

## 基礎論文

# 触感コンテンツの創作・共有を目的とした オンラインプラットフォームの構築

竹内 祐太<sup>\*1</sup> 片倉 弘貴<sup>\*2</sup> 南澤 孝太<sup>\*1</sup> 舘 暲<sup>\*1</sup>

Construction of Online Platform for Creation and Sharing of Tactile Content

Yuta Takeuchi<sup>\*1</sup>, Hiroataka Katakura<sup>\*2</sup>, Kouta Minamizawa<sup>\*1</sup> and Susumu Tachi<sup>\*1</sup>

**Abstract --- Many tactile devices have been proposed and enable us to sense and display tactile sensation precisely. However, most of these devices are large-scale and need complex calculations. For the reason, it is impossible to handle tactile systems without technical skills and tactile technologies have not disseminated. In order to spread tactile technologies to general public, we require an environment that even general people can create and share tactile content. Therefore, in this study we propose the methods for creation and sharing of “user-generated tactile content”. The methods aim to construct tactile system that enables users without engineering knowledge to create and share tactile content. Moreover, based on the proposed techniques, we implement online platform for creation and sharing tactile content.**

**Keywords: Tactile Content, Tactile Transmission, Tactile Device, User-generated Content**

## 1 はじめに

あるメディアが一般に浸透するには、コンテンツの存在が重要である。コンテンツをどのように多様化させていくかという課題を考えるときに、User-Generated Content(以下、UGC)という現象は注目に値する。UGCとは、一般ユーザがそれぞれ多様なコンテンツを創作し楽しむ概念であり、自然発生的に創作されるUGCがコンテンツ全体を多様化させるなどその周辺のプラットフォームは非常に隆盛している [1]。この背景として、ニコニコ動画などのオンライン上のコンテンツ共有の場の登場、Adobe社のPhotoshop、クリプトン社の初音ミクなどのコンテンツ制作環境の充実、テクスチャ素材、音響素材などが共有され創作のための素材が豊富になったことなどが挙げられる。オンライン上でユーザ同士が自発的に創作・共有するようになったことで、視聴覚コンテンツはさらなる多様化をみせ、その体験はより身近になったといえる。以上のようにUGCはコンテンツの多様化において興味深い存在であり、うまくこの現象を利用できれば効率的にコンテンツを多様化させることができる。

他方で、バーチャルリアリティの分野ではバーチャ

ル物体の存在感を向上させるために触感が注目され研究が続けられている。最近では、触感が触れた対象の印象や作業効率に大きく影響を与えることから身の回りにも触感を生成・提示するデバイスが導入されるようになってきた。しかし現状、触感を生成するには複雑な物理シミュレーションを要するなど専門的知識が不可欠であり、また統一されたフォーマットも存在しないため一般ユーザが生成することは困難である。それゆえ、優れた触感デバイスが存在しているにもかかわらず、一般の人々が触感コンテンツを体験する機会は少なく触感メディアの普及には至っていない。触感コンテンツが視覚・聴覚に続く第三のメディアとして普及するためには、より手軽に触感を扱い、一般のユーザさえもがコンテンツを創作し共有できる環境が求められる。

そのような触感コンテンツのUGCの実現に必要な要素技術は、簡便な触感の生成手法、触感の集積、集積した触感を検索する検索手法、触感コンテンツの創作手法だと考えられる(図1)。そこで本稿では、オンラインで触感を楽しむ体験の第一歩として、簡便な触感の生成手法、検索手法の構築と触感の創作手法の試作を行う。

## 2 関連研究

視聴覚コンテンツの創作を支援する試みは数多くみられるようになってきた。Vignette[2]は、イラストを創作

\*1 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

\*2 慶應義塾大学

\*1 Keio University, KMD

\*2 Keio University, SFC

する際のテキスト作成を支援するツールである。ユーザのワークフローを保存することによって、同じテキストの複製などを省略し、煩雑な作業を軽減している。またVocaListener[3]は、ユーザの歌唱音響を入力として、その声色、音高、音量を推定し歌声合成をできるシステムである。従来の歌声合成では、パラメータをそれぞれ入力していく必要があったが、ユーザの歌声から歌声を自動的に合成するため、専門的な知識を持たない人々にまで作曲の敷居を下げた。さらにI/O brush[4]は現実世界の視覚情報をそのまま記録し、それを絵の具のようにイラストの素材として用いることを可能にし、子供でも複雑なテキストを素材として創作できる。この事例のように現実世界の触感を簡単な作法でそのままコンピュータに取り込むことができれば、触感を扱う敷居を大幅に下げることが可能になりうる。

他方で、触感の容易な生成、提示や触感コンテンツの創作を試みる研究もある。まずここでは触感の取得・生成手法について紹介する。Okamuraらは物理シミュレーションを省略し、スタイラスで物体を叩いた際の減衰正弦波を記録し、それを提示することで本物らしい触感提示に成功している[5]。また、Kuchenbeckerらのhaptographyプロジェクトは、物体との衝突時に生じる触感のリアリティを高めるものとして高周波振動を挙げ、スタイラスでなぞり動作を行った際の力、なぞり速度、高周波振動をそれぞれ学習させた。その学習結果に基づき、ユーザのなぞり方に整合した高周波振動を提示することで3種類の物体に対して本物らしい触感の取得・提示に成功している[6]。さらにTECHTILE toolkitは[7]紙コップなどにマイクを取り付け、物体の振動を音響として取得することで触感の提示・共有を容易にし、それを用いた数々のワークショップを行なっている。

次に触感の提示手法について紹介する。Andoらは爪上に振動子を配置し振動によって実環境に触感情報を重畳する手法を提案している[8]。この手法ではアクチュエータが爪上にあるため、指先で行うタスクを妨げることはない。また、Minamizawaらはモータによるベルトの巻き込みによって力やせん断方向を提示できるGravityGrabberを提案している。このデバイスは力の提示と運動を組み合わせることによって重さを知覚させることも可能である[9]。

