

## ダメージを演出するための鋭い感触を呈示する手法の検討と開発

萩原正宏<sup>†</sup> 高橋伸<sup>†</sup> 田中二郎<sup>†</sup>

本研究では仮想現実空間内において、殴られた、あるいは叩かれたようなダメージの演出を目指す。そのためには鋭い感触の触覚呈示が必要であるが、振動モータでは感触の質が、ソレノイド式では重量や電源容量が問題となる。そこで本研究では弾性体の飛び移り座屈機構を利用した触覚呈示手法を提案する。本手法では薄い金属板の弾性力により軽量でありながら鋭い力を発生できる。本手法を用いた触覚呈示装置を試作し、予備実験として呈示する感触を主観的に評価した。その結果、振動モータよりも鋭い感触を呈示でき、さらに重りの有無により2種類の感触も呈示できた。また、試作した装置と効果音とを併用したアプリケーションを実装した。

### A Method of Presenting Sharp Tactile Feel in order to Express Damages

Masahiro HAGIWARA<sup>†</sup>, Shin TAKAHASHI<sup>†</sup> and Jiro TANAKA<sup>†</sup>

This study aims to express damages such as punches or flaps in a virtual-reality space. This requires presentation of a sharp tactile feel; however, one problem is the quality of tactile sensation for a vibration motor, as well as the weight and power capacity for a solenoid. Therefore, the study proposes a method of tactile presentation using a mechanism of flexible strip buckling. In this method, by using the rebound force of a thin metallic plate, a sharp force is generated, despite the metallic plate being lightweight. The authors developed a prototype of a tactile device and, as a preliminary experiment, evaluated subjectively the exhibited sense of touch. As a result, the prototype can provide a sharper touch than a vibration motor, and two types of tactile feels, depending on the weight. Furthermore, an application was implemented by combining the use of the prototype with sound effects.

#### 1. はじめに

格闘ゲームやシューティングゲーム、ロールプレイングゲーム等のテレビゲームでは、ダメージを受ける、ダメージを与えるといった「戦闘」が存在し、その表現は重要な意味を持つ。ダメージ表現にはヒットポイントゲージのように蓄積させたダメージを表すものと、ダメージを受けた事実をその瞬間に表すものがある。後者の場合、自身が操作するキャラクター等に対して爆発・破損や受身・硬直といったダメージ表現が映像や効果音によって行われ、さらに振動モータを用いた振動呈示による演出も行われる。このようにゲームにおける触覚呈示は振動モータによってなされてきた。しかし、振動モータは、強弱はあるものの、振動という感触しか呈示できず、さらにダメージを表現する感触として歯切れのよさ、鋭さが不足している。しかし、既存の電磁気式のアクチュエータのみでは鋭い感触を呈示するのは難しい。

そこで本研究ではテレビゲームなどの仮想現実空間内において、鋭い感触を触覚に呈示することで、殴られたあるいは叩かれたようなダメージの演出を目指す。そのために飛び移り座屈機構<sup>1)</sup>を利用してダメージ表現装置の試作を行った。本稿では試作の呈示する感触を定性的に調査するために予備実験を行った。さらに試作を基に簡単なアプリケーションを作成した。

#### 2. 関連研究

触覚呈示装置の研究ではその手軽さから振動モータやボイスコイルといった振動子がよく用いられてきた。一方、近年では振動覚以外の触覚の刺激も注目されている。SqueezeBlock<sup>2)</sup>はデバイスを把持する圧力に対して、モータを用いてフィードバック制御を行い仮想的なバネの感触を表現している。Hemmert<sup>3)</sup>は直交させた2つのレール上を移動する重りによりタッチスクリーン搭載型携帯電話の操作フィードバックを呈示する。このように、様々な感触を呈示するための新たなデバイスやアクチュエータの開発が盛んである。

我々と類似した目的では、大島<sup>4)</sup>は振動子と効果音によって「身体を切られる」感覚の呈示を試みている。振動子とスピーカーを複数個胴体に装着し、触覚への仮現運動を生起させると同時に効果音を移動呈示することにより“ばっさり感”を生成している。本研究では振動子の感触よりも歯切れのよい感触を目指す。

