

修士論文

# 知能化空間における情報提示システムの提案

- RT ミドルウェアを用いた分散デバイスの統合

## Information Display System in Intelligent Space

-Integration of distributed devices based on RT-Middleware

2007 年 2 月 2 日提出

指導教官

橋本 秀紀 助教授

東京大学大学院工学系研究科

電気工学専攻 No. 37-56400

都島 良久

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景と目的	1
1.2 本論文の構成	2
<b>第2章 インテリジェント環境と視覚的情報支援</b>	<b>3</b>
2.1 インテリジェント環境	3
2.1.1 Aware Home	4
2.1.2 Easy Living	5
2.1.3 Project Oxygen	6
2.1.4 Interactive Workspace Project	7
2.1.5 Ada – the intelligent space	8
2.1.6 ロボティックルーム	9
2.1.7 ユビキタスホーム	10
2.1.8 SELF	11
2.1.9 WABOT-HOUSE	12
2.2 インテリジェント環境構築における環境設計と実現するサービス	13
2.3 視覚的情報支援	15
2.3.1 The Everywhere displays	15
2.3.2 Office of the future	16
2.3.3 iLamps	17
2.3.4 Augmented Reality	18
2.4 インテリジェント環境における視覚的情報支援に関する考察	19
<b>第3章 知能化空間 –Intelligent Space</b>	<b>21</b>
3.1 空間知能化と知能化空間	21
3.2 システム構成	23
3.2.1 DIND	25
3.2.2 アクチュエータ	25

<b>第4章</b>	<b>RTミドルウェアと空間知能化</b>	<b>27</b>
4.1	RTミドルウェアの背景及び概要	27
4.2	RTミドルウェアの基本的機能	28
4.2.1	RTコンポーネント	28
4.2.2	RTCLink	30
4.2.3	組み込み機器用コンポーネント RT Component-Lite	31
4.3	空間知能化におけるRTミドルウェアの役割	34
<b>第5章</b>	<b>知能化空間における情報提示システム</b>	<b>35</b>
5.1	知能化空間における情報提示支援	35
5.2	アクティブプロジェクタの開発	36
5.2.1	ハードウェア構成	36
5.2.2	RT Component-Liteを用いたシステム構成	38
5.3	情報提示システムの構成	40
5.3.1	センサコンポーネント	41
5.3.1.1	超音波3次元ロケーションシステム	42
5.3.1.2	レーザ式測域センサ	44
5.3.2	アプリケーションコンポーネント	49
5.3.3	アクチュエータコンポーネント	53
5.3.3.1	アクティブプロジェクタ	53
5.3.3.2	移動ロボット	56
5.4	アクティブプロジェクションにおける問題と解決手法	57
5.4.1	投影遮蔽回避	57
5.4.2	投影画像補正	62
5.5	情報提示システムにおける実験結果及び評価	66
<b>第6章</b>	<b>結論</b>	<b>69</b>
6.1	研究の成果とまとめ	69
6.2	今後の課題と展望	70
	<b>参考文献</b>	<b>72</b>
	<b>発表文献</b>	<b>76</b>

## 図目次

1.1	ロボット産業の将来市場規模予測	2
2.1	ロボット共存社会の実現例	3
2.2	Aware Home	4
2.3	EasyLiving	5
2.4	Project Oxygen	6
2.5	Interactive Workspace Project	7
2.6	Ada –the intelligent space	8
2.7	ロボティックルーム	9
2.8	ユビキタスホーム	10
2.9	SELF	11
2.10	WABOT-HOUSE	12
2.11	システムの設計と実装	13
2.12	The Evertwhere Display Project	15
2.13	Office of the future	16
2.14	iLamps	17
2.15	Augmented Reality	18
3.1	知能化空間 –Intelligent Space の概念図	22
3.2	DIND の概念図	22
3.3	知能化空間の構成	24
3.4	知能化空間の概観図	24
3.5	移動ロボット (PioneerP2-DX)	26
4.1	RT コンポーネントを用いたロボットシステム	28
4.2	RT コンポーネントの基本概念図	29
4.3	RT コンポーネントの Activity における状態遷移	30
4.4	RTCLink によるシステム動作	31
4.5	RT Component-Lite と Proxy コンポーネントとの接続の様子	32

4.6	Small RTUnit	32
4.7	RT Component-Lite を用いたセンサ情報の視覚化例	33
4.8	RT ミドルウェアによる知能化空間のシステムインテグレーション	34
5.1	知能化空間におけるアクティブプロジェクタを用いた情報提示支援	36
5.2	アクティブプロジェクタ	37
5.3	アクティブプロジェクタの回路設計図	38
5.4	RT Component-Lite を用いたアクティブプロジェクタのシステム構成	39
5.5	RT コンポーネントによる情報提示システムの構成	41
5.6	超音波ロケーションシステム ZPS のタグ	42
5.7	超音波ロケーションシステムのパラメータ $\alpha$ に対する誤差計測結果	43
5.8	レーザ式測域センサによるトラッキングプロセス	44
5.9	レーザ式測域センサによる人間の位置と向きの観測結果	49
5.10	ユーザの手前への情報提示 (FrontProjection コンポーネント)	51
5.11	ユーザの誘導 (NumberGuidance コンポーネント)	51
5.12	RTCLink によるシステム構成	52
5.13	アクティブプロジェクタの座標系変換	55
5.14	投影位置に対する実験結果	55
5.15	アクティブプロジェクションによる投影遮蔽	58
5.16	人間モデルと投影領域の 2 次元モデルへの変換	60
5.17	投影遮蔽の回避手法	60
5.18	投影遮蔽回避の比較	61
5.19	実験空間における投影遮蔽回避結果	61
5.20	投影画像の歪み問題	62
5.21	プロジェクタと投影位置の関係	65
5.22	投影画像補正の比較	65
5.23	訪問者案内アプリケーションによるコンポーネント構成	67
5.24	訪問者案内アプリケーションに使用される提示画像	67
5.25	訪問者案内の様子	68

## 表目次

2.1	インテリジェント環境における提示手法の評価	20
3.1	知能化空間の構成要素	23
4.1	small RTUnit の仕様	32
5.1	アクティブプロジェクタの仕様	37
5.2	プロジェクタ V-1100 の仕様	37
5.3	情報提示システムを構成する RT コンポーネント	41

# 第 1 章 序論

## 1.1 研究背景と目的

今日においてロボット技術の発展は目覚しく、産業への応用から人に対しての直接的サービスとして我々の日常生活へと応用範囲が拡大される傾向にある。従来ロボットは人間が作業しづらいような労働環境に対して影響なく安定した作業が行え、人件費が削減できる等といった利点により製造業のための産業ロボットとして活躍していた。しかしながら半導体やコンピュータなどの性能の飛躍的成長や制御工学や情報学の発展を背景にしてロボット技術に進歩をもたらし、高度な動作及び機能の実現できるようになった。図 1.1 にロボット産業の将来市場規模予測を示す[1]。図中に示すように製造業に比べ生活分野及びその他の分野の成長の期待が伺える。この具体的な応用先として家事支援やオフィス等の接客案内、チャイルドケア、防災・警備活動に対する支援、介護支援等が対象となっている[2]。

このように今後ロボットが我々の日常生活に身近な存在として浸透していくための新しい展開として、空間に存在する単体ロボットを智能化または高機能化するのではなく、環境側にセンサやアクチュエータを埋め込むことによって環境全体を「賢く」というインテリジェント環境に関する研究が盛んに行われてきている。これは我々の生活空間をインテリジェント環境として構築することで、その構築された環境内で活動する人間に対して様々な支援を行う試みである。

この環境内で活動する人間（ユーザ）に対する支援は主に物理的支援と知的支援に分けられるが、知的支援としてユーザに対して有用な情報を提示することは大変有効なサービスの一つであると考えられる。そしてユーザが直感的かつ容易な手段で情報を受け取ることができる提示手法として視覚的情報支援が挙げられる。しかしながらディスプレイなどの従来の情報提示手法は描画領域が固定されており、またユーザに対する情報提供に対しシステム側からの配慮はなされていない。インテリジェント環境では人間の観測を行うことで提示場所や提示情報をユーザに合わせた情報提供が可能であると考えられる。

そこで本研究室で提案している知能化空間における視覚的情報支援を目的としてパントイルト可動式のアクティブプロジェクタを用いた情報提示システムを提案する。また提案する情報提示システムは多種のセンサやアクチュエータ等の様々な機器を統合することで、実世界インタラクション機能の拡張を行うことができる。しかしながら、このような機器

の統合において一般にシステムは複雑化される傾向にあり、サービスを実現するためのインテグレーション技術は重要な問題となる。そこでネットワーク対応型ロボットシステムの開発向上のための基盤技術として開発されている RT ミドルウェアを提案システムに導入し、知能化空間システムに適した構成手法として、分散デバイスとしての機器の統合を図る。これより柔軟かつ拡張性の高いシステム構築を図ると共に RT ミドルウェアの有効性の検証を行う。

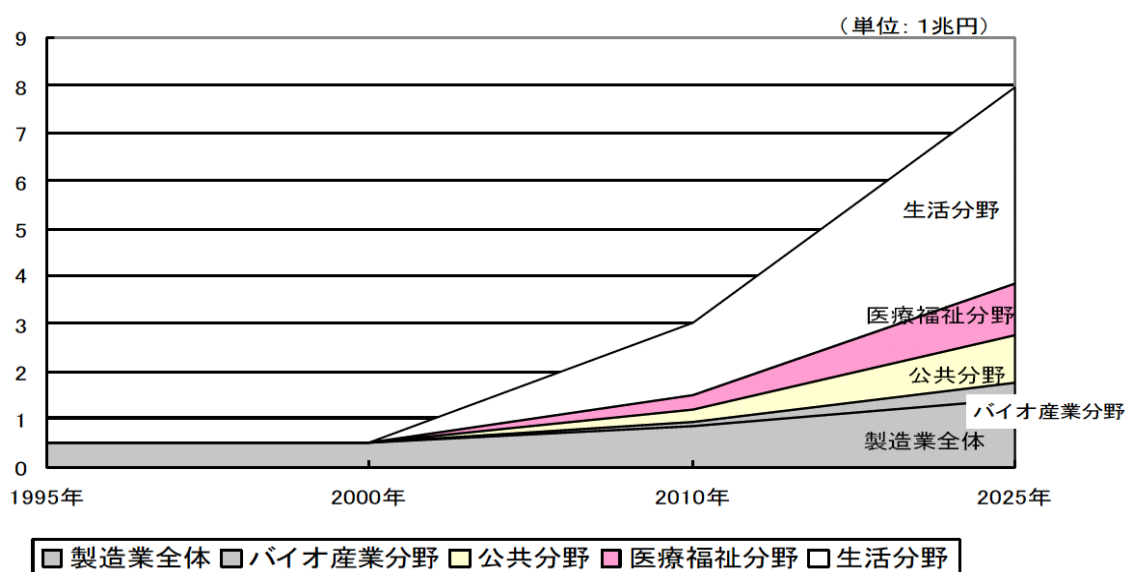


図 1.1 ロボット産業の将来市場規模予測

※日本ロボット工業会「21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」

## 1.2 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず第 2 章において、本研究における関連研究としてインテリジェント環境及び視覚的情報提示支援の具体的な研究例を挙げながら、本研究の意義を述べる。続いて第 3 章では我々の研究室で研究が進められてきたインテリジェント環境として知能化空間の概念及び現在の実装について説明する。第 4 章では本システムに用いられる RT ミドルウェアについて説明を行い、知能化空間における RT ミドルウェアの役割を述べる。そして第 5 章において知能化空間における情報提示支援を提案し、構築したシステムについて述べる。最後に第 6 章にてまとめと今後の課題について述べる。



## 第2章 インテリジェント環境と視覚的情報支援

### 2.1 インテリジェント環境

インテリジェント環境とは環境内にて独立して動作するヒューマノイドなどの単体ロボットだけでなく、環境内に配置されたセンサや情報家電、PC等の環境に組み込まれた様々な機器がネットワーク化され、その環境全体を賢くすることで有効なサービスの実現を図る環境のことである。図2.1の独立行政法人 新エネルギー・産業技術統合開発機構 (NEDO) による2025年の生活支援ロボット利用例[3]に示されるように、インテリジェント環境の構築はロボット共存社会としての新しいロボットシステムの展開につながるものと考えられる。しかしながらこのような環境を構築する場合、単に機器をネットワーク化するだけでは不十分であり、それらの機器が一つのシステムとして統合され、サービスに至るまでの一連の協調されたシステム構築が必要である。そこで以下にどのように目的を持ち、いかに環境構築を図っているかといったことに着目しながら、インテリジェント環境に関する研究事例を紹介する。なお2.1.1から2.1.5までが海外研究であり、2.1.6から2.1.9までが国内研究である。

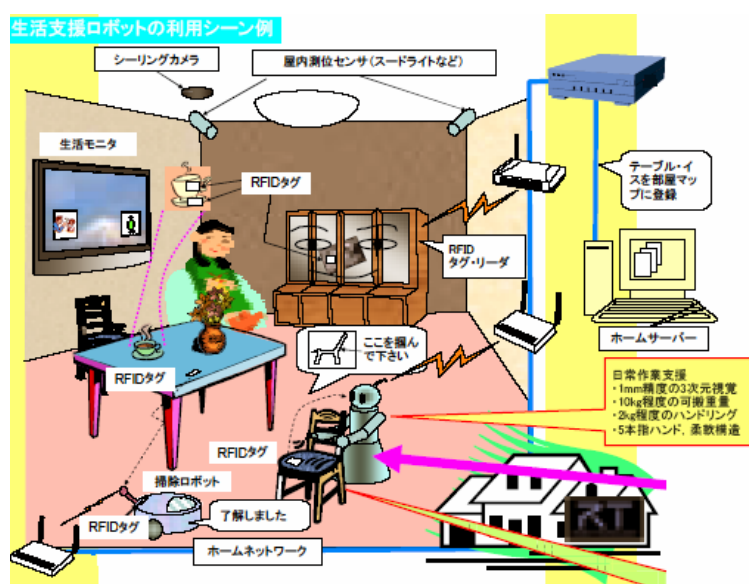


図 2.1 ロボット共存社会の実現例 ※NEDO「2025 年の生活支援ロボットの利用シーン例」

### 2.1.1 Aware Home

Aware Home はジョージア工科大学による研究であり、家庭環境を対象にしたインテリジェント環境の構築を行っている。実際に3階建ての5040平方フィート（約470平方メートル）の家を建築し、これを実験環境として研究を進めている（図2.2）[4]。圧力センサの埋め込まれたマットや天井に配置されたカメラなどによって人間の位置や生活の記録をとり、これを活用し健康管理や高齢者への介護、離れて暮らす家族の様子を確認を行っている。また生活用品や日用雑貨のインテリジェント化なども行っており、高齢者のための生活支援・補助を中心に研究が行われている。図2.2に示すように具体的な研究内容としては、家の状態及び人間の生活行動の観測、家族の様子を伝える Digital Family Portrait や様々な家庭内機器をジェスチャで簡単に操作するための Gesture Pendant の開発などが挙げられる。



図 2.2 Aware Home

## 2.1.2 EasyLiving

EasyLiving はマイクロソフト社によって研究が進められており、生活空間におけるユビキタスコンピューティングを実現するためのアーキテクチャや技術の開発を行っている（図 2.3） [5]。このプロジェクトでのインテリジェント環境の定義は内部ユーザに情報へのアクセスやサービスを提供する空間と定義されている。このため圧力センサの埋め込まれたソファや天井に配置されたカラーステレオカメラなどを用いて、人間トラッキングや ID 割り当て、個人認証などを行っている。そして様々なインターフェースや情報表示機器によってユーザに合わせた情報へのログインやアクセスを可能としている。図 2.3 は実際に構築された環境にてユーザ及びキーボードの位置を検出し、個人に合わせた情報アクセスを可能としている様子を示している。

環境のデザイン自体はユーザ自身が容易にカスタマイズできるよう、ユーザに使いやすい技術を提供するアーキテクチャの開発に主眼をおいている。そのため多種の分散されたデバイスをシステム構築するためのソフトウェア、ユーザが使いたいデバイスを特定するための空間の地理的なモデリング、知覚やサービスの記述方法などの研究が具体的に行われている[6]。



図 2.3 EasyLiving

### 2.1.3 Project Oxygen

MITで研究されている Project Oxygen は我々が吸う酸素のように屋内外はもちろんのことあらゆる環境に左右されずに自由に高速ネットワークに接続できる環境の構築を目指し、研究が行われている（図 2.4） [7]。これを実現するため以下のような Oxygen システムが満たすべき条件を挙げている。

- pervasive — どこにでも同じ情報環境を得る
- embedded — 観測しアクションを行う機能が埋め込まれている
- nomadic — ユーザやコンピューテーションが必要に応じて移動できる
- adaptable — ユーザの要求や作業状況の変化に応じて柔軟性や自発性がある
- powerful、 yet efficient — ハードウェアリソースによる制約がない
- intentional — サービスやソフトウェアに対してその意味を言うことで呼び出すことが出来る
- eternal — 決して停止しない

このための具体的な研究としては、環境に埋め込まれるコンピュータデバイス B21s、携帯デバイス H21s、同的な自己形成ネットワーク N21s などの開発が行われている。ソフトウェアは環境やユーザの要求の変化に適応するようなプラットフォームを想定し研究が進められている。またコンピュータとのインタラクションとして人間にとって自然な音声やジェスチャなどの認識技術、ユーザ技術として自動化、協調、知識アクセスなどの研究が行われている。

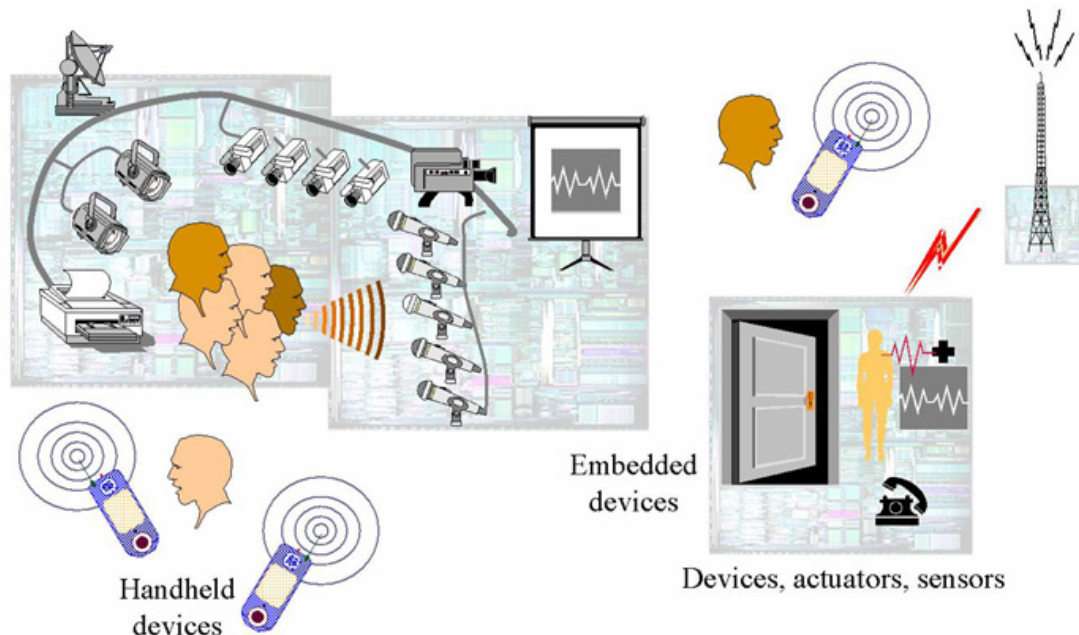


図 2.4 Project Oxygen



## 2.1.4 Interactive Workspace Project

スタンフォード大学の Interactive Workspace Project ではブレインストーミングやミーティングなど共同作業の支援に着目し、主にワークスタイルのため知的環境のデザインおよび構築が行われている。多くのテクノロジーが埋め込まれている空間において人間がコンピュータや相互作用デバイスと協調して仕事などをする新たな可能性に関する研究を行っている[8]。構築された空間は iRoom (Interactive Room) と呼ばれ、iROS と呼ばれるソフトウェアインフラの作成やヒューマン-コンピュータインタラクション (HCI) の実験が行われている。iRoom にはタッチセンサホワイトボード、壁に埋め込まれた高解像度ディスプレイ、テーブル上のディスプレイが存在する。またカメラ、マイクロフォン、無線 LAN や、他のインタラクションデバイスなども設置されている。図 2.5 左下は Interactive Workspace Project にて構想されている会議の様子を示しており、図 2.5 中央は iRoom の様子、図 2.5 右下は iRoom に実装されているテーブル上ディスプレイを示している。



図 2.5 Interactive Workspace Project

### 2.1.5 Ada – the intelligent space

Ada はチューリッヒ大学とチューリッヒ工科大を中心として来場者の単独ないし群の行動を観測することで様々なインタラクティブな演出を行う空間の構築を行っている(図 2.6) [9]。スイス博覧会 Expo.02 にてパビリオンとして展示されており、アミューズメント施設におけるインテリジェント環境の構築例といえる。この空間の床面には圧力センサ付き発光パネルを敷きつめられ、天井にはカメラやマイクロフォンが設置されている。そして来場者の行動の観測を行うことで発光パネル、スピーカ、壁面に埋め込まれた大型ディスプレイによって経路誘導やアトラクションなどを実現する。なお音やイメージの出力にはニューラルネットワーク等の機械学習が組み込まれ、空間内の状態によって様々な演出が施される。



図 2.6 Ada – the intelligent space

### 2.1.6 ロボティックルーム

ロボティックルームは東京大学佐藤らによって行われている研究である。「人間と機械またはロボットとの協調は、機械やロボットは人間が不得意な部分を補い、人間に合わせて働くべきである」という視点に立ち、部屋自体をロボット化することを考えている。そしてそのロボティックルーム内で生活する人間の状況をセンシングし、人に対してアクチュエーションを行って支援活動を自然な形で行うことができるとする（図 2.7）。1997 年に実現されたロボティック病室では環境ロボットによるその場支援であった。そこで、1998 年から研究が開始されたワンルームマンション型のロボティックルーム 2 では人間の行動を追及している。ベッド、床、テーブル、椅子、電化製品など室内に存在するものにセンサを配置し、ロボティックルームで生活する人間の行動データをライフログとして収集する。将来的には蓄積情報を活用した支援を行うことで、個人適合を実現するシステムを目指している。また、どういった人を移住者に設定するのかによって部屋のデザインや必要な機能は大きく変わってくるため、このプロジェクトは現在、アクチュエータを搭載しているロボット類を使用する“ハイパーロボット”[10]とロボット類を一切導入しない“センシングルーム”[11]という 2 つのコンセプトで研究が進められている。

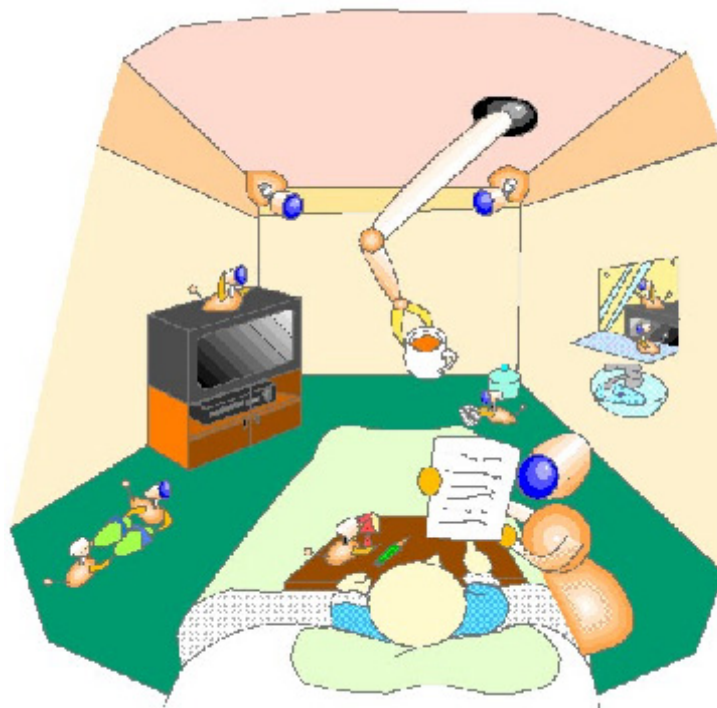


図 2.7 ロボティックルーム

### 2.1.7 ユビキタスホーム

ユビキタスホームとは情報通信研究機構（NICT）のけいはんな情報通信融合研究センターが今後急速に進んでいく家庭への情報通信技術の導入に関する研究開発を推進するために行っている家庭内を想定したテスト居住環境のことである[12]。図 2.8 にユビキタスホームの概念図を示す。このユビキタスホームにはカメラ、圧力センサ、マイクロフォン、RFID など様々な機器やセンサが備えられ、技術開発に必要となる検証データの取得を行っている。また実際に居住実験を行っている数少ない例である。IC タグによるアイテムの管理、コミュニケーションロボットをインターフェースとした情報家電の操作など人間の居住空間としてのサービスの実現を図っている。

このような生活空間を実験環境としたユビキタスホームは多くの研究機関によって共通テーマとして研究が進めてられており、様々なセンサを用いて人間の行動観測を行いライフログとして保存及び管理を行う[13]などといったことやコミュニケーションロボットを用いたサービス・インタフェース[14]等の研究が行われている。

