

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00507

研究課題名(和文) 実世界の物理制約を曖昧化するパフォーマンス装置の研究

研究課題名(英文) Research on Performance Instruments That Ambiguate Physical Constraints in the Real World

研究代表者

松浦 昭洋 (Matsuura, Akihiro)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：50366407

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：転がり・滑り・弾み運動等の物理現象や拡大縮小等の数学的変形を利用して、独自の運動性・操作性をもち、実世界の物理制約や空間制約を曖昧に感じさせたりパラメータ化したりする、新たな視聴覚表現や複合現実表現を可能とする入出力装置・実演装置を開発し、一部の運動に対して数理解析・シミュレーションによる知見を得た。さらに、デモ・実演に関しては、装置の操作方法や演示方法を考案し、製作した装置・システムのデモ・実演発表を行うとともに、体験機会を提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物理現象や数学的変形から独自の運動性・操作性を引き出し、実世界で一般に固定的に考えられている物理的・空間的制約を曖昧化・パラメータ化(変数化)する様々な入出力装置・実演装置と操作方法を開発し、実証的に示したこと、および一部の運動・変形に対して数理解析・シミュレーションによる知見を得たことは本研究の学術的意義と言える。これらの成果は、実社会においても、ゲーム・アミューズメント・(e)スポーツ・パフォーマンス分野を含め、プレイフルな入力操作や実演要素に意義のある分野で、直接利用したり要素技術として活用する展開が可能である。

研究成果の概要(英文)：We developed input/output devices and performance instruments that ambiguate or parametrize physical and spatial constraints in the real world by making use of physical phenomena such as rolling, sliding, and bouncing movements and mathematical transformation such as scaling and that enable novel audio-visual and mixed reality experiences. We also conducted mathematical analysis and simulation for some movements. As for demonstration, we developed methods for effective manipulation and presentation, demonstrated using actual devices and systems, and provided players opportunities to experience the manipulation.

研究分野：エンタテインメントコンピューティング

キーワード：物理現象 拡大縮小 曖昧化 パラメータ化 視聴触覚 複合現実 パフォーマンス装置 インタラクティブシステム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ゲーム・アミューズメント・音楽・アート・パフォーマンス等、心や身体の楽しみと関連する分野では、道具・装置を巧みに操り、所望の目的を果たしたり視聴覚表現を行ったりする機会が多い。しかし、そこで利用される原理や道具の多くは通常よく知られるものであり、新たな道具や操作法が用られる場合も、その運動性や操作性自体に高い新奇性・エンタテインメント性があるものは少ない。本報告者は、音楽の「楽器」に着想を得て、人が巧みに操ることで豊かな視覚表現が可能な道具を「視覚楽器」と呼び、幾何学的曲面を用いた新たな視覚楽器と操作法を開発してきた。しかし、開発した視覚楽器は依然部分であり、未開拓の物理現象や物体の図形的性質を利用して、情報・電子・機械技術や材料技術を融合することで、新たな運動性や操作感をもち現実の物理制約や空間制約を曖昧に感じさせたりパラメータ化したりする実演装置やその基盤となる入出力装置を生み出せる可能性がある。さらに、それにより、新たな視聴覚表現に加え、仮想世界と現実の事物が融合した仮想的な物理設定をもつ複合現実世界の体験も可能となる。

2. 研究の目的

上記背景を踏まえ、本研究では物体の転がり・滑り・弾み・風の流れ等の物理現象や形状・空間の拡大縮小等の数学的変形と関連した以下の研究・実践を行う。

- (1) 独自の運動性・操作性を利用した入出力装置・実演装置の開発
- (2) 実世界の物理制約・空間制約をパラメータ化した複合現実体験を可能とするデバイス・システムの開発
- (3) 関連する運動・変形の数理解析・シミュレーション
- (4) デモ・実演方法の考案・実践

