博士論文

演奏表現の多様性を生み出す
デジタル楽器デザインの研究

中西 宣人

目次

目次

第1章 序論 1

1.1. 本研究の概要 2

1.2. 本論文の構成 5

第2章 研究背景 6

2.1. はじめに 7

2.2. 作曲家/アーティストによる音響表現の探求 8

2.2.1. 現代音楽と空間—調性の崩壊 8

2.2.2. 録音と反復—ミュジック・コンクレート/ミニマル・ミュージック 8

2.2.3. 電子音響—電子現代音楽/ライヴ・エレクトロニクス 9

2.2.4. 音環境と音響表現—サウンドスケープ/サウンドアート 10

2.3. 作曲家/アーティストによる演奏表現の探求 12

2.3.1. 電子楽器と電子音響合成—テルミン/シンセサイザ 12

2.3.2. 新たな演奏表現—音楽インタフェース/サーキット・ベンディング 13

2.4. 新たな楽器開発の現在 15

2.4.1. 新たな楽器・音楽インタフェースの研究—研究・開発コミュニティ 15

2.4.2. デジタル楽器の一般化—デジタル楽器開発/演奏体験のためのアート 16

2.4.3. オープン化の波—Do It Yourself / Do It With Others 17

2.4.4. 独自の演奏表現のための楽器—自作楽器/DJ コントローラ 18

2.4.5. 手軽な電子楽器—玩具/ガジェット 19

2.4.6. 新たな電子楽器/デジタル楽器のあり方—教育/福祉 20

2.4.7. 筆者による先行制作実践 22

2.5. まとめ 25

2.5.1. 電子楽器/デジタル楽器分野の特徴 25

2.5.2. 電子楽器/デジタル楽器に着目する意義 27

第3章 本研究の視座 28

3.1. はじめに 29

3.2. 設計の指針 29

3.2.1. 音/音楽の表現要素 29

3.2.2. 多様性と簡易性を両立するデジタル楽器に向けて 30

3.2.3. 本研究における多様性と簡易性の定義 31
3.3. 多様性と簡易性を両立するためのデザイン手法 32
3.3.1. 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン 33
3.3.2. 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン 35
3.4. 先行事例調査 40
3.4.1. 演奏表現の多様性に着目した先行事例調査 40
3.4.2. 演奏表現の多様性に着目した先行事例の分類 42
3.4.3. 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例調査 44
3.4.4. 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例の分類 45
3.4.5. 本研究が目指す開発領域 47
3.5. まとめ 48
第4章 「表現ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン . 50
4.1. はじめに 51
4.1.1. 概要 51
4.2. デザインとシステム設計 52
4.2.1. 本章におけるデジタル楽器のデザイン 52
4.2.2. 楽器構造とサウンドシンセシス 57
4.3. 演奏方法 59
4.3.1. コントローラの操作 59
4.3.2. 楽器モード 60
4.3.3. ルーパー機能 61
4.4. 展示会への参加 62
4.5. 演奏への応用 64
4.5.1. 演奏会への参加 64
4.5.2. 表現と奏法の追求 65
4.5.3. 演奏に対する評価 66
4.6. まとめ 69
第5章 「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン . 71
5.1. はじめに 72
5.1.1. 概要 72
5.1.2. インタラクション変化による音出力の変化 73
5.2. デザインとシステム設計 75

5.2.1. 本章における電子楽器のデザイン手法 75
5.2.2. 楽器構造とサウンドシンセシス 79
5.3. 演奏方法 81
5.3.1. コントローラの操作 81
5.4. 展示会への参加 82
5.5. 演奏への応用 84
5.5.1. 演奏会への参加 84
5.5.2. 表現と奏法の追求 85
5.5.3. 演奏に対する評価 86
5.6. 開発のまとめ 89
5.7. 評価/分析の手法 90
5.7.1. 評価/分析に関する先行事例 90
5.7.2. 本研究における評価/分析手法 92
5.8. 実験の詳細 94
5.8.1. 手続き 94
5.8.2. 対象と調査期間 97
5.8.3. 実験機材 98
5.9. 主観データ分析 99
5.9.1. 演奏体験に関するアンケート結果 99
5.9.2. 主観データ分析に関する考察 102
5.10. 各センサに関する質的・量的分析 103
5.10.1. 各センサに関する質的分析 103
5.10.2. 各センサに関する量的分析 111
5.10.3. 各センサの質的・量的分析に関する考察 114
5.11. 各被験者の行動データ分析 117
5.11.1. 行動データ表について 117
5.11.2. 被験者の行動データ表: グループ 1 118
5.11.3. グループ 1（背景音呈示グループ）の特徴的な演奏方法 122
5.11.4. 被験者の行動データ表: グループ 2 124
5.11.5. グループ 2（自由演奏グループ）の特徴的な演奏方法 128
5.11.6. 被験者の行動データ表: グループ 3 131
5.11.7. グループ 3（複数人演奏グループ）の特徴的な演奏方法 136
5.11.8. 各被験者の行動データ分析に関する考察 140

5.12. まとめ 143
5.12.1. 本楽器のデザインの有効性 143
5.12.2. デザインにおける課題 144
5.12.3. 評価/分析における課題 145
第6章 「現場ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン146
6.1. はじめに 147
6.1.1. 概要 147
6.2. 特別支援学校との楽器デザインプロジェクト 148
6.2.1. 協働による楽器開発の背景 148
6.3. 協働による楽器開発・実践 150
6.3.1. 協働の概要 150
6.3.2. 第一段階：授業における問題点の抽出とデザインの決定 152
6.3.3. 第二段階：プロトタイピング（試作） 156
6.3.4. 第三段階：授業/授業外における実践 159
6.4. 実践で得られた協働の意義 162
6.4.1. 現場教員へのインタビュー 162
6.4.2. デジタル打楽器の開発と協働プロセスについて 163
6.4.3. 授業や協働に関する今後の展望と課題 164
6.5. 実践の総括 165
6.5.1. 本実践における協働について 165
6.5.2. 協働の長期的な継続と活発化に向けて 166
6.6. まとめ 167
第7章 総合的考察 168
7.1. デジタル楽器の開発と展示/演奏 169
7.1.1. 「表現，一般，現場ユーザ」に向けたデジタル楽器開発 169
7.1.2. 展示/演奏と課題 170
7.1.3. 評価/分析 170
7.2. デジタル楽器の応用の可能性 172
7.2.1. DIY/DIWO に着目したデジタル打楽器の協働開発と現状 172
7.2.2. 課題 172
第8章 結論 173
謝辞 178

引用文献 180
脚注・参考ウェブサイト（最終参照日: 2014/3/31） 188
業績一覧 190

図目次

第 2 章

Fig. 2- 1 電子楽器/デジタル楽器分野における主なユーザの歴史的変遷 7
Fig. 2- 2 「Tri = ALL」 22
Fig. 2- 3 「Faded Circle」 23
Fig. 2- 4 「On The Waves」 24
Fig. 2- 5 電子楽器/デジタル楽器の構造図 25
Fig. 2- 6 本研究が目指す領域 27

第 3 章

Fig. 3- 1 聴衆・演奏者にとっての透明性 [48] 33
Fig. 3- 2 本研究が目指す開発領域 47
Fig. 3- 3 研究の段階 48
Fig. 3- 4 本研究で目指す電子楽器の構造 49

第 4 章

Fig. 4- 1 「B.O.M.B.」 51
Fig. 4- 2 シーケンスの方向 54
Fig. 4- 3 B.O.M.B.の演奏方法 55
Fig. 4- 4 無線通信機能 56
Fig. 4- 5 B.O.M.B.におけるデザイン手法 56
Fig. 4- 6 内部構造 57
Fig. 4- 7 B.O.M.B.のコントローラ構成 58
Fig. 4- 8 楽器モードの変更 60
Fig. 4- 9 ループモードへの変更 61
Fig. 4- 10 B.O.M.B.展示の様子（Asia Digital Art Award 2011） 62
Fig. 4- 11 B.O.M.B.展示の様子（SXSW 2014） 63
Fig. 4- 12 B.O.M.B.展示の様子（ALE 03） 63
Fig. 4- 13 B.O.M.B.演奏の様子（Guthman Competition 2013） 64
Fig. 4- 14 B.O.M.B.演奏の様子（教室#7） 65
Fig. 4- 15 B.O.M.B.の演奏とアニメーション投影（MAMUSKA Tokyo 16） 66

Fig. 4- 16 千代田芸術祭 2013 における演奏の様子 67
Fig. 4- 17 インタラクションのプロセス 70

第 5 章

Fig. 5- 1 POWDER BOX 72
Fig. 5- 2 インタラクション変化による音高情報の参考データ 73
Fig. 5- 3 接触位置センサを用いた演奏の音高データ 74
Fig. 5- 4 圧力センサを用いた音高データ 74
Fig. 5- 5 センサインタフェース 75
Fig. 5- 6 POWDER BOX におけるデザイン手法 78
Fig. 5- 7 POWDER BOX のコントローラ構成 79
Fig. 5- 8 POWDER BOX の内部構造 80
Fig. 5- 9 POWDER BOX 展示の様子（iiiExhibition 14） 82
Fig. 5- 10 POWDER BOX 展示の様子（Laval Virtual 2014） 83
Fig. 5- 11 POWDER BOX 展示の様子（SXSW 2014） 83
Fig. 5- 12 POWDER BOX 演奏の様子（Laval Virtual 2014） 84
Fig. 5- 13 演奏終了後のセッション（Guthman Competition 2014） 85
Fig. 5- 14 POWDER BOX 演奏の様子（Guthman Competition 2014） 86
Fig. 5- 15 千代田芸術祭 2014 における演奏の様子 87
Fig. 5- 16 各センサインタフェースにおけるインタラクションの教示方法 95
Fig. 5- 17 実験機材の設置図 98
Fig. 5- 18 演奏の楽しさ 99
Fig. 5- 19 演奏の簡易性 100
Fig. 5- 20 操作のわかりやすさ 101
Fig. 5- 21 思い通りの操作 102
Fig. 5- 22 操作が簡単だったセンサ 103
Fig. 5- 23 操作が難しかったセンサ 103
Fig. 5- 24 圧力センサ 104
Fig. 5- 25 接触位置センサ 105
Fig. 5- 26 回転式可変抵抗 106
Fig. 5- 27 距離センサ 107
Fig. 5- 28 光センサ 108
Fig. 5- 29 曲げセンサ 109

Fig. 5- 30 スライド式可変抵抗.....110
Fig. 5- 31 POWDER BOX における体験順序.....111
Fig. 5- 32 「ループー利用までの時間平均」と「簡易回答率」の関係（1） 113
Fig. 5- 33 「ループー利用までの時間平均」と「簡易回答率」の関係（2） 115
Fig. 5- 34 被験者 G1-2 の楽器を立てる演奏方法.....122
Fig. 5- 35 被験者 G1-3 の音階をリズムに合わせて変更していく演奏 122
Fig. 5- 36 被験者 G1-6 のテンポに合わせた手かざし奏法 123
Fig. 5- 37 被験者 G1-8 の高速につまむ，二本指を使った演奏 123
Fig. 5- 38 被験者 G2-1 の掌にセンサ面を向ける演奏.....128
Fig. 5- 39 被験者 G2-2 のライトを使った演奏とテンポ同期の音階操作 128
Fig. 5- 40 被験者 G2-6 の二本指で挟んで素早く曲げる演奏 129
Fig. 5- 41 被験者 G2-7 の背景音に合わせたソロ演奏.....129
Fig. 5- 42 被験者 G2-8 の光センサで音高を探す演奏.....130
Fig. 5- 43 被験者 G3-1 の演奏の調整とコミュニケーションの過程 136
Fig. 5- 44 被験者 G3-2 の演奏の調整とコミュニケーションの過程 137
Fig. 5- 45 被験者 G3-4 の演奏ポジション入替とコミュニケーションの過程.....138
Fig. 5- 46 被験者 G3-5 のセンサの受け渡しとコミュニケーションの過程.....139

第 6 章

Fig. 6- 1 開発されたデジタル打楽器 147
Fig. 6- 2 協働のプロセス図.....151
Fig. 6- 3 従来の演奏指導で用いられていたイラスト 152
Fig. 6- 4 デザイン要件 155
Fig. 6- 5 本章におけるデジタル打楽器のデザイン手法.....155
Fig. 6- 6 開発されたデジタル打楽器の内部構造 156
Fig. 6- 7 開発されたデジタル打楽器とリモコン 157
Fig. 6- 8 デジタル打楽器側面の LED 表示 158
Fig. 6- 9 教員による試奏.....159
Fig. 6- 10 実践の経過 161
Fig. 6- 11 教員へのインタビュー 162

表目次

第 3 章

Tab. 3- 1 演奏表現の多様性に着目した先行事例 43
Tab. 3- 2 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例 46

第 4 章

Tab. 4- 1 B.O.M.B.の機能要素 69

第 5 章

Tab. 5- 1 POWDER BOX の機能要素 89
Tab. 5- 2 各センサの「ルーパー利用までの時間平均」と「簡易回答率」 112
Tab. 5- 3 各センサに対するコメントの特徴 114
Tab. 5- 4 被験者 G1-1 118
Tab. 5- 5 被験者 G1-2 118
Tab. 5- 6 被験者 G1-3 119
Tab. 5- 7 被験者 G1-4 119
Tab. 5- 8 被験者 G1-5 119
Tab. 5- 9 被験者 G1-6 120
Tab. 5- 10 被験者 G1-7.....120
Tab. 5- 11 被験者 G1-8.....120
Tab. 5- 12 被験者 G1-9.....121
Tab. 5- 13 被験者 G1-10.....121
Tab. 5- 14 被験者 G2-1.....124
Tab. 5- 15 被験者 G2-2.....124
Tab. 5- 16 被験者 G2-3.....125
Tab. 5- 17 被験者 G2-4.....125
Tab. 5- 18 被験者 G2-5.....125
Tab. 5- 19 被験者 G2-6.....126
Tab. 5- 20 被験者 G2-7.....126
Tab. 5- 21 被験者 G2-8.....126
Tab. 5- 22 被験者 G2-9.....127

Tab. 5- 23 被験者 G2-10 127
Tab. 5- 24 被験者 G3-1-1 および G3-1-2 131
Tab. 5- 25 被験者 G3-2-1 および G3-2-2 132
Tab. 5- 26 被験者 G3-3-1 および G3-3-2 133
Tab. 5- 27 被験者 G3-4-1 および G3-4-2 134
Tab. 5- 28 被験者 G3-5-1 および G3-5-2 135
Tab. 5- 29 特徴的な演奏方法の分析 141
Tab. 5- 30 千代田芸術祭 2014 における筆者の演奏 141

第 6 章

Tab. 6- 1 プロジェクトの実践スケジュール 151
Tab. 6- 2 開発したデジタル打楽器の機能要素 167

第 7 章

Tab. 7- 1 本研究で開発したデジタル楽器の機能要素 169

第1章 序論

1.1. 本研究の概要

本研究は，既存の音楽理論や演奏技術の訓練などに左右されない，様々なユーザの演奏表現に多様性をもたらすデジタル楽器（DMI: Digital Musical Instruments）の実現を目的とする．本目的に向けて，①デジタル楽器の開発と演奏/展示への応用，②評価実験とユーザの演奏分析を通して，開発したデジタル楽器の有効性を検証する．加えて，本楽器研究により得られた知見と開発したデジタル楽器の社会への応用実践として，③特別支援学校教員との協働でデジタル打楽器を開発し，授業におけるアンサンブル演奏の教育に着手する．上記デジタル楽器により，専門的な音楽教育を受けていないユーザの音楽表現をサポートすることで，一般のユーザが潜在的に有する音楽性を引き出し，新たな音楽表現の要素に付加することが本研究の狙いである．

これまで二十世紀以降の音楽芸術において，作曲家や演奏家は，音楽理論や演奏技術の専門性を高めることで新たな音楽表現を探求してきた．また同時期に，作曲家・演奏家と音響技術者・楽器開発者との協働により，シンセサイザなどの音楽に関する電子技術，新たな電子楽器/デジタル楽器や音楽インタフェースの開発が行われ，これらを用いた新たな演奏表現の拡張が試みられてきた．このように，音楽の専門家や，各分野の専門家同士の協働により，音楽芸術における新たな表現手法が模索されてきた．

上記の方向性に対し，本研究では作曲家・演奏家などの専門家による音楽表現ではなく，非音楽家による音楽表現に着目している．Davidson（1998）は，読譜ができず，演奏訓練を受けていない子どもや大人が，フレーズ構造，旋律輪郭，音高，リズム要素といった音楽次元を表現できる場合があることを指摘し，音楽的に訓練されていない人々であっても，洗練された能力を持っていることに言及している[1]．また，山崎（2002）の主張のように，音楽的な訓練を受けていない人々であっても，音楽演奏によって感情を伝達する一定の能力を有しているとの指摘もある[2]．これらの指摘から，音楽理論に関する知識や，訓練で得られた楽器演奏の技術は，音楽表現を支えるための一側面でしかなく，誰もが音楽における感情表現の能力を有しているものと考えられる．

ゆえに，音楽的知識や演奏技術に左右されない音楽表現の場をつくり出すことができれば，演奏技術/音楽理論に関する知識を持った専門家には見られない音楽フレーズや奏法が発生するなど，新たな音楽表現や演奏表現が見出される可能性が高い．このことから，音楽大学や専門学校において専門的な音楽教育を受けたことがなく，一般的な音楽理論以上の知識を持たない演奏者の表現に着目することに意義がある．

本研究ではインタフェース（入力部）と音源（出力部）を分離してデザインできる特徴を持つ，電子楽器/デジタル楽器に着目している．調性を持つ音楽を対象とした場合，前述した音楽的知識や演奏技術に左右されない音楽表現の場をつくり出すには，音/音楽の三要

素をともなう演奏表現の支援を行う必要がある．本問題への解決策として，電子楽器/デジタル楽器の上記の特徴を生かすことで，演奏者の様々なインタラクションを音出力に関連付けることが可能となり，不足している音楽理論に関する知識や演奏技術に対する支援を行うことができる．

これまで電子楽器/デジタル楽器分野において，研究者やアーティストにより，容易に音楽表現が可能な電子楽器/デジタル楽器，音楽インタフェースの開発が試みられてきた．しかしこれらの先行事例では，簡易性を追求するあまりに，演奏者が独自の表現手法を探索するために必要な要素を省いてしまうことが少なくなかった．これに対し，本研究では音楽表現のためのインタフェースデザインにおいては，インタラクションの「簡易性」だけをデザインするのではなく，演奏者が独自の表現手法を探索するための「余白」を取り入れるデザインが重要であると考えている．簡易性を高めるデザインに加えて，このような「余白」のデザインを取り入れることによって，音楽的知識の理解度や演奏技術の習熟度の異なる様々な演奏者の表現が音楽演奏に反映され，多様性が生み出されると考えられる．

このような多様性を生み出すため，本論では演奏者が独自に用いるインタラクションや奏法の表現を「演奏表現の多様性」と定義する．この定義に則り，ユーザが独自のインタラクション方法や奏法の表現手法を探索できる仕組みを取り入れることで，表現の「余白」を取り入れたインタフェースデザインを実現する．また，音楽演奏の簡易性を高めるため，①分散型のスタンドアローン楽器，②ステップシーケンサ/ルーパー機能を用いたリズム演奏の支援，③ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援という３つの機能をデジタル楽器システムに採用し，演奏者の表現を支援する．

さらに本研究では，３つの対象ユーザを設定し，対象に合わせてインタフェースデザインを行う手法を提案する．本段階を経ることで簡易性を高めるデザインを徐々に組み込み，多様性と簡易性を両立するインタフェースデザインを実現し，社会現場に応用する．

まず本研究の第１段階として，開発の対象を①音楽大学や専門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」に設定し，音楽表現を行う上で重要な要素となる音/音楽の三要素へのインタラクションを可能としながら，様々な奏法を用いることが可能なデジタル楽器を開発する．また，筆者による演奏活動により，実際の音楽演奏に用いることができるか検証する．

次に，第２段階として，第１段階で開発したデジタル楽器のインタフェースの簡易性を高め，②専門的な教育を受けたことのない「一般ユーザ」の演奏表現を支援し，多様性と簡易性を両立するデジタル楽器を実現する．また，第１段階と同様に，音楽演奏への応用に関する検証に着手する．さらに本段階では，一般ユーザが，①音/音楽の三要素をともなった音楽表現ができること，②多様な演奏表現を用いることができること，という観点から評

価/分析を行い，開発したデジタル楽器システムの効果を検証する．

最終段階である第 3 段階では，本研究で開発した多様性，簡易性を両立するデジタル楽器システムとインタフェースの社会現場への応用として，③目的に特化した音楽表現機材を必要とする「現場ユーザ」を対象ユーザに設定し，社会現場におけるデジタル楽器デザインの実践を行う．

下記が各段階における，演奏表現の多様性と簡易性を両立するデジタル楽器デザインの要約である．

A) 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1) 「表現ユーザ」—複数の音楽次元を同時に操作できるインタフェースデザイン

「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」というマルチジェスチャ入力により，音楽表現の要素を多軸化することで，様々な音楽表現の次元を同時に操作できることを目的としたデジタル楽器「B.O.M.B. —Beat Of Magic Box—」の開発と展示/演奏応用

(2) 「一般ユーザ」—ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザイン

B.O.M.B. の発展形として，音高表現のための入力センサを奏者が変更できるインタフェースを採用することで，様々な奏法に柔軟に対応するデジタル楽器「POWDER BOX」の開発，展示/演奏，評価/分析

(3) 「現場ユーザ」—利用現場の状況に合わせたインタフェースデザイン

研究成果を社会に応用していく試みとして，本研究で開発したデジタル楽器システムとインタフェースをもとに，特別支援学校教員とのデジタル楽器の協働デザインを行い，現場の教育活動を支援するデジタル打楽器を開発し，授業におけるアンサンブル教育に着手

B) 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1) 分散型のスタンドアローン楽器

(2) ステップシーケンサ/ルーパー機能を用いたリズム演奏の支援

(3) ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

本研究のように，多様性と簡易性とを両立するデジタル楽器や音楽インタフェースデザインと開発，それらの演奏/展示への応用，評価/分析，社会現場への応用を一貫して行っている先行事例は見られない．上記プロセスを設定し，デジタル楽器のデザインを提供の対象に合わせて段階的に行っていくことで，音楽的知識や演奏技術を必要としない簡易性をもち，演奏表現に多様性を生み出すデジタル楽器を実現する．

1.2. 本論文の構成

第 2 章では，二十世紀音楽芸術，美術，教育や福祉分野の中で重要視されていく電子楽器/デジタル楽器，音楽インタフェースの歴史的変遷ついて述べる．現代の電子楽器/デジタル楽器の開発は音楽だけでなく，上記分野にまたがる学際的な領域となっている．これらの歴史的背景を踏まえることで，本研究で開発するデジタル楽器の設計手法の検討に役立てる．また，歴史的背景を参考に，デジタル楽器や音楽インタフェースに着目する意義について述べる．

第 3 章では，本研究の視座について記述する．本研究で開発するデジタル楽器の設計指針について述べ，電子楽器/デジタル楽器分野における先行事例について調査し，本研究で開発するデジタル楽器のデザイン手法を示す．

第 4 章では，①音楽大学や専門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」に向け，前章で提案したデザイン手法をもとに本研究で開発した，「B.O.M.B. —Beat Of Magic Box—」について記述する．B.O.M.B. は，圧力センサ，加速度センサなどの複数のセンサを搭載することで，「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」といった複数のジェスチャによる演奏を実現し，音/音楽の三要素の各音楽次元を同時に操作することが可能である．また，ネットワーク同期機能を搭載しており，テンポ/音階は自動で同期される．本楽器の開発と展示，演奏応用について述べる．

第 5 章では，前段階で開発したデジタル楽器システムを下地とし，②専門的な教育を受けたことのない「一般ユーザ」に向けて開発した「POWDER BOX」について記述する．POWDER BOX は，音高表現のため入力センサを奏者が変更できるインタフェースを採用することで，演奏者の用いる奏法に柔軟に対応できる．本楽器の開発と展示，演奏応用について述べる．加えて，POWDER BOX について，①ユーザが演奏体験について，主観的にどのように感じているか，②各インタフェースにどのような特徴があり，どのような点に演奏者が簡易性を感じるか，③多様な演奏表現を生み出すことができているか，という点に関して評価/分析を行うことにより，本研究におけるデザインの効果を検証する．

第 6 章では，③目的に特化した音楽表現機材を必要とする「現場ユーザ」に向けたデジタル楽器デザインに着手する．本研究で開発したネットワーク同期システムと，センサインタフェースを変更できるシステムを応用し，特別支援学校とのデジタル打楽器の協働デザインと，現場でのアンサンブル演奏に関する教育に着手する．

第 7 章では，総合的考察として，本研究で得られた結果および課題について記述する．

終章である第 8 章において，展示実践，演奏実践，ユーザ評価と分析，応用実践の側面から，本研究について総括する．さらに，本研究を経て明らかとなった新たなデジタル楽器の展開の可能性や，今後の展望について述べる．

第2章 研究背景

2.1. はじめに

本章において，①新たな音響表現のための電子技術，②新たな演奏表現のためのインタフェースという２つの側面から，本研究の歴史的背景について述べる．

下図（Fig. 2- 1）に示すように，主に音楽や電子技術の専門家によって，現代音楽における調性からの逸脱，電子音響技術/シンセサイザの開発，録音再生技術の開発による音楽表現の拡張などが行われてきた．また，電子楽器/デジタル楽器，音楽インタフェースの開発などにより，新たな演奏表現の探求が行われてきた．

しかし現代では，一般のユーザが電子楽器/デジタル楽器をつくる時代となり，音楽の専門的な教育を受けていない演奏者による音楽表現も，音楽芸術における１つの要素となりつつある．

次節から，開発技術のオープン化によって，専門的な音楽教育や演奏の訓練を受けた作曲家/アーティストだけでなく，特別な訓練を受けていない一般ユーザにも音楽表現の機会が開かれていく，歴史的な変遷について記述する．また本章の後半では，電子楽器/デジタル楽器分野の現代の重要な特徴として，下記３点に着目し，研究背景をまとめる．

(1)　柔軟な音楽インタラクションの設計の実現
(2)　開発技術および表現技術の一般化
(3)　教育/福祉分野への応用

Fig. 2- 1 電子楽器/デジタル楽器分野における主なユーザの歴史的変遷

2.2. 作曲家/アーティストによる音響表現の探求

2.2.1. 現代音楽と空間—調性の崩壊

二十世紀初頭から音楽芸術において，音楽における「響き」の表現を拡張しようとする試みが見られた．

音階という点に着目すると，クロード・ドビュッシー（Claude Debussy）による全音音階を用いた作曲から，伝統的な 7 音音階の崩壊が始まり，アルノルト・シェーンベルク（Arnold Schönberg）によって 12 音無調音階（12 音技法）が提唱された．12 音技法は，音階内の 12 音を一度ずつ任意に並べ，これを用いて音列をつくり，それらを均等に用いることで調性からの脱却を図るものであった．

その後，シェーンベルク，アルバン・ベルク（Alban Berg），アントン・ウェーベルン（Anton Webern）などの作曲家たちにより，音列による作曲技法であるセリー音楽（トータル・セリエリズム）が確立され，機能和声から逸脱した表現が用いられるようになった．この結果として，作曲家は「時間」的な芸術表現であった音楽芸術に，響きの新しさ —すなわち「空間」という感覚を与えるに至った[3].

例えば，ドイツの現代作曲家カールハインツ・シュトックハウゼン（Karlheinz Stockhausen）には，「空間音楽（Raummusik)」と名付けた一連の作品がある．シュトックハウゼンは，「*そもそも，楽器をどう配置するかが私の関心事だったのであり，単純に機械によって音の空間が作られることを望んでいたわけではない*」と語っている[4]．シュトックハウゼンの「空間音楽」という考え方は，同様の構成の楽器群を，空間内の別の位置に移行することで「音質の変異を表現する」ものであった．

このように，音楽を構成する要素が，音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）という機能和声的な伝統から次第に離れていったことで，「空間」や「音響」に着目した表現が見られるようになった．

2.2.2. 録音と反復—ミュジック・コンクレート/ミニマル・ミュージック

1950 年代には，伝統的な音楽表現で用いられた楽音（人声や多くの楽器の音）だけではなく，録音された音を素材として作曲に用いる流れが見られた．自然や街の中などで録音された音を素材として，編集や電気的・機械的加工によって作曲する「ミュジック・コンクレート（Musique Concrete)」の登場である．1950 年，現代作曲家のピエール・シェフェール（Pierre Schaeffer）は，パリでミュジック・コンクレートのためのスタジオを設立した．シェフェールとピエール・アンリ（Pierre Henry）は，具体的な（コンクレート）音を録音し，様々な編集操作をすることで多くのミュジック・コンクレート作品を生み出している[3].

また，フランス国営放送 RTF（Radio Télévision Française）では，シェフェールとアンリに加え，エドガー・ヴァレーズ（Edgar Varèse）らによってミュジック・コンクレートの制作が行われた[5].

一方，二十世紀以前には見られなかった新たな作曲技法として，ミニマルな音楽フレーズの繰り返しの中に微小な差異を組み込み，新たな聴取体験を提示する「ミニマル・ミュージック」が挙げられる.

ミニマル・ミュージックは, 1960 年代のアメリカ合衆国でラ・モンテ・ヤング（La Monte Young），テリー・ライリー（Terry Riley），スティーブ・ライヒ（Steve Reich），フィリップ・グラス（Philip Glass）らにより実践された[6]. ライヒは自身の手法を「Gradual Phase Shifting Process（漸次的位相変移プロセス）」と説明し，同じループが仕込まれた２つのテープを同時に再生しながら，再生速度をずらして行くことによって，一種のモアレにも似た作用を発生させた．ライヒにとっては，「反復」そのものが問題ではなく，むしろ「差異」の方が興味の対象あったと捉えられる[7].

ミニマル・ミュージックは，現代音楽の手法としてだけでなく，ドラム・マシーン，ステップシーケンサなどにより機械的な反復リズムをともなう大衆音楽である「テクノ・ミュージック」にも多大な影響を与えた．ミニマル・ミュージック以前，シンセサイザはすでに多くの大衆音楽に利用されていたが，機械的な反復リズムに関しては事例が少ない．機械的な反復リズムは，ミニマル・ミュージックにおける反復が形骸化していった 1970 年代，ドイツの電子音楽グループであるクラフトワーク（Kraftwerk）[1]らの活動により注目されるようになり，一般に浸透していった[7].

2.2.3. 電子音響—電子現代音楽/ライヴ・エレクトロニクス

また，音楽におけるデジタル信号処理技術の向上により，リアルタイムに電子的な音響表現を操作していこうとする作曲家たちが現れる．現代音楽の作曲家であり，後にフランス国立音響音楽研究所（IRCAM: Institut de Recherche et Coordination Acoustique / Musique）[2]の所長を務めたピエール・ブーレーズ（Pierre Boulez）らスペクトル学派の作曲家たちは，音響技術者との協力により，電子的に新たな音響空間を作り出すシステムの開発や作曲を行ってきた.

ブーレーズは，1981年のドナウエッシンゲン音楽祭で，6 人のソリストと室内オーケストラとライヴ・エレクトロニクスのための「レポン（Répons)」を初演した．本楽曲は，空

[1] Kraftwerk, http://www.kraftwerk.com
[2] IRCAM（Institut de Recherche et Coordination Acoustique / Musique）, http://www.ircam.fr

間的及び時間的な様々な位相をともなう別々の周期パルスを組み合わせる技法を用いている．ブーレーズには，「音響のモアレ模様」，すなわちソリストとオーケストラの可変的な関係を生み出し，様々な音楽的次元を豊かにさせる意図があった．レポンでは，幾つかの独奏の楽節が即時にサンプリングされ，それが移調される．さらに聴衆を囲むように配置されたスピーカによって，その音像が空間的に移動する．このことにより，複雑な音響を生み出している[8][9].

ミュジック・コンクレートなどのように，事前にテープの継ぎ接ぎや，音響処理を行う音楽においては，常に演奏者がテープなどとの同期に専念することになり，演奏行為が磁気テープの支配下に置かれていた．このため，人間のリアルタイムな行為が反映できなかった．これに対して，上記のような「ライヴ・エレクトロニクス」音楽は，楽器演奏とエレクトロニクスをリアルタイムにつなぎ，変形，増幅させる特徴をもっている．

レポンには，リアルタイム音響処理を行なうためのコンピュータ「4X」が使用されている．このようなリアルタイム音響処理の技術は，後にIRCAMにてミラー・パケット（Miller S. Puckette）らにより開発され，インタラクティブアート制作や，音楽インタフェースの開発に頻繁に用いられるビジュアル・プログラミング環境「Max/MSP[3]」や，後に同じくパケットにより開発されたオープンソースのビジュアル・プログラミング環境「Pure Data[4]」にもつながっている．

2.2.4. 音環境と音響表現—サウンドスケープ/サウンドアート

その他の作曲家や芸術家も新たな音楽･音響表現を模索しており，実験的に電子技術を用いた作曲技法や楽器の開発を行い，様々な表現手法を提示してきた．このような活動によって，音楽と美術の境界線は次第に曖昧となっていく．

伝統的な芸術と社会を否定し，新しい時代にふさわしい機械美やスピード感，ダイナミズムを賛美したイタリア未来派の芸術家，ルイジ・ルッソロ（Luigi Russolo）は，1913～21 年の間に様々な楽器を制作している．彼は「Art of Noise」というマニフェストを発表し，代表的な楽器としては機械的に非和声的なノイズサウンドを出力する「イントナルモリ（Intonarumori）」が挙げられる [3][10].

作曲家ジョン・ケージ（John Cage）は, 4 分 33 秒の間，演奏家が何もせずにそのままの状態を保った後退場する作品「4 分 33 秒」（1952）を発表している．ケージはこの楽曲により，「環境音それ自体が音楽でありうる」という音楽の偏在を肯定し[3]，以降の作曲家，

[3] Max/MSP, https://cycling74.com/products/max/
[4] Pure Data, http://puredata.info

芸術家の創作活動に大きな影響を与えた．

マリー・シェーファー（Raymond Murray Schafer）は，上記のケージらの実践や思想を基礎に置きながら，サウンドスケープの概念を構築した．サウンドスケープとは「個人，あるいは特定の社会がどのように知覚し，理解しているかに強調点がおかれた音の環境」であると語られている．さらに，人間が西洋音楽のような「音楽の音」にしか「美的聴取」をしなかった事で，産業革命以降，ローファイ化し，バランスの崩れてしまった音環境を再び「調律」しなければならないとの考えから，サウンドスケープ･デザインを提唱した[11]．サウンドスケープの概念は，音と環境とを結びつける思想として，サウンドアートなどの分野でも度々言及されている．

ケージらとともに様々なパフォーマンス活動を行った作曲家デビッド・チュードア（David Tudor）は，1973 年ごろから参加型パフォーマンス「レインフォレスト（Rainforest）」を行っている．レインフォレストは，工場廃棄物や過程の粗大ごみの中から集めた様々な機材や部品からなるオブジェクトを会場に並べ，シンセサイザからそれらのオブジェに送った音源が独自の共鳴音を発する．観客がそれに耳をつけ，音を聞き取る．

アルヴィン・ルシエ（Alvin Lucier）は，10 メートルの一本の針金の両端に電磁石を取り付け，交流電流の微妙な時間的変化に応じて振動が起こり，音を発する「Music On Long Thin Wire」や，現在も様々な研究分野で検討が行われている脳波音楽などに取り組んでいる[12]．

これらの作曲家，芸術家の活動は，前述した電子音響を用いた現代音楽における空間への意識と同様に，「時間芸術」とされてきた音楽芸術に，「空間芸術」の要素を取り込んでいった．またその結果として，鑑賞者が作品表現に参加できる体験型の作品が現れるなど，鑑賞形態が多様化し，楽器と演奏者，演奏者と聴衆の境界線を曖昧にさせた．これにより，音楽表現や芸術表現を専門としない多くの人びとを，作品に参加・介入させ，専門家以外の表現を取り込んでいく手法が，様々な作品群に用いられるようになった．

上記の参加型の作品表現は，現代のインタラクティブアート/メディアアートにおける体験型の作品群にも大きな影響を与えている．

2.3. 作曲家/アーティストによる演奏表現の探求

2.3.1. 電子楽器と電子音響合成—テルミン/シンセサイザ

電子的な音響加工により，新たな音楽・音響表現を探求する流れと同期して，電子的に音響を操作する電気/電子楽器や音響処理技術の開発が進められてきた．

19世紀に電気楽器が誕生して以降,「*エレクトリック・オルガンのように以前の機械的あるいは気動的なアクションが電気アクションに変わっているようなものと，電気的に音を増幅する楽器と，電気的に発音する楽器の3種類*」が開発されてきた．このうち「電気的に発音する楽器」に関して，クルト・ザックス（Curt Sachs）は，「*このような楽器を開拓したのはW. Duddel（1899）及びW. Burstynであり, F. E. Miller（1915）は現代の真空管を採用した最初の人であった.*」と述べている[13].

1906年にはアメリカの発明家であるサディウス・ケイヒル(Thaddeus Cahill)により，発電機による正弦波と電話機を利用した「テルハーモニウム」，1920年にはソ連の音響物理学者レフ・テルミン（Léon Theremin）による「テルミン」が開発される．また，1928年にはフランスにおいて，音楽家であり技師でもあったモーリス・マルトノ（Maurice Martenot）によって鍵盤，スイッチ，リボンコントローラにより，複数の弦とレゾネータの振動を操作し，音を発生させる「オンド・マルトノ」が開発された[14].

その後電子技術の発展とともに，電子的に波形を合成し，音を出力するシンセサイザが登場する. 1950年代には, RCA（Radio Corporation of America）プリンストン研究所でハリー・オルソン（Harry F. Olson）により「RCAミュージック・シンセサイザ」が開発された．1970年代にはデジタル信号処理（DSP: Digital Signal Processing）を用いた波形合成手法が開発され, 83年にはFM音源（Frequency Modulation）を内蔵したYAMAHAデジタルシンセサイザ「DX-7」が発売開始された．さらにその後，サンプリングされた楽器音などの音源素材を用いるPCM音源（Pulse Cord Modulation）などが一般的に使用されるようになった[15].

1980年代には, MIDI（Musical Instrument Digital Interface: 専用ケーブルによって演奏や同期に必要な情報を機器間でやりとりできる）規格の普及が進み，90年代のパーソナル・コンピュータの一般化に伴い，音響処理の分野はシンセサイザなどのハードウェアから，DTMソフトウェアなどのソフトウェアへと急速に移行していく[16].

