

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「高度メディア社会の生活情報技術」
研究課題「トレイグジスタンスを用いる相互コミュニケーション
システム」

研究終了報告書

研究期間：平成 12 年 11 月～平成 18 年 3 月

研究代表者：舘 暲
(東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授)

1 研究実施の概要

1. 1 研究の基本構想

空間と時間の壁を乗り越えることと等価な体験を与え、バーチャルな意味での「存在感」の相互提示を行うことが、テレコミュニケーション（遠隔通信）のめざす理念である。本研究は、テレグジスタンス技術を用いることで、利用者がお互いに物理的に遠く離れていても、あたかも同一の空間を共有し、すぐそばにいるかのように顔を合わせて会話することができる相互テレグジスタンスシステムの開発を目標とした。従来のテレビ電話や臨場感会議方式の欠点であった「相手の姿が平面的」「お互いの視線が合わない」「自然な視点位置移動ができない」という問題を解決する。本手法においては、特殊な眼鏡等を付けることなく、三次元映像の「提示」と「撮影」とを同一の装置により実時間で行うことが可能となるという点が技術的に画期的な特徴である。これにより相手が現前しているかのような臨場感の高いコミュニケーションを実現できる。

また、前述のシステムの開発を行うと同様に、相互テレグジスタンス実現のための存在感の提示手法についてさまざまなシチュエーションに対応した実装について研究する。本研究では、電話機とのアナロジーから、相互テレグジスタンスシステムを利用される用途に合わせて「オフィス・公共機関用」「家庭用」「携帯型」に分類し、それぞれに関して実証システムの研究開発を行った。本研究では人間にとって使いやすい機械を考える際の基本である「人間を知ること」を常に考慮しながら具体的システム構築までを行った。

1. 2 研究の実施

本研究では、次世代のコミュニケーション技術を開発する。すなわち、利用者がお互いに物理的に遠く離れていても、あたかも同一の空間を共有し、すぐそばにいるかのように顔を合わせて会話することができる相互テレグジスタンスシステムの開発を目標とする。本研究は以下に示す要素技術に分類して研究をおこなった。また、最終的に実際に使用可能な実証システムを構築し、総合実証実験を行った。

(1) 「相互コミュニケーションシステムの研究・開発」

本研究項目は、互いに離れた複数のユーザがバーチャルに3次元空間を共有し、あたかも一堂に会して面談しているかのようにコミュニケーションできるようなシステムである。実際の本システムの開発に当たり、本システムの利用形態として以下の3タイプを想定した。

(i) オフィス・公共機関用テレグジスタンス電話

高品位の臨場感で相互コミュニケーションを行うことを目的とする。利用される環境としては図書館、病院、駅などの公共機関あるいは、オフィスを想定している。

(ii) 家庭用テレグジスタンス電話

相互コミュニケーションを低コストで行うことを前提とし、簡単なミーティングや家庭などでの使用を想定した。

(iii) 携帯型トレイグジスタンス電話

携帯端末を介して相互コミュニケーションを行う。携帯性を重要な指針とし、存在感の提示を目標として加える。

以上の3形態は、電話機にたとえるとそれぞれ公衆電話、家庭用の電話、携帯電話に相当する。また、同時に実装したシステムを実際に利用した際の問題点に関する検証、人間に対する生理・心理的な影響について研究を行い更なる開発のための知見とする。

(2) 人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を考慮した知的ヒューマンコミュニケーションの研究

本研究では、トレイグジスタンス電話の実装のみではなく人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を考慮した知的ヒューマンコミュニケーションの研究も並行して行い、得られた知見・設計指針を実装にフィードバック、また、同時に効果的に実装する手段の研究・開発を行った。

1. 3 研究成果の概要

本研究は、「トレイグジスタンスを用いる相互コミュニケーションシステム」を実現するため、さまざまなシチュエーションに応じたコミュニケーションデバイスを実装し、実装されたデバイス間でのシームレスなコミュニケーションを実現するシステムの構築を目指した。具体的には「オフィス・公共機関用トレイグジスタンス電話」、「家庭用トレイグジスタンス電話」、「携帯型トレイグジスタンス電話」とシチュエーション別に3形態の実装を行った。これはトレイグジスタンスを現在の電話のアナロジーで考え、それぞれ「公衆電話」、「(家庭用) 固定電話」、「携帯電話」に対応するものである。

「オフィス・公共機関用トレイグジスタンス電話」としては TWISTER II ~V の4段階の試作機を作成し、「家庭用トレイグジスタンス電話」としては i-Ball, i-Ball2, SeeLINDER を試作した。「携帯型トレイグジスタンス電話」の研究としてウェアラブルコンピュータの機器構成についての研究、ウェアラブルコンピュータを使用したコミュニケーションについての研究を行った。また、コミュニケーションの手法や高度なコミュニケーションに必要なデバイスへの要求を明らかにする「知的ヒューマンコミュニケーション技術の研究」などを行った。加えて、上記の「トレイグジスタンス電話」があくまで映像と音声（視覚と聴覚）を対象としているが、より高度な相互コミュニケーションを実現するため、行動や作業を、ロボットを介して相互に通信する技術に関しても研究を行った。

2 研究構想及び実施体制

2.1 研究構想

本研究では、次世代のコミュニケーション技術を開発する。すなわち、利用者がお互いに物理的に遠く離れていても、あたかも同一の空間を共有し、すぐそばにいるかのように顔を合わせて会話することができる相互レイグジスタンスシステムの開発を目標とする。本研究は以下に示す要素技術に分類して研究をおこなった。また、最終的に実際に使用可能な実証システムを構築し、総合実証実験を行った。

(1) 「相互コミュニケーションシステムの研究・開発」

本研究項目は、互いに離れた複数のユーザがバーチャルに3次元空間を共有し、あたかも一堂に会して面談しているかのようにコミュニケーションできるようなシステムである。設計指針として、(1) 高臨場感実現のための3次元画像提示、(2) ユーザのインタラクションを保証するための実時間性、(3) 非言語コミュニケーション支援のための眼鏡無立体視、(4) 互いの視線一致保証のための撮像系と提示系の一致、(5) 高没入感実現のための全周型画像提示、の5点を重視する。実際の本システムの開発にあたり、本システムの利用形態として以下の3タイプを想定している。

・3タイプの実現イメージ



図 2.1.1 相互コミュニケーションシステム実現イメージ

① オフィス・公共機関用レイグジスタンス電話

高品位の臨場感で相互コミュニケーションを行うことを目的とする。利用される環境としては図書館、病院、駅などの公共機関あるいは、オフィスを想定している。前述の5つの設計指針をすべて満足させる装置を目標とする。想定される用途は臨場感を要求されるミーティングやトレーニング、共同作業などである。

②家庭用トレイグジスタンス電話

相互コミュニケーションを低コスト・省スペースで行うことを前提とし、前述の5設計指針のうち、(5) 高没入感実現のための全周型画像提示に関しては指針からはずす。想定される用途は、簡単なミーティングや家庭などでの使用である。

③携帯型トレイグジスタンス電話

携帯端末を介して相互コミュニケーションを行う。前述の5設計指針に加え携帯性を重要な指針とし、存在感の提示を目標として加える。

以上の3形態は、電話機にたとえるとそれぞれ公衆電話、家庭用の電話、携帯電話に相当する。また、同時に実装したシステムを実際に利用した際の問題点に関する検証、人間に対する生理・心理的な影響について研究を行い更なる開発のための知見とする。(図 2.1.1)

(2) 人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を考慮した知的ヒューマンコミュニケーションの研究

本研究では、トレイグジスタンス電話の実装のみではなく人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を考慮した知的ヒューマンコミュニケーションの研究も並行して行い、得られた知見・設計指針を実装にフィードバック、また、同時に効果的に実装する手段の研究・開発を行う。テレビ電話やテレビ会議システムなどの従来のコミュニケーション支援システムにおいては単に情報画像を重ね合わせているのみであり、視線方法のずれなど空間性が十分活かされておらず、また、人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を十分考慮しておらず、現実画像との整合がとられていないため、人間への負担が大きかった。本研究ではその点を以下のように解決する。本研究では、現在までの研究において、十分検討がなされていない様々な人間の生理・心理的なファクタについて研究を行う。具体的には、情報空間と実空間とのレジストレーションのずれの許容値、トレイグジスタンスシステムにおける人間のモデル化、心理物理学的知見に基づくデバイスの「使いやすさの評価法」の検討などの研究を行う。

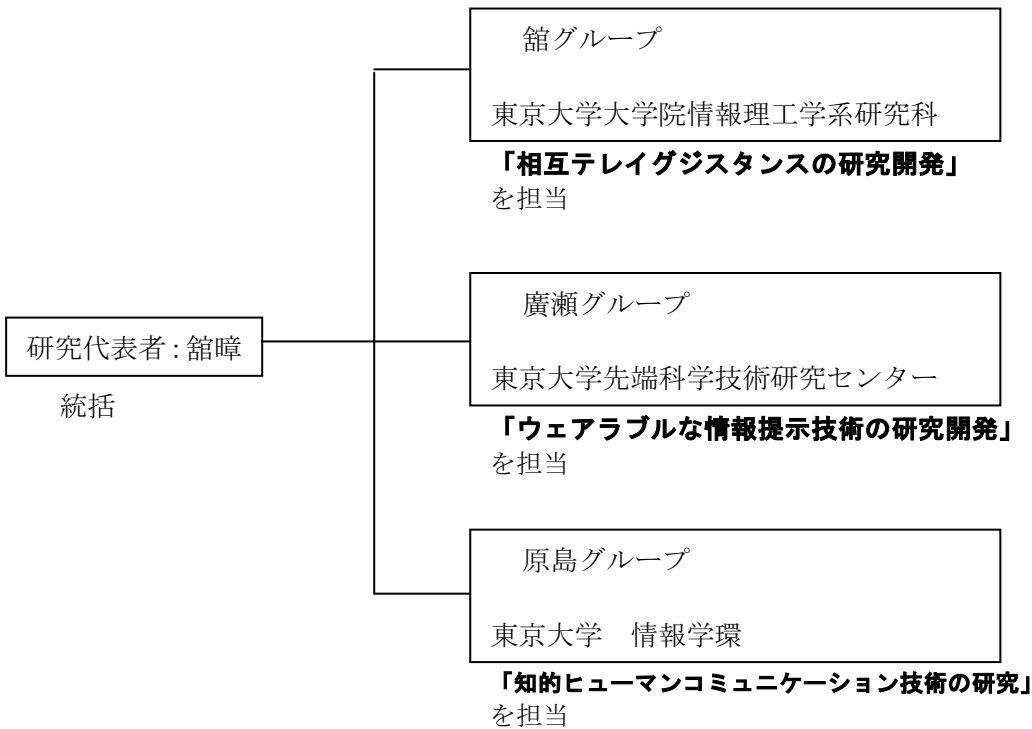
研究の実施にあたっては「相互コミュニケーションシステムの研究・開発」に関して「オフィス・公共機関用トレイグジスタンス電話」「家庭用トレイグジスタンス電話」の研究・開発を館グループが担当し、「携帯型トレイグジスタンス電話」を廣瀬グループが担当する。また、「人間の視覚特性や生理・心理的な特徴を考慮した知的ヒューマンコミュニケーションの研究」に関しては原島グループが主に担当するとともに、各グループがそれぞれの研究と並行して行う。便宜上、以降、館グループ担当分を「相互トレイグジスタンスの研究・開発」、廣瀬グループ担当分を「ウェアラブルな情報提示技術の研究開発」、原島グループ担当分を「知的ヒューマンコミュニケーション技術の研究」と記載する。そして、全体の統括を館障が行った。

実施において5年の期間を前期・後期に分け、それぞれの成果をまとめたシンポジウムを開催した。前期においては試作的位置付けのシステムを構築し、調査・予備実験システムの構築などを行い、人間の生理・心理的なファクタならびに、技術的な問題点な

どについて調査・研究を行った。後期は、前期で得られた研究開発の基礎的データや基礎的知見をもとに各システムのブラッシュアップや改良版の構築を行った。また、コミュニケーションの本質を解明し、最終システムの構築のためのリファレンスとなるテレグジスタンスシステム等を構築し、人間の生理・心理的なファクタならびに、技術的な問題点などについてさらなる調査・研究を行い、最終目標とする「次世代のコミュニケーション技術を開発」のための基礎的システム構築、ならびにシステム構築のための実験・検証等を行った。

また、研究の過程において視覚情報のみによらない相互テレグジスタンスについての重要性が課題として浮上した。この問題について議論するため、動作の相互テレグジスタンスについて、実験システムを構築し、より高度な相互コミュニケーションを実現するため、行動や作業などを、ロボットを介して相互に通信する技術の研究に着手した。

2. 2 実施体制



3 研究実施内容及び成果

3.1 相互テレグジスタンスの研究開発（東京大学 館グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

空間と時間の壁を乗り越えることと等価な体験を与え、バーチャルな意味での「存在感」の相互提示を行うことが、テレコミュニケーション（遠隔通信）のめざす理念である。この理念に基づき、テレグジスタンス技術を用いて利用者がお互いに物理的に遠く離れていても、あたかも同一の空間を共有し、すぐそばにいるかのように顔を合わせて会話することができる相互テレグジスタンスシステムの開発を目標とする。最終的に実際に使用可能な実証システムを構築し、総合実証実験を行う。また、本研究は人間にとって使いやすい機械を考える際の基本である「人間を知ること」を常に考慮しながら具体的システム構築までを行う。特に本研究では、三次元視覚情報を提示・取得するデバイスの開発によって、遠隔地にいる人間同士が共通のVR (Virtual Reality) 空間を共有して高度なコミュニケーションを行うシステムの実現を目指す。特に館グループではオフィスや公共機関での利用を想定した「オフィス・公共機関用テレグジスタンス電話」の実現を目指し、また、テレグジスタンス技術を用いた高度なコミュニケーションを実現するための様々な人間の生理・心理的なファクタについて研究を行う。

② オフィス・公共機関用テレグジスタンス電話 TWISTER

【基本コンセプトと仕組み】

本研究の基本的なアイデアは図 3.1.1 のとおりである。ユーザはおのおの円筒形の回転機構を持つブースの内側に立つ。この円筒形のブースはディスプレイ装置としての働きと、ブース内のユーザを撮影する機能を同時に果たす。おのおのユーザは相互バーチャル環境内の相手の立体映像を実時間で見る事ができる。

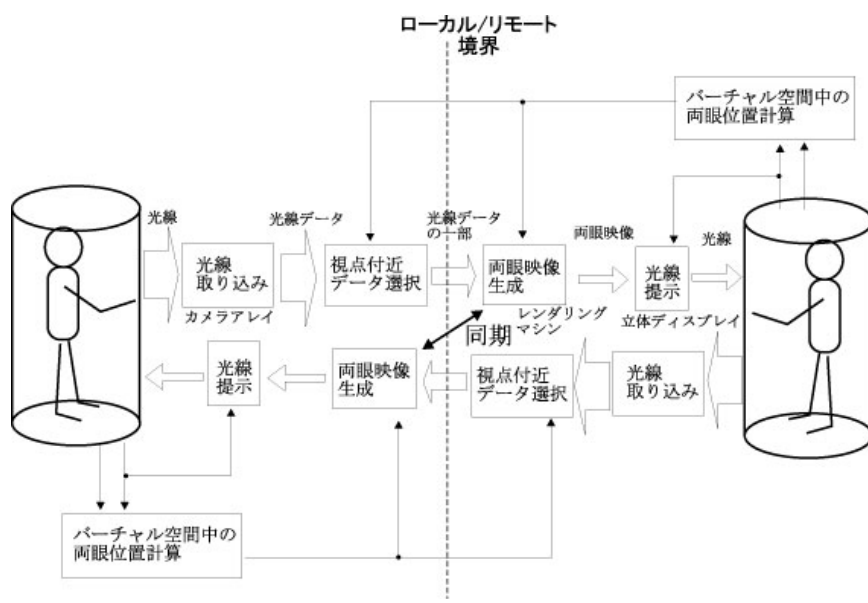


図 3.1.1 テレグジスタンス・ブースの基本概念

図 3.1.2 にこの手法の基本的な原理を示す。(a) で示される状況と等価な状況を合成するため、ブース A のカメラは観察者 B の視線方向に相当する方向の方向の光線情報を取得する。取得された光線情報はブース B の円筒状の提示面に転送される (図 (b))。一般に閉平面外部の任意の視点から見た 3 次元形状の物体を表示するには、十分なだけのさまざま方向からの、そして観察者と物体の間にある閉平面上で十分な密度を持った、光線情報が必要である。しかし、カメラは空間内である空間を占めることから物理的干渉が生じ、同時に連続した視点からの光線情報を取得することは非常に困難である。そこで、視点位置を増やすために我々は 2 つのアプローチを取った。第 1 のアプローチはカメラのサイズの小型化であり (図 (c))、第 2 のアプローチはカメラを動かし、この動きを利用することである。(図 (d))

