

令和 4 年 9 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01401

研究課題名（和文）高周波振動の身体伝播再現による高臨場感全身触覚ディスプレイの探求

研究課題名（英文）Investigations of High-quality Whole Body Tactile Displays by Reproducing Propagated High-frequency Vibrations

研究代表者

昆陽 雅司（Konyo, Masashi）

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20400301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,510,000円

研究成果の概要（和文）：接触により身体に発生する振動伝播の空間的再現により、臨場感を向上させる触覚ディスプレイを探求した。具体的には、基盤研究として、衝突運動および振動伝播特性の高周波振動生成および身体伝播に関する物理モデリング、ヒトの高周波振動受容特性に関する知覚モデリングを行った。また、物理モデルの剛性、粘性を変化させたときの振動を複数の振動子で再現することで、身体の剛性感、粘性感が変化するかを検証し、身体材質感として知覚されうることを確認した。さらに、高周波振動の感覚を保ちながら小型振動子が再生しやすい信号に等価変換する技術を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

没入型バーチャルリアリティシステムで必要となる全身触覚ディスプレイの発展のために、接触により身体に発生する振動伝播の空間的再現により、臨場感を向上させるという新しいパラダイムを提案した。本研究では、高周波振動の身体上の空間的広がりや臨場感の関係の調査、および高周波振動の受容特性に基づく信号変換技術の実現を行った。これらの成果は、スマートフォンやゲーム機、情報端末など、世界中で利用されている振動提示技術を発展させるための重要な基盤となる。

研究成果の概要（英文）：We have explored tactile displays that improve the sense of presence by spatially reproducing the vibration propagation generated by contact with the body. Specifically, as fundamental research, we conducted physical modeling of high-frequency vibration generation and body propagation of collision motion and vibration propagation characteristics, and perceptual modeling of high-frequency vibration reception characteristics in humans. In addition, by reproducing the vibration of the physical model with multiple oscillators when the stiffness and viscosity were changed, we verified whether the sensation of stiffness and viscosity of the body changed, and confirmed that it could be perceived as the sensation of body material. Furthermore, we have realized a technology for equivalent conversion into signals that can be easily reproduced by small transducers while maintaining the sensation of high-frequency vibrations.

研究分野：ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：触覚ディスプレイ バーチャルリアリティ 振動伝播 振動知覚特性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を始めとする、バーチャルリアリティ (VR) 技術の普及により、今までにない身体的な体験を生み出す新しい表現技術が求められている。高周波振動による触覚提示は衝突現象や摩擦などを高臨場感で再現する技術として注目されており、全身への振動提示により、より没入感の高い知覚体験が得られると期待される。しかし、従来の全身触覚ディスプレイは、多数の振動子を全身に配置しただけで、振動子間の空間表現を追求したものは見られない。

そこで、本応募研究では、接触により身体に発生する弾性波の空間の広がり、高周波振動に基づく触感の臨場感知覚に関わるという新しいパラダイムを提案する。本研究課題によって、初めて高周波振動の身体上の空間的広がり、高周波振動の受容特性が明らかになる。これらの成果は、スマートフォンやゲーム機、情報端末など、世界中で利用されている振動提示技術を発展させるための重要な基盤となる。

2. 研究の目的

全身への触覚提示のための分布的な振動刺激を空間表現の手段として、従来考慮されてこなかった高周波振動の身体上の伝播特性の再現をめざす。例えば、図1に示すように、人がハンマを把持して打撃した際には、グリップする手指から、手首、肘へと、高周波の振動が、前腕の構造的特性に基づき、振幅と波形を変化させながら伝達されていく。このような振動伝播を複数の振動子によって忠実に再現することで、高臨場感をもつ打撃感が得られると期待される。