鋭い感触としてSekiguchi<sup>5)</sup>はソレノイドを内蔵した箱型デバイスによって衝突感と刻み感を呈示している。しかし、ソレノイドは強力な力を得ようとすると大型で強大な物が必要となってくる。和宇慶<sup>6)</sup>も、立ち上がり速度が速く、収束も速い感触は既存の電磁気式のアクチュエータでは困難であると指摘している。

<sup>†</sup> 筑波大学 大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

<sup>†</sup> Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

### 3. 本研究が目指すダメージ表現

本研究はダメージを表現するために触覚提示を利用する。ダメージを表現するためには従来提示が困難である鋭い感触が重要であり、その鋭さを表現するために触覚に撃力を提示する必要があると考えた。撃力とはごく短い時間に強い力を作用させる力積を指し、本研究ではこの撃力によって鋭い感触を提示する。

ダメージは多種多様であり、殴られるや斬られる、撃たれるなどがある。本研究では鋭い感触に重点を置くが、その中でさらに感触に違いを持たせたい。例えば、同じ手で殴るでもボクシングでいえば「ドスッ」「バンッ」など重く鋭い感触となり、平手打ちなら「パンッ」という軽く鋭い感触となる。本稿ではこの例を再現するために重く鋭い感触と軽く鋭い感触との2つの提示を目指す。

感触を変えるパラメータは数多く存在する。力覚でいえば感触の強弱にあたる力覚的分解能、時間分解能、空間分解能がそれに該当し、これらは定量的に変化する。触覚でいえば、接触面の素材・面積・形状等によって感触が定性的に変化する。本稿では上記の2種類の感触を提示するために質量のパラメータに着目した。重く鋭い感触は実際に質量の大きなもので撃力を与えたときに生じ、逆に質量の小さいものならば撃力の大きさが同じでも軽く鋭い感触になると考えた。

また、本研究の想定する利用シーンはあくまでエンタテインメント環境である。そのため、実際にダメージを受けた感触、例えば殴られた感触とその痛みを忠実に再現してはならない。

以上をまとめると、以下の項目が要件となり、これらを満たす必要がある。

- 撃力によって鋭い感触を提示する。
- 提示できるダメージの感触の種類が必要であり、今回は質量を変更することで、重く鋭い感触と軽く鋭い感触の2種類を提示する。
- エンタテインメント目的なので痛みを感じさせない。

