

音楽におけるモダリティの追求と
楽器拡張の試作と評価

米澤朋子

関連発表論文

学位論文

1. 学士論文(環境情報学) 流体による音表現(慶応義塾大学環境情報学部環境情報学科),1999. (湘南藤沢学会 研究会優秀論文)

学術論文

1. 米澤朋子, 間瀬健二, 流体による楽器インタラクションの考察 ~ Tangible Sound #2 における展開, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 755-762, 2000.

国際会議(査読あり)

1. Tomoko Yonezawa, Kenji Mase, “Tangible Sound”: Musical Instrument Using Tangible Fluid Media , ICMC2000 Proceedings, pp.551-554, 2000.
2. Tomoko Yonezawa, Brian Clarkson, Michiaki Yasumura, and Kenji Mase, “Context-aware Sensor-Doll as a Music Expression Device”, Proceedings of CHI2001 Short Talk, to appear (採録決定).
3. Kenji Mase and Tomoko Yonezawa, “Body, Clothes, Water and Toys – Media Towards Natural Music Expressions with Digital Sounds –”, Proceedings of CHI2001 Workshop, to appear (採録決定).

国内会議(査読あり)

1. 米澤朋子, 間瀬健二, Tangible Sound #2 における楽器インタラクション, 情報処理学会 Interaction2000 シンポジウム, IPSJ Symposium Series, Vol. 2000, No. 4, pp. 141-142, 2000.

-
2. 米澤朋子, 安村通晃, 間瀬健二, Tangible Sound: 流体を用いたインタラクションによる音表現とその拡張, 16th NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト, pp. 127-134, 2000.
 3. 米澤朋子, ブライアン クラークソン, 安村通晃, 間瀬健二, 文脈に応じた音楽表現を伴うセンサぬいぐるみ, 情報処理学会 Interaction2000 シンポジウム, IPSJ Symposium Series, Vol. 2001, No. 5, to appear (採録決定).

国内会議(一般)

1. 米澤朋子, 安村通晃, 音楽作曲とプログラミング, 情報処理学会プログラミングシンポジウム 夏のプログラミング・シンポジウム「21世紀の夢」報告集, pp. 79-88, 1999.
2. 米澤朋子, 安村通晃, 流体による音表現: インスタレーション “Tangible Sound” より, 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp. 177-180, 1999.
3. 米澤朋子, 間瀬健二, 流体による音楽入力: 水のセンシングを用いた楽器の検討, 情報処理学会研究報告 99-MUS-33, Vol.99, No.106, pp. 1-6, 1999.
4. 米澤朋子, 間瀬健二, 流体楽器による音楽要素生成手法とその応用, 情報処理学会第60回全国大会, 講演論文集(2), pp. 61-62, 2000.
5. 米澤朋子, 間瀬健二, 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討, 情報処理学会研究報告 2000-HI-89, Vol. 2000, No. 61, pp. 73-80, 2000.
6. 平田圭二, 石川修, 鈴木健嗣, 園田智也, 瀧陽一郎, 松田周, 米澤朋子, ICMC 2000 レポート, 情報処理学会研究報告 2000-MUS-38, Vol.2000, No.118, pp. 1-8, 2000.
7. 米澤朋子, ブライアン クラークソン, 安村通晃, 間瀬健二, ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーション, 情報処理学会研究報告 2001-HI-92-3, Vol.2001, No.3, pp. 17-25, 2001.
8. 間瀬健二, ブライアン クラークソン, 米澤朋子, 幼児期からのウェアラブルと Toy 型インタフェース, 情報処理学会研究報告 2001-HI-92-1, Vol.2001, No.3, pp. 1-8, 2001.
9. 米澤朋子, ブライアン クラークソン, 安村通晃, 間瀬健二, ぬいぐるみを用いた表現としての音楽生成の提案, 画像電子学会 第6回 VMA 研究会, pp. 11-20, 2001.

平成13年 2月 12日現在

目次

第1章 序論	1
1.1 緒論	2
1.2 本研究の目的	4
1.3 本論文の構成	6
第2章 音楽のモダリティとインタラクション	9
2.1 音を楽しむ工夫と楽器	10
2.2 音楽インタラクティブ・システム	13
2.3 マルチモーダルインタフェース	14
2.4 音楽インタラクティブ・システムにおける提案	16
2.4.1 これまでの問題点と接触による音楽モダリティ	16
2.4.2 本研究で提案するシステム	16
2.5 まとめ	16
第3章 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討	17
3.1 はじめに	18
3.2 Iamascope の概要	18
3.3 関連研究	22
3.4 音楽生成の実装手法	24
3.4.1 和音進行のタイミング制御	24
3.4.2 4和音進行列の選択	25
3.4.3 Key 変換の制御	26
3.4.4 和音構成音外の音程制御	27
3.5 考察	27
3.5.1 カメラ入力インタフェースと直接操作性	28
3.5.2 音楽要素の操作による効果	30
3.5.3 インタラクティブアートと楽器設計指針	30
3.6 まとめ	31
第4章 流体を用いた新しい音楽モダリティ	32
4.1 はじめに	33
4.2 関連する作品・研究	34

目次	目次
4.3	Tangible Sound #1 のデザインと試作 36
4.3.1	システムのコンセプト 36
4.3.2	Tangible Sound #1 のハードウェア構成 37
4.3.3	センシング手法 #1 -機械的センシング- 40
4.3.4	Tangible Sound #1 の音楽生成ソフトウェア 40
4.4	Tangible Sound #2 のデザインと試作 41
4.4.1	Source & Drain コンセプトの導入 41
4.4.2	センシング手法 #2 -電氣的センシング- 42
4.4.3	ソフトウェア #2-1: 楽器制御 46
4.4.4	ソフトウェア #2-2: Orchestration 音量制御 46
4.5	Tangible Sound #2 の拡張 48
4.5.1	Drain メタファによるセンシング手法の拡張 48
4.5.2	ソフトウェア #2-3: 音階制御 49
4.5.3	ソフトウェア #2-4: 音響制御 50
4.6	考察 50
4.6.1	水の触覚の利用について 50
4.6.2	環境的要因の作用 51
4.6.3	音楽インタラクションの拡張 51
4.7	評価実験 51
4.7.1	評価実験の手法提案 51
4.7.2	評価実験の結果と考察 53
4.8	今後の展望 54
4.9	まとめ 55
第5章	ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーション 56
5.1	はじめに 57
5.2	関連研究 58
5.3	システムデザイン 61
5.3.1	ぬいぐるみとのインタラクションモデル 61
5.3.2	ぬいぐるみの内部状態の設計 62
5.3.3	内部状態の遷移モデル 62
5.3.4	センサぬいぐるみの構成 62
5.3.5	文脈に応じた音楽表現 66
5.3.6	リズムカルな入力の検出 67
5.3.7	予備実験 69
5.4	考察 69
5.4.1	コミュニケーションデバイスとしてのぬいぐるみ 69
5.4.2	音楽コミュニケーションの可能性 71
5.4.3	ジェスチャーや文脈の認識機構 72
5.5	本システムの評価手法の提案 72

目次	目次
5.5.1	モードが変化することの効果 72
5.5.2	音楽コミュニケーションの評価 73
5.5.3	ユーザインタラクションの分析 74
5.5.4	評価実験の結果と考察 74
5.6	まとめ 76
第6章	考察 77
6.1	試作システムにおける音楽モダリティ 78
6.1.1	“Iamascope”における非接触の音楽モダリティについての考察 78
6.1.2	流体との接触における“Tangible Sound”の考察 79
6.1.3	“Com-Music”における状況に応じた接触インタラクションの考察 80
6.2	本研究における音楽のモダリティに関する考察 81
6.2.1	音楽フィードバックが作り出す音楽モダリティ 82
6.2.2	接触フィードバックが作り出す音楽モダリティ 82
6.2.3	コミュニケーションのモダリティがもたらす音楽モダリティ 83
6.3	接触を通じた音楽のモダリティに関する新たな考察 83
6.4	まとめ 84
第7章	今後の課題と展望 85
7.1	試作システムにおける今後の課題 86
7.1.1	“Iamascope”システムにおける課題 86
7.1.2	“Tangible Sound”システムにおける課題 86
7.1.3	“Com-Music”システムにおける課題 86
7.2	接触を通じた音楽のモダリティと設計指針 87
7.3	音楽におけるモダリティとシステムの評価手法 87
7.3.1	評価手法の再検討 87
7.3.2	被験者の選択と音楽経験 87
7.4	試作システムの応用分野 88
7.5	まとめ 89
第8章	結論 90
8.1	本研究の成果 91
8.2	本研究の総括と結論 91
付録A	Tangible Sound #2 の評価実験手法 101
A.1	評価の目的 101
A.2	評価対象 101
A.3	評価項目 101
A.4	記録手法 105
A.5	評価実験実施要項 106
A.5.1	被験者に指示すること 106

目次	目次
A.5.2 終了後データからチェックすること	106
A.5.3 終了後にユーザの主観評価でチェックすること	106
A.6 評価結果	107
A.6.1 客観データ	107
A.6.2 主観評価の結果	107
付録 B Com-Music の仕様	111
B.1 ハードウェア仕様	111
B.2 公開展示時の音楽マッピング例	114
付録 C Com-Music の評価実験手法	115
C.1 評価の目的	115
C.2 評価対象	115
C.3 評価項目	115
C.4 記録手法	116
C.5 評価実験実施要項	119
C.5.1 被験者に指示すること	119
C.5.2 終了後データからチェックすること	119
C.5.3 終了後に被験者の主観評価でチェックすること	119
C.6 評価結果	120
C.6.1 被験者のバックグラウンド	120
C.6.2 客観データ	120
C.6.3 主観評価の結果	120
付録 D Com-Music の内部状態毎の実行風景	123
D.1 それぞれの状態におけるユーザ行動	123
D.2 状態の遷移時のユーザ行動	125

目次

1.1	本論文の構成	8
2.1	古くからある楽器の例	10
2.2	和音を出す楽器の例	11
2.3	トランペットを水につける演奏	11
3.1	Iamascope 実行風景	19
3.2	Iamascope のシステムブロック図	20
3.3	音楽サブシステムの画像処理	21
3.4	SIGGRAPH97における展示	21
3.5	ダンサーによるパフォーマンス	22
3.6	音楽制御部からの重心変化領域検出例	26
3.7	オクターブ毎の音程マッピング	28
4.1	水と音の時間による変化の共通性	34
4.2	Tangible Sound の原コンセプト	35
4.3	Tangible Sound のモデル: 上部流量と下部流量	35
4.4	Tangible Sound #1 のシステム構成	35
4.5	Turn Sensor(回転角センサ)と蛇口の連動(上部流量の検出)	38
4.6	リードスイッチによるカウンタ(下部流量の検出)	38
4.7	アナログセンサ入力から音楽出力	38
4.8	Tangible Sound #1 の外観	39
4.9	Tangible Sound #1 のソフトウェア構成	39
4.10	流水の直径の計測	41
4.11	蛇口下部へのセンサ設置図	41
4.12	センサ設置部分(蛇口下部より撮影)	42
4.13	Main Drain と Sub-drain	43
4.14	漏斗内の水位計測センサ設置	43
4.15	Tangible Sound #2 のシステム構成	44
4.16	Tangible Sound #2 の外観	44
4.17	Tangible Sound #2 の演奏風景	45
4.18	楽器制御(#2-1)のソフトウェア構成	45
4.19	GMIにおけるOrchestration楽器としての実行風景	47

4.20	Orchestration 音量制御のデモシステム構成	47
4.21	Orchestration 音量制御 (#2-2) のソフトウェア構成	48
4.22	音階制御 (#2-3) のソフトウェア構成	49
4.23	音響制御 (#2-4) のソフトウェア構成	49
5.1	擬人化ぬいぐるみコミュニケーション	58
5.2	Interaction Level の遷移	63
5.3	システム構成	64
5.4	ぬいぐるみ内部の設置状況	64
5.5	センサの設置	65
5.6	センサぬいぐるみのデータ処理の流れ	65
5.7	センサ入力から Interaction Level , 音楽生成までの流れ	66
5.8	リズム検出手法	68
5.9	背中 of 圧力センサからの値の例	68
5.10	入力間隔のヒストグラムの例	69
5.11	公開展示の模様	70
5.12	実行風景	71
A.1	Tangible Sound#2-3 システムのスナップショット	102
A.2	Tangible Sound#2-4 システムのスナップショット	103
A.3	被験者に示す課題	104
A.4	ある被験者の記録例	108
A.5	音楽経験者・非経験者毎の主観評価平均	109
B.1	ハードウェア構成	111
C.1	コントロール部位	116
C.2	Com-Music アプリケーションのスナップショット	118
C.3	被験者 1 のセンサ入力値の例	122

表目次

3.1	従来の音楽生成手法と新たな手法の提案	24
4.1	Tangible Sound と管楽器の比較	42
4.2	他のインタフェースとの比較	52
5.1	音楽制御マッピングの例	67
A.1	操作がうまくいったかについての主観評価 (音楽経験者)	107
A.2	操作がうまくいったかについての主観評価 (音楽非経験者)	109
B.1	ぬいぐるみの詳細構成要素 —PC 部分—	112
B.2	ぬいぐるみの詳細構成要素 —センサ類—	112
B.3	ぬいぐるみの詳細構成要素 —電源部分—	113
B.4	ぬいぐるみの詳細構成要素 —ソフトウェア—	113
B.5	ぬいぐるみインタラクションに対する音楽マッピング	114
B.6	表 B.5 の記述	114
C.1	実験 2 の比較要素	117
C.2	実験 3 の比較要素	117
C.3	被験者の音楽・ぬいぐるみ遊びの経験	120
C.4	インタラクションの総合時間	121
C.5	親しみを感じたか (5 段階)	121
C.6	コントロールしていたか, コミュニケーションしていたか	121
D.1	level0 の時の動作	123
D.2	level1 の時の動作	123
D.3	level2 の時の動作	124
D.4	level3 の時の動作	124
D.5	level1-2 の遷移の動作	125
D.6	level2-3 の遷移の動作	125
D.7	level3-4 の遷移の動作	126
D.8	level4-3 の遷移の動作	126

第 1 章

序論

概要

本章では本研究の背景について述べるとともに，本研究の目的を明らかにする．また，本論文の概要について述べる．

This chapter provides some background then explains the purpose of this research.

1.1 緒論

本研究は、音楽における新しいモダリティとしてマルチメディア楽器やインタラクティブシステムを構築することで、音楽の経験や従来の音楽演奏・聴取といった音楽の楽しみ方に限定されず、音楽を楽しむための新たな手法と環境を提案するものである。

音楽を音を楽しむと表記する通り、我々は聴取、演奏、作曲構成など様々な方法で音楽メディアと接している。特に楽器を通じた音楽表現では、物理的な接触を伴った音の生成が古くから親しまれている。楽器による演奏の中で代表的な伝統的な音楽の世界、特にクラシックの世界では、楽器を特定の技法で演奏することが音楽の洗練だと考えられてきた場面が少なくない[1]。

社会的な文化的背景により、作曲と演奏を切り離して、芸術的なプロセスが別々に存在すると捕える音楽体系がもたらされたと考えられる。

このような体系の中では、単純に楽器によって音を出すことの楽しみよりも、その手法の習熟にのみ重点がおかれる。古い時代の流れを継ぐクラシック音楽の流れだけでは、現在の音楽における演奏と作曲の重なり合うあらゆるリアルタイム作曲演奏システムにおけるパフォーマンスや、インタラクティブシステムにおける新しい音楽の楽しみ方を捕らえることは難しい。また、即興の音楽を楽しむジャズの演奏形態は、演奏と作曲の重なりが存在しているとも考えることもできるため興味深い。ある演奏ルールの枠を学び自由に演奏を繰り広げるためにやはり楽器の習熟が必要である。

一方、演奏された音楽に対する人間の認知に関しては様々な研究 [2][3][4] がある。それらの研究は、クラシックの流れにおける音楽の聴取に関する音楽認知だけではなく、新しいインタラクティブシステムにおいて演奏しながらパフォーマーが得る音楽の印象と音楽構成の関係を含んでいる。

このような音楽の知識や技術を、計算機による新しい楽しみ方に適用する試みが昨今多く行われている。現在の、多くの新たな音楽の楽しみ方の提案は、閉鎖的な社会を反映したこれまでの音楽の体系ではなく、経験者からエンドユーザまで楽しむことのできる、より自由な表現とその楽しみを提供するものであり、音を出すということに伴う様々なインタラクションが提案されている。

計算機による新しい種類のインタラクションのためのシステムやアート作品が多く発表されており、それらのシステムの応用分野は没入感を伴う娯楽や教育など様々である。中でもインタラクティブサウンドシステムと呼ばれる、音楽や音のインタフェースとして、新たなインタラクションを組み込んだシステムは、従来の音楽研究にまして盛んになりつつあると言ってよい。また、実世界のシステムに限らず、Web上に展開する空間や時間を越えたユーザ間の音楽インタラクションのためのシステムも開発されている [5][6]。こうしたシステムは、現在の文化的芸術メディアを拡張した新しい試みとしてとらえることができる。

近年ではおもちゃ市場でも、容易に音楽を楽しむことができるよう、ハードウェア・ソフトウェア両面の工夫が為された様々な新しい楽器が普及しつつあり、音楽のシーン・ユーザ層はますます広がりつつあると言える。例えば、ビートマニア [7] はゲームセンターなどで気軽に楽しめるDJシミュレーターのようなものである。e-kara [8] はど

こでも楽しめるカラオケのためのツールである。これらの製品は気軽に音楽の演奏に参加することができ、音楽へのハードルを低くする試みとして人気がある。しかしその反面、決められた歌の模倣といった狭い枠の中で演奏や聴取を楽しむことになる。

モダリティとは、直訳すれば様相・形態という意味になり、主に言語学で用いられる用語である。ヒューマンインタフェースの分野では、マルチモーダル、～モダリティといった使われ方がされており、その定義には幅がある。例えば、群馬大学 嶋本研究室 [9] では、

モダリティとは、視覚、聴覚、触覚などの感覚を用いて、外界からの情報を知覚する方法であり、そのような感覚に働き掛ける情報伝達の方法である。

人間の持つ感覚におけるモダリティだけではなく、時間や空間の状況、人工物の状態、音響や振動までをマルチモーダルの意味と解釈する。

と述べ、人間同士のコミュニケーションに限らない周辺状況の重要性を指摘する。また、立命館大学 小川研究室 [10] では、

モダリティとは情報の伝達の際に用いられる手段・形式のことであり、図(動画を指す)は理解が容易だが抽象的記述能力が低い、といった特徴を有する。

と述べ、主に様々な伝達メディアとしての手段を指している。これら両者の定義の違いは、周囲の状況の様相を含む前者に対し、後者は主にコミュニケーションのための手段の組み合わせを指す点である。

筆者は、音楽要素の変化をフィードバックとして受け取る音楽インタラクションのやりとりの中で、本研究で音楽におけるモダリティを、

外界の状況や物理的対象といった様々な対象への様々な種類の入力により、それぞれの音楽インタラクションでの音を出す楽しみによる様相

を示すものと定義する。人間同士のコミュニケーションに限らず、物理的な対象などに対し、ユーザが身体直接操作を試み、そのフィードバック(音)を感じながら次の行動を決定するといったインタラクションに着目する。そして主にその入力対象や状況が音楽インタラクションに様相を与えると考える。例えばピアノを弾くのとヴァイオリンを弾くのではそれぞれの音楽インタラクションが持つモダリティが異なると捉える。

本研究では、音楽を楽しむための新たな手法と環境を提案するため、音楽における新しいモダリティとしてマルチメディア楽器やインタラクティブシステムを構築した。従来からの楽器システムにおいて常に存在している、直接身体操作感覚(接触)を伴う音楽インタラクションに焦点を当て、新しい音楽インタラクティブシステムを取り上げる。

まず、マルチメディア楽器において接触を伴うことの重要性について言及するため、

1. 物理的接触のない、カメラ入力型インタフェースを有する音楽インタラクション

について取り上げる。そして、音楽システムにおける接触の重要性と変容するインタラクションと、筆者が担当し行ったこのシステムにおける音楽マッピングの試行について述べる。

次に、固体に比べ接触の感覚が弱い流体と、音楽を関係づけたインタラクションを伴うシステムを試作し、

2. 時間変化する形状を持つ流体との、特殊な感触を伴った音楽インタラクション

について検討する。

そして最後に、様々な様相を見せるインタラクションに応じ、ユーザがモダリティ自体の変化を楽しむシステムとして、

3. 擬人化されたぬいぐるみを用いた、状況に応じてモダリティが変化する音楽インタラクション

を伴うシステムを試作し、音楽マッピングとユーザ行動について評価を行う。

1.2 本研究の目的

本研究は、音楽における接触を通じたインタラクションに焦点を置き、新しい音楽のモダリティと新たな音楽の楽しみ方を提供するインタラクティブシステムを構築し、楽器の概念を拡張するものとして音楽を楽しむための新たなシステムを提案するものである。

従来楽器における、物理的な接触による限られた音の生成のインタラクションでは、ユーザはその楽器を鳴らすことを習熟していくしか、そのインタラクションを楽しむ方向性がない。しかし昨今のインタラクティブシステムにおける音楽生成は、ユーザが思った通りの演奏以外に、特殊なフィードバックがうみだされることがあるため、制御は容易でない。

本研究では、演奏・聴取を同時に楽しむパフォーマンスとして、エンドユーザにも容易に操作でき、同時に表現手段である音楽を豊かにするのみでなく、身体的直接操作(接触)感に訴えるインタフェースを提供するシステムを設計・実装する。具体的なシステムとして、音楽インタラクションに接触を伴わない場合における直接操作感の提供のための音楽マッピング手法を提案する。

また、新たな接触インタラクションを持つ音楽生成手法の提案と評価のため、流体という時間経過により形を変え掴みにくい独特な触覚を与える物質をインタラクションに導入したシステムを設計し実装する。

最後に新しい音楽インタラクションのもたらず音楽のモダリティに対するユーザの適応を確かめるため、擬人化したセンサぬいぐるみの状況に応じて異なる音楽をユーザインタラクションの反応として生成するシステムを設計し実装する。

本研究の目的を以下にまとめる。

1. 音楽におけるモダリティを提供する，接触を伴うインタラクティブ・システムの整理
2. 様々な接触における音楽モダリティを設計し，ユーザインタラクションを観察
3. 触覚を伴う音楽インタラクティブ・システムに関する提案

そして，2.における試みとして，

1. 非接触の音楽インタラクションを提供するシステムにおける音楽生成部の改良設計と実装
2. 流体との接触により新たな音楽のモダリティを提供するシステムの提案と設計，実装
3. 状況に応じ変化する音楽モダリティを提供するシステムの提案と設計，実装

を行う．

本研究では以下の用語を次のように定義する．

- 音楽インタラクティブ・システム

音楽をフィードバックとして返す，様々な種類のインタラクティブ・システムを示す．インタラクティブ・アートと称しないのはアート作品に限らないシステムも含めるためである．

- マルチメディア楽器

Musical Instrument を通常の楽器とするならば，Multi-media Instrument は聴覚メディアに限らない，視覚やその他フィードバックを伴った楽器拡張の一システムと定義する．

- 音楽インタラクション

音楽のフィードバックを伴った，もしくは音楽を介した，何らかのシステムとユーザとの相互作用．

- 音楽モダリティ

音楽を楽しむ際に付随する様々な様相．もしくは変化する様相自体．例えば楽器を楽しむにしても，ピアノに触れて楽しむ時のユーザにとってのモダリティと，琴に触れて楽しむときのユーザ側のモダリティは異なる．

1.3 本論文の構成

図 1.1 に本研究の構成を示す。第 2 章で本研究の背景としてこれまでの音楽のモダリティとそこに行われるインタラクションを様々な音楽シーンを通じて取り上げ、インタラクティブシステムの音楽シーンに求められる新たな音楽モダリティについて整理する。

そして、第 3 章から第 5 章において、関連する研究と比較しながら、筆者らのシステムを提案する。

まずはじめに第 3 章では、非接触のインタラクションを伴う音楽インタラクションとして、カメラ入力型インタフェースによってユーザが音楽を生成することのできるシステムを紹介し、改良した音楽生成手法について述べる。

次に第 4 章にて流体の触覚を導入した新しい音楽インタラクションを提案し、全く新しい触覚を伴う場合の音楽モダリティについて論ずる。最後に、第 5 章にて状況に応じて変化する音楽モダリティを提供するセンサぬいぐるみの設計・実装について述べる。また 4, 5 の各章において、これらのような新たな音楽インタフェースを評価する手法を提案し、結果を示すと同時に、今後の展望と課題について明らかにする。3, 4, 5 の各章の概略を下に記す。

第 3 章: 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討

Iamascope は、ユーザのダンス動作などによる映像入力型インタフェースを用いたインタラクティブダンス楽器である。このシステムではユーザの単純な動きを画像処理し、メロディー生成をしていた。それに加え、筆者はユーザが更に細かいかつ全体的な音楽生成を行うための音楽制御系の再実装部分を担当した。身体動作を直接的に反映し、メロディー生成・コード生成・キー変調の 3 種の操作を行う新たな音楽生成手法を紹介し、非接触の音楽インタラクションにおけるモダリティについて考察する。

第 4 章: 流体を用いた新しい音楽モダリティ

流体を用いた新しいインタラクションによる音楽モダリティを実現するため、“Tangible Sound” を実装し、幾つかの改善を試みる。水は時間により形を変化させ、つかみにくいという物理的な性質を持つ。また音や音楽も時間により変化する。これらのメディアの共通した性質に着目し、水流と音楽の流れを関連付けたインタラクティブシステムを試作した。これらの試作について、3 章でふれた、インタラクティブ楽器システムにおける操作性や楽しみ方 (3.5 節) に基づき評価を行い、考察した事柄を述べる。

第 5 章: ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーション

新しい音楽コミュニケーションとして、ぬいぐるみとのインタラクションが音楽を生み出すシステムを提案する。カメラ・マイクなどのセンサを入れたぬいぐるみを用い、筆者はその他のセンサの配置、状況に応じた内部状態を持つぬいぐるみの設計、そしてそれぞれの内部状態毎の音楽マッピングを担当した。インタラクションの頻度・強

度が音楽マッピングを変更し，状況や文脈によって異なる音楽を作る新しいタイプのコミュニケーションについて考察する．

そして，第6章にて音楽におけるモダリティが上記の3つのシステムにおいてどの程度実現しているのかを考察し，第7章にて，本研究に残されている問題点と解決手法，また本研究の応用について展望を述べる．最後に第8章において全体をまとめ，本研究を総括する．

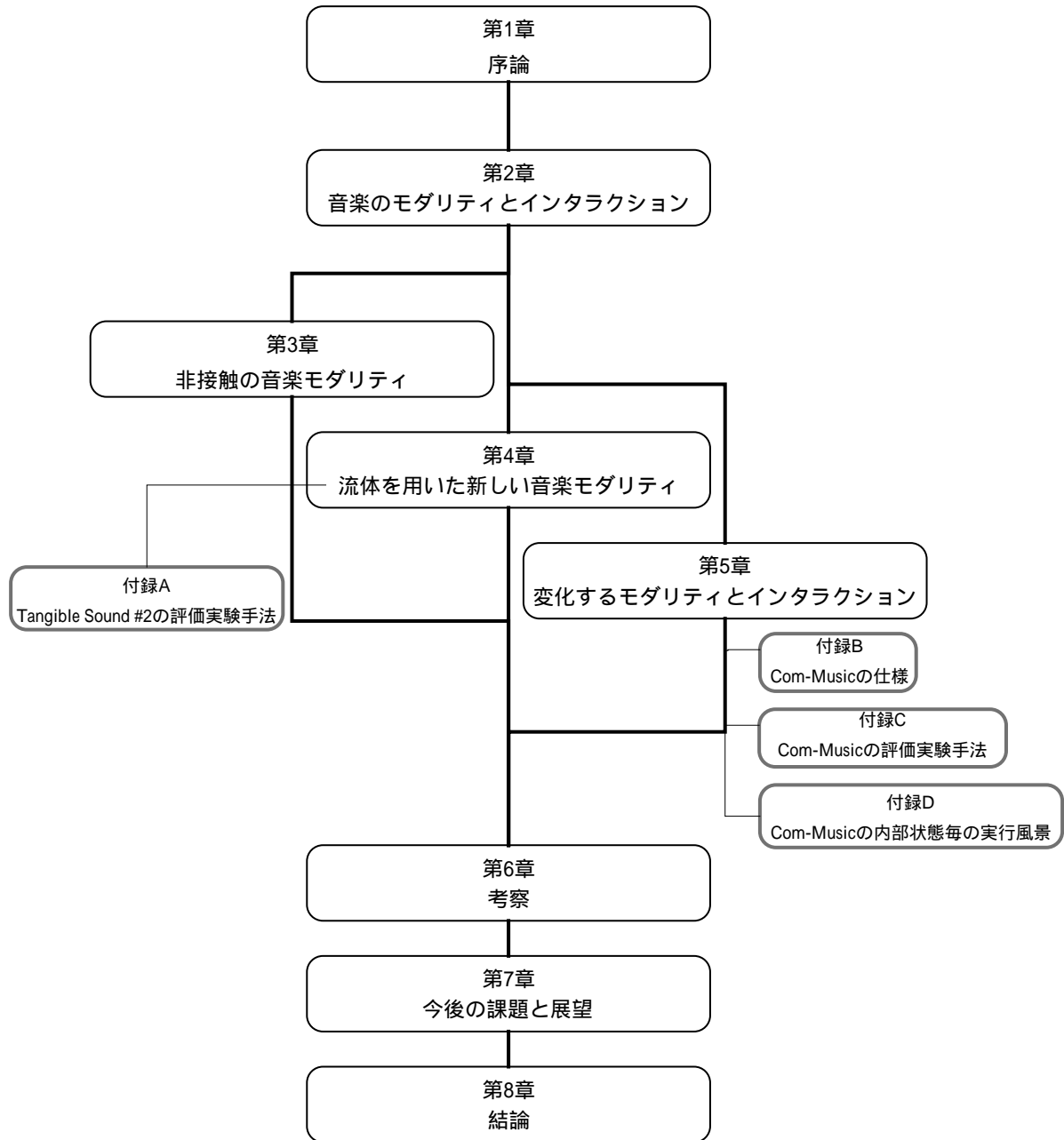


図 1.1: 本論文の構成

第 2 章

音楽のモダリティとインタラクション

概要

本章では、楽器の起源をたどりながら、音を表現する楽しみと、楽器という道具を用いて音を出すインタラクションについてまとめる。また、近年開発された幾つかの新たなインタラクティブ・システムにおける試みを取り上げ、ユーザの経験に限定されず表現や体験が豊かになった面と同時に、議論されるべき問題点について述べる。最後に、3つの音楽インタラクティブ・システムを提案する

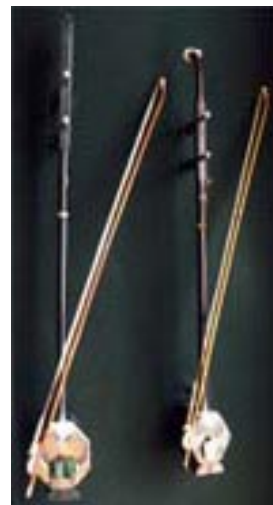
In this chapter, I speculate on the origins of musical instruments. I then describe my investigation into the pleasure of musical and sound expressions, and the interactions required to make sounds using musical instruments. Afterwards, I introduce several new interactive systems to discuss musical modality and how it is enriched by recent technologies. I discuss the problems in the new modality of music before finally suggesting three types of new music interactive system.