3. 研究の方法

物体の独自の運動や操作性を利用した入出力装置・実演装置に関しては、転がり・滑り・弾み運動等を対象として、装置の考案と3Dプリンタ・高機能繊維材料、センサ・回路技術等を利用した装置開発を行う。実世界の物理制約・空間制約をパラメータ化した複合現実システムに関しては、滑り・送風・拡大縮小等の現象を仮想世界の条件設定で体験するためのシステムの開発を行う。数理解析・シミュレーションに関しては、転がり・滑りを対象として、適切な運動状態をとる物理的・幾何学的条件を得るための数理解析や物理シミュレータによる可視化・検証を行うデモ・実演に関しては、装置の操作方法や演示方法を考案し、製作した装置・システムのデモ・実演発表を行うとともに、体験機会を提供する。

4. 研究成果

2、3章で述べた目的と方法に関して、以下の成果を得た。

- (1) 独自の運動性・操作性を利用した入出力装置・実演装置
- ① 凸回転体・楕円体をインタフェースとするシステム

外に凸の曲線を軸周りに回転させた立体（以下、凸回転体と呼ぶ）やその特別な場合である回転楕円体の平面上での運動性に着目し、マルチタッチディスプレイ化された平面上でこれらの立体を巧みに操作し、視聴覚表現を行うインタラクティブシステムを開発した。ここで、特に回転楕円体は、平面上で長径を平面に対して水平/垂直とする極端な二つの姿勢の状態と、転がり（ロール）とその場での回転（スピン）という二種類の運動状態をもち、合計四種類の個別の操作性をもつ基本運動をもつ（図1(a)）。

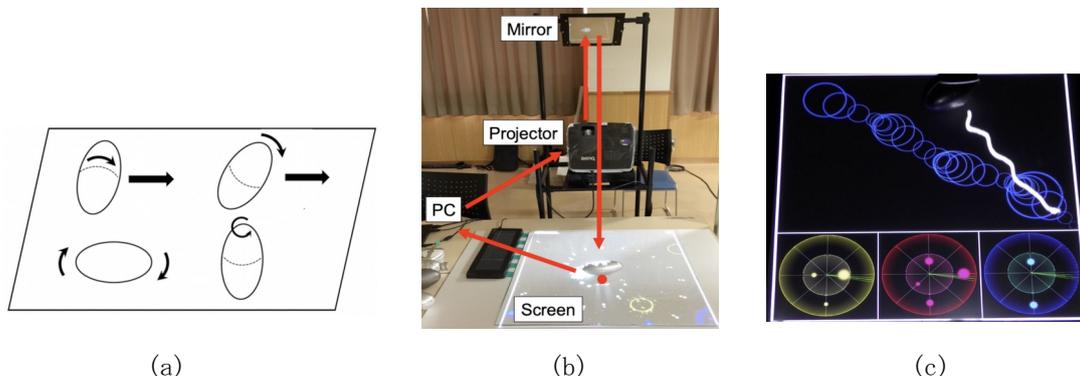


図1 (a)回転楕円体の基本運動、(b)システムの構成図、(c)演示中の画面

凸回転体の運動時の位置情報や物理情報（接地位置、接地面積、重心、速度、角速度等）を取得するために、平面上に電磁誘導方式のセンサとスクリーンを設置し、センサの電磁結合係数値から凸回転体の運動状態とパラメータを取得して、実演を含む視聴覚表現を行うインタラクティブシステムを開発した。システムの構成図を図1 (b)に示す。本システムと、音生成機能を強化したシステムの成果をSIGGRAPH Asia 2017、エンタテインメントコンピューティング2018 (EC 2018) で発表し、後者でベストデモ賞を受賞した。さらに、四種類の基本運動に合致した視覚表現と可聴化手法を組み込み、VJライクなパフォーマンスが可能なシステムを開発した。その演示中の画面例を図1 (c)に示す。本成果はインタフェースと音楽表現に関する国際会議 NIME 2020 に採択され、2020年7月に発表する予定である。

② 弾性面上の弾みで入力するシステム

物体を固体あるいは柔らかい弾性体の平面上で弾ませると、通常進行方向に弾むが、高伸張性のある繊維素材で弾性面を作成することで、回転楕円体や円筒が面に衝突後元の場所近くに跳ね返る現象（バウンスバックと呼ぶ）を実現した。その運動例を図2 (a)に示す。さらに、弾性面の下に赤外線センサ等のカメラを設置し、物体の衝突位置や沈む深さを取得して利用して、物体を繰り返し弾ませてプレイするインタラクティブシステムを開発した。ディスプレイの表示例を図2 (b)、(c)に示す。本成果はIEEE VR 2020で発表した。