加えて上記の音響処理技術は，音響プログラミングの簡易化により技術者でなくても触れられる技術となった．マサチューセッツ工科大学（MIT: Massachusetts Institute of Technology）のメディアラボでバリー・バーコー（Barry Vercoe）により開発され，電子

音響を用いた音楽の制作に特化したプログラミング言語「Csound[5]」，パケットらにより開発されたリアルタイム音響処理に特化したビジュアル・プログラミング環境 Max/MSP, Pure Data，ジェームズ・マッカートニー（James McCartney）により開発されたアルゴリズムを用いた作曲やリアルタイム音響処理に特化したオブジェクト指向の音響プログラミング言語「SuperCollider[6]」などが開発された．これらにより，プログラミングを専門としない音楽家，演奏者，アーティストが，パーソナル・コンピュータを用いて音響プログラミングを行うことが一般化された．

このような電子音響処理や波形合成技術の研究・開発によって，前述したライヴ・エレクトロニクスのように「電子技術を用いて音楽・音響表現を拡張し，新たな響きを模索する」音響合成の動きが見られるようになった一方，「電子技術，プログラミング技術を用いて，新たな演奏表現を模索する」，音楽インタフェースの開発・研究も行われるようになった．

2.3.2. 新たな演奏表現—音楽インタフェース/サーキット・ベンディング

電子技術・センサを用いた新たな電子楽器，音楽インタフェースの研究・開発は，前述したIRCAMや，新たな楽器や音楽インタフェースに関する研究所STEIM（Studio for Electro-Instrumental Music）[7]，スタンフォード大学の音楽音響に関する研究所CCRMA（Stanford University Center for Computer Research in Music and Acoustics）[8]などの研究機関を中心に，多くの試みがなされてきた．

後にSTEIMの所長を務めた電子音楽の作曲家/演奏家であるミッシェル・ヴァイシュビッツ（Michel Waisvisz）は，STEIMのエンジニアらと協力し，「Clacklebox[9]」（1975）を開発した．Clackleboxは，演奏者の皮膚接触をサウンド生成に用いる電子楽器であり，一般ユーザ向けにおよそ4000台が販売されている．また，ヴァイシュビッツは，ウェアラブル型の音楽インタフェース「Hands[10]」（1984）を開発している．Handsは，両手にはめ込む２つの自作デバイスによって構成される音楽インタフェースであり，両手間の距離をセンサで計測し，そのデータを音楽演奏に用いる．アーティストによる新たな楽器開発の原点として，現在も引用され続けている．

1970年代はシンセサイザなどの音楽機材は依然として高価であったが，その内部で用いられるIC（集積回路）は安価になっていた．このため，これらの安価なICを用いた電子楽器

---

[5] Csound, http://www.csounds.com, http://csound.github.io
[6] SuperCollider, http://supercollider.sourceforge.net
[7] STEIM（Studio for Electro-Instrumental Music）, http://steim.org
[8] CCRMA（Stanford University Center for Computer Research in Music and Acoustics）, https://ccrma.stanford.edu
[9] Clacklebox, http://www.crackle.org/CrackleBox.htm
[10] The Hands, http://www.crackle.org/The%20Hands%201984.htm

や音楽インタフェースが，アーティストや作曲家により数多く制作された．しかし，電子楽器や音楽インタフェースの開発には，電子部品に関する知識が不可欠であった．このため，エンジニアがアーティストに技術を提供する動きも見られた．

STEIMの電子楽器製作者であったバート・ボンガーズ（Bert Bongers）は，自身のラボをバルセロナ，マーストリヒト，シドニーなどに開設し，前述したヴァイシュビッツの「Hands II」，アーティストのレティシア・ソナミ（Laetitia Sonami）の「Lady's Glove」など，多くのアーティストに演奏のための装置を提供してきた．また，アメリカで活動していたボブ・ビエレツキ（Bob Bielecki）は，前述したヤングや，ルシエ，ビル・ヴィオラ（Bill Viola），ローリー・アンダーソン（Laurie Anderson）などのアーティストに向けて電子機器や電子楽器の開発を行った．このようなエンジニアのサポートにより，様々な新しい楽器が開発された．

さらにアメリカでは「Composers Inside Electronics」など，電子部品に関する情報交換を行うためのコミュニティが形成された．Composers Inside Electronics には，前述したチュードアらが参加している．

1970年代末になるとマイクロコンピュータを用いてプログラミングで電子楽器などのハードウェアをハッキングするなど，ミスに対するやり直しが比較的容易な開発環境が一般的となっていく．技術の進歩によってプログラミングの苦痛は徐々に薄らぎ，また安価なパーソナル・コンピュータやシンセサイザが開発されるようになったため，電子回路を自作することが次第にアナクロニズムと化していった．

このような流れに対して，90年代にリード・ガザラ（Reed Ghazala）は「サーキット・ベンディング」を提唱し，ICチップを組み合わせたり，音の出る玩具を分解したりして音表現を行うなどの行為が注目を浴びるようになる．サーキット・ベンディングは，特定の目的のために行われるハードウェア・ハッキングに対し，予想の付かない結果を導く実験主義的な性格をもった表現手法の一つである．

STEIMの客員アーティスティック・ディレクタをつとめた自作電子楽器開発者，作曲家であるニコラス・コリンズ（Nicholas Colins）は，2006年に上記の歴史的な変遷を含めたハードウェア・ハッキングやサーキット・ベンディングに関する解説書『Handmade Electronic Music — The Art of Hardware Hacking』を出版し，2013年には日本語にも翻訳されている[17].

これらのハードウェア・ハッキング，サーキット・ベンディングの文化は，後述するメイカームーブメントにも接続している．

2.4. 新たな楽器開発の現在

2.4.1. 新たな楽器・音楽インタフェースの研究—研究・開発コミュニティ

現在も，STEIMなどの研究機関や，音楽インタフェースに関する国際会議であるNIME（New Interfaces for Musical Expression）[11]，コンピュータ音楽に関する国際会議ICMC（International Computer Music Conference）[12]，聴覚ディスプレイに関する国際会議ICAD（International Conference on Auditory Display）[13]，音と音楽に関するコンピューティングを扱う国際会議SMC（Sound and Music Computing Conference）[14]，新たな楽器を対象としたコンペティションGeorgia Tech's Margaret Guthman Musical Instrument Competition [15]などを中心に開発，研究が続けられている．

本分野では，これまで用いられてきた，アナログシンセサイザなどを含む「電子楽器」という名称とは別に，コンピュータにより生成された音パラメータを，ツマミなどのコントローラや，ジェスチャコントローラにより，リアルタイムにコントロールする楽器群に対しては，「デジタル楽器（DMI: Digital Musical Instruments)」[18]という名称が用いられている．

名称の違いはあるが，電子楽器/デジタル楽器はいずれも，行為のインプットを行うためのセンシング部（音楽インタフェース），センシング結果を音に変換するためのマッピング部，また音を出力するためのサウンドシンセシス部の段階が存在する[5]．カルメン・フラニノビック（Karmen Franinovic）は電子楽器/デジタル楽器と音楽表現の関係を下記のように示している．

Input （Sensing） > Mapping > Output （Sound Synthesis） = Musical Expression

（2013）[19]

電子楽器/デジタル楽器の分野では，音楽や演奏表現の拡張を目的として，上記の各段階で様々な試みが行われてきが，二十世紀後半までは，アーティストなどの専門家の音響表現や演奏表現を拡張させるための技術に主眼が置かれていた．このため「一点もの」の域を脱せず，一般のユーザが気軽に手にできる状況にはなかった．

---

[11] NIME（New Interfaces for Musical Expression），http://www.nime.org
[12] ICMC（International Computer Music Conference），http://www.computermusic.org/
[13] ICAD（International Conference on Auditory Display），http://www.icad.org
[14] SMC（Sound and Music Computing Conference），http://smcnetwork.org
[15] Georgia Tech's Margaret Guthman Musical Instrument Competition, http://guthman.gatech.edu

2.4.2. デジタル楽器の一般化—デジタル楽器開発/演奏体験のためのアート

1990年代にパーソナル・コンピュータとともにDTMソフトウェアが一般化すると，音楽制作用のハードウェアの低価格化，小型化，社会への普及がより一層早まり，上記のような新しい電子楽器/デジタル楽器，音楽インタフェースが一般の消費者にも手に入るようになった．

1994年には，YAMAHAが「音を身体の動きによりコントロールし，音楽やリズムを奏でる」というコンセプトのもと「Miburi[16]」を開発している．身体の各部分にセンサを装着できる専用ウェアを着用することで，身体の動きがセンサに捉えられ，音楽表現へと置き換えられる．価格は当時38万円と高価ではあったが，このような新しい楽器が一般ユーザ向けにも広く販売されるようになった．

また，近年は様々な分野において電子楽器/デジタル楽器の開発が行われ，学際的な研究・開発領域となっている．例えば，鑑賞者に簡易的な音楽演奏の体験を提供する，音を用いたインタラクティブアートや音楽システムが増加し，新たな電子楽器や音楽インタフェースの領域と，サウンドアートやインタラクティブアート/メディアアートの領域は非常に曖昧なものとなっている．

2005 年には，メディアアーティストである岩井俊雄と YAMAHA とのコラボレーションにより開発された「TENORI-ON[17]」が発表された．TENORI-ON は，本体に設置された 16 ×16（256）個のスイッチ状況を読み取り，視覚・音響表現に反映する電子楽器/デジタル楽器である．音楽理論などを考えずとも視覚的・直感的に，音楽を作り出すことができる[20].

こうした新たな楽器や音楽インタフェース，インタラクティブアート/メディアアートの領域では，電子技術を用いて新たな音楽表現を追求するだけでなく，演奏に熟達していないユーザを対象として，創意工夫する能力の伸長，技術の習得させることを目的とした音楽演奏システムも多く開発されてきた．

熟達度に依存しない音楽演奏システムやインタフェースに関する研究者，アーティストであるティナ・ブレイン（Tina Blaine）は，複数のドラムパッドが埋め込まれたテーブル型インタフェースを叩くことで，複数人が相互に影響しながら簡単に即興演奏のやりとりができるインタラクティブ演奏システム「Jam-O-Drum」を開発している[21].

このような熟達度に依存しない演奏環境の構築は，1990年代後半以降に増加し，現在も様々な試みがなされている．

---

[16] Miburi, http://www.yamaha.co.jp/design/products/1990/miburi/
[17] TENORI-ON, http://www.yamaha.co.jp/design/tenori-on/

2.4.3. オープン化の波—Do It Yourself / Do It With Others

一方，2000 年代に入り，自らが市販の電子楽器を改造して必要な機能を付け加えたり，他者と協力して電子楽器を開発したりといった活動がより多く見られるようになった．これらの自作電子楽器の流行は，①トップダウン的に完成された製品を享受し，利用していくのではなく，個人が必要なモノやコンテンツを独自に構築していく DIY（Do It Yourself）と，それをネットワークやワークショップでコミュニティ全体に共有した上で，他者と連携しながら発展させていく DIWO（Do It With Others）の概念が浸透してきたこと，②ソフトウェアやハードウェアのオープンソース化，③メイカームーブメントに要因があると考えられる．

オープンソースとは，開発者が指定するライセンスに従って，ソースコード/設計図を無償で公開し，誰でも改良，再配布が行えるソフトウェア/ハードウェアである．最も著名なオープンソースモデルの例として，クリエイティブコモンズ（Creative Commons）が挙げられる．クリエイティブコモンズ・ライセンスでは，権利の保有者がライセンスのオプションを選ぶことができる．

オプションの例としては，作品の利用者に対し，作者を公正に明示するよう求める「帰属（Attribution)」，ライセンシー（被許諾者）が作品を制作し，それを再配布する場合（改編するか否かを問わず），再配布に際して同様のライセンスを付与することを義務付ける「継承（Share Alike)」，改変を認めない「改変不可（No Derivatives)」，非商用利用の場合に限り，作品を使用・再配布可能な「非商用（Non-Commercial)」などが挙げられる[22]．現在は，このようなオープンソースの発想に根ざしたソフトウェア/ハードウェアが一般的なものとなっている．

メイカームーブメントは，3D プリンターやレーザーカッターなど，パーソナル・ファブリケーションを促進する機器の一般化に伴い，誰もが高レベルなものづくりを行えるようになるとされているムーブメントであり，「第三の産業革命」とも言われている．メイカームーブメントや，DIY/DIWO における活動の中心的イベントとして，アメリカで発祥した「Maker Faire[18]」や「dorkbot[19]」があるが，日本には「Make: Tokyo Meeting」や「dorkbot TΩKYΩ」として 2000 年以降に上陸している．

日本においても，これらのイベントへの参加をきっかけとして，個人が制作したモノを展示，販売し，ネットワークを広げていくことで，それが製品化やスタートアップ企業の設立につながる動きが多く見られるようになった[23]．現在，Make: Tokyo Meeting の後継

[18] Maker Faire, http://makerfaire.com
[19] dorkbot, http://www.dorkbot.org

イベントとして開催されている Maker Faire Tokyo では，一般からの参加者以外にも，大手企業や大学などの学術機関が多数参加している．

これらの活動の場や，ツールのオープン化により，創作や開発の活動が活発化し，前述した自作の電子楽器/デジタル楽器の分野にも大きな影響を与えている．

2.4.4. 独自の演奏表現のための楽器―自作楽器/DJ コントローラ

前述したとおり，1970～90 年代には自作楽器やサーキット・ベンディング分野の活動が行われていたが， DIY/DIWO 活動の活発化の影響もあり，近年急激に一般化が進んだ．このような活動の増加により，新たな電子楽器/デジタル楽器，音楽インタフェースの開発は，専門家の音楽表現を拡張する手段としてだけではなく，音楽の非専門家による新たな音楽表現の手段として一般化されつつある．

自作電子楽器の開発者である宇田道信により開発された「ウダー[20]」は，楽器本体に螺旋状に設置された感圧導電ゴムにより，音高や音量の操作を可能とする電子楽器である．宇田はこの電子楽器を用いた演奏活動を継続的に行っている．ウダーは，第 16 回文化庁メディア芸術祭エンターテインメント部門にて，審査委員会推薦作品に選出されており[24]，このような個人による電子楽器の創作が，芸術の一側面として受け入れられるようになったことがわかる．

2008 年には，自作の電気楽器を用いたライブやパフォーマンス，作曲活動を展開する米本実により，自作電子楽器を開発するための解説書籍『楽しい電子楽器 自作のススメ』[14]が出版されている．また，2013 年には自作の音楽インタフェースを用いてライブやパフォーマンス活動を行っている山田達也と山本俊一により，書籍『作れ！音デバイス』[25]が出版された．

米本の扱う内容はアナログ回路や IC チップを用いた表現が主であり，70～90 年代の自作楽器やサーキット・ベンディングの技術を平易に解説しており，これらの一般化を推し進める内容となっている．一方山田らは，レコードを再生中に手でレコードの再生位置を操作し，特殊な音響効果を得るなど，ターンテーブルを楽器として利用する DJ（ディスク・ジョッキー）文化の一側面である「ターンテーブリズム（Turntablism）」[26]と，ターンテーブリズムから派生した，音楽インタフェースや MIDI コントローラなどを楽器として利用する「コントローラーリズム（Controllerism）」に言及し，新たに「音デバイス」という造語を定義した．この音デバイスという定義をもとに，自作の音楽インタフェースの開発手法を解説している．

---

[20] 電子楽器ウダー, http://uda.la

このように現在は，個人に合った音楽表現を実現する手段として，電子楽器を自作することが一般に浸透し始めている．書籍などにもノウハウがまとめられ，開発技術もオープン化が進んでいる．

2.4.5. 手軽な電子楽器—玩具/ガジェット

さらに，近年は「ガジェット」という形態をとった電子楽器/デジタル楽器も開発，発売されるようになった．ガジェット（Gadget）という言葉は「気の利いた小物」などの意で用いられ，特定の目的を持った小型の電子機器がカテゴライズされる例が多い．

例えば，土佐信道らによるアートユニット「明和電機」により開発された「オタマトーン[21]」などは，玩具と楽器の要素を持つガジェットである．このようなガジェットは小型かつバッテリーで駆動するものが多く，玩具感覚で楽器演奏をより手軽にできること，どこでも演奏できることなどが特徴としてあげられる．

2008 年には，学習研究社（現・学研教育出版）が『別冊大人の科学マガジン シンセサイザークロニクル』を出版し，組み立てキット付録としてアナログシンセサイザ「SX-150[22]」を同梱した[27]．本誌には SX-150 の組み立て方だけにとどまらず，SX-150 を利用した電子楽器の開発方法や，改造方法などが掲載されている．アナログシンセサイザは，古くはアナログ回路によって現実の音を再現することを目的として開発されてきたが，デジタルシンセサイザが主流になるに連れて，アナログシンセサイザ音源はデジタルによりモデリングされる対象となっていた．しかし SX-150 は，部品数が少なく，改造が容易なアナログシンセサイザの特徴に着目し，手軽に改造できる電子楽器，音楽ガジェットとして再定義したことで，近年の DIY 電子楽器の流行を後押しする一つの要因となった．

また，2010 年には KORG 社からアナログシンセサイザ「Monotron[23]」シリーズや，シーケンサによる自動演奏機能がついた「Monotribe」が発売された．これらのアナログシンセサイザ，シーケンサは，「Analogue Synth Series: Schematic Archive[24]」で回路図が公開され，オープンソース・ハードウェアとしての要素も持っている[28]．

2013 年には「自分で電子楽器をつくり，演奏する」という発想をもった製品も発売され始めている．例えば，電子回路をマグネットで接着し，簡単に電子工作が可能な玩具「littleBits」を開発する littleBits 社と，KORG 社がコラボレーション企画を発表し，アナロ

---

[21] オタマトーン, http://www.maywadenki.com/otamatone/lineup/

[22] アナログシンセサイザーSX-150, http://otonanokagaku.net/magazine/sx150/

[23] monotron, http://www.korg.co.jp/Product/Dance/monotron/

[24] Analogue Synth Series: Schematic Archive, http://www.korg.co.jp/Product/Dance/schematic_archive/

グシンセサイザを簡単につくり，演奏できる「littleBits Synth Kit[25]」を発売している．

これらにより，手作りの電子楽器/デジタル楽器のハードルはさらに低くなり，着実に一般化されつつある．

2.4.6. 新たな電子楽器/デジタル楽器のあり方—教育/福祉

また，ワークショップなどの教育活動や福祉分野において，電子楽器/デジタル楽器が用いられる事例が，近年増加してきている．

電子楽器/デジタル楽器は「音の出力と音を出す行為を分離してデザインできる」性質を持っている．電子楽器/デジタル楽器を手作りする活動を通して，自らの演奏行為と音の出力とを自分自身が関連付け，既存の楽器の概念にとらわれない演奏表現のアイディアを具現化することが可能となる．このため，手軽に電子楽器/デジタル楽器の組み立てができるキットなどを開発すれば，他者と音楽表現を共有する活動などに応用でき，幅広い年齢層を対象としたワークショップや教育に利用できる．

電子回路を用いた音のワークショップの実践例として，ジョン・リチャーズ（John Richards）の「Dirty Electronics」プロジェクトが挙げられる[24]．本ワークショップでは，参加者が持参した空き缶に金属製のボルトと簡単な音の出る電子回路，電池を内蔵し，ボルトの触り加減で音高が変化する電子楽器や，本プロジェクトのために開発された電子基板を用いた電子楽器の制作を３時間程度で行う．また，制作した楽器で簡単な演奏会やセッションを行い，他の参加者と表現を共有する．

城一裕ら（2009）の「Chiptune Marching Band（以下, CMB と記述する）」[30]は，部材として提供される電子部品や，ハンダ付けなしで電子回路を構築できるブレッドボード，紙筒などを用いて電子楽器を作り，各参加者が作った電子楽器を演奏しながら街中を歩きまわるパフォーマンスを行うワークショップである．マニュアルとファシリテータのサポートにより，全行程を２時間という短時間で行っている[31]．

国内の活動としては, The BreadBoard Band による「音がなるブレッドボードワークショップ[26]」などの実践が挙げられる．The BreadBoard Band は電子回路のプロトタイピング用ボードであるブレッドボードに IC などの電子部品を接続して電子音を生成し，回路をリアルタイムに変更しながら音楽演奏を行うグループである．彼らは，演奏で培った技術を応用して，ブレッドボード上で電子楽器を制作するワークショップを行っている．本実践は中学生から大人までを対象としており，幅広い年齢層の参加者が電子楽器をその場で

---

[25] littleBits Synth Kit, http://littlebits.cc/kits/synth-kit
[26] 音がなるブレッドボードワークショップ, http://www.iamas.ac.jp/rcic_branch/2012/07/post_126.html

制作できることを示唆している．

このように，近年は電子楽器を制作するための部材や機材が低価格化し，方法論も確立しつつある．ある程度のマニュアルや工作環境が用意できれば，どのような年齢層の人であっても，個人のアイディアで音と音の出る仕組みをデザインでき，独自の電子楽器/デジタル楽器を作ることができる時代となったことがわかる．また，前述したワークショップの事例のように，ただ「音を出す行為を楽しむ」だけでなく，自作の電子楽器を用いて「他者と音楽表現を共有」することを目指す活動も目立ってきている．

一方，前述した電子楽器/デジタル楽器の特徴を生かし，児童・生徒の障害に応じて入力方法を「叩く」，「押す」など様々に変えて，障害をもった人々にとって扱いやすい教具・楽器を開発することもできる．このことから福祉分野において，現場での問題を解決する電子楽器/デジタル楽器の開発や，リハビリテーション研究が行われている．

例えば，赤澤堅造ら（2010）の「サイミス（Cymis)」[32][33]は，バーチャル楽器の演奏や譜面の入力が可能なバリアフリー電子楽器である．ボタンやタッチパネルなど，入力装置を任意に選択できるシステムとなっているため，演奏者の障害の状況に対応することが可能である．サイミスは，教育機関などでの利用実践も盛んに行われている．

また，市販の電子楽器を用いた笠井史人ら（2011）[34]，村上純子（2012）[35]などの実践のように，電子楽器は音楽療法やリハビリテーションにも用いられる例があり，その効果が様々な研究機関によって検証されている．下川英子（2005）のように，細かく手を動かすことができない生徒のため，市販の電子鍵盤楽器の入力部分を７つのスイッチに変更することで，演奏方法を単純化した電子楽器を作った事例もある[36].

金箱淳一（2014）は，眼や耳が不自由な子供がそうでない子供達と一緒に遊ぶことができるように配慮して開発されている「共遊玩具」を参考に，このコンセプトを楽器に応用し，障害の有無に関係なく親しめる「共遊楽器」を提案している．例えば金箱は，振動で互いの演奏を共有する打楽器「Vibracion Cajon」を開発しており，ハンディを持った人も含めて，できる限り多くの人々が音楽に参加できることを目指した楽器開発を行っている[37].

このように今後は，電子楽器/デジタル楽器の特徴を生かすことで，教育・福祉の現場で必要なデザインや機能を盛り込み，音楽表現の裾野を広げる活動の活発化が期待できる．この考え方は，誰もができる限り利用することができるデザインを目指す「ユニバーサルデザイン」[38]や，様々な状況から排除される人々の問題を解決する「インクルーシブデザイン」[39]とも連続性があり，音楽表現を専門としない様々な人々の表現を支援すること，それによって誰もが表現を共有できることに向けて，様々な取り組みが始まっている．

2.4.7. 筆者による先行制作実践

このように，電子楽器/デジタル楽器の応用領域は着実に広がっている．インタラクションと音の関係を柔軟にデザインできることで，演奏者の演奏技術に左右されない，音楽表現の場をつくり出すことが可能となっている．このことを背景に，電子楽器/デジタル楽器の開発を通して，音楽表現を拡張するだけでなく，演奏者の裾野を広げていくことが，電子楽器/デジタル楽器分野の大きなトピックの１つとなりつつある．

このような中で筆者は，容易に音楽演奏を体験できる環境を構築することを目的に，サウンド・インスタレーション，インタラクティブアート作品の制作を行ってきた．

(1)　「Tri=ALL」—体験者間の位置関係を音響化するインスタレーション

作品空間内における複数人の位置関係により，音響出力を変化させる「Tri= ALL (Fig. 2-2)」は，体験者同士の行動干渉によって音響を出力するサウンド・インスタレーション作品である．

Fig. 2- 2 「Tri = ALL」

３台のカメラを内蔵したデバイスで 360°の映像を取得し，画像処理により最大３名の体験者の X 軸位置を特定する．複数人の体験者の X 軸位置が重なると特定のメロディが出力される．さらに，体験者の位置関係が対角や均等になると，調性の整ったハーモニーが出力される．このように，本インスタレーション作品の体験では，複数の体験者が互いの位置関

係を意識しながら音響表現を行うことになる．

本作品を利用することで，音楽や楽器経験が浅い体験者であっても，体験者同士が音によってコミュニケーションを取ることができる．また本作品を用いた評価実験から，用いるサウンドのデザインによって，体験者の活動を活発化させるなど，体験時の行動に変化をもたらすことが可能であることを示唆した[40].

(2) 「Faded Circle」—流体シミュレーションを用いた演奏と行為の干渉

「Faded Circle（Fig. 2- 3）」は，作品什器の側面に張られた 12 本の弦を弾くことで音楽表現を体験できるインタラクティブアート作品である．

Fig. 2- 3 「Faded Circle」

本作品には 12 本の弦のうち 1 本，あるいは複数の弦を弾くと，弾いた弦の下部に設置されているスクリーンに流体のコンピュータグラフィックスが投影され，弾かれた方向に真っ直ぐ進んでいく．また，弦が弾かれたと同時に，弦それぞれに割り当てられた特定の音高の電子音が出力される．さらに，複数の弦を弾かれ，流体のグラフィックス同士がぶつかり合うと，特定のメロディが出力される．

複数の体験者の演奏表現の干渉を音楽表現の変化に反映させることで，他者と音楽を共有する感覚を体験者に提供することを目的として制作した．

(3)　「On The Waves」 —水滴・波紋によるインタラクションの干渉

「Faded Circle」 からの発展形として，体験者同士の演奏行為の相互干渉を，液体の波紋により表現するインタラクティブアート作品「On The Waves（Fig. 2- 4)」 を制作した．

Fig. 2- 4 「On The Waves」

On The Waves では，井戸のような形状の什器内に，コップなどから水滴を落とすことで演奏を体験できる．水滴の落とされた位置，および発生する波紋を画像処理によって特定し，音にマッピングすることで，水滴が波紋となって広がっていく現象が音響化される．また，複数の波紋同士の干渉により打楽器音が生成され，リズムを生み出すことが可能である．

複数の体験者が同時に体験に参加でき，また指やコップから水滴を落とすという単純な行為によって，音楽表現を行うことができる．これにより即興的なアンサンブル演奏体験を提供することを目的として制作した[41].

2.5. まとめ

本章では，電子楽器/デジタル楽器の分野において，作曲家やアーティストなどの専門家の音楽表現の拡張に加え，専門的な音楽教育を受けていない人々の音楽表現をサポートするシステムの開発が見られるようになったことを指摘した．

下記に本章のまとめを記述する．

2.5.1. 電子楽器/デジタル楽器分野の特徴

本章の最初に述べたように，本研究では電子楽器/デジタル楽器開発・研究の歴史的変遷において，下記３点の特徴に着目する．

（1） 柔軟な音楽インタラクションの設計の実現

下図（Fig. 2- 5）に示すように，インタフェースと音を出力するための共鳴胴の関係を切り離すことができないアコースティック楽器に対して，電子楽器/デジタル楽器は「楽器の音響的な構造に左右されることなくインタフェースをデザインできる」特徴をもっている．

Fig. 2- 5 電子楽器/デジタル楽器の構造図

また，このようなインタフェースと音響構造を分離してデザインできる特徴から，柔軟な音楽インタラクションの設計が可能となり，ユーザの演奏習熟度や身体的な状況に合わせたデザインが可能となった．

(2)　開発技術および表現技術の一般化

上記のような電子楽器/デジタル楽器の開発環境や技術，回路図などがオープン化された．これにより，技術者の特権的領域であり，ブラックボックス化されていた電子楽器/デジタル楽器の開発が一般化された．

二十世紀後半，ライヴ・エレクトロニクス，ミュジック・コンクレート，ミニマル・ミュージックなどの分野に見られるように様々な技術が開発された．例えば，電子的に新たな音響を構築する電子音響合成に関する技術や，後述するシーケンスやルーパー機能など自動演奏や反復を実現する録音/再生技術が挙げられる．これらの技術は，現在では一般に広く利用されており，Pure Data などのオープンソースの音響プログラミング環境や音楽制作ソフトウェア上で容易に用いることができるようになっている．

また，二十世紀後半には作曲家・アーティストによる新たな楽器や音楽インタフェース開発により，演奏表現の拡張を推進する活動が行われていた．一般的に電子楽器といえば，鍵盤を搭載したシンセサイザや，電子ピアノなどが挙げられ，調性のある西洋音楽のツールとして利用されてきたが，インタフェースと音響構造を分離してデザインできる特徴から，様々な開発が試みられた．これらの音楽インタフェース構築のための技術も，Arduino[27]を始めとするオープンソース・ハードウェアや，Raspberry Pi[28]など，アナログシンセサイザ技術のオープン化などの影響で，現在は電子楽器を自分でつくり，音楽表現を共有する活動も増加し，DIY, DIWO 活動が加速している．Arduino は，2005 年にイタリアで開発されたオープンソースの低価格マイクロコントローラボードであり，誰もがインタラクティブなプロジェクトを制作できることを目的としている．Raspberry Pi は，コンピュータ教育を目的に開発された低価格なカードサイズ PC である．

このように，電子楽器の開発技術とそれにまつわる音楽表現技術の一般化が強く推し進められている．

(3)　教育/福祉分野への応用

柔軟な音楽インタラクションの設計が可能となったことから，利用の場に合わせて，演奏者の習熟レベルを考慮し，演奏操作の難易度を調整することも可能となった．演奏者の音楽能力を支援する教育用楽器やバリアフリー楽器の開発などが多く見られるようになり，楽器の習熟度の異なる様々なユーザが，音楽理論に関する知識や演奏技術に左右されること無く，音楽演奏に参加できる電子楽器/デジタルの開発が増加してきている．

---

[27] Arduino, http://www.arduino.cc
[28] Raspberry Pi, http://www.raspberrypi.org

今後，楽器演奏の習熟，音楽理論の理解など，ある種特権的であった音楽表現の裾野がさらに広がり，技術や知識を下地としない音楽・演奏表現が現れる可能性が高い．

2.5.2. 電子楽器/デジタル楽器に着目する意義

前述のとおり，電子楽器/デジタル楽器の開発は，二十世紀を通して，音楽，芸術，工学，教育，福祉に至る様々な分野を横断する領域となったことがわかる．またこのような中で，開発技術および表現技術が一般化しつつある．

第 1 章で述べたとおり，本研究の目的は，既存の音楽理論や演奏技術の訓練などに左右されない，様々なユーザの演奏表現に多様性をもたらすデジタル楽器の開発である．本研究により，一般のユーザによる表現を，新たな音楽表現の要素として加えることが，本研究の狙いである．

前述した，①柔軟な音楽インタラクションの設計の実現，②開発技術および表現技術の一般化，③教育/福祉分野への応用という 3 点の特徴から，本研究で電子楽器/デジタル楽器に着目する意義がある．

本研究の領域を，電子楽器/デジタル楽器分野における主なユーザの歴史的変遷の図に改めて示す（Fig. 2- 6）．

Fig. 2- 6 本研究が目指す領域

第3章 本研究の視座

3.1. はじめに

本章では，既存の音楽理論や演奏技術の訓練などに左右されない，様々なユーザの演奏表現に多様性をもたらすデジタル楽器の開発を目指して，①デジタル楽器設計の指針について述べ，②先行事例調査について言及し，③本研究におけるデジタル楽器のデザイン手法を示す．

3.2. 設計の指針

第２章において，本研究の目的を達成するにあたり，デジタル楽器に着目することを示した．次に，音楽理論およびデジタル楽器の機能の側面に着目し，本研究における設計の指針について述べる．

3.2.1. 音/音楽の表現要素

まず，西洋音楽における音楽理論に立脚した音楽表現にとって，重要な要素とされている音の三要素と音楽の三要素について言及する．

音の三要素は，演奏の表情付けを行うアーティキュレーション（articulation）など，音を用いた表現に直結する要素である．音の三要素は次のように定義されており，音楽演奏に通常用いられる楽音（規則正しくかつ一定の周期をもつ振動が，継続して起こる）は，この３つの要素を兼ね備えている[42].

$$\begin{cases} \text{高さ（音高）} \\ \text{強さ（音量）} \\ \text{音色} \end{cases}$$

音楽の三要素は，調性をともなった音楽演奏において重要な要素となる．音楽の歴史は生物の持つ自発的なリズムから始まり，後に旋律が加わり，最後に和声が加わったとされている[15].

$$\begin{cases} \text{リズム（律動）} \\ \text{メロディ（旋律）} \\ \text{ハーモニー（和声）} \end{cases}$$

音楽の三要素であるリズム・メロディ・ハーモニーにおいて，協和/不協和などの空間的な響き，音楽の進行に合わせた時間的な響きが合致していることが， 調性をともなった音

楽表現にとって重要となる．熟達した演奏家は，音/音楽の三要素を操作するための楽器演奏の技術を，長年の鍛錬によって自在に操作することを可能としている．

本研究では，調性をともなった音楽表現を対象としているため，上記の音/音楽の三要素は重要な要素となる．

3.2.2. 多様性と簡易性を両立するデジタル楽器に向けて

本研究で開発するデジタル楽器は，専門的な演奏技術の訓練を行ったことがなく，一般的な学校教育で得られる以上の音楽理論知識を持たない体験者に提供することを目的としている．演奏者の裾野を広げ，さらに演奏表現の多様性を生み出すデジタル楽器の開発が，本研究の目指す領域である．

Davidson（1998）は，読譜ができず，演奏訓練を受けていない子どもや大人が，フレーズ構造，旋律輪郭，音高，リズム要素といった音楽次元を表現できる場合があることを明らかにした実験を例示し，音楽的に訓練されていない人々であっても，洗練された能力を持っていることに言及している．加えて Davidson は，専門的な楽器の訓練を受けた若い音楽家であっても，楽器演奏で培われた音楽的嗜好は，楽器を使用しない時には用いることができないことを示唆している[1]．また，山崎（2002）の主張のように，音楽的な訓練を受けていない演奏者においても，音楽演奏によって感情を伝達する一定の能力を有しているとの指摘もある[2]．これらの指摘から，楽器演奏の技術や音楽理論に関する知識の理解は，音楽表現の要素の一側面でしかなく，多くの人びとが音楽における感情表現の能力を持っていると考えられる．

ゆえに，音楽的知識や演奏技術に左右されない音楽表現の場をつくり出すことができれば，演奏技術/音楽理論に関する知識を持った専門家には見られない音楽フレーズや奏法が発生するなど，新たな音楽表現や演奏表現が見出される可能性が高い．前述のとおり，電子楽器/デジタル楽器は，楽器の音響的な構造に左右されることなくインタフェースをデザインでき，演奏の難易度を自由に設計できる要素を持っている．音出力アルゴリズムや音響マッピングの設計によって技術や知識のサポートを行うことが可能である．

一方，音楽インタフェースなど，表現のためのインタフェースにおいては，西本（2003）の主張のように「*ツールの用法は簡単であればあるほど良いはずである．そうすれば，一は直接に創造的表現の本質的行為に直接取り組めるようになる．…それでは，ツールはとにかく簡単であれば良いかと言えば，もちろんそうではない．…この操作上の自由度の減少が，表現の自由度の減少につながらないようにすることが不可欠である．*」[43]という指摘もある．また，Blaine ら（2003）も「*簡易性と表現のバランスが音楽インタフェースデザイナにとっての関心事である*」[44]としている．さらに，「*学習プロセスの根底にある習熟と探*

索に関して，理解を深めることは，サウンドデザインの新たな可能性を開くことができる重要な要素である」との指摘もある[45].