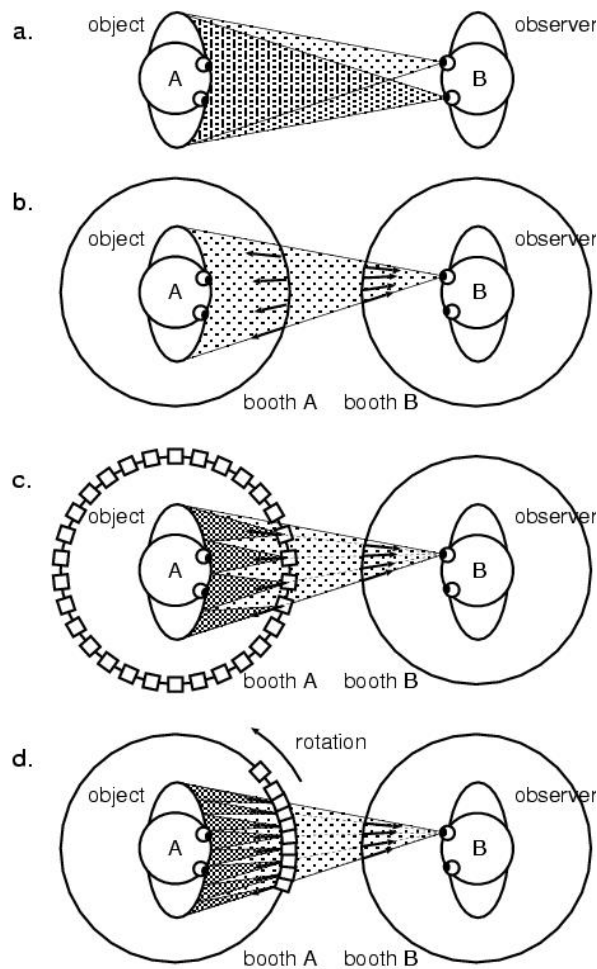


図 3.1.2 TWISTER における撮像と提示の原理

また、遠隔ブースの人間の画像を実時間で取得し、これをバーチャル環境で表示する手法が提案され、実装された。まず、ユーザの視点と等価な視点位置の情報を基に、レンダリング用の PC がそれぞれのカメラで取得した画像のどの領域をマルチ・テクスチャ・マッピングに用いるかを計算する。つぎに計算された領域情報を制御用 PC に転送し、ビデオ信号の切替器に指示を出す。この切替器はカメラの画像スキャンの周期に同

期しており、また、カメラは垂直方向に画像をスキャンするよう配置されている。こうすることによって、レンダリング PC は各カメラの必要な領域の映像情報を選択して取り込むことが可能となる。そして、取り込まれた画像をバーチャル 3 次元空間の適切な距離に配置した平面上にテクスチャ・マッピングする。最後にレンダリング PC がバーチャル環境を 3 次元グラフィックで描く。この手順を 1 回あたりビデオレート (1/30 秒) 以下で繰り返すことで実時間のレンダリングが実現される。

ディスプレイ装置は観察者の周りを回転する提示ユニットと撮像ユニットを持つ。個々のユニットは 2 本の LED (発光ダイオード) アレイとパララクスバリア (視差生成用遮蔽板) と 1 台のカメラから構成される。LED アレイは RGB (赤・緑・青) の 3 色 LED で構成され、回転する際に LED が適切に明滅することで観察者に映像が知覚される。(図 6) LED を用いることで明るい室内においても高い輝度を有するフルカラー・ディスプレイとして利用可能である。また、ディスプレイ・ユニットを回転させることで広画面のディスプレイとなっており、実際、普通のディスプレイとして利用する際の画面角は 360 度となっている。(立体ディスプレイとしたときの画面角については後述) 加えて、水平解像度と時間解像度は LED の明滅の周期によって決定されることから時間・空間解像度は目的に合わせて最適化することができる。(図 3.1.3)

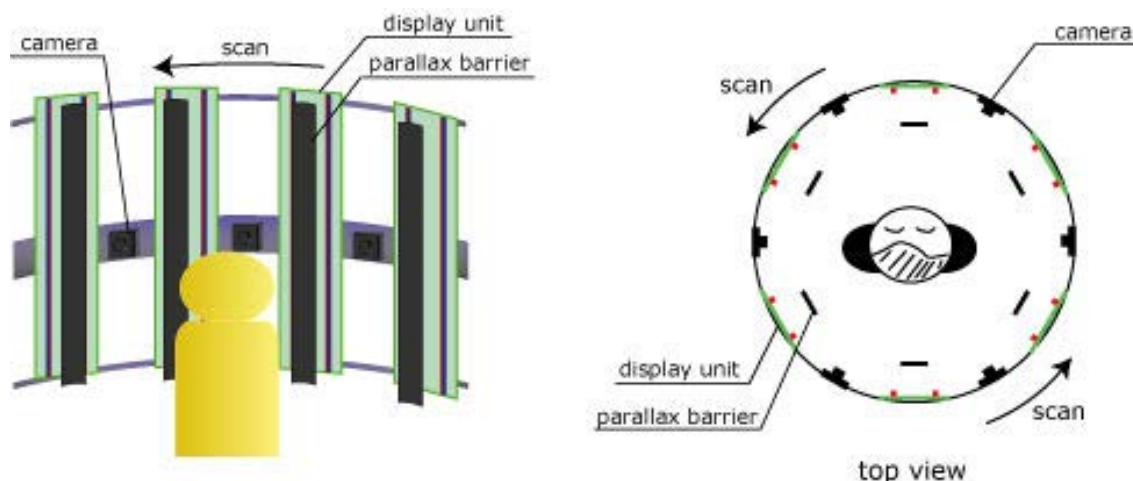


図 3.1.3 TWISTER の仕組み

我々はこのディスプレイ装置を TWISTER (Telexistence Wide-angle Immersive STERoscope) と命名し、シリーズとして 1 号機から 5 号機まで試作し、(1 号機は本研究課題に先行して試作) フルカラーの 3 次元映像提示装置としての性能評価を行った。

【特徴】

TWISTER の 3 次元映像提示においては、我々の研究室で提案された「回転型パララクスバリア」と呼ばれる手法を採用している。この手法は、以下の 2 要素を兼ね備えている点が大きな特徴である。(1) ユーザの視野をほぼ覆いつくす水平方向 360 度の領域に映像を提示(2) 特殊な装置を顔面に装着しなくても、ユーザは裸眼で立体映像を観察できる。このどちらか一方の条件を満たした立体ディスプレイは存在するが、両方を兼ね

備えた立体ディスプレイは他に例を見ない。ユーザの表情を隠蔽しない TWISTER は、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たすノンバーバルな情報のやり取りを可能にする点で、高度コミュニケーションシステムの構築に適していると言える。TWISTER の提示系は、前面にパララクスバリアと呼ばれる遮光板を配置した複数本の LED アレイで構成されており、デバイス内のユーザの周りを毎秒 1~2 回転で回転し、LED を高速にスキャンすることで、ユーザに映像を提示している。さらに、パララクスバリアの遮蔽効果によって左右の目に視差付きの映像を提示することで、ユーザに立体映像を提示させることができる。

2本の LED アレイのうち一本は右目の画像提示用であり、もう1本は左目用である。パララクスバリアが反対の LED アレイを遮蔽することから、右目と左目にはそれぞれ異なった映像が提示される。立体視をする際の画角は観察者の視点位置と視線方向に依存する。頭部が固定され、理想的な状況では画角は 120 度を越える。一方、観察者が注視する物体の中心を常に向いていると仮定すると、画角は 360 度となる。回転するパララクスバリアを用いた際の右目用の映像と左目用の映像とのクロストークはほぼゼロであり、これは、他の立体ディスプレイに対する大きなアドバンテージとなっている。

TWISTER は（上から見て）反時計回りに回転し、定常状態での回転数はほぼ秒間 1 回転である。同期信号は筐体に取り付けられた光源を回転体に取り付けられた光検出器で検出することで生成されている。

映像取得に関しては、提示系と干渉しない形で撮像系を実装する方法を検討した。TWISTER の提示系は高々数十本の LED アレイが疎に存在するだけであるため、この目標は実現されやすい。具体的には、提示系とともに複数台のカメラをユーザの周りで回転させる方法や、デバイスの回転速度をカメラのビデオレートと同期させて提示系の LED アレイの隙間からユーザを撮影する方法を提案した。前者は回転体の中で膨大な映像情報を処理しなければならない一方で、ユーザを囲む円周上の任意の視点から回転体内部を見た映像を高い分解能で得ることが出来る。後者については、提示系の外部に配置するカメラを可動にし、かつ提示系の回転周期と同期を取る方法を実装した。

【各試作機の概要と成果の概略】

実際の成果としては、2001 年度に TWISTER II（試作 2 号機）、2002 年度に TWISTER III（試作 3 号機）、2003 年度に TWISTER IV（試作 4 号機）、2005 年度に TWISTER V（5 号機）を設計、製作した。TWISTER II では、これまで「回転型パララクスバリア」の原理検証にとどまっていた TWISTER I を大幅に改良し、フルカラーの静止立体画像を提示した。ここまでの試作機は TWISTER の基本原理確認のために作成され、パララクスバリアの有用性などが検証された。

さらに TWISTER III では、本格的な実証機として設計を行い、高解像度化(1920x256)、提示のフルカラー化(RGB 各 256 階調)、高フレームレート化 (30fps)、動画像の実時間転送が可能となった。また TWISTER 特有の提示映像生成法を提案、実装した。TWISTER III は 2002 年夏に米国で開催された CG 及びインタラクティブ技術に関する国際会議 (SIGGRAPH2002) で展示され、約 3000 人の体験者を動員し、高い評価を得た。

TWISTERⅢの筐体は、スタンド部と回転部から構成される。スタンド部は、上の回転部を4本の足によって支持し、各足の上部に備え付けられたローラーによって回転部を回転させている。また回転部は主に、30組の提示ユニット(LED基板とパララクスバリア)と制御基板や電源等の電装系、それらを支持する機構部材からなる。LED基板とパララクスバリアはそれぞれ、回転中心から800[mm]、600[mm]の円周上に等間隔に配置されている。また、回転部への電力供給と信号伝達は、スタンド部に直結したアクリル防壁と回転体をスリッピングで接続して行った。(図3.1.4) LED基板は縦128ピクセルのLED基板を2枚連結した縦256ピクセルのLED基板を使用した。また、LED基板の前面にはパララクスバリアが配されている。

回転型パララクスバリア方式では、パララクスバリア方式における裸眼立体視という長所を保ったまま、LEDの走査・残像効果によって空間解像度を上げることができる。また、観察者の周りでLEDアレイを回転させるため、観察者は高い没入感を得ることができる。試作と検討の結果、良好な立体視を行うには提示面までの距離が1m以上必要である(本機は80cm)、回転速度が500deg/s以下であると、人間の眼球運動のひとつであるサッカードの影響が生じ画像が乱れて観察されるため、500deg/s以上の回転速度(本機は360deg/s)が必要である、等試作によって数多くの設計上の指針が初めて明らかとなった。図3.1.5に実際に提示されている画像と実際に観察者が中に入っている様子を表3.1.1にTWISTERⅢの主性能を示す。

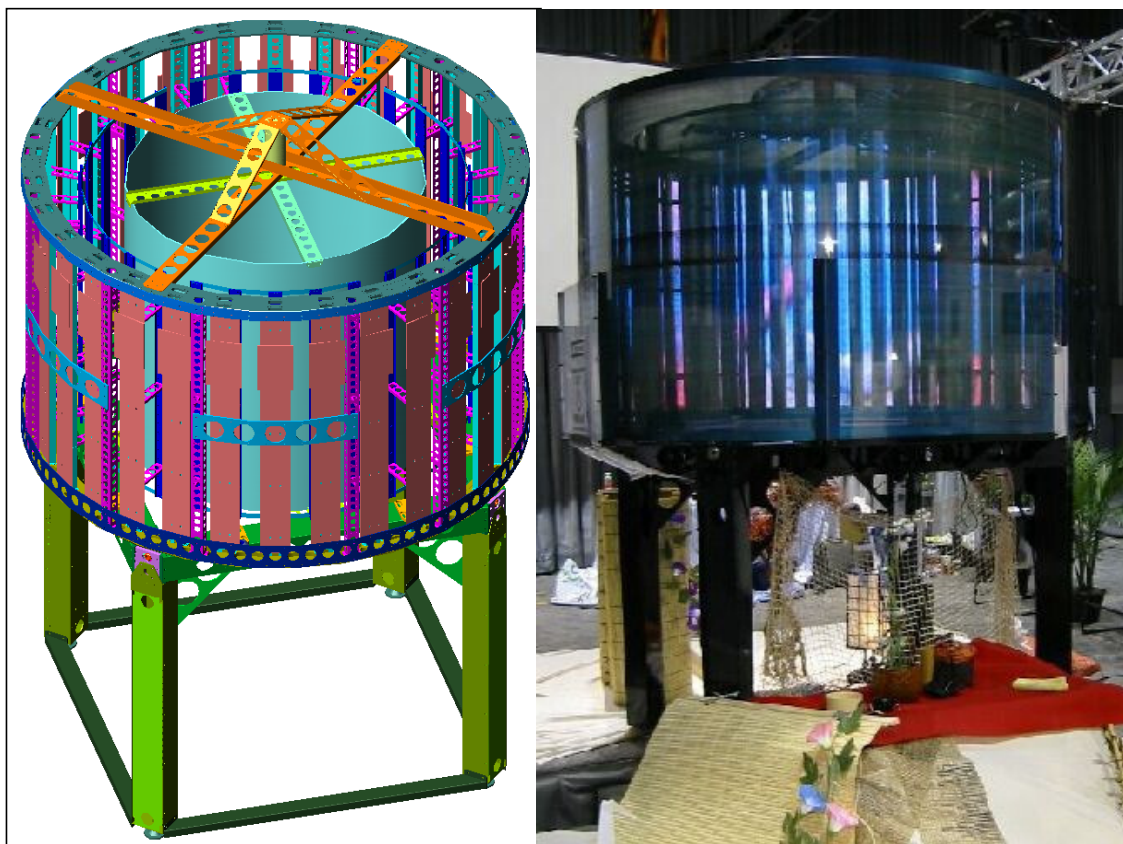


図 3.1.4 TWISTERⅢ概観



図 3.1.5 TWISTERⅢを用いた画像提示（左）・コミュニケーション（右）

これらの新たな知見を基に、更なる高解像度化を測った次世代試作機として TWISTER IV を試作した。(図 3.1.6) 本機では先に挙げた問題点を改善するため提示面の半径を広げ大型化を図り、画像の安定性を増すため回転速度を上げた。また、提示部の部品の見直しにより解像度を水平約 1.7 倍、垂直約 2.3 倍に向上させた。また、より滑らかな映像を提示するためフレームレートを 60fps(2 倍)に、階調を 8bit から 10bit に向上させた。また、撮像系を搭載することで同時に提示と撮影を可能とした。また、TWISTER IV をベースとして科学未来館での常設展示を目標とし、安定性、高画質化などを図った TWISTER V が試作された。(図 3.1.7) TWISTER IV, V の主性能を表 3.1.1 に示す。



図 3.1.6 TWISTER IV.

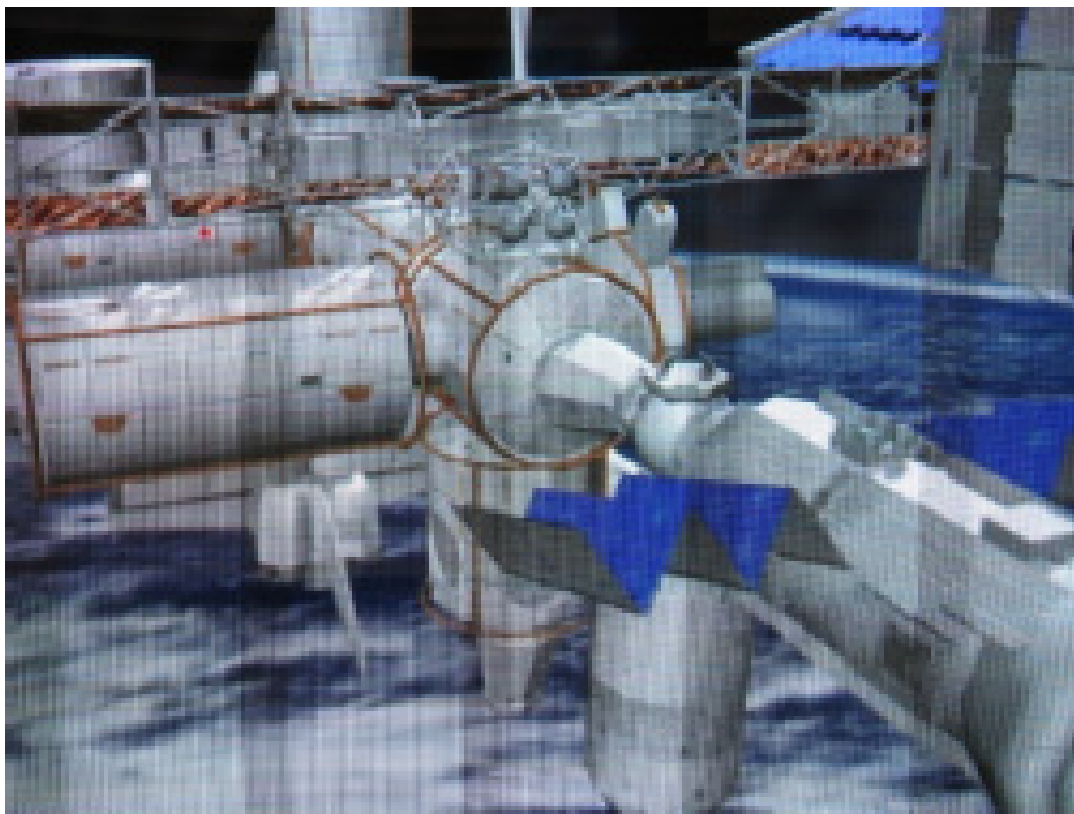


図 3.1.7 TWISTER V の内部から撮影した映像

表 3.1.1 TWISTER III~V の主性能

項目	TWISTER III	TWISTER IV, V
解像度(水平)[pixel]	1920	3168
解像度(垂直)[pixel]	256	600
提示面半径[mm]	800	1000
提示面高さ幅[mm]	960	1200
画素ピッチ[mm]	3.75	2
視力換算解像度	0.062	0.148
フレームレート[fps]	30	60
輝度階調	RGB 各 8bit	RGB 各 10bit
入力フォーマット	NTSC×8ch	UXGA×2
回転速度[rps]	約 1.2	1.66
提示ユニット数[組]	30	36
センターシールド直径[mm]	1000	1200
カメラ解像度	—	VGA
カメラ焦点設置範囲[mm]	—	950
カメラ画角[deg]	—	45
カメラフレームレート[fps]	—	15
カメラ出力フォーマット	—	IEEE1394×2ch

