

圧覚の隠消現実感を引き起こす 視覚刺激の提示手法に関する一検討

大山 晃平^{1,a)} 小川 剛史^{2,b)}

概要: 感覚間の相互作用を用いたクロスモーダルインタフェースに関する研究が盛んに行われている。著者らの研究グループでは提示した感覚を減衰させる隠消現実感にクロスモーダル現象を応用するための基礎検討を行ってきた。特に視覚と圧覚の相互作用に着目し、視覚刺激と圧覚刺激の不整合によって圧力知覚を減衰できる可能性を示してきた。これまでのプロトタイプでは視覚刺激の提示ディスプレイとしてスマートフォンを用いていたが、ディスプレイに表示される腕に対する自己帰属感が低い被験者は圧力知覚が減衰し辛い傾向にあった。本稿では強い自己帰属感を維持するために、視覚刺激の提示ディスプレイとしてHMDを用いた実験を実施し、その結果について考察した。実験で得られた知見をもとに、圧覚の隠消現実感を引き起こすための視覚刺激の提示条件について議論する。

A Study on Presentation Method of Visual Stimuli Causing Diminished Reality of Pressure Sensation

KOHEI OYAMA^{1,a)} TAKEFUMI OGAWA^{2,b)}

Abstract: There have been many studies on cross-modal interfaces by interaction among multiple sensory modalities. We have proposed the diminished reality method for a pressure stimulus by the cross-modal phenomenon and shown possibility to reduce pressure perception by the mismatch between visual stimulus and pressure stimulus. In a prototype, we used a smartphone as display device of the visual stimulus, but subjects with low self-attribution to the arm through the display tended to be less likely to reduce pressure perception. In this paper, we conducted experiments using HMD as a visual stimulus presentation display in order to maintain a strong self-attribution, and examined the results. Based on the experimental results, we consider the conditions of the visual stimulus presentation method causing diminished reality.

1. はじめに

拡張現実感 (Augmented Reality: AR) や仮想現実感 (Virtual Reality: VR) は日常生活の様々な場面において用いられるようになり、その技術は急速に発展している。AR/VR 技術は視覚だけでなく、その他の五感や前庭感覚、加速度感覚など人間のあらゆる感覚を対象とした技術であ

る。一方、複数の感覚に同時に与えられた情報が混ぜ合わさることで、本来与えられていない感覚が生じたり通常とは異なる強度の感覚を知覚したりするクロスモーダル現象が知られており、クロスモーダル現象を利用することで、シンプルな機器構成で感覚モダリティに情報を与え、人間に新しい体験を提供できる。クロスモーダル現象は様々な感覚間で発見されているが、本研究ではその中でも、視覚に関するものに注目する。

従来より、視覚とのクロスモーダル現象を用いた研究 [1], [2], [3], [4], [5] が盛んに行われており、視覚情報によって実際に触れているオブジェクトとは異なる形状のオブジェクトに触れているかのように知覚させたり、歩行者にバクシオンを見せることで加速度感を増強させた

¹ 東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

² 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo 2-
11-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8658 Japan

a) k.oyama@ogawa-lab.org

b) ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp

りしている。本研究では、従来研究のような他の感覚を生起・増強させるためにクロスモーダル現象を用いるのではなく、既に与えられている感覚を減衰させる隠消現実感 (Diminished Reality: DR) にクロスモーダル現象を応用する。視覚からの情報によって、酔いや痛み、圧迫感などの不快な感覚を減衰できると考えている。

著者らの研究グループはこれまでに、様々な感覚の中から圧覚に着目し、視覚刺激とのクロスモーダル知覚により圧覚知覚を減衰させる刺激提示方式について検討を進めてきた [6]。提案方式では、視覚刺激と圧覚刺激に意図的な不整合を発生させることで圧覚知覚を減衰させ、被験者実験によりその効果を確認した。また、視覚ディスプレイ内の腕に対する自己帰属感と DR の生起率には正の相関が確認された。

