The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ヒューマンインタフェースにおける聴覚メディアの利用 -聴覚ディスプレイのデザイン-
Author(s)	和氣, 早苗
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2740
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

工学9301

博士学位論文

ヒューマンインタフェースにおける聴覚メディアの利用
ー 聴覚ディスプレイのデザイン ー

和氣 早苗

2003 年 1 月

大阪大学大学院基礎工学研究科
システム人間系専攻システム科学分野

博士学位論文

ヒューマンインタフェースにおける聴覚メディアの利用
ー 聴覚ディスプレイのデザイン ー

和氣 早苗

2003年1月

大阪大学大学院基礎工学研究科
システム人間系専攻システム科学分野

要 約

聴覚ディスプレイ（Auditory Display）とは，聴覚メディアを用いた情報の表示を意味する．聴覚ディスプレイの研究は，視覚メディアに偏る現在の情報表示を拡張することを目的としているが，ここでは特に非言語音に注目して，情報表示手法や要素技術が研究されている．具体的には，さまざまな種類のデータを音で表示するデータ可聴化の研究，音響メディアを機器のユーザインタフェースに利用するAUI（Auditory User Interface）の研究などがある．このような聴覚ディスプレイの研究は，ヒューマンインタフェース研究の一分野と位置づけることができる．

本論文は，この聴覚ディスプレイのデザインおよびデザイン支援に関するものである．まず，第一のアプローチとして「イアコン多次元デザイン手法」を開発した．これはルールに基づき複数のイアコンを統一的に設計する手法である．評価の結果，本手法を用いて設計されたイアコンは，音が表すメッセージを理解しやすく，初めて聞く音に対してもその意味を類推できることが確認された．本手法の適用事例として，視覚障害者用 Windows アクセスツールの AUI 設計について説明し，これによって設計手順の具体例を示した．

その上で，イアコン多次元デザイン手法を効果的なものにするために，音のデザインに用いる音響パラメータについての研究を行った．聴覚ディスプレイは，聞き分けやすさ，覚えやすさ，という条件を満たす必要があるが，これに「高さ」，「音色」，「リズム」という音響パラメータがどのように関与するかを，心理実験を通して明らかにした．その結果，聞き分けやすく，覚えやすい聴覚ディスプレイの製作には，「リズム」と「音色」パラメータの差異を利用することが有効であることがわかった．

また第二のアプローチとして，聴覚ディスプレイに用いる音のデザインをおこなうための音デザイン支援環境の開発を行った．具体的には，音データベースとその検索システム，さらに検索した音を加工編集するための編集システムを開発した．これらのシステムを開発するにあたって，筆者はまず，人は音をどのように表現するのかを明らかにするための実験を行った．その結果，人は音を，知覚レベル・認知レベル・感性レベルの 3 つのレベルで表現するということが分かった．

そしてこの結果に基づき，擬音語，音源名，形容詞という 3 つのレベルに対応するキーワードを利用して検索をおこなう検索システムと，口まね表現により音の編集をおこなう編集システムを開発した．本システムを用いた音の検索は，直感性と柔軟性にすぐれ，検索できる音の種類の幅を広げることができることが確認された．また編集システムは，ユーザに音響的知識を必要としないため，誰にでも直感的に利用することができる．また，同じエンベロープを持つ音を効率的に作成することが可能になることも確認された．

以上の研究により，聴覚ディスプレイの設計に有効な，音響認知的な知見を示すことができたとともに，それに基づいて，聴覚ディスプレイ設計の方法論および設計支援システムを提供することができた．

目 次

第 1 章 序論 1

1.1 聴覚ディスプレイ 1
1.1.1 聴覚メディアの特徴 1
1.1.2 日常の聴覚メディア 3
1.1.3 情報伝達メディアとしての非言語音 3
1.1.4 聴覚ディスプレイの歴史 4
1.2 聴覚ディスプレイ研究の分野 5
1.2.1 データ可聴化 5
1.2.2 AUI : オーディトリーユーザインタフェース 5
1.2.3 マルチメディアコンテンツ／バーチャルリアリティ 6
1.2.4 サイン音 7
1.2.5 サウンドスケープ 7
1.3 聴覚ディスプレイの利用様式 7
1.3.1 視覚メディアと併用する聴覚ディスプレイ 8
1.3.2 視覚メディアを利用しにくい状況での聴覚ディスプレイ 8
1.3.3 視覚障害者のための聴覚ディスプレイ 9
1.4 本論文の構成 9

第 2 章 聴覚ディスプレイデザイン 11

2.1 聴覚ディスプレイデザインの 3 要素 11
2.1.1 表示情報のデザイン －“何を”のデザイン 11
2.1.2 タイミングのデザイン －“いつ”のデザイン 11
2.1.3 音のデザイン －“どんな音で”のデザイン 12
2.2 聴覚ディスプレイに利用される音の種類 12
2.2.1 イアコン －記号音を用いた聴覚ディスプレイ 13
2.2.2 聴覚アイコン －具象音，比喩音を用いた聴覚ディスプレイ 14
2.3 音のデザインにおける 論理的アプローチと感性的アプローチ 16
2.4 本研究の目的とアプローチ 17

第３章 イアコン多次元デザイン手法の提案と デザイン事例 19
3.1 イアコンのデザイン手法 19
3.2 イアコン多次元デザイン手法の提案 20
3.3 イアコン多次元デザイン手法の評価 22
3.4 視覚障害者用 Windows アクセスツール “CounterVision” の
音響ディスプレイデザイン 24
3.4.1 “CounterVision” の目的 24
3.4.2 “CounterVision” の操作インタフェース 25
3.4.3 聴覚メディアによる情報表示と操作 27
3.4.4 聴覚ディスプレイのデザインコンセプト 29
3.5 イアコン多次元デザイン手法を用いた オブジェクト音のデザイン 30
3.5.1 表示情報のデザイン 31
3.5.2 タイミングのデザイン 34
3.5.3 音のデザイン 34
3.6 “CounterVision”のステイタス音と状態変化音のデザイン 36
3.6.1 ステイタス音のデザイン 36
3.6.2 状態変化音のデザイン 37
3.7 まとめ 38

第４章 音響パラメータの識別性・記憶性 に関する研究 39
4.1 イアコンが満たすべき音響的条件 39
4.2 実験の目的 40
4.3 刺激音の制作 40
4.3.1 高さ 40
4.3.2 音色 41
4.3.3 リズム 42
4.4 実験の方法 44
4.4.1 被験者 44
4.4.2 手順 44
4.5 実験結果 45
4.6 考察 47
4.7 まとめ 48

第５章 音デザイン支援環境の基本設計

－音の表現方法に関する実験－ 49

5.1 音のデザイン支援 49
5.1.1 音デザインの必要性とデザインツールの現状 49
5.1.2 関連研究 50
5.1.3 音デザイン支援のコンセプト 51
5.2 音の表現に関する実験 52
5.2.1 実験の目的 52
5.2.2 音の分類と刺激音の選定 52
5.2.3 被験者 53
5.2.4 実験手順 53
5.3 音の表現に関する実験結果 54
5.3.1 音表現のモダリティ 54
5.3.2 音の言語表現の３つのタイプ 55
5.3.3 キーワードタイプと音の特徴 57
5.3.4 被験者間の対話 58
5.3.5 音の想像 58
5.4 実験結果と聴覚情報処理モデル 59
5.5 まとめ 60

第６章 音デザイン支援環境の開発

－音検索システムと音編集システム－ 63

6.1 音デザイン支援環境の設計 63
6.2 音検索システムの開発 64
6.2.1 音データベース 64
6.2.2 検索手法の実装 66
6.2.2.1 擬音語検索 67
6.2.2.2 音源名検索 68
6.2.2.3 形容詞検索 68
6.2.3 音声による検索 69
6.3 音検索システムの評価 70
6.3.1 実験１ －指定音の検索 70

6.3.1.1 実験 1 の手順 70
6.3.1.2 実験 1 の結果 70
6.3.2 実験 2 －任意の音の検索 72
6.3.2.1 実験 2 の手順 72
6.3.2.2 実験 2 の結果 73
6.3.3 考察 74
6.4 音編集システムの開発 75
6.4.1 編集のためのユーザインタフェース 76
6.4.2 振幅の編集 79
6.4.2.1 強制編集方式 80
6.4.2.2 相似編集方式 80
6.4.3 ピッチの編集 80
6.4.3.1 ピッチ編集倍率の算出 81
6.4.3.1.1 強制編集方式 81
6.4.3.1.2 相似編集方式 81
6.4.3.2 ピッチシフト 82
6.4.3.3 クロスオーバー処理 82
6.5 音編集システムの評価 82
6.6 まとめ 83

第 7 章 結論 85

参 考 文 献 89

第1章　序論

情報化社会の発展により，我々はこれまでにない膨大な量の情報に囲まれるようになった．人は本来，五感を用いて周囲のさまざまな情報を獲得するものだが，現在の情報機器においては，そのほとんどの情報は視覚メディアによって表示される．携帯電話やパソコンなど，多くの文字やアイコンが並ぶディスプレイを凝視する姿は，情報社会の一つの象徴的な図とも言えるだろう．

ところで聴覚メディア，つまり“音”を用いた情報表示に関する研究として，聴覚ディスプレイ（原語では“Auditory Display”）研究と呼ばれる研究領域がある．ディスプレイというと，通常は視覚表示デバイスとしてのディスプレイを想起するが，ここでは提示あるいは表示という意味でディスプレイという言葉が用いられている．聴覚ディスプレイの研究では，音の中でも特に非言語音に焦点を当て，情報伝達メディアとしての有効な利用手法やその要素技術についての研究が行われている．聴覚ディスプレイ研究はヒューマンインタフェース研究の一領域と位置づけることができる．

本論文は，この聴覚ディスプレイの研究に位置づけられるものであり，特に聴覚ディスプレイのデザインに関するものである．筆者は，有効な聴覚ディスプレイをデザインするためのデザイン手法およびデザイン支援システムに関しての研究を行った．

本章ではまず，研究の背景となる聴覚ディスプレイ研究に関して，その特徴，アプローチ，適用分野などを，体系的に述べる．

1.1　聴覚ディスプレイ

1.1.1　聴覚メディアの特徴

我々は五感－視覚，聴覚，触覚，嗅覚，味覚－を利用して周囲の情報を獲得する．人間は8割の情報を視覚から得ると言われるが，その視覚の次に優位な感覚は聴覚であると言ってよいだろう[Watanabe01]．では，その聴覚メディアとは，どのような性質をもつのか．Gaver は聴覚メディアの特徴を，視覚メディアと比較して 表 1-1 のようにまとめた[Gaver89]．ここでは時系列的観点，空間的観点から両メディアの特徴が捉えられている．聴覚メディアは，時系列的に変化する情報をタイミングよく伝達するのに適するとされているものの，一方で，一度に表示可能なメッセージ（情報）の数に限りがある点が指摘されている．

また Kramer は，聴覚メディア，特に非言語音による情報伝達の特徴を長短所の観点から分析している（表 1-2）[Kramer94]．長所としては，対象を注視しなくてよい（Eyes free），瞬時に検知できる（Rapid detection），警告性に優れる（Alerting）などがあり，短所としては，うるさい（Annoying），差を区別しにくい（Low resolution of many auditory variables），な

どがあると述べている．

ヒューマンインタフェースに聴覚メディアを利用するとき，ここにあげた聴覚メディアの長所を充分に機能させるには，表示する情報の選択，発音のタイミング，使われる音などを適切に設計する必要がある．長所も使い方によっては短所になる危険性がある．逆に，短所としてあげられた特徴を意図的に利用する場合も，応用によってはあり得る．聴覚ディスプレイのデザインにおいては，聴覚メディアの特性を充分に理解した上で，長所短所双方の特性を積極的に活用するような設計を行う必要がある．

表 1-1　聴覚メディアの特徴 [Gaver89]

	時系列的特徴	空間的特徴
聴覚メディア	時間を限定する ・ 変化する情報を表示するのに適する ・ タイミングの伝達に有効	空間を限定しない ・ 目を向ける必要がない ・ 一度に示せるメッセージの数が限られる
視覚メディア	時間を限定しない ・ 定常的な情報を表示するのに適する ・ いつでも見ることができる	空間を限定する ・ 目を向ける必要がある ・ 限定した範囲に提示できる

表 1-2　非言語音の長所と短所 [Kramer94]

長所	短所
対象を注視しなくてよい	微妙な差を区別しにくい
瞬時に検知できる	位置を確実には認知しにくい
警告性に優れる	絶対量として認知しにくい
注意を喚起する/方向付けをする	各属性の認知的直交性が低い
背景音として利用できる	うるさい
並列的に聴取できる	音声会話の邪魔になる
時間分解能に優れる	拡散する
感性に訴える	持続性がない
統一的な構造体系を有する	印刷できない
	ユーザの音の識別能力に差がある

1.1.2 日常の聴覚メディア

日常世界には多くの音が存在し，我々はこれらの音からさまざまな情報を得ている．日常聞かれる音を情報という観点から分類する（表 1-3）．

表 1-3 日常音の分類

<table>
<tr><td rowspan="5">音
Sound</td><td colspan="3">自然音
Natural Sound</td><td>意図的に発せられるのではない音全般</td></tr>
<tr><td rowspan="4">メッセージ音
Message</td><td rowspan="2">音声
Verbal Sound</td><td>声
Voice</td><td>泣き声，笑い声，動物の鳴き声など</td></tr>
<tr><td>言語音声
Speech</td><td>言語を発話したもの．明確な意味をもつ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">非音声
Nonverbal Sound</td><td>信号音
Signal</td><td>電話のベル，警告音など</td></tr>
<tr><td>音楽
Music</td><td>芸術，音楽体系を有する</td></tr>
</table>

人（あるいは他の生物）が意図を持って，何らかの情報や意思や感情を表示するために発する音（それは多くの場合他者に何かを伝達するために発する音である）をメッセージ音と定義する．このメッセージ音をさらに，動物の発声器官を用いて発する音声か，道具を用いて発音する非音声かという観点で分類し，またそれぞれの中で独自の体系を有する言語音声と音楽を一つのカテゴリーとして分類した．一方，これらのメッセージ音に対して自然音を定義することができる．これは情報の表示という目的で発せられたのではない音である．物質同士の何らかの作用，あるいは物質の状態変化に伴って副産物的に生じる音がここに分類される．

一方，聴取者は音から多くの情報を獲得する．それは，メッセージ音から発信者のメッセージを受けることに留まらず，自然音からもさまざまな情報を獲得する．バタンというドアの音を聞きドアがきちんと閉まったかどうかを知り，コポコポコポという音を聞いてどれ程の量のワインがカップに注がれたかを知る．つまり，人は音を聞くことによって音源が何かを知り，それがどのような属性を有するのかを知ることができる．バタンと閉まるドアの音から，閉められた強さ，ドアのサイズや材質，部屋の大きさなどの情報まで獲得することができるのである[Gaver89]．

1.1.3 情報伝達メディアとしての非言語音

前項に述べたように，日常生活において人は周囲の音から多くの情報を得ている．そしてそれに充分な多くの音が日常世界には存在している．一方，情報機器についてはどうだろうか．

現在のパソコンの主要 OS では，グラフィカルユーザインタフェース（GUI）が採用されているが，これはその名の通りグラフィックー視覚情報ーに基づいたインタフェースである．コンピュータの情報表示は，視覚メディアに大きく依存している．

ところで，情報機器のインタフェースに音声言語を利用するべく，音声合成および音声認識の研究が多くの研究者によって行われている[Abe97]．今後の携帯情報機器の発達や，ヒューマンインタフェースの新しい形態である擬人化エージェントの発展等によって，音声はより多くの場面で利用されるようになると予想される．一方，1.1.2 項に述べたように，日常世界にはむしろ言語音声以外の音が多く存在しており，我々はそれらの音からも多くの情報を得ているのである．この非言語音を情報伝達のメディアとして積極的に利用することはできないだろうか．視覚による文字表示なども含め言語情報に溢れた情報社会において，非言語音による情報表示がむしろ有効に機能することがあるのではないか．情報の種類によっては言語よりも非言語音で表示する方が理解しやすいものがあるのではないだろうか．またあるいは，文字や音声によって言語情報を表示しながら，別の情報を非言語音で並列的に表示することもできるのではないだろうか*1．以上のような考えに基づき，「情報伝達メディアとしての非言語音」に関する研究を行うのが聴覚ディスプレイ研究分野であるとされている．

1.1.4 聴覚ディスプレイの歴史

聴覚ディスプレイの研究は現在，ICAD（International Conference on Auditory Display）[ICAD]が主たる議論の場となっている．第 1 回目の ICAD は，Gregory Kramer 氏（当時 Santa Fe Institute）によって 1992 年に開催された．その後，2002 年には第 8 回目の会議が初めてアジアである日本で開催された．音に関する議論を行う学会は多く存在するが，それらのほとんどは，音声，音楽，騒音および聴覚を対象とするものである．ICAD ではそれ以外の音，世の中に最も多く存在するがこれまで議論の対象となってこなかった非言語音に焦点を当てた議論を行っている．

一方日本国内を見ると，ICAD に相当する観点でまとめられた学会や研究会は存在しない．聴覚ディスプレイに関連する研究は，ヒューマンインタフェース学会，日本バーチャルリアリティ学会，情報処理学会や電子情報通信学会などのヒューマンインタフェースあるいは応用アプリケーションの分野，音響学会や認知心理学会など音響知覚に関する分野，情報を表示する音記号という観点から社団法人日本サインデザイン協会[SDA]にて行われているサイン音に関する調査研究等に，分散されて個別に議論されている．

なお，会議名からも分かるように，“聴覚ディスプレイ”のもともとの英語での名称は“Auditory Display”であるが，本論文では訳語として“聴覚ディスプレイ”を用いる．

---

*1 音声の抑揚など，音声に含まれる言語情報以外の要素については，音声のノンバーバル情報と言われるが，本論文では，これらは対象としない．非言語音とは音声以外の音であるとする．

1.2 聴覚ディスプレイ研究の分野

本節では聴覚ディスプレイの分野として，データ可聴化，オーディトリーユーザインタフェース（AUI），マルチメディアコンテンツ／バーチャルリアリティ，サイン音，そしてサウンドスケープを取りあげて説明する．当初，聴覚ディスプレイ研究の中心は，データ可聴化およびAUIにあったが，近年は3D音場生成などのバーチャルリアリティ関連の要素技術に関する研究に注目が集まっている．また日本中心の活動であるサイン音研究と，音環境に対する重要な概念を提示するサウンドスケープも聴覚ディスプレイ研究の一分野として位置づける．

1.2.1 データ可聴化

データ可聴化とは，音を使ってデータを聴覚的にモニタリング（Auditory monitoring）する技術である．概念そのものは新しいものではなく，放射能の量を音で表示するガイガーカウンターや，心臓の鼓動を音でモニターできる医療用の心拍計などもデータ可聴化のアプリケーションであると言える．コンピュータを利用したものでは，地底の地震波を音に変換しモニタリングを行う分野はこれまでで成功を収めた適用例の一つであり[Hayward94]，現在も改良を加えられながら研究は進められている[Dombois02]．近年では，EEGデータ（脳電図）の分析に利用する例も注目されている[Hermann02]．他には，ソフトウェアのデバックや[Jameson94]，株式の変動データを可聴化する例[Kramer94b]も報告されている．また近年では3D立体音場を利用した可聴化も試みられている[Tamura00]．データ可聴化の適用アプリケーションは今後ますます多様化するであろう．長時間のデータモニタリングや視覚障害者の利用にも有効な技術である．

ここで，可聴化の手法として，Kramerは“Audification”と“Sonification”という2種類の方法を定義している[Kramer94b]．これは，データを音に変換するにあたっての直接性に関する分類である．“Audification”とはもともとが波形であるデータをダイレクトに音に変換する方法，言い換えると対象となる計測波形データそのものを可聴域にシフトすることで可聴化する方法であり，上記の地震波の可聴化などはこの“Audification”であることが多い．一方，“Sonification”とは計測されたデータに基づいてシンセサイザーなど音響発生装置のパラメータをコントロールして音を発生する方法であり，従って任意の音を発生させることが可能である．

1.2.2 AUI：オーディトリーユーザインタフェース

情報機器のユーザインタフェース全般に対して，いかに有効に聴覚メディアを利用するかを研究する分野であり，GUI（Graphical User Interface）に対するものとしてのAUI（Auditory User Interface）である．現在の情報機器インタフェースのほとんどは，視覚メディアによって全ての情報を表示するという方針で設計されたものである．このGUIに，新たにAUIを取り入れることで，使いやすさやわかりやすさを向上させる試みがいくつかのアプローチから行われている．

（1） GUI に AUI を追加

既存の GUI に AUI を付加し，GUI と AUI を同時に利用する形態である[Gaver89][Wake96]．日常の世界では視覚上の変化と聴覚上の変化は，源を同じとすれば双方が同時に発生する．ユーザインタフェースにおいても GUI と AUI を併用することにより，より自然に近い操作感を提供することが試みられている．例えば，ボタン押下という操作に対して，ボタンがへこむという視覚的フィードバックとともに，カチッという押下音を聴覚的フィードバックとして発生するといった例がある．

（2） GUI を AUI に変換

聴覚メディアのみで情報を表示する形態である．特に視覚障害をもったユーザや，視覚メディアが使いにくい状況を対象として，GUI を AUI に変換して表示する研究がこれまでに多く行われてきた[Mynatt94]．一般に多くの情報を音のみで表示するため，音のデザインおよびユーザ操作と発音の連携に配慮した AUI 設計が必要となる．

（3） GUI を AUI で拡張

GUI および AUI それぞれを利用あるいは併用することにより，より多くの情報を表示しようとする．例えば，これまでの GUI では表示できていなかった情報を AUI で付加的に表示する例としては，ネットワークを介して協調作業を行う状況で，ネットワークの先にあるシステムの状態を AUI にて表示するシステム[Gaver91]などがある．一方，状態の変化や通知を，まずアラートとして AUI で示し，ユーザの指示に応じて GUI で詳細情報を示すといった連動的な利用形態もある．

携帯端末，ユビキタスコンピューティング，ウェアラブルコンピューティングなど次世代の情報機器と期待されるものは，いずれも機器の小型化や携帯性が必須の条件となっている．これらでは，利用できる視覚ディスプレイの大きさには限界が生じるため，視覚表示を補う，あるいは視覚表示に代わる情報表示方法として位置づけられる AUI は非常に重要となるであろう．今後，さらに多くの研究が望まれる分野である．

1.2.3 マルチメディアコンテンツ／バーチャルリアリティ

バーチャルに表現される世界に，より臨場感をもたせるための音の利用に関する研究である．まず，現状で最も親しまれている例としては，ビデオゲームやマルチメディア作品がある．ゲームの制作会社には，通常サウンドデザインを行うグループがあり，そこではサウンドデザイナーがさまざまな種類のサウンドを録音・制作し画像と組み合わせることで，より臨場感のあるコンテンツをつくりあげていく．これらのコンテンツはインタラクティブな要素が強いため，プレイヤーの操作に応じてサウンドを変化せる必要がある．しかし予め用意しておくことのできるサウンドの量には限界があるため，今後は CG との同期やリアルタイム性に特徴をもつサウンドの合成・制御の技術が望まれるようになる[Okubo00][Yano00][Hikichi01]．リアルに作りこまれたサウンドは情報提示という意味で押し付けがましくなく，より現実に近い自然な形で情報を表示することができる．

同じくリアルな音場を生成するという観点から，3 次元空間における音場生成に関する研究

が近年注目されている．再生デバイスとしての 3D 音響ディスプレイに関する研究および 3D 音場の生成制御手法に関する研究[Kim00][Nishimura00][Kaminuma00]，またそれらの開発の基礎となる聴覚特性に関する研究も多く行われている[Kim99][Baba00]．これらはバーチャルリアリティを音環境から実現するために不可欠な技術であり，今後の進展が大きく望まれる．

1.2.4 サイン音

サイン音とは，家電製品の発する報知音，携帯電話の着信音，列車の発車ベル，街の盲導鈴や音声誘導，工場の警告音，ATM のキー操作音，コンピュータのエラー音など，製造者によって製品や機器，環境に意図的に付加された音全般を指す．1996 年に活動が開始された社団法人日本サインデザイン協会のサイン音調査研究部会によって使われるようになったキーワードである．

サイン音研究では，公共のサイン（電車発車音，音声誘導など）および家庭内の家電製品のサインなどを研究対象にしたものが多い．また聴覚的バリアフリーの観点から視覚障害者や高齢者の視点にたった研究アプローチが多くとられている．調査研究およびモデルサイン音の試作といった活動がこれまでに行われている[Yamaguchi99][Yamaguchi00] [Yamaguchi02]．このサイン音研究では，情報表示という観点に加え，空間全体の音環境という観点が重要であるとされている[Yamaguchi00]．そしてこれは次項に記すサウンドスケープの概念にも通ずる．

1.2.5 サウンドスケープ

サウンドスケープは，視覚的な「景観」「風景（ランドスケープ）」に対して，「耳で捉えた景観」「音の風景」を意味する[torigoe97]．1960 年代終期にカナダのマリー・シェーファーによって提唱された概念であり[Schafer86]，社会・文化的事象として音のあり方を捉えたとき，人がそれをどのように知覚し，理解しているかを環境的な観点から考察することを特徴としている．

このサウンドスケープの概念は，すべての聴覚ディスプレイを考える上で必要な概念である．聴覚ディスプレイでは，とかく多くの情報を多くの音で表現しようという傾向になりがちである．しかし一歩引いて環境全体の視点からそれらの音を捉えたとき，そこに既に存在する環境音も含め全体としてどのような音環境が出来上がるのか，充分に配慮する必要がある．音は拡散し，それゆえに混在する．音環境全体の調和がとれなければ，情報表示という意味で真に効果のある聴覚ディスプレイにはなり得ない．

1.3 聴覚ディスプレイの利用様式

ヒューマンインタフェースデザインでは，ユーザの特性およびユーザの置かれる状況が重要な要素となる．聴覚ディスプレイの利用の様式は，視覚メディア利用との関係から，“視覚メディアと併用する場合”“視覚メディアが利用しにくい場合”“視覚障害者を対象とする場合”の

3 種類に分類することができる．どの状況を対象とするかによって，同じアプリケーションであっても聴覚ディスプレイのデザイン方針は大きく異なる．聴覚メディアの長所を充分に活かすための重要な要素である．

1.3.1 視覚メディアと併用する聴覚ディスプレイ

視覚メディアとの併用で聴覚ディスプレイを利用する場合がある．併用による利点についてKramer は以下の項目をあげている[Kramer94].

- 視覚情報による表示を邪魔せず別の情報を表示できる（Nonintrusive enhancement）
- 情報に対する認知率が向上する（Increase in perceived quality）
- タイミングに厳密な情報提示を行える（Superior temporal resolution）
- 三次元空間を有効に使った情報提示が可能となる（High dimensionality）
- 視覚メディアだけの場合より現実味を向上できる（Enhanced realism）

一つのアプローチとしては，視聴覚メディア双方の特徴を生かして（表 1-1），相補的に情報を表示することを目指すものがある．視覚的ディスプレイを利用する環境でも，その視覚的ディスプレイに表示しきれない（あるいは表示しない）情報を音で表示することがある．通常は視覚的に表示はしないプロセッサの稼動状況を音で表示することや[Jackson94], 先にも述べたがネットワークの先にあるシステムの状況を音で表示するなどの研究がある[Gaver91]. この研究では，利用者の注意の喚起を聴覚メディアによって行い，その後，詳細情報を知りたい場合にはその表示を視覚メディアで行うという，段階的な情報提示を視聴覚メディアを用いて行っている. この他にもさまざまな観点からの視覚メディアと聴覚メディアの役割分担がありえる. 一方で，視聴覚メディア双方を同時に利用することにより，より自然（実世界）に近い情報表示を目指すアプローチもある．この場合，視聴覚表示の同期に充分に配慮する必要がある．

パソコンなどで利用される現在の GUI は, 視覚メディアのみで全ての情報表示を行うという思想のもとに設計されたものが多い．一方，携帯電話などの情報機器では，全ての情報を視覚メディアのみで表すことは，その小さい形状や利用形態ゆえに困難になりつつある．あらかじめ，視覚メディアと音響メディアの利用を前提としてインタフェースの設計を行うことで，各メディアの特徴を効果的に生かした真にマルチモーダルなインタフェースが実現可能であると筆者は考えている．

1.3.2 視覚メディアを利用しにくい状況での聴覚ディスプレイ

視覚情報が利用しにくい場面に用いられる聴覚ディスプレイがある．まずは，多大な視覚的注意を要する状況，例えば航空機の操縦室，航空管制，手術中，などのような環境においては，対象から目が離せなくなる状況が起こるため，聴覚メディアによる情報表示が有効とされる[Kramer94][Wenzel94].

