

Bathcratch: 浴槽こすり音を利用した 日常生活環境組み込み型楽器

平井重行[†] 榊原吉伸[‡] 早川聖朋[§]

日常生活を送る場所で、音楽を自らが演奏して楽しめる環境組み込み型の楽器の研究を行っている。その一つとして入浴中に浴槽をこすると鳴る「キュッ、キュッ」という音を利用して、DJ スクラッチ演奏が行えるシステム Bathcratch を制作した。ここでは、浴槽こすり音の特徴であるピッチの存在に着目し、その検出によってこすり音とそれ以外の音とを区別し、浴槽をこすった場合にのみスクラッチ音が鳴る仕組みを実現した。本報告では、その浴槽こすり音の解析や、Bathcratch システムの演奏処理部分を中心とした機能について述べる。

Bathcratch: The Environmental Embedded Instrument for Everyday Life Using Sounds of Rubbing A Bathtub

Shigeyuki Hirai[†], Yoshinobu Sakakibara[‡] and Seiho Hayakawa[§]

We developed an environmental embedded instrument which we enjoy playing in everyday life. The Bathcratch system which is utilizing rubbing sounds of bathtub with some water enables us to play DJ scratch sounds. In this paper, we describe the system overview and its some functionalities including analyzing bathtub rubbing sounds and playing DJ scratch sounds.

[†] 京都産業大学 コンピュータ理工学部
Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

[‡] 京都産業大学大学院 先端情報学研究科
Division of Frontier Informatics, Graduate School of Kyoto Sangyo University

[§] フリーランスサウンドデザイナー
Freelance Sound Designer

1. はじめに

テーブルや窓ガラスなど表面が比較的滑らかな物に、水を少量付けた手や布でこすると「キュッ、キュッ」と音が鳴ることは誰もが知っている。日常生活でこのような音を耳にする機会は、窓ガラスの掃除や風呂掃除、食器洗いなどの場面が考えられる。それ以外にも、入浴時に手足が浴槽に触れて「キュッ」と音になることは、多くの人が経験しているはずだ。この入浴中の浴槽という場面では、手指を使って浴槽をこすり、故意に起こせる音であり、その音もこすり方で多少は変化が付けられることは容易に想像がつくだろう。我々は、この「こすって音を出す」という行為に着目し、DJ が音の表現手法の一つとして用いているスクラッチ演奏になぞらえて、浴槽をこすることで DJ スクラッチ演奏ができるエンタテインメントシステム Bathcratch を制作した。図 1 にその演奏中の様子を示す。このシステムの入力インタフェースは浴槽そのものであり、こする行為および触れる行為を検出するセンサは浴槽に内蔵していることから、日常生活環境へ組み込んだ形の楽器となっている。日常的に起こる現象や行為を、遊ぶ楽しみへと変えて QOL を向上させる仕組みの一例になると我々は考えている。本報告では、浴槽こすり音の解析について述べた後に、Bathcratch システムの概要とスクラッチ演奏処理の機能詳細について説明する。なお、Bathcratch は Bath と Scratch をかけた名前である。



図 1 Bathcratch での演奏中の様子

2. 浴槽こすり音について

浴槽を手指でこすった際に聞こえる「キュッ、キュッ」という音は、こすり方（指の角度やこする向き、力の入れ方など）や、こする人によってその鳴る音は様々であるが、多くの場合にピッチ（音高）が存在する。檜などの木製以外で浴槽に用いる素材のほとんどは、FRP、人造大理石（人工大理石）、ホーローである。これらの表面は同様の滑らかな仕上げとなっており、どの素材においても同様の音が鳴ることは容易に想像がつく。

我々が本研究のシステムを実現する上で必要なのは、浴槽をこすった際の音を検出することであり、浴槽を叩いた際などの他の音と区別する必要がある。そこで、まずは浴槽をこすった音、叩いた音などを実際に録音して、その音の違いについて確認することにした。ここでの録音方法については、浴槽縁上面の裏側にピエゾピックアップを取り付け、浴槽をこすった音を浴槽自体の固体振動の音響信号として録音した。これは、後述するシステムのユーザインタフェースの都合から、入浴中のユーザにはセンサなどの仕組みが見えないようにするためである。録音は浴槽に湯水を入れた状態で、人は浴槽中に入らずに録音を行った。その信号波形とスペクトログラムを図2に示す。いずれの波形もサンプリングは16bit/44.1kHzで行い、スペクトログラムは256点のハンニング窓をホップサイズ64サンプル（約1.45msec）で計算したものである。

