



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

## ウェアラブルな多チャンネル触覚計測・提示による触覚共有基盤

Wearable Multi-Channel Tactile Measurement and Presentation for Haptic Sharing Platform

田口晴信<sup>1)</sup>, 鞠玉蘭<sup>1)</sup>, 神山洋一<sup>1)</sup>, 菅健太<sup>2)</sup>, 堀江新<sup>1)</sup>, 田中由浩<sup>3)</sup>, 石川博規<sup>4)</sup>, 南澤孝太<sup>1)</sup>

Harunobu TAGUCHI, Yulan JU, Youichi KAMIYAMA, Kenta KAN, Arata HORIE,

Yoshihiro TANAKA, Hironori ISHIKAWA and Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, {h.tag, yulan-ju, kamiyama, a.horie, kouta}@kmd.keio.ac.jp)

2) 株式会社 DALIFILMS (〒 330-0804 埼玉県さいたま市大宮区堀の内町 1-66, kan@dalifilmsinc.com)

3) 名古屋工業大学大学院工学研究科 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町名古屋工業大学, tanaka.yoshihiro@nitech.ac.jp)

4) 株式会社 NTT ドコモ (〒 100-6150 東京都千代田区永田町 2-11-1 山王パークタワー, ishikawahiron@nttdocomo.com)

**概要:** 我々はオンライン上での感覚共有や技術伝承の実現のため、6G 世代の通信基盤に触覚技術を含めることを目指し、ネットワークを通じて感覚を共有可能な FEEL TECH™ という触覚共有技術の開発に取り組んでいる。第一段階として、個人の触知覚感度に応じた触覚最適化機能を含むネットワーク経由の触覚共有基盤、事前収録した映像・音声・振動触覚によるマルチモーダルな感覚共有コンテンツ、身に着けやすい球体形ステレオ振動触覚提示デバイスの開発を実現した。本稿では、これらの触覚共有技術の詳細について述べ、既存のツールを活用した多チャンネル触覚コンテンツ開発のワークフロー、より高解像度な体験を提供する 4ch の指先装着型振動触覚提示デバイスについて提案する。

**キーワード:** 触覚, ウェアラブル, 感覚共有

## 1. はじめに

スマートフォンや SNS の普及により、写真や動画とともに見たものや聞いたものを簡単にシェアすることができるようになった。その一方で、触体験を共有するには同じものを手元に用意したり、実際に足を運んで自ら体験したりする必要がある。我々はこれまで、触感のプロトタイプングツール TECHTILE Toolkit[1] やネットワーク経由で触覚を共有可能な HaptI/O[2] などを開発し、触覚技術を誰でも利活用できる環境の実現を目指してきた。オンライン上での活動が今後益々加速するなか、マルチモーダルな感覚共有技術が求められている。

そこで、触覚を含む感覚を手軽に共有できる社会を実現するべく、我々は大手通信会社 NTT ドコモと共同で触覚共有技術 FEEL TECH™<sup>1</sup> の開発に取り組んでいる。第一段階として、個人の触知覚感度に応じた触覚最適化機能を含むネットワーク経由の触覚共有基盤、そして映像や音声とともに体験できる事前収録型の触覚コンテンツ及びステレオ振動触覚デバイスを開発し、マルチモーダルな体験共有を実現した。将来的に、低遅延な 6G 通信にこのような触覚共有技術を含めることで感覚を写真のように記録し、伝統工芸などにおける技術伝承であったり、遠隔医療を始めとするオンライン上のコミュニケーションに応用したりする



(a) 2ch

(b) 4ch

図 1: 開発した多チャンネル振動触覚デバイス

ことを目指している。

本稿では、FEEL TECH™ で実現したマルチモーダルな感覚共有技術及びより高解像度な体験の提供に向けた 4ch の指先装着型振動触覚提示デバイスの検討について述べる。開発を通じて得られた知見とともに、既存のツールを活用した多チャンネル触覚コンテンツ開発のワークフローを提案する。

<sup>1</sup><https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/rd/openhouse/openhouse2023/exhibition11.html>

## 2. システムデザイン

### 2.1 概要

現状、FEEL TECH™ は次の 3 つの特徴を持つ。

- 個人の触知覚感度に基づく触覚信号の変調 (最適化)
- 事前収録型視聴触覚コンテンツ
- リアルタイム触覚伝送

これらの処理を担い、触覚信号をネットワーク経由で配信するのが人間拡張基盤®である。基盤サーバには操作端末や触覚提示デバイス、コンテンツ蓄積サーバがネットワーク経由で接続され、サーバクライアント構成でデータのやり取りを行う。