また一方で，地震波の計測のように継続的なモニタリングが必要な場合，つまりユーザが対象に視覚を向け続けるわけには行かない場合も聴覚メディアによる情報提示は有効である．ここでは，心拍計のようにある計測値をデータ可聴化により常に表示している場合もあるが，ある計測値が一定の閾値を超えた時，あるいは状態の変化が生じた時にそれを通知するという通

知音，警告音（アラーム）としての聴覚ディスプレイも多く用いられる．例えば家電製品の報知音（レンジのあたため終了音等）などは，視覚メディアが利用できない環境ではないものの，ユーザが常に対象を見てはいるわけではないため，聴覚メディアの利用が有効な例である．

1.3.3 視覚障害者のための聴覚ディスプレイ

視覚障害者にとって，聴覚メディアは非常に重要である．特に視覚による情報表示に主体がおかれている現状の情報機器は，視覚障害者にとって非常に扱いにくい対象であり，聴覚ディスプレイを含めた聴覚メディアの導入に大きな期待が持たれている．それゆえ，視覚障害者を対象とした多くの聴覚ディスプレイ研究が行われており [Mynatt94][Yamaguchi00]，筆者も視覚障害者向け GUI アクセスツールの聴覚ディスプレイの開発も行ってきた．これについては 3 章にて詳細を説明する．

視覚障害者を対象とした聴覚ディスプレイの場合，触覚ディスプレイなどを併用できる場合を除いて，必要な情報全てを曖昧性がない形でユーザに表示する必要がある．しかし，全ての情報を安易に音に置き換えるならば，音環境は煩雑になり，結局は必要な情報が得られないことにもなりかねない．表示する情報を取捨選択すること，ユーザ操作と連動により必要な情報が必要なときに得られること，利用する音の数や質など，多くの観点からの考慮が必要である．また合成音声との併用や，触覚ディスプレイを併用することも積極的に行うべきである．

1.4 本論文の構成

本章では，本研究の背景である聴覚ディスプレイに関して説明を行った．本論文の以下の構成を示す．

まず 2 章では，聴覚ディスプレイのデザインに焦点をあて関連研究について述べると共に，本研究の目的およびアプローチの方法を説明する．

3 章では，提案する“イアコン多次元デザイン手法”について説明し，その有効性を評価する．また，視覚障害者用 Windows アクセスツール“CounterVision”の聴覚ディスプレイデザインにイアコン多次元デザイン手法を適用した事例を示す．

4 章では，3 章で提案したイアコン多次元デザイン手法をさらに効果的なものとするために，デザインに利用するに適する音響パラメータを，音響心理実験に基づいて明らかにする．

5，6 章では，音デザイン支援環境の開発について述べる．5 章ではまずシステム開発に先立ちおこなった音響心理実験について説明する．実験は，人は音をどのように表現するかに関するものである．この結果に基づき，検索・編集手法を設計し，検索・編集システムを開発した．システムの開発およびシステムの有効性に関する評価実験を 6 章に述べる．

最後に 7 章では，本論文をまとめると共に今後の展望について述べる．

第2章　聴覚ディスプレイデザイン

本章では聴覚ディスプレイデザインに焦点をあて，その考え方について説明および考察を行う．聴覚ディスプレイのデザインでは，何を，いつ，どんな音で表示するかという3つの観点が重要である．特にどんな音を利用するかについては，従来より2種類のアプローチが行われている．聴覚ディスプレイデザインについて概観した上で，最後に本研究の目的とアプローチを示す．

2.1　聴覚ディスプレイデザインの3要素

聴覚ディスプレイデザインとは，「“何を”“いつ”“どんな音で”表示するか，を定めること」であると捉えることができる．これらは言いかえると，“表示情報のデザイン”“タイミングのデザイン”“音のデザイン”と言うことができ，この3つの観点のデザインがうまくいってはじめて，音による情報伝達が過不足のない形で実現する．

1. 表示情報のデザイン　－“何を”のデザイン
2. タイミングのデザイン　－“いつ”のデザイン
3. 音のデザイン　－“どんな音で”のデザイン

以下，それぞれの項目について説明する．

2.1.1　表示情報のデザイン －“何を”のデザイン

聴覚ディスプレイは情報表示のためにあり，すなわちそこには表示するべきメッセージ（情報）が存在する．聴覚ディスプレイデザインの第一の段階として，これらの情報を整理する必要がある．特に無駄な情報を省き，表示すべき情報の本質を見極めることが重要である．特に聴覚メディアによる情報表示には，うるささやユーザの識別能力の限界といった短所が存在するため，表示する情報は取捨選択のうえ最小限にとどめるべきである．「情報伝達の目的」，「伝達の対象者」を的確に定め，必要なメッセージのみを選出する．そして選出された情報を分析し，類似の情報をグルーピングするなど，情報の重要性や緊急度のランク付けを行うことも有効である．表示する情報の選択と整理を行うフェーズである．

2.1.2　タイミングのデザイン －“いつ”のデザイン

音の出力のタイミングを適切に定める必要がある．例えば，パソコンのエラーを知らせる警告音はエラーが発生した後に発音されるが，ダムの放水を知らせる警告音は放水の一定時間前に発音されなければ意味がない．あるエアコンは，リモコンの設定ボタンがおされたことをトリガとしてリモコンから電子音が鳴る．エアコン本体に指示が届こうが届くまいが電子音がな

る仕組みでは，ボタンが押されたことの確認にはなっても，設定指示が受け付けられたという確認音としての役割を果たすことはできない．1 章に述べた音の特徴にもあるように，恒常的に表示される視覚メディアによる情報表示と異なり，音は一過性のものである．すなわち，出力のタイミングを誤ると情報伝達が正しく達成できなくなる．逆に言うと聴覚ディスプレイは一過性の情報を相応しいタイミングで伝達することができる．発音のタイミングについては，表示すべき情報の内容を充分に踏まえた上で適切にデザインする必要がある．

2.1.3 音のデザイン － “どんな音で” のデザイン

聴覚ディスプレイにどのような音を利用するべきかについては，これまでに多くの議論が行われてきた[Gaver89][Blattner89]．初期の段階では，警告音などへの適用を前提として，認知心理的な側面から多くの研究が行われた．江川は警告音作成の条件として「聞き取りやすさ」と「聞き間違えにくさ」の 2 項目が重要であると述べている[JIS-C-9102]．また警告音に関する規格 ISO-7731 では，警告音の要件として Audibility（知覚性）, Discriminancy（識別性）, Unambiguity（曖昧性のなさ） の 3 要素を挙げている[ISO-7731]．

以上は音響知覚および認知的観点からの必要条件であるが，一方のデザイン的観点からは，聴覚ディスプレイに利用される音は 3 種類に分類することができ，それらは “記号音”, “具象音”, “比喩音” であるとされている．これについては，節を改め詳しく述べる．

2.2 聴覚ディスプレイに利用される音の種類

コンピュータの性能が充分でない頃，標準的なコンピュータで発音できる音色の種類や発音数は限られていた．しかし現在はコンピュータの性能やメモリ容量が充分になり，音響を生成／再生／制御するプラットフォームも標準的に装備されるようになったことで，聴覚ディスプレイに利用できる音の選択の幅は大きく広がった．当初ブザーやビープ音を利用した警告的な音であったものが，音楽的なフレーズや録音された音も利用できるようになり，もはや制限がないほど多様な音を利用することができる．このような中，聴覚ディスプレイに利用される音は，記号音，比喩音，具象音という 3 種類に分類されて議論されるようになった*2．そして，Blattner は記号音を用いた「イアコン」を，Gaver は具象音や比喩音を用いた「聴覚アイコン」を提案した．「イアコン」や「聴覚アイコン」は主に AUI での利用を前提として説明されているが，概念としては聴覚ディスプレイ全体に当てはまるものである．以下図 2-1 を用いながら，それぞれの特徴について述べる．図 2-1 は，ファイルの消去という事象を，視覚メディアと聴覚メディアそれぞれから，記号的，比喩的，具象的な観点で表した例である．

---

*2 記号音，比喩音，具象音について，Blattner は 3 つの分類のタイトルを Abstract sound, Semi-abstract sound, Representational sound であるとし[Blattner89], Gaver は, Symbolic sound, Metaphorical sound, Iconic sound であるとしている[Gaver89].

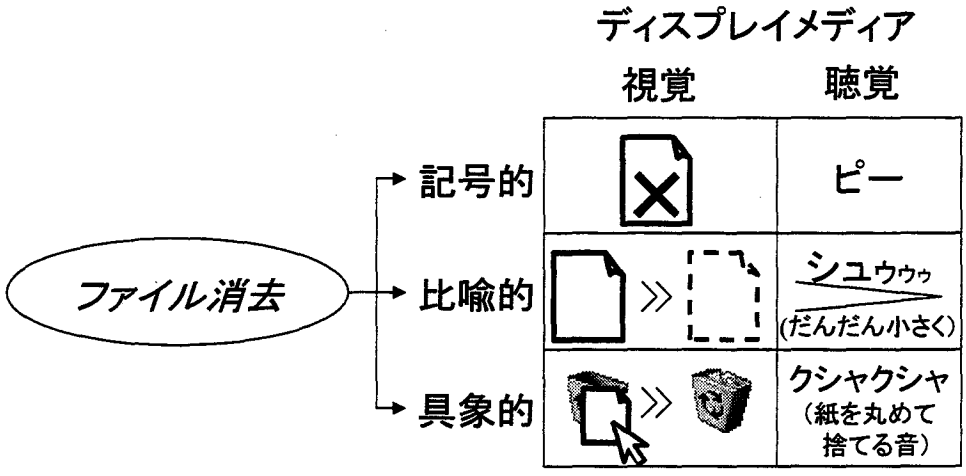

図 2-1 音の種類 [Gaver89] (revised)

2.2.1 イアコン ー記号音を用いた聴覚ディスプレイ

Blattner は記号音を用いたイアコン (earcon) を提唱した[Blattner89]. 記号音とは, 音と情報との対応関係を人為的なルールの元に定めたものであり (図 2-1), 例えばモールス信号や警告音, 電子音による報知音などは, 記号音であるといえる. 記号音の長所は, メッセージをシステマティックに音で表すことができる点である. 一定のルールに基づいて音を作成することにより, ある系で利用される複数の音を統一的にデザインすることが可能である. 一方短所は, 情報と音の間のルールが任意に定められるため, 聴取者がそのルールを知らなければ, 音が意味するメッセージを理解できない点にある.

Blattner のイアコンには, 音色として楽器音や電子音が利用された. それらの音の音程, 音色, リズムといったパラメータを変化させることにより, コンピュータにおける多くの情報を表す. このとき特に, Blattner は情報を木構造で整理し, 上位の情報に割り付けられた音響的特徴を階層下位の情報が引き継ぐという方法で, 音のデザインを行った. 図 2-2 にその例を示す. この例ではまず, エラーに利用される警告音全体のリズムが決まり, 次にエラーのカテゴリーによって利用される音程が決まる. さらに, 個々のエラーそれぞれによって, 音色が区別される. このように, イアコンは, 何らかのルールに基づいてパラメトリックにデザインされる記号音である.

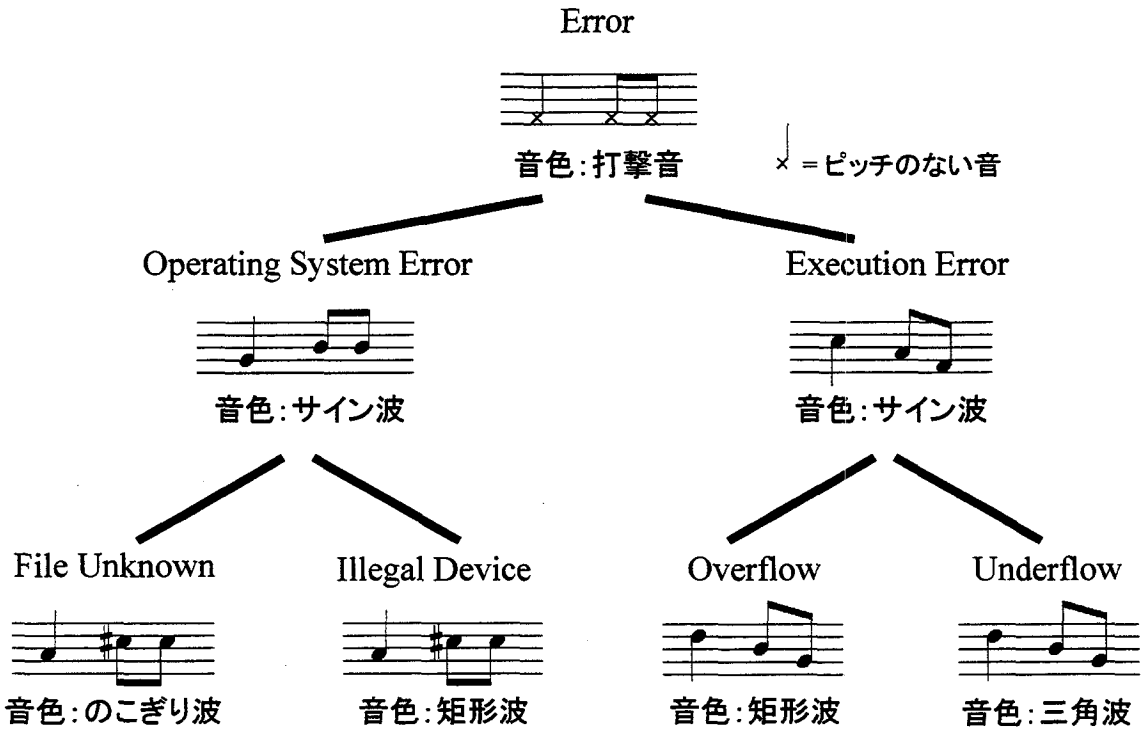

図 2-2 情報の木構造を用いたイアコン [Blattner89]

イアコンはもともとこの Blattner の提案した聴覚ディスプレイに対する固有の名称であるが，このイアコンの構造的なデザイン手法は後の研究にも多くの影響を与えた．以後，本論文では記号音を用いた聴覚ディスプレイを「イアコン」と呼ぶことにする．

2.2.2 聴覚アイコン －具象音，比喩音を用いた聴覚ディスプレイ

Gaver は具象音と比喩音を用いた聴覚アイコン (Auditory Icon) を提唱した[Gaver89]．具象音は，伝達するメッセージを実世界の事象と対応付けることで，実世界に存在する音を聴覚ディスプレイに利用するものである (図 2-1)．例えば，コンピュータ上の「ファイルの削除」という情報に対して「紙を破く」という現実の事象を対応付け，「ビリビリ」という紙を破れる音を利用する，という類のものである．日常生活で，バタンという音を聞いてドアがきちんと閉まったかどうかを知り，コポコポという音でどの程度の量のワインがカップに注がれたかを知る．人はピッチや長さや周波数成分といった音の物理的特性を聞くのではなく，これまでの経験に基づいて音の音源の状態を直接的に知ることができる．自然音がもつこの特徴を利用するものが具象音であり，それを聴覚ディスプレイに利用したものが聴覚アイコンである．

実世界の事象のアナロジーによって，事前に学習しなくとも情報の内容が直感的に理解でき

ることが長所であるが，あらゆるメッセージを実世界の事象と結びつけることが困難なところに具象音の限界がある．

Gaver は，聴覚ディスプレイの考えに基づき Macintosh パソコンにて動作する聴覚ディスプレイユーティリティ“SonicFinder”を開発した [Gaver89]（図 2-3）．ここでは，ファイルをごみ箱に捨てる操作にごみ箱にあたったようなクラッシュ音を，ファイルのコピーに対してコップに水を注ぐ音を割り当てた．また後に Gaver は，ファイルをクリックすると発生する打撃音について，クリックされたファイルの容量に応じて打撃音を変化させる（物理的に大きなものを叩いている音，小さなものを叩いている音）など，情報が持つ属性の変化に対応してパラメトリックに聴覚アイコンを変化させることも提案している(Parameterizing Icons)[Gaver93].

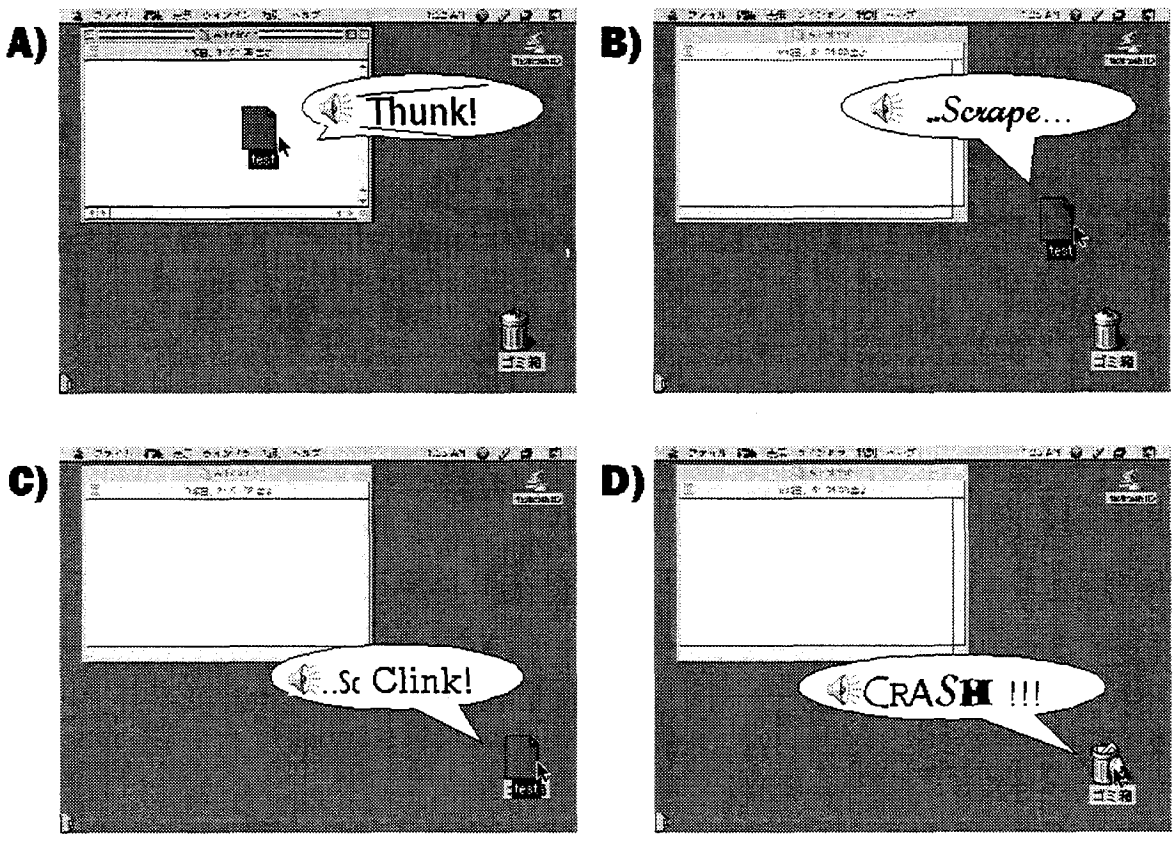

図 2-3　聴覚アイコン－SonicFinder [Gaver 89]

また一方，Gaver は具象音の利点を上げながらも，現実の音をそのまま使ってもうまくいかない場合があることを指摘している．例えば，ファイルのコピーに対してコピー機の音を使う

ことが直感的であるとは限らない．Gaver は聴覚アイコンとして用いる音は，むしろ映画の効果音のようなものであることが多いと述べている．すなわち聴覚アイコンには，具象音と共に比喩音利用することも効果的である．

ここで比喩音について説明を加えておく．比喩音は，具象音のように実世界に存在する音を利用するのではないものの，音とメッセージとの間に構造的な関係付けを持たせた報知音である（図 2-1）．例えば，「ファイル削除」に，だんだんと小さくなって消えていく音を割り当てるという例がある．Blattner は，この比喩音は，記号音と具象音の中間的なものであると述べている[Blattner89]．情報の特徴と音の特徴を的確に対応付けることができれば，直感性に優れ，また製作もしやすい音になるが，多様な情報について，音と情報の間の構造的な関係を的確に見出すことは難しい．

SonicFinder の流れを汲むこの聴覚アイコンはその後のコンピュータインタフェースに大きな影響を与えた．現在の Windows，Macintosh あるいは Palm などの OS にも，ファイルやメニュー選択時やアプリケーションの起動/終了時に音がなるなど，さまざまな操作に対してフィードバック音が発生する AUI ユーティリティが付属しているが，これらの多くにこの聴覚アイコンが利用されている．聴覚アイコンの例としては，Gaver の SonicFinder の他にも，竹内らの忍者メタファを利用した音アイコン等もある[Takeuchi90]．聴覚アイコンはもともとは Gaver の聴覚ディスプレイの名称であるが，以後，本論文では具象音および比喩音を用いた聴覚ディスプレイ全般を「聴覚アイコン」と呼ぶこととする．

2.3 音のデザインにおける論理的アプローチと感性的アプローチ

聴覚ディスプレイにおける音のデザインには，論理的アプローチと感性的アプローチの双方が必要である．ヒューマンインタフェースの領域においてはこのことは頻繁に主張されているが[Nakatsu96]，聴覚ディスプレイにおいても同様に，論理的な観点からの“正確さ”“効率性”“弁別性”“覚えやすさ”等と共に，感性的観点から“美しさ”“心地よさ”“周囲との調和”という要素を兼ね備えることが求められる．

ここで例として GUI のデザインについて考える．よりよい GUI をデザインするための論理的アプローチからの方法論や指針はこれまでに多く提案されている．例えば，画面デザインにおいては，情報の把握，情報の構造化，とそして情報の可視化という 3 つのプロセスが必要であり，情報の可視化においては，強調，簡潔性，一貫性，が重要であるとされている[Tamura98]．より具体的なものとしては，GUI に利用するべき色彩やコントラスト，GUI 部品のサイズ，表示位置，フォントを示すようなガイドラインも存在する．これらは，色彩学，認知心理学などの分野の知見を GUI デザインに利用するという工学的アプローチから示された指針である．しかし，これらの指針を熟知したとしてもそれだけではよい GUI をデザインすることはできない．

なぜならこれらの指針はGUIデザインの枠組みを，あるいはやっていけない禁止事項を示すのみだからである．例えば，メッセージの表示にはコントラストをつける必要があると指針に示されていても，何色を使ったコントラストがよいかは周囲との調和や利用者の好みも鑑みて決定するべきであろう．すなわちGUIを具現化するための全ての要素が論理的アプローチにより与えられるわけではない．この部分を補うものが感性的なデザインアプローチであり，アプリケーションのイメージやユーザの嗜好を考慮してデザインを行うべき部分である．論理的アプローチと感性的アプローチは双方が必要なものであり，先の説明とは逆に感性的アプローチのみでデザインを行った場合，それは芸術作品としては素晴らしくあったとしても，機器の機能を充分に効果的に表示できるものとは限らない．

以上のことが聴覚ディスプレイデザインについてもいえる．論理的アプローチと感性的アプローチは相反するものではなく共存すべきものである．ところが，聴覚ディスプレイについては両方のアプローチともがまだ充分に認識されていない現状がある．実際に家電製品などに使われている操作音や終了音などには，なぜその音が採用されたのか，どちらのアプローチから考えても理解に難しい例が多く見受けられる．このような現状を改善するためには，論理的アプローチからのデザイン支援として聴覚ディスプレイのデザイン方法論およびガイドラインなどを充実させること，また感性的アプローチでのデザインを行うための音デザイン支援環境を充実させること，そしてなにより開発者ひいては利用者の聴覚ディスプレイに関する意識を向上させることが必要であると考える．

2.4 本研究の目的とアプローチ

本研究は，聴覚ディスプレイのデザイン方法およびデザイン支援に関するものである．インタフェースデザインでは一般的に，アプリケーションとユーザが決まらなければ詳細設計ができない．しかしそうではあっても，普遍的に利用可能な聴覚ディスプレイのデザイン方法論やガイドライン，あるいはデザインの支援環境は，個々の聴覚ディスプレイを設計する上で必要不可欠である．本研究ではその部分を提供することを目指す．また一方，聴覚ディスプレイデザインの現場を考えたとき，デザインを行う者はシステムの開発者であることも多く，すなわち必ずしもヒューマンインタフェースや音の専門家であるとは限らない．従って，提案する方式およびシステムは，非専門家にとっても利用しやすくあることを前提とする．効果的な聴覚ディスプレイを，誰もが効率的にデザインできるようなデザイン支援環境を構築することが本研究の目的である．具体的には，本研究では以下の2つのアプローチをとることとした．

（1）イアコンのデザイン手法に関する研究

聴覚ディスプレイデザインの方法論およびガイドラインを提案する．聴覚ディスプレイの意義である「情報の表示と伝達」をより有効に機能させるために，認知心理的な立場に基づいて，論理的アプローチからのデザイン方法とガイドラインを提供する．これについては，記号音で

あるイアコンのデザインを対象として研究を行った．デザイン3要素のうちの“表示情報のデザイン”と“音のデザイン”に関わり，情報の構造を利用して音のデザインをおこなうものである．より覚えやすく効果的な聴覚ディスプレイのデザインを目指すものであり，視覚障害者のためのGUIのAUI化を例として，デザイン手法の具体例を示す．

これらについては，「イアコン多次元デザイン手法の提案とデザイン事例」「音響パラメータの識別性・記憶性に関する研究」として，3章および4章に研究の詳細を述べる．

（2）聴覚アイコンのデザイン支援に関する研究

感性的アプローチからの音のデザイン支援を目的として，音デザインシステムの開発を行う．ここでは，聴覚アイコンに利用される具象音を主な対象として，音データベースとその検索システムの開発，さらに検索した音を加工編集するための音編集システムを開発する．音編集システムは記号音の製作にも有効に機能する．この研究では特に，誰もが直感的に音を扱えるシステムであることを重要な開発条件とした．システム設計にあたっては，音響認知に関する実験を行うことで人の音認知モデルを導出し，その結果に基づいて検索手法および編集手法を設計した．

これらについては，「音デザイン支援環境の基本設計－音の表現方法に関する実験－」「音デザイン支援環境の開発－音検索システムと音編集システム－」として，5章および6章に研究の詳細を述べる．

第3章　イアコン多次元デザイン手法の提案とデザイン事例

本章では，複数のイアコンを系統的にデザインするための“イアコン多次元デザイン手法”を提案する．イアコンとは音と情報との対応関係を人為的なルールの元に定めた記号音を用いた聴覚ディスプレイである． AUI に限定せず，一般的な報知音もイアコンであると捉え，それらのデザイン手法を開発する．

本手法では，まず伝達すべき情報を複数の観点から分類整理し，その分類軸に対して音の高さや音色といった音響パラメータを割り当てることでシステマティックにイアコンを製作する方法である．この手法を利用すると，ある環境（システムあるいは場）で利用される複数のイアコンを統一的にデザインすることが可能になる．また結果として，聴取者はイアコンを覚えやすくなるという利点がある．本章では，提案するイアコン多次元デザイン手法の効果について評価実験を通して確認した上で，視覚障害者用の Windows アクセスツール“Counter Vision” [Okada95] [Okada97]の聴覚ディスプレイデザインに適用した事例[Wake97]を報告する．

3.1　イアコンのデザイン手法

聴覚ディスプレイのデザイン手法は 2 章 2.2 節に述べた音の種類によって異なるものが必要である．まず聴覚アイコンについては，アプリケーションごとにアドホックに現実音を選定せざるを得ないのが現状である．Gaver が聴覚アイコンの事例を論文の中に述べているものの[Gaver89]，これもアドホックに製作された音を事例的に説明しているに留まり，多種の情報に対して有効なデザイン手法を提案するものではない．また同じく Gaver は現実の事象の物理的変化とそのとき発生する音の特徴の関係を分析的にまとめており[Gaver94]．これらは，聴覚アイコンデザインの考え方の指針となるものの，これも多様な情報全てに対して有効なデザイン手法を規定するものではない．

一方，イアコンについては情報と音の対応付けが任意に規定できるため，デザイン手法の提案が可能である．イアコンをコンピュータの AUI に使われるものに限定せず，警告音や通知音などの一般的な報知音まで含むものとした場合，そのデザインに関しては，指針や注意項目をガイドライン的に述べた先行研究や規定が存在する[JIS-C-9102][ISO-7731]．また一方，2 章にも述べたように Blattner は情報を木構造で整理し，上位の情報に割り付けられた音響的特徴を階層下位の情報が引き継ぐというデザイン方法を提案している[Blattner89]．ここでは親ノードがもつ音楽的フレーズを子ノードが受け継ぐというルールで，階層的な情報を表すイアコンをデザインしている．イアコンのデザイン手法では，この例のように表示情報のデザインと

音のデザインの双方を一括しておこなう場合が多い．提案するイアコン多次元デザイン手法も，表示情報のデザインと音のデザインの双方に関するものである．Blattner の木構造的デザインに対して，本提案手法ではマトリクス形式の“情報分類表”を利用して，イアコンデザインを行う．

3.2 イアコン多次元デザイン手法の提案

聴覚ディスプレイのデザイン方法“イアコン多次元デザイン手法”について説明する．本手法は，表示情報を複数の観点から分類し，ひとつの分類軸にひとつの音響パラメータを，また一分類項目に一つの音響パラメータ値を割り当てることで，一連のイアコン群を統一的にデザインする手法である．イアコン多次元デザイン手法のデザインフェーズを図 3-1 に示す．

図 3-1 において， a)“情報の整理 –情報分類表の作成– ”は表示情報を分類整理して情報分類表を作成するフェーズ，b)“音響パラメータの設定”は情報分類表の分類軸に対して音響パラメータを割り当てるフェーズ，c)“パラメータ値の決定”は分類軸上の各項目に対して音響パラメータの値を決定するフェーズ，d)“パラメータ値を満たす音の製作”は情報分類表の各セルについて交差する音響パラメータ値を満たすように音を製作するフェーズ，である．