さらに触感コンテンツのためのエディタもみられるようになってきた。Haptic Editorはペンデバイスによってスケッチベースで3Dモデリングを行い、その3Dモデルに力覚や振動など触感を割り当てられる3Dモデルを創作することができる[10]。また、Colorful touch palletは、電気刺激によって好みのテキスト感を伴ったイラストを創作できる[11]。以上のように、簡素な機構や手法によって触感を生成、提示が実現できる素地が整いつつあるものの、それらを応用した触感コンテンツエディタはいま

だ大規模で複雑であり、一般ユーザがコンテンツをつくり、それをオンラインで共有、体験できるような環境はいまだ整っていない。そこで、本稿ではオンラインで普及している視聴覚コンテンツ同様、一般に使えうる安価な触感コンテンツの創作・体験のためのオンラインプラットフォームの構築を目指す。

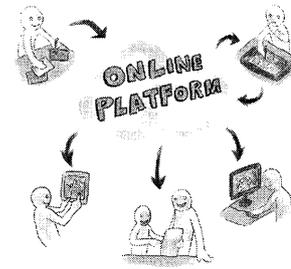


図1 触感のUGCイメージ

Fig1. Conceptual sketch of user-generated tactile content

### 3 提案手法

触感コンテンツの普及を目指すにあたり、誰もが簡単にコンテンツをつくり共有できる環境の必要性を先述した。イラストをはじめとした視聴覚コンテンツは、素材を容易に生成、検索でき、エディタを用いてコンテンツを創作し、共有・体験するという一連の流れを非常にスムーズに実現できるのである。この一連の流れを触感の分野にも導入すれば、触感・触感コンテンツが普及するというのが本稿の目的である。

そこで、その目的を実現するにあたり必要とされるシステムの要件を以下のようにまとめる。

- ・可能な限り少ない手間、容易な手法で触感の取得・提示可能なこと
- ・既存のプロトコル、フォーマットを用いて触感の共有が可能なこと
- ・直感的な手法で触感の検索が可能なこと

家庭での利用など一般の普及を考えること手間やシステムは簡略化されていることが好ましい。また、多くの人々が触感を体験できる機会を最大化するには既に普及しているプラットフォームを援用すべきであろう。最後に、共有された触感や触感コンテンツに思い通りにアクセスできる検索手法があれば触感が画像や音響と同等に扱いやすいものとして受け入れられうる。以上の理由から先に上げた3点を本稿で提案するシステムの要件とし、それを満たしうる「触感のコピー＆ペースト」「触感検索エンジン」「触感コンテンツのオンラインプラットフォーム」という手法についてそれぞれ示す。

### 3.1 触感のコピー&ペースト

触感生成モデルが未だ確立しておらず、どの物理量が触感の知覚にどのように影響するのかが明確に解明されていない。それゆえ、触感のセンシングに関してもどの物理量を取得すべきかが明らかになっておらず、触感センサを最適化するに至っていない。そこで、本稿では人間の知覚に注目しその取得を試みる。より具体的に説明すると、触探索する際に媒介する物体を介在させ、その物体の振動を取得し、提示の際も同等の周波数成分を持つ振動を介在させた物体から提示すれば手指部の個人差を考慮することなく容易に触感の取得、提示が可能になりうる。たとえば、ヒトは何らかの物体に書く、なぞるといった動作を行う際に、その動作に応じてペン先と物体表面との接触面に由来する触感を感じるようになる。この試みはペン先から生じている触感(振動)を記録し、ペン先から触感(振動)を再生し、本物らしい触感の取得・提示を目指すものである。

誰もが簡単にできる手法で触感の取得・提示・共有の実現を考える際に、本稿では我々の手法を応用し音響信号に着目した[7]。そもそも音響と振動による触感、どちらも振動であるため記録したなぞり音を再生したスピーカーに直接触れれば実際に物体をなぞっているかのような触感を感じられる。この手法ではマイクとスピーカーという一般的な組み合わせで触感の取得・提示が可能であり、触感を音響信号処理の枠組みで扱うことができる。また音響として触感を取得すれば、振動としては感じられない高周波の振動、すなわち聴覚とのクロスモーダルな触感の取得・提示も期待できる。つまりこの手法では、低周波振動、高周波振動、触感としては感じられない高周波振動による聴覚とのクロスモーダル効果の3つの刺激をカバーした触感の取得・提示手法であるといえる。

さらに、触感を取得・提示する際に物体の触探索動作が非常に重要であり、なぞり時の触感の知覚はなぞり速度に応じて大きく変わる[12]。つまり、本来取得した際のなぞり速度と提示時のなぞり速度が同程度の速度でなければ、本物らしい触感を感じられないことになる。そこで、取得時、提示時のなぞり速度をそれぞれリアルタイムに計測・比較し、それに応じた適切な触感の再生スピード・振幅を与えれば、いかなるなぞり方を行なっても本物らしい触感が提供できるはずである。ここでは、触感取得時のなぞり速度をヒトの触探索時の一般的ななぞり速度である 80mm/s と固定し、体験時のなぞり速度に整合させた。たとえば記録した触感をユーザが 120mm/s で体験した際には、記録した触感を 1.5 倍で再生するといった処理を行うこととする。

