

携帯端末を利用した
機器操作ユーザインタフェース

木村 朝子

2002年11月

大阪大学大学院基礎工学研究科

要約

昨今のコンピュータの小型化,低価格化により,様々なものにコンピュータを埋め込むことが可能となった.これらをネットワークで接続することで,機器や生活用品などにどこからでもアクセスし,操作,情報収集することが可能となる,ユビキタスコンピューティングが注目されている.このような環境下では,一台の端末からすべての機器を統括的に操作することのできるユーザインタフェースが必要であり,またそのユーザインタフェースは日常生活の中で各ユーザが持ち歩くことができ,ユーザごとで最適なものであり,直感的に利用できるものであることが望ましい.そこで本論文では,上記の特徴をもつ携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェースを提案する.

本論文ではまず,複数の機器を総括的に操作するユーザインタフェースとして,ネット端末とWeb,赤外線リモコン信号制御装置を利用したシステムを構築した.このシステムでは(1)任意の携帯端末から任意の場所にある各種の機器を操作,(2)機器操作のソフトウェアをネットワーク上からダウンロードすることが可能である.

次にユーザごとで最適なユーザインタフェースを提供するために,ユーザに自分にあったハードウェアを選択してもらい,そのハードウェアに応じたソフトウェアを提供する方法について検討した.ユーザが画面サイズや操作方法などの異なる携帯端末を選択することを考えると,端末の仕様やユーザの特性にあったソフトウェアを事前にすべて用意しておくことは難しく,ソフトウェア部分は携帯端末の仕様やユーザ特性に調整可変であることが理想的である.そこで,機器操作のソフトウェアとしてメニューインタフェースに注目し,メニューインタフェースを自動的に設計するための記述言語としてMenu Interface Grammarを提案した.Menu Interface Grammarは,機器に関するデータと入力端末に関するデータが独立して記述されているため,機器および携帯端末に応じてメニューインタフェースを自動的に構築することが可能となる.また,入力方法が異なる場合に,効率的で使いやすいメニュー階層の深さ広がりや習熟とともにどのように変化するかを調査し,入力方法が変わったときにメニューインタフェースをどのように適応すればよいか解析した.

携帯端末を利用した入力方法という点,ボタン操作,タッチパネル,ペン入力などが一般的である.しかしユーザが見える範囲にある機器を操作する場合,携帯端末上にあるボタンやタッチパネルの中から操作したい機器を選択するよりは,携帯端末を直接機器の方向に向け選択するほうがより直感的である.そこで本論文では,人間がモノを指差すポインティング動作を利用し,触覚を利用してポインティングの方向を確認することができる入力デバイスを構築・評価した.

最後に,タッチパネルでもボタンの触覚を提示することができるデバイスとして,指先装着型触覚デバイス GyroTouch を構築した.本研究で構築した GyroTouch は,ハプティックデバイスであり,指先に小型のコイン型モーターを装着するだけでボタンを押す感覚を提示することができ,従来にはみられなかった指先への反力フィードバックデバイスを実現することができた.

目次

1 章 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 ユビキタスコンピューティング	1
1.1.2 住宅のインテリジェント化	2
1.2 適応型インタフェース	5
1.3 実世界指向インタフェース	6
1.4 本研究の意義と論文の構成	7
2 章 ネット端末を用いた機器操作システム	11
2.1 多機能リモコン	11
2.2 本論文で仮定する望ましい 『携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェース』	15
2.3 ネット端末と Web を利用した機器操作システム	16
2.3.1 システム構成	16
2.3.2 家電製品制御	17
2.4 実装	18
2.5 まとめ	20
3 章 木構造を用いたメニューインタフェース記述言語 -Menu Interface Grammar-	23
3.1 関連研究	23
3.2 家電ユーザインタフェースのメニュー操作と一貫性	24
3.2.1 家電ユーザインタフェースのメニュー操作	24
3.2.2 メニュー操作の一貫性	25
3.3 Menu Interface Grammar	26
3.3.1 メニュー操作の木構造	26
3.3.2 メニュー操作木に記述する内容	26
3.3.3 メニュー操作木の記述の簡略化	30
3.3.4 メニュー操作木の構築例	32
3.4 Menu Interface Grammar の評価手法としての利用	32
3.4.1 目的	32
3.4.2 インタフェース操作の非一貫性	33

3.4.3	一貫性のないデザインの抽出	37
3.5	検討	41
3.6	まとめ	42
4章	入力方法の違いがメニュー探索操作に与える影響	43
4.1	メニューインタフェース	43
4.2	メニュー探索操作実験	44
4.2.1	目的	44
4.2.2	メニュー探索操作の習熟過程	44
4.2.3	メニュー選択システム	45
4.2.4	方法	45
4.2.5	結果	49
4.2.6	考察	51
4.3	ユーザ行動モデルの獲得	52
4.3.1	視覚・探索・オペレーションモデル	52
4.3.2	数字入力デバイスを用いる場合のユーザ行動モデル	53
4.3.3	矢印入力デバイスを用いる場合のユーザ行動モデル	54
4.3.4	ユーザ行動モデルを用いた探索時間の評価	56
4.3.5	メニュー構造のその他の検討	57
4.5	まとめ	60
5章	操作対象への方向情報を用いたユーザインタフェース	61
5.1	関連研究	61
5.2	操作対象への方向情報を用いた機器選択	63
5.2.1	操作対象への方向情報の認識	63
5.2.2	システム構成	64
5.2.3	評価実験	67
5.3	選択操作に対する触覚フィードバックデバイス	69
5.3.1	モーターの回転角度を利用した触覚フィードバック	70
5.3.2	システム構成	70
5.3.3	メニュー項目とモーター回転の対応付け	72
5.3.4	評価実験	72
5.5	まとめ	75
6章	反動トルクを利用した指先装着ハプティックデバイス -GyroTouch-	77
6.1	ウェアラブルとフィードバックデバイス	77
6.2	GyroTouch デバイス	78

6.3	ウェアラブルVRシステム	80
6.3.1	システム構成	80
6.3.2	キャリブレーション	81
6.4	仮想ボタン選択のユーザビリティ評価	83
6.4.1	実験目的	83
6.4.2	仮想ボタン操作とモーター回転の対応付け	84
6.4.3	手順	85
6.4.4	結果	85
6.4.5	考察	86
6.5	本システムの応用	86
6.6	まとめ	88
7章	結論	89
	謝辞	93
	参考文献	95
	業績リスト	101

1 章 序論

昨今のコンピュータの小型化,低価格化により,様々なものにコンピュータを埋め込むことが可能となった.これらをネットワークで接続することで,機器や生活用品などにどこからでもアクセスし,操作,情報収集することが可能となる,ユビキタスコンピューティングが注目されている.このような環境下では,一台の端末からすべての機器を統括的に操作することのできるユーザインタフェースが必要であり,またそのユーザインタフェースは日常生活の中で各ユーザが持ち歩くことができ,ユーザごとで最適なものであり,直感的に利用できるものであることが望ましい.そこで本論文では,上記の特徴をもつ携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェースを提案する.

本章ではまずユーザ専用のユーザインタフェースが実現可能となった技術的背景として,ユビキタスコンピューティングについて説明し,機器,インタフェースなどがネットワークにつながることの利点と問題点について述べる.また,家庭におけるユビキタスコンピューティングの例として,ネット家電やホームネットワークなど,住宅のインテリジェント化に関する事例を紹介する.次に,ユーザが自分専用のユーザインタフェースを使って機器操作を行う場合に,ユーザにとって理解しやすく,直感的に操作を行うことのできるユーザインタフェースを実現する方法として適応型インタフェース,実世界指向インタフェースについて説明する.最後に,本研究の位置づけと意義について説明する.

1.1 背景

1.1.1 ユビキタスコンピューティング

近年,コンピュータの低価格化に加え,ISDN,ADSLやCableTV用光ファイバ/同軸ケーブルなどInternet接続方式の多様化・低価格化が進み,情報機器やインターネットなどがより身近なものになってきている.米国Nielsen//NetRatingsによる「2002年第1四半期における家庭のインターネット人口調査の結果」では,2002年現在日本人口の50%以上が家庭でインターネットを利用していると報告している[Nielsen].仕事のための道具だったコンピュータやインターネットは,毎日の生活を豊かにするための道具として私たちの生活の隅々まで広がろうとしている.

ユビキタスコンピューティング(Ubiquitous Computing)という概念は,1989年にXerox社パロアルト研究所のMark Weiserが提唱した考え方である[Weiser93][Abowd00].「ユビキタス」はラテン語で「同時にいたるところに存在する」という意味で,ユビキタスコンピューティングは,生活や社会の至る所にコンピュータが存在し,コンピュータ同士が連携して動作することにより,人間の生活をサポートするというものである.携帯電話などを中心とした小型情報端末の進化に代表されるコンピュータの小型化や,インターネットの爆発的な普及などに見られる通信技術の発展・浸透に伴い,この考え方が改めて注目されてきて

いる。

端末がいたるところに存在すると、端末同士の協調分散化が必要となる。携帯電話や、PDA、電子手帳、ウォークマンなどPC以外の小型デバイスや、コンピュータ、家電製品、駅の券売機のような端末・機器は、これまでそれぞれスタンドアロンで動作しており、協調して動作することはなかった。しかし、それぞれの端末にIPが割り振られ、Bluetoothのような技術で端末同士がお互いに通信し、協調して動作するようになると、電子レンジやエアコンなども含めてユーザがインタラクティブにイベントを発生させなくても端末同士が協調して仕事をするようになる。また端末が偏在することで、ユーザが近くにある端末を利用したり、ユーザが身に着けた小型デバイスを介してその端末と通信することによって、いつでもどこでも情報へのアクセスや機器とのインタラクションを行うことができる。

このように、ユビキタスコンピューティングでは、いつでも、どこでもコンピュータを利用することができると同時に、コンピュータはその存在を意識させることなく、必要に応じてネットワークに蓄積された個人情報などを参照しながら、自動的に他のコンピュータと連携して処理を行うことができる。

しかし、ユビキタスコンピューティング環境では、だれもが時間と場所にとらわれずに情報機器・ネットワークを利用できる一方で、ユーザに提供される情報量や機能が膨大なものとなり、情報機器を使いこなせるかどうかで生活や経済面での格差(デジタルデバイド)が生じることになる。そのため、このような環境では多様なユーザが使いこなせるユーザインタフェースが必須となる。

1.1.2 住宅のインテリジェント化

家庭の機器を例に見ると、ここ数年のユビキタス化は目覚ましい。住宅内の機器がネットワークでつながると、インターネットから家電製品に有用な情報をダウンロードして利用したり、複数家電製品間で協調して動作したり、すべての機器をいつでも、どこからでも操作できるようになる。また、ユーザのライフスタイルに応じて住宅全体を統合的に制御することも可能となる。

東芝は1998年、高度に発展したマルチメディア、ネットワーク社会が実現した場合の家庭、オフィス、社会における具体的イメージを提唱し(表1.1)[Toshiba97]、2002年には他社に先がけBluetoothを利用したネット家電として冷蔵庫、電子レンジ、洗濯機を販売した[Toshiba02]。Sanyoは、パソコンを核として住宅内のAV家電機器を接続し、マルチメディアライフをより身近により楽しくするためにマルチメディアホームシステムとしてHomeMEDIAを提案している。このシステムでは、リビングルームに大画面シアターを設置し、住宅内や外部とのネットワークとリンクすることで、さまざまなソフト・サービスを楽しむことができる[Sanyo]。ここでは、住宅内の色々な機器はホームネットワークに接続され、それらはインターネットに接続される階層構造を取ると考えられている。

モデルハウスを利用した住宅のインテリジェント化に関する研究も様々なところで行われている。国内では松下電器のHIIHouse[HII House](図1.2(a))、電子情報技術産業協会のJEITA

House[JEITA House](図 1.2(b)) が , アメリカでは Georgia Institute of Technology の Aware Home[AwareHome](図 1.2(c)) , MIT MediaLab の Counter Intelligence[CounterIntelli]などがユビキタスコンピューティングを利用した玄関 , 個室 , お風呂 , キッチンなどの住空間におけるサービスの研究を行っている .

また , 住宅内のネットワークをインターネットと接続することで , 外出先から住宅内を制御することが可能である . 現在高齢者問題や福祉問題 , 少子化が社会における重要な問題となっているが , 住宅外から住宅内を制御することで , これらの問題を解決する足がかりとな

表 1.1 200X 年の家庭

<p><家庭> 現在 , 家庭には“書斎情報文化”と“お茶の間情報文化”があると考えるが , 二つの文化は共存しつつ , テレビはPC機能を加えてインタラクティブ テレビに進化し , PCはAV機能を加えてエンタテインメント性を強めていく . 家庭内のテレビ , PC , 各種家電製品はネットワークで結ばれ , 新たに“情報玄関”と“情報冷蔵庫”というコンセプトの商品が生まれる . “情報玄関”は , インターネット , ケーブル , 衛星など , 多様なネットワークの入口を統合する機能をもち , “情報冷蔵庫”は , DVD-RAMを使用した家庭用サーバとして , 情報・映像をファイルし , かつ , エージェントとフィルタリングの機能をもつ . たとえば , インターネットや多チャンネル化された番組から , 家族一人ひとりの好みに合った情報だけを蓄積・更新できる . また , 在宅勤務 , オンライン ショッピング , 教育など , 高度な対話型アプリケーションはあたりまえのこととなる .</p> <p><オフィス> オフィスでは , ネットワークおよびモバイル コンピューティングによる新しいワークスタイルが定着する一方 , 働く個人の創造力 , 情報分析・発信能力が今まで以上に求められる . ここでは情報の洪水から欲しい情報を人に代わって集め , 分析し , 判断してこたえる“エージェント”技術が非常に重要な役割を演ずると考えられる .</p> <p><社会> 医療においては , 高齢化時代に対応して , ネットワーク上で24時間在宅ケアが可能なシステムが実用化されると考えられる . また , 画像情報処理がいっそう進展し , 医療機関どうしをネットワークで結び , 遠隔画像診断支援システムによる画像を見ながらの診断が可能となる . 流通においては , 電子商取引 (EC : Electronic Commerce) が , ICカードの普及・定着とともに , 一般消費者にも日常的に利用されると考えている . 認証技術の進歩と標準化により , 安全な電子決済が保証され , バーチャルモール (ネットワーク上の店舗) でも , リアルモール (百貨店・スーパー・専門店など) でも , ICカード一つで決済方法をクレジットにするか現金に代わる電子マネーにするかが選択できるようになる . 21世紀に向けて , インターネット , ケーブル , 衛星などのインフラがいっそう整備されていけば , 今まで紹介してきたさまざまなシステムに加え , 新しい地域行政サービスシステムなども構築され , あらゆる公共サービスがネットワーク上で提供されるようになる .</p>

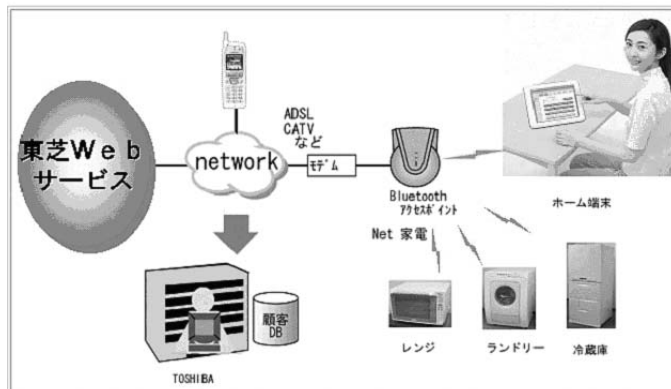
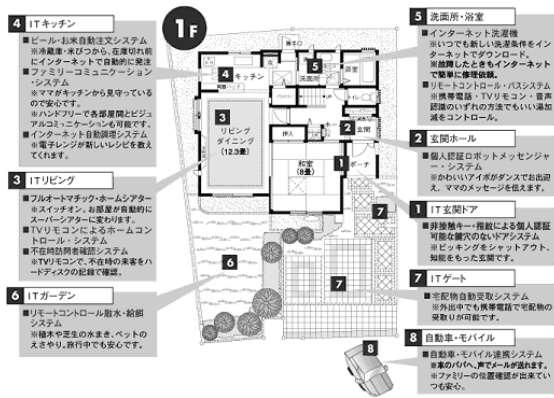
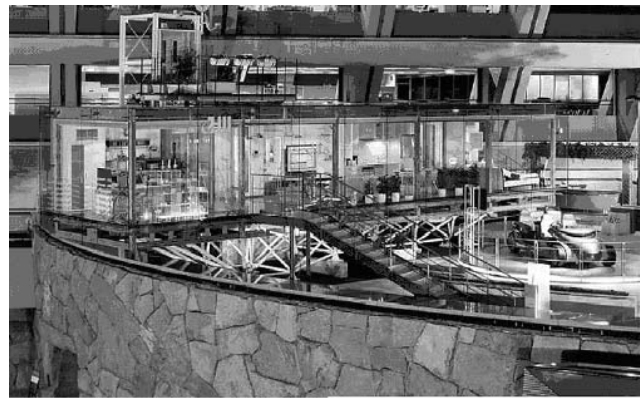


図 1.1 ネット家電製品[Toshiba02]



(a) JEITA House



(b) 松下電器産業HII House



(c) Aware Home

図 1.2 ホームネットワークの例

ることが期待される。例えば寝たきり老人の在宅介護のためのホームヘルパー不足は非常に深刻な問題であるが、離れて暮らす家族やホームヘルパーがテレビ電話などでコミュニケーションを取りながら高齢者の住宅を遠隔地から制御することにより、高齢者の家に直接訪問できない日でも、老人の様子をチェックしその住環境を操作することができる。また、同様に障害者が自分自身で家電製品を操作できない場合や、留守番をする子供と仕事をもつ両親とのコミュニケーションを支援する場合などにも有効であると考えられる。

住宅全体を制御するという考え方は、日本では古くはホームオートメーション[Handbook94]やトロン電脳住宅[TRON]、現在は、IPv6[IPv6]や AMIDEN[AMIDEN]など住宅の情報化プロジェクトとして、研究が進められてきた分野である。しかし、IP や IEEE1394、Bluetooth といったネットワークプロトコルの標準化や Jini[Jini] や Havi[Havi]、AMIDEN[Nishi01]といったネット家電のためのミドルウェアの開発が急ピッチで進められる一方で、ユーザインタフェースに関する研究はほとんど進められていないのが現状である。ユーザは家電製品など家庭で利用する機器に対して、コンピュータのようにバージョンアップが激しく、操作方法の難しいものではなく、長期間利用することができ、利用方法も簡単であることを望んでいる。しかし機器のコピキタス化にともない、家電機器などの身近な機器がより多機能となると、家庭にある機器を介してユーザに提示される情報量はコンピュータと同様膨大となり、ユーザインタフェースの問題は今後ますます重要となってくる。

1.2 適応型インタフェース

多様なユーザが使いこなせるユーザインタフェースを実現するためには、すべてのユーザにとって使いやすい共通のユーザインタフェースを作る方法と、個々のユーザに適応したユーザインタフェースを作る方法(洋服でたとえるならば、フリーサイズとオーダーメイド)が考えられる。

すべてのユーザにとって、使いやすく、わかりやすいデザインはユニバーサルデザインと呼ばれる。ユニバーサルデザインの提唱者はNorth Carolina 州立大学の Ronald L. Mace で、自身も身体に障害をもつ彼は1980年代、それまでのバリアフリーの概念に代わって、「できるだけ多くの人々が利用可能であるように製品、建物、空間をデザインすること」をユニバーサルデザインとして定義した。ユニバーサルデザインの例としては、テレホンカードの切り込みやシャンプー容器のギザギザなどがある(図1.3) [Universal]。ユニバーサルデザインは、特に公共のものや汎用の製品などで非常に重要な役割を果たしている。しかし、ユーザが個人的によく利用するようなものに関しては、自分自身のニーズや嗜好にあった自分だけにカスタマイズされたものがほしいと考えるだろう。

そこで、個々のユーザの特性にユーザインタフェースを適応させることで、それぞれのユーザにとって使いやすいデザインを実現する。適応型インタフェースの研究が行われている。適応型インタフェースは、ユーザの身体的特徴や、習熟、行動パターン、ニーズ、嗜好などを検出し、それらをもとに文字の大きさやレイアウトの変更、よく利用される情報・最近利用された情報などの目立つ場所への配置、提示する情報量の増減、あるいはユーザの嗜好にあった情報の提示などを行い、ユーザの操作負担をできるだけ軽くするアプローチである [Greenberg89] [Norcio89]。例えばAmazon.comでは、ユーザが購入した商品のリストをデータベース化しておき、次にユーザがそのサイトを訪れたときに、そのユーザの嗜好に合いそうな商品を提示してくれる [amazon]。

家電機器のためのユーザインタフェースなど利用頻度が高いものでは、適応型インタフェースの考え方を利用することで、ユーザにとってより操作負担の少ないユーザインタフェースを提供することができると考えられる。しかし、おせっかいな適応が行われたり、適応を簡単に解除することができない場合、逆に使いやすさを損なうことがあるので注意が必要である。



図1.3 ユニバーサルデザインの例

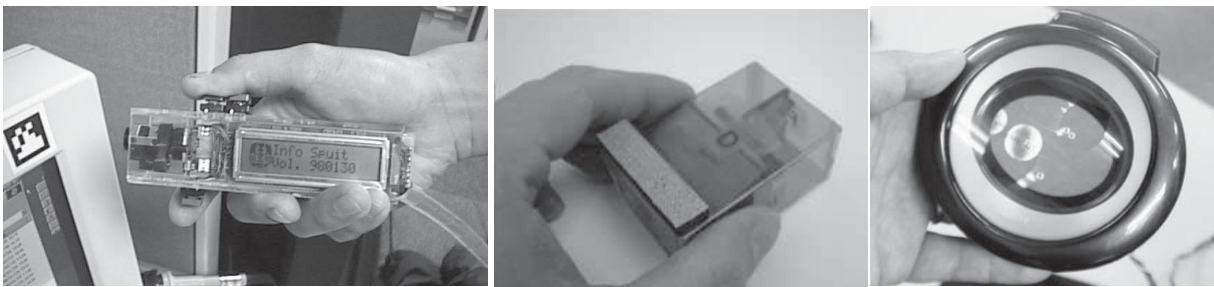
また情報機器などでは、入出力方法自体が直感性に欠ける場合も多く、適応型インタフェースに加えてユーザが直感的で、自然に利用できるユーザインタフェースの実現が望まれる。

1.3 実世界指向インタフェース

一方、より直感的な操作をユーザに提供する方法として、実世界指向インタフェースの研究が注目されている。実世界指向のユーザインタフェースでは、実物に対して“触る”“動かす”“指し示す”といったユーザの行為を利用し、コンピュータに向かって入力操作を行うのではなく、現実世界の物や人を相手に入力操作を行う。コンピュータはコンピュータとして人の前に現れるのではなく、人間の現実世界での活動状況に応じてさりげなく支援を行なう [Rekimoto96]。

例えば、Sony の Khotake、Rekimoto らは、機器に取り付けられた2次元バーコードと、ハンドヘルド型コントローラを利用し、物理世界上でディスプレイ上のアイコンをプリンターへ Drag & Drop することで書類が印刷されるといった情報のやりとりを行うことができる InfoPoint (図 1.4(a)) [Khotake99] や、小型のデバイスを実際にひっくり返したり、傾けたりすることで GUI の操作を行う入力デバイス ToolStone (図 1.4(b)) [Rekimoto00] など、マウスやキーボードとは異なるコンセプトの様々な実世界指向インタフェースを提案している。また日立は、加速度センサーと小型のブラウザを内蔵した端末を傾けたりふったりすることで、画面上に表示される泡の動きをコントロールし、またその泡をキャッチすることで様々な情報の閲覧が可能となる、Waterscape を提案している (図 1.4(c)) [Hitachi01a]。

従来は、ユーザが使うかどうかかがヒューマンインタフェースの課題であったが、これからはユーザにとっていかに直感的でわかりやすい操作を可能とするかが重要となってきており、これまでのマウスやキーボード、ボタンなどに頼った入力方法だけではなく、実世界で利用する動作や視覚、触覚、聴覚などを有効に利用するユーザインタフェースの進歩がますます重要となっている。



(a) InfoPoint

(b) ToolStone

(c) Waterscape

図 1.4 実世界指向インタフェースの例

1.4 本研究の意義と論文の構成

本研究では、ネットワークにつながれた複数の機器を一台の端末から操作する上でより直感的で使いやすくわかりやすいシステムおよびそのユーザインタフェースを構築することを目的としている。

現在、多くの機器操作がリモコンや付属の操作パネルによって行われており、ある機器のリモコンを他の機器を操作するための汎用リモコンとして利用することはできない(図1.5)。しかし、ネットワーク家電といったユビキタスコンピューティング環境において、機器とユーザインタフェース間の対話言語が共通化されれば、ユーザがどこにいても、またどのようなユーザインタフェース端末を利用していても、ネットワークに接続されたすべての機器にアクセスすることが可能となる。ユーザインタフェースはこれまでのようにそれぞれの機器専用である必要はなく、個々のユーザが自分にあった専用のユーザインタフェースを選択することが可能となる(図1.6)。

そこで本論文では、まず携帯端末を利用しネットワークを経由して、複数の機器を操作することのできるユーザインタフェースを提案する。次に、このユーザインタフェースをどのようにユーザに適応したものにするかについて検討する。携帯型機器操作のユーザインタフェースを考えると、デバイス部(ディスプレイ、ボタン、スピーカーなど)とアプリケーション部(メニューインタフェースやグラフィカルユーザインタフェースなど)にわけらるこ

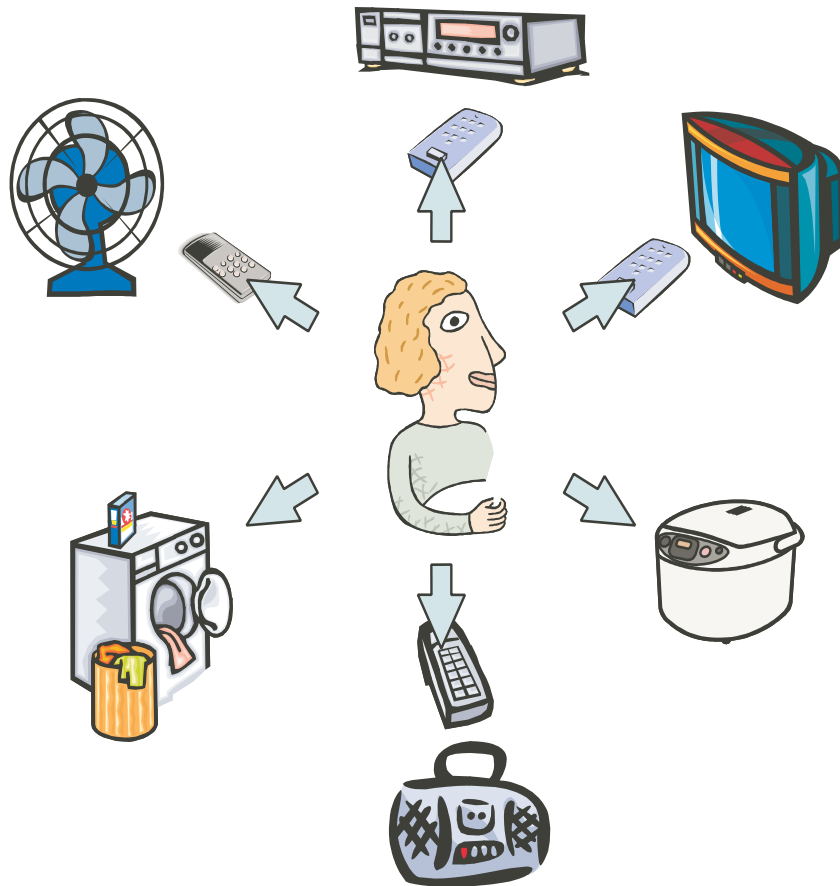


図1.5 機器専用のユーザインタフェース

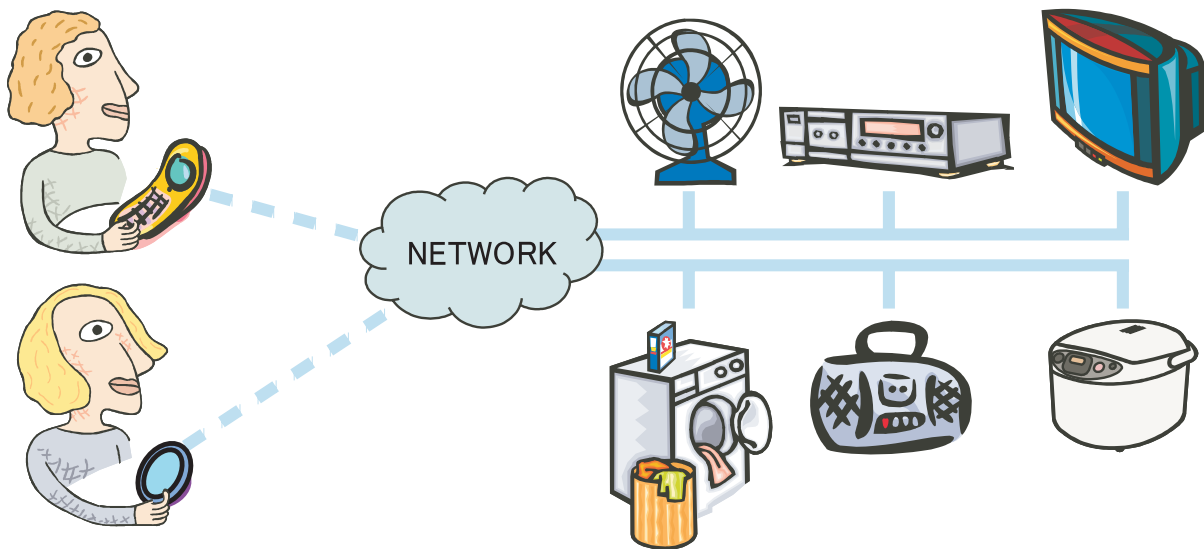


図1.6 ユーザ専用のユーザインタフェース

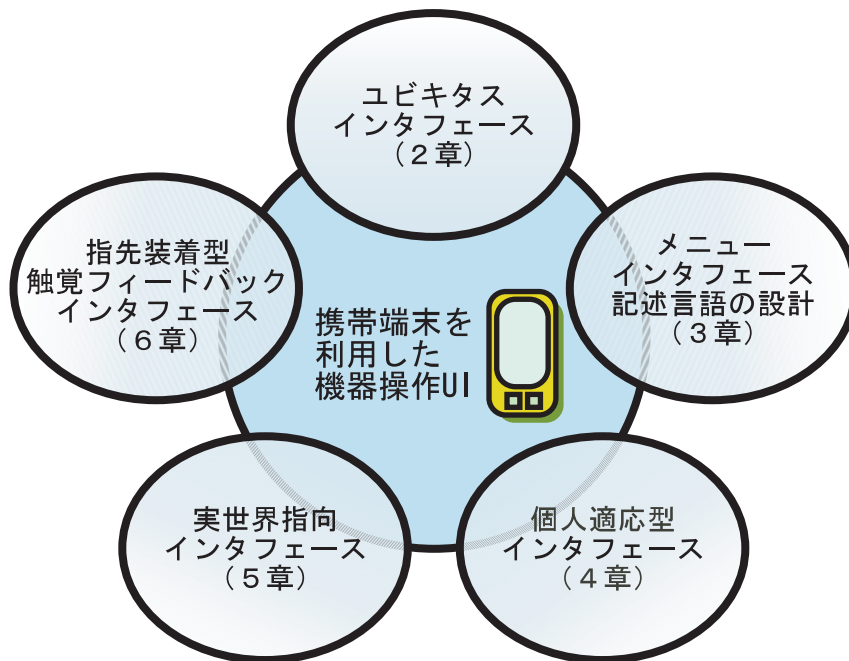


図1.7 本論文の構成

とができ、どちらの要素も使いやすさを大きく左右する。しかし、デバイス部は購入後にカスタマイズすることが難しく、アプリケーション部のデザインが画面のサイズやボタンの数、スピーカがあるかないかなどデバイス部分の違いに依存する部分も少なくない。そこで本研究では携帯端末のデバイス部分はユーザ自身が自分の身体的特性に合わせて選択すると考え、それぞれのユーザが異なる仕様のデバイスを利用する場合にも、操作画面や入力操作方法などを適応させる方法について提案する。

本論文後半では、特に直感的な入出力操作方法について検討する。機器の操作は、機器とユーザとの距離により、機器に触れて操作する近距離操作、リモコンなど機器が見える範囲

からリモートで操作を行う中距離操作、機器が見えないところから操作を行う遠距離操作の3つに分けることができる。本論文では特に中距離からの操作に注目し、ユーザにとってより直感的な操作を実現するために、携帯端末の方向を入力とするデバイス、指への触覚を利用したデバイスを、また携帯端末のようなタッチパネル式の入力デバイスでも、画面に表示されたボタンの触覚を指先に提示するために、指先に装着するタイプの触覚デバイスという3つの新しい入出力デバイスを提案する。本論文の構成を図1.7に示す。

論文中では、まず2章で本論文で仮定する望ましい『携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェース』について述べ、次にユビキタス環境下でのユーザインタフェースとして、ネット端末を利用し、どこにいても任意の機器を操作することができるシステムを提案する。

2章のシステム構成だけでは、ユーザが選択した携帯端末の入力方法が異なる場合、画面が大きい場合、小さい場合など、入出力デバイスが変わる場合には、すべての機器について操作画面を設計する必要があり、非常に非効率である。しかし、機器とユーザインタフェース間での共通言語が存在し、入出力デバイスの仕様に応じて、自動的に操作インタフェースを構築することができれば、操作対象となる機器やユーザインタフェースのデバイス部分に依存することなく利用することができる。すなわち、ユーザがどのような仕様の端末を選択しても、同じように機器の操作を行うことができる。そこで3章では、機器とユーザインタフェース間での共通言語となるメニューインタフェース記述言語 -Menu Interface Grammar- を提案する。

4章では、ユーザ適応型のインタフェースを実現するための基礎実験の結果を紹介する。携帯型のコントローラを利用する場合、メニュー構造および入力方法が異なることでユーザの操作効率がどのように変化するかをユーザテストにより調査した結果について述べる。これにより、デバイス部が異なる端末でアプリケーションをどのように適応することが適当かの示唆が得られる。

5、6章では、より直感的な入出力を可能とするデバイスを提案する。5章では、実世界指向インタフェースとして、ユーザのポインティング動作により機器選択を行うシステムと、機器や機能が選択されたことを直感的に知覚するためのハプティックフィードバックデバイスを提案する。

また6章では、指先に装着するタイプの指先装着型小型ハプティックデバイスを提案する。これは、指先にボタンの押し込み感をフィードバックするデバイスである。タッチパネルのような、触覚フィードバックのない平らな出力デバイスを利用する場合にも、仮想的にボタンの存在感を提示することが可能となる。

2章 ネット端末を用いた機器操作システム

本章では、ユビキタス環境下でのユーザインタフェースとして、ネット端末を利用した機器操作システムについて説明する。

まず、現存する様々な多機能・高機能リモコンを紹介し、その利点・問題点をまとめる。次にネット端末を用いた機器操作システムを提案し、その実装結果について述べる [Kimura97a][Kimura97b]。

2.1 多機能リモコン

本節では現在市販されている多機能リモコンをまとめる。テレビ用のリモートコントローラは、日本では1960年に誕生した(東芝製14EA型)。ワイヤードリモコンと呼ばれる機械式で、テレビとコードで結ばれていた。このリモコンではチャンネルのチューニングと音量の調整ができた。当時この便利さが人気を呼び、13万台以上も製造された[NHK]。

その後、赤外線制御を用いることでリモコンがワイヤレスとなり、最近ではほとんどの家電製品にリモコンが付属するようになった。著者らが1997年に行った調査によると、各家庭にあるリモコンの数は1人暮らしで3.6台、4人暮らしで7.7台にのぼる [Kimura97b]。一方この調査では、家の中にリモコンが増えすぎてどこにいったかわからなくなるといった不満や、家の中に複数ある家電機器を1台のリモコンを使って操作したいとい声が多く聞かれた。このような状況から、近年高度なコントローラへのニーズが高まってきている。

現在市販されている多機能リモコンとしては、機能面では数種類の機器を操作できるものや、新たな機器にも対応できる学習式のものなどがあり、また操作方式については音声などユーザがより簡単に操作可能なインタフェースを導入しようとする動きがある。これらのリモコンは汎用性や操作方法の違いにより以下のように分類することができる。

- (1) テレビとビデオなど限定された数種類の機器を操作することができる、または任意の機器のリモコン操作信号を学習することのできるリモコン
- (2) 音声により機器を操作することのできるリモコン
- (3) PCや携帯端末など IrDA を持つ端末の付属アプリケーションとしてのリモコン

以下にそれぞれのリモコン例と、特徴をまとめる。

(1) 多機能・学習リモコン

1970年代後半になると、家庭用のビデオデッキがVictor、Sonyなどから販売されるようになり、特にビデオのリモコンでテレビの操作を行うことが可能なものが現れるようになった。その後、テレビやビデオ、DVDやエアコンなどの家電製品を1台のリモコンから操作できる

2章 ネット端末を用いた機器操作システム

多機能リモコン(図2.1)や,リモコン信号の学習機能を付加することで新たな機器に対しても対応可能となる学習リモコン(図2.2)など,より多くの機器を操作することの可能なリモコンが登場する. Sony や Victor の多機能リモコン(図2.2(a)(b))では,液晶タッチパネル式の操作パネルをもち,操作パネルのデザインをユーザ自身がカスタマイズすることができる. ハル・コーポレーションのクロッサム2+(図2.1(b))も多機能・学習リモコンであり,ボタンと機種切り替え用のダイヤルから構成されている.クロッサム2+とコンピュータをシリアル又はUSBで接続することでリモコン信号をコンピュータから制御することもできる.一方海外では,RCA, Home Theater Master, Philipsなどが,様々なタッチパネル式やボタン式による多機能・学習リモコンを販売している(図2.3(a)~(d)).