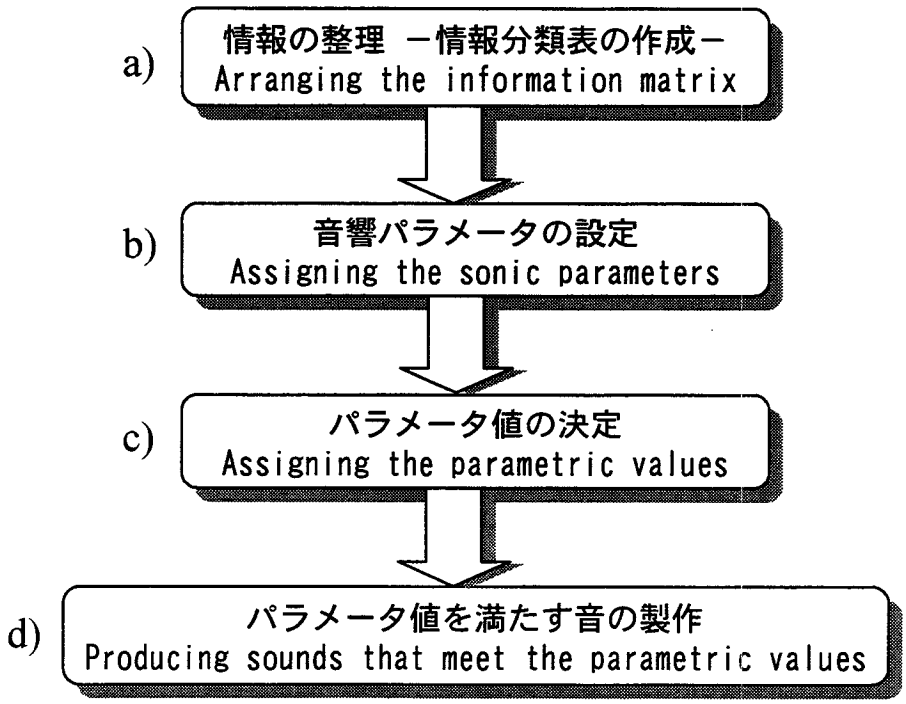

図 3-1 イアコン多次元デザイン手法のデザインフェーズ

説明のため，ある監視システムの報知音を，イアコン多次元デザイン手法を用いて統一的に製作した例を以下に述べる．監視システムは，拠点で動作する複数のローカルシステムを中央で統括的に監視・制御する役割をもつものである．ローカルシステムの動作をモニターするとともに拠点担当員から発せられる様々な情報の送受信を行なう．この監視システムにおいて，報知音で表現する情報を列挙し，それらを分類整理した．その結果，得られた情報は，情報の起点，対処の必要性，という2軸で分類でき，表 3-1 に示す情報分類表にまとめられた．これらの作業は，図 3-1 のフェーズ a)“情報の整理 ー情報分類表の作成ー”にあたる．次にフェーズ b)“音響パラメータの設定”として，情報分類表の“対処の必要性”軸にリズムパラメータを，“情報の起点”軸に音色パラメータを割り当てた．ここで，音響パラメータとは音を構成する物理パラメータであり，音色，リズムの他にも，音高（音の高さ），音長（音の長さ），音量（音の大きさ），などがある．次にフェーズ c)として，リズムと音色それぞれのパラメータについて，表 3-1 の情報分類表に記載のようにパラメータ値を設定する．例えばリズムパラメータにおける「♪♪」というリズムが「注意レベル」に対するリズムパラメータ値，音色パラメータにおける「ノコギリ波の定常音（ピ）」が「メッセージ系」に対する音色パラメータ値である．なお，パラメータ値の割り当てには音の弁別性や印象を考慮する必要がある．例えば，エラーなど警告を示すカテゴリーには，注意を引き警告性を有する音響パラメータ値を割り当てるべきであるし，頻繁に発生する音に強い印象の音響パラメータ値を割り当てるとそれはうるさく，使用感の低下を招くことにもつながる．ここまでのフェーズで表 3-1 の情報分類表が完成すると，最後にフェーズ d)にて前のフェーズまでに決定されたパラメータ値を満たすように各セルに位置する音を製作する．なお，この例の情報分類表は二次元であるが，本手法の情報分類表は二次元に限定されるものではない．

表 3-1　監視システムの報知音設計（イアコン多次元デザイン手法による情報分類表）

				リズム		
				単発音 （♪）	2音群 （♪♪）	等間隔繰り返し （♪♪♪♪♪……）
				対処の必要性		
				確認レベル （対処必要なし）	注意レベル （対処必要）	緊急警報レベル （緊急対処が必要）
音色	正弦波減衰音（ポン）	情報の起点	システムエラー系	極めて軽い誤操作通知音 （ポン）	対象を必要とするが深刻でないエラーの発生 （ポンポン）	深刻なエラーの発生 （ポンポンポンポンポン……）
音色	ﾉｺｷﾞﾘ波定常音（ピ）	情報の起点	メッセージ系	日常業務連絡 （ピ）	対処を必要とする連絡 （ピピ）	極めて緊急・重大な連絡 （ピピピピピピ…）

3.3 イアコン多次元デザイン手法の評価

イアコン多次元デザイン手法の有効性を検証するために実験を行った．イアコン多次元デザイン手法を用いて製作した8種類のイアコンと，それぞれを個別に製作した8種類のイアコンについて，メッセージのわかりやすさに関して比較実験を行った．それぞれの方法で製作されたイアコンについて被験者にその意味を理解してもらい，その後，そのイアコンを聞いて意味する情報を答えられるかどうかを調査した．実験には，家庭で聞かれる報知音を刺激音として利用した．家庭で聞かれる報知音とは例えば家電製品の音があり，電子レンジの温め終了，洗濯のコース選択，冷蔵庫の開け放し警告など，さまざまな情報を表すものがある．

これらの報知音を，まずイアコン多次元デザイン手法を使って統一的に製作したものを表3-2に示す．ここでは，情報を“発信機器”と“メッセージの内容”という分類軸で分類整理し，“発信機器”軸に対して音色パラメータを，“メッセージの内容”軸に対してリズムパラメータを割り当てることにより，8つの報知音を製作した．ただし，各情報分類項目に対する音色とリズムのパラメータ値の割り当ては恣意的にならないよう，乱数を用いて決定した．一方，この同じ8音を8つのメッセージにランダムに割り当てたものを個別製作の実験サンプル音とした（表3-3）．

表 3-2 情報分類表

				音響パラメータ ← リズム →			
				♪♪	♪	♩	♩♪
				情報の分類軸 ← メッセージの内容 →			
				設定	スタート	正常終了	エラー
音響パラメータ ↑音色↓	音色A	情報の分類軸 ↑発信機器↓	電子レンジ	あたため時間設定（ピピ） 音色A ♪♪	あたためスタート（ピ）	あたため終了（ピー）	エラー停止（ピーピ）
	音色B		炊飯器	炊上がり予約設定（ルル）	炊飯スタート（ル）	炊飯終了（ルー）	エラー停止（ルール）

表 3-3　個別製作の実験サンプル音

電子レンジあたため時間設定・・	音色B	♪♪（ルル）
電子レンジあたためスタート・・	音色B	♩♪（ルール）
電子レンジあたため終了・・・・	音色A	♩（ピー）
電子レンジエラー停止　・・・・	音色A	♩♪（ピーピ）
炊飯器炊上がり予約設定・・・・	音色B	♩（ルー）
炊飯スタート・・・・・・・・・・	音色A	♪（ピ）
炊飯終了・・・・・・・・・・・・	音色A	♪♪（ピピ）
炊飯器エラー停止・・・・・・・・	音色B	♪（ル）

被験者は 12 名であり，イアコン多次元デザイン手法によって製作されたイアコンを対象とするグループと，個別に製作されたイアコンを対象とするグループに，それぞれ 6 名ずつに分かれた．各グループとも，まず 2 分間は情報と擬音語表記されたイアコンの対応表を見て対応を理解してもらう．次に実際のイアコンを聞いて音を確認した後，もう一度 2 分間対応表を見てイアコンの意味を覚えてもらう．それが終わると，対応表を回収する．

引き続き学習直後の実験課題を行う．被験者はランダムに提示されるイアコンを聞き，そのメッセージの意味を回答する．課題では，対応表に記載されていた 8 種類のイアコンの他に，音色かリズムの一方が異なる対応表にはない音も 4 音含めた．デザイン手法の違いによる，メッセージのわかりやすさの差を検討すると共に，未知の音への被験者の対応を分析するためである．

次に学習直後の実験から 2 日後に再度，実験課題を行う．課題の内容は学習直後の実験と同様であるが，イアコン課題の提示順序は異なり，また課題前の対応表の閲覧は行わない．

以下，表 3-4 に実験結果を示す．数値は各々，被験者 6 名の正答率の平均値であり，対応表に示した 8 種類のサンプル音について，その意味を正しく回答できた割合を算出したものである．

表 3-4　イアコンの表す情報についての正答率

	イアコン多次元デザイン手法による製作 (%)	個別の製作 (%)
学習直後の実験	96	69
2 日後の実験	92	60

表によると，イアコン多次元デザイン手法を利用して製作されたイアコンの方が，個別製作のアイコンに比較して，その意味を正しく答えることができていることがわかる．学習直後，2日後の実験結果共に，Mann-Whitney の U 検定の 5%水準判定にて，デザイン方法の違いによる正答率に有意差が確認された．

一方，課題の中で提示された未知の音について，イアコン多次元デザイン手法側のグループの 92%（2 日後については 83%）が，初めて聞く音であるにも関わらず，その音色あるいはリズムから，メッセージの意味を類推することができた．例えば，音色が未知で「タータ」というリズムのイアコンについては，「何らかの機器のエラー音である」というように回答をしている．一方，個別製作側のグループでは，当然ではあるが，初めて聞くイアコンの意味を類推することはできなかった．

以上の実験結果から，イアコン多次元デザイン手法によってイアコンをデザインすることによって，イアコンが表すメッセージがわかりやすくなるだけでなく，新規に聞く音についてもその意味を類推できるという効果も期待できることがわかった．

次節以降では，視覚障害者用の Windows アクセスツール "CounterVision" の聴覚ディスプレイデザイン事例について説明する．このシステムのイアコンデザインにイアコン多次元デザイン手法を適用した．

3.4 視覚障害者用 Windows アクセスツール "CounterVision" の聴覚ディスプレイデザイン

本節以降では，イアコン多次元デザイン手法の適用事例として，視覚障害者用 Windows アクセスツールの聴覚ディスプレイデザインについて述べる．Windows におけるユーザインタフェースオブジェクトの情報を，聴覚メディアのみで表示する．

3.4.1 "CounterVision" の目的

"CounterVision"は，視覚障害者を対象とした Windows アクセスツールである．パソコンは今や情報アクセスツールとして不可欠なものとなったが，パソコンで一般的に利用されている GUI は，その表示インタフェースを視覚メディアに頼っており，視覚障害者にとっての利用は困難である．この問題に対し，非視覚情報を使って GUI にアクセスする方式として Mercator [Edwards94] や GUIB [Mynatt94] 等が提案されている．これらでは，情報表示メディアとして主に点字や音声を利用する．

一方，"CounterVision"は，出力メディアとして，非言語音，音声，点字，図形表示用のピンディスプレイが利用可能な，統合的 Windows アクセスインタフェースである[Okada95] [Okada97]．"CounterVision"の開発においては関連する複数の研究が行われたが，筆者は "CounterVision"における聴覚ディスプレイの研究を行なった．ここでは，ユーザは音，特に非

言語音と音声で表示される情報を頼りにパソコンの操作を行なう．図 3-2 は“CounterVision”の音響ディスプレイの概念を示した図であるが，ここでは GUI を AUI にメディア変換してユーザに表示する．

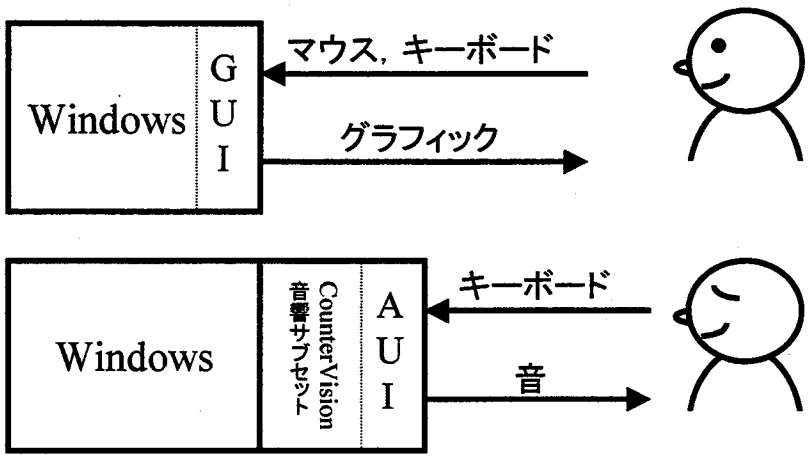

図 3-2　CounterVision の音響ディスプレイと入出力

3.4.2　“CounterVision”の操作インタフェース

“CounterVision”は 2 種類の操作インタフェースを備える．GUI オブジェクトの配置や大きさといった位置構造に基づき操作を行う“直接操作型インタフェース”と，GUI の論理構造に注目して操作を行う“間接操作型インタフェース”である[Okada97].

直接操作型のインタフェースは“Touch Sound Display”で実現される[Wake94]．“Touch Sound Display”はタッチパネル付の視覚ディスプレイを備える．通常，タッチパネルでのポインティング操作は，ポインタ移動とマウスクリックに相当するが，“Touch Sound Display”でのポインティング操作はポインタ移動のみである．ユーザは，視覚ディスプレイ上をポイントすることで，ポインタをその位置へ移動させる．ポインタが移動すると，ポインタの下に存在する GUI オブジェクトの情報が音で表示される．図 3-3 に“Touch Sound Display”の操作の様子を示す．

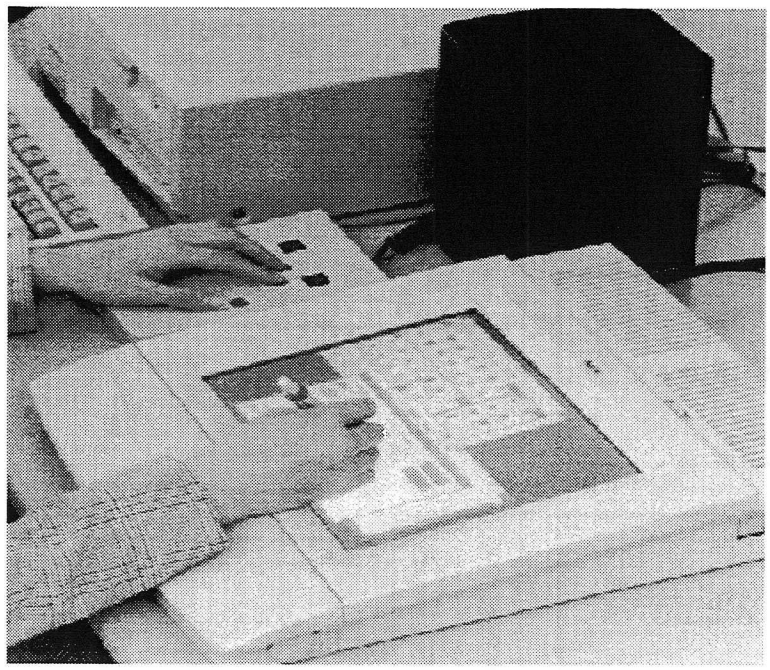

図 3-3　Touch Sound Display

一方，間接操作型のインタフェースとして，GUI は“探索テーブル”という表形式のテーブルに書き換えられる（図 3-4）．テーブルの上下には階層関係にある UI オブジェクトが割り当てられ，左右には対等な関係にあるオブジェクトが割り当てられる．探索テーブルの行は操作に応じてダイナミックに書き換えられ，次に操作可能な項目が逐次表示される．例えば，図 3-4 の 2 行目のメニューから“ファイル”を選択した時点で，“ファイル”というメニュー項目の階層下に存在するメニュー項目が次の 3 行目に表示される．GUI において UI オブジェクトはディスプレイ上のどの位置にでも表示される可能性があるが，探索テーブルではユーザインタフェースの論理構造が整理され，階層関係が明確に表上に表示される．

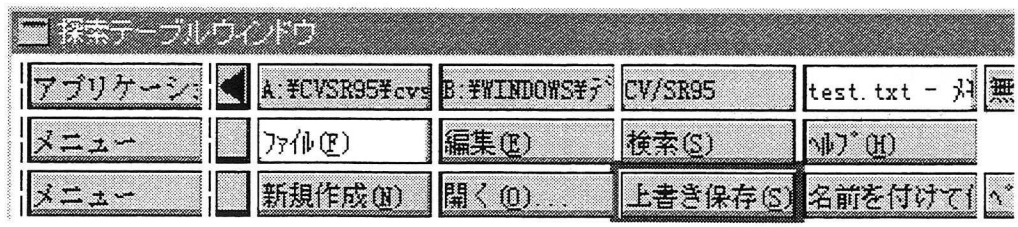

図 3-4　探索テーブル

“CounterVision” はこのような 2 種類の操作インタフェースを備えるが，いずれのインタフェースにおいても，以降に述べる聴覚ディスプレイで情報の表示が行われる．

3.4.3 聴覚メディアによる情報表示と操作

ユーザは Windows システムに対して「オブジェクトの探索 → 入力 → 状態変化の確認」という流れで操作を行う（表 3-5）．GUI では，グラフィカルに表されたオブジェクトを視覚的に探索し，マウスやキーボードを用いて入力を行い，オブジェクトの形状や色の変化によってユーザは入力の結果を確認する．一方，”CounterVision”では，情報表示は聴覚メディアにより，入力はタッチパネルへの直接ポインティングあるいはキーボード（主に矢印キー）により行われる．

具体的には，直接操作型インタフェースの”Touch Sound Display”においては，ユーザが視覚ディスプレイ上を直接ポインティングすると，ポインティング位置に存在する GUI オブジェクトの情報が音で表示される．ユーザは音を頼りに目的のオブジェクトを探索する．目的の UI オブジェクトにたどり着くと，ユーザは決定キーを押す．すると，その UI オブジェクトの有する機能が実行され，システムの状態が変化したことを表す状態変化音が出力される（表 3-5）．

間接操作型インタフェースにおいては，ユーザはキーボードの上下左右の矢印キーを使って探索テーブル上のフォーカスを上下左右に移動させる（図 3-4）．このときフォーカスされた項目（UI オブジェクト）の情報が音で表示される．全ての UI オブジェクトは探索テーブル上に整理されているため，ユーザは矢印キーを使って上下左右にフォーカスを移動させることで全ての UI オブジェクトにアクセスすることが可能である．ここでも，目的の UI オブジェクトに対して決定キーを押すと，機能が実行され，状態が変化したことを表す状態変化音が出力される．

Windows 操作に必要となる UI 情報を表 3-6 に整理した．状態提示とは UI オブジェクトを説明する情報であり，そこには，UI オブジェクトの種類，キャプション，状態（以下ステイタス）という 3 種類の情報が含まれる．GUI では，オブジェクトの種類は形状で表現され，その上もしくは近辺にオブジェクトのキャプション（表題）が記されている（図 3-5）．例えば，図 3-5-(a) は，オブジェクトの種類は“プッシュボタン”，キャプションは“はい”である．また，UI オブジェクトはステイタスを持つ場合がある．図 3-5-(b)はその一例のラジオボタンであり，“チェックオン”“チェックオフ”の 2 種類のステイタスをもつ．

“CounterVision” ではオブジェクトの種類を表す音をオブジェクト音，キャプションを示す音をキャプション音，ステイタスを表す音をステイタス音と呼び，これら 3 種の総称を状態提示音とよぶ．状態提示音は，表 3-5 に示すように，ユーザがオブジェクトを探索する時の手がかりとなる音である．

表 3-5　情報表示と操作

操作の流れ →

	オブジェクトの探索	入力	状態変化の確認
Windows GUI	グラフィックの位置，形状，文字列	マウス キーボード	グラフィックの変化
CounterVision AUI	状態提示音	タッチディスプレイ キーボード	状態変化音

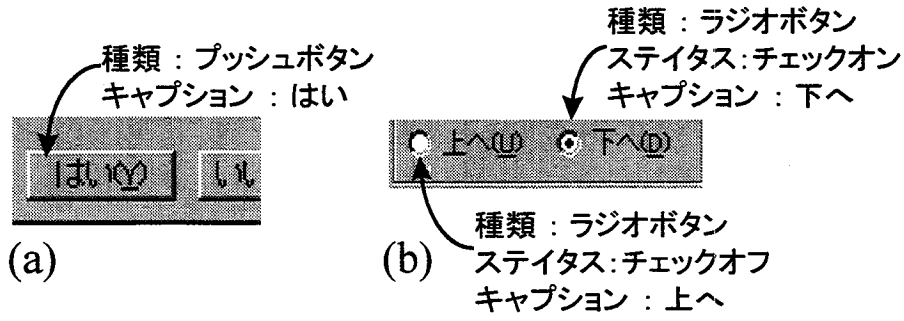

図 3-5　インタフェースオブジェクト

一方，表 3-6 における状態変化とは Windows システムの状態変化を表す情報である．具体的には，ユーザ操作や，処理の結果生じるシステム状態の変化（例えば，アプリケーションの起動等）のことであり，GUI では主にグラフィックの変化によって表現される情報である（新しいウィンドウが出現する等）．“CounterVision” ではこの情報は状態変化音にて表現する．ユーザは状態変化音を聞くことにより，自身の入力の結果生じたシステムの状態変化を確認することができる（表 3-5）．

表 3-6 Windows の情報カテゴリー

情報カテゴリー		説明
状態提示		UI オブジェクトの説明
	オブジェクトの種類	ー種類を示す
	キャプション	ーキャプションを示す
	ステイタス	ー状態（ステイタス)を示す
状態変化		Windows の状態変化

表 3-7 インタフェース音のデザイン方針

		音の種類	説明
状態提示音	オブジェクト音	記号音	論理的に音をデザインすることで，ユーザが音を覚えやすいように，また覚えきれない場合でも類推が可能なようにする．
	キャプション音	音声	キャプションを合成音声で読み上げる
	ステイタス音	比喩音	音色で直感的に状態が認識できるような信号音
状態変化音		具象音	現実の事象と関連付け，自然な(現実に近い)操作感覚が得られるようにする．

3.4.4 聴覚ディスプレイのデザインコンセプト

“CounterVision” においては，表 3-6 に示した情報カテゴリー毎に，種類の異なる音を利用することとした（表 3-7）．これによりユーザは，まず音の種類の違いを聞くことで，どのカテゴリーに属する情報かを知ることができる．

オブジェクト音については，“記号音” を使った聴覚ディスプレイであるイアコンを利用することとした．オブジェクトの種類は主だったもので約 50 種類あるが，それに対してはあるルールに基づいて論理的に音をデザインすることで，ユーザが音を覚えやすいように，また覚えきれない場合でも類推が可能になると考えるからである．このイアコンのデザインには 3.2 節にて提案したイアコン多次元デザイン手法を用いる．

ステイタス音については聴覚アイコン，その中でも特に“比喩音”を利用する．ステイタスの種類は限られていることもあり，音で直感的にステイタスを理解できるような比喩音の作成を目指す．

一方，キャプションは“合成音声”にて読み上げることとする．キャプションは自由に記述することができるためそのバリエーションは無限であること，またキャプションで説明される情報は正確に伝達する必要があるため，合成音声を利用する．

以上 3 種類の情報提示音は，探索テーブル上にてユーザがフォーカスを移動したときに出力されるが，このとき「ステイタス音→オブジェクト音→キャプション音」という順に出力する（但し，ステイタス音はない場合もある）．例えば，図 3-5-(b)の UI オブジェクト例についての状態提示音は「ティ，ピーピ，下へ」(意味：チェックオン，ラジオボタン，下へ)のようになる．

最後に，状態変化音については“具象音”を利用することとした．システムの状態変化を現実の事象と関連付け，現実に存在する音を利用することにより，より自然にシステムの状態変化を理解できるようにすることを目指した．

一方，複数の音を一つのシステムで利用する場合，音の雰囲気について統一感を持たせることも使用感の上で重要である．ある音はコミカルなのにある音はクールというように，バラバラの雰囲気の音が一つのシステムに利用されていては，システム全体の統一感が損なわれる．このためサウンドのデザインコンセプトを予め設定することとした．コンセプトは利用者や利用場所を考慮して定める必要があるが，今回は“CounterVision”が職場や公共で利用されることを考慮して，デザインコンセプトは“無機質”とした．

以上に“CounterVision”の聴覚ディスプレイデザインの枠組みを示した．次章以降では，表 3-6 に示す各カテゴリーの聴覚ディスプレイのデザインについて,「表示情報のデザイン」「タイミングのデザイン」「音のデザイン」の 3 つの観点から，具体的に説明する．ただしキャプション音については，オブジェクトのキャプションを音声合成で読み上げるのみであるので説明は省略する．

3.5 イアコン多次元デザイン手法を用いたオブジェクト音のデザイン

UI オブジェクトの種類を音で表示するオブジェクト音のデザインについて述べる．3.2 節にて提案したイアコン多次元デザイン手法を用いてイアコンを製作する．聴覚ディスプレイのデザインには，表示情報のデザイン，タイミングのデザイン，音のデザインという観点が必要であることは 2 章にて述べたが，ここでもこれら 3 つの観点からデザインを行う．

3.5.1 表示情報のデザイン

イアコン多次元デザイン手法を用いるにあたり，まずはオブジェクト音が伝達すべき情報の整理を行い，情報分類表を作成する（図 3-1，フェーズ a)）．Windows においてアプリケーション共通の UI オブジェクトは約 50 種類ある．しかし，情報を聴覚メディアにて表示する場合，第 2 章 2.1.1 項の表示情報のデザインにて述べたように，表示する情報の数は必要最小限にとどめるべきである．そこで，ここでは UI オブジェクトを機能の面から捉え直して，“CounterVision” にて利用する UI オブジェクトを取捨選択し，さらにグルーピングした．これにより UI オブジェクトの見かけの数を減らすことができ，ひいては出力する音の種類を減らすことが可能となった．その具体的な方法を以下に示す．

情報の取捨選択であるが，“CounterVision” においては以下の理由から，全ての GUI オブジェクトを個別のオブジェクトとしてユーザに認識させる必要はない．まずはこの観点から情報の選択を行った．

- “CounterVision” では必要のない GUI オブジェクト
  例：スクロールバーは画面表示領域の制限ゆえに存在するオブジェクトであり “CounterVision” には必要ない．
- 目的は同等でありながら，視覚表示方法の違いから GUI では別のオブジェクトとして存在するオブジェクト
  例：Windows におけるメニューバーとプルダウンメニュー．どちらもメニュー項目の列挙という意味では同一の機能である．

次に，残った UI オブジェクトについて，その性質を捉えなおし，情報のグルーピングを行う．このとき，以下に示す 3 つの視点の 4 つの分類軸を設定することにより，情報のグルーピングを行った．

- **操作の意味を表す情報**
  操作の意味や位置付けを示す．詳細はキャプションでも表される．
  ⇒ 分類軸 1：操作の流れ
  ⇒ 分類軸 2：操作の種類（重要度）
- **入力を行なうために必要な情報**
  UI オブジェクトに対する入力方法を表す．
  ⇒ 分類軸 3：設定方法
- **操作の効率を上げるための情報**
  選択候補の種類を示すことで選択操作を効率化する．
  ⇒ 分類軸 4：ファイルの種類

そして，イアコン多次元デザイン手法に基づいて情報分類表を作成した．この分類表を表 3-8 に示す．以下，それぞれの分類軸について説明する．

表 3-8　UI オブジェクトの情報分類

				← リズム →			
				(なし)	♪	♩ ♪	♫
				← 操作の種類 →			
				対象選択		コマンド実行	
				途中選択	最終選択	設定	決定
↑ピッチ↓	446Hz (ポ)	↑操作の流れ↓	ファイル操作 (アプリケーション)	フォルダ デスクトップ スタートボタン スタートメニュー（サブメニューあり）	◆ ウィンドウ ◆ 最小化ウィンドウ ◆ アイコン(含ショートカット) ◆ ファイル(*.exe) ◇ ファイル(データ) ■ ファイル(その他) 『ポ』		
	660Hz (プ)		メニュー操作	メニューバー項目 メニュー項目（サブメニューあり）		△ メニュー項目(チェック機能) □ メニュー項目(単一選択機能) 『プープ』	
					メニュー項目（ダイアログ開く） 『プ』		
	1180Hz (ピ)		ダイアログ操作	タブコントロール	グループボックス スタティック プッシュボタン （オプション，ヘルプ） 『ピ』	○ エディット △ チェックボックス □ ラジオボタン □ 単数選択 リストボックス 『ピーピ』	プッシュボタン （OK，キャンセル，更新） 『ピピ』

↑ファイルの種類↓
- ◆ アプリケーション(446Hz)
- ◇ データ (446Hz + 381Hz)
- ■ その他 (446Hz + 215Hz)

↑設定方法↓
- ○ 文字入力 (1180Hz)
- △ チェックオン/オフ (1180Hz + 660Hz) 660Hz + 446Hz)
- □ 単一選択 (1180Hz + 446Hz, 660Hz + 381Hz)

↑和音↓

（1）分類軸 1：操作の流れ

Windows におけるタスク遂行までの操作手順を操作の種類に基づいて分類する軸．何の操作にかかわる UI オブジェクトかを分類する軸である．表 3-8 の縦軸に示される．