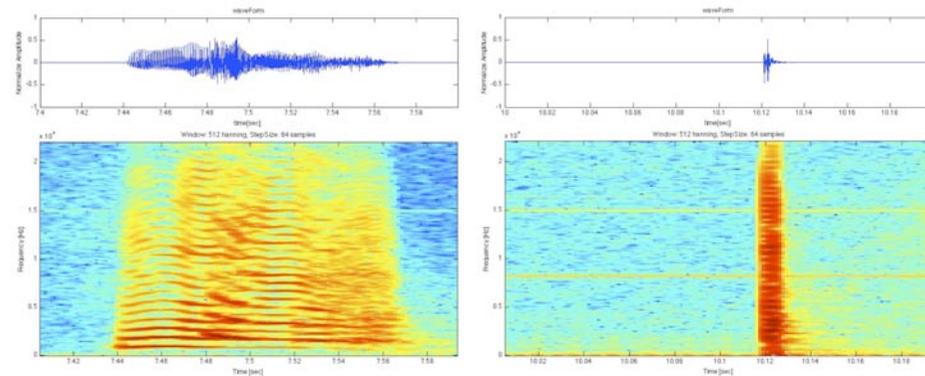


図2 浴槽こすり音と叩き音の波形およびスペクトログラム
左) こすり音, 右) 叩き音

これらの図から、浴槽こすり音については明確な調波構造があり、それが時間的に

波形の始めから終わりあたりまで連続的に続くことがわかる。また、他の様々なこすり音の波形についても解析したところ、基本周波数 F_0 はおよそ100~600Hzの範囲となることも確認できた。一方で、浴槽叩き音については、ほんのごくわずかに調波構造らしきものが見受けられるが、こすり音ほど明確ではなく、かつ波形の時間も短いという特徴がわかる。これらを利用することで、こすり音と叩き音の区別をすることができると考えられる。

以上により浴槽こすり音自体は明確な調波構造があることが確認できたが、他に浴室での調波構造を持つ音が鳴る可能性としては、人の声や浴室内でオーディオを鳴らした場合の楽音などが考えられる。そこで、それについても簡単な実験を行った。ここでは、湯水を入れた浴槽に入った人が比較的大声で「あいうえお」と発音した場合のデータを、こすり音の波形と比較する。録音条件は先と同様に、浴槽縁上面の裏側につけたピエゾピックアップによるものである。

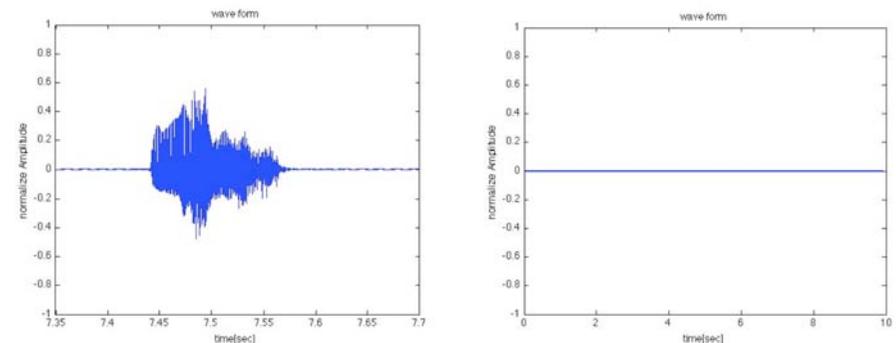


図3 浴槽こすり音と叩き音の波形およびスペクトログラム
左) こすり音, 右) 叩き音

この図3から、湯水を入れた浴槽での人が発した音声は浴槽の固体振動としてピエゾピックアップにほとんど伝達されないことがわかる。

以上のことから、本研究システムの音響入力環境で浴槽こすり音を検出するには、波形にある程度の振幅があり、かつ調波構造を持つ波形が時間持続するかどうかを見れば良いことがわかった。この知見を利用して、次章以降で述べるエンタテインメントシステム Bathcratch を実装した。

