

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04231

研究課題名(和文)実世界デバイスを拡張するファンクショナル・テクスチャ

研究課題名(英文)Functional Textures for expanding real-world devices

研究代表者

塚田 浩二 (Tsukada, Koji)

公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：20415714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本提案では、デジタル工作機械を用いて実世界デバイスに対して多様な「質感」と「機能」を付与可能な「ファンクショナル・テクスチャ」を構築する。従来、外観/触り心地等の質感設計はデバイスの試作段階ではあまり考慮されてこなかったが、本提案では任意の質感を付与しつつ、デバイスの機能も調整可能な造形手法を提案する。質感の種類としては、大きく「光学テクスチャ」「機構テクスチャ」「素材テクスチャ」の3種類を想定し、デジタル工作機械を用いた造形パラメータの検証と事例構築を進める。さらに、IoT/日用品等の多様な実世界デバイスを対象とした応用例や、テクスチャの造形・活用を支援する支援ツールを実装する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

質感のプロトタイピング：レンズアレイを用いた光学的な質感変化や、毛構造を用いた触感的な質感変化等をツールを用いてデザイン可能とすることで、質感のプロトタイピング手法を提案・構築した。HCI研究をはじめとして、デバイスの試作環境で幅広く活用できる可能性がある。
多様な実世界デバイスへの応用：保護フィルム上に印刷したレンズアレイをスマートフォンやIoTマイコンのディスプレイに貼り付けることで、手軽に多視点表示機能を組み込むことができる。また、導電性の毛構造の長さや配置間隔を設計・造形し、ロボットやタッチパネルの表面に取り付けることで、柔らかな手触りを持つタッチセンサとして活用できる。

研究成果の概要(英文)：We construct "FunctionalTextures" that can add various "textures" and "functions" to real-world devices using digital machine tools. Traditionally, texture design (e.g., appearance/feel) has not been a major consideration in the prototyping stage. We develop three types of textures: optical texture, mechanism texture, and material texture. We build case studies of each texture and verify the modeling parameters. In addition, we implement application examples for various real-world devices such as IoT/daily commodities, as well as support tools for modeling and utilizing textures.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：インタラクション マテリアル パーソナルファブリケーション 実世界デバイス ツールキット

1. 研究開始当初の背景

IoT装置をはじめとする実世界デバイスの設計には、センサ／ディスプレイやアクチュエータ等の電子回路、それらを制御する情報技術やパッケージ化する機構設計が必要になる。特に個人や少数グループでの試作においては、こうした技術全てに精通することは困難であるため、電子回路や情報技術を支援するツールキット (Phidgets, Arduino, M5Stack 等) や、機構設計の支援技術 (Autodesk Fusion360, TinkerCAD 等) が多数提案されてきた。

一方、実世界デバイスは、生活の中で継続的に利用される装置であるため、視覚的／触覚的な「質感」も重要な要素となる。例えば、グリップ部の表面に細かい凹凸をつけることで触覚的なすべり止め効果／視覚的な把持箇所の誘導効果を持たせることができる。また、iPhone のホームボタンのようにタッチパネルの一部を窪ませたり、可変抵抗のダイヤルにクリック感を与えれば、触覚のみを頼りに操作することが可能になる。このように、**質感の設計は単なる外観や触り心地にとどまらず、デバイスの使い勝手にも直接影響を与える重要な要素であるが、用途や個人差を考慮したカスタマイズが必要であり、試作段階で手軽に設計／実装することは困難であった。**なお、質感の定義は多様であるが、本提案では、「ユーザが物体の素材や表面状態から視覚／触覚で受ける刺激」と、「その刺激によるユーザの振る舞いの変化」を主な対象とする。

2. 研究の目的

本提案では、デジタル工作機械を用いて日用品やスマートフォンのような実世界デバイスに対して多様な「質感」と「機能」を付与可能な「ファンクショナル・テクスチャ」を構築する。提案手法の概要を図1に示す。