### 4. ダメージ表現装置の試作の概要

前節の要件を満たすため、飛び移り座屈機構を利用したダメージ表現装置の試作を行った。(図1)。

飛び移り座屈機構は小型ロボット用の自走機構として開発され、小型軽量かつ単純な機構でありながら、弾性力によって非常に瞬発力のある力を発生できる。

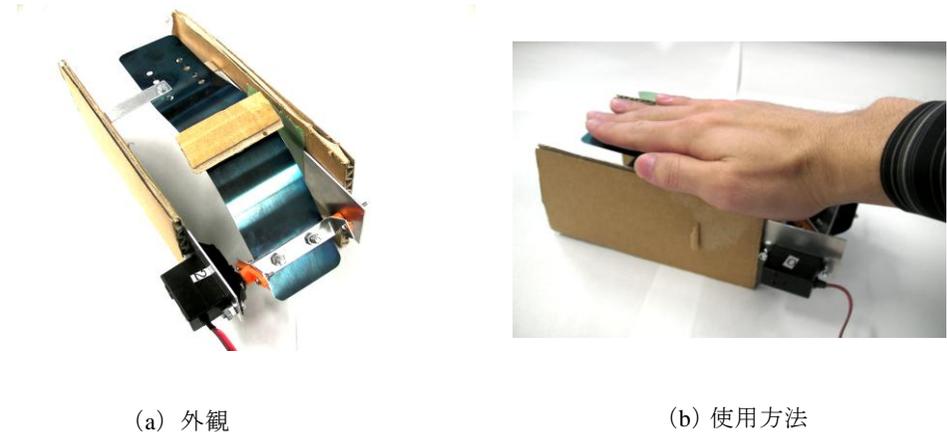


図1 飛び移り座屈機構を利用した試作

#### 4.1 飛び移り座屈機構の動作原理



図2 飛び移り座屈機構の動作図

飛び移り座屈機構の動作を説明する(図2)。この機構の主要素は弾性体である。弾性体は薄い金属板であり、その薄さのため柔軟性に優れた素材である。以後この金属板を弾性帯と呼ぶ。この弾性帯をたわませた状態で平衡状態となるように固定する。たわませた状態は弾性力を蓄えており、これに外部から荷重をかけていくとある時点で限界を超え、蓄えられた弾性力によって急速にたわみが反転する。これを飛び移り座屈という。我々は飛び移り座屈の瞬発力をダメージ表現のための鋭さとして利用する。

発生する力は主に弾性帯の固定長、厚さ、幅によって変化する。例えば固定長を短く、厚さをより厚く、幅を広くすれば強力な力を発生する。

## 4.2 仕様

試作はアルミ製の台座\*1、弾性帯として焼き入れリボン鋼（JIS SK5-CSPH）厚さ0.15mm、弾性帯にトルクを印加するためのサーボモータ（GWS社製 MICRO-MG）で構成される。全長は約16cm、幅約10cm、高さ約9cm、重量95gである。

弾性帯は台座にたわませた状態で固定する。弾性帯の片端は台座に、もう一方はサーボモータの回転軸に固定する。飛び移り座屈は台座に固定されたサーボモータの回転によって生じられる。サーボモータは PC に接続されたマイコンボード（Arduino Diecimila）からの PWM 信号によって回転を制御される。回転軸が初期位置から回転していき、ある角度に達すると飛び移り座屈が生じる。今回は弾性帯の固定長を約12cmとし、飛び移り座屈に必要な回転角度は約100°であった。

## 4.3 使用方法

試作は弾性帯の最も変位する部位に掌を置く形で使用する（図1(b)）。掌は触覚に関して身体の部位の中で最も感度の良い部分の一つであるため、予備実験という観点から接触部位として選出した。

装置の要件である、痛みを感じさせないという要件を満たすために身体へ接触する部位に緩衝材となる素材を装着した。今回緩衝材としたのは段ボールの切れ端である。

## 4.4 2種類のダメージ

我々は「重く鋭い」感触と「軽く鋭い」感触との2種類のダメージ表現を実現するために2種類の試作を用意した。片方の試作にのみ、弾性帯の最も変位する部分に重り（約25g）を取り付け、重く鋭い感触の呈示を試みる。この部分はユーザへの接触部位のちょうど裏側になる。重り以外の条件は2種類とも同一である。

## 5. 予備実験

試作を用いて被験者実験を行った。この実験の目的は

- 代表的な触覚呈示装置である振動子と比較して鋭い感触を呈示できるか。
- 「重く鋭い」「軽く鋭い」感触の2種類のダメージが呈示できるか。
- 痛みを感じさせなかったか。
- 呈示された感触はどのようなものだったか。

を確かめることである。

被験者は21～33歳の男性6名とした。それぞれの装置を試行する順番は被験者間でつり合いがとれるようにその都度変更した。さらに動作機構が判明することによる感触の印象の変化を防ぐため実験準備中や試行中に適宜目隠しをした。振動モータは家庭用ゲーム機のコントローラに内蔵されたものを制御可能に改造し使用した。

実験手順は以下のとおりである。

\*1 台座には段ボール（または発砲スチロール）を取り付けることで安定して設置できるようにした。

1. 被験者に実験の手順についてそれを記載した用紙を用いて説明する。
2. 3つのデバイス（振動モータ、重りなしの試作、重りありの試作）を使用してもらう。1つのデバイスにつき、5回試す。振動モータは約1秒を1回とし、試作は1回当たるのが試行1回とする。
3. 1つのデバイスが終わるごとに、設問に回答してもらう。ただし、被験者がもう1度試したいといった場合はもう1使用してもらう。

