



シャコパンチ

Mantis Shrimp Punch

安藤暢恭¹⁾, 穴田晃暉¹⁾, 大矢征未¹⁾, 小川昂太¹⁾, 荻野悠月¹⁾,
木口こころ¹⁾, 菅本和希¹⁾, 久田工¹⁾, 柳則行¹⁾, 柳田康幸¹⁾

Nobuyasu ANDO, Koki ANADA, Ikumi OYA, Kota OGAWA, Yuzuki OGINO,
Kokoro KIGUCHI, Kazuki SUGAMOTO, Takumi HISADA, Noriyuki YANAGI, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学 情報工学部情報工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜ロ一丁目 501 番地,
{221205009, 221205006, 221205027, 221205031, 221205035, 221205056, 221205081, 221205136, 210441149}
@ccmailg.meijo-u.ac.jp, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: モンハナシャコのパンチは、高速で打ち出される打撃と、その直後に発生するキャビテーションによる水中衝撃波という、二重の衝撃が特徴である。本作品ではこの二重の衝撃を再現する装置を通じて、体験者はモンハナシャコになりきり、シャコパンチ特有の感覚を体感できる。この体験を通して、シャコパンチのユニークさを感じてもらおうとともに、シャコそのものへの興味を持ってもらう。

キーワード: モンハナシャコ、撃力提示、キャビテーション、触覚仮現運動

1. はじめに

自然界で最も強いパンチを放つ生物をご存じだろうか。その生物とはモンハナシャコである。そのパンチの威力は最大で 1501 N にまで達するという報告がある[1]。モンハナシャコは、パンチを繰り出す捕脚とよばれる部分の長節と先端の節を密着させ、長節の筋肉を収縮させることで弾性エネルギーを蓄える。このエネルギーを一気に解放することにより、20 m/s に達するほどのパンチを繰り出す。この弾性エネルギーを蓄えて一気に解放する動作は、図 1 に示すように人間が“デコピン”を放つ動作に酷似している[2]。また、モンハナシャコのパンチはキャビテーションによる水中衝撃波を伴う[1]。キャビテーションとは、流体内の圧力差により短時間に泡の発生と消滅が起きる現象のことで、気泡の消滅時に熱を伴った衝撃波が発生する[3]。これによりモンハナシャコは 1 回の動作で、打撃による衝撃と水中衝撃波による衝撃の二重の衝撃を実現している。

本作品は、この二重の衝撃を体験する装置を通じて、シャコパンチ特有の感覚を提供する。この体験を通して、シャコパンチのユニークさを肌で感じてもらうとともに、体験者がシャコそのものについて知る入口に立ってもらうことを目的とする。



図 1 シャコのパンチとヒトのデコピンの動作比較

2. システム構成



図 2 システムの外観

表 1 装置概要

装置	役割
HMD+ヘッドホン	VR 環境内の視界及び音響提示
シャコてデバイス (入力)	デコピン動作による圧力
シャコてデバイス (出力)	シャコパンチによる衝撃の 前腕への感覚提示
台シャコ	シャコの姿勢模倣及び体験者の 回転補助

本作品で用いるシステムの外観を図 2 に示す。また、表 1 にシステムで使用する各装置とその役割を示す。体験者が主に操作するデバイスは、シャコてデバイスと台シャコである。シャコてデバイスは体験者の“デコピン”を放つ動作を検出し、シャコパンチ特有の二重の衝撃を腕に提示する。“デコピン”の動作を検知するために、体験者は圧力センサ付きの指サックを中指に装着する。台シャコは体験者が膝立ちの姿勢で、膝を動かすことで、体験者の回転を補助する。

PC は Unity で制作したシャコパンチを放つゲームを動作させる。シャコてデバイスと PC の間にはマイコンを挟むことでデータの受け渡しを行う。具体的には、圧力センサで圧力を測定する機能、サーボモータを用いて手背を打撃する機能、回転する円盤を急制動させる機能、電磁弁を制御し空気を送り込む機能である。

圧力センサの反応時間と強さに応じたパンチの威力、速さは PC が制御する。

2.1 シャコてデバイス

シャコてデバイスは体験者の腕に装着するデバイスである。シャコパンチの特徴である「打撃」と「水中衝撃波」による異なる 2 つの衝撃を提示することが目的である。シャコてデバイスの円盤回転時、および円盤停止時の様子を図 3、図 4 に示す。