[他の類似システムとの比較]

本ディスプレイに類似するディスプレイシステムとして全周没入型ディスプレイシステムがある。当該システムとしては米国イリノイ大の CAVE、東京大学の CABIN など、プロジェクターベースのものが数多く研究され、実用化もなされている。これらのディ

スプレイはプロジェクションベースであることからディスプレイ部に比して非常に広大な体積を必要とし、巨大な装置となる問題点がある。CABIN を用いたアバタシステムなどコミュニケーション分野の研究もなされているが、その研究の過程でこれらのディスプレイに必須である立体視用の眼鏡がコミュニケーションを非常に阻害することが問題となった。現在、高臨場感通信における世界的な潮流としてオートステレオスコピック（眼鏡無し立体視）は必須の技術として認識されつつあり、その実現法が数多く研究・提案されている。また、双方向のコミュニケーション通信では、観察者への画像の提示と同時に観察者の画像を取得する必要がある。特に人対人のコミュニケーションにおいては「視線」を正しく撮影・提示する必要があり映像の撮影と提示を同時に同位置で行えるシステムの必要性が認識されている。本システムは画像の提示面と同じ面内にカメラを配置することが可能であり、撮像機能との相性がよい。これら、(1)全周型(2)オートステレオスコピック(3)同時撮影提示の機能を同時に満たすディスプレイの研究においては現時点で TWISTER が抜きん出ており、世界的にトップクラスの研究となっている。

③ 全周立体カメラ

TWISTERに代表される全周型ディスプレイ機器に表示する立体実画像を撮影するための全周型立体カメラの開発を行った。既存の立体映像用のカメラはある1方向の立体画像の撮影は可能であるが、全周型の立体画像を撮影するには2台のカメラが互いにもう一方の視野の一部分を遮蔽しあってしまう問題を解決しなくてはならない。本システムは、この問題を光学系によって解決している。(図 3.1.8)



図 3.1.8 : (左) 全周型立体カメラ (右) 全周型立体画像

④ 家庭用レイグジスタンス電話 (SeeLinder)

「家庭用レイグジスタンス電話」の一形態として SeeLinder を開発した。これは、フルカラーの LED アレイとスリット付円筒遮光板が互いに逆方向に回転する構造となっており、ディスプレイ表面より放射される光の色と強さを角度によって変化させるこ

とによって被写体周囲の光線の状態を再現し、立体映像を表示する。(図 3.1.9)
 光線の状態を再現している光線再現型であるため、左右の目で視差のある映像が見えることはもちろん、頭を動かした際の見え方の変化(運動視差)をも滑らかに再現でき、存在感のある立体映像の表示が可能である。(図 3.1.10)

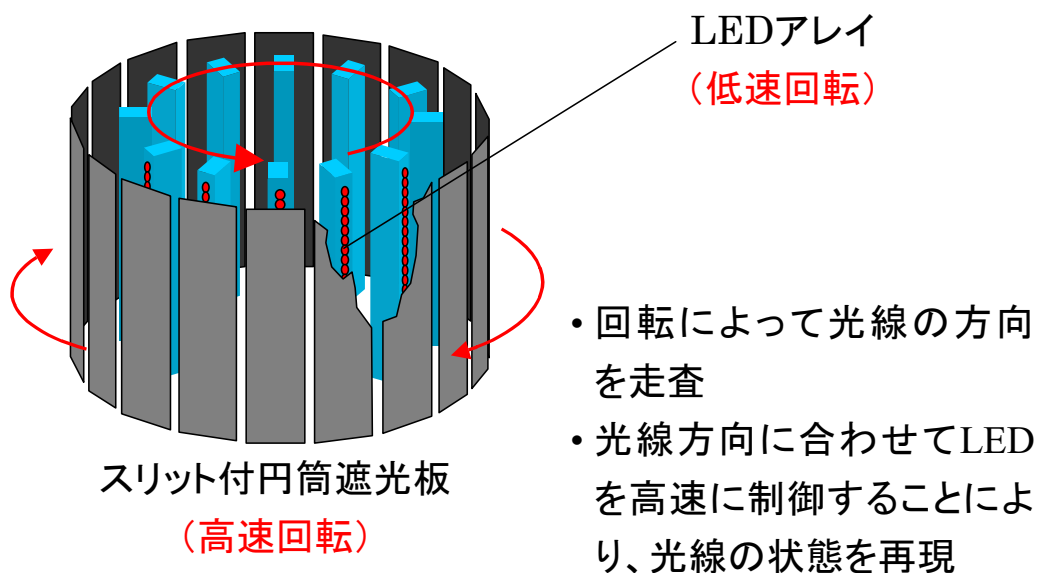


図 3.1.9 SeeLINDER の構造



図 3.1.10 (左) SeeLinder 概観 (右) さまざまな視点で観察した様子

360度どこからでも鑑賞できる立体映像としては円筒形のマルチプレックスホログラムが広く知られているが、光の干渉縞を記録するために露光・現像といった写真プロセ

スを用いるため、表示内容を変更することや動画の表示は不可能である。他の方式としては、表示面を高速に走査しながら断面を次々と表示していく体積走査方式(例えば米国 Actuality Sysystems 社の Perspectra)がある。しかし、この方式による立体映像は上下方向の視差や目のピント調節なども再現可能な優れたものであるが、本来後ろに隠れて見えなくなるべき部分がすべて透けて見えてしまう(“ファントムイメージ”と呼ばれる)ため、実写画像の表示には適さない。さらに最近では日立などにより回転する指向性スクリーンに投影する方式や、東大の指向性フィルムを貼った液晶ディスプレイを回転させる方式などが提案されている。これらは数枚から数十枚程度の平面画像を方向を変えて表示する方式であり、比較的簡単な構成で実現できるという特長があるが、頭を動かした際に画像が不連続に切り替わる、左右眼で同一の画像が見えてしまい立体視が成立しないなどの問題がある。これに対し、SeeLINDERは光線再現型であるため、自然な立体像をカラー動画表示することが可能な装置である。本システムは光線再現型と呼ばれる、自然な立体像提示を実現するディスプレイであり、現在、この方式のディスプレイとしては世界で最先端の研究である。また、本方式の有用性から今後、追従した研究が予想される。

⑤ テレイグジスタンス通信システム RobotPHONE

前述の「トレイグジスタンス電話」があくまで映像と音声(視覚と聴覚)を対象としているのに対し、より高度な相互コミュニケーションを実現するため、行動や作業をロボットを介して相互に通信する技術のプロトタイプとして RobotPHONE を開発した。RobotPHONE は声だけでなく、ロボットを介して身振りや手振りを伝えることができ、ロボットを介して力を伝え合うことで離れた人と握手を行うことなども可能である。テディーベア型の試作機は全身で 11 箇所のモータと関節角センサ、マイク、スピーカを備え、人の身体に近い形状となっているため、声と同時に身振りを交えたゼスチャーを伝えることが可能である。(図 3.1.11) 本システムを用いて身振り・動作のトレイグジスタンスについて検証した。

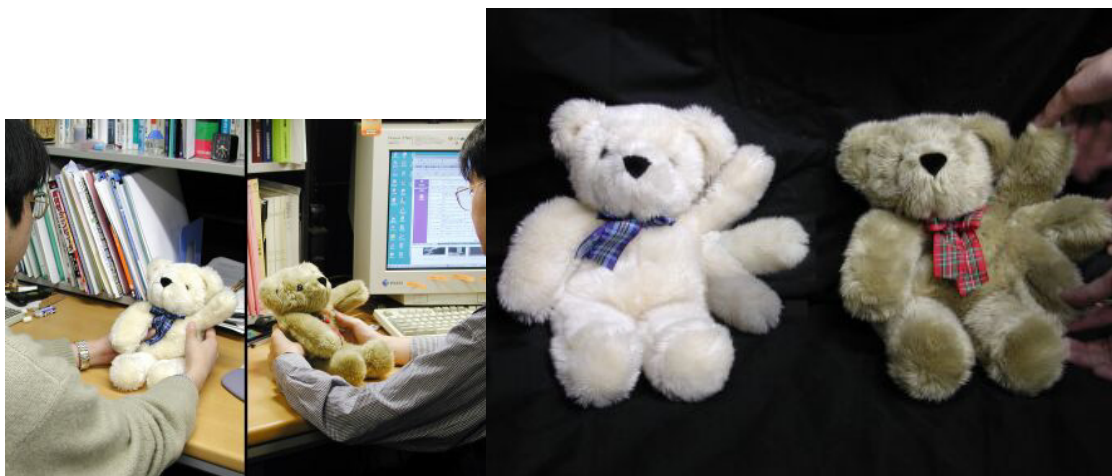


図 3.1.11 RobotPHONE

⑥ テレイグジスタンス通信システム TELESAR II

上記の RobotPHONE をより発展させた動作を伴うコミュニケーションの相互テレイグジスタンスの究極のシステムを目指し、視覚付きの頭部と人型7自由度スレーブアームから構成される上半身型のヒューマノイドロボット、そのスレーブアームの先端に取り付ける5指ハンド、そしてそれらを制御するマスタコックピットの研究を並行して進め、究極のテレイグジスタンスの実装の可能性について検討を行った。(図 3.1.12)

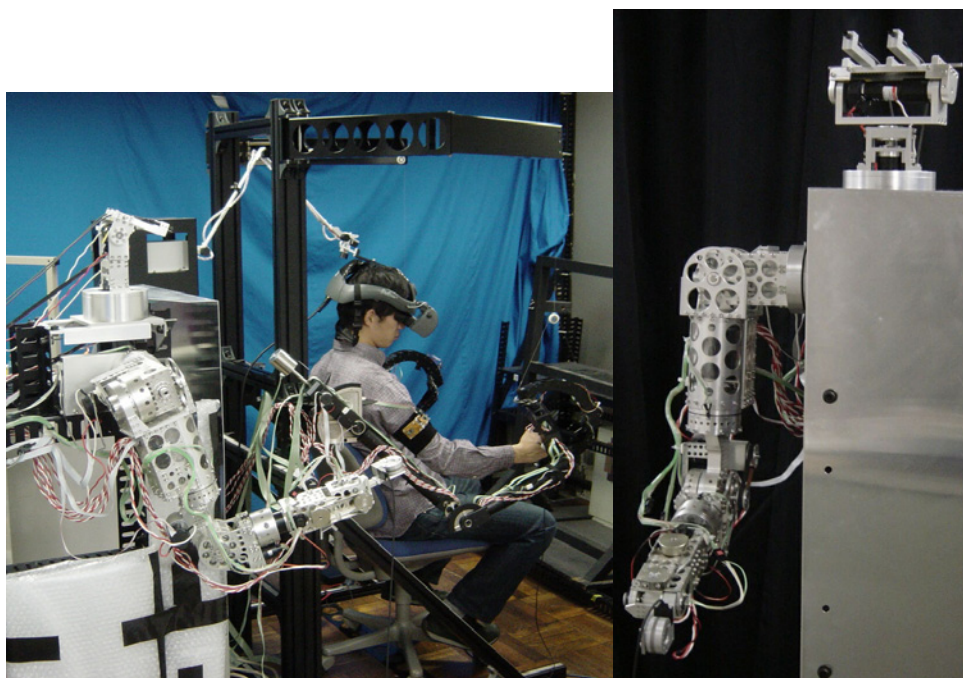


図 3.1.12 TERESAR II (左) マスタ・スレーブ概観 (右) スレーブ

現在、ロボットの研究は2足歩行に関する研究を中心に特に日本において盛んである。また、ペットロボットやパートナーロボットを用いたコミュニケーションの研究も特に日本の研究機関を中心に幅広く行われている。しかし、ロボットを用いたコミュニケーションの研究の中心は自律性のあるロボットとのコミュニケーションが主流である。もちろんこれは非常にチャレンジングで意味のある研究であるが、もうひとつのロボットを用いたコミュニケーションの手法としてロボットを人と人のコミュニケーションの媒体として、すなわち相互にロボットがあたかもコミュニケーションの相手であるかのような状況を実現する手法が考えられており「テレイグジスタンス技術」とよばれている。この技術は、あたかもロボットをあたかも自分自身であるかのようにコントロールする遠隔操縦技術でもあり、先に通産省の5ヵ年プロジェクト(HRP: Humanoid Robotics Project)として実施されているように非常に注目されており、しかも国際的に日本がリードする立場にある。近年は特に後者の遠隔操縦技術として、米国が国を挙げて研究を開始しており、国内でもレスキューロボットの研究の一分野として広く研究が行われている。しかし、前者の人と人のコミュニケーションツールとしての発想は、我々のオリジナルであり世界に先駆け最先端の研究を行っている。

⑦ コミュニケーションにおける視線の役割の検討

快適な遠隔会話を実現するためには、ユーザが利用目的に合ったディスプレイを適切に選択したり、対面に近い状態を作るための指針を示す必要がある。そのためには、ディスプレイを通して見た画像がどの程度現実に近いのか、また、画像を使って対面に近い状態を作るためにはどのようなパラメータを調節したら良いのかを定量的に示す必要がある。ディスプレイの性能指標としては、画像の解像度などの客観的な指標から、特定の作業に対するパフォーマンスを測定する主観的な指標まで様々なものがある。画像解像度や心理物理実験などを用いた客観的な指標には、定量性や再現性があるという利点があるが、その指標からはディスプレイを会話に応用した際にどのような効果があるかが判断しにくいという問題がある。一方、主観的な指標には、ディスプレイを使った際の効果はわかるものの、定量性や再現性が保証されないという問題がある。こうした問題を解決するために、物理的な指標の持つ定量性や再現性と、主観的な指標の持つ応用との関係のわかりやすさを兼ね備えたディスプレイの性能指標を探すことを試みている。本実験では、ノンバーバル情報の伝達という応用との関係のわかりやすさを保証するために、人が日常会話の中で行う行動のうち、頻繁に現れ、かつ、重要度の高い「何かを見る」という行動が伝達可能であるかを測定の対象とした。人に向けられる視線に対しては、Anstis らが対面とモノスコープ画像について調べており、モノスコープ画像でも見ている相手を区別できる程度の情報が伝わるということがわかっている。しかし、作業領域へ向けられる視線についてはまだ調べられていない。そこで本研究では、ユーザが会話中にとる動作のうち「机の上にある作業対象を見る」という行動を切り出し、その行動をモデル化して測定を行った。対面で作業領域を見た場合と、LCD を通して作業領域を見た場合の視線知覚の違いを計測した。

その結果、以下の点が明らかとなった。(1) 対面で視線を提示した場合、視線の角度の PITCH 成分（上下方向の向き）は実際の視線の PITCH 成分よりも大きく知覚され、LCD を通して視線を提示した場合には小さく知覚された。(2) 視線提示者が自分の近くを見ている場合よりも、遠くを見ている場合のほうが、視線知覚の間違いが大きかった。(3) 対面で視線を提示しても、LCD を通して視線を提示しても、視線の角度の YAW 成分の知覚には大きな差がなかった。(4) 机の上に視線を向けた場合、対面では平均約 8cm 程度、LCD を通した場合には平均約 12cm 間違っただけで知覚される可能性がある。上記の結果から、机の上に 8cm 以下の間隔で話題の対象物が並んでいる場合には、視線だけでは正確に話題の対象を相手に伝えることができないので、ポインティングや言葉で補う必要があることがわかる。

また、レイグジスタンスでディスプレイなどを通して机の上にある物を見る場合には、更に視線知覚の精度が落ちるので、音声やリモートコントロール可能なポインタなどの補助が必要となる。また、真正面に座った相手に、対面で視線を提示する場合と、ディスプレイを通して視線を提示する場合の違いは、視線の角度の YAW 成分には現れず、PITCH 成分に現れると考えられる。

以上の結果から次のような、コミュニケーションツールの指標の1つを提案する。まず、画像提示装置を通して視線を提示し、実験結果の視線角度のPITCH成分を、提示した視線角度のPITCH成分に対してプロットする。傾きが1より大きければ、その画像提示装置は、対面で視線を提示した場合に近い状況を再現しており、傾きが1以下であれば、ディスプレイを通して視線を提示した場合に近いと分類することができると考えられる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

① 全周型ディスプレイ「TWISTER」の研究開発

科学技術・社会的背景として、ディスプレイの高細緻化が進んでいるが、次世代ディスプレイの候補としてとして立体ディスプレイが古くから議論されている。立体ディスプレイの必要性の議論で常にコンテンツの不足が挙げられるが、むしろ立体ディスプレイは映画などの非インタラクティブコンテンツではなくコミュニケーションをはじめとするインタラクティブな用途に利用され、また、さまざまなシチュエーションに応じたさまざまな実装法で実現されるものである。本システムは来たるべき立体コミュニケーションによる情報化社会のリーディング的役割を備えている。