まず、提案者らが取り組んできたデジタル工作機械を用いた繊細な造形技術を基盤として、実世界デバイスの設計／試作に活用可能な「質感」と、その質感の「デバイスの機能」や「ユーザの認識」への影響、及び造形パラメータを整理する。質感の種類としては、大きく「光学テクスチャ」「機構テクスチャ」「素材テクスチャ」の3種類を想定している。光学テクスチャは、UVプリンタ¹や光造形式3Dプリンタを用いて造形され、デバイスの光学的な機能／触覚的な機能の双方に作用する。機構テクスチャは、機構設計技術とFDM式3Dプリンタ²を用いて造形され、デバイスの物理的な運動機能を中心に作用する。素材テクスチャは、FDM式3Dプリンタで特殊な制御技術を用いて造形され、デバイスの手触り等の触覚的な機能を中心に作用する。

次に、GUI上で任意のテクスチャを用いた設計を支援するエディタの構築に取り組む。さらに、こうしたツールを活用して、IoT／日用品等の多様な実世界デバイスを対象とした応用例を実装する。

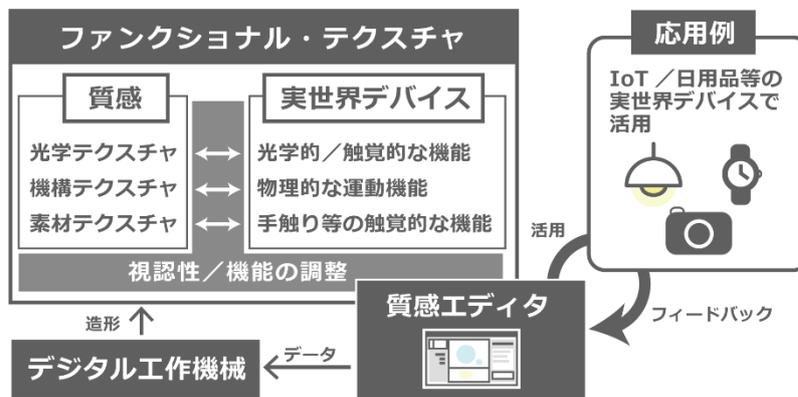


図1. 本提案の概要

3. 研究の方法

研究手法は、大きく「質感造形手法の整理」「ファンクショナル・テクスチャの試作と検証」「質感エディタの構築」「応用例の構築」から構成される。

まず、提案者らが取り組んできたデジタル工作機械を用いた造形技術を、光学／機構／素材テクスチャの観点から整理する。次に、テクスチャ種類毎に試作／造形テストを行い、基礎的な設計の妥当性を検証する。さらに、テクスチャの種類とパラメータを選択したり、描画ツールを用いてパターンをレイアウトした上で、デジタル工作機械の出力データとして書きだせるツールを構築する。また、こうしたツールを活用して、IoT／日用品等の多様な実世界デバイスを対象とした応用例を実装する。

¹ 紫外線硬化インクを用いて、CMYKに加えて透明な質感を出力できるプリンタ。

² 熱溶解積層方式。樹脂フィラメントを高温で溶かし積層する一般的な3Dプリンタの造形方式。

4. 研究成果

(1) UV プリンタを用いたレンズ造形手法

光学テクスチャを用いたアプローチの基礎となる UV プリンタを用いたレンズ造形手法について、造形ツールや基礎的な応用例、性能評価等の知見を整理して、ジャーナル論文としてまとめた (図 2)。