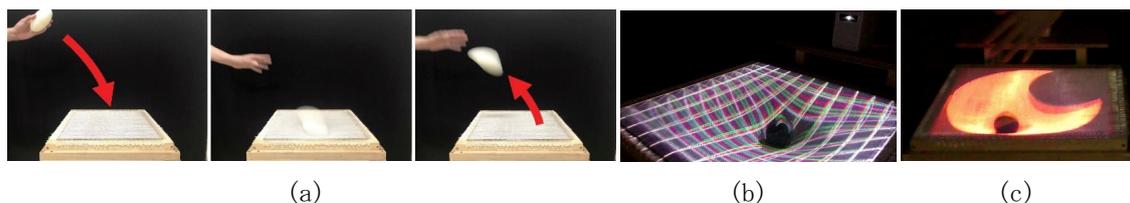


図2 (a)回転楕円体のバウンスバック、(b)格子上の弾み、(c)バウンスシューティング

③ 平行多面体を利用したブロック

まず、「三脚巴」と呼ばれる三回回転対称な図形に着目し、複数の正三角形を用いて作成した図3 (a)の二種類の三脚巴図形に厚みを付けて平行多面体化した三脚巴ブロックと拡張ブロックを開発した。これらのブロックはスライド操作で嵌合可能である。本ブロックは、図3 (b)のように三ブロックが噛み合った状態から二ブロックに外に向かって力を加えると、三ブロックが同時にスライドして広がる、という直感に反する図形的性質（滑動性と呼ぶ）をもつ。本性質は、摩擦0の理想状態で、ブロックを無限に並べた場合にも成り立つ。本ブロックを複数個嵌合させ多様な形状の作成を行ったり重心をとりバランスさせたりすることが可能である（図3 (c)）。さらに、菱形12面体、切頂8面体という二種類の異なる平行多面体を対象とし、独自のスライド操作による嵌合が可能な立体を探求し、これらの多面体を複数個結合した基本ブロックを三種考案した。以上の成果は、国際会議Bridges、アジアデジタルモデリングコンテスト等で発表した

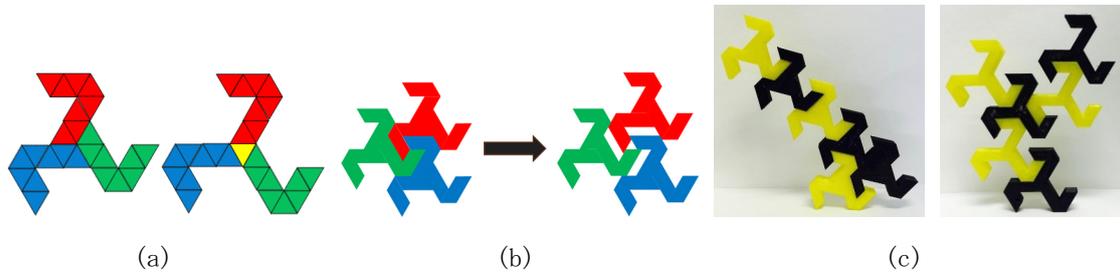


図3 (a)三脚巴図形、(b)ブロックの滑動性、(c)作例二種

(2) 物理制約・空間制約をパラメータ化するデバイス・システム

① 滑りデバイス

仮想世界で設定された地面の滑り特性を実現するデバイスの開発を行った。プレイヤーの仮想空間への没入を助けるため、物体の移動方法をプレイヤーが容易に視認できず、磁界等環境の影響を受けにくい方法として、デバイスの地面との接地部分に超音波モータを配置し、超音波振動で物体を駆動する方法を採用した。製作した無線滑りデバイスを図4に示す。デバイスは、下から超音波モータ、バッテリー、モータドライバ、Arduino Nano、XBeeから成り、デバイスの角速度と

