「マルチメディア，分散，協調とモバイル
(DICOMO2021) シンポジウム」 令和3年6月-7月

仮想的な柔軟性を持つVRぬいぐるみの実装

大坪 界斗[1]　井上 亮文[2]

概要：ぬいぐるみは，その愛らしい見た目や柔らかな触感が人に癒やしを提供するが，人の問いかけや接触に対し主体的な反応をすることはない．ぬいぐるみの内外に装着したアクチュエータでぬいぐるみを稼働させるアプローチはあるものの，ぬいぐるみ特有の柔らかな触感や見た目を損ねてしまい，人に与える癒やし効果が低下してしまう可能性がある．本研究で提案する仮想的なぬいぐるみシステムは，ユーザが現実世界でぬいぐるみを物理的に変形させると，仮想世界に表示されたぬいぐるみの 3DCG も同様に変形する．その際，システムが 3DCG の変形量を操作することで，ユーザが感じるぬいぐるみの柔らかさを錯覚させることができる．本稿では，プロトタイプシステムを用いた実験により，3DCG の変形に用いるポアソン効果のゲインの有効範囲を調査する．

1. はじめに

高いストレスに晒される現代社会において，人の心理的負担を軽減させる癒やし効果が注目を集めている．我々が癒やしを得る方法の一つとしてアニマルセラピーがあげられる．アニマルセラピーとは，人が動物とのふれあいによって癒やし効果を得られる療法である．しかし，セラピーの過程で人または動物が怪我をしたり，動物が人からストレスを受けたりする可能性がある．これらの問題を解決するため，動物の代わりとしてぬいぐるみを用いる「ぬいぐるみセラピー」が考案されている．

ぬいぐるみセラピーとは，人がぬいぐるみを撫でたり抱きしめたりすることによって，その人の精神状態を落ち着かせる療法である．ぬいぐるみは本来，綿や蕎麦殻などの詰め物を布で包んで縫い合わせ，特定のキャラクターの形に成型した物である．その愛らしい見た目や柔らかな触感が人に癒やしを提供する．しかし，人の問いかけや接触に対しぬいぐるみが主体的な反応をすることはない．ぬいぐるみセラピーがアニマルセラピーの代替として機能するには，人とぬいぐるみの間のインタラクションを高度化することが求められている．この要求に対し，ぬいぐるみの内外にモーターやアクチュエーターを装着することで，ぬいぐるみの主体的な反応を可能にした方法が数多く提案されている．しかし，それらはぬいぐるみ特有の柔らかな触感や愛らしい見た目を損ねてしまい，人に与える癒やし効果が低下してしまう可能性がある．

井上らは，ユーザが現実世界で把持しているぬいぐるみの見た目をヘッドマウントディスプレイ (HMD) を通した仮想世界で置き換えるシステムを提案した．このシステムを用いることで，本来は稼働部のないぬいぐるみに仮想世界で動きや見た目の変化を与え，ユーザに対する主体的な反応を生成することができる．しかしこのシステムでは，ぬいぐるみセラピーとして重要な要素である柔らかさを扱っていない．仮想世界におけるぬいぐるみの見た目や動きの中に柔らかさを取り入れることで，我々が仮想のぬいぐるみから得る癒やし効果を意図的に増減できる可能性がある．

本研究では，柔らかさを仮想世界で視覚的に変更することで，人がぬいぐるみから得られる癒やし効果を増減させることを目的とする．この目的を達成するために，ポアソン効果によって仮想世界のぬいぐるみの視覚的な柔軟性を自由に変更するシステムを提案する．人がぬいぐるみを把持した際の変形にこの効果を取り入れることによって，視覚的な柔軟性を提示することが期待される．

本稿ではまず，仮想ぬいぐるみシステムに対して柔軟性を付与した実装を示す．このプロトタイプを用いてユーザ評価を実施し，多くのユーザにとって自然に見える仮想的な柔軟性のゲインを調査する．

本稿の貢献は以下の通りである．

- 仮想世界におけるぬいぐるみ特有の柔らかさについて提案した．
- 多くのユーザにとって自然に見える仮想的な柔軟性のゲインを調査した．

[1] 東京工科大学大学院
Tokyo University of Technology Graduate School
[2] 東京工科大学
Tokyo University of Technology

