

平成17年3月修了
博士（工学）学位論文

（和文題目） 把持具型のヒューマンインタフェースデバイス構成法に関する研究

（英文題目） A Study of System Configurations for Human Interface Device combining Manipulation and Viewability Support as a Tangible User Interface.

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻

学籍番号 1076020

山口 巧

Takumi Yamaguchi

平成17年3月修了
博士(工学)学位論文

(和文題目) 把持具型のヒューマンインタフェースデバイス構成法に関する研究

(英文題目) A Study of System Configurations for Human Interface Device combining Manipulation and Viewability Support as a Tangible User Interface.

平成16年12月17日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻

学籍番号 1076020

山口 巧

Takumi Yamaguchi

要 旨

把持具型のヒューマンインタフェース デバイス構成法に関する研究

山口 巧

コンピュータや携帯電話等をはじめとする情報機器は、我々の身近な製品となってきたが、技術について知見や興味のないユーザにとっては必ずしも使いやすいものではない。情報をうまく使いこなせる人と、使いこなせない人の格差が広がることに対する懸念が指摘されている。複雑な操作感を感じることなく、安心して、安全に情報機器を利用できる環境を実現することが重要であり、人間とコンピュータとのインタフェースの課題解決が重要となっている。一方、PC の高性能化と高精細なコンピュータディスプレイの普及により、GUI の高密度化が進んでいる。これは、視力の低下した高齢者は勿論、一般のユーザに対しても視認性の点で問題がある。

このようなユーザ間格差や操作支援の課題に対して、筆者は注視域を取り出して手元のデバイスに拡大表示することにより、ユーザの操作や視認を支援しながら撫でる動作で操作する把持具型の操作レンズデバイス (OPR-LENS:Operation-Lens) システムを提案し、構築した。細分化し高精細化する現在の GUI 操作をする場合に、ユーザが見にくいと感じた場合は手元で細部を確認し、その必要がなければ通常のエ画面を見て操作するものである。

本研究の目的は、「新しく覚えることを少なくしつつ、視覚・操作支援をする」ことを実現しながら、「押し付けがましくなく、ゆったりと操作する」簡便なユーザインタフェースを有するシステムの実現である。

注視域をユーザの手元に持つてくることで知覚と確定操作を相互に 1 つのデバイスでユーザ支援し、WIMP インタフェースを生かしながら実物体指向の対話方式で提供する球面

状表示インタフェースであることにより、より自然な操作スタイルで扱える「機器インタフェース」を構築できた。システムの実装とパフォーマンス評価により、ユーザが操作ストレスを感じない、従来型のマウスを使用した場合と同等のシステムレスポンスが得られた。一方、ポインティング評価ではマウスが最も速く操作でき、OPR-LENS は最も遅かった。しかし、最も誤り率が低いのは OPR-LENS であった。また、ユーザビリティ評価では若年層の被験者に比べて中高年齢者と年齢が高いユーザほどより良い評価を得た。

本研究はユーザ操作の自由度をあまり高くせずにユーザの対象範囲を広くした。視覚支援は「ユーザの希望に合わせて手元で確認したくなったら視認する」といった至ってユーザ任せなものであり、実世界指向インタフェースやウェアラブルコンピューティングとは違った、どちらかという、力覚あるいは触覚型ユーザインタフェースに近いインタラクションを狙えるものである。球面状の表示インタフェースや手元拡大型画面インタフェースと既存の WIMP インタフェース技術を生かしたインタラクション手法の新しい形態構成を提唱できた。

キーワード 実物体指向インタフェース, ポインティングデバイス, マルチモーダルインタフェース

Abstract

A Study of System Configurations for Human Interface Device combining Manipulation and Viewability Support as a Tangible User Interface.

Takumi YAMAGUCHI

Information appliances including Personal Computer (PC) and cellular phone have become our familiar product. However, it is not necessarily easy-to-use product for users who don't have empirical knowledge and interest in Information Technology (IT).

Recently, the operation desire of elderly peoples regarding the information appliance such as PC is rising highly. As for PC novice users and elderly peoples, the part of a human interface by ways of a pointing operation differs greatly among individuals. Especially, even if they can recognize the whole Graphical User Interface (GUI) image, it is often too difficult for them to identify its details. The size of the character and the figure should be enlarged in order to support the visibility.

This thesis describes how to mount a new pointing device by which PC users, who have difficulty in capturing GUI images, can effectively access the information resources on PC. The operation and the visibility decrease with ages even in the case of the user who is experienced in the operations of information appliances.

We propose the system wearing the operation lens support, which is called "OPR-LENS(Operation-Lens)". The OPR-LENS system is composed of the OPR-LENS module and the OPR-LENS device, and mounted on the server and the viewer software connected via TCP/IP, respectively. The OPR-LENS device forms a temple block suitable

for a palm operation. Users' manipulation can be effectively supported by the effect of the spherical lens with the partial GUI image.

We evaluated the OPR-LENS system through mounting a prototype system and implementing the performance evaluation experiment. We also investigated an empirical evaluation and comparison between OPR-LENS device and some standard pointing devices.

The OPR-LENS system aims to support the sight and the manipulation of the information appliance while reducing the new remembrance. Also, our goal is a realization of the easy user interface that is not pushy and a leisurely manipulation.

Both perception and operation were able to be supported in the user with one device by bringing the gaze region close to user's hand. Consequently, we have configured an equipment interface with spherical display for human interface device combining manipulation and viewability support as a tangible user interface.

Through mounting a prototype system and implementing the subjective evaluation experiment, the movement time of the OPR-LENS device increases more than that time of a general mouse. However, in case of using the OPR-LENS device, the error rate of pointing tasks is lower than that rate in case of using a general mouse. The evaluation of the usability for elderly peoples was better than that for young peoples. As a consequence, the steady manipulation of the OPR-LENS device is available without depending on the user's various operations.

In this research, we widened the range of the object without raising the degree of freedom of the user operation. It is different from a real world interface and a wearable computing. It is possible to aim at an interaction of kinesthetic interface or haptic interface.

key words tangible user interface, pointing device, multimodal interface, informa-

tion appliance

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本研究の目標	3
1.4	本研究の位置付け	4
1.5	本論文の構成	6
第 2 章	ヒューマンコンピュータインタラクションと入力インタフェース	9
2.1	情報の表示と視覚化	9
2.1.1	アフォーダンス	9
2.1.2	デスクトップメタファ	10
2.1.3	情報視覚化と魚眼モデル	11
2.2	次世代型インタフェース	12
2.2.1	空間型インタフェース	13
2.2.2	実物体指向のインタフェース	13
2.3	マルチモーダルコミュニケーションと情報アプライアンス	15
2.3.1	マルチモーダルコミュニケーション	15
2.3.2	情報アプライアンス	16
2.3.3	ユーザインタフェースに求められる要件	17
第 3 章	OPR-LENS システム	19
3.1	設計思想	19
3.2	基本構成	20
3.3	操作方法	21

3.4	OPR-LENS システムの特徴と意義	23
第 4 章	ソフトウェアの構築手法	25
4.1	画像取出し手法	25
4.2	設定プロトコル	27
4.3	サーバ・ビューアソフトウェア	28
第 5 章	OPR-LENS デバイスの構築手法	33
5.1	従来のデバイス	33
5.2	OPR-LENS デバイスの着想	34
5.3	OPR-LENS デバイスの構造	36
5.4	位置検出方式	37
5.4.1	光学式位置検出方式	38
5.4.2	光減衰特性	40
第 6 章	OPR-LENS システムの試作	43
6.1	OPR-LENS デバイスのプロトタイプ	43
6.2	注視域拡大表示のプロトタイプ	45
第 7 章	ソフトウェアシステムの評価	47
7.1	要求性能	47
7.2	リアルタイム性	48
第 8 章	ポインティング評価	51
8.1	実験方法	52
8.2	結果と議論	54
8.2.1	速度	54
8.2.2	精度	55

8.2.3	スルーブット	57
第 9 章	ユーザビリティ評価	59
9.1	予備実験	59
9.2	プロトタイプユーザ評価	61
9.3	視覚支援の測定評価	64
第 10 章	関連研究との比較	67
第 11 章	発展形システム	71
11.1	操作デバイスとしての発展形	71
11.1.1	光ファイバを用いた場合	71
11.1.2	背面透過型スクリーンを用いた場合	73
11.2	情報家電への応用	73
11.2.1	通信アダプタ	75
11.2.2	実装システム	76
11.3	ユビキタス検索システムへの応用	77
11.3.1	実現手法	78
11.3.2	実装システム	79
11.4	回生型情報システムへの応用	80
11.4.1	設計思想	80
11.4.2	システムの基本構成と機能	82
基本利用形態		84
発展利用形態		85
11.4.3	実装システム	87
第 12 章	結論	91

謝辭	95
參考文獻	97
研究業績	103

目次

1.1	OPR-LENS システムの位置づけ	6
2.1	インタラクションスタイルの比較 (文献 [1] による)	14
2.2	情報化に対する期待と不安 (文献 [2] による)	16
3.1	PC 操作を想定した OPR-LENS システムの概要	20
3.2	OPR-LENS システムのソフトウェア構成	21
3.3	OPR-LENS デバイスの操作	22
4.1	画像取出しと拡大手順の比較	27
4.2	設定プロトコル全体の流れ	28
4.3	OPR-LENS モジュールのサーバプログラムの流れ	29
4.4	OPR-LENS デバイスのビューアプログラムの流れ	30
4.5	自動検索処理の流れ	31
5.1	OPR-LENS デバイスの構造断面	36
5.2	光学式位置検出方式 1	39
5.3	光学式位置検出方式 2	39
5.4	伝播光の減衰原理	40
5.5	伝播光減衰特性 [3]	40
6.1	OPR-LENS システムの外観	43
6.2	OPR-LENS デバイスの外観	44
6.3	OPR-LENS デバイス上の注視域取り出し画面例	46

6.4	注視域の拡大パターン (Pattern-1:Single focus, Pattern-2:Magnifying glass, Pattern-3:Seeing through a glass ball, Pattern-4:Constrained transformation, Pattern-5:Planetarium view)	46
7.1	実装ソフトウェアのインターバル時間の実測値	48
8.1	操作中の OPR-LENS デバイス	52
8.2	操作時間測定用画面	53
8.3	デバイス種類別の困難度と操作時間の関係	54
8.4	年代別, デバイス別操作時間の比較	56
8.5	年代別, デバイス別誤り率の比較	57
8.6	年代別, デバイス別スループットの比較	58
9.1	注視域取り出しの事前調査結果	60
9.2	注視域取り出しとデバイス操作の調査結果	63
9.3	視覚支援による操作時間の年代別比較	65
11.1	元の画像	72
11.2	ファイバブロックを通して見た画像	72
11.3	ファイバブロックを画像からずらした場合	72
11.4	正面の斜め方向から見た場合	72
11.5	情報家電への応用コンセプト	73
11.6	オーディオ機器への実装例	74
11.7	赤外線アダプタ	77
11.8	オーディオ機器への適用例	77
11.9	OPR-Browser の概要	79
11.10	OPR-Browser の実装例	79
11.11	AV 機器への適用例	79

11.12提案システムの全体像	82
11.13システムの基本機能	84
11.14遠隔共有支援モデル	86
11.15専用端末モデル	87
11.16実装システムの Web 画面 1	89
11.17実装システムの Web 画面 2	89
11.18実装システムの Web 画面 3	90

表目次

4.1	無圧縮時のデータ転送時間比較	26
5.1	入力装置技術の比較	35
9.1	見易さ評価の比較	62
9.2	視覚支援による操作時間の比較	64

第 1 章

序論

本章では、本研究の背景と目的を示し、関連する研究分野における本研究の位置付けを述べる。最後に、本論文の構成を述べる。

1.1 背景

総務省の平成 15 年版情報通信白書 [4] によれば、パソコンからのインターネット未利用者が利用したいインターネット端末の特徴としては、「設定が簡単であること」が 44.8 %、「すぐに操作に慣れること」が 30.5 %と、利用開始当初の分かりやすさを求める回答が多い。また、入力方法として望まれているのは、音声入力が 33.6 %、タッチパネルが 17.8 %、リモコン等の限られた数のボタン装置が 10.6 %であり、従来のパソコンで用いられているキーボードやマウスとは異なる簡便なヒューマン・インタフェースが期待されている。

コンピュータや携帯電話等をはじめとする情報機器は、我々の身近な製品となってきたが、技術について知見や興味のないユーザにとっては必ずしも使いやすいものではない。情報をうまく使いこなせる人と、使いこなせない人の格差が広がることに対する懸念が指摘されている [2]。複雑な操作感を感じることなく、安心して、安全に情報機器を利用できる環境を実現することが重要であり、人間とコンピュータとのインタフェースの課題解決が重要となっている [4, 5]。このような環境下にあっては、効率重視でなくジェスチャや音声などを含め、容易に使えるインタフェースが求められる。そこで、ユビキタス情報社会を視野に入れた実世界指向インタフェースが盛んに研究されており [6][7]、実物体を使った直感的な操作を提供すること [8] やより自然な操作スタイルで扱える「機器インタフェース」が検討されてい

る [9] .

一方，PC の高性能化と高精細なコンピュータディスプレイの普及により，GUI の高密度化が進んでいる．これは，視力の低下した高齢者は勿論，一般のユーザに対しても視認性の点で問題がある．既存システムでは，同一ディスプレイ上における拡大鏡 [10] や仮想画面による視認支援がある．しかし，デスクトップ上のレイアウトが変化してしまう，拡大表示領域分だけデスクトップ画面が狭隘になる，デザイン重視の Web ページやアプリケーションソフトウェアでは解像度によっては操作しにくい部分が生じ得るなど課題も多い．デスクトップの見た目（状態）を変化させる手法は，変化前の状態を概ね把握しているか，自分が使っている GUI のレイアウトや機能の配置が分かっているユーザを前提としているからである．

1.2 本研究の目的

本研究の目的は，

- なめらかな操作支援に適した操作デバイスと付加機能の提唱（手に馴染みやすい形状），
- 視覚効果に連動した，視認と操作支援を両立させる入力・操作（注視域の視覚支援機能）の検証，
- 様々な機器操作のインタフェースを共通化（既存の GUI:Graphical User Interface がそのまま使える操作性），

を満足させ得る新しいヒューマンインタフェースを有するシステムを構築することである．

背景に挙げたユーザ間格差や操作支援の課題解決のため，注視域を取り出して手元のデバイスに拡大表示することにより，ユーザの操作や視認を支援しながら撫でる動作で操作する把持具型の操作レンズデバイス (OPR-LENS:Operation-Lens) システムを提案する．このシステムは「新しく覚えることを少なくしつつ，視覚・操作支援をする」ことを実現しながら「押し付けがましくなく，ゆったりと操作する」簡便なユーザインタフェースを有するシステムの実現を目指す．細分化し高精細化する現在の GUI 操作をする場合にユーザが見に

くいと感じた場合は手元で細部を確認し，その必要がなければ通常の PC 画面を見て操作するものである．

1.3 本研究の目標

本研究は，PC 操作の支援を出発点にしながら，PC 操作に限定しない，情報アプライアンスへの操作支援システムに拡張することを目標にしている．これにより，OPR-LENS システム構成法の有効性と操作支援の新しい方向性を明示することができる．本研究では，対象範囲とするユーザが情報アプライアンスを操作する入力インタフェースについて，具備すべき基本要件を以下のように考える．

PC など情報アプライアンスの操作環境に習熟しているユーザ層と異なり，

- 新たに習得すべき操作手順や指示を減らすとともに記憶負荷を低減する，
- 文字・図形の大きさを増すなど，視覚把握を補助する，
- 新たに覚えることを減らしつつ，適切な訓練を行う，

ことを検討する必要がある．ただし，UI(User Interface) の実装で「適切な訓練」を行うものは評価が難しいため本論文では扱わない．

上記要件を達成するインタフェースを実現するために，以下の部分に着目する．

処理の高速化と実時間実行 ユーザに操作ストレスを感じさせないため，高速計算や表示アルゴリズムを工夫し，ユーザ操作の変化に対応してリアルタイムに処理実行や表示の更新が行なわれるようにする．

情報視覚化の工夫 表示の更新を高速に行うため，3次元表示を用いて操作者に近い部分のみ表示したり，注視域のみ表示を行うようにする．

入力手法/操作手法の工夫 移動やズーミングのような連続的で直感的な操作方法を採用し，そのための入力装置を工夫する．

モードの除去 なるべく状態切換の必要がない仕様とする．

1.4 本研究の位置付け

マウスなどポインティング装置を改善するシステム手法は従来から多く提案されている [11]．ユーザ操作を容易に且つ支援するという観点から，GUI システム，入力インタフェース，インタラクティブシステムの 3 つの側面から従来研究を挙げ，本研究の位置付けについて述べる．

GUI システムのポインティング操作を改良するポインティングデバイスの研究は数多く行われている [12, 13, 14, 15]．これらの研究は従来型の操作性を損なわずに多機能化を図ろうとするアプローチのもの [13] と，もともとの GUI に備わっているレイアウトや機能に対して新たなナビゲーションやポップアップメニューなど，対話的・視覚的に UI をカスタマイズすることにより GUI を改善しようとするアプローチの 2 つに大別される [12]．前者は，OS やアプリケーションソフトウェアに依存した特定の操作をより容易にする機能をデバイス側でサポートして高機能化を図ることが多い．一方後者は，一般的な GUI に適用することを想定していない，操作が制限されている，画面の可視性が低いなどの問題がある．つまり，多機能化や機能制限を行うことによって，OS が本来有する GUI に対してかえってユーザ操作を煩雑にしていることが多い．コンピュータの GUI は，OS やアプリケーションソフトウェアに依存する部分が多く，これらを独自に加工すると汎用性が失われる．また同時に，ソフトウェア部分での互換性や GUI レイアウトの維持が難しい．ユーザ層に合わせて GUI を変更するのは UI 改良の一方で，上述した問題を生み出す．よって，既存の GUI を変えずに GUI の操作性を向上させる研究は意味深い．

次に，入力インタフェースの観点で述べる．PC 用入力インタフェース [16]，タッチパネル [17]，装着センサ [18]，視線入力 [13]，音声入力 [19]，画像認識による入力 [20] など，ウェアラブルコンピュータも視野に入れたものが提案されている．PC 用入力インタフェースでは，小型化に伴い操作性が悪化する．タッチパネルではユーザが操作をしたという力覚感が

不足する。装着センサでは、装着による拘束感がある。視線入力では、操作としての視線移動とその他の視線移動の判別の困難さがある。音声入力では、一般音声会話と入力操作の区別の難しさがある。画像認識による入力では、外部環境の影響の遮断の難しさなどがある。

最後に、インタラクティブシステムの観点で述べる。ユビキタス情報社会を視野に入れた実世界指向インタフェースが盛んに研究されている。手の操作を活用したインタラクティブシステムでは、手の形状を非接触で感知してエンターテイメントに応用する SmartSkin[6]、バーコードリーダのような ID 認識装置とマウスのような相対位置検出装置を組み合わせる GUI 操作を紙や任意の平面上で実現する FieldMouse[7] などコンピュータの存在を透明にしながら [21]、実物体を使った直感的な操作を提供すること [8] が重要とされている。さらに人間の持つ感覚器に働きかけることでユーザに「操作感」を持たせる TactileDriver[9] がある。これはタッチパネル型のディスプレイに着目し、触ってもボタンを押した感覚がないタッチパネルで欠けている「触覚」を再現している。同時に「押した」という動作によって、従来のタッチパネルにありがちな操作ミスを解消し、高齢者や視覚障害者なども利用可能にしている。他方、ユビキタス情報社会を想定する研究では、人は社会のいたるところで情報に接続され、何もしなくても自然にその恩恵が受けられるというコンセプトも多い [22]。

以上のことを踏まえて、対象ユーザの幅と操作インタフェースとしての自由度を軸にした本研究の位置付けを図 1.1 に示す。図 1.1 の中心点は、PC の操作インタフェースである標準マウスとした。OPR-LENS システムは、ユーザ操作の自由度をあまり高くせずにユーザの対象範囲を広くするものである。多くのユーザは、複雑なボタンを操作したり、高度な機器そのものを使いたいわけでは決してなく、自然な形で情報や商品が得られ、快適に生活ができれば良いはずだからである。また、注視域の OPR-LENS デバイス側への取り出しは、「ユーザの希望に合わせて手元で確認したくなったら視認する」といった至ってユーザ任せなものであり、超小型携帯コンピュータの場合の「大きなオブジェクトの一部を覗き込む」ようなユーザモデル [23] は想定していない。実世界指向インタフェースやウェアラブルコンピューティングとは違った、力覚あるいは触覚型ユーザインタフェースに近いインタラクションを狙えるものと位置づけている。

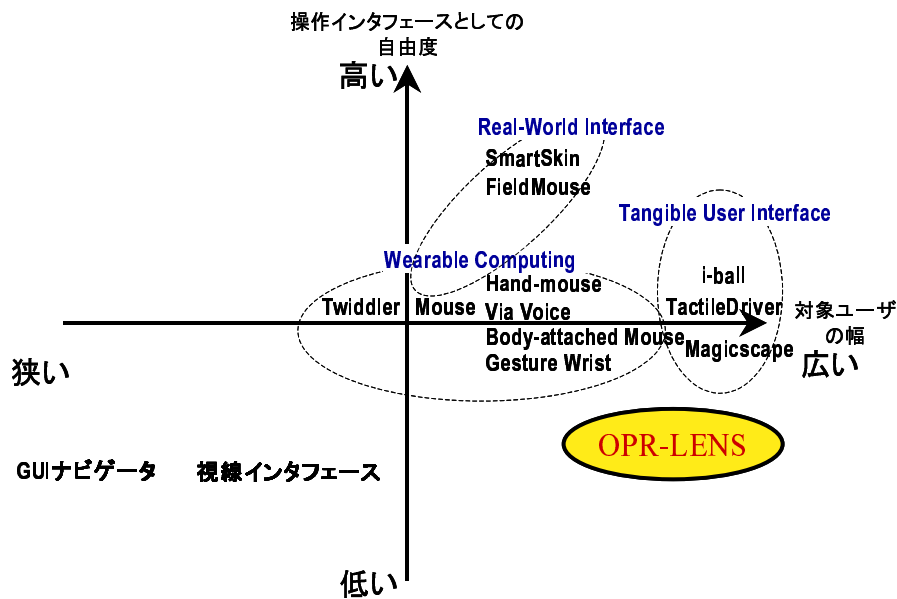


図 1.1 OPR-LENS システムの位置づけ

1.5 本論文の構成

本論文の構成は 12 章からなる。第 1 章では、本研究の背景，目的，位置づけを示す。第 2 章では、検討すべき基本概念と既存技術のいくつかについて説明する。第 3 章では、把持具型ポインティングデバイスシステムを OPR-LENS システムと定義し、設計思想，基本構成，操作方法について詳述する。第 4 章では、システムの基幹部となるソフトウェアシステムの構築法を示す。第 5 章では、OPR-LENS システムのうち、ユーザが直接操作する OPR-LENS デバイスの実機モデルの構成法を示す。第 6 章では、OPR-LENS システムの具体的な実装と実行例を示す。第 7 章では、実装した OPR-LENS システムのソフトウェアシステムとしてのシステム性能評価を行い、取り出し画像の大きさとシステム性能の評価結果を示す。第 8 章では、実装した OPR-LENS システムのポインティングデバイスとしての評価実験とその結果を示す。第 9 章では、実装した OPR-LENS システムの注視域表示とデバイス全体の評価についてユーザビリティ評価実験とその結果を示す。第 10 章では、関連研究と本研究で議論した OPR-LENS システムとの相違点を明示する。第 11 章では、OPR-LENS システムの発展形システムをいくつか示す。最後に、第 12 章で本論文で述べ

る研究成果のまとめを行い、今後の研究の方向性を述べる。

第 2 章

ヒューマンコンピュータインタラクションと入力インタフェース

本章では、情報の表示や視覚化と次世代型インタフェース [24, 25, 26] について概観する。デスクトップメタファに基づいた GUI と実世界において、物理的な実体を使って様々な情報を操作してきた経験値を生かす実物体指向のマルチモーダルインタフェースを説明する。

2.1 情報の表示と視覚化

人間とコンピュータとのインタラクションにおいて、検討されるべき概念とデザインについて概観する。

2.1.1 アフォーダンス

人間の知覚に関して、最近アフォーダンスという概念が注目を集めている。この概念は、認知科学における生態学的アプローチと密接に関わっている。生態学的アプローチにおいては、「ある環境や状況全体が、人間に働きかけて、ある行為を妥当であると感じさせる」場合が多々あることに着目し、そのような環境や状況の持つ妥当性や人間の側からの環境適応性を重視しようという立場に立つものである。この立場においては、Gibson の生態学的視覚論が良く知られており、彼は、「生体の知覚は感覚的な入力の内情報処理によるのではなく、生態的に重要な情報を外界から直接抽出している」と主張し、アフォーダンスという言葉を用いた [27]。アフォーダンスとは、「外界の環境や事物が生体の活動に供するべく持つ

ている情報」のことで、例えば「かなづち」の形は、人が握って、ものを叩くという情報を持っており、「椅子」の形は、人が座るといふ情報を持っているというものである。もともとアフォードというのは、「～ができる、～を与える」などの意味を持つ動詞であるが、英語にアフォーダンスという名詞はなく、この言葉は、Gibson の造語である。また、「すり抜けられる隙間」、「つかめる距離」、「登れる階段」なども全てアフォーダンスである。そして、このような生態学的立場は、状況依存性を重視することに繋がることになる。

このアフォーダンスという概念が、日常生活において様々な道具を使う上で重要な情報を人間に対して与えており、また、道具の設計の在り方に重要な指針を与え得ることが示されている [28]。このアプローチの特徴は、従来の実験心理学のように実験室の中である理想的な状況を作り出してデータを取るのではなく、日常生活の中で人々が道具を使う様子に基づいてデザインというものの在り方を考えている点にある。例えば、ドアが押して開けるものか引いて開けるものかを区別する場合が挙げられる。この場合、ドアの取っ手の形を持つアフォーダンスが重要であり、横に付いた取っ手は押すという動作をアフォードし、縦に付いている取っ手は、引くという動作をアフォードする。このようなアフォーダンスは、人間の頭の中にある知識ではなく、外界の事物そのものが持っているものである。よって、これらの概念を積極的にインタフェースに利用することが求められる。