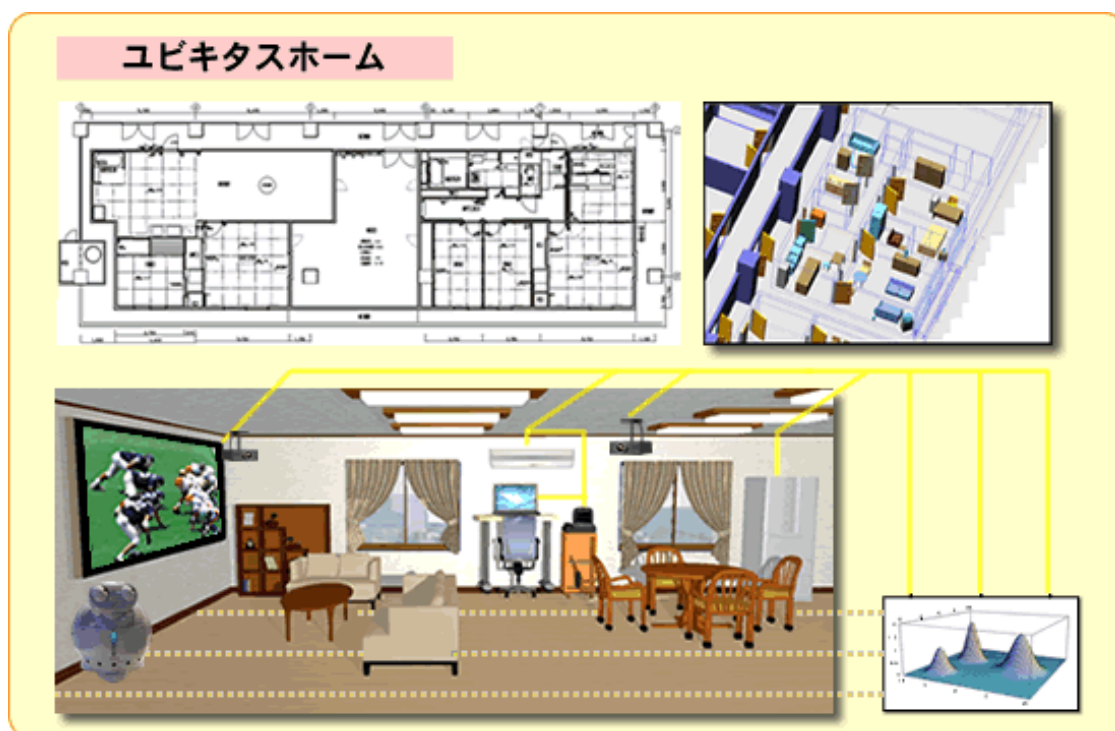


図 2.8 ユビキタスホーム



### 2.1.8 SELF

産業技術総合研究所によって研究が進められている SELF では、日常環境それ自体を一つの有意義な計算機にするという発想より、センサを生活空間に埋め込み生活環境そのものをセンサ化（センサライゼーション）することで、日常行動の情報を収集できるというものである。そして人間機能モデル（デジタルヒューマンモデル）を用いて人の状態を理解し、適切に支援できる生活空間の構築を進めている（図 2.9）[15]。構築中のシステムを、1) 環境のセンサ化、2) 生体モデリング、3) 環境を用いたプレゼンテーション、という 3 つのステップで実現することを目的としている。これにより、何の機械のサポートもなしに行っていた健康管理と比べ、1) 客観的なデータを得ることが可能となる、2) 健康管理を持続することが可能となる、という効果を期待している。このように構築されたインテリジェント環境は作業空間や操作の概念がないため、ユーザは意識せずこの環境を利用する。そのため健康管理など意識的に行わなければならなかった行動を日常行動へのシフトが容易となる[16]。

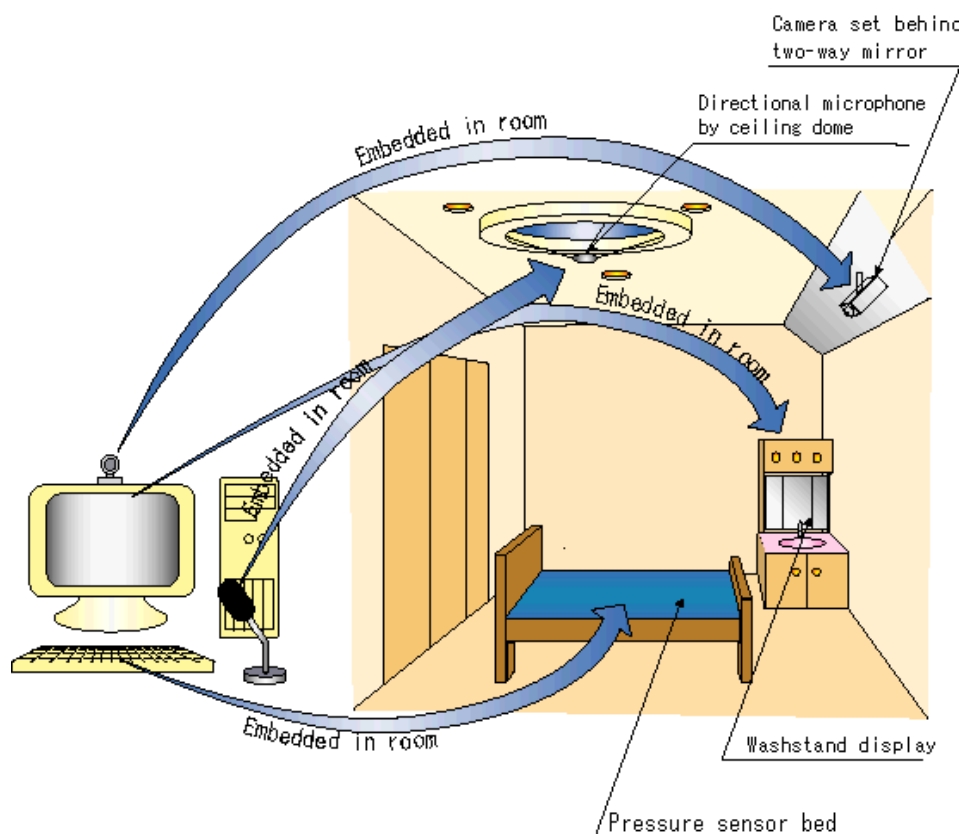


図 2.9 SELF

### 2.1.9 WABOT-HOUSE

WABOT-HOUSE は早稲田大学を中心に行われているプロジェクトであり、岐阜県の協力の下、「ロボットによる場づくり（ロボットシティ）」として研究プロジェクトを進めている（図 2.10） [17]。このプロジェクトではワボット(\*早稲田大によって開発されたロボットの総称)、ハウス、情報通信、地域交流・産業創出の 4 グループの構成によって研究体制がとられており、ロボットによる社会の場の実現のため産業界・公的機関・大学が連携をとりながら推し進められている。インテリジェント環境の構築では主にハウス研究グループによって行われており、人間居住ハウス、人間・ロボット共存ハウス、ロボットハウスとそれぞれ目的を分け建築空間の構築およびライフスタイルの創出を行っている。



図 2.10 WABOT-HOUSE

## 2.2 インテリジェント環境構築における環境設計とサービス

上記の研究事例にて示したようにインテリジェント環境の構築は家庭内環境、オフィス空間、アミューズメント施設など様々な空間に取り組みが成されている。そして、これらインテリジェント環境は様々なセンサやデバイスまたは機能がシステムに実装され、それぞれの目的にあったサービスを実現している。ではそのシステムを実装するにあたり、どのような手段をとるかといったことを考える。

図 2.11 にシステムの設計と実装における概念図を示す。一般にインテリジェント環境におけるサービスを実現するためのシステムの設計手法として 1) サービスの決定、2) 観測項目の決定、3) 環境の設計、4) システムの実装という一連の手順が挙げられる。このようなトップダウン的な設計手法は予めタスクが決められた産業ロボットやある程度限定された環境には適切な手法といえる。Interactive Workspace Project や Ada といった研究ではオフィスやパビリオンといった環境への応用に、SELF は健康管理といった目的に焦点を絞ることで、システム設計における項目が明確になっていると言える。

しかしながら日常生活環境に適合したインテリジェント環境の構築において、環境及びその中で活動する人間（ユーザ）の特性は非常に多様であり、その全てをモデル化した上でシステムを構築することは非常に困難である。また生活環境では多様なサービスが想定されると共に、新たなセンサやアクチュエータの導入が考えられる。このため、多様なサービスや環境を考慮したインテリジェント環境におけるシステム設計は上記に述べたシステム設計の項目それぞれにおいて変更が生じることが予想される。

つまりインテリジェント環境構築におけるシステム設計は絶えず更新され、その上でシステムを実装していかなければならない。そのため容易にシステムの実装が可能であることが望ましく、柔軟かつ拡張性の高いシステム構築が求められる。そしてこのような環境構築の実現に対し、これまで培われてきた、または今後進歩していく多種多様な技術を如何にインテグレーションするかということが主要な問題の一つとなる。

そこで以下のような点に着目する。

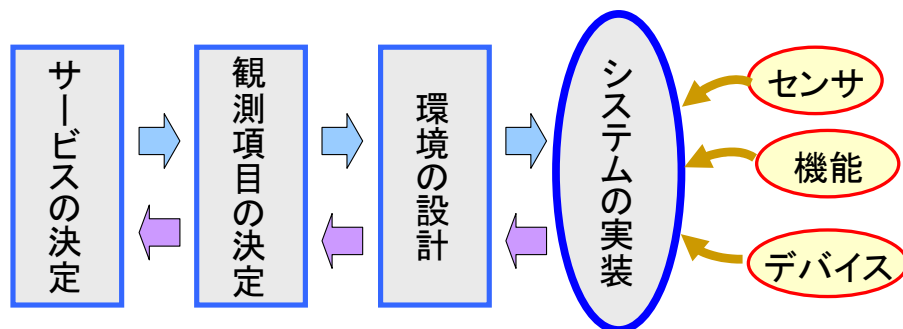


図2.11 システムの設計と実装

### ○ 抽象度の高い設計

環境を構築する要素技術であるデバイスや機能は空間の状況や技術の進歩に応じて変化していくものであり、例えばより性能の良いセンサに変更するといったことやより高度な機能を実装するといったことが挙げられる。センサを例に挙げるならば、センサの出力データをセンサ独自に依存した物理量をデータ構造とするのではなく、人の位置や姿勢、もしくは行動といった抽象度の高い観測結果をデータ構造とすることで、システム全体に影響を与えることなくセンサの変更が可能となる。その他のデバイスもしくは機能にも同様のことが言え、このような抽象度の高い設計はこれらモジュール間のデータ構造を有効な形で共通化することモジュールを同等に扱うことが可能となる。そしてシステムの接続変更を可能にし、また複数台のデバイスに対しても追加適用を容易に行うことが可能となる。

### ○ 分散デバイス

インテリジェント環境には多種多様なデバイスが実装されることが想定される。そのためシステムは大規模・複雑化される傾向にあり、システムの実装は非常に困難なものとなる。そこでデバイスを分散的に扱うシステム構成手法が望ましいと考えられる。デバイス本体に機能を実装した分散デバイスはシステムを構成する部品として扱うことが可能となる。よって再利用性が高まり、システムを一部改変してもそのシステム全体を構築し直す必要はない。システムを構築する上で適切な抽象度（粒度）で機能を実装した分散デバイスはシステムの容易な再構築を促し、拡張性の高いシステムにつながる。

### ○ インテグレーション技術

分散デバイスの実現だけではなく、これらを統合しシステムとして構築するためのインテグレーション技術も重要な要素である。ユーザの要求を応じて様々な機能を実現するインテリジェント環境において、実世界のイベントに応じたデバイスの操作が求められる。分散デバイスを用いたシステムインテグレーションでは分散デバイスの容易な追加や削除、動的な切り替えなどが必要であり、デバイスが多数になったとしても同様に動作できることが望ましい。システムの多様な変更に対して、容易にインテグレーションが可能なシステム構築がインテリジェント環境において重要であり、分散デバイス化及びそれら分散デバイスの容易な統合により、インテリジェント環境の柔軟かつ拡張性の高いシステム構築につながるものと考えられる。

## 2.3 視覚的情報支援

2.1 項にてインテリジェント環境における取り組みについて述べた。センシング（観測）結果からサービスを提供するには、何らかのアクチュエーションが必要であり、この手段の一つとして視覚的情報支援が挙げられる。この視覚的支援はユーザへの知的支援としてユーザに有用な様々な情報を視覚的に提供するものである。視覚的な情報支援は一般に音声を用いるよりも提供できる情報量が多く、情報を直感的かつ分かりやすい形で提供することが可能であり有効な手段の一つとして考えられる。そこで以下に視覚的支援に関して、提示手法の異なる研究事例を紹介する。

### 2.3.1 The Everywhere Display Project

The Everywhere Display Project は IBM 社による研究である。「どこでも」、「いつでも」情報にアクセスできるといったユビキタスコンピューティング環境の実現の手段のひとつとして、パンティルト駆動のプロジェクタを用いた情報提示を試みている（図 2.12）[18]。このためユーザは情報表示機器を携帯することなく、また任意の提示位置に投影が行え、情報を受け取ることが可能となる。またカメラを用いてユーザの行動を検知することで、タッチスクリーンとしての利用が可能となる。このようなパンティルト駆動のプロジェクタを用いた情報提示支援の研究事例は、この他にもいくつか挙げられる[19][20]。

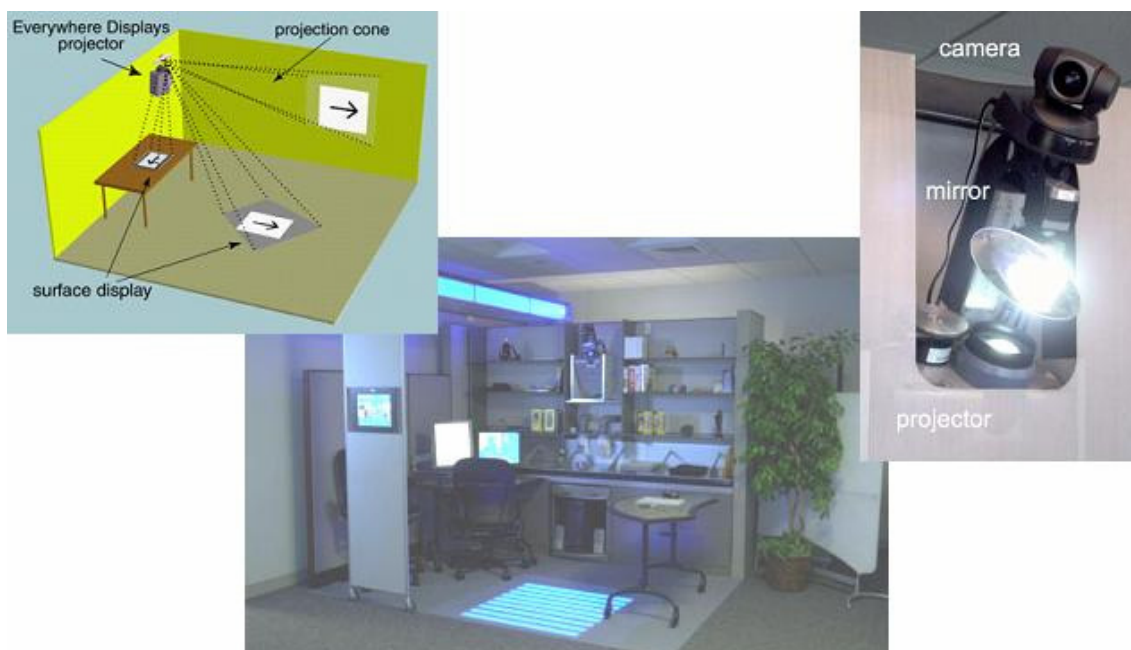


図 2.12 The Everywhere Display Project



### 2.3.2 Office of the future

Office of the future はノースカロライナ大学チャペルヒル校によって研究されており、次世代オフィス環境の提案としてコンピュータグラフィックやコンピュータビジョンを用いた仮想環境に関する研究が行われている [21] (図 2.13)。具体的には複数台のプロジェクタを用いたレンダリング広域パノラマ画像の提示やカメラを併用した遠隔グループディスカッションなど、より臨場感のある情報提示・ビジュアライゼーションに主眼を置いている。これらの技術に基づきバーチャルリアリティや遠隔地への画像通信を用いた医療手術支援システムの提案なども行っている[22]。

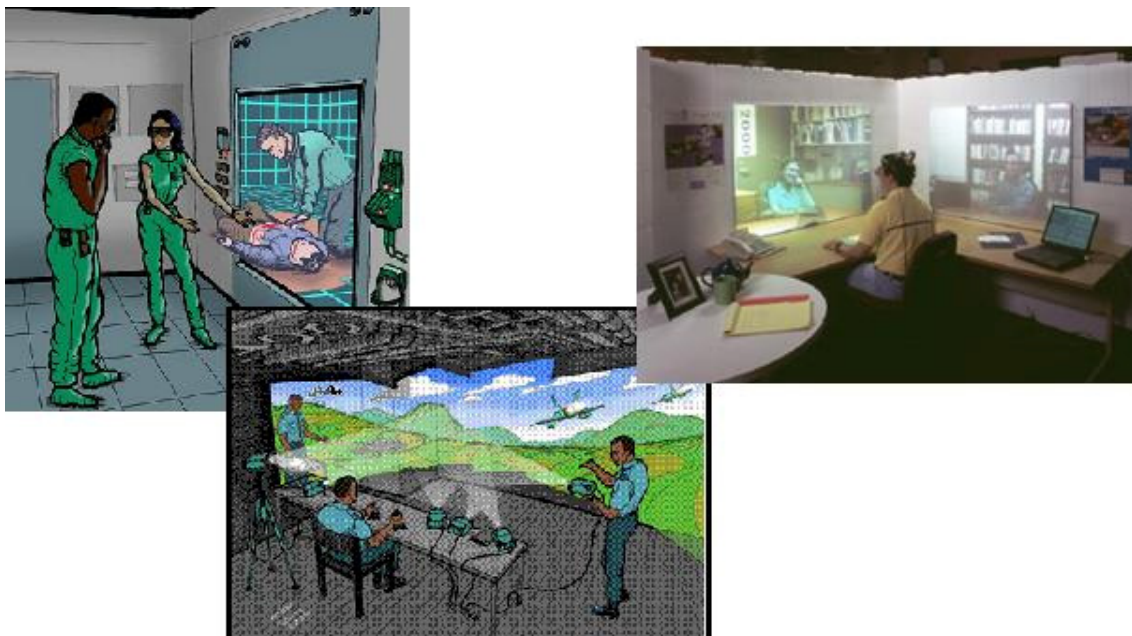


図 2.13 Office of the future

### 2.3.3 iLamps

iLamps では従来環境に設置するプロジェクタをよりパーソナリティの高いものとするべく携帯型プロジェクタの提案を行っており、三菱社によって行われている研究である[23]。iLamps にはカメラと傾きセンサが搭載されており、ズームやフォーカスの自動調整が行え、壁面に記されたテクスチャまたはバーコードを読み取ることによる個人情報サービスの可能性を示唆している（図 2.14）。これによってユーザは自分の意思に合わせて情報を受け取ることが可能となる。また小型化し携帯電話に搭載することでの、次世代型のインテリジェント情報端末の可能性なども検討されている[24]。



図 2.14 iLamps

### 2.3.4 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) は 1973 年に Myron Krueger 氏によって提唱された概念であり、拡張現実または複合現実などと呼ばれる。これはバーチャルリアリティによるコンピュータ上に構築された環境を再現するだけでなく、現実の環境に付加情報として電子情報をユーザに合成提示するものである[25]。図 2.15 は大阪大学および NAIST（奈良先端科学技術大学院大学）による研究事例[26][27]であり、アノテーションと呼ばれる合成される電子情報として物体の補足や関連情報などをその物体付近に提示することで、道案内や観光案内、オブジェクトの説明などが行える。情報提示デバイスにはその特徴より位置センサの搭載された HMD（ヘッドマウントディスプレイ）や透過型ディスプレイが主に用いられる。



図 2.15 Augmented Reality



## 2.4 インテリジェント環境における視覚的情報支援の考察

2.3 項にて視覚情報支援における研究事例を紹介した。以下にこれらの視覚的情報支援をもとにインテリジェント環境における視覚的情報支援について考える。視覚的な情報支援は情報を直感的かつ分かりやすい形で提供することが可能であり、インテリジェント環境においても同様に知的支援への有効な手段の一つであるといえる。そしてインテリジェント環境はユビキタスコンピューティングとの結びつきが強く、即座に情報にアクセスするため視覚的支援をサービスとしている例も多い。従来、環境には「見えない情報」が数多く埋まっていると言え、古くからこの情報を視覚的に提供してきた。例えば街で見かける看板は「ここにスーパーがある」、「食品売り場はここである」、「ここは事故が起きやすく危険である」といった「見えない情報」を提供している。構築されたインテリジェント環境においても同様のことがいえ、さらにインテリジェント環境では観測を行うことでより提供できる情報の範囲が広がり、ユーザの状況に応じた提示も可能となる。

これよりインテリジェント環境における視覚的情報支援の方法についての検討を行うため、2.3 項にて取り上げた研究事例の評価を行う。

### ○ ユーザに対する装着の負担

Augmented Reality では現実空間に情報を付加するというコンセプトであり、ユーザの視覚に電子情報を合成するためにユーザは HMD や透過型ディスプレイなど表示機器を装着する必要がある。ユーザは直接モノを見ることができず生活の妨げになる可能性が考えられる。またユーザ自身が機器を持っていないとサービスを受け取ることができない。これは iLamps においても同様である。これに対して The Everywhere Display Project や Office of the future は環境に設置したプロジェクタによって情報を提示するため、ユーザが表示機器を持つ必要はなく、環境に誰でもサービスを受けることが可能である。

インテリジェント環境における生活環境への応用を考慮すると、ユーザが装置を装着しない方が自然であり、視覚的支援以外のサービスも受けられるインテリジェント環境において、このためだけに情報装置を装着することも望ましくない。

### ○ 状況に応じた情報の提示

Office of the future や iLamps はユーザに対して質の高い情報を提示することを目的としており、ユーザがサービスを利用する立場にある。一方で The Everywhere Display Project や Augmented Reality はサービスがユーザに「ユーザに見えない情報」を提供するというシステム側からの能動的なサービスを可能にしている。インテリジェント環境では、空間内の人間をセンシング（観測）することでその結果に基づいて空間内の人間に支援を行うものであり、提示場所やコンテンツに対して人の状況に合わせた提示が行えるという利点があ

る。そして The Everywhere Display Project のようなアクティブプロジェクションでは実環境に提示を行い、Augmented Reality ではユーザの装着したディスプレイに提示を行う。

### ○ サービス環境の構築と実装

どの情報提示支援においても何を表示するかといったサービスを構築する必要がある。The Everywhere Display Project や Office of the future では環境側にサービスを構築する必要があり、構築された空間内でしかユーザは情報を受け取ることができない。一方、iLamps や Augmented Reality はユーザ自身が表示機器を携帯できるためどのような環境においてもサービスを受けることが可能である。しかしながらコンテンツを呼び出す際にユーザ自身（表示機器）の位置情報や姿勢を取得しサーバにアクセスするか、環境にコンテンツを埋め込む必要があり、同様に環境に合わせた構築が必要となる。

そこでサービスの構築の簡便さや機能や機器及び機能の拡張性といったインテグレーションが問題となる。Augmented Reality はサーバでのサービスの管理方法や埋め込む情報の記述方法などシステムアーキテクチャに関する研究が見受けられる。しかしながらその他の研究事例に関してはこの点には議論があまりなされていない。

以上の考察より、本研究ではインテリジェント環境における視覚的情報支援として装置の装着を必要とせず、提示場所や提示内容に対してユーザの状況に合わせて情報を提示できるアクティブプロジェクションによる提示手法に着目する。また、この手法では提示した画像に対してユーザの観測を行うことで、提示画像をタッチパネルのようなユーザインタフェースとして利用することが可能である。これよりインテリジェント環境を活用した、観測に基づくインタラクティブな情報提示支援が実現できると考えられる。さらに機器や機能の拡張性や容易なシステムインテグレーションを考慮することにより、実世界インタラクション機能の拡張可能なサービスプラットフォームへと発展できるものとする。

表 2.1 インテリジェント環境における提示手法の評価

研究事例	提示手法	ユーザに対する 装着の負担	状況に応じた情報 の提示	機器及び機能の 拡張性
The Everywhere Display Project	アクティブプロジェクション	○	○	NA
Office of the future	複数プロジェクタ	○	×	NA
iLamps	携帯型プロジェクタ	△	△	NA
Augmented Reality	ユーザ装着型ディスプレイ	×	○	○

## 第 3 章 知能化空間—Intelligent Space

第 2 章にて、ユーザに対する重要な支援のひとつである視覚的情報支援をインテリジェント環境に適用することで多様なサービスが実現可能であることを述べた。提案する情報提示システムは我々の研究室にて進められてきたインテリジェント環境である知能化空間にて実装を行っている。本章ではこの知能化空間を紹介し、現在のシステム構成を説明する。

### 3.1 空間知能化と知能化空間

空間知能化とは、「様々なセンサを用いて空間内の人間を観測し、ネットワーク化されたコンピュータやロボットがその意図を推定し理解した上で情動的・物理的支援を行う」機能を空間に持たせることである[28][29]。空間知能化とは、空間に「観測する」、「理解する」、「働きかける」という機能を実現するプロセスであるということができる。我々の研究室ではこの「空間知能化」された空間を知能化空間 (Intelligent Space) と称し、この空間知能化に関する研究を行っている。知能化空間は新たに開発されたセンサやロボットなどを自由に移植できる空間を想定し、ロボティクスや情報を主体とした様々なテクノロジーを埋め込むプラットフォームとなることを目指している。知能化空間の概念図を図 3.1 に示す。

