



# プロトタイピングが容易な絵楽器システムの構築

竹川, 佳成  
福司, 謙一郎  
Machover, Tod  
寺田, 努  
塚本, 昌彦

---

**(Citation)**

ヒューマンインタフェース学会論文誌, 14(1-4):367-374

**(Issue Date)**

2012

**(Resource Type)**

journal article

**(Version)**

Version of Record

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002132>



# プロトタイピングが容易な絵楽器システムの構築

竹川 佳成\*<sup>1</sup> 福司 謙一郎\*<sup>2</sup> Machover Tod\*<sup>3</sup> 寺田 努\*<sup>4</sup> 塚本 昌彦\*<sup>5</sup>

Construction of a System for Easy Prototyping of Painted Musical Instruments

Yoshinari Takegawa\*<sup>1</sup>, Kenichiro Fukushi\*<sup>2</sup>, Machover Tod\*<sup>3</sup>, Tsutomu Terada\*<sup>4</sup> and Masahiko Tsukamoto\*<sup>5</sup>

**Abstract** – Recently there have been many works of research and products which make use of electronic and information technology to equip a piece of paper with interactive functions. Examples include picture books which output animal noises, and the use of electric circuits drawn on paper, in conductive ink, to facilitate the output of light and sound. However, these technologies do not have a function that enables customization of the output that is linked to an input interface. The instrument's sound is composed of various kinds of tone and pitch and the effect of a single note is different from that of chords and melody. When users are designing a painted musical instrument they find out problems with the instrument and then discuss and test the design using the customize function, which selects and outputs the sound of the instrument. Therefore, the goal of our study is to construct a system for easy prototyping of painted musical instruments. By drawing shapes on the paper with conductive ink users create input interfaces to which they can then assign different sounds flexibly and intuitively.

**Keywords** : 楽器, プロトタイピング, 導電性インク, マッピング

## 1. はじめに

近年、動物の鳴き声や乗り物の音が出る図鑑<sup>[1]</sup>や、紙の上に導電性インクで電気回路を描くことで音や光を提示する作品<sup>[2],[3]</sup>といったように電気電子情報技術を用いて紙にインタラクティブな機能を搭載する試みが盛んである。絵に付加機能を搭載することで、体験・解説・状況・空想上の世界などをより直観的に豊かな表現力をもって表せるが、紙に搭載された入力インタフェースと、それを操作したときの反応は決まっており、ユーザはカスタマイズできなかった。

紙の上に描かれた楽器からインタラクティブに音が出る楽器(以降、絵楽器と呼ぶ)は、紙の上に描くという特性上、これまでのアコースティック楽器や電子楽器と比べて物理的な自由度が高く、図1に示すように、巨大なピアノや、ネコ・カエル・鳥といったキャラクターと楽器と一緒に描かれた絵楽器といった既存楽器を模した絵楽器、図2に紙上に描かれたピアノや葉を触ると音を出したり、果物を触ると音高や音色が

変わるような新規デザイン楽器などが考えられる。

絵楽器の設計段階においては、絵楽器の外観のデザインや、演奏性(楽器の持ちやすさや携帯性などを含む楽器の演奏のしやすさ)、その出力音は何度も試行錯誤される。特に楽器音はさまざまな音色や音高が存在し、複数音の同時発音や発音順番によって印象が異なるため、描画や言葉だけで楽器音を的確にイメージすることは困難である。したがって、既存の楽器だけでなく、新規デザインの楽器も対象とする絵楽器の設計段階において、外観のデザインや演奏性を検討しながら、紙上に描かれた楽器から実際に楽器音を出し、その出力音を柔軟に変更できれば、深い議論や問題点の発見につながるといえる。これに対し、ボタン・スライダー・センサ情報を容易に取得できる汎用のセンサボードを備えるフィジカル・コンピューティング<sup>[4]</sup>用デバイスは、これを実現する有用なツールである。また、DOEPFER社のOEM KIT SERIES<sup>[5]</sup>は汎用的なMIDIコントローラで、各種ボタンやセンサの入力に対しMIDIメッセージを生成し出力できる。しかし、これらはラフ画に柔軟に対応するためにさまざまなサイズのボタンやセンサを用意する必要があった。特に、初期の設計段階では、紙上に描かれた楽器の入力インタフェース(以降、スイッチと呼ぶ)の形状や数が頻繁に変わるため、このような変更に素早く対応することは困難である。

