



# VR 空間上で提示された布に触れた際の質感変化

Difference of the Sense of the Texture  
Between Visual and Touchable Cloth Object in VR Space

佃吉央<sup>1)</sup>, 小枝正直<sup>1)</sup>

Yoshio TSUKUDA, Masanao KOEDA

1) 大阪電気通信大学大学院 総合情報学研究科 (〒 575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70, mt19a006@oecu.jp)

**概要:** 仮想現実 (VR) 空間での布地の質感は布地オブジェクトのテクスチャ, およびその動きから知覚される. 近年, 3DCG における様々な力学ベースの布シミュレーションに関する研究が行われているが, 生成された布の力学的パラメータと布の質感の関係は明らかにされていない. 本研究では VR 空間内に布オブジェクトを提示し, その力学的パラメータを変化させた際の視覚的な質感と能動的に触れた際の質感の違いを調査した. その結果, 布オブジェクトに能動的に触れることで明確な質感を感じられるということがわかった. また, いくつかの力学的パラメータを付与した布オブジェクトでは, 視覚的な質感と能動的に触れた際の質感が大きく変化する可能性も示された.

**キーワード:** 布 質感提示 VR 空間

## 1. はじめに

3DCG における力学ベースの布のシミュレーションで生成される布は, 様々な力学パラメータによってコントロールできる. しかし様々な場面において 3DCG の布を実装する際, どの力学パラメータを変えると人がどのように感じるかは明らかになっておらず, 開発者の感覚で実装されている. そのため開発者は硬い布と想定して実装された布を, 利用者は柔らかいと感じてしまう可能性がある.

現実の布の風合いは見た目より手触りで判断される, と一般的には思われる. しかし西松ら [1] によれば人間が外界から情報を収集する際には他の感覚系と比べて視覚の影響が大きく, 布の風合い評価においては視覚が大きく影響する, と報告している. そのため, 触覚のない視覚提示のみの VR 環境での布の提示には特段の注意が必要であると言える. 河辺ら [2] は, 3DCG のアニメーションにおける布の力学シミュレーションに '演出' という概念を提案し, 時変安定形状という時間的に変化する布の安定形状を用い演出を実現した. しかし時変安定形状というものを作成する必要がある. オブジェクトごとに時変安定形状を作成する必要がある. 石郷ら [3] は, 現実の布の光学特性を測定し, 風合い測定装置で求めた力学特性の計測結果を関連付け, クロスシミュレータによる映像評価実験から印象語と布の力学特性との関係性を検討した. しかし, 布の力学パラメータを詳細に設定しておらず詳細な調査はできていない. また VR 空間で布に触れた際のことは考慮していない. Punpongsanonら [4] は, 動きを操作した映像を現実の布地表面に投影することで別の質感をリアルタイムに提示する AR およびプロジェクションマッピング手法を提案した. 実験の結果, 布地

の剛性提示にはその動きが重要であることを示した.

これらの研究は現実世界や CG での評価であり, VR 環境ではない. また布オブジェクトも視覚的な実験のみである. そこで本研究は VR 空間における布の質感提示に注目し, VR 空間において提示された布オブジェクトの視覚のみでの質感と布オブジェクトに能動的に触れた際との質感の違いを調査, 検証する.

## 2. 布の質感評価のための VISION/TOUCH システム

実験のために二つの VR システムを開発した. 開発環境は Intel Core i7-7700HQ, 16GB メモリ, NVIDIA GeForce GTX 1070 を搭載した PC (Windows 10) 上で Unity2018.2 を用いた. またヘッドマウントディスプレイ (HMD) には HTC VIVE, 両手の三次元位置計測には HTC VIVE コントローラ (コントローラ) を用いた.

一方の VR システムは視覚のみで布の質感を評価する VISION システム, 他方は視覚に加え能動的に布に触れた際の布の質感を評価する TOUCH システムである (図 1). これらのシステムは Unity をベースとしており, 布の実装には Unity の Cloth コンポーネントを用いた. 本コンポーネントには布の動きの制御する力学パラメータとして布の伸縮率 (Stretching) と布の曲げ剛性 (Bending), モーションの減衰係数 (Damping) が 0~1 の範囲で設定可能である. VR 空間には右手のコントローラの動きに合わせて動作する直径 0.5m の白色の球オブジェクトを設置した. このオブジェクトを仮想ハンドと呼ぶことにする.