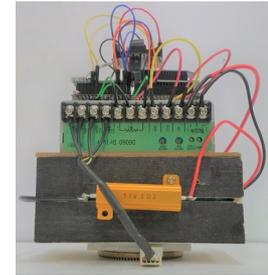
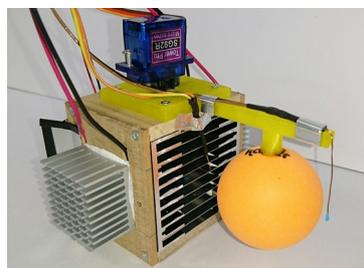


図4 滑りデバイス

回転方向は、Arduino上のポテンションメータを制御して電圧を0Vから3.2Vまで128ステップで変更可能である。これにより、超音波振動によるデバイスの駆動をプレイヤーに明示することなくデバイスのテーブル上での回転運動を実現した。本成果はNICOGRAPH International 2018で発表した。なお、仮想世界の地面の仮想的な摩擦の設定に合わせて本デバイスの滑り速度を変化させるMRコンテンツの制作には至らず、今後の課題として残った。

② 送風デバイス

仮想世界の設定で吹く温かい風を生成してプレイヤーの顔に送出する、ヘッドマウントディスプレイ装着型の送風デバイス(図5)を開発し、VRIC 2019、Laval Virtual 2019で口頭および展示発表を行った。体験者は椅子に座り、仮想世界の砂漠の中で起きる風を、デバイスから温風として体感する。本システムでは送風タイミングと方向が予め定められており、体験は受動的であったため、把持するトラッカーと仮想世界の目標物との接近度により、送風タイミングと方向をリアルタイムで制御できるインタラクティブシステムを開発し、IEEE VR 2020で発表した。



(a)



(b)

図5 (a)送風デバイス、(b)送風デバイスの装着図

③ 拡大縮小デバイス

プレイヤーが仮想世界において、自身の身体や外界の拡大縮小(拡張)感を触覚情報も含めて体験するための拡張デバイスとMRシステムを開発した。本デバイスの把持する部分は、内部の空気をエアポンプで増減できる構造をもつ。外形部は、内部構造の拡張に合わせて拡張させるためにポアソン比が負の折り紙構造をもつ(図6(a))。空気の吸入・排出は、Arduino Unoと制御回路

(図6(b))を介して、ヘッドマウントディスプレイで表示される仮想世界内のサイズ変化に同期して行われ、体験者は把持する拡張デバイスの変化も含め、仮想世界における拡大縮小感を視聴触覚で体験することができる(図6(a))。これらの成果は、映像表現・芸術科学フォーラム2019、WISS 2019で発表した。

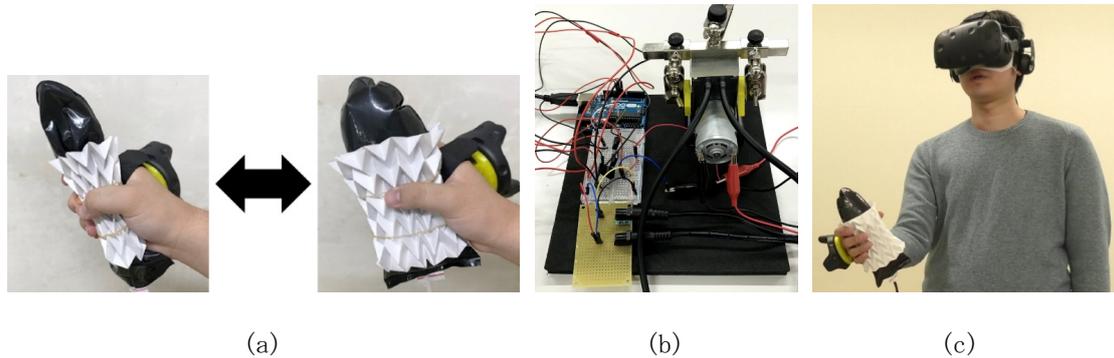


図6 (a) 拡張デバイスの変化、(b)Arduino・制御回路・エアポンプ、(c)拡張体験の様子

(3) 数理解析・シミュレーション

本報告者が本課題以前に考案した、凸曲面上でバトンを転がして操作するアミューズメント・パフォーマンス装置に関して、バトンが滑らかに転がるためのバトンと曲面の物理条件は、従来経験的に定められていたが、物理シミュレータ(Autodesk Inventor Professional 2017)を援用し、バトンに与える初期荷重、バトンの各パーツの質量、曲面等いくつかの場所の摩擦係数等のパラメータ値の組で、バトンが二曲面以上連続して転がるものを複数個発見した。本成果はNICOGRAPH International 2018で発表した。