そこで本研究では、プロトタイピングが容易な絵楽器システムの設計と実装を目的とする。

\*1: 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

\*2: 東京工業大学大学院総合理工学研究科

\*3: MIT Media Lab

\*4: 神戸大学大学院 工学研究科, 科学技術振興機構さきかけ

\*5: 神戸大学大学院 工学研究科

\*1: Faculty of Systems Information Science, Future University Hakodate

\*2: Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

\*3: MIT Media Lab

\*4: Graduate school of Engineering, Kobe University / PRESTO, Japan Science and Technology Agency

\*5: Graduate school of Engineering, Kobe University



図1 絵楽器の例

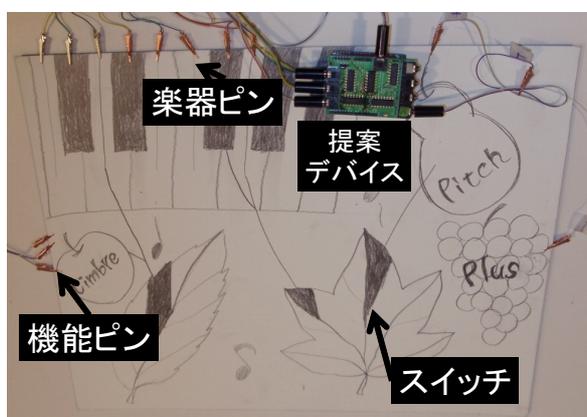


図2 提案システムの概観

提案する絵楽器システムを活用することで、「楽器音とスイッチのマッピング」や「絵楽器の外観や演奏性」などを検討しながら紙上で実働する絵楽器のプロトタイプを手軽に試作できると同時に、作り込むことで完成版の絵楽器を制作できる。

## 2. 設計

本研究では、紙の上に描かれた楽器を指で触れると音が鳴るシステムを構築する。絵楽器の設計のためにラフ画を描いている段階において、実際に音を出しイメージを具体化したり、楽器の持ちやすさなどを検討するために紙の一部を折ったり切ったり曲げたりすることで絵楽器の外観や演奏性を検討することで、絵楽器の設計を深化させることが目的である。利用シーンとして、例えば、セミプロや学生の作品制作などで1人あるいは複数人で考えながら楽器の外観やスイッチの形状などを紙上でデザインしている状況を想定している。また、多種多様な音高や音色があることや、その違いを理解しており、各スイッチから出力される音にこだわりをもっており、ピアノやギターといった楽器の弾き方、これらの楽器に割り当てられている音

高の規則を理解しているユーザを対象とする。そのために、システム設計における要件として下記の4点をあげる。

(i) 多様性：さまざまな形状のスイッチを作れること  
絵楽器では、通常の楽器のように直線的なスイッチだけでなく、絵ならではの芸術的な曲線をもつ形状のスイッチなども考えられ、ラフ画ではさまざまな形状のスイッチが描かれる。したがって、描かれたスイッチを簡易の入力インタフェースとして機能させ、かつ、多種多様な形状のスイッチに柔軟に対応できる必要がある。

(ii) 編集性：スイッチの追加修正や、楽器音の再マッピングなど編集が素早く直観的に行えること  
設計段階においては、時々刻々と創造的なアイデアが生まれ、スイッチの形状や、スイッチと楽器音のマッピングが何度も追加修正される。また、修正と試行のサイクルが短時間のうちに繰り返されることで、洗練され完成度が高まるため、素早く直観的に編集作業を行える必要がある。

(iii) シームレス性：スイッチの配置作業と絵楽器の描画作業がシームレスに移行できること  
楽器の外観とスイッチは関連度が高く、これらのデザインは同時にできた方が望ましい。したがって、スイッチの配置作業と楽器の描画作業がシームレスに移行できる必要がある。