知能化空間は図 3.1 にも表記されている DIND (Distributed Intelligent Network Device: 分散知能化ネットワークデバイス) という概念に基づき、構想されている。DIND とは「観測する」、「理解する」機能を実現するデバイスであり、知能化空間の最も重要な要素である。図 3.2 に DIND の概念図を示す。DIND は主に情報を得るセンサ部、その情報を処理する演算部、情報をやり取りするネットワーク部及び電源部から構成される。センサ部で得られた情報を演算部で処理し、1 次データからコンパクトでロバストな 2 次データを抽出することで通信コストを下げる事ができる。DIND は対象空間全体をセンシングするために空間内に分散配置される。さらに、DIND は物理エージェントや表示機器を制御する機能を含んでいる。DIND は得られた情報を基に判断を行い、表示機器や物理エージェントを介して人間に適切なサービスを提供する。つまり知能化空間は様々な DIND の協調ネットワーク化による空間システムと言い換えることができる。

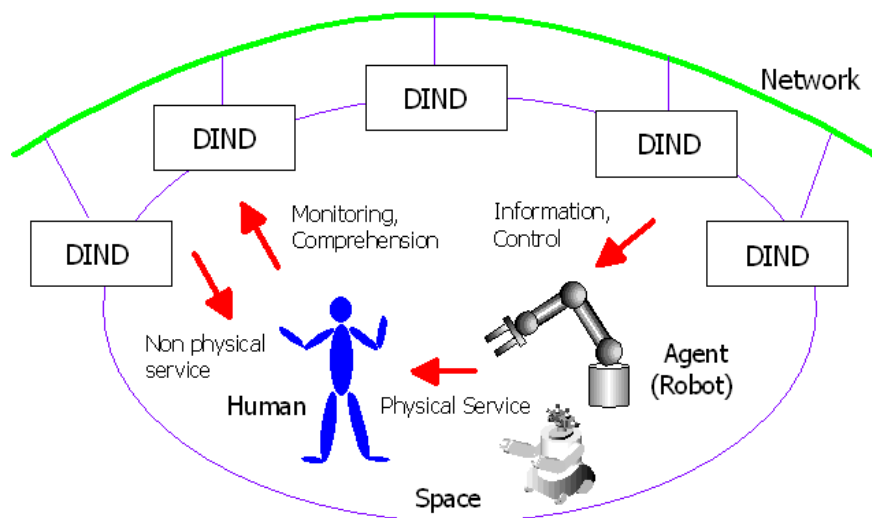


図 3.1 知能化空間－Intelligent Space の概念図

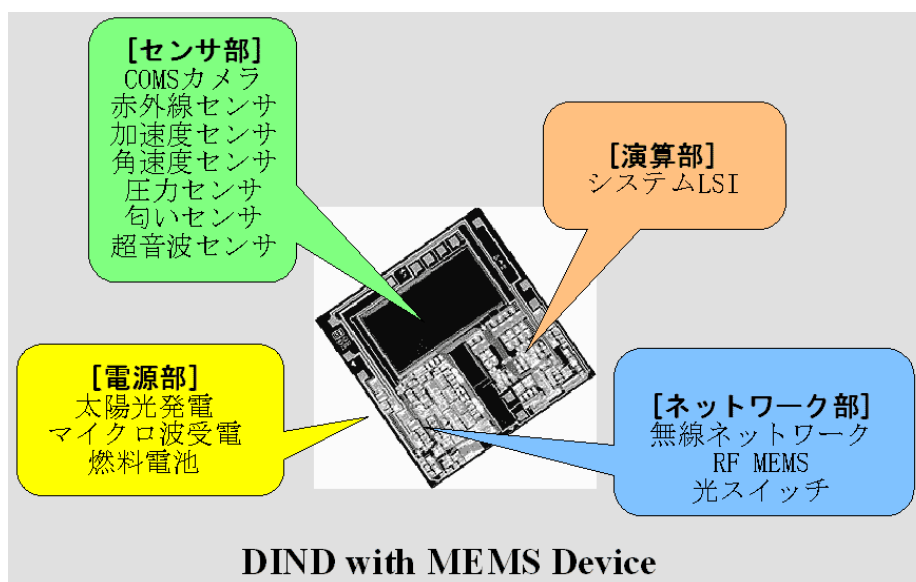


図3.2 DINDの概念図

次に空間知能化に関して現在実装されている機能及び取り組まれている研究について、上記に述べた「観測する」、「理解する」、「働きかける」の3つのプロセスに分け簡単に説明する。

#### ○ 観測する

知能化空間の核となる要素技術であり、環境を構成する量的、質的情報を獲得することを目的としている。このため様々なセンサを用いて空間内の人間及び人工物の観測、環境地図構築を行う。具体的にはカメラDINDを用いて単体及び複数の人間及び移動物体のトラ

ッキングなどを実現している[30][31]。また空間観測のための新たな画像処理アルゴリズムの研究が行われている[32]。

## ○ 理解する

環境内で振舞う人の活動観測から表現された上位の情報を抽出する。よってそれ自身意味を持たない物理量のデータをメタ的な情報の獲得につながるものと考えられる。例えば人の移動経路抽出によって移動ロボットの経路設計を支援する[33]ことや、空間内3次元座標にデジタルコンテンツを埋めることで実現された空間メモリの使用履歴による人の活動内容の抽出[34]などが挙げられる。

## ○ 働きかける

DINDによる「観測」及び「理解」によって得られた結果をもとに情動的及び物理的支援を行う。情動的支援ではディスプレイやスピーカなどを介し、人間に対する情報支援を行う。物理的支援では物理エージェントとして移動ロボットやマニピュレータなどが挙げられ、移動ロボットの複雑な環境下での柔軟な行動を実現するべく衝突回避や人の動きを考慮した経路計画[35]などが行われている。

# 3.2 システム構成

現在、知能化空間はおよそ 5[m]×5[m]の範囲の実験室環境で実現されている。現在の知能化空間の概観図を図 3.4 に示す。そして知能化空間の構成要素を表 3.1 に、システム構成を図 3.3 に示す。以下にシステム構成要素を DIND およびアクチュエータに分け、ハードウェアについて述べる。

表 3.1 知能化空間の構成要素

構成要素	製品名	主な用途
CCD カメラ	VC-C4R (Cannon)	観測
超音波 3 次元ロケーションシステム	ZPS-3D (古河産機システムズ)	観測
レーザ式測域センサ	URG-04LX (北陽電気)	観測
2 輪駆動型移動ロボット	Pioneer2-DX (ActiveMedia)	物理的支援
4 輪駆動型移動ロボット	PioneerP2-AT (ActiveMedia)	物理的支援

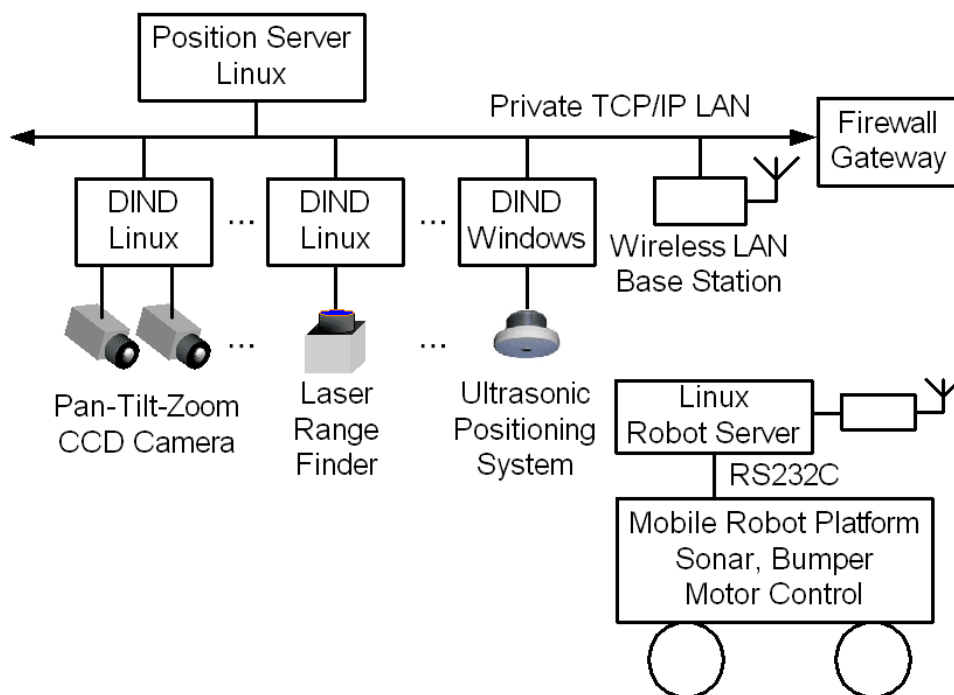


図 3.3 知能化空間の構成

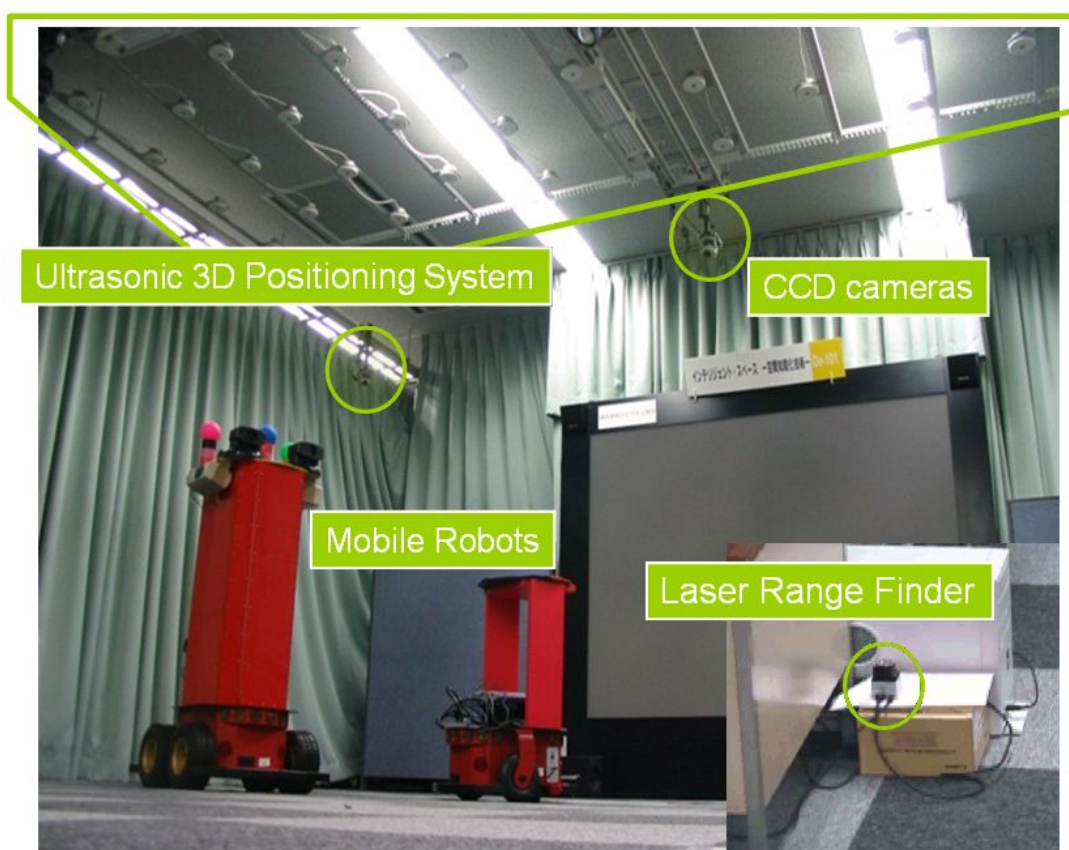


図 3.4 知能化空間の概観図

### 3.2.1 DIND

DIND は現在センサと PC の組み合わせにより実現されている。そして、実験環境には 6 台の CCD カメラと超音波 3 次元ロケーションシステム、レーザ式測域センサが配置されている。CCD カメラは Canon 社製 VC-C4R、超音波 3 次元ロケーションシステムは古河産機システムズ社製 ZPS-3D (Zone Positioning System- 3Dimension)、レーザ式測域センサは北陽電気社製 URG-04LX である。

CCD カメラは 2 台を 1 組としてビデオキャプチャボード 2 枚を組み込んだ PC (OS: Linux、CPU: PentiumIV 3.0GHz) 1 台に接続されており 1 台の DIND でステレオ視による物体の 3 次元位置計測が可能となっている。

超音波 3 次元ロケーションシステムは空間のほぼ全域に合計 96 個の超音波受信機 (リーダー) が設置されており、これらが演算ユニット (OPU、リーダーからの情報を基に距離を演算)、ID (ICU、タグに呼出信号を送信)、コントローラユニット (CU、ICU に同期信号を送信。OPU からの距離情報を収集) を介して 1 台の PC (OS: WindowsXP、CPU: Celeron 2.0GHz) に接続されている。この装置は、20-80mm の精度で超音波受信機 (タグ) の 3 次元位置の取得が可能となる。

レーザ式測域センサは走査時間 100ms/scan で最大で距離約 4m、範囲角 270 度までの範囲での計測が可能となっている。分解能は距離に対し約 1%、角度に対しては 0.36 度である。なお本体はインタフェースとして USB 及び RS-232C ケーブルを持ち、USB によって DIND の PC に接続されている。

### 3.2.2 アクチュエータ

アクチュエータは知能化空間における働きかけを行うエージェントである。現在、物理エージェントとして 2 台の車輪型移動ロボット (ActiveMedia 社製 Pioneer2-DX、ActiveMedia 社製 PioneerP2-AT) が存在する。ここでは本システムに用いられる Pioneer2-DX について詳細を述べることにする。図 3.5 にこの移動ロボットの概観図を示す。移動ロボットの座標系は、車軸および鉛直方向と垂直な方向で移動ロボットの前方が正となるように  $x$  軸を、鉛直方向に上方が正となるように  $z$  軸をとり、右手系となるように  $y$  軸を定めている。このロボットは自己位置を ZPS-3D から取得するためのタグ 2 個と、距離センサとしての超音波センサを 16 個搭載している。タグの位置はロボット座標系でそれぞれ(0.04, 0)、(-0.29, 0)[m]である。また DIND との情報の送受信に無線 LAN 内臓のノート PC が設置されている。

またその他の支援アクチュエータとしてディスプレイやスピーカなどが挙げられるが、サービスとしての実装に至ってはならず、本論文にて提案するアクティブプロジェクトの

ような知的支援デバイスはまだ実装されていない。



図 3.5 移動ロボット (PioneerP2-DX)



## 第4章 RT ミドルウェアと空間知能化

第2章にて視覚的情報支援及びインテリジェント環境におけるサービス範囲の拡大のため、容易なシステムインテグレーション及び拡張性の高いシステム構築の重要性を述べた。そして第3章にて知能化空間は様々なロボット技術が空間内に埋め込まれ知能化された空間であり、ロボット技術を自由に移植できるプラットフォームとなるべく進められている研究であることを述べ、これらの技術を一つのシステムとして統合するべくインテグレーションの重要性を示した。そこで知能化空間における本システムはロボット用ソフトウェアプラットフォームである RT ミドルウェアを用いて構築されている。本章ではその RT ミドルウェアについて述べる。

### 4.1 RT ミドルウェアの背景及び概要

RTミドルウェア\*はユーザの幅広いニーズにあわせた新しいロボットシステムを容易に構築するため開発が行われているソフトウェア基盤技術のことである。RTミドルウェア開発は高齢化社会の到来、日常生活空間によるロボットシステムの実現、そしてロボットサービスを提供するソリューションビジネスの創出を考慮した経済産業省による21世紀ロボットチャレンジプログラムの施策のもと、新エネルギー・産業技術統合開発機構（NEDO）によるロボット用分散ミドルウェアの研究開発プロジェクトによって始まった。そして、これをうけ独立行政法人 産業総合技術研究所（以下、産総研）・知能システム研究部門は国家プロジェクトとしてRTミドルウェアに関する研究開発を行い、OpenRTM-aist（Open Robot Technology Middleware implemented by AIST）を開発した[36]。OpenRTM-aistは技術の普及、利用者からの技術的なフィードバックによる技術開発の加速のため、評価用として一般公開リリースされている。

\* ミドルウェアとはOSよりも高度で具体的な機能を提供する、OSとアプリケーションソフトの中間的な機能を持つソフトウェアのことである。アプリケーションソフトに共通する機能をアプリケーションソフト自身で開発することは非効率であり、通常OSの機能に組み込まれる。しかし特定分野での共通機能の場合、OSでの実装は難しく、これをミドルウェアによって提供する。またOS、ハードウェアに依存せずにアプリケーション開発を容易にする特長も持つ。よってRTミドルウェアとはロボット技術の総称であるRT（Robot Technology）に特化したミドルウェアを指す。

## 4.2 RT ミドルウェアの基本的機能

RT ミドルウェアはロボットそのものや機能部品などの RT 要素をソフトウェアレベルでモジュール化し、システムインテグレーションを効率的に行うためのソフトウェアプラットフォームである[37]。このモジュール化された RT 要素を RT コンポーネントと呼び、RT ミドルウェアでは RT コンポーネントによるシステム構築を行うためのフレームワークを提供している。図 4.1 に RT コンポーネントを用いたシステム構成の概念図を示す。このためロボットシステムはセンサやアクチュエータといったハードウェア、機能やアプリケーションといったソフトウェアなどの RT 要素を RT コンポーネント化し、それら RT コンポーネントを RT ミドルウェアによる通信ネットワークを介して組み合わせることで、自在なシステム構成を可能とする[38]。

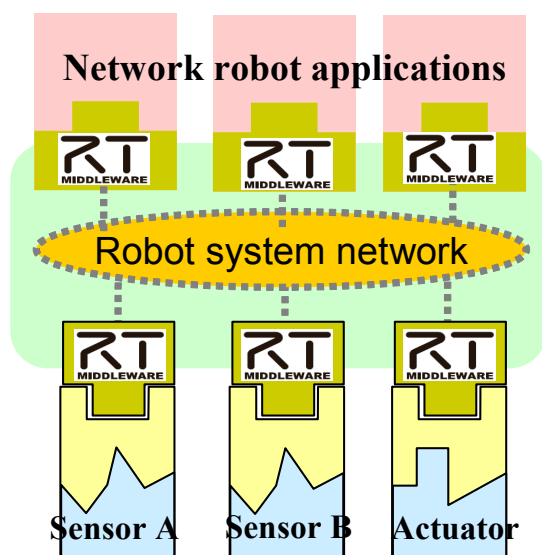


図 4.1 RT コンポーネントを用いたロボットシステム

### 4.2.1 RT コンポーネント

図 4.2 に RT コンポーネントの基本概念図を示す。RT ミドルウェアにおけるソフトウェアモジュール化の単位であり、ネットワーク上に分散されたコンポーネントへの透過的アクセスを実現するため、分散オブジェクト技術（CORBA）を用いて実装されている。RT コンポーネントは主に以下に示す Activity、InPort/OutPort によって構成されている。

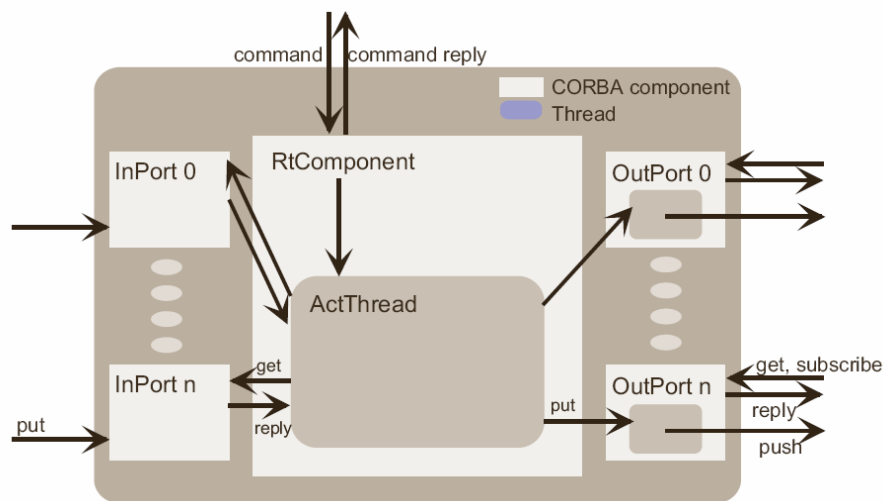


図 4.2 RT コンポーネントの基本概念図

#### ○ Activity

RT コンポーネントの動作を決め、実装を行うメインの部分である。図 4.3 に Activity における状態遷移を示す。この Activity は独自の状態遷移を持ち、外部及び内部からのイベントに応じ、状態が遷移される。状態遷移は「初期化 (Initialize)」、「起動 (Active)」、「待機 (Ready)」、「エラー (Error)」、「終了 (Exiting)」などロボットに用いられる基本的な状態をカバーしている。なお RT コンポーネント一つにつき一つの Activity を持ち、分散オブジェクトとして独立して処理が行われる。このため当然ながら RT コンポーネント自体が単体においてもアクティブに動作が可能となっている。

#### ○ InPort/OutPort

RT コンポーネントにおける入出力共通インタフェースであり、RT コンポーネント間のデータの送受信を受け持つ。InPort はその他の RT コンポーネントから送られてきたデータと同一のデータ型のみ接続可能となる。このため設計した RT コンポーネントの仕様に従い、InPort/OutPort の送受信データのプロトコルを決めることで誤ったデータ型の送受信を防ぎ、その RT コンポーネントの役割を明確にしている。

システム開発者は Activity にて「どのような機能をコンポーネント化するか」、InPort/OutPort にて「どのようなデータを RT コンポーネント間でやりとりするか」といった RT コンポーネントの仕様を設計し、RT コンポーネントの実装を行う。

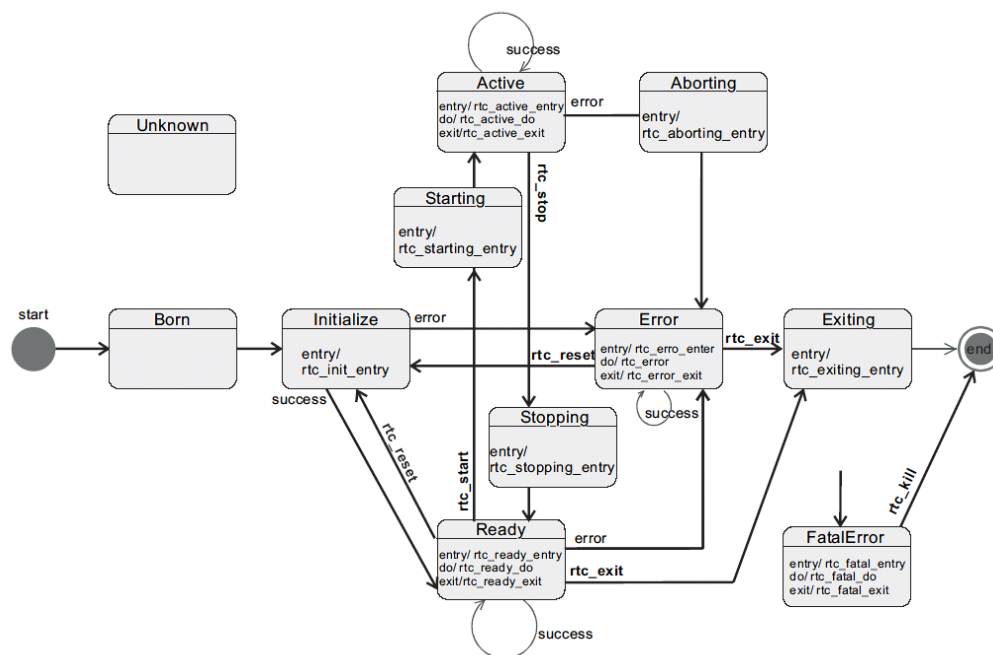


図 4.3 RT コンポーネントの Activity における状態遷移

## 4.2.2 RTCLink

RT ミドルウェアでは RT コンポーネントの接続や起動、停止または RT コンポーネントの検索など RT コンポーネントの様々な管理を行うための GUI ツールとして RTCLink が用意されている。図 4.4 に RTCLink によるシステム動作の様子を示す。この図に示すようにシステム動作に RTCLink を用いた場合、RT コンポーネントを起動した PC から RTCLink 上に RT コンポーネントを呼び出す。そしてシステムドローウィンドウに配置し、RT コンポーネント（青色四角形）の互いの InPort/OutPort（緑色）を接続することでシステムを構築し、動作を行う。

