

テクニカルノート

腹部通過仮現運動を利用した貫通感覚提示

渡邊 淳 司^{†1,†2} 福 沢 恭^{†3}
梶 本 裕 之^{†4} 安 藤 英 由 樹^{†2}

近年、視聴覚だけでなく触感覚・振動感覚を利用したアプリケーションが多く実現されている。しかし、その提示方法は、身体1点へのショックや、身体表面の単純な振動パターンに限定されていた。そこで、本研究では、その提示領域を身体内部へと拡張するインタフェースを提案する。具体的には、腹と背に振動子を装着し、適切な時間差で振動させると、その2つの振動子のあいだに「腹部を通過する仮現運動」が生じる。その仮現運動知覚を利用し、物理的には実現困難な腹部貫通感覚の提示を行う。本論文では、この仮現運動知覚を生じさせるために適切な時間差を決定する実験を行った。

Presentation of Feeling when Pierced Using Apparent Movement Passing through the Body

JUNJI WATANABE,^{†1,†2} YASUSHI FUKUZAWA,^{†3}
HIROYUKI KAJIMOTO^{†4} and HIDEYUKI ANDO^{†2}

Vibration displays have been developed in the field of game entertainment. Haptic feedbacks in games are presented mainly to the hands with the control pad. However, though the game characters have a wide range of haptic experience in the virtual world, the feedbacks consist of simple shocks or vibration patterns. Here, we propose a novel vibro-tactile interface, which can present haptic sensation of movement passing through the body. The interface is composed of two vibration motors, attached on the front and back of the body. When they are sequentially vibrated, the user can perceive an internal movement as if he/she is pierced with a sharp object. In this paper, we describe psychophysical experiments performed to determine the design principle of the interface.

1. はじめに

近年、エンタテインメントの分野において、視聴覚だけでなく触振動感覚を利用したアプリケーションが多く実現されている。特に、ゲーム分野において、触振動は臨場感の向上、リズム感の提示のために大きな役割を果たしてきた^{1),2)}。しかしながら、ゲームのストーリーや形態が多様化したにもかかわらず、それらで提示される振動刺激は、ゲームパッドを介した手へのショック、座席の背やベストを利用した身体表面の単純な振動パターンに限定されていた³⁾。そこで、本研究では、ユーザの触振動体験を身体内部にも拡張するインタフェース、具体的には、身体内を何かが貫通する感覚を提示するインタフェースを提案する。

身体内を通過する感覚を物理的に再現することは不可能であるため、本研究では、人間の仮現運動知覚を利用して貫通感覚提示を行う。視覚と同様に、触覚においても、身体表面上の2点に触刺激を適切な時間差で提示すると、その2点のあいだに、運動感覚を知覚することが知られている。本インタフェースでは、そのような人間の知覚特性を応用し、腹と背に装着された振動子を適切な時間差で振動させ、その2つの振動子のあいだに「腹部を通過する仮現運動」を生じさせることで貫通感覚の提示を実現した。

これまで、腹や背に振動子を装着するナビゲーションインタフェースは実現されていた^{4),5)}、複数の振動子間に運動感覚、さらには、身体内を通過するような運動感覚を生じさせる提示手法は実現されてこなかった。ユーザの身体表面だけでなく、身体内への感覚を生じさせることで、エンタテインメントの場に、これまでにない臨場感や、身体反応に基づく情動的な要素をより取り入れることが可能になると考えられる。本論文では、触振動感覚インタフェースに貫通感覚という身体内感覚を取り入れる提案を行うとともに、腹部通過仮現運動を生じさせる適切な時間パラメータを調べる実験を行った。

†1 科学技術振興機構さきかけ

PRESTO Japan Science and Technology Agency

†2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT Communication Science Laboratories