### 2.1 入力インタフェースの検討

1章で述べたように、既存の入力インタフェースとして一般に使われているボタンや各種センサは、描かれるさまざまな形状のスイッチの仕様変更に対応することが難しい。したがって、本研究では、要件(i)を満たすために導電性インクを用いる。静電容量の原理を活用することで、導電性インクを塗布した部分がボタンとして機能する。また、インクを利用することでさまざまな形状のスイッチをその場で簡単に作れる。導電性インクとしては、鉛筆、黒色の水彩絵の具、LessEMF社のCuPro-Cote<sup>[6]</sup>などがある。特に、鉛筆は、薄く描いた場合、抵抗値が高いため導電性インクとして使えないが、濃く描けば抵抗値が低くなり導電性インクとして機能するため、音が鳴ってほしい箇所は濃く描き、鳴ってほしくない箇所は薄く描くというように使い分けることもできる。また、消しゴムで消せるため、仕様の変更も容易である。これらにより、スイッチに関する要件(ii)、要件(iii)を満たす。

なお、CuPro-Coteは導電性の高いインクであり、これでスイッチを塗布した後に絵の具などで上塗りすることも可能である。これは、完成版絵楽器を制作する

表 1 機能ピンの種類

名称	説明
Plus ピン	音高・オクターブ・音色の値を1つ増加させる。
Minus ピン	音高・オクターブ・音色の値を1つ減少させる。
Pitch ピン	音高を設定する。
Octave ピン	オクターブを設定する。
Timbre ピン	音色を設定する。
Volume ピン	音量を設定する。
Group ピン	グループを構築する。
Keyboard ピン	鍵盤構造を構築する。
String ピン	弦楽器構造を構築する。
Percussion ピン	打楽器構造を構築する。
Copy&Paste ピン	楽器ピンの音をコピーし、他の楽器ピンにペーストする。
Recording ピン	レコーディングした音を楽器ピンの音として割り当てる。

際に有用である。

## 2.2 音出力までの流れ

描かれた絵から実際に音が鳴るまでの流れについて説明する。

1. 好みの絵を描く。
2. スイッチを導電性インクで塗りつぶす。以降、導電性インクが塗布されたスイッチをアンテナと呼ぶ。
3. 提案デバイスは図2に示すように複数の入力ピン(アンテナと提案デバイスの静電容量計測回路とを物理的につなげるインタフェース)を搭載しており、アンテナと入力ピンをそれぞれ繋げる。
4. 各アンテナに割り当てる音を設定する。
5. アンテナに指で触れることによって音が実際に出力される。

本研究では導電性インクを用いることで、任意形状のスイッチから音を出すことができる。また、描くという行為の延長として作業でき、アンテナ同士が接触しないように塗りつぶすということに注意すればよく、特別な電子工作の知識を必要としない。さらに、紙、インク、提案デバイス以外に持ち運ぶ必要がないため手軽に使用できる。

## 2.3 マッピング方法

提案デバイスは、多種多様な絵楽器の制作をめざしており、多彩な音色を搭載する。また、手軽さを満たすために提案デバイス単体でマッピングを完結させる一方、デバイスに搭載されている入力ピンの数は限定され、出力は楽器音のみと貧弱なインタフェース上でマッピングを実現する必要がある。このような要求や制約において、楽器音に関する要件(ii)を満たすために、楽器のメタファを活用したルールに従ってアンテナに触れるだけで、複数アンテナの音高や音色をまとめて設定できる直観的かつ高速なマッピング方法を含むさまざまなマッピング方法を提案する。以下、提案するマッピング方法について詳細に説明する。

