転する。こうすることで、カメラが向いた絶対角度の変化がなく、観察者の視野は固定な方向に維持することができる。カメラの校正回転角度は自動的に算出され、移動者が体の向きを変えるとカメラは自動的に逆方向に回転して補正する。なお、パン・チルトカメラの回転性能（180 度、左 90 度から右 90 度まで）により、校正角度はカメラの回転範囲を超えると補正できなくなる。例えば移動者は 360 度ぐるぐる回った場合では補正できない、この場合、カメラが回転範囲の限界まで回転するが、観察者が見た視野は変わる。例えば、観察者は右 30 度に向いた時に絶対視野モードを起動すると、補正範囲は左が 60 度（ $90-30=60$ ）まで、右は 120 度（ $120+30=150$ ）までとなる。移動者の体の振り向きはこの範囲以内であれば、固定の視野を維持することができる。なお、校正角度と補正範囲の計算方法は以下の通りになる。

観察者の初期向き角度 = 絶対視野モードに入った時点の観察者の頭の相対の向き角度（例えば、正面から左 30 度は -30 とし、右 30 度は 30 とする）

移動者の初期向き角度 = 絶対視野モードに入った時点の移動者の体の向き角度

移動者の現在の向き角度 = 移動者の体の向き角度

カメラの補正角度 = $-1 \times (\text{移動者の現在の向き角度} - \text{移動者の初期向き角度})$

左までの補正範囲 = $90 - \text{観察者の初期向き角度}$

右までの補正範囲 = $90 + \text{観察者の初期向き角度}$

4.1.3 移動者視野モード

このモードでは、カメラの向き方向は移動者の頭の向きに追従する。よって観察者と移動者の視野は一致になる。移動者は観察者の視野をリードしたい時とある方向を見せたい時に使える。

4.1.4 指差しモード

このモードでは、観察者と移動者はワイヤレスコントロールを使ってカメラの向き方向を制御する。利用者がコントローラーを持ってある方向を指すことでカメラの向き方向を制御する。このモードでは観察者が特定方向を長時間で見たい時と、移動者は何かを観察者に見せたい時に使える。

4.2 向き方向の共有及び注目状態の伝達

「向き情報の共有」は観察者、移動者の間にお互いの顔の向きを知らせる機能である。向き情報の共有により「遠隔地の相手が何処を見ているのか?」と「どんなものについて興味があるのか?」が分かり、特に口に出さない無意識のうちに行った行動を観察できる。例えば、外出の際、相手が商品や看板に見ていたことに気づくことができれば、相手の興味と意向を知ることができる。これらの行為は相手の存在に気づくための重要な要素であり、共同外出の感覚を作る上では大きな役割を担っている。

観察者への移動者の向き情報を伝達する手法に関しては、GUIによる表示を用いて実現した。また、移動者への観察者の向き情報を伝達に関しては、カメラが向いている方向を移動者が見て、観察者の向きを推測する。また、前述した向き方向の共有機能で、相手がどこを見ているかを伝えたが、注目しているかが分からない。これに対し、本研究では、注目状態の検知や提示機能と、両者に一つの方向に共同注目させるインタラクション手法を設計した。

4.2.1 GUI：観察者への移動者の向き情報を伝達する手法

観察者への移動者の向き情報の伝達に関しては、GUI表示手法（図 4.2）を用いた。GUIは観察者の視野（遠隔画像）に重ね、お互いの向き方向の他、カメラのチルト角度、視野モード、カメラのズーム状態、システムメッセージ等を表示する。

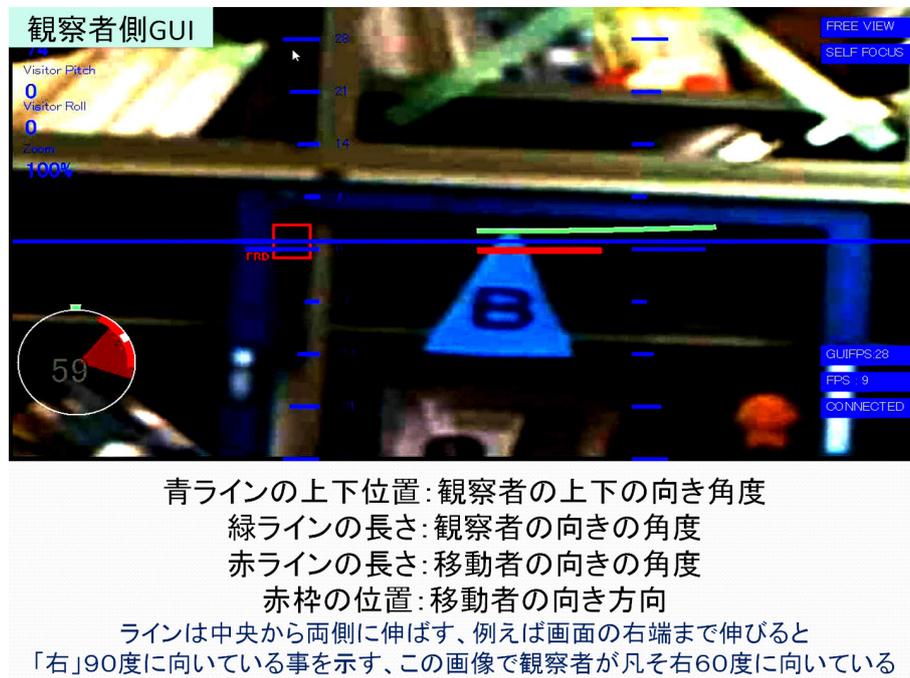


図 4.2: WithYou システムの観察者側 GUI

観察者・移動者の横向きに対する GUI 表現手法

観察者と移動者の向き角度は緑のラインと赤のラインの長さで表現され、例えば、観察者は前0度に向いた場合は、緑ラインはほとんど長さが持たない点として表示される。観察者は右60度に振り向いた場合、緑ラインは中央から右側に伸び、ラインの長さは画面中央から右の端までの長さの2/3である(=60/90)(図4.3に参照)。観察者は緑と赤のラインの長さとその先端位置を確認することで、お互いの見る方向を確認することができる。観察者が移動者と同じ方向を見たい場合にも、ラインの長さを見計らいながら調整することができる。

その他、GUIの左下に表示されたレーダー図も観察者と移動者の向き方向を提示している。暗赤色パイの向きと幅が観察者の向き角度と視野範囲を表し、赤色のアークが観察者の向き角度を表す。こうしたレーダー図の表現手法では次期システムのWithYou2にも使われている。



図 4.3: WithYou システム：観察者の横向きと GUI の関係

観察者の縦向きに対する GUI 表現手法

観察者の頭の縦向き方向は GUI 画面の青ラインの高さ（縦位置）で表現される（図 4.4）。観察者は頭を上に向いたり下に向いたりすれば，GUI 画面中央に表示された青ラインの高さもそれを追従するように移動する。この場合，前述した観察者と移動者の横向きを表す緑ラインと赤ラインも，青ラインの縦位置に追従する（緑ラインと赤ラインは，青ラインの上と下に表示する）。なお，画面の中央に表示された縦軸のインジケータは観察者の縦向き角度を示し，インジケータラインの間隔は 7 度である。

4.2.2 移動者へ観察者の向き情報を伝達する手法

移動者の胸の前にはパン・チルトカメラが設置されており，観察者がどの方向を見ているかは，カメラの向きを見ると分かる（図 4.5）。

移動者が直接カメラの向きを見て観察者の向き方向を推測するほか，胸の前に設置されたモノクロ LCD（図 4.6）を見て観察者の向き方向を確認することもできる。モノクロ LCD では観察者，移動者の向き方向を表示するほか，視野モード，接続状態，FPS 数，システムメッセージも表示されている。

4.2.3 注目状態の検出

観察者と移動者が，同じ方向を向いて 3 秒以上動かないでいると，その方向に「注目」しているとして検出される。注目になると，「相手注目」という文字メッセージを相手側に送信し，また，音声メッセージも同時に流される。この情報の提示により，相手の行動と意図を把握しやすくなり，会話のきっかけにもなると考えられる。

4.2.4 共同注目の提示

「相手注目」と提示された状態で，もう一人が同じ方向に向くと共同注目になる（図 4.7）。すると，自分側にも相手側にも「共同注目」というメッセージが表示され，また，音声メッセージも両側に流される。これにより，両者が共同注目していることを認識できる。特に共同注目では，「相手も同じ方向を見てくれる」を意味し，注目行為によるインタラクション手法でもある。

4.3 ジェスチャインタラクション

「会話以外の身体的な非言語的情報伝達もコミュニケーションを取る上で重要である」と考察し，WithYou システムではジェスチャーインタラクション手法（相手へ触れる，手を振る，指差し）を提案した。

WithYou システムでは，利用者はワイヤレスコントローラを持ってジェスチャーインタ



図 4.4: WithYou システム : 観察者の縦向きと GUI の関係

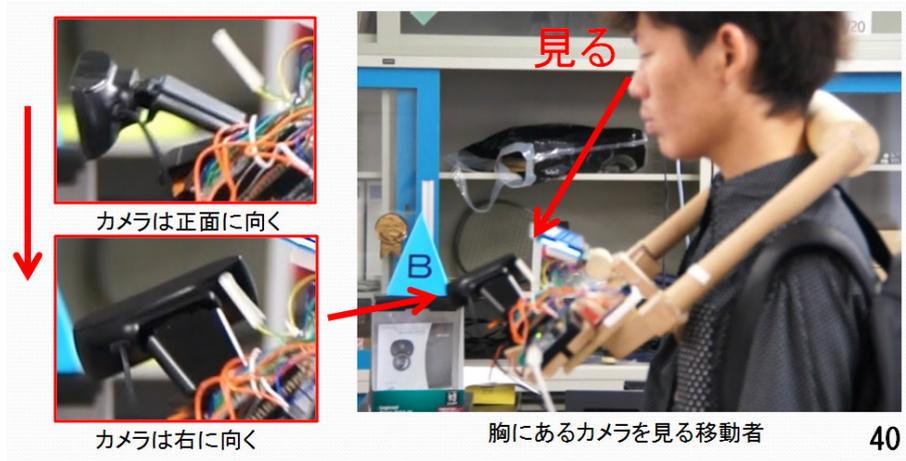


図 4.5: WithYou システム：移動者はカメラを見て観察者の向き方向を把握する



図 4.6: WithYou システム：観察者側のモノクロ LCD とその GUI

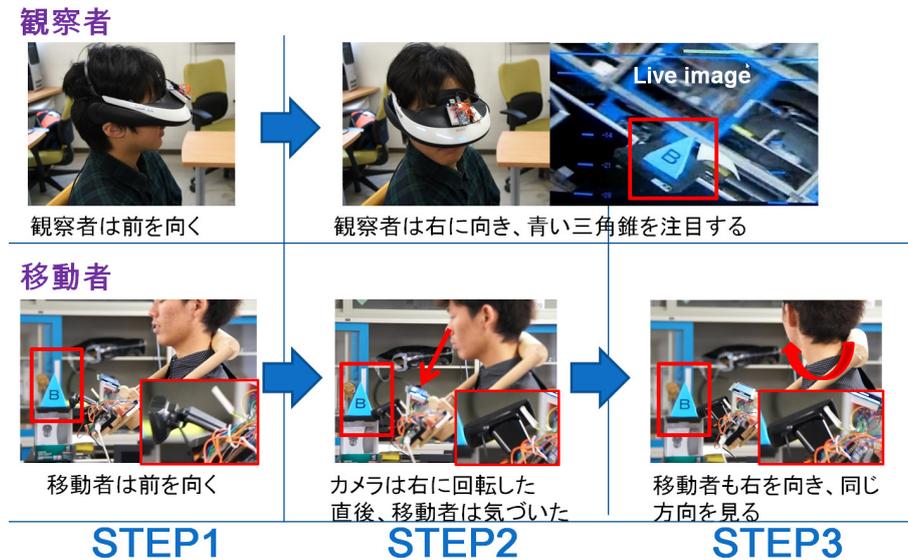


図 4.7: WithYou システム：共同注目の流れ

ラクション機能を利用する (図 4.8)．我々はコントローラに内蔵された加速度センサーを用いてジェスチャのパターンを検出する．前後振るというジェスチャーが検出されると両者側に音声提示と文字メッセージを流すという手法を取る．また，ボタンを押して相手に知らせのメッセージを送る機能も搭載される．

4.3.1 指差し視野モード

上記のジェスチャのほか，視野モードの中の「指差し視野モード」(4.1.4 節に参照) もジェスチャの一種と考えられる．観察者または移動者が指差し視野モードを使うことによってカメラの向き方向を制御し，相手に自分の意図を伝えることができる．

4.4 実装

4.4.1 開発環境と言語

WithYou システムは Microsoft Windows 7 環境で動作し，開発環境は Visual Studio 2008, Visual Studio 2010¹, Visual Basic 6.0 と Arduino² を利用した．システムのソフトウェア (アプリケーション) とハードウェアは観察者側と移動者側に分けられ，移動者は装置とノートパソコンの携行を必要とする．具体的なシステム環境と設置は表 4.1 と表 4.2 の通りになる．

¹Visual Studio : <http://www.microsoft.com/ja-jp/dev/default.aspx>

²Arduino : <http://arduino.cc/>

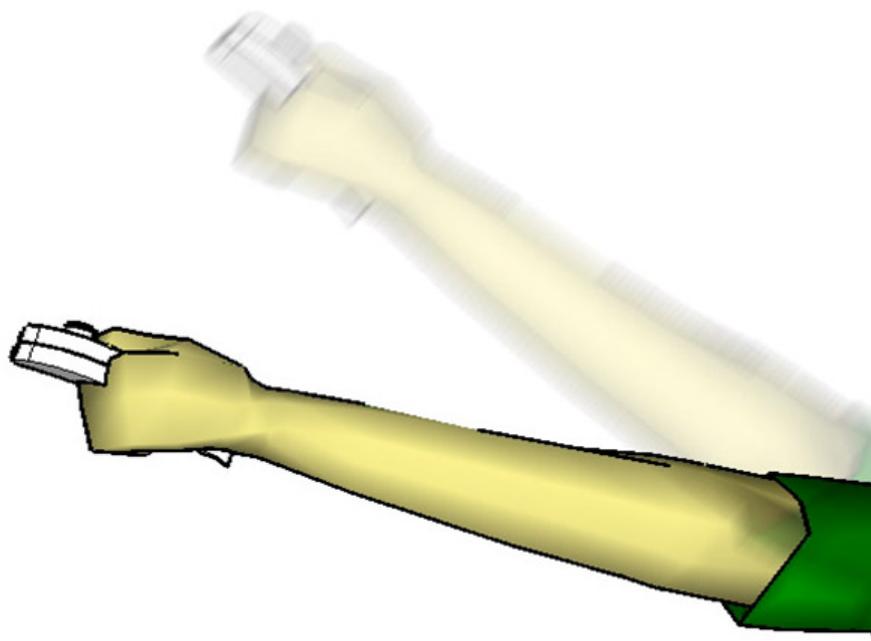


図 4.8: WithYou システム：観察者はコントローラを握って前後振る

観察者側の環境	内容
パソコンの種類	ノート PC
OS	Microsoft Windows 7 PRO
CPU	Intel i7-2677m 1.9GHz (2Core 4Thread)
メモリ	4GB
利用した通信機能	Bluetooth 通信 有線 LAN 通信 USB PORT x 2
ディスプレイ装置 利用ハードウェア	ソニー HMD HMZ-T1 ³ Nintendo Wii Remote Plus (コントローラ) ⁴ , Arduino Nano (地磁気センサーと 3 軸 加速度センサーの制御) ⁵
通信環境	筑波大学の学内 LAN

表 4.1: WithYou システム：観察者側の環境

移動者側の環境	内容
パソコンの種類	ノート PC
OS	Microsoft Windows 7 PRO
CPU	Intel i7-2620QM 2.4GHz (4Core 8Thread)
メモリ	8GB
利用した通信機能	Bluetooth 通信 無線 LAN 通信 USB PORT x 2
カメラ 利用ハードウェア	Logicool C910 USB カメラ ⁶ Nintendo Wii-remote Controller, Arduino Mega (地磁気センサーとカメラのパン・チ ルト台制御) ⁷ , Wintec WBT-100 (無線地 磁気センサー) ⁸
通信環境	WIMAX (論理速度 40MBps)

表 4.2: WithYou システム : 移動者側の環境

4.4.2 システムの構造とハードウェア

図 4.9 で示したように、システムのハードウェアは移動者側ハードウェアと観察者側ハードウェアに分かれる。移動者は肩掛けフレームを装着し、その上にはパン・チルト台、USB カメラと地磁気センサーが搭載された、さらに、移動者はメガネを付け、メガネには無線の地磁気センサーが搭載された。観察者は頭に HMD を付け、その上には無線地磁気センサーと加速度センサーが搭載された。また、システム利用する時には観察者と移動者がイヤレスコントローラを持ってシステムを操作する。

観察者側システムと移動者側システムはインターネットを介して通信を行う。通信内容に関しては、移動者側のカメラ映像は観察者側に送信し、視野モードの選択、向き方向、注目状態とジェスチャメッセージ等の情報は双方向へ送信する。

4.4.3 機能のモジュール化

WithYou システムでは多数のセンサーと装置を制御し、アプリケーション本体の膨大化を防ぐため、いくつかの機能をモジュール化した。これらのモジュールでは利用するセンサーと装置に対し、制御、データの補正と出力を全て行うように設計した。モジュールは .NET Framework Control もしくは COM+ ActiveX Control⁹ としてパッケージされ、利用する際にはプログラムコードで最小限の制御を行うことで必要なデータを取得することができ、

⁹COM : Component Object Model - <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms680573.aspx>

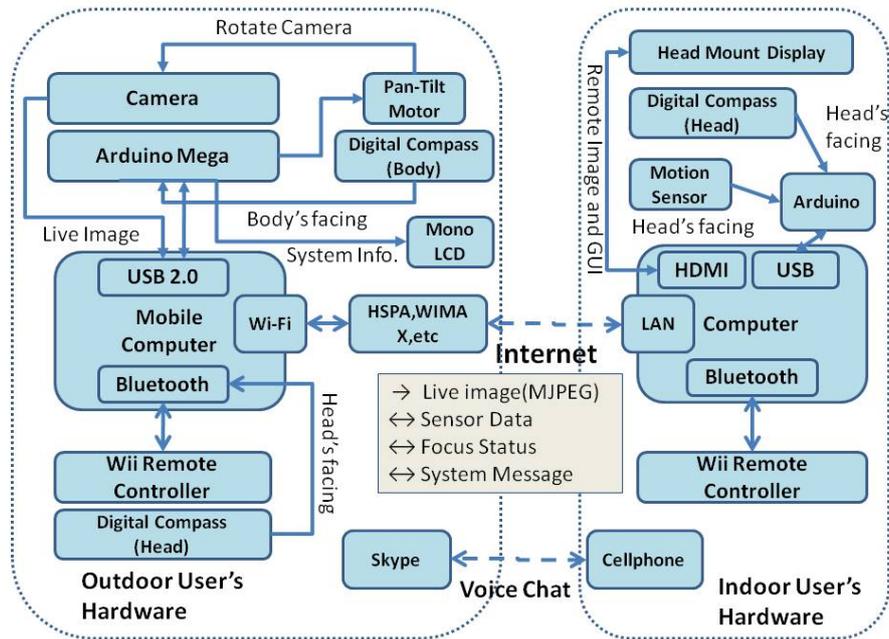


図 4.9: WithYou システムのハードウェア

システムの効率化を追求した。

WithYou システムで利用したモジュールは表 4.3 の通りである。

地磁気センサーによる水平向き角度の計測

本研究では、地磁気センサー 4.10 を用いて利用者の向き方向の計測を行う。センサーは 3 軸地磁気を検出できる HMC5883L センサーモジュールを採用し、Arduino Nano 基板を用いて I2C 方式で地磁気センサーを制御する。センサーから取得した X,Y 軸の地磁気量を Arctan 関数を用いて、センサーが向いている角度を算出する。算出した方位角度を 360 等分に分けて ASCII テキスト形式に変換し、シリアル通信を解してにパソコン側に送信する。出力データのパターンは表 4.4 の通りになる。

x : x 軸の地磁気的量
 y : y 軸の地磁気的量
 絶対方位 $degree = \arctan(x, y)$

モジュール種類	利用側	開発言語	コンパイル形式
カメラ制御モジュール	移動者	Visual C # 2010	.Net Component
パン・チルト台制御モジュール	移動者	Visual C # 2010	.Net Component
モノクロ LCD 表示モジュール	移動者	Visual C # 2010	.Net Component
Wii Remote Plus 制御モジュール	観察者, 移動者	Visual C # 2010	.Net Component
地磁気センサー制御モジュール	観察者, 移動者	Visual C # 2010	.Net Component
映像送受信モジュール	観察者, 移動者	Visual C # 2010	.Net Component

表 4.3: WithYou システムに使われたモジュール

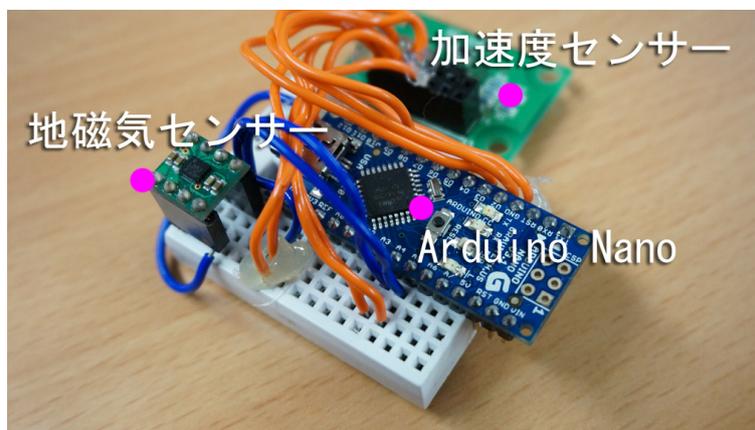


図 4.10: 地磁気, 加速度センサー基板

送信データバターン	A + 現在方位角度
テキスト形式	ASCII コード
計測周期	約 5 回/秒
データ例	A0 A90 A180 A270

表 4.4: longcaption

相対角度と角速度への計算

地磁気センサーから取得したデータは絶対方位角度であり、0～359 度にして向いてる東西南北方位を表す。しかし、実際に実験する際、利用者の正面方向を 0 度（真北）にするのは難しい。そこで我々は利用者が指定した角度を前向き方向とし、センサーから取得した絶対角度を引き算して相対的な向き方向を計算する。こうして算出した角度は方位に依存した向き角度となり、例えば 90 度（真東方向）を観察者の前向き 0 度方向と指定すると、観察者が東に向いた際、相対向き方向が 0 度と算出される。北に向いた際は -90 度になり、南に向いた際は 90 度になる。さらに、取得した相対角度の一秒毎の変動量を角速度として出力する。

加速度センサーの併用による誤認識の防止

地磁気センサーはセンサーの位置が水平に保たれている時だけに正確な方位角度を出力する。センサーの位置が傾くと出力するデータに誤差が生じ、傾き角度によって実際の方位と誤差が大きく生じる時がある。この現象を防止するため我々は加速度センサーを用いて傾き角度を検出し、地磁気センサーの誤認識を防止する。観察者の傾き角度が ± 20 度を越えた場合、地磁気センサーの出力データを一旦停止させ、± 20 度以内に戻ると地磁気センサーの出力を再開させる。これで傾きによる方位計測の誤差を防ぐことができる。

加速度センサーによる傾き向き角度の計測

WithYou システムでは観察者の首の傾き情報（上向きと下向き）を測量するため、加速度センサーから傾斜角度を算出する手法を用いた。加速度センサーは動的加速度と重力を測量することができ（表 4.5 に参照）、複数方向の重力データから傾き角度を算出することができる。本研究で使用している加速度センサーは 3 軸（X,Y,Z）方向の加速度を計測することができ、我々は 3 軸の重力データを用いて傾き角度（pitch）を計算する。

x : x 軸の加速度の量
 y : y 軸の加速度の量
 y 軸の傾き $pitch = \arctan(y/z)$

画像送受信モジュール

画像送信モジュールは .Net Framework 4.0 の画像エンコーダライブラリを用いて入力された画像を JPEG に圧縮する。さらに、圧縮したデータ内容をストリーミング形式で TCP のソケット通信を用いて観察者側（受信モジュール）に送信する。受信モジュールは一枚の圧縮画像を受け取った後同ライブラリで Bitmap フォーマットに解凍（還元）する。還元された画像は必要に応じて観察者、移動者の GUI に表示する。802.11g/n の無線 LAN 環境に

センサーの持ち方向	X 数値	Y 数値	Z 数値
縦持ち前向き	0	-1	0
縦持ち後ろ向き	0	1	0
横もち右側上向き	1	0	0
横もち左側上向き	-1	0	0
平置き下向き	0	0	1
平置き上向き	0	0	-1

表 4.5: 加速度センサーの重力反応

システム	通信速度	圧縮率	画像サイズ
WithYou	$\geq 10\text{FPS}$	LOW	100 %
WithYou	$< 10\text{FPS}$	HIGH	100 %
WithYou	$< 5\text{FPS}$	HIGH	25 %
WithYou2	$\geq 6\text{FPS}$	LOW	100 %
WithYou2	$< 6\text{FPS}$	MID	100 %
WithYou2	$< 3\text{FPS}$	HIGH	25 %

表 4.6: longcaption

において、WithYou システムで実測した送受信速度は約 25FPS であり（VGA 640x480 画質、一枚の画像は平均 100KB であり、一秒で約 2.5MB の画像データを送信できる）、同環境で WithYou2 システムの実測送受信速度は約 8FPS である（パノラマ画像 2560x480、一枚の画像は平均 300KB であり、一秒で約 2.4MB の画像データを送信できる）。なお、平均遅延時間は 0.3 秒になる。

帯域の変化による画像品質及び圧縮率の自動調整

画像送受信モジュールの圧縮率は数値で指定することができ、WithYou システムでは HIGH/LOW の二段階、WithYou2 システムでは HIGH/MID/LOW の三段階で、実際の通信に応じて変化する。また、画像のサイズに関しても通信速度に応じて変化する。通信速度が低下するとカメラから画像をキャプチャする段階で従来の 1/4 サイズに縮小し（WithYou システムでは QVGA 320x240、WithYou2 システムでは 1280x240）、送信データ量の減少により FPS 数の維持を求める。通信速度と画像の圧縮率、送信サイズの判断基準は（表 4.6）の通りである。

Wii Remote Plus	
接続方式	Bluetooth HID Device
通信速度	Bluetooth 2.0 EDR 921600Bps
センサー種類	3 軸モーションセンサー, 3 軸ジャイロセンサー
3 軸ジャイロセンサー	ボタン 11 個, 振動機能, スピーカー

表 4.7: Wii Remote Plus の機能と仕様

複合センサー装置「Wii Remote Plus」の制御モジュール

WithYou システムでは Wii Remote Plus (図 4.11) を用いてシステム操作の入力装置として使う同時に, 同装置に装備された各種のセンサーを用いてハンドジェスチャーと指差し等の動作の計測を行う。「Wii Remote Plus」は Nintendo 社がゲーム機器「Wii」のために開発したゲームコントローラである。WithYou システムでは Wii Remote Plus の 3 軸加速度センサーと 3 軸ジャイロセンサーを利用している。Wii Remote Plus の機能とセンサーの種類は表 4.7 の通りになる。



図 4.11: Wii Remote Plus ワイヤレスコントローラ

Wii Remote Plus の制御

Wii Remote Plus のセンサーデータを取得するには USB HID の通信 API を用いて制御作業を行う、USB HID のドライバに介して制御コマンドを Wii Remote Plus 本体に送信すると、本体からセンサーの原始データが返される。