② 円筒形光線再現型立体ディスプレイ「SeeLinder」の研究開発

科学技術上の背景として、特に近年のLEDの性能の驚くべき進化、ならびに適切な安価での高速通信技術の実現がなされたことから、まさに今この時期が、開発に最適な時期であり、今以前ならば、技術的・コスト的問題から実現不能で、今以降ならば、他の研究機関（特に海外の機関）に先を越されてしまう恐れがある。経済・社会的背景として存在感のある立体映像を多人数が同時に鑑賞できるという特長から商品や美術品等のディスプレイ、広告やエンターテイメント、立体テレビ電話への応用が期待される技術であり、現時点でも特に広告関係の業界から数多くの打診があり、技術的な問題点に関しても継続研究がなされれば解決するめどが立っており、比較的早い時期に実用化、事業化が可能である。

③ TNG(Teleexistence Next Generation)構想の実現

社会的・科学技術的な背景としては、近年のロボット研究の急速な進化にともない、ロボットそのものの研究のみでなく、社会におけるロボットの意味付けが問われている。そのひとつの解としてコミュニケーションロボットが提案され、事実ソニーのAIBOなどはペットロボットとして人気を博しており、実際の家庭にロボットが進出を始めるまさにロボットの世紀が始まっている。近い未来にロボットはより身近なものとなり、本研究は、来るべき高度ロボット社会の社会基盤のための基礎研究としての重要な意義がある。

3.2 ウェアラブルな情報提示技術の研究開発（東京大学 廣瀬グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

本研究の目的は、携帯型トレイグジスタンスの実現のため、ウェアラブルコンピュータの特性を活かした臨場感のある情報共有方式の研究を行うことである。ウェアラブルコンピュータは身体に近い場所で常に稼動しているため、身体との親和性が非常に高く、場所を特定しない情報提示方式が実現できる。また、常時情報機器が装着されることで、装着者の状態や状況に即した情報の提示やコミュニケーションの実現の可能性が高い。こうした特性を考慮し、携帯型トレイグジスタンスの実現のため、以下の2つのアプローチからウェアラブルコンピュータの研究を行った。

(1) ウェアラブルコンピュータの機器構成についての研究

(ア) 情報取得型ウェアラブルコンピュータの機器構成についての研究

(イ) 情報提示型ウェアラブルコンピュータの機器構成についての研究

○ 「ながら」インタフェースについての研究

ii) ウェアラブルコンピュータを使用したコミュニケーションについての研究

はじめに、ウェアラブルコンピュータの基本的な機器構成について、日常的環境下での「情報の取得」と、屋外での「情報提示」との2種類に分類し、それぞれの特徴を持つプロトタイプシステムの作成を行った。

情報取得型ウェアラブルコンピュータについては、装着者の体験情報の記録とその提示システムの開発を行い、情報提示型ウェアラブルコンピュータについては、屋外での情報提示システムの基本形として、装着者の位置情報による情報提示システムの開発を行った。

情報提示型のウェアラブルコンピュータとして、屋外環境化においては、常に行動をとりながらの状態、行動そのものに対して負担とならないような情報の提示手法、「ながら」インタフェースの考案することが重要である。具体的アプリケーションとして、視覚による情報提示にとどまらず、触覚によるナビゲーション情報提示、屋外の広い環境下において、空間に広がる音場・匂い場という形でウェアラブルな聴覚および嗅覚ディスプレイを開発し、その利用コンテンツの検討を行った。

さらに、ウェアラブルコンピュータを使用したトレイグジスタンス的なコミュニケーションを実現するための、遠隔地間のコミュニケーションを実現するウェアラブルコンピュータの研究を行った。

① 情報取得型ウェアラブルコンピュータ

情報取得型ウェアラブルコンピュータの研究は、装着型トレイグジスタンスの実現のため、人間の行動を情報機器が能動的に察知し、適切なタイミングで情報提示することを目的としている。そのために、人間の体験を長期にわたり記録し、人間の体験の本質について検討する必要がある。本研究では、人間の体験を多種類のセンサーを用い、日常空間下において記録することを目的としたデバイスの開発をおこなった。また、それらのデバイスを使用した、日常の特定体験の記録、および、単機能センサーを用いた長

期間の行動記録と人間の行動パターンの分析を行った。

ハードウェアの開発

ウェアラブルコンピュータのプロトタイプを開発するにあたり、人間の主観的な体験を記録するために必要な要素を、人間がエピソード記憶を記憶として記録する時に必要と言われている、「視覚・聴覚・場所・環境・感情」の各要素を記録、もしくは、視覚情報を中心とした記録の実現を目標とした。また、遠隔地の人間との空間共有を、場所を制限しないで実現できるように、携帯電話の端末をハブとしたシステムの開発を行った。プロトタイプシステムの一部は、人の行動を妨げず、長時間装着しても負荷のかからないよう、エルゴノミクスを考慮した試作服を、服飾の専門家と共同で作成した。

試作したデバイスを図 3.2.1 に示す。

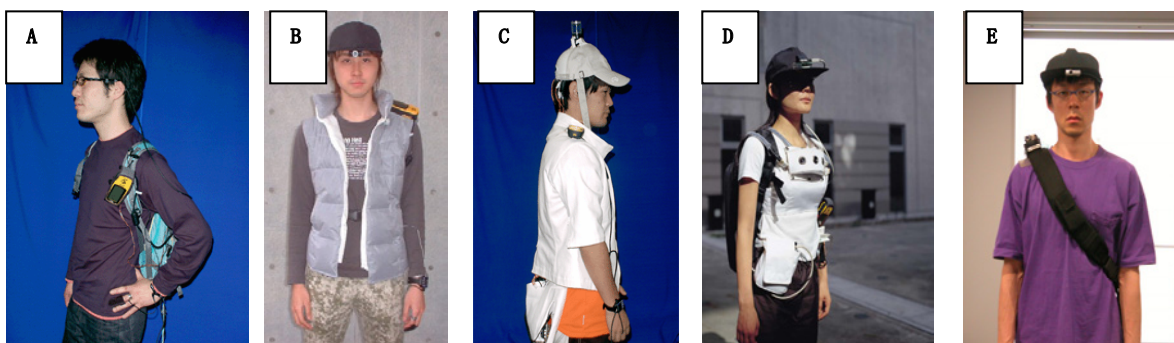


図 3.2.1 5要素統合型ウェアラブルコンピュータ (A, B)、空間要素統合型ウェアラブルコンピュータ (C, D)、ネットワーク型ウェアラブルコンピュータ (E)

5要素統合型システムは視線方向の画像、音声、位置、心拍、温度・湿度、歩行状態が記録できる。空間要素統合型システムは広視野角な画像、視線方向画像、音声、身体と頭部の角度変化及び位置が記録できる。ネットワーク型システムは携帯電話を使って画像を一定間隔で送信しながら、カメラの方向を遠隔地から制御できるシステムである。

日常の特定体験の記録，行動パターンの分析

開発したプロトタイプシステムを利用した特定体験の記録では、システムの特性を考慮し、体験の文脈をあらかじめ想定した実験を行った。5要素統合型システムでは各要素のセンサー情報が取得できるため、特定の作業状況下で人の行動にどのような特性が見られるかを評価するための記録実験を行った。また、主観的な体験情報を第三者が空間情報として共有するための具体的なアプリケーションとして、被災地の視察記録を行った。空間要素統合型システムでは、頭の回転と空間情報の変化について、繁華街と閑静な場所を比較した。図 3.2.2 は街の清掃作業の記録実験の様子である。このときの記録情報から得られたストレス値 (RRV) の変化と温度・湿度の変化の様子を図 3.2.3 に示す。



図 3. 2. 2 記録実験の様子

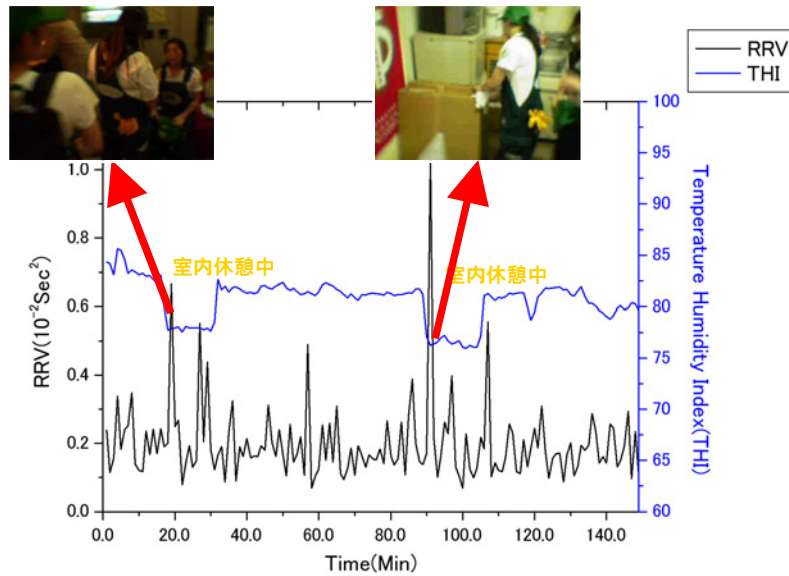


図 3. 2. 3 RRV と温度・湿度変化の関係 (例)

環境の変化により、装着者の RRV が変化していることで、外的要因と内的要因は相関関係にあることがわかる。図 3. 2. 4 は新潟の中越地震の被災地の状況を記録したものを示す。この実験では装着者の発話情報をトリガーに体験情報の抽出を試みた。図 3. 2. 5 は空間要素型システムの記録情報を再生するための Viewer を示す。環境の変化または興味の対象の表出と身体の動きの変化を体験の要約条件とし、頭部の動きの変化が身体部と比較し閾値以上であった体験だけを抽出した。また、位置情報と発話情報を長期間記録することで、長期の記録から人の日常と非日常の分類と日常的な行動パターン分析を試みた。実験から 1 年間の行動の中で約 80% が日常空間の中で生活を送っていることが明らかになった。また、非日常生活の場合、発話量が増加方向に変化 (平均発話量が約 2 時間 56 分に対し、15 時間 53 分に増加するなど) する傾向が明らかになった。

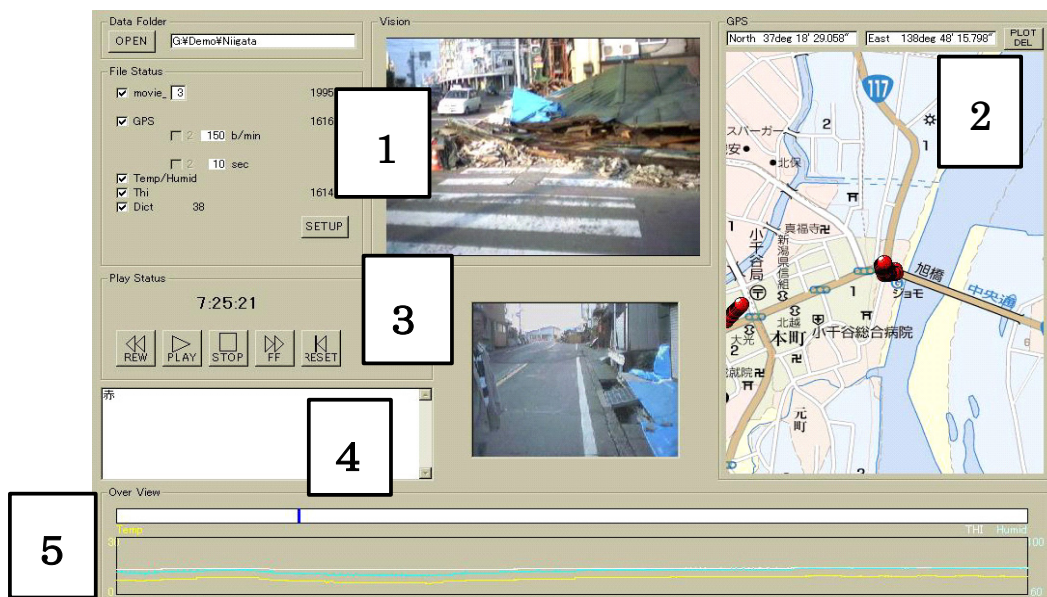


図 3. 2. 4 新潟中越地震被災地域の体験記録

1. 体験者の視線方向画像
2. 位置
3. サムネイル画像
4. 発話ログ
5. 温度・湿度情報



図 3. 2. 5 空間要素統合型システムの記録情報

1. 広視野角画像
2. 視線方向画像
3. 位置
4. Yaw 角方向の閾値
5. Pitch 角方向の閾値

② 情報提示型ウェアラブルコンピュータ

情報提示型ウェアラブルコンピュータでは、臨場感のある情報提示を実現するため、視覚、聴覚、触覚、嗅覚それぞれについて屋外空間で情報を提示するウェアラブルコンピュータを開発した。

視覚情報提示ウェアラブルコンピュータ

ヘッドマウンテッドディスプレイを視覚情報提示装置として、屋外における装着者の位置・視点に応じた情報を提示するウェアラブルコンピュータを構成した。装着者のロケーションに応じた、適切な視覚情報を提示するに当たり、屋外環境を展示空間と見立てたアプリケーションを開発した。屋外にある対象物へのナビゲーション、対象物への付加情報を提示した場合の装着者の行動特性と提示装置との関係を分析し、効果的な提示システムを開発した。

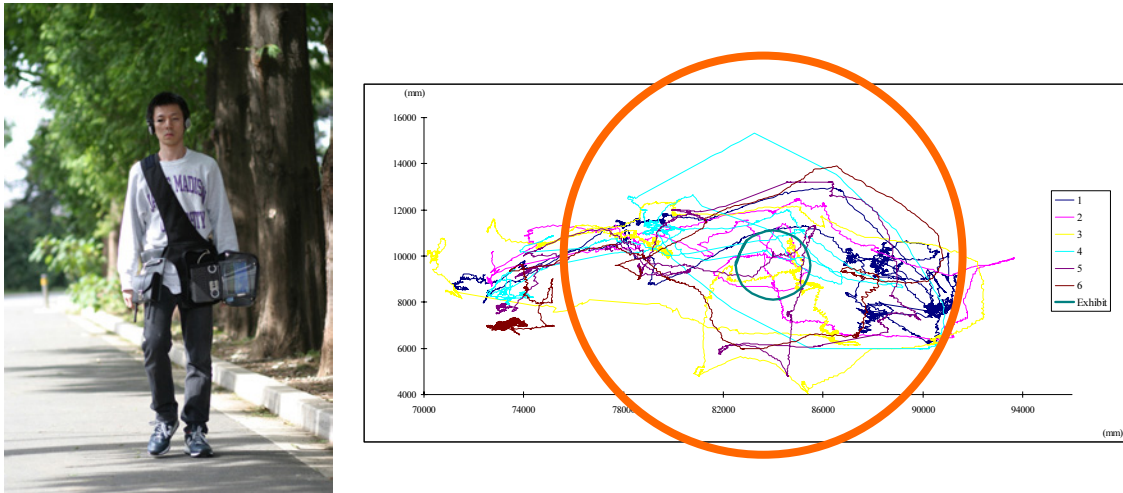


図 3.2.5 視覚情報提示ウェアラブルコンピュータ(左)、提示情報に対する歩行行動(右)

また、提示する情報の内容についても、屋外環境化において、常に行動をとりながらの状態、行動そのものに対して負担とならないような情報の提示手法の考案を行った。歩行時の文字情報読み取り負荷の評価や、歩行速度と外界からの情報負荷との関係の検討を行い、“ながら”に適した視覚情報の提示手法を開発した。(図 3.2.5)

聴覚情報提示ウェアラブルコンピュータ

聴覚情報は、人が空間的な広がりを感じる重要なファクタであり、目標の方向を知るものとして音の定位による情報識別の研究もなされている。複数方位から提示される情報の識別や、頭部を動かした上での定位についてもインタフェースとしての可能性が言及されている。しかし、現状では多くの場合、利用者自身の位置は固定で、屋外など利用者の移動を想定した場合には十分な検討がなされていない。実世界に3次元的に広がる音空間が実現できれば、実世界に関する情報提示のみでなく、様々なコンテンツの実現が可能になる。そこでは、環境音などの位置に応じた音提示に加え、人や動物・乗り物といった移動物の音を再現することでより臨場感のある空間が生成できる。このようなコンテンツ作成のための基礎技術として、利用者の位置情報と頭部の動きをもとに音提示を行うシステムを構築し、実験を踏まえて屋外空間におけるコンテンツへの応用可能性・適性について検討した。具体的には、音源位置探索実験を行い、その結果評価と原因の考察を行った。(図 3.2.6)