3. システム概要

Bathcratch は図 4 に示すようなシステム構成となっている。

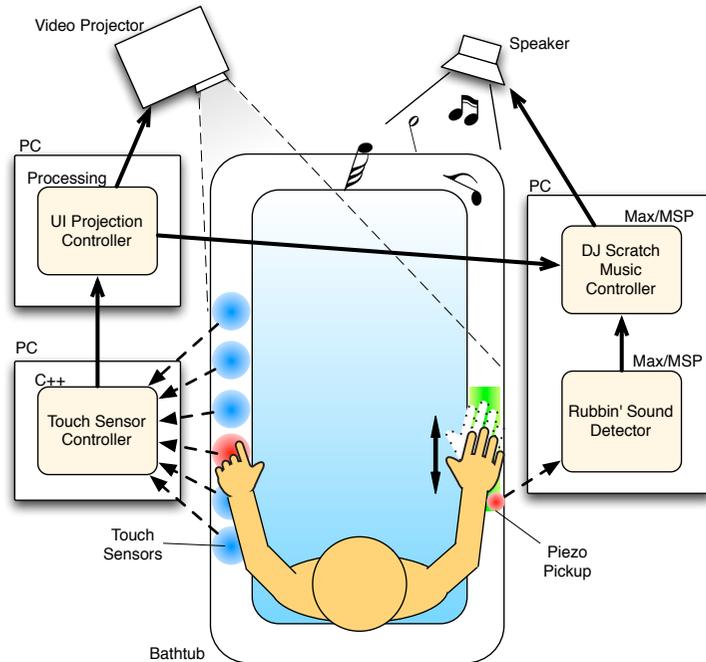


図 4 Bathcratch のシステム構成 (浴槽は上から見た図)

浴槽縁上面の裏側にアコースティックギター用のピエゾピックアップを取り付けて、浴槽のこすり音を浴槽裏側の固体振動として音楽処理用 PC へ音響入力し、こすり音検出に用いる。音楽処理用 PC 上ではこすり音検出と共に DJ スクラッチ音の生成処理およびリズムトラックの処理など音楽制御処理を行う。また、DJ スクラッチ音のフレーズ切替やリズムトラックの切替などの操作は、ピエゾピックアップと同様に、浴槽縁上面の裏側に静電容量方式タッチセンサの端子を取り付けてあり、浴槽縁に触れることでシステム操作が可能となっている[1]。さらにタッチセンサの操作場所にメニューなどを表示するため、浴室の天井裏にプロジェクタを設置しており、浴槽縁上面に対して画面投影できるようにしている。タッチセンサ制御、ユーザインターフェー

ス画面の表示、それぞれに PC を用意している。具体的な機材としては、ピエゾピックアップに Shadow 社 SH711, そのマイクアンプに AudioTechnica 社 AT-MA2, USB オーディオインターフェースに M-Audio 社 QUATTRO を用いた。タッチセンサはオムロン社の B6TS-08NF (8ch タッチセンサ IC) が搭載された基板 B6TY-S08NF を用いている。ソフトウェアについては、こすり音検出およびスクラッチ演奏用のプログラムは Max/MSP で開発し、浴槽への画面投影プログラムは Processing で開発した。タッチセンサ制御のプログラムは C++ で開発したものをを用いている。