VISION システムでは, VR 空間上に縦横 1m の布オブジェクトを被験者の前後左右それぞれ 1m 離れた場所に設置

する。これらの布オブジェクトは  $10 \times 10$  の頂点メッシュで生成し、当たり判定を無効化して仮想ハンドで触れることはできない設定とした。

一方、TOUCH システムでは、VR 空間上の被験者の前方 1m に布オブジェクト設置する。この布オブジェクトは VISION システムと同じサイズかつ同じ頂点メッシュで生成するが、当たり判定を有効にして仮想ハンドで触れることが可能である。

### 3. 実験

これらの VR システムを用い、視覚のみでの質感評価と能動的に布に触れた際の質感評価でどのような違いが出るのか検証した。被験者は 20 代の男性 10 名である。

実験手順として、まず VISION システムを用いて、VR 空間内にある布オブジェクトを被験者に見せて、その質感を視覚のみで評価させる。布オブジェクトには外部から加速度  $5\text{m/s}^2$  を加え、風で揺れるような効果を与えた。また Cloth コンポーネントの Stretching, Bending, Damping の値をそれぞれ 0.0, 0.5, 1.0 に設定（合計 27 パターン）して提示し、Semantic Differential (SD) 法で評価させた。SD 法に用いる形容詞対は文献 [5][6][7] を参考に

- 布らしくない — 布らしい
- 硬い — 柔らかい
- 弾力性のない — 弾力性のある
- 重い — 軽い
- しっとりとした — 乾いた

を用い、各形容詞対に対して、

- -3:非常にそうでない
- -2:かなりそうでない
- -1:ややそうでない
- 0:どちらともいえない
- 1:ややそう
- 2:かなりそう
- 3:非常にそう

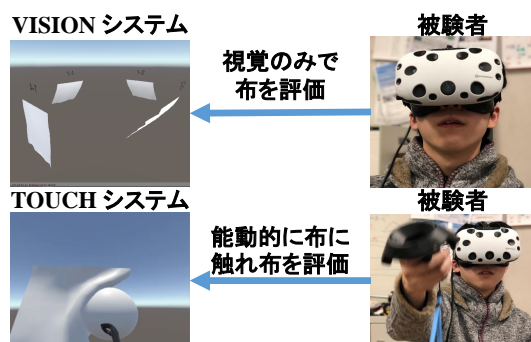


図 1: 実験に用いた VISION システムと TOUCH システム

の 7 段階で評価させた。

その後、TOUCH システムに切り替えて、仮想ハンドで VR 空間にある布オブジェクトに能動的に触れるように促し、その際の布の質感を評価させた。ここで提示する布の力学パラメータは VISION システムでの評価を元に、各形容詞ごとに評価平均が最高・最低のものを選出した。ただし、Damping=1 では布が動きがなく、ほぼすべての形容詞において評価平均が最低となったため、評価平均が 2 番目に低いものも選出した。その結果、合計 15 個のパラメータを選出した。選出されたパラメータを表 1 に示す。重複して選出されたパラメータは平均してその評価値とした。

### 4. 実験結果

「布らしい」という結果になった力学パラメータ (Damping=0, Stretching=1, Bending=0), 「弾力性のある」という結果になった力学パラメータ (Damping=0, Stretching=0.5, Bending=1), 「硬い 2」という結果になった力学パラメータ (Damping=0.5, Stretching=0, Bending=0.5), 「乾いている」という評価になった力学パラメータ (Damping=0, Stretching=0, Bending=0) を設定した際の評価結果平均と標準偏差のグラフをそれぞれ図 2,3,4,5 に示す。グラフ内の赤と青の三角は、それぞれ VISION システムおよび TOUCH システムでの評価結果平均を表す。紙面の都合上、評価結果が顕著に現れたグラフのみ本稿に掲載した。

図 2 に注目すると、視覚のみでの評価結果は、布らしさ以外のほとんどの形容詞対において中央に近くどちらとも言えないといった結果となっている。しかし、能動的に布オブジェクトに触れた際の評価結果は角に寄っており、評価がより明確化している。しかし形容詞対「布らしくない—布らしい」での両評価には大差は見られなかった。このことから、パラメータにあった布オブジェクトを提示できていると考えられる。