この高周波振動の空間的広がりによる知覚現象を学術的に解明し、ディスプレイ技術として確立することを本研究の目的とする。具体器には、1) 身体上で発生する振動伝播の物理的ふるまいをモデリングし、2) 高周波振動を触覚受容器が知覚する受容過程を明らかにする。また、実用システムを意識して、3) 必要な高周波振動情報を等価変換する手段と、4) 小型サブ振動子を複数並べたハイレゾ触覚ディスプレイ技術を新規に研究開発する。さらに、VRシステムを構築し、衝突物体の運動感や体験者の身体が別材質になる異構造身体体験を触覚拡張エフェクトとして表現できることを実証する。

本研究では従来、接触部のみで議論されてきた触覚現象に対して、身体に発生する振動の空間的な広がり、触感の臨場感に関わるという新しいパラダイムを提案する。また、振動伝播の物理モデルを構築することで、運動情報や身体の構造感の違いを表現可能にする。さらに、高周波振動の触覚受容特性を解明し、振動波形の等価変換する手段は、振動子の制約を打破するとともに、汎用的に利用できる技術になることが期待される。

3. 研究の方法

<学術基盤強化と科学的実証>

(1) 身体の振動計測と物理モデリング: 衝突運動および身体の構造的特性を反映する振動伝播特性をモデル化し、物理モデル表現により異構造をもつ身体の伝播振動を疑似的に再現可能にするために、スティック状のツールを把持し、対象物にインパルス的に衝撃を加えた際に生成する振動特性を計測し、運動やコンタクトメカニクスを考慮した物理モデルを構築する。モデル中のヤング率を変更することで、把持したスティック状に伝播する振動を介して打撃した対象物の剛性感の違いを提示できることを確認する。また、身体に生じる振動伝播を質点の振動系で簡易的に表現し、剛性、粘性を変化させたときの振動を複数の振動子で再現することで、身体の剛性感、粘性が変化するかを検証し、身体材質感として知覚されうることを確認する。

(2) 心理評価と知覚モデリング: ヒトの高周波振動受容特性を解明し、知覚上等価となる振動刺激を同定し、振動伝播再現による臨場感向上と、伝播特性変化による主観変化を実証するために、圧電振動子を用いて複数のキャリア周波数や振幅変調する波形に対する心理物理特性を調査する。また、異なるキャリア周波数でも感覚上同じと感じられる感覚等価変換モデルを構築する。

<実用システムと応用開拓>

(3) 普及型装着ディスプレイの開発: 性能に制約がある普及型振動子でも臨場感を出せる身体装着型触覚ディスプレイを開発するために、既存のリニア共振型振動子 (LRA) を利用して、身体に装着可能なディスプレイを開発する。複数の振動子による、PSの制御によりVRシステムなどで、身体からエネルギーを放出するなど新しい体感表現を試みる。

(4) 身体運動を伴う触覚拡張型エンタテインメントシステムの開発: (1) で提案したモデルに基づき、異なる楽器や速度で打撃した際の、打楽器の感覚を表現するVRシステムを開発し、楽器の違いなどが表現できることを確認する。

4. 研究成果

(1) 物理モデルによる衝突振動の再現とエアドラムVRシステム

触覚提示技術において、物体との衝突を振動でユーザに提示する研究が報告されている。例え

ば, Okamura ら^①は, 物体の衝突時の振動を記録し, 減衰振動波によって近似することで, 衝突させる対象物体の衝突振動の再現により材質感を知覚可能であることを示している. しかし, 記録ベースの再現手法では, 対象物や打撃速度が変わる度に新たに計測が必要であり, 異なる物性をもつ対象との衝突や, 運動に合わせた振動の変化を表現することが困難である. 本研究では, 物理モデルに基づき衝突振動をモデル化し, 物理パラメータの変更で任意の打撃感を生成する手法を提案する.

構築したモデルは2つのステップで衝突振動を生成する. 第1のステップは, 対象との衝突により生じる反力を運動方程式および接触理論からモデルを導出した. このモデルでは, 衝突する物体のヤング率, 接触面の曲率, および衝突速度を反映することができる. 第2のステップでは, 手で把持する物体に伝播する振動を振動モードに合わせて複数の1自由度振動系で表現する. 第1のステップで得られる反力を強制力とする強制振動をモデル化した.

