

ユビキタス環境に適した  
次世代インタフェースの研究

Research on the Next-generation User  
Interface for Ubiquitous Computing

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科  
塚田 浩二

# 論文概要

ユビキタス・コンピューティングの実現には、小型・小電力のコンピュータやセンサーを実現する技術的な要素に加えて、人々がどのようにコンピュータと関わり、恩恵をうけるのかという HCI(Human Computer Interaction) の役割が重要となる。

本論文では、従来の GUI(Graphical User Interface) をユビキタス・コンピューティング環境に適用する際の課題について整理し、ユビキタス・インタフェースのコンセプトとして「直接性」、「自然さ」、「周辺性」、「透明性」の四つを提案する。すなわち、ユビキタス・インタフェースは、「現実世界の物理的な要素」、「アフォーダンスと身体性」、「視覚以外の感覚器」を積極的に活用することで、ユビキタス・コンピューティングの本質である「日常のタスクを阻害しない透明なインタフェース」を実現し、人々の日常生活を支援することを目指す。

次に、具体的なアプローチとして、ユビキタス・コンピューティングの主要な領域である「情報家電制御」、「日用品の拡張」、「位置依存情報サービス」に焦点を当てて、「Ubi-Finger」、「MouseField」、「ActiveBelt」という三つの新しいユーザ・インタフェースを提案する。

Ubi-Finger は、情報家電機器制御に適したジェスチャ入力デバイスである。ユーザは Ubi-Finger を用いて、実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャで直感的に操作することができる。本研究では、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな家電機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例などを試作する。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を示す。

MouseField は、ID リーダーと動きセンサーを統合することで、ID ベースシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張するアプローチである。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを MouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。本研究では、具体的なアプリケーションとして、CD や DVD などのコンテンツ操作を行う応用例や、キオスク端末での活用を行う応用例などを構築する。さらに、運用経験や議論を通して、システムの有効性や課題について検討する。

ActiveBelt は、モバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェースである。ActiveBelt を利用すれば、ユーザは振動を「感じるままに歩く」ことで、目的地へと向かっていくことができる。本研究では、ベルトに方位センサー、GPS と複数のアクチュエータを装着した ActiveBelt のプロトタイプを試作し、その有効な活用例を示すアプリケーションを提案する。ま

---

た，評価実験を行い，提案システムの有効性を確認する．

さらに，本研究に関連する研究領域を紹介し，本研究の特徴や位置づけについて整理する．最後に，ユビキタス・インタフェースの特徴や課題を整理し，今後のユビキタス・インタフェースの展望を示す．

# Abstract

The realization of ubiquitous computing is one of the most prospective challenges for computer science in 21st century. Although many hardware and software technologies for ubiquitous computing have developed so far, yet many challenges still remain unsolved especially in the field of HCI (Human Computer Interaction).

First, this research points out problems of GUI (Graphical User Interface) as a user interface for ubiquitous computing, and proposes the concepts of Ubiquitous Interface which has the following four features: “Direct Manipulation”, “Natural Interface”, “Peripheral Sense”, and “Invisibility”.

Next, this research focused on three major domains of ubiquitous computing: “Information Appliances”, “Daily Commodities”, and “Location-Aware Information Services”. Based on the above concepts, this research proposed three novel interfaces: “Ubi-Finger”, “MouseField”, and “ActiveBelt”.

Ubi-Finger is a gesture-input device, which is simple, compact, and optimized for mobile and ubiquitous environment. We develop prototype systems and some applications to control devices in the real world. Using our systems, a user can select a target device by pointing with her/his index finger, then control it flexibly by performing natural gestures of fingers. Additionally, we evaluate how effective our approach works.

MouseField is a simple and versatile ubiquitous interface which consists of an ID recognizer and motion sensors that can detect an object and its movement after the object is placed on it. The system can interpret the user’s action as a command to control the flow of information. In this paper, we show how this simple device can be used for handling information easily in ordinary environments and show the benefits of using it in the ubiquitous environment.

ActiveBelt is a novel belt-type wearable tactile display that can transmit multiple directional information. Since the information given with tactile sense hardly disturbs people’s activities, it is suited for daily use in mobile environment. However, many of existing systems don’t transmit multiple information with tactile sense. Most of them send only simple signals, such as vibration of cellular phones. We develop prototype systems and some applications, evaluate the system performance and usability, and confirm the possibility of practical use.

Moreover, we discuss uniqueness and differences of our approach compared with



---

various related works. Finally, we summarize features of ubiquitous interfaces, and discuss future possibilities of ubiquitous computing.

# 目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	2
1.2 本研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 背景と関連領域	7
2.1 はじめに	8
2.2 コンピュータの新しい利用形態	8
2.2.1 モバイル・コンピューティング	8
2.2.2 ウェアラブル・コンピューティング	8
2.2.3 ユビキタス・コンピューティング	9
2.3 ユーザ・インタフェースの従来領域	10
2.3.1 CUI (Character User Interface)	10
2.3.2 GUI (Graphical User Interface)	10
2.4 ユーザ・インタフェースの新領域	12
2.4.1 エージェント型インタフェース	12
2.4.2 没入型インタフェース	12
2.4.3 実世界指向インタフェース	12
2.4.4 マルチモーダル・インタフェース	13
2.5 まとめ	13
第3章 ユビキタス・インタフェースの提案	15
3.1 ユビキタス・コンピューティングの本質	16
3.2 ウェアラブル・コンピューティングの本質	17
3.2.1 ウェアラブル・インタフェース	17
3.3 GUIの制約	18
3.3.1 現実世界との乖離	18
3.3.2 アフォーダンスと身体性の欠落	19
3.3.3 視覚の占有	19
3.4 ユビキタス・インタフェースの提案	20
3.4.1 アプリケーション領域	21

目次	目次
3.4.2 本研究のアプローチ . . . . .	21
3.5 まとめ . . . . .	23
<b>第4章 Ubi-Finger: コビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス</b>	<b>24</b>
4.1 はじめに . . . . .	25
4.1.1 ジェスチャ入力 . . . . .	25
4.2 Ubi-Finger . . . . .	26
4.2.1 ジェスチャによる実世界機器操作 . . . . .	26
4.2.2 ウェアラブル・デバイス . . . . .	27
4.2.3 多様な機器操作 . . . . .	28
4.3 実装 . . . . .	28
4.3.1 デバイス構成 . . . . .	28
4.3.2 システム構成 . . . . .	29
4.3.3 プロトタイプ . . . . .	30
4.4 応用 . . . . .	35
4.4.1 実世界の機器操作 . . . . .	35
4.4.2 コンピュータの入力補助 . . . . .	35
4.4.3 プレゼンテーション支援 . . . . .	35
4.5 評価実験 . . . . .	39
4.5.1 評価手法 . . . . .	39
4.5.2 結果 . . . . .	39
4.6 関連研究 . . . . .	43
4.7 今後の展望 . . . . .	44
4.8 まとめ . . . . .	45
<b>第5章 MouseField:日用品を拡張するインタフェース技法</b>	<b>46</b>
5.1 はじめに . . . . .	47
5.2 MouseField . . . . .	48
5.3 実装 . . . . .	48
5.4 応用 . . . . .	52
5.4.1 PlayStand++: コンテンツ操作への応用 . . . . .	52
5.4.2 キオスク端末への応用 . . . . .	52
5.4.3 日用品を用いた近傍検索 . . . . .	54
5.4.4 複数デバイスの連携 . . . . .	55
5.5 議論 . . . . .	58
5.5.1 置いて・動かす操作のイディオム . . . . .	58
5.5.2 操作対象のオブジェクト . . . . .	59
5.5.3 IDの認識手法 . . . . .	59
5.5.4 情報アプライアンス . . . . .	59
5.5.5 運用経験 . . . . .	60
5.6 関連研究 . . . . .	62

目次	目次
5.7	まとめ . . . . . 64
<b>第6章</b>	<b>ActiveBelt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構 65</b>
6.1	はじめに . . . . . 66
6.1.1	モバイル環境における情報提示手法 . . . . . 66
6.1.2	ウェアラブル・インタフェースの形態 . . . . . 67
6.2	ActiveBelt . . . . . 68
6.2.1	デバイス構成 . . . . . 68
6.2.2	腰部への振動刺激の特性 . . . . . 68
6.2.3	アクチュエータ数の検討 . . . . . 69
6.3	実装 . . . . . 69
6.3.1	応用例 . . . . . 78
6.4	評価実験 . . . . . 82
6.4.1	手法 . . . . . 82
6.4.2	結果 . . . . . 82
6.4.3	考察 . . . . . 84
6.5	議論 . . . . . 86
6.5.1	位置依存情報の特性 . . . . . 86
6.5.2	地図表示型ナビゲーション方式との比較と考察 . . . . . 86
6.6	関連研究 . . . . . 87
6.7	まとめ . . . . . 88
<b>第7章</b>	<b>関連研究 89</b>
7.1	実世界指向インタフェース . . . . . 90
7.1.1	拡張現実 . . . . . 90
7.1.2	タンジブル・インタフェース . . . . . 91
7.1.3	情報家電制御 . . . . . 93
7.1.4	日用品 . . . . . 95
7.2	コンテキスト・アウェアネス . . . . . 96
7.2.1	ID情報の取得 . . . . . 96
7.2.2	位置情報の取得 . . . . . 100
7.3	マルチモーダル・インタフェース . . . . . 101
7.3.1	ジェスチャ認識 . . . . . 101
7.3.2	触覚ディスプレイ . . . . . 103
7.4	まとめ . . . . . 104
<b>第8章</b>	<b>ユビキタス・インタフェースの考察と展望 105</b>
8.1	ユビキタス・インタフェースの考察 . . . . . 106
8.1.1	実世界の直接指示 . . . . . 106
8.1.2	既存のスキルとメタファの活用 . . . . . 107
8.1.3	新しいモダリティの活用 . . . . . 107

目次	目次
8.1.4 外見的な透明性 . . . . .	107
8.1.5 汎用性 . . . . .	108
8.1.6 日常生活で実現可能なシステム構成 . . . . .	108
8.2 ユビキタス・インタフェースの議論 . . . . .	109
8.2.1 多機能と単機能 . . . . .	109
8.2.2 直接操作とエージェント . . . . .	112
8.2.3 Foreground と Background . . . . .	113
8.2.4 人間と環境 . . . . .	113
8.2.5 透明性と存在感 . . . . .	114
8.3 ユビキタス・インタフェースの展望 . . . . .	114
8.3.1 ユビキタス・インタフェースのデザイン . . . . .	114
8.3.2 イディオム . . . . .	116
8.3.3 究極のユビキタス社会 . . . . .	116
8.4 まとめ . . . . .	118
<b>第9章 結論</b>	<b>119</b>
9.1 本研究の成果 . . . . .	120
9.2 本論文の総括と結論 . . . . .	122
<b>謝辞</b>	<b>125</b>
<b>本研究に関する発表</b>	<b>126</b>
<b>参考文献</b>	<b>139</b>
<b>付録 A RFID 技術の概要</b>	<b>140</b>
A.1 はじめに . . . . .	140
A.2 RFID の概要 . . . . .	140
A.3 RFID タグの動作原理 . . . . .	142
A.4 RFID タグの種類 . . . . .	143
A.5 RFID の関連技術 . . . . .	153
A.6 標準化 . . . . .	156
A.7 RFID の応用分野 . . . . .	157
A.8 RFID の課題 . . . . .	160
A.9 まとめ . . . . .	161

# 目次

1.1	本論文の構成	6
4.1	実世界機器の持つアフォーダンス	27
4.2	指差しによる機器の選択のイメージ図	29
4.3	Ubi-Finger デバイス構成イメージ図	30
4.4	Ubi-Finger システム構成	31
4.5	Ubi-Finger プロトタイプ Ver.2	32
4.6	Attachable Controller 概念図	33
4.7	Attachable Controller システム図	34
4.8	テレビ操作とジェスチャの対応付け	37
4.9	コンピュータの入力支援	38
4.10	実験室の配置	39
4.11	実験で操作した家電機器	40
4.12	ジェスチャによる実世界機器の操作に関する評価結果	41
4.13	「指差し」による機器の特定に関する評価結果	42
5.1	MouseField デバイスのプロトタイプ (前面)	49
5.2	MouseField デバイスのプロトタイプ (背面)	50
5.3	MouseField で検出可能な動きの例	51
5.4	PlayStand++ の外観	53
5.5	PlayStand++ の操作	56
5.6	電子行き先掲示板	57
5.7	MouseField の運用の様子	60
6.1	ActiveBelt デバイス構成イメージ図	69
6.2	ActiveBelt プロトタイプ	70
6.3	ActiveBelt システム構成	71
6.4	ActiveBelt ハードウェア ver.1	72
6.5	ActiveBelt ハードウェア ver.2	73
6.6	ActiveBelt ver.2 内部の配線	73
6.7	ActiveBelt ver.2 装着例	74
6.8	方位センサーユニット	76
6.9	FeelNavi のイメージ図	78

6.10	FeelSense のイメージ図 . . . . .	79
6.11	FeelSeek のイメージ図 . . . . .	80
6.12	FeelWave のイメージ図 . . . . .	81
6.13	評価実験の様子 . . . . .	83
A.1	RFID システムの構成 . . . . .	141
A.2	RFID タグの構造 . . . . .	142
A.3	アクティブタイプ, パッシブタイプのタグの例 . . . . .	144
A.4	パッシブタイプのリーダーの例 . . . . .	144
A.5	アクティブタイプのリーダーの例 . . . . .	145
A.6	アンチ・コリジョン機能の動作の流れ . . . . .	147
A.7	125kHz ~ 135kHz 帯の RFID タグ . . . . .	148
A.8	13.56MHz 帯の RFID タグ . . . . .	149
A.9	2.45GHz 帯の RFID タグ . . . . .	150
A.10	さまざまな形状の RFID タグ . . . . .	152
A.11	バーコードと RFID の代表例と特徴 . . . . .	155

# 表 目 次

6.1	ウェアラブル・インタフェースの代表的な形態と事例 . . . . .	67
6.2	振動子配置の理論値との誤差（フリーサイズ型） . . . . .	74
6.3	振動子配置の理論値との誤差（通常型） . . . . .	75



# 第 1 章

## 序論

### 概要

本章では本研究の背景と目的，本論文の構成について述べる．

## 1.1 本研究の背景

近年、コンピュータの小型化・低価格化・高性能化には目を見張るものがある。従来のコンピュータは大学やオフィスのデスクワークにおける利用が中心だったが、ノートパソコンや携帯電話、情報家電機器などの普及により、その利用分野は実生活全般に大きく拡大している。このような、日常生活の中にさまざまな情報機器群が遍在する新しいコンピューティング環境は「ユビキタス・コンピューティング (Ubiquitous Computing)」と称される。

ユビキタスコンピューティングは、1990年代初頭に Xerox PARC(パロアルト研究所)の Mark Weiser により、21世紀のコンピューティング環境のビジョンとして提唱された [Weiser, 1991]。そこでは、コンピュータは現実世界のあらゆる場所に遍在し、相互に協調しあい、環境に融合して我々の生活を支える基盤となっている。ユビキタス・コンピューティングの目指す世界では、コンピュータは生活空間に完全に溶け込み、人々はコンピュータの存在を意識することなく、さまざまな恩恵を受けることができる。

ユビキタス・コンピューティングの実現には、小型・小電力のコンピュータやセンサーを実現する技術的な要素に加えて、人々がどのようにコンピュータと関わり、恩恵を受けるのかという HCI(Human Computer Interaction)の役割が重要となる。

現在 21 世紀に入り、ユビキタス・コンピューティングの技術的な要素については、超小型のコンピュータ [Kris Pister, 2001, Crossbow, 2004] や RFID タグ [Hitachi, 2002, RFID テクノロジー編集部, 2004]、低消費電力の無線チップ [Bluetooth, 1998, ZigBee, 2005] の実用化をはじめとして急速に整いつつある。その一方、ユビキタス・コンピューティング環境に適した HCI の設計については、まだ十分な提案・検討が行われていない。既存のコンピュータのインタフェースとしては、WIMP(Window・Icon・Menu・Pointing Device)を用いた GUI(Graphical User Interface)が一般的であったが、デスクワークにおける利用を想定した GUI をユビキタス・コンピューティング環境にそのまま適用することは難しい。

コンピュータが生活空間に溶け込み、人々にその存在を意識させることなく、日常生活をさまざまな形で支援する、真のユビキタス・コンピューティング環境を実現するためには、こうした GUI の制約を排除した、新しい HCI を構築する必要がある。

## 1.2 本研究の目的

本研究の目的は、ユビキタス・コンピューティング環境に適した次世代 HCI「ユビキタス・インタフェース」のコンセプトを提案し、そのコンセプトに基づいた新しいユーザ・インタフェースを提案、構築、評価し、ユビキタス・インタフェースの展望についてまとめることである。

本研究の目的は以下のようにまとめられる。

— 本研究の目的 —

1. ユビキタス環境に適した次世代 HCI「ユビキタス・インタフェース」の提案
2. 新しいユーザ・インタフェースの提案と設計
3. プロトタイプシステムの構築
4. 提案システムの応用と評価

本研究ではまず、ユビキタス・コンピューティングの本質について考察し、ユビキタス環境に既存の GUI を適用することが困難である根拠を示す。次に、こうした GUI の枠を超えた、新しい HCI「ユビキタス・インタフェース」のコンセプトについて提案する。そして、ユビキタス・インタフェースのコンセプトを実現するために、三つの入出力インタフェースを提案し、プロトタイプシステムを構築する。

## 1.3 本論文の構成

図 1.1 に本論文の構成を示す。

### 第 2 章 背景と関連領域

第 2 章では、本研究の背景と関連領域について概観する。まず、コンピュータの利用分野が実生活全般に拡大するにしたがって登場した「モバイル・コンピューティング」、「ウェアラブル・コンピューティング」、「ユビキタス・コンピューティング」といった新しいコンピュータの利用形態について説明する。次に、コンピュータの誕生以来の HCI の進化、すなわち、CUI(Character User Interface) と GUI(Graphical User Interface) について説明し、GUI の次世代を担うと期待される、ポスト GUI の研究について概観する。なお、関連研究の詳しい説明については第 7 章で行う。

### 第 3 章 ユビキタス・インタフェースの提案

第 3 章では、ユビキタス・コンピューティング環境に適した次世代 HCI「ユビキタス・インタフェース」を提案する。まず、ユビキタス・コンピューティングとウェアラブル・コンピューティングの本質について詳しく説明し、GUI などの従来の HCI をユビキタス環境に適用する際のさまざまな課題について述べる。次に、ユビキタス・インタフェースのコンセプトを提案し、本研究のアプローチについて述べる。

### 第 4 章 Ubi-Finger: ユビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス

第 4 章では、ユビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス「Ubi-Finger」に

ついて述べる。ジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であると同時に、身体性を伴った直感的な入力が可能であるという利点を持っており、これまでも主にバーチャル・リアリティなどの分野で積極的に利用されてきた。一方、コンピュータの利用分野はモバイル環境やユビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。Ubi-Finger はこれらの新しいコンピューティング環境に適した、小型でシンプルなジェスチャ入力デバイスである。本研究では実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャにより直感的に操作できる Ubi-Finger のプロトタイプシステムを実装する。また、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例や、ノートパソコンの入力支援、プレゼンテーション支援などの応用例を試作する。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を確認する。

## 第5章 MouseField:日用品を拡張するインタフェース技法

第5章では、日常生活空間におけるさまざまなモノ(日用品)の機能を拡張するアプローチ「MouseField」について述べる。近年、RFID(Radio Frequency Identification)システムは、流通・認証分野などで急速に普及が進んでおり、今後 RFID タグは多くの日用品(書籍、CD、DVD、食料品、衣料品、医薬品など)に標準添付されると期待されている。こうした状況を反映して、RFID をコンピュータとのインタラクションに活用する ID ベースのユーザ・インタフェース技法が盛んに研究されている。こうしたシステムでは、タグを添付したモノとシステムの挙動を一对一で割り当てることで「CD ジャケットをスタンドに置けば音楽が鳴る」といった、シンプルで直感的なインタラクションを実現することができる。一方、従来の ID ベースのシステムではひとつの ID にひとつの機能しか割り当てることができないため、複雑な操作を行うことは難しく、実用的な利用場面が限られるという根本的な問題を持っていた。本研究では、RFID リーダと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張する入力デバイス「MouseField」を提案する。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを MouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

## 第6章 ActiveBelt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構

第6章では、方位情報を伴うベルト型触覚情報提示デバイス「ActiveBelt」について述べる。既存のコンピュータの出力インタフェースは主に視覚を利用するものであったが、モバイル環境、ユビキタス環境などの、コンピュータの利用場面の多様化に伴い、視覚以外の情報提示手法の重要性が高まってきている。特に触覚を用いた情報提示は、日常生活との並列性に優れるため、常時利用可能な情報提示手法として有望である。しかし、従来のモバイル環境での触覚情報提示手法の多くは、携帯電話のバイブレータのように、注意喚起程度の用途で利用されることが多かった。本研究ではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの

触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース “Active Belt” を提案する．Active Belt はベルトに方位センサー，GPS と複数のアクチュエータを装着し，方位情報を伴う触覚情報提示を実現する．本研究では Active Belt のプロトタイプを試作し，その有効な活用例を示すアプリケーションを提案する．また，評価実験を行い，提案システムの有効性を検証する．

#### 第7章 関連研究

第7章では，本研究に関連する研究領域について整理し，本研究の特徴や位置づけについて述べる．

#### 第8章 ユビキタス・インタフェースの考察と展望

第8章では，ユビキタス・インタフェースに関する考察と展望について述べる．

#### 第9章 結論

第9章では，本研究の成果についてまとめ，本論文を総括する．

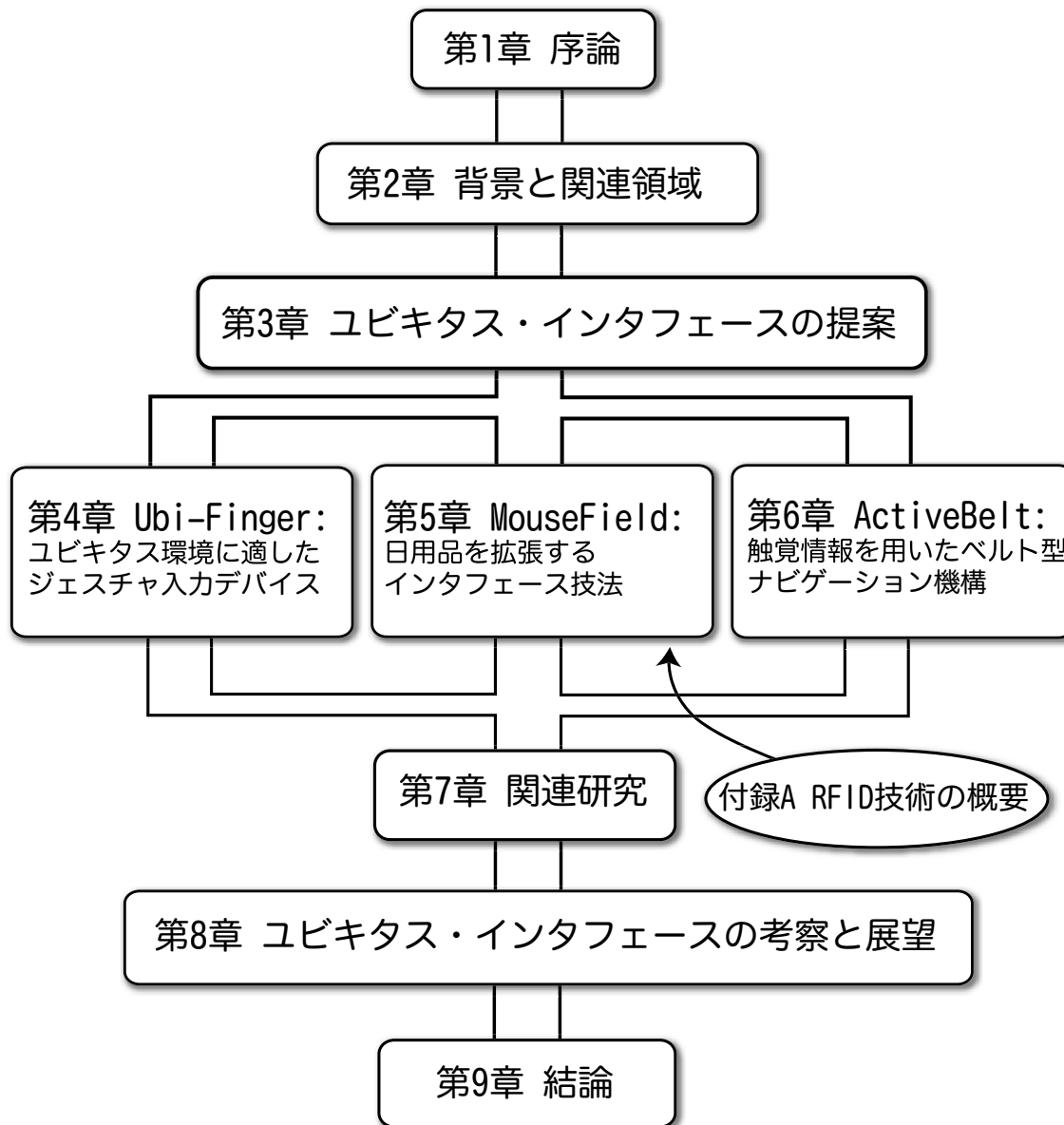


図 1.1: 本論文の構成

## 第 2 章

### 背景と関連領域

#### 概要

本章では，本研究の背景と関連領域について述べる．

## 2.1 はじめに

近年、コンピュータの小型化・低価格化は著しく、その利用分野は実生活全般に大きく拡大しつつある。こうしたコンピュータの新しい利用形態は、「モバイル・コンピューティング」、「ウェアラブル・コンピューティング」、「ユビキタス・コンピューティング」といった複数の概念で称される。一方、コンピュータの誕生以来、HCIはCUI(Character User Interface)からGUI(Graphical User Interface)へと進化してきた。さらに現在、GUIの登場から30年が経過し、GUIの次世代を担うと期待される、ポストGUIの研究が盛んに行われている。本章では、本研究の背景として、これらの研究領域について整理する。なお、関連研究については、第7章にて詳しく議論する。

## 2.2 コンピュータの新しい利用形態

### 2.2.1 モバイル・コンピューティング

コンピュータの誕生以来、その物理的なサイズは、メインフレーム（一部屋） デスクトップ（卓上） ノートパソコン（A4ノート） PDA（ハンドヘルド） 携帯電話といったように、大幅に小型化を続けており、コンピュータを容易に持ち運んで利用できるようになってきた。このように、コンピュータを持ち運んで利用する利用形態を、モバイル・コンピューティングと称する [Hirose, 1999]。

従来のデスクトップ・コンピュータは空間内の特定の場所（大学やオフィスの机など）に固定されており、ユーザはそこまで足を運ばなければ情報処理の恩恵を受けられなかったが、モバイル・コンピューティングにおいては空間内の場所に関わらず、どこでもコンピュータを活用し、恩恵を受けることが可能になる。

モバイル・コンピューティングの意義は、単にコンピュータの利用場所が拡張されたという表面的な現象にとどまらない。たとえば、オーディオ機器をラジカセのように机の上に置いて聞くのと、ウォークマンのように持ち歩いて聞くのでは文化的な意味合いが異なるように、コンピュータと人々の関係を質的に大きく変化させる可能性を持っている [Sio, 2003]。

一方、現在の多くのモバイル・コンピュータはデスクトップ・コンピュータと同様の使用方法を想定している。たとえば、ノートパソコンやPDAを操作するためには、多くの場合、立ち止まってその作業に集中しなければならない。このように、現在のモバイル・コンピューティングは、さまざまな場所でデスクトップ・コンピュータを利用している状況に近く、現実の生活空間でコンピュータを利用する、という特性を十分に活用できていない [Hirose, 1999]。

### 2.2.2 ウェアラブル・コンピューティング

モバイル・コンピューティングを発展させ、コンピュータを衣服のように着用し、常時利用できる状態とした上で、現実の生活空間でユーザの行動をサポートするコン



コンピュータの利用形態をウェアラブル・コンピューティングと称する [Fukumoto, 2000] . ウェアラブル・コンピューティングの先駆者の一人, Steve Mann がコンピュータやディスプレイなどの情報機器を衣服のように身にまといはじめたのは, 1980 年頃からである [Mann, 1998] . Mann はウェアラブル・コンピュータに必要な要件として「恒常性 (Constancy)」、「増幅性 (Augmentation)」、「介在性 (Mediation)」の三つを挙げている [Mann, 1998] . すなわち, ウェアラブル・コンピュータは (1) 常時ユーザが装着・利用可能であり, (2) ユーザの行動能力 (タスク解決能力) を増強させ, (3) 情動的に外界との介在 (接続・遮断) を行う, コンピュータの形態である .

モバイル・コンピューティングで活用される携帯型情報機器は, コンピュータの使用自体を主目的としていたが, ウェアラブル・コンピューティングでは, コンピュータを用いてユーザのタスクを補助することに主眼を置いている .

これまでのところ, ウェアラブル・コンピューティングの分野では, 装着可能な小型の機器を作ることに焦点が置かれていた . その結果, 小型のウェアラブル・コンピュータ [Hitachi, 2001] や, 単眼式の小型 HMD (Head Mounted Display) [Xybernat, 2002] [MicroOptical, 2003], 片手入力用の小型キーボード [Handykey, 1999] などが製品化されている . 一方, これらの製品は従来のデスクトップ・コンピュータ向けの入出力インタフェースを小型化したものに過ぎず, コンピュータを用いてユーザのタスクをサポートする, というウェアラブル・コンピューティングの目的に合致したのではない .

今後, ウェアラブル・コンピューティングを実用的に活用するためには, 常時装着を前提とした, 新しいインタフェース機構を提案する必要がある . ウェアラブル・コンピューティングに適したインタフェース機構については, 第 3 章で詳しく議論する .

### 2.2.3 コビキタス・コンピューティング

多数の, しかも多様な形態のコンピュータがさまざまな場所に目立つことなく遍在し, それらが有機的に協調しあうコンピュータの利用形態をコビキタス・コンピューティングと称する [Weiser, 1991] . そこでは, コンピュータは生活環境に溶け込み, 我々の生活を支える基盤となる .

たとえば, Weiser らは, ホワイトボード型の「board」, ノート型の「pad」, タブ型の「tab」という三つの異なるサイズのコンピュータを組み合わせ利用して, オフィスワークを支援するシステムを提案している [Weiser, 1993] . また, 天井, 床, 壁などの建築物や, 家電製品や家具などの家庭用品に埋め込んだコンピュータも活用される [Want, 1992, Norman, 1999] . 現在既に, ほとんどの電化製品には組み込み型コンピュータが内蔵されているため, 人々は既に数百個のコンピュータに囲まれて生活しているともいえる . 一方, コビキタス・コンピューティングでは, それらがネットワーク接続され, 連携して動作する世界を目指している [Weiser, 1991] .

このようなコビキタス・コンピューティングのアプローチは, 環境側にコンピュータを埋め込む点から, ウェアラブル・コンピューティングと対比する概念として「強化された環境」のように表現されることもある [Hirose, 1999, Siio, 2000] .

しかし, コビキタス・コンピューティングの本質は, 単にさまざまな環境にコン

コンピュータを埋め込むだけに留まらない。本論文では、ユビキタス・コンピューティングの本質的な概念について、第3章で詳しく議論する。

## 2.3 ユーザ・インタフェースの従来領域

従来のHCIは、CUIからGUIへと変化してきた。ここでは、CUIとGUIそれぞれの概要と特徴について説明する。

### 2.3.1 CUI (Character User Interface)

CUI(Character User Interface)は、その名の通り文字を中心として、ユーザとコンピュータの対話を実現するユーザ・インタフェースである [Shneiderman, 1997a]。ユーザはキーボードから直接コマンドを入力し、コンピュータはその実行結果を文字でフィードバックする。こうした文字ベースのインタフェースは、スクリーンへの描画に必要なコスト(メモリ、CPUパワーなど)を抑えることができる。よって、コンピュータの処理性能が低かった時代には、CUIは一般的なユーザ・インタフェースとして利用されていた。

CUIのメリットは、複数のコマンド言語を組み合わせたバッチ処理が行いやすい点、十分に習熟すれば効率のよい操作ができる点などが挙げられる。一方、CUIはユーザがコマンドを思い出し、自ら操作する必要がある再生型のユーザ・インタフェースである [Shneiderman, 1997a]。基本的な操作をこなすために多数のコマンドを覚えたり、キーボードに習熟したりする必要があるため、一般的なユーザにとって学習は困難であった。

### 2.3.2 GUI (Graphical User Interface)

GUI(Graphical User Interface)は、視覚的に表示されたアイコンやメニューなどを活用し、マウスなどのポインティングデバイスを中心にさまざまな操作を実現できるユーザ・インタフェースである [Shneiderman, 1997a]。

GUIは、WIMP、すなわち Window, Icon, Menu, Pointing Device の四つの要素から構成される。まず、ビットマップで描画されたスクリーンの上に、アプリケーションごとに分けられた複数のウインドウ、操作対象を抽象化したアイコン、操作コマンドをリスト化したメニュー、操作対象を選択するためのカーソルなどが描画される。そして、これらの構成要素の上に、GUIの本質的な機能である「直接操作(Direct Manipulation)」が実現されている。

#### 直接操作

過去30年以上にわたるHCI研究の根幹には、直接操作(Direct Manipulation)というコンセプトが存在する [Rekimoto, 2002]。

1962年に発表された Sutherland の SketchPad システムは、対話型グラフィックシステムの元祖とされる [Sutherland, 1963]。SketchPad システムでは、ディスプレイに描いた図形をライトペンで直接的に操作するインタフェースを備えており、ライトペンで図形をドラッグする機能などが搭載されていた。その後、Engelbart の NLS(マウス、ウィンドウ、ハイパーテキストなどの発明)[Engelbart, 1968] や、Xerox PARC での Alto を経て、WIMP を備えた現在の GUI へと発展してきた [Perry, 1999]。

Shneiderman によると、直接操作インタフェースの特徴は以下の四点である [Shneiderman, 1997a]。

1. 操作世界の視覚的表現 (メタファ)
2. 迅速、逐次的かつ可逆な操作
3. タイピング操作に成り代わる指示 (ポインティング) と選択 (セレクション) 操作
4. 操作結果の即時的な視覚化 (フィードバック)

すなわち、直接操作インタフェースは、操作と操作対象のデータをコンピュータ・スクリーン上に視覚的に表示し、現実世界の操作感覚 (ものを指し示したり、手でつかんで移動させる) を模した連続的・可逆的な操作を提供し、その結果をリアルタイムにフィードバックする対話技法である<sup>1</sup>。このように、直接操作インタフェースでは、ユーザはコンピュータの中の仮想世界を直接的に操作する感覚を持つことができる。

## GUI の意義

前述したように、GUI 以前の CUI は再生型のインタフェースであり、ユーザは基本的な操作を行うために、コマンドを覚えたり、キーボードに成熟する必要があった。このため学習が難しく、一般的なユーザには利用が困難であった。

一方、GUI では、視覚的に提示されているアイコンやメニューを選択することで特定の処理を実行するという認知型のインタフェースである。このため、ユーザは抽象的なコマンドを多数覚える必要がなく、視覚的な直接操作を行うことができる。

このように、「直接操作」の恩恵により、GUI は一般的なユーザでも比較的容易に利用できるインタフェースとなり、現在のパーソナル・コンピュータの普及に大きく貢献してきた。GUI の魅力は、インターネットにおける WWW (World Wide Web) の存在を考えてみるとわかりやすい。WWW の登場以前にもインターネット自体は存在しており、WWW と同様の情報検索なども可能だったが、それらは CUI を利用しており、専門的なユーザ以外が利用するのは困難であった。その後、GUI 化された WWW の登場により、一般のユーザもインターネットを容易に活用できるようになり、パーソナル・コンピュータの爆発的な普及へとつながった。

このように、従来のデスクトップ・コンピュータのユーザ・インタフェースとして、GUI は優れた操作性を提供した。一方、コンピュータの利用分野が現実世界全般に広がるにつれ、その制約も明らかになってきている。ユビキタス・コンピューティング環境における GUI の制約については、第 3 章で詳しく議論する。

<sup>1</sup>これらの直接操作の特徴は、WYSIWYG (What You See Is What You Get) という言葉で説明されることもある。

## 2.4 ユーザ・インタフェースの新領域

ユーザ・インタフェースの分野においても，GUIの登場から30年が経過し，GUIの次世代を担うと期待されるポストGUIの研究が盛んに行われている．ここでは，現実世界全般での利用を想定したポストGUIの方向性について簡単に説明する．ポストGUIへのアプローチは「エージェント型インタフェース」，「没入型インタフェース」，「実世界指向インタフェース」，「マルチモーダル・インタフェース」などに分類できる [Siio, 2000][Yasumura, 1996] ．

### 2.4.1 エージェント型インタフェース

エージェント型インタフェースは，人工の人格をプログラムによりつくり，コンピュータを有能な秘書のような存在にする手法である．主に，専門家でないユーザがコンピュータで行う作業を手助けすることを目的とする [Shneiderman, 1997b] ．

また，顔や姿を持ち音声対話能力を有する擬人化インタフェースを構築する試みも行われており，コンピュータを道具ではなく，ユーザのパートナーとして感じさせる点が特徴である [Ishizuka, 2000] ．

エージェント型インタフェースには，音声合成・音声認識，ジェスチャ認識，マルチモーダル・インタフェース，知的インタフェースなどのさまざまな分野が関連している [Siio, 1999] ．

### 2.4.2 没入型インタフェース

没入型インタフェース（バーチャル・リアリティ）とは，コンピュータを利用して「現実のエッセンス」を持つ人工的な空間を作り出し，その中で人々に現実世界に近い体験を提供するアプローチである [Hirose, 1995] ．

廣瀬はバーチャル・リアリティに必要な要件として，臨場感（Presence），対話性（Interaction），自律性（Autonomy）の三つを挙げている [Hirose, 1995] ．すなわち，バーチャル・リアリティは，人々が人工空間の中に存在すると確信できるだけの臨場感を持ち，システムとリアルタイムにインタラクションを行うことができ，現実世界に存在する自律的なルール（物理法則など）を再現する必要がある．

バーチャル・リアリティは，高い臨場感や没入感を実現できる点から，ゲーム，インタラクティブ・アート，シミュレーター，遠隔会議などで活用されている．一方，高価かつ巨大な専用装置の前でしか利用できず，家庭や通常のオフィスで利用することは難しいという問題があった．

### 2.4.3 実世界指向インタフェース

実世界指向インタフェースとは，現実世界の事物を利用して，コンピュータとインタラクションを行う手法である [Rekimoto, 1996] ．

実世界指向インタフェースの概念は、バーチャル・リアリティと対比して考えるとわかりやすい。従来の GUI では、情報の閲覧・操作の場はコンピュータ画面の中であり、人間は現実世界からスクリーンを介してインタラクションを行っていた。

バーチャル・リアリティは、現実世界から遮断された仮想世界をコンピュータにより構築し、人間が仮想世界の中に入り込んでインタラクションを行うアプローチである [Hirose, 1995]。こうしたアプローチは、高度な臨場感や没入感を生むという点では優れているが、大きな欠点も抱えている。それは、人間は現実世界の中で仕事をしたり、生活を行っているのであり、仮想世界の中で暮らしているのではないということである。そこで、「現実世界に戻ろう (Back to the real world)」というコンセプトのもとに登場したのが、実世界指向インタフェースである [Wellner, 1993b]。

実世界指向インタフェースは、情報の閲覧・操作の場をコンピュータ画面の外側、人が生活を営む実世界に引き出すアプローチである [Siio, 2000]。人間が日常的に直面するさまざまな現実世界の状況を認識して、その状況において有益な情報を提供することで、人間をサポートする特徴も持つ [Kojima, 1993]。たとえば、現実世界のモノ、人などにコンピュータ情報を重ね合わせて表示したり、現実世界のモノを操作してコンピュータへの入力としたり、現実世界の状況に応じてさまざまな情報を提示したりすることができる。

実世界指向インタフェースは切り口の違いにより「拡張現実 (Augmented Reality)」、 「タンジブル・インタフェース」などと呼ばれることもある。これらは、実世界でのインタラクションを論じる視点であり、それぞれの領域は深く関わりあっている。

#### 2.4.4 マルチモーダル・インタフェース

マルチモーダル・インタフェースは身振りや音声など複数のモダリティを利用して、ユーザとコンピュータのインタラクションを支援する手法であり、身体性を活かした直感的なインタラクションを主眼においている [Blattner, 1992, Bolt, 1987]。

Bruner によれば、人間の発達段階は身体的 (enactive)、視覚的 (iconic)、記号的 (symbolic) な段階に至るという [Kay, 1990]。これに対して、コンピュータと人間の関係はちょうどこれとは逆にたどり、最初は CUI のような記号的な段階にあったものが、現在は GUI に代表されるような視覚的な段階にある。この次の段階として、身体性をいかしたインタラクションの形態がマルチモーダル・インタフェースである [Yasumura, 1996]。

マルチモーダル・インタフェースの主要な構成要素としては、音声合成・音声認識、触覚ディスプレイやジェスチャ認識が存在する [Yasumura, 1996]。

## 2.5 まとめ

本章では、本研究の背景として、「モバイル・コンピューティング」、「ウェアラブル・コンピューティング」、「ユビキタス・コンピューティング」などのコンピュータの新しい利用形態と、これまでの HCI の主要なアプローチである CUI と GUI について紹

介した。さらに、ポスト GUI として期待される研究領域として、「エージェント型インタフェース」、「没入型インタフェース」、「実世界指向インタフェース」、「マルチモーダル・インタフェース」についてとりあげ、その概略を示した。なお、個別の関連研究については、第 7 章にて詳しく議論する。

## 第 3 章

# ユビキタス・インタフェースの提案

### 概要

本章では、ユビキタス・コンピューティング環境に適した次世代インタフェース「ユビキタス・インタフェース」を提案する。まず、ユビキタス・コンピューティングとウェアラブル・コンピューティングの本質について詳しく説明し、GUIなどの従来のインタフェース技法をユビキタス環境に適用する際のさまざまな課題について述べる。次に、ユビキタス・インタフェースのコンセプトを提案し、本研究のアプローチについて述べる。

## 3.1 ユビキタス・コンピューティングの本質

第2章では、コンピュータの利用形態の視点から、ユビキタス・コンピューティングを、「さまざまな場所に目立つことなく遍在したコンピュータを用いて、人々の生活を支援するアプローチ」として紹介した。さらに、近年、ユビキタスという用語は一般化しており、「無線ネットワークを使って、どこでもコンピュータを使うこと」という意味で利用されることも多い<sup>1</sup>。

しかし、ユビキタス・コンピューティングの本質は、単にコンピュータの設置状況を意味するものではない。その本質は、コンピュータが非常にありふれた存在となって、生活空間のさまざまなものに内蔵されるようになり、「テクノロジーの存在を人々が意識しなくなる」、ということである [Weiser, 1997, Ishii, 2002b]。

ユビキタス・コンピューティングの提唱者である Weiser が最初にそのビジョンについて記した論文「The Computer for the 21st Century」のタイトルの下には、以下のような文章が記されている [Weiser, 1991]。

Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence.

「ubiquitous」という言葉は、「everywhere」という意味のラテン語「ubique」から派生したものであるが、everywhere には、「どこにでも」という意味に加えて、「非常にありふれた (=very common)」という意味がある [Sio, 2003]。すなわち、コンピュータはあまりにもありふれたものとなり、それ故に人々はその存在を感じなくなる、というのが Weiser の論旨であった。

ユビキタス・コンピューティングの本質について理解を深めるためには、文字やモータについて考えてみるとよい [Weiser, 1991]。

文字は情報を記録したり、伝達したりするための最初の情報技術の一つであり、当初は文字を読み書きできる人は限定されていた。しかし、Gutenberg による活版印刷の発明を経て、現在産業国では大多数の人が容易に文章を書いたり、読んだりすることができる。文字は実世界のあらゆる場面に遍在し、母国語であればほとんどの人が「文字を使う」こと自体を意識する必要がない。こうした意味で、文字は人々の意識から消え去った、ユビキタスな技術である。

また、20世紀の初頭、モータは高価で大型の製品であり、一つの大型モータを複数の機器（ミシン、エンジンなど）の動力として利用していた。一方、現在では小型化されたモータがさまざまな機器に埋め込まれ、あまりにもありふれたため、その存在は誰も意識しなくなっている。モータもさまざまな電化製品の中に組み込まれており、人々にその存在を意識されることがない、という点で、ユビキタスな技術といえる。

このように、ユビキタスの本質は、コンピュータの設置状況を捉えたものではなく、コンピュータを使う人々（ユーザ）の「意識の変化」を述べたものである。

コンピュータを環境に融合させ、人々にその存在を意識させなくするためには、単にコンピュータを小型化、低価格化して、さまざまな場所にばら撒くだけでは不十分で

<sup>1</sup>この解釈は、野村総合研究所が1999年に提唱したユビキタス・ネットワークという言葉と混同されたため生じたという説がある [Sakamura, 2002]。



3. ユビキタス・インタフェースの提案 3.2 ウェラブル・コンピューティングの本質  
あり，適切な HCI を設計することがユビキタス・コンピューティングの重要な課題となっている [Siiio, 2003] .

なお，ユビキタス・コンピューティングと類似するコンセプトとして，IBM の Pervasive , Georgia Tech の Everyday Computing , MIT の TTT(Things That Think) などが存在する．これらの目指す世界は，本質的にユビキタス・コンピューティングと同一である．

## 3.2 ウェラブル・コンピューティングの本質

第2章でも触れたように，ウェアラブル・コンピューティングとユビキタス・コンピューティングは，「人間がコンピュータを持ち歩く」・「環境にコンピュータを埋め込む」というように対立概念として表現されることがある [Hirose, 1999, Siiio, 2000] .