© 2021 Information Processing Society of Japan

2. 関連研究

本章では我々が行う研究の立ち位置を明確にする．まず，現実のぬいぐるみの触感や人とぬいぐるみのインタラクションがぬいぐるみセラピーにどのような影響を与えているかについて議論する．そして本研究の要となる仮想空間上の柔らかさを意図的に操作する研究について議論する．

2.1 ぬいぐるみの感触

人がぬいぐるみと触れ合うことによって，心理的なストレスを緩和させることが知られている．Sumioka らは，通話機能のある装置を内部に持つ人型ぬいぐるみを開発した [1]．開発した人型ぬいぐるみを通した対話と，通常の携帯電話を使用した対話を比較し，ストレス緩和効果が得られたかを検証した．その結果，ぬいぐるみを通しての対話の方がストレスホルモンであるコルチゾールの量を抑制していることを明らかにした．

林らは，硬い感触のロボットと柔らかい感触のロボットを用いて，どちらがより心理的ストレスを緩和させるかを調査した [2]．その結果，柔らかい感触のロボットの方が心理的ストレスを緩和させることが明らかとなった．

これらの研究成果から，ぬいぐるみ及びその柔らかな感触が心理的ストレスを緩和する要素として重要である可能性が示唆された．

2.2 人とぬいぐるみのインタラクション

林らは，人の接触や問いかけに対して反応することができるぬいぐるみロボットを開発した [3]．開発したインタラクションの質が高いぬいぐるみロボットと通常のぬいぐるみでは，どちらがより心理的ストレスを軽減するかを調査した．その結果，インタラクションの質が高いぬいぐるみロボットの方が心理的ストレス緩和効果が高いことが判明した．

高瀬らは，ぬいぐるみの各手足などに糸の一端を縫い合わせ，それぞれの糸のもう一端にモーターを取り付けた [4]．各モーターで糸の巻き取り量を調整することで，ぬいぐるみにさまざまな動きを付与できる．しかし，この方法ではぬいぐるみに取り付けるモーターの硬い感触や駆動音が癒し効果を低下させる可能性がある．

井上らは，ユーザが現実世界で把持しているぬいぐるみの見た目を VR ヘッドセットを通した仮想世界で置き換えるシステムを提案した [5]．このシステムは仮想世界のぬいぐるみに対して様々な動きを付与することができる．ユーザから見れば，可動部のないぬいぐるみがあたかも高度なインタラクションをしているように感じる．現実のぬいぐるみに手を加える必要がないため，感触が損なわれたり，機械的な音が発生したりすることもない．しかし，仮想世界においてぬいぐるみの柔らかさを扱っておらず，癒やし効果を増減できる可能性がある．

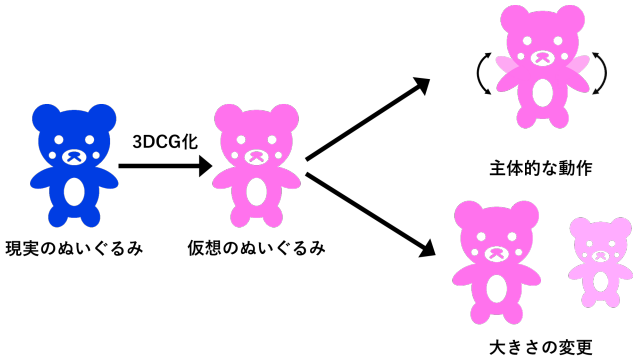


図 1　VR ぬいぐるみの概要

これらの研究成果から，ぬいぐるみセラピーにおいて高度なインタラクションは重要だが，依然として柔らかい感触の課題が残っている．

2.3 視覚情報が硬さ知覚に与える影響

平野らは，実物体上の変形部に対して複合現実感による変形の CG アニメーションを重畳するシステムを開発した [6]．その結果，限られた条件ではあるが，実物体の硬さよりも視覚刺激の硬さの方が優位に影響する錯覚現象が生じることを発見した．この研究ではウレタンフォームの変形を取り扱っているが，同様の錯覚現象はぬいぐるみの変形にも生じる可能性がある．

3. 仮想的な柔軟性を持つ VR ぬいぐるみ

そこで，ぬいぐるみ本来の柔らかさと仮想ぬいぐるみに着目した「仮想的な柔軟性を持つ VR ぬいぐるみ」を提案する．本章では VR ぬいぐるみ及び仮想的な柔軟性の定義を行う．