提案モデルの妥当性を確認するために, ドラムスティックと複数のドラム楽器(スネア, タム, シンバル, ハイハット)の衝突による振動を実測し, 提案モデルにより発生する振動を近似できることを確認した.

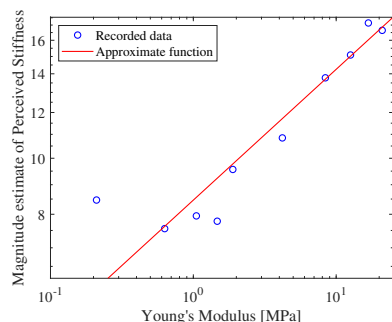


図1 モデルの剛性の変化により知覚された剛性感

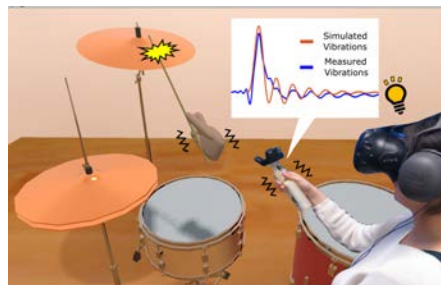


図2 エアドラムのVRシステムのイメージ図

モデルベースの衝突振動の生成の有効性を示すために, モデル中の物体のヤング率を変更することで, 硬軟感が変化するかをマグニチュード推定により調査した結果, ヤング率を大きくすることにより知覚された剛性が大きくなることが確認された(図1).

構築したモデルを用いて, エアドラムで疑似的な衝突体感を表現するVRシステムを開発した. 衝突振動は物理モデルの2つのステップの微分方程式を4次のルンゲクッタ法により, 実時間で算出することで, 慣性センサにより推定された衝突速度を反映して, 振動を生成することが可能である. 本システムを用いて物理モデルで生成した振動により楽器の違いが表現できることを確認した. 本システムは国際会議WHC2019でデモ展示された.

(2) 多点振動刺激による身体材質感の提示

VR空間において金属やゴムなど, 人体とはかけ離れた材質でできたキャラクターとして振舞うことを考える. 高い没入感をもってそのようなキャラクターになりきるためには, 自分自身の身体の材質が変化したかのような感覚を与える必要がある. 従来, 衝突振動により材質感が表現できることは確認されてきたが, 単一の振動子で表現されてきた. 身体に伝わる振動は広範囲に伝播することが報告されている^②. 複数個の振動子を用いて振動の伝播の様子を空間的に表現することは材質感の表現に有効であると考えられる. 本研究では, 前腕に複数点の振動刺激を振動伝播の物理モデルを考慮して同時に与え, モデルパラメータの変更により知覚される身体の剛性感を変化させるか調査する.

手先に発生する振動は, 研究成果(1)で構築した接触振動の物理モデルを用いる. 第2ステップの振動系を図3に示す3自由度直列振動系に置き換えた. 3つの質点の運動はそれぞれ, 手先, 手首, 肘に提示する振動波形に対応し, 剛性と粘性により固有振動数と減衰比によって振動を特徴づけることができる.

構築した振動伝播モデルを用いて装着型の振動提示システムを開発した. 3点の振動はマイコン(M5Stack Gray)上でルンゲクッタ法を用いて8kHzのサンプリングレートで波形を生成した. ADコンバータを介して出力された振動波形はアンプで増幅されて振動子(Acouve Lab. Vp2)を駆動し, 手掌, 手首, 肘の3点に振動刺激が提示された.