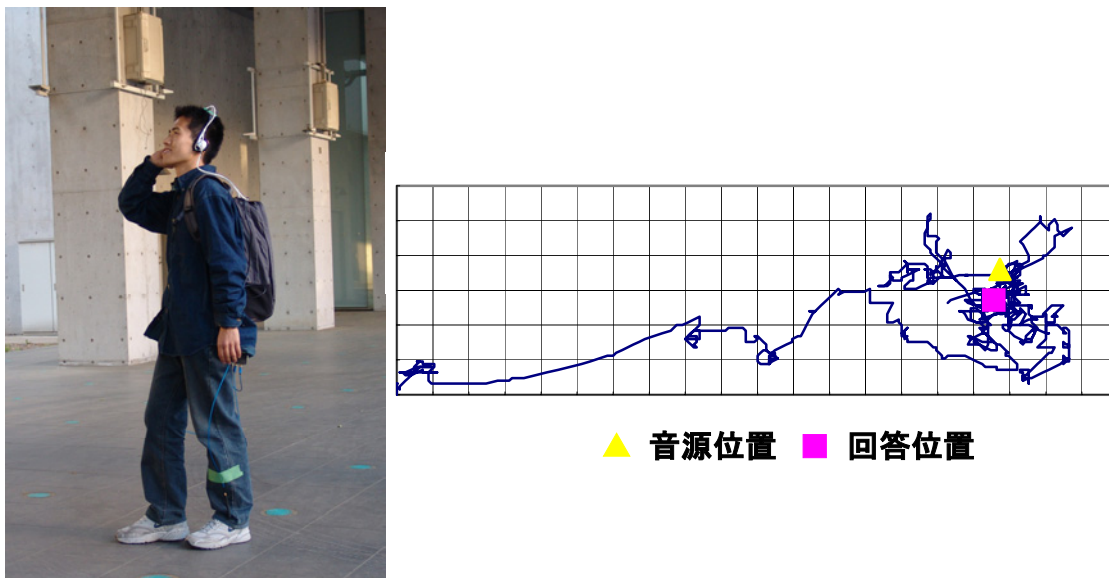


図 3.2.6 聴覚情報提示ウェアラブルコンピュータ(左)、仮想音源定位行動(右)

触覚情報提示ウェアラブルコンピュータ

情報提示手法の試みとして、従来の画像や音声の提示だけではなく、触覚情報の提示手法の考案を行った。これは、屋外での情報を提示する場合、光に作用されやすい画像情報や、情報が減衰しやすい音声情報よりも場所を制限しないウェアラブルな提示手法に適した情報伝達能力が触覚に有するのではないかと考えたからである。具体的アプリケーションとして、指点字手法を考案した。プロトタイプとして、2種類のアクチュエータ（振動モータ、ソレノイド）を触覚提示装置として搭載した指輪型を通し、PC から入力された文字情報を触覚情報へ変換して提示するシステムを作成した。このインタフェースを使用し、先述の位置駆動型ウェアラブルと融合し、屋内外の広範囲の場所でナビゲーション型指点字情報の提示実験を行った。(図 3.2.7)

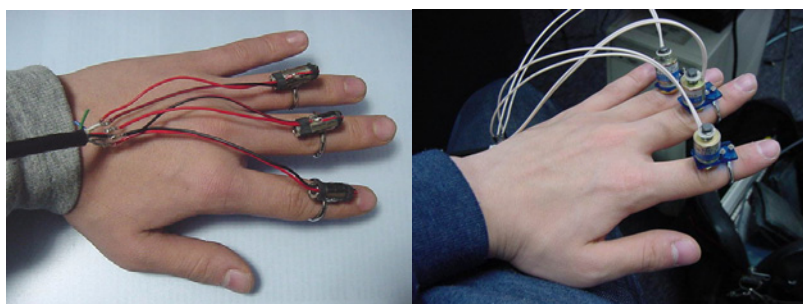


図 3.2.7 触覚情報提示ウェアラブルコンピュータ
振動モータ型(左)、ソレノイド型(右)

嗅覚情報提示ウェアラブルコンピュータ

視覚・聴覚・触覚情報についてはユビキタス化が広がる中、多く研究がなされているが、味覚や嗅覚情報に関しては、十分な研究がなされているとは言えない。人間は嗅覚を用いて、匂い分子の種類から匂い発生源が何かを特定し、動きながら匂いの強さ変化

を知覚することで環境内の匂い発生源の大まかな位置を特定することができる。これは嗅覚情報の元となっている匂いの持つ空間性という特徴であり、環境の情報の提示に有効であると我々は考えた。この空間性を再現するために、広い空間や屋外を含む様々な環境での匂いの空間的な広がり、匂いの強さの時間的な変化の分布(以下、匂い場と呼ぶ)の生成を目的とした。しかし、従来の嗅覚ディスプレイではユーザの行動範囲が制限されているため、この匂いの空間性を十分に生かすことは出来ない。そこで、屋外をも含めた様々な広い空間で動きながら匂い場の提示を受けられるウェアラブル嗅覚ディスプレイを開発した。(図 3.2.8)

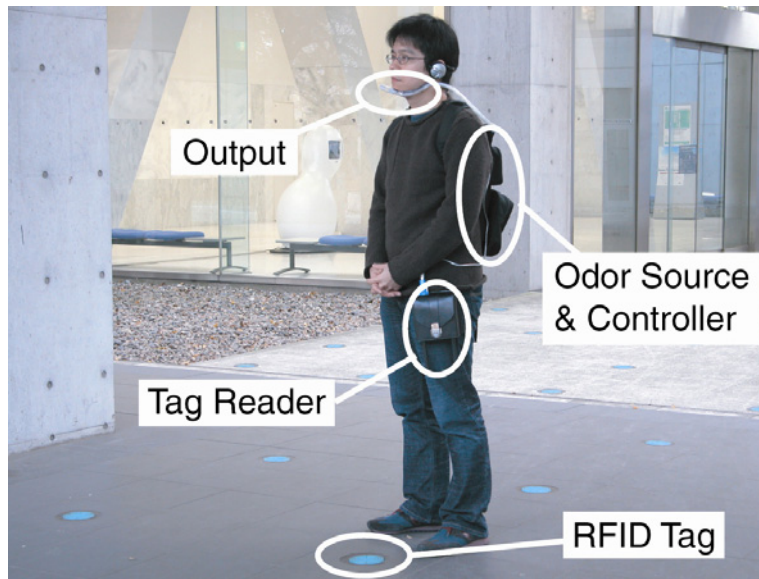


図 3.2.8 嗅覚情報提示ウェアラブルコンピュータ

また、開発したウェアラブル嗅覚ディスプレイを用い、広い空間を動きながら匂い場を提示することが可能な匂い場提示システムを開発した。屋内 GPS を使用して匂い場提示実験を行い、広い空間における匂い場提示の有効性を検証した。さらに、匂い場が動く場合についての匂い場提示の有効性についても検証した。

③ コミュニケーション型ウェアラブルコンピュータ

FOMA サービスではすでに、携帯電話に搭載されたカメラを用いたテレビ電話機能が提供されている。こちらは既存のテレビ電話のインタフェースをそのまま持ち込んだ、対面型コミュニケーションの形態をとっている。周囲の状況を伝えることについては、カメラを反対側へ向けて撮影することで対応している。しかし、固定型のテレビ電話の形態をそのまま持ち込んでいることにより、「場所」というパラメータがそのコミュニケーションの開始時に考慮されることはほとんど無い。その場所にいる人とコミュニケーションをとりたいというよりも、専らその人の顔を見ながら話をしたいという形式である。携帯型トレイグジスタンスを実現するに当たって、現状の携帯電話によるテレビ電話サービスを考慮した上で、以下のようなコミュニケーション形態をデザインした。

まず、ある「場所」というパラメータを重視したコミュニケーションを実現するため、ある「場所」に今いる誰かとコミュニケーションをとるという手順で通信する形式をデザインした。そして、対面式ではなく、遠隔地に存在している人の視点から遠隔地の情報を得られるようにした。よって、コミュニケーションの相手に対する心理的な負担は軽い状態でレイグジスタンスが可能になり、同時に遠隔地の状況に対する没入間を増す効果が得られると考えた。

ウェアラブルコンピュータを装着した体験者の視点情報と、そのときの視覚映像とを遠隔地へ伝送するシステムを開発した。通信システム方式として、W-CDMA 方式を用いたカード型携帯電話、無線 LAN について検討した。遠隔地にて、ウェアラブルコンピュータ装着者の視点に立った映像を提示することが可能である。(図 3.2.9)

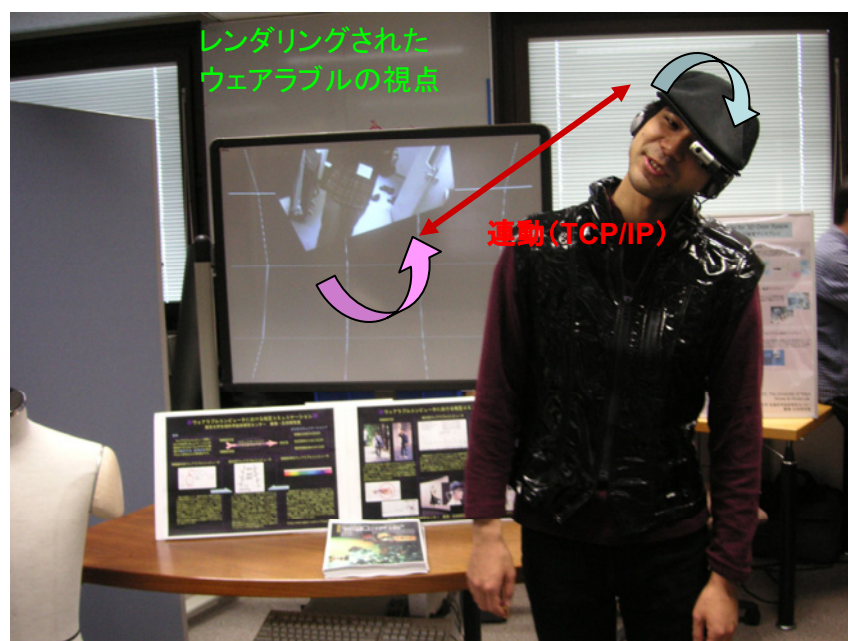


図 3.2.9 コミュニケーション型ウェアラブルコンピュータ

(2) 研究成果の今後期待される効果

ウェアラブルコンピュータをもちいて、装着者の日常行動を記録すること。そしてロケーションに応じて臨場感のある情報提示を実現するために、視覚、聴覚、触覚、嗅覚による空間的な情報提示に関する研究開発を行ってきた。さらに、遠隔地点間にはなれたウェアラブルコンピュータの装着者とのコミュニケーションについて検討した。ウェアラブルコンピュータ装着者の体験をリアルに記録、伝送、提示するための技術は、近年、医療、教育、作業現場などにおける CSCW を展開するフィールドの拡大と作業内容の拡張を実現していくものとして期待できる。本研究における、情報取得のためのセンサ群、機器構成の検討、そして情報提示のために開発した各種ディスプレイから得られた知見は今後のセンサ開発や、ウェアラブルなディスプレイ開発を推進する上で重要であると言える。また、コミュニケーションのための通信技術の発達も本研究の成果の展開する場面を広げていく上で重要である。

3. 3 知的ヒューマンコミュニケーション技術の研究（東京大学 原島グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

知的ヒューマンコミュニケーション技術の研究として、主に水晶球をメタファとした透明球ディスプレイ「i-ball 2」を開発した。I-ball 2 では観察者は 2 方向から映像を観察でき、それぞれの方向に異なった映像を提示でき、特にインタラクション・コミュニケーションという観点で研究を進めた。

具体的には、「PFES 法を用いたロボットとのインタラクション」及び「PFES 法を用いた“にらめっこ”」という二つのサブテーマに関する研究を行った。ここで PFES (Personal Facial Expression Space) 法とは観察者の表情を撮影して処理・認識する手法である。本プロジェクトを通じて、コミュニケーションを通じた、利用者がより高度な臨場感を体験するための画像提示法、画像構成法などの研究をはじめとする人間重視のヒューマンインターフェイスを実現した。

① i-ball 2 の概要

i-ball 2 は池田らによって開発されたインタラクティブな透明球ディスプレイ i-ball (interactive/informationball) のコンセプトに基づいて新たに開発したハードウェアで、以下のような特徴をもつ。

透明球の中に映像が浮かび上がるディスプレイ

レンズ系を使用して、利用者の視点からは装置中央に備えられた透明球内に映像が浮かんで見える。

2 人同時利用可能

映像提示系を 2 組備えており、最大 2 人で同時に利用することが可能。

インタラクションのための多様なインタフェース

“映像が表示される透明球を回転させる” という入力方法をはじめとして、多様なインタラクティブアプリケーションのために複数の種類の入力インタフェースを備えている。

柔軟なハードウェア設計

ハードウェアはコンポーネント化され、必要に応じてコンポーネント交換によってインタラクティブアプリケーションに必要なインタフェースを導入できるようになっている。また、インタラクティブアプリケーションの開発に際しても、i-ball 2 のハードウェア仕様によってそれが煩雑化しないように工夫されている。

また、i-ball 2 はその利用に際して特殊な装置の装着が必要ないことも大きな特徴である。そして、i-ball 2 のインタラクティブアプリケーションとして以下のものを実装した。

オブジェクト指向インタラクティブ 3 次元ディスプレイ

透明球の中に表示された物体 (CG、全周多眼画像、カメラアレイによる多視点画像) を、透明球の回転によって“手にとるように” 視点を変え閲覧するアプリケーション。

アミューズメントプラットフォームとしてのアプリケーション

透明球の中に表示されたロボットと“遊ん” だり、i-ball 2 のハードウェアを使ってビデオゲームを変った楽しみ方でプレイするアプリケーション。

表情コミュニケーションのためのアプリケーション

実時間表情分析手法を利用して、i-ball 2 利用者の表情を i-ball 2 に搭載されたカメラで撮影し、透明球内の表示がインタラクティブに変化するアプリケーション。

ビデオ対話（相互レイグジスタンス）アプリケーション

i-ball 2 をビデオ対話端末に利用し、バーチャルリアリティ技術を用いた相互コミュニケーション（相互レイグジスタンス）を実現するアプリケーション。

② 関連研究

ここでは i-ball2 の関連研究として、ベースとなったインタラクティブ透明ディスプレイ i-ball、MEDIA3、MEDIA X' tal について述べる。

i インタラクティブな透明球ディスプレイ i-ball は“平面に映像が映る” というのではなく、“物体をさまざまな方向から（のぞき込むように）見る” オブジェクト指向ディスプレイのひとつである。オブジェクト指向ディスプレイの研究例として MEDIA3 や MEDIA X' tal がある。

MEDIA3 は 4 台の液晶ディスプレイを箱状に組み立て、その中に物体があるかのように映像を提示する。どのような映像を提示するかは、ディスプレイと観察者頭部に装着した位置センサとの相対的な位置関係によってインタラクティブに計算される。

MEDIA X' tal はハーフミラーを介して目と共役な位置に配置されたプロジェクタで、再帰性反射材を塗布したディスプレイ面に投射する。ここで、ディスプレイ部には位置センサが取り付けられており、この位置情報をもとに投影する画像が生成される。再帰性反射材と 2 台のプロジェクタの利用により（利用者の右目と左目に異なる映像を提示することができ）裸眼立体視も可能になっている。

i-ball はこういったオブジェクト指向ディスプレイの考え方をもとに、以下のコンセプトで開発されたインタラクティブなディスプレイである。

- ・空間像の表示 2 次元画像を透明な表示球（以下、単に透明球）内に結像させる。
- ・観察者の撮影球をのぞき込む観察者のようすを撮影できるようにし、これに基づいて映像とのインタラクションを可能にする。球の可動化球を PC 制御で回転できるようにし、さまざまな方向からの観察を可能にする。

③ i-ball 2 のハードウェア

i-ball 2 は“透明球の中に空間的な像を提示するインタラクティブなディスプレイ” という i-ball でのコンセプトをもとに、

- ・多人数（2 人）への対応
- ・“透明球の回転がそのまま入力になる”

をはじめとした多様なインタフェースといった拡張を加え、多彩なインタラクティブア

アプリケーションに対応できる高いポテンシャルを備えた、インタラクション・コミュニケーションのためのハードウェアである。i-ball 2 の外観を図 3.3.1 に示す。

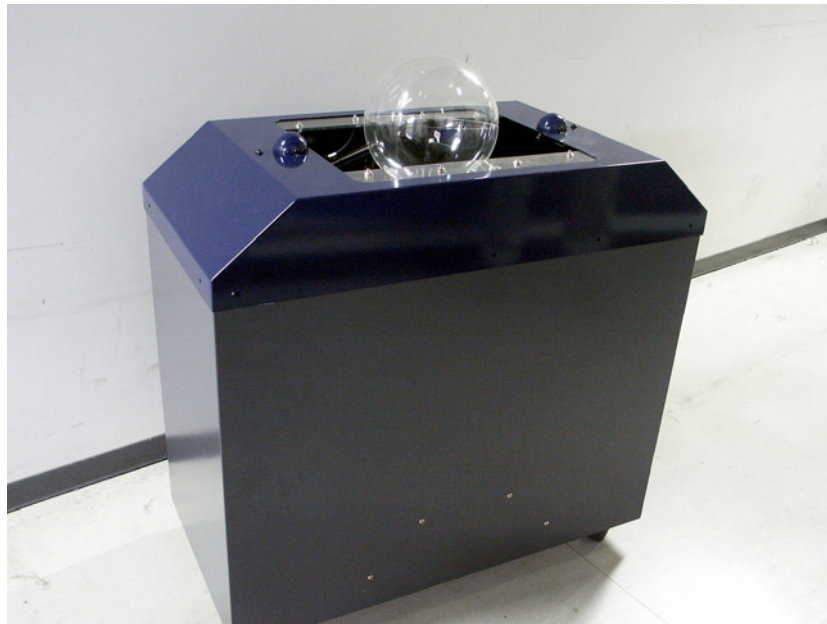


図 3.3.1 i-ball2 概観

外形寸法は 80 cm (H)×40 cm (W)×78 cm (D) (透明球・突起部分含まず) であり、2 人対応と同時に i-ball よりも小型化している。装置中央には i-ball 同様、直径 200mm の透明アクリル球 (半球を貼り合わせたもの ; 以下単に透明球と呼ぶ) が備えられている。i-ball では透明球内に鏡を擁していたが、i-ball 2 のそれは中空である。

