原著論文

揺れ映像に同期した振動椅子による感性向上効果

合志 和洋*, 盛多 亮**, 田崎 新二***, 清田 公保*, 古賀 広昭*

* 熊本電波工業高等専門学校, ** 筑波大学, *** (株)TAS ART

IMPROVING HUMAN FEELINGS BY USING SWING CHAIR SYNCHRONIZED WITH MOVING PICTURE

Kazuhiro KOSHI*, Ryo MORITA**, Shinji TASAKI***, Kimiyasu KIYOTA* and Hiroaki KOGA*

* Kumamoto National College of Technology, 2659-2 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102, Japan

** University of Tsukuba, 1-1-1 Tenoudai, Tsukuba science city, Ibaraki 305-0006, Japan

*** TAS ART Co. LTD., 3600-206 Tsukure, Kikuyo, Kumamoto 869-1101, Japan

Abstract : This paper describes effect for human feelings by using a swing chair synchronized with moving pictures. The relations between human *KANSEI* and swing angles, pitching and rolling, were examined by using the swing chair and the moving pictures. The 12 *KANSEI* factors were measured under the conditions of various swing parameters: swing frequency, swing angle of swing chair, and swing angle of screen image. Feelings of powerful and interest were increased as the swing angle and the swing frequency of the swing chair become higher. Furthermore, by adding smaller swing angle of the swing chair, the powerful and the interest feelings were increased.

Keywords : *KANSEI, Swing chair, Powerful, Interest feelings*

1. は じ め に

テレビや映画に代表されるような従来の映像提示においては、臨場感や迫力感を向上させるために、スクリーンの大型化や映像の高精細化、高臨場感音響などが検討されてきた。一方、近年のコンピュータ技術の発展により、VR (Virtual Reality) やMR (Mixed Reality) 技術を利用したインタラクティブな空間が比較的容易に構築できるようになってきた。VR やMR 技術により提供される映像空間では、立体映像や立体音響、触覚、香り、風、振動などの様々な提示方法や刺激を用い、より臨場感を向上させる試みがなされている [1-6]。そして、特に体全体を揺らしたり、振動させたりする刺激は、生理学および心理学的な観点からヒトに大きな影響を与えることが知られている [7-9]。

映像と同期して体を揺らす場合、映像の揺れと同じ大きさで揺らせば実際の感覚を忠実に与えることができる。これに対し、回転運動において視覚刺激と前庭刺激を同時に提示する場合、その知覚には視覚情報が前庭情報よりも優位に働くとの報告がなされている [10]。これより、揺れの大きさが実際とは異なっている、感性を効果的に向上させることができると考える。しかしながら、体の揺れの大きさに対する臨場感や快適感の変化の程度については明確にされていない。

本論文では、前後および左右に揺れる椅子（以下、振動椅子と称す）を用い、映像の揺れに対してどの程度の割合で振動椅子を揺らすと「迫力感」や「楽しさ」などの感性を向上させることができるのかを明確にする。そして、ジェットコースターの最前席で撮影された映像に同期した揺れを生成して

同時に提示することによる感性向上効果を、デモンストレーションにおける反応から定性的に考察する。

2. 映像・振動提示システム

図1は、本研究で使用する映像・振動提示システムの全体構成図である。本システムは、映像を映し出すための映像制御用パーソナルコンピュータ、液晶プロジェクタ、スクリーン、振動を付加するための振動椅子制御用パーソナルコンピュータ、および振動椅子で構成されている。2つのパーソナルコンピュータはLAN を介して結ばれており、TCP/IP 通信によって映像の揺れに同期した振動椅子の制御を行っている。

実際の振動椅子の写真を図2に、振動椅子のインターフェー

図1 映像・振動提示システムの構成

ス部の構成を図3に示す。本振動椅子は、2軸のモーションベースに体感音響機能を有するボディソニックチェアを取り付けたものである。各軸のサーボモータを駆動することによって左右方向の揺れ（以下、ローリングと称す）、および前後方向の揺れ（以下、ピッチングと称す）を独立あるいは同時に提示することが可能である。また、これらの制御は、コンピュータからD/A変換ボードを介してアナログ電圧を与えることで実現できる。

ここで、本振動椅子の主な仕様を表1に示す。本振動椅子は、制御信号に対する位置指令が1°/Vで指定でき、±10Vのアナログ電圧に対して最大で±10°のピッチングおよびローリングを提示することができる。