幅広いユーザを対象とした触覚伝送を実現するためには、個々人の多様な触知覚特性のバリエーションに対応することが求められる。このための手段として、個々人の触覚の知覚感度を元に触覚情報を変調する触覚の個人最適化を導入した。インターネットを通じて多くの人に触覚を含む身体的経験を共有するためには、この仕組みが必要不可欠といえる。

最適化のための触知覚感度の測定は、クライアント側のタブレット端末で行う。端末に接続された触覚提示デバイス (図 1(a)) をユーザは利き手で把持し、50Hz, 200Hz, 400Hz の徐々に強度が強くなる正弦波振動に対する反応時間を計測する。ユーザがタブレット上のボタンを押すと振動が徐々に強くなり、それを知覚したタイミングで画面から手を離すことによってユーザの各周波数帯に対する触知覚感度を測定する。この情報に基づき感度曲線を推定し、配信される触覚データに対し基盤サーバが周波数イコライジングを施す。基盤サーバでは、各ユーザの触知覚感度に応じた変換処理を施し、複数のクライアントに対し、個別に最適化された触覚データを同時に配信する。

そして、触覚の伝送は事前収録したコンテンツ及び振動センサのリアルタイム出力を共有することが可能である。基盤サーバには、コンテンツ蓄積サーバ及びリアルタイム触覚共有用のサーバが接続され、逐次的に触覚データを最適化処理し、映像コンテンツと同期して配信する。

### 2.2 ステレオ振動触覚デバイス

ユーザは触覚提示デバイス (図 1(a)) を把持しコンテンツを体験する。このデバイスは球体状のステレオ振動触覚提示装置となっており、左右に分割することで、両手に異なる振動触覚を提示することができる。半球形状は指先から手のひらまでカバーし、楽器演奏のような指先の巧緻動作や握った棒から伝わる感覚など様々なシーンの再現に向いている。首元の小さな箱には USB オーディオアンプが、半球の中には振動アクチュエータ (639897, Foster Electric Company, Limited.) が搭載されている。駆動回路は、主にマイクロコントローラ (Seeeduino Xiao RP2040, Seeed Technology Co.,Ltd.) 及び 2 基のデジタルパワーアンプ (NS4168, Shenzhenshi YONGFUKANG Technology co.,LTD.) で構成されている。首から下げられる形状にすることで、日常的に身につけられるプロダクトデザインを施した。



図 2: 開発したコンテンツの一部シーン



図 3: 触覚収録の様子

### 2.3 視聴触覚コンテンツ

図 2 に示すのが、FEEL TECH™ で体験できるコンテンツの一部である。触覚技術のユースケースを多くの人に示すため、琴や茶道といった職人の感覚、オンラインショッピングを想定した服や革素材の手触り、白杖やハンドシェイクのようなスキンシップなど 10 以上のシーンからなるコンテンツを開発した。

## 3. 触覚コンテンツの開発

### 3.1 ワークフロー

多チャンネル振動触覚コンテンツの開発は、収録・編集・再生のプロセスで構成され、本来それぞれ専門的な技術や経験を必要とする。収録に用いるセンサや計測器の選定、指や道具へのセンサの固定の仕方、収録したデータの処理、再生デバイスのアクチュエータに合わせた調整など、分野横断的な数多くのプロセスから構成されるためである。

そこで本研究では、既存の映像・音声コンテンツの開発ツールを積極的に活用することで、直感的かつ映像に合った触覚デザインが可能なワークフローを提案する。振動データを音声として扱うことで、既存の収録機器から編集ツール、音声処理エフェクトまで利用できる。また、多チャンネルオーディオに振動触覚データを含めることで、複数の触覚データを同期させながら音声や映像と共存させることができ、マルチモーダルなコンテンツを容易に開発することができる。

### 3.2 収録手法

触覚収録においては、加速度センサ (2302B, Showasokki Co., Ltd.) や PVDF センサ [3]、コンタクトマイク (EM2

46U100B1, Primo)[1] を指や対象物体に装着し、複数の信号をフィールドレコーダ (Portacapture X8, TEAC Corp.) で同時に記録した。3D プリンタで作成した治具でセンサを指に固定することで、指の動作や物体とのインタラクションを妨げずに感覚を取得することができる (図 3)。映像と触覚の同期に関しては、収録開始時に音声チャンネルにクラップ音を入れたり、ワイヤレスタイムコード同期システムを用いて収録ファイルのメタデータに時刻を書き込んだりし、編集時に手動または自動で位置合わせを行った。なお、触覚データは 32bit float 形式で保存しておくことで、万が一ピークオーバーしてしまっても後処理で復元できる可能性を高められる。