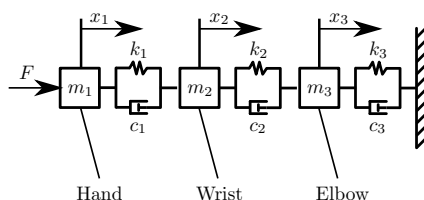


図3 モデルの剛性の変化により知覚された剛性感

表1 実験条件: 減衰比の変化

Condition name	Hand	Wrist	Elbow
Decrease	0.10	0.080	0.060
Constant	0.10	0.10	0.10
Increase	0.10	0.55	1.0

構築したモデルにより生成した分布振動により身体の剛性の変化を提示可能か調査した。表1に提示された3条件を示す。図3のモデルの振動系の減衰比のみを変化させた。実験では、被験者に手掌に物体がぶつかってくることを想定するように伝え、連続して提示される2つの刺激に対して、一対比較法により、どちらが身体をより硬く感じるかを回答させた。全ての刺激の組み合わせに対して、各15試行、合計90試行で評価した。被験者は20代男性5名である。

回答された結果から、硬軟感を表す尺度を算出した結果を図4に示す。実験結果から減衰比の変化により硬軟感が有意に変化することが確認された。この結果は振動の振幅や周波数を変えなくても、減衰比を小さくして肘まで響くような条件にすることで硬い感覚を得られることを示唆している。また、被験者の内観報告から、振動が移動するような感覚が生じていた可能性がある。減衰比の違いは、振動子間の強度差を生じさせる要因になるため、振動子間の間に振動源を錯覚であるファントムセンセーションが生じていた可能性も示唆された。

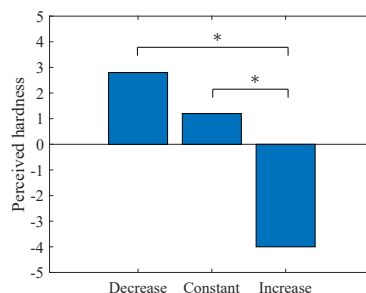


図4 減衰比の変化により知覚された硬軟感

(3) ヒトの高周波振動に対する包絡知覚特性の調査

一般にヒトの振動知覚の上限は1 kHz程度であると言われていたが、小型の振動子でこのような帯域まで振動を提示することは困難である。さらに、振幅変調波のように、振幅の包絡線が変動する波形の場合、搬送波の周波数が例え1 kHz以上であっても、包絡成分が知覚されることが報告されている^③。一方、パチニ小体により知覚される高周波振動成分は、振動のエネルギー成分を一致させた場合、区別できなくなるという報告もされている^④。本研究では、従来明らかにされていなかった高周波振動のエネルギー知覚と包絡知覚の区別を明確にし、振動刺激により再現すべき特徴量を解明することを目的とする。

まず、本研究課題では、従来報告されていなかった衝突時発生する減衰振動波の包絡知覚特性について調査をおこなった。150 Hzから1000 Hzまでの高周波振動に対して、減衰の丁度可知差異を調査したところ、いずれの周波数でも20~40ms程度の時定数の違いを検出できることを確認した。

つぎに、周期的な信号に対する包絡知覚特性について調査した。複数の周波数が混合する高周波振動の知覚特性は、Bensmaiaらによって報告されており、パチニ小体による知覚は、以下の式で表される周波数依存性をもつインテンシティ I_s によって説明できることが心理物理実験との比較により示されている。

$$I_s = \sum_f (A_f^2 / T_f^2)^{\alpha_f} \quad (1)$$

ここで、 A_f 、 T_f 、 α_f はそれぞれ、周波数成分 f における振幅、振動閾値、および指数係数を表す。 α_f は実験的に求められる値である。この式により、100~400 Hzの範囲で3つの周波数をもつ合成波の触感の類似性が、上記のインテンシティモデルに一致することが報告されている。しかし、インテンシティを維持したまま、周期的に振動を変動させた際の包絡知覚特性は明らかにされていなかった。

本研究では、インテンシティを一致させた上で、振幅変調波の包絡成分を12 Hzから125 Hzの範囲で変化させた場合のヒトの弁別特性について調査した。十分な発生力をもつ積層型ピエゾ振動子を用い、レーザ変位計により、実際に生成される振幅を確認した。波形は、変動しない正弦波と周期的な振幅変調波を比較し、変動周期内のインテンシティは、比較対象と同じになるように調整された。実験では、3つの刺激から1つの異なる刺激を選択する弁別能力を調査した。被験者は20代男女14名である。