つまり，音楽インタフェースにおいては，簡易性だけをデザインするのではなく，探索のための表現の余白，つまり演奏表現の多様性を生み出すためのインタフェースデザインが重要である．簡易性を高めるデザインに加えて，このような「余白」のデザインを取り入れることによって，音楽的知識の理解度や演奏技術の習熟度の異なる様々な演奏者の表現が音楽演奏に反映され，多様性が生み出される．

また，音楽表現において，音楽表現の根本的な要素である音/音楽の三要素を演奏者が操作できることは重要であり，熟達度に依存しない音楽インタフェース開発においては，前述した音/音楽の三要素の操作を実現した上で，演奏の簡易性を高める手法を検討する必要がある．

3.2.3. 本研究における多様性と簡易性の定義

このような多様性を生み出すため，音楽インタフェースにおける表現の多様性に関する先行研究を調査した．

まず, Michael ら（2010）の研究[46]では，演奏者の演奏内容を，①姿勢（Posture），持ち方（Ways of Holding），③音楽インタラクション方法（Ways of playing），④音楽表現のバリエーション（Musical variations）の 4 つのカテゴリに着目して分析している．Victor ら（2014）の研究[47]では，Michael の研究を参考に，①センサや楽器の使い方（Affordances），②音楽表現のバリエーション（Musical Variations），③演奏時の姿勢（Postures），④指や腕などのインタラクション技術（Interaction Techniques）の 4 つに分類している．

これらの事例を参考にすると，音楽における多様性には，音/音楽の表現要素の操作により得られるメロディなどの音楽表現の側面に加え，楽器の演奏方法やインタラクションにより得られる演奏表現の側面があると分析できる．音楽インタラクションによって音楽表現は変化すると考えられる．例えば，ギター演奏の際，ギター奏者はピックで弾く，指で爪弾くなどの複数の奏法を用いており，それぞれの音楽表現は必然的に異なる．このことから，音/音楽の表現要素の操作により得られる音表現の側面は，音楽インタフェースの設計により生み出すことができると考えられる．

本研究では演奏者が独自に用いるインタラクションや奏法の表現を「演奏表現の多様性」と定義する．この定義に則り，演奏者が独自のインタラクション方法や奏法の表現手法を探索できる仕組みを取り入れることで，表現の「余白」を取り入れたインタフェースデザインを実現する．

加えて本研究では熟達度に依存しない電子楽器/デジタル楽器を実現するため，音楽インタフェースの操作に関する簡易性と，音楽の三要素をともなった演奏表現の簡易性という，２つの簡易性の側面に関するデザインを検討する．

音楽インタフェースの操作に関する簡易性を高めるためには，音の三要素（音高・音色・音量）をシンプルな行為で操作できる必要があると考えられる．また，前述のとおり多様性とのバランスをとってインタフェースデザインを行うことが重要である．また，音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）をともなった演奏表現の簡易性を高めるためには，リズムや調性といった音楽理論面のサポートを行うための機能デザインを行う必要がある．

本研究では，前者のデザインを，A）多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン，後者を B）音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザインとする．

次節から，上記の各デザイン手法について記述する

3.3. 多様性と簡易性を両立するためのデザイン手法

上記の設計指針から本研究では，下記の A）多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン，B）音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザインをデジタル楽器に施すことを提案する．

A)　多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1)　「表現ユーザ」—複数の音楽次元を同時に操作できるインタフェースデザイン

(2)　「一般ユーザ」—ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザイン

(3)　「現場ユーザ」—利用現場の状況に合わせたインタフェースデザイン

B)　音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1)　分散型のスタンドアローン楽器

(2)　ステップシーケンサ/ルーパー機能を用いたリズム演奏の支援

(3)　ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

次項からそれぞれの詳細を述べる．

3.3.1. 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

・ 簡易性と透明性のデザインの現状

新たな楽器や音楽インタフェースを開発する際，最も大きな問題点は，開発者･デザイナが奏法を規定してしまうため，簡易性や透明性（わかりやすさ）が高まらない点にある．音楽インタフェースのデザイナ･開発者は，このような簡易性および透明性の問題を解決するデザインを常に模索している．本問題に対し，Gadd ら（2002）は簡易性や透明性の設計に関して，次のように分析し（Fig. 3- 1），音楽インタフェースの開発に役立てた．

聴衆にとってのみ理解しやすい音響マッピング（Simplify: OT）は演奏者にとって演奏が難しくなる．例えば，スイッチひとつのみを搭載した音楽インタフェースを開発し，それを押すだけで音楽が演奏できてしまえば，聴衆にとって行為と音の関係性，つまりセンサから音へのマッピングの構造は理解しやすい．しかし演奏者にとっては，演奏の操作が単純であるがゆえに，音の三要素に対してインタラクションを行うことが困難となる．一方，開発者やその楽器の練習を行った演奏者にとってわかりやすいマッピング（Complex Mapping: TO）のみを追求すると，聴衆としては音とインタラクションの関係が見えにくく，どのような演奏が行われているかわかりにくくなる危険性がある．

Fig. 3- 1 聴衆・演奏者にとっての透明性［48］

加えて Gadd らは，文化の要素や基盤が存在するメタファーを用いることで，共通の知識を呼び起こす「MetaMuse」を提案している[49]．Gadd らの主張と同様に，日常的に用いられているインタフェースが簡易性や透明性を高めるとの指摘もあり[44]，本手法は 1 つの切り口となっている．

現在も，聴衆，演奏者双方にとってわかりやすく，簡易性と透明性の高い音響マッピング（TT）はどのようにすれば実現できるのか，音楽インタフェースに関する国際会議 NIME などで継続的に議論が行われている．

・ 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

以上のように，聴衆，演奏者双方にとってわかりやすく，透明性の高い音響マッピング（TT）に向けて，透明性の高い音楽インタフェースをデザインしていくことは重要である．また，音とインタラクションとの関係が理解しやすいインタフェースを設計し，演奏の透明性を高めることで，演奏そのものの簡易性を高めることも可能であると考えられる．

しかし先に指摘したように，問題となるのは簡易性や透明性だけでなく，「多様性」を生み出すデザインも重要と考えられる．演奏表現の多様性を生み出すためには，音/音楽の表現要素をスポイルすることなく，簡易性と透明性を高めていくデザインが必要となる．

そこで本研究では，①音楽大学や専門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」，②専門的な教育を受けたことのない「一般ユーザ」， ③目的に特化した音楽表現機材を必要とする「現場ユーザ」という 3 つの対象ユーザを設定する．

第 1 段階では，開発の対象を「表現ユーザ」に設定し，音楽表現を行う上で重要な要素となる音/音楽の三要素へのインタラクションを可能としながら，様々な奏法を用いることが可能なデジタル楽器を開発する．様々な音楽表現の次元をマルチジェスチャ入力によって同時に操作できるデジタル楽器を開発し，本段階の楽器システムを，第 2，3 段階で開発するデジタル楽器の基礎技術とする．また，展示会でのユーザの観察に加え，筆者が「表現ユーザ」として演奏への応用を行うことで，「一般ユーザ」を対象としたデザインを行う際のデザインの要件について検討する．

第 2 段階では，「一般ユーザ」に向けて，第 1 段階で開発したデジタル楽器の簡易性，透明性を高めるため，演奏者の奏法（演奏表現）に柔軟に対応するインタフェースを開発し，実装する．本インタフェースを採用することにより，演奏者が自ら奏法を考えるプロセスを経ることで，演奏の簡易性と透明性を向上させ，演奏表現の多様性を生み出すことを狙う．また本段階では，「一般ユーザ」が，①音/音楽の三要素をとも

なった音楽表現ができるか，②多様な演奏表現を用いることができるか，という観点に基づいて，評価/分析を行う必要がある．この評価/分析により，本研究におけるデザインの効果を検証する．

さらに第３段階では，開発した楽器システムを分解/再構築し，「現場ユーザ」に向けたデジタル楽器デザインを行う．本段階では，社会に研究成果を波及させ，音楽表現の裾野を広げる実践を行う．

これらのプロセスを通して，多様性と簡易性を両立するデジタル楽器の開発を狙う．

3.3.2. 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1)　分散型のスタンドアローン楽器

・　統合型と分散型の音楽システム

演奏技術や音楽理論に関する支援を行うシステムを開発する場合，システムの形態に着目すると，①「統合型」および，②「分散型」のシステムに分類できる．統合型は，PC などの中枢となる音楽システムが存在し，その内部機能を特定のインタラクションによって操作して演奏するシステムであり，②分散型は，電子楽器/デジタル楽器が分散して存在し，それらがネットワークなどで接続されて一つの音楽を演奏するシステムである．

第２章で述べた３つの先行制作実践において，筆者は統合型の作品構造を採用していた．これらの作品の展示において体験者の観察を行った際，体験者は相手の行為を意識して身体を動かしたり，液体のグラフィックスや波紋を発生させたりする素振りは見せたものの，アート作品の「体験」から音楽の「演奏」に到達する例は少なかった．これは，大型のサウンド･インスタレーションやインタラクティブアートにおいては，①複数人で大型の音楽システム（楽器）を操作するため，複数の体験者の行動が互いに干渉してしまい，個人の演奏に集中させる構造を構築することが難しいこと，②美術館や展示会場など，特定の場所に演奏環境を固定してしまうことから，展示ブースにおける体験者の滞留時間が少なく，気軽に演奏できる環境を構築することが困難であることが，原因であると考えられる．

一方，2.4.2 で前述したように，これまでの電子楽器/デジタル楽器の開発では，PC 上での音響プログラミング環境を用いて音響合成システムが構築され，PC の外部にインタフェースを接続し，演奏者がコントロールを行う形態が主流であった．しかし，これらも統合型が多く，サウンド・インスタレーションやインタラクティブアートと同様の問題を有しており，利用にあたっては PC のインタフェースと外部インタフェースの両方を操作する必要があるなど，手軽な演奏環境を構築することが難しい．

・ スタンドアローンシステムと分散型による楽器「トラック」の明確化

上記の理由から，① 1 つの楽器の演奏に集中させること，さらに②場所を選ばずすぐに演奏ができることを重視し，本研究では音響合成システムとインタフェースが一体となったスタンドアローンデジタル楽器に着目する．

また，電子楽器/デジタル楽器や DTM ソフトウェアにおいては，複数の「楽器トラック」を編集し，シーケンス再生することで演奏を行う手法が一般的である．分散型のシステムでは，小型の電子楽器/デジタル楽器において楽曲を演奏するため，単一の楽器内でリズム楽器のトラック，メロディ楽器のトラック，ハーモニー楽器のトラックそれぞれの演奏設定を行うことが必要となり，これらが操作を煩雑にしてしまう危険性がある．本研究におけるデジタル楽器の開発においては，リズム楽器，メロディ楽器，ハーモニー楽器という楽器トラックに当たる機能を，打楽器モード，ソロ楽器モード，ベース楽器モードといったように，「モード」として複数の楽器に分散させることにより，リズム・メロディ・ハーモニーの編集を単純化するデザインを採用する．これにより，楽器トラックの概念を明確化する．

(2) ステップシーケンサ/ループー機能を用いたリズム演奏の支援

リズム演奏の支援機能として，本研究では「ステップシーケンサ」，「ループー」機能に着目する．演奏に慣れていない体験者にとってまず問題となるのは，一定のリズムパターンを演奏することが困難な点である．音楽の三要素の根本がリズムであることを考慮した場合，音楽の三要素をともなった表現に向かうためには，まずリズムパターンを容易に演奏できる支援機能の設計が重要となる．

・ リズムの知覚

人間は，一定の周期的打拍が音刺激として繰り返された場合，2 打拍ずつなどの群に纏めて知覚する．音響心理学において，このような感覚的処理を「群化」と呼んでおり，人間は 600～700ms のタイミングで群を分離し，纏めやすい群を捉えている[15]．また，この群化は，音高，音量，音色，音長などの相違によって，間とアクセントが知覚されるパターンをより際立たせることが可能となる[50]．例えば，一定の音高変化の反復により高低のアクセントをつくり出すことができ，音楽の一要素であるリズムパターン知覚を強めることが可能となる．

つまり，楽器に演奏の反復再生機能が搭載されていれば，リズム演奏の支援が可能である．

・ 電子楽器/デジタル楽器におけるリズム演奏の支援手法

テクノ・ミュージックなどの電子音楽分野では，リズムパターン作成を支援する機能として，あらかじめ設定した音楽フレーズを自動で反復し続ける「ステップシーケンサ」や「ループー」などの自動演奏機能が用いられている．

「ステップシーケンサ」は，ツマミなどのインタフェースで 1 音（1 ステップ）ずつチューニングし，ループ再生する機能である．現在は音楽制作用ソフトウェアにも内蔵されるようになっており，作曲のための一機能として定着している．

また，任意の長さの楽器演奏をリアルタイムに録音（サンプリング）し，繰り返し再生を行う「ループー」機能が内蔵された電子楽器/デジタル楽器も数多く開発されている．代表的な製品としては，Roland 社のエフェクタ型ハードウェア「BOSS RC-1 Loop Station[29]」などが挙げられる．

これらの機能を用いることで，再生される音楽フレーズをあらかじめ指定したり，録音して楽器音を重ねたりすることで改変，変奏し，音楽のバリエーションを生み出していくことが可能である．演奏者は音楽フレーズを固定できるため，一度の演奏で意図する音楽表現が実現できなかった場合，演奏を再編集することで，一度の演奏で表現することが難しいフレーズも演奏可能となる．音楽演奏に必要な要素であるリズムを，比較的簡易につくり出すことが可能であり，シーケンサ/ループー機能はリズム演奏の支援に適している．

[29] BOSS RC-1 Loop Station, http://www.roland.co.jp/products/jp/RC-1/

(3) ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

・ 電子楽器/デジタル楽器におけるテンポ/調性の同期

楽器演奏に習熟していないユーザにとって、次に問題となるのは，適切な和声づけが困難な点である．メロディや和声づけに関しては，リズムに加えてハーモニーなどの音楽理論の側面が加わるため，この点に音楽の三要素をともなった演奏を実現する上での大きなハードルが存在していると考えられる．

これに対して，電子楽器/デジタル楽器は，複数機材間のテンポ（BPM）を一致させる同期機能を有している．これらはマスター機器，スレーブ機器をあらかじめ設定し，MIDI ケーブルなどの有線接続を用いてテンポ同期情報を送信することで同期を実現するものが多い．これにより，演奏者はテンポの一致，不一致に気を取られることなく演奏ができる．また，このテンポの同期にあわせて，出力される音楽フレーズの音階や和声が一致する調性（音階）同期機能を実装すれば，リズムとハーモニーの同期が実現できる．

このことから，電子楽器/デジタル楽器における同期機能は，音楽の三要素をともなった演奏の支援に適している．

・ 無線を用いたネットワーク同期システム

加えて，分散型のデザインを取り入れた場合に必要となるのが，楽器同士のケーブル接続や同期設定である．この接続や設定の煩雑さが，電子楽器/デジタル楽器の手軽さを損なう原因となる可能性もある．このため，無線ネットワークを用いた同期技術が多く開発されてきた．

これまでに，後藤ら（2002）の遅延を加味した不特定多数のための遠隔セッションシステム「OpenRemoteGIG」[51]，長嶋ら（2002）のネットワーク遅延を逆手に取ったセッション・モデルである「GDS Music」[52]， 一ノ瀬ら（2011）の演奏パート担当者の中途離脱を加味した PC 向け共同演奏システム「アドホック無線通信上で動作する合奏システムの構築」[53]，石野ら（2013）のステップシーケンサをソケット通信ネットワークで接続して演奏内容をやりとりできる「ステップシーケンサを用いたコミュニケーションセッションシステム」[54]など，多くの無線やネットワーク接続を用いたセッションシステムが散見される．

これらのシステムは，遠隔地におけるセッションを意図している．このため，遅延の問題を軽減する必要があり，あえて遅延を加味した音響処理を行ったり，遅延を逆手に取った表現を行ったりするものが多かった．

このように，音楽演奏における無線技術は音声の遅延などが大きな問題となるため，

高速なものが求められること，また Wi-Fi 無線接続や, Bluetooth 無線接続には事前に設定が必要となるため，現在も市販の電子楽器/デジタル楽器の同期システムでは，MIDI ケーブルなどを利用した有線接続が広く用いられている．

これらに対し，本研究では，特別な設定が必要なく，複数台の楽器を起動した瞬間からテンポ/音階など，音楽演奏に必要な機材間の同期を行う遅延の少ない短距離無線ネットワーク同期システムを実装する．

さらに，各楽器のマスター/スレーブ設定は動的かつワンタッチで行えるように設計することで本問題に対処し，普段電子楽器/デジタル楽器を使っていない演奏者でも簡単に設定が行えるよう配慮する．

3.4. 先行事例調査

次に，前節で述べた多様性と簡易性という軸をもとに，電子楽器/デジタル楽器の先行事例を調査し，分類する．

分類の手法としては，簡易性のための機能デザインとして重要と考えられる，①分散型のスタンドアローン楽器，②ステップシーケンサ/ループ機能を用いたリズム演奏の支援，③ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援に加え，演奏方法の特徴と操作可能な音の要素を分析し，電子楽器/デジタル楽器における先行事例をまとめる．

3.4.1. 演奏表現の多様性に着目した先行事例調査

(1) 「UnitInstruments」(2010) [55]

「UnitInstruments」(丸山ら) は，楽器そのものを発音ユニットと音高の選択を行う機能ユニットの集合体であると捉え，それらのユニットを自由に組み合わせることで，音域や演奏スタイルの変化に柔軟に対応できるユニット型電子楽器である．

ユーザは，音源部分とインタフェースユニットを組み合わせて楽器を再構築し，これにより楽器の音域増減などのカスタマイズや，既存楽器の特徴を組み合わせた新たなが楽器を作ることができる．これらのユニットの設定は，独自のスクリプト言語によって容易に変更できる．各ユニットは無線通信により PC に接続され，同じく PC に接続された音源モジュールにより楽器音が出力される．

(2) 「mogees[30]」(2010)

「mogees」(Bruno ら) は，スマートフォン向けの音楽インタフェースシステムである．

様々な場所や物に貼付けられるマイク入力およびヘッドフォン出力ができるインタフェースと，スマートフォン上のソフトウェアで構成されている．マイク部分で物体の振動を分析し，物体の音響に近いサウンドファイルをリアルタイムに検索して出力したり，机上の物体に音を割り当てたりすることで，身の回りの様々な物体を楽器，音楽インタフェースとして利用できる．ソングモード機能を用いることで，楽曲のメロディを演奏することも可能である．

[30] mogees, http://mogees.co.uk

(3) 「“MO” Modular Musical Object」(2011) [56][57]

「“MO” Modular Musical Objects」(Norbert ら) は，無線通信を利用したモーションキャプチャ音楽インタフェースである．

本デバイスは，6 自由度（前後，左右，上下，前後の傾き，左右の傾き，回転）の動きを検出できるモーションセンサ，および圧電センサなどを接続できるインタフェースを搭載している．これらのセンサの値を無線モジュール（Jennic OEM JN-5139）経由で PC 上の専用ソフトウェアに送信し，分析することで，ユーザの「叩く」，「傾ける」，「投げる」などの行為を音出力に反映させることができる．

また，圧電センサモジュールを用いることで，物体の振動を分析し，物体の振動特徴から音響を生成するなど，様々な奏法に対応できる．

(4) 「Molecule Synth[31]」(2012)

「Molecule Synth」(Feldman) は，六角形の電子回路モジュール同士をつなぐことにより電子楽器/デジタル楽器を制作することができるキットである．

音を出力，生成するための“スピーカ/アンプ/ミキサー”，“アナログサウンドジェネレータ”，“デジタルサウンドジェネレータ”に加え，曲げセンサ，光センサ，圧力センサ，ジョイスティックなどのインタフェースモジュールが用意されている．

また，外部から MIDI 信号を受け取るための “コンピュータコントロール”モジュールも用意されており，外部の電子楽器/デジタル楽器や PC と連動でき，様々な音楽インタラクションにより楽曲を操作できる．

(5) 「Ototo[32]」(2013)

「Ototo」(Dentaku) は，様々なセンサモジュールやタッチセンサを簡単に利用できるオールインワンの音楽開発キットであり，電子工作の知識がなくても自作の電子楽器を作ることができる．

例えば，タッチセンサ部にクリップを用いて紙や風船，食物を接続することで，それらを簡単に楽器インタフェースとして利用できる．12 個のタッチセンサを接続できるポートに加え，4 つのセンサ入力用コネクタには様々なセンサを接続することができ，音色などをコントロールできる．子ども向けのワークショップや，教育にも利用されている．

---

[31] Molecule Synth, http://www.moleculesynth.com
[32] Ototo, http://www.ototo.fm/products

(6) 「littleBits Synth Kit」(2013)[25]

「littleBits」(littleBits Electronics Inc.)は，マグネットでモジュール（ビット）同士をつなぎ，簡単に LEGO ブロックのような感覚で電子回路をつくり出すことができるキットである[58].

「littleBits Synth Kit」(littleBits, KORG)は, littleBits 社と KORG 社が共同で開発した，手づくりアナログシンセサイザを作成するための littleBits の拡張モジュールである．複数のオシレータに対して，フィルタ回路，ツマミ（可変抵抗）やスイッチ式のキーボードなどのインタフェース，シーケンサ，音出力用スピーカを接続でき，簡単に自作電子楽器を作り出せる．

(7) 「eMersion[33]」(2014) [59]

「eMersion」(eMotion Technologies, LLC)は，様々なセンサを接続できる無線通信式のセンサモジュールシステムである．

eMersion インタフェースモジュールを楽器に貼るなどして搭載することにより，様々なセンサや，内蔵されている 3 軸加速度センサ，ジャイロスコープ，磁気センサを利用でき，演奏者の様々なジェスチャ情報を，複雑な設定なくリアルタイムに PC に送信し，音楽用ソフトウェアに接続することがでる．これらのシステムの統合により，技術者ではないアーティストなども，簡単に無線センサテクノロジを利用できるよう設計がなされている．

3.4.2. 演奏表現の多様性に着目した先行事例の分類

上記の先行事例に見られるように，様々な奏法や演奏表現に柔軟に対応する電子楽器/デジタル楽器は，近年になって増加してきており，これらの先行事例では多様な演奏方法が可能となる．全ての先行事例において，利用の方法次第で，音高，音色，音量といった音の表現要素を多軸的にコントロールすることができる．また，「mogees」はソングモードという機能を利用することで，事前に設定した楽曲データのメロディを演奏することも可能であり，音楽演奏の簡易性を高める機能デザインもなされている．

しかし，これら多くのシステムでは，リズム演奏を支援するためのシーケンサ/ルーパーを採用している例は少ない．「littleBits Synth Kit」や「Molecule Synth」ではシーケンサを利用することができるが，有線接続方式を用いており，利用までに楽器の組み立てという新たなプロセスが発生してしまう．また，ネットワーク同期機能などにみられる，アンサンブル演奏を支援するための機能は視野に入れられておらず，いずれも有線やモジュール

[33] eMersion, http://www.unleashemotion.com/news/

同士の接続が必要であった.

演奏表現の多様性に着目した先行事例において，リズム演奏やアンサンブル演奏の支援を行うものはなく，本研究の目的に合致する電子楽器/デジタル楽器システムはみられない（Tab. 3- 1）.

Tab. 3- 1 演奏表現の多様性に着目した先行事例

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ルーパー	テンポ/調性同期機能	奏法の特徴	操作可能な音の要素
UnitInstrument（2010）	統合	無	無	楽器インタフェースと音源の組合せ	音高，音色，音量
mogees（2010）	分散	無	有 (ソングモード)	貼り付けた物体に対する操作	音高，音色，音量
"MO" Musical Objects（2011）	統合	無	無	傾きと接触音ジェスチャ入力	音高，音色，音量
Molecule Synth（2012）	分散	シーケンサ（モジュール）	有 (有線接続)	ブロックの組合せ	音高，音色，音量
littleBits Synth kit（2013）	分散	シーケンサ (モジュール)	有 (有線接続)	ブロックの組合せ	音高，音色，音量
Ototo（2013）	分散	無	有（有線接続）	貼り付けた物体への触れる操作	音高，音色，音量
eMersion（2014）	統合	無	無	貼り付けた物体の傾きなど	音高，音色，音量

3.4.3. 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例調査

(1) 「Beatbug」，「iltur」(2002, 2005) [60][61][62]

「Beatbug」，「iltur」(Gil ら) は，叩く，アンテナを曲げるなどのインタラクションによりリズムモティーフを作成，操作，共有できる音楽インタフェースである．

インタフェースの内部には，叩いた強さを検出するドラムトリガー，アンテナ部には曲げセンサが内蔵されている．インタフェースを叩くことにより，リズムモティーフを作成することができる．また，アンテナを曲げることにより，音高や音色，リズムを変更でき，簡単に多様な変奏を行うことができる．

複数台のBeatbugはPCにより連携させて利用でき，複数人間で音楽モチーフを受け渡す演奏や，音楽セッションのようにアイコンタクトを取りながら即興的に音楽を奏でていくことが可能である．

(2) 「演奏者のテンポ感をいかした音楽表現支援システム」(2007) [63][64]

「演奏者のテンポ感をいかした音楽表現支援システム」(橋田ら) は，演奏の熟達度に依存しない音楽インタフェースを目指して開発された．

体験者はインタフェースを選択して自由なリズムを刻む．例えば，スイッチを“押し続ける”ことで入力を継続すると，その間だけリズム音列が追加生成される．体験者は，リズム音列を手掛かりとして，テンポ感のあるタイミングでスイッチを押すことや離すことが促される．「押し続ける」ことをしなければリズム音列は追加されず，体験者は自由なタイミングでの演奏を行うことになる．さらに，自由なリズムをテンポ感よく刻み続けると，テンポ感が持続した長さに応じてリズムに沿ったメロディや，異なるメロディが段階的に挿入され，出力がより音楽らしく変化する．

(3) 「Freqtric Drums」(2007) [65]

「Freqtric Drums」(馬場ら) は人の手や肌を叩くことで様々な音響表現が可能な複数人対応型の電子楽器/デジタル楽器である．本作品は，他人に触れる行為は特有の感覚を持ったコミュニケーションであるという点に着目して制作された．

デバイスを通して微弱電流を体内に流すことで，皮膚電気活動と呼ばれる皮膚インピーダンスと皮膚電位を利用して，他人との触れ合いを音響出力に変換する．

楽器に搭載されているパイプ部分に触れ，更に別のパイプ部分やパイプに触れている体験者に触れると，触れた位置に対応した音が出力される．

(4) 「Beacon」(2008) [66]

「Beacon」(内山ら) は，筑波大学が開発した音楽インタフェース，ユーザインタフェースである．

円筒形のユーザインタフェースが時計回りに回転し，複数のセンサにより，ユーザの位置を検出し，その位置関係に基づいたメロディや音源を出力する．このことにより，複数人の身体的なコミュニケーションを音に反映させることが可能となる．インタフェースにつま先を向けると短い音を，足の側面を向けると長い音を出力する．そのため，スタッカート，レガートなどの表現を行なうこともできる．

音楽により，人との関わりを持つ場を提供することを目的とし，フィットネス，リハビリテーションなど様々なシーンで利用することを想定している．

3.4.4. 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例の分類

「Beatbug / iltur」は, PC ベースの統合型システムであるものの，多人数に楽器を分配できる小型デバイスの分散構造となっており，叩くなどの比較的単純な行為により，他者とのフレーズのやりとりや，録音とループ再生，フレーズの改変（リミックス）を可能としている．

「Freqtric Drums」は複数人の演奏者同士の触れ合いによって特定の音高を出力する．「Beacon」は回転するセンサ周辺の物体や人物の位置により，音高を制御でき，物体の配置によりシーケンス演奏も可能となる．「演奏者のテンポ感をいかした音楽表現支援システム」は，スイッチなどの入力をテンポよく操作することによるリズムシーケンスの制御が可能である．

このように，演奏の簡易性を高めるための様々な支援機能が用いられているが，簡易性に着目した熟達度に依存しない先行事例では，操作可能な音の要素を限定することで，簡易性を高める傾向がある．つまり，音楽の三要素をともなった演奏は簡易にできるものの，音の三要素の操作に関しては不可能なものが多い．

先に示したように本研究では，分散型のスタンドアローン楽器システムにおいて，音の三要素である音高，音色，音量の操作を省かずに，簡易性を高めることが重要な要素である．簡易性に着目した先行事例においても，本研究の目的に合致したシステムは見られない（Tab. 3- 2）．

Tab. 3- 2 音楽演奏の簡易性に着目した先行事例

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ルーパー	テンポ/調性同期機能	演奏方法の特徴	操作可能な音の要素
Beatbug / Iltur （2002/5）	統合	ルーパー	有	フレーズの録音再生/改変/受け渡し	音高，音量
Freqtric Drums（2005）	分散	無	無	楽器に触れた状態で他者に触れる	音高
演奏者のテンポ感をいかした音楽表現支援システム（2007）	分散	シーケンサ	無	テンポに合わせたボタン操作	（再生）
Beacon（2008）	分散	シーケンサ	無	回転する楽器周辺の物体の位置	音高

3.4.5. 本研究が目指す開発領域

以上のように，本研究の目指す多様性と簡易性を共存させた電子楽器/デジタル楽器の事例は見られなかった（Fig. 3- 2）．

A）多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン，B）音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザインを含み，「一般ユーザ」の演奏表現に多様性を生み出すデジタル楽器が，本研究の目指す領域である．次節にて，本研究で開発するデジタル楽器のデザインプロセスと要件をまとめる．

Fig. 3- 2 本研究が目指す開発領域

3.5. まとめ

本研究では，下記の特徴をもったデジタル楽器のデザインを行う．まず，「表現ユーザ」および「一般ユーザ」という対象の段階を通して，演奏表現の多様性を生み出すことを目的としたデジタル楽器デザインを実践する．また，開発したデジタル楽器を用いた演奏への応用に着手し，実際の音楽表現に用いることができるか検証する．さらに，「一般ユーザ」を対象としたデジタル楽器の評価/分析を行う．

加えて，本研究で開発したデジタル楽器の社会への応用として，「現場ユーザ」を対象とした楽器デザインに着手する．

A) 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1) 「表現ユーザ」—複数の音楽次元を同時に操作できるインタフェースデザイン

(2) 「一般ユーザ」—ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザイン

(3) 「現場ユーザ」—利用現場の状況に合わせたインタフェースデザイン

本研究における多様性と簡易性のデザインに向けたプロセスを図示すると以下 (Fig. 3- 3) のようになる．

Fig. 3- 3 研究の段階

音楽の三要素をともなった演奏の簡易性を高めるデザイン手法としては，下記の 3 点を支援機能として採用し，演奏者の表現をサポートする．

B) 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1) 分散型のスタンドアローン楽器

(2) ステップシーケンサ/ルーパー機能を用いたリズム演奏の支援

(3) ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

上記のデザイン要件をまとめると，下図（Fig. 3- 4）のようになる．

Fig. 3- 4 本研究で目指す電子楽器の構造

このような多様性と簡易性を両立するデジタル楽器や音楽インタフェースデザインや開発，それらの演奏/展示への応用，評価/分析，社会への応用を一貫して行っている例は見られない．よって，上記のプロセスとデザイン要件をもとに，デジタル楽器の開発を行う．

次章から，開発されたデジタル楽器の詳細，および展示会におけるユーザ観察と演奏への応用について述べる．

第4章「表現ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン

4.1. はじめに

4.1.1. 概要

本研究では，研究の第一段階として，①音楽大学や専門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」の演奏表現の多様性を生み出すことを目指し，デジタル楽器「B.O.M.B. —Beat Of Magic Box—（Fig. 4- 1）」（以下, B.O.M.B.と記述する）[67][68] を開発した．本章において，本デジタル楽器のシステム，展示，演奏への応用について記述する．

B.O.M.B. では，「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」インタラクションにより，音/音楽の三要素を操作できる．筐体側面には８つの圧力センサが搭載されており，これらのセンサ部を握る力によって音高を制御でき，内蔵されたステップシーケンサ機能により，リズムに合ったメロディ表現を行うことが可能である．また，加速度（傾きを検出する）センサが内蔵されており，本体を傾けると音色・音量が連続的に変化する．

さらに，本楽器には無線によるネットワーク同期機能が実装されており，複数の楽器間で BPM（テンポ）と音階（スケール）設定の情報が自動で共有され，同期するよう設計されている．このネットワーク同期機能により，リズムや音楽理論に気をとられずに，複数の楽器を簡単に同期させ，音楽の三要素をともなった演奏を行うことができる．

Fig. 4- 1 「B.O.M.B.」

4.2. デザインとシステム設計

4.2.1. 本章におけるデジタル楽器のデザイン

本章では「表現ユーザ」における多様性と簡易性に着目し，第３章で述べたデザイン手法に則り，下記の要領でデザインを行った．

A) 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1) 「表現ユーザ」—複数の音楽次元を同時に操作できるインタフェースデザイン

前述したとおり，「表現ユーザ」を対象とする本段階では，極端な簡易性を目指すよりも，演奏表現の多様性を生み出す要素を取り入れることが重要である．つまり，調性をともなった音楽表現の上で重要となる，音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）の全てをコントロールできるインタフェースデザインが求められる．

しかし，「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器のデザインを行う第２段階につなげるため，多様性と簡易性のバランスをとる設計を行いたい．そのためには，リズム演奏の支援機能である，ステップシーケンス機能を容易にコントロールでき，同時にメロディやハーモニー演奏を行うことができるインタラクションを検討する必要がある．

これを実現するため，本研究では「握る」インタラクションに着目した．楽器を演奏する際，最も初期に行われる行為は，楽器の一部分を「握る」インタラクションである．このことから，「握る」インタラクションを起点として様々なジェスチャ入力により，リズムシーケンスやメロディを操作するインタフェースをデザインすることにした．

「握る」インタラクションと明確に区別でき，同時かつ連続的に行うことができる行為として，「傾ける」，「ひっくり返す」，「振る」インタラクションが挙げられる．この点に着目し，音色と音量の操作を「傾ける」，後述するルーパー機能を有効化する操作を「ひっくり返す」，同じく後述する楽器モードの変更操作を「振る」という行為にマッピングすることにした．

これまでに尾上ら（1998）の加速度センサおよび半導体圧力センサを用いて，複数方向の圧力と傾きを検出し，MIDI イベントを制御する「GraspMIDI」[69]や，平松ら（2009）の複数の曲げセンサ，空気圧センサを用いた「PUYO-CON」[70]など，「握る，傾ける」行為の直感性に着目し，簡易な演奏表現を実現すること研究・開発が散見される．

また，「握る」インタラクションへの音響マッピングに近い領域として，情報に物理的実体を与え，直接触れて感知・操作できる性格を持った，タンジブル・インタフェース[71]の事例が挙げられる．Sony CSL による「Block Jam」（2002）は，20 数個のブ

ロックのつなぎ方やブロックへのジェスチャ，クリック入力により，タンジブルに音楽フレーズやシーケンスの作成変更ができる音楽インタフェースである[72][73]. Jordà ら（2005）の「Reactable」は，専用のテーブルの上にタグの張られたオブジェクトを置き，それらを回転させたり近づけたりすることで様々な音楽表現を行なうことができる[74][75]. Percussa Inc（2008）による「Audio Cubes」は，立方体のキューブ同士の距離や，並ぶ順番，向かい合う角度により，ソフトウェア上のパラメータや音源をコントロールすることができる音楽インタフェースである[76].

一方，画像処理を用いたハンドジェスチャの検出を音楽表現に応用する手法も見られる. Levin ら（2004）の「The Manual Input Sessions」は，画像処理により OHP にかざした手のシルエットを検出し，映像内にオブジェクトを生成する．このオブジェクトの様々な動きに音をマッピングすることで，音の生成や音楽表現を可能としている[77].