Wii Remote Plus のジャイロセンサーによる向き方向の計測

視野モードである「指差しモード」を実現するために、我々は Wii Remote Plus のジャイロセンサーを用いてコントローラの向き方向を計測する。Wii Remote Plus が X, Y, Z の 3 軸のジャイロセンサーを持ち、ジャイロセンサーから各軸の角速度が出力される。コントローラの水平向き方向を計測するために、当センサーから出力された X 軸の角速度を利用した。

X 軸の角速度は約一秒 30 回の頻度で出力され、出力の単位はミニ度 (mDegree, 1/1000 度) である。30 回の角速度を加算して 1000 で割ると、一秒ごとの変動角度が得られる。コントローラの向きを計測するには、まず、コントローラの向き方向を前に向かせた状態で校正を行い、向いた方向を前向き 0 度と定義する。この後、利用者がコントローラを持って他の方向に指すと、先の計算で得られた角速度を用いてコントローラの相対向き角度を算出する。例えば、観察者がコントローラを持って右 30 度方向に指した場合、出力されれば角速度を加算して 1000 で割ると約 30 度という結果が得られる。また、ジャイロセンサーは誤差を累積する特性があり、観察者はコントローラの校正ボタンを押すことで向いた方向を前向き 0 度と再定義することができる。

Wii Remote Plus によるボタン入力

Wii Remote Plus では十字キーを含め、総計 11 個のボタンが備わっている。ボタンのステータスを監視するイベントプロセスにより、該当ボタンが押されたら観察者と移動者システムは知らされ、観察者と移動者システムはそれぞれのボタンに当たられた機能を実行する。また、ボタンのステータス (イベント) は Key Down, Key Up, Key Press に分けられる。例えば観察者はコントローラのボタン A を 10 秒間押し続けると、押した瞬間で Key Down イベントが発生し、押している途中では一秒一回で Key Press イベントが発生され、ボタンを放した瞬間で Key Up イベントが発生する。

4.4.4 利用者の向き方向と傾き角度の計測

WithYou システムでは無線タイプの地磁気センサーと 3 軸加速度センサーを併用して、観察者と移動者の向き情報と傾き情報を取得する。

観察者の向き方向と傾き角度

観察者の向き方向の取得に関しては、観察者側の HMD の上に地磁気センサーを設置して頭が向いている絶対方位を取得する。その絶対方位角度から観察者が指定した角度（前向き 0 度と意味する絶対角度方位）を引き、相対的な向き方向と計算する（-179 度から +180 度まで、4.4.3 節に参照）。システムを利用する時では、観察者がワイヤレスコントローラの方方向校正ボタンを押し、向いている方向を前 0 度を設定する。こうすることで観察者が向いた方向を計算することができる。例えば、観察者は正面より右 30 度の方向を向くと、システムも同時にその向き方向（相対角度）を計測できる。

また、観察者の頭部の傾き角度を測るため、我々は 3 軸加速度センサーから計測した X 軸と Y 軸の加速度データを用いて傾き角度（Pitch 値）を算出する。Pitch 値は -90 度から 90 度まで計測することができる、これで傾き情報を取得することができる（4.4.3 節に参照）。

移動者の向き方向

移動者の向き方向に関しては、移動者の体及び頭にそれぞれ地磁気センサーを設置し、体の向き角度と頭の向き角度を取得する。取得した二つの角度を引き算することで、移動者の頭の向き方向が得られる。なお、移動者では頭の傾きは計測していない。

4.4.5 WithYou 移動者側システム

移動者側ハードウェア

移動者側のハードウェアは二つの地磁気センサー、パン・チルトカメラ、情報表示用モノクロ LCD、ワイヤレスコントローラ（Wii Remote）とノートパソコンが備えられた。移動者は肩掛けフレーム（図 4.12）を装着しながら外出する。移動者の向き方向を取得するために、頭に地磁気センサーを搭載し、また、移動者側のノートパソコンは無線通信機能を持ち、移動しながら観察者側と通信する。

移動者側の肩掛けフレームは木材で製作され、移動者の胸の前にカメラを設置するようになった。これにより、カメラの揺れが少なく、より安定した映像が得られるようになった。また、移動者の胸の前にカメラを設置すると、カメラの向きが移動者の頭部の向きに影響されないことも利点である。

移動者側アプリケーション

移動者側アプリケーションでは移動者側のパン・チルトカメラ、モノクロ LCD とセンサーを制御し、そして観察者側アプリケーションと通信する役割を担う。パン・チルトカメラの映像は圧縮され観察者側に送信する。外出中で移動者に情報を知らせるため、モノクロ LCD と音声提示で情報の提示を行う。また、システムの操作とジェスチャインタラクシ



図 4.12: WithYou システム : 移動者側の装置

機能種類	機能内容
センサー計測	頭の向き方向の計測
	体の向き方向の計測
	コントローラの向きの計測
装置制御	USB カメラの制御
	パン・チルト台の制御
提示機能	モノクロ LCD の表示
	音声提示
	振動提示
操作システム	コントローラによる操作
	視野モードの変更
	ジェスチャインタラクション
	知らせメッセージの送信

表 4.8: WithYou システム：移動者側アプリケーションの機能

ン機能はワイヤレスコントローラを使う。移動者側アプリケーションの機能は表 4.8 の通りになる。

パン・チルトカメラの制御

移動者側のパン・チルトカメラでは、市販の USB カメラ (Logicool C910) をカメラのパン・チルト台の上に固定する (図 4.13)。カメラのパン・チルト台では Arduinio Mega 基板により制御され、パソコンから USB のシリアル通信を介してコマンドを送ることでパン・チルト台の横軸回転と縦軸回転を制御する。

パン・チルト台の制御

WithYou システムに使われたパン・チルトカメラは、市販の USB カメラとパン・チルト台で構成される。パン・チルト台の設計に関しては、より高い回転性能を得る為、二つの高速サーボモータを用いてパン・チルト軸の回転構造を製作した。サーボモータの回転速度は 0.17 秒 / 60 度であり (GWSサーボ MICRO / 2BBMG)、人間の頭の振り向きを追従するには十分な性能が備われる。サーボモータの制御は Arduino Mega 基板を通して行われ、回転範囲として、パンは移動者の前方 180 度を回転することができ、チルトは上下方向の 130 度を回転することができる。なお、サーボモータに対する十分な電流を供給するため、外付けの電池ボックス (充電式単三電池 4 個使用, 出力電圧=4.8V) によりパン・チルト台への給電を行う。

WithYou システムで使われた logicool C910 カメラをパン・チルト台に装着した場合、観

観察が見える最大水平可視範囲はカメラの水平視角（およそ 70 度）とパン・チルト台の水平回転範囲の合計で $70+180=250$ 度であり，最大垂直可視範囲はカメラの垂直視角（およそ 45 度）とパン・チルト台の垂直回転範囲の合計で $45+130=175$ 度である。

パソコンからパン・チルト台への制御に関しては USB に介したシリアル通信が使われた。パソコン側から 2 バイトのコマンドでパン・チルト角度を指定し（Byte0 データ：0 から 180，Byte1 データ：0 から 130），Arduino Mega 側がデータを受け取るとアナログアウトの出力電圧を改変し，二つのサーボモータを指定の角度まで回転させる。

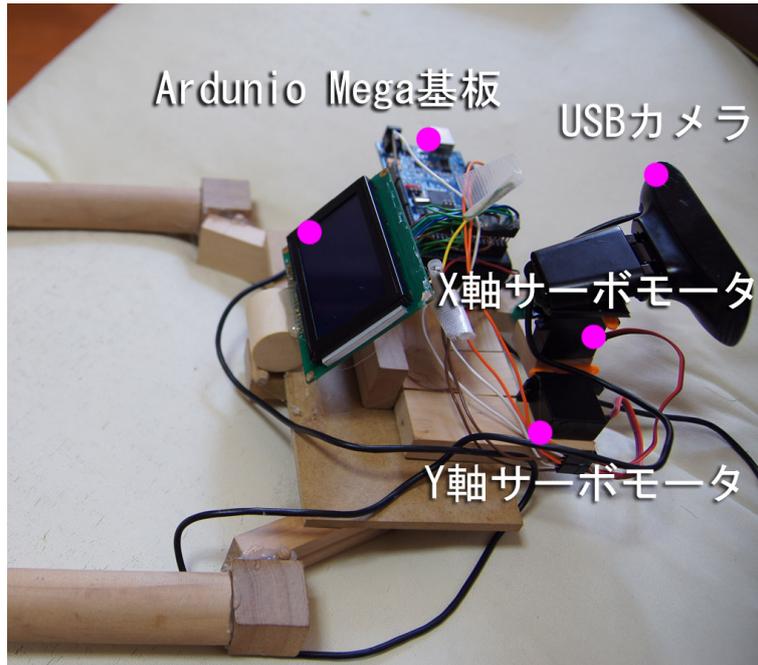


図 4.13: 移動者側のパン・チルト台

パン・チルト台のブレ防止対策

WithYou システムでは観察者側の HMD の上に設置した方向計測モジュールから観察者の頭の向きを計測し，その角度データを移動者側に送信しパン・チルト台の回転と連動する。しかし，方向計測モジュールが出力された角度は整数であり，観察者が動かなくても場合によって出力の角度は頻繁に変動していることがあった（例えば出力角度は 0 度から 1 度の間で変動している現象）。サーボモータが微小な角度範囲で頻繁に回転するとパン・チルト台乗せたカメラに悪影響を与え，カメラからキャプチャされた画像も不安定になりやすい。こうした現象を軽減させるため，パン・チルト台の回転制御処理では，新たに指定された角度と現在角度との差が 3 度以内であれば回転しないという仕組みが設計された。こう

することでパン・チルト台は微小な回転に反応せず，方向計測モジュールのセンサーの誤差によるブレを対策できた。

USB カメラの制御と映像のキャプチャ

USB カメラの制御に関しては，Microsoft DirectShow ライブラリを用いて行う。カメラの画像を取得するには原始データである YUV フォーマット画像データを取得した後，Bitmap フォーマットに変換して出力し，前述した画像受送信モジュールを用いて観察者側に送信する。また，ズームイン，ズームアウト（デジタルズーム）の制御も同ライブラリを用いて行う。

モノクロ LCD による情報表示

移動者の肩掛け装置にはモノクロ LCD(図 4.6) が設置された，LCD の画面では移動者はお互いの向き方向，視野モード，システムメッセージと接続状態等を表示する。モノクロ LCD は 128x64 ピクセルの表示領域を持ち，8bit パラレル通信を用いて Arduino Mega 基板に制御される。Arduino Mega 側ではコマンドとテキストメッセージを受信するシステムを実装し，移動者側アプリケーションから伝わった情報を表示する。

4.4.6 WithYou 観察者側システム

観察者側ハードウェア

観察者側ハードウェアでは，表示用装置，センサー装置と操作装置に分かれる (4.14)。表示用装置は HMD を用いて，センサー装置は Wii Remote Plus の内蔵センサー，地磁気センサーと加速度センサーで構成される。センサーの役割として，HMD の上に装着された地磁気センサーと加速度センサーは観察者の向きと傾き方向を計測し，Wii Remote Plus ではジャイロセンサーを用いてコントローラが指した方向を計測する。表示用装置は遠隔カメラの映像を表示する他，システム GUI も遠隔映像の上に重ねて表示する。

観察者側アプリケーション

観察者側システムでは，移動者側から送信された遠隔映像とシステムの GUI が HMD に介して表示する。さらに，観察者の向き方向と傾き角度を計測して移動者側に送信することによって，観察者が向いた方向が移動者側のカメラの向き方向と同じとなる。

観察者はワイヤレスコントローラでシステムを操作し，視野モードの変更，映像のズームイン・アウトとジェスチャインタラクション機能等を利用する。観察者側アプリケーションの機能は表 4.9 の通りである。



図 4.14: WithYou システム : 観察者側の装置

機能種類	機能内容
センサー計測	頭の向き方向の計測
	頭の傾き角度向の計測
	コントローラの向きの計測
画面表示	移動者側カメラ映像表示
	GUI 画面表示
提示機能	音声提示
	振動提示
操作システム	コントローラによる操作
	視野モードの変更
	映像ズームイン・アウト
	ジェスチャインタラクション

表 4.9: WithYou システム : 移動者側アプリケーションの機能

視野モードの実装

相対視野モードの実装

相対視野モードの実装に関しては、観察者側の HMD の上に設置された地磁気センサーと加速度センサーから観察者の頭の相対向き角度と傾き角度と取得し（4.4.4 節に参照）、一秒 30 回の頻度で移動者システム側に送信する。また、相対視野モードに入る（戻る）際には、観察者と移動者システムにコマンドで伝達する。

移動者システムは相対視野モードであることを照合すると、観察者システム側から伝わった向き角度と傾き角度を X,Y 軸の回転量としてパン・チルト台制御モジュールに送信し、カメラを角度通りに回転させる。そうすると、移動者側のカメラは観察者の頭の向きを追従することによって、観察者は首を回して移動者の所在環境を見渡すことができる。また、相対視野モードは WithYou システムのデフォルトモードであり、他の視野モードを解除すると相対視野モードに戻る。

絶対視野モードの実装

絶対視野モードは 4.1.2 節で説明した通り、移動者の体の向き角度と観察者の頭の首の向き角度を計算、校正することによって、カメラが向いている絶対角度を維持する。

移動者視野モードの実装

移動者視野モードの実装に関しては、プロセスは相対視野モードと類似しており、相違点として、移動者視野モードは移動者の頭の向き方向を取得し、カメラを移動者の向きに追従させる。よって、カメラの向きと移動者の頭の向きが一致し、観察者は移動者の頭の向き方向に当たる映像を見ることができる。また、両利用者側も移動者視野モードを使うことができる。

指差しモードの実装

指差しモードの実装に関しては、観察者と移動者が持っているワイヤレスコントローラ「Wii Motion Plus」のジャイロセンサーで横向きの角度と傾きの角度を取得し（4.4.3 節に参照）、その角度を移動者システム側を送信してカメラをコントローラと同じの向き角度に回転させる。そうすると、利用者はコントローラを持って特定方向を指すことでカメラの向き方向を制御することができる。

第5章 WithYou システムの評価実験

5.1 評価実験 A：機能の有効性の検証実験

5.1.1 実験目的

WithYou システムのインタラクション手法の有効性を検証するため、評価実験 A を行った。実験は以下項目についての検証を行う。

1. 観察者は自由に移動者の周囲を見渡せるか（自由視野機能の検証）
2. 観察者と移動者は相手の注目方向を把握できるか（向き方向の共有機能の検証）
3. カメラの向き方向を移動者の顔向きと連動させる手法は有効であるか
4. 共同注目インタラクションは、二人を一つの方向に注目させるには有効であるか？

5.1.2 実験方法

被験者人数：7人（5組）

場所：移動者は実験室の室内（A 地点）、観察者は実験室の外側の廊下（B 地点）で実験を行う。

実験環境の設置

移動者の実験環境では、ポスターと四角錐を用意した。ポスターの真ん中にはカメラ越しでも判断しやすい大きめのアルファベット文字が書かれており、その下には小さい4桁の番号が書かれていた。四角錐は正面に大きめのアルファベットが書かれており、各四角錐本体はそれぞれ別の色で構成される。また、ポスターは10枚用意し、移動者実験環境の壁に沿って貼り付けた。四角錐は8個用意し、広めのテーブルにアーク状に設置した。

観察者の実験環境では、観察者は椅子に座った状態でHMDを装着し、手でコントローラを持って実験を行った。

5.1.3 実験条件

二人一組で実験を行った。被験者は事前に約 10 分間の説明とトレーニングを受けた。実験中、移動者は肩掛けフレーム装置を装着した。観察者はカメラ映像で標的物（ポスターと四角錐）を特定し、番号を回答用紙に書いた。実験後、観察者と移動者を交代して同じ内容の実験を行い、最後にアンケートに記入してもらった。

実験中、移動者と観察者は音声通信で対話できる。ただし、ポスターと四角錐に書かれてアルファベットを直接相手に伝えることが禁じられる。

5.1.4 実験パターン

タスク A

タスク A は実験室内に A から J まで 10 枚のポスターを貼り、そのポスターを共同で探すタスクである。目標のポスター記号は観察者に教えるが、移動者には教えない。そして、観察者はシステムを用いて周囲を見渡して、移動者と共同で壁に貼っているポスターを探し出す。観察者がポスターを発見したら、そのポスターを移動者に発見してもらう。ここでもポスターの記号は教えてはいけない。移動者はポスターを発見したら、ポスターに小さく書いてある 4 桁の番号を記録して、これでタスクが終了となる。

タスク B

タスク A では、観察者は机の上に置かれた 8 つの色付き四角錐（図 7）の内一つに注目する。その後、移動者が共同注目の機能を使って同じ方向に注目して四角錐を特定する。特定した後、四角錐の裏に書かれている記号を記入し、これでタスクが終了となる。

タスク C

タスク B の逆で、移動者が先に 8 つのカラー付四角錐の一つに注目する。その後、観察者がそこに共同注目して四角錐の記号を記録する。このタスクを実行する際には、カメラの強制連動の自動起動をオフにする。

タスク D

タスク C と同じであるが、共同注目が始まるとカメラの向き方向は移動者の顔向きを追従し、観察者と移動者の視野を一致させる。



図 5.1: 実験タスク B,C,D の実験環境

実験内容	実験回数	成功率	平均使用時間
タスク A	5	100 %	2min
タスク B	5	100 %	< 1min
タスク C	5	100 %	< 1min
タスク D	5	100 %	< 1min

表 5.1: WithYou 評価実験 A : WithYou 機能検証実験の実験結果

5.1.5 実験結果

実験結果は表 5.1 の通りであった。全てのタスクの成功率は 100 % であり、使用時間に関してはタスク A を除いて平均 1 分以内である。この結果では WithYou システムの基本機能と設計したインタラクション手法は有効であることを示した。

5.2 評価実験 B : 外出利用実験

5.2.1 実験目的

本研究の予備実験では、二人が実際に共同外出する際と、テレビ電話に介して仮想外出する際に、実際に取ったインタラクションパターンを考察した。それに対し、本実験の目的は、

キャラクタ	録画内容
観察者	観察者の傍から固定カメラで撮影する
観察者	観察者側の HMD 画面と音声
移動者	撮影スタッフは移動者の後ろに付き，実験の過程を録画する

表 5.2: WithYou 評価実験 B の録画内容

WithYou システムの有効性を検証し，予備実験と比べてコミュニケーション形態はどのように変化したのを考査する。

5.2.2 実験方法と条件

本実験では 4 人の被験者がペアで参加した。被験者の一人（移動者，図 5.2）は外出し，もう一人の被験者（観察者，図 5.3）は室内にいる。実験タスクが始まる前，被験者はシステムの操作と機能について 10 分間の訓練を受けた。実験中，観察者に与えられた任務は興味のある商品を実際に購入することである。被験者たちは 20 分に与えられ，移動者は街中で移動して店に入ることができる。観察者は移動者に対し，店に入るか商品をカメラに写すか等の行動を要請できる。

実験は二日に分けて行った。初日では，二人の被験者は観察者として実験室に待機し，残り二人の被験者は移動者として外出する。二日目では観察者と移動者が交代し，同じ方法で実験を行った。よって，本実験では 2 ペア，4 セッションの結果を得た。また，実験中ではすべての被験者の行動を録画した。録画する内容は表 5.2 の通りであった。録画の分析は著者自身が行った，録画の中から被験者の行動を選出する基準は「情報交換するため行った行動（インタラクション，身振り，ジェスチャ等）」であった。基準を満たした行動を見つければ，その内容，特徴と時間（開始時間，終了時間）を記録した。

タスクが終わった後，被験者はアンケートを記入した。また，インターネットの接続環境に関して，観察者側システムでは有線 LAN でインターネットに繋ぎ，移動者側システムでは WIMAX 通信でインターネットに繋いだ。また，音声通信について，観察者は Skype を用いて観察者側の携帯電話にかけて通話した。

実験の後，被験者がアンケートを記入し，アンケートでは 5 段階評価を用いて各質問を被験者に評価される。なお，点数の基準は以下の通りになる。

1 : 非常に同意しない 2 : 同意しない 3 : どちらでもない，普通 4 : 同意する 5 : 非常に同意する



図 5.2: WithYou システム : 移動者の様子



図 5.3: WithYou システム : 観察者の様子

5.2.3 実験結果

被験者は事前に十分な訓練を受けたため、すべての被験者はシステムを使いこなすことができた。実験中、システムのエラーによって、一回だけ実験が一時中断したが、それ以外ではシステムは安定して動作していた。実験中、一秒当たりのフレーム数 (FPS) はおよそ 1 から 14 であった。また、場所と時間帯によって FPS 数が低くなると、観察者はどこを見ているかを認識し難くなる傾向が観察された。この時、観察者周囲を見るため移動者に暫く止まるように要求したことがあった。これらのインタラクションは実際共同外出した時と類似している。また、実験中観察者と移動者はコミュニケーションをうまくとれていた。

表 5.3 と表 5.4 はアンケートの結果を示した。その結果として、共同外出感の基本要素はプロトタイプシステムによって達成できたと言える。質問 1 の結果では両者 (観察者と移動者) とともに共同活動感覚を感じたことが示されている。

被験者のコメントは表 5.4 に列挙されている。結果として被験者はお互いに共同外出感を感じながらインタラクションを取れた。また、被験者のコメントはすべての被験者が実験の任務を達成するためシステムを使いこなしたことを示した。

表 5.5 では、被験者が注目状態と共同注目になった回数と頻度を示した。回数は GUI の録画ビデオを分析することによって集計した。その結果によると、移動者が注目状態になった頻度は観察者より高かった。原因として、観察者は主に正面を向いて、必要な時だけ首を回ると考えられる。また、観察者は常に正面向いて、注目状態として検出されないことも頻度が少ないの原因と考えられる。観察者が商品や周辺の環境を見ようとする時に首を回し、それに対し、移動者がより高い頻度で首を回して周囲の状況を確認する傾向がある。移動者が首を回す理由はさまざまであり、交通信号の確認、店と商品を探す等が挙げられる。また、移動者が意味なく首を振り向くのも多く観測された。これらの理由をまとめると、観察者の視野の広さは HMD の表示範囲に制限されることが最も重要な原因と思われ、より視角範囲が広い HMD を利用することでこの課題を解決する可能性がある。表 5.6 では、被験者が行ったインタラクションのパターンと回数を示した。パターンと回数は移動者側の録画ビデオを分析することによって集計した。その結果によると、WithYou システムが提供したインタラクション手法以外にも、被験者間に様々なインタラクションを取ったことを確認した。P3:「移動者が商品の前に立ち止まって観察者の行動を待つ」について、移動者はショーケースまたは商品の前に暫く立ち止まることがある。これによって、観察者が安定な映像を得ることができ、さらに、観察者はより環境を把握し易くなり、どこを見るべきかを分かるようになる。P2:「移動者が物を持ってカメラに介し観察者に見せた」について、移動者は物 (商品) を手に取り観察者に見せることも多く観察された。

評価実験の結果との比較

予備実験 A (3.2 節に参照) と本実験の結果を比較して、いくつかのインタラクションパターンが類似していることを気づいた。これらのインタラクションでは使った手段は違うものの、同じ目的を達成しようとしていることが判明された。表 5.7 ではこれらのインタラ

表 5.3: WithYou 評価実験 B : アンケート結果

質問		観察者	移動者
Q1	システムを使って、共同活動感覚を感じましたか？	4.5	4.5
Q2	思うとおりに見たい方向（もの）を見れたのか？	3.75	N/A
Q3	遠隔ユーザーの注目方向（物）をうまく把握したのか？	3.75	4.5
Q4	「移動者が振り向いても視野方向を維持する」という機能について、遠隔映像が安定して自分が見たい方向を写してくれたのか？	3.75	N/A
Q5	システム機能を使いこなしましたか？	4	3.5
Q6	注目状態に入る時、本当に自分が注目しようとした時と合うのか？	4	2.6
Q7	共同注目の作動について、相手の行動を把握するために役に立ったのか？	3	4
Q8	画像は揺れましたか？	3.5	N/A

表 5.4: WithYou 評価実験 B : アンケート結果（被験者コメント）

質問	
どのような状況で最も共同外出感を感じたのかを説明してください	
キャラクター	回答
観察者	物を買う時と遠隔相手と会話する時は一番感じた
	HMD を被って遠隔映像が見えた時で共同外出という気分になった
	最初はビデオを見ているような感じでしたが、移動者と会話すると一緒に買い物をするような感じがした。
移動者	買い物の時は特に感じた、携帯電話と違ったところは観察者も同じものを見ているから説明する必要はない。
	観察者にもものを見せた時、そしてリアクションをもらった時は感じた。
	外に歩いてた時、観察者は横のポスターを見て私に声をかけた。その後、私は Follow Me（移動者視野）機能を使ってポスターを観察者に見せた。

注目インタラクションの回数	観察者	移動者
注目状態になった回数	16.25	40.25
共同注目になった回数	5	5
被験者 A が注目状態になった回数	15	35
被験者 B が注目状態になった回数	3	19
被験者 C が注目状態になった回数	23	54
被験者 D が注目状態になった回数	24	53

表 5.5: WithYou 評価実験 B : 注目インタラクションの頻度

番号	インタラクションパターン	回数
P1	移動者が観察者の向き方向を気付き, ついに同じ方向を見る	51
P2	移動者が物を持ってカメラに介し観察者に見せた	36
P3	移動者が商品の前に立ち止まって観察者の行動を待つ	26
P4	移動者が観察者のために商品を探した	14
P5	移動者が商品に指を指した	13
P6	観察者が移動者に知らせのメッセージを送信した	6
P7	観察者が欲しい商品を決め, 移動者がその商品を買った	4

表 5.6: WithYou 評価実験 B : インタラクションパターン

クションパターンを示した。

また、予備実験 B のインタラクションパターンとも本実験といくつか類似していた。例えば、予備実験 B の場合、観察者は周囲を見渡せないため、移動者の向き方向を認識し難かった。それに対し、本実験の場合、移動者が遠くに移動したら、部分の観察者が移動者の体の向きと居場所が分からなくなるケースもある。

評価実験 B	予備実験 A
移動者が観察者の向き方向を気付き、ついに同じ方向を見る	相手の向き方向を気づき、自分も同じ方向を見る
共同注目	
移動者が商品の前に立ち止まって観察者の行動を待つ	相手が止まってどこかを注目していることに気づき、同じ方向を見てみる
移動者が物を持ってカメラに介し観察者に見せた	14
移動者が物を持ってカメラに介し観察者に見せた	手で物（商品）を持って一緒に見る
移動者が商品に指を指した	指差し

表 5.7: WithYou 評価実験 B：予備実験 A とのインタラクションパターンの比較

5.2.4 議論：共同外出感はどのように達成されたのか

観察者の自由視野

表 5.3 の質問 2 と表 5.4 のコメントにより、観察者の平均点数は 3.75 であった。この結果より、観察者は自由に移動者側の環境を見渡せたことを示した。なお、両者とも移動者側の所在環境をうまく共有できた。実験中、我々はよく「移動者は店に近づき、観察者は頭を回して値札もしくは店の外に置かれた商品を確認する」というインタラクションを確認した。こうしたインタラクションが会話を促進した。

我々のプロトタイプシステムとテレビ電話を用いた予備実験との違いとして、移動者が両手を使えることも挙げられている。移動者は「ものを掴んでカメラに写したり、ある商品もしくは値札に指差したり」といったジェスチャをより簡単に行える。