設問は以下の通りである。

1. 「鋭い」「鈍い」を5段階で評価してください。（鋭い=5、鈍い=1）
2. 「重い」「軽い」を5段階で評価してください。（重い=5、軽い=1）
3. 「痛い」「痛くない」を5段階で評価してください。（すごく痛い=5、痛くない=1）
4. 感触を擬音語であらわして下さい。ex. 「つるつる」「ふにゃふにゃ」

## 6. 結果と考察

### 6.1 感触の鋭さ、重さ、痛さの評価

「鋭い、鈍い」「重い、軽い」「痛い、痛くない」のそれぞれの5段階評価の平均値のグラフを図3に示す。

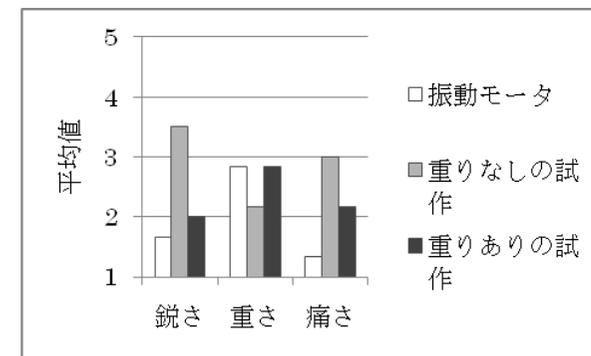


図3 設問に対する評価の平均値のグラフ

重りなしの試作は他に比べ非常に鋭い感触を提示できたことが分かる。重りあり、振動モータの順でこれに続く。重りなしと振動モータは鋭さにおいて低い評価であり、鈍い感触であったことが分かる。

「重い、軽い」の項目は振動モータと重りありの試作とが同程度であった。重りなしの試作は低い値であった。目指したのは重りありの試作がもっと重い感触を呈示で

きることであったが、期待に反して振動モータと同程度であった。これは重りに対して試作の力が弱く重く鋭い感触にならなかったためと考えられる。これを解決する方法として現在よりも弾性帯の固定長を短くすることや、弾性帯をより厚いものに変更すること、2枚重ねにすることなどが挙げられる。こうすることで装置がより強力になる。しかし重りを付けることで全く異なった感触を呈示できることが判明したので「重さ」以外の種類として利用できる。

「痛い、痛くない」の項目は「鋭さ」と類似した結果となった。もっとも痛みを引き起こしたのは重りなしの試作であった。2番目が重りありの試作、3番目が振動モータという結果となった。痛みを伴わずに「鋭い」感触を呈示するために緩衝材として接触部位に段ボールを貼付したがあまり効果がなかったように見える。今後はより柔らかい素材、例えば厚手のゴムにすることで痛みを引き起こさないようにする。さらに接触部位の面積も考慮するべきである。面積がより小さくなればより痛く、大きければ荷重が分散するので痛みがなくなるだろう。

### 6.2 擬音語による感触の表現

被験者には、それぞれの感触を擬音語によって表現してもらった(表1)。振動モータは「ぶるぶる」、「ブルルウ」など振動の感触そのものであった。さらに重りなしの試作は「パチン」や「バチン」などほぼ意図した通りの鋭い感触だったことがわかる。しかし、被験者3、4、5において、重りありの試作は「バビヨン」、「ポコポコ」といった表現であり鋭さ、重さ共に感じさせない。これは負荷の大きい重りありの試作に対してサーボモータのトルクが足りず、発生する力が弱くなってしまったためと考えられる。

表1 擬音語による感触の表現

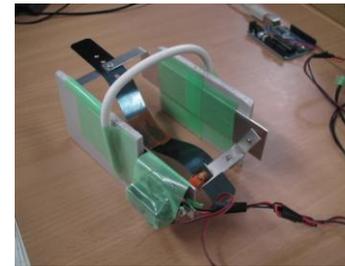
	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	被験者6
振動モータ	ブルルウ	ブルブル	ぶるぶる	ポヨポヨ	ぶるぶる	ふるふる
重りなしの試作	バンッ!	パチン	つるつる	パチン	パチン	ぺちーん
重りありの試作	パン	パチン	ぺタぺタ	バビヨン	ぽこぽこ	ねとっ