2.1.2 デスクトップメタファ

現在のパーソナルコンピュータのユーザインタフェースは、WIMP インタフェースを中心とした GUI が利用されている。GUI では、コンピュータの画面を机上 (Desktop) の比喩 (Metaphor) として直感的に表現するデスクトップメタファが広く採用されている。このメタファでは、デスクトップに文書ファイルやごみ箱を絵文字化したアイコンが置かれており、それをマウスなどのポインティングデバイスで直接触るように操作できる。GUI 以前のコマンドラインインタフェース (CUI: Character User Interface) では、ユーザは多くのコマンドを覚えておき、それをキーボードで入力する必要があった。それに対して GUI は、机上の文房具のメタファによる類推と、メニューやアイコンの選択によって、コンピュータに

関する専門的知識が少ないユーザでも、手軽にコンピュータ操作が行えるように配慮されている。

また、ここでも GUI の画面に表示されるオブジェクトのデザインにおいて、アフォーダンスの概念が重視される。ユーザインタフェースのデザインにおいては、表示されるあるものが人間のある操作を促す（アフォードする）ような形状や描写をしていることを意味する。例えば、ユーザが押す部分は、凸ボタンに見えるように、ドラッグする部分は取っ手やグリップのように握るイメージを、また、無効なメニューや選択項目は字が薄くなるなどというようにデザインされる。これらは、PC 操作が未経験や未熟なユーザでも、類推によって自然にコンピュータの操作ができるための重要な配慮である。

2.1.3 情報視覚化と魚眼モデル

GUI は、コンピュータの全ての情報を可視にして操作の結果も直ちに視覚的にフィードバックさせるのが理念である。しかし、全ての情報を視覚化しようとしたために、かえって自分のやりたいことが一体どこにあるのか、そのメニューの階層をどこまで辿れば良いのか非常に分かりにくくなったことになる。コマンドラインの場合には、スペルを覚えていれば確実に命令を実行することができたが、GUI の場合には、メニューを辿る順序やボタンを押す順番を覚えておかなければならない。このような手順は、複雑な階層になった場合、正確に覚えておくことはスペルを覚えておくことよりも一般に難しい。また、近年、コンピュータによって扱われる情報の量が急速に増大し、画面に表示される膨大な情報を閲覧したり検索したりすることは、ユーザによって大きな負担となってきた。そこで、GUI、科学データの 3 次元視覚化などの研究の 1 つとして、注目点の付近を局所的詳細を表示しながら、周囲の大局的概略も同時に表示するという、フォーカス+コンテキスト技術が提案された。この技術モデルは、魚眼モデル (Fisheye) と総称され、情報視覚化の最も重要な手法となっている [29]。例えば、ドキュメントレンズ [30] では、平面に敷き詰められた文書のページ上で 1 ページ大の領域を拡大するレンズを上下左右に動かすことができる。これによって、ユーザは文書全体をブラウジングして、素早く視覚的な検索が可能である。また、複数のフォーカ

スを与えるものや、テキストや時系列データを扱うために自由な形状の領域をフォーカスする非線形拡大 [31] やゆがみ指向表示 [32] により、どんな形状のフォーカスでも扱えるようになっている。本研究は、フォーカス+コンテキスト技術を、直接操作インタフェースのインタラクティブ操作における限定された表示域に多くの情報を表示するために応用している。コンテキストはユーザが元々見ている固定客観視 [33] で視認して、注視域は主観視を更に強調してアフォードする。

2.2 次世代型インタフェース

コンピュータのユーザインタフェースとして GUI が登場して 10 年以上が経ち、いわゆるキーボード・マウス・ディスプレイという入出力デバイスの限界を超えたインタフェースが模索されている。そのような流れの中で、ポスト GUI と呼ばれるユーザインタフェースの研究が進められている。物理世界とデジタル世界のギャップを縮め、GUI よりもさらに直感的操作をユーザーに提供することが目標である。具体的な研究分野を以下に示す。

TUI (Tangible User Interface, Tactile User Interface) 入出力が分離しているインタフェースに対して、実物体などを用いてユーザーに情報を知覚しやすい形で提供する。

PUI (Perceptual User Interface) システム側が人間の動作などを知覚することで、マウスなどを介さずに自然な操作を実現する。

ノンバーバルインタフェース 表情、姿勢、手振り、視線などの「言葉によらない」、即ち、ノンバーバルなモダリティをインタラクションに利用する。このようなノンバーバル情報を含むモードを複数組み合わせたマルチモーダルインタフェースでは、伝達する情報を増やすことができる。

実世界指向インタフェース 人間が生活している環境を重視し、ウェアラブル機器や情報環境中にセンサや入出力機器を組み込むことで、コンピュータを意識させないインタラクションを可能にする。

2.2.1 空間型インタフェース

コンピュータのインタフェースとして普及している，デスクトップメタファによるインタフェースは，文書作成などの2次元平面的な作業に適している．しかし，人間が実生活の中で日々行っている3次元的な作業や動作を取り入れるには空間型のインタフェースが必要である．この考えに則ったインタフェース研究は，ユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing)，オーギュメントリアリティ (AR:Augmented Reality)，ミクスドリアリティ (MR:Mixed Reality) やウェアラブルコンピュータ (Wearable Computer) などがある．日本ではこうしたインタフェース研究を総称して「実世界指向インタフェース」と呼んでいることが多い [34, 35]．暦本など [34] は，こうした研究分野の中で，一般的な GUI，仮想現実感 (VR:Virtual Reality)，そして実世界指向インタフェースのいくつかに関して，人間，コンピュータの世界，そして実世界の関わり方を図 2.1 のように分類している．一般的な GUI は，コンピュータの世界と実世界との間に隔たりがあり，実世界での作業にコンピュータを使うことはできない．VR は，基本的にコンピュータが作り出した世界で作業を行い，ひとたびその中に入れば実世界での作業はできない．ユビキタスコンピューティングは，実世界の中に沢山のコンピュータを意識させないように偏在させて実世界における作業を支援しようとするものである．AR はコンピュータで実世界を強化しようとする考え方である．

2.2.2 実物体指向のインタフェース

実世界において我々人間は数千年前から，手で触って操作することのできる物理的な実体を使って様々な情報を操作してきた．我々は実物体の取り扱いが得意であるにも関わらず，コンピュータに代表される情報機器のインタフェースの殆どは，キーボードとマウスの組合せに限定されている．MIT の石井らは，このようなコンピュータと実物体のギャップを埋める必要があると考え，タンジブルピッツという概念を提唱した [8]．この概念は，コンピュータの世界から人間へのインタラクションをより密接にしてコンピュータの世界と実物体の世界を融合しようとさせる，より実物体指向のインタフェースと考えられている．なお，コン

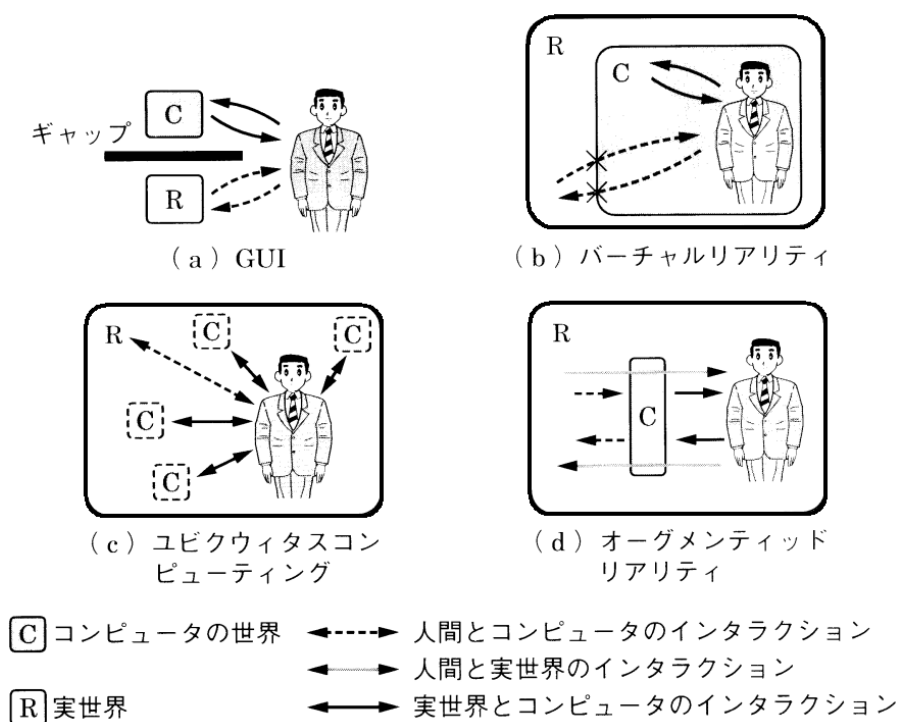


図 2.1 インタラクションスタイルの比較 (文献 [1] による)

コンピュータの世界と実物体の世界を密接に融合させる指向がより強い場合は、ユビキタスコンピューティングに近いインタラクションスタイルになる。

実物体指向インタフェースの課題の1つは、コンピュータ内の計算をどのような実物体のどのような操作に割り当てるかということである。コンピュータの動作が、割り当てる実物体の操作から容易に想像できるものでないと、かえって使い難いインタフェースとなると考えられる。また、実物体に対する操作をどのようにしてコンピュータで検出するかという課題も挙げられる。つまり、実物体としての使いやすさを損なわない方法での検出が求められることが多いため、実物体に対する操作性や操作感をなるべく後退させない技術の開発が望まれている。

2.3 マルチモーダルコミュニケーションと情報アプライアンス

ここでは、マルチモーダルコミュニケーションを用いて情報アプライアンスが社会に普及していくための要件を述べる。

2.3.1 マルチモーダルコミュニケーション

我々のコミュニケーションの中で大きな割合を占めるノンバーバル言語 [36] のうち、人間は「五感」と知識・経験を駆使して外界からの情報を総合的に判断し必要な情報を取り込む。そして、音声や身体動作などを用いて情報を発信する、複数のモードを用いたマルチモーダルコミュニケーションを行っている。人体の主要な作用器は、口による音声、四肢による操作、目による視覚化が挙げられる。従って、ユーザが自然な入力操作を実現するには、特に「手の操作」と「視覚化」を向上させることが必要である。

一方、情報機器やサービスの普及を進めていくためには、的確に国民のニーズを満たすことが必要である [5]。これらの利用に関するアンケート調査では、図 2.2 に示すように、生活の利便性の向上といった期待を示す回答が見受けられる反面、犯罪、プライバシー漏洩についての不安を示す回答も見受けられる。情報機器やサービスが広く社会に受け入れられ、爆発的に普及していくためには、こうした国民の期待や不安に的確に対応していくことが必要不可欠である。社会に普及していくための共通要件のうち「安心して使えること」と並んで求められている要件に「誰でも使いやすいこと」が挙げられている。コンピュータや携帯電話などを始めとする情報機器は、我々の身近な製品となってきたが、その操作やインターネットへの接続方法などは必ずしも簡単ではない。技術についての知見や興味のないユーザにとっては、必ずしも使いやすいものではない。製品の機能を全て理解し、十分に使いこなしているユーザは極めて少ないと考えられる。前述のアンケートでも、情報を上手く使いこなしている人と、使いこなせない人の格差が広がることに対する懸念が指摘されている。このような状況下で、情報機器やサービス、情報家電などが広く社会に受け入れられるためには、年齢・性別、専門知識の有無を問わず、誰でも容易に使えるものでなければならない。

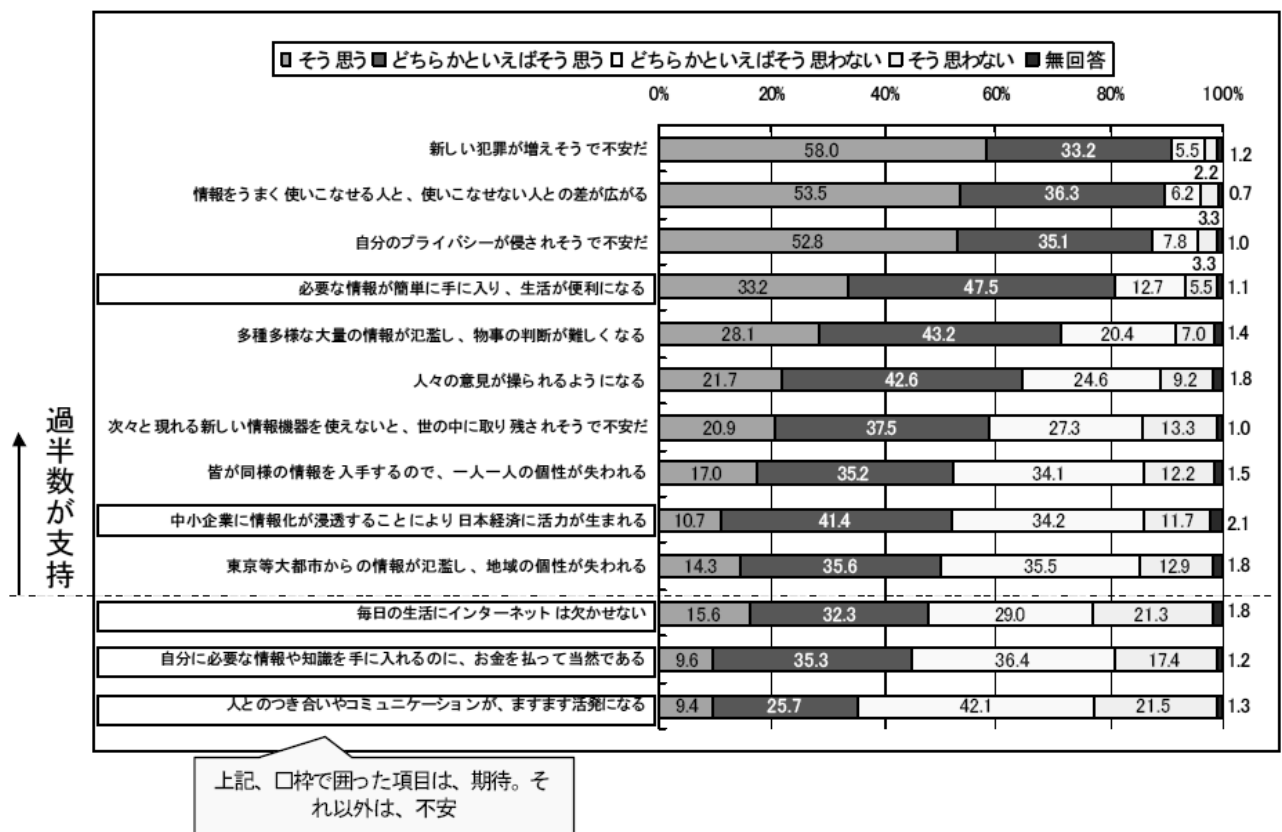


図 2.2 情報化に対する期待と不安 (文献 [2] による)

従って、既存のメタファが持つ容易な操作性が損なわれることなくネットワークに接続されることが必要である。また、家庭内などにおいては、既存の製品を含めて、容易且つ確実にネットワークに接続できることが重要である。さらに、新たに追加される機能についても、これまで以上に簡便な操作性を確保したユーザインタフェースを備えておくことが必要である。また、故障時や操作の行き詰まりなどには、原因確認や操作支援の問合せを行い、具体的なアドバイスを得ることが可能となるような体制整備も重要である。

2.3.2 情報アプライアンス

情報アプライアンスの概念は、J.Raskin が 1978 年に考案しており [37]、情報家電といった狭義の概念ではない。ユーザが利用する道具をタスクに充分見合うように設計すれば、その道具はタスクの一部になり、仕事に自然に組み込まれ、その人の能力を自然に拡張するも

のと感じられるようになるというのが、情報アプライアンスの真髄である。これは機能の専用化を意味している。特別あつらえの外観、形状、感触、操作が可能になる。アプライアンスの基本的な利点は、単独の活動に焦点を合わせたことから生じる簡潔さとエレガントさが相まってユーザの真のニーズにぴったりと適合するようになる能力からもたらされる。同時に、どのアプリケーションの出力でも繋げられるなどの PC のもつ利点や機能を失わないことが重要となっている。適切な情報アプライアンスを作るためには、2つの要件がある。係る道具がタスクに適合していること、汎用的な通信と情報共有の機構があることである。これらの要件に合致するように設計を行う基本原理には、以下の3つが挙げられる [21]。

簡潔性 アプライアンスが複雑だとしたら、それはタスクが複雑だからであって、道具自体が複雑であってはならない。テクノロジーは隠れていること。

融通性 アプライアンスは新しい創造的なインタラクションを可能にし、奨励するように設計されていること。

快楽性 製品は、楽しく、面白く、愉快的なものであること。使う喜び、所有する喜びを共に充たすこと。

2.3.3 ユーザインタフェースに求められる要件

情報アプライアンスが具備すべき要件として、誰にでも使いやすいことが重要な要件の1つである。この他に求められる要件は、以下のように整理できる。

進化するインタフェース 機器がユーザの使い方を学習し、インタフェースが進化していく機能を持つこと。

進化する機能 新規機能を簡単に追加できる機能を持つこと。

高いアクセタビリティ 高齢者には大きな文字に変わるなど、ユーザに応じたインタフェースに切り替わる機能を持つこと。

設定の継承 機器を買い換えた場合であっても、再入力することなしに、従来と同じ使い勝手に使い続けられる設定の継承機能を持つこと。

単純なインタフェース 機器ごとに細かな指示、入力作業を行わなくても誰でも簡単に扱えるインタフェース機能を持つこと。

状況に応じた可変性 病院に入ると自動的に携帯電話を電源 OFF にしてくれるなど、ユーザの状況に応じて機器の設定が変更される機能を持つこと。

ヘルプ機能 新しい機器のセットアップ時や設定変更時などに、ユーザの求めに応じてオペレータがオンラインで分かりやすくフォローしてくれる機能を持つこと。

以上を考慮しながらユーザのニーズに適合した情報機器や情報家電のインタフェースを実現することは係る機器の普及に重要な意味を持つ。なお、実証実験においては、非パソコンユーザも対象にして、単純なインタフェースを装備し、且つ、ユーザ状況に応じた可変性を有する統合リモコンや、ユーザの求めに応じたオンラインヘルプ機能を具備したシステムを実現していくことが重要である。

第 3 章

OPR-LENS システム

本章では，OPR-LENS システムの全体構成を示す．OPR-LENS システムの設計思想を詳述し，提案を行う．また，OPR-LENS システムの基本構成と操作方法について述べる．

以下，PC 操作を想定した OPR-LENS システムで説明する．

3.1 設計思想

OPR-LENS システムの設計思想について述べる．OPR-LENS システムの主要なコンセプトは以下の 2 点である．

- なめらかな操作支援に適した操作デバイス
- 視覚効果に連動した，視認と操作支援を両立させる入力・操作

筆者は，人間の身体性に留意しながら，人間の部位に近い形状であって高齢者でも違和感の少ない形状を選択する．高齢者にやさしい入力装置を考える場合，高齢者の動作の特質を考え，そこから平均的な人々と共有できる能力を見出し，これを活用する方向で検討することが重要である．最近のノート PC のように，キーに軽く触れるだけで入力が達成されてしまうようなことは，身体機能の衰えた高齢者にとって必ずしも使いやすいものではない．高齢者にとってはゆっくりとした大きな動作が許されることが必要であろう．また，肩や肘などいくつかの関節を制御して手先を動かすような動作は困難であろう．例えば，ディスプレイの前面に設けられたタッチパネルの操作は，指先を触れるだけという簡単なものであるとしても，指先が垂直に立ったタッチパネル面上をトレースするために肘や肩の関節を制御し

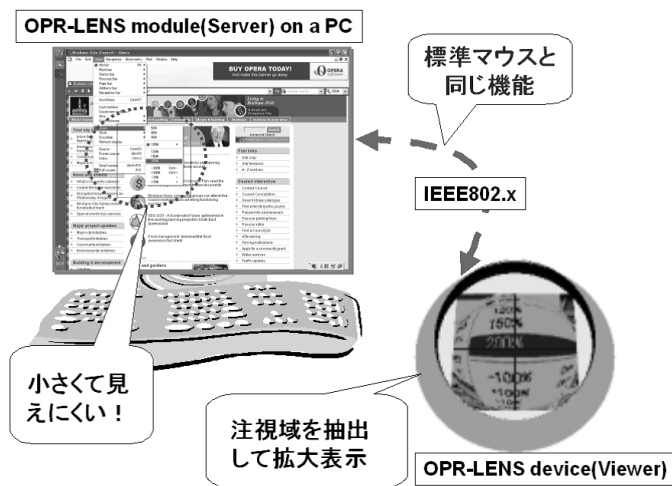


図 3.1 PC 操作を想定した OPR-LENS システムの概要

なければならず、高齢者にとって容易なことではないと推測される。肘までの関節を固定し手先のみを動かす動作であれば、高齢者のみならず多くの人にとって比較的容易ではないかと思われる。この場合、水平に置いた平面、円筒面、あるいは球面を撫でるような動作ということになるが、実際、お年寄りが孫の頭や猫の背中をなでているのはよく見かける光景である。

以上述べたことを前提にすると、入力装置の一つとして、手のひらを球面上に当てて滑らせるだけで端末機器を操作するようなものが考えられる。例えば、木魚の表面を手のひらで撫でて操作することをイメージすることができる。手のひらを滑らせるのであるから、ある程度の設置面積を占めることになるが、従来のマウス操作にはマウスパッドの面積が必要なことを考えれば大きな問題ではないと考える。

3.2 基本構成

OPR-LENS システムは、半球形をした把持具型の入力インタフェースとその支援システムで構成される。OPR-LENS システムの PC 操作を想定した構成を図 3.1 に示す。OPR-LENS システムは、PC など情報アプライアンス側に OPR-LENS モジュールとなるソフトウェアを実装し、ポインティングデバイス側は OPR-LENS デバイスで構成する。

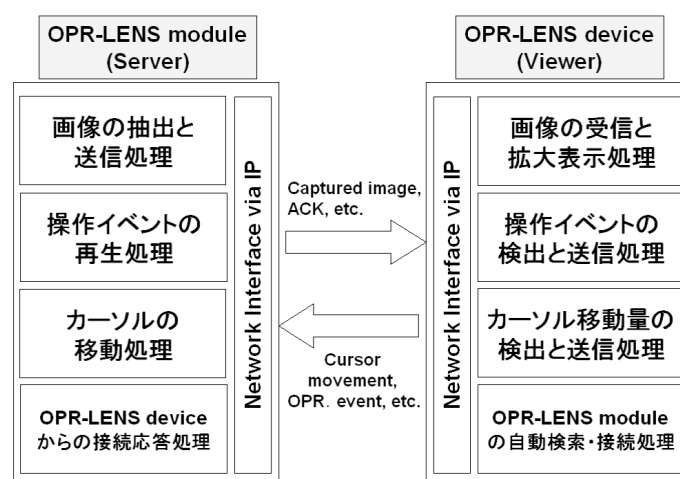


図 3.2 OPR-LENS システムのソフトウェア構成

OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイス間は、TCP/IP を基本プロトコルにして接続される。OPR-LENS モジュールのマウスカーソル周辺に注視域としてフォーカス領域を設定し、その領域内のデスクトップ画面を OPR-LENS デバイスに実装する表示部に部分拡大表示する。OPR-LENS デバイスは標準マウスと同等の機能項目を持たせる。拡大画像は操作支援の効果を高めるように注視域を非線形拡大 [31] させる。OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイスを接続するインタフェースは標準マウスが GUI 上で実現している描画時間間隔を満足するよう決定する。ソフトウェア部の全体構成を図 3.2 に示す。注視域の画像取り出しとその転送機能、ならびに操作イベントの通知と接続対象の自動検索機能を持たせる。OPR-LENS モジュールは主にサーバ機能を有するソフトウェアで構成する。OPR-LENS デバイスはビューア機能と今後拡張可能な操作支援系ソフトウェアで構成する。

3.3 操作方法

操作方法は次のような手順となる。OPR-LENS デバイスの表示部は PC 本体から取り出した GUI の一部分を拡大表示する。半球面上の垂直方向の天頂付近（以下、頂点付近）は特に拡大率を高めて表示している。ここにユーザは手をかざして手のひら全体を半球表面に沿わずように接触させ、手首や肘を中心に回転させる動きで扱う。ユーザは GUI 上で行い

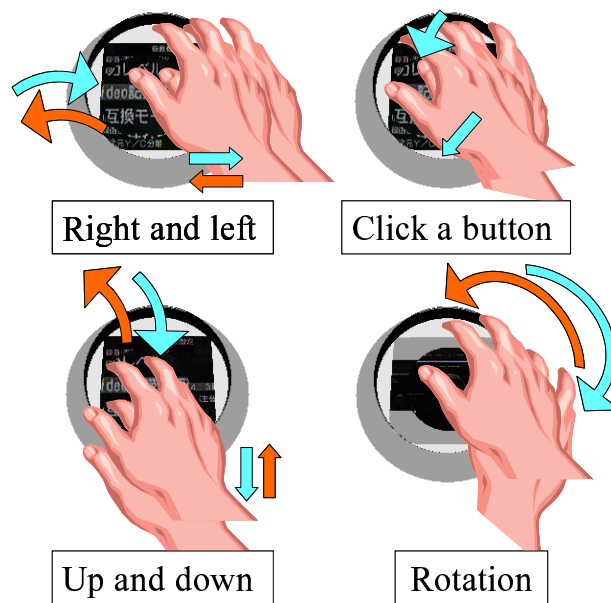


図 3.3 OPR-LENS デバイスの操作

たい操作機能の GUI 領域を頂点付近まで移動させ視認しながら確定操作を行う。

左右方向の操作，上下方向の操作，クリック操作，回転操作を図 3.3 に示す．左右・上下のカーソル移動操作は，撫でる動きで半球体が斜め下方向に押し付けられると，半球体の開口面上の中心軸を支点にして左右・前後に僅かに傾けられることで動作する．クリック操作は，半球体を押し付けることで動作する．ダブルクリック操作は，クリック操作を 2 回行うことで動作する．ドラッグ操作は押し付け続けることで動作し，ドラッグアンドドロップ操作は，半球体を押し付けながら左右・上下操作を行い，最後に押し付けを止めることで動作する．回転操作は半球体を頂点の垂直軸として左右に回転させることによりホイール機能として動作する．現在の仕様は，1 つボタンマウスの機能を網羅している．2 つボタンや 3 つボタンが有するその他の機能は手操作が複雑になり学習負荷が増大するため，今後の付加機能とする．

