

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2021

課題番号：16K00268

研究課題名(和文)物理メディアの情報表現基盤技術の研究

研究課題名(英文) Research on basics of information representation technology based on physical media

研究代表者

野嶋 琢也 (Nojima, Takuya)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：10392870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：物理メディアとは、単純な動作をする一つまたは多数の実体(可動実体)の運動制御によるメディアである。可動実体の表面素材や配置・動作パターンに応じて、視覚的・触覚的に多様な表現が可能だが、従来は主に剛体素材を可動実体として利用していたため物理的制約が多く、その実現・利用は容易ではなかった。この問題に対して柔軟な形状記憶合金によるSmart Hair(SH)を開発し、それを可動実体として用いる物理メディアを開発した。本研究ではSHの物理特性を明らかにし、その運動精度の向上、小型化を実現。またSHを衣服など従来の物理メディアで不可能な対象物と組み合わせることで、その高い利用可能性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

携帯可能なほどの小型軽量かつ柔軟な物理メディアの実現、そしてそれを他の物体と組み合わせた利用の提案は、従来の物理メディア研究とは一線を画す独創的な点である。本研究の成果は、このような新たな物理メディアの特性を明らかにし、また多数の実装例を示すことを通じて、物理メディアにおける新たな領域の開拓に貢献している。また芸術分野の専門家との共同プロジェクトによる衣服制作、ならびにオーサリングツール開発は、非専門家に対する物理メディア活用に道をひらくものであり、物理メディアの応用可能性を広げることに貢献している。

研究成果の概要(英文)：Physical media is a media that control the motion of one or many entities (movable entities) that perform simple actions. It is expected that a variety of visual and tactile expressions are possible depending on the movable entities' surface material, arrangement, and movement pattern. However, there are many physical restrictions on existing movable entities, so it is not easy to use them in daily life. On the other hand, Smart Hair (SH), a new type of moving entity proposed by the applicant, has fewer physical constraints than conventional moving entities and is expected to contribute to the diversification of expressions in physical media. In this study, we conduct a preliminary evaluation and functional improvement research of SH. Then, we developed variations of representations of physical media using SH to show the applicability of physical media based on SH technology.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：物理メディア 触覚インタラクション 形状記憶合金

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

単純な動作をする一つまたは多数の実体(可動実体)の運動制御によるメディアを、本研究では物理メディアと呼ぶ。多数の実体が動くことによる強い視覚的インパクトは、古くはデモンストレーションで利用されてきており、物体表面形状を再現する触覚提示装置や物理メディア上物体の運動制御など、いわば接触を前提とするメディアとしても注目されている。また可動実体の構成(表面素材の選択・配置・動作パターン)の適切な設計は、たとえば動物の尻尾や体毛といった存在のような、数によるインパクトに止まらない豊かで多様な表現(毛を逆立てて怒りを表現、等)も可能とする表現メディアである。しかしながら従来の物理メディアの研究では可動実体に剛体を用いた例が多く、研究としても多様な表現よりも大面積・高解像度化研究が指向される傾向にあった。また可動実体として剛体を用いたことで原理、構造において物理的制約も多く、物理メディアを実際に実現・利用することは容易ではなかった。一方で柔軟物を可動実体として用いる事例も存在する。それによりいくつかの物理的制約が緩和され、また柔軟物の特性を生かした表現能力が獲得可能であることが示されてきた。しかし残念ながら、剛体製可動実体を利用した場合と比較して、柔軟物を可動実体として利用する事例は極めて少なく、その得失や表現能力等詳細は十分明らかとなっていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、柔軟物を可動実体として利用する物理メディアの情報表現のための基盤技術の確立を狙う。具体的には、既に研究代表者により研究・開発が進められてきた、形状記憶合金を用いた柔軟可動実体、Smart Hair(以下SH)を用いて、柔軟物を可動実体として利用する物理メディアについて、機能向上・特性理解について取り組み、その成果により物理メディアの表現、利用可能性の拡大を狙う。