図 3 では、すべての形容詞対において真逆の評価が得ら

表 1: VISION システムで選出された 15 個のパラメータ

形容詞対	評価	Damping	Stretching	Bending
布らしくない—布らしい	最高	0	1	0
	最低	1	0	1
	二番目に最低	0.5	0	0
硬い—柔らかい	最高	0	0.5	0.5
	最低	1	0	0
	二番目に最低	0.5	0	0.5
弾力性のない—弾力性のある	最高	0	0.5	1
	最低	1	0	0.5
	二番目に最低	0.5	0	0
重い—軽い	最高	0	1	0
	最低	1	0	0
	二番目に最低	0.5	0	0
しっとりとした—乾いた	最高	0	0	0
	最低	0	1	1
	二番目に最低	1	0.5	0

れた。特に、形容詞対「弾力性のないー弾力性のある」に注目すると、視覚のみでの評価平均では「弾力性のある」という評価だが、能動的に布に触れると評価平均が 0 に近づき「弾力性のない」の評価に変化した。図 4 も、ほとんどの形容詞対において逆の評価が得られた。形容詞対「硬いー柔らかい」に注目すると、視覚のみでは「硬い」という評価も能動的に布に触れることで「柔らかい」の評価に変化した。また図 5 も、ほとんどの形容詞対において逆の評価が得られた。形容詞対「しっとりしたー乾いた」に注目すると、視覚のみでは「乾いた」という評価も能動的に布に触れることで「しっとりした」の評価に変化した。

図 3,4,5 から、視覚のみでの布の質感と能動的に布に触れたときの布の質感は、大きく異なる場合があることが示された。

## 5. おわりに

本研究では、Unity で開発した布提示システムを用いて、VR 空間において視覚のみでの布の質感評価と能動的に布に触れた際の布の質感評価にどのような違いが出るのかを調査した。その結果、ある布の質感においては同じ力学パラメータを設定した布にも関わらず、視覚のみでの質感と能動的に触れた場合の質感は大きく変化する可能性が示唆された。これは、視覚的に実装した布を VR 空間で提示した場合には、開発者の意図にそぐわない質感の布になってしまう可能性があることを示している。

## 参考文献

- [1] 西松豊典, 酒井哲也, ”視覚と'風合い'", 繊維学会誌 第 46 巻 6 号, pp. 265-270, 1990.
- [2] 河辺郁, 高森年, 田所論, ”布形状シミュレータに演出機能を付加した 3DCG アニメーションシステムの開発-パラメータの時空的制御による演出効果の強化-", 情報処理学会第 67 回全国大会, pp. 165-166, 2005.
- [3] 石郷絵美, 饗庭絵里子, 中村祐介, 石田適志, 長田典子, ”布の物理特性と感性的特徴を利用したカーテンアニメーションの質感表現”, 映像情報メディア学会技術報告 36.8(0), pp.147-150, 2012.
- [4] Parinya Punpongsonon, Daisuke Iwai and Kosuke Sato, ”FleXeen: Visually Manipulating Perceived Fabric Bending Stiffness in Spatial Augmented Reality”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, DOI: 10.1109/TVCG.2018.2871044, pp.1-1, 2018.
- [5] 丹野匡貴, 伊藤紀子, 阪田真己子, ”布の風合いを表す感性語と視覚・触覚との関連”, 日本認知科学会第 27 号大会発表論文集, pp. 643-648, 2010.
- [6] 鈴木美穂, 行場次郎, 川畑秀明, 山口浩, 小松紘, ”モダリティ・ディファレンシャル法による形容詞対の感覚関連性の分析”, 心理学研究 2006 年第 77 巻第 5 号, pp.464-470, 2006.
- [7] 松田憲, 森本敬子, 長篤志, 木下武志, ”服地と服地画像の刺激感差異が質感認知に及ぼす影響”, 第 15 回日本感性工学会大会, pp.91-98, 2014.