3.1 VR ぬいぐるみ

VR ぬいぐるみの概要を**図 1** に示す．ユーザは現実世界でぬいぐるみを把持し，HMD を通して仮想世界のぬいぐるみとインタラクションを行う．現実世界と仮想世界のぬいぐるみの 3 次元位置は同期されており，ユーザは HMD を装着していても現実と同じぬいぐるみを把持している感覚を得られる．この VR ぬいぐるみは 3DCG で製作されているため，主体的な反応をユーザに示すことやテクスチャの変更を行うことができる．

3.2 仮想的な柔軟性

仮想的な柔軟性の概要を**図 2** に示す．一般に，物体に単軸応力 jFj を加えると，物体の弾性に応じて応力方向の伸縮 Δw が発生する．それと同時に，応力に垂直な方向にも物体の伸縮 Δh が発生する．この現象をポアソン効果と呼ぶ．

© 2021 Information Processing Society of Japan

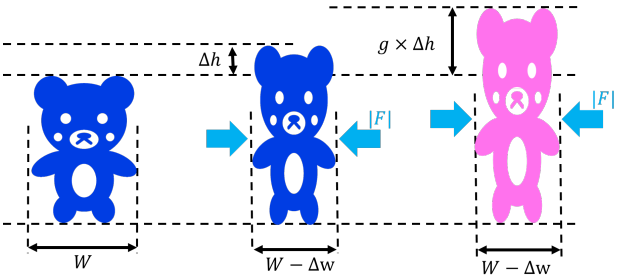


図 2　仮想的な柔軟性の概要



(a) 現実世界の戸田くん　(b) 仮想世界の戸田くん

図 3　現実世界と仮想世界のぬいぐるみ

本研究では，ぬいぐるみがユーザの手で押された方向に凹んだ際，VR ぬいぐるみの見た目に対してこのポアソン効果を適用する．即ち，ユーザが現実のぬいぐるみを圧縮操作した際，その力に直交する方向へ VR ぬいぐるみの見た目を $g \times \Delta h$ だけ伸張する．ゲイン g の初期値は 1 であり，この値を変更することでユーザへ仮想的な柔軟性を提示する．

VR ぬいぐるみは 3DCG のため，この伸張の変位を仮想世界中で自由に操作できる．仮想世界での変位を現実世界でのぬいぐるみの変位よりも大きくすれば，ユーザは現実のぬいぐるみよりも「柔らかい」と感じる可能性がある．反対に，仮想世界中での変位を現実世界での変位よりも小さくすれば，ユーザは現実のぬいぐるみよりも「硬い」と感じる可能性がある．

4. プロトタイプ

本研究で用いたぬいぐるみは「おかえり園田くんシリーズ まるもちスペシャル 戸田くん」である [7]．**図 3**(a) に現実世界の戸田くん，図 3(b) に VR ぬいぐるみの戸田くんを示す．VR ぬいぐるみの戸田くんはスマートフォンのアプリ「3D クリエーター」を用いて 3DCG 化した [8]．

プロトタイプの全体像を**図 4** に示す．ユーザはぬいぐるみを机に置き，HMD を被った状態で現実ぬいぐるみとインタラクションを行う．仮想世界には机と椅子で構成された部屋と VR ぬいぐるみを配置した．両手に VIVE Tracker を装着することでぬいぐるみの感触を損なわずに，人とぬいぐるみのインタラクションを可能にした．ベースステーションで HMD および VIVE Tracker の位置を測定し，それぞれの情報を PC へと送信している．PC ではそれらの情報をもとに仮想世界を構築している．