しかし，第3章1節で説明したように，ユビキタス・コンピューティングの本質は，単にコンピュータの設置状況を意味するものではなく，「コンピュータの存在を人々が意識しなくなる」という意識の変化を捉えたものである．ウェアラブル・コンピューティングの最終目標も，コンピュータを衣服のように常時装着・利用できるようにして，ユーザにその存在を意識させることなく，日常的なタスク解決を支援する点にある．このように，ウェアラブル・コンピューティングとユビキタス・コンピューティングの本質は同一なのである．

### 3.2.1 ウェアラブル・インタフェース

これまでのウェアラブル・コンピューティングの分野では，装着可能な小型の機器を作ることに焦点が置かれていた．その結果，小型のウェアラブル・コンピュータ [Hitachi, 2001] や，単眼式の小型 HMD(Head Mounted Display)[MicroOptical, 2003] [Xybernaut, 2002] ，片手入力用の小型キーボード [Handykey, 1999] などが次々と製品化されてきた．しかし，これらの製品は従来のデスクトップ・コンピュータ向けの入出力インタフェースを小型化したものに過ぎず，コンピュータを用いてユーザのタスクをサポートする，というウェアラブル・コンピューティングの目的に合致したものではない．

また，高速無線ネットワークが一般化した現在では，ネットワークそのものを仮想的に装着する，と考えれば，高性能なコンピュータや記憶装置を身につける必要はないと考えることもできる [Siiio, 2003] . その一方で，ユーザの意思をコンピュータ(ネットワーク)に入力し，得られた情報を提示するために必要な入出力インタフェースをなくすことはできない．

このように，ウェアラブル・コンピューティングにおいても，適切な HCI の設計が重要な課題となっている．

## 3.3 GUIの制約

第2章で紹介したように、現在コンピュータのユーザ・インタフェースとしてはWIMPを用いたGUIが一般的である。GUIは、デスクトップ・メタファを利用して、デスクワークの場面でコンピュータをわかりやすく操作する手段を提供した。

しかし、GUIをユビキタス・コンピューティング環境のインタフェースとして適用することは、さまざまな理由から困難である。ここでは、ユビキタス・コンピューティング環境におけるGUIの制約を、以下の三つの視点から詳しく説明する。

### GUIの制約

1. 現実世界との乖離
2. アフォーダンスと身体性の欠落
3. 視覚の占有

#### 3.3.1 現実世界との乖離

第一の制約としては、GUIはディスプレイの中の事象のみを対象としており、現実世界の物理的な要素を考慮していない点である。

ユビキタス・コンピューティング環境においては、ユーザは日常生活のさまざまな場面で、多数のコンピュータと関わる事になるため、ユーザ・インタフェースの対象もスクリーン上の世界には限定できなくなる。そうした環境では、ユーザやコンピュータの「位置 (location)」や「大きさ (scale)」という物理的な要素や、現実世界の状況 (コンテキスト) が重要になる [Weiser, 1991]。

たとえば、Weiserは初期のユビキタス・コンピューティングのプロトタイプとして、ホワイトボード型の「board」、ノート型の「pad」、タブ型の「tab」の三種類の大きさのコンピュータを構築している [Weiser, 1993]。tabは名刺サイズの小さなコンピュータであり、個人が常に持ち歩くような利用形態を想定している。tabと他のセンサーやコンピュータと組み合わせて、ユーザの所在を特定したり、コンピュータの情報を一時的に保存したりすることができる。一方、boardはホワイトボードサイズの大きなコンピュータであり、掲示板やホワイトボード、フリップチャートなどとして利用される。tabとboardを組み合わせて利用すれば、boardに投影したプレゼンテーションのさまざまな要素 (スライドのテキストのサイズ、音量、明るさなど) をtabで変更することもできる。このように、ユビキタス・コンピューティング環境では、サイズによって役割の異なる複数のコンピュータを、組み合わせて利用するスタイルが中心となってくる。

ところが、こうした複数のさまざまなコンピュータを組み合わせて使う場合、従来

のGUIでは直接操作インタフェースの原則を維持することが難しい [Rekimoto, 2000, Rekimoto, 2002] . たとえば, 自分のノートパソコンから, 卓上のデスクトップパソコンにデータをコピーしようとするときには, 接続する機器 (デスクトップパソコン) のアドレスを知った上で, スクリーン上のデバイスリストから対象アドレスを選択 (あるいは手動で入力) しなければならない. つまり, 物理的に目の前にあるコンピュータと接続するために, 機器のアドレスという抽象的な概念を介して操作する必要がある.

このように, 現実世界を模したスクリーン上の仮想世界と, 現実世界を直接的に連携させる方法に乏しい点が, GUIの第一の問題点である.

### 3.3.2 アフォーダンスと身体性の欠落

第二の制約としては, GUIはキーボードとポインティング・デバイス (マウスなど), 平面のディスプレイという, 特定の入出力インタフェースを前提としており, アフォーダンスや身体性に代表される現実世界の豊かで多様な情報交流の手段を十分に活用できない点である.

現実世界の多くの物理的な道具はそれ自体の持つアフォーダンスによって, 自己の特質 (使い方) を提示しており, 人々はそれらの使い方や役割を自然と理解することができる [Gibson, 1979] . たとえば, 鉛筆は鉛筆の使い方を, ハサミはハサミの使い方を提示しており, 両者を取り違えることはまずありえない. 一方, GUIのペイントソフトにおける「鉛筆」や「ハサミ」を模したアイコンは, 平面の四角いボタンに過ぎず, 両者の使い方を即座に理解することは難しい.

また, キーボードやマウスは, デスクトップ環境でテキスト入力やポインティング操作を行うために最適化されたインタフェースであり, 立っている状態や歩いている状態など, 日常生活の多くの場面において適しているとはいえない [Fukumoto, 2000] .

さらに, キーボードやマウスを扱う操作は, ユーザの指先や手の一部のみを活用しているにすぎない. たとえば, ウェブブラウザで世界中の情報にアクセスしている場合でも, ユーザの体験は指先によるマウスクリックに限定されている. そこでは, 現実世界の街を実際に歩いている時に会おう風景のような印象を残すことはできない [Rekimoto, 2000] .

このように, 特定の入出力インタフェースを前提としているが故に, 現実世界の豊かで多様な情報交流を十分に活用できない点が, GUIの第二の問題点である.

### 3.3.3 視覚の占有

第三の制約としては, GUIは視覚中心に利用するインタフェースであり, 利用中は視覚の大部分を占有してしまう点である.

一般的に健常者の得られる情報の80%は視覚から得られるといわれており, 人間の知覚にとって重要な役割を果たしている [Itou, 2003] . 従来のパーソナル・コンピュータのように, 「コンピュータを使う」こと自体を目的とする場合には, 長時間使うと目が疲れる, といった類の問題を除いては, 視覚の占有は健常者にとってはそれほど大きな問題とはならなかった.

しかし、ユビキタス・コンピューティング環境におけるコンピュータの主目的は、日常生活に置いて、できるだけ目立たずにユーザの行動を支援することにある。よって、ユーザの視覚を占有すれば、ユーザの本来の行動に大きな制約を与えることになる。

このように、利用中に視覚の大部分を占有してしまい、ユーザの本来の行動を制約してしまう点が、GUIの第三の問題点である。

## 3.4 ユビキタス・インタフェースの提案

このように、GUIにはさまざまな制約が存在し、ユビキタス・コンピューティング環境に直接適用することは難しい。ユビキタス・コンピューティング環境においては、GUIの制約を取り除き、ユビキタスの本質である「コンピュータの透明性」にも配慮した新しいユーザ・インタフェースが必要となる。本論文では、このユビキタス環境に適した新しいユーザ・インタフェースを「ユビキタス・インタフェース」と定義し、以下にそのコンセプトをまとめる。

### ユビキタス・インタフェースのコンセプト

1. 直接性 (Direct Manipulation)
2. 自然さ (Natural Interface)
3. 周辺性 (Peripheral Sense)
4. 透明性 (Invisibility)

第一点は、ユーザやコンピュータの位置 (location) や大きさ (scale) という物理的な要素や、現実世界の状況 (コンテキスト) を積極的に活用し、仮想世界と現実世界を融合した直接的な操作を実現することである。

第二点は、アフォーダンスや身体性などの、実世界の豊かで多様な情報交流を活用し、日常生活で自然に利用できる新しいユーザ・インタフェースを目指すことである。

第三点は、聴覚や触覚など、視覚以外の周辺的な感覚器を積極的に活用することで、日常生活のさまざまな場面に適した新しい情報提示手法や情報操作手法を構築することである。

第四点は、上記三つのコンセプトに基づき、日常のタスクを阻害しない、生活空間に溶け込んだ透明なユビキタス・インタフェースを実現することである。

次に、本研究の対象とするアプリケーション領域について説明する。

### 3.4.1 アプリケーション領域

これまで、ユビキタス・コンピューティングに関連する研究の多くは、主にオフィス環境を対象として、遍在するコンピュータを用いてどのように仕事を手助けするか、という点に焦点が当てられていた。一方、携帯電話の普及や情報家電機器の登場にみられるように、家庭内やモバイル環境においてもコンピュータの利用は一般化してきている。こうした流れに伴い、ユビキタス・コンピューティングの研究領域は家庭内やモバイル環境を含めた人々の実生活全般に拡張しつつある。

本研究では、家庭内やモバイル環境におけるユビキタス・コンピューティングの主要な研究領域として、以下の三つに焦点を当てる。

**情報家電機器の操作** 家電製品は以前から家庭内に数多く置かれており、それらにコンピュータを組み込み、ネットワーク機能を持たせた情報家電機器の普及が期待されている [Yasumura, 2003]。そうした状況においては、家電機器が高性能化・多機能化する反面、物理的なインタフェースが消失し、家電操作はより複雑になると考えられている。各機器ごとに異なる操作を習得するのはユーザに大きな負荷を与えることになるため、多様な情報家電機器をできるだけわかりやすく、統一の操作で利用できるインタフェースが望まれる [Masui, 2000]。

**日用品の活用** RFID(Radio Frequency IDentification) システムは、ユビキタス・コンピューティング環境を実現する基盤技術の一つとして注目を集めている。今後 RFID タグはさまざまな商品（書籍、CD、DVD、食器、食料品、飲料など）に標準添付され、実世界の日用品の多くが “identification-ready” な状態になると考えられる [RFID テクノロジー編集部, 2004]。そうした環境では、日用品そのものを仮想世界への入力とした新しいインタフェース技法が有望であると考えられる。

**位置依存情報サービス** GPS(Global Positioning System) をはじめとする位置計測技術の普及に伴い、モバイル環境における位置情報を用いた情報提供手法（位置依存情報サービス）に関する研究が盛んに行われている [Abowd, 1997] [Nagao, 1996] [Tarumi, 1999]。その一方、ナビゲーション情報などをユーザに提示する情報提示技法に関しては、まだ十分な研究が行われておらず、ユーザの負担の少ない、新しい情報提示技法が望まれる。

### 3.4.2 本研究のアプローチ

本研究では、上述したユビキタス・インタフェースのコンセプトに基づいて、「情報家電機器の操作」、「日用品の活用」、「位置依存情報サービス」の三つの領域を対象に具体的なインタフェースを提案し、プロトタイプを構築・評価したうえで、その有効性を検証する。

**Ubi-Finger: ユビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス**

情報家電機器の操作などをわかりやすく行うアプローチとして、ユビキタス環境

に適したジェスチャ入力デバイス「Ubi-Finger」を提案する。ジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であると同時に、身体性を伴った直感的な入力が可能であるという利点を持っており、これまでも主にバーチャル・リアリティなどの分野で積極的に利用されてきた。一方、コンピュータの利用分野はモバイル環境やユビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。Ubi-Finger はこれらの新しいコンピューティング環境に適した、小型でシンプルなジェスチャ入力デバイスである。本研究では実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャにより直感的に操作できる Ubi-Finger のプロトタイプシステムを実装する。また、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例や、ノートパソコンの入力支援、プレゼンテーション支援などの応用例を試作する。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を確認する。

#### MouseField: 日用品を拡張するインタフェース技法

RFID が添付された日用品を拡張する新しいインタフェース技法「MouseField」を提案する。近年、RFID をコンピュータとのインタラクションに活用する ID ベースのユーザ・インタフェース技法が盛んに研究されている。こうしたシステムでは、タグを添付したモノとシステムの挙動を一对一で割り当てることで、「CD ジャケットをスタンドに置けば音楽が鳴る」といった、シンプルで直感的なインタラクションを実現できる。一方、従来の ID ベースのシステムではひとつの ID にひとつの機能しか割り当てることができないため、複雑な操作を行うことは難しく、実用的な利用場面に限られるという根本的な問題を持っていた。本研究では、RFID リーダと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張する入力デバイス「MouseField」を提案する。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを MouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

#### ActiveBelt: 方位情報を伴うベルト型触覚ディスプレイ

モバイル環境の位置依存情報サービスなどに適した新しい情報提示手法として、触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構「Active Belt」を提案する。既存のコンピュータの出力インタフェースは主に視覚を利用するものであったが、モバイル環境、ユビキタス環境などの、コンピュータの利用場面の多様化に伴い、視覚以外の情報提示手法の重要性が高まってきている。特に触覚を用いた情報提示は、日常生活との並列性に優れるため、常時利用可能な情報提示手法として有望である。しかし、従来のモバイル環境での触覚情報提示手法の多くは、携帯電話のバイブレタのように、注意喚起程度の用途で利用されることが多かった。本研究ではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース「Active Belt」を提案する。Active Belt はベルトに方位センサー、GPS と複数のアクチュエータを装着し、方位情

報を伴う触覚情報提示を実現する．本研究は Active Belt のプロトタイプを試作し，その有効な活用例を示すアプリケーションを提案する．また，評価実験を行い，提案システムの有効性を検証する．

### 3.5 まとめ

本章では，ユビキタス・コンピューティングとウェアラブル・コンピューティングの本質が同一であり，人々にコンピュータの存在を意識させずに，日常生活のさまざまなタスクを支援する点にあることを説明した．そして，GUIなどの従来のインタフェース技法をユビキタス環境に適用する際の課題として，「現実世界との乖離」，「アフォーダンスと身体性の欠落」，「視覚の占有」の三点について説明した．

その上で，ユビキタス・インタフェースのコンセプトとして，「直接性」，「自然さ」，「周辺性」，「透明性」の四点を示した．

最後に，ユビキタス・インタフェースのコンセプトを実現する具体的なアプローチとして，「Ubi-Finger」，「MouseField」，「ActiveBelt」という三つのユーザ・インタフェースの概略を示した．

## 第 4 章

# Ubi-Finger: ユビキタス環境に適した ジェスチャ入力デバイス

### 概要

本研究ではモバイル環境やユビキタス環境において、手指のジェスチャを用いて情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブルデバイス Ubi-Finger を提案する。ジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であると同時に、身体性を伴った直感的な入力が可能であるという利点を持っており、これまでも主にバーチャル・リアリティなどの分野で積極的に利用されてきた。一方、コンピュータの利用分野はモバイル環境やユビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。Ubi-Finger はこれらの新しいコンピューティング環境に適した、小型でシンプルなジェスチャ入力デバイスである。本研究では実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャにより直感的に操作できる Ubi-Finger のプロトタイプシステムを実装した。また、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例や、ノートパソコンの入力支援、プレゼンテーション支援などの応用例を試作した。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を確認し、本研究の将来的な方向性を示した。



## 4.1 はじめに

近年、コンピュータの小型化・高性能化には目を見張るものがあり、その利用分野はモバイル環境やコビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。それにとともに、実世界全般での利用を想定した新しいユーザインタフェースの研究が盛んになっている。

ノートパソコンやPDAなどの携帯情報機器を利用したモバイル・コンピューティングは、空間内の特定の場所に縛られずコンピュータを利用できるという大きな質的变化をもたらした [Hirose, 1999]。このような状況では従来のデスクトップ環境とは異なる、小型化しても使いやすい入出力インタフェースが必要である。

Weiser はコンピューティング環境の未来の姿として、多数の、しかも多様な形態の情報機器群が有機的に協調しあう世界、「コビキタス・コンピューティング」というビジョンを描いた [Weiser, 1991]。そのビジョンの具現化の一つが、各家庭への情報家電機器の普及である。近い将来各家庭内にコンピュータやネットワークが普及すると考えられており、各種の家電製品もネットワークで結合された情報家電機器となると予想されている。そうした状況においては家電機器が高性能化・多機能化する反面、物理的なインタフェースが消失し、家電操作はより複雑になると考えられている。各機器ごとに異なる操作を習得するのはユーザに大きな負荷を与えることになるため、多様な情報家電機器をできるだけわかりやすく、統一の操作で利用できるインタフェースが望まれる [Masui, 2000]。

本研究では上述したようなモバイル・コンピューティングや情報家電機器制御に適した手段として、手指を用いたジェスチャ入力に着目し、自然なジェスチャを用いてコビキタス環境の情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブル・デバイス Ubi-Finger を提案し、実装および評価を行った。

### 4.1.1 ジェスチャ入力

一般に意志や感情の伝達においては、言語以上に非言語的手段の役割が大きいと言われている [Mehrabian, 1981]。身振り、手振りなどのジェスチャはその代表的なものであり、相手に伝えたいことを直接身体で表したり、コミュニケーションのメタ調節を行ったり、と潤滑な意思伝達を助ける役割を持っている [Kita, 2000]。こうした働きは言葉の通じない異国人の間の会話だけでなく、日常の対話の中でも積極的に活用されている。このようにジェスチャは有用で多くの人が自然に利用できるコミュニケーション手段であり、身体性を伴う直感的な入力が可能であることから、特にバーチャル・リアリティ (Virtual Reality) などの没入型システムにおける入力インタフェースの実現手法として多数利用されてきた [Zimmerman, 1986, Kreuger, 1991]。また、近年こうした没入型システムにおける利用に加えて、より汎用的に利用可能な小型のジェスチャ入力デバイスの研究 [5DT, 1999, Immersion, 2000, Mohri, 2000, Hernandez, 2002] も盛んに行われている。一方、本研究のアプローチはモバイル環境や情報家電機器制

御などの特定の目的に焦点を絞り，そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目指すものである．なお，上述した個々の研究については第4章6節にて詳しく説明する．

## 4.2 Ubi-Finger

Ubi-Finger はモバイル/ユビキタス環境でジェスチャ入力を行い，実世界の多様な機器操作を実現する小型の指装着型ウェアラブル・デバイスである．Ubi-Finger の主要なコンセプトは以下の3点である．

### Ubi-Finger のコンセプト

1. 手指のジェスチャを用いた自然な操作
2. 装着負荷の少ないウェアラブル・デバイス
3. 多様な機器操作を共通のインタフェースで実現

ここではUbi-Finger のコンセプトを詳しく紹介し，それらを実現するための問題点を検証し，実装の方針を述べる．

### 4.2.1 ジェスチャによる実世界機器操作

Ubi-Finger は手指を用いたジェスチャにより，実世界機器の操作を実現する．ジェスチャ入力を実世界機器の操作に適用した場合の利点としては，(1) 既存のメタファを活用した直感的な操作マッピング，(2) 身体性の積極的活用などが挙げられる．

「既存のメタファを活用」とは，実世界機器を操作する従来の方法などを有効活用するということである．実世界機器はそれ自体の持つアフォーダンスによって，自己の特質を表明しており [Gibson, 1979]，たとえばオーディオ機器の音量操作を行うボリュームつまみは「回す」という使い方を提示している (図4.1)．人々は長年こうした操作手段に慣れ親しんでおり [Norman, 1990]，機器操作のメタファとしても有効に機能すると考えられる．

「身体性を活用」とは，ジェスチャ入力は身体性を最も活用できる入力インタフェースの一つであるということである．身体性は実世界指向インタフェースの研究において重要な要素であると考えられており [Rekimoto, 2000]，実世界機器の操作においても有効な活用が期待できる．たとえば，一度身体を動かして覚えた操作はボタンを順番に押すだけの操作よりずっと忘れにくいと考えられる．

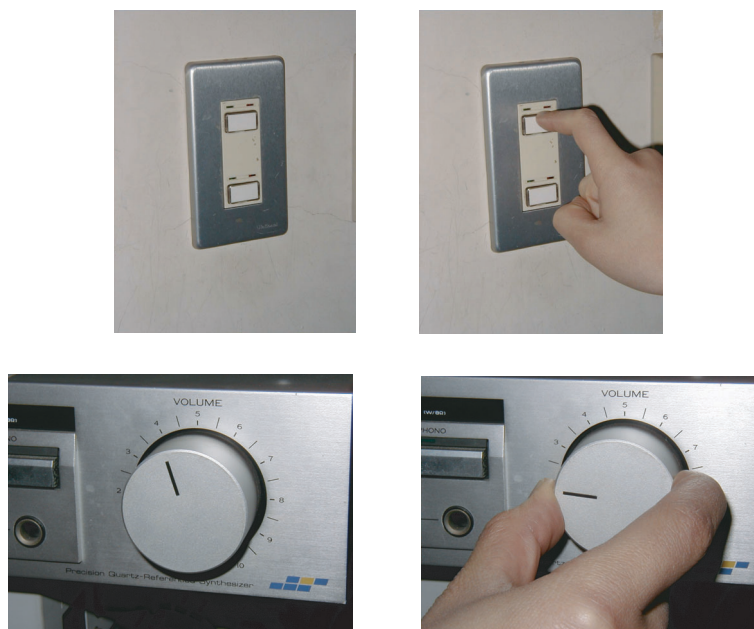


図 4.1: 実世界機器の持つアフォーダンス

上:部屋の照明のスイッチを「押す」, 下:ボリュームつまみを「回す」

#### 4.2.2 ウェアラブル・デバイス

福本 [Fukumoto, 2000] は常時装着できるウェアラブル・インタフェースの必要条件として「携帯性」・「操作性」・「即時性」の3つを挙げている。つまり、ウェアラブル・インタフェースは小型・軽量で日常生活の邪魔にならず、小型化しても使いやすい操作性を持ち、使おうと思った時にすぐに利用可能なものでなければならない。

従来のジェスチャ入力システムの多くはジェスチャの多様性を重視し、全ての手指にセンサーを装着するアプローチをとってきた。こうしたアプローチは汎用性の面で優れるが、「携帯性」・「操作性」などの要件を満たすことは難しくなる。ここではジェスチャの多様性とユーザの装着負荷のトレードオフについて述べる。

##### ジェスチャの多様性と装着負荷

手指を用いたジェスチャをできるだけ多く認識するには、(1) 各指の第一関節・第二関節の曲げ・伸ばし、(2) 各指間の関節角度、(3) 手首の角度を検出する必要がある。しかし、こうしたアプローチは全ての指にセンサーを装着する必要があるため、ユーザの装着負荷を増大し、「携帯性」に支障をきたすことが予想される。このように、モバイル環境やユビキタス環境における利用を前提とした場合、全ての指を使ったジェスチャ認識は、実装・実用の面から現実的ではないと考えられる。

そこで、本研究では携帯性を重視したシンプルなジェスチャ入力を主眼におき、(1) 親指・人差し指の曲げ・伸ばし、(2) 手首の角度を中心に検出する手法をとる。装着す

るセンサーを人差し指中心にまとめることで、既存のジェスチャ入力デバイスより大幅に装着負荷を軽減している。

#### 無意識的入力の排除

常時装着するウェアラブル・インタフェースを想定した場合、意図的入力と無意識的な入力を区別することは重要である。しかし、既存のジェスチャ入力システムの多くは明示的なトリガー機構を持たず、無意識的な入力を排除することは難しかった。

そこで、Ubi-Finger では親指で自然に押せる人差し指の側面部にタッチセンサーを装着し、「親指でタッチセンサーを押す」という明示的な行為をジェスチャ入力の開始・終了のトリガーとして利用する手法をとる。このように明示的なトリガー機構を設けることで、意図しないジェスチャの誤認識の大幅な削減を図った。一方、こうした意識的トリガーと直感性の間にはトレードオフが存在するため、今後更なる議論が必要である。

#### 4.2.3 多様な機器操作

Ubi-Finger は単一のデバイスで複数の実世界機器の操作を可能にする。従来の学習型マルチリモコンなどを用いても、複数の機器操作を行うことはできた。しかし、機能とボタンが一对一で対応付けられているため、操作対象の機器が増えるほど操作が複雑になり、ユーザの学習負荷が増大するという大きな欠点があった。

Ubi-Finger を利用すれば、ユーザはおおまかに以下のような手順で、さまざまな実世界機器をシンプルかつ直感的に操作することが可能になる。

1. 「指差し」による機器の特定  
操作対象の機器を指差し、赤外線で ID を送信することで「選択」する (図 4.2)。
2. 手指のジェスチャによる機器の操作  
操作対象の機器を手指のジェスチャにより操作する。この際、あらかじめ選択した機器を操作するため、操作対象の機器が増加しても操作が複雑にならない。

### 4.3 実装

ここでは、Ubi-Finger デバイスの構成や、Ubi-Finger を用いて実世界の機器を操作するためのシステム構成、およびプロトタイプの実装について説明する。

#### 4.3.1 デバイス構成

ここでは Ubi-Finger のデバイス構成について述べる。Ubi-Finger は 3 系統のセンサー (ベンドセンサー、2 軸加速度センサー、タッチセンサー) を中心に、実世界の情報機器を特定するための赤外トランスミッタと、これらのデバイスの制御やホスト PC

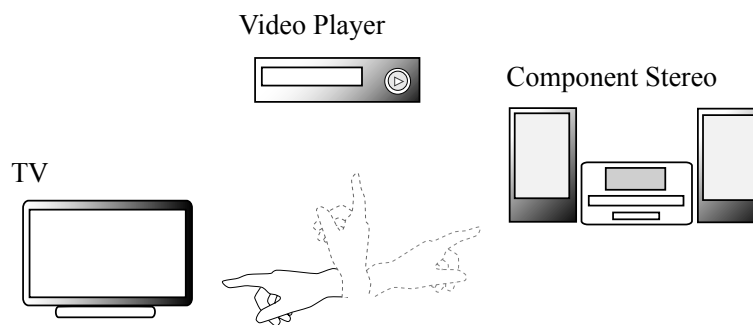


図 4.2: 指差しによる機器の選択のイメージ図

・PDA と通信を行うマイコンから構成される (図 4.3) . それぞれのセンサーからは (1) 人差し指の曲げ・伸ばし, (2) 手首の回転角度, (3) 親指によるボタン操作, といった情報が入力される. このうち, (1), (2) は主にジェスチャの検出に, (3) は情報機器の選択やジェスチャ入力のトリガーとして利用する.

### 4.3.2 システム構成

次に, Ubi-Finger を利用して実世界の機器を操作するためのシステム構成について述べる (図 4.4) . 本システムは Ubi-Finger ハードウェア, Ubi-Host (Ubi-Finger デバイスのホスト PC), Ubi-Appliance (赤外線レシーバーと LED を備え, ネットワーク接続可能な情報家電機器), Ubi-Server (Ubi-Appliance を管理するサーバー) の 4 つから構成される.

ここで, システムの流れについて簡単に紹介する. まずユーザは Ubi-Finger で実世界の情報機器 (Ubi-Appliance) を指差し, 自分の ID 情報を含んだ信号を赤外線で送信する. Ubi-Appliance は信号を受けると機器固有の ID とユーザの ID をサーバー (Ubi-Server) に送信し, Ubi-Server は Ubi-Appliance とユーザの ID を関連付け, 「誰がどの機器を操作しようとしているか」という情報を保持する. そして Ubi-Appliance に関連付け完了のフィードバック信号を送信し, Ubi-Appliance は情報提示用の LED を用いて選択状態を提示する.

ユーザは操作対象の Ubi-Appliance の選択状態を LED で確認した後, Ubi-Finger を用いてジェスチャを行う. ジェスチャはホスト PC (Ubi-Host) で認識され, 特定のジェスチャ ID に変換されて, ユーザの ID と共に Ubi-Server に送信される. Ubi-Server はユーザの ID から操作対象の Ubi-Appliance を判別し, ジェスチャの ID を機器毎に適切なコマンドに変換する. そして, ネットワークを介して Ubi-Appliance の操作を行う.

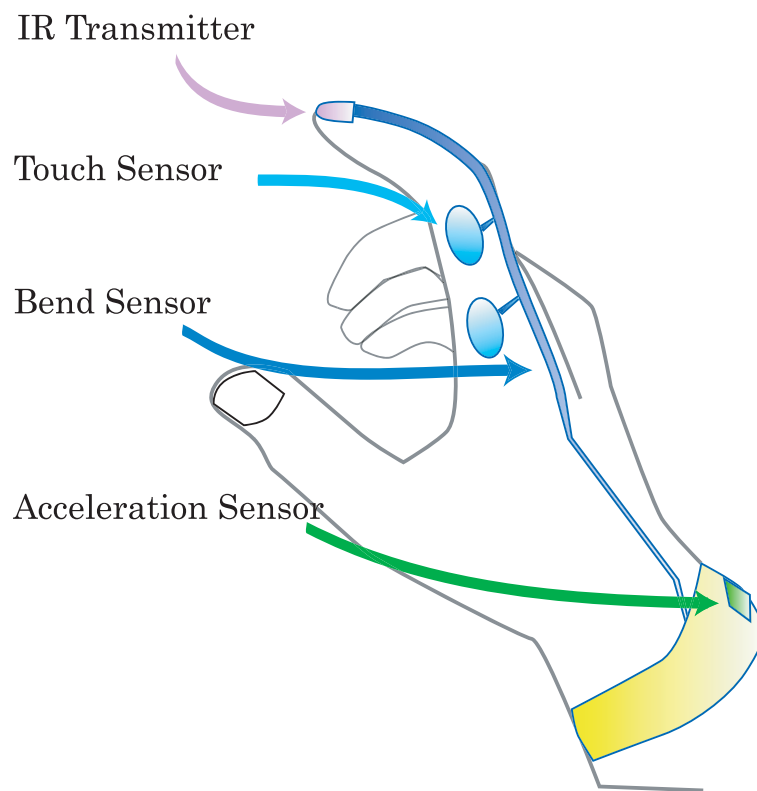


図 4.3: Ubi-Finger デバイス構成イメージ図

### 4.3.3 プロトタイプ

このようなデバイス構成・システム構成に基づき、Ubi-Finger システムのプロトタイプを実装した。ここでは、作成したプロトタイプシステムの構成・実現手法・特徴などを述べる。

#### Ubi-Finger ハードウェア

まず、Ubi-Finger ハードウェアのプロトタイプについて述べる (図 4.5)。初期のプロトタイプはオープングローブ型で多少大きくかさばるものであったが、機能を保持したまま小型化した指サック型の Ubi-Finger デバイス ver.2 を実装した。

まず、利用したセンサー、トランスミッタについて説明する。ベンドセンサー (Infusion System 社<sup>1</sup> 製 BendMini) は圧電素子を利用して、曲がり具合によって抵抗値が変化するアナログセンサーである。全く曲げない状態では  $6K$ 、 $180$  度曲げた状態では  $500K$  となり、最小曲げ半径は  $5\text{mm}$  である。形状は  $63\text{mm} \times 7\text{mm} \times 0.1\text{mm}$  の薄いフィルム状で、曲げた時の抵抗感はほとんど感じられない。BendMini の出力電圧は、後述のマイコンで 8bit の精度で A/D 変換する。2 軸加速度センサー (Analog Devices

<sup>1</sup><http://infusionsystems.com/>

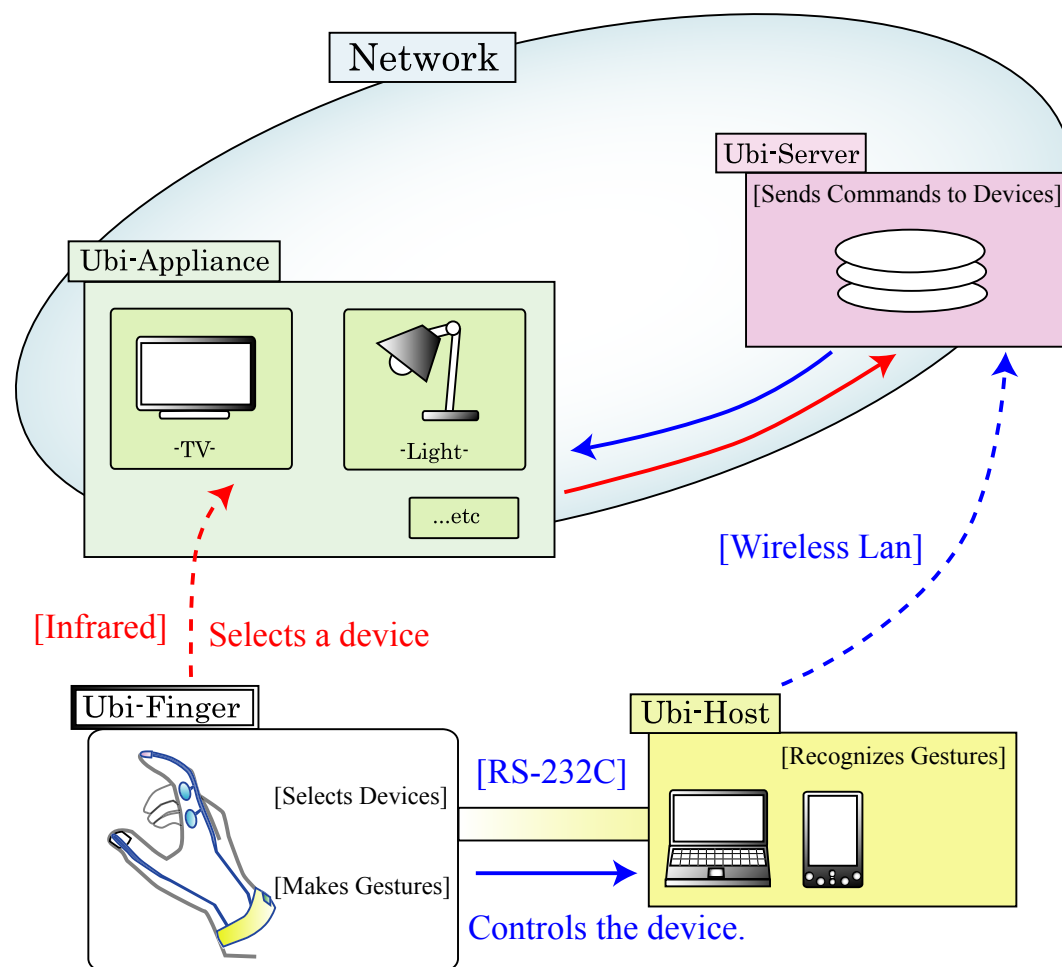


図 4.4: Ubi-Finger システム構成

社<sup>2</sup>製 ADXL202E) は 5mm × 5mm × 2mm の小型の加速度センサーである。実際の駆動にはコンデンサ、抵抗などの外部回路が必要であり、それらを空中配線して 10mm × 10mm × 5mm 程度の形状に収めている。最大 ±2G の加速度計測を行うことが可能であり、本研究では主に重力加速度を利用して地面に対するセンサー自体の傾きを計測し、利用している。ADXL202E は加速度に正比例したデューティ比<sup>3</sup> 信号を出力し、マイコンで各軸に対する加速度を計算処理する。プッシュスイッチは 8mm × 7mm × 4mm の小型・薄型の形状である。わずかな力で押し込むことができ、明瞭なクリック感を持つ。赤外トランスミッタ (東芝製 TLN115A) は直径 5mm × 7.65mm の赤外 LED である。標準放射強度は 26mW/sr と強力で、指向特性は ±21 度と標準的である。赤外線を送信時には、マイコンにより 38KHz で変調したパルス信号を出力する。

次に各センサーの装着位置について述べる。指サックの内側上面に薄い布でガイド

<sup>2</sup><http://www.analog.com/>

<sup>3</sup>周期的なパルス列の任意のパルスのパルス幅 (t) とパルス繰り返し周期 (T) との比 (t/T)。



を作り，人差し指の上部に沿うような形でベンドセンサーを装着した．2軸加速度センサーと赤外トランスミッタ，および情報提示用のLEDについては，指を曲げる時に邪魔にならず，装着感が安定する位置を考慮して，人差し指の第一関節と第二関節の中央付近上部にまとめて装着した．また，人差し指の第一関節と第二関節の間の側面に，プッシュスイッチを二つ装着した．装着にマジックテープを利用することで，押しやすい位置を微調整できるように工夫している．

最後に，センサー情報などのソフトウェア処理について述べる．各センサーからの出力はマイコン（秋月電子通商<sup>4</sup> 製 Tiny-H8）で数値に変換され，シリアルケーブル経由でノートパソコン（Windows2000 搭載機）へ送られる．具体的には，ベンドセンサーの出力を8bit，加速度センサーの出力を16bit（各軸8bit × 2），プッシュスイッチの状態を2bitの値として変換する．プッシュスイッチが押されている状態ならば，マイコンはこれらの信号を19,200bpsで連続的にノートパソコンへと送信する．ノートパソコン上ではUbi-Hostソフトウェアが動作し，マイコンの出力データをリアルタイムに解析してジェスチャ認識を行い，無線LANカードを経由してUbi-Serverと通信を行う．現在7種類のジェスチャを規定しており，それぞれに数個のフラグ（一定のセンサー出力値）を持たせている．これらの各フラグはある程度の誤差を許容するように設定している．そして，一定時間内に全てのフラグが成立した場合，特定のジェスチャとして認識する．

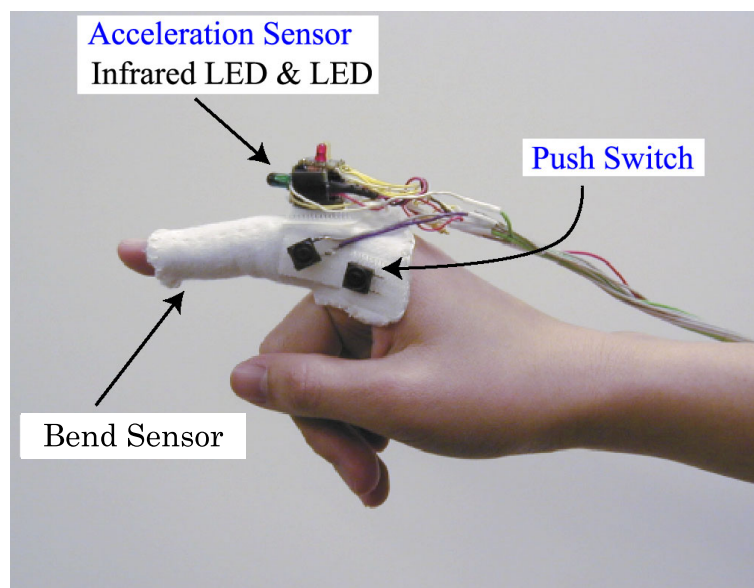


図 4.5: Ubi-Finger プロトタイプ Ver.2

<sup>4</sup><http://akizukidenshi.com/>



## Ubi-Appliance と Attachable Controller

Ubi-Appliance はネットワーク接続可能な情報家電機器を想定したものであるが、現時点ではそうした機器を簡単に入手することは難しい。そこで、図 4.6 のように、既存の家電機器に「取り付ける」だけで、Ubi-Appliance に必要な入出力系を付加できる機器装着型デバイス Attachable Controller を実装した。

図 4.7 に示すように、Attachable Controller は赤外受光部・ネットワーク接続部・機器制御部という三つのサブシステムから構成される。

### 1. 赤外受光部

Ubi-Finger から赤外線信号を受信し、機器の選択状態の提示を行うサブシステムである。赤外受光素子と二つの LED、それらの制御を行うための PIC マイコン (Microchip Technology 社製 PIC16F84A) と周辺回路から構成される。

### 2. ネットワーク接続部

主に Ubi-Server とのネットワーク通信を行うためのサブシステムであり、PICNIC という Tristate 社<sup>5</sup> 製のキットを利用している。PICNIC は LAN インタフェースを持ち、簡易 Web Server が動作する PIC ベースの小型コンピュータである。Ubi-Server は PICNIC のパラレルポートを介して、Attachable Controller の赤外受光部や機器制御部と通信を行う。

### 3. 機器制御部 (赤外線出力 / リレー制御)

ネットワークからの信号に基づいて、赤外線などにより家電機器の制御を行うサブシステムである。赤外トランスミッタ (赤外 LED) と、取り外し可能な不揮発メモリ、PIC マイコン (Microchip Technology 社製 PIC16F84A) およびその周辺回路から構成される。

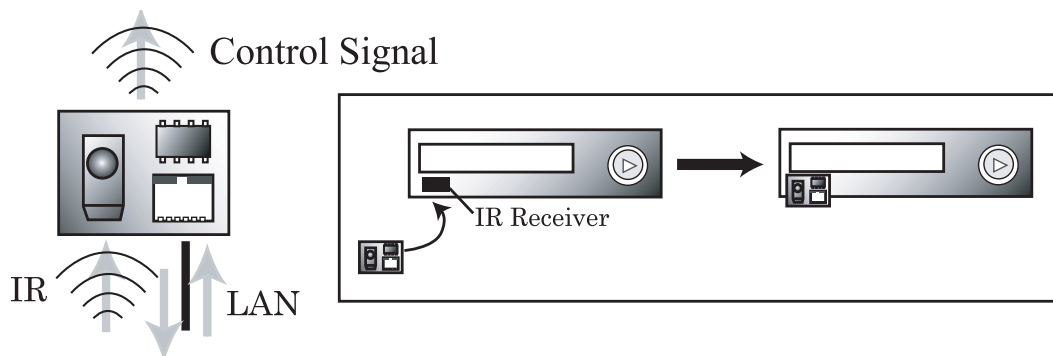


図 4.6: Attachable Controller 概念図

<sup>5</sup><http://www.tristate.ne.jp/>

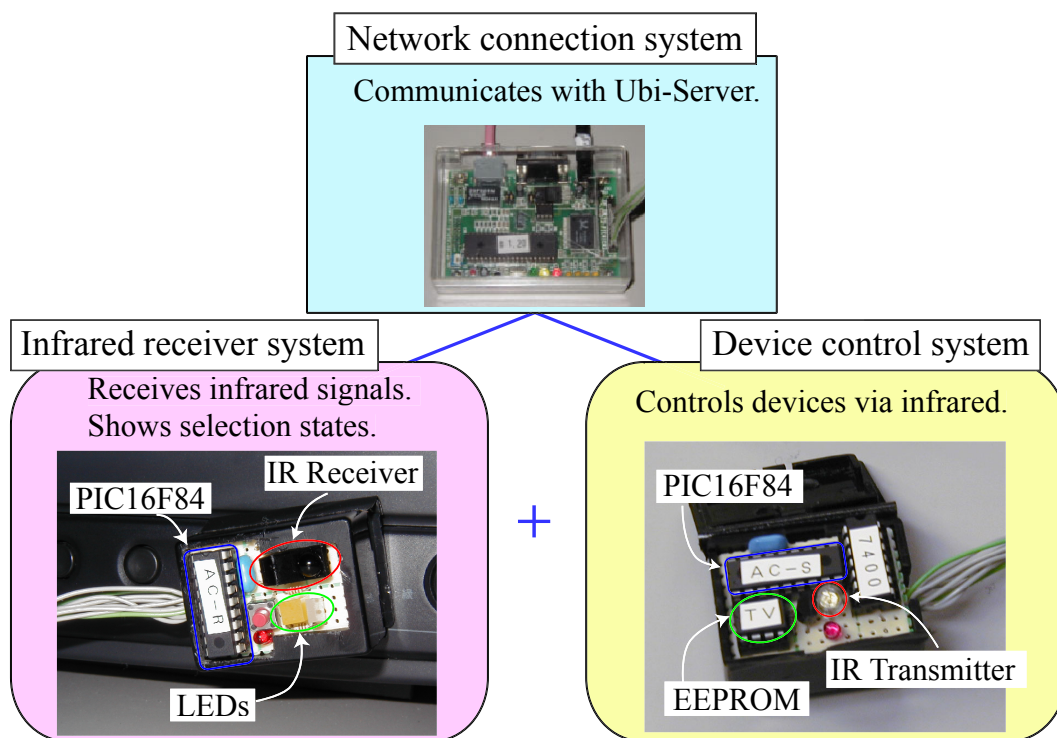


図 4.7: Attachable Controller システム図

上:ネットワーク接続部．サーバーと赤外受光部，機器制御部を連携させる．左: 赤外受光部．Ubi-Finger からの赤外線を受信（機器の選択），および LED による情報提示を行う．右: 機器制御部．赤外線などにより家電機器を制御する．

## 4.4 応用

次に、Ubi-Finger の有効な活用が期待できるいくつかの実装例を紹介する。

### 4.4.1 実世界の機器操作

従来人々が実世界の家電機器などを操作する場合、機器の数だけリモコンを利用しなければならず、機器（リモコン）毎に異なる操作方法を学習する必要があった。高級な学習マルチリモコンでは複数の機器のコントロール信号を学習することはできたが、ボタンと機能のマッピングが複雑になり、従来のリモコン以上にユーザの学習負荷を増大させることになりがちであった。Ubi-Finger を利用すれば、これらの問題点を解決し、ユーザの学習負荷を軽減した直感的な機器制御が可能になると期待できる。

今回は実世界機器操作の応用例として、ライト、テレビ、オーディオ機器、ビデオなどに Attachable Controller を装着し、Ubi-Finger で制御するシステムを試作した。ここではテレビを Ubi-Finger により制御する応用例を紹介する。

テレビの制御に関して実現した機能は「電源のオン/オフ」、「ボリュームを上げる」、「ボリュームを下げる」、「チャンネル次へ」、「チャンネル前へ」、「ミュート」の6つである。これらの機能を機器操作の特性を利用してジェスチャに対応付ける。たとえばボリュームを上げる、下げるという操作は「ボリュームつまみを回す」という動作を連想させるため、その行為に類似した「手首を右回り/左回りに傾ける」というジェスチャに対応付ける。図 4.8 にジェスチャと操作の対応付けの抜粋を示す。

### 4.4.2 コンピュータの入力補助

Ubi-Finger を利用して、テキスト入力中に画面スクロールを効率的に行えるアプリケーションを実装した。エディタを利用してプログラミングやテキスト入力を行う際、少しウインドウをスクロールさせて他の部分を参照したいという状況はよく見られる。これまでマウスホイールなどを利用することでこうした操作を行えたが、キーボードから一時的に指を離す必要があり、本来のタスクが中断してしまうという欠点があった。Ubi-Finger を利用することでキーボードからほとんど指を離すことなく、最小限の動き（人差し指の曲げ・伸ばし）でウインドウのスクロール操作を行うことが可能になる（図 4.9）。

### 4.4.3 プレゼンテーション支援

Ubi-Finger を用いてプレゼンテーション支援を行うアプリケーションを実装した。従来人々がパソコンを用いてプレゼンテーションを行う場合、常にパソコンの前でプレゼンテーションソフトを操作する必要があった。こうした操作は特に多くの聴衆を前にした状況では煩わしく、時に話の流れを切ってしまう要因にもなっている。Ubi-Finger を利用してプレゼンテーションソフトを操作することで、ユーザ自身も聴衆も PC 操作をほとんど意識することなく、より自然な流れのプレゼンテーションを実現できる。

また、ダイナミックな動きのジェスチャを行うことで、視覚的にもインパクトが大きく、聴衆を飽きさせないプレゼンテーションが期待できる。

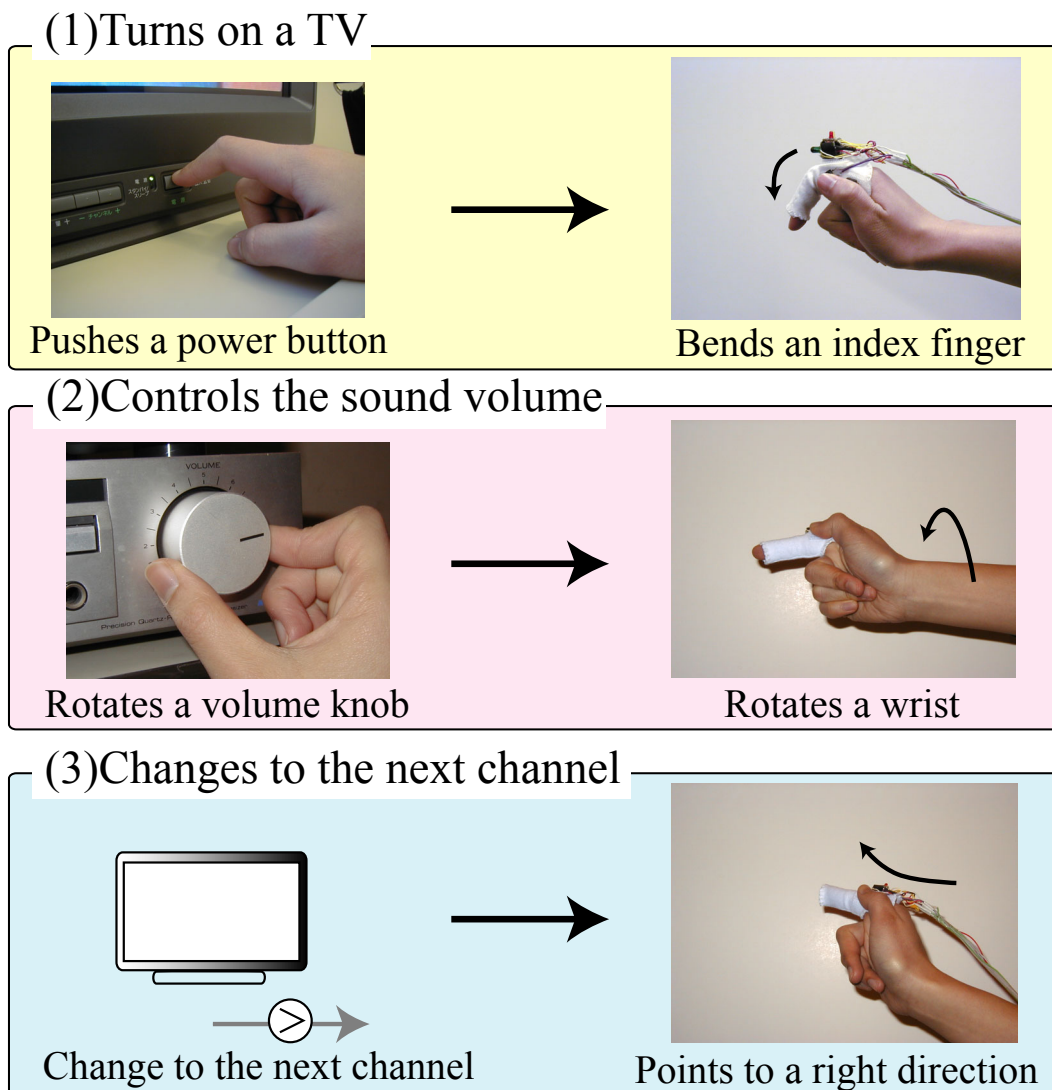


図 4.8: テレビ操作とジェスチャの対応付け (抜粋)