本段階におけるインタフェースの目的は，「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」行為により，片手でリズムシーケンス，和音などの複数の音楽表現の要素をコントロールする点にある．また，マルチジェスチャに対応することで様々な奏法を利用できることに重点をおいている．これらの点が，上記の先行事例と異なる本インタフェースの特徴である．

B) 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1) 分散型のスタンドアローン楽器

B.O.M.B. は，小型のマイクロコントローラボード，バッテリーおよび外部ACアダプタで動作するスタンドアローン型のデジタル楽器である．また３章で述べたとおり，システム内にリズム楽器，メロディ楽器，ハーモニー楽器というトラックに当たる機能を，打楽器モード，メロディ楽器モード，ベース楽器モードとして内蔵し，複数台を用いることでアンサンブル演奏を行うことができる構造となっている．これにより，リズム，ベース，メロディの順で編集していくなど，各楽器の演奏を個別に行うことが可能となる．

(2) ステップシーケンサ/ループー機能を用いたリズム演奏の支援

B.O.M.B. には，マイクロコントローラに実装されているタイマを用いたステップシーケンサが内蔵されており，テンポに合ったリズム表現を実現している．ステップシーケンサは楽器側面に設置された圧力センサの数と同様の 8 段階（8 ステップ）であり，この８段階のステップを設定された BPM（テンポ）で繰り返すことにより自動

演奏を行う．このことにより，５本の指で様々なリズムパターンをつくり出すことが可能となる．

一般的なステップシーケンサは，左から右へとステップの段階が増えていく方式（横型）を採用している（Fig. 4-２左）．対して, Future Retro 社の Orb sequencer[34] などに見られるように，時計回りの方式（円型）も存在する（Fig. 4-２右）．

Fig. 4- 2 シーケンスの方向

円型方式を採用することで，演奏者はステップの順番や，開始点，終了点を意識する必要がなくなり，音高の操作やリズムの操作に集中して演奏を行うことができると考えられる．このため，B.O.M.B. では，円型方式を採用した（Fig. 4- 3）．筐体上部に設置された８つの LED は，８段階のステップに合わせて時計回りに点滅し，BPM（テンポ）の情報を可視化する．時計回りの回転点滅は，１回転で１シーケンス（１小節）を意味している．

このステップシーケンサ機能により，演奏者は本体側面に設置された圧力センサを握るだけで，正確なリズム打ちに気をとられず，１小節の連続的なメロディを作ることができ，簡単に均一なリズム表現を行うことができる．

[34] Orb sequencer（Future Retro）, https://www.future-retro.com/orboverview.html

Fig. 4- 3 B.O.M.B.の演奏方法

(3) ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

本研究では分散型のデジタル楽器に着目している．分散型のシステムでは，第３章で述べたとおり，特別な設定やケーブルが必要なく，短距離にある楽器同士を簡単にネットワーク同期できるシステムが必要となる．このため，B.O.M.B. では，短距離無線に特化した XBee RF モジュール[35]（Digi International Series1，PCB アンテナ 2.4GHz)を用いて，無線ネットワーク同期システムを構築し，複数の楽器間の調性(音階）やテンポ（BPM）を自動的に一致させる機能を内蔵した．

B.O.M.B. に搭載されている無線通信システムでは，特定の演奏者がBPMコントローラを操作した瞬間に，その演奏者の楽器はマスターモード（親デバイス）となり，その他の演奏者の楽器は自動的にスレーブモード（子デバイス）となる．マスターモードの楽器はテンポ/音階の設定情報を送信し，スレーブモードの楽器はこの情報を受け取り，マスターモードの楽器に自動的に同期する（Fig. 4- 4）．本ネットワーク同期システムにより，演奏者はマスターモードを容易に交代できる．

本システムでは，ステップシーケンサの 1 シーケンスが経過するごとに，マスターからスレーブへ同期用の信号および音階の情報が送られる設定となっている．スレーブ側の楽器のシーケンスは，同期信号が送信されるまで，内部の独自のタイマによりコントロールされる．このため，必要な通信は 1 シーケンスごとに一回となり，無線通信で扱うデータは 1 Byte である．また，1 シーケンスごとに全楽器間の遅延が補正される．これらの設計により，安定したネットワーク同期が実現された．

[35] XBee RF モジュール，
http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/index.html

Fig. 4- 4 無線通信機能

３章で述べたデザイン手法との比較は下図（Fig. 4- 5）のとおりである．

Fig. 4- 5 B.O.M.B.におけるデザイン手法

4.2.2. 楽器構造とサウンドシンセシス

本楽器には，小型のマイクロコントローラボードである Arduino（Arduino Pro Mini, microcontroller board, ATmega328, 5V 駆動 16 MHz）が内蔵されている．全ての演算はこのマイクロコントローラ内で行われるため，B.O.M.B. のシステムはバッテリーおよび外部 AC アダプタで動作し，PC などの外部機器や音源を必要としない（Fig. 4- 6）．

Fig. 4- 6 内部構造

前述した「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」インタラクションに対応するためには，複数のセンサを内蔵し，マルチジェスチャ入力に対応する必要がある．

「握る」行為の検出には，８つの圧力センサ（Interlink Electronics 社製, MicroNav STRIP Sensor）を用い，「傾ける，ひっくり返す，振る」行為の検出には３軸加速度センサ（Triple Axis Accelerometer KXR-94-2050）を用いている．圧力センサで検出された値を音高，加速度センサで検出された値を音量と音色にマッピングしている．楽器の側面には BPM コントローラ（可変抵抗），音階選択スイッチが搭載されている（Fig. 4- 7）．

８つの MicroNavSTRIP センサは，２つの 74HC4051（８ch アナログマルチプレクサ）に接続されている．全てのセンサの検出値はこの 74HC4051 を通して Arduino へアナログ値で入力される．センサから得られたこれらの値は，リアルタイムにマイクロコントローラに読み込まれ，1024 段階のアナログ値は 128 段階の MIDI ノートナンバーにマッピングされ，この MIDI ノートナンバーをもとに，内部の演算により音響合成と出力が行われる．

Fig. 4- 7 B.O.M.B.のコントローラ構成

音響の合成と出力には，Barrass により開発された Arduino 用サウンドのシンセシスライブラリ「Mozzi[36]」[78]を用いている．本ライブラリを用いることで，特殊な音響合成用の電子部品や IC を用いずに，Arduino の統合開発環境である Arduino IDE 内の所定のフォルダ内にファイル群を設置するだけで，Arduino のデジタル出力ピンから直接合成音を出力できる．Arduino の開発環境である Arduino IDE を用いてプログラムを編集し，音響合成を行う．マイクロコントローラ内で Mozzi を利用して生成された音響は，本体に設置された 3.5mm ステレオジャックから出力される（ソースコードは付録 DVD の「4．ソースコード」フォルダ内，「BOMB」フォルダを参照）．

本体上部に設置された 8 つの LED は 74HC238（デコーダーIC）に接続され，ステップシーケンサと同期したデジタル信号により点滅が管理されている．これにより，ステップの情報を，時計回りの LED 点滅によって呈示することが可能となる．

複数楽器を用いる場合，複数楽器を用いる場合，無線通信の際に互いの通し番号を識別する必要がある.このため，不揮発性メモリの一種である EEPROM（Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory）に各楽器特有の番号を登録し，互いの識別を行う手法をとった．

筐体は上部から握りやすい形状を考慮し，アクリル製の半球および円筒素材を接合して造形している（Φ 100 mm × H 80 mm）．

[36] Mozzi（Sound Synthesis Library for Arduino）, http://sensorium.github.io/Mozzi/

4.3. 演奏方法

4.3.1. コントローラの操作

(1)　音高・音色・音量の制御

前述したように，B.O.M.B. では，「握る，傾ける」行為により，音高，音色，音量をコントロールできる．８つの圧力センサのアナログ値（1024 段階）は，マイクロコントローラにより MIDI ノートナンバー（128 段階）に変換され，音高の制御に利用される．加速度センサの値はアナログ値(1024 段階)に変換され，フィルタ制御，音量制御に用いられる(Fig. 4- 3)．

また，後述する楽器モードの設定により，打楽器音によるリズムフレーズ，連続的なメロディフレーズ，ハーモニーの表現など，複数の圧力センサを握ることで様々な音楽インタラクションを行うことが可能である．

(2)　音階の制御

圧力センサの値は，本体側面に設置された音階選択スイッチで設定された音階に合わせてマッピングされる．これにより，設定された音階から外れた音高は出力されず，音楽の調性から逸脱することはなく，調性を気にすること無く音高表現に集中できる．

音階の種類は全８種類（マイナーペンタトニック，メジャーペンタトニック，マイナー，メジャー，リディアン，琉球，オクターブ，およびクロマチックスケール）内蔵されており，音階選択スイッチを押していくと順次変化していく．

なお，この音階設定スイッチはマスターモードの演奏者のみ操作することができ，マスターモードの音階設定が全てのスレーブモードの楽器に自動送信される．

(3)　テンポの制御

テンポの操作は，本体側面に設置された BPM コントローラによって行う．前述したように，特定の演奏者が BPM コントローラを操作した瞬間に，その演奏者の楽器はマスターモード(親デバイス)となり，その他の演奏者の楽器は自動的にスレーブモード(子デバイス)となる．

4.3.2. 楽器モード

B.O.M.B. には，３つの楽器モード（メロディ楽器モード，打楽器モード，ベース楽器モード）が内蔵されており，本体を横に振ると即座に切り替わる（Fig. 4- 8）．

Fig. 4- 8 楽器モードの変更

楽器側面のスリットからは，内蔵されたフルカラーLED の光が漏れ出るため，このフルカラーLED の色によって楽器モードの設定を確認できる．複数台の楽器を用い，これらの楽器モードをそれぞれの楽器に割り振ることで，リズム・メロディ・ハーモニーをともなった音楽表現が実現できる．以下が各楽器モードの詳細である．

(1)　メロディ楽器モード（LED 色: 赤）

本モードでは，全ての圧力センサの値が８つのオシレータ（音源）に反映される．このため，単音だけでなく和音を表現でき，メロディ演奏やハーモニー演奏が可能である．

(2)　打楽器モード（LED 色: 緑）

本モードでは，ドラムのキック（バスドラム）の音色を用いた８ステップシーケンサをコントロールできる．８つの LED の回転点滅に合わせて，LED 直下の圧力センサの値を読み込み，打楽器音（ドラムキック音）を出力する．

(3)　ベース楽器モード（LED 色: 青）

本モードでは，８ステップのピッチシーケンサをコントロールできる．打楽器モードと同様に，８つの LED の回転点滅に合わせて，直下の圧力センサの値を読み込み，順番にマッピングして特定の音高を出力する．

4.3.3. ルーパー機能

前述したとおり，本楽器には，ルーパー（録音再生演奏）機能が実装されている．演奏中，圧力センサ部を握りながら楽器本体をひっくり返すと，本体内部の LED 色が変化し（メロディ楽器モードの際は紫，打楽器モードの際は橙，ベース楽器モードの際はスカイブルーに変化する），ルーパー機能が有効化される（Fig. 4- 9）．

本機能を利用することで，単独演奏においても，複数台の楽器を用いて演奏を行うことができる．なお，ルーパー機能が有効となっている間は，再度圧力センサに触れることで演奏の編集を行うことができる．ルーパー機能の最大録音数は，８音（８ステップ）分である．

楽器を再度ひっくり返すと，記録されたセンサ値は消去され，通常の演奏状態に戻る．ルーパー機能が有効化されている間も，音階やテンポの設定は可能である．

Fig. 4- 9 ループモードへの変更

4.4. 展示会への参加

B.O.M.B. における展示活動としては，芸術と科学に関する国際会議 NICOGRAPH International 2012（Bali, INDONESIA）[37]，電子工作専門誌エレキジャックの主催イベントであるエレキジャック・フォーラム in Akihabara 2012（Akihabara UDX，秋葉原，東京都）[38]，デジタルアートの国際コンペティションである Asia Digital Art Award 2011（福岡アジア美術館，福岡県）[39]，新たな音楽インタフェースに関する国際会議 New Interfaces for Musical Expression 2014（Goldsmiths College, London）[40]などの国内外の 10 カ所以上の展示会や国際会議に参加している．展示において，数分のレクチャーの後，著者と体験者で短時間のセッションが行われ，小学生児童が長時間演奏し続ける場面も見られた．

Asia Digital Art Award 2011 では，インタラクティブアート部門で入賞に至り，電子工作コンテスト 2011 では優秀賞を受賞し，インタラクティブアート作品としての一定の評価を受けた．加えて，東京大学産学連携本部で開催されたスタートアップ企業を対象としたピッチコンテストである Todai To Texas Demo Day 2013[41]では 2nd Prize を受賞し，SXSW（South By Southwest）Interactive Trade Show 2014（Austin, Texas, USA）[42]における展示権，展示予算補助を獲得し，現地における展示でも講評を博した．

Fig. 4- 10 B.O.M.B.展示の様子（Asia Digital Art Award 2011）

[37] NICOGRAPH International 2012, http://art-science.org/nicograph/nicoint2012/
[38] エレキジャック・フォーラム in Akihabara 2012, http://it.cqpub.co.jp/tse/201204EF/
[39] Asia Digital Art Award 2011, http://adaa.jp/2011/j/01_news.html
[40] New Interfaces for Musical Expression 2014, http://www.nime2014.org
[41] Todai to Texas, http://todaitotexas.com
[42] South By Southwest, http://sxsw.com

Fig. 4- 11 B.O.M.B.展示の様子（SXSW 2014）

Fig. 4- 12 B.O.M.B.展示の様子（ALE 03）

4.5. 演奏への応用

筆者は，本楽器の開発と各展示会への参加に加え，本楽器を用いた演奏活動を継続して行ってきた．本演奏活動は，筆者による演奏活動により，実際の音楽演奏に用いることができるか検証することが目的である．

4.5.1. 演奏会への参加

B.O.M.B. を用いた演奏活動としては，美術館アーツ千代田 3331 で毎年開催される千代田芸術祭 2013 音部門 “LIFE LIKE LIVE”（Arts Chiyoda 3331，東京都）[43], Dance and Media Japan MAMUSKA Tokyo 16（CS-LAB，東京造形大学，東京都）[44]，ジョージア工科大学が主催する国際楽器コンペティションである 2013 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition （Georgia Tech, Atlanta, USA），国内外の審査付き演奏会など，全 10 件の演奏会に出演している．

これらの演奏会出演により，無線通信システムの演奏における安定性の確認がなされた．

Fig. 4- 13 B.O.M.B.演奏の様子（Guthman Competition 2013）

[43] 千代田芸術祭 2013 音部門 “LIFE LIKE LIVE”, http://fes.3331.jp/2013/entry/index5.html
[44] Dance and Media Japan MAMUSKA Tokyo 16, http://dance-media.com/mamuska/tokyo16.html

Fig. 4- 14 B.O.M.B.演奏の様子（教室#7）

4.5.2. 表現と奏法の追求

（1） 演奏データを用いたアニメーションの投影

本研究で取り組んでいるような新たな楽器や音楽インタフェース開発の分野では，開発者が独自の演奏方法やマッピングを行う性格上，聴衆にとって音楽インタラクションと音出力の関係がわかりづらくなるという傾向がある．

そこで，B.O.M.B. を用いた演奏の際には，本楽器と音の関連性を聴衆に伝えながら，圧力，傾き，楽器モード，テンポの情報を無線通信で PC に送信し，これらの情報をもとに自動でアニメーションを生成するプログラムを作成した．演奏時にはこのアニメーションを演奏ブースの背後にプロジェクタで投影した（Fig. 4- 15）．

（2） 奏法の追求

また，筆者の長期間の演奏活動により，①一つの楽器を連続的に傾けながら回し，同時に音階のスイッチを変更することで，楽曲に展開を生み出す，②「振る」インタラクションを連続して行うことにより，繰り返し楽器モードを切り替えることで，演奏にバリエーションを生み出す，など設計時には想定していなかった奏法が開発された．

Fig. 4- 15 B.O.M.B.の演奏とアニメーション投影（MAMUSKA Tokyo 16）

4.5.3. 演奏に対する評価

B.O.M.B. の演奏パフォーマンスは，前項でも述べた音を用いたパフォーマンスに関するコンペティションである，千代田芸術祭 2013 音部門“LIFE LIKE LIVE”（Arts Chiyoda 3331，東京都）の審査に通過し，2013 年 10 月 20 日に行われた本選演奏会に参加した．本コンペティションには音楽ジャンルの区別がなく，ボイスパフォーマンスからバンドによる演奏，電子音楽まで様々なジャンルのパフォーマを募集し，演奏パフォーマンスで競い合う公開式の演奏会である．本コンペティションは，５分間の演奏に対し，演奏終了後，各演奏者への５分間の講評が行われる．

演奏内容としては，B.O.M.B. ３台を利用し，各楽器の楽器モードを切り替えながら展開をつけ，各種センサのデータ，手元のウェブカメラ映像をアニメーションで投影して演奏した（Fig. 4- 16）．

本項では演奏に対する音楽家，美術家からの評価として，本コンペティションにおける公開講評会のコメントの要約を記載する．審査員は伊藤ガビン氏（編集者，ゲームデザイナー，美術作家），岸野雄一氏（スタディスト，音楽家），桜井順氏（作詞家，作曲家）である．

以下，（１），（２）に審査員からの評価を示す（詳しい演奏内容については，付録 DVD「2.演奏映像」内，「BOMB_ChiyodaArtsFestival2013.mp4」を参照）．

Fig. 4- 16 千代田芸術祭 2013 における演奏の様子

(1)　演奏について

非常に綺麗にできていて，テクニック的にはすばらしい．どういう動きがパラメータに反映されているのかも想像がつくし，コントロールの仕方もうまい．

(2)　楽器と音，映像の対応について

こういった電子楽器やコントローラを使ったパフォーマンスを見ると，マジックに見えてしまうことがある．そういった場合，種明かしのことを常に考えてしまう．つまり，自作のコントローラが，実はなんの演奏のパラメータにも対応しておらず，音楽に合わせて動かしているだけだとしたら…ということを考えてしまう．意地悪な見方ではあるが，このような新しい電子楽器や音楽インタフェースの演奏の場合，音楽にコントローラが対応していなくてもライブは成り立ってしまう．

後ろに投影されているアニメーション（当日はコントローラのデータを舞台後ろに投影していた）との対応に関して種明かしがなく，関連性が見えていない状態だと，観客は映像に関して「あらかじめ作ってあって，それを見せているのではないか」と疑ってしまう．映像と音がどれくらい対応しているかわからないので，もっと音とコントローラの関係性があけすけに見えた方がいい．

演奏の最後のところで自作の楽器の点滅（LED）が音楽に追随しているのを見た．（演奏の最後にスイッチを切って演奏を終えた）その時に初めてコントローラが音楽と映像に反

映されて，コントローラとの関連が分かった．そういう場面を早い段階で見せるように演奏を作っていくと，疑われることは少ないと思う．極端な話をすると，どこかで失敗するような場面があると動きが音に反映されると理解できるかもしれない．

上記のように，演奏方法の見せ方に関しては一定の評価を得た．しかしながら，聴衆にとっての演奏方法やインタフェースと音との関連性，同期システム，映像を含めた表現に関する理解のしやすさに関して，批判的な議論が行われた．

この講評から，インタフェースの透明性の設計に関して，改善の余地があることが明らかとなった．

4.6. まとめ

本章における制作により，「握る，傾ける，ひっくり返す，振る」という複数のインタラクションに対応し，片手のみを用いた行為によって音の三要素を操作できるインタフェースを開発した．また，特別な設定を必要としない無線ネットワーク同期システムを開発した．これらにより，音楽の三要素を含んだ演奏表現を簡易に行うことができる分散型のデジタル楽器を開発した（Tab. 4- 1）．

加えて，芸術作品として一定の評価を受けた．さらに，筆者により本楽器を用いた演奏への応用がなされ，一定の訓練を行うことで「表現ユーザ」が音楽演奏に用いることが可能であることが明らかとなった．

Tab. 4- 1 B.O.M.B.の機能要素

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ルーパー	テンポ/調性の同期機能	奏法の特徴	操作可能な音の要素
B.O.M.B.	分散	シーケンサ/ルーパー	有（無線同期）	複数センサによるマルチジェスチャ	音高，音色，音量

B.O.M.B.を用いた展示会や演奏会への参加により，受賞などの一定の評価が得られたものの，展示における体験者の観察および演奏に対する評価から，「一般ユーザ」が利用するためには，以下の点に課題があることが明らかとなった．

(1)　簡易性に関する問題

演奏方法の説明に数分程度の時間がかかり，短時間では演奏に参加することが難しく，体験者は一定の練習を行い，技術を修得する必要がある（展示における体験者の観察から）．

(2)　透明性に関する問題

インタラクションと音の出力との関係性が，演奏を見ているだけでは理解し難いため，鑑賞者や聴衆がすぐに演奏内容を理解することが難しい（専門家からの演奏への評価から）．

上記のように，「一般ユーザ」に提供するには，簡易性と透明性に関して課題があり，上記２点に着目して，本研究の第２段階に移行することにした．

ユーザが直感的に把握できるインタラクションを実現するには，インタフェース操作にメタファーなどを取り入れ，インタラクションと音の出力との関係をわかりやすく奏者に呈示する必要がある．しかし，開発者がある程度の奏法を規定してしまう以上，体験者はその奏法に従う必要があり，すぐに演奏ができる簡易性を実現することや，演奏表現に多様性を生みだすことが困難になると予想される．このような多様性と簡易性の問題に対し，本研究では，電子楽器/デジタル楽器のインタフェースを開発する上で，重要な基礎要素となる「センサ」そのものに着目することにした．

電子楽器/デジタル楽器において，センサは音楽インタフェースを構築するための材料である．本研究の第２段階ではこのセンサをユーザが任意に選択し，変更できる構造を取り入れる．これにより，ユーザ自身が奏法を選択することが可能となり，音と音楽インタラクションとの関係を自ら作り出すことが可能となる（Fig. 4- 17）．つまり，複数種類のインタラクションを用意することで，ユーザがそれぞれ好んだ演奏方法や操作のしやすい演奏方法を選ぶことが可能となるため，上記の多様性や簡易性，透明性の問題を解消できる可能性が高い．

Fig. 4- 17 インタラクションのプロセス

本章で開発した B.O.M.B. におけるデジタル楽器システムを基礎技術として，上記のセンサを任意に変更できるインタフェースを組み合わせることができれば，「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器を実現することが可能である．次章では，ユーザによるインタフェース変更に対応するデジタル楽器「POWDER BOX」の開発と，展示会，演奏会への応用について述べる．

第5章「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン

5.1. はじめに

5.1.1. 概要

本研究の第２段階として，第１段階で開発したデジタル楽器の簡易性･透明性を高めるため，デザインの対象を，②専門的な教育を受けたことのない「一般ユーザ」に設定し，演奏表現の多様性を生み出すインタフェースを実現する．「一般ユーザ」がセンサを任意に選択し，変更できる音楽インタフェースを採用することで，奏法を自分自身で考えるプロセスを発生させ, B.O.M.B. における課題であった簡易性と透明性の向上を狙う．

本研究で開発したデジタル楽器「POWDER BOX（Fig. 5- 1)」では，音高を変化させるためのインタフェースと，音を発する楽器本体（シンセサイザ）とを別々のパーツにし，演奏者がセンサインタフェースを選択/変更することができる．ちょうどギター奏者が「ピックで弾く」，「指で爪弾く」など奏法を変えるように，様々な奏法を演奏に用いることが可能である．さらに，テンポ/調性については, B.O.M.B. で開発したネットワーク同期機能を内蔵することで，複数の楽器間で自動的に同期される[79][80].

本デジタル楽器により，「一般ユーザ」の多様な演奏方法に柔軟に対応し，「演奏表現の多様性」を生み出すことが目的である．

Fig. 5- 1 POWDER BOX

5.1.2. インタラクション変化による音出力の変化

POWDER BOX の開発に先立ち，「センサを変更することで，音楽表現が変化するか」という点について明らかにするため，本研究では下記の予備調査を行った．

下図（Fig. 5- 2）は，筆者による演奏をデータとして記録したものである．ひねる（回転式可変抵抗），曲げる（曲げセンサ），触れる（接触位置センサ），つまむ（圧力センサ）インタラクションを設定し，センサのアナログ出力の値（1024 段階）を，MIDI データ（128 段階）にマッピングした．今回は，意図的に各センサ検出域の上限と下限を行き来する演奏を行っている．

縦軸は音高（MIDI ノートナンバー: 0~127 段階），横軸は時間（秒）を示す．下図のように，センサを変更することで，単純な操作であってもメロディ表現に変化が出ることがわかる．

Fig. 5- 2 インタラクション変化による音高情報の参考データ

また，下図（Fig. 5- 3）は，学校教育で扱われる楽器以外の演奏経験がある 20 代男性 1 名と，経験のない 20 代男性 1 名に，接触位置センサを用いて 1 分間の自由演奏テストを行ってもらい，MIDI ノートナンバー（音高データ）を記録したものである．

Fig. 5- 3 接触位置センサを用いた演奏の音高データ

どちらの演奏者も，筆者の演奏と同じように，接触位置センサの特徴的な音高変化（図内赤枠: なだらかな山なりの表現）を出力している．

また，下図（Fig. 5- 4）は同じく２名の楽器経験の異なる演奏者に，圧力センサを用いた１分間の自由演奏を行ってもらったデータである．

どちらの演奏者も，筆者が圧力センサを用いて演奏した際に見られた特徴的な音高変化（図内赤枠: 上下の急激な音高変化，図内青枠: 高音域の持続的な出力）を出力している．

Fig. 5- 4 圧力センサを用いた音高データ

これらの予備調査から，センサを変更することで，メロディ表現の特徴が変化することが示唆された．つまり，センサを交換できるインタフェースを採用することによって，演奏者がメロディ表現を変化させることが可能であると考えられる．

5.2. デザインとシステム設計

5.2.1. 本章における電子楽器のデザイン手法

A) 多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1) 「一般ユーザ」—ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザイン

前節で述べたとおり，ひねる，ふれるなど，演奏のためのインタラクションが変化すれば，腕の使い方や手の使い方が変化するため，メロディ表現は変化する．このことから，センサ（センサインタフェース）を交換可能なインタフェースシステムを開発することで，演奏者の様々な奏法に対応し，「一般ユーザ」の演奏表現の多様性を生み出すことができると考えた．

本研究で開発した POWDER BOX には，下図（Fig. 5- 5）のように７種類（左から，圧力: 「つまむ（力)」，接触位置: 「さわる（位置)」，回転式可変抵抗（ツマミ）: 「ひねる」，距離: 「手を（に）近づける」，光: 「光源を（に）近づける」，曲げ:「曲げる」，スライド式可変抵抗（スライダ）: 「スライドさせる」）のセンサインタフェースを用意した．

Fig. 5- 5 センサインタフェース

センサインタフェースを複数用意することで，様々な行為を演奏に用いることが可

能となる．例えば，圧力センサを楽器本体に接続すれば指の圧力で，光センサを接続すれば楽器にあたる光を遮ることで，距離センサを接続すればテルミンのように手を近づけることでメロディの演奏ができるようになっている．

本研究で開発した POWDER BOX は掌に収まるデジタル楽器であり，指，手および腕を用いたインタラクションを対象としている．このため，手および腕で扱える範囲内のインタラクションであり，行為の結果が即時的に音に反映できるセンサに限定して７種類のセンサを採用した．

まず，音楽演奏や音楽機材に一般的に使われている汎用インタフェースである回転式可変抵抗およびスライド式可変抵抗（スライダ）の２種を採用した．また，触覚的なインタラクションを可能とするセンサとして，指および手で操作が可能な接触位置，圧力，曲げセンサの３種を選択した．さらに，空間的なインタラクションを可能とするセンサとして，楽器と手および指の距離を音に変換する距離センサ，楽器にあたる光量を指および手で調整可能な光センサの２種のセンサを加えた．その他，加速度，温度センサなどが考えられるが，加速度センサは本体に内蔵されており，温度センサを始めとするその他のセンサは即時的な音への反映が難しいと判断し，上記の７種類を用いることにした．

B) 音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1) 分散型のスタンドアローン楽器

POWDER BOX は, B.O.M.B. と同様，小型のマイクロコントローラボード，バッテリーおよび外部 AC アダプタで動作するスタンドアローン型のデジタル楽器である．

POWDER BOX は，B.O.M.B. における楽器モードの変更機能は実装されていない．しかし，前掲した図（Fig. 5- 1）のように，打楽器やサンプル音，サイン波などの波形，シンセサイザ音などの様々な音色を，筐体色ごとに設定している（赤: メロディ楽器（サイン波），青: 低音楽器（ノコギリ波），緑: 打楽器（サイン波），黄: 打楽器（サイン波），橙: メロディ楽器（フェイザー））. B.O.M.B. では「振る」インタラクションによりモード変更を行う必要があったが，楽器色をヒントに楽器モードを判断するシステムに変更したことで，楽器モードの設定が不要となり，よりシンプルな演奏システムとなった．

また，複数台を用いることでアンサンブル演奏を行うことができ，B.O.M.B. と同様に楽器トラック編集のように，リズム，ベース，メロディの順で演奏フレーズを準備していくなど，各楽器トラックの演奏に集中できる設計となっている．

(2) ステップシーケンサ/ループー機能を用いたリズム演奏の支援

POWDER BOX はステップシーケンサとループー機能を内蔵している．B.O.M.B. のシステムでは，「握る，傾ける」という行為との連続性から「ひっくり返す」インタラクションをループー機能の有効化に用いていたが，POWDER BOX では本体に搭載された Rec. スイッチ（録音再生スイッチ）を押すだけでループー機能を用いることができる．

また，B.O.M.B. のシステムでは，側面に設置された８つの圧力センサの入力値を音高情報に変換し，８段階のステップシーケンサの各ステップに記録していた．POWDER BOX では，音高の制御に用いることができるセンサは単一であり，単一のセンサ入力値を用いて各ステップの音高を入力/記録する必要があった．このため，POWDER BOXのシーケンサ/ループー機能では，単一のセンサ入力による連続的な音高変化を，各ステップにリアルタイムに直接記録する方式を採用している．このため，演奏者はステップの始まりと終わりを意識することなく，センサを用いて演奏した後に Rec. スイッチを押すだけで，音楽フレーズを簡易に記録/再生/編集することが可能となる．本機能により，B.O.M.B. よりもシンプルな録音/再生操作を実現した．

(3) ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援

POWDER BOX には，B.O.M.B. で開発した無線式のネットワーク同期システムを内蔵しており，複数の楽器間でテンポ/調性の同期が自動で行われる．BPM コントローラの操作によりマスターモード（親デバイス），スレーブモード（子デバイス）の設定が行われ，同期信号を送る主導権（マスター）を随時交代できるシステムを採用している．

B.O.M.B. と同様の無線通信機能を実装しているため，B.O.M.B. と POWDER BOX 間で無線通信を行い，共同演奏を行うことも可能である．

３章で述べたデザイン手法との比較は下図（Fig. 5- 6）のとおりである．

Fig. 5- 6 POWDER BOX におけるデザイン手法

5.2.2. 楽器構造とサウンドシンセシス

楽器本体には，BPM/音階コントローラ，インタフェース差込口（Mini USB），録音スイッチが搭載されている．また，テンポとモードのビジュアライズ用にフルカラーLED，音量制御用に 3 軸加速度センサ（Triple Axis Accelerometer KXR-94-2050）が内蔵されている．

筐体はアクリル製の半円筒形状（W45mm×D90mm×H30mm）であり，横置き，縦置き，手持ちなど，演奏スタイルにより置き方や持ち方を変更できるデザインとなっている（Fig. 5- 7）．

Fig. 5- 7 POWDER BOX のコントローラ構成

センサインタフェースと POWDER BOX 本体との接続には，強度と安定性の理由から，規格化されている Mini USB コネクタを採用している．この Mini USB コネクタを通して，センサに電源を共有し，センサの値を本体側が受け取る仕組みとなっている．コネクタは独自の構成であり，市販の Mini USB 規格との互換性はない（1: 5 V, 2: センサ接続チェック, 3: センサ入力, 4: GND, 5: NC の 4 極構成）．

POWDER BOX の内部は，B.O.M.B. と互換のある構造となっている．小型マイクロコントローラボード Arduino（Arduino Pro Mini, microcontroller board, ATmega328, 5 V

駆動 16 MHz）が内蔵され，バッテリーおよび外部 AC アダプタで動作する（Fig. 5- 8）．

接続されたセンサ値をマイクロコントローラに読み込み, MIDI ノートナンバーに変換し，内部の演算により音響合成を行う．音響の合成には B.O.M.B. と同じく Mozzi を利用しているため, Arduino IDE によって容易にプログラムの設定を変更可能である．生成された音響は，本体に搭載された 3.5mm ステレオジャックから出力される．（ソースコードは付録 DVD の「4. ソースコード」フォルダ内,「POWDERBOX」フォルダを参照）

B.O.M.B. の際と同様に，複数楽器を用いる場合，無線通信の際に互いの通し番号を識別する必要がある．今回も不揮発性メモリの一種である EEPROM に各楽器特有の番号を登録し，互いの識別を行う手法をとった．

Fig. 5- 8 POWDER BOX の内部構造

5.3. 演奏方法

5.3.1. コントローラの操作

(1)　センサインタフェースの選択

まず，演奏者は７種類のセンサインタフェースから１つを選択し，演奏方法を決定する．POWDER BOX はセンサの種類を自動で特定し，即座に演奏可能な状態となる．各センサのアナログ値（1024 段階）は，マイクロコントローラにより MIDI ノートナンバー（128 段階）に変換され，音高の制御に利用される．

(2)　センサのコントロール

接続されたセンサに対する操作を行うことで，音高の制御が可能となる．内蔵の加速度センサの値（1024 段階）は音量と音色にアサインされている．これにより，本体を寝かせる，起こすなどの行為によって音量と音色のコントロールが可能である．

(3)　音階の変更

音階は，本体側面に設置されたスイッチにより変更できる．音階は８種類（マイナーペンタトニック，メジャーペンタトニック，マイナー，メジャー，リディアン，琉球，オクターブ，クロマチック）が内蔵されており，スイッチを繰り返し押していくと順次変化していく．

(4)　BPM（テンポ）のコントロールと無線通信

BPM（テンポ）のコントロールは本体側面の回転式可変抵抗により行う．B.O.M.B. と同様に，このコントローラを操作すると，操作された楽器はマスターモード，その他はスレーブモードとなり，マスターモードの楽器から BPM と音階の情報が送信される．

(5)　ループー機能

本楽器は，常に 16 音の連続した演奏を記録している．本体の前部には Rec.スイッチ（録音再生スイッチ）が設置されており，演奏後にこのボタンを押すことでループー機能が有効となり，直前の演奏内容を保存し，その演奏内容を自動でループ再生する．再度 Rec.スイッチを押すことで，自動演奏は停止する．

5.4. 展示会への参加

POWDER BOX の展示活動としては，New Interfaces for Musical Expression 2013（Daegeon, KOREA）[45]，電子工作やパーソナル・ファブリケーションに関するコンペティション GUGEN 優秀作品展 2013（デザインフェスタギャラリー，原宿，東京都）[46]，米国の音楽，映画，インタラクティブコンテンツの祭典である SXSW 2014 Trade Show（Austin，Texas，USA），バーチャルリアリティに関する国際会議，国際展示会である Laval Virtual 2014 ReVolution（Laval, FRANCE）[47]などの国内外の全 10 カ所の展示会に参加している．これらの展示会を通して，児童が圧力センサや光センサを用いてすぐに演奏を行うなどの場面が見られた．

Laval Virtual 2014 ReVolution では，Residence（Laval Virtual による産業化サポートを受ける権利）+ Welcome（Laval Virtual 2014 における展示権）+ VRIC Recommended（併催される VR に関する国際会議 VRIC 2014 における口頭発表とプロシーディングスへの論文掲載）に採択され，現地にて約半年間の製品化プロジェクトを開始する権利を獲得した．

また，Asia Digital Art Award 2014 においては，エンターテインメント（産業応用）部門にて優秀賞を受賞した．

Fig. 5- 9 POWDER BOX 展示の様子（iiiExhibition 14）

[45] New Interfaces for Musical Expression 2013, http://aimlab.kaist.ac.kr/nime2013/
[46] GUGEN 2013, http://gugen.jp/2013/
[47] Laval Virtual, http://www.laval-virtual.org/en/

Fig. 5- 10 POWDER BOX 展示の様子（Laval Virtual 2014）

Fig. 5- 11 POWDER BOX 展示の様子（SXSW 2014）

5.5. 演奏への応用

B.O.M.B. の開発時と同様に，筆者は本楽器を用いた演奏活動を継続して行ってきた．本段階でも，実際の音楽演奏に用いることができるか検証することが目的である．

5.5.1. 演奏会への参加

演奏活動としては，2014 Georgia Tech's Margaret Guthman Musical Instrument Competition（Georgia Tech, Atlanta, Georgia, USA）[48]，ギリシャの電子音楽/メディアアートに関する研究グループである Medea Electronique が主催する“ 'Electric Nights' Festival”（Vyrsodepseio, Athens, GREECE）[49]，千代田芸術祭 2014 音部門“LIFE LIKE LIVE”（Arts Chiyoda 3331, Tokyo, JAPAN）[50]，スロベニアの電子音楽/メディアアートに関する研究機関である Institute for Sonic Arts Research 主催の“EARZOOM Sonic Arts Festival 2014”（Ljubljana, SLOVENIA）[51]において，７台の POWDER BOX を用いた即興演奏パフォーマンスを行った．このように，国内外の様々な演奏会やフェスティバルの審査を通過して演奏会に参加しており，演奏パフォーマンスは好評を博している．

Fig. 5- 12 POWDER BOX 演奏の様子（Laval Virtual 2014）

[48] 2014 Georgia Tech's Margaret Guthman Musical Instrument Competition, http://guthman.gatech.edu/2014-semi-finalists
[49] Medea Electronique, http://www.medeaelectronique.com
[50] 千代田芸術祭 2014, http://fes.3331.jp
[51] EarZoom Sonic Arts Festival 2014, http://www.irzu.org/festival/festival.html

Fig. 5- 13 演奏終了後のセッション（Guthman Competition 2014）

また，これらの演奏活動から，無線通信システムおよびセンサインタフェースは，安定性に関して，演奏に耐えうる基準を満たしていると考えられる．

5.5.2. 表現と奏法の追求

演奏の際は，B.O.M.B. を使用したときのようにアニメーションで演奏データを見せることはせず，手元の楽器操作をカメラでキャプチャし，リアルタイムにプロジェクタから出力した．

POWDER BOX における演奏は，①センサのコントロールが直接音階にマッピングされている，②各センサインタフェースの操作を観察しながら演奏の展開を視聴覚的に鑑賞できる，という特徴がある．このため，あえて映像などで演出を行うことはせず，演奏行為を聴衆に直接見せることで，楽器の操作方法を伝え，演奏内容への理解を得ることを狙った（Fig. 5- 14）．

Fig. 5- 14 POWDER BOX 演奏の様子（Guthman Competition 2014）

5.5.3. 演奏に対する評価

B.O.M.B. の際と同じく，POWDER BOX の演奏パフォーマンスは，千代田芸術祭 2014 音部門 “LIFE LIKE LIVE”（Arts Chiyoda 3331，東京都）の審査に通過し，筆者は 2014 年９月７日に開催された本選に参加した（Fig. 5- 15）．

演奏に対する音楽家，美術家からの評価として，本コンペティションにおける公開講評会の評価コメントの要約を記載する．本コンペティションでは，2013 年の参加時と同様，５分間の演奏に対し，演奏終了後，各演奏者への５分間の講評が行われた．

審査員は岸野雄一氏（スタディスト，音楽家），渋谷毅氏（作曲家，ピアニスト），山川冬樹氏（ホーメイ歌手，美術家）である．

以下，（１）～（３）に審査員からの評価を示す（詳しい演奏内容については，付録 DVD「2.演奏映像」内，「POWDERBOX_ChiyodaArtsFestival2014.mp4」を参照）．

Fig. 5- 15 千代田芸術祭 2014 における演奏の様子

(1)　演奏および楽器そのものについて

無線のシステムが良くできており，しっかりとアンサンブルになっていた．このような自作楽器は，なかなか音楽的なアプローチ行うと表現として難しいが，きちんと音楽表現，アンサンブル演奏になっていたところが素晴らしかった．

電子楽器/デジタル楽器は様々な楽器会社が面白いものを出しているが，無線で同期する楽器は少ない．音も太く，アナログシンセサイザのようだ．

こういった楽器を使ってみたいと思うが，いつも自分でやると難しく，すぐに諦めてしまう．しかし，この楽器はちょっと触ってみたいなと思った．

(2)　今後の演奏の展開について

無線通信がポイントと考えられるので，演奏表現としてプレゼンテーションするときには，一個のケースで収めてしまうのは勿体無い（当日は作品を全てケースに収めて演奏した）．７台あるなら，７人集めてやってみた方がいい．是非バンドで見てみたい．プレゼンテーションをすることを考えると，少し小さい気がするが，その小ささを逆手に取って演奏を構築するか，大きなバージョンがあっても面白いかもしれない．

パフォーマンスとしては，会場の人に渡して演奏してもらうのもいい．会場の人に急に渡してしまっても，完全に同期しているという点にセッションの楽しさが出てくるのではないか．

(3) その他，今後の展開について

クラウドファンディングなどで商品化を考えて欲しい．また，音階の作り方など，スケールとかプログラムされてしまっているものを外部の PC やスマートフォンなどから設定できると，より表現の幅が広がる．

本コンペティションにおいて, POWDER BOX を用いた演奏パフォーマンスに対し，審査員賞である岸野雄一賞を受賞した．本賞の受賞により，美術館アーツ千代田 3331 にて単独公演を行う権利，および海外のレジデンス応募の際，アーツ千代田 3331 からの推薦を得られる権利を獲得した．

5.6. 開発のまとめ

本章では，「一般ユーザ」—ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザインを目指し，センサインタフェースを演奏者が自由に選択できるセンサ組換式の音楽インタフェースを構築し，ネットワークでテンポ/調性を同期するデジタル楽器を開発した(Tab. 5- 1)．筆者は本楽器を利用した展示活動や演奏活動を国内外で行ってきており，芸術賞，また演奏に対する賞を受賞し，一定の評価を得ることができた．

Tab. 5- 1 POWDER BOX の機能要素

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ルーパー	テンポ/調性の同期機能	奏法の特徴	操作可能な音の要素
POWDER BOX	分散	シーケンサ/ルーパー	有（無線同期）	インタフェースを変更可能	音高，音色，音量

展示における体験者の様子として，多くの体験者が，体験開始後すぐに演奏に至る場面が多く見られた．本楽器を用いて，児童同士，児童と筆者とで共同演奏を行うような場面があり，10分以上体験する例もあった．児童の演奏の完成度に，大人の体験者が驚くこともあった．また，小学校低学年の児童が，様々なセンサを順番に指さして積極的に体験する様子が見られた．演奏以外のパラメータ操作の説明を含め，演奏開始にはおよそ数十秒のレクチャーが必要であった．

このような傾向が見られた理由として，①ネットワーク同期機能により，テンポと調性とが複数台で自動的に同期し，簡易に演奏が可能となる設計が実現されていること，②インタフェースの根本的な要素である「センサ」に着目し，音楽インタラクションと音のマッピングを単純化したことにより，音の出力と行為の関係が理解しやすく，演奏者，聴衆にとっての，一定の透明性が確保できていることが挙げられる．

本節までに，展示，演奏におけるシステムの安定性や表現の可能性について記述した．本研究で開発されたデジタル楽器の演奏利用の可能性については，コンペティションへの参加や専門家の講評により一定の評価が行われた．このため，「表現ユーザ」が利用できるデジタル楽器としての評価は行われている．しかし，本段階のデザインの対象である「一般ユーザ」の演奏を詳細に分析し，開発の目的が達成されているか検証する必要がある．このため，次に本楽器に関する「一般ユーザ」を対象とした評価/分析に着手する．

5.7. 評価/分析の手法

本節から，「一般ユーザ」の演奏表現の多様性を生み出すために開発したデジタル楽器 POWDER BOX の評価/分析について記述する．本楽器の多様性と簡易性を両立するデザインが成功しているかどうかに関する基準については，「一般ユーザ」である被験者が，①音/音楽の三要素をともなった音楽表現ができること（簡易性），②多様な演奏表現を用いることができること（多様性）の両方を満たすこととする．この観点から，第３章で述べたとおり，下記の評価軸を設定する．

(1)　被験者の演奏体験に関する主観データの分析

POWDER BOX を用いた演奏に関して，被験者が演奏体験をどのように感じたかを分析する．

(2)　各センサインタフェースの簡易性と簡易性を支える要素に関する分析

インタフェース操作の簡易性を支える要素は被験者により異なると考えられる．このため，各被験者が各インタフェースのどのような特徴に着目して簡単/難しいと感じるのか分析する必要がある．各センサインタフェースの簡易性に関する主観評価と，実際の行動との関係を，質的，量的側面から分析する．

(3)　演奏表現の多様性に関する分析

本デジタル楽器の目的である，「一般ユーザ」の演奏表現の多様性を生み出すことができているか，また各ユーザがどのような奏法を用いているか分析する．

5.7.1. 評価/分析に関する先行事例

(1)　音楽インタフェースの評価/分析の先行事例

音楽インタフェースの評価/分析については，様々な手法が散見される．NIME などの音楽インタフェースの分野，およびヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）の分野においては，①インタフェース体験後のアンケートやインタビューを用いる主観データ分析，②自律神経系（心拍，呼吸，血圧，脈波，皮膚温など），中枢神経系（脳波などの生体信号），筋電図，眼電図，顔表情などの生体機能・特徴を表す信号を用いる生体データ分析，③反応時間，作業成績，エラー率，誤認識率など行動に関連する指標をもとに得られた人間特性データから分析する行動データ分析などが用いられている[81].

