

令和 4 年 6 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H05506・20K20432

研究課題名（和文）視覚的質感の要因学理の解明と可変質感提示デバイスによる表現力拡張

研究課題名（英文）Establishing the principle of presenting visual texture and enhancing the expression by a visual texture presentation device

研究代表者

岩瀬 英治（Iwase, Eiji）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70436559

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：「視覚的質感」とは「つやつや」や「ざらざら」といった視覚によって得られる質感のことを指している。

研究成果としては、「つやつやな表面」と「ざらざらな表面」を視覚的質感の基本要素とし、これらを微細に空間並置することで光学的に質感が混合し、その面積割合に応じた中間的な視覚的質感を提示できることを示した。また、視覚的質感を動的に可変提示するデバイスの検討を行うとともに照明や布地の表現力を拡張する実用分野の探索と適用を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

色提示に関しては、色のスペクトルの形状が本質的・物理的なものであるが、“ヒトに提示する（ヒトの視覚をだます）観点”からすると、RGB（もしくはCMY）を基本要素とする「原色」と原色の提示割合によって様々な色が再構成可能な「混色」の2つの原理を基とする色提示方法が工学応用的には非常に重要な意味を持っている。本研究成果は、視覚的質感提示に関して、色提示における「原色」・「混色」と同様の考え方でさまざまな視覚的質感を再構成できることを明らかにしたことが学術的・工学応用的に大きな意義である。また、照明や布地の表現力の拡張に関してインスタレーションとして展示するなど社会的意義に繋がる成果も得た。

研究成果の概要（英文）：The term "visual texture" refers to textures that can be obtained visually, such as "glossy" and "matte".

Our research results show that "glossy surface" and "matte surface" can be used as primitive elements of visual texture, and an intermediate visual texture can be presented by spatially mixing the primitive elements of visual texture. In addition, we have studied devices that can dynamically change the presenting visual textures and explored and applied applications of the visual texture presentation device that can achieve enhancing the expression of lighting and fabrics.

研究分野：マイクロマシン・MEMS

キーワード：視覚的質感 マイクロ・ナノ光学デバイス 表現力拡張

1. 研究開始当初の背景

これまで、「ディスプレイ」と標榜されるものは、液晶ディスプレイなど発光型のもの、E-inkなどを用いた反射型のものを含め、全て色の提示のみを目指した可変色デバイスであった。これに対し、本研究は色の再現のみならず、つやつや、ざらざらなど見た目の質感（「視覚的質感」と呼ぶ）をも再現・提示しようとする提案である。

色提示に関しては、色のスペクトルの形状が本質的・物理的なものであるが、“ヒトに提示する（ヒトの視覚をだます）観点”からすると、RGB（もしくはCMY）を基本要素とする「原色」と原色の提示割合によって様々な色が再構成可能な「混色」の2つの原理を基とする色提示方法が工学応用的には非常に重要な意味を持っている。本研究は、色提示と同様に“ヒトに提示する（ヒトの視覚をだます）観点”から考えたときに、視覚的質感提示において、何が本質的かを解明するとともに、工学応用的に有効な再構成手法の確立を目指すものである。具体的なアイデアとしては、つやつやな表面とざらざらな表面を微細に並置し、その提示面積割合により視覚的質感の可変提示が実現できるのではないかと考えた。本研究は、“3原色による色提示原理”と並ぶような“視覚的質感の提示原理”を確立するという学術的な意義が大きいだけでなく、現在の色だけを再現できているディスプレイが視覚的質感をも提示可能なディスプレイに拡張できたり、工業デザインのための「(視覚的質感を含む)色見本」が実現できるなど、これまでのディスプレイの適用範囲を大きく変える産業的・工学的にも革新的な意義を持つと考えている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、色に関しては3原色と混色によって確立されている“3原色による色提示原理”と並ぶような“視覚的質感の提示原理”を確立し、デバイスとして実現することである。さらには、視覚的質感可変提示デバイスによる物理世界の活性化と表現力拡張を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、大きく分けて(1)視覚的質感提示原理の確立、(2)視覚的質感の可変提示デバイスの検討、(3)実用分野の探索と適用の3つを行った。(1)に関しては、正反射光成分と等方散乱光成分の強度割合によって視覚的質感を1パラメータ（「散乱度」と呼ぶ）により定量化すること、および図1に示すように散乱度 $S=0$ の表面と散乱度 $S=1$ の表面を視覚的質感の基本要素（色提示における「原色」に相当）として微細に並べ、その面積割合により中間の散乱度の提示が可能かという視覚的質感の混合（色提示における「混色」に相当）の評価を行った。さらに、視覚的質感提示部を透明薄膜で作製し、3Dプリンタで作製された着色された物体に被せることで視覚的質感を色に重畳させて提示ができるかを検討した。(2)に関しては、切り紙構造や液体を用いることで、視覚的質感を時間的に可変可能な提示デバイスの検討を行った。(3)に関しては、応用分野の散策を行うと共に、照明や布地へ適用することで表現力が拡張されるかの検討を行った。