上:電源操作．電源スイッチを押す行為に類似した，人差し指を曲げるジェスチャを対応付ける．中央:音量操作．ボリュームつまみを回すという行為に類似した，手首を傾けるジェスチャを対応付ける．下:チャンネル操作．チャンネルを次へ送る機能を，次（右方向）を指差すジェスチャに対応付ける．

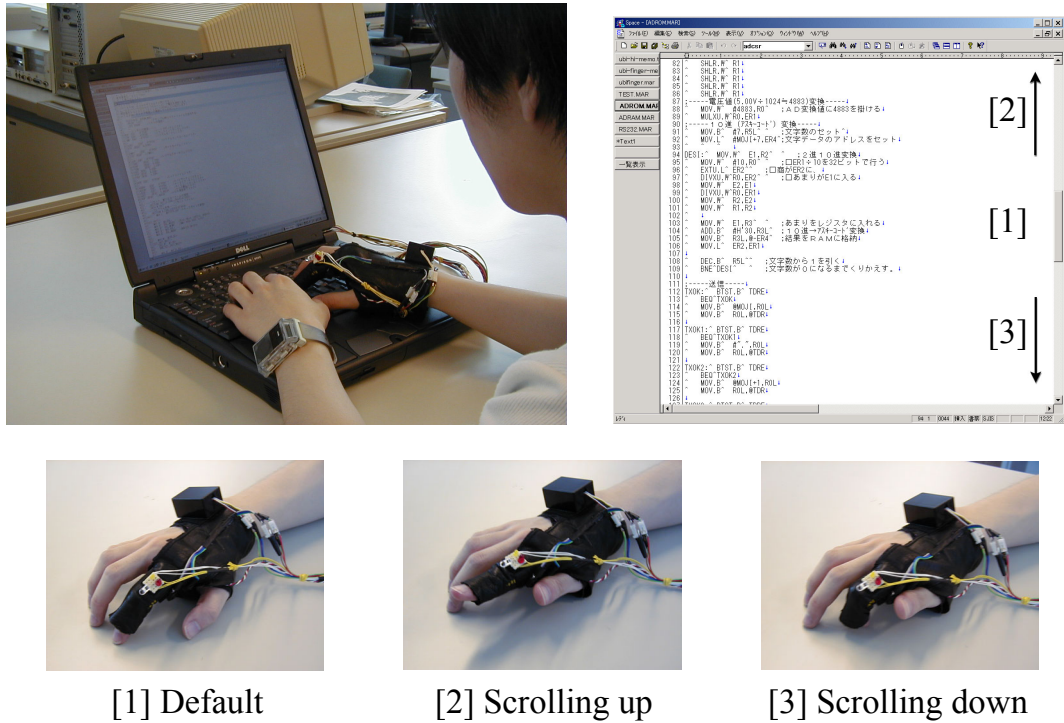


図 4.9: コンピュータの入力支援 (テキスト入力中の画面スクロール)  
 キーボードからほとんど指を離すことなく、最小限の動き (人差し指の曲げ・伸ばし) でウインドウのスクロール操作を行える。

## 4.5 評価実験

Ubi-Finger の特徴である「指差し」による機器特定手法や、ジェスチャによる機器操作手法の妥当性を検証するため、Ubi-Finger のプロトタイプを装着して複数の実世界機器を操作する実験を行った。被験者は Ubi-Finger を初めて利用する、23 歳～47 歳の男女 10 名である。

### 4.5.1 評価手法

Ubi-Finger の基本的な操作プロセスを対象として、オーディオ機器とライトの二つの機器を用意し、実験者の指示に応じてそれぞれの機器を連続的に操作するタスクを与えた。各機器と被験者の距離は 2m、機器間の距離は 1m としている（図 4.10）。双方の機器には Attachable Controller を装着しており、「指差し」を利用して機器の選択を行うことが可能である（図 4.11）。本実験では日常的に他のタスクを行いながら頻繁に利用する機能を想定し、オーディオ機器では「再生/停止」「音量を上げる/下げる」という機能、ライトは「点灯/消灯」と「調光を明るく/暗く」という機能を操作対象とした。そして、実験終了後に対話を行い、現在の実装の問題点などについて質問した。さらに、ユーザの印象評価を得るためにアンケートを実施した。

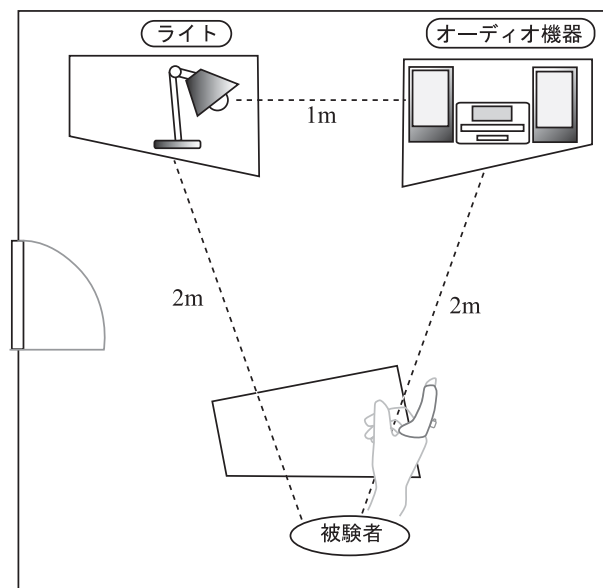


図 4.10: 実験室の配置

### 4.5.2 結果

まず、Ubi-Finger の印象評価を中心にアンケートの調査結果をまとめる。





図 4.11: 実験で操作した家電機器

上:ライトに Attachable Controller を装着．点灯 / 消灯と調光操作に対応．下:オーディオ機器に Attachable Controller を装着．再生 / 停止と音量操作に対応．

「ジェスチャによる実世界機器の操作は直感的にわかりやすかったですか?」という質問に対して、「非常に直感的」「やや直感的」「ややわかりにくい」「非常にわかりにくい」の4つの選択肢による回答を得た．その結果、「非常に直感的」という回答は7割におよび、「やや直感的」と併せると全体の9割のユーザからジェスチャによる実世界機器の操作は直感的でわかりやすいという肯定的な評価が得られた(図 4.12)．

また、「指差した機器の操作ができるのは魅力的だと思いますか?」という質問に対して、「非常に魅力的」「やや魅力的」「あまり魅力的でない」「全く魅力的でない」という選択肢により回答を得たところ、「非常に魅力的である」というユーザは全体の8割に及んだ．さらに、「機器を指差して特定する操作は直感的にわかりやすかったですか?」という質問について、4段階で回答を得たところ、全てのユーザが「非常に直感的」「やや直感的」と回答しており、ほとんどのユーザが「指差し」による機器の特定手法が直感的でわかりやすく、魅力的な手法であると感じていた(図 4.13)．

このように、操作したい対象の機器を「指差し」により特定し、手指のジェスチャ



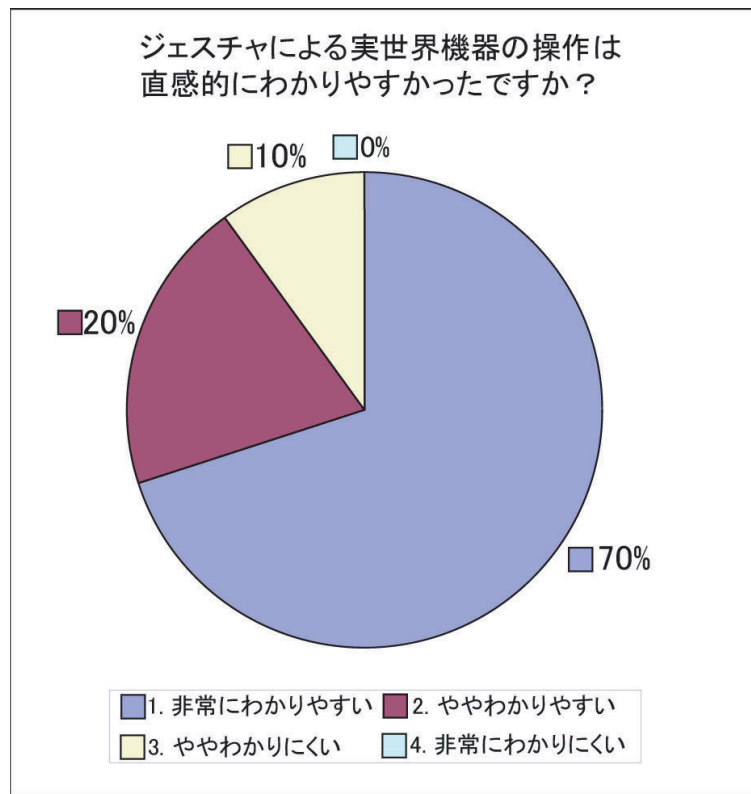


図 4.12: ジェスチャによる実世界機器の操作に関する評価結果 (n = 10)

を用いて操作するという Ubi-Finger のメインコンセプトに関しては、ほとんどのユーザが高い評価を与えており、本研究のアプローチの有効性を裏付けている。

また、実験後の対話により、「ケーブル類が邪魔」、「デバイスのサイズを調整したい」、「ジェスチャをカスタマイズしたい」、「入力のトリガー操作が煩わしい」といった課題が明らかになった。また、経験的に判明している課題として「隣接する複数機器の特定」が存在する。今後これらの課題への対応を検討していく。

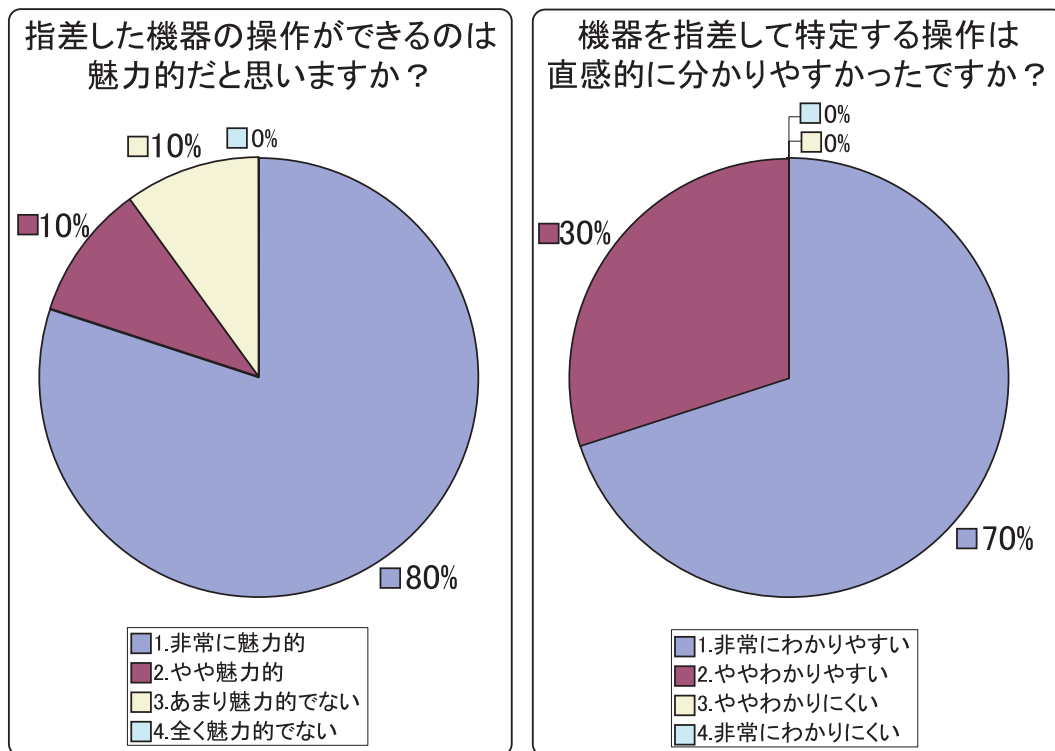


図 4.13: 「指差し」による機器の特定に関する評価結果 (n = 10)

## 4.6 関連研究

ここではまず、ジェスチャ入力に関する先行研究を装着型センサーを用いるアプローチと画像解析を用いるアプローチに分けて紹介し、本研究との差異を述べる。

装着型センサーを用いるアプローチとしては、5DT DataGlove, CyberGlove や、毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース, AcceleGlove などが挙げられる。5DT DataGlove [5DT, 1999] や CyberGlove [Immersion, 2000] は光ファイバーや感圧導電インクを関節角のセンサー（バンドセンサー）として利用するグローブ型ジェスチャ入力デバイスである。ポヒマスセンサーなどと組み合わせることで、特定空間においてデバイスの3次元位置を測定できる。毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース [Mohri, 2000] や AcceleGlove [Hernandez, 2002] は2軸の加速度センサーなどを各手指と手の甲に装着し、その相対的な出力値から手指の形状を取得する、手の甲と各指に分離して装着するジェスチャ入力デバイスである。これらの先行研究は、全ての手指にセンサーをつけるアプローチをとっており、モバイル環境のみでなく、バーチャル・リアリティの入力インタフェースなども含めたより汎用的な場面での利用を想定していると考えられる。一方、本研究のアプローチは、モバイル環境や情報家電機器など特定の目的を絞り、そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目標としている。そのために、シンプルなジェスチャのみを対象としてセンサーの数を最小限に絞り、人差し指を中心に装着するコンパクトな形態とすることでユーザの装着負荷を軽減している。

画像解析を用いるアプローチとしては、Wearable ASL(American Sign Language) や Gesture Pendant などが挙げられる。Wearable ASL[Starner, 1997] はベースボールキャップにつけたカメラを用いて、ASLの認識を行う研究である。Gesture Pendant [Starner, 2000] はペンダント型のデバイスに赤外 LED とカメラを搭載し、カメラで認識したジェスチャを用いた家電機器の操作を試みている。特に Gesture Pendant は、主に情報家電機器の制御に焦点を当てたアプローチであり、興味深い。本研究は装着型センサーを利用してジェスチャ認識を行っている点で異なる。装着型センサーを用いたアプローチの利点としては、カメラの視野にとらわれず入力を行える点、外界のノイズに強い点などが挙げられる。また、情報家電機器制御のアプリケーションにおいて、本研究では機器の選択 操作を、指差しとジェスチャを用いて連続的にわかりやすい流れの中で行える点が特徴である。

情報家電機器を実世界インタフェースで操作する試みとしては FieldMouse や Air-Real が挙げられる。FieldMouse [Masui, 2000] はバーコードリーダーなどのID 検出装置とマウスや加速度センサーなどの相対移動検出装置を一体化して「傾き」などを利用した情報機器の操作を試みている。本研究では複数のジェスチャを既存のメタファと結びつけて、より直感的な機器操作を実現できると考えている。Air-Real [Hosino, 2001] はレーザーポインタを内蔵したりモコンと部屋に設置されたカメラ、プロジェクタを利用して、レーザーポインタで指した家電に応じた操作を実現している。Air-Real は非常に大規模なシステムを必要とするのに対し、本研究は最小限のシステム構成で実現可能である点が異なる。Ubi-Finger は既存の家電機器に Attachable Controller を取

り付けるだけで、さまざまな実世界機器の操作に適用可能である。

指釦 [Fukumoto, 1999b] は手首に加速度センサーを装着して、モルス信号のように1ビットのパルス行列を用いてコマンド表現を実現する。指釦では応用のアイデアとして、家電機器操作への適用例についても述べており、興味深い。一方、本研究は最小限のセンサーを手指部に装着し、手指を利用したシンプルなジェスチャ入力を行うアプローチである。

Attachable Computer [Iga, 1998] は、実世界の家電機器などに小型コンピュータとセンサーなどを取り付けて、付加的な情報提示機能を追加するコンセプトである。Attachable Computer が実世界の機器に情報提示機能を付加する試みであるのに対し、本研究で提案する Attachable Controller は新しい入力・操作系の付加に焦点を当てている。

Gesture Wrist [Rekimoto, 2001a] は手首に2軸加速度センサーと静電容量検出装置(送信電極と受信電極)を装着し、簡単なジェスチャ入力を試みる研究である。手首以外に機器を装着する必要がなく、数種類のジェスチャを認識できる点で興味深い。しかし、ジェスチャ認識開始の明示的なトリガーを与える機構が存在しないため、常時装着時には誤認識の問題が残ると考えられる。

## 4.7 今後の展望

前述したように、本研究のアプローチはユーザの装着負荷を軽減し、日常生活に溶け込んだ新しいコンピュータ環境において、誰もが容易に使えるデバイスを目指すものである。しかし、日常生活で実用的に利用するためには、現在のプロトタイプの形状ではまだ物理的・心理的な負荷を伴う可能性が高く、今後一層の改良が必要である。将来的には、指輪や腕輪、腕時計など、日常的に利用している装飾品やなどと同様の形状を持ち、役割を兼ね備えるような形態が望ましいと考えている。今後はこうしたより実用的なデバイスの形態に相応しいセンサー構成や、無線通信機構 (Bluetooth [Bluetooth, 1998] など) を用いたホストPCとの通信の無線化などの検討を進めていく。また、技術的な課題以外にも、洋服やアクセサリなどと同じように、ファッション性への配慮やユーザに合わせた多様なデザイン・サイズの提供なども重要な検討課題である。

一方、Ubi-Finger はこれまで述べてきた日常生活での利用以外に、パフォーマンス支援や専門的環境における操作などのアプリケーション分野にも応用できると考えている。パフォーマンス支援とは、Ubi-Finger を音楽などの芸術的表現の補助に応用することである。具体的には、演奏家や舞台役者がメインのパフォーマンスに新たな演出を加える補助的なパフォーマンス支援デバイスとしての応用を考えている。また、エンドユーザが気軽に即興的演奏を楽しめるツールとしても可能性を持つ。専門的環境における操作とは、Ubi-Finger を撮影/音楽スタジオなど、多数の専門機器を扱う特殊な環境へ応用することである。たとえば音楽スタジオには、複数の音源や楽器、アンプなどが存在し、それらの音量や定位をミキサーにより集中管理している。ミキサーのチャンネルと各機器の対応付けは、必ずしも直感的なものではなく、特に慣れない環境ではしばしば混乱を招く。Ubi-Finger を利用すれば、指差した機器を直接操作で

きるため、こうした混乱を軽減した、シンプルで直感的な操作環境を実現できると考えている。

## 4.8 まとめ

本研究では実世界のさまざまな場面に適したインタフェースとして手指を用いたジェスチャ入力に着目し、自然なジェスチャを用いて携帯情報機器や情報家電機器の操作を実現する、モバイル指向のジェスチャ入力デバイス Ubi-Finger を提案し、実装および評価を行った。

Ubi-Finger を利用すれば、ユーザは実世界の機器を「指差す」ことで特定し、手指のジェスチャにより操作対象の機器を直感的に操作できる。操作対象の機器が増加しても操作が複雑になることがなく、既存の操作メタファや身体性を活用した直感的な操作を実現できる。こうした本研究の機器操作のアプローチは、評価実験においても多くのユーザに支持され、その有効性が確認できた。

Ubi-Finger システムが将来的により小型化、高性能化すれば、情報家電機器制御を始めとした実世界のさまざまな場面で実用的に利用できると期待される。

## 第 5 章

# MouseField:日用品を拡張するインタフェース技法

### 概要

本研究では、ユビキタス環境に適したシンプルで汎用的な入力インタフェース技法「MouseField」を提案する。近年、RFID(Radio Frequency IDentification)システムは、流通・認証分野などで急速に普及が進んでおり、今後RFID タグは多くの日用品(書籍、CD / DVD、文房具、食料品、衣料品、医薬品など)に標準添付されると期待されている。こうした状況を反映して、RFIDをコンピュータとのインタラクションに活用するID ベースのユーザ・インタフェース技法が盛んに研究されている。こうしたシステムでは、タグを添付したモノとシステムの挙動を一對一で割り当てることで、「CD ジャケットをスタンドに置けば音楽が鳴る」といった、シンプルで直感的なインタラクションを実現することができる。一方、従来のID ベースのシステムではひとつのID にひとつの機能しか割り当てることができないため、複雑な操作を行うことは難しく、実用的な利用場面に限られるという根本的な問題を持っていた。本研究では、RFIDリーダーと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張する入力デバイス「MouseField」を提案する。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などをMouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

## 5.1 はじめに

近年,RFID(Radio Frequency IDentification)システムは,ユビキタス・コンピューティング環境を実現する基盤技術の一つとして注目を集めている<sup>1</sup>.今後RFIDタグはさまざまな商品に標準添付され,実世界の日用品の多くが“identification-ready”な状態になると考えられる [RFID テクノロジー編集部, 2004].

こうした状況を反映して,RFIDなどを用いて実世界のさまざまな日用品のIDを認識し,コンピュータとのインタラクションに利用するIDベースのユーザ・インタフェース技法が注目されている.たとえば,Wantらは多数の書籍や名刺などにRFIDタグを装着し,それらの詳細情報をノートパソコンやPDAなどで参照できるシステムを提案している [Want, 1999]. また,PlayStandというシステムではスタンドにCDジャケットを立てかけるだけで,そのCDの曲を演奏することができる [Masui, 2002b].

このように,IDベースのユーザ・インタフェース技法では,タグを添付した日用品とシステムの挙動を一對一で割り当てることで,「CDジャケットをスタンドに置けば音楽が鳴る」という,シンプルで直感的なインタラクションを実現することができる.

しかし,これらのIDベースのシステムは,ひとつのIDにひとつの機能しか割り当てることができないため,複雑な操作の実現は困難である.たとえば,前述したPlayStandのようなタグを利用した音楽再生システムでは,CDジャケットを置く/取り除くことによって曲を演奏/停止することはできるが,曲目を選んだり音量を操作したりすることはできない.IDベースのシステムだけでこのような機能を実現するためには,必要な機能それぞれに専用のタグを用意する必要がある.このように,これまでのIDベースのユーザ・インタフェース技法は,単純な作業には有効であるが,複雑な作業やアナログ的な操作には適していない,という問題があった.

そこで,本研究では,RFIDリーダーと動きセンサーを統合した,ユビキタス・コンピューティング用の入力デバイス「MouseField」を提案する.ユーザは,RFIDタグを添付した日用品などをMouseFieldデバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で,さまざまな操作を行うことができる.ここでは,日用品を日常生活のさまざまな場所に存在し,電化製品のような複雑な機構を持たず,持ち運べるサイズのモノとして定義する.たとえば,書籍,CD / DVD,文房具,食料品,衣料品,医薬品などなどである.

---

<sup>1</sup>RFID技術の概要については付録Aで詳しく説明している

## 5.2 MouseField

MouseFieldの基本的なコンセプトは、以下の三点である。

### MouseFieldのコンセプト

1. 日用品の意味を活用
2. タンジブルで汎用的な操作
3. 日常空間に内蔵しやすいデバイス構成

第一点は、既存のさまざまな日用品を直接入力インタフェースとして利用することで、日用品固有の意味やコンテンツを活用した、直感的な操作を実現できる点である。たとえば、書籍やCD・DVDなどはそれぞれに固有のコンテンツを持っており、食料品や調味料などはそれらの特徴やレシピへのリンクが重要となる。こうした日用品の意味を積極的に活用した、直感的なインタフェースを目指す。

第二点は、日用品そのものを「置いて」、「動かす」というタンジブルな操作により、IDベースシステムの制約を取り除いた、汎用的な操作が行える点である。現実世界の物理的なオブジェクトを動かす行為は多くの人にとって覚えやすく、新しい汎用的な操作体系として機能すると考えられる。

第三点は、実現コストや頑丈さに配慮し、日常生活のさまざまな場面に実際に内蔵させることができるような設計を行う点である。つまり、MouseFieldは、日用品の持つさまざまな意味を活用し、直感的かつ汎用的な操作を実現する、ユビキタス・インタフェースである。

## 5.3 実装

上述したコンセプトに基づき、MouseFieldのプロトタイプを実装した。本プロトタイプは、RFIDリーダーと動き検出装置、およびこれらを制御するコンピュータから構成される(図5.1, 図5.2)。

RFIDリーダーはTexas Instrument社<sup>2</sup>のS2000 Micro Readerを利用し、ケース裏側の外周に沿ってアンテナを配置することで、ケースの上部全体をタグの読み取り可能範囲としている。動き検出装置として、光学マウスのセンサー部を二つ利用している。通常の光学マウスとは逆に、光学マウスのセンサー部分を表面にむけて設置し、センサー部に置かれたモノの動きを検出する。

<sup>2</sup><http://www.ti.com/>



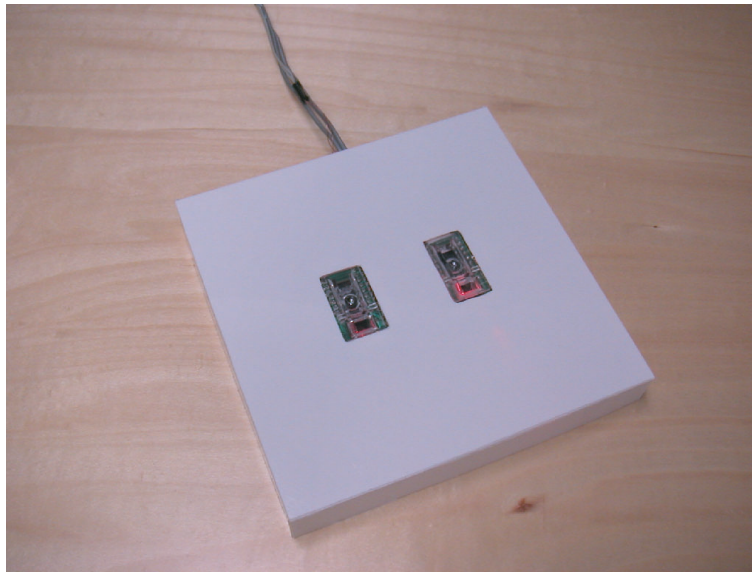


図 5.1: MouseField デバイスのプロトタイプ (前面)

RFID リーダーと光学マウスは USB ケーブルでコンピュータに接続されており，ケースに載せられたモノに添付されたタグ ID と動きを検出する．

本プロトタイプでは二つの光学センサーを利用しており，上下左右の移動に加えて，回転動作も検出することが可能である (図 5.3)．回転動作は，二つの光学センサーの Y 軸の移動量の差分を利用して簡易的に計算している．

RFID リーダーと光学マウスは，ともに稼動部を持たず，非接触でモノの ID や動きを検出することができる．そのため，全体を堅牢な構造にしたり，防水にすることが容易である．また，RFID リーダー，光学マウスは低価格化が進んでおり，2004 年現在で RFID リーダーは 3,000 円程度，光学マウスは 1,000 円程度で入手可能である<sup>3</sup>．このように，RFID リーダーと光学マウスから構成された MouseField デバイスは安価・堅牢で防水加工も容易であるため，机・サイドテーブル・キッチン・風呂など，日常生活のさまざまな空間に容易に埋め込むことが可能である．

---

<sup>3</sup>RFID タグの価格は購入するロット数によって大きく異なるが，2004 年現在，100 個単位でも 100 円/個，100 万個単位の場合は 10 数円/個まで低価格化している．

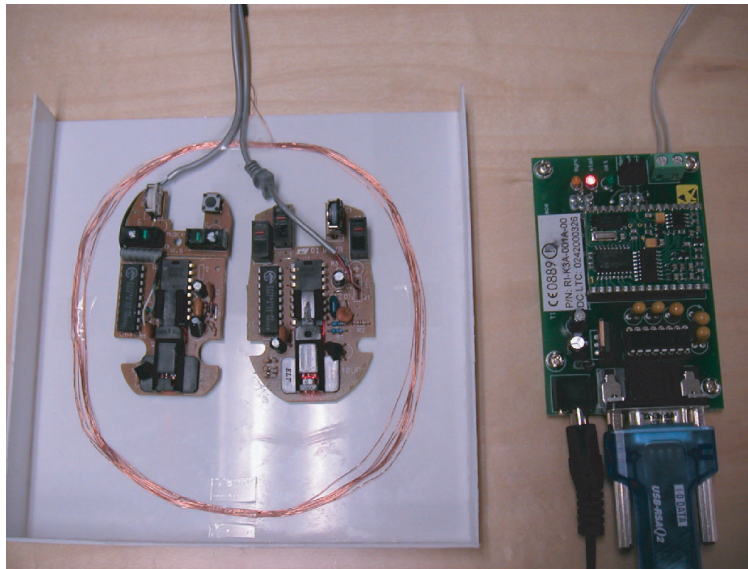


図 5.2: MouseField デバイスのプロトタイプ (背面) . 二個の光学マウスユニットの周囲に , RFID リーダーのアンテナを配置 .

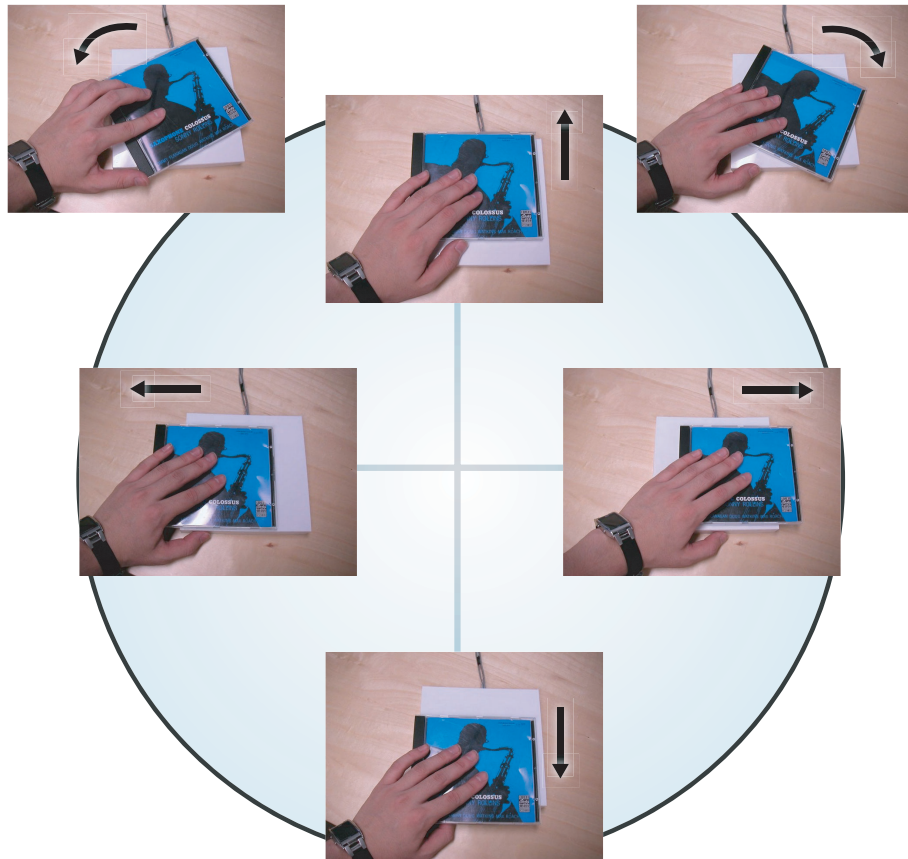


図 5.3: MouseField で検出可能な動きの例．二次元方向の移動（上下左右）に加え，回転運動も検出できる．各動作は，アナログ的に多段階で取得できる．

## 5.4 応用

ここでは、MouseField の応用例として、(1)CD/DVD などのコンテンツ操作、(2)キオスク端末への応用、(3)日用品を用いた近傍検索、(4)複数デバイスの連携操作について紹介する。

### 5.4.1 PlayStand++: コンテンツ操作への応用

PlayStand++は、PlayStand で利用していた通常のRFIDリーダーのかわりに MouseField を利用したCD/DVD などのコンテンツ操作システムである。図5.4にPlayStand++の外観を示す。このシステムでは、CD や DVD のコンテンツは、あらかじめサーバーに格納されている。

CD ジャケットを MouseField の上に置くと、CD ジャケットに応じた音楽再生アプリケーションの画面がディスプレイ上に表示され、曲の演奏が開始される。画面には、CD の曲目リストが表示されており、ユーザは CD ジャケットを前後にスライドさせることで、曲目を選択できる。また、ジャケット全体を、ボリュームつまみを回すように回転させることで、音量を調整することができる(図5.5)。また、DVD ジャケットを MouseField の上に置くと、ディスプレイ上でDVDの再生が開始される。ユーザは、DVD ジャケットを左右にスライドさせることで、早送り・巻き戻し操作を行ったり、上下にスライドさせることで、再生・一時停止操作を行うことができる。ユーザがCD/DVD などのジャケットを MouseField から取り除くと、曲(映像)は停止し、スクリーンセーバが動き出す。

このように、PlayStand++システムは、非常にシンプルな操作でさまざまなコンテンツを再生することができるだけでなく、ボタンやダイヤルなどの物理的なデバイスを使うことなく、多彩なコントロール機能を実現している。

### 5.4.2 キオスク端末への応用

前述したように、MouseField デバイスは、可動部分を持たないシンプルな構造であるため、全体を堅牢にしたり、防水にしたりすることが容易である。こうした利点から、公共の場に置かれて、不特定多数のユーザによる過酷な使用が予想される情報キオスク端末への応用にも適していると考えられる。

現在、RFID を利用した認証・電子マネーシステムは急速に普及しつつある。たとえば、JR 東日本の SuiCa<sup>4</sup> は、RFID を用いた電子乗車券・電子マネーシステムとして、既に首都圏を中心に800万枚以上を販売している(2004年12月時点)。SuiCa では、自動改札機や売店に設置されたリーダー/ライター部に SuiCa カード(タグ)を近づけるだけで、電子的な支払い処理(残高読み込み/残高書き換え)を行うことができる。このように、SuiCa のようなRFIDシステムを利用することで、手軽に個人認証・

<sup>4</sup><http://www.jreast.co.jp/SuiCa>

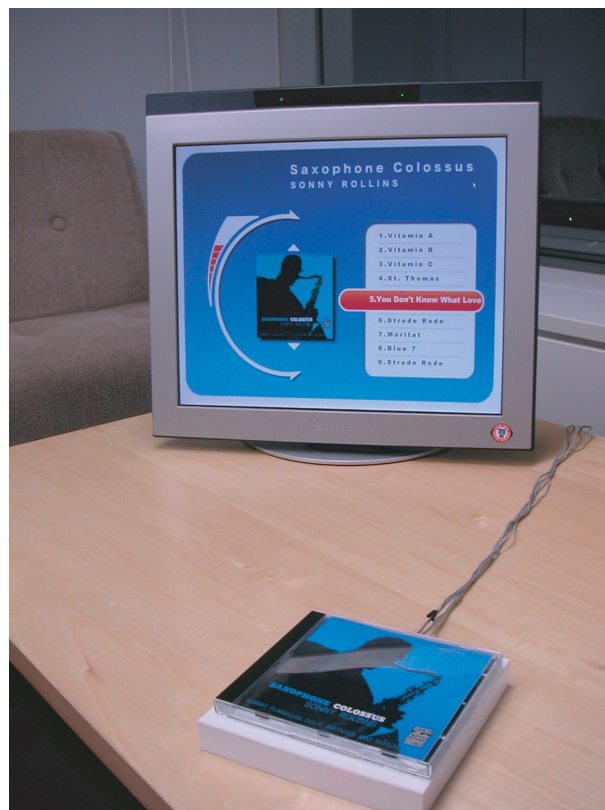


図 5.4: PlayStand++ の外観

電子決済などを実現することができるため、今後公共の情報キオスク端末にRFIDリーダーが組み込まれる可能性は高いと考えられる。

従来、こうした端末のユーザ・インタフェースを設計する際には、最初にユーザが電子マネーカードを装置に差し込み、次に情報閲覧操作をし、最後にカードを取り出す手順が一般的であった。

一方、こうした端末に、MouseField デバイスを組み込めば、ユーザはRFIDカードをMouseFieldに乗せ、カードを上下左右に動かすことで必要な操作を実現できる。ユーザは、手にした自分のカードで認証を受けると同時に、シームレスに必要な操作を続けて行うことができる。また、カードの移動ですべての操作ができるように工夫すれば、従来の端末に必要なボタンやタッチパネルの機能を代替できるため、端末コストを大幅に削減することもできる。さらに、自分のカードの移動だけで操作ができ、公共端末のボタンやタッチパネルに触る必要がなくなるため、衛生面でもメリットがある。

図 5.6 は、シンプルな情報キオスク端末の応用例として試作された、オフィスの入り口に設置する行き先掲示板システムである。行き先掲示板システムは、液晶ディスプレイと、RFIDリーダーと光学マウス一個を一体化したMouseFieldデバイスから構成される。液晶ディスプレイには、オフィスのメンバの行き先が電子的に表示される。

オフィスのメンバは自分の ID カードを MouseField にかざして、左右に移動させることで、自分の行き先を示しているマークを移動させることができる。このように、自分の状態（行き先）を、本人だけが変更できるセキュアな行き先掲示板を、非常にシンプルに実現することができる。

### 5.4.3 日用品を用いた近傍検索

前述したように、MouseField は安価、堅牢で防水加工も容易である点から、机・サイドテーブル・キッチン・風呂・トイレなど、日常生活のさまざまな空間に容易に埋め込むことが可能である。

MouseField をこうした日常生活空間で利用する有効な応用として、身の回りの日用品を用いた近傍的な検索手法が考えられる。近傍検索とは、文書/画像/メールなどのデジタルデータを選択することで、時間/場所/内容などさまざまな視点から、類似する情報を検索し、提示するアプローチある [Masui, 2003]。近傍検索の手法では、能動的に検索キーワードを入力しなくても、提示される情報を半ば受動的に選択していただくだけで、記憶の連鎖をたどるように、さまざまな関連情報をたどっていくことができる。ここでは、ユーザはコンピュータの利用自体を意識する必要が薄いため、近傍検索のアプローチは、日常生活空間におけるインタフェース技法としても有効に活用できると考えられる。

ここで実世界に目を向けてみると、近傍検索の入力となりうるさまざまなモノ（日用品）があふれている。たとえばキッチンには、野菜・果物・肉・魚などの食料や、砂糖・塩・酢・醤油・味噌などの調味料、ワイン・日本酒などの酒類、さまざまな食器類など、数多くの日用品が存在する。オフィスには、さまざまな書類や名刺、写真などが置かれている。将来的には、これらの多くに小型の RFID タグが添付され、“identification-ready”な状態となると期待されている。

これらの日用品の ID をデジタルデータと対応付ければ、一つの食料を MouseField に置くことで、それに関連するレシピを表示し、それを動かすことでレシピを切り替えたりするようなシステムを容易に構築できる。さらに、それぞれの食材などの特徴・購入日・利用履歴などを記録する仕組みを構築すれば、利用した時間が近い食材同士を関連付けて提示したり、賞味期限の近い食材を優先的に表示したり、盛り付けに適した食器を提示したりすることもできる。こうした履歴情報を活用すれば、写真を置くことで、その写真と同時期に撮影した他の写真を閲覧したり、名刺を置くことで、その名刺の人物と以前いつ会ったか、その時他に誰と会っていたかを検索することも可能だろう。

このように、日用品を入力として、時間/場所/内容などの点で関連する情報を提示する日用品を用いた近傍検索システムは、MouseField の有効な応用例となると考えられる。



#### 5.4.4 複数デバイスの連携

MouseField を複数設置すれば、離れた場所へ情報を持ち運ぶ用途にも使用することができる。ユーザが一つの MouseField で操作を行い、次に別の MouseField で操作した場合に、連続した操作を関連づけて解釈することで、最初の MouseField で取得したデータを、移動した場所の MouseField で継続して利用する機能を提供できる。

このように、MouseField でも、実世界のオブジェクトを利用して情報の移動を実現しているシステム [Konomi, 1999][Ljungstrand, 2000] と同様に、実世界でのドラッグ & ドロップ (“Pick and Drop” [Rekimoto, 1997] と称される) を実現できる。

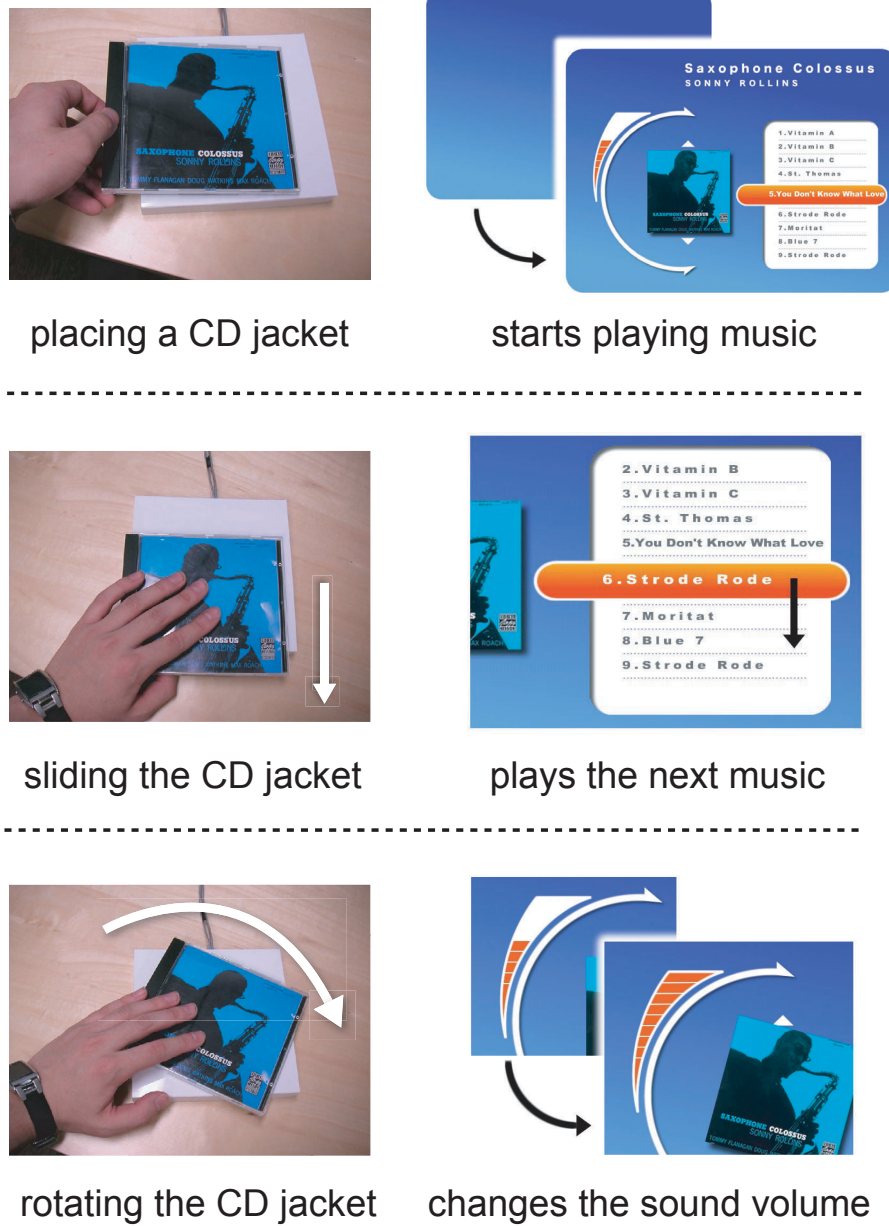


図 5.5: PlayStand++ の操作 . RFID タグを内蔵した CD/DVD ジャケットを利用 .





図 5.6: 電子行き先掲示板 . ID カードと画面上のユーザが対応しており , 自分の状態だけを変更できる .