†3 東京工芸大学芸術学部

Faculty of Arts, Tokyo Polytechnic University

†4 電気通信大学人間コミュニケーション学科

Department of Human Communication, The University of Electro-Communications

2. 貫通感覚提示実験の装置・手順

実験装置は、2つの振動子（AEC VBW32 共振周波数 250 Hz）からなり、図 1A のように、1つを腹部に、もう1つを背中に装着し、ベルトで強く固定した（振動が身体に伝わりやすいように、腹部・背部ともにシャツ 1 枚の上に装着した）。振動子の装着にあたっては、振動が身体表面で拡散しないように、直径 8 cm（内径 7.5 cm、外径 8.5 cm、高さ 2 cm）のリングを装着し、その中心に振動子を配置した。リングの位置は、腹部臍の上にリングの下端が当たるようにし、背側はそれに体幹を挟んで対応する位置に配置した。また、振動子とベルトの間にはスポンジを挟み、ベルトの共振を防いだ。振動子の振動は、マイクロコンピュータで 250 Hz の Sin 波形電圧を生成することで制御した。実験においては、2つの振動子のある時間差を持って振動させ、被験者に主観的な貫通感覚（Feeling of Pierced 以下「FoP」）を報告してもらった。ただし、ここで FoP とは 2つの振動を、別々の振動ではなく、身体を挟んだ 2つの振動間に身体を通過するような運動感覚的関連付けを感じたかということである。

本実験で注目する時間パラメータは、図 1B にある、振動持続時間（Front Duration 以下「FD」および、Back Duration 以下「BD」）、2つの振動開始時間差（Stimulus Onset Asynchrony 以下「SOA」）および、振動間時間差（Inter Stimulus Interval 以下「ISI」）である。実験においては、BD は 200 ms に固定し、FD を 100, 200, 300, 400 ms の 4 通り

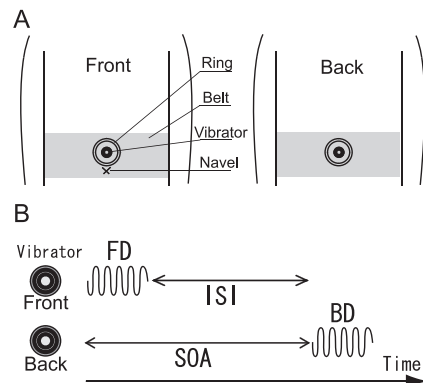


図 1 (A) インタフェース装着位置。(B) 振動の時間パラメータ

Fig. 1 (A) Arrangement of interface. (B) Temporal parameters of presented vibrations.

に、SOA を 0~400 ms を 25 ms 刻みに 17 通りに変化させた。また、振動子の位置関係は、体幹の「腹から背」、「背から腹」、「右脇腹から左脇腹」の 3 条件と、通常の触運動感覚として、大腿部表面に 2つの振動子を配置した条件（振動子間距離は腹から背と同じ距離）、計 4 条件で実験を行った。被験者は、2つの振動刺激を「同時」、「2つ別の振動」、「貫通感覚（大腿部の場合は運動感覚）の強度 3 段階（弱、中、強）」の 5つの選択肢のいずれかで回答した。ただし、被験者は実験前に、すべての条件を体験し、主観的な貫通感覚強度の範囲をあらかじめ知ったうえで実験を行った。各時間パラメータを 1 試行ずつ含む 68 試行を 1 ブロックとし、4 条件を 1 ブロックずつ順番に 5 ターン、計 20 ブロック行った（1名の被験者あたり、各時間パラメータは 5 回評価されることになる）。被験者は 6 名で、体格は中肉中背（腹と背の振動子間の直線距離は、平均 18.6 cm、標準偏差 1.2 cm）の男性であった。

3. 実験結果

3.1 振動の時間関係と主観的貫通強度

「腹から背」条件における実験結果を図 2 に示す。縦軸が被験者 6 名の平均 FoP で、「同時」、「2つ別の振動」は 0、「貫通感覚：弱、中、強」をそれぞれ 1, 2, 3 として計算した。図 2A、図 2B は同じデータを、それぞれ、横軸を SOA, ISI としてプロットしたものである。線は FD ごとを結んでおり、どちらのグラフにおいても、ピークが異なり、SOA・ISI のどちらかだけが主要な時間パラメータとはいえない。そこで、傾向を詳細に分析するため、横軸 SOA、縦軸 ISI、各点での円の大きさが FoP の大きさとなるグラフ（図 3）を作成した。FoP が 1 以上の値を持つ点を黒塗りで表している。FD の 4 条件はそれぞれ右上がりの点の連なりに対応している（FD 100 ms が ISI の一番大きな連なり）。SOA が 0~300 ms 程度かつ、ISI がマイナス（先の振動が終了する前に、後の振動が開始）の場合に、FoP の値が大きくなるのが分かる。また、FD が大きくなるにつれ、ピークは SOA が増大する方向にずれている。この傾向は、体幹を貫く 3 条件、大腿部とも同様に観察された。このことは、体幹を挟む 2つの振動に対して、その位置によらず、仮現運動を知覚する時間関係が確かに存在し、その主観的強度の変化は体表上の仮現運動と同様の傾向を持つことを示している。