- **ファイル（アプリケーション）操作**：ファイル，アプリケーションの起動や選択操作に関わる UI オブジェクト．Windows でのタスクは通常アプリケーションやファイルの選択/起動から作業がはじまるため，利用頻度の高いオブジェクトである．
- **メニュー操作**：コマンド入力のための操作．メニュー操作だけでコマンド入力が完了するものと，メニュー操作の最後がダイアログのオープンにつながるものの 2 種類がある（表 3-8 ではこれを上下 2 段で区別する）．
- **ダイアログ操作**：コマンドを入力するための操作．各種パラメータの設定を行ない，「決定」操作が行なわれたときに設定内容がアプリケーションあるいは Windows システム反映される．

（2）分類軸 2：操作の種類

操作の性質に基づく分類軸．表 3-8 の左右軸である．ファイルやコマンドなど操作対象の選択に関わるオブジェクトと，コマンドの設定や決定操作に関わるオブジェクトが存在する．それぞれについて以下に説明する．

- **対象選択**：複数の選択肢から対象を絞込むための操作．
  - **途中選択**　：絞り込みの途中段階．さらに選択操作が続くもの．
  - **最終選択**　：選択の一番最後（選択候補のリーフ）．選択により一連の選択操作は終了し対象が決定する．
- **コマンド実行**：コマンドを実行するための操作．
  - **設定**　：コマンドのパラメータ値を設定する．ダイアログでは通常「決定」操作を行なうまで設定内容は実行されない．
  - **決定**　：「設定」した内容が実行される．メニューでは，「設定」と「決定」が同時に実行される．

なお表中，右の項目ほどタスクに対する影響度が高くなる．

（3）分類軸 3：設定方法

操作の種類軸における「設定項目」を細分化する分類軸．UI オブジェクトに対する入力方法を分類する．

- **単一選択**：複数の選択肢から一つを選ぶ形の設定をおこなうもの．ラジオボタンなど．
- **チェックオン/オフ**：ある項目についてチェックオンかオフかいずれかの状態を設定する．チェックボックスなど．
- **文字入力**：文字列を入力する．エディットボックスが相当する．

（4）分類軸 4：ファイルの種類

「ファイル操作」の「最終選択項目」についての分類軸．ファイルの種類で分類する．

- **アプリケーションファイル**：GUI ではアプリケーションアイコン，アプリケーションウィンドウ，実行形式ファイル等で表されるもの．
- **データファイル**：各種データファイル．
- **その他**：dll ファイル，各種設定ファイルなど．

以上，4 つの分類軸にてオブジェクトの種類を分類することで，表 3-8 に示す情報分類表を作成した．ここで，一つのセルに属する UI オブジェクトは，GUI のオブジェクトとしてはそれぞれ異なるものであるが，機能的には同一のものとみなすことができる．さらに“途中選択”カテゴリーには無音を適用したことで，結果的に UI オブジェクトを 11 種類の音で表すことができた（表 3-8 に示すマトリクスの 9 つのセルのうち，“ファイル操作の最終選択”および“メニュー操作の設定”，“ダイアログ操作の設定”については，それぞれのセルがさらに“ファイルの種類軸”，“設定方法軸”という 3 次元目の軸で分類されているため，合計で製作された音の数は 11 種類である）．

3.5.2 タイミングのデザイン

オブジェクト音は，ユーザがオブジェクトの探索を行うときに出力される（表 3-5）．ユーザが GUI オブジェクトをポイントした時，あるいは矢印キーを使って探索テーブル上のフォーカスを移動した時，次のオブジェクトにフォーカスが移ると直ちに状態提示音が出力し，そのオブジェクトの種類や状態が音響表示されるものとする．そしてここでは，「ステイタス音→オブジェクト音→キャプション音」という順で 3 種類の状態提示音を連続的に出力する．オブジェクトの探索はできる限り効率的に短時間でおこないたいという要求がある．従って，ユーザの操作に対してできる限り遅延がなく音響出力をおこなえるように，システムを開発した．

3.5.3 音のデザイン

イアコン多次元デザイン手法のフェーズ b)以降を実施する（図 3-1）．3.5.1 項にて作成したオブジェクトの分類表（表 3-8）に音響パラメータを割り当ててイアコンを製作する．状態提示音はオブジェクトの探索のために出力される音であるため，できるだけ素早くユーザに情報を伝えられることが望ましい．従って，オブジェクト音はできる限り「短い音」で情報が提示できるように考慮し，音響パラメータの選択と情報分類軸への割り当てを行った．以下に，音響パラメータの選定と割り当てについて説明する．

（1） 音響パラメータの選定

イアコン多次元デザイン手法のフェーズ b)（図 3-1）で利用するための音響パラメータを選択する．音には複数の音響パラメータ（音響的特徴）を捉えることができるが，ユーザが個々のパラメータの変化を独立に知覚できることを条件として，今回 3 種類のパラメータを選定した．以下に各パラメータの説明と共に，具体的なパラメータ値の候補を同時に挙げる．

●音高

音の高さをパラメータとする．パラメータ値として 3 種類のピッチを用意した．このとき，敢えて音楽で使われる 12 音階の関係にはないピッチを候補とした．なぜなら音階の関係にある音は，連続的に発音したとき，ある音楽的な印象を聞き手に与えてしまう可能性があるからである．この影響を避けるために，敢えて 12 音階にあてはまらないピッチを利用することとした．

・1,180 Hz（ピ）　・660 Hz（プ）　・446 Hz（ポ）

●和音

上記 3 種類のピッチをもつ単音それぞれに対して，和音を 2 種類ずつ製作し，これを和音のパラメータとした．単音のバリエーションとしての和音とするために，主ピッチに対してピッチが低い音を-10dB の音圧で混合する方法で和音を製作した．

・1180Hz + 660Hz　・1180Hz + 446Hz
・660Hz + 446Hz　・660Hz + 381Hz
・446Hz + 381Hz　・446Hz + 215Hz
（先に記述されている周波数が主ピッチ）

●リズム

リズムをパラメータとし，5種類のリズムを候補として用意した．♪=100msとし，音全体の長さは300msまでにおさまるようにした．操作効率の上でも，操作感の上でもできるだけ短い音で情報を伝える必要があるため，リズムやピッチが判別できる最低限の長さでの表現を試みた．

・♪　(ピ)　・♩　(ピー)
・♫　(ピピ)　・♩♪ッ (ピーピ)
・♫♪ッ (ピピピ)

なお，以上のパラメータを変化させる上で基本となる音色（音響波形）は振幅エンベロープに変化のない正弦波とした．

（2）音響パラメータ値の割り当てとオブジェクト音の製作

イアコン多次元デザイン手法のフェーズ b)として，情報分類表の分類軸に音響パラメータを割り当て，さらにフェーズ c)として各分類項目にパラメータ値を割り当てる．これらの対応を表 3-8に示すと共に，以下にこの割り当てを行った理由を述べる．

- “操作の種類”軸に“リズム”パラメータを割り当てた．重要な軸に最も識別しやすいパラメータを割り当てることとした．
- “操作の流れ”軸に“音高”パラメータを割り当てた．また，音が順次高くなるようにパラメータ値を割り当てることで，操作の流れを直感的に表現できるようにした．
- “ファイルの種類”と“設定方法”に“和音”パラメータ割り当てた．これらの分類軸は独立しておりUIオブジェクトが重ならないため，双方の軸に和音を割り当てた．
- 途中選択にはリズムパラメータ値を割り当てなかった（音をつけなかった）．これは，オブジェクトの選択時に連続的に同じ音が発音されると，うるさく感じて操作性を損ねる可能性が高いためである．

以上により，イアコン多次元デザイン手法における情報の分類，音響パラメータの設定およびパラメータ値の決定を行った．最後にフェーズ d)として，表の各項目について各分類軸のパラメータ値に従ってイアコンを製作した．

なお，情報の項目とパラメータ値の割り当ての方法については今後さらに研究を進める必要がある．例えば，「くり返しのリズムは警告的印象が強くなる」というな関係があるならば，くり返しリズムのパラメータ値は動作が正常であることを伝える情報の表示には利用すべきではないだろう．このような音響パラメータ値（それぞれのリズムや音高さ，音色など）と心理量の関係を明らかにし，その印象を効果的に情報伝達に利用する手法の開発は今後の研究課題である．今回は筆者のサウンドデザインの経験に基づき，パラメータ値の割り当てを行った．

3.6 “CounterVision”のステイタス音と状態変化音のデザイン

3.6.1 ステイタス音のデザイン

ステイタス音の製作について説明する．ステイタス音は UI オブジェクトの状態を示す音であり(図 3-5)，ラジオボタンのチェックオンやチェックオフ，アプリケーションが起動中かどうかなどを表す．ステイタス音は，比喩音で製作する．

（1）表示情報のデザイン

“CounterVision” で利用するオブジェクトのステイタス 5 種類を表 3-9 に示す．チェックオンおよびチェックオフは，Windows の各種設定操作において特に重要度の高い情報である．選択履歴はオブジェクトの階層構造を確認する上で有効な情報である．

（2）タイミングのデザイン

GUI オブジェクトのポインティング，あるいは探索テーブル上にてオブジェクトにフォーカスが移ると，直ちに「ステイタス音 → オブジェクト音 → キャプション音」の順で状態提示音が出力される．（本章 3.4.4 項参照）

（3）音のデザイン

ステイタスはコマンド設定を行なう上で重要な情報であるため，わかりやすく間違えにくい音であることが要求される．直感的にステイタスを認識できるよう，音色を利用した比喩音で聴覚アイコンを製作した（表 3-7 参照）．以下の表 3-9 に製作した音色を擬音語を用いて示す．また多種類の音色を用いると，本システムの音デザインのコンセプトである無機質な印象からは遠ざかる心配があるが，今回は 200ms までの短い音を利用することで，無機質で信号音的な印象を持たせるよう工夫した．

表 3-9 ステイタス音

提示情報	説明	音
チェックオン	チェックオンの状態（図 3-5 参照）	ティ
チェックオフ	チェックオフの状態（図 3-5 参照）	ブ
操作不可能	現在操作できない状態	ザ
選択履歴	“CounterVision” 特有の情報提供．これまでに選択されてきた上位階層（上の行）のオブジェクトを示す	ピン
起動ｱﾌﾟﾘｹｰｼｮﾝ	現在起動中のアプリケーション	ジャ

3.6.2 状態変化音のデザイン

状態変化音は，ユーザ入力の後に起こる Windows の状態変化を表す音である（表 3-5）．具象音を利用して製作をおこなう（表 3-7 参照）．

（1）表示情報のデザイン

GUI のグラフィカルな変化にはこだわらず，変化の意味に基づいて提示する情報を選定した．特に，操作の区切りと重要度の高い操作（決定操作(表 3-8)）後の状態変化をユーザが確実に音で確認できることに配慮して，表 3-10 に示す発音情報を選定した．

（2）タイミングのデザイン

状態変化音は，入力に対する Windows の状態変化が完了した時点で出力される．音を聞くことで，入力指示が確実に実行されたことを確認できる．ただし，ボタン押下に関しては，ボタン押下直後に発音することで，ユーザは自身の操作の確認（手ごたえ）をここのフィードバック音で知ることができるようにした．

（3）音のデザイン

具象音を用いて聴覚アイコンを製作する（表 3-7）．状態の変化を，開く，消える，押す，といった実世界の事象に対応付け，対応する現実音を割り当てた．以下にその対応付けを説明し，表 3-10 に割り当てられた音色の擬音語を記す．

- 開始系の変化 ⇒ 物理的に何かが開く音
- 終了系の変化 ⇒ 風の音（吹き飛ばされ消える音）
- ユーザ操作系 ⇒ 打撃音（クリック音）

表 3-10 状態変化音

分類		発音場面	音
アプリケーション		起動	パシャ
		終了	ホゥー
メニュー		操作開始	バタッ
		コマンド終了（ダイアログに続かないもの）	プン
ダイアログ		オープン	カチャ
		クローズ	シュッ
	ボタン	押下	ポン

以上，“CounterVision”の聴覚ディスプレイデザイン事例について説明した．実際のデザイン過程においては，幾つかの候補の音でシステムを試用するという試行も行い，ここに示した最終的なパラメータの対応や音を決定した．

3.7 まとめ

本章では，記号音を用いた聴覚ディスプレイのデザイン手法であるイアコン多次元デザイン手法を提案した．その有効性を評価した上で，視覚障害者用の Windows アクセスツールの AUI デザインに適用した事例について説明した．

イアコン多次元デザイン手法は，まず伝達すべき情報を複数の観点から分類整理し，その分類軸に対して音の高さや音色といった音響パラメータを割り当てることでシステマティックにイアコンをデザインする手法である．

“CounterVision” のサウンドデザインでは，Windows の操作に必要な多岐にわたる情報を整理することから始め，イアコン（記号音），聴覚アイコン（比喩音，具象音），音声など多種類の音を利用して AUI を製作した．その中でイアコンの製作については，提案したイアコン多次元デザイン手法を利用した．複数の情報の意味を論理的に整理し情報分類表を作成し，分類軸に音の特徴量を割り当てることで，システマティックに音を製作することができた．本手法を使うことで複数の音を一括して統一的に製作することが可能となった．一方ユーザは音全てを個別に記憶しなくとも，音のある特徴量に注目して音を聞くことで効果的に情報を把握することが可能となった．

本章ではイアコン多次元デザイン手法の枠組みと事例を示したが，次章では，音のパラメータと印象の関係を心理実験を通して明らかにし，これらをイアコンデザインに効果的に反映させる方法を検討する．

第4章　音響パラメータの識別性・記憶性に関する研究

前章でイアコン多次元デザイン手法の基本方針と製作フェーズについて述べた．この手法を音の専門家でない者も含め誰もが有効に運用できるものとするには，より具体的な運用指針が示されることが望ましい．特に，デザインフェーズにおける b)“音響パラメータの設定”，や c)“パラメータ値の決定”（図 3-1）に関しては，音響パラメータの特徴を踏まえた上で，どのような音響パラメータやパラメータ値を利用すべきかという指針を示すことが必要である．

そこで本章では，情報を表現するイアコンの製作にいかなる音響パラメータを利用するべきかに関する研究について述べる．特に聞き分けやすく，覚えやすいイアコンを製作するのに有効な音響パラメータを音響心理実験を通して明らかにした．

4.1　イアコンが満たすべき音響的条件

江川は警告音作成の条件として「聞き取りやすさ」と「聞き間違えにくさ」の 2 項目を挙げた[Egawa88]．警告音はイアコンの一種であるが，この条件は警告音に限らずイアコン全般に必要な条件である．まず，聴取者がイアコンを「聞き取れない」ことにはイアコンの目的である情報の伝達はありえない．次に「聞き間違える」とは，報知されるべき情報を取り違えることを意味するが，その要因は，複数のイアコンの聞き分けができずに間違える場合と，聴取するイアコンと記憶しているイアコンとの整合がとれないために解釈を間違える場合の 2 種類があると考えられる．複数種類のイアコンが同一環境で発音する状況や，あるいは希にしか発生しないイアコンが重要な情報を表現する状況は十分におこり得るが，このようなとき，聞き分けにくいイアコン，覚えにくいイアコンはその機能を充分に果たすことができない．

一方，警告音に関する国際規格 ISO-7731 では，警告音の要件として Audibility, Discriminancy, Unambiguity の 3 要素を挙げている[ISO-7731]．このうち Audibility は知覚性，Discriminancy は識別性に相当する．Unambiguity については “警告音の意味があいまいであってはならない” と規定されているが，これは記憶にある音とその意味を正確に想起できるかどうかの問題だと解釈できる．正確に記憶されている音は曖昧性が少なく，従ってイアコンは覚えやすい音であるべきである．

これらのことから，イアコンが満たすべき条件は，1)聞き取りやすさ（知覚性），2)聞き分けやすさ（識別性），3)覚えやすさ（記憶性），であると言うことができる．

4.2 実験の目的

知覚性の条件を満たすには，イアコン利用環境の暗騒音によるマスキングを考慮する必要がある．ISO-7731 には，マスキングを考慮した上での知覚性確保の方法が規定されている[ISO-7731]．暗騒音が非常に大きい環境などでは，周波数帯域毎の音量を考慮することで警告音全体の音量を抑える方法の利用が有効であるが[Eagawa88]，暗騒音が家庭の部屋程度の程度の環境であれば，「暗騒音より 15dB 大きく，かつ警告音自体の音量（大きさ）が 65dB(A) *3以上であれば，知覚するに十分である」という規定の適用で，知覚性の問題に対処することができる．

従って，ここでは基本的に，知覚性の問題は音量設定により解決できるものと判断し，以下は識別性・記憶性と音響パラメータの関連を調べる心理実験を行う．識別性・記憶性の問題はイアコン多次元デザイン手法のフェーズ c)“パラメータ値の決定”でも併せて考慮すべき問題であるが，本実験では，特にフェーズ b)“音響パラメータの設定”に着目し，識別性および記憶性の高いイアコン群を作る際に有効な音響パラメータを見出すことを目的とする．

4.3 刺激音の制作

「高さ」，「音色」，「リズム」の 3 種類の音響パラメータを実験の対象とした．Blattner は基本音響パラメータとして，高さ，音色，リズム，大きさ，方向，の 5 つを挙げたが[Blattner94]，イアコン出力の「方向」については，多くのシステムでは制御が困難であるため，今回の実験対象から除外した．一方，3.2 で述べたように，音の「大きさ（音量）」は知覚性の問題解決に利用するため，実験対象から除外した．なぜなら，イアコンが満たすべき音量最低値は暗騒音に依存して決まるが，暗騒音の大きさは運用中に変化する可能性があり，その場合，イアコンの音量を制御して知覚性を確保する必要があるからである．すなわち，運用中に変化する可能性のある音量を，情報表現のためのパラメータとして利用すべきではない．以上の理由から，「高さ」，「音色」，「リズム」を実験対象と設定し，これら 3 種類の音響パラメータについて，具体的なパラメータ値（特徴量）をもつ音を刺激音として作成した．以降，刺激音の制作について具体的に述べる．

4.3.1 高さ

音色およびリズムは同一の条件で，高さが異なる刺激音を 5 種類制作した．高さは音の基本

---

*3 dB(A)は，騒音レベルを表す単位であり，人間の聴感に基づいた感覚量を表す．音圧レベルを等感曲線に基づく A 曲線にて周波数補正した値である．

周波数*4により決まる．ここで，ISO-7731 には，可聴範囲のうちの特に聞こえやすい音域を考慮し，300～3,000Hz の周波数を基調とすべきことが規定されている[ISO-7731]．今回，この範囲のうち特にイアコンに利用されやすい 1000Hz 付近を対象として，隣り合う音の音高差が 300 セント*5（=3 半音）となる刺激音を制作した．音高差を 300 セントとしたのは，刺激音群の調性感をなるべく排除するためである．それぞれの刺激音の基本周波数を表 4-1 に示す．

表 4-1 「高さ」に関する刺激音

名称	P1	P2	P3	P4	P5
高さ(Hz)	840.90	1000.00	1189.21	1414.21	1681.79

音色＝正弦波，　リズム＝連続音

4.3.2 音色

高さおよびリズムは同一の条件で，音色が異なる刺激音を 5 種類制作した．音色は，JIS-Z8109 音響用語（音声聴覚・音楽）[JIS-Z-8109]に，「音色は音のスペクトル，波形，音圧及びそれらの時間的な変化などに関係がある」と定義されている[Namba93]．このように音色と物理量の関連は，複数の物理量が複雑に関与しており，未だ明らかになっていないことが多い．このような理由からパラメトリックかつ網羅的に刺激音を設定していくことは困難である．

従って実験では，現在一般に利用されているイアコンを参考にし，刺激音の音色設定を行なう事とした．まず，イアコンは定常音*6であることが比較的多いため，刺激音も定常音とした．主に波形の違いに注目し，イアコンとして利用されやすい音色を中心に表 4-2 に示す 5 種類の音色を設定した．電子合成音として周波数成分の異なるものを 2 種(T1, T2)，振幅変調を施したもの(T3)，さらに実際にイアコンとして利用されているブザー(T4)とサイレン(T5)（高さと大きさを調整し，時間的変化を排除したもの）を用意した．各刺激音の波形を図 4-1 に示す．

表 4-2 「音色」に関する刺激音

名称	T1	T2	T3	T4	T5
音色	正弦波	矩形波	正弦波に 25Hz の振幅変調	ブザー	サイレン

高さ＝1000Hz，　リズム＝連続音

---

*4 複数ある周波数成分のうちの最低周波数成分．多くの場合ピッチ周波数に対応している．すなわち聴覚上，基本周波数が音の聴こえの高さとなる．

*5 音高の差 $= 1200 \log_2(f_2/f_1)$ （セント），　半音=100 セント，オクターブ=1200 セント

*6 物理的には簡単に規定できない問題であるが，主観的に時間変動がないと判断できる音 [Namba84]．ここでは，一音の中で聴覚上，音色・高さ・大きさに時間的変化のない音を指す．

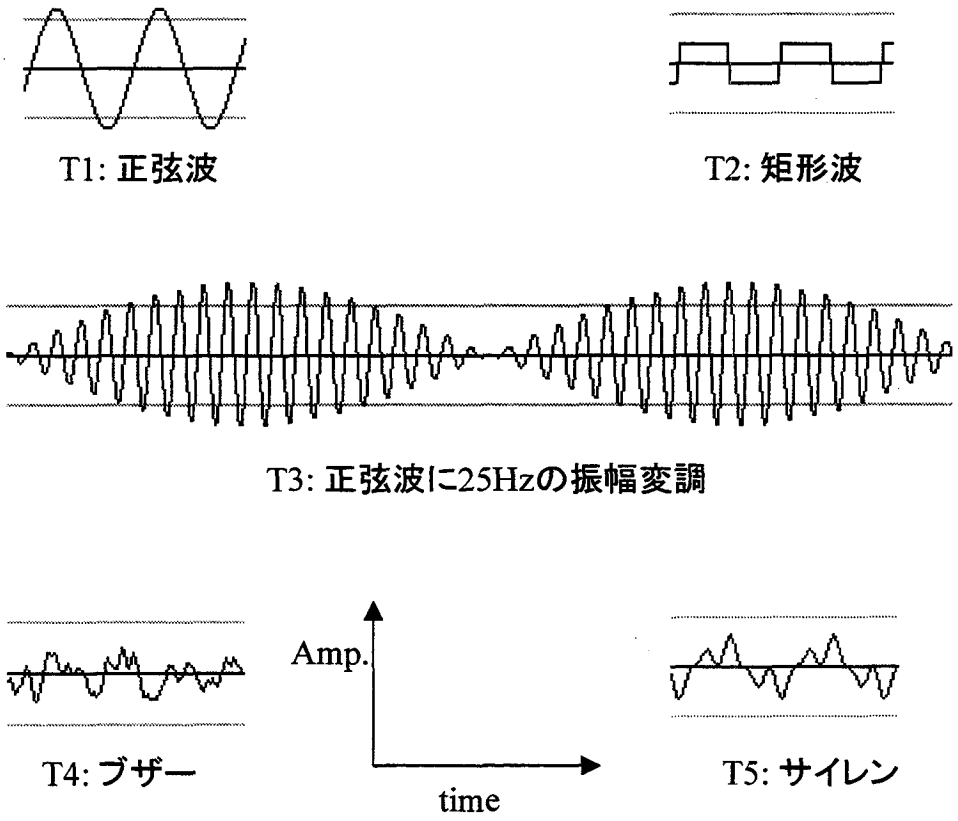

図 4-1　刺激音の波形（T3 のみ横軸時間スケールが異なる）

4.3.3　リズム

高さと音色は同一の条件で，リズムが異なる刺激音を 5 種類制作した．リズムとは，音呈示およびポーズ（無音部分）の継続時間分布により規定される．1 秒を 1 サイクルとし，1 サイクル内で異なるリズム 5 種類を設定した．それらを 3 サイクル繰り返すことで，刺激音を制作した．各刺激音 1 サイクルのリズムの説明を表 4-3 に，3 サイクル分のリズムを図示したものを図 4-2 に示す． R1 は 1 サイクル中に 150ms の音 2 回を 350ms のポーズを挟んで配置したものであり，サイクルを繰り返したとき音が均等な間隔で聞こえる．R2,R3 はそれぞれ 150ms の音 2 回，3 回を 100ms のポーズを挟んで配置したものであり，サイクルを繰り返したときそれぞれ 2 音, 3 音がひとまとまりとなって聞こえる. R4 は 1 サイクル中に 400ms の音と 150ms の音を 100ms のポーズを挟んで配置したものであり，異なる長さの音が含まれる例である．R5 はポーズのない連続音である．

表 4-3 「リズム」に関する刺激音

名称	R1	R2	R3	R4	R5
リズム	等間隔 (ピ，ピ，)	2 音偏在 (ピピ)	3 音偏在 (ピピピ)	異長音 (ピーピ)	連続音 (ピー)

高さ＝1000Hz，　音色＝正弦波

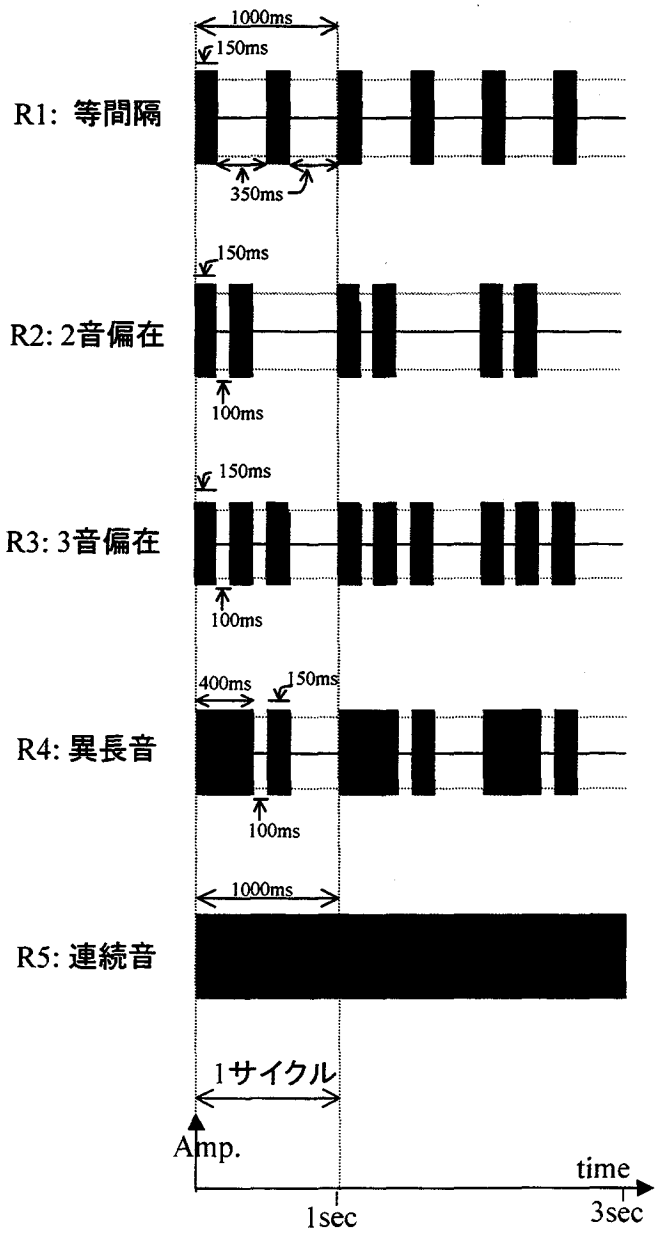

図 4-2 刺激音のリズム

以上，高さ，音色，リズムの 3 種類の音響パラメータに関して，5 種類ずつのバリエーションを持つ刺激音（計 15 音）を準備した．

4.4 実験の方法

4.4.1 被験者

20 歳代の男女 10 名（男性 5 名，女性 5 名）に対して実験を行った．被験者の音楽歴は義務教育の音楽授業のみからピアノ経験 10 年までさまざまであった．実験に先立ち，ピアノ音と純音による音名の聞き取り調査を行なった結果，被験者に絶対音感保有者はいないと判断できた．絶対音感とは，ある音が単独に与えられたとき音の高さを音名として正しく名指すことのできる能力であり[Dic.94]，絶対音感保有者は音の高さの識別や記憶の実験に優位であることが予想される[Ward87]．しかし絶対音感は少数の人しか持たない特殊な能力であるため，聞き手を選ばないイアコン製作のための実験に絶対音感保有者を利用するべきではないと考えた．

4.4.2 手順

実験は 2 日間行なわれ，両日共に被験者に対し 3 種類のテスト（高さ・音色・リズムに関するテスト）を行った．高さに関するテストの手順を例にとり，図 4-3 を利用して説明する．音色，リズムに関するテストも同様の手順で行なった．3 種類（高さ，音色，リズム）のテストの実施順序は被験者毎に設定し，実験の目的と全体手順はあらかじめ被験者に説明した．

（1）1 日目：識別性に関する実験（図 4-3 参照）

1）「基準音」（P1～P5 の中のある一音で，被験者毎に設定される）を 3 回聴取する．この時，「基準音」をできるだけ覚えるように指示する．

2）引き続き，P1 ～ P5 までの刺激音を順不同に呈示する．被験者は呈示される刺激音が「基準音」と同じ音かどうかを判断し，解答用紙に○または×を記入する．刺激音は全部で 12 音呈示されるが，後の 10 音には P1～P5 が各々2 回ずつ含まれる．最初の 2 音は P1～P5 の中のいずれかの音を利用するが，この 2 音の結果は正答率集計には利用しない．なぜならこれらの音は基準音発音の直後に呈示されるため基準音との比較が容易に行なえてしまうからである．