本稿では、より強力で安定した圧覚 DR の生起を目指し、強い自己帰属感を保った視覚刺激の提示方式として視覚ディスプレイにヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いて実施した被験者実験について述べる。

2. 関連研究

2.1 クロスモーダルを応用した隠消現実感

Sawabe らは乗り物酔い軽減を目的とし、視覚とのクロスモーダルを用いて加速度感覚の DR を引き起こす手法を提案している [7]。乗り物が加速する直前に、HMD を装着した搭乗者の周辺視野に対してベクションを提示することで、搭乗者が自身の重心位置を変化させる。これにより乗り物の加速によって感じる加速度感覚を軽減している。

クロスモーダルを DR に応用した研究は少なく、加速度感覚以外の感覚モダリティに対してはほとんど行われていない。

2.2 視覚と圧覚のクロスモーダル

圧覚刺激と視覚刺激を同時に提示した場合の、硬軟感の変化に関する研究が行われている [8], [9]。Lecuyer らはボール型の入力デバイスに接続されたピストンを用いて、触錯覚による硬軟感の提示についての研究を行なっている [10]。ユーザによるピストンの押し込み変化量に対応して、ディスプレイに表示した CG のボールが変形する。この変形の度合いを任意に変更することで、ボールの硬軟感を錯覚させている。また、指でディスプレイを押した際の硬軟感に関する触錯覚を、Punpongsonon らはプロジェクションマッピングを用いて、Hirano らは MR 技術を用いて実現している [11], [12]。いずれの研究も能動的な運動によって感じる硬軟感を調査対象としており、受動的な刺激によって生じた感覚については検討されていない。本研究では、受動的な刺激によって生じる圧覚を扱う。

2.3 認知的負荷の増大

DR に近い概念の研究として、ある感覚の認知的負荷を増大させることで他の感覚の知覚強度を減衰させるものがある。Mack らは、片方の手で手紙をなぞり差出人を特定するというタスクを課すことによって、もう片方の手に対する水滴や空気砲などの触覚刺激に気付かなくなる場合があると報告している [13]。Murphy らは、認知的負荷の異なる数種類の視覚的タスクが、触覚知覚に与える影響について検証し、高負荷な視覚タスクになるほど被験者は触覚刺激に気付かないことを明らかにした [14]。また、Romero らは痛覚と視覚において Murphy らと同様の調査を行っている [15]。実験の結果、高負荷な視覚刺激を与えるほど、強い痛みを軽減できると述べている。

これらの研究と、本研究を含む DR に関する研究の違いとして意識の集中している場所が挙げられる。前述の認知的負荷を増大させる研究 [13], [14], [15] は、「意識をそらす」ことによって感覚の減衰を引き起こしている。一方、DR に関する研究では意識を集中させる対象は変化させない。他のタスクを課すこともなく、ユーザにとってより自然な状態を維持することが可能である。

2.4 自己帰属感

視覚的な対象を自己またはその延長として捉えている感覚は自己帰属感と呼ばれる。Ehrsson らは、自己帰属感の強さが視覚間のクロスモーダルによる錯覚の強さに与える影響について検証し、自己帰属感が弱くなるほど錯覚も弱くなると報告している [16]。本研究でも同様に、これまでの被験者実験で視覚と圧覚のクロスモーダルにおいて視覚ディスプレイ内の腕に対する自己帰属感と DR の生起率には正の相関が確認された [6]。

また、Gallagher らは自己帰属感の生起には「この運動を引き起こしたのは自分自身である」と認識する運動主体感と「この身体はまさに自分自身のものである」と認識する身体保持感の2つの要素に大別されると報告している [17]。運動主体感は能動的動作時に生じ、その基盤は自己運動の予測と視覚の随伴関係の認知である。一方、身体保持感を受動的動作時でも生じ、体性感覚と視覚の随伴関係の認知が基盤である。