## 7. アプリケーション

試作を基に、画面内のある領域(自機)を操り、飛んでくるタマをよけるアプリケーションを作成した(図4)。自機は試作に取り付けた加速度センサ(株式会社秋月電子通商 KXM52-1050)によって操作し、タマにあたると「パチン」と拳の部分に弾性

帯をあて、鋭い感触をダメージとして触覚に呈示する。その際同時に効果音を出すことで表現をより豊かにする効果を狙った。従来の単なる振動呈示とは異なり、ものが高速であたったという感触をそれらしく表現できたと考えられる。

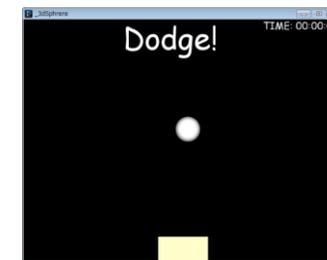
アプリケーションに対応させるために試作にいくつか改良を加えた。まず取っ手を装着した点、もう1つは座屈を生じさせるサーボモータの回転方法を変更した点である。サーボモータの回転軸を座屈が生じる直前の角度で入力待ちの状態とし、入力があり次第すぐに弾性帯を反転できるようにした。反転した後は反対方向に反転させ、再び入力待ちの状態に戻る。この方法により入力に対する応答速度が向上した。



(a) アプリケーション用の試作



(b) 操作している様子



(c) スクリーンショット

図4 試作を基にしたアプリケーション

## 8. まとめと今後の課題

本研究では仮想現実空間内において、殴られた、あるいは叩かれたようなダメージの演出を目指した。そのためには既存のデバイスよりも鋭い感触の呈示が重要だと考え、小型ロボット用の飛び移り座機構を用いたダメージ表現装置の試作をした。重り

を装着した試作と重りなしの試作，振動モータについて，それぞれの感触を実験によって調査した．その結果，重りなしの試作が最も鋭い感触を呈示した．しかし，重り付きの試作は力が足りず意図した重く鋭い感触にならなかった．改善案としては重りの重量を減らす，弾性帯のサイズを大きくするなどがある．

現状では弾性帯の幅を変える，重りをつけるといったように試作の初期設定を変更する以外に発生させる力を調節する方法はない．また，繰り返し周期が遅く，連続したダメージの提示は難しい．ひとつの設定から様々な感触を出すことはできないので，複数個を組み合わせた，他の装置や機構を組み込んだりする必要がある．例えば，弱く調節したものと強く調整したものを一組として使用することで強弱を表現できるだろう．

他にも身体への装着法の検討が必要である．本稿では試作の上に手を置くまたは拳にあたるように把持するといった風に使用したが，手以外の部位，例えば胴体にベルト等を用いて装着することも考えられる．その際，装置が複数あったなら，空間的分解能が生じ，より多彩な表現が可能となると考えられる．

### 参考文献

- 1) T. Tsuda, H. Mochiyama, and H. Fujimoto: A Compact Kick-and-Bounce Mobile Robot powered by Unidirectional Impulse Force Generators, *In Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp.3416-3421, 2009.
- 2) Sidhant Gupta, Tim Campbell, Jeffrey R. Hightower, and Shwetak N. Patel: SqueezeBlock: using virtual springs in mobile devices for eyes-free interaction, *In Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '10)*, pp.101-104, 2010.
- 3) Fabian Hemmert, Susann Hamann, Matthias Löwe, Josefine Zeipelt, and Gesche Joost: Weight-shifting mobiles: two-dimensional gravitational displays in mobile phones, *In Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '10)*, pp.3087-3092, 2010.
- 4) 大島沙也佳, 橋本悠希, 渡邊淳司, 梶本 裕之: 仮現運動を利用した”ぼささり感”提示の研究, 日本バーチャルリアリティ学会 第12回大会論文集(2007年9月福岡), 2007.
- 5) Y. Sekiguchi, K. Hirota, and M. Hirose: Haptic Interface Using Estimation of Box Contents Metaphor; ICAT2003, pp.197-202, 2003.
- 6) 和宇慶朝邦: 携帯電話の触覚呈示用アクチュエータの触感デザイン: アクチュエータの触感デザインの現状と今後について, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 14(3), pp.156-159, 2009.