このようなタイプのリモコンは,操作対象が増える分ボタンやアイコンの数が増えるため,たくさんのボタンやアイコンの中から必要なボタンを発見することが難しくなる.特にボタン式の多機能リモコンでは,配置できるボタン数が限られているため,同じボタンを異なる機器の操作に利用しなければならない.多くの場合,モード切り替えスイッチにより,例えば同じ数字のボタンをテレビ用のチャンネルボタンとビデオ用のチャンネルボタンに使い分けるなど,ボタンの役割を変える方法が取られる.しかし,現在リモコンがどのモードであ



(a) Sony RM-VL700U (b) Victor RM-A602DVD

図 2.1 多機能リモコン



(a) Sony RM-AV2000U (b) Victor RMA-2500 (c) Hal Corp. Crossam2+

図 2.2 多機能・学習リモコン(日本製)

るのかに関するフィードバックがほとんどない場合が多く、しばしばモードエラーを引き起こす原因となっている。また、モード切り替えの数にも限界があるので、操作対象となる家電製品の数を無限に増やすことは難しい。

液晶タッチパネル式のリモコンの場合、入力操作時の物理的なボタンの操作感がなくなるという欠点があるが、操作したい家電製品を選ぶとパネルの GUI が変わるので、モードエラーが起こりにくい。また、液晶パネル上でアイコンを切り替えるので、操作対象となる家電製品の数が増加しても対応可能である。さらに、Victor の RMA-2500 のように GUI デザインをカスタマイズできるリモコンではアイコンのサイズや配置などが変えられるため、カスタマイズ機能を利用することで、操作画面をより見やすくすることができる。

(2) 音声制御リモコン

操作方法をより簡単にするために、音声を入力として利用するリモコンも登場した。日本ではエポック社が、声により TV を操作できるリモコン「ドラえコン」を（図 2.3(a)）、また海外では Kash 社が音声により複数の機器操作を行うことができるリモコン Voca Voice-Operated Universal Remote を販売している（図 2.3(b)(c)）。

声で操作するという方法は、ボタンを探したり、メニューを探索する必要がなく直感的であるという点で優れている。しかし、テレビの音や周辺での話し声など周囲のノイズが音声認識精度に影響するという問題点がある。また、逆にコマンドを覚える必要があるため、ユーザの記憶に負荷がかかるという問題点があり、操作対象となる家電製品の数が増えると

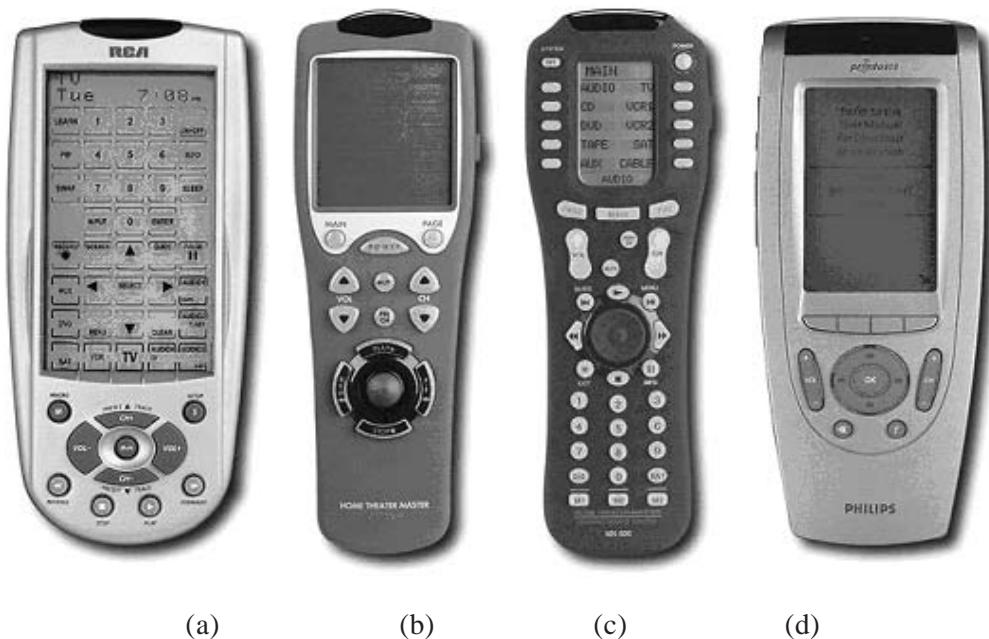


図 2.3 多機能・学習リモコン（海外製）

- (a) RCA Universal Touchscreen Remote, (b) Home Theater Master Universal Remote MX-1000,
(c) Home Theater Master Universal Remote MX-500, (d) Philips Pronto Neo Touch-Screen
Programmable Remote with Macros

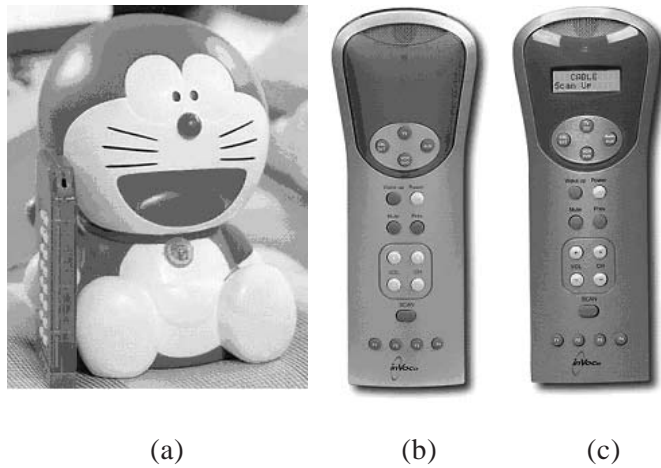


図 2.4 音声制御リモコン

(a) エポック社「ドラえコン」, (b) Kash N Gold inVoca Voice-Operated Universal Remote, (c) Kash N Gold inVoca Voice-Operated Universal Home Theater Remote



図 2.5 CLIE PEG-T415 と CLIE Remote Commander

ユーザの負荷はますます増加することになる。

(3) 携帯端末や携帯電話の赤外線ポートを利用したリモコンソフト

一方、より汎用的な端末として、携帯端末や小型 PC をリモコンとして利用する流れがある。2001 年に米 Sony Electronics が発表した「CLIE PEG-T415」では、同梱アプリケーション「CLIE Remote Commander」と赤外線ポートを利用して、ビデオデッキやテレビなどの AV 機器をリモート制御できる機能を備えており、この点を製品の大きな特徴として位置付けている（図 2.5）。その他にも、携帯端末や小型 PC の赤外線ポートを利用して家電制御を行うための様々なソフト（RemoconCon[Okada]など）がインターネット上で配布されている。

このようなシステムでは、操作画面が GUI により提供されることから、操作対象の増加にも対応でき、また他の携帯端末や PC を利用する場合に、OS が同じであれば違う端末で同じソフトを利用することも可能である。但し、現在携帯端末や PC の赤外線ポートのほとんどは IrDA を利用している。IrDA の赤外線通信用のモジュールは、周囲からのノイズを低減する為に指向性が高くなっているため、赤外線通信モジュールからの赤外線の照射角はかなり

狭く、ユーザは家電製品の上下左右5度程度の赤外線受信窓を狙って送信する必要があるという弱点がある。

また、今後ネット家電が普及し、外出先から制御することができる機器が出現することを想定すると、(1)～(3)のすべてのリモコンはユーザの周囲にある(赤外線信号が届く範囲の)家電機器しか操作することができない。

2.2 本論文で仮定する望ましい『携帯端末を利用した機器操作

ユーザインタフェース』

1台のリモコンを利用して、任意の場所にある機器を制御することができるという特徴以上に、ここではリモコンの操作・確認方法に注目し、本論文で仮定する望ましい『携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェース』について述べる。

まず機器選択であるが、現在一般に利用されているリモコンでは、まず操作したい機器のリモコンを手に持ち、そのリモコンの赤外線発光部を機器の方へ向けることで実現される。一方多機能・学習リモコンや従来の携帯端末リモコンでは、複数の機器を操作することができるため、まずリモコン上で操作したい機器を指定し、一般のリモコン同様、機器の方へリモコンの赤外線発光部を向けることで実現される。以上のことから、これらのリモコンでは、機器の選択を実現するために、機器用のユーザインタフェースの選択と端末を機器に向けるという2つの動作を行う必要があることがわかる。本研究では、端末を機器に向けることで機器用のユーザインタフェースの選択が自動的に行われることが望ましいと考える。

次に、操作時のフィードバックであるが、一般に使われているリモコンや多機能・学習リモコンの多くは、物理的なボタンをベースに作られているため、ボタンの存在やボタンを押したかどうかなどを触覚により確認することができる。しかし、従来の携帯端末を用いたりモコンは、タッチパネルをベースとして作られているため、どこにボタンがあるか、ボタンを押したかどうかの確認は、視覚のみの情報から行う必要がある。本研究では、従来のボタン型リモコンのように、視覚と触覚両方の情報から操作確認を行うことが望ましいと考える。

機器からの操作結果に対するフィードバックに関しては、目の前にある機器を操作する場合、一般的なリモコン、多機能・学習リモコン、音声制御リモコン、従来の携帯端末リモコンどれについても、機器の状態変化を視覚・聴覚などの情報から確認している。本研究では、遠隔地にある機器を操作する場合にも、このような確認方法をとることができることが望ましいと考える。

最後に、リモコンのユーザインタフェースが何に対して最適になるように設計されているかを考える。一般のリモコンは、個々の機器専用に設計されているため、個々の機器に最適化したユーザインタフェースである。多機能・学習リモコンでは、リモコン上に配置できるボタン数に制約があることから、様々な機器に共通する機能を同じボタンで対応できるように最適化されている。また音声制御リモコンや従来の携帯端末リモコンでは、それぞれのハードウェアに最適化されたユーザインタフェースがソフトウェアとして提供されている。

表2.1 各リモコンと本論文の提案するリモコンの特徴

	機器の選択方法	操作時の 触覚フィードバック	機器からのフィードバック		適応型UI※
			機器が目で見える範囲	遠隔地からの場合	
一般的なリモコン	リモコンを選択し機器に向ける	ボタン押下のフィードバック	機器の状態変化というフィードバックあり		個々の機器に最適化したUI
多機能・学習リモコン	リモコン上で機器を選択し機器に向ける	ボタン押下のフィードバック	同上		様々な機器に共通する機能に最適化したUI
音声制御リモコン	機器名を声に出して言う	なし	同上		音声制御リモコンに固定したUI
従来の携帯端末リモコン	携帯端末上で指定し機器に向ける	なし	同上		携帯端末に固定したUI
本論文で提案するリモコン	携帯端末を機器に向ける	ボタン押下のフィードバック(ハプティックデバイスの搭載)	同上	機器の状態変化というフィードバックあり(画像と音の転送)	1. 個々の機器と携帯端末のハード制約に最適化したUI 2. 個人に最適化したUI

UIはユーザインタフェースの略

本研究では、これらのリモコンのように、機器側やハードウェアごとで最適化されたユーザインタフェースではなく、ユーザが選択した携帯端末やユーザ自身にユーザインタフェースが最適化されることが望ましいと考える。

表2.1に、一般的に利用されているリモコン、2.1で述べた(1)~(3)のリモコンと本論文で提案する機器操作ユーザインタフェースの特徴まとめる。

本論文では、2.3、2.4でまず本研究で仮定する望ましい『携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェース』を実現するためのシステム構成について述べ、3章以降で、適応型インタフェースや機器選択方法、触覚によるフィードバックなどの実現方法の提案を行うとともに、本研究で望ましいと仮定した機器操作ユーザインタフェースの有効性について考察する。

2.3 ネット端末と Web を利用した機器操作システム

本節では、任意の端末から、任意の場所にある任意の機器を制御することができる機器操作システムとして、ネットワーク接続可能な端末(ここではネット端末と呼ぶ)とWebを利用し、以下のような機器操作システムを構築した。

- ・複数の家電製品を操作することが可能
- ・ユーザと同室にある家電製品だけでなく、違う部屋や遠隔地にある家電製品も操作することが可能
- ・Webを利用できる端末であれば任意の入力方法の端末で利用可能

2.3.1 システム構成

図2.6にネット端末を利用した機器制御システムの構成および全体像を示す。まず操作デバイスについては、通信技術の発達により今やほとんどの携帯端末で無線LANやPHSなどの無線通信機構を内蔵、または付加することが可能である。また携帯端末は電子手帳としての機能だけでなく、ネットワークを通して電話・電子メール・Web・テレビ電話など、様々

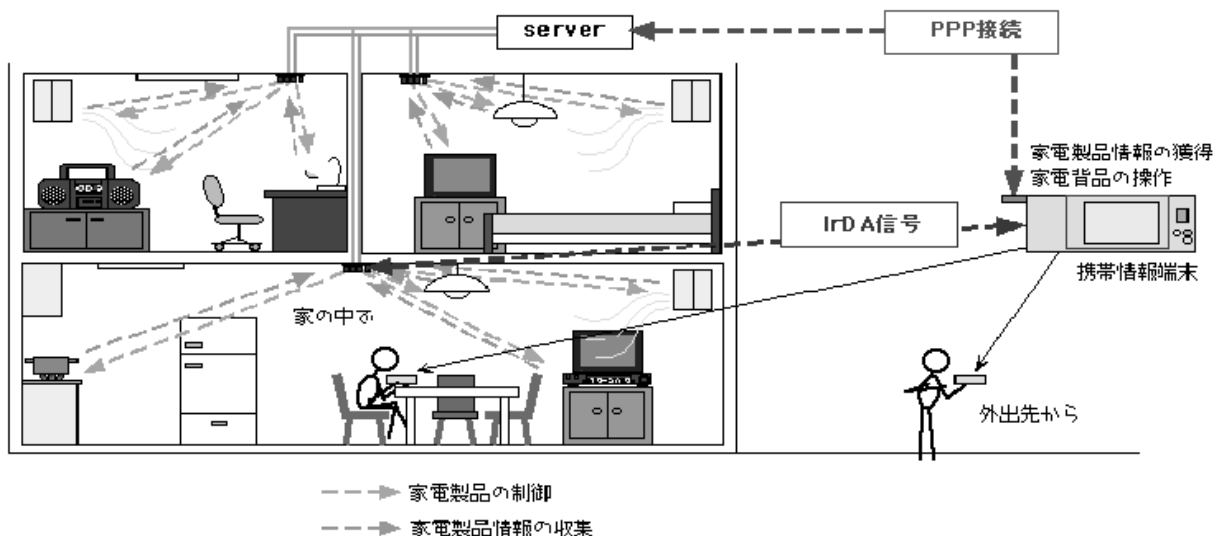


図 2.6 携帯端末と Web を用いた家電制御システム

な情報を扱うことができる[Mizuno95]。家にホームサーバを設置し、HTML や CGI, JAVA などにより記述された家電操作アプリケーションをインストールすることで、いつでも世界中どこからでも、携帯端末や作業場のPCを介して自宅の家電機器を操作することができる。

次に機器の制御については、WEBサーバに接続された赤外線信号発振器を用いる。各部屋に赤外線発信機を設置し、ユーザがWEBサーバ上のCGIプログラムを実行することで、赤外線発信機から家電製品に制御信号が送られる。

ユーザインタフェースについては、個々のユーザにあったデバイスやGUIを利用できることが望ましい。従来のボタン式リモコンでは、それぞれのユーザに適応したインタフェースを提供することは難しいが、携帯端末やPCの入力方式は、マウス、タッチパネル、ボタン、ペン、キーボードなど様々であり、ユーザがその用途や手のサイズ、利用環境にあった端末を選択することができる。ネット端末を利用することで、ハードウェアであるデバイスはユーザ自身が選択し、ソフトウェアとなるGUIや利用するデータについては、ユーザが一度カスタマイズすると、新たな家電製品の操作インタフェースをインストールしたときや端末を変えたときにもその設定に適応させることが可能となる。

2.3.2 家電製品制御

図2.7に示すシステム構成により実現することができる。外出先からの家電製品を制御する手順は

- (1) 機器の選択と操作コマンドの入力
- (2) 家電製品の制御
- (3) 動作確認

の3つの段階に分かれる。以下、各段階におけるシステム構成を説明する。

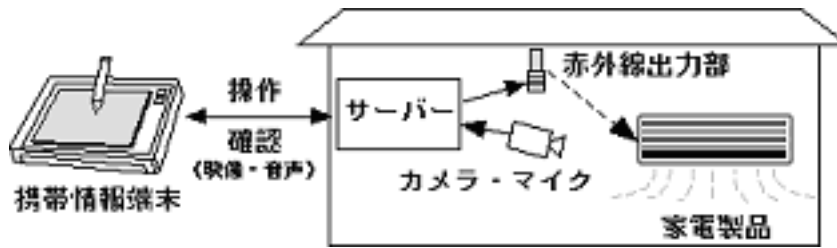


図 2.7 システム構成

(1)操作コマンドの入力

操作コマンドの入力は、ネット端末から行われる。ユーザはネット端末上のGUIから操作コマンドを選択し、選ばれたコマンドが自宅のサーバに伝えられる。アプリケーション開発に関しては、身体的特性に応じて複数準備されたハードウェアごとに独立に開発を行うのは効率が悪いので、HTML、CGI、Javaなどプラットフォームへの依存性の少ない言語を有効に活用すべきである[Bank96][Jaccas][Yamamoto96]。本研究では、HTMLおよびCGIにより実装している。

(2)家電製品の制御

サーバでは、送られてきた操作コマンドを各家電製品へと伝送する。現在すでにIrDA方式という赤外線通信規格[Uno95]がPC分野で普及しているが、これに従った家電製品が普及すれば、家電製品の制御のための配線を大幅に削減することができる。また、家庭内に配線されている電灯線を用いて機器制御を行うX10という規格を用いる方法もある[Yamaguchi95]。IrDA方式を採用した場合には、サーバに取り付けられた赤外線出力装置から家電製品へ向けて赤外線信号として発信する。部屋の高い位置に赤外線出力装置を取り付けることにより家電製品の設置場所にも自由度が広がり、各部屋のハブ装置間は電波を用いて接続すれば、異なる部屋の家電製品も1台のサーバで制御することができる。

(3)動作確認

動作確認は、部屋に取り付けられたカメラ・マイクからの映像や音声をサーバを通してネット端末に送り、ネット端末上でテレビ電話やストリーミング配信を利用することにより行うことができる。

2.4 実装

実装システムの構成を図2.8に示す。ここでは、ネット端末としてNotePC(VaioNote550E)と携帯端末(東芝製 Genio)を利用した。

(1)操作コマンドの入力

WEB上で構築した。WEBを用いた利点は、多くの携帯端末上で利用できること、インタ

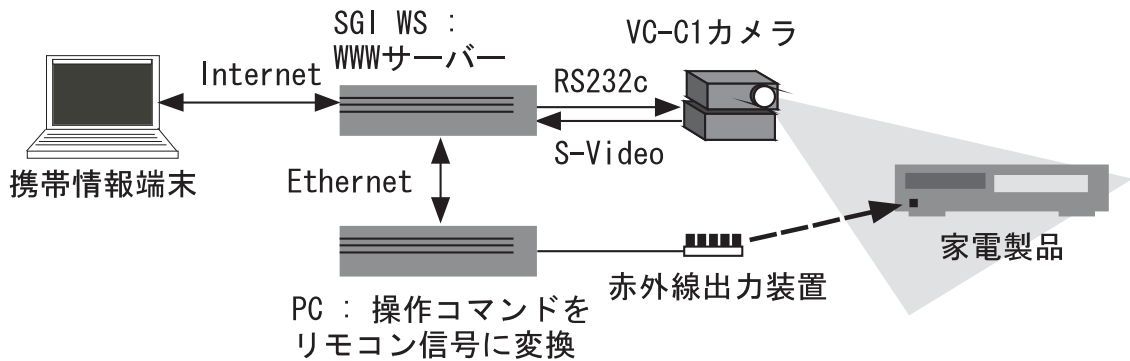


図 2.8 実装システム

フェースの構成要素にグラフィックスを利用できること、インタフェースの構築が非常に簡単なこと、様々な端末に対して機種依存性がないので、携帯端末を持っていないユーザがこのシステムを利用する際には、会社や街中のデスクトップ型のPCを利用することができることなどが挙げられる。ただし、インタフェースプログラム自体がWEBサーバ上に存在するので、利用時にインタフェースの読み込み時間を要するという問題がある。

(2)家電製品の制御

WEBサーバとしてはSGI社製のワークステーションを利用した。また、家電製品へのコマンド送信に関しては、家電製品に備わっている独自方式の赤外線リモコンを活用し、この赤外線リモコンの信号を学習させることによりPCからの制御を可能にした。赤外線出力装置は文献[Sugiyama90] [Takahashi93]を参考にして作成した。

(3)動作確認

図2.9にPCをネット端末としたときの動作の様子を示す。実行確認用のカメラはCanon社製の首振りカメラVC-C1を用い、制御する家電製品自体やその効果がカメラ視野内に映るようRS-232を通してサーバから制御されている。遠隔からの実行確認のために、Web画面内に静止映像を一定周期で自動更新する方式と、テレビ会議ツールであるCU-SeeMeとNVを利用して、動画像として伝送する方式[Ando96]を構築した。これらはユーザの端末性能やネットワーク状態により選択可能である。現在このシステムによって照明、テレビ、ビデオ、CDラジカセを制御することができる。

実装システムを50人の学生に使用してもらったところ、スムーズな操作が確認された。また、ユーザの特性や端末の画面サイズなどに応じて、インタフェース要素のサイズやデザイン、全体の配置レイアウトを動的に変更する適応型のシステムではないため、操作端末によって表示画面サイズが異なり見にくい、小さな画面にたくさんのメニュー項目が表示されると見にくいといった問題点があげられた。

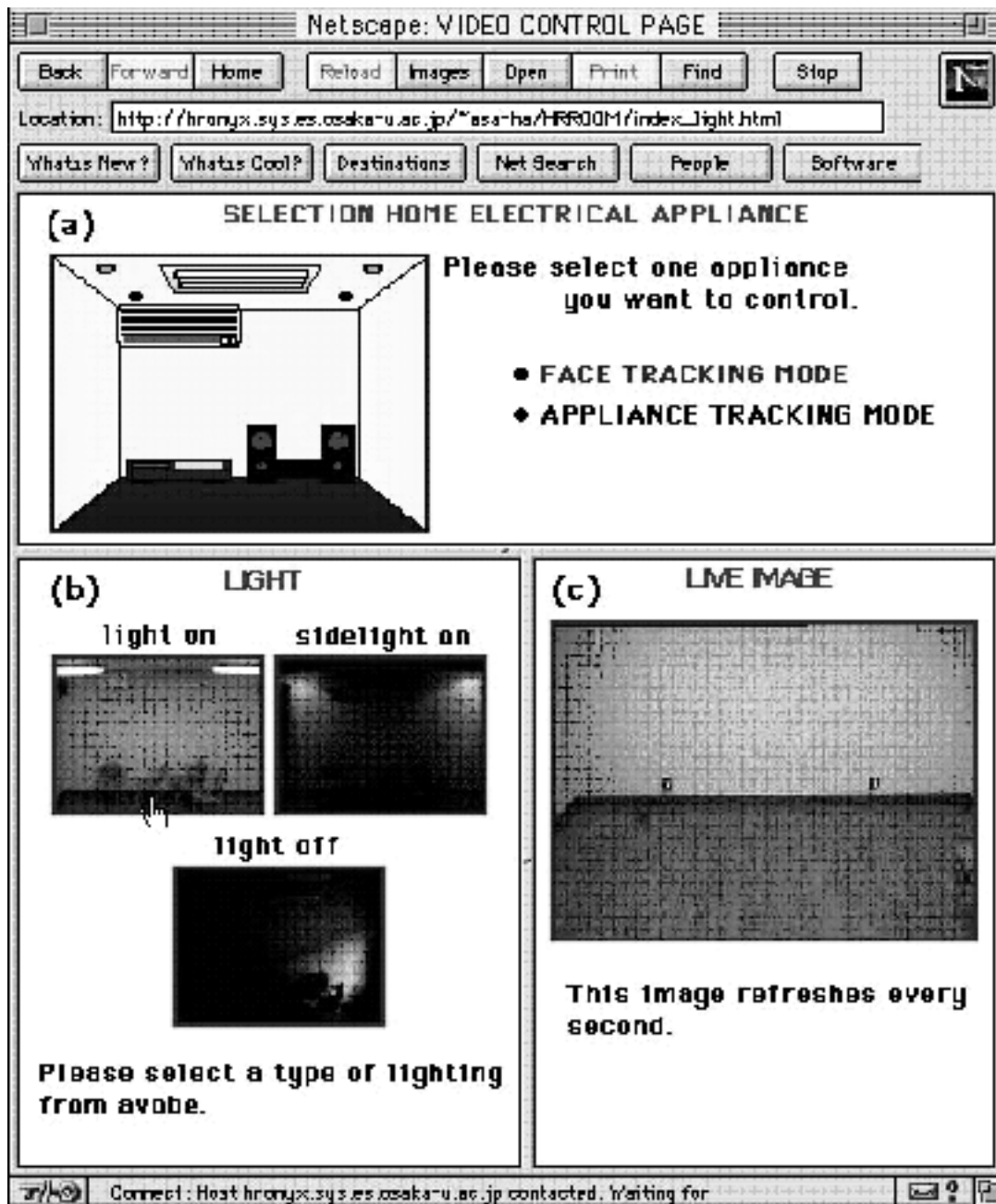


図 2.9 動作結果

2.5 まとめ

本章では、まず現存する様々な多機能・高機能リモコンについてまとめ、本論文で仮定する望ましい『携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェース』について述べた。また、携帯端末やPCなどのネット端末を利用し機器をネットワーク越しで操作するユビキタスな機器操作インタフェースシステムを提案、構築した。本システムでは、操作用GUIがホームサーバ上にあるので、複数の家電製品を制御すること、家の中だけでなく外出先から操作すること、任意の端末を利用して操作することが可能である。端末を新しいものと変更する場合にも、GUIデータがホームサーバ上にあるため、以前と同じGUIを利用することができる。

また、遠隔から機器を操作するときには、部屋の中の画像や音を利用して確認する方法をとっている。

しかし、本システムではユーザがPCや携帯端末など画面サイズが異なる場合や入力方式が異なる場合などに、それぞれ別個に適切なGUIを設計する必要がある。そこで、3、4章では入出力デバイスが異なる場合にどのように適応すればよいかについて議論する。

3章 木構造を用いたメニューインタフェース記述言語

-Menu Interface Grammar-

2章では、ユーザが任意のネット端末から任意の機器を操作するためのシステムを構築した。しかし、このシステムではネット端末の画面のサイズ、解像度が異なるとGUIが適切なサイズに提示されない。本研究で提案するように、個々人が自分の習熟や年齢、身体的な特性やニーズなどに適した入力デバイスや出力デバイスを有する端末を用いて任意の機器を操作するためには、各ユーザが異なる端末を利用して、同じ機器を操作しようとする場合でも適切な操作画面および操作方法が提供される必要がある。現在は各端末を開発する会社が専用のアプリケーションを開発する必要があるが、これは労力がかかり、非効率的である。そこで、端末上に自動的にその端末に合ったメニューを提示することができれば、様々な入出力デバイスを持つ端末に対応することができる。そこで、本章ではメニューインタフェースの自動構築のための、メニューインタフェース記述言語 -Menu Interface Grammar- を提案する[Kimura00a][Kimura00b]。また、この Menu Interface Grammar をメニューデザインの評価手法として利用する方法についても検討する[Kimura00a][Kimura00b]。

3.1 関連研究

携帯型コントローラを用いたメニューインタフェース操作は、多機能な家電製品のユーザインタフェースでよく利用されている。Norman は、コンピュータにおけるメニューインタフェースのガイドラインとして、メニュー項目の構造化、言葉づかい、レイアウト及びデザイン、選択・入力などの操作方法、初心者・熟練者への対応、処理速度の考慮などをあげている[Norman88]が、これらの内容は、対象を家電製品とした場合にも有効である。メニューインタフェースの評価手法としては、メニューの木構造の最適な深さ広さといった形状を調査する研究[Komatsubara89][Kiger84][Norman88][Landauer85]、メニュー画面のレイアウトを評価する研究[Teitelbaum83]、メニューシステムを使用する際のユーザの認知的行動に基づきメニュー構造を変更するインタフェースの研究[Ishihara95]などがあるが、操作方法に注目し、メニュー全体の操作方法を網羅的に評価する手法はまだ提案されていない。

本手法ではメニュー操作の一貫性を評価するが、一口に一貫性といっても、これまで様々な側面からユーザインタフェースの一貫性について研究されてきている。一貫性があるから使いやすいインタフェースであるとは限らないが[Shneiderman92][Grudin89]、一貫性がない部分にユーザビリティに関する問題が多く含まれていることは確かである。例えば Reisner[Reisner81]は、語彙の一貫性と構造の一貫性、Payneら[Payne86]は、意味の一貫性、意味と構文の整合性、構文の一貫性、語彙の一貫性の評価を試みている。また、Nasaによるガイドライン[Nasa96]、Mahajanら[Mahajan97]、および岡田ら[Okada97]は、GUIの画面、

操作，応答の一貫性，守屋ら[Moriya91]は，対話型システムにおけるコマンド操作の一貫性を扱っている．本研究で重要と考えているメニュー操作の一貫性については，次の次節で詳しく説明する．

3.2 家電ユーザインタフェースのメニュー操作と一貫性

3.2.1 家電ユーザインタフェースのメニュー操作

図3.1(a)は，ユーザと家電機器，インタフェースの関係を示している．例えば電源のオンオフのように，機器に与える命令が単純な場合は，ユーザがボタンを押すと機器の電源がすぐに入るといように，インタフェースを介して機器と逐次対話していると考えられることができる(図3.1(b))．しかし，録画予約のように，1回の命令に開始・終了時間，チャンネルなど多くのパラメータを伴う場合には，各パラメータをインタフェースに入力する段階と，すべてのパラメータの入力後にそれらをまとめて機器に伝える段階とに分けることができる．パラメータをまとめて機器に伝える操作は，図3.1(b)により説明できる．しかし，各パラメータをインタフェースに入力(格納)する操作は，直ちに機器の状態に変化を与えるのではなく，インタフェースの状態のみに変化を与える，つまり機器とは切り離された，インタフェース部分のみとの対話と考えられる(図3.1(c))．本論文では，図3.1(b)の操作を機能操作，図3.1(c)の操作をインタフェース操作と呼ぶ．

メニューインタフェースにおいては，メニュー項目を検索する操作などで，インタフェース操作が利用される．多機能かつ複雑な命令を実行できるメニューインタフェースでは，機能操作とインタフェース操作が混在するという特徴がある．本章ではこれら2種類の操作を含む，メニュー操作に関する以下の4つの一貫性に注目する．

- (1) インタフェース操作の一貫性
- (2) 機能操作の一貫性
- (3) 画面切替のタイミングの一貫性
- (4) 指示の有無とその一貫性

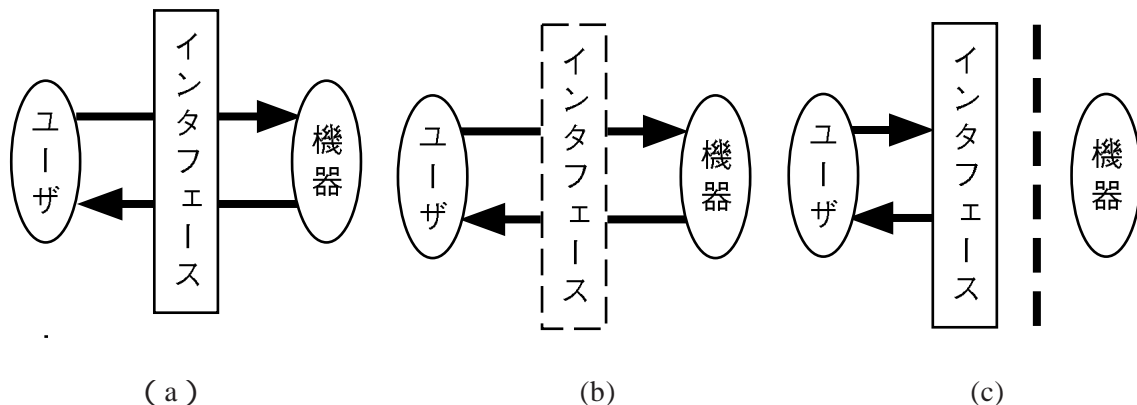


図3.1 ユーザ - インタフェース - 機器の関係

3.2.2 メニュー操作の一貫性

(1) インタフェース操作の一貫性

機器に対する命令を伴わない操作における、操作方法と操作内容の一貫性。インタフェース操作の中で一貫性が欠けていると、ユーザの学習しなければならない操作数が増えたり、ユーザが他の操作方法と勘違いして操作するという問題が生じる。ユーザは、操作を繰り返すうちに経験的にそれらの操作方法を学習し操作方法に関するメンタルモデルを構築するので、新たなメニュー画面に対面したときに同じ操作方法を利用できないとユーザの学習負荷が不必要に大きくなる。操作内容と操作方法の間に良いアフォーダンスがあれば、アフォーダンスがない場合よりも学習量は減る[Norman90]が、その場合でも操作方法の種類が少ない方が学習は容易であり、Reisnerは、良いデザインは第1に規則の数あるいは種類が最小となると述べている[Reisner81]。

(2) 機能操作の一貫性

同じ機能を実現するときの、指示および操作方法の一貫性、および同じ指示、操作方法で実現される、機能の一貫性。機能的に同じことを実現するのに、場面によってその指示が異なると、ユーザはそれらが同じ機能であることを認識することが難しくなる。また、ある操作が既に行った操作と同じ機能を実現するものであると認識すると、ユーザは学習済みの操作方法を使おうとするので、それらが同じ入力デバイスで実現されていないとエラーの原因となってしまう。