### 3. 研究の方法

前述の研究目的を達成するため、以下の点について研究を行った。(1)SH(Smart Hair)の基盤技術について、SHの特性評価およびそれを用いたシミュレータ開発を行う。またSHを可動実体として用いるにあたり、そのサイズや運動特性に関する問題を解決し、SHによる物理メディアの解像度向上・大面積化に道筋をつける。(2)物理メディアの表現技術に関して研究を行う。SHの特長である構成自由度の高さを活用し、多様な物体への搭載・組み合わせを行い、またその表現効果について評価検証する。さらにこのような装置を用いた表現を多くの人が容易に実現可能とするべく、表現支援のためのオーサリングツールの開発を行う。

### 4. 研究成果

#### (1)SHの基盤技術

物理メディアでは、多数の可動実体を繰り返し屈曲させる必要がある。SHを用いた物理メディアの将来的な大面積化を阻害する要因としては、SHの屈曲性能の不均一性が挙げられる。SHは個体ごと、また屈曲ごとにその屈曲量が一定しないという問題があり、このことが屈曲性能の不均一性、ひいては物理メディアとしての表現性能に悪影響を与えていた。そこでまず、SHの駆動源である形状記憶合金について、直径、長さ、駆動時の形状・発揮力に関する詳細を測定した。ついでそのデータに基づくSHの動作シミュレータを開発、その後のSH研究における基礎とした。なおSHは構造上、数十cm程度の長さのものまで製作可能であり、実際に20cm程度の長さのものまでは試作している。ただし長くなると運動特性が著しく劣化することから、概ね全長10cm程度を限界とし、本研究では全長7cmのSHを標準と定め、継続して制作・利用している。シミュレータについても同様で、全長10cm以下程度であれば、先端の位置誤差5mm程度でシミュレーション可能であるが、それ以上の長さになると誤差が増大するため、実用には適さない。

屈曲ごとに屈曲量が一定しない現象に対しては、まず図1にあるようなSHの動特性評価装置を試作し、個体の運動特性評価を行った。この評価装置により、当初の屈曲繰り返し誤差は4mm程度あることが確認された。形状記憶合金の収縮量に対する抵抗値変化特性を利用したフィードバック回路を追加することで、この繰り返し誤差を1mm程度にまで低減することに成功した。図2にその様子を示す。図2中、橙、黄、緑で示す線は提案のフィードバックを使用しない場合の繰り返し屈曲状況を示している。目標とする25mmを大きく超過し、また屈曲を繰り返すごとに屈曲量が異なっていることが見て取れる。

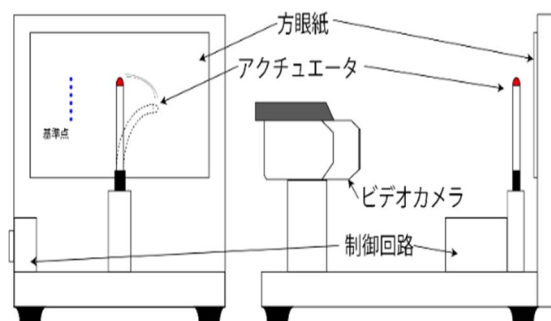


図1 SH動特性評価装置

一方で茶、灰、青で示す線は提案のフィードバックを使用した場合の繰り返し屈曲状況を示している。屈曲量が目標とする 25mm とほぼ一致するのみならず、繰り返し屈曲させても変化が少なく、長時間の高い安定性が実現されていることが見て取れる。さらに個体間の屈曲の不均一さの低減のため、7cm 長の SH における典型的な屈曲量である 20mm-30mm の間で複数の SH を屈曲させ、個々の SH の屈曲量に対応する抵抗値を測定する。そこからルックアップテーブル(LUT)を作成し、個々の SH に対して、所定の屈曲量に対応する適切な抵抗値を算出できるようにし、SH 間の屈曲性能の均一化を行った。また SH の当初のユニットサイズは 6x6mm 程度あったものを、制御回路の最適化により 5x3mm と半分程度のサイズへの縮小化に成功した。