向き方向の共有と共同注目

表 5.3 の質問 3 では、観察者の平均点数は 3.75、移動者の平均点数は 4.5 である。この結果では、「観察者も移動者も相手の向き方向を把握できたこと」を示した。また、観察者の平均点数が移動者より低いのは、観察者は GUI 内の表示を確認する必要があるに対し、移動

者はカメラの向きを見てより素早く観察者の向きを把握できたからと考えられる。

表 5.3 の質問 6「注目状態に入る時、本当に自分が注目しようとした時と合うのか？」に対し、観察者は平均点数で 4 点、移動者は 2.6 点を付けた。観察者は移動者よりも注目状態の意味を理解しているように見えた。その中、一人の被験者（移動者）は「音で観察者が何かに注目しているのは分かる」というコメントを書いた。なおこの被験者は質問 6 に対して 5 点を付けた。しかしながら、移動者を務めた他の被験者たちは注目状態の知らせに気づきづらかった、その理由の一つは外出環境の騒音が大きく注目状態の知らせ音があまり聞こえなかったである。

実験の結果によると、実験中では「共同注目」状態に入った頻度は少なかったことが分かった、その原因として、移動者の継続注目時間は予期より短いと判断された。録画ビデオを確認した結果、移動者は常に胸の前に置かれたパン・チルトカメラを観察し、カメラが回されると直ちに認識できた。その次に、移動者はカメラの向き方向に首を回したが直ぐ元の方向に戻ってしまい、注目状態の検出条件が満たされなかった。従って、我々が注目状態の検出条件を見直し、共同注目をより正確に検出するように改善する必要がある。

ジェスチャインタラクション

実験中、移動者はハンドジェスチャ（リアル）を頻繁に利用した（表 5.6）、利用例として、移動者は興味のある商品を指差しながら観察者と会話していた。一方、観察者はよく「知らせボタン」を押して移動者に音声の通知を送っていた。他のジェスチャインタラクション機能（手を振る等）は殆ど利用されなかった。これらの機能は相手に知らせるには面倒すぎる等が理由として考えられる。従って、共同外出感の基本要素を達成するには、より自然で役立つジェスチャ機能を考案する必要がある。

第6章 WithYou2 システム

6.1 WithYou システムで残された課題

WithYou システムは評価実験によって一定な程度で共同外出感の基本要素を達成したが、幾つかの課題が残された。まず移動者は観察者と同等な程度 of 共同外出感を得られなかったことが分かった。原因として以下のような問題が挙げられる。

1. 観察者から移動者へ提供する情報が少ない：
例えば、移動者は観察者側の映像とジェスチャなどが見えない。さらに、複数の被験者からは「移動者にも観察者の顔が見れば共同外出感が促進される」とコメントした。
2. 向き方向の伝達の不足：
WithYou システムでは、移動者は胸の前にあったカメラの向きを見て観察者の向き方向を把握できる。しかしこれはあくまで大まかな向きであって、移動者は観察者が見ている標的（もの）を特定し難い時もある。
3. 注目状態と共同注目の検出の不備：
WithYou システムでは、同じ方向を3秒以上見続ければ注目状態となり、観察者と移動者は同じ方向で注目すれば共同注目の知らせが流されるという仕組みだったが、移動者に対しこの検出手法では不適切であった。
4. ジェスチャーインタラクションの利用頻度の少なさ：
WithYou では三つのジェスチャー機能を設計したが、実験中、ボタンでメッセージを送信する機能以外では殆ど使われなかった。

6.2 WithYou2 システムの設計と構成

前述した WithYou システムの課題を改善するため、我々は WithYou2 システムを設計した。新しい機能とインタラクション手法によって移動者と観察者により高く、そして同等な共同外出感を与えることができる。WithYou2 システムの利用者は WithYou と同じく室内にいる観察者と実際に外出する移動者（図 6.1）に分けられる。移動者は肩に装着した全周囲（360度）を写すパノラマカメラにより自分が居る環境の情報を観察者側に提供する。また、移動者自身もシースルータイプの HMD の着用し、観察者側の映像と視野等を共有する。観察者は固定した場所で HMD を装着し、頭の振り向きで移動者の所在環境を見渡すこ

とで遠隔環境を共有する。また、観察者の前にはカメラを設置し、上半身の画像を移動者側に送信する。

WithYou2 システムでは GUI の表示を用いて観察者及び移動者の向き方向を共有させる。さらに、グラフによる方向表示の他、相手が実際に見えている方向の映像を GUI に表示させることで、相手が見ている方向（もしくは物）を把握しやすくなる。

ジェスチャーインタラクション機能に関しては、WithYou2 システムは WithYou で使われた「コントローラを持ってジェスチャを行うことで相手に知らせメッセージを送信する」という手法を止め、移動者と観察者がカメラを通して実際に相手のジェスチャーを確認する方法に変更した。

こうして、WithYou2 システムでは共同外出感の基本要素を対応しながら、WithYou で提案した三つのインタラクション手法を改良した。手法の改良により、観察者と移動者により多くの情報を提供する他、両者に同等な共同外出感を提供することができる。 WithYou2 システムと WithYou システムとの違いは、表 6.1 の示した通りになる。



図 6.1: WithYou2 のシステム概要

	WithYou システム	WithYou2 システム
カメラ	パン・チルドカメラ	360°パノラマカメラ 観察者側カメラ
お互いの向き方向を知る方法	観察者: GUIを見る 移動者: カメラを見る	GUI を見るか、相手の視野映像を見る
観察者に提供する映像	以下を何れかを選択: 1, 移動者の周囲の映像 2, 移動者の視野	以下を同時に提供: 1, 移動者の周囲の映像 2, 移動者の顔 3, 移動者の視野
移動者に提供する映像	なし	以下を何れかを選択: 1, 観察者の視野 2, 観察者の上半身の映像 及びジェスチャ
ジェスチャインタラクション	1, ジェスチャで知らせ 2, メッセージを送る	1, ジェスチャが遠隔映像に重ねて双方に見せる 2, コントローラを指して視野方向を制御する

表 6.1: WithYou と WithYou2 の違い

6.3 自由視野機能の改良

本研究において、共同外出感を実現する最も重要な基本要素として「二人それぞれが周囲を自由に見渡すことができる」が挙げられている。二人が実際に共同外出する時には、お互いが外出場所の風景を見渡せることは共同外出感において重要且つ不可欠な要素と考えられる。この基本要素に対し、WithYou システムで提案したインタラクション手法は「観察者の自由視野の実現」である。それは、移動者は既に外出環境にいるため、観察者のみ自由視野を与えれば十分であると我々は考えていた。しかし、WithYou の評価実験を経て、移動者へ提供する映像情報が少なかったことを気付いた。例えば、「お互いの顔を見ることも重要ではないか」と被験者よりコメントされ、移動者も観察者が見ている映像を確認できれば共同外出感も促進されるのではないかと我々は考えた。

これらの議論によって、WithYou2 システムの自由視野機能では、以下の映像情報を観察者及び移動者に提供するように改良した。

観察者へ提供する映像情報：

1. 観察者が向いている方向の遠隔映像（観察者視野）
2. 移動者が向いている方向の遠隔映像（移動者視野）

3. 移動者の顔の映像

移動者へ提供する映像情報：

1. 観察者が向いている方向の遠隔映像（観察者視野）
2. 移動者側の映像（顔とジェスチャが含まれる上半身の映像）

6.3.1 パノラマカメラの採用理由

WithYou2 システムでは前述した映像情報を提供すると設計したが、しかし、パン・チルトカメラではこれらの映像情報を同時に観察者と移動者に提供するには不可能である。例えば、WithYou では観察者視野モードと移動者視野モードを提供したが、カメラは観察者、移動者どちらかの向きを追従するため、同時にこの二つの映像を提供することができない。

ここで、常に 360 度全周囲映像を写せるパノラマカメラなら実現できるのではないかと我々が思いついた、パノラマ画像が全周囲の映像情報を含むため、「観察者視野」と「移動者視野」の該当視角を計算し、画像を切り取ることで同時に取得することができる。さらに、移動者の顔を写せる視角の画像も同時に取得できる、これらの理由により、WithYou2 システムでは移動者側のカメラをパノラマカメラに変更した。

6.3.2 WithYou2 システムの GUI

WithYou2 システムでは、観察者側と移動者側共にグラフィカルユーザーインターフェース (GUI, 6.2) を採用した。GUI では HMD に表示された遠隔画像に重ね、お互いの向き方向と注目状態の他、視野モード、システムメッセージ等を表示する。また、移動者の顔の映像が左上のエリアに表示され、移動者の視野（移動者の頭が向いている方向の映像）は左下に表示される。GUI とその提示情報により、移動者は観察者と同等の情報を得ることができる。

移動者に観察者の映像を提供する

WithYou システムでは観察者のみが移動者側の映像が見えるが、WithYou2 システムは移動者側にもシースルー型 HMD を装着させ、観察者の前に置かれたカメラから観察者の顔向きとジェスチャーを移動者が確認できるという改良案を行った。



図 6.2: WithYou2 システムの GUI (観察者, 移動者共通)

観察者も移動者の顔と顔向きが見える

移動者側のカメラをパン・チルトカメラから 360 度全周囲を写すパノラマカメラに変更した。カメラは移動者肩から突出した 30 センチの所に設置され、移動者の顔もパノラマカメラの視角範囲に含まれた。カメラは回転する必要がないため、移動者の顔、移動者の視野等の複数映像情報を同時に観察者に伝達できる。観察者の GUI では、移動者の顔を写した映像と移動者が見ている方向の映像が左上エリアおよび左下エリアに表示することで観察者は移動者の顔と注目方向を確認できる。なお、GUI による向き方向表示もレーダー図タイプ(後述)に変更した。

移動者は HMD を介して観察者の視野を確認できる

移動者も HMD を介して観察者が実際に見ている映像を確認できる。今まで移動者では観察者の大まかな向き方向しか分からなかったが、この改善によって移動者も正確に観察者が見ているもの、標的を映像で確認できる。

移動者側にも簡単な GUI を提供した。GUI では観察者の向き方向を表示される他、ボタン操作によって前述した観察者の視野と観察者の顔とジェスチャーという二つの映像を切り替える。

観察者の操作による移動者映像エリアを拡大, 縮小する機能

観察者はワイヤレスコントローラの「+」と「-」ボタンを押すことで、左上と左下に表示される移動者の映像と視野を拡大, 縮小することができる。観察者は利用場面に応じて表示エリアを拡大することで、より移動者の環境を確認し易くなると思われる。

6.3.3 観察者と移動者の視野モード

WithYou システムと同様に、WithYou2 システムは観察者に以下四つの視野モードを提供する。観察者はワイヤレスコントローラの十字キーを操作することで視野モードを変更できる。また、パノラマカメラの利用により、これらの視野モードの実装方法は WithYou システムと違うものの、使う場面と効果は類似している（4.1 節に参照）。但し、WithYou2 システムはパノラマカメラを使うため WithYou のような回転制限がなく、絶対視野モードに関しては 360 度全範囲で補正することができる。

1. 相対視野モード：既定の視野モード，観察者は頭の振り向きで移動者の周囲を見渡しながらも，観察者の視野は移動者の体の向きによって変わる。
2. 絶対視野モード：移動者の体の向き変わってもカメラは本来の写す方向へ補正する。
3. 移動者視野モード：カメラは移動者の顔向きを追従し，移動者の視野と一致させる。
4. 指差しモード：手持ちコントローラを指すことでカメラの写す方向を制御する。

移動者には、以下二つの視野モードを提供する。

1. 観察者 HMD モード：既定の視野モード，観察者側の HMD に写された映像を移動者側の HMD に表示する。このモードで移動者は観察者と同じ映像を見ることができる。
2. 観察者映像モード：観察者の上半身の映像（ジェスチャを含む）が見える。

観察者 HMD モードでは、移動者は観察者と同じ映像を見ることができ、例えば、観察者が相対視野モードを利用している場合、移動者もその様子（映像）が見れる。また、観察者はジェスチャインタラクション機能を使う場合でも、移動者は観察者 HMD モードを通して観察者と同じ映像を見れる（観察者のジェスチャと遠隔映像が重ねられた様子）。

観察者映像モードでは、移動者は観察者の様子（身振りとジェスチャ、顔向きなど）を確認することができる。

6.4 向き方向の共有機能の改良

向き方向の共有手法に関して、WithYou システムでは 4.2 節で述べた通り、観察者は GUI で移動者の向き情報を確認し、移動者はカメラの向き方向を見て観察者の大まかな向きを確認するという手法を採用したが、観察者は実際に何をみているかを移動者が特定するには難しかった。WithYou システムの評価実験では、移動者はカメラ向きを見てから観察者に「〇〇ですか？それとも△△ですか？」という、言葉でもう一度尋ねることが多かった。場合によってはこのような行動は何回も行われ、観察者の向きは移動者に上手く伝えられなかったことを示した。

こうした課題を解決するため、WithYou2 システムでは観察者と移動者が GUI の表示で相手の向き方向を確認する手法を利用した。さらに、6.3.2 節と 6.3.4 節で述べた通り、観察者と移動者はお互いの視野を見て「実際に何をみているか」を明確に確認することができる。

6.4.1 相手へ向き情報を伝達する手法

WithYou2 システムの観察者と移動者は GUI の表示で相手の向き方向を確認する。GUI の真ん中の下にレーダー図が表示され、暗赤色のパイの向きは観察者の向き角度を表し（図 6.3）。赤色のアークの向きが観察者の向き角度を表す（図 6.4）。利用者はパイとアークの重ね具合を見て「相手同じ方向を見ているかどうか」を確認することもできる。

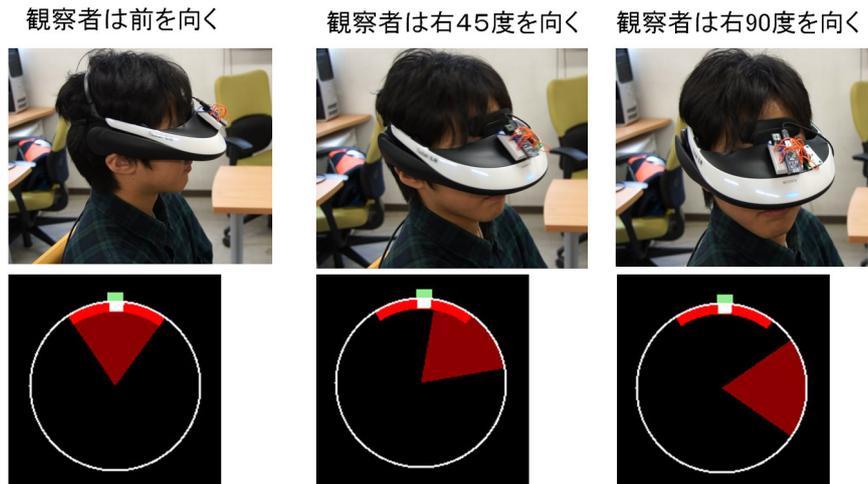


図 6.3: WithYou2 システム：観察者の向きと GUI の表示との連動関係

6.4.2 注目状態と共同注目の判定基準の改良

WithYou2 システムでは注目状態の検出基準を見直した。新しい基準は以下の通りになる。
 1：観察者：一秒以上同じ方向（※1）を見続けると「仮注目」となり、二秒以上見続けると「本注目」となる。
 2：移動者：頭の向きを 20 度（※1）以上変わると「仮注目」となり、この方向に一秒以上見続けると「本注目」となる。なお、仮注目と本注目になるとではお互いの GUI にアイコンとして表示される、本注目のみ音声提示とメッセージが流される。

共同注目の測定基準も改良した。今までは二人が同じ向き方向で注目状態になると共同注目に認定されるが、WithYou では測定ルールを見直し、新しいルールは以下の通りになる。※1：正面から左右 10 度（合計前方 20 度）の範囲を除く

共同注目：

1. 観察者もしくは移動者が向き方向を変えた 5 秒以内、相手も同じ方向に見ると共同注目となる。
2. 観察者もしくは移動者は「移動者視野モード」を選択すると、共同注目となる。

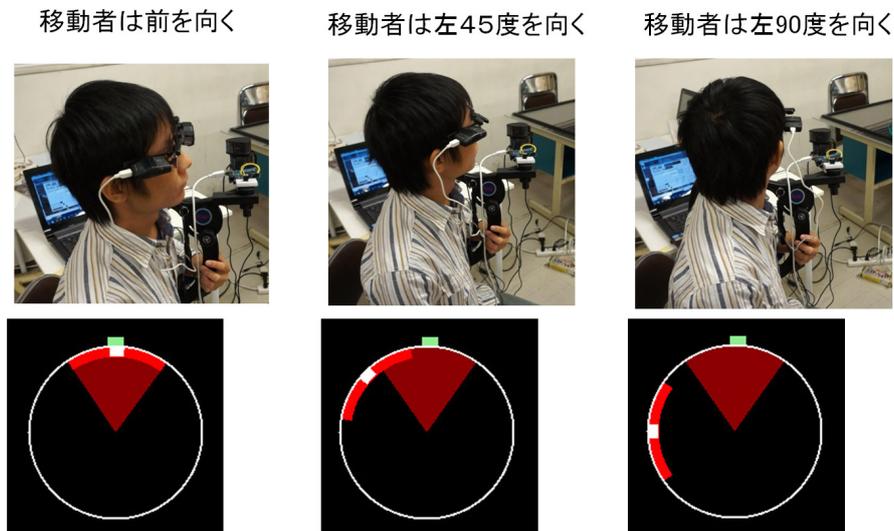


図 6.4: WithYou2 システム：移動者の向きと GUI の表示との連動関係

3. 移動者は「観察者視野モード」を選択すると、共同注目となる。

共同注目状態になると、両者側の GUI に点滅のアイコンを表示し、さらに音声提示とメッセージが流される。

6.5 ジェスチャーインタラクション手法の改良

WithYou の評価実験では、観察者側のジェスチャーインタラクション機能は殆ど被験者に使われなかった。その原因として、単なる相手に知らせのメッセージを送信するためにジェスチャー機能を使うことは、労力がかかり過ぎるのではないかと我々は考えた。さらに、ジェスチャーは何らかの状態を説明するインタラクションと考えられ、WithYou で提供されたジェスチャーインタラクション手法は観察者の意思を移動者に伝達するには不十分であると我々は考えた。

この課題を解決するため、我々はコントローラによってジェスチャーを検出する手法を止め、カメラに通して実際に相手のジェスチャーを確認する方法に変更した。

6.5.1 観察者側のジェスチャーインタラクション機能

観察者はジェスチャーインタラクション機能を利用すると、観察者の前方に設置されたカメラから撮影された上半身の映像が HMD に写されている遠隔映像の上に重ねられる (図 6.5)。こうした状態で、観察者は自分の手と遠隔映像が重ねた位置を確認しながら、ジェスチャー (指差し, 触る, 手を振る等) を用いて自分の意図を移動者に伝える。この時、移動者

にも HMD を通して観察者と同じ映像を見ることができる。

こうして、観察者が興味のある商品、場所等をジェスチャで指示することができ、移動者も観察者のジェスチャと重ねられた映像を見て観察者の意図を把握できる。



図 6.5: WithYou2 システム：観察者の映像が遠隔映像に重ねる

6.5.2 移動者側のジェスチャー

移動者が「物を手に取り観察者に見せる（図 6.6）」、「指を指す」等といったのリアルのジェスチャを行うことができ、観察者がカメラを通して移動者のジェスチャを含めた前方の映像を見ることができる。こうして、移動者のジェスチャは観察者の自由視野に含まれるため、移動者のためのジェスチャーインタラクション機能は設けていない。

6.6 実装

6.6.1 開発環境と言語

WithYou2 システムは Microsoft Windows 7 環境で動作し、開発環境は Visual Studio 2010 と Arduino を利用した。システムのソフトウェア（アプリケーション）とハードウェアは観察者側と移動者側に分けられる。具体的なシステム環境と設置は表 6.2 と表 6.3 の通りである。

6.6.2 システムの構造とハードウェア

図 6.7 で示したように、システムのハードウェアは移動者側ハードウェアと観察者側ハードウェアに分かれる。移動者側では肩乗せけフレームを装着し、その上にはパノラマカメラと地磁気センサーが搭載された、さらに、移動者はシースルータイプ HMD を装着し、上に



図 6.6: WithYou2 システム : 移動者は商品を手に取り観察者に見せる

観察者側の環境	内容
パソコンの種類	ノート PC
OS	Microsoft Windows 7 PRO
CPU	Intel i7-3537u 2.0GHz (2Core 4Thread)
メモリ	4GB
利用した通信機能	Bluetooth 通信 有線 LAN 通信 USB PORT x 2
カメラ	Logicool C910 USB カメラ
ディスプレイ装置	ソニー HMD HMZ-T1
利用ハードウェア	Nintendo Wii-remote Controller Arduino Nano (地磁気センサーの制御)
通信環境	筑波大学の学内 LAN

表 6.2: WithYou2 システム : 観察者側の環境

移動者側の環境	内容
パソコンの種類	ノート PC
OS	Microsoft Windows 7 PRO
CPU	Intel i7-2620QM 2.4GHz (4Core 8Thread)
メモリ	8GB
通信機能	USB タイプ LTE データカード : NTT Docomo L-09C
通信環境	LTE (論理速度 DL : 100Mbps)
カメラ	iBUFFALO 社の USB カメラ : BSW180ABK 二台
ディスプレイ装置	BROTHER WD-100G/A (シースルータイプ HMD) ワイヤレスキーボード
利用ハードウェア	Arduino Uno (地磁気センサーの制御)

表 6.3: WithYou2 システム : 移動者側の環境

は地磁気センサーが搭載された。また、移動者がワイヤレスキーボードを利用してシステムを操作する。

観察者側では、頭に無線地磁気センサーが搭載された HMD を装着し、観察者の前方にカメラが設置された、また、観察者がワイヤレスコントローラ (Wii Remote Plus) を利用してシステムを操作する。

観察者側システムと移動者側システムはインターネットを介して通信を行う。通信内容に関しては、移動者側のカメラ映像は観察者側に送信し、観察者側のカメラ映像も移動者側に送信する。また、視野モードの選択、向き方向、注目状態とシステムメッセージ等の情報は双方向へ送信する。

6.6.3 カメラの制御と画像の処理

USB カメラの制御に関しては、WithYou システムと同じ手法を用いた (4.4.5 節に参照)。

移動者側のカメラ制御

移動者側では、前向きカメラと後向きカメラそれぞれの出力画像 (画像のフォーマット : 1280x480 Bitmap) を取得した後、二枚の画像を用いてパノラマ画像の合成を行う。さらに、合成されたパノラマ画像から移動者及び観察者の視野範囲と移動者の頭の映像を抽出し、観察者側に送る最終画像を合成する。合成された最終画像は画像受送信モジュール (4.4.3 節に参照) を用いて観察者側に送信する。

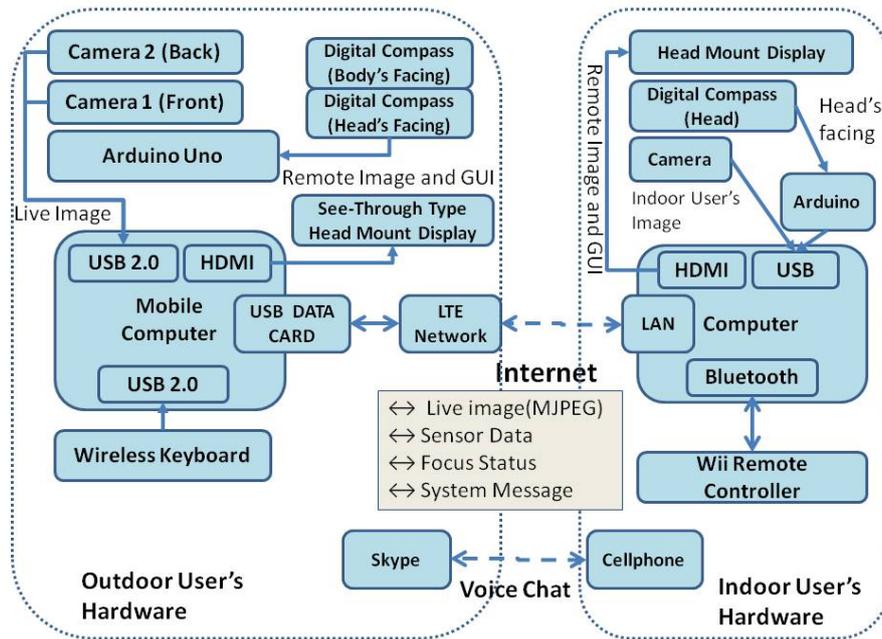


図 6.7: WithYou2 システムのハードウェア

観察者側のカメラ制御

観察者側では、観察者の前に設置されたカメラから（画像のフォーマット:320x240 Bitmap）を取得した後、前述した画像受送信モジュールを用いて移動者側に送信する。ただし、観察者がジェスチャインタラクションモードを利用する時では、観察者側のカメラ画像は移動者側の遠隔画像と合成してから移動者側に送信する。

パノラマ画像の合成

WithYou2 システムでは、前向きカメラと後向きカメラから取得した二枚の画像を間隔なくくっつけることでパノラマ画像を合成する（図 6.8）。WithYou2 システムで採用した 180 度広角カメラの出力画像は既に画像の変形処理が行われたため、パノラマ画像を合成する際には変形処理はしていない。ただし、設置位置のズレと高さの違い（前向きカメラは上、後向きカメラは下に設置）により、続き目の画像は少しずれることがある。

外出環境における画像送信速度の対策

パノラマ画像が移動者側の全周囲 360 度の映像を含むが、画像のデータサイズが大きいため（一枚 300KByte 程度）、そのまま観察者側システム送信すると、外出中のインターネット



図 6.8: WithYou2 システム：合成されたパノラマ画像

接続環境に対して大きな負担になると予想されるため、我々は観察者の視野、移動者の視野と移動者の頭の映像をパノラマ画像から抽出し、一枚の画像へ合成してから観察者側に送信するという手法を用いた。こうすることで画像のサイズは約 30KB まで抑えることができ（圧縮条件による）、平均ダウンロード速度が 1.5MBps のインターネット接続環境でも 6FPS を保つことができる（ $1.5\text{MBps} = 192\text{KByte/Sec}$ ）、インターネット接続がより不安定な外出環境でも遠隔映像の FPS 数が利用に耐えられるように工夫した。

移動者及び観察者の視野範囲の判別と画像の抽出

WithYou2 システムでは移動者側の全周囲 360 度の映像を写せるパノラマカメラを使ったため、WithYou システムのようにカメラは回転する必要がない。従って、WithYou2 システムはパノラマ映像の一部を切り取る方法で、観察者の視野、移動者の視野と移動者の頭の映像を抽出する（図 6.9）。

視野範囲の画像を抽出するには観察者及び移動者の頭の向き角度を中心にして、左右 45 度まで合計 90 度視角の画像を切り取る。抽出の手順に関しては下記の通りになる。

1. 前向きカメラの画像の左側と右側に後向きカメラの画像をくっつける。これでパノラマ画像の解像度は 3840×480 ($1280 \times 3 = 3840$) となった。また、横向き角度（以下、X 軸と呼ぶ）の 1 度に当たる画素の数は $3840 / 540 = 7.111$ 画素であり、パノラマ画像の中心（前向き 0 度の位置）が X 軸 1920 画素のところになる。
2. 観察者の視野を抽出する：例えば観察者は右 30 度に向いている場合、パノラマ画像の中心点である X 軸 1920 画素から観察者が向いた角度を加え（ $30 \text{度} \times 7.111 \text{画素} = \text{X 軸 } 213 \text{画素}$ ）、よって、X 軸 2133 画素（ $1920 + 213 = 2133$ ）の所は観察者が見ている中心ラインとなる。次に、左右 45 度までの視角を抽出するには、X 軸 2133 画素の位置より左右 320 画素まで（ $45 \text{度} \times 7.111 \text{画素} = 320 \text{画素}$ ）の映像を切り取る。これ