(a) ディジェリドゥ



(b) ウード



(c) 二胡 (胡弓)

図 2.1: 古くからある楽器の例

2.1 音を楽しむ工夫と楽器

音楽という行為には、音を聞くことだけではなく、音を奏でたり、音を重ねたり、様々な楽しみ方がある。

音は通常生活の中で触覚などの他の感覚を伴って知覚される場面が多く、我々のコミュニケーションでも言葉とその抑揚、身振り手振りが同時に伝えられる。また音楽において、音を出すという目的を中心とした行動では、その音を聴くことを楽しみ、また共同で音を鳴らすなど様々な「音楽」が存在する。

元来我々が持っている音の表現手段として、最も頻繁に用いるのは我々の体を用いた声を出すという手段であろう。その表現としての声の中には様々な種類がある。その中には「歌」という声の表現方法が存在し、自分の身体直接操作により音を出し、その音の高さ・強さや様々な調子を確認し、その関係を楽しむという音楽の要素を含んでいる。

一方、身体から直接音を出すのではなく、音を出すという目的の道具として楽器を捉えることができる。最古の楽器と言われるディジェリドゥは、オーストラリアの原住民アボリジニたちが用いていた一種の管楽器である(図 2.1(a), [11] より)。仲間同士でものを伝えあう手段であった音が、道具によって用途の可能性を広げられ、結果として音を出し楽しむ文化が生まれ、打楽器や弦楽器ができた。弦楽器の祖先として、ウード(図 2.1(b), [12] より)や、弓で演奏するタイプの二胡(胡弓)(図 2.1(c), [13] より)がある。そして、それらを合わせて演奏する音楽が民族の中に定着し、それぞれの社会のなかで楽器が多く形成された。日本でも、宮廷音楽としての雅楽に限らず、伝統文



(a) 笙



(b) 和音専用の鍵盤楽器

図 2.2: 和音を出す楽器の例



図 2.3: トランペットを水につける演奏

化に付随した音楽の文化も存在している。

そうした人とのつながりや社会を反映した音楽の中で、特にクラシック音楽では、それぞれの楽器の技術の洗練によって音楽の洗練を試みていた [1]。こういった洗練は、聴衆が聴く音楽の質をあげるための試みである。そのため、聴くための音楽では、楽器の初心者に対する門は狭く、楽器の元来の楽しみである音を出し反応を楽しむということですら容易ではない。

その一方で、即興の音楽を楽しむジャズの演奏形態は、演奏と作曲が一体化しており、楽器の技術を見せるための楽曲というより、その場その場の音楽生成を楽しむものである。あるルールの枠の中で演奏を自由に繰り広げ、協調し、聴衆に限らず演奏者同士の即興的な響きあいを楽しむことができる。しかしジャズの演奏を楽しむにいたるまでかなりの楽器の習熟と知識が必要となるため、やはり楽器の初心者に対して開かれているとは言い難い。

それに対し、現在発表されている多くの音楽インタラクティブ・システムでは、展示されたユーザが、自身の行動により生成される音楽自体を楽しむことができる。このような試みは、過去の楽器においても存在していた。

例えば、同じ和音を出す楽器が存在しても、図 2.2(a) ([14] より) の笙は演奏手法が大変難しいのに対し、鍵盤楽器で和音を演奏するための楽器の例 (図 2.2(b) ¹ 参照) では、一つの鍵盤を押さえると種類の和音が演奏される。演奏できる鍵盤は 4 つしか無いが、和音の楽しみというこれまでは知識と技巧のいる作業の簡易化により演奏の負担の軽減がなされており、ユーザへのしきいを下げた試みを見いだすことができる。

一方、従来楽器を全く異なる利用方法で楽しむ手法として、少々乱暴ではあるがトランペットを水につけて演奏するというものも存在する (図 2.3 ² 参照)。このような試みは、従来の音楽のスタイルを打破する新たな試みであるとも捉えることができる。

これらの、従来楽器を決められた枠の中で演奏するというスタイルからの逸脱への様々な試みは、これまでも行われてきていると考えられる。社会的な背景、例えば演奏者の著名度、聴衆の生活スタイルといったものが入り込んだ音楽の歴史に対して、単純に音を出し、その音を聴き、楽しむということもこれまで忘れられてはいなかったという証ではないだろうか。

また、子供の遊びの中で、草の実で笛を作って遊んだり、机を叩いてリズムをとったり、様々な場面で自分の身体動作そのものや単純な道具によって音を出すことを楽しむ光景を見つけることができる。古来の楽器から単純に音を出す音楽の楽しみが存在したことで、クラシック音楽で洗練され得られた知識と統合して、現在の様々な楽曲や音楽のスタイルが発展している。

ここで筆者は、ユーザの演奏の負担を軽減するような試みと、演奏の楽しみを多様化する試みを、いくつかの音楽インタラクティブ・システムにも見いだすことができると考え、2.2 節で取り上げる。従来楽器のインタフェースとは全く異なったアプロー

¹Musical Instrument Museum (Musikinstrumenten-Museum) [15](Berlin) にて

²Frankfurt のカフェバー内

チにより、フィードバックとして音楽を得るシステムに着目する。

音楽の知識や演奏の技術は習熟することもその楽しみとして挙げられるが、音を出すことを単純に楽しむシステムを実現し、同時に音楽的にも協和する音を得るため、あらかじめ演奏する楽曲や技術などの情報を取り込み、ユーザの負担を軽減するシステムとして、幾つかの音楽インタラクティブ・システムを紹介する。

また、従来楽器の音を出す楽しみの中には、常に自らの身体を動かすという行動が伴う。近年の音楽インタラクティブ・システムでは、計算機の応用場面が充実した結果の一例として、音を出す身体動作が物理的な衝突や呼吸によるものに限らず、様々なインタフェースを介した身体行動となる場合がある。こうした様々なインタフェースについても議論するために、2.3 節では、音楽に限らない、様々なマルチモーダルインタフェースについてを取り上げる。

2.2 音楽インタラクティブ・システム

片寄 [16] は、インタラクティブアートについて

パフォーマーのジェスチャーを計測し、その信号に対して、各種信号処理を行い、制御信号として、音響、映像、照明、その他アクチュエータの各メディアを変化させることによって実現される、マルチメディア時代の芸術

と定義し、ハードウェアにより計測しその信号を処理するソフトウェアセンサ [17] について提案している。ここでは、従来楽器の演奏者や、音楽に付いて詳しいユーザのために、より直感的で快適な楽器システムを提供することを目的としていると捉えられる。

前田 [18] は、インタラクティブアートについて、

ユーザの操作行動は、類似性を持つ操作パターンの連続的な繰り返し毎に時系列上でクラスタリングできるような特徴を持つ。

という仮説を立て、それを元に

有り得るすべての操作の方法・組み合わせをユーザに気付きやすくするような工夫が行われるべきである。

という設計指針を示し、一般ユーザが、これまでにない全く新しいインタラクションを持つシステムに慣れ親しむための指針を掲げている。つまり前田の示すインタラクティブアートはより一般的なユーザを対象としたものだと考えられる。

本研究のアプローチとして、片寄の定義のような音楽という目的を持ち、かつ前田の指針における対象のような、システムに詳しくないエンドユーザが身体動作により音を出し、音楽に親しむためのシステムにねらいを定める。そのため、従来のインタラクションに限らず、新しいインタラクションをとりこんだ音楽インタラクティブ・システムをいくつか取り上げる。

音や音楽を表現手段としたインタラクティブ・システムの中で，Sensor Band[19][20]は，センサを用いて様々な身体動作を計測し，コンピュータにより間接的に音を出すシステムを構築している．サウンドネットと呼ばれる大きな網を全身を使って揺さぶりながら登り，その力のかけ具合で音が変わるシステムなど，物理的な衝突などの音をそのまま用いる従来の楽器と異なり，全く新しい音楽体験を提案している．その一員である Atau Tanaka による BioMuse[21]は，腕の筋電を計測し，実際の腕の動きではなくその腕に入れた力によって音を鳴らすことができる．これらのシステムはユーザの身体動作がこれまでの楽器と全く異なる部分で反映されているため，それらを用いた新しい音楽の分野やユーザ層が期待できる．

YAMAHA が開発した “MIBURI” [22] は，腕や指など上半身の動きをセンシングし，そのセンサの値を音楽表現にマッピングしている製品である．長島ら [23] のインタラクティブ・アートに関する試みでは，MIBURI や他のインタフェースを融合させ，パフォーマンスの動きの複合的なセンシングから音楽や映像を作り出すシステムを提案している．

また，ダンスの動きの中に音楽の表現も取り込む試みがここ近年多く見られる．片寄ら [24] によるダンスパフォーマンスにおいて，カメラを用いたモーションキャプチャ技術と音楽表現のつながりを試みている．部分的なセンシングの試みとしては，Paradisoら [25] が試みた，靴に埋め込んだ様々なセンサから，ダンスにおけるステップやポーズなどを音楽情報に変換するシステムがある．

本論文で，マルチメディア楽器とは，上記のような全く新しいインタフェースや，音楽メディアを含むマルチメディアフィードバックを返すシステムを総称する．

音楽をクラシカルな楽器の技術の洗練だと考える人もいるので，そうした人にとっての枠組みの中のシステムは，必ずしも楽器の範疇にあると言いきることはできない．しかし，一般のユーザが音を出し楽しむためのシステムは，これまでの楽器にはない新たなメディアや新たなインタフェースによって導き出されると考える．音楽に限らず様々なシーンにおける新しいインタフェースについて，次節でいくつか例を取り上げる．

2.3 マルチモーダルインタフェース

前章に述べた，音楽におけるモダリティの定義の中で，“外界の状況や物理的対象といった様々な対象への，様々なタイプの入力” という記述について特に，マルチモーダルインタフェースに関連するいくつかの例を取り上げる．

間瀬 [26] は，

マルチメディア・インタフェースは単にメディア（音，映像，触覚など）が複数になっているときを表すのに対し，それぞれのメディアがいろいろな形態で使われ情報伝達を行っているときに，マルチモーダル・インタフェースと呼ぶと考えられる．

と述べている。ここで、様々なメディアの存在に対して人が様々なインタラクションを行うことで、モダリティが生まれると解釈することもできる。

安村ら [27] は、マルチモーダルプラットフォームの設計方針の中で、

- 複数のモダリティの役割を明確にしつつ、それぞれの特徴に適した使い方をする。
- 複数のモダリティの複合化、連動化を意識的に行うと同時に、モダリティ間の変換も積極的に支援していく。

と示し、快適なインタフェースとして特殊な装着具を必要としない「環境型」マルチモーダルインタフェースを提案している。ここで、ユーザがモダリティを生成する主体となり音楽を楽しむシステムの設計においても、対象となるメディアの用いられ方を明確にし、快適なシステムとすることが必要だと考えられる。

石井ら [28] の Tangible Bits では、Tangible Media の概念を発表し、固体を Fore-ground Media、水や空気を Ambient Media としている。そして情報の流れを実世界の物質の動きと関連付ける試みをしている。この試みは、全く新しいインタフェースを提示することにより、新たなモダリティを提供する一例として考えられる。また、人とコンピュータのインタフェースというよりむしろ、人に理解しやすいシステムとして、コンピュータと実世界のインタフェースを構築しているものだと捕らえることができる。

後藤ら [29] は、音声における、言葉の意味以外のモダリティについて論じている。人間のコミュニケーションにおいて、音声対話という一部のメディアを切り取った場合であっても、そこに平行している様々な要素が存在していることを取り上げている。これは存在するインタラクションの中に隠れて存在しているモダリティの要素を発見し利用する研究例として参考になる。明らかな情報以外にも、モダリティを構成する要素が存在することが参考になると考えた。

吉川ら [30] は、Paradiso らの試み [25] と同様に靴型インタフェースによりユーザの状況をセンシングすることを試みている。Paradiso らの Cybershoe に限らず、音楽インタラクティブ・システムにおけるセンサ値の直接音楽要素マッピングが目立つが、吉川らの試みでは日常用いる靴を用いることを主張している。それぞれのセンサの値の計測ではなくユーザの状況といったマクロな情報を音楽要素操作に取りいれることも興味深い(5章にて後述)。

大野ら [31] は、ペットロボットを用いた高齢者支援を提案している。擬人化された、計算機が剥き出しではないシステムが、人にやさしくまた親しみやすい対象であることより、インタフェースにとりこみやすいと考えられる。Cassel ら [32] [33] はぬいぐるみを用い、物語を話させるなど、子供たちに知的システムとのより親しいインタラクションを提供するため、擬人化システムが用いられている。これらの擬人化システムは、実在し触れることのできる対象を用いることで、親しみの持ちやすさを更に増している。

2.4 音楽インタラクティブ・システムにおける提案

2.4.1 これまでの問題点と接触による音楽モダリティ

これまでの試みは、音楽インタラクティブ・システム(2.2節)とマルチモーダルインタフェース(2.3節)のどちらかの要素を強く持ったシステムが多かったため、音楽の経験者が前者を楽しむか、もしくはエンドユーザが何らかの新しいインタフェースや擬人化されたシステムに触れて楽しむかのどちらかの傾向を帯びていたと考えられる。音楽の経験や従来の音楽演奏・聴取といった音楽の楽しみ方に限定されず、音楽を楽しむことが狙いとし、本研究では、音楽における新しいモダリティを有する音楽インタラクティブ・システムを構築する。

物理的な接触を含むインタラクションは従来からの楽器システムにおいて常に存在している。音楽におけるモダリティのうち定義した、外界に対する様々な入力の中で、初心者にも分かりやすい実感を伴った物理的な接触を焦点として、新しい音楽インタラクティブシステムを提案する。

2.4.2 本研究で提案するシステム

音楽におけるモダリティを外界との物理的接触に焦点を当て、追求する事を目標とする。そして、音楽インタラクティブ・システムにおいて接触を伴うことの重要性について言及するため、以下の3種類の接触に関わる音楽インタラクティブ・システムを提案する。

- a. 物理的接触のない、カメラ入力型インタフェースを有する、音楽インタラクティブ・システム“Tamascope”における音楽要素マッピングの提案と実装
- b. 時間変化する形状を持つ流体との、特殊な感触を伴った音楽インタラクティブ・システム“Tangible Sound #2”の提案と実装、評価
- c. 擬人化されたセンサぬいぐるみを用いた、状況に応じてモダリティが変化する音楽インタラクティブ・システム“Com-Music”の提案と実装、評価

2.5 まとめ

本章では、楽器の起源をたどりながら、音を表現する楽しみと、楽器という道具を用いて音を出すインタラクションについて例をあげ説明した。また、近年開発された幾つかの新たなインタラクティブ・システムにおける試みを取り上げ、ユーザの経験に限定されず表現や体験が豊かになった面と同時に、議論されるべき問題点について述べた。最後に、本研究における試みとして、接触を通じたインタラクションに焦点を置き、音楽における新たなモダリティについて追求するシステムを提案した。

第 3 章

映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討

概要

Iamascope は、ユーザのダンス動作などによる映像入力型インタフェースを用いたインタラクティブダンス楽器である。このシステムではユーザの単純な動きを画像処理し、画像を分割した各領域毎に音を出すかを判断することによりメロディー生成をしていた。ATR 知能映像研究所にて Sidney Fels らが開発した従来の音楽生成手法 [34] に加え、筆者はユーザが更に細かいかつ全体的な音楽生成を行うための音楽制御系の再実装部分を担当した [35]。本章では、身体動作を直接的に反映し、メロディー生成・コード生成・キー変調の 3 種の操作を行う新たな音楽生成手法を紹介し、音楽インタラクションにおける時間的階層構造を用いた新たな仮説を報告する。

Iamascope is an interactive multimedia instrument. Using images captured by a camera, it generates kaleidoscopic images, which are projected on the wall. The performer stands in front of the camera and his movements generate music and images. Extending a first prototype, I investigated a novel method for transforming images into musical elements. I also redesigned the musical components of the system, considering hierarchical structures for generating melody, chord and keys.

3.1 はじめに

昨今インタラクティブアートやサウンドアートが様々な場面で発表されている。例えば、センサ入力による音楽演奏システムやカメラによるジェスチャ入力を利用した音楽制御システムなどが存在する。その中でもマルチメディア楽器は、今後のインタラクティブアートの中で深い没入感と多様なインタラクティブ性が生まれる可能性があると考えられる。しかし、その多くはユーザにとって音楽インタラクションが思い通りであるとは限らない。ユーザ入力に対して非常に単純なフィードバックであったり、逆に多くの音楽要素へ反映させるための複雑な動作を要求される。

Felsらのインタラクティブダンス楽器“Iamascope” [34][36] は、万華鏡の画像生成と同時に、ユーザのダンス動作などによる映像入力型インタフェースを用いたインタラクティブダンス楽器である。このシステムではユーザの単純な動きを画像処理し、画像を分割した各領域毎に音を出すというメロディー生成の手法が存在した。

本テーマでは、従来のIamascopeの音楽生成手法に加え、ユーザが更に細かい且つ全体的な音楽生成を行うための音楽制御系を実装した。その際、一人のユーザがマルチメディア楽器の演奏として楽しむために、直感的な身体動作を反映して音楽要素を生成できるようにすることを目標とした。ある程度音楽の法則によったコード生成と同時にKey変更を行う音楽生成手法を検討し、メロディー生成・コード生成・キー変調の3種の操作を行う音楽生成手法を実装した。更に、音楽インタラクションにおける、時間的階層構造を用いた新たな設計指針を導いた。

本章では、まず、3.2節においてIamascopeの音楽生成手法を具体的に説明し、3.3節では、これまでに行われている幾つかのマルチメディア楽器における音楽生成部を例に挙げる。そして、3.4節では、筆者が担当し実装した新たな手法について具体的に記述し、最後に3.5節においてこれら音楽生成手法とカメラ入力のインタフェース、ひいてはインタラクティブアートにおける音楽生成手法についての考察をまとめる。

3.2 Iamascopeの概要

インタラクティブダンス楽器“Iamascope”(図3.1参照)は、画像処理とコンピュータグラフィクス技術を利用して、万華鏡のインタラクションを電子的に実現したものである。本システムは、インタラクティブアート作品であると同時に、グラフィクスと音楽フィードバックを含む新しい万華鏡であり、ダンス楽器としても用いたり、絵を書く技術や音楽演奏の技術がなくても実時間においてインタラクティブなマルチメディア創作を行うことができる。ビデオカメラで捉えたユーザの映像を原素材として扇形に画像を切り取り、万華鏡模様を生成しスクリーンに表示する。また画像処理を用いた動き検出により音楽を生成するサブシステムを接続し、映像と音楽が一体となった空間を作り出す。全体として、画像のフィードバックである万華鏡模様と、音楽生成の制御が一致することにより、非常に使いやすく、反応のよい、非接触の直接制御型ユーザインタフェースを提供できていると考える。

Iamascopeのシステム構成を図3.2に示す。150~170インチのプロジェクタ型スク



図 3.1: Iamascope 実行風景

リーンを表示用に用い、その中央下にビデオカメラを一台設置する。カメラからの出力は、万華鏡画像生成用・音楽生成用それぞれのワークステーションに分配され、万華鏡サブシステムと音楽サブシステムにより処理される。万華鏡画像はプロジェクタに表示され、音楽情報は MIDI 音源を通じスピーカ出力される。両サブシステムとも、C 言語で書かれフロントエンドとして Tcl、ユーザインタフェースを Tk で用意している。

万華鏡サブシステムでは、扇形・二等辺三角形などの画像を切り取り（この部分を素片と呼ぶこととする）、2枚以上の仮想鏡の相互反射の疑似シミュレーションにより万華鏡模様を生成する。中心角の全周 360 度を偶数分割するように素片の中心角を設定すると、すべての素片の辺位置では連続になっているように模様を生成することができる。例えば中心角 30 度の扇形形状ならば、半分は半径にそって反転された 12 個の素片が円を形成し、ユーザはその模様を実時間で変化¹させることができる。

音楽サブシステムは、画像処理部と音楽生成部から成る。万華鏡サブシステムが切り取る素片を半径方向に N (通常 $N=10$) 個の小領域に分割し、それぞれの領域におけるフレーム間輝度差分の平均を計算し (図 3.3 参照)、音楽生成部に送る。ここで各小領域における輝度差分値があるしきい値を越えると、コンピュータのクロックにあわせて、あらかじめ設定してある各領域の音高において MIDI の “note-on/off” のコマンドを発生する。この領域ごとの音高は、和音構成をあらかじめ与えることによって決定する。現在は “C-F-G-Csus4” のそれぞれを 2.5 秒で循環していく、単純な循環和音進行を演奏・展示することが多い。

これまでに本システムは SIGGRAPH97 の Electric Garden を始めとし (図 3.4 参照)、Ars Electronica Center や Petrobras Exhibition of Virtual Reality にて展示している他、ダンサーによるライブパフォーマンスを行うなど多くの発表の機会があった (図 3.5 参

¹万華鏡サブシステムと音楽サブシステムは SGIO2(R10000, 175MHz) で約 30 フレーム/秒で実行している

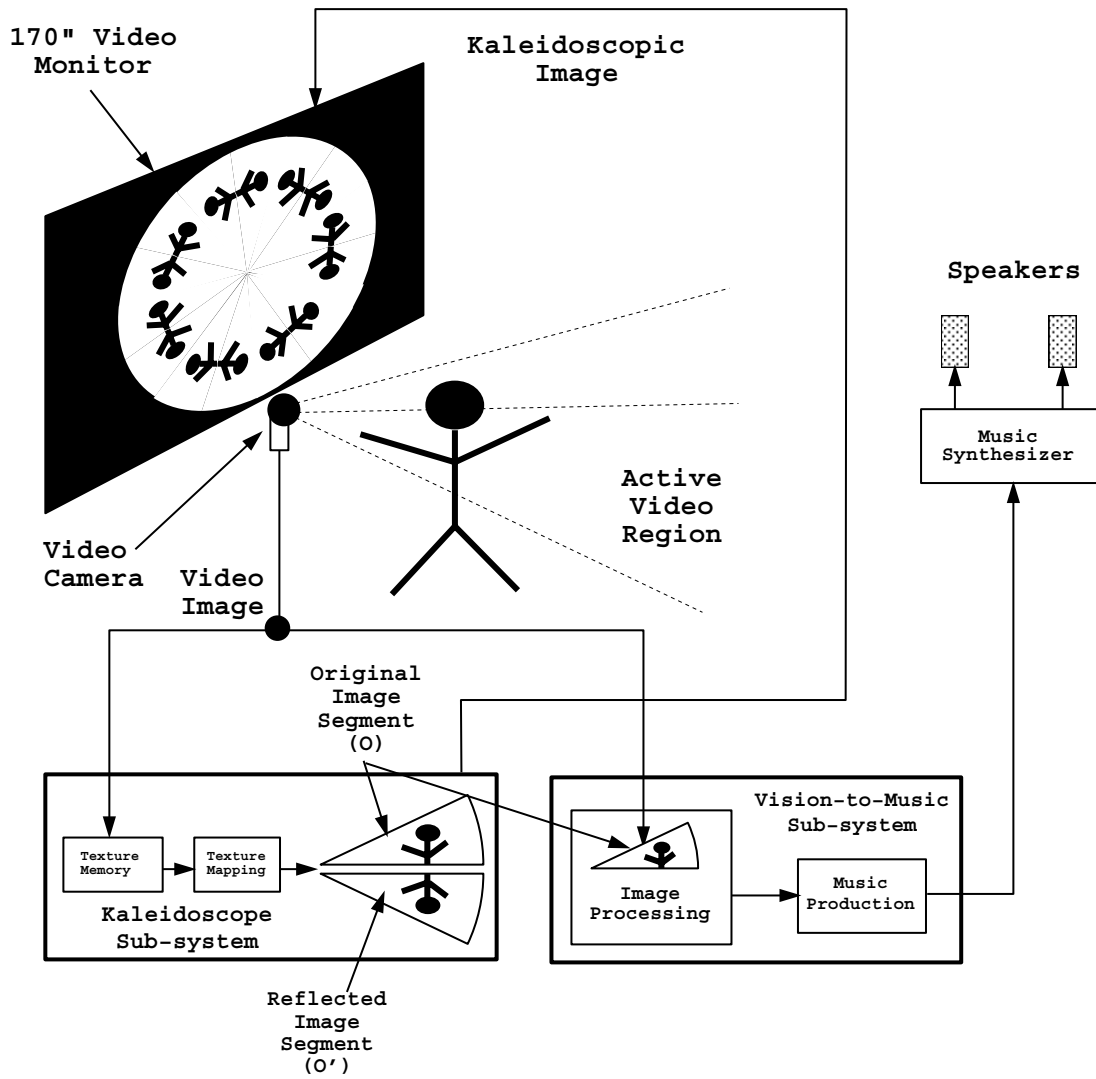


図 3.2: Iamascope のシステムブロック図

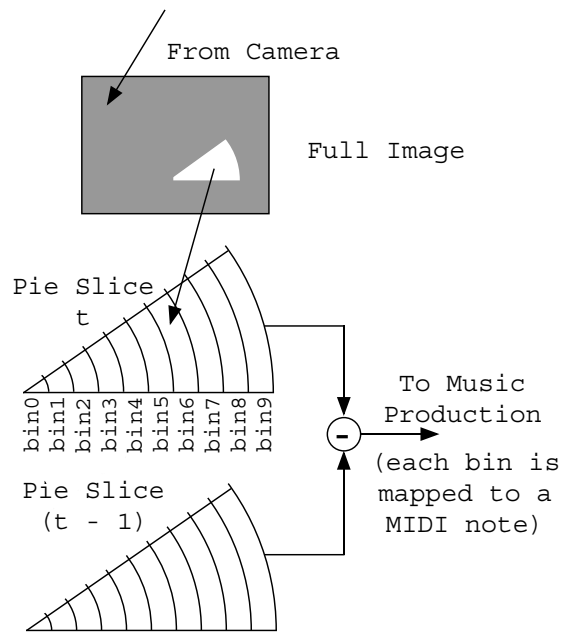


図 3.3: 音楽サブシステムの画像処理



図 3.4: SIGGRAPH97における展示



図 3.5: ダンサーによるパフォーマンス

照)．南紀熊野体験博(1999年4月28日～9月19日)のNTTパビリオンでは，本システムにおける万華鏡模様の生成方法を応用し，和歌山の名産である手鞠にちなんだ図3.5のような形状を生成し好評であった．現在はUK Millennium Experience, Play Zone (Greenwich, UK)において2001年3月31日まで展示中である．

上のような展示・発表の経験より，本システムは，

1. 非接触のインタフェース
2. 実時間のインタラクション
3. 対象を限定しない
4. 音楽と映像の一致と適度なバランス

といった点において優れていると考察している [37][38] ．

3.3 関連研究

これまでコンピュータを利用した万華鏡画像生成では軸対称図形を描くプログラムが提案されている [39] が，実時間生成することに注目されていなかった．本システムの音楽サブシステムは，こうした実時間処理の特性を活かし楽器に応用したものである．

Iamascope においても，より細部に至る音楽操作のため，他のセンサを用いるなどユーザインタフェースにこれまでも改変が試みられてきている．まず本システムを構

成する前に、万華鏡映像生成システムに、磁気位置センサを利用した音楽サブシステムを組み合わせ、MusiKalScope という画像と音楽生成が独立なシステムが制作された [40]。音楽と映像を描画演奏するシステムとして高揚感を生むことができたが、位置センサの時間的検出精度は音楽演奏に十分ではなかった。

MusiKalScope2[41] では複数ユーザによる演奏を想定し、他のセンサとの併用も試みられている。ここでは YAMAHA の MIBURI というジェスチャーセンサ楽器、両足の靴の裏に設置したタッチスイッチ、Iamascope の画像処理部を用いた音楽生成部を複合的に構成している。演奏者の緊張を画像と音楽の両方に反映するとともに、キーボードと電子ドラムといった他の種類の楽器奏者とのコラボレーションを可能にしている。

本テーマにおいては、Iamascope における、ユーザを限定しない簡単な入力という利点を活かすことを重視した。そのため、エンドユーザにとって簡単に参加できるシステムとして、カメラ入力のみを用いた本システムを採用した。よって、本テーマにおいては、一つの情報からより多くのユーザ行動に関する情報を発見し、楽器として音に反映させるような拡張を検討する。

次に、万華鏡インタフェース以外のマルチメディア楽器における制御方法とその実時間音楽生成の例をいくつか取り上げる。

平野 [42] は Iamascope と同様にカメラ入力と画像出力のインタフェースを伴った非接触の音楽システムを提案している。画面にユーザ自身と動きの目標地点として楽器の名前が表示されており、思い通りの演奏を楽しむという目的には使いやすい。しかし、非接触で音楽が生まれるシステム独特の、思いがけない音の生成という楽しみ方は失われる。

Paradiso ら [43] は、Interactive Surface の概念と応用システムを紹介している。壁に触れずに、壁とユーザ入力の距離から描かれる映像と音楽を生成し、非接触のインタラクションを空間的な接近によって感じることができるシステムとなっており、興味深い。

岩館ら [44] は非接触のカメラ入力を用いてユーザのアクションから感情抽出を行い、ユーザのパフォーマンスにより映像・音楽データベースからマルチメディア制御を行うインタラクティブダンスシステム “MIDAS” を提案している。カメラ入力型のマルチメディアインタラクションとして注目できるが、楽器としての発音とユーザ行動との直接的なつながりには言及していない。

Chen, 西本ら [45] は、音楽要素を “discrete, indiscrete” の二つに分類し、マルチメディア楽器における操作と音楽生成手法の一般的な関連付けを検討している。MusicBrush は MusiKalScope2 と同様の MIBURI を用いた音楽演奏・描画を同時に行うためのマルチメディア楽器である。MIBURI に付属する両手に持つタイプの仮想鍵盤を discrete な要素として音階を持つメロディー演奏に用いている。ここでは非連続なデータ入力と連続的なデータの制御を別々の制御系から入力するという方略を採っている。しかしこれと比べて、Iamascope システムでは画像処理から音楽要素入力判断は、しきい値を越える画像変化量によってなされているため、明確で安定したメロディーの操作等を行うには、多少難儀を要求される。

また、水流をインタフェースに用いた楽器 “Tangible Sound #2” [46] における音楽

3. 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討 3.4 音楽生成の実装手法
 要素生成手法では，音の源としてのメタファを持つ水源 (Source) を，蛇口から 4 つの Drain に流し込むという選択が可能になっている．“Source & Drain” のメタファによるインタラクションと音楽生成手法を Iamascope へ応用する試みも考慮された [46]．しかしカメラに捉えられるユーザの動きを音楽操作の源 (Source) とし，分割された領域を Drain と見なすためには，音楽要素操作に十分な制御レベルにより自由な入力を行うことができるかが課題である．発音タイミングを決定する機構において，ハードウェアのクロックによりそれぞれの Drain が受けた流量を音程とするため MIDI の note-number を決定し，流量に変化が生じたときに発音する仕組みは，Iamascope のそれと類似している．

3.4 音楽生成の実装手法

筆者は従来の Iamascope の音楽サブシステムを拡張し，より表情豊かな音楽インタラクションを生むため，音楽生成手法を再検討した．音楽要素制御には，音楽要素と操作システムとのマッピングが様々に考えられる．しかしここでは，3.1 節に述べたように，基本的に画像による入力のみにより音楽要素生成を行うこととする．本章では，従来の音楽生成部に新たに付加した，和音進行に関するインタラクションを中心に，筆者が担当した音楽インタラクションとマッピングの改善点について述べる (表 3.1)．

また，一人のユーザによる操作を前提として，どんなユーザでも簡単に楽しめるとい操作性の目標は継続して保持するものとする．そのため，従来の音楽サブシステムにおける，それぞれの画像の分割領域ごとにおける note 演奏の制御方法は継続して採用する．尚，万華鏡サブシステムでは扇形を用いた画像生成を用いる．

表 3.1: 従来の音楽生成手法と新たな手法の提案

	従来の手法	提案する手法-3.4.1 節	提案する手法-3.4.2 節
音楽制御対象	和音に沿った音程	和音に沿った音程	和音に沿った音程
加えた音楽制御	—	和音進行のタイミング	4 和音進行列の選択

	提案する手法-3.4.3 節	提案する手法-3.4.4 節
音楽制御対象	和音に沿った音程	和音に沿った音程
加えた音楽制御	Key 変換の制御	和音構成音外の音程制御

3.4.1 和音進行のタイミング制御

まず，従来の Iamascope における，和音に沿って画像領域に割り当てられた音を鳴らすという操作方法を維持しつつ，その動作と同時に行うことのできる操作を検討した．そこで，ユーザが大きく動くことや早く多くの音を鳴らすことで和音を進行させ

3. 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討 3.4 音楽生成の実装手法
るといふ新しい演奏形態を Iamascope に付加し，簡単でより表情豊かな演奏を楽しむことを狙った．筆者はここでこの操作を“タイミング制御”と呼ぶこととする．

これは，オーケストラの指揮者のように体を使ってリズムを作り，テンポを早めたり遅くしたりすることを参考にしている．そのため本システムにおいては 10 等分した扇形の各領域において，

1. 同時に note-on の信号が出力される領域が合計 8 個以上である
2. 同時に note-on の信号が出力される領域が合計 5 個以上であることが 2 フレーム以上連続となる

のうちのどちらかを満たしたとき，和音進行を行うタイミングを出力するシステムとした．また，和音進行の信号出力直後に再び和音進行の信号を受け取った場合に，すぐに和音進行を行う意図のない入力雑音と見なすため，500ms の間，和音進行を受け付けないこととした．これは予備実験における経験的な値から決定した．

3.4.2 4 和音進行列の選択

従来の音楽サブシステムにおける演奏では，あらかじめ決められた和音進行を，一定時間毎に行っている (3.2 節参照)．本テーマでは，よりインタラクティブな音楽操作を行うための一歩として，和音進行をユーザの行動によって制御する方法を検討した．この操作を“和音列選択”と呼ぶ．

4 和音の進行を単純に繰り返すのではなく，またある程度音楽的なレベルを保ちながら進行にバリエーションを持たせるため，複数の「4 和音進行セット」をあらかじめ準備し，ユーザの入力と和音進行の規則の両方によって 4 和音毎に次のセットを選択していくシステムとした．具体的には，前の 4 和音進行の終止和音に対し和音進行の規則 [47] に従って次の 4 和音進行の開始和音を決定し，ユーザ動作の激しさにより次の 4 和音進行の終止和音を決定することで，4 和音進行の流れを選択する仕組みとした．

和音の種類を T (Tonic) = {I, VI}, S (SubDominant) = {II, IV}, D (Dominant) = {III, V} に分類し，各和音の機能とユーザ入力を反映した和音進行を行うよう，以下の手続きを踏むサブシステムとした．

1. T, S, D のそれぞれから始まり T, S, D のそれぞれに終止する 4 和音進行の 3 * 3 種類のセットを準備する．
2. ある 4 和音進行の期間のユーザの動きを蓄積するため，note-on の回数を累計する．(ただしこれは単純な蓄積ではなく，無入力の期間には蓄積から減算する)
3. その和音進行が完了したときに，
 - (a) 和音進行の終止和音が T, S, D のどれであるかにより次の開始和音の種類を決定し，
 - (b) note-on の累計数に表されるユーザの動きの激しさにより，T, S, D の順に次の和音進行の終止和音の種類を決定する

3. 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討 3.4 音楽生成の実装手法

ことで、次に来る4和音進行を選択する。

4. 4和音進行が完了したことによる仮終止の効果だけではなく、音楽的な区切りの感覚を与えるため、MIDI楽器の変更を行う。

3.4.3 Key変換の制御

最後に、和音進行のタイミング制御における和音変更のユーザインタラクションと、4和音進行選択による多様な音楽処理に加え、長時間単位の音楽をコントロールするため、ユーザにより調制を制御することを狙いとし、“Key変換”を行うようシステムを拡張した。

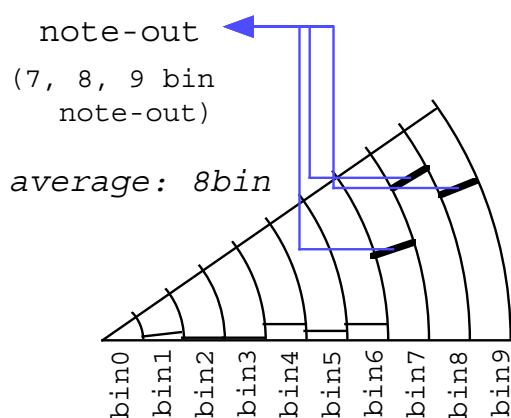


図 3.6: 音楽制御部からの重心変化領域検出例

ここでは、画像によるフィードバックが比較的大きい、万華鏡模様が外側へ動いたり内側へ動く動きを取り上げ、それと同時にに行われる音楽操作が必要であると考えた。そして、その画像変化と Key 上昇・下降に類似性があると考え、画像の広がり・収縮と同時に、Key 変換が行われるようにした。万華鏡模様が外側へ広がるとき、従来音楽サブシステムのフィードバックでは発音音程が高くなることを認識できた。これを用い、同時にしきい値を越える画像分割領域 (note-on 信号を発する領域) の変化領域重心と (図 3.6 参照) して、その直前フレームの値との差分を計算することで、移動の有無を推測することとした。

その際安定した動きのみを抽出するため、前フレームとの差分をスムーズフィルタリングする処理を行った。

各フレーム n における変化領域重心 bin 番号を X_n 、そのフィルタリングした値 \widetilde{X}_n は次式 (1) で計算する。

$$\widetilde{X}_n = \frac{1}{4}(X_n + 2X_{n-1} + X_{n-2}) \quad (3.1)$$

$$\widetilde{X}_n > \widetilde{X}_{n-1} \quad (3.2)$$

次に \widetilde{X}_n のフレーム間差分を式 (2) で判定し、動きがあったときにカウンタを一つ増やす。

このカウンタの値がしきい値で指定する回数以上になれば連続的に変化領域重心の位置が外側に变化したと判断し、移動を検出すると同時にカウンタをリセットするようにした。また同様に変化領域重心が連続的に中心側に移動したときも検出し、どちらでもなく動きがないときはカウンタをリセットする。この移動方向検出により、ユーザは、模様 of 広がり・収縮を作るのに伴わせて Key 変換の制御が可能となる。ユーザが比較的長いタームで模様 of 広がりや収縮を作る時にのみ Key 変換を行うため、カウンタのしきい値を上げることにした。

3.4.4 和音構成音外の音程制御

3.4.1 節から 3.4.3 節において取り上げた音楽要素の生成では、それぞれの分割領域においてしきい値を越える画像変化が生じたとき、それぞれの領域に対して和音にそってあらかじめマッピングされた note-number が発音される構造であった。しかし、しきい値を越えるか越えないかのみの判断と、変化しない音高による音楽操作のみでは、多様な演奏表情を生み出すことに限界があると考えた。

そのため、各分割領域ごとに 1 オクターブ (12 音) の音高を、画像変化量に応じて発音させる機構を考案した (図 3.7 参照)[46]。各オクターブ内の 12 音音階から、主要ベースコードに準じた 7 音 (ド・レ・ミ・ファ・ソ・ラ・シ) のみ出力するよう、7 段階にフィルタリングする。その際、画像変化量が小さいと元の主要 3 和音の音 (例えば I 度の和音の場合ドミソ) を出力し、変化量が大きいほど、それ以外の音を出すよう優先順位を準備した。これは、意外性を含む音を出すことにより、音楽的緊張を高めるよう設計したものである [2]。

主要な和音構成音に限らない多様な出力を狙い、大きく動作することにより非常に多様な音を出すことが可能になった。前衛的な音楽操作の可能性として、意外性を含む音程操作を行うことができる。

3.5 考察

本節では、本システムの試運転の経験と、3.3 節に挙げた幾つかの例に基づくインタラクティブアートとしての本システムの役割、また、そこで展開される音楽要素生成・変化におけるインタラクティブティについて論ずる。