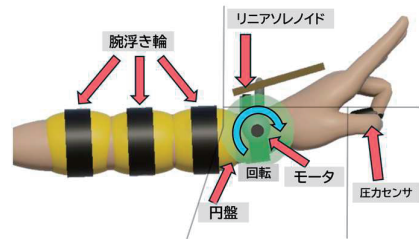


図 3 シャコてデバイスの円盤回転時の様子

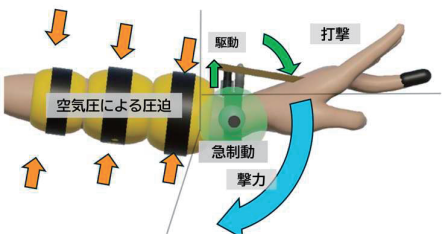


図 4 シャコてデバイスの円盤停止時の様子

シャコてデバイスは、手背への打撃と、回転する円盤の急制動[4]、腕浮き輪による加圧の 3 つの機構から構成されている。回転する円盤は、体験者の手首にバンドを用いて固定される。固定が甘いと装置のずれによって提示したい撃力が伝わらないことが考えられる。そのため、固定の際に隙間が生まれないように体験者の腕の太さに合わせて固定を行う。また、腕浮き輪は 1 つの太いバンドに 3 つ等間隔に配置し、そのバンドで前腕に固定する。

体験中、前腕が上がった状態の維持は体験者の身体的負担となると考えられる。そのため、2.2 節で後述する台シャコによって、腕置きを設けることで、負担を軽減する。

また、体験者は中指に圧力センサを取り付けた指サックを装着する。これによって、体験者はデコピンの動作を行うことで、パンチを撃つことができる。

パンチが当たると衝撃が発生する。シャコパンチによって生じる 2 回の衝撃は、ともに回転する円盤の急制動に伴う慣性力によって提示する。回転させるためにブラシレス DC モータを用いる。また、急制動はショートブレーキで行う。回転する円盤は腕の両側に配置されており、これによって腕の中心に撃力提示を行う。

1 回目の衝撃は捕脚が対象物に接触する打撃である。しかし、円盤を用いた撃力提示だけでは、衝撃は得られるものの、打撃をしたという感覚は得られない。そのため、実際にモンハナシャコの捕脚が接触する部分を人間の手背と対応させ、ここに打撃を行う。打撃は、リニアソレノイドとてこの原理を用いて手背に板を打ち付けることで実現する。硬い板を用いてしまうと、手の角度によって板と手背との接触面積が変わってしまうと考えられる。そのため、板の先端部分はゴムのようなしなる素材を用いて作成することで、板と手背との接触面積を確保する。

2 回目の衝撃はキャビテーションによって発生した気泡が崩壊することで生じる水中衝撃波である。衝撃波の移動感を表現するため、空気による圧迫を用いる。衝撃波とは、音波よりも速く進む圧力の波のことである。そのため、キャビテーションが起こることによって発生する水中衝撃波を表現する上では、触覚の仮現運動でよく用いられる振動刺激[5]ではなく、空気による圧迫が適していると考えた。しかし、衝撃波をそのまま再現しようとすると、速すぎて知覚できず、体験価値を高めることに繋がらないと考えられる。よって、本体験では衝撃波の動きがわかる程度まで時間軸を引き延ばして提示する。手首から肘にかけて順番に圧迫を行うことで、触覚の仮現運動を利用して衝撃波が徐々に前腕に伝わる感覚を与えることができる。この機構は複数の腕浮き輪にタイミングをずらして空気を送り込むことで実現する。その実現のために、電磁弁付きマニホールドで空気の送り先を制御する。図 5 に示したオシロスコープによる応答時間の測定結果から、電磁弁の開放から実際に腕に圧力が加わるまでの遅れは約 18 ms であることが確認された。一方、本システムにおける空気圧刺激の ISI (Inter Stimulus Interval, 刺激時間差) は、4 章で後述する実

験結果より 30～50 ms 程度で設定する。この値と比較してシステムの応答遅れは十分に小さい。すべての電磁弁・腕浮き輪を同じように駆動するので、18 ms の遅延はすべての腕浮き輪に同様にかかる。このため、設定した ISI 通りの時間遅れを伴って圧迫動作が行われる。