最後にまとめると、なぞり時に生じる振動を音響信号として取得し、取得時と提示時のなぞり方の整合性をとりつつ、ユーザの触り方に応じた触感を提示する手法

を本稿では触感のコピー&ペーストと呼ぶ。

### 3.2 触感検索エンジン

ここからは前節で提案した触感のコピー&ペーストを踏まえ、触感として音響信号を用いることとして話を進める。3.1で本手法によって低周波振動、高周波振動、聴覚由来のクロスモーダル効果をカバーした触感取得・提示手法であると説明した。各機械受容器の振動周波数の知覚特性に加え聴覚モダリティによるクロスモダリティ効果を考慮すれば、触感の検索時に必要な主成分は大きく分けてマイスナー小体の発火する低周波振動、パチニ小体の発火する高周波振動、聴覚とのクロスモーダル効果を期待したそれ以上の高周波振動それぞれの周波数成分に設定する[13]。ここで注意すべき点は、機械受容器はお互いが協調しながら触感の知覚を形成していることだ。そのため、低周波振動の帯域を 10-100Hz、高周波振動の帯域を 100-1000Hz、それ以上の高周波振動の帯域を 1000-10000Hz と広めに設定した。次に、設定したそれぞれの周波数帯域から触感の特徴量を取得し、検索の際のパラメータとする手法については、既存の音響認識、類似楽曲検索で用いられるアルゴリズムを参考にする。音響認識、類似楽曲検索ではメル周波数ケプストラム係数という特徴量集合がその音響を表す特徴として用いられることが多い[14]。そもそも音響信号は基本周波数特性と共鳴周波数特性を畳み込んだものであるが、メル周波数ケプストラム係数は人間の聴覚の知覚特性に基づいて重み付けした上で、共鳴周波数特性(声道特性)を抽出した特徴量集合である。今回の場合は声道特性のみを抽出する必要はないため、基本周波数特性と共鳴周波数特性両方を包含した特徴量集合を触感検索時のパラメータとして利用する。

さらに、物理パラメータによる検索だけでなく、定性的な情報からも併用して触感を検索可能にするため既存のタグベースの検索エンジンのタグシステムにならない、ユーザが任意の触感から想起されるキーワード、オノマトペと触感を紐付けることによって、タグ情報からの検索も可能にし、材質感と感性的質感を併用した触感の検索エンジンの実装を目指す。

### 3.3 触感コンテンツのコンテンツエディタシステム

本稿での触感コンテンツエディタは、触感イラスト、触感画像のためのエディタを想定している。イラストは、PC、スマートフォンなど大概のプラットフォーム上で閲覧でき、またオンラインショッピングなど触感の導入が求められている分野と親和性が高い。本稿における触感コンテンツエディタシステムは、ソフトウェア部と触感 I/O インタフェース部からなり、それぞれについて概観していく(図 2)。

まず提案するシステムのソフトウェア部について概

説する。この触感コンテンツエディタは、3.1, 3.2 で紹介した触感の取得・提示・検索手法に加え、触感コンテンツの創作、共有の機能が求められる。コンテンツの創作に関しては、PhotoShopやIllustratorのペンツールなどを参考に指定した領域内に色を塗るような感覚で取得した触感を適用できるインタフェースを実装する。また、触感コンテンツの共有に関しては触感として音響を用いているため既存の楽曲共有サイトや動画共有サイトを参考にできる。触感素材をデータベースに取り込み、ユーザのリクエストに応じてレスポンスを返すことで触感のオンライン共有が可能になる。

次に触感 I/O インタフェース部について概説する。本来触感の取得と提示は別々のデバイスとして実装できるが、あえてそれらを一体化させたインタフェースとして設計した。ヒトの知覚に着目した触感の取得・提示を行う際、介在させた物体の振動を取得・提示するほうが複雑な変換を用いる必要がなくなるからだ。たとえば、マイクを物体にこすりつけ取得した触感を指先に提示しても、振動特性が異なるため触感のリアリティは低下してしまうだろう。今回は触感イラストの創作を目的とするため、イラストを描く際に通常用いられるペン型形状のインタフェースを提案する。ペン型インタフェースの内部にマイクと小型のスピーカーを配置し、ペンの振動をマイクによって取得し、スピーカーによって出力する。

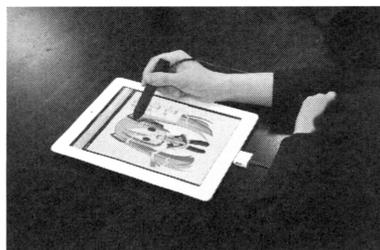


図2 システムの体験の様子  
Fig2. Configuration of system

#### 4 システムの実装

このシステムはインターネット上の画像、写真に対して塗り絵のように触感を適用できる触感のUGCプラットフォームである。既存の音楽、画像などのコンテンツと同様触感が扱える環境を提供することを目的とし、触感コンテンツの創作・共有の2つの機能を持つ。また、このシステムで提案した触感を扱うための手法群はAPIとしてあらゆる人々が使えるものとして公開していく。そのAPIの設計、利用手法についても述べる。システムは触感I/Oデバイス、触感情報をコントローラとしての役割を担うiPadアプリ、触感情報の管理を行うウェブサーバから構成される(図3)。iPadのメモリ使用量を抑えるため本システムはサーバ、クライアント方式のアプリケーションとして実装してある。また、画像と紐付いている触感の種類、触感が割り当てられている領域などの触感情報

は体験する触感イラストを選択した時点でサーバ上からダウンロードし、その触感の再生に関してはローカルのiPad側を行うため体験時のネットワークによる遅延は無視できる程度に抑えられる。構成する機能、デバイス群については次にそれぞれについて記述していく。

#### 4.1 触感 I/O デバイス

この触感I/Oデバイスはペン型形状をしており、マイク(TA9904, Audio Technica社)、ボイスコイルスピーカー(フォースリアクタL, アルプス社)、導電性素材(アルミ)から構成される。デバイスの両端にはマイク、ボイスコイルがスピーカー取り付けられ、マイクによって取得した触感情報が、導電性素材を通してiPadとの接触が検知されるとなぞり速度に応じた触感が提示される機構になっている。それゆえこのデバイス単体でマイクによる触感の取得、ボイスコイルスピーカーの振動による触感提示が可能であり、スピーカーとマイクを用いることで触感情報を音響情報として扱うことができ、既存の音響信号の記録・編集・共有のプラットフォームと容易に統合できる(図4)。