で X 軸 1813 画素 (2133-320=1813) の位置から X 軸 2453 画素 (2133-320=2453) の位置まで、総計 640 x 480 範囲の画像を切り取る。切り取った画像は観察者の視野と相当する。

3. 移動者の視野を抽出する：移動者の頭の向き方向（相対角度）を用いて、観察者の視野と同じ要領で抽出する。
4. 移動者の頭の映像を抽出する：カメラより移動者の頭の所在角度（既定位置の場合は右 210 度）を取得すると、観察者の視野と同じ要領で抽出する。

上記の手順を経て、観察者の視野、移動者の視野、移動者の頭の映像、計三枚の画像（640 x 480 画素）を得ることができる。

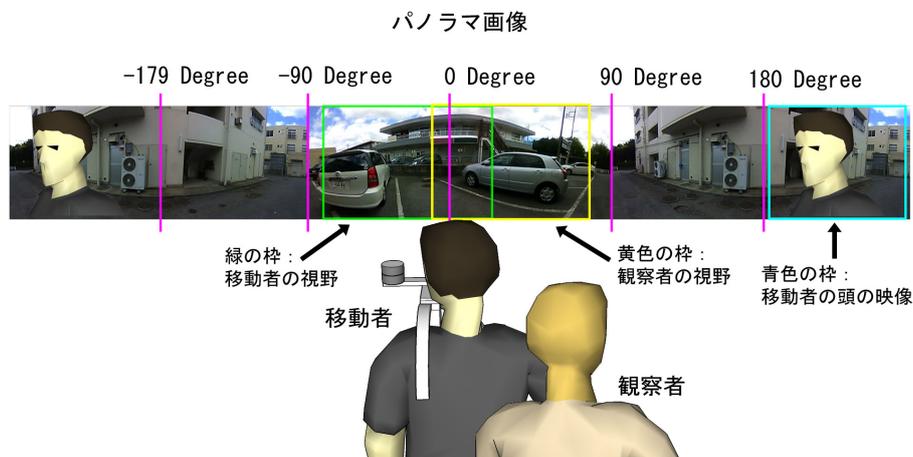


図 6.9: WithYou2 システム：パノラマ画像と視野領域範囲

視野モードの実装方法

6.3.2 節で述べたように、WithYou2 システムでは観察者に四つの視野モードを提供した。これらの視野モードの効果は WithYou システムの視野モード（4.1 節に参照）と類似したが、WithYou2 では回転しないパノラマカメラを使用しているため、実装の方法を以下のように変更した。

観察者の視野モードの実装方法：

1. 相対視野モード：パノラマ画像から抽出した「観察者の視野」をメイン映像として表示する。

2. 絶対視野モード：4.1.2 節で説明した方法で「カメラの補正角度」を計算し、「カメラの補正角度」と「観察者の向き角度」を加算することで「絶対視野角度」を得る。最後に、パノラマ画像から「絶対視野角度」を中心に周囲 90 度視角の画像を抽出してメイン映像として表示する。
3. 移動者視野モード：パノラマ画像から抽出した「移動者の視野」をメイン映像として表示する。
4. 指差しモード：パノラマ画像から、観察者の手持ちのコントローラが指した角度を中心に周囲 90 度視角の画像を抽出してメイン映像として表示する。

移動者の視野モードの実装方法：

1. 観察者 HMD モード：観察者側に送信する合成画像（メイン画像，移動者の視野と顔）を HMD に表示する。
2. 観察者映像モード：観察者側カメラの映像を移動者側システムに送信し，移動者の HMD に表示する。

観察者のジェスチャーインタラクション機能の画像処理

6.5 節で述べたように，観察者のジェスチャーインタラクション機能では，観察者の映像を遠隔映像に重ねて表示する。実装方法として，観察者側カメラから画像（観察者の映像）を取得した後，同画像を水平反転してから .Net Framework の画像処理ライブラリを用いて半透明（Alpha = 50 %，RGBA フォーマットの A 数値を改変）に処理する。処理された画像を「観察者の視野」画像と合成すると，図 6.5 のように，観察者の映像が遠隔映像と重ねた画像を得ることができる。また，前述の処理で得た画像は観察者と移動者の HMD に表示させる。

移動者から観察者へ送信する画像の合成

観察者へ送信する最終画像の合成に関しては，前節の処理で得られた観察者の視野，移動者の視野と移動者の頭の映像に相当する 3 枚の画像を用いて最終画像を合成する。6.3.1 節で述べたように，観察者が見た画面（GUI）では，観察者の視野を画面全体に表示し，その上に移動者の顔の映像が左上エリアに表示され，移動者の視野が左下エリアに表示される。こうした複数画像の合成処理は移動者側システムで予め行うことで，一枚の画像を観察者側に送るだけで実現できた。

観察者へ送信する画像は，メイン映像（観察者が利用している視野モード）とサブ映像（移動者の視野と移動者の頭の映像）で構成される，まず，サブ映像の画像を 1/2 のサイズに縮小し（320x240 画素），さらに観察者側に指定された映像エリアのサイズまで縮小する（6.3.1 節に参照）。縮小した二つのサブ映像をメイン映像の左上と左下に貼り付けて最終の

画像を合成する (図)． 上記の処理で合成した画像は観察者側に送信し、また、移動者側の視野モードは「観察者 HMD モード」の場合、この画像も移動者側の HMD に表示される．

移動者の頭の所在角度を判別する

カメラが載せた肩寄せフレームの先端は手で設置方向を変えることができる．設置方向を変えた場合、カメラより移動者の頭の所在角度も変わられる．その角度を自動的に取得するため、我々はフレームの先端と移動者の頭に付けた地磁気センサーの角度差を用いて移動者の頭の角度を計算する．

6.6.4 WithYou2 移動者側システム

移動者側ハードウェア

WithYou2 システムのハードウェアは、二つの地磁気センサーとパノラマカメラが装着された肩寄せフレーム、シースルータイプ HMD と操作用のワイヤレスキーボードが備えられ、また、システムを運行するためのノートパソコンはバックパックに入れ、LTE のデータカードを経由して観察者側と通信する．移動者はこれらの装置を装着した状態で外出する (6.10) ．



図 6.10: WithYou2 システム：移動者側の装置

設置位置	視野の死角	利点	欠点
肩の左前方	やや右後ろ	移動者の視野と行動を邪魔しない	右手で物を取ってカメラ（観察者）に写らせるのは困難である
肩の上	右に幅広く	移動者の行動を邪魔しなく、物を取ってカメラ（観察者）に見せやすい	右方向の死角が大きい。また、距離が道が過ぎるため移動者の顔ははっきり見えなくなる
肩の前方	右後ろ	移動者の顔を見やすい、また、映像の死角も小さい	移動者の行動を邪魔しやすい。また、手で物を取ってカメラ（観察者）に見せ難い
頭の前方	後ろに幅広く	移動者の顔の正面が見える。また、物を取ってカメラ（観察者）に見せやすい	移動者の視野を邪魔しやすい、また、後方向の死角が大きい

表 6.4: WithYou2 システム：カメラの設置位置による利点と欠点

パノラマカメラの構成

WithYou2 システムのパノラマカメラは、二つの 180 度超広角 USB カメラで構成された (iBUFFALO 社の USB カメラ: BSW180ABK を使用)。カメラの一つを前向きように設置し、もう一つを後向きように設置した。二つのカメラの可視角度範囲を合わせると、全周囲 360 度の周囲映像をカバーすることができる。

移動者の向き方向を測定する地磁気センサー

移動者の向き方向を取得するために、体と頭に地磁気センサーを搭載し、地磁気センサーは Arduino 基盤によって制御される。また、移動者の向き方向の測定方法に関しては WithYou システムで同じ手法を用いた (4.4.3 節と 4.4.4 を参照)。

肩乗せフレーム

肩乗せフレームは移動者の左肩に装着し、既定の配置では、センサーとカメラは移動者の肩から左前の位置に設置される。また、フレームの先端部は手動回転することができ、カメラの位置は前述した肩の左前方の他、肩の真上、肩の前方、移動者の頭の前方等、自由に変えることができる。ただし、それぞれの位置はカメラの視野範囲に影響する (図 6.11)。また、利用者の体型により、影響された視角範囲は変動する。肩の左前方という既定の配置では、移動者の行動と視野へ影響が少なく、且つ観察者が見た視野範囲を最大限維持することができる。

各設置位置に対する利点と欠点は表 6.4 の通りである。

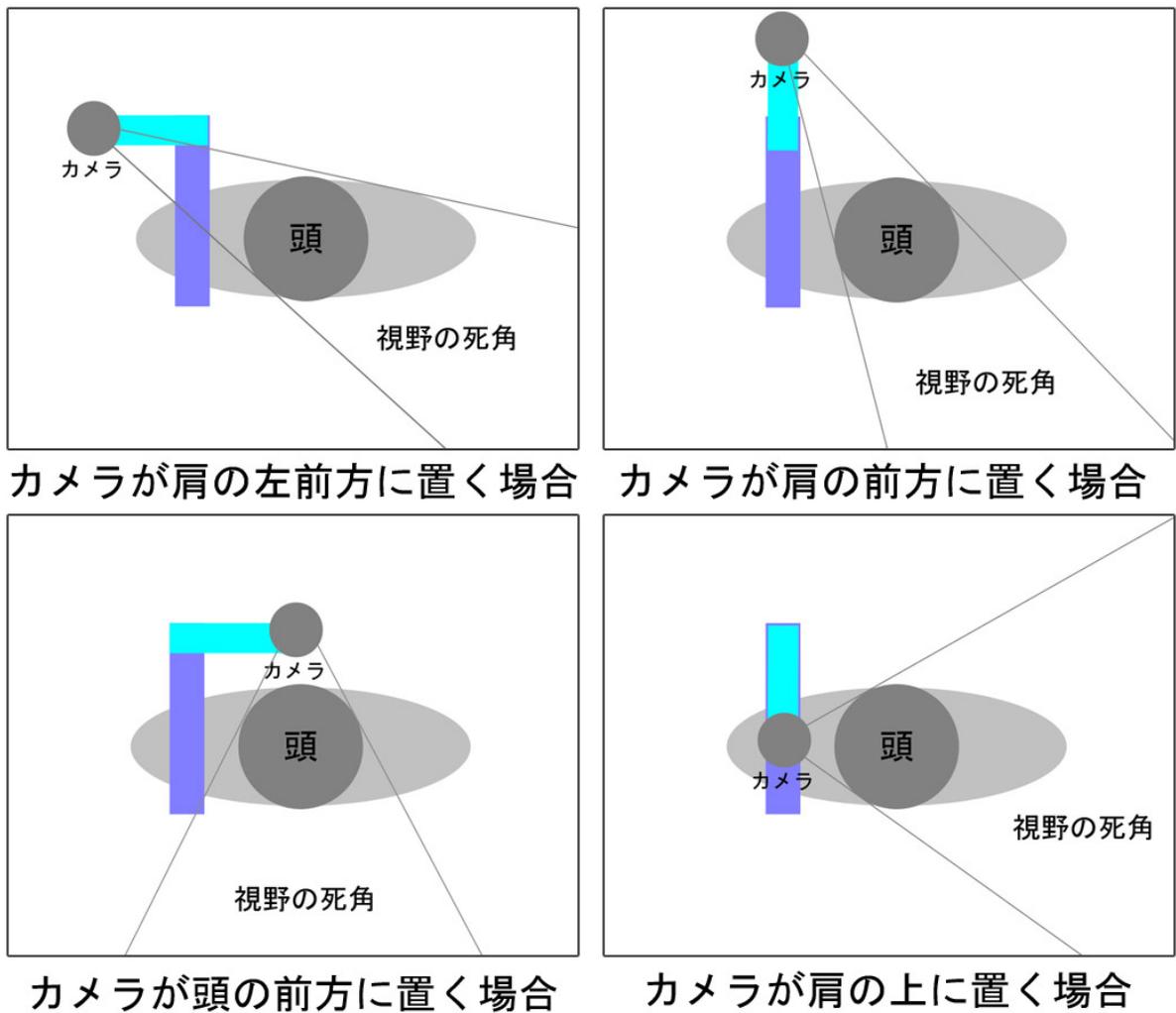


図 6.11: WithYou2 システム : カメラの設置位置による視野の死角

機能種類	機能内容
センサー計測	頭の向き方向の計測
	体の向き方向の計測
	注目状態と共同注目の検出
装置制御	USB カメラの制御
画像処理 (6.6.3 節に参照)	パノラマ画像の合成
	観察者の視野の抽出
	移動者の視野の抽出
	移動者の頭の映像の抽出
	各視野モードの画像の合成
送信情報	観察者の視野モードの画像
	向き方向とシステム情報
システム機能	視野モード
	GUI と向き方向の共有
視野モード	相対視野モード
	観察者 HMD モード
	観察者の映像モード
操作システム	ワイヤレスキーボードによる操作
	視野モードの変更
	知らせメッセージの送信

表 6.5: WithYou2 システム : 移動者側アプリケーションの機能

移動者側アプリケーション

移動者側アプリケーションでは移動者側のパノラマカメラと地磁気センサーを制御し、観察者の視野と映像等の情報を HMD に表示する。また、インターネットに解して観察者側システムと通信し、カメラの映像と向き方向に関する情報、システム情報等の送受信を行う。移動者側アプリケーションの機能は表 6.5 の通りになる。

6.6.5 WithYou2 観察者側システム

観察者側ハードウェア

観察者側ハードウェアでは、HMD、カメラ、センサー装置と操作装置が備えられる (6.12)。カメラは観察者の前方に設置され、観察者の上半身の映像を撮影できる。センサー装置は Wii Remote Plus の内蔵センサー、地磁気センサーで構成される。センサーの役割として、HMD の上に装着された地磁気センサーと加速度センサーは観察者の向き方向を計測し、Wii Remote Plus ではジャイロセンサーを用いてコントローラが指した方向を計測する。

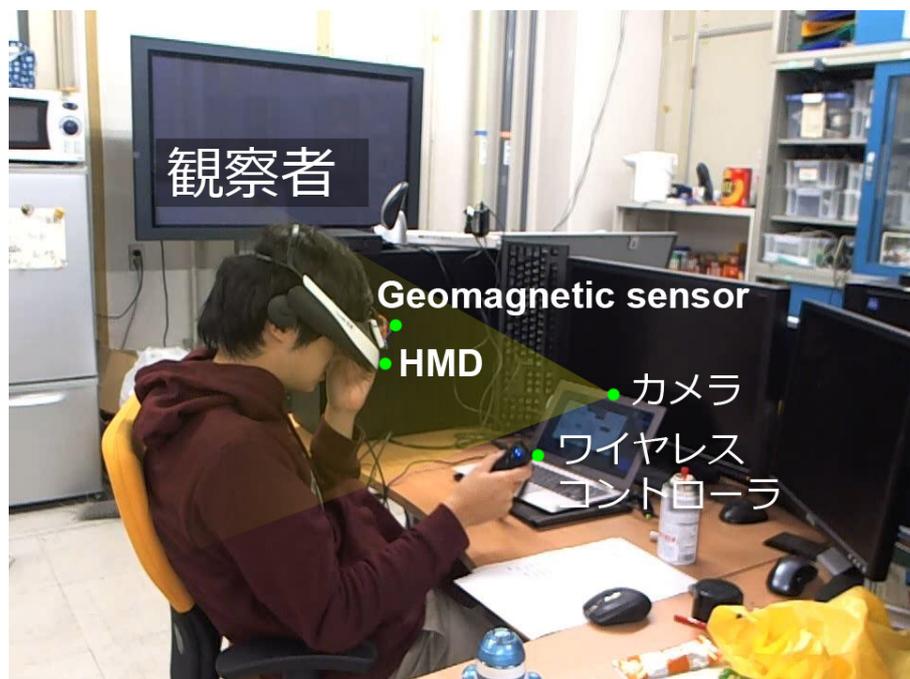


図 6.12: WithYou2 システム : 観察者側の装置

観察者側アプリケーション

観察者側システムで移動者側から送信された遠隔映像とシステムの GUI を HMD に通して表示する。さらに、観察者の向き方向とカメラ映像は移動者側に送信する。観察者は各視野モードを利用して移動者の周辺環境を共有する。観察者はワイヤレスコントローラでシステムを操作し、視野モードの変更、ジェスチャインタラクション機能等を利用する。

観察者側アプリケーションの機能は表 6.6 の通りである。

機能種類	機能内容
センサー計測	頭の向き方向の計測
	注目状態と共同注目の検出
装置制御	USB カメラの制御
画像処理（6.6.3 節に参照）	ジェスチャインタラクション画像の合成
	移動者の頭の映像の抽出
	各視野モードの画像の合成
送信情報	観察者の映像
	ジェスチャインタラクション画像
	向き方向とシステム情報
システム機能	自由視野及び各視野モード
	GUI と向き方向の共有
	ジェスチャインタラクション機能
視野モード	相対視野モード
	絶対視野モード
	移動者視野モード
	指差しモード
操作システム	ワイヤレスキーボードによる操作
	視野モードの変更
	ジェスチャインタラクション機能の利用
	知らせメッセージの送信

表 6.6: WithYou2 システム：観察者側アプリケーションの機能

第7章 WithYou2システムの評価実験

7.1 実験設計

7.1.1 機能別の有意義性を検証する実験条件設計

WithYou2システムが提供した機能とインタラクション手法の有意義性を検証するため、評価実験では4つの実験条件を設計した。実験条件ではシステムが提供した機能とインタラクション手法を一時制限したままで被験者に使わせ、通常状態のシステムと被験者に比較させる。実験セッションが始まると実験条件1から4の順番に移行し、条件毎に五分間の体験時間を与える。条件1, 2, 3では個別のシステム機能を制限したままで被験者が与えられた任務を遂行し、条件4ではすべてのシステム機能を起動した状態（通常状態）で被験者に使わせる。実験条件が全て終了すると、被験者は該当機能がオン（起動）及びオフ（制限）の状態に対し、それぞれの評価点数とコメントを記入する。

1. 条件1：お互いの顔・ジェスチャを見る機能の有意義性を検証する
五分間、観察者移動者はお互いの顔・ジェスチャを見れない状態で実験する
2. 条件2：向き方向の提示に関する機能の有意義性を検証する
五分間、向き方向を提示しない状態で（GUIのレーダー図が非表示）実験する
3. 条件3：注目状態及び共同注目の提示の有意義性を検証する
五分間、注目状態及び共同注目の検出、提示をしない状態で実験する
4. 条件4：被験者がシステムを使って与えられた任務を遂行する
五分間、システム機能をすべて作動した状態で、与えられた任務を遂行する

なお、各実験条件の機能別比較は表 7.1 の通りである。

7.1.2 被験者トレーニング

被験者をシステムの操作と利用方法に慣らせるため、実験を実行する前に、30分から40分程のトレーニングを実施する。被験者がペアでトレーニングを受け、トレーニングの手順では、観察者と移動者に実験用の装置を装着させ、システムを作動状態にした後、以下の通りにシステム基本機能の操作を説明する。また、トレーニング中では被験者に全てのシステム機能を一通り体験させるが、実験の本番では「どの機能を使って任務を遂行するのは個人

条件	観察者が自由に見渡せる	相手の顔とジェスチャが見れる	GUIでお互いの向き方向を表示
条件1	○	-	○
条件2	○	○	-
条件3	○	○	○
条件4	○	○	○
条件	注目状態及び共同注目の提示	相手の向き方向の画像が見える	観察者側のジェスチャインタラクション機能
条件1	○	○	-
条件2	○	○	○
条件3	-	○	○
条件4	○	○	○

表 7.1: 実験条件の機能オン・オフ状態

の自由である」ことを予め被験者に説明する。また、トレーニングが完了すると本番の実験セッションに移行する。

観察者及び移動者のトレーニング手順

1. システムの概要を説明する。
2. (観察者のみ) 自由視野機能を使わせながら、GUIの基本表示情報を説明する。
3. (観察者のみ) 絶対視野モード, 移動者視野モード, 指差し視野モードを使わせる。
4. (移動者のみ) 移動者に視野モード(観察者の視野と顔)を変更させながら、GUIの基本表示情報を説明する。
5. 特定の方向に向かせて注目状態を検出させる。そして注目状態の検出と提示方法を説明する(GUIと音声提示)。
6. 観察者と利用者を同じ方向に向かせて共同注目を検出させ、共同注目の意味と提示方法を説明する(GUIと音声提示)。
7. メッセージ送信機能を使わせる。
8. ハンドジェスチャを行わせ、相手が確認できたかどうかをその場で質問する。



図 7.1: 被験者トレーニングの様子

7.1.3 アンケート設計

本研究では「共同外出感の実現」を提唱したが、共同外出感自体はより抽象的な概念と捉えている。この概念を具体化するため、評価実験の結果を分析し、以下三つの基本要素を考察した。

1. 二人それぞれが周囲を自由に見渡すことができる (自由視野).
2. 相手がどこを見ているかを理解する。且つ、会話が無くてもお互いに相手はどこを注目しようとしているかを伝達できる (向き方向の共有).
3. ボディアクションとジェスチャ.

WithYou2 システムの評価実験では、「これらの基本要素を達成できたかどうか」を検証するため、上記の基本要素に応じてアンケートの問題設計を行った。アンケートの評価点数は5段階評価で評価され、点数の基準は以下の通りになる。

点数の基準 (評価) :

1 : 非常に同意しない 2 : 同意しない 3 : どちらでもない, 普通 4 : 同意する 5 : 非常に同意する

点数の基準 (頻度) :

A：まったく使わなかった　　B：少しだけ使った　　C：よく使った　　D：ずっと使った

共同外出感に関するアンケート問題設計

- 質問 1：システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？(1～5)，もし感じたなら，どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください

自由視野に関するアンケート問題設計

観察者への質問

- 質問 2.1：思うとおりに見たい方向（もの）を見れましたか？(評価 1～5)
- 質問 2.2：商品の形と情報（印刷された文字等）を把握できましたか？(評価 1～5)
- 質問 2.3：相手の顔をどれくらい見ましたか？(頻度 A～D)
- 質問 2.4：相手が見ている方向の画像（相手が見ているところ）をどれくらい見ましたか？(頻度 A～D) また，見えたことはどう役に立ちましたか？
- 質問 2.5：以下の視野モードをどれくらい使いましたか？(頻度 A～D)？もし使ったらどういった場面で使ったのかを説明してください
- 質問 2.5.1：相対視野モード（デフォルトモード）：
- 質問 2.5.2：絶対視野モード（一定な視野方向に修正してくれるモード）：
- 質問 2.5.3：移動者視野モード（移動者と同じ方向を見せるモード）：
- 質問 2.5.4：指差し視野モード（コントローラの指し方向で方向を制御するモード）：
- (以下は条件 1 に対する質問である)
- 質問 2.6：相手の顔が見えない実験条件と比べて，相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと思いましたか？
- 質問 2.7：相手の顔とジェスチャが見えることで，より相手の存在感を感じましたか？(評価 1～5)

移動者への質問

- 質問 2.1 : 相手の顔をどれくらい見ましたか? (頻度 A~D)
- 質問 2.2 : 相手が見ている方向の画像 (相手が見ているところ) をどれくらい見ましたか? (頻度 A~D) また, 見えたことはどう役に立ちましたか?
- 質問 2.3 : 以下の視野モードをどれくらい使いましたか? (頻度 A~D)? もし使ったらどういった場面で使ったのかを説明してください
- 質問 2.3.1 : 移動者視野モード (移動者と同じ方向を見せるモード):
- (以下は条件 1 に対する質問である)
- 質問 2.4 : 相手の顔が見えない実験条件と比べて, 相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと思いましたか?
- 質問 2.5 : 相手の顔とジェスチャが見えることで, より相手の存在感を感じましたか? (評価 1 ~ 5)

観察者側の質問 2.1, 2.2 は自由視野に関する基本機能を検証するために設けた質問であり, 被験者から付けられた点数とコメントによってこれらの基本機能は設計通りに作動できたかを検証する。また, 観察者側の質問 2.3, 2.4, 2.5 と移動者側の質問 2.1, 2.2, 2.3 は「表示された映像コンテンツをどのくらい見たか」という利用頻度とその感想を被験者に尋ねる質問である。これらの質問によってシステム機能はどのくらい使われたか, と共同外出する時これらの機能は実際役立ったのかを検証することができる。

観察者側の質問 2.6, 2.7 と移動者側の質問 2.4, 2.5 は条件 1 の状態に対する質問であり, これらの質問は被験者が相手の顔とジェスチャが見える場合と見えない場合に対し, 被験者が察知した違いを尋ねるために設計した。また, 前述した状態の違いによって被験者に「相手の存在を感じるにはどのような違いがあったか」を尋ねる。これらの質問の結果によって, 相手の顔とジェスチャが見えることでは, 共同外出感をどの程度促進したかを解明することができる。

向き方向の共有に関するアンケート問題設計

観察者への質問

- 質問 3.1 : 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.2 : 移動者の体の向きを正面として, 自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.3 : 移動者の周囲の状況を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 質問 3.4 : G U I インタフェースでは, 向きの表示は分かりやすかったですか? (評価 1 ~ 5), もし分かり難かったらその理由を教えてください
- 質問 3.5 : 注目状態の提示音声とメッセージなどをどれくらい確認できましたか? (頻度 A ~ D) もしできなかつたらその理由を説明してください
- 質問 3.6 : 自分が注目状態と判定された時, 本当に自分が注目したタイミングと合っていましたか? (評価 1 ~ 5)
- (以下は条件 2 に対する質問である)
- 質問 3.7 : 向き方向を提示しない状態では, 以下の質問一度回答してください
- 質問 3.7.1 : 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.7.2 : 移動者の体の向きを正面として, 自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.7.3 : 移動者の周囲の状況を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.8 : G U I で向き方向を提示する状態と比較して, どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか?
- 質問 3.9 : お互いの向き方向を G U I で提示することは, 提示しない時と比べてどう違いましたか? (評価 1 ~ 5)
- (以下は条件 3 に対する質問である)
- 質問 3.10 : 条件 3 では, 相手と自分の注目行為を把握できましたか? (1 ~ 5) もしできなかつたら, その理由を挙げてください
- 質問 3.11 : 条件 3 と通常状態を比較して, 注目状態と共同注目の提示では, 相手の行動を把握するために役に立ったのか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.12 : 注目状態と共同注目の提示は, 相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか? (評価 1 ~ 5)

移動者への質問

- 質問 3.1 : 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 3.2 : G U I インタフェースでは, 向きの表示は分かりやすかったですか? (評価 1 ~ 5), もし分かり難かったらその理由を教えてください

- 質問 3.3 : 注目状態の提示音声とメッセージなどをどれくらい確認できましたか? (頻度 A~D) もしできなかつたらその理由を説明してください
- 質問 3.4 : 自分が注目状態と判定された時, 本当に自分が注目したタイミングと合っていましたか? (評価 1~5)
- (以下は条件 2 に対する質問である)
- 質問 3.5 : 向き方向を提示しない状態では, 質問 3.1 をもう一度回答してください
- 質問 3.5.1 : 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1~5) ?
- 質問 3.6 : GUI で向き方向を提示する状態と比較して, どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか?
- 質問 3.7 : お互いの向き方向を GUI で提示することは, 提示しない時と比べてどう違いましたか? (評価 1~5)
- (以下は条件 3 に対する質問である)
- 質問 3.8 : 条件 3 では, 相手と自分の注目行為を把握できましたか? (1~5) もしできなかつたら, その理由を挙げてください
- 質問 3.9 : 条件 3 と通常状態を比較して, 注目状態と共同注目の提示では, 相手の行動を把握するために役に立ったのか? (評価 1~5)
- 質問 3.10 : 注目状態と共同注目の提示は, 相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか? (評価 1~5)