3.2 貫通速度の知覚

次に、体幹を貫く仮現運動の主観的速度について調べる実験を行った。実験装置は前実験と同じく、振動の時間パラメータは、前実験から FoP の大きかった 32 条件を選択して実験を行った。被験者は実験の前に、すべての条件を体験し、主観的な貫通速度の範囲をあらかじめ知ったうえで、貫通の知覚速度を 3 段階（「貫通速度：遅、中、速」をそれぞれ 1, 2,

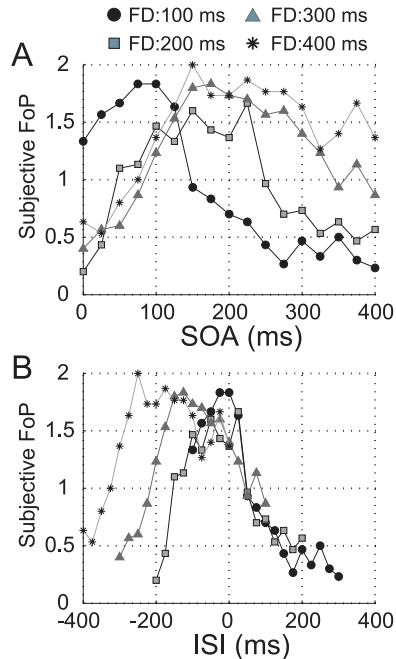


図 2 主観的貫通感覚 (A) SOA を横軸、(B) ISI を横軸
Fig.2 FoP according to (A) SOA and (B) ISI.

3) で回答した。被験者は前実験に参加した 6 名で、各条件 5 試行、合計 160 試行を行った。その結果を図 4 に示す。図 4A は、6 名の平均主観速度を SOA-ISI プロット上の提示した条件に対応する位置に示したもので、円の大きさが知覚速度の大きさである。図 4B は、縦軸を主観速度、横軸を SOA としてプロットし直したものである。SOA が短いほど、主観速度は速く知覚され、本時間パラメータにおいては、SOA が主要な要因であることが示唆される。

4. インタフェースの主観評価

本インタフェースは、インタラクション 2008 (2008 年 3 月 3 日、4 日、東京一ツ橋記念講堂) においてデモ発表を行い、50 名以上に体験してもらった。デモ発表においては、4 台の振動スピーカを腹部水平方向に 3 つ (臍上に 1 つとベルト上でその左右 15 cm に 1 つずつ配置、刺激にはいずれかを使用)、と背部に 1 つ配置した。振動スピーカ (Aura Sound,

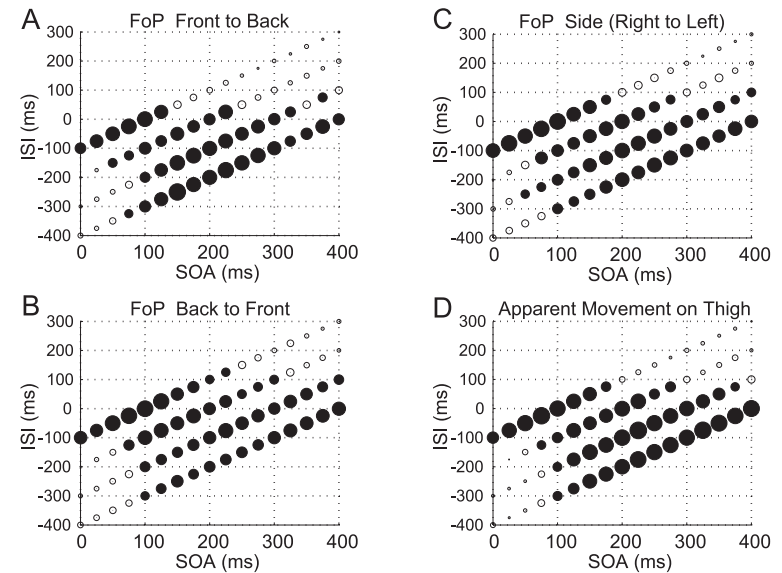


図 3 (A) 腹から背、(B) 背から腹、(C) 右脇腹から左脇腹、(D) 大腿部上の 2 点の実験結果
Fig.3 Results of (A) front to back, (B) back to front, (C) right to left, and (D) two points on the thigh.