ところで，撫でる動きと半球表面に手を接触させて半球の開口面中心を支点に傾ける動きとは厳密には異なる．人が物を撫でるときには肘の左右の移動が伴うが，半球を傾ける動きではそれが殆どない．しかし双方とも手首や肘の回転は伴う．筆者は PC など情報機器の操作インタフェースに大きすぎず小さすぎず撫でる動きに近い，半球に手のひらを添えると

半球自体が傾く方法を採用した。

3.4 OPR-LENS システムの特徴と意義

本研究のシステムは、PC(Personal Computer) だけに留まらず、PC を含む広義の情報アプライアンスの設計公理 [21] に基づく。手元拡大型画面インタフェースとして、画像取り出しとその転送系に関する必須機能となるアプライアンス側のソフトウェア部と 3 次元形状を成している操作デバイス部を有する特徴を持つ。TCP/IP を基本連携プロトコルにしており、物理的な接続の形態や距離に依存せず、他用途に応用が容易な面も併せ持つ。このシステムは視覚や操作運動などの生理機能を補助できる。また、アフォーダンスの概念を活用し、日常生活の中で慣れている動作（頭を撫でる、触るなど）とそれ相応の大きさを基調にすることで操作願望を励起させ、心理的な側面でのストレスを低減する役割も持たせている。操作デバイスは昨今のポインティング装置としては大きいサイズを効果的に活用して、ポインティング装置そのもので視認しつつ手元で操作させるという安心感を与え、UI 支援を効果的に高めることができる。

第 4 章

ソフトウェアの構築手法

本章では，ソフトウェア構成の具体的な方法として，GUI 画像の部分取り出しの手法と転送プロトコルについて明示し，実装するソフトウェアを説明する．

4.1 画像取出し手法

PC のデスクトップを遠隔操作するリモートデスクトップシステムは種々あるが [38, 39]，転送データ量やデータ圧縮・伸張時間が大きいいため，これらシステムはデスクトップ全画面をキャプチャする代わりに，画面の殆どの部分が急激には変化しないことを前提として設計されている．一般的に PC のデスクトップ画面は動画再生などの場合を除いて静的表示が多く，リモートに取り出したキャプチャ画面の再描画がゆっくりでも操作に大きな支障が出ないものが多い．リモート操作の用途はサーバ機の設定変更やログデータの閲覧などがその代表例である．それに反して，本研究の提案するシステムでは，ユーザ操作に連動し，且つその操作を妨げない高速性と追従性が要求される．例えば，PC で汎用的な PS/2 マウスの標準的なサンプリング周波数は 40Hz であるから，ユーザがマウスカーソルを連続的に移動させる場合，25ms 毎にはその時刻のポインタ位置を計算し GUI 上に描画されるべきである．これは PC の処理性能上の仕様であるから，ユーザにとって見え方や感じ方は異なるが，本システムのソフトウェア上の性能目標とする．本システムの画像取出しと拡大の手順を図 4.1 に示す 2 つのタイプで比較検討した．図 4.1 中で左側の OPR-LENS モジュールの破線の四角枠内が実際にキャプチャする領域を示している．右側の OPR-LENS デバイスの破線の四角枠内はデバイス上で表示できる領域を表している．図 4.1 は拡大倍率 4 倍の

表 4.1 無圧縮時のデータ転送時間比較

Capturing size [pixel]	Data volume [byte]	Transfer time[ms]	
		IEEE802.x (10Mbps)	USB2.0 (480bps)
512 × 512	1,048,630	838.9	17.5
256 × 256	262,198	209.8	4.37
128 × 128	65,590	52.4	1.09

例を表す。OPR-LENS モジュールの GUI 全画面から部分取り出しする画像の領域サイズは、OPR-LENS モジュール操作部の幾何学的な対象性を考慮して、拡大倍率 1 倍で固定値 N ピクセルの正方形領域を設定している。図 4.1 の上段に示した Type A は、OPR-LENS モジュールから取り出す画像サイズは常に固定の N であり、OPR-LENS デバイスでユーザの要求する拡大倍率に応じて拡大処理して表示部を超えた部分は破棄する方法である。一方、図 4.1 の下段に示した Type B は、OPR-LENS デバイスで表示される領域サイズに合わせて、ユーザの拡大倍率に応じた OPR-LENS モジュールの取り出す画像サイズを切り替えてキャプチャする方法である。Type A は、OPR-LENS モジュールで扱う画像サイズが固定で、画像形式と画像の種類の影響によって差異はあるものの、画像形式が決まれば OPR-LENS デバイスに転送するデータ量は常にほぼ一定値となる。無圧縮時のデータ転送時間を表 4.1 に示す。表 4.1 の Transfer time 値が示すように、OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイス間の接続インタフェースの転送速度に強く依存する。接続インタフェースの実効速度は総じて遅くなるため、本システム側で改善効果を上げることが難しい。一方、Type B は、OPR-LENS モジュールで拡大倍率に応じた処理が必要になるものの、拡大倍率 1 倍の時は Type A と同様であるが、拡大倍率が上がるとともに転送データ量が減少し、本システムの転送系全体の処理時間を向上させ得る。本研究では、Type B を選択した。

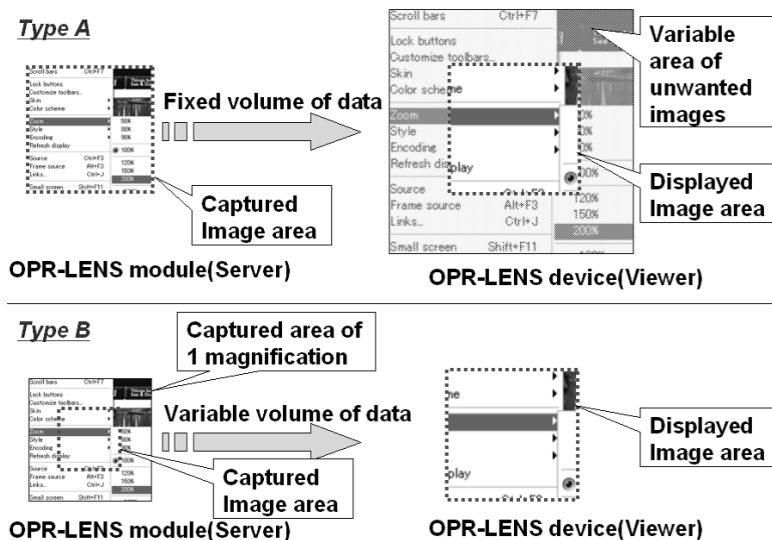


図 4.1 画像取出しと拡大手順の比較

4.2 設定プロトコル

前節で選択した画像取出し手法と本システムの必須機能ならびに自動検索機能を実現するための設定プロトコルを図 4.2 に示す。OPR-LEN モジュール検索処理を行った後、画像データ送受信信用コネクション (Port:8081)、マウスイベントデータ送受信信用コネクション (Port:8082)、カーソル移動データ送受信信用コネクション (Port:8083) を設定する。初期設定後、Port 毎に独立してデータを送受信する。画像データとカーソル移動データは周期的に送受信し、マウスイベントのデータはイベント発生時に送受信する。

OPR-LENS モジュールは OPR-LENS デバイスのリクエストに応じて ACK が PC 上の GUI の部分画像を OPR-LENS デバイスに送信する。拡大倍率 1 倍時に解像度 XGA に対して同アスペクト比の 1/12 領域、256 × 256 ピクセルをデフォルトで送信する。リクエストは、OPR-LENS デバイス接続時のみ発生する初期化通知、OPR-LENS モジュールから取り出し画像を送信要求する画像データ要求、OPR-LENS デバイスでユーザが指示したマウスイベント通知、カーソル移動量通知の 4 つである。このうち画像データ要求とカーソル移動量通知は OPR-LENS デバイスのタイマ処理によって一定周期 T ごとに OPR-LENS モジュールに通知される。マウスイベント通知はユーザ操作によって不定期に

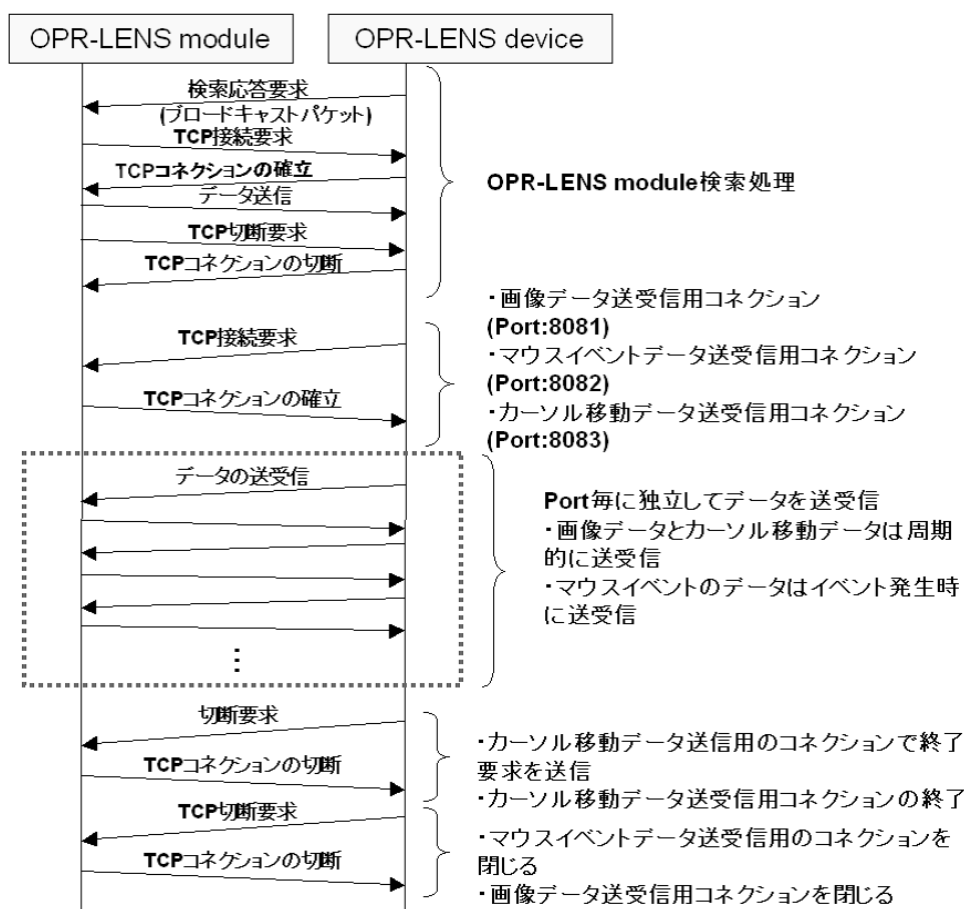


図 4.2 設定プロトコル全体の流れ

随時発生する。本システムでは、TCP ポートを 3 つ使用しており、OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイス間のリクエストのやりとりと OPR-LENS モジュールからの画像データ送信 (Image) は異なるポートを使う。これにより、コネクションは制御用とデータ転送用に分けられている。

4.3 サーバ・ビューソフトウェア

OPR-LENS モジュールのサーバプログラムの流れを図 4.3 に示す。起動後、参加ネットワークから割り当てられる IP アドレスの取得、TCP ポートなどの初期化処理をしたのち、OPR-LENS モジュールからの接続要求待ちとなる。OPR-LENS モジュールから接続要求を受け取るとサーバはビューアに接続し、通信を開始する。接続完了後、OPR-LENS モ

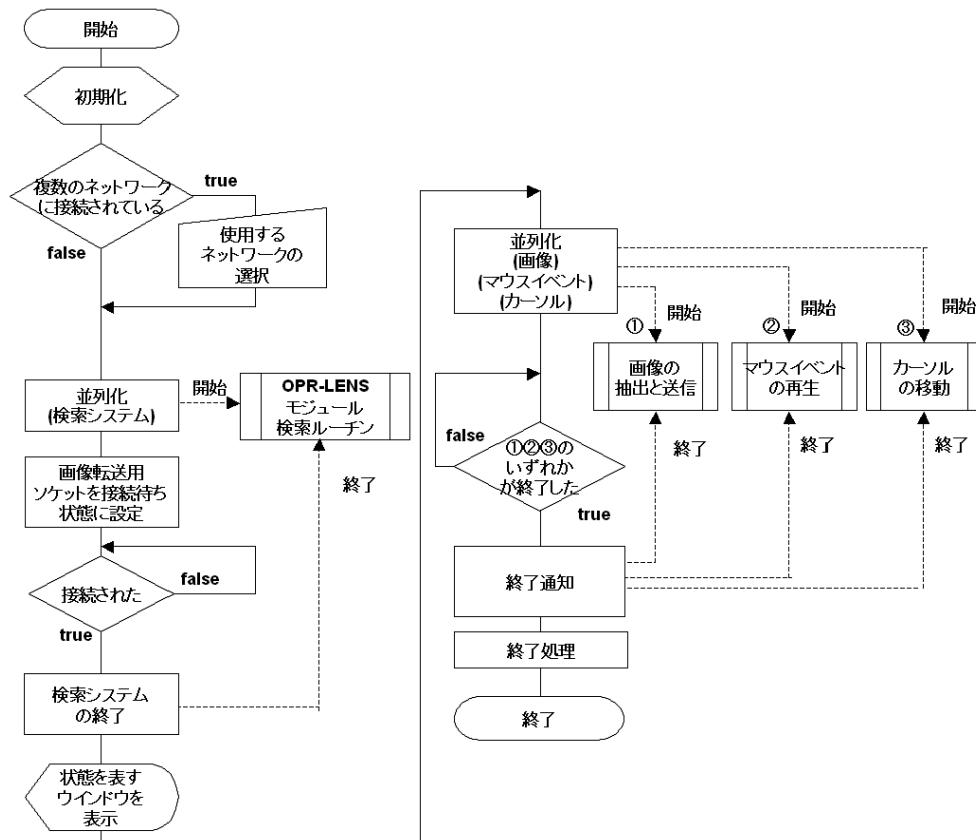


図 4.3 OPR-LENS モジュールのサーバプログラムの流れ

ジュールは GUI 上のマウスカーソルを中心としたフォーカス領域を取得できるようにタスクを常駐化する．ビューアからのイベント受信待機状態となる．待ち受けスレッドは3つで、画像抽出、マウスイベント、カーソル移動量の各イベントに応じたマルチスレッド処理になっている．これ以降は終了要求するまで設定プロトコルに従い通信を行う．

OPR-LENS デバイスのビューアプログラムの流れを図 4.4 に示す．サーバ側が接続待機中であること確認し、通信を開始する．同時に、サーバ側とのカーソル位置座標を一致させるための初期化を行う．これは、ビューアからカーソル移動量の通知をサーバに行い、連動させるための準備である．同時に、マウスクリックの不定期なマウスイベントの割り込み処理を開始する．スレッド処理を行い、カーソル移動量と拡大倍率をユーザが変化させた場合のスレッド待ちとなる．その後、ビューアは予め設定された時間間隔でタイマ割込みを行いながら設定プロトコルに従い処理を行う．ビューアは操作ユーザからのイベント要求以外

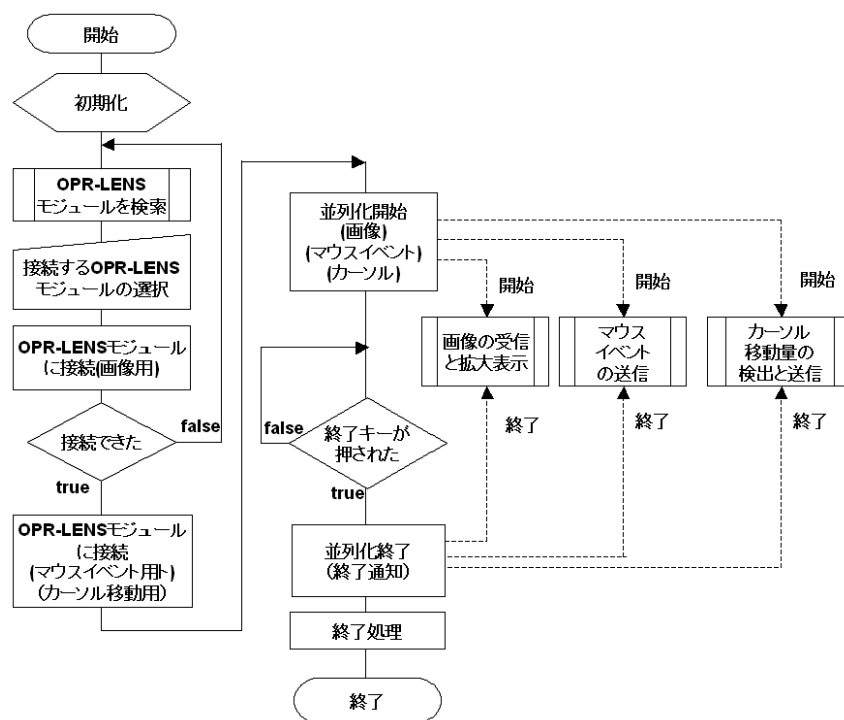


図 4.4 OPR-LENS デバイスのビュープログラムの流れ

は、サーバから受信した画像データをデコードし、拡大処理を施してビューア上の指定領域に描画を続ける。サーバとビューア間の転送画像の画像形式は、ファイルサイズと圧縮・伸長時間のトレードオフから JPEG 形式を採用している。

OPR-LENS システムの自動検索機能はビューア側の検索プログラムとサーバ側の応答プログラムの 2 つによって成り立っている。本機能のフローを図 4.5 示す。以下、流れを説明する。①サーバ側で応答プログラムが起動されブロードキャストパケットの待ち受け状態になる。②ビューア側で検索プログラムを起動され検索が実行されると、検索プログラムは応答プログラムが待ち受けを行っているポート、デフォルトは 18000 ポートに対してブロードキャストでデータを送信し、すぐに TCP の接続待ち受け状態に入る。ブロードキャストでは相手に確実に届くことは確認できないがネットワーク上のすべてのノードに対して同時に通信をすることができる。③ブロードキャストパケットを受け取った応答プログラムはそのパケットから送信元を検出し、送信元に対して TCP の接続要求を行う。要求を行うポートはあらかじめ決められておりデフォルトでは 18002 ポートに設定している。④TCP での接

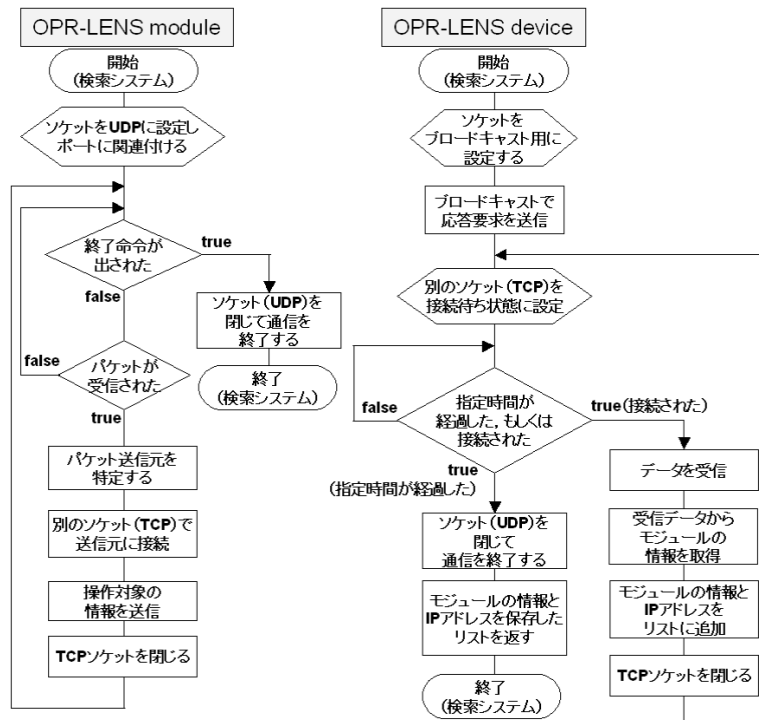


図 4.5 自動検索処理の流れ

続が確立されると応答プログラムはそのプログラムが起動されているサーバの情報を送信して通信を終了する。検索プログラムは接続要求を出してきたサーバの IP アドレスと送信されてきた情報をリストとして得ることができる。

第 5 章

OPR-LENS デバイスの構築手法

本章では，OPR-LENS デバイスのハードウェア部の考え方と基本構造，手操作検出方式について述べる．

5.1 従来のデバイス

今から 20 年以上前の大型コンピュータ全盛の時代から，すでに専門用途としてポインティングデバイスなどの入力装置が開発されていたが，それと同時に人間と機械との接点を求める別の動きが出ていた．1968 年にスタンフォード・リサーチ・インスティテュート (SRI) のダグラス.C. エンゲルバートは，ハードウェアとソフトウェアが一体となった新しいユーザインタフェース技術についての歴史的なプレゼンテーションを行ったが，その中に既にマウスが登場している．1973 年にアラン・ケイは，ゼロックスのパロアルト研究センター (PARC) で，基本機能は今日のものと同様に殆ど変わらないノートブックサイズコンピュータ「ALTO」を完成している．その後，半導体デバイスなどのハードウェア技術の急速な進歩に支えられて，パーソナルコンピュータが名実ともに広く普及することになったが，今日使用されている入力装置の基本的なコンセプトは 20 年前と少しも変わっていない状況である．表 5.1 に，これまで実用化されてきた各種入力装置技術を分類整理して示す．タッチパッド，トラックボール，タブレットなどでは電子的手段により座標を検知するものがあり，機械的な可動部がないので信頼性が高いが，大きな面積に亘る精密な二次元マトリクス電極や精密な位置検出パターンの形成などを必要とするため，高価であり，専門的な用途に限定されてきた．一般的な用途に使われているのは，機械的な可動部を有するマウス，トラックボー

ル，あるいはジョイスティックなどである．これらの入力装置は機械的な回転機構を有するロータリーエンコーダが用いられており，安価であるが壊れやすく信頼性に乏しい．また，位置検出の分解能はロータリーエンコーダの性能に依存しており，コストパフォーマンスを高めて高分解能化を図ることは困難である．最近になって，これらの問題点を解決するものとして，光学式のマウスなどが製品化されてきた．本論文で述べる光学式位置検知方式もこれらの動きと同一線上にあるものである．表 5.1 から明らかなように，検知方式には様々な物理現象が活用されている．これらのいわば人間の智慧の集積は，最近のユニバーサルデザインを考える上でも，いろいろなヒントを与えてくれるものである．ユニバーサルデザイン [40, 41] の定義にたってこれらの従来技術を眺めたとき，その枠を越えた新たな着想が得られるものと期待される．

5.2 OPR-LENS デバイスの着想

入力装置の一例として，手のひらを球面上に当てて滑らせるだけで端末機器を操作するようなものが考えられる．例えば，木魚の表面を手のひらでなでて操作することをイメージすることができる．手のひらを滑らせるのであるから，ある程度の設置面積を占めることになるが，従来のマウス操作にはマウスパッドの面積が必要なことを考えれば大きな問題ではない．このいわば「木魚形」入力装置は，高齢者のみならず家庭の主婦や子供など機器操作に不慣れな人々にとっても使いやすいものになると期待される．操作部は半球状であり，これに手のひらを当ててなでると，撫でた方向にコンピュータ画面上のポインタが動くというものを考えている．では，どのような動作原理を使ってこの機能を実現できるか．実は，撫でただけで画面上のポインタを移動させるための仕組みは，アイデアとしてはいろいろ考えられるが，いずれも簡単に実現できるものではない．そこで，撫でた方向に半球が少し傾く仕掛けを考え，傾いた方向にポインタを移動させる仕組みを考えることにした．

表 5.1 入力装置技術の比較

出力情報形態	代表的なデバイス	検知方式(素子)	特徴
相対値出力	マウス	光学式エンコーダ	専用パッド不要, 可動部クリーニング必要
		光学式エリアセンサ	読み取り精度高い, 専用パッド必要, クリーニング不要, 長寿命
	トラックボール	光学式エンコーダ	専用パッド不要, 可動部クリーニング必要
		光学式エリアセンサ	ボール特殊, 長寿命
	タッチパッド	抵抗膜入力面	透明化可能, 手指・ペン, 手袋装着入力可, 入力荷重 5~15kg 必要
		感圧抵抗材料	不透明, 手指・ペン, 手袋装着入力可, 入力荷重 5~15kg 必要
		静電容量	分解能高い, 不透明, 入力荷重ゼロ, 手指入力のみ, 湿度の影響大
方向値出力	ジョイスティック	可変抵抗器	電気的原点補正が必要, 耐久性低い
		光学式エンコーダ	原点補正不要, 長寿命
	ポインティングスティック	歪みゲージ	可動ストロークなし, 小型
		ホール素子	可動ストローク大, 磁気ノイズの影響大
		感圧抵抗材	可動ストロークあり, 耐ノイズ性大, 小型
		抵抗膜入力面	可動ストロークあり, 薄型化可能
		静電容量	可動ストロークなし, 耐ノイズ性小, 小型
	十字キー	4方向接点スイッチ	ラバーキー対応で低価格
		多接点スイッチ	ソフトウェアで対応, 8/16方向検知可能
	絶対値出力	マトリクスパネル	抵抗膜入力面
光学式マトリクス			分解能低い, 長寿命
アナログパネル		抵抗膜入力面	透明化可能, 薄型軽量
		電磁誘導	高分解能, 専用ペン必要, 入力まえ情報検知可
		超音波	透明度大, 耐久性高い, 汚れ付着に弱い, 高価
		ライトペン	専用ペン必要, 分解能低い, 長寿命