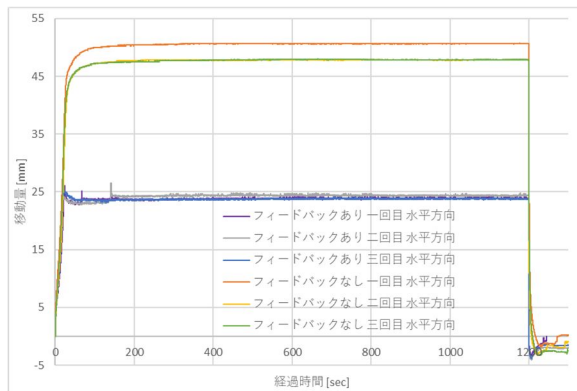


図 2 制御結果

## (2)物理メディアの表現技術

本研究で提案する SH を可動実体とする物理メディアの大きな特徴が、その構成自由度の高さにある。従来の、とくに剛体を可動実体とする物理メディアが基本的に机上での利用を前提としていたのに対し、SH による物理メディアは、図 3 に示すように曲面・柔軟物を含む様々な対象物の上に搭載、組み合わせる事が可能であり、それにより表現自由度の著しい向上が期待される。本研究では多様な物体との組み合わせ、搭載が可能であることを実例を通じて実証し、またそれを多くの人が利用可能とするべく、可動実体の配置、動作制御をデザインできるアプリケーションを開発した。

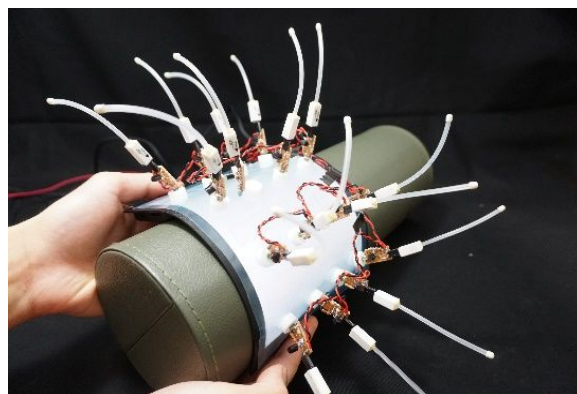


図 3 フレキシブルディスプレイ上への SH 実装

図 4 左図に、スマートフォンに SH による耳を装着した実装例を、同右図に同様に手を装着した実装例を示す。いずれもスマートフォン画面の明暗を用いて屈曲が制御されている。利用者が画面をタッチすることで画面が切り替わり、SH が所定の動作を行う。適切な映像を作ることができれば、制御の知識がなくとも SH の動作制御可能な構成となっている。図 5 は衣服への搭載を実現した一例を示す。羽根状の襟飾りの一つ一つに SH が組み込まれており、着用者の呼吸に応じて襟飾りの羽根が上下する構造になっている。またこれら可動実体の動作による表現効果について検証を実施し、その結果 SH 動作状態により柔らかい、喜んでいといった印象を与えうることを確認した。



図 4 スマートフォンへの SH 実装

SH による物理メディアの表現手法多様化を企図し、専門的知識を持たない人が SH を用いた服飾等のデザインを可能とするべく、SH のモーションデザインのためのオーサリングツールを開発した(図 6)。複数の SH の屈曲の量とタイミングをタイムライン上で調整できるようになっている。また実際の動作を確認するビューイングエリア、指定する屈曲量に対する実際の屈曲量を確認できるアクチュエータエリアを GUI として実装し、動きのデザインに伴う難しさを低減し、専門的知識を持たなくとも多数の SH の動作デザインが可能となるように構成されている。

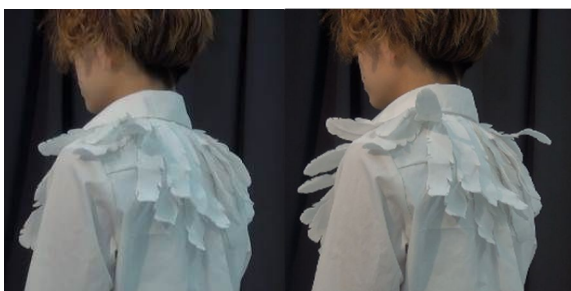


図 5 衣服への SH 実装

SH による物理メディアの表現手法多様化を企図し、専門的知識を持たない人が SH を用いた服飾等のデザインを可能とするべく、SH のモーションデザインのためのオーサリングツールを開発した(図 6)。複数の SH の屈曲の量とタイミングをタイムライン上で調整できるようになっている。また実際の動作を確認するビューイングエリア、指定する屈曲量に対する実際の屈曲量を確認できるアクチュエータエリアを GUI として実装し、動きのデザインに伴う難しさを低減し、専門的知識を持たなくとも多数の SH の動作デザインが可能となるように構成されている。

