天井可動式ディスプレイを用いた圧迫感提示ディスプレイの研究

粟津 実夢 * 構 優太 † 佐藤 俊樹 *

概要. 2段ベッド上段やロフトといった天井との距離が近い場所で天井に手が触れると，我々は上から押さえつけられているような圧迫感を触覚的に感じることがある．またそのような場では，直接触れなくともそこにいるだけで事前に接触が予期される状況を視認し，視覚的に圧迫感を感じることもある．そこで本研究では「ユーザがユーザの頭上にある大きな物体に押さえつけられる感覚」における触覚および視覚の2つの感覚に着目し，ユーザと圧迫物体との距離という変数を用いてこれら異なる2つの圧迫体験を選択的に提示可能な圧迫感提示手法を提案する．

1 背景および目的

我々は普段室内で過ごすことが多く，頭上には常に天井や照明・空調機器といった物体が存在している．そしてほとんどの場合，それらの物体は手を伸ばしても届かない離れた位置に固定されている．

しかし，二段ベッドの上段やロフトといった天井との距離が近い場所で手を伸ばすと，手が天井に触れることがある．このとき，我々は上から押さえつけられているような圧迫感を感じることがある (図1(c))．また，棚の上にある大きな荷物を床に降ろすとき，我々は頭上で荷物を下から支えなければならない．このとき，荷物を支える手には荷物の重みが徐々にかかっていき，さらに荷物が自分に近づいてくると，我々は徐々に圧迫感が強くなっていくことに気づくだろう (図1(d))．これらの圧迫感は，頭上で手に直接物体が触れたり押さえつけられたりしたときに感じる「触覚的な圧迫感」であるといえる．

このような触覚的な圧迫感に加え，時として我々は頭上にある物体に実際に触れていなくとも圧迫感を感じることがある．例えば，二段ベッドの上段やロフトといった場所では，我々は天井に直接触れなくともそこにいるだけで天井から圧迫感を感じる (図1(a))．また，梯子等で高い場所に登っている最中には，天井との距離が近づいていくにつれ，我々は圧迫感が徐々に強くなっていくことを感じるだろう (図1(b))．このような圧迫感は，事前に接触が予期される状況を視認したときに感じるもので,「視覚的な圧迫感」だといえる．

ここで本研究では，ユーザと物体との距離という変数に着目し，これらの異なる2つの圧迫感を下記のように分析・分類した．なお，本研究が着目する圧迫感は「ユーザがユーザの頭上にある大きな物体に押さえつけられる感覚」とする．

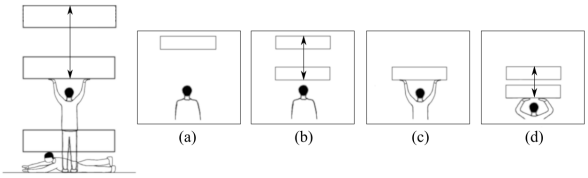

図 1. 様々な種類の圧迫感体験

まずどちらの圧迫感も，我々と頭上にある物体との距離が近いほど強く感じる点で共通しているといえる．そのため，物体との距離を動的に変化させることで，それぞれの圧迫感の強弱を制御しながらユーザへ提示することが可能であると考える．さらに，我々と頭上にある物体との距離が物理的に離れている場合は，受ける圧迫感は視覚情報のみとなる．しかし，その距離が徐々に近づき，我々がその物体に直接触れられるようになると，視覚に加え触覚的な圧迫感も加わるようになる．この時の圧迫感は，視覚および触覚の両方に対するもので，より強い感覚となる．このことに着目すると，我々と頭上にある物体との距離というパラメータに着目し，その距離を「大きく変化」させることで，触覚的な圧迫感提示と視覚的な圧迫感提示の選択的な提示が可能になり，さらにそれらの異なる圧迫感を必要に応じて動的に切り替えながらの提示が可能な新しい圧迫感提示が可能になると考えている．

以上を基に，本研究では距離の動的変化要素を取り入れた2種類の異なる圧迫感の動的かつ選択的な提示が可能な新しいディスプレイを提案する．特に本研究では，今回注目する圧迫感を「ユーザがユーザの頭上にある大きな物体に押さえつけられる感覚」とし，頭上の物体との距離の動的な変化が可能な装置を実現することで，この圧迫感を触覚および視覚の2つの感覚において様々な強度で提示できるディスプレイの実現を目指す．さらに，距離の動的な変

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 北陸先端科学技術大学院大学
† 電気通信大学

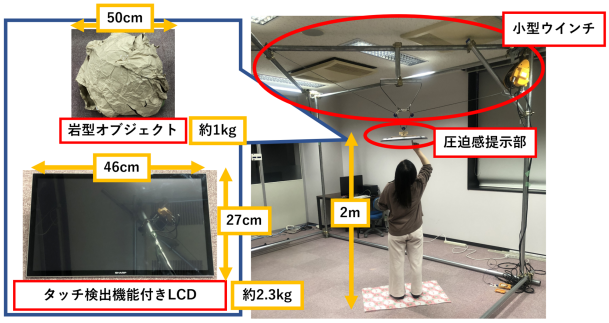

図 2. ハードウェア構成

化を用いて，触覚的な圧迫感と視覚的な圧迫感という異なる 2 つの圧迫感を，1 つのディスプレイ上でシステムが必要に応じて選択的に提示可能にする．これにより，2 つの圧迫感体験を「ユーザが自由に行き来する」横断的な圧迫感体験も可能にする．