観察者の質問 3.1 から 3.4 までと 3.6, 移動者の質問 3.1, 3.2 と 3.4 は向き方向の共有に関する基本機能の有効性を検証する質問である。被験者に付けられた点数とコメントによって被験者はうまく相手の向き方向, 及び注目状態を把握できたかどうかを検証する。

観察者側の質問 3.7 から 3.9 まで, と移動者側の質問 3.5 から 3.7 までは条件 2 の状態に対する質問であり, これらの質問では GUI で向き方向を提示する場合と提示しない場合に対し, 「どちらが便利か」と「どちらが相手の向き方向を把握しやすいか」といった被験者からの評価を尋ねる。また, これらの質問によって「GUI による向き方向の共有」というシステム機能は「共同外出の利用としてどのように役に立ったのか」を検証することができる。

観察者側の質問 3.10 から 3.12 まで, と移動者側の質問 3.8 から 3.10 までは条件 3 の状態に対する質問であり, これらの質問では, GUI と音声で注目状態と共同注目の提示する場合と提示しない場合に対し, 「どちらが相手の注目行為を把握しやすいか」と「提示することでどのような役に立ったのか」を被験者に尋ねる。これらの質問に対する評価とコメントによって, WithYou2 システムが提供した注目インタラクション手法は実際どのように共同外出感を促進したかを検証することができる。

ジェスチャに関するアンケート問題設計

観察者及び移動者への質問

- 質問 4.1: 相手のジェスチャ（ものを持って一緒にみる等）などはどれくらい確認できましたか？（頻度 A～D） もし確認できたらどのようなジェスチャをしていたかを説明してください
- 質問 4.2: 自分ではジェスチャを行いましたか？（YES/NO）もし行った場合、どのようなジェスチャを行ったのかを説明してください。もしジェスチャを行わなかった場合、その理由を説明してください
- 質問 4.3: 相手のジェスチャが見えることで、より相手の意図（説明したいこと）を理解できましたか（評価 1～5）
- 質問 4.4: 自分のジェスチャと遠隔映像が重なって表示されたことで、よりわかりやすく自分の意図を相手に伝えられましたか？（評価 1～5）また、それが役に立ったとすれば、どのように役に立ったのかを説明してください

質問 4.1 では「相手はどのようなジェスチャを行ったのか」を利用者に尋ねる質問であり、結果により「相手が行った一番印象的なジェスチャ」が分かる。質問 4.2 では「ジェスチャを行ったか、行わなかったか」とその理由を利用者に尋ねる質問であり、特に、観察者はジェスチャを行わなかった場合は理由を知ることができる。質問 4.3 ではジェスチャインタラクションの有意義性を検証する質問である。質問 4.4 では観察者側に提供したジェスチャインタラクション手法に対し、どのように役に立ったのかを検証する質問である。これらに質問によって、実験中、観察者と移動者はどの場合でどのようなジェスチャを行ったかを知ることができ、実験のビデオ録画の分析とともに被験者はどのようなジェスチャインタラクションを利用したかを検証することができる。

映像品質に関するアンケート問題設計

観察者及び移動者への質問

- 質問 5.1: 画像は揺れましたか？（1～5 非常に揺れる・揺れる・普通・安定・非常に安定）
- 質問 5.2: 映像の品質（画質とフレーム数）について評価してください（1～5 非常に悪い・悪い・普通・良い・非常に良い）
- 質問 5.3: パノラマの続き目の変形（左右 90 度辺りの映像）について、視野が妨害されることを感じましたか？（1～5 非常に妨害・やや妨害・普通・気にしない・気づいていない）

- 質問 5.4 : 遠隔映像の視野の広さは十分と思いますか? (評価 1 ~ 5)
- 質問 5.5 : HMD 視角の広さ (見える範囲の広さ) は十分と思いますか? (評価 1 ~ 5)

これらの質問は設計目的は被験者に対し、映像品質と視野の広さ等、システムの性能についての満足度を尋ねる。質問 5.1 では主に観察者に対し、見えた遠隔画像の安定性について尋ねる。質問 5.2 では外出中の環境では映像の画質のフレーム数についての満足度を聞く。質問 5.3 では観察者が見たパノラマ画像へ品質評価を尋ねる。質問 5.4 と質問 5.5 では観察者、移動者に対しカメラの視野の広さ、HMD の視角の広さについての満足度を聞く。これらの質問によって、システムのカメラ、HMD 等の機材選択と無線通信環境は実用基準を満たしているかを検証することができる。

システム全般に関するアンケート問題設計

観察者及び移動者への質問

- 質問 6.1 : システム機能を使いこなしましたか? (1 ~ 5)
- 質問 6.2 : 着用する装置は、体の負担になりましたか? (1 ~ 5)
- 質問 6.3 : システムに追加してほしい機能があれば教えてください
- 質問 6.4 : 他のコメント、意見があれば教えてください

質問 6.1 では「被験者が十分なトレーニングを受けていたかどうか、また、システムの操作方法を十分に把握できているかどうか」を尋ねる。質問 6.2 では「実験の装置を着用することが被験者の負担になるかどうか」を検証する。特に実験装置を着用したまま外出する移動者にとってこの質問は重要だと考えられる。質問 6.3 と質問 6.4 では被験者が感じたシステムが不足している部分、要望と全体的な感想を聞く。

7.1.4 実験録画の分析方法

実験結果を分析する際には、観察者と移動者が実際に行ったインタラクション（ジェスチャ、身振りとその他の行動等）を確認、集計するため、実験の録画ビデオの分析を行う。ビデオの分析については事前に決められた基準に従って二人で個別で行う（著者自身ともう一人を依頼する）。二人が分析を終了すると一緒に判定内容の共同審議を行い、異議のある判定を二人で相談の上で除外する（除外した場合、その理由とデータを参考資料として保存する）。

分析の基準に関しては、観察者と移動者の間でで行われたインタラクションパターンを観察、集計する。選出の基準は「情報交換するため行った行動（インタラクション、身振り、ジェスチャ等）」である。基準を満たした行動を観察できると、その内容、特徴と時間（開始時間、終了時間）を記録する。

キャラクタ	録画内容
観察者	観察者の傍から固定カメラで撮影する
観察者	観察者側の HMD 画面と音声
移動者	撮影スタッフは移動者の後ろに付き、実験の過程を録画する
移動者	移動者側の HMD 画面と音声

表 7.2: WithYou2 評価実験の録画内容

エリア 1	3 学食堂のパン屋
エリア 2	3 学室外
エリア 3	3 学食堂の隣になる食品売店

表 7.3: WithYou2 評価実験の活動エリア

7.2 実験目的

本実験の目的は、WithYou2 システムの有効性を検証した上で WithYou の評価実験の結果と比較する。さらに、本研究が定義した共同外出間の基本要素に対し、WithYou2 システムが提供した機能とインタラクション手法の有意義性を検証する。

7.3 実験方法と条件

本実験では 10 人の被験者がペアで実験に参加した。被験者の全員が観察者と移動者としてに入れ替わり、合計 10 セッションを行った。実験は筑波大学学内（エリア 1, 2, 3 表 7.3 に参照）で行われた。

実験方法について、被験者の一人（移動者）は外出し、もう一人の被験者（観察者）は室内にいる。実験中、移動者及び観察者に与えられた任務は興味のある商品を実際に購入することである。被験者たちは 20 分の時間を与えられ、最初の 15 分間は条件 1, 2, 3（8.1.1 節に参照）を実行し、残りの 5 分間は自由にシステム機能を使って任務を遂行する。観察者は移動者に対し、商品をカメラに写らせる等の行動要請ができる。実験中、観察者側と移動者側の実験様子を録画した。録画する内容は表 7.2 の通りであった。

また、録画の分析については、事前に決められた基準に従って二人が個別で行った（著者自身ともう一人を依頼した）。個別の分析が終了すると、二人と一緒に判定内容の共同審議を行い、異議のある判定を二人で相談の上で除外した。また、行動の選出の基準は「情報交換するため行った行動（インタラクション、身振り、ジェスチャ等）」であった。基準を満たした行動を見つければ、その内容、特徴と時間（開始時間、終了時間）を記録した。



図 7.2: WithYou2 システムの評価実験：観察者の様子



図 7.3: WithYou2 システムの評価実験：移動者の様子

番号	質問内容	観察者	移動者
Q1	システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？もし感じたなら、どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください	4.1	3.5

表 7.4: 共同外出感の関連質問

7.4 実験結果

実験で実施したアンケートの評価点数は5段階評価で評価され、点数の基準は以下の通りであった。

点数の基準（評価）：

1：非常に同意しない 2：同意しない 3：どちらでもない、普通 4：同意する 5：非常に同意する

点数の基準（頻度）：

A：まったく使わなかった B：少しだけ使った C：よく使った D：ずっと使った

（表 7.4, 表 7.5, 表 7.6, 表 7.7 と表 7.8）では被験者のアンケート結果を一部セレクトしたものである。

7.4.1 共同外出感の実現について

全体的な共同外出感の実現に関して、表 7.4 の質問1「システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？もし感じたなら、どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください」の観察者と移動者の平均点数は4.1と3.5であった。観察者は一緒に外出する感覚を感じたことに対し、移動者ではやや感じたという結果をしめた。よって、観察者は移動者よりも共同外出感を感じたことが分かった。また、被験者のコメントによると、共同外出感を感じたシーンはそれぞれであることが分かった。質問1に対し、観察者と移動者のコメントは下の通りであった。

質問1：「システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？（1～5）、もし感じたなら、どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください」に対し、観察者のコメント（被験者10人のうち、5人は回答した）：

- 移動者が歩いている時
- 自分が首を振ると景色が変わった時

番号	質問内容	観察者	移動者
Q2.1	思うとおりに見たい方向（もの）を見れましたか？	3.6	N/A
Q2.2	商品の形と情報（印刷された文字等）を把握できましたか？	2.9	N/A
Q2.3	相手の顔をどれくらい見ましたか？(頻度 A～D)	A=4 B=5 C=1	A=3 B=4 C=2 D=1
Q2.4	相手が見ている方向の画像（相手が見ているところ）をどれくらい見ましたか？(頻度 A～D) また、見えたことはどう役に立ちましたか？	A=1 B=1 C=6 D=2	A=2 B=3 C=2 D=3
Q2.5	以下の視野モードをどれくらい使いましたか？もし使ったらどういった場面で使ったのかを説明してください		
Q2.5.1	相対視野モード（デフォルトモード）	B=2 C=4 D=4	N/A
Q2.5.2	絶対視野モード（一定な視野方向に修正してくれるモード）	A=4 B=5 D=1	N/A
Q2.5.3	移動者視野モード（移動者と同じ方向を見せるモード）	A=2 B=3 C=3 D=2	N/A
Q2.5.4	指差し視野モード（コントローラの指し方向で方向を制御するモード）	A=5 B=1 C=3 D=1	N/A
Q2.5.5	観察者視野モード（観察者と同じ方向を見せるモード）	N/A	A=3 B=3 C=2 D=1
	(以下は条件 1 に対する質問である)		
Q2.7	相手の顔とジェスチャが見えることで、より相手の存在感を感じましたか？	3.3	4.0

表 7.5: 自由視野の関連質問

番号	質問内容	観察者	移動者
Q3.1	相手の向き方向を把握できましたか？	3.7	3.0
Q3.2	移動者の体の向きを正面として、自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか？	3.6	N/A
Q3.3	移動者の周囲の状況を把握できましたか？	4.4	N/A
Q3.4	GUI インタフェースでは、向きの表示は分かりやすかったですか？もし分かり難かったらその理由を教えてください	4.2	3.9
Q3.5	自分が注目状態と判定された時、本当に自分が注目したタイミングと合っていましたか？	3.2	3.5
	(以下は条件2に対する質問である)		
Q3.7.1	(条件2の場合)相手の向き方向を把握できましたか？	2.7	1.8
Q3.7.2	(条件2の場合)移動者の体の向きを正面として、自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか？	2.3	N/A
Q3.7.3	(条件2の場合)移動者の周囲の状況を把握できましたか？	3.8	N/A
Q3.8	GUIで向き方向を提示する状態と比較して、どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか？	GUIあり=10	GUIあり=9
	(以下は条件3に対する質問である)		
Q3.10	条件3では、相手と自分の注目行為を把握できましたか？	3.0	2.8
Q3.11	条件3と通常状態を比較して、注目状態と共同注目の提示では、相手の行動を把握するために役に立ったのか？	3.3	2.6
Q3.12	注目状態と共同注目の提示は、相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか？	3.1	2.5

表 7.6: 向き方向の関連質問

番号	質問内容	観察者	移動者
Q4.1	相手のジェスチャ（ものを持って一緒にみる等）などはどれくらい確認できましたか？もし確認できたらどのようなジェスチャをしていたかを説明してください	A=2 B=3 C=4 D=2	B=1 C=6 D=3
Q4.2	自分ではジェスチャを行いましたか？（YES/NO）	YES=9 NO=1	YES=7 NO=3
Q4.3	相手のジェスチャが見えることで、より相手の意図を理解できましたか？	3.9	4.6
Q4.4	自分のジェスチャと遠隔映像が重なって表示されたことで、よりわかりやすく自分の意図を相手に伝えられましたか？	4.2	N/A

表 7.7: ジェスチャの関連質問

番号	質問内容	観察者	移動者
Q5.1	画像は揺れましたか？（1～5 非常に揺れる・揺れる・普通・安定・非常に安定）	3.1	3.6
Q5.2	映像の品質（画質とフレーム数）について評価してください（1～5 非常に悪い・悪い・普通・良い・非常に良い）	2.2	2.3
Q5.3	パノラマの続き目の変形（左右90度辺りの映像）について、視野が妨害されることを感じましたか？（1～5 非常に妨害・やや妨害・普通・気にしない・気づいていない）	4.1	3.7
Q5.4	遠隔映像の視野の広さは十分と思いますか？	4.4	4.2
Q5.5	HMD 視角の広さ（見える範囲の広さ）は十分と思いますか？	4.5	3.9
Q6.1	システム機能を使いこなしましたか？	3.3	2.9
Q6.2	着用する装置は、体の負担になりましたか？	1.9	3.5

表 7.8: 映像品質とシステムの関連質問

- 商品を選ぶ時
- 相手の視野を見る時，顔を見る時
- 指差したより対象を指示し，共に理解が通じ合った時

移動者のコメント（被験者 10 人のうち，7 人は回答した）：

- 音声通信
- 欲しい商品を指差してもらった時に少し感じました
- 商品を選択する時
- 相手に商品を見せながら相談した時（映像を見ながら選んでもらう時，手にとって見せて商品を確認してもらう時）
- 相手を意識して店内を回る時，ジェスチャ機能
- 移動者の場合，一緒外出の感覚がちょっと足りない
- 相手と自分の見ている景色について話した時

7.4.2 自由視野に関する評価

表 7.5 の質問 2.1：「思うとおりに見たい方向（もの）を見れましたか？」に対し，観察者の平均点数は 3.6 であった．観察者は自由に移動者の環境を見渡せたことを示した．

視野モードに関する評価

観察者に提供した四つの視野モードに関しては，表 7.5 質問 2.5 の結果によると，もっとも利用されたのは相対視野モードであった（評価 B=2 人，評価 C=4 人，評価 D=4 人）．相対視野モードは観察者側システムのデフォルトモードであり，相対視野モードを利用することで遠隔地の周囲を見渡せながら，ある程度移動者の行動も追従できたと考えられる．

絶対視野モードに関しては，質問の結果により，殆ど使わなかった 4 人（評価 A）に対し，6 人の被験者はある程度使った（評価 B=5 人，評価 D=1 人）ことが分かった．被験者コメントにより，「店の中など，特にじっくり見たい時に」と「歩いていて，視線を動かしたくない時」等自分が見ている方向が変わられたくない時に利用した．

移動者視野モードに関しては，質問の結果により，殆ど使わなかった 2 人（評価 A）に対し，頻度が違ったものの 8 人の被験者は利用した（評価 B=3 人，評価 C=3 人，評価 D=2 人）．被験者のコメントを分析すると，商品を選ぶ時，指示したい時等の場合には，移動者の視線を追従することが好ましいという傾向が見られている．

指差し視野モードに関しては，殆ど使わなかった 5 人（評価 A）に対し，6 人の被験者は

ある程度使った（評価 B=1 人，評価 C=3 人，評価 D=1 人）ことが分かった。被験者のコメントでは「後ろを見たい時は使いました」と「探す時に周囲を見回すのに使った。首を動かさなくて済むので，デフォルトモードよりもこちらで使っていた」というコメントがあった。一つ目のコメントに関して，WithYou2 システムでは全周囲 360 度の視野を観察者に提供したが，観察者は後ろを見ようとした時では，体全体を後ろに振り向くか，もしくは指差し視野モードを使うかになる。特に実験中では，観察者は HMD とセンサーを装着するため，座ったままで体全体を後ろに振り向くことは，着用した装置のケーブルが椅子等に絡むトラブルが発生しやすい。そのため，代わりに指差し視野モードを利用することで，コントローラを回すだけで後ろの方向を見渡せるのは便利だと考えられる。二つ目のコメントに関して，観察者はずっとある方向を見ようとした時には，相対視野モードの場合だとずっと首をその方向を向かなければならない。この場合，指差し視野モードを利用することで観察者へ体の負担を軽減できると考えられる。

これらの結果のよって，四つの視野モードではそれぞれの利用頻度と利用場面は違ったが，利用シーンに応じて上手く応用されたと考えられる。また，これらの視野モードは自由視野の達成のためには有意義であることも確認できた。

お互いの顔と視野が見える機能に対する評価

観察者側の GUI では遠隔映像の他，移動者の頭の映像と移動者の視野も同時に表示していた。また，移動者にも視野モードの切り替えで観察者の視野と上半身映像（顔とジェスチャ）を見ることができた。

これらの映像情報に対し，表 7.5 の質問 2.3：「相手の顔をどれくらい見ましたか？」では，観察者の 4 人がまったく見なかった（評価 A），5 人が少しだけ見た（評価 B），1 人はよく見た（評価 C）と回答した。この結果により，半数以上の観察者はある程度移動者の顔を気付いたことを示した。なお，残り 4 人の観察者は移動者の顔を見ようとしなかった理由として，ある被験者は「風景に気を取られていた」と回答していた。また，同じ質問に対し，移動者の 3 人がまったく見なかった（評価 A），4 人が少しだけ見た（評価 B），2 人はよく見た（評価 C），1 人はずっと見た（評価 C）と回答した。この結果により，10 人内 7 人の移動者は観察者の顔を見てたことが分かった。見ようとした理由として，ある被験者は「相手の様子を知りたい時に」と回答していた。

質問 2.4：「相手が見ている方向の画像（相手が見ているところ）をどれくらい見ましたか？また，見えたことはどう役に立ちましたか？」に対し，観察者の 1 人がまったく見なかった（評価 A），1 人が少しだけ見た（評価 B），6 人はよく見た（評価 C），2 人はずっと見た（評価 C）と回答した。この結果により，8 人の観察者は実験中，移動者の視野をよく見てたことが分かった。また，被験者のコメントにより，「商品を選ぶ時」，「自分の希望を伝える時（移動して欲しい，手にとってほしい）移動者の状態が理解しやすかった」と「相手の見ているものを指示する時役立った」等，部分の被験者は「移動者が見ていたところを確認した上で指示を行う」というインタラクションを取ったことを示した。

また，同じ質問に対し，移動者の 2 人がまったく見なかった（評価 A），3 人が少しだけ

見た（評価 B）、2 人はよく見た（評価 C）、3 人はずっと見た（評価 C）と回答した。この結果により、5 人の移動者は実験中、観察者の視野をよく見てたことが分かった。利用頻度として移動者の方は観察者はよりやや低かったが、「相手が見ている物を理解するのに役立った」と「相手の目線を知ることができた」等のコメントにより、観察者が「相手が気になるもの、注目しているもの」を確認するために観察者視野モードを使った。

これらの結果により、観察者と移動者の利用場面は違ったものの、お互いの顔と視野が見える機能は被験者より積極的に評価されたことが分かった。また、共同外出中でもこれらの機能を応用し、共同活動間隔を促進したと考えられる。

7.4.3 向き方向の共有の実現について

表 7.6 の質問 3.1 : 「相手の向き方向を把握できましたか？」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.7 と 3.0 であった。観察者が移動者の向き方向を把握していたと思われる。また、質問 3.2 : 「移動者の体の向きを正面として、自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか？」に対し、観察者の平均点数は 3.6 であったため、観察者が「遠隔環境に対して自分は何処を向いていたか」を把握していた傾向を示した。また、質問 3.1 の点数により、移動者は平均的に「どちらでもない」という傾向を示したが、GUI の表示と観察者の視野を確認できたことで、観察者が見ているところを把握できる傾向があった。

GUI インタフェースについて

WithYou2 では GUI の再設計を行い、表 7.6 の質問 3.4 : 「GUI インタフェースでは、向きの表示は分かりやすかったですか？もし分かり難かったらその理由を教えてください」の結果では、観察者観察者と移動者の平均点数は 4.2 と 3.9 であった。新しい GUI では向き方向等の情報は確認しやすかったことを示した。さらに、質問 3.8 : 「GUI で向き方向を提示する状態と比較して、どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか？」の結果からにも、GUI で向き方向を提示する方が相手と自分の向き方向を把握し易かったと分かった。

7.4.4 ジェスチャインタラクションについて

ジェスチャインタラクションに関しては、アンケートの他、実験の録画ビデオ分析も行った。分析された録画ビデオは移動者側と観察者側の傍から撮影した実験中の録画である。分析した結果によると、実験中、観察者はジェスチャインタラクション機能を起動し、商品に指さし、移動者は商品の前に立ったまま観察者の指示を待つという行動パターンが確認された。一方移動者では観察者と話し合いながら、指を指したり商品を手を取ったりというジェスチャを行った。なお、観察者と移動者が行ったジェスチャインタラクション種類は違ったものの回数的にはほぼ同等であった。WithYou2 システムで提供したジェスチャインタラク

ション手法に対し、観察者はそれを積極的に利用したと言える。なお、分析したジェスチャインタラクション手法とその回数は下の通りであった。

移動者が行ったジェスチャインタラクション（1セッションの平均回数）：

- 観察者カメラの前で手を振る：0.1回
- 指を指す：2.7回
- 物を手に取り観察者に見せる：4.0回
- カメラを物に近づける：0.3回

観察者が行ったジェスチャインタラクション（1セッションの平均回数）：

- 観察者が手を振る：0.7回
- 観察者が移動者にジェスチャで位置を伝える：5.7回

また、表 7.7 の質問 4.3：「相手のジェスチャが見えることで、より相手の意図（説明したいこと）を理解できましたか」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.9 と 4.6 であった。観察者も移動者もジェスチャが見えることでより相手の意図を理解できたと考えられる。さらに、質問 4.4：「自分のジェスチャと遠隔映像が重なって表示されたことで、よりわかりやすく自分の意図を相手に伝えられましたか？」に対し、観察者の平均点数は 4.2 点であった。これら結果の結果から、観察者は移動者が行ったジェスチャを理解し、同時に WithYou2 システムで提供したジェスチャインタラクション機能を利用して自分の意図を上手く伝わった傾向がある。移動者も観察者のジェスチャを映像に重なれて HMD に表示することによって、観察者の意図を上手く理解していた傾向がある。

7.4.5 条件 1 の結果

条件 1 では、お互いの顔・ジェスチャを見る機能の有意義性を検証する実験条件である。実験中、条件 1 を行う間では移動者が観察者の顔とジェスチャを見れない状態にして、観察者側の GUI でも移動者の顔を表示しなくなる（詳細は 8.1.1 節に参照）。

表 7.5 の質問 2.7：「相手の顔とジェスチャが見えることで、より相手の存在感を感じましたか？」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.3 と 4.0 であった（図 7.4）。移動者は観察者よりも顔とジェスチャが見える事を重視していたことが分かった。

また、アンケートの質問 2.6：「相手の顔が見えない実験条件と比べて、相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと思いましたか？」で得られた観察者のコメントでは、観察者ではメイン映像を注目し、あまり移動者の顔を映したエリアを見る余裕がないという傾向があった。また、複数の観察者から「あまり変化を感じなかった」というコメントもも

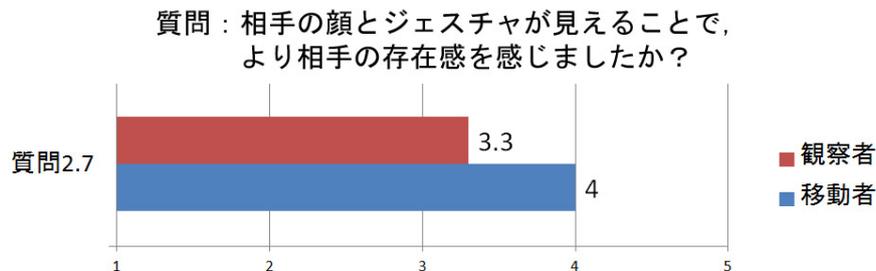


図 7.4: 質問 2.7 の結果

らった。一方、観察者が「自分がジェスチャが行える場合と行えない場合」に対し、多くの観察者はジェスチャが行えることについて肯定的感想をコメントした。同じ質問に対し、移動者のコメントでは「相手の意図が分かりやすくなった」、「自分が見ている映像に対して指差しなどの指示が見えるので、同じものを見て相談しているという実感が強まった」という、顔とジェスチャが見えることについて肯定的感想をコメントした。

観察者及び移動者のコメントによって、WithYou2 システムが提供したジェスチャインタラクション機能は被験者に上手く利用された傾向があり、また、観察者も移動者もジェスチャインタラクションが利用できることと、相手のジェスチャが見えることについて正面的な評価をした。これらの結果から、WithYou2 で提案したジェスチャインタラクション手法はその設計の目的を実現できたと考えられる。また、お互いの顔が見える機能については、移動者も肯定的評価をした。

観察者と移動者のコメントは下の通りであった。

質問：「相手の顔が見えない実験条件と比べて、相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと感じましたか？」に対し、観察者のコメント（被験者 10 人のうち、一人は回答なし）：

- いいえ、外の様子を見ることで頭が一杯だった。
- あまり変化を感じなかった。
- 特に感じなかった。
- 顔が見える/見えないについては特にはないが、ジェスチャは意思を伝えるために必要だったため、ない時には伝えるのが困難だった。
- 相手の顔はあんまり見ていないですが、相手のジェスチャを見て自分の指示に合うかどうかを確認できます。

- (ジェスチャが行える場合では) 意志疎通がスムーズにはかれた。
- (ジェスチャが行える場合では) 欲しい商品を指示しやすい。
- (ジェスチャが行える場合では) 指差しができるようになり、スムーズに意志を伝え決めるようになった。
- (ジェスチャが行える場合では) 商品を指定する時伝えやすくなった。

移動者のコメント：

- いいえ
- 欲しい商品が分かりやすくなった。
- 音声だけでなく、ジェスチャを使って商品を選びやすくなったと感じた。
- 相手の意図が分かりやすくなった。
- 商品を選択するタイミングを知ることができた。
- 自分が見ている映像に対して指差しなどの指示が見えるので、同じものを見て相談しているという実感が強まった。
- 何を指しているかが分かりやすい。
- 相手の意思疎通がよく（うまく）できる。
- 安心感が感じる。相手の状況を確認しながら。
- 商品の説明，スムーズに行える。