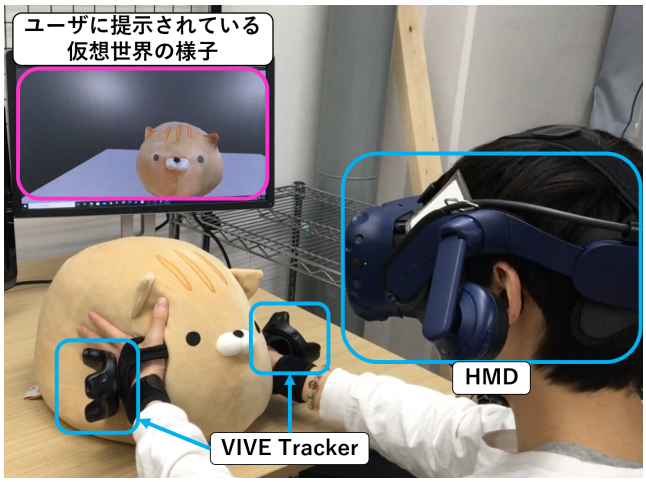


図 4　プロトタイプの全体像

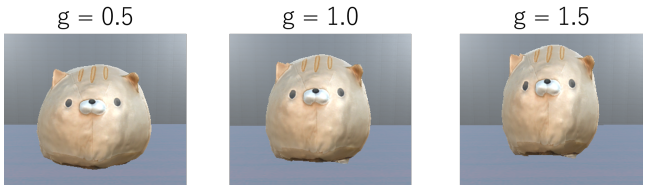


図 5　垂直方向へのポアソン効果

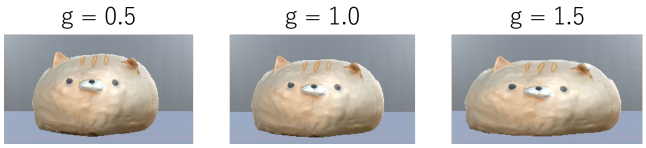


図 6　水平方向へのポアソン効果

仮想的な柔軟性のゲイン g を決定するため，現実のぬいぐるみの横幅と縦幅，そのぬいぐるみを左右から圧縮操作した際の横幅と縦幅をそれぞれ測定した．正面から見たぬいぐるみの横幅がおよそ 30 cm であり，左右から圧縮操作した際の横幅はおよそ 15 cm となった．縦幅はおよそ 28 cm であり，左右から圧縮操作することによって 33 cm まで膨張した．つまり W は 30 cm であり，力強く押し込んだ際の Δw は 15 cm，Δh は 5 cm となった．同様に，上から押し込んだ際の測定も行い，力強く押し込んだ際の Δw を 1 として $g \times \Delta w$ を相対的に変化させる．

プロトタイプでは，仮想的な柔軟性のうち水平方向と垂直方向へのポアソン効果を VR ぬいぐるみへ適用した．ユーザが横から両手でぬいぐるみを圧縮操作した際に縦に伸縮することを垂直方向へのポアソン効果，ユーザが片手で上から押し込んだ際に横に伸縮することを水平方向へのポアソン効果とする．**図 5** に垂直方向，**図 6** に水平方向への仮想空間におけるポアソン効果を適用した画像を示す．これらの画像は $g \times \Delta h$ を最大にした時を示している．ここではゲイン g を 0.5，1.0，1.5 と変化させた時の VR ぬいぐるみを示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

5. 評価実験

著者らの過去の研究では，VR ぬいぐるみが人に与える癒やし効果についてが検証されていない．そこで，現実のぬいぐるみと VR ぬいぐるみの癒やし効果についてユーザ実験を行い比較した．次に，多くのユーザにとって自然に見える仮想的な柔軟性のゲイン g を調査した．

20 代の男性 8 人が実験に参加した．本実験を行う上で，参加者は本人の意志によって実験の一部参加を拒否できることを伝えた．また，感染症対策として各実験ごとに機器の消毒を行った．

5.1 VR ぬいぐるみが与える癒やし効果

5.1.1 実験条件

本実験では参加者にストレスをかけるためにストループ効果を用いた．ストループ効果とは，それぞれ意味の異なる刺激が同時に提示されると刺激に反応するまでに時間が多く掛かる現象のことである．この効果は脳科学などの分野で被験者にストレスをかける方法として用いられている [9] [10]．

本実験のストループ課題を行うにあたり，KisojiOnline を使用した [11]．KisojiOnline とは WEB 上でストループ課題を行い，自動で結果を表示してくれるサービスである．行った計 80 問の課題は以下の通りである．

(1) 「XXX」と表示された文字の色を「あか」「あお」「くろ」「みどり」「きいろ」から選択する課題を 40 問

(2) 色の名前が表示された文字の色を「あか」「あお」「くろ」「みどり」「きいろ」から選択する課題を 40 問

(1) では「XXX」が黒色で表示された場合「黒」を選択し，(2) では「あか」が青色で表示された場合「あお」を選択する．表示される色の名前及び文字の色は上記 5 種類のみである．この課題を行うにあたり，端末における使用感の差が出ないよう，参加者全員に同一タブレット上での回答を指示した．また，参加者への負荷を増やすため，実験において正答率と回答速度も重要であることも伝えた．