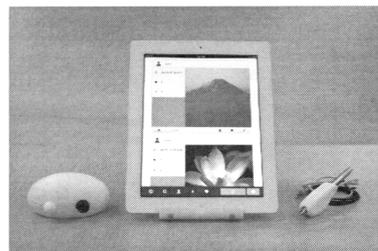


図3 システムの概要  
Fig 3. System Construction

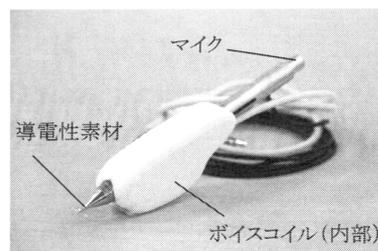


図4 触感 I/O デバイス  
Fig4. Tactile I/O device

#### 4.2 触感検索エンジンの実装

ここで提案する検索エンジンは、音響認識のアルゴリズムを参考に実装する。簡単に触感の検索エンジン実装における指針を示すと、まず音響認識で音素を認識する際に用いられる特徴量であるメル周波数ケプストラム係数をk-means法を用いてクラスタリングを行い、触感をクラスタの集合で表現する。その後、そのクラスタ集合間の距離を分布間の距離尺度であるEarth Mover's Distance(以下EMD) [14] で求めることによって触感の類似度を検索する、といった指針で実装されている。

今回は触動作と触感の特微量の関係を簡略化するため、検索時に取得するなぞり動作を 80mm/s に固定した。以下に特微量の抽出、クラスタ集合による表現に分けて示す。

#### 4.2.1 触感特微量の抽出

感性的な側面から触感を分類する試みとして、早川らはオノマトペとそれから想起される材質感の相関性について調査し、身の回りの代表的な触感を「柔-硬」、「乾-湿」、「粗-滑」の三軸で分類した[16]。この軸の中で我々のシステムでは直接的に乾湿感を提示することは困難なため、柔 - 硬、粗 - 滑の二軸から触感を検索することを目指した。その二軸についてより詳細にみてみると、柔 - 硬の極にはそれぞれゴリゴリ(岩系) - ねちゃねちゃ(ゴム系)といったオノマトペ、材質が設定され、粗 - 滑の軸にはそれぞれじゃりじゃり(砂系) - つるつる(紙系)といったものが設定されている。そこで、これらの極となる材質をもつ複数の試料の触感を記録し特微量を学習させ、それら極からの距離をキーとして検索を行う。ここでの特微量とは音響認識の分野で用いられるメル周波数ケプストラム係数を参考としている。ここで学習に利用したサンプルは、先に挙げた岩系、ゴム系、砂系、紙系の物体表面を 5 種類ずつ計 20 種類取得したものであった。

#### 4.2.2 クラスタ集合による表現

先で特微量の抽出を行ったが情報量が多すぎるために処理に大きな負荷がかかってしまうため、情報を圧縮する必要がある。そこで、このデータ集合を有限個の代表的な定型に置き換える必要がある。今回は k-means クラスタリング法を用い特微量集合をクラスタ分けした。また各クラスタの平均分布と分散共分散行列を求め、先で求めた特微量を圧縮した。ここでは、Loganらの研究[14]にならい 16 のクラスタに分類した。ここで分類したそれぞれのクラスタ集合間の EMD を算出し、それを検索時のクエリとしている。

### 4.3 触感の API の構築

オンラインで触感を扱う手法が本プラットフォームに閉ざされているとこれまで同様、触感を取り巻くコミュニティの形成や潜在的なユーザとなりうる人々にアプローチできない可能性がある。それゆえ、一般的なユーザであっても既存のウェブサービスで用いられているよう API のように本プラットフォームが蓄積している触感にアクセスやその他内部メソッド群にアクセスできるように一部のメソッドを外部 API として提供している。

API は RESTful なインタフェースで提供され、リソースのフォーマットは JSON・JSONP・バイナリの三種類のみである。`http://touchcast.so/api/1/` をエン트리ポイントとし、配下に触感提示。検索などに関する各種 API を用意している。ユーザは `http://touchcast.so/api/1/\*.json` のよう

な形式でリクエストを発行することができる。この API を利用することによって、既存の WebAPI とマッシュアップすることによって、既存ウェブサービスに触感を導入できる。その一試行として我々 API を用いてオンラインショッピングサイト Amazon(www.amazon.co.jp)とのマッシュアップアプリケーションを実装した。画像の投稿、触感の投稿などの API を利用し、Amazon 内の商品画像をクリックするとアプリケーションプロトコル経由で我々の提案したアプリケーションが起動し購入前に触感を体験できる仕様になっている。

## 5 システムの検証

### 5.1 提案手法におけるクロスモダリティ効果の検証

#### 5.1.1 実験目的

本手法ではクロスモダリティ効果を期待し音響信号を振動に由来する触感情報として扱っている。それゆえ、本実験は触感として皮膚で感じられない振動、すなわち聴覚刺激としての振動がどの程度物体の触感的知覚に影響しているのかを調査するものである。ヒトの機械受容器で知覚できる振動はおおよそ 1000Hz 以下とされるため、ここで扱っている触感情報は 1000Hz 以下の振動、1000Hz 以上の皮膚の機械受容器において知覚できない振動になる。この 1000Hz 以上の振動が触感提示の本物らしさに影響しているか、触感の検索の実装時に必要な主成分であるかの検証を行う。

#### 5.1.2 実験設定

金属、洗濯板、布(デニム素材)、竹素材のテーブルマットの 4 種類の試料を 80mm/s で記録した触感を用意した(図 5)。なお、金属、布は凹凸のない平面で構成され、また洗濯板、竹素材のテーブルマットは凹凸の表面形状を持っている。聴覚情報とのクロスモダリティ効果を調査するために音響を遮断するイヤーマフを装着しない状態(音響あり)と装着している状態(音響なし)それぞれの条件下でそのままの触感、1200Hz のローパスフィルタをかけた触感の 4 種類の条件を用意した。これら 4 つの条件をランダムに提示し、任意の速度で一度だけ触ってもらった後に、実際の触感と比較して 5 段階で本物らしさを評価してもらった(図 6)。その評価についてより詳細に説明すると 5 は本物と同じ、3 は材質感の特徴はよくわかる、1 は他素材との比較による弁別が可能だが実物の触感とは全く異なる、といった基準で評価してもらった。このとき用意した音響の音圧はどれも一定であった。被験者は 22-27 歳の男性 5 人、試行数はそれぞれの条件で 8 試行計 128 試行であった。