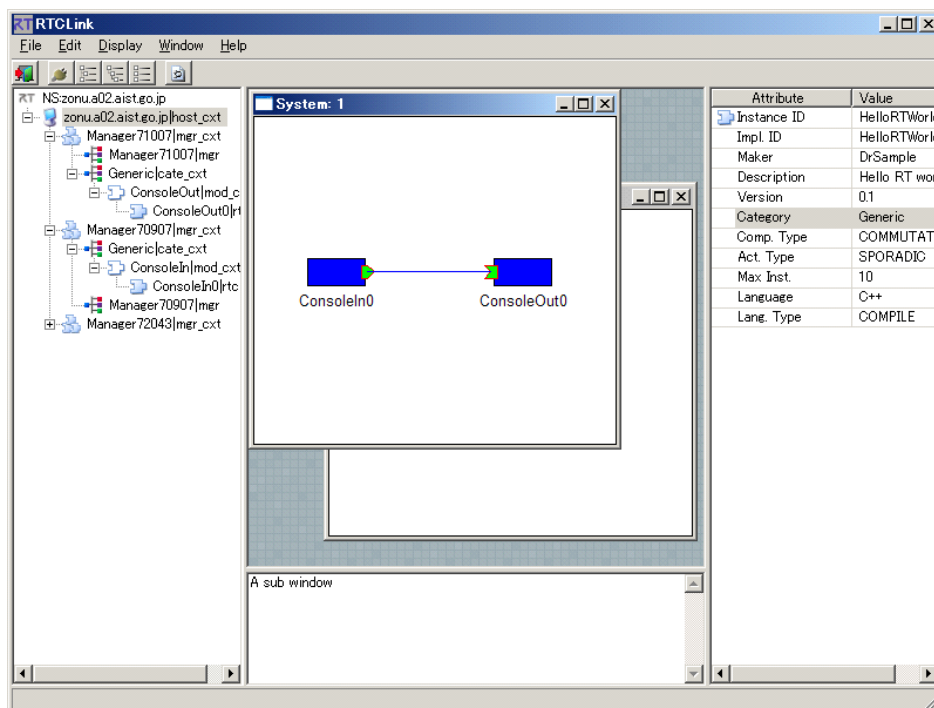


図 4.4 RTCLink によるシステム動作

### 4.2.3 組み込み機器用コンポーネント RT Component-Lite

RT Component-Lite は PIC や H8 等の軽量デバイスで動作する組み込み機器用の RT コンポーネントである[39]。RT ミドルウェアは CORBA 上に実装されているが、リソースの乏しい軽量デバイスでは CORBA を利用することは非常に困難である。このため RT Component-Lite を RT ミドルウェアによるネットワークには直接接続せず、RT Component-Lite と通常の RT コンポーネントとの間に代理として、Proxy コンポーネント (PC 側) を設ける。そしてこの Proxy コンポーネントが RT Component-Lite と軽量化された独自のコマンドをやりとりする。よって RT Component-Lite と Proxy コンポーネントの 2 つによって通常の RT コンポーネントと同等に扱うことが可能となっている (図 4.4)。そしてシステムを構成する RT ミドルウェアネットワークの参加が可能となる。また現在は無線ノード対応としても開発が進められている[40]。

RT Component-Lite は組み込み機器の RT ミドルウェアによる統合を目的としたものであり、この RT Component-Lite を実装するネットワーク IO 基盤として“small RTUnit”と呼ばれる実験用制御ユニットが用意されている。図 4.6 に small RTUnit の概観を、表 4.1 に small RTUnit の仕様を示す。small RTUnit は入出力制御用マイコンとして PIC16F877A、ネットワークインターフェースとして XPort (Lantronix 社) によって構成されている。よって軽量デバイスで動作するセンサやアクチュエータの RT コンポーネント化は、この small RTUnit を

基本ユニットとして制御基盤を追加し、RT Component-Lite を実装することによって実現できる。

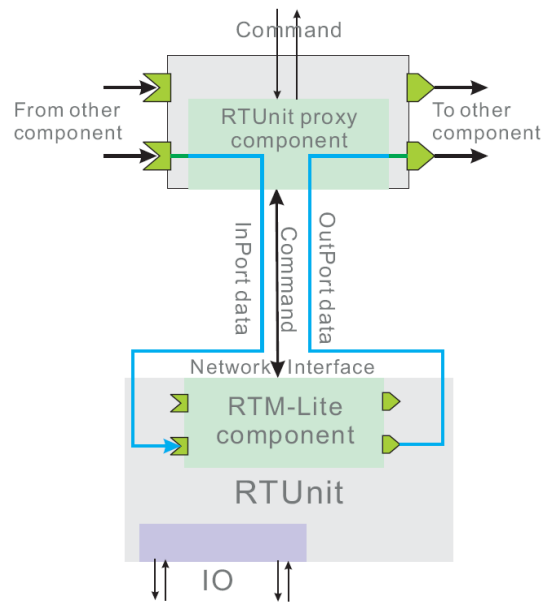


図 4.5 RT Component-Lite と Proxy コンポーネントとの接続の様子

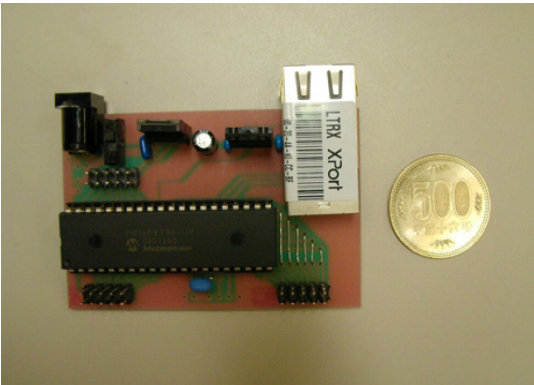


図 4.6 small RTUnit

表 4.1 small RTUnit の仕様

マイコン	PIC16F877 20MHz
通信インタフェース	Lantronix XPort
ロジック電源	5V
A/D	8ch 10bit (逐次変換型, 35μs/ch)
DIO	24ch (内 8ch は A/D と共有)
シリアル	2ch (内 1ch は XPort との通信用)
その他	12V 電源コネクタ

ここで RT Component-Lite を用いたシステム実装例としてセンサ情報の視覚化アプリケーションを紹介する (図 4.7)。図中に示すセンサユニットは焦電センサと small RTUnit によって構成されており、空間内に配置することで人体感知が可能となる。この人体感知センサユニット 6 台を空間の領域に分割配置することでその領域内の人の有無を検知する。そして、この情報をサーバに集め OpenGL を用いたアニメーションによって視覚化を行っている。このアニメーションはセンサユニットが配置された空間を表しており、それぞれの領域内に人を検知するとアニメーション内のオブジェクトが動くものとなっている。

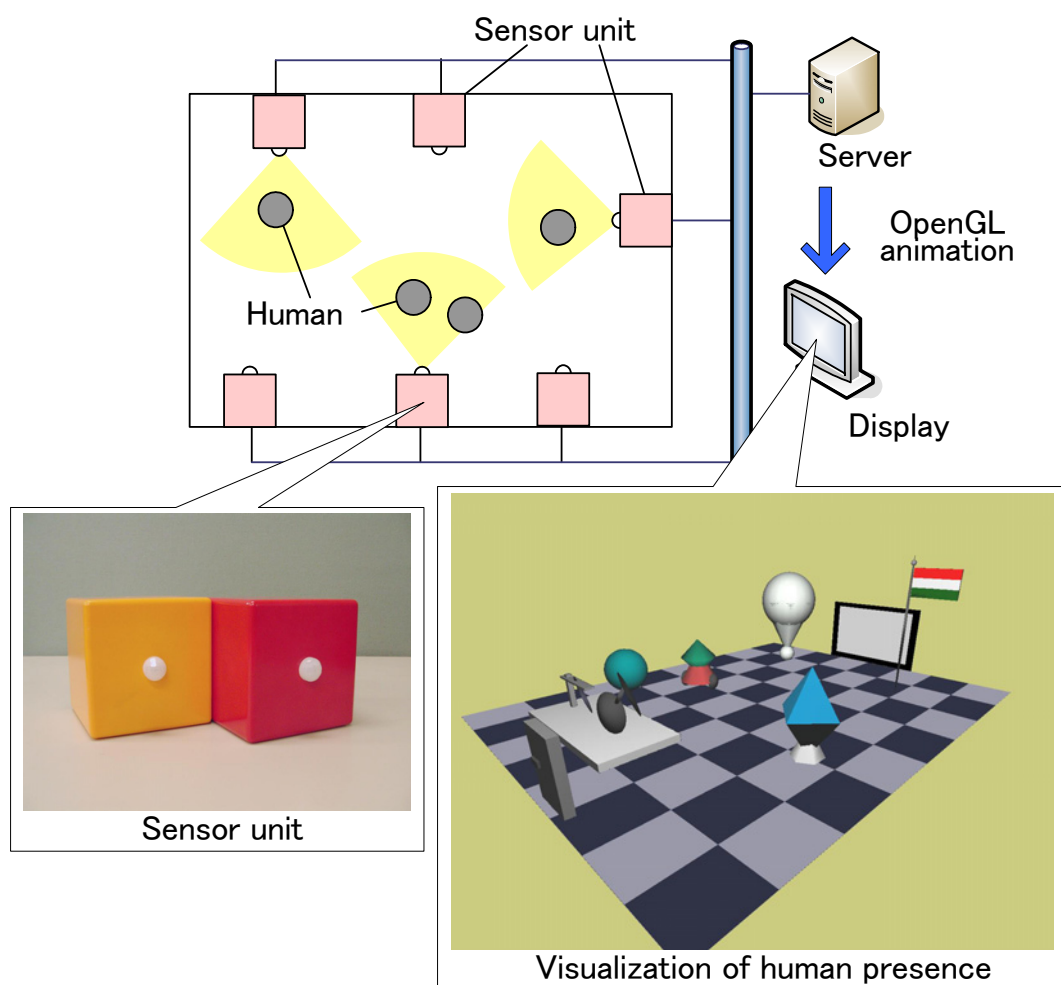


図 4.7 RT Component-Lite を用いたセンサ情報の視覚化例

### 4.3 空間知能化における RT ミドルウェアの役割

空間知能化では空間内にセンサやロボット、アクチュエータ、コンピュータといった Robot Technology (RT) 機器を分散配置し環境構築を行い、そのため空間知能化技術のため様々な研究及び開発が行われている。しかしながらそれらの技術を統合し空間全体を一つのシステムとして動かすことを考えると、そのシステムは大規模かつ複雑なものになってしまうことが予想される。そのため多少のシステム変更でさえ大変困難であることや構築環境の条件が限定されてしまう。

実生活空間への応用及び研究開発の促進に辺り、知能化空間のシステムは日々刻々と変化する動的環境に対しても、また今後発展が予想され日々進化するロボット技術に対しても、柔軟に対応できなくてはならない。つまり環境の変化や用途に対し柔軟で拡張性の高いシステム構築が望ましく、ユーザのニーズに合わせた多様なインテグレーションが必要である。そこで知能化空間における RT ミドルウェアの導入を図る。RT ミドルウェアは分散オブジェクトミドルウェア (CORBA) をベースにしたロボットソフトウェアプラットフォームであり、知能化空間のようなネットワーク指向かつコンポーネント指向のシステム構築に適しているといえる[41]。

第3章にて述べたように空間知能化は RT 技術を自由に移植できるプラットフォームを想定しており、これを実現するため知能化空間を構成する様々な要素を RT コンポーネント化し統合を行っていく。そして空間知能化のフレームワークに RT ミドルウェアを導入することにより知能化空間が RT の集約の場となることを期待している (図 4.8) [42]。

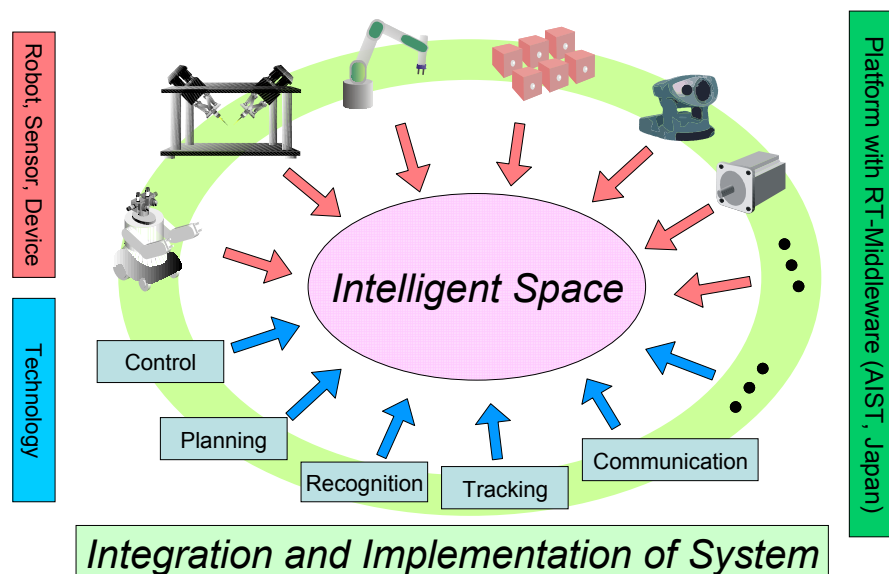


図 4.8 RT ミドルウェアによる知能化空間のシステムインテグレーション



## 第 5 章 知能化空間における情報提示システム

第 2 章においてインテリジェント環境における視覚的情報支援の有効性及び拡張性の高いシステム構築の重要性を議論し、第 3 章において知能化空間の概念及び現状について述べた。これらをうけて、これより本章では知能化空間における視覚的情報支援としてアクティブプロジェクタを用いた情報提示システムを提案する。

### 5.1 知能化空間における情報提示支援

知能化空間における視覚的情報支援を目的とし、アクティブプロジェクタを用いた情報提示支援を提案する。知能化空間における情報提示支援の概念図を図 5.1 に示す。2.4 節にて述べたように、提案する情報提示支援は空間内に設置されたパンティルト機構のアクティブプロジェクタを用いて人の状態に合わせたインタラクティブな情報提示を実現するものである。

知能化空間における観測では空間に配置されたセンサを用いてユーザにおける情報として人の位置や向きなどの人間の状態を取得することが可能である。また空間情報として空間内に存在するオブジェクト情報を取得することが可能である。具体的には出入り口や机などの場所に関する情報や、そこで何をするかといった属性によって分類される詳細情報であり、日常空間において情報提示を行う際に空間には様々なオブジェクトが存在することが想定される。

これら知能化空間の観測によるユーザの観測と予め埋め込まれた空間情報を用いることで、アクティブプロジェクタは従来の単純かつ一方的な情報提示に対し、提示場所や提示内容に対してユーザの状況に合わせて情報サービスを提供できると考えられる。またアクティブプロジェクションにおけるユーザインタフェース機能によりインタラクティブな情報提示サービスが実現できる。機器や機能の拡張性や容易なシステムインテグレーションを考慮することにより、実世界インタラクション機能の拡張可能なサービスプラットフォームへと発展できるものとする。

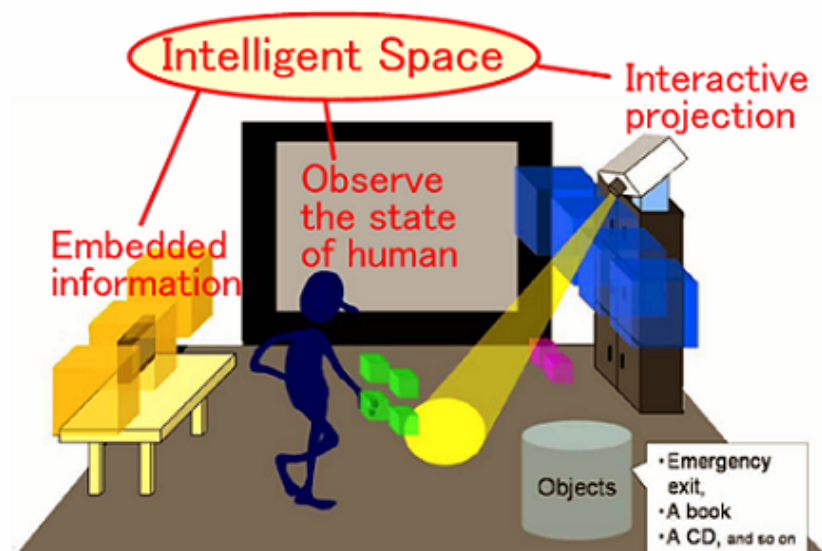


図 5.1 知能化空間におけるアクティブプロジェクタを用いた情報提示支援

## 5.2 アクティブプロジェクタの開発

本システムの情報提示デバイスであるアクティブプロジェクタの開発を行った。以下にそのハードウェア及びシステム構成について述べる。

### 5.2.1 ハードウェア構成

アクティブプロジェクタの概観図を図 5.2、その仕様を表 5.1 にそれぞれ示す。アクティブプロジェクタはパンティルト機構を持った可動プラットフォームにプロジェクタを搭載することで構成され、任意の位置への情報提示を実現する。パン可動回転角は 337.5 度、ティルト可動回転角は 141 度であり、空間の天井や壁面に設置し空間内の任意の位置への提示する上で十分な可動範囲を持った機構と言える。ただし当然ながら環境の間取り、投影可能範囲等により適切な設置位置の検討が必要である。

またアクティブプロジェクタは稼動プラットフォームにプロジェクタを搭載することで実現しているため、プロジェクタまたはそれ以外の機器と載せ変えることも可能である。本システムではプロジェクタとしてプラスビジョン社製 V-1100 を採用しており、表 5.2 にその仕様を示す。プロジェクタに関する仕様として方式や輝度、コントラスト比、画素数などが投影画像の明るさや鮮明さを決める要素となる。プロジェクタが日常空間内で投影を行うには輝度による影響が最も強く反映し、環境によってはより輝度の強いプロジェクタを採用する必要がある。また投映距離比は投映距離を 1m としたときの投影画像の大きさ

を示し、投影画像の大きさを制御するためのパラメータとなる。投映角度とは図 5.3 に示すように投影方向の水平方向からの傾きを示す。任意の位置に対する投影を実現するためのパラメータとなる。なおパンティルトプラットフォームの分解能は 0.35[deg]であり、投映距離 10[m]を仮定した円弧の分解能は式(5.1)より 61.1[mm]とプロジェクタでの投影としては十分といえる。

$$0.35[\text{deg}] \times 10[\text{m}] \times \pi = 61.1[\text{mm}] \quad (5.1)$$



図 5.2 アクティブプロジェクタ

表 5.1 アクティブプロジェクタの仕様

全長[mm]	L180×W140×H290
可動範囲(パン)[deg]	$0 \leq \theta \leq 337.5$
可動範囲(ティルト)[deg]	$-70.5 \leq \varphi \leq 70.5$
分解能 [deg]	0.35
マイコン	PIC16F877A 20MHz
A/D Converter	8ch 10bit

表 5.2 プロジェクタ V-1100 の仕様

全長[mm]	L180×W141×H45
方式	DLP
最大輝度(ANSI ルーメン) [lm]	1000
パネル画素数	1024×768
コントラスト比	2000:1
投映距離比(縦×横)*[mm]	61.3×45.7
投映角度[deg]	17.2

\*投映距離比：投映距離 1m としたときの投影画像の大きさ

## 5.2.2 RT Component-Lite を用いたシステム構成

アクティブプロジェクトのパンティルト姿勢制御は制御対象をパン及びティルト姿勢角の2つとし、計算量が少ないためPCほどの性能を必要とせず、表 5.1 に示した PIC を用いて制御を行うものとする。知能化空間の概念よりネットワーク型分散デバイスとして開発し、そして空間知能化における小型デバイスの統合は空間知能化の日常生活空間への適用、汎用性の向上を考慮し、アクティブプロジェクトには第 4 章にて述べた RT Component-Lite を用いて実装を行った。

図 5.3 に回路設計図を示す。回路構成は 4.2.3 項にて述べた“smallRTUnit”を基本ユニットとして、モータドライブ回路を追加し実装を行った。この“smallRTUnit”は PIC16F877A と XPort (Lantronix 社) を搭載したネットワーク IO デバイスであり、LED スイッチランプ及び小型液晶ディスプレイ LCD を追加実装した。

パンティルト姿勢制御には 2 組のモータ及びポテンショメータを用いている。そして PWM (Pulse Width Modulation) による式(5.2)に示すような PD 制御を行っている。 $MV_{PD}$  は制御出力、 $e$  は偏差である。モータの特性をもとに Matlab Simulink を用いてシミュレーションを行い、その応答を観測した結果、比例ゲイン  $K_P$  及び微分ゲイン  $K_D$  をそれぞれ  $K_P=0.006$ 、 $K_D=0.01$  とした。

$$MV_{PD} = K_P \times e + K_D \cdot (de / dt) \quad (5.2)$$

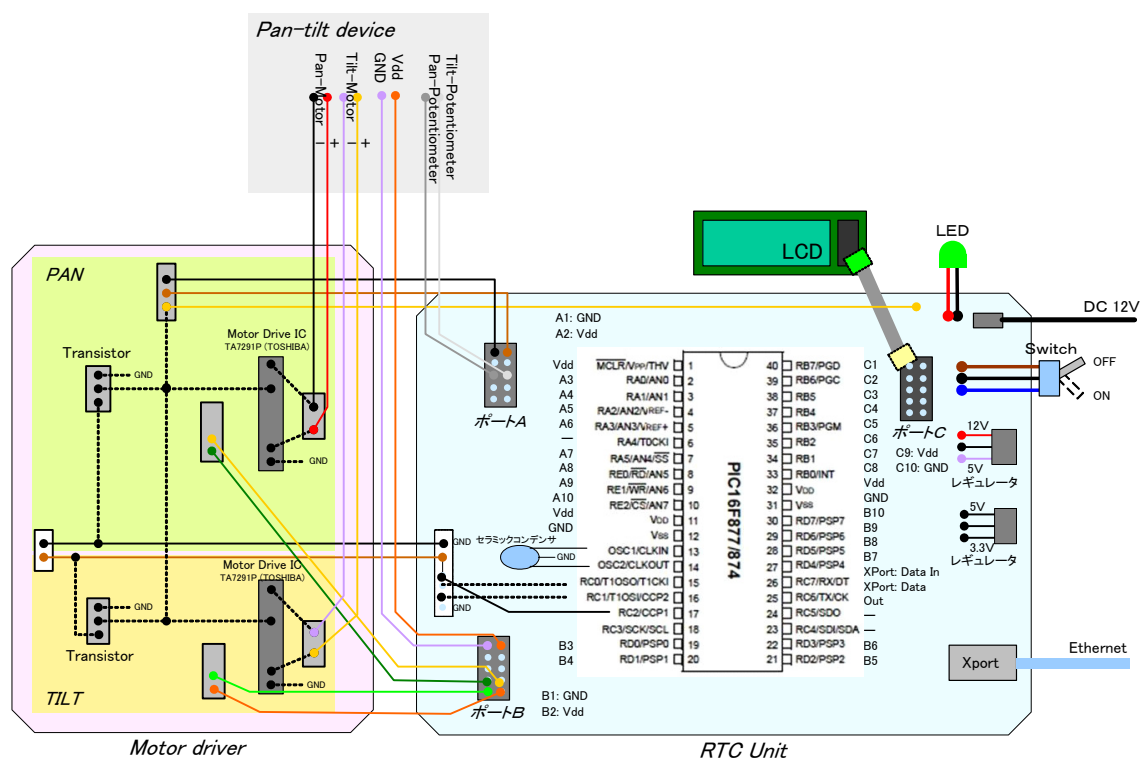


図 5.3 アクティブプロジェクトの回路設計図

図 5.4 に RT Component-Lite を用いたシステム構成を示す。アクティブプロジェクトは Ethernet ケーブルを介しネットワークに接続し、Proxy (PC) 側のコントロールパネルによりアクティブプロジェクトとの通信・制御が行える。このためアクティブプロジェクト単体での操作も可能となっている。なお制御ユニットは分散コンポーネントとして RT コンポーネント化されており、RT コンポーネントにおける共通入力ポートである InPort はパンティルト指令角 (Float×2)、出力ポートである OutPort は現在の姿勢 (Float×2) としている。そしてアクティビティは active のとき、指令角に合わせ駆動し LCD に現在の姿勢 (現在角) を表示、wait のとき現在の姿勢を LCD に表示する。(RT コンポーネントの機能については第 4 章を参照)

このコントロールパネルには以下のような機能が用意されている。

- RT Component-Lite の仕様の表示 (コンポーネント名、コンポーネントタイプ、開発者、入出力データ等)
- Proxy コンポーネントと RT Component-Lite との通信接続の操作
- RT Component-Lite (アクティブプロジェクト) のアクティビティの状態操作
- InPort/OutPort (指令角/現在角) の通信
- モード変更 (コントローラモード/センサモード)