7.4.6 条件2の結果

条件2では、向き方向の提示に関する機能の有意義性を検証する実験条件である。実験中、条件2を行う間では向き方向を提示しない状態で（GUIのレーダー図が非表示）実験する（詳細は8.1.1節に参照）。

図7.5に示したように、表7.6の質問3.1：「相手の向き方向を把握できましたか？」に対し、通常状態の場合だと観察者と移動者の平均点数は3.7と3.0であった。条件2の場合では、観察者と移動者の平均点数は2.7と1.8であった。この結果では、GUIで向き方向を提示しない場合に対し観察者と移動者はお互いの向き方向を把握しづらくなる傾向を示した。

質問3.8：「GUIで向き方向を提示する状態と比較して、どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか？」で得られた観察者と移動者のコメントでは、観察者側は全員、移動者側では10人のうち9人が「GUIで向き方向を提示する方は把握し易かった」という意見をコメントした。

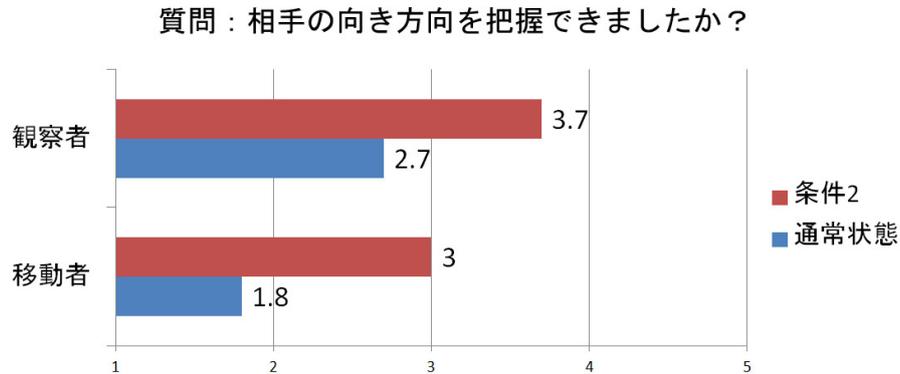


図 7.5: 条件 2 のアンケート結果の比較

これらの結果から，本研究で提案した「向き方向の共有」というインタラクション手法は WithYou2 の実験によって有意義且つ成功に実現できたと考えられる。

質問：「GUI で向き方向を提示する状態と比較して，どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか？」に対し，観察者のコメント：

- 向き方向があったらが解りやすかった
- 指示する状態
- GUI がある方が把握し易かった
- GUI の方
- GUI で向き方向を指示する状態
- 提示する状態
- 指示されていた方がよい
- GUI があった方が把握しやすい
- GUI で提示することによって，お互いの方向の差がはっきり判断できます
- (GUI があった方が) 自分の向いてる方向が分かりやすかった

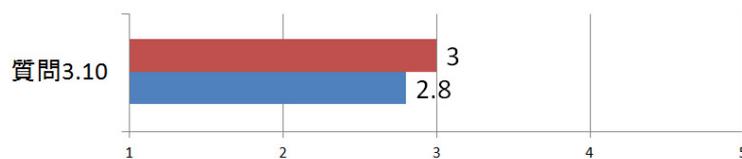
移動者のコメント：

- GUI がとてもわかりやすい
- 表示する状態の方

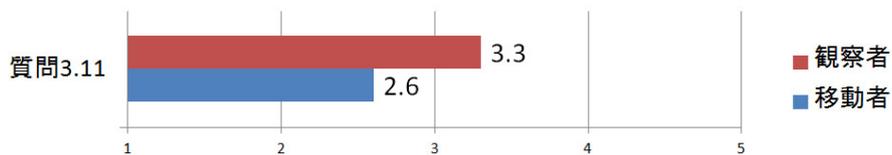
- GUIがある方が把握しやすかった
- 指示する方が把握しやすかった
- どの方向を向いているのかわからなかった
- 指示する状態
- 提示された方
- GUIあり
- GUIのほうが断然把握しやすい.
- GUIあり

7.4.7 条件3の結果

質問：条件3では、相手と自分の注目行為を把握できましたか？



質問：条件3と通常状態を比較して、注目状態と共同注目の提示では、相手の行動を把握するために役に立ったのか？



質問：注目状態と共同注目の提示は、相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか？

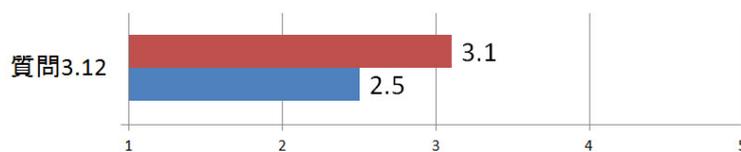


図 7.6: 質問 3.10, 3.11 と 3.12 の結果

条件3では、注目状態及び共同注目の提示の有意義性を検証する実験条件である。実験中、条件3を行う間では注目状態及び共同注目の検出、提示をしない状態で実験する（詳細

は 8.1.1 節に参照)。

表 7.6 の質問 3.10 : 「条件 3 では、相手と自分の注目行為を把握できましたか? (1~5) もしできなかつたら、その理由を挙げてください」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.0 と 2.8 であった。

また、質問 3.11 : 「条件 3 と通常状態を比較して、注目状態と共同注目の提示では、相手の行動を把握するために役に立ったのか?」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.3 と 2.6 であった。

質問 3.12 : 「注目状態と共同注目の提示は、相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか?」に対し、観察者と移動者の平均点数は 3.1 と 2.5 であった。この三つの質問に対し、被験者からは平均的には「どちらでもない」という傾向を示した。

しかし、被験者からの評価点数は分かれていて、質問 3.10 に対し、観察者の方では 4 人は 2 以下を評価し、3 人は 4 以上と評価した。移動者の方では 3 人が 1 と評価し、3 人は 4 以上と評価した。この結果から、部分の被験者からは「注目状態及び共同注目の提示がないと相手の注目行為を把握できない」と感じていた。また、同質問では、ある観察者が「何も提示されないため(注目行為を把握できなかった)」とコメントした。さらに、ある移動者が「(注目状態及び共同注目の提示の) 提示がなく、また相手画面を見ようにも小さくて判断できなかった」とコメントした。よって、一部の被験者では「注目状態及び共同注目の提示がない場合」に対し、相手の注目状態を把握しづらくなったと考えられる。

また、質問 3.11 に対しても、観察者の方では 3 人は 5 点と評価した。質問 3.10 の結果とまとめて分析すると、部分の観察者は注目状態及び共同注目の提示が有意義と感じていたと思われる。一方、他の被験者では注目状態と共同注目の提示を気付くが、ジェスチャインタラクション等の機能を利用することを没頭していたためあまり意識しなかったと思われる。例えば、ある被験者からは「相手(自分)がどこかに注目しているというのは自身が気付くことができるためサポートする必要はないと思った(気付くことがコミュニケーション共同注目はあったらうれしいと思う)」とコメントしていた。

これらの結果から、本研究が提案した「注目状態及び共同注目」インタラクションは、一部の被験者にとっては有意義であり、且つ相手と一緒に外出する感覚を促進したと思われる。

しかしその反面、残りの被験者は注目状態の及び共同注目の提示について役立たなかったと感じた。質問 3.11 と質問 3.12 の被験者のコメントによると、「提示方法が気付きにくいため、把握するのは難しかった」と「相手(自分)がどこかに注目しているというのは自身が気付くことができるためサポートする必要はないと思った(気付くことがコミュニケーション共同注目はあったらうれしいと思う)」等のマイナスな意見が見受けられた。これらの結果から、アンケートで「役立たない」と回答した被験者たちも注目状態と共同注目の提示の意義を否定せず、単なるシステムの提示方法が適切ではなかったことを指摘している。将来、注目状態と共同注目の提示手法についてはまた改良の余地があると考えられる。

7.4.8 その他の評価について

映像品質と視野の広さについて

その他、表 7.8 の質問 5.4 「遠隔映像の視野の広さは十分と思いますか？」に対し、観察者と移動者の平均点数は 4.4 と 4.2 であった。パノラマカメラを採用することで、観察者はより遠隔環境を把握しやすくなったと考えられる。移動者も観察者側のカメラを通して観察者の映像を把握できていたと考えられる。

映像の品質に関しては、質問 5.2: 「映像の品質（画質とフレーム数）について評価してください」に対し、観察者と移動者の平均点数は 2.2 と 2.3 であり、平均的には「悪い」という評価であった。また、観察者側の録画を分析した結果、実験中、一秒当たりのフレーム数（FPS）はおよそ 1 から 5 であった。また、場所と時間帯によって FPS 数が低くなると、観察者はどこを見ているかを認識し難くなる傾向が観察された。

映像品質の低下に関して、主な原因は通信速度の不足と画像処理と思われる。移動者の通信環境では LTE ネットワーク（NTT Docomo 社の 2100MHz LTE ネットワーク、USB 接続通信カード L-02C を利用）を利用したが、実験環境での実測では約 1.5Mbps にか出なかった。さらに、実験中、移動者は室内に入ると通信速度が低下する傾向があり（およそ 1～3FPS であった）、また、セッションを実行した時間帯により、周辺の人が多いと通信速度も低くなることが観察された。これらの現象から、本研究において今後ではもっと理想的な実験環境を整備する必要があると考えられる。

着用装置が体への負担について

質問 6.2: 「着用する装置は、体の負担になりましたか？」に対し、観察者と移動者の平均点数は 1.9 と 3.5 であった。観察者が着用装置は負担にならない傾向があったことに対し、移動者は平均には「やや負担になった」という評価になった。移動者の個別の点数を分析すると、負担になったと思った被験者は 5 名がいて（4 点以上）、負担にならなかったと思った被験者は 3 名がいた（2 点以下）。

また、同質問で移動者からは「メガネがちょっと難しかったけれど、それなりにしっかりと見えた」と「混んでいたのもあって、少々じゃま」というコメントをもらった。移動者装置に関しては WithYou2 システムが WithYou より軽量化したが、負担と感じた被験者はまだ半分であった。この結果により、将来的には移動者装置をもっと小さく軽く、且つ装着し易くように改良する余地がある。

7.5 議論

7.5.1 WithYou で残された課題は解決されたのか？

評価実験の結果をまとめて分析すると、WithYou2 では WithYou の課題の多数を解決したと考えられる。また、表 7.8 の質問 1 に対し、共同外出感の総合評価については依然とし

て観察者の方は高いと見られたが、他の質問の結果とそのコメントにより、WithYou2 システムを利用することで、移動者は WithYou よりも共同外出感を感じてきたと思われる。

課題：観察者から移動者へ提供する情報が少ない

WithYou と比べて、WithYou2 システムでは移動者へ提供する情報を増加した。移動者は観察者の顔とジェスチャが見えるようになり、観察者のが見ている映像も HMD を通して確認できるようになった。また、評価実験の結果を分析すると、これらの機能と情報は移動者に上手く応用されたと思われる。

課題：向き方向の伝達の不足

7.4.3 節（自由視野に関する評価）と 7.4.6 節（条件 2 の結果）の結果により、観察者も移動者もお互いの向き方向と視野を把握できたと思われる。

課題：注目状態と共同注目の検出の不備

7.4.7 節（注目状態と共同注目の提示に関する評価）でアンケートの被験者コメントを分析した結果により、注目状態と共同注目の提示では一部の被験者にとっては有意義であることを示した。また、システムのログを分析した結果、実験中、1 セッション毎の共同注目の検出回数は WithYou より増えたことも確認された。これらの結果を WithYou システムと比較すると、注目状態と共同注目の検出の精度はある程度改善されたと考えられるが、システム機能の追加と変更により、被験者は注目状態と共同注目の検出への依存も薄くなったことが見られた。このことから、アンケートの内容は違うとは言え、当機能の評価では WithYou システムよりも低かったことが見受けられている。

課題：ジェスチャインタラクションの利用頻度の少なさ

7.4.4 節（ジェスチャインタラクション）と 7.4.7 節（条件 3 の結果）の結果により、観察者行ったジェスチャインタラクションの回数が移動者とほぼ同等であった。また、観察者側のジェスチャインタラクション機能に対し、観察者と移動者と共に正面な評価を与えた。

システム利用の熟練さについて

評価実験では、セッションが始まる前に約 1 時間のトレーニングを実施したが、一部の被験者はシステムの機能を積極的に利用しなかったと見られた。また、WithYou2 のシステムの機能が多く、さらに観察者及び移動者に送信した情報も多いので、被験者はこれらの情報を把握しきれない現象が起きた。例えば、注目状態と共同注目の提示はあったものの、被験者はそれを気付いていない、もしくは理解していないことが挙げられる。

また、被験者に与えられた任務は商品の購入であり、被験者はその目的を果たすためには特定の機能しか使わない傾向も確認された。ある被験者から「ジェスチャインタラクション機能は任務を果たすには十分だったため、最初からずっと使ってた」というコメントもあった。これらの現象から、我々は「限定された任務を果たす実験ではなく、より長い自由体験時間を被験者に与える」という方式だったら、被験者はよりシステム機能を使いこなせるのではないかと推測している。今回の評価実験で被験者の採用に関しては WithYou システムの評価実験の経験者を避ける方針を取ったが、本研究の内容を以前から知っていた一人の被験者が他の被験者よりも積極的にシステム機能を利用したことも確認された。

第8章 結論

本章では、本研究により得られた成果を述べる。また、本研究で提案した共同外出感に対する成果、及び関連研究領域への貢献をまとめる。最後に、本研究において、今後の展望と残された課題を議論する。

8.1 研究成果の概要

本研究では「共同外出感」という概念を定義し、予備実験の結果によって、共同外出感を達成するための三つの基本要素を定義した。基本要素は「二人それぞれが周囲を自由に見渡せる」、「相手がどこを見ているか分かる」、「ボディアクションとジェスチャによるインタラクション」の三つであった。

これらの基本要素を満たし、共同外出感の実現手法として、「自由視野の取得」、「向き情報の共有と共同注目」、「ジェスチャインタラクション」以上3つの手法を考案した。また、共同外出感の完全実現を目指し、我々は WithYou システムの実装とそのインタラクション機能の設計を行った。WithYou の評価実験の結果により、共同外出感の三つの基本要素の中に、「二人それぞれが周囲を自由に見渡せる」と「相手がどこを見ているか分かる」の二つを一定な程度で実現できた。残った「ボディアクションとジェスチャによるインタラクション」では提案手法を改良する必要があった。

WithYou で残された課題を対応するため、我々は WithYou2 システムを設計した。WithYou2 システムでは共同外出感の基本要素を対応しながら、WithYou で提案した三つのインタラクション手法を改良した。手法の改良により、観察者と移動者により多くの情報を提供する他、両者に同等な共同外出感を提供することを図った。また、WithYou2 の評価実験の結果によって、WithYou で残された課題の多くを解決した。さらに、本研究が提案した三つのインタラクション手法は評価実験の条件の検証により、有意義且つ共同外出感を促進できることを検証できた。

8.1.1 WithYou システムの研究成果

WithYou システムでは、共同外出感の基本要素を対応する機能とインタラクション手法の設計を行い、さらに、評価実験で検証した結果によって以下の成果を得た。

共同外出感の基本要素の確立

3章で述べた予備実験の結果により、共同外出感を達成する基本要素を考察した。基本要素の確立により、我々は基本要素を従って共同外出感を実現する機能とインタラクション手法を設計することができた。

観察者へ自由視野の提供手法

4.1節で述べたように、WithYou システムでは観察者に自由視野を提供した。観察者は首を振り向くことで移動者の周辺環境を見渡せた。さらに、自由視野の表示手法として、四つの視野モードを提案し、観察者と移動者が利用場面に応じて視野モードを切り替えることによってインタラクションを取ることも可能であった。5.2節の評価実験の結果では、観察者は自由に移動者の周囲を見渡せたと見られている。

向き情報の共有手法と共同注目によるインタラクション手法

4.2節で述べたように、WithYou システムでは GUI と物理の表現により、観察者と移動者の向き方向をお互いに提示した。さらに、注目状態を検出して相手に提示する機能と、二人を一つの方向に注目させる共同注目インタラクション機能を提供した。5.2節の評価実験の結果では、これらの手法は被験者たちによって一定な程度で評価された。

ジェスチャインタラクション手法

4.3節で述べたように、利用者がコントローラーを持ってジェスチャを行うことで相手側に提示するというジェスチャインタラクション手法を設計した。5.2節の評価実験の結果では、この手法は被験者に殆ど利用されなかった。

8.1.2 WithYou2 システムの研究成果

WithYou2 システムでは、WithYou システムの課題を対応するためインタラクション手法の改良を行い、さらに、評価実験で検証した結果によって以下の成果を得た。

WithYou システムで残された課題への対応

6章で述べたように、WithYou2 システムでは、各機能の増設とインタラクション手法の改良により、WithYou システムで残された課題を対応した。また、評価実験の結果により、これらの課題を多く解決できたことを検証した。

観察者と移動者に同等な共同外出感を与える手法の提案

WithYou システムの「移動者は観察者と同等な程度の共同外出感を得られなかった」という課題に対し、WithYou2 システムでは新しいインタラクション手法と機能を設計し、さらに移動者と観察者への提供情報を増すことで対応した。また、評価実験の結果により、移動者は提供された情報の多くを理解し、3.5 節で述べた共同外出感の三つの基本要素を一定な程度で達成できた。

複数の映像情報を観察者に同時に提供する

6.3 節で述べたように、パノラマカメラを採用することにより、WithYou2 システムでは、同時に観察者視野、移動者視野と移動者の映像を観察者へ提供する手法を用いた。これにより、観察者は遠隔環境を見渡しながら移動者側の情報を把握できた。また、映像情報の増加により、観察者は臨場感を得て、移動者と共に行動することを意識しやすくなった。

移動者へ視野の提供

6.3 節で述べたように、WithYou2 システムでは、移動者にシースルー HMD を着用させ、移動者にも映像を確認できる機能を新設した。移動者は観察者と同じ画面を見ることができ、他、HMD を通して観察者の映像も見れるようになった。

ジェスチャインタラクション手法の改良

6.5 節で述べたように、WithYou2 システムでは、観察者の映像を遠隔映像に重ねて両者側に表示させることで、「観察者のジェスチャとその意図を移動者側に伝達する」といった新しいジェスチャインタラクション手法を提案した。また、評価実験の結果により、当手法は観察者に頻繁に応用され、移動者も観察者の意図をよく理解できた。

8.2 貢献

8.2.1 臨場感通信分野への貢献

本研究では外出環境を想定した臨場感通信の実現手法の一つとして、新たに「共同外出感」を定義した。共同外出感では実際に外出していない人に、人と共に外出するような感覚、体験を与える。さらに、本研究で提案したインタラクション手法によって利用者がさらなる臨場感を感じたことを検証した。共同外出感は、今までのない新しい利用場面を創出した(3.1.1 節に参照)。これら利用場面では遠隔コミュニケーションの活動の更なる可能性をもたらした。

8.2.2 ヒューマンインタラクション分野への貢献

本研究では、共同外出感を実現するため、遠隔環境を想定し、映像、向き方向とジェスチャを利用したインタラクション手法を複数提案した。これらの手法を用いることで離れた利用者の間にお互いの意図を伝達し、相手と共に活動する感覚を促進した。

8.2.3 ユーザインタフェース分野への貢献

本研究では、利用者と遠隔相手との、お互いの向き方向を共有するためのグラフィックユーザインタフェース (GUI) を提案した。GUI の表現手法により、利用者は遠隔環境に対し、自分はどこに向いているかと相手はどこに向いているかといった向き方向を GUI を見て確認することができた。

8.3 今後の展望

今後の展望として、観察者側ディスプレイ環境の設置に関する展望、移動者側装置の小型化に関する展望、注目状態の提示手法に関する展望とその他の課題の四つについて述べる。

8.3.1 観察者側ディスプレイ環境に関する展望

本研究の WithYou システムと WithYou2 システムでは、観察者側のディスプレイ装置は HMD を利用した。観察者は HMD を頭に付けるため、画面は常に利用者の正面にあり、本研究で提供した自由視野機能を使うと、観察者は首の振り向きで遠隔環境を見渡せる。しかし、観察者は横に首を回らないと周囲の映像が見えないという問題があった。WithYou システムと WithYou2 システムの評価実験の結果により、部分の被験者はずっと正面に向いて、あまり首を回らなかったことも確認された。原因として、HMD の視角 (SONY HMZ T1 : 45 度) が人間の視角 (両目で約 200 度) よりずっと狭く、「周囲に何があるか」を見れないと考えられる。また、人間が眼球を回すだけで周囲をある程度見渡せるに対し、本研究の観察者は首を回す必要がある。

この課題に対し、今後の研究では観察者側のディスプレイ装置を複数プロジェクトで構成されたアーク状の大型没入空間を利用する意向がある。アーク状のスクリーンに複数のプロジェクトが遠隔映像を投影し、180 度以上の遠隔視野を観察者に提供する。観察者は実際外出する時と同等な視角を得て、首を回らなくても周囲の映像を確認できる。

8.3.2 移動者側装置の小型化に関する展望

WithYou システムの評価実験と WithYou2 システムの評価実験の結果により、移動者の装置について、被験者が負担を感じたことが明らかになった。「移動者の装置の重くて、装着するのも時間が掛かり、さらにノートパソコンがバックパックに入れた為ケーブルが絡み易

い」等の問題を被験者が反応した。また、移動者装置の外観が目立つため、部分の被験者が恥ずかしいと思い、「移動者が従来通りの行動することが望ましい」という目標の達成に対しても影響が出た。これら課題に対し、今後の研究では移動者側の装置を小型化、無線化にすることを進める。

8.3.3 注目状態の提示手法に関する展望

WithYou システムと WithYou2 システムでは観察者と移動者の注目状態をお互いに提示していた。提示方法はシステムメッセージの表示と音声の提示を用いた。また、WithYou2 システムは認識精度を上げるため、注目状態と共同注目の測定方法を改良した。しかし、評価実験の結果により、本研究が設計した注目状態の提示手法について、まだ改良の余地があると考えられる。例えば、被験者から「自分が注目している時に音声流されて煩いと感じた」という意見もあった。また、観察者が画面に写された遠隔映像を注目し、相手と自分が注目状態になっても気づかなかったという意見もあった。WithYou システムの提示手法では、注目の状態だけをユーザーに知らせたが、注目していたところの映像は提供しなかった。ユーザーは相手の注目状態を気づいたら首を回して同じ方向を見る必要がある。WithYou2 システムでは、観察者と移動者はお互いの視野を HMD に介して確認できるが、相手の視野と注目状態との関連付けは提示されてなかった。これら課題に対し、今後の研究では注目の状態を提示すると共に、注目している映像も相手に共有する手法を採用する。例えば、観察者がある商品を目撃していると、注目していた商品の写真は移動者側の GUI で表示される。また、注目した複数枚の映像をコントローラで閲覧するユーザーインターフェースの利用も考えられる。

8.3.4 その他の課題

画像の圧縮手法に関する課題

本研究の WithYou システムと WithYou2 システムではカメラの映像を Motion JPEG に圧縮して遠隔側に送信する手法を利用した。Motion JPEG 方式の圧縮は、遅延が少ないという利点があった。しかし、評価実験等の実際の外出環境では、満足なインターネット通信速度を得ることができず、WithYou システムは 1FPS から 14FPS まで、WithYou2 システムは 1FPS から 6FPS までという、観察者がスムーズな遠隔映像が得られなかった現象があった。映像の FPS 数が低下すると、ユーザーは遠隔環境を把握し難くなる傾向があった、また、ユーザーが感じた臨場感にも損う恐れがあった。これに対し、今後の研究として、低遅延化コーデックの H.264 を利用することが望まれる。

画像処理の効率に関する課題

WithYou2 システムの移動者側アプリケーションは、パノラマカメラを制御し、リアルタイムでパノラマ画像の合成と視野範囲の抽出を行うため、一秒あたりに処理できるフレーム

数は 9FPS であった。FPS 値の低下により、「画像の圧縮手法に関する課題」と共に、臨場感の低下と繋がった。この課題に対し、今後では画像処理の効率化と高速化を図る。

謝辞

本論文を執筆するに当たり、指導教員である高橋伸准教授、ならび田中二郎教授には、丁寧なご指導と適切な助言をいただきました。また、本研究を進めるにあたり、長期にわたって、研究の進め方、実験方法と論文執筆に関して、多大なるご指導をいただきました。

また、指導教員である高橋伸准教授は、2009年での博士前期課程入学以来、現在に至るまでの約5年間に渡り、研究の進め方、論文投稿に関する指導、発表資料の作成と発表の仕方等、多岐に渡るご指導を頂きました。

本論文の審査では、田中二郎教授、葛岡英明教授、福井幸男教授、井上智雄准教授、高橋伸准教授に審査していただきました。また審査では、的確なご意見やご指摘をいただき、本論文をまとめるに至りました。

最後に、インタラクティブプログラミング研究室の学生、およびOB、OGの方々から色々な意見を頂き、特にユビキタスチームのメンバーの方々には、ご自身がお忙しい中、実験の参加と協力を頂いたり、議論などを交わしていただき色々な意見を頂きました。

以上の方々に、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Yuichi Tsumaki, Yutaro Fujita, Akiharu Kasai, Chiaki Sato, Dragomir N. Nenchev, and Masaru Uchiyama : Telecommunicator: A Novel Robot System for Human Communications, Proceedings of the 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 35-40, 2002.
- [2] Tadakazu Kashiwabara, Hirotaka Osawa, Kazuhiko Shinozawa, and Michita Imai : TEROOS: a wearable avatar to enhance joint activities, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'12, pp. 2001-2004 , 2012.
- [3] Hideaki Kuzuoka, Shin'ya Oyama, Keiichi Yamazaki, Kenji Suzuki, and Mamoru Mitsuishi: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, Proceedings of CSCW'00, pp. 155-162, 2000.
- [4] Sigurdur Orn Adalgeirsson, and Cynthia Breazeal: MeBot: a robotic platform for socially embodied telepresence, Proceedings of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, pp.15-22, 2010.
- [5] Francois Michaud, Patrick Boissy, Helene Corriveau, Andrew Grant, Michel Lauria, Daniel Labonte, Richard Cloutier, Marc-Andre Roux, Marie-Pier Royer, and Daniel Iannuzzi : Telepresence robot for home care assistance, Proceedings of the AAAI, 2006.
- [6] Satoshi Koizumi, Takayuki Kanda, Masahiro Shiomi, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita : Preliminary field trial for teleoperated communication robots in Robot and Human Interactive Communication, Proceedings of the 15th IEEE International Symposium , pp. 145-150, 2006.
- [7] Junichi Kosaka, Hideaki Kuzuoka, Shinya Oyama, and Keiichi Yamazaki : Study on Effect of User Interface on Orientation Expression of a Robot that Supports Remote Instruction; Human Interface Symposium 2003, pp.255-258, 2003.
- [8] Heath C.: “ The Analysis of Activities in Face to Face Interaction Using Video ”, David Silverman(ed.) Qualitative Sociology, London: Sage, pp.183-200, 1997.