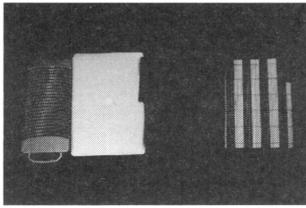


図 5 使用した試料



図 6 実験の様子

Fig 5. Experimental samples

Fig 6. Experimental setup

### 5.1.3 実験結果

以下の図 7 から図 10 に結果を示す. 縦軸の 1 から 5 は 5 段階評価のポイント, 横軸の 1 から 4 はそれぞれの実験条件であり, それぞれの内訳は条件 1. 音響情報あり/ローパスフィルタなし, 条件 2. 音響情報なし/ローパスフィルタなし, 条件 3. 音響情報あり/ローパスフィルタあり, 条件 4. 音響情報なし/ローパスフィルタありである. これらの結果をみるとそれぞれ音響ありと音響なしでは, 音響による手がかりありのほうが本物らしいと知覚する傾向があることがわかった(図 7,8,9,10). また, 条件1と条件3を比較し, t 検定:  $p < 0.05$  で検定を行ったところそれぞれの材質知覚において有意差があることを確認した. それゆえ, 本手法では音響によるクロスモダリティ効果を有効に利用し本物らしい触感を提示できることがわかった. さらに, 音響ありの状況下でフィルタなし/フィルタありをみてみると洗濯板と竹素材は大きな差がないことに対し, 金属と布(デニム)ではフィルタありの状況では大きく本物らしさが減少する傾向がみられた. この件について被験者に質問したところ, 特に金属で平面の素材は皮膚感覚で知覚する振動よりも聴覚からの音響情報を手がかりとして本物らしさを決定したという意見を得た. 金属と布の触感, 洗濯板, 竹素材のテーブルマットなど凹凸のある物体に比べ高周波成分を強く持っており, フィルタをかけてしまうと皮膚感覚としては感じられない音響からの手がかりが違和感を与えることがわかった. そこで, 本手法ではローパスフィルタによって皮膚感覚に特化した振動成分だけを抽出するのではなく, 音響からの手がかりを違和感のない形で利用することを目的として基本的にそのままの音響を触感として用いるものとする.

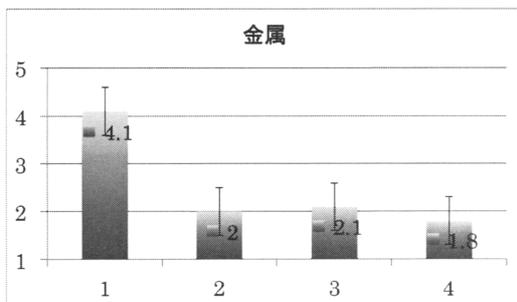


図 7 実験結果(金属)

Fig 7. Experimental result (metal)

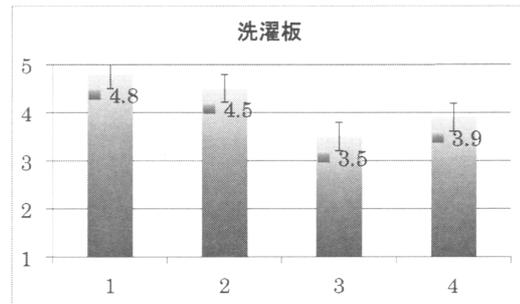


図 8 実験結果(洗濯板)

Fig 8. Experimental result (wash board)

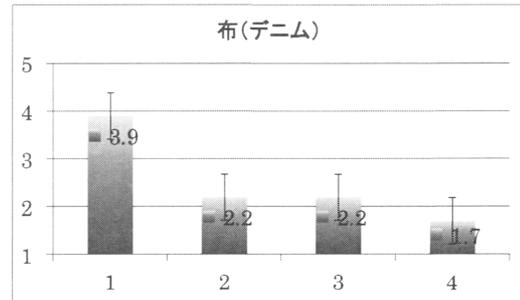


図 9 実験結果(デニム布)

Fig 9. Experimental result (denim)

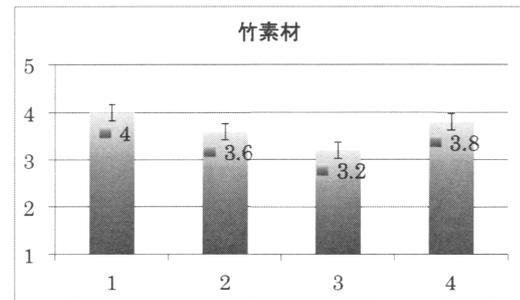


図 10 実験結果(竹素材)

Fig 10. Experimental result (bamboo)

## 5.2 提案手法における粗さと材質感の弁別実験

### 5.2.1 実験目的

次にこの手法による材質感の弁別実験を行う. 触感コンテンツをつくるにあたり, 創作の素材となる触感の多様性は重要である. さらに, 材質感の皮膚感覚に由来するものの取得や提示が難しいため, 本手法で材質感の弁別もある程度可能とされれば触感コンテンツの創作のための触感取得・提示手法として有効であるといえる.

### 5.2.2 実験設定

本手法で取得できる凹凸感, 硬軟感, 乾湿感などの物理特性がもっとも似ているとされると白土らによって示された[15], 1) 金属, 2) 紙, 3) プラスチックの3種類の試料を用意し, その触感を 80mm/s のなぞり速度で記録した. 触感の記録は被験者ごとに行った. 記録された触感, デバイスでディスプレイをなぞることによってランダムに提示される(図 11). 実験開始前にそれぞれの試料を直接触れてもらい, その後に記録された触感を提

示した。被験者のなぞり速度は任意とし、3種のうちどの触感が提示されているかを質問し、その正答率を算出した。なお、本実験の試行数はそれぞれの試料において10試行ずつ計30試行を行い、被験者は22歳から32歳までの男女9人(男性7人、女性2人)であった。