前田 [18] はインタラクティブアートにおいて、『ユーザの操作行動は、類似性を持つ操作パターンの連続的な繰り返し毎に時系列上でクラスタリングできるような特徴を

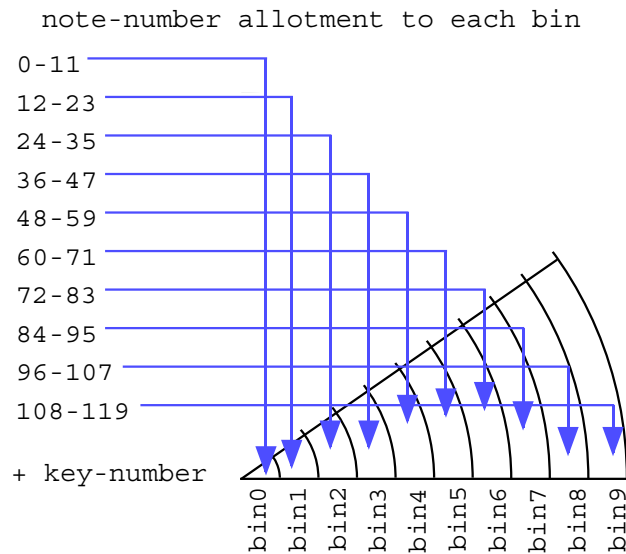


図 3.7: オクターブ毎の音程マッピング

持つ』という仮説を元に『有り得るすべての操作の方法・組み合わせをユーザに気付
きやすくするような工夫が行われるべきである』という設計指針を示している。

この指針に加えて著者らはインタラクティブアート楽器として

- p1: 操作方法が簡単
- p2: なるべく多くの楽しみ方を持つ
- p3: ユーザが同時に演奏者と聴衆・観衆であること

といったことが重要であると考え、これを用い Iamascope がこれらの要素を満たし
ているか検討する。

3.5.1 カメラ入力インタフェースと直接操作性

まず本システム的前提である、非接触な操作を行うカメラ入力デバイスについて考
察する。

楽器は本来、人ともものやもの同士の物理的な接触により、直接操作感覚を得ながら
音のフィードバックを生み出す。ここに、従来の楽器のモデルとして、物理的な接触
をきっかけに音を出すことを知り、最終的には音を出すことを目的に物理的な接触を
するという形式が存在している。

しかし本システムにおいてはカメラからの画像入力を用いているため、ユーザと何
らかの対象が物理的に接触することはない。つまり非接触なインタラクションは、従

来の楽器とは異なり、システムソフトウェア内部の知識を持たないユーザは空間を手探ることにより少しずつ楽器のインタラクションを学ぶことになる。Iamascopeでは、音を生むための物理的な接触がない代わりに全身の運動というダンスにおける強い実感を伴う身体動作と音楽との結びつきがあるのではないかと考える。

更に画像からの意図や感情といった上位レベルの情報を抽出して利用しようとする、ある程度時間をかけて処理するため音楽操作と入力動作を直接的に関連づけるににくい。例えば Iamascope と同じくカメラ入力によるマルチメディアコンテンツ生成を行う MIDAS[44] は、ダンス動作から感情抽出を行うシステムであるため、ある程度の時間をかけて要素抽出を行う必要がある。そのため直接操作感を伴いにいと考えられる。

それと同様に、本システムの和音列選択 (3.4.2 節参照) では、ユーザの動作を累積することで和音列の選択や緊張度の変化を制御するシステムであるため、ユーザがある程度の時間をかけた演奏を行い、累積したデータでその制御を行うことは難しい。また、ユーザ行動がこの 4 和音進行の決定に関わっているにもかかわらず、ユーザの注意が他の動作による演奏にも注がれるため、長い時間をかけて演奏を行ううちに以前の音楽の流れを忘れることも考えられる。

しかし 3.4 節に述べたタイミング制御や Key 変換といった音楽要素を一瞬で制御する機構を導入することによって、「ある空間内を動けば音が鳴る」という簡単な発見に留まらず、ユーザは大きな動作をすること、左右に動くことなど単純な動きのパターンから音楽要素が生まれることを体験し、学ぶことができるようなシステムとすることができた。尚、和音進行のための入力方法はフィードバックが遅いので今後更に再考されるべき点である。

以上より、本テーマによって非接触な楽器インタフェースにおいても、note-on/off、タイミング制御、及び Key 変換等の制御を瞬時の操作で実現することで、「手探り」と同時に直接操作感を伴う音楽制御を提供できた。新しい音楽体験を生み出すことが出来たので、p1, p2 を満たしたと考える。

次に、カメラ入力について考えると、ユーザにとっては時には一種類、時には多種類の意図を伴う入力の可能性がある。これらの入力を異なる音楽要素の制御に用いることを考慮して、ユーザに混乱が生じないようにシステム設計するべきである。一つの方法として、制御系として他のセンサを導入することを議論する。例えばより多くの種類の音楽インタラクションをコントロールする楽器を実現するために、MusiKalScope[40]のように空間座標を用いて他のセンサを導入することも考えられる。しかし本システムの目標は、高度な音楽要素演奏を取り入れることではなく、どんなユーザでも気軽に画像と音楽のフィードバックを楽しむことである。

また、非接触のインタフェースを保持しつつ、細かい演奏の使い分けを容易にするには、例えば針金などによって空間の中に画像領域を示す道具を用い、ピアノのように決められた分割領域を示す方法がある。これは、自由な万華鏡画像生成を生み出すきっかけとして p1 に有効だと考え、今後導入を予定している。また、この方法は 3.3 節に挙げた Source & Drain のメタファを導入する際にも有効であると考えられる。

3.5.2 音楽要素の操作による効果

ユーザが、同時に演奏者でありかつ聴衆・観衆でもある状態 (p3) という独特の楽しみ方が可能であるためには、ユーザ行動とフィードバックの対応付けが為され、親しみやすくかつ簡単な奏法であることが必要である。まず親しみ易さという点で、本システムの万華鏡模様サブシステムによるインタラクティブな画像生成は重要な役割を果たしている。また、従来の音楽サブシステムにおける単純な note-on の信号出力により、p1, p2 に記したように画像と音楽とのほどよいバランスが出来、親しみやすさと同時に分かりやすく簡単な操作方法を提供している (3.2 節参照)。

ここで、従来の音楽処理部と、なるべく多くの楽しみ方を持つために新たに付加した (p2) 音楽制御システムについて、それぞれ考察する。

まず、従来通りの音楽処理部について述べる。Tangible Sound[48]における発音システムと同様に、コンピュータなどのハードウェアのクロックにより MIDI の “note-on/off” のコマンドを発生する。それにより、演奏タイミングにクオンタイズのような効果を生むことができる。よってリズム通りにうまく演奏できないユーザでもある程度音楽的なタイミングを演奏したような感覚を得ることができる。和音構成音以外の演奏が 3.4.4 節に述べた機構によって可能になり、ユーザは簡単により表情豊かな演奏を作り出せる。今後はユーザの音楽レベルに応じさせて、聴取・演奏ともに楽しめるようソフトウェアを構成していきたいと考えている。

ここで今回追加した 2 種の操作を検討する。

まず、時間にそって自動的に行われていた和音進行を、ユーザがタイミング制御できるようになった。これにより指揮者のような音楽における時間の進行をユーザが司るような感覚を生成し、流れている音楽とユーザとのインタラクションを強めることができたと考える。

次に Key 変換の制御について述べる。Key の変換は、音楽演奏の中で長いタームで行うものである。Key の上昇・下降により音楽のイメージを大きく変えることができるが、頻繁に行うと逆に和音構造に準じた音楽生成部が崩れてしまう。よって、カウンタのしきい値を調整してユーザの意図レベルが高い場合のみ Key 変換を行うようにするしくみは有効であったと考える。

以上より、ユーザは和音進行の “タイミング制御” と同時に、クオンタイズの効果で心地よく演奏し、表情づけを行いながら、時々 “Key 変換” を楽しむことができる。演奏者が子供であったり、自由に体が動かせない人であっても、道具などを用い工夫することで、映像を動かして同時に多くの音を鳴らし、タイミング制御することができる。またこれに加えて、3.4.4 節に述べた和音構成音以外の音を出す機構を組み合わせることで、より表情豊かな演奏ができる可能性がある。

3.5.3 インタラクティブアートと楽器設計指針

最後に、“note-on/off”・“タイミング制御”・“Key 変換” の 3 種類の操作における音楽的階層構造に関して考察する。音楽の要素は幾つかある。音の強さ、音の高さ、音色といった 3 性質が基本となり音を決定する他、それら音のまとまりとして、和音

や、アルペジオの並び、楽曲全体の強弱、調制など様々な要素がある。

これら音楽の要素は時系列上で常に変化しているものである。特に本システムはリアルタイムに音楽生成しているため、前田 [18] の一般的なインタラクティブアートにおける設計指針と同様ではないと考えられ、類似性を持つ操作要素を同時に与えるのは難しい。

そこで、前田の仮説に加え、『インタラクティブアートの要素を持つ楽器において、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うためには、時間的なレベル(操作のターム)の違いを持つ操作対象と、そのインタラクションのための操作を準備し、提示されるべきである』という設計指針を提案する。

前田の仮説における、有り得るすべての操作方法・組み合わせの提示という意味では、ユーザのレベルや目的・対象に応じた時系列レベルを考慮した上での操作設計が必要である。今回は求められるレベルの操作として単純な動きによる音楽要素入力を3種類準備した点で操作方法の提示をたやすくしていると考えられる。また、組み合わせの提示という意味で、音楽における異なる種類の操作を可能にするために、時系列でのレベルの異なる操作として3種類の操作を提示したことが有効であったと捉えることができる。

3.6 まとめ

本章では、インタラクティブダンス楽器“Tamascope”において、カメラからの非接触な画像入力を使った、種類の異なる音楽要素の操作を行う手法を紹介した。また、本システムを検討し、『インタラクティブアートの要素を持つ楽器において、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うためには、時間的なレベル(操作のターム)の違いを持つ操作対象と、そのインタラクションのための操作を準備し、提示されるべきである』という設計指針を提案をした。

今後は、開発した音楽生成手法や上の指針を新たな楽器システムのインタフェース構築に応用することを目標とする。またそれと同時に評価実験を行うなどシステムの検証を行っていく予定である。そして、どのような目的を持つユーザ層を対象とするのかを考慮し、付随させる機能とインタフェースを取捨選択していくための、指標を確立したい。

第 4 章

流体を用いた新しい音楽モダリティ

概要

本章は、流体を用いた新しいインタラクションによる音楽表現のための試作 “Tangible Sound” について述べる。水は時間により形を変化させ、つかみにくいという物理的な性質を持つ。また音や音楽は時間により変化するため、そのはかなさに一瞬の美を見つけることもできる。これらのメディアの共通した性質に着目し、水流と音楽の流れを関連付けたインタラクティブシステムを試作した。本章でははじめに本テーマの動機とその関連研究を挙げ、水をメディアと見なしインタフェースに取り入れた経緯を述べる。次に Tangible Sound #1 と #2 において、水流を測定するセンサとその構成、ひいてはその音楽生成部における試作の経緯とそれぞれの試作段階における問題点を述べる。また、それに基づき Tangible Sound #2 に施した新たな拡張について述べる。最後にこれらの試作について、3 章でふれた、インタラクティブ楽器システムにおける操作性や楽しみ方 (3.5 節) に基づき評価を行い、考察した事柄を述べる。

*Fluid water is a suitable interface to use in performing flowing sound and music, since fluid and sound have common characteristics. For example, both media change shape over time and so they cannot be grasped. We use flowing water in a musical instrument installation. As water is frequently used in daily life as an essential resource among various fluid materials, such an instrument using water will be more friendly and become an amenity in our life. Recently there have been many installations and interactive artworks using water, but they do not exploit the ability to use water itself as a medium. This research aims to find practical uses of fluid media for musical instruments. In addition, we propose a method to sense the amount of water flow for enjoying music. For judgment of user's actions, we use the changes of the upper flow from the *faucet* and in the lower flow toward *drains* as well as the *difference* between these two values. This configuration leads to a novel concept of “*Source and Drains*,” which is also applicable to traditional wind instruments. Based on this concept, we introduce installations that are named “Tangible Sound” #1 and #2 as novel musical instruments that use water as input media.*

4.1 はじめに

ここ数年新たなインタフェースを用いたシステムや、インタラクティブアート作品と、それを支えるハードウェアやソフトウェア、またハードウェアの機能を専用のセンシングに用いるためのソフトウェアなど [17] が多く開発されている。視覚メディアに限らず様々な感覚器に訴えるマルチモーダルインタフェースが考案されつつある一方で、音響や音楽の表現をテーマとして扱う、サウンドインスタレーションと呼ばれる作品が多く制作されている。中でもインタラクティブなサウンドインスタレーションは、ユーザの行動と音が対応付けされている点において、楽器としての可能性を持っていると言える。

しかし様々なユーザインタラクションを反映し音を出力するシステムが存在する中、楽器としての考察やユーザビリティにまで言及したものは多くないため、楽器としての一般化が難しく、いまだ一つ一つのアート作品の位置にとどまりがちなのが現状である。中にはテルミン¹のようにユーザ層が増え楽器としての位置を確立しつつあるものも存在する。しかし触れる対象のない空間での演奏は触覚インタラクションがないため不安定感があり、再現性やプレースメントに困難が生じる。

それらのシステムの構成は、物理的現象や機械的メカニズムを利用したシステムから、コンピュータを用いたハードウェア/ソフトウェア制御によりインタラクティブ性を展開するものへ、主流が移りつつある。その中には、電気とは縁遠い水を利用した様々な作品が多く発表され、水自体の性質を利用して制作されたインタラクティブアートも散見されるが、水との直接のインタラクションに着目した作品は多くない。

ここで、水への作用により触覚的インタラクションを得ながら時間変化する音楽要素に働きかけるシステムを用いて、従来楽器に対する概念や枠組みを拡張することを提案する。多くの VR システムで触覚のフィードバックを付与する手法が検討されている中でも流体は扱いにくいメディアである。例えば雨宮ら [49] は空気流を用いた触覚ディスプレイを提案しているが、on-offの表現にとどまっている。音楽も時間により形を変える一つの流体メディアであるから見ると、その触覚インタフェースを検討することは VR の触覚的インタラクション手法への新たな知見につながる可能性がある。本研究ではまず人工的な表記が確立している音楽から、流体の触覚インタフェースを考察する。そして、人が音楽と触れ合う接点について伝統的な楽器の仕組みと比較しながら、新たな音楽インタフェースを持つサウンド・インタラクティブシステムの制作を通して、流体の触覚インタフェースを有する新しい VR 楽器へ展開することを目指す。

現在、コンピュータを用いて新たな音楽表現やパフォーマンス分野を拡張する試みが行われている。しかし、広いユーザ層の中で音楽表現そのものを拡張するためには、拡張されたインタフェースの構築を新たに行う必要があると考えられる。すなわち、流体の触覚的インタラクションを活用することで従来楽器の枠を脱し、音楽の演奏スタイル、ひいては音楽表現そのものを拡張できると考える。文献 [50] [51] で Tangible Sound の初期システムを提案し、水を介し音に触れるインタフェースの可能性を示した。そ

¹ 固定発信器と静電容量を発信周波数に影響させる発信器からの周波数差分から音を出す

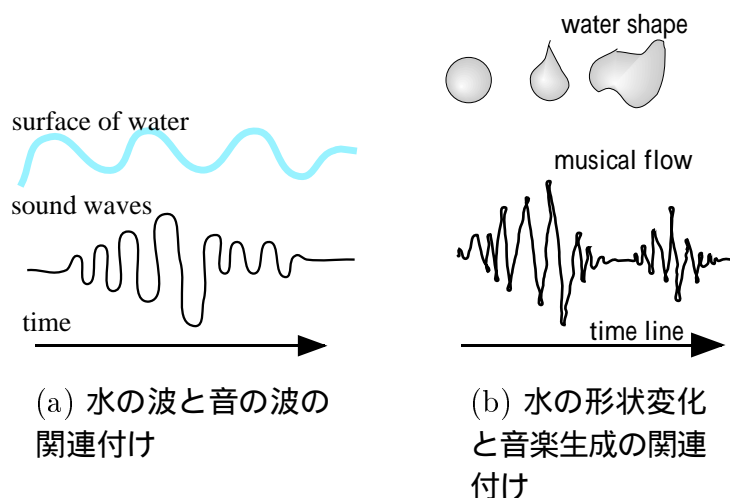


図 4.1: 水と音の時間による変化の共通性

の後流れの Source と Drain というコンセプトを導入し，センサを機械式から電気式に変更したより柔軟なシステムを構成し，Tangible Sound #2 と名づけ文献 [52] [48] [53] で紹介した．更に音楽的な表現の複雑さを追求するため，システムのハードウェア・ソフトウェアの機能追加を行った [54] [55]．本章ではこれらをまとめて，流体の触覚的フィードバックを持つ音楽入力インタフェースとして水を活用し実装したシステム “Tangible Sound” のコンセプトと実装方法と考察について総括する．以下 4.2 節では関連する作品と研究を概観する．4.3，4.4 節では Tangible Sound のコンセプトを紹介し，実装した 2 つのシステムのハード及びソフトの構成，4.5 節ではその拡張を詳しく述べる．4.7.1 節にて評価方法を提案し，更に 4.6 節では水メディアの導入について考察すると共にインタラクティブアートとしての位置づけを示し，4.8 節でまとめとする．

4.2 関連する作品・研究

水を用いたインスタレーションの例としては，古来からある噴水や鹿威しなどを挙げることができる．しかしこれらはユーザの自由なインタラクションに欠け，自らの身体の機能拡張と感じるようなメディアとしての役割を果たしているとは言いがたい．しかし近年コンピュータプログラムによる制御やセンサ入力・アクチュエータ出力を利用する作品が増え，水を用いたアートもその影響を受けつつあると言える．Sommerer ら [56] の “A-Volve”，土佐 [57] の “Unconscious Flow” では水の親しみやすさを導入し，水の存在するインタフェースを構築しているが，水をインタラクションのメディアとして積極的には利用していない．また，杉原ら [58][59] の “Water Display” は，水を映写環境に用い視覚的表現メディアとして導入する例として注目できるが，水を導入したインタラクションを利用することについては多く触れていない．

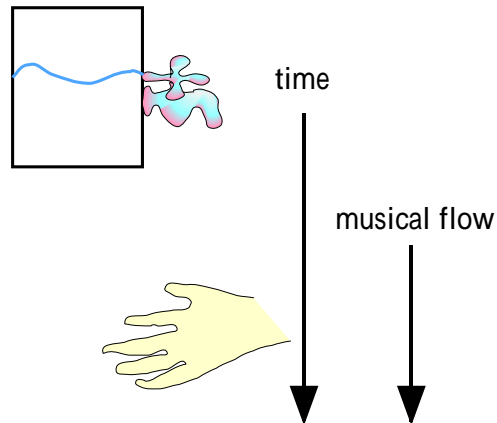


図 4.2: Tangible Sound の原コンセプト

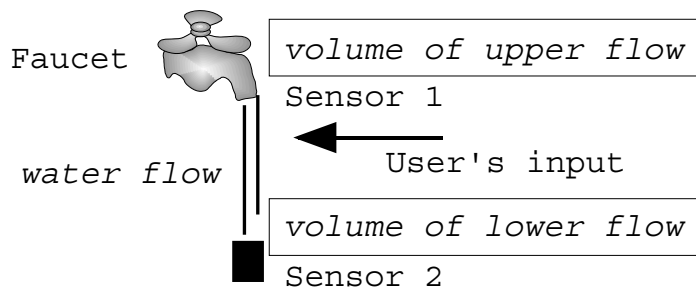


図 4.3: Tangible Sound のモデル: 上部流量と下部流量

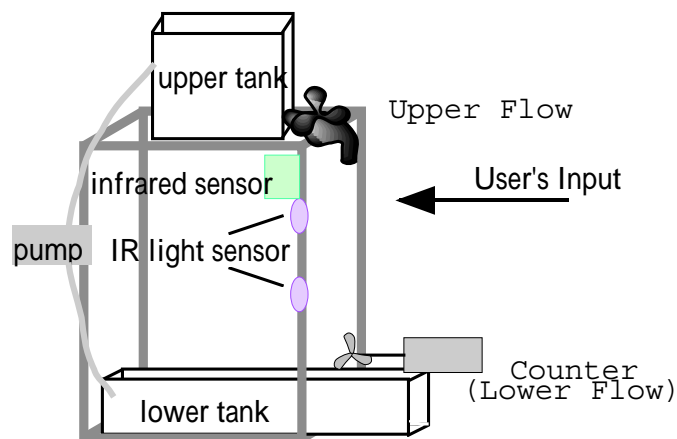


図 4.4: Tangible Sound #1 のシステム構成

宇井ら [60] の “Wave Rings” は、赤外線センサにより人が近づくと水中スピーカーに音出力され、その振動で水が跳ねるインタラクティブアートである。これは物理的要因(ここでは音の振動)による水への入力作用を、水をアクチュエータとして用いたシステム構成として興味深い。

これらの作品に共通して見られるのが水の形状の視覚的な効果を用いている点である。ここで本研究においては水独特の触覚を導入することを狙いとしている点が従来の研究と異なると考える。また、Wave Rings のシステムでは音の振動が水面の形状に変化を与えるが、本章で紹介するシステムでは、対照的に、ユーザの水への作用による水の形状変化を音や音楽に変更するシステムを提案し、音や音楽を表現することを目的として入力インタフェースに水を用いた。その点で本研究に最も関連した作品として、左近田 [61] による “Water Machine” が挙げられる。この作品は水の波を A/D 変換を用いて音にマッピングし、水の波と音の波をリンクさせたシステムである(図 4.1(a) 参照)。この作品は空気の揺らぎなどによる水の不確定性をコンセプトとしているが、入力インタフェースとしての水には着目していない。また、ユーザの意図的な入力を反映する、制御可能なインタラクティブアートもしくは楽器としての用途に関する考察もない。

石井 [28] は Tangible Bits のコンセプトを提案し、情報を Foreground と Background に種別けし、それぞれに graspable media, ambient media を採用することを提案している。そこでは、空気・水を ambient media として位置づけているが、水はユーザの積極的なインタラクションも可能なメディアである。本研究では、水は graspable でもなく ambient でもない「触れることはできるが掴めない」メディアという位置づけをする。

これらの研究やインタラクティブアート作品における試みは、水を用いたという点で共通性があるがその水の利用方法は様々である。我々の生活や文化の中に存在する水の利用だけではなく、その水を活用して美的感覚に持ち込みたいとする潜在意識が存在することも考えられる。そこで本文では、直接のインタラクション対象として、実体としての水を取り扱ったシステムを提案する。

4.3 Tangible Sound #1 のデザインと試作

4.3.1 システムのコンセプト

時間により変化する流体の形状や存在を知覚することは、時間の経過により音や音楽表現を認識していることと共通性がある(図 4.1(b) 参照)。また、音響や音楽が時間変化することは、熟練していない聴取者にとって水の形状と同じように掴みづらいと考えられる。これらのことを考慮し、時間変化するという音と水の性質の共通性により流体を音楽演奏のメディアとして利用する。

西洋音楽に代表されるように、従来の楽器は 12 音音階など規則の枠の中で音楽を演奏・再現するために主に用いられてきたため、伝統的な音楽は主にその枠の中で形成された。つまり、表現や演奏などの芸術の形態は複数回に渡る再現によって認識・洗練され、浸透したと言える。そのため、近年の即興的リアルタイムパフォーマンスで

4. 流体を用いた新しい音楽モダリティ 4.3 Tangible Sound #1 のデザインと試作

は、音楽の枠組みや再現の反復という時間の枠組みを外した入力を可能とする楽器の検討が必要になっていると考えられる。

一方、風鈴や水琴窟・鹿威しなど、自然環境の要因が作用して入力となる音響装置の例が昔から多く存在している。特にこれらの音響装置は、水や風といった流体を作用として用いたものが多い。こういった原始的音響装置は、自然の作用による楽器ということもできる。そこで、ユーザの即興的かつ意図的な操作と環境的要因の作用を入力として融合させた音楽要素の制御を実現することを目指し、流体を楽器インタフェースに用いる。

ここで素材として流体の中でも水を選定した。水は流体の中でも特に我々の生活習慣の中に様々な形で存在し、親しまれている。その要因として、雨や河川といった自然環境だけでなく、例えば入浴・水泳・洗面・洗濯などの生活習慣と密着しているため多く利用されていることも挙げられる。このように積極的に親しまれ触れられている水に目を用いることで、新しいモダリティを持った楽器としての利用シーンの広がりを生みだせると考えた。

そこで、水を用いた楽器を検討しインタフェースを構築するため物理量のセンシングにより水に対する入力を計測することとした。なお水の流体としての物理量のセンシングにおいてはその流れを制御する系から取得することも可能であるが、本研究では水自体を直接計測する。すなわち、水自体のセンシングを行うことでユーザの入力を認識するシステムとし、楽器メディアとして水を用いることの可能性を考察した。

我々が水の状態を感じたり、水に作用したりするとき、水の存在有無・水圧・温度・光の反射など、様々な情報を得ている。水は人が作用して流れをつくることもできるが、本システムでは水と音をその時間変化という共通性により関連・結合させたシステムを構築するため「溜められた水」ではなく「流れている水」に着目する。具体的には、生活の中に存在する水とのインタラクションの中で、流れている水の制御や水との接触があるため、最も利用する機会の多いと考えられる水道の蛇口から出る水に焦点を当て、流れ落ちる水を流れる音楽のメタファとした。その初期構想モデルを図 4.2 に示す。

具体的手法としては、ユーザの意図的な操作入力を判別するため、図 4.3 のように上部流量と下部流量を計測する方法を採った。これにより、ユーザの水そのものや蛇口への操作による上下流量の変化や上下流量の差分を計算し、ユーザの作用(水を溜める・こぼす・何も触れない)を間接的に判別することが可能である。この「流れている水」をセンシングすることにより、連続的なデータ入力をを用いた楽器が構成できる。

4.3.2 Tangible Sound #1 のハードウェア構成

上記の方法を用いて、Tangible Sound #1 [51] を制作した。システムは上部水槽・下部水槽・水の循環機構・センサ部分・A/D 変換・MIDI-Interface 接続部分・ソフトウェア部分から成る(図 4.4 参照)。上部水槽に樹脂製の蛇口を設置し、ユーザが、水を出す・流れに触れる・妨げる・解放するといった行動をすることにより音楽要素の入力が可能なシステムとした。

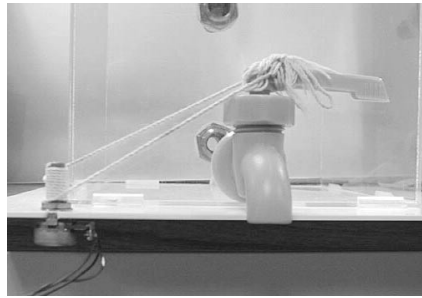


図 4.5: Turn Sensor(回転角センサ)と蛇口の連動(上部流量の検出)

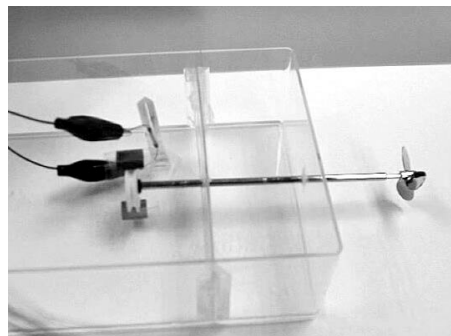


図 4.6: リードスイッチによるカウンタ(下部流量の検出)

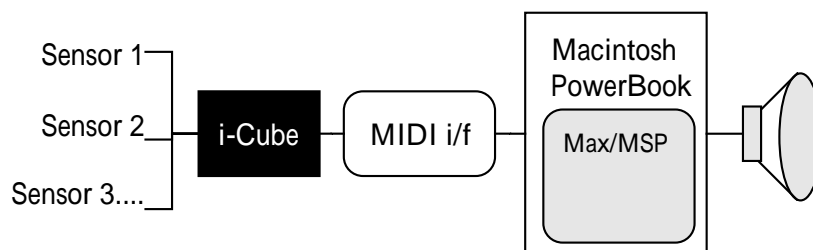


図 4.7: アナログセンサ入力から音楽出力



図 4.8: Tangible Sound #1 の外観

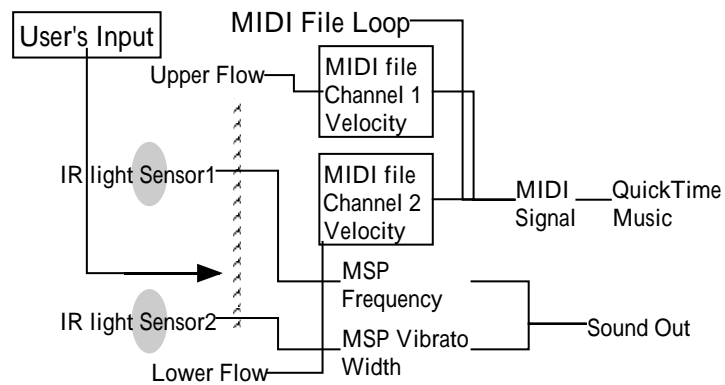


図 4.9: Tangible Sound #1 のソフトウェア構成

4.3.3 センシング手法 #1 -機械的センシング-

まず上部流量と下部流量のセンシング方法について述べる．蛇口と回転角センサを糸によって連動させ，蛇口の開度を測定することで上部流量を推定する (図 4.5 参照)．すなわちここでは上部水量の制御系を測定している．また，下部流量については，図 4.6 に示したカウンタを設置した．これは，磁石のついたスクリューの回転をリードスイッチにより検出し信号を送るもので，羽根車式流量計を参考としたものである．またこれらの流量測定に加え，光センサ・赤外線式人体センサを用いることによりユーザの入力の気配²を検知することとした．これらのアナログデータを i-Cube³ に送り，MIDI Interface を介してシリアルで Macintosh に入力する (図 4.7 参照)．このようにして構築した Tangible Sound #1 の外観を図 4.8 に示す．

4.3.4 Tangible Sound #1 の音楽生成ソフトウェア

本システムでは MIDI を扱った音響・音楽構成の計算プログラムに Max/MSP⁴ を用いている．上下流量それぞれのセンサ入力进行处理し，音楽的要素として受け付けるソフトウェアの構築を試みた．ここでは様々な分野の音楽に対する入力の可能性を探るため，1) 音楽的要素，2) 音響生成要素の 2 種類の要素の同時入力を考えた．

まず，あらかじめ準備した循環音楽をベースに，入力として受け付けた上下流量により音量・音高といった簡単な音楽的要素を変化させるシステムとした．循環音楽は QuickTime3.0 により 8 小節 / 2channel の MIDI file を循環演奏させるものとする．各 channel の音量に対し，それぞれ上下流量をマッピングした．ここでは，複雑な音楽要素入力について特に考慮しないため，音楽理論による一音一音からの音楽構成を実現するような演奏入力については受け付けないものとした．

また，気配の検出のために用いた光センサや人体センサの出力は，MSP による音響生成の音量・音源・音高の直接制御に用いた．これら音楽要素操作および音響合成という 2 つの手段により音楽的フィードバックを返すこととした (図 4.9 参照)．

こうして Tangible Sound #1 では，水流に手を入れて音響や音楽を変化させ楽しむことが可能になった．しかし循環音楽の演奏と MSP による音響生成が同じ操作から引き起これさたりするなど，音響生成と音楽演奏が独立にならず，音のフィードバックが複雑になったため，ユーザにとってインタラクションが分かりにくいものになった．

従って，音響と音楽要素を思い通りに同時に操作して楽しむことは相当難しいことが分かった．このシステムでは，同じ操作により引き起こされる二つのファクタを切り分けて利用することは，センサの存在を意識したユーザの工夫がなければ難しく，水に触れることで音の変化を楽しむという単純な目的を果たしているとは言いがたい．

水という思い通りになりにくいメディアを用いたことを活かすためには，音響的要素と音楽的要素を切り分け，それぞれの要素を明示的に操作できるインタフェースが

²ここでは，水への tangible な作用にいたらない，非接触なユーザの存在判定や入力行動の可能性の存在の意味で用いている

³i-Cube: MIDI を扱う A/D 変換器

⁴Max/MSP: Max は Opcode の音楽プログラミングソフト．MSP は Max 上の音響生成用パッチ

必要であることが示された。

そこで、音響的演奏を切り放して音楽的演奏に絞り、楽器の用途によって別々のソフトウェアシステムをマッピングすることにより、分かりやすいインタラクションを伴った楽器を実現するため Tangible Sound #2 を開発することとした。

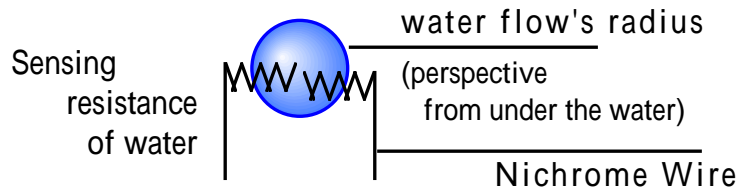


図 4.10: 流水の直径の計測

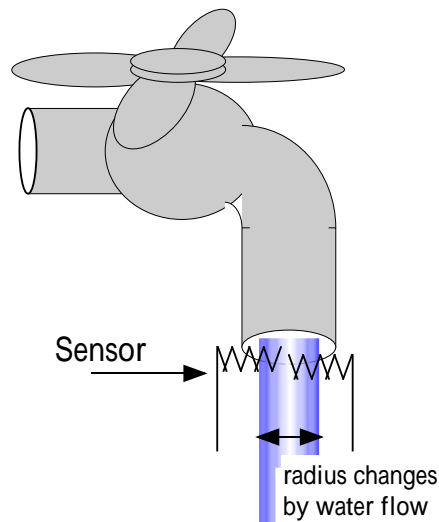


図 4.11: 蛇口下部へのセンサ設置図

4.4 Tangible Sound #2 のデザインと試作

4.4.1 Source & Drain コンセプトの導入

前述の Tangible Sound #1 の問題を改善し、分かりやすい音楽操作の要素とそのインタフェースを伴ったシステムの構築を目指し、Tangible Sound #2 の制作を行った。

従来楽器においては、管楽器のように息を吹くことで気体の流体としての“Source(源)”を作り出し、いくつかの穴を指などで塞ぎ、気体を流し込む先である“Drain(受け皿)”を選ぶことで音高を調節するというモデルを考えることができる(表 4.1 参照)。

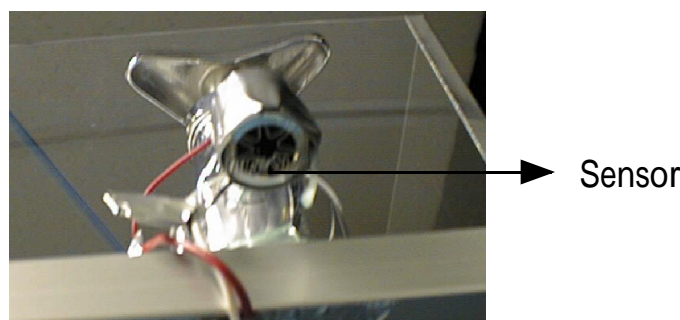


図 4.12: センサ設置部分 (蛇口下部より撮影)

表 4.1: Tangible Sound と管楽器の比較

	媒体	Source	Drain
フルート, パイプオルガンなどの従来管楽器	呼気	吹入口	押さえる穴
Tangible Sound	水	蛇口	漏斗 (Main drain と Sub-drains)

上部流量と下部流量をこの楽器モデルのそれぞれ Source と Drain として用いるとき、従来楽器の音高の選択方法を参考にして Drain 部分を工夫する必要があると考えた。そこで本システムにおいて、Drain を複数個準備し音の選択を可能にすることを考案し、実装した。

4.4.2 センシング手法 #2 -電気的センシング-

本システムでは Tangible Sound #1 におけるセンサの設置を変更し、楽器としてのインタラクションをより実感し易いシステムを目指した。#1 における、蛇口から流れる水により音楽に触れるというメタファインタラクションと、そのための上部流量と下部流量のセンシングは、基本的に継続して採用することにした。

次に、流量検出のためのセンシング技術について、Tangible Sound #1 からの改善・変更点を述べる。

今回は上下流量共、水の存在を直接計測するため、水の電気抵抗を利用するものに変更した。上部流量については、まずニクロム線を用いた水の直径の計測が図 4.10 に示した回路により可能であることを予備実験で確認し、この方法を採択することとした。この回路を蛇口の直下に設置(図 4.11 参照)することにより、上部流量を検出した。図 4.12 に、実際に水の直径計測のセンサを蛇口の下に取り付けた様子を示す。これにより、市販の流量センサを蛇口下部に取りつけるより過大なスペースを占有することなく、また比較的安定して流量を検出することができるようになった。