(3) 画面切り替えのタイミングの一貫性

メニュー項目を表示する画面切り替えのタイミングの一貫性。同じような2種類の項目を選択するとき、1つの項目を選択すると画面が切り替わるのに、もう1つの項目を選択すると画面が切り替わらなかったならば、ユーザは自分の操作は間違っていたのではないかと考えるかもしれない。

(4) 指示の有無とその一貫性

操作方法に関する指示の有無、および一貫性。インタフェースを初めてもしくは、久しぶりに使うユーザにとって、画面上の指示は操作方法を知る上で大きな助けとなる。特にボタン数の多い家電コントローラでは、どのボタンを押せばよいのか分からなくなることが少なく、操作法に関する指示の有無・一貫性は非常に重要である。

3.3 Menu Interface Grammar

3.2.1で述べた4つの一貫性を評価するために、メニュー操作を形式的に記述するルールを決定する。一般に木構造を用いたインタフェース評価方法には、全構造を一目で見渡すことができ、一貫性、完全性や、冗長性・曖昧さがいないかなどを簡単に確認・解析することがで

きるという特徴がある[Shneiderman92]ので、ここではメニュー操作の記述ルールを木構造を用いて表現する。

3.3.1 メニュー操作の木構造

メニュー操作の「流れ」と具体的な操作方法を木構造上に表現する。まず、メニュー選択項目の構造からメニュー項目の木構造を作ることができる(図3.2)。この木にメニュー選択項目の操作方法を記述することによって、操作の流れを構造化することができる。例えば図3.2の操1には項1.1-項1.3のメニュー選択項目を選ぶための操作方法が記述される。

本論文では、このような操作の流れを表現した木構造をメニュー操作木と呼ぶことにする。以後、本章では木の構造を説明するために以下の用語を用いる。図3.2中の丸を節、節と節を結んでいる線を枝、枝の上方にある節を親節、下方にある節を子節とし、節の中でも子を持たない末端の節を端節、子を持つ節を内部節と呼ぶ。また、同じ親を持つ節を兄弟節、ある節の子節を根とする木を(もとの木の)部分木と呼ぶ[Kondo92]。

3.3.2 メニュー操作木に記述する内容

次に、木構造中に記述する操作方法について説明する。2.で述べた一貫性を抽出するために、木構造の各節にはメニュー操作に関する以下の6つの要素を記述する。

- ・ 操作の性質
- ・ 操作の属性
- ・ 操作に用いる入力デバイス(ボタンなど)
- ・ 操作の結果、機器本体で実行される機能
- ・ 画面書き換え
- ・ 画面上での操作法の指示

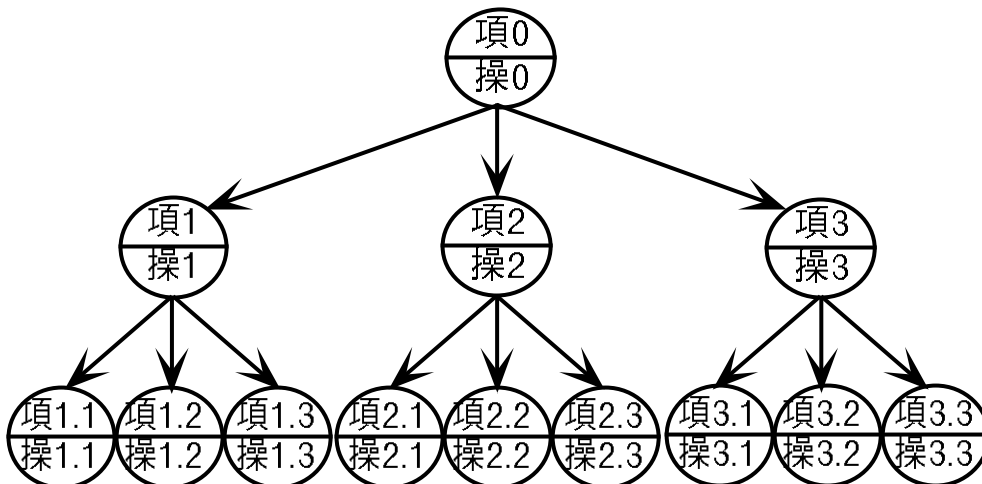


図3.2 メニュー操作木の構造

(A)操作の性質

家電ユーザインタフェースにおけるメニュー操作は、その性質により以下の6つの操作に分類できる。

(A1)項目指定：メニュー選択項目の木構造での位置を深める(下向きにたどる)操作。図3.3のメニュー画面では、コントローラ上の[] [] ボタンを押すことで、「モード設定」「CH設定」「時刻設定」の中から項目を1つ選択し、[実行]ボタンでその項目を確定する操作が項目指定にあたる。項目指定は項目の選択と確定の2つの操作から成る。

(A2)入力：入力は、設定項目や値・量を入力するための操作。入力は「数値入力」「アナログ量入力」「選択肢入力」の3つに分類できる。設定と確定の2つの操作から成る。

- ・数値入力：数値を数字ボタンから入力する、または連続的な数列(ex.1,2,3...)の中から目的の値を選択する操作。図3.5では、「年」「月/日」「時刻」それぞれを入力する操作が数値入力にあたる。

- ・アナログ量入力：音量や輝度の微調整のようなアナログ量を相対量として設定する操作。

- ・選択肢入力：目的の設定値を複数の選択肢の中から選択することにより設定する操作。

(A3)表示：何も操作を行わず、表示のみ行われる。

(A4)実行：特定の機能を実行するよう機器本体に命令を与える操作。確定操作により実現される。

(A5)上に戻る：メニュー選択項目の木構造を上向きにたどる操作。1つ上の階層に戻るだけでなく、2,3階層上に戻る場合もある。確定操作により実現される。

(A6)脱出：メニュー選択木から脱出し、メニュー画面を終了する操作。上に戻る操作の特殊な場合にあたる。確定操作により実現される。

(A1)(A3)はインタフェース操作、(A4)は機能操作にあたり、(A2)(A5)(A6)にはインタフェース操作のものと機能操作のものの両方が存在する。木構造には各操作がこれらの6つのどれにあてはまるかを記述する。1つの節に2種類以上の操作方法が記述されることもある。項目指定と入力、実行、表示が1つの節に同時に記述されることはない。上に戻る・脱出は、1つの節に単独で記述されることはなく、項目指定、入力、実行、表示などと同じ節に記述する。実行と同じ節に記述される場合には、実行中、実行後に上に戻る・脱出操作を行うことができる場合もある。

(B)操作の属性

性質が同じ操作でもその実現方法は様々である。例えば図3.3で「モード設定」-「時刻設定」を選ぶ操作と、図3.4で「予約の確認/取消」-「チャンネル設定」を選ぶ操作はどちらも項目指定にあたるが、図3.3では[] ボタンを押すことで三角マークが3つの項目を上から順番に選択し、[実行]ボタンを押すことでマークが指している項目に確定されるが、図3.4

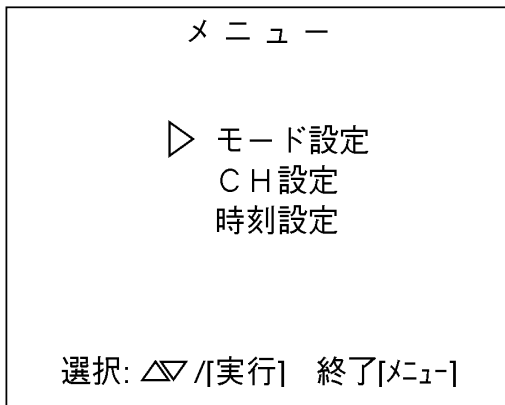


図 3.3 項目指定の例

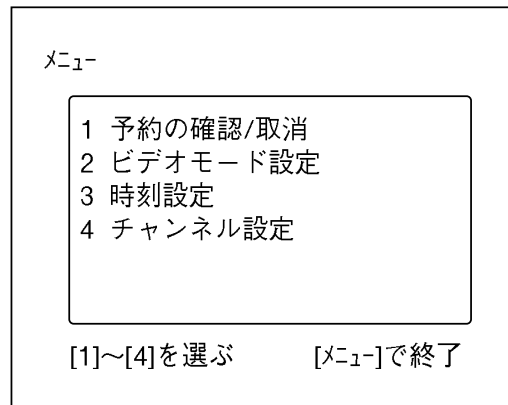


図 3.4 図 4.3 と操作の属性が異なる例

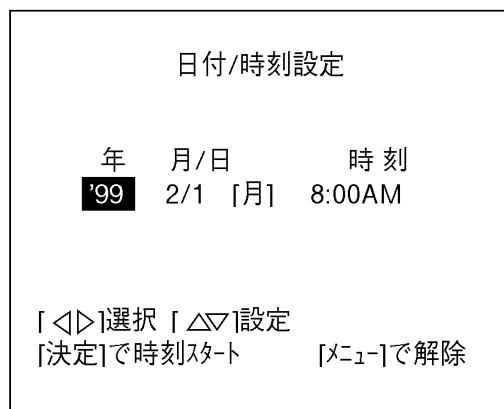


図 3.5 項目指定操作の有効範囲

では各項目に割り振られた番号のボタンを押すことで選択・確定操作の両方が実現される。このような操作の実現方法を操作の属性と呼ぶ。操作の属性は、以下の4種類に分けることができる。

- (B1)自由：個々の操作項目に対して専用のボタンが用意されている場合。項目指定や選択肢入力では、選択項目に番号を振り、その番号を数字ボタンで選択するタイプのもの（図 3.4）や、2つの項目にそれぞれ[YES] [NO]など異なるボタンが用意されている場合。数値入力では、数字ボタンなどで設定値を直接入力・確定する場合。
- (B2)順序：複数の項目を共通のボタンを用いて順に選択または設定させる場合。確定は別のボタンを使って行われる場合と、自動的に確定される場合がある。順序の属性には、順方向と逆方向があり、それぞれの属性について循環、自動の場合がある。属性が順序の場合、特に但し書きがなければ、始めは一番左の子節が選択されている。
 - ・順方向：メニュー選択項目を木構造に対して右向きの順でたどる。
 - ・逆方向：メニュー選択項目を木構造に対して左向きの順でたどる。
 - ・循環：循環する場合は、メニュー選択項目を右向きにたどり、一番右の子節が選択されている状態でもう1つ右向きにたどると、一番左の子節が選択される。逆に循環しない

場合は、もう1つ右にたどっても、一番右の子節が選択されたままで移動しない。

・自動：自動の場合は、子節の操作が終了すると自動的に1つ右の子節が選ばれ、全ての子節の操作が終了するまで順に自動選択が行われる。

(B3)操作不要：項目指定における操作の属性。親節で子節の選択・確定を行わなくても、子節自身の操作を行うことでその子節が選択・確定される。

(B4)確定不要：確定操作を行わなくても、親節の操作により実行・上に戻る・脱出が自動的に行われる場合。

メニュー操作木には、これらの操作属性の中からどの属性が使われているのかを選んで記述することとする。

(C)操作に用いる入力デバイス

[メニュー]ボタンや[]ボタンなど、項目の各種操作に用いられるボタン、スイッチやジョイスティックなどの名称を記述する。

(D)機器本体で実行される機能

操作により機器本体でどのような機能が実行されるのかを記述する。例えば図3.5では、「決定」ボタンを押すと「時刻などユーザが入力した情報が機器本体に保存」され、「メニュー」ボタンを押すと「入力した情報を保存せずにキャンセル」という機能が実行される。ここでキャンセルと言った機能は、機器に対して保存機能を行わない、即ち何も行わない機能であるが、同じ節に保存機能を持つ上に戻る・脱出の操作が存在する場合には、対となる機能操作として、機能を伴わない上に戻る・脱出の機能をキャンセルと呼ぶ。その他で機能を伴わない場合、この部分の記述は省略する。

(E)画面書き換え

操作後の画面書き換えは、ユーザに操作結果のフィードバックを与えることができるという点で非常に重要である。しかし、現時点ではまだ画面書き換えに関する解析が不十分であるため、メニュー操作木にはメニュー画面全体の切り替え(画面切替)の有無についてのみ記述する。画面切り替えの記述は、親節での操作によりメニュー画面が切り換わる子節を囲むことにより行う。

(F)操作法の指示

画面上に操作方法の指示が表示されている場合は、その指示内容を記述する。図3.3ではメニュー画面の下部に記述されている「選択： /[実行]」「終了[メニュー]」、図3.4では「[1]-[4]を選ぶ」「[メニュー]で終了」が操作の指示にあたる。指示のない場合は"なし"と記述する。

3.3.3 メニュー操作木の記述の簡略化

3.3.2 で説明した内容をすべて木構造内に記述すると、メニュー操作木の記述は膨大となる。そこで、3.3.2 A)で述べた6つの操作の性質ごとに操作方法を操作法定義表に記述し(表3.1)メニュー操作木には定義表のラベル番号を記述することにする。同じ操作方法が2つ以上ある場合、それらの操作には同じラベル番号を記述し、定義表に同じ操作方法が記述されないようにする。定義表を利用することにより、記述が簡略化され操作の一貫性や完全性を確認しやすくなる。

3.3.4 メニュー操作木の構築例

Menu Interface Grammarの表現力を確認するために、大手メーカー6社の市販ビデオデッキのメニュー操作は、Menu Interface Grammarのメニュー操作木で完全に記述可能であった。6社のメニュー操作木全てを論文中に記載することはスペース的に難しいので、そのうちの1機種のみメニュー操作木を図3.6に示し、全機種のみメニュー操作木の全節数、項目選択・入

表 3.1 操作法定義表 (機種 A)

ラベル	操作数	性質	属性	入力デバイス	指示	機能
項1	3	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[▽][決定] 選択・確定[△][決定]	[△▽]で選択[決定]を押す [△▽]で選択[決定]を押す	
項2	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[▽] 選択・確定[△]	[△▽]で選択 [△▽]で選択	
項3	64	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[▽] 選択・確定1[△]	[△▽]で選択 [△▽]で選択	
項4	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[▷] 選択・確定1[◁]	[◁▷]で設定 [◁▷]で設定	
項5	9	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[▷] 選択・確定1[◁]	[◁▷]で選択 [◁▷]で選択	
項6	1	項目指定	順序順方向自動	--	--	
項7	8	項目指定	自由	選択・確定[決定]	[決定]を押す	
項8	8	項目指定	選択不要	選択・確定2--	--	
数1	62	数値入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▷] 設定・確定[◁]	[◁▷]で設定 [◁▷]で設定	
数2	28	数値入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▽] 設定・確定[△]	[△▽]で設定 [△▽]で設定	
選1	194	選択肢入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定1[▷] 設定・確定1[◁]	[◁▷]で設定 [◁▷]で設定	
選2	24	選択肢入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▽] 設定・確定[△]	[△▽]で設定 [△▽]で設定	
実1	62	実行	自由	確定[取消]	[取消]で予約取消	1.1.n.1≠NULLのとき子節の設定内容消去
実2	1	実行	確定不要	確定--	--	チャンネルを自動的に合わせる
脱1	2	脱出	自由	確定[決定]	[決定]を押す	子節の設定変更保存
脱2	8	脱出	自由	確定[決定]	[決定]を押す	兄弟節の設定変更保存
脱3	1	脱出	自由	確定[決定]	[決定]で時刻スタート	子節の設定変更保存
脱4	3	脱出	自由	確定[決定]	[決定]で時刻スタート	兄弟節の設定変更保存
脱5	62	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	子節の保存後の設定変更キャンセル、選択されているメニュー項目を保存
脱6	8	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	子節の保存後の設定変更キャンセル
脱7	3	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	子節の設定変更キャンセル
脱8	248	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	兄弟節の保存後の設定変更キャンセル、選択されているメニュー項目を保存
脱9	48	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	兄弟節の保存後の設定変更キャンセル
脱10	12	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	兄弟節の設定変更キャンセル
脱11	1	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	選択されているメニュー項目を保存
脱12	12	脱出	自由	確定[メニュー]	[メニュー]で解除	
脱13	1	実行後脱出	確定不要	確定--	--	
上1	296	2つ上に戻る	自由	確定[決定]	[決定]を押す	兄弟節の設定変更保存
上2	124	2つ上に戻る	自由	確定[△]	[△▽]で選択	
上3	70	上に戻る	自由	確定[決定]	[決定]を押す	子節の設定変更保存
上4	1	上に戻る	自由	確定[決定]	[決定]を押す	設定変更保存
上5	8	実行後上に戻る	確定不要	確定--	--	

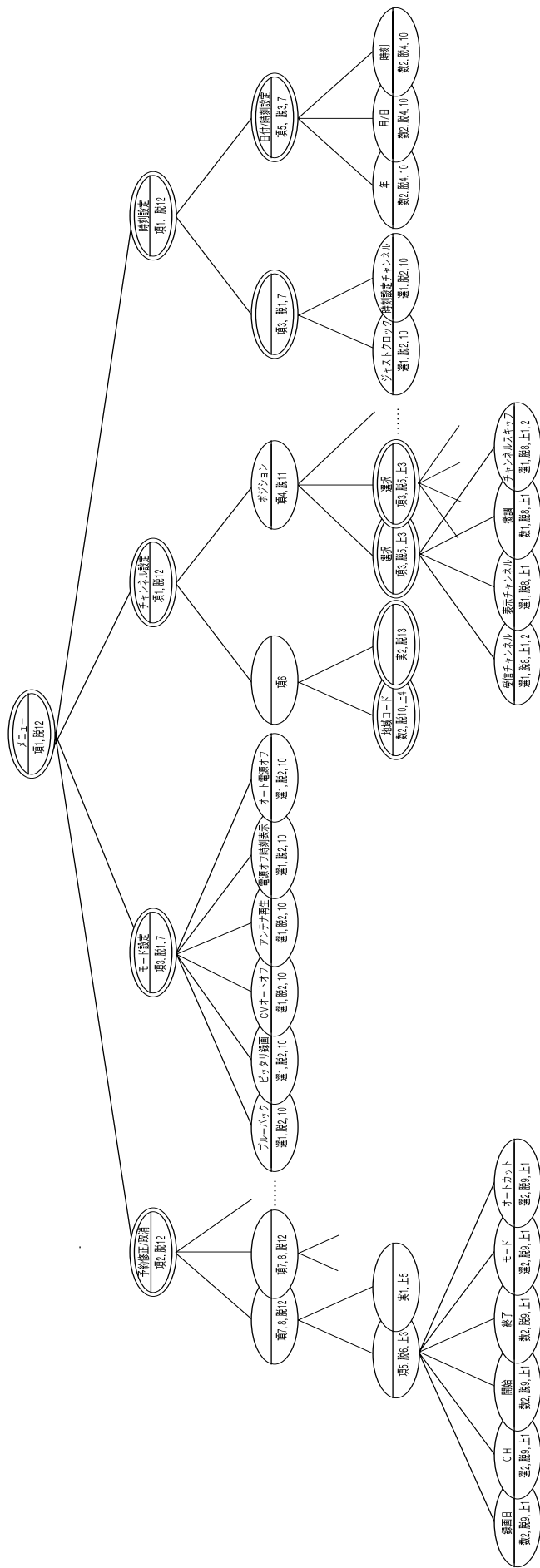


図 3.6 メニュー操作木 (機種 A)

表3.2 6台のビデオにおけるメニュー操作木の構造特徴

ビデオ機種	総節数	項目指定	入力			実行	表示	構造の深さ		兄弟節の数	
			数値	アナログ	選択肢			Max	Min	Max	Min
A	412	95	90	0	218	63	0	5	3	62	2
B	513	153	164	0	171	96	1	5	2	62	1
C	47	19	8	1	4	16	0	3	2	8	3
D	232	16	62	62	80	13	0	5	2	62	2
E	312	73	93	62	73	10	2	5	2	62	2
F	964	276	116	124	274	175	0	8	2	62	1

力・実行・表示に分類された操作の数，操作木の深さの最大値と最小値，兄弟節の数の最大値と最小値を表3.2に示す．

3.4 Menu Interface Grammar の評価手法としての利用

3.4.1 目的

現在利用されている代表的なインタフェース評価法[Tamura98][Jhonson92]には，ユーザテストング，インスペクション法[Nielsen93][Polson93]などがある．これらの手法は，それぞれ，実利用環境に即した問題点が抽出できる，より多くの問題点を抽出できるといった点で非常に優れているが，前者は評価に時間がかかる，開発プロセスの後半（製品やプロトタイプの段階）にしか利用できない，後者は評価の際に専門家や3-5人の評価者を必要とするといった，コストパフォーマンス面での問題が残されている[Shneiderman92]．特に家電ユーザインタフェースは，非常に低コストで開発されているため，開発者自身が簡単にユーザビリティを評価できる手法が必要となる．

これまでも，機器と利用者との対話のある側面に特定し形式的に記述することで，その一貫性や完全性などの評価を行う手法がいくつか提案されている[Reisner81][Mahajan97][Okada97][Moriya91][Moran81][Payne89][Kieras85]．これらの手法は評価対象・項目が限定されるという欠点をもつが，製品の開発プロセスの前半で利用でき，評価者ではなく設計者自身が評価できるという利点がある．同様に開発プロセスの前半に利用される設計手法として，デザインガイドやストーリーボードがある[ScreenDesign95]．デザインガイドは基本操作方法，画面レイアウト，メッセージなどの詳細要素をルール化することで，一貫性を保ちながら設計を行うことができ，ストーリーボードはアプリケーションの流れや画面の推移を視覚化することで一貫した機能構造設計を行うことができる．本手法は，このような設計段階で利用する手法の一つとして位置づけられる．

本節では，提案した Menu Interace Grammar を用い，開発者自身が仕様書の段階からユーザインタフェースを客観的に評価するための，家電ユーザインタフェースの操作方法に関する評価手法を提案する．本手法で想定する家電製品およびユーザインタフェースは，ビデオやテレビ，エアコンといった多機能な家電製品および，それらをテレビ画面やコントローラ

上の液晶画面を用いて、メニュー形式により操作するユーザインタフェースである。本手法は、このような家電ユーザインタフェースの構造を木構造表現により形式的に記述することにより、ユーザインタフェースの操作方法に関する一貫性を客観的・視覚的に評価することを可能とする。

3.4.2 インタフェース操作の非一貫性

操作法定義表の中からインタフェース操作のみを抽出する。各操作の性質において、操作の属性と入力デバイスの組み合わせの種類が多い場合、インタフェース操作の実現方法に一貫性がないと考えられる。ただし操作の危険性・重要性といった特別な意味を伝えるために、操作方法をわざと変える場合もあるので、一貫性のない少数派として使われている操作方法については、その妥当性を調べる必要がある。

(A)機能操作の非一貫性

操作法定義表の中から機能操作のみを抽出する。同じ機能に対して、操作の性質、属性、入力デバイス、指示の組み合わせの種類が多い場合、機能操作の実現方法に一貫性がないと考えられる。また異なる機能に対して、同じ操作の性質、属性、入力デバイス、指示の組み合わせが利用されている場合は、同じ組み合わせを用いることの妥当性を確認する必要がある。特に、設定内容を保存する機能とキャンセルする機能のように、全く逆の性質を持つ機能の指示や入力デバイスが同じであることは、ユーザにとって非常に紛らわしい。

(B)画面切替のタイミングの非一貫性

メニュー操作木における画面切替のタイミングは、5つのタイプに分けることができ(図 3.7)、各タイプ毎にメニュー画面で扱う操作量や情報量などに特徴がある。

(B1)基本タイプ

(B2)一括操作タイプ

(B3)逐次シーケンスタイプ

(B4)兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプ

(B5)1メニュー画面で3階層以上の操作が含まれるタイプ

メニュー操作木内にこれらのタイプが混在すると、操作量や情報量の偏りが生じるだけでなく、ユーザが操作の流れを学習することを難しくするという問題がある。この問題はメニュー操作木内での画面切替のタイプの分布を調べることにより確認することができる。

(B1)基本タイプ

1つの画面上で1階層分の操作のみ行う(図 3.7(a))。このタイプでは、親節の操作を行う

段階で、すべての子節の操作項目を見渡すことができるので次の目標を見つけることが簡単である。

(B2)一括操作タイプ

同じ画面上で親節と子節、2階層分の操作を行う(図3.7(b))。子節の操作を行う段階でも兄弟節の操作項目・設定内容を見渡すことができるので、次の目標を見つけることが簡単である。また、画面切替のための時間や操作が少なくてすむ。

(B3)逐次シーケンスタイプ

逐次シーケンスタイプは、メニュー操作木の中では図3.7(c)のタイプで、かつ親節に順序自動選択などの属性を使用することで、親節自体の画面が存在しない場合である。例えば図3.5は「年」「月/日」「時刻」を1画面で入力する一括操作タイプであるのに対して、図3.8(a)は「チャンネル」「終了時刻」などの項目をそれぞれ別々の画面で入力する逐次シーケンスタイプである。このタイプは1画面の中の操作対象の数が少なく、1画面あたりの操作量が少なくてすむという利点がある。しかし、子節の操作を行っている時にその兄弟節の項目を確認できず、兄弟節がいくつあるのかが分からないため、ユーザは目標とする操作対象がその子節の中に存在するのか、どれくらいの量の操作を行うことでその操作対象にたどり着く

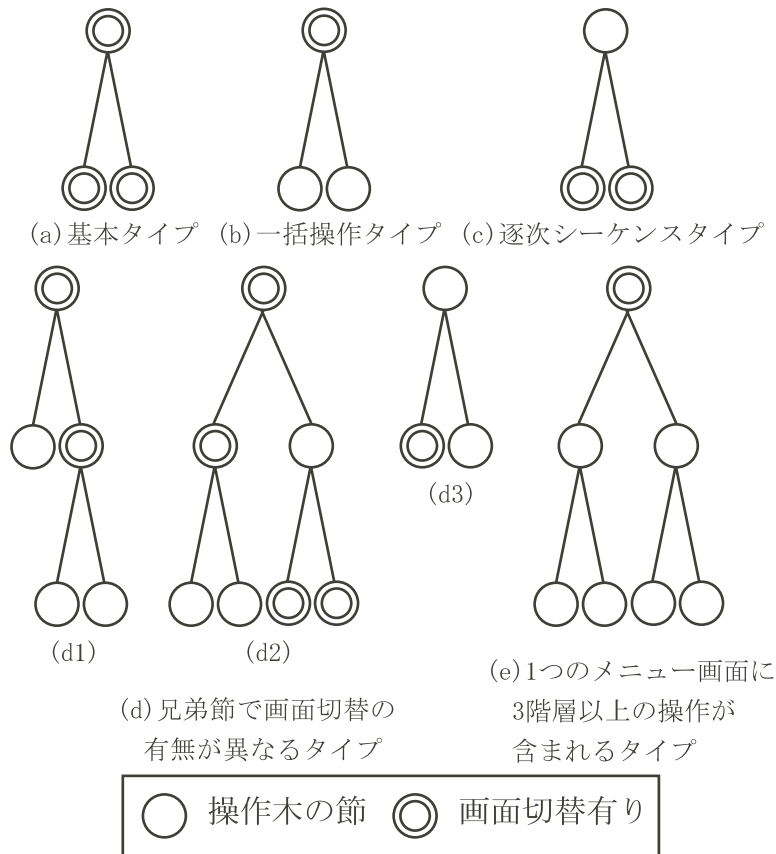
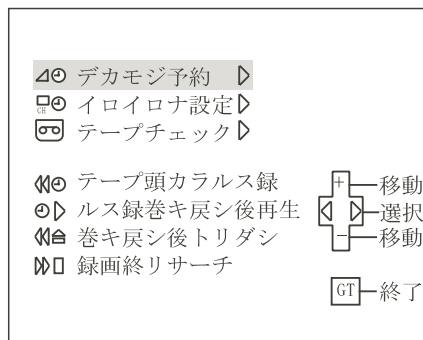


図3.7 画面切替のタイミング5つのタイプ

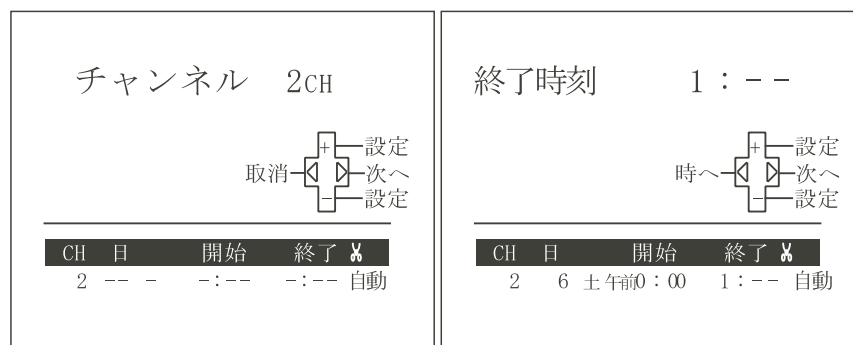
ことができるのかという2つの側面から不安を抱くことになる。よって、子節がそれぞれ異なる目的で検索される場合にこのタイプの画面切替が用いられると問題となる。逆に子節の設定項目間に関連があり、すべての項目を設定する必要がある場合、子節の設定項目を別々に検索する必要はなく、逐次シーケンスタイプを用いることが有効となる。

(B4)兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプ

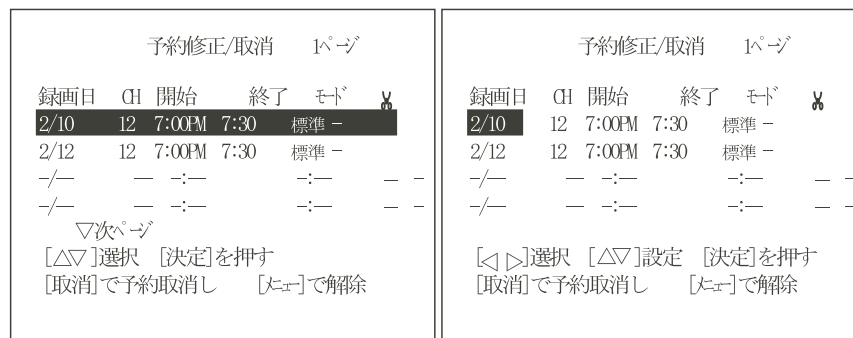
このタイプには3種類ある。兄弟節に端節と内部節の両方が存在するタイプ(図3.7(d1))では、ユーザが端節を内部節と勘違いするというエラーを起こしやすく問題である。図3.8(b)では、上の3項目(「デカモジ予約」「テープチェック」)を選ぶと項目指定、下の4項目(「テープ頭から・・・」「録画終りサーチ」)を選ぶと実行であるが、下の項目を選んだときに何か



(a) 逐次シーケンスタイプ



(b) 兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプ



(c) 1メニュー画面で3階層以上の操作が含まれるタイプ

図3.8 画面切替のタイミングの一貫性

が実行されるということが分かりにくい。

内部節の兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプ(図3.7(d2))は、一括操作タイプと逐次シーケンスタイプが兄弟節に共存するものである。このタイプでは、希にユーザが逐次シーケンスタイプを一括操作タイプであると誤確認する場合があるので注意が必要である。

端節の兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプ(図3.7(d3))は、逐次シーケンスタイプの子節の画面切替を少なくしたものであり、構造上一貫性はないが、兄弟節すべてを設定する必要がある場合には有効である。このタイプは、逐次シーケンスタイプと一括操作タイプの双方の欠点を補うという利点がある。兄弟節の設定項目に時と分のように関係のある項目が存在する場合、それらを別々の画面ではなく1画面で操作することで、より多くの設定項目を1度に見渡すことができる。例えば図3.8(a)右のメニュー画面では、終了時刻の時と分の2つの数値入力が1画面で操作できるようにデザインされている。

(B5)1 メニュー画面で3階層以上の操作が含まれるタイプ

1つのメニュー画面で複数階層の操作を行うことにより、ユーザがより下の階層の項目まで一度に見渡すことができるという利点がある。しかし、メニュー画面には平面という2次元的な制約が存在するため、3階層以上の操作を1画面に詰め込むと、その階層が多いほど操作は複雑になるという問題がある。図3.8(c)は1画面に4つの階層が含まれている例である。最初の階層は、複数の予約内容の中から1つの予約を選ぶ項目指定、次に選んだ予約を「修正」するか「取消」するかを選ぶ項目指定、そして「修正」する場合は予約内容の中から「録画日」「CH」などを選ぶ項目指定、最後の階層が「録画日」などを入力する数値・選択入力である。

(C)指示の有無

画面上での操作法に関する指示の有無は、操作法定義表で操作法の指示が"なし"と記述されている部分がないかどうかを調べることで確認することができる。

1つの操作を行うのに複数の方法が用意されている場合には、そのうちの一種の操作方法のみ表示することが一般的である。この場合は、必要な操作がすべて網羅されている方、近隣の操作方法との一貫性がある方を指示として出す必要がある。また、1つの操作に2種類以上の入力デバイスを必要とする場合に、必要な入力デバイスすべてに関する指示が行われていないことは問題である。

3.4.3 一貫性のないデザインの抽出

表3.2の機種A、Bについて、メニュー操作に一貫性のない部分を抽出した結果を示す。

(A)インタフェース操作の一貫性

機種AとBの操作法定義表から、インタフェース操作を抽出し、操作の属性と入力デバイ

スの組み合わせをまとめた結果を表3.3に示す。表3.2の操作数の列には、メニュー操作木内の幾つの節に同じ操作法が利用されているかを示す。機種Aは、項目指定操作で8種類、その他のインタフェース操作でそれぞれ2種類と少ない操作法の組み合わせにより構成されている。表3.3(a)より、機種Aでは項目指定の(2)-(5)、数値入力(9)(10)、選択肢入力(11)(12)で共通の属性、入力デバイスが利用されており、これらの操作が9割以上を占めていること、(6)(7)(8)はこの中で一貫性のない操作であることが分かる。一方表3.3(b)より、機種Bの項目指定は操作数が全体に分散していて操作方法に一貫性がない。特に(6)は、(5)の操作と非常に似ているが、属性が微妙に異なっており（逆方向で循環しない）問題である。また(7)(8)(11)-(13)の操作方法はそれぞれ1回ずつしか使われていない。脱出では(16)(20)の5種類の操作法が利用されているが、(17)-(19)の操作はそれぞれメニュー操作木の中でも根の異なる操作木で使われており、その中では一貫性がある。脱出では(16)の操作法があまり使われていない。

(B)機能操作の一貫性

機種AとBの操作法定義表から、機能操作を抽出し、機能、指示、入力デバイス、操作の属性の組み合わせをまとめた結果を表3.4に示す。表3.4(a)より、機種Aでは、設定の保存・キャンセルの機能が脱出・上に戻るという操作で実現されている。「設定変更のキャンセル」、
「設定内容の消去」では指示と入力デバイス、「設定変更の保存」では入力デバイスがそれぞれ1種類の方法により実現されており一貫性がある。「設定変更の保存」の指示には、「[決定]で時刻スタート」と「[決定]を押す」の2種類がある。前者は操作の結果どのような命令が機器に送られるかが説明されているのに対して、後者は機能については説明されていない。対照的な機能（設定変更のキャンセルと保存）に対しては、異なる操作法が利用されており問題ない。一方表3.4(b)から、機種Bでは設定の保存を入力操作により実現することが徹底されていること、キャンセル機能が存在しないことが分かる。しかし、(1)-(11)の指示には操作の性質や入力デバイスに関する説明のみ行われており、機能に関する説明はないため、ユーザは設定の保存がいつ行われたのかを認識することが難しい。「設定内容を消去」する操作では、(13)(14)は属性が確定不要なので指示・入力デバイスが記入されていない。しかし、親節の項目指定操作では(12)と同じ指示と入力デバイスが使われているので一貫性があるといえる。