映像提示機構

i-ball 2 の映像提示機構の模式図を図 3.3.2 に示す。

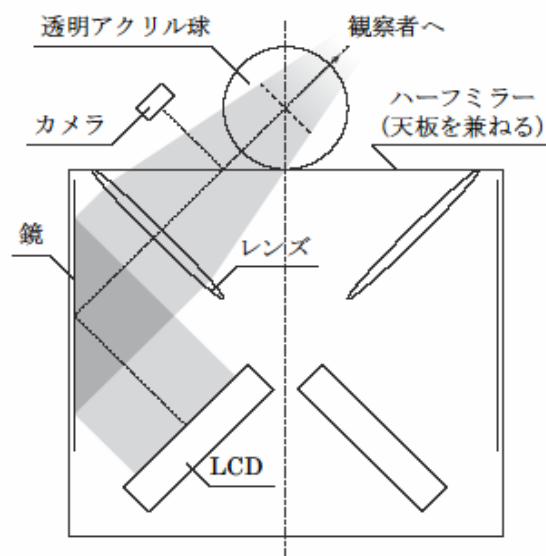


図 3.3.2 i-ball2 の撮像系

筐体内には 15 インチの液晶ディスプレイ（解像度は XGA）が組み込まれている。その映像（2 次元画像）は鏡で反射され、フレネルレンズ（焦点距離 $f = 200[\text{mm}]$ ）を通過して高透過性のハーフミラー（天板）を通過して透明球内の位置に実像で結像する。すなわち、（天板のハーフミラーで反射される分を除いて、理想的には）結像位置にディスプレイがあるのと等価になる。ただし光学系の構成上、液晶ディスプレイの映像とは左右が反転した映像が提示される。ここでたとえば“さいころ”を表示させた場合、“観察者の視点”からは図 3.3.3 のように透明球内に映像が浮いているように見える。



図 3.3.3 i-ball 2 の透明球内に観察される様子

ここで、提示される映像を鮮明にかつひずみなく観察できる視点は限られる。前述の“観察者の視点”にはスイートスポットがあり、映像の光軸周辺である。これはおよそ i-ball 2 の前にいすで腰掛けたときの視点位置に設計されている。スイートスポットから離れるに従って像はひずみ、特に天地左右に大きく離れると像は見えなくなる。観察者の視点位置が理想的な場合であっても、観察者の目の位置は映像の光軸より少しだけ右（右目）および左（左目）にあるから、図 3.3.4 のようにレンズひずみの影響で、それぞれの目に少しだけ異なった映像が提示されることになる。i-ball の場合と同様、これが視差のような効果をもたらしており、平面的な画像にある種の立体感が付与される。一般に、提示される映像は中央が膨らんだように知覚される。これは、物体（たいていは中央部分が手前にある）を表示するには好都合な効果であり、i-ball 2 においても、正確な表示よりもこのひずみによってもたらされる“映像が平面的でない印象”を利用することにした。

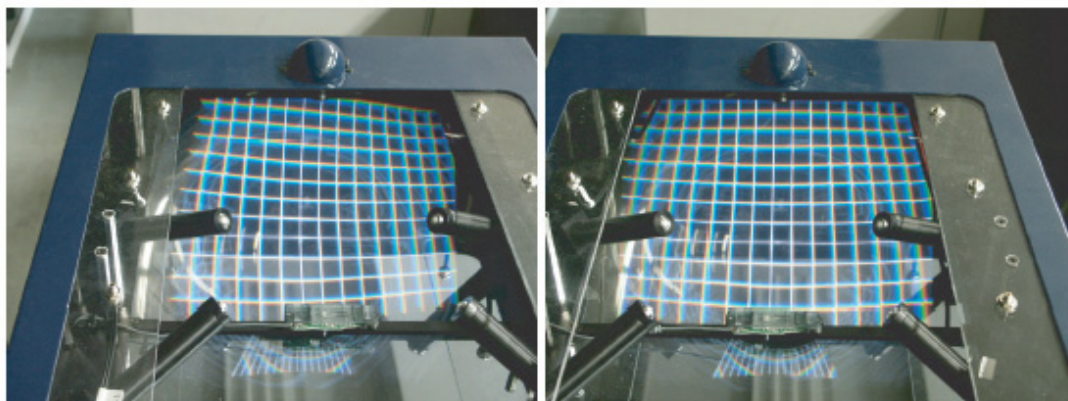


図 3.3.4 左右への視点移動に伴う映像のみえの変化

アプリケーション例

■PFES 法を用いたロボットとのインタラクション

実時間表情分析法のひとつである PFES (Personal FacialExpression Space) 法で、i-ball 2 のカメラで撮影した観察者の表情を分析し、ロボットを反応させるアプリケーションを作成した。

PFES 法は、個人ごとの表情画像において、その大局的特徴 (低次 DCT 係数) が表情の種類によって大きく異なる (よく分離される) ことを利用した表情分析法である。分析に先立って、各人の無表情画像と (複数の) 表情画像を撮影 (登録) しておく。これによって、その人の表情に関する (多次元) 空間が構成される。分析を開始すると、入力された顔画像は、表情によってその空間の中の 1 点に位置付けられる。すなわち、入力した表情の種類と強さが登録した表情の線形結合で表される。ここで、分析は現在の計算機性能であれば実時間でじゅうぶん実行可能で、インタラクティブアプリケーションに組み込むこともできるようになった。PFES 法の概要を図 3.3.5 に、PFES 法で分析した表情の軌跡の例を図 3.3.6 に示す。また、雑音に強くロバストな分析を行えるのも PFES 法の大きな特長である。

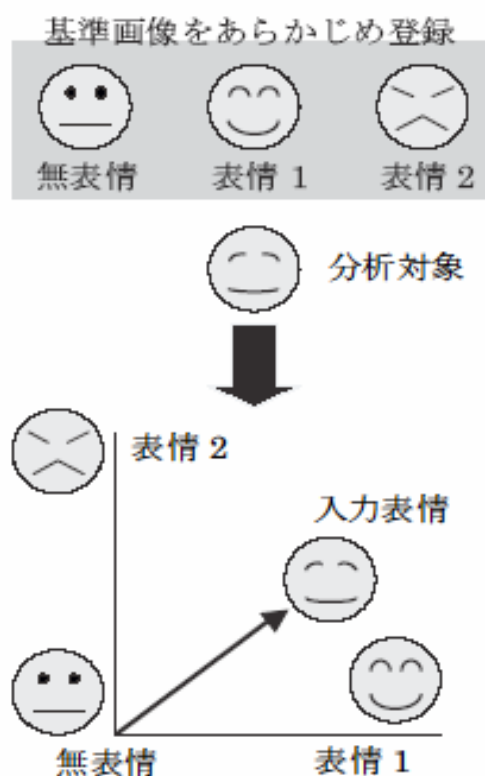


図 3.3.5 PFES の概要

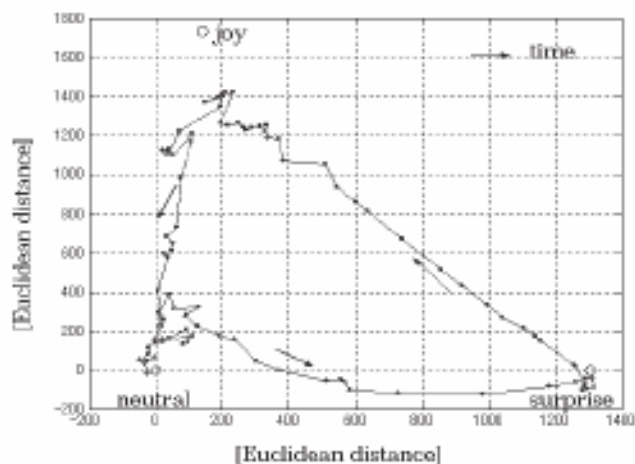


図 3.3.6 PFES で分析された表情の軌跡

このアプリケーションでは i-ball 2 に備えられたカメラで表情を撮影し（無表情画像と表情画像の登録をあらかじめ行っておく）、その表情の遷移でロボットが反応する。たとえば表情画像として笑った顔と驚いた顔を登録しておいて、

- ・微笑みかけると頭をくるくる回す
- ・笑いかけると手を振り返す
- ・急に驚くとばらばらになってしまう
- ・笑った表情から急に驚くと尻もちをつく

というようなアクションを見せる。インタラクションのようすを図3.3.7に示す。

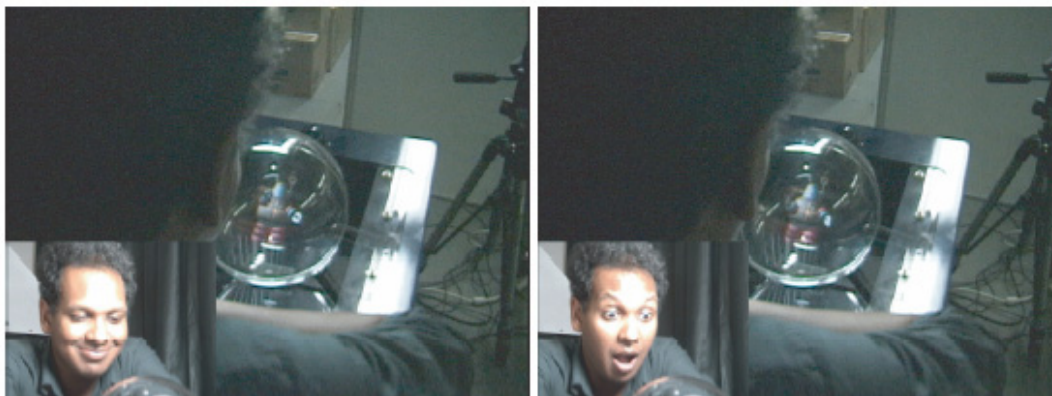


図3.3.7 PFES法を用いたロボットとのインタラクション

ここで、PFES 法では分析する顔は画像の中で同じ範囲になくはないが、観察者はインタラクションの間ロボットを見つづけることになるので、結果として（視線一致撮影できることから）顔の位置はカメラの正面に固定されがちになる。したがって顔の追尾などは省略した。一方で、PFES 法の本質的な処理は画像の大局的特徴から入力画像を空間内の点に対応付けることなので、登録する画像は必ずしも顔画像（表情画像）である必要はない。さまざまな画像を初期登録画像として、それらでインタラクション

を楽しむこともできる。たとえば、さまざまな手の形を登録して、ロボットの前で手を動かすとそれが反応するというインタラクションも可能である。

■PFES 法を用いた“にらめっこ”アプリケーション

このアプリケーションも前節と同様に PFES 法を利用しているが、透明球内に浮かび上がるのは人物の頭部画像である。これは実写の頭部写真をもとに CG（モーフィング等）で合成したものである。このアプリケーションでも利用者は前もって無表情画像と表情画像を登録しておく。i-ball 2 のカメラで利用者の顔を撮影し、PFES 法によって得られた表情パラメータそのもので透明球内の人物が変化する。たとえば、CG 処理させる人物画像に対して同一人物の“無表情”、“笑った顔”、“驚いた顔”を用意して、それに対応するように利用者が“無表情”、“笑った顔”、“驚いた顔”を登録すれば、インタラクションにおいては透明球内の人物は利用者の表情を真似るというかたちになる（図 3.3.8）。または、それぞれの登録表情に対して異なった人物表情を割り当てれば、笑うと美しい顔になり、怒ると鬼の顔になる、“うぬぼれ鏡”のコンテンツも実現できる。



図 3.3.8 PFES 法を用いた“にらめっこ”アプリケーション

ここでもインタラクションの間透明球内の人物を見つづけることになるので、顔の追尾処理等は組み込んでいない。また、登録してインタラクションに使用する入力画像も表情画像である必要はない。このアプリケーションも現在は 1 人用として実装しているが、表情パラメータを遠隔地どうしで（たとえば 2 台の i-ball 2 を用意して、その間で）送り合うことで、“遠隔にらめっこ”が楽しめるであろう。1 台の i-ball 2 だけを用いても、装置中央についたてを設けて、2 人で i-ball 2 に向かい合い、相手に自分の表情パラメータを持った CG の“エージェント（代理人）”表示させ、それを介したユニークなにらめっこも実現できる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

i-ball 2 には、その特徴的なインタフェースを生かした 3 次元ディスプレイとしてのアプリケーションや、アミューズメントを指向したアプリケーション、カメラを使用して表情分析を利用したアプリケーションを、インタラクティブコンテンツとして実装

した。また、コミュニケーションプラットフォームとして、視線一致撮影ができることを利用して、他のシステム（i-ball、TWISTER III、TWISTER IV）と接続してビデオ対話実験を行った。

実演などを通して i-ball 2 のインタフェースが直感的であるという肯定的な意見を多く得た。一方で、i-ball 2 は日常生活空間のインタラクティブシステムとしては、まだ“まず触れ合おうにもどうしたらよいかわからない” というインタフェースにおける“当たり前さ”が欠如（あるいはアフォーダンスが欠如）していたように見受けられた。これは i-ball 2 のハードウェアそのものに起因するものと、アプリケーションとの組み合わせに起因するものがあると思われる。また、i-ball 2 の情報提示の手法は評価が高く、新しいメディアとしての可能性が示唆された。

4 研究参加者

(1) 館グループ（相互テレグジスタンスの研究開発）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
館 暉	東京大学大学院 情報理工学系研究科	教授	全体統括	平成12年11月～ 平成17年10月
川上 直樹	東京大学大学院 情報理工学系研究科	講師	相互コミュニケーション システム設計・開発	平成12年11月～ 平成17年10月
稲見 昌彦	東京大学大学院 情報理工学系研究科 電気通信大学	助手 助教授	相互コミュニケーション システム設計・開発	平成12年11月～ 平成14年 3月 平成14年 4月～ 平成17年10月
川淵 一郎	東京大学	CREST 研究員	テレグジスタンスシ ステムの設計開発	平成13年 4月～ 平成15年 3月
関口 大陸	東京大学 東京大学大学院 情報理工学系研究科	CREST 研究員 助手	情報通信技術の開発	平成12年10月～ 平成14年 9月 平成14年10月～ 平成17年10月
圓道 知博	東京大学 名古屋大学	CREST 研究員 助手	視覚情報提示技術の開 発	平成14年10月～ 平成16年 3月 平成16年 4月～ 平成17年10月
桜井 弥寿雄	東京大学	CREST 研究補助員	テレグジスタンスシ ステムの設計開発	平成14年 4月～ 平成16年 3月
野嶋 琢也	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	相互コミュニケーション システム設計・開発	平成14年 4月～ 平成15年 3月
梶本 裕之	東京大学大学院 情報理工学系研究科 同上	大学院生 助手	視覚情報提示技術の開 発	平成13年 4月～ 平成14年 3月 平成14年 4月～ 平成16年10月
今井 朝子	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	相互コミュニケーション システム設計・開発	平成12年11月～ 平成16年 3月
田中 健司	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	視覚情報提示技術の開 発	平成12年11月～ 平成16年 3月

多田隈(駄本) 理一郎	東京大学大学院 工学系研究科 東京大学	大学院生 CREST 研究員	トレイグジスタンスシ ステムの設計開発	平成13年 4月～ 平成16年 3月 平成17年 4月～ 平成17年10月
林 淳哉	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	視覚情報提示技術の開 発	平成14年 4月～ 平成17年10月
神山 和人	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	視触覚情報提示技術 の開発	平成14年 4月～ 平成17年10月
園田 哲理	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	視覚情報提示技術の開 発	平成12年11月～ 平成13年 8月
渡邊 淳司	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	視覚情報提示技術の開 発	平成12年11月～ 平成13年 9月
嵯峨聡	東京大学大学院 工学系研究科	大学院生	視触覚情報提示技術 の開発	平成14年 4月～ 平成17年10月
柳田 康幸	東京大学大学院 情報理工学系研究科	助手	相互コミュニケーション システム設計・開発	平成12年11月～ 平成13年 8月
國田 豊	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	視覚情報提示技術の開 発	平成12年11月～ 平成13年 3月
鄧 惟中	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	情報通信技術の開発	平成12年11月～ 平成13年 9月
澤田真理子	東京大学	研究補助員	事務担当	平成13年 1月～ 平成17年10月

(2) 廣瀬グループ (ウェアラブルな情報提示技術の研究開発)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
廣瀬 通孝	東京大学先端科学 技術研究センター	教授	ウェアラブル情報提示 技術の研究・開発統括	平成12年11月～ 平成17年10月
広田 光一	東京大学先端科学 技術研究センター	助教授	ウェアラブル機器設 計・開発	平成12年11月～ 平成17年10月
山下 淳	東京大学先端科学 技術研究センター	助手		平成12年11月～ 平成17年 3月
谷川 智洋	東京大学先端科学 技術研究センター	協力研究員 講師	情報提示・技術開発	平成12年11月～ 平成17年 9月 平成17年 9月～ 平成17年10月
中茂 睦裕	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	情報提示・技術開発	平成12年11月～ 平成17年 3月
上岡 玲子	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	ウェアラブル機器の評 価	平成12年11月～ 平成17年10月
阿部 浩二	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	情報提示・技術開発	平成13年 4月～ 平成17年10月
及川 道雄	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	情報提示・技術開発	平成14年 4月～ 平成17年10月
西村 邦裕	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	情報提示・技術開発	平成15年 4月～ 平成17年10月