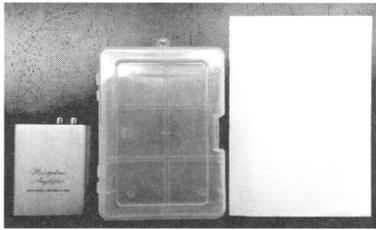


図 11 利用した試料

Fig 11. Experimental samples

### 5.2.3 実験結果

図 12 にそれぞれの正答率の結果を示す。3種の正答率の平均は70%であった。解答の内訳を掘り下げてみると他の2種類に比べ、紙の正答率は低く、紙は主にプラスチックと誤答されやすいことがわかった(図 13)。再び白土らの研究[15]を参照するとプラスチックと紙は材質の湿り具合を示す乾湿因子という因子が大きく異なっているもののプラスチックと紙の組み合わせでの誤答が多いことから、本手法では他の因子に比べ乾湿因子の弁別が難しいことを示す。本実験の結果をまとめると、概ねそれぞれの試料の弁別は可能であるが、本手法では凹凸因子、硬軟因子に比べると乾湿因子の弁別は困難であるとの結果が得られた。

また乾湿因子の弁別の困難さの原因をシステム性能に由来するものかペン越しの触探索という行為そのものに由来するものかを切り分けるため、22才から24才の男女3人の被験者に、目隠しをした状態で乾いた布、湿らせた布をそれぞれ5試行ずつ触れてもらい、その正答率を算出したところ60%であった。この時の回答を導出した基準を調査すると湿らせた布のほうがわずかに摩擦感を強く、それを基準としていることがわかった。本システムに摩擦感を提示できる機構を設けることでさらに乾湿感を含めたより多様な触感提示の可能性がある。

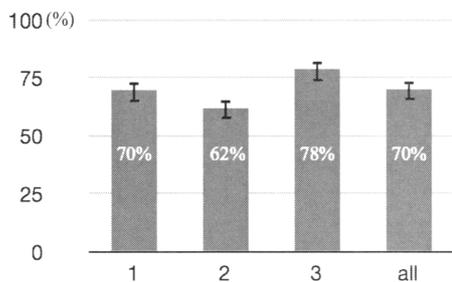


図 12 3種試料の正答率

Fig 12. Validity of experimental materials

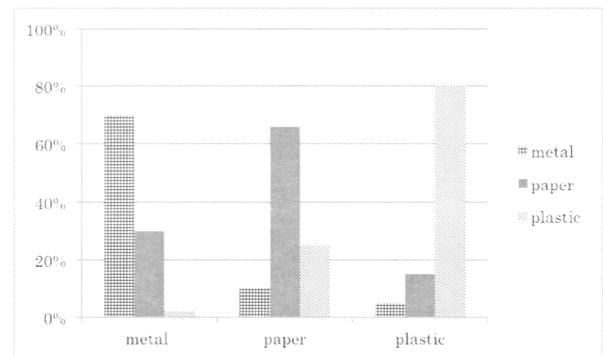


図 13 3種試料それぞれの正答率内訳

Fig 13. Break down of experimental answers

## 5.3 検索エンジンの正確さの検証

### 5.3.1 実験目的

触感を検索するにあたり、いかに正確に自分の好みの触感に辿り着けるかが重要である。先に触感情報による定性的な分類、材質感による定量的な分類の手法をそれぞれ挙げた。定性的な分類に関しては、既存の検索エンジンのようなキーワードによる検索に譲ることとし、ここでは物体が持つ材質感を類似度順に検索できているかについて検証する。

### 5.3.2 実験設定

身の回りの日用品から4種類の材質の異なる物体(金属、デニム、洗濯板、紙)を3点ずつ計12サンプルを用意した。次にそれらの触感を80mm/sのなぞり速度で取得しデータベースへ入力した。さらにダミーの触感として、#120と#240のサンドペーパーをランダムななぞり速度でそれぞれ4回ずつなぞった触感とホワイトノイズ、ピンクノイズの10種をデータベースに入力した。その後、上記サンプルとダミーデータ計22種類の素材が入力されたデータベースに対して、上記と同様の4種類の材質を持つさらに異なる物体の触感を検索のクエリとして検索した。検索のクエリとした触感の取得時のなぞり速度は、サンプル取得時と同様80mm/sであった。

### 5.3.3 実験結果

以下に実験結果を示す(表 1,2,3,4)。それぞれの実験結果を見ると実験に用いたそれぞれの試料をキーにして際に、類似した材質感を持つ触感が検索できることを確認した。この結果によって、本検索エンジンは現実物体の触感を取得し、その触感に類似した触感をある程度正確に検索できると結論づけることができる。

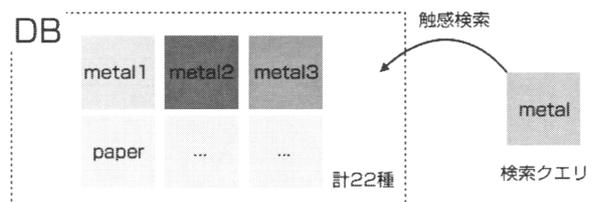


図 14 実験の概要

Fig 14. Overview of experiment

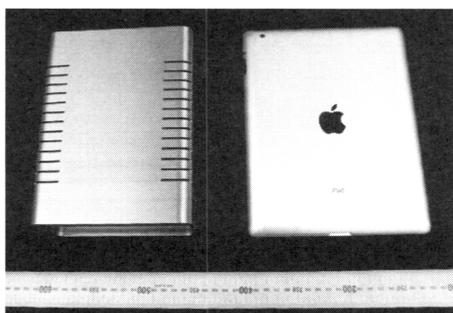


図 15 実験で用いた試料の一例(金属)

Fig 15. Example of Experimental material (metal)

表1 使用した3種の試料

Table 1 Search result (metal)

金属	アルミ2種類, ステンレス,
デニム	任意のデニム生地3種
洗濯板	それぞれピッチ幅 80mm, 85mm, 90mm のプラスチック
紙	画用紙, コピー用紙, コート紙

表2 検索結果(金属)

Table 2 Search result (metal)

Search Rank	EMD Value	Material
1	139.59	Metal3
2	141.56	Metal1
3	241.66	Metal2
4	467.60	Paper2
5	468.47	Paper1

表3 検索結果(洗濯板)

Table 3 Search result (wash board)

Search Rank	EMD Value	Material
1	28.56	Sentakuita2
2	28.92	Sentakuita1
3	34.29	Sentakuita3
4	344.01	Bamboo1
5	375.65	Bamboo2