（2）2 日目：記憶性に関する実験

実験の開始時に「基準音」の呈示を行なわないこと以外は，1 日目と同様の実験を行なう．被験者は 1 日目に呈示された「基準音」を思い出し，正誤の判断を行なう．

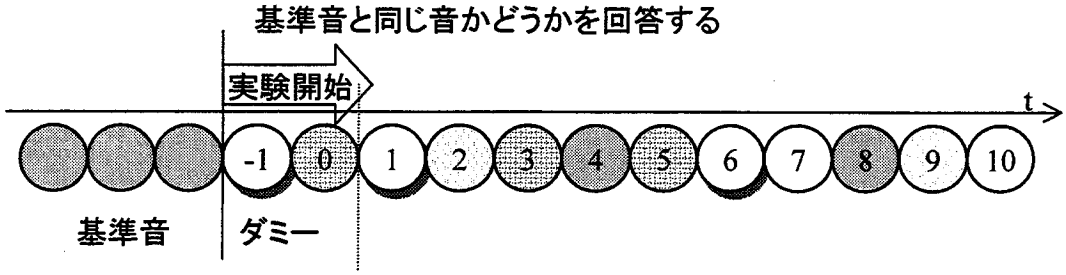

図 4-3　識別性テストの方法（記憶性テストでは基準音が呈示されない）

1 日目の実験結果から音響パラメータと識別性の関連（パラメータ値が変化したときの音の聞き分けやすさ）を，2 日目の実験結果から音響パラメータと記憶性の関連（音響パラメータの違いによる音の覚えやすさ）を考察する．

刺激音は PC 上に 16bit, 44.1kHz,ステレオのサウンドデータとして格納され，ラウドスピーカーにより出力した．実験室の騒音レベルは 40.1dB(A)であり，刺激音はいずれも 75.0dB(A)で呈示した．

4.5　実験結果

実験の結果を示す．

（1）正答率

実験結果について 1 日目（識別性）と 2 日目（記憶性）の正答率を表 4-4 に示す．

表 4-4　正答率

	1 日目：識別性（%）	2 日目：記憶性（%）
高さ	90	67
音色	94	95
リズム	99	98

（2）分散分析

実験結果について分散分析にて有意判定を行なった．5%水準にて F 値の有意性判定を行なったところ表 4-5 および表 4-6 に示す結果が得られた．

表 4-5　識別性に関する分散分析表

変動因	変動：SS	自由度：df	分散：MS	分散比：F	F 境界値
1. 音響ﾊﾟﾗﾒｰﾀ：A	4.06667	p-1=2	2.03334	3.06706	3.55456
2. 被験者：S	11.36667	n-1=9	1.26296	1.90503	2.45628
3. 誤差　：Res.	11.93333	(p-1)(n-1)=18	0.66296		
全体：T	27.36667	np-1=29			

*p =< .05

表 4-6　記憶性に関する分散分析表

変動因	変動：SS	自由度：df	分散：MS	分散比：F	F 境界値
1. 音響ﾊﾟﾗﾒｰﾀ：A	58.46667	p-1=2	29.23335	40.89667*	3.55456
2. 被験者：S	11.33334	n-1=9	1.25926	1.76167	2.45628
3. 誤差　：Res.	12.86666	(p-1)(n-1)=18	0.71481		
全体：T	82.66667	np-1=29			

*p =< .05

さらに，各音響パラメータの正答率間の差についてテューキーの HSD 検定にて多重比較を行なった．有意差 5%水準で有意判定できた音響パラメータの対を表 4-7 に記載する．

表 4-7　有意判定できた音響パラメータ対

1 日目：識別性	2 日目：記憶性
有意差なし	高さ ＜ 音色 高さ ＜ リズム

音響パラメータ毎の正答率について，1日目の結果に有意差は判定できなかった．2日目の結果については有意差が判定でき，「高さ」よりも「音色」，また「高さ」よりも「リズム」の正答率が有意に高かった．一方，被験者間の有意差はないことが確認された．

4.6 考察

識別性について，1日目の正答率に有意差がみられないことから，3種類の音響パラメータに関してパラメータ値変化における音の識別性に有意差はないと言える．言い換えると，高さ，音色，リズムの変化に対して音の聞き分けやすさに有意な差はなかった．ただし，10%水準の検定では，「高さ」よりも「リズム」が有意であるという結果が得られたことと表 4-4 の正答率の値から，リズム＞音色＞高さ，の順で聞き分けやすいという傾向をとらえることはできる．

記憶性について，2日目の正答率に関して有意差が判定できたことから，「高さ」よりも「音色」，また「高さ」よりも「リズム」が記憶性に優れることが示された．つまり，「音色」と「リズム」は「高さ」に比べて覚えやすかった．この結果は表 4-4 において，「リズム」と「音色」の正答率が1日目と2日目でほとんど変化しないこと（分散分析による5%水準判定で有意差なし），それに対し，「高さ」の正答率は大きく低下していること（5%水準判定で有意差あり）からも読み取ることができる．さらに表 4-4 の正答率の値を参照すると，リズム＞音色＞高さ，の順に覚えやすいという傾向をとらえることができる．

実験結果に基づくと，覚えやすいイアコンのデザインには，「リズム」あるいは「音色」を音響パラメータとして利用することが有効であるといえる．また，聞き分けやすいイアコンについても，「リズム」あるいは「音色」の利用が有効である可能性が示された．特にこれらのうち「リズム」の利用効果が高い傾向にある．

ここで，パラメータ値の設定と実験結果に関して考察する．「高さ」に関して，実験に利用した刺激音の周波数間隔は300セントであったが，この間隔を広くすることで，識別性あるいは記憶性が向上する可能性を考えることができる．実際に，基準音と誤答の関係について実験結果の分析を行ったところ，聞き分けやすさに関する誤答の 90%は基準音からの周波数間隔が300 セント以下の刺激音であった．周波数間隔が 600 セント以上の刺激音に対する正答率は98％であった．一方，覚えやすさに関しては，被験者 10 人中の 8 名が基準音の記憶違いを起こしていると判断できたが，そのうちの7名は基準音からの間隔が600セント以下の刺激音へ記憶違いであった．周波数間隔が900セント以上の刺激音に対する正答率は92％であった．これらの結果は，高さパラメータ値の設定間隔を900セント以上とすることで，より高い識別性および記憶性が得られる可能性を示唆している．そこで仮に，周波数間隔を900セントに設定することを考えると，300Hz-3000Hz の設計範囲内においては5種類のパラメータ値設定が限界となる．一方，「リズム」と「音色」については実験に利用したパラメータ値で識別性・記憶性とも充分な結果が得られた．特定の刺激音対に誤答が偏っていないことも確認されている．「リズム」や「音色」は，パラメータ値設定数に限界が見える「高さ」に比べて，パラメータ

値設定の自由度が大きく，実験に利用した 5 種類以外にも多くのパラメータ値を想定できる．なぜなら，「リズム」におけるテンポやサイクルの長さ，「音色」における大きさの時間的変化など，実験の刺激音作成にあたって固定条件とした物理要素を取り入れることでさらに多様なリズムや音色を創作できるからである．認知的に充分差異のあるパラメータ値を利用すべきイアコン製作において，パラメータ値設定の自由度が大きい「リズム」「音色」は，「高さ」に比べて，識別性および記憶性を満足するパラメータ値群を制作しやすいといえる．

また別の考察として，「音色」，「リズム」は「高さ」に比べ符号化しやすい，という仮説を立てることができる．認知心理学の分野において，入力情報は符号化により長期記憶への情報転送が容易になることが知られている[Kaiho91]．「音色」および「リズム」は言語体系を利用し，擬音語として符号化することができる．それに対して「高さ」はこのような符号化が困難であり，それゆえ長期記憶での情報の定着（記憶）が弱くなるという可能性が考えられる．この仮説は検証が必要だが，「高さ」における記憶性の問題は，一概に周波数間隔のみでは解決できない可能性がある．

これらは，イアコンデザインに「高さ」を利用すべきではない，と結論づけるものではないが，「高さ」の利用には充分な注意が必要であることを示している．以上の点からも，イアコン多次元デザイン手法のフェーズ b)“音響パラメータの設定”において，「高さ」よりも「リズム」，「音色」を利用すべきである，という指針を得ることができる．

4.7 まとめ

聴覚ディスプレイの手順的デザイン手法である「イアコン多次元デザイン手法」を確立することを目標としている．前章では本手法の枠組みおよび適用事例について述べたが，本章では，効果的なイアコンのデザインには，フェーズ b)“音響パラメータの設定”において，どの音響パラメータを利用すべきかを実験を通して考察した．その結果，聞き分けやすさ，覚えやすさ，の観点において，「リズム」および「音色」の利用が有効である，という指針を得た．

今回の音響パラメータの選定に限らず，運用指針はさまざまな側面からのものを多様に用意することが望まれる．高さや音色については，2 種以上の高さや音色の組み合わせについての研究を進める必要がある．また，リズムや音色の具体的なパラメータ値とその印象について，例えば警告音における緊急性や危険性と，ある特定のリズムや音色から受ける印象[Miyasaka84]の関連を明らかにし，それらに基づいたパラメータ値決定の指針を策定するといったアプローチも今後行う必要があるだろう．

第5章　音デザイン支援環境の基本設計
－音の表現方法に関する実験－

本章および次章では，音のデザイン支援に関する研究を説明する．この研究では，聴覚アイコンに利用される具象音を中心に構築された効果音データベースと，それに対する検索システム，また検索された音を加工編集するための編集システムの開発を行った．ここでは特に，音響の専門家に限らず誰もが直感的に音を扱うことができるシステムの開発を目指した．そのような直感的なシステムは，人間の認知的特徴に則して設計される必要がある．それゆえ，筆者はまず，人がどのように音を表現するのかを明らかにするための実験を行った．被験者はある刺激音を聞き，それをもう一人の被験者に何らかの手段で伝達する．実験の結果，人は音の伝達に際して言語表現を多く利用することが明らかになった．またその言語表現を分析すると，「音そのものの説明」「発音状況の説明」「音の印象の説明」という 3 種類に分類することができ，これらはそれぞれ音に対する知覚レベル，認知レベル，感性レベルに相当することがわかった．本章ではまず，音のデザイン支援システムの必要性と背景について論じ，その後，システム開発のための基礎実験として先に述べた実験の詳細を説明する．そして次章で，実験の結果に基づいて設計された音デザイン支援システムの開発について述べることとする．

5.1　音のデザイン支援

5.1.1　音デザインの必要性とデザインツールの現状

聴覚ディスプレイのデザインにおいては，2 章にて述べたように“表示情報のデザイン”“タイミングのデザイン”に加えてどんな音を利用するかという“音のデザイン”が非常に重要である．表示情報やタイミングが適切にデザインできたとしても，音のデザインがうまく行かなければ，聴覚ディスプレイは情報を伝達するという目的を果たすことができない．前章までに述べたデザイン方法やガイドラインは，音のデザインにおける一つの論理的指針である．しかし，音を製作するには感性的アプローチからのデザインも必要となる（2 章 2.3 節参照）．デザイン方法に則りガイドラインを守った上で，さらにどのような音をデザインするべきだろうか．最終的に聴覚ディスプレイに利用する音を決定するには，アプリケーションのイメージやユーザの感性を考慮し，実装と評価を繰り返し行う必要がある．これらは，アプリケーションの開発段階で行われる必要があるが，音響の専門家だけが行うことではなく，システムの開発者自身が行えるようにもするべきである．すなわち誰でもが音を試行錯誤的に扱え，音をデザインすることができる環境の必要性は大きい．

一方，アプリケーションに限らず，プレゼンテーションやホームページなどでも，マルチメ

ディアコンテンツやマルチモーダルなユーザインタフェースが多く使われるようになってきた．近年では単にそれを受身で楽しむだけでなく，ユーザ自らそのようなマルチメディアコンテンツを制作する機会も増えている．マルチメディアコンテンツはもはやデザイナーだけが作るものではなく，非常に一般的なものとなってきている．このような背景からも，誰にでも使うことのできる音デザインシステムの開発が望まれる．

ここで，デザイン支援システムという観点から視覚メディアについて考えてみる．現在たくさんのドロー系・ペイント系のソフトウェアが利用されているが，それらは専門家向けのものもあるが初心者向けのものも多く提供されている．このようなソフトウェアの出現により，初心者も積極的にコンテンツを制作するようになってきた．それまでペンや筆を使って絵を書くことをしなかった人も，これらのツールを使ってプレゼンテーション資料や Web サイトを制作するようになったのである．例えば，多くのドローツールにはイラストのデータベースが付属しており，それに対する簡単で有効な検索ツールも付随している．これらのイラストデータベースと検索ツールは，初心者がマルチメディアコンテンツを制作するのに大きな助けとなる．

一方，ユーザが音素材を利用したいと思った場合，多くの音素材が入ったサウンドデータベース（多くは CD-ROM で提供される）から順番に音を聞いていき，一つの音を選出するという方法をとらざるをえない．視覚と異なり一度に複数を聞くことが困難な音は，対象となる音の数が多くなればなるほど，そこから目的のひとつの音を選び出すのは難しくなる．また音の編集についてそのほとんどは，画面に表示された音響波形に対して操作を行うというものである．この方法は，音の専門家には有効でも，波形などの知識をもたないユーザが利用するには容易ではない．このように聴覚メディアに関しては，未だに初心者向けのサウンドデザインツールは少ないと言える．

5.1.2 関連研究

ここで，音デザインの関連研究についてまとめる．音楽の分野では，これまでに多くのサウンド合成の研究が行われてきた．まず，エキスパートの音響知覚認知方法に基づいて設計されたサウンド合成ツール ISEE（Intuitive Sound Editing Environment）が開発されている[Eaglestone94][Vetegaal94]．これは，音色空間の中で音色の操作を行うことを特徴する．楽器が 3D 空間にオブジェクトとして表示され，データグローブを用いてそれらを操作するというものである．音色は，響き，明るさ，アーティキュレーション，エンベロープといったパラメータを用いて処理される．彼らはまた口まねによる音色検索についても論文内で言及している[Eaglestone94]．ここでは，音色とそれに対する口まね音声の関係を，ニューラルネットワークにより音色空間内に構築している．

一方，Koning らは入力される文字列や音声情報を発音記号に変換し，検索対象の音と比較して検索を行う手法を提案している[Koning91]．

また，Horner らは，音の制作に人工生命の手法を適用した[Horner93]．ここでは，一つの音を基準に，システムが自動的に音響パラメータを変更して音のバリエーションを生成する．ユーザはシステムが生成した複数の音から，どの音を生存させ，どの音の進化を途絶えさせる

かを指示する．この操作を繰り返し行うことにより，音を作成していく．この手法は思いもかけない新規な音を生成できる可能性はあるものの，ユーザが望む音を作るには相当の時間を必要とするだろう．以上，これらの研究の多くは，楽音の音色の生成に関するものである．

一方，Word らはマルチメディアに利用される音全般（日常音や音声など）を対象として，サウンドの分類や検索手法の提案を行った[Word96]．検索は分析によって導出された音響的特徴量とその組み合わせによって行われる．同じ特徴量を持った音が予めグルーピングされることにより，ある音に似ている音，あるいは似ていない音，という方法での検索が可能である．

5.1.3 音デザイン支援のコンセプト

本研究の目的は，初心者でも直感的に利用することのできるサウンドのデザイン支援環境を開発することである．聴覚アイコンに利用する音を扱うため，楽音に限らず多くの種類の音を対象とする．以下に，音デザインのフレームワークを示す．

- ステップ 1：検索システムを使い，ユーザが求める音に近い音をデータベースより検索する．
- ステップ 2：編集システムを使い，ユーザが求める音となるように検索された音を加工編集する．

さまざまな種類の音を，全くの一から合成することは難しい．しかし逆に，ユーザが必要とする音の全てをあらかじめデータベースに収集しておくことも不可能である．ユーザが必要とする音をできるだけ容易に制作するために，まずは近い音をデータベースから検索し，その上でそれを加工編集するというデザインプロセスをとることとする．

ここで，音響初心者にも直感的に利用できる検索システムおよび編集システムのユーザインタフェースは人間の認知的な特徴に基づいて開発される必要がある[Eaglestone93]．それゆえ最適な検索・編集手法を導出するため，筆者はまず人間の音響認知的側面に関する実験を行う．具体的には，人間は音をどのように表現するのか，どのように扱うのかを明らかにする．そしてこの実験結果に基づき，音検索システムおよび音データベース，そして音編集システムを開発することとする．

以下，本章では音の認知的側面に関する実験について説明し，システムの開発については次章にて説明する．

5.2 音の表現に関する実験

5.2.1 実験の目的

音を直感的に扱うための音デザイン手法を導出するため，人は音をどのように表現するのかを明らかにする実験を行う[Wake98]．被験者は刺激音を聞き，それがどのような音であるかを，もう一人の被験者に何らかの方法を用いて伝達する．これは人が音の特徴をどのように捉えるかという認知的特性を明らかにすることでもある．人が音を表現する通常の方法をデザインシステムのインタフェースに反映させることで，より自然な方法で音をデザインすることができるようになると考える．

5.2.2 音の分類と刺激音の選定

実験に利用する刺激音を選定する．まず日常接するさまざまな音を楽音，音声，環境音という 3 つのグループに分類した[*7]．楽音は楽器によって発音される音，音声は人間あるいは他の生物から発せられる音声，環境音は日常我々が聞くことのできるその他の全ての音である．楽音と音声はそれぞれ特有の音響的特徴をもつことから，楽音，音声とそれ以外の音である環境音の 3 つのグループに分類した．次にこの 3 つのグループをメッセージ音と，結果音という 2 つの観点から分類した．メッセージ音は人間（あるいは生物）が何らかの情報表現の意図の基に発音する音である．一方，結果音はメッセージ的要素が薄い音であり，何か別の目的の結果，副産物的に生じる音である．結果音は各カテゴリーの基本的音素でもある．

これら 6 種類の分類に加えて，幾つかの音素が複合的に組み合わせた複合音も一つのグループとして定義した．これらの分類とさらに音源を考慮し，実験に用いる 17 種類の刺激音を選定した．表 5-1 に音の分類と選定された刺激音を示す．

[*7] この分類は，第 1 章に述べた日常音の分類とは分類の順序が異なるが，この実験を行った時点での分類方法をここではそのまま記載する．分類の順序は異なるものの，結果的には楽音素を音楽と区別するかどうかが異なるのみである．

表 5-1　音の分類と刺激音

単位音						複合音
音楽		音声		環境音		
結果音	ﾒｯｾｰｼﾞ音	結果音	ﾒｯｾｰｼﾞ音	結果音	ﾒｯｾｰｼﾞ音	
楽音素	音楽	声	言語音声	自然音	信号音	
1.ピアノ音（単音）	2.ギター曲	5.笑い声	7.発話	8.川	14.電話呼出音	15.花火大会
	3.SF 心理効果音	6.牛のなき声		9.電車		16.虫の音
				10.足音		17.校庭
	4.TV ジングル			11.まな板		
				12.ｶﾞﾗｽの割れる音		
				13.風鈴		

5.2.3　被験者

被験者は 20～30 歳代の日本人 14 名(7 ペア)である．いずれも音楽，音響の専門家ではない．

5.2.4　実験手順

実験の方法と手順を示す．実験は 2 人一組のペアで行い，これらを被験者 X と被験者 Y であるとする．

1．被験者 X は，ヘッドフォンにて刺激音の 1 つを聴取する．
2．被験者 X は，聞いた音を被験者 Y に伝達する．被験者 X には，音を伝達するための表現手法および時間に制限は設けない旨を伝えた．なお，実験会場は充分なスペースがある部屋であり，中央に実験用のテーブルが設置され，テーブル上には筆記用具を用意した．
3．被験者 Y は，被験者 X の表現からできるだけ具体的に刺激音をイメージする．被験者 Y は被験者 X に対して質問をしてもよい．
4．被験者 Y は，音を充分にイメージした後，実際の刺激音を聴取する．
5．被験者 Y は，イメージしていた音と実際の音の類似度を評価する（5 段階の主観評価）．

なお，被験者 X と Y は刺激音ごとにその役割を交代する．実験の風景はビデオにて撮影し（図 5-1），これをもとに後日，結果の分析をおこなった．また，刺激音は被験者ごとにランダムな順序で提示された．

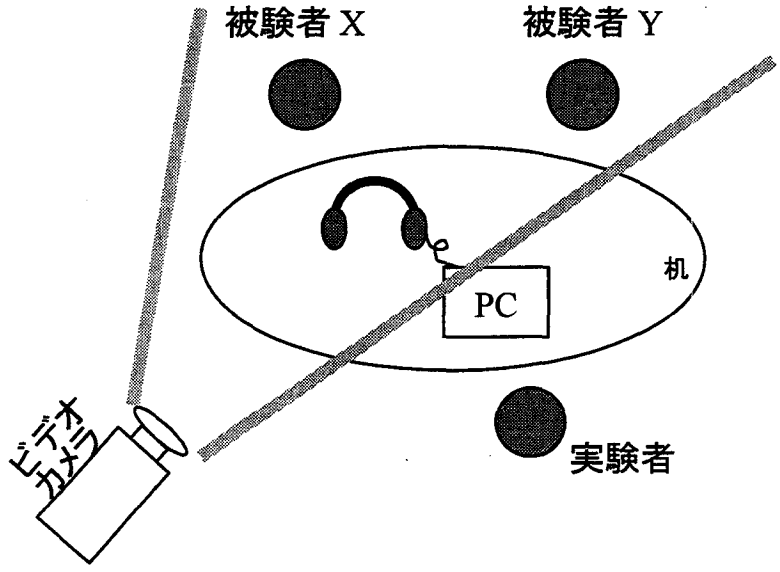

図 5-1　実験の様子

5.3　音の表現に関する実験結果

実験の結果を本節に示す．

5.3.1　音表現のモダリティ

まず，音を表現するために用いられたモダリティについての実験結果を示す．被験者 X は，言葉，絵，ジェスチャを使って音を表現した．その中でも特に文章や会話を通した“言葉での説明”が 119 の施行全て（7 ペア×17 刺激音）に対して用いられた．説明の例を図 5-2 に示す．

被験者 X：風鈴ですね．澄んだ響き．風に吹かれてなってます．
うるさくはないです．チリンチリン...
被験者 Y：ガラス製の風鈴？
被験者 X：多分そうですね．

図 5-2　言葉による説明

一方，絵による音の表現は，実験でのべ3回用いられた．なお，この3回は全て，一人の被験者によるものである．この被験者は，以下のような情報を絵を用いて音を表した．

- 複合音について，それぞれの音源の位置を図を用いて示す．
- 抽象的な音（SF心理効果音）のイメージを抽象的な絵によって表す．
- 音源の形状を具体的に図で示す．

以上の絵はどれも言葉による説明を伴って描かれた．例えば「ここに子供達が数人いて，この辺では別の子供達がバスケットボールをして遊んでいる．そしてこの辺りから学校のチャイムがキーンコーンと聞こえて，この辺にマイクがあって録音された感じの音」というように，説明をしながら各音源の位置を図示した．

またジェスチャを使った被験者も数例いた．しかし全ての場合で，ジェスチャは言葉による音の説明を補足する形で使われた．例えば「まな板の上で野菜を切る音」と言いながら包丁で野菜をきるジェスチャをする，という形である．ジェスチャを主体として音を表現した例はなかった．

つまり結果として，人が音を表現するには「言葉による説明」が最も多く用いられることがわかった．

5.3.2　音の言語表現の 3 つのタイプ

次に，実験にて使われた言語表現について，さらに詳細を分析する．図 5-2 に言葉による説明の例を示したが，実験で得られた全ての発話から，音を表すキーワードを抽出した．例として，刺激音の一つである「風鈴」の音の説明に利用されたキーワードのリストを表 5-2 に示す．テーブルの中の数字は，風鈴音に関する全実験において，何度そのキーワードが使われたかを表す．

表 5-2　刺激音「風鈴」の説明に利用されたキーワード

音そのもの		発音状況		音の印象	
擬音語		*音源名*		*形容詞*	
チリンチリン	6	風鈴	7	透き通った	3
リーンリーン	1	ガラス	2	静かな	1
		ガラスのベル	1	涼しい	1
規則的でない	1	口で吹いている	3	うるさくない	1
音の高さは..	1	誰かがならしている	4	リラックスする	1
中くらいの高さ	1	初秋	1		
自転車のﾍﾞﾙより高い音	1	夕方	1		
		近くでなっている	1		

このように，全ての刺激音について説明に使われたキーワードを整理した結果，3 種類の特徴的なキーワードが利用されていることがわかった．それは，擬音語，音源名，形容詞，という 3 種類である．これらのキーワードはそれぞれ，「音の聞こえそのものを説明するため」「音が発音した状況を説明するため」「音を聞いての印象を説明するため」に利用されていることもわかった．この観点からそのほかのキーワードを分類してみると，全てのキーワードをこのいずれかのタイプに分類することができた（表 5-2）．以下，各グループについてその性質を説明する．

（1）　音そのものの説明

「音の聞こえ」そのものを表現するタイプのキーワードである．被験者は刺激音の音響的特徴を表現しようとする．「擬音語（口まねを含む）」および「音響的特徴量（音の高さや長さ）」に関するキーワードがこのグループに分類され，これらは音の大きさ，長さ，リズム，高さ，音色など，音そのものの特徴を表すことができる．

（2）　発音状況の説明

音源を主として，音が発生した状況について説明を行うキーワードタイプである．より具体的には，以下のような観点からの説明が行われた．

－何が（すずめ）　－どこで（公園で）　－いつ（早朝に）

－どのように（さえずる）　－イベント（ハイキング）

音の説明をする側とされる側の双方が経験的に知っている音の場合，これらのキーワードは有効に機能し，特に音色を効果的に伝えることができる．

（3） 音の印象の説明

音に対する印象を表現するキーワードタイプである.「形容詞」「感情語」「比喩的表現」等が利用された. これらのキーワードは, はじめて聴く音を表現する場合, また音そのものを細かく描写することも難しい場合に利用された.

5.3.3 キーワードタイプと音の特徴

表 5-3 は, 各刺激音の説明にて被験者 X が一番最初に利用したキーワード, および最初から 3 つ目までに利用したキーワードの数をタイプごとに累計した結果を割合として示したものである. 例えば, 被験者 X が「プルプルプル... これは電話の音です. うるさい音だなぁ...」と刺激音を説明した場合, 最初に利用されたキーワードは「プルプルプル」であり, これは「音そのものの説明」のタイプに属する. 同様に, 2 つめのキーワードは「電話」で「発音状況」のタイプ, 3 つめのキーワードは「うるさい」で「音の印象」のタイプに属するということである. この表 5-3 の結果を見ると,「発音状況」を説明するキーワードが最も多く利用され,「音そのもの」は説明の最初に使われるキーワードとしての利用頻度が高いことがわかる.

表 5-3 音の表現に利用されたキーワードタイプの割合（%）

	音そのもの	発音状況	音の印象
最初の表現で使われたキーワード	23.0	68.8	8.2
最初から3番目に使われたキーワード	6.8	85.6	7.6

次に 17 種類の刺激音それぞれについて, どのグループのキーワードがどのような割合で利用されたかを集計した結果を表 5-4 に示す(最初から 3 番目までに使われたキーワードで集計). これから,「音そのもの」や「発音状況」は, 利用頻度に差はあるものの全刺激音に対して利用されていることがわかる. 一方,「音の印象」については全く利用されていない音もある. しかしこのキーワードは「SF 心理効果音」や「ギター曲」には高い頻度で利用されている. そしてこれらの刺激音については,「音そのもの」と「発音状況」のキーワードの利用が比較的少ない. すなわち「音の印象」キーワードは, 発音状況がはっきりしない音や, 音そのものを表すには複雑すぎる音に対して多く利用されたことがわかる.