本研究のシステムでは視覚と圧覚の不整合を利用していることから、視覚と体性感覚のズレによる身体保持感の低下を除去することは難しい。そこで本稿では、運動主体感と身体保持感には相互の影響がある [18] という知見、さらに、能動的動作時には体性感覚よりも運動予測との随伴関係の方が優位である可能性がある [19] という知見をもとに、運動主体感を強く認知させることで間接的に身体保持感の低下を補うことを目指す。

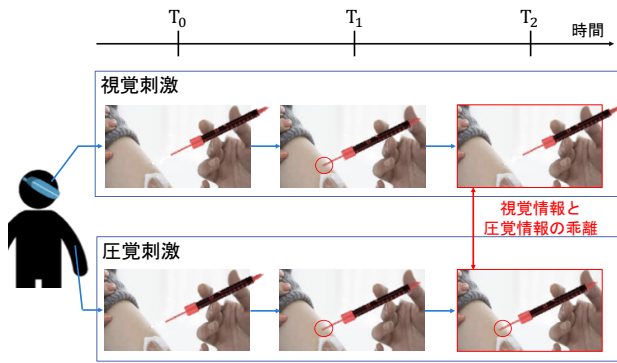


図 1 提案方式の概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of proposed method

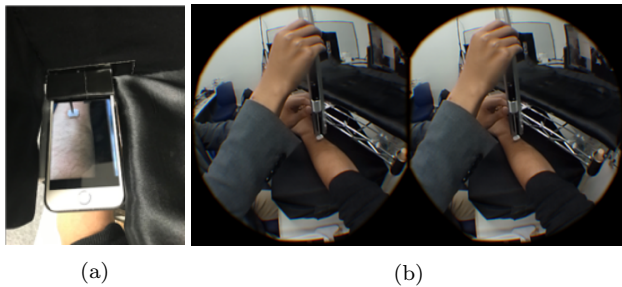


図 2 提案方式を用いた体験者の見る視界; (a) スマートフォンを用いた従来システム; (b) HMD と 360 度カメラを用いたシステム

Fig. 2 The user's view using proposed method; (a) conventional system using smartphone; (b) system using HMD and 360 degree camera

3. 提案方式

著者らの研究グループがこれまでに用いてきた提案方式の概念図を図 1 に示す。図 1 において、時間 T_0 から T_1 の間は徐々に強くなる力を提示し、視覚的にも力が強くなる様子を提示することで、視覚刺激と圧覚刺激は整合性が維持された状態である。一方、時間 T_1 から T_2 の間は、例えば一定の力を受けているにも関わらず力が弱まる様子を視覚的に提示したり、力が弱まる様子を視覚的に強調して提示したりすることで、視覚刺激と圧覚刺激を乖離させ、圧覚知覚の低減や消滅を実現する。

これまで、自身の腕が刺激される様子をスマートフォンのディスプレイ越しに見られるよう、図 2(a) に示すように体験者の腕上部にスマートフォンを設置していた。そのため、体験者が首を動かしたとしても、視点の動きに応じて見える範囲が変更されることはなく、常に刺激部位だけが表示されていた。一方、新たに実装したシステムでは、体験者は 360 度カメラで撮影した映像を HMD を通して見るため、視点の動きに連動して見える範囲が変更されるだけでなく、図 2(b) のように広い視野で自身の腕が刺激される様子を確認できる。視覚と圧覚に不整合が発生している間においても体験者は自由に視界を動かすことができるた