コントローラモード：直接アクティブプロジェクトの姿勢を操作

センサモード：リクエストデータ (指令角) が InPort に入ることによって稼動

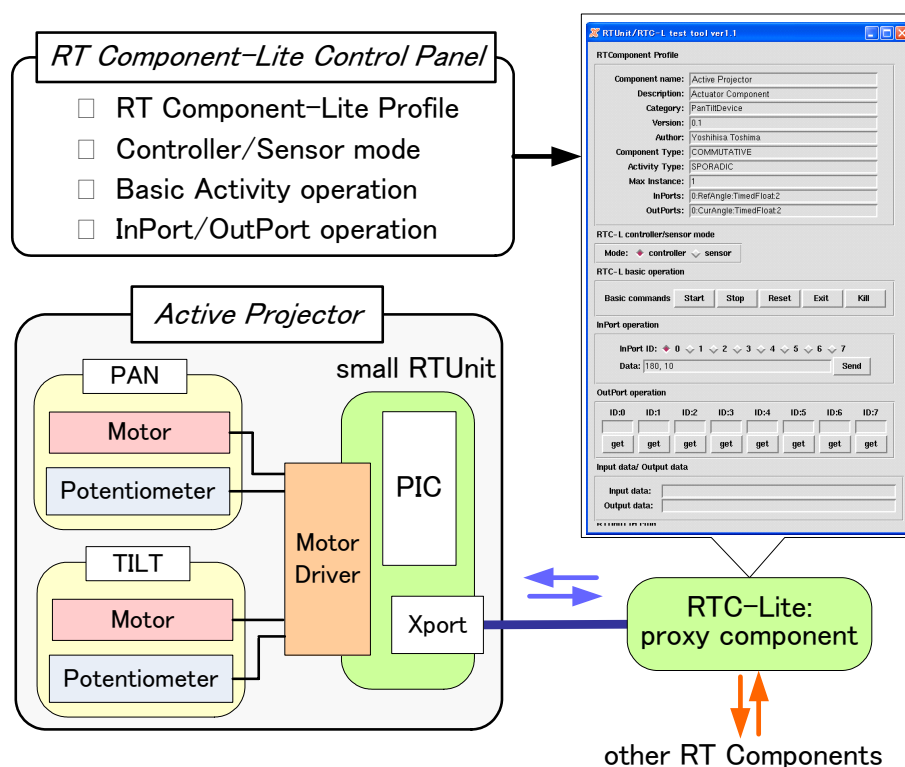


図 5.4 RT Component-Lite を用いたアクティブプロジェクトのシステム構成

## 5.3 情報提示システムの構成

5.3 項では提案する情報提示システムの構成について述べる。図 5.5 に RT コンポーネントによる情報提示システムの構成を示す。本システムでは RT コンポーネントを用いることで分散デバイスとして機器をシステムに実装し、この RT コンポーネントをつなぎ合わせることで分散デバイスの統合を実現する。そこで以前より議論している拡張性をもったシステムを構築するには、どのような機能の単位で RT コンポーネント化し、どのようなデータを RT コンポーネント間でやりとりすべきかといったことがインテグレーションにおける重要な論点となる。第 3 章にて述べたように知能化空間は「観測」、「理解」、「働きかけ」の 3 つの機能により構成されており、これらの機能にはそれぞれロボット技術が組み込まれている。例えば以下のような技術が挙げられる。

- 「観測」ではセンサによって計測された物理的データから観測結果を抽出するためのセンシング技術
- 「理解」では観測結果からサービスを提供するためのサービスデザインや観測結果からの意味的解釈
- 「働きかけ」ではリクエスト通りに機器を実際に動作させるための制御技術

そこで本システムは知能化空間における 3 つの機能である「観測」、「理解」、「働きかけ」の概念に基づき、それぞれの機能をコンポーネント化している。この「観測」、「理解」、「働きかけ」の機能が実装された RT コンポーネント群をそれぞれセンサコンポーネント、アプリケーションコンポーネント、アクチュエータコンポーネントと呼ぶことにする。このようにセンサコンポーネントはセンサデバイスに観測機能を含んだ分散デバイス、アクチュエータコンポーネントはアクチュエータデバイスにリクエストに合わせて上位レベルで動作する機能を含んだ分散デバイスとなる。提案する情報提示システムでは、このセンサコンポーネントからの **OutPort** から出力する観測結果のデータ構造をユーザの位置と向きとする。一方、情報提示を働きかけるアクチュエータはアクティブプロジェクトであり、これは「何」を「どのように」提示するかといったことがリクエストとなるため、このアクチュエータコンポーネントの **InPort** に入力されるデータ構造を画像ファイル名、画像提示位置、画像の大きさ、画像の向きとしている。アプリケーションコンポーネントはこれらのデータ構造に合わせ、実現したいアプリケーションを実装する。よってこれらのコンポーネント群をそれぞれ開発し、3 つのコンポーネント群を組み合わせることで拡張性の高く柔軟なシステムが実現可能となる。

以下に開発した 3 つのコンポーネント群についてそれぞれ述べる。表 5.3 に情報提示システムを構成する RT コンポーネントのコンポーネント名、実装されている主な機能、共通入出力インタフェースとなる **InPort./OutPort** のデータ内容を一覧にして示す。

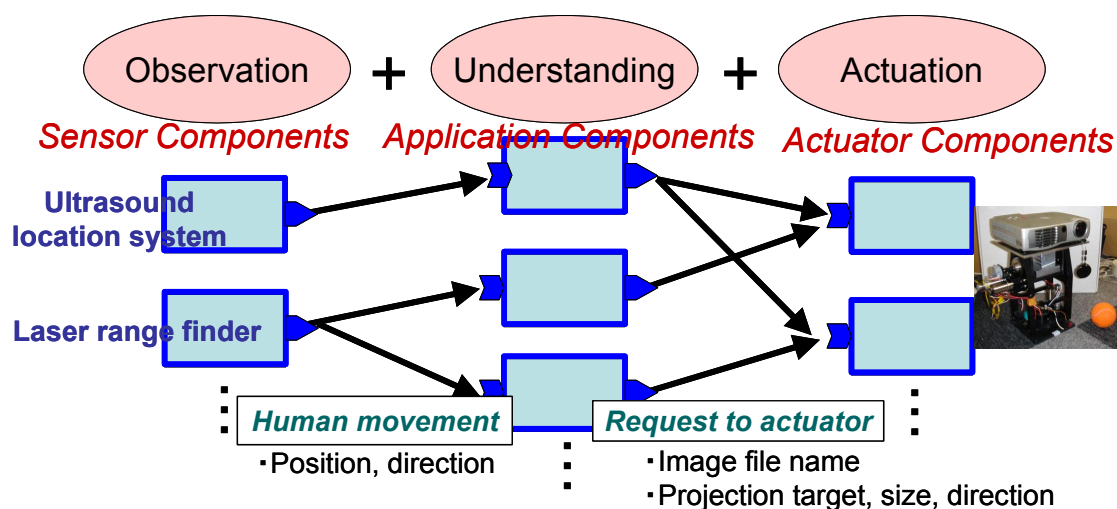


図 5.5 RT コンポーネントによる情報提示システムの構成

表 5.3 情報提示システムを構成する RT コンポーネント

カテゴリ	コンポーネント名		機能	InPort	OutPort
センサ	ZPSOut		超音波ロケーションシステムによるユーザ観測	—	ユーザの位置と向き
	URGOut		レーザ式測域センサによるユーザ観測	—	ユーザの位置と向き
アプリケーション	EntranceGuide等		分散デバイスを統合し、アプリケーションを実現	ユーザの位置と向き	分散アクチュエータへのリクエスト
アクチュエータ	Active Projector	RTCLUnitCtrl	アクティブプロジェクタの通信・制御部	パンティルト指令角	—
		MovePConveter	投影位置からパンティルト指令角への変換	Projection data	パンティルト指令角
		ImageProjection	リクエストに合わせた画像出力	画像ファイル名, Projection data	—
	MobileRobot		移動ロボット	移動目標位置	—

※Projection data・・・提示位置、画像のサイズ及び向き

### 5.3.1 センサコンポーネント

このコンポーネントは智能化空間における「観測」の機能を実装したコンポーネントであり、本システムにおいて人間の状態観測を実現する分散デバイスである。センサデバイスをコンポーネント化し、ユーザ情報としてユーザの位置及び向きを OutPort から出力し、アプリケーションコンポーネントに送る。本システムでは智能化空間に実装されている超音波ロケーションシステム ZPS とレーザ式測域センサ URG の2つのコンポーネント化を行った。アプリケーションコンポーネントへ送るデータ構造は共通となっているため目的や

センサの特徴に合わせてコンポーネントを使い分けることが可能となっている。またユーザの位置や向きをそれぞれ別々のセンサデバイスから取得したい場合なども考えられる。このためこれらのデータを統合しアプリケーションコンポーネントへデータを送る窓口として HumanState コンポーネントを設けている。

### 5.3.1.1 超音波ロケーションシステム

超音波ロケーションシステム ZPS よりユーザの位置の向きを出力する「ZPSOut コンポーネント」について述べる。超音波ロケーションシステム ZPS は超音波受信機を空間内の天井に設置し、発信機（タグ）の 3 次元位置を取得する。このセンサデバイスの特徴としては以下のような点が挙げられる。

- 受信機の設置及び計測対象へのタグの装着が必要
- 複数のタグが使用でき、タグの位置それぞれが区別できる。

図 5.6 にタグの概観図を示す。タグはネームプレートタイプ（左図）とホルダータイプ（右図）の 2 種類あり、前者をユーザの胸に設置し、後者をユーザの手に設置する。開発した ZPSOut コンポーネントでは超音波ロケーションシステムのサーバより 2 つのタグの位置を取得し、この 2 つの位置情報より、ユーザの胸にあるタグの位置をユーザの位置、ユーザの位置から見た手の方向をユーザの向きとする。そしてユーザの位置と向きを OutPort より送信する。

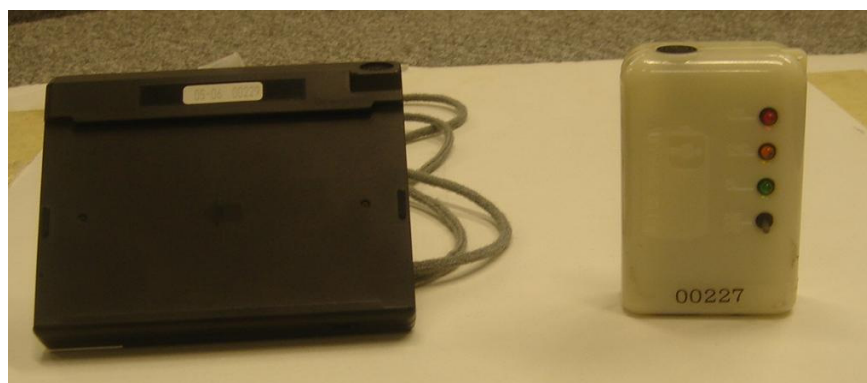


図 5.6 超音波ロケーションシステム ZPS のタグ

なお超音波 3 次元ロケーションシステムの測定データは数 cm 程度の誤差のばらつきがあり、式(5.3)に示すノイズフィルタを用いて抑制、安定化を図っている。

$$X_{k+1} = \alpha X_k + (1 - \alpha) X_M \quad (5.3)$$

ここで  $\alpha$  : フィルタリングパラメータ、 $X$  : フィルタリングデータ、 $X_M$  : 測定データとす



る。図 5.7 に $\alpha$ を変化させたときのノイズフィルタを用いた測定値の誤差に対する平均、標本分散及び定値の誤差に対する平均、標本分散及び追従時間を示す。標本分散は測定値のばらつきを表し、式(5.4)に示す値で表される。そして、追従時間とはフィルタを通して初期位置データ (0、 0、 0) [mm]として測定位置 (1000、 1000、 90) [mm]までに到達した時間のことであり、この時間はオブジェクトの位置が変化した場合の追従性を表す。

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 / n \quad (5.4)$$

ここで $\bar{x}$ ：測定平均値、 $x_i$ ：測定データ、 $n$ ：ステップ数である。なお今回 $n=50$ とした。図中に示すように、このパラメータ  $\alpha$  は値が大きいほど誤差平均及び標本分散が小さくなりノイズが抑制されるが、追従の応答性は遅くなる。 $\alpha$  が小さいほど、測定データの比重が大きくなりばらつきによる影響が大きくなる。そして、測定データのばらつきはリクエストとなる指令値に影響を与え、アクチュエータの振動または不安定な動作につながる。アクティブプロジェクトの場合は投影位置に近いほど、このばらつきの影響をうけてしまうことが考えられる。そこで投映位置への追従性及び装置の位置推定における安定性を考慮し、手及び胸に装着されるタグのフィルタリングパラメータは実験的にそれぞれ  $\alpha=0.4$ 、 $0.6$  とした。

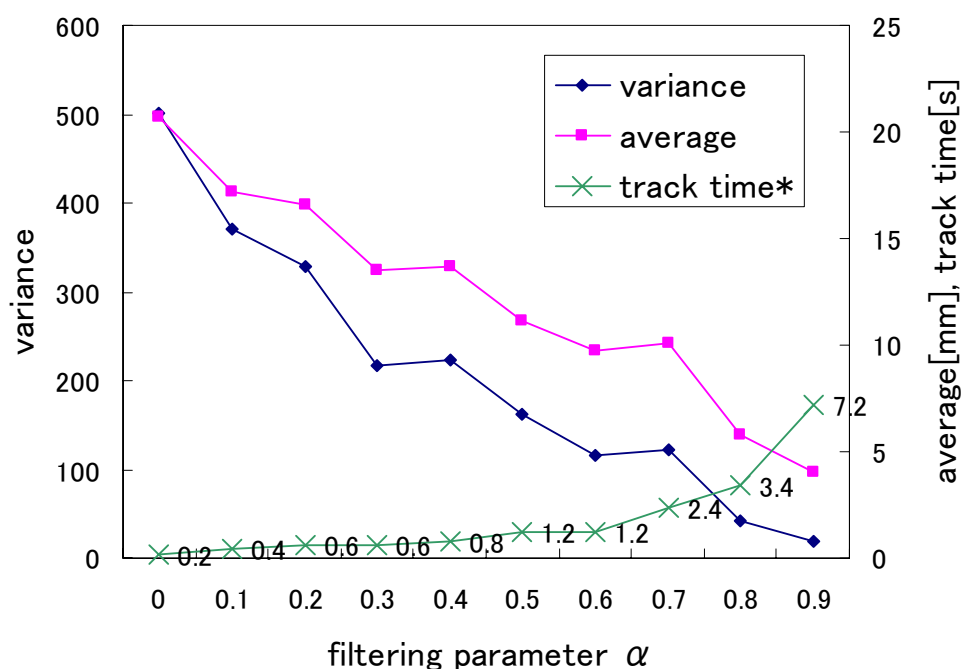


図 5.7 超音波ロケーションシステムのパラメータ  $\alpha$  に対する誤差計測結果  
追従時間：フィルタを通して初期位置 (0, 0, 0) [mm]から測定位置 (1000, 1000, 90) [mm]までに到達した時間

### 5.3.1.2 レーザ式測域センサ

レーザ式測域センサ URG から得たデータよりユーザの位置と向きを出力する「URGOut コンポーネント」について述べる。レーザ式測域センサは足元に配置し、そのスキャンデータからユーザの足をトラッキングすることによりユーザの位置と向きを取得し、URGOut コンポーネントは OutPort より出力する。レーザ式測域センサの特徴としては、精度が良く比較的安価であるもののトラッキングにてオクルージョンが発生するなどが挙げられる。なお 1) 人間とそれ以外のオブジェクトとの違いが判断できる、2) オクルージョンが発生しづらい、3) レーザ光による人体への危険性が低いなどといった点よりレーザ式測域センサを足元に配置した。

以下にユーザ位置と向きを得るためのトラッキング手法を示す。図 5.8 にそのプロセスと概念図を示す。

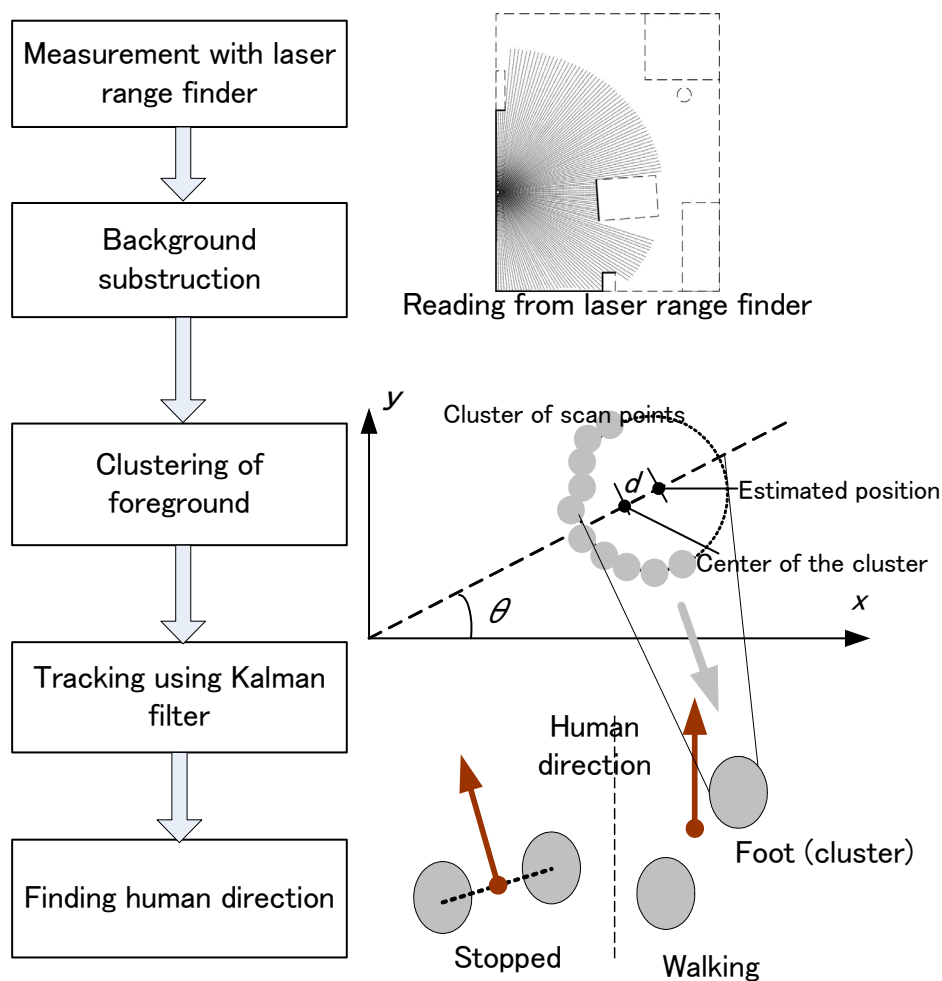


図 5.8 レーザ式測域センサによるトラッキングプロセス

### A. 背景差分

背景差分は主に画像センサなどに用いられるオブジェクト抽出手法であり、人間及び動的物体の検出のため、背景分を取り除き前景の獲得を行う。時刻 $t$ におけるスキャンデータ $x_{scan}$ は、距離及び角度によって表すことができ、背景データ $x_{back}$ が

$$x_{back} = x_{scan} \quad (5.5)$$

となるものが背景であるということができる。ただし $x_{scan}$ はハードウェア的な要因等により誤差を含むため、経験的に得られる値 $\sigma$ を用いて、

$$|x_{back} - x_{scan}| < \sigma \quad (5.6)$$

を満たすものを背景とする。

なお、背景はスキャン開始時に行い(5.3)と同様のフィルタを用いて学習を行い、

$$x_{back} = \alpha x_{back} + (1 - \alpha) x_{scan} \quad (5.7)$$

と定義する。よってセンシング範囲に人間または移動ロボット等の動的オブジェクトが侵入した場合やセンシング範囲内において椅子などを動かした場合のオブジェクトのスキャンデータが得られる。

### B. オブジェクトの抽出ークラスタリング

次に得られた前景を元にオブジェクトの抽出を行うため、クラスタリングを行う。スキャンデータ点間のユークリッド最短距離による分類法を(5.8)に示す。ここでデータ点を $p_1=(x_1, y_1)$ 、 $p_2=(x_2, y_2)$ とする。そして距離関数 $D$ が閾値 $\sigma$ 以内であれば、同クラスタとして登録を行う。

$$D(p_1, p_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} < \sigma \quad (5.8)$$

このときクラスタ内のデータ点の総数が少なかった場合、ノイズとして除去しオブジェクトの元となるクラスタのみの抽出を行う。

人間の場合、両足がスキャンされているため 2 つのクラスタで一人の人間オブジェクトとする。これにはクラスタ間のユークリッド距離を判断することで人間及びその他のオブジェクトとの区別を行う。

### C. オブジェクトトラッキング

背景差分及びクラスタリングによって動的物体のスキャンデータを得ることができた。これよりこのデータを用いてオブジェクト（特に人間）の位置と向きを得るべくトラッキングを行う。まず初めにオブジェクトの位置推定を行う。クラスタリングによって分類されたスキャンデータはレーザ式測域センサからみた最も内側の表面の点の集合である（図

5.9)。そこでオブジェクトを円として扱い、クラスタの中心  $(x_{cl}, y_{cl})$  より半径方向に  $d$  離れた点をオブジェクトの中心  $(x_{obj}, y_{obj})$  とする。

$$\begin{cases} x_{obj} = x_{cl} + d \cos(\theta) \\ y_{obj} = y_{cl} + d \sin(\theta) \end{cases} \quad (5.9)$$

この手法は検出された動的物体が円形でない場合や、オブジェクトの半径が未知の場合はオブジェクトの中心位置はずれてしまうものの、人間の足の太さには大きな変化はなく、クラスタリングの際に人間と判断した場合は  $d=50\text{mm}$  としている。

以上によって得られたオブジェクトの位置はサンプリング周期による離散的な観測における誤差や推定そのものの誤差を含むため、これを平滑化しオンラインで推定、トラッキングを行うためカルマンフィルタを用いている。カルマンフィルタは離散的な時間ステップに対して Prediction (Timed Update) と Correction (Measurement Update) の 2 つのステップを踏む。そして、このステップによって現時刻の推定状態を計算し、さらに現時刻の観測結果より推定値を補正することでより正確なシステムの状態推定を行う。

拡張カルマンフィルタ (Extended Kalman Filter: EKF) は状態方程式と観測方程式が非線形である場合に線形化近似することで、カルマンフィルタの理論を非線形システムへ適用できるように拡張したものである。レーザ式測域センサによる人間トラッキングでは線形状態モデルによるカルマンフィルタを用いているが、後述する移動ロボットの自己位置推定において拡張カルマンフィルタが用いられるため、ここでカルマンフィルタと拡張カルマンフィルタをまとめて説明することにする。

線形及び非線形系の状態方程式及び観測方程式が式(5.10)及び式(5.11)のように与えられた場合を考える。

$$x_k = \begin{cases} f(x_{k-1}, u_{k-1}, w_{k-1}) & \text{non linear} \\ Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} & \text{linear} \end{cases} \quad (5.10)$$

$$z_k = \begin{cases} h(x_k, v_k) & \text{non linear} \\ Hx_k + v_k & \text{linear} \end{cases} \quad (5.11)$$

ここでは  $x$  は状態ベクトル、 $u$  は入力、 $w$  はシステム雑音、 $z$  は観測ベクトル、 $v$  は観測雑音であり、添え字は時刻を表す。なおシステム雑音  $w$ 、観測雑音  $v$  は正規性の白色雑音であると仮定する。

このときカルマンフィルタ及び拡張カルマンフィルタの動作ステップ Prediction 及び Correction は次式のようになる[43]。

○ Prediction

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \begin{cases} f(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^-, \mathbf{u}_k, 0) & \text{EKF} \\ A_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1}^- + B \mathbf{u}_k & \text{KF} \end{cases} \quad (5.12)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + Q_{k-1} \quad (5.13)$$

○ Correction

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (5.14)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \begin{cases} K_k (z_k - h(\hat{\mathbf{x}}_k^-, 0)) & \text{EKF} \\ K_k (z_k - H_k \hat{\mathbf{x}}_k^-) & \text{KF} \end{cases} \quad (5.15)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (5.16)$$

ただしカルマンフィルタの場合、Jacobian行列 $A_k$ 、及び $H_k$ は式(5.10)及び式(5.11)によって与えられた $A$ 、 $H$ を用いる。

レーザ式測域センサによる人間トラッキングにおいてはカルマンフィルタを用いており、ここで $\mathbf{x}$ は式(5.17)に示すように $x$ 方向及び $y$ 方向におけるオブジェクトの位置及び速度を表し、 $\mathbf{z}_k$ は式(5.18)に示すようにレーザ測域センサによって得られた $x$ 方向及び $y$ 方向におけるオブジェクトの位置を示す。

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x & y & \dot{x} & \dot{y} \end{bmatrix}^T \quad (5.17)$$

$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} x_{laser}, y_{laser} \end{bmatrix}^T \quad (5.18)$$

なお状態方程式および観測方程式のJacobian行列 $A$ 及び $H$ は式(5.19)のように示される。なお $T_d$ はサンプリング周期である。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_d & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T_d \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

なおカルマンフィルタのパラメータとなる状態方程式及び観測方程式の共分散行列は解析的に求めるのは困難であり、両者ともに経験的な値を用いた対角行列とした。

これよりカルマンフィルタによる Prediction と Correction を行い、人間または移動ロボットなどの動的物体のトラッキングが実現できる。

#### D. 人間の向きの獲得

以上に示したA～Cのプロセスによりオブジェクトのトラッキングは実現できた。これよりユーザ情報として人間の位置及び向き情報の獲得を行う。位置はトラッキングによって得られた位置情報をそのまま用いる。よって以下に人間の向きの算出方法を示す。

向きの算出方法は歩行中と停止時の2つのケースに分け、歩行中はトラッキングより得られた速度方向、停止時は両足の位置を結んだ線分に対し法線ベクトルをそれぞれ人間の向きとする。しかしながら単純に両足の線分から求めた法線ベクトルでは人間の前後方向の判別がつかず、検出したクラスタが左右どちらの足であるかを判断する必要がある。そこで後ろ歩きをすることは無いものと考え、歩行速度ベクトルに基づき、検出したクラスタに対して左右の足の登録を行う。クラスタの左右の足の判断は式(5.20)に示されたベクトルの外積による判別式Dによって行うことができる。ここで歩行速度ベクトルを $v_{human}$ 、人間の位置ベクトルを $x_{human}$ 、クラスタの位置ベクトルを $x_{cl}$ とする。このとき、 $D>0$ であれば $x_{cl}$ は左足であり、 $D<0$ であれば $x_{cl}$ は右足となる。なお $D=0$ は歩行速度ベクトル上にクラスタが存在していることを表すが、このようなケースは起きないものとしている。

$$D = v_{human} \times (x_{cl} - x_{human}) \quad (5.20)$$

そしてクラスタにおいて左右の足の判断が行われた後、式(5.21)に示すように人間の歩行中／停止時に分け、人間の向き $\theta$ が算出される。ここで $x_R$ は右足を表すクラスタの位置ベクトル、 $x_L$ は左足を表すクラスタの位置ベクトルとし、 $\sigma_{walk}$ を歩行中または停止時の判断のための閾値とする。

$$\begin{cases} \theta = \arg(v_{human}) & (v_{human} \geq \sigma_{walk}) : walking \\ \theta = \arg(x_R - x_L) + \pi/2 & (v_{human} < \sigma_{walk}) : stopped \end{cases} \quad (5.21)$$