(C)画面切替のタイミングの一貫性

機種AとBのメニュー操作木における画面切替の分布を図3.9に示す。図3.9(a)より、機種Aでは基本タイプと一括操作タイプが多く使われており、全体として一貫性があるが、節a1を根とする部分木が「3階層以上の操作が含まれるタイプ」、節a2とa3が「逐次シーケンスタイプ」であり、これらの節が全体の一貫性を崩している。節a1を根とする部分木は、4階層の操作を1つのメニュー画面で実現していることが分かる。節a2、a3の子節はどちらも項目間に関連があるが、a3の子節では必ずしもすべての兄弟節の項目を設定する必要はなく、

表3.3 インタフェース操作の一貫性

(a)機種 A

	操作数	性質	属性	入力デバイス
(1)	3	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[▽]決定 選択・確定[△]決定
(2)	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[▽] 選択・確定[△]
(3)	64	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[▽] 選択・確定1[△]
(4)	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[▷] 選択・確定[◁]
(5)	9	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[▷] 選択・確定1[◁]
(6)	1	項目指定	順序順方向自動	--
(7)	8	項目指定	自由	選択・確定[決定]
(8)	8	項目指定	選択不要	選択・確定2--
(9)	62	数値入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▷] 設定・確定[◁]
(10)	28	数値入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▽] 設定・確定[△]
(11)	194	選択肢入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▷] 設定・確定[◁]
(12)	24	選択肢入力	順序順方向循環 順序逆方向循環	設定・確定[▽] 設定・確定[△]
(13)	13	脱出	自由	確定[メニュー]
(14)	1	実行後脱出	確定不要	確定--
(15)	124	2つ上に戻る	自由	確定[△]
(16)	8	実行後上に戻る	確定不要	確定--

(b)機種 B

	操作数	性質	属性	入力デバイス
(1)	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定[-] 選択・確定[+]
(2)	1	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択・確定1[-] 選択・確定1[+]
(3)	2	項目指定	順序順方向循環 順序逆方向循環	選択[-],確定[▷] 選択[+],確定[▷]
(4)	16	項目指定	順序順方向 順序逆方向	選択・確定[▷] 選択・確定[◁]
(5)	4	項目指定	順序順方向 順序逆方向	選択・確定1[▷] 選択・確定1[◁]
(6)	1	項目指定	順序順方向 順序逆方向循環	選択・確定1[▷] 選択・確定1[◁]
(7)	1	項目指定	順序順方向 順序逆方向循環	選択・確定2[CH-] 選択・確定1[CH+]
(8)	1	項目指定	順序順方向循環	選択・確定AVセレクト
(9)	16	項目指定	自由	選択・確定[◁]
(10)	16	項目指定	自由	選択・確定[▷]
(11)	1	項目指定	自由	選択・確定2{1}{12}
(12)	1	項目指定	自由	選択・確定2{BS/UHF} +{1}{3}{5}{7}{9}{11}{13}{15}
(13)	1	項目指定	自由	選択・確定2{BS/UHF} +{BS/UHF}{1}{9}
(14)	91	項目指定	選択不要	選択・確定1--
(15)	1	表示	--	--
(16)	2	脱出	自由	確定[▷]
(17)	616	脱出	自由	確定[GTメニュー]
(18)	161	脱出	自由	確定[Gコード予約]
(19)	7	脱出	自由	確定.8秒間放置
(20)	77	実行後脱出	確定不要	確定--
(21)	1	上に戻る	自由	確定[Gコード予約]
(22)	16	上に戻る	自由	確定[◁]
(23)	16	上に戻る	自由	確定[▷]
(24)	4	2つ上に戻る	自由	確定[Gコード予約]
(25)	17	実行後上に戻る	確定不要	確定--

表 3.4 機能操作の一貫性

(a)機種 A

	操作数	機能	指示	入力デバイス	性質
(1)	12	兄弟節の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(2)	48	兄弟節の保存後の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(3)	3	子節の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(4)	8	子節の保存後の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(5)	248	兄弟節の保存後の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(6)	62	子節の保存後の設定変更キャンセル	[メニュー]で解除	確定:[メニュー]	脱出
(7)	296	兄弟節の設定変更保存	[決定]を押す	確定:[決定]	2つ上に戻る
(8)	8	兄弟節の設定変更保存	[決定]を押す	確定:[決定]	脱出
(9)	3	兄弟節の設定変更保存	[決定]で時刻スタート	確定:[決定]	脱出
(10)	70	子節の設定変更保存	[決定]を押す	確定:[決定]	上に戻る
(11)	2	子節の設定変更保存	[決定]を押す	確定:[決定]	脱出
(12)	1	子節の設定変更保存	[決定]で時刻スタート	確定:[決定]	脱出
(13)	1	設定の変更保存	[決定]を押す	確定:[決定]	上に戻る
(14)	62	1.1.n.1≠NULLのとき子節の設定内容消去	[取消]で予約取消	確定:[取消]	実行
(15)	1	チャンネルを自動的に合わせる	--	確定:--	実行

(b)機種 B

	操作数	機能	指示	入力デバイス	性質
(1)	1	設定の変更保存	なし	設定・確定:[1]-[9]	数値入力
(2)	17	設定の変更保存	なし	設定・確定:[オートカット]	選択肢入力
(3)	17	設定の変更保存	なし	設定・確定:[標準/3倍]	選択肢入力
(4)	1	設定の変更保存	入力:[1]-[9]	設定・確定:[1]-[9]	数値入力
(5)	71	設定の変更保存	スキップ/停止	設定・確定:[停止]	選択肢入力
(6)	6	設定の変更保存	[▷]-選択 [▷]	設定・確定:[▷] 設定・確定:[▷]	選択肢入力
(7)	1	設定の変更保存	[▷]-マイ週/マイ日	設定・確定:[▷]	選択肢入力
(8)	162	設定の変更保存	[-]設定 [+]設定	設定・確定:[-] 設定・確定:[+]	数値入力
(9)	52	設定の変更保存	[-]設定 [+]設定	設定・確定:[-] 設定・確定:[+]	選択肢入力
(10)	1	設定の変更保存	[-] [+]-延長+30/60分	設定・確定:[-] 設定・確定:[+]	選択肢入力
(11)	6	設定の変更保存	[+/-]設定	設定・確定:[-] 設定・確定:[+]	選択肢入力
(12)	1	兄弟節の設定内容消去	[◀]-取消	確定:[◀]	実行
(13)	1	兄弟節の設定内容消去	--	確定:--	実行
(14)	16	子節の設定内容消去	--	確定:--	実行
(15)	71	自動設定開始	自動設定開始:一時停止	確定:[一時停止]	実行
(16)	71	自動設定停止	自動設定停止:一時停止	確定:[一時停止]	実行中上に戻る
(17)	71	自動設定停止	終了:GT	確定:[GTメニュー]	実行中脱出
(18)	1	テープチェック開始	開始:録画	確定:[録画]	実行
(19)	1	→0:0000を開始	[◀▷]-開始	確定:[◀]	実行
(20)	1	→0:0000を開始	[◀▷]-開始	確定:[▷]	実行
(21)	1	テープの頭から留守録する	--	確定:--	実行
(22)	1	留守録された部分まで 巻き戻し後再生する	--	確定:--	実行
(23)	1	巻き戻し後取り出す	--	確定:--	実行
(24)	1	録画終了部分を探す	--	確定:--	実行

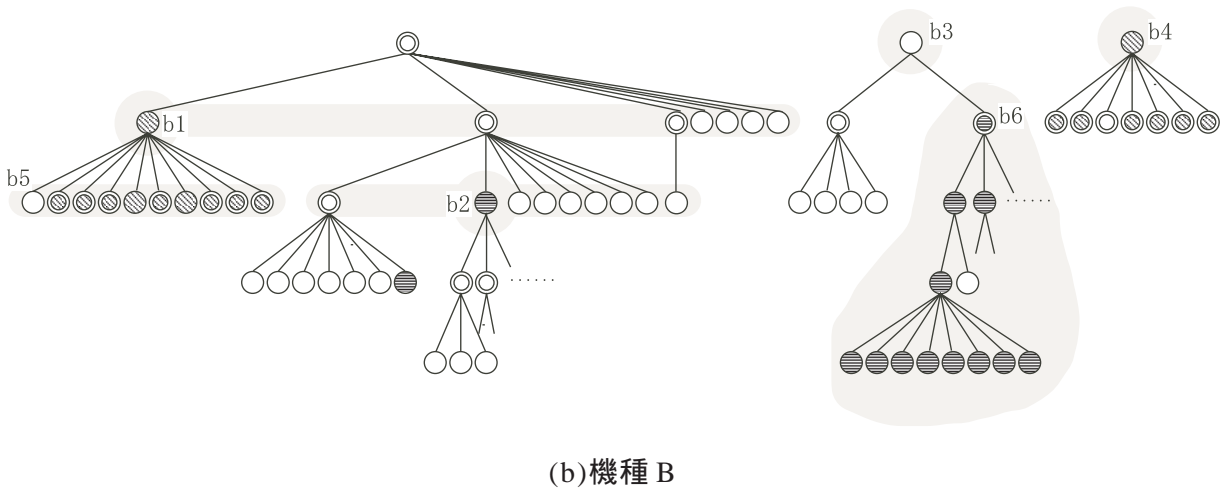
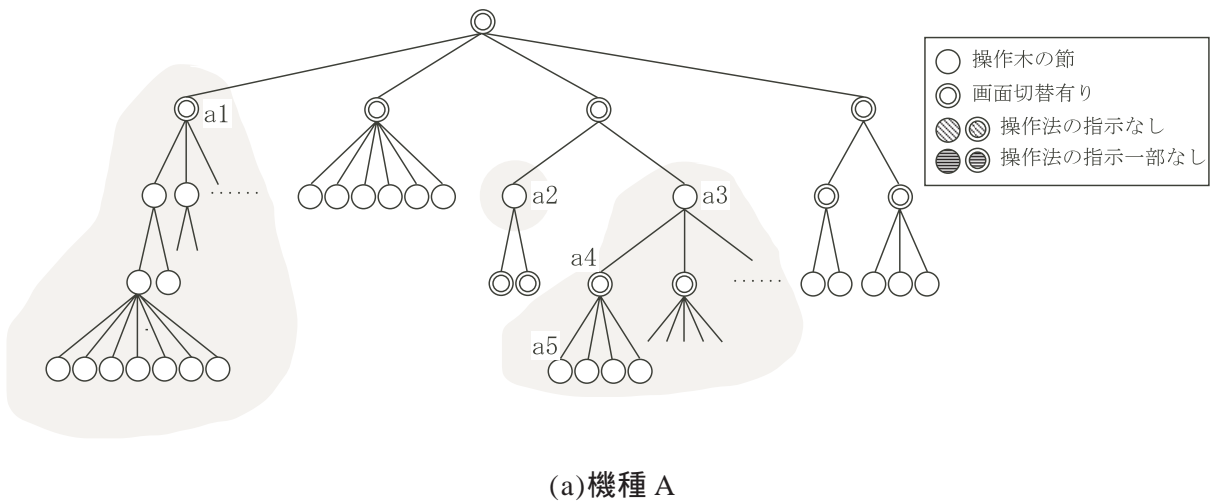


図3.9 メニュー操作木上での画面切替の分布と指示の有無

さらに a4 の兄弟節のメニュー画面 (図 3.10(a)) からは " 「ポジション」 を変えることで画面及びメニュー操作木の節が移動する " という構造が見えにくい . 一方図 3.9(b) より , 機種 B は画面切替のタイミングに様々なタイプが存在し , 全体として一貫性があまりないことが分かる . 節 b1 , b2 , b3 , b4 は逐次シーケンスタイプである . b1 はすべての子節を設定することが必要なタイプであり , 子節の操作項目の全てを早い段階でユーザに見せるために , メニュー画面の下部に兄弟節のすべての項目を表示するという工夫を行っている . b2 は , a3 と同じタイプであり , 同様の問題がある . b3 , b4 は子節の項目それぞれが異なる目的で検索されるものであり , レイアウトにも特に工夫がなく , 逐次シーケンスタイプが使われていることは問題である . 節 b1 , b2 , b5 の兄弟節は , 兄弟節間で画面切替の有無が異なるタイプである . b1 , b2 の兄弟節は , 兄弟節に端節と内部節の両方が存在するタイプのものにあたる . 特に b5 の兄弟節は実行と項目指定を同じ階層で操作しており , ユーザが間違っても操作した場合に問題である . また , 節 b6 を根とする部分木は , a1 と同様 4 階層の操作を 1 つのメニュー画面で実現している .

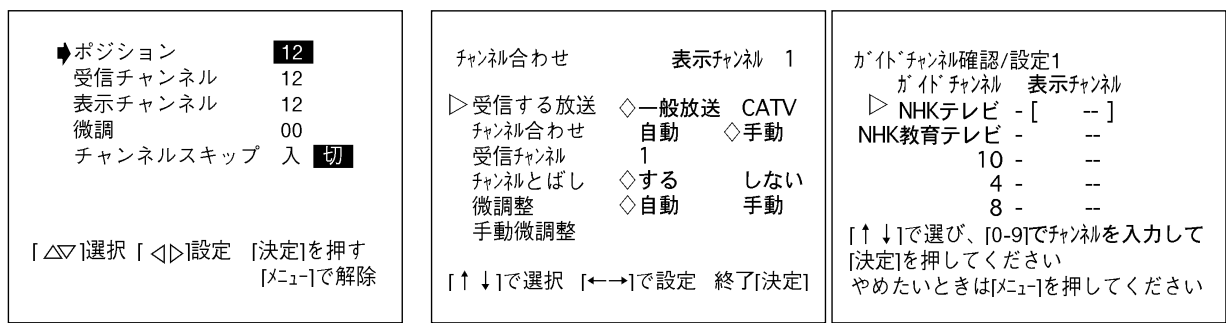


図 3.10 用語の問題を持つメニューの例

(D)指示の有無

機種AとBのメニュー操作木の中で操作法の指示が"なし"と記述されている節を図3.9に示す。図3.9の斜線で塗られている丸は、その節に記述された操作の中に全く指示のないものがあつたことを示しており、横線で塗られている丸は、1つのことを実現するのに操作方法が2つ以上あるタイプで、画面上で片方の指示のみが記述されているものを示している。機種Aではすべての操作に対して指示が存在した。機種Bでは、いくつかの節で指示が全くないことが分かった。

3.5 検討

3.3で述べたルールは、設定および実行を主な操作対象とする機器の一般的特性を基に作られているため、多くの家電のメニューインタフェースに対して適用でき、多くの問題点を視覚的に抽出できる。

本章で評価しなかった操作方法に関する問題点として、ユーザインタフェース上で使われている用語の問題がある。ユーザインタフェースの使い易さを大きく左右する言葉の問題を客観的に評価することは一般に難しいとされているが、文法や語順などの客観的要素を導入することで言葉の問題の一側面を評価することができる。例えば図3.10(a)の「[]選択」と「[決定]を押す」という指示では、前者は"[]ボタン"と"選択"という行為を記述しているのに対し、後者は"[決定]ボタン"を押すことによって実現される行為については記述されていない。図3.10(b)(c)のように、同じ行為を行うための操作でありながら"選択"(名詞)と"選ぶ"(動詞)という異なる用語や態が使われていることや、"終了[決定]"と"[決定]を押して下さい"のように入力デバイスとその説明との語順が異なっていることもある。このような指示の言葉の文法や語順の一貫性に関する問題を、本章で提案したメニュー操作木を用いて抽出することができるのではないかと考えている。また、その他の問題点として、ある操作がインタフェース操作であるか機能操作であるかをユーザが判断できるかどうかという問題がある。操作に機能が伴うかどうかをユーザに分かるようにしておくことは必要な課題であり、その評価は今後の重要な課題である。

今後の展開として、本章で提案した評価方法をコンピュータで取り扱える形に改良することにより、将来的には操作方法をデザインする際のツールとして利用することが考えられる。

3.6 まとめ

本章では、ユーザが自分にあった入出力デバイスを有する携帯端末を利用して、任意の機器を操作できるようにするために、メニューインタフェースを動的に可変にする際に必要となる記述方式である Menu Interface Grammar を設計した。

また、Menu Interface Grammar の応用的な利用方法として、メニューインタフェースの操作方法の一貫性に関する問題点を抽出するために、家電製品とユーザとの対話を操作という側面から木構造を用いて記述し、このメニュー操作木を用いて問題点を抽出する方法を提案した。この手法は、コントローラを用いたメニュー操作における「一貫性の欠如が使いにくさの原因となる問題」をインタフェース操作と機能操作という2つの側面から抽出する点に特徴がある。設計後に利用するよりは、設計の早期段階での評価に利用する方が有効である。

4章 入力方法の違いがメニュー探索操作に与える影響

1章でも述べたように、適応型インタフェースは、ユーザの身体的特徴や、習熟、行動パターン、ニーズ、嗜好などを検出し、それらをもとに文字の大きさやレイアウトの変更、よく利用される情報・最近利用された情報などの目立つ場所への配置、提示する情報量の増減、あるいはユーザの嗜好にあった情報の提示などを行い、ユーザの操作負担をできるだけ軽くするアプローチである。3章では、ユーザが自分に合った入出力デバイスを有する携帯端末を利用して、任意の機器を操作できるようにするために、端末の入出力方法に応じてメニューを自動構築するためのMenu Interface Grammarを設計した。そこで本章では、ユーザ適応型インタフェースの実現に向けて、ユーザの特性に応じて入力デバイスとメニューインタフェースをどのように適応することが有効であるかを調査した。

本章では、入力方法が異なることでユーザの操作効率がどのように変化するかをユーザテストにより調査した結果について述べる。実験では数字ボタンの配置された、対象をランダムに選択するタイプの入力デバイスと、矢印ボタンの配置された、逐次的に選択するタイプの入力デバイスの2種類を用いた。そして、被験者に単純なメニュー操作を行ってもらい、操作時間、エラー、操作手順などを解析する実験を行った。これにより、携帯端末のような小型の操作インタフェースを用いたメニュー探索操作において、入力方法の違いが探索効率にどのように影響するか調査・解析を行った[Kimura01]。

4.1 メニューインタフェース

我々が1997年に行ったアンケート調査では、既存の家電機器に関するアンケートで、多くの回答者がリモコン上に使わない機能、わからない機能が多く存在すると回答した[Kimura98]。これは、近年多機能な家電製品が次々と開発される一方で、ユーザインタフェースが非常に複雑となっており、その結果機器の機能を十分に使いこなせないユーザが増加しているためである。家電製品のネットワーク化（コネクテッド・ホームなど）[NikkeiElc.98] [NikkeiElc.99a] [NikkeiElc.99b][Kimura97]が実現されることで、様々な機器を自分専用のコントローラを使って操作できるが、1台の端末から制御する家電製品の機能はこれまでの何十倍となり、操作できる項目の数がますます増加することとなる。家電製品の中でも多機能な機器では、メニュー方式を用いたユーザインタフェース（メニューインタフェース）を利用することが多く、今後の機器操作端末においてもメニュー構造を基本とした操作インタフェースが主流となると考えられる。

メニューインタフェースを使いやすく設計するためには、(1)木構造の各節にどのような分類名をつけるか、という問題に加え、メニュー項目を(2)どれくらいのサイズの木構造に分類し提示するか、(3)どのようなデバイスで操作させるか、を適切に決定する必要がある。(2)(3)は相互に関連し合う要素であり、独立に設計することは不適當である。たとえば、一

度に提示される選択肢(メニュー項目数)が非常に多い場合には、矢印ボタンを繰り返し押し続けて目的の項目まで移動し、選択するよりは、メニュー項目に振られた番号を直接数字ボタンで押すほうが簡単である。人間のニーズや習熟に即したメニューインタフェースを設計するためには、(2)(3)の関係がユーザのメンタルモデルにどのように影響するのか解析し、設計指針を提示する必要がある。

Kiger[Kiger84], Landauer and Nachbar[Landauer85], Norman and Chin[Norman88]らは、メニュー階層の深さや広がりといったメニュー構造の違いが探索時間および使いやすさにどのように影響するかについて調査している。これらの実験は、もっとも深いもので 2^{12} ((各階層で選択できるメニュー項目数) \times (メニュー構造における階層の深さ))、広いもので 16^3 というメニュー構造を用いて行われ、その結果浅く広いメニュー構造の場合にもっとも探索時間が短いと報告されている。

小松原は、メニュー構造と探索時間の関係だけでなく、習熟とメニュー構造の関係について研究を行っている。メニュー探索時のユーザ行動モデルを構築し、メニュー探索時間の解析を行った結果、メニュー構造間の探索時間の早さに関する優位性は習熟前後でほとんど変わらず浅く広いメニュー構造がメニュー探索時間をより短縮できるが、調査したメニュー構造($2^6, 4^3, 8^2, 64^1$) 4つのうち、操作量の少ない $4^3, 8^2, 64^1$ は、習熟するにともない探索時間が同じ値に収束したと報告している[Komatsubara89]。

これらの研究は、メニュー操作型のインタフェースを構築する上で非常に有用である。しかし、入力方法の違いについてはまだ検討されておらず、メニューインタフェースを操作するとき、入力方法自体もメニュー構造と同様使いやすさを左右するものであると考えられる。

そこで、入力方法が変わるとこれらの研究結果がどのように変化するのかを調査すること、入力方法に適した習熟段階・メニュー構造を調査することを目的とし、習熟の過程で入力方法が木構造型メニュー探索操作に与える影響を、被験者実験とユーザ行動モデルをもとに解析する。

4.2 メニュー探索操作実験

4.2.1 目的

ランダム選択型、逐次選択型の2種類の入力デバイスと2種類のメニュー構造によるメニューインタフェースを用いてメニュー探索操作実験を行う。それぞれの入力デバイスを用いてメニュー探索操作を行ったときのメニュー探索操作に要した時間と使いやすさの主観評価、および習熟過程を比較することにより、入力デバイスの違いが木構造型メニュー探索操作に与える影響について検討する。

4.2.2 メニュー探索操作の習熟過程

メニュー探索操作における習熟の要因としては、

-
- (A)入力デバイスの操作法に対する習熟
 - (B)木構造の中での各メニュー項目の位置に対する習熟
 - (C)各メニュー項目の意味や分類に対する習熟

が考えられる。(A)(B)と比べ(C)は、習熟していないとメニュー探索時間を多く費やす原因となる。本研究では、入力デバイスとメニュー構造がメニュー探索操作に与える影響について解析したいので、(A)(B)の習熟についてのみ取り扱う。ボタン数の少ない入力デバイスを利用してメニュー項目数の多いメニューインタフェースを探索する場合、(A)の習熟は早い段階で完了するが、(B)の習熟には時間がかかる。本研究では、習熟過程を

- ・ 使用初期 : (A)(B)どちらにも習熟していない段階
- ・ 使用中期 : (A)にのみ習熟した段階
- ・ 使用後期 : (A)にも(B)にも習熟した段階

と分類し、それぞれの習熟段階におけるユーザ行動、探索時間、主観評価について考察する。

4.2.3 メニュー選択システム

(1)入力デバイス

ランダム選択型、逐次選択型という2種類の入力方式を用いて実験を行う。携帯型の入力デバイスは、家電製品の入力デバイスなどとして広く利用されており、機器本体から離れて操作できること、あまり大きくなく、片手または両手で持って操作できること、機器本体や入力デバイス上の液晶画面上にメニュー表示が可能であるという特徴を有する。

実験で使用する入力デバイスは、図 4.1 に示す数字ボタンと矢印ボタンからなる2種類のボタン入力型のデバイスであり、数字ボタン入力型がランダム選択型、矢印ボタン入力型が逐次選択型のデバイスである。以後、図 4.1(a)(b)を数字入力デバイス、図 4.1(c)(d)を矢印入力デバイスと呼ぶ。

(2)メニュー構造

本研究では、項目数が64個で深さ広がり異なる、 2^6 、 4^3 、 8^2 、 64^1 の4種類のメニュー構造を取り扱う。図 4.2(a)(b)に実験で用いた 2^6 と 8^2 のメニュー構造を示す。4.2.2(C)の要素であるユーザのメニュー項目に関する知識の有無が実験に与える影響を排除するために、各メニュー項目にはできるだけ簡単に被験者全員にとって理解しやすいと思われる単語および分類を採用した。

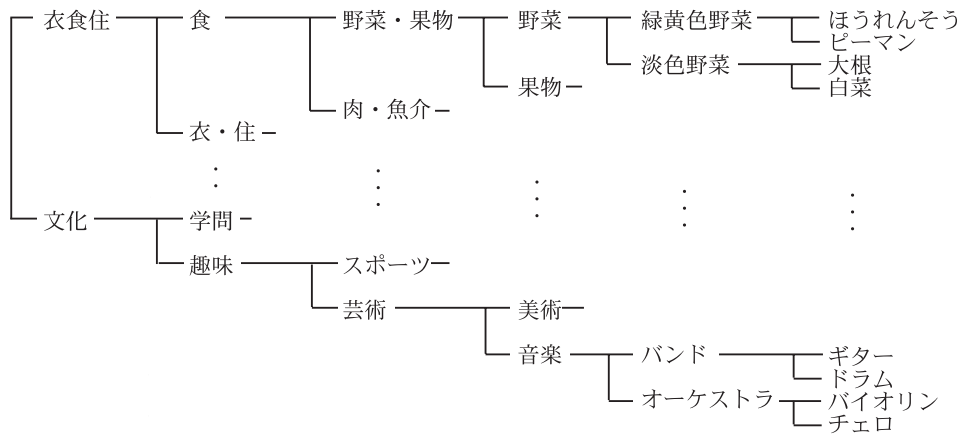
4.2.4 方法

4.3.2で述べた各習熟段階について解析するため、実験1、2においてそれぞれ(A)と(A)+(B)

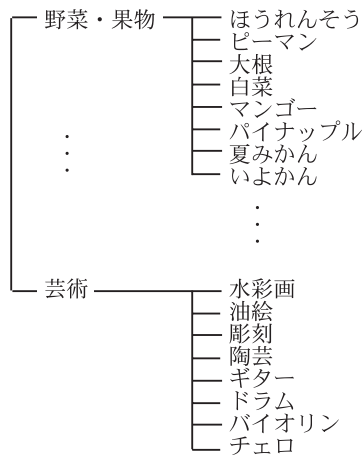


(a) 数字型 1 (b) 数字型 2 (c) 矢印型 1 (d) 矢印型 2

図 4.1 入力デバイス



(a) 2^6



(b) 8^2

図 4.2 メニュー構造の例

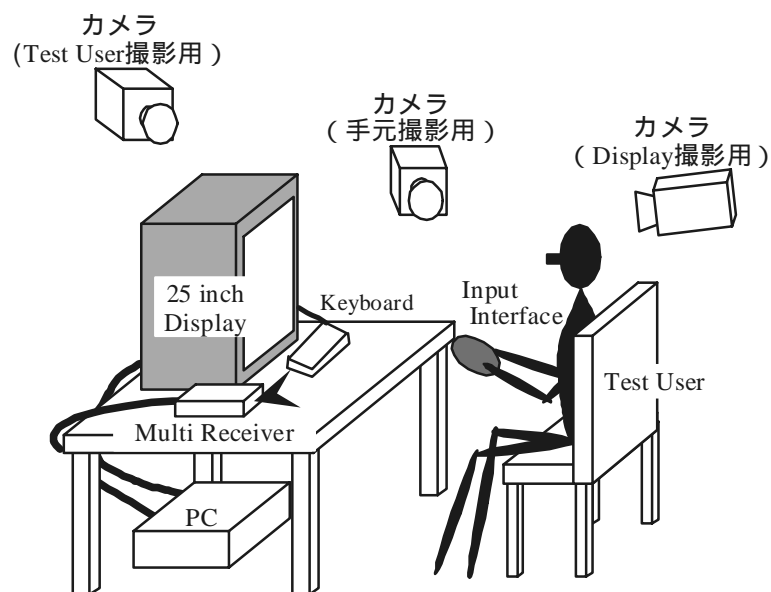
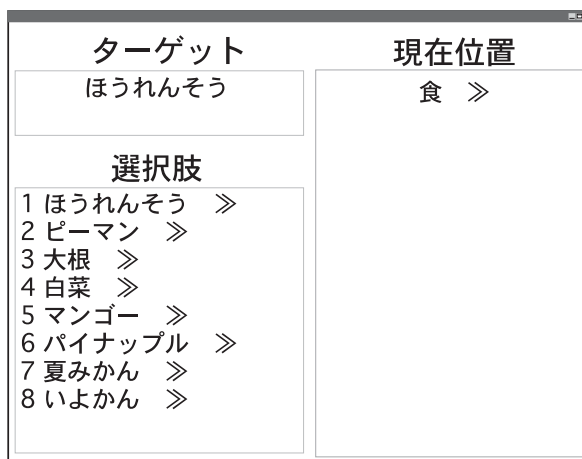
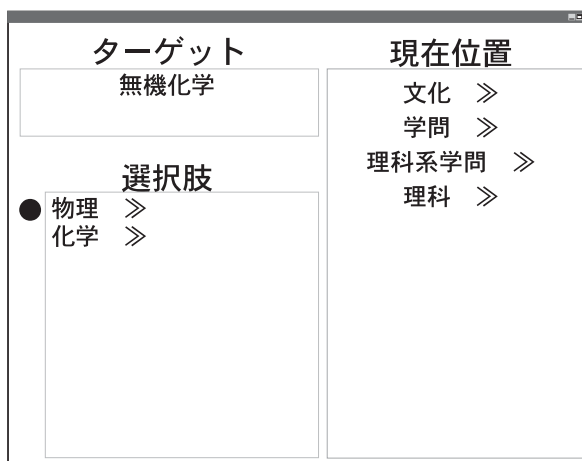


図 4.3 実験環境



(a) 数字型入力デバイス操作



(b) 矢印型入力デバイス操作

図 4.4 実験中表示したメニュー画面例

の習熟過程を再現した。

(1)実験環境

実験1,2の実験環境を図4.3に示す。装置は、PC、25インチディスプレイとMulti Receiver(Technical Corp.)を用いた。Multi Receiverは、赤外線信号の入力をシリアル入力に変換するための装置であり、この装置を介して赤外線リモコンからPC上のメニューを操作する。実験中、被験者がどのボタンをどのタイミングで押したかを、ログとして保存した。

ディスプレイ上に映し出されるメニュー画面例を図4.4に示す。これらは筆者らが本実験のために構築したもので、数字入力デバイスを使う場合のメニュー選択システム(図4.4(a))では、各選択肢の前に数字の通し番号が振られており、その番号のボタンを押すことで、次の階層に移動する。矢印入力デバイスを使う場合(図4.4(b))は、矢印ボタンによりメニュー項目の前に表示されているカーソルを移動し、決定ボタンを押すことで、次の階層に移動する。戻るボタンは、数字入力デバイス、矢印入力デバイスの両方に付いており、選択を誤ったときに1つ上の階層に戻ることができる。

(2)手順

2⁶と8²の2種類のメニュー構造について、図4.1(a)(c)の2種類の入力デバイスを用い、ターゲットとなるメニュー項目を速く正確に探索させた。判断部分の影響を小さくするために、4.3.3,2)で述べたようにメニュー項目の単語および分類を簡単なものにし、実験前に図4.2に示すようなメニュー構造を見せ、単語およびその分類を被験者に理解させるとともに口頭によるメニュー探索練習を行い、メニューで使われる言葉の十分な理解を図った。

ターゲット探索操作の手順は、以下の通り。

- (i)被験者がパソコンキーボード上の実験スタートキーを押すと図4.4の画面が表示され操作を開始する。
- (ii)選択項目の中からターゲットが正しく選択されると「正解です」、誤ると「間違っています」というメッセージが表示され、誤った場合は「戻る」ボタンを用い、項目選択が正しく行われるまで選択をやり直す。
- (iii)探索が終了すると、被験者が任意のボタンを押すことで次のターゲットが表示される。

順序効果を排除するために被験者を半分に分け、それぞれのグループで数字入力デバイスと矢印入力デバイスの実験順序を逆にした。実験では2種類の入力デバイスを用いてそれぞれ16回のターゲット探索を続けて行い、次に操作のやりやすさと探索時間の速さに関するアンケートを行うというタスクセットを繰り返し行った。

実験1,2で異なる手順は以下の部分である。

- ・実験1: 4.1(A)の入力デバイスの操作方法に対する習熟過程のみを再現するために、毎回

のメニュー項目配列のランダム化により選択項目の画面表示位置および操作手順の習熟による影響を排除し、計6回のタスクセット（探索回数は計192回）を繰り返し行った。

- ・実験2： 実験1とは逆に、(A)と(B)のメニュー項目の位置に対する習熟過程の両方を再現するために、メニュー項目を決まった順番で表示し、メニュー項目の並び方の記憶がメニュー探索操作の習熟に与える影響を解析した。また実験で探索させるターゲットを16項目と限定することで、短い繰り返し時間でメニュー項目の出現位置を習熟できるようにした。

(3)被験者

実験1, 2の被験者は以下の通り。

実験1：18-23歳の理系大学生32人（男子26人，女子6人）

実験2：22-24歳の理系男子大学生12人

(4)収集データ

本実験では探索時間を解析したいので、操作ログをもとに被験者が実験スタートキーを押してからターゲットの探索を終了するまでの総時間からエラー処理時間を除去した時間を探索時間と定義する。ただしエラー操作を行い、エラー画面が表示された時点から進行画面を経て、元画面へ戻るまでの時間をエラー処理時間とする。

4.2.5 結果

(1)探索時間

・実験1

2種類の入力デバイスと2種類のメニュー構造を組み合わせた各実験で、各被験者のターゲット探索時間の1セット（16回）ごとの平均を求めたところ、習熟傾向が一致したので、全被験者の1セットごとの平均探索時間を求めた（図4.5）。入力デバイスの操作方法に習熟する過程では、入力デバイスの違いにかかわらず、 8^2 の方が 2^6 のメニュー構造よりも短時間で探索できるという結果が得られた。同じメニュー構造間で比較すると、矢印入力デバイスの方が数字入力デバイスよりも速く探索できるという傾向が見られた。

・実験2

実験2では被験者ごとに実験終了までの繰り返しセット数(Number of task set repetition)が異なるので、全被験者の結果を単純に平均できない。しかし各被験者の1セットごとの平均探索時間を、メニュー構造ごとに比較すると、習熟前は実験1同様、矢印入力デバイスの方が速く探索できるが、この傾向は習熟途中で逆転し、習熟後には数字入力デバイスの方が速く探索できていることが分かった。典型的な平均探索時間の例を図4.6に示す。また、図より習熟に伴い 8^2 , 2^6 両者の探索時間の差が短くなっていくことも分かる。

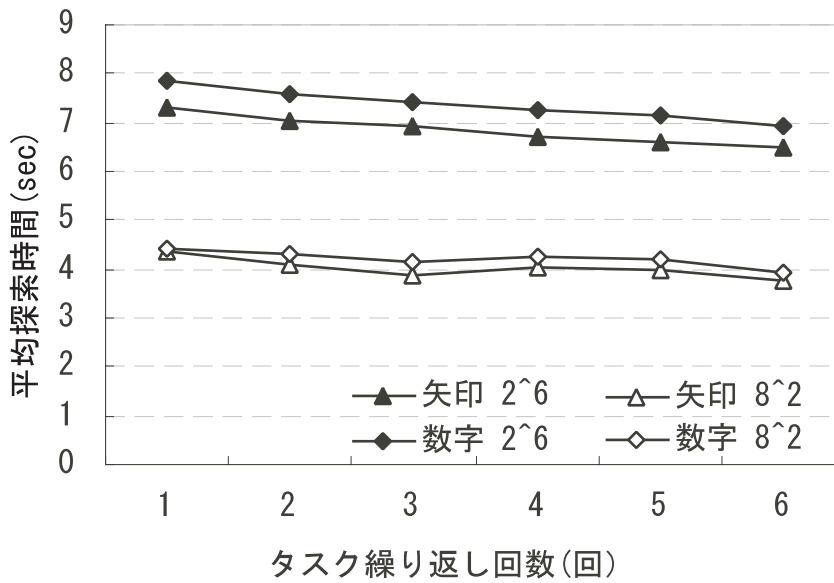


図 4.5 平均探索時間 (実験 1)