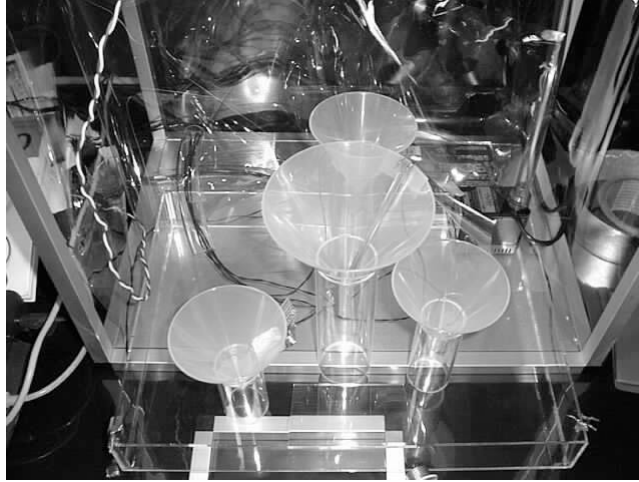


図 4.13: Main Drain と Sub-drain

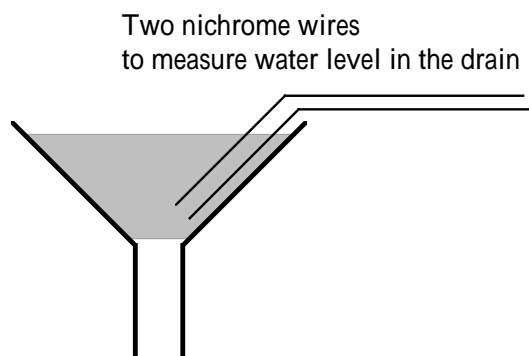


図 4.14: 漏斗内の水位計測センサ設置

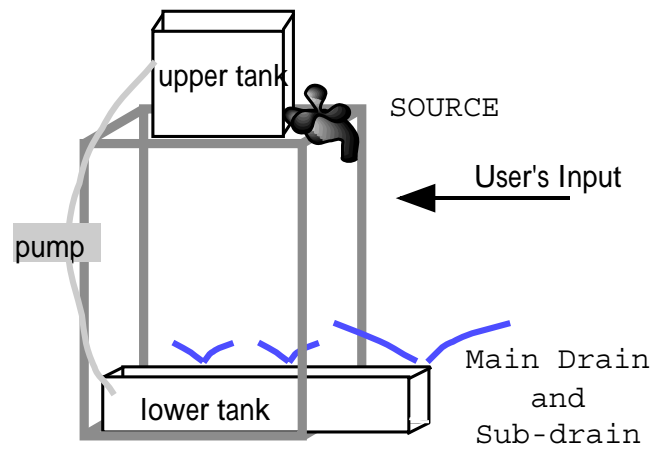


図 4.15: Tangible Sound #2 のシステム構成

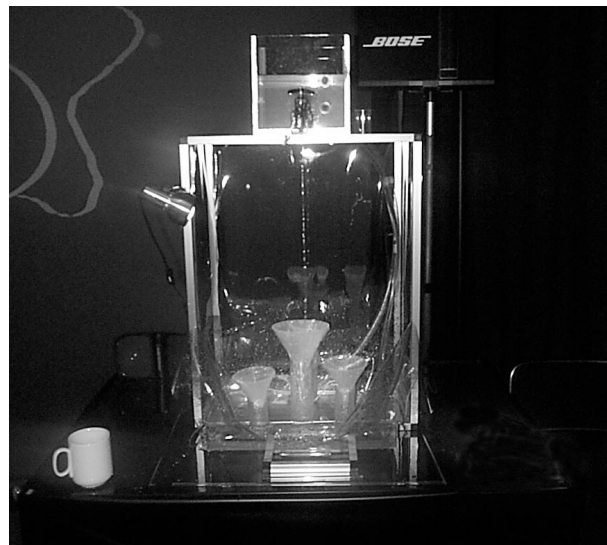


図 4.16: Tangible Sound #2 の外観



図 4.17: Tangible Sound #2 の演奏風景

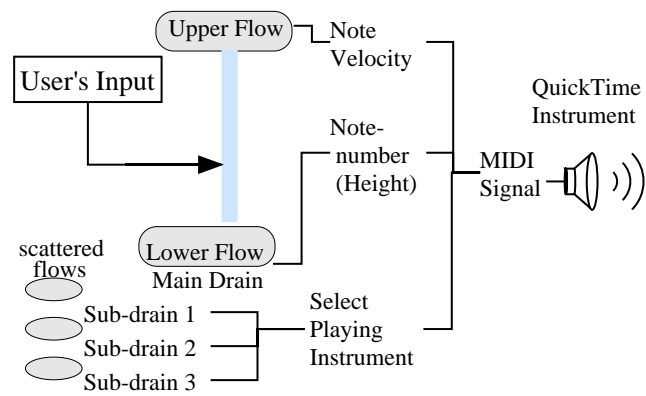


図 4.18: 楽器制御 (#2-1) のソフトウェア構成

4. 流体を用いた新しい音楽モダリティ 4.4 Tangible Sound #2のデザインと試作

下部流量については、Drainとして漏斗を準備した。図 4.13 に示したように、中心の大きな漏斗を Main Drain、周囲の3つの小さな漏斗を Sub-drainとした。Sub-drainは、管楽器における空気を流す穴の選択のように用いることを考慮し、3つの drain それぞれを識別するために高さに変化をつけている。また、これらの漏斗は水を飛散させるユーザの行為を音に反映する役目も果たすことができる。

Drainとなる各漏斗の流量の計測では、まず Main Drainとなる漏斗において水位を計測する(図 4.14)とともに、Sub-drainとなる漏斗において水の存在の有無を検出した。Main Drainの流量の計測では、漏斗の下部で流量が絞られるため、流量が漏斗の排水量を越えると水が溜まることを用いている。また、Sub-drainでは単純に水の飛散を検出するための On-Off 構造とした。

このようにして、上部流量と下部流量の計測・水の飛散の計測を行い、システムハードウェア部を構成した(図 4.15 参照)。また、これらを実装したハードウェアシステムの構成風景を図 4.16 に示す。また、このシステムによる演奏風景を図 4.17 に示す。

4.4.3 ソフトウェア #2-1: 楽器制御

Tangible Sound #1 からのセンサシステムの改変を反映し、#2における楽器制御モードとしてソフトウェアの再構築を行った(図 4.18 参照)。

このソフトウェア構成では、基本的に一つの楽音の出力機構を制御する。上部流量を Source としての機能に対応させるため、流量値で音量を制御するものとした。Main Drainで計測した下部流量は12音音階における音高に対応させた。それに加え、下部流量の有無は実際の発音の有無を決定し、流量の変化を発音タイミングとする。実際には、水が流れている間はほとんど常に水位が微妙に変化しているため、流量が存在するときは i-Cube から送られてくる信号ごと(本システムでは 40ms ごと)に発音されることになる。

また、本システムは従来楽器の Drain の機能に対応する仕組みを取り入れるため、Sub-drain を選択して水をこぼすことによりそれぞれに割り当てられた楽音に変更するようにした。つまり言い換えると、流量による連続的な値のみでなく選択による離散的な入力が可能になったとも言える。使用した楽音は、QuickTime 音色の中の Acoustic Grand Piano, Guitar FretNoise, Bird Tweet の3種類で、それぞれを Sub-drain にマッピングした。これらの音楽情報を用い、MIDI によって QuickTime 音源を介して発音した。システム構成を図 4.20 に示す。

公開展示において50名程度の一般見学者の反応を見た。連続的である流量(Main Drain)の変化が127段階に切り分けられ発音タイミングとなって演奏されることに特に違和感はなく、積極的に水に触れて楽しむ様子が観察された。

4.4.4 ソフトウェア #2-2: Orchestration 音量制御

Tangible Sound #2 では他の楽器とのセッションを行うという実験的試みも行った。別の楽器(群)により演奏されている楽曲に対して Orchestration を行う楽器として *GMI*

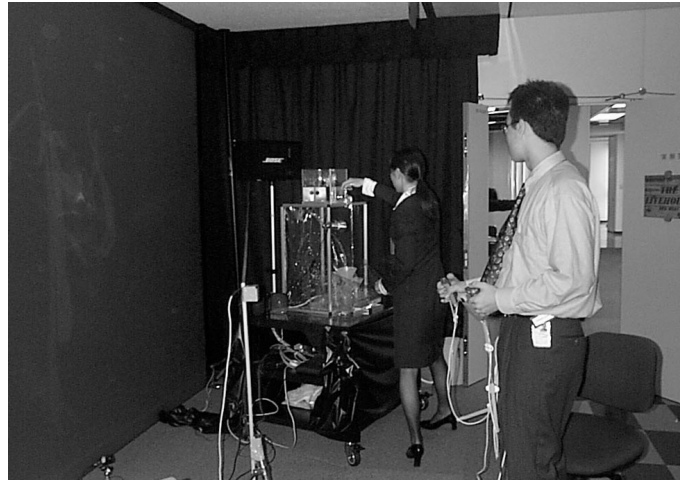


図 4.19: GMI における Orchestration 楽器としての実行風景

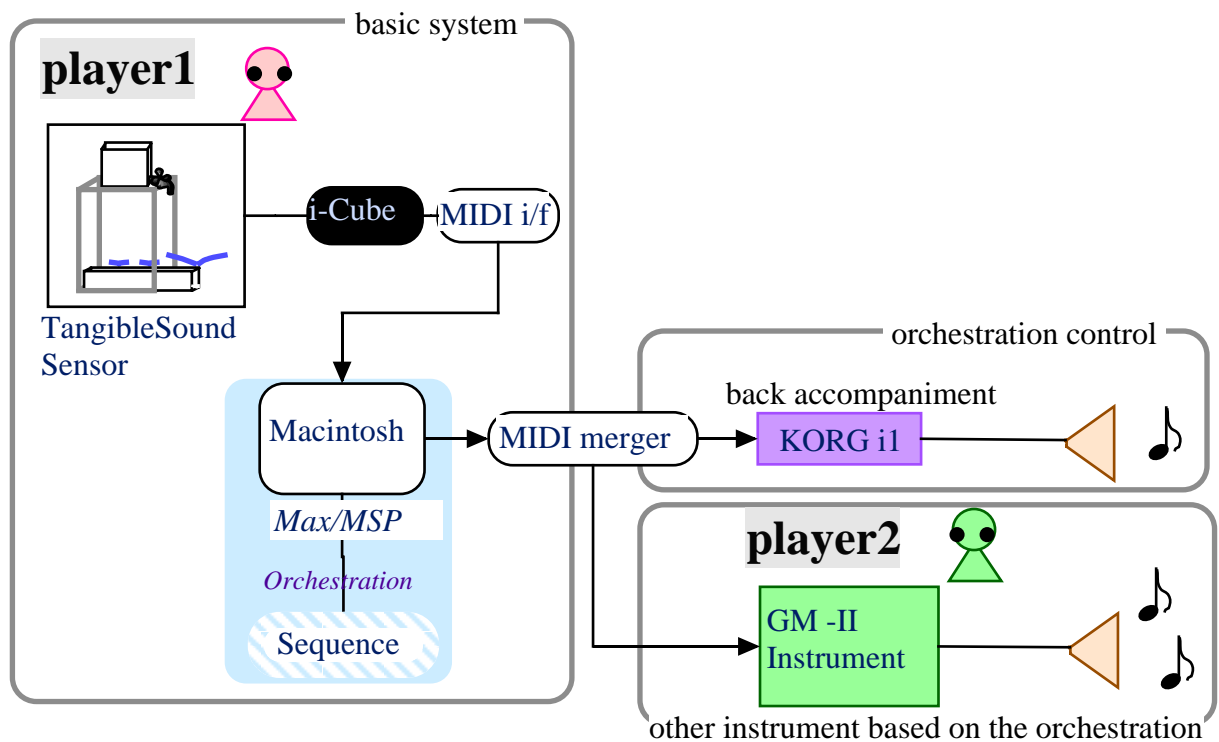


図 4.20: Orchestration 音量制御のデモシステム構成

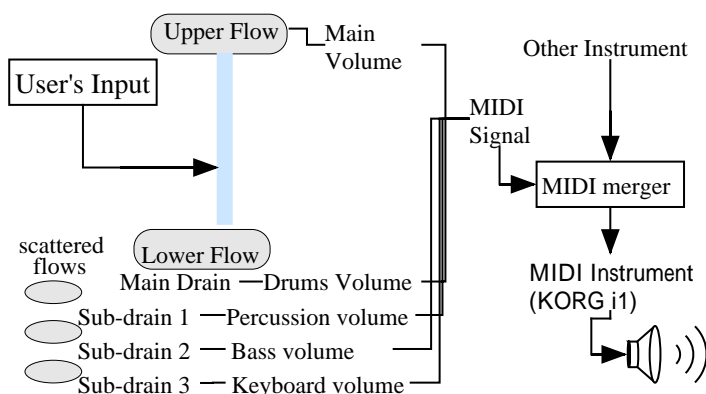


図 4.21: Orchestration 音量制御 (#2-2) のソフトウェア構成

[62]⁵に参加した(図 4.19 参照)。

ここでは Source を Main Volume に、Main Drain、Sub-drain1、2、3 をそれぞれ Drums、Percussion、Bass、Keyboard にマッピングした。基本状態は Drums パートのみの演奏とし、Main Drain や Sub-drain への水の流量を各パートの音量操作とした(図 4.21 参照)。デモ演奏の試行⁶を行ったところ、本システムが思い通りの音を出す楽器ではなく環境的要因が影響するため、各パートの音量制御という利用は困難だった。発音タイミングや音高などのパラメータではなく、各パートの音量の操作のみ可能であるため、同時に他の演奏楽器のパートにおいて発音がなければ変化を感じることが出来ない。そのために聴覚的フィードバックが弱く、触覚フィードバックの方がユーザにより強い印象を与えてしまうという問題が残った。Orchestration 楽器とするには、直接操作性を提供するためにあらかじめ決められた楽譜を演奏するなどの協調演奏の必要があると考えられる。

4.5 Tangible Sound #2 の拡張

4.5.1 Drain メタファによるセンシング手法の拡張

4.4.3、4.4.4 節におけるソフトウェアの試行では楽器制御・Orchestration 共に各 Sub-drain は on-off の信号のみ用いたため、音の表現に限界があった。Drain の個数が少なく、水の飛散を測定するには不十分であるため、本来の目的を果たすには満たない。

ここで、Tangible Sound #2 における Source and Drain メタファについて再度考えた。従来管楽器における演奏では、Drain の選択と同時に呼気によって Source の量も調節している。複数の Drain を選択することにより Drain から実際に出ていく空気

⁵GMI: General MultiMedia Instrument Project, メディアにとらわれない汎用的なインタフェースを有するマルチメディアアート製作ツール研究開発の試み

⁶performer は米澤

量は呼吸による Source と同じではなくなる。そのため、水を受け止める Drain ごとに流量を計測することが必要であると考えた。

そこで Sub-drain でも、水の飛散を計測するのみではなく Main Drain と同様にそれぞれの流量を計測するため、図 4.14 のセンシング手法を Sub-drain にも導入することでハードウェアを改良した。そして、各 Drain の流量を音楽要素へ反映しようと考えた。また、当初は識別のために変化をつけた各 Drain の高さの違いを、音楽要素の緊張度に反映するように利用し、以下の 2 種類のソフトウェアを試作した。

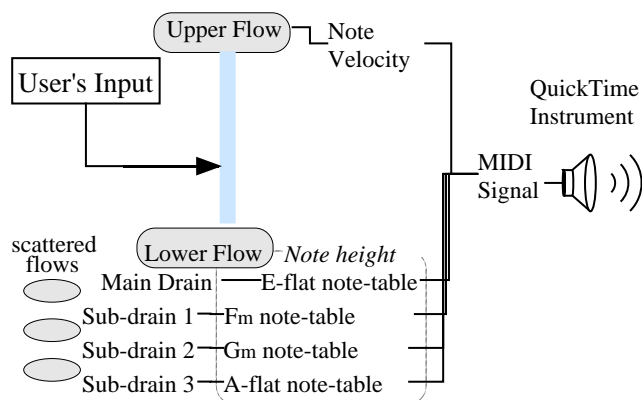


図 4.22: 音階制御 (#2-3) のソフトウェア構成

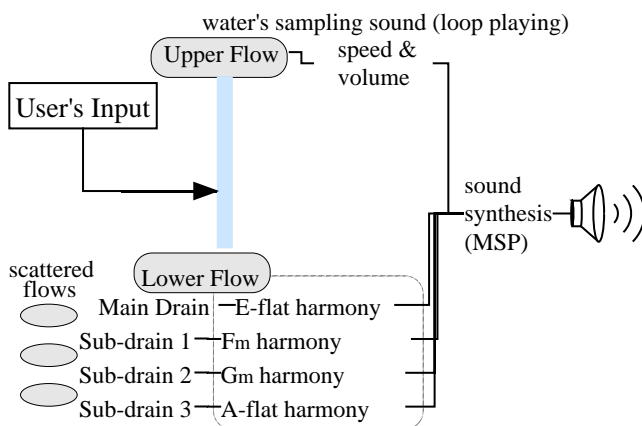


図 4.23: 音響制御 (#2-4) のソフトウェア構成

4.5.2 ソフトウェア #2-3: 音階制御

音階制御では、上部流量は 4.3 節と同様に各 MIDI note の音量と音長を決定する。しかし下部流量ではそれぞれの Drain に、その高さの降順に、E-flat, F-minor, G-minor,

A-flat の音階の Table をマッピングし (図 4.22 参照), 水を受け止める難しさを音楽的緊張に反映することを狙った。そしてそれぞれの受け止める流量を反映した音高の note を出力する機構とした。これによりユーザは水を流し入れる Drain を選択し和音を変化させることができるようになった。

4.5.3 ソフトウェア #2-4: 音響制御

次に音響制御では, 本来の水の音を用いた連続的な操作と, それに伴う連続的な音の変化の実現を狙った。あらかじめ水の音を録音し, 5トラックの同じ水の音を循環させる。まず上部流量は音量と同時に再生速度を決定する。ここで上部流量と Main Drain における下部流量の差分が閾値を超えたとき, 水流に対するユーザの入力があったと見なし, 5つの水の音に共鳴フィルタをかけた。この時フィルタの中心周波数を, 音階制御と同じく E-flat, F-minor, G-minor, A-flat の和音の Table により与えた (図 4.23 参照)。これにより, 前節の音階操作と同様に Drain の選択により和音の変化を楽しむと共に, ユーザは水を触れることにより, 音色が水の音から音楽的な和音へ連続的に変化することを感じることが出来るようになった。

4.6 考察

4.6.1 水の触覚の利用について

水は様々な感覚器に独特のフィードバックを返す。例えば, 視覚的な光の反射・屈折, 聴覚的には水の音そのもの, 触覚的には温度・水圧といったものが挙げられ, それぞれの感覚に与える水の特性を活かした作品の可能性はある。しかし, インタラクティブ性を十分に活かすためには身体的直接操作感覚が必要だとされる [63] ことを考慮すると, 触覚の利用がインタラクティブアートにおいて重要であることが考えられる。

空気は水と同じ流体であっても常に我々の肌に触れるものである。それに対し水は空気と異なり, 我々の生活で常に触れている対象ではないため, 時間変化している水圧は我々の注意を更に喚起することができる。つまり水を用いたインタフェースは, 時間により形を変化させる流体を触覚・視覚的に認識させる。よって本システムでは水の触覚を用いることにより, 水と音や音楽の変化が結びついたような操作感覚を生むことに成功したと考えられる。また, 本システムでは水自身とのインタラクションに限らず, 日常親しむ蛇口を介して水を用いている。他にも, Tangible Sound #2 における水の受け皿を用意したことがユーザの操作行動を誘導する結果をもたらし, 周辺のインタフェースデザインの工夫が水とのインタラクションを触発する意味においても重要であることが経験的に確かめられた。

4.6.2 環境的要因の作用

Stand Alone Mode では、4.4.3 節の楽器制御モードと 4.5.3 節の音階制御モードでは、下部流量変化を発音タイミングとした MIDI の note がハードウェアのクロックにより出力され、その音程は各漏斗が受け止めた流量により決定する。水自身の動きにより下部流量における水位が変化し発音タイミングとなるため、水が常に流動していることを感じさせるシステムとなった。また、思い通りに動かせる固体対象ではなく、こぼれ落ちる水による演奏も為されるため、水を用いたサウンドインスタレーションは環境的要因の作用を取り入れることに有効であると考えられる。音楽的な楽器としての可能性として、水の扱いづらさ・環境的要因の介入を含んだインタラクションを取り入れるための独特な音のマッピングを更に考慮する必要があるだろう。

4.6.3 音楽インタラクションの拡張

公開展示の反応より、水遊びの要素を更に導入することで効果的な没入感を付与できることが推測される。水の触覚そのものが、楽しめるフィードバックとして重要な効果をもたらしている。水を触覚メディアとしてシステムに持ち込むことで、ユーザが音楽に触れることへの楽しみや親しみを得ながらパフォーマーとなることが可能になったと考えられる。そして、楽しみを伴いリアルタイムの音楽フィードバックを返す楽器が実現したことにより、従来楽器による演奏からユーザ層を拡張することができると思われる。

4.7 評価実験

4.7.1 評価実験の手法提案

この節では、新しい音楽モダリティにおけるユーザのインタラクションについて評価するための手法を提案する。その際、第 3 章の 3.5 節に述べた、インタラクティブ楽器システムにおける重要な点 p1(操作方法が簡単)、p2(なるべく多くの楽しみ方を持つ)についておもに評価する。

Tangible Sound による全く新しいインタフェースにおいて、ユーザが新しいモダリティを獲得することができるか、またその新しいモダリティにおいて、新しい楽しみ方や創造性が刺激されるかどうか、その結果として操作の組み合わせが生まれるかを評価する。

Tangible Sound において流体を用いた利点について表 4.2 に示した、操作性、水自身の持つ表現力、インタラクションの楽しみについて評価するため、音楽をフィードバックとして与えない場合において、水とタッチパッドでは実際どのようにユーザインタラクションが異なるか、観察する。そのため、音楽のフィードバックがない状態での、Tangible Sound におけるユーザインタラクションとタッチパッドによるインタラクションを比較した。

表 4.2: 他のインタフェースとの比較

	流体 (水)	固体 (タッチパッド)	気体 (空気)
操作性			×
物質の持つ表現力		×	?
インタラクションの楽しみ			?

上記の項目を評価するにあたり，操作性を評価するために，ユーザに操作目標の課題を与え，ユーザ行動を記録し，調べる．

水のインタフェースを導入した利点について水とのインタラクションそのものの楽しみが存在するかを調べるために，音楽フィードバックを含まない流水とのインタラクションと，同じく音楽フィードバックを持たないタッチパッドとのインタラクションを記録し，比較する．これによって，物質の持つ表現力についても記録し比較することができる．

また，音楽表現ツールとしての楽しみを評価するために，音楽のコンテンツを，水の音，ピアノに限らず，水自体の音，水の音をピアノの音のように区切ったもの（ポチャポチャ言う音），ピアノの音ではない楽音で連続的に変化させる，など多くの条件下で実験を行う手法も有効である．今回の評価手法では，システム実装の際に準備した音楽フィードバックを利用し，

1. フィードバックとなる音楽コンテンツが無い状態の場合，
2. マッピングを 4.5.2 節に示した #2-3 の音階制御の場合，
3. マッピングを 4.5.3 節に示した #2-4 の音響制御の場合

においてそれぞれユーザインタラクションを記録し，比較する．

同時に，水によるインタラクションを通じ，音楽の要素を組み合わせで演奏の創出を楽しむことができるかどうか観察する．

これらを実験する手法として，以下の 3 通りの手法を検討する．

- コントローラビリティの評価 (センサ値より評価)

あらかじめ演奏の種類を与え，決められたタスクをユーザはこなしているか．そのタスクが水というメディアによってどの程度実現されたかを調べる．

- SD 法による主観評価

あらかじめ演奏の種類を与え，ユーザとしては，習熟した点があったかどうか，与えられた課題以外の演奏を発見したかどうか，ユーザ自身による評価を行う．

- プロトコル分析による客観評価

あらかじめカテゴリ分けした演奏方法を用い、その組み合わせや、与えられた演奏のカテゴリに存在しない新たな表現手法を発見することができるか調べる。

上記の評価手法に必要な課題として、以下の3種に絞った。

1. Source 流量の調整作業
2. 流水へのインタラクションをする作業 (触るか触らないかの違いのみ)
3. 流水へのインタラクションにより、Main Drain, Sub-drain1, 2, 3 のそれぞれに水を流し込む作業

実施方法の詳細とその結果を付録 A 章に示す。

4.7.2 評価実験の結果と考察

課題に関する主観評価

音楽(楽器)経験者非経験者ともに、課題1の蛇口のインタフェースが最も扱いやすかったとの回答を得た。図 A.5 を見ると、手で水の流れを止める操作(課題2)と、水流を Sub-drain 1 に流し込む操作(課題3-2)に対する評価が若干低い。課題2では、自由回答にあった、手が濡れてくると完全には水流をとめられず常に水が盛続けるといった難点に起因すると考えられる。また、課題3-2は、Main Drain の後部に配置したため、Sub-drain 1 のみに水流を流し込むという作業は困難であったようだ。また、右利きの被験者によると、右手で流水を右側の漏斗に流し込むのは困難という報告があった。これらを踏まえ、ある程度自由なインタラクションを可能にするため、ユーザ定義の漏斗の配置を可能にすることも考えられる。

水による新しいインタラクションの発見

与えられた操作以外に自分で発見し試みたインタラクションがあったかという質問に対し、10人中6人があったと答えた。

図 A.4 の操作例に示すように、実験1における操作と実験2における操作が全く異なる種類であることが多かった。例えば図 A.4 の2つめの図の、初期の段階で Source の流量が短期間に増減を繰り返している。これは、自由回答における蛇口を小刻に動かす試みだと考えられる。

こういった試行は、音のフィードバックの種類に関わらず発見されている。これは、水の持つ特性が音楽におけるモダリティに多大な影響をあたえ、音楽よりもむしろ水自身の独特な触覚や視覚的な効果により、新たに発見されたインタラクションだとも考えられる。

また、水による新しいインタラクションについて、タッチパッドと比べた結果、ユーザのコントロールは精度を落とす。しかしながら、タッチパッドへの平坦な入力に対

し、水は水自身の動きを表現とすることができると考えられる (図 A.4 の 3、4 番目のグラフ)。

一方、新しい操作を発見しなかった被験者は、与えられた課題の操作に時間がかかり、1 分間では自由な演奏を発見できなかったとも考えられるため、課題をまず与え、その次の別の時間枠で自由な演奏を行わせるという評価手法に変更する必要があると考える。

“Tangible Sound” では、水の持つ独特の触覚がもたらす音楽モダリティへの影響が大きい。また、水は、タッチパッドなどの既存のインタフェースでは得られない、水自身の揺らぎといった表現力を持つ。それによって、音楽によるフィードバックよりむしろ水自身の揺らぎ、触覚などの特性がユーザの音楽モダリティを構成すると考えられ、水をメディアとして用いた意義を確認した。

4.8 今後の展望

本章では、流体を用いたインタラクションによる音や音楽の表現制御のための試作、Tangible Sound #1 と #2 について紹介した。音表現の入力にリアルタイムの水の触覚刺激を援用し、時間経過による水の形状変化と音の変化を関連付ける経緯を述べた。そして、触覚 VR を用いたインタラクティブアートの有用性と、その楽しみや親しみによる楽器の拡張について考察した。

今後の課題として、水流制御の改変が考えられる。現在 Source の形状は一つの蛇口であるが、それを複数にすることで、複数ユーザの参加を可能にし、限定されていた音制御のパラメータを増やすことができる。また「流れている水」のみでなく「ためられた水」に対する作用をセンシングすることも興味深い。そのためには、水圧などユーザの触圧覚と同等のものをセンシングする方法を用い、水の触覚の援用を促進できると考えている [64]。また、飛散・渦など場や広がりのある値を計測すれば、より複雑な水への入力が可能になる。

最後に、応用について述べる。現在水の触覚を楽しむ場として、プールなど全身で水を感じるものがある。3 章の Iamascope システムと同様に、接触のない、もしくは新しい感触を伴う接触において、プールの水遊びと同様に、楽器にも全身体感的インタラクションを取り込み没入感を生じさせることにより、今後の楽器インタフェースの新しい展開の可能性がある。これらを踏まえ Tangible Sound の実用的な応用シーンの可能性として、以下が考えられる。

1. 家庭内での水道水の利用環境に適用
2. プールや風呂等大規模な水のアメニティに適用
3. 音や音楽教育のきっかけとしての利用
4. 自然環境でのアウトドアアメニティとして利用

流体に対する様々な入力方法は一座標方向に流れる水に対するものとは限らない。追加の余地のある水センシングとして、水圧・飛散・渦など、場や広がりのある値を計測できれば、より複雑な操作が可能になるだろう。

4.9 まとめ

本章では、流体との接触を通じた新たなインタラクションによる音楽表現を提案し、実装したシステム“Tangible Sound”を紹介した。

楽器はこれまで音楽の専門家やそれを目指す芸術の体系の内部に含まれていたが、インタラクティブアートの一般性により多くのユーザに開かれたものとなることが可能である。水に触れるインタフェースにより、音に対する触覚 VR を援用し、インタラクティブアートの触れやすさと楽器の音とのインタラクションの楽しみを同時に満たすことで、従来楽器を拡張することにつながると考える。

本章で示したような新しい楽器インタフェースの拡張は音楽そのものの拡張や新たなユーザ層の展開の可能性を広げると考える。さらに音楽の社会的な位置づけや定義まで拡張できると考えている。

本システムを従来楽器による古典的な音楽演奏・聴取から Computer Music による作曲など、音響生成から音楽演奏までを可能とする様々な音楽のモダリティを拡張する契機としたい。今後も『音響や音楽は時間により変化してつかみにくいもの』という定義を前提に、何らかの対象との接触を焦点として、水による時間変化の特性を用いて音とリンクさせた本システムを契機として、新しい楽器のモダリティの検討をしていきたいと考えている。

第 5 章

ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーション

概要

本章では、ぬいぐるみとのインタラクションが音楽を生み出すシステムを、新しい音楽コミュニケーションとして提案する。ATR 知能映像通信研究所にて、Brian Clarkson ら [65][66] と “Com-Music” を実装した。その際筆者はセンサ配置部分・音楽マッピング部分を担当した。ぬいぐるみに様々なセンサを埋め込んだ “Com-Music” は、隠れマルコフモデルにより予めラベル付けされたジェスチャー認識を用い、ユーザとぬいぐるみとの間に行われるインタラクションのレベルを判断する機構を持っている。本章では、3 章に述べた、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うための設計指針を適用し、インタラクションの頻度・強度が音楽マッピングを変更し、状況や文脈によって異なる音楽を作る新しいタイプのコミュニケーションについて考察する。

In this chapter, I propose a music expression system which generates music by interaction between the user and a sensor-equipped doll named “Com-Music.” Since the sensor-doll includes various sensors and a PC, it can detect not only raw data but also pre-defined gestures and contexts using HMMs (Hidden Markov Models). The doll has five levels of interaction as pre-defined contexts, that correspond to the strength and the frequency of the interaction with the user. Each interaction level has different set of music control mappings, so the doll reacts with music expressions correspondent to context. In this chapter, I consider the sensor-doll system as a device of the new type of communication, which uses music expressions as the communication media.