表 5-4　各刺激音の説明に利用された表現のタイプ（%）

刺激音	音そのもの	発音状況	音の印象	刺激音	音そのもの	発音状況	音の印象
ピアノ音	50.0	50.0	0	足音	19.0	81.0	0
ギター曲	4.8	71.4	23.8	まな板	38.1	61.9	0
SF心理効果音	9.5	9.5	81.0	ガラスの割れる音	23.8	71.4	4.8
TVジングル	23.8	76.2	0	風鈴	28.6	61.9	9.5
笑い声	15.8	78.9	5.3	電話呼出音	42.9	57.1	0
牛のなき声	33.3	66.7	0	花火大会	28.6	71.4	0
発話	28.6	71.4	0	虫の音	4.8	90.5	4.8
川	14.3	85.7	0	校庭	14.3	81.0	4.8
電車	14.3	81.0	4.8				

5.3.4　被験者間の対話

被験者Ｙが実験の手順３において発した質問の特徴を記す．

- 被験者Ｘによる音の説明と同様に，質問も「音そのもの」，「発音状況」，「音の印象」のいずれかに関するものであり，特に「発音状況」に関する質問が最も多かった．
- 質問は被験者Ｘの説明をさらに詳しく問うもの，あるいは被験者Ｘの説明を確認する目的の質問が行われた．
- 被験者ＸとＹに共通の知識や経験を積極的に利用することによって，より正確に音のイメージを共有するための質問も見られた（例えば「この職場の電話の音と比べてどんな音か？」）．

5.3.5　音の想像

被験者Ｙが被験者Ｘの説明を聞いて音を想像した後，被験者Ｙは実際の刺激音を聴取する．そして，想像した音と実際の刺激音がどの程度似ていたかを主観的に評価する．最高５点で，得点が多いほど実際の音と想像した音が似ていたことを示す．表 5-5 に結果の平均を示す．これによると自然の音で，日常的に聞かれ，シンプルな音ほど，言葉による説明に基づいて実際に近い音を想像することができたといえる．

表 5-5　想像した音と実際の音との類似度評価値の平均（Max.=5）

電話呼出音	4.7		ギター曲	3.6
ピアノ音，　牛のなき声，　まな板	4.2		発話，　川，　ガラスの割れる音	3.5
笑い声，　花火大会	4.1		TVジングル	3.2
足音，　風鈴，　校庭	4.0		SF心理効果音	2.2
電車，　虫の音	3.7			

5.4　実験結果と聴覚情報処理モデル

実験の結果より，音の説明には「音そのものの説明」「発音状況の説明」「音の印象の説明」という 3 つのタイプのキーワードが利用され，それぞれの特徴をもって音の表現に利用されることがわかった．ここでこの結果を認知科学的観点から考察する．

橋本は音についての情報処理の階層として，波形レベル，意味レベル，感性レベル，があると述べている [Hashimoto97]（表 5-6）．そして，これらはそれぞれ，物理法則，論理，主観に基づく情報処理であるとされる．本実験により導出された 3 種類のキーワードのタイプを顧みると，これらはこの情報処理の階層に合致すると言えるだろう．

表 5-6　音の情報処理の階層 [Hashimoto97] (revised)

階層	支配則	分野
波形レベル	物理法則	人工現実感
意味レベル	論理，文法	人工知能
感性レベル	主観，共有，快不快	感性情報処理

一方，人間の視覚情報処理のプロセスに関する河内の研究がある[Kawachi95]．そこでは視覚信号に対する知性情報処理（例：花だとわかる）と感性情報処理（例：美しいと感じる）は，系列処理的に起こる可能性と並列処理的に起こる可能性が考えられるとし，それらを検証するための研究が行われている．このような研究を背景とすると，音を表す 3 タイプ，「音そのもの」「発音状況」「音の印象」の説明はそれぞれ，音の「知覚」，「認知」，「感性」，というフェーズ

に対応づけることができ，それらの関係は，知性と感性の系列処理，並列処理の考え方をベースに図 5-3 のように表すことができるだろう．実際，実験に表れたキーワードには系列的な処理から生じたと判断できるもの（例えば，音を聞き"風鈴"の音だとわかって“涼しい”と感じる）と，並列的な処理で生じたと判断できるもの（例えば，音色や響きそのものから“澄んだ”音だと感じる）とが見られた．

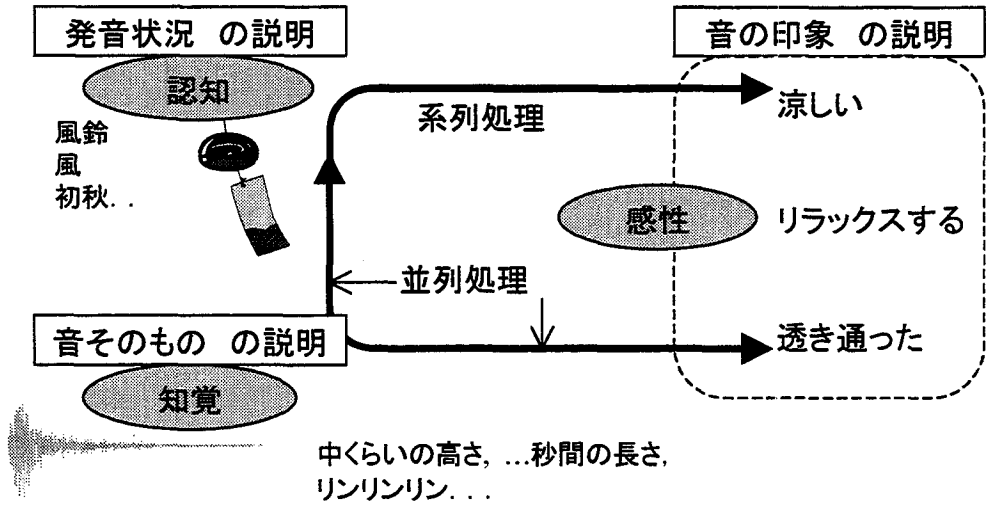

図 5-3 聴覚情報処理モデル

以上により，今回の実験で導出された 3 種類のキーワードタイプは，聴覚情報処理モデルに沿うものと判断できるだろう．従って，得られた実験結果に基づいて音デザイン支援環境の設計を行うことで，直感的で使いやすいシステムが開発できると考えられる．

5.5 まとめ

本章では，人がどのように音を表現するのかを明らかにするための実験を行った．音響の専門家に限らず，誰もが直感的に音をデザインできるシステムの開発を目指し，人が音をどのように捉えるのかを考察するための実験である．被験者はある刺激音を聞き，それをもう一人の被験者に何らかの手段で伝達する．実験の結果，人は音の伝達に際して「言葉による説明」を多く利用することが明らかになった．そして，そこで利用されたキーワードを分析すると，「音そのものの説明」「発音状況の説明」「音の印象の説明」という 3 種類に分類することができた．この 3 分類は，音に対しての知覚レベル，認知レベル，感性レベルに相当する．この実験結果

に基づいて，次章では，音データベースとそれに対する検索手法，および音編集手法の設計，そしてこれらのシステムの開発と評価について説明する．

第6章　音デザイン支援環境の開発
－音検索システムと音編集システム－

本章では，前章に述べた実験の結果に基づいて，音デザイン支援環境の設計と開発および評価を行う．音デザイン支援システムは，音検索システムと音編集システムより構成される．音検索システムでは，“擬音語”，“音源名”，“形容詞”の3種類のキーワードを使って音を検索する．音編集システムでは，音の大きさと高さ（およびそれらの変化）を“口まね”を使って加工編集する．このシステムを用いた音の検索は直感性と柔軟性にすぐれると共に，検索できる音の種類の幅を広げることができた．また編集システムは，誰にでも直感的に利用することができる点や，同じエンベロープを持つ音を効率的に作成することができる点で有効であることが確認された．

6.1　音デザイン支援環境の設計

前章にて述べた実験の結果に基づき，音デザイン支援システムの基本設計を行う．実験の結果，人は音を主に言葉を使って表現し，それらの言葉は“音そのものの説明”，“発音状況の説明”，“音の印象の説明”を行うキーワードに分類されることがわかった．音色を伝えるためには3つ全てのタイプのキーワードがそれぞれに機能し，特に音の大きさや高さ，あるいはそれらの変動（音の長さやリズムは音の大きさの変化として表現される）は，“音そのものの説明”によって具体的に示された．“音そのものの説明”をより詳細に見ると，この中の“音響的特徴量”の説明（例：ピッチは1kHzで，音の長さは約1200msなど）は音の詳細を正確に伝えることが可能だが，一般的にユーザはこのような説明的記述には慣れていない．一方“擬音語（口まねを含む）”は，誰にとっても直感的に利用できる．

ここで，音のデザインについて考える．音の基本的パラメータは，音色，高さ，大きさ，であると捉えることができる[Vertegaal94]．つまり音を制作するという場合，これらのパラメータの値を決定する必要がある．この点と実験の結果に基づき，開発する音デザイン支援システムの基本設計を以下のように定める（図 6-1）．

（1）音の検索：“擬音語”，“音源名”，“形容詞”という3種類のキーワードを利用して音を検索する．これらは，音表現の3グループそれぞれを代表するキーワードである．主に「音色」を決定するフェーズとする．

（2）音の加工：“口まね”を利用して音の波形を加工編集する．音の「大きさ」と「高さ」の変化を決定するフェーズとする．

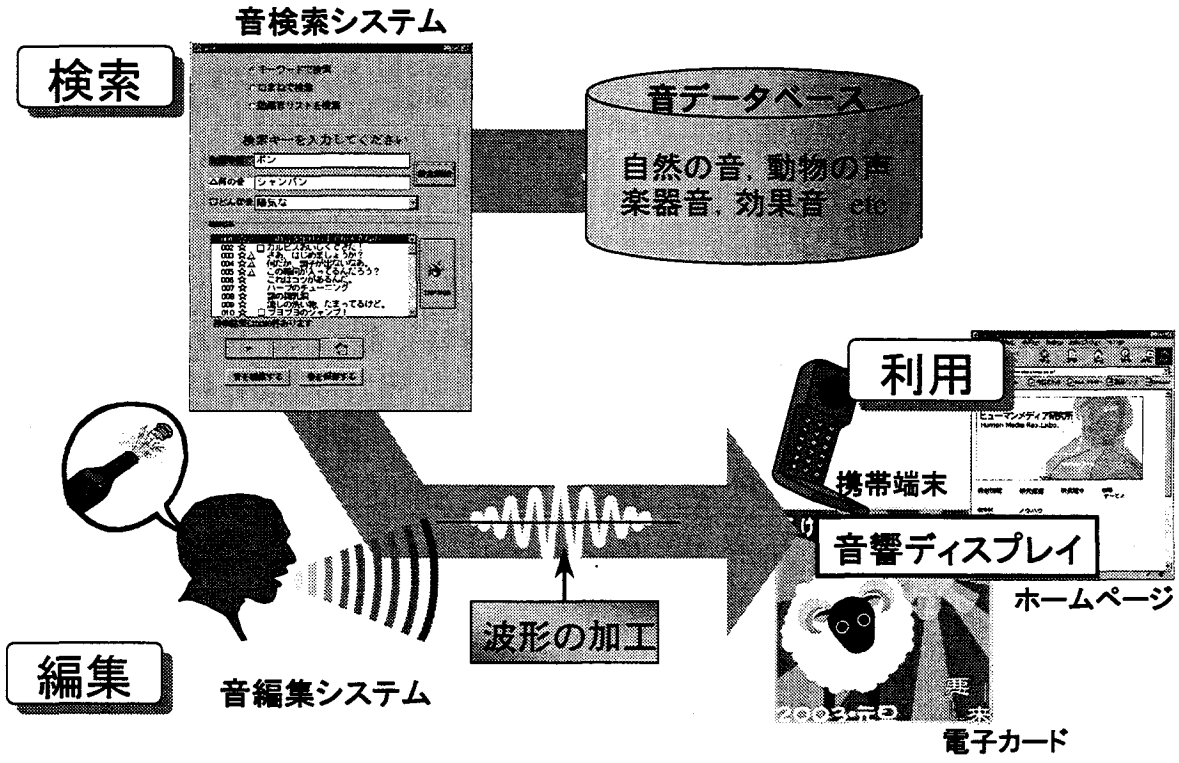

図 6-1　音デザイン支援環境のフレームワーク

ユーザはまず主に音色に注目し，実験より導出された 3 タイプのキーワードを使って音を検索し，その後，必要とする音そのものになるように，音の大きさと高さ（およびそれらの変化）を“口まね”を使って加工編集する．以降，まずは音検索システムの開発と評価に関して，次に音編集システムの開発と評価に関して説明を行う．

6.2　音検索システムの開発

本節では，ソフトウェアとして実現された音検索システムの開発について述べる．検索のキーワードとして，“擬音語”，“音源名”，“形容詞”を利用する．

6.2.1　音データベース

自然音，動物の音，人間の音，日常音，交通音，破壊音，爆発音，楽器音，創作音という 9

種類のカテゴリーから約 1000 音を収集した音データベースを構築した．それぞれの音には，擬音語，音源名，形容詞のキーワードとタイトルを予め登録した．表 6-1 に音データに付加するキーワードラベルの例を示し，以下にそれぞれのラベルについて説明する．

表 6-1　キーワードラベル

ファイル名	SIND-015.wav		
タイトル	**呼ばれて飛び出てジャジャジャジャーン！**		
擬音語 (Max. 8)	**バランランラン，ビャンビャン，グァンワンワン，バロンロンロン，ガランワンワン，ビャランランラン**		
音源名 (Max. 3)	**鉄筋，ピアノ，弦楽器**		
形容詞ポイント	**金属製の** ・・ 5.00 **うるさい** ・・ 3.33 **にごった** ・・ 1.67 **美しい** ・・ 0	**迫力のある** ・・ 5.00 **かたい** ・・ 3.33 **陽気な** ・・ 1.67	**にぶい** ・・ 1.67 **おだやかな** ・・ 0 **ものたりない** ・ 0

(1) 擬音語

慣用的な擬音語（ワンワンなど）と，音を比較的忠実に仮名に置き換えた擬音語（ウーウォンなど）の双方を登録する．1 つの音に対して擬音語は唯一決まるものではないため，一音につき最大 8 種類までの登録を可能とする．

(2) 音源名

発音に実際に作用した音源の名称を登録することが基本であるが，それに加えて，音を聞いて推測される発音源も登録する．例えば，実際はある“虫”の声であっても，それが鳥の声にも聞こえるならば“鳥”もキーワードとして登録する．最大 3 種類までのキーワード登録を可能とする．

(3) 形容詞ポイント

あらかじめ10種類の形容詞を選定し，各音データは10種類の形容詞に対するポイント値を有する．この値は「音をきいてその形容詞が当てはまると感じる人が何割いるか」を示す数値であり，予め行われるデータ収集の結果より求められる．例えば，表 6-1に示す例は，SIND-015.wav を聞いて“迫力のある”と感じる人が5割いることを示す．

ここで，10種類の形容詞（表 6-1）は，音を表す形容詞について分析した難波らによる研究に基づいて選定された[Namba91]．形容詞ポイント算出のためのデータ収集では，ある音を聞かせると同時に形容詞を示し，示された形容詞が提示された音の印象に合致するかどうかを Yes か No で答える，というタスクを，10代～30代の日本人6人の被験者に対して行った．一

音につき10種類の形容詞について回答するタスクを全音データに関して行った．このデータ収集実験の結果に基づき，形容詞ポイントを導出した．

6.2.2 検索手法の実装

図 6-2 に検索システムの GUI を示す．ユーザは擬音語，音源名，形容詞のうち少なくとも 1 種類の検索キーワードを入力する．擬音語と音源名のキーワードについてはフリーの文字列入力，形容詞キーワードについては，表 6-1 に示した 10 種類の形容詞からの選択方式で指定する．ウィンドウの中央部に検索キーワードを入力して検索ボタンを押すと，ウィンドウ下部に検索結果の音のタイトルが表示される．タイトルをダブルクリック，あるいはタイトルを選択して再生ボタンを押すと，対象の音が再生される．

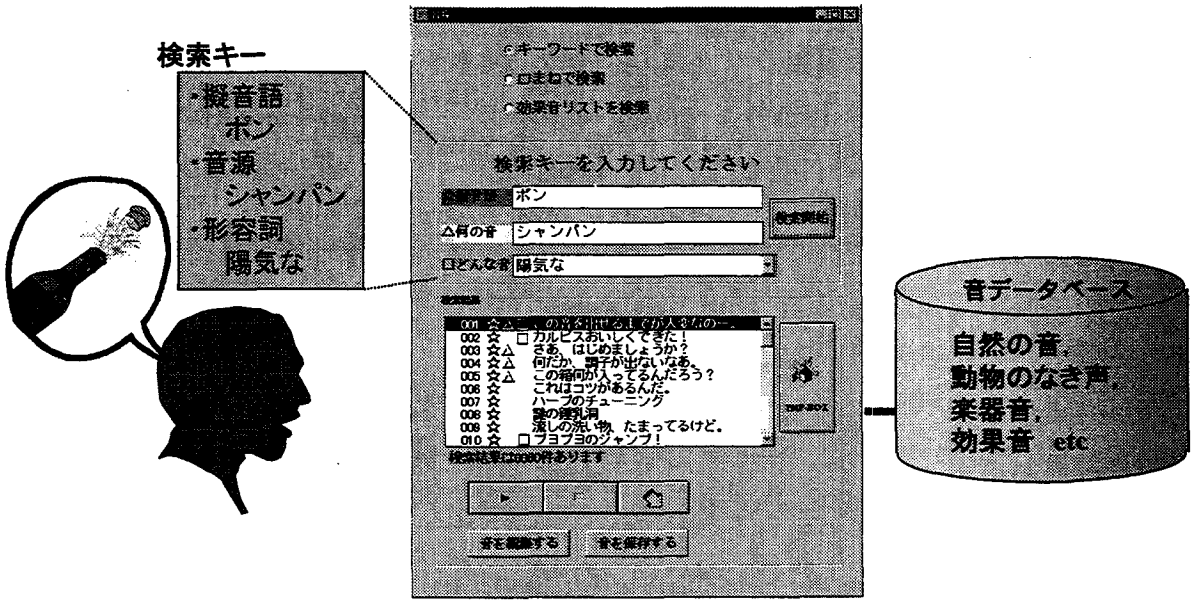

図 6-2 検索システムのユーザインタフェース

次に検索の方法について述べる．入力されたキーワードに基づき，システムはデータベースに蓄積された各音データに対する検索スコアを計算する．検索スコアとは入力キーワードと音との合致度を示す値であり，スコアが高いほど入力キーワードに合致した音だといえる．検索結果はこの検索スコアが高い順に上から表示される．この検索スコアは，以下に説明する3種類の検索にて得られるスコアの合計である．

6.2.2.1 擬音語検索

擬音語は音の“聞こえ”を言語にて表現する手法であり，日本語の音韻体系に合致した言葉である[Tamori91]．擬音語のバリエーションは多く，同じ音を表すにも個人差や曖昧さから何種類もの文字列で表現することが可能である．それは，文字列としては異なっていても，似た音を想起できるものが数多くあることも意味する（例：パチャン，ピチョンなど）．

このような擬音語のバリエーションに対処するためには，検索キーとして入力される擬音語とデータベースのラベルに記載されている擬音語との間で単純なキーワード一致検索を行うのみでは不十分である．今回，擬音語の特徴を考慮し，入力キーワードから複数の擬音語バリエーションを自動的に生成し，生成された複数の擬音語に基づいて検索を行う類似擬音語検索方式を提案し実装した．この方法を用いると，入力キーワードとラベルキーワードの類似度に応じて擬音語検索スコアを決定することができる．

まずは，この類似擬音語検索方式の基本となるマイナスワン検索について説明する．この方法は，検索キーワードそのものでデータラベルを検索した後，検索キーワードからある一文字を削除してできた文字列（擬音語バリエーション）で検索を行う方法である．検索の方法とスコア，および検索キーワードが“カラン”であったときの例を表 6-2に示す．ここでは，削除する一文字が擬音語文字列中の最初の一文字かそうでないかによって，付与するスコアが異なるルールとした．最初の一文字が異なると付与されるスコアは低くなる．なぜなら，擬音語の最初の一文字は音の立ち上がり部分の特徴を表すものであり，この部分は音の類似性を判断する上での重要度が高いことが，経験からわかっているためである．

表 6-2 マイナスワン検索とスコア（入力キーワードが“カラン”の場合の例）

条件	擬音語の例	スコア
検索キーそのもの（完全一致）	カラン	10.0
検索キーを含むもの（部分一致）	カランコロン	9.0
検索キーのある1文字（但し，1文字目以外）を削除した残りの文字列を含むもの	カラリ，　カン，カンコロ	6.0
検索キーの1文字目を削除した残りの文字列を含むもの	パラン	4.0

このマイナスワン検索のみを使って検索を行った場合，幾つかの問題点が生じる．その問題を回避するため，また検索の精度を上げるために，擬音語の特徴を反映した次に示すルールと得点付けも併用した．

（1） 短擬音検索

2文字以下の検索キーに対してマイナスワン検索を適用すると，ある仮名一文字をラベルに含むデータが全て検索されてしまうという問題が生じる．従って短い擬音語については，文字数を検索条件に含めた検索を行う．検索キーが2文字であった場合（例：ゴン），完全一致検索の後，いずれかの仮名を含む2文字のラベル（ゴツ，ガンなど），また2文字を含む3文字のラベル（ゴツンなど）のみを検索ヒットとする．

（2） 小文字検索

擬音語で用いられる小文字は音響的に曖昧さが大きい．例えば，ピチャ，ピチュ，ピチョ，は音響的に似通った音を表しているだろう．マイナスワン検索のルールのみでは，小文字も通常の仮名と同様に一文字として処理されてしまう．ここでは，先に述べた小文字と通常の文字の音響的影響の差を考慮し，小文字の仮名については文字が異なっていてもヒットとする条件を加えたマイナスワン検索を行うこととした．

（3） 繰り返し検索

タララ，パラパラなど同じ文字または文字列が複数回繰り返されるとき，文字列としての繰り返し回数に依存せずに検索を行うルールである．まず，擬音語中の繰り返し部分を判定し，ある文字または文字列が2回以上繰り替えあれることを示す繰り返し記号を用いた形に文字列を変換してから（例：タララ→タ(ラ)*），マイナスワン検索を行う．マイナスワン検索の前処理として実行される．

以上の例外ルールおよびそれらの組合せから，実際には合計26通りの検索条件によって11段階（0～10点）の擬音語検索スコアがそれぞれの音データに付与される．

6.2.2.2 音源名検索

音源名検索は，単純なキーワード一致検索である．検索キーワードとして入力された文字列がデータベースの音源名ラベルに存在すれば10点，存在しなければ0点が，音データに対して付与される．

6.2.2.3 形容詞検索

形容詞検索の検索キーワードは選択式で入力する．予め用意された10種類の形容詞からユーザは適するものを選択する．各音データのラベルにおいて，入力キーワードに対応する形容詞ポイントが，その音データの形容詞検索スコアとなる．形容詞ポイントの付与方法は6.2.1項に述べたが，すなわち，形容詞検索では多くの人が検索キーワードの印象を持つ音にほど，高いスコアが付与される．

以上の検索手法は，それぞれの検索能力を向上させるために，今後さらに改善される余地がある．例えば，擬音語の類似度検索手法に関しては音韻同士の音響的な類似度を考慮する必要もあろう（例えば“ボンとドン”は“ボンとキン”よりも似ている等）．また，マイナスワン検索で文字を削除あるいは追加するときの削除/追加数を考慮することも考えられる（ドン，ドゴン，ドガシャンはそれぞれどれくらい似ているか）．一方，検索時間を短縮すると言う観点からの改良も必要である．例えば今後，キーワードマッチングにDPマッチング手法を適用することも検討する．

なお，上記に説明した擬音語検索の手法は日本語の擬音語を前提にして設計されたものである．擬音語の特徴は言語によって大きく異なることから，言語ごとに適切な擬音語検索の手法を適用するべきである．英語の擬音語については，例えばMcClellandらが提案する音韻的な特徴を考慮したアルファベット2文字間のマッチング手法[McClelland88]などの適用が有効であると考えられる．

6.2.3 音声による検索

本システムは音声による音検索の機能も備えるので，ここで説明を行う．ユーザはマイクから擬音語を音声で入力することにより，データベースを検索できる．

図 6-3 に本機能の構成を示す．本機能は音声認識部を構成要素とする．マイクより入力された擬音語音声は，音声認識部により文字列に変換される．その後の擬音語検索手法は，6.2.2.1 項に説明したものと同じであり，変換された文字列によって音が検索される．この機能により，キーボードを使わず，より直感的，直接的に音の検索を行うことができる．

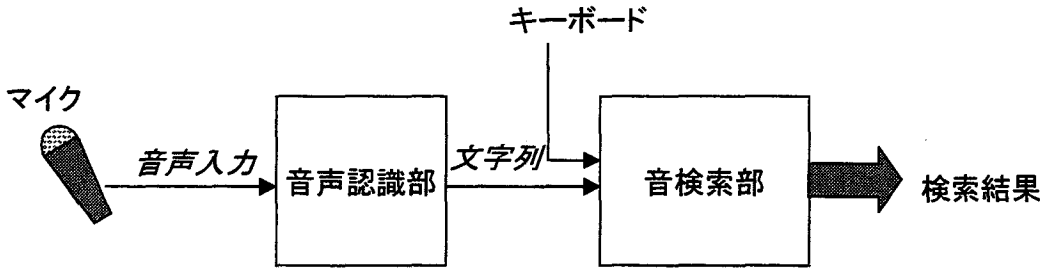

図 6-3 音声による音検索機能の構成

6.3 音検索システムの評価

本節では，提案する3種類のキーワードを利用した音検索手法の評価について述べる．以下の2種類のユーザ実験を行うことにより，本手法の長所と短所を明らかにした．

実験1 －指定音の検索： 指定する音をデータベースより検索する実験

実験2 －任意の音の検索： 指定する情報の表示に被験者が利用したい音をデータベースから検索する実験

6.3.1 実験 1 －指定音の検索

6.3.1.1 実験 1 の手順

指定された音をデータベースから検索する実験である．提案する検索手法とその他2種類の検索手法の比較実験を行う．他の検索手法は，音源キーワード検索およびリスト検索である．音源キーワード検索では，被験者は音源キーワードのみを利用して検索を行う．リスト検索は，音源に基づいて大分類，中分類，小分類と分類された音のタイトルリストがディレクトリ構造（木構造）を用いてディスプレイ上に表示される．このリスト検索手法は，市販のサウンドデータベースなどで多く利用される方法である．

被験者は12名で，音楽や音響の専門家はいない．検索の対象となるデータベースには，6.2.1項に述べた9つのカテゴリーから816の音が登録されている．刺激音はデータベースの中の音から選定した．表 6-3に選定された12種類の刺激音を示す（結果も同時記載している）．

実験の手順であるが，まず対象となる刺激音が示され，被験者は指定された検索手法で対象の音を検索する．検索が成功したかどうか，検索に要した時間，検索に利用されたキーワード，を実験データとして記録する．一人の被験者につき12種類の刺激音を，3種類の検索手法を使って検索する．1つの刺激音についてはいずれかの1検索手法を使って検索する．どの刺激音をどの検索手法で検索するかは被験者ごとに異なる．

6.3.1.2 実験 1 の結果

実験の結果を以下の観点から分析する．まずは，提案手法の長所と短所を明らかにするため，次の2点から結果をまとめた．

- 刺激音を検索できなかった被験者の数（表 6-3）
- 検索手法ごとの平均検索時間（最終的に指定音を検索できた施行のみ対象）（表 6-4）

次に，3種類のキーワードの有効性を評価するために，次の2つの観点から，検索に利用されたキーワードのタイプと数をまとめた．

- 実験全体で検索に利用されたキーワードの種類とのべ数（表 6-5）
- 刺激音を検索できたときの検索ヒットに寄与したキーワードのタイプと数（表 6-6）

以下，実験結果のみを示し，実験の考察は，次項に説明する実験2と併せて6.3.3項に示す．

表 6-3　刺激音を検索できなかった被験者数

(Max.=4 名：表中の数値 4 は正しい音を検索できた被験者が一人もいなかったことを示す)

検索方法 / 刺激音	3キーワード検索	音源キーワード検索	リスト検索
猫のなき声	0	0	0
薪割り	0	0	0
虫の音	0	1	0
ガラスの割れる音	0	1	0
爆発音	1	3	0
圧搾機	3	4	1
SF心理効果音	2	3	2
SF怪獣	1	2	2
スイッチ	0	4	2
木材打撃音	1	0	1
笛	0	0	0
ブザー	0	2	1
合計	8	20	9

表 6-4　検索手法ごとの平均検索時間（sec.）

(最終的に検索できた刺激音のみ対象)

3キーワード検索	音源キーワード検索	リスト検索
107 (sec)	55	140

表 6-5 提案手法において被験者が使ったキーワードの種類数の総計

擬音語	音源名	形容詞
85	90	84

表 6-6　刺激音の検索ヒットに寄与したキーワード（被験者 4 名の累計）

キーワードの種類 / 刺激音	擬音語	音源名	形容詞
猫のなき声	4	4	1
薪割り	1	4	1
虫の音	1	4	3
ガラスの割れる音	4	4	2
爆発音	0	1	3
圧搾機	1	0	1
SF心理効果音	1	0	2
SF怪獣	3	0	4
スイッチ	4	0	2
木材打撃音	3	2	1
笛	4	0	1
ブザー	4	0	3
合計	30	19	24

6.3.2　実験 2 －任意の音の検索

6.3.2.1　実験 2 の手順

指定する情報の表示に被験者が利用したい音をデータベースから検索する実験である．以下に示す情報の伝達について，被験者が利用したいと思う音をデータベースの中から探すという課題を行う．

- 情報A：電子メールの到着を知らせる
- 情報B：パソコンが起動して利用できる状態になったことを知らせる

この実験2では，被験者は3キーワード検索とリスト検索の2種類を利用する．被験者は12名，音楽や音響に関する専門家はいない．データベースは実験1で用いたものと同じものである．被験者の半数（6名）は情報Aについて3キーワード検索を利用し，情報Bについてはリスト検索を利用する．残りの6名の被験者は逆の検索手法を利用して実験を行う．

実験後，どちらの検索手法がより好ましかったかとその理由，また最終的に選んだ音の満足度（1～5の得点，高得点であるほど満足度が高い）を各被験者に回答してもらう．

6.3.2.2 実験２の結果

表 6-7には被験者がいずれの検索手法を好んだか，表 6-8には選出した音の満足度について検索手法ごとの平均点を示す．また，3キーワード検索手法に対する代表的なコメントを図 6-4に示す．