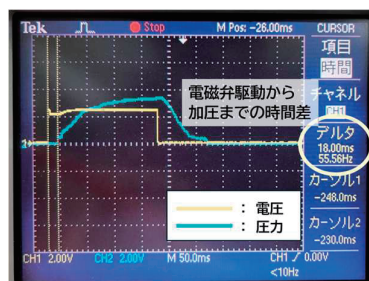


図5 応答時間の測定結果

2.2 台シャコ

台シャコはシャコの姿勢を模倣し、体験者の回転補助と、快適なゲーム体験を可能にする装置である。台シャコの外観を図6に示す。



図6 台シャコの外観

この装置では、体験者が実際にシャコのような前傾姿勢をとることが求められる。そのため、体験者は膝を曲げてうつ伏せになるような形で台シャコに寄りかかり、膝立ちの状態で行う設計となっている。

このような姿勢により発生する身体的負担を軽減するために、胸部を支える台座部分を水平面に対して 20 度程度傾け、台座と身体が接触する部分にはクッションを敷いている。さらに台シャコの高さは、使用している椅子の昇降機能や台座を支えるキャスター用アタッチメントによって調整可能となっている。これらの仕様によって、体験者の身長によるゲーム体験の差異を最小限に抑えつつ、よりシャコに近い姿勢での快適な体験を可能にしている。

3. 安全性・整備性

3.1 安全性について

シャコでデバイスによる撃力提示に際して、体験者が円盤の回転に巻き込まれる恐れがある。これを防ぐために、円盤の周りにカバーを設ける。腕浮き輪を膨らませる際に、空気の流れ量過多によって破裂する恐れがある。この対策として、電磁弁と腕浮き輪の間のチューブにリリースバルブを設置する。これによって、腕浮き輪の破裂を未然に防

ぐ。

台シャコにおいて考えられる危険性は、膝立ちでの移動による膝への負担や台シャコからの転落、台シャコ本体の転倒などが挙げられる。膝立ちによる膝への負担の軽減のために、体験者には膝プロテクターを装着してもらうことを考えている。台シャコからの転落対策として、体験者の胴と台シャコとをベルトで固定する。台シャコ本体の転倒対策として、台シャコ前部にキャスター付きの脚を2本追加する。これにより、体験者の回転を阻害することなく転倒を防止する。

3.2 整備性について

シャコでデバイスが外れる可能性がある。そのため、シャコでデバイスと台シャコを紐で接続することにより、誤って落下した際に、地面に落下するのではなく、空中にぶら下がる機構を設置する。

モータやリレー、腕浮き輪などのパーツは消耗し破損する恐れがあるため、取り換えを行いやすい構造で設計を行うとともに、予備の部品を用意する。

4. 実験

4.1 実験概要

本作品では、衝撃波の移動感を提示するために、腕浮き輪を用いた空気による圧迫を用いる。したがって、圧迫による仮現運動が成立するかを検証するために本実験を行った。図7に実験時のデバイスの外観を示す。

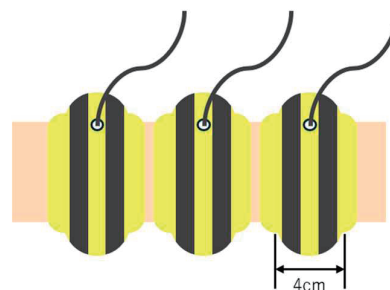


図7 実験時のデバイスの外観

この腕浮き輪は、幅 10 cm のものを幅 4 cm に加工して使用している。本手法の仮現運動としての成立を検証するために、空気圧による3点の圧迫刺激を順次提示し、ISIの変化に伴う知覚の変化を評価する2種の実験を行った。

4.2 実験方法

実験1では、ISIを徐々に大きくしながら1回ごとに「動きを感じたか(5段階リッカート尺度)」および「連続的だったか(はい/どちらともいえない/いいえ)」を尋ね、被験者の主観的知覚を測定した。実験2では、6つのISI条件(20～70 ms)×2方向(手首→肘、肘→手首)の刺激をランダムに提示し、「どちらの方向に動いていたか」を尋ねた。ただし、十分な圧迫感を提示するため、DoS (Duration of Stimuli, 刺激時間長) は 200 ms に固定した。