なお、入力ピンとして「音を鳴らしたいスイッチと

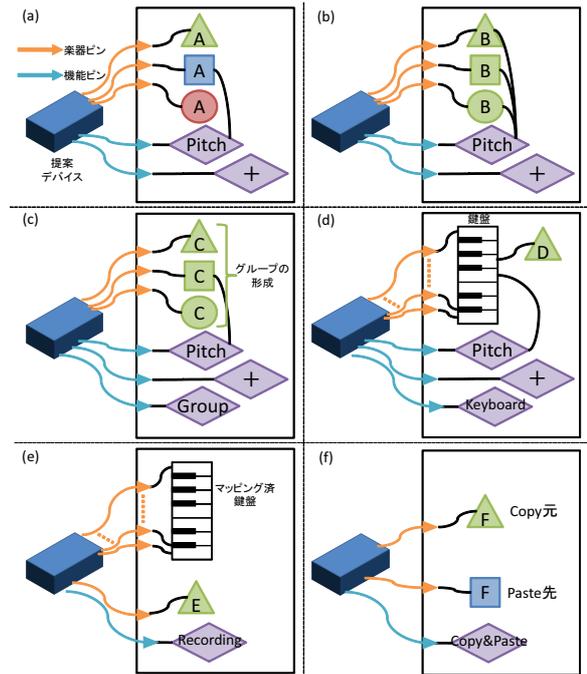


図 3 機能ピンの使用事例

繋がる楽器ピン」および「楽器ピンの音のマッピングに使用する機能ピン(表1)」を提案デバイス上にハードウェア的に用意し、適切なピンと絵をつなぐことで「楽器ピン」と「機能ピン」を切り替える。このため、図2に示すように楽器ピンだけでなく機能ピン用のスイッチを描くこともできる。

さらに、これらの機能ピンを押した場合に、その機能固有の音を出力することで設定中であることを認識できるようにしている。楽器ピンには、音色はピアノが、音高は「ピアノの鍵盤の中央のド(60: MIDIのノートナンバ)」がデフォルトで設定されている。

### 1. 加減方式

音高を変更するためには、図3(a)に示すように、Pitchピンおよび変更したいスイッチのアンテナをつなぎ、Pitchピンを押しながら、Plusピンをタップ(押しつけて離すこと)すれば音高が1音高くなり、Minusピンをタップすれば音高が1音低くなる。また、図3(b)に示すようにPitchピンに複数スイッチのアンテナをつなげることにより、接続されたスイッチの音高を同時に変更できる。オクターブ、音色、音量に関しても音高設定操作と同様で、該当するピン(Octaveピン、Timbreピン、Volumeピン)と変更したいスイッチのアンテナをつなげることにより変更できる。

物理的に結ばれた場合だけでなく、図3(c)に示すように、Groupピンを押しながらスイッチのアンテナをタップすることで、グループを形成し、グループ単位で上記操作を行うこともできる。

本手法は、最もシンプルなマッピング方法であるが、  
 所望する音を設定するために時間がかかる。

## 2. 楽器方式

楽器方式は、音高や音色設定の元となる楽器をもとにスイッチのマッピングを行う。これは楽器そのものを描く場合や、楽器のメタファを使って音を割り当てたい場合に有効である。楽器としては、鍵盤楽器および弦楽器を提案している。

鍵盤楽器は、一般に、白鍵と黒鍵の2種類があり、左の鍵から右の鍵にかけて音高が高くなる構造をもつ。そこで、鍵盤構造の特性を活用した鍵盤楽器構築のためのルールを提案する。ユーザは、以下のルールに従い設定することで、直観的かつ高速に鍵盤楽器を構築できる。

1. 設定中は、Keyboard ピンを常に押しておく。
2. 音高の低い鍵から順にタップする。
3. 白鍵は1回タップ、黒鍵は2回タップする。

システムは白鍵と黒鍵の組み合わせパターンから構築された鍵盤を認識し自動的に音高をタップされた鍵に割り当てる。デフォルトとして音色はピアノの音、オクターブは「ピアノの中央のド(60)のオクターブ」が割り当てられる。

また、3回以上1回タップが続いた場合、全て白鍵のみと認識して、最初にタップされた鍵にドが割り当てられ、以降、白鍵の音階が順次割り当てられる。さらに、黒鍵のタップと黒鍵のタップの間に白鍵がなかった場合も同様で、全て黒鍵のみと認識して、最初にタップされた鍵にドが割り当てられ、以降、黒鍵の音階が順次割り当てられる。

**【弦楽器】** 弦楽器は、左手で音高を操作するフレット部と、右手で撥弦タイミングなどを操作するピックアップ部という2つの役割の異なる部位がある。また、複数の弦をもち、弦ごとに異なる音高が割り当てられ、ピックアップ部に近いフレットほど高い音高が割り当てられる。弦楽器を構築するために鍵盤楽器と同様にルールを設ける。