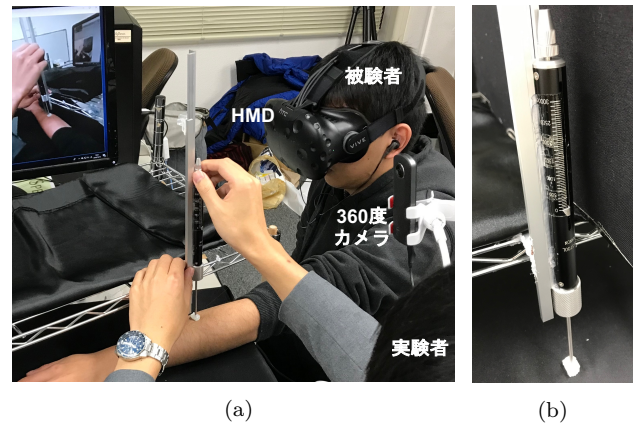


図 3 実験の環境; (a) 実験者側から見た実験の様子; (b) テンションゲージを用いた実験システム

Fig. 3 Experimental environment; (a) experimental view from the experimenter's side; (b) experimental system using tension gauge

め体験者の自己運動と視覚の間には常に整合性が保たれ、高い運動主体感及び自己帰属感の維持が期待できる。

4. 実験環境

実験では HMD として HTC VIVE を、360 度カメラとして THETA S を採用した。図 1 における時間 T_0 から T_1 の間は被験者が圧力刺激を受ける様子を 360 度カメラで録画すると同時にそのままの映像を HMD に表示する。時間 T_1 から T_2 の間は録画した映像を逆再生して HMD に表示することで、視覚刺激と圧覚刺激に不整合を発生させる。被験者の頭の動きと HMD に表示する視覚刺激の動きとを逆再生中においても対応させるため、360 度カメラは被験者の頭の近くに固定する。 T_0 から T_1 の間は 15 秒とし、逆再生が終了した時点で画面をブラックアウトする。

図 3(a) は実験の様子である。圧力刺激を与える道具として、与えている圧力を定量的に測定できるテンションゲージ(中村製作所, TK3000cN)を使用する。図 3(b) にテンションゲージを用いた実験システムを示す。これまでの被験者実験においては、テンションゲージを固定することなく操作していたため逆再生中に刺激位置が意図せずズレる場合があり、圧力刺激と視覚刺激の空間的整合性が損なわれ被験者の腕に対する自己帰属感の低下を引き起こしていた。本実験ではこれを防ぐため、テンションゲージにスライダを装着し鉛直方向にのみ可動するよう加工した。また、テンションゲージの先端が尖っておりそのまま利用すると痛みを生じることがあったため、先端にホットメルト接着剤を付け接触面の面積を $1[cm^2]$ にした。いずれの実験中も、痛みを感じた被験者はいなかった。

圧力刺激を与える位置は、左手前腕外側の中央とする。実験中はテンションゲージの操作によって生じる音の影響を排除するため、被験者には常にホワイトノイズを聞かせた。

表 1 実施した実験条件

Table 1 Experimental condition

| 視覚ディスプレイ | 逆再生あり | 逆再生なし | 目を閉じる |
|----------|--------|--------|--------|
| HMD | 実験条件 A | 実験条件 C | 実験条件 E |
| スマートフォン | 実験条件 B | 実験条件 D | |

5. 実験

5.1 実験目的

これまでの被験者実験から、圧力知覚においては圧力の絶対値よりも相対的な変化を知覚する方が容易であることが分かっている [6]。また、視覚と圧覚のクロスモーダルによって圧覚の DR が生起されていることから、本稿では以下の仮説を立て、実験により定量的に検証した。

[仮説 1] HMD を用いた提案方式で生じる視覚刺激を与えている時に知覚する圧力強度は、視覚刺激を与えていない時に知覚する圧力強度よりも相対的に弱くなる。

[仮説 2] スマートフォンによる従来の提案方式よりも HMD と 360 度カメラによる本稿の提案方式を用いた場合の方が、より強く DR は生起する。

5.2 実験内容

本稿で実施した実験条件を表 1 に示す。従来の提案方式と比較するため、視覚ディスプレイとして HMD とスマートフォンの 2 条件で実験を行った。

いずれの実験条件においても、はじめにテンションゲージを用いて 0[cN], 400[cN], 800[cN], 1200[cN], 1600[cN], 2000[cN] の圧力を与え、知覚した圧力と実際の強度との対応を被験者に覚えさせた後、以下に示す手順で実験を実施した。なお、あらかじめ被験者には事前に体験させた強度とは異なる圧力も含まれていることを伝えている。被験者は成人男性 9 名である。