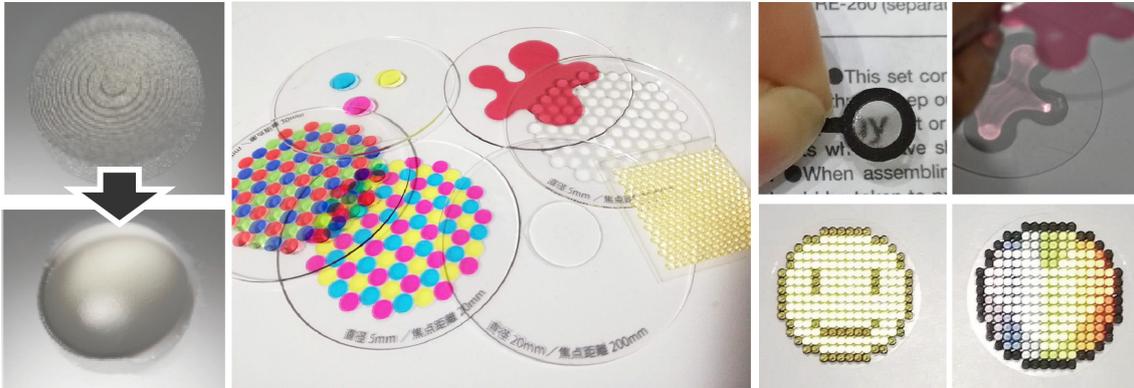


図 2. UV プリンタを用いたレンズ造形手法と応用例

(2) カスタマイズ可能な二次元レンチキュラを用いた多視点情報提示手法

光学テクスチャの一例として、UV プリンタで薄型シートに印刷可能なレンズアレイを用いた質感フィルターを構築した。これを任意のディスプレイ (スマートフォンや小型マイコン等) に搭載し、独自のパターン設計ツールと組み合わせることで、見る角度に応じて異なる情報提示を行える多視点情報提示手法を提案した (図 3)。次に、スマートフォンや印刷物等を対象とした多様な応用例や、表示内容を PC 上で事前確認可能なシミュレータの開発を行った。さらに、FabLab において一般市民を参加者としたワークショップを行い、提案ツールを用いた作品制作過程を分析し、ジャーナル論文としてまとめた。



図 3. 二次元レンチキュラを用いた多視点情報提示手法 (左: 応用例, 右: 設計ツール)

(3) カスタマイズ可能なラインストーン造形手法

光学テクスチャを日用品に適用する一例として、きらめきのあるラインストーンの造形手法を提案し、スマートフォン上で利用可能な設計支援ツールやシミュレータを実装した (図 4)。さらに、FabLab において小学生を中心とした一般の親子連れを参加者としたワークショップを行い、提案ツールを用いた作品制作過程を分析し、ジャーナル論文としてまとめた。

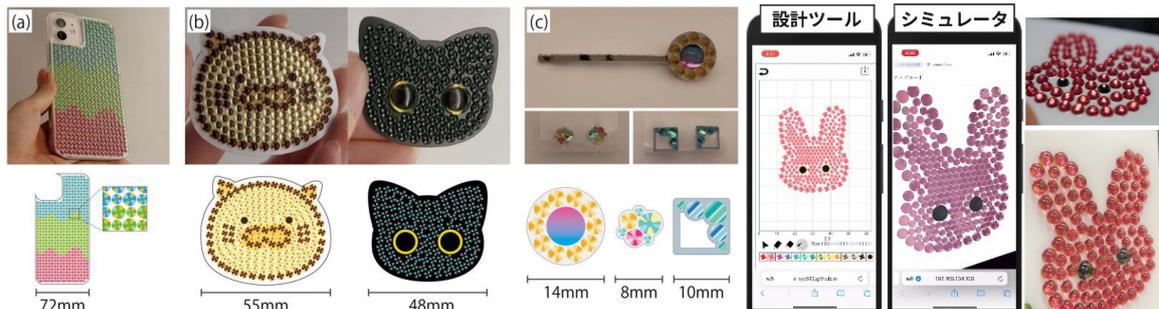


図 4. カスタマイズ可能なラインストーン造形手法 (左: 応用例, 右: 設計支援ツール群)

(4) 実験的な光学テクスチャ

ここでは、実験的な光学テクスチャの事例を2つ紹介する。

「スパイク表現と波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ」では、磁性流体の粘度や制御方法を調整することで、鋭いスパイク表現と半球・波紋のようななだらかな表現を組み合わせた表現手法を提案した(図5左)

「レイリー散乱を用いた柔軟なタンジブルディスプレイ」では、市販のメルトスティックに白色LEDを投光することでレイリー散乱が発生する現象に注目し、柔軟なスティックとジョイントパーツを用いて機構を作りつつ、青空や夕焼けのような色彩生成を行う表現手法を提案した(図5右)。