これよりレーザ測域センサによる歩行者のトラッキング結果を図5.9に示す。観測空間を表す座標平面はレーザ測域センサの設置位置を原点としている。実験のための経路として歩行者は(-0.5、1.5)から歩き、(1.0、1.5)にて一度立ち止まる。そして(1.0、-1.0)に向かい再び歩く。図中に示す矢印は0.8秒間隔での歩行者の位置と向きを表している。人間自身が中心の位置を認識していないため歩行経路が正確であるか分からないものの、歩行者の位置及び向きが経路に沿って正しくトラッキングが実現できていることが確認できる。なお両足をそれぞれトラッキングすることで人間のトラッキングにおける精度向上が見込まれるが[44]、現状として十分であると判断した。

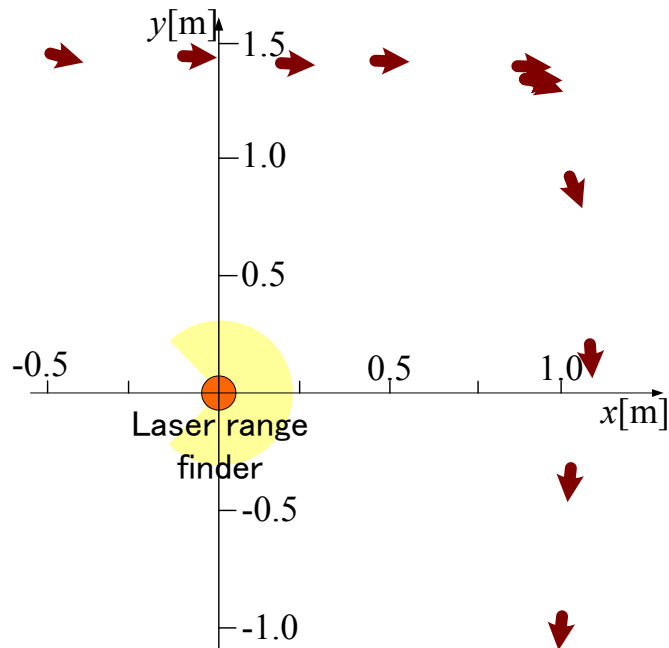


図 5.9 レーザ式測域センサによる人間の位置と向きの観測結果

### 5.3.2 アプリケーションコンポーネント

アプリケーションコンポーネントはセンサコンポーネント、アクチュエータコンポーネントとして実装することで実現した分散デバイスをつなげ、サービスシステムとしてのインテグレーションを実現するコンポーネントである。センサコンポーネント部より人間の状態を入力より受け取り、アクティブプロジェクタを用いてどのように情報を提示するかを実現する。そのためアクチュエータコンポーネント部へのリクエストを決めるコンポーネントとなる。アクティブプロジェクタでは「どこ」に「どのような画像」を提示するかを実現するため、画像ファイル名と投影に関するデータプロトコル **Projection data** をリクエストとする。**Projection data** は絶対座標系で表現された投映位置、投映画像サイズ、投映画像の向きから構成されている。アプリケーションのみを独立して作成することが可能であり、再利用性が高く様々なアプリケーション群を用意することで柔軟にアプリケーションを実現することが可能となる。

アプリケーション例として作成したアプリケーションコンポーネントをいくつか示す。

#### ○ ユーザの位置に合わせた提示

図 5.10 はユーザの手前に情報を提示するアプリケーションの様子であり、ユーザの向きに合わせて画像の提示や任意の位置の場所を示した矢印案内を行っている様子を示している。これはアプリケーションコンポーネントである「**FrontProjection** コンポーネント」によって実現されており、センサコンポーネントから入力されるユーザの位置と向きを受け、



手前に任意の画像を提示するためのデータをデバイス側に送ることを行っている。

#### ○ ユーザの誘導（ユーザインタフェースの投影）

図 5.11 はユーザの誘導を行うアプリケーションの例であり、画像「①」をユーザの向きに合わせて特定の位置に提示を行い、その投影された画像「①」の上に乗ると別の位置へ「②」を提示している。そしてこれを同様に「②」、「③」と提示を行っている様子を示している。このようなアプリケーションは提示画像の上にユーザが乗ることでトリガーの役目を持ち、ユーザインタフェース機能をもたせることが可能となる。これは「NumberGuidance コンポーネント」によって実現されており、上記のアプリケーションと同様にユーザの位置と向きを入力とし内部で処理を行い、リクエストをデバイス側に送るアプリケーションコンポーネントによってその機能を実現している。

RT コンポーネントは CORBA を用いた分散オブジェクトコンポーネントとなっているため、それぞれのコンポーネントをネットワーク上で独立して動作させることができる。そして 5.3 項にて述べたように本システムはセンサ、アプリケーション、アクチュエータの 3 つのパートにそれぞれコンポーネントを分けて実装を行っており、これらのコンポーネント間の通信は共通のデータ構造をもつ。このため様々なアプリケーション群を用意しコンポーネントを繋ぎ合わせることで、システムを動的かつ容易に切り替えることが可能となる。センサコンポーネント群においても同様のことがいえる。図 5.12 に RTCLink によってシステムを構成している様子を示す。図中に示すように本システムは本システムを構成するコンポーネントを RTCLink 上に呼び出し、コンポーネントの InPort/OutPort をつなぎ合わせることでシステムを実現する。なおコンポーネントのアクティビティは配色によって表現されており、緑色は active の状態を表し、青色は wait を表す。「FrontProjection コンポーネント」及び「NumberGuidance コンポーネント」はセンサコンポーネント及びアクチュエータコンポーネントとの接続を切り替えるだけで、アプリケーションの変更が可能であり、動的なシステム変更、柔軟なシステム構成の実現している。

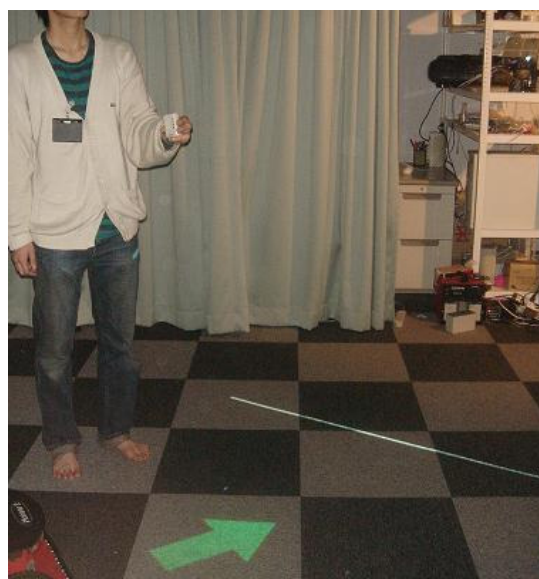


図 5.10 ユーザの手前への情報提示 (FrontProjection コンポーネント)

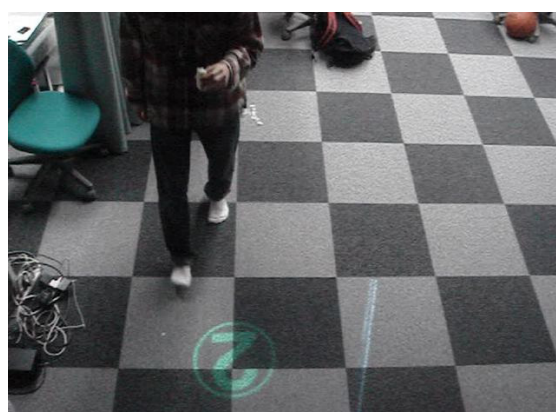
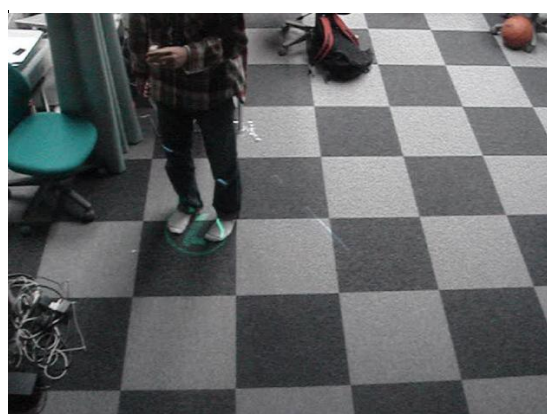


図 5.11 ユーザの誘導 (NumberGuidance コンポーネント) ※左上: 特定の場所に①を提示、  
右上: ユーザが①の上に乗る、左下: ②を別の場所に提示、右下: 同様に③を提示

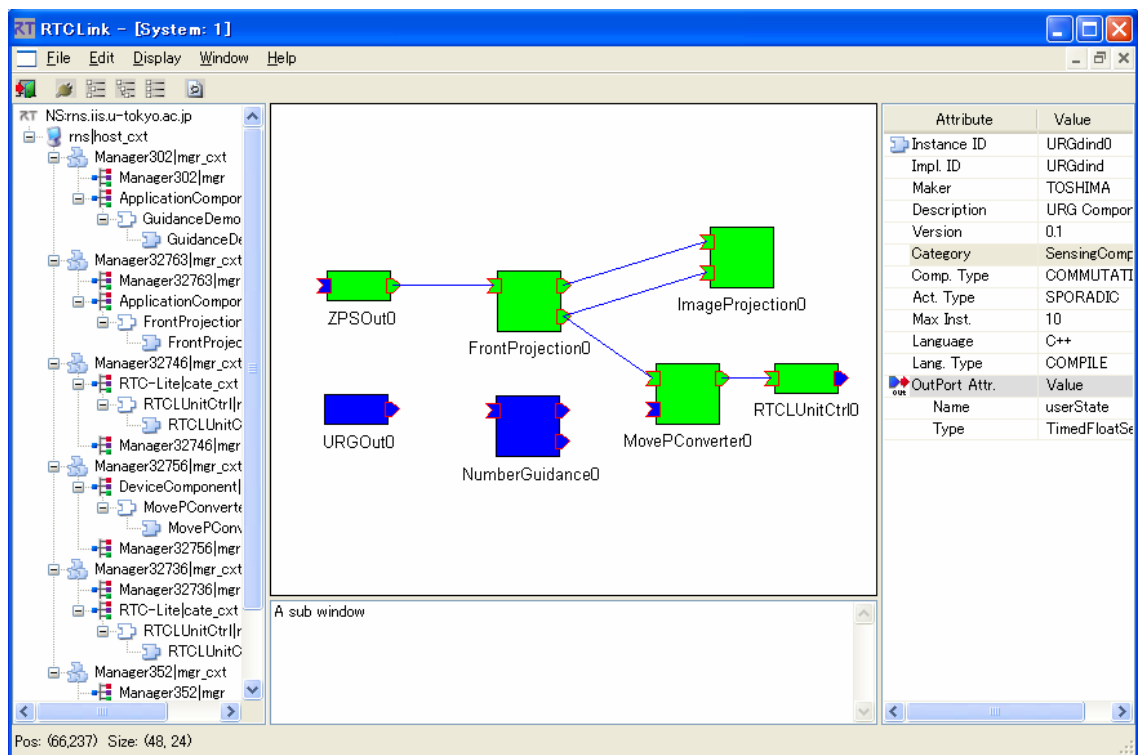


図 5.12 RTCLink によるシステム構成

### 5.3.3 アクチュエータコンポーネント

アクチュエータコンポーネントはアクチュエータの分散デバイスを実装したものであり、アプリケーションコンポーネントから送られたリクエストに合わせ、アクチュエータを動作させるコンポーネントである。このためアクチュエータに合わせてリクエストを定義し、それに合わせて駆動するようコンポーネント化することで複数のアクチュエータを容易に統合することが可能となる。

#### 5.3.3.1 アクティブプロジェクタ

アクティブプロジェクタは駆動部と提示画像部にコンポーネントを分け、アプリケーションコンポーネント部からの働きかけを行う。提示画像部については 5.4.2 節にて詳細を述べることにし、ここでは駆動部について述べる。

駆動部ではリクエストである投映指令位置をパンティルト角に変換し、RT Component-Lite の Proxy コンポーネントとしてネットワーク経由でコントロールパネルを通じてアクティブプロジェクタの動作を行う。

以下にリクエストである投影位置からアクティブプロジェクタの駆動するパンティルト角の導出について述べる。投影空間の持つ絶対座標系とプロジェクタの機構に基づいた局所座標系の座標系変換を用いて、逆運動学を解析的に解く [45]。図 5.13 にこの座標系変換の概念図を示す。装置のパン及びティルトの回転軸中心を原点  $O_M$  とした座標系  $T_M$  から見た投影位置を  $p_M = (x_M, y_M, z_M)$  とする。そしてレンズの中心を原点  $O_L$  とし、アクティブプロジェクタの投影方向を  $+x_T$  方向とした座標系  $T_T$  から見た投影位置を  $p_T = (x_T, y_T, z_T)$  とする。

このとき  $p_M$  と  $p_T$  には  $T_M$  と  $T_T$  の座標系変換を用い式(5.22)に示す関係が成り立つ。

$$p_M = Rot_{PAN}(\theta) \cdot Rot_{TILT}(\phi) \cdot Tr(L) \cdot Rot_{TILT}(\alpha) \cdot p_T \quad (5.22)$$

ここで  $Rot_{PAN}(\theta)$  はパン角  $\theta$  の回転移動、 $Rot_{TILT}(\phi)$  はティルト角  $\phi$  の回転移動、 $Tr(L)$  は  $O_M$  から  $O_L$  への平行移動を示す。なお  $O_L$  は絶対座標系における位置は可変であるものの、 $O_M$  をモータの中心角としているため  $O_L$  までの距離  $L$  は局所座標系においては変化せず、この平行移動ベクトルを  $L = [L_x, L_y, L_z]^T$  とする。さらに、一般の携帯可能な小型プロジェクタはレンズ平面からの垂線となる水平方向からやや上向きに投影方向をとり、 $Rot_{TILT}(\alpha)$  はそのための回転を表している。ここでこの上向きへのティルト回転の傾きを投映角度  $\alpha$  と呼び、表 5.2 のプロジェクタの仕様より  $\alpha = 17.2[\text{deg}]$  となる。

式(5.15)は式(5.23)のように書くことが出来る。

$$\begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_x \\ 0 & 1 & 0 & L_y \\ 0 & 0 & 1 & L_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

このときアクティブプロジェクタが投影位置に対し正しく投影が行えている場合、投影位置が投影方向線上にあるということであり、 $T_T$ 座標系において投影位置は常に+x方向であるため、 $x_T > 0$ 、 $y_T = 0$ 、 $z_T = 0$  という条件が与えられる。よって式(5.23)より式(5.24)に示す連立方程式が成り立つ。

$$\begin{cases} -x_M \sin \theta + y_M \cos \theta = L_y \\ \{(x_M \cos \theta + y_M \sin \theta) \cos \phi - z_M \sin \phi - L_x\} \sin \alpha \\ + \{(x_M \cos \theta + y_M \sin \theta) \sin \phi + z_M \cos \phi - L_z\} \cos \alpha = 0 \\ \{(x_M \cos \theta + y_M \sin \theta) \cos \phi - z_M \sin \phi - L_x\} \cos \alpha \\ - \{(x_M \cos \theta + y_M \sin \theta) \sin \phi + z_M \cos \phi - L_z\} \sin \alpha > 0 \end{cases} \quad (5.24)$$

これを展開すると以下の式が与えられる。

$$\begin{cases} -x_M \sin \theta + y_M \cos \theta = L_y \\ (A \sin \alpha + z_M \cos \alpha) \cos \phi + (A \cos \alpha - z_M \sin \alpha) \sin \phi = B \\ (A \cos \alpha + z_M \sin \alpha) \sin \phi - (A \sin \alpha + z_M \cos \alpha) \cos \phi > C \end{cases} \quad (5.25)$$

$$A = x_M \cos \theta + y_M \sin \theta, \quad B = L_x \sin \alpha + L_z \cos \alpha, \quad C = L_x \cos \alpha - L_z \sin \alpha$$

リクエストとなる投影位置は絶対座標系にて与えられるが、 $T_M$ への座標系変換を行うことで $p_M$ は容易に求められ、式(5.25)に $x_M, y_M, z_M$ をそれぞれ代入し、連立方程式を解く。これより2通りの解が得られるが、パンティルトの可動範囲  $0 < \theta < 360$ 、 $0 < \phi < 180$  によって一意に決まる。以上よりリクエストの投影位置に対してアクティブプロジェクタが投影するための指令角であるパン角 $\theta$ 及びティルト角 $\phi$ を求めることができる。

投影位置精度に対する実験として超音波タグの位置への投影行った結果を図 5.14 に示す。図中に示す座標平面は実験室空間を示しており、アクティブプロジェクタは絶対座標系

(-874, -3080, 1290) [mm]に配置した。図中のプロットは実験空間を真上から見た目標位置である超音波タグの位置と評価対象となるプロジェクタの投影中心点である。最大誤差は7cm程度とユーザが情報を受け取る情報提示には十分な精度であり、任意の位置に対しての投影が行えていることが確認できる。

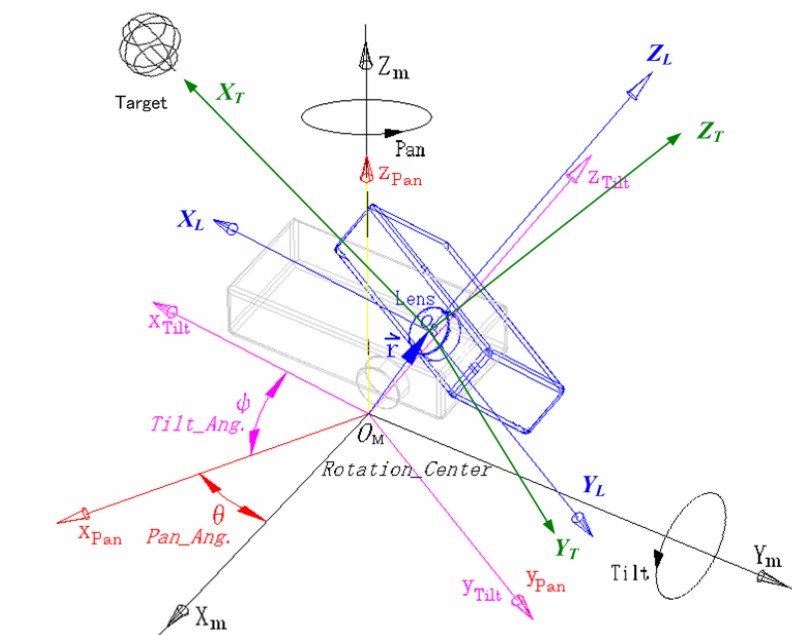


図 5.13 アクティブプロジェクタの座標系変換

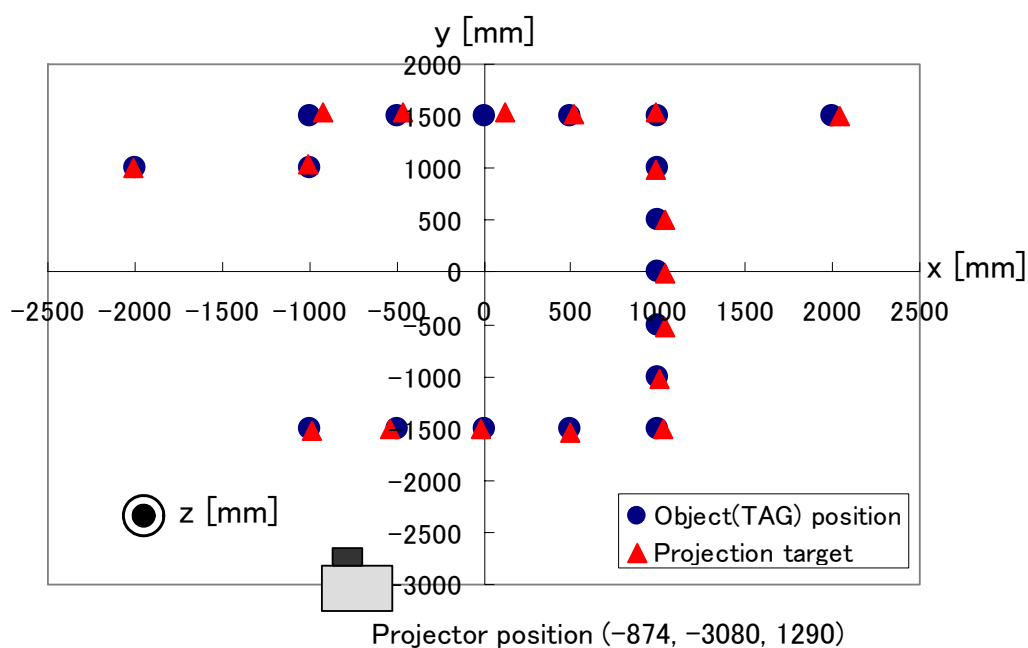


図 5.14 投影位置に対する実験結果

### 5.3.3.2 移動ロボット

情報提示において様々な適用シーンを考えた場合、実装環境の構造によってアクティブプロジェクタでは投影できない、もしくは投影が望ましくない範囲が出てくる可能性がある。このようなケースの解決策の一つとしてディスプレイを搭載した移動ロボットによる情報提示支援が挙げられる。そしてアクティブプロジェクタとディスプレイ搭載型移動ロボットによる 2 つの異なる情報提示方法を組み合わせることで、有効な支援が図れるものと考えられる。また 5.3.2 節にてアプリケーションコンポーネントの例の一つとして述べたようにアクティブプロジェクタはユーザインタフェースを投影することが可能である（図 5.12 参照）。このため移動ロボットに対して物理的支援を要求することも可能である。

以上 2 つの理由より移動ロボットコンポーネント「**MobileRobot** コンポーネント」を作成した。アプリケーションコンポーネントからのリクエストとして、モーションレベルでの命令は行うことは不自然であり、移動ロボットコンポーネントはリクエストとして移動目標位置を受け取る。現状では移動目標位置のみのリクエストであるが、移動ロボットにその他の機能が搭載されれば、これをリクエストとして追加することが考えられる。

移動ロボットは第 3 章にて述べた知能化空間で実装されている車輪型移動ロボットを利用した。この知能化空間で実装されている移動ロボットには自己位置推定、経路生成、経路追従、環境地図構築などの機能によって構成されているが、**MobileRobot** コンポーネントはインタフェース部のみをコンポーネント化している。このため移動ロボットがどのような手法を用いて実装されていても、**MobileRobot** コンポーネントを変更する必要がなく、移動ロボットは目標位置に対し障害物回避を含め自律的に移動を行う。

これより現在実装されている移動ロボットの機能について簡単に説明する。

#### ○ 自己位置推定

移動ロボットの自己位置推定は移動ロボットに搭載されたエンコーダと超音波 3 次元ロケーションシステムを用いて行う。拡張カルマンフィルタを用いて 2 つのデータを統合し誤差の低減を行う。拡張カルマンフィルタについては式(5.10)から式(5.19)にてすでに説明されており、移動ロボットの状態方程式及び観測方程式はそれぞれ式(5.26)及び式(5.27)によって与えられる。状態ベクトル $\mathbf{x}$ における $x$ 及び $y$ はワールド座標系における移動ロボットの位置、 $\theta$ は移動ロボットの方向を表す。 $v_{enc}$ 及び $\omega_{enc}$ は車輪エンコーダから得られるロボットの速度及び角速度である。 $w$ はエンコーダのノイズとして正規性の白色雑音とする。なお $T_d$ はサンプリング周期を表す。

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} + T_d \cdot v_{enc} \cdot \cos \theta_{k-1} \\ y_{k-1} + T_d \cdot v_{enc} \cdot \sin \theta_{k-1} \\ \theta_{k-1} + T_d \cdot \omega_{enc} \end{bmatrix} + W w_{k-1} \quad (5.26)$$

一方 $x_{zps}$ 及び $y_{zps}$ は超音波ロケーションシステムから得られる移動ロボットに設置された



タグの位置であり $L$ は移動ロボットの中心位置からタグまでの距離を表す。

$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} x_{zps} \\ y_{zps} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k + L \cos \theta_k \\ y_k + L \sin \theta_k \end{bmatrix} + V \mathbf{v}_k \quad (5.27)$$

#### ○ 経路生成

経路生成には Field D\*手法[46]を用いており、一般に用いられる A\*手法より滑らかな経路生成が可能となっている。

#### ○ 経路追従

経路追従には Dynamic Window Approach (DWA)を用いており、式(5.28)に示す評価関数 $G$ により移動ロボット速度を制御しながら滑らかな追従が可能となっている[47]。  $g_{clear}$ は障害物を回避ための速度評価、  $g_{speed}$ 移動全般における速度評価、  $g_{head}$ は目標値までの速度評価を示す。

$$G = g_{clear} + g_{speed} + g_{head} \quad (5.28)$$

## 5.4 アクティブプロジェクションにおける問題と解決手法

本来プロジェクタはユーザ自身の手によって正しく設置を行い投影して扱うものである。そのプロジェクタが様々な位置に投影することによって生じる根本的な問題がいくつか挙げられる。そしてこの問題の解決はより高度な情報提示システムの実現につながる。そこでこれらのアクティブプロジェクションによる問題を挙げるとともに、その解決手法を以下に述べる。