檜山 敦	東京大学先端科学 技術研究センター	大学院生	情報提示・技術開発	平成15年 4月～ 平成17年10月
------	----------------------	------	-----------	-----------------------

(3) 原島グループ（知的ヒューマンコミュニケーション技術の研究）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
原島 博	東京大学大学院 情報学環	教授	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の研究統括	平成12年11月～ 平成17年10月
苗村 健	東京大学大学院 情報学環	講師	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術方針基本設計	平成12年11月～ 平成17年10月
飯田 誠	東京大学大学院 工学系研究科	助手	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の開発	平成12年11月～ 平成17年 3月
牛田 啓太	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成12年11月～ 平成17年 3月
杉田 馨	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術機器設計開発	平成12年11月～ 平成17年 3月
柿本 正憲	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成12年11月～ 平成17年10月
鳥羽美奈子	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術機器設計開発	平成13年 4月～ 平成17年10月
笥 康明	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成14年 4月～ 平成17年10月
檜山 敦	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成15年 4月～ 平成17年10月
竹内 敬亮	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の開発	平成12年11月～ 平成13年 3月
N. P. チャン ドラシリ	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の開発	平成12年11月～ 平成13年 3月
山本 健一郎	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成12年11月～ 平成13年 4月
杉田 馨	東京大学大学院 情報理工学系研究科	大学院生	知的ヒューマンコミュニケ ーション技術の評価	平成13年 4月～ 平成14年 3月

5 成果発表等

5. 1 論文発表（国内12件、海外5件）

1. M. Hirose, Wearable Computers and Ubiquitous Media Space, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence, Ohmsha., pp133-163.
2. S.Tachi : Two ways of Mutual Telexistence:TELESAR and TWISTER”、Teleimmersion and Telexistence, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence, Ohmsha, pp.3-24
3. H.Harashima, T.Naemura : Ray-based approach to Integrated 3D Visual Communication, Teleimmersion and Telexistence, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence, Ohmsha, pp.73-98

4. Susumu Tachi, Naoki Kawakami, Masahiko Inami and Yoshitaka Zaitu: Mutual Telexistence System Using Retro-Reflective Projection Technology, International Journal of Humanoid Robotics, Vol. 1, No. 1, pp. 45-64 (2004.3)
5. Kenji Tanaka, Susumu Tachi. "TORNADO: Omnistereo Video Imaging with Rotating Optics," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 11, no. 6, pp. 614-625, November/December 2005
6. 國田豊, 尾川順子, 佐久間敦士, 稲見昌彦, 前田太郎, 舘暲: 没入型裸眼立体ディスプレイ TWISTER I の設計と試作, 映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No. 5, May 2001.
7. 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲: 神経選択刺激のための最適設計法, 電子情報通信学会論文誌, "Vol. J85-D-II, No. 9", pp. 1484-1493, 2002
8. 舘暲: バーチャルリアリティと横断型基幹科学技術, 計測自動制御学会論文誌, "Vol. 42, No. 3", pp. 193-198, 2002
9. 関口大陸, 川上直樹, 舘暲: RCML 2.0: ネットワーク環境における遠隔ロボット操作システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 4, pp. 555-564, 2002
10. 廣瀬, Mixed Reality 用ウェアラブル機器, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 8, pp. 812-815, 2002
11. 広田, 廣瀬, : ウェアラブルのための聴覚定位によるインタラクション手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 1, pp. 156-165, 2003
12. 今井朝子, Andrew E. Johnson, Jason Leigh, David E. Pape, Thomas A. DeFanti, 舘暲: VR-mail System, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6 No. 3, pp. 239-244,
13. 今井朝子, 関口大陸, 川上直樹, 舘暲: 人間のノンバーバル情報受信精度の計測 -指さし情報受信精度の計測, VR 学会論文誌, Vol. 9, No. 1 (2004)
14. 雨宮智浩, 広田光一, 廣瀬通孝, 「バーバル・ノンバーバル情報を利用した視聴覚障害者の歩行支援のためのウェアラブル触覚インタフェースの研究」、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol. 9、 No. 3、 pp. 207-216 (2004. 9. 30)
15. 横山智史, 谷川智洋, 広田光一, 廣瀬通孝, 「ウェアラブル嗅覚ディスプレイによる匂い場の生成・提示」、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol. 9、 No. 3、 pp. 265-274 (2004. 9. 30)
16. 中茂睦裕, 広田光一, 廣瀬通孝, 「高密度点刺激型触覚ディスプレイ」、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol. 9、 No. 3、 pp. 275-282 (2004. 9. 30)
17. 牛田 啓太, 原島 博, 石川 洵: ``i-ball 2: 透明球ディスプレイを備えたインタラクションプラットフォームの開発'', 映情学誌, 58, 6, pp. 842 -- 845 (2004. 6)

5. 2 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待、口頭講演 (国内 86 件、海外 36 件)

1. K. Tanaka, J. Hayashi, Y. Kunita, M. Inami, T. Meda and S. Tachi, The Design and Development of TWISTER II, an Immersive Full-color Autostereoscopic Display, Proc. of 11th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp.56-63, 2001
2. Koichi HIROTA, Michitaka HIROSE, Object Model for Haptic Interaction, 9th International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, 2001.8.9
3. Ryoko UEOKA, Koichi HIROTA, Michitaka HIROSE, The Study of Wearable Computer for Experiential Recording, 9th International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, 2001.8.9
4. Ryoko UEOKA, Koichi HIROTA, Michitaka HIROSE, Wearable Computer For Open Air Exhibition IN Expo2005, 2nd IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia, 北京, 2001.10.24

5. Kenji Tanaka, Junya Hayashi, Yutaka Kunita, Masahiko Inami, Taro Meda, Susumu Tachi : TWISTER: A Media Booth,ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications,,p.81,
6. Kenji Tanaka, Junya Hayashi, Yutaka Kunita, Masahiko Inami, Taro Meda, Susumu Tachi : TWISTER: Technical Challenges ,ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications,,p.271,
7. Junya Hayashi, Kenji Tanaka, Masahiko Inami, Dairoku Sekiguchi, Naoki Kawakami, Susumu Tachi : Issues in image-capture system for TWISTER,12th International Conference on Artificial Reality and Telexistence,pp.44-51,2002
8. K. Hirota and M. Hirose, AN IMPREMENTATION OF WEARABLE AUDITORY INTERFACE, Proc. of the 6th International Conference on Motion and Vibration Control(MOVIC2002), pp.570-575, 2002
9. Hiyama, R. Ueoka, K. Hirota, M. Hirose, M. Sone and T. Kawamura,Development and Demonstration of Wearable Computer Based Interactive Nomadic Gallery, Proceedings Sixth International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2002), pp. 129-130, 2002
10. Keita Ushida, Yu Tanaka, Takeshi Naemura and Hiroshi Harashima:``i-mirror: an Interaction/information Environment Based on a MirrorMetaphor Aiming to Install into Our Daily Space," 12th InternationalConference on Artificial Reality and Telexistance(ICAT 2002), pp. 113 --118 ,2002
11. Yasuaki Kakehi, Keita Ushida, Takeshi Naemura and Hiroshi Harashima:``i-trace: an Interactive System Drawing One's Traces and Illuminatingthe Area," 12th International Conference on Artificial Reality and Telexistance(ICAT 2002), pp. 154 – 161,2002
12. Dairoku Sekiguchi, Naoki Kawakami, Susumu Tachi : The Development of R-Cubed Manipulation Language:A System Design for Supporting Various Types of Clients,ISMCR 2002 Conference Abstracts, CD-ROM, 2002
13. M. Hirose, Wearable Computers and Ubiquitous Media Space, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence,Ohmsha
14. S.Tachi : Two ways of Mutual Telexistence:TELESAR and TWISTER” 、 Teleimmersion and Telexistence, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence,Ohmsha
15. H.Harashima, T.Naemura : Ray-based approach to Integrated 3D Visual Communication, Teleimmersion and Telexistence, Teleimmersion and Telexistence, Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence,Ohmsha
16. herief, Sekiguchi, Kawakami, Tachi, “A Four-screens Immersive Projection Technology Cockpit for Telexistence”, Intl. Symp. On Robotics, Paris, 2004.3.23
17. Imai, Sekiguchi, Kawakami, Tachi, “Design Suggestions on Remote Pointing Systems in Distant Collaborations”, Intl. Conf. On Artificial Reality, Tokyo, 2003.12.5
18. Tanaka, Hayashi, Endo, Tachi, “A method for panoramic stereo image acquisition”, Intl. Conf. On Artificial Reality, Tokyo, 2003.12.5
19. R. Ueoka, K. Hirota and M. Hirose, “Study of Wearable Computer for Subjective Visual Recording”, Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.350-354 (2003.6.26)
20. K. Hirota and M. Hirose, “Auditory Pointing for Interaction with Wearable Systems”, Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.744-748 (2003.6.26)
21. K. Hirota and M. Hirose, “Haptics in Museum Exhibitions”, Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.1401-1405 (2003.6.26)
22. Hiyama and M. Hirose, “Wearable Computers and Field Museum”, Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.1406-1410 (2003.6.26)

23. M. Hirose and T. Amemiya, "Wearable Finger-Braille Interface for Navigation of Deaf-Blind in Ubiquitous Barrier-Free Space", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.4, pp.1417-1421 (2003.6.26)
24. Ushida, Harashima, Ishikawa, "i-ball 2:An Interaction Platform with a Crystal-Ball-Like Display for Multiple Users", Intl. Conf. On Artificial Reality, Tokyo, 2003.12.5
25. R. Ueoka, K. Hirota and M. Hirose, "Study of Wearable Computer for Subjective Visual Recording", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.350-354, 2003
26. K. Hirota and M. Hirose, "Auditory Pointing for Interaction with Wearable Systems", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.744-748,2003
27. K. Hirota and M. Hirose, "Haptics in Museum Exhibitions", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.1401-1405, 2003
28. Hiyama and M. Hirose, "Wearable Computers and Field Museum", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.3, pp.1406-1410,2003
29. M. Hirose and T. Amemiya, "Wearable Finger-Braille Interface for Navigation of Deaf-Blind in Ubiquitous Barrier-Free Space", Proceedings of HCI(Human-Computer Interaction) International 2003, Vol.4, pp.1417-1421, 2003
30. Shuhei Nakagawara, Riichirou Tadakuma, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Susumu Tachi : " A method to Solve Inverse Kinematics of Redundant Slave Arm in the Master-Slave System with Different Degrees of Freedom.", Intl. Symposium on Measurement and Control in Robotics, 2004.9.16
31. Riichiro Tadakuma, Kiyohiro Sogen, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Susumu Tachi : "Development of Multi-D.O.F. Master-Slave Arm with Bilateral Impedance Control for Telexistence.", Intl. Symposium on Measurement and Control in Robotics, 2004.9.16
32. T. Amemiya, K. Hirota and M. Hirose, "OBOE: Oboe-like Braille interface for Outdoor Environment", 9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2004), pp.498-505, Paris(France) (2004.7.7)
33. R. Ueoka, T. Hirose, S. Eitoku, J. Urata, K. Hirota, M. Hirose and K. Kuma, "'NIWA'where the particles -the Exhibition of real-virtual interaction through Zen Rock Garden ", ISMCR2004 (14th international Symposium on Measurement and Robotics), Houston (USA) (2004.9.16) (CD-ROM)
34. Y. Aihara, R. Ueoka, K. Hirota and M. Hirose, "Study of Structuring and Recalling Life Log Experience Using Location Information", Proceedings of The Second International Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems, pp.25-30 (2004.11.23)
35. Hiyama, J. Yamashita, Y. Nishimura, T. Nishioka, H. Kuzuoka, K. Hirota and M. Hirose, "A Real World Role-Playing Game as an Application of the Guide System in a Museum", Proceedings of The 14TH International Conference on Artificial Reality and Telexistence(ICAT 2004), pp.29-34 (2004.11.30-12.2) Seoul(KOREA)
36. M. Hirose, "Real World Virtual Reality", 2nd CREST Symposium on Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence, Uni. of Tokyo, Japan 2004.12.09 (Invited speakers)
37. 中川高志,財津義貴,稲見昌彦,川上直樹,柳田康幸,前田太郎,舘暲(東京大学)、バーチャルスクリーンを用いた実時間実環境テレグジスタンスシステム (第2報)、長崎、2001
38. 財津義貴,中川高志,稲見昌彦,川上直樹,柳田康幸,前田太郎,舘暲(東京大学)、テレグジスタンスの研究 (第33報)、長崎、2001
39. 田中健司, 林淳哉, 國田豊, 稲見昌彦, 前田太郎, 舘暲, 没入型フルカラー動画裸眼立体ディスプレイ TWISTER II の設計と試作(第3報), 日本バーチャルリアリティ学会、長崎、2001
40. 林淳哉, 田中健司, 國田豊, 稲見昌彦, 前田太郎, 舘暲, 没入型フルカラー動画裸眼立体ディスプレイ TWISTER II の設計と試作(第4報), 日本バーチャルリアリティ学会、長崎、2001
41. 上岡玲子, 広田光一, 廣瀬通孝(東京大学)、体験記録装置としてのウェアラブルコンピュータの研究、日本バーチャルリアリティ学界第6回大会、長崎、2001

42. 今井朝子, 関口大陸, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: 視線提示能力を指標としたコミュニケーション・ツール評価方法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.405-408, 2002
43. 今井朝子, 関口大陸, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: コミュニケーション・システムの指標の検討-ディスプレイの視線提示の能力の測定-, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門第3回講演会講演論文集, pp.7-8, 2002
44. 林淳哉, 田中健司, 稲見昌彦, 舘暲: 没入型フルカラー裸眼立体ディスプレイ (第5報), 3次元画像コンファレンス 2002 論文集, pp.93-96, 2002
45. 林淳哉, 田中健司, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: 没入型フルカラー動画裸眼立体ディスプレイ (第7報) : TWISTER における提示画像生成法, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門第3回講演会講演論文集, p.3-4, 2002
46. 金子智道, 高幣俊之, 稲見昌彦, 川上直樹, 柳田康幸, 前田太郎, 舘暲: パララクスマッピングによる3次元形状表現, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, "Vol.4, No.1", pp.91-96, 2002
47. CHERIEF Nadji, 中川高志, 財津義貴, 稲見昌彦, 川上直樹, 前田太郎, 舘暲: バーチャルスクリーンを用いた実時間実環境トレイグジスタンスシステム(第3報)-マルチスクリーンシステムの構築-, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.413-416, 2002
48. 川上直樹, 財津義貴, 中川高志, 稲見昌彦, 関口大陸, 舘暲: テレイグジスタンスの研究(第34報)-高存在感提示システムの試験的実装-, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, "Vol.4, No.3", pp.87-90, 2002
49. VLACK Kevin, 関口大陸, 前田太郎, 舘暲: パチンコ法: 対称的なアプローチを用いた実時間衝突判定, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.355-358, 2002
50. 関口大陸, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: ネットワーク環境におけるロボティックユーザインタフェース, "三次元映像のフォーラム 第59回研究会, 3D映像", Vol.16 No.1, pp. 44-50, 2002
51. 関口大陸, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘暲: RobotPHONE の開発(第2報)-Virtual RobotPHONE の実装-, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.409-410, 2002
52. 関口大陸, 古賀大二郎, 竹内大介, 稲見昌彦, 川上直樹, 前田太郎, 舘暲: 着座姿勢方式移動感覚提示システムの開発, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, "Vol.4, No.3", pp.77-80, 2002
53. 雨宮, 檜山, 中茂, 福島, 広田, 廣瀬, 盲聾者ナビゲーションのためのウェアラブル指点字インタフェースの研究, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.4, No.3, pp.11-14 (2002.6)
54. 雨宮, 檜山, 広田, 廣瀬, バリアフリー実験のためのユビキタス空間の構築, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp.749-752(2002.9.1)
55. 雨宮, 小林, 山下, 檜山, 広田, 廣瀬, ユビキタス・バリアフリー実験空間における盲聾者ナビゲーションの研究, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.523-526 (2002.9)
56. 上岡, 広田, 廣瀬, ウェアラブルコンピュータを用いた主観的視覚情報記録のための方式, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.529-532 (2002.9)
57. 上岡, 広田, 廣瀬, 主観的体験記録のためのウェアラブルコンピュータの研究, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.4, No.5, pp.17-20(2002.11)
58. 広田, 廣瀬, 聴覚定位を利用したポインティングの特性評価, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.4, No.5, pp.27-30 (2002.11)
59. 山下, 檜山, 雨宮, 小林, 広田, 廣瀬, ウェアラブルおよびモバイルコンピュータ用屋外仮想研究環境の構築, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.4, No.5, pp.45-48 (2002.11)