- (1) テンションゲージを被験者の腕に近づける。
- (2) 1500[cN] に達するまで圧力を与え、その圧力を維持する。
- (3) 録画した映像を逆再生させて HMD, またはスマートフォンに表示する。
- (4) 逆再生のタイミングに合わせて与える圧力を X[cN] に変化させ、維持する。
- (5) 逆再生が終了した時点で画面をブラックアウトする。知覚は刺激の対数に比例するというウェーバーフェヒナーの法則に従い、手順 (4) における圧力 X は圧覚知覚が 0 から最大までの間で 4 分割になるよう 0[cN], 300[cN], 600[cN], 1000[cN], 1500[cN] の 5 通りとした。圧力 1500[cN] は、圧力刺激を変化させない条件である。被験者ごとに 5 条件をランダムな順序で設定して実施し、視覚ディスプレイとして HMD を用いる実験条件が表 1 中の A, スマートフォンを用いる実験条件が表 1 中の B である。また、手順全体を

通して視覚と圧覚の整合性が維持されている実験条件として、上記の手順 (3) で逆再生を行わない状態でも同様に実験を行った (表 1 中の C 及び D)。さらに、圧覚刺激のみが知覚できる条件として被験者の目を閉じた状態で同様に実験を行った (表 1 中の E)。

被験者には実験中に以下のタイミングで主観的な圧力強度を 1 秒以内に数値で回答させた。

- テンションゲージが与える圧力が最大 (1500[cN]) になったタイミング (回答 1)。
- 逆再生によって、テンションゲージが腕から離れたという視覚刺激を与えたタイミング (回答 2)。
- 画面がブラックアウトし、視覚刺激がなくなったタイミング (回答 3)。

被験者にはテンションゲージが接触していない時とテンションゲージは接触しているが圧力を感じない時とを区別して回答するよう伝えている。

5.3 実験結果と考察

本実験では、視覚と圧覚の整合性が保たれている状態での主観的圧力 (回答 1)、視覚と圧覚に不整合が生じた状態での主観的圧力 (回答 2)、視覚を遮断することで圧覚だけを提示した状態の主観的圧力 (回答 3) を答えさせており、回答 3 よりも回答 2 の圧力が小さい場合、視覚と圧覚の不整合により DR が生じたと考えられる。

表 1 における 5 つの実験条件において DR が生じた回数を調査した。実験条件 A と C を比較した結果を図 4(a) に、実験条件 B と D を比較した結果を図 4(b) に、実験条件 A と B を比較した結果を図 4(c) に示す。

被験者 9 人に対して 25 種類の実験条件で行った全 225 試行のうち、実験条件 A では 45 回中 4 回、実験条件 B では 45 回中 12 回、実験条件 C では 45 回中 0 回、実験条件 D では 45 回中 0 回、実験条件 E では 45 回中 2 回、DR が生起し、視覚と圧覚に不整合を発生させた条件 A と B での生起回数が不整合の無い条件 C や D での生起回数を上回った。

HMD を用いた実験条件 A と C についてカイ二乗検定を適用したところ条件間に有意差が認められた ($\chi^2(1) = 4.186, p < .05$)。よって、HMD を用いた提案方式においても視覚刺激と圧覚刺激の不整合によって DR が生じたと考えられ、仮説 1 を支持する結果となった。

また、スマートフォンを用いた実験条件 B と D についてカイ二乗検定を適用したところ条件間に有意差が認められ ($\chi^2(1) = 13.846, p < .01$)、これまでの被験者実験の結果と一致した [6]。

