

受動的運動における疑似力触覚生起に関する基礎的検討

阿部法寛^{†1} 中山雄介^{†1} 青木広宙^{†2}

概要：視知覚と自己の運動との間に不整合が発生させることを視覚刺激として疑似力触覚の提示が行われるが、一般には、能動的運動時に視覚刺激の制御が行われる。本研究では、受動的運動による視覚刺激を用いた疑似力触覚提示について提案する。Leap Motionを用いてのパーティクルの流れを体験する試作システムを構築し、同一の受動的運動による視覚刺激を制御した際の疑似力触覚生起に関して評価実験を行った。

1. はじめに

疑似力触覚とは、目で見た“もの”の動きを認識する視知覚と自己の運動の間に不整合が発生することで、脳の特性により視覚が優勢になるという錯覚現象のことである。疑似力触覚を提示する方法は、現実における操作にともない変化する仮想的な視覚情報の変化量の比率を制御することである[1]。この比率をCD比（Control/Display Ratio, 入力量に対する出力量の比率）と言う。

例えば、物体を持ち上げるようなタスクにおいては、現実の手の移動量に対する仮想的な手の移動量を減らすことで、物体が重くなったように感じるような疑似力触覚を提示することができる。この例は“物体を持ち上げる”という対象が存在するような能動的な動作をとまなう疑似力触覚提示であるが、Puschらは、粒子の流れに対して手を入れるというより静的で受動的な動作においても、手の動きに関するCD比を制御する疑似力提示することも可能であることを報告している [2]。

本研究では、受動的な動作時において、視覚刺激としてCD比の変化量の制御を行わずに疑似力触覚の強さを制御することが可能であるかについて検討する。検討を行うために、Leap Motionを用いて手の動きをトラッキングし、仮想空間でパーティクルの流れを体験するシステムを試作した。試作システムを用いて、受動的運動に対して、パーティクルの流れのスピードが変化したときに、仮想の手の移動量に関するCD比の変化量は一定とする。そして、視覚刺激としてパーティクルの流れのスピードのみを変化させたときの疑似力触覚の感覚の強さに関し、基礎的な評価実験を行った。

2. パーティクルの流れを体験するシステム

本研究で用いる疑似力触覚提示システムにおいては、ハンドジェスチャをキャプチャするための計測デバイスであるLeap Motion(図1)を用いる。システムのソフトウェア開発においては、ゲーム開発を目的として開発されたVC++

用ライブラリ Siv3D を用いた。

図2に、システムの画面を示す。利用者はLeap Motionに



図1 Leap Motion

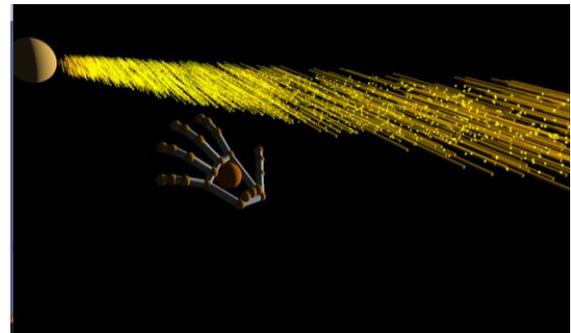


図2 パーティクルの流れを体験するシステム画面

より画面に表示された手を上下左右に動かすことができる。Leap Motionを用いてトラッキングされるユーザの手の動きと画面に表示される仮想の手の動きとは対応しており、実際の手の動きを反映して仮想の手が上下左右に動く。本研究で試作したシステムにおいては、パーティクルが仮想空間上で天の川のように流れている状況が想定されている。画面に表示されているパーティクルや光の軌跡などが、利用者に向かって流れてくる。

2.1 パーティクルの流れによる抵抗力

本研究では、パーティクルの流れに対して手が侵入した際に、パーティクルの流れによる抵抗力を、視覚刺激として、仮想の手の動きに反映させることで疑似力触覚を提示することを試みる。パーティクルの流れに対抗するように

^{†1} 公立千歳科学技術大学大学院 理工学研究科

^{†2} 公立千歳科学技術大学 理工学部

手を操作した際には、手の移動量を低下させる。逆に、パーティクルの流れに従うように手を操作した際には、手の移動量を増加させる。パーティクルに触れている時間帯だけ仮想の手の移動量を増減させる。

パーティクルに手を入れた際には、パーティクルの流れに対して触れている手の表面積で抵抗力が変化し、仮想の手の移動量に影響する。

仮想の手の三次元座標 X' と実際の手の三次元座標 X との関係式は、以下の式(1)で表される。

$$X' = X + T \quad (1)$$

T は抵抗力を表しており、パーティクルが流れる方向を法線ベクトルとする平面に対する仮想の手の投影面積によって T の値が変化する。抵抗力 T と仮想の手の投影面積の関係は、以下の式(2)で表される。

$$T = \frac{1}{2} C_D D \quad (2)$$

C_D は抵抗係数、 D は、仮想の手の投影面積をそれぞれ表しており、 D の値が変化することで抵抗力が変化する。ここで、 C_D の値は 1 とする。

また、パーティクルに手を触れた際には、パーティクルの流れの影響によって仮想の手が振動したり、パーティクルの流れを強調させる光の軌跡などの視覚効果を提示する機能を用意した(図 3、図 4)。