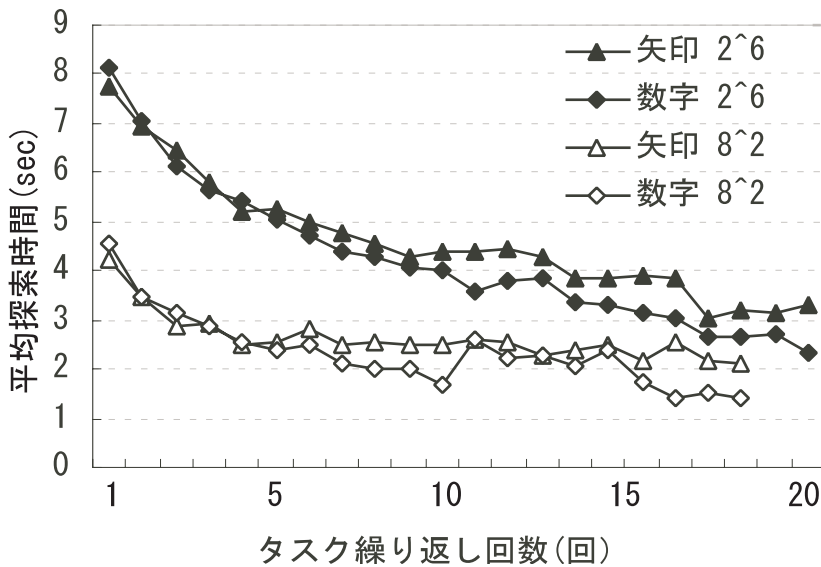


図 4.6 平均探索時間 (実験 2)

(2)主観評価

実験1,2それぞれの最初と最後で,何人の被験者が,数字,矢印のどちらの入力デバイスを探索時間が早い,操作がやりやすいと評価したのかを表4.1,4.2に示す.効率に関しては,2⁶,8²ともに,実験1では数字と矢印で評価が分かれたが,実験2の最後のアンケートでは,ほとんどの被験者が数字入力デバイスの方を効率的であると回答しており,探索時間の測定結果と近い結果が得られた.操作のやりやすさに関しては,実験1,2の最初のアンケートでは,2⁶では数字と矢印入力デバイスで評価が分かれたが,8²では矢印入力デバイスの評価が高かった.この要因としては,2⁶では操作ボタン数は数字入力デバイス3個,矢印入力デバイス4個であるのに対して,8²では数字入力デバイス9個,矢印入力デバイス4個であり,数字と矢印入力デバイスでボタン選択操作のやりやすさが大きく変わることがあげ

表 4.1 主観評価結果 (実験 1)

木構造	評価	最初のアンケート		最後のアンケート	
		効率	やりやすさ	効率	やりやすさ
2 ⁶	N > A	5	8	4	2
	A > N	10	8	7	11
	N = A	1	0	5	3
8 ²	N > A	7	1	5	2
	A > N	7	15	6	11
	N = A	2	0	5	3

N: 数字入力インタフェース, A: 矢印入力インタフェース
a>b: aの方がbよりも評価が高い, a=b: aとbの評価は同じである

表 4.2 主観評価結果 (実験 2)

木構造	評価	最初のアンケート		最後のアンケート	
		効率	やりやすさ	効率	やりやすさ
2 ⁶	N > A	5	3	5	5
	A > N	1	2	1	1
	N = A	0	1	0	0
8 ²	N > A	2	0	5	1
	A > N	3	5	1	5
	N = A	1	1	0	0

N: 数字入力インタフェース, A: 矢印入力インタフェース
a>b: aの方がbよりも評価が高い, a=b: aとbの評価は同じである

られる。また最後のアンケートでは、2⁶、8²ともに実験1では数字と矢印入力デバイスで評価が分かれ、実験2では数字の方がやりやすいという、探索時間の測定結果と同様の結果となった。

4.2.6 考察

実験1, 2より,

- (a) 入力デバイスにかかわらず、8²の方が2⁶よりも探索時間の早さ、主観評価ともに良い
- (b) 使用後期 (実験2 最終セット) には2⁶も8²も同程度の時間で探索できるようになる
- (c) 使用初期 (実験1, 2 初回セット) から中期 (実験1 最終セット) では、メニュー項目をランダムに選択する数字入力デバイスよりも逐次的に選択する矢印入力デバイスの方が探索時間の早さ、主観評価ともに良いが、使用後期には数字と矢印入力デバイスの優劣が逆転する
- (d) 実験1 図 4.5 より、使用初期から中期の習熟は、8²では数字入力デバイスによるランダムな選択方法よりも、矢印入力デバイスによる逐次的な選択方法の方が速い

という4つのことが分かる。(a)(b)の結果は小松原の先行研究結果と一致している

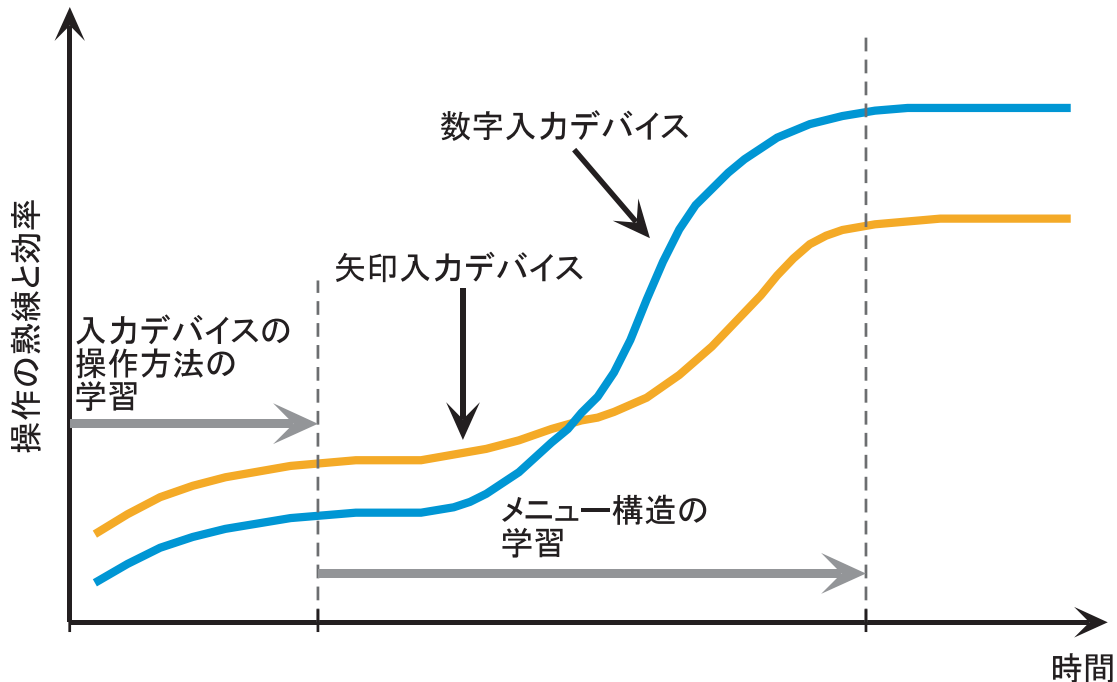


図 4.7 メニュー探索操作の習熟曲線

[Komatsubara89] . また(c)(d)の結果からは使いやすい入力デバイスは習熟段階によって異なり、使用初期は矢印、使用後期は数字入力デバイスが使いやすいことが分かる。

実験1,2の結果を習熟度曲線としてまとめると図4.7のように表される。メニュー構造が大きく、探索するターゲット数が多い場合、使用初期から中期で入力デバイスに習熟し、使用中期から後期でメニュー構造に習熟するという習熟段階がはっきり分かれる。しかし実験2のように探索するターゲット数が少なくメニュー探索プロセスの学習が簡単であると、これらの二つの習熟段階が重なり、見かけ上一つのステップとして現れる。

4.3 ユーザ行動モデルの獲得

4.3.1 視覚・探索・オペレーションモデル

メニュー探索操作を解析する方法として、メニュー探索時のユーザの認知・行動モデルを用いて解析する方法がよく利用される。Hornof と Kieras は、プルダウンメニューを操作している時のユーザの認知モデルを[Hornof98] [Hornof99]、増井らは、FAX などメニュー表示に制限のある機器におけるメニュー操作手順のモデル[Masui99]を構築し解析を行っている。小松原はメニュー探索操作における階層通過の際のユーザ行動モデル(図4.8)を用いることで、ユーザの習熟に伴いメニュー探索時間を左右する要因を詳しく解析している[Komatsubara89]。小松原は図4.8のユーザ行動のうち、習熟に伴い探索時間が短縮される行動は「視覚探索」「判断」「オペレーション」の三つであり、このうち視覚探索と判断はかなり短縮されるが、オペレーションはあまり短縮されないと説明している。本節では、このユーザ行動モデルと、実験1,2のビデオ解析、インタビュー結果をもとに、数字・矢印それぞれの入力デバイスを用いる場合のユーザ行動モデルを構築する。図4.9,4.10は使用初期

のユーザ行動モデルである。図 4.8 と図 4.9, 4.10 では,

- ・(2)のループ部分が図 4.8 ではメニュー項目 n 回繰り返すが, 図 4.9, 4.10 ではターゲットが含まれるメニュー項目を発見するまでの繰り返しとなっている点
- ・図 4.9, 4.10 には短期記憶からの想起, 総合判断がない点

が異なっている。この理由として, 本研究では 4.3.2(C) のメニュー項目の意味や分類に関する知識を事前に与えているため, すべてのメニュー項目についてターゲットを包含しているかどうかを調べる必要がないからである。また図 4.9, 4.10 どちらのモデルについても入力デバイスの違いが探索時間に影響するのは, 主に(3)のオペレーション部分である。

4.3.2 数字入力デバイスを用いる場合のユーザ行動モデル

数字入力デバイスのようなランダムな選択方法を使う場合の特徴は, 図 4.9(3-1) (3-2)

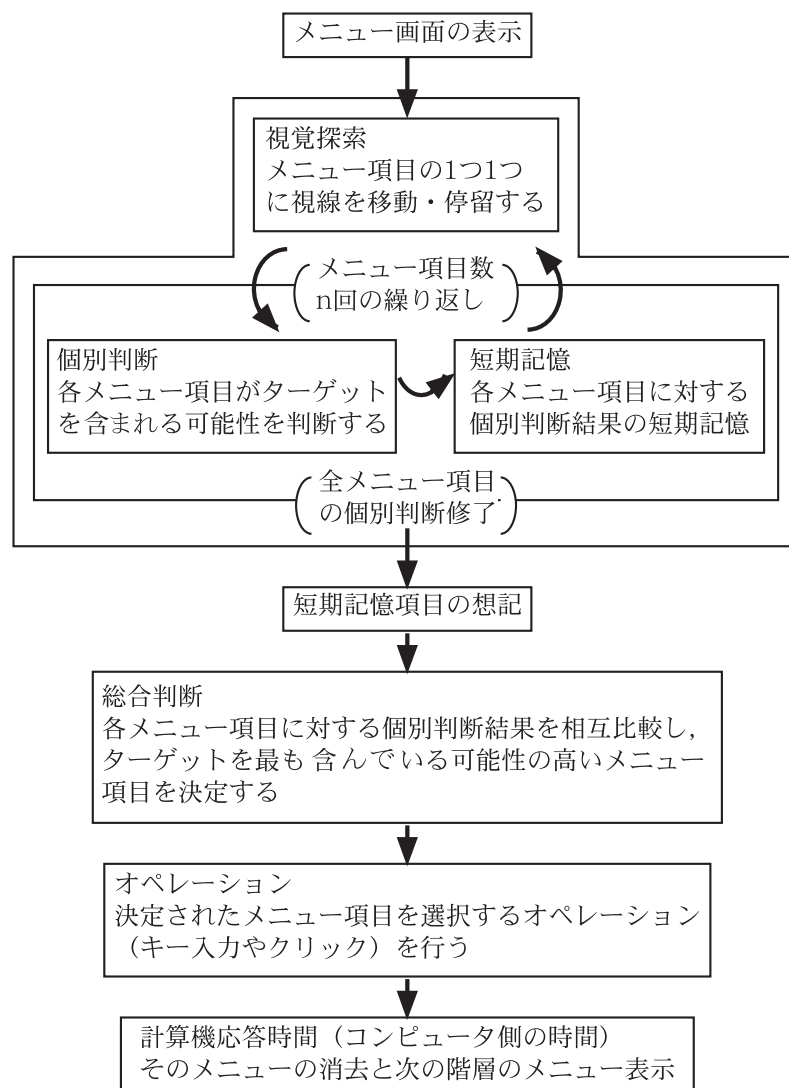


図 4.8 メニュー探索におけるユーザ行動モデル

4章 入力方法が機器操作に与える影響

のように記憶と探索行動に時間がかかる点である。特に図 4.9(3-2)では入力デバイスとメニュー画面を同時に見ることができないため、使用初期にユーザの多くが、入力デバイス上で探索したボタン番号が正しかったのかどうかを再度メニュー画面で確認するという行動をとる。しかし、これらの記憶・探索行動は習熟によりその行動にかかる時間が大きく短縮される要素である。使用中期までに図 4.9(3-2)の入力デバイス上のボタン位置に対する習熟、使用後期までに図 4.9(3-1)のメニュー項目にどの番号が割り振られているかというメニュー項目の位置に対する習熟が完了する。

数字入力デバイスでは、ボタンを押す回数は一階層につき提示されるメニュー項目数の桁数回(たとえば1階層64項目から選択する場合は1桁目と2桁目の計2回)と固定されている。よってメニュー構造の深さ広がりが変わると、その桁数が同じであれば階層の深さが総オペレーション量に影響を与える。また数字入力デバイスでは、入力デバイス上で探索するボタン数はメニュー構造の広がり依存するので、メニュー構造が狭く押すべき数字ボタンの種類が少ないと、指を定位置に固定できスムーズに探索・オペレーションできるが、メニュー項目が多くボタンの種類も多いと、指を定位置に固定できずスムーズな操作が難しい(図 4.9(3-2))。よって、メニュー構造が狭いと4.1(A)入力デバイス操作に対する習熟が速く、広いと遅くなると考えられる。

4.3.3 矢印入力デバイスを用いる場合のユーザ行動モデル

インタビュー、ビデオ、操作履歴を解析すると矢印入力デバイスのような逐次的な選択方

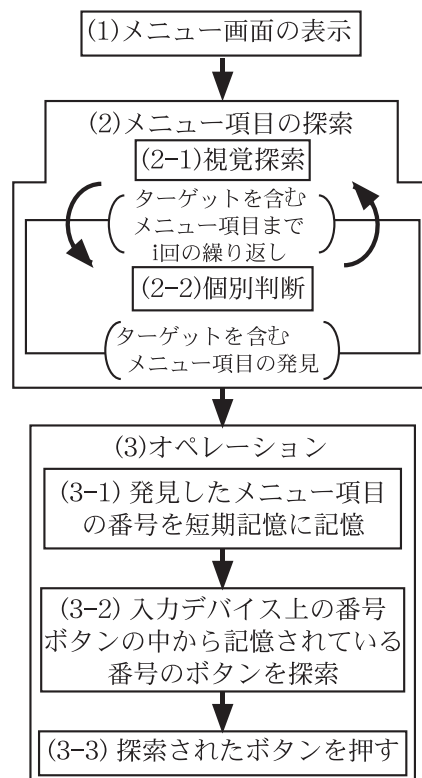


図 4.9 数字入力デバイスを用いた場合のユーザ行動モデル

法を使う場合のユーザ行動モデルは2種類に分けられる。図 4.10(a)type1 はメニュー項目の探索を終了してからボタンオペレーションをするのに対して、図 4.10(b)type2はメニュー探索とオペレーションを同時に行うユーザ行動モデルである。一階層に提示されるメニュー項目数が多い場合には type1 が、少ない場合には type2 が採用される。図 4.10(a)(b)の(3-1)の判断過程は特に type2 ではしばしば省略され、下(右)向きの矢印ボタンのみを用いて操作される。

矢印入力デバイスの特徴は (3-1) (3-3) (3-4) , (3-6)など、ボタンオペレーションと判断が多く必要な点である。判断は4.3.2(B)メニュー項目の位置の習熟により多少速くなるが、

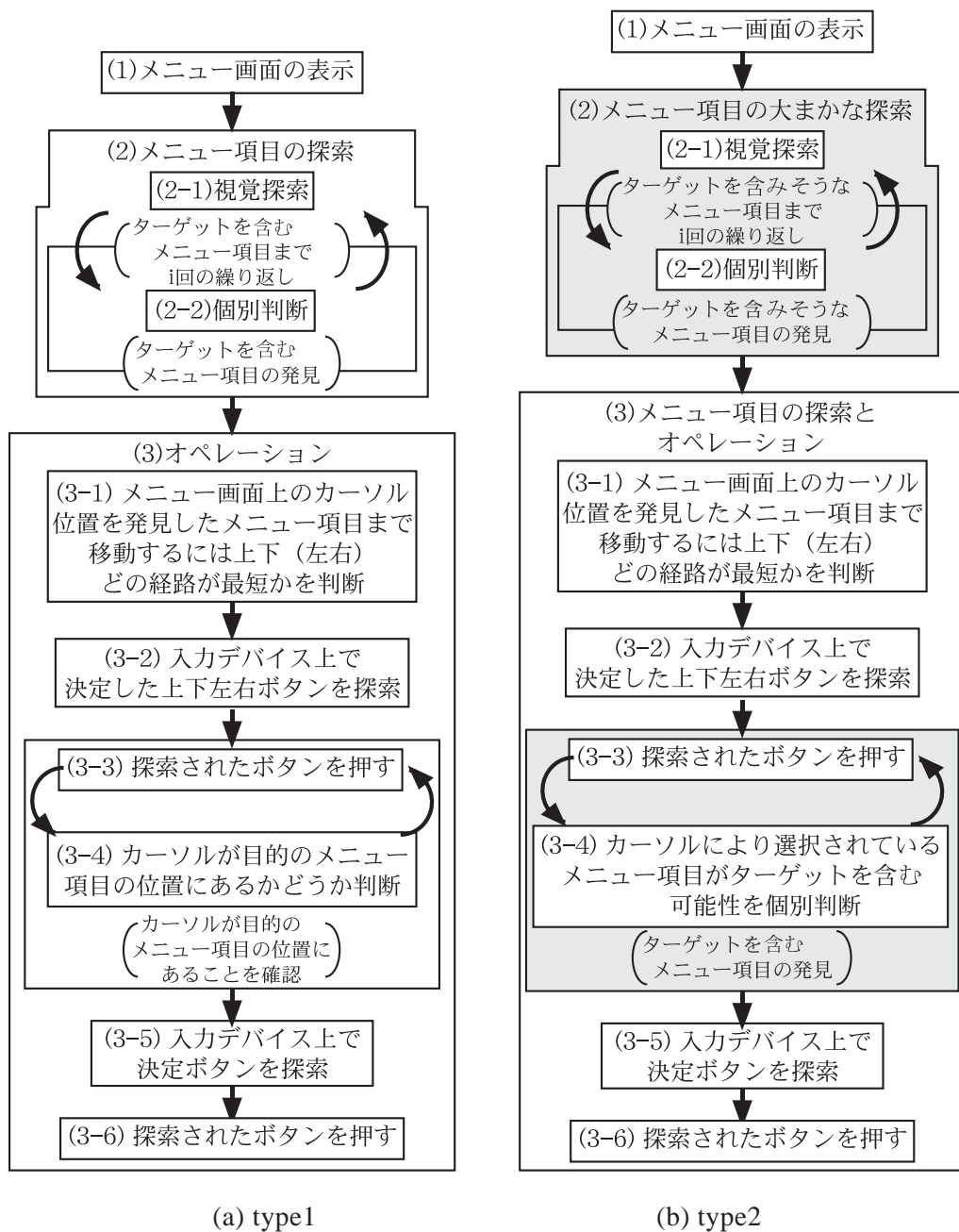


図 4.10 矢印入力デバイスを用いた場合のユーザモデル

表4.3 数字入力デバイスにおける平均ボタン打数

メニュー構造	2^6	4^3	8^2	64^1
h : 平均ボタン打数/探索(回)	6	3	2	2

表4.4 矢印入力デバイスにおける探索時間の分析

メニュー構造	2^6	4^3	8^2	64^1
h : 平均ボタン打数/探索(回)	9.3	6.5	6.2	6.0
t1 : 連打ボタン操作時間 (sec)	0.350	0.413	0.204	0.292
t2 : 非連打ボタン操作時間 (sec)	0.374	0.672	0.486	0.749
p : ボタン連打率 (%)	26.7	19.2	43.2	45.8

数字入力デバイスの場合位置を番号で覚えられるのに対して矢印入力デバイスの場合ディスプレイ上の位置またはボタン操作回数として記憶する必要がありオペレーション行動を簡単化することができない。4.3.2(A)の入力デバイス操作については上下(左右)のそれぞれのボタンがメニュー画面のカーソルの動作と対応づけられているので使用初期にすぐに習熟するが、ボタンオペレーション回数が数字入力デバイスと比べると多いので(表4.3, 4.4)オペレーション時間は多少短縮されるのみである。よって、図4.7に示したように、使用中期から後期での高い習熟効果は数字入力デバイスほど期待できない。

4.3.4 ユーザ行動モデルを用いた探索時間の評価

ユーザ行動モデルを用いて4.3.5(3)(4)の結果を評価する。

(3)使用初期から中期では、数字入力デバイスのようなランダム選択型の入力デバイスよりも矢印入力デバイスのような逐次選択型の入力デバイスの方が探索時間の早さ、主観評価ともに良いが、使用後期には数字と矢印入力デバイスの優劣が逆転する

表4.3, 4.4よりボタン操作回数を比較すると、数字入力デバイスを使う場合の方が操作回数は少ない。使用後期には、視覚探索・判断時間が短くなるので、ボタン操作回数が少ないランダム選択型の方が探索時間は短くなる。

(4)使用初期から中期の習熟は、 8^2 では数字より矢印入力デバイスの方が速い

矢印入力デバイスのような逐次的な選択方法の場合、ボタン数が少なくボタンの位置も直感的にわかるので、入力デバイス操作に習熟すると常に指がボタンの上に配置され、視覚探索のときにカーソル移動のためのボタン動作も行うようになる。そのため、数字入力デバイスを使う場合に必要な記憶およびボタン探索行動(図4.9(3-1) (3-2))が必要なくなり、探索時間も速くなる。しかし 2^6 のメニュー構造の場合は、数字入力デバイスについてもボタンが1と2の二つしかなく、常に指をボタンの上に配置できるので矢印入力デ

バイスの場合の結果とあまり変わらなかったと考えられる。

4.3.5 メニュー構造のその他の検討

(1)目的

実験1,2とは異なる 4^3 , 64^1 の2種類のメニュー選択システムを用いる場合について, 4.3のモデルをもとに解析をおこなう。実験では,使用初期と後期で探索時間がどのように変化するかを調査・解析する。

(2)方法

・実験環境

入力デバイスは,それぞれ 4^3 では図4.1(a)(c), 64^1 では図4.1(b)(d)を用いた。 64^1 では1画面に64個のメニュー項目が並ぶ(図4.11)。数字入力デバイスを用いる場合は,たとえば1番のメニュー項目を選択するときはボタン「0」「1」と,二つのボタンを押すことで目的のメニュー項目を選択する。矢印入力デバイスを使う場合は上下左右にカーソルを移動してメニュー項目を選択する。一階層で提示する項目数が変わることを入力デバイスおよび画面レイアウトに変更が必要となることは一般的である。 64^1 のメニュー構造と他のメニュー構造のための入力デバイス,メニュー画面とでは,矢印入力デバイスで上下に加えて左右ボタンが加わり,図4.11のようにメニュー項目が画面に2次元配列として表示されるといふ点で異なる。その他の実験環境は,実験1,2と同じである。

・手順

使用初期の再現:1人の被験者につき,2種類のメニュー構造について数字,矢印入力デバイス両方を用いて計4パターンの実験を行った。メニュー構造および入力デバイスに対する順序効果を打ち消すように被験者ごとにランダムな順番で行った。各被験者に,4パター

検索対象		大根		選択番号	
選択肢					
1 クロール	17 夏みかん	33 憲法	49 水彩画	● クロール	夏みかん
2 陶芸	18 牛ロース	34 鳥もも肉	50 テニスシューズ	陶芸	牛ロース
3 世界史	19 バスケットボール	35 本棚	51 英語	世界史	バスケットボール
4 食器棚	20 民法	36 有機化学	52 牛タン	食器棚	民法
5 Tシャツ	21 ビーマン	37 はまぐり	53 彫刻	Tシャツ	ビーマン
6 ほうれんそう	22 MDプレイヤー	38 白黒テレビ	54 無機化学	ほうれんそう	MDプレイヤー
7 三角形	23 ポロシャツ	39 白菜	55 あさり	三角形	ポロシャツ
8 砲丸投げ	24 ラグビー	40 古文	56 ドラム	砲丸投げ	ラグビー
9 ギター	25 電磁気学	41 フーツ	57 CDプレイヤー	ギター	電磁気学
10 マンゴ	26 いよかん	42 フランス語	58 チェロ	マンゴ	いよかん
11 ローファー	27 ジーンズ	43 短パン	59 サッカー	ローファー	ジーンズ
12 パイナップル	28 まぐろ	44 方程式	60 鳥手羽先	パイナップル	まぐろ
13 四角形	29 不等式	45 大根	61 座椅子	四角形	不等式
14 バイオリン	30 ランニングシューズ	46 力学	62 現代文	バイオリン	ランニングシューズ
15 油絵	31 幅跳び	47 日本史	63 バレーボール	油絵	幅跳び
16 さんま	32 ソファー	48 平泳ぎ	64 カラーテレビ	さんま	ソファー
					平泳ぎ
					カラーテレビ

(a)数字ボタン操作作用

(b)矢印ボタン操作作用

図4.11 64^1 の場合のメニュー画面例

4章 入力方法が機器操作に与える影響

ンの実験ごとに4つのターゲットを探索させた。

使用後期の再現：選択すべきメニュー項目，探索手順，操作方法をそれぞれの被験者に十分学習させた後，前と同じ4つのターゲットを探索させた。

・被験者

被験者は，22～25歳の大学生8人（男子5人，女子3人）とした。

(3)結果・考察

それぞれの被験者について四つのターゲットの平均探索時間を，すべての被験者(8人)について平均した。この結果を入力デバイスごとにまとめたものを図4.12，メニュー構造ごとにまとめたものを図4.13に示す。参考のために，図4.11では実験1，2の結果も合わせて示す。

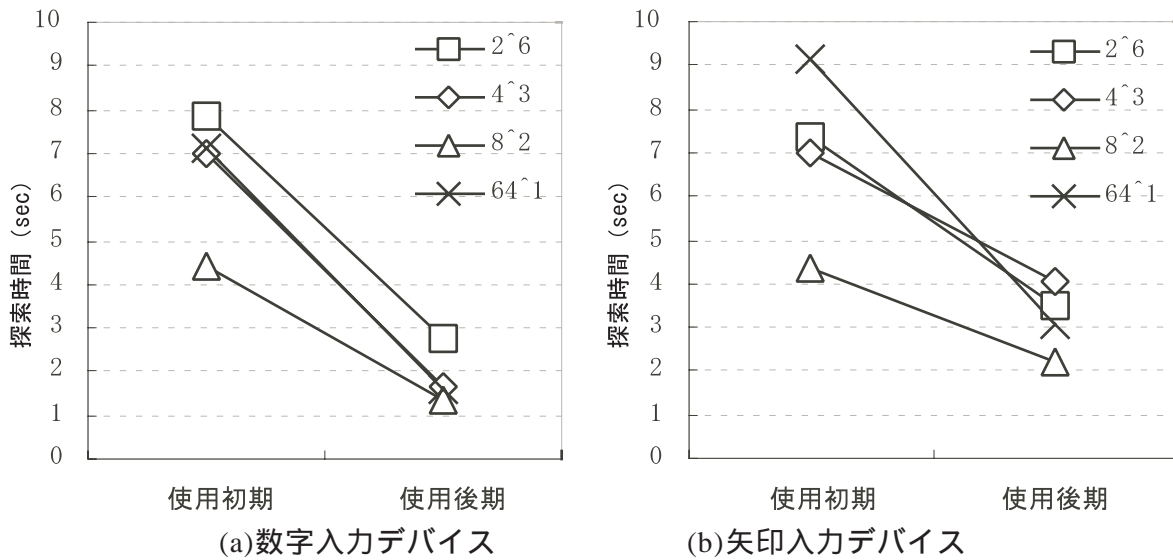


図 4.12 メニュー構造による平均探索時間の比較

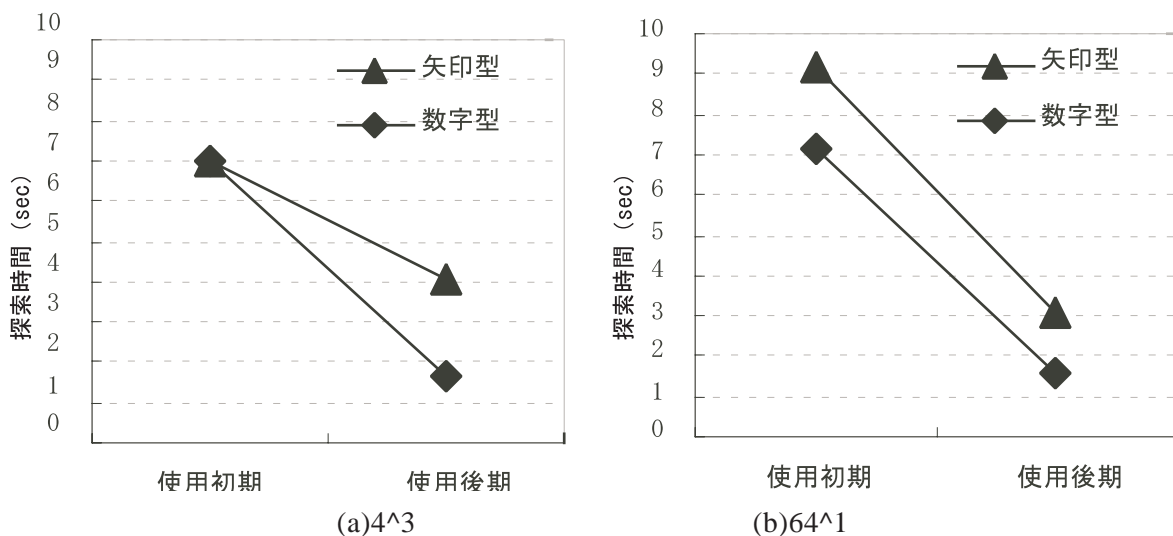


図 4.13 入力デバイスによる平均探索時間の比較

図 4.12 の使用初期に注目すると、 $64^{\wedge}1$ 以外のメニュー構造ではメニュー構造が広く浅い方が探索時間は短くてすむという小松原の実験結果と同じ結果が得られた。しかし $64^{\wedge}1$ については、この法則に従わない。この理由としては、まず使用初期には 64 個すべてのメニュー項目が一度にランダムに提示されるため、図 4.9(2) の視覚探索・判断部分に時間がかかること、一階層通過に必要なボタン操作が数字入力デバイスでは他のメニュー構造の場合の 2 倍、矢印では上下に加えて左右の操作も必要となることがあげられる。また、図 4.13(b) を比較すると、 $64^{\wedge}1$ のメニュー構造では矢印入力デバイスの方が数字よりも時間がかかっている。この要因として、 $64^{\wedge}1$ のメニュー構造と矢印入力デバイスを用いた実験では、すべての被験者が (2) メニュー項目の探索と (3) オペレーションを分けて行う図 4.10(a) type2 のユーザ行動モデルをとっており、メニュー項目の探索行動については数字、矢印入力デバイスの間に大きな差はないが、オペレーションにおいてボタン打数に大きな差がある (表 4.3, 4.4) 点があげられる。

使用後期に注目すると、数字入力デバイスについては、表 4.3 のボタンを押す回数の平均値 (平均ボタン打数) と図 4.9(a) の探索時間が対応していることが分かる。図 4.9(b) 矢印入力デバイスについても、数字入力デバイスと同様、平均ボタン打数と探索時間を比較すると、 $8^{\wedge}2$ の探索時間が速く、 $2^{\wedge}6$ は遅いという結果については説明がつくが、 $4^{\wedge}3$ と $64^{\wedge}1$ の探索時間が遅いことについては説明がつかない。そこで、まず入力デバイスの同じ $2^{\wedge}6$ 、 $4^{\wedge}3$ 、 $8^{\wedge}2$ について考える。矢印入力デバイスでは、数字と比べ同じボタンを連続して押す (連打) 操作が増えるが (図 4.10(3-3) (3-4))、連打するときの操作時間 (連打ボタン操作時間) は毎回違うボタンを操作するときの操作時間 (非連打ボタン操作時間) よりも速いという傾向が見られる (表 4.4) ので、ボタンを連打する割合についても考えてみると、表 4.4 より $8^{\wedge}2$ 、 $2^{\wedge}6$ 、 $4^{\wedge}3$ の順にボタン連打率が低いことがわかり、これは図 4.12(b) の結果とも一致する。そのうえ表 4.4 から連打率が低い $4^{\wedge}3$ は、打ボタン操作時間も非連打ボタン操作時間も長いという傾向が見られる。よって使用後期・矢印入力デバイス利用時における $8^{\wedge}2$ 、 $2^{\wedge}6$ 、 $4^{\wedge}3$ のメニュー探索時間については、平均ボタン打数とボタン連打率により説明できることが分かる。一方平均ボタン打数・ボタン連打率ともに $8^{\wedge}2$ の場合とほとんど同じである $64^{\wedge}1$ のメニュー探索時間が遅いのは、 $64^{\wedge}1$ で用いている入力デバイスが他のメニュー構造の場合と入力デバイスが異なることが大きな原因であると考えられる。他の 4 種類のメニュー構造を操作する場合上下ボタンしか利用しないのに対して、 $64^{\wedge}1$ で用いた入力デバイスは上下左右すべてのボタンを利用する。ボタン数が多いとボタンを選択する作業負荷が増えるため (図 4.10(3-1)(3-2))、非連続ボタン操作時間が増加し (表 4.4)、メニュー探索時間に影響を与えている。

以上から入力デバイスとメニュー構造の双方の要素がお互いに関連してメニュー探索操作に影響を与えていることがわかった。

4.5 まとめ

本章では、習熟の過程で入力デバイスが木構造型メニュー探索操作に与える影響を解析するために、対象をランダムに選択するタイプの入力デバイスと、逐次的に選択するタイプの入力デバイスの代表である、数字入力デバイスと矢印入力デバイスの2種類を用いた被験者実験とユーザ行動モデルによる解析を行った。ユーザ行動モデルをもとに実験結果を解析した結果、矢印入力デバイスでは、必ずしも一画面中のメニュー項目数が多い、階層の深さの浅い場合の方が探索時間が速くなるというわけではないことを確認し、メニュー構造の深さ・広がりが入力デバイスの両方が探索時間を左右することを確認した。また矢印入力デバイス(逐次的に選択するタイプのデバイス)はメニュー項目とそのメニュー構造に習熟していないユーザとあまり幅の広すぎないメニュー構造に適しており、数字入力デバイス(ランダムに選択するタイプのデバイス)はメニュー項目とそのメニュー構造に習熟したユーザとあまり深すぎないメニュー構造に適していることを確認した。

本実験では、数字と矢印ボタンという非常に単純な例であったが、ジョイスティックやタッチパネル、ユーザの動作などを入力方法として利用すると、ユーザの慣れやメニューサイズが変わることによって、操作効率により大きな違いが出ると考えられる。