- [9] Dourish, P., Adler, A., Bellotti V. and A. Henderson : Your Place or Mine? Learning from Long-Term Use of Video Communication, EuroPARK Technical Report EPC-1994-105, Rank Xerox EuroPARK, UK., 1992.
- [10] Hiroshi Kato, Keiichi Yamazaki, Hideyuki Suzuki, Hideaki Kuzuoka, Hiroyuki Miki, Akiko Yamazaki : Designing a Video-Mediated Collaboration System Based on a Body Metaphor, Proc. of CSCL'97 (Toronto Canada, 1997), pp. 142-149, 1997.
- [11] Yuichi Tsumaki, Fumiaki Ono, Taisuke Tsukuda : The 20-DOF Miniature Humanoid MH-2 for a Wearable Communication System, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, St. Paul, Minnesota, pp. 3930-3935, May, 2012.
- [12] Yuichi Tsumaki, Nobuyuki Inoue, Yutaka Satoh and Riichiro Tadakuma : Miniature Humanoid MH-1 for Wearable Telecommunicator, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO2011, Phuket, Thailand, pp. 223-228, 2011.
- [13] Ogaki, F. and Suzuki, K., "Adaptive Teleoperation of a Mobile Robot under Communication Time Delay," Proc. of IEEE Intl Workshop on Robotic and Sensors Environments, pp. 86-91, Ottawa, Canada, 2007.
- [14] Hirata, K. Harada, Y. Takada, T. Aoyagi, S. Shirai, Y. Yamashita, N. Kaji, K. Yamato, J. and Nakazawa, K.: t-Room: Next generation video communication system, Proc. of IEEE World Telecommunications Congress 2008 (WTC '08), pp.1-4, 2008.
- [15] Yu Shibuya and Hiroshi Tamura : Interface using video captured images, Proc. of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International'99), Vol.1, pp.247-250, 1999.
- [16] Akihiro Sugimoto, Akihiro Nakayama, and Takashi Matsuyama : Detecting a gazing region by visual direction and stereo cameras, Proc. of the 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2002), pp.278-282, 2002.
- [17] Keiji Hirata, Yasunori Harada, Toshihiro Takada, Naomi Yamashita, Shigemi Aoyagi, Yoshinari Shirai, Katsuhiko Kaji, Junji Yamato and Kenji Nakazawa : Basic design of video communication system enabling users to move around in shared space, IEICE Transactions, Vol.E92-C, No.11, pp.1387-1395, 2009.
- [18] Hitomi Tsujita, Koji Tsukada, Itiro Siio : SyncDecor: Communication Appliances for Couples Separated by Distance, UBICOMM 2008, The Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, IEEE, pp.279-286, Valencia, Spain, 2008.

- [19] Kobayashi, A. Satake, J. Hirayama, T. Kawashima, H. Matsuyama, T.: Person-Independent Face Tracking Based on Dynamic AAM Selection', Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (FG2008), 2008.
- [20] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi : TELESAR V: TELEXistence surrogate anthropomorphic robot, SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies, 2012.
- [21] Kourogi, M. Kurata T. and Sakaue K.: A Panorama-Based Method of Personal Positioning And Orientation And Its Real-Time Applications for Wearable Computers, Proc. of Int. Symposium on Wearable Computers, Switzerland, pp.107-114, 2001.
- [22] . 妻木勇一, 藤田雄太郎, 田村哲也, 菅原康人, 葛西昭治 : ウェアラブル テレコミュニケーター, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 4, pp. 467-474, 2005.
- [23] 妻木勇一, D. N. Nenchev, 内山勝 : テレコミュニケーター, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集, No. 98-4 2CI3-6, 1998.
- [24] 葛西昭治, 妻木勇一 : 小型軽量ウェアラブルロボット T2 の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, No. 02-6 1A1-F07, 2002.
- [25] 田村哲也, 妻木勇一, 葛西昭治, テレコミュニケーター T3 の開発 : 日本 バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 471-472, 2004.
- [26] 柏原忠和, 大澤博隆, 篠沢一彦, 今井倫太 : ウェアラブル・アバタ TEROOS を用いたフィールドテストとその分析, インタラクション 2012, Tokyo, Japan, pp.65-72, 2012.
- [27] 辻田暉, 塚田浩二, 椎尾一郎 : SyncDecor : 遠距離恋愛支援システム; 日本ソフトウェア科学会 WISS ,2006.
- [28] 小山慎哉, 葛岡英明, 上坂純一, 山崎敬一 : 実空間上の遠隔コミュニケーションを支援するシステムの開発; 情報処理学会論文誌 コラボレーションの「場」とコミュニティ特集号, Vol.45, No.1, pp.178-187, 2004.
- [29] 上坂純一, 葛岡英明, 小山慎哉, 山崎敬一 : 遠隔作業指示支援ロボットの操作インタフェースがロボットの志向表現に与える影響の研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集, pp.255-258, 2003.
- [30] 井上智雄, 岡田謙一, 松下温 : テレビ会議における映像表現の利用とその影響, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3752-3761,2000.
- [31] 小山慎哉, 葛岡英明, 山崎敬一, Paul Luff : 指示者を代理するロボットによる遠隔作業指示支援, 情報処理学会研究報告 2001-GW-39,pp.83-88, 2001.

- [32] 小山慎哉, 小野寺光, 葛岡英明, 山崎敬一: レーザポインタによる遠隔作業指示支援システムの実用可能性, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000, 2000.
- [33] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三樹弘之: 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, Vol. 45, No. 1, pp. 300-311, 2004.
- [34] 太田祥一, 行岡哲男, 田中秀治, 松岡博青, 島崎修次: 病院前救護を遠隔支援するマルチメディア Head Mount Display(HMD) による Shared View System の検討, 第 3 回日本臨床救急医学会総会, 2000.
- [35] 山下淳: 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に関する研究, 筑波大学博士 (工学) 学位論文・平成 14 年 7 月 25 日授与 (乙第 1852 号)
- [36] 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, Vol 45(1), pp. 300-310, 2004.
- [37] 原田康徳: 同室感通信, インタラクティブシステムとソフトウェア VI 日本ソフトウェア科学会 WISS ' 98, pp.53-60, 1998.
- [38] 足立智章, 小川剛史, 清川清, 竹村治雄: ライブビデオと 3 次元実環境モデルを用いた遠隔協調作業支援システム; 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.12 No.4, 2007.
- [39] 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, 情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス ワークショップ, pp.119-124, 2007.
- [40] 平田圭二, 梶克彦: 未来の電話 t-Room: 対面環境の再現を目指すビデオコミュニケーションシステム, 電子情報通信学会 2009 年総合大会, HT-1-3, pp.SS-23-SS-25, 2009.
- [41] 中堀友加里; 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, 同志社大学工学部卒業論文, 2008.
- [42] 清水康史, 片桐滋, 大崎美穂, 梶克彦, 原田康徳, 平田圭二: 未来の電話「t-Room」のための開発支援システムの提案, 情報処理学会 システム評価研究会, Vol.2009-EVA-30, No.3, pp.1-6, 2009.
- [43] 入江洋介, 青柳滋己, 高田敏弘, 平田圭二, 梶克彦, 片桐滋, 大崎美穂: t-Room のための遠隔合奏支援システムの構築, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-GN-73, No.23, pp.1-8, 2009.
- [44] 妻木勇一, 小野史暁, 佃泰輔: ミニチュアヒューマノイド MH-2 の開発, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, No. 12-3, pp.2P1-C03, 2012.

- [45] 大垣 史迅, 鈴木 健嗣: 伝送遅延を考慮した人間機械協調系における移動ロボットの遠隔操作, 第 14 回ロボティクスシンポジウム論文集, Vol.14, pp.325-330, 2009.
- [46] 細谷英一: 遠隔コミュニケーションにおける自己像を用いた共有空間提示に関する研究, 名古屋大学博士 (情報科学) 学位論文・平成 23 年 12 月 28 日学位 (甲 9427 号).
- [47] 細谷英一, 橋本佐由理, 原田育生, 小野澤晃, 上田繁: 仮想共有空間の客観視映像を用いた遠隔講義システムとその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.8, pp.2742-2756, 2008.
- [48] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三樹弘之: 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, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.495-504, 1999.
- [49] 森川治, 橋本亮一: ビデオ対話に正面顔が必要不可欠か, 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, pp.283-286, 2002.
- [50] 岡田謙一, 西田正吾, 葛岡英明, 仲谷美江, 塩澤秀和: ヒューマンコンピュータインタラクション, オーム社, 東京, 2010.
- [51] 矢谷浩司, 岸村俊哉, 田村晃一, 杉本雅則, 橋爪宏達: Toss-It: モバイルデバイスにおける情報の移動を直感的に実現するインタフェース, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 169, pp. 19-24, 2004.
- [52] 樋口啓太, 暦本純一: Flying Head: 頭部動作との同期による無人航空機の操作メカニズム, インタラクション 2013, 2013.
- [53] 北端美紀, 池永剛, 野島久雄, 内村国治, 山下清美: キャラクターエージェントとのインタラクションの検討—自己像表示を使ったインタフェースの評価—, ヒューマンインタフェース学会第 5 回ノンバーバルインタフェース研究会論文集, pp.11-16, 2002.
- [54] 矢谷浩司, 田村晃一, 杉本雅則, 橋爪宏達: ユーザの位置, 方向, ジェスチャを認識することによるモバイルデバイスのための情報移手法, ヒューマンインタフェース学会研究会, Vol. 6 No. 4, pp. 31-36, 2004.
- [55] 久保田秀和, 亀田能成, 美濃導彦: 遠隔地間通信会議における「横顔視線一致」における対話の実現, 電子情報通信学会技術研究報告. ヒューマン情報処理, HIP98-8, pp.55-62, 1998.

著者論文リスト

本研究に関連する論文

論文誌

- Ching-Tzun Chang, Shin Takahashi and Jiro Tanaka : A Remote Communication System to Provide “Out Together Feeling”, Journal of Information Processing (情報処理学会論文集), Vol.22, No.1, (2014).

査読付き国際会議論文

- Ching-Tzun Chang, Shin Takahashi and Jiro Tanaka : WithYou - A Communication System to Provide Out Together Feeling, Advanced Visual Interfaces 2012 International Working Conference, pp. 320-323 (2012).
- Ching-Tzun Chang, Shin Takahashi and Jiro Tanaka : Analyzing Interactions between a Pair Out Together Real and Virtual, The Sixth International Conference on Collaboration Technologies 2012, pp. 100-105 (2012).
- Ching-Tzun Chang, Shin Takahashi and Jiro Tanaka : Provide ”Out Together Feeling” by Sharing Panorama Live Image Between Outdoor and Indoor Users, 22nd International Symposium on Human Factors in Telecommunications (HFT2013), Berlin, Germany, pp. 12-19 (2013).

その他の論文

- 張慶椿, 高橋伸, 田中二郎 : 共同外出の感覚を作る遠隔コミュニケーションシステム, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010, pp. 99-102, 2010年9月.
- 張慶椿, 高橋伸, 田中二郎”回転式カメラを用いた共同存在感を示す遠隔インタラクション手法” 情報処理学会第72回大会, 2010年3月.

付録 A 評価実験のアンケート結果

A.1 WithYou 評価実験：観察者のアンケート結果

Q 1：システム機能を使いこなしましたか？(1～5)，そしてバグ，不具合な所があれば教えてください

- 被験者 A：3，事前に説明は読んだが，リモコンのボタンを何度か押し間違えてしまった。
- 被験者 B：4
- 被験者 C：5
- 被験者 D：4，不具合な所がちょっと遅い。

Q 2：システム機能について，挙動がおかしく，もしくは使いにくいところがあれば教えてください，それとシステムの便利性的について評価してください(1～5)

- 被験者 A：4，左右は首を動かすだけで視点を動かせるのに対し，上下視点がリモコンなのが使いづらかった。間違えて首を上下してしまう場面があった。
- 被験者 B：4，通信速度の問題上，映像の遅延が生じてしまうため，気になるものがあった。声をかけても通り過ぎた後というケースがあった。
- 被験者 C：4
- 被験者 D：4，カメラの移動が自然ではない(傾いたり)。

Q 3：思うとおりに見たい方向(もの)を見れたのか？(1～5 見れない～見れた)

- 被験者 A：3，通信の遅延のせいか，映像が飛び飛びで，気になるモノがあっても注目しづらかった。
- 被験者 B：4，自分が向いた方向にカメラが左右に動くので便利だった。ただ，どうしても上下にも顔の動きで動かそうとしてしまった。
- 被験者 C：4

- 被験者 D : 4, ただし移動者の動きが速い.

Q 4 : 移動者の身振りなどは, 自分側の視線を邪魔したの思ったのか? (1 ~ 5 邪魔しない ~ すごく邪魔)

- 被験者 A : 1, 身振りが邪魔に感じることは特になかった.
- 被験者 B : 1, カメラの位置的に移動者の身振りなどは全く入るとはなかった.
- 被験者 C : 1
- 被験者 D : 1, ぜんぜん大丈夫.

Q 5 : 観察者絶対視野「移動者が振り向いても視線方向を維持する機能」という機能について, 遠隔映像が安定して自分が見たい方向を写してくれたのか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, Q3 の回答と同様, 飛び飛びになってしまった場面があった.
- 被験者 B : 5
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : 5

Q 6 : 移動者の注目方向 (物) をうまく把握したのか? (1 ~ 5) まだ GUI に表示された注目方向, 視野範囲の表示について感想があれば教えてください

- 被験者 A : 4, 方向は把握できたと思う. 上下の視野範囲で, 正面がどこなのかわかりづらかった.
- 被験者 B : 4, 基本的には自分の見たい場所を好きに見ていた, 買い物の時等.
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : 4, 自分のことで頭がいっぱいでした. GUI はわかりやすい.

Q 7 : 移動者の行進方向, 振り向く等をうまく把握したのか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 5, こちらもそこそこ把握できていたと思う.
- 被験者 B : 4, 映像の変化から相手の進行方向は把握できた, ふりむきはわからなかった (相手がしていないかも).
- 被験者 C : 4

- 被験者 D : 4

Q 8 : 相手注目 (移動者注目) と共同注目の作動について, 相手の行動を把握するために役に立ったのか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, 共同注目は今回作動する場面がなかった.
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : 1

Q 9 : 自分注目 (観察者注目) が作動するとき, 本当に自分が注目しようとした時と合うのか? (1 ~ 5 合う, 合わない)

- 被験者 A : 5, そこそこ合っていたと思う.
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : 3

Q 10 : システムを使って, 共同活動感覚を感じましたか? (1 ~ 5), もし感じたなら, どのようなシーンとどのような機能を使う時に如何感じたのかを説明してください

- 被験者 A : 4, 普通に歩いている時はただ映像をながめているような感覚でしたが, 買い物をする際, 相手と会話をすると一緒に買い物しているような気分になれた.
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 5, ヘッドマウン人ディスプレイを装着してリアリティがあった.
- 被験者 D : 5, 買い物の時, 特に天気がじかにわかった.

Q 11 : カメラはタイミング合わせてうまく動きましたか? (1 ~ 5 合わせない ~ 合わせる)

- 被験者 A : 3, 少し動作が不安定な場面があったように感じる.
- 被験者 B : 3, 通信速度の問題でカメラを操作してからのラグがどうしても生じてしまっていた.
- 被験者 C : 5

- 被験者 D : 5 or 4

Q 1 2 :ズーム機能は実験中、役に立ったのか?役に立ったならどのような場面でどう役に立ったのかを教えてください

- 被験者 A :ズーム機能は使用しなかった。買い物をしている時に小さくて何の商品なのか判断できない場面があったので、使用すればよかった。
- 被験者 B :実験中は使うことがなかったが、買い物時に商品の詳細が見えない場合にズームを使えば良かったと思う。
- 被験者 C :あまり役に立たなかった。
- 被験者 D :役に立たなかった、解像度が低い。

Q 1 3 :画像は揺れましたか?(1~5 揺れる~安定)

- 被験者 A :5, 傾いている時はあったが、揺れはなかったと思う。
- 被験者 B :4, たまにカメラが傾いてしまうことはあったが、揺れなどは全く気にならないレベルだった。
- 被験者 C :4
- 被験者 D :揺れる。

Q 1 4 :観察者装置は,, 体の負担になりましたか?

- 被験者 A :HMD の鼻にあたる部分が重かった。
- 被験者 B :HMD 自体を付け慣れていないせいか、少し重く感じたが、特に疲労などは無かった。
- 被験者 C :メガネをかけてやると痛くなる。
- 被験者 D :なった。ひたい、首が痛い、目に疲れた。

Q 1 5 :システムに追加してほしい機能があれば教えてください

- 被験者 A :-
- 被験者 B :頭の向きで上下左右全方位にカメラが動く和良好的に思った。
- 被験者 C :-
- 被験者 D :手ブレ補正。

Q 1 6 :他のコメントもあれば教えてください

- 被験者 A : -
- 被験者 B : 実験前により十分な練習があると良かった。機能だけでなく、どんな場面で使うものなのか詳しく、相手注目、自分注目などに関する説明も欲しかった。
- 被験者 C : -
- 被験者 D : 1時間はできないと思った。

各別機能評価自由視野（1～5）:

- 被験者 A : 4
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : -

自分注目（1～5）:

- 被験者 A : 4
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : -

相手注目（1～5）:

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 作動なし
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

共同注目（1～5）:

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 作動なし
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

GUI（1～5）:

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : -

Follow You モード (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 3
- 被験者 D : -

観察者絶対視野 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

ボディコミュニケーション (1 ~ 5) :

- 被験者 A : ?
- 被験者 B : ?
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

映像品質 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 2
- 被験者 B : 3
- 被験者 C : 3
- 被験者 D : -

音声提示 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 4
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : -

システム全体評価 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : -

A.2 WithYou 評価実験 : 移動者のアンケート結果

Q 1 : システム機能を使いこなしましたか? (1 ~ 5), そしてバグ, 不具合な所があれば教えてください

- 被験者 A : 4, そこそこ使いこなせたと思う.
- 被験者 B : 5, 相手に見せたいものがあつた時に, Follow Me モードに切り替えてカメラ操作を行うことができた.
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : 3, カメラが反応しなくなることがたまにあつた.

Q 2 : システム機能について, 挙動がおかしく, もしくは使いにくいところがあれば教えてください, それとシステムの便利性的について評価してください (1 ~ 5)

- 被験者 A : 4, 相手に高い位置 (見上げるような位置) を見せたい時, どうすれば良いのか迷つた.
- 被験者 B : 5
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : 4, リモコンの必要性が少ないので, なくても使えると思う.

Q 3 : カメラの動きを見て, 観察者の向き方向をうまく把握できたのか? (肩掛け装置のみ)

- 被験者 A : 4, 方向は把握できていたと思う.
- 被験者 B : 4, カメラ方向である程度の相手の向きは把握できたが, ポスターの全体像を見せたい場合などどの範囲まで見えているかがわからない場合があった.
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : 5, よくわかったが, たまに動かなくなる.

Q 4 : LEDバーを見て, 観察者の向き方向をうまく把握できたのか?(ヘルメット装置のみ)

- 被験者 A : (回答なし)
- 被験者 B : (回答なし)
- 被験者 C : (回答なし)
- 被験者 D : わからなかった.

Q 5 : 実験装置は, 体の負担になりましたか?

- 被験者 A : やや重く感じた, 方がこった, メガネがずり落ちそうになった.
- 被験者 B : 短時間の利用など問題ないかもしれないが, 数時間の利用を想定した場合, 疲労が大きくなると思う (実験時はちょっと重い程度だった).
- 被験者 C : 少し重かった.
- 被験者 D : 重い, はずかしい.

Q 6 : 相手注目 (移動者注目) と共同注目の作動について, 相手の行動を把握するために役に立ったのか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 5, 音で相手が何かに注目しているのを知らせてくれるのはわかりやすかった.
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : 3

Q 7 : 自分注目 (観察者注目) が作動するとき, 本当に自分が注目しようとした時と合うのか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, 作動しなかった?
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 2

- 被験者 D : 3

Q 8 : システムを使って、共同活動感覚を感じましたか？(1～5)，もし感じたら、どのようなゾーンとどのような機能を使う時に如何感じたのかを説明してください

- 被験者 A : 4, 自分では気にとめなかった場所, モノに相手が反応した時.
- 被験者 B : 5, 歩いている最中に相手が横のポスターを見て, 声をかけてきた際, Follow Me モードを使って相手にポスターの見せたい一部を見せた時.
- 被験者 C : 4, 品物を提示して相手が反応してくれた時.
- 被験者 D : 5, 買い物に便利, 電話のようではあるが見ているものが共通なので説明の手間が省けるし, 観察者に教えられることもある.

Q 9 : システムに追加してほしい機能があれば教えてください

- 被験者 A : 観察者の向きは把握できたが, 具体的に何を見ているのかがわからなかったなので, そこが把握できると嬉しいかも.
- 被験者 B : 相手に見える映像が見れる機能.
- 被験者 C : あまり恥ずかしくないようにしてほしい.
- 被験者 D : 音声通話 (Skype を使わず).

Q 10 : 他のコメントもあれば教えてください

- 被験者 A : 装置が重い&街の人の視線が気になったので, やはり軽量化をしてほしいです.
- 被験者 B : -
- 被験者 C : -
- 被験者 D : -

各別機能評価自分注目 (1～5):

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

相手注目 (1～5):

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

共同注目 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 作動なし.
- 被験者 C : 5
- 被験者 D : -

Follow Me モード (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 3
- 被験者 B : 5
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : -

音声提示 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4, どの音がどの機能かわからないことがある.
- 被験者 C : 2
- 被験者 D : -

システム全体評価 (1 ~ 5) :

- 被験者 A : 4
- 被験者 B : 4
- 被験者 C : 4
- 被験者 D : -

A.3 WithYou2 評価実験：観察者のアンケート結果

点数の基準（評価）：

1：非常に同意しない 2：同意しない 3：どちらでもない，普通 4：同意する 5：非常に同意する

点数の基準（頻度）：

A：まったく使わなかった B：少しだけ使った C：よく使った D：ずっと使った

1：共同外出感の関連質問：

質問1：システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？（1～5），もし感じたなら、どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください

- 被験者 A：5
- 被験者 B：4
- 小林：4，移動者が歩いている時.
- 田中：4，自分が首を振ると景色が変わった時.
- 加瀬：4，商品を選ぶ時.
- 安川：3
- 伊與田：5，相手の視野を見る時，顔を見る時.
- 鹿山：4，指差したより対象を指示し，共に理解が通じ合った時（といっても，少し不自然な見え方だったが…）
- 蘇：4
- 小松：（回答なし）

2：自由視野の関連質問：

質問2.1：思うとおりに見たい方向（もの）を見れましたか？（評価1～5）

- 被験者 A：3，一応見れたが，FPSが遅いので難しかった．それよりは外出した人の目線で見ることが楽だった．
- 被験者 B：4
- 小林：5

- 田中：2
- 加瀬：3
- 安川：3
- 伊與田：2
- 鹿山：5
- 蘇：4, 上下が見たい時, 相手に頼まなければならないです.
- 小松：5

質問 2.2：商品の形と情報（印刷された文字等）を把握できましたか？（評価 1～5）

- 被験者 A：2, 画質の問題もあり, しかしクリームパンは読みとれた.
- 被験者 B：4
- 小林：3, 文字がよく見えなかった.
- 田中：2
- 加瀬：3
- 安川：5
- 伊與田：2
- 鹿山：2, 白か模様はなんとなく見えた.
- 蘇：4, 形はきちんと把握できますが, 印刷された文字がはっきり見えないです.
- 小松：2

質問 2.3：相手の顔をどれくらい見ましたか？（頻度 A～D）

- 被験者 A：A, 風景に気を取られていた.
- 被験者 B：A
- 小林：B
- 田中：B
- 加瀬：B
- 安川：B

- 伊與田：C
- 鹿山：A
- 蘇：A, あんまり見ていません。
- 小松：B

質問 2.4：相手が見ている方向の画像（相手が見ているところ）をどれくらい見ましたか？（頻度 A～D）また、見えたことはどう役に立ちましたか？

- 被験者 A：C, 「～はあるか？」と聞いて相手がそれらしい場所を見るので、己の方向を見ると目的のものが見つけやすかった。
- 被験者 B：B
- 小林：C, 商品を選ぶ時
- 田中：C, 相手の見ているものを指示する時役立った。
- 加瀬：C
- 安川：D, 自分の希望を伝える時（移動して欲しい、手にとってほしい）移動者の状態が理解しやすかった。
- 伊與田：A, 商品をよく見れた。
- 鹿山：C, 「こんな物がある！」と相手がいった時に、そちらへ向く際に役立った。
- 蘇：C, レーダーを使って相手の見る場所を確認することが多いですが、移動者モードを使って相手の見ている方向を確認するのは少ない。
- 小松：D

質問 2.5：以下の視野モードをどれくらい使いましたか？（頻度 A～D）？もし使ったらどういった場面で使ったのかを説明してください

相対視野モード（デフォルトモード）：

- 被験者 A：C, 風景を見る時等。
- 被験者 B：C
- 小林：D, 基本はこのモード。
- 田中：D, 常に使った。
- 加瀬：C

- 安川 : B
- 伊與田 : B, 店内など.
- 鹿山 : C, とりあえず見る時にはこれを使っていた.
- 蘇 : D, 主にデフォルトモードを使っています. こっちのモードが自分で制御できますので, すごく安心感が得られます.
- 小松 : D

絶対視野モード (一定な視野方向に修正してくれるモード):

- 被験者 A : B, 店の中など, 特にじっくり見たい時に.
- 被験者 B : A
- 小林 : B, 歩いている, 視線を動かしたくない時.
- 田中 : A
- 加瀬 : B
- 安川 : A
- 伊與田 : D
- 鹿山 : B, あまり役に立つ場面には会わなかった.
- 蘇 : A
- 小松 : B

移動者視野モード (移動者と同じ方向を見せるモード):

- 被験者 A : D, 基本はこれラクチン.
- 被験者 B : B
- 小林 : C, 商品を選ぶ時など, 映っているものについて話す時.
- 田中 : C, 相手に指示する時.
- 加瀬 : B
- 安川 : D, [2.4] の解答と同じ.
- 伊與田 : B, 移動中など.
- 鹿山 : C, [2.4] と同じ.