表 6-7 各検索手法をより好ましいと答えた被験者数

3キーワード検索	リスト検索	どちらでもよい
6	3	3

表 6-8 選出した音の満足度の平均値（Max.=5）

3キーワード検索	リスト検索
3.9	3.7

- 抽象的な音について，擬音語検索は効果的である．
- 形容詞による検索は直感的である．
- 目的に応じて，いろいろな側面からの同種類の音を集めることができる．
- 検索したい音の具体的なイメージがあれば検索しやすい．
- ユーザが音の具体的イメージを持ち，さらに音源名を知っている場合，音源キーワードを使うことで効果的・効率的に音を検索できる．
- 予想される音と同時に思いがけない音が検索されてくる点が面白いし効果的．思いがけない音とはいえ入力キーワードに関連のある音であるし，このような音に逆には刺激を受ける場合がある．
- 検索したい音のイメージがない場合は，キーワードを入力するのが難しい．
- とりあえず幾つかの音を聞いてみるということができない（キーワードを何か入れないといけないため）．
- データベースの全体像を把握するのが難しい．リスト検索ではそれが可能である．

図 6-4 3キーワード検索に対するコメント

6.3.3 考察

検索システムの評価実験の結果を考察する．実験1の結果より，提案する3キーワード手法の特徴を考察する．まず表 6-3の刺激音を検索できなかった被験者数が少ないことから，3キーワード手法は音源キーワード手法に比べて広い範囲の（多くの種類の）音を検索できたことがわかる．音源キーワード検索を使っては被験者の誰も検索できなかったスイッチの音は，3キーワード検索では全員の被験者が検索できている．また3キーワード検索では，被験者全員が検索できなかった刺激音はなかった．

次に検索時間について，表 6-4を見ると3キーワード検索は音源キーワード検索よりも平均検索時間が長いという結果である．しかし，音源キーワード検索は3キーワード検索に機能的に含まれているため，少なくとも音源キーワード検索で検索できた音に関しては，3キーワード検索でもそれと同等かそれ以下の時間で検索することができるはずである．すなわち，3キーワード検索での平均検索時間が音源キーワードの検索時間より長いのは，音源キーワード検索で検索できなかった音（表 6-4の結果に含まれていない刺激音）についても，時間はかかるものの，3キーワード検索では検索することができたことを反映しての結果である．また擬音語検索については，検索アルゴリズムが今後向上していく余地が多く残されているため，今後さらに3キーワード検索の検索時間が短縮できる可能性も高い．

次に，3キーワード検索において3つのキーワードを利用することの有効性を実験1の結果から考察する．表 6-5には被験者が使ったキーワードの種類数の総計が示されている．ここから被験者は3種類のキーワード全てを平均的に利用したことがわかる．また 表 6-6からは，音源キーワードで検索できない音に対して，擬音語キーワードと主観キーワードが効果的に機能したことが読み取れる．例えば，短い音（例：スイッチ），人工的な音（例：SF心理効果音），非日常的な音（例：圧搾機）などのように，音源を特定することが難しい音に関しては，擬音語や形容詞キーワードを，特徴に応じて利用することによって，検索が可能になっている．擬音語キーワードについては，音源がわかる音に関しても利用されており，検索ヒットに貢献している．結果として，音源が明確な音については音源キーワードを用いて効率的な検索を行うことができ，擬音語と形容詞キーワードは検索可能な音の種類を広げることに貢献することが実験より確認された．

ここで，リスト検索について考察しておく．検索時間はこのリスト検索が最も長くかかっている（表 6-4）．しかし，検索することのできた音の種類は3キーワード検索と同程度に多かった（表 6-3）．リスト検索の長所は，ユーザは何のキーワードも入力することなく，発見的にいろいろな音を聞いてみることのできる点にある．しかし，データ量が多くなればなるほど，リスト検索手法のみでは検索が困難になるという問題もある．

次に実験2の主観評価結果に基づき，提案する3キーワード検索手法の特徴をさらに考察する．図 6-4の被験者のコメントによると，検索したい音のイメージがあらかじめはっきりしている

場合は，適当なキーワードを入力することで素早く該当の音を検索することができる．一方，検索したい音のイメージが曖昧としている場合，あるいは音源が特定できないような音の場合は，擬音語や形容詞キーワードを利用することで多角的に検索を行うことができることがわかった．しかし，検索したい音のイメージがほとんどないような場合，何らかのキーワードを入力して，その近傍の音のみが結果表示されるキーワード検索は，利用するのが難しい．そのような場合にはデータベースの全体像を把握でき音にダイレクトにアクセスできるリスト検索が有効となる．また，使用感からも開発した3キーワード検索方式はユーザに受け入れられたと言ってよいであろう（表 6-7）．3キーワード検索は直感性と柔軟性にすぐれ，また満足できる音が検索できるかどうかという点でもリスト検索と同等の結果が得られている（表 6-8）．

以上の結果より，3キーワード検索方式は検索できる音の種類の幅を広げることができ，被験者もその点を評価していることが確認された．

6.4 音編集システムの開発

本節では，音編集システムの開発について述べる．音を制作/編集するには，一般的にシンセサイザーやサウンド編集ソフトウェアが利用される．一般的なサウンド編集ソフトでは音響波形が視覚的に表示され，その波形の範囲を指定したり，切り貼りをするなどして編集を行う．このような編集ツールは音の編集を詳細に行うことはできるものの，利用するのにはある程度の音響的な知識やスキルが必要となる．

本研究では，音の加工編集を指示するのに“音”を利用することを試みる．前章にて報告した音の表現に関する実験において，ユーザは音の詳細を擬音語を利用して表現した．従って本システムでは，ユーザは音の加工編集を指示するにあたり，さまざまな音響パラメータを数値や画面指示で入力する代わりに，“口まね”音声によって加工編集のテンプレートとなる教師音を入力するものとする．

図 6-5 に，提案する編集システムのコンセプト図を示す．本システムでは音の大きさと音の高さ（ピッチ）の変化を加工編集できる．システムは入力された教師音を分析し，振幅エンベロープ（音の大きさの時間変化）とピッチエンベロープ（音の高さの時間変化）を抽出する．そしてこれらのエンベロープをテンプレートとして編集対象音を加工する．編集対象音の音色はそのままに，音の大きさ（音の長さ，リズムも含まれる）と音の高さが編集される点が本編集システムの特徴である．

音声は，音の大きさの変化（音の長さとリズムを含む）と高さの変化を，同時に表現することができる．人間は音を聞くときや発音するとき，音の大きさの変化と高さの変化をそれぞれ別々に意識するわけではない．音響パラメータをそれぞれ別個に指定していくとう従来の方法に比較して，提案する手法はより人間の本来の音の認知方法に合致している．

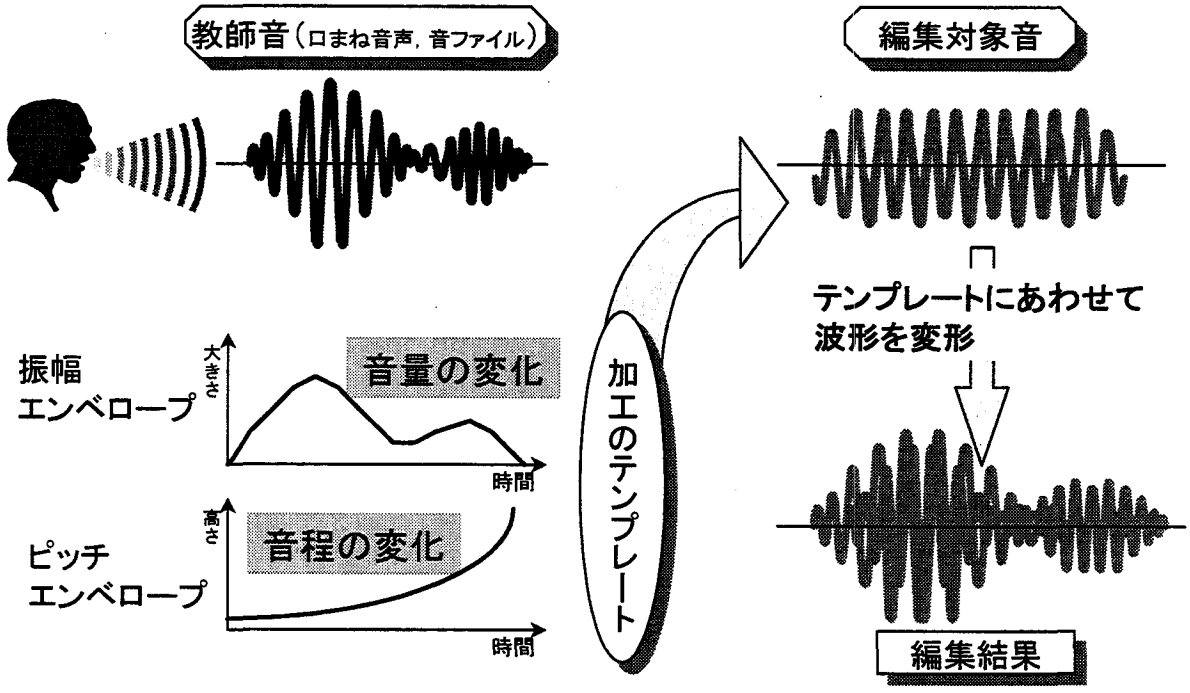

図 6-5　音による音の加工編集

6.4.1　編集のためのユーザインタフェース

編集に際し，ユーザは編集対象音と教師音の 2 つの音を指定する．編集対象音としてはサウンドファイルを指定する．例えば前述の検索システムにて検索された音を指定することができる．一方，教師音は編集のテンプレートとなる音である．教師音にはサウンドファイルを指定してもよいし，先に述べたようにマイクを通して“口まね”音声などの音を直接入力してもよい．

図 6-6 に編集システムの GUI を示す．上から音響波形，パワーエンベロープ*8，ピッチエンベロープが表示される．編集対象音が画面の右半分に，教師音が左半分に表示されている．パワーエンベロープは音の大きさの時間変化を表すものであり，ピッチエンベロープは音の高さの時間変化を表すものである．教師音のこれら 2 つのエンベロープをテンプレートとして，編集対象音が加工される．

---

*8 波形処理では振幅エンベロープの値が利用されるが，より直感的な表示のため GUI には，振幅エンベロープの二乗の値をとるパワーエンベロープを表示している．

また本システムは，テンプレートとなる振幅・ピッチ両エンベロープをユーザが手書き入力できるエンベロープ手書き入力機能も有する．マウスを用いてエンベロープの形を直接ウィンドウに描くことができる（図 6-7）．

さらに，波形やエンベロープを一切表示しないシンプル GUI モードも実装した．ここでは波形の代わりに音を示すアイコンが小さく表示されるのみである（図 6-8）．エンベロープを手書きで入力する場合を除いて，本システムでは波形やエンベロープを表示する必要性はない．特に初心者に対しては，複雑な波形を詳細に表示してシステムを複雑に見せるよりも，アイコンのみのシンプルな表示が適しているだろう．

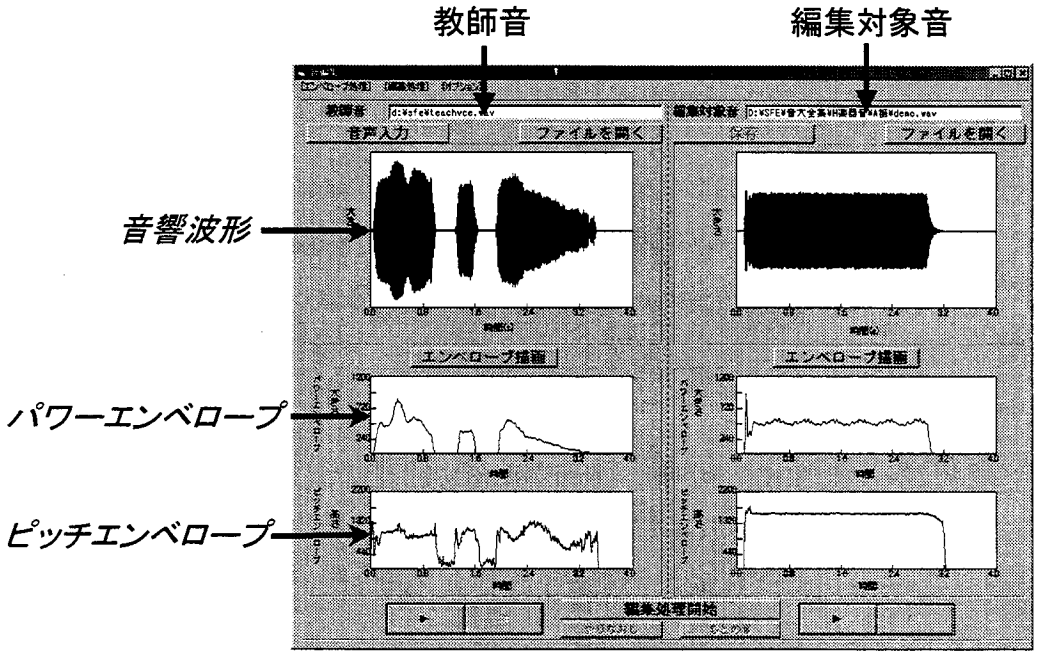

図 6-6　編集システムの GUI

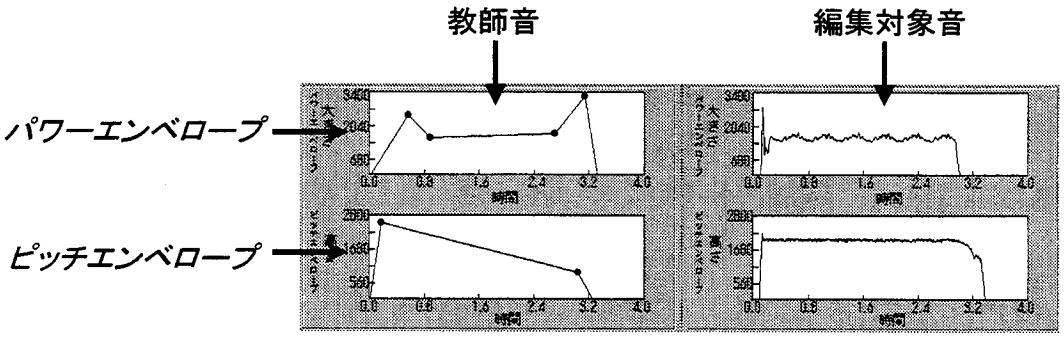

図 6-7　教師エンベロープの手書き入力

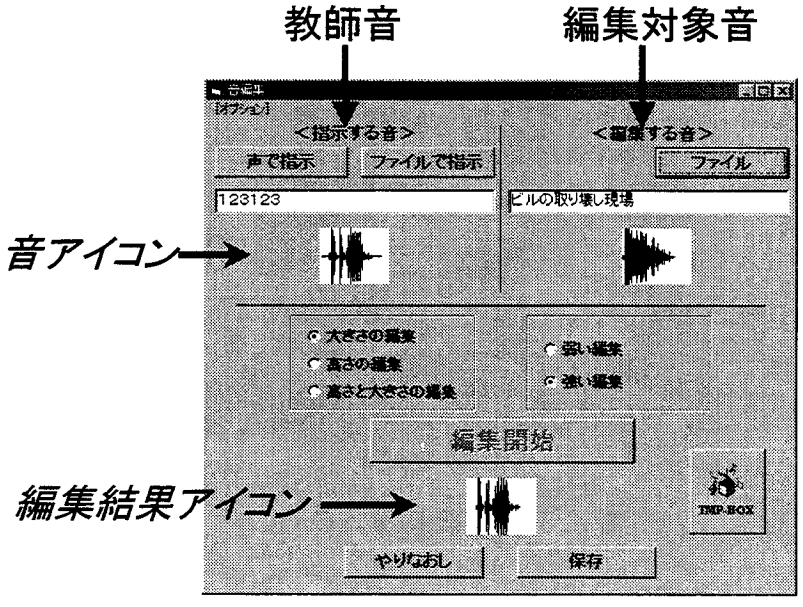

図 6-8　編集システム－シンプル GUI

6.4.2　振幅の編集

以下，波形処理について述べる．編集対象音の振幅エンベロープは教師音の振幅エンベロープをテンプレートにして処理される．ここで編集の方式として，強制編集方式と相似編集方式という 2 種類の編集方式を実現した（図 6-9）．以下，それぞれの編集処理について，処理の方法と効果を述べる．

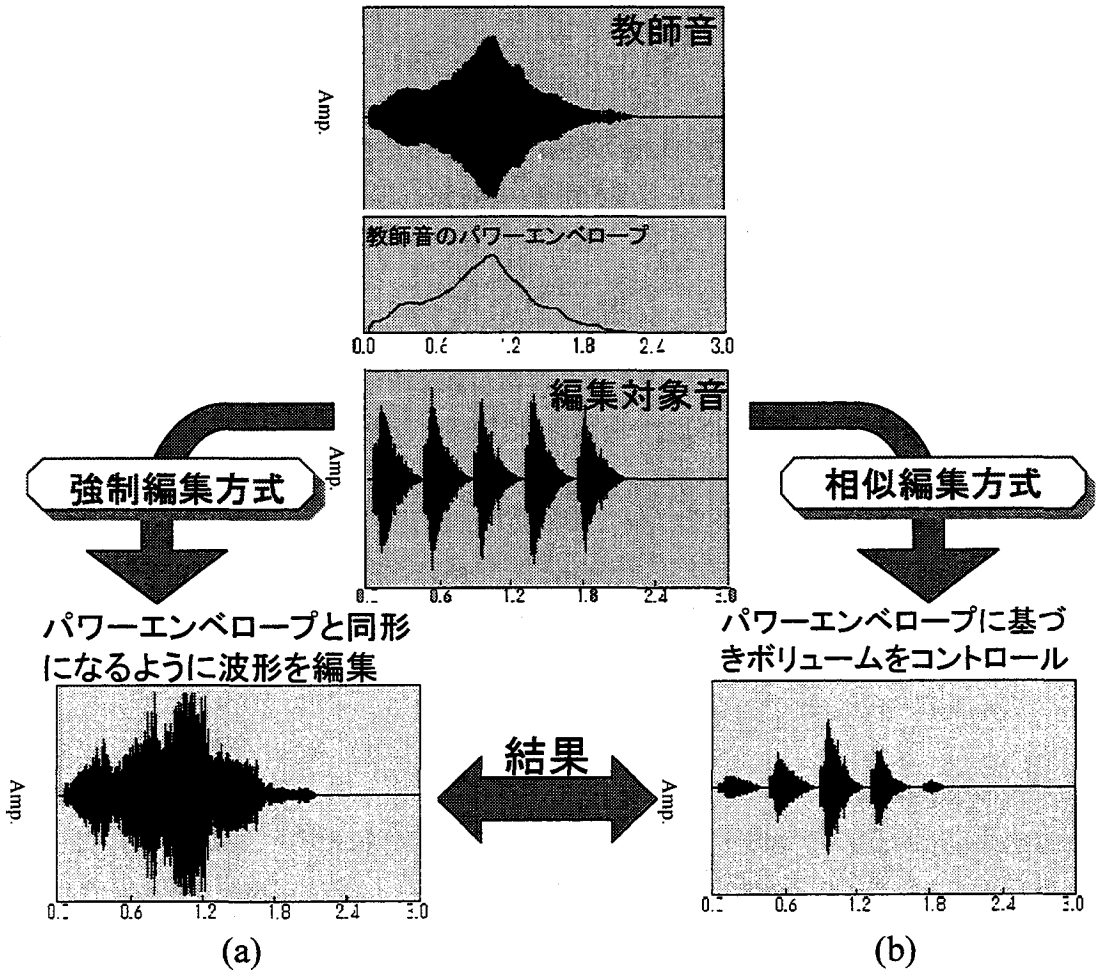

図 6-9　振幅エンベロープの 2 つの編集方式
(a)強制編集方式　(b)相似編集方式

6.4.2.1 強制編集方式

編集対象音のエンベロープが教師音のエンベロープと同形になるように加工する方式である（図 6-9-(a)）．処理方法を以下に説明する．

- 教師音と編集対象音の両振幅エンベロープを比較し，振幅編集倍率 $R_a(t)$ を算出する．$M_a(t)$は教師音の振幅エンベロープ，$B_a(t)$は編集対象音の振幅エンベロープであるとすると $R_a(t)$は次式で表される．

  $$R_a(t) = M_a(t) / B_a(t)$$

- 編集対象音に振幅編集倍率 $R_a(t)$をかけ波形を加工する．$O(t)$をオリジナルの編集対象音波形としたとき，編集処理後の編集対象音 $P(t)$は次式で表される．

  $$P(t) = R_a(t)\ O(t)$$

ここで，編集対象音の無音部分は，Ba(t)の値が 0 となるため上記の演算は成立しない．この場合，まず無音部分の直前のセグメントの波形を無音部分に取り込み，その後上記の処理を行う．

6.4.2.2 相似編集方式

編集対象音の振幅エンベロープの特徴を残しながら加工を行う方式で，教師音の振幅エンベロープに従って編集対象音のボリュームをコントロールするような効果が得られる（図 6-9-(b)）．

- 編集対象音の波形データを $O(t)$，教師音の振幅エンベロープを $M(t)$，編集後の波形データを $P(t)$としたとき，それらの関係は次式で表される．但し，$M(t)$はその最大値が 1.00 となるように正規化された振幅エンベロープであるものとする．

  $$P(t) = M_a(t)\ O(t)$$

6.4.3 ピッチの編集

編集対象音のピッチエンベロープは教師音のピッチエンベロープをテンプレートにして加工処理される．ピッチ編集の方法についての概念図を図 6-10 に示す．編集対象音の波形を指定されたセグメント単位で読み出し，ピッチシフトの処理を行う．ピッチシフト後の波形はクロスオーバー接合される．

ここで振幅編集と同様に，ピッチ編集に関しても強制編集方式と相似編集方式を実装した．それぞれの方式の特徴は 6.4.2 項の振幅編集にて説明したとおりである．ピッチ編集においてはこれら 2 つの方式はそのピッチ編集倍率の算出方法が異なるのみで，その後の処理方法は同じである．以降，ピッチ編集処理について説明する．

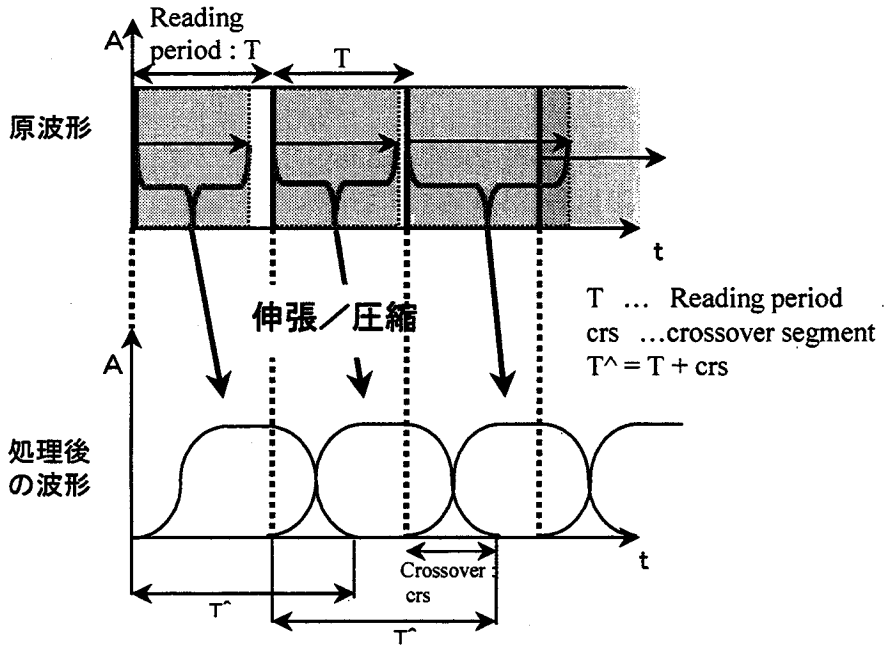

図 6-10　ピッチ編集

6.4.3.1　ピッチ編集倍率の算出

6.4.3.1.1　強制編集方式

編集対象音のエンベロープが教師音のエンベロープと同形になるように加工する方式である．強制編集方式のピッチ編集倍率 $R_p(t)$ の算出方法を以下に示す．

- 教師音のピッチエンベロープを $M_p(t)$，編集対象音のピッチエンベロープを $B_p(t)$ としたとき，ピッチ編集倍率 $R_p(t)$ は次式で表される．

$$R_p(t) = M_p(t) \,/\, B_p(t)$$

6.4.3.1.2　相似編集方式

編集対象音のピッチエンベロープの特徴を残しながら加工を行う方法で，教師音のピッチエンベロープに従って編集対象音をピッチベンドするような効果が得られる．相似編集方式のピッチ編集倍率 $R_p(t)$ の算出方法は以下である．

- 教師音全体のピッチの平均 A_p を算出する．教師音のピッチエンベロープを $M_p(t)$，教師音の長さを L としたとき，A_p は次式で表される．

$$A_p = \int_{t=0}^{T} Mp(t) \;\; / \, L$$

- ピッチ編集倍率 $R_p(t)$ は次式で表される．

$$R_p(t) = M_p(t) / A_p$$

6.4.3.2 ピッチシフト

算出されたピッチ編集倍率に従って編集対象音波形のピッチシフトが行われる．ピッチシフトに関してはさまざまな信号処理方式が提案されているが[Toda96]，本システムでは現在オーバーサンプリング方式を利用した．ピッチシフトの方式にはそれぞれの特徴があるため，今後編集対象音の特徴によってピッチシフト方式を使いわけるなどの工夫も有効である．

6.4.3.3 クロスオーバー処理

ピッチシフト処理を行った後，各セグメントを滑らかに接合する必要がある．図 6-10 に図を示す．各セグメントはコサインカーブで処理された後，クロスオーバー接合される．

6.5 音編集システムの評価

開発した編集システムの有効性に関して，ユーザがどのようにシステムを利用するかという観点から考察を行う．

（1） システムの利用に音響的知識を必要としない

ユーザは，音響波形がどうであるかを一切考えずに，音を編集することができる．波形のある範囲を指定したり，波形処理のパラメータを数値で指定したり，波形を切り貼りしたときのつなぎ目が滑らかかどうかに配慮する必要がなくなる．このような従来の方法に比較して，音声を入力するだけでよい本手法は，非常に簡単なインタフェースで音を編集することができる．

ユーザは教師となる音の大きさ（長さやリズムも）と高さを“口まね”音声で指示することができる．このためどのような音にしたいのかという指示を出す時間も大幅に短縮できる．

これらの長所はこれまでの波形編集システムでは実現できなかった特徴である．

（2） 同じエンベロープを有する音を作成するのに有効である

提案したシステムは初心者のみならずデザイナーにとっても有効となる．デザイナーは音の比較検討のために，同じ外形（長さやリズムやピッチ）で音色は異なるという音を作る機会が多い．このような場合，本システムを利用すると効率的に音を製作することが可能である．一度テンプレートとなる音を作れば，そのサウンドファイルを教師音とすることで，(1)音色を編集対象音に指定する，(2)教師音にテンプレートとなるサウンドファイルを指定する，(3)編集処理ボタンを押す，という 3 ステップの操作で音を製作することができる．同じことを従来の波形編集システムで行う場合，一つの音に対して複数の波形編集処理を繰り返す必要がある．具体的には，図 6-6 に示す音の編集を従来の編集システムにて行う場合，ユーザはまずミュート

処理を 2 回，次にパラメータを設定しながらフェイドイン/アウト処理を行うことを 6 回，そしてピッチベンド処理を 3 回，少なくとも以上の操作を行う必要がある．これには最短でも 320 秒程度の時間がかかり，それでも出来上がった波形の外形は教師音と同じにはならない．一方，提案したシステムを利用すれば，先に述べた 3 ステップの，約 40 秒ほどで同じエンベロープを有する音を作成することができる．提案するシステムでは，波形編集にかかる時間を大幅に短縮できる．

なお本システムの問題点として，現状あらゆる種類の音に本手法が効果的なわけではないことをあげておく．まず，複雑なエンベロープの音を作成したい場合，エンベロープに微妙な変化をつけたい場合などは音声で指示を行うことに限界がある．このような問題には，音響的知識は必要となるものの従来の波形表示によるインタフェースを併用するなどの方法で解決する必要がある．また，波形処理上の問題から編集対象音が非常に短い音，音色やエンベロープが複雑な音についても，現状のシステムでは編集後の音質に課題が残されている．これは従来の方法でも同じように生ずる課題でもあり，信号処理方式や編集の前処理を含めてさらに改善を図る必要がある．

以上，最後に述べた課題はあるものの，提案する編集方法はこれまでの方法と比較して容易に利用できるものであり，特に初心者ユーザに対して有効なシステムであると言える．

6.6 まとめ

本章では，前章にて報告した実験結果に基づき設計された音デザイン支援システム－音検索システムと音編集システム－の開発と評価について述べた．音検索システムでは，“擬音語”，“音源名”，“形容詞”の 3 種類のキーワードを使って音を検索することができる．この方式は多くの種類の音を多面的に検索することができ，その直感性と柔軟性からユーザに受け入れられた．また，音編集システムでは“口まね”音声などの音により音を加工編集することができる．教師音である入力音声から振幅エンベロープとピッチエンベロープを抽出し，それらを編集のテンプレートとして編集対象音の波形処理を行う．この方法により，音響パラメータを入力することなく，直感的で容易に音を編集することが可能となった．