なお、より厳密な揺れを再現するためには前後・左右だけでなく上下方向への動作も必要であるが、振動椅子の大型化や複雑化、コスト対効果などを踏まえて2軸のモーションベースを用いている。その代わりに、わずかでも上下方向の揺れ

図2 振動椅子の外観

図3 振動椅子のインタフェース部

表1 振動椅子の仕様

動作軸	2軸（ロール、ピッチ）
制御信号	±10V
動作範囲	±10°
位置指令	1°/V
最大角速度	±30°/s
最大角加速度	±300°/s ²
許容搭載重量	100kg

を提示できるようにするためにボディソニックチェアを座席に用いた。これにより、映像中の音に同期した振動が提示できると考える。

3. 振動による感性の抽出実験

3.1 実験方法

【被験者】

被験者は、19～27歳の男性10名であり、視力は矯正したものも含めて全員1.0以上である。

【装置】

ローリングおよびピッチングの揺れがそれぞれどのような影響を与えるのかを明らかにするために、振動椅子にはいずれか一方のみの振動を与えて実験を行った。本実験では、振動椅子に正弦波状の振動を与え、振動数、映像の最大振幅（単位：[°]）および振動椅子の最大振幅（単位：[°]）を様々に変化させた。ここで、本実験で用いる映像の概要を図4に示す。

提示映像は、大地と空が無限に続く空間を被験者が飛行しているようなイメージを与えるCGを作成した。ローリングの際は、映像の中心を固定し、地平線が周期的に左右に揺れる映像（図4（a））を用い、ピッチングの際は地平線が周期的に上下に揺れる映像（同図（b））を用いた。振動椅子は、この映像に同期して反対方向に揺れるように制御する。また、鑑賞距離は4mとし、映像の表示サイズはローリングの際に縦180cm×横240cm、ピッチングの際には縦270cm×横240cmとした。

【手続き】

表2は、本実験で使用した振動パラメータを示している。ここで、ローリングでの映像の振幅とは、図5に示すよう

(a) ローリング

(b) ピッチング

図4 提示映像の概要

表2 振動パラメータ

揺れ方向	左右（ローリング）、前後（ピッチング）
映像の最大振幅	9, 20, 40, 60°（ローリング）、3, 6, 12, 20°（ピッチング）
振動椅子の最大振幅	0, 2, 4, 6, 9°
振動数	0.1, 0.2, 0.4, 0.8Hz

図5 映像の最大振幅

にスクリーンの水平線と映像の地平線とのなす角 θ_r であり、ピッチングでの映像の振幅とは、被験者の眼から壁までの垂直線と被験者の眼と地平線を結ぶ直線とのなす角 θ_p である。

実験の総パターン数は、振動方向2パターン×映像の最大振幅4パターン×振動椅子の最大振幅5パターン×振動数4パターンの計160パターンである。これらの映像および振動の組み合わせパターンは、提示時間を20秒として被験者ごとにランダムに提示し、提示後、3.2で示す感性語のアンケートに答えてもらった。また、1日の実験で提示するパターン数は40までとし、被験者1人に対する実験を4日間に分けて実施した。

アンケート調査は、表3に示す12種類の感性語対を用いて行った。これらの感性語対は、振動の影響を大きく受けるものと考えられ、かつ文献[11]により述べられている3つの主要な感性因子（評価因子、活動因子、力量因子）を基に選定した。また、感性語のアンケートは7段階のSD（Semantic Differential）法を用い、それぞれの段階に1から7までの値（以下、感性値と称す）を付けて解析を行った。

3.2 実験結果

3.2.1 感性因子

測定した12種類の感性語についてのローデータに対して両極尺度の因子分析を行い、感性因子の抽出を行った。因子抽出法としては、主因子法を用いてバリマックス基準による直行回転を行った。そして、1.0以上の固有値の数を因子数とした。この因子分析の結果として、得られた因子負荷量お

よび各因子の寄与率を表4に示す。なお、表4中において、因子負荷量の絶対値が0.7よりも大きなものを網がけして示している。

この測定結果より、主に2つの因子が抽出された。第1因子は、激しさや興奮度などに関わる因子であり、「迫力感因子」と称し、第2因子は、臨場感や楽しさなどに関わる因子であり、「興味感因子」と称することにした。これら2種類の因子の累積寄与率を算出した結果、89.1%となった。この結果から、今回使用する振動椅子映像提示システムでは、これら2つの感性因子が主要成分として有用であることがわかった。