半球面内に棒状物体の一つの端点または両端点を入れて滑らせると、棒は振り子状に振動するこの棒の半球面内での振り子運動の実演装置としての可能性に着目し、運動の二次元モデルに関して、半球面に棒の一つの端点のみ接触する場合と両端点が接触する場合に、オイラーの運動方程式に基づいて棒の角速度の一般式を導出し、棒の両端点が接触している場合に、Javaアプレットを用いて運動シミュレーションと可視化を行った。本成果は形の科学シンポジウムで発表した

上記(1)③で述べた三脚ブロックの滑動性に関して、敷き詰められたブロックで同時的な滑動性が生じる数理的なメカニズムを解析し、形の科学シンポジウムで発表した。

(4) 主なデモ・実演発表

(1)①で述べた卓上ディスプレイ上で凸回転体を巧みに転がしてプレイするインタラクティブシステムとコンテンツをCEDEC 2018、EC 2018でデモ発表し、参加者に体験機会を提供した。さらに、2020年7月に開催されるNIME2020でDJライクな実演のデモ発表を行う予定である。

(1)②で述べた弾性面上で楕円体等を弾ませるインタラクティブシステムをWISS 2019で展示し実演するとともに、参加者に体験機会を提供した。

(1)③で述べた三脚ブロックを2017年8月にアジアデジタルモデリングコンテストで二日間展示しデモ発表するとともに、参加者に試遊機会を提供した。

2019年6月に明治大学中野キャンパスで行われた、エンタテインメントコンピューティング、インタラクション、パフォーマンスアート等の研究者で構成される情報処理学会SIG-ECワーキンググループ「時系列表現WG」第2回ミーティングで、「物体の運動を活かしたプレイフルな実演装置」と題して、本報告の物体の転がり・弾み運動に関する成果を含む装置・システム群の実演発表を行い、参加者に試遊機会を提供した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Y. Ikawa, A. Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Playful Audio-Visual Interaction with Spheroids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2020)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Y. Ogiwara, M. Suzuki, and A. Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Windtherm Fire: An MR System for Experiencing Breathing Fire of a Dragon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops	6. 最初と最後の頁 567-568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VRW50115.2020.00135	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 T. Nishino, A. Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Magic Bounce: Playful Interaction on Superelastic Display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops	6. 最初と最後の頁 681-682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VRW50115.2020.00191	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 M. Suzuki, A. Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Windtherm: A Wearable VR Device That Provides Temperature-Controlled Wind	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Virtual Reality International Conference (VRIC 2019)	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 A. Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Compound Parallelohedra Building Blocks with Creature-Like Morphologies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Bridges 2018: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture	6. 最初と最後の頁 495-498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 A. Matsuura, H. Shirane	4. 巻 -
2. 論文標題 Triskelion Block Families	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Bridges 2017: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture	6. 最初と最後の頁 371-374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 A. Matsuura, Y. Ikawa, Y. Takahashi, H. Tone	4. 巻 -
2. 論文標題 Spin and Roll: Convex Solids of Revolution as Playful Interface	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SIGGRAPH Asia 2017 Posters	6. 最初と最後の頁 Article No. 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3145690.3145723	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 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Y. Ikawa, A. Matsuura
2. 発表標題 Playful Audio-Visual Interaction with Spheroids
3. 学会等名 The International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Nishino, A. Matsuura
2. 発表標題 Magic Bounce: Playful Interaction on Superelastic Display
3. 学会等名 The IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ogiwara, M. Suzuki, A. Matsuura