課題終了後に一時的気分尺度 (TMS) を測定した [12]．TMS の各因子および各項目を**表 1** に示す．TMS は感情の状態を示す緊張，抑鬱，怒り，混乱，疲労，活気の 6 因子によって構成されている．各因子は 3 項目から構成されており，計 18 項目をアンケートする．「そう思わない」を 1，「そう思う」を 5 として各因子の合計点 (3-15 点) を因子得点として算出する．

本実験における心理的ストレス緩和効果は緊張，抑鬱，怒り，混乱，疲労が緩和され，活気が向上する効果として評価する．

5.1.2 手順

参加者に提示した実験手順を**図 7** に示す．「指定された行動」とは「何もしない」「ぬいぐるみとの触れ合い」「VR ぬいぐるみとの触れ合い」の 3 通りである．

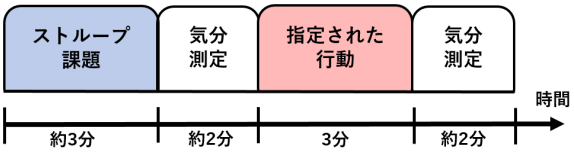


図 7 実験手順チャート

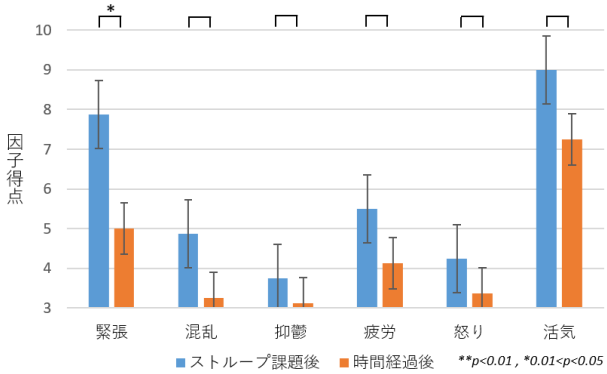


図 8 時間経過による因子得点の変化

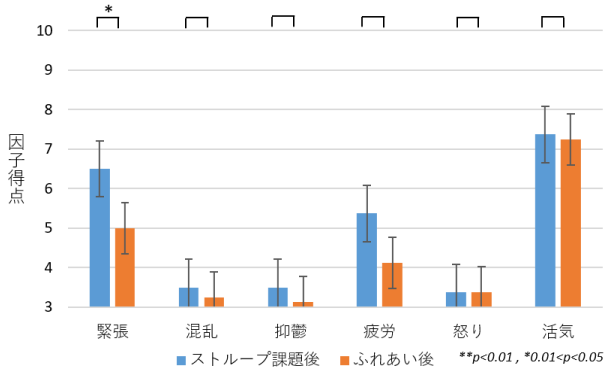


図 9 ぬいぐるみとのふれあいによる因子得点の変化

「何もしない」の際には個人差が出ないよう「何も触らずリラックスして下さい」と指示した．また本実験で使用する VR ぬいぐるみには仮想的な柔軟性は付与されていない．すべての実験終了後，自由記述におけるアンケートをユーザに実施した．

5.1.3 結果・考察

「何もしない」における実験結果を**図 8** に示す．この結果は，ストループ課題後と時間経過後の因子得点の平均をそれぞれ示したものである．ウィルコクソンの順位和検定を実施したところ，有意水準 5% で「緊張」の因子について有意な差を確認した．

「ぬいぐるみとの触れ合い」における実験結果を**図 9** に示す．この結果は，ストループ課題後とぬいぐるみとのふれあい後の因子得点の平均をそれぞれ示したものである．ウィルコクソンの順位和検定を実施したところ，有意水準 5% で「緊張」の因子について有意な差を確認した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表 1　TMS の因子と項目

因子	項目	因子	項目	因子	項目
緊張	気が張り詰めている	抑鬱	希望が持てない感じだ	怒り	ふきげんだ
	そわそわしている		孤独で寂しい		腹が立つ
	気が高ぶっている		暗い気持ちだ		むしゃくしゃする
混乱	やる気が起きない	疲労	疲れている	活気	生き生きしている
	集中できない		へとへとだ		陽気な気分だ
	頭がよく働かない		だるい		活気に満ちている