5.1 はじめに

人間とコンピュータのインタラクションが自然なコミュニケーションであるためには、コンピュータは決まった答を返す箱ではなく、その時その時の文脈に応じた返答をする適応的なシステムであることが必要とされる。その文脈や状況と、それぞれの状況下でのユーザの行動とその意図をいかに多く把握しているかにより、行われるインタラクションが豊かな要素を与えることができるようになる。これまで、文脈適応型システムは特に個人化ガイドシステムの機構として議論されている。例えば Abowd による Cyberguide システム [67] は教室内などのグループでの利用により、個人情報と全体の情報をあわせ持ったモバイルコンピューティングの提案がされている。また、角らは美術館や見本市、学会における展示でのガイドエージェントシステム [68] を提案している。

それに対し、ここでは人間同士の非言語コミュニケーションチャンネルの一つとして、文脈認識機構を持ったセンサぬいぐるみシステムを提案する。ぬいぐるみはその接触を通じて幼い子供が情操を養うのに擬人化して用いたり、その触覚を伴った疑似コミュニケーションでままごとを行ったりするのに用いられる他、大人にとっても同様に親しみやすい存在である。ぬいぐるみと人間のインタラクションの中には主体性を人間がつかさどり、一方的に仮想的なコミュニケーションを展開しているという見方もできる。ぬいぐるみとの、文脈を持ちつつ接触を中心としたマルチモーダルなインタラクションに着目した。そして、人間同士のコミュニケーションを補助する親しみやすいデバイスとして、ぬいぐるみを活用することを提案する。

本文では、文献 [65][66] で紹介したぬいぐるみとの音楽コミュニケーションシステムを紹介するとともに、文献 [69] で提案したぬいぐるみシステムについての評価手法を用い、ぬいぐるみを用いて音楽生成を行うことが表現として有効であるかについて、検証する。

ロボットとのインタラクションにおいては、図 5.1(a) に示されるようにロボットは活動的で強い人格を持つためユーザとロボットの関係が対等になる。これは人間同士のコミュニケーションを補助する用途ではむしろそれを妨げる可能性もある。そこで人間が主体性を持つことができる、図 5.1(c) のような人間同士のコミュニケーションデバイスを実現するためのステップとして、図 5.1(b) に示すぬいぐるみと人間とのインタラクションを実現するシステムを設計した。特に、ぬいぐるみがロボットやおしゃべり人形のような強すぎる主張をせず、主体となる人間自身の環境的要素になるよう考慮した。すなわち、ぬいぐるみのアクチュエータとして音や音楽のみで表現し、メッセージ性の強い表現や言葉を用いないこととした。

試作したぬいぐるみシステム “Com-Music” は、カメラやマイク、圧力センサなど様々なセンサと、それらの情報を処理するための PC をぬいぐるみの内部に持つ。ぬいぐるみはあらかじめ数種類の内部状態を与えられ、ユーザの入力行動のレベルを状況として認識し、内部状態を変化させる。異なる内部状態により音楽マッピングを変化させることで、同じ入力でも文脈により異なる反応をする。

本章では、まず、5.2 節においてこれまでに行われている幾つかの文脈適応型イン

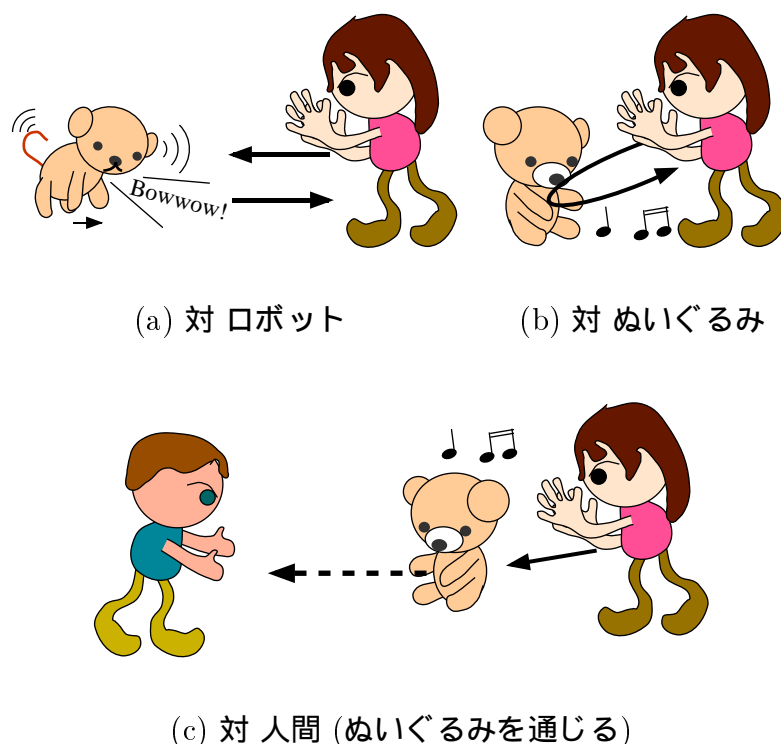


図 5.1: 擬人化ぬいぐるみコミュニケーション

タラクション生成システムを例に挙げ、ぬいぐるみとのインタラクションを拡張させた本システム開発の背景について述べる。そして、5.3 節では、著者らが開発したセンサを埋め込まれたぬいぐるみシステムのコンセプトに沿った内部処理、ハードウェア、そしてインタラクションに伴う音楽生成手法について具体的に記述し、最後に 5.4 節においてぬいぐるみインタフェースと音楽表現によるインタラクションの表現方法についての考察をまとめる。

5.2 関連研究

前節に述べたように、人間とロボットとのインタラクションについての研究が行われる一方、ぬいぐるみや人形を親しみやすいコンピュータインタフェースとして用いるための研究も多く見られる。

Alan Kay ら [70] の Vivarium Project では、人工知能による電子生態系プロジェクトの一環として、コンピュータと人間のインタフェースにぬいぐるみを用いる試みを行っていた。人と同じくらいの大さのぬいぐるみシステム “Noo-bie” は、表面の至る箇所に様々なセンサを埋め込まれ、ユーザの接触により腹部のディスプレイに様々な反応が映し出される。

SIGGRAPH98 にて展示された、Johnson ら [71][72] による “Swamped!” システムは、センサを埋め込まれたぬいぐるみへのユーザ入力を判断し、あらかじめ構築され

ている視覚的な仮想世界の、場面場面に応じたキャラクターの行動をコントロールするものとして用いられている。ぬいぐるみを共感的インタフェースとして提案している点が、本章で提案するシステムに関連する点として注目できる。しかし「場面」という一種の文脈を導入しているにも関わらず、ここでは主に視覚的なコントロールに用いられており、インタフェースがぬいぐるみである必然性はない。

それに対し、ままごと遊びにおけるぬいぐるみの存在が「パートナー (エージェント)」として、また「自分の代わり (アバター)」として見なされることに着目し、そういったぬいぐるみ独特の役割をインタフェースに導入することを提案する。

稲葉ら [73]、星野ら [74] による触覚センサスーツは、ヒューマノイドロボットの接触位置情報を検出する目的で開発された。これと同様に、ユーザのコミュニケーションとしての様々な接触を検知するためにぬいぐるみの表面にセンサスーツやセンサシートを設置することも可能である。センサスーツは接触する位置情報を詳しく検出するためにはふさわしい手段である。しかし“Com-Music”のシステムでは、例えば曲げセンサや接近センサなど、他の種類の接触にも対応したセンサの配置を考慮し、接触の検出が必要な位置を絞って圧力センサを配置した。また、Nayaら [75] の、ペットロボットの接触インタラクションのためにセンサシートを用い、特徴を抽出する試みは、ぬいぐるみとユーザのコミュニケーション抽出に参考になると言える。

他にも、おもちゃ市場ですでに取り扱われている様々なぬいぐるみシステムが存在している。“My Real Baby” [76] は様々なセンサを埋め込まれた乳児の人形で、感情の種類をいくつか持つことによりその感情に応じた反応を返す。“Furby” [77] は様々なセンサを取りつけられ、ユーザの入力に対して言葉や簡単な動きで反応を返す、広く知られているぬいぐるみである。しかしこれらのシステムは、あらかじめ決められた言葉による反応など、設計された反応により予想されていたやりとりをする遊び相手としての存在に過ぎない。“ActiMates Barney” [78] は同様に子供の学習のための遊び相手として取り扱われているぬいぐるみシステムである。単純な返答をする“Stand-alone toy”モードのみでなく、テレビやコンピュータとつなげて連動するぬいぐるみにもなる。しかし現段階では、他のぬいぐるみ商品と同様に、あらかじめ言葉が録音されているため、反応の種類も乏しく、子供とぬいぐるみがコミュニケーションしていることを見ることは難しい。

土井ら [79] は音声入力型のぬいぐるみエージェントガイドシステムを提案している。これはぬいぐるみとのインタラクションに音声対話を導入している。親しみを持つことのできる相手と見るには、Tactileな入力に対するあらかじめ決められた言葉の応答よりも土井らのシステムは効果的であると考えられる。しかし実在するぬいぐるみをデバイスとして十分に活かしているとは言いがたい。鈴木ら [80] は、言葉ではなく非文節音を利用してぬいぐるみと対話することを提案している。これは言葉以外の新しいメディアを用いたインタラクションとして興味深い。しかしここで紹介されたシステムはユーザの感情を表現するツールやエージェントといった役割を持たない。

言葉による表現はユーザ自身により行い、非言語の表現においてぬいぐるみの助けを借りる方法を検討し、音楽による表現を採用した。ここで、あらかじめ準備する反応の枠組みとして音楽のパラメータを準備し、ユーザがその反応の変化を楽しみなが

ら，コントローラのようにぬいぐるみを操作し，同時にぬいぐるみを生きている対象のように扱いコミュニケーションを行うことを目指す．

音楽を表現することを目的とした，対話的なロボットシステムとして，Camurriら [81] や Suzukiら [82] が開発したダンス共演ロボットがある．これらは，ユーザとの関係を音や音楽に変換しながら，コミュニケーションを図るという提案をしている．しかしこれらはあくまでロボットと人間の対等な関係であり，そのインタラクションの主体はロボット側にある．他にも，自律的で単純な音楽表現をするシステムとして，Wassermanら [83] による“Roboser”がある．ロボットが感じた様々な状況を音楽に変換し，ロボットは周囲の状況（人間とのインタラクションもその一つとして含む）に対し音楽要素を返す．しかしここではユーザはロボットとの関係性などを反映したインタラクションを行うことはできない．

西本ら [84] は，人間のグループ思考では，思考主体の遷移に基づいて，個人思考モード，意思疏通モード，共同思考モードを行き来するグループ思考モデルを提案した．これは，人間が通常の生活で行き来するコミュニケーションに含まれる，思考活動のパターンでもある．子供のままごと遊びにおけるぬいぐるみの利用において「自分の相手」「自分の分身」として用いていることを，文献 [84] の個人思考モード，意思疏通モードと共通していると思われ，ぬいぐるみをこれらの思考過程のサブプロセスであると捉え，各モードにおいて，ユーザの情操や思考活動の支援をする主体としてぬいぐるみを想定する．すなわち，個人思考モードにおいては，ユーザの相手となり，ぬいぐるみ-ユーザ間での相互コミュニケーションを行う．また，意思疏通モードにおいてはユーザの分身となり，他の人間とのコミュニケーションにおいてユーザの意思表示を行う，というものである．ここではセンサぬいぐるみを用いることで表現を豊かにすることを支援できると考える．

このように，一つはコントローラとしてのぬいぐるみ，もう一つは文脈に応じた異なる反応を持つ相手としてのぬいぐるみという，二つの役割に適応的に動作するコミュニケーションデバイスとしてのセンサぬいぐるみを提案する．動的なロボットとのインタラクションでは，ユーザはロボットと対等なやり取りを行おうとするため，コミュニケーションのツールとしてではなく強いパーソナリティを持つ対象として見なされる．特に人間と人間のコミュニケーションツールとしてぬいぐるみを用いるためには，受動的なぬいぐるみの持つ役割の柔軟性を用いることが重要である．

多田ら [85] [86] による携帯・ウェアラブル型による，場を演出する音楽演奏支援装置の研究では，個人のインタフェースはコントローラに徹し，セッションの創出に工夫をしている．しかし本文のぬいぐるみは，そのコントローラ部をユーザに適応的で親密なインタフェースにすることを主眼としている．

Clarksonら [87] による“Wearable Sensor System”は，ユーザの洋服など身の回りにカメラやマイクを設置し，HMMを用いてユーザの状況認識を行うシステムで，庭や地下鉄，台所などの場所を特定することができる．HMMは先述の“Swamped!”システムでもジェスチャー認識に組み込まれており，多くのセンサによる複合的な状況認識で効果的である．文献 [88] の Toy 型インタフェースでは上記の技術をぬいぐるみに応用し，幼児期から生涯を共にする自動日記ウェアラブルシステムを紹介している．

この Toy 型インタフェースの研究におけるセンサの種類・数や状況分析の手法などを基本に，ぬいぐるみシステム “Com-Music” は構築されている．

Aibo[89] や R100[90]，タマ[91] といった市販のペット・ロボット/パーソナル・ロボットは感情持っていたり，自律的に反応を返し，人の情操を伴うおもちゃとして人気がある．大野ら [31] は電子ペットを道具としてトレーニングに用い，ある意味では主体性を人間側に与えているとも考えられる．これらのシステムは自律的に動きロボット自身の表現を行うが，ぬいぐるみは表現支援の役割を果たすことができる．

5.3 システムデザイン

5.3.1 ぬいぐるみとのインタラクションモデル

まず，図 5.1(b) に示されるような，人とぬいぐるみとのインタラクションを念頭に，センサを埋め込んだ文脈適応型ぬいぐるみをコミュニケーションに用いるためのデザインをした．

はじめに，人間同士のコミュニケーションを参考とするため，入力の種類・結果により以下の 4 タイプに分類した．

1. 単純な入力に対して即座に反応をする
c1: $Input_n \rightarrow Reaction_{n+\Delta}$
2. 連続した入力群に対して即座に反応をする
c2: $Input_{n \rightarrow n+i} \rightarrow Reaction_{n+\Delta}$
3. 単純な入力に対して反応のモードが変わる
c3: $Input_n \rightarrow Mode_{n+\Delta}$
4. 連続した入力群に対して反応のモードが変わる
c4: $Input_{n \rightarrow n+i} \rightarrow Mode_{n+\Delta}$

例えば，1. は，声をかけたら相手が振り向いたり，子供を叩くと泣き出すなどの反応を指す．2. は，ある種のジェスチャーを見せることで乳児が笑うなどの反応が当てはまる．3. は，思わずひどい言葉を吐くとその後の人間関係にひびが入るなど，コミュニケーションの「モード」が切り替わる場合が例として挙げられる．4. は，お見合いの席で自分が発言した言葉群の総合が次回に相手が見る見方となるような場合を例として挙げられるであろう．

よって，ぬいぐるみとのインタラクションに 1) コミュニケーションのモードとなるぬいぐるみの内部状態と，2) それぞれの内部状態における即座な反応を準備することでより豊かなインタラクションを設計できると考えた．

5.3.2 ぬいぐるみの内部状態の設計

上に挙げたコミュニケーションのモデルに基づき、センサぬいぐるみに 1) コミュニケーションのモードになる内部モードとそれを変化させる機構、2) それぞれのモードにおいて入力を音楽に直接翻訳する機構を設計した。まず、仮に乳児とのインタラクションを想定し、ぬいぐるみの気分などを表す 5 つの内部状態を準備した。

Level 0: 眠っているが周辺に興味がある。呼吸音を立てている。

Level 1: ユーザとの出会いの段階で、接触に反応する。返事のような声を返す。

Level 2: 温かみのある、より親密なコミュニケーション。呼吸の音を和音に変化させ、返事のような声も音階に沿った音程になる。

Level 3: 音楽によるコミュニケーションの段階。リズムやメロディー、和音を持つ即興の曲をユーザと協調して演奏することができる。

Level 4: コミュニケーション不能の暴走状態。リズムやメロディーは存在するものの、混乱を表す音楽を出力する。

ぬいぐるみのこれらの内部状態はユーザとのインタラクションの強さ・激しさ (Interaction Level) の変化によって遷移する。

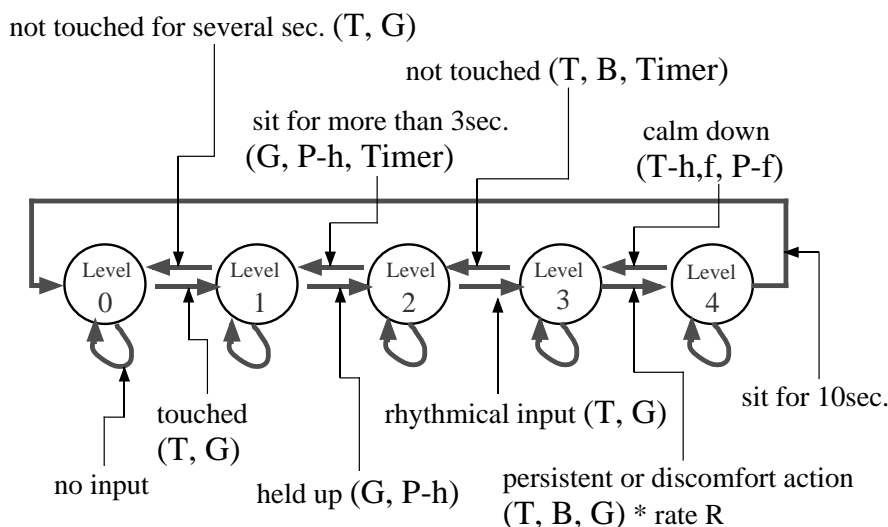
5.3.3 内部状態の遷移モデル

上に述べた 5 つの内部状態を変化させるため、内部状態の有限オートマトンを準備することにした。図 5.2 に示すように、それぞれの内部状態においてそれぞれの異なる種類の入力信号がイベントとして認識され、遷移のトリガーとなる。そのため、現内部状態に応じたイベント認識機構が働いている。現内部状態がぬいぐるみの Level 0 から 4 に示されるようなインタラクションの文脈を決定し、状態に合った出力を得る。

ここであらかじめ与えた遷移信号となるイベントは、ぬいぐるみとユーザの間で行われると想定されるいくつかのインタラクションの中から割り振った。この遷移モデルに基づき、あるイベントはある状態から他の状態への遷移信号となったり、他のイベントは同じ内部状態を保つための信号となったりする。例えば、Level 1 のときにぬいぐるみが「抱き上げられる」というイベントを認識したとき、ぬいぐるみの内部状態は Level 2 へ推移する。これにより、Level 2 における「温かみがあり親密である」コミュニケーションをぬいぐるみが認識し、内部状態を変化させるという目標は達成されている。他にも、Level 2 の状態の時に、ぬいぐるみは常に様々なタイプのリズムカルな入力を検出する認識器を動かしている。そして何らかのリズムカルな入力があったと認識したとき、ぬいぐるみの内部状態は Level 3 へ推移する。そして Level 3 においては「音楽を表現メディアとしたコミュニケーション」を達成する。

5.3.4 センサぬいぐるみの構成

センサぬいぐるみの本プロトタイプにおいて、すべてのセンサ入力をぬいぐるみの PC で内部処理できる。今回の実験システムでは、音楽生成や音響合成を行う別の PC Station へ、センサのデータを無線 LAN によって送り出している。PC Station 内でセ



G = G-force sensor, T = Touch sensor, P-h = Hip proximity sensor, P-f = Face proximity sensor, B = Bend sensor, T-h = Head touch sensor, T-f = Face touch sensor

図 5.2: Interaction Level の遷移

ンサのデータは MIDI に変換され、そこで内部状態の遷移とそれぞれの内部状態に基づいた音楽生成操作を行う。それらのシステムを図 5.3 に示す。今後はすべての処理をぬいぐるみ内の PC で行う予定である。

センサぬいぐるみは、140mm x 100mm x 40mm 程度の小さな PC(OS は Windows2000) と、無線 LAN カード (Wavelan)、電力供給部分 (7.2V, 2360mAh の電池使用、ただし実験時には AC/DC 変換器により交流 100V から直接電力供給)、A/D 変換器、そして様々なタイプのセンサを内側に含んでいる (図 5.4 参照)。センサは、ぬいぐるみの鼻の部分に USB カメラ、耳に USB マイクが埋め込まれている。他に、それぞれぬいぐるみ内部の、腹部に G-force(加速度) センサ、手足それぞれに曲げセンサ、ぬいぐるみの内部と外部それぞれに温度センサ、鼻と臀部に接近センサ、頭部・腹部・背中・両手に圧力センサ (タッチセンサ) を設置した (図 5.5 参照)。これらのセンサは、例えば抱きしめるというしぐさにおいて鼻の接近センサと他の圧力センサを組み合わせで判断するといったように、複合的に用いられることもある。

上記のセンサの値は、まずパターン認識器に送られ、そこから得られたジェスチャーやイベントの信号は内部状態の遷移信号として用いられる他、センサからの値と同時に文脈適応型ジェスチャーインタプリタへ送られる。そこで内部状態に応じた音楽要素マッピングにより、各入力に対応した音楽生成を行う (図 5.6 参照)。

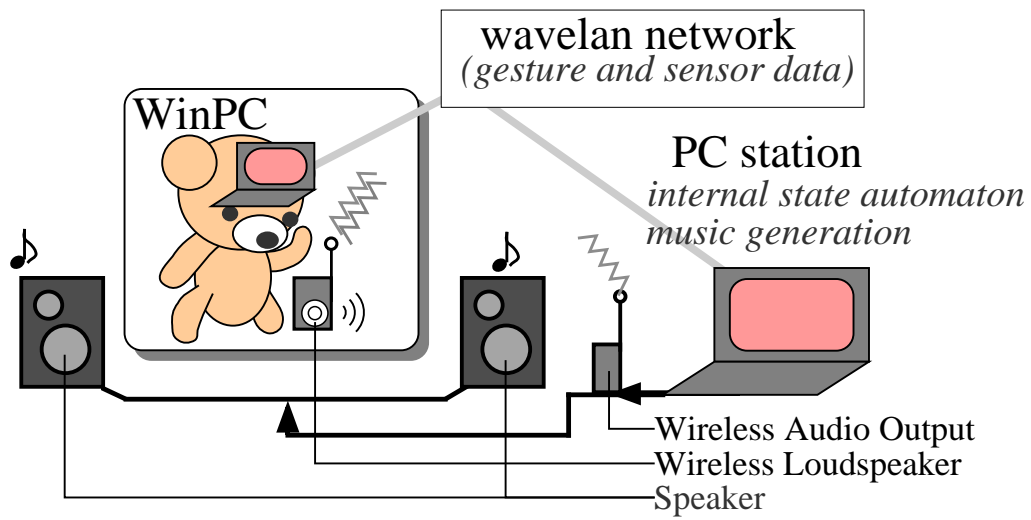


図 5.3: システム構成

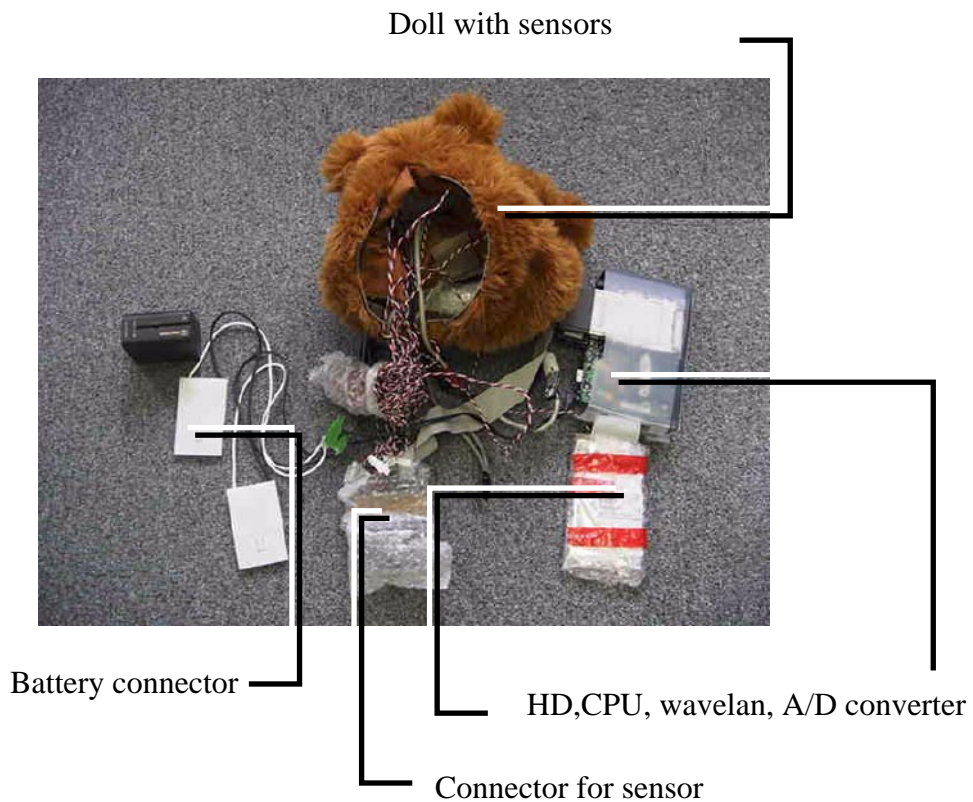


図 5.4: ぬいぐるみ内部の設置状況

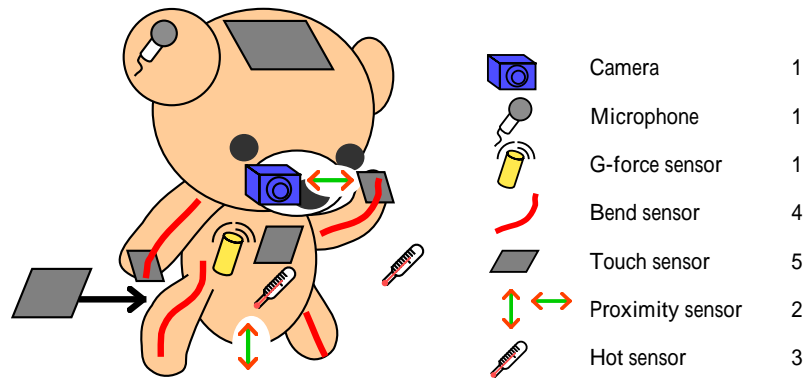


図 5.5: センサの設置

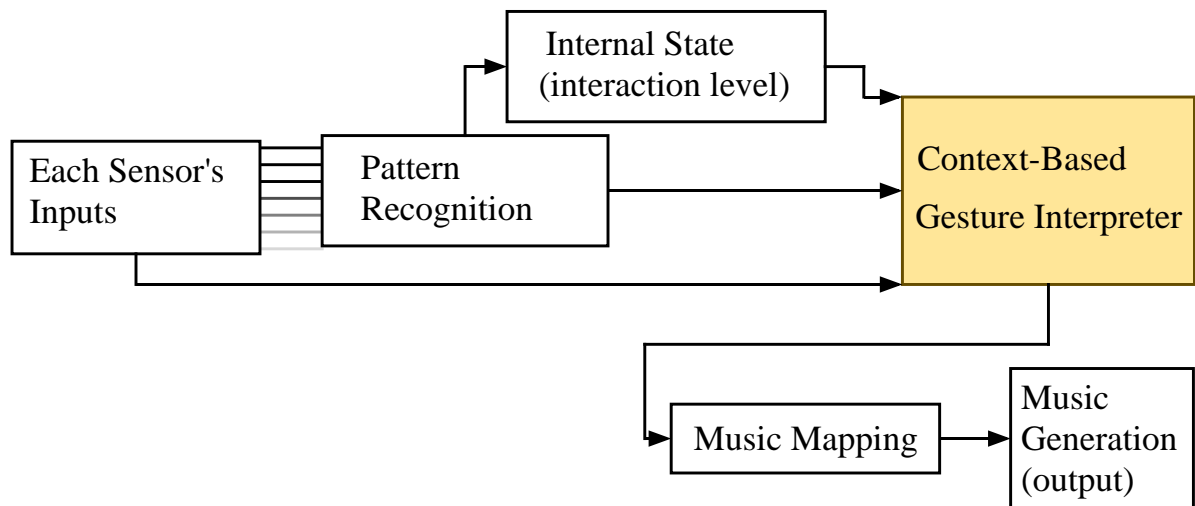


図 5.6: センサぬいぐるみのデータ処理の流れ

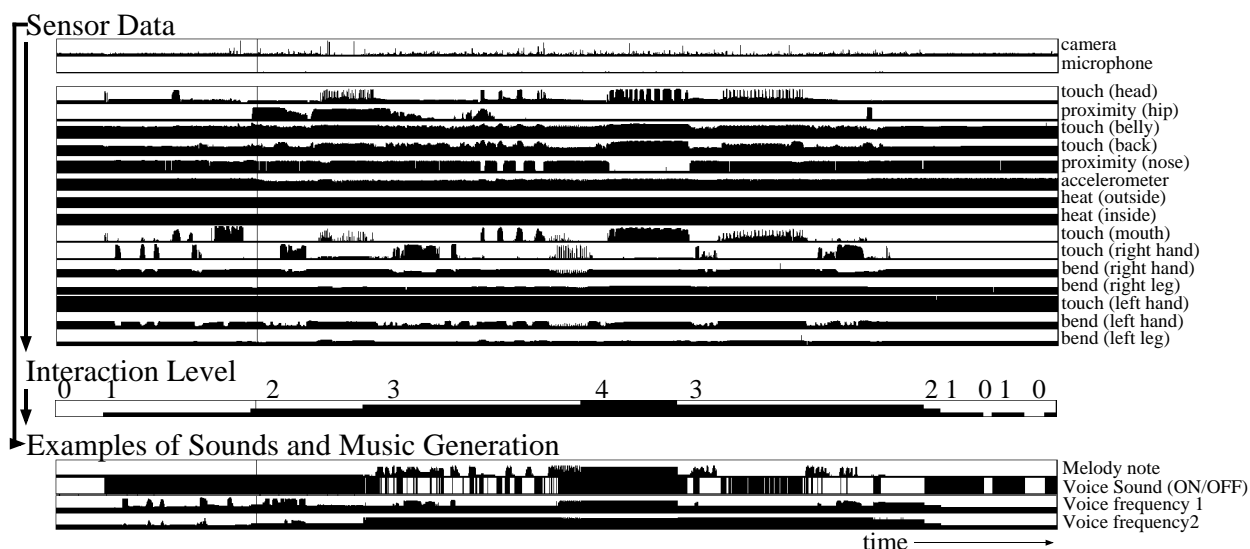


図 5.7: センサ入力から Interaction Level, 音楽生成までの流れ

5.3.5 文脈に応じた音楽表現

ここで、唯一のアクチュエータとして用いられる音楽や音の表現のデザインについて述べる。音楽の要素は、例えばメロディーが同じであっても伴奏の和音が異なるとき違った響きを生む。まず下記の音楽制御要素を準備し、ぬいぐるみの気分としての内部状態とそれに応じた音楽マッピングを試みた(図 5.3.4 参照)。周囲を包む環境としての表現を実現するため、室内スピーカを用いると同時に、ぬいぐるみの内部に設置した小型スピーカへ無線で声のような音を送り、主体的な音を出力した(図 5.3 参照)。

1. グローバル: 全体の音量・和音の種類・キー・テンポをコントロール
2. 呼吸の音: 呼吸の間隔・音量・反響フィルタの強さ・音響フィルタにより作られた音の組み合わせの数
3. 声のような音(フィルタをかけられ変化した声のサンプリング): 音量・フィルタにより作られる音の中心周波数・再生速度・反応速度(delay)
4. メロディー: 音程・音の長さ・音量
5. リズム: 音量・リズムパターン

ここから、あらかじめ想定したそれぞれの Interaction Level(5.3.2 節参照) に合った要素を選択し、イベントやセンサからの直接の値に適宜マッピングした。マッピングのパターンは 30 種類ほどあるが、そのうち多くのマッピングは音楽によるコミュニケーションの段階として Interaction Level 3 で用いられている。

表 5.1: 音楽制御マッピングの例

入力のタイプ	Interaction Level	音や音楽制御要素
両手を握る	2	和音の構成音数
	3	メロディーの音量
左手を曲げる	1	声の音の周波数
	2	音階に添った声の音程
	3	メロディーの音程

内部状態によってマッピングが変更するため、ぬいぐるみに対する同じ接触の種類でも異なる音楽や音を出力する機構になっている。例えば、手を握り握手をするというユーザの入力が、Level 0 においては Level 1 へ移行する遷移信号となり、一方、Level 1 においてはその触り方などが反映された返事のような声を出す。また、Level 2 においてはフィルタをかけられた呼吸の音がどのように和音を構成するかその構成音数に反映され、Level 3 においては音楽コミュニケーションの主体と考えているメロディーの音量に反映される(図 5.1 参照)。他にも様々な音楽や音の要素の制御をマッピング変更することで、1) 内部状態 と 2) その時その時の入力の組み合わせにより、発生する音楽や音の響きが異なる。

5.3.6 リズミカルな入力の検出

ここで音楽によるコミュニケーションへ遷移するという Level 2 から Level 3 への移行部分(図 5.2 参照)について説明する。温かい親密なコミュニケーションから音楽的な(規則を伴った)コミュニケーションへ変化することのきっかけとして、リズミカルな入力を用いることにした。またこのリズミカルな入力からテンポを検出し、Level 3 ではそれにあつたリズムを反映することとした。

図 5.8 にリズム検出手法を示す。頭部、背中といった接触センサや加速度センサなどからの直接入力値(図 5.9(a))と、200ms 前のその値との差分(図 5.9(b))をとり、その差分があるしきい値を越えて有意であると判断されるとき、叩いていると認識する。その後その叩いている入力の時間間隔を計算し、時間間隔ごとにヒストグラムを作成して、最も頻度の高い時間間隔を検出することで、その時間間隔を検出されたテンポと考える。このヒストグラムは現在 2000ms の窓内で逐次計算している。

すなわちリズミカルな入力の時間間隔 t の逆関数を周波数 f とし、対数周波数の値域を等分割してヒストグラムを作成した。

$$f = t^{-1} \quad (5.1)$$

$$\log_{10} f = \{-0.2, -0.1, 0.0, \dots, 0.9\} \quad (5.2)$$

上記のように $\log_{10} f$ を -0.2 [0.63Hz] から 0.9 [0.126Hz] まで 0.1 毎に等分割している。

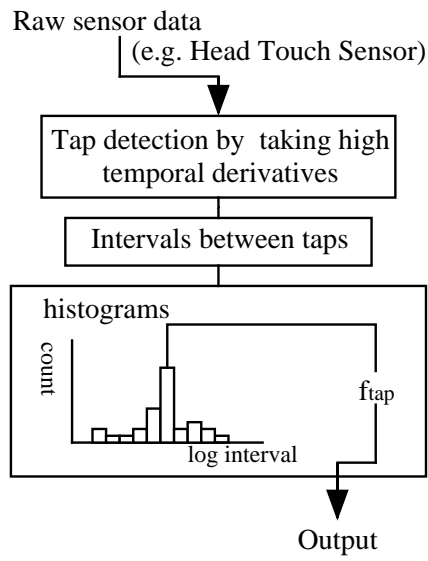
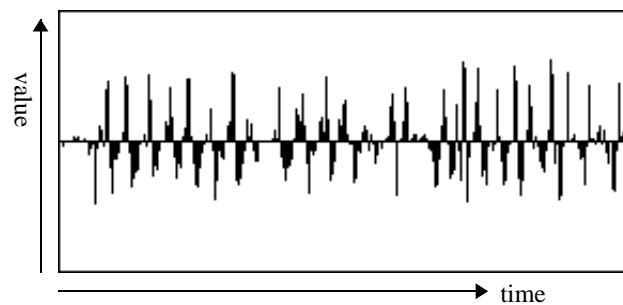


図 5.8: リズム検出手法



(a) 背中を叩くリズムカルな入力



(b) 200ms 幅の差分値

図 5.9: 背中の圧力センサからの値の例

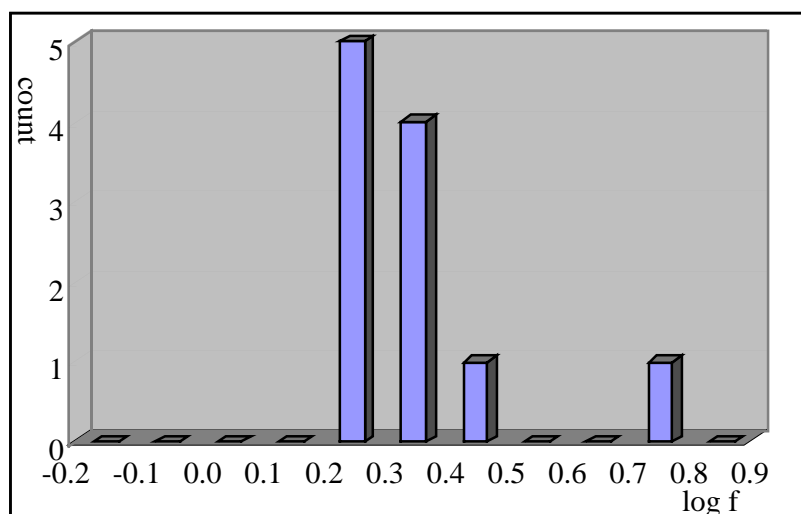


図 5.10: 入力間隔のヒストグラムの例

図 5.9 に例示したデータから得た時間間隔のヒストグラムが図 5.10 である。 $\log_{10} f = 0.2 \sim 0.3$ の範囲で最も頻度の高い入力間隔があったと見なし，その平均 0.25 をとり， $t_i = 10^{-0.25} \approx 0.5623(sec)$ 毎に入力が行われていると判断される。

5.3.7 予備実験

著者らはこのぬいぐるみシステムを公開展示し (図 5.11 参照)，システムに詳しくないユーザがぬいぐるみに対してどのような行動をとるか観察した。親しみを持って接する人の中には幼児や乳児のように反応を見ながらぬいぐるみを扱う人や，反対に単純な音楽コントローラとして扱う人がいたが，圧倒的に前者が多かった。中には，どこにカメラやマイクなどのセンサが埋め込まれているか等の情報を得ているにも関わらず，センサのないふさふさの部分で反応をみるなど，触覚インタラクションを試みる人も観察された。実行風景を図 5.12 に示す。

5.4 考察

5.4.1 コミュニケーションデバイスとしてのぬいぐるみ

本システムの目標は，図 5.1(b) に示したように，ぬいぐるみと人間の間で行われる非言語コミュニケーションにおいて人間が主体性を持ち表現活動を行うことを，音楽への翻訳を通じ実現することである。特にぬいぐるみによるままと遊びの中で観察される，自分の分身としての用途と，パートナーとしての用途が融合した使い方をされているかについて議論する。



乳児用の椅子に座ったぬいぐるみ

図 5.11: 公開展示の様相

即時に反応を返すコミュニケーションの場合、ユーザの表現を実現することが容易で、ぬいぐるみ自身の表現と見なされるのは時間遅れのある反応を得るコミュニケーションではないかと考えられる。ここで、Level 2, 3 では即時に音楽要素に反映するマッピング、Level 0, 1 では時間遅れのある反応を主にマッピングを与えることで、結果として Interaction Level に応じて徐々にぬいぐるみから人へ主体性が移るデザインが実現すると考えている。実際、公開展示の観察を通して、ぬいぐるみの外形を利用することで、人が親しみを持ちつつ主体的に表現をするインタラクションが生じていたことが観察された。

現システムにおける内部状態の遷移図は有限な形であるが、それをユーザ毎に変更可能な、ユーザ固有のぬいぐるみの内部状態として準備することで、ユーザが直接入力の翻訳フィルタを変更可能な人間同士のコミュニケーションデバイスとして拡張できると考える。

次に前節に述べた予備実験から、ぬいぐるみとの接触を含んだマルチモーダルインタラクションについて考察する。ぬいぐるみという受け身のデバイスに対して、様々な入力の可能性がある中で多くは感情を伴う様々な接触によるコミュニケーションの試みが観察された。これらの入力は大まかに 1) ぬいぐるみの注意を引く、2) 意図を持ってぬいぐるみに何らかのジェスチャーをさせるなどユーザ側からの入力を行う、3) 無意識にぬいぐるみに対する入力を行うという場合に分けられた。人間の無意識な身体動作 [92] は、例えば貧乏揺すりのようにその人の気分を無意識のうちに表わす。ぬいぐるみの背を叩くなどの無意識のリズミカルな入力が、ぬいぐるみの内部状態の遷移



図 5.12: 実行風景

を引き起こすことにより、音や音楽のフィードバックが、ユーザ自身にその無意識の入力を気付かせる機能も有していると考えられるが、現時点では未調査である。

このように、ユーザの意図や意識に関わらず様々な入力をぬいぐるみの視点や状況から解釈し、フィードバックを返す本システムは、常にユーザの意図通りに表現活動を行う直接操作型のデバイスではない。しかし、ぬいぐるみの様子や反応を見ながらインタラクションする状態と、ユーザが主体性を持ち表現する状態とが融合したことが、予備実験における、親しみをもちつつ主体的に表現をする様子より観察されたと考える。