実験結果の例を図5に示す。この図では、3段階の大きさのインテンシティに対して、包絡成分の周期を変化させた際の弁別能力 d' の結果を示している。この結果、ヒトは包絡成分の周波数が80~125 Hzの間で、 d' が1.0 (1/3の弁別課題の正答率が60%に相当)を下回り、それ以上の周波数では、包絡成分の区別ができることを示している。

この結果は、ヒトは80 Hz以下の包絡成分はたとえインテンシティを一定にしたとしても、波形の弁別が可能であることを示しており、高周波振動知覚においては、インテンシティだけでなく、低周波域のインテンシティの変動も特徴になることが明らかになった。

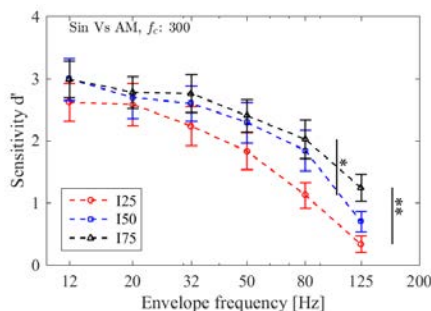


図5 包絡成分の周波数に対する弁別能力の変化

(4) 振動インテンシティの時分割変調に基づく高周波振動の感覚等価変換

近年、幅広い周波数帯域の振動を再現してリアルな触感を提示する振動フィードバック技術が注目されている。しかし、高周波振動を提示するうえで 1)聴覚ノイズの発生、 2) アクチュ

エータの応答限界, 3)ヒトの知覚感度の低下などの問題がある. とくに聴覚ノイズの問題に関しては, 音楽等と同時に振動提示をする際に体験の妨げになることから, 従来は 200 Hz 程度以下の LPF(ローパスフィルタ)が用いられてきた. しかし, LPF は高周波の触感再現できないため, 音と完全に同期した振動にならないといった問題がある.

本研究では, 研究成果(3)で明らかにした高周波振動の包絡知覚特性に基づき, 高周波振動の感覚を維持しながら, 他の振動波形に変換する感覚等価変換技術の開発を行う. この技術により, 高周波の振動刺激の触感を変えずに, アクチュエータの応答が十分に得られ, かつ, ヒトが知覚しやすく, 聴覚ノイズを抑制可能な周波数の振幅変調波に変換することを可能とする.

提案する感覚等価変換では, 式(1)で示される高周波のインテンシティに加え, 100 Hz 以下のインテンシティの変動を維持するように信号を時分割して処理を行う. 具体的には, 5 ms 程度の区間で信号を時分割し, 区間内のインテンシティを算出する. このことから, Intensity Segment Modulation (ISM: 振動インテンシティ時分割変調)と呼ぶ. 時分割したセグメントは経験的モード分解 (EMD)により基底信号と残差信号に分解する. EMD は時系列信号を 1 つの基底信号と残りの信号に分解する手法である. 分解された基底信号の周波数を推定し, 各基底信号のインテンシティを式(1)に基づき算出し, 積算した値をセグメントのインテンシティとする. 100 Hz 以下の信号は, 低周波成分としてそのまま振動子に出力される. 図6に ISM により変換された振動波形の例を示す.

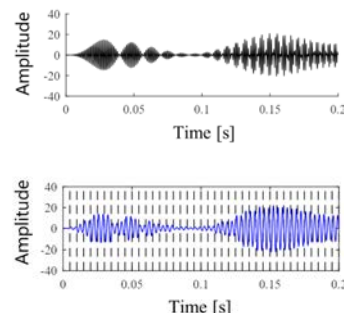


図6 ISMにより変換された振動波形の例. 元信号(上)と変換後の振幅変調波(下).

提案手法の感覚等価性を評価するために, ISMにより変換された触感の劣化度合いを評価した. 振動子は, 元信号をそのまま出力できる能力をもつ大型の振動子 (Acouve Lab., Vp4) が選定された. 周波数応答が安定する 400 Hz と 600 Hz がキャリア周波数として選択された.