4. 研究成果

(1) 視覚的質感提示原理の確立

① 視覚的質感の定量化、空間並置による中間的視覚的質感提示および視覚的質感の官能評価：

つやつやな表面とざらざらな表面を視覚的質感の基本要素（色提示における「原色」に相当）として用意し、微細に空間並置することにより基本要素の面積割合に応じた中間的な視

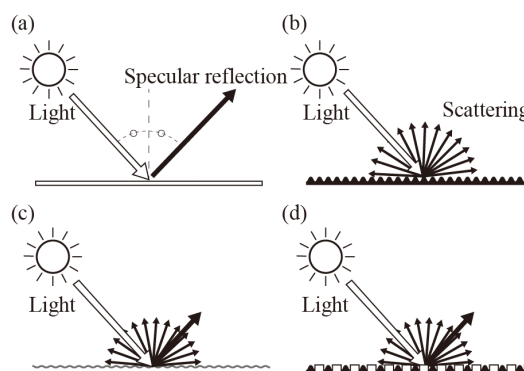


図1 本研究の基本アイデア

(a) 散乱度 $S=0$ で一様な表面、(b) 散乱度 $S=1$ で一様な表面、(c) 散乱度 $S=0.5$ で一様な表面の概念図。(d) 散乱度 $S=0$ の表面と散乱度 $S=1$ の表面を微細に並べることで散乱度 $S=0.5$ を提示する本研究の基本アイデア。

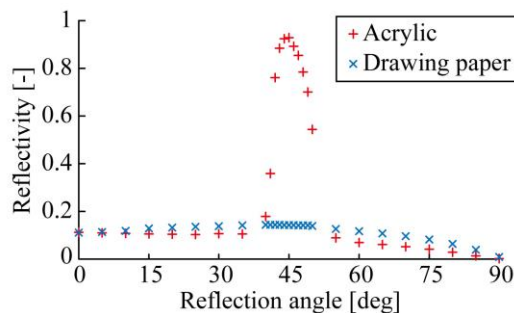


図2 アクリル板と画用紙における45°の入射光に対する散乱光角度強度分布
つやつやなアクリル板では受光角45°の受光強度が大きく、ざらざらな画用紙ではどの受光角でも受光強度がほぼ一定である。

覚的質感が提示可能か（色提示における「混色」に相当）を評価した。

まず、図 1(a)~(c)の概念図に示すように、正反射光成分と等方散乱光成分の強度割合によって視覚的質感を 1 パラメータによる定量化が行えるかを検討した。図 2 は、つやつやな表面の代表として白色の亚克力板、ざらざらな表面の代表として白色の画用紙（サンフラワーM 画用紙、ミュージズ製）として、45°に平行光を入射した際の散乱光の角度強度分布である。この散乱光の角度強度分布から、45°に平行光を入射した際における、受光角 45°における散乱強度 r_{45} を正反射光成分を代表するものとし、受光角 15°の散乱強度 r_{15} を等方散乱光成分を代表するものとしてできると考えた。そのため、視覚的質感の定量化として、散乱度 S を正反射光成分を代表する r_{45} に対する等方散乱光成分を代表する r_{15} の割合 ($S = r_{15}/r_{45}$) で定義した。すなわち、散乱度 $S=0$ の表面は等方散乱光成分がないつやつやな表面であり、散乱度 $S=1$ の表面は等方散乱光成分のみであるざらざらな表面となる。図 2 の亚克力板、画用紙の散乱度はそれぞれ $S=0.13$ と $S=0.86$ となり、視覚的質感の定量化として適していると考えられる。