そこで、この2つの感性因子が振動椅子の振動パラメータとどのような関係があるかを明確にする。なお、以降の説明では、迫力感因子の代表として「激しい-穏やか」の感性値を、また、興味感因子の代表としては、「楽しい-つまらない」の感性値を用いることにする。

3.2.2 迫力感と振動パラメータとの関連性

図6に、ローリング振動に対し、映像の最大振幅が 20° および 40° の条件における振動椅子の最大振幅と映像の最大振幅との比（以降、最大振幅比と称す）と迫力感（「激しい-穏やか」）の感性値との関係を示す。なお、最大振幅比が小さいほど映像の揺れに対する振動椅子の揺れが小さく、1に近づくほど両者の揺れが等価であることを意味する。

図6より、まず、最大振幅比が増加するほど、すなわち、映像の最大振幅と振動椅子の最大振幅とが同じ角度に近づくほど迫力感（「激しい-穏やか」）の感性値が増加することがわかる。つまり、迫力感の感性値と最大振幅比との間には、線形の関連性が見られる。また、その傾きは振動数の対数と映像の最大振幅によって、切片は振動数と映像の最大振幅の一次式で与えられるような傾向が観測された。

つぎに、振動数が高くなるほど迫力感を増加することがわかる。例えば、振動数が0.1Hzおよび0.2Hzの場合、椅子の傾斜の評価に関係なく迫力間の度合は穏やかではほぼ一定であ

表3 アンケートに使用した感性語対

落ち着く	-	興奮する
安全な	-	危険な
心地よい	-	気持ち悪い
印象的な	-	印象が薄い
穏やか	-	激しい
楽しい	-	つまらない
弱々しい	-	力強い
重い	-	軽い
幻想的な	-	非幻想的な
臨場感がある	-	臨場感がない
一体感がある	-	一体感がない
迫力がある	-	迫力がない

表4 因子分析の結果

感性語対	第1因子	第2因子
落ち着く - 興奮する	0.97584	-0.1241
安全な - 危険な	0.96754	-0.1595
心地よい - 気持ち悪い	0.89552	0.32231
印象的な - 印象が薄い	-0.6805	0.59279
穏やか - 激しい	0.98672	-0.0709
楽しい - つまらない	-0.188	0.9411
弱々しい - 力強い	0.93494	-0.2202
重い - 軽い	0.80099	0.17789
幻想的な - 非幻想的な	0.86105	0.16964
臨場感がある - 臨場感がない	-0.0489	0.95627
一体感がある - 一体感がない	0.31975	0.89637
迫力がある - 迫力がない	-0.8714	0.44302
寄与率	0.60695	0.28416

る。これに対し、振動数が0.4Hz および0.8Hz の場合、椅子の傾斜の方が大きいと感じるに従い、迫力を感じる度合いが大きくなる。言い換えると、振動数を高くすることで、映像の揺れに対して椅子の傾斜角を抑えても迫力感を向上させることができることがわかる。

同様の傾向は、映像の最大振幅が9° および60° の条件においても観測された。

なお、最大振幅比が0、すなわち、振動椅子が全く動かない状態での感性値は、直線的傾向から著しくはずれる特性を示している。この理由は、この場合には椅子の振動がなく、

映像の揺れのみから受ける感性値を示しているため、刺激提示の状態が異なると考えられる。そこで、本論文では、この特異値を示した最大振幅比0の場合を除いて検討する。

一方、ピッチング振動に対し、映像の最大振幅が6° および12° の条件における最大振幅比と迫力感（「激しい－穏やか」）の感性値との関係を、図7に示す。これより、ピッチング振動に対してもローリングの場合とほぼ同じ傾向を示す特性が得られた。

なお、映像の最大振幅が3° および20° の条件においても、同様の傾向が見られた。

(a) 映像の最大振幅20°

(a) 映像の最大振幅6°

(b) 映像の最大振幅40°

(b) 映像の最大振幅12°

図6 ローリング時の迫力感と最大振幅比との関係

図7 ピッチング時の迫力感と最大振幅比との関係

3.2.3 興味感と振動パラメータとの関連性

図8に、ローリング振動に対し、振動数が0.2Hzおよび0.8Hzの条件での最大振幅比（振動椅子の最大振幅／映像の最大振幅）と興味感（「楽しいーつまらない」）の感性値との関係を示す。