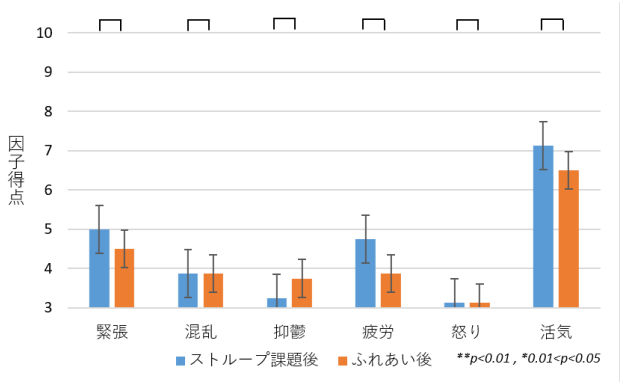


図 10　VR ぬいぐるみとのふれあいによる因子得点の変化

「VR ぬいぐるみとの触れ合い」における実験結果を図 10 に示す．この結果は，ストループ課題後と VR ぬいぐるみとのふれあい後の因子得点の平均をそれぞれ示したものである．ウィルコクソンの順位和検定を実施したところ，すべての因子において有意な差を確認することができなかった．

実験を進めるにあたり，ストループ課題を行う間隔に配慮していたが，すべての実験を同日に行ってしまった．加え，実験を進めるにつれて課題後の平均得点が下がっていることから，参加者が課題に慣れてしまった可能性が示唆されるた．

自由記述では「VR ぬいぐるみに動きが欲しかった」や「触れた部分の形を VR でも反映させてほしい」など，反応がない VR ぬいぐるみに対しての意見が多かった．加え，「VR 空間の背景の色合いもあり，少々物悲しさを感じました」という意見もあったことから，VR 空間そのものがストレス緩和効果に影響を与えてしまった可能性が示唆された．

5.2　仮想的な柔軟性の閾値調査

5.2.1　実験手順

ユーザと VR ぬいぐるみのインタラクションにおいて仮想的な柔軟性に不自然さを感じてしまうと，与える癒やし効果が低下してしまう可能性がある．そこで本実験では利用者が自然に感じることのできるゲイン g の閾値を調査した．不自然さとは，VR ぬいぐるみが過剰に柔らかくなったり硬くなったりすることで，現実の触れているぬいぐるみとの感触の間に大きな差が生まれ，ユーザが違和感を感じることとする．

表 2　ユーザが不自然に感じたゲイン g の閾値

垂直方向	上限	1.96
	下限	0.66
水平方向	上限	1.54
	下限	0.69

本システムでは VR ぬいぐるみを 3DCG で再現しており，ゲイン g が 2.0 を超えるとモデルが破綻してしまった．そのため，ゲイン g が 2.0 でも違和感を感じなかった場合には上限値を 2.0 とし，実験を終了した．

5.2.2　手順

(1) VR ぬいぐるみとのふれあいを行う
(2) 不自然さを感じたところでふれあいをやめる
(3) 休憩 1 分
(4) 手順 (1) と (2) を再び行う

2 では仮想的な柔軟性のゲイン g を 0.1 ずつ上昇させ上限値を，4 ではゲインを 0.1 ずつ下降させることで下限値を測定した．上限値を測定した直後にゲイン g を 1 に戻すと違和感を感じてしまう恐れがあったため，休憩では HMD を外し現実のぬいぐるみと 1 分間触れ合いを行った．また実験は垂直方向と水平方向に対するポアソン効果を測定するため 2 回行った．

5.2.3　結果・考察

表 2 にユーザが不自然と感じたゲイン g の閾値を示す．

垂直方向の上限値については標準偏差が 0.01 となり，ほとんどの人が $g = 2.0$ であっても違和感を感じられないと回答した．下限値については標準偏差が 0.02 となり，こちらはほとんどの人が $g = 0.7$ で違和感を感じたと回答した．

水平方向の上限値については標準偏差が 0.04 となり，垂直方向に比べ結果にばらつきが見られた．下限値については標準偏差が 0.003 となり，ほとんどの人が $g = 0.7$ で違和感を感じたと回答した．

これらの結果から，本プロトタイプにおいて，仮想的な柔軟性であるゲイン g が大きくなることに対してユーザは寛容であり，ゲイン g が小さくなることに対してユーザは敏感であることが示された．