次に、視覚的質感が異なる物質を微細に並置することにより、視覚的質感が混合し、中間的な視覚的質感が提示可能かを評価した。100 mm × 100 mm の亚克力板の上に、画用紙にカッティングプロッタを用いて格子の幅を x として 2 mm × 2 mm の正方形の穴を開け重ね合わせることで、2つの表面の面積割合が異なるデバイスを製作した。製作したデバイスは、亚克力板の面積割合 α が 0.20（格子幅 $x=2.5$ mm）、0.25（ $x=2$ mm）、0.33（ $x=1.5$ mm）、0.44（ $x=1$ mm）の 4 種類である。これに加えて、画用紙（ $\alpha=0$ ）と亚克力板（ $\alpha=1$ ）そのものの 2 種類を含めた計 6 種類のデバイスの散乱度を図 3 に示す。散乱光の角度強度分布が変化し、視覚的質感の混合により中間的質感提示が可能であることを示した。

さらに、並置による中間的な視覚的質感の提示が実際に人間の眼が受ける感覚と対応しているかを官能評価により確認した。

② 透明視覚的質感提示薄膜による色付き物体上への視覚的質感付加：

ある視覚的質感を有する透明な薄膜により、平面や曲面を有する色の付いた 3 次元物体に対して視覚的質感を後から付加できるかを評価した。透明視覚的質感提示薄膜の製作手順を図 4 に示す。(1)-①と似たような格子状にざらざらな領域有する表面を、ポリイミド基板上に UV レーザ加工を用いて作製した。格子幅を 20 μm で一定とし、格子のピッチを 480 μm 、240 μm 、120 μm 、90 μm 、60 μm と変えることで、ざらざらな領域の面積割合 α を 0.08、0.16、0.31、0.40、0.56 とした加工パターンと $\alpha=0$ の 6 種類を用意した（ α の定義が(1)-①と異なることに注意）。加工されたポリイミド基板を透明なシリコンゴムで型取りすることで、透明視覚的質感提示薄膜を作製した。作製した透明視覚的質感提示薄膜を平らな白色の亚克力板に貼付し散乱度を評価したところ、図 5 に示すように、ざらざらな領域の面積割合が $\alpha =$

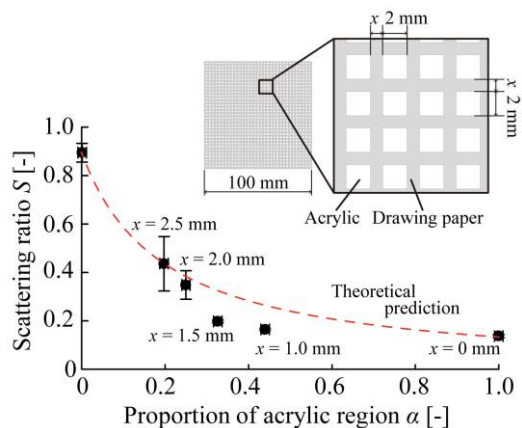


図 3 空間並置による中間的視覚的質感提示面積割合 α に応じて画用紙単体（ $\alpha=0$ ）と亚克力板単体（ $\alpha=1$ ）の中間的な散乱度が提示できていると共に、赤い破線で示す理論的な予測曲線とよく一致している。