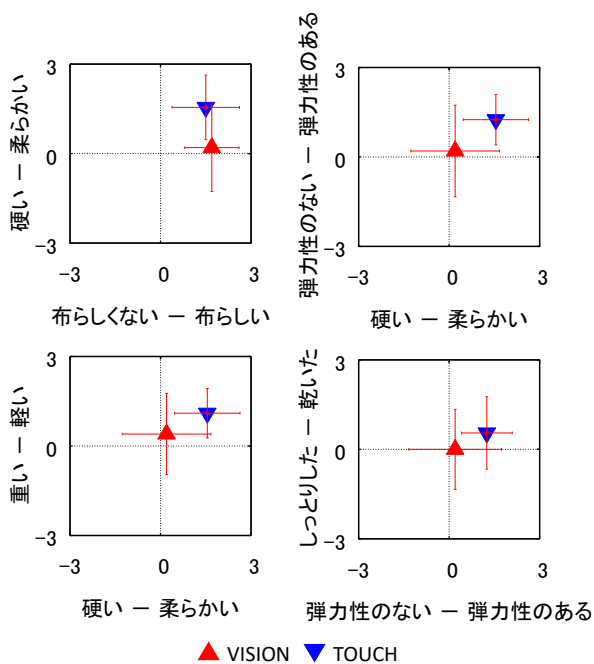


図 2: 「布らしい」という評価になったパラメータを設定した際の SD 法の評価平均と標準偏差

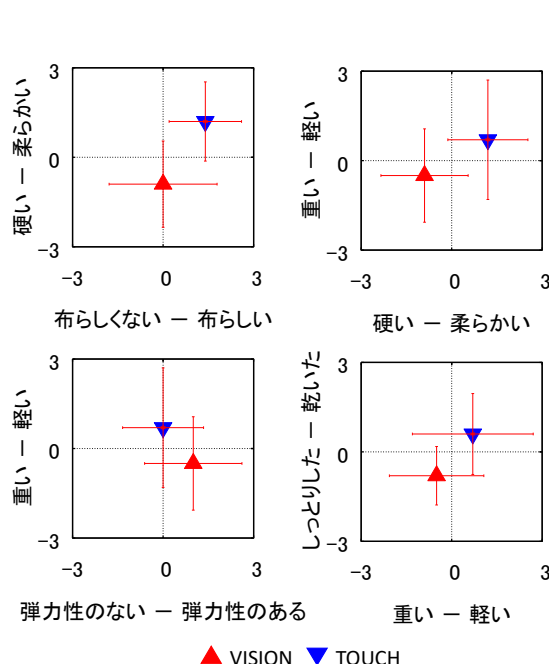


図 3: 「弾力性のある」という評価になったパラメータを設定した際の SD 法の評価平均と標準偏差

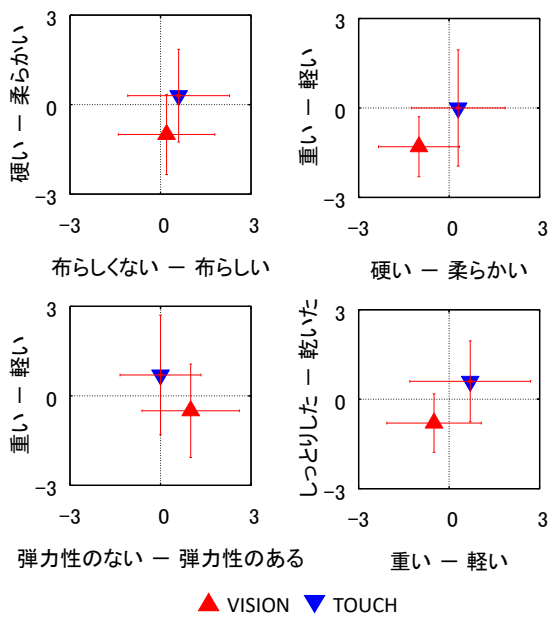


図 4: 「硬い 2」という評価になったパラメータを設定した際の SD 法の評価平均と標準偏差

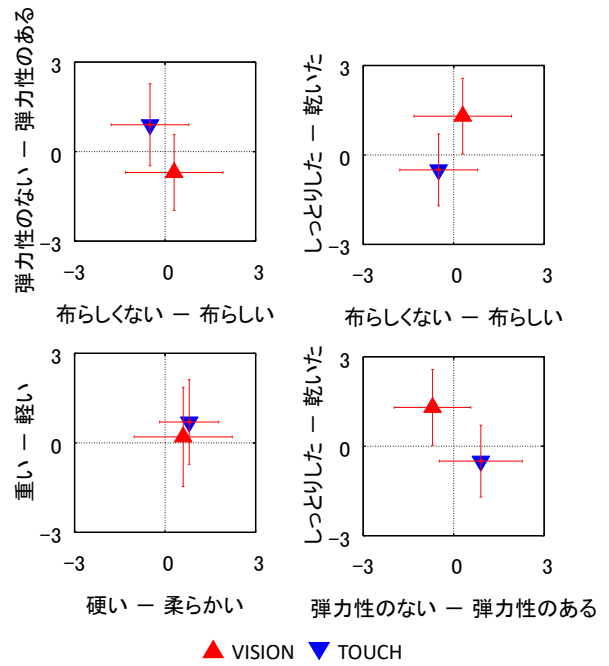


図 5: 「乾いている」という評価になったパラメータを設定した際の SD 法の評価平均と標準偏差