### 3.3 編集手法

収録したデータを、動画編集ソフト (Premiere Pro, Adobe Inc.) を用いてタイムライン上に並べ、編集を行った。シーケンス設定を 4ch のマルチオーディオトラックとして構成しておくことで、ステレオ音声に同期して、2ch の触覚信号を編集することが可能になる。なお、編集時には前述の球体形デバイスを PC (Macbook Pro, Apple Inc.) に接続し、プレイバックデバイスとして使用した。収録データをタイムラインに並べ終わった後、各種センサ信号のバランス、ゲインやパンといった基本的な調整を施した。繊細なテクスチャの違いを出す必要があったり、感覚的に物足りなさを感じたりしたシーンに関しては、イコライザやピッチシフタなどによって適切な周波数帯域を強調させることにより、主観ベースながらもわかりやすさを重要視した触感デザインを行った。

## 4. 4ch 振動触覚への拡張

### 4.1 指先装着型ステレオ振動触覚デバイス

現状の FEEL TECH™ では、球体形のステレオ振動触覚デバイスを用いて感覚を味わうことができる。しかし、楽器の演奏のような細かい動作のシーンでは、迫真性の面でもより多チャンネルかつ指先への刺激提示が適していると思われる。

多チャンネル振動触覚を提示するためのデバイスとして、図 1(b) に示す指先装着型 4ch 振動触覚デバイスを考案した。このデバイスは片手当たり 2ch の USB オーディオデバイスとして動作し、PC やスマートフォンなど多くの端末上で動作させることができる。製作したデバイスは、片方につき約 35g で、2つの小型振動アクチュエータ (Sprinter  $\gamma$ , NIDEC Corp.)、駆動回路、3D プリンタ製の筐体で構成されている。振動アクチュエータは調整可能なベルトで指先に固定し、駆動回路は腕に装着するように設計した。腕に基板を固定することで、ケーブルや基板自体の重さが指や手の負荷にならないように設計した。こうすることで体験者は自由に指先を動かすことができ、身体動作を真似ることで体験の質を高めることができる。デバイスを両手に装着し、PC に接続し機器セットを作成することで、マルチチャンネルのオーディオインターフェースとして動作させ、

ユーザーは音声や映像と同期したマルチモーダルな触覚コンテンツを体験できる。

### 4.2 コンテンツ開発

触覚収録自体は指ごとにセンサを取り付けて行ったため、チャンネル数を増やして再編集することで対応可能であった。収録データを動画編集ソフトを用いて 6ch (5.1ch) オーディオのビデオとして編集を行い、親指とそれ以外の指の信号に分けてミックスダウンすることで 4ch の触覚コンテンツを開発した。親指は他の指からの振動が伝搬しにくいこと [4]、琴やハンドパンの演奏では親指と人差し指・中指をよく用いることに着目し、親指と人差し指の 2ch に分けてデバイスを装着するようにコンテンツを再編集した。これにより、チャンネル数を削減しながらも体験の質を保つことができ、琴やハンドパンの感覚において、演奏者の感覚をより解像度高く提示することができた。

## 5. まとめ

多様な感覚の提示を実現した FEEL TECH™ について、触覚コンテンツ開発のワークフローを提案し、さらにはより高解像度な触体験を提供する 4ch 触覚デバイスについても述べた。FEEL TECH™ のコンテンツは触覚技術のユースケースを示す多数のシーンから構成され、2ch の球体形デバイスによって様々な感覚を追体験することができた。琴やハンドパンといった巧緻動作に対しては、指先装着型 4ch 振動触覚デバイスがより解像度の高い体験を提供できた。多チャンネル触覚提示により、将来的には伝統工芸や医療などにおける技能の伝承や、コミュニケーションの形を変える可能性がある。今後の展望としては、より日常使いに即した触覚センシング・ディスプレイデバイスの提案や、そのユースケースの開拓が望まれる。

### 参考文献

- [1] 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. of the VRIC'12*, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [2] Satoshi Matsuzono, Haruki Nakamura, Daiya Kato, Roshan Peiris, and Kouta Minamizawa. *Hapti/o: Physical node for the internet of haptics*. In *Adjunct Proc. of the UIST '17*, p. 53–55, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [3] Yoshihiro Tanaka, Duy Phuong Nguyen, Tomohiro Fukuda, and Akihito Sano. *Wearable skin vibration sensor using a pvdf film*. In *2015 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 146–151, 2015.
- [4] Yitian Shao, Vincent Hayward, and Yon Visell. *Spatial patterns of cutaneous vibration during whole-hand haptic interactions*. *Proc. of the National Academy of Sciences*, Vol. 113, No. 15, pp. 4188–4193, 2016.