## 5.5 議論

ここでは、MouseFieldの特徴についてさまざまな視点から考察し、課題や展望について議論する。

### 5.5.1 置いて・動かす操作のイディオム

MouseFieldの特徴は、モノを「置いて」、続けてそれを「動かす」ことで、操作対象の指示と必要な操作をシームレスに連携できる点である。また、操作対象の指示（モノのIDの検出）と、移動による操作のプロセスを分離しているため、シンプルな行為（モノの移動）で多彩な操作を実現できる。

ここでは、この「置いて」、「動かす」操作の有用性について検証する。まず、モノをMouseFieldに「置く」ことで操作対象を指示するプロセスは、自動ドアと同じようにシンプルでわかりやすい操作である。たとえば、CDジャケットを置くことで、そのCDを操作対象とする（楽曲を再生する）という対応付けは、直接的で自明である。

一方、モノを「動かす」ことでさまざまな操作を行うというプロセスについては、必ずしも実世界で慣れ親しんだものではない。しかし、行為自体は単純であるため、学習は容易だと考えられる。

こうした、今まで慣れ親しんでいるわけではないが、シンプルで覚えやすいインタフェースの性質をAlan Cooperは「イディオム」と呼んでいる[Cooper, 1995]。たとえば、GUIを用いたコンピュータを初めて見るユーザにとっては、メニューやスライダなどの使い方はわからないかもしれないが、一度使い方を教えてもらい、何度か操作すればその働きを忘れることは少ないと考えられる。さらに、ドラッグ&ドロップのようなやや複雑な操作についても、かなりイディオムとして定着している。一方、ユビキタス・インタフェースにおいては、まだ一般に普及していないこともあり、確立したイディオムはほとんど存在しない。

さらに、モノを「置いて、動かす」操作は、触感を伴うタンジブルな操作であるため、抽象的な概念（GUIのウインドウやポインタなど）を理解しなくても利用することができる。

このように、本研究で提案する「置いて、動かす」操作は、ユビキタス・インタフェースにおけるイディオムとして、多くのユーザが容易に利用できる標準的な操作手法の一つとなりうると考えている。

一方、ディスプレイを併用する事例では、モノを置いた後、タッチパネルなどで操作を行うアプローチも考えられる。MouseFieldを使う場合のメリットとしては、(1) タッチディスプレイに直接触れる必要がないので清潔、(2) 動かすモノ（日用品やSuiCaなど）から手を離す必要がないのでセキュア、(3) 大幅にコストが安い、といった点が挙げられる。特に(1)の清潔さについては、公共のキオスク端末などに応用する場合や、清潔性が要求される日用品（医薬品など）を用いて関連情報を調べたい場合に大きなメリットとなると考えられる。

### 5.5.2 操作対象のオブジェクト

MouseField で置いて動かすモノについては、基本的には現実世界で固有の意味を持つ日用品（書籍，CD / DVD，文房具，食料品，衣料品，医薬品）を想定している。これらの日用品を MouseField に置くことで，PlayStand++のようにコンテンツを再生したり，近傍的に関連情報を検索したりすることができる。

一方，現在 MouseField では光学マウスを動きセンサーとして利用しているため，操作対象のモノはある程度平らで面積を持つ必要がある。ペンや鍵など小型の日用品を扱うためには，専用のトレイを用意するなど何らかの工夫が必要となるため，今後対応を検討していく。

また，日用品の代わりに，物理的なアイコン（Phicon）を利用することもできる。Phicon(Physical Icon)[Ishii, 1997] は，建築物などのように実物を操作して動かすことができないものを操作の対象とする場合，物理的なオブジェクトをその代理として使用するインタフェース技法である。MouseField でも，Phicon 的なオブジェクトを用いれば，情報家電など大型の機器を操作することが可能となる。一方，こうした抽象的なオブジェクトを用いた操作は，直接操作を困難にする原因ともなるので，Phicon のデザインを慎重に行い，利用する場面を選ぶなど配慮が必要になる。

加えて，JR 東日本の SuiCa や，ビットワレットの Edy<sup>5</sup> など，既に幅広く実用化されている RFID を利用して，ユーザを識別して追加の操作を行うアプローチも有効であろう。第 5 章 3 節で提案した行き先掲示板システムはその一例である。

### 5.5.3 ID の認識手法

現在，一般に利用されている ID 認識手法として代表的なものとして，RFID とバーコードが挙げられる。

RFID はバーコードと比べると，(1) 電波で読み取り範囲が広い，(2) 遮断されても通信が可能，(3) タグを内部に組み込めば対象物の美観を損ねない，(4) 複数の ID を同時に検出できる という利点がある。一方，バーコードは上述した点では劣るものの，安価でプリンタで印刷するだけで手軽に利用でき，市販製品に既に幅広く利用されているという利点がある。

MouseField ではモノを「置いて」「動かす」という操作をスムーズに連携させるために，RFID を利用している。なぜなら，バーコードを用いた場合，バーコードをバーコードリーダーにかざすなど，何らかの追加操作が必要になる可能性が高いためである。一方，バーコードは現在多くの市販製品に添付されているため，現時点で実用的なシステムを構築する場合は利用を検討する価値がある。

### 5.5.4 情報アプライアンス

Norman は，情報アプライアンス [Norman, 1999] という，単機能のシンプルなコンピュータをネットワークを介して連携させることで，人々の日常生活を支援するアプ

<sup>5</sup><http://www.edy.jp/>

ローチを提案している．こうした単機能の情報アプライアンスは，汎用的なコンピュータと比べて，操作は容易になると考えられる．一方，単純に機能を絞るだけでは，インタフェースのレベルを下げてしまう可能性がある [Lieberman, 2000]．また，家庭内のさまざまな機器に，ネットワーク機能を持ったコンピュータはまだ内蔵されていない．

一方，実際の家庭内の生活を考えてみると，人間が日常的に作業する場所は比較的限られているように思われる．そこで，玄関・居間・台所・トイレなどに MouseField とフィードバック装置（ディスプレイなど）を一組ずつ置いておくことで，汎用的なコンピュータと情報アプライアンスの中間程度の機能を持った，バランスのよいインタフェースとして活用できる可能性を持つ．たとえば，玄関で出かける前に天気や予定を確認したり，台所で食事の用意をしながらレシピを検索したり，居間でワインを飲みながらその銘柄について調べたりすることができるだろう．

### 5.5.5 運用経験

MouseField の応用の一つである PlayStand++ は，約四ヶ月程度の期間オフィスの入り口に設置され，連続的に稼動してきた．また，インタラクション 2004(2004 年 3 月 4 日，学術総合センター，東京)，UbiComp2004 (2004 年 9 月 8 日～10 日，Nottingham University, Great Britain) という二つの学会にてデモ展示を行い，多数の参加者に MouseField デバイスを体感してもらう機会を得た．図 5.7 に，インタラクション 2004 のデモ展示の様子を示す．定量的な評価はまだ行っていないが，こうした運用経験から得られたフィードバックを基にして，MouseField の課題・改善点について議論する．

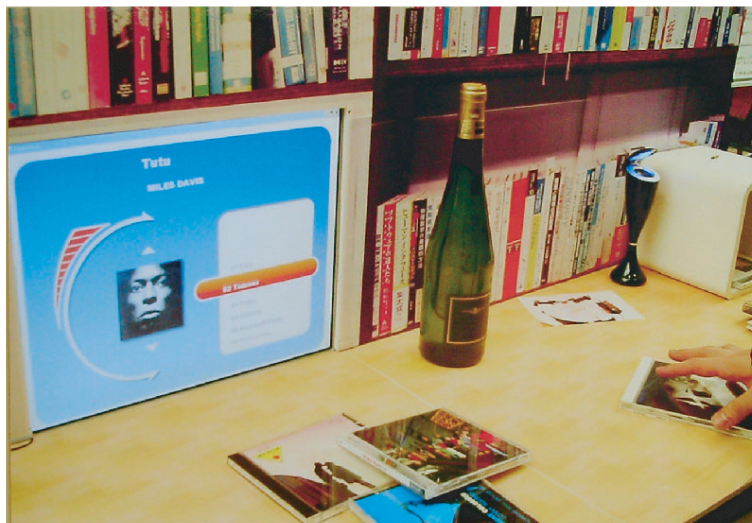


図 5.7: MouseField の運用の様子．左側中央にディスプレイ，右側下部に MouseField が埋め込まれている．

- MouseField の基本的なコンセプトについて  
「置いて、動かす」操作など、MouseField の基本的なコンセプトについては、肯定的な意見が多かった。前述したように、モノを「動かす」ことでさまざまな操作をする行為は、必ずしも実世界で慣れ親しんだものではないが、一度説明をしただけで多くのユーザは操作方法を理解することができた。
- 動作認識の安定性について  
MouseField (PlayStand++) では、二つの光学マウスを動きセンサーとして利用し、上下左右の移動に加えて、回転動作を検出している。これらのうち、回転運動については、デバイスの中央(二つの光学センサーの間)を中心として回転させる必要があるため、初めて使うユーザにはエラーが散見された。この問題については、回転動作が続いた場合に回転の軸がずれ、ノイズ的に上下左右の動作が認識されるケースが多かったので、光学センサーの履歴を考慮したアルゴリズムを実装することで改善できると考えられる。
- フィードバック機構について  
PlayStand++では、ディスプレイと MouseField をセットで利用していたため、両者をセットにしないと使えないのか、という意見が聞かれることがあった。  
HCI の根本にある直接操作を実現するためには、ユーザの操作に対して即座にフィードバックを返すことが重要である [Shneiderman, 1997a]。こうした理由から、PlayStand++では、ユーザが CD ジャケットを MouseField に置くと、すぐにディスプレイ上にフィードバックを表示し、音楽を再生する仕組みとしていた。  
一方、ディスプレイは MouseField デバイスと比べると高価であり、設置場所にも制約を生む可能性があるため、代替となるフィードバック機構も検討する必要がある。シンプルな解決策としては、クリック音や LED などを用いたフィードバック機構を MouseField に実装する手法が考えられる。  
また、近年 RFID システムを補強するために、タグ側に LED などのフィードバック機能を追加するアプローチ [Yoshikawa, 2003] も登場している。こうしたフィードバック機構を備えたタグを利用すれば、ディスプレイを利用しなくても、物理的なモノ自体が入力・出力インタフェースとして活用できる可能性があるため、非常に興味深い。

今後、これらのシステムの改善を検討していく。

## 5.6 関連研究

MouseFieldと同じように、ID検出装置と動きセンサーなどを一体化したシステムとしては、InfoPointや、FieldMouseなどが挙げられる。InfoPoint[Kohtake, 1999]は、バーコードリーダーと複数のボタンをスティック型の筐体の実装し、バーコードの読取時にボタンを押すことで、情報の流れる方向を指定できる。FieldMouse[Sio, 1999]では、バーコードリーダーと傾きセンサーなどの動き検出装置を一体化し、IDを読んだ後でデバイスを動かすことで、実世界でGUI的な操作を行うことができる[Masui, 2000]。これらのデバイスは、携帯型で持ち運んで利用できる半面、利用時には片手を占有し、ユーザに新たな利用負担をかけてしまう。MouseFieldを用いれば、ユーザは操作対象のモノを「置いて」「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

また、カメラと画像解析を利用して、モノのIDと動きを検出する研究も盛んに行われている[Koike, 2000][Wellner, 1993a]。カメラを使ったモノのIDの認識には、大きく分けて、(1)二次元バーコードなどの特別な印刷パターンを利用する方法[Kato, 2000]と、(2)モノ自体の画像を事前に登録してパターンマッチングを行う方法[Nishi, 2001]がある。こうした画像解析を利用した手法は、物のIDと動きの両方を同時に検出できるので、状況によってはRFIDと動きセンサーを組み合わせるよりも有用な場合もある。一方、それぞれの手法には以下のような欠点もある。(1)の方法は、相応のサイズの二次元パターンを、対象物の表面(カメラから見える場所)に貼り付けなくてはならぬため、対象物の美観を損ねたり、小さなモノには貼り付けること自体が難しい。(2)の方法は、タグや特殊な印刷パターンが必要ないという点では理想的な方法であるが、部屋の明るさなどが変化した場合の誤認識の問題などから、日常生活空間で利用するのはなかなか難しい。また、両者に共通する課題として、カメラの視野を確保しなければならない点や、モノやバーコードが汚れた場合の誤認識の可能性にも配慮しなければならない。RFIDを利用したシステムでは、(1)タグは一般に小型であり、モノの中に完全に隠すことができる、(2)カメラの視野を気にする必要がなく、タグとリーダーの間に非導電体が入っても影響を受けない、(3)傷・汚れなどに強い、といったメリットを持ち、日常生活のさまざまな場面における利用に適していると考えられる。

ユビキタス・コンピューティング環境においては、RFIDはモノのIDを認識する機能に加えて、さまざまな役割を期待されている。たとえば、“AwareHome”プロジェクト[Abowd, 2000]では、実験住宅の部屋の入り口などにRFIDリーダーを設置し、靴やスリッパにタグを埋め込むことで、住宅内のユーザの移動を把握している。MouseFieldでも、RFIDと動きセンサーを併用することで、単なるID認識装置ではなく、情報の流れを能動的にコントロールする手段としてRFIDを活用している。

物理オブジェクトを用いたインタフェース技法に着目した研究としては、Triangles, MediaBlocks, Data Tilesなどがある。Triangles[Gorbet, 1998]はコンピュータ・チップを内蔵したパネル型の積み木を組み立てることで、コンピュータ内部に立体を構築したり、インタラクティブな絵本を操作することができる。MediaBlocks[Ullmer, 1998]は動画クリップのようなマルチメディア・コンテンツを、複数のブロックを並び替え

たりして編集するシステムである。Data Tiles[Rekimoto, 2001b] は RFID タグを内蔵した複数の透明なタイルとタブレット内蔵の液晶ディスプレイを組み合わせ、メールの送信、画像の編集、家電機器の操作など、さまざまな応用を実現するシステムである。また、実世界オブジェクトを中心としたインタフェースにより、障害者支援を試みるアプローチもある [Iga, 1999]。これらのタンジブル・インタフェースを利用すれば、現実世界の物理的なオブジェクトを用いてコンピュータ内部の仮想世界に容易にアクセスすることができる。一方、これらのシステムで利用する物理オブジェクトはシステム専用デザインされたものが中心であった。MouseField は、専用のオブジェクトに限らず、身の回りの日用品を用いて柔軟な操作を行うことができる点、および安価で堅牢なシステムを構築しやすく、日常生活のさまざまな場面に内蔵しやすい点が異なり、ユビキタス・コンピューティング環境に適した汎用的な入出力インタフェースとして機能させることを目指している。

MouseField では、動きセンサーとして、光学マウスのセンサー部を反転させて利用している。このように、光学マウスを動きセンサーなどに利用する例としては、Navigational Blocks や日立のウェアラブル・インターネット・アプライアンスがある。Navigational Blocks[Camarata, 2002] では、ブロックの移動検出用途に、ウェアラブル・インターネット・アプライアンス [Hitachi, 2001] では、指先で操作するポインティングデバイスとして、光学センサーを反転させて利用している。MouseField では、RFID と動きセンサーを統合することで、操作対象の指示（モノの ID の検出）と、移動による操作のプロセスを分離し、多彩な操作を実現することができる。また、光学センサーを二つ組み合わせることで、モノの回転運動を検出することもできる。

また、ユビキタス環境では、複数のコンピュータを連携させて利用することが一般的となる。そのため、コンピュータ間で情報を仮想的に持ち歩くためのさまざまな手法が提案されている。Pick and Drop[Rekimoto, 1997] は、一つのコンピュータからペンを使って情報をつまみ上げ、別のコンピュータに情報を落とすことで、複数のコンピュータ間で情報を移動する手法を提案している。WebStickers[Ljungstrand, 2000] では、実世界のバーコードと URL を関連付けて、バーコードを他の場所に持ち歩くことで、どこでも特定の URL にアクセスできる手法を提案している。i-Land[Streitz, 1999] では、別々のコンピュータ間でデジタル情報を持ち運ぶために、Passage[Konomi, 1999] という手法が提案されている。これらのシステムでは、電磁ペンやバーコード、RFID タグを用いて仮想的にデジタル情報を運ぶ手法を提供したが、運んだ情報をどのように扱うのか、という柔軟な操作手段が提供されていなかった。MouseField では、持ち運んだモノを「置いて」、そのままそれを「動かす」ことで、情報の移動と必要な操作をシームレスに連携させることができる。

さらに、ユビキタス環境の構築を支援するためには、基本的な情報操作を簡易化するためのさまざまなツールキットが有効となる [Klemmer, 2004] [Dey, 2001] [Greenberg, 2002]。たとえば、Greenberg らの提案する Phidget [Greenberg, 2002] は、スライドボリュームやスイッチのような物理的装置の入力を、簡単な操作でコンピュータの GUI 部品に関連づけて利用できるツールキットを提供している。MouseField は、安価、堅牢でシンプルな汎用のユビキタス・インタフェースであり、こうした既存のツールキットに

MouseField の制御機能を追加することは容易かつ有用と考えられ、興味深い。

## 5.7 まとめ

本研究では、RFID リーダーと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張する入力デバイス「MouseField」デバイスを提案・試作し、その応用と将来性について議論した。MouseField システムを利用すれば、ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。今後は、運用経験から明らかになった課題を解決するとともに、より多くの応用例を提案・開発し、オフィス・家庭などでの運用を通して、実用的なユビキタス・インタフェースとして確立させていきたい。



## 第 6 章

# ActiveBelt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構

### 概要

本研究では、モバイル環境の位置依存情報サービスなどに適した新しい情報提示手法として、触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構「Active Belt」を提案する。既存のコンピュータの出力インタフェースは主に視覚を利用するものであったが、モバイル環境、ユビキタス環境などの、コンピュータの利用場面の多様化に伴い、視覚以外の情報提示手法の重要性が高まってきている。特に触覚を用いた情報提示は、注意量をあまり必要としないため、常時利用可能な情報提示手法として有望である。しかし、従来のモバイル環境での触覚情報提示手法の多くは、携帯電話のバイブレータのように、注意喚起程度の用途で利用されることが多かった。本研究ではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース“ActiveBelt”を提案する。ActiveBeltはベルトに方位センサー、GPSと複数のアクチュエータを装着し、方位情報を伴う触覚情報提示を実現する。本研究ではActiveBeltのプロトタイプを試作し、その有効な活用例を示すアプリケーションを提案する。また、評価実験を行い、提案システムの有効性を検証した。

## 6.1 はじめに

近年、GPS(Global Positioning System)をはじめとする位置計測技術の普及に伴い、モバイル環境における位置情報を用いた情報提供手法に関する研究が盛んに行われている [Abowd, 1997] [Nagao, 1996] [Tarumi, 1999]。また、AU の eznavigation[AU, 2001] や J-PHONE の Station[Vodafone, 2003]をはじめとして、携帯電話各社も位置情報を利用したコンテンツ・サービスを積極的に展開している。これらの位置依存情報サービスにはさまざまな応用可能性が存在するが、中でも需要の高いものの一つとして、自分の周りの地図を表示して、目的地へのナビゲーションを支援するシステムが挙げられる [Holland, 2002] [Masui, 2002a]。たとえば、eznavigation サービスの一つである GPS マップでは、基地局情報と GPS 情報を併用することで、かなり正確な位置の地図を数秒程度で表示することができる。

こうしたパーソナル・ナビゲーションシステムは一見便利なものであるが、実際に不慣れた場所で利用しようとするとき、実世界と地図の対応付けが困難であることも多い。たとえば、巨大な展示会場において、地図を持っているにも関わらず、目的の展示を探すのに一苦労した、という経験を持つ人は少なくない。また、地図を読むこと自体が苦手な人も存在する。

こうした問題は二次元の地図と実世界の対応付けの困難さに起因すると考えられるため、その解決手法としては、実世界の「どの方向に」向かえばよいのかという方位情報を適切な手法で提示することが有効である。たとえば、展示会場などで道に迷った場合、今いる場所から「どちらに」向かえばいいのかを教えてもらうことが大きな助けとなる。

本研究では、こうした実世界の方位情報をわかりやすく提示する手法として、触覚により多ビットの方位情報を提示できるベルト型ウェアラブル・インタフェース “ActiveBelt” を提案し、実装および評価を行った。ここではまず、触覚という情報提示手法、およびベルト型のデバイス形態の特徴と優位性について述べる。

### 6.1.1 モバイル環境における情報提示手法

モバイル環境やウェアラブル・コンピューティングにおける情報の提示手法としては、「視覚」、「聴覚」、「触覚」を用いる手法が主な選択肢として考えられ、それぞれ一長一短の特徴を持つ [Fukumoto, 2000]。視覚は一度に提示できる情報量は豊富だが、多くの注意量を必要とする。たとえば、携帯電話の画面を常に見ながら歩くのはユーザにとって大きな負担になる。聴覚は視覚ほど多くの注意量を必要とせず、ある程度の情報量を提示できる。しかし、雑踏や逆に静か過ぎる環境では使いにくい。触覚は一度に提示できる情報量は少ないが、注意量をあまり必要としないため、常時利用に適すると考えられる。本研究では常時利用性とユーザの負担の少ない情報提示手法を重視して、触覚による方位情報の提示に焦点をあてる。

表 6.1: ウェアラブル・インタフェースの代表的な形態と事例

形態	代表的な製品や研究
眼鏡型	MicroOptical[MicroOptical, 2003], Poma[Xybernaut, 2002], 他
手袋型	5DTDataGlove[5DT, 1999], CyberGlove[Immersion, 2000], Ubi-Finger[Tsukada, 2002], 他
腕時計	UbiButton[Fukumoto, 1999a], 他
指輪型	FingeRing[Fukumoto, 1997], GSR rings[Picard, 1997], 他
靴型	Expressive Footwear[Paradiso, 1997], GSR Shoes[Picard, 1997], 他
ベスト型	Tactual Wearable Display[Tan, 1997], 他
ペンダント型	GesturePendant[Starner, 2000], 他
帽子型	Wearable American Sign Language[Starner, 1997], 他
イヤリング型	The Blood Volume Pressure earring[Picard, 1997], 他

### 6.1.2 ウェアラブル・インタフェースの形態

ウェアラブル・インタフェースの形態としてはこれまでもさまざまな種類が提案されてきている。具体的には、表 6.1 に示すように、眼鏡型、手袋型、腕時計型、指輪型、靴型、ベスト型、ペンダント型、帽子型、イヤリング型、などである。本研究では、触覚による方位情報の提示に適した形態としてベルト型のデバイスに着目した。ベルトは腰の周りを 360 度一周する形態を持つため、アクチュエータを用いて触覚刺激を与えることで、実世界の方位情報を直接想起させることが可能と考えられる。また、ベルトは男女共に幅広く利用される装飾品であり、ユーザに新たな装着負荷を与える可能性も少ない。さらに、ウェアラブル・コンピューティングの研究分野においては、従来、ベルトはコンピュータ本体やバッテリーを装着する用途で頻繁に利用されてきたが、ベルトのアクティブな入出力インタフェースとしての可能性については、ほとんど議論されてこなかった。こうした理由から、本研究ではベルト型のデバイス形態を採用した。

## 6.2 ActiveBelt

ActiveBelt のコンセプトは以下の 3 点である .

### ActiveBelt のコンセプト

1. 方位情報を伴う多ビットの触覚情報提示
2. 装着負荷の少ないウェアラブルデバイス
3. 位置依存情報サービスとの多様な連携

(1) は腰の周りを 360 度一周するベルトの形状を生かして , アクチュエータを用いて触覚刺激を与えることで , 実世界の方位情報を直接想起させることが可能となる点である . このように , 実世界の方位情報と触覚情報を対応付けることで , 身体に無作為にアクチュエータを装着する場合と異なり , 個々の触覚情報に明確な意味を持たせることができる . (2) は , 多くの人々が日常的に利用するベルトにアクチュエータ機能を付加することで , ユーザの装着負荷をほとんど増やすことなく , 情報提示機構を加えられることである . また , 一般に , ベルトは外出時に身につけられる可能性が高いため , 特にモバイル環境における情報提示デバイスとして適していると考えられる . (3) はパーソナル・ナビゲーションをはじめとする , さまざまな位置依存情報サービスと連携できる可能性を持つことである .

### 6.2.1 デバイス構成

次に , ActiveBelt のデバイス構成について述べる . ActiveBelt は主に方位センサーと GPS , 複数のアクチュエータ ( 振動モーター ) , およびこれらを制御するマイコンから構成される ( 図 6.1 ) . GPS はユーザの位置情報を , 方位センサーはユーザの身体 ( 腰部 ) の絶対方位を取得する . アクチュエータはベルトの周囲を一周するように複数個埋め込み , 触覚による情報提示を行う .

### 6.2.2 腰部への振動刺激の特性

ここでは , 腰部に振動刺激を加えることで , 実世界の方位情報を想起させ , 基本的なパーソナル・ナビゲーション機構を実現できるのかを検証する . van Erp [van Erp, 2000] によると , 胴回りの二点に振動刺激を与えた場合の分解能は , 腹側の中央付近で約 0.4cm , 左右で約 1.2cm 程度であり , 背中側の中央が約 1.8cm , 左右が約 3.0cm 程度と , 一般に予想されるよりも高い値を示すという . また , 全体として腹側のほうが分解能がよく , また , 側面のカーブの部分より背中・腹の平らな部分のほうが分解能はよいと報告している . さらに , 山本ら [Yamamoto, 2002] は , 胴回りに単一の振動刺激を与えた場合 , 水平面上の方位を一定の正確さで想起できるという実験結果を報告している .

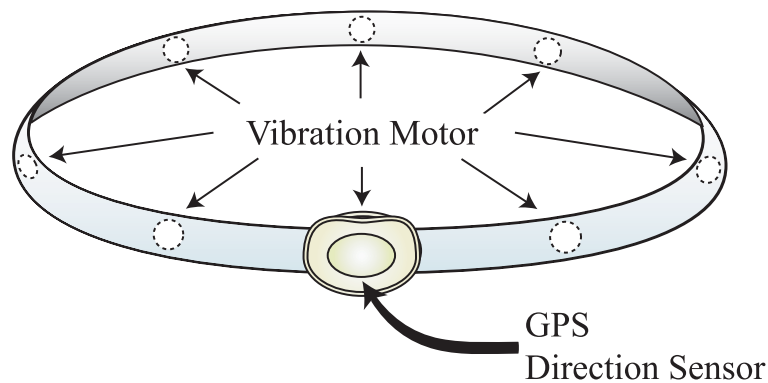


図 6.1: ActiveBelt デバイス構成イメージ図

このように，腰部の振動刺激に対する分解能はかなり高く，振動刺激と実世界の方位を一定の正確さで想起できる．よって，ActiveBelt を利用して，振動触覚刺激により目的地への方位情報などを指示し，パーソナル・ナビゲーション機構として利用することは十分可能だと考える．

### 6.2.3 アクチュエータ数の検討

前述のように，腰部の振動刺激に対する分解能はかなり高いと報告されており，多くの振動子を取り付ければ情報提示の解像度を高めることはできると考えられるが，消費電力の増加，ケーブルの取り回しの煩雑化，必要な I/O (マイコンのピン数) の増加など，実装面で問題も生まれてくる．そこで，本研究では実装面とのバランスを重視し，8つの振動子を利用することにする．8つの振動子であれば，マイコンベースでの実装や，ベルト内部に振動子と配線を格納することが比較的容易であり，現実的にモバイル環境で利用できるシステムとして実装できると考える．

## 6.3 実装

上述したようなデバイス構成に基づいて，本研究では ActiveBelt のプロトタイプを実装した．プロトタイプは，(1)ActiveBelt ハードウェア，(2)GPS，(3)方位センサーユニット（地磁気センサーと加速度センサー），(4)制御用マイコンから構成される（図 6.2）．図 6.3 にプロトタイプのシステム構成を示す．以下に，プロトタイプの各構成要素について詳しく述べる．

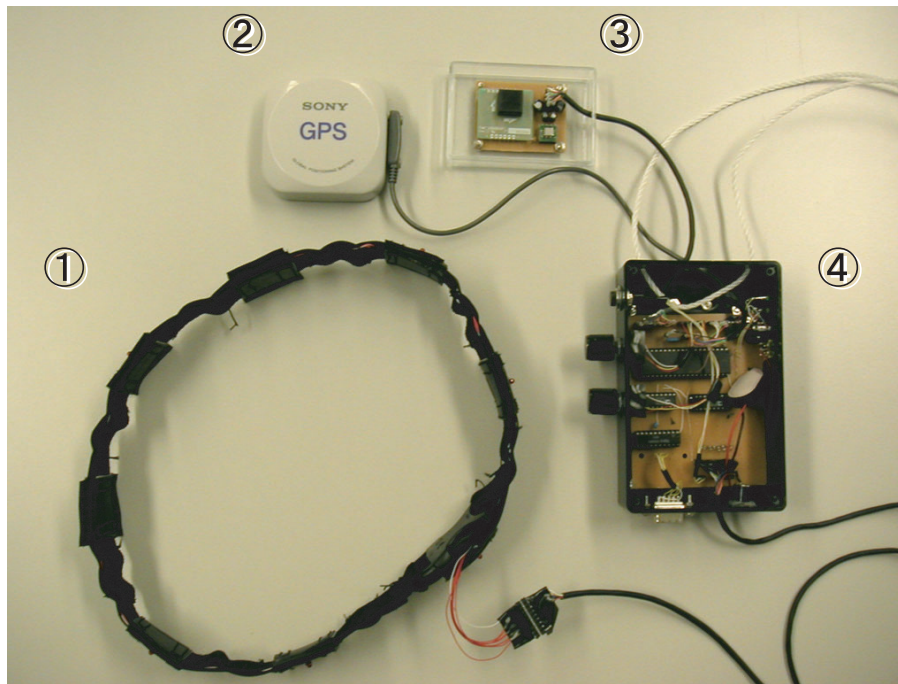


図 6.2: ActiveBelt プロトタイプ (1. ActiveBelt ハードウェア, 2. GPS, 3. 方位センサーユニット, 4. 制御用マイコン)

### ActiveBelt ハードウェア

初期の ActiveBelt ハードウェアはバックル部で長さを調整する、通常のベルト型の形状で実装した (図 6.4)。ベルト部には 8 個の振動モーター (TPC 製 FM23A) と LED<sup>1</sup> を等間隔に埋め込んだ。振動モーターは直径 18mm、厚さは約 3mm の薄型のものである。振動モーターは、ベルト装着時に腹側の中点、背中側の中点、および左右の腰骨付近に位置するよう 1 個ずつ装着し、さらに上記 4 箇所同士の中点に 1 個ずつ配置した。

ActiveBelt の装着時にユーザが感じる振動の強弱を検証するため、ベルトに内蔵した状態の振動モーターの振動周波数を、圧電型セラミック・マイクロホンを用いて計測した。振動モーターにかける電圧は、マイコンにより、0.3~1.2V の間で制御する。実際の利用時の状態に近づけるため、ベルトとセラミック・マイクロホンの間には、薄手のシャツ二枚 (各厚さ約 1mm) を間に介した。

その結果、0.3V を加えた時の振動周波数は約 33Hz、0.6V を加えた時の振動周波数は約 40Hz、0.8V を加えた時の振動周波数は約 55Hz、1.2V を加えた時の振動周波数は約 77Hz であった。このように、振動モーターをベルトに組み込み、衣服を介した場合でも、振動モーターに加える電圧を変えることで、振動の強弱を表現できることがわかる<sup>2</sup>。

<sup>1</sup>LED は振動モーターと同期して点灯し、主に非装着者からの動作確認用途に利用する。

<sup>2</sup>一般に、周波数があがるとエネルギーが高くなるため、強い刺激として感じられることが多い。

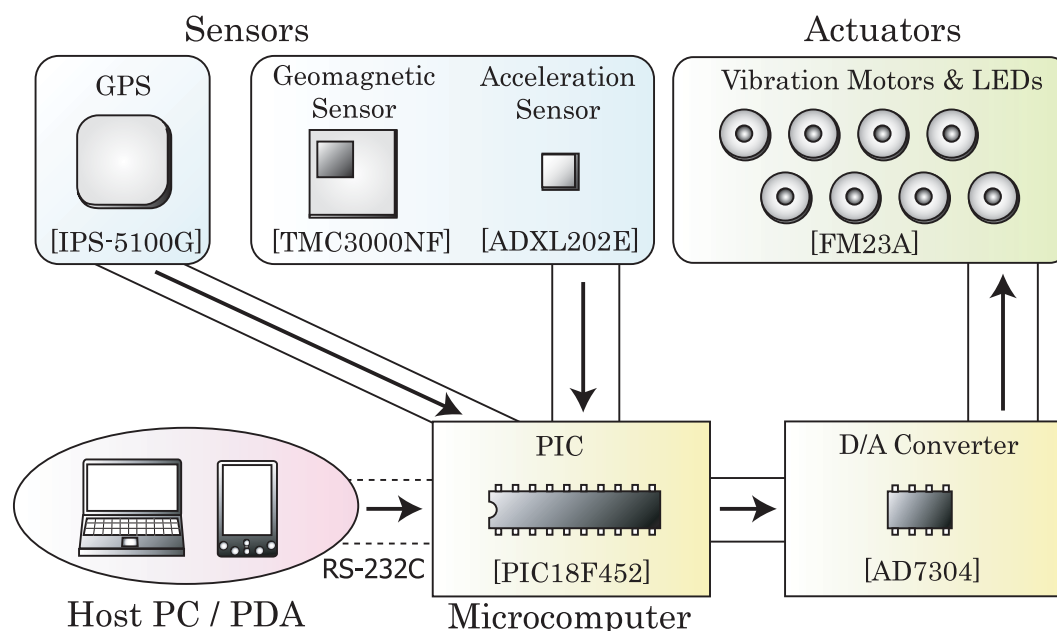


図 6.3: ActiveBelt システム構成

人間の皮膚の周波数特性という観点から考えると、最も敏感な周波数帯は 200-250Hz 程度とされている。一方、今回利用している振動モーターの周波数帯域は 33Hz ~ 77Hz 程度であり、やや感度の低い周波数帯に分布してしまっている。今回は、安価で多数の入手が容易であるという点で TPC 製 FM23A を選択したが、今後は人間の皮膚の周波数特性により適した振動モーターの利用についても検討していく。

ベルトのサイズは著者のウエストサイズに合わせ、各アクチュエータ間の距離の平均は 97.5mm(±2.5mm)、全長は 78.0cm とした。しかし、ベルトのサイズを調整すると、振動モーターの位置関係が変化し、方位情報との対応付けが困難になるという欠点があり、多くのユーザが装着するのは困難であった。

こうした初期プロトタイプ of 欠点を踏まえて、振動モーターを組み込んだベルト部を伸縮性のあるゴム素材で連結した、フリーサイズの ActiveBelt ver.2 を実装した (図 6.5)。通常時の全長は約 75.0cm であるが、図 6.6 のように、ゴム素材部の伸縮を考慮して余裕を持たせた配線を行うことで、ウエストサイズが最大約 98.0cm 程度のユーザまで、振動モーターの位置関係をほぼ保ったまま装着できるよう工夫している (図 6.7)。表 6.2、表 6.3 に、ウエストサイズが約 82.0cm のユーザに装着した場合において、ウエストサイズを八分割した際の理論値と、フリーサイズの ActiveBelt を装着した場合の計測値と誤差、及び通常のベルト形状の場合の計測値と誤差を示す。腹側中央のバックル上の振動子を 1 (基準点) とし、右回りに 2, 3, 4... とし、各振動子と基準点間の長さを計測した。その結果、フリーサイズ型の場合は、計測値と理論値との平均誤差が 0.99cm、最大誤差が 2.15cm なのに対し、通常型の計測値と理論値の誤差は平均誤差が 4.10cm、最大誤差が 7.85cm となっており、フリーサイズ型の方が大幅に誤差が



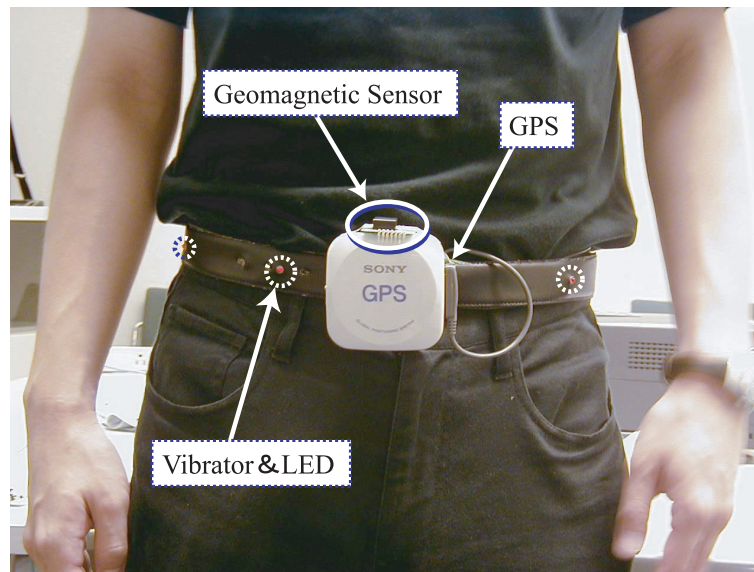


図 6.4: ActiveBelt ハードウェア ver.1

少ないことが確認できた。



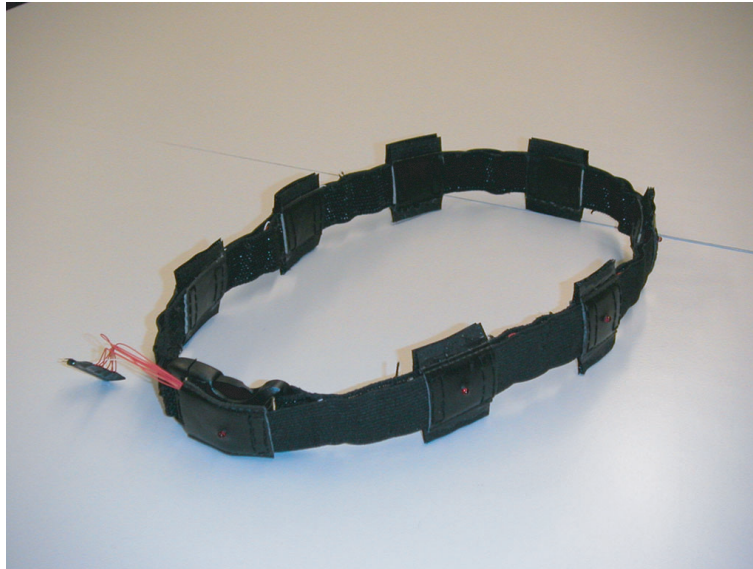


図 6.5: ActiveBelt ハードウェア ver.2 (フリーサイズ)

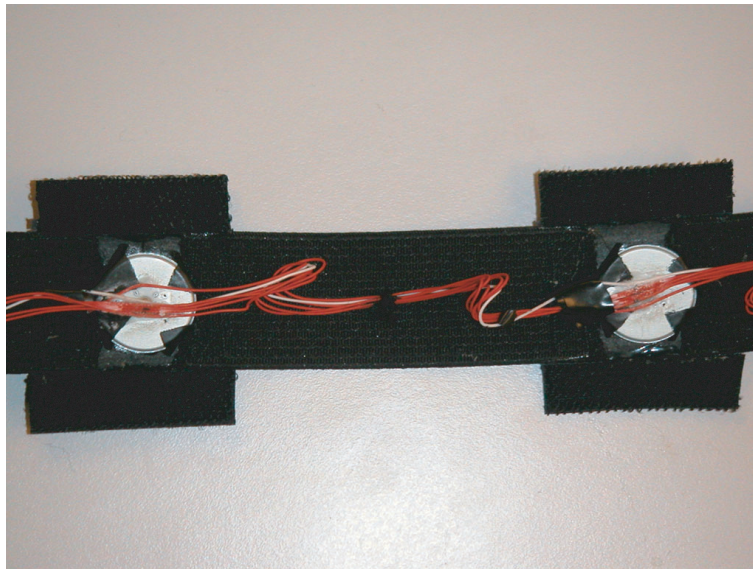


図 6.6: ActiveBelt ver.2 内部の配線

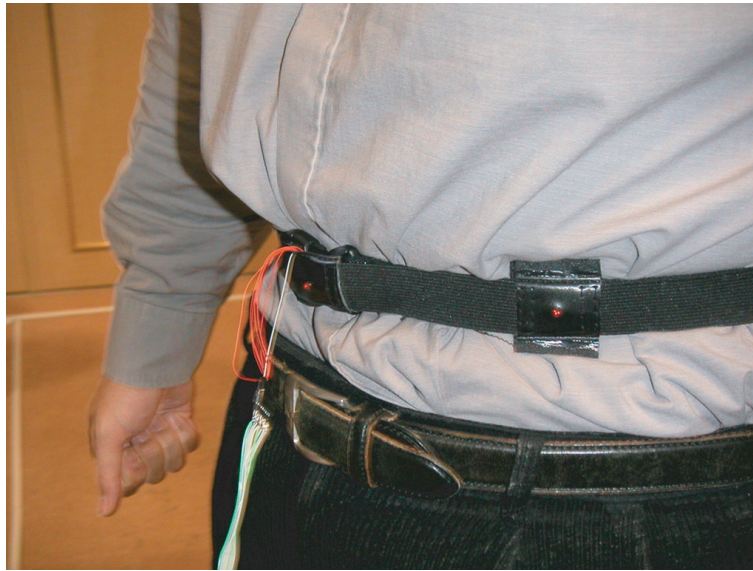


図 6.7: ActiveBelt ver.2 装着例

表 6.2: 振動子配置の理論値との誤差 (フリーサイズ型, ウエストサイズ=82.0cm)

計測箇所	理論値 (八分割)	計測値	誤差
1~2	10.25cm	11cm	0.75cm
1~3	20.5cm	20.8cm	0.3cm
1~4	30.75cm	30.6cm	0.15cm
1~5	41cm	40.3cm	0.7cm
1~6	51.25cm	50.1cm	1.15cm
1~7	61.5cm	59.8cm	1.7cm
1~8	71.75cm	69.6cm	2.15cm
平均誤差			0.99cm
最大誤差			2.15cm

表 6.3: 振動子配置の理論値との誤差 (通常型, ウエストサイズ=82.0cm)

計測箇所	理論値 (八分割)	計測値	誤差
1 ~ 2	10.25cm	9.9cm	0.35cm
1 ~ 3	20.5cm	18.9cm	1.6cm
1 ~ 4	30.75cm	27.9cm	2.85cm
1 ~ 5	41cm	36.9cm	4.1cm
1 ~ 6	51.25cm	45.9cm	5.35cm
1 ~ 7	61.5cm	54.9cm	6.6cm
1 ~ 8	71.75cm	63.9cm	7.85cm
平均誤差			4.10cm
最大誤差			7.85cm

## 方位センサーユニットと GPS

方位センサーユニットは、地磁気センサー (NEC トーキョ<sup>3</sup> 製 TMC3000NF) と、加速度センサー (Analog Devices<sup>4</sup> 製 ADXL202E) から構成される (図 6.8)。地磁気センサーは絶対方位の取得に用いる。地磁気センサーの出力はマイコンに 10bit A/D コンバータを通して入力される。

本地磁気センサーを方位検出に用いた場合の計測精度は、約  $\pm 1.5$  度以内である。加速度センサーは、地軸に対する傾斜の取得に用いる。地磁気センサーが正しい方位を出力するためには、地軸に対して水平な姿勢を保つ必要があるため、加速度センサーを地磁気センサーの傾斜補正用として利用することを検討した。しかし、簡単な実験を行った結果、人間の腰部は勾配 30 度程度の上り坂を歩いているにもかかわらず、地軸に対して水平に近い状態を保てることが判明した。振動子の情報提示が 8 方向 (45 度毎) であることも考慮すると、腰部に地磁気センサーを装着した場合、日常生活の範囲においては、傾斜によるセンサーの誤差は許容できる範囲に収まると考えられる。そこで、本プロトタイプでは地磁気センサーの傾斜補正は行わず、センサーの出力をそのまま利用する方針をとる。

GPS は、Sony 製 IPS-5100G を利用する。IPS-5100G からの出力はシリアル形式でマイコンに入力され、バイト列から緯度、経度情報を抽出する。また、目的地への距離と方位は、GPS の緯度経度情報、および目的地の緯度経度情報をもとに、球面三角法 [Nagasawa, 1985] を利用して算出する。

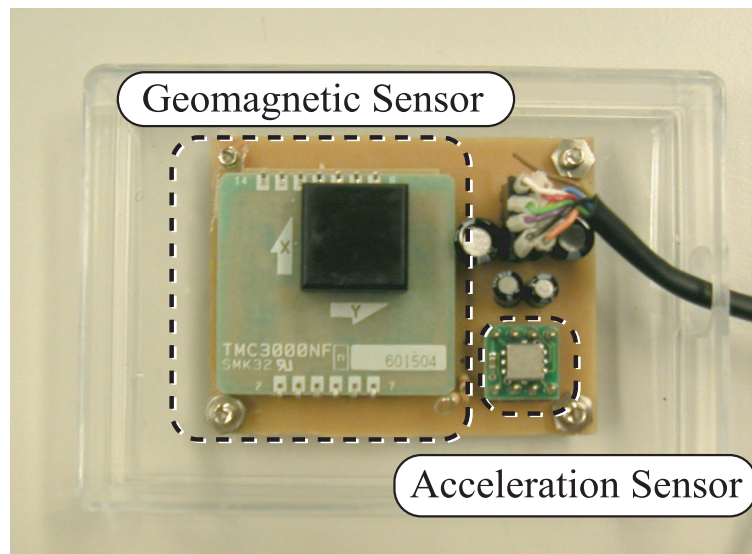


図 6.8: 方位センサーユニット

<sup>3</sup><http://www.nec-tokin.com/>

<sup>4</sup><http://www.analog.com/>

### マイコンと周辺回路

ActiveBelt の制御用マイコンは，MicroChip 社の PIC18F452 を利用する．マイコンは上述のようにセンサーからの信号を入力，解析するとともに，(1) 振動モーターと LED の制御，(2) ホスト PC/PDA との通信を行う．(1) については，振動モーターと LED を 8bit の D/A コンバータ (Analog Devices 製 AD7304) を介して制御する．D/A コンバータを利用することで，電圧を可变的に制御し，振動モーターの振動数や LED の明るさを滑らかに変化させることができる<sup>5</sup>．(2) については，ホスト PC/PDA と RS-232C を介して通信を行い，目的地の緯度，経度情報の設定を行うことができる．

---

<sup>5</sup> 出力電圧は 255 段階で変化させることができるが，実際に振動モーターに加えている電圧は，0V ~ 1.2V の範囲である．0.3V 以上の電圧を加えると，振動モーターを駆動させることができる．

### 6.3.1 応用例

ここでは、ActiveBelt の有効な活用を期待できる応用例として FeelNavi , FeelSense , FeelSeek , および FeelWave を紹介する . FeelNavi はパーソナル・ナビゲーション , FeelSense は位置依存情報提示 , FeelSeek は忘れ物探索支援 , FeelWave はエンターティメント分野への応用を目的としている .

#### FeelNavi

FeelNavi は触覚情報提示を用いたパーソナル・ナビゲーションシステムの応用例である . ユーザは「感じるままに歩く」ことで、目的地に到達することができる . 具体的には、目的地への距離と方位情報を振動により提示する . プロトタイプにおいては、目的地の緯度・経度情報をホスト PC/PDA から登録し、現在地とユーザの向きに応じて特定の振動モーターを駆動させている (図 6.9) . 目的地への距離情報は、振動の周波数として表現しており、目的地に近づくほど振動周期が早くなる仕様としている .