聴覚ディスプレイの音のデザインに本システムを利用することにより，さまざまな音を容易に試作してみることができる．音の専門家でない設計者でも直感的な音のデザインが可能となるため，今後多くのシステムに聴覚ディスプレイが導入されるようになった時，効果的に利用されるようになることが期待できる．

第7章　結論

本論文は，聴覚ディスプレイのデザインおよびデザイン支援に関するものである．聴覚ディスプレイ（Auditory Display）とは，聴覚メディア，特に非言語音を用いた情報表示手法のことを指す．聴覚ディスプレイ研究は，視覚メディアの利用に偏る現在の情報機器インタフェースにおいて，聴覚メディアを積極的に利用することによって，情報表示および情報伝達をより効果的に行うことを目的とする．

ヒューマンインタフェースの一領域である聴覚ディスプレイは，対象アプリケーションや対象ユーザごとにデザインを行わなければならない部分も多いものの，一方で普遍的に利用できる基本的なデザイン方法論やガイドライン，デザイン支援システムの必要性も大きい．また，アプリケーションにおける聴覚ディスプレイ（およびヒューマンインタフェース全般）の設計は，必ずしもヒューマンインタフェースや音響の専門家が行うとは限らないため，デザインの方法論やシステムは，誰にとっても使いやすいものであることも望まれる．

従って本研究は，効果的な聴覚ディスプレイを，誰もが効率的にデザインできるようにするための音デザイン支援を目標に進められた．具体的には，以下の 2 つのアプローチにより研究を進めた．

（1）　イアコンのデザイン手法に関する研究
ルールに基づき複数の音を統一的にデザインする手法「イアコン多次元デザイン手法」およびその運用指針に関する研究．よりわかりやすく覚えやすい聴覚ディスプレイを製作するための論理的アプローチである．

（2）　聴覚アイコンのデザイン支援に関する研究
効果音データベースとその検索システム，さらに検索した音を加工編集するための編集システムに関する研究．直感的に音を扱うことで，音デザインを効率的に行えるようにするためのアプローチである．

本論の 1 章では，研究の背景となる聴覚ディスプレイ研究について概説した．聴覚ディスプレイ研究は，聴覚メディアーつまり音ーを用いた情報表示方法に関する研究であり，ヒューマンインタフェースの一分野に位置づけられる．2 章では，特に聴覚ディスプレイのデザインについて論じた．聴覚ディスプレイデザインに必要な要素を整理し，利用される音の種類に関して説明した．また，聴覚ディスプレイデザインに関する関連研究を概観し，本研究の目的および研究のアプローチを整理した．

3 章では，聴覚ディスプレイを論理的にデザインするための“イアコン多次元デザイン手法”について述べた．本手法を用いた聴覚ディスプレイデザイン事例について説明すると共に，手法の有効性評価を行った．本手法では，まず伝達すべき情報を複数の観点に基づき分類整理し，情報分類表を作成する．そして各分類軸に対して，音の高さや音色といった音響パラメータを

割り当てることでシステマティックに聴覚ディスプレイを製作する．評価の結果，本手法を用いて聴覚ディスプレイをデザインすることで，ユーザは音が表すメッセージを理解しやすくなり，また同じ系で製作された音であれば，それが初めて聞く音であってもその意味を類推することができる場合もあることが確認された．また，イアコン多次元デザイン手法の利用事例として，視覚障害者用 Windows アクセスツール“CounterVision”で利用される AUI のデザインを説明し，デザインプロセスの具体例を示した．

4 章では，このイアコン多次元デザイン手法をさらに効果的なものとするために，デザインに利用するのに適する音響パラメータを，音響心理実験を通して明らかにした．イアコンが満たすべき識別性・記憶性に関与する音響パラメータの影響を，「高さ」，「音色」，「リズム」の各パラメータについて調べた．その結果，識別性・記憶性共に，リズムの相違，音色の相違，高さの相違，の順で高い正答率が得られ，記憶性については，「リズム」，「音色」が有意水準 5% で「高さ」に対して有意であることがわかった．このことから，聞き分けやすく，覚えやすいイアコン群の製作には「リズム」と「音色」のパラメータの利用が有効であることが明らかになった．

5 章，6 章では，聴覚アイコンに利用される音のデザイン支援環境として，音検索・編集システムについて述べた．まず 5 章では，システム開発に先立って行った音響認知実験を説明した．この実験では，人が音をどのように表現するのかを明らかにした．被験者は提示された刺激音を聞き，その音がどのような音であったかをもうひとりの被験者に伝達する．この実験により，人は音を，知覚レベル・認知レベル・感性レベルの 3 つのレベルで捉えることがわかった．そして，擬音語，音源名，形容詞という各レベルに対応する 3 種類のキーワードを利用して検索をおこなう検索システムと，口まね表現により音の編集をおこなう編集システムを開発した．システムの詳細設計および評価を 6 章にて説明した．

一連の研究により，聴覚ディスプレイのデザインに関して，音デザイン支援の方法とシステムを提供することができ，以下の知見を得ることができた．

1) 表示する情報を分類した情報分類表に対して音響パラメータを割り当てることで，論理的にイアコンを製作する“イアコン多次元デザイン手法”を開発した．本手法を用いてデザインされたイアコンは，アドホックなデザインに比較して，イアコンが表すメッセージをユーザは理解しやすくなった．
2) イアコンのデザインには，リズムあるいは音色の差を積極的に利用することにより，弁別しやすく，記憶しやすいイアコンを製作できることがわかった．
3) 人は音を，「音そのもの」「発音状況」「音の印象」という 3 つの側面で捉えることがわかった．これらは，音についての知覚レベル，認知レベル，感性レベルに相当する．
4) 擬音語，音源名，形容詞という 3 種類のキーワードを使って検索を行う音検索手法を提案し実装した．本手法による検索は直感性と柔軟性にすぐれ，また検索できる音の種類の幅を広げることができる．
5) 口まね音声など，音を用いて音を加工編集できる音編集手法を提案し実装した．入力さ

れた教師音のパワーおよびピッチエンベロープをテンプレートとして，編集対象音を加工する．本手法の利用には音響的知識を必要としないため，誰でも直感的に音の編集を行うことができる．また本手法を利用すと，同じエンベロープを持つ音を効率的に作成することも可能になる．

聴覚ディスプレイを，より機能的に有効で，感性的にも優れたものとするために，今後も多様な観点からの研究が必要である．出力デバイス，音響処理，音響認知心理，感性情報処理，環境デザインなど各種の要素技術，また聴覚ディスプレイの自動製作，視覚メディアとの整合性や情報表示の役割分担に関する研究，聴覚ディスプレイの評価手法など，多くの観点からのデザイン支援技術も同様に望まれる．

聴覚ディスプレイは，まだまだ研究の途上にある．今後，携帯端末を筆頭にウェアラブルコンピュータやユビキタスシステムが発展することが予想される中，物理的な視覚表示領域を必要としない聴覚ディスプレイ技術の重要性が増すことは間違いない．今後，聴覚ディスプレイ研究が一層発展することを願うとともに，筆者自身も引き続き貢献していきたい．

参考文献

[Abe97] 安部匡伸：音声合成技術がもたらすコミュニケーション革命，Inter Communication 20, NTT 出版, pp.166-175 (1997)
(http://www.ntticc.or.jp/pub/ic_mag/ic020/intertechnology/abe.html)

[Baba00] 馬場貞如，福島学，柳川博文：仮想環境における移動音源のグループ化の基礎となる 2 つの移動音像の弁別，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.927-934 (2000)

[Blattner89] M. M. Blattner, D. A. Sumikawa, R. M. Greeberg: Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles, Human-Computer Interaction, Vol .4, pp.11-44 (1989)

[Blattner94] M. M. Blattner, A. L. Papp III, E. P. Glinert: Sonic enhancement of two-dimensional graphics displays, in Auditory display -Sonification, audification, and auditory interfaces, ed.G.Kramer, pp.447-470, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[Dic.94] 音楽の友社編：新音楽辞典－楽語，音楽の友社 (1994)

[Dombois02] F. Dombois: Auditory Seismology on Free Oscillations, Focal Mechanisms, Explosions and Synthetic Seismograms, Proc. of the 2002 Intl. Conf. on Auditory Display, pp.27-30 (2002)

[Eaglestone93] B. M. Eaglestone, G. L. Davies, and T. Ungvary: An Extended Version Model for Artistic Design, 5th International Conference on Computing and Information, IEEE, Canada, pp.502-506 (1993)

[Eaglestone94] B. Eaglestone, R. Vertegaal: Intuitive Human Interfaces for an Audio-database, Proc. of the Second International Workshop on Interfaces to Database Systemus, Lancaster University, pp.329-342 (1994)

[Edwards94] W. Edwards, E. Mynatt: An Architecture for Transforming Graphical Interfaces", UIST'94, pp.39-47 (1994)

[Egawa88] 江川義之：警告音－聞きとりやすい警告音，聞き間違えにくい警告音， 安全, Vol.39 No.4, pp.21-25 (1988)

[Gaver89] W. Gaver: The SonicFinder: An Interface That Uses Auditory Icons, Human-Computer Interaction, Vol.4, pp.67-94 (1989)

[Gaver91] W. W. Gaver, R. B. Smith, T. O'Shea: Effective Sounds in Complex Systems: The ARKola Simulation, In Proc. of CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Software, pp.85-90 (1991)

[Gaver93] W. W. Gaver: Synthesizing Auditory Icons, Proc. of INTERCHI'93, pp.228-235 (1993)

[Gaver94] W. Gaver: Using and Creating Auditory Icons, in Auditory display - Sonification, audification, and auditory interfaces, ed. G. Kramer, pp.417-446, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[Hashimoto97] 橋本周司： 音の仮想空間，日本バーチャルリアリティ学会誌 Vol.2, No.1, pp.3-11 (1997)

[Hayward94] C. Hayward: Listening to the Earth Sing, in Auditory Display –Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, ed. G. Kramer, pp.369-404, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[Hermann02] T. Hermann, P. Meinicke, H. Bekel, H. Ritter, H.M. Müller, S.Weiss: Sonifications for EEG Data Analysis, Proc. of the 2002 Intl. Conf. on Auditory Display, pp.37-41 (2002)

[Hikichi01] T. Hikichi and N. Osaka: Sound timbre interpolation based on physical modeling, Acoustical Science and Technology Vol.22, No.2, 101-111 (2001) (formerly J. Acoust. Soc. Jpn. (E))

[Horner93] A. Horner, J. Beauchamp, and N. Packard: Timbre Breeding, Proc. of Intl. Computer Music Conference '93, pp.396-398 (1993)

[ICAD] International Committee on Auditory Display, http://www.icad.org/

[ISO-7731] International Organization for Standardization, ISO 7731 Danger signals for work places – Auditory danger signals (1986)

[Jackson94] J. A. Jackson, J. M. Francioni: Synchronization of Visual and Aural Parallel Program Performance Data, in Auditory Display –Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, ed. G. Kramer, pp.291-306, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[JIS-C-9102] 日本企画協会：JIS C 9102 家電製品の操作性に関する設計指針 (1996)

[JIS-Z-8109] 日本規格協会：JIS Z 8109 音響用語（音声聴覚・音楽）(1961)

[Kaiho91] 海保博之，原田悦子，黒須正明：認知的インタフェース，pp.36-39，新曜社 (1991)

[Kaminuma00] 神沼充伸，伊勢史郎，鹿野清宏：受聴者の頭部の動きを考慮した多チャンネル音場再現システム：日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.957-964 (2000)

[Kawachi95] 河内十郎：感性と理性は，脳の中でどのように処理されているか，感性・人間・コンピュータ，大沢光 等編，pp.78-120，富士通ブックス (1995)

[Kim99] 金海永，鈴木陽一他：絶対判断と相対判断により音像距離知覚の比較，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.4, No.2, pp.455-460 (1999)

[Kim00] 金海永，鈴木陽一他：拡張輻輳角モデルを用いた音像距離定位の制御，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.911-918 (2000)

[Koning91] K. Koning, S. Oates: Sound Base: Phonetic Searching in Sound Archives, Proc. of the International Computer Music Conference (ICMC'91) Montreal, pp.433-436 (1991)

[Kramer94] G. Kramer: An Introduction to Auditory Display, in Auditory Display –Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, ed. G. Kramer, pp.1-77, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[Kramer94b] G. Kramer: Some Organizing Principles for Representing Data with Sound, in Auditory Display –Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, ed. G. Kramer, pp.185-221, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[McClelland88] E. B. McClelland, R. P. Trueblood, and C. M. Eastman: Two approximate operators for a data base query language: Sounds_Like and Close_To, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.18, No.6, pp.873-884 (1988)

[Miyasaka84] 宮坂栄一：音色，in 聴覚ハンドブック，ed. 難波精一郎，第４章，ナカニシヤ出版 (1984)

[Mynatt94] E. Mynatt, G. Waber: Nonvisual Presentation of Graphical User Interfaces: Contrasting Two Approaches, CHI'94 Conference Proceedings, pp.166-172 (1994)

[Nakatsu96] 中津良平：アーティスティックな要素を取り入れたバーチャルリアリティ技術ーアートと工学の融合をめざして，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.1, No.1 (1996)
(http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/tvrsj/1.1/nakatu/nakatu.html)

[Namba84] 難波精一郎：非定常音の知覚，in 聴覚ハンドブック，ed. 難波精一郎，第６章，ナカニシヤ出版 (1984)

[Namba91] S. Namba, S. Kuwano, T. Hashimoto et al.: Verbal expression of emotional impression of sound : A cross-cultural study, The Journal of Acoustical Society of Japan (English) Vol.12, No.1, pp.19-29 (1991)

[Namba93] 難波精一郎：音色の定義を巡って，音響誌，49 巻 11 号，pp.823-831 (1993)

[Nishimura00] 西村竜一，宮里勉，中津良平：頭部近傍を通過する物体の聴覚実時間合成，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.935-942 (2000)

[Okada95] 岡田世志彦 他：視覚障害者用スクリーンリーダ CounterVision/SR，情処研報 HI62-3, pp.17-24 (1995)

[Okada97] Y. Okada, et al.: CounterVision: A Screen Reader with Multi-Access Interface for GUI, The 12th Annual Intl. Conf. of Center on Disabilities ,CSUN'97, Floppy Disk, okada_y.txt (1997)
(http://www.dinf.ne.jp/doc/english/Us_Eu/conf/csun_97/csun97_090.htm)

[Okubo00] 大久保洋幸，大谷眞道他：CG 画像と同期したインタラクティブ音場再生システムについて，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.965-974 (2000)

[Schafer86] R. Murray Schafer 著，鳥越けい子他訳：世界の調律，平凡社 (1986)

[SDA] 社団法人日本サインデザイン協会 Web site, http://www.sign.or.jp/

[Takeuchi90] 竹内晴彦，森川治：音アイコン-ヒューマンインタフェースにおける聴覚情報，テレビジョン学会技術報告 Vol.14, No.33, pp.13-18 (1990)

[Tamori91] 田守育啓：日本語オノマトペの研究，神戸商科大学経済研究所, pp.1-2 (1991)

[Tamura98] 田村博編：ヒューマンインタフェース，オーム社，pp.403-411 (1998)

[Tamura00] 田村祐一，佐藤哲也他：数値シミュレーションデータ表現のための音情報機能を付加したバーチャルリアリティシステムの開発，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.943-948 (2000)

[Toda96] 戸田浩：サウンドエフェクト，C マガジン 1996 年 12 月号, pp.22-50，ソフトバンクパブリッシング (1996)

[Torigoe97] 鳥越けい子：サウンドスケープ[その思想と実践]，鹿島出版会 (1997)

[Vertegaal94] R. Vertegaal, E. Bonis: ISEE: An Intuitive Sound Editing Environment, Computer Music Journal, 18:2, pp.21-29 (1994)

[Wake94] 和気早苗，山中克弘，岡田世志彦，上窪真一，井関治：GUI のための音響ディスプレイ装置 Touch Sound Display の試作，情報処理学会第 49 回全国大会 3N-2 (1994)

[Wake96] 和氣早苗，旭敏之，井関治：ユーザインタフェースへの効果音利用に関する一考察～98 サウンドエフェクタの開発～，情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 65-5, pp.21-26 (1996)

[Wake97] 和氣早苗，岡田世志彦，旭敏之：インタフェースのためのサウンド設計 ～視覚障害者用スクリーンリーダ CV/SR ～，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.97-102 (1997)

[Wake98] S. Wake, T. Asahi: Sound Retrieval with Intuitive Verbal Expressions, Proc. of ICAD'98 (International Conference on Auditory Display), The proceedings have been published as an eWiC (electronic Workshop in Computing by British Computer Society) http://www.ewic.org.uk/ewic/workshop/view.cfm/ICAD-98 (1998)

[Wake99] 和氣早苗，上窪真一 他：音響インタフェース設計手法“報知音多次元設計手法”確立への一考察，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.10, pp.1721-1728 (1999)

[Wake01] S. Wake, T. Asahi: Sound Retrieval with Intuitive Verbal Descriptions. IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E84-D No.11, pp.1568-1576 (2001)

[Ward87] W. D. Ward, E. M. Burns, (大浦容子 訳): 絶対音感, in 音楽の心理学(下), ed. D. Deutsch, (寺西立年, 大串健吾, 宮崎謙一 監訳), 第 14 章, 西村書店 (1987)

[Watanabe01] 渡辺隆行：音声出力ユーザインタフェースの可能性, http://web.sfc.keio.ac.jp/~wata7be/doc/CHASPY/AUIpotential.html#TOC

[Wenzel94] E. M. Wenzel: Spatial Sound and Sonification, in Auditory Display –Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, ed. G. Kramer, pp.127-150, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe (1994)

[Word96] E. Wold, T. Blum, D. Keislar, and J. Wheaton: Content-based classification, search, and retrieval of audio, IEEE MULTIMEDIA Vol.3, No.3, pp.27-36 (1996)

[Yamaguchi99] eds. 山口泰, 新原寿子, 前田耕造：音による新しいサインデザイン活動領域形成のための調査研究事業, 平成 10 年度中小企業活路開拓調査・実現化事業報告書, 社団法人日本サインデザイン協会発行 (1999)

[Yamaguchi00] eds. 山口泰, 前田耕造, 川上央：聴覚的バリアフリーをめざしたモデルサイン音の試作実験事業 報告書, 平成 11 年度中小企業活路開拓調査・実現化事業報告書, 社団法人日本サインデザイン協会発行 (2000)

[Yamaguchi02] eds. 山口泰, 前田耕造：音声誘導サイン標準化調査研究事業報告書, 平成 13 年度中小企業活路開拓調査・実現化事業報告書, 社団法人日本サインデザイン協会発行 (2002)

[Yano00] 矢野博明, 亀田敏弘他：物理法則に基づく聴覚と理企画の融合に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.3, pp.997-1004 (2000)

謝 辞

本論文は，筆者が NEC インターネットシステム研究所(およびその前身である関西 C&C 研究所，ヒューマンメディア研究所)と大阪大学大学院基礎工学研究科において行ってきた研究を，井口征士教授のご指導のもとにまとめたものです．

井口征士教授には，私が学部学生であった当初より多くのご指導と励ましを与えて頂きました．大学院社会人博士課程への入学にあたっても多くの励ましを頂き，入学後も懇切なるご指導ご鞭撻を賜りました．深く感謝し厚く御礼申し上げます．

また本論文を丁寧に御査読下さり，様々なご意見，ご教示を賜りました田村坦之教授，西田正吾教授，ならびに佐藤宏介助教授には，深く御礼を申し上げます．

1992 年の NEC 入社時より，私に研究の機会を与えてくださいました NEC 情報システムズ真名垣昌夫執行役員，また NEC 阪田史郎エグゼクティブエキスパート，笠原裕本部長，高島洋典統括マネージャー，山田敬嗣研究部長には，心より感謝を致しております．藤田友之研究統括マネージャーにおきましては，2001 年 9 月の退職後にわたっても，NEC においての議論の機会を与えて下さいました．本当にありがとうございました．

NEC カスタムテクニカ 井関治グループマネージャー，ならびに NEC 旭敏之主任研究員，福住伸一マネージャー，上窪真一エンジニアリングマネージャーには，研究の立案，遂行方法をはじめ，技術論文の執筆まで，研究全般にわたる具体的なご指導とご助言を頂きました．厚くお礼申し上げます．

本研究にあたって様々な議論や助言をもってご援助頂いた広明敏彦主任，仙田修司主任をはじめとする NEC インターネットシステム研究所の先輩，同僚，また同期の皆様に心から感謝しております．

大阪大学井口研究室のスタッフと学生の皆様には，多方面でご協力を頂きました．ありがとうございます．また広島市立大学の加藤博一助教授には，私の学部時代より様々なご指導を頂き，研究の面白さと厳しさを教えて頂きました．ありがとうございます．

また，2002 年 4 月からの勤務先である同志社女子大学学芸学部情報メディア学科の教職員の皆様には，暖かなご援助とご配慮を賜りました．御礼申し上げます．

そして最後に，私の研究活動を理解し数々の議論や助言を与え，また全ての面で支え続けてくれました夫平井重行に，心からのお礼を述べたいと思います．

業 績 表

本論文に直接関係する業績に * 印を記載

【学術論文】

1. 和気早苗，加藤博一，才脇直樹，井口征士：テンション・パラメータを用いた協調型自動演奏システム：JASPER，情報処理学会論文誌 Vol.35 No.7, pp.1469-1481 (1994)
2.* 和氣早苗，上窪真一，福住伸一，旭敏之，広明敏彦：音響インタフェース設計手法「報知音多次元設計手法」確立への一考察，電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J82-D-II No.10, pp.1721-1728 (1999)
3.* Sanae H. Wake, Toshiyuki Asahi: Intuitive Sound Design Using Vocal Mimicking, IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E84-D No.6, pp.749-750 (2001)
4.* Sanae H. Wake, Toshiyuki Asahi: Sound Retrieval with Intuitive Verbal Descriptions, IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E84-D No.11, pp.1568-1576 (2001)
5.* 和氣早苗，岡田世志彦，旭敏之：ヒューマンインタフェースとしての報知音設計 ー“報知音多次元設計手法”の提案と視覚障害者用 Windows アクセスツール CV/SR の報知音設計ー，日本デザイン学会論文誌 デザイン学研究 (採録決定)
6. 和氣早苗，瀬井裕子，井口征士：音楽聴取時の注意と鼻部皮膚温の変化 –主観データの客観的評価方法に向けた研究–，計測自動制御学会論文集（条件付採録）
7. 長田典子，岩井大輔，津田学，和氣早苗，井口征士：音と色のノンバーバルマッピング –色聴保持者のマッピング抽出とその応用–，電子情報通信学会論文集 D-II（投稿中）

【国際会議】

1. Hirokazu Kato, Sanae Wake, Seiji Inokuchi: Cooperative Musical Partner System: JASPER, Jam Session Partner, Advances in Human Factors/Ergonomics, Vol.19B Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces, pp250-255 (1993)
2.* Sanae H. Wake, Toshiyuki Asahi: Sound Retrieval with Intuitive Verbal Expressions, Proc. of ICAD'98 (International Conference on Auditory Display), The proceedings have been published as an eWiC (electronic Workshop in Computing by British Computer Society) http://www.ewic.org.uk/ewic/workshop/view.cfm/ICAD-98 (1998)
3. Daisuke Iwai, Noriko Nagata, Sanae H. Wake, Seiji Inokuchi: Approach to Non-verbal Mapping between Sound and Color, Proc. SICE Annual Conference 2002 in Osaka (SICE2002), pp.34-39, (CD-ROM, No.0696(MA01-7)) 2002 (The Society of Instrument and Control Engineers) (2002)

【シンポジウム・研究会・解説】

1. 和気早苗，加藤博一，才脇直樹，井口征士：演奏者の感情を考慮した協調型演奏システム—JASPER—，音楽情報科学研究会会報 夏のシンポジウム'92, pp.43-46 (1992)
2.* 和気早苗，井関治：「音」の表現方法に関する実験と考察　～効果音検索システムに向けて～，データベース構築促進及び技術開発に関する報告書 06-開-14, (財)データベース進行センター (財)イメージ情報科学研究所, pp.22-26 (1995)
3.* 和氣早苗，旭敏之，林保，森本浩正，瑞穂洋：ユーザインタフェースへの効果音利用に関する一考察　～98 サウンドエフェクタの開発～，情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会 65-5, pp.21-26 (1996)
4.* 和氣早苗，旭敏之，井関治：ユーザインタフェースへの感性的効果音利用，第4回日立中研研究会予稿集, pp.83-88 (1996)
5.* 和氣早苗，旭敏之，井関治：ユーザインタフェースへのサウンド利用，日本サインデザイン協会サイン音調査研究部会キックオフフォーラム予稿集, pp.23-31 (1996)
6.* 和氣早苗，旭敏之：直感的な音データ検索/編集システムの開発，情報処理学会　情報メディア研究会 29-2, pp.7-12 (1997)
7.* 和氣早苗，岡田世志彦，旭敏之：インタフェースのためのサウンド設計 ～視覚障害者用スクリーンリーダCV/SR～，第13回 Human Interface Symposium論文集, pp.97-102 (1997)
8.* 和氣早苗，広明敏彦，福住伸一，旭敏之：Natural React Interface の提案，ヒューマンインタフェース学会研究報告集Vol.1 No.4, pp.15-20 (1999)
9. 和氣早苗，池邉亮志，河野泉，上窪真一，福住伸一：感情表現手段としての非言語音に関する実験報告，情報処理学会研究報告ヒューマンインタフェース89-9, pp.57-64 (2000)
10. 河野泉，池邉亮志，和氣早苗，上窪真一，岩沢透，西村健士：感情表現を用いた対話システム EDS の開発（1）～システム概要と感情モデル～，情報処理学会研究報告ヒューマンインタフェース 89-9, pp.43-48 (2000)
11. 池邉亮志，河野泉，和氣早苗，上窪真一，岩沢透，西村健士：感情表現を用いた対話システムEDSの開発（2）～感情表現とシステム評価～，情報処理学会研究報告ヒューマンインタフェース89-9, pp.49-56 (2000)
12. 西村健士，岩沢透，河野泉，林美奈子，和氣早苗，池邉亮志：感情豊かな音声対話を行うエージェントシステムの開発，NEC技報 Vol.53 No.6, pp.25-29 (2000)
13. 和氣早苗，上窪真一，旭敏之：PCエージェントの実体性に関する一考察，第 6 回知能情報メディアシンポジウム(IIM2000), pp.47-52 (2000)
14. 和氣早苗，上窪真一，旭敏之：実体を持つPCエージェント“デスクトップマスコット”の提案と考察，画像電子学会　第 6 回VMA研究会　講演予稿集 (2001)
15. 岩井大輔，長田典子，津田学，和氣早苗，井口征士：音と色のノンバーバルマッピング—色聴保持者のマッピング抽出とその応用—，情報処理学会研究報告 (2002-MUS-47), vol.2002, no.100, pp.97-104 (2002)
16. 岩井大輔，長田典子，和氣早苗，井口征士：音と色のノンバーバルマッピング，情報処理学会関西支部大会講演論文集, pp.7-10 (2002)

【口頭発表】

1. 和気早苗，加藤博一，井口征士：JASPER －協調型演奏システム－，電子情報通信学会春季全国大会講演論文集, pp.s1巻307 (1992)
2.* 和気早苗，旭敏之，井関治：効果音検索システム～「音」の表現方法に関する実験と考察～，情報処理学会第48回全国大会5P-1 (1994)
3.* 和気早苗，山中克弘，岡田世志彦，上窪真一，井関治：GUIのための音響ディスプレイ装置Touch Sound Displayの試作，情報処理学会第49回全国大会3N-2 (1994)
4.* 山中克弘，岡田世志彦，和気早苗：視覚障害者用ＧＵＩ端末，情報処理学会第50回全国大会 (1995)
5.* 和氣早苗，旭敏之：擬音語による効果音データの検索，情報処理学会第52回全国大会5D-1 (1996)
6. 瀬井裕子・和氣早苗・井口征士，「ながら勉強」は効果があるか？～音楽聴取実験の評価法に関する考察～，2002年電子情報通信学会総合大会論文集(CD-ROM), A-15-19 (2002)
7. 津田学・和氣早苗・井口征士：絶対音感保持者の音刺激に対する色想起に関する考察，2002年電子情報通信学会総合大会論文集(CD-ROM), A-16-2 (2002)

【特許】

1.* 和気早苗：音響ディスプレイ装置：特許第2654543号 (1997.05.30登録)
2.* 和気早苗：効果音検索装置：特許第2897701号 (1999.03.12登録)
3.* 和気早苗：擬音語を用いた音検索システムおよび擬音語を用いた音検索方法：特許第2956621号 (1999.07.23登録)
4.* 平井早苗：効果音付加装置および効果音付加方法：特願平10-250264 (併せてイギリス，アメリカに外国出願)
5. 平井早苗：アニメーション生成装置：特願平11-145655
6.* 平井早苗：操作反応音生成装置 及び操作反応音生成プログラムを記録した記録媒体：特願平11-228643
7. 池邉亮志，平井早苗：感情表出装置 及びプログラムを記録した機械読み取り可能な記録媒体：特願2000-018026
8. 平井早苗：感性適応型情報提示装置 及びプログラムを記録した機械読み取り可能な記録媒体：特願2000-105384
9. 平井早苗：インタフェース装置：特願2000-322385
10. 広明敏彦，平井早苗：電子コンテンツ閲覧装置および電子コンテンツ閲覧方法：特願2002-151112

【その他】

1.* Local Arrangement Vice Chair: ICAD2002－International Conference on Auditory Display (2002)