この要因として、本プロトタイプで用いたぬいぐるみ戸田くんがあげられると考える．一般的な他のぬいぐるみに

© 2021 Information Processing Society of Japan

比べ，戸田くんは球状で柔らかく，ポアソン効果が大きく反映されてしまう．その結果，仮想的な柔軟性の正に対して寛容になり，負に対して敏感になったと考える．

6. おわりに

本稿では，ぬいぐるみ本来の柔らかさを維持したままユーザに高度なインタラクションを提供するため，仮想的な柔軟性を VR ぬいぐるみに付与する提案とプロトタイプの実装を行った．

まず，VR ぬいぐるみに癒やし効果があるか検証するため，「時間経過」「ぬいぐるみとのふれあい」「VR ぬいぐるみとのふれあい」の 3 種類について心理的ストレス緩和効果があるかどうか比較した．しかし本実験では VR ぬいぐるみにふれあう前とふれあった後において有意な差を確認することはできなかった．その理由として参加者がストループ課題に慣れてしまったことが挙げられる．今後は，ストループ課題の見直しや実施間隔を調節することで，より正確な測定を行う必要がある．

次に，多くのユーザにとって自然に見える仮想的な柔軟性のゲイン g を調査するため，プロトタイプを用いてユーザ評価を行った．その結果，本プロトタイプにおいて，仮想的な柔軟性のゲイン g は垂直方向に対するポアソン効果では 0.66 倍から 1.96 倍の範囲では自然に感じられ，水平方向に対するポアソン効果では 0.69 倍から 1.54 倍の範囲で自然に感じられることが判明した．本プロトタイプでは，仮想的な柔軟性が高くなることにユーザは寛容であり，低くなることに対してユーザは敏感であることが示された．今後，このゲインを用いた仮想的な柔軟性の増減によって，人が得られる癒やし効果にどのような影響があるのかを調査する．また，プロトタイプに用いたぬいぐるみを「硬い質感のぬいぐるみ」や「複雑な形のぬいぐるみ」に変更し，ゲイン g の閾値や癒やし効果にどのような差が出るか検証を行う．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 20K12128 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Hidenobu Sumioka, Aya Nakae, Ryota Kanai, and Hiroshi Ishiguro. Huggable communication medium decreases cortisol levels. *Scientific reports*, Vol. 3, p. 3034, 10 2013.

[2] 林里奈, 加藤昇平. ロボット・セラピーにおける柔らかい触感の重要性. 日本感性工学会論文誌, Vol. 18, No. 1, pp. 23–29, 2019.

[3] 林里奈, 加藤昇平. ストレス緩和効果向上におけるインタラクションの重要性. 第 80 回全国大会講演論文集, 第 2018 巻, pp. 17–18, mar 2018.

[4] 高瀬裕, 山下洋平, 石川達也, 椎名美奈, 三武裕玄, 長谷川晶一. 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 327–336, 2013.

[5] 井上亮文, 石河竜太, 山本光良. 仮想的な外見を有するぬいぐるみ型玩具の提案. Technical Report 24, 東京工科大学コンピュータサイエンス学部, oct 2020.

[6] 平野有一, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行. Dent-softness illusion:複合現実型視覚刺激による硬さ知覚への影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 271–278, 2011.

[7] おかえり園田くん. `https://www.donapaula.jp/sonoda/`. (2020 年 12 月 4 日参照).

[8] 3d クリエーター. `https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sonymobile.scan3d&hl=ja&gl=US`. (2020 年 12 月 4 日参照).

[9] 長畑萌, 石金浩史. 情動ストループ課題による摂食障害研究の現状と課題. 専修人間科学論集. 心理学篇, Vol. 4, pp. 11–20, mar 2014.

[10] 大塚聡子, 妹尾武治. 知覚的・言語的色情報が色名認識に及ぼす影響とその時間特性. *VISION*, Vol. 23, No. 4, pp. 179–196, 2011.

[11] ストループ条件 | kisojionline. `https://kohske.github.io/KisojiOnline/theme/Stroop/`. (2021 年 4 月 28 日参照).

[12] 徳田完二. 一時的気分尺度 (tms) の妥当性. 立命館人間科学研究, No. 22, pp. 1–6, feb 2011.

© 2021 Information Processing Society of Japan