5.4.2 音楽コミュニケーションの可能性

本システムでは、既存の意味が固定的に与えられたメディアではなく、自由な表現と解釈の広い可能性を有する音楽をアクチュエータとして採用した。それにより、接触を中心としたマルチモーダルインタラクションを通じ音楽表現を行うことと、意図的もしくは無意識な非言語インタラクションが音楽やその組み合わせによって気付かされたり、喚起されることをねらっている。また、その音楽表現は従来楽器と異なり、ぬいぐるみの内部状態を通じた音楽表現となるため、ユーザによる直接的な表現ではない。これは、例えばやんわりと相手にものを伝える時など、ぬいぐるみの内部状態による翻訳がユーザの表現の助けとなる場合に有効だと考えられる。

5. ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーションシステムの評価手法の提案

5.4.3 ジェスチャーや文脈の認識機構

様々なセンサを取りつけられたぬいぐるみシステムを構築したが、現段階では単純なイベント認識器のみ使っている。今後はぬいぐるみ内部のPCを活用し、HMMによるジェスチャー認識、文脈認識をぬいぐるみの内部処理で行うことを検討している。HMMを用い新たなジェスチャーや状況のモデルをユーザが学習させることで、より複雑なジェスチャーや文脈・状況認識を行い、より正確な環境の情報やユーザの入力を得ることができる。その結果として、より多くの種類のぬいぐるみの内部状態を認識したり、より複雑な遷移図を準備することができ、インタラクションの種類を豊かにすることができると考えている。

例えば図 5.1(b) のモードでユーザがぬいぐるみに状況やジェスチャーを学習させたりそれを修正しておいて、それらを図 5.1(c) のモードで他の人間とのコミュニケーションデバイスとして用いるといったデザインが考えられる。

5.5 本システムの評価手法の提案

これまでの考察・議論を確かめるため、ここで本システムにおけるぬいぐるみインタラクションを評価する手法について考察し、ぬいぐるみを使用したことによって効果を得ると考えている点に焦点を当て、以下の評価実験を提案する。

5.5.1 モードが変化することの効果

予備実験において、ユーザがぬいぐるみをコントローラとして扱う様子とコミュニケーションの相手のように扱う場面が観察された。それぞれの用途として用いられたり、それらを融合させて楽しむ様子と、Interaction Level が変化するシステムの構成の関連を確かめる。

ぬいぐるみが状況を判断し、それによって内部状態(モード)を変化させ、文脈適応型インタプリタによって表現形態を変える本システム構成が、ユーザインタラクションにおよぼす影響があるかどうか、またその中で音楽を用いた新しいインタラクションに慣れ親しむことができるかを調べる。

5.3.1 節で述べた入力の種類・結果により 4 タイプに分類したぬいぐるみとのインタラクションモデルを導入することで、そのインタラクションを豊かにすることができたかどうかについて評価する手法を下に述べる。

まずこれらのインタラクションモデルを大きく二つに分けると、即時の反応を得るモデルとインタラクションのモードを変化させるモデルに分類できる。このモードの変化がある場合と無い場合を比較することにより、上記の Interaction Level の遷移によるユーザの反応の変化を観察することができる。

そして同様に、入力のタイプが即時であるか、それとも時間を伴った入力パターンを判断しているかという分類をした。即時の入力と応答というインタラクションモデルのみ準備した場合のユーザインタラクションを観察するのも評価方法として有効

5. ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーションシステムの評価手法の提案
であるとする。

[Level 変化と入力の多様性に関する比較実験]

モードの変化の存在する現在のシステムの効果の評価するため、モードが変化しないシステムを準備し、比較実験を行う。

- Interaction Level の遷移による効果の評価実験

5種類の Interaction Level を準備した現在のシステムと、音楽的な制御が中心となる Interaction Level 3 のみを持ち、その Level が変化せず、また音楽要素コントロールのマッピングも変化しないシステムを準備する。そしてそれぞれのシステム毎に被験者を準備し、Tactile なセンサや、音声、画像などのユーザインタラクションを記録する。

- 時間を伴った入力と即時の入力に対するそれぞれの反応を準備したことについての比較実験

様々な入力のタイプを想定し準備したことによる効果を調べるため、上記の Interaction Level 3 のみの単純なシステムを用い、従来の Level 3 における音楽要素マッピングと、時間を伴った入力を受け付けず、単純な入力にのみ音楽の反応をマッピングするシステムを比較実験する。

5.5.2 音楽コミュニケーションの評価

次に、既存の意味をもつ言葉ではなく、音楽をアクチュエータに用いたことによる効果について評価実験を行う。音楽を表現メディアに用いたことで、おしゃべり人形のようなコミュニケーション形態から変化したか、またその組み合わせが生む響きがインタラクションにおよぼす影響はあったかについて評価する。

おしゃべり人形は、大抵一つの入力に対し、時間的なまとまりを持った例えば言葉の列など一つの反応を返す。それに対し、音楽の自由な表現は一つ一つの要素が一つ一つの入力によって制御され、言語表現における制御に当てはめると「あ」の声や「あ」から「い」への連続的な変化のパラメータなどを制御することになるため、直接比較しづらい。

そこで、現在マッピングされている音楽要素コントロールに対し、音楽以外の別の要素をマッピングすることでインタラクションに変化があらわれるかを観察する。ここでは、従来システムと比較するための二つのシステムを準備する。まず、Actimates Barney のようなおしゃべり人形を想定した言葉のマッピングを準備すると同時に、それらの中間のコントロールとして、あらかじめ時間を伴った音楽をマッピングする。

[言葉と音楽の反応による比較実験]

この実験では、モード変化のない比較的単純な Interaction Level 3 のみを用いる。具体的なコントロールの要素として、

5. ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーションシステムの評価手法の提案

1. 時間的なまとまりを持った言葉の列のマッピング
2. 時間的なまとまりを持った音楽(楽曲の一部など)のマッピング
3. 本システムにおける音楽要素マッピング

の3種類を準備し、それぞれユーザインタラクションを観察する。

5.5.3 ユーザインタラクションの分析

ここでは、センサからの入力によりユーザインタラクションを観察する手法を採る。図5.3.4に示すように、ぬいぐるみとの音楽コミュニケーションでは、

1. 存在しているぬいぐるみ自身に対する入力
2. 音楽の反応に対する入力

に分類することができる。そこから、音楽出力との照らしあわせを行うために、音楽出力との時間的な関係を計測する。また、比較実験においてユーザの入力がどの程度親しげであったかを、自由なインタラクションの全体の時間、抱き上げている時間、という主観的な状態に対する時間の計測のみではなく、Tactileセンサの値の大きさ、入力時間の長さ、同時入力センサの数といった客観データにより判断する。

5.5.4 評価実験の結果と考察

C章に記す評価実験手法による結果より、被験者の経験に個人差があることと、サンプル数が統計的に評価するには不十分であるため、被験者一人一人について観察した事項を述べる。

被験者1

被験者1のバックグラウンドは、音楽経験はあるが現在は全く機会がない。また幼いころにぬいぐるみで遊んだが、現在は全く持っていない。

まず主観評価より、実験1では1-1よりも1-2の方が親しみを感じている。また、実験2でも複雑な操作やそれに対する反応を組み込んでいない2-2のタイプに親しみを感じている。また、実験3では、音楽のコントロールである3-1のマッピングよりも3-2のON/OFFによる単純な出力に親しみを感じている。このことより、被験者1は単純で分かりやすい音楽マッピングによる反応に親しみを感じていると考えられる。また、実験1では1-1の方が、また2では2-1のほうがそれぞれコミュニケーションしていた傾向が強いと答えている。上記の親しみやすさの評価と合わせると、この被験者は複雑なやり取りをし、何らかの音楽インタラクションを見いだすことをコミュニケーションととらえつつも、単純な出力に親しみを感じている。

客観データでは、最も親しみやすいと答えた実験3-2でもインタラクションの総合時間は他と比べて短い(表C.4)。これは、やり取りを認識し、理解するまでにかかる時間のないシステムを親しみやすいととらえた結果であると考えられる。

5. ぬいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーションシステムの評価手法の提案

被験者 2

被験者 2 のバックグラウンドは、音楽経験、ぬいぐるみの遊びの経験がともに全くなく、現在もない。

実験時、ぬいぐるみとの遊びの経験がないため、どう触ってよいのか分からないとの意見も聞かれた。主観評価では、実験 1, 2 とも差が現れなかったのに対し、実験 3 では 3-1 のシステムに親しみがあると答え、3-2, 3-3 のシステムではコントロール度が高かったと答えている。ここで、この被験者は音楽的なバックグラウンドが少ないにも関わらず音楽的なコントロールを親しみやすいと感じている。これは、おしゃべり人形のような on-off のコントロールではなく、瞬時に扱え、同時に思いがけない音の組み合わせを生むことのできるマッピングが、音楽の初心者にも受け入れられる可能性を示唆していると考えられる。

また、インタラクションの総合時間より、ぬいぐるみに触れている時間が他の被験者に比べ非常に短いことが分かる。これはぬいぐるみ遊びの経験の少なさが起因していると考えられる。

被験者 3

被験者 3 のバックグラウンドは、音楽経験が豊富で、ぬいぐるみが家に幾つかある。しかし、幼いころにぬいぐるみで遊んだ経験がない。

主観評価で、実験 1, 2 ともに簡単なインタラクションを親しみやすいと答えた。この時、被験者は状況に応じた変化を感じる前に、ぬいぐるみを抱き上げてしまったため、内部状態を持ったぬいぐるみであることを実感できなかったと考えられる。ここで、ぬいぐるみを抱き上げ、積極的なインタラクションを行っている間にも、異なる内部状態を、設計段階において与えなければならないと考える。実験 3 では、音楽コントロールの要素が強いほど親しみを示した。

被験者 4

被験者 4 のバックグラウンドは、音楽経験、ぬいぐるみ遊びの経験ともにあり、現在もぬいぐるみを所持している。

主観評価において、この被験者のみが、実験 1-1 のモードの変化の存在するシステムを、モードの存在しないシステムよりも親しみやすいと評価した。また、実験 2 における親しみの度合いの違いは、うまく操作できたかできなかったかの違いであって、操作内容に変化はなかった。実験 3 において親しみを最も感じたと言った実験 3-2 は、被験者 1 と同様に単純な反応を分かりやすいととらえる。また同時に実験 3 においてコントロールした感覚が最もあったと言ったのは実験 3-2 であった。これも、被験者が感じる、操作の達成感が影響していると考えられる。

またすべての被験者のうちの 3 名が実験 3 におけるインタラクションの時間が短かったことより、すべての準備された音楽マッピングが簡単に予想できてしまうシステムは、飽きやすいといえる。

全体的に、タスクのないインタラクションはユーザにとって困難である。よって、簡単なタスクを与えることにより音楽インタラクティブ・システムの概要をつかむことができるよう、評価実験を再構成する必要があると考える。

被験者それぞれの実験における反応より、以下のことが想定される。

- むいぐるみ遊びの経験により、本システムによってユーザの感じる音楽モダリティは異なる
- 音楽経験の有無により、本システムによってユーザの感じる音楽モダリティは異なる。また、より自由な音楽操作を求められる。
- インタラクションは単純で分かりやすいことで達成感をもたらすと同時に、飽きてしまう可能性も含んでいる。

5.6 まとめ

本章では、むいぐるみとのインタラクションを導入した音楽コミュニケーションのためのシステム“Com-Music”を紹介した。むいぐるみをユーザの分身として、あるいはパートナーとして、接触を含む様々なマルチモーダルインタラクションの実現を試み、それによりコミュニケーションのための音楽を生成する事について考察した。最後に本システムのモダリティを持つインタラクションの実現に対し新たな評価手法を提案し、本システムにおける音楽コミュニケーションについて検証した。

今後は、本システムを人間と人間のコミュニケーションデバイスとして用いるための拡張として、ユーザ固有のジェスチャーや状況を学習によってシステムに獲得させることを目指す。そのための課題として、むいぐるみ内部のPCによって

1. HMMによる状況認識・ジェスチャー認識、
2. 内部状態の遷移、
3. 音楽生成部分といったすべての処理

を行うことを考えており、現在は状況認識器に様々なジェスチャパターンを学習させる段階である。また、音楽表現のマッピングをユーザが与えることにより、より豊かな表現を持つユーザ固有のコミュニケーションデバイスが実現すると考えている。

第 6 章

考察

概要

本章では，本研究について考察する．試作した3つの音楽インタラクティブ・システムそれぞれの考察を述べ，それを通じ，それぞれのシステムにおいて，音楽におけるモダリティがどの程度実現できたかについて考察する．また，新たな音楽のモダリティに関する考察を述べる．

In this chapter, I discuss the three materials of music interactive systems in this research. Then I discuss the new investigation of the musical modality.

6.1 試作システムにおける音楽モダリティ

本研究では、音楽を楽しむための新たな手法と環境を提案するため、音楽における新しいモダリティとしてマルチメディア楽器やインタラクティブシステムを構築した。接触を伴う音楽インタラクションに焦点を当て、新しい音楽のモダリティをどの程度実現したかについて考察する。まず、それぞれの試作システムにおける考察を述べ、接触を通じた音楽のモダリティについて論ずる。

6.1.1 “Iamascope”における非接触の音楽モダリティについての考察

まず、マルチメディア楽器において接触を伴うことの重要性について言及するため、物理的接触のない、カメラ入力型インタフェースを有する音楽インタラクションについて取り上げた。そして、このシステムにおけるいくつかの音楽生成手法を提案した。その中で、p1: 操作方法が簡単、p2: なるべく多くの楽しみ方を持つ、p3: ユーザが同時に演奏者と聴衆・観衆であること、という観点を重要視し、Iamascopeシステムにおける音楽モダリティがこれらの要素を満たしているか検討した。

カメラ入力インタフェースと直接操作性

楽器は本来、人ともものやもの同士の物理的な接触により、直接操作感覚を得ながら音のフィードバックを生み出す。しかし本システムにおいてはカメラからの画像入力を用いているため、ユーザと何らかの対象が物理的に接触することはない。非接触なインタラクションは、従来の楽器とは異なり、システムソフトウェア内部の知識を持たないユーザは空間を手探ることにより少しずつ楽器のインタラクションを学ぶことになる。Iamascopeでは、音を生むための物理的な接触がない代わりに全身の運動というダンスにおける強い実感を伴う身体動作と音楽との結びつきがあるのではないかと考える。本システムの和音列選択(3.4.2節参照)では、ユーザの動作を累積することで和音列の選択や緊張度の変化を制御するシステムであるため、ユーザがある程度の時間をかけた演奏を行い、累積したデータでその制御を行うことは難しい。しかし3.4節に述べたタイミング制御やKey変換といった音楽要素を一瞬で制御する機構を導入することによって、「ある空間内を動けば音が鳴る」という簡単な発見に留まらず、ユーザは大きな動作をすること、左右に動くことなど単純な動きのパターンから瞬時に音楽要素が生まれることを体験し学ぶことができるようなシステムにより、「手探り」と同時に直接操作感を伴う音楽制御を提供できた。新しい音楽体験を生み出すことが出来たので、p1, p2を満たしたと考える。

音楽要素の操作フィードバックによる効果

まず、時間にそって自動的に行われていた和音進行を、ユーザがタイミング制御できるようになった。これにより指揮者のような音楽における時間の進行をユーザが司るような感覚を生成し、流れている音楽とユーザとのインタラクションを強めること

6. 考察

6.1 試作システムにおける音楽モダリティ

ができたと考える。また、Keyの変換は、音楽演奏の中で長いタームで行うものである。Keyの上昇・下降により音楽のイメージを大きく変えることができるが、頻繁に行うと逆に和音構造に準じた音楽生成部が崩れてしまう。よって、カウンタのしきい値を調整してユーザの意図レベルが高い場合のみKey変換を行うようにするしくみは有効であったと考える。ユーザは和音進行の“タイミング制御”と同時に、クオンタイズの効果で心地よく演奏し、表情づけを行いながら、時々“Key変換”を楽しむなど、組み合わせを用いることで、より表情豊かな演奏ができる可能性がある。

インタラクティブアートと楽器設計指針

最後に、“note-on/off”・“タイミング制御”・“Key変換”の3種類の操作における音楽的階層構造に関して考察する。音の強さ、音の高さ、音色といった3性質が基本となり音を決定する他、それら音のまとまりとして、和音や、アルペジオの並び、楽曲全体の強弱、調制など様々な要素がある。これら音楽の要素は時系列上で常に変化しているものである。特に本システムはリアルタイムに音楽生成しているため、前田[18]の一般的なインタラクティブアートにおける設計指針と同様ではないと考えられ、類似性を持つ操作要素を同時に与えるのは難しい。

そこで、前田の仮説に加え、『インタラクティブアートの要素を持つ楽器において、音楽的な操作として分かりやすく提示された方法によって簡単に操作の組み合わせを行うためには、時間的なレベル(操作のターム)の違いを持つ操作対象と、そのインタラクションのための操作を準備し、提示されるべきである』という設計指針を提案する。

6.1.2 流体との接触における“Tangible Sound”の考察

時間変化する形状を持つ流体との、特殊な感触を伴った音楽インタラクションを提案し、固体に比べ接触の感覚が弱い流体と、音楽を関係づけたインタフェースを伴うシステムを試作した。

水の触覚のもたらすモダリティ

水は様々な感覚器に独特のフィードバックを返す。例えば、視覚的な光の反射・屈折、聴覚的には水の音そのもの、触覚的には温度・水圧といったものが挙げられ、それぞれの感覚に与える水の特性を活かした作品の可能性はある。しかし、インタラクティブ性を十分に活かすためには身体的直接操作感覚が必要だとされる[63]ことを考慮すると、触覚の利用がインタラクティブアートにおいて重要であることが考えられる。

空気は水と同じ流体であっても常に我々の肌に触れるものである。それに対し水は空気と異なり、我々の生活で常に触れている対象ではないため、時間変化している水圧は我々の注意を更に喚起することができる。つまり水を用いたインタフェースは、時間により形を変化させる流体を触覚・視覚的に認識させる。よって本システムでは水の触覚を用いることにより、水と音や音楽の変化が結びついたような操作感覚を生むことに成功したと考えられる。また、本システムでは水自身とのインタラクションに

6. 考察

6.1 試作システムにおける音楽モダリティ

限らず、日常親しむ蛇口を介して水を用いている。他にも、Tangible Sound #2における水の受け皿を用意したことがユーザの操作行動を誘導する結果をもたらし、周辺のインタフェースデザインの工夫が水とのインタラクションを触発する意味においても重要であることが経験的に確かめられた。

環境的要因の作用

Stand Alone Mode では、4.4.3 節の楽器制御モードと 4.5.3 節の音階制御モードでは、下部流量変化を発音タイミングとした MIDI の note がハードウェアのクロックにより出力され、その音程は各漏斗が受け止めた流量により決定する。水自身の動きにより下部流量における水位が変化し発音タイミングとなるため、水が常に流動していることを感じさせるシステムとなった。また、思い通りに動かせる固体対象ではなく、こぼれ落ちる水による演奏も為されるため、水を用いたサウンドインスタレーションは環境的要因の作用を取り入れることに有効であると考えられる。音楽的な楽器としての可能性として、水の扱いづらさ・環境的要因の介入を含んだインタラクションを取り入れるための独特な音のマッピングを更に考慮する必要があるだろう。

音楽インタラクションの拡張

公開展示の反応より、水遊びの要素を更に導入することで効果的な没入感を付与できることが推測される。水の触覚そのものが、楽しめるフィードバックとして重要な効果をもたらしている。水を触覚メディアとしてシステムに持ち込むことで、ユーザが音楽に触れることへの楽しみや親しみを得ながらパフォーマーとなることが可能になったと考えられる。そして、楽しみを伴いリアルタイムの音楽フィードバックを返す楽器が実現したことにより、従来楽器による演奏からユーザ層を拡張することができると思われる。

6.1.3 “Com-Music” における状況に応じた接触インタラクションの考察

擬人化されたセンサぬいぐるみを用いた、様々な状況に応じた異なる反応として音楽インタラクションを伴うシステムを試作した。そして、ユーザが音楽モダリティの変化を楽しむシステムかどうか調べるため、音楽マッピング毎のユーザ行動について評価を行った。

コミュニケーションデバイスとしてのぬいぐるみ

ぬいぐるみという受け身のデバイスに対して、様々な入力の可能性がある中で多くは感情を伴う様々な接触によるコミュニケーションの試みが観察された。これらの入力は大まかに 1) ぬいぐるみの注意を引く、2) 意図を持ってぬいぐるみに何らかのジェスチャーをさせるなどユーザ側からの入力を行う、3) 無意識にぬいぐるみに対する入力を行うという場合に分けられた。人間の無意識な身体動作 [92] は、例えば貧乏揺す

りのようにその人の気分を無意識のうちに表わす。ぬいぐるみの背を叩くなどの無意識のリズミカルな入力があるが、ぬいぐるみの内部状態の遷移を引き起こすことにより、音や音楽のフィードバックが、ユーザ自身にその無意識の入力を気付かせる機能も有していると考えられるが、現時点では未調査である。ユーザの意図や意識に関わらず様々な入力をぬいぐるみの視点や状況から解釈し、フィードバックを返す本システムは、常にユーザの意図通りに表現活動を行う直接操作型のデバイスではなく、ぬいぐるみの状況を通じたあらたな表現デバイスとして考えられる。

音楽コミュニケーションの可能性

本システムでは、既存の意味が固定的に与えられたメディアではなく、自由な表現と解釈の広い可能性を有する音楽をアクチュエータとして採用した。それにより、接触を中心としたマルチモーダルインタラクションを通じ音楽表現を行うことと、意図的もしくは無意識な非言語インタラクションが音楽やその組み合わせによって気付かされたり、喚起されることをねらっている。また、その音楽表現は従来楽器と異なり、ぬいぐるみの内部状態を通じた音楽表現となるため、ユーザによる直接的な表現ではない。これは、例えばやんわりと相手にものを伝える時など、ぬいぐるみの内部状態による翻訳がユーザの表現の助けとなる場合に有効だと考えられる。

ジェスチャーや文脈の認識機構

様々なセンサを取りつけられたぬいぐるみシステムを構築したが、現段階では単純なイベント認識器のみ使っている。今後はぬいぐるみ内部のPCを活用し、HMMによるジェスチャー認識、文脈認識をぬいぐるみの内部処理で行うことを検討している。HMMを用い新たなジェスチャーや状況のモデルをユーザが学習させることで、より複雑なジェスチャーや文脈・状況認識を行い、より正確な環境の情報やユーザの入力を得ることができる。その結果として、より多くの種類のぬいぐるみの内部状態を認識したり、より複雑な遷移図を準備することができ、インタラクションの種類を豊かにすることができると考えている。

例えば図 5.1(b) のモードでユーザがぬいぐるみに状況やジェスチャーを学習させたりそれを修正しておいて、それらを図 5.1(c) のモードで他の人間とのコミュニケーションデバイスとして用いるといったデザインが考えられる。

6.2 本研究における音楽のモダリティに関する考察

本研究で音楽におけるモダリティについて、第 1 章にて、

外界の状況や物理的対象といった様々な対象への様々な種類の入力により、それぞれの音楽インタラクションでの音を出す楽しみによる様相

を示すものと定義した。それについての幾つかの見直しを下に記す。

6.2.1 音楽フィードバックが作り出す音楽モダリティ

第3章では、“Iamascope”システムにおける音楽要素生成を提案した。また、同じカメラ入力型システムを用いても、その派生する音楽によって異なるモダリティが存在し、直接操作感覚に影響をおよぼすことを考察した。そこから、非接触の音楽におけるモダリティでは、接触が無い分、そのフィードバックとなる音楽の反応が、モダリティの構成要素となると捉えることができる。

ここで、音楽におけるモダリティを改めて考察し直す。

様々な対象・状況や入力手法といったユーザの働き掛けが作る、音楽におけるモダリティは、非接触の音楽インタラクションでは重みが少ない。むしろ偶然の動きや無意識の入力が産みだす音楽の反応により、ユーザはその音楽モダリティを認識することとなる。

つまり、従来楽器において定着した物理的な接触を伴う音楽インタラクションではなく、触れる対象のない新しい音楽インタラクティブ・システムにおいて、ユーザにとってのモダリティの主幹となるのは音楽の反応であると考えられる。また、そのシステム設計においては、反応した音楽によってのみモダリティを獲得するユーザにとって、自分の動きによるものだと認識しやすい入力を受け付けることが重要だと考える。これは、周囲の状況に対する入力の種類という、はじめに筆者が提示した音楽におけるモダリティの定義の主幹が、システム設計者の側にまかせられ、ユーザにとっての音楽モダリティから離脱していると捉えられる。

6.2.2 接触フィードバックが作り出す音楽モダリティ

第4章では、新しい触覚をもたらす、流体を用いた音楽インタラクションを提供するシステムを提案した。これも第3章と同様にこれまでに無い全く新しい音楽モダリティをもたらすが、触れる対象のない“Iamascope”と異なり、時間の経過により変化する水の形状が与える独特の触覚を伴う。

ここで、こうした独特の触覚をもたらす新たな音楽のモダリティについて考察を追加する。

従来楽器では、周囲に存在するものや自分の動きにより音を作るインタラクションは、音を出し楽しむ目的によって成り立ち、またその様々な入力により反応の異なる音を作り楽しむ。音楽インタラクティブ・システムの中にも、従来楽器の単純な拡張として演奏手法を支援したり、音を追加したりするものが少なくない。しかし“Tangible Sound”では水とのインタラクション自体を楽しみ、音が追従するという様子が観察された。つまり、水という流体がもたらす、それ自身の触覚の楽しみが目的となり、音が出ることでそのインタラクションを助けられる。これは従来の楽器システムとは逆の音楽モダリティと見ることもできる。特殊な状況や対象に対して、音楽が背景の要素となり、インタラクション自体が目的となる音楽モダリティを発見した。

6.2.3 コミュニケーションのモダリティがもたらす音楽モダリティ

第5章では、擬人化ぬいぐるみを用いた接触インタラクションの状況に応じて音楽モダリティの変遷するシステムを提案した。ぬいぐるみとの接触は様々な種類が存在するが、各センサ入力のみではなく、数種類のジェスチャーも受け付け、ぬいぐるみとのコミュニケーションを模したインタラクションを構成している。

音楽の操作として単純で分かりやすい音楽インタラクションを提示することと、それに相反して入力に応じて状況が変化し音楽の反応のセットが変化することでは、前者の方が比較的とりかかりが分かるため親しみやすいとの示唆をシステム評価で得ることができた。コミュニケーションにおけるモダリティと同様に音楽のモダリティが変化する場合、ユーザがある程度ぬいぐるみの内部状態に関する予備知識が無ければ、複雑な音楽をもちいたコミュニケーションを行うことはできていない。

よって、単純なインタラクションを提示しつつモダリティを変化させるシステムか、複雑な入力における音楽モダリティを実現するが、状況に応じた変化を持たないシステムなど、インタラクションを複雑化する構成要素を切り取ることによって、初心者が音楽を楽しむためのモダリティが保たれると考える。または、ぬいぐるみの心的状態を把握したユーザが、その音楽構成やぬいぐるみの新しい内部状態・反応を構成することで、ユーザ固有の音楽モダリティが構成できると考える。

6.3 接触を通じた音楽のモダリティに関する新たな考察

本論において、音楽のモダリティについて、物理的な対象などに対し、ユーザが身体直接操作を試み、そのフィードバック(音)を感じながら次の行動を決定する、その入力対象や状況が主に音楽インタラクションに様相を与えると考えた。

更に、上記のシステムの試行より、その音楽インタラクションが持つ接触の特性により、音楽におけるモダリティの主軸が変容すると考える。また、新たな種類の音楽インタラクションによって、音楽におけるモダリティの新しい構成要素が発見できる可能性もある。そういった音楽インタラクティブ・システムをユーザにとって心地よいものに設計していくために、

モダリティの主軸となる構成要素自体は、新しいシステムのもたらす音楽インタラクションの主軸となる要素により変容する

ことを考慮するべきだと考察する。

ここで安村ら [27] の述べた、複数のモダリティの複合化、連動化を意識的に行うと同時に、モダリティ間の変換も積極的に支援していくという、マルチモーダルプラットフォームの設計方針も参考にできる。

6.4 まとめ

本章では、試作した3つの音楽インタラクティブ・システムそれぞれの考察を述べ、それを通じ、それぞれのシステムにおいて、音楽におけるモダリティがどの程度実現できたかについて考察した。最後に、新たな音楽のモダリティに関して、『モダリティの主軸となる構成要素自体は、新しいシステムのもたらず音楽インタラクションの主軸となる要素により変容する』という考察を述べた。

第 7 章

今後の課題と展望

概要

本章では，本研究の今後の課題と応用についての展開を述べる．提案した3つのシステムにおける残された課題を述べるとともに，それぞれの音楽インタラクティブ・システムの応用例について述べる．

In this chapter, I consider about the problems in this research and I introduce some ideas for development of the three systems that I propose. Afterwards I propose applications of the three music interactive systems.

7.1 試作システムにおける今後の課題

7.1.1 “Iamascope”システムにおける課題

カメラからの非接触な画像入力をインタフェースとした、音楽要素を操作するシステムを設計する際には、ユーザが準備されたインタラクションの操作の種類を容易に理解できるように、音楽フィードバックによって分かりやすく提示されるべきである。また、時間的なレベル(操作のターム)の違いを持つ操作の種類を準備し、複合的な楽しみ方を含むシステムにする必要がある。

最終的には、開発した音楽生成手法や設計指針、ひいては非接触の音楽モダリティにおける考察を新たな楽器システムのインタフェース構築に応用することを目標とする。

7.1.2 “Tangible Sound”システムにおける課題

現在 Source の形状は一つの蛇口であるが、それを複数にするなど、水流制御の改変が考えられる。それにより、限定されていた音表現のパラメータを増やすことができる。水流の量や水圧を更に制御可能にすることで、音楽フィードバックに限らず、水とのインタラクションをより楽しむこともできる。

また、「流れている水」のみでなく「ためられた水」に対する作用をセンシングすることも興味深い。評価実験における幾つかの試みの中で、音の変化に直接対応しない、上部水槽や下部水槽に対する被験者の興味が観察された。そのためには、水圧などユーザの触圧覚と同等のものをセンシングする方法を用い、水の触覚の援用を促進できると考えている。また、飛散・渦など場や広がりのある値を計測すれば、より複雑な水への入力が可能になる。

7.1.3 “Com-Music”システムにおける課題

まずユーザが状況認識にいたるまでの、ぬいぐるみとのインタラクションに慣れ親しむための準備段階が必要であると考えられる。これは、評価実験において、ぬいぐるみに対するユーザ固有のインタラクションの方法が観察されたためである。

また、インタラクションの複雑さによるしきいを越え、人間と人間のコミュニケーションデバイスとして用いるための拡張として、ユーザ固有のジェスチャーや状況を学習によってシステムに獲得させることを目指す。そのための課題として、ぬいぐるみ内部のPCによって 1. HMM による状況認識・ジェスチャー認識、2. 内部状態の遷移、3. 音楽生成部分といったすべての処理を行うことを考えており、現在は状況認識器に様々なジェスチャパターンを学習させる段階である。また、音楽表現のマッピングをユーザが与えることにより、より豊かな表現を持つユーザ固有のコミュニケーションデバイスが実現すると考えている。

7.2 接触を通じた音楽のモダリティと設計指針

本研究で、音楽におけるモダリティとその構成要素に関して、モダリティの主軸となる構成要素自体は、新しいシステムのもたらす音楽インタラクションの主軸となる要素により変容することを指摘した。それに基づき、本研究でとりあげた音楽におけるモダリティと接触を通じた音楽インタラクションより、システムを構築していく上でどのような設計指針が必要であるかについて下に述べる。

- 新たな音楽におけるモダリティを提供するシステムをユーザに提示する際、ユーザにとってモダリティの主軸となる要素がどのようなものが想定し、主軸の要素を分かりやすく提供できるよう設計する。例えば水による新たな音楽モダリティを提供する際に、音楽のモダリティを構成する入力の種類のカテゴリが、インタラクション時に分かりやすいよう工夫されるべきである。
- ユーザ自身が発見するモダリティに対し臨機応変なシステムを構築する。
新たな種類の音楽インタラクションによって、音楽におけるモダリティの新しい構成要素が発見できる可能性もある。ユーザにとって心地よいものに設計していくために、ユーザが変更可能な点を設計することや、与えられたモダリティの中から編み出せる新しいインタラクションを可能にすることがこれに含まれる。

7.3 音楽におけるモダリティとシステムの評価手法

7.3.1 評価手法の再検討

これまでに述べた音楽におけるモダリティについて考察した事柄を確かめるためには、新たな評価手法が必要であると考えられる。それは、評価内容が定性的な内容である本研究のような場合に、定量的な評価を行うには、音楽モダリティ自体が揺らぐ“Com-Music”システムでは困難であることから考えられる。

評価手法としては、音楽におけるモダリティに対するいくつかの構成要素に着目することを提案する。それぞれの音楽インタラクティブ・システムにおける音楽モダリティのなかで、どの要素が最も重要であるか、また他の要素もどのようなバランスで音楽モダリティを構成しているか、といったことに焦点を当て、それぞれの音楽インタラクティブ・システムにおける改善要項を見いだすことができると考える。

7.3.2 被験者の選択と音楽経験

同じ音楽経験でも、ピアノという鍵盤楽器の経験と、管楽器の経験、弦楽器の経験などそれぞれの楽器の持つモダリティは異なり、その経験によるバックグラウンドも異なる。

全く新しいモダリティに接したとき、その被験者のバックグラウンドによって異なるインタラクションが生まれることが分かった。よって、音楽のモダリティの構成要素

に、被験者のバックグラウンドも追加されると考え、被験者を慎重に選択する必要があると考えられる。そして、どのような目的を持つユーザ層を対象とするのかを考慮し、付随させる機能とインタフェースを取捨選択していくための、指標を確立したい。

7.4 試作システムの応用分野

本研究でとりあげた音楽におけるモダリティと接触を通じた音楽インタラクションを構築していく上でどのような応用が可能であるか述べる。

- Iamascope の応用

映像入力型の音楽インタラクティブ・システムは、身体動作を直接映像や音楽へ変換できるため、身体の動きと音の関係をリンクさせた子供のダンスの訓練等に用いることができる。また、他の映像入力型の音楽インタラクティブ・システムのステップとして、自分の動きを観察し、訓練とすることもできる。

- Tangible Sound の応用

現在水の触覚を楽しむ場として、プールなど全身で水を感じるものがある。3章の Iamascope システムと同様に、接触のない、もしくは新しい感触を伴う接触において、プールの水遊びと同様に、楽器にも全身体感的インタラクションを取り込み没入感を生じさせることにより、今後の楽器インタフェースの新しい展開の可能性がある。これらを踏まえ Tangible Sound の実用的な応用シーンの可能性として、以下が考えられる。

1. 家庭内での水道水の利用環境に適用
2. プールや風呂等大規模な水のアメニティに適用
3. 音や音楽教育のきっかけとしての利用
4. 自然環境でのアウトドアアメニティとして利用

流体に対する様々な入力方法は一座標方向に流れる水に対するものとは限らない。追加の余地のある水センシングとして、水圧・飛散・渦など、場や広がりのある値を計測できれば、より複雑な操作が可能になるだろう。

- “Com-Music” の応用分野

人間と人間のコミュニケーションに用いることで、音楽を用いたコミュニケーションに応用できると考えている。また、パートナーとしてユーザ固有の状況・ジェスチャーなどの情報を入力できるようにすることで、音楽のモダリティをユーザ自身が作り出せるシステムも可能である。

また、内蔵する PC を用いたネットワーク越しの音楽コミュニケーションも可能となり、擬人化ぬいぐるみとの感情を伴ったインタラクションを他者とのコミュニケーションチャンネルの一つにできると考えている。

7.5 まとめ

今後は、これらの新たな音楽インタラクティブ・システムのアプローチが、実際にユーザの楽器の概念を拡張することができるのか、それによって音楽を楽しむシーンが広がるのかについて、評価実験手法が必要だと考える。また、計算機により実現される音楽インタラクティブ・システムをより親しまれるツールとするためには、その設計指針をより明らかにしていくべきである。そして、より一般的に利用され親しまれるシステムとして、時間や場所を限定されない音楽シーンを提供するため、システムの様々な拡張や発展の方向を考えていくべきである。

第 8 章

結論

概要

本章では本研究の成果についてまとめる．そして，本論文を総括する．

In this chapter I summarize the result of this research and this paper.