劣化度は, 隠れ基準付き 3 刺激 2 重盲検法により評価した. 被験者に元の高周波振動を 2 回, 変換した振動 1 回の計 3 回の振動をランダムな順番で提示し, 触感が異なると感じた刺激を回答させた. また, 異なると答えた振動と他の振動との違いの度合いを 5 段階で回答させ, ISM 信号の点数から隠れ基準の点数を減算することで得られる主観的劣化度合い (SDG: Subjective Difference Grade)を求めた. 被験者は 20-60 代男女 10 名である.

実験の結果の例を図8に示す. 左図は, キャリア周波数 400Hz で, 40 Hz あるいは 150 Hz の包絡線をもつ 1 山の振幅変調波 (ハーモニック刺激) に対する劣化尺度を示し, 中央値の平均は -0.82 であった. キャリア周波数を 660 Hz とした場合, 平均値は -1.00 であった. 右図は 2 つのキャリア周波数をもつ減衰振動波 (パーカッシブ刺激) に対する劣化尺度を示し, 平均値は -0.36 であった. 劣化尺度は, -1.0 で「違いが分かるが, 劣化が気にならない」程度を表しており, ISM により変換された刺激は, ほぼ違いが分からないか, 分かっても気にならない程度の劣化しかしないことが確認された.

この変換技術を用いて, バイオリンや花火などの高周波の音源をもつ動画の視聴体験を拡張した結果, リアリティが向上する傾向が確認された. 本技術は, 聴覚域を含む高周波振動の体験を小型の振動子でリアルに体験できる技術として, 体感に伝播する振動の再生に利用することができる.