表4 検索結果(デニム布)

Table 4 Search result (denim)

Search Rank	EMD Value	Material
1	24.39	Cloth2
2	59.36	Cloth1
3	82.92	Cloth3
4	108.23	Paper2
5	108.52	Paper1

表5 検索結果(紙)

Table 5 Search result (paper)

Search Rank	EMD Value	Material
1	23.60	Paper2
2	23.79	Paper1
3	49.00	Paper3
4	108.23	Cloth2
5	108.30	Cloth1

## 5.4 システムの展示とその考察

### 5.4.1 展示の概要

本稿で構築したシステムは User Interface and Software Technology 2012, Laval Virtual 2013 やエンターテインメントコンピューティング 2012 など国内外で延べ400人ほどの人々にデモンストレーションを行った(図16)。デモの流れは

1. 触感を適用したい写真を撮影 or 画像を選択
2. 触感を適用したい領域を選択
3. 適用したい触感の検索 or 好みの触感がなければ触感の取得し触感パレットに追加(図17), イラストへ触感を適用
4. 2-4をくりかえし, 触感塗り絵の創作(図17)
5. 創作された触感塗り絵の体験

であり, 大半の体験者がこの流れでシステムを体験した。この一連の体験は, すべて本稿が最終的に想定しているオンライン環境で行われているものであり, 別会場で創作された触感コンテンツを体験するなどオンラインで触感を共有するという体験ができる。現実世界からの触感を取り込むという体験はおもしろく多様な触感を生成できること, 触感情報を扱う上で特別な実装を必要としない本手法の汎用性の高さについて好意的な意見を多く頂いた。

### 5.4.2 展示の考察

提案システムでは触感コンテンツの創作すなわち今回の場合は触感塗り絵の創作が現実世界の触感を取り込み提示するという手法, 触感の検索手法によって簡便な手法で触感コンテンツが創作できることを確認した。また, 創作された触感コンテンツのオンライン共有もネットワーク遅延などのストレスを感じさせることなく容易に実現できることを確認した。

海外の展示において, 手指部の大きさや皮膚の厚さにばらつきがあることを考慮し2種類のサイズのI/Oデバイスを用意したが, 直径の大きなデバイスに比べ, 直径の小さなデバイスを使用した際にデバイス全体が振動することにより触感のリアリティが低下するという意見を得た。本来ペン先で物体をなぞることによって得られる振動はペン先端から由来することが好ましいが, デバイスの構造上振動源であるボイスコイルを構造上中部に配置せざるを得なく触感がペン先に定位できなかつ

たことに起因すると考えられる。この意見を考慮し、ペンの中部から後部にかけて振動が減衰するよう内側にゴムを挿入し振動を減衰させることによって対処した。

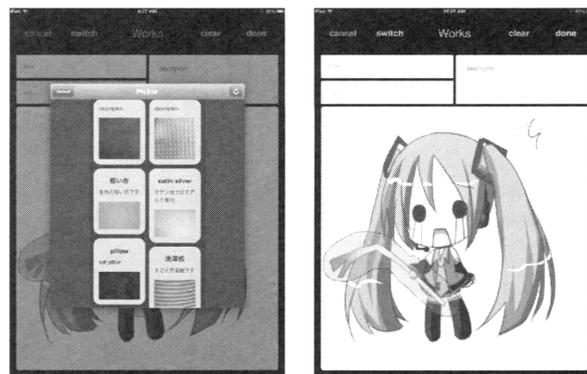
国内外での複数のデモンストレーションを通して、被験者から「肌触り」というよりも「爪感」に近いという声を頂いた。これはデバイスで提示している触感は指表面で感じられる触感よりも爪でなぞっている感覚に近いと解釈できる。これは、アルミ素材のデバイスで物体表面をなぞった時の振動を音響として取得していることから、物体表面の材質感に由来する振動に加え、アルミに由来する硬さを知覚させる振動を包含して取得してしまっていることが原因として考えられる。それゆえ、本提案で提示できる触感は硬さ成分に偏ったものになっている。またまた、もともと物体表面の材質と運動によって生じるテクスチャ感の取得・提示を目的としているため、柔らかさ、湿り気などは提示できない。これらのデバイスが本来持っている提示性能と過去ユーザによって投稿された触感につけられたオノマトペタグを参照すると以下のような領域の触感はこのシステムで提示可能であると結論付けられる。粗さ、硬さ、乾いた触感については、高い提示性能を持っていると考えている。

また、本システムでは騒音の多い環境下では触感提示性能が低下することもわかった。このシステムでは振動刺激と聴覚刺激を同時に用いることによってクロスモダリティ効果は誘発し、微細な材質感の違いも提示することが可能となっているがそれゆえ、システムが利用される環境の騒音に影響され、触感のリアリティが低下してしまうことがある。たとえば、接触時に生じるなぞり音を知覚できないことに起因して材質感の知覚が曖昧になるといった問題が生じる。このような問題に対しては、音割れがしない程度の最大振幅で振動を出力する、共鳴しやすい素材に iPad を貼り付け共鳴させる、スピーカーを併用するなどの解決策が考えられる。本システムにおける触感のリアリティを担保するには聴覚からの刺激を許容できる環境を構築することが重要である。



図 16 User Interface and Software Technology での展示

Fig 16. Demonstration in UIST 2012



(左)触感パレット UI

(右)触感塗り絵 UI

図 17 触感コンテンツ創作システム UI の一例

Fig 16. Demonstration in UIST 2012

## 6 まとめ

本稿では、オンラインでの触感コンテンツの創作、共有を目的とし「触感のコピー&ペースト」、「触感の検索エンジン」、「触感オンラインプラットフォーム」という3つの手法をそれぞれ提案し、それらを導入したシステムを構築した。これらの手法によって、オンラインで触感の生成・体験・検索・共有が可能になった。また構築したシステムの検証と展示を行い、本システムが一定の触感提示・検索性能を持ちつつも、一般の方々にも利用できることを確認した。