2. 発表標題 Windtherm Fire: An MR System for Experiencing Breathing Fire of a Dragon
3. 学会等名 The IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西野俊輝, 松浦昭洋
2. 発表標題 Bounce Display: 膜状ディスプレイ上で物体を弾ませるインタラクティブシステム
3. 学会等名 インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瓦谷佳之, 久保遼太, 松浦昭洋
2. 発表標題 円筒状の拡張デバイスの開発とMR応用
3. 学会等名 インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Suzuki, A. Matsuura
2. 発表標題 Windtherm: A Wearable VR Device That Provides Temperature-Controlled Wind
3. 学会等名 Virtual Reality International Conference 2019 (VRIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Suzuki, A. Matsuura
2. 発表標題 Windtherm
3. 学会等名 Laval Virtual ReVolution #research 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保遼太, 鈴木将敏, 松浦昭洋
2. 発表標題 拡張機構を有する筒状デバイスの検討
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木将敏, 松浦昭洋
2. 発表標題 Windtherm: 温度制御された風を送出するHMD装着デバイス
3. 学会等名 インタラクシオン2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦昭洋
2. 発表標題 平行六面体状の脚部をもつ三脚巴ブロックの滑動性について
3. 学会等名 第85回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦昭洋, 井川佑馬, 戸根弘貴, 瓦谷佳之
2. 発表標題 Spin&Roll: 凸回転体インタフェースを用いたアミューズメントシステム
3. 学会等名 コンピュータエンターテインメントディベロッパーズカンファレンス2018 (CEDEC 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nishino, A. Matsuura
2. 発表標題 Physical Simulation of Baton Rolling on Circular Cylinders
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tagashira, A. Matsuura
2. 発表標題 Slide Control Device Oriented to Virtual Physics Based Mixed Reality
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Matsuura
2. 発表標題 Compound Parallelohedra Building Blocks with Creature-Like Morphologies
3. 学会等名 Bridges 2018: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井川佑馬, 松浦昭洋
2. 発表標題 凸回転体の運動を利用して音生成を行うインタラクティブシステム
3. 学会等名 エンタテインメントコンピューティング2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西野俊輝, 松浦昭洋
2. 発表標題 曲面上のバトンの転がりシミュレーションとその解析
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Matsuura, H. Shirane
2. 発表標題 Triskelion Block Families
3. 学会等名 Bridges 2017: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Matsuura, H. Shirane
2. 発表標題 Triskelion Blocks
3. 学会等名 The Asian Digital Modeling Contest 2017 (ADMC2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Matsuura, Y. Ikawa, Y. Takahashi, H. Tone
2. 発表標題 Spin and Roll: Convex Solids of Revolution as Playful Interface
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH Asia 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 茂森拓真, 松浦昭洋
2. 発表標題 半球面上の棒振り子の物理解析
3. 学会等名 第84回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 組立構造体	発明者 松浦昭洋, 白根弘士	権利者 東京電機大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-142399	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

(1) その他の発表

2019年6月9日に明治大学中野キャンパスで行われた情報処理学会SIG-ECワーキンググループ「時系列表現WG」第2回ミーティングにおいて、「物体の運動を活かしたプレイフルな実演装置」と題して、本研究課題における物体の転がり・弾み運動に関する成果を含む装置・システム群の発表と実演を行った。

(2) 受賞・入選歴

久保遼太, 鈴木将敏, 松浦昭洋, 拡縮機構を有する筒状デバイスの検討, 映像表現・芸術科学フォーラム2019, 2019, 優秀発表賞.
井川佑馬, 松浦昭洋, 凸回転体の運動を利用して音生成を行うインタラクティブシステム, エンタテインメントコンピューティング2018, 2018, ベストデモ賞.
松浦昭洋, 井川佑馬, 戸根弘貴, 瓦谷佳之, Spin&Roll: 凸回転体インタフェースを用いたアミューズメントシステム, コンピュータエンターテインメントディベロッパーズカンファレンス2018 (CEDEC 2018), 2018, オーディエンス賞3位.
A. Matsuura, H. Shirane, Triskelion Blocks, Asian Digital Modeling Contest (ADMC 2017), 2017, Finalist.

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
--	---------------------------	-----------------------	----