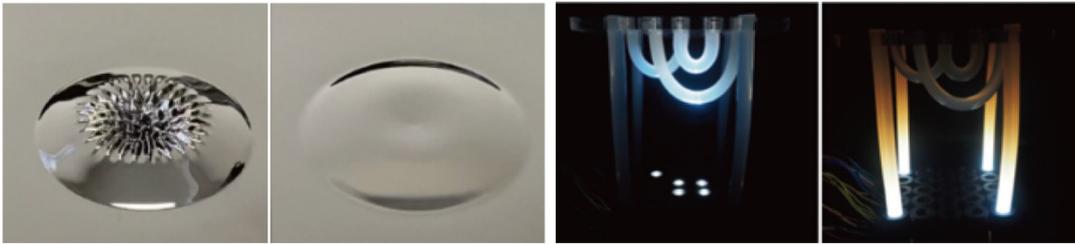


図5. 実験的な光学テクスチャ (左: スパイク/波紋表現を用いたアンビエントディスプレイ, 右: レイリー散乱を用いたタンジブルディスプレイ)

(5) 可変抵抗にクリック感と重みを付与する外骨格機構

機構テクスチャの一例として、3Dプリンタで造形可能な物理的な機構のみを利用して、スライダー等の可変抵抗に、クリック感/重み感等の触覚的なフィードバックを付与する手法を提案した(図6左)。「一般的な可変抵抗に容易に脱着できる」、「クリック感と重みを個別に付与できる」、「低価格なFDM式3Dプリンタで手軽に造形できる」、「視覚的手掛かりの有無を切替できる」といった特徴を備えており、スライダー型/ダイヤル型の2種類の可変抵抗を対象に実装した。さらに、GUIを用いてクリック感や摩擦感の入力を手軽に行える設計ツールを開発した(図6右)。



図6. 可変抵抗にクリック感と重みを付与する外骨格機構と設計ツール

(6) 3Dプリンタした毛構造を用いた触覚ディスプレイ

素材テクスチャの一例として、3Dプリンタを用いて造形した毛構造と、毛穴に見立てたプレートを組み合わせて、毛の柔軟性や動きを調整可能な触覚ディスプレイを開発した(図7左)。

(7) 導電性・強磁性・及び土台の可撓性を持つ毛構造の造形手法

素材テクスチャの一例として、3Dプリンタを用いた造形した毛構造に対して、導電性素材/磁性素材を利用した実装を行い、毛構造をソフトレジンに植毛することで、土台に可撓性を持たせる造形手法を提案した。毛の長さ・密度等はGUIのエディタ上で調整して造形可能である(図7中央・右)。さらに、触感の印象評価を通して、柔らかい⇔硬いや、軽い⇔重い等の印象を変化できる点等を確認した。