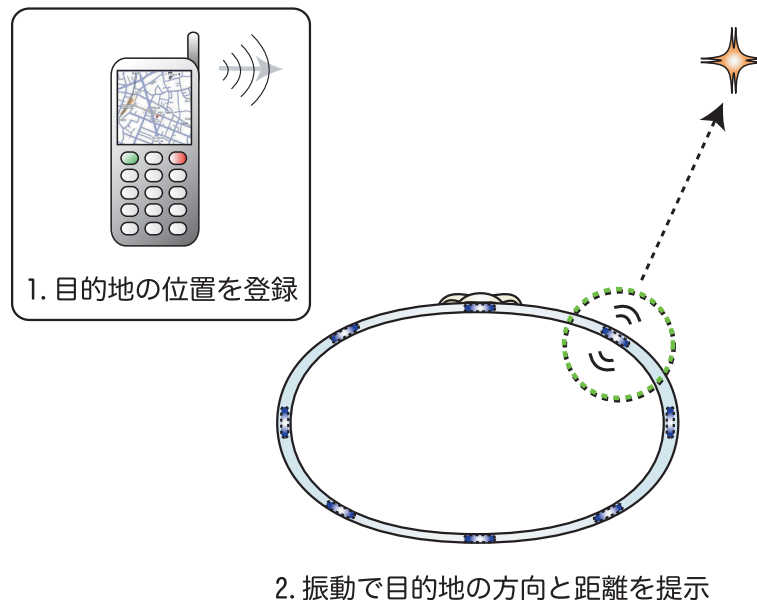


図 6.9: FeelNavi のイメージ図

#### FeelSense

第 6 章 1 節で述べたように、特定の位置・地域限定の情報提供サービスが盛んに行われるようになってきている . 従来、こうした情報提供サービスの多くは視覚を用いた情報提示を前提としていた . しかし、たとえば特定の位置に来るとメールが送信されてくる、といった情報提示手法は情報量が豊富な反面、煩わしいことも多いと考えられる . 今後位置依存の情報提供サービスはより増加していく傾向にあり、ユーザの



利用負荷を考慮したシンプルな情報提示手法が求められる。FeelSense は、興味ある位置依存コンテンツの存在を「感じながら歩ける」常時アクティブな情報提示システムである。具体的には、対象の情報に近づいたとき、その方向と距離を振動により提示する。図 6.10 に示すように、ユーザは事前に関心領域を登録することで、興味のあるような位置依存コンテンツの存在を常にかんじることができる。たとえば、雑貨屋・古着屋など自分の特に関心のある店舗の存在を感じたり、街頭ライブなどのイベントの存在を感じたりすることが可能になるだろう。

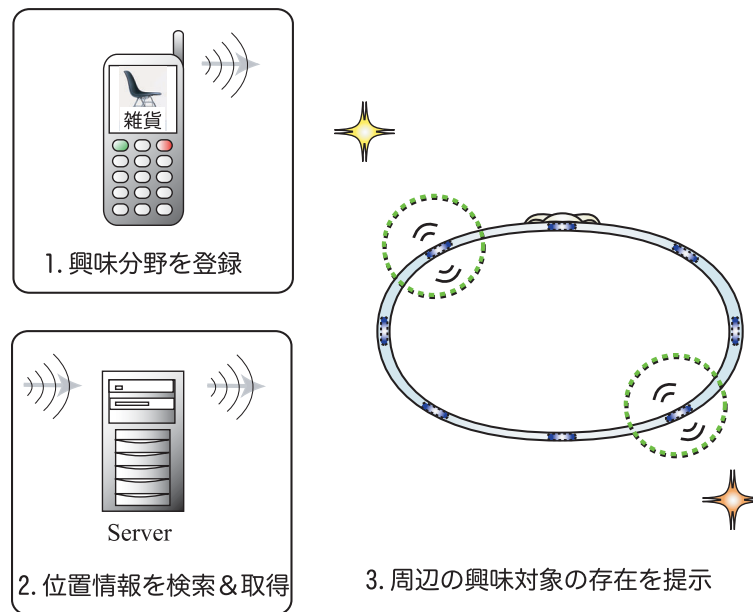


図 6.10: FeelSense のイメージ図

## FeelSeek

第 5 章 1 節で述べたように、近年無線タグ (RFID) の大幅な小型化・低価格化が進んでおり、近い将来さまざまな生活用品に埋め込まれ、利用されるようになると期待されている。また、ユビキタス・コンピューティング環境では、近接しているモノ同士の情報を利用した、実世界リマインダー・システムが有用である [Lamming, 2003]。こうした状況では、財布、手帳、パソコンなど重要な携帯品に無線タグを埋め込み、置き忘れや盗難を防ぐアプリケーションが有効となる。

FeelSeek はこうした貴重品の紛失情報の提示、および探索支援を想定したアプリケーションである。具体的には、図 6.11 に示すように、まず貴重品に埋め込まれた無線タグがベルトに内蔵したリーダーから一定距離以上離れると、ベルトの全方位が震え、「緊急事態」を通知する。次に、ユーザは必要に応じて、探し物を探索するためのトリガーを入力する。すると、システムは GPS の軌跡をもとに貴重品のおおまかな位置を検出し、FeelNavi と同様の仕組みで振動によるナビゲーションを開始する。

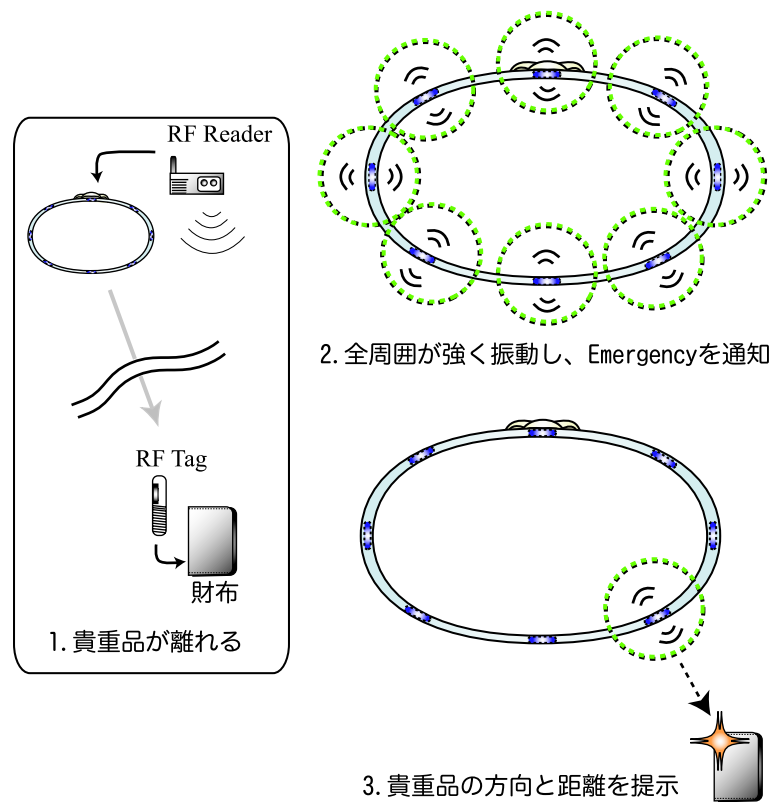


図 6.11: FeelSeek のイメージ図

### FeelWave

上述の例とは趣の異なる応用例として、ActiveBelt をボディソニック<sup>6</sup> のように、音楽などに併せて振動のリズムを楽しむ目的で利用することも考えられる (図 6.12)。たとえば、全方位から触覚情報を提示できる特性を生かして、立体音響効果と組み合わせればシンプルで迫力のある演出が期待できる。また、DJ のターンテーブルの演奏 (回転) と聴衆のベルトの振動子の動作を同期させるなど、新しい表現手段としての可能性も考えられる。

<sup>6</sup>重低音を振動で再現する体感音響システム



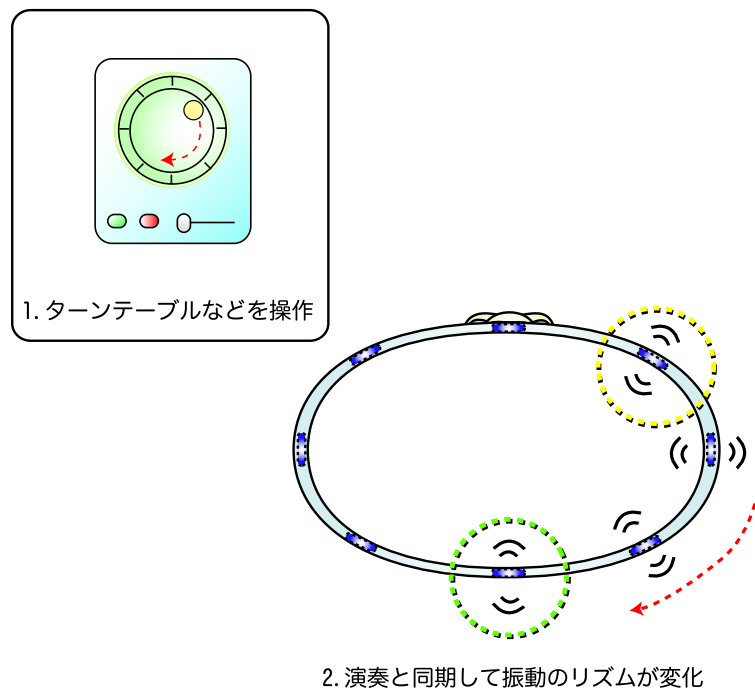


図 6.12: FeelWave のイメージ図

## 6.4 評価実験

ActiveBelt のプロトタイプシステムの有効性を検証するため、フリーサイズの ActiveBelt ver.2 を用いた評価実験を行った。前述のように、ActiveBelt の応用例である FeelNavi においては、振動の方位の変化によって方位を、周期の変化によって距離を表現する。本実験では、静止状態、歩行状態のそれぞれにおいて、振動の方位や周期の変化を被験者が認識できるかを確認する。さらに、パーソナル・ナビゲーションシステムとして実用化するための知見を得ることを目的とする。被験者は 21 歳～30 歳までの男女 6 人である。

### 6.4.1 手法

被験者には、ActiveBelt システム一式と無線シリアルトランスミッタ (野村エンジニアリング<sup>7</sup> 製 RS232-STR) を装着させる。実験者は端末と無線信号を用いて、任意に振動の方位や周期を操作する (図 6.13)。一度に振動する振動子は一つとし、振動の強さも常に一定 (約 77Hz) とする。実験時間は各ユーザにつき連続約 15 分程度である。実験は、下記の二つのプロセスを、続けて行う。

1. 被験者が静止した状態
2. 被験者が歩いている状態

(1) の静止状態においては、振動の方位を変化させ、身振りや口頭などで、変化した方向を述べるように指示する。振動の周期は、250msec(125msec 振動, 125msec 停止), 500msec(250msec 振動, 250msec 停止), 1000msec(500msec 振動, 500msec 停止), 1680msec(840msec 振動, 840msec 停止) の四つを用いる。(2) の歩行状態においては、振動の方位を変化させ、振動を感じた方向に曲がるように指示する。振動の周期は、上記と同様の四つを用いる。

実験者は各プロセス中はユーザの様子を観察する。各プロセス後には簡単な対話を行い、振動周期と振動方位の変化について、被験者の主観的な印象を調査した。また、実験終了後に自由対話を行い、システムに対する印象や改善点などを調査した。

### 6.4.2 結果

まず、(1) のプロセスにおけるユーザの様子を観察した結果を述べる。振動の周期単体の変化については、全員が全ての変化を感じ取ることができた。振動の方位の変化については、6 人中 5 人の被験者は、振動情報の提示から 1 秒以内に、ほぼ正しい振動方向を示すことができた。また、プロセス終了後に、各振動周期において、8 方向の振動方位を分離できたかとたずねたところ、上記の 5 人の被験者はいずれの周期においても、問題なく分離することができた、と答えた。

<sup>7</sup><http://www.nomura-e.co.jp/>

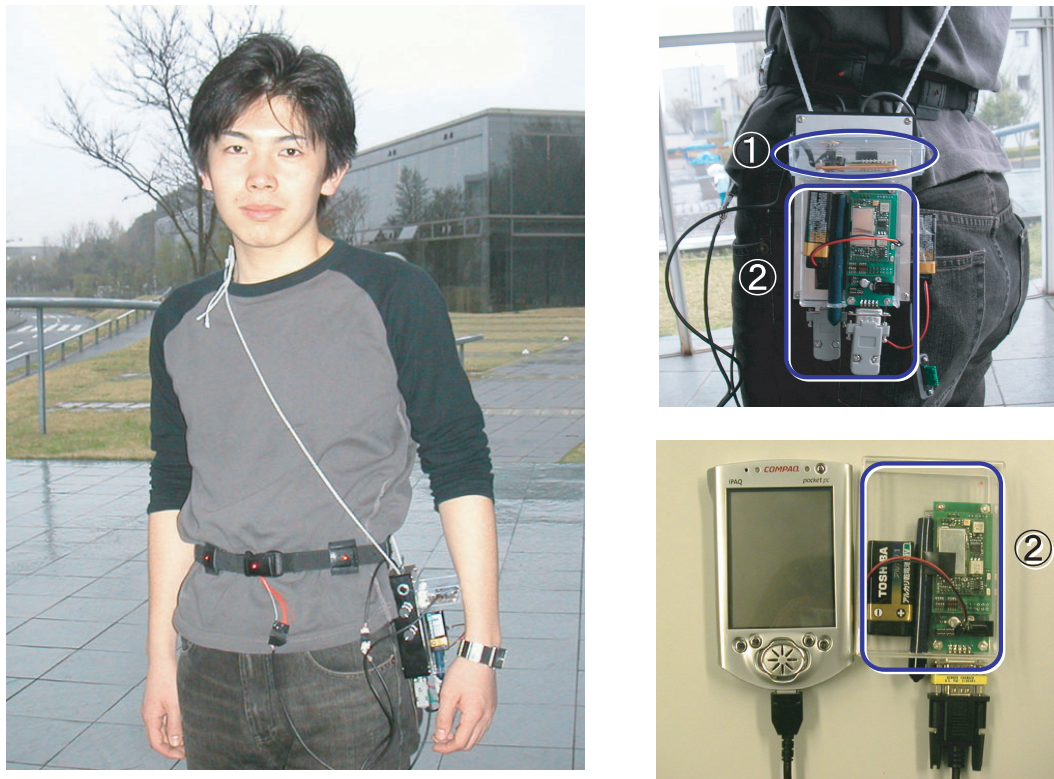


図 6.13: 評価実験の様子．左:被験者，右上:ActiveBelt 制御部，右下:実験者操作部（1. 方位センサー，2. 無線シリアル送受信機）

残り1人の被験者については、いずれの周期においても、前後左右の4方向は確実にわかるが、斜め方向は分離が難しいときがある、と答えた。これは、おそらく被験者のウエストサイズが約67cmと細く、ベルトが浮いてしまい、振動が伝わりにくかったためではないかと考えられる。

次に、(2)のプロセスにおけるユーザの様子を観察した結果を述べる。歩行状態においては、振動の周期によって被験者の反応が大きく異なった。周期が1680msec, 1000msecの場合は、振動情報の提示後、すべての被験者が1~2歩程度歩いてから一度たちどまり、振動方向に振り向く動作を見せた。プロセス終了後の対話によると、これらの周期においては、すべての被験者は歩きながらでも振動方位の変化に気づくことができ、一瞬静止すればおおむね正確な方位を確認できると述べた。周期が500msecの場合は、被験者の反応が鈍くなり、振動方位の変化に反応できない場合が増加した。2人の被験者が、この周波数では振動刺激自体を感じる事ができなかったと述べた。また、周期が250msecの場合は、全ての被験者が振動刺激自体を感じる事ができなかったと述べた。

最後に、実験終了後の自由対話でみられた主な意見や要望をまとめる。

1. 背中側の刺激は感じにくい(5人)

2. 実際の利用時には、ずっと振動するよりも、道を間違えたときだけ振動してほしい(2人)
3. 歩行時、斜め方向(特に斜め前方向)の振動が分離しにくい(3人)
4. 実際の利用時には、振動子は4つ程度でよいと感じた(3人)
5. 歩行時、どちらが振動しているかはわかるが、正しい方向に振り向くのが難しい(2人)
6. 歩行時、振動方向に対して(向きを変えずに)歩きたくなる(2人)

### 6.4.3 考察

上述の実験結果に基づき、ActiveBeltを用いたナビゲーション機構を実用化する際の、課題と改善手法について考察する。

#### ・方位の表現手法について

評価実験においては、静止時には振動の方位の変化はほぼ1秒以内の速さで、正確に感じられていた。歩行時には、振動周期が1000msec以上ある場合は、振動の方位が「変化したこと」は1~2歩程度の間認識され、一瞬立ち止まることで、概ね正確な振動位置に向かって向きを変えることが可能であった。歩行中に正確な振動方位の変化を知るのは困難であったが、人は道に迷ったときは反射的に立ち止まることが多いことから、一瞬立ち止まる程度であれば、実用上は問題ないと思われる。

#### ・距離の表現手法について

FeelNaviでは、振動の周期の変化を用いて、目的地までの距離情報の表現を試みている。評価実験においては、静止時には周期の変化は問題なく感じられていた。一方で、今回の実験条件においては、歩行時には500msec以下の周期の振動は知覚するのは難しいことがわかった。500msec以上の周期の変化を利用して距離を表現できる可能性もあるが、今後は周期以外の距離の表現手法についても検討していく。たとえば、目的地に近づくとつれ、目的地方向を示す振動子を中心に、波紋のように振動が広がっていく、という情報提示の形態などが考えられる。

#### ・ナビゲーション時の表現形態について

実験終了後の自由対話においては、実際にナビゲーションを行う際の振動情報の提示手法について、いくつか興味深い意見が聞かれた。まず、目的地までずっと振動するのではなく、道を間違えた時だけ振動を行ってほしい、という要望があった。これは、道に迷ったときだけ地図を見る、という行為と共通しているが、ユーザが特別なタスク(地図を開く、PDAを取り出すなど)を行う必要なしに、目的地へと自然に導かれるようなナビゲーション機構を生み出せる可能性があり、興味深い。

また、歩行時は斜め方向（特に前斜め方向）の振動が分離しにくい、振動子は4つ程度で十分なのではないか、という意見があった。この結果は、パーソナル・ナビゲーションシステムの実現において、多数の振動子は必ずしも必要ないことを示唆している。一方、8つ以上のバイブレーターを用いて解像度を高めれば、さまざまなアプリケーションへの応用やエラー補正などの点で有利だと考えている。

さらに、背中への刺激は感じにくい、という意見があった。こちらも前述したように、腹側の振動刺激より、背中側の振動刺激のほうが分解能が低い、という報告がなされているが、そうした理由に加えて、背中側にベルトが密着せず、浮いた感じになってしまう、という意見が多く聞かれた。実際に ActiveBelt を用いてナビゲーションを行う際には、肌に振動子を密着させられる状況は少ないと考えられるため、背中側の振動子を強力なものにするなど、実際の装着時の誤差を考慮した設計が重要になる可能性がある。

## 6.5 議論

ここでは、位置依存情報の特性、および地図表示型ナビゲーションシステムとベルト型システムの特徴について議論する。

### 6.5.1 位置依存情報の特性

ActiveBelt は視覚や聴覚による情報提示手法と比較すると、常時装着性に優れる反面、単体で提示できる情報量は限られてくる。一方、位置依存の情報サービスはユーザのいる実世界の位置や空間と密接な関係を持つ。そこで、位置依存サービスを想定した場合、ウェアラブル・インタフェース側ですべての情報を提供しなくても、環境側の情報を利用することで、ある程度の情報量を得ることができると考えられる。FeelSense の応用例を考えてみると、感じられた情報は今いる空間と密接な関係を持つものであり、振動により提示された方向に目を向けるだけでも、ある程度情報の種類がわかる可能性は高い。たとえば、目をやった方向に店舗があれば自分の関心のある商品を扱っている可能性が想像できる。環境に多数のコンピュータが遍在するような、インテリジェント化された環境 [Weiser, 1991] を想定すれば、環境側からより多様な情報を得ることも可能だろう。

### 6.5.2 地図表示型ナビゲーション方式との比較と考察

屋外における個人用のナビゲーション方式としては、携帯端末などの地図上に自分の位置や方位を表示する手法が従来から一般的に用いられてきた。ここでは、こうした地図表示型のナビゲーションシステムと、ベルト型のナビゲーションシステムを比較した場合の、それぞれの利点についてまとめ、考察を加える。

地図表示型システムの利点は、(1) 豊富な情報を表示できるため、目的地付近の建物や、目的地までの具体的な距離、詳細な道順などの、細かい情報や複雑な情報を伝えることができる、(2) 入力インタフェースを備えることが多く、インタラクティブな利用が容易である、といった要素が挙げられる。

ベルト型システムの利点は、(1) 視覚や聴覚を占有しないため歩きながらも常時利用できる、(2) 振動刺激と実世界の方位の対応付けが直感的に行えるので、地図を読むのが苦手な人でも容易に目的地の方位など理解することができる、(3) 周囲の環境に左右されにくく、夜などの視界が悪い状態や周囲に目立つ建物がない状態でもほぼ通常通りの効果が期待できる、といった要素が挙げられる。

このように、地図表示型システムとベルト型システムはそれぞれ異なる利点をもっている。両システムはお互いに対立する手法ではなく、むしろ両者をうまく組み合わせれば、お互いの欠点を補えることから、より理想的なナビゲーションシステムを構築できる可能性がある。

## 6.6 関連研究

GPSなどの位置情報を利用した情報サービスやナビゲーションシステムに関する研究としてはWalk Navi[Nagao, 1996], Augment-able Reality[Rekimoto, 1996], Touring Machine[Feiner, 1997], Cyberguide[Abowd, 1997], Space Tag[Tarumi, 1999]などがある。これらはいずれも位置情報を利用したアプリケーションを提案しているが、その多くは視覚を中心とした情報提示を対象としている。一方、本研究はこうした位置依存のサービスに適した触覚情報提示手法に焦点を当てている。

電子コンパス内蔵GPS携帯[Kyocera, 2004]は、現在地の地図を表示し、携帯電話の向きに応じて回転させることができる。方位情報を用いて地図と実世界の対応付けを支援しており、興味深い。

ウェアラブル・インタフェースを用いて、触覚を利用した情報提示を行う研究としてはCyber Touch, Tactual Wearable Display, GentleGuideなどがある。Cyber Touch[Immersion, 2000]は6つの振動子をグローブに取り付け、仮想世界の物体との接触表現などを実現している。Tactual Wearable Display[Tan, 1997]はベストなどの背中の部分に振動モーターを3x3のマトリクス状に配置し、方位情報などの提示を試みている。また、仮想運動(Apparent Movement)<sup>8</sup>[Maeno, 2002]などの触覚の認知特性を利用した情報提示手法を提案しており、大変興味深い。GentleGuide[Bossman, 2003]は、二つの振動子内蔵プレスレットを用いた触覚ナビゲーションシステムを提案している。左右のプレスレットを用いて、左、右、停止(両方のプレスレットを振動)という、三種類の情報を提示できる。一方、本研究はベルト型のデバイスを用いるアプローチであり、振動刺激と実世界の方位の対応付けをより直感的に行うことができる。

航空機のコクピットにおいて、触覚を利用した情報提示を行う研究も行われている[Raj, 2000][Rupert, 2000][van Veen, 2000]。これらの研究では、ベスト型の触覚ディスプレイを用いて、パイロットにナビゲーション情報を提示している。一方、本研究ではモバイル環境でのヒューマン・ナビゲーション機構に焦点を当てており、ベルト型のデバイスを利用している。

Brewsterは、触覚ディスプレイと情報提示手法における、高度な概念的フレームワークを提案している[Brewster, 2004]。触覚ディスプレイをデザインする際の、多数のパラメータについて議論されており、興味深い。

ベルト型のウェアラブルデバイスとしてはMitutoyo社のウエストメジャーベルトがある。ウエストメジャーベルト[Mitutoyo, 1999]はベルト内部にデジタルスケールを内蔵し、身につけるだけでウエストサイズを計測することができる。本研究の目的とは異なるが、ベルト型デバイスを用いた健康管理の応用例を提案しており、興味深い。

---

<sup>8</sup>皮膚上の二点を、特定の時間間隔で交互に刺激すると、小さなものがはねるような連続的な刺激が二点間で与えられるように感じる現象

## 6.7 まとめ

本研究ではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース ActiveBelt を提案し、実装および評価を行った。今後は、評価実験の結果明らかになった問題点を改善し、パーソナル・ナビゲーション機構としての実用化を目指すとともに、エンターテインメント分野や位置依存情報サービスと連携した、新たな応用例を開発していく。



# 第 7 章

## 関連研究

### 概要

本章では，本研究に関連する研究領域として，実世界指向インタフェース，コンテキスト・アウェアネス，マルチモーダル・インタフェースの三つを紹介し，本研究の特徴や位置づけについて述べる．

## 7.1 実世界指向インタフェース

第2章で説明したように，実世界指向インタフェースは，情報の閲覧・操作の場をコンピュータ画面の外側（＝人が生活を営む実世界）に引き出すアプローチである [Sii, 2000] ．

ここでは，実世界指向インタフェースの領域の中でも，本研究と関わりの深い「拡張現実 (Augmented Reality)」、「タンジブル・インタフェース」、「情報家電操作」、「日用品操作」という四つの領域について説明する．なお，これらは，実世界指向インタフェースをさまざまな視点から捉えた一つの分類であり，それぞれの領域は大きく関わりあっている．

### 7.1.1 拡張現実

実世界のモノや場所にコンピュータ情報を貼り付けて提示する手法を「拡張現実 (Augmented Reality)」と称する [Azuma, 1997] ．拡張現実には狭義と広義の定義が存在する．狭義の定義は実世界の情景にコンピュータ映像を精密に合成する技術を指しており，バーチャル・リアリティの発展系といえる<sup>1</sup> ．一方，広義の定義はコンピュータ情報を光，音などのさまざまな形態で物や場所に関係付けて提示するユーザ・インタフェース手法を意味している [Sii, 2000] ．ここでは，拡張現実の代表的な研究事例について紹介する．

#### KARMA

KARMA [Feiner, 1993] は，透過型の HMD (Head Mounted Display) を利用して，実世界のプリンタなどのメンテナンスを支援する，装着型拡張現実システムのパイオニアである．HMD とプリンタの各部に 3D 位置センサーを装着することで，ユーザとプリンタの位置関係を検出し，実画像の上に機器の図面などの CG 映像を重ねて表示することができる．ユーザは，コンピュータから送られてくる情報を随時参照しながら，メンテナンスを行うことができる．

#### DigitalDesk

DigitalDesk [Wellner, 1993a] は，現実世界の机，紙，プロジェクタ，カメラを組み合わせ，現実世界の紙とデジタル情報をシームレスに扱うデジタルデスクシステムのパイオニアである．机の上にはコンピュータのスクリーンがプロジェクタで投影されており，ユーザが机上の紙に文字や図形を書くと，カメラでそれらを読み取り，デジタル情報として利用することができる．たとえば，人が紙に書いた数字を取り込んで，電卓の入力として利用し，その結果を再びプロジェクタで投影することができる．

#### Augmented Surface

Augmented Surface [Rekimoto, 1999] は，DigitalDesk と同様に，現実世界の机，プ

<sup>1</sup>狭義の拡張現実とは複合現実 (Mixed Reality) とも称される [Milgram, 1994]

ロジェクタ, カメラを中心とした, デジタルデスクシステムの一つである. テーブルの上にプロジェクションされる情報と, テーブルの上に置かれた他のコンピュータ (ノートパソコン, PDA など) 内の情報がシームレスに扱える点が特徴である. まず, ノートパソコンや PDA をテーブルの上に置くと, カメラで物体が認識され, テーブル上の他のコンピュータとネットワークで接続された状態となる. すると, テーブルの表面がコンピュータの画面を拡張する作業空間として利用できるようになる. たとえば, ノートパソコンでアイコンをドラッグして画面の端にくると, アイコンはノートパソコンを (仮想的に) 飛び出して, プロジェクタにより卓上に投影される. このように, テーブルを作業空間として活用し, 他のコンピュータとの情報交換などを実現している.

### Perceptual Glove

Perceptual Glove [Saitou, 2002] も, 現実世界の机, プロジェクタ, 複数のカメラを中心とした, デジタルデスクシステムの一つである. 複数のカメラを用いて撮影した多視点画像を利用して, 手のジェスチャを三次元的に認識し, さまざまなデスクワークを支援する点が特徴である.

これらの拡張現実システムを用いたユーザ・インタフェースは, 斬新で有用なケースも多いと考えられるが, その実現のためには, 多数のカメラ/プロジェクタ/位置センサーなどを設置する必要があるため, 多大なコストがかかり, 煩雑な調整が必要となる. 近年, こうした問題を解決するアプローチとして, コンピュータで制御する反射鏡などを利用することで, 必要なプロジェクタやカメラの個数を減らす手法も提案されている [Pingali, 2003] が, 実際の生活空間における位置決めは, やはり容易ではない. このように, これらの拡張現実システムは, 近い将来, 一般家庭などで利用されるとは考えにくい.

一方, 本研究で提案したコビキタス・インタフェースは, 実現コストなどを考慮し, 一般家庭でも十分に利用可能なシステム構成を主眼に置いている. たとえば, MouseField では, 光学マウスと RFID リーダーを中心にシステムを設計し, 安価, 堅牢で防水加工も容易な構成としている. そのため, 食卓・キッチン・風呂・トイレなど, 家庭内のさまざまな空間に容易に埋め込むことができると考えている.

### 7.1.2 タンジブル・インタフェース

実世界の道具は, 直接手に触れて操作できる物理的な存在である. そろばんのような古くからある道具には, 手にしっくりなじむものが多い. 一方, 現在のコンピュータで表現される情報は, 平面のスクリーン上のピクセルであり, 触れることはできない. タンジブル・インタフェースは, 手に持って操作できる実世界の道具の使い心地と, コンピュータ情報をリンクさせて活用する試みである [Ishii, 1997, Ishii, 2002a]. たとえば, コンピュータで位置や情報が認識できるブロックや模型などを用いて, コンピュータ情報にアクセスするシステムを構築する.

ここでは, タンジブル・インタフェースの代表的な研究事例について紹介する.

### Phicon(Physical Icon)

Phicon(Physical Icon)[Ishii, 1997] は、建築物などのように実物を操作して動かすことができないものを操作の対象とする場合、物理的なオブジェクトをその代理として使用するユーザ・インタフェース技法である。Phicon を利用した初期のシステムとして、metaDESK[Ishii, 1997] がある。metaDESK は各種センサーを内蔵し、映像を下側から投影するタイプのデジタルデスクシステムである。アイコンをマウスで移動する代わりに、机の上で Phicon を移動させることで、metaDESK 上の情報を変化させる。たとえば、建築物の模型を置くことで、卓上にその建築物周辺の地図が表示される、といった応用が提案されている。

### URP

URP[Underkoffler, 1999] は、デジタルデスクシステムを、都市計画に応用したアプローチであり、現実世界の机、プロジェクタ、カメラと建造物などの模型から構成される。建造物の模型を机の上に置くことで、太陽による影や、ガラス窓による反射の様子をシミュレーションして、プロジェクタでリアルタイムに投影する。また、時間を指定することで影の様子を変更したり、建造物による風の影響を視覚化して表示することも可能である。

### Triangles

Triangles[Gorbet, 1998] は小型のコンピュータを内蔵したパネル型の積み木である。3辺に電気的なコネクタを兼ねた磁石のジョイントがあり、組み立てた形状を認識してコンピュータに送信する。パネルを組み立てることでコンピュータ内部に立体を構築したり、インタラクティブな絵本を操作する応用例を提案している。

### MediaBlocks

MediaBlocks[Ullmer, 1998] は動画クリップのようなマルチメディア・コンテンツを、複数のブロックを並び替えることで編集するシステムである。ブロックの位置やIDの検出には、専用の特殊なハードウェアを利用している。さらに、物理的なブロックを持ち運んでファイルをプリンタに印刷する、といったアプローチも提案されている。

### Illuminating Clay

Illuminating Clay[Piper, 2002] は、タンジブル・インタフェースを用いて粘土(クレイ・モデル)を用いた景観デザインを支援するアプローチである。システムは粘土の三次元形状を天井に装着されたレーザ・スキャナで読み取り、その形状を元にコンピュータで等高線情報、水の流れや侵食情報、日照と影の情報などをリアルタイムに計算し、視覚化された結果をクレイ・モデルの上にプロジェクタで投影する。ユーザが粘土を手で加工すると、リアルタイムに新しい計算結果の映像を投影することができるため、従来のクレイ・モデルのスキルをそのまま活用できる点が特徴である。

このように、タンジブル・インタフェースでは、画像解析やRFIDなどを用いて現実世界のオブジェクト(ブロック、模型など)の位置や状態を認識し、それらを動かし

たり組み合わせたりすることで、コンピュータ内部の仮想世界に容易にアクセスすることができる。

一方、タンジブル・インタフェースで利用する物理的なオブジェクトは、システム専用にデザインされたものが中心であった。また、各システムの対象とするタスクは限定的であり、一般的な家庭環境における利用を想定したものは少なかった。

本研究では、一般的な家庭環境での利用を想定し、ある程度の汎用性を持つ入出力デバイスに焦点を当てている。たとえば、MouseField では、専用の物理オブジェクトに限らず、身の回りの日用品を用いて柔軟な操作を行うことができる。さらに、安価で堅牢なシステムとして、日常生活のさまざまな場面に内蔵しやすい点が異なり、ユビキタス・コンピューティング環境に適した汎用的な入出力インタフェースとして機能させることを目指している。

### 7.1.3 情報家電制御

情報家電機器をわかりやすく操作するユーザ・インタフェースの構築は、ユビキタス・コンピューティング環境における重要なテーマの一つである [Yasumura, 2003]。多くの情報家電機器においては、従来の家電機器よりも高性能化・多機能化する反面、物理的なインタフェースが消失し、人間と機器の間のギャップ [Norman, 1990] がより拡大する恐れがある。各機器ごとに異なる操作を習得するのはユーザに大きな負荷を与えることになるため、多様な情報家電機器をできるだけわかりやすく、統一の操作で利用できるインタフェースが望まれる [Masui, 2000]。

ここでは、情報家電機器の操作を目的とする実世界指向インタフェースを紹介する。

**FieldMouse** FieldMouse [Siio, 1999] では、バーコードリーダーと傾きセンサーなどの動き検出装置を一体化し、バーコードの ID を読んだ後でデバイスを動かすことで、実世界で GUI 的な操作を行うことができる [Masui, 2000]。応用例として、紙にボリュームつまみとバーコードを印刷し、そのバーコードを読み取ってから PDA を傾けることでオーディオ機器などの音量調整を行うというアプリケーションを示している。

本研究で提案した Ubi-Finger と MouseField システムは、ともに FieldMouse と共通する特徴を持つ。Ubi-Finger は、家電機器などを直接指差すことで指定し、操作する点が共通する。Ubi-Finger では、複数のジェスチャを既存のメタファと関連付けて、より直感的な機器操作を実現できると考えている。MouseField は、ID 検出装置と動きセンサーを一体化したシステム構成が共通する。FieldMouse は携帯型で持ち運びできる反面、利用時には片手を占有し、ユーザに新たな利用負担をかけてしまう問題があった。MouseField を用いれば、ユーザは操作対象のモノを「置いて」「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

#### Data Tiles

Data Tiles [Rekimoto, 2000] は RFID タグを内蔵した複数の透明なタイルとタブ

レット内蔵の液晶ディスプレイを組み合わせ、メールの送信、画像の編集、家電機器の操作など、さまざまな応用を実現するシステムである。複数のタイルの物理的な配置によって、タイルの機能を組み合わせることで、高度な機能を実現することができる点が特徴である。

本研究で提案した Ubi-Finger と MouseField は、ともに Data Tiles と共通する特徴を持つ。Ubi-Finger は、情報家電機器の制御を主要なアプリケーションの一つとしている点が共通する。Data Tiles は、情報家電機器を集中管理するアプローチであるが、Ubi-Finger では「目の前の機器をシンプルに操作する」ことに主眼を置いている。MouseField は、物理的な物体を置いたり、動かしたりする操作が共通する。Data Tiles は専用のオブジェクトを利用するのに対し、MouseField は身の回りの日用品を用いて柔軟な操作を行える点が異なる。

**Attachable Computer** Attachable Computer [Iga, 1998] は、実世界の家電機器等に小型コンピュータと CDS (光センサー) などを取り付けて、本来の機能やデザインを損なうことなく、新しい情報提示機能を追加するアプローチである。たとえば、ビデオデッキに音声再生用コンピュータを装着し、液晶や LED 等の変化を CDS で認識して、メモや使用方法などを提示する応用例が示されている。

本研究で提案した Ubi-Finger は、既存の家電機器に Ubi-Finger での操作に必要な入出力系を追加することができる、Attachable Controller という家電装着型デバイスを実装した。どちらも従来の家電機器の機能を拡張するアプローチという点が共通する。Attachable Computer は機器の状況を認識し、付加的な情報を提示する点に焦点がおかれている。一方、Attachable Controller では、情報家電機器に必要なネットワーク接続機能や、家電の選択状態を示す情報提示機能を付加している。

**Air-Real** Air-Real [Hosino, 2001] はレーザーポインタを内蔵したリモコンと部屋に設置されたカメラ、プロジェクタを利用して、レーザーポインタを向けた家電を直接操作できるシステムを実現している。レーザーポインタの位置はカメラにより認識され、家電に対応した GUI をプロジェクタで実世界に投影する。次に、ユーザは GUI のメニューを選択することで、さまざまな操作を行うことができる。さらに、加速度センサーを利用して、リモコンを上下に傾けることで、エアコンの温度調整やライトの調光を行うアプリケーションも提案している。

本研究で提案した Ubi-Finger は、Air-Real と共通する特徴を持つ。どちらも家電機器を実世界で直接指示することで特定し、連続的に機器を操作することができる。一方、Air-Real は非常に大規模なシステムと煩雑な調整を必要とするのに対し、Ubi-Finger は最小限のシステム構成で実現可能な点が異なる。Ubi-Finger は既存の家電機器に Attachable Controller を取り付けるだけで、さまざまな実世界機器の操作に適用できる。

**情報アプライアンス Norman** は、情報アプライアンス [Norman, 1999] という、単機能のシンプルなコンピュータを連携させることで、人々の日常生活を支援するアプ

ローチを提案している。こうした単機能の情報アプライアンスは、汎用的なコンピュータと比べて、操作は容易になると考えられるが、単純に機能を絞るだけでは、インタフェースのレベルを下げてしまう可能性がある [Lieberman, 2000]。

本研究で提案した Ubi-Finger と MouseField は、容易な操作を主眼に置きつつも、操作対象の指定（指差し、置く）と、実際の操作（ジェスチャ、動かす）を分離させることで、ある程度汎用性のあるインタフェースとして利用できるように工夫している。

#### 7.1.4 日用品

近い将来、RFID タグはさまざまな商品（書籍、CD / DVD、文房具、食料品、衣料品、医薬品など）に標準添付され、実世界の日用品の多くが “identification-ready” な状態になると考えられる [RFID テクノロジー編集部, 2004]。こうした状況を反映して、RFID などを用いて実世界のさまざまな日用品の ID を認識し、コンピュータとのインタラクションに利用する ID ベースのユーザ・インタフェース技法が注目されている。

ここでは、日用品を中心として操作する、ID ベースの実世界指向インタフェースについて紹介する。

**ものの広場** 国立民族学博物館にて常設展示されているものの広場 [Minpaku, 1996] は、1996 年頃から RFID ベースの実世界システムを活用した展示を行っている。たとえば、「セネガルの竹籠」のような、世界各国のさまざまな珍しい日用品をディスプレイの前に近づけることで、日用品に内蔵されたタグが認識され、詳しい解説がディスプレイに表示されるようになっている。

**Want らのアプローチ** Want ら [Want, 1999] は多数の書籍や名刺などに RFID タグを装着し、それらをノートパソコンや PDA に接続した RFID リーダーで読み取ることで、タグにリンクされた詳細情報などを参照できるシステムを提案している。

**PlayStand** PlayStand [Masui, 2002b] は、CD ジャケットに RFID タグを装着し、スタンドの下部に RFID リーダーを設置したシステムである。スタンドに CD ジャケットを立てかけるだけで、その CD の曲を演奏することができる。スタンドから CD ジャケットを取り除くと、CD の演奏も停止する。

#### bottles

bottles [Ishii, 2001] は、ガラスボトルをデジタル情報のコンテナとして見立て、蓋の開け閉めでその情報にアクセスできるシンプルなユーザ・インタフェースである。たとえば、ガラスボトルの蓋を開けると音楽が流れ出す、といった応用を提案している。bottles の機能は非常にシンプルだが、日常生活の中に遍在するガラス瓶に、デジタル情報を詰めるといったメタファを利用して、透明なインタフェースの構築を試みている点が興味深い。

こうした ID ベースのユーザ・インタフェース技法では、タグを添付した日用品とシステムの挙動を一对一で割り当てることで、シンプルで直感的なインタラクションを実現することができる。一方、これらのシステムではひとつの ID にひとつの機能しか割り当てることができないため、複雑な操作を行うことは難しく、実用的な利用場面に限られるという問題も持っていた。

本研究で提案する MouseField は、RFID リーダーと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムに汎用性を加え、実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張することができる。

## 7.2 コンテキスト・アウェアネス

コンテキスト・アウェアネスとは、実世界の位置やモノの ID など、実世界のさまざまな状況を認識して、その状況において有益な情報を提供して人間をサポートするアプローチであり、ユビキタス環境において必要不可欠な手法となっている [Abowd, 2000]。たとえば、椎尾らは、ユビキタス環境における HCI の課題として、3C Everywhere (Computing Everywhere, Contents Everywhere, Connectivity Everywhere) に新たに、「Context Everywhere」を加えた 4C を対象とするべきだと主張する [Sio, 2003]。

コンテキストとして利用可能な情報としては、“5 つの W”，すなわち、Who(誰が)、What(何を)、Where(どこで)、When(いつ)、Why(なぜ)などが考えられる [Abowd, 2000]。この中で、現在幅広く利用されているコンテキストは、Where(位置情報)、Who(人の ID)、What(モノの ID)などが中心である。

ここでは、人・モノの ID や位置情報を取得するためのさまざまな方式について紹介し、それぞれの特徴や具体的な研究事例について述べる。

### 7.2.1 ID 情報の取得

ここでは、モノや人の ID を認識する手法として、iButton、PAN、一次元/二次元バーコード、RFID、光学ビーコン、画像解析を利用する方式について紹介する。

#### iButton

iButton [Maxim, 2001] は米 Dallas Semiconductor 社により開発されたセキュリティ管理用の超小型コンピュータチップである。チップは直径 16mm のステンレスケースに収められており、物理的に頑丈である。加えて、暗号処理に重点を置いており、情動的な改ざんにも強いという特徴をもっている。また、64 Bit の ID のみを格納するものから、32kByte の EEPROM を内蔵するものまで、さまざまなバリエーションが展開されている (2004 年現在)。

iButton を用いた通信は、コンピュータのシリアルポート等に接続された Blue Dot receptor というデバイスに iButton を物理的に接触させることで行う。高度なセキュリティ・小型のデバイスといった特徴から、主にユーザの認証などの用途に活用されている。



### PAN(Personal Area Network)

PAN(Personal Area Network) とは、人体の皮膚表面を媒体として、ネットワーク通信を行う技術である [Zimmerman, 1996]。PAN をユーザ認識に活用した研究として、Wearable Key が挙げられる。Wearable Key [Matsushita, 2000] では、ユーザは腕時計型のデバイス(トランスミッタ)を装着し、レシーバーの搭載された機器に触れている間だけ、人体を経由して ID 信号が送信される。その結果、ユーザが操作対象のデバイスに触れている間だけ、認証が成立する。機器に触れている間だけ認証が成立する、というメタファはわかりやすく、興味深い。

#### 一次元バーコード

バーコードは、非常に幅広い分野で実用化されている ID 認識手法である。バーコードの種類は「一次元コード」と「二次元コード」に大きく分けることができる。ここではまず、一次元のバーコードについて説明する。

一次元のバーコードは、最大でも数十バイト程度の容量しか扱うことができないが、現時点では最も幅広く普及している ID システムであり、書籍や CD、情報機器など身の回りのさまざまな製品に標準添付されている。一次元のバーコードの代表的な規格としては、市販のほとんどの書籍につけられている ISBN(International Standard Book Number) や、米国製の CD や DVD、電化製品などに利用されている UPC(Universal Product Code)、ヨーロッパや日本製の CD や DVD、ゲームや電化製品などに幅広く利用されている EAN(European Article Number)/JAN(Japanese Article Number) などが挙げられる。

一次元のバーコードを ID 認識に活用している研究としては、IconSticker や Field-Mouse などが挙げられる。IconSticker[Siiio, 1999] は、アイコンとバーコードを付箋紙に印刷し、バーコードリーダーで付箋紙を読み込むことで、GUIのアイコンと同様の操作を行うことができる。FieldMouse[Siiio, 1999] では、バーコードリーダーと傾きセンサーなどの動き検出装置を一体化し、バーコードの ID を読んだ後でデバイスを動かすことで、実世界で GUI 的な操作 [Masui, 2000] を行うことができる。

#### 二次元バーコード

二次元バーコードは、一次元バーコードよりも扱えるデータが大きく、最大数キロバイトの容量を持つ。一次元バーコードほど幅広く利用されてはいないものの、最近ではカメラ搭載携帯電話が二次元バーコードリーダーとして機能するようになったことから、二次元バーコードを使った新しいサービスが登場しつつある。たとえば、週刊誌の店舗紹介記事などに二次元バーコードが載せられるようになったり、任意の URL を短縮して二次元バーコードとして印刷できるサービス [QRL, 2004] も登場している。二次元バーコードとして代表的なものは、デンソーにより開発された QR コード [Denso, 2000] などが挙げられる。

二次元バーコードを ID 認識に活用している研究事例としては、XAX, NaviCam, Gaze-Link や AR Tool Kit が挙げられる。

XAX[Johnson, 1993] は、斜線型のバーコードに情報を埋め込み、それを OCR(Optical Character Recognition) で読み込むことで、コンピュータ情報にアクセスできるシステムである。たとえば、ファックスで送られた書類によりコンピュータ情報にアクセスできる仕組みなどを提案している。

NaviCam[Rekimoto, 1995] は、バーコード(カラーコードや二次元コード)と携帯型カメラ搭載ディスプレイを組み合わせて、現実世界の物体や場所とコンピュータ情報を結びつけて表示するシステムである。ユーザがカメラ搭載ディスプレイを実世界に貼り付けられたバーコードに向けると、システムはバーコードの ID を認識し、ディスプレイ上に実世界の映像とコンピュータ情報(文字・画像・音声など)をオーバーレイして表示する。

Gaze-Link [Ayatsuka, 2001] は「見る」というメタファを利用して操作対象のデバイスを指定するアプローチである。印刷されたサイバーコード(2次元バーコードの一種)をパソコンの背面に接続されたカメラで認識し、ID を取得している。たとえば、複数のコンピュータ(あるいはディスプレイ)にサイバーコードを貼っておくと、ノートパソコンを向けた方向のコンピュータに対して、直接キーボード入力を行うことが可能になる。応用例としてビデオデッキに貼ったサイバーコードを「見て」、Web 上の録画予約表をクリックすることで、番組予約を行う、という提案も行っている。

AR Tool Kit[Kato, 2000] は、二次元コードを中心とした拡張現実システム構築のためのツールキットである。ユーザが自分で二次元コードのパターンをデザインして登録できる点、容易に 3D CG などのオーバーレイができる点から、拡張現実システムやインタラクティブ・アートの分野で積極的に活用されている。

### RFID(Radio Frequency IDentification)

RFID(Radio Frequency IDentification) は、「カード状またはタグ状の媒体に、電波を用いてデータの記録または読出しを行い、アンテナを介して通信を行う認識方法」<sup>2</sup> である。RFID を利用すれば、現実世界のさまざまなモノに電子的な ID を割り当て、デジタル情報と結びつけることができる。

このような RFID の機能は、基本的にはバーコードと同一のものである。バーコードは、安価でプリンタで印刷するだけで手軽に利用でき、市販製品に既に幅広く利用されている点が特徴である。一方、RFID は(1)電波で離れた位置(最大 5m 程度)から情報を取得できる、(2)電波の届く範囲なら間に障害物があっても通信可能、(3)一度に複数のタグを認識できる、(4)タグ情報の書込みができる、(5)タグのメモリ容量が多い(最大数 10k バイト)、(6)汚れや傷に強い、(7)暗号化などの高度な機能を持たせられる、などの利点を持つ。このように、コスト以外の点では、RFID はバーコードに対してさまざまな有利な特徴を持っている。

こうした理由から、物流や認証などの分野において、RFID システムは次々と実用化されており、ユビキタス・コンピューティング環境の基盤技術の一つとして

<sup>2</sup>日本自動認識システム協会の定義より引用、<http://www.jaisa.or.jp/about/index.html>

も期待されている。

RFID を活用した研究事例としては、第 7 章 1 節で紹介した Want [Want, 1999] からのアプローチや、PlayStand [Masui, 2002b] などが挙げられる。また、本研究で提案した MouseField に置いても、モノの ID 認識に RFID を利用している。

なお、RFID の詳細については、付録 A にて詳しく紹介している。

### 光ビーコン

光ビーコンとは、赤外 LED などを一定のパルス幅で点滅させることで、ID やコマンドの通信に利用する手法である。受信側には、赤外線受光素子やカメラを利用する。たとえば、多くの家電製品に利用されている赤外線リモコンは、38KHz ~ 40KHz の搬送周波数で赤外 LED を点滅させ、その上に特定のパルスパターンを乗せることで、コマンドを送信している。また、本研究で提案した Ubi-Finger では、赤外線リモコンと同様の通信方式を用いて、操作対象のデバイスを特定している。

光ビーコンを人やモノに装着して、ID 認識を行うアプローチとしては、Balloon Tag や IDCam がある。Balloon Tag [Aoki, 2000] は赤外線タグ（特定の点滅パターンを持つ赤外 LED）をビデオカメラで読み取らせることで、タグまでの距離と ID を認識する。赤外線タグには 5 つの LED を利用し、4 つの LED を正方形に、1 つの LED を中心に配置する。周辺の 4 つの LED はクロック信号を送信し、それに合わせて中央の LED の On/Off 状態を読み取ることで、ID 認識を実現している。また、周辺の LED 間の距離を測定することにより、複数のタグがカメラの視野内にある場合でもどちらが近くにいるかを識別できる。

ID Cam [Matsushita, 2002] は、光ビーコン（高速で点滅する LED など）とハイスピードカメラを組み合わせて、ID 認識を行うシステムである。通常のカメラで光ビーコンを認識する場合、カメラの撮影速度（＝搬送周波数）は 30fps(30Hz) 程度が限界であるため、通信速度が非常に遅くなってしまふ。そこで、12KHz のサンプリング周波数を実現できるハイスピードカメラを利用することで、光ビーコンの搬送周波数を 4KHz まで高め、単一の光源で高速な ID の送受信を実現している。現段階では、屋内で最大 40m、屋外では最大 20m の距離で認識が可能とされている。光ビーコンは単一の光源である程度の出力があればよく、高速で点滅させるために人間の目には点灯しているようにみえるため、通常の照明（街頭やネオンサインなど）に ID を割り当てられる可能性がある点が興味深い。

### 画像解析

カメラと画像解析を利用して、モノの ID や動きを取得する研究も盛んに行われている [Koike, 2000][Wellner, 1993a]。カメラを使ったモノの ID の認識には、大きく分けて、(1) 二次元バーコードなどの特別な印刷パターンを利用する方法 [Kato, 2000] と、(2) 光ビーコンを利用する方法、(3) モノ自体の画像を事前に登録してパターンマッチングを行う方法 [Nishi, 2001] がある。

(1), (2)の方法は, 基本的に二次元バーコードを利用する手法, 光ビーコンを利用する手法と同一である. (3)の手法は, タグや特殊な印刷パターンが必要ないという点では理想的な方法であるが, 部屋の明るさなどが変化した場合の誤認識の問題などから, 日常生活空間で安定して利用するのは難しいという課題を持つ.