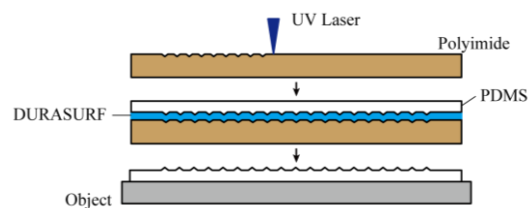


図 4 透明視覚的質感提示薄膜の製作手順

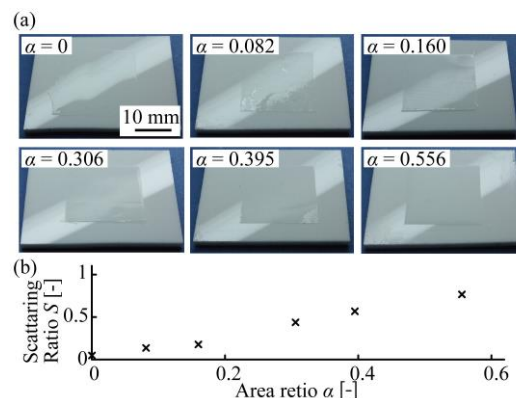


図 5 透明視覚的質感提示薄膜のざらざらな領域の面積割合 α と散乱度 S の関係

(a) 白色の亚克力板に貼り付けた様子。蛍光灯の映り込み具合が異なることが写真から見て取れる。(b) 光学計測の結果。

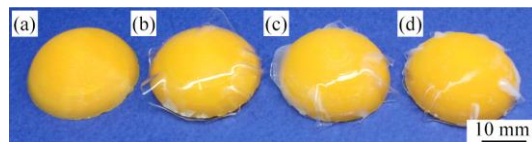


図 6 作製した透明視覚的質感提示薄膜を貼付した半球の写真

(a) 熱溶融積層 3D プリンタで出力した試料、(b) $S=0.05$ の薄膜が付加された試料、(c) $S=0.45$ の薄膜が付加された試料、(d) $S=0.77$ の薄膜が付加された試料。

加工されたポリイミド基板を透明なシリコンゴムで型取りすることで、透明視覚的質感提示薄膜を作製した。作製した透明視覚的質感提示薄膜を平らな白色の亚克力板に貼付し散乱度を評価したところ、図 5 に示すように、ざらざらな領域の面積割合が $\alpha =$

0 の場合には散乱度 S は 0.05 であり、ざらざらな領域の面積割合が大きくなるにつれて散乱度 S が 0.14、0.17、0.44、0.57、0.77 と大きくなる様々な散乱度 (視覚的質感) を提示できていることを確認した。作製した透明視覚的質感提示薄膜を色の付いた 3 次元物体へ貼付した写真を図 6 に示す。熱溶融積層 3D プリンタで出力した試料(a)に対して散乱度が 0.05、0.44、0.77 の薄膜を貼付したものを(b)、(c)、(d)にそれぞれ示す。写真からも分かるように、散乱度が大きくなるごとに光の写り込みが徐々にぼやけ視覚的質感が変化していることが確認できた。また、半球が持つオレンジ色も薄膜が貼付されても大きく変色していないことが確認できた。これにより、色の提示とは独立して視覚的質感提示を重畳付加できることを示した。

(2) 視覚的質感の可変提示デバイスの検討

① 切り紙構造を利用した視覚的質感可変提示デバイス：

視覚的質感を時間的に変化させる方法として、つやつやな表面の紙に切り紙構造を設け、開口した際に、背後に設置されたざらざらな表面との面積割合で異なる視覚的質感を提示させることを検討した。図 7 に製作したデバイスを示す。縦横の周期的な切り込みにより、引っ張った際に切り込み部がひし形に開講する。切り紙構造を引っ張り開口させ、開口部の面積割合 (開口率) α を 0、0.10、0.19、0.27 とした試験片に対して光学計測を行った結果、図 8 に示すように散乱度 S が 0.026、0.045、0.062、0.13 と増加した。これにより、切り紙構造を引っ張り、開口率を制御することで連続的に異なる視覚的質感の提示が可能であることを示した。

② 液体を利用した視覚的質感可変提示デバイス：

視覚的質感を時間的に変化させる別の方法として、液体を用いる方法の検討を行った。これは、ざらざらな表面を持つ物体に、物体と屈折率の近い液体で被覆する・しないを変えることで、つやつやとざらざらを切り替えることを基本原理としている。具体的には、液体を注入・排出可能なざらざらな表面を有する液溜めを有するデバイスを作製した。作製手順およびデバイスの構成を図 9 に示す。全体を透明材料で構成しているため、(2)-②の成果から色提示デバイスの上に重畳しての利用も可能である。デバイスの設計としては、入射する光が微小凹凸面に到達する前に反射されないことや液体の封止が必要なことから、構造の上蓋部の外側に反射防止膜を貼付し、上蓋の内側に微小凹凸構造を設けた。