- 蘇：A
- 小松：A

指差し視野モード（コントローラの指し方向で方向を制御するモード）：

- 被験者 A：A，あまり使わなかった，後ろを見たい時は使いました。
- 被験者 B：C
- 小林：C，歩いている時，色々な方向を向いてみたい時。
- 田中：A
- 加瀬：A
- 安川：A
- 伊與田：D
- 鹿山：C，探す時に周囲を見回すなのに使った。首を動かさなくて済むので，デフォルトモードよりもこちらで使っていた。
- 蘇：A
- 小松：B

条件 1：五分間，観察者と移動者はお互いの顔・ジェスチャを見られない状態で実験する
質問 2.6：相手の顔が見えない実験条件と比べて，相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと思いましたか？

- 被験者 A：いいえ，外の様子を見ることで頭が一杯だった。
- 被験者 B：欲しい商品を指示しやすい。
- 小林：指差しができるようになり，スムーズに意志を伝え決めるようになった。
- 田中：商品を指定する時伝えやすくなった。
- 加瀬：4
- 安川：あまり変化を感じなかった。
- 伊與田：特に感じなかった。
- 鹿山：顔が見える/見えないについては特にはないが，ジェスチャは意思を伝えるために必要だったため，ない時には伝えるのが困難だった。

- 蘇：相手の顔はあんまり見ていないですが、相手のジェスチャを見て自分の指示に合うかどうかを確認できます。
- 小松：意志そつうがスムーズにはかれた。

質問 2.7：相手の顔とジェスチャが見えることで、より相手の存在感を感じましたか？（評価 1～5）

- 被験者 A：1
- 被験者 B：4
- 小林：2
- 田中：4
- 加瀬：4
- 安川：3
- 伊與田：4
- 鹿山：3
- 蘇：2
- 小松：5

3：向き方向の関連質問：

質問 3.1：相手の向き方向を把握できましたか？（評価 1～5）

- 被験者 A：5
- 被験者 B：4
- 小林：4
- 田中：2
- 加瀬：3
- 安川：3
- 伊與田：4
- 鹿山：4
- 蘇：5

- 小松 : 3

質問 3.2 : 移動者の体の向きを正面として, 自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4
- 小林 : 4
- 田中 : 2
- 加瀬 : 5
- 安川 : 3
- 伊與田 : 4
- 鹿山 : 3
- 蘇 : 4
- 小松 : 2

質問 3.3 : 移動者の周囲の状況を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 3
- 加瀬 : 5
- 安川 : 3
- 伊與田 : 4
- 鹿山 : 5
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 3.4 : GUI インタフェースでは, 向きの表示は分かりやすかったですか? (評価 1 ~ 5), もし分かり難かったらその理由を教えてください

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 2, 映像の遅延があって向きが同期しているのが分かり辛かった.
- 加瀬 : 4
- 安川 : 3
- 伊與田 : 5
- 鹿山 : 4, これが向きというより視野に見えた.
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 3.5 : 注目状態の提示音声とメッセージなどをどれくらい確認できましたか? (頻度 A ~ D) もしできなかつたらその理由を説明してください

提示音声 :

メッセージ :

- 被験者 A : 提示音声 : D メッセージ : 注目状態など.
- 被験者 B : 提示音声 : C メッセージ : A, 使うことがなかったため.
- 小林 : 提示音声 : B メッセージ : B
- 田中 : 提示音声 : A メッセージ :
- 加瀬 : 提示音声 : D メッセージ : D, イヤホンが時々はずれてしまい, 聞き取れない時があった.
- 安川 : 提示音声 : A メッセージ : A, 機能を理解できていなかった.
- 伊與田 : 提示音声 : A メッセージ : C
- 鹿山 : 提示音声 : B, 右側に提示していたが, あまり目につかなかった. メッセージ : B, どっち音よりも機械音声の方がわかりやすいと思う.
- 蘇 : 提示音声 : C メッセージ : A, メッセージは主に Skype を通じ交わします.
- 小松 : 提示音声 : D メッセージ : D

質問 3.6 : 自分が注目状態と判定された時, 本当に自分が注目したタイミングと合っていましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, それなりに.
- 被験者 B : 4
- 小林 : 3
- 田中 : 1
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 5
- 鹿山 : 2
- 蘇 : 3
- 小松 : 5

条件 2 : 五分間, 向き方向を提示しない状態で (GUI のレーダー図が非表示) 実験する
質問 3.7 : 向き方向を提示しない状態では, 以下の質問一度回答してください
(条件 2 の場合) 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 2
- 小林 : 4
- 田中 : 1
- 加瀬 : 4
- 安川 : 1
- 伊與田 : 2
- 鹿山 : 1
- 蘇 : 2
- 小松 : 5

(条件 2 の場合) 移動者の体の向きを正面として, 自分は移動者より左向いたり右向いたりといった相対的な向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 3

- 被験者 B : 2
- 小林 : 3
- 田中 : 1
- 加瀬 : 4
- 安川 : 1
- 伊與田 : 1
- 鹿山 : 2
- 蘇 : 1
- 小松 : 5

(条件 2 の場合) 移動者の周囲の状況を把握できましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 4
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 3
- 加瀬 : 5
- 安川 : 1
- 伊與田 : 4
- 鹿山 : 5
- 蘇 : 3
- 小松 : 5

質問 3.8 : GUI で向き方向を提示する状態と比較して, どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか?

- 被験者 A : 向き方向があったら解りやすかった.
- 被験者 B : 指示する状態.
- 小林 : GUI がある方が把握し易かった.
- 田中 : GUI の方.

- 加瀬：GUI で向き方向を指示する状態.
- 安川：提示する状態.
- 伊與田：指示されていた方がよい.
- 鹿山：GUI があった方が把握しやすい.
- 蘇：GUI で提示することによって、お互いの方向の差がはっきり判断できます.
- 小松：自分の向いてる方向が分かりやすかった.

質問 3.9：お互いの向き方向を GUI で提示することは、提示しない時と比べてどう違いましたか？(評価 1～5)

- 被験者 A：わかりやすい.
- 被験者 B：移動者の向いている方向が分かると、指示しやすかった.
- 小林：3
- 田中：4
- 加瀬：GUI があることで方向を見失わずにすんだ.
- 安川：相対的な向き方向の違いを認識しやすかった.
- 伊與田：どの棚のことを話しているのかがつかみやすい.
- 鹿山：5, 良い悪いかの評価でしたら.
- 蘇：1
- 小松：5

条件 3：五分間、注目状態及び共同注目の検出、提示をしない状態で実験する

質問 3.10：条件 3 では、相手と自分の注目行為を把握できましたか？(1～5) もしできなかったら、その理由を挙げてください

- 被験者 A：1. 注目になるタイミングがそもそもなかった.
- 被験者 B：4
- 小林：2
- 田中：3
- 加瀬：4

- 安川 : 3
- 伊與田 : 2
- 鹿山 : 1, 何も提示されないため.
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 3.11 : 条件 3 と通常状態を比較して、注目状態と共同注目の提示では、相手の行動を把握するために役に立ったのか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 1, 自分の場合はあまりなかった.
- 被験者 B : 2
- 小林 : 3
- 田中 : 3
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 5
- 鹿山 : 3, 提示方法が気付きにくいため、把握するのは難しかった.
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 3.12 : 注目状態と共同注目の提示は、相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 1, 自分の場合はあまり起こらなかったなので、わからない.
- 被験者 B : 2
- 小林 : 1
- 田中 : 3
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 5

- 鹿山：3, 相手（自分）がどこかに注目しているというのは自身が気付くことができるためサポートする必要はないと思った（気付くことがコミュニケーション共同注目はあったらうれしいと思う）。
- 蘇：5
- 小松：5

4：ジェスチャの関連質問：

質問 4.1：相手のジェスチャ（ものを持って一緒にみる等）などはどれくらい確認できましたか？（頻度 A～D） もし確認できたらどのようなジェスチャをしていたかを説明してください

- 被験者 A：A
- 被験者 B：C, 商品を手にとり、これでいいのかの確認のジェスチャ。
- 小林：C, ものを持ってもらい、一緒にみる。
- 田中：C, 指をさすジェスチャ。
- 加瀬：D, ものを持って見る, 指で商品を示す。
- 安川：C
- 伊與田：B, 持ってもらった。
- 鹿山：A, 相手の手はまったく見えなかった, 共に物を探すというか, とりあえず何か選んでという感じの対応だった。
- 蘇：B
- 小松：D, 商品を指差すジェスチャ。

質問 4.2：自分ではジェスチャを行いましたか？(YES/NO) もし行った場合, どのようなジェスチャを行ったのかを説明してください。もしジェスチャを行わなかった場合, その理由を説明してください

- 被験者 A：No
- 被験者 B：Yes, 商品を指差した。
- 小林：Yes, 指差しジェスチャ。
- 田中：Yes, 買う商品に指をさすジェスチャを行った。
- 加瀬：Yes, 指で商品を示す。

- 安川：Yes, 指差しで目標物や方向の指示などした.
- 伊與田：Yes, 持った.
- 鹿山：Yes, ジェスチャで指をさし, そこにある物を知りたい買いたい時につかった.
- 蘇：Yes, 自分の説明が足りない場合, 必ず overlay mode を使って説明します.
- 小松：Yes, 商品を指差すジェスチャ.

質問 4.3: 相手のジェスチャが見えることで, より相手の意図 (説明したいこと) を理解できましたか (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 1
- 被験者 B : 4
- 小林 : 4
- 田中 : 4
- 加瀬 : 5
- 安川 : 5
- 伊與田 : 5
- 鹿山 : 1
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 4.4: 観察者のジェスチャと遠隔映像が重なって表示されたことで, よりわかりやすく相手の意図を理解できましたか? (評価 1 ~ 5) また, それが役に立ったとすれば, どのように役に立ったのかを説明してください

- 被験者 A : 5, 「こっち」「あっち」と言った操作が良くてできた.
- 被験者 B : 5, 映像の乱れにより, 商品の説明がしづらい時に, 直接指差すことでスムーズな買い物ができた.
- 小林 : 3, 商品を選ぶ時に指差して選ぶことができた.
- 田中 : 4, 直接見たものを指定できた.
- 加瀬 : 5, 指でどの商品がほしいか分かり易かった.
- 安川 : 5

- 伊與田：5, どれをさしているのか伝えられた.
- 鹿山：5, [4.2] に同じ.
- 蘇：5, いい機能と思います.
- 小松：5, 商品を指定する時楽だった.

5：映像品質・の関連質問：

質問 5.1：画像は揺れましたか？(1～5 非常に揺れる・揺れる・普通・安定・非常に安定)

- 被験者 A：4. FPS が小さくてそもそも揺れがわからない.
- 被験者 B：2
- 小林：4
- 田中：3
- 加瀬：2, 揺れる.
- 安川：4
- 伊與田：3
- 鹿山：3, FPS も近く, コマおくりだったため, 揺れは感じなかった.
- 蘇：3
- 小松：3

質問 5.2：映像の品質（画質とフレーム数）について評価してください（1～5 非常に悪い・悪い・普通・良い・非常に良い）

- 被験者 A：2
- 被験者 B：2
- 小林：4
- 田中：2
- 加瀬：2
- 安川：3
- 伊與田：2
- 鹿山：2

- 蘇：2, パンを買う時は大丈夫ですが, コンピニでものをかう時の画質が悪い (主にフレーム数).
- 小松：1

質問 5.3: パノラマの続き目の変形 (左右 90 度辺りの映像) について, 視野が妨害されることを感じましたか? (1 ~ 5 非常に妨害・やや妨害・普通・気にしない・気づいていない)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 5
- 小林 : 5
- 田中 : 3
- 加瀬 : 4
- 安川 : 4
- 伊與田 : 3
- 鹿山 : 2
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 5.4: 遠隔映像の視野の広さは十分と思いますか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 4
- 加瀬 : 4
- 安川 : 4, 下方が見えづらいと感じました (買い物をする際).
- 伊與田 : 3
- 鹿山 : 5
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 5.5 : HMD 視角の広さ (見える範囲の広さ) は十分と思いますか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 5
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 4
- 加瀬 : 4
- 安川 : 5
- 伊與田 : 4
- 鹿山 : 5
- 蘇 : 4
- 小松 : 5

6 : システムの関連質問 :

質問 6.1 : システム機能を使いこなしましたか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, まあそれなりに.
- 被験者 B : 5
- 小林 : 3
- 田中 : 2
- 加瀬 : 4
- 安川 : 3
- 伊與田 : 3
- 鹿山 : 3
- 蘇 : 4
- 小松 : 3

質問 6.2 : 着用する装置は, 体の負担になりましたか? (1 ~ 5)

- 被験者 A : 1, 特に.
- 被験者 B : 1

- 小林：1
- 田中：5
- 加瀬：3
- 安川：2
- 伊與田：2
- 鹿山：2
- 蘇：1
- 小松：1

質問 6.3：システムに追加してほしい機能があれば教えてください

- 被験者 A：ジェスチャだけでなく画面の一部を注視する仕組みがない。
- 被験者 B：ズームなどがあればいいかもしれません。
- 小林：特になし。
- 田中：-
- 加瀬：左右だけではなく、上下も見えるようにしてほしい。
- 安川：-
- 伊與田：-
- 鹿山：相手の手元を見るカメラがほしい。
- 蘇：もし上下が見える機能があれば助けます。
- 小松：相手に文章を送れる機能。

質問 6.4：他のコメント，意見があれば教えてください

- 被験者 A：
- 被験者 B：スカイプでどこまで発言していいのかが分からない。言葉で全て伝えてしまうと、ジェスチャで指差すことの意味があるのかと疑問に思った。
- 小林：特になし。
- 田中：-
- 加瀬：-

- 安川：システムの理解が浅く、使いこなすことができなかった。トレーニングを重くして慣れる必要があると感じました。
- 伊與田：画面の切りかえ（頭の向きの検出など）がもっとスムーズだとよかったと思いました。現状ではラグで話がかみ合わないことが…
- 鹿山：リモコンを使った視点操作があると、そちらに頼りきってしまう。
- 蘇：-
- 小松：-

A.4 WithYou2 評価実験：移動者のアンケート結果

点数の基準

1：非常に同意しない 2：同意しない 3：どちらでもない，普通 4：同意する 5：非常に同意する

点数の基準（頻度）：

A：まったく使わなかった B：少しだけ使った C：よく使った D：ずっと使った

質問1：システムを使って、相手と一緒に外出する感覚を感じましたか？（1～5），もし感じたなら，どのようなシーンとどのような機能を使う時に感じたのかを説明してください

- 被験者 A：5，音声通信（システムとは関係ないが…）
- 被験者 B：3，欲しい商品を指差してもらった時に少し感じました。
- 小林：2
- 田中：2
- 加瀬：4，商品を選択する時。
- 安川：4，相手に商品を見せながら相談した時（映像を見ながら選んでもらう時，手にとって見せて商品を確認してもらう時）。
- 伊與田：5，相手を意識して店内を回る時，ジェスチャ機能。
- 鹿山：2
- 蘇：3，移動者の場合，一緒外出の感覚がちょっと足りない。
- 小松：5，相手と自分の見ている景色について話した時。

2 : 自由視野の関連質問 :

質問 2.1 : 相手の顔をどれくらい見ましたか? (頻度 A~D)

- 被験者 A : A
- 被験者 B : A
- 小林 : B
- 田中 : B
- 加瀬 : B
- 安川 : B
- 伊與田 : C
- 鹿山 : C, 相手の様子を知りたい時に.
- 蘇 : D
- 小松 : A

質問 2.2 : 相手が見ている方向の画像 (相手が見ているところ) をどれくらい見ましたか? (頻度 A~D) また, 見えたことはどう役に立ちましたか?

- 被験者 A : A
- 被験者 B : B, 欲しい商品の場所が少しだけ分かった.
- 小林 : D, 相手が見ている画像, 向きを変えた.
- 田中 : C, 相手が見ている物を理解するのに役立った.
- 加瀬 : B, 相手の目線を知ることができた.
- 安川 : B
- 伊與田 : D
- 鹿山 : C, 使おうとしたが見つらなかった. 観察者と同じような画面ではなく, レーダーだけの画面があったらよかった.
- 蘇 : D
- 小松 : A, 相手の見ている方向を見るヨユウは無かった.

質問 2.3：以下の視野モードをどれくらい使いましたか？（頻度 A～D）？もし使ったらどういった場面で使ったのかを説明してください

観察者視野モード（観察者と同じ方向を見せるモード）：

- 被験者 A：A
- 被験者 B：B，商品の確認.
- 小林：B，商品を見てもらいたい時.
- 田中：B
- 加瀬：C
- 安川：相手（観察者）に自分が見ている（持っている）ものを確認させる時.
- 伊與田：A，全て（おそらく D の誤植）
- 鹿山：D，時おり相手の様子を見る外はコレだったが，かなり見づらかった.
- 蘇：C，移動者がどこに見ている場合に使います.
- 小松：A

条件 1：五分間，観察者と移動者はお互いの顔・ジェスチャを見られない状態で実験する

質問 2.4：相手の顔が見えない実験条件と比べて，相手の顔とジェスチャが見えることで何が変わったと思いましたか？

- 被験者 A：いいえ
- 被験者 B：欲しい商品が分かりやすくなった.
- 小林：音声だけでなく，ジェスチャを使って商品を選びやすくなったと感じた.
- 田中：相手の意図が分かりやすくなった.
- 加瀬：商品を選択するタイミングを知ることができた.
- 安川：自分が見ている映像に対して指差しなどの指示が見えるので，同じものを見て相談しているという実感が強まった.
- 伊與田：何を指しているかが分かりやすい.
- 鹿山：相手の意思疎通がよく（うまく）できる.
- 蘇：安心感が感じる．相手の状況を確認しながら.

- 小松：商品の説明，スムーズに行える。

質問 2.5：相手の顔とジェスチャが見えることで，より相手の存在感を感じましたか？（評価 1～5）

- 被験者 A：2，オーバーレイは存在感が強いが…
- 被験者 B：4
- 小林：4
- 田中：4
- 加瀬：4
- 安川：5
- 伊與田：5
- 鹿山：2，となりにいるという感じではなかった。
- 蘇：5
- 小松：5

3：向き方向の関連質問：

質問 3.1：相手の向き方向を把握できましたか？（評価 1～5）

- 被験者 A：1
- 被験者 B：4
- 小林：5
- 田中：3
- 加瀬：3
- 安川：3，慣れが必要と感じました。
- 伊與田：2
- 鹿山：1
- 蘇：5
- 小松：3

質問 3.2：G U I インタフェースでは，向きの表示は分かりやすかったですか？（評価 1～5），もし分かり難かったらその理由を教えてください

- 被験者 A : 5, これは文句なし.
- 被験者 B : 4
- 小林 : 5
- 田中 : 3
- 加瀬 : 4
- 安川 : 3
- 伊與田 : 3, あまり気にしていなかった.
- 鹿山 : 4, GUI は分かりやすいが, 提示されたものが小さくて見づらい.
- 蘇 : 5
- 小松 : 3

質問 3.3 : 注目状態の提示音声とメッセージなどをどれくらい確認できましたか? (頻度 A ~D) もしできなかつたらその理由を説明してください

提示音声 :

メッセージ :

- 被験者 A : 提示音声 : A メッセージ : A, そもそも注目が同じ場所になることが少なかった.
- 被験者 B : 提示音声 : A, 移動して, カメラを動かすことに夢中で, 気付かなかったです. メッセージ : A, 使っていません.
- 小林 : 提示音声 : C メッセージ : C
- 田中 : 提示音声 : C メッセージ : A. あまり使わなかった.
- 加瀬 : 提示音声 : D メッセージ : C
- 安川 : 提示音声 : A メッセージ : A 共に機能の使い方がわからなかった.
- 伊與田 : 提示音声 : B メッセージ : B
- 鹿山 : 提示音声 : B メッセージ : B 音声でのやりとりはうまくできていたが, 提示された音は見づらい/理解しづらいものだった.
- 蘇 : 提示音声 : A メッセージ : メッセージは Skype を使って確認しました.
- 小松 : 提示音声 : D メッセージ : -

質問 3.4 : 自分が注目状態と判定された時, 本当に自分が注目したタイミングと合っていましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 2. 「注目」はいちいち意識しないのでよくわからなかった.
- 被験者 B : 5
- 小林 : 3
- 田中 : 2
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 4
- 鹿山 : 3
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

条件 2 : 五分間, 向き方向を提示しない状態で (GUI のレーダー図が非表示) 実験する

質問 3.5 : 向き方向を提示しない状態では, 質問 3.1 をもう一度回答してください
(条件 2 の場合) 相手の向き方向を把握できましたか? (評価 1 ~ 5) ?

- 被験者 A : 1, かなり難しい.
- 被験者 B : 1
- 小林 : 3
- 田中 : 2
- 加瀬 : 2
- 安川 : 3
- 伊與田 : 1
- 鹿山 : 1
- 蘇 : 2
- 小松 : 2

質問 3.6 : GUI で向き方向を提示する状態と比較して, どちらが相手と自分の向き方向を把握し易かったですか?

- 被験者 A : GUI がとてもわかりやすい.

- 被験者 B：表示する状態の方.
- 小林：GUI がある方が把握しやすかった.
- 田中：指示する方が把握しやすかった.
- 加瀬：どの方向を向いているのかわからなかった.
- 安川：指示する状態.
- 伊與田：提示された方.
- 鹿山：GUI, あり.
- 蘇：GUI のほうが断然把握しやすい.
- 小松：GUI あり

質問 3.7：お互いの向き方向を GUI で提示することは、提示しない時と比べてどう違いましたか？(評価 1～5)

- 被験者 A：5, GUI はとてもわかりやすい.
- 被験者 B：4, 相手の見ている方向が分かると、欲しい商品が分かりやすい.
- 小林：4
- 田中：3
- 加瀬：5
- 安川：4
- 伊與田：3
- 鹿山：5
- 蘇：移動者の場合、主に GUI を使って相手の向きを把握する.
- 小松：相手の向いている方向が分かりやすい.

条件 3：五分間、注目状態及び共同注目の検出、提示をしない状態で実験する

質問 3.8：条件 3 では、相手と自分の注目行為を把握できましたか？(1～5) もしできなかったら、その理由を挙げてください

- 被験者 A : 1, そもそもあまり注目を意識しなかった.
- 被験者 B : 1, ジェスチャに頼りすぎていたため.
- 小林 : 3
- 田中 : 3
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3, 機能を理解していなかった.
- 伊與田 : 4, 会話があるので特に不便はなかった.
- 鹿山 : 1, 提示がなく, また相手画面を見ようにも小さくて判断できなかった.
- 蘇 : 4
- 小松 : 5

質問 3.9 : 条件 3 と通常状態を比較して, 注目状態と共同注目の提示では, 相手の行動を把握するために役に立ったのか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 2, うーん…あまり…
- 被験者 B : 1
- 小林 : 3
- 田中 : 2
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 3
- 鹿山 : 2
- 蘇 : 3
- 小松 : 5

質問 3.10 : 注目状態と共同注目の提示は, 相手と一緒に外出する感覚を促進したと感じましたか? (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 1, GUI だけで見ている方向がわかるのは外出時はあったけれど, 注目状態の提示はあまり感じなかった.

- 被験者 B : 1
- 小林 : 2
- 田中 : 2
- 加瀬 : 3
- 安川 : 3
- 伊與田 : 3
- 鹿山 : 2
- 蘇 : 3
- 小松 : 5

4 : ジェスチャの関連質問 :

質問 4.1 : 相手のジェスチャ (ものを持って一緒にみる等) などはどれくらい確認できましたか? (頻度 A~D) もし確認できたらどのようなジェスチャをしていたかを説明してください

- 被験者 A : C, 指差し.
- 被験者 B : D, 商品への pointing.
- 小林 : C, 指差しジェスチャ.
- 田中 : C, 指をさすジェスチャ.
- 加瀬 : C, 商品を指差すこと.
- 安川 : D, 指差しによる指示を受けた.
- 伊與田 : B, どれを選ぶか.
- 鹿山 : C, 対象でを指差す時に.
- 蘇 : D, 商品を選ぶ時に, 欲しい商品は相手のジェスチャで確認しました.
- 小松 : C, 商品を指差してもらった.

質問 4.2 : 自分ではジェスチャを行いましたか? (YES/NO) もし行った場合, どのようなジェスチャを行ったのかを説明してください. もしジェスチャを行わなかった場合, その理由を説明してください

- 被験者 A : No, 相手のジェスチャを理解するので一杯だった.

- 被験者 B : No, 音声で確認したため.
- 小林 : Yes, ものを手にとり見せる.
- 田中 : No, カメラにジェスチャを写しづらかったかい.
- 加瀬 : Yes, 指差し.
- 安川 : Yes, 指差し.
- 伊與田 : Yes, ものを持つ.
- 鹿山 : Yes, ものをとって見せるようにした.
- 蘇 : Yes, 商品を確認する時, 自分が商品を持って相手に確認する.
- 小松 : Yes, 商品を手にとって確認した.

質問 4.3 : 相手のジェスチャが見えることで, より相手の意図 (説明したいこと) を理解できましたか (評価 1 ~ 5)

- 被験者 A : 3, ものが多いので色で指定してくれた.
- 被験者 B : 5
- 小林 : 4
- 田中 : 4
- 加瀬 : 5
- 安川 : 5
- 伊與田 : 5
- 鹿山 : 5
- 蘇 : 5
- 小松 : 5

質問 4.4 : 自分のジェスチャと遠隔映像が重なって表示されたことで, よりわかりやすく自分の意図を相手に伝えられましたか? (評価 1 ~ 5) また, それが役に立ったとすれば, どのように役に立ったのかを説明してください

- 被験者 A : 2
- 被験者 B : -

- 小林：3, 方向を指し示す時.
- 田中：2
- 加瀬：5, 商品を選択する時.
- 安川：5
- 伊與田：1
- 鹿山：3, ものをすすめる時とか.
- 蘇：5
- 小松：5, 商品を手にとって確認した.

5：映像品質・の関連質問：

質問5.1：画像は揺れましたか？(1～5 非常に揺れる・揺れる・普通・安定・非常に安定)

- 被験者 A：4, そもそも揺れるだけのFPSがない.
- 被験者 B：3
- 小林：5
- 田中：3
- 加瀬：2
- 安川：4
- 伊與田：3
- 鹿山：4
- 蘇：5
- 小松：3

質問5.2：映像の品質（画質とフレーム数）について評価してください（1～5 非常に悪い・悪い・普通・良い・非常に良い）

- 被験者 A：1, 途中で止まった.
- 被験者 B：3
- 小林：3

- 田中：2
- 加瀬：2
- 安川：3
- 伊與田：2
- 鹿山：2
- 蘇：4
- 小松：1

質問 5.3：パノラマの続き目の変形（左右 90 度辺りの映像）について，視野が妨害されることを感じましたか？（1～5 非常に妨害・やや妨害・普通・気にしない・気づいていない）

- 被験者 A：5.
- 被験者 B：2
- 小林：5
- 田中：2
- 加瀬：2
- 安川：4
- 伊與田：4
- 鹿山：3，パノラマのつなぎ目を見るタイミングがない.
- 蘇：5
- 小松：5

質問 5.4：遠隔映像の視野の広さは十分と思いますか？（評価 1～5）

- 被験者 A：5
- 被験者 B：4
- 小林：5
- 田中：3
- 加瀬：3
- 安川：5

- 伊與田：4
- 鹿山：3
- 蘇：5
- 小松：5

質問 5.5：HMD 視角の広さ（見える範囲の広さ）は十分と思いますか？（評価 1～5）

- 被験者 A：5
- 被験者 B：4
- 小林：5
- 田中：3
- 加瀬：3
- 安川：5
- 伊與田：4
- 鹿山：1, かなり小さい, 小さい画面をうまく利用した提示方法であれば…
- 蘇：(回答なし)
- 小松：5

6：システムの関連質問：

質問 6.1：システム機能を使いこなしましたか？（1～5）

- 被験者 A：4, だいたいはつかった.
- 被験者 B：3
- 小林：3
- 田中：3
- 加瀬：4
- 安川：3
- 伊與田：2

- 鹿山：3
- 蘇：3
- 小松：1

質問 6.2：着用する装置は、体の負担になりましたか？（1～5）

- 被験者 A：4，メガネがちょっと難しかったけれど，それなりにしっかりと見えた。
- 被験者 B：5
- 小林：2
- 田中：5
- 加瀬：3
- 安川：3
- 伊與田：5，混んでいたのもあって，少々じゃま。
- 鹿山：1
- 蘇：2
- 小松：5

質問 6.3：システムに追加してほしい機能があれば教えてください

- 被験者 A：
- 被験者 B：移動者側がカメラを上下方向に動かさなくても，観察者側から見えるようにしてほしい。
- 小林：特になし。
- 田中：-
- 加瀬：-
- 安川：-
- 伊與田：-
- 鹿山：先と同じ，手元をうつすかな。
- 蘇：-
- 小松：スムーズな通信。

質問 6.4 : 他のコメント, 意見があれば教えてください

- 被験者 A : -
- 被験者 B : メガネを着用している人にはやりづらいかもしれないです. しょうがないとは思いますが, また, 移動者がモードを切り換えることはあまりないと思います.
- 小林 : 画像の遅延が気になった.
- 田中 : -
- 加瀬 : 画像と音声のずれが少し気になった.
- 安川 : 慣れが必要だと感じました.
- 伊與田 : -
- 鹿山 : 共同というより, パノラマカメラを使った Skype というかニコ生という感じがした.
- 蘇 : -
- 小松 : -