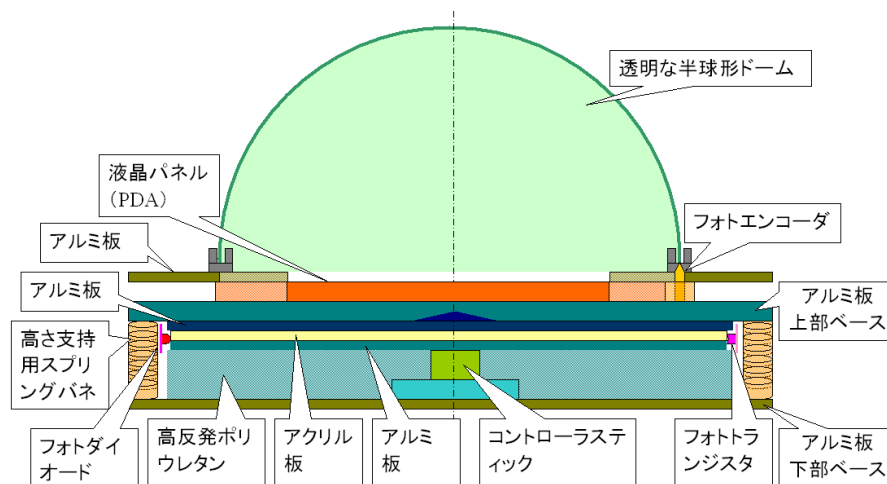


図 5.1 OPR-LENS デバイスの構造断面

5.3 OPR-LENS デバイスの構造

OPR-LENS デバイスは液晶パネルの上に透明半球をドーム状に重ねた構造である。構造断面図を図 5.1 に示す。液晶パネルの上部は透明半球ドームを重ねている。液晶パネルより下層の構造機構は、半球ドームの開口断面の中心軸に同心して接続される。半球ドームのガイド部の 1 つにはアルミ板の裏面にホイールマウスのホイール部^{*1}を取り出したものが取り付けられており、半球ドームの縁断面と摺りあうようになっている。つまり、ドームの回転を検出する機構はマウスホイール内の LED とフォトダイオードである。半球ドームは開口断面の中心軸に同心して回転する。ドームの回転によって発生する「ON」、「OFF」のパルス列を読み取って回転角を算出する。

半球体の傾角の検出は次の通りである。検出部は、図 5.1 の断面中央部付近にあるアルミ板上部ベースの直下に、アクリル板をアルミ板で挟み込んだ 3 層構造になっている。アクリル板は、アクリル板面上で対向するフォトランジスタとフォトダイオードのペアによる導光板の役割を成す。OPR-LENS デバイスのプロトタイプでは検出器と入射光ビームを対向させて X-Y 軸（水平面）に配置させた構造による光学式位置検出方式を採用している。この方法は入射光ビームの位置は変えられない。しかし、X-Y 軸に直交する中心軸を中心に

^{*1} Logitech FirtstMouse+バルクの部品を利用

X 軸回りあるいは、Y 軸回りに回転モーメントが荷重されると導光板が曲げられ、伝播光の経路長が変動する。経路長が長くなれば検出器に到達する光の輝度は減少するため、傾角に応じた位置検出を行うことができる。伝播光減衰特性は実験により別途確認しており、指数近似で減衰定数 0.5 程度が得られている。つまり、一部のノート PC や光学ジョイスティックのポインティングスティックのように数ミリで大きな移動量に対応させることができる。OPR-LENS デバイスでは PDA の底面にこの機構を設け、導光板内の光の伝播減衰特性が指数関数的挙動を示すことを利用する。光検出器の出力信号を対数変換することにより伝播距離に比例する信号を取り出すことができるため、デバイスの傾角を位置座標に 1 対 1 で算出できる。

最後にマウス操作のクリックは、半球体中心軸上の同心するように傾角検出機構のアルミ板の直下にゲームコントローラ^{*2}のスティックバーを設置して対応させた。半球体を押すことでスティックバーのスイッチがクリックされる。最下部のアルミ板下部ベースと傾角検出部の間の空間はスティックバー以外の部分を高反発ポリウレタンで挟み込んでいる。また、高さを維持し、傾け時・クリック時のしっかりとした押し込み感が得られるようアルミ板下部ベースとアルミ板上部ベースの間の四隅をバネで支えている。

5.4 位置検出方式

GUI 上のポインタを移動させるときは、移動の方向と距離を制御する。前節で示した木魚形入力装置について、操作部を傾けたときポインタの移動の仕方をどのように設定するかは、操作性との関係から決める必要があるが、傾けた方向とポインタの移動方向どは一致させるものとする。移動距離の制御方法には次の 2 通りが考えられる。

1. 操作部の傾角に比例した距離だけポインタを移動させる。
2. 操作部を傾けている時間に比例した距離だけポインタを移動させる。

^{*2} Sony PlayStation コントローラの部品を利用

5.4.1 光学式位置検出方式

第 1 の方法は、位置検出方式に座標検出機能をもたせる必要があるが、マウスと類似の操作感覚を持つことができると考えられる。第 2 の方法はポインタの移動を定速とするか、傾角に比例した速度とするかによって操作感覚が異なるが、一部のノートサイズパーソナルコンピュータで使用されているポインティングスティックと似た操作感覚を持つことができると考えられる。ここでは、より自然な操作性が期待される上記 1 の方法に着目し、これを実現するために提案した光学式位置検出方式について説明する。

図 5.2 にその概要図を示す。光が減衰しながら伝播する導光板を用い、その表面に光ビームを入射させる。導光板の周辺部に少なくとも 3 個の光検出器を配置し、伝播光によって生じた導光板表面 3 箇所の輝度を計測する。伝播距離と輝度とは 1 対 1 に対応しているため、図 5.2 の各光検出器から光ビーム入射位置までの距離 r_1, r_2, r_3 が求まる。検出器の間隔を x 軸方向に a 、 y 軸方向に b とすると、光入射点の座標 (X, Y) は、幾何学的に次のように求まる。

$$X = \frac{a^2 + r_2^2 - r_1^2}{2a} \quad (5.1)$$

$$Y = \frac{b^2 + r_2^2 - r_3^2}{2b} \quad (5.2)$$

導光板の表面に垂直に入射した光を取り込んで導光板内を伝播させるためには、導光板に散乱機構を持たせる必要がある。例えば、微粉末状の散乱体を透明な光媒体に均一に分散させたものや、板状の光媒体の片面若しくは両面をすりガラス状の散乱面に形成したものが利用できる。図 5.4 は、導光板の両面が散乱面であるときの伝播光の減衰を説明する概略図である。入射光は導光板表面で散乱される。その一部は導光板内部に入って反射・散乱を繰り返しながら周囲に伝播する。両側の散乱面で散乱する度に散乱光の一部は外部に散逸するため、伝播距離とともに光の強度は減衰する。減衰光強度から伝播距離を求めるとき、両者の関係が直線関係のように単純であることが望ましい。この関係を明らかにするために行った実験結果を次節に述べる。

検出器と入射光ビームを対向させて X-Y 軸に配置させた構造による光学式位置検出方式

について図 5.3 に示す．この方法は入射光ビームの位置は変えられない．しかし，X-Y の直交する中心軸を中心に X 軸回りあるいは，Y 軸回りに回転モーメントが荷重されれば導光板が曲げられ，伝播光の経路長が変動する．経路長が長くなれば検出器に到達する光の輝度は減少するため，図 5.2 の場合と同様に位置検出を行うことができる．

OPR-LENS デバイスでは表示部の底面に図 5.3 の機構を設け，導光板内の光の伝播減衰特性が指数関数的挙動を示すことを利用する．光検出器の出力信号を対数変換することにより伝播距離に比例する信号を取り出すことができるため，デバイスの傾角を位置座標に 1 対 1 で算出できる手法を実現した．

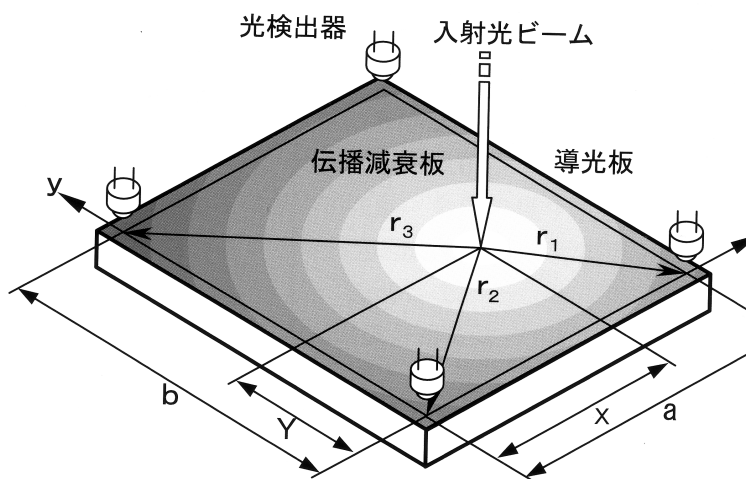


図 5.2 光学式位置検出方式 1

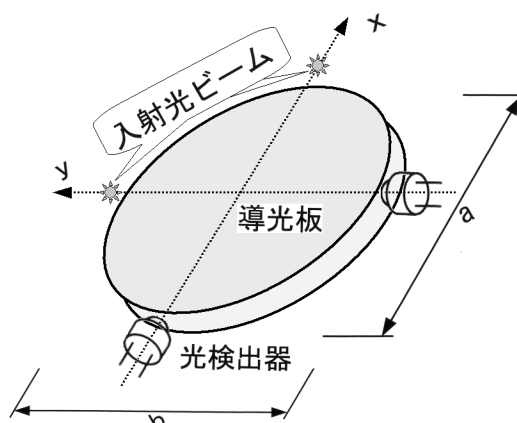


図 5.3 光学式位置検出方式 2

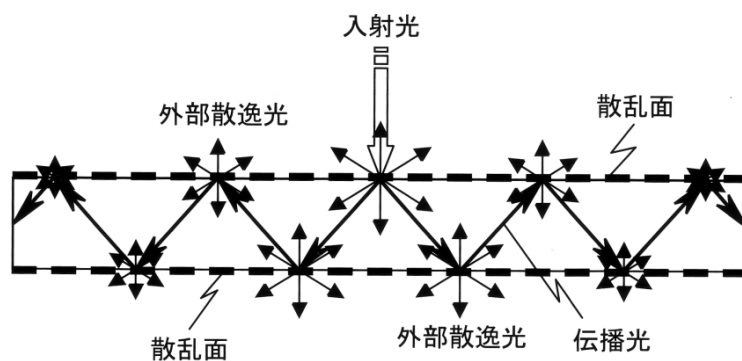


図 5.4 伝播光の減衰原理

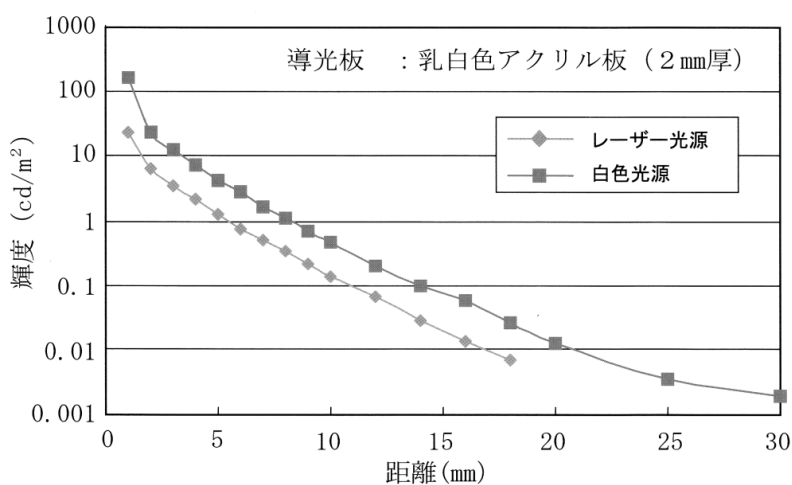


図 5.5 伝播光減衰特性 [3]

5.4.2 光減衰特性

測定試料は、内部に微粉末状の散乱体が均一に分散している乳白色アクリル板を用いた。固定した導光板の一方の面からスポット光を入射し、この入射点から離れた位置で、反対面から輝度計を用いてスポット輝度を測定する。輝度計を導光板と平行に移動させて測定を繰り返すことにより、光入射点からの距離に対する輝度分布を求めた^{*3}。入射光には、ペンライト (商品名:ミニマグライト) による白色光と、半導体レーザーからのレーザー光を用いた。白色光は、集光後ピンホールを通してスポット光とした。レーザー光は集光時のビーム径が

*3 本測定は、高知工業高等専門学校電気工学科菅研究室の実験 [3] による。

公称 55 μm である。なお，入射スポット光の輝度は $10,000\text{cd}/\text{m}^2$ 以上あることを確認している。導光板についての測定結果を，図 5.5 に示す。乳白色アクリル板を用いた場合は，入射光の散乱で導光板に取り込まれる光は導光板内部での散乱が繰り返し行われ，反対面から散逸する光が少なくなっているものと考えられる。また，導光板内を伝播する光も繰り返し散乱され，表面に到達した光だけが外部に散逸しているものと考えられる。この結果，伝播光は距離に対してほぼ一定の割合で減衰することが示された。図 5.5 の直線的に変化する部分を $y \cdot \exp(-\alpha x)$ と指数近似して得られる減衰定数 α は，光源の違いに関わらずほぼ 0.45 となった。このことから，前述したユーザ操作の傾き角に応じた光学式位置検出方式が実現できることが確認された。

第 6 章

OPR-LENS システムの試作

本章では，OPR-LENS システムの OPR-LENS デバイスとソフトウェアの試作システムについて述べる．

6.1 OPR-LENS デバイスのプロトタイプ

OPR-LENS デバイスのプロトタイプを構築した．

OPR-LENS モジュールは PC(P3-1GHz,256MB) 上に実装し，OPR-LENS デバイスは，

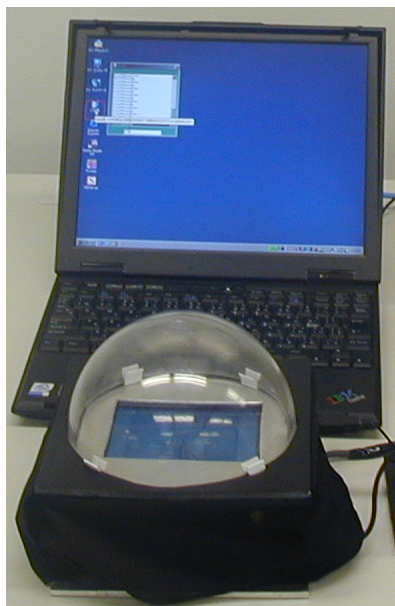


図 6.1 OPR-LENS システムの外観

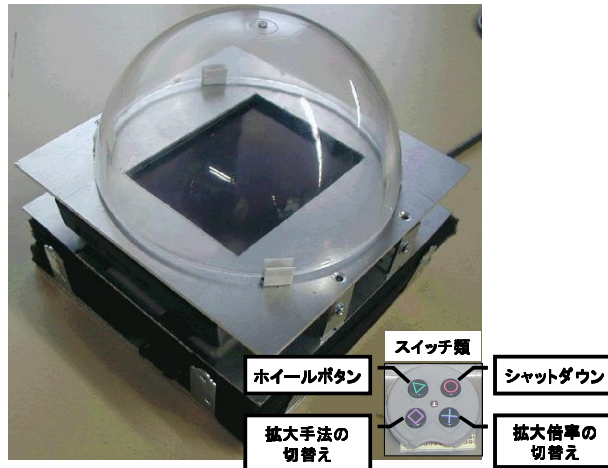


図 6.2 OPR-LENS デバイスの外観

PDA^{*1}を改造して構築した。試作した OPR-LENS システムの全体像を図 6.1 に，OPR-LENS デバイスを図 6.2 に示す。OPR-LENS デバイスは，PDA の TFT 液晶パネルの上に透明半球をドーム状に重ねた構造である。半球の直径は日本人の子供の頭の大きさとなる 15cm にした。注視域の拡大画像は，TFT 液晶パネルの中央部に表示した。手の動作検出機構は，PDA の下に構築した。OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイスの接続インタフェースは IEEE802.11b の無線 LAN を用いた。事前の予備実験で実施した主観量評価で評価値が高かった虫眼鏡状拡大を標準とした。拡大手法の切り替えは，図 6.2 内右下に示した OPR-LENS デバイスの制御回路と PDA の USB 端子の間に設けているボタンスイッチによってトグル的に切り替えられる。スイッチの機能は，OPR-LENS デバイスのシャットダウン，拡大倍率切り替え，ホイールボタンを割り当てている。制御回路は AVR マイコン^{*2}を中心に構成し，接続インタフェースは PDA の USB 端子に接続した。

*1 Sony VAIO-U50

*2 Atmel AVR，AT90S2343 ほか

6.2 注視域拡大表示のプロトタイプ

OPR-LENS デバイスに描画される表示領域サイズは、480 × 480 ピクセルに設定した。表示色数は True Color(24bit) に設定した。サーバとビューアソフトウェアは、.NET Framework1.1 上で動作する。開発言語は、C#を用いた。実装したソフトウェアの OPR-LENS デバイス側画像表示部を図 6.3 に示す。OPR-LENS デバイスのカーソルを移動させると OPR-LENS モジュール側 PC のカーソルが連動して移動する。フォーカス領域の移動に追従して OPR-LENS デバイス側に表示された表示画像も変化する。起動時の拡大倍率はアスペクト比 9 倍に設定した。拡大倍率の変更範囲は 1 倍から 100 倍である。現在設定している拡大手法の種類は、図 6.4 に示すように、パターン 1 からパターン 5 の 5 つである。パターン 1(Pattern-1:Single focus) は注目点を上に引っ張りあげて上から眺めるようなモデル [32]、パターン 2(Pattern-2:Magnifying glass) は虫眼鏡、パターン 3(Pattern-3:Seeing through a glass ball) はガラス球を透して上から眺めるようなモデル、パターン 4(Pattern-4:Constrained transformation) は球体の表面にテクスチャを貼り付けたようなモデル、パターン 5(Pattern-5:Planetarium view) はプラネタリウムのように球の表面に投影したモデルである。この座標変換は、OPR-LENS モジュールから受信した画像データを OPR-LENS デバイス上で拡大するときに処理している。拡大手法の切り替えは、キーボードの特定キーを押すことによってトグル的に行う。



図 6.3 OPR-LENS デバイス上の注視域取り出し画面例



図 6.4 注視域の拡大パターン (Pattern-1:Single focus, Pattern-2:Magnifying glass, Pattern-3:Seeing through a glass ball, Pattern-4:Constrained transformation, Pattern-5:Planetarium view)

第 7 章

ソフトウェアシステムの評価

OPR-LENS システムに求められるソフトウェアシステムとしての要求性能とプロトタイプの評価結果を議論する。リアルタイム性を満足することは、応答速度が速いことではなく、厳密には、システムに課せられる時間的制約が満足できることを意味する。よって、リアルタイム性が要求されるシステムの設計ではその時間的制約が具体的にどの程度の時間であるかを知る必要がある。

7.1 要求性能

OPR-LENS システムには、ポインティングデバイスとしての側面と拡大表示機能をもったディスプレイとしての側面がある。ここでは要求される最大処理時間の具体的な基準値として次の設定をした。ポインティングデバイスとしては、USB マウスの最大サンプリング周波数 125[Hz] を、拡大表示機能を持つディスプレイとしては、VGA サイズで 30[fps] を目標とする。インターバル時間として、ポインティングデバイスとしての処理は 8[ms] 以内に、ディスプレイとしての処理は 33[ms] 以内に終了しなければならないことになる。

一方、OPR-LENS システムのソフトウェアでは、画像の処理、カーソルの移動処理、マウスイベントの処理をすべて並行に行う。これは、それぞれの処理の完了に要する時間に大きな隔たりがあるためであり、また、それぞれに要求されるリアルタイム性（時間的制約）にも違いがあるためである。アプリケーションレベルで実現できる並行処理は、CPU のアーキテクチャによる並列化とは違い、OS によって CPU 消費時間がそれぞれの処理に分配され、すべての処理が少しずつ順番に処理されていくという仮想的な並行処理である。そのた

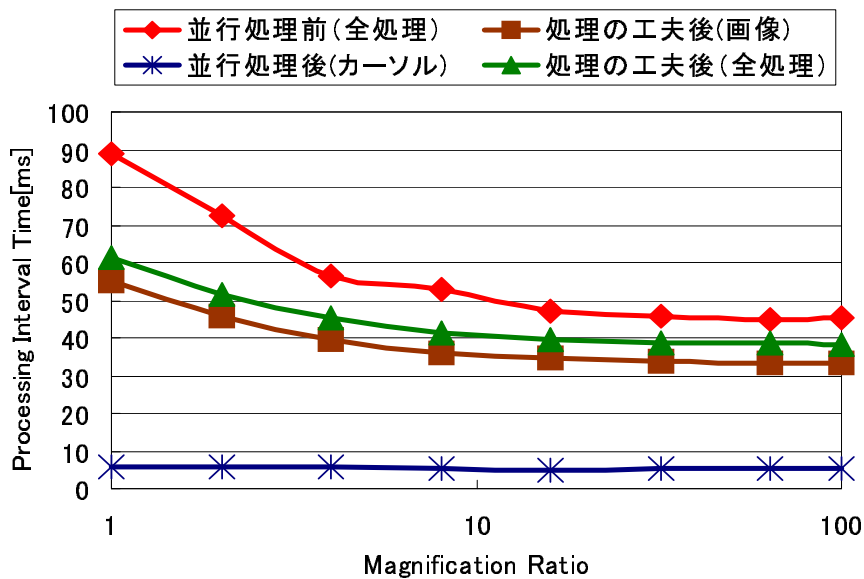


図 7.1 実装ソフトウェアのインターバル時間の実測値

め、並行化を行うとそれぞれの処理に要する時間は長くなってしまふ。しかし、カーソルとマウスイベントの処理は、処理を行う周期が短くなる。これは、画像の処理中に待機していた時間を省略できたからである。このような並行化を行うことにより、短時間で完了する処理は短い周期で実行することができるため、カーソルの移動やマウスイベントのリアルタイム性が大きく向上する。

7.2 リアルタイム性

並行化を行う前後で、システムのリアルタイム性がどのように変化したかを実験により測定した。拡大倍率を 1 倍から 100 倍まで変化させて、並行化前のシステムでは画像、カーソル、マウスイベントのすべてを合わせた処理の周期を測定し、並行化後のシステムでは画像の周期とカーソルの周期をそれぞれ測定した。カーソルの動き方によって、背景画像が変わってしまい、画像データの大きさが変化してしまう可能性があることから、カーソルの移動は評価用プログラムによって制御しながら画面上の 20 箇所を測定し、背景画像は同一 (Yahoo!Japan の Web ページ) に固定した。OPR-LENS モジュールから OPR-LENS デバ

イスへの転送画像の画像形式は JPEG 形式を用いた。拡大倍率を横軸にしたインターバル時間の測定結果を図 7.1 に示す。並行化前と並行化後ではカーソルの移動処理の周期が大きく短縮されているのがわかる（並行化前のカーソル移動の周期は全体の周期にほぼ等しい）。各倍率におけるカーソル移動時間の周期の平均値を求めると 5.4[ms] であり、前述の目標値 8[ms] よりも短い。よって、ポインティングデバイスとして要求されるリアルタイム性は満たしているといえる。画像部の処理間隔について見てみると、並行化後の方が並行化前よりも処理時間が短くなった。これは、並行化の過程においてマルチスレッド処理の割振りの見直しを行ったためである。ユーザに対して別途報告を行った主観量評価結果 [42] で最も良いとされた拡大倍率 5 倍前後では、画像の周期は 40[ms] 以下であることが分かった。これは前述の目標値、33[ms] を超えてしまっているが、フィルム映画の 1 フレームの時間である 40[ms] とは同程度もしくはそれよりも短い時間であり、要求性能を満足するものである。図 7.1 に示す処理の工夫を施した実装ソフトウェアのインターバル時間の実測値からも実用上問題ない性能が確認できた。

第 8 章

ポインティング評価

OPR-LENS デバイスは、手のひらを撫でるようにデバイスに接触させて操作する形態であり、デバイス上における動作の移動幅は殆どない。よって、間接指示型デバイスの 2 次元ポインティング作業に近い状態で操作されると考えられる。そこで、試作デバイスを用いて開始点から目標オブジェクトを指示するまでの操作時間と誤り率を測定 [43] し、Fitts の法則を 2 次元空間の作業に拡張した MacKenzie の推定式 [44, 45] を用いて評価した。なお、操作時間 MT は、ターゲット中心までの距離を D 、ターゲット幅を W として、

$$MT = a + b \cdot \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1.0 \right) \quad (8.1)$$

で表わされる。式中の $\log_2(D/W + 1.0)$ はポインティングの困難度 (ID: Index of Difficulty), a, b は定数である。 a は困難度 ID と操作時間 MT の関係を示す直線の y 切片, b は直線の傾きで情報が中枢-筋-視覚系-中枢と一巡する時間に比例する値をとる。