図 10 に示すように視覚的質感可変提示デバイスを製作した。本デバイスにおいて、液体としては水を用い、液体の注入は図 10(a)に示すようにシリンジを用いて行った。また、図 11

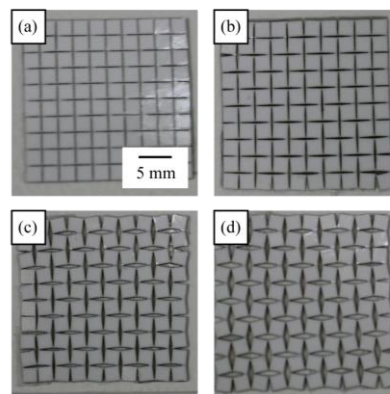


図 7 切り紙構造を用いた開口部の面積割合が可変は視覚的質感可変提示デバイス (a) 開口率 0、(b) 開口率 0.10、(c) 開口率 0.19、(d) 開口率 0.27

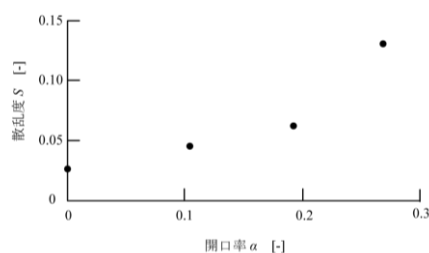


図 8 切り紙構造を用いた視覚的質感可変提示デバイスの開口率と散乱度の関係

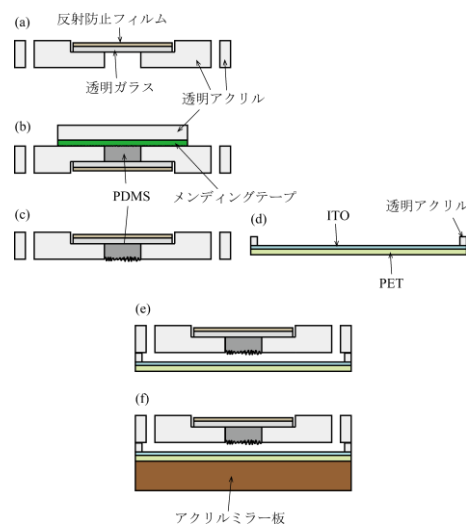


図 9 液体を利用した視覚的質感可変提示デバイスの製作手順

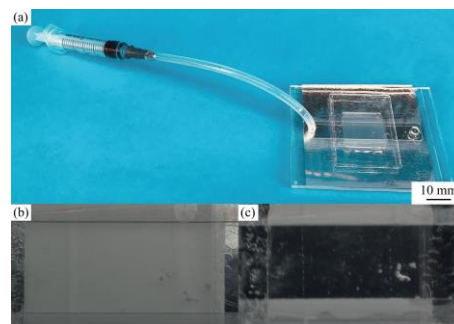


図 10 製作した液体を利用した視覚的質感可変提示デバイス (a) 全体図 (b) 液溜めに注水されていない状態の質感提示部の拡大図 (c) 液溜めに注水した状態の質感提示部の拡大図

に示すように受光角度ごとの反射光強度を計測した。視覚的質感の評価指標である散乱度は液体の被覆前後で 0.445 と 0.022 であり、液体を被覆することで差があることを確認した。初回被覆前の液体なし状態と初回被覆後の液体なし状態について、それぞれの散乱度は 0.433 と 0.445 であることから、微小凹凸構造に液体残ってしまうようなことはなく、繰り返しの視覚的質感変更がされても性能にほぼ影響はないことが分かった。これら結果により、本手法は視覚的質感を時間的に変更可能であることを確認した。

(3) 実応用分野の探索と適用

① 照明への応用 (Waves、Gleamharvesting) :

視覚的質感制御の応用として、2つの照明型装置への応用を試みた。1つ目は Waves という照明インスタレーションである(図12)。円筒状の容器に吸水ゲルを充填し、その側部に一系列に配された LED 光源により光を照射する。さらにポンプを介して筒内部に水を注入および排出する機構を有する。円筒内に水が入っていない状態では、光源の光はゲルで反射・散乱するが、水が円筒内を満たす際には LED の光は直進性を増し、照明の視覚的質感を変化させる。これは、ゲルと水の屈折率が近いことを利用するものである。本装置は、実際に実装されそのスマートイルミネーション横浜 2019 (象の鼻パーク) にて屋外展示された。