さらに、本稿の提案方式である実験条件 A と従来の提案方式である実験条件 B についてカイ二乗検定を適用したところ条件間に有意差が認められた ($\chi^2(1) = 4.865, p < .05$)。実験条件 A での生起回数は実験条件 B での生起回数より

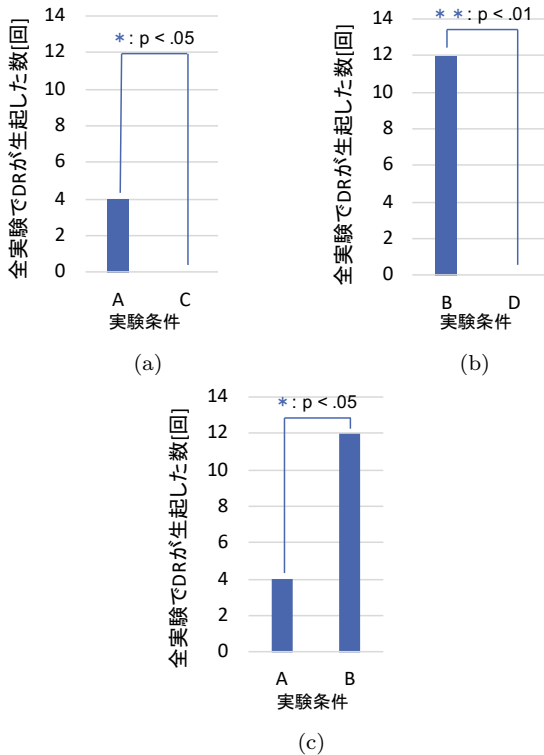


図 4 DR が生じた回数; (a) HMD を用いた実験条件; (b) スマートフォンを用いた実験条件; (c) 視覚と圧覚に不整合のある実験条件

Fig. 4 Number of times DR occurred; (a) experimental conditions using HMD; (b) experimental conditions using smartphone; (c) experimental conditions with the mismatch between visual stimulus and pressure stimulus

も少なく、仮説 2 に反する結果となった。実験後、自由記述に加え、スマートフォンを用いた実験条件と HMD を用いた実験条件で圧力覚の減衰について違いを感じたか質問を行ったところ次のような回答を得た。

- スマートフォンを用いた実験条件の方が、圧力刺激を受ける様子しか見えないので集中しやすかった。
- HMD を用いた実験条件の方が、現実感は強かった。

以上の実験結果から、本稿の提案手法はスマートフォンを用いた従来の提案手法よりも強い自己帰属感を維持できているが、圧力刺激が減衰する様子に集中することが難しく、DR が生じ辛かったと考えられる。

視覚と圧覚に不整合を提示した場合の各圧力条件下において DR が生じた回数を図 5 に示す。各圧力条件の結果を比較すると、X=1500[cN] において DR が最も生じにくく X=0, 300, 1000[cN] において最も DR が生じやすかった。カイ二乗検定を行ったところ、各圧力条件間に有意差は認められずこれまでの被験者実験の結果と一致した [6]。一方、X=0[cN] の条件において回答 2 と回答 3 で共にテンションゲージは離れたと回答している試行が実験条件 A で 3 回、実験条件 B で 3 回確認された。本研究では回答 3 よりも回答 2 の圧力が小さい場合に DR が生じたと

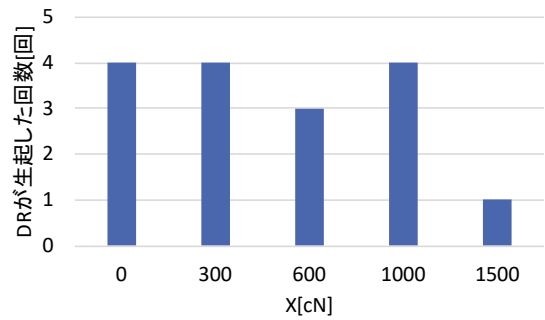


図 5 各圧力条件下で DR が生じた回数 (視覚と圧覚の不整合あり)