8.1 本研究の成果

本研究では、音楽におけるモダリティとして新たな音楽の楽しみ方を提供するため、接触を通じたインタラクションに焦点を置き、3つの新たな音楽インタラクティブシステムを設計し試作した。また、うち2つのシステムについて、それぞれの音楽システムにおけるモダリティとして新たなねらいを達成したかを評価した。

本研究の成果を以下にまとめる。

- A. カメラ入力型インタフェースにより、非接触の音楽インタラクションを提供するシステム “Iamascope” における、音楽生成部の改良設計と実装

通常の音楽インタラクションと異なり、非接触のインタラクションによる音楽入力を通じ、音楽インタラクティブ・システムの設計指針に関する提案を行った。

- B. 流体との接触により新たな音楽のモダリティを提供するシステム “Tangible Sound #2” の提案と設計、実装、評価

流体という対象を用いた、新たな種類の接触における音楽モダリティを設計した。また、A. において提案した設計指針を用いた評価手法を提案した。この手法を用い、対照的なシステムを準備してユーザインタラクションを比較することで、評価を行った。

- C. 状況に応じ変化する音楽モダリティを提供する、センサぬいぐるみを用いたシステム “Com-Music” の試作との提案と設計、実装、評価

様々なタイプの接触センサを内蔵したぬいぐるみにより、様々な接触を伴う音楽インタラクティブ・システムを実装し、内部状況に応じてモードが変化するシステムにより、モダリティの存在する音楽インタラクションを実現した。また、モダリティの存在によるユーザインタラクションへの影響を評価する手法を提案し、実施した。

8.2 本研究の総括と結論

本研究では、演奏・聴取を同時に楽しむパフォーマーとして、エンドユーザにも容易に操作でき、同時に表現手段である音楽を豊かにし、身体的直接操作感に訴えるインタフェースを提供するため、接触を焦点とした3つのシステムを設計・実装した。ま

ず接触を伴わないマルチメディア楽器の音楽マッピング設計を通じ、音楽インタラクティブ・システムのための設計指針を提案した。次に特殊な感触を伴う流体とのインタラクションを音楽インタラクティブ・システムに用い、上記設計指針のいくつかの項目について評価手法を提案し、実施した。最後に、ぬいぐるみとの様々な接触を通じ、内部状況の変化に伴った音楽におけるモダリティを提案、設計し、実装した。また上記設計指針の項目について評価手法を提案し実施した。これらシステムの実現を通じて、様々な接触の種類がもたらすその音楽のモダリティの主軸となる要素の特性を確認することができた。

参考文献

- [1] Edward W. Said. *Musical Elaborations*. The Wellek Library Lectures at the University of California, Irvin e. Columbia University Press, 1991. みすず書房 1995, 大橋洋一訳.
- [2] リタ・アイエロ. 音楽の認知心理学. 誠心書房, 1998.
- [3] 波多野誼余夫 (編). 音楽と認知. 東京大学出版会, 1987.
- [4] 荒木祐子, 菊地潤, 清水圭, 春山晶子, 宮田真咲, 米澤朋子. 音楽認知の輪講勉強会 (サブゼミ) のページ. <http://buri.sfc.keio.ac.jp/yone/Music98a/member.html>, 1998.
- [5] 三谷哲一. Wake. <http://wake.sfc.keio.ac.jp>, 2000.
- [6] 伊藤幸治, 高木和夫, 寺岡宏彰, 柄沢裕輔. Net rezonator. <http://netrezonator.imsrsrc.co.jp/Overview/index.html>, 1998.
- [7] Konami. beatmania. <http://www.konami.co.jp/gm/bemani/bm/index.html>.
- [8] Takara. e-kara. <http://www.takaratoys.co.jp/e-kara>.
- [9] 嶋本薫, 群馬大学工学部情報工学科嶋本研究室. マルチモーダルインタフェースシステムに関する研究. <http://www.nztl.cs.gunma-u.ac.jp/gunma/shimamoto-lab/multimodal.htm>.
- [10] 立命館大学理工学部情報学科小川研究室. 自然言語処理. <http://www.airlab.cs.ritsumeai.ac.jp/3rd/theme.html.981019>.
- [11] Goro:ディジェリドゥ. <http://www.async.co.jp/noa/music/goro/>.
- [12] 26th 倶楽部 花鳥風月コンサート. <http://www.taihodo.co.jp/gallery/music/26-0.html>.
- [13] Inc. Toray Industries. オーケストラ・アジアの楽器たち. <http://www.toray.co.jp/square/culture/concert/asia/bowstring01.html>.
- [14] 西鎮雅楽部. 雅楽部のページ. <http://members.aol.com/saichinbun/gagaku.htm>.

- [15] Musical instrument museum (musikinstrumenten-museum). http://www.berlinfo.com/Freetime/Art-Culture/museums_collections/other/index.htm#music.
- [16] 片寄晴弘. インタラクティブアート. http://www.sys.wakayama-u.ac.jp/~katayose/interactive_art.html.
- [17] 平井重行, 片寄晴弘, 金森務, 井口征士. インタラクティブアートのためのソフトウェアセンサー. 情報処理学会研究報告 98MUS26-9, pp. 61–66, 1998.
- [18] 前田篤彦, 杉山公造, 間瀬健二. 物理系インタラクティブ・アートの感性工学からの考察. 電子情報通信学会技術研究報告 MVE99-88, Vol. 99, No. 723, pp. 75–80, 2000.
- [19] Bert Bongers. An interview with sensorband. *Computer Music Journal*, Vol. 22, No. 1, pp. 13–24, Spring 1998.
- [20] Edward Heide, Atau Tanaka, and Zbigniew Karkowski. Sensorband. <http://www.sensorband.com/>.
- [21] Atau Tanaka. Musical technical issues in using interactive instrument technology with application to the biomuse. In *ICMC Proceedings 1993*, pp. 124–126, 1993.
- [22] YAMAHA. Miburi. <http://www.yamaha.co.jp/news/96041001.html>.
- [23] 長島洋一, 由良泰人, 藤田泰成, 片寄晴弘, 井口征士. マルチメディア・インタラクティブ・アート開発支援環境と作品制作・パフォーマンスの実例紹介. *96-MUS-16-8*, Vol. 96, pp. 39–46, 1996.
- [24] 片寄晴弘, 金森務, 白壁弘次, 井口征士. Listにおけるインタラクティブマルチメディアアート制作状況. *96-MUS-16-8*, Vol. 96, pp. 47–50, 1996.
- [25] J. Paradiso, E. Hu, and K. Hsiao. The cybershoe: A wireless multisensor interface for a dancer's feet. In *Proceedings of International Dance and Technology 99 (IDAT99)*, pp. 57–60. FullHouse Publishing, Jun. 2000.
- [26] 間瀬健二. マルチモーダル・インタフェースのための画像処理. 第2回画像センシングシンポジウム (SII'96) 講演論文集, pp. 123–128, 1996.
- [27] 安村通晃, 今野潤, 八木正紀. マルチモーダルプラットフォーム mai の構築に向けて. *コンピュータソフトウェア*, Vol. 13, No. 3, pp. 28–37, May 1996.
- [28] 石井裕. Tangible bits:情報の感触/情報の気配. 情報処理学会誌, Vol. 39, No. 8, pp. 745–751, 1998.

- [29] 後藤真孝, 伊藤克亘, 秋葉友良, 速水悟. 音声補完: 音声入力インタフェースへの新しいモダリティの導入. In *WISS2000*, 第 24 巻, pp. 153–162. 日本ソフトウェア科学会, 2000.
- [30] 吉川貴, 安村通晃. Tapworld: 靴型インタフェースを用いた遠隔コミュニケーション. In *WISS2000*, 第 24 巻, pp. 255–256. 日本ソフトウェア科学会, 2000.
- [31] 大野彩子, 樋口文人, 安村通晃. 電子ペットを用いた対話型心拍トレーニング支援システム. In *WISS2000*, 第 24 巻, pp. 237–238. 日本ソフトウェア科学会, 2000.
- [32] J. Cassell, M. Ananny, A. Basu, T. Bickmore, P. Chong, D. Mellis, K. Ryokai, J. Smith, H. Vilhjalmsson, and H. Yan. Shared reality: Physical collaboration with a virtual peer. In *Proceedings of CHI2000*, pp. 259–260, 2000.
- [33] J. Cassell and K. Ryokai. Making space for voice: Technologies to support children’s fantasy and storytelling. In *Personal Technologies*, p. To appear, 1998.
- [34] 間瀬健二, シドニー・フェルス, ダーク・ライナス. Iamascope (インタラクティブ万華鏡): グラフィックな楽器の提案. *Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム*, pp. 91–96, 1998.
- [35] 米澤朋子, 間瀬健二. 映像入力による楽器インタフェースと音楽生成手法の検討. *情報処理学会 研究報告 2000-HI-89*, Vol. 2000, No. 61, pp. 73–80, 2000.
- [36] Sidney Fels and Kenji Mase. Iamascope: a graphical musical instrument. In *Computers & Graphics 23*, pp. 277–286, 1999.
- [37] 間瀬健二. サイバーコミュニケーションとアミューズメント. *精密工学会誌*, Vol. 66, No. 2, pp. 205–208, 2000.
- [38] 中津良平. 新しいコミュニケーションの実現を目指して. *情報処理*, Vol. 39, No. 12, pp. 1209–1214, 1998.
- [39] C.A. Pickover. *Mazes for the Mind*. Brockman Inc., NewYork, 1992.
- [40] S. Fels, K. Nishimoto, and K. Mase. Musikalscope: A graphical musical instrument. In *IEEE International Conf. on Multimedia Communications and Systems*, pp. 55–62, Ottawa, 1997.
- [41] K. Nishimoto and K. Mase. A proposal for a framework for general multimedia art creation instruments. In *Proceedings of the third Creativity & Cognition Conference*, pp. 108–115, Loughborough, 1999. ACM SIGCHI.
- [42] 平野砂峰旅. メディアインスタレーション “movement” のインタラクションについて. *情報処理学会研究報告 2000-MUS-37*, Vol. 2000, No. 94, pp. 39–42, 2000.

- [43] Joseph A. Paradiso, Kai-Yuh Hsiao, Joshua Strickon, and Peter Rice. New sensor and music systems for large interactive surfaces. In *Proceedings of International Computer Music Conference 2000 (ICMC 2000)*, pp. 277–280, 2000.
- [44] 岩館祐一, 井上正之, 鈴木良太郎. 身体動作からの感性特徴量の抽出に関する検討. 映像情報メディア学会 マルチメディア研究会, Vol. 24, No. 29, pp. 7–12, 2000.
- [45] ティモシー・チェン, 西本一志, 間瀬健二. 汎用的マルチメディアアート演奏装置のインタフェースデザインに関する一検討. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 99, No. 723, pp. 87–92, 2000.
- [46] 米澤朋子, 間瀬健二. 流体楽器による音楽要素生成手法とその応用. 情報処理学会第60回全国大会, 講演論文集(2), pp. 61–62, 2000.
- [47] 北川祐. 音楽理論ハンドブック. リットーミュージック, 1988.
- [48] 米澤朋子, 間瀬健二. 流体による楽器インタラクション. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 755–762, 2000.
- [49] 雨宮賢一, 田中豊, 篠原英一. 空気噴流を用いた指先装着型触覚ディスプレイ. 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp. 41–44, 1999.
- [50] 米澤朋子, 安村通晃. 音楽作曲とプログラミング. 情報処理学会夏のプログラミングシンポジウム報告集, pp. 79–88, 1999.
- [51] 米澤朋子, 安村通晃. 流体による音表現 インスタレーション tangible sound より. 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp. 177–180, 1999.
- [52] 米澤朋子, 間瀬健二. 流体による音楽入力～水のセンシングを用いた楽器の検討. 情報処理学会研究報告, MUS33-1, pp. 1–6, 1999.
- [53] 米澤朋子, 間瀬健二. Tangible sound #2における楽器インタラクション. 情報処理学会 Interaction2000 シンポジウム IPSJ Symposium Series, Vol. 2000, No. 4, pp. 141–142, 2000.
- [54] Tomoko Yonezawa and Kenji Mase. Tangible sound: Musical instrument using fluid media. In *ICMC2000 proceedings*, pp. 551–554, 2000.
- [55] 米澤朋子, 安村通晃, 間瀬健二. Tangible sound: 流体を用いたインタラクションによる音表現とその拡張. 第16回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集, pp. 127–134, 2000.
- [56] Christa Sommerer and Laurent Mignonneau. Interacting with artificial life: A-volve. *COMPLEXITY*, Vol. 2, No. 6, pp. 13–21, 1997.

- [57] Naoko Tosa. Unconscious flow. In *SIGGRAPH Electronic Art and Animation Catalog*, p. 11, 1999.
- [58] Yuki Sugihara. Water display. In *SIGGRAPH 99 Conference Abstracts and Applications Computer Graphics Annual Conference Series*, p. 183. ACM SIGGRAPH Press, 1999.
- [59] 杉原有紀, 稲見昌彦, 川上直樹, 館日章. 被り型水ディスプレイの開発(第2報) – 水膜スクリーンの投影特性 –. 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp. 167–168, 1999.
- [60] 宇井のどか, 瀬藤康嗣. Wave rings. <http://www.sfc.keio.ac.jp/noriyuki/pcs/>, 1998.
- [61] 左近田展康. Water machine. Bumpodo GALLERYにて展示, October 1998.
- [62] Kazushi Nishimoto and Kenji Mase. A proposal for a framework for general multimedia art creation instruments. In *ACM SIGCHI Proceedings of the third Creativity & Cognition Conference*, pp. 108–115, 1999.
- [63] 小川正賢. 惑いのテクノロジー. 東洋館出版社, 1998.
- [64] 山崎弘郎. センサ工学の基礎. 昭晃堂, 1985.
- [65] 米澤朋子, Brian Clarkson, 安村通晃, 間瀬健二. めいぐるみインタフェースによる音楽コミュニケーション. 情報処理学会研究報告 ヒューマンインタフェース HI92-3, pp. 17–24, 2001.
- [66] 米澤朋子, ブライアンクラークソン, 安村通晃, 間瀬健二. 文脈に応じた音楽表現を伴うセンサめいぐるみ. 情報処理学会 Interaction2001 シンポジウム IPSJ Symposium Series, 2001. to appear.
- [67] G.D. Abowd, C.G. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper, and M. Pinkerton. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. In *Wireless Networks*, Vol. 3, pp. 421–433, 1997.
- [68] Y. Sumi, T. Etani, S. Fels, N. Simonet, K. Kobayashi, and K. Mase. “c-map: Building a context-aware mobile assistant for exhibition tours”. In *Community Computing and Support Systems*, pp. 138–155, 1998.
- [69] 米澤朋子, ブライアンクラークソン, 安村通晃, 間瀬健二. めいぐるみを用いた表現としての音楽生成の提案. 画像電子学会 第6回 VMA 研究会, 2001. to appear.
- [70] L. Yarger. Vivarium history. <http://www.beanblossom.in.us/larryy/vivHist.html>.

- [71] M.P. Johnson, A. Wilson, C. Kline, B. Blumberg, and A. Bobick. Sympathetic interfaces: Using plush toys to direct sythetic characters. In *Proceedings of CHI99*, pp. 152–158, 1999.
- [72] B. M. Blumberg. Swamped! using plush toys to direct autonomous animated characters. In *SIGGRAPH 98 Conference Abstracts and Applications Computer Graphics Annual Conference Series*, p. 109. ACM SIGGRAPH Press, 1998.
- [73] 稲葉雅幸, 星野由紀子, 井上博允. 導電性ファブリックを用いた全身被覆型触覚センサースーツ. *日本ロボット学会誌*, Vol. 16, pp. 80–86, 1998.
- [74] Y. Hoshino, M. Inaba, and H. Inoue. Model and processing of whole-body tactile sensor suit for human-robot contact interaction. In *Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 2281–2286, 1998.
- [75] Futoshi Naya, Junji Yamato, and Kazuhiko Shinozawa. Recognizing human touching behaviors using a haptic interface for a pet-robot. In *Proceedings of 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 99)*, 1999. to appear.
- [76] iRobot Inc. My real baby. <http://www.irobot.com/mrb/index.htm>.
- [77] Hasbro Inc. Furby. <http://www.furby.com/>.
- [78] E. Strommen. When the interface is a talking dinosaur: Learning across media with actimates barney. In *Proceedings of CHI 98*, pp. 288–295, 1998.
- [79] 土井俊介, 角康之, 間瀬健二, 中村哲, 鹿野清宏. 音声対話型パーソナルガイドエージェントシステム. *人工知能学会第 47 回 知識ベースシステム研究会*, Vol. SIG-KBS-9904, pp. 55–60, 2000.
- [80] 鈴木紀子, 竹内勇剛, 石井和夫, 岡田美智男. 非文節音による反響的な模倣とその心理的影響. *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 5, pp. 1328–1337, 2000.
- [81] Antonio Camurri, Paolo Coletta, Matteo Ricchetti, and Gualtiero Volpe. Synthesis of expressive movement. In *Proceedings of International Computer Music Conference 2000 (ICMC 2000)*, pp. 270–273, 2000.
- [82] Kenji Suzuki, Keishiro Tabe, and Shuji Hashimoto. A mobile robot platform for music and dance performance. In *Proceedings of International Computer Music Conference 2000 (ICMC 2000)*, pp. 539–542, 2000.
- [83] Klaus C. Wassermann, Mark Blanchard, Ulysses Bernardet, Jonatas Manzolli, and Paul F.M.J. Verschure. Roboser – an autonomous interactive musical composition

- system. In *Proceedings of International Computer Music Conference 2000 (ICMC 2000)*, pp. 531–534, 2000.
- [84] 西本一志, 角康之, 門林理恵子, 間瀬健二, 中津良平. マルチエージェントによるグループ思考支援. 電子情報通信学会論文誌 J81-D-I 5, pp. 478–487, 1998.
- [85] 多田幸生, 西本一志, 前川督雄, 間瀬健二. 人や場を演出する音楽創奏システムの提案. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学 2000-MUS-37, pp. 1–8, 2000.
- [86] 多田幸生, 西本一志, 前川督雄, 間瀬健二, 中津良平. Costune: 状況に応じた事故演出を可能とする装着型楽器の実装. 情報処理学会 Interaction2001 シンポジウム IPSJ Symposium Series, 2001. to appear.
- [87] B. Clarkson, K. Mase, and A. Pentland. Recognizing user context via wearable sensors. In *ISWC2000 Proceedings*, pp. 565–569, 2000.
- [88] 間瀬健二, Brian Clarkson, 米澤朋子. 幼児期からのウェアラブルと Toy 型インタフェース. 情報処理学会研究報告 ヒューマンインタフェース HI92-1, pp. 1–8, 2001.
- [89] Sony Corporation. Aibo. <http://www.aibo.com/>.
- [90] NEC. パーソナルロボット R100. <http://www.incx.nec.co.jp/robot/indexj.html>.
- [91] 牛田博英, 平山裕司, 中嶋宏, 田島年浩, 斎藤幸弘. 心のモデルに基づくインタラクティブエージェント. 電気情報通信学会 第4回 知能情報メディアシンポジウム, pp. 165–172, 1998.
- [92] Walburga von Raffler-Engel. *Aspects of Nonverbal Communication*. Swets and Zeitlinger, 1980. ノンバーバルコミュニケーション, 本名 伸幸, 井出 祥子, 谷林 真里子, 大修館書店.
- [93] Cell Computing Inc. card pc mighty mite. <http://www.cellcomputing.com/third/support/prodguide/cardpc/c2i-mm-kit.htm>.
- [94] Datel. 5 volt/12 volt dc to dc converter. <http://www.datel.co.jp/>.

(表記の URL は全て 2001 年 1 月時点)

謝辞

本研究を進めるにあたって、ご指導頂いた本塾環境情報学部教授 安村通晃教授，副査を担当していただいた同環境情報学部 岩竹徹教授，及び株式会社 ATR 知能映像通信研究所第二研究室 間瀬健二室長に深く感謝いたします。

本塾政策・メディア研究科マルチモーダル・インタラクション・プロジェクト，及びサイバーサウンド・プロジェクトの皆さんに，様々な出来事の中で多くのことを学ばせていただいたことを感謝します。伊賀聡一郎氏，樋口文人氏，明関賢太郎氏，新西誠人氏らからは研究を進めるにあたって多くの貴重な示唆をいただきました。また，議論の機会と示唆をいただいた，吉川貴氏，中村雅英氏，三谷哲一氏，大仲文毅氏，瀬籾康嗣氏らからは入学から現在に至るまで，多くの刺激を受けました。

本研究の強い動機と励ましを頂いた本塾環境情報学部元客員教授 田中能氏からは，初期のコンセプトより議論頂きました。また，本塾環境情報学部専任講師 Christopher Penrose 氏は，本塾と ATR 知能映像通信研究所との交流の場をともに作ってくださいました。

本研究の技術的な基盤を与えていただいた，株式会社 ATR 知能映像通信研究所の中津良平社長をはじめとする皆様に感謝します。大学では得ることのできない環境と自由の中での議論と経験がなければ，本研究がこのような形で完成することはありえませんでした。特に，Rodney Berry 氏，Timothy Chen 氏，Sidney Fels 氏，西本一志氏には音楽やインタラクションに関して，また，Seon-Woo Lee 氏，Brian Clarkson 氏には 5 章のシステム設計・実装に関して，多くの議論の機会をいただきました。株式会社 CSK の宅見正氏，山本哲史氏には様々なシステム実装においてご協力やアドバイスを頂きました。角康之氏，門林理恵子氏には研究を進める際の欠かすことのできない助言をいただきました。他多くの方々にご協力頂いたことをここに感謝いたします。

最後に，学部・大学院の 6 年間を通して，SFC の多くの先輩・友人から様々なチャンスとチャレンジをいただけたことに感謝いたします。

平成 13 年 2 月 12 日 米澤朋子

付録 A

Tangible Sound #2の評価実験手法

A.1 評価の目的

Tangible Soundによる全く新しいインタフェースにおいて，ユーザが新しいモダリティを獲得することができるか，またその新しいモダリティにおいて，新しい楽しみ方や創造性を刺激されるかどうか，その結果として操作の組み合わせが生まれるかを評価する．

A.2 評価対象

20代～30代の男性10名．うち日本人6名，外国人4名．

A.3 評価項目

4.7.1節に述べた評価手法の提案に基づき，以下の評価を行う．

1. Source 流量の調整作業
2. 流水へのインタラクションをする作業 (触るか触らないかの違いのみ)
3. 流水へのインタラクションにより，Main Drain，Sub-drain1，2，3のそれぞれに水を流し込む作業

という課題を与え，下のそれぞれの条件下でのユーザ行動を記録し，比較する．

実験1 音楽要素再生 (マッピング #2-3)

音楽要素マッピングを4.5.2節に述べた#2-3にし，被験者に課題を実行させる．

実験2 音楽要素再生 (マッピング #2-4)

音楽要素マッピングを4.5.3節に述べた#2-4にし，被験者に課題を実行させる．

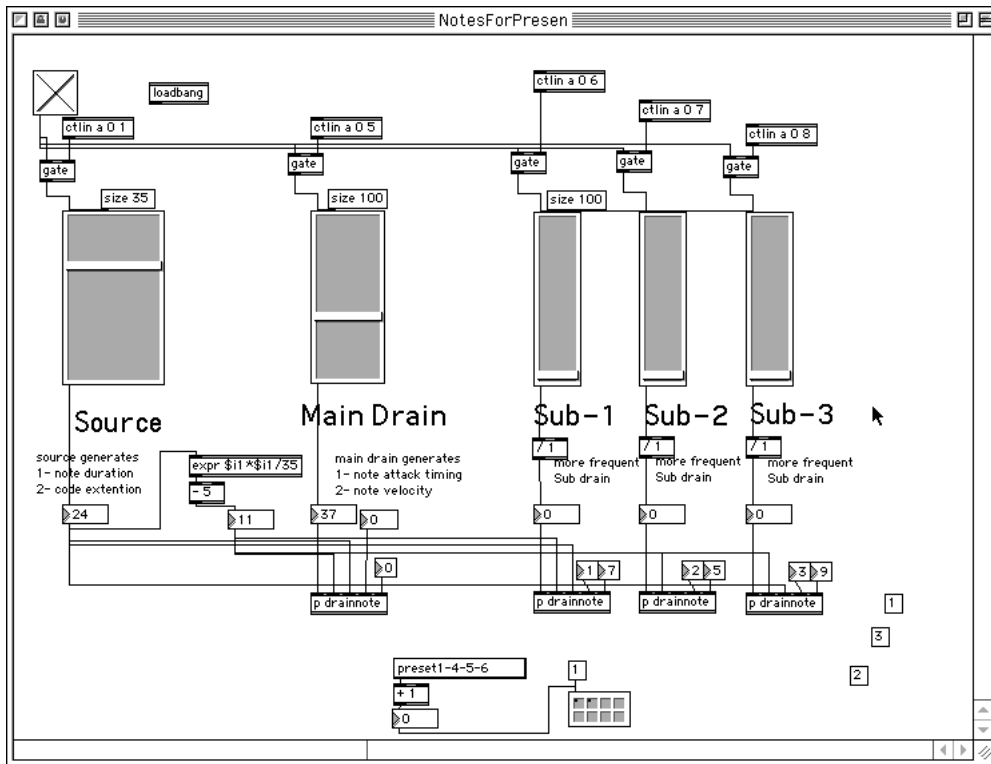


図 A.1: Tangible Sound#2-3 システムのスナップショット

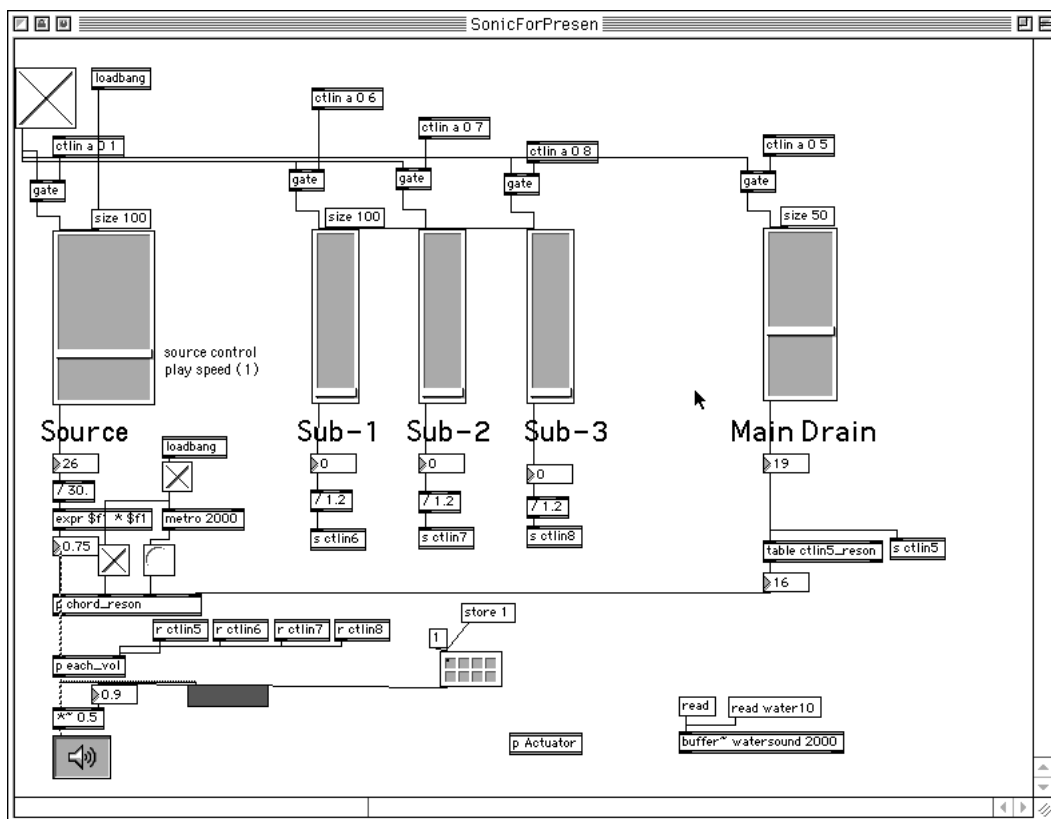


図 A.2: Tangible Sound#2-4 システムのスナップショット

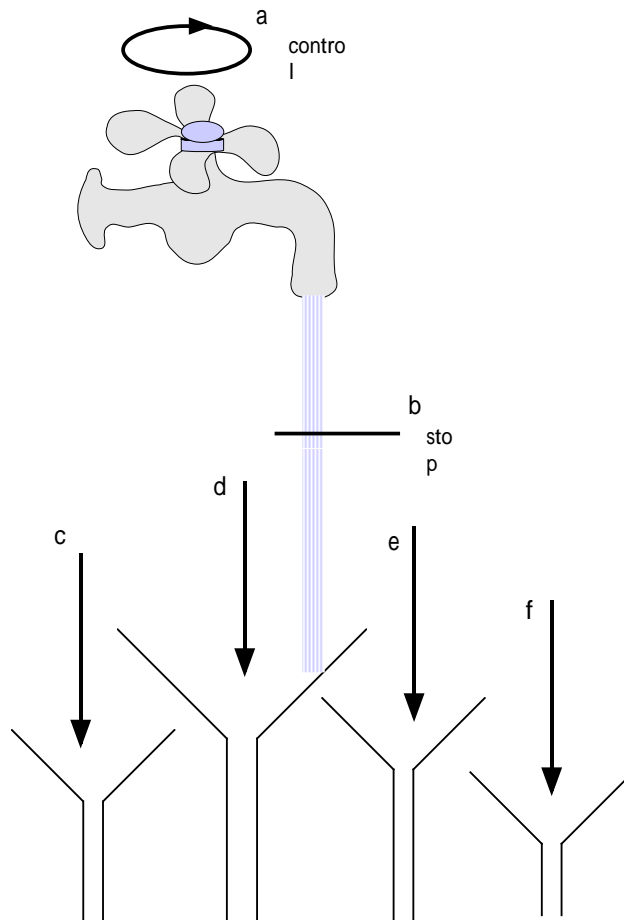


図 A.3: 被験者に示す課題

実験 3 音楽要素なし

音楽フィードバックのない状態で，Tangible Sound によって被験者に課題を実行させる．

実験 4 音楽要素なし，水流によるフィードバックなし

音楽フィードバックのない状態で，水とのインタラクションを含まないシステム被験者に課題を実行させる．(ここでは水に触れる代わりにタッチパッドに触れる)

これらの音楽フィードバックの条件下で，

- 決められたタスクを被験者はこなしているか．
- 水の無い状態では水に触れるシステムとどのように異なるか．
- 音楽の要素を組み合わせる演奏の創出を楽しむことができるかどうかの客観評価
- 習熟した点があったかどうか，与えられた課題以外の演奏を発見したかどうかに対する被験者の主観評価

を調査する．

A.4 記録手法

音楽要素の出力とすべてのセンサ入力を記録すると同時に，ユーザの状況をビデオに撮る．また，1分与える中でユーザインタラクションのあった全体の時間を記録する．後に，センサのそれぞれ値より，タスクがうまくいったか，音楽要素の出力と比較しながら観察する．また，インタラクションの時間を音楽要素ごとに比較する．

A.5 評価実験実施要項

A.5.1 被験者に指示すること

これから，目の前にあるシステム Tangible Sound を操作してもらいます．

課題 1 水を蛇口から出す．

課題 2 蛇口の操作ではなく直接水に触れ，水流をとめる．

課題 3 水を 4 つの漏斗それぞれに入れる．

のタスクを含んだ，自由な接触を約 1 分間行ってください．終了時間はこちらで知らせます．また，これらの課題タスクはうまく行かなくても一度でも試みればけっこうです．

この実験を，4 種類行います．

- 実験 1：4.5.2 節の Tangible Sound#2-3 マッピング
- 実験 2：4.5.3 節の Tangible Sound#2-4 マッピング
- 実験 3：音楽フィードバック無し
- 実験 4：水流の代わりにタッチパッド操作，音楽フィードバック無し

A.5.2 終了後データからチェックすること

- 決められたタスクを被験者はこなしているか．
- 水の無い状態では水に触れるシステムとどのように異なるか．
- 音楽の要素を組み合わせる演奏の創出を楽しむことができるかどうかの客観評価 (指示したタスク以外の操作を発見したか)

A.5.3 終了後にユーザの主観評価でチェックすること

- 与えられた操作はうまくいったと思うか
 - 水を蛇口から出す．
うまうまいかなかった 1 2 3 4 5 うまうまいった
 - 蛇口の操作ではなく直接水に触れ，水流をとめる．
うまうまいかなかった 1 2 3 4 5 うまうまいった
 - 水を 4 つの漏斗それぞれに入れる．

最も大きな漏斗 うまうまいかなかった 1 2 3 4 5 うまうまいった

表 A.1: 操作がうまくいったかについての主観評価 (音楽経験者)

評価	5	4	3	2	1
課題 1	5 名				
課題 2	2 名	2 名			1 名
課題 3-1(Main Drain)	5 名				
課題 3-2(sub-drain1)	2 名	2 名		1 名	
課題 3-3(sub-drain2)	4 名	1 名			
課題 3-4(sub-drain1)	3 名	2 名			

与えられた操作以外に	発見した	発見していない	合計
人数	4 名	1 名	5 名

最も高い漏斗 うまくいかなかった 1 2 3 4 5 うまくいった
 中間の高さの漏斗 うまくいかなかった 1 2 3 4 5 うまくいった
 最も低い漏斗 うまくいかなかった 1 2 3 4 5 うまくいった

- 与えられた操作以外の新しい操作を発見したか、したとしたら、どの実験で発見したか記述 (自由回答)
- 音楽経験の有無

A.6 評価結果

10 人中 5 人が音楽を経験した人であった。

A.6.1 客観データ

図 A.4 に示すように各被験者毎の操作記録をとる。

A.6.2 主観評価の結果

主観評価における結果を、表 A.1, A.2 に示す。

与えられた操作以外に自分で発見し試みたインタラクションがあったかという質問に対し、10 人中 6 人があったと答えた。

その中で、

- ポタポタ水をたらず (3)
 蛇口をぎりぎりまで絞って、もしくは指に付いた水滴を用いて水滴が落とすことにより、音が鳴るのを調整する。

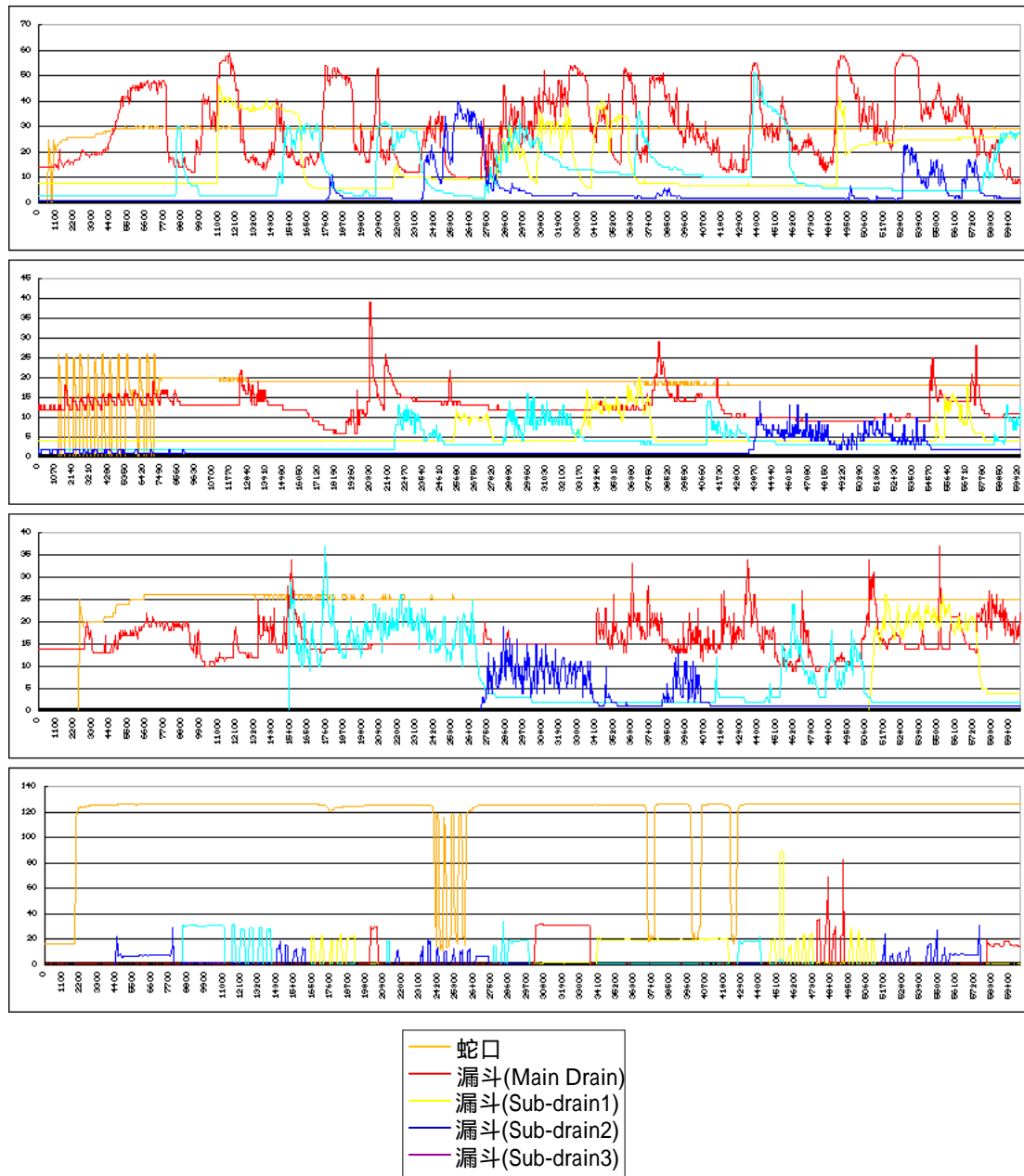


図 A.4: ある被験者の記録例

表 A.2: 操作がうまくいったかについての主観評価 (音楽非経験者)