なお、次章で述べるが、本研究においてはパーティクルに手を入れたときに抵抗力には、仮想の手の投影面積のみ

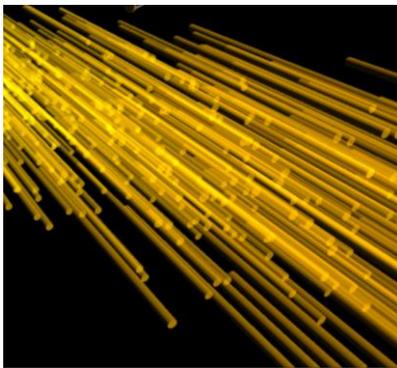


図 3 視覚効果(光の軌跡)

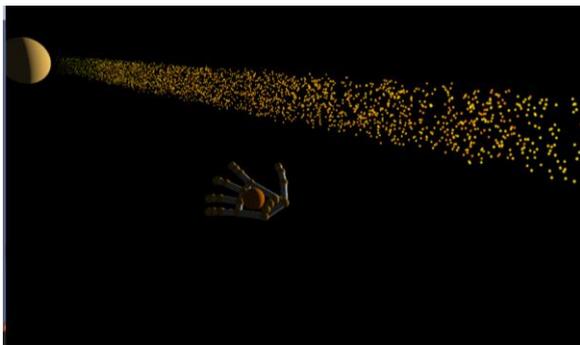


図 4 光の軌跡が無いシステム画面

が影響するものとする。

3. 実験方法

本実験では、パーティクルの流れの速度(以下、パーティクルの速度)を変化させた際に、疑似力触覚として感知可能なパーティクル速度の閾値について調べた。パーティクルの速度を変化させていない状態(比率 1.0 倍)を基本として、比率 0.05 倍から 1.0 倍まで 0.05 倍ずつ変化させ、19 段階のパーティクルの速度を設定した。特筆すべき本実験の特徴としては、前章で示した式(2)において C_D の値は 1 にするということである。すなわち、本実験では、パーティクルの速度の変化を基本的な視覚刺激の変化として用いて、疑似力触覚への影響を調べることに主眼を置く。

また、パーティクルの速度が高くなるにつれて、仮想の手をより大きく振動させる。本実験では、手の振動による視覚効果の追加と、軌跡による視覚効果の追加について、それらの有無が与える影響について比較検討した。視覚効果の有無の組み合わせについて、表 1 に示すように、視覚効果パターン 1~4 として設定した。

被験者は 20 代男性 5 名であり、実験内容については事前に説明し、実験の実施に関して文書による同意を得ている。

表 1 視覚効果の組み合わせ

パターン 1	手の振動有, 光の軌跡有
パターン 2	手の振動有, 光の軌跡無
パターン 3	手の振動無, 光の軌跡有
パターン 4	手の振動無, 光の軌跡無

物理心理学における階段法に基づいて、提案手法によるパーティクルの速度に対する疑似力触覚の知覚範囲について検証を行った。階段法は、19 段階のパーティクルの速度を 1.0 倍から 0.05 倍ずつ減少させていき手の操作が軽く感じた試行があった時、次の試行はその値を出発点として 0.1 倍ずつ増加させる。さらに、増加中に手の操作が重く感じた試行があった時、次の試行は、その値を出発点として 0.1 倍ずつ減少させるように変化する。このように階段状にパーティクルの速度を変化させることで、反応の変化点を平均してパーティクルの速度を知覚できる範囲を検証する。本実験では試行を 30 回行い、これを 4 つの視覚パターンそれぞれについて実施した。

4. 実験結果および考察

各被験者の視覚パターン 1 の実験結果を図 5 に、各被験者の視覚パターン 2 の実験結果を図 6 に、各被験者の視覚パターン 3 の実験結果を図 7 に、各被験者の視覚パターン 4 の実験結果を図 8 に、それぞれ示す。実験結果の横軸は試行回数を表しており、縦軸は背景スクロール速度の比率を表している。また、各被験者の背景スクロール速度の変