また、デバイスの性能差を検討するには評価基準測定としてスループットが良い選択である。スループットは、操作時間と誤り率を合わせた測定である。ポインティングタスクの困難度 ID やその範囲から比較的独立しており、ISO 規格 [43] では以下の通り計算される。

$$Throughput(TP) = \frac{ID_e}{MT} \quad (8.2)$$

ここで ID_e は、

$$ID_e = \log_2 \left(\frac{D}{W_e} + 1.0 \right) \quad (8.3)$$

であり、 W_e は有効ターゲット幅である。



図 8.1 操作中の OPR-LENS デバイス

8.1 実験方法

被験者は、PC 操作に慣れている 20 代電気系学生 10 人、日頃 PC を使っていない 50 代主婦や会社員 5 人とした。

実験はデスクトップ PC と以下の 3 つのポインティングデバイス、

- マウス*¹を使用した場合、
- トラックボール*²を使用した場合、
- OPR-LENS デバイス (OPR-LENS) を使用した場合、

で実験した。

学習効果のバランスをとるために、被験者はランダムに 3 つのグループに分け、各グループが実験するデバイスの順序は重ならないようにした。

実験は、図 8.1 に示すように PC の前に着席し右手で操作させた。以下に目標アイコン

*¹ Microsoft Optical Mouse を使用

*² Kenginton Expert Mouse を使用



図 8.2 操作時間測定用画面

を操作するまでの手順を説明する．OPR-LENS モジュールを実装している PC のディスプレイにユーザがポイントするアイコンを図 8.2 のように配置した．ディスプレイの解像度は 1400×1050 pixels (SXGA+) に設定し，アイコンの大きさは 32×32 pixels で固定している．被験者は，出発点として表示画面の中央にあるアイコンをクリックする．次に，画面上に表示される中央のアイコンを除いたアイコン 1 つをクリックしてもらう．アイコン 1 からアイコン 12 の表示は，ランダムに 1 つだけ画面上に表示される．これをアイコン 1 からアイコン 12 まで繰り返す．画面中央のアイコンと他のアイコンまでの各所要時間を取得した．被験者には操作手順を事前に説明し，数回の練習を行わせた．アイコン 1-12 の 12 種類について各々 10 回の測定を実行した．各試行時のクリックが所望のターゲットを捉えられない時は画面の色を変化させて被験者に知らせるとともに，操作エラーとしてカウントした．なお，OPR-LENS モジュールを実装している PC 側の OS (Microsoft Windows XP) のポインタの設定は，ダブルクリックの速度とポインタ動作速度は調節バーを「遅く」と「速く」の中間に設定し，ポインタの加速は「遅く」に設定した．

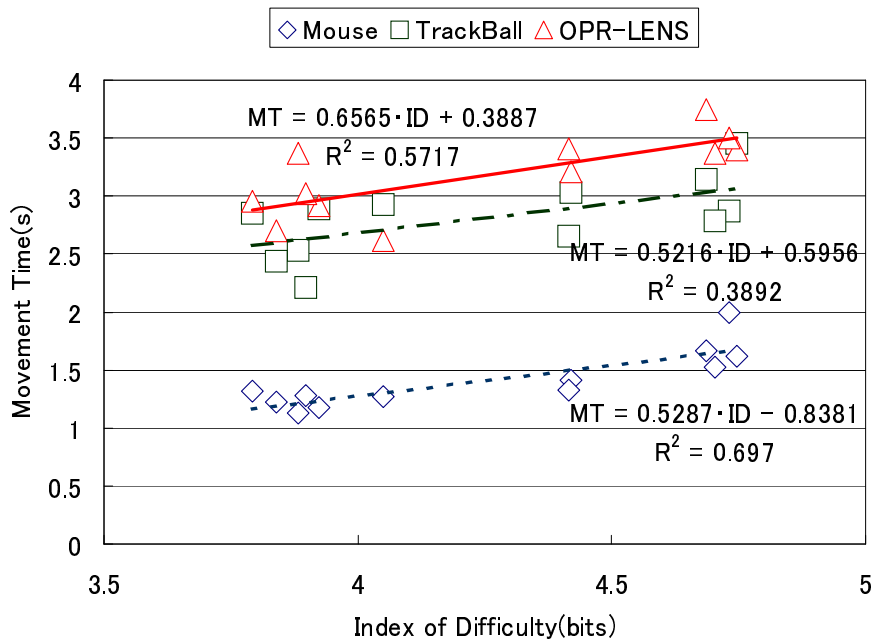


図 8.3 デバイス種類別の困難度と操作時間の関係

8.2 結果と議論

学習効果のバランスをとるためにランダムに分けられた 3 つのグループ間に有意差は認められなかった。それぞれの測定における主効果と交互作用について以下に述べる。

8.2.1 速度

各デバイスの操作時間は有意差が見られた ($F(2, 504) = 136.7, p < .0001$)。また、ID の主効果も有意であった ($F(11, 504) = 2.44, p < .006$)。デバイスの種類と測定パターン間の交互作用は認められなかった ($F(22, 504) = .66$)。

デバイスの種類別による操作時間の比較を図 8.3 に示す。図 8.3 より、マウスが最も速く操作でき、OPR-LENS は最も遅かった。OPR-LENS の平均操作時間は、3.18s であった。他デバイスと比較すると、マウスが 44%(1.41s)、トラックボールが 88%(2.82s) であった。また、直線回帰して求めた寄与率 R^2 値は、マウス:0.70、トラックボール:0.39、OPR-LENS:

0.57 と高い値を示さなかった。

次に、年代別・デバイスの種類別による操作時間の比較を図 8.4 に示す。50 代の被験者は 20 代の被験者に比べてマウスで 2 倍、トラックボールや OPR-LENS で 1.5 倍程度の操作時間を要した。また、どの年代もマウスが最も速く操作でき、OPR-LENS は最も遅かった。20 代ではトラックボールと OPR-LENS の操作時間は同じ程度であった。

年代別の相違は、50 代の被験者が PC 操作に慣れていないユーザであったことが挙げられる。またデバイス別の差異は、指先と手首を中心に操作するマウスに比べてトラックボールや手のひら全体で傾ける OPR-LENS では動作がゆっくりとなるためである。OPR-LENS の操作時間が長くなる原因には、PC のディスプレイで全体構成を見ながら OPR-LENS デバイスの部分画像を見るという視線移動によるものも考えられた。

操作時間には「慣れ」が深く関わる。ポインティングデバイスを手で操作するとき、日頃からパソコンを使用している 20 代の被験者は事前説明した操作方法が直ぐ理解できるが、50 代の被験者は意味の理解と実際の操作の一致に時間が掛かる。また、操作するとき手に無理な力が入ったり、限られた範囲の操作と GUI 上のカーソル移動の対応に苦戦しやすい。「慣れ」という点で比較してみると、明らかに 20 代の人の方が操作に早く慣れ、50 代の方は操作に慣れるのに時間が掛かった。

8.2.2 精度

最も誤り率が低いのは OPR-LENS であったが、トラックボールと同程度となった。年代別、デバイス別の誤り率について、図 8.5 に示す。各デバイスの誤り率は有意差が見られた ($F(2, 504) = 19.8, p < .05$)。また、年代の主効果も有意であった ($F(1, 504) = 278.1, p < .004$)。各条件の誤り率の平均は、20 代の場合はマウス：2.44%、トラックボール：1.48%、OPR-LENS：1.67%であった。50 代の場合はマウス：5.42%、トラックボール：4.17%、OPR-LENS：4.09%となった。20 代の被験者に比べて 50 代の被験者の誤り率は 2-3 倍程度である。

年代によって誤り率が異なるのは速度の評価と同様な要因が考えられる。被験者が PC 操

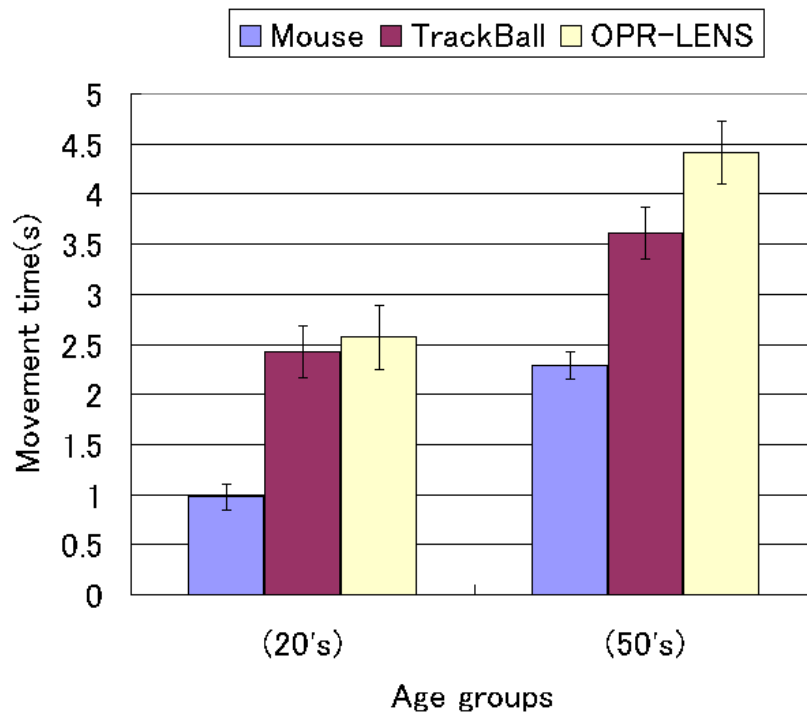


図 8.4 年代別，デバイス別操作時間の比較

作に熟練していた 20 代の場合，PC 上の GUI 表示と操作するデバイスの対応訓練が出来ている．ID に依らずに操作が安定して自動化されるが，PC 操作に熟練していない 50 代では難しい．マウスとトラックボールの誤り率の違いは次のように考えられる．一般にマウスよりもトラックボールが位置決め時に有利であることが知られており，カーソル移動時は操作速度が出ないものの，カーソルをターゲットに正確に置いて安定してクリックできているためである．OPR-LENS の誤り率はトラックボールと同等であり，ゆったりとした操作感のために被験者が急がず慎重に操作選択しクリックできている結果と考えられた．これは PC 操作に慣れたユーザでも，全く慣れていないユーザでも同等の操作性を持つことを示している．

以上の結果から，OPR-LENS デバイスの操作は標準マウスよりも時間が掛かるものの安定したポインティング操作が確認できた．

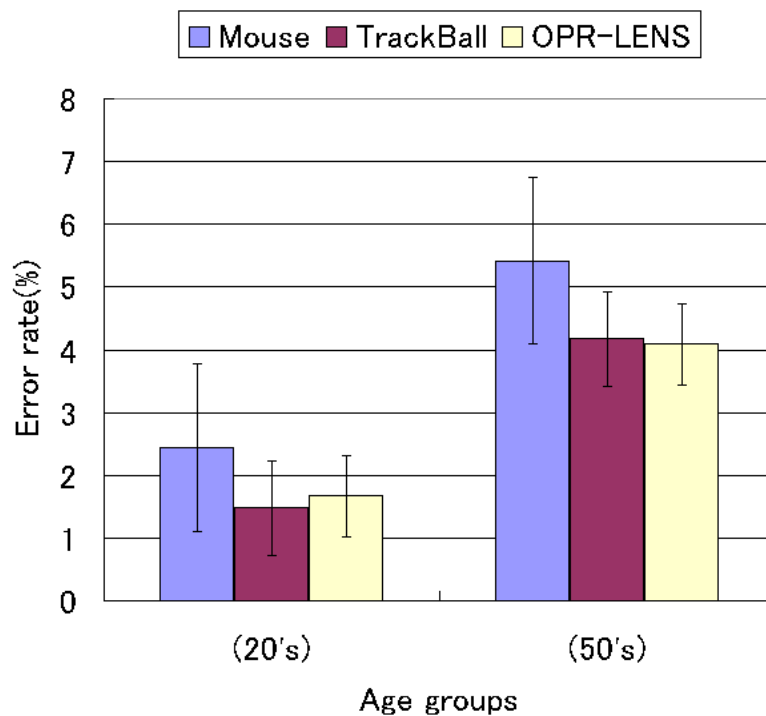


図 8.5 年代別，デバイス別誤り率の比較

8.2.3 スループット

測定した操作速度の平均値と誤り率の平均値からスループットを求めた．マウスが OPR-LENS やトラックボールの 2 倍以上の高いスループットを示した．OPR-LENS とトラックボールはほぼ同じとなった．年代別，デバイス別のスループットについて，図 8.6 に示す．各条件のスループットは，20 代の場合はマウス：4.37bps，トラックボール：1.76bps，OPR-LENS：1.66bps であった．50 代の場合はマウス：1.86bps，トラックボール：1.18bps，OPR-LENS：0.96bps となった．20 代のマウスのスループットが 4.37bps と 50 代の 2 倍以上高い．PC 操作に熟練しているためである．Mackenzie らのリモート操作デバイスとしてのマウス操作の実験 [46] によると，マウスのスループットは 3.7bps と報告されている．筆者の結果が 15%高い値を示しているが，評価用ソフトウェアや被験者の熟練度から妥当な値と考える．20 代マウスのスループット以外は年代別，デバイス別の差異は小さい．50 代ではマウスのスループットが 20 代の半分以下に激減するものの，特に OPR-LENS とト

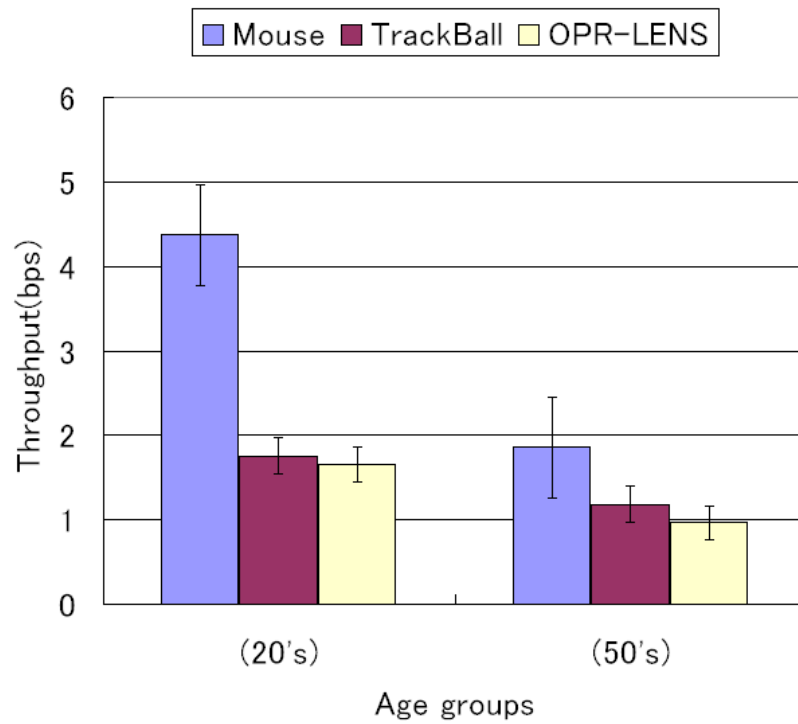


図 8.6 年代別，デバイス別スループットの比較

トラックボールが同じ傾向を示すことから OPR-LENS は年代や困難度 ID に依らずトラックボールと同等の性能を有すると評価できる。

第 9 章

ユーザビリティ評価

OPR-LENS デバイスの注視域表示とデバイス全体について、システム実装前に実施した予備実験と実装後のユーザ評価結果を議論する。

9.1 予備実験

OPR-LENS システムのプロトタイプを実装する前に拡大機能のみをノート PC 上に実装し、カテゴリ評定尺度による主観評価を実施した。設問項目は次の通りである。

設問 1 非線形拡大効果を適用した拡大表示画像の見易さ（パターン 1 からパターン 4）。

設問 2 このような拡大機能は便利だと思うか。

設問 3 このような拡大機能を使ってみたいと思うか。

設問 4 拡大は何倍くらいが良いか。

実験はもともとの GUI を持つ PC 上に OPR-LENS モジュールを実装し、その PC の前に注視域の拡大機能のみを実装したノート PC を置いた。PC 側のマウスを操作してカーソル移動を行い、注視域がノート PC 上の画面に反映されることを確認させた。

被験者は、PC 操作に慣れたユーザとして工学部情報系や電気系の 20 代学生 20 名ほか、日頃殆ど PC 操作経験のない 50 代以上の主婦や事務職員などを含む、10 代 6 人、20 代 20 人、30 代 5 人、40 代 12 人、50 代 11 人、60 代 6 人の計 60 人である。調査前に OPR-LENS システムのモジュール部とデバイス部のソフトウェア表示とその関連、意味を説明したあと、Web ブラウザを操作してもらい、各設問について 7 段階のカテゴリ評定尺度図で評価させ

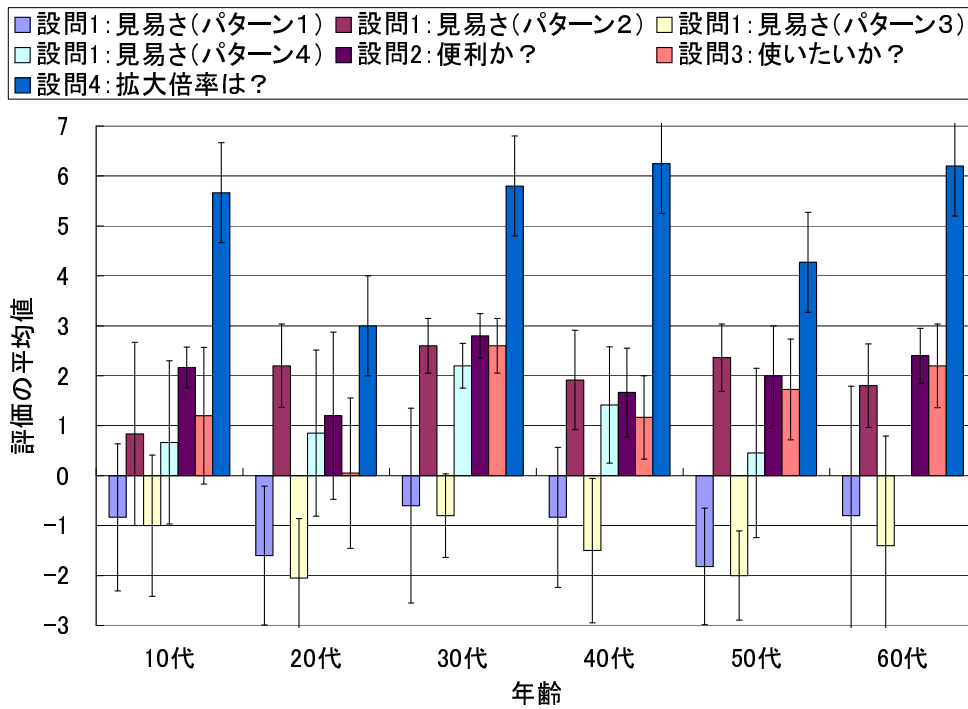


図 9.1 注視域取り出しの事前調査結果

た [42] . カテゴリは , 非常に悪いを -3 , けっこう悪いを -2 , 少し悪いを -1 , どちらともいえないを 0 , 少し良いを +1 , けっこう良いを +2 , 非常に良いを +3 とした . また , 拡大倍率の好ましさについても実際に拡大率を被験者に可変してもらい , 好ましいものを選択させた . 拡大倍率の数値は面積比で表わしている . 非線形拡大パターンは , パターン 1 からパターン 4 の 4 つである . パターン 1 は注視域中心を上 に引っ張りあげて上から眺めるようなモデル [32] , パターン 2 は虫眼鏡モデル , パターン 3 はガラス球を透して上から眺めるようなモデル , パターン 4 は球体の表面にテクスチャマッピングしたモデルである . 年代別の評価結果を図 9.1 に示す . 各年齢ごとに図中左より順番に設問 1 から設問 4 までの評価の平均値を表わしている . 拡大方法についてはパターン 2 とパターン 4 の評価が高い . パターン 2 は , もともとの GUI 画面と拡大表示される注視域の表示が相似となる拡大であるから , 双方の位置関係の把握が容易で被験者に受け入れやすいものと思われる . パターン 4 は筆者が球面を想定していたものであるが , 予想したほど評価されなかった . 択一式で良いパターンを選択させると全ての年代でパターン 2 が選ばれた . 「便利だと思うか」「使ってみたいと思うか」

という調査に対しては、全ての年代で操作レンズ型デバイスの拡大機能を好意的に評価していることが分かる。しかし、PC 操作に慣れている 20 代の被験者は拡大表示機能をそれほど必要ないと感じていることが分かった。拡大倍率については、20 代を除いて概ね 4 倍から 6 倍が望まれていることが分かった。

9.2 プロトタイプのユーザ評価

前章で示したポインティングデバイス評価実験のあとにカテゴリ評定尺度による主観評価を実施した。設問項目は次の通りである。

設問 1 注視域画面がデバイス上にあるのは便利か。

設問 2 操作と注視域画面の視認は両立できるか。

設問 3 カーソルの操作感はどうか。

設問 4 クリックの操作感はどうか。

設問 5 デバイス全体の操作感はどうか。

設問 6 このデバイスは便利か。

設問 7 このデバイスを使いたいか。

設問 8 非線形拡大効果を適用した拡大表示画像の見易さ（パターン 1 からパターン 4）。

設問 9 拡大は何倍くらいが良いか。

それぞれの質問に対して-3（非常に思わない）から+3（非常に思う）の 7 段階で回答させた。拡大倍率については良いと思う倍率を答えさせた。被験者はポインティング評価実験の被験者 15 名とアンケートのみの被験者を合わせた、20 代 13 人、50 代 6 人、60 代 9 人の計 28 人である。事前調査と同じく Web ブラウザを操作してもらった。年代別の評価結果を図 9.2 に示す。各年齢ごとに図中左より順番に設問 1 から設問 7 までの評価の平均値を表わしている。20 代の被験者に比べて 50 代、60 代では評価が上がっており、年齢が高いユーザに好意的に受け止められていると思われる。しかし悪いという評価ではないものの、50 代、60 代ともにカーソルの操作性で低い値となった。特に 50 代ではクリックの操作性

表 9.1 見易さ評価の比較

予備実験時		プロトタイプ操作後	
選択された見易さ		選択された見易さ	
パターン 1	1.7 %	パターン 1	15 %
パターン 2	72 %	パターン 2	59 %
パターン 3	1.7 %	パターン 3	19 %
パターン 4	24.7 %	パターン 4	7.4 %

も低い値となった。60代は評価平均値 1.0 とまずまずの評価を得ている。50代の大多数はポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたためデバイスの操作に慣れてきたと考えられ、OPR-LENS のプロトタイプ設計時に想定した「しっかりとした押し込み感」より、「操作の軽快さ」を求めているのではないと思われる。一方、20代は大多数がポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたが評価が低く標準偏差も大きい。被験者によって OPR-LENS デバイスへの感じ方や捉え方に大きな差異があることが分かる。また、カーソルやクリックの操作性で評価が低いことから、もっと速い操作速度を求めていると思われる。また、事前調査と同じくそれ程必要ないと感じていることが分かった。これらのことから、OPR-LENS デバイスの更なる改善と、ゆったりと操作してもらうために OS 上のカーソル移動の加速速度を遅くしていたが、ユーザ層に応じた速度の適応制御が必要と思われる。

また、注視域画面と操作の両立については 60 代の評価平均値が -0.5 と低くなっている。60 代の被験者は OPR-LENS デバイスの操作が初めてであることから、操作に意識が集中するため、注視域画面の視認が困難になっているものと考えられる。これに対して 50 代の大多数はポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたため、デバイスの操作に慣れていたことが考えられる。つまり、60 代も操作に慣れてくれば 50 代のように評価が上昇する可能性があると思われる。

次に非線形拡大パターンについて予備実験の評価値と比較を行った。各拡大パターンの選択された割合を表 9.1 に示す。予備実験では評価の低かった拡大パターンでもプロトタイプ

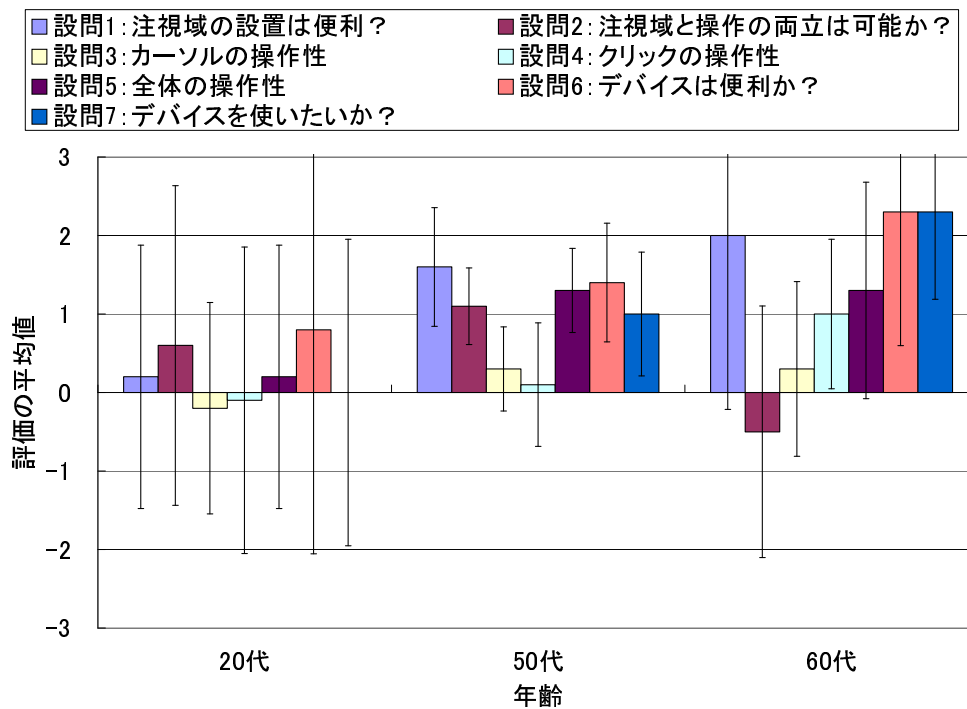


図 9.2 注視域取り出しとデバイス操作の調査結果

操作後は評価が上がっている。予備実験では見にくいと評価されていた拡大パターンの評価が上がったことから、複数の拡大パターンを実装する意味があることが確認できた。拡大倍率は各年齢とも 4 倍から 9 倍の範囲が好まれ予備実験とほぼ同じ結果となった。