1. 設定中は、String ピンを常に押しておく。
2. 音高の低い弦およびフレットから順にタップする。
3. 弦は1回タップ、フレットは2回タップする。

システムは弦あるいはフレットに弦番号(最も細い弦が第1弦で、最も太い弦が第6弦)あるいはフレット番号(最もヘッド側のフレットが第1フレットで、最もボディ側のフレットが第12フレット)を割り当てる。弦番号やフレット番号は、設定された順に増加する。デフォルトとして、音色はギターの声、開放弦の音高は一般的に広く使われるチューニングを採用し、

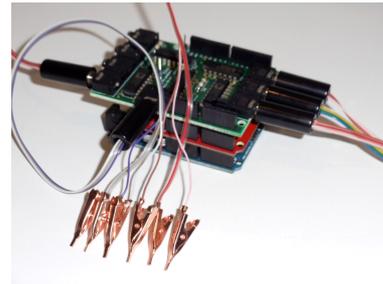


図4 プロトタイプデバイス

第1弦から順に「ミ(76)、シ(71)、ソ(67)、レ(62)、ラ(57)、ミ(52)」である。

作成した楽器に関しても上記で述べた加減方式が適用できる。例えば、図3(d)に示すように、Pitch ピンと鍵盤楽器の鍵をつないで、Pitch ピンを押しながら Plus ピンを押すことで、接続した鍵だけでなくその鍵が所属する鍵盤楽器全体を移調することができる。また、図3(d)の三角スイッチDのように、鍵盤楽器の鍵とスイッチを結ぶことで、接続した鍵の音を得られる。

楽器方式は楽器を描く必要や、楽器の構造を理解している必要はあるが、描いた楽器をもとに設定するため視覚的に何の音が割り当てられているか理解しやすい。

## 3. レコーディング方式

レコーディング方式は、すでに構築された楽器やマッピング済みのスイッチを使って演奏を記録し、それを新たなスイッチの音として割り当てる。これにより、スイッチに和音やフレーズを割り当てられる。具体的な設定方法としては、図3(e)に示すように Recording ピンと設定したいスイッチを押しながら、マッピング済スイッチを使って演奏する。Recording ピンが離されるまでの演奏が記録され、Recording ピンが離された段階で設定したいスイッチに記録した演奏の音が割り当てられる。

## 4. コピー&ペースト方式

コピー&ペースト方式は、マッピング済みのスイッチの音を他のスイッチにコピーできる機能である。具体的な使用方法としては、図3(f)の Copy&Paste ピンを押しながら三角スイッチFを押すことで、三角スイッチFに割り当てられている音をコピーされる。次いで、四角スイッチFを押すことで、コピーした三角スイッチFの音が四角スイッチFの音としてマッピングされる。

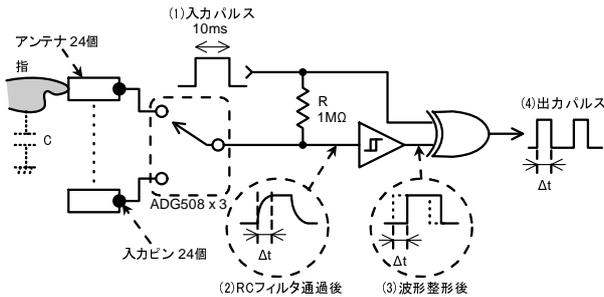


図 5 プロトタイプデバイスの回路図



図 6 さまざまな入力ピン

### 3. 実装

2章で述べたプロトタイピングシステムのプロトタイプを実装した。プロトタイプデバイスを図4に示す<sup>1</sup>。プロトタイプデバイスの制御は Arduino Uno を使用し、音源は Arduino の拡張シールドである Musical Instrument Shield を用いた。静電容量検出モジュールは自作の回路を作成し、Arduino の拡張シールド同様積み上げられるように設計した。デバイス本体のサイズ(入力ピンを含まない)は 7.6cm(横) × 5.6cm(縦) × 2.5cm(高さ)であり、重さは 283g で小型軽量である。