### 5.4.1 投影遮蔽回避

プロジェクタの投影光は当然ながら直線であり何らかの物体が投影画像とプロジェクタとの間に入ってしまった場合、投影遮蔽が発生し、画像を正しく投影することはできない。環境に設置されている机や本棚、もしくは環境の構造上の壁などの静的物体の場合、投影遮蔽が起これないような環境での利用や空間をモデリングするなどによって予め投影範囲を限定することで解決は可能である[48]。しかし人のような歩き回る動的物体においてはこのような投影遮蔽の起こるケースは多々考えられる。図 5.15 に人による投影遮蔽の様子を示す。図 5.15 に示すようにユーザの方向に対して提示を行った場合、ユーザの背面にプロジェクタが来ること等によって投影遮蔽が生じ、ユーザは正しい情報を受け取ることがで

きない。

このような問題は複数のプロジェクタを用いることで解決することは可能であるが、

- 1) 台数分のコストがかかる
  - 2) 投影遮蔽が必ず起こらないように設置場所の検討が必要
  - 3) 複数台の制御におけるタスクの受け渡し等の管理が難しく、また広い空間ではそれぞれのプロジェクタが特定の領域内を管理した方が効率的である
  - 4) この問題は複数台での投影であろうが根本的な問題である
- 等といった点が考えられる。

そこで投影遮蔽をアクティブプロジェクタが自律的に回避を行う手法を提案する。本システムは RT コンポーネントによって構成されており、この投影遮蔽回避をコンポーネントとして開発した。アプリケーションコンポーネントとパンティルト駆動部の間にこのコンポーネントを入れることで、投影遮蔽が生じないような指令角を補正し、パンティルト駆動部に送る。このように RT コンポーネントを用いることでシステム内部の機能の追加が容易に実現することが可能となる。

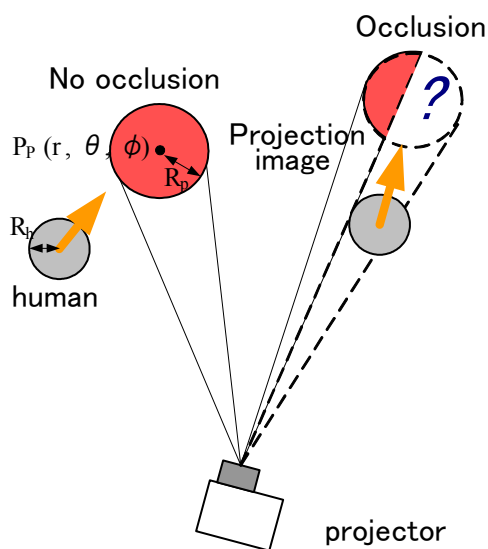


図 5.15 アクティブプロジェクションによる投影遮蔽

#### ○ 投影遮蔽回避手法

投影遮蔽は物体（人間）がプロジェクタによる投影光領域に侵入した際に生じる。そのため幾何学的な物体モデルと投影領域を作り、この重なりを判定すれば投影遮蔽が検出できる。そこで人間モデルを半径 $R_h$ 、高さ $H_h$ の円筒、投影領域をプロジェクタ中心点を頂点とした円錐として考える。そしてこれを極座標系での 2 次元平面へと変換する。図 5.16 に人間モデルと投影領域の 2 次元平面への変換の様子を示す。しかしこのままでは投影光が人間の頭の上を通過した場合は反映されておらず、そのため人間モデルの高さ $H_h$ 以上の投

影領域を取り除く。そしてこの形にマージンを設け、2次元平面への変換では扇形とする。これより投影領域は式(5.29)に示す扇形として表現することができる。ここで $M_z$ ：プロジェクタのz方向の高さ[mm]、 $\phi$ ：プロジェクタのティルト角[deg]、 $\alpha$ ：投影光の広がり[deg]である。 $R_p$ は投影された画像の半径を表し $d$ を投影距離とすることで $\alpha$ は式(5.30)によって表される。

Human model :  $r < R_h$

Occlusion area :  $R_1 < r < R_2, \theta_1 < \theta < \theta_2$

$$\begin{cases} R_1 = (M_z - H_h) \cdot \tan(\phi + \alpha) \\ R_2 = r + R_p \\ \theta_1 = \theta - \alpha \\ \theta_2 = \theta + \alpha \end{cases} \quad (5.29)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(R_p / d) \quad (5.30)$$

そして式(5.29)及び式(5.30)より求めた人間モデルおよび投影領域の判別は式(5.31)によって表すことが出来る。

$$\begin{cases} R_1 < r_h + R_h \\ r_h - R_h < R_2 \\ \theta_1 < \theta_h + \sin^{-1}(R_h / d) \\ \theta_h - \sin^{-1}(R_h / d) < \theta_2 \end{cases} \quad (5.31)$$

次に投影回避手法の説明に移る。図 5.17 に投影回避手法の様子を示す。回避を効率的に行うため、以下のように場合分けを行い、それぞれ対処方法を述べる。

Case1: 投影画像位置が人間モデルより左側にある場合

投影位置を左側に  $\delta\theta$ [deg]補正する。

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \delta\theta \quad (5.32)$$

Case2: 投影画像位置が人間モデルより右側にある場合

投影位置を右側に  $\delta\theta$ [deg]補正する。

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \delta\theta \quad (5.33)$$

Case3: 補正角度が補正限界角 $\theta_{\max}$ を超えた場合

投影位置を半径方向に  $\delta r$ [mm]遠ざけ補正する。

$$r_{k+1} = r_k + \delta r \quad (5.34)$$

これを式(5.31)に示す投影遮蔽の判別式にて判定を行い、投影遮蔽が起きない位置まで探

索を行う。なお人間の横方向に対しての視野は約  $120[\text{deg}]$ 、注視した際の視野角は約  $60[\text{deg}]$ とされている[49]。しかし注視視野範囲に入らずとも人間の認識できる位置に提示を行えば良いため、この範囲を  $80[\text{deg}]$ とし、補正限界角 $\theta_{\max}$ は  $40[\text{deg}]$ とした。

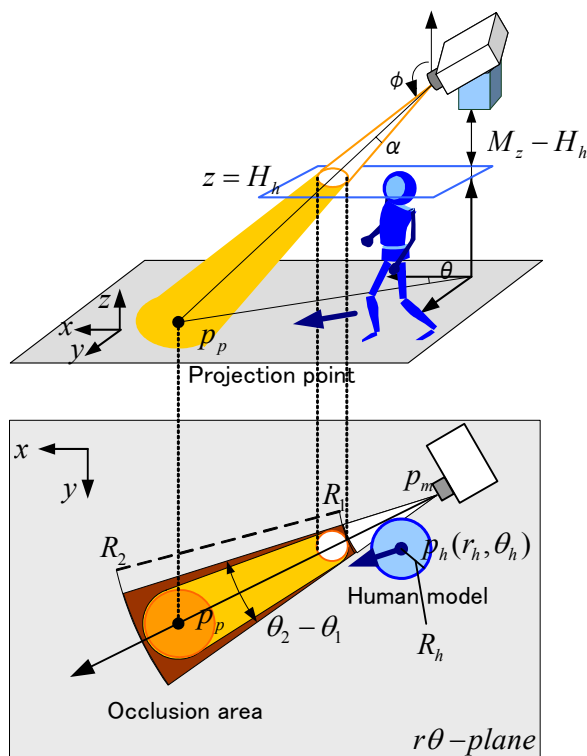


図 5.16 人間モデルと投影領域の 2 次元モデルへの変換

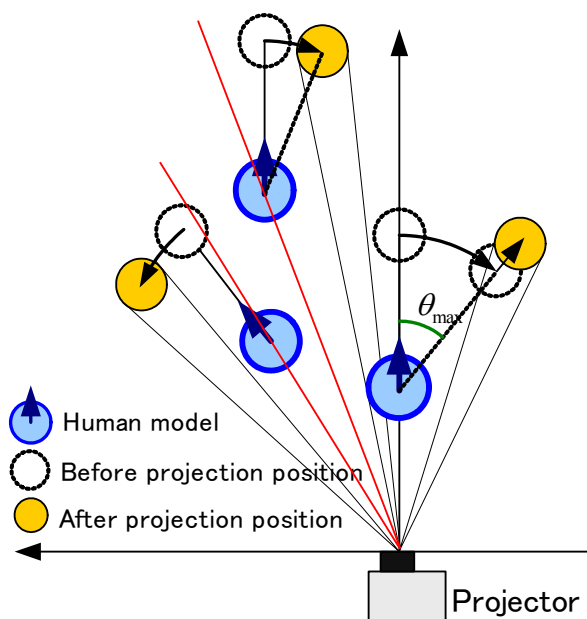


図 5.17 投影遮蔽の回避手法

## ○ 投影遮蔽回避における実験結果

図 5.18 及び図 5.19 に投影遮蔽回避における実験結果を示す。図 5.18 はユーザの手前に赤色の二重丸を提示した例による投影遮蔽の様子を示す。図 5.18a は投影遮蔽が考慮されていない場合であり、図中に示すように投影遮蔽が生じ投影画像がほとんど見えない様子が分かる。それに比べ図 5.18b は投影遮蔽回避コンポーネントを実装した場合であり、投影遮蔽が生じることなくユーザに正しい情報を提示することができている。また図 5.19 は実験空間内においてユーザ（黒色の丸）の手前への情報提示を想定した実験である。点線で描かれた円は投影遮断回避前の提示位置であり、黄色の丸は回避後の提示位置を示す。図 5.18b と同様に投影遮断を正しく検出し回避していることが確認できる。

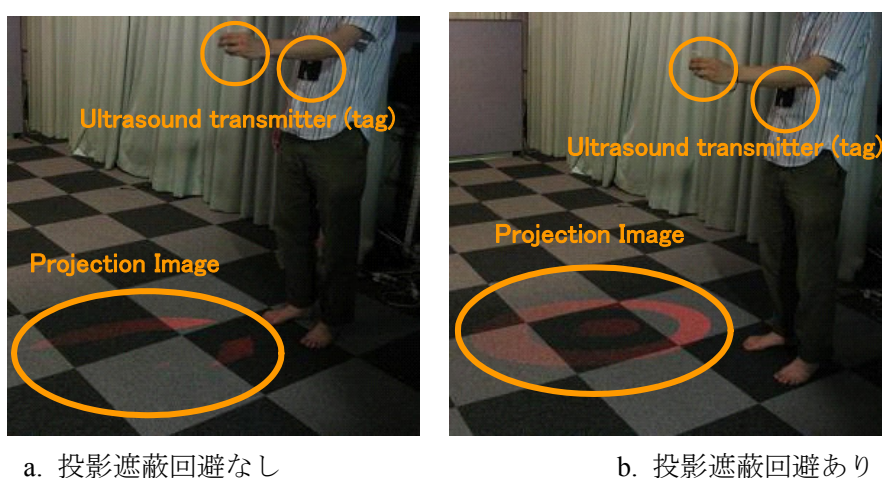


図 5.18 投影遮蔽回避の比較

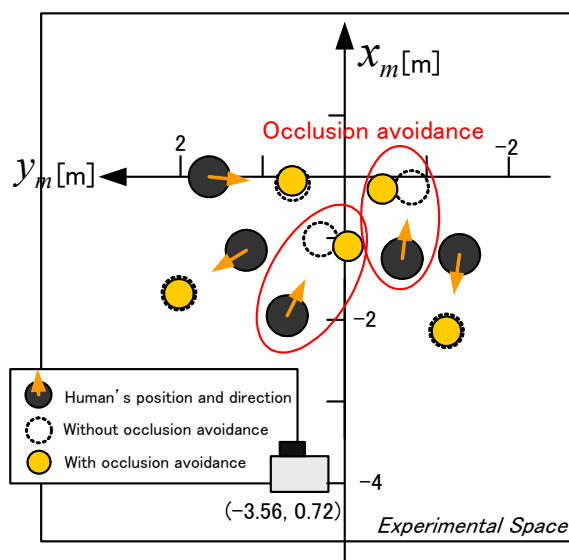


図 5.19 実験空間における投影遮蔽回避結果

### 5.4.2 投影画像の補正

空間に配置されたプロジェクタの投影位置を変化させた場合、投影面は常に投影方向に対し垂直ではなく、このため投影画像に歪みが生じる。またプロジェクタによる投影光は広がりを持つため、投影画像サイズが変化してしまう。図 5.20 は空間内の 2 箇所に矩形の投影を行った例であるが、投影画像に歪み及び大きさの変化が生じていることが確認できる（提示画像の背景を黒色にすることで矩形のみ提示できる[50]）。これは様々な位置に投影を行うアクティブプロジェクションにおいて不可避の現象であり[51][52]、本研究では提示する画像の補正によってこの問題を解決した。

本システムではこの問題の解決を画像提示部における補正の一つとして扱い、ImageProjection コンポーネントの開発を行った。このコンポーネントはアプリケーションから送られる「どこ」に「何」を提示するというリクエストとして、画像ファイル名と投影位置・画像サイズ・画像の向きを受け取る。そしてこのリクエストに合わせた情報提示を行う。このようなコンポーネント指向に基づいたシステム構成により、分散デバイスとしての柔軟なシステムの実現が可能となる。

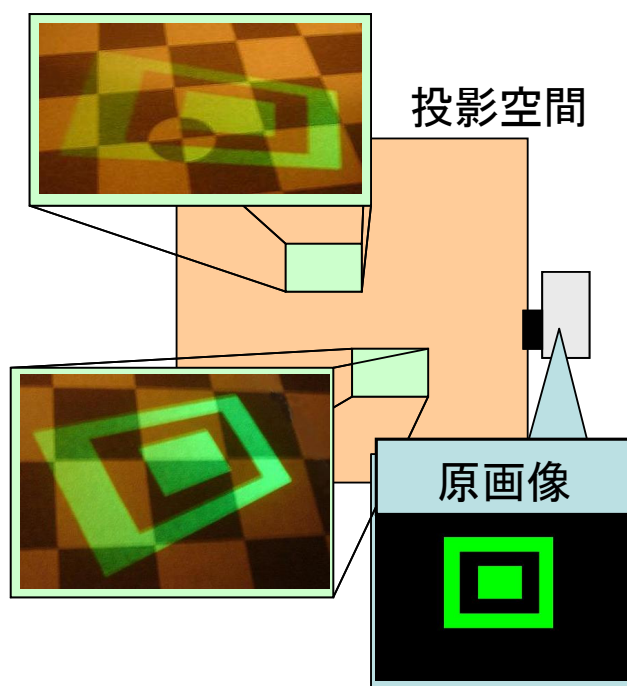


図 5.20 投影画像の歪み問題

### ○ 投影画像の補正手法

これより投影画像の補正手法を示す。まずリクエスト画像ファイルである原画像の読み込みを行う。そして画像の向きをパラメータとした回転補正、画像の大きさをパラメータ補正として伸縮補正、そして画像の投影位置をパラメータとした歪み補正の 3 つの補正を行う。そしてプロジェクタ内部で補正された画像を出力することで投影された画像はリクエストに合わせた画像となって提示を行える。

以下にそれぞれの補正手法を示す。なお以後プロジェクタの位置を原点とした座標系 $T_m$ を用いる。図 5.21 にプロジェクタと投影位置の関係を示す。

#### 1) 投影画像の回転補正

投影される画像の向きを合わせる。リクエストとしてInPortから与えられた投影画像の向きベクトルは絶対座標系での表記であるため、補正する際の回転角は $T_m$ 座標系に変換したベクトルのなす角となる。これにより空間内に対して任意の向きの画像の投影を行うことができ、ユーザの見やすい画像の向きでの提示が可能となる。

#### 2) 投影画像の伸縮補正

投影される画像の大きさを合わせる。投影光は直線的に広がりを持つため画像サイズは投影距離 $d$ に比例する。よって InPort から与えられたリクエスト画像サイズ $W$ の原画像に対するサイズ比 $\alpha$ を求める。補正しない場合( $\alpha=1$ )の画像サイズを $t(d)$ としたとき、そのサイズ比 $\alpha$ は式(5.35)より求めることができる。なお $t(d)$ はプロジェクタより与えられるパラメータを持つ比例関数となる。

$$\alpha(d) = W / t(d) \quad (5.35)$$

#### 3) 投影画像の歪み補正

投影歪みは投影方向に対する投影面の傾きによって生じ、投影画像は現画像の透視変換によって表現できる。ここで図 5.22 に示すように投影中心点 $O_p$ を原点とした投影面を平面Q、投影方向に対し垂直かつ投影中心点 $O_p$ を原点とした平面を平面Rとする。平面Q上の点 $p_Q$ と平面R上の点 $p_R$ との関係は同次座標系変換から式(5.36)のように表され、この変換行列 $H_{QR}$ は一般にホモグラフィ行列と呼ばれ、定数倍の不定性を持ち自由度 8 の $3 \times 3$ 行列となる[53]。

$$\begin{pmatrix} p_Q \\ 1 \end{pmatrix} \cong H_{QR} \begin{pmatrix} p_R \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5.36)$$

つまり式(5.36)は 2 平面における点の関係を表しており、このホモグラフィ行列 $H_{QR}$ がその 2 平面間の関係を決めるといえる。ホモグラフィ行列 $H_{QR}$ は自由度 8 であることより平面Qおよび平面Rの対応点を $q_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ )、 $r_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ )としたとき、この対応点が 4 組以上あれば $H_{QR}$ を求めることができる。そのため平面R上の任意の点 $r_i$ に対応する平面Q (投影面) 上の点 $q_i$ を求める。ここで 3 次元座標である $T_m$ 座標系における平面R上の任意の点を $r'_i$ 、それに対応する平面Q上の点を $q'_i$  とする。ここでの対応という意味はプロジェクタ原点 $O_p$



からの同一直線 $l_i$ 上の点という意味であり、直線の方程式である式(5.37)によって表すことができる。なお $t$ は媒介変数である。

$$q'_i = O_p + l_i \cdot t \quad (5.37)$$

法線ベクトルを $n_Q$ 、平面における任意の点を $q_o$ としたときの平面の方程式は

$$n_Q \cdot (q'_i - q_o) = 0 \quad (5.38)$$

式(5.37)と式(5.38)より媒介変数 $t$ は

$$t = -\frac{n_Q \cdot (O_p - q_o)}{n_Q \cdot l_i} \quad (5.39)$$

となる。さらに式(5.37)に媒介変数 $t$ を代入し、式(5.40)より $q'_i$ を求めることができる。

$$q'_i = O_p - \frac{n_Q \cdot (O_p - q_o)}{n_Q \cdot l_i} l_i \quad (5.40)$$

よって $q'_i$ 及び $r'_i$ を平面Q、平面Rそれぞれの平面座標にプロットすることで $q_i$ 及び $r_i$ が求まる。

これを4点行うことで4組の対応点が求まり、最終的に $H_{QR}$ を導出することができる。 $H_{QR}$ は投影歪みを表すものであり、原画像を歪み画像に変換する行列と言える。よって歪みを補正するためには $H_{QR}$ の逆行列を用いて透視変換を行えばよく、この逆に歪ませた画像を出力することで投影面では原画像のような歪みのない画像を提示することができる。

なお投影面は法線ベクトルと平面上の任意の点で表されているため、この登録を事前に行うことで様々な平面に対応できる。その他のアクティブプロジェクションではこの解決手法としてプロジェクタにカメラを搭載し平面検出を行うものやあらかじめ投影面を参照するといった方法が挙げられる[54]。知能化空間ではそれぞれのシステムが環境マップを共有する形を考えており、今後の展開として分散アクチュエータ自身は環境マップが既知であると考え、投影面のパラメータの調整が可能であり様々な面において投影が可能となる。

以上に示した画像の回転、伸縮、歪みの3つの補正を原画像に行うことで、リクエストに合わせた提示が実現できる。

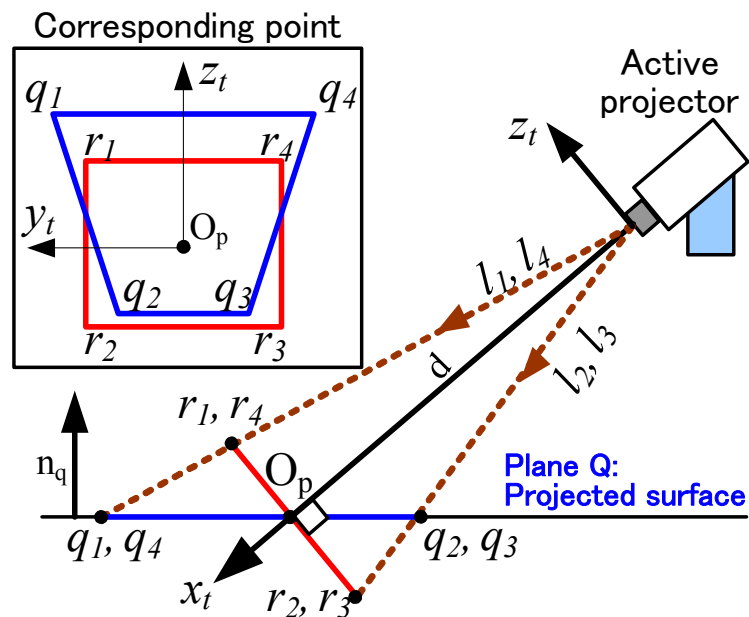


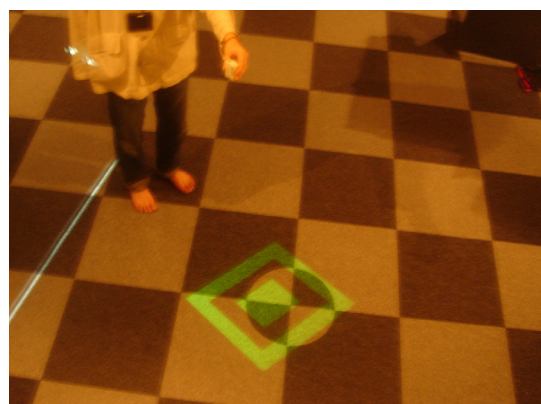
図 5.21 プロジェクタと投影位置の関係

#### ○ 投影画像補正における実験結果

投影画像補正による実験結果を示す。図 5.22 に投影画像（矩形：50cm×40cm）を人の手前に表示した例による投影画像補正の比較である。図 5.22a は補正を行わなかった場合であり、画像の大きさ・歪み・向きが投影位置によって異なりリクエストに反映されない。図 5.22b は補正を行った場合であり、投影画像が歪みなくユーザの向きに提示できている。また正方形のタイルカーペット（白黒）の一边が 50cm であり大きさに関してもリクエストに合わせ正しく提示が実現していることが確認できる。



a. 補正なし



b. 補正あり

図 5.22 投影画像補正の比較

## 5.5 情報提示システムにおける実験結果及び評価

以上に示したように、レーザ式測域センサ、超音波ロケーションシステム及びアクティブプロジェクタ、移動ロボットを分散デバイス化されたセンサコンポーネント及びアクチュエータコンポーネントとして RT コンポーネント化を行った。またアプリケーションコンポーネントではユーザの位置や向きに合わせた情報提示だけでなく、ユーザインタフェースの提示としての機能を持たせることが可能であり、インタラクティブな情報支援が実現できることを示し、アプリケーションを独立して開発することができる容易なインテグレーションの有効性を示した。

よってこれらの実装したコンポーネントを組み合わせることで実現できるアプリケーションを示し本提案システムの最終的な実験結果とする。作成したアプリケーションはエントランスや会場での訪問者への案内を想定したものであり、この機能を実装したコンポーネントを EntranceGuide コンポーネントと呼ぶ。図 5.23 に RT コンポーネントの構成図を示す。まず URGOut コンポーネント（レーザ式測域センサ）によってユーザの位置と向きを取得し、EntranceGuide コンポーネントへと送る。このコンポーネントは ActiveProjector コンポーネント群 (ImageProjection、MovePConverter、RTCLCtrl コンポーネント) と MobileRobot コンポーネントに接続されており、それぞれに対してリクエストを与えることで以下に示すコンテンツを実現する。図 5.24 に訪問者案内アプリケーションにて使用した提示画像を、図 5.25 に訪問者案内の様子を示す。

1. 入り口付近において図 5.24a に示す訪問場所を紹介する画像を提示しておく (図 5.25a)。
2. 訪問者が入り口の範囲にきた場合、訪問者の方向に合わせ図 5.24b に示すサービス選択パネルを提示する (図 5.25b)。
3. サービス選択パネルの “Call robot” の上に訪問者が乗ると、アクティブプロジェクタは訪問者の手前に図 5.24c に示すロボットを呼んでいることを表すメッセージを提示し、移動ロボットが訪問者のもとに来る (図 5.25c)。
4. “View map” の上に訪問者が乗った場合、訪問者の正面に図 5.24d に示す地図を表示する (図 5.25d)。
5. 訪問者は地図上の行きたい場所に乗ることができる (図 5.25e)。
6. そして図 5.24e に示すその案内場所への方向指示を訪問者の正面に提示する (図 5.25f)。

このように、ユーザの観測とアクティブプロジェクションによって人の動きに合わせインタラクティブな情報提示支援が可能であり、またアクティブプロジェクタでなく移動ロボットを情報提示システムに追加することで、プロジェクタでは投影しにくい場所への情報提示や物理的支援が可能であることから様々なサービスの拡張性を示した。さらに本シ