4. スクラッチ演奏処理と各機能

図 5 に、Bathcratch のこすり音検出処理およびスクラッチ演奏処理を実装した Max/MSP パッチの画面を示す。

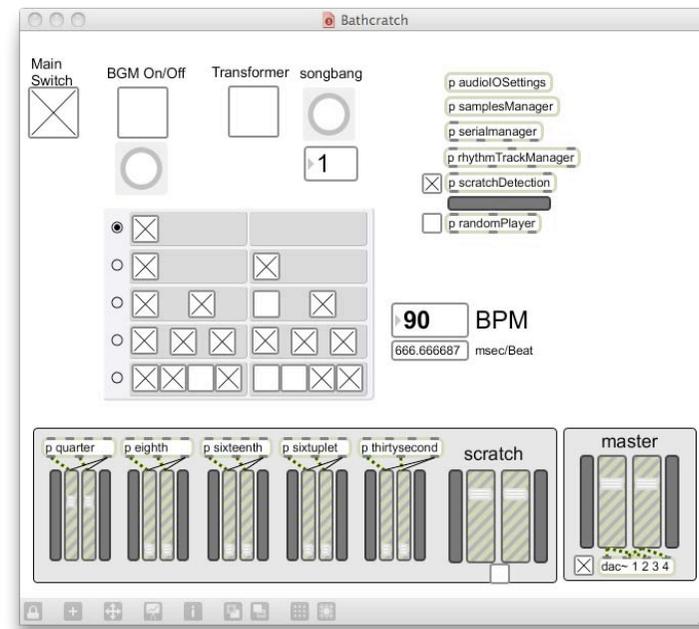


図 5 Bathcratch の Max/MSP パッチ (メイン画面)

この画面の上段のほうにある幾つかのチェックボックスは、左からシステム全体の On/Off, リズムトラックのサウンド出力 On/Off, スクラッチ音の再生ピッチ変動 On/Off

となっている。下部に LR に対になったスライダーが 6 つ囲われてあるが、うち細いスライダーの 5 組はスクラッチ音の各フレーズの出力音量調整用である。太いスライダー組はスクラッチ音全体としての音量調整ができる。また、一番右下にはシステム全体の音量調整用スライダーがある。

中段のチェックボックスが多数並ぶエリアは、4.3 節で説明するスクラッチフレーズの設定を行うものである。その右横にある BPM の値はそのフレーズの演奏テンポ設定であり、バックで再生するリズムトラックのテンポに合わせる形で設定する。残りの右上部分の Max サブパッチャーのオブジェクトは、オーディオ入出力設定や、後述のサウンドファイル設定など、各種機能を持つものである。

以下に、スクラッチ演奏処理の概要および各機能について各節で述べていく。

4.1 スクラッチ演奏処理の概要

現状の Bathcratch では、実際にこすったタイミングでスクラッチ音を鳴らすわけではない。これは、こすり音検出処理による時間遅れが発生することが大きな要因であるが、そもそも厳密なタイミングでのスクラッチ音出力を行っても、初心者がうまく演奏できるとは限らない。そのため、こすり音検出とスクラッチ音の演奏出力とは完全に同期させず、こすり音が検出されているしばらくの間だけ、あらかじめ設定したスクラッチ音のフレーズを鳴らすという形でまずは実装した。また、このスクラッチ音のフレーズ自体はシステム動作中に鳴るリズムトラックと完全に同期して音が出るようにしている。これによって不慣れな人でも浴槽をこすれば、リズムに乗った DJ スクラッチフレーズが演奏できるようになっている。

4.2 浴槽こすり音検出

現在の実装ではこすり音検出に調波構造の有無を忠実に見ているのではなく、F0 検出を単に行っているだけにとどまっている。この F0 検出には、Max/MSP のエクスターナルオブジェクト sigmund~ の F0 推定機能を用いており、その設定は分析窓長 1024 サンプル、窓のホップサイズ 512 サンプル (約 11.6msec) でのデータ処理を行っている。この出力に対して 30msec 程度の時間 (sigmund~ の出力 3 回分)、同程度の F0 の値が推定されている場合に、浴槽がこすられたと判断して後述のスクラッチ音を出力する処理を行う。

4.3 スクラッチフレーズの切り替え機能

スクラッチ音のパターンは、2 拍毎に鳴る 2 分音符フレーズから、4 分音符フレーズ、8 分音符フレーズ、3 連符フレーズ、16 分音符フレーズまでであり、浴槽縁に表示されるメニュー項目で自由に選択・切り替えができる。各音符のフレーズは、どの拍位置で音を鳴らすかは、Max/MSP 上の画面 (図 5) の中段左半分にあるチェックボックスが多数並んだエリアであらかじめ設定しておく。このチェックボックスのグループは 5 段に分かれており、それぞれ上から 2 分、4 分、8 分、3 連、16 分音符の設定グループとなっている。これらの個別のチェックボックスを On/Off することで自由にフ