本回路は、人がもつ静電容量を利用した RC ローパスフィルタを持ち、入力パルスの応答から静電容量値  $C$  を推定する。図 5(1) のパルスの波形は抵抗  $R (=1M)$  と静電容量  $C$  によって (2) のように  $t$  の遅れをもつ波形に変化する。 $C$  が大きな場合、すなわち電極に指が触れている場合はより長い遅れ  $t$  が発生する。波形の遅れ  $t$  を計測するには、(2) の波形をシュミットトリガ入力バッファによって整え、(1) との排他的論理和を取ることで長さ  $t$  のパルスを作り、Arduino Uno で計測する。また複数の入力ピンに対応できるように、アナログスイッチ (ADG508) を用いて時分割で各入力ピンの静電容量値を計測できるようにした。なお、静電容量計測時に人体に流れる電流は最大で  $5\mu A$  と極めて小さく、人体に影響はない。また、人が感ず

ることのできる最小の電流  $0.2mA(60Hz 時)$ <sup>[15]</sup> を大きく下回っており、利用者は痛み等電気による刺激は全く受けない。

また、入力ピンとして図 6 に示すようにワニ口クリップや、クリップ、ピンパッチ、スナップボタン、磁石型などを作成した。

### 4. 試用評価実験

提案するプロトタイピング支援システムの有用性を検証するために、提案システムを使って絵楽器のプロトタイプを制作する試用評価実験を行った。被験者は 20 代の大学生 5 名でいずれの被験者も 4、5 年ピアノを習った経験をもち、音楽用キーボードを使った経験もありさまざまな音色があることを知っている。実験の手続きとして、まず、提案システムを使って絵楽器を制作するための一連の方法について説明した。また、被験者に「後日完成版の絵楽器を制作することを想定して、今回は絵楽器のプロトタイプを制作してもらいたい」と指示し、15 分かけて絵楽器のプロトタイプの制作に取り組んでもらった。このとき各マッピング方式のユーザビリティを調査したかったため、レコーディング方式を除く 3.3 節で述べた全てのマッピング方式を使ってもらうよう指示した。実験終了後、「各マッピング方法(加減方式、楽器方式、コピー&ペースト方式)のユーザビリティ(1:悪い~5:良い)」「最終的に望む楽器音は割り当てられたか?(1:得られなかった~5:得られた)」について 5 段階で回答してもらった。

実験結果としては、増減方式およびコピー&ペースト方式のユーザビリティは 4.8(平均値、以下同様)、楽器方式のユーザビリティは 4.2 でありいずれのマッピング方法も高いユーザビリティが得られた。また「最終的に望む音が割り当てられたか?」に関しては 4.6 で割り当てた音に対する満足度も高い。

被験者はキャラクターの耳から音が出たり、複数のキャラクターを描いて音階を作ったり、服上の水玉からさまざまな音色が出るなど、既存の楽器のイメージにとらわれない創造的な楽器を描いていた。また、1 名の被験者は、絵本から楽器音が鳴るような絵楽器の制作をめざし、実際に紙を折ってイメージを膨らませていたり、別の 1 名の被験者は紙の一部を切って持ちやすさや大きさを確認していた。これらのプロトタイプを制作した被験者は「紙でプロトタイプを作れたため、完成版の絵楽器を具体化でき新たな発想を得た」とコメントしている。紙ベースでプロトタイプを制作することで絵楽器のデザインを深化できる有効性が確認できた。

楽器音のマッピングについては、描画から楽器音の

1: プロトタイプデバイスの Demo 動画が下記 URL から閲覧できる  
<http://www.youtube.com/watch?v=oXgKFfHf8s>

マッピングまでをたかだか 15 分で実現しており、ほとんどの被験者は構想を練ったり絵を描くのに半分以上の時間を割いており、その中で所望する音が最終的に割り当てられていることから、マッピングの直観性や速度が保証されていると思われる。一方、「増減方式ではスイッチと Pitch ピンをつなぐ必要があり、その他の方式ではその必要がないなど、各方式の設定方法が若干異なるため、使い始めは混乱した。」というコメントが得られた。各マッピング方法の使い勝手だけでなくマッピング方法全体として統一感を考慮する必要がある。