主観評価によるアンケートのあとインタビューを実施した。その結果、「どのようなところまで応用できるかが課題」、「少し見にくいものもあったが、全体的に細かいものも見る事ができた」、「いろいろな人などの特徴を捉えるのに良いと思う（顔紋など）」、「目の悪い人にはとても良いと思う」、「3 倍ぐらいにすると、メガネをかけなくても字が読めた」、「用途によっては 20 倍以上が見やすいと思う」、「歪んだ画像は見づらいのでは?」などの自由意見を得た。否定的な意見よりも、より良い操作や利用用途に関する積極的な意見が多かった。このインタビュー時にデバイスのどの部分に手を置くと良いかを尋ねたところ、20 代と 50 代が頂点付近、60 代が手前斜めという意見が一番多かった。これは手の操作と注視域の画面が重なることを意味しているが、被験者操作時の観察では右斜め手前から右斜め横で操作する被験者が殆どであった。手の操作と注視域画面の視認が両立するように被験者自身

が補正しながら使っていることがうかがえる。

9.3 視覚支援の測定評価

視覚支援によってユーザ操作に効果があるのかを評価するため、「OPR-LENS デバイスを使用しない場合」、「OPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合」、「OPR-LENS デバイスの非線形拡大効果を使用した場合」における操作時間の測定を行った。カーソル移動やクリック操作は OPR-LENS デバイスを使用せず、全てマウスで行った。OPR-LENS デバイスは視覚支援機能のみを使用し、ディスプレイとユーザの間に一直線になるように配置した。

測定用プログラムはポインティング評価と同じである。測定は 14 歳、20 歳、51 歳、53 歳、計 4 人のユーザで行った。20 歳、53 歳のユーザは日頃から PC を操作しており、53 歳のユーザについては PC 操作の経験はあるが日頃ほとんど操作していない。測定では、拡大機能の倍率は 5 倍で統一し、非線形拡大効果は評価の最も高かったパターン 2 とした。「ダブルクリックの速度」、「カーソルの動作速度」は調節バーを「遅く」と「速く」の中間に設定し、「カーソルの加速」は「遅く」に設定した。データ取得は、測定プログラムが一回につき 13 個の操作時間を得るので、この測定を 4 回繰り返した。

測定結果を表 9.2 に示す。20 歳ユーザを 10 代に含めて、10 代と 50 代に大別し、それぞれの操作時間の平均値をとった。表 9.2 の操作時間は四捨五入をして小数点以下二桁で

表 9.2 視覚支援による操作時間の比較

測定条件	10 代の操作時間		50 代の操作時間	
	平均	分散	平均	分散
1.OPR-LENS デバイスを使用しない場合	1.19	0.29	1.63	1.3
2.OPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合	1.07	0.063	1.31	0.12
3.OPR-LENS デバイスの非線形拡大（レンズ）効果を使用した場合	1.05	0.047	1.32	0.12

示してある．また分散は有効桁数二桁で示してある．分散を見ると OPR-LENS デバイスを使用しない場合の 50 代の値が大きくなっているが，これは，50 代ユーザの一人は日頃から PC 操作を行っており，もう一人はあまり PC 操作を行っていないためと考えられる．図 9.3 に年代別の操作時間平均値の比較を示す．OPR-LENS デバイスを使用しない場合と OPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合には，注視域取り出し表示機能を使用した場合の方が操作時間が短くなっていることが分かる．特に 50 代の方で操作時間の短縮が見られた．注視域取り出し表示機能を使用する場合と非線形拡大効果を使用する場合ではその差はほとんど見られなかった．この結果から，注視域取り出し表示した拡大画面をユーザに近い手元位置に配置することによる視覚支援の方法は有効であると考えられた．

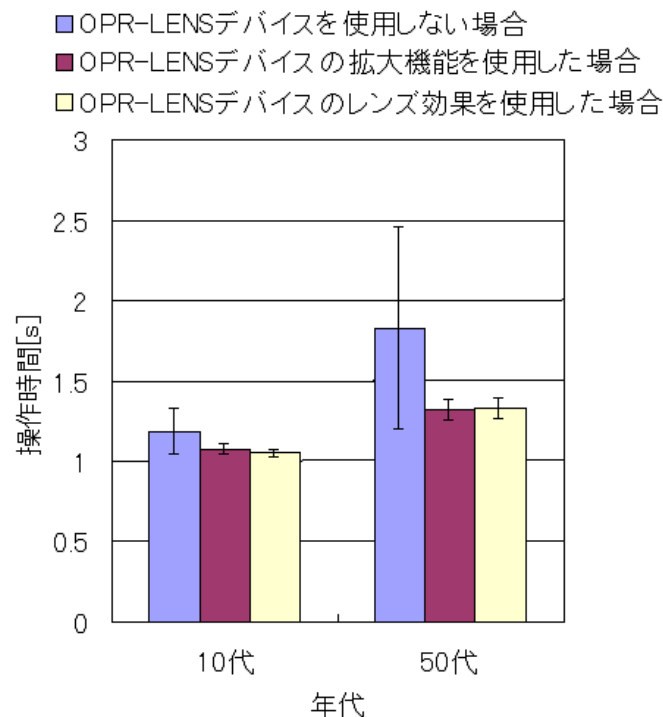


図 9.3 視覚支援による操作時間の年代別比較

第 10 章

関連研究との比較

OPR-LENS システムに類似する関連研究として球面状の表示インタフェース，手元拡大型画面インタフェースなどについて議論する．

球面状の表示インタフェースとして，Magicscape[47] や TangibleEarth[48] が挙げられる．Magicscape は，水晶玉のような透明の球体の中に映像が映し出され，占い師のように球体を手で包み込むような操作でコンテンツをブラウジングできるディスプレイである．表示される映像は，球体の下に隠れているディスプレイから球体を通して映し出される．球体は半球を 2 つ重ね合わせた構造になっている．球体による表示は，屈折や鏡面反射などの光学的な特性から線形表示が難しく，Magicscape ではユーザが球面内を覗き込む視点で主観視を得ることによって没入型の知覚感覚を実現している．OPR-LENS システムは操作対象物を客観視で操作する．元々の操作対象物を視認しながら操作対象物の既存のメタファを活かしつつ，ユーザが必要と感じたときに視認を支援するインタフェースとなっている点で異なる．

TangibleEarth は直径 1m の触れるインタフェースを備えたインタラクティブ地球儀である．球体表面に触れたり撫でたりすることで地球規模の気象現象や生態，社会経済的な情報などのマルチメディアコンテンツが提供される．TangibleEarth はそれ自身が情報システムであり，人体サイズに程よく適合した大きさを有する．地球というスケール感の必要な情報発信対象物に良く似合っていて OPR-LENS システムの発想に似ており，多機能な操作機能に優れている．しかし PC などもう少し小さな情報機器の操作インタフェースとしては応用し難い．OPR-LENS システムは操作可能な画面注視部を別画面にし拡大鏡的インタフェースにしている点で異なる．

次に、手元拡大型画面インタフェースとして、テレビ石インタフェース [49] が挙げられる。音楽プレーヤーの操作インタフェースであるが、感圧センサと光ファイバを用いて人工的に作った FiberStone を組み合わせた半球状の表示部を有し、FiberStone を介して球表面に浮き上がった映像をみながら FiberStone を撫でたり、押ししたりすることで音楽プレーヤーの操作を行うことができる。操作面に表示を一致させることは実体感を向上させユーザの操作願望を発起させる。このシステムは、操作感を伴いつつ情報機器の操作メニューという仮想的な操作対象を触覚型のように扱えるという点で大きな効果が見込まれる。テレビ石の特性上光は上下面と垂直な方向にのみ伝播することから、球表面に浮かび上がっている画像を眺め回す用途やメニューボタンを押すなど手で GUI を選択させる用途は効果が高いと思われる。しかし、操作デバイスを斜めに見る場合、輝度が減少することや天頂部より向こう側の面が見難くなるなど、「ユーザが見にくいと感じた場合に手元で細部を確認する」という筆者の目的である「チラチラと見る」注視域支援とその拡大表示にはユーザ視点の面から制約がある。また、筆者のシステムも同じ課題を持っているが、注視域の表示部とデバイス操作部が非常に接近しているため、デバイスを把持することによって表示部が手で隠れてしまう。視線移動をより少なくしながら操作と視覚支援の双方を1つのデバイスで同時に実現するためには避けられない課題である。テレビ石インタフェースの場合はこれらが完全に一致してしまうため、操作をしている部分は視認できない。操作対象となる GUI システムのレイアウトやメニューを修正できる場合は手で隠れない部分に注視域を描画するなどの工夫で対応できるが、従来の GUI システムに備わっているレイアウトや機能を変えずに操作させる場合は、操作が難しくなる場面がある。OPR-LENS システムはユーザの視野角度に制約を加えずに、もともとの平面状の注視域をそのままにして拡大している。そのため、強調させたい部分のユーザの視認支援を狙った非線形拡大を併用しているが、視覚支援目的であれば3次元空間に描画しなくても良いと考えている。また、OPR-LENS システムは注視域の表示部をユーザの手の中にありながら手の面にはない、いわゆる両手をかざしたその間の空間に位置させることで、手の把持による表示部の遮蔽を緩和させている。

最後に、視覚支援機能はないが操作部が球状で傾けて操作するインタフェースとして、

ドームマウス [50] や SpaceBall[51] などがある．CAD や 3D グラフィクス用に使われる．双方とも野球ボール大の球状操作部を有する．ドームマウスは手のひらに包まれる程の大きさのシリコンドームを押し傾げることでマウスとして機能する．手の動きは OPR-LENS システムと似ているが，操作部が小さいので撫でるような感覚はない．一方，SpaceBall は大画面ディスプレイで 3D グラフィクスを見ながら操作すると，まるで 3D モデルを手を持っているかのような直感的な操作感覚が得られる．ボール状の操作部がデバイス本体から上部にやや突き出ているのでジョイスティックの先端がボールになっているような形状であり，力の強弱を感知可能で操作性が素晴らしい．大きな移動動作をさせるときはボールを握り，細かな操作では指先でボールを摘むといったようにユーザの用途や好みに合わせて把持方法を変えられる柔軟性を持つ．SpaceBall は操作の滑らかさという点で優れている．OPR-LENS システムは指先の動きに依らない手のひら全てがデバイスに接触するような大きさを「ゆったりと操作する」ことによって操作の確実性の向上を目指しているのでコンセプトが異なる．

第 11 章

発展形システム

本章では，OPR-LENS システムの発展形システムを 3 つ示す．

11.1 操作デバイスとしての発展形

OPR-LENS システムは注視域の拡大画面をユーザに近い位置に配置することによる視覚支援を行うが，拡大画面は平面状表示である．拡大画面を半球の球面上に 3 次元曲面表示することにより，更に拡大画面をユーザに近づけることができる．

11.1.1 光ファイバを用いた場合

OPR-LENS デバイスの試作機のディスプレイに表示されている拡大表示を球面上に浮かせさせる手法として，光ファイバを用いたものがある．光ファイバは屈折率の高いアクリル製樹脂を心材に，屈折率の低いフッ素樹脂を外皮に使用した二重構造の繊維である．この屈折率の違いにより全反射が起き，光ファイバに入った光は心材と外皮の境目で全反射を繰り返しながら進む．そのためこの光ファイバを束ねると，光ファイバの一端に入った光を 1 つの画素として，他端にその画素の色が表示され，浮かせさせることができる．直径が 0.75 ミリで，取り扱い，加工が容易なプラスチック製光ファイバで試作した．

図 11.1 に元の画像と図 11.2 に光ファイバブロックを通して見た画像を示す．図 11.2 を見ると図 11.1 の元の画像を表示している事がわかる．これは元の画像を忠実に再現出来ていないが，光ファイバ 1 本が 1 画素になるため，高品質の画像を得られないためである．また，束ねる際に光ファイバ 1 本 1 本が直線となっていない，光ファイバ間が密になっておら

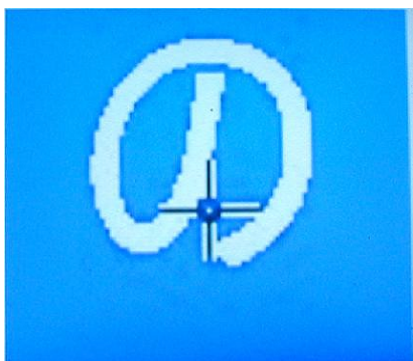


図 11.1 元の画像



図 11.2 ファイバブロックを通して見た画像

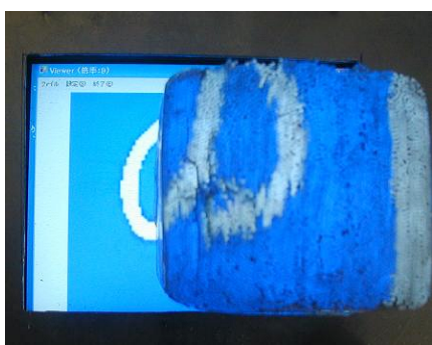


図 11.3 ファイバブロックを画像からずらした場合



図 11.4 正面の斜め方向から見た場合

ず若干の隙間が存在することも解像度の高い画像が得られていない原因となっている。図 11.3 を見ると光ファイバブロックを通していない部分と、通した部分を比較することにより画像が浮き上がっている様子がわかる。図 11.4 を見ると光ファイバブロックを真上からでなく、斜め方向から見ると画像を確認できないことがわかる。OPR-LENS システムにおいて、操作時に OPR-LENS デバイスはユーザの正面に配置するのだが、これでは画面の確認を行うためにはユーザが上から覗き込む必要があり、拡大画面の視認が困難である。上記であげた欠点もふまえて、直径のより小さい光ファイバを用いて解像度の向上を行い、またユーザが座った状態でも画面の確認ができるように高さを低く抑えてディスプレイ全域を浮き上がらせる。

11.1.2 背面透過型スクリーンを用いた場合

背面透過型スクリーン^{*1}を用いるという別のアプローチもある。透過型スクリーンは特殊な光散乱層を利用することにより、液晶プロジェクタ等からの光を効率よく散乱して、高コントラスト映像を映し出す。透過型スクリーンを用いた3次元曲面表示の問題点は、スクリーンを3次元曲面に貼り付ける方法と、スクリーンに光を照射する機構の小型化である。

11.2 情報家電への応用

OPR-LENS システムの情報家電への応用コンセプトを図 11.5 に示す。ネットワーク上に IP レベルで自動接続される。情報アプライアンス側は OPR-LENS モジュールを実装し、ポインティングデバイス側は OPR-LENS デバイスで構成する。OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイス間は、TCP/IP を基本プロトコルにして接続される。

GUI が余り必要のない情報家電の場合、もともとのアプライアンスが備える既存のメタファを活用することが必要である。それゆえ、ユーザが通常操作するアプライアンスのフロントパネルの写真イメージをその機器の GUI 上のデスクトップに見立てる。そして、OPR-LENS モジュールを実装した情報アプライアンスの OS 内に事前に保存しておくか、TFTP を用いて転送する。さらに、操作アクションが必要なボタンやダイヤルなどには、既

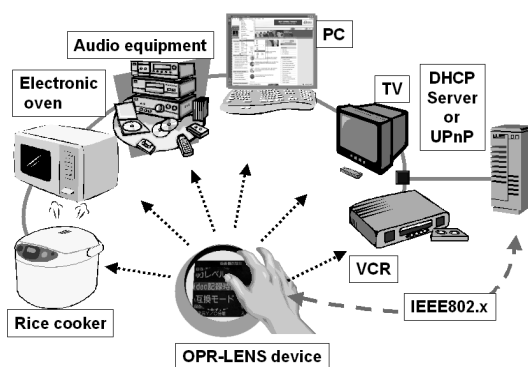


図 11.5 情報家電への応用コンセプト

^{*1} KIMOTO 社のディラッドスクリーン

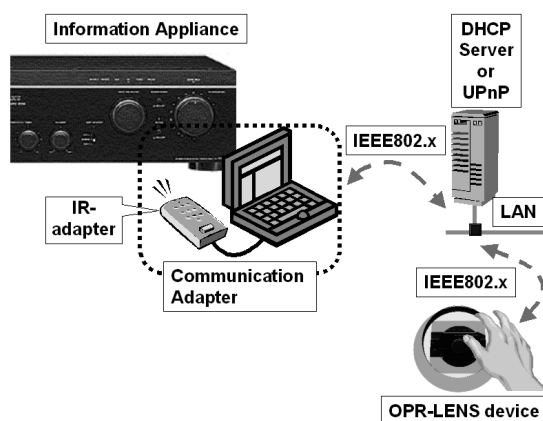


図 11.6 オーディオ機器への実装例

存の操作アクションに対応した「押す」「回転」などのイベントを付加する。図 11.6 にオーディオ機器の例を示す。オーディオ機器にはユーザが設定できるネットワーク機能を有するものがないので、外付けの通信アダプタを装着した。通信アダプタは、ネットワーク機能付きのコンピュータとオーディオ機器を操作する赤外線モジュールで構成される。OPR-LENS モジュールは通信アダプタ内のコンピュータに実装した。OPR-LENS デバイスは、ネットワーク参加時に、今現在ネットワークに参加している情報アプライアンスのリストを取得し、OPR-LENS デバイス上に表示する。その中からユーザの選択によって、オーディオ機器を選択すると、オーディオ機器内に実装された OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイスが接続される。OPR-LENS モジュールはオーディオ機器のフロントパネル写真を GUI 画面に見立てて、その画面の一部分を OPR-LENS デバイス上に転送し表示する。つまり、ユーザは OPR-LENS デバイス上の表示部を介してオーディオ機器のフロントパネルを「覗き窓」から眺めるように振舞う。ユーザは、操作したい機能のボタンやダイヤルを OPR-LENS デバイス表示部の中心に移動させる。OPR-LENS デバイス上に表示された機能部分は、OPR-LENS モジュール側で予め付加されているイベントに応じて、OPR-LENS デバイスの手操作によって操作した「回転」アクションは、OPR-LENS デバイスを手で回転させるという動作により、オーディオ機器上の回転操作を行った。

11.2.1 通信アダプタ

通信アダプタは OPR-LENS モジュール部，Web アプリケーション部および赤外線送受信部から構成される．このうち OPR-LENS モジュール部と Web アプリケーション部は実装し易さからノート PC 上で構築している．LAN を介した OPR-LENS デバイスとのネットワーク通信には，ノート PC の無線 LAN(IEEE802.11b) インタフェースを用いた．

OPR-LENS モジュール部 OPR-LENS モジュール部は，NET Framework1.1 上で動作するソフトウェアで構成される．OPR-LENS デバイスから操作しているユーザは OPR-LENS モジュールを通じて通信アダプタ上のリソースにアクセスできる．ソフトウェアの機能は，サーバ機能，GUI 部分抜取り機能，抜取り画像伝送機能，GUI 上のポインティング機能である．ソフトウェア起動後，参加ネットワークから割り当てられている IP アドレスの取得，TCP ポートなどの初期化処理をしたのち，OPR-LENS モジュールからの接続要求待ちとなる．OPR-LENS モジュールから接続要求を受け取るとサーバはビューアに接続し，通信を開始する．接続完了後，OPR-LENS モジュールは GUI 上のマウスカーソルを中心とした領域をフォーカスしながら画像キャプチャできるようにタスクを常駐化する．これ以降は終了要求するまで設定プロトコルに従い通信を行う．

Web アプリケーション部 Web アプリケーション部は，WWW サーバ機能を有するソフトウェア群である．家電製品のフロントパネル写真の呈示には，予めデジタルカメラで撮影しておいたフロントパネルの写真上のスイッチ類にアクションイベントを付加して Web 呈示している．ユーザがアクションイベントを操作すると，ノート PC を通じて赤外線送受信部に信号を送出する．操作アクションには，DirectX の Web コンポーネントである Direct Animation を用いている．このことから，WWW サーバ機能は，Microsoft-IIS5 を用いて ASP.NET で構築している．なお，現在のサーバソフトウェアは動作要求条件が高く実装システムの小型化が難しいため，ハードウェアの小型化が図れる Linux-OS とその OS 上で Microsoft.NET をサポートする mono[52] を検討中である．

赤外線送受信部 赤外線送受信部を図 11.7 に示す。これは OPR-LENS モジュール部と Web アプリケーション部を実装しているノート PC にプリンタポートを介して接続される。Web アプリケーション上のユーザ操作に応じて家電機器の赤外線受光部に適切な信号を送信する機能を持つ。受信機能部は、操作対象とする家電製品に柔軟に対応できるように、対象リモコン信号を学習させるためのものである。現在の家電製品に搭載される赤外線リモコンのフォーマットは家電製品協会フォーマットで制定されている。しかし、メーカーによって大きく異なっていることや独自フォーマットを採用しているものも多いことを考えて、独自の解読方法を用い学習させることによって、あらゆるリモコン信号に対応できるようにしている。PIC マイコン (Microchip Technology 社製 PIC16F876) と周辺回路で構成される*2。

11.2.2 実装システム

本システムの応用例について説明する。通信アダプタをオーディオアンプに装着して操作する場合について図 11.8 に示す。本システムの要所は家電製品を直接操作する場合と同じ操作アクションで OPR-LENS デバイスから操作できることである。オーディオアンプのボリュームつまみのような回す操作によってアナログ的に増減させる機能の部分には、「回転」アクションイベントを付加する。通信アダプタ内の WWW サーバに OPR-LENS デバイスからアクセスすると、図 11.8 のような Direct Animation を伴った Web ページが表示される。電源ボタンには ON/OFF のトグルアクションが付加されており、入力ソース切り替えボタンには、排他的な「押す」という選択アクションが付加される。図 11.8 にはこれらアクションのうち、ボリュームつまみを回す、「回転」アクションの対応を示している。OPR-LENS デバイスのプロトタイプに設置されたスクロールリングを回す操作でボリュームの上げ下げが実現できた。

*2 赤外線送受信回路は高知高専芝研究室の協力を頂いた。

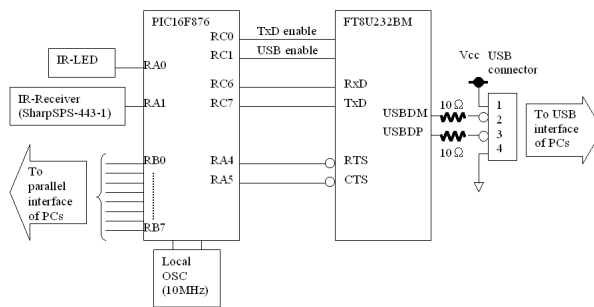


図 11.7 赤外線アダプタ

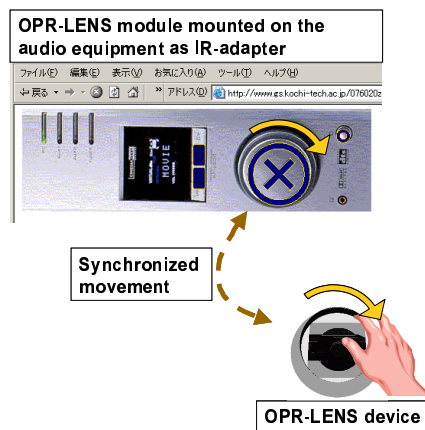


図 11.8 オーディオ機器への適用例

11.3 ユビキタス検索システムへの応用

コンテキストウェアネス (特にユーザ認識と位置認識) は、ユビキタスコンピューティング環境に私たちの日常生活を助けるサービスの基本的な特徴になっている。ユビキタス環境下において、どこに何があるかを検出しつつ、それを操作する操作デバイスを呈示する。RFID(Radio Frequency-Identification) ベースのトラッキング・システムを使用することによって、それは、人々か物などの物理的な実体の位置を検出して、実体の位置の近くの適切なコンピューティングデバイスのサービスを配布する。このシステムは、ユーザごとに利用できる情報アプライアンスを自動的に認識させる。そして、それがどこにあるかを一覧で表示する。さらに、ユーザ選択によって操作するアプライアンスを選択し、P2P 接続で直接接続して操作する。提案システムは、ネットワーク上に IP レベルで自動接続された情報 アプ

ライアンス側に OPR-Browser モジュールを，操作デバイス側に OPR-Browser デバイスを
実装し，OPR-Browser デバイス側で操作するアプライアンスを選択させる．

11.3.1 実現手法

どうやって検索してターゲットを見つけるのか，その概要を図 11.9 に示す．ここで，人間のコミュニケーションとして，離れた地点に居る友人がどこに居るかを確認したい場合について考えてみよう．特に，友人がその場所を初めて訪れるとき，人は周りの景色や建物や地名から自分の位置を確認する手がかりにする．分らないならば，その場所に居る人に聞く．地図に照らし合わせて絶対位置を確認したり，駅やバス停を基準にして相対位置を認識する．つまり，周辺環境や状況から位置情報を収集して自分の位置を認識する．このシステムは，ユビキタス環境下でユーザが情報アプライアンスを探したいとき，上記の手法を用いる．OPR-Browser は，遠くの場所のターゲットがどこにあるかを確認する．ターゲットは周囲のデバイスかコンピュータを利用できる．OPR-Browser は，自分の周りに誰が居るかを独自アーキテクチャ[53]によってタグに書いた情報を基にして近傍のサーバから知ることができる．これによって，今，ターゲットがどこに居てどういう環境におかれているかを知ることができる．これらの情報を基にして，環境に応じてターゲットの操作支援を適応的に変化させるシステムを構築した．

また，サーバ/クライアントシステムでのサーバへの負荷集中を避けるため，本システムでは分散型コンピューティング，すなわち P2P システムを適用した．全体的なトポロジの構成は PureP2P を用いた．しかし，他の Peer クライアントを検索する時，PureP2P は目的の Peer を発見するのに時間を浪費する．この問題を解決するため，Hybrid P2P の利点であるインデックスサーバ機能を PureP2P の Peer の 1 つに付加することにより検索時間を大幅に減少させた．