図8より、まず、興味感（「楽しいーつまらない」）は、映像の最大振幅に依存していることがわかる。例えば、映像の図8 ローリング時の興味感と最大振幅比との関係傾斜角度が9°および20°の場合、興味感はある振動椅子の傾斜角度を越えると飽和している。実験後の被験者への聞き取りによ

(a) 振動数0.2Hz

(b) 振動数0.8Hz

図8 ローリング時の興味感と最大振幅比との関係

ると、この飽和は、映像の傾斜に対する椅子の傾きをちょうど良いと感じるために生じたようである。このことは、過度の振動椅子の傾きは興味感の向上にはあまり効果がないことを意味していると考えられる。これに対し、映像の傾斜角度が40°および60°の場合、興味感はある椅子の傾斜角度が大きくなるに従って増加することがわかる。ただし、本システムでは実証することはできないが、最大振幅比が大きくなると興味感飽和することが予測される。

つぎに、ピッチング振動に対して検討を行ったところ、図8と類似した傾向を示し、ローリングの場合と同様の見解が得られた。

4. 複合した振動提示による臨場感の効果

3.では、正弦波振動を用い、ローリングおよびピッチングそれぞれ単独で揺らした場合における定量的な評価実験を行った。しかしながら、アミューズメントなどで用いられる映像は、前後・左右のゆれが複合して複雑な揺れを伴うものがほとんどである。そこで、実際に映像に併せて揺れを提示することの効果を定性的に評価するために、実存するジェットコースターに乗り込んで撮影された乗車時の映像に併せて振動椅子を連動して制御するシステムを構築した。今回は、映像からジェットコースターの大まかなロール角を読み取り、コース情報によるロール角およびピッチ角と照らし合わせながら振動椅子の時系列の制御信号を生成した。また、振動椅子の動作範囲(±10°)に対して実際のジェットコースターのコースの最大ロール角(約70°)は大きい。そこで、振動椅子の揺れの振幅をロール角およびピッチ角ともに対数的に圧縮し、最大振幅比を大きくしつつ定格内の揺れ(コースの角度が最大の70°のときに振動椅子の角度が最大の10°)となるように設定した。図9に、使用したジェットコースター映像のスナップショットを示す。

評価実験では、幅広い世代の人びとを対象とするため、オープンキャンパスや学園祭などで本研究室を見学に訪れた子供から高齢者までの百数十名に本システムを体験してもらった。

図9 ジェットコースター映像のスナップショット

本システムの評価は、煩雑なアンケートを実施するのではなく、インタビュー形式で体験後に率直な感想を述べてもらった。その結果、大方つぎのような感想が得られた。

- 面白い（大多数）
- 本当にジェットコースターに乗っているようだ
- 風があるともっと良い

さらに、ジェットコースターの走行音や風切り音もボディソニックチェアを通じて提示することで、臨場感を向上できることも確認している。

この被験者の中には、これまで実際のジェットコースターには乗ることができなかったという、身体に障がいをもつ少女も含まれていた。この少女は、普段は養護学校に通っており、移動する際には介護者に車椅子を押してもらっていた。介助者によると、ジェットコースターに乗りたいたいという希望を持っていたが、実際には困難とあきらめていたそうである。振動椅子にはシートベルトが装備されており、乗車時にはすべての人に装着してもらっているが、この場合には万全を期すために両脇に介助者を配置してデモンストレーションを行った。乗車後、少女が涙を流して喜んでくれたことが非常に印象的であった。また、介助者からも「一生無理と思っていたジェットコースターの疑似体験ができてよかった」とのコメントをいただいた。

5. おわりに

本論文では、映像に同期して揺れる振動椅子を用いて、振動パラメータと感性値との関連性について検討した。映像に振動椅子を付加することで、2つの感性因子である迫力感と興味感因子が向上することがわかった。迫力感因子に属した感性語は、「激しい-穏やか」、「力強い-弱々しい」など、主に振動の物理的要因を反映するものであると考えられる。興味感因子に属した感性語は、「臨場感がある-臨場感がない」、「楽しい-つまらない」など、嗜好的特徴を反映するものである。正弦波状のローリングおよびピッチングを提示する実験の結果、迫力感を向上するためには、振動椅子の振動数を高くするとよいことが確認された。また、興味感を向上するためには、振動数に関わらず映像の傾斜に対して傾斜の一致を感じるように椅子を揺らすとよいことも示した。これらを満足することで、実際の椅子の揺れは映像に比べわずかであっても、迫力感や興味感などの感性を向上できると考える。この結果は、文献[10]に示されているヨーイング回転運動に対する知見が、ローリングおよびピッチングによる感性向上効果にも該当することを示唆している。さらに、実際のジェットコースターの映像に合わせて椅子を揺らすデモンストレーションを通じ、単に楽しむだけでなく、身体的・健康上の理由などから実際に乗ることのできない人が擬似的に体験できることの有用性を明らかにした。このようなシステムは、アミューズメントに限らず、福祉などの分野でも有用と考える。