なお、これらの被験者の行動は実験者が観察したもので、実験終了後に被験者に確認をしている。

## 5. 関連研究

**静電容量センサを利用した事例** 静電容量センサを使ってインタラクティブなシステムを構築している事例として、SmartSkin<sup>[7]</sup> やテルミン、ふれあいどらむ<sup>[8]</sup> がある。SmartSkin は、静電容量を検出する電極を格子状に張り巡らし、人体の位置や形状を測定するデバイスであるが、入力インタフェースとして開発されたためマッピング機能をもたない。テルミンは、テルミン本体からのびている 2 本のアンテナと手との距離を計測し音高や音量を制御している。これは基本的に単音の出力を前提としており、複数アンテナに対して音をマッピングできない。ふれあいどらむは人同士の接触により演奏する楽器である。音色を変更するためのボタンをもち、1 つのボタン操作で複数アンテナの音色を一斉に制御する。ボタンの数しか音色を割り当てられないが、子供など複雑な操作が苦手なユーザにとっては有効である。さらに、これらの事例はいずれも、好みのスイッチを作成したり、アンテナのサイズや形を柔軟に変更できない。

これに対して、本研究で提案するデバイスは導電性のインクを活用することで、さまざまな形状のアンテナの作成や編集を容易に行える。また、さまざまな音色や音高を割り当てるために、例えば、音高を 1 つずつ高くするといった相対的に変化させる方式を採用したり、楽器の特性を用いて複数アンテナの音高をまとめて割り当てる方式などを提案している。これにより扱える音色や音高のパラエティは増すが、設定の難度は高まる。したがって、いかに直観的なマッピング方法を提案するかが本研究の課題となる。

**導電性インクを利用した事例** 導電性インクを用いたインタラクティブシステムとして、DrawDio<sup>[9]</sup> や世界聴診器<sup>[10]</sup>、文献<sup>[2]</sup>、文献<sup>[3]</sup> がある。DrawDio や世界聴診器は、紙や布の上などに水や鉛筆で描かれた線の

抵抗値を計測して音を奏でる楽器である。DrawDio は任意形状のスイッチを制作できるが、物理的なスイッチの長さによって出力音そのものが変化するため出力音がスイッチ形状に依存している。本研究の提案デバイスは、出力音の自由度を高めるために、スイッチ形状と出力音は独立している。文献<sup>[2]</sup> や文献<sup>[3]</sup> は、紙上に導電性インクを使って回路を作成し紙を折りたたむことでスイッチの機構を実現している。これらは、設計段階においてスイッチの形状を自由自在に変更できるが、本研究のようなマッピング環境は備えていない。マッピング機能をもたせないことで操作方法は簡単になるが、操作対象（本研究では音色や音高）の自由度が下がるため創作活動が限定されてしまう。

**光学センサを利用した事例** 光学センサを用いて紙などの上に描かれたものに対して音を出力する研究として Twinkle<sup>[11]</sup> や LiveScribe 社の Pulse Smartpen<sup>[12]</sup> がある。Twinkle は、紙の上に描かれた色とりどりのマークをカラーセンサで読み込み、その結果を音として出力している。Pulse Smartpen は、カメラを用いて軌跡から描かれたものを認識するアノトペン<sup>[13]</sup> と音声録音/再生機能を一体化したもので、指示に従いピアノの鍵盤の形状を描くとピアノの音が再生される。これは指示から逸脱した形状に対して柔軟に対応できず、マッピングは音色を 1 つずつ相対的に変更するというシンプルな機能しかもっていない。Twinkle は、スイッチごとに異なる色を塗る必要があり、カラーセンサの性能による認識精度を確保するために使える色は限定されスケラビリティに限界があり、マッピング機能をもっていない。

**タブレットを利用した事例** UPIC<sup>[14]</sup> はタブレットに描いた図形が音に変換されるシステムである。ディスプレイを用いることでさまざまな形状を作成でき、音色や音高のマッピングの自由度は高く直観的な操作を実現できるが、試行錯誤している段階でタブレットの画面サイズよりも大きいプロトタイプを試作したい場合や、持ちやすさなどの演奏性を検討したい場合に対応できない。