5 章 操作対象への方向情報を用いた

ユーザインタフェース

4章では、入力デバイスの違いが木構造型メニューの探索操作に与える影響を解析した。機器の操作は、機器上にある操作パネルで操作を行う近距離からの操作、リモコンなど機器が見える範囲から操作を行う中距離からの操作、機器が見えないところから操作を行う遠距離からの操作の3つに分けることができる。本章では、特に中距離からの操作に注目し、ユーザにとってより直感的な操作を実現するために、ユーザが携帯端末で操作対象をポインティングするという動作を入力方法として利用する入力デバイスを提案する。

複数の機器を携帯端末で選択する場合の問題点として、

1. メニュー項目が増え、階層が深くなる
2. 入力の際のフィードバック（確認）を視覚に頼る

という点があげられる。1台の携帯端末から複数の機器を操作する場合、機能選択という階層に加えて機器選択という階層が加わるため、1台の機器を操作する場合以上にメニューの階層が深くなり、探索負荷が増加する。入力方法という観点から考えると、物理的なボタンを使って入力する場合は、ボタンを押すときの触覚感が、例えばテレビの画面を見ながらチャンネルを変えるときや薄暗いところで操作するときなど、手元が見えない環境や手元を見ずに操作を行う際に大きな助けとなる。しかし、携帯端末などでよく利用されているタッチパネルは、操作したことを確認するための触覚フィードバックがないため画面のGUIを常に視覚的に確認しながら操作する必要がある。

そこで本章では、これらの2つの問題点を解決する一手法として、ユーザが操作対象に対してポインティングを行う方向情報を入力とし、機器およびメニュー項目の選択を行うデバイスを提案する[Kawasaki01]。また、操作時に触覚フィードバックを提示するデバイスとして、ポインティングの向きに応じて指に反力が提示され、端末の向きを直感的に知覚することのできる触覚フィードバックデバイスを提案する[Harada01]。

5.1 関連研究

ユーザのポインティング動作を入力として利用するというアイデアは、1980年Boltらによって音声認識と磁気センサーによる指さしを組み合わせた"Put That There"(図5.1)[Bolt]により提案された。ある対象物を指さして"Put That"と言い、つぎに別の点を指さして、"There"と言うと、その対象物が移動するというものである。その後Put-That-Thereシステムのために、画像処理によって人間の指先の位置を検出する研究や、音声認識の研究などが活

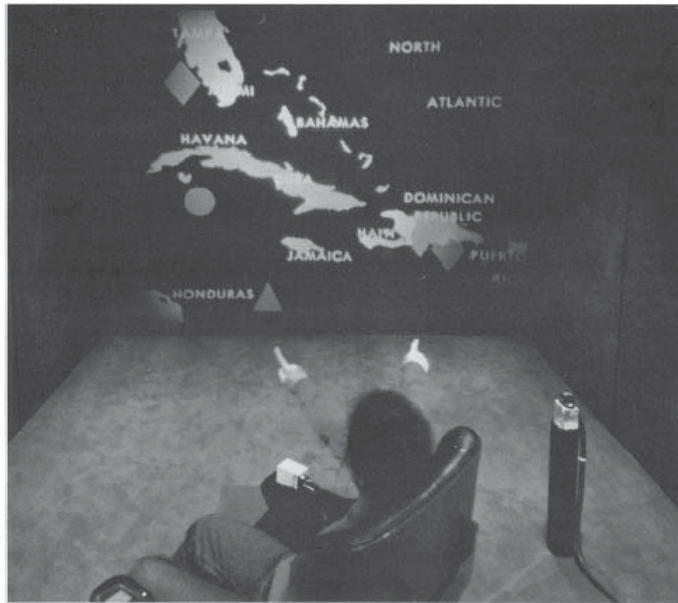


図 5.1 Put-That-There[Bolt80]



図 5.2 日立家電操作インタフェース[Hitachi01b]

発に行われてきた。一方で1999年には、Khotakeらが操作対象を仮想オブジェクトだけではなく実物体へと拡張し、機器に取り付けられた2次元バーコードと、ハンドヘルド型コントローラを利用することで実世界のオブジェクトを操作するデバイス InfoPoint (図 1.4) を提案した[Khotake99]。InfoPointでは、コンピュータ間でのファイルの移動や、実世界上でディスプレイ上のアイコンをプリンターへDrag & Dropすると書類が印刷するといったことができる。日立はポインティング操作を利用して部屋の中の家電製品を操作する方法として、部屋の壁のレーザーポインタで指したところにプロジェクターで操作画面を投影し、投影されたGUIをレーザーポインタで指し示すことで操作するというユーザインタフェースを提案している(図 5.2)[Hitachi01b]。しかし、レーザーポインタは光が直接目に入ると危険なため、特に子供などが同じ部屋の中にいる環境での利用は難しい。そこで、本研究では端末に小型カメラをつけ、機器側には赤外線マーカーを付けることで機器選択を行い、機器が選択されると携帯端末上にその機器の操作画面が表示される入力デバイスを提案する。



図 5.3 マルチモーダルマウス



図 5.4 LogiCool iFeel



図 5.5 富士ゼロックス 触覚マウス

一方、Myersらがレーザーポインタを用いたポインティングの精度について実験を行った結果、ポインティング動作による入力の問題点として、手ぶれによりポインティングが不安定になる点を指摘している[Mayers02]。そこで本研究では、ポインティング操作の補助として触覚フィードバックを利用する。触覚を視覚情報の補助的な役割として利用する研究例は少なくない。ポインティングデバイスでは、マウスの操作補助をおこなう様々な触覚提示方法が提案されている。例えば、ホイールマウスは、ホイールを回転させるときに一定の角度回転するごとに指に刻み感(ノッチ感)が提示されるよう設計されており、ウィンドウのスクロールがどの程度移動したのかを触覚でも知覚できる。また、赤松はアイコンをポインティングしている間、左指先に振動を返す触覚マウスを提案しており[Akamatsu94](図 5.3)、手全体に振動を返すタイプの触覚マウスとしてLogiCoolからiFeelマウスが製品化されている[iFeel](図 5.4)。また、富士ゼロックスでも、マウスの左ボタンの下に平面2自由度を任意駆動できる小型のアクチュエータを埋め込み、画像と連動して振動やなぞり感などの触覚を指先に呈示する触覚呈示マウスを開発している[Sakamaki01](図 5.5)。

本研究では、ポインティングを行う際に、操作対象となる機器やメニュー項目などの選択対象領域のエッジ部分において強い触覚フィードバックを提示することにより、機器と機器またはメニュー項目とメニュー項目との間で刻み感(ノッチ感ともいう)を提示し、機器やメニュー項目のポインティング動作をサポートする方法について提案する。

5.2 操作対象への方向情報を用いた機器選択

5.2.1 操作対象への方向情報の認識

ポインティング操作による機器選択を行うためには、まず携帯端末がどの機器の方に向けられているかを認識する必要がある。端末の向きを認識する方法としては、一般に磁気式や光学式の3次元位置計測システム[Polhemus][HiBall-3000]を利用することで端末の世界座標系での位置と向きを獲得する方法や、赤外線タグを機器側にタグリーダーを端末側につけることで端末が特定の機器の方を向いているのかどうかを識別する方法などがある。しかし、前者は環境中に非常に大掛かりで高価なシステムを導入する必要があり、一般家庭で利用するという観点で考えると非現実的である。後者は、今後赤外線タグの低価格化に伴い現実的な方法となりうるが、複数の機器が密集している場合に機器の特定が難しくなるという問題点が考えられる。本研究では、今後携帯端末に標準的にカメラが付属するようになることを想定し、携帯端末に小型カメラを取り付け、機器側に貼り付けられた認識用のマーカの画像認識を行うことで、携帯端末がどの機器の方に向けられているかを判別する。小型カメラ、赤外線マーカを利用することで、非常に低価格なシステムを実現することができるとともに、赤外線マーカの識別に画像処理を利用することで複数の機器が密集した場合にも対応することができる。

5.2.2 システム構成

本章で提案するポインティング操作による機器選択システムのシステム構成を図5.6に示す。まずユーザがどの機器に携帯端末を向けているのかを認識するため、各機器には図5.7に

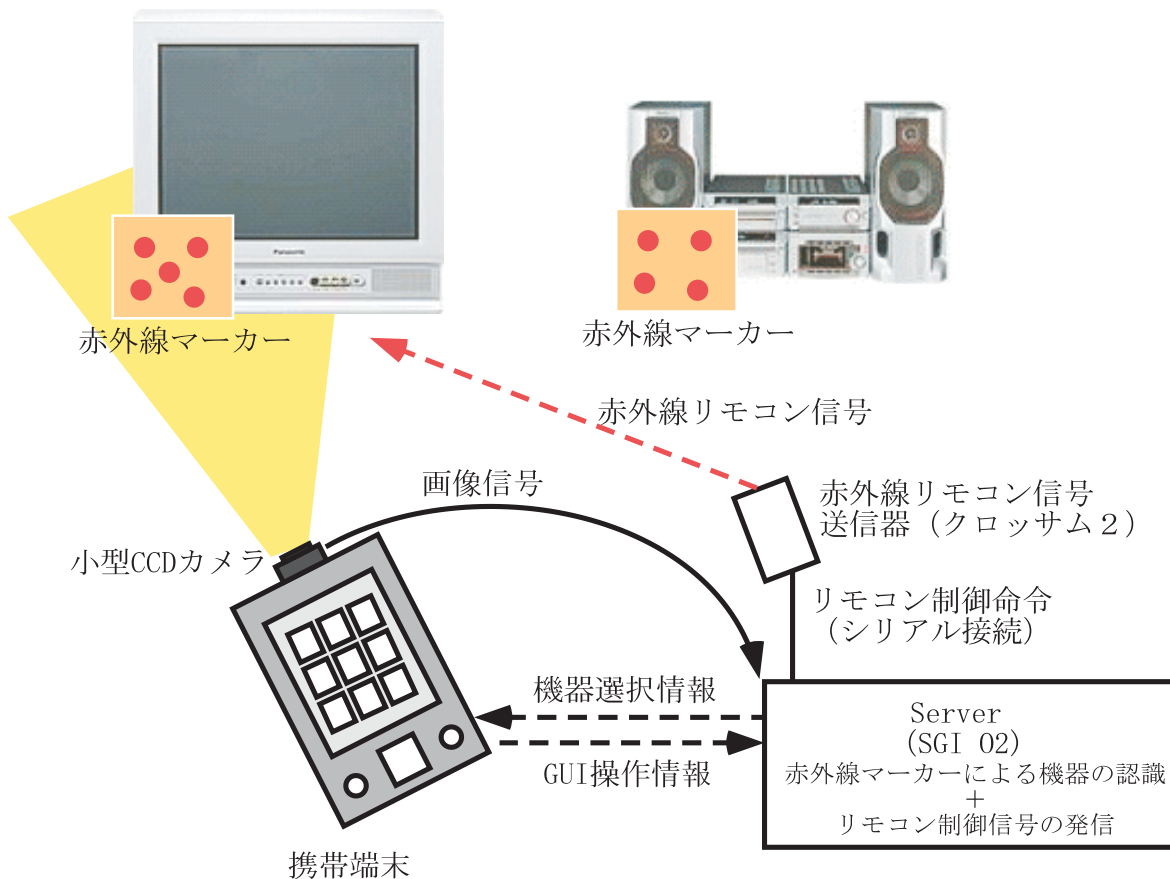


図 5.6 システム構成

示すようなLEDの個数の異なる赤外線マーカーを取り付けている。携帯端末には赤外線フィルタ付の小型 CCD カメラが付いており、機器に取り付けられた赤外線マーカーの画像を LAN 経由で PC へ送る。PC は SGI の O2 を利用し、画像処理による機器の認識と機器をコントロールするための赤外線制御信号の生成を行う。PC 画像処理による機器認識が行われると、無線 LAN で携帯端末へ機器認識結果が送られる。携帯端末は、NEC の PocketGear-MC/PG5000 を利用しており、Java プログラムが PC からの機器認識結果を受け取り、選択された機器の GUI を表示する。また、ユーザが携帯端末上の GUI で機器操作を行うと、機器操作結果が無線 LAN により PC に送られる。PC には HaruCorp. の Crossam2 がシリアル接続されており、機器に赤外線リモコン信号を送信することができる。

今後、携帯端末に標準的にカメラが取り付けられ、画像を用いた簡単なプログラムを実行できるようになれば、画像処理は携帯端末上で実行できるようになると考えられるが、現時点では実験の利便性のため画像処理は PC で行う形で実装した。また、今回は赤外線 LED の数の違いを赤外線マーカーの識別に利用しているが、現在 Sony が赤外線の点滅パターンの違いを利用した赤外線マーカーを開発しており、将来的にはこのような手法に置き換えられると考えている。

(1)赤外線マーカーによる機器の認識

赤外線マーカーには赤外線 LED が配置されており、マーカーごとに LED の数が異なっている。ユーザが携帯端末を機器のほうに向けると、端末に取り付けられた赤外線フィルタ付き小型カメラでは図 5.8(a)に示すような画像が得られる。この画像を PC で二値化、ラベリングすることによって、LED 領域を抽出する。本システムでは LED の数に応じて赤外線マーカーの識別、すなわち機器の認識を行っており、赤外線マーカーの重心がより画像中心に近いところにある機器を、ユーザが携帯端末を向けている機器としている(図 5.8(b))。また、

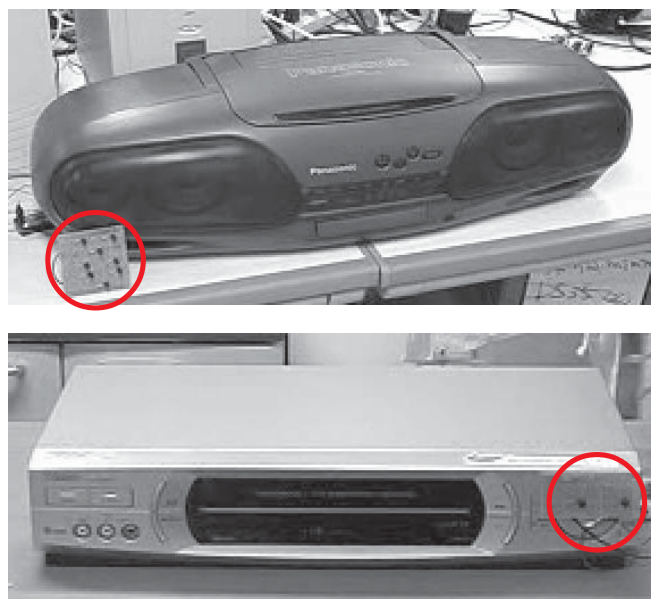
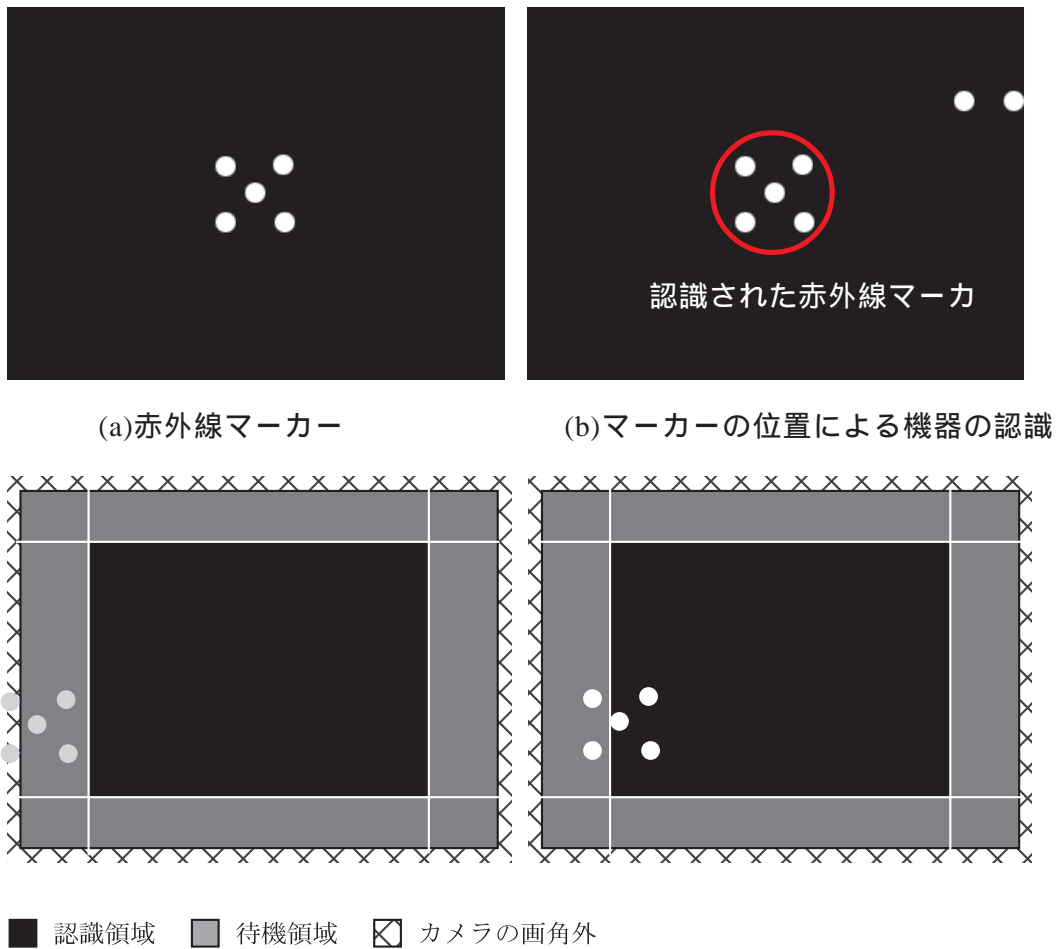


図 5.7 赤外線マーカー



(c) マーカーが画像の端で切れている場合 (d) マーカーが画像の端で切れていない場合

図5.8 赤外線マーカーによる機器の認識

図5.8(c)のように赤外線マーカーが画像の端から入ってきたとき、LEDの数が少ない機器のマーカーと誤認識しないために、画像の周囲数ピクセルを待機領域とし、LEDの重心が待機領域の内側に入ってきたとき(図5.8(d))に始めて機器の認識を始める。機器が認識されると、機器のIDが無線LANを介して携帯端末に送られる。

(2) 操作インタフェース

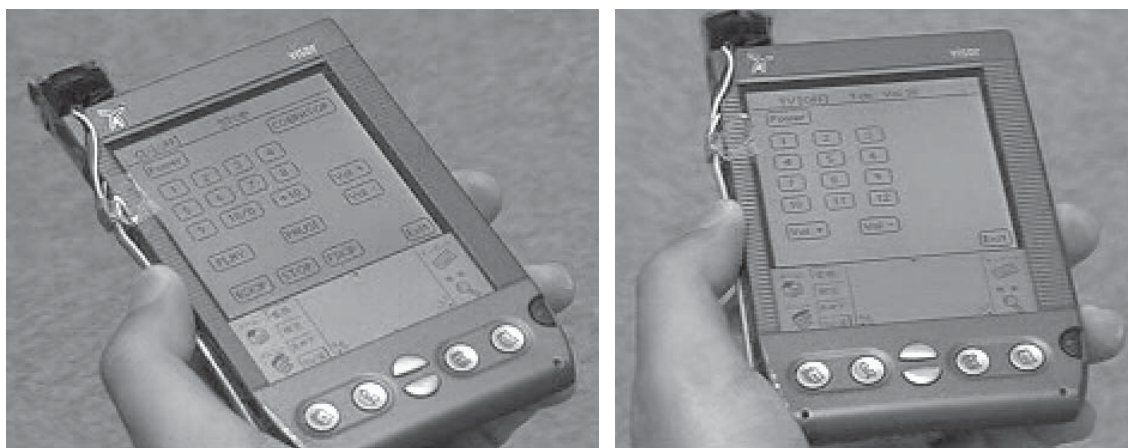
操作インタフェースはJavaプログラムにより構築している。PCから機器のIDが送られると、携帯端末上ではJavaVM(Virtual Machine)によりアプリケーションが起動し、選択された家電製品の操作画面を表示する。提示された操作インタフェースを操作する(指でアイコンに触れる)と操作された機能のIDが無線LANを介してPCに送られる。

(3) 赤外線リモコン信号による機器の制御

赤外線リモコン信号によって機器制御を行う。赤外線リモコン信号による機器制御方法は、2章で構築したシステムと同様であるが、ここでは簡単のため市販の赤外線リモコン信号出



図 5.9 機器を選択している様子



(a) オーディオコンポに向けている様子

(b) テレビに向けている様子

図 5.10 機器の選択により操作画面が切り替わる様子

カデバイスである Crossam2(図 2.2(c))を利用した。携帯端末から PC へ送られた機能 ID が、シリアル信号を介して Crossam 2 に送られ、赤外線リモコン信号に変換されて家電製品に発信される。

(4)実装

本研究では上記(1)～(3)で述べたアルゴリズムを用いてシステムを構築した。その結果、機器認識および機器操作とともに操作の負担にならない程度の速度で操作を実行することができた。実装したシステムを利用して、機器を選択している様子を図 5.9 に示す。また図 5.10 にユーザが機器を選択することにより、端末上の GUI が切り替わる様子を示す。

5.2.3 評価実験

本システムの有効性を示すために、評価実験を行った。

表 5.1 タスクの例

1. テレビの電源を入れてください。
2. CDラジカセの電源を入れてください。
3. ビデオの電源を入れてください。
4. テレビの入力を「ビデオモード」に切り替えてください。ビデオを「再生」してください。
5. 扇風機の電源を入れてください。CDラジカセの「コプラトップ（本体上部のパネル）」を開けてください。
6. ビデオを停止してください。テレビの入力を「テレビモード」に替えてください。
7. 扇風機を止めて、エアコンの電源を入れてください。
8. CDを再生してください。テレビの電源を消してください。
9. ビデオのチャンネルを「8チャンネル」に合わせてください。CDの音量を1段階上げてください。
10. エアコンの電源を切ってください。ビデオの電源を切ってください。
11. CDを停止してください。テレビの電源を入れて「4チャンネル」を選択してください。
12. CDラジカセの「コプラトップ（本体上部のパネル）」を閉じて、電源を切ってください。扇風機の電源を入れてください。
13. テレビの音量を1段階上げてください。ビデオの電源を入れてチャンネルを「4チャンネル」に合わせてください。
14. エアコンの電源を入れてください。扇風機の電源を切ってください。
15. テレビの電源を切ってください。ビデオの電源を切ってください。

(1)実験方法

男性3人，女性2人，計5人の被験者を対象とした。実験では

(TYPE1)提案システムを利用した携帯端末の向きによる機器選択操作

(TYPE2)携帯端末上に表示された機器のリストからタッチパネルで機器を選択する操作

の2種類について比較した。評価項目は、操作時間、ユーザによる主観評価の2つとした。実験タスクは目の前に配置された機器を携帯端末から操作するというもので、機器はテレビ、ビデオ、CDラジカセ、エアコン、扇風機の5種類とした。実験手順は以下の通りである。

(i)ユーザには事前に(TYPE1)(TYPE2)それぞれの操作方法を説明する

(ii) 実験は、半分の被験者には最初に(TYPE1)を、残り半分の被験者には最初に(TYPE2)のシステムを利用して行ってもらう。また実験開始とともに、目の前の画面にタスクが提示され、タスクの内容を確認次第、機器選択・操作を行ってもらう。

(iii)タスクが実行されると画面上に次のタスクが提示され、全15回機器の選択と操作を行ってもらう。

(iv)次に、最初に(TYPE1)を使ってもらった被験者には(TYPE2)を、最初に(TYPE2)を使ってもらった被験者には(TYPE1)と、端末を交換し、同様に(ii)(iii)の実験を行う。実験で使用したタスクの例を表5.1に示す。

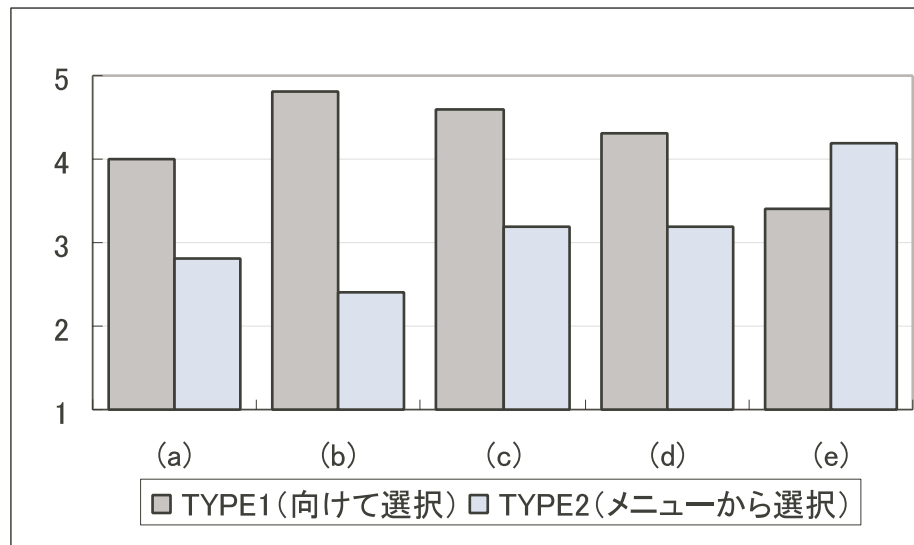


図 5.11 主観評価結果

(2)収集データ

実験では ,ユーザがタスクの実行にかかった時間を測定するとともに ,実験後以下の(a)~(b)の質問に 5 段階評価で回答してもらった .

- (a)コントローラは使いやすかったか
- (b)迅速に機器を選択できたか
- (c)誤りなく機器を選択できたか
- (d)操作は簡単であったか
- (e)コントローラに信頼性 ,安心感があったか

アンケートの 5 段階評価では ,5 が非常に肯定 ,3 がどちらでもない ,1 が非常に否定的な回答とした .

(3)実験結果

実験結果を ,操作時間に関してしてみると ,必ずしも(TYPE1)のポインティングによる選択の方が早く操作できるというわけではなかった .しかし ,主観評価に関して比較すると ,図 5.11 より ,携帯端末の向きで機器選択を行う本システムのほうが ,(a)使いやすさ ,(b)迅速さ ,(c)エラーの少なさ ,(b)簡単さなどで高い評価を得た .この結果から ,ポインティングにより機器選択を行う提案方法は ,直感的でスムーズに選択している感覚をユーザに与えることがわかった .しかし ,どこをポインティングしているのかという視覚的なフィードバックが得られないことから ,(e)の信頼性 ,安心感については改善の余地があるという結果が得られた .



図 5.12 触覚フィードバックデバイス



図 5.13 触覚フィードバックの原理

5.3 選択操作に対する触覚フィードバックデバイス

5.3.1 モーターの回転角度を利用した触覚フィードバック

5.2.7の結果から、端末の向きを入力とした入力方法では、操作対象をきちんとポイントングできているのかどうか分かりづらく、信頼性や安心感が得られにくいという結果が得られた。そこで、本節では操作対象をきちんとポイントングしているのかどうかという情報を感覚的にユーザにフィードバックする方法として、デバイス内のモーターの角度を利用した触覚フィードバックデバイスを提案する。

本節で提案する、モーターの回転角度を利用した触覚フィードバックデバイスの概観を図 5.12 に、触覚フィードバックの原理を図 5.13 に示す。このデバイスでは、デバイスの中心部に小型の DC モーターが固定されており、モーターが回転することでモーター軸に垂直に固定された軸が回転し、軸の両端を持つ指先に反力が提示される。モーターが右向きに回転すると指には右方向に反力が提示され、モーターが左向きに回転すると、指には左方向に反力が提示される。

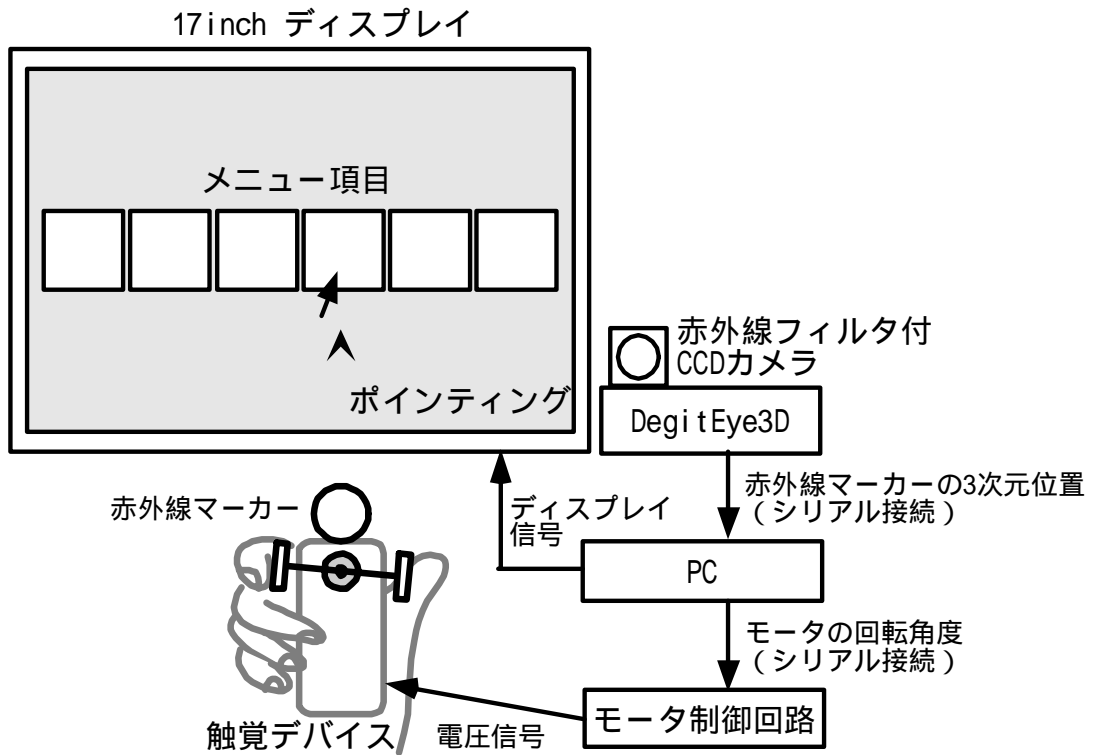


図 5.14 システム構成

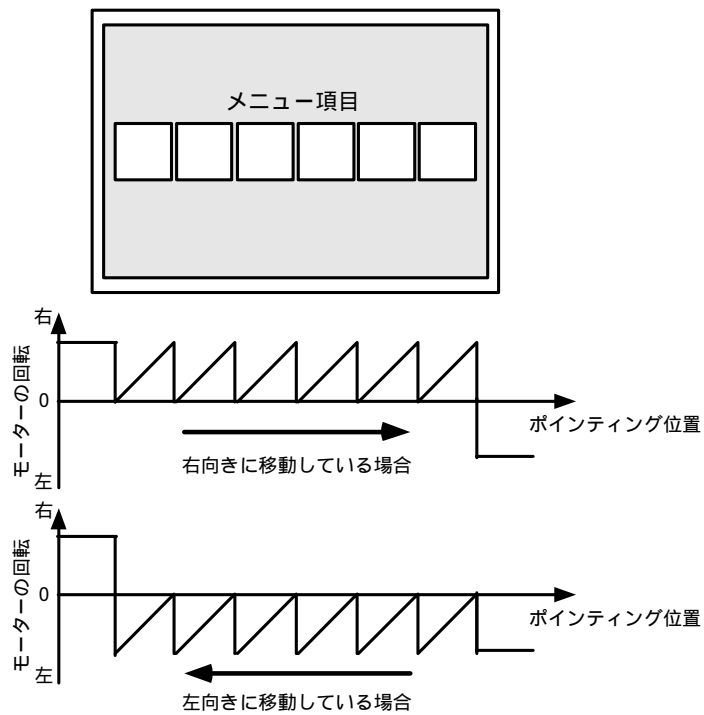


図 5.15 メニュー項目とモータ回転の対応付け

5.3.2 システム構成

試作した触覚提示デバイスのシステム構成を図 5.14 に示す。ユーザの前には 17inch の液晶ディスプレイディスプレイが設置され、ディスプレイ上にメニュー項目が表示される。また、液晶ディスプレイには、光学式 3 次元座標計測の入力センサーとなる小型 CCD カメラが設置されている。光学式 3 次元座標入力装置には、指先に装着した赤外線発光マーカの画像中の位置と、マーカの画像中の面積(マーカの遠近で投影面積が大小する)による奥行き情報からマーカの 3 次元座標を計測する関西新技術研究所製 DigitEye3D[Kanamori98] を用いた。PC には Gateway G6-333 を利用し、PC と 3 次元座標入力装置並びにモーター制御回路とはシリアル接続している。DigitEye3D で得られたマーカの位置情報に応じてモーターを制御することにより、ユーザへ触覚フィードバックを提示する。

5.3.3 メニュー項目とモーター回転の対応付け

図 5.15 にメニュー項目とモーター回転の対応付けを示す。モーターの回転による反力を触覚として利用しているため、メニュー項目と触覚の対応付けも様々な方法が考えられる。ここでは選択対象の境界領域でより強より強い触角を返すように、境界領域でモーターの回転方向が大きく変わるように設計した。具体的には、ポインティングデバイスを右へ移動するときには、対象領域にはいるとモーターが右向きに回転し指へ右向きの反力を返し、対象の右側の境界を出ようとするときに回転角度がゼロとなるよう対応付けされている。ポインティングデバイスを左へ移動するときには、図 5.15 に示すように右向きに移動するときとは逆の方向にモーターが回転する。

5.3.4 評価実験

(1) 実験目的

選択対象をポインティングにより選択する動作において、触覚デバイスによるフィードバックがある場合とない場合で、ディスプレイ上のメニュー項目に対するポインティング操

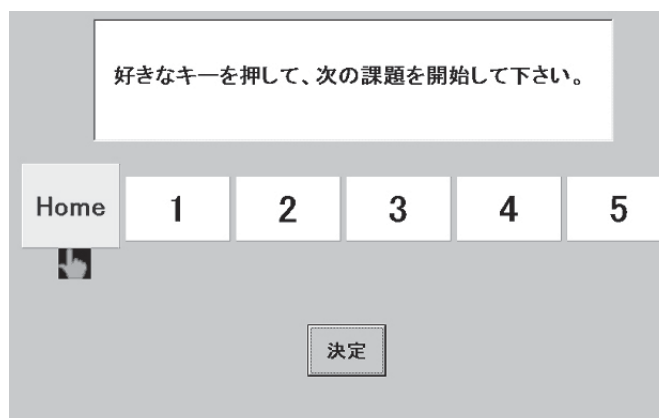


図 5.16 実験画面



図 5.17 実験の様子

作を行ってもらい、触覚の有無で選択のやりやすさにどのような影響が生じるのかを調査した。

(2) 実験手順

実験では、被験者にディスプレイ上に提示された5つの領域をランダムに選んでもらう課題を、触覚フィードバックがある場合とない場合でそれぞれ15回行ってもらい、そのときの課題達成時間を計測した。また、実験後それぞれの場合の選択しやすさについて回答してもらった(図 5.16)。実験手順を以下に示す。

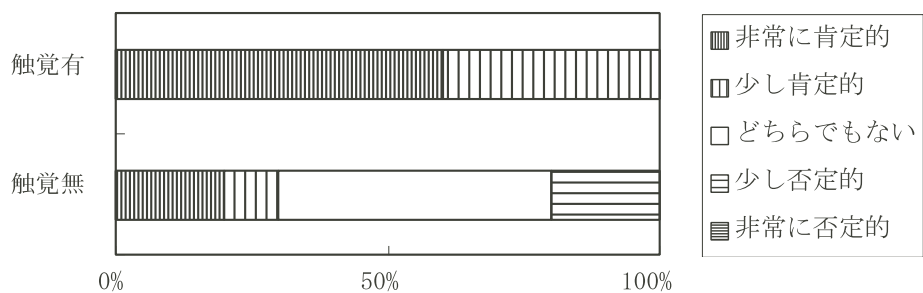
- (i) 被験者は、最初に一番左の Home 領域をポインティングする
- (ii) キーボードの任意のキーを押す
- (iii) ディスプレイの上部に課題の領域番号が提示される
- (iv) 被験者は、ポインティングデバイスを動かして、提示された番号の書いてある領域を指す
- (v) 目的の領域がポインティングできたら、キーボードの任意のキーを押す