今後の課題としては、実際の映像とともに振動椅子の揺れを提示することの効果を実量的に考察する必要がある。また、映像と振動椅子の揺れが同期していないことの効果も検討しなければならない。加えて、さらなる効果を向上するために、風や香りを同時に提示できるようにシステムを改善する予定である。

参考文献

- [1] 稲見昌彦, 舘璋: 視・触覚 複合現実環境提示技術, 計測と制御, Vol.41, No.9, pp.639-644, 2002.
- [2] 浅野寿朗, 石橋豊: 触る分散仮想博物館におけるQoS制御, 電子情報通信学会技術報告, MVE2003-126, pp.31-36, 2004.
- [3] 鄭承珠, 崔雄, 橋本直己, 長谷川晶一, 佐藤誠: 力覚を介したリアクティブバーチャルヒューマンの実現, 電子情報通信学会技術報告, HIP2003-23, pp.49-53, 2003.
- [4] 鈴木由里子, 小林稔: 風圧による Untethered 力覚提示インタフェース —3次元オブジェクトの表現—, 電子情報通信学会技術報告, IE2003-25, pp.71-76, 2003.
- [5] 横山智史, 谷川智洋, 広田光一, 廣瀬通孝: ウェアラブル嗅覚ディスプレイによる匂い場の生成・提示, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.3, pp.265-274, 2004.
- [6] 川原弘靖: 研究開発用飛行シミュレータシステム, テレビジョン学会誌, Vol.45, No.4, pp.500-507, 1991.
- [7] 青山泰史, 加藤佳一郎, 薄木貴行, 吉村愛香, 井上裕美子, 橋本渉, 大須賀美恵子: 呼吸を介した癒しシステム “The Mind Wave” の開発と評価, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.6, No.2, pp.39-42, 2002.
- [8] ハインリヒ デュビイ, ゲオルク ツェレット: 全身振動の生体反応, 名古屋大学出版会, 1989.
- [9] 渡邊洋, 梅村浩之: 瞬間振動刺激の不快適性に対する被験者属性と視覚的予告サインの効果, 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol.J91-D, No.9, pp.2430-2432, 2008.
- [10] 林秀彦, 宇和伸明, 安藤広志: 視覚系と前庭系の相互作用による水平回転感覚の基礎特性, 映像情報メディア学会誌, Vol.59, No.6, pp.876-883, 2005.
- [11] 海保博之, 加藤隆: 認知研究の技法—シリーズ・心理学の技報—, 福村出版, p.143, 1999.

合志 和洋 (非会員)

1998年豊橋技術科学大学大学院博士後期課程単位取得退学。同年、同大学工学部情報工学科助手。2000年熊本電波工業高専門学校情報通信工学科助手。現在、同准教授。博士（工学）。ヒューマン情報技術および福祉工学に関する研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。

盛多 亮（非会員）

2009年筑波大学大学院システム情報工学研究科修士課程修了。同年、NHK入局。在学中、感性情報処理に関する研究に従事。

田崎 新二（非会員）

2006年九州工業大学大学院生命体工学研究科博士後期課程修了。同年、TAS ART 起業。博士（工学）。在学中、ヒューマン情報技術に関する研究に従事。

清田 公保（正会員）

1986年豊橋技術科学大学電気電子工学課程卒業。同年、熊本電波工業高専門学校情報通信工学科助手。1998年米国アリゾナ州立大学客員研究員などを経て、2006年熊本電波工業高専門学校情報通信工学科教授。現在に至る。博士（工学）。感性情報工学および福祉工学に関する研究に従事。IGS、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。

古賀 広昭（非会員）

1970年鹿児島大学大学院修士課程修了。同年、日本電信電話公社電気通信研究所入社。以来、通信ケーブルの研究開発、電磁ノイズ問題の研究、防水光ファイバケーブルの開発、AIの研究等に従事。1992年、熊本電波工業高専門学校情報通信工学科教授。現在に至る。工学博士。ヒューマン情報技術に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。