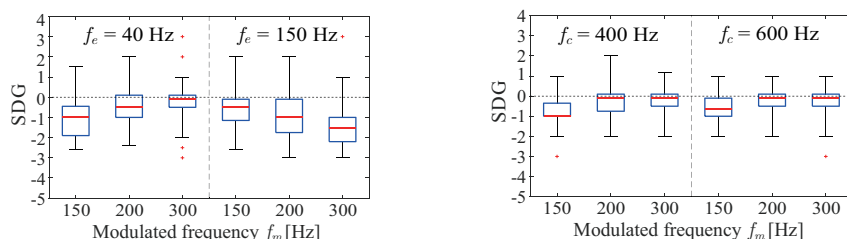


図7 ISMによる劣化度合いの評価. (左) キャリア周波数 400Hz のハーモニック振動, (右) 減衰振動をもつパーカッシブ振動

<引用文献>

- ① A. M. Okamura, et al., Reality-based models for vibration feedback in virtual environments, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, 6(3), 245-252, 2001.
- ② Y. Shao, et al., Spatial patterns of cutaneous vibration during whole-hand haptic interactions, Proc. of the National Academy of Sciences, 113(15), 4188-4193, 2016.
- ③ P. Lamore, et al., Envelope detection of amplitude-modulated high-frequency sinusoidal signals by skin mechanoreceptors, J. of the Acoustical Society of America, 79(4), 1082-1085, 1986.
- ④ S. Bensmaia, et al., Vibrotactile intensity and frequency information in the pacinian system: A psychophysical model, Perception & psychophysics, 67(5), 828-841, 2005.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 昆陽雅司	4. 巻 141
2. 論文標題 高周波振動の知覚特性を活用したインタラクション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 77 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjournal.141.77	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamaguchi Kosuke, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Sensory Equivalence Conversion of High-Frequency Vibrotactile Signals using Intensity Segment Modulation Method for Enhancing Audiovisual Experience	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE World Haptics Conference 2019	6. 最初と最後の頁 674 ~ 679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/WHC49131.2021.9517147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Gongora Flores Daniel Marcell, Konyo Masashi, Nagano Hikaru, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Haptic Exploration during Fast Video Playback: Vibrotactile Support for Event Search in Robot Operation Videos	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TOH.2019.2957792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagano Hikaru, Sase Kazuya, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Wearable Suction Haptic Display with Spatiotemporal Stimulus Distribution on a Finger Pad	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE World Haptics Conference	6. 最初と最後の頁 389 ~ 394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/WHC.2019.8816156	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Babu Dennis, Konyo Masashi, Nagano Hikaru, Hamada Ryunosuke, Tadokoro Satoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Stable haptic feedback generation for mid-air gesture interactions: a hidden Markov model-based motion synthesis approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-019-0130-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Cao Nan, Konyo Masashi, Nagano Hikaru, Tadokoro Satoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Dependence of the Perceptual Discrimination of High-Frequency Vibrations on the Envelope and Intensity of Waveforms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 20840 ~ 20849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2898029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Cao Nan, Nagano Hikaru, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Sound Reduction of Vibration Feedback by Perceptually Similar Modulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)	6. 最初と最後の頁 934 ~ 939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROMAN.2018.8525571	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cao Nan, Nagano Hikaru, Konyo Masashi, Okamoto Shogo, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 A Pilot Study: Introduction of Time-Domain Segment to Intensity-Based Perception Model of High-Frequency Vibration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Haptics: Science, Technology, and Applications. EuroHaptics 2018. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 321 ~ 332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-93445-7_28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gongora Daniel、Nagano Hikaru、Konyo Masashi、Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Vibrotactile Feedback Improves Collision Detection in Fast Playback of First-Person View Videos	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Haptics: Science, Technology, and Applications. EuroHaptics 2018. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 636 ~ 647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-93399-3_54	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 工藤 響
2. 発表標題 立体的な振動ファントムセンセーションを利用した放出感の表現
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 昆陽雅司
2. 発表標題 高周波振動の知覚特性に基づく触覚提示
3. 学会等名 センサシンポジウム (Future Technologies from HIMEJI 2021 ONLINE) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池大輝
2. 発表標題 振動インテンシティを用いた任意波形のファントムセンセーションの生成 第2報: 位置制御性と触感維持性の評価
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池大輝
2. 発表標題 振動インテンシティを用いた任意波形のファントムセンセーションの生成
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口公輔
2. 発表標題 振動インテンシティ時分割法に基づく高周波振動の感覚等価変換
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池大輝
2. 発表標題 物理シミュレーションに基づく多点振動刺激による身体材質感の提示
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋洋一郎
2. 発表標題 打撃感提示のための物理モデルに基づく衝突振動の実時間生成
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤真也
2. 発表標題 高周波振動を用いた触覚伝達による建設ロボットの遠隔操縦支援 , 物体の移動・整列タスクによるパフォーマンス評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋洋一郎
2. 発表標題 打撃感提示のための物理モデルによる衝突振動の再現 - 剛性パラメータを反映した振動生成と硬軟感の評価 -
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 洋一郎
2. 発表標題 振動弁別実験に基づく高周波帯域におけるパチニ小体知覚モデルの同定
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichiro Takahashi
2. 発表標題 Simbeat: Physical Model-Based Generation of Vibrotactile Contact for Air Drums
3. 学会等名 2019 IEEE World Haptics Conference (WHC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daniel Gongora
2. 発表標題 Vibrotactile feedback for preserving feeling of motion in stabilized videos
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nan CAO
2. 発表標題 Reducing sound of tactile display for high-frequency collision vibrations
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daniel Gongora
2. 発表標題 Exciting but Comfortable: Applying Haptic Feedback to Stabilized Action-Cam Videos
3. 学会等名 AsiaHaptics2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 振動制御装置，振動制御プログラム及び振動制御方法	発明者 昆陽雅司，山口公輔， 曹南，田所諭	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/40520	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 振動分配制御装置，振動分配制御プログラム及び振動分配制御方法	発明者 昆陽雅司，稲垣匠馬， 菊池大輝，山口公輔， 田所諭	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/021464	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 振動制御装置，振動制御プログラム及び振動制御方法	発明者 昆陽雅司，曹南，田 所諭	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、7055406	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------