レーズを設定しておく。なお、このスクラッチフレーズの再生処理については、すべてのフレーズがシステム設定のテンポ (BPM 値) に合わせて常に並行再生されている。それらのうち、浴槽縁のメニューで選択されたフレーズの音量を先のこすり音検出結果によって上げ下げすることで、システムとしての演奏フレーズが出力される。

以上のことから、2 分音符フレーズが選択されている場合に、いくら頑張っても素早く浴槽をこすっても 2 分音符毎にしかスクラッチ音は鳴らないことになる。逆に、16 分音符フレーズを選択している場合に、浴槽をゆっくりこすると手の動きよりも細かなスクラッチフレーズが流れることになり、ユーザにとっては多少違和感がある動作となる。ただ、実際に DJ がスクラッチ演奏をする場合でも、ターンテーブルを回す操作以外に、そのターンテーブルの音を出す音量の割合を操作するフェーダーも合わせて操作することが多い。フェーダー操作とターンテーブル操作の組み合わせで様々なフレーズや発音のバリエーションを出す事が行われており、それらの操作の組み合わせ毎に Chups や Forward / Back Scratch, Transformer Scratch などの技の名前がついている。本システムのフレーズ切り替え機能は、そのフェーダー操作を簡略化したものとも言える。

4.4 スクラッチ音素材とエフェクト

現在での Bathcratch 内部処理では、スクラッチ音自体はレコーディングされたスクラッチ音の音素材を再生している。各スクラッチフレーズの各音符位置で鳴る音素材は、デフォルト設定で何種類もの素材を用意して個別に設定してあり、16 分音符フレーズなどはあまり機械的ではなく、それなりに人が演奏しているような工夫をしている。ただ、同じフレーズが繰り返し鳴り続けると、フレーズとしての変化がないため演奏に面白みがなくなってくる。そこで、スクラッチ音素材の再生速度を発音毎でランダムに微調整する (ピッチに変化を付ける) エフェクトをかけることで、より人間が演奏しているような音として聞こえるようなモードを作っている。図 5 の画面では、上段の左から 3 番目のチェックボックスでその On/Off の切り替えを行う。なお、現在の Bathcratch システムでは、浴槽縁上面へ投影する UI 画面でもそのピッチ変化のボタンを用意している。

なお、各音符位置で鳴るスクラッチ音素材は個別で自由に組み替えることができる。ただ、これは浴槽投影 UI 上での操作ではなく、Max/MSP の画面上で個別タイミングへのスクラッチ音素材を設定することになる。

4.5 リズムトラック処理

スクラッチ演奏のための伴奏として再生するリズムトラックは、あらかじめ用意された AIFF もしくは WAV の形式のファイルをオンメモリでループ再生する。複数のリズムトラックを設定しておくことが可能で、浴槽縁のメニューによってそれらを切り替えることができる。ただ、前述のスクラッチフレーズと同期してループ再生する必要があるため、現状では用意するリズムトラックのファイルすべてを、同一テンポ

と同一小節数により決められた長さのものにする必要がある。

リズムトラック再生機能の内部動作としては、読み込ませたファイルすべてを同時再生しており、選択されたリズムトラックのみ音量が上がるようにしている。図5の上段左から2番目のチェックボックスは、このリズムトラックの再生 On/Off を切り替えるものだが、基本的には選択されているリズムトラックの音量をゼロにするだけであり、再生処理そのものを停止するわけではない。

なお、Max/MSP では同じ時間長のサウンドファイルを複数同時再生し続けた場合、時間がたつにつれ個々のファイル再生位置が徐々にずれる現象が起こる。本システムでは、選択されたリズムトラックの再生位置がループする際、出力されていない他のトラックの再生を先頭から始めるようにすることで、延々と動作し続けた場合でもスクラッチフレーズと個々のリズムトラックの音がずれないようにしている。

5. 作品展示

Bathcratch のデモンストレーションビデオは YouTube で視聴できる**。このビデオがメディアアート系コンペ「アジアデジタルアート大賞 2010」で入賞したことから、2011年3月17日～29日の期間、福岡アジア美術館で催された「アジアデジタルアート大賞展」にて作品展示を行った。本来、Bathcratch は実際の浴槽で入浴中の利用を想定しているが、この作品展示では浴槽に入らずに浴槽の横に立って体験できるようにする必要があり、センサ配置や UI 投影の内容を多少変更したものを制作した。図6に展示会場に設置した作品セットと、この展示における UI 画面の写真を載せる。