実験は、触覚フィードバックがある場合とない場合で、それぞれ交互に行った。また、操作の慣れによる順序効果を最小にするために、被験者の半分は触覚フィードバックがある場合から課題を開始し、残りの半分は触覚フィードバックのない場合から実験を開始した。被験者は19歳から25歳までの大学生男女各5人の計10人であった。図 5.17 に実験の様子を示す。

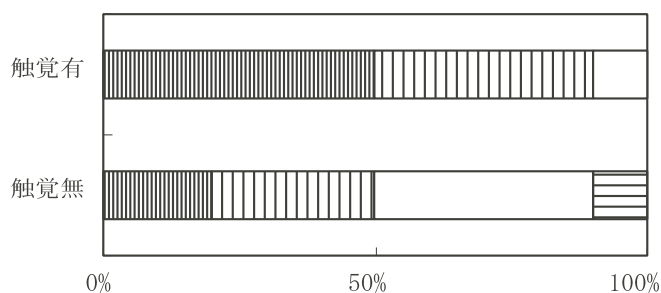
(3) 実験結果と考察

・ 操作時間

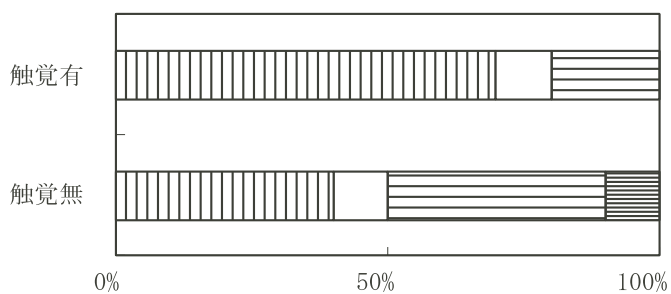
触覚フィードバックがある場合には、触覚を確認しながらゆっくり操作するユーザも多く、



(a) 操作するのが楽しい



(b) 操作が簡単である



(c) 操作が楽である

図 5.18 主観評価結果(a) ~ (c)

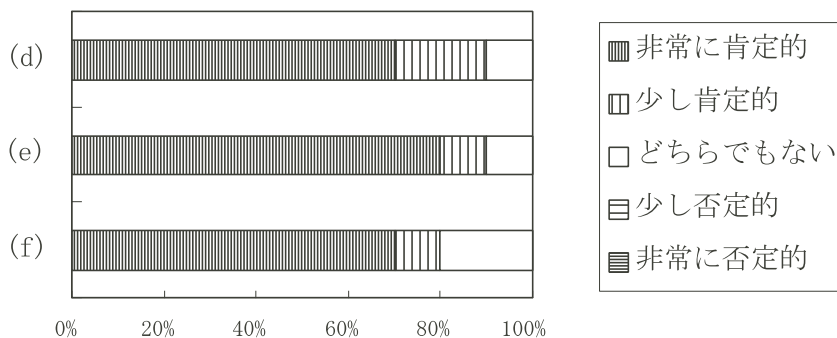


図 5.19 主観評価結果(d) ~ (f)

操作時間については、触覚フィードバックがある場合の方が早く選択できるユーザ、ない場合の方が早く選択できるユーザと被験者によって個人差があった。

・主観評価

主観評価として、実験後に以下の質問を行った。回答は、5段階評価により行った。また(a)~(c)の問いは、触覚付きのポインティングデバイスと触覚なしのもの、それぞれに対して答えてもらった。

- (a) 操作するのが楽しい。
- (b) 操作が簡単である。
- (c) 操作が楽である。
- (d) メニュー間を移動したという感覚が触覚フィードバックによって得られた
- (e) 触覚フィードバックは「メニュー項目を移動した」ことを表すのに適切であった
- (f) 触覚フィードバックはあった方が良い
- (g) 触覚フィードバックがある場合とない場合ではどちらが使いやすかったか。

(a)~(c)の問いに対する回答の結果を図 5.18 に、(d)~(f)の問いに対する回答の結果を図 5.19 に示す。主観評価の結果、(a)~(c)の全ての質問において触覚フィードバックがある場合の方が肯定的な回答が得られた。特に、(a)の操作するのが楽しいか、(b)の操作が簡単であるかという問いに対しては、ほとんどの被験者が触覚がある場合、楽しく、簡単であると答えている。また(d)~(f)の問いでも、すべての問いにおいて70%以上の被験者が肯定的な回答を行っている。(g)については、「フォースフィードバックがある場合の方が使いやすい」と回答した被験者は10人中8人で、「どちらも同じ」と回答した被験者が2人であった。

以上の結果から、時間的な操作効率という点では、有効な結果は得られなかったが、被験者による主観評価では、本研究で構築したポインティング動作を補助する触覚フィードバックデバイスが有効であるという結果が得られた。

5.5 まとめ

本章では、ボタンやタッチパネルでの操作ではなく、操作対象に対してより直感的な、人間にとって自然な動作を利用した入力操作方法として、ユーザのポインティング動作を入力とした操作デバイスを提案した。また、ポインティングにより操作対象を確実に選択していることを直感的に知覚させるための触覚フィードバックを提案した。

ポインティングによる入力デバイスについては、端末に小型カメラをつけ、機器側に赤外線マーカーを付けることで、機器選択を行い、機器が選択されると携帯端末上にその機器の操作画面が表示されるというデバイスを構築した。被験者実験の結果、携帯端末を用いたポインティング動作による入力方法の有効性が示された。

次にポインティングする際に、手ぶれなどの理由で操作に対する不安感や、不信感があるという問題を解決する方法として、選択対象領域のエッジ部分で触覚フィードバックを提示することにより、選択対象と選択対象の間に刻み感の触覚感を提示する新しいデバイスを提案した。また被験者実験により、ポインティング動作において、提案する触覚フィードバックデバイスが効果的であったことを示した。

6章 反動トルクを利用した

指先装着ハプティックデバイス -GyroTouch-

5章では、ユーザの動作を利用した入出力デバイスを提案した。本章では、触覚フィードバックのない平らなタッチパネルでもボタンの触覚を提示することができるデバイスとして、小型軽量の指先装着型ハプティックインタフェース -GyroTouch- を提案する[Kimura02]。GyroTouchは、指先にコイン型モーターを装着し、この内部ローターの起動や反転から生じる反動トルクをユーザの指先に返すものである。この指先に対する操作反力のフィードバックは、タッチパネルや仮想空間中に呈示されている仮想メニューやボタンなどの操作性を大きく向上させることが期待できる。次に簡単な仮想ボタンインタフェースによる入力作業を実験タスクとして設定し、本装着型ハプティックインタフェースのユーザビリティ評価実験を行ったのでこれについて述べる。最後に、指先装着ハプティックデバイスの応用について述べる。

6.1 ウェアラブルとフィードバックデバイス

携帯情報端末(PDA等)やインターネット接続機能付携帯電話(i-Mode等)など、パーソナルな電子機器の小型軽量化と高機能化が著しく進歩しつつある。バッテリー持続時間の問題が解決されれば、これらを常時携帯するという用途に利用するだけでなく、常時装着しユーザと一体化するウェアラブルコンピュータ(Wearable Computer)として利用することが技術的に可能となる。ウェアラブルコンピュータは、コンピュータの設置場所にユーザを拘束せず、どこにおいてもコンピューティング環境にアクセスできるというノマディックコンピュータ(Nomadic Computer)[Iwayama01]の観点から開発されてきた。

このような技術展開と平行して、電子デバイスを駆使した感覚呈示装置を作り、ユーザが実世界で知覚する物理法則に従って感覚呈示を行うことで、ユーザにとって実質的な現実を体感できる技術として、仮想現実感(VR: Virtual Reality)が研究されてきた[yano98][yokokoji99][yoshikawa00]。もしVRデバイスをユーザに装着していることを意識させずに、常時ユーザに仮想空間を呈示することができれば、人間の感覚状態や記憶機能を補強する強調現実感(Augmented Reality)として、ウェアラブルコンピュータとVRは統合化されるべき相性のよい技術と言える。

VR世界構築の3条件、1)Autonomy(示要素の自律性)、2)Interaction(働きかけへの応答)、3)Presence(自然な臨場感)のもとにおいて、ウェアラブルなVR世界を構築する際に最も重要な問題となるのは、2)のInteractionを取り交わすためのフィードバックデバイスに適切なものが入手できないことである。たとえば、ユーザの手指に反力をフィードバックするハプティックインタフェースは、仮想空間中の物体操作における操作性向上に極

めて有効であり，これらの研究は活発に取り組みられている[yokokoji99][yoshikawa00][Kanekawa99][Kitamura97][Hirota99][M. Sato94]．しかしながら，現状でのハプティックインタフェースは，ロボットアーム式などいずれにおいても環境側に大きな駆動機器の設置を要するものである．ウェアラブルな装置として利用するためには自律した動作が必要であるため，これらはウェアラブル用途には適していない．

小型のハプティックインタフェースとして，指先に小型振動子を装着する CyberTouch [CyberTouch]があるが，これは反力ではなく振動をフィードバックするものであり，反力の方向性など実際の物体操作を模倣したものとは異なった感触をユーザに与える．また，指先にリンク機構を配し，ワイヤーにより外部の制御装置から動力を伝える CyberGrasp [CyberGrasp]は，反力を返すことが可能ではあるが，大きな制御機構とワイヤーの引き回しが必要であり，ウェアラブルな利用に適しているとは言えない．

そこで，指先に小型のコイン型モーターを装着し，その内部ローターの起動や反転によって生じる反動トルクを仮想空間の操作反力としてユーザの指先にフィードバックするデバイス -GyroTouch- を考案した．これは小型軽量であり，ウェアラブルな VR 世界の構築に適したハプティックインタフェースである．

GyroTouchのユーザビリティを評価するため，指先と仮想物体間との干渉をリアルタイムに観測し，操作反力を制御するシステムが不可欠となる．そこで，3次元位置検出カメラを光学シースルー HMD に搭載したウェアラブル VR システムを構築した．

ウェアラブルな VR 環境において，まだ標準機器と見なされているハプティックインタフェースは存在しないため，仮想空間とのインタラクションの操作性に関する検討も不十分である．そこで，指先への操作反力のフィードバックを，特に仮想空間中に呈示されている入力インタフェースのボタン型仮想オブジェクトとの操作に関与させ，操作性が向上するかどうかを検証した．これについては 6.4 に詳述する．

なお，本システムでは，ウェアラブルな VR 環境を構築するにあたり，1) 実世界の呈示品質を劣化させたくないため光学シースルー方式を採用する，2) 強い騒音の中での行われる工業作業等も想定し音響フィードバックは行わない，そして 3) ウェアラブル独立装置として環境側に設置されているデバイスからの支援はいっさいない，という条件で問題設定している．

6.2 GyroTouch デバイス

今回指先に装着し，ローターの反動を応力として利用するモーターの外観を図 6.1 に示す．モーターは直径約 26mm，厚さ約 4mm のコイン型を有し，図 6.2 の写真に示すような人差し指先端の側部にベリクロバンドで装着する．本システムではウェアラブルに適した簡易な機器構成を目指すため，回転数の連続制御は行わず，停止 / 回転 / 逆回転のオンオン制御で実装している．この場合，ある方向へ回転が起動する際，あるいは回転しているものを逆転する際に，起動・反動トルクが生じ，人差し指を回転させるように働く．しかし，指がモーター

の直径に対して十分長いため、回転トルクとしてではなく指先を上下させるような応力として知覚される。例えば、図 6.3 のように人差し指の右側面に装着したケースでは、モーター内のローター回転を時計方向から反時計方向に逆転させるときに、指先を持ち上げるような反動トルクが働き、これが物体に接触した際の反力として知覚される。

この反力は、ローター回転の慣性力を利用したものであるため、機械リンク式のようなハプティックインタフェースと異なり、静的に反力を与え続けることができない。しかし、仮想物体の表面に接触した際の接触感や、空間中にある仮想的な膜や領域の結界の存在感等、動的な仮想物体との相互作用の結果をユーザに呈示することは可能である。

従来、ウェアラブルVR環境においてハプティックインタフェースを利用することは稀であり、仮想物体に対する接触感の呈示は有効な活用法となると考える。例えば、複合現実感システムとして、実空間がシースルーで見えている際に、重畳された仮想のユーザインタフェースオブジェクトを操作する状況に適している。多くのウェアラブルVRシステムでは、ユーザが仮想メニューを選択しようとメニューの存在領域内に手を差し伸べても反力フィー



図 6.1 コイン型モーター



図 6.2 コイン型モーターを装着した様子

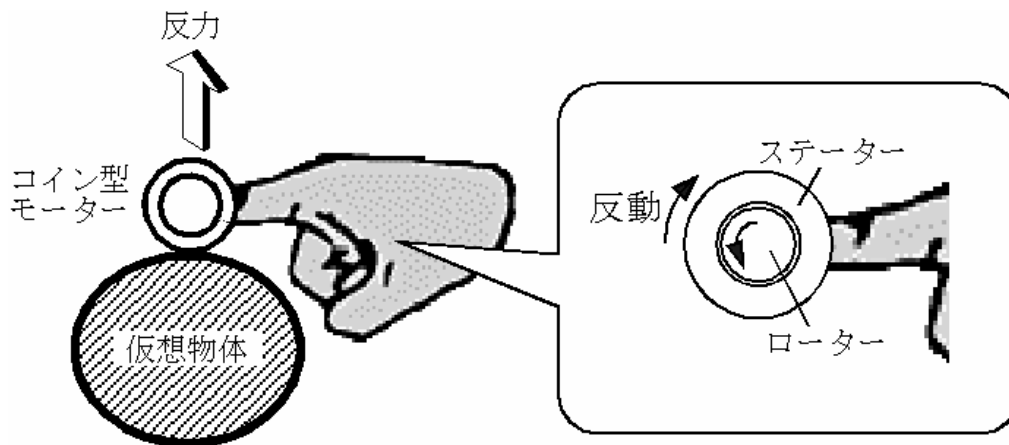


図6.3 回転反動から指先が反力を受ける様子

ドバックはなされない。このため、メニューを選択したという体感を得ることはできず、他のモードからのフィードバックとして、仮想オブジェクトのハイライト表示や色変化あるいはビーブ音により代替されるのみである。本章で提案する GyroTouch のウェアラブル VR に対する適用として、実装部を次節で、インタフェース部とユーザビリティ評価実験について 6.4 で詳述する。

6.3 ウェアラブル VR システム

6.3.1 システム構成

試作したウェアラブル VR のシステム構成を図 6.4 に示し、頭部に装着する機器の外観を図 6.5 に示す。VGA 分解能の光学シースルー HMD (ソニー製 PC Glasstron) をノート PC に接続し、仮想オブジェクトを光学重畳する。ユーザには HMD とともに、光学式 3 次元座標計測の入力センサとなる小型 CCD カメラが設置されているヘルメットを装着する。光学式 3 次元座標入力装置には、指先に装着した赤外線発光マーカーの画像中の位置と、マーカーの画像中の面積 (マーカーの遠近で投影面積が大小する) による奥行き情報からマーカーの 3 次元座標を計測する関西新技術研究所製 DigitEye3D [Kanamori98] を用いた。小型コインモーター (松下製 KFM-26NMIC 26NMIC) は、直径 26mm、厚さ 4mm で、使用時指にかかるトルク量は 3.3mNm である。

ノート PC は、今回は Pentium III 500MHz の ThinkPad1157 を Windows 98 環境で利用した。PC と 3 次元座標入力装置並びにモーター制御駆動回路とはシリアル接続している。

HMD を除いた機器一式を市販の背負いバッグに入れ、そのまま背負うことでウェアラブル VR システムとなる。いずれの機器も大電力を消費するものではなくバッテリー駆動が可能であるが、実験の利便性のために、商用電源を主とし、AC コードを引き回すような形態の実装を行った。

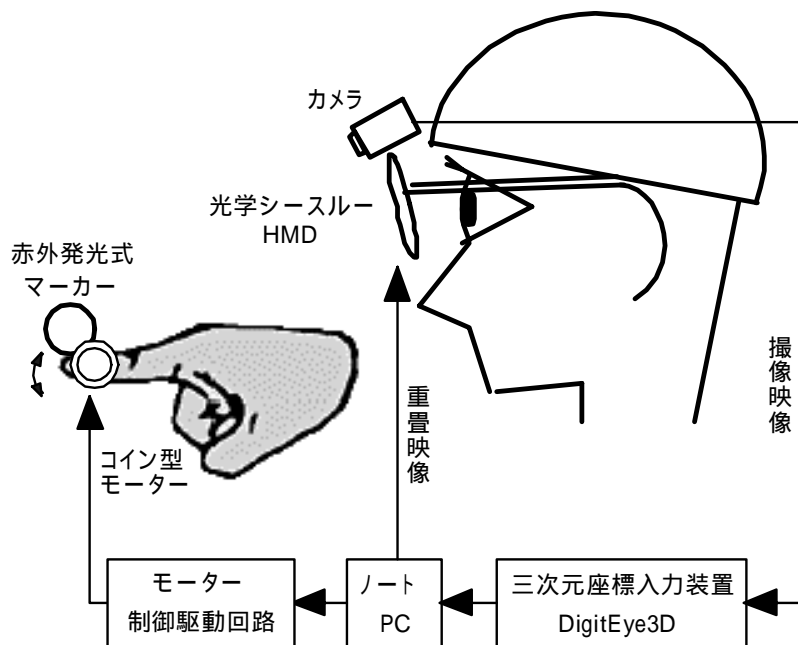


図 6.4 システム構成



図 6.5 頭部装着部 (HMD と 3 次元座標入力装置)

6.3.2 キャリブレーション

本手法では光学シースルーHMDを利用し,ユーザはシースルーの自分の指先とHMDにより重畳された仮想物体の両方を見ながら作業する.このため実空間とHMDの座標系との間でキャリブレーションが必要である.本システムでは,指先位置は頭部に装着している3次元位置検出カメラで計測するので,指先の3次元位置はこのカメラに固定した座標系で求める.キャリブレーションは,3次元位置検出カメラとHMDを装着した状態で,以下の手順により行う.

- (1) HMD上に表示された9つの点各々に対し,順次,HMDを通して見える指先が重なるように,指先の奥行きを変えながら各点につき5回(計45回),指先の3次元座標と,HMD

上に表示された点の2次元座標データを取り込む(図6.6)。

- (2)奥行きを変えつつ得られた5個の3次元座標は一本の視直線をなし,9本の視直線の交点としてカメラ座標系の原点が求まる。次にマーカー中心座標から視線方向が求まる。任意の座標系に対する画像上の点の対応関係は,カメラパラメータを用いて(式6.1)のように表現することができる[Inokuchi90]。

$$h \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (式 6.1)$$

カメラパラメータはそれを整数倍しても効果は同じであるため c_{34} を 1 とし, また(式 1) から得られる3つの方程式から h を消去することで(式6.2)が得られる。

$$\begin{aligned} c_{11}X + c_{12}Y + c_{13}Z + c_{14} - c_{31}Xx - c_{32}Yx - c_{33}Zx &= x \\ c_{21}X + c_{22}Y + c_{23}Z + c_{24} - c_{31}Xx - c_{32}Yx - c_{33}Zx &= y \end{aligned} \quad (式 6.2)$$

この方程式の未知数が11個であるので, (x, y) (X, Y, Z) の対応付けが6点以上について得られれば,(式6.3)のような方程式を解くことによりカメラパラメータ $c_{11} \sim c_{33}$ を求めることができる。ここでは, 精度向上のため45個のデータを対応付けとして利用した。

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -Y_1x_1 & -Z_1x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -X_1y_1 & -Y_1y_1 & -Z_1y_1 \\ \vdots & & & & \vdots & & & & \vdots & & \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -Y_nx_n & -Z_nx_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -X_ny_n & -Y_ny_n & -Z_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{12} \\ c_{13} \\ c_{14} \\ c_{21} \\ c_{22} \\ c_{23} \\ c_{24} \\ c_{31} \\ c_{32} \\ c_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} \quad (式 6.3)$$

ただし,(式1)において h は媒介変数, (X, Y, Z) はカメラ座標上の指先位置, (x, y) はHMD上の2次元位置, $c_{11} \sim c_{34}$ は中心投影カメラパラメータ,(式3)において $n=45$, (X_n, Y_n, Z_n) は(1)で取り込んだ45個のカメラ座標上の指先位置, (x_n, y_n) はそれらに対応するHMD上での2次元位置である。

- (3)(式2)を, $Au=v$ とおくと, $u=(ATA)^{-1}ATv$ の計算(最小二乗法)でカメラパラメータを求めることができる。ここまでの, 事前に行う処理である。
- (4)本システム操作時には(式1)を用い指先位置を仮想空間(HMD)座標に変換し, ユーザインタフェースオブジェクトとの干渉を計算する。

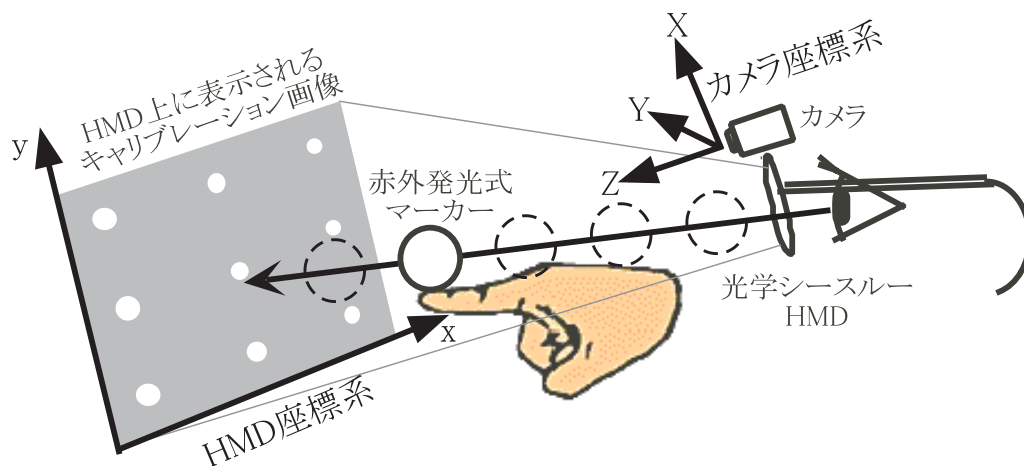


図 6.6 座標キャリブレーション

表 6.1 仮想ボタンとモーター回転の対応付け

	FB0	FB1	FB2	FB3	FB4
ボタンを押す手前 ($z < z_{TH}$)	なし	なし	なし	上向回転	下向回転
ボタンを押し込む ($z \geq z_{TH}$)	なし	下向回転	上向回転	下向回転	上向回転
反動トルク	なし	下向	上向	下向	上向
反力持続時間	なし	短い	短い	長い	長い

z : 視点からユーザの人差し指までの距離

z_{TH} : 視点から仮想ボタンまでの距離

6.4 仮想ボタン選択のユーザビリティ評価

6.4.1 実験目的

HMD上に表示された仮想ボタンを操作するためのアプリケーションを用いてユーザテストを行い、GyroTouchの評価実験を行った。一対比較法を用いて、ボタンを押したことをボタンの色変化のみによってフィードバックする（反力によるフィードバックがない）場合、およびGyroTouchによりさまざまな触覚フィードバックを提供する場合をそれぞれ比較することにより、トルクによるフィードバックの有効性およびトルクによるフィードバックの種類に対する人の知覚の違いや特性を調査した。実験では、仮想ボタン操作に関する4つの評価項目（Q1～Q4）について、GyroTouchのモーター回転との対応付けを変えながら評価した。

Q1: ボタンの存在感の大きさ

Q2: ボタンを押したという感覚の強さ

Q3: ボタンを押せたかどうかの信頼感

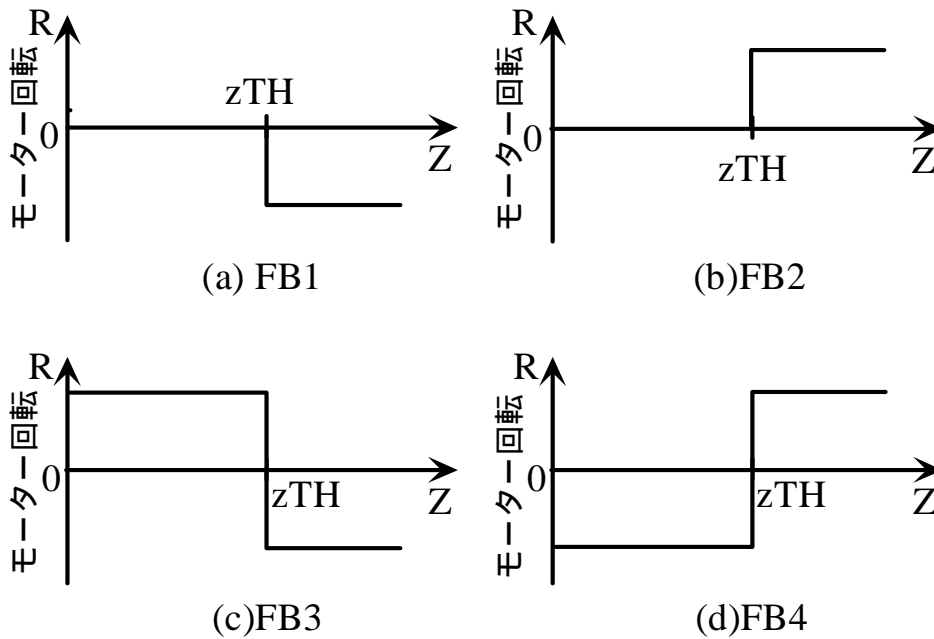


図 6.7 ボタン押下とモーター回転制御

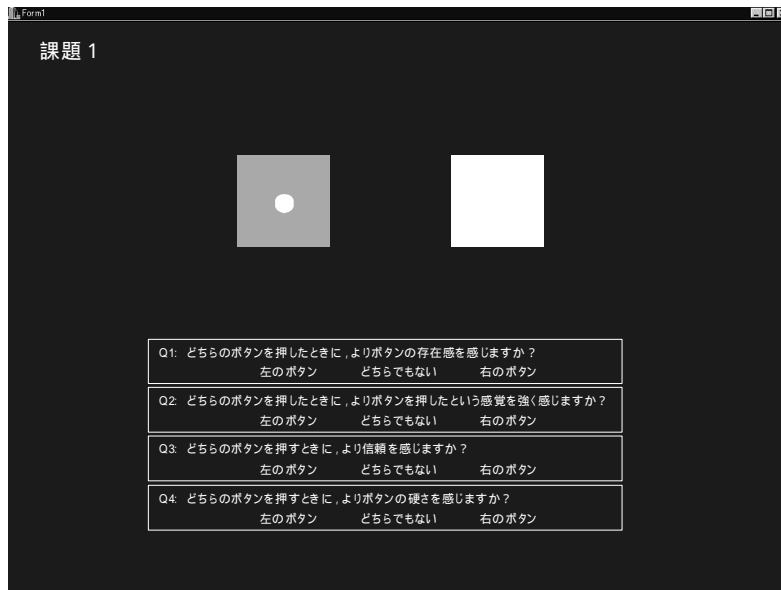


図 6.8 実験画面

Q4: ボタンを押したときの硬さ

6.4.2 仮想ボタン操作とモーター回転の対応付け

GyroTouchでは、ある操作に対するモーター回転の"向き"と"有無"を組み合わせた計4種類のフィードバックを、表 6.1 に示すような仮想ボタン操作とモーター回転と対応付けることができる。各フィードバックについて視点から人差し指までの距離とモーター回転制御の関係を図 6. 7 に示す。

6.4.3 手順

図 6.8 に評価実験で用いた呈示画面を示す。実験では、ボタンを押した際のボタンの色変化によるビジュアルフィードバックも呈示する。ビジュアルフィードバックについては、実験中ディスプレイ上の仮想ボタンは、

(視点から人差し指までの距離) (視点から仮想ボタンまでの距離: z_{TH})

となったときに色を変化させる。

トルクによるフィードバックがなく仮想ボタンの色変化のみ呈示する仮想ボタン (FB0) と FB1 ~ FB4 のトルクフィードバックがある仮想ボタンの計 5 種類を二つずつ対にしてユーザに呈示した後、自由に操作してもらい、どちらの仮想ボタンの操作が Q1 ~ Q4 の評価項目によく当てはまるか回答してもらった。また実験後、二つの仮想ボタン操作感の違いについて自由回答してもらった。

6.4.4 結果

22 ~ 32 歳、8 名の被験者に対して行った各評価項目の実験結果を一对比較法により解析し

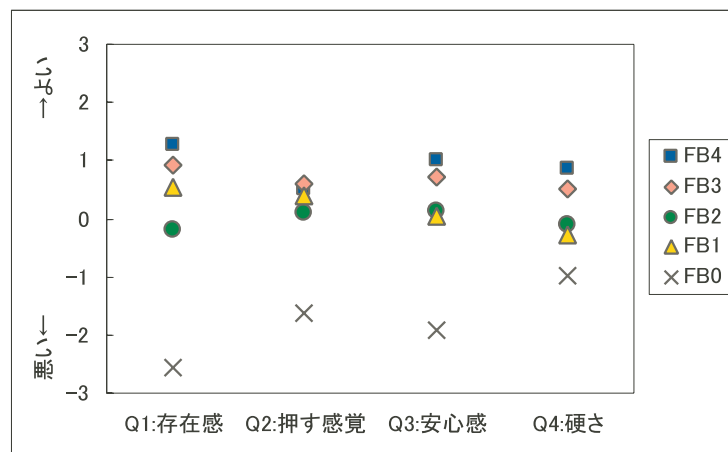


図 6.9 一对比較法による評価結果

表 6.2 自由回答の結果

トルクが切り替わるときに得られる指への感覚が、実際にボタンを押すときの感覚と似ている	2人
特に目をつぶったときに、仮想物体の存在を感じる	2人
ボタンから指を離す場合についての検討も重要である	2人
上向きのトルクを返す場合 (FB2, FB4) には、ボタンの接触面の抵抗を感じ、下向きの反力を返す場合 (FB1, FB3) には、ボタンを軽く押せるように感じる	2人
モーターによるフィードバックがあるとわかりやすかった	1人
コマの向きが切り替わる場合に最もボタンの硬さを感じる	1人

た結果を図 6.9 に、ユーザからの自由回答の結果を表 6.2 に示す。

実験結果より、トルクによるフィードバックがある場合の方が、トルクによるフィードバックがない場合よりも、すべての項目について著しくよい評価結果が得られており、特にトルクによるフィードバックは「存在感(Q1)」を強く感じさせていることが分かる。次に、4種類のフィードバックを比較すると、ボタンの接触面の前にあらかじめモーターを回転させておき、それを急逆転させる場合(FB3, FB4)に、より存在感・信頼感・ボタンの硬さを強く感じていることが分かる。被験者からの自由回答でも、「トルクが切り替わる時に得られる指への感覚が、実際にボタンを押すときの感覚と似ている」「特に目をつぶったときには、仮想物体の存在とそのボリューム感がこの反力によってしっかり体感できる」「コマの向きが切り替わる場合に最もボタンの硬さを感じる」など、仮想ボタンの存在感を感じたという意見が得られている。またボタンを押し込むときのフィードバックとして上向きのトルクを返す場合(FB2, FB4)には、ボタンの接触面の抵抗を感じ、下向きの反力を返す場合(FB1, FB3)には、ボタンを軽く押せるように感じるという意見が得られた。図 6.9 からFB2, FB4のフィードバックを用いる場合の方がボタンを硬く感じていること、反力持続時間が長い場合により硬く感じる事が分かる。

6.4.5 考察

6.4.4の実験結果から、GyroTouchを用いることで仮想ボタン操作の"存在感", "信頼感", "ボタンを押す感覚", "ボタンの硬さ"のいずれの感覚も良好に与えることができることが分かった。接触面の前後でモーターがオフの状態からオンにするよりも、接触面の前にあらかじめモーターを回転させておき、接触面で逆転させる方がトルクを与える時間が長くなり、存在感や信頼感、ボタンの硬さなどを強く感じる事が分かった。ボタンを押し込む際に与えるトルクの向きにより、上向きの場合はボタン面に触れる触覚やボタンの硬さ、逆に下向きの場合はボタンの押し込みやすさや軽さを感じる。指にかかるトルクの大きさが大きいほどこの感覚が大きいことを確認した。ただし実験では、トルクの向きの違いを感じるユーザと感じないユーザに分かれた。トルク変化が大きい場合(FB1とFB2を比較)8人中4人の被験者が、トルク変化が小さい場合(FB1とFB2を比較)6人の被験者がトルクの向きの違いは気づきにくいと答えた。

また本実験では主にボタンを押す感覚について調査したが、ユーザの自由回答では「ボタンから指を離す場合についての検討も重要である」という指摘があった。

6.5 本システムの応用

GyroTouchには以下のような特徴がある。

- ・指に瞬間的な反力を加えることができる
- ・小型軽量であり、携帯・装着が容易である

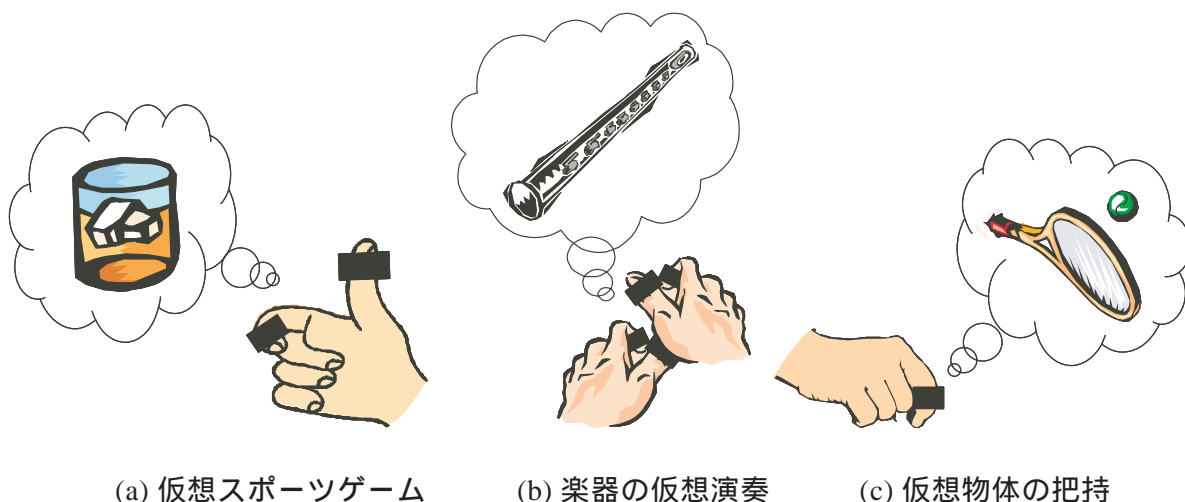


図 6.10 GyroTouch の応用例

- ・コインモーターに流す電流の向き ,すなわち反力フィードバックを簡単な電流アンプで実装できる

環境側に機器を必要とせず小型かつ自立的に反力フィードバックを指先に施せる点が GyroTouch の最大の特長であり ,反力フィードバックがウェアラブルな環境で必要となるケースが最も有効な応用先と考えられる .仮想リモコンとして利用する以外でも ,例えば以下のような動作及びアプリケーション例が GyroTouch に適していると想定することができる .

(a) 仮想物体の打撃操作 (図 6.10(a))

仮想のテニスやピンポンゲームなどにおいて ,飛んできた仮想物体をはね返す際に反力フィードバックを与える .トルクのオンオフにより ,球を受けたときの衝撃を ,またコインモーターに流す電流量を変化させることで球速感も指に呈示することが期待できる .