もう1つの応用として、Gleamharvesting を実装した。これは、LED の表面での結晶の形成を通して、視覚的質感変化を伴う照明を実装するものである。図13のように塩水の入った容器に LED を漬け、外部からの加熱と時間経過と共にその表面に塩の結晶が生成される。この現象を利用し、照明自体の形状変化および拡散具合の変化を引き起こす。実装された照明は、ZOU-NO-HANA FUTUREScape PROJECT 2020 (象の鼻パーク) にて展示を行った。

② 布地への応用 (ExpandFabric) :

視覚的質感制御の布地への応用として、熱膨張性材料を用いて布地の形状をプログラマブルに書き換えるファブリケーション技術の提案に取り組んだ。材料の膨張現象に着目し、膨張材料を布に添付することで、加熱と共に 2.5 次元的な形状へと布の形状加工を施す。用いる素材は、熱膨張性マイクロカプセルと UV 硬化型粘着剤を混合した粘性液体で、熱を加えることで約 2 倍まで膨張する。本研究では、素材の膨張率、布への添付形状・位置を変え、加熱後の布地の形状変化との関係を調べた。また、XY プロッタおよびディスペンサノズルを取り付けた装置を実装し、素材添付の自動化を行なった。

具体的な応用例として、綿素材の T シャツの上に、熱膨張性材料で矩形パターンを縦横にアレイ状に描くことで、表面に 2.5 次元的なテクスチャを付与した。図 14 は、膨張率 160% の材料を使用し、10 mm 四方の四角形を上下左右 10 mm の等間隔に配置したものである。

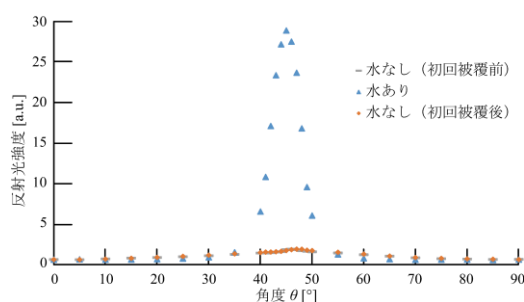


図 11 液体を利用した視覚的質感可変提示デバイスの散乱光角度強度分布



図 12 水の注入・排出による質感変化する照明インスタレーション Waves



図 13 塩水の結晶化を利用した照明インスタレーション Gleamharvesting



図 14 ExpandFabric で T シャツに 2.5 次元的な表面装飾を与えた例

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Yoshimizu Yuta, Yasuga Hiroki, Iwase Eiji	4. 巻 13
2. 論文標題 Quantification of Visual Texture and Presentation of Intermediate Visual Texture by Spatial Mixing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 255 ~ 255
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi13020255	査読の有無 無
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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小川太雅, 岩瀬英治
2. 発表標題 半透明物体における内部散乱光強度の計測方法の検討
3. 学会等名 日本機械学会 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本涼介, 岩瀬英治
2. 発表標題 MEMS スキャナを用いた視覚的質感を可変提示するデバイスの提案
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内田達哉, 岩瀬英治
2. 発表標題 MEMS スキャナによる走査光の光強度分布の制御
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田拓人, 岩瀬英治
2. 発表標題 切り紙構造を用いた視覚的質感を時間可変提示するデバイスの検討
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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 開元宏樹, 寛康明
2. 発表標題 ExpandFabric: 熱膨張素材の添付による布の形状加工の基礎検討
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楊敏舜, 岩瀬英治
2. 発表標題 液体を用いた視覚的質感の可変提示デバイスの設計
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第28期総会・講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> - 寛康明, 藤井樹里, ハンチョンミン, “Waves”, スマートイルミネーション横浜2019, November 1-4, 2019. (作品展示) - 伊達亘, 寛康明: “Gleamharvesting”, ZOU-NO-HANA FUTURESCAPE PROJECT 2020, 2020. (招待展示)
--

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	寛 康明 (KAKEHI Yasuaki) (40500202)	東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・准教授 (12601)	

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