Fig. 5 Number of occurrences of DR under each pressure condition (with the mismatch between visual stimulus and pressure stimulus)

定義していることから、これらの試行は圧覚 DR が生じた回数には含まれていないが、テンションゲージが接触しているという感覚が視覚刺激によって消失し、触覚 DR が生じた試行であると考えられる。触覚 DR と圧覚 DR を分類せずに各圧力条件を比較すると、X=0[cN] と X=1500[cN] についてカイ二乗検定を適用したところ条件間に有意差が認められた ($\chi^2(1) = 10.604, p < .01$)。よって、視覚刺激と圧覚刺激との不整合の程度が触覚及び圧覚 DR の生起に影響を与える可能性が考えられる。触覚 DR と圧覚 DR の区別については今後より詳細な検討を進める予定である。

6. 議論

本稿では、HMD と 360 度カメラを用いた提案方式による視覚刺激によって圧覚の DR が生じることを示し、その特性について検証した。スマートフォンを用いた従来の提案方式よりも DR は生じにくいという結果となったが、圧力刺激が減衰する様子への集中の度合いが DR の生起に影響を与える可能性があるという知見が得られた。一方、本稿の提案方式の自己帰属感は強かったという意見が得られたことから、HMD を用いながら圧力刺激が減衰する様子以外の視覚の情報量を削減することで、より強力な DR の生起が期待できる。

また、圧覚には運動誘発効果を引き起こすという研究成果が報告されている [20]。このような知見と組み合わせることで、運動誘発効果をクロスモーダルによって制御する新しいインターフェースの実現が期待できる。

さらに今回の実験で利用した、逆再生による視覚刺激は他の感覚モダリティの情報も減衰できる可能性があると考えている。Koyama らは痛覚において、与えられる痛みが小さいと予期している場合とそうでない場合では、前者の方が実際に感じる痛みは減少し、脳活動も抑制されると報告している [21]。また、Preston らは指に関節痛をもつ患者が、自分の指が伸びる映像を見ることで痛みが軽減すると述べている [22]。このような知見から、対象とする感覚

は異なるものの、本研究のシステムを痛覚にも適用することで例えば注射の痛みを軽減するといった応用が考えられる。

7. おわりに

本稿では、圧覚と視覚とのクロスモーダル知覚により圧力知覚を減衰させる刺激提示方式についてHMDを用いた方式の提案と実験による有効性の検証を行い、以下の知見を得た。

- HMDを用いた提案方式においても視覚刺激と圧覚刺激の不整合によって、圧力知覚を減衰させる可能性があること
- 隠消現実感を引き起こす視覚刺激の提示手法においては、圧力刺激が減衰する様子への集中の度合いが圧覚DRの生起に影響を与える可能性があること
- 視覚刺激と圧覚刺激との不整合の程度が圧覚DRの生起に影響を与える可能性があること