(b) 仮想物体の押し下げ操作 (図 6.10(b))

簡単な電子楽器の演奏における反力フィードバックとして利用することが考えられる .すべての指にコインモーターを装着し ,ユーザが仮想のボタンやキーを押し下げたときに ,その指を押し返す方向にトルクを返すことで ,簡単な電子楽器のボタンやキーを押す感覚を指に呈示することができる .

(c) 仮想物体の把持操作 (図 6.10(c))

GyroTouch を親指と人差し指の2本の指に装着することにより ,仮想物体を把持する瞬間の物体表面への接触感を呈示する反力フィードバックとして利用することが考えられる .ただし ,GyroTouch は ,物体を持つ瞬間の触覚感を呈示することはできるが ,物体を持ち続けているというような静的な把持感覚を呈示することはできない .

6.6 まとめ

本章では、触覚フィードバックのない平らなタッチパネルでもボタンの触覚を提示することができるウェアラブルなハプティックデバイスとして開発したGyroTouchについて述べた。指先に小型のコイン型モーターを装着し、従来にはみられなかった指先への反力フィードバックを実現した。GyroTouchはモーターの反動トルクを利用したものであるため、ロボットアーム式のように静的な反力を与え続けることは難しいが、仮想物体の表面に接触した際の接触感をユーザに呈示することができた。

また、GyroTouchの有効性を示すために、ウェアラブルVRシステムを構築し、光学シースルーにおける仮想メニューの選択性を評価した。GyroTouchの利用により、仮想ボタン操作のパフォーマンス指数が大きく向上しており、有効性が確認できた。しかしこの定量的な結果よりも、「特に目をつぶったときには、仮想物体の存在とそのボリューム感がこの反力によってしっかり体感できる」というユーザのインタビュー結果こそ、体感デバイスとしての評価として有効と考える。

現在モータードライバの簡略化のため回転のオンオフ制御しか行っておらず、反力の強さを2レベルでしか与えていないが、回転数制御とモーターの起動特性を把握することができれば、反力のレベル制御も可能と考えられる。

7章 結論

家電機器など身の回りにある機器にユビキタスコンピューティングの概念が組み込まれ、それらをいつでもどこからでも操作できるようになるのは、遠い未来の話ではなく、近い将来のことである。しかし、ネット家電や情報家電など機器のユビキタス化に関する研究分野では、プロトコルや通信方式に関する研究・標準化が進められている段階であり、ユーザインタフェースの研究はまだ遅れている。本論文は、このような環境下での機器操作ユーザインタフェースについて検討すると共に、携帯端末を利用した機器操作ユーザインタフェースを提案するものである。

操作インタフェースとして携帯端末を利用する利点としては、以下のような点があげられる。

- 1) 小型でどこにでも持ち運ぶことができる
- 2) 機器操作以外の用途(電子手帳や計算機、メールなど)に利用できることでコントローラを持ち運ぶ必要が無く邪魔になりにくい
- 3) 複数の機器を1台の端末から操作できる
- 4) アダプタなどを追加することで無線LANやPPPによるインターネット接続が可能なので、離れたところにある機器を操作したり、機器操作のためのユーザインタフェースをネットワーク越しにダウンロードすることができる
- 5) 多くの端末でWebやJAVAなどプラットフォームに依存しないソフトウェアをサポートしており共通の言語でユーザインタフェースを記述できる
- 6) 視覚障害者は音声出力を主とした端末を利用するなど、ユーザが自分に合ったハードウェアを選択することができる
- 7) ユーザインタフェースソフトを自分専用のカスタマイズすることができる

論文中2章では、これらの特徴を生かした機器操作ユーザインタフェースの試作システムについて述べた。ここでは任意のネットワークに接続可能な端末から任意の場所にある複数の機器を操作することができ、機器操作アプリケーションが携帯端末の機種などに依存せず、ネットワーク上からダウンロードすることができるシステムを構築した。試作システムでは、機器の制御を現在一般に利用されている赤外線リモコン信号により行った。これは、筆者が試作システムを構築した時点で、まだ家電メーカーがインターネットを介して直接通信できる機器の開発を始めただけであったということに加え、家電機器の寿命は10年から30年と言われるほど長く、家庭の中で現在利用されている機器とネット家電とは併用されると考えられるので、現状の家電機器をできるだけ配線の引き回しの少ない形で制御できるように設計したためである。各機器操作GUIデータベースをサーバーコンピュータ上に保管し、ネット端末からWebブラウザを介してアクセスすることで、任意の端末から任意

の機器にアクセスすることを可能とした。Webブラウザを介していることから、ネット端末を利用する場所や機器の設置場所に縛りがなく、また機器の操作 = Webページの探索となることから、1台の端末から複数の機器を操作することが複数のWebページにアクセスすることで実現できる。またパン・チルト・ズーム機能をもつカメラを機器と同じ部屋に設置し、カメラからの画像を端末上に提示することで、遠隔地にある機器の動作確認を行うこともできる。実験では、テレビ、ビデオ、コンポ、エアコン、照明を、機器と同じ部屋からと離れた部屋からそれぞれ制御し、共に1,2秒の遅れはあるものの、違和感なく機器を制御できることを確認した。

2章以降ではネット端末を利用した機器操作システムのユーザインタフェースについて、ソフトウェア部分としてメニューインタフェース、ハードウェア部分として入力デバイスという2つの側面から検討した。

本研究の提案する携帯端末を利用したシステムでは、ユーザが自分にあったハードウェアを選択することが望ましいと考えている。例えば、視力の弱い高齢者であれば画面サイズが大きい端末、視覚障害を持つユーザであれば、音声による入出力を主として利用するデバイスを選択するなどが考えられる。一般に機器操作のためのユーザインタフェースではメニューインタフェースが多く利用されるが、携帯端末の画面サイズによって1画面に提示できるメニュー項目の数が変わったり、入力方法の違いによって操作しやすいメニュー階層の深さ、広がりが変わることが考えられる。そこで、ハードウェアやユーザの特性が異なる場合は、提示するメニューインタフェースのデザインについてもそれらに適応したものを提供するべきである。しかし、個々の携帯端末の仕様やユーザの特性にあったユーザインタフェースすべてを事前に用意しておくことは労力がかかりすぎる。そこで3章では、機器操作メニューインタフェースを自動的に設計するための記述言語としてMenu Interface Grammarを提案した。Menu Interface Grammarは、機器のもつ機能に関する情報のみで記述される「メニュー操作木」と、携帯端末側の情報のみで記述され、メニュー木をたどるための操作方法が記述される「操作方法定義表」から成り立っており、機器に関する情報と入力端末に関する情報が独立して記述されるところが特徴である。そのため、サーバー側に各機器の「メニュー操作木」データベースを保管しておき、携帯端末側から「操作方法定義表」および画面サイズ、ユーザの習熟度に関する情報をサーバーへ送ることで、メニューインタフェースを自動的に構築することが可能となる。本論文では、実際に自動構築の実験を行っていないので、その部分が課題として残っている。また3章では、Menu Interface Grammarを応用することで、完成したメニューインタフェースのメニュー構造や操作方法に一貫性があるかどうかを評価する手法についても提案し、実験によりその有効性を確認することができたと考えている。

次に4章では、入力方法が異なる場合について、効率的で使いやすいメニュー階層の深さ・広がり、習熟度とともにどのように変化するかを調査した。入力方法には、メニュー項目を逐次的に選択するタイプとして矢印入力デバイス、ランダムに選択するタイプとして数字入力デバイスを採用し、深さと広がり異なるメニューインタフェースの探索実験を行った。

その結果、逐次的に選択する矢印入力デバイスはメニュー項目とそのメニュー構造に習熟していないユーザがあまり幅の広すぎないメニュー構造を探索する場合に適しており、ランダムに選択する数字入力デバイスはメニュー項目とそのメニュー構造に習熟したユーザがあまり深すぎないメニュー構造を探索する場合に適していることがわかった。

次に本論文では入力操作方法について検討し、新しいタイプの入力デバイスを構築した。携帯端末を利用した入力方法という点、ボタン操作、タッチパネル、ペン入力一般的なものである。しかし、ネット家電や情報家電を操作する場合、機器の選択という段階が入るためメニュー階層が深くなり、ボタンやタッチパネルによる入力方法は非直感的で操作に時間がかかる。そこで5章では、直感的な入力方法として人間がモノを指差すポインティング動作を利用した入力方法を利用した入力デバイスを提案した。実際に目の前にある機器およびディスプレイ上に映し出されたメニュー項目の選択をタスクとし、携帯端末を対象の絶対位置の方向に向けることで対象を選択するデバイスを構築した。ポインティングによる選択とタッチパネル・ボタンによる選択を比較する実験の結果から、ポインティング動作を入力として利用の方が直感的で簡単に操作できるという結果が得られた。しかし一方で、対象領域が狭いと手ぶれによりうまく選択できなかつたり、特に機器をポインティングする場合にはポインティングしている場所を実世界上に視覚的にフィードバックする機構がなかったため、正しくポインティングできているか不安に感じたというコメントもあり、ポインティングで選択する場合はよりわかりやすくユーザに対象機器の場所や位置をフィードバックする必要があることがわかった。そこで、携帯端末が向いている位置（ポインティング位置）が操作対象の領域内にあるかどうかを、触覚を利用してユーザにフィードバックすることのできるデバイスを構築し、評価した。この結果、触覚フィードバックがあることで対象の方を向けているという安心感が増加することがわかった。

6章では、触覚フィードバックのない平らなタッチパネルでもボタンの触覚を提示することができるウェアラブルなハプティックデバイスとして開発したGyroTouchについて述べた。指先に小型のコイン型モーターを装着し、従来にはみられなかった指先への反力フィードバックを実現した。HMD上にメニュー項目を提示し、GyroTouchによってそれらに触れたという感覚がフィードバックされることにより、任意の場所に、任意のサイズ、デザインのリモコンを提示することもできると考えられる。GyroTouchはモーターの反動トルクを利用したものであるため、ロボットアーム式のように静的な反力を与え続けることは難しいが、仮想ボタンの表面に接触した際の接触感をユーザに呈示することができたと考えている。また、GyroTouchの有効性を示すために、ウェアラブルVRシステムを構築し、光学シースルーにおける仮想メニューボタンの選択性を評価した結果、仮想ボタン操作のパフォーマンスが大きく向上した。以上のことから、GyroTouchの有効性およびGyroTouchを利用したバーチャルリモコンの可能性を確認することができたと考えている。

以上の要素技術を組み合わせることにより、ユーザが自分に最適な携帯端末を選び、自宅のサーバーにアクセスすると、自分のレベルおよび携帯端末にあったメニューインタフェースが表示され、それを利用して機器を制御することができる。また目の前にある機器の操作

については携帯端末を利用して直接ポインティングすることで直感的に選択することができ、平らなタッチパネルに表示される様々な大きさの操作ボタンに触れた感覚を指先に装着した触覚フィードバックデバイスにより提示することができる。このように、一台の端末からすべての機器を統括的に操作することのできるユーザインタフェースを実現すると共に、そのユーザインタフェースは日常生活の中で各ユーザが持ち歩くことができ、ユーザ自身が自分に最適なものを選択することができ、直感的に操作することができるシステムを実現した。

本研究では、ユビキタスコンピューティング社会における、機器操作インタフェースの新しいあり方として携帯端末を利用したインタフェースを提案した。従来の機器操作のユーザインタフェースが機器側の制約に縛られていたのに対して、ユーザが自分に最適な携帯端末を選択するとその端末に最適なメニューインタフェースが自動構築されるという、よりユーザ側に即したユーザインタフェースが実現できることを示すことができたのではないかと考える。また、携帯端末の向きや触覚によるフィードバックなどを利用することで、ユーザが直感的に情報を入出力することができるユーザインタフェースを提案できたのではないかと考える。本研究がこの分野における研究の発展のきっかけとなることができれば幸いである。

謝辞

本論文は、1996年から2002年の間、筆者が大阪大学大学院基礎工学研究科システム科学分野井口研究室において行った研究をまとめたものである。その間の諸先生方のご指導と、同僚、学生諸君などのご協力に厚く感謝の意を表します。

まず井口征士教授には、筆者が学部4年時、井口研究室に配属されて以来、本研究遂行にあたり、数々の御指導を頂き、また研究者としてのあり方について貴重な御助言を頂きました。改めて、深い感謝の意を表します。また研究活動および学会活動に関しましても、活発な活動をするようにとの激励を賜り、その機会を与えて頂きました。さらに留学の機会を与えて頂きましたことは、かけがえのない貴重な体験となりました。本論文の完成に対し、終始一貫して詳細な御指導を賜りましたことを、心より御礼申し上げます。

谷内田正彦教授、西田正吾教授には、学科内だけでなく、研究プロジェクト、学会活動などにおきましても、長きにわたり多くのアドバイス、激励を頂きました。また、本論文をまとめるに当たり心温かい御指導を賜りました。ヒューマンインタフェース分野における先駆者である両教授のアドバイスは、著者にとって大変貴重なものでありました。ここに厚く御礼申し上げます。

佐藤宏介助教授には、研究テーマや研究の進め方に関する御指導を頂きました。さらに研究者としての取り組み方、教育者としてのあり方など、多くのことを御指導頂きました。本論文に対しまして直接的に非常に詳細なご指導を頂きました。厚く御礼申し上げます。

広島市立大学の加藤博一教授には、卒業研究以来、本研究を進める上で多くの御指導、御助言を頂き、またヒューマンインタフェース分野の学会で活躍する機会を与えて頂きました。さらに本論文の作成に関し、丁寧な御指導を頂きました。厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学の眞鍋佳嗣助教授には、本研究に関するご助言や激励を頂きました。深く御礼申し上げます。

井口研究室の日浦慎作助手には、日頃から研究に関する貴重なコメントを頂くとともに、研究者、教育者としての多くの貴重なアドバイスを賜りました。また、本論文に対しましても貴重なご助言を頂きました。深く御礼申し上げます。

東京大学の中澤篤志氏には、本研究に関しまして熱心に御討議頂き、また研究システムの整備など労を惜しまず御協力頂きました。深く御礼申し上げます。

森内正樹氏（JR西日本）、黒田周作氏（朝日新聞）には、本研究の共同研究者として多くのご協力を頂きました。また井口研究室ヒューマンインタフェースグループの原田久美氏、川崎健也氏、池田洋一氏にも、共同研究者として多くのご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。最後に、設備の使い方や研究への取り組み方などを教えて頂いた諸先輩方、および筆者が研究を行う上で多くのご協力、ご激励を頂きました同級生、下級生の皆様など井口研究室の皆様には大変お世話になりました。ここに深く御礼申し上げます。

参考文献

- [Abowd00] Gregory D. Abowd and Elizabeth D. Mynatt, " Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous Computing, "ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol.7, No.1, pp.29-58, March, 2000
- [Akamatsu94] 赤松幹之, " ポインティング操作におけるマルチモーダルインタフェースの効果, " 電子情報通信学会論文誌D- , J77-D- 巻8号, pp.1457-1464, 1994
- [amazon] <http://www.amazon.com>
- [Ando96] 安東孝二, " パソコンで実現できるテレビ会議システム, " インターフェース , 1, 2月合併号 , pp.119-129, 1996
- [AwareHome] Aware Home Project
<http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri/>
- [Bank96] David Bank, " Javaを飲んだかい? , " WIRED3月号, Vol.2.03, pp.52-58, 1996
<http://www.hotwired.co.jp/wiredmagazine/2.03/java.html>
- [Bolt80] Bolt, R. A., " Put-that-there, " Voice and gesture at the graphics interface, " ACM Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 262-270, 1980
- [CounterIntelli] Counter Intelligence Project
<http://www.media.mit.edu/ci/>
- [CyberGrasp] Virtual Technologies, Inc., CyberGrasp, <http://www.immersion.com/products/3d/interaction/cybergrasp.shtml>
- [CyberTouch] Virtual Technologies, Inc., CyberTouch, <http://www.immersion.com/products/3d/interaction/cybertouch.shtml>
- [Greenberg89] Saul Greenberg, Ian H. Witten, " Adaptive Personalized Interfaces - A Question of Viability, " Behaviour and Information Technology, Vol. 4, No. 1, pp. 31-35, 1984
- [Grudin89] J. Grudin, " The Case Against use Interface Consistency, " Communications of the ACM, Vol.32, No.10, pp.164-1173, 1989
- [Handbook94] " 電脳化住宅ハンドブック - 住宅のインテリジェント化のために -, " 住宅情報化推進協議会, 1994
- [Harada01] 原田久美, 木村朝子, 佐藤宏介, " ハプティックフィードバックを有する把持型ポインティングデバイス, " ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 講演論文集 , pp.21-24, 2001
- [Havi] Sony, Matsushita, Philips, Thomson, Hitachi, Toshiba, Sharp, and Grundig, " Specification of the home audio/video interoperability (havi) architecture, " <http://www.havi.org/techinfo/docs/HAVi10.pdf>
- [HiBall-3000] HiBall-3000 Wide-Area Tracker

参考文献

- http://www.creact.co.jp/jpn/j_n_3rd3.htm
- [Hirota99] 広田光一, “ 仮想空間における触力覚提示技術, ” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.1, No.4, pp.19-23, 1999
- [Hitachi01a] <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews-m/2001/0608b/index.html>
- [Hitachi01b] 日立, “ コビキタス情報化社会をデモ レーザーポインターで家電をコントロール ” <http://ascii24.com/news/i/topi/article/2001/11/23/631514-000.html>
- [Hornof98] A. J. Hornof and D. E. Kieras, “ Cognitive modeling reveals menu search is both random and systematic, ” Proc. CHI'97, pp.107-114, 1998
- [Hornof99] A. J. Hornof and D. E. Kieras, “ Cognitive modeling demonstrates how people use anticipated location knowledge of menu items, ” Proc. CHI'99, pp.410-417, 1999
- [iFeel] iFeelマウス http://www.logicool.co.jp/cf/products/mice_ifeel.html?31, 49
- [Inokuchi90] 井口征士, 佐藤宏介, “ 三次元画像計測, ” 昭晃堂, 1990
- [Ishihara95] 石原克人, 山本栄, 小谷津孝明, “ メニュー選択におけるユーザのメンタルモデルと操作特性について, ” 第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.759-764, 1995
- [Iwayama01] 岩山知三郎, “ ビル・ジョイの冒険 ネットワークをコンピュータにした人々, ” コンピュータ・エージ社, 2001
- [Jaccas] <http://www.jblend.com/press-release/PR971114.html>
- [JEITA House] 社団法人 電子情報技術産業協会(JEITA)
JEITAハウス, <http://www.eclipse-jp.com/jeita/>
- [Jhonson92] P. Jhonson, “ Human Computer Interaction -Psychology, Task Analysis and Software Engineering-, ” McGraw-Hill, 1992
- P. Johnson, 佐藤啓一, 宮井均, 須永剛司, 原田昭訳, “ ヒューマンインタフェースの設計方法, ” マグロウヒル出版, 1994
- [Jini] Sun Microsystems, Inc., “ Jini Architecture Specification Version1.1, ”
http://www.sun.com/jini/specs/jini1_1.pdf
- [Kanamori98] 金森務, 片寄晴弘, 井口征士, 戸島章雄, 西山洋, “ モーションキャプチャ「DigitEye3D」の実装, ” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.5, pp.804-809, 1998
- [Kanekawa99] 金川将成, 清川清, 竹村治雄, 横矢直和, “ 手の動作計測遅延が仮想物体の操作性に与える影響, ” バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.563-572, 1999
- [Kawasaki01] 川崎健也, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, “ ハンドヘルド型ネット家電ユーザインタフェースによる機器選択, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム2001 講演論文集, pp.37-38, 2001
- [Khotake99] Naohiko Khotake, Jun Rekimoto and Yuichiro Anzai, “ InfoStick: an interaction

-
- device for Inter-Appliance Computing, "Workshop on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99), pp.246-258, 1999
- [Kieras85] D. Kieras and P. J. Polson, "An Approach to formal analysis of user complexity," International Journal of Man-Machine Studies, 22, pp.365-394, 1985
- [Kiger84] J. I. Kiger, "The depth/breadth trade-off in the design of menu-driven user interfaces," Int. J. Man-Machine Studies, 20, pp.201-213, 1984
- [Kimura97a] Asako Kimura, Hirokazu Kato, Seiji Inokuchi, "Multimedia Communication for Family," 7th International Conference on Human-Computer Interaction, Design of Computing Systems, pp.639-642, 1997
- [Kimura97b] 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, "携帯端末からの家電製品制御とそのインタフェース," 第13回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.321-326, 1997
- [Kimura98] 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, "ユーザ特性に適応したリモコンインタフェースの検討," マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO'98)シンポジウム論文集, pp.693-700, 1998
- [Kimura00a] 木村朝子, 加藤博一, 森内正樹, 井口征士, "操作の木構造を用いたメニューインタフェース評価法の提案," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.2, No.1, pp.59-68, 2000
- [Kimura00b] Asako Kimura, Hirokazu Kato, Seiji Inokuchi, "USABILITY EVALUATION METHOD FOR MENU BASED MANUAL CONTROLLER," Proceedings of the 2000 Japan-USA Flexible Automation CD-ROM, 2000
- [Kimura01] 木村朝子, 黒田周作, 加藤博一, 井口征士, "入力デバイスが木構造型メニュー探索に与える影響," システム制御情報学会論文誌, Vol.12, No.9, pp.430-438, 2001
- [Kimura02] 木村朝子, 佐藤宏介, "-GyroTouch- 反動トルクによるウェアラブルVR用指先装着ハプティックデバイス," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.4, No.1, pp.33-39, 2002
- [Kitamura97] 北村喜文, 野間春生, 宮里勉, 岸野文郎, "視覚と力覚のフィードバックを利用した仮想物体操作補助," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.1, pp.256-266, 1997
- [Komatsubara89] 小松原明哲, "木構造型メニュー選択システムにおける"深さと広がり"と使いやすさの解析," 人間工学会論文誌, Vol.25, No.5, pp.261-270, 1989
- [Kondo92] 近藤嘉雪, "アルゴリズムとデータ構造," ソフトバンク, 1992
- [Landauer85] T. K. Landauer and D. W. Nachbar, "Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: breadth, depth and width," Proc. CHI85, pp.73-78, 1985

参考文献

- [M.Sato94] 佐藤誠, 猿渡基裕, 石井雅博, 平田幸広, 河原田弘, “ 仮想作業空間における力覚提示の有効性, ” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-DII, No.8, pp.1656-1662, 1994
- [Mahajan97] R. Mahajan and B. Shneiderman, “ Visual and Textual Consistency Checking Tools for Graphical User Interfaces, ” IEEE Tran. on Software Engineering, Vol.23, No.11, pp.722-735, 1997
- [Masui99] 増井, 岡崎, 浅野, 外村, “ メニュー表示に制限がある通信機器のメニュー方式, ” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-A, No.10, pp.1633-1643, 1999
- [Mizuno95] 水野忠則, 田窪昭夫, “ モバイルコンピューティング, ” 情報処理学会論文誌, vol.36, no.9, pp.822-826, 1995
- [Moran81] T. P. Moran, “ The Command Language Grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems, ” Int. J. Man-Machine Studies, Vol.15, pp.3-50, 1981
- [Moriya91] 守屋慎次, 中谷吉久, “ コマンド操作の一貫性と区分情報, ” 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.11, pp.1432-1444, 1991
- [Myers02] Brad A. Myers, Rishi Bhatnagar, Jeffrey Nichols, Choon Hong Peck, Dave Kong, Robert Miller, and A. Chris Long, “ Interacting at a Distance: Measuring the Performance of Laser Pointers and Other Devices, ” CHI2002 Volume No.4, Issue No. 1, pp.33-40, 2002
- [Naka02] 中基孫, 小林昌市, 曾根裕文, 西川宏, 浅部勉, “ eHII(e - ホーム・インフォメーション・インフラストラクチャ) - ネット家電の進化が実現する新たなくらし提案 - , ” Matsushita Technical Journal, Vol.48 No.1, pp.2, February 2002.
- [Naka02] <http://www.matsushita.co.jp/mtj/v4801/index.html>
- [Nasa96] “ User-interface guidelines, ” NASA Goddard Space Flight Center, Jan., 1996
http://groucho.gsfc.nasa.gov/Code_520/Code_522/Documents/UG_96/newfrontmatter.html
- [NHK] <http://www.nhk.or.jp/str/aboutstr/evolution-of-tv/p19/Column/index1.html>
- [Nielsen93] J. Nielsen, “ Usability Engineering, ” AP PROFESSIONAL, 1993
- [Nielsen02] http://www.nielsen-netratings.com/pr/pr_020422_eratings.pdf
- [NikkeiElc.98] “ 特集「実像現わすコネクテッド・ホーム」, ” 日経エレクトロニクス, no.718, 6.15, pp.131-152, 1998
- [NikkeiElc.99a] 解説“「Havi と Jini, 家庭を舞台に激突」, ” 日経エレクトロニクス, no.735, 1.25, pp.37-44, 1999
- [NikkeiElc.99b] 解説“「パソコン技術を融合させたデジタル家電に注目」, ” 日経エレクトロニクス, no.736, 2.8, pp.41-45, 1999
- [Nishi01] Hirotaka NISHI, Michihiko MINOH, Motonori NAKAMURA, Keisuke YAGI,

-
- Hisao WATANABE, and Yosuke TAJIKA, "Autonomous Service Setup Method for AMIDEN," Proceedings IWNA2001 pp.135-141, 2001.
- [Norcio89] Anthony F. Norcio, Jaki Stanley, Adaptive Human-Computer Interfaces, "A Literature Survey and Perspective," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 2, pp. 399-408, March, 1989
- [Norman88] K. L. Norman and John P. Chin, "The effect of tree structure on search in a hierarchical menu selection system," Behaviour and information technology, Vol.7, No.1, pp.51-65, 1988
- [Norman90] D. A. Norman, "The Psychology of Everyday Things," Basic Books, New York, 1988
野島久雄訳, "誰のためのデザイン?," 新曜社, 1990
- [Okada] <http://hp.vector.co.jp/authors/VA005810/>
- [Okada97] 岡田英彦, 旭敏之, "GUI画面の一貫性自動判定手法の提案," 第13回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.517-522, 1997
- [Payne86] S. J. Payne and T. R. Green, "Task-action grammars: a model of mental representation of task languages," Human-Computer Interaction, 2(2), pp.93-133, 1986
- [Payne89] S. J. Payne, "The structure of command languages: an experiment on task-action grammar," Int. J. Man-Machine Studies, 30, pp.213-234, 1989
- [Polhemus] 3SPACE FASTRAK
<http://www.polhemus.com/ftrakds.htm>
- [Polson93] P. J. Polson, C. Lewis, J. Rieaman and C. Wharton, "Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interface," International Journal of Man-Machine Studies, 36, pp.741-773, 1993
- [Reisner81] P. Reisner, "Formal Grammar and Human Factors Design of an Interactive Graphics System," Tran. on Software Engineering, Vol. SE-7, No.2, pp.229-240, 1981
- [Rekimoto96] 暦本純一, "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, Vol.13, No.3, pp. 4-18, 1996
- [Rekimoto00] Jun Rekimoto and Eduardo Sciammarella, "ToolStone: Effective Use of the Physical Manipulation Vocabularies of Input Devices," Proc. of UIST 2000, 2000
<http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/papers/uist00.pdf>
- [Sakamaki01] 坂巻克己, "二次元アクチュエータを応用した触覚呈示マウスの研究開発," 日本機械学会誌, Vol. 104, No.996, pp.772, 2001
- [Sanyo] <http://www.sanyo.co.jp/SAV/homemedia/index.html>
- [ScreenDesign95] 日本人間工学・アーゴデザイン部会, スクリーンデザイン研究会編, "GUIデザイン・ガイドブック," 海文堂, 1995
- [Shneiderman92] B. Shneiderman, "Designing the User Interface 2nd edition," Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1992

- 東基衛・井関治監訳, “ユーザーインタフェースの設計 第2版,” 日経BP社, 1995
- [Sugiyama90] 杉田征也, 大泉緑, “赤外線リモコン・ボードの作成, パソコンで学習機能を実現した,” トランジスタ技術 1月号, 特集, 1990
- [Takahashi93] 高橋謙司, “学習型赤外線リモコン装置の制作, PC9801と8051ワンボード・マイコンで構成した,” トランジスタ技法 9月号, 特設, 1993
- [Tamura98] 田村博編, “ヒューマンインタフェース,” オーム社, 1998
- [Teitelbaum83] R. C. Teitelbaum and R. Granda, “The effects of positional constancy on searching menus for information,” Proc. CHI '83, Human Factors in Computing Systems, Available from ACM, Baltimore, MD, pp.150-153, 1983
- [Toshiba02] 東芝, “インターネットを通じて新たなサービスを提供するネットワーク家電製品の発売について,”
http://www.toshiba.co.jp/about/press/2002_02/pr_j0501.htm
- [Toshiba97] http://www.toshiba.co.jp/tech/review/1997/05/a01/index_j.htm
- [TRON] <http://tron.um.u-tokyo.ac.jp/index.html>
- [Universal] <http://www.design.ncsu.edu/cud/>
- [Uno95] 宇野裕史, 塚本昌彦, “赤外線データ通信とIrDA,” インターフェース, 8月号, pp.164-173, 1995
- [Weiser93] Mark Weiser, “SOME COMPUTER SCIENCE ISSUES IN UBIQUITOUS COMPUTING,” Communication of the ACM, Vol.36, No.7, pp.75-84, 1993
- [Yamaguchi95] 山口英, “SNMPを使った機器制御,” UNIX MAGAZINE 7月号, pp.53-58, 1995
- [Yamamoto96] 山本二郎, “組み込み世界に与えるJavaの衝撃,” インターフェース, 8月号, pp.100-103, 1996
- [Yano98] 矢野博明, 小木哲朗, 廣瀬通孝, “振動子を用いた全身触覚提示デバイスの開発,” バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol.3, No.3, pp.141-147, 1998
- [Yokokoji99] 横小路泰義, 河合雅信, 吉川恒夫, “振動と教師視覚提示を用いた運動技能伝達法の提案と基礎実験,”バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.431-438, 1999
- [Yonden98] <http://www.yonden.co.jp/o-planet/index.htm>
- [Yoshikawa00] 吉川恒夫, 菊植亮, “陣原から人間への技能伝達のための指先圧迫帰納を付加した力覚提示装置,” バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol.5, No.1, pp.803-809, 2000

業績リスト

論文

- 1 池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介, “ 道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス, ” バーチャルリアリティ学会, Vol17, No3, pp339-345 (2002)
- 2 木村朝子, 佐藤宏介, “ -GyroTouch- 反動トルクによるウェアラブル VR 用指先装着ハプティックデバイス, ” ヒューマンインタフェース学会, Vol4, No1, pp33-39 (2002)
- 3 木村朝子, 黒田周作, 加藤博一, 井口征士, “ 入力デバイスが木構造型メニュー探索に与える影響, ” システム制御情報学会論文誌, Vol12, No9, pp430-438 (2001)
- 4 木村朝子, 加藤博一, 森内正樹, 井口征士, “ 操作の木構造を用いたメニューインタフェース評価法の提案, ” ヒューマンインタフェース学会誌, Vol2, No1, pp59-68 (2000)
- 5 蔦田広幸, 加藤博一, 木村朝子, 片寄晴弘, 金森 務, 井口征士, “ インタラクティブアートにおける演奏家と観客の緊張状態の生理的解析, ” 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol2, No2, pp9-16 (1997)

国際発表 (査読付)

- 1 Asako Kimura, Jon Camp, Richard Robb, and Brian Davis, “ A Prostate Brachytherapy Training Rehearsal System- Simulation of Deformable Needle Insertion -, ” Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Part I, LNCS2488, pp 264-271 (2002)
- 2 Asako Kimura, Hirokazu Kato, Seiji Inokuchi, “ USABILITY EVALUATION METHOD FOR MENU BASED MANUAL CONTROLLER, ” Proceedings of the 2000 Japan-USA Flexible Automation CD-ROM (2000)
- 3 Asako Kimura, Hirokazu Kato, Seiji Inokuchi, “ Multimedia Communication for Family, ” 7th International Conference on Human-Computer Interaction, Design of Computing Systems, pp639-642 (1997)

国内発表

- 1 池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介, “ 道具の持つアフォーダンスを利用した触覚 フィードバックデバイス, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム2002, pp 467-470 (2002)
- 2 池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士, “ 道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス, ” 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集 ppA-15-24 (2002)
- 3 黒田周作, 木村朝子, 佐藤宏介, “ 反動トルクによる触覚フィードバックを用いた指先装着型デバイス, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム2001講演論文集, pp33-36 (2001)
- 4 原田久美, 木村朝子, 佐藤宏介, “ ハプティックフィードバックを有する把持型ポインティングデバイス, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム2001講演論文集, pp21-24 (2001)
- 5 川崎健也, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, “ ハンドヘルド型ネット家電ユーザインタフェースによる機器選択, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム2001講演論文集, pp37-38 (2001)
- 6 原田久美, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士, “ Force Feedback を用いたポインティ

- ングデバイスの提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol101, No37, pp29-34 (2001)
- 7 川崎健也, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士, “ 機器選択機能を持つネット家電ユーザインタフェース,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol101, No37, pp23-28 (2001)
- 8 原田久美, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士, “ Force Feedback を用いたポインティングデバイスの提案,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集(基礎・境界), p314 (2001)
- 9 川崎健也, 中澤篤志, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士, “ 家電選択機能を持つネット家電ユーザインタフェース”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集(基礎・境界), p313 (2001)
- 10 黒田周作, 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ メニュー選択操作の習熟において入力インタフェースが与える影響,” ヒューマンインタフェースシンポジウム2000講演論文集, pp1-6 (2000)
- 11 黒田周作, 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ 入力インタフェースの違いが木構造型メニュー選択操作に与える影響の解析,” 電子情報通信学会基礎・境界講演論文集, pp292 (2000)
- 12 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ 操作の木構造を用いたメニューインタフェース評価法の提案,” 電子情報通信学会基礎・境界講演論文集, pp290 (2000)
- 13 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ 次世代家電UIの提案 - インタフェースの個人適応に向けて -, ” ヒューマンインタフェースシンポジウム '99講演論文集, pp493-498 (1999)
- 14 木村朝子, 森内正樹, 加藤博一, 井口征士, “ ユーザ特性に適応したリモコンインタフェースの検討 - ビデオリモコンにおけるユーザ特性 -, ” 第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp43-48 (1998)
- 15 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ ユーザ特性に適応したリモコンインタフェースの検討 ,” マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO'98)シンポジウム論文集, pp693-700 (1998)
- 16 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ 携帯端末からの家電製品制御とそのインタフェース, 第13回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp321-326 (1997)
- 17 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ WWWを用いた携帯端末からの家電製品制御,” 第2回モバイルコンピューティング研究会研究報告会, 情報処理学会研究報告 Vol97, No72, pp61-66 (1997)
- 18 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ WWWを利用した家電製品の遠隔操作インタフェースの検討,” 第41回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp593-594 (1997)
- 19 木村朝子, 中澤篤志, 加藤博一, 井口征士, “ WWWと赤外線リモコンによる家電製品の遠隔地制御,” 第12回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp199-204 (1996)
- 20 加藤博一, 木村朝子, 井口征士, “ 人物追跡機能を持つ映像コミュニケーションシステムとその有効性の検討,” Human Interface N&R, pp471-476 (1996)
- 21 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ 肌色情報を用いた顔画像追跡,” 信学技報 HIP, pp65-70 (1996)
- 22 木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “ マルチメディア・コミュニケーションのための顔画像追跡,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp1-377 (1996)

賞

- 1 ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002, 最優秀プレゼンテーション賞:

池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介, “道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス,” ヒューマンインタフェースシンポジウム2002, pp 467-470 (2002)

- 2 第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム, ベストプレゼンテーション賞:
木村朝子, 加藤博一, 井口征士, “携帯端末からの家電製品制御とそのインタフェース,”
第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp321-326 (1997)