評価	5	4	3	2	1
課題 1	3 名	1 名	1 名		
課題 2	2 名	1 名		2 名	
課題 3-1(Main Drain)	3 名	2 名			
課題 3-2(sub-drain1)		1 名	2 名	2 名	
課題 3-3(sub-drain2)	1 名	1 名	1 名	2 名	
課題 3-4(sub-drain1)	1 名		3 名	1 名	

与えられた操作以外に	発見した	発見していない	合計
人数	2 名	3 名	5 名

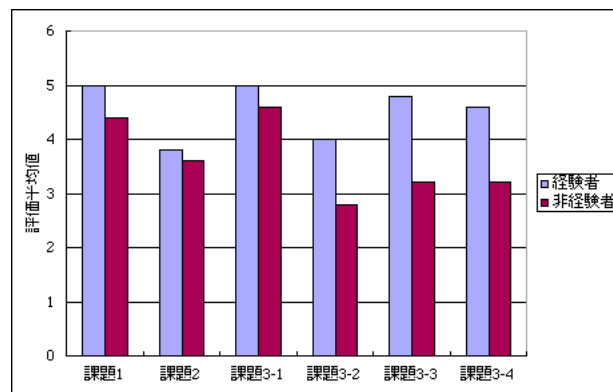


図 A.5: 音楽経験者・非経験者毎の主観評価平均

- 蛇口を小刻に動かす (3)
蛇口の操作により、水を出したりとめたりを繰り返し、水流を小刻に切る。
- 同時に複数の漏斗に入力 (2)
手のひらをうまく使い、二本・三本の指に伝わり落ちる水流により、複数の漏斗に同時に水を流し込む試みをする。
- 水流をまき散らす (4)
水に触れる際、どれかの漏斗を目標とするのではなくただ水流を乱し、水をまき散らす試みをする。
- 瞬間的に水の流れの方向を変化させる
蛇口の下に水流に指で軽く触れ、水流を曲げることで、瞬時に音を変化させる試みをする。
- 下部水槽内の水に触れる
下部水槽内に水を落としたり、
- 手を拭いてコンディションを整える
水に濡れた手ではコントロールしにくい(下に記述)ため。
- 下部水槽を移動させる
4つの漏斗が設置された下部水槽ごと移動させることで、水流を受け止める漏斗を選ぶ。
- 上部水槽を移動させる。
水流の Source である蛇口が設置された上部水槽ごと移動させることで、水流を受け止める漏斗を選ぶ(上記とは異なる被験者)

といった操作が見られた。()内の数字は、その操作を試みた人数を示し、無記入のものそれぞれ一名ずつであったことを示す。

またその他にも、

- 水圧がもっと強いとよい (2)
- 小さい漏斗での音の変化が分かりづらい (2)
- 時間が経つと手が濡れて、水流を完全にとめられなくなる
- 水量がボリュームに感じられないので工夫が必要
- 上部水槽や下部水槽に存在する水の量などの要素も反映してほしい
- 音がしないと分かりづらい

といったことを感想や意見として聴取できた。

付録 B

Com-Musicの仕様

B.1 ハードウェア仕様

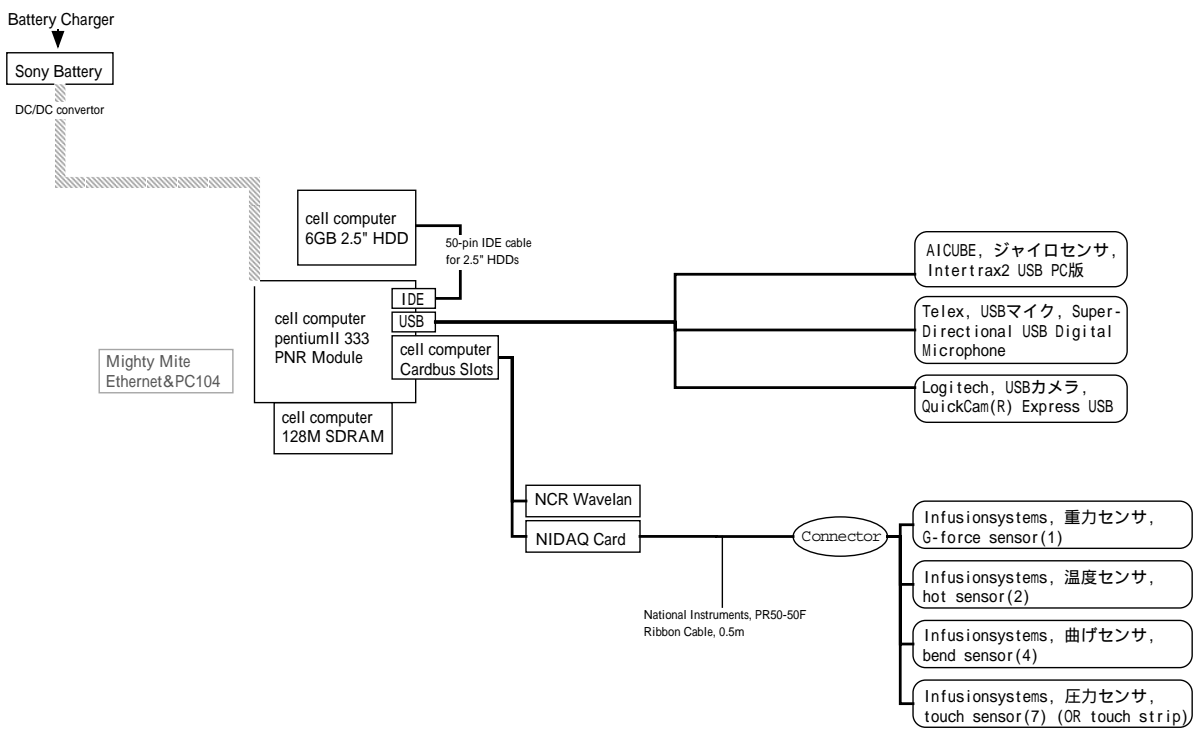


図 B.1: ハードウェア構成

表 B.1: ぬいぐるみの詳細構成要素 —PC 部分—

- 1 Cell Computing, 本体, PentiumII 333MHz PNR Module
- 2 Cell Computing, メモリ, 128M 144-pin PC100 SDRAM
(cf. 128MB 144-pin EDO DIMM (j60ns, SO-DIMM)
67.6 x 25.4 x 3.8 (max) mm)
- 3 Cell Computing, カードスロット, NetCARD Dual TypeII Cardbus Slots
- 4 Cell Computing, 部品セット, NetCARD Starter Kits
50-pin IDE cable for 2.5" HDDs
25-pin LPT parallel port cable
9-pin RS232 serial cable
2-pin LCD backlight inverter power cable
12V/60W 100 240VAC AC adapter
Low profile notebook floppy disk drive
26-pin flex cable for the FDD
Product documentation CD-ROM
- 5 Cell Computing, HD, 6GB2.5" HDD
- 6 Cell Computing, コネクタ, Might Mite&SlotCARD3.5" to 2.5" IDE HDD Converter
- 7 Cell Computing, コネクタ, NetCARD cdrom to 2.5" HDD IDE cable
- 8 NCR, WaveLan Card, IEEE turbo
- 9 National Instruments, DAQCard-700 Multi.I/O PCcard
- 10 National Instruments, PR50-50F Ribbon Cable, 0.5m
- 11 Cell Computing, Ether コネクタ, Mighty Mite - Ethernet & PC104
- 12 Cell Computing, CardPC Passive Heat Sink
- 13 Cell Computing, Mighty Mite Starter Kit[93]
40-pin IDE master/slave cable
34-pin floppy disk drive A/B cable
9-pin RS-232 serial port cable
25-pin parallel port cable
2-pin LCD backlight inverter power cable
Connector board
Product documentation CD-ROM

表 B.2: ぬいぐるみの詳細構成要素 —センサ類—

- 1 Infusionsystems, 温度センサ, hot sensor(2)
- 2 Infusionsystems, 圧力センサ, touch sensor(7) (touch strip で代用可)
- 3 Infusionsystems, 曲げセンサ, bend sensor(4)
- 4 Infusionsystems, 重力センサ, G-force sensor(1)
- 5 AICUBE, ジャイロセンサ, Intertrax2 USB PC 版 (未)
- 6 Telex, USB マイク, Super-Directional USB Digital Microphone
- 7 Logitech, USB カメラ, QuickCam(R) Express USB

表 B.3: むいぐるみの詳細構成要素 —電源部分—

- 1 SONY, Rechargeable Battery 7.2V, NP-FM70
- 2 SONY, Battery Charger
- 3 アジア電子, DC/DC コンバータ, BHU 5-5S 2A (オンボードタイプ)
- 4 アジア電子, DC/DC コンバータ, BHU 5-12S 1A(オンボードタイプ)
(cf. Datel 5 volt/12 volt dc to dc converter[94])

表 B.4: むいぐるみの詳細構成要素 —ソフトウェア—

- 1 Win2k(E)
- 2 National Instruments, NI-DAQ for Win2000 (ソフト・ドライバ付き)
- 3 BrianServer, BrianMonitor (Brian Clarkson による)

B.2 公開展示時の音楽マッピング例

表 B.5: ぬいぐるみインタラクションに対する音楽マッピング

	interaction level				
	0	1	2	3	4
aims	simple breathing sound, manifest its conscious	filtered voice sound, reply and sync together	filtered breath sound, filtered voice sound(note specified), reply and sync together, with musical leading sound. Can change tempo and harmony	filtered breath sound, filtered voice sound(note specified), rhythm sound, controllable melody(not only a voice), controllable chord & key of the harmony, reply and sync together, with musical leading sound. Can change tempo and harmony.	simple volume balance, almost uncontrollable
global					
tempo	temperature		bend-input frequency by 1sec.	rhythmical input (any)	
volume				bend-lleg= up, rleg= down	
chord (1-6)				bend-rhand	
key (1-12)				touch-head (more than 1sec.)	 <small>only random rate changes by number of touching head longtime</small>
voice					
volume		used sensors' amount	used sensors' amount	used sensors' amount	
note1		bend-lhand	bend-lhand(note-specified)	touch-lhand(note-specified) after 30sec in this level, get bend-lhand	
note2		bend-rhand	bend-rhand(note-specified)	touch-rhand(note-specified)	
speech speed		touch-mouth	touch-mouth	touch-mouth	
timing ctl		at least one sensor	at least one sensor	at least one sensor	
delay time		level1's term	_____	_____	
breath					
volume			average of bend-lleg&rleg	touch-lhand	touch-lhand
resonance			used sensors' amount	touch-front OR bend-legs average	
timing ctl	camera&mic &prox-nose		_____	_____	
harmony structure			touch-lhand&rhand (keep value by prox-nose)	touch-back	increase by number of touching head longtime
melody					
melody-note				bend-lhand	
note-keep				prox-face	
volume				touch-rhand	
rhythm					
volume				_____	touch-rhand
type (1-4)				rhythmical input from head, back etc.	

表 B.6: 表 B.5 の記述

prox-face	顔面に取り付けた接近センサ
lhand, rhand, lleg, rleg	左手右手, 左足右足
bend	曲げセンサ
touch	圧力センサ
at least one sensor	一つ以上のセンサ入力判定
used sensors' amount	同時入力センサ数
after 30sec in this level, get bend-lhand	30秒後に左手曲げセンサの値も反映
rhythmical input	リズムカルな入力 (5.3.6) 節参照
increase by number of touching head longtime	長時間頭を触るという行動の回数によって増加する

付録 C

Com-Musicの評価実験手法

C.1 評価の目的

5.5 節に述べた評価手法の提案から，ぬいぐるみが状況を判断し，それによって内部状態(モード)を変化させ，文脈適応型インタプリタによって表現形態を変える本システム構成が，ユーザインタラクションにおよぼす影響があるかどうか，またその中で音楽を用いた新しいインタラクションに慣れ親しむことができるかを調べる．

C.2 評価対象

20代～30代の4名．うち男性2名，女性2名，日本人2名，外国人2名．音楽の経験，ぬいぐるみと遊んだ経験などの，バックグラウンドがそれぞれ異なる被験者．

C.3 評価項目

実験 1 Interaction Level の遷移による効果の評価実験

5種類の Interaction Level を準備した現在のシステム (= 実験 1-1) (表 B.5) と，音楽的な制御が中心となる Interaction Level 3 のみを持ち，その Level が変化せず，また音楽要素コントロールのマッピングも変化しないシステム (= 実験 1-2) (表 B.5 の level3 部分のみ) を準備する．そしてそれぞれのシステムに被験者を準備し，Tactile なセンサや，音声，画像などのユーザインタラクションを記録する．

実験 2 時間を伴った入力と即時の入力に対するそれぞれの反応を準備したことについての比較実験 (表 C.1 参照)

様々な入力のタイプを想定し準備したことによる効果を調べるため，上記の Interaction Level 3 のみの単純なシステムを用い，従来の Level 3 における音楽要素マッピング (= 実験 2-1) と，時間を伴った入力を受け付けず，単純な入力にのみ音楽の反応をマッピングするシステム (= 実験 2-2) を比較実験する．

実験 3 言葉と音楽の反応による比較実験 (表 C.2 参照)

モード変化のない比較的単純な Interaction Level 3 のみを用いる。具体的なコントロールの要素として、

1. 本システムにおける音楽要素マッピング (= 実験 3-1)
2. 時間的なまとまりを持った音楽 (楽曲の一部など) のマッピング (= 実験 3-2)
3. 時間的なまとまりを持った言葉の列のマッピング (= 実験 3-3)

の 3 種類を準備し、それぞれユーザインタラクションを観察する。

被験者には図 C.1 に示す小文字の部位のみ操作可能であると知らせ、センサからの入力によりユーザインタラクションを観察し比較する。また、音楽出力との照らしあわせを行うために、音楽出力との時間的な関係も計測する。そして、自由なインタラクションの全体の時間、抱き上げている時間、Tactile センサのそれぞれ値の大きさ、入力時間の長さ、同時入力センサの数を記録し観察する。

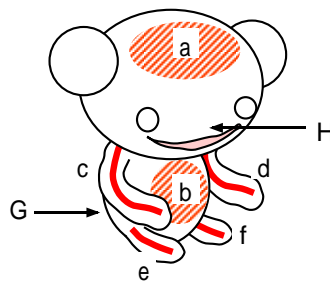


図 C.1: コントロール部位

C.4 記録手法

音楽要素の出力とすべての Tactile センサ入力を記録すると同時に、被験者の状況をビデオに撮る。また、3 分与える中でユーザインタラクションのあった全体の時間、被験者がぬいぐるみを抱き上げている時間を記録する。

後に、Tactile センサのそれぞれ値の大きさ、入力時間の長さ、同時入力センサの数、インタラクションの時間を音楽要素の出力と比較しながら観察する。

表 C.1: 実験 2 の比較要素

a をリズムカルに叩くか撫でる	リズムパートのタイプ&テンポが変化
b をリズムカルに叩くか撫でる	key 変換
c	メロディー 1
d	メロディー 2
e を曲げ続ける	volume 減
f を曲げ続ける	volume 増
c + d + G + H	和音構成音数
e + f - e - f	和音タイプ

実験 2-1

a	リズムパートのタイプ&テンポが変化
b	key 変換
c	メロディー 1
d	メロディー 2
e	volume 減
f	volume 増
c + d + G + H	和音構成音数
e + f	和音タイプ

実験 2-2

表 C.2: 実験 3 の比較要素

a をリズムカルに叩くか撫でる	リズムパートのタイプ&テンポが変化
b	key 変換
c	メロディー 1
d	メロディー 2
e を曲げ続ける	volume 減
f を曲げ続ける	volume 増
c + d + G + H	和音構成音数
e + f	和音タイプ

実験 3-1

a	リズムパートのタイプ
b	key 変換
c	音楽演奏の音 1
d	音楽演奏の音 2
e	OFF
f	ON
c + d + G + H	調の変化した音楽演奏の音

実験 3-2

a	voice1
b	voice2
c	環境音 1
d	環境音 2
e	volume OFF
f	volume ON
c + d + G + H	環境音 1+2+3

実験 3-3

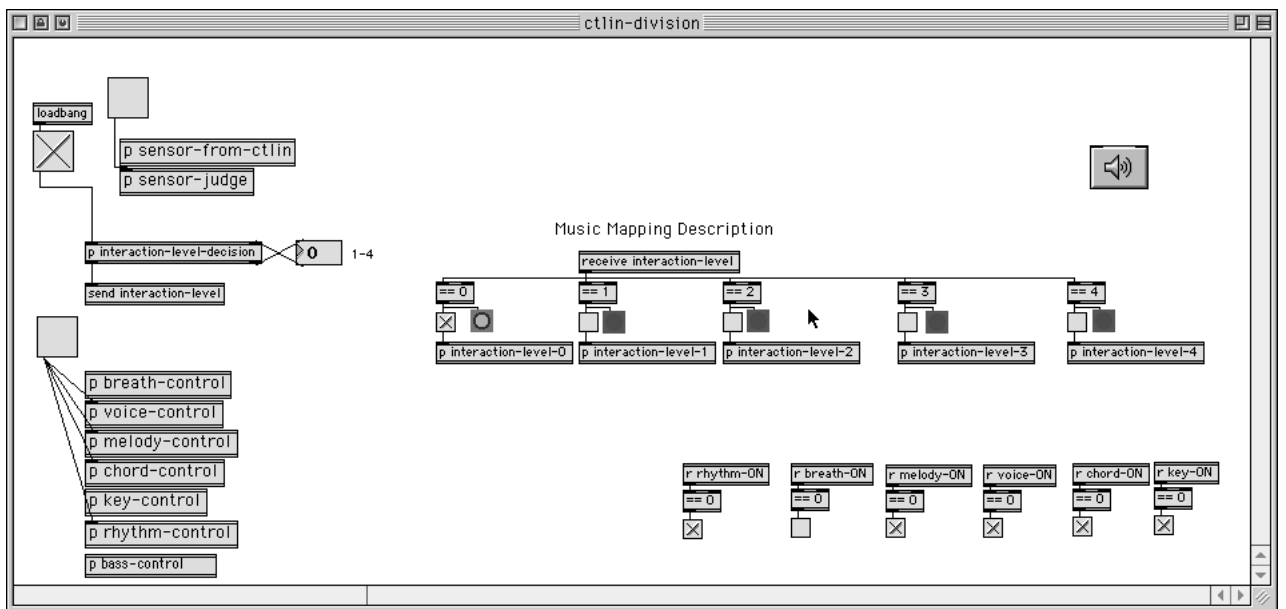


図 C.2: Com-Music アプリケーションのスナップショット

C.5 評価実験実施要項

C.5.1 被験者に指示すること

これから，このぬいぐるみと遊んでもらいます．このぬいぐるみは，あなたとのインタラクションに応じて音を出します．これから，自由にぬいぐるみに触れてください．やめたくなったらやめて結構です．(最終的には3分前後で切る) この絵(図 C.1)の部分に触れるとよく反応します．

この実験を，7種類行います．(実験 3-3, 実験 3-2, 実験 3-1, 実験 2-2, 実験 2-1, 実験 1-2, 実験 1-1 の順番で行う組と，逆順に被験者を分ける)

C.5.2 終了後データからチェックすること

- 同時入力センサ数を調べる
- センサ値の大きさを比べ，同時入力センサ数と合わせてインタラクションの激しさを調べる
- 一度に続けて入力する時間の長さを調べる
- 全体のインタラクションの時間の長さを調べる

C.5.3 終了後に被験者の主観評価でチェックすること

1. 親しみを感じたか，実験 2, 3 のそれぞれの終了後に聴取する

実験 1-1: 感じない 1 2 3 4 5 感じた

実験 1-2: 感じない 1 2 3 4 5 感じた
(ここで一度チェック)

実験 2-1: 感じない 1 2 3 4 5 感じた

実験 2-2: 感じない 1 2 3 4 5 感じた
(ここで一度チェック)

実験 3-1: 感じない 1 2 3 4 5 感じた

実験 3-2: 感じない 1 2 3 4 5 感じた

実験 3-3: 感じない 1 2 3 4 5 感じた

2. どちらかといえばコントロールしようとしたか，それとも相手とのコミュニケーションを試みたか，実験 2, 3 のそれぞれの終了後に聴取する．

実験 1-1: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール

実験 1-2: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール
(ここで一度チェック)

実験 2-1: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール

実験 2-2: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール
(ここで一度チェック)

実験 3-1: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール

実験 3-2: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール

実験 3-3: コミュニケーション 1 2 3 4 5 コントロール

3. 図 C.1 に示したセンサ以外の部分にインタラクションを試みたか。(自由回答)

C.6 評価結果

C.6.1 被験者のバックグラウンド

被験者のバックグラウンドを，表 C.3 に示す．

表 C.3: 被験者の音楽・ぬいぐるみ遊びの経験

ある場合は 2，全く無い場合は 0，曖昧な場合 1

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4
音楽習う経験	1	0	2	2
現在音楽はやっているか	0	0	2	2
ぬいぐるみ遊びの経験があるか	2	0	0	2
ぬいぐるみを現在持っているか	0	0	2	2

C.6.2 客観データ

記録した客観データ(すべてのセンサ値)の中で，インタラクションの総合時間を表 C.4 に記述する．図 C.3 に入力センサ値の例を示す．

C.6.3 主観評価の結果

主観評価の結果として，それぞれの実験における親しみを 5 段階評価で表 C.5 に示す．また，表 C.6 に，インタラクションがコントロール的であったか，コミュニケーション的であったかを 5 段階で示す．5 がコントロール，1 がコミュニケーション寄りを指す．

表 C.4: インタラクションの総合時間

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4
実験 1-1	151 秒	106 秒	91 秒	135 秒
実験 1-2	129 秒	65 秒	175 秒	121 秒
実験 2-1	84 秒	42 秒	74 秒	239 秒
実験 2-2	167 秒	41 秒	143 秒	171 秒
実験 3-1	40 秒	36 秒	95 秒	43 秒
実験 3-2	84 秒	38 秒	211 秒	57 秒
実験 3-3	55 秒	35 秒	124 秒	63 秒
平均	101.4 秒	51.8 秒	130.4 秒	118.4 秒
標準偏差	48.4	25.9	49.4	70.8

表 C.5: 親しみを感じたか (5段階)

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4
実験 1-1	2	3	2	3
実験 1-2	3	4	4	1
実験 2-1	2	3	2	1
実験 2-2	4	3	4	4
実験 3-1	3	5	3	1
実験 3-2	5	1	2	4
実験 3-3	4	1	1	3

表 C.6: コントロールしていたか, コミュニケーションしていたか

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4
実験 1-1	3	4	3	4
実験 1-2	4	4	2	2
実験 2-1	1	5	4	3
実験 2-2	4	5	2	5
実験 3-1	4	3	2	3
実験 3-2	4	5	3	5
実験 3-3	3	5	3	2

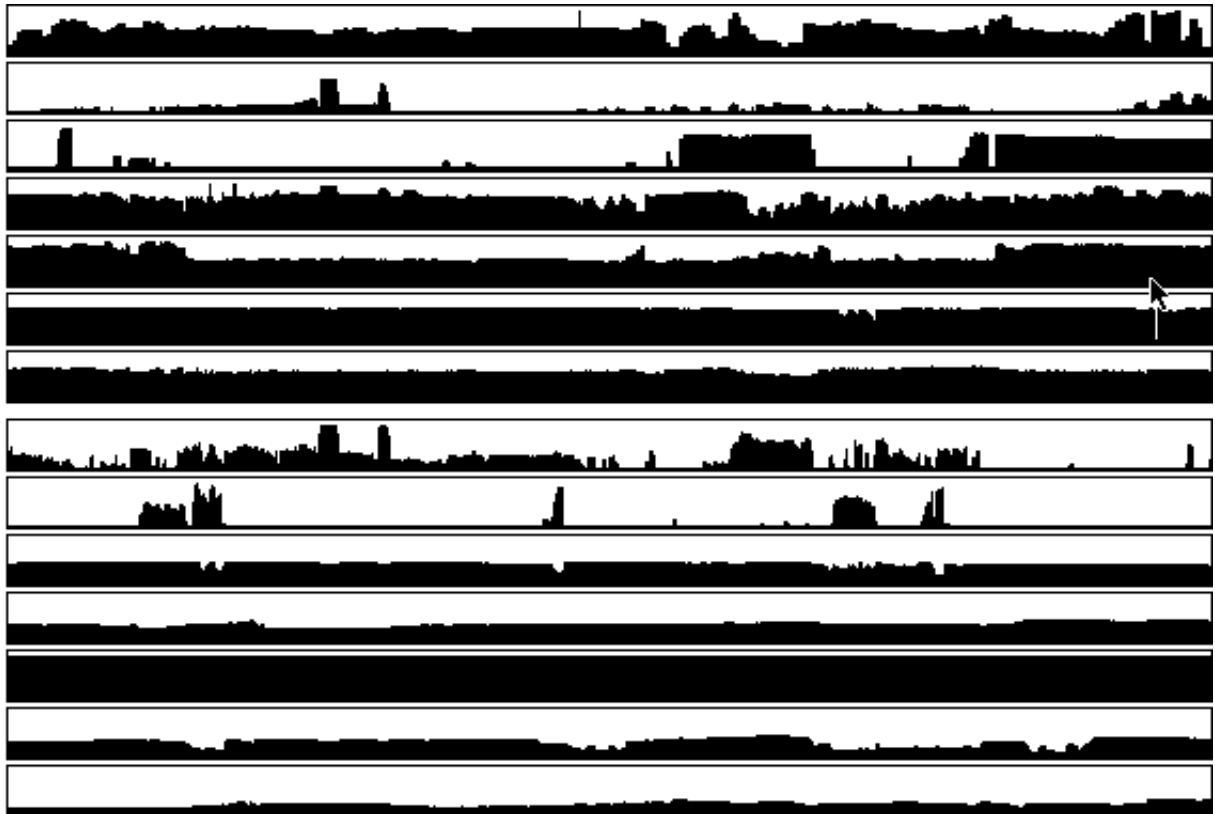


図 C.3: 被験者1のセンサ入力値の例

上から,カメラ,頭部タッチセンサ,臀部の接近センサ,腹部タッチセンサ,背中中のタッチセンサ,顔の接近センサ,加速度センサ,口のタッチセンサ,右手のタッチセンサ,右手の曲げセンサ,右足の曲げセンサ,左手のタッチセンサ,左手の曲げセンサ,左足の曲げセンサ

付録 D

Com-Musicの内部状態毎の実行風景

D.1 それぞれの状態におけるユーザ行動

表 D.1: level0 の時の動作



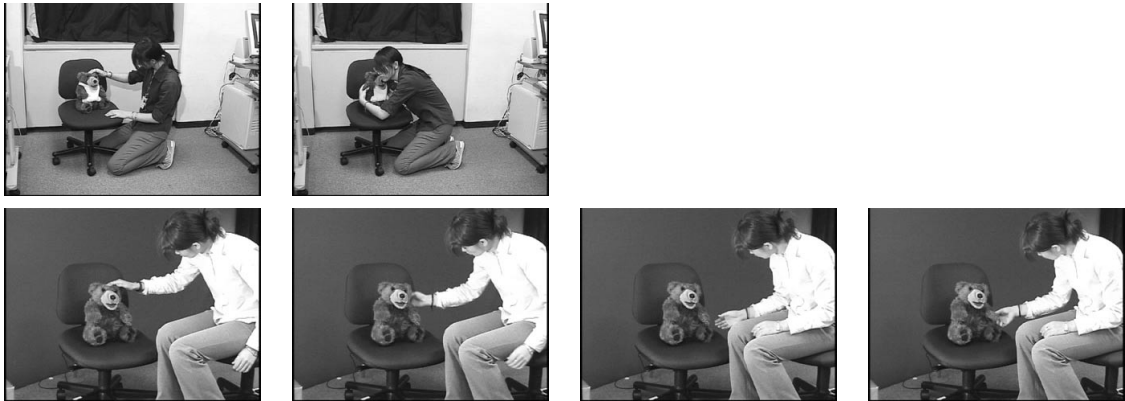
ぬいぐるみに触れないが行動範囲に入る .

表 D.2: level1 の時の動作



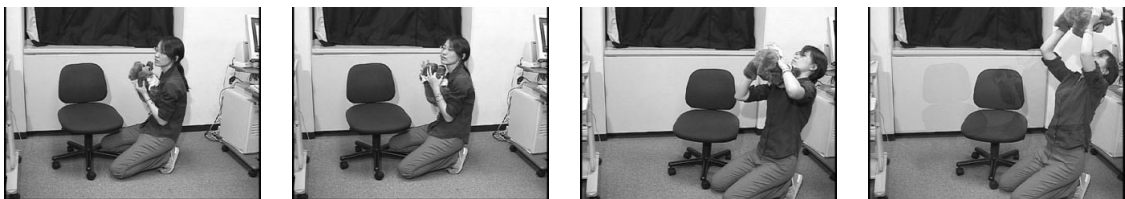
ぬいぐるみの手を動かす (出会いの段階) .

(表 D.2 続き)



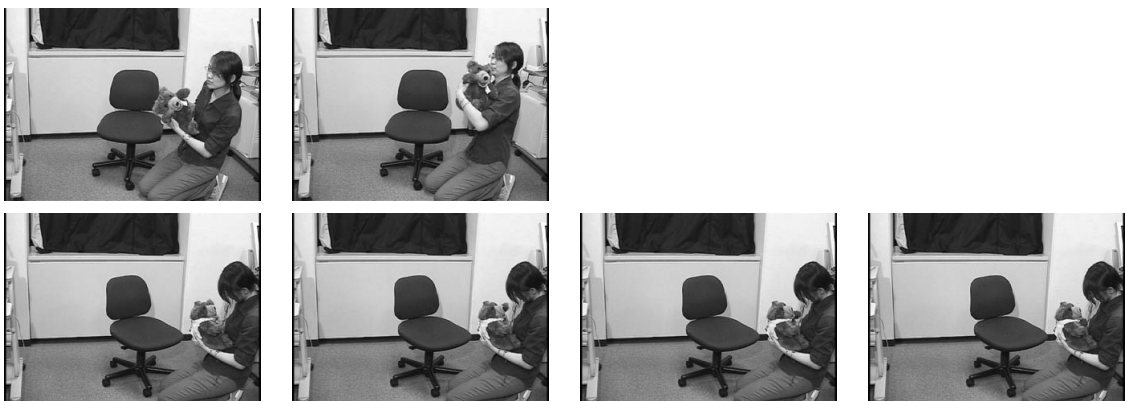
ぬいぐるみにたびたび触れる (出会いの段階) .

表 D.3: level2 の時の動作



抱き上げた状態でぬいぐるみに触れる .

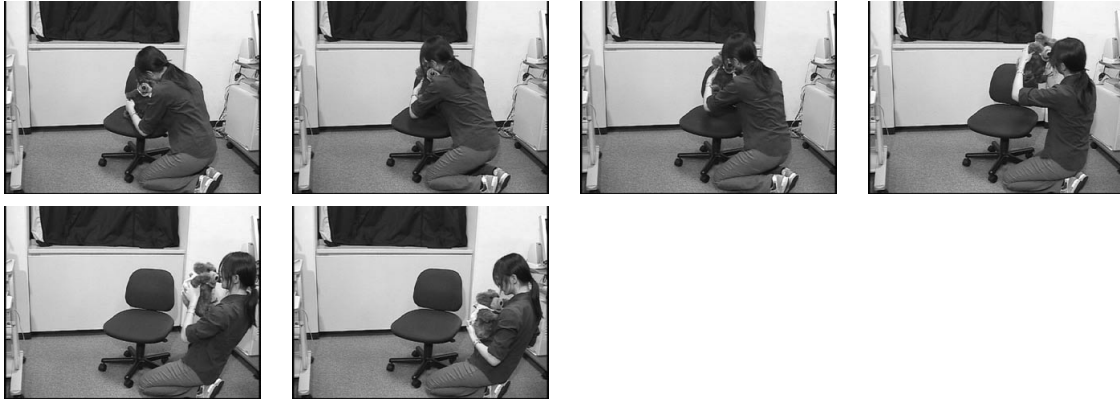
表 D.4: level3 の時の動作



抱き上げた状態でぬいぐるみに触れ , 音楽をコントロールする .

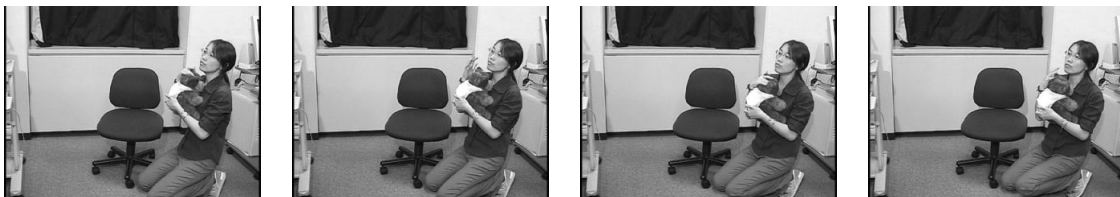
D.2 状態の遷移時のユーザ行動

表 D.5: level1-2 の遷移の動作



抱き上げる動作により interaction level1 から level2 へ遷移する .

表 D.6: level2-3 の遷移の動作



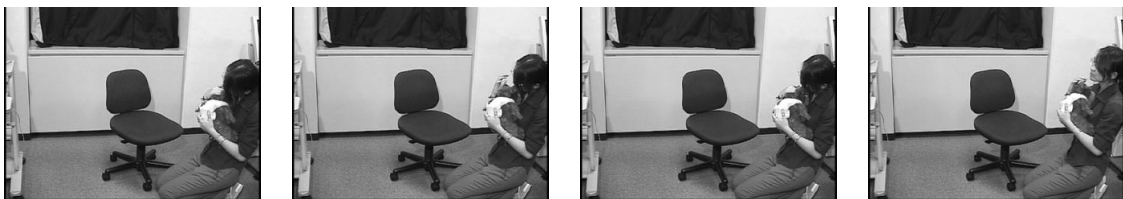
頭や背中などに対して , リズミカルな入力がある一定時間安定して行くと , level2 から level3 へ遷移する .

表 D.7: level3-4 の遷移の動作



ぬいぐるみをむりやり揺さぶったり、同じ動作をしつこく行ったりすると、level3 から level4 へ遷移する。

表 D.8: level4-3 の遷移の動作



ぬいぐるみをなだめるような動作、例えば抱きしめてゆっくり頭を触るなどすると、level4 から level3 へ遷移する。