ネットワーク構成の拡張性に関して，筆者はネットワーク丈夫さを最適化するネットワークデザイン [54] [55] を応用した．

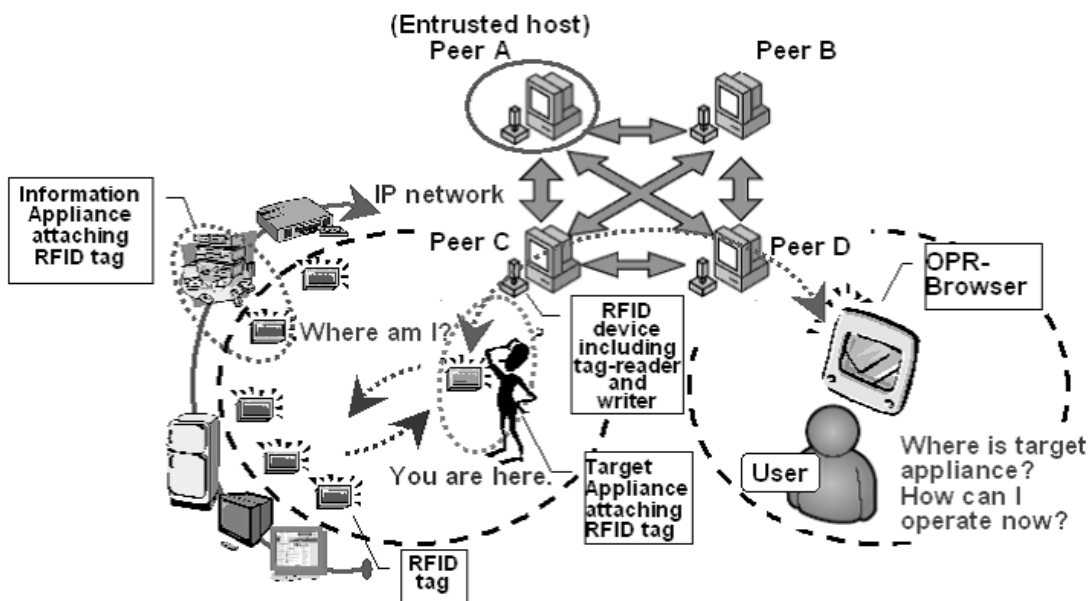


図 11.9 OPR-Browser の概要

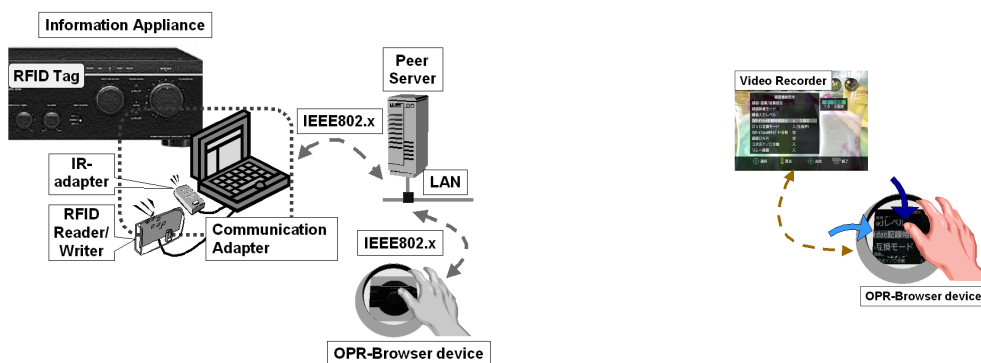


図 11.11 AV 機器への適用例

図 11.10 OPR-Browser の実装例

11.3.2 実装システム

図 11.10 にオーディオ機器の例を示す。OPR-Browser デバイスは、ネットワーク参加時に UPnP や DHCP サーバなどによって、今現在ネットワークに参加している情報アプライアンスのリストを取得し、OPR-Browser デバイス上に表示する。その中からユーザの選択によって、オーディオ機器を選択すると、OPR-Browser モジュールから OPR-Browser デバイスにオーディオ機器のフロントパネルの画像が転送され表示される。ユーザは、操作したい機能のボタンやダイヤルを OPR-Browser デバイスの中心に移動させる。OPR-Browser

デバイス上に表示された部分は付加されているイベントに応じて、OPR-Browser デバイスの手操作によって操作できる。「回転」アクションは、OPR-Browser デバイス側に手を回転させるというジェスチャ認識が必要となる。次に、GUI のメニューが多く取り入れられているアプライアンスとして、ビデオレコーダへの適用例も図 11.11 に示す。このような場合は、動作の設定 GUI を PC の場合と同様に取り出すことで、OPR-Browser デバイス上に描画する。手操作の上下・左右の動作で機器の設定メニューのスクロールや選択操作が可能になる。

11.4 回生型情報システムへの応用

情報弱者の内、特に健常な高齢生活者が、ネットワーク上に存在する種々のサービスの中から生活情報を安全に、確実かつ安心して、自らの意思で能動的に受発信できるような、対話学習型ヒューマンインタフェースとそのネットワーク構築をする。すなわち、システムは、従来型の押し付けがましいエージェントではなく、ユーザが質問要求を希望するときに感応し、ユーザの希望するスキルレベルだけを提供し得る。ユーザ側の表示させている表示画面をリモート操作で操作代行している状態をユーザ画面で実演しながらユーザ操作を補助することによって、情報弱者を限定しない支援系となることを意図して実現するシステムである。インフラ環境に限定されない P2P 型の接続形態を用いながら、既存の要素技術を組み合わせることで最大限に生かしつつ、アウェアネスなコミュニケーションを実現する。

11.4.1 設計思想

対象ユーザは、ネットワーク接続された情報機器を操作する場合の生活支援環境を想定して、

- 中高年などのコンピュータや Web ブラウザの操作が苦手な人
- 今後の技術革新についていけなくなるのではと危惧する情報弱者予備軍の人
- 中山間地など身近な所に Internet へのアクセス手段を持っていない人

である。

本システムは、Web ブラウザ上にアドインの形で事前に配布・実装されたクライアントソフトウェアを画面上の O-line (オーライン)^{*3}。アイコンボタン (以下、ボタン) によりオペレータを呼び出し、リアルタイム映像と音声会話により取引と操作補助を行うため、ユーザが自宅やその近くで、身近な商品の購入と Internet を利用しての Web ショッピングや Web サービスなどの恩恵を受け得る移動販売システムと取引代行システムを統合した総合 Web 取引システムである。

目標は、

- Web ブラウザの操作がわからない人でも、簡単に Web ショッピングやサービスを受けることができる
- 移動販売システムにより、身近にコンピュータがない人でも、サービスを受けることができる
- 代行操作センターにより、実デパートと同じ構造、サービスの仮想デパートの実現
- 代行操作サーバを店舗内に設置し、店員がオペレータを兼ねることで、実店舗と融合した仮想店舗の実現
- 代行操作サーバを行政機関内に設置し、担当者がオペレータを兼ねることで、実際と同じ行政サービスをネット上で実現

することである。

本システムの開発および運用においては、取引代行システム、取引代行システムを有する Internet 端末、Internet 端末を搭載した環境にやさしい移動販売車、操作代行センタ、仮想店舗、受発注運用システム、が必要となる。

^{*3} 本システムは、宗圓 巧氏との共同開発・ENOS Co.,Ltd. との共同開発である。実装システムを運用する試用版ソフトウェアは、<http://www.oline.ne.jp/>で取得できる。

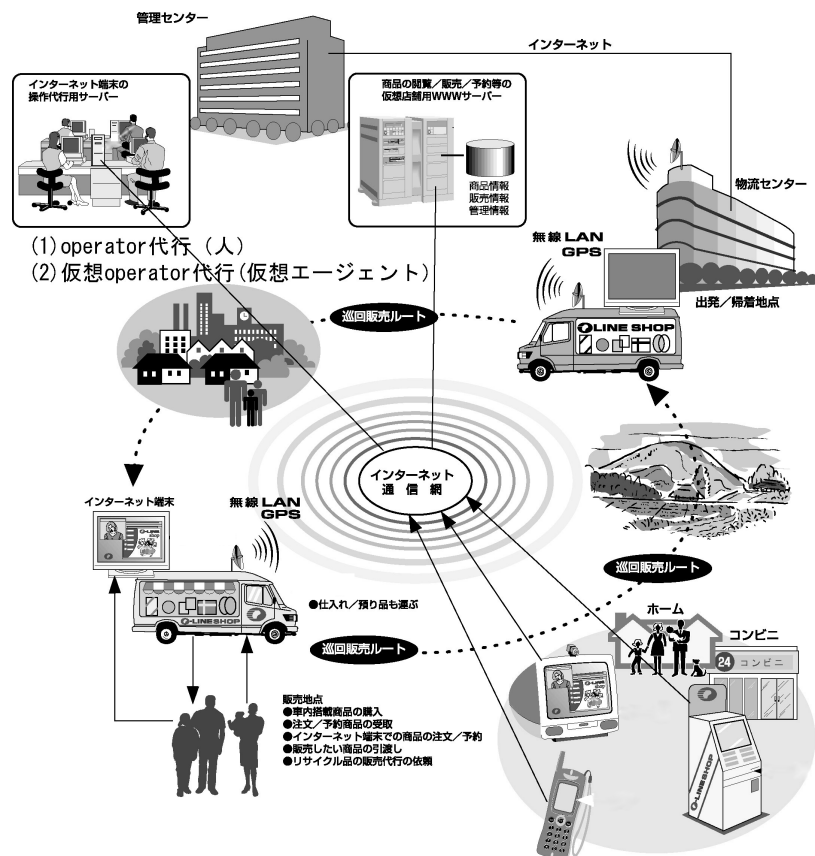


図 11.12 提案システムの全体像

11.4.2 システムの基本構成と機能

本システム全体の概要を図 11.12 に示す．移動販売システムと取引代行システムを統合し，自宅や職場の PC，コンビニや専門ショップの Internet 端末，携帯電話などあらゆる Internet 接続機器から Web ショッピングや Web サービスを行う総合 Web 取引システムである．物品の閲覧から受発注，配送からユーザの要望のフィードバックまでを 1 つのものとして捉える．物流（ロジスティクス）からユーザ操作までを巡回システムとして回生させるシステムとなっている．なお，本論文ではロジスティクスについては論じない．

ここで，代行操作サーバには，PC サーバを分散サーバとして複数台用意し，ストリーミングのエンコードと配信，Web サーバ，ストリーミングソフトウェア，InternetTV ソフトウェアなどを搭載する．これらの”できあい”のソフトウェアのほか，これらを統合するためのソフトウェア，操作を簡単にするためのソフトウェアツール群は，新たに構築する．また，

画面の切り替えなどをするためのソフトは新規構築する。ネットワークは ADSL 環境以上を基本に構成する。ユーザ側には、マルチメディア再生に対応可能な PC を用意し、これに、Web ブラウザ、ストリーミングソフトウェア、InternetTV ソフトウェアなどを搭載する。これらの既存ソフトウェアのほか、これらを統合するためのソフトウェア、操作を簡単にするためのソフトウェアは新たに構築する。さらに遠隔操作接続制御などのためのサーバシステムを構築する。

本システムの基本機能を図 11.13 に示す。必須機能は、TV 電話機能、代行操作機能と代行呼び出し機能である。ボタンを押すことで、オペレータを呼び出し、InternetTV 電話により、会話で取引を行うため、誰でも簡単に Web ショッピングや各種サービスを受けられる。ユーザが質問要求を希望するときに感応し、ユーザの希望するスキルレベルだけ提供し得る。ユーザ側の表示させている表示画面をリモート操作で操作代行している状態をユーザ画面で実演しながらユーザ操作を補助することによって、情報弱者を限定しない支援系となることがシステムの基本機能である。

以下、ビジネスモデルとして実現する実質的な解はどうあるべきかを具体的に説明する。なお、本システムにおける Web 上の取引とは、Web 上の仮想店舗におけるショッピング或いは各種業務サービス用 Web サーバの利用等を含むことは勿論、商取引のみを指すものではなく、Web ブラウザを操作することによって、Web サーバを利用することによる全ての取引、及び Web サーバを操作をすること、操作をすることに必要な行為全てを包含した概念である。図 11.13 は本実施形態の一例を全体的に示すシステム図であって、Internet による仮想店舗用 Web サーバを利用した商品の検索、閲覧、予約、注文等に、或いは各種業務サービス用 Web サーバを利用した各種サポート業務、情報提供業務、公共サービス業務等の享受に適用した実例を示している。図中の上部左側は操作代行センタまたは実店舗であり、PC 等の Internet に接続された情報端末の操作代行用サーバが配備され、オペレータが常駐している。もう一つは Web サーバであり、例えば仮想店舗用 Web サーバ、或いは各種業務サービス用 Web サーバである。一方、図中の下段はユーザ側の情報端末であり、PC、携帯電話、Internet 端末機器等の Internet に接続可能であって Web ブラウザを搭載した機



図 11.13 システムの基本機能

器を用いる。TV 電話画面と Web 画面及びオペレータと連絡を取るためのオペレータ呼出ボタンが配備されており、更にキャプチャ付きビデオカメラとマイク付きヘッドホンが付設されている。オペレータとの連絡手段としては Internet を介したチャット、Internet 電話、InternetTV 電話等の手段を使用する。

基本利用形態

代行サービスを行う対象分野を個別に設定した場合のスタンドアロンのシステム構築形態を基本利用形態を定義する。以下、本システムの基本利用形態を示す。

- 移動販売 (移動コンビニ)

移動販売車に O-line 端末を設置し、代行センタを経由して、搭載していない商品の販売も行う移動販売モデルである。どこでも利用できる移動販売システム (移動コンビニ) の実現である。ユーザはボタンを押すだけで、自動的に操作代行センタのオペレー

タを呼び出せる。

- 仮想デパート (百貨店)[56]

実際のデパートと同じ構造を持つ仮想デパートであり、代行センタを経由して、Web取引を行うモデルである。実デパートと同じ構造、サービスの仮想デパートの実現である。ユーザはボタンを押すだけで、自動的に操作代行センタのオペレータを呼び出せる。

- 仮想ショップ (専門店)

実際のショップ内に代行サーバを設置し、店員がオペレーターを兼ねることで、実際のショップと仮想のショップを融合させる、Web取引を行うモデルである。店員がオペレーターを兼ねる実店舗と融合した仮想店舗の実現である。ユーザはボタンを押すだけで、自動的に操作代行センタのオペレータを呼び出せる。

上記と同様な形態のバリエーションとしては次のようなものがある。

- 商取引サービス代行 (商取引代行サービス)

既存の Web 店舗にボタンを設置し、代行センタを経由して、既存 Web 店舗での商取引代行を行うモデルである。

- 公共サービス代行 (公共代行サービス)

公共の Web ページにボタンを設置し、代行センタを経由して、公共の Web ページでの公共サービス (例えば、福祉、介護、相談、申請等) 代行を行うモデルである。

以上のような適用例は、移動販売車、PC、携帯端末、ゲーム機、コンビニ機、Web テレビなどいづれかの Web アクセスのできる形態から受発注ができる汎用型システムになり得る。

発展利用形態

代行サービスを行う対象分野別にシステムを構築すると、代行センタやサーバ装置などが共有できない。ユーザの操作履歴や振る舞いなどのユーザ情報を一元化し、多様なユーザの要求に応えるために代行センタを統一して様々な利用形態に対応するシステム構築形態を発

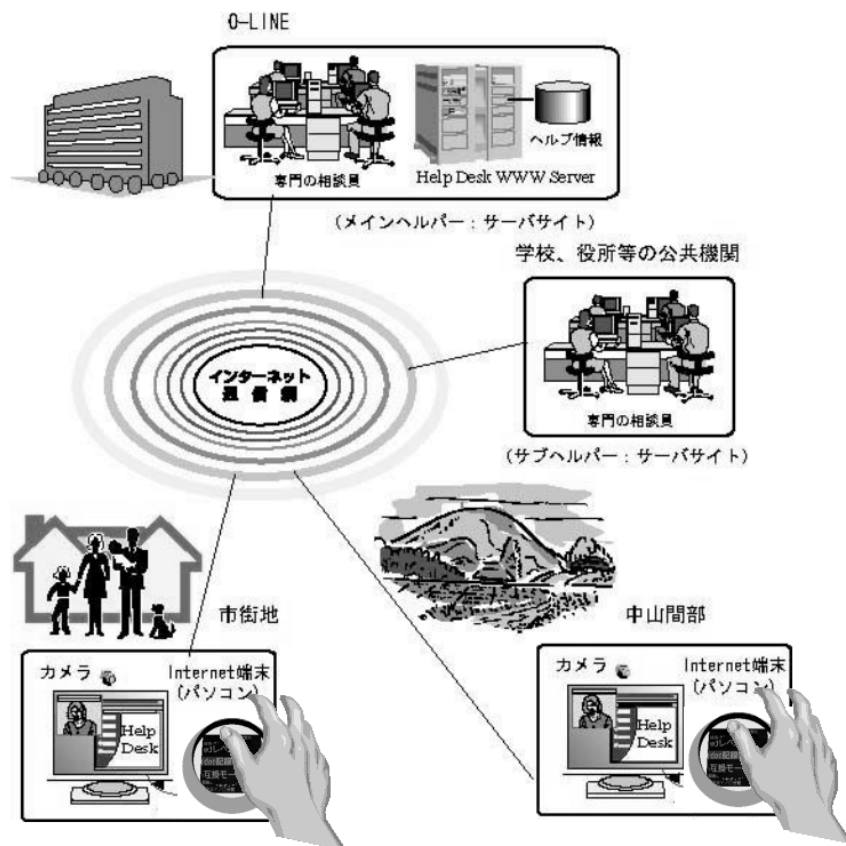


図 11.14 遠隔共有支援モデル

展利用形態を定義する。

本システムの代行サービスを情報リテラシの遠隔共有支援システムとして統合する発展利用形態を図 11.14 に示す。PC 操作や機器のセットアップなどのリテラシ教育を支援したり、公共サービスの提供などの代行サービスなどを共通なシステム上で行う。ユーザは、ボタンを押すことで予め登録されたヘルプデスクを呼び出し、InternetTV 電話により会話で疑問点や問題点を相談し、遠隔地からオペレータに直接自分のマシンのソフトを操作してもらって、1対1でサポートしてもらう。ユーザはボタンを押すだけで、自動的に操作代行センターのオペレータを呼び出せる。ボタン1つでユーザの疑問に InternetTV 電話を利用して答える「人にやさしい」システム、身近に教えてくれる人がいなくても、遠隔地からリモート操作で教える便利なシステムとなり得る。これらの実現には、O-line システムソフトウェア、情報リテラシー遠隔教育センター、オンデマンド教育用コンテンツ、誰でも使える簡単な

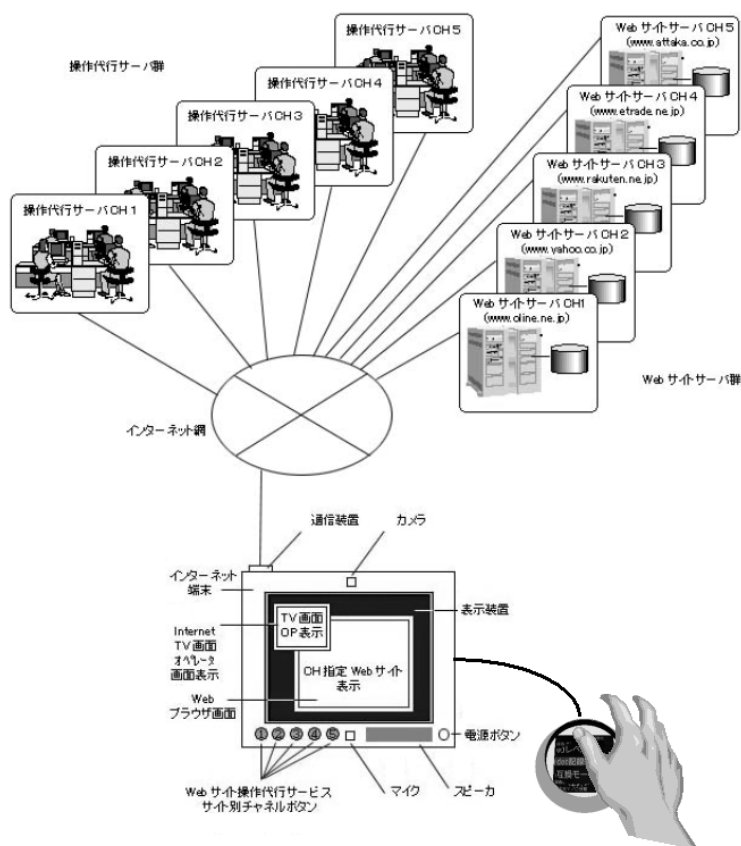


図 11.15 専用端末モデル

Internet 端末の実現が必要である．ユーザが操作する端末側の改良に着目して発展させたものを図 11.15 に示す．これは新しいユーザ端末の実装や用途の掘り起こしが重要となる．例えば，電子政府向けの公共 KIOSK 端末，PC 教室向けの遠隔地からのサポートシステムの専用 Internet 端末，遠隔地医療などの公共サービス向けの専用 Internet 端末，オンラインショッピング向け IT が苦手な人向けの専用 Internet 端末，コンシューマ向けの Internet 端末などが考えられる．

11.4.3 実装システム

前節のモデルに基づき，実装システムを構築した．実行画面例を図 11.16，図 11.17，図 11.18 に示す．図 11.16 は，ポータルサイトにおける Web ショッピングに適用分野を絞った実運用システムで，Web ブラウザ内にボタンがアドインされている．ユーザは，ボタ

ンを押すことによって図 11.17 のように自動的にオペレータを呼び出すことができ、オペレータとのやり取りによって、図 11.18 のように受発注が可能となっている。これらは、Internet 上の仮想店舗と実店舗、代行センタからなり、ユーザは Web 上の仮想店舗内にアドインされたボタンを押すだけで、商品の受発注に係わる操作を介助したり、代行したりするサービスを受けることができるようになっている。このシステムでは、Windows 系 OS を用いて、サーバ側には Web サーバ (Microsoft Internet Information Server:IIS)、Perl、NetMeeting と独自開発の ActiveX を活用したコンポーネントソフトウェア群を実装し、クライアント側には NetMeeting と独自開発のコンポーネントソフトウェア群を組み込むことで実現した。

この構成による Web 上の取引代行システムの具体的な動作を説明する。まずユーザが各種の Web サーバを利用しようとする場合、例えば Web サーバが仮想店舗用の場合であって特定の商品の購入を希望する場合には、ユーザ側の情報端末を起動してから Internet に接続し、Web ブラウザソフトを利用して Web 画面を表示してからオペレータ呼出ボタンを押すことにより、InternetTV 電話等の連絡手段を介して操作代行センタまたは実店舗等のオペレータを呼び出す。すると TV 電話画面にオペレータの映像が映し出され、キャプチャ付きビデオカメラとマイク付きヘッドホンを用いてオペレータとの音声もしくは文字による会話が行える状態となる。従ってユーザとオペレータとの間で双方向のコミュニケーションが可能となる。一方、オペレータ側の操作代行用サーバには、ユーザの映像とともにユーザ側の情報端末の Web 画面が表示され、Internet を介してユーザ側の情報端末の操作代行が行える状態となる。そこでユーザは通常の会話もしくは文字によりオペレータに対して購入を希望する商品とか各種業務サービスの内容等の必要な指示を与える。このユーザの指示に基づきオペレータは操作代行用サーバを用いてユーザとの会話を継続しながら該ユーザの Web 画面の操作を代行して、目的とする Web 上のショッピング又は各種業務サービスが完了するまで操作を代行する。

例えば商品購入を例にとると、オペレータは操作代行用サーバを介して Internet 上の Web サーバの商品情報、サービス情報等の必要情報に接続して、多機種に亘る商品群の中

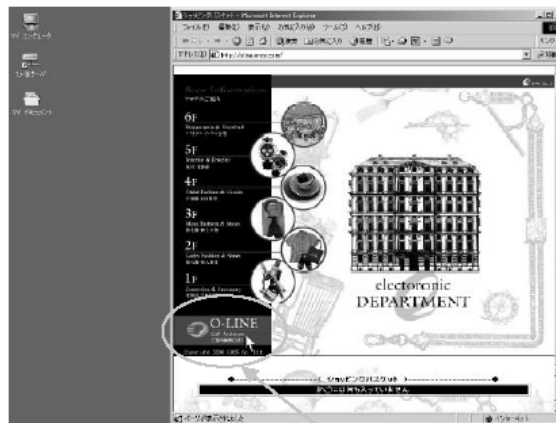


図 11.16 実装システムの Web 画面 1



図 11.17 実装システムの Web 画面 2

からユーザが希望する商品を検索・閲覧し、希望する商品があれば予約あるいは購入の申込をする。また、ユーザが希望する商品の仕様とか外観、品目、性能、価格等によって検索を行い、或いは照会をしたりカタログ等の詳細な資料の請求を行うこともできる。この時にユーザは自分が利用している情報端末の Web 画面 7 がオペレータの代行操作によって変化するのをリアルタイムで目視確認することができる。そしてオペレータの操作がユーザの希望商品及び各種業務サービスの内容と相違しているケースが生じた時には、会話により直ちにオペレータに伝達することによって修正を行うことができる。オペレータの操作に加えてユーザが自ら情報端末の Web 画面を操作しても良い。このケースではオペレータとユーザとの相互操作によって商取引又は各種の業務サービスの提供を享受することになる。従って



図 11.18 実装システムの Web 画面 3

実際に店舗でショッピングを行ったり、各種の業務サービスを楽しむ場合と同様な感覚で操作が継続して行われる。

コンビニ、専門ショップ等におかれた Internet 端末や、移動販売車に搭載された Internet 端末によって、人々は地理的ハンディや技術的ハンディから開放され、いつでも、どこでも手軽に Web ショッピングや Web サービスが行え、IT 技術の恩恵を受けることができる。Internet 上のあらゆるジャンルの仮想店舗の取引代行サービスがすべて、オペレーション代行センタから可能となり、膨大な数の雇用を促進し、地場産業の多大な発展に寄与することができる。行政機関に代行サーバを設置することで、誰でもが自宅や会社、または移動先から、Web ブラウザの搭載された PC、携帯電話、ゲーム機、Web テレビなどから、いつでも、どこでも手軽に公共のサービスを担当者と相対の状態を受けられ、IT 技術の恩恵を受けることができる。