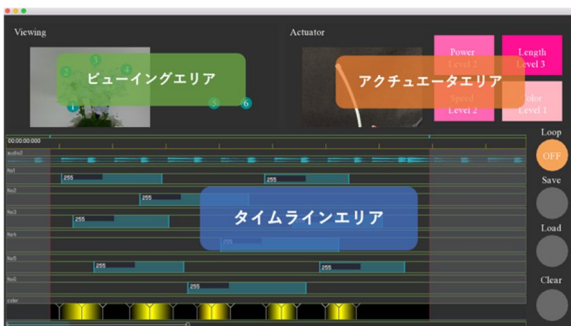


図 6 SH 動作のオーサリングツール

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>大久保賢, 山村美紀, 薛馬各, 林卓人, 野嶋琢也, 内山博子            | 4. 巻<br>26      |
| 2. 論文標題<br>スケーラビリティの高い形状インタフェースによる Kinetic Clothesの開発 | 5. 発行年<br>2021年 |
| 3. 雑誌名<br>日本バーチャルリアリティ学会論文誌                           | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                        | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takuto Hayashi, Masaru Ohkubo, Sho Sakurai, Koichi Hirota, Takuya Nojima     |
| 2. 発表標題<br>Towards making kinetic garments based on conductive fabric and smart hair    |
| 3. 学会等名<br>Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>林卓人, 大久保賢, 櫻井翔, 広田光一, 野嶋琢也       |
| 2. 発表標題<br>スマートテキスタイルを用いたSmartHair のアクセサリ開発 |
| 3. 学会等名<br>第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会           |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>岸田 聖生, 大久保 賢, 櫻井 翔, 広田 光一, 野嶋 琢也 |
| 2. 発表標題<br>Smart Hair の運動性能補償システムの提案と評価     |
| 3. 学会等名<br>第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会           |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村上莉沙, 大久保賢, 櫻井翔, 広田光一, 野嶋 琢也                    |
| 2. 発表標題<br>Moving Flower Arrangement:動く生け花作品の制作とそのデザイン環境開発 |
| 3. 学会等名<br>エンタテインメントコンピューティング2018                          |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村上莉沙, 野嶋琢也, 大久保賢              |
| 2. 発表標題<br>NekoHiGeMask: マスク着用時の会話補助デバイス |
| 3. 学会等名<br>インタラクシオン                      |
| 4. 発表年<br>2018年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masaru Ohkubo and Takuya Nojima                     |
| 2. 発表標題<br>SmartFiber: Reconfigurable Shape Changing Interface |
| 3. 学会等名<br>Augmented Human International Conference (国際学会)     |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>岸田聖生, 大久保賢, 野嶋琢也          |
| 2. 発表標題<br>毛状インターフェイスの運動制御システムの提案と評価 |
| 3. 学会等名<br>第20回ハプティクス研究会             |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masaru OHKUBO, Mage XUE, Miki YAMAMURA, Junichi KANEBAKO, Lisako ISHIGAMI, Syo YAMAGUCHI, Takuya NOJIMA, Hiroko UCHIYAMA and Naoko YAMAZAKI |
| 2. 発表標題<br>Design Proposal of Space Clothes that Supports Lives in the Future Space Tourism Era  |
| 3. 学会等名<br>CIMTEC (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2016年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Mage Xue, Masaru Ohkubo, Miki Yamamura, Hiroko Uchiyama, Takuya Nojima, Yael Friedman |
| 2. 発表標題<br>Development of a Toolkit for Creating Kinetic Garments Based on Smart Hair Technology |
| 3. 学会等名<br>SUI (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2016年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| SMART HAIR: 光駆動型柔軟触覚インタフェース<br><a href="http://www.nojilab.org/2016/smart-hair/">http://www.nojilab.org/2016/smart-hair/</a> |
|--|

|                           |                       |    |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 6. 研究組織                   |                       |    |
| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|