システムは智能化空間の3つの機能である「観測」、「理解」、「働きかけ」に基づき RT コンポーネント化し、分散デバイスを統合している。このため、その他のセンサコンポーネントやアクチュエータコンポーネントを追加することでシステムの持つ機能が拡張する。この機能で実現可能なアプリケーションコンポーネントを作成していくことで、本システムにおけるサービスの拡張へとつながる。

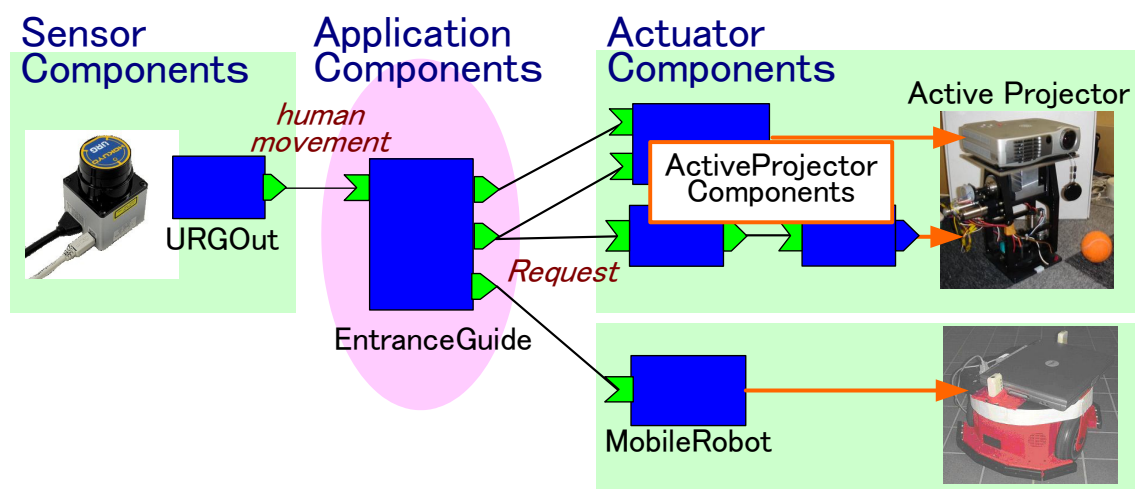


図 5.23 訪問者案内アプリケーションによるコンポーネント構成

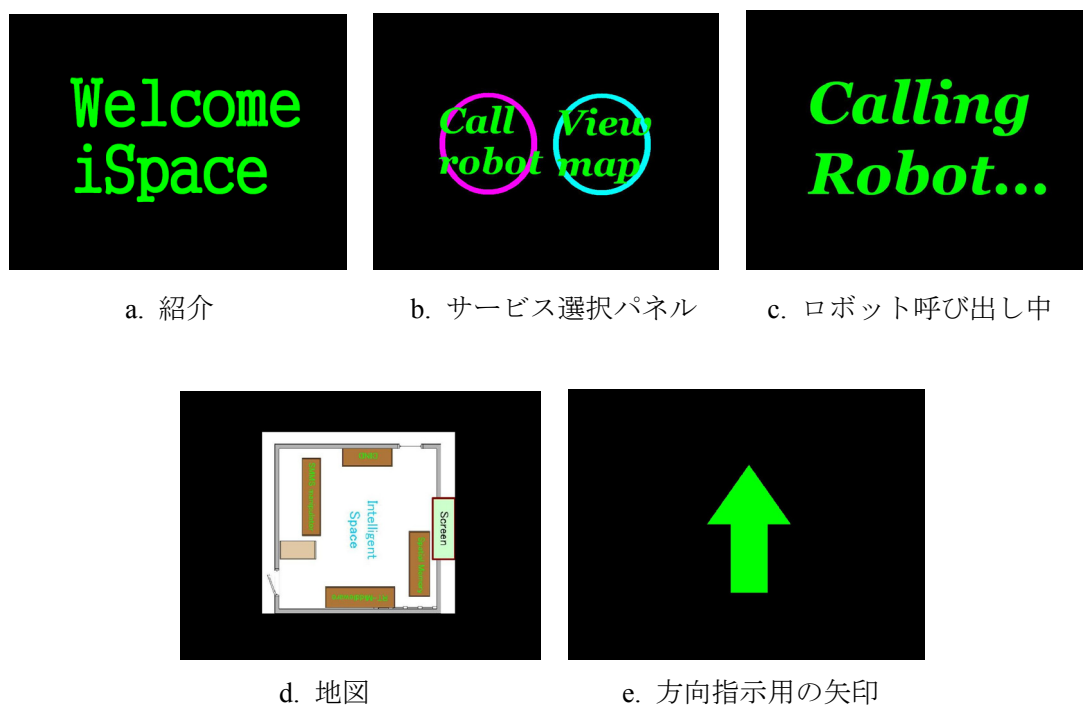


図 5.24 訪問者案内アプリケーションに使用した提示画像



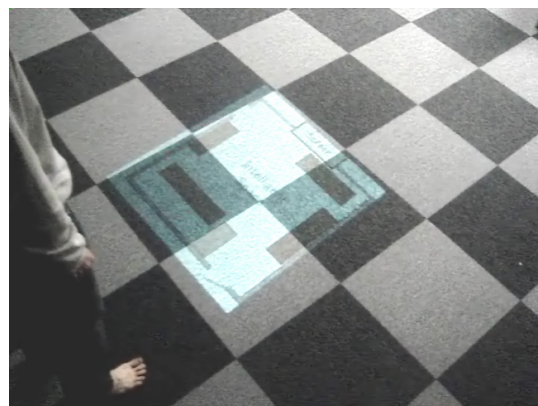
a. 訪問場所の紹介



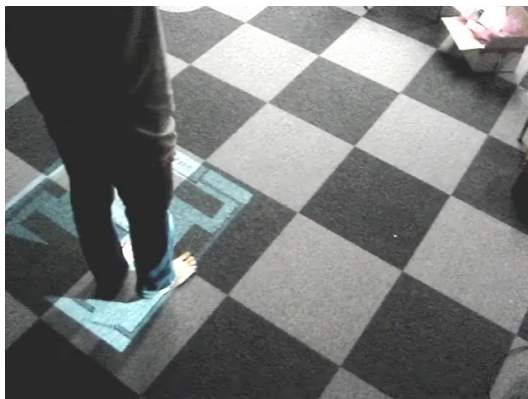
b. サービス選択パネルの表示



c. 移動ロボットの呼び出し



d. 地図の表示



e. 案内場所の選択



f. 案内場所の方向指示

図 5.25 訪問者案内の様子

## 第 6 章 結論

本章では、本論文で述べてきたことについてまとめ、今後の課題と展望を示す。

### 6.1 研究の成果とまとめ

本論文では、知能化空間における視覚的情報支援としてアクティブプロジェクタを用いた情報提示システムの提案を行った。提案システムはロボット用分散ミドルウェアである RT ミドルウェアを用いてセンサや移動ロボットなどの様々な機器を知能化空間における構成要素としてコンポーネント化し、分散デバイスの統合を図った。そして機能及びサービスにおいて拡張性の高い情報提示システムの実現を目指し、研究を行った。以下に各章毎のまとめを記す。

- 第 1 章

研究背景として、日常生活における人間を支援するためのロボットシステムとしてインテリジェント環境への関心が高まっており、このサービスの一つとして視覚的情報支援の重要性を述べた。またインテリジェント環境におけるインテグレーションの重要性を述べ、機能及びサービスにおける拡張性の高い情報提示システムを目指すことを研究目的として述べた。

- 第 2 章

インテリジェント環境及び視覚的情報支援に関する様々な研究例を紹介した上で考察を行い、本研究におけるアプローチの有効性を示し、研究意義を述べた。

- 第 3 章

我々の研究室で研究が進められてきたインテリジェント環境である知能化空間の概念を説明するとともに、これまでに実装された機能及びハードウェア構成について述べた。

- 第 4 章

本システムにおいて拡張性の高いシステム構築を目的として用いた RT ミドルウェアについて説明し、本システム及び知能化空間における RT ミドルウェアの役割とその有効性について述べた。

## ● 第5章

知能化空間における視覚的情報支援を実現するため、アクティブプロジェクタを開発した。また本システムにおいてアクティブプロジェクタ、レーザ式測域センサ、超音波ロケーションシステム及び移動ロボットを、知能化空間の構成要素として RT コンポーネント化することで分散デバイスの統合を図った。これより空間を利用したインタラクティブな情報提示機能を実現し、サービス及び機能における拡張性を持ったシステムを構築することで提案システムの有効性を示すと共に、今後の発展への可能性を示した。

## 6.2 今後の課題と展望

今後の課題として残されたものを以下に挙げる。

### ● インタラクションデザイン

本システムではユーザの位置や向きに合わせた情報提示機能とユーザインタフェースの提示機能を実現した。しかしながら「人に見やすい提示」、「提示が人に与える影響」などインタラクションデザインとしての考慮がなされていない。これは人に与えるサービスとして重要な研究項目である。今後この機能を駆使しインタラクションデザインとしての有効性の検証を行っていき、高度な情報提示サービスの提案を行っていく必要がある。

### ● 知能化空間としての適用

本システムにおいて投影空間の構造に対しては考慮されておらず、机や棚など多数存在する生活空間への適用までは至っていない。これには動的な投影空間のモデリングが考えられる。また分散デバイスにおけるセンサ情報の共有化も必要である。RT ミドルウェアによる分散デバイスとしてのコンポーネント化の有用性を生かしつつ、知能化空間のフレームワークにもとづきサーバやデータベースを設け、知能化空間への適用を図っていく必要がある。

### ● 分散デバイスのコンポーネント化

本システムは分散デバイスのコンポーネント化によってサービス及び機能における拡張性を持ったシステムへの発展の可能性を示した。そこで本論文にて扱ったデバイス以外にも様々なセンサやアクチュエータを分散デバイスとしてコンポーネント化することで、視覚的情報支援のみにとどまらず、様々な支援が行うことができると考えられる。またコンポーネント化する上でのセンシング技術の向上なども必要である。これによってサービスプラットフォームとしての構築を図っていく。

- インテリジェント環境における最適な RT コンポーネント

RT コンポーネントは CORBA 技術をベースとして分散コンポーネントを実現している。これはインテリジェント環境の構築において有効な手段ではあるものの、PC のリソースを多く消費してしまう問題がある。今後 PC の性能の飛躍的な向上は見込まれない見方もある。このため、インテリジェント環境における最適な RT コンポーネントの粒度を議論していく必要がある。

この対策案としてコンポーネントの粒度を自在に変更できるようにすることが考えられる。現在の RT ミドルウェア (OpenRTM-aist) は複合コンポーネントとして開発者の操作上において RT コンポーネントの粒度の変更を見立てているが、PC のリソースの削減しているわけではない。そのためこれをソースレベルで自在に再構築を行えるようにすることで、余分な CORBA リソースを削減することが可能であると考えられる。

またコンポーネント化の際に生じる通信の遅延は避けられない。センシングのサンプリング周期などを考慮してシステムのリアルタイム性の問題を解決していき、コンポーネント化の可能な範囲を探っていく必要がある。



## 参考文献

- [1] (社)日本機械工業連合会, (社)日本ロボット工業会, “21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書”, 2001.5.
- [2] 経済産業省, 「次世代ロボットビジョン懇談会」報告書, 2005.4.
- [3] 新エネルギー・産業技術統合開発機構 (NEDO), “技術戦略マップーロボット分野”, 2005.
- [4] Cory D. Kidd, Robert Orr, Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Irfan A. Essa, Blair MacIntyre, Elizabeth Mynatt, Thad E. Starner, Wendy Newstetter, “The Aware Home: A living laboratory for ubiquitous computing research”, Proc. of the Second Intl. Workshop on Cooperative Buildings - CoBuild’99, 1999.
- [5] B.Brumitt, B.Meyers, J.Krumm, A.Kern and S.Shafer, “EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments”, Proc. of the Intl. Conf. on Handheld and Ubiquitous Computing, pp.12-27, 2000.
- [6] J. Krumm, S. Shafer, A. Wilson, “How a Smart Environment Can Use Perception”, UBIComp2001 Workshop on Perception for Ubiquitous Computing, 2001.10.
- [7] Lisa Scanlon, “Rethinking the Computer - Project Oxygen is turning out prototype computer systems”, Technology Review, 2004.
- [8] Brad Johanson, Armando Fox, Terry Winograd, “The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms”, IEEE Pervasive Computing Magazine Vol.1, No.2, 2002.
- [9] K. Eng, A. Baebler, U. Bernardet, M. Blanchard, M. Costa, T. Delbruck, R. J. Douglas, K. Hepp, D. Klein, J. Manzolli, M. Mintz, F. Roth, U. Rutishauser, K. Wassermann, A. M. Whatley, A. Wittmann, R. Wyss, and P. F. M. J. Verschure, “Ada - Intelligent Space: An artificial creature for the Swiss Expo.02”, presented at IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2003), Taipei, Taiwan, 2003.
- [10] H. Morishita, Y. Kosaka, N. Hosoda, K. Ohgushi, T. Yamanishi, M. Hosseinbor, K. Watanabe, R. Fukui, T. Kobayashi, S. Shiotani, Y. Majima, T. Kuroiwa, T. Fujimoto, H. Noguchi, T. Mori, T. Sato, “Realization of Hyper-robot System: A Robotically Supported Room Environment in 2020”, Proc. of the 36th International Symposium on Robotics, TU4H2, 2005.
- [11] 森武俊, 野口博史, 佐藤知正, “センシングルームー部屋方日常行動計測蓄積環境 第 2

- 世代ロボティックルームー”，日本ロボット学会誌，Vol. 23，No. 6，pp. 665-669，2005.
- [12] 山崎達也，“家族を結ぶ情報通信技術”，NICT（情報通信研究機構）News no.341，2004.8.
- [13] G.C. De Silva, T.Yamasaki, K. Aizawa “Experience retrieval in a Ubiquitous Home”,ACM Multimedia Workshop on Continuous Archival of Personal Experience 2005 (CARPE2005) pp.35-44, Nov.11, 2005, Singapore.
- [14] 上田博唯，小林亮博，佐竹純二，近間正樹，佐藤淳，木戸出正継，“ユビキタス環境における対話型ロボットインタフェースのための対話戦略の構築”，情報処理学会論文誌「ユビキタス社会におけるコラボレーションサービス」特集， Vol.47，No.1，pp.87-97，2006.1.
- [15] Y. Nishida, T. Hori, T. Suehiro, S. Hirai, “Sensorized Environment for Self-communication Based on Observation of Daily Human Behavior”, Proc. of 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2000), pp. 1364-1372, 2000.
- [16] Y. Nishida, T. Hori, “Non-invasive and Unrestrained Monitoring of Human Respiratory System by Sensorized Environment”, Proc. of the First IEEE International Conference on Sensors (Sensor2002), pp. 62.4(1)-(6), 2002.6.
- [17] S. Sugano, Y. Shirai, S. Chae, “Environment Design for Human-Robot Symbiosis –Introduction of WABOT-HOUSE Projector-”, International Symposium on Automation and Robotics in Construction 2006 (ISARC2006), pp. 152-157, 2006.10.
- [18] C. Pinhanez, “The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces”, Proc. of Ubiquitous Computing 2001 (UbiComp’01), pp. 315-331, 2001.9.
- [19] T. Mori, H. Noguchi and A. Takada: “Sensing room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior”, International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS 2004), pp.40-43, 2004.
- [20] I. Mitsugami, N. Ukita, M. Kidode, “Multi-Planar Projection by Fixed-Center Pan-Tilt Projector”, Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.6.
- [21] R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, H. Fuchs, “The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays”, ACM SIGGRAPH 1998, 1998.9.
- [22] A. State, G. Welch, A. Ilie, “An Interactive Camera Placement and Visibility Simulator for Image-Based VR Applications”, Proc. of the Engineering Reality of Virtual Reality 2006 (3D Imaging, Interaction, and Measurement; IS&T/SPIE 18th Annual Symposium on Electronic Imaging Science and Technology), San Jose, CA, 2006.1.
- [23] R. Raskar, J. Baar, P. Beardsley, T. Willwacher, S. Rao, C. Forlines, “iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors”, Proc. of SIGGRAPH2003, pp.809-818, 2003.7.
- [24] Mitsubishi Electric Research Laboratories: <http://www.merl.com/projects/iLamps/>

- [25] R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality”, Presence: Teleoperators and Virtual Environments6, pp. 355-385. 1997.8.
- [26] 高田大輔, “ネットワーク共有型ウェアラブル拡張現実感システム開発用ライブラリ”, 大阪大学特別研究報告, 2004. 2.
- [27] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡ナビ」”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2003-186, 2004.1.
- [28] J. H. Lee, H. Hashimoto, “Intelligent Space – concept and contents”, Advanced Robotics, Vol. 16, No. 3, pp. 265-280, 2002.4.
- [29] 橋本秀紀, 渡邊朗子, “空間知能化のデザイン構築・ロボティクス-IT の融合”, NTT 出版, 2004.
- [30] 森岡一幸, 黒田陽一, 李周浩, 橋本秀紀, “色情報処理手法の自動選択による複数物体追跡” 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 電気学会, Vol.126, No.2, pp. 210-219, 2006.2.
- [31] K. Morioka, H. Hashimoto, “Appearance Based Object Identification for Distributed Vision Sensors in Intelligent Space”, Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems Vol.1, pp.199-204, 2004.9.
- [32] B. Resko, H. Hashimoto, A. Roka, A. Csapo, P. Baranyi, “Cognitive Informatics based DIND for Corner and Crossing Detection in Intelligent Space”, Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006), pp. 1234-1239, 2006.10.
- [33] T. Sasaki, H. Hashimoto, “Human Observation Based Mobile Robot Navigation in Intelligent Space”, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2006), pp. 1169-1174, 2006.10.
- [34] 新妻実保子, 橋本洋志, 橋本秀紀, “空間メモリ:知識活用を支援する空間知能化”, 計測自動制御学会論文誌, 第 42 巻 4 号, pp.367-375, 2006.4.
- [35] D. Brscic, T. Sasaki, H. Hashimoto, “Implementation of Mobile Robot Control in Intelligent Space”, Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006), pp.1128-1233, 2006.10.
- [36] 産業技術総合研究所, 日本ロボット工業会, 松下電工株式会社, “オープンなロボットアーキテクチャを実現する RT ミドルウェアを開発 –新たな生活支援ロボット産業創出を目指して–”, 産総研・JARA・松下電工共同プレス発表資料, 2005.2.
- [37] 産業総合技術研究所 (AIST), “OpenRTM-aist-0.2.0 Developers Guide”
- [38] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku, W. K. Yoon, “RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology)”, 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005), pp.3555-3560, 2005.08.
- [39] 鈴木喬, 安藤慶昭, 稲垣学, 大原賢一, 大場光太郎, 谷江和雄, “多様な組み込み機器で動作する RTComponent-Lite 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'06 (ROBOMECH'06), p.1P1-C35, 2006.5.
- [40] 鈴木喬, 大原賢一, 安藤慶昭, 大場光太郎, 谷江和雄, “RT ミドルウェアを適用したロボット機能要素の分散制御”, 第 7 回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会 (SI2006), pp. 55-56, 2006.12.
  - [41] 安藤慶昭, 新妻実保子, 都島良久, 橋本秀紀, “RT ミドルウェアによる知能化空間のシステムデザイン”, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2005), pp.CDROM-2B22, 2005.9.
  - [42] 橋本秀紀, “RT(Robot Technology)と IT の融合 –空間知能化”, 2006 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会講演論文集, pp. S-59-S-60, 2006.9.
  - [43] G. Welch, G. Bishop, “An introduction to the Kalman filter”, Univ. North Carolina, Chapel Hill, Tech Rep. TR95-041, 2001.2.
  - [44] R. J. Orr, G. D. Abowd, “The Smart Floor: A mechanism for natural user identification and tracking”, In Conf. on Human Factors in Computing Systems, The Hague, Netherlands, 2000.4.
  - [45] 宮崎文夫, 升谷保博, 西川敦, “ロボティクス入門”, 共立出版, 2000.
  - [46] R. Pnippesen, R. Siegwart, “Smooth and efficient obstacle avoidance for a tour guide robot”, In Prof. of the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2003.
  - [47] D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, “The dynamic window approach to collision avoidance”, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 4, No. 1, 1997.
  - [48] 羽田靖史, 鳴海拓志, 浅間一, 川端邦明, 辻邦浩, “カメラを用いた人間の特徴抽出結果に基づく行動サポート実験”, 第 15 回日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 188-189, 2006.8.
  - [49] 野呂影勇 (編), “図説エルゴノミクス”, 日本規格協会, 1990.
  - [50] D. Hoffman, “Visual Intelligence: How We Create What We See”, W. W. Norton, 1998.
  - [51] C. Pinhanez, F. Nielsen, K. Binsted, “Projecting Computer Graphics on Moving Surfaces: A Simple Calibration and Tracking Method”, Proc. of SIGGRAPH'99, 1999.
  - [52] R. Rasker, “Oblique Projector Rendering on Planner Surfaces for a Tracked User”, Proc. of SIGGRAPH'99, 1999.
  - [53] O. Faugeras, “Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint”, Cambridge Massachusetts The MIT Press, 1993.
  - [54] 満上育久, 浮田宗伯, 木戸出正継, “投影固定型パンチルトプロジェクタを用いた複数面投影”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), 2005.7.

## 発表文献

- [1] 安藤慶昭, 新妻実保子, 都島良久, 橋本秀紀, “RT ミドルウェアによる知能化空間のシステムデザイン”, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2005), 神奈川, pp.CDROM-2B22, 2005.9.
- [2] 都島良久, 王親和, 安藤慶昭, 鈴木喬, 橋本秀紀, “空間知能化のためのネットワーク接続型稼動式情報提示装置－RT コンポーネントを用いたアクティブプロジェクタの開発－”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 (ROBOMECH'06), 東京, p.2P1-E19, 2006.5.
- [3] 都島良久, 新妻実保子, 安藤慶昭, 橋本秀紀, “RT Component を用いた情報提示システムの構成”, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2006), 岡山, pp.CDROM-3D16, 2006.9.
- [4] Yoshihisa TOSHIMA, Qinhe WANG, Noriaki ANDO, Hideki HASHIMOTO, “Occlusion Avoidance of Information Display System in Intelligent Space”, Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS2006), Busan, Korea, pp. 2663-2667, 2006.10.
- [5] 都島良久, 安藤慶昭, 橋本秀紀, “アクティブプロジェクタを用いた情報提示における投影画像補正”, 第 7 回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会 (SI2006), 北海道, pp. 758-759, 2006.12.
- [6] Yoshihisa TOSHIMA, Noriaki ANDO, Hideki HASHIMOTO, “Information Display System using Active Projector in Intelligent Space –Integration of distributed devices based on RT-Middleware”, The 11th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB'07), Beppu, Oita, Japan, pp.183-186, 2007.1.
- [7] 都島良久, 新妻実保子, 安藤慶昭, 橋本秀紀, “RT-Middleware による空間知能化システムの統合”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 (ROBOMECH'07), 秋田, 2007.5. (発表予定)

## 謝辞

本研究を進めるに際し、指導教官である橋本秀紀助教授には常に適切なご指導とご助言、貴重な経験を与えていただきました。そして研究に対する姿勢を学び感心と知識を深めることができました。心からお礼申し上げます。

橋本研究室の先輩である安藤慶昭氏（現産業総合技術研究所）、李周浩氏（現立命館大学）、森岡一幸氏（明治大学）には適切なアドバイスを頂けました。また現在のご活躍を拝見し研究の励みになりました。大変感謝いたしております。特に安藤慶昭氏には RT ミドルウェアをはじめとして研究全般において相談に乗っていただきました。丁寧なご指導を承ることができ、尊敬の念と共に深く感謝の気持ちを表します。

新妻実保子氏（東京大学大学院博士課程）、Brscic Drazen 氏（東京大学大学院博士課程）、黄吉卿氏（東京大学大学院博士課程）、佐々木毅氏（東京大学大学院博士課程）には空間知能化やロボティクス、コンピュータに関する幅広い知識を与えていただきました。また研究に関して親身になって相談に乗っていただきました。本当にありがとうございました。

小坂明生氏（オリンパス株式会社）、三由貴史氏（オリンパス株式会社）には空間知能化研究会を始めとして様々な場面でお世話になりました。厚くお礼申し上げます。

陳台錫氏、Zoltan Petres 氏、大橋久美子氏、Barna Resko 氏、Daniel Pizarro 氏、Primoz Podrzaj 氏、Per Irvall 氏、周森磊氏、鄭韶華氏をはじめ研究員・研究生として研究室を訪れ、様々な刺激を与えてくださいました方々に感謝いたします。

修士課程 2 年生の Preeda Chantanakajornfung 氏、修士課程 1 年生の王親和氏、川路浩平氏は研究室での生活を送る上で大変お世話になりました。ありがとうございました。

鈴木喬氏（首都大学東京大学院修士課程）には RT Component-Lite の実装につきましてご協力していただきました。お礼申し上げます。

長年橋本研究室の秘書を勤めてくださいました山本浩美女史、現在秘書を勤めていただいている高坂千津女史には快適な研究室環境を得るための様々なお気遣いをいただき、誠に感謝しております。

最後に 2 年間公私に渡り私を支えて下さった全ての方に心より感謝いたします。

簡単ではありますが、以上を持ちまして私の謝辞とさせていただきます。