### 7.2.2 位置情報の取得

位置情報を取得する方式としては, 屋外ではGPS, 屋内では赤外線, RFID, 超音波を用いたシステムが一般的である. ここではそれぞれの方式の特徴や活用事例について説明する.

#### GPS(Global Positioning System)

GPS(Global Positioning System)は屋外での位置情報を取得する技術として一般的に活用されている. GPSは三つ以上の衛星を用いて, 地表上の位置情報を数m程度の精度で取得することができる.

GPSによる位置情報を活用した研究事例としてはWalk Navi[Nagao, 1996], Touring Machine[Feiner, 1997], Cyberguide[Abowd, 1997], Space Tag[Tarumi, 1999]などが挙げられる. また, AUのeznavigation[AU, 2001]やJ-PHONEのStation[Vodafone, 2003]をはじめとして, 携帯電話各社も位置情報を利用したコンテンツ・サービスを積極的に展開しており, 興味深い.

これらの研究やサービスの主なアプリケーションとしては, 目的地へのナビゲーションシステムや, 現在地近辺の情報を提示する位置依存情報サービスなどが挙げられる.

本研究で提案したActiveBeltにおいても, GPSと方位センサーを組み合わせ, ユーザの位置と向きを認識している.

このように, GPSは既に幅広く実用化された技術であり, さまざまなサービスにも利用されている. 一方, ビルの谷間や, 地下, 屋内などでは利用が困難といった問題もあるため, 屋内向けの位置情報取得システムと組み合わせた応用が期待されている.

#### ActiveBadge, ParcTAB

ActiveBadge [Want, 1992]は, 赤外線を利用した屋内向けの位置情報取得システムのパイオニア的存在である. ユーザが持ち歩く名刺サイズのデバイスが一定時間ごとに赤外線で信号を送り, オフィスの天井に設置された多数の赤外線センサーがその信号を受け取ることで, ユーザの位置を特定する. 応用例としては, ユーザの位置に応じて電話を自動転送したり, オフィスの地図にユーザの位置をリアルタイムに表示するアプリケーションが提案された. また, Weiserらによる, ユビキタス・コンピューティングの初期のプロトタイプParcTAB[Want, 1995]にも, 同種の位置情報取得システムが搭載されている.

### RFID(Radio Frequency IDentification)

前述したように，RFID(Radio Frequency IDentification) はモノの ID を取得する技術として一般的であるが，使い方を工夫することで，位置を取得する技術としても活用できる．この場合，(1) 一定間隔ごとに地面にタグを埋め込んでおき，ユーザがリーダーを持ち歩く場合と，(2) リーダーを地面の特徴的な場所(部屋の入り口など)に仕込んでおき，ユーザがタグを持ち歩く場合が存在する．(1) の場合は，ユーザの位置をかなり正確に知ることができるが，タグの埋め込みなどにコストがかかり，リーダーを持ち歩く煩わしさがある．たとえば，椎尾らの空気ペンシステム [Siiio, 2002] では，タグの敷き詰められた床 (ID Carpet) と，靴に装着したリーダー (NaviGeta) を組み合わせて利用することで，ユーザの位置を検出している．(2) の場合は，ユーザの大まかな位置を知ることしかできないが，必要なリーダーやタグの数が少なくすむため，コストの面で有利となる．また，タグだけを持ち歩けばよいという点で，ユーザの利便性にも優れる．たとえば，Aware Home Project [AwareHome, 2000] では，各部屋の入り口に RFID リーダーを設置し，スリッパや靴に RFID タグを取り付けることで，誰がどの部屋にいるか，という情報を検出している．

### Bat

Sentient Computing Project [Addlesee, 2001] では，Bat という超音波を用いた屋内用の 3 次元位置検出システムを利用している．ユーザが持ち歩くライター大のデバイス (Bat) が一定時間ごとに超音波で ID を発信し，オフィスの天井に設置された多数の超音波センサーがその信号を受信する．3 個以上の超音波センサーが Bat からの信号を受け取り，三角測量の原理を利用することで，デバイスの 3 次元的な位置を約 3cm 単位で測定できる．

Sentient Computing Project では，ユーザの位置情報をさまざまなアプリケーションに活用している．たとえば，オフィス内の地図にユーザの位置を表示したり，ポスターの前で Bat のボタンを押すとポスターの説明を音声で流すなどの応用例を提案している．

## 7.3 マルチモーダル・インタフェース

マルチモーダル・インタフェースの主要な構成要素としては，音声合成・音声認識や触覚ディスプレイ，ジェスチャ認識などが存在する [Yasumura, 1996]．ここでは，本研究に関係の深いアプローチとして，ジェスチャ認識と触覚ディスプレイについて取り上げる．

### 7.3.1 ジェスチャ認識

ジェスチャは多くの人が自然に利用できるコミュニケーション手段であり，身体性を伴う直感的な入力が可能であるという利点を持つ [Kita, 2000]．ここでは，モバイル

環境で利用可能なジェスチャ入力方式について、「装着型センサーによるアプローチ」、「画像解析によるアプローチ」の二つの視点から紹介する。

### 画像解析を用いたアプローチ

画像解析を用いるアプローチとしては、Wearable ASL(American Sign Language)、モーションプロセッサ、空中手書き文字入力システム、Gesture Pendantなどが挙げられる。

#### Wearable American Sign Language

Wearable American Sign Language [Starner, 1997] はベースボールキャップにつけたカメラを用いて、アルファベットの指文字認識を行う研究である。Hidden Markov Model を利用することで、40 種類のジェスチャについて 97 % という高い認識率を達成している。

#### モーションプロセッサ

モーションプロセッサ [Mihara, 1999] は赤外線投光器と小型カメラを併用して、光学的な画像と奥行き情報を併用することで手指のジェスチャ認識などを行う。小型カメラのレンズ周辺に赤外 LED を配置し、近赤外線を投光して物体に反射した光を利用することで、背景画像の除去と対象物の奥行き情報の検出を実現している。約 25 ~ 100cm までの距離で、奥行き情報を 128 段階で取得できる。背景部分の除去を奥行き情報を利用して行うことで、比較的ノイズに強いのが特徴である。

#### 空中手書き文字入力システム

空中手書き文字入力システム [Sonoda, 2001] は装着型ビデオカメラと透過型 HMD(Head Mounted Display) を利用して、ウェアラブル・コンピューティング環境において、空中で手書き文字認識を試みている。空中で文字を書く際には、書いた軌跡が残らないため、文字入力の開始・終了や文字の各線分の始点・終点を判別するのが難しいといった問題がある。こうした問題を、アルゴリズムの工夫や独自の英数字表記法等により軽減し、アルファベット・記号 36 文字について 88 % の認識率を実現している。

#### Gesture Pendant

Gesture Pendant [Starner, 2000] はペンダント型のデバイスに赤外 LED とカメラを搭載し、カメラで認識したジェスチャを用いた家電機器の操作を試みている。モーションプロセッサと同様に近赤外線を投光して物体の反射光のみを拾うことで、背景部分を除去し、手指のジェスチャを安定して検出することが可能になる。情報家電機器の制御に焦点を当てており興味深い。

本研究で提案した Ubi-Finger は装着型センサーを利用してジェスチャ認識を行っている。装着型センサーを用いたアプローチの利点としては、カメラの視野にとらわれず入力を行える点、外界のノイズに強い点などが挙げられる。また、情報家電機器制

御のアプリケーションを想定した場合、本研究では機器の選択 操作を、指差しとジェスチャを用いて連続的にわかりやすい流れの中で行える点が特徴である。

### 装着型センサーを用いたアプローチ

装着型センサーを用いたアプローチとしては、5DT DataGlove, CyberGlove, 手指ジェスチャ認識インタフェース, AcceleGlove, 指釦, Gesture Wrist などが挙げられる。

#### 5DT DataGlove, CyberGlove

5DT DataGlove [5DT, 1999] や CyberGlove [Immersion, 2000] は光ファイバーや感圧導電インクを関節角のセンサー（バンドセンサー）として利用するグローブ型ジェスチャ入力デバイスである。ポヒマスセンサーなどと組み合わせることで、特定空間においてデバイスの3次元位置を測定できる。

#### 手指ジェスチャ認識インタフェース, AcceleGlove

毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース [Mohri, 2000] や AcceleGlove [Hernandez, 2002] は2軸の加速度センサーなどを各手指と手の甲に装着し、その相対的な出力値から手指の形状を取得するジェスチャ入力デバイスである。

#### 指釦

指釦 [Fukumoto, 1999b] は手首に加速度センサーを装着して、モルス信号のように1ビットのパルス行列を用いてコマンド表現を実現する。指釦では応用のアイデアとして、家電機器操作への適用例についても述べており、興味深い。

#### Gesture Wrist

Gesture Wrist [Rekimoto, 2001a] は手首に2軸加速度センサーと静電容量検出装置（送信電極と受信電極）を装着し、簡単なジェスチャ入力を試みる研究である。手首の形状変化に伴う電極間の静電容量の変化を検出することで、「握る」「指差す」という二つの手の形状を検出できる。また、2軸加速度センサーにより6方向の手首の向きを検出できる。手首以外に機器を装着する必要がなく、数種類のジェスチャを認識できるという点で興味深い。

本研究で提案した Ubi-Finger は、モバイル環境や情報家電機器などの操作に焦点を当て、そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目標とする点が特徴である。そのために、シンプルなジェスチャのみを対象としてセンサーの数を最小限に絞り、人差し指を中心に装着するコンパクトな形態とすることでユーザの装着負荷を軽減している。また、ジェスチャ認識開始の明示的なトリガー機構を設けることで、常時装着時の誤認識の問題に対処している。

### 7.3.2 触覚ディスプレイ

触覚情報は、日常生活との並列性に優れるため、モバイル環境における情報提示手法として有望である [Sio, 2003]。ここでは、ウェアラブル・インタフェースを用い

て、触覚情報提示を行う研究事例として、Cyber Touch、Tactual Wearable Display、GentleGuide、航空機のコクピットでの活用について紹介する。

**Cyber Touch** Cyber Touch[Immersion, 2000] は6つの振動子をグローブに取り付け、仮想世界の物体との接触表現などを実現している。ジェスチャ認識用の Cyber Glove と一体化されており、仮想世界の物体を握ると振動子が震える、といったインタラクションを行える。

#### Tactual Wearable Display

Tactual Wearable Display[Tan, 1997] はベストなどの背中の部分に振動子を3x3のマトリクス状に配置し、方位情報などの提示を試みている。また、仮現運動(Apparent Movement)<sup>3</sup> [Maeno, 2002] などの触覚の認知特性を利用した情報提示手法を提案しており、興味深い。

#### Gentle Guide

GentleGuide[Bossmann, 2003] は、二つの振動子内蔵ブレスレットを用いた触覚ナビゲーションシステムを提案している。左右のブレスレットを用いて、左、右、停止（両方のブレスレットを振動）という、三種類の情報を提示できる。

#### 航空機のコクピット

航空機のコクピットにおいて、触覚を利用した情報提示を行う研究も行われている[Raj, 2000] [Rupert, 2000] [van Veen, 2000]。これらの研究では、ベスト型の触覚ディスプレイを用いて、パイロットにナビゲーション情報などを提示している。

本研究で提案した ActiveBelt は、ベルト型触覚ディスプレイを用いるアプローチであり、振動刺激と実世界の方位の対応付けをより直接的に行うことができる。

## 7.4 まとめ

本章では、本研究に関連する研究領域として、実世界指向インタフェース、コンテキスト・アウェアネス、マルチモーダル・インタフェースの三つの視点から整理し、本研究の特徴や位置づけについて述べた。

---

<sup>3</sup>皮膚上の二点を、特定の時間間隔で交互に刺激すると、小さなものがはねるような連続的な刺激が二点間で与えられるように感じる現象



## 第 8 章

# ユビキタス・インタフェースの考察と 展望

### 概要

本章では、ユビキタス・インタフェースに関する考察と議論、および展望について述べる。

## 8.1 ユビキタス・インタフェースの考察

本研究では、ユビキタス環境に適した次世代インタフェース「ユビキタス・インタフェース」のコンセプトを提案した。本研究では、ユビキタス環境における主要な応用領域として、(1) 家庭内の情報家電制御、(2) 身の回りの日用品の活用、(3) モバイル環境の位置依存情報サービスの三つの領域に着目した。そして、具体的アプローチとして、(1)Ubi-Finger、(2)MouseField、(3)ActiveBelt という三つのユーザ・インタフェースを構築した。

本研究のアプローチの特徴は、以下のように整理することができる。

### 本研究のアプローチの特徴

1. 実世界の直接指示
2. 既存のスキルとメタファの活用
3. 新しいモダリティの活用
4. 外見的な透明性
5. 汎用性
6. 日常生活で実現可能なシステム構成

ここでは、これらの特徴について考察する。

### 8.1.1 実世界の直接指示

第3章で述べたように、ユビキタス環境では、生活空間に関係の深いモノや情報とのインタラクションが重要となる。本研究で提案したインタフェースによって、ユーザは現実世界で関心のあるモノを直接的に指定したり、自分と関連するモノや情報を直接的に認識することが出来る。

Ubi-Finger と MouseField は、現実世界の「今そこにあるもの」に対する直接的な指示を実現する。Ubi-Finger では身の回りの家電機器を直接指差すことで、MouseField では身の回りの CD・DVD・書籍などを直接デバイスに置くことで、操作対象のモノを容易に指定できる。

ActiveBelt は、現実世界の「特定の方向」に対する直接的な情報を提示する。目的地などの方向を腰部への振動として提示することで、ユーザは胴の皮膚感覚を介して、直接実世界の方位を認識できる。

このように、ユーザは現実世界と仮想世界の対応付けに煩らわされることなく、わかりやすい情報操作 / 取得を行うことができる。

### 8.1.2 既存のスキルとメタファの活用

第3章で述べたように、ユビキタス環境ではユーザにコンピュータの利用を意識させないための、学習や利用が容易なインタフェースが必要である。提案したインタフェースは、慣れ親しんだスキルやメタファを活用することで、ユーザの利用を容易にしている。

Ubi-Fingerでは、既存の家電機器などの操作メタファを利用することで、学習が容易な操作を実現する。たとえば「音量つまみを回す」という操作メタファを、音量を変更するジェスチャに割り当てる。MouseFieldでは、物理的なモノを置いたり、移動させたりする一般的なスキルを活用することで、利用が容易な操作を実現する。ActiveBeltでは、ユーザは振動の方向に従って目的地に向かっていく。振動の方向に歩くという行為は慣れ親しんだものではないが、ユーザは「人に道を教えてもらう」メタファを活用して、提示された方向に違和感なく向かうことができると考えられる。

このように、既存のスキルとメタファを活用することで、ユーザの学習や利用を容易にすることができる。

また、こうした特徴は、ユーザが慣れ親しんだスキルやメタファを、コンピュータが解釈できるように「記号化」していると捉えることもできる。従来のGUIでは、コンピュータの機能はメニューやアイコンにより、人間が理解しやすい形態で視覚化されていた。ユビキタス・インタフェースでは、ユーザが慣れ親しんだ日常的な行為そのものを「記号化」し、コンピュータのパワーを活用してさまざまな操作を実現することができる。

### 8.1.3 新しいモダリティの活用

第3章で述べたように、ユビキタス環境では、視覚、聴覚など日常生活に重要な感覚器を占有しないことが重要である。提案したインタフェースは、身体動作や触覚などの新しいモダリティを積極的に活用している。

Ubi-Fingerでは、指差しやジェスチャなどの身体動作を活用している。ジェスチャは多くの人々が容易に利用でき、一度身体を動かして覚えた操作は忘れにくいという特徴も持っている。MouseFieldは、物理的なモノを手を持って操作する際に、触覚や身体動作を活用している。こうした物理的な操作は、抽象的な概念（GUIのウィンドウやポインタなど）を理解する必要がないため、学習も容易である。ActiveBeltでは、触覚を用いて実世界の方位情報を提示する。触覚情報は、日常生活との並列性に優れるため、ユーザの負担の少ないナビゲーションなどを実現できる。

このように、身体動作や触覚などの新しいモダリティを活用することで、ユーザの学習を容易にしたり、利用時の負担を減らすことができる。

### 8.1.4 外見的な透明性

第3章で述べたように、ユビキタス環境では、コンピュータは目立たずに、ユーザの行動を支援することが重要である。機能的な透明性は、前述した三つの特性（実世

8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.1 ユビキタス・インタフェースの考察  
界の直接指示，既存のスキルとメタファの活用，新しいモダリティの活用）から実現される．一方，こうした機能面に加えて，「外見的な透明性」にも配慮した設計を行う必要がある．

提案したインタフェースは，外見的に出来るだけ特別なデバイスを利用せず，環境や服装の一部に融合させるように工夫している．

Ubi-Finger は，小型で，片手に装着できる指サック（指輪）型のデバイスである．装着するセンサーを人差し指中心にまとめることで，これまでのジェスチャ入力デバイスと比べて装着負荷を大きく軽減している．MouseField は，シンプル，堅牢で防水加工も容易な構造を持つ．よって，リビング・キッチン・風呂・トイレなど，日常生活のさまざまな空間に容易に埋め込むことができる．ActiveBelt は，多くの人々が日常的に利用するベルトにアクチュエータ機能を付加している．新しい機器を身につける必要がないので，ユーザの装着負荷をほとんど増やさない．また，外見的にも，通常のベルトと同じに見えるように設計することができる．

このように，インタフェースを家庭などの環境やユーザの服装の一部に溶け込むように設計すれば，ユーザの日常生活にとって負担にならず，なおかつ周囲の人々にも違和感を与えない，外見的にも透明なインタフェースを構築できる．

### 8.1.5 汎用性

提案したインタフェースは，直接性とわかりやすさに加えて，ある程度の汎用性を持っている．

Ubi-Finger と MouseField は，操作対象の「選択」と「操作」のプロセスを区別することで，シンプルな操作体系を保ちつつ，さまざまな機器やモノを操作できる汎用性を加えている．たとえば，Ubi-Finger では，ライトを指差してから「スイッチを押す」ジェスチャを行えばライトを点灯・消灯させることができ，テレビを指差してから同様のジェスチャを行えばテレビを On・Off することができる．ActiveBelt は，振動子を胴を一回りするよう配置することで，個々の振動子の意味づけ（方位との対応）を明確にして，ある程度の情報量を持つ触覚情報提示を実現している．

このように，インタフェースの単純さを保ちつつ，ある程度の汎用性や情報量を持たせている．

### 8.1.6 日常生活で実現可能なシステム構成

提案したインタフェースは，一般家庭でも利用できるように，システムの実現コストなどに配慮している．

Ubi-Finger は，安価なセンサーやマイコンを中心に設計することで，価格を約 10,000 円に抑えている．機器側に装着する Attachable Controller も約 10,000 円である．MouseField は，光学マウスと RFID リーダを中心にシステムを設計している．価格は，光学マウスが約 2000 円，RFID リーダが約 10000 円である．ActiveBelt は，安価なアクチュエータやマイコンを中心にベルト型デバイスを設計し，方位センサーと GPS を組み合

8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.2 ユビキタス・インタフェースの議論  
わせて利用する。ベルト型デバイスは約3,000円、方位センサーは約5,000円、GPSは約20,000円である。

このように、提案した三つのインタフェースは試作段階でもかなり安価であり、製品化を実現すればより安価に製作できるため、一般家庭でも十分利用可能なシステム構成となっている。

## 8.2 ユビキタス・インタフェースの議論

近年、ユビキタス・コンピューティング環境におけるコンピュータやユーザ・インタフェースの在り方について、さまざまな視点から議論が行われている。ここでは、これらの議論を整理し、本研究のアプローチについて述べる。

### 8.2.1 多機能と単機能

ユビキタス・コンピューティングの本質は、コンピュータをあたかも透明な存在にして、その存在を意識させることなく、ユーザのタスク解決を支援することである。

このようなコンピュータの透明性を実現するためには、特定のタスクに適した異なる機能や大きさのコンピュータを、適材適所に用いることが必要である [Sio, 2003]。

たとえば、Norman は、さまざまな種類の単機能のコンピュータを組み合わせる利用する、情報アプライアンスというコンセプトを提案している [Norman, 1999]。

その一方、人々の多くはデスクトップ・パソコンなどの多機能なコンピュータを日常的に利用している。

ユビキタス・コンピューティング環境の多くの場面ではデスクトップ・パソコンのような多機能なコンピュータは必要とないと考えられるが、単純に機能を減らして単機能のコンピュータを作るだけでは、「ユーザ・インタフェースの質を下げ」[Lieberman, 2000] ことにつながる。このように、ユビキタス・インタフェースを設計する際には、ユーザの主要なタスクをサポートすることを前提に、どのようにして機能を絞りこむかが重要となる。

本研究のアプローチは、単機能な情報アプライアンスと多機能なデスクトップ・パソコンの中間を目指したものだといえる。たとえば、MouseField では、PlayStand [Masui, 2002b] のような単機能のIDベースシステムを拡張して、日用品などを「置く」ことで直接的に操作対象を指定しつつ、ある程度汎用的な操作も行えるようになっている。

次に、多機能と単機能のコンピュータの延長として、GUIとユビキタス・インタフェース、および音声インタフェースについて議論する。

### GUIとユビキタス・インタフェース

第3章で述べたように、GUIは「現実世界との乖離」、「アフォーダンスと身体性の欠落」、「視覚の占有」といった問題から、ユビキタス環境にそのまま適用ことは難しい。

一方、本研究で提案したユビキタス・インタフェースは、これらの問題を解消し、第8章1節で説明したような、さまざまな利点を持っている。その一方、現実世界と直

8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.2 ユビキタス・インタフェースの議論  
接関係を持たない抽象概念を操作したり，複雑なタスクを操作するのは難しい，という制約も抱えている．

ここでは，ユビキタス・インタフェースの制約について説明し，その解決の方針について述べる．

#### 1. 遠距離の機器や抽象概念の操作

ユビキタス・インタフェースの最大の特徴の一つは，現実世界から直接的かつ容易に情報を操作したり，取得することができる点である．その一方で，物理的に遠く離れたものや現実世界と直接関係を持たない抽象概念をわかりやすく操作・提示することは難しい．たとえば，Ubi-Finger の利点は「指差す」ことで実世界の機器を直接操作できる点にあるが，遠距離にある機器を操作したい場合には，この手法は適用しにくい．

こうした場合の対策としては，(1) 映像や写真を利用する，(2) Phicon (Physical Icon) [Ishii, 1997] を利用する，といった方法が挙げられる．(1) のアプローチを試みている例としては，Gaze-Link [Ayatsuka, 2001] などが挙げられる．Gaze-Link では，カメラを通して「見て」いるものと接続するメタファを提案している．基本的なアイデアとしては，二次元バーコードを対象の機器に貼り，その ID を認識して接続を行う．一方，遠距離の機器をカメラで撮影しておけば，遠距離の機器の映像をディスプレイ上に表示して「見る」ことで，その機器と接続することも可能となる．(2) は Phicon [Ishii, 1997] と呼ばれる，物理的なアイコンを利用する手法である．Phicon は，建築物などのように実物を操作して動かすことができないものを操作の対象とする場合，物理的なオブジェクトをその代理として使用するインタフェース技法である．たとえば，MouseField と Phicon を組み合わせれば，遠距離の機器の操作を行うことも可能となる．

ただし，これらの手法では，写真や Phicon などの抽象概念を介して機器を指定する形になるので，直接機器を操作する場合と比べて操作がわかりにくくなる可能性がある．また，特に Phicon を利用する場合には，それが対象の機器を十分象徴できるようにデザインされているか，という要素も重要になる．

#### 2. 複雑なタスク

ユビキタス・インタフェースの特徴は，ある程度の汎用性とわかりやすさを併せ持つ点である．一方，デスクトップ・コンピュータほど多機能なわけではないため，非常に複雑なタスク (e.g. ビデオ編集) を，Ubi-Finger や MouseField で行うことは困難である．こうした非常に複雑な作業は従来の GUI で行うことが適切であろうが，ユビキタス・インタフェースの設計において，対象とするタスクの複雑さを念頭に置くことは重要である．たとえば，Ubi-Finger では，家電機器の日常的に使うシンプルな機能に焦点を当て，一つの機器につき 7 種類の操作に絞ることで，ある程度の汎用性とわかりやすさを両立させている．

次に，情報提示手法について議論する．本研究で提案した ActiveBelt は，(1) 視覚や聴覚を占有しないため歩きながらでも常時利用できる，(2) 振動刺激と実世

## 8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.2 ユビキタス・インタフェースの議論

界の方位の対応付けが直感的に行えるので、地図を読むのが苦手な人でも容易に目的地の方位など理解することができる、(3) 周囲の環境に左右されにくく、夜などの視界が悪い状態や周囲に目立つ建物が無い状態でもほぼ通常通りの効果が期待できる、といった特徴がある。

その反面、従来の GUI(地図表示型システム)と比較して(1) 目的地付近の建物や、目的地までの具体的な距離、詳細な道順などの、細かい情報や複雑な情報を伝達するのが難しい、(2) 目的地情報の入力などを単体で行うのが難しい、といった問題もある。

このように、情報提示の領域についても、GUIとユビキタス・インタフェースを適宜使い分けるアプローチが有効になると考えられる。今後は両者をできるだけシームレスに切り替えるための工夫なども必要となるだろう。

### 3. 動作と機能の対応付け

第8章1節で述べたように、ユビキタス・インタフェースでは、身体動作や触覚などの新しいモダリティを活用することで、ユーザの学習を容易にしたり、利用時の負担を減らすことができる。一方、従来の GUI のように視覚的な入出力インタフェースを必ずしも備えないため、どの動作がどの機能に対応付けられているのかを一目で確認することが困難、という問題も存在する。

現在、Ubi-Finger や MouseField では、(1) シンプルな動作のみを認識対象とする、(2) 既存のスキルやメタファを活用する、(3) LED などを用いて即座にフィードバックを与える、などの方法で、動作と機能の対応付けをわかりやすくする工夫を行っている。

今後は、ユーザ自身が動作と機能の対応付けを容易に確認/定義可能な環境を提供していくことが重要となる。たとえば、リビングルームのテレビにこうした機能を追加することは、現実的な方法の一つだろう。

## 音声インタフェース

本節では、視覚を中心とする GUI と、触覚や身体感覚を中心とするユビキタス・インタフェースの特徴を比較してきた。一方、単機能と多機能という視点からみた場合、両者の中間的なアプローチとして、聴覚を中心とする音声インタフェースが存在する。

ここでは、音声による入出力インタフェースの特徴について整理する。

まず、情報提示手法としてみると、聴覚インタフェースは触覚より多くの情報量を一度に提示することができ、視覚より日常生活との並列性に優れている。一方、周囲の環境の影響を受けやすく、雑踏や逆に静か過ぎる環境では使いにくいという欠点を持っている。たとえば、街の雑踏の中を歩く歩行者のナビゲーションに音声インタフェースを利用することはあまり有効ではない。逆に、周囲の音響環境が一定に保たれている空間(たとえば車内で利用するカーナビ)の情報提示システムとしては、音声インタフェースは有効な選択肢となる。

次に、情報入力手法としての音声インタフェースは、自然対話による入力の実現できれば、多くのユーザが自然に利用可能な高い自由度を持つ入力インタフェースとして期待できる。現在、デスクトップにおいては、ViaVoice[IBM, 2003]のように、一定の教示を行うことで、高精度の音声認識を行える環境が整ってきている。一方、音響的なノイズに満ちた日常生活空間において十分な認識率を持つ音声入力システムはまだ登場していない。さらに本質的な問題として、自然対話による音声入力は自由度が高すぎるため、発話と機能の対応付け（何を話したらどんな機能が実行されるか）が非常に困難になることも予想される。

このように、音声インタフェース単体では、日常生活空間で幅広く利用することは難しい。一方、ユビキタス・インタフェースを音声インタフェースで補完することで、両者の長所を活用できる可能性があるため、今後活用を検討していく。

### 8.2.2 直接操作とエージェント

ユーザ・インタフェースの設計時には、ユーザにどの程度操作の主体性を持たせるか、という点において、直接操作（Direct Manipulation）とエージェント（Interface Agent）の二つの方向性が存在する [Shneiderman, 1997b]。

直接操作とは、ユーザが主体となってコンピュータを操作するアプローチであり、現在の GUI の基本となっている概念である。エージェントとは、コンピュータを主体として、人間をナビゲートする知的なエージェントとするアプローチである。直接操作は、ユーザが主導権を持ってシステムを制御できる反面、ユーザが行う必要のある操作が増加し、煩わしくなる可能性がある。一方、エージェントでは、ユーザの操作の負担は減る反面、ブラックボックスの部分が増えるため、予測できない挙動を行う可能性がある。

擬人化されたエージェントについては懐疑的な声も多い [Shneiderman, 1997b] [Abowd, 2000] が、エージェントを擬人化された顔や声を持ったものではなく、コンピュータを用いて煩雑な処理フローを自動化する手法と考えると、有効な活用場面も増えてくる。

たとえば、コンテキスト・アウェアネスの分野では、情報の操作や取得において、エージェントにより自動化されたものとある程度手動で行うものとに分類できるとされている [Schilit, 2002]。具体的には、コンピュータはデータの集積、人間はコンテキスト認識に優れるため、両者をバランスよく融合させることが必要と考えられている [Sumi, 1999] また、センサーネットワーク [Crossbow, 2004] のように、環境のインテリジェント化を目指すアプローチも、エージェントの一種として考えることもできる。

本研究のアプローチにおいては、Ubi-Finger と MouseField はユーザが主体となる直接操作の要素が強く、ActiveBelt はコンピュータが目的地へとナビゲートするという点で、エージェントの要素が強いと考えられる。ユビキタス・インタフェースの設計においても、主体となるタスクや利用場面などを考慮して、ユーザにどの程度主体性を持たせるかを考慮する必要があるだろう。



### 8.2.3 Foreground と Background

ユビキタス・コンピューティング環境のインタラクションは、ユーザの関心の中心にあるか否かという点で、Foreground(明示的)とBackground(暗黙的)に区別することができる [Ishii, 1997] .

石井はForeground 情報として、物理オブジェクトの操作やコンピュータ・スクリーンとのインタラクションを、Background 情報として、空間の光、音、空気の流れ、水の動きなど、周辺感覚として捉えることのできる情報 (Ambient Media) を挙げている [Ishii, 1997] .

Foreground 情報と Background 情報の関係は、直接操作とエージェントの関係に類似している。Foreground 情報が中心のシステムはユーザが主導権をもってシステムを制御できる反面、操作は煩雑になる。Background 情報が中心のシステムは、ユーザの負担が少ない反面、予測できない挙動を行う可能性がある。

また、Foreground 情報は情報量が多い反面、日常生活のタスクと並列性が低い(並列して扱いにくい)ため、ユーザが情報を受け取る時の負担が大きくなる。逆に、Background 情報は、一般に情報量は少ないが、日常生活のタスクと並列性が高いため、ユーザは小さな負担で情報を受け取ることができる。

本研究のアプローチでは、Ubi-Finger と MouseField は、Foreground のタスクを支援するアプローチである。ActiveBelt についても、ナビゲーションのタスクを行う場合はForeground のタスクを支援するが、ユーザにとって負担にならないという意味ではBackground 情報を利用しているとも考えることもできる。

今後のユビキタス・インタフェースの設計においては、支援するタスクがForeground か Background なのかを考慮すると同時に、両者を融合させたインタラクションの可能性についても検討する価値がある。たとえば、もしBackground な情報提示で、必要十分な情報を提示できるなら、日常生活を阻害しない点で理想的である。Background 情報を用いてある程度の情報量を伝達できる ActiveBelt のアプローチは、一つの方向性を示している。

### 8.2.4 人間と環境

ユビキタス・コンピューティング環境を実現するためには、人間側にデバイス群を装着する手法と、周囲の環境側に装置群を設置する手法の二通りが考えられる [Siiio, 2003] .

しかし、人間側と環境側のどちらか一方だけにデバイス(コンピュータ、センサーや入出力インタフェース)を取り付ける手法は得策ではない。たとえば、人間にデバイスを装着する場合、プライバシーの確保(特定のユーザだけに情報を提示する)や、生体情報の入力(心拍、体温など)を行う点で適しているが、環境設置の場合と比較して、電源の確保やデバイスの小型化などの要求は厳しくなる。

ユビキタス・インタフェースの設計時には、インタフェースが利用される場面(オフィス、家庭、モバイル、公共施設など)、情報入力的手法(位置、身体動作、音声、生体情報など)、情報出力の手法(視覚、聴覚、触覚)などに応じて、何を人間が装着し、何を環境に設置するのか、を慎重に決定する必要がある。

## 8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.3 ユビキタス・インタフェースの展望

たとえば、情報入力に位置を利用するためには、屋外であればユーザが GPS を持ち歩き、屋内であれば環境側に設置したデバイスとユーザが持ち歩くタグ（RFID、超音波タグ、赤外線タグなど）を併用する手法が有効となる。一方、モバイル環境における情報提示の手法は、プライバシーや周囲への影響を考慮すると、人間側に機器を装着する手法が中心となるだろう。

### 8.2.5 透明性と存在感

第8章1節で述べたように、ユビキタス・インタフェースの透明性には「機能的な透明性」と「外見的な透明性」の二種類が存在する。このうち、機能的な透明性は、ユーザの日常生活のタスクを阻害しないために、必須となる要素である。一方、外見的な透明性も HCI の視点からは望ましい要素と考えられるが、社会的な視点を考慮すると問題は複雑になる。それは、コンピュータが衣服や環境に溶け込んで外見に見えなくなると、そのパワーがどのように使われているか、ユーザ以外の人々には（時にはユーザ自身にさえも）ほとんど把握できなくなるためである。こうした環境では、コンピュータが盗撮や盗聴などの道具として利用される可能性が高まるため、プライバシーなどさまざまな社会的な問題が発生する可能性を持つ。こうした社会的な制約を考慮すると、ユビキタス・インタフェースの外観をあえて「コンピュータの存在を主張するデザイン」とする必要性が出てくるかもしれない。

これに関連して、深澤直人や原研哉ら、第一線の工業デザイナー達の対談において、興味深い議論が交わされている [Takeo, 2000]。今後の工業デザインはデザイナーの存在を全く感じさせない方向性と、デザイナーの個性を強烈に感じる方向性、の両極端に発展していく、というのが彼らの結論であった。

今後、ユビキタス・インタフェースにおいても、外見的に限りなく透明なインタフェースを目指す方向性と、コンピュータの存在を主張するデザインを採用する方向性の双方に発展していく可能性があるだろう。

## 8.3 ユビキタス・インタフェースの展望

ここでは、ユビキタス・インタフェースの展望として、本研究で考えるユビキタス・インタフェースの方向性や、究極のユビキタス社会の可能性について議論する。

### 8.3.1 ユビキタス・インタフェースのデザイン

ユビキタス・インタフェースは、第8章1節で述べた特性を備えつつ、第8章2節で述べたさまざまな視点を考慮した設計を行う必要がある。

こうした基本的な概念に加えて、今後のユビキタス・インタフェースのデザインにおいては以下の二つの視点が重要になると考えている。

1. 日常生活における具体的な活用

## 2. 利用や所有に伴う喜び

第一点は、ユビキタス・インタフェースを日常生活のどのような場面で利用し、それがどのように役立つかという具体的な応用を考慮した上でデザインすることである。この場合、本研究で提案したコンセプトや特性から、直接インタフェースのデザインを導くアプローチは必ずしも適切ではない。なぜなら、具体的な概念から抽象的な概念を抽出することは可能であるが、逆は困難な場合が多いためである。たとえば、畑村は、さまざまなビジネスや日常生活での失敗事例の共通項を抽象化することで、同じような失敗を予防する「失敗学 [Hatamura, 2000]」を提案しているが、この抽象化された共通項を別々のユーザの具体事例にトップダウン的に当てはめることはできないと述べている [Hatamura, 2004]。

ユビキタス・インタフェースをデザインする際には、まず日常生活の具体的な場面におけるタスクや状況を観察し、必要なインタフェースの要件をある程度考案することが望ましい。その上で、ユビキタス・インタフェースのコンセプトや特性を備えているかをボトムアップ的に確認していくことで、新しいインタフェースに不足している要素や新たな可能性などを確認することができると考えている。

さらに、筆者の経験では、ユビキタス・インタフェースのデザインにおいては、日常生活における個人的な欲求が重要な要素となると感じている。たとえば、Ubi-Finger は「身の回りのさまざまなものを指先一つで操作したい」、ActiveBelt は「方向音痴でよく道に迷うので、地図を見ないで目的地につきたい」という、筆者自身の個人的な欲求を満たすことが大きなモチベーションとなっている。そして、こうした理想を、技術的に実現できる地点に落とし込み、最も重要なコンセプトを体現するプロトタイプシステムを構築していく。もちろん、関連分野の調査やシステムの有効性の検証なども重要なプロセスである。しかし、最初に感じた個人的な欲求を満たすことこそが、他の人にも役立つ／喜ばれる成果を生み出すために最も重要な要素であると筆者は信じている。おそらく、一人の人間が必要とするインタフェースは、同じ文化圏に暮らす他の多くの人間にとっても同様に価値があるのではないだろうか。

第二点は、ユビキタス・インタフェースは日常の生活空間に設置したり、身に付けたりして利用するものであるため、衣服や嗜好品と同様にその利用や所有自体に喜びを感じられるデザインを行うことである。Norman は、ユーザが製品に抱く情動（喜びや憎悪など）には、本能的、行動的、内省的という三つのレベルがあると述べている [Norman, 2004]。本能的とは、ユーザの本能に訴えかける優れた外観的なデザインである。行動的とは、実際に使った際の使い勝手を意味している。内省的とは、思い出や愛着など、ユーザ自身の経験に基づく、その人固有の満足感を意味する。

従来、HCI 研究者は既存のインタフェースを改善したり、新しいインタフェースを提案することで、主に特定のタスクを改善する点（Norman のいう行動的レベル）に注力してきた。今後のユビキタス・インタフェースの設計では、インタフェースの外観（本能的レベル）や愛着（内省的レベル）などにも配慮し、その利用や所有自体に喜びを感じられるようなデザインを行うことが重要になると考えられる。

HCI がディスプレイの中から日常生活全般に拡張していくのと同様に、今後の HCI 研究者もアート、工業デザイン、建築など日常生活を取り巻く幅広い領域に積極的に

### 8.3.2 イディオム

将来のユビキタス環境では、GUIにおけるディスプレイやキーボードのような共通の入出力インタフェースが存在することは考えにくい。未来の人々は、さまざまなユーザ・インタフェースをタスクやコンテキストにあわせて利用していると考えられる。

Cooper は、ユーザ・インタフェースの設計において、「イディオム」という性質が重要だと述べている [Cooper, 1995]。イディオムとは、今まで慣れ親しんでいるわけではないが、シンプルで覚えやすいインタフェースの性質を示す。GUIにおける優れたコンポーネントの多くはイディオムの性質を持っており、一度覚えたら忘れにくいいため、ユーザはそれらの存在をそれほど意識せずにコンピュータを利用することができるようになる。

その一方、ユビキタス・コンピューティング環境においては、こうしたイディオムはまだほとんど確立していない。

本研究で提案するユビキタス・インタフェースは、コンピュータの透明性を保ちつつ、それぞれのタスクに適したシンプルで覚えやすいインタフェースを構築することで、ユビキタス環境におけるイディオムを意識した設計を行っている。近い将来、本研究のアプローチがユビキタス環境におけるイディオムの一つとして定着し、その上に創造的なインタラクションやサービスが展開されることを期待したい。

### 8.3.3 究極のユビキタス社会

ここでは、ユビキタス・インタフェースが究極に進化した環境が、どのようなものになるのかを議論する。未来を予測することは非常に困難であるが、ここでは第8章2節で述べた直接操作とエージェントによるアプローチを突き詰めることで、一つの未来を描いてみたい<sup>1</sup>。

まず、エージェントについて考えてみる。前述したように、エージェントとは、コンピュータを主体として、人間をナビゲートする知的なエージェントとするアプローチである。このようにコンピュータが主体的に活動する形態を突き詰めていくと、究極のエージェントは自ら主体的に思考/行動する自律型ロボットであると考えられる。たとえば、SFの世界では、スターウォーズのC3PO、R2D2や鉄腕アトムに代表されるような非常に高度で魅力的な自律型ロボットが多数描かれている。これらの世界では、自律型ロボットはユビキタスな存在となっており、人々の生活の中に溶け込んでいる。

現時点では、SFのように高度な自律型ロボットを作ることは不可能であるが、ロボット研究は非常に盛んに行われており、ペット型ロボット (Sony AIBO [Sony, 1999])

<sup>1</sup>ここでは、直接操作とエージェントを「ユーザの意識」の観点から切り分けている。システムとして見た場合、両者に明確な境界は存在しない。たとえば、ユーザが主体的に操作を行えるシステムでも、多くの場合はバックグラウンドでエージェント的なサービスが機能している。

8. ユビキタス・インタフェースの考察と展望 8.3 ユビキタス・インタフェースの展望  
など) や、掃除ロボット (iRobot Roomba[iRobot, 2002] など) をはじめとする特定の  
タスクに適したロボットが次々と製品化されている。

21 世紀の半ばまでには、メイド型ロボット、ペット型ロボットなど、さまざまな  
タスクに適した複数のロボット<sup>2</sup> が人々の生活に溶け込んでいるだろう。そして、それら  
のロボットはお互いに協調しあうことで、人々の生活を支援したり、より豊かなもの  
にすることができるだろう。

次に、直接操作インタフェースについて考えてみる。直接操作インタフェースは、  
ユーザが主体となってコンピュータを操作するアプローチであり、GUI 以降の HCI 研  
究の本流として積極的に取り組まれてきたアプローチである。このように、ユーザが  
身の回りの事物や情報を直接的かつ直感的に操作できる形態を突き詰めていくと、究  
極の直接操作は念じるだけで事物を操作 / 取得できる「超能力」的な能力であると考  
えられる<sup>3</sup>。

一般に超能力は、遠感現象 (テレパシー、透視、物体直感など)、念力、予知など  
に分類される [Miyagi, 1995]。テレパシーとは、遠方にいる他人の体験などが視覚など  
の感覚器官を通さずに伝達されることとされる。念力とは手などの運動器官によらず  
に遠くのを動かすこととされる。ユーザ・インタフェースの視点から捉えてみると、  
テレパシー的な能力は究極のディスプレイであり、念力的な能力は究極の操作方法  
と考えることができる。

こうしたテレパシーや念力の能力を完全に再現することは困難だろうが、21 世紀の  
半ばまでにはさまざまなユビキタス・インタフェースが人々に日常的に装着され、さま  
ざまな環境に埋め込まれるようになるだろう。こうした環境では、ユーザはコンピュ  
ータを利用するというよりはむしろ、自分自身の能力で身の回りのモノを操作したり、情  
報を取得したりしているように感じるかもしれない。

たとえば、実際に指輪程度に小型化された (あるいは指に埋め込まれた) Ubi-Finger  
を装着したユーザは、手指のジェスチャで身の回りの機器を操作することは当然のこと  
と考えるかもしれない。また、多くのベルトに ActiveBelt のような触覚ナビゲーション  
機能が装着されれば、ユーザは振動する方向に自然に体が歩くようになり、目的地  
の道程などを意識することがなくなるかもしれない。さらに、超小型の通信機やマイ  
クを耳に取り付けた (あるいは埋め込んだ) ユーザは、いつでもどこでも遠隔地の友  
人とコミュニケーションがとれることを当然のことだと感じるだろう。

2001 年宇宙の旅などで有名な現代を代表する SF 作家 Arthur C. Clarke は、「十  
分に発達した科学は魔法と区別がつかない (Any sufficiently advanced technology is  
indistinguishable from magic.)」と述べている [Clarke, 1984]。21 世紀の半ばを過ぎ、  
生まれた頃からこうしたユビキタス環境に馴染んだ人々は、コンピュータという存在  
を本当に意識することがなくなり、こうした超能力的な能力を人間に備わる当然の能  
力として捉えるようになるかもしれない。

一方、こうした究極のユビキタス社会においては、さまざまな負の面が生まれるこ

<sup>2</sup> エージェントが必ずしも顔や声を持つ必要がないのと同様に、ロボットも人間の形状を持つ必要はない。実際には、タスクに応じたさまざまな形状のロボットが登場するだろう。

<sup>3</sup> もちろん、ここでは超能力自体についてではなく、超能力的と考えられているような能力をユビキタス・インタフェースで実現する、という意味で議論している

とも考えられる。著名なSF作家、Isaac Asimovは、人間と同等以上の知能を持つ自律型ロボットが、地球上に生まれた場合に起こりうる問題を想定し、ロボットの守るべき基本原則として以下のような「ロボット工学三原則」を提案した [Asimov, 1963]。

1. ロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。
2. ロボットは人間にあたえられた命令に服従しなければならない。ただし、あたえられた命令が、第一条に反する場合は、この限りでない。
3. ロボットは、前掲第一条および第二条に反するおそれのないかぎり、自己をまもらなければならない。

究極のユビキタス社会の到来においては、個人の扱える情動的／物理的な能力が増大する可能性があるため、こうした原則に基づき、人間に危害を加えないシステム設計を行うことは重要となるだろう。

一方、Asimovの三原則は、一見仰々しく見えるが、第一条を「安全性」、第二条を「操作性」、第三条を「耐久性」と読み換えてみると、現在の工業製品に要求される要素と本質的な差はないことがわかる。

Weiserは、ユビキタス環境においては、現実世界と同程度の（それ以上ではない）セキュリティを確保し、倫理的な慣習を利用することが重要であると述べている [Weiser, 1991]。たとえば、現実世界でドアに鍵をかけておいても、鍵を壊して侵入することは可能である。しかし、これは倫理的に大多数の人にとっては抵抗のある行為であるし、鍵を壊したという証拠は残る。

このように、現在の倫理的な慣習を踏襲したセキュリティ対策を基本方針とすることは（生活に十分な程度）安全なユビキタス社会を実現する現実的な解のようにも思われる。

いずれにせよ、将来の予測は困難であり、曖昧なものにしかかなりえない。A. Kay [Kay, 1977] のいうように、こうした未来を自ら作っていくことが本研究に、そしてHCI研究に課せられた使命である。

## 8.4 まとめ

本章では、ユビキタス・インタフェースに関する考察と展望について述べた。まず、本研究のアプローチの特徴について、(1) 実世界の直接指示、(2) 既存のスキルとメタファの活用、(3) 新しいモダリティの活用、(4) 外見的な透明性、(5) 汎用性、(6) 日常生活で実現可能なシステム構成、という六つの視点から整理し、考察を加えた。