60. 上岡玲子, 広田光一, 廣瀬通孝, 屋外型情報システム構築のためのウェアラブルコンピュータの研究, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SICE2002)講演論文集, pp.13-14 (2002.12)
61. 舘 暲, 原島 博, 廣瀬 通孝, 川上 直樹, 苗村 健, 広田 光一: ``トレイグジスタンス遠隔通信システム'', 計測自動制御学会第 3 回システムインテグレーション部門講演会(SICE SI2002), No. 2, pp. 1 -- 2 (2002).
62. 牛田 啓太, 苗村 健, 原島 博, 石川 洵: ``多人数観察可能なインタラクティブ透明球ディスプレイ i-ball 2 の開発'', 計測自動制御学会第 3 回システムインテグレーション部門講演会(SICE SI2002), No. 2, pp. 9 -- 10 (2002).
63. 筧 康明, 牛田 啓太, 苗村 健, 原島 博: ``i-trace: 人物軌跡による人と人とのつながりを演出するシステム'', 計測自動制御学会第 3 回システムインテグレーション部門講演会(SICE SI2002), No. 2, pp. 11 -- 12 (2002).
64. 川上 玲, 筧 康明, 苗村 健, 原島 博: ``Lumisight ディスプレイを用いた透明パーティション'', 信学総大 (2003)
65. 川上 玲, 筧 康明, 苗村 健, 原島 博: ``Lumisight: Lumisty フィルムを用いた方向依存映像ディスプレイ'', インタラクション 2003 (2003)
66. 田中、林、稲見、舘、「TWISTER III の設計と開発 動画像を提示可能な裸眼立体没入ディスプレイ」、3次元画像コンファレンス 2003, 2003.7.2
67. 今井朝子, 関口大陸, 稲見昌彦, 川上直樹, 舘 暲: ユーザの言葉からエンジニアの言葉へー利用者のニーズを定量化するための視線認識測定ー, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 5, No. 2, pp.13-18 (2003.6)
68. 林、田中、圓道、舘、「運動多カメラのシャッタータイミング制御によるステレオ撮像系の構築」、第8回日本VR学会大会、岐阜、2003.9.18
69. 舘、原島、廣瀬、川上、苗村、広田、「トレイグジスタンス遠隔通信システム(2)」. SI2003, 東京、2003.12.20
70. 舘、川上、梶本、「トレイグジスタンスの研究(第35報) TELESAR II の構想」. SI2003, 東京、2003.12.20
71. 多田隈、梶本、川上、舘、「トレイグジスタンスの研究(第36報) TELESAR II スレーブアームの開発(1)」. SI2003, 東京、2003.12.20
72. 朝原、梶本、川上、舘、「トレイグジスタンスの研究(第37報) TELESAR II マスタアームの開発(1)」. SI2003, 東京、2003.12.20
73. 朝原、梶本、川上、舘、「トレイグジスタンスの研究(第37報) TELESAR II マスタアームの開発(1)」. SI2003, 東京、2003.12.20
74. 川淵、梶本、川上、舘、「トレイグジスタンスの研究(第39報) TELESAR II マスタ・スレーブフィンガーシステムの開発」. SI2003, 東京、2003.12.20
75. 林、田中、圓道、川上、舘、「没入型フルカラー動画裸眼立体ディスプレイ(第8報) TWISTERのための撮像システムの開発」. SI2003, 東京、2003.12.20
76. 今井、関口、梶本、川上、舘、「遠隔空間への自然なポインティング方法の検討」. SI2003, 東京、2003.12.20
77. 小林、廣瀬、「RFID タグを用いた位置情報取得システムの精度向上に関する研究」, 日本バーチャルリアリティ学会: 第3回「ウェアラブル/アウトドア VR 研究会, pp. 1 - 2 (2003.6.10)
78. 相原、上岡、廣瀬、「体験の記録と身体情報を利用した効率的再生についての研究」, 日本バーチャルリアリティ学会: 第3回「ウェアラブル/アウトドア VR 研究会, pp. 15 - 16 (2003.6.10)
79. 檜山、広田、廣瀬、「領域型展示システムの開発と評価」, 日本バーチャルリアリティ学会: 第3回「ウェアラブル/アウトドア VR 研究会, pp.29 - 32 (2003.6.10)
80. 広瀬 太郎, 広田 光一, 廣瀬 通孝, 「空間位置情報を利用したウェアラブル指向音声提示手法について」, 第28回ヒューマンインタフェース学会研究会, 「人工現実感」, (2004.6.8)

81. 牛田、原島、石川、「i-ball 2 の開発(1):トラックボールインタフェースと一体化した透明球ディスプレイ」. SI2003, 東京、2003.12.19
82. 牛田、原島、石川、「i-ball 2 の開発(2):対話型コミュニケーションへの応用」. SI2003, 東京、2003.12.20
83. 牛田、チャンドラシリ、原島、石川、「インタラクショナルプラットフォーム i-ball 2 におけるコミュニケーション指向アプリケーション」、インタラクシオン 2004、東京、2004.3.4
84. 牛田、原島、石川、「多人数観察可能な透明球ディスプレイ i-ball 2 トラックボールインタフェースを用いたインタラクティブアプリケーション」. 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 東京、2003.10.6
85. 牛田、原島、石川、「透明球ディスプレイ i-ball 2 のハードウェア実装とアプリケーション」. 第 8 回日本 VR 学会大会、岐阜、2003.9.18
86. 牛田、原島、石川、「透明球ディスプレイ i-ball 2 における多人数インタラクティブアプリケーション」、映像メディア処理シンポジウム 2003、東京、2003.11.14
87. 林淳哉, 圓道知博, 川上直樹, 舘暲:「TWISTER によるトレイグジスタンスの実装」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17
88. 林淳哉, 圓道知博, 川上直樹, 舘暲:「周回型マルチカメラシステム」,日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会,2004.9.9
89. 山本隼, 南澤孝太, 梶本裕之, 関口大陸, 川上直樹, 舘暲:「ウェアラブルアクティブノイズキャンセラ - 実現可能性の検討 -」,日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会,2004.9.9
90. 中河原修平, 梶本裕之, 川淵一郎, 川上直樹, 舘暲:「トレイグジスタンスの研究(第 41 報) 遭遇型多指マスタハンドを用いた指のマスタスレーブ制御」,日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会,2004.9.9
91. 圓道知博, 林淳哉, 川上直樹, 舘暲:「双対をなす回転型カメラディスプレイ系による遠隔コミュニケーションシステムの提案」,日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会,2004.9.9
92. 嵯峨 智, 川上 直樹, 舘暲:「力覚を用いた教示方法に関する研究」,日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会,2004.9.9
93. 林淳哉, 田中健司, 圓道知博, 川上直樹, 舘暲:「円筒型没入ステレオ映像のレンダリング手法」,3次元画像コンファレンス 2004,2004.6.30
94. 圓道知博, 林 淳哉, 川上直樹, 舘 暲:「人物頭部画像の全周立体表示システム」,3次元画像コンファレンス 2004,2004.6.30
95. 林淳哉, 田中健司, 圓道知博, 川上直樹, 舘暲:「円筒型没入ステレオ映像のレンダリング手法」,3次元画像コンファレンス 2004,2004.6.30
96. 圓道知博, 林 淳哉, 川上直樹, 舘 暲:「人物頭部画像の全周立体表示システム」,3次元画像コンファレンス 2004,2004.6.30
97. 関口大陸, 稲見昌彦, 舘暲:「RobotPHONE の開発 (第 5 報)-RUI ライブラリの設計」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17
98. 中河原修平, 梶本裕之, 川淵一郎, 川上直樹, 舘暲:「トレイグジスタンスの研究(第 42 報) 迂回ジョイントを用いた遭遇型多指マスタハンドの駆動トルク計算モデル」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17
99. 林淳哉, 圓道知博, 川上直樹, 舘暲:「TWISTER によるトレイグジスタンスの実装」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17
100. 宗玄 清宏, 多田隈 理一郎, 梶本 裕之, 川上 直樹, 舘 暲:「トレイグジスタンスの研究(第 43 報) -トレイグジスタンス用スレーブアームのインピーダンス制御」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17
101. 多田隈理一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 舘 暲:「トレイグジスタンスの研究 (第 44 報), 相互トレイグジスタンス用マスタスレーブシステムの開発」,計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2004,2004.12.17

102. 広瀬、池井、広田、広瀬、「空間位置情報を利用したウェアラブル音提示手法について」、ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol.6、No.3、pp. 91-92 (2004.6.7)
103. 関口、広田、廣瀬、「振る動作を用いた携帯型触覚デバイスの研究」、日本バーチャルリアリティ学会 第5回ウェアラブル/アウトドア VR 研究会予稿集、pp.9-12 (2004.6.7)
104. 横山、谷川、広田、廣瀬、「ウェアラブル嗅覚ディスプレイの研究」、日本バーチャルリアリティ学会 第5回ウェアラブル/アウトドア VR 研究会予稿集、pp.13-16 (2004.6.7)
105. 上岡、曾根、広田、廣瀬、「メディアファッションの展開」、日本バーチャルリアリティ学会 第5回ウェアラブル/アウトドア VR 研究会予稿集、pp.29-32 (2004.6.7)
106. 谷川智洋、吉田和弘、安藤真、王燕康、葛岡英明、廣瀬通孝、「スケーラビリティの高いレンダリング機構を用いたビデオアバタの伝送・提示」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.15-18 (2004.9.9)
107. 廣瀬太郎、永徳真一郎、浦田順一、上岡玲子、広田光一、廣瀬通孝、「遠隔操作をともなう展示システムの構築とインタフェースの検討」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.69-72 (2004.9.9)
108. 笹原翔太、谷川智洋、広田光一、廣瀬通孝、「全周撮影システムによる任意視点ビデオアバタの実時間取得・提示」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.107-110 (2004.9.9)
109. 村松孝治、小林一郎、谷川智洋、山下淳、広田光一、廣瀬通孝、「多視点カメラによる自由視点監視システム」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.115-118 (2004.9.9)
110. 小林一郎、村松孝治、谷川智洋、山下淳、広田光一、廣瀬通孝、「超多眼カメラによる障害物除去に関する研究」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.143-146 (2004.9.9)
111. 山田智也、横山智史、谷川智洋、広田光一、廣瀬通孝、「ウェアラブル嗅覚ディスプレイを用いた動的匂い場の提示」、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集、pp.571-574 (2004.9.9)
112. 勝間田努、広田光一、廣瀬通孝、「電動車いすを快適に動かすタンジブル・インタフェースの開発」、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集、pp. 61-64 (2004.10.06)
113. 相原佑康、上岡玲子、広田光一、廣瀬通孝、「位置情報をもとにした日常体験記録の構造化および再生に関する研究」、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集、pp. 543-546 (2004.10.06)
114. 雨宮智浩、広田光一、廣瀬通孝、「笛型入力インタフェース OBOE の研究」、ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol.6、No.5、pp.7-10 (2004.11.15)
115. 相原佑康、上岡玲子、広田光一、廣瀬通孝、「位置情報をもとにした日常体験記録の構造化とその俯瞰に関する研究」、ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol.6、No.5、pp.29-30 (2004.11.15)
116. 広田光一、廣瀬通孝、「ウェアラブルによるコミュニケーションの実現にむけて」、計測自動制御学会 第5回システムインテグレーション部門学術講演会論文集、pp.907- 908 (2004.12.17)
117. 相原佑康、上岡玲子、広田光一、廣瀬通孝、「位置情報を利用した体験記録の構造化とその俯瞰」、計測自動制御学会 第5回システムインテグレーション部門学術講演会論文集、pp.913-914 (2004.12.17)
118. 牛田 啓太、チャンドラシリ N. P., 原島 博: "透明球ディスプレイ i-ball2 におけるリアルタイム表情認識を用いたインタラクション", 顔大会, pp.195 (2004.9).
119. 牛田 啓太, 苗村 健, 原島 博: "実写動画像マウスポインタの提案とその応用", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004, 3324, pp.1033 -- 1036 (2004.10).

120. 牛田 啓太, 林 淳哉, 圓藤 知博, 原島 博, 舘 暲: “相互レイグジスタンスへ向けた異種端末間のコミュニケーション —TWISTER III と i-ball 2 の接続実験—”, 計測自動制御学会第 5 回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2004), 3D4-3, pp.911 -- 912 (2004.12).
121. 牛田 啓太, 原島 博: “i-ball 2 の開発(3): インタラクションとコミュニケーションのプラットフォームを目指して”, 計測自動制御学会第 5 回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2004), 3D4-2, pp.909 - 910 (2004.12).
122. 牛田 啓太, 石川 洵, 原島 博: “2 人利用可能なインタラクティブ空間映像ディスプレイ i-ball 2”, 3D 映像, 19, 1, pp.40 -- 47 (2005.3).

(2) ポスター発表 (国内 0 件、海外 0 件)

5. 3 特許出願 (国内 3 件、海外 3 件、その他 0 件)

(1) 国内

発明の名称: 回転伸縮リンク機構

発 明 者: 川淵一郎、舘暲、川上直樹

出 願 人: 東京大学長、川淵一郎

出 願 日: 2003 年 12 月 18 日

出 願 番 号: 特願 2003-421716

発明の名称: 撮影機能付き 3 次元ディスプレイ装置を用いた遠隔通信方法及び方法に用いる
カメラ付き 3 次元ディスプレイ装置

発 明 者: 舘 暲, 圓道知博, 川上直樹,

出 願 人: 科学技術振興機構

出 願 日: 2004 年 9 月 7 日

出 願 番 号: 特願 2004-260162

発明の名称: 立体画像表示方法

発 明 者: 舘 暲, 圓道知博, 川上直樹,

出 願 人: 科学技術振興機構

出 願 日: 2004 年 12 月 28 日

出 願 番 号: 特願 2004-381985

(2) 海外

特願 2003-421716 の PCT 出願

出 願 日: 2004 年 12 月 17 日

出 願 番 号: PCT/JP2004/18952

特願 2004-260162 の PCT 出願

出 願 日: 2005 年 9 月 7 日

出 願 番 号: PCT/JP2005/16446

特願 2004-381985 の PCT 出願

出 願 日: 2005 年 6 月 27 日

出 願 番 号: PCT/JP2005/11738

5. 4 受賞等

(1) 受賞

1. Susumu Tachi: Telexistence and Retro-reflective Projection Technology(RPT), Proceedings of the 5th Virtual Reality International Conference(VRIC2003), pp. 69/1-69/9, Laval Virtual, France, 2003. **【Invited Keynote Paper】【Laval Mayenne Technopole Award 受賞】**
2. Kenji Tanaka, Junya Hayashi, Masahiko Inami and Susumu Tachi:TWISTER:an immersive autostereoscopic display, Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference, Chicago, USA, pp.259-278, 2004. **【Best Paper Award 受賞】**
3. Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami and Susumu Tachi: RobotPHONE -Robotic User Interface (RUI), Laval Virtual 2004, 2004. **【Laval Mayenne Technopole Award 受賞】**
4. Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, Naoki Kawakami and Susumu Tachi:The Design of Internet-Based RobotPHONE, 14th International Conference on Artificial Reality and Tele-existence 2004, 2004. **【Best Paper Award 受賞】**

(2) 新聞報道

1. 朝日新聞 2004年11月19日朝刊
2. 日経産業新聞 2004年11月18日

(3) その他

1. 2003年8月29日 細田博之 科学技術政策担当大臣(当時) TWISTER 視察
2. 2005年度版 imidas に Twister が掲載される

5. 5 その他特記事項

本研究で開発された TWISTER V が日本科学未来館で常設展示される予定である。また、本研究で開発された TELESAR II をベースにした TELESARPHONE システムが愛知万博にて展示された。

6 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成14年 12月3日	第1回テレコミュニケーション・レイマージョン・レイグジスタンスに関する国際シンポジウム	東京大学 安田講堂	約300名	国内外の研究者が一堂に集い技術・意見交換を行う。
平成16年 12月9日	第2回テレコミュニケーション・レイマージョン・レイグジスタンスに関する国際シンポジウム	東京大学 安田講堂	約300名	国内外の研究者が一堂に集い技術・意見交換を行う。

(2) 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Thomas A. Defanti (イリノイ大学、教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成14年 11月30日～12月5日
Andries van Dam (ブラウン大学、教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成14年 12月1日～12月12日

Henry Fuchs (ノースカロライナ大学、 教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成14年 12月1日～12月9日
Aarne Halme (ヘルシンキ工科大学、教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成16年 12月7日～12月12日
Richard Satava (ワシントン大学、教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成16年 12月7日～12月11日
Gregory F. Welch (ノースカロライナ大学、 教授)	シンポジウム 講演・討論・意見交換	東京大学	平成16年 12月7日～12月15日

7 結び

本研究は、21世紀型である「人間重視」のマンマシンインタフェース研究の礎ともなる基礎的知見を得ることも目的としている。現在、インターネットを中心とした情報社会が形成されつつあり、万人が利益を享受可能な情報化社会を目指すにはパラダイムチェンジが必要である。本研究は「人間主義」に基づいた人間と機械との共存を目指しており、本研究によりこのパラダイムチェンジに必要な様々な知見を獲得でき、21世紀型の新しい人工物の設計手法を得ることを目標とした。また、あたかも福祉機器が肉体的弱者の身体機能を補綴するかのよう、情動的弱者の操作スキルを補綴可能な情動的バリアフリー機器の設計指針を得ることも目指している。これらの知見こそ本研究で考え得る最大の知的資産である。また、将来的なバリアフリーなインタフェースを視野に入れて研究を進めており、情報弱者の問題を解決する一助ともなろう。

この「人間を知る」ことにより「如何に人間に提示するか」を検討し、本研究のみならず将来のマンマシンインタフェース設計の指針・知見を得ることを大きな目的の一つとしている。このように人間の近似モデルを構築すること人間中心で設計を行うためのスタートラインとして極めて重要な位置を占めるだけでなく、人間のシミュレータとして構築システムの安全性や影響の評価に利用することも可能であり、実際さまざまな産業分野で活用可能である。また、モデルの構築は、初期人間工学にみられたような事例ごとの ad-hoc な解決法によらない一般的な設計指針を得ることになる。