今回の実験では被験者数や実験回数がまだ十分ではないため、今後は刺激位置や慣れの影響、与える最大圧力とその変化量などのパラメータも含め、より詳細な検証を進める予定である。また、より強力で安定した圧覚DRの生起を目指し、強い自己帰属感を保ちながら圧力刺激が減衰する様子に集中しやすいシステムに向けた改良を進める予定である。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費16K00266の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Ho, H.-N., Iwai, D., Yoshikawa, Y., Watanabe, J. and Nishida, S.: Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object, *Scientific Reports*, Vol. 4, pp. 5527 EP – (2014).
- [2] Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: MagicPot360: Free viewpoint shape display modifying the perception of shape, *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 321–322 (2015).
- [3] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Reality Flavors: Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-modal Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 93–102 (2011).
- [4] 片岡 佑太, 橋口 哲志, 柴田 史久, 木村朝子: 複合現実型視覚提示が痛覚刺激の知覚に及ぼす影響, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 19, No. 2, pp. 275–283 (2014).
- [5] Bruder, G., Wieland, P., Bolte, B., Lappe, M. and Steinicke, F.: Going with the flow: Modifying self-motion perception with computer-mediated optic flow, *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 67–74 (2013).
- [6] 大山 晃平, 小川剛史: 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感に関する基礎検討, *VR学研報*, Vol. 23, No. CS-1, pp. 1–6 (2018).
- [7] Sawabe, T., Kanbara, M. and Hagita, N.: Diminished reality for acceleration stimulus: Motion sickness reduction withvection for autonomous driving, *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 277–278 (2017).
- [8] Kokubun, A., Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Visuo-haptic Interaction with Mobile Rear Touch Interface, *ACM SIGGRAPH 2013 Posters*, SIGGRAPH '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 38:1–38:1 (2013).
- [9] Yabe, S., Kimura, T., Kishino, H. and Nojima, T.: *The Effect of Visually-Induced Pseudo-Haptic on Softness*, The Eurographics Association (2014).
- [10] Lecuyer, A., Coquillart, S., Kheddar, A., Richard, P. and Coiffet, P.: Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?, *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No.00CB37048)*, pp. 83–90 (2000).
- [11] Punpongsonan, P., Iwai, D. and Sato, K.: SoftAR: Visually Manipulating Haptic Softness Perception in Spatial Augmented Reality, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 21, No. 11, pp. 1279–1288 (2015).
- [12] Hirano, Y., Kimura, A., Shibata, F. and Tamura, H.: Psychophysical influence of mixed-reality visual stimulation on sense of hardness, *2011 IEEE Virtual Reality Conference*, pp. 51–54 (2011).
- [13] Mack, A. and Rock, I.: *Inattentive Blindness: An Overview By Arien Mack & Irvin Rock*, Vol. 5, Association for the Scientific Study of Consciousness (1999).
- [14] Murphy, S. and Dalton, P.: Out of Touch? Visual Load Induces Inattentive Numbness, *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, Vol. 42, No. 6, pp. 761–765 (2016).
- [15] Romero, Y. R., Straube, T., Nitsch, A., Miltner, W. H. and Weiss, T.: Interaction between stimulus intensity and perceptual load in the attentional control of pain, *PAIN*, Vol. 154, No. 1, pp. 135 – 140 (2013).
- [16] Ehrsson, H. H., Spence, C. and Passingham, R. E.: That's My Hand! Activity in Premotor Cortex Reflects Feeling of Ownership of a Limb, *Science*, Vol. 305, No. 5685, pp. 875–877 (2004).
- [17] GALLAGHER, S.: Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science, *Trends in Cognitive Science*, Vol. 4, pp. 14–21 (2000).
- [18] Tsakiris, M., Schtz-Bosbach, S. and Gallagher, S.: On agency and body-ownership: Phenomenological and neurocognitive reflections, *Consciousness and Cognition*, Vol. 16, No. 3, pp. 645–660 (2007).
- [19] Saito, H. and Fukuchi, K.: The Effect of Predictability of Visual Motion from Motor Commands on the Recognition Process of Self-Attribution, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, ACM, pp. 1–6 (2018).
- [20] 富田 佳成, 坂本 良太, 加藤 典彦, 野村由司彦: 錯覚を利用した力覚呈示のための圧覚特性調査, *IIP 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集*, Vol. 2011, pp. 249–254 (2011).
- [21] Koyama, T., McHaffie, J. G., Laurienti, P. J. and Coghill, R. C.: The subjective experience of pain: Where expectations become reality, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 102, No. 36, pp. 12950–12955 (2005).
- [22] Preston, C. and Newport, R.: Analgesic effects of multisensory illusions in osteoarthritis, *Rheumatology (Oxford, England)*, Vol. 50, No. 12, pp. 2314–2315 (2011).