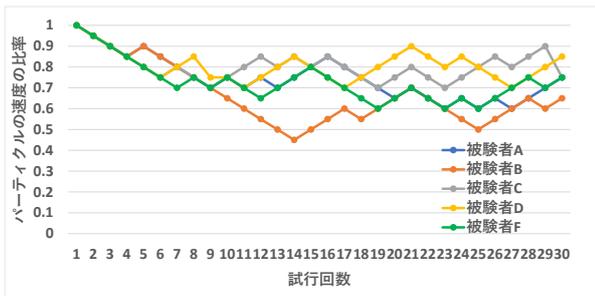


図5 視覚パターン1の時の各被験者の結果

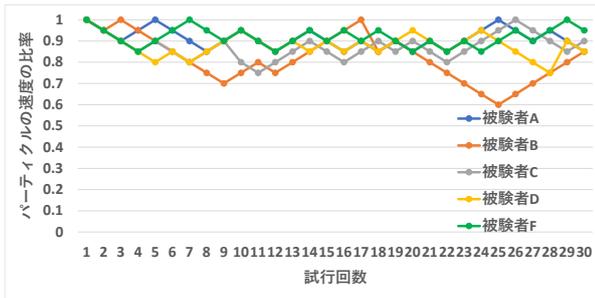


図6 視覚パターン2の時の各被験者の結果

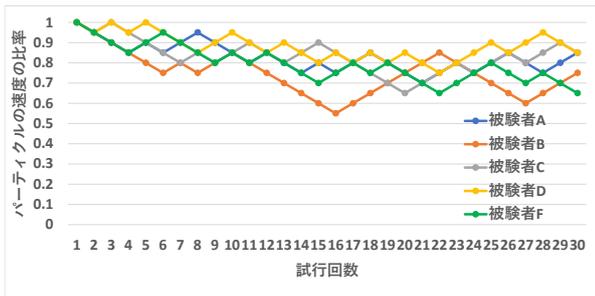


図7 視覚パターン3の時の各被験者の結果

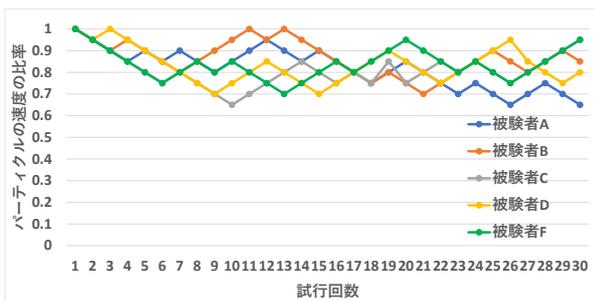


図8 視覚パターン4の時の各被験者の結果

化の比率の範囲を表2に示す。

視覚パターン2のときに、反応の変化点の上限値と下限値の差が一番小さく、視覚パターン4のときに、反応の変化点の上限値と下限値の差が一番大きい値となった。反応の変化点の上限値と下限値の差が小さいほどパーティクル速度の差を知覚しやすと考えられる。視覚パターン2と視覚パターン4より、仮想の手を振動の有無で、パーティ

クルの速度の差の知覚しやすさに影響が出た。また、視覚パターン2, 4と視覚パターン1, 3を比べることで、光の軌跡が存在することで、パーティクルの速度の差の知覚しやすくなることが明らかとなった。

表2 各被験者のパーティクルの速度の知覚範囲

視覚効果		A	B	C	D	E	平均
パターン1	上限	0.75	0.71	0.84	0.86	0.73	0.78
	下限	0.69	0.59	0.75	0.73	0.65	0.68
	差	0.06	0.12	0.09	0.13	0.08	0.10
パターン2	上限	0.93	0.91	0.90	0.89	0.95	0.92
	下限	0.86	0.78	0.81	0.84	0.88	0.83
	差	0.07	0.14	0.09	0.05	0.07	0.08
パターン3	上限	0.87	0.81	0.89	0.93	0.83	0.86
	下限	0.78	0.66	0.79	0.85	0.74	0.77
	差	0.08	0.15	0.09	0.08	0.08	0.10
パターン4	上限	0.84	0.93	0.85	0.93	0.88	0.89
	下限	0.76	0.82	0.75	0.73	0.77	0.77
	差	0.08	0.11	0.10	0.20	0.12	0.12

5. おわりに

本研究では、受動的な動作時において、視覚刺激としてCD比の変化量の制御を行わずに疑似力触覚の強さを制御することが可能であるかについて検討を行った。

パーティクルが流れる仮想環境において、Leap Motionを用いてトラッキングされた仮想の手でパーティクルの流れに触れるシステムを試作した。そして、パーティクルの流れの速度を変化させた際に、疑似力触覚として感知可能なパーティクル速度の閾値について実験を行った。

実験の結果、パーティクルに手を入れたときにパーティクルの速度の変化によって手の操作感に影響を与えていることがわかった。また、仮想の手を振動の有無で、パーティクルの速度の差の知覚しやすさが変化することが明らかとなった。

今後、本研究の実験結果をもとに、パーティクルの速度の設定範囲を決定し、恒常法を用いた検討により各視覚パターンにおける心理曲線が示す傾向について検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 宇治士公雄介他：背景移動量操作を利用した視覚空間相互作用生起によるタッチパネルでの疑似触力覚提示, TVRSJ, Vol, 2017, No. 3, pp. 305-313
- [2] A. Pusch, O. Martin, S. Coquillart, HEMP-Hand-Displacement-Based Pseudo-Haptics: A Study of a Force Field Application, International Journal of Human-Computer Studies, 2009, Vol. 67, Issue 3, pp. 256-268