また、ユビキタス・インタフェースにおける主要な議論について、(1) 多機能と単機能、(2) 直接操作とエージェント、(3) Foreground と Background、(4) 人間と環境、(5) 透明性と存在感の五つの視点から整理した。

さらに、ユビキタス・インタフェースの展望として、本研究の考えるユビキタス・インタフェースの方向性や、究極のユビキタス社会の可能性について議論した。

# 第 9 章

## 結論

### 概要

本章では本研究の成果についてまとめ、本論文を総括する。

## 9.1 本研究の成果

本研究では、ユビキタス・コンピューティング環境に適した次世代 HCI「ユビキタス・インタフェース」のコンセプトを提案し、そのコンセプトに基づいた新しいユーザ・インタフェースを提案、構築、評価し、その有効性を検証した。

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

1. ユビキタス環境に適した次世代 HCI「ユビキタス・インタフェース」の提案  
従来の GUI をユビキタス・コンピューティング環境に適用する際のさまざまな課題を示し、ユビキタス・インタフェースのコンセプトとして、「直接性」、「自然さ」、「周辺性」、「透明性」の四つを提案した。すなわち、ユビキタス・インタフェースは、「現実世界の物理的な要素」、「アフォーダンスと身体性」、「視覚以外の感覚器」を積極的に活用することで、ユビキタス・コンピューティングの本質である「日常のタスクを阻害しない透明なインタフェース」を実現し、人々の日常生活を支援することを目指す。
2. 新しいユーザ・インタフェースの提案と設計  
ユビキタス・インタフェースのコンセプトに基づく具体的なアプローチとして、「Ubi-Finger」、「MouseField」、「ActiveBelt」という三つのユーザ・インタフェースの提案と設計を行った。

### Ubi-Finger: ユビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス

情報家電機器の操作などをわかりやすく行うアプローチとして、ユビキタス環境に適したジェスチャ入力デバイス「Ubi-Finger」を提案した。ジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であると同時に、身体性を伴った直感的な入力が可能であるという利点を持っており、これまでも主にバーチャル・リアリティなどの分野で積極的に利用されてきた。一方、コンピュータの利用分野はモバイル環境やユビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。Ubi-Finger はこれらの新しいコンピューティング環境に適した、小型でシンプルなジェスチャ入力デバイスである。Ubi-Finger を利用すると、ユーザは実世界のさまざまな機器を指差すことで特定し、シンプルなジェスチャにより直感的に操作することができる。

### MouseField: 日用品を拡張するインタフェース技法

RFID が添付された日用品を拡張するインタフェース技法「MouseField」を提案した。近年、RFID の急速な普及とともに、RFID をコンピュータとのインタラクションに活用する ID ベースのユーザ・インタフェース技法が盛んに研究されている。こうしたシステムでは、タグを添付したモノとシステムの挙動を一对一で割り当てることで、「CD ジャケットをスタンドに置けば音楽が鳴る」といった、シンプルで直感的なインタラクションを実現することができる。一方、従来の ID ベースのシステムではひとつの ID にひとつの機能しか割り当てることができないため、複雑な操作を行うことは難しく、



実用的な利用場面が限られるという根本的な問題を持っていた。MouseField は、RFID リーダと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張するアプローチである。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを MouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。

#### ActiveBelt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構

モバイル環境の位置依存情報サービスなどに適した新しい情報提示手法として、触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構 “Active Belt” を提案した。既存のコンピュータの出力インタフェースは主に視覚を利用するものであったが、モバイル環境、ユビキタス環境などの、コンピュータの利用場面の多様化に伴い、視覚以外の情報提示手法の重要性が高まってきている。特に触覚を用いた情報提示は、日常生活との並列性に優れるため、常時利用可能な情報提示手法として有望である。しかし、従来のモバイル環境での触覚情報提示手法の多くは、携帯電話のバイブレータのように、注意喚起程度の用途で利用されることが多かった。本研究ではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース “Active Belt” を提案した。

### 3. プロトタイプシステムの構築

提案した三つのインタフェース ( Ubi-Finger , MouseField , ActiveBelt ) のコンセプトに基づき、プロトタイプシステムを構築した。

#### Ubi-Finger のプロトタイプ

Ubi-Finger のプロトタイプは、ユーザの装着する指装着型デバイス ( Ubi-Finger 本体 ) と、操作対象の家電機器に装着する機器装着型デバイス ( Attachable Controller ) の二つのハードウェアと、ホスト PC , およびジェスチャ認識や家電機器の制御を行うソフトウェアから構成される。Ubi-Finger は 3 系統のセンサー ( ベンドセンサー , 2 軸加速度センサー , タッチセンサー ) を中心に、実世界の情報機器を特定するための赤外トランスミッタと、これらのデバイスの制御やホスト PC との通信を行うマイコンから構成される。Attachable Controller は既存の家電機器に「取り付ける」ことで、Ubi-Finger の操作対象として必要な入出力系を手軽に付加できる機器装着型デバイスであり、赤外受光部・ネットワーク接続部・機器制御部という三つのサブシステムから構成される。Ubi-Finger と Attachable Controller を利用することで、ユーザは実世界のさまざまな家電機器を指差すことで特定し、手指のジェスチャを用いて直感的に操作することができる。

#### MouseField のプロトタイプ

MouseField のプロトタイプは、RFID リーダと動き検出装置、およびこれらを制御するコンピュータから構成される。RFID リーダのアンテナをケー

ス裏側の外周に沿って配置することで、ケースの上部全体をタグの読み取り可能範囲とした。動き検出装置として、光学マウスのセンサー部を二つ利用した。通常の光学マウスとは逆に、光学マウスのセンサー部分を表面にむけて設置し、センサー部に置かれたモノの動きを検出する。RFID リーダと光学マウスは USB ケーブルでコンピュータに接続されており、ケースに載せられたモノに添付されたタグ ID と動きを検出する。たとえば、タグを添付した CD ジャケットを MouseField の上に置くと、CD ジャケットに応じた曲の演奏が開始される。それだけでなく、ユーザは CD ジャケットを前後にスライドさせることで、曲目を選択したり、ジャケット全体回転させることで、音量を調整することができる。

#### ActiveBelt のプロトタイプ

ActiveBelt のプロトタイプは、主に方位センサーと GPS、8 つのアクチュエータ (振動モータ)、およびこれらを制御するマイコンから構成される。GPS はユーザの位置情報を、方位センサーはユーザの身体 (腰部) の絶対方位を取得する。アクチュエータはベルトの周囲を一周するように 8 個埋め込み、触覚による情報提示を行う。腰の周りを 360 度一周するベルトの形状を生かして、アクチュエータを用いて触覚刺激を与えることで、実世界の方位情報を直接想起させることが可能となる。

#### 4. 提案システムの応用と評価

実装したプロトタイプシステムを情報家電操作、日用品の拡張、位置依存情報サービスなどに応用し、ユビキタス・インタフェースのさまざまな応用例を示した。また、提案システムの評価実験や運用経験を通して、本研究で提案したユビキタス・インタフェースのコンセプトの有効性を確認した。

さらに、ユビキタス・インタフェースの特徴や議論を整理し、今後のユビキタス・インタフェースの展望を示した。

## 9.2 本論文の総括と結論

近年、コンピュータの小型化・低価格化・高性能化には目を見張るものがあり、日常生活の中にさまざまな情報機器群が遍在する新しいコンピューティング環境、「ユビキタス・コンピューティング環境」の到来が迫っている。ユビキタス・コンピューティングの目指す世界では、コンピュータは生活空間に完全に溶け込み、人々はコンピュータの存在を意識することなく、さまざまな恩恵を受けることができる。ユビキタス・コンピューティングの実現には、小型・小電力のコンピュータやセンサーを実現する技術的な要素に加えて、人々がどのようにコンピュータと関わり、恩恵をうけるのかという HCI の役割が重要となる [Sioo, 2003]。

本論文では、従来の GUI をユビキタス・コンピューティング環境に適用する際の課題について整理し、ユビキタス・インタフェースのコンセプトとして、「直接性」、「自然さ」、「周辺性」、「透明性」の四つを提案した。すなわち、ユビキタス・インタフェー

スは、「現実世界の物理的な要素」、「アフォーダンスと身体性」、「視覚以外の感覚器」を積極的に活用することで、ユビキタス・コンピューティングの本質である「日常のタスクを阻害しない透明なインタフェース」を実現し、人々の日常生活を支援することを目指す。

そして、具体的なアプローチとして、ユビキタス・コンピューティングの主要な領域である「情報家電制御」、「日用品の拡張」、「位置依存情報サービス」に焦点を当てて、「Ubi-Finger」、「MouseField」、「ActiveBelt」という三つの新しいユーザ・インタフェースを提案した。

Ubi-Finger は、情報家電機器制御に適したジェスチャ入力デバイスである。ユーザは、Ubi-Finger を用いて、実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャで、直感的に操作することができる。本研究では、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな家電機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例などを試作した。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を確認した。

MouseField は、ID リーダと動きセンサーを統合することで、ID ベースのシステムを実用的なユビキタス・インタフェースへと拡張するアプローチである。ユーザは、RFID タグを添付した日用品などを MouseField デバイスの上に「置いて」、「動かす」というシンプルな行為で、さまざまな操作を行うことができる。本研究では、具体的なアプリケーションとして、CD や DVD などのコンテンツ操作を行う応用例や、キオスク端末での活用を行う応用例などを構築した。さらに、運用経験や議論を通して、システムの有効性や課題について検討した。

ActiveBelt は、モバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェースである。ActiveBelt を利用すれば、ユーザは振動を「感じるままに歩く」ことで、目的地へと向かっていくことができる。本研究では、ベルトに方位センサー、GPS と複数のアクチュエータを装着した ActiveBelt のプロトタイプを試作し、その有効な活用例を示すアプリケーションを提案した。また、評価実験を行い、提案システムの有効性を確認した。

そして、本研究に関連する研究領域を紹介し、本研究の特徴や位置づけについて整理した。最後に、ユビキタス・インタフェースの特徴や議論を整理し、今後のユビキタス・インタフェースの展望を示した。

今後、コンピュータがユビキタスな存在に近づいていくことは間違いない。未来のコンピュータは、GUI のような共通の入出力インタフェースを備えていることは考えにくい。そこでは、さまざまなユーザ・インタフェースがタスクやコンテキストにあわせて利用されているだろう。

Cooper は、ユーザ・インタフェースの設計において、「イディオム」という性質が重要だと述べている [Cooper, 1995]。イディオムとは、今まで慣れ親しんでいるわけではないが、シンプルで覚えやすいインタフェースの性質を示す。GUI における優れたコンポーネントの多くはイディオムの性質を持っており、一度覚えたら忘れにくいいため、ユーザはそれらの存在をそれほど意識せずにコンピュータを利用することができるようになる。

本研究で提案したユビキタス・インタフェースは、コンピュータの透明性を保ちつつ、それぞれのタスクに適したシンプルで覚えやすいインタフェースを構築することで、ユビキタス環境におけるイディオムを意識した設計を行っている。近い将来、本研究のアプローチがユビキタス環境におけるイディオムの一つとして定着し、その上に創造的なインタラクションやサービスが展開されることを期待したい。

さらなる将来をみれば、21世紀の半ばまでにはさまざまなユビキタス・インタフェースが人々に日常的に装着され、さまざまな環境に埋め込まれるようになるだろう。こうした環境では、ユーザはコンピュータを利用するというよりはむしろ、自分自身の能力で身の回りのモノを操作したり、情報を取得したりしているように感じるかもしれない。たとえば、実際に指輪程度に小型化された（あるいは指に埋め込まれた）Ubi-Fingerを装着したユーザは、手指のジェスチャで身の回りの機器を操作できることは当然のことだと捉えるかもしれない。

2001年宇宙の旅などで有名な現代を代表するSF作家 Arthur C. Clarke は、「十分に発達した科学は魔法と区別がつかない」と述べている [Clarke, 1984]。21世紀の半ばを過ぎ、生まれた頃からこうしたユビキタス環境に馴染んだ人々は、コンピュータという存在を本当に意識することがなくなり、こうした超能力的な能力を人間に備わる当然の能力として捉えるようになるかもしれない。

将来の予測は困難であり、曖昧なものにしかなりえない。A. Kay [Kay, 1977] のいうように、こうした未来を自ら作っていくことが本研究に、そして HCI 研究に課せられた使命である。

# 謝辞

学部時代から長期間終始ご指導を頂いた，慶應義塾大学 安村通晃教授に深く感謝致します。また、本研究の副査として有益なご意見，ご助言を頂いた慶應義塾大学 徳田英幸教授，福田忠彦教授，小檜山賢二教授に感謝致します。

研究を進めるにあたり、マルチモーダル・インタラクション (MMI) プロジェクトの先生方，諸先輩，後輩方にはさまざまな形でお世話になり，時にご迷惑をおかけいたしました。センサや電子工学の領域について，頻繁に有益な助言をいただきました慶應義塾大学 仰木裕嗣専任講師，樋口文人非常勤講師に感謝いたします。修士時代，実世界指向インタフェースに取り組むきっかけを与えてくださった吉川貴氏，竹之内博史氏に感謝致します。また，評価実験をはじめ，さまざまな面で本研究にご協力頂いた吉原さくら氏に感謝致します。ユーザ・インタフェースの現状や将来像について，時に議論を重ねた，児玉哲彦氏，渡邊恵太氏，神原啓介氏に感謝いたします。付録図表のデザインなどに協力していただいた，渡辺香奈氏に感謝いたします。同期として，ともに論文や散歩，逃避に励んできた福本麻子氏に感謝いたします。

産業技術総合研究所 増井俊之主任研究員には，実世界指向のユーザ・インタフェースに関して，さまざまな視点から議論を重ね，また有益な助言を頂きました。深く感謝いたします。

MouseField プロジェクトを共同で推進し，実世界指向のユーザ・インタフェースのコンセプトや実装について，さまざまなご助言を頂いた玉川大学 椎尾一朗教授に感謝いたします。

期せずして研究者の道に入った同世代として励ましあい，共にハックに励んできた高林哲氏，小松弘幸氏に感謝いたします。

最後に，これまで私を支えてくださった両親，祖父母，および妹に感謝致します。本当にありがとうございました。

2004年1月7日

塚田 浩二

# 本研究に関する発表

## 論文誌

1. 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3675–3684 (2002).
2. 塚田浩二, 安村通晃: Active Belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2649–2658 (2003).

## 国際会議

1. Tsukada, K. and Yasumura, M.: ActiveBelt: Belt-type Wearable Tactile Display for Directional Navigation, *Proceedings of UbiComp2004*, Springer LNCS3205, pp. 384–399 (2004).
2. Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Proceedings of 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI 2002)*, Vol. 1, pp. 388–400 (2002).

## その他

1. 塚田浩二, 増井俊之: MouseField: 「置いて, 動かす」イディオムを用いた日用品の拡張, *インタラクシオン 2004 論文集*, pp. 45–46 (2004).
2. 塚田浩二, 安村通晃: ActiveBelt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構, *インタラクティブシステムとソフトウェア XI (WISS 2002)*, pp. 23–28 (2002).
3. 塚田浩二, 安村通晃: Active Belt: 方位情報を伴う触覚情報提示デバイスの提案, *情報処理学会研究報告 2002-HI-100*, pp. 23–29 (2002).
4. Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Companion Proceedings of Ubicomp 2001*, Technical Report: GIT-GVU-TR-01-7 (2001).

5. 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger:モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの試作, *インタラクティブシステムとソフトウェア IX (WISS 2001)*, pp. 119–124 (2001).
6. 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger:モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの提案, *情報処理学会研究報告 2001-HI-94*, pp. 9–14 (2001).
7. Tsukada, K., Takabayashi, S. and Masui, T.: Dying Link, *Proceedings of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2003)*, Vol. 3 (Human-Central Computing), pp. 1353–1357 (2003).
8. 塚田浩二, 高林哲, 増井俊之: 廃れるリンク, *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 12, pp. 3718–3721 (2002).
9. 塚田浩二, 高林哲: 廃れるリンク, *インタラクション 2002 論文集*, pp. 73–74 (2002).
10. Masui, T., Tsukada, K. and Siio, I.: MouseField: A Simple and Versatile Input Device for Ubiquitous Computing, *Proceedings of UbiComp2004*, Springer LNCS3205, pp. 319–328 (2004).
11. 渡辺香奈, 塚田浩二, 渡邊恵太, 安村通晃: 実世界のメタファを用いたファイルの「重さ」の視覚化手法 ~ 「VisualWeight」~, *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集*, pp. 789–794 (2004). 【優秀プレゼンテーション賞受賞】.
12. 増井俊之, 塚田浩二, 高林哲: 近傍関係にもとづく情報検索システム, *インタラクティブシステムとソフトウェア XI (WISS 2003)*, pp. 79–86 (2003).
13. 大橋正興, 塚田浩二, 樋口文人, 安村通晃: WellSideStory:グループ内のコミュニケーションを促す立ち話支援システムの提案と試作, *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集*, pp. 485–488 (2003).
14. 高林哲, 塚田浩二, 増井俊之: 顔アイコン: 手軽なファイル転送システム, *インタラクション 2003 論文集*, pp. 33–34 (2003).
15. 吉原さくら, 塚田浩二, 安村通晃: Enlight Pen: 自律学習継続支援システムの提案, *インタラクション 2003 論文集*, pp. 193–194 (2003).
16. 大橋正興, 塚田浩二, 小池英樹, 安村通晃: Secure Sense: 生活空間でセキュリティを「感じる」ための情報提示環境, *インタラクション 2003 論文集*, pp. 93–94 (2003).
17. 塚田浩二: Ubi-Finger:モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 修士論文, 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 (2002). 【湘南藤沢学会 研究会優秀論文】.
18. 塚田浩二: RFID を使ってみよう 概要編, *Software Design*, pp. 88–99 (November, 2004).

## 参考文献

- [5DT, 1999] 5DT (1999). “5DT Data Gloves”.  
<http://www.5dt.com/hardware.html#glove>.
- [Abowd, 1997] Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Hong, J., Long, S., Kooper, R., and Pinkerton, M. (1997). “Cyberguide: a mobile context-aware tour guide”. *ACM Wireless Networks*, **3**(5) pp.421–433.
- [Abowd, 2000] Abowd, G. D. and Mynatt, E. D. (2000). “Charting past, present, and future research in ubiquitous computing”. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, **7**(1) pp.29–58.
- [Addlesee, 2001] Addlesee, M., Curwen, R., Hodges, S., Newman, J., Steggles, P., Ward, A., and Hopper, A. (2001). “Implementing a Sentient Computing System”. *IEEE Computer Magazine*, **34**(8) pp.50–56.
- [Aoki, 2000] Aoki, H. and Matsushita, S. (2000). “Balloon Tag: (In)visible Marker Which Tells Who’s Who”. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC2000)*, p. 181. IEEE Computer Society Press.
- [Asimov, 1963] Asimov, I. (1963). *I, Robot*. Doubleday.
- [AU, 2001] AU (2001). “eznavigation”.  
[http://www.keitai1bankan.com/phone/ez\\_navi.html](http://www.keitai1bankan.com/phone/ez_navi.html).
- [AwareHome, 2000] AwareHome (2000). “Aware Home Research Initiative”.  
<http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri/>.
- [Ayatsuka, 2001] 綾塚祐二・松下伸行・暦本純一 (2001). 「Gaze-Link: 実世界指向ユーザインタフェースにおける「見ているものに接続する」というメタファ」. *情報処理学会論文誌*, **42**(6) pp.1330–1337.
- [Azuma, 1997] Azuma, R. T. (1997). “A Survey of Augmented Reality”. *Presence: Teleoperators and Virtual Environment*, **6**(4) pp.355–385.
- [Blattner, 1992] Blattner, M. M. and Dannenberg, R. B., (eds) (1992). *Multimedia interface design table of contents*. ACM Press.



- [Bluetooth, 1998] Bluetooth (1998). “Bluetooth Official Site”.  
<http://www.bluetooth.com/>.
- [Bolt, 1987] Bolt, R. A. (1987). “The integrated multi-modal interface”. *The Transactions of the Institute of Electronics*, **J70-D**(11) pp.2017–2025.
- [Bossman, 2003] Bossman, S., Groenendaal, B., Findlater, J. W., Visser, T., de Graaf, M., and Markopoulos, P. (2003). “Gentleguide: An exploration of haptic output for pedestrian guidance”. In *Proceedings of the Mobile HCI 2003*, pp. 358–362. Springer Publications.
- [Brewster, 2004] Brewster, S. and Brown, L. M. (2004). “Tactons: Structured Tactile Messages for Non-Visual Information Display”. In *Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface*, pp. 15–23.
- [Camarata, 2002] Camarata, K., Do, E. Y.-L., Johnson, B. D., and Gross, M. D. (2002). “Navigational blocks: Navigating information space with tangible media”. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI)*, pp. 31–38.
- [Clarke, 1984] Clarke, A. C. (1984). *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible*. Henry Holt.
- [Cooper, 1995] Cooper, A. (1995). *About Face – The Essentials of User Interface Design*. IDG Books.
- [Crossbow, 2004] Crossbow (2004). “Crossbow Technology Home Page”.  
<http://www.xbow.com/>.
- [Denso, 2000] Denso (2000). 「QRコードドットコム」.  
<http://www.qrcode.com/>.
- [Dey, 2001] Dey, A. K., Salber, D., and Abowd, G. D. (2001). “A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications”. *Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, **16**(2-4) pp.97–166.
- [Engelbart, 1968] Engelbart (1968). “Engelbart NLS Online Demo”.  
<http://sloan.stanford.edu/MouseSite/1968Demo.html>.
- [Feiner, 1997] Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T., and Webster, A. (1997). “A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment”. In *Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers (ISWC 97)*, pp. 74–81. IEEE Computer Society Press.

- [Feiner, 1993] Feiner, S., Macintyre, B., and Seligmann, D. (1993). “Knowledge-based augmented reality”. *Communications of the ACM*, **36**(7) pp.53–62.
- [Fukumoto, 2000] 福本雅朗 (2000). 「24時間ニューリョクデキマスカ? - Wearableなインタフェース」. *情報処理*, **41**(2) pp.123–126.
- [Fukumoto, 1997] Fukumoto, M. and Tonomura, Y. (1997). “Body coupled FingerRing: Wireless wearable keyboard”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 97)*, pp. 147–154. ACM Press.
- [Fukumoto, 1999a] Fukumoto, M. and Tonomura, Y. (1999a). “Whisper: a wristwatch style wearable handset”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 99)*, pp. 112–119. ACM Press.
- [Fukumoto, 1999b] 福本雅明・外村佳伸 (1999b). 「“指釦”:手首装着型コマンド入力機構」. *情報処理学会論文誌*, **40**(2) pp.389–398.
- [Gibson, 1979] Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Company.
- [Gorbet, 1998] Gorbet, M. G., Orth, M., and Ishii, H. (1998). “Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 98)*, pp. 49–56. ACM Press.
- [Greenberg, 2002] Greenberg, S. and Boyle, M. (2002). “Customizable Physical Interfaces for Interacting with Conventional Applications”. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2002)*, pp. 31–40. ACM Press.
- [Handykey, 1999] Handykey (1999). “Twiddler2”.  
<http://www.handykey.com/site/twiddler2.html>.
- [Hatamura, 2000] 畑村洋太郎 (2000). 『失敗学のすすめ』. 講談社.
- [Hatamura, 2004] 畑村洋太郎 (2004). 『直観でわかる数学』. 岩波書店.
- [Hernandez, 2002] Hernandez-Rebollar, J. L., Kyriakopoulos, N., and Linderman, R. W. (2002). “The AcceleGlove: A Whole-Hand Input Device for Virtual Reality”. In *Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH 2002*, p. 259. ACM Press.
- [Hirose, 1995] 廣瀬通孝 (1995). 『バーチャル・リアリティ』. オーム社.
- [Hirose, 1999] 廣瀬通孝 (1999). 「ウェアラブル・コンピュータの展開」. *情報処理*, **40**(9) pp.873–877.

- [Hitachi, 2001] Hitachi (2001). 「日立ウェアラブル・インターネット・アプライアンス」.  
<http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/wia/>.
- [Hitachi, 2002] Hitachi (2002). 「 $\mu$ チップ Official Site」.  
<http://www.hitachi.co.jp/Prod/mu-chip/jp/>.
- [Holland, 2002] Holland, S., Morse, D. R., and Gedenryd, H. (2002). “AudioGPS: Spatial Audio Navigation with a Minimal Attention Interface”. *ACM Personal and Ubiquitous Computing*, **6**(4) pp.253–259.
- [Hosino, 2001] 星野剛史・堀井洋一・丸山幸伸・片山淳詞・柴田吉隆・吉丸卓志 (2001). 「Air-Real:ホームネットワークのユーザーインタフェース」. 『インタラクティブシステムとソフトウェア IX(WISS 2001)』, pp. 113–118. 近代科学社.
- [IBM, 2003] IBM (2003). “IBM ViaVoice”.  
<http://www.scansoft.co.jp/viavoice/>.
- [Iga, 1998] Iga, S., Itoh, E., Higuchi, F., and Yasumura, M. (1998). “Attachable Computer: Augmentation of Electric Household Appliances by Fit-up Computer”. In *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI 98)*, pp. 51–56.
- [Iga, 1999] 伊賀聡一郎・安村通晃 (1999). 「実世界オブジェクトを利用するユーザーインタフェースと障害者支援技術への応用」. ヒューマンインタフェース学会論文誌, **1**(1) pp.53–60.
- [Immersion, 2000] Immersion (2000). “CyberGlove and CyberTouch”.  
<http://www.immersion.com/3d/products/>.
- [iRobot, 2002] iRobot (2002). “iRobot Home Page”.  
<http://www.irobot.com/>.
- [Ishii, 2002a] 石井裕 (2002a). 「タンジブル・ビット - 情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン - 」. *情報処理*, **43**(3) pp.222–229.
- [Ishii, 2002b] 石井裕 (2002b). 「ユビキタスの混迷の未来」. *ヒューマンインタフェース学会誌*, **4**(3) pp.129–130.
- [Ishii, 2001] Ishii, H., Mazalek, A., and Lee, J. (2001). “Bottles as a minimal interface to access digital information”. In *Extended Abstracts of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp. 187–188. ACM Press.
- [Ishii, 1997] Ishii, H. and Ullmer, B. (1997). “Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 97)*, pp. 234–241. ACM Press.

- [Ishizuka, 2000] 石塚満 (2000). 「マルチモーダル擬人化エージェントシステム」. システム/制御/情報, 44(3) pp.128–135.
- [Itou, 2003] 伊藤謙治・小松原明哲・桑野園子 (編) (2003). 『人間工学ハンドブック』. 朝倉書店.
- [Johnson, 1993] Johnson, W., Jellinek, H., Leigh Klotz, J., Rao, R., and Card, S. K. (1993). “Bridging the paper and electronic worlds: the paper user interface”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 93)*, pp. 507–512. ACM Press.
- [Kato, 2000] Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., and Tachibana, K. (2000). “Virtual object manipulation on a table-top environment”. In *Proceedings of International Symposium on Augmented Reality 2000*, pp. 111–120.
- [Kay, 1990] Kay, A. (1990). *The Art of Human Interface Design*, Ch. User Interface: A Personal View. Addison-Wesley Professional.
- [Kay, 1977] Kay, A. and Goldberg, A. (1977). “Personal Dynamic Media”. *IEEE Computer*, 10(3).
- [Kita, 2000] 喜多壮太郎 (2000). 「ひとはなぜジェスチャーをするのか」. 認知科学, 7(1) pp.9–21.
- [Klemmer, 2004] Klemmer, S. R., Li, J., Lin, J., and Landay, J. A. (2004). “Papier-Mâché: Toolkit Support for Tangible Input”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2004)*, pp. 121–128. ACM Press.
- [Kohtake, 1999] Kohtake, N., Rekimoto, J., and Anzai, Y. (1999). “InfoStick: An Interaction Device for Inter-Appliance Computing”. In *Proceedings of the First International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC 99)*, pp. 246–258. Springer Publications.
- [Koike, 2000] Koike, H., Sato, Y., Kobayashi, Y., Tobita, H., and Kobayashi, M. (2000). “InteractiveTextbook and InteractiveVennDiagram: Natural and Intuitive Interface on Augmented Desk System”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2000)*, pp. 121–128. ACM Press.
- [Kojima, 1993] 小島啓二 (1993). 「実世界指向インタフェースの研究動向」. ビジュアルインタフェースの研究開発報告書, pp. 37–48.
- [Konomi, 1999] Konomi, S., Müller-Tomfelde, C., and Streitz, N. A. (1999). “Passage: Physical Transportation of Digital Information in Cooperative Buildings”. In *Proceedings of Cooperative Buildings – Integrating Information, Organizations, and Architecture (CoBuild 99)*, pp. 45–54. Springer Publishers.

- [Kreuger, 1991] Kreuger, M. (1991). *Artificial Reality II*. Addison-Wesley.
- [Kris Pister, 2001] Kris Pister (2001). “SmartDust”.  
<http://robotics.eecs.berkeley.edu/pister/SmartDust/>.
- [Kyocera, 2004] Kyocera (2004). “A cell phone equipped with a GPS and a directional sensor”.  
[http://www.kyocera.co.jp/prdct/telecom/consumer/a5502k/ez\\_navi.html](http://www.kyocera.co.jp/prdct/telecom/consumer/a5502k/ez_navi.html).
- [Lamming, 2003] Lamming, M. and Bohm, D. (2003). “SPECs: Another Approach to Human Context and Activity Sensing Research, Using Tiny Peer-to-Peer Wireless Computers”. In *Proceedings of Ubicomp 2003*, pp. 192–199. Springer Publications.
- [Lieberman, 2000] Lieberman, H. and Selker, T. (2000). “Out of context: computer systems that adapt to, and learn from, context”. *IBM Systems Journal*, **39**(3-4) pp.617–632.
- [Ljungstrand, 2000] Ljungstrand, P., Redström, J., and Holmquist, L. E. (2000). “WebStickers: Using Physical Tokens to Access, Manage and Share Bookmarks to the Web”. In *Proceedings of Designing Augmented Reality Environments (DARE2000)*, pp. 155–156.
- [Maeno, 2002] 前野隆司 (2002). 「ヒトの触覚受容機構 -力学・アナロジー・錯覚という視点から-」. 電気学会センサマイクロマシン部門誌, **122**(10) pp.469–473.
- [Mann, 1998] Mann, S. (1998). “Wearable computing as means for personal empowerment”. In *Proceedings of Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC 98)*. Keynote.
- [Masui, 2002a] 増井俊之 (2002a). 「GPS携帯電話の活用」. *UNIX MAGAZINE*, **17**(8) pp.173–184. 2002年8月号.
- [Masui, 2000] Masui, T. and Siio, I. (2000). “Real-World Graphical User Interfaces”. In *Proceedings of the Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC 2000)*, pp. 72–84. Springer Publications.
- [Masui, 2003] 増井俊之・塚田浩二・高林哲 (2003). 「近傍関係にもとづく情報検索システム」. 『インタラクティブシステムとソフトウェア XI (WISS 2003)』, pp. 79–86.
- [Masui, 2002b] 増井俊之・高林哲 (2002b). 「「置くだけ主義」による情報家電制御」. 『情報処理学会 2002年夏のプログラミングシンポジウム』.
- [Matsushita, 2002] 松下伸行・日原大輔・後輝行・吉村真一・暦本純一 (2002). 「ID Cam: シーンとIDを同時に取得可能なスマートカメラ」. 情報処理学会論文誌, **43**(12) pp.3664–3674.

- [Matsushita, 2000] Matsushita, N., Tajima, S., Ayatsuka, Y., and Rekimoto, J. (2000). “Wearable Key: Device for Personalizing nearby Environment”. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC2000)*, p. 119. IEEE Computer Society Press.
- [Maxim, 2001] Maxim (2001). “iButton”.  
<http://www.ibutton.com/>.
- [Mehrabian, 1981] Mehrabian, A. (1981). *Silent messages: Implicit communication of emotions and attitudes*. Wadsworth, 2nd edition.
- [MicroOptical, 2003] MicroOptical (2003). “MicroOptical”.  
<http://www.microopticalcorp.com/>.
- [Mihara, 1999] 三原功雄・山内康晋・土井美和子 (1999). 「モーションプロセッサを用いたビジョン型インタフェースの構築」. 『インタラクティブシステムとソフトウェア VII(WISS'99)』, pp. 33-42.
- [Milgram, 1994] Milgram, P. and Kishino, F. (1994). “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Display”. *IEICE Transactions on Information Systems special issue on Networked Reality*, **E77-D**(12) pp.1321-1329.
- [Minpaku, 1996] Minpaku (1996). 「国立民族学博物館 常設展示場 ものの広場」.  
<http://www.minpaku.ac.jp/museum/exhibition/materiatheque/>.
- [Mitutoyo, 1999] Mitutoyo (1999). “Waist Measure Belt”.  
<http://www.tepia.or.jp/12th/tenji/virtual/photos/mobile/mobMitu.html>.
- [Miyagi, 1995] 宮城音弥 (1995). 『超能力の世界』. 岩波書店.
- [Mohri, 2000] 毛利工 (2000). 「手指ジェスチャ認識に基づくウェアラブル型操作入力インタフェース」. ヒューマンインタフェース学会論文誌, **2**(4) pp.283-292.
- [Nagao, 1996] Nagao, K. and Rekimoto, J. (1996). “Agent Augmented Reality: A Software Agent Meets the Real World”. In *Proceedings of Second International Conference on Multi-Agent Systems(ICMAS 96)*, pp. 228-235.
- [Nagasawa, 1985] 長沢工 (1985). 『天体の位置計算 増補版』. 地人書館.
- [Nishi, 2001] Nishi, T., Sato, Y., and Koike, H. (2001). “SnapLink: interactive object registration and recognition for augmented desk interface”. In *Proceedings of IFIP Conference on Human-Computer Interaction (Interact 2001)*, pp. 240-246.
- [Norman, 1990] Norman, D. A. (1990). *The Design of Everyday Things*. Currency.

- [Norman, 1999] Norman, D. A. (1999). *The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution*. The MIT Press.
- [Norman, 2004] Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (Or Hate) Everyday Things*. Basic Books.
- [Paradiso, 1997] Paradiso, J. A. and Hu, E. (1997). “Expressive Footwear for Computer-Augmented Dance Performance”. In *Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers (ISWC 97)*, pp. 165–166. IEEE Computer Society Press.
- [Perry, 1999] Perry, T. S. and Voelcker, J. (1999). “Of mice and menus: designing the user-friendly interface”. *IEEE Spectrum*, **26**(9) pp.46–51.
- [Picard, 1997] Picard, R. and Healey, J. (1997). “Affective Wearables”. *Personal Technologies*, **1**(4) pp.231–240.
- [Pingali, 2003] Pingali, G., Pinhanez, C., Levas, A., Kjeldsen, R., Podlaseck, M., Chen, H., and Sukaviriya, N. (2003). “Steerable Interfaces for Pervasive Computing Spaces”. In *First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2003)*, pp. 315–322.
- [Piper, 2002] Piper, B., Ratti, C., and Ishii, H. (2002). “Illuminating clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis”. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 355–362. ACM Press.
- [QRL, 2004] QRL (2004). 「QRL.jp(URL 圧縮 , QR コード生成サービス)」 . <http://qrl.jp/>.
- [Raj, 2000] Raj, A., Kass, S., and Perry, J. (2000). “Vibrotactile displays for improving spatial awareness”. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, pp. 181–184. Springer Publications.
- [Rekimoto, 1997] Rekimoto, J. (1997). “Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments”. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 97)*, pp. 31–39. ACM Press.
- [Rekimoto, 2000] 暦本純一 (2000). 「実空間に拡張する直接操作環境 - 複数コンピュータ環境への身体的アプローチ」 . 身体性とコンピュータ, pp. 295–308.
- [Rekimoto, 2001a] Rekimoto, J. (2001a). “GestureWrist and GesturePad: Unobtrusive Wearable Interaction Devices”. In *Proceedings of 5th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2001)*, p. 21. IEEE Computer Society Press.

- [Rekimoto, 2002] 暦本純一 (2002). 「実世界指向インタフェース - 実空間に拡張された直接操作環境 -」. *情報処理*, 43(3) pp.217-221.
- [Rekimoto, 1995] Rekimoto, J. and Nagao, K. (1995). “The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments”. In *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95)*, pp. 29-38.
- [Rekimoto, 1999] Rekimoto, J. and Saitoh, M. (1999). “Augmented surfaces: a spatially continuous work space for hybrid computing environments”. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems(CHI 99)*, pp. 378-385. ACM Press.
- [Rekimoto, 2001b] Rekimoto, J., Ullmer, B., and Oba, H. (2001b). “DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp. 269-276. ACM Press.
- [Rekimoto, 1996] 暦本純一 (1996). 「実世界指向インタフェースの研究動向」. *コンピュータソフトウェア*, 13(3) pp.4-18.
- [RFIDテクノロジー編集部, 2004] RFIDテクノロジー編集部 (編) (2004). 『無線ICタグのすべて』. 日経BP社.
- [Rupert, 2000] Rupert, A. H. (2000). “Tactile situation awareness system: proprioceptive prostheses for sensory deficiencies”. In *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71, pp. 92-99.
- [Saitou, 2002] 斎藤真希子・佐藤洋一・小池英樹 (2002). 「Perceptual Glove: 多視点画像に基づく手形状・姿勢の実時間入力とその応用」. *情報処理学会論文誌*, 43(1) pp.185-194.
- [Sakamura, 2002] 坂村健 (2002). 『ユビキタス・コンピュータ革命』. 角川書店.
- [Schilit, 2002] Schilit, B. N., Hilbert, D. M., and Trevor, J. (2002). “Context-aware communication”. *IEEE Wireless Communications*, 9(5) pp.46-54.
- [Shneiderman, 1997a] Shneiderman, B. (1997a). *Designing the User Interface*. Addison Wesley.
- [Shneiderman, 1997b] Shneiderman, B. and Maes, P. (1997b). “DEBATE: Direct Manipulation vs Interface Agents”. *interactions*, 4(6) pp.42-61.
- [Sii, 2000] 椎尾一郎 (2000). 「実世界指向インタフェースの技術展望」. *ヒューマンインタフェース学会誌*, 2(2) pp.40-43.



- [Siiio, 1999] Siiio, I., Masui, T., and Fukuchi, K. (1999). “Real-world Interaction using the FieldMouse”. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 99)*, pp. 113–119. ACM Press.
- [Siiio, 2002] 椎尾一郎・山本吉伸 (2002). 「コミュニケーションツールのための簡易型 AR システム」. コンピュータソフトウェア, 19(4) pp.2–9.
- [Siiio, 2003] 椎尾一郎・安村通晃・福本雅明・伊賀聡一郎・増井俊之 (2003). 「モバイル&ユビキタスインタフェース」. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 5(3) pp.313–322.
- [Sonoda, 2001] 園田智也・村岡洋一 (2001). 「空中での手書き文字入力システム-ウェアラブルコンピュータ環境での入力インターフェース-」. 『インタラクション 2001 論文集』, pp. 3–10.
- [Sony, 1999] Sony (1999). “Sony AIBO Official Site”.  
<http://www.jp.aibo.com/>.
- [Starner, 2000] Starner, T., Auxier, J., Ashbrook, D., and Gandy, M. (2000). “The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring.”. In *Proceedings of 4th International Symposium on Wearable Computers(ISWC'2000)*, pp. 87–94. IEEE Computer Society Press.
- [Starner, 1997] Starner, T., Weaver, J., and Pentland, A. (1997). “A Wearable Computer Based American Sign Language Recognizer”. In *Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers(ISWC 97)*, pp. 130–137. IEEE Computer Society Press.
- [Streitz, 1999] Streitz, N. A., Geissler, J., Holmer, T., Konomi, S., Müller-Tomfelde, C., Reischl, W., Rexroth, P., Seitz, P., and Steinmetz, R. (1999). “i-LAND: An interactive Landscape for Creativity and Innovation”. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 99)*, pp. 120–127.
- [Sumi, 1999] 角康之 (1999). 「情報可視化システムにおける適応的インタラクション」. 人工知能学会誌, 14(1) pp.33–40.
- [Sutherland, 1963] Sutherland, I. E. (1963). *SKETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*. Spartan Books.
- [Takeo, 2000] 竹尾 (編) (2000). 『RE DESIGN 日常の 21 世紀』. 朝日新聞社.
- [Tan, 1997] Tan, H. Z. and Pentland, A. (1997). “Tactual Displays for Wearable Computing”. *Personal Technologies*, 1 pp.225–230.

- [Tarumi, 1999] Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M., and Kambayashi, Y. (1999). “SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application”. In *Proceedings of International Conference on Multimedia Computing and Systems(ICMCS 99)*, volume 1, pp. 207–212.
- [Tsukada, 2002] 塚田浩二・安村通晃 (2002). 「Ubi-Finger:モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究」. *情報処理学会論文誌*, **43**(12) pp.3675–3684.
- [Ullmer, 1998] Ullmer, B., Ishii, H., and Glas, D. (1998). “mediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media”. In *Proceedings of SIGGRAPH 98*, pp. 379–386. ACM Press.
- [Underkoffler, 1999] Underkoffler, J. and Ishii, H. (1999). “Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design”. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 386–393. ACM Press.
- [van Erp, 2000] van Erp, J. B. F. (2000). “Tactile Navigation Display”. In *Proceedings of the First International Workshop on Haptic Human-Computer Interaction*, pp. 165–173. Springer Publications.
- [van Veen, 2000] van Veen, H. A. H. C. and van Erp, J. B. F. (2000). “Tactile information presentation in the cockpit”. In *Proceedings of the First International Workshop on Haptic Human-Computer Interaction*, pp. 174–181. Springer Publications.
- [Vodafone, 2003] Vodafone (2003). “Vodafone Station”.  
<http://www.vodafone.jp/japanese/live/station/>.
- [Want, 1999] Want, R., Fishkin, K. P., Gujar, A., and Harrison, B. L. (1999). “Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 99)*, pp. 370–377. ACM Press.
- [Want, 1992] Want, R., Hopper, A., Falcao, V., and Gibbons, J. (1992). “The Active Badge Location System”. *ACM Transactions on Information Systems*, **10** pp.91–102.
- [Want, 1995] Want, R., Schili, B. N., Adams, N. I., Gold, R., Petersen, K., Goldberg, D., Ellis, J. R., and Weiser, M. (1995). “An overview of the PARCTAB ubiquitous computing experiment”. *IEEE Personal Communications*, **2**(6) pp.28–33.
- [Weiser, 1991] Weiser, M. (1991). “The Computer for the 21st Century”. *Scientific American (International Edition)*, **265**(3) pp.66–75.
- [Weiser, 1993] Weiser, M. (1993). “Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing”. *Communications of the ACM*, pp. 75–84.

- [Weiser, 1997] Weiser, M. and Brown, J. S. (1997). “The Coming Age of Calm Technology”. *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*, pp. 75–85.
- [Wellner, 1993a] Wellner, P. (1993a). “Interacting with paper on the DigitalDesk”. *Communications of the ACM*, **36**(7) pp.86–97.
- [Wellner, 1993b] Wellner, P., Mackay, W., and Gold, R. (1993b). “Back to the real world”. *Communications of the ACM*, **36**(7) pp.24–27.
- [Xybernaut, 2002] Xybernaut (2002). “Poma”.  
[http://www.xybernaut.com/Solutions/product/poma\\_product.htm](http://www.xybernaut.com/Solutions/product/poma_product.htm).
- [Yamamoto, 2002] 山本哲正・泉隆・白銀暁・小島悟・田中敏明・井野秀一・伊福部達 (2002). 「振動触覚刺激による二次元方位知覚特性」. 『ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集』, pp. 21–24. (in Japanese).
- [Yasumura, 2003] 安村通晃 (2003). 「ヒューマンコンピュータインタラクションの現状と将来」. システム/制御/情報, pp. 159–164.
- [Yasumura, 1996] 安村通晃・今野潤・八木正紀 (1996). 「マルチモーダルプラットフォーム MAI の構築に向けて」. コンピュータソフトウェア, **13**(3) pp.28–37.
- [Yoshikawa, 2003] Yoshikawa (2003). “Yoshikawa RF Systems LED-TAG”.  
<http://www.yrsc.co.jp/pdf/LEDTAG-J2.pdf>.
- [ZigBee, 2005] ZigBee (2005). “ZigBee Official Site”.  
<http://zigbee.org>.
- [Zimmerman, 1996] Zimmerman, T. G. (1996). “Personal Area Networks: Near-field intrabody communication”. *IBM Systems Journal*, **35**(3&4) pp.609–617.
- [Zimmerman, 1986] Zimmerman, T. G., Lanier, J., Blanchard, C., Bryson, S., and Harvill, Y. (1986). “A Hand Gesture Interface Device”. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI 86)*, pp. 189–192. ACM Press.