音楽インタフェースや体験の評価における主観データ分析の例としては，Roberto ら（2012）[82]のように，アンケートとインタビューを組み合わせて行っている研究が散見

される．また，後述するように，主観データと生体データ，あるいは主観データと行動データなどのように，ユーザの主観的なデータと量的なデータを組み合わせる分析が多く行われている．

生体データ分析の事例としては，１組２名（計５組 10 名）に電子打楽器を用いた即興セッション演奏を依頼し，２者の共同即興演奏における相互の心理的な影響を分析した Evan ら（2014）の研究があげられる[83]. Evan らは，心電図（ECG: Electrocardiogram），脳波（EEG: Electroencephalogram），皮膚電気反射（GSR: Galvanic Skin Reflex），打楽器から得られる MIDI 信号，マーカーを用いたモーショントラッキングを組み合わせた生体データと，演奏後のアンケートによる主観データを組み合わせて分析を行った．また，「いきが合う」という言葉に着目し，呼吸計測から２者の共同演奏を分析した古浦（1990）の研究[84]，呼吸計測結果からアンサンブルシステムを構築した山本ら（2002）の研究[85]，呼吸と眼球運動およびジェスチャの分析を試みた宮宇地（2005）らの研究[86]が挙げられる．

行動データ分析に関しては，リズムに合わせたキーボードの打鍵実験とアンケートを組み合わせ，「一体感」の分析を行った仲谷らの研究[87]，体験者の足音をループ再生させることで，音楽経験者，非経験者に限らず，リズム演奏を可能とするサウンド・インスタレーション作品「Hop Step Junk」を用いた松村の研究[88]，ピアニスト，バイオリニストによるセンサ操作データとアンケートによる主観データの両面から，新たな楽器のインタフェースにおける最適なセンサの選択について分析する Marshall ら（2009）の研究[89]などが挙げられる．

(2)　音楽演奏における多様性の質的分析の先行事例

即興演奏および音楽心理学，音楽療法分野では，ビデオや録音から書き起こされた譜面を用いて，演奏の質的分析を行っている例が多い[90][91]. 応用行動分析学・音楽療法分野においては，映像分析，譜面分析，質的な行動データ分析を行っている事例が見られる[92][93].

音楽インタフェースにおける演奏表現の多様性の分析に関する先行事例としては，第３章で述べたとおり，被験者の演奏内容を，①姿勢（Posture），持ち方（Ways of Holding），③音楽インタラクション方法（Ways of playing），④音楽表現のバリエーション（Musical variations）の４つのカテゴリに着目して分析した Michael ら（2010）の研究[46]， Michael の研究を参考に，①センサや楽器の使い方（Affordances），②音楽表現のバリエーション（Musical Variations），③演奏時の姿勢（Postures），④指や腕などのインタラクション技術（Interaction Techniques）の４つに分類した Victor ら（2014）の研究[47]がある．

5.7.2. 本研究における評価/分析手法

本研究では演奏表現の多様性を生み出す音楽インタフェースを目指している．このため，演奏の簡易性や透明性に関する主観データ分析だけではなく，被験者の楽器演奏の質的分析を行い，各被験者の演奏を詳細に観察していく必要がある．前述した Evan ら，Marshall らの事例のように，質量のデータを組み合わせて多角的に分析することが重要である．

本実験で明らかにする点は，前述のとおり①体験に関する簡易性や透明性の達成度，②各センサインタフェースの簡易性と簡易性を支える要素，③奏法の多様性の発生の３点である．このため，被験者の主観的なデータを取得することに加え，演奏行動データを詳細に記述し，下記の３つの分析を行った．

(1)　主観データ（アンケート）を用いた被験者の主観データの分析

被験者に POWDER BOX を用いた一定時間の演奏をしてもらい，演奏後のアンケートにより，被験者の主観データを取得する．これにより, POWDER BOX を用いた演奏に対して，ユーザがどのような感想をもったか分析する．

電子楽器/デジタル楽器を用いて演奏する際，まず「楽しさ」が高まらなければ体験は持続しない．また，簡易性と透明性に関しては第３章で述べたとおり，音楽インタフェースを評価する上で重要な要素である．さらに，思い通りの操作ができるかどうか（操作性）に関しては，インタフェース操作に対する音のマッピングが適切かどうかを測る指標となる．これらの理由から，主観データに関する評価軸は, POWDER BOX の演奏体験の「楽しさ」，「簡易性」，「わかりやすさ（透明性)」，「思い通りの操作（操作性)」とし，「一般ユーザ」にとって POWDER BOX を用いた演奏が，どのような体験であったか分析する．

(2)　主観・演奏行動データを用いた各センサの簡易性と簡易性を支える要素の分析

同じく演奏後のアンケートにより「各センサインタフェースの簡易性」に関するデータを得る．具体的には，簡単/難しいと感じたセンサを選択してもらい，その理由を記述してもらう．これにより，各センサの主観的な簡易性の分析に加え，簡易性を支える要素を分析することができる．

加えて本研究では，被験者の演奏を録画し，センサインタフェースやコントローラの利用に関する演奏行動データを記述して，それを用いた質的分析を行う．これにより，上記の各センサの簡易性に関する主観データと比較し，簡単と感じるセンサには時系列的にどのような行動データの特徴が見られるのか分析する．

POWDER BOX の演奏において，最終的な目標は，３台の POWDER BOX をルーパー機能状態にし，リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏を実現する点にある．このた

め，「各センサのルーパー利用までの時間」という尺度に着目し，インタフェースの簡易性に関する主観データとの関係を調査する．

(3) 演奏表現の多様性に関する分析

音楽インタフェースにおける演奏の分析においては，録画映像やMIDI信号などから得られる行動データにより記述する手法が多く用いられている．また，前述した Michael や Victor らの事例のように演奏表現の多様性に関する分析にも用いられている．

これらを参考に，録画映像をもとに演奏行動を分析することにより，被験者がどのような奏法を生み出し，演奏に応用していくのか，詳細に分析する．

音楽インタフェース開発の場合，音楽インタラクションは開発者や設計者が決定することになる．しかし，開発者や設計者が指定した音楽インタラクションから離れた行為が，演奏者の独自の演奏表現であると考えられる．このことから，本研究では「被験者独自の奏法」を「開発者，設計者が教示する奏法と異なる奏法」と定義し，演奏表現の多様性の分析を行う．上記の定義から，まず開発者である筆者があらかじめ被験者にインタラクションの手本を教示し，この教示にない独自の奏法が発生する場面を，「演奏表現の多様性」の発生と捉える手法を提案する．

本手法により，POWDER BOX を用いた演奏の中で，独自の奏法を考え，演奏に応用することができるか質的に分析することが可能となる．

5.8. 実験の詳細

5.8.1. 手続き

本項において，実験の手続きに関して記述する．

(1)　被験者のグループ分け

POWDER BOX を用いた演奏の際には，１台のみを用いたり，複数台を用いたりといった体験の設計により簡易性や透明性などの主観データが変化する可能性がある．POWDER BOX を用いた演奏の初心者にとって，適切な体験設計を行うことは重要と考える．

そこで，まず被験者を下記の３グループに分け，設定や演奏方法に関する理解度を段階的に調査した．これらのグループを設定することで，被験者にとっての演奏の簡易性や透明性をコントロールできるか，分析する．

- 背景音呈示グループ（グループ１: 10 名）

  あらかじめ筆者が２台の楽器を用いてリズム，ベース演奏をループさせておき，１名の被験者にメロディ楽器（１台）の演奏をしてもらう．

- 自由演奏グループ（グループ２: 10 名）

  １名の被験者に全ての楽器（３台）を用いて演奏してもらう

- 複数人演奏グループ（グループ３: 10 名）

  ２名の被験者に全ての楽器（３台）を用いて演奏をしてもらう

(2)　楽器の説明について

演奏方法の説明に入る前に楽器について簡単に説明した．説明内容は下記である．

「*POWDER BOX は，センサ組換型の音楽セッション向けデジタル楽器です．シンセサイザ（音源）と，センサ（インタフェース）とを自由に組み合わせて様々な奏法を利用できます.*」

続いて，本実験では被験者に５分間の演奏をしてもらい映像を記録すること，本映像はプライバシーに配慮して，人物が特定できないよう慎重に取り扱うこと，演奏後に２分程度アンケートに答えていただくことを説明した．

(3)　センサの種類と各センサの演奏方法について

続いて，各センサインタフェースを用いた音楽インタラクション方法について，下図

(Fig. 5- 16) の要領で，センサの反応域の最上限，最下限をカバーするよう，音を出しながら教示した．

先に述べたように，本研究では「被験者独自の奏法」を「開発者，設計者が教示する奏法と異なる奏法」と定義しているため，開発者である筆者があらかじめ被験者に奏法を教示し，この教示にない独自の奏法が発生する場面を独自の奏法と判断する手法を用いる．

Fig. 5- 16 各センサインタフェースにおけるインタラクションの教示方法

(4) 本体の機能（テンポ操作，音階変更，録音再生）についての説明

次に，本体に搭載されているテンポ操作のための BPM コントローラ，音階の変更，録音再生とネットワーク同期機能の仕組みについて教示した．

(5) 演奏開始

その後，体験者に 5 分間楽器を演奏してもらった．これは，展示会における体験者の観察から，①およそ 3 分程度で全てのセンサインタフェースを試し終える例が多かったこと，また②ループー機能を使うまでに 1 台につき 20 秒程度必要な例が多かったことを踏まえ，演奏に集中できる時間を加味して設定した．なお，全てのセンサを時間内に体験できなかった被験者には，アンケートへの影響が出ないよう，追加の体験時間を設け，必ず全てのセンサを操作してもらった．

(6)　アンケート記入の依頼

演奏終了後，被験者にはアンケートの記入を依頼した．これは，演奏の簡易性や理解度，および各センサの演奏における特徴を主観データから分析するためである．質問の内容は下記のとおり設定した．質問１は，被験者自身の情報や，楽器経験の有無について，質問２は演奏の簡易性やわかりやすさについて，１（ネガティブ）～５（ポジティブ）の５段階評価を用いた質問，質問３は，センサそれぞれの特徴を明らかにするため，センサの操作難度とその理由について記述してもらった．質問４は自由記述やコメントとした．

質問１：被験者に関する情報

A)　性別

B)　年齢

C)　楽器経験（楽器の種類，経験年数）

質問２：演奏体験について（５段階評価）

A)　演奏は楽しかったか，つまらなかったか（楽しさ）

B)　演奏は簡単だったか，難しかったか（簡易性）

C)　操作方法はわかりやすかったか，わかりにくかったか（透明性）

D)　思い通りの演奏ができたか，できなかったか（操作性）

質問３：各センサインタフェースについて

A)　演奏が簡単だったセンサインタフェース（複数回答可）とその理由

B)　演奏が難しかったセンサインタフェース（複数回答可）とその理由

質問４：作品に関するコメントなどの自由記述

(7)　行動データの記述

筆者が録画映像から，行動データを書き起した．①各センサインタフェースの利用時間，②各機能の利用，③演奏方法の質的分析に着目して，後述する行動データ表に記入した．

5.8.2. 対象と調査期間

実験の調査期間および調査は以下のとおりである.

調査期間:

2014 年 11 月 13 日～17 日 （第 16 回東京大学制作展において）

実験場所:

東京大学 本郷キャンパス 工学部２号館 2Ｆフォラム

実験対象:

20 代～30 代の楽器経験者 17 名（男性: 13 名, 女性:４名）, 非経験者 13 名（男性: 10 名, 女性: ３名）, 計 30 名

各グループの被験者構成:

(1) グループ１（背景音呈示グループ, １名で１台を利用）
楽器経験者４名（男性: ４名, 女性: ０名）, 非経験者６名（男性: ５名, 女性: １名）

(2) グループ２（自由演奏グループ, １名で３台利用）
楽器経験者６名（男性: ５名, 女性: １名）, 非経験者４名（男性: ３名, 女性: １名）

(3) グループ３（複数人演奏グループ, ２名で３台利用）
楽器経験者７名（男性: ４名, 女性: ３名）, 非経験者３名（男性: ２名, 女性: １名）

5.8.3. 実験機材

本実験は前述のとおり，第 16 回東京大学制作展内の展示ブースにて行われた．下図(Fig. 5- 17）の要領で展覧会用の展示ブースの他に，実験専用ブースを用意し，展示および実験双方に影響が出ないよう配慮した．

Fig. 5- 17 実験機材の設置図

実験機材に関しては下記のとおりである．

- POWDER BOX ３台（黄:メロディ，青:ベース，紫:リズム）
- センサインタフェース７種類（圧力センサ，接触位置センサ，回転式可変抵抗，距離センサ，光センサ，曲げセンサ，スライド式可変抵抗）
- スピーカ ２台（FOSTEX 社製, NetCIRA by FOSTEX ES6300, 10W）
- スピーカ出力用ミキサー（Audio-Technica 社製, AT-PMX5P）
- ビデオカメラ ２台（GoPro 社製, GoPro Hero３ Silver Edition）
- 音源データ記録用 PC（Apple 社製, MacBook Air）
- 音源データ送受信用無線モジュール XBee（DigiInternational 社製, Series 1）
- 光センサ用の光源（テーブルライトおよびハンドライト）
- 演奏用の簡易マニュアル

5.9. 主観データ分析

本節では下図（Fig. 5- 18）のようにアンケート結果を箱ひげ図で表し，詳細について記述する．

5.9.1. 演奏体験に関するアンケート結果

（1） 演奏の楽しさ（Fig. 5- 18）

Fig. 5- 18 演奏の楽しさ

演奏の楽しさに関する質問に対して，背景音呈示グループ(以下，グループ1と記述する)では「５.楽しい」「４．まあまあ楽しい」がそれぞれ７名，３名（平均値: 4.7，中央値: ５），自由演奏グループ（以下，グループ２）ではそれぞれ９名，１名（平均値: 4.9，中央値: ５），複数人演奏グループ(以下，グループ３)ではそれぞれ７名，３名(平均値: 4.7，中央値: ５）という結果を得た. 30 名中「５．楽しい」と答えた被験者は 23 名，「４．まあまあ楽しい」と答えた被験者は７名であった．全グループで中央値５という高い評価を得た．

自由記述には「電子音に気軽に触れられるという点がいい」，「音楽演奏をしたことがないのに簡単に格好いい音が出て嬉しかった」（ともにグループ１）など，気軽，簡単に演奏ができたというコメントが寄せられた．また，「思い通りにとは行かないけれど，センサの特性を探る感じが楽しかった」，「各センサと音の対応を実験しながら演奏でき，発見と楽しみを体験できた」（ともにグループ２）など，奏法と音の対応を確かめながら演奏できた旨を記述している被験者が見られた．

(2)　演奏の簡易性（Fig. 5- 19）

Fig. 5- 19 演奏の簡易性

演奏の簡易性に関する質問については，グループ１では多くの被験者が「５．簡単」「４．まあまあ簡単」との回答をしていたもののグループ１（平均値: 3.9，中央値: ４），グループ２（平均値: 2.6，中央値: 2.5），グループ３（平均値: 2.2，中央値: 1.5）の順に難しかったとの回答が増加した．

グループ３に至っては，半数の被験者が「５．難しい」との回答をしており，マスターモード/スレーブモードの切り替えや，音階の設定，どちらがどの楽器を担当するか，どう合わせるか，など被験者同士の調整も必要となり，難易度が上がったものと考えられる．

グループ３の被験者による自由記述欄のコメントでは，「ドラムをまず一定のリズムで刻ませてループさせ，それに合わせて他の音階を作っていくというやり方をすればもっと演奏らしくなったかもしれない」など，互いの演奏の調整や，手順などの反省点を記述している被験者もいた．

グループ１～３における中央値，平均値の推移から，グループ１から３の段階を経るレクチャーモードなどの体験設定をしていくことで，簡易性の問題への対応ができると考えられる．

(3)　操作のわかりやすさ（Fig. 5- 20）

Fig. 5- 20 操作のわかりやすさ

演奏操作のわかりやすさに関する質問については，グループ１（平均値: 4.4，中央値: ４），グループ３（平均値: 3.8，中央値: ２），グループ２（平均値: 3.8，中央値: 3.5）の順で「５．わかりやすい」「４．まあまあわかりやすい」と回答する被験者が増加した．

グループ１では演奏できる台数を制限していたため，１台の POWDER BOX に集中して長時間演奏でき，様々なセンサを他のグループよりも長い時間利用したため，演奏方法に関する理解が進んだものと考えられる．

また，グループ３に関しては，演奏の状況を動画で確認したところ，相手の演奏を注意深く見て自分の演奏を行う被験者や，共同演奏相手の被験者に演奏方法を教示する被験者が見られ，この点がわかりやすさに関する回答に影響したものと考えられる．「４．ややわかりにくい」と回答したうち２名の被験者は，同じセッションへの参加者であり，この２名は発話が多かったものの，教示よりも互いへの指示が多く，「セッションする相手の音楽経験を知った上で体験したかった（任せてしまうなど）」（グループ３）と回答しており，２者の主導権が明確でなかった可能性がある．また，もう１名の被験者が参加したセッションでは，発話やコミュニケーションが少なかった．

(4)　思い通りの操作（Fig. 5- 21）

Fig. 5- 21 思い通りの操作

思い通りの操作に関する質問に対しては，グループ１（平均値: 3.4，中央値: ４），グループ２（平均値: 2.7，中央値: ３），グループ３（平均値: 2.3，中央値: ２）の順に「２．ややできなかった」，「１．できなかった」と回答する被験者が増加した．グループ 1～３の段階で難易度が高まると予想された通りの結果となった．

グループ２では同じ時間内で操作できるバリエーションが増えたこと，またグループ３では演奏相手との演奏調整の必要が出てくるため，思い通りの演奏が困難になったものと考えられる．

5.9.2. 主観データ分析に関する考察

アンケートの結果，演奏の楽しさについては全てのグループにおいて高評価を得た．しかし，演奏の簡易性，わかりやすさ，思い通りの操作については，「３．ふつう」周辺に結果が集まった．また，グループ１～グループ３のように体験の条件設定を変更すると，体験内容や演奏の簡易性，わかりやすさなどに変化が出ることが示唆された．３台を用いた自由度のある演奏や，複数人での演奏においては，システム側でレクチャーモードなどを設定し，背景音の呈示から順に難易度を上げていくことで，評価を改善できると考えられる．

5.10. 各センサに関する質的・量的分析

5.10.1. 各センサに関する質的分析

(1) 操作が簡単だったセンサ

下図（Fig. 5- 22）は，各センサインタフェースに関して，演奏が簡単と答えた人数をグラフにしたものである．スライド式可変抵抗，圧力センサおよび回転式可変抵抗が簡単との結果を得た．逆に接触位置，距離，光，曲げに関しては簡単と答えた人が少ない．

Fig. 5- 22 操作が簡単だったセンサ

(2) 操作が難しかったセンサ

前述の操作が簡単だったセンサと対応するように，圧力センサおよびスライド式，回転式可変抵抗の操作が難しかったと答えた人は少なく，その他は難しかったとのコメントが多かった．(Fig. 5- 23)

Fig. 5- 23 操作が難しかったセンサ

(3)　　各センサに対するコメント

次に，各センサに関して，簡単，難しいと答えた理由について自由記述して頂いた．これらのコメントをセンサごとにまとめる．

＜圧力センサ＞

圧力センサ

Fig. 5- 24 圧力センサ

【簡単と答えた被験者のコメント】

操作が簡単との意見が最も多かった圧力センサには，「触るだけで反応する」，「指の動きに対応する」，「変更しやすく直感的」，「操作結果がすぐに音に現れた」，「反応がわかりやすい」など，**即応性，直感性，透明性**（わかりやすさ）に関するコメントが多く寄せられた．その他のコメントとしては，「力加減や大きさがちょうどよかった」「スムースに演奏できる」「簡単に使えて幅広いパターンができそう」「力を入れる，いれないで音色が大きく変わり，一番『遊んでいる』，『音楽を作っている』ように感じた」などの意見が寄せられた．

本センサは，指でつまみ，その力を調節することで音高をコントロールできる．指や手を複雑に動かさなくとも，すぐに音が出力されるため，演奏に対する理解に時間がかからず，これらの結果として簡単と答えた被験者が多かったものと考えられる．

【難しいと答えた被験者のコメント】

「思った通りの力加減が難しい」，「どの程度反応しているかわかりにくかった」などのコメントが寄せられた．圧力センサを利用した場合，指の圧力を均一に保つことが難しいため音高出力のランダム性が高まり，特定の音高に固定するなど，演奏操作の**確実性**については問題がある．圧力センサを用いて音高を確実に操作するためには，センサ値のマッピングを工夫することが必要と考えられる．

＜接触位置センサ＞

接触位置センサ

Fig. 5- 25 接触位置センサ

【簡単と答えた被験者のコメント】

「触るだけで反応する」，「自由度が高い」，「なぞるのが楽しかった」など，センサに直接触ることで得られる**触覚性**，「見た目にわかりやすい」など，指を上下や左右に直接動かすことで得られる演奏行為の**視認性**に関するコメントが寄せられた．

また，「メロディだけでなくリズムも奏でられる点が良い」など，線形的に指を上下させる奏法だけでなく，離散的に離れた位置を飛び飛びに触り，メロディを短く切ってリズムを生み出す奏法に関するコメントが得られた．このように，接触位置センサは演奏における**任意性**もっていると考えられる．

【難しいと答えた被験者のコメント】

「反応しにくい」，「センサがペラペラで，固定できないため触りにくい」，「個人的に扱いづらかったがコツを掴むとやりやすい」，「なかなか思うように音が出ず，予想と違った」などのコメントが寄せられた．

接触位置センサはフィルム式の薄型センサであるため，フィルムの両面を摘むようにして演奏する必要がある．爪を当てながら人差し指で裏側を支えるなど，操作に慣れていないと演奏が難しい．

簡易性を高める方法として，市販のシンセサイザに搭載されているリボンコントローラなどのように，センサを板に貼り付け，固定するなどのインタフェースデザインが挙げられる．

＜回転式可変抵抗＞

回転式可変抵抗

Fig. 5- 26 回転式可変抵抗

【簡単と答えた被験者のコメント】

「調節具合が一目で確認できる」，などの**視認性**,「変更しやすいし，直感的」，「動かすだけで音の変化がすぐわかる」，「少し使っただけで反応がわかりやすかった」，「操作結果が，すぐに音に現れた気がしたので直感的」などの**即応性**や**触覚性，直感性**，また「よく触っているインタフェースなので使いやすい」，「日常にあるセンサなので親しみがあって使いやすい」など**汎用性**に着目して回答している被験者が多かった．

回転式可変抵抗はオーディオ機器のボリュームや調光器など，日常的に利用する場面が最も多いインタフェースの一つである．このため，操作結果を予想することができ，簡単と答えた被験者が多かったと考えられる．

【難しいと答えた被験者のコメント】

難しかったと答えた被験者は２名であり，「よく違いがわからなかった」，「思い通りの音が出なかった」との意見が寄せられた．その他の体験者の「簡単である」との評価が多かったため，この被験者の演奏映像を確認したところ，回転部分を高速でまわす演奏方法を用いていた．マッピングの設計上，センサ値の急激な変化にマッピング処理が間に合わず，音出力が滑らかに行われていなかった．

本問題を解決するためには，マッピング処理の高速化を実現する必要がある．

＜距離センサ＞

距離センサ

Fig. 5- 27 距離センサ

【簡単と答えた被験者のコメント】

「変化が空間的な位置と対応しているから」，「手をかざしたり離したりするだけで音高の調整ができるので面白い」，「簡単な操作で楽しい音が出た」など，**空間性**（空間的な操作）の面白さ，**即応性**に関する意見が集まった．

距離センサを用いることで，楽器に触れていなくとも演奏を行うことが可能となる．このため，楽器をテーブル上に置き，楽器に手を振ったり，手を近づけたりすることで音高をコントロールできるなど，物理的なインタフェースには不可能な非接触による演奏が実現できる．

「飛び道具的な感じで格好いい」，「変なもの，見たことのないインタフェースが作るかも」，「新しい感覚で遊べるため」など，演奏行為そのものの**奇抜性**に着目する被験者が多かった．また，後述する特殊な演奏方法を行う演奏者も多かった．

【難しいと答えた被験者のコメント】

手をかざす，近づけるなど他のセンサには実現できない空間的な操作が可能となる一方で，「加減が少々わからなかった」，「操作できる範囲が狭い」，「はっきりした基準がないので慣れに時間がかかる」などのコメントが多く寄せられた．

つまり，空間的なインタラクションを利用できる一方で，「どの程度手を近づけることで求める音高を出力できるか」，「どのくらいの範囲まで反応するのか」など，尺度の把握が難しくなることが明らかとなり，操作の**確実性，尺度把握**から，操作の難易度が上がる傾向があることがわかった．

＜光センサ＞

光センサ

Fig. 5- 28 光センサ

【簡単と答えた被験者のコメント】

距離センサと同様，光センサは楽器に触れていなくとも演奏できる．距離センサと異なる点としては，ライトなどの光源が近くにあればそれを利用して演奏でき，外部の光源と楽器との距離で演奏が可能となる．「変化が空間的な位置と対応している」，「光との距離でコントロールできる」などの**空間性**（空間的な操作）に対する意見や，「簡単な操作で楽しい音が出た」，「わかりやすい」などの**即応性，操作の透明性**（わかりやすさ）に関する意見が集まった．

また，「色々な光に当てられ，制御もしやすかった」，「手をパッパッとかざす動作が独特で面白かった」，「飛び道具的な感じで格好いい」など，こちらも距離センサと同様に演奏行為そのものの**奇抜性**に着目するコメントが寄せられ，距離センサと同様に教示にない演奏方法を用いる被験者も多かった．

【難しいと答えた被験者のコメント】

「どれくらいの光でどれくらいの音が出るのか直感的にわかりにくかった」，「環境に左右される」，「はっきりした基準がないので慣れに時間がかかる」，「調節が難しいため」など，こちらも距離センサと同様に空間的な操作が可能となる一方で，操作の**確実性，尺度把握**に課題があることがわかった．

＜曲げセンサ＞

曲げセンサ

Fig. 5- 29 曲げセンサ

【簡単と答えた被験者のコメント】

「手で直接いじれたから」，「指の動きをそのまま反映できたから」，「わかりやすい」など，**直感性**や**触覚性**に関するコメントが寄せられた．曲げセンサは直接センサを曲げることにより演奏でき，物理的に物体が変形する様を音に反映させることが可能なため，このようなコメントが寄せられたと考えられる．

「メロディの組み合わせで後ろに倒す（曲げる）ときれいな音だったから」，「音が単発ではなく，連続で音が変わるところが気に入った」など，その他のセンサには見られない，音出力の滑らかさ（**奇抜性**）に着目するコメントもあった．

【難しいと答えた被験者のコメント】

難しいと答えた被験者からは，「操作と音との関係がわかりにくく感じた」，「思い通りの音が出なかった」，「はっきりした基準がないので慣れに時間がかかる」，「なかなか思うように音が出ず，予想と違った」とのコメントを寄せられた．

曲げセンサは距離センサ，光センサなどと同様に，尺度が初見ではわかりにくく，実際に演奏をして尺度を把握していく必要がある．操作の**確実性，尺度把握**に関する課題があることが明らかとなった．

＜スライド式可変抵抗＞

Fig. 5- 30 スライド式可変抵抗

【簡単と答えた被験者のコメント】

「変化が空間的な位置と対応している」，「物理的にも視覚的にもわかりやすい」，「手で直接いじれたから」，「動かすだけで音の変化がすぐわかる」，「調節具合が一目で確認できる」，「よく触っているインタフェースなので使いやすい」，「操作感に慣れているため」など，スライド式可変抵抗には最も多くのコメントが寄せられた．

直接ツマミを動かすことで調整具合の**触覚性**，**視認性**が高く，すぐに音を出力できる**即応性**，また普段目にすることが多いインタフェースであり，**汎用性**を認めるコメントも寄せられた．

【難しいと答えた被験者のコメント】

操作が難しいと答えた体験者は１名であり，「動かした感じと音の変化が対応している感覚があまりなかった」との意見が寄せられた．

この体験者の演奏映像を確認したところ，回転式可変抵抗と同様，高速で左右にスライドさせる奏法を用いており，この際の楽器の音へのマッピング処理が間に合わないために音出力が滑らかに行われていなかった．そのため，回転式可変抵抗と同様，マッピング処理の高速化を実現する必要がある．

5.10.2. 各センサに関する量的分析

本楽器を利用する場合，長期的な達成目標は音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）をともなった表現ができること，すなわち「３台の POWDER BOX を用いて音楽の三要素を含んだ表現を行う」ことであるが，そのためにはセンサインタフェースおよび POWDER BOX そのものへの習熟が必要である．

本研究では短時間で演奏を実現することを目的としており，簡易性を得やすいような体験順序の設定，インタフェースデザインが必要となる．また，POWDER BOX を展示した際，体験者にとって各センサインタフェースの操作の簡易性が異なることを観察している．このため，各センサインタフェースの操作の難易度や操作における特徴を定量的に表すことは重要と考える．

しかし，既存の簡単，難しいといった２値による評価では多数の被験者を集めた大規模な実験が必要となる．そこで本研究では，各センサインタフェースの難易度を，ルーパー機能利用までの時間で特徴づけることを提案する．

下図（Fig. 5- 31）のように，センサを選んでからルーパーを利用するまでの時間は，３台の POWDER BOX を用いた演奏表現の完成の第一段階として重要な指標である．この時間とアンケート結果から得られた簡易性評価の関係を調査することで，これらを統合させた尺度を得ることができる．

Fig. 5- 31 POWDER BOX における体験順序

これらの理由から，各センサインタフェースについて，アンケートで演奏が簡単と答えた人の数とルーパー機能利用までの時間を調査した．この２つのデータを比較し，関係を調査することで，今後の簡易性を目的とした音楽インタフェースのデザインや体験順序の設定に役立つ可能性がある．

まず下式のように，各被験者における各センサのルーパー機能利用までの時間を，各被験者における全センサの利用時間の平均で除したものを全被験者数分（30 名）求め，平均

値を求めることで「各センサのルーパー利用までの時間平均」を算出した．

$$\text{各センサのルーパー利用までの時間平均} = \mathrm{E}\left(\frac{\text{各被験者の各センサのルーパー利用までの時間}}{\text{各被験者の全センサの利用時間の平均}}\ \text{（被験者分）}\right)$$

「簡易回答率」は，アンケートにおいて「演奏が簡単」という質問項目を複数回答可としたため，下式のように，「簡単」と答えた人の数を全被験者数（30 名）で除したものを「簡易回答率」とした．

$$\text{簡易回答率} = \frac{\text{簡単と答えた被験者の数}}{\text{全被験者数}} \times 100\ [\%]$$

この２つのデータ（Tab. 5- 2，少数第４位を切り上げ）を相関分析に用いた．

Tab. 5- 2 各センサの「ルーパー利用までの時間平均」と「簡易回答率」

各センサ	圧力	接触位置	回転式可変抵抗	距離	光	曲げ	スライド式可変抵抗
ルーパー利用時間平均	0.912	1.049	1.009	1.099	1.054	1.101	0.836
簡易回答率	0.5	0.133	0.4	0.2	0.133	0.133	0.633

下図（Fig. 5- 32）は，後述する行動データ計測結果から得られた「各センサのルーパー利用までの時間平均」と，アンケートから得られた主観データである「簡易回答率」の２つのデータをプロットした散布図である．

Fig. 5- 32 「ルーパー利用までの時間平均」と「簡易回答率」の関係（1）

点線で示したものは，最小二乗法を用いて求められた回帰直線であり，その決定係数は0.882となった．また，２つのデータ組のピアソンの積率相関係数は-0.939となり，簡易回答率が高いほど，各センサのルーパー利用までの時間が短くなるという関係が強く出ていることがわかる（有意確率 p=0.0017（両側），相関係数は５％水準で有意）．

5.10.3. 各センサの質的・量的分析に関する考察

(1) 各センサの演奏における質的な考察

下表（Tab. 6- 1）は各センサに対するコメントの特徴を筆者が分類し，表にまとめたものである．被験者が簡単と感じる属性は，**即応性**，**透明性**，**触覚性**，**直感性**，**視認性**，**任意性**，**汎用性**，**奇抜性**，**空間性**の９種に分類できた．また，難しいと感じる属性については，**確実性**，**透明性**，**尺度把握**の３種に分類できた．

Tab. 5- 3 各センサに対するコメントの特徴

センサ/ 簡単な理由	即応性	透明性	触覚性	直感性	視認性	任意性	汎用性	奇抜性	空間性	難しい理由
圧力	○	○	○	○						確実性
接触位置			○		○	○				透明性
可変抵抗	○		○	○	○		○			
距離	○							○	○	確実性 尺度把握
光	○	○						○	○	確実性 尺度把握
曲げ			○	○				○		確実性 尺度把握
スライダ		○	○		○		○		○	

演奏が簡単であったセンサ，難しかったセンサに関する質問に対し，スライド式可変抵抗，圧力センサおよび回転式可変抵抗については簡単という回答が多く，接触位置，距離，光，曲げセンサに関しては難しいという回答が多かった．

距離，光，曲げセンサに関して難しかったと答えた被験者の多くは，演奏操作の「**確実性**」，どの程度の操作によりどのような音が出るのかなど，演奏操作の際の「**尺度把握**」に関するコメントを寄せていた．しかし，光，距離センサに関して，操作の面白さや奏法の「**奇抜性**」に関する被験者コメントも多かった．

これらの点から，各被験者が各センサインタフェースの操作に関して「簡単」と感じる理由は，センサインタフェースごとに大きく異なっていることがわかる．また，「難しい」という回答が多かったセンサインタフェースについても，「**空間性**」などセンサの特性に着目し，簡単であったと答える被験者が存在する．

つまり，本稿で指摘したように，音楽インタフェースにおいては簡易性を考慮したインタフェースデザインだけではなく，演奏者の多様なニーズに対応する多様性を考慮に入れたデザインが重要と考えられる．この点で，本研究で開発した様々な奏法に柔軟に対応できるセンサインタフェースは，様々な演奏者のニーズに対応することが可能であるため，デザインの妥当性がある．

また，「難しい」という回答が多かった，距離，光，曲げセンサの操作方法に関して，より多くの被験者のデータを記録し，一般的・平均的な演奏方法を推定する方向性も考えられる．この一般的・平均的な演奏に合わせて音響マッピングを設計することで，多くの人びとが演奏しやすい音楽インタフェース/音響マッピングを実現できる可能性もある．加えて，被験者が自らマッピングの尺度を選べる機構を取り入れることができれば，各被験者が好む演奏方法に合わせて尺度が変化する楽器も実現できる．

(2)　各センサの演奏における量的な考察

「各センサのルーパー利用までの時間平均」と，演奏後のアンケートより得られた「簡易回答率」の間に密接な関係があることがわかった．

下図（Fig. 5- 33）の通り，簡単と答えられたセンサである圧力センサ，回転式可変抵抗，スライド式可変抵抗はルーパー利用までの時間が短く，接触位置，距離，光，曲げセンサは長い傾向が見られた．

Fig. 5- 33 「ルーパー利用までの時間平均」と「簡易回答率」の関係（2）

本実験では，これら２つのデータに相関関係があることが明らかになったものの，因果関係については明らかにできていない．しかし，今後検証を行うことで，「簡易回答率」の高いセンサと「各センサのルーパー利用までの時間平均」の関係を指標に体験順序の設定，マッピング改良などのインタフェースデザインが可能となると考えられる．

今後このような実験を継続していくことで，量的な見地からセンサインタフェースや音響マッピングのデザインを行っていくことも可能と考える．

5.11. 各被験者の行動データ分析

5.11.1. 行動データ表について

本節では被験者の演奏内容に関して，詳細な内容を記述する．次項では各被験者のデータ表を掲載するが，本項にその内容の説明について記述する．

(1) 各センサインタフェースの利用時間

・ センサの種類と利用時間

各被験者のセンサインタフェース利用時間と種類を表内に示した．（圧力: Pressure，接触位置: Membrane，回転式可変抵抗: Rotary Pot，距離: Distance，光: Light，曲げ: Strain Gauge，スライド式可変抵抗: Slide Pot）

(2) 各機能の利用

・ ルーパー機能の利用

各被験者がルーパー機能を利用した時間について記述した．グループ２および３では，３台の POWDER BOX の利用状況を観察する必要がある．そのため，“Instrument”として，利用した楽器の種類（P: ドラム（紫）, B: ベース（青）, Y: メロディ（黄））の利用時間を記入している．

・ 各センサを接続してからルーパー機能を利用するまでの時間

各被験者のデータ表内，赤い線で示した箇所はルーパー機能を利用するまでの時間を示している．本楽器の演奏で目標となるのは３台を用いたアンサンブル表現であるため，グループ１ではルーパー利用までの時間，グループ２，３では３台の楽器を利用して音の三要素を含んだ表現を行うまでの時間を計測し，示した．

・ テンポ/音階コントローラの利用

各被験者のテンポコントローラの利用時間を“BPM”，音階コントローラの利用時間を“Scale”の項目にそれぞれ示した．

(3) 特殊な演奏方法の質的分析

・ 奏法とコミュニケーション

特殊な演奏方法を分析した．グループ１および２の表には，“Play Style”として，特殊な演奏方法をについて記載している．グループ３では“Play Style/Com.”として，被験者同士の発話を記載している．

5.11.2. 被験者の行動データ表: グループ 1

1 台の POWDER BOX を用いた，1 名の被験者による演奏時（5 分間）の，各センサ（圧力，接触位置，回転式可変抵抗，距離，光，曲げ，スライド式可変抵抗）の利用時間，本体のテンポ/音階コントローラ，ループー機能の利用時間（Looper），および実験前に教示を行っていない特殊な奏法が見られた秒数を示している（Play Style）．

Tab. 5- 4 被験者 G1-1

ループー機能利用開始時間: 46 秒

Tab. 5- 5 被験者 G1-2

ループー機能利用開始時間: --秒（利用せず）

Tab. 5- 6 被験者 G1-3

ルーパー機能利用開始時間: 11 秒

Tab. 5- 7 被験者 G1-4

ルーパー機能利用開始時間: 20 秒

Tab. 5- 8 被験者 G1-5

ルーパー機能利用開始時間: 65 秒

Tab. 5- 9 被験者 G1-6

ルーパー機能利用開始時間: 70 秒

Tab. 5- 10 被験者 G1-7

ルーパー機能利用開始時間: 16 秒

Tab. 5- 11 被験者 G1-8

ルーパー機能利用開始時間: 16 秒

Tab. 5- 12 被験者 G1-9

ルーパー機能利用開始時間: 24 秒

Tab. 5- 13 被験者 G1-10

ルーパー機能利用開始時間: 49 秒

5.11.3. グループ１（背景音呈示グループ）の特徴的な演奏方法

グループ１では，10 名中４名の被験者が，演奏開始前に教示していない独自の演奏方法を用いた．詳細を記述する．

（1） 被験者 G1-2（Tab. 5- 5）：楽器を立てて演奏

被験者 G1-2 は，演奏開始から２分 30 秒経過した時点で楽器を立てかけて演奏をし始めた（Fig. 5- 34）．後に距離センサを接続し，楽器に対して手を振るような素振りで演奏を行った．

Fig. 5- 34 被験者 G1-2 の楽器を立てる演奏方法

（2） 被験者 G1-3（Tab. 5- 6）：音階をリズムに合わせて変更していく演奏

被験者 G1-3 は，音階スイッチをリズムに合わせて押す演奏を行った（Fig. 5- 35）．リズムに合わせてハーモニーが変化するため，演奏に和声進行が発生し，展開が生まれる．

Fig. 5- 35 被験者 G1-3 の音階をリズムに合わせて変更していく演奏

(3) 被験者 G1-6（Tab. 5- 9）：テンポに合わせたスライド，手をかざし演奏

被験者 G1-6 は，背景音のリズムに同期して身体を動かしながら演奏を行った（Fig. 5-36）．スライド式可変抵抗では最大値と最小値，距離センサ，光センサではセンサ検出範囲内と範囲外を行き来して高速に手を動かしたり，手をかざしたりすることでリズムに合った音高表現を行っていた．

Fig. 5- 36 被験者 G1-6 のテンポに合わせた手かざし奏法

(4) 被験者 G1-8（Tab. 5- 11）：高速につまむ，二本指を使った演奏

被験者 G1-8 は，圧力センサを爪で素早くつまむ/離すことにより，リズミカルな音高表現を行っていた．また，接触位置センサ利用時には，親指と人差し指，あるいは人差し指と中指の二本指でセンサに触れ，どちらかを離すことで瞬時に高低の音高を表現していた（Fig. 5- 37）．

Fig. 5- 37 被験者 G1-8 の高速につまむ，二本指を使った演奏

5.11.4. 被験者の行動データ表: グループ 2

3 台の POWDER BOX を用いた, 1 名の被験者による演奏時（5 分間）の, 各センサ（圧力, 接触位置, 回転式可変抵抗, 距離, 光, 曲げ, スライド式可変抵抗）の利用時間, 本体のテンポ/音階コントローラ, 各 POWDER BOX のルーパー機能の利用時間（Looper）, 各 POWDER BOX の利用時間（Instrument）, および実験前に教示を行っていない特殊な奏法が見られた秒数を示している（Play Style）.