4.3 実験結果

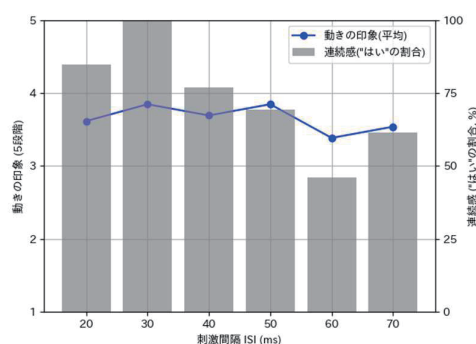


図8 ISI による動きの印象と連続感の変化

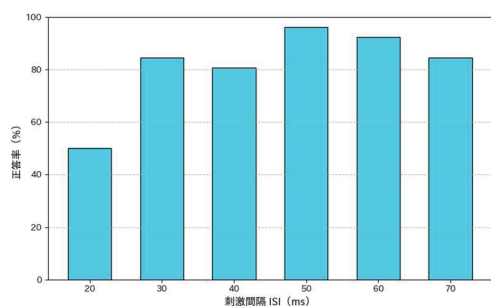


図9 ISI ごとの方向識別正答率

被験者は21歳から36歳の計13名であった。実験の結果を図8、図9に示す。被験者の大多数が「動きを感じた」と主観的に報告しており、特にISIが20～50 msの条件で連続的な知覚が安定して得られた。また、実験2においては方向識別の正答率が最大で90%を超えており、動きとしての仮現運動が客観的にも知覚されていることが示された。一方、20 ms条件では不明または誤答が増加し、知覚に必要な最小時間条件に達していない可能性も示唆された。

これらの結果から、空気圧による圧迫刺激においても、適切な刺激間隔と提示順序を用いることで、仮現運動としての移動感を提示できることが示唆された。また、連続的な知覚と方向識別の両面から、ISIが30～50 msの範囲が最も知覚的に安定しており、動きの提示に適していると考えられる。本作品ではこの知見を基に、水中衝撃波を提示するための刺激設計を行っている。

5. 体験の流れ

体験者はHMD、ヘッドホンを装着し、うつぶせで台シャコに寄りかかる。そして、腕にシャコでデバイスを装着する。

図10に体験中の風景を示す[2]。初めにチュートリアルが開始され、台シャコの回転方法、デコピンを用いたパンチの打ち方を習得する。

ゲームが開始されると、体験者は汚染された海を舞台に、身体が海洋ゴミで構成されている敵をシャコパンチで破

壊していく。最終目標は敵の破壊を通して、海を綺麗にすることである。敵には様々な種類が存在し、大きさや固さ、動き方の異なるものが登場する。固い敵には強く溜めたパンチを使い、俊敏な敵には溜めの少ない弱いパンチを連続で使うなどして、敵の種類に応じてデコピンの溜めを使い分ける。敵の攻撃に当たると、一定時間行動が制限される仕様となっている。これらの要素により駆け引きのある体験を提供する。

ゲーム終了後はシャコでデバイスを外し、台シャコから起き上がる。そしてHMD、ヘッドホンを外す。



図10 体験中の風景

6. むすび

本稿では、シャコのパンチの二重の衝撃を再現するデバイスとシャコの姿勢を模倣するための手法を考案し、システムを構築した。衝撃再現デバイスによって、デコピンを放ったはずが腕にはシャコのパンチを放ったような衝撃が返ってくるという不思議な体験を可能にした。また、衝撃再現デバイスと姿勢模倣デバイスによってシャコになりきる体験を可能にした。

参考文献

- [1] S. N. Patek and R. L. Caldwell: "Extreme impact and cavitation forces of a biological hammer: strike forces of the peacock mantis shrimp *Odontodactylus scyllarus*," *Journal of Experimental Biology*, Vol. 208, Issue 19, pp. 3655–3664, 2005.
- [2] Mantis Shrimp © Gummibar gummy bear 2022 クリエイティブ・コモンズ・ライセンス（表示 4.0 国際）を改変して使用、
<https://sketchfab.com/3d-models/mantis-shrimp-75322a60ba1a4037a89d5abb9fdb995>.
- [3] 藤川重雄, 赤松映明: "キャビテーション気泡崩壊時の衝撃圧発生機構について", *ターボ機械*, Vol. 5, No. 6, pp. 22–29, 1977.
- [4] D. Koga and T. Itagaki: "Virtual Chanbara," *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, p. 83, 2002.
- [5] C. E. Sherrick and R. Rogers: "Apparent haptic movement," *Perception & Psychophysics*, Vol. 1, pp. 175–180, 1966.