2 プロトタイピング

本研究では，提案する頭上の物体から受ける圧迫感を提示可能な圧迫感提示システムの試作を行った (図 2)．本プロトタイプは，圧迫感を生じさせる圧迫感提示部と，これをユーザの頭上に固定し，その高さを上下に変化させることができるウインチ機構で構成される．まず，今回の実装では，紙や梱包用緩衝材等の空気を含む軽量な素材で制作した「岩」を模した実物体オブジェクト (重量約 1kg) と，小型のタッチ検出機能付き LCD(Sharp LL-S201QA，重量約 2.3kg) の 2 種類を圧迫感提示部として用いることとした (図 2(左))．これは，今回ユーザに圧迫感のみを提示する場合と，一般的なディスプレイによる視覚情報提示に圧迫感を付与する場合の異なる 2 種類の目的を想定したためである．

また，これらの圧迫感提示部を上下に動かすために，小型のウインチ（RYOBI 社 WI-62）と動滑車を用いたワイヤによる吊り上げ機構を用いた (図 2(右))．ウインチはマイクロコントローラ (Arduino) により制御され，圧迫感提示部を地面から高さ 2m までの範囲を最小刻み 3.8mm で動作可能である．

3 提示可能な圧迫感の例

頭上にある物体との距離が近づいてくると，ユーザの視界が受け取る視覚・触覚情報は徐々にその情報量が増していく．今回制作を行った実物体を用いた圧迫感提示部では物体がユーザに近づけば近づくほどユーザが視覚的に感じるその物体のテクスチャ感や凹凸の解像度が高まり，その細部に新たな発見が生まれる．一方で，頭上にある物体が近づいてくると，視覚的な圧迫感から目を外にそらしてしまうユーザもいるだろう．しかし，ユーザは自分の周囲にできる頭上の物体によって出来た影が大きくなっていき，ユーザは視界がだんだん暗くなっていくことに気づくこともある．

加えて，頭上にある物体が目前まで迫ってくると，自分がはき出した息による微弱な風が目前の物体に反射し，自分の顔にかかることで触覚的に接近を感じることもある．また，視覚・触覚以外でも，聴覚による圧迫感もある．頭上にある物体が手が届く範囲まで近づいてくると，ユーザが発した声や音の頭上の物体との反響が徐々に大きくなっていき，頭上の物体が近づいてきていることに気づくことがある．

またこれらの圧迫体験独特の視覚・触覚情報の微小な変化に対する気づきはユーザと圧迫感提示部との接近のさせ方によっても感じ方が違ってくる．例えば，連続的に降下させるよりも 1 秒間に 1 段階ずつ距離を縮めていくことでゲーム等の制限時間を意識させるような緊張感を高めることも可能になる．

4 関連研究

これまでにも，頭上から感じる圧迫感に着目した研究がなされてきた．まず，Günther らは空気圧に着目し，空気圧を用いて帽子の内部に取り付けたクッションを膨らませることで，頭にボールが接触したときの圧力の提示を実現している [1]．また，柴山らは仮想空間内で天井の高さが異なる 2 つの閉所空間を作成し，部屋の広さによる圧迫感を実現している [3]．しかし，頭上にある物体から感じる圧迫感を触覚および視覚的に提示するだけでなく，必要に応じて選択するためには，触覚的な圧迫感を提示するデバイスを装着したり，段階的に圧迫感を提示したりする従来の手法では困難である．

また，ディスプレイを可動式のアーム等に固定して前後に移動させることでタッチ入力時の押下感や奥行き感を提示する研究がなされてきた [4][2]．提案システムも可動式のディスプレイであるが，上下移動による触覚および視覚という異なる 2 つの感覚の切り替えに着目している点が異なる．

5 今後の展望

本研究では，触覚および視覚の異なる 2 つの感覚において様々な強度で圧迫感を提示可能なディスプレイを提案した．

今後は実装をさらに進め，ユーザの姿勢や能動的な入力動作の検出機能についても検討し，提案する圧迫感提示機能を用いたより具体的なアプリケーションの試作および評価を行っていく．また，強い圧迫感の提示によりユーザにストレスを与えてしまう可能性についても詳細に検討し距離と圧迫感との相関や，より安全かつ楽しい圧迫感提示が行える圧迫感提示部の可動範囲についての評価も行いたい．

参考文献

[1] S. Günther, D. Schön, F. Müller, M. Mühlhäuser, and M. Schmitz. PneumoVolley: Pressure-Based Haptic Feedback on the Head through Pneumatic Actuation. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '20, p. 1–10, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.

[2] M. Sinclair, M. Pahud, and H. Benko. TouchMover: Actuated 3D Touchscreen with Haptic Feedback. In *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '13, p. 287–296, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.

[3] 柴山大輝, 阿部大河, 野口周, 西将輝, 宇和伸明, 林秀彦. 閉所空間調整システムを用いた VR 体感型ゲームにおける閉所空間の認知特性評価. pp. 68–73, 2016.

[4] 星野剛史, 塚田有人 and 峯元長. Tactile Driver: 触感を忠実に再現するタッチパネルシ ステム. 第 10 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2002), 2002.