Tab. 5- 14 被験者 G2-1

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 132 秒

Tab. 5- 15 被験者 G2-2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 44 秒

Tab. 5- 16 被験者 G2-3

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 295 秒

Tab. 5- 17 被験者 G2-4

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 295 秒

Tab. 5- 18 被験者 G2-5

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 262 秒

Tab. 5- 19 被験者 G2-6

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 190 秒

Tab. 5- 20 被験者 G2-7

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 194 秒

Tab. 5- 21 被験者 G2-8

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 152 秒

Tab. 5- 22 被験者 G2-9

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 163 秒

Tab. 5- 23 被験者 G2-10

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 141 秒

5.11.5. グループ２（自由演奏グループ）の特徴的な演奏方法

グループ２では，10 名中５名の被験者が，演奏開始前に教示していない独自の演奏方法を生み出した．また，本５名中４名がメロディ楽器（黄）の演奏中に独自の奏法を用いた．

（1） 被験者 G2-1（Tab. 5- 14）：掌にセンサ面を向ける演奏

被験者 G2-1 は距離センサ利用時，筆者による教示および他の演奏者のように，楽器に指を近づけていく演奏方法ではなく，楽器を下に向けて手に楽器を近づけていく演奏を行った（Fig. 5- 38）．この演奏方法により，外光に影響をうけることなく演奏ができる．

Fig. 5- 38 被験者 G2-1 の掌にセンサ面を向ける演奏

（2） 被験者 G2-2（Tab. 5- 15）：ライトを使った演奏とテンポ同期の音階操作

被験者 G2-2 は，テーブルに設置されたスタンドライトと光センサを利用し，楽器とライトの位置を調整しながら，音高を操作した（Fig. 5- 39）．また，G1-3 と同じように，リズムに合わせて音階スイッチをコントロールし，和声をともなった表現を行っていた．

Fig. 5- 39 被験者 G2-2 のライトを使った演奏とテンポ同期の音階操作

(3) 被験者 G2-6（Tab. 5- 19）：二本指で挟んで素早く曲げる演奏

被験者 G2-6 は，曲げセンサを二本の指ではさみ，交互に指を動かすことで二音の間を素早く行き来するビブラート表現をともなった演奏を行っていた（Fig. 5- 40）．

Fig. 5- 40 被験者 G2-6 の二本指で挟んで素早く曲げる演奏

(4) 被験者 G2-7（Tab. 5- 20）:背景音に合わせたソロ演奏

被験者 G2-7 は，演奏が 4 分後半の終盤に差し掛かり，ドラム，ベースの楽器を設定し終わった後，楽器にスライダを取り付け，ソロ演奏をし始めた（Fig. 5- 41）．

Fig. 5- 41 被験者 G2-7 の背景音に合わせたソロ演奏

(5) 被験者 G2-8（Tab. 5- 21）：光センサで音高を探す演奏

被験者 G2-8 は，光センサを用いた演奏の際，筆者の教示や他の体験者のように光を手で遮ったり，ライトを近づけたりする演奏方法ではなく，探知機のように楽器を持って暗いところや明るいところを探すように演奏した（Fig. 5- 42）．

Fig. 5- 42 被験者 G2-8 の光センサで音高を探す演奏

5.11.6. 被験者の行動データ表: グループ 3

3 台の POWDER BOX を用いた, 2 名の被験者による共同演奏時（5 分間）の, 各センサ（圧力, 接触位置, 回転式可変抵抗, 距離, 光, 曲げ, スライド式可変抵抗）の利用時間, 本体のテンポ/音階コントローラ, 各 POWDER BOX のループー機能の利用時間(Looper), 各 POWDER BOX の利用時間（Instrument）, および特徴的な発話やコミュニケーションが見られた秒数（Play Style/Com.）を示している.

Tab. 5- 24 被験者 G3-1-1 および G3-1-2

1

2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 259 秒

Tab. 5- 25 被験者 G3-2-1 および G3-2-2

1

2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: --秒（達成されず）

Tab. 5- 26 被験者 G3-3-1 および G3-3-2

1

2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: --秒（達成されず）

Tab. 5- 27 被験者 G3-4-1 および G3-4-2

1

2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 77 秒

Tab. 5- 28 被験者 G3-5-1 および G3-5-2

1

2

リズム・メロディ・ハーモニーをともなった演奏の開始時間: 91 秒

5.11.7. グループ３（複数人演奏グループ）の特徴的な演奏方法

グループ３では，特殊な演奏方法は見られなかったが，２名の被験者間の特徴的なコミュニケーションが５組中４組に見られた．各グループの演奏におけるコミュニケーションの特徴を記述する．（両側矢印は双方向，片側矢印は一方向のコミュニケーションを表す）

（1） 被験者 G3-1（Tab. 5- 24）：演奏の調整 1

G3-1 の被験者２名は「光に反応しているよ」「これベースだからこれに合うように作ってください」などの教示や調整を行いながら演奏を行った（Fig. 5- 43）．被験者 G3-1-1 が G3-1-2 の被験者からの質問に答える，また互いに上手に演奏ができたループ演奏について「かっこいい」「フレーズがいい」など言及しながら演奏を調整し，進めていった．音の三要素をともなった表現を 259 秒の時点で実現した．

Fig. 5- 43 被験者 G3-1 の演奏の調整とコミュニケーションの過程

(2) 被験者 G3-2（Tab. 5- 25）：演奏の調整 2

G3-2 の被験者 2 名は，演奏開始後すぐに相談を始め，「リズムからですかね」「そうですね」，「スライダとか値が固定できる方がいいかも」，「スライダのほうがいいね，わかりやすいし」などコミュニケーションを取りながら演奏を調整した（Fig. 5- 44）．それぞれの主張に対応しながら演奏を進めたため，途中で時間切れとなり，演奏時間5分内に全てのPOWDER BOX を用いてループ演奏する段階には至らなかった．

被験者 G3-2-1 および G3-2-2 は主導権の調整が初期の段階にはなく，互いに指示をする素振りもなかった．5 分間を通して互いの役割がはっきりしなかったため，調整に時間がかかったものと考えられる．コメントにおいても，G3-2-1 は「ある程度任せてしまうなど調整しながら体験したかった」という回答を記述していた．

Fig. 5- 44 被験者 G3-2 の演奏の調整とコミュニケーションの過程

(3) 被験者 G3-4（Tab. 5- 27）：演奏ポジションの入れ替わり

G3-4 の被験者 2 名はループー機能を用いながら，様々なセンサを利用し，グループ 3 では最も早い 77 秒でリズム，メロディ，ハーモニーのともなった演奏を行った（Fig. 5- 45）．

他のグループに見られなかった特徴としては，全体の発話数やコミュニケーションは少なかったものの，演奏における自身の立つポジションを 5 分間で計 2 回（2 分 28 秒，3 分 41 秒経過時）入れ替わり，コントロールする楽器の種類を交代しながら演奏していた点が挙げられる．また，「ドラムはループさせておいた方がいい」などの演奏方法の提案に関する発話があった．複数人が演奏に参加することで複数人の行為が干渉し，より多くの演奏バリエーションが生まれる可能性が G3-4 の 2 名から観察できる．

Fig. 5- 45 被験者 G3-4 の演奏ポジション入替とコミュニケーションの過程

(4) 被験者 G3-5（Tab. 5- 28）：センサの受け渡し

G3-5 の被験者 2 名は，リズム，メロディ，ハーモニーのともなった演奏を 91 秒と 2 番目に早い段階で達成した．また，片方の被験者 G3-5-2 が常に演奏の主導権を握り，G3-5-1 にセンサインタフェースを手渡したり，演奏方法を教示したりする傾向が見られた（Fig. 5-46）．

楽器の担当としては，被験者 G3-5-1 がドラムおよびベースを担当し，もう G3-5-2 がサポートをしながらメロディを演奏した．

Fig. 5- 46 被験者 G3-5 のセンサの受け渡しとコミュニケーションの過程

5.11.8. 各被験者の行動データ分析に関する考察

(1) 各センサインタフェースの利用とエラー

グループ１では, 10 名中９名の被験者，グループ２では 10 名中５名の体験者が様々な演奏方法を試しながら，演奏時間内（５分以内）に全てのセンサインタフェースを利用することができた.

センサの差し込み方向の間違えにより，一度で差し込みできない，途中でセンサが抜けてしまうなどのエラーがあり，多少の時間のロスがあった．そのため，センサインタフェースのコネクタを固定できるものに変更する，表裏のないリバーシブルコネクタを採用するなどの改良が必要と考える.

(2) ループー機能の利用

グループ１では 10 名中９名の被験者が５回以上，グループ２では 10 名中全員が３回以上，グループ３では 10 名中９名が１回以上利用し, 10 秒以上の適切な録音と再生を行っていた．グループ１のループー機能を利用しなかった１名の被験者 G1-2 および G3-6 は，センサインタフェースの演奏に集中し, 5 分以内にループー機能を利用することはなかった.

また，グループ１では，ループー機能を利用した９名が，演奏開始から１分 30 秒以内にループー機能を利用している．グループ２では，10 名の被験者全員が３台を用いたアンサンブル演奏を行っており，５分以内で音楽の三要素をともなった演奏が可能であることを示唆している．グループ３では，２名による共同演奏を計５組行ったが, 5 分以内でリズム，メロディ，ハーモニーをともなったループ演奏を行ったのは３組 G3-1, G3-4, G3-5 であった.

(3) テンポ/音階コントローラの利用

テンポ/音階の操作に関しては，グループ１の被験者は，全員が操作を行っていた．グループ２の被験者はテンポ操作に関しては全員が，音階操作に関しては半数の５名が行った．グループ３においては，８名がテンポ操作を，４名が音階操作を行っていた.

(4) 演奏表現の多様性の分析

本研究では前述した Michael ら, Victor らの先行研究を参考に，①楽器の使用方法/姿勢，②音楽表現のバリエーション/インタラクション技術に焦点を当てて分析した(Tab. 5- 29)．グループ１では 10 名中４名の被験者が，グループ２では 10 名中５名の被験者が，演奏開始前に教示していない独自の演奏方法を用いた．特殊な演奏方法は回転式可変抵抗以外の６種類のセンサインタフェースで見られた.

Tab. 5- 29 特徴的な演奏方法の分析

楽器の使用方法/ 姿勢	音楽表現のバリエーション/ インタラクション技術
楽器を立てる 楽器を手に近づける 楽器にライトを近づける ライトに楽器を近づける	テンポにあわせた音楽展開（音階スイッチ） リズミカルに手を振る（距離） 高速につまんで音を分散（圧力） 指ではさみ細かい音を出す（曲げ） 指を交互に使い音を分散（接触位置） 1 台を用いたソロ演奏

（5） 筆者の演奏との比較

下表（Tab. 5- 30）は，千代田芸術祭 2014 において行った，筆者による 7 台の POWDER BOX を使用した 5 分間の演奏の行動データ表である．

Tab. 5- 30 千代田芸術祭 2014 における筆者の演奏

複数の POWDER BOX のルーパー機能を利用し，その上でメロディ演奏をおこなったり，光センサとハンドライトを用いた奏法を利用したりと，演奏に時間をかけている箇所が見られるが，圧力および接触位置センサを用いた演奏の際は，平均して 5 秒以内にルーパー機能を利用しており，今回の実験における被験者よりも素早く演奏をループ再生している．また，7 台の楽器を用いているため，ルーパー機能の利用回数は 18 回と多く，演奏内容を固定しながら，複数の奏法，音楽フレーズを用いている．

圧力および接触位置センサを多用している理由として，即応性が高く，瞬時に演奏を記録し，演奏の展開を早めることができる点が挙げられる．対して，光センサを用いる場合は，

演奏行為が見た目にわかりやすい．このため筆者は，演奏の仕組みを聴衆にわかりやすく提示する用途として長時間の演奏に用いている．

本楽器は，「一般ユーザ」のために開発された．しかし筆者による演奏に見られるように，演奏の熟達によって，ルーパー機能利用までの時間は早まり，短時間でより多くのセンサインタフェースを交換し，音楽表現に展開をもたらしていくこともできる．また，前述したように，音楽表現に対する専門家の高い評価も受けており，「一般ユーザ」だけでなく「表現ユーザ」の演奏利用にも耐えるデジタル楽器デザインを実現したことがわかる．

(6)　演奏時のコミュニケーションの分析

共同演奏における演奏行動と発話の分析結果として，演奏における役割，互いへの演奏方法の教示，センサや楽器利用の順序，主導権の調整などのコミュニケーションが見受けられた．片方の被験者が演奏方法を指示するなど，明確な主導権がある組では，３台の全ての楽器を用いた音楽表現にいたるまでの時間が早い傾向があった．

(7)　３台の楽器を利用した演奏

グループ２では 10 名中 10 名（100%）が，グループ３の５組中３組（60%）が，演奏時間５分以内に，３台の楽器を用いて音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）をともなった音楽表現を実現した．

本分析により，「一般ユーザ」である多くの被験者が，音楽の三要素をともなった演奏に参加できることがわかった．また，共同演奏にも利用できることが明らかとなった．

5.12. まとめ

本章では，「一般ユーザ」をデザインの対象とし，センサインタフェースを演奏者が自由に選択できるセンサ組換式のデジタル楽器を開発した．また，主観データ，行動データの分析により，本研究で開発された POWDER BOX について，「一般ユーザ」である被験者が，①音/音楽の三要素をともなった音楽表現ができること（簡易性），②多様な演奏表現を用いることができること（多様性）という基準から，多様性と簡易性を両立するデザインの有効性を検証した．

本章における開発と評価/分析により，多くの被験者が音/音楽の三要素をともなった演奏に参加でき，「一般ユーザ」でも多様な演奏表現を用いることが可能であることが明らかとなった．つまり，本研究におけるデジタル楽器デザインが成功していることが示唆された．また，筆者による本楽器を利用した演奏に対して専門家からの高い評価を得ることができ，「表現ユーザ」の利用にも耐えるデジタル楽器を実現できていると考えられる．

以下に評価/分析の結果をまとめる．

5.12.1. 本楽器のデザインの有効性

(1) POWDER BOX の演奏体験に関する主観評価と音楽の三要素をともなった達成

被験者 30 名（１．背景音呈示グループ，２．自由演奏グループ，３．複数人演奏グループ）への５段階評価を用いたアンケート調査により，「楽しさ」に関しては全てのグループにおいて，「５．楽しい」あるいは「４．まあまあ楽しい」という高い評価を得た．「簡易性」および「操作性」に関しては，グループ１～３に移るにつれて，中央値および平均値が低下するものの，グループ１では高い評価となっており，グループ１～３の段階で演奏に関する教示を行っていく体験設計により，改善できると考えられる．

また，背景音の呈示など特殊な設定を行わない場合，アンケートにおける主観データとしての簡易性は低下するものの，グループ２では 10 名中 10 名（100%）が，グループ３の５組中３組（60%）が，演奏時間５分以内に音楽の三要素（リズム・メロディ・ハーモニー）をともなった音楽表現に参加できた．共同演奏を行うためには，体験前のレクチャーなどの工夫は必要なものの，上記の通り多くの被験者が５分以内で音楽の三要素をともなった演奏に参加できた．

このことから，様々な熟達度の演奏者が演奏に参加できる簡易性を持ったデジタル楽器を実現できていることが示唆された．

(2) 各センサインタフェースの簡易性とそれを支える要因の分析

被験者が簡単と感じる属性は，即応性，透明性，触覚性，直感性，視認性，任意性，汎用

性，奇抜性，空間性の９種に分類できた．また，難しいと感じる属性については，確実性，透明性，尺度把握の３種に分類できた．

つまり，各センサの簡易性を支える要因に関しては，被験者が着目している点が大きく異なることが明らかになった．本研究のように複数の操作方法の異なるインタフェースを採用することで，様々な演奏者の状況に対応するデザインが必要と考えられる．本研究で開発した POWDER BOX のセンサインタフェースは，この点にデザインの妥当性がある．

また，各センサへの「簡単」という回答の割合および，行動データの分析から，各センサの「簡易回答率」と短期目標であるルーパーの利用までの「時間」との間に密接な関係があることが明らかとなった．今後の検証により，各センサの簡易性の量的な分析が可能となり，簡易回答率によって簡易性を操作し，演奏体験を設計することが可能と考えられる．

(3)　演奏表現の多様性の有無

単独での演奏を依頼したグループ１の 10 名中４名，およびグループ２の 10 名中５名の被験者，つまり両グループ全20名の約半数である45%が，教示していない奏法を演奏時間の５分以内で用いた．複数のセンサを利用することで，「一般ユーザ」が独自の奏法を生み出すことができるデジタル楽器が実現できていることが示唆された．

5.12.2. デザインにおける課題

また，本章で行われたユーザ評価と行動分析により，POWDER BOX には，下記の改善の余地があることが明らかとなった．

(1)　センサインタフェースのコネクタ部分の改良

センサを差し替える際，コネクタがうまく差さらない，演奏時に抜けてしまう，差し込み方向を間違えるなどのエラーが数回見受けられた．このため，POWDER BOX のコネクタには，リバーシブルコネクタや，ロック式コネクタに変更するなどの改良が必要と考えられる．

(2)　演奏体験や利用センサの設定による簡易性の操作

「簡易性」や「わかりやすさ」，「思い通りの操作」に関するアンケートデータから，初めて演奏を行う体験者にはグループ２および３の体験は難しい可能性がある．このため，今回行ったグループ１～３の段階で演奏前にレクチャーや練習モードを設定することが必要と考えられる．

(3)　センサに対するコメントより得られたマッピングの改良

各センサに対し，空間的なインタラクションを行うセンサの場合は尺度把握，圧力センサなどの場合は確実性に問題があるなど，被験者からのコメントが寄せられた．これらのコメントを参考に，マッピングを改良する，演奏者が尺度を選べるシステムを構築するなどの改良が必要と考えられる．

5.12.3. 評価/分析における課題

今後研究を進める上での評価/分析の課題として，下記が挙げられる．

(1)　簡易性に関する量的評価の精緻化

演奏の簡易性の分析に関しては，多くの電子楽器/デジタル楽器や音楽インタフェースにおいて，試みがなされているが，主観データを用いた分析が中心である．本研究では，被験者の主観データと，実際の演奏における「時間」という軸に着目し，センサインタフェースそれぞれの評価を行うことを提案した．

先行事例との比較に関する研究などは見られず，比較データは存在しない．このような評価実験を継続的に行い，目的とするタスクまでの時間と主観データを比較する手法を精緻化し，一般化していくことが今後求められる．

(2)　多様性に関する量的評価手法の検討

本研究では，本分野における分析の第一段階として，「あらかじめ教示した奏法以外を用いるかどうか」という演奏表現の多様性の観察法を提案し，特殊な奏法に関する質的な分析を行った．前述したとおり，新たな楽器や音楽インタフェース分野の国際会議においても，奏法に関する多様性の分析に関する発表が複数件見られるが，質的な分析にとどまっており，現在も量的な分析には至っていない．

多様性の分析に関しても，今後質的分析の事例を増やしていくことで評価手法を確立し，その上で定量的に検出する手法を検討していく必要がある．このことにより，電子楽器/デジタル楽器の比較分析がより詳細に行われると考えられる．

本章では，多くの人びとが演奏に参加できる簡易性を持ち，演奏表現の多様性を生み出すデジタル楽器を開発した．また，本段階の対象である「一般ユーザ」による演奏の評価/分析を行い，本研究の目的が達成されていることを示した．次章では，本研究で得られた成果と開発したシステムの応用実践として，「現場ユーザ」を対象としたデジタル楽器デザイン活動について記述する．

第6章「現場ユーザ」に向けたデジタル楽器デザイン

6.1. はじめに

6.1.1. 概要

前章において，「一般ユーザ」の演奏表現の多様性を生み出すデジタル楽器を実現した．本章におけるプロジェクトでは，開発されたデジタル楽器システムと音楽インタフェースを用いて，社会現場における「現場ユーザ」の活動や表現をサポートし，音楽表現の裾野を広げることを目的とする．

本実践においては，ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザインと，デジタル楽器システムを基礎技術とし，特別支援学校教員と協働して，音楽科授業をサポートすることを目的としたデジタル打楽器（Fig. 6- 1）を開発した．教員は楽器のデザインについて開発者である筆者と議論し，筆者は授業の問題点を解決するためのアプローチについて教員と議論を進めることで，双方が互いの分野へ参加するプロセスをとった．このような一連の協働プロセスにより，授業の本質に根ざした指導の実現を目指した．さらに今回の協働が，教員および生徒，また今後の授業の展開に与えた影響について考察した．

Fig. 6- 1 開発されたデジタル打楽器

6.2. 特別支援学校との楽器デザインプロジェクト

6.2.1. 協働による楽器開発の背景

(1) 特別支援学校における音楽教育の現状

特別支援学校には，同じ学級内でも障害の状況が異なる児童・生徒がおり，それぞれ教育目標を達成するためのプロセスが異なっている．個々の児童・生徒に対応するためには，一般の音楽教育で用いられる教材・教具だけでは不十分である．

例えば，打楽器などのアコースティック楽器を音楽の授業で用いる場合，楽器に興味を示さず，活動を進めることができない生徒には，まずは楽器に対して興味・関心をもつことができるように教具の開発を行う．また，リズムと関係なく，延々と打楽器を叩き続けてしまう生徒には，音が鳴っている状態/鳴っていない状態を認識させ，その上でリズムへの理解を育む指導法を考案するなど，個別の場面への対応法を独自に考える必要がある．

実際に特別支援学校の現場教員は，個別のケースに合わせた指導法と教具の開発を日常的に行っている．現場教員が開発してきた教材・教具には，発想や知恵が詰まっており，各校主催で教材・教具展が開かれ，教員同士で共有するための機会が度々設けられている．

(2) 研究者が開発した教育用/バリアフリー楽器の教育現場での利用状況

上記のように，特別支援学校の教育現場では独自の教材・教具を必要としている．一方大学などの研究機関でも，電子技術を用いた教具・楽器を用いて障害がある児童・生徒の授業や指導をサポートする研究が行われている．

前述したように，電子楽器/デジタル楽器は音を出す音源の部分と，入力の操作をするインタフェースの部分を自由にデザインできるため，児童・生徒の障害に応じ，入力方法を「叩く」，「押す」など様々に変えて，障害がある生徒にとって扱いやすい教具・楽器を開発することができる．現在は，第２章で述べたとおり，電子楽器/デジタル楽器開発やそれらを用いた教育，リハビリテーション研究が多く行われている．

しかし，依然として問題は山積している．例えば，各研究機関で開発されているシステムを使用するためには，専用のソフトウェアやハードウェアなどが必要であることが多く，現場教員だけで運用が可能なシステムは少ない．また，市販のスタンドアローン型の電子楽器/デジタル楽器に関しても，教員のニーズに合わせて作られているものは少なく，現場が求める機能が盛り込まれていない．必要以上の機能を搭載していることも多く，多機能であるために操作が複雑で，電子楽器/デジタル楽器・機器の利用に慣れている教員でなければ扱いづらい．これらの理由から，特別支援学校では，研究機関などで開発されたシステムや，市販の電子楽器/デジタル楽器の利用実践は，未だ少ない．

現場は，授業をサポートするための電子楽器/デジタル楽器や音楽システムを開発する意

欲をもっており，研究機関は開発のための技術を持っている．それぞれの立場の人材がうまく協働を行えば，授業の目的や生徒の特性に応じて，前述したような電子楽器/デジタル楽器の利点を活かすことも可能である．

このことから本実践では，本研究で開発したデジタル楽器システムおよび音楽インタフェースをそのまま一方的に提供するのではなく，これらの要素を分解/再構築する手法をとった．また，インタフェースと楽器の機能を基礎要素とし，現場教員と筆者の両者が楽器のデザイン，開発，実践に関わり，協働によってデジタル楽器を構築していく点を重視した．これにより，現場が真に欲している教材・教具を開発することを目指した．

6.3. 協働による楽器開発・実践

6.3.1. 協働の概要

【実践の経緯】

本実践は，神奈川県立相模原中央支援学校において，同校教員である田代遊太氏，研究協力者菅井陽子氏と，開発者である筆者が協働で進めるプロジェクトであり，2014 年４月から７月にかけて行われた．田代は音楽科の授業で打楽器アンサンブルの指導を行っているが，様々な障害の状況や学習状況の生徒への対応に苦心していた．そこで，指導をサポートできる教具の開発を筆者に依頼したことから，実践が開始された．

本段階の「現場ユーザ」は，①授業において教材としてデジタル楽器を利用する教員，②デジタル楽器で演奏する生徒の両方である．

【実践の概要】

〈プロジェクトの概要〉

- 対象：中学部知的障害教育部門３年生，全 15 名の生徒を対象に行う音楽科の授業
- 協働実践の目的：「打楽器を用いた複数人でのアンサンブルを行えるようにする」という授業目標に向けて，デジタル楽器のサポートによりリズムに関する指導を行い，呈示される音楽のリズムに合わせて演奏できるようにする

〈プロジェクトの人員構成〉

これまでの授業での問題点の抽出や，デザインの決定を筆者と協働して行う田代，授業実践のみを行う菅井，およびデジタル楽器の開発を担当する筆者である．

〈プロジェクトのプロセス〉

本実践は下記の段階を経て行われた．

- 第一段階：授業における問題点の抽出とデザインの決定 （４月～５月）
- 第二段階：プロトタイピング （６月）
- 第三段階：授業/授業外における実践 （６月～７月）

Tab. 6- 1 プロジェクトの実践スケジュール

年 / 月 / 日	内容
2014 年 4 月~5 月	音楽科における学校内の状況聴取（田代） デザイン要件の調査（田代） 第 1 回ミーティング実施（田代，筆者）
2014 年 5 月~6 月	プロトタイピング開始（筆者）
2014 年 6 月~6 月中旬	第 2 回ミーティング（田代，菅井，筆者） 改良点の聴取と改良（筆者）
2014 年 6 月中旬~7 月	プロトタイプを用いた予備実践（田代，菅井） 第 3 回ミーティング実施と改良点聴取（田代，菅井，筆者） 正式版の開発（筆者）
2014 年 7 月~8 月	正式版を用いた本実践（田代，菅井，筆者） 生徒・児童の利用状況を聴取（筆者）

3 者の協働プロセスを図示すると，以下（Fig. 6- 2）のようになる．

Fig. 6- 2 協働のプロセス図

6.3.2. 第一段階：授業における問題点の抽出とデザインの決定

まず，４月中に教員同士で意見共有をしてもらい，授業の目標とこれまでの授業実践の状況をまとめてもらった．詳細を以下に示す．

【授業の目的】

当該学年の授業目標は，打楽器を用いたアンサンブル演奏の実現である．また，生徒の学習の段階によって複数の短期目的がある．

(1) リズムと関係なく打楽器を叩き続けてしまう生徒は，一定のリズム（拍）を叩けるようにする
(2) 一定の拍を叩ける生徒は，拍に合わせてリズムパターンを叩けるようにする
(3) リズムパターンを叩ける生徒は，共同演奏の際，他者の演奏に合わせてリズムを叩けるようにする

【特別支援学校における従来の演奏指導方法】

特別支援学校の授業では，教員が生徒に打楽器のイラスト（Fig. 6- 3）を上げ下げして見せ，打楽器を叩くタイミングを指示する，声や音で叩くタイミングを指示する，肩を叩いてテンポを指示するなど，生徒の状況によって様々な教示を行い，リズムやテンポを捉えられるよう演奏の支援をしている．

Fig. 6- 3 従来の演奏指導で用いられていたイラスト

【上記の指導方法における問題点の抽出】

打楽器を用いて生徒にリズムを叩かせる際，教員は上記のような方法を用いて補助的な教示を行っているが，生徒がそこで演奏しようとしている音楽と関係なく楽器を叩き続けてしまう場合，教員が生徒の腕を補助して叩かせたり，止めたりせざるを得ない．このような場面では，生徒の自主性を奪ってしまう危険性がある．

もちろん，音を出すことを楽しむ目的であれば，思いのままに叩かせることは望ましい．しかし，その次のステージとして，指定されたリズムパターンを叩くことへの理解や，共同演奏を促すためには，①生徒が自分の楽器や音に集中して一定のリズム（拍）を叩ける，②リズムパターンを叩ける，③教員の指定するリズムや音楽に合わせて叩ける，④自主的に他の奏者とリズムを一致させる，という段階が必要と考えた．そこで，この４段階を実現していくサポートができる楽器のデザインを教員と筆者とで考案することとなった．

【デザイン要件のまとめ】

田代と筆者とで議論を行い（５月 11 日），導出したデザイン要件を以下にまとめる．

A)　多様性と簡易性を両立するインタフェースデザイン

(1)　　スネアドラム型インタフェース

これまでの授業では，スネアドラムなどのアコースティック打楽器を多用し，アンサンブル教育を進めてきた．生徒が普段触れ合っている楽器と同じ形状にすることによって，「現場ユーザ」である生徒にとっては楽器として親しみやすいと考えた．このため，スネアドラム型のインタフェースを起点として，生徒をアンサンブル演奏に参加できるよう支援を行うことにした．

また，外装には打楽器練習用メッシュパッドを採用する．現場では，楽器を転倒させたり，生徒が必要以上の力で叩いたりしても簡単には壊れないという点が重要である．メッシュパッドは市販品であるため，高い水準で耐久性，安全性も担保されており，この使用を決定した．

B)　音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザイン

(1)　　分散型のスタンドアローン楽器

授業の直前は準備のための時間が少ないため，他の機器への接続や，特別な設定，操作がなく，電源をオンにするだけですぐに動作するスタンドアローン型のデジタル楽器として開発することにした．このことにより，これまで電子楽器/デジタル楽器を使ったことがない教員も無理なく授業に導入できるようになる．演奏する生徒だけでなく，教員もまた「現

場ユーザ」であり，デジタル楽器システム利用時の簡易性を高めることも重要である．

(2) リズム演奏の支援

音が「鳴る」，「鳴らない」状態を制御できる無線式リモコンを教員がもち，生徒のリズム演奏をサポートする手法をとることにした．

打楽器練習用メッシュパッドは叩いた時の感触が打楽器に近いが，出る音は非常に小さい．このメッシュパッド内部に電子回路を内蔵し，打面を叩くと内蔵されたスピーカから，あらかじめ記録されているサンプル音源が再生されるようにした．これにより，音が「鳴る」，「鳴らない」状態を作り出すことができる．さらに，この状態を教員がリモコンで制御できるようにし，演奏可/不可の情報を打面から LED の光で生徒に呈示する．

従来，教員は様々な方法でリズムを教示してきたが，生徒は楽器と教示の２つの対象に注意を払わなければならなかった．そこで，楽器から出る光を通して叩くタイミングを教示することにより，生徒は楽器のみに集中することができるようになると考えた．また，リモコンにより音が鳴らない状態を作ることで，楽器を叩き続けてしまう生徒にも，音が鳴らない状態を体験させることができる．

(3) アンサンブル演奏の支援

上記の無線リモコンによるリズム呈示システムを用いることで，楽曲に合わせて教員がリズム打ちのタイミングを指示し，アンサンブル演奏を構築するための支援を行うことができる．

また，これまでの授業で，教員は音色によって生徒の興味や意欲が変わる状況を目の当たりにしていた．このことから，個々の生徒や状況に合わせて音色を選べることが重要と考え，複数の音色を内蔵し，教員が変更できるようにすることにした．これにより，複数台のデジタル打楽器を用いたアンサンブル演奏の際にも，デジタル打楽器ごとに音色を変更し，ベルの音，打楽器の音など，生徒に役割を与えて演奏に参加させることが可能である．

下図（Fig. 6- 4）にデザイン要件をまとめる．

Fig. 6- 4 デザイン要件

3 章で述べたデザイン手法との比較は下図（Fig. 6- 5）のとおりである．

Fig. 6- 5 本章におけるデジタル打楽器のデザイン手法

6.3.3. 第二段階：プロトタイピング（試作）

第一段階で抽出した楽器の 5 つの要件を搭載したプロトタイプ（試作品）を作成し，教員に試奏してもらった．プロトタイピングの目的は，教員に実物を手にしてもらうことで，教員の意図が楽器デザインに反映できているか，できる限り早い段階で確認することである．

【プロトタイプの仕様】

前述のデザイン要件の通り，練習用メッシュパッドに打面への衝撃を検出する圧電センサを POWDER BOX のインタフェースに接続し，出力のためのスピーカ，電池などを装着した（Fig. 6- 6）．

スネアドラム型のメッシュパッド構造を取り入れた先行事例としては，画像処理により押し込まれたメッシュ部の輪郭を検出し，音出力に反映させる Oliver ら（2008）の「Silent Drum」[94]，複数の光学センサにより叩かれた位置を特定する Sokolovskis ら（2014）の研究[95]が挙げられるが，本研究では，安価かつ一般的なドラムトリガーシステムで用いられている，圧電センサ式の検出方法を採用した．

Fig. 6- 6 開発されたデジタル打楽器の内部構造

下図（Fig. 6- 7）のように，リモコンのスイッチを押し続けている間は，演奏可能な状態となり，打面下の LED ライトが発光する．この時に打面を叩くと，スピーカから音が出力される．スイッチから指を離すと，打面を叩いても音は出力されない状態となり，ライトが消灯する仕組みとなっている．本デジタル打楽器には XBee RF 無線モジュールが内蔵されているため，これを用いてリモコンからの情報を受け取っている．

Fig. 6- 7 開発されたデジタル打楽器とリモコン

リモコンにはもうひとつ小さなスイッチがついており，こちらのスイッチを押すと出力される音色（スネアドラム，ストリングスなど５種）が切り替わり，教員が生徒の興味に合わせて音色を選ぶことができる．