これまで触感コンテンツをオンラインで楽しむ環境の技術的可能性は検証したが、触感のUGCを普及させるためには触感そのものの編集機能のさらなる充実や触感コンテンツをハブにしたコミュニケーションのための仕組みづくりも不可欠である。前者については、現在開発中の Haptic Editor[10]を発展させ、今回の機構では実現できなかった弾性、摩擦などの生成・提示機能や触感生成のモデル化についてより深く考察していく。また後者については、コメント機能など本プラットフォームそのもののコミュニケーション機能を整備すると同時に、共有された触感やタグ、コメントなどを解析することによって、感性的質感による分類精度の向上や触感の生成ガイドラインを構築し、より多様かつ容易に触感を扱う手法を洗練させていく。また、pixiv や youtube などへのインタフェースを用意し、既存のプラットフォームとの連携を強化することで既存のコンテンツを拡張し、画像や音楽と同じ程度の簡便さで触感を楽しめる環境を目指す。

## 謝辞

本研究は JST-CREST「さわれる情報環境」プロジェクト及び IPA 未踏 IT 人材発掘育成事業の支援により行われた。また、本システム構築において IPA 未踏 IT 人材発掘育成事業プロジェクトマネージャとして多大なる助言を頂いた大阪大学・ATR の石黒浩教授に感謝の意を

示したい。

### 参考文献

- [1] John, K.: User-Generated Content. Pervasive Computing. vol.7.No.4. 10-11. 2008.
- [2] Rubaiat Habib Kazi, Takeo Igarashi, Shengdong Zhao, Richard Davis, "Vignette: Interactive Texture Design and Manipulation with Freeform Gestures for Pen-and-ink Illustration", The 30th international conference on Human factors in computing systems (CHI 2012), pp.1727-1736, Austin, Texas, May 5-10, 2012.
- [3] Masataka Goto, Tomoyasu Nakano, Shuuji Kajita, Yosuke Matsusaka, Shin'ichiro Nakaoka, and Kazuhito Yokoi: "Vocalistener and VocaWatcher: Imitating a Human Singer by Using Signal Processing", In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2012), pp.5393-5396, March 2012.
- [4] Ryokai, K., Marti, S., Ishii, H. (2005) "Designing the World as Your Palette." In Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05), 2005
- [5] Okamura, A.M., Cutkosky, M.R., Dennerlein, J.T., Reality-based models for vibration feedback in virtual environments, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume: 6, 3, 245-252
- [6] H. Culbertson, J. M. Romano, P. Castillo, M. Mintz, K. J. Kuchenbecker. Refined methods for creating realistic haptic virtual textures from tool-mediated contact acceleration data. In Proceedings, IEEE Haptics Symposium, 385-391, 2012
- [7] Kouta Minamizawa, Yasuaki Kakehi, Masashi Nakatani, Soichiro Mihara and Susumu Tachi: TECHTILE toolkit - A prototyping tool for design and education of haptic media, in Proc. Laval Virtual VRIC 2012, Laval, France, 2012
- [8] Hideyuki Ando, Takeshi Miki, Masahiko Inami, Taro Maeda: The nail-mounted tactile display for the behavior modeling, ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications, 2002
- [9] Kouta Minamizawa, Souichiro Fukamachi, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami and Susumu Tachi: Gravity Grabber: Wearable Haptic Display to present Virtual Mass Sensation, 34th Int. Conf. On Computer Graphics and Interactive Techniques (ACM SIGGRAPH 2007), Emerging Technologies, 2007
- [10] Sho Kamuro, Yuta Takeuchi, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: Haptic Editor, ACM SIGGRAPH ASIA 2012 Emerging Technologies, Hong Kong (2011. 12)
- [11] Yuki Hirobe, Takumi Yoshida, Shinobu Kuroki, Kouta Minamizawa, Katsunari Sato and Susumu Tachi: colorful Touch palette, ACM SIGGRAPH 2010, Emerging Technologies, Los Angeles, CA, USA
- [12] Gibson, J. J. : Observations on active touch. Psychol Rev 69, 477-491, 1962
- [13] Eric Kandel, James Schwartz, Thomas Jessell, Steven Siegelbaum, A.J Hudspeth : Principles of neural science, 2012
- [14] Logan, B. and Salomon, A., A Content-based Music Similarity Function, Technical report, Compaq

Cambridge Research Lab, 2001.

- [15] 白土 寛和, 前野 隆司: 触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.9, No.3, pp.235-240, 2004
- [16] 早川 智彦, 松井 茂, 渡邊 淳司: オノマトペを利用した触り心地の分類手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 487-490, 2010.

(2013年3月28日受付)

### [著者紹介]

#### 竹内 祐太 (学生会員)



2011年慶應義塾大学総合政策学部中退。同年同大学院メディアデザイン研究科進学。2012年度IPA未踏クリエイター。VR、ハプティックインタフェースの研究に従事。

#### 片倉 弘貴 (非会員)



2008年より慶應義塾大学総合政策学部。2012年度IPA未踏クリエイター。ネットワークシステムに関する研究に従事。

#### 南澤 孝太 (正会員)



2005年東京大学工学部係数工学科卒業。2010年同大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士(情報理工学)。2007年より日本学術振興会特別研究員(DC1)。2010年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科助教。2011年より同研究科特任講師。ハプティックインタフェース、3Dディスプレイ、テレグジスタンスの研究を行う。

#### 舘 暲 (正会員)



昭43東大・工・計数卒。昭48同大学院博士課程修了。工学博士。東大・工・助手、通産省機械技研・主任研究官・パイオリロボティクス課長、MIT客員研究員、東大・先端研・教授などを経て、平6同大・工・計数工教授、平13同大学院・情報理工・教授、平21年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特任教授。東京大学名誉教授。国際バーチャルリアリティ研究センター長。テレグジスタンス、人工現実感などの研究を行う。IEEE/EMBS論文賞、通産大臣表彰、文部科学大臣表彰、国際計測連合(IMEKO)特別勲功章、IEEE-VR Career Awardなど受賞。IMEKOロボティクス会議議長、計測自動制御学会第46代会長、日本バーチャルリアリティ学会初代会長。