図6 アジアデジタルアート大賞展 2010 での展示セット (左) と UI 表示 (右)

** http://www.youtube.com/watch?v=kp_0rPx-RSY

この UI では、浴槽横に立った際に浴槽右端のところにグラデーション調でスクロールしている四角いエリアを表示し、そこをこすってもらうように仕向けている。また、スクラッチフレーズの選択メニューボタンがその左側に並んでおり、各ボタンには4分音符などの音符マークでフレーズの違いを表している。その左横には四角いボタンをピッチ変化のエフェクトボタンを配置している。そして一番左側には、リズムトラックの切り替えボタンおよびその再生 On/Off のボタンを配置した。リズムトラック自体はこの展示作品では6曲用意しており、体験者がそれぞれのリズムトラックの名称がわかりやすいようテキスト表示すると共に、各リズムの落ちつき度合いや激しさをメニューボタンの枠全体の色を変更することで表現した。なお、こする際に必要な湯水については、こするエリアのすぐ横に石けん皿に載せた吸水性スポンジに水をふくませておき、その水を指先に付けてこすってもらう形にした。

展示期間中の来場者の体験している様子を図7に示す。



図7 アジアデジタルアート大賞展 2010 での来場者の様子

この展示を行ってわかったことが幾つかある。一つは、リズムトラックのボリュームを上げすぎたり、ピエゾピックアップを繋いでいるマイクアンプのゲインを上げすぎると、リズムトラック中に含まれる音高のある音に反応してスクラッチ音が鳴ってしまうことがあった。これについては、湯水を溜めている場合には起こらない現象であるため、湯水は外部からの音を浴槽の固体振動として伝搬させるのを抑える役割を果たしているのではないかと推察している。もう一つわかったことは、他の入力インタフェースがタッチセンサによるものであるため、こする箇所も軽く触れる程度で手を前後に動せば演奏できると勘違いされるということである。遊び方のインストラクションを横に立てておいても、タッチセンサ部分が触れるだけで反応してしまうため、水で「キュッ、キュッ」と音を鳴らすことにまで思い至らないケースが多く来場者

で見受けられた。幸い、展示会の説明員が随時説明していたため、本来のこする動作でシステムを体験してもらったが、展示システムという観点では、こするエリアに対する操作の誘導をいかに行うかが今後の課題になると考えている。

6. 関連研究

スクラッチに限らず DJ の演奏行為に関する音楽システムやユーザインタフェースの研究は数多く行われている。まずウェアラブルインタフェースを用いる研究としては、藤本らの ExDJ システムをウェアラブル化した研究[4]や、Slayden らの DJammer システム[5]、富林らのウェアラブル DJ システム[6][7]が挙げられる。また、ターンテーブルによる DJ 演奏のインタフェースを活用しつつ新たな試みを行っているものもある。その例としては、Andersen による Mixxx [8]があり、ARToolKit を用いてターンテーブル上に再生するサウンドや波形の情報などを重畳表示するインタフェースを提案・開発している。他には、Beamish らの D'Groove システム[9] が挙げられ、ここではフォースフィードバック機能を持つ操作レコード盤（ターンテーブル）および DJ ミキサーと同等のインタフェース機器を用意して、デジタルオーディオの様々なデータに対して DJ の基本テクニックの練習をしたり、応用的な操作ができるシステムを構築している。

また、DJ 演奏ではないが、こする動作をユーザインタフェースとして活用する研究も幾つか挙げることができる。例えば、Harrison らの Scratch Input[10]ではマイク付きの聴診器を壁やテーブルなどに設置し、その面を爪先でひっかく音を検出・処理することで、ひっかくジェスチャを認識するという入力インタフェースを実現している。また、Smith らの Stane [11] では、ピエゾセンサを内蔵した小型デバイスの表面を同じく爪でひっかく際の振動を検出し、その振動パターンや長さで様々な入力手段に用いる試みを行っている。一方で、こする動作以外に音響信号を入力インタフェースとして活用している例としては、Harrison らの Skinput が挙げられる。これはピエゾフィルムが複数内蔵されたユニットを上腕部に巻き、同じ腕の前腕部や手をタップした際に皮膚表面を伝わる振動を検出することで、タップした位置を特定することができる。