本実践でも，試作～完成後の細かい修正も比較的容易にできる小型のマイクロコントローラボード Arduino と，Arduino のサウンドシンセシスライブラリである Mozzi を利用した．（ソースコードは付録 DVD の「4．ソースコード」フォルダ内,「DigitalDrum」および「RemoteController」フォルダを参照）

【予備実践と改善点】

〈予備実践の概要〉

予備実践の目的は，デジタル打楽器を授業で用いる際の問題点や改善点を明らかにすることである．菅井が音楽科の授業で，デジタル打楽器のプロトタイプを利用し，生徒の反応を観察した．

〈予備実践で示された改善点〉

予備実践を終えて「他の生徒を見て演奏方法を学ぶ生徒もいるため，デジタル打楽器を演奏している生徒以外の生徒にも光の呈示が見えるようにして欲しい」，「大人数が対象の授業であるため，音量を大きくするか，外部スピーカに接続できるようにして欲しい」との要望があり，打楽器の側面にも LED を設置し（Fig. 6- 8），音声出力端子を設けてスピーカに接続できるようにした．

Fig. 6- 8 デジタル打楽器側面の LED 表示

試作版のデジタル打楽器を実際に手に取り，試奏を行いながら議論を進めることで，機能などの技術的な話題をやりとりする場面が増え，コミュニケーションがより円滑に進んだ（Fig. 6- 9）．上記のプロセスを経て，改良版のデジタル打楽器を開発した．

Fig. 6- 9 教員による試奏

6.3.4. 第三段階：授業/授業外における実践

【授業の概要】

打楽器を用いたアンサンブルの授業に 2 台のデジタル打楽器を導入し，実践を行った．

授業時間は 1 時限 50 分であり，器楽：20 分，歌唱・身体表現：20 分，鑑賞：10 分の割合で行っている．このうち器楽の 20 分間で実践を行う．生徒 15 名に対し，教員は 9 名であり，生徒全体に指示をするリーダー教員が 1 名，個別に指導を行うサブ教員が 8 名である．デジタル打楽器の演奏を担当する生徒には，教員がリモコンを使って光でリズムを呈示し，演奏した．

【実践時の生徒の様子（Fig. 6- 10)】

〈予備実践日（6 月 18 日)〉

- 授業内容：光と音の関係を理解するために，開発したデジタル打楽器を菅井が生徒の前で模範演奏したあとで，生徒にもデジタル打楽器を演奏してもらった．
- 生徒の反応：光のテンポ呈示に反応して叩いている生徒がいたが，光に関係なく，通常の打楽器を利用した際と同じように，ひたすら叩き続ける生徒もいた．

〈第１回本実践日（６月 27 日)〉

- 授業内容：まず，デジタル打楽器を用いて一定の拍やリズムパターンを叩かせる練習を行い，次にそれを楽曲に合わせて叩かせることにより，アンサンブル演奏を行った．
- 生徒の反応：前述した予備実践時に指摘された側面からの光の呈示と音量に関する改良により，予備実践日よりも，光に反応して叩いている生徒が増加した．紙のみによるリズム呈示時は全生徒 15 名中２名がリズムに合わせて叩いていたが，デジタル打楽器を提供したところ 15 名中９名（60%）の生徒がリズムに合わせて叩けるようになった．

〈第２回本実践日（７月４日)〉

- 授業内容：前回同様，デジタル打楽器を用いたリズム打ち練習と，アンサンブル演奏を行った．
- 生徒の反応：生徒もデジタル打楽器に慣れ，第１回実践日よりさらに打面への注目が増した．

〈第３回本実践日（７月 18 日)〉

- 授業内容：授業外の空き時間を利用して実践を行った．２台のデジタル打楽器を用いた交互演奏モード（左右のデジタル打楽器を順番に光らせる）の実践を行った．
- 生徒の反応：光っている方のデジタル打楽器を追う生徒が見られたことから，生徒が光を参考に叩いていることがわかった．生徒の１人に２台のデジタル打楽器を呈示した際には，「こっちを光らせてほしい」と生徒側から教員に要求するような場面も見られた．

Fig. 6- 10 実践の経過

【実践を通した生徒の変化】

本実践では，音楽のリズム（拍）に関係なく叩き続けてしまう生徒が減少し，１人の生徒が２台のデジタル打楽器を使った際には，光っている方のデジタル打楽器を追って叩く状況が観察された．

今回開発したデジタル打楽器を用いることで，下記の２点の確認がされた．

(1) 生徒が光と音の関係を理解していること

(2) 肩を叩くなどの補助的な呈示を行わなくとも，光の呈示によって生徒に演奏のタイミングを教示できること

6.4. 実践で得られた協働の意義

6.4.1. 現場教員へのインタビュー

実践終了後，デジタル打楽器と実践プロセスの成果や課題を明らかにするため，「現場ユーザ」である田代および菅井それぞれ 1 人ずつに対し，筆者が聞き手となってインタビューを行った（2014 年 7 月 23 日実施）．

インタビューの結果から，下記についてまとめる．

(1) デジタル打楽器の開発と協働プロセスについて

(2) 授業や協働に関する今後の展望と課題について

Fig. 6- 11 教員へのインタビュー

6.4.2. デジタル打楽器の開発と協働プロセスについて

田代は「今回は教員側の要望通りにデジタル打楽器が開発できた．加えて，第三者である開発者（筆者）が参加したことで，現場教員だけでは得られなかったアイディアが生まれた．予備実践時に使用した楽器はプロトタイプということもあり動作が不安定な部分もあったが，実践後にミーティングを設けることで，実践で生じた新たな課題を開発者が即座に解決し，次の実践に臨むというサイクルが構築できたことが要望の実現につながった」と述べた．

また，「現場教員はプログラミングまではできないため，個人で電子教具などを開発することは難しい．しかし，市販の電子楽器/デジタル楽器のように，多機能すぎると，どう使えばいいかわからなくなってしまう．教員としては電子技術についての知識の習得よりも，授業で教具・楽器を利用する場面や指導方法について考えることを優先したい」と述べた．

菅井は，「アイディアを持ち寄って，自分が使いやすい電子楽器/デジタル楽器を開発できるという発想がなかった．生徒たちも楽器に大変興味をもっていた．音色を変えると生徒が喜ぶ様子が見られた．今回のデジタル打楽器のような教具があれば，演奏に対する支援の手だてが少なく，教員が腕を補助して演奏を促していたような生徒に対しても，指示に対する理解を効果的に促し，生徒主体の活動を引き出せるのではないか」と述べた．

また，「故障や電池切れなどに対処できず，システムを理解している田代を呼んで対応してもらうことが２回あった」と述べた．

田代のコメントからは，今回の協働により教員の目的が達成されたこと，現場の状況にあわせ，余計な機能や操作の必要がないデジタル楽器を開発できたため，教員が授業に集中することができていたことが確認できた．

電子楽器/デジタル楽器を使う場合，現時点では市販のものを使うしかない．しかしそれは，目的と合致している機能がなければ，あるいは機能が多すぎるために設定などの煩雑になりすぎることがあるならば，真に現場が必要としている教具にはなりえない．教員と開発者が協働し，現場の問題から必要な支援を見出していくことでしか，現場が必要としている教具は作り出せない．

菅井には，開発に参加しない利用者の立場から，デジタル打楽器の可能性や問題点について意見をもらうことができた．そのコメントから，今後の授業における指導において，これまで教員が身体を補助して演奏を促していたような段階の生徒に対し，身体的な補助なしで叩くタイミングを呈示できる可能性が示唆された．

今回は説明書などを用意せず，口頭で楽器の使用方法を説明したが，今後は学校内のどの教員でも利用できるよう，マニュアルを作成し，故障時の対応などを周知していく必要がある．

6.4.3. 授業や協働に関する今後の展望と課題

田代は「今回開発したデジタル打楽器は設定次第で自由に音色を選ぶことができるので，叩くという比較的単純な行為で生徒がいろいろな楽器の音に触れることができるという利点がある．例えば，ハンドベル演奏の際にも，楽器を鳴らし続けてしまう生徒がいる．開発したデジタル打楽器を複数台用いれば，ハンドベルのようなメロディやハーモニーをともなうアンサンブルも可能となる．今ある能力を用いて，別の音楽表現への挑戦も期待できるのではないか」と述べた．

菅井は「今後はさらに，楽曲のテンポを自動で認識し，呈示をしてくれる機能もつけてほしい．また，リズムパターンを増やしてもらえれば，様々な楽曲に合わせることができ，可能性が広がる．電子楽器/デジタル楽器を授業に合わせて開発してもらい，実践ができるという，これまで本校にはなかった新しい授業の流れが生まれた」と述べた．

以上のように，教員も今後のデジタル打楽器の利用を肯定的かつ積極的に捉えていることがわかった．注目すべき点は教員自身が「既存の電子楽器/デジタル楽器をどう利用するか」という，「導入が目的となった」議論ではなく，「このようなシステムを作ればこういう使い方ができる」という「目的を軸とした」議論をしている点である．このような電子楽器/デジタル楽器や電子技術を用いた新しい授業を創造していくためには，今回取り組んだ互いの分野に参加するデザインプロセスや，DIY/DIWO の考え方に即したボトムアップな発想が重要と考える．

6.5. 実践の総括

6.5.1. 本実践における協働について

【協働により達成されたこと】

インタビューから，開発されたデジタル打楽器には現場教員の要望を概ね反映できていること，従来行われてきた指導に沿った形で，デジタル打楽器が授業をサポートできていることが確認できた．

本実践では，特別支援学校の授業における問題点の聴取や楽器デザインの決定など，プロジェクトの初期段階から現場教員，開発者のアイディアを融合させ，問題点の解決に向けて作業を進めた．開発の段階に入り，改良と実践を複数回行い，そのサイクルを早めることによって，通常，特別支援学校の教員だけで新たに教材を作成・改善するのと同程度の期間（約２週間程度）で，授業の進行をサポートできるデジタル楽器を開発することができた．

今後の展開についても，今まで行うことができなかった指導法を教員が検討できるようになり，「このシステムを使えばこのような取り組みができる」などのように，現場から積極的に開発者に提案する場面も見られた．つまり，電子楽器/デジタル楽器を導入することが目的となった議論ではなく，教員が実現したい授業を遂行するための楽器開発にむけた議論を行うことができた．

【今後の展開】

本実践を行ったことで，次の実践の展開も模索することができる．

例えば，交互奏モード（２台の楽器で交互に音の受け渡し演奏ができる）を内蔵させる，事前に用意した楽曲の音源に合わせて演奏タイミングを制御するなどの展開を考えている．

また，現段階では５種類の音色をデジタル打楽器に内蔵しているが，それ以外の音色を使いたい場合，筆者がプログラムを編集する必要がある．内蔵されていない音色でも教員が自由に選んで簡単に設定できるシステムがあれば，生徒へのより細かい対応ができるようになる．

加えて，今回開発したデジタル打楽器を生徒が利用したあとで，アコースティック打楽器の演奏を行った場合，生徒にどのような変化が見られるか観察していきたい．

これらの試みは，電子楽器/デジタル楽器でしか実現できないことであり，このような電子の利点や特徴を活かし，新たな実践を進めていく．

6.5.2. 協働の長期的な継続と活発化に向けて

インタビューの中で菅井は「本実践のように一から電子楽器/デジタル楽器を協働開発するような場合，現状では学校側からの予算などの支援の仕組みがない」と述べた．菅井の指摘するように，現段階では本実践のような取り組みに対する予算を設けている特別支援学校は少ない．予算がなければ本実践のような協働の継続は難しい．金銭面での支援体制も同時に形成していく必要がある．

また，田代は「今回のような協働をしたいと考えたとき，特別支援学校側からは，どのような方に協働を依頼したらいいのか現状ではわからない」と述べ，協働に適した人材を共有できる仕組み作りの重要性について指摘があった．

現場の授業をサポートできる人材は，研究者，演奏家以外にも多く存在する．第２章で述べたように近年，DIY や DIWO という自らが必要なモノを個人で作り上げたり，その技術やノウハウを共有したりするような活動が目立ってきている．これらの活動の影響で，大学，企業以外でも，電子教具開発を行うことができる人材は着実に増加している．協働の対象を研究者や演奏家だけに限定せず，楽器開発者や音を素材として活動する芸術家などが次第に教育に参加できるように，学校側が予算面に加え，第三者の教育への参加に対して門戸を広げていくことも重要と考える．

以上のことを実現させていくためには，筆者を含む電子楽器/デジタル楽器のクリエイターが本章のような報告を増やしていく必要がある．そうした実践の積み重ねが，学校内部・外部にかかわらず実践や協働に関する情報をやりとりできるコミュニティの発生や，現場と開発者をつなぐ仕組みの形成につながるのではないだろうか．さらに，教員に向けた電子技術に関する情報共有のための勉強会，ウェブサイトなどを用いたコミュニティ形成を教育機関，研究機関がサポートする体制も必要である．

6.6. まとめ

学習指導要領にも示されているように，特別支援学校の音楽科の授業で生徒にとって最も本質的なことは，音楽の美しさや楽しさを味わい，それを他者と共有することである．これを実現する魅力的な授業を創造していくためには，これまで行われてきた教育の範疇で授業の進め方を模索するのではなく，前述したような本質の部分を目標に据え，そこに向かうために必要な要素を吟味し，ボトムアップ的に授業を組み立てていくことが重要である．

本章における実践では，アンサンブル演奏を通して他者と音楽表現を共有する楽しみに向けて，リズム演奏のサポートを行うデジタル打楽器の協働開発を行った．これにより，従来型のイラストによるリズム呈示に比べて，リズムに合わせて演奏できる生徒が増加した．これは教育現場と他分野の第三者とが，授業の本質を常に意識し，生徒の体験レベルの議論や，試行錯誤を重ねた結果であろう．

本実践における「現場ユーザ」に向けたデジタル楽器デザインにより，音楽表現の裾野を広げる試みは達成された．

Tab. 6- 2 開発したデジタル打楽器の機能要素

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ルーパー	テンポ/調性の同期機能	奏法の特徴	操作可能な音の要素
デジタル打楽器	分散	教員によるリズム呈示	有（無線同期）	叩くインタラクション	音高，音色，音量

本章で開発されたデジタル打楽器の内部システムは，本研究で開発されたネットワーク同期システム，POWDER BOX の多様な奏法に対応できるインタフェースを応用して開発されている．本実践によって，様々な状況に対応できるデジタル楽器の意義と，楽器開発者としての新たな活動の手法を導き出すことができたと考えられる．

個々の生徒の音楽表現をサポートすること，また現場教員のアイディアを活かして協働でデジタル楽器を開発し，授業をサポートするという，「現場ユーザ」を対象とした電子楽器/デジタル楽器デザインの取り組みは，今後ますます重要となるだろう．

第7章 総合的考察

7.1. デジタル楽器の開発と展示/演奏

7.1.1.「表現，一般，現場ユーザ」に向けたデジタル楽器開発

本研究では，多様性と簡易性のバランスを検討し，①音楽大学や専門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」，②専門的な教育を受けたことのない「一般ユーザ」，さらに社会現場への応用として，③目的に特化した音楽表現機材を必要とする「現場ユーザ」という３つの対象を設定し，デジタル楽器の開発を行うデザインプロセスを提案した．

また，機能デザインとしては，①分散型のスタンドアローン楽器，②ステップシーケンサ/ループー機能を用いたリズム演奏の支援，③ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援という３点の要素に着目し，「B.O.M.B.」，「POWDER BOX」，「デジタル打楽器」を開発した（Tab. 7- 1）．

Tab. 7- 1 本研究で開発したデジタル楽器の機能要素

作品 / 要素	システムの形態	シーケンサ/ループー	テンポ/調性の同期機能	奏法の特徴	操作可能な音の要素
B.O.M.B.	分散	シーケンサ/ループー	有（無線同期）	複数センサによるマルチジェスチャ	音高，音色，音量
POWDER BOX	分散	シーケンサ/ループー	有（無線同期）	インタフェースを変更可能	音高，音色，音量
デジタル打楽器	分散	教員によるリズム呈示	有（無線同期）	叩くインタラクション	音高，音色，音量

7.1.2. 展示/演奏と課題

「表現ユーザ」を対象にデザインした，マルチジェスチャに対応する B.O.M.B.においては，芸術作品として受賞などの一定の評価を受けた．また，「一般ユーザ」が利用するためには，簡易性および透明性に関して改良の余地があることが国内外における展示/演奏を通して示唆された．

「一般ユーザ」を対象にデザインした，インタフェース変更に対応する POWDER BOX は，芸術作品，プロダクト，演奏に関して高い評価を受けた．また，展示における体験者の観察から，B.O.M.B. よりも簡易性，透明性が向上したと予想され，多くの体験者が短時間で演奏を行う姿が確認できた．

なお，本研究では筆者が「表現ユーザ」として演奏活動を行い，コンペティションにおける音楽家の評価を受けている．特に，POWDER BOX を用いた音楽演奏に関しては，音楽の専門家からも高い評価を受けており，「一般ユーザ」だけでなく，「表現ユーザ」の演奏にも耐えるデジタル楽器が実現できていると考えられる．

7.1.3. 評価/分析

(1)　結果

続いて，POWDER BOX を対象に，評価/分析を行った．差し込みエラーなどに対するセンサインタフェースのコネクタの改良，各センサのマッピングの改良，「楽しさ」以外の項目に関してレクチャーの順番を設定するなど，改善の余地があるものの，単独による自由演奏を依頼したグループ２では 10 名中 10 名（100%），２名による共同自由演奏を依頼したグループ３の 10 名中６名（60%）が，音楽の三要素をともなった表現を実現できた．また，各センサに関する質的，量的な分析結果から，提供するセンサの種類により，演奏の難易度を設計できる可能性があることが明らかとなった．さらに，グループ１～２の約半数である 20 名中９名（45%）の被験者が教示にない奏法を試みていた．

上記の展示/演奏活動を含めて考察すると，「表現ユーザ」と「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器の開発プロジェクトにより，POWDER BOX は専門家による音楽表現をカバーするだけの音楽的な表現要素を操作でき，簡易性を高めたことで，音楽の専門的な教育を受けていない「一般ユーザ」にも柔軟に対応できることが明らかとなった．また，「一般ユーザ」の演奏表現に多様性を生み出すという目的が，達成されていることが示唆された．

(2)　　課題

本研究における評価/分析では，①被験者アンケートを用いた主観データの分析，②センサに対するコメントと主観データを組み合わせた各センサに関する特徴の質的，量的分析，③被験者の演奏ビデオを用いた行動データ記述（各センサの利用時間や機能の利用などを詳細に記述）と質的分析を行った．これらの分析から，「被験者の演奏体験の詳細」，「各センサの演奏における特徴」，「特殊な奏法の有無」，「音楽の三要素をともなった演奏の実現」に関して分析し，結果を記述した．

被験者アンケートを用いた主観データの分析に関しては，新たな楽器や音楽インタフェースの評価において一般的に用いられている５段階評価を利用し，演奏における「楽しさ」，「簡易性」，「わかりやすさ（透明性）」，「操作性」について評価を行った．

各センサの特徴に関する分析では，先行事例において適切な演奏操作に関する評価/分析は行われているものの，「各センサの簡易性」や「各センサがどのような演奏における特徴を持つか」に関する分析は行われてこなかった．

本研究で行ったように，「演奏者が各センサの演奏に関してどう感じたか」という主観データと，「実際にどのような演奏操作を行ったか」という行動データを組み合わせて分析することで，各センサの演奏における特徴や，被験者の感覚と行動を多角的に分析できる．今後この分析に検証を加えていくことで，「各センサがどのような演奏を促すか」を分析できると考えられる．本研究は，音楽インタフェースの簡易性と行動データの関係の調査を進めるための布石となる．

また本研究では，奏法に関する多様性の分析に関して，行動データをもとに質的な分析を行った．「あらかじめ教示した奏法以外を用いるかどうか」という観察法を提案し，特殊な奏法に関する質的な分析を行った．新たな楽器や音楽インタフェース分野の国際会議においても，奏法に関する多様性の分析に関する発表が複数件見られるが，質的な分析にとどまっており，現在も量的な分析には至っていない．また，先行事例との比較手法などは見られず，比較データが存在しない．

今後，質的分析の事例を増やしていくことで評価手法を精緻化し，その上で定量的に検出する手法を検討していく必要がある．このことにより，電子楽器/デジタル楽器の比較分析がより詳細に行われると考えられる．

7.2. デジタル楽器の応用の可能性

7.2.1. DIY/DIWO に着目したデジタル打楽器の協働開発と現状

第６章では，楽器の開発者/デザイナとして，特別支援学校教員と協働でデジタル打楽器を開発し，リズム教育を実践した．

電子楽器/デジタル楽器の研究分野では通常，研究の成果を社会に応用していく立場をとったものが多い．しかし，現場教員が開発者や研究者不在のまま利用できるスタンドアローン型のシステムは少なく，実験や実践が単発で終わってしまうこともある．つまり，研究成果を現場に合った形に再デザインすることが求められる．

本研究における実践ではこれらの現状を加味し，現場教員が楽器デザインに参加することで，問題点とそれを解決する手段を意識しながら協働デザインを行った．この結果，現場教員だけで利用でき，分散型のスタンドアローンという本研究の特徴と合致したデジタル打楽器が完成し，開発の目的である授業での利用においても，良好な結果を得ることができた．従来型のイラストを呈示して打楽器を叩かせるリズム教育では，音楽のリズムに合わせて打楽器を叩ける人数が 15 名中２名であったが，本デジタル打楽器を利用した場合，９名と全体の 60%に増加した．

また，特別支援学校と協働でデジタル打楽器を開発/リズム教育を行った結果，本研究で開発したデジタル楽器システムおよびインタフェースが様々な場面に応用できることを明らかにした．これにより，「現場ユーザ」を対象とした，音楽表現の裾野を広げる活動が実現されたと考えられる．

7.2.2. 課題

本実践は開発者としての筆者と現場教員との協働であったが，本分野の今後の課題として，対象を研究者や演奏家だけに限定せず，幅広い領域の人材が適切に参加できる方式を考えていくことが挙げられる．しかし，学校側が第三者の教育への参加に対して門戸を広げていくことは重要と考えるが，学校側も確実な効果が出るかを判断する必要がある．

このため，実践例が少ない現段階では，このような試みを増加させていき，実践を行うことができる研究者が実践を積み重ね，情報を学会や社会に共有していくことが重要と考える．

また，開発ノウハウの継承や，開発の簡易化，実践や協働に関する情報をやりとりできるコミュニティの形成，現場と開発者をつなぐ仕組みの形成が課題であり，研究者，技術者が行うべき部分は未だ多い．

応用実践は始まったばかりであり，今後継続して協働開発を行っていきたい．また，特別支援学校だけでなく，様々な社会現場での応用を模索していきたい．

第8章 結論

本章では，本研究で行ったデジタル楽器の開発プロジェクトをもとに結論を記述する．

第 2 章において，研究背景について記述した．新たな楽器や音楽インタフェースの分野では，二十世紀音楽芸術，美術を通して様々な試みが行われてきた．電子楽器/デジタル楽器は，インタフェースと音源を分離してデザインできるため，新たな演奏方法をデザインでき，その柔軟性から研究・開発領域が拡大してきた．さらに近年になり，オープンソース・ソフトウェア/ハードウェアが広まったことで，個人による自作の電子楽器/デジタル楽器が一般に開発されるようになり，DIY/DIWO の活動が活発化したことも相まって，電子楽器/デジタル楽器を題材とした，ワークショップなどの教育活動や福祉分野への応用が目立ってきている．

このように電子楽器/デジタル楽器の開発は二十世紀を通して，芸術音楽に限らず，大衆音楽，芸術，工学，教育に至る様々な分野を横断する領域となった．この中で，音楽表現における特権性，研究開発における特権性が解消されつつあり，専門的な音楽的訓練や教育を受けていない人々も，音楽表現の機会が得られるようになったことを指摘した．加えて，現代の本領域における開発事例，実践事例をまとめ，述べながら本研究の歴史的位置づけと，電子楽器/デジタル楽器に着目する意義について述べた．

第 3 章では，本研究の視座について記述した．音楽心理学の分野において，「音楽的に訓練されていない人々が，洗練された能力を持っている」，「音楽的な訓練を受けていない演奏者も，音楽演奏によって感情を伝達する一定の能力を有している」と指摘した先行研究があることを述べた．さらに，音楽的知識や演奏技術に左右されない音楽表現の場をつくり出すことができれば，演奏技術/音楽理論に関する知識を持った専門家には見られない音楽フレーズや奏法が発生するなど，新たな音楽表現，演奏表現が見出される可能性があることを述べた．これらの点から，音楽大学や専門学校において専門的な音楽教育を受けたことがなく，一般的な音楽理論以上の知識を持たない演奏者の表現に着目することに意義があると指摘した．

また，インタフェース（入力部）と音源（出力部）を分離してデザインできる特徴を持つ，電子楽器/デジタル楽器に着目することで，演奏者の様々なインタラクションを音出力に関連付けることが可能となり，技量や知識の支援を行うことができることを言及した．

しかし，本分野におけるデジタル楽器の音楽インタフェースのデザインにおいては，簡易性を追求するあまりに，音楽表現に必要な要素を省いてしまう可能性もある．音楽における表現を目指す本分野のインタフェースデザインにおいては，インタラクションの「簡易性」だけをデザインするのではなく，「多様性」が生み出されるデザインが重要であることを指摘した．

上記の主張に立脚し，本研究では，多様性と簡易性のバランスを検討し，①音楽大学や専

門学校などにおける音楽教育を受けたことのある「表現ユーザ」，②専門的な音楽教育を受けたことのない「一般ユーザ」，さらに社会現場の応用として，③目的に特化した音楽表現機材を必要とする「現場ユーザ」という 3 つの対象を設定し，段階的にデジタル楽器のデザイン，開発を行う手法を提案した．また，音楽演奏の簡易性を高めるための支援機能デザインとして，①分散型のスタンドアローン楽器，②ステップシーケンサ/ルーパー機能を用いたリズム演奏の支援，③ネットワーク同期によるアンサンブル演奏の支援という 3 点の要素に着目し，開発を行うことを述べた．

第 4 章では，第 3 章で提案したデザイン要件をもとに，①「表現ユーザ」を対象として開発した，マルチジェスチャによるインタラクションとネットワーク同期機能を有するデジタル楽器「B.O.M.B.」について記述した．また，本楽器を用いた展示，演奏会への参加について述べた．ユーザの観察や，本楽器を用いた演奏に対する音楽家からのコメントにより，音楽表現としては一定の評価を受けたが，「一般ユーザ」が使うためには，操作の簡易性や透明性（わかりやすさ）の面から改善の余地があることが明らかとなった．

第 5 章では，前述の「B.O.M.B.」の開発と演奏への応用から得られた知見をもとに，ユーザがインタフェースを選択し，組み替えて様々な奏法で演奏できる，「一般ユーザ」に向けたデジタル楽器「POWDER BOX」について記述した．また，本楽器に関しても，展示/演奏会への参加を通して，ユーザの観察や自らの演奏活動の積み重ね，その結果として楽器およびその演奏に関して一定の評価を得た．

加えて，第 5 章では本楽器に関する「一般ユーザ」を対象とした評価/分析について述べた．「一般ユーザ」である被験者が, POWDER BOX を用いた一定時間の演奏の中で，①音/音楽の三要素をともなった音楽表現ができること，②多様な演奏表現を用いることができることを基準とし，多様性と簡易性を両立するデザインの有効性を検証した．この結果，「一般ユーザ」の多くが音/音楽の三要素をともなった演奏に参加でき，単独演奏においては 20 名中 9 名（45%）の被験者が，事前に教示を行っていない奏法を利用して演奏を行っていた．このことから，「一般ユーザ」を対象とした，演奏表現の多様性と簡易性とを両立するデザインが実現できていることが明らかとなった．また，本評価/分析と，上記の演奏への応用から，「一般ユーザ」，「表現ユーザ」両面の演奏に用いることができるデジタル楽器を実現できていることが示唆された．

第 6 章では，本研究で開発したデジタル楽器システムとセンサの変更に対応するインタフェースの社会への応用実践について述べた．本章では，特別支援学校教員 2 名と協働でデジタル打楽器を開発し，授業におけるリズム演奏教育に応用するプロジェクトに着手した．この実践の結果，本研究で得られた知見を基礎として，生徒へのリズム教育の支援ができるデジタル打楽器を短時間で開発でき，社会における「現場ユーザ」の音楽表現の裾野を

広げる活動が行われた．また，本分野へのデジタル楽器の応用可能性を示した．

第 7 章では，これらの成果をまとめ，考察を述べた．

以上をまとめた本研究の成果として，下記の 3 点を挙げる．

(1) 開発/展示/演奏

ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースデザインと，ネットワーク通信同期システムを有するデジタル楽器 B.O.M.B.および POWDER BOX を開発した．また，国内外における演奏，展示活動を通して，本楽器および本楽器から出力される音楽に対して，一定の評価を受けた．

(2) 評価/分析

「一般ユーザ」を対象とした評価/分析を行い，本研究で開発されたデジタル楽器 POWDER BOX は，既存の音楽理論や演奏技術の訓練などに左右されず，様々なユーザの演奏表現に多様性をもたらす要素を持ち，「一般ユーザ」の演奏表現に多様性を発生させることに成功していることが示唆された．

(3) 応用実践

ユーザの奏法に柔軟に対応するインタフェースと，ネットワーク通信同期システムの社会への応用として，特別支援学校と協働でデジタル打楽器をデザインし，授業でのリズム演奏，アンサンブル演奏教育に応用する実践を行った．この結果，演奏，教育応用など，様々な場面で，開発したシステムを応用することが可能であることが示唆された．

また，この実践により音楽表現の裾野を広げる活動が行われ，学際的な楽器開発者として，他者との協働により，目的に合わせた楽器を開発する実践の手法を提案した．

本研究で開発したデジタル楽器 B.O.M.B. および POWDER BOX のシステムは，ネットワーク同期機能により，アコースティック楽器に見られるような楽器パートを分け合うような演奏を実現できる．さらに，POWDER BOX は，演奏方法をユーザ自身が選択できるインタフェースをもっているため，様々な奏法に対応できる．このような楽器開発により，他者との音楽表現の共有が手軽に行えるようになり，即興演奏や共同演奏の機会が早期から多くの人に開かれる可能性がある．今後このような領域の研究を継続していくことで，「表現ユーザ」，「一般ユーザ」を横断するデジタル楽器の研究が深まれば，音楽芸術における表現に，非専門家による表現を加える重要な分野となると考えられる．

「一般ユーザ」に向けて開発した POWDER BOX に関しては，前述した通り VR に関す

る国際展示会 Laval Virtual 2014 ReVolution 展示において“Residence”に採択され，2015 年からフランス，ラヴァル市内にて産業化プロジェクトを開始する予定である．本研究の目的は，音楽演奏を専門としない人々の演奏表現に多様性を生み出す点にある．このため，今後は電子楽器/デジタル楽器に関する研究活動と並行し，研究で得られた成果を一般に広め，より多くのユーザからフィードバックを得るための活動に着手していく．

また本研究では，開発したシステムを応用し，特別支援学校教員と協働でデジタル打楽器をデザインする実践を行った．現状では，このような電子楽器/デジタル楽器の利用や本分野は未だ実践の数が少なく，継続のための予算の確保など，問題は山積している．しかし，音楽科の ICT 導入停滞の問題と相まって，普通科，特別支援学校を問わず，今後ますますこのような活動が重要視されると考えられる．

このような，「現場ユーザ」を対象としたデジタル楽器デザインの試みは，今後の電子楽器/デジタル楽器の応用範囲の拡充や，楽器開発者の活動の活発化に向けた大きな成果となるだろう．また，今後このような分野の活性化と一般化を実現するためには，研究および産業両方の立場から，継続的なサポートを行っていくことが重要である．

簡易性について検討しつつ，多様な演奏表現を支援する研究・開発を，電子楽器/デジタル楽器の開発者，研究者，アーティストという学際的な立場から継続していくことで，実践，開発事例を増やし，本研究分野の発展に寄与していくことを目指す．

謝辞

本博士論文を纏めるにあたり，多くの方々からの指導，ご協力を賜りました．

まず，修士課程から暖かく活動を見守って下さいました，指導教官の東京大学大学院 工学系研究科/情報学環 荒川忠一教授に感謝申し上げます．入学以来，研究に関してはもちろんのこと，制作の際も数多くのご助言を頂きました．博士課程より電子楽器/デジタル楽器の研究にフォーカスを絞って研究を進め始めて以降，展示活動に加え，演奏活動を継続的に応援していただき，その結果が様々な成果に結びつきました．深く，お礼を申し上げます．

副指導をお願いしておりました，東京大学大学院 情報学環/情報理工学系研究科 苗村健教授は，研究における様々な事柄がおぼつかない私に対し，常に暖かく，時に厳しく問いかけを続けてくださいました．修士の頃より学会でもお声をかけていただき，本当に多くのアドバイスを賜りました．この場を借りて深くお礼申し上げます．

東京大学大学院 教育学研究科 佐々木正人教授には，修士の頃より多くのアドバイスを賜りました．デジタル楽器研究を，開発の側面からのみ見ていた私に，ユーザの演奏に関する行動分析や，演奏者としての視点を与えて下さり，それ以降研究が大きく展開したと感じております．深くお礼を申し上げます．

東京大学大学院 情報学環 水越伸教授には，修士の頃より博士課程にいたるまで，常に暖かく活動を見守って頂いておりました．修士時代に受けた講義で頂いた指導やコメントは，今でも心に深く刻み込まれており，常に研究を進める上での道標となっております．深くお礼を申し上げます．

東京工科大学 デザイン学部 松村誠一郎准教授には，学部時代から最も身近な立場から，専門的なアドバイスを頂いてまいりました．博士課程では様々な海外の演奏会，展示会，国際会議に応募する際に，度々激励の言葉を頂きました．常に先生の背中を追いながら活動を進める５年間であり，先生のおかげで視点がぶれることなく，研究と開発を続けることができました．大変心強い思いでした．深くお礼を申し上げます．

日本大学芸術学部 音楽学科 情報音楽コース 川上央教授には，私の学部卒業後も様々な機会を通してご指導頂きました．私が学部を卒業する際，大学院での研究に心細い思いをしていたところに，「まわりについていくのではなく，独自の研究を」と激励の言葉をいただき，その言葉に博士研究の最後まで支えられました．深く，お礼申し上げます．

東京大学 飯田誠先生にはミーティングなどで様々な問いかけをして下さり，右も左も分からない自分を見守って頂きました．ミーティングの際には様々な気づきを得ることがで

きました．深く感謝申し上げます．

研究ミーティングなど，多くの時間を割いていただき，ご指導いただいた桜美林大学ビジネスマネジメント学群専任講師 有賀清一先生，東京藝術大学デザイン学部 鈴木太朗准教授，東京大学大学院 情報学環非常勤特任研究員 赤川智洋先生，東京大学大学院 情報学環非常勤講師 小松宏誠先生にも深く感謝を申し上げます．制作の際，皆様には芸術作品としての見せ方，ハードウェア技術，研究におけるデータ整理など，数々の貴重なアドバイスを頂きました．

神奈川県立相模原中央支援学校の田代遊太教諭，菅井陽子教諭を始めとする教員の皆様，生徒の皆様には，デジタル打楽器の協働開発実践の際，多大なるご助言・ご協力を賜りました．この場をお借りして感謝の意を表します．

研究室の皆様には，入学当初からサポートをしていただきました．皆様の助けがなければ研究を進める環境を整えることができませんでした．

特に，先輩である本巣芽美氏（学際情報学府修了生）には，修士の頃より先輩として折にふれて助けていただきました．また氏が博士審査などの大きな山場を越えていく姿を見ることができ，私の目標として非常に大きな存在でした．氏の研究に対する姿勢を尊敬しております．誠にありがとうございました．

後輩である松井克文氏には，国際会議への遠征を皮切りに，制作展など多くの活動をともに進めてきました．様々な活動の場所へつないでくださり，私の活動が多方向へ拡大していったのは氏のお陰です．深く感謝を申し上げたいと思います．

また，同じく後輩である野島佑介氏にはデータ整理の際，一緒に頭を絞って考えてもらい，その御蔭で様々な分析や考察を行うことができました．氏のお力がなければ執筆まで辿り着かなかったのではないかと思います．深く，お礼申し上げます．

修士時代の２年間のほぼ全ての時間を共に過ごした坂田圭史氏（学際情報学府修了生），学部時代より苦楽を共にした，後輩の牟田高太郎氏（学際情報学府修了生）は，両氏の修了後も学外で継続的に語らい続け，両氏との語らいは心の支えとなりました．この場を借りてお礼申し上げます．

東京大学制作展の活動は，修士から博士の終わりまで中心であり続けました．５年間で８回の制作展に関わってまいりました．先輩，同期，後輩メンバーの方々には，本当に感謝しております．お礼申し上げます．

最後に，頑固な自分を支えてくれた皆様，家族に感謝を述べたいと思います．

皆様，誠にありがとうございました．

2015 年 3 月

中西 宣人

引用文献

[1] Rita Aiello（協力: John A. Sloboda, 訳: 大串健吾）, 『音楽の認知心理学』, 誠信書房, pp.115-116, 1998.

[2] 山崎晃男, “音楽による感情のコミュニケーション(2) -未経験者の表出ルールと解釈ルール-”, 情報処理学会 研究報告 Vo.2002-EC-40, pp.115-120, 2002.

[3] 白井雅人, 森公一, 砥綿正之, 泊博雅『メディアアートの教科書』, フィルムアート社, pp. 58-66, 2008.

[4] Alan Licht（訳: 荏開津広, 西原尚訳, 監訳: 木幡和枝）『サウンドアート –音楽の向こう側 耳と目の間』, フィルムアート社, pp. 54-55, 2010.

[5] Curtis Roads（訳・監修: 青柳龍也, 小坂直敏, 平田圭二, 堀内靖雄, 訳: 後藤真孝, 引地孝文, 平野砂峰旅, 松島俊明）『コンピュータ音楽 歴史・テクノロジー・アート』, 東京電機大学出版局, pp. 97-98, p.508, 2001.

[6] 小沼純一『ミニマル・ミュージック その展開と思考（増補新版）』, 青土社, p.294, 2008.

[7] 佐々木敦『テクノイズ・マテリアリズム』, 青土社, p.35, pp.49-50, 2001.

[8] Pierre Boulez（訳: 笠羽映子）『ブーレーズは語る 身振りのエクリチュール』, 青土社, pp.140-145, pp.116-122, 2003.