第 12 章

結論

本論文は，コンピュータ操作の初心者ユーザや身体動作の衰えによって操作し難くなったユーザが，GUI 型の操作性やデザインを持った情報リソースに積極的にアクセスできる新しいポインティングデバイスシステムを提案し具体的に実現した．低リテラシ層から高リテラシ層まで汎用的な用途を前提とし，PC 初心者や健康な高齢者など PC 操作に時間の掛かるユーザを主な対象とした．

研究の目的は，

- なめらかな操作支援に適した操作デバイスと付加機能の提唱（手に馴染みやすい形状），
- 視覚効果に連動した，視認と操作支援を両立させる入力・操作（注視域の視覚支援機能）の検証，
- 様々な機器操作のインタフェースを共通化（既存の GUI:Graphical User Interface がそのまま使える操作性），

を満足させ得る新しい OPR-LENS システムを構築することであった．研究の特色は，OPR-LENS システムの操作デバイスである OPR-LENS デバイスにユーザの注視域を取り出して，デバイス操作と注視域の手元拡大支援を行うこと，もともとの GUI を修整することなくユーザ支援が行える機能を実現すること，3 次元状の PC などには大きめの表示操作インタフェースであることが挙げられる．OPR-LENS デバイスに PC を含む情報アプライアンスとの通信機能と操作支援アプリケーション機能とを内包させることで支援システムとしての自由度が大きくなり，ユーザのさまざまな操作を支援できる．ユーザの動作に合わせるために操作系を大きく変化させることや，ユーザ条件を自由に可変することが可能と

なる。

本論文では、注視域を強調しながら撫でる動作で操作する OPR-LENS デバイスが空間型インタフェースとして効果的であることを示した。OPR-LENS デバイスは、OPR-LENS モジュールとデータのやり取りを行うサーバソフトウェア、ビューソフトウェア部とハードウェア部で構成した。

本論文の各章で述べた内容の要旨は、次の通りである。

1 章では、本研究の背景、目的、位置づけを示した。利用者が複雑な操作やストレスを感じることなく、誰もが情報通信社会の恩恵を受けることができるヒューマンインタフェース技術の進展が求められていることを示した。そして、本研究で提案する手法の位置づけを、GUI、入力インタフェース、インタラクティブシステムの3つの観点から示した。

2 章では、検討すべき基本概念と既存技術のいくつかについて説明した。情報の表示や視覚化と次世代インタフェースについて概観した。デスクトップメタファに基づいた GUI とアフォーダンス、実世界において物理的な実体を使って様々な情報を操作してきた経験値を生かす、実物体指向のマルチモーダルインタフェースについて従来の研究をもとに議論した。

3 章では、把持具型ポインティングデバイスシステムを OPR-LENS システムと定義し、設計思想、基本構成、操作方法について詳述した。撫でる動きを基調とした手姿勢によるポインティングシステムの基本的な操作方法を示した。

4 章では、システムの基幹部となるソフトウェアシステムの構築法を示した。画像取り出し方法の工夫と設定されるプロトコルについて詳述した。画像転送方法は、OPR-LENS デバイスで表示される領域サイズに合わせて、ユーザの拡大倍率に応じた PC モジュールの取り出す画像サイズを切り替えてキャプチャする方法を採用した。PC モジュールで拡大倍率に応じた処理が必要になるものの、拡大倍率が上がるとともに転送データ量が減少し、本システムの転送系全体の処理時間を向上させ得ることを示した。設定したプロトコルでは、TCP ポートを2つ使用した。コネクションは制御用とデータ転送用の2つである。また、ブロードキャストを利用してビューア起動時に同一ネットワーク上にあるすべてのサーバを検索して接続先を選択する機能も示した。

5章では、OPR-LENS システムのうち、ユーザが直接操作する OPR-LENS デバイスの実機モデルの構成法を示した。基本構造設計を行い、手操作の検出機構や制御回路の具体的な仕組みについて述べた。既存の各種入力装置技術を分類整理し、課題を明らかにした。その上で、ドーム型表示部を撫でたときに半球が傾く仕掛けによる、操作部の傾き角に比例した光学式位置検出方式を構築し具体的に実現できることを示した。

6章では、OPR-LENS システムの具体的な実装と実行例を示した。サーバ・ビューアソフトウェアは、全ての基本機能を OPR-LENS システム、OPR-LENS デバイス上に実装した。非線形拡大処理も 5 種類のパターンを実装した。

7章では、実装した OPR-LENS システムのソフトウェアシステムとしてのシステム性能評価を行い、取り出し画像の大きさとシステム性能の評価結果を示した。結果からユーザが操作ストレスを感じない、従来型のマウスを使用した場合と同等のシステムレスポンスが得られることを確認した。

8章では、実装した OPR-LENS システムのポインティングデバイスとしての評価実験とその結果を示した。OPR-LENS デバイスをマウスとトラックボールで年齢別に比較実験を行い、ポインティングデバイスとしての速度と精度について評価した。どの年代もマウスが最も速く操作でき、OPR-LENS は最も遅かった。しかし、最も誤り率が低いのは OPR-LENS であったが、トラックボールと同程度となった。

9章では、実装した OPR-LENS システムの注視域表示とデバイス全体の評価についてユーザビリティ評価実験とその結果を示した。OPR-LENS 全体の評価は、20 代の被験者に比べて 50 代、60 代と年齢が高いユーザほどより良い傾向を示し、注視域画面と操作の両立は初めてのユーザには難しいが、操作に慣れると評価が高くなることが分かった。注視域の拡大倍率は面積比で 4 倍から 9 倍の範囲が好まれた。

10章では、関連研究と本研究で議論した OPR-LENS システムとの相違点を明示した。OPR-LENS システムに類似する関連研究として球面状の表示インタフェース、手元拡大型画面インタフェースなどについて議論した。

11章では、OPR-LENS システムの発展形システムをいくつか示した。1つは、情報アプ

ライアンスの代表的な形態である，情報家電に適用する場合の要点とその操作方法を示した．もう1つは，認証IDを用いた検索システムの操作インタフェースとしての実装と実行例を示した．OPR-LENS システムなどの情報端末を使いながら，これからの情報化社会，高齢化社会の時代に対して「人間の視点から技術社会のあり方を考える」ヒューマンインタフェースの原点に立ったアウェアなネットワークシステムへの発展形を示した．

本論文における新規性は，「ユーザが見にくいと感じた場合には手元で細部を確認し，視認支援の必要がなければ通常のPC画面を見て操作すれば良い」というユーザ意思を尊重する「押し付けがましくない」概念であること，「注視域をユーザの手元に持ってくる」ことで知覚と確定操作を相互に1つのデバイスでユーザ支援すること，WIMP インタフェースを生かしながら実物体指向の対話方式で提供する球面状表示インタフェースであることなどにより，より自然な操作スタイルで扱える「機器インタフェース」として実現したことにある．そして，ユーザ操作の自由度をあまり高くせずにユーザの対象範囲を広くするものである．視覚支援は「ユーザの希望に合わせて手元で確認したくなったら視認する」といった至ってユーザ任せなものであり，実世界指向インタフェースやウェアラブルコンピューティングとは違った，どちらかというところ，力覚あるいは触覚型ユーザインタフェースに近いインタラクションを狙えるものである．今後は，ユーザの注視域をリアルタイム視線計測によって抽出しつつ，情報アプライアンスにおけるユーザの手操作と視線と操作速度・精度の相関を検証する．これに並行して，デバイスとして視認効果を自在に制御できる3次元曲面表示機能を有するOPR-LENS デバイスの発展モデルの構築を進める．また，RFID(Radio Frequency-Identification) タグと分散ネットワーク技術を応用したコンテキストアウェアなインタフェースを目指す．

謝辞

本研究を進めるにあたり，主指導教員である情報システム工学科学科長 島村和典 教授には，本研究の直接的な指導のみならず，研究に取り組む上での心構え，研究者としてのあり方から生き方に至るまで，全ての面で有益な御指導をいただきました．ここに心から厚く御礼申し上げます．

副指導教員である情報システム工学科 木村義政 教授，岩田誠 教授には，本研究の将来目指すべき方向や，技術的な課題，可能性に関して，実社会に照らし合わせた貴重なご意見・ご助言を賜りました．心から厚く御礼申し上げます．博士論文審査委員として論文構成にご助言・御指導いただきました情報システム工学科 坂本明雄 教授，岡田守 教授，清水明宏 教授に深く感謝致します．

日々の研究生生活の中で数々の有益な御助言を通じて筆者を導いて下さいました情報システム工学科福本昌弘 助教授，浜村昌則 講師，妻鳥貴彦 講師に心より感謝致します．また，私の稚拙な英語に関して，講義や論文添削で有意義な助言を頂きました，篠森敬三 教授，明神千代教授，Lawrence Hunter 教授にお詫び方々深謝致します．

本研究を進めるにあたり，木魚型デバイスの議論をしていただいた，高知工業高等専門学校電気工学科 菅通久 教授ならびに，日頃から公私ともに援助いただいている同校同学科 芝治也 講師に深謝いたします．

本大学院入学時から同じ研究室仲間として共に学び切磋琢磨する中で様々な御助言をいただきました島村研究室出身・現 SGI 中平拓司氏に深く感謝します．また，終始暖かい御支援をいただきました島村研究室の皆さん，通信放送機構・高知トラフィックリサーチセンター，JGN2 高知リサーチセンターの皆様，高知工業高等専門学校電気工学科 5 年生の皆さん，誠にありがとうございました．そして，情報システム工学科において，いつも暖かい心配りをいただきました片山さおり元秘書，村上加織秘書に厚く御礼申し上げます．最後に，筆者を暖かく見守り続け，温かいカフェを煎れてくれる愛妻 理恵子に深く感謝します．

参考文献

- [1] 岡田謙一, 西田正吾, 葛岡英明, 仲谷美江, 塩澤秀和: ヒューマンコンピュータインタラクション, オーム社 (2002).
- [2] 野村総合研究所: 情報機器やサービスの利用に関するアンケート, 2002年9月 (2002).
- [3] 菅通久, 岩貞直人, 山本博一, 島津秀登, 近森康征, 山崎彰夫: 新しい形態の入力装置に適した光学式位置検出方式の検討, 高知工業高等専門学校学術紀要, No. 48, pp. 35–44 (2003).
- [4] 総務庁: 情報通信白書平成 15 年版 (2003).
- [5] 経済産業省: e-life イニシアティブ ~ 基本戦略報告書, 2003年4月 (2003).
- [6] Fukuchi, K. and Rekimoto, J.: Interaction Techniques for SmartSkin, *ACM UIST2002 demonstration* (2002).
- [7] Siiio, I., Masui, T. and Fukuchi, K.: Real-world Interaction using the FieldMouse, *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'99)*, pp. 113–119 (1999).
- [8] Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible bits towards seamless interface between people, bits and atoms, *Proceedings of CHI'97*, pp. 234–241 (1997).
- [9] 星野剛史, 塚田有人, 峯元長: Tactile Driver: 触感を忠実に再現するタッチパネルシステム, *WISS2002* (2002).
- [10] Microsoft Corporation: MicrosoftMagnifier.
<http://www.microsoft.com/japan/enable/>.
- [11] Sarah, A. and Anant, K. M.: *The Ergonomics of Computer Pointing Devices*, Springer (1997).
- [12] 岡田英彦, 旭敏之: PC 初心者ユーザのための GUI ナビゲータ/カバーの開発と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 6, pp. 2006–2016 (2002).

- [13] 大和正武, 門田暁人, 松本健一, 井上克郎, 鳥居宏次: 一般的な GUI に適した視線・マウス併用型ターゲット選択方式, *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. 6, pp. 1320–1328 (2001).
- [14] Zhai S., Smith, B. and Selker: Improving Browsing Performance: A Study of Four Input Devices for Scrolling and Pointing Tasks, *INTERACT'97: 6th IFIP Conf. on Human-Computer Interaction*, pp. 286–292 (1997).
- [15] 河内谷清久仁, 石川浩: 携帯情報ブラウジングのための入力デバイス「NaviPoint」, *情報処理学会論文誌*, Vol. 39, No. 5, pp. 1431–1439 (1998).
- [16] Handykey Corporation: Twiddler.
<http://www.handykey.com/>.
- [17] Bruce Thomas, Karen Grimmer, D. M. J. Z. and Gunther, B.: Determination of placement of a body-attached mouse as a pointing input device for wearable computers, *Proceeding of International Symposium on Wearable Computers*, pp. 193–194 (1999).
- [18] Rekimoto, J.: GestureWrist and Gesture Pad: UnobtrusiveWearable Interaction Devices, *Proceeding of the 5th Ubterbatuibak Symposium on Wearable Computers*, pp. 21–27 (2001).
- [19] IBM Corporation: ViaVoice.
<http://www.ibm.co.jp/voiceland/>.
- [20] Takeshi Kurata, Takashi Okuma, M. K. and Sakaue, K.: The hand-mouse: A human interface suitable for augmented reality environment enabled by visual wearables, *Technical Report of IEICE(PRMU)*, Vol. 156, pp. 69–76 (2000).
- [21] D.A.Norman(岡本, 安村, 伊賀訳): *The Invisible Computer*, 新曜社 (2000). (パソコンを隠せ, アナログ指向でいこう).
- [22] 増井俊之, 高林哲: 「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* (2002).

- [23] Siio, I.: Scroll Display : 超小型情報機器のための指示装置, 情報処理学会, Vol. 39, No. 5, pp. 1448–1454 (1997).
- [24] 田村博: ヒューマンインタフェース, オーム社 (1998).
- [25] Brenda Laurel(上條, 小嶋, 白井, 安村, 山本訳): *The Art of Human-Computer Interface Design*, Pearson Education Japan (2002). (ヒューマンインターフェースの発想と展開).
- [26] Newman, W. M., Michael G. Lamming(北島監訳): *Interactive System Design*, Pearson Education Japan (1999).
- [27] J.J.Gibson: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin Company (1979).
- [28] D.A.Norman: *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books (1988).
- [29] Card, S., Machinlay, J. and Shneiderman, B.: *Readings in Information Visualization-Using Vision to Think*, Morgan Kaufmann (1999).
- [30] Robertson, G. and Machinlay, J.: The Document Lens, *Proceedings of ACM UIST93*, pp. 101–108 (1993).
- [31] Keahey, T. A. and Robertson, E. L.: Techniques for non-linear magnification transformations, *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 38–45 (1996).
- [32] Carpendale, M. S. T., Cowperthwaite, D. J. and Fracchia, F. D.: 3-Dimensional Pliable Surfaces: For the Effective Presentation of Visual Information, *Proceedings of ACM UIST'95*, pp. 217–226 (1995).
- [33] 藤田俊輔, 小谷賢太郎, 堀井健: 仮想空間における視点の違いと生体特性, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, Vol. 1124, pp. 25–28 (2003).
- [34] 暦本純一, 長尾確著, 平川正人, 安村通晃編: ポスト GUI : 今後の展望, ビジュアルインタフェース:bit 別冊, pp. 178–198 (1996).
- [35] Masui, T. and Siio, I.: Real-World Graphical User Interfaces, *Proceedings of the In-*

- ternational Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp. 72–84 (2000).
- [36] Kurokawa, T.: *Nonverbal Interface*, Ohmsha (1994).
- [37] 村上雅章訳ジェフ・ラスキン著: ヒューメインインタフェース, Pearson Education Japan (2001).
- [38] Richardson, T., Stafford-Fraser, Q., Wood, K. R. and Hopper, A.: Virtual Network Computing, *IEEE Internet Computing*, Vol. 2, No. 1, pp. 33–38 (1998).
- [39] IBM Corporation: Desktop On-Call.
<http://www-6.ibm.com/jp/pspjinfo/javadesk/>.
- [40] アクセシビリティ研究会: 情報アクセシビリティとユニバーサルデザイン, ASCII BOOKS (2003).
- [41] 黒須正明: ユーザビリティテスト, 共立出版 (2003).
- [42] 山口巧, 島村和典: 注視域を強調した木魚型形状ポインティングデバイスの提案, *Human Interface Symposium 2003*, Vol. No.2143, pp. 247–250 (2003).
- [43] ISO: *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 9 - Requirements for non-keyboard input devices*, ISO9241-9, International Organisation for Standardiation (2000).
- [44] MacKenzie, I.: A note on the information-theoretic basis for Fitts' law, *Motor Behavior*, Vol. 21, pp. 323–330 (1989).
- [45] MacKenzie, I.: Motor behaviour models for human-computer interaction, *Toward a multidisciplinary science of human-computer interaction* (Carroll, J. M.(ed.)), Morgan Kaufmann, San Francisco, pp. 27–54 (2003).
- [46] MacKenzie, I. and Jusoh, S.: An evaluation of two input devices for remote pointing, *Proceedings of The Eighth IFIP Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction*, Vol. EHCI2001, Springer-Verlag, pp. 235–249 (2001).
- [47] HITACHI Design_Division: Magicscape (2003). HITACHI IT convention.

- [48] 竹村真一ほか: Tangible Earth (触れる地球) (2001).
<http://www.tangible-earth.com/>.
- [49] 大塚理恵子, 星野剛史, 丸山幸伸, 堀井洋一: 感圧センサを用いたテレビ石インタフェース, *WISS2003* (2003). デモセッションプログラム 1-15.
- [50] ITAC Systems: DomeMousetrak.
<http://www.mousetrak.com/>.
- [51] 3Dconnexion: SpaceBall.
<http://www.3dconnexion.com/>.
- [52] Ximian: The Mono project (2003).
<http://www.go-mono.com/>.
- [53] Takahashi, S. and Shimamura, K.: Layered communication control system proposal for activating the virtual communications between plural passive RFID devices, *Proceedings of International Conference on Next Era Information Networking (NEINE'04)* (2004). 330–335.
- [54] Paul, G., Tanizawa, T., Havlin, S., and Stanley, H.: Optimization of Network Robustness to Waves of Targeted and Random Attacks, *The EUROPEAN Physical Journal B*, Vol. 38, pp. 187–191 (2004).
- [55] Tanizawa, T., Paul, G., Cohen, R., Havlin, S. and Stanley, H. E.: Optimization of Network Robustness to Waves of Targeted and Random Attacks. (to be submitted for publication).
- [56] 鈴木元, 木村義政, 正満峰夫: 共覧形画面電話, 電子情報通信学会, Vol. CS89, No. 59, pp. 37–42 (1989).

研究業績

査読付き論文

1. 山口巧, 島村和典: 把持具型ポインティングデバイス OPR-LENS の基本設計と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌 (採録決定).
2. 山口巧, 宗圓巧, 島村和典: 日常生活支援のための回生型情報システム O-line の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌 (条件付採録・再投稿中).
3. 芝治也, 山口巧: 足形矯正評価システムの製作と運動能力変化の計測, 論文集 高専教育 第 26 号, pp.203-208(2003).
4. 山口巧, 赤松重則, 芝治也: 学生のための教育・厚生支援データベースの構築と運用, 論文集 高専教育 第 25 号, pp.543-548(2002).
5. 山口巧, 正岡和子, 赤松重則, 芝治也: Development and Operation of the Database Systems for the Employment Information Support on the Campus LAN, 論文集 高専教育 第 23 号, pp.321-326(2000).
6. 端平雄, 高野弘, 山口巧: 学内 LAN 上に構築された学習支援システムを利用する物理教育, NEP プロジェクト報告 (I) pp.78-84(1998).
7. 山口巧, 澤本章一, 横井克則: 学内 LAN を活用した寮生用学習支援システム, 論文集 高専教育 第 21 号 pp.273-280(1998).
8. 山口巧, 端平雄: 学寮におけるネットワークの活用, 論文集 高専教育 第 20 号 pp.313-320(1997).

査読付き国際会議

1. Yamaguchi, T., Shimamura, K.: OPR-LENS2 : A Manipulator making a display stand-out the operating surface for Information Appliances, Tenth IFIP TC 13

- International Conference on Human-Computer Interaction(Interact 2005)(to be submitted)
2. Yamaguchi,T., Shimamura,K.: OPR-Browser: A Manipulator for Information Appliances in Ubiquitous Environments., International Conference on Next Era Information NEtworking (NEINE'04) IP-SessionB2 , pp.184-191(2004).
 3. Yamaguchi,T., Shiba,H. and Shimamura,K.:OPR-LENS: Operation-Lens System for Supporting a Manipulation of Information Appliances, The sixth Asian Pacific Conference on Computer Human Interaction(APCHI)2004, Lecture Notes in Computer Science 3101, Springer, pp.550-559(2004).
 4. Yamaguchi,T. and Shimamura,K.: A proposal of a palm-pointing device using lens-effect with partially capturing of PC's GUI, Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies(APSITT)2003, pp.25-30(2003).

研究会

1. 今井一雅, 勇秀憲, 山口巧: 高知高専の全キャンパス無線 LAN の設計と無線 LAN・PDA の活用について, CSI インターネット利用研究会 2002(2002).
2. 今井一雅, 林節八, 山口巧: 高知高専の新しい情報教育環境について, キャンパスネットワーク第 4 回研究会論文集 pp.10-11(1999).
3. 山口巧, 端平雄: 学内 LAN を活用した寮生用 LAN の実践, キャンパスネットワーク第 3 回研究会論文集 pp.29-32(1998).
4. 市川満, 横山幸嗣, 土谷牧夫, 山口巧, 蛭子井貴: S / Xバンド共用広帯域コルゲートホーンの特性, 電子情報通信学会研究会 AP89,15-19(1989).

全国大会等国内発表

1. 高橋翔太, 赤松仁, 山口巧, 島村和典: RFID タグ間通信アーキテクチャを用いたユーザ履歴参照型動画配信の提案, 電子情報通信学会 2005 年総合大会, A-16-29(2005).
2. 芝治也, 山口巧, 赤松重則, 勇秀憲ほか: 授業評価 Web アンケートシステムの開発と実践, 情報処理学会 第 67 回全国大会, 4D-2, pp.363-364(2005).
3. 山口巧, 芝治也, 菅通久, 島村和典: 把持具型ポインティングデバイス OPR-LENS の操作性の実験的評価, Human Interface Symposium 2004 論文集, pp.1175-1178 (2004).
4. 山口巧, 岡本高幸, 島村和典: 操作レンズ型デバイスのソフトウェア処理系の検討, FIT(Forum on Information Technology)2004, 7P-1(K-105) pp.627-630 (2004).
5. 山口巧, 芝治也, 島村和典: 情報アプライアンスを遠隔操作支援する操作レンズ型デバイス, 情報処理学会 第 66 回全国大会, 4A-3, pp.45-46(2004).
6. 山口巧, 島村和典: 注視域を強調した木魚型形状ポインティングデバイスの提案, Human Interface Symposium 2003 論文集, No.2143, pp.247-250(2003).
7. 山口巧, 島村和典: GUI 操作支援のための注視域取り出し機能のシステム性能評価, Forum on Information Technology 2003, K-060, pp.555-556(2003).
8. 西村淑子, 山口巧: 学内 LAN を活用した自学自習用英語教材の開発, 全国英語教育学会全国大会, 松山大学 (1998).
9. 蛭子井貴, 千葉勇, 山口巧: 複モードホーンアンテナの高次モード合成比の測定法, 電子情報通信学会秋季全国大会 B,70-71(1989).

四国大会等その他

1. 高橋翔太, 赤松仁, 小松義幸, 山口巧, 島村和典: RFID タグ間通信のための通信プロトコルアーキテクチャの提案, 平成 16 年度電気関係学会四国支部連合大会, No.16-15, pp.281 (2004).
2. 安井政人, 山口巧, 島村和典: 情報弱者用操作デバイスのためのソフトウェアキー入力

- の検討，平成 16 年度電気関係学会四国支部連合大会，No.8-8，pp.86 (2004).
3. 山口恵，山口巧，島村和典：情報弱者の視認支援操作虫眼鏡インタフェースに関する一考察，平成 16 年度電気関係学会四国支部連合大会，No.13-8，pp.198 (2004).
 4. 赤松仁，高橋翔太，小松義幸，山口巧，島村和典：2.45GHz 帯 RFID タグとリーダ間の通信距離に関する一検討，平成 16 年度電気関係学会四国支部連合大会，No.15-7，pp.243(2004).
 5. 大谷新一，山口巧，島村和典：注視域取り出し機能における画像転送間隔の検討，平成 15 年度電気関係学会四国支部連合大会，16-33，pp.334(2003).
 6. 山口巧，赤松重則，芝治也：学内 LAN を活用した就職情報支援データベースシステムの開発，高知高専学術紀要 第 45 号 pp.31-38(2000).
 7. 山口巧，中島慶治：異種 OS 間の効果的な情報共有手法，高知高専学術紀要 第 44 号 pp.49-58(1999).
 8. 岸本誠一，芝治也，山口巧：386,486 マシンの活用-WindowsNT ドメインへのクライアント参加と UNIX ベースの共有サーバ化-，高知高専学術紀要 第 43 号 pp.121-129(1999).
 9. 山口巧，中島慶治：共有クライアントコンピュータを管理する効果的手法，高知高専学術紀要 第 43 号 pp.131-143(1999).
 10. 西村淑子，山口巧：学内 LAN を活用した自学自習用英語教材の開発，四国英語教育学会 19 号，pp.34-46(1999).
 11. 山口巧，芝治也：A Study on Virtual Space using VRML for public relations activities，電気関係学会四国支部連合大会 16-33,pp.310(1998).
 12. 山口巧，川田和敏：送信電力制御型 MOP-ACA の移動特性，電気関係学会四国支部連合大会 12-6,pp.187(1998).
 13. 山口巧，中平拓司：送信電力制御型 MOP-ACA の検討，電気関係学会四国支部連合大会 12-10,pp.176(1997).

工業所有権

1. 蛭子井貴，山口巧：コルゲートホーンアンテナ（特許番号，第 922562 号），出願日 1900 年 2 月 13 日公開日 1991 年 10 月 22 日審査請求 1996 年 11 月 18 日.
2. 山口巧，土谷牧夫，竹林和芳：導波管形分波器（特許番号，第 2548810 号），出願日 1989 年 11 月 24 日公開日 1991 年 7 月 17 日.