## 6. まとめ

本研究では、導電性インクを用いたプロトタイプピンが容易な絵楽器システムを構築した。提案システムは、導電性インクを用いることで、任意形状のスイッチを配置でき、ラフ画の延長としてこれらを描けるためシームレスである。また、各スイッチに割り当てる音を直観的にかつ高速にマッピングできる手法を提案した。

今後の課題としては、エフェクトの挿入や条件分岐、

繰り返しといったより高度な設定ができる仕組みの提案および評価実験があげられる,

### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手(B)(21700198)、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009)によるものである。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- [1] おととあそぼうシリーズ, ポプラ社
- [2] Paper and conductive ink piano:  
[http://jp.makezine.com/blog/2010/07/paper\\_and\\_conductive\\_ink\\_piano.html](http://jp.makezine.com/blog/2010/07/paper_and_conductive_ink_piano.html)
- [3] Electronic Origami:  
[http://makeprojects.com/pdf/make/guide\\_150\\_en.pdf](http://makeprojects.com/pdf/make/guide_150_en.pdf)
- [4] 長嶋洋一: フィジカル・コンピューティングとメディアアート/音楽情報科学, 情報処理学会研究報告(音楽情報科学研究会 2008-MUS-077), Vol. 2008, No. 89, pp. 1-6, 2008.
- [5] DOEPFER OEM KIT SERIES:  
<http://www.fukusan.com/products/doepfer/OEM/OEM.html>
- [6] LessEMF 社の CuPro-Cote:  
<http://www.lessemf.com/292.html>
- [7] K. Fukuchi and J. Rekimoto: Interaction Techniques for SmartSkin, *In Proc. of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2002.
- [8] ふれあいどらむ:  
<http://freqtrc-drums.jpn.org/>
- [9] J. S. Silver and E. Rosenbaum: Gifts for intertwining with modern nature, *In Proc. of the 9th International Conference on Interaction Design and Children*, 2010.
- [10] 世界聴診器:  
<http://swikis.ddo.jp/WorldStethoscope/2>
- [11] J. S. Silver and E. Rosenbaum: Twinkle: programming with color, *In Proc. of the 4th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 383-384, 2010.
- [12] LiveScribe:  
<http://livescribe.com/>
- [13] アノトベン:  
<http://www.anoto.co.jp/>
- [14] UPIC:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/UPIC>
- [15] T. Bernstein: Electrical shock hazards and safety standards, *IEEE Transactions on Education*, Vol. 34 (3), pp. 216-222, 1991.

(2012年4月25日受付, 9月24日再受付)

### 著者紹介

#### 竹川佳成



2003年三重大学工学部情報工学科卒業。2005年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。2007年より神戸大学大学院工学研究科助教, CrestMuse プロジェクト共同研究員を兼任。2012年より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教。現在に至る。2011年にはMIT Media Lab.にて客員研究員を兼務。博士(情報科学)。音楽情報科学, ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。情報処理学会の会員。

#### 福司謙一郎



2007年東京工業大学工学部卒業 2009年東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了同年より東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程入学。現在に至る。2010年から2012年にかけてMIT Media Lab.にて客員研究員を兼務。画像認識およびユーザインタフェースデザインに興味を持つ。情報処理学会の会員。

#### Machover Tod



Tod Machover is head of the Media Lab's Opera of the Future group. An influential composer, he has been praised for creating music that breaks traditional artistic and cultural boundaries; his music has been performed and commissioned by some of the world's most important performers and ensembles. In 1995, he received a "Chevalier de l'Ordre des Arts et des Lettres," one of France's highest cultural honors, and in 1998 he was awarded the first DigiGlobe Prize from the German government. He has composed five operas and is the inventor of Hyperinstruments, a technology that uses smart computers to augment virtuosity. Hyperinstruments have been used by performers such as Yo-Yo Ma, Prince, and Peter Gabriel. Machover is also the creator of the Toy Symphony, an international music performance and education project. His research group is currently examining ways to use music in therapy for emotionally and physically challenged individuals.

寺田 努 (正会員)



1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005年には同機構事務局長を兼務。2004年には英国ランカスター大学客員研究員を兼務。博士(工学)。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。

塚本昌彦



1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996年同専攻助教授, 2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授, 2004年神戸大学電気電子工学科教授となり, 現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等, 8学会の会員。