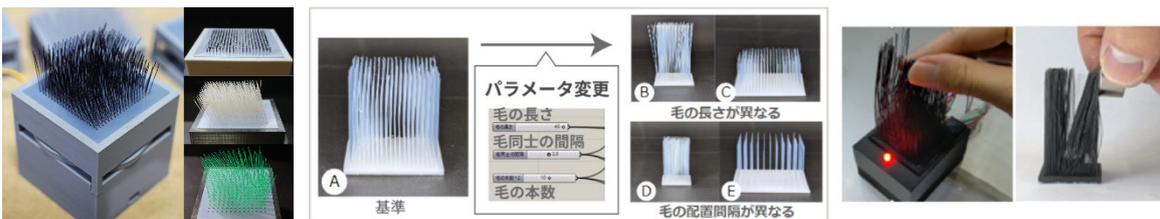


図7. 3Dプリンタした毛構造を活用した応用例と造形支援ツール

今後は、これらの知見を書籍等に整理/集約するとともに、人間の感性指標との連動や、テクスチャを活用した応用例の社会実装を目指す。

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 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 島元 諒、塚田 浩二	4. 巻 65
2. 論文標題 RhinstonePrinter: カスタマイズ可能なラインストーン造形手法の研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 358 ~ 370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00232301	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 Kamata Kosei, Takahashi Haruki, Tsukada Koji	4. 巻 62
2. 論文標題 Conductive, Ferromagnetic and Bendable 3D Printed Hair for Designing Interactive Objects	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 In Adjunct Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '23 Adjunct)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3586182.3615823	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 Oki Maho, Wakamoto Mao, Tsukada Koji	4. 巻 1832
2. 論文標題 ChromicCanvas: Interactive Canvas Using Chromic Fiber	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S., Salvendy, G. (eds) HCI International 2023 Posters. HCII 2023. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 280 ~ 287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-35989-7_36	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 島元 諒、塚田 浩二	4. 巻 64
2. 論文標題 カスタマイズ可能な二次元レンチキュラを用いた多視点情報提示手法の研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 388 ~ 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00224251	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 Lu Qian, Darnal Aryabhat, Takahashi Haruki, Muliana Anastasia Hanifah, Kim Jeeun	4. 巻 -
2. 論文標題 User-Centered Property Adjustment with Programmable Filament	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 In Proceedings of CHI 2022 Extended Abstracts.	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) 10.1145/3491101.3519864	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 該当する

1. 著者名 Takahashi Haruki, Kim Jeeun	4. 巻 -
2. 論文標題 Designing a Hairy Haptic Display using 3D Printed Hairs and Perforated Plates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 In Adjunct Proc. of UIST 2022.	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) 10.1145/3526114.3558655	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 該当する

1. 著者名 Koji Tsukada, Kei Sugiyama, Maho Oki	4. 巻 30
2. 論文標題 Lens Shaping Method and Applications Using UV Printer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 97-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.30.97	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 折原 征幸, 塚田 浩二	4. 巻 63
2. 論文標題 PartsSweeper : 電子部品や工具をさりげなく整理するインタラクティブ・デスクの研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 424-436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00216250	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 Himani Deshpande, Haruki Takahashi, and Jeeun Kim	4. 巻 630
2. 論文標題 EscapeLoom: Fabricating New Affordances for Hand Weaving	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In Proceedings of CHI2021	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3411764.3445600	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 該当する