URL は 2005 年 2 月現在

# 付録 A

## RFID 技術の概要

### A.1 はじめに

近年「RFID」「無線 IC タグ」「ゴマ粒チップ」といった言葉が一般の新聞や雑誌の見出しを頻繁に躍らせるようになって来た。RFID は、一言で言うなら、現実世界のさまざまなモノに電子的な ID を割り当て、デジタル情報と結びつけることができるシステムである。基本的な機能はとてもシンプルだが、この ID をネットワーク上のデータベースと結びつけることで、モノを一意に特定できるため、さまざまな応用が可能になる。

たとえば、物流業界では、RFID を高機能なバーコードとして期待しており、物流を効率化し、コストを削減する手段であると考えている。また、RFID を用いた電子乗車券・電子マネーシステムである JR 東日本の Suica<sup>1</sup> は、発売後三年間で 800 万枚以上普及している。

さらに、RFID の可能性は、こうしたバーコードやチケットの代替だけには留まらない。RFID を用いて日常生活のさまざまなモノを電子的にリンクすることで、現実世界と仮想世界を結びつけた新しいインタフェースやサービスを提供できる可能性がある。こうした理由から、RFID は次世代のユビキタス・コンピューティング環境の基盤技術としても期待されている。

このように、RFID の基本的な概念や、技術的な要素、及び発展性などを正しく理解することは、ユビキタス・インタフェースを構築において非常に重要な要素になる。ここでは、こうした RFID の概要について、詳しく説明する。

### A.2 RFID の概要

RFID(Radio Frequency IDentification) とは、「カード状またはタグ状の媒体に、電波を用いてデータを記録または読出しを行い、アンテナを介して通信を行う認識方法」

---

<sup>1</sup><http://www.jreast.co.jp/suica>

<sup>2</sup> のことである。一言でいうなら「通信媒体に電波を用いた ID システム」ともいえる。

RFID システムは、「タグ」と「リーダー/ライター」を中心として構成される (図 A.1)。

タグは、主に 0.4~1mm 角程度の小さな半導体チップとアンテナから構成される (図 A.2)。半導体チップにはメモリが搭載され、特定の ID などを格納する媒体として機能する。RFID タグには、電池を内蔵しないパッシブタイプと、電池を内蔵するアクティブタイプが存在する他、無線周波数帯や機能、形状などの面で、さまざまな種類がある。こうした RFID タグの種類については後述する。

リーダー/ライターはタグ内のメモリから ID などの読み取り/書き込みを行うための装置である。通信処理を行う半導体チップや、電波を通して通信するためのアンテナ、及び PC などの上位のシステムと接続するためのポート (シリアル, USB, 無線 LAN など) から構成される。

リーダー/ライターから、アンテナを介してタグに無線でコマンドを送信することで、タグ内のメモリに対してデータ (ID など) を読み込み/書き込みすることができる。

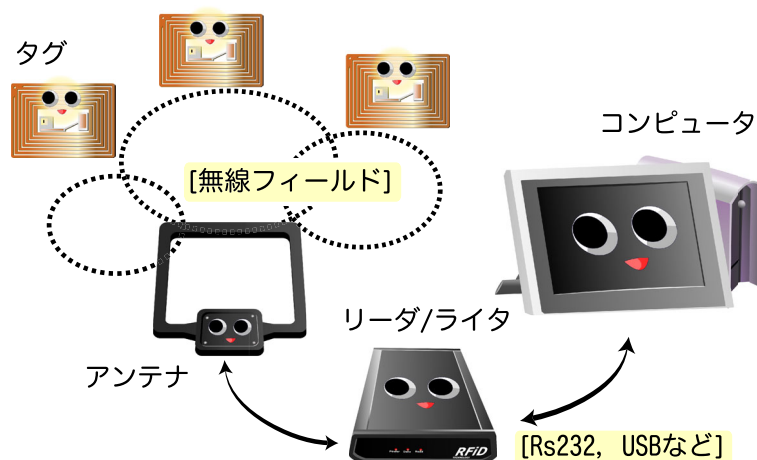


図 A.1: RFID システムの構成

実際に、リーダー/ライターがタグの ID を読み取る流れは以下のようになる。ここでは、電池を内蔵しないパッシブタグを想定している。

1. コンピュータなどの上位システムから、リーダー/ライターにコマンド [タグ ID の連続読取] を送る。
2. タグがリーダー/ライターの発生する無線フィールド内に入ってくる。
3. 無線信号により、タグに電力が供給される。
4. 無線信号を介してコマンドが送信され、タグはコマンドを受け取る。

<sup>2</sup>日本自動認識システム協会の定義より引用, <http://www.jaisa.or.jp/about/>

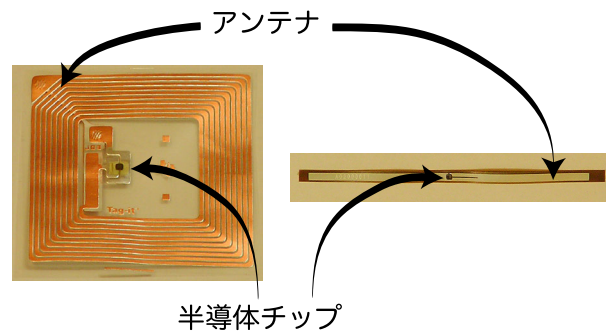


図 A.2: RFID タグの構造

5. タグがコマンドを解釈し、自分の持っている ID データを無線信号で送信する。
6. リーダー/ライターは ID データを受け取り、コンピュータに送信する。
7. コンピュータでは、その ID データを内部のテーブル（あるいはネットワーク上のデータベース）と照合し、特定の操作を実行する。

こうした手順を繰り返すことで、リーダー/ライターとタグの間でデータ通信が行われる。

一連の流れはそれほど複雑なものではないが、「RF 信号により、タグに電力が供給される」部分については、電氣的な知識がないと疑問を感じる部分である。次に、RFID タグがなぜ電池なしで動作するのかについて説明する。

### A.3 RFID タグの動作原理

タグが RF 信号から電力を供給される原理は、使用する周波数帯によって異なる。13.56MHz 以下の低い周波数では「電磁誘導方式」を、UHF 帯や 2.45GHz 帯では「マイクロ波方式」を利用する。

「電磁誘導」方式では、コイル間の誘導起電力を用いて、電流を発生させる。まず、リーダーのアンテナ（コイル）に電流が流れると、コイルに対して垂直方向に磁界が発生する。次に、この磁界をタグ側のアンテナ（コイル）が受けると、コイルに起電力が発生し、電流が流れる。さらに、リーダーから送られる電磁波には、特定のデータ（コマンド）が変調されて載せられており、タグはアンテナで発生した電流で半導体チップを駆動し、データ成分を取り出す。

「マイクロ波方式」の場合は、アンテナを利用して電流を発生させる。この動作は、「鉱石ラジオ」（電池を内蔵しないのにラジオが聞ける装置）とよく似ている。鉱石ラジオでは、アンテナで空気中の電波を拾い、そこから電流（音声信号）を取り出す。マイクロ波方式のタグでは、鉱石ラジオとは異なり、一定の周波数帯の電波のみを受信

するようになっている。そして、受信した電波から電流（データ信号）を取り出し、半導体チップでデータ成分を取り出している。

次に、RFID タグのさまざまな種類について説明する。

## A.4 RFID タグの種類

RFID タグには、利用する無線周波数帯や、形状、機構、機能などの面で、さまざまな種類が存在する。ここでは、RFID タグの種類や、それぞれの特徴について詳しく説明する。

### アクティブタグとパッシブタグ

まず、一つ目の大きな違いとして、タグに電池を内蔵するかどうか、という点が挙げられる。前節でも紹介したとおり、RFID タグは非電源で動作することが一つの大きな特徴となっているが、実際には電池を内蔵しているタグも存在する。電池を内蔵していないタグは「パッシブタグ」、電池を内蔵しているタグは「アクティブタグ」と呼ばれる（図 A.3、図 A.4、図 A.5）。

パッシブタイプの RFID システムでは、リーダーからの電磁誘導やマイクロ波を用いてタグに電源を供給し、同時に ID などを読み書きする。タグの読取可能範囲（リーダーのアンテナからの距離）は、数 cm ~ 最大数 m 程度となる。パッシブタグは一般的に小型化・薄型化が容易で、タグが物理的に破損しない限り、半永久的に利用することができる。

アクティブタイプの RFID タグは、電池を内蔵しており、タグ自身が微弱無線などで一定時間（1 秒 ~ 数分程度）おきに ID を発信する。ID の読取可能範囲は数 m ~ 最大数十 m 程度となり、パッシブタイプと比較して大幅に広がる。一方、内蔵する電池のため、タグの小型化は難しく、コストも高くなる。また、3 ~ 5 年程度の電池寿命<sup>3</sup>があるため、永久に使えるわけではない。

近年、物流や電子マネーなどの分野で話題になっているタグのほとんどはパッシブタイプのものであり、今後もパッシブタグが主流となると考えられる<sup>4</sup>。一方、RFID を用いて新しいサービスやインタフェースを開発するという点で考えると、両タイプでは特に ID の読み取り可能範囲が大きく異なるため、システムの目的（どれくらいの範囲のタグを認識対象とするか）に応じて使い分ける価値がある。たとえば、何かを「置く」とインタラクションが起きるようなシステムでは、パッシブタイプのタグを用いる方がよいし、ユーザが一定の場所に「いる」ことを認識するシステムでは、アクティブタイプのタグを用いる方が適切な場合が多いと考えられる。

<sup>3</sup>電池寿命は通信頻度などにより異なる

<sup>4</sup>なお、これら二種類の他に、最近ではセミパッシブ・タイプという種類も登場している。これはパッシブタイプと同様に、リーダーからの通信にタグが応答する形を取るが、電池を内蔵することで通信距離を 1m ~ 数 m 程度に伸ばすことができる。

<sup>5</sup>[http://www.tij.co.jp/jmc/docs/tiris/products/evalu/document/lf\\_k3a-001a.pdf](http://www.tij.co.jp/jmc/docs/tiris/products/evalu/document/lf_k3a-001a.pdf)

<sup>6</sup>[http://www.rfcode.com/spider\\_readers.asp](http://www.rfcode.com/spider_readers.asp)

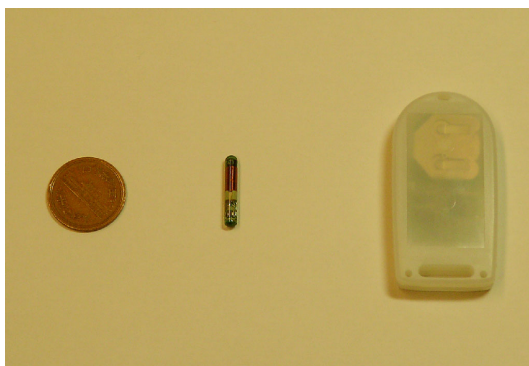


図 A.3: アクティブタイプ, パッシブタイプのタグの例 中央:パッシブタイプのタグ (135KHz 帯), 右:アクティブタイプのタグ

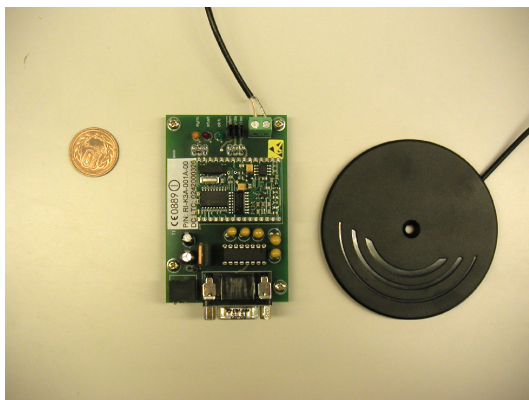


図 A.4: パッシブタイプのリーダーの例 (Texas Instruments S2000 Micro Reader <sup>5)</sup>)

## アンチ・コリジョン

二つ目の大きな違いとしては、複数のタグを同時読取できるか、という点がある。この機能を実現する仕組みを、「アンチ・コリジョン」と称する。複数のタグの同時読取機能は、バーコードと比較した場合の RFID システムの利点として頻繁に取り上げられるが、アンチ・コリジョン機能が搭載されていない場合は、一度に読み取れるタグは一つだけになる。この場合、同時に二つ以上のタグが読み取り可能範囲にあると読取エラーになる。

次に、アンチ・コリジョン機能の動作について、簡単に説明する。アンチ・コリジョン機能を持つ RFID システムにおいても、実際には複数のタグを一括して読み込んでいるわけではない。同時に複数のタグを検出した場合に衝突を検知する機能が働き、検索条件を指定して再度検索を行うようになっている。たとえば、13.56MHz 帯の RFID システムなどで一般的に利用されている、ALOHA 方式のアンチ・コリジョン機能の





図 A.5: アクティブタイプのリーダー (RF Code Spider Reader<sup>6</sup>)

動作は以下のようなになる (図 A.6) .

1. まず, リーダーはタグのメモリ内の特定のビット (1 ~ 4bit 程度) を「タイムスロット」として指定する .
2. タグは, タイムスロットのデータに応じて, 応答のタイミングをずらす . たとえば 2bit のタイムスロットを利用する場合, 「00, 01, 10, 11」の四種類のデータ毎に, 異なるタイミングでリーダーに応答を返す .
3. 各タイミングごとに, 同時に応答したタグが一つの場合, そのタグのデータは正常に受信することができる . リーダーはそのタグに対して, 一定時間応答しないスリープ状態にするコマンド (Sleep/Mute) を送信する .
4. 各タイミングごとに, 同時に複数のタグが応答した場合, 衝突 (コリジョン) が検知される . この場合, メモリ内の別の 2 ビットをタイムスロットとして, 2 の処理を繰り返す .
5. コリジョンを起こさずに全てのタグが読み取れば, 最後にリーダーはタグをスリープ状態から復帰させるコマンド (Wake Up) を送信し, 一連の処理を終了する .

このように, アンチ・コリジョン機能を搭載した RFID システムでは, 同時に読み取れるタグが一つになるまで, 何度もタイムスロットを変更して, 再検索を繰り返す . よって, (1) 一定個数のタグを読み取る場合でも, 全てのタグを読み取るまでにかかる速度は異なる, (2) 一度に読み込むタグの数が増えると, 読取にかかる時間は単純計算以上に増加する, といった特徴が生まれる .

アンチ・コリジョン機能は, 高度なバーコードとしての役割を期待されている物流の世界では欠かせないものである . たとえば, スーパーで商品をカートに入れたまま会計できる, といった類のシナリオを実現するためには, アンチ・コリジョン機能が

必須となる。一方、Suicaのような電子マネーや認証用途に使われている RFID システムの場合、同時に複数タグの認識を行うことは、誤動作を発生させる要因ともなるので、アンチ・コリジョン機能を搭載していないケースもある。

また、アンチコリジョン機能を持つ RFID システムは、未搭載のシステムよりも一般に価格が高くなる。個人ユーザが RFID システムを作る場合においては、複数の ID を同時に認識する必要がなければ、アンチ・コリジョン機能を搭載しないリーダーを選択してもよいであろう。

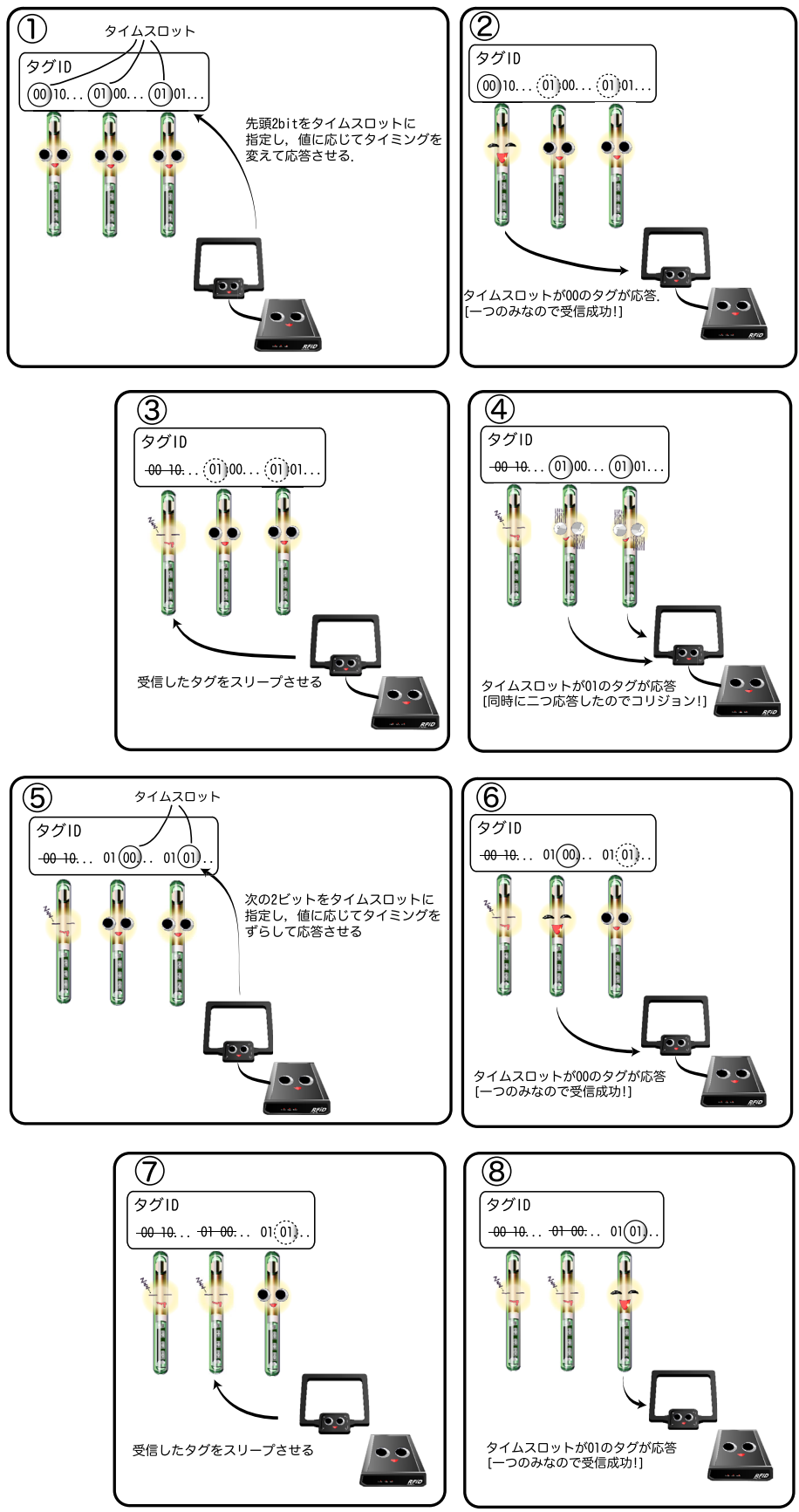


図 A.6: アンチ・コリジョン機能の動作の流れ

## 利用する無線周波数帯

次に、RFID システムで利用される無線周波数帯について説明する。前節では、周波数帯によってタグへの電力の供給方法が異なることを説明したが、それ以外にもさまざまな一長一短の特徴が存在する。ここでは、RFID システムで主に利用される、125k ~ 135kHz 帯、13.56MHz 帯、2.45GHz 帯、860M ~ 960MHz 帯 (UHF 帯) の四つの周波数帯について、それぞれの特徴や利用形態をまとめる。

### 125k ~ 135kHz 帯

125kHz ~ 135kHz 帯を利用する RFID システムは、1980 年代から工場の FA 分野などで利用されており、最も歴史のある RFID システムである。無線通信には電磁誘導方式を利用し、電池を内蔵しないパッシブタイプが基本となる。この帯域のタグは、心棒状に巻いたコイルをアンテナとして利用する (図 A.7)。このため、タグのコストは他の帯域に比べて高くなる<sup>7</sup>。たとえば、100 万個オーダーの場合でも 1 個あたり 100 円程度までしか下がらないとされる。通信可能距離は最大で 1m 程度となる。この帯域の利点としては、無線の指向性が広いため障害物を回り込みやすく、金属や水などの影響を比較的受けにくい点が挙げられる。逆に欠点としては、生活ノイズ (蛍光管のインバータ・ノイズなど) の影響を受けやすい点や、通信速度が遅い点が挙げられる。

こうした特長などから、125kHz ~ 135kHz 帯のタグは、金属や水分を多く含むものに対して頻繁に利用される。たとえば、「スキー場のリフト券 (電子チケット)」、「回転寿司の皿 (精算用)」、「家畜への埋め込み (生産管理など)」、「人体への埋め込み (認証用途など)」、「イモビライザー (自動車の盗難防止装置)」などに活用されている。

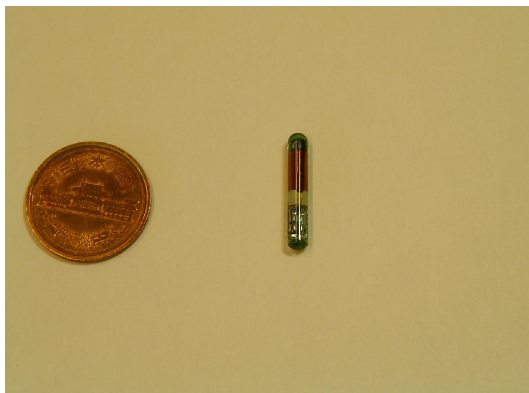


図 A.7: 125kHz ~ 135kHz 帯の RFID タグ (Texas Instruments TI-RFID トランスポンダ<sup>8</sup>)

<sup>7</sup>13.56MHz 帯以上のタグではフィルム上にアンテナを形成することが一般的である。

<sup>8</sup><http://www.tij.co.jp/jmc/docs/tiris/products/transponders/grass/>

### 13.56MHz 帯

13.56MHz 帯を利用する RFID システムは、現在最も幅広く利用されている。無線通信には電磁誘導を利用し、電池を内蔵しないパッシブタイプの利用が中心となる。125k ~ 135kHz 帯と同様に、タグには電磁誘導のためのアンテナコイルが必要となるが、周波数帯が高い分コイルの長さが短くてすむため、フィルム上にアンテナを形成することができる(図 A.8)。このため、タグのコストは大幅に安くなる。現時点では 100 個オーダーでも 100 円程度の価格で入手することができ、100 万個オーダーで 10 数円、1 億個オーダーでは 10 円程度まで下がるといわれている。小売店で売られている全ての製品にタグをつけるためには、5 円程度の価格が一つの目安と考えられているが、将来的にはこの価格も達成可能と見込まれている。通信距離は最大で 1m 程度となる。この帯域のタグは、125kHz ~ 135kHz 帯のタグと比較すると生活ノイズに強くなる。一方、磁界が金属に遮られてしまうため、タグが金属に密着したり、タグとリーダーの間に金属が入ると通信が難しくなるという欠点を持つ。

こうした特長などから、13.56MHz 帯のタグは、多数のタグを利用する必要がある商品管理システムなどに利用されることが多い。たとえば、図書館における書籍管理や、小売店などでの商品管理(主に実証実験段階)などに利用されている。さらに、Suica や Edy などに採用されているソニーの FeliCa 規格でも、この周波数帯が利用されており、現時点では最も幅広く利用されている周波数帯域といえる。

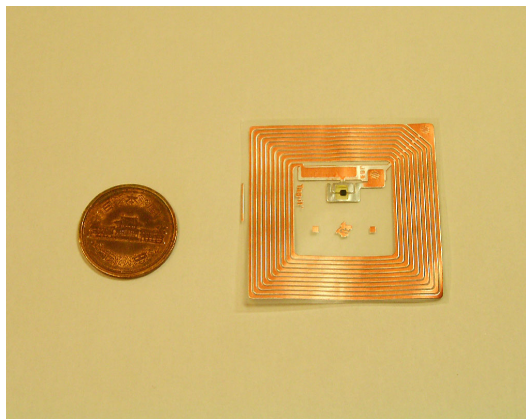


図 A.8: 13.56MHz 帯の RFID タグ (Texas Instruments Tag-it<sup>9</sup>)

### 2.45GHz 帯

2.45GHz 帯を利用する RFID システムは、ここ数年で認知度の高まったものである。この帯域は無線 LAN や Bluetooth、電子レンジなどで利用されるため、利用環境によっては干渉が生じる問題があるが、現在は周波数ホッピング (FHSS: Frequency Hopping

<sup>9</sup><http://www.tij.co.jp/jmc/docs/tiris/products/transponders/tagit/>

Spread Spectrum) 方式<sup>10</sup> の採用などが認められたため、電波干渉は回避しやすくなっている。

無線通信には、マイクロ波方式を利用しており、パッシブ・タイプとセミパッシブ・タイプが存在する。2.45GHz 帯のタグでは、ポール状(ダイポール)のアンテナを利用する。アンテナは6cm程度の長さで、フィルム上に実装することが可能であり、価格は13.56MHz帯とほぼ同等程度に安価となる(図A.9)。通信距離は最大で約2mとなる。2.45GHz帯のタグの利点としては、アンテナの性質上、タグやリーダー/ライターの形状を小型化しやすい点が挙げられる。一方、欠点としては、電波が水に吸収されやすい点、電波の直進性が高いため障害物に弱い点などが挙げられる。たとえば、タグとリーダーの間に、水分を多く含む人や木材などが入ると、タグを認識できなくなる可能性がある。また、金属に対しては電波が反射してしまうため、金属の陰に隠れたタグが認識できなかったり、逆に予想外の位置のタグを認識してしまったりすることがある。

2.45GHz帯のタグは、まだ実際に利用されている分野は少ないが、通信距離の長さやタグとリーダー/ライターの小ささから、今後の発展が期待されている。

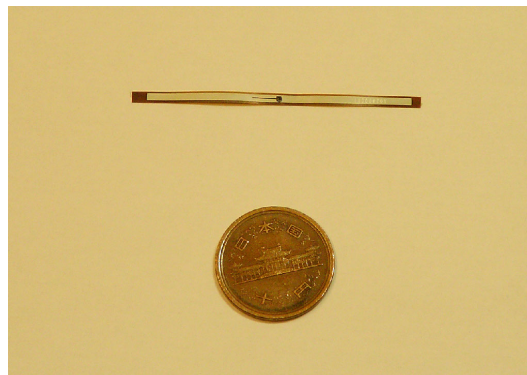


図 A.9: 2.45GHz 帯の RFID タグ (日立製作所,  $\mu$ チップ<sup>11</sup>)

### 860MHz 帯 ~ 960MHz 帯 (UHF 帯)

860MHz 帯 ~ 960MHz 帯 (UHF 帯) の RFID システムは、最も新しく登場したもののだが、欧米の大手流通企業の実証実験で相次いで採用されるなど、急速に注目度が高まっている。無線通信には、マイクロ波方式を利用しており、パッシブ・タイプとセミパッシブ・タイプが存在する。UHF 帯の利点は、通信距離が最大 5m 程度と最も長い点である。加えて、2.45GHz 帯に比較した場合は、電波が回折しやすいため、障害物を回り込みやすい点も長所となる。逆に欠点としては、タグのサイズがかなり大きく

<sup>10</sup>利用する周波数帯をいくつかのチャンネルに分割し、一定の周期で周波数を切り替えながら(ホッピング)、通信を行う方式。電波干渉がある場合に、通信チャンネルを切り替えることで回避が期待できる。

<sup>11</sup><http://www.hitachi.co.jp/Prod/mu-chip/jp/>



なる点が上げられる。具体的には、ポール状(ダイポール)のアンテナで約 16cm 程度と、2.45GHz 帯のアンテナの 3 倍弱の長さが必要になる。また、日本では電波法の関係上、現時点では UHF 帯のタグは利用することができない(2004 年現在)<sup>12</sup>。

UHF 帯のタグは、アメリカでは既に空港のコンテナ管理などに利用されている。また、大手流通企業の実証実験でも採択されるなど、特に物流の分野における発展が期待されている。

## さまざまなタグの形状

RFID タグには、用途に応じてさまざまな形状が存在する。ここでは、特徴的な形状とその性質について、簡単に説明する(図 A.10)。

### インレイ型

RFID のチップ+フィルム上に形成されたアンテナを、何も加工していない状態である。最も安価で、形状も薄いため扱いやすい点が特徴である。一方、衝撃や汚れに弱いので、貼り付けるモノや場所には注意が必要となる。

### ガラス・樹脂封入型

RFID のチップ+アンテナをガラスや樹脂に封入した状態である。インレイ型と比べると価格は上がるが、衝撃や汚れに強く、悪環境下での利用に適している。

### カード型

RFID のチップ+アンテナを、カード型のプラスチックや樹脂に封入した状態である。衝撃に強く、持ち運びやすいため、主に認証用の ID カードや電子チケットなどに利用される。

### 金属対応型

RFID タグは、基本的に金属と密着した状態では、正常に通信を行うことができない。金属対応型タグは、非導電体(フェライトなど)をタグの背面にはさみこんだり、金属面と距離をとることで、金属面にそのまま貼り付けても動作可能な状態としている。

---

<sup>12</sup>2005 年には電波法が改正され、UHF 帯も利用可能になると見込まれている。

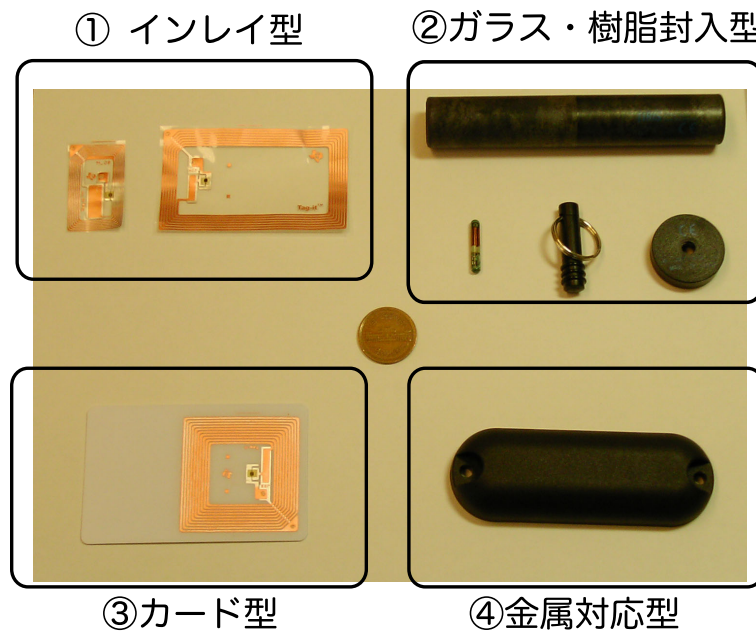


図 A.10: さまざまな形状の RFID タグ



## 読み込み・書き込み機能

RFID タグには、タグが読み取り専用か、書き換え可能かという点について、「リードオンリー」、「ライトワンス」、「リード・ライト」という、主に三つの種類が存在する。リードオンリータグは、その名の通り読み込み専用で、タグに情報を書き込むことはできない。64～128bit 程度の ID をメモリに内蔵しており、上位システム（コンピュータなど）で特定の情報とリンクする使い方が一般的である。利用方法は多少制約を受けるが、タグのコストは最も安くなる。ライトワンスタグは、一度だけ書き込みを行うことができるタグである。主に、メーカーなどで工場出荷時に特定の ID や関連情報を書き込む使い方をされる。リード・ライトタグは、何度でも書き込みができるタグである。タグには数 10 バイト～数 10K バイトのメモリが搭載されており、タグの ID だけでなく、関連情報などを随時書き込むことができる。

なお、タグに情報を書き込む際には、読み込む際と比較して、かかる時間はより長く、通信距離はより短くなる。これは、タグに内蔵されているメモリ（EEPROM）が、読み込みより書き込みのほうが時間がかかり、高い電力を必要とするためである。

これらのタグの種類も、RFID をどのような目的に使うかに応じて使い分けられる。たとえば、電子マネーなどの分野においては、タグ自体にも残高などの情報を持たせ方が都合が良いため、リード・ライトタグが適している。一方、物流分野などでは、タグのコストを重視し、リード・オンリータグを採用することも多くなっている。

## 暗号化

一部の RFID タグには、暗号化を行う専用のチップが搭載されており、ID やメモリの内容を暗号化して、安全に通信できる仕組みが実現されている。こうした暗号化機能は、Suica に代表されるような電子マネー用途の RFID タグにとっては、安易な情報の読取/書替えを防ぐという点で重要となる。また、後述するプライバシー問題の対策としても暗号化機能は期待されている。一方、暗号化機能を搭載するとタグ自体のコストが上がるため、物流業界などでは必ずしも導入に積極的ではないようだ。

## A.5 RFID の関連技術

ここでは、RFID の関連技術について紹介する。RFID の基本的な特性は、タグを貼り付けた「モノ」の認識を行う技術という点にある。一方、多数のタグを一定間隔で道路に埋め込み、人がリーダーを持ち歩けば、「位置」を認識する技術としても利用できる。ここでは、「モノ」の認識技術と「位置」の認識技術という視点から、RFID の関連技術について紹介する。

まず、モノの認識を行うための関連技術としては、バーコードや画像処理による物体認識が挙げられる。ここでは、最も幅広く普及している技術であるバーコードについて紹介し、RFID との比較について取り上げる。バーコードの種類は、「一次元コード」と「二次元コード」に大きく分けることができ、さらにそれぞれについて複数の

規格が存在する (図 A.11)。

一次元のバーコードは、最大でも数十バイト程度の容量しか扱うことができないが、現時点では最も幅広く普及している ID システムであり、書籍や CD、情報機器など身の回りのさまざまな製品に標準添付されている。一次元のバーコードの代表的な規格としては、市販のほとんどの書籍につけられている ISBN( International Standard Book Number) や、米国製の CD や DVD、電化製品などに利用されている UPC( Universal Product Code)、ヨーロッパや日本製の CD や DVD、ゲームや電化製品などに幅広く利用されている EAN(European Article Number) /JAN(Japanese Article Number) などが挙げられる。

二次元のバーコードは、一次元バーコードよりも扱えるデータが大きく、最大数 K バイトの容量を持つ。一次元バーコードほど幅広く利用されているわけではないが、最近ではカメラ搭載携帯電話が二次元バーコードリーダーとして機能するようになったこともあり、二次元バーコードを使った新しいサービスが登場しつつある。たとえば、週刊誌の店舗紹介記事などに二次元バーコードが載せられるようになったり、任意の URL を短縮し、二次元バーコードとして印刷できるサービス<sup>13</sup> も登場している。二次元バーコードとして代表的なものは、デンソーにより開発された QR コード<sup>14</sup> などが挙げられる。

RFID と比べた場合のバーコードの最大の特徴は、作成にほとんどコストがかからず、個人でも簡単に印刷することができる点である。一方、バーコードに対する RFID の利点としては、(1) 電波で離れた位置 (最大 5m 程度) から情報を取得できる、(2) 電波の届く範囲なら間に障害物があっても通信可能、(3) 一度に複数のタグを認識できる (アンチ・コリジョン機能を搭載する場合)、(4) タグ情報の書込みができる、(5) タグのメモリ容量が多い (最大数 10k バイト)、(6) 汚れや傷に強い、(7) 暗号化などの高度な機能を持たせられる、などが挙げられる。

このように、コスト以外の点では、RFID はバーコードに対してさまざまな有利な特徴を持っており、広い範囲の応用可能性を期待させる技術である。

次に、ユーザの位置の認識を行う関連技術について説明する。屋外での位置を取得する技術としては、GPS(Global Positioning System) が一般的である。GPS は三つ以上の衛星を用いて、地表上の位置情報を取得する技術として、既に幅広く実用化されているが、ビルの谷間や、地下、屋内などでは利用が困難である。そこで、こうした屋内などでの位置情報取得手段として、赤外線や超音波、無線 LAN 電波などを用いた手法が提案されており、RFID の利用も検討されている。この場合、(1) 一定間隔ごとに地面にタグを埋め込んでおき、ユーザがリーダーを持ち歩く場合と、(2) リーダーを地面の特徴的な場所 (部屋の入り口など) に仕込んでおき、ユーザがタグを持ち歩く場合が存在する。前者の場合は、ユーザの位置をかなり正確に知ることができるが、タグの埋め込みなどにコストがかかり、リーダーを持ち歩く煩わしさがある。後者の場合は、ユーザの大まかな位置を知ることしかできないが、コストやユーザの利便性の点で有利である。こうした RFID を用いた位置情報サービスは、まだ研究段階を出て

<sup>13</sup><http://qrl.jp/>

<sup>14</sup><http://www.qrcode.com/>



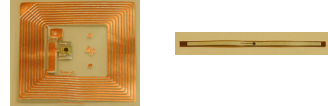


バーコード		RFID
1次元	2次元	
EAN/JAN  4 519590 000063	QR Code 	
UPC  0 37429-0213-3 0		
ISBN  9784822221140		
-作成コストが安い/手軽(ほぼ無料) -さまざまな製品に標準添付	-作成コストが安い/手軽(ほぼ無料) -カメラ付き携帯から利用可能	-遠距離/物陰でも利用できる(最大数m程度) -一度に複数のタグを認識できる -情報の書込みができる -情報量が多い(最大数十Kバイト)
-情報量が少ない(最大数十バイト)	-情報量がやや少ない(最大数Kバイト)	-コストが高い(数十円~数百円)

図 A.11: バーコードとRFID の代表例と特徴

はないが、将来的な可能性を持つサービスといえる。

## A.6 標準化

次に、RFID タグの標準化の動向について説明する。RFID は、当初は各メーカーが独自のプロトコルや ID 体系を用いて展開してきたため、スケーラビリティに欠け、大規模なシステムでは運用しにくい問題があった。物流業界などでの大幅な普及が予測されていることもあり、現在、標準化作業が急速に進められている。RFID 関連で標準化が進められている要素としては、(1) タグとリーダー間の通信プロトコル、(2) タグ ID の共通フォーマットとデータの検索機構、の二種類が存在する。ここではそれぞれの標準化動向について説明する。

### 通信プロトコルの標準化

タグとリーダー間の通信プロトコルの標準規格は、国際的な標準化組織である ISO(International Organization for Standardization) により策定されている。現在、既に確定されている規格としては、「ISO14443」と「ISO15693」の二つが挙げられる。これらは、ともに 13.56MHz 帯を利用する。ISO14443 は、電子マネーなどセキュリティに高い配慮を必要とする用途を前提とした RFID/非接触 IC カードに関する通信規格である。TypeA (IC テレホンカードなど)、TypeB (住民基本台帳カードなど)、TypeC (仮称、FeliCa 規格) の主に三種類が存在する。ISO15693 は、商品などのタグとして利用することを前提とした通信規格である。メモリの読み書きなどの基本的なコマンドのみを規定しており、暗号化などのセキュリティ機能は用意されていない。

また、これらの規格に加えて、125k ~ 135kHz 帯、2.45GHz 帯、UHF 帯なども含めた幅広い無線周波数帯をカバーする「ISO18000」という標準規格の策定も進められている。

### タグ ID の共通フォーマットと検索機構

一方、タグ ID の標準化を進める機構としては、EPC-Global とユビキタス ID センターが存在する。ここでは、両者の概要やアプローチの特徴について説明する。

EPCglobal<sup>15</sup> は、アメリカの流通コード機関である Uniform Code Council(UCC) 社、バーコードなどの標準化団体である EAN International 社によって 2003 年 9 月に設立された非営利団体である。MIT 内に設立された AutoID Center を前身としており、そこで開発された商品コード体系 EPC (Electronic Product Code) を軸とした RFID 関連の標準化を進めている。EPC は基本的に 96bit からなり、各ビットにはバーコードと同じように、メーカー番号や製品番号などのフィールドが割り当てられている。また、タグには暗号化などの高度な機能などを搭載せず、読み取り専用にするなど機能を絞りこむことで、タグの単価をできるだけ下げることが目標としている。このように、EPCglobal では、RFID を高度なバーコードとして捉え、製品の製造、流通、販売、リサイクルまでの過程を効率的に管理するための、物流分野に最適な仕様を定めてい

<sup>15</sup><http://www.epcglobalinc.org/>

る点が特徴である。こうしたアプローチは米国の企業には好意的に受け入れられており、ウォルマートをはじめとする大手企業が、積極的に実証実験に参加している。一方、暗号化機能の搭載を想定していないため、プライバシー保護などの観点からの課題も指摘されている。

一方のユビキタス ID センター<sup>16</sup> は、東京大学の坂村健教授が主催する TRON プロジェクトを中心に、2002 年 12 月に設立された標準化団体である。RFID を「モノ」を自動認識するための仕組みとして捉え、バーコードの代替に限らず、日常生活のさまざまなシーンで新しいサービスを提供する基盤として活用することを想定している。基本となる ID は 128bit からなる「ucode」を利用する。ucode の割り当て方法については議論が続いており、ID が発行される時間や場所などを基にして、ID を自動生成する手法なども検討されている。また、ucode の体系は、通常の RFID タグに限らず、CPU を搭載した暗号化タイプのタグや、既存のバーコードまでも包括するようになっている。このようにして、RFID タグのさまざまな応用を見込んで、タグ体系のスケールビリティを高めているのが特徴である。

一方、ID から対応する情報を検索するフレームワークについては、両者とも似通っている。EPCglobal におけるフレームワークの構成要素は、1.Savant, 2.PML(Physical Markup Language), 3.ONS(Object Name Service) の三点である。Savant は、RFID リーダー/ライターに接続されたシステム上で稼動するソフトウェアである。PML は、ID に関連付けられた情報を提供するサーバーである。ONS は、特定の ID に関する情報を提供している PML サーバを判別する、DNS(Domain Name Server) のような役割を持つ。

実際の処理の流れとしては、Savant は特定の ID を認識すると、ONS サーバにその ID の情報を管理している PML サーバのアドレスを問い合わせる。そして、その結果得られたアドレスの PML サーバにアクセスし、ID に対応した適切な情報を引き出すことができる。ユビキタス ID センターのフレームワークでは、構成要素の名前が、1. ユビキタスコミュニケーター、2. 製品情報サービスサーバ、3.ucode 解決サーバと変わるが、それぞれの役割はほとんど同一である。

## A.7 RFID の応用分野

第 1 節で述べたように、RFID には、さまざまな応用可能性が存在する。ここでは、RFID の応用が期待される分野について、(1) 物流、(2) 認証・電子マネー、(3) ユビキタス・コンピューティングの三つの視点から紹介する。

### 物流

物流や小売分野への応用においては、RFID を高機能なバーコードとしてみなし、物流業務を効率化することが最大の目的とされている。RFID を導入することによる具体的なメリットとしては、以下のような点が挙げられている。

<sup>16</sup><http://www.uidcenter.org/>

### 物流過程での活用

1. 一般に、アパレル業界などの物流課程では、工場出荷検品 アパレル会社の物流センターで入荷検品 小売店向けに仕分けして出荷検品 小売店で入荷検品、というように、検品を何度も繰り返している。現状ではこうした入出荷作業のほとんどを、一個ずつ目視やバーコードスキャンで行っているため、大きな人手を必要とする。RFIDを導入することで、こうした入出荷作業の時間を大幅に短くすることができ、人為的なミスも減少することが期待されている。
2. 一方、生鮮食品の生産者や生産日時を手軽に確認できる「トレーサビリティの確保」の目的で、RFIDを利用する動きも進んでいる。BSE(牛海綿状脳症)や鳥インフルエンザの発生により、食の安全に対する消費者の興味が高まってきているため、ニーズのある応用と考えられる。現在、契約農家や仲卸業者、小売店などを巻き込んで、さまざまな実証実験が行われている。

### 小売店での利用

1. 商品にタグを貼り付け、陳列棚にリーダーを取り付けることで、特定の商品が棚から外された(=手にとられた)ことを検出することができる。具体的な例としては、特定のCDを手にとると、棚につけられたディスプレイに関連するビデオクリップが表示される、といったプロモーション用途や、実際には売れていないが、手にはとられている(=売れる可能性がある)商品を探るためのマーケティング用途、一度にたくさんの商品が持ち出された場合に警備室に警告を発するといった万引き防止用途が考えられている。
2. 商品にタグを取り付け、レジにリーダーを取り付けることで、カートから商品を取り出さずに清算ができる「自動チェックアウト」の実現が期待されている。ただし、実際にはタグの認識率を100%にすることは難しいため、なんらかの運用上の工夫が必要になる。たとえば、カートにもリーダーを取り付けておき、カートに商品が追加されるたびにタグIDを記録し、レジに転送して照合を行う、などの工夫が考えられる。

こうした物流分野での応用は市場規模が非常に大きいことから、特にIT業界からは大きな注目を集めており、さまざまな実証実験などが行われるなど、活発な動きが続いている。

### 認証・電子マネー

認証や電子マネーの分野では、JR東日本のSuicaやJR西日本のICOCA<sup>17</sup>、ビットワレットの展開するEdy<sup>18</sup>など、すでに実用化されているRFIDシステムが複数存

<sup>17</sup><http://www.jr-odekake.net/guide/icoca/>

<sup>18</sup><http://www.edy.jp/>

在する。これらは、乗車券と電子マネーの役割をかねていたり、小額決済が手軽にできるといった特徴から、現在急速に普及している。ここでは、最も幅広く使われている Suica について説明する。

Suica は、JR 東日本が 2001 年 11 月に開始した電子チケット（乗車券）サービスである。2004 年 3 月からは、駅周辺の売店などでの支払いにも利用できる電子マネーサービスと進化した。Suica は開始後二年強で 800 万以上のユーザを獲得しており、現時点では日本で最も普及している RFID システムといえる。

Suica は Sony の FeliCa 規格を利用している。FeliCa 規格は、最大 212kbit/秒という RFID システムとしては比較的高速な通信ができる反面、通信距離は最大 10cm 程度となっている。これは通信距離を抑えることで、意図しない電子マネーの利用や、悪意あるユーザからの覗き見を防ぐ効果を持っている。また、データは暗号化されているため、第三者が容易に読み込み/書込みを行うことはできない。

Suica では、基本的には自動改札機や売店に設置されたリーダー/ライター部に Suica カード（タグ）を近づけることで、電子的な支払い処理（残高読み込み/残高書き換え）を行う。加えて、乗車券として利用した場合は数 10 件程度までの経路履歴もカード内のメモリに書き込まれる。入金時は、券売機内のライターを用いて一定の金額を入金（書き込み）する。

今後、携帯電話にも Suica や Edy の搭載が進められる動きもあり、電子マネー分野の応用も確実に浸透していくと期待されている。

## ユビキタス・コンピューティング

ユビキタス・コンピューティングとは、1991 年に Xerox PARC(Palo Alto Research Center) の Mark Weiser によって提唱された、多数の、しかも多様な形態の情報機器群が有機的に協調しあう未来のコンピューティング環境のビジョンである。ユビキタス環境では、単に多数のコンピュータが存在するだけではなく、コンピュータが環境の中に溶け込み、ユーザに意識されなくなるという点が重要になる。RFID は、こうしたユビキタス環境を実現するための基盤技術の一つとしても期待されている。たとえば、実世界の書籍、文房具、CD など、これまで情報機器とはあまり縁のなかった日用品に ID を割り当てることで、仮想世界の情報と実世界のモノとの間にリンクを貼り、新しいサービスを提供できる可能性がある。同様に、ユーザにタグを持たせ、各部屋の入り口にリーダーを置いておけば、家庭内のユーザの位置に応じたサービスを提供することが可能になる。

こうしたユビキタス環境を想定したサービスは、現段階では実用化にいたっているものはほとんどないが、他の応用分野以上に、人々の生活の質を変化させる可能性を持っている。ここでは、RFID を用いて新しいサービスやインタフェースの形態を提案しているプロトタイプや研究事例などについて、いくつか紹介する。

ソニー CSL の暦本氏らが提案する DataTiles<sup>19</sup> では、RFID タグを内蔵した複数のタイルと、机に内蔵したリーダー、及びタッチディスプレイから構成されるシステムで

<sup>19</sup><http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/datatile/>

ある．各タイルを組み合わせて配置することで，家電機器の操作やメールの送信，画像の編集など，さまざまな操作を実現することができる．

本研究で提案した MouseField は，RFID リーダーと移動量を検出する光学センサを組み合わせた装置である．タグを内蔵した日用品を MouseField 上に置いて，それを動かすことで，さまざまな操作を行うことができる．たとえば，タグを内蔵した CD ジャケットを MouseField の上に置く/取り除くことで，そのアルバムの曲を再生/停止することができる．さらに，ジャケットを前後にスライドさせることにより曲目を選択したり，回転させることにより音量を操作するといった柔軟な操作ができる点が特徴である．

インタラクション技術としてみた場合，RFID 単体では単純なモノの認識しかできないが，こうした例にみられるように，さまざまな入力・出力技術をうまく組み合わせることで，面白い応用事例が生まれてくることが期待できる．

## A.8 RFID の課題

今後，RFID タグが全ての製品などに搭載されるようになった場合，プライバシー保護が大きな問題となると考えられている．ここでは，懸念されているプライバシーの問題について簡単に説明する．まず，第一の問題点として，バッグなどに入れている持ち物の ID を，所有者が気づかないうちにスキャンされる可能性が挙げられる．もしタグ ID に，商品コードを含めたコード体系を採用されている場合，所有している製品名などが容易に分かってしまう．この問題については，タグに暗号化技術を組み込むことで，解決することができる．タグに ID を暗号化して格納し，ネットワーク上のサーバーで復号鍵を管理した上で，特定のリーダー/ライターからのみサーバーにアクセスできるようにする．このようにタグ ID を暗号化しておけば，第三者がこっそり ID を読み取っても，商品情報などを復号することはできなくなる．

もう一つの問題点としては，特定の持ち物の ID (群) と個人情報を結び付けられる可能性がある点が挙げられる．RFID リーダーが街のさまざまなところに設置されていれば，いつも同じ ID の組み合わせを持ち歩いている人物を，特定の個人として追跡できてしまう可能性が出てくる．この問題点は，タグに暗号化技術を組み込むだけでは対処することができない．ID を暗号化していても，読み取られるデータ (暗号化済み ID) は常に同じものになるため，特定のデータの組み合わせを持つ人を，個人として追跡することはできる．たとえば，ある財布とカバンを持つ人と，特定の個人情報何らかの形で結び付けられた場合，財布とカバンの暗号化済み ID を読み込むだけで，個人を追跡することができてしまう．こうした問題の解決方法としては，(1) 購入したときにタグをはずせるようにする，(2) 出力される暗号化 ID を毎回変化させるなど，高度な暗号技術を乗せる，(3) キル・タグ (タグを無効化できるフラグ) を利用してユーザが任意にタグの機能を無効化できるようにする，などが提案されているが，まだ完全な対処方法は見つかっていない．



## A.9 まとめ

本付録では、RFID の基本的な概念、技術的要素、その応用可能性や課題などについてまとめた。RFID はインターネットと同様に次世代のコンピューティング環境の基盤となる技術である。本論文においては、第 5 章において RFID を活用した次世代インタフェースの可能性を示している。