NSW2-326-8A) はリングを使用して固定した。振動スピーカは、100 Hz で振動するとともに、同時に貫通音を提示した (<http://www.junji.org/slashed/> のサンプル音参照)。

体験者の多くは、主観的な貫通感覚を報告し、腹部それぞれ 3 つのスピーカからの感覚を、別方向からの貫通感覚として区別していた。体験者から報告された貫通感覚は、「グサッ」という肉感をともなう感覚というより、「銃で撃たれた感じ」、「すっとなんかが身体を通り抜ける感じ」という感想が多かった。体験者の中には、強い貫通感覚を感じる人がいる一方、同じ時間差で提示された振動を単に身体前後の別々の振動と感ずる人もおり、生じる感覚は非常に個人差の大きいものであった。この差は、単に身体の幅によるものではなく、むしろ、2 つの刺激をどのように解釈するか、内的な貫通感覚に対するイメージとの違いのようであった。また、主観的な貫通感覚は、振動スピーカの装着位置や装着方法によっても、その質感が変化した。たとえば、臍上より、鳩尾付近にスピーカを装着すると、より強い貫通感覚が生じる体験者もいた。

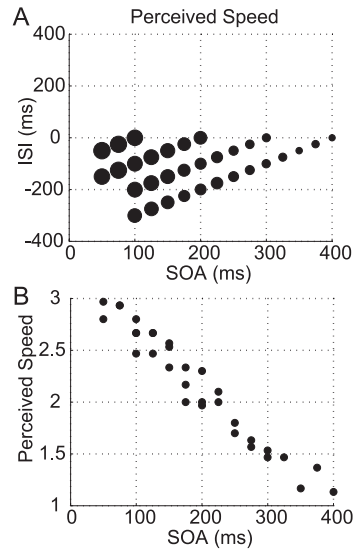


図 4 主観的貫通速度 (A) SOA-ISI プロット, (B) SOA を横軸
Fig. 4 (A) SOA-ISI plot and (B) to SOA axis.

5. おわりに

本論文では、力覚受容器の存在しない身体内をも通過する仮現運動知覚が、実際に生じることを心理物理実験によって示し、それを利用した貫通感覚提示インタフェースを提案した。今後の研究では、強い貫通感覚を生じさせる身体部位、振動の周波数、波形の特性を調べるとともに、視聴覚情報と同期して提示することを考えていきたい。

参 考 文 献

- 1) Nintendo: Wii. 入手先 <http://www.nintendo.co.jp/wii/> (参照 2008-03-24)
- 2) SONICTEAM/SEGA: Rez. 入手先 <http://www.sonicteam.com/rez/> (参照 2008-03-24)
- 3) TN Games: 3rd Space. 入手先 <http://www.tngames.com/> (参照 2008-03-24)
- 4) van Erp, J.B.F.: Vibrotactile spatial acuity on the torso: Effects of location and timing parameters, *Proc. WorldHaptics 2005* (2005).
- 5) Lindeman, R.W., Yanagida, Y., Noma, H., et al.: Wearable Vibrotactile Systems

for Virtual Contact and Information Display, *Virtual Reality*, Vol.9, No.2-3, pp.203-213 (2006).

(平成 20 年 3 月 21 日受付)

(平成 20 年 7 月 1 日採録)



渡邊 淳司 (正会員)

昭和 51 年生。平成 17 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。同年科学技術振興機構さきがけ研究員, NTT CS 研究所客員研究員。人間の知覚メカニズムの研究を行うとともに、そのインタフェース技術, 芸術表現への応用研究を行う。博士 (情報理工学)。



福沢 恭

昭和 56 年生。平成 20 年東京工芸大学芸術学部卒業。インタフェース技術, メディアアート作品制作に興味を持って活動を行っている。



梶本 裕之

昭和 50 年生。平成 13 年日本学術振興会特別研究員 DC1。平成 15 年東京大学大学院情報理工学系研究科助手。平成 18 年電気通信大学人間コミュニケーション学科助教授。平成 19 年同准教授。人工現実感, 触覚ディスプレイ, 触覚センサの研究開発に従事。博士 (情報理工学)。



安藤英由樹

昭和 49 年生。平成 11 年愛知工業大学大学院修士課程修了。平成 12 年理研 BMC JRA, 平成 13 年 JST 研究員 (東大), 平成 14 年 NTT CS 研究所を経て, 平成 20 年より大阪大学大学院情報科学研究科准教授。感覚運動情報工学, インタフェースの研究に従事。博士 (情報理工学)。