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鎌田 航誠, 高橋 治輝, 塚田 浩二
2. 発表標題 導電性・強磁性・及び土台の可撓性を持つ毛構造の造形手法の提案
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会WISS2023予稿集, pp.69-75 (ショート発表・査読有)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島元 諒, 塚田 浩二
2. 発表標題 RhinstonePrinter: カスタマイズ可能なラインストーン造形手法の研究
3. 学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクシオン2024 【論文誌招待】 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 袴田 結女, 沖 真帆, 塚田 浩二
2. 発表標題 RayLeight: レイリー散乱を用いた柔軟なタンジブルディスプレイの試作と評価
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, 2024-HCI-207(14), pp.1-8
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 野間 直生, 塚田 浩二
2. 発表標題 RippleSpike: スパイク表現と波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイの試作と評価
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, 2024-HCI-207(13), pp.1-8
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 袴田 結女, 沖 真帆, 塚田 浩二
2. 発表標題 RayLeight: レイリー散乱を用いた柔軟なタンジブルディスプレイの試作
3. 学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクション2024論文集, インタラクティブ発表(プレミアム発表), 3C-69, pp.1354-1359
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 野間 直生, 塚田 浩二
2. 発表標題 RippleSpike: スパイク表現と波紋表現を組み合わせたアンビエントディスプレイ
3. 学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクション2024論文集, インタラクティブ発表, 1B-58, pp.433-438
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上 芽依, 米原 孝星, 大塚 創生, 菅 英寛, 塚田 浩二, 安井 重哉
2. 発表標題 BLWIND: 風を心地よく可視化するブラインドの提案
3. 学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクション2024論文集, インタラクティブ発表, 2B-36, pp.788-790
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 菊地 勇斗, 塚田 浩二
2. 発表標題 3Dプリンタを用いた封蝋表現手法の研究
3. 学会等名 エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023論文集, pp. 270-278. 【受賞：特選セッション発表認定】
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 家山 剣, 塚田 浩二
2. 発表標題 小型ロボットとテクスチャを組み合わせた情報提示手法の提案
3. 学会等名 エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023論文集, pp. 262-269. 【受賞：特選セッション発表認定】
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 臼井義人, 高橋治輝, 松村耕平
2. 発表標題 VR上の軟体物体と硬さの異なるタンジブルオブジェクトとの対応付け調査
3. 学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクション2024論文集, ポスター発表
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 島元 諒, 塚田 浩二
2. 発表標題 RhinstonePrinter: カスタマイズ可能なラインストーン造形手法の試作
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, 2023-HCI-202(25), pp.1-8.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鎌田 航誠, 高橋 治輝, 塚田 浩二
2. 発表標題 導電性樹脂・磁鉄樹脂を用いた毛構造の3Dプリントと応用
3. 学会等名 インタラクティブ2023論文集, インタラクティブ発表(プレミアム発表), 2B-50, pp.681-685. 【受賞: インタラクティブ発表賞(PC推薦)】
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野間 直生, 塚田 浩二
2. 発表標題 磁性流体を用いたさりげない波紋表現手法の提案
3. 学会等名 WISS2022予稿集, デモ発表, 3-B12
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菊地 勇斗, 塚田 浩二
2. 発表標題 3Dプリンタを用いた封蝋表現手法の提案
3. 学会等名 WISS2022予稿集, デモ発表, 3-B04 【受賞: 対話発表賞(プログラム委員)】
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 袴田 結女, 沖 真帆, 塚田 浩二
2. 発表標題 RayLeight : レイリー散乱を用いた立体ディスプレイの試作
3. 学会等名 WISS2022予稿集, デモ発表, 3-A08
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島元 諒, 塚田 浩二
2. 発表標題 RhinstonePrinter: カスタマイズ可能なラインストーン造形手法の提案
3. 学会等名 WISS2022予稿集, ロングティザー発表 T05 / デモ発表 2-C02
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 家山 剣, 塚田 浩二
2. 発表標題 小型ロボットとテクスチャを組み合わせた情報提示手法の提案
3. 学会等名 WISS2022予稿集, デモ発表, 2-B16
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 袴田 結女, 沖 真帆, 塚田 浩二
2. 発表標題 RayLeight: レイリー散乱を用いたマトリクスディスプレイの提案
3. 学会等名 情報処理学会 第63回 エンタテインメントコンピューティング研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本 侑吾, 塚田 浩二
2. 発表標題 可変抵抗に操作感を付与するためのインタラクティブな機構モデリング支援ツール
3. 学会等名 情報処理学会 インタラクション2022, 1D-07 (インタラクティブ発表)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿保 信宏, 塚田 浩二
2. 発表標題 PartsSweeperを拡張した部品整理手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 インタラクシヨ2022, 4D-05 (インタラクティブ発表 / プレミアム発表)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島元 諒, 塚田 浩二
2. 発表標題 UVプリンタを用いた二次元レンチキュラのカスタマイズ性の検討と試作
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 WISS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋治輝
2. 発表標題 3Dプリントした毛を用いた触覚ディスプレイの提案
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 WISS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 晴山 京汰, 塚田 浩二
2. 発表標題 MagTile: 多様な操作が可能なマグネット式インタフェースの試作
3. 学会等名 情報処理学会 第63回 エンタテインメントコンピューティング研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 晴山 京汰, 塚田 浩二
2. 発表標題 多様な操作が可能なマグネット式インタフェースの提案
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 WISS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 折原 征幸, 塚田 浩二
2. 発表標題 PartsSweeper: 電子部品や工具をさりげなく整理するインタラクティブ・デスクの試作
3. 学会等名 第189回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚田 浩二, 新山 大翔, 沖 真帆
2. 発表標題 可変抵抗にクリック感と重みを付与する外骨格機構の提案
3. 学会等名 インタラクション2021, 1B02 (インタラクティブ発表 / プレミアム発表)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島元 諒, 塚田 浩二
2. 発表標題 カスタマイズ可能な二次元レンチキュラを用いた多視点情報提示手法の提案
3. 学会等名 WISS2020, pp.25-30 (査読有口頭発表)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 折原 征幸, 塚田 浩二
2. 発表標題 PartsSweeper: 電子部品や工具をさりげなく整理するインタラクティブ・デスクの試作と応用
3. 学会等名 WISS2020, pp.67-72 (査読有口頭発表)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	高橋 治輝 (Takahashi Haruki) (80824458)	立命館大学・情報理工学部・講師 (34315)	

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