[9] Pierre Boulez（訳: 笠羽映子）『エクラ/ブーレーズ 響き合う言葉と音楽』, 青土社, pp. 69-74, 2006.

[10] Bart Hopkin, “MUSICAL INSTRUMENT DESIGN Practical Information for Instrument Making”, See Sharp Press, p.137, 1996.

[11] Raymond Murray Schafer（訳: 鳥越けい子, 小川博司, 庄野泰子, 田中直子, 若尾裕）『世界の調律 サウンドスケープとはなにか』, 平凡社, pp.337-340, 1986.

[12] 坂根厳夫『科学と芸術の出会い メディア・アート創世記』, 工作舎, pp.292-293, 2010.

[13] Curt Sachs（訳: 柿木吾郎）『楽器の歴史（The History of Musical Instruments）下巻』, 全音楽譜出版社, pp. 203-204, 1965.

[14] 米本実『楽しい電子楽器自作のススメ』, オーム社, pp. 90-94, 2008.

[15] 大蔵康義『音と音楽の基礎知識』, 国書刊行会, pp.124-125, pp.178-179, p.184, 1999.

[16] 中西宣人, 松村誠一郎, 荒川忠一, “学校音楽教育における電子技術導入の未来形

— オープンソース，DIY，DIWO と新たな音楽コミュニティの可能性”，日本音楽教育学会音楽教育実践ジャーナル vol. 11 no. 2, pp.115-125, 2014.

[17] Nicolas Collins (訳: 船田巧，監訳: 久保田晃弘)『Handmade Electronic Music 手作り電子回路から生まれる音と音楽』，オライリー・ジャパン, pp. 92-94, 2013.

[18] Eduardo Miranda, Marcelo Wanderley, “New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard”, A-R Editions, Inc., p.1, 2006.

[19] Karmen Franinovic, “Sonic Interaction Design”, The MIT Press, p.41, 2013.

[20] Yu Nishibori, Toshio Iwai, “TENORI-ON”, In *Proc. of the 2006 Conference on New Interfaces for Musical Expression Conference（NIME'06）*, pp.172-175, 2006.

[21] Tina Blaine, Tim Perkis, “The Jam-O-Drum Interactive Music System: A Study in Interaction Design” In Proc. of the 2000 ACM conference on Designing Interactive Systems, pp.165-173, 2000.

[22] Bas Van Abel, Lucas Evers, Roel Klaassen, Peter Troxler（監訳: 田中浩也）『オープンデザイン —参加と共創から生まれる「つくりかたの未来」 (Make: Japan Books) 』，オライリー・ジャパン, pp. 69-70, 2013.

[23] Mark Hatch（訳: 金井哲夫）『Maker ムーブメント宣言 草の根からイノベーションを生む 9 つのルール（Make: Japan Books)』，オライリー・ジャパン, pp.12, 2014.

[24] 文化庁メディア芸術祭実行委員会『平成 24 年度[第 16 回]文化庁メディア芸術祭 受賞作品集』，文化庁メディア芸術祭事務局, p.89, 2013.

[25] 山田達也，山本俊一『作れ！音デバイス』，ワークスコーポレーション, p.202, 2013.

[26] 増田聡，谷口文和『音楽未来形 デジタル時代の音楽文化のゆくえ』，洋泉社, p.135, 2005.

[27] 学習研究社『大人の科学マガジン別冊 シンセサイザークロニクル』, Gakken Mook 別冊大人の科学マガジン, 2008.

[28] 坂巻匡彦『基板に書いたメッセージ ハックできるシンセ monotron はなぜ生まれたのか?』，カドカワ・ミニッツブック, 2013.

[29] John Richards, “Getting the Hands Dirty”, *Leonard Music Journal Vol. 18*, pp. 25-31, 2008.

[30] Kazuhiro Jo, Jamie Allen, Ameti Garani, “Chiptune marching band: a public workshop and performance”, In *Proc. of the seventh ACM conference on*

Creativity and cognition, USA, pp.481-482, 2009.

[31] Kazuhiro Jo, Jamie Allen, “Chiptune Marching Band: presented simultaneously in Japanese and English”, In *Proc. of the 2009 ACM SIGGRAPH ASIA*, Courses Article No. 5, 2009.

[32] 藤本慎一郎，金寛，奥野竜平，藤井博之，西田秀治，赤澤堅造, “楽譜表示を備えたPC 援用電子楽器Cymisの評価“，インタラクション2005論文集, pp.73-74, 2005.

[33] Kenzo Akazawa, Toshikazu Kawai, Ryuhei Okuno, Tsutomu Masuko, Hideharu Nishida “Novel Electronic Musical Instrument for Persons with Cerebral Palsy to Play and Enjoy Together”, In *Proc. of the 9th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies （ICDVRAT’12）*, pp.419-422, 2012.

[34] 笠井史人，小島寿子, “電子パーカッションによる在宅片麻痺患者の上肢リハビリテーション”，第12回日本音楽療法学会学術大会要旨集, p.131, 2012.

[35] 村上純子, “脳性麻痺A児の上肢の動きや表現を育む音楽療法～カオシレータを使用した一例～”，第12回日本音楽療法学会学術大会要旨集, p.50, 2012.

[36] the ミュージックセラピー（編）『音楽療法・レッスン・授業のためのセッションネタ帳 職人たちのおくりもの』，音楽之友社, pp.56-57, 2005.

[37] 金箱淳一, “Vibracion Cajon 2.5：視覚と触覚で体感可能な打楽器”，日本デザイン学会 デザイン学研究作品集 Vol.19 No.19, pp.10-15, 2014.

[38] ジュリア・カセム，平井康之，塩瀬隆之，森下静香（編著），水野大二郎，小島清樹，荒井利春，岡崎智美，梅田亜由美，小池禎，田邊友香，木下洋二郎，家成俊勝，桑原あきら（著）『インクルーシブデザイン 社会の問題を解決する参加型デザイン』，学芸出版社, p.46, 2014.

[39] ジュリア・カセム（著），平井康之（監修），ホートン・秋穂（訳）『「インクルーシブデザイン」という発想 排除しないプロセスのデザイン』，フィルムアート社, pp. 117-118, 2014.

[40] 中西宣人，川上央, “音によるコミュニケーション円滑化システム”，日本音響学会春季講演論文集, 3-4-1, 2010.

[41] 中西宣人，鈴木太朗，有賀清一，飯田誠，荒川忠一, “On The Waves: 波紋・水滴を用いたインタラクティブ楽器”，インタラクション2011論文集, pp.831-834, 2011.

[42] 近森一重『新訂 音楽通論』，音楽之友社, p.19-20, 2003.

[43] 西本一志, “心を表現するインタフェース”，システム/制御/情報: システム制御情報

学会誌 Vol.47 No.4, pp.173-178, 2003.

[44] Tina Blaine, Sydney Fels, “Context of Collaborative Musical Experiences”, In *Proc. of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME’03)*, Montreal, Canada, pp.129-134, 2003.

[45] Thomas Hermann, Andy Hunt, John G. Neuhoff, “The Sonification Handbook”, Logos Publishing House, p.100, 2011.

[46] Michael Gurevich, Paul Stapleton, Adnan Marquez Borbon, “Style and Constraint in Electronic Musical Instruments”, In *Proc. of the 2010 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME’10)*, Sydney, Australia, pp.106-111, 2010.

[47] Victor Zappi, Andrew P. McPherson, “Dimensionality and Appropriation in Digital Musical Instrument Design”, In *Proc. of the 2014 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME’14)*, pp.455-460, 2014.

[48] Sidney Fels, Michael Lyons, “Advances in new interfaces for musical expression”, In *Proc. of the 2013 ACM SIGGRAPH Courses Article No. 11*, p.52, 2013.

[49] Ashley Gadd, Sidney Fels, “MetaMuse: Metaphors for Expressive Instruments”, In *Proc. of the 2002 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME’02)*, Dublin, Ireland, May, pp.24-26, 2002.

[50] Diana Deutsch（監訳: 寺西立年，大串健吾，宮崎健一）『音楽の心理学（上）』，西村書店, pp.193-197, 1987.

[51] 後藤真孝，根山亮, “OpenRemoteGIG - 遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム”，情報処理学会論文誌 Vol.43 No.2, pp.299-309, 2002.

[52] 長嶋洋一, “GDS （global delayed session） Music --- ネットワーク遅延をともなう音楽セッション・モデル”，情報処理学会 研究報告 Vol.2002- SIGMUS-63, pp.61-66, 2002.

[53] 一瀬護，村上優樹，安部裕造，森口徳崇，安井希子，三浦雅展, “アドホック無線通信上で動作する合奏システムの構築”，日本音響学会誌 67 巻, pp.221-232, 2011.

[54] 石野力，米澤朋子，中祐介，吉田侑矢, “ステップシーケンサを用いたコミュニケーションセッションシステムの提案”，情報処理学会 研究報告 Vol.2013-SIGMUS-100（34）, pp.1-6, 2013.

[55] Yutaro Maruyama, Yoshinari Takegawa, Tsutomu Terada, Masahiko

Tsukamoto, “UnitInstrument: Easy Configurable Musical Instruments”, In *Proc. of the 2010 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’10）*, Sydney, Australia, pp.7-12, 2010.

[56] Nicolas Rasamimanana, Frederic Bevilacqua, Norbert Schnell, Fabrice Guedy, Emmanuel Flety, Come Maestracci, Bruno Zamborlin, Jean-Louis Frechin, Uros Petrevski, “Modular Musical Objects Towards Embodied Control Of Digital Music”, In *Proc. of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction（TEI’11）*, pp.9-12, 2011.

[57] Norbert Schnell, Frederic Bevilacqua, Nicolas Rasamimana, Julien Blois, Fabrice Guedy, Emmanuel Flety, “Playing the "MO" – Gestural Control and Re-Embodiment of Recorded Sound and Music”, In *Proc. of the 2011Conference on New Interfaces for Musical Expression（NIME’11）*, Oslo, Norway, pp.535-536, 2011.

[58] Ayah Bdeir, “Electronics as material: littleBits”, In *Proc. of the Third International Conference on Tangible and Embedded Interaction（TEI’09）*, pp.397-400 2009.

[59] Chester Udell, James Paul Sain, “eMersion | Sensor-controlled Electronic Music Modules & Digital Data Workstation”, In *Proc. of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression（NIME’14）*, pp.130-133, 2014.

[60] Gil Weinberg, Roberto, Kevin Jennings, “The Beatbug network: a rhythmic system for interdependent group collaboration”, In *Proc. of the 2002 conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’02）*, pp.1-6, 2002.

[61] Gil Weinberg, Scott Driscoll, “iltur – Connecting Novices and Experts Through Collaborative Improvisation”, In *Proc. of the 2005 Conference on New Instruments for Musical Expression （NIME’05）*, pp.17-22, 2005.

[62] Tod Machover, “Shaping Minds Musically”, *BT Technology Journal Volume 22, Issue 4*, pp.171-179, 2004.

[63] 橋田朋子，苗村健，佐藤隆，“演奏者のテンポ感をいかした音楽表現支援システム”，インタラクション 2007 論文集, paper0134, 2007.

[64] 橋田朋子，苗村健，佐藤隆夫，“技法習得をともなう創意発揮 ： 即興的音楽表現支援の試み”，芸術科学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.75-84, 2008.

[65] 馬場哲晃，牛尼剛聡，富松潔，“Freqtric Drums：他人と触れ合う電子楽器”，情報処理学会誌 Vol.48, pp.1240-1251, 2007.

[66] 内山俊郎，鎌谷崇広，京谷実穂，鈴木彩乃，鈴木健嗣，“社会的音楽インタラクションのためのインタフェース開発”，デザイン学研究作品集, Vol.16 No.16, pp. 30-33, 2011.

[67] Yoshihito Nakanishi, Chuichi Arakawa, “B.O.M.B. ―Beat Of Magic Box―: Interactive Session Device Using Wireless Communication System”, In *Proc. of NICOGRAPH International 2012*, Indonesia, pp.200-201, 2012.

[68] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “B.O.M.B. – Beat Of Magic Box -: Stand-Alone Synthesizer Using Wireless Synchronization System For Musical Session and Performance”, In *Proc. of the 2014 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’14）*, pp.80-81, London, UK, 2014.

[69] 尾上直之，澤田秀之，橋本周司，“握力インタフェースを用いた仮想楽器 - GraspMIDI -の試作”，インタラクション’98 論文集, pp.27-28, 1998.

[70] Ryousuke Hiramatsu, “PUYO-CON”, In *Proc. of the 2009 ACM SIGGRAPH ASIA Art Gallery & Emerging Technologies Adaptation archive*, p.81, 2009.

[71] 石井裕，“タンジブル・ビット ―情報と物理世界を融合する，新しいユーザ・インタフェース・デザイン― ”，情報処理学会 情報処理 43 巻 3 号, pp.222-229, 2002.

[72] Henry Newton-Dunn, Hiroaki Nakano, James Gibson, “Block jam”, In *Proc. of the 2002 ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, pp. 67-67, 2002.

[73] Henry Newton-Dunn, Hiroaki Nakano, James Gibson, “Block Jam: A Tangible Interface for Interactive Music”, In *Proc. of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’03）*, Montreal, Canada, pp.170-177, 2003.

[74] Sergi Jordà, “The Reactable: Tangible and Tabletop Music Performance”, In *Proc. of the 2010 Conference on Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems（CHI’10）, Media Showcase,* pp.2989-2994, 2010.

[75] Sergi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, Martin Kaltenbrunne, “The reacTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces”, In *Proc. of the First International Conference on Tangible and Embedded Interaction （TEI’08）*, pp.139-146, 2007.

[76] Bert Schiettecatte, Jean Vanderdonckt, “AudioCubes: a Distributed Cube Tangible Interface based on Interaction Range for Sound Design”, In *Proc. of the Second International Conference on Tangible and Embedded Interaction（TEI’08）*, pp.3-10, 2008.

[77] Golan Levin, Zachary Lieberman, “Sounds from Shapes: Audiovisual Performance with Hand Silhouette Contours in The Manual Input Sessions”, In *Proc. of the 2005 Conference on New Interfaces for Musical Expression（NIME’05）*, pp.1-6, 2005.

[78] Newton Lee, “Digital Da Vinci Computers in Music”, Springer, pp.194-202, 2014.

[79] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “POWDER BOX: An Interactive Device with Sensor Based Replaceable Interface for Musical Session”, In *Proc. of the 2013 conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’13）*, Korea, pp. 373-376, 2013.

[80] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “POWDER BOX: An Interactive Synthesizer with Sensor Based Replaceable Interface”, In *Proc. of the 2014 Virtual Reality International Conference（VRIC’14）*, Article No. 35, 2014.

[81] 小谷賢太郎, “人間特性評価論文をどう書くべきか”, ヒューマンインタフェース学会誌 Vol.13 No.3, pp.25-28, 2011.

[82] Roberto Pugliese, Koray Tahiroglu, “A qualitative evaluation of augmented human-human interaction in mobile group improvisation”, In *Proc. of the 2012 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’12）*, pp.27-30, 2012.

[83] Evan Morgan, Hatice Gunes, Nick Bryan-Kinns, “Instrumenting the Interaction: Affective and Psychophysiological Features of Live Collaborative Musical Improvisation”, *In Proc. of the 2014 International Conference on New Interfaces for Musical Expression（NIME’14）*, pp.23-28, 2014.

[84] 古浦一郎『心理学的考察「いきが合う」』, 北大路書房, 1990.

[85] 山本知仁, 小林洋平, 三宅美博, “共創インタフェースとアンサンブル”, 情報処理学会 研究報告 Vol.2002-ICS-130（10）, pp.55-60, 2002.

[86] 宮宇地秀和, 福田忠彦, 諏訪正樹, “合奏という協調活動に関する研究—熟達者ペアの二重奏のケーススタディを例として”, 情報処理学会 研究報告

Vol.2005-MUS-59（3）, pp.13-18, 2005.

[87] 仲谷美江，吉良文郷，西田正吾, “リズムを介した感性協調支援実験”，情報処理学会研究報告 Vol.2003-CVIM-140（21）, pp.155-162, 2003.

[88] 松村誠一郎『リズムに着目したサウンド・インスタレーションの研究』，東京大学大学院 学際情報学府 博士論文, pp.116-155, 2006.

[89] Mark T. Marshall, Max Hartshorn, Marcelo M. Wanderley, Daniel J. Levitin, “aSensor Choice for Parameter Modulations in Digital Musical Instruments: Empirical Evidence from Pitch Modulation”, *Journal of New Music Research Vol.38 No.3*, pp.241-253, 2009.

[90] Ingrid Monson. “Saying Something: Jazz Improvisation and Interaction.” University Of Chicago Press, 1997.

[91] Colin Lee. “A Method of Analyzing Improvisations in Music Therapy.” *Journal of Music Therapy, XXXVII （2）*, pp.147-167, 2000.

[92] 土野研治『障害児の音楽療法 声・身体・コミュニケーション』，春秋社, p.100, p.205, 2014.

[93] 中山晶世，二俣泉，竹内康二 『音楽療法士のための ABA 入門 発達障害児への応用行動分析学的アプローチ』，春秋社, 2006.

[94] Jaime Oliver, Mathew Jenkins, “THE SILENT DRUM CONTROLLER: A NEW PERCUSSIVE GESTURAL INTERFACE”, In *Proc. Of the 2008 International Computer Music Conference（ICMC’08）*, pp.1-4, 2008.

[95] Janis Sokolovskis, Andrew P. McPherson, “Optical Measurement of Acoustic Drum Strike Locations”, In *Proc. of the 2014 International Conference on New Interfaces for Musical Expression（NIME’14）*, pp.70-73, 2014.

脚注・参考ウェブサイト（最終参照日: 2014/3/31）

[1] Kraftwerk, http://www.kraftwerk.com

[2] IRCAM（Institut de Recherche et Coordination Acoustique / Musique）, http://www.ircam.fr

[3] Max/MSP, https://cycling74.com/products/max/

[4] Pure Data, http://puredata.info

[5] Csound, http://www.csounds.com, http://csound.github.io

[6] SuperCollider, http://supercollider.sourceforge.net

[7] STEIM（Studio for Electro-Instrumental Music）, http://steim.org

[8] CCRMA（Stanford University Center for Computer Research in Music and Acoustics）, https://ccrma.stanford.edu

[9] Clacklebox, http://www.crackle.org/CrackleBox.htm

[10] The Hands, http://www.crackle.org/The%20Hands%201984.htm

[11] NIME（New Interfaces for Musical Expression）, http://www.nime.org

[12] ICMC（International Computer Music Conference）, http://www.computermusic.org/

[13] ICAD（International Conference on Auditory Display）, http://www.icad.org

[14] SMC（Sound and Music Computing Conference）, http://smcnetwork.org

[15] Georgia Tech's Margaret Guthman Musical Instrument Competition, http://guthman.gatech.edu

[16] Miburi, http://www.yamaha.co.jp/design/products/1990/miburi/

[17] TENORI-ON, http://www.yamaha.co.jp/design/tenori-on/

[20] 電子楽器ウダー, http://uda.la

[21] オタマトーン, http://www.maywadenki.com/otamatone/lineup/

[22] アナログシンセサイザ SX-150, http://otonanokagaku.net/magazine/sx150/

[23] monotron, http://www.korg.co.jp/Product/Dance/monotron/

[24] Analogue Synth Series: Schematic Archive, http://www.korg.co.jp/Product/Dance/schematic_archive/

[18] Maker Faire, http://makerfaire.com

[19] dorkbot, http://www.dorkbot.org

[26] 音がなるブレッドボードワークショップ,

http://www.iamas.ac.jp/rcic_branch/2012/07/post_126.html

[25] littleBits Synth Kit, http://littlebits.cc/kits/synth-kit

[27] Arduino, http://www.arduino.cc

[28] Raspberry Pi, http://www.raspberrypi.org

[29] BOSS RC-1 Loop Station, http://www.roland.co.jp/products/jp/RC-1/

[30] mogees, http://mogees.co.uk

[31] Molecule Synth, http://www.moleculesynth.com

[32] Ototo, http://www.ototo.fm/products

[33] eMersion, http://www.unleashemotion.com/news/

[34] Orb sequencer（Future Retro）, https://www.future-retro.com/orboverview.html

[35] XBee RF モジュール,
http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/index.html

[36] Mozzi（Sound Synthesis Library for Arduino）, http://sensorium.github.io/Mozzi/

[37] NICOGRAPH International 2012, http://art-science.org/nicograph/nicoint2012/

[38] エレキジャック・フォーラム in Akihabara 2012, http://it.cqpub.co.jp/tse/201204EF/

[39] Asia Digital Art Award 2011, http://adaa.jp/2011/j/01_news.html

[40] New Interfaces for Musical Expression 2014, http://www.nime2014.org

[41] Todai to Texas, http://todaitotexas.com

[42] South By Southwest, http://sxsw.com

[43] 千代田芸術祭 2013 音部門 “LIFE LIKE LIVE”,
http://fes.3331.jp/2013/entry/index5.html

[44] Dance and Media Japan MAMUSKA Tokyo 16,
http://dance-media.com/mamuska/tokyo16.html

[45] New Interfaces for Musical Expression 2013, http://aimlab.kaist.ac.kr/nime2013/

[46] GUGEN 2013, http://gugen.jp/2013/

[47] Laval Virtual, http://www.laval-virtual.org/en/

[48] 2014 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition,
http://guthman.gatech.edu/2014-semi-finalists

[49] Medea Electronique, http://www.medeaelectronique.com

[50] 千代田芸術祭 2014, http://fes.3331.jp

[51] EarZoom Sonic Arts Festival 2014, http://www.irzu.org/festival/festival.html

業績一覧

[論文誌]

[1] 中西宣人, 田代遊太, 菅井陽子, “特別支援学校教員と楽器開発者の協働によるアンサンブル指導改善の試み ― デジタル打楽器の協働開発と授業実践の報告”, 日本音楽教育学会 音楽教育実践ジャーナル vol. 12 no.2, （採録決定）, 2015. （査読あり）

[2] 中西宣人, 松村誠一郎, 荒川忠一, “学校音楽教育における電子技術導入の未来形 ― オープンソース, DIY, DIWO と新たな音楽コミュニティの可能性”, 日本音楽教育学会 音楽教育実践ジャーナル vol. 11 no.2, pp.115-125, 2014.
（日本音楽教育学会 依頼論文）

[国際会議]

[1] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “B.O.M.B. – Beat Of Magic Box -: Stand-Alone Synthesizer Using Wireless Synchronization System For Musical Session and Performance,” *In Proc. of 2014 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’14）*, pp.80-81, London, UK, 2014. （査読あり）

[2] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “POWDER BOX: An Interactive Synthesizer with Sensor Based Replaceable Interface,” *In Proc. of the 2014 Virtual Reality International Conference （VRIC’14, ReVolution VRIC Recommended）*, Article No. 35, 2014.
（審査あり）

[3] Yoshihito Nakanishi, Seiichiro Matsumura, Chuichi Arakawa, “POWDER BOX: An Interactive Device with Sensor Based Replaceable Interface For Musical Session,” *In Proc. of 2013 Conference on New Interfaces for Musical Expression （NIME’13）*, pp.373-376, Daejeon, Korea, 2013.
（査読あり）

[4] Yoshihito Nakanishi, Chuichi Arakawa, “B.O.M.B. -Beat Of Magic Box- Interactive Session Device Using Wireless Communication System,” I*n Proc. of 2013 Conference on NICOGRAPH International 2012*, pp.200-201, Bali, Indonesia, 2012. （査読あり）

[国内学会，シンポジウム]

[1] 深見友紀子（コーディネーター），井手口彰典，日高良祐，中西宣人（パネリスト），秀徳能尚 （指定討論者），“音楽教育のソーシャライゼーションを目指して –社会と教室との断絶をどう解消するか–“，日本音楽教育学会第 45 回大会 共同企画 V パネルディスカッション, p.112, 2014. （査読なし）

[2] 中西宣人，三戸勇気，川上央，“環境音に音楽的に調和するサイン音再生システムの検討”，日本音響学会秋季講演論文集, 3-2-3, 2013. （査読なし）

[3] 三戸勇気，中西宣人，川上央，“音楽的に調和するサイン音デザインを目的とした環境音のピッチ知覚”，日本音響学会春季講演論文集, 3-3-6, 2013. （査読なし）

[4] 中西宣人，鈴木太朗，有賀清一，飯田誠，荒川忠一，“パート選択方式協調演奏デバイスの検討”，第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会講演論文集, pp.287-290, 2011. （査読なし）

[5] 中西宣人，鈴木太朗，有賀清一，飯田誠，荒川忠一，“On The Waves: 波紋・水滴を用いたインタラクティブ楽器”，第 21 回 EC 研究会研究報告, 21-☆（震災にともなう下記 [6] 発表中止を理由としたリバイバル発表）, 2011. （査読なし）

[6] 中西宣人，鈴木太朗，有賀清一，飯田誠，荒川忠一，“On The Waves: 波紋・水滴を用いたインタラクティブ楽器”，インタラクション 2011 論文集, pp.831-834, 2011. （査読あり）

[7] 中西宣人，川上央，“音によるコミュニケーション円滑化システム”，日本音響学会春季講演論文集, 3-4-1, 2010. （査読なし）

[その他]

[1] 深見友紀子，井手口彰典，日高良祐，中西宣人，秀徳能尚，“共同企画 V パネルディスカッション: 音楽教育のソーシャライゼーションを目指してー社会と教室との断絶をどう解消するかー”，日本音楽教育学会 音楽教育学 第 44 巻第 2 号, pp.75-79, 2014. （パネルディスカッション報告書）

[受賞，開発支援]

[1] 2014.11 Asia Digital Art Award 2014 エンターテインメント（産業応用）部門，優秀賞 受賞，作品:「POWDER BOX」

[2] 2014.09 “10 人の SAMURAI”，プロジェクト選出，作品:「POWDER BOX」（開発プロジェクトに対する支援，フォースバレーコンシェルジュ社より）

[3] 2014.09 千代田芸術祭 （Chiyoda Arts Festival） 2014 “LIFE LIKE LIVE” 岸野雄一賞 受賞（美術館 Arts Chiyoda 3331 における単独公演，国内外アーティストインレジデンスへの推薦），演奏作品:「POWDER BOX」

[4] 2014.04 Laval Virtual 2014 ReVolution, Residence（Laval Virtual からの製品化支援と長期レジデンス権を獲得） + Welcome（ReVolution 展示採択） + VRIC Recommended（併催国際会議 VRIC における推薦口頭発表および ACM Library 論文掲載），作品:「POWDER BOX」

[5] 2014.02 2014 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition，セミファイナリスト，作品:「POWDER BOX」

[6] 2013.12 Todai To Texas Demo Day 2nd Prize, SXSW 2014 Trade Show 展示権を獲得，作品「B.O.M.B.」開発プロジェクトに対して

[7] 2013.04 2013 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition，セミファイナリスト，作品:「B.O.M.B.」

[8] 2012.02 Asia Digital Art Award 2011 インタラクティブアート部門，入賞，作品:「B.O.M.B.」

[9] 2011.12 電子工作コンテスト 2011 優秀賞 受賞（大賞ノミネート作品選出），作品:「B.O.M.B.」

[10] 2010.05 日本音響学会春季研究発表会 第 1 回 学生優秀発表賞 受賞

[演奏会および展示会（審査あり）]

I.　演奏会

[1]　2014.10　Institute for Sonic Arts Research （IRZU） EarZoom Sonic Arts Festival 2014 「POWDER BOX」 （Slovenska kinoteka, Ljubljana, Slovenia）

[2]　2014.09　千代田芸術祭 2014 音部門 （LIFE LIKE LIVE） 「POWDER BOX」 （Arts Chiyoda 3331，東京都）

[3]　2014.04　Medea Electronique ‘Electric Nights’ 「POWDER BOX」 （Vyrsodepsio, Athens, Greece）

[4]　2014.02　2014 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition 「POWDER BOX」 （Georgia Tech, Atlanta, USA）

[5]　2013.10　千代田芸術祭 2013 音部門 （LIFE LIKE LIVE） 「B.O.M.B.」 （Arts Chiyoda 3331，東京都）

[6]　2013.08　YCAM DOMMUNE 「B.O.M.B.」 （YCAM DOMMUNE，山口県）

[7]　2013.08　Yamaguchi Mini Maker Faire 「B.O.M.B.」 （YCAM DOMMUNE，山口県）

[8]　2013.06　MAMUSKA Tokyo 16 「B.O.M.B.」 （CS-LAB，東京造形大学，東京都）

[9]　2013.04　2013 Georgia Tech’s Margaret Guthman Musical Instrument Competition 「B.O.M.B.」 （GeorgiaTech, Atlanta, USA）

[10]　2012.12　MakerFaireTokyo2012 “DIY MUSIC” 「B.O.M.B.」 （日本科学未来館，東京都）

II.　展示会

[1]　2015.02　Asia Digital Art Award 2014 「POWDER BOX」 （福岡アジア美術館，福岡県）

[2]　2014.07　New Interfaces for Musical Expression 2014 「B.O.M.B.」 （Goldsmiths College, London, UK）

[3]　2014.04　Laval Virtual 2014 ReVolution 「POWDER BOX」 （Laval, France）

[4]　2014.03　SXSW 2014 Trade Show 「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」 （Austin, Texas, USA）

[5]　2013.11　Gugen2013 優秀作品展 「POWDER BOX」 （デザインフェスタギャラリー，東京都）

[6]　2013.11　Maker Faire Tokyo 2013 「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」

（日本科学未来館，東京都）

[7] 2013.08 Yamaguchi Mini Maker Faire 「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」
（YCAM，山口県）

[8] 2013.05 New Interfaces for Musical Expression 2013 「POWDER BOX」
（KAIST, Daejeon, Korea）

[9] 2012.12 Maker Faire Tokyo 2012 「B.O.M.B.」 ，「POWDER BOX」
（日本科学未来館，東京都）

[10] 2012.07 NICOGRAPH International 2012 「B.O.M.B.」 （Bali, Indonesia）

[11] 2012.04 エレキジャック・フォーラム 2012 「B.O.M.B.」
（UDX 秋葉原，東京都）

[12] 2012.03 Asia Digital Art Award 2011 「B.O.M.B.」
（福岡アジア美術館，福岡県）

[13] 2011.12 電子工作コンテスト 2011 「B.O.M.B.」
（Arts Chiyoda 3331，東京都）

[演奏会および展示会（審査なし）]

I. 演奏会

[1] 2014.10 TIME AND NARRATIVE Vol.0 「POWDER BOX」
（渋谷 LUSH，東京都）

[2] 2014.08 自作電子楽器発表イベント oto asobi - オトアソビ – Vol.1
「POWDER BOX」（日比谷図書館 スタジオプラス，東京都）

[3] 2014.01 教室#7 「B.O.M.B.」 ，「POWDER BOX」
（西麻布 Bullet’s，東京都）

[4] 2013.07 iiiExhibition Extra 2013, ALE03 「B.O.M.B.」
（東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館，東京都）

[5] 2013.03 “キッズ・サタディ&あらえいナイト”公演 「Infernal Machine」
（両国門天ホール，東京都）

[6] 2012.07 iiiExhibition Extra 2012 「B.O.M.B.」
（東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館，東京都）

[7] 2012.07 教室#3 「B.O.M.B.」 （西麻布 Bullet’s，東京都）

[8] 2011.07 “HARMONICES MUNDI”公演 ”光の層（Layer of Lights）” 再演
（ヤマハ銀座スタジオ，東京都）

[9] 2011.01 “映像と音楽”ニンフェアール第 7 回公演 ～笙とピアノ・映像の融合～

作曲家今堀拓也氏作品 ”光の層（Layer of Lights)” の映像装置設計・実演
（Sonorium，東京都）

II.　展示会

[1]　2015.03　SENSORS IGNITION 2015 「POWDER BOX」
（虎ノ門ヒルズフォーラム，東京都）

[2]　2015.02　自作電子楽器発表イベント oto asobi - オトアソビ- Vol.2
「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」
（東京大学本郷キャンパス 福武ホールラーニングシアター，東京都）

[3]　2014.11　iiiExhibition 16 「POWDER BOX」
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[4]　2014.07　ALE04 （Arakawa Lab. Exhibition） 「Open Mesh Pad」，
「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」，「Infernal Machine」
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[5]　2013.12　iiiExhibition 15 「POWDER BOX」
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[6]　2013.07　ALE03 「POWDER BOX」，「B.O.M.B.」 ，「Infernal Machine」
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[7]　2013.07　iiiExhibition Extra 2013 「POWDER BOX」
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[8]　2013.03　Design & Emotion Symposium 2013 「POWDER BOX」
（Tokyo Design Hub，東京都）

[9]　2013.01　TokyoMaxUsersGroup ハッピーチャネル 「POWDER BOX」
（六本木 Super Deluxe，東京都）

[10]　2012.09　TokyoMaxUsersGroup "Robert Henke + Tarik Barri Talk & Live Sessions" 「B.O.M.B.」 （六本木 Super Deluxe，東京都）

[11]　2012.07　電子工作コンテスト 2012 プレイベント 「B.O.M.B.」
（NOMAD NEW'S BASE，東京都）

[12]　2011.12　iiiExhibition13 “B.O.M.B. ver.2”
（東京大学本郷キャンパス 工学部２号館，東京都）

[13]　2011.09　第 16 回バーチャルリアリティ学会大会 「B.O.M.B.」
（はこだて未来大学，東京都）

[14]　2011.07　ALE 01 （Arakawa Lab. Exhibition） 「B.O.M.B.」

（東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館，東京都）

[15] 2010.12 iiiExhibition 12 「On The Waves」
（東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館，東京都）

[16] 2010.06 iiiExhibitionExtra 2010 「Faded Circle」
（東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館，東京都）

[17] 2009.12 国立障害者リハビリテーションセンター「Tri=ALL」
（国立障害者リハビリテーションセンター，埼玉県）

[18] 2009.09 “あらうんど 80 年代”公演 「Aware」（門仲天井ホール，東京都）

[講演，ワークショップ]

[1] 2015.02 自作電子楽器発表イベント oto asobi - オトアソビ- Vol.2（企画，運営）

[2] 2014.10 IRZU EarZoom Sonic Arts Festival 2014（作品プレゼンテーション）

[3] 2014.08 自作電子楽器発表イベント oto asobi - オトアソビ- Vol.1（企画，運営）

[4] 2014.02 2014 Margaret Guthman Musical Instrument Competition
（作品プレゼンテーション）

[5] 2014.01 フィジカルコンピューティング入門 ハンズオンセミナー（講師）

[6] 2014.01 Pure Data Japan 2nd Session（作品プレゼンテーション）

[7] 2013.12 Todai To Texas Demo Day 2013（作品プレゼンテーション）

[8] 2013.06 メディア芸術表現基礎ワークショップ ex-Workshop01
（作品プレゼンテーション）

[9] 2013.04 2013 Margaret Guthman Musical Instrument Competition
（作品プレゼンテーション）

[10] 2013.02 Pure Data Synth Workshop（講師）

[11] 2013.01 日本大学藝術学部 VEP 研究報告会（作品プレゼンテーション）

[12] 2012.06 武蔵野美術大学（作品プレゼンテーション）

[13] 2012.07 電子工作コンテスト 2012 プレイベント（作品プレゼンテーション）

[取材，報道など]

I.　書籍，雑誌

[1]　2015.02　『Asia Digital Art Award 2014 Exhibition Catalog』
「POWDER BOX」掲載

[2]　2012.01　東京大学工学部広報誌『Ttime! vol.46 2012 年 2 月号』
「B.O.M.B.」掲載

[3]　2011.02　『Asia Digital Art Award 2011 Exhibition Catalog』
「B.O.M.B.」掲載

[4]　2010.08　宣伝会議『月刊ブレーン AUGUST 2010 VOL.601』
”次世代クリエイターの胎動 教育の現場から VOL.46″「Faded Circle」掲載

II.　ウェブサイト

[1]　2015.03　SENSORS – 「音楽の未来がここにあった！？ 旧くて新しい音の創造的体験」

[2]　2014.10　THE HUFFINGTON POST – 「道をひとつに決めつける必要はない」自作の電子楽器で世界に打って出る中西宣人は，何を目指す？ （インタビュー）

[3]　2014.10　CAREER HACK – SXSW で展示された自作楽器がヤバイ！海外の音楽フェスでも注目される中西宣人って？ （インタビュー）

[4]　2014.08　CAREER HACK – 楽しすぎる「自作電子楽器」の世界！『オトアソビ』イベントレポート ，「POWDER BOX」掲載

[5]　2014.04　Côté Laval – Laval Virtual: robots humains et lévitation!,
「POWDER BOX」掲載

[6]　2014.04　Côté Laval – Laval Virtual: les innovations à la portée des curieux,
「POWDER BOX」掲載

[7]　2014.03　WEBRONZA – 東大発ものづくりベンチャーが躍進！
米国のベンチャーの祭典で大注目 ，「POWDER BOX」および「B.O.M.B.」掲載

[8]　2014.03　KAY-YOU.net – テクノロジーの祭典「SXSW interactive」
現地にいってきた！―ここがスゴイよ, SXSW―, 「POWDER BOX」掲載

III.　テレビ放送

[1]　2015.03　日本テレビ『SENSORS』, 「POWDER BOX」
（作品紹介, 28/03/2015 放送）

[2]　2011.12　Tokyo Cable Network『たぼ☆さと Go!』, 「B.O.M.B. Ver.2」

（作品紹介, 06/12/2011 放送）

[3] 2010.06 テレビ東京『NewsFine』”倉野のコレ見テ！”, 「Faded Circle」
（作品紹介, 10/06/2010 放送）

[音響ソフトウェア開発，サウンドデザイン]

[1] 2014.11 AgIC「AgIC Print - Printing circuit boards with home printers」, Kickstarter 公式ムービー，サウンドデザイン

[2] 2014.10 neurowear 「neurowear "mononome" concept movie
（モノのキモチが見える EYEoT "モノノメ")」ムービー，サウンドデザイン

[3] 2014.02 AgIC「Erasable Circuit Marker: Draw and Edit Circuits Smoothly」Kickstarter 公式ムービー，サウンドデザイン

[4] 2013.12 武蔵野美術大学 助手展 2013 渡辺真太郎氏，中野希大氏作品
「Drive Recorder」，サウンドデザイン，ソフトウェア開発

[5] 2012.05 エムアイセブンジャパン Max6 日本語バージョンリリース記念，
サンプルプログラム公式配布

[6] 2011.11 Experience Journey Lab. コンセプトムービー，サウンドデザイン