7. おわりに

本報告では、浴槽をこすることで DJ スクラッチ演奏ができるエンタテインメントシステム Bathcratch について述べた。見た目のごく普通の浴槽で、日常的に起こりうる行為や現象を遊ぶ楽しみへと変えるものであることから、日常生活環境組み込み型楽器とも言える。ここでは、浴槽裏側に設置したピエゾピックアップを用いて浴槽の固体振動としてこすり音を入力して検出するための音響解析と検出方法についてまず述べた。そして DJ スクラッチ演奏を行うための演奏処理について、その詳細について

も説明した。また、福岡で展示した作品については、本作品の外部展示を行う場合の問題点などが明らかになってきた。

今後は、本システムを他でも展示することを考慮して、機器構成を簡略化し、PC 一台で動作する形に集約していくと共に、こすり音検出をより精緻な処理として行う予定である。その処理は、こするタイミングだけでなく、こする方向の区別やその強さまで利用できるようにすることを考えている。スクラッチ音自体についても、単なる音素材を再生するだけでなく、ユーザが選曲した好みの曲の再生中にその曲の音でスクラッチできるようにする機能も実装予定である。また、本報告ではあまり述べなかったが、タッチセンサのチャンネル数を増やしてメニュー選択の項目を増やしたり、よりスムーズな操作ができるような UI の改良を行うことも必要と考えている。これらを通して、単なるイージーな操作によるおもちゃ楽器としてではなく、実際に演奏の練習をして上達ができる高度な埋め込み型楽器の形も追求してゆきたい。

謝辞 デモビデオ撮影やロゴ作成など作品制作過程において、京都産業大学の上田研究室と平井研究室のメンバーに多大なご協力を頂いた。謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 林宏憲, 平井重行: 水場での静電容量式タッチセンサの適用と入力インタフェースの実現, 情報処理学会研究報告 2009-HCI135/UBI24-18 (2009).
- 2) DJ TA-SHI: DVD 版マスト・テクニック 25! スペシャル DJ 編, リットーミュージック (2002).
- 3) DJ TA-SHI: DVD 版マスト・テクニック 25! プラス+ DJ 編, リットーミュージック (2003).
- 4) 藤本貴之, 西本一志: ブースをフロアへとシームレスに拡張する Wearable DJ システム, エンタテインメントコンピューティング 2003 論文集, Vol.2003, No.1, pp.47-52 (2003).
- 5) April Slayden, Mirjana Spasojevic, Mat Hans, Mark Smith: The DJammer: "air-scratching" and freeing the DJ to join the party, CHI2005 Extended Abstracts, pp.1789-1792 (2005).
- 6) 富林豊, 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 装着型センサを用いたウェアラブル DJ システムの開発と実運用, 情報処理学会研究報告 2008-MUS-78, pp.39-44 (2008).
- 7) 富林豊, 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 装着型無線加速度センサを用いたウェアラブル DJ システム, WISS2008 論文集, pp.85-90 (2008).
- 8) Tue Haste Andersen: Mixxx: Towards Novel DJ Interfaces, Proc. of NIME03, pp.30-35 (2003).
- 9) Timothy Beamish, Karon Maclean, Sidney Fels: Manipulating music: multimodal interaction for DJs, Proc. of CHI2003, pp.327-334 (2003).
- 10) Chris Harrison, Scott E. Hudson: Scratch Input: Creating Large, Inexpensive, Unpowered and Mobile finger Input Surfaces. Proc. of UIST '08, pp.205-208 (2008).
- 11) Roderick Murray-Smith, John Williamson, Stephen Hughes, Torben Quaade: Stane: Synthesized Surfaces for Tactile Input, Proc. of CHI2008, pp.1299-1302 (2008).
- 12) Chris Harrison, Desney Tan, Dan Morris: Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface, Proc. of CHI2010, pp.453-462 (2010).