



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

# バーチャル物体との接触に対する触覚刺激のもっともらしさを評価するストロープ課題システムの基礎検討

Empirical System Design of Stroop Tasks for Evaluating Plausibility of Tactile Stimuli for Contact with Virtual Objects

石川遼太郎<sup>1)</sup>, 亀岡嵩幸<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>1)</sup>

Ryotaro ISHIKAWA, Takayuki KAMEOKA, and Taku HACHISU

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

**概要:** バーチャル空間で生じた現象をユーザが知覚しやすいようにデフォルメし、触覚を通じてユーザに提示する技術の期待が高まっている。我々はこれまでにユーザの操作するスタイラスと物体の接触時に生じる振動刺激による材質知覚を対象に、触覚と視覚で一致・不一致の材質を提示する実験システムを構築した。触覚刺激がもっともらしければ不一致の条件でストロープ効果が生じる(回答時間が長くなる)という仮説を検証してきた。本研究では、触覚刺激に物理空間での実物体との接触時に生じる刺激を利用し、視覚刺激に三次元バーチャル空間のバーチャル物体のテクスチャを利用する実験システムの設計について基礎的な検討を行う。

**キーワード:** ストロープ効果, タッピング, 視触覚, クロスモーダル

## 1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の高性能化やゲームエンジンの発展にともない、視覚を通じてユーザに写実的なバーチャル空間を提示し、臨場感の高い体験を提供する技術が普及している。体験の質をより高める手段として、バーチャル空間で生じた現象を触覚を通じてユーザに提示する技術の期待が高まっている。この技術の課題の一つに限られた自由度の素子で如何に効率的に現象を再現ないし表現することが挙げられる。特に表現については、現象を歪めてユーザが知覚しやすい刺激を設計するというデフォルメが用いられる。しかしデフォルメされた刺激は物理現象とは異なっているため刺激の物理的類似性等で評価することは難しく、刺激のもっともらしさをユーザの主観に基づいて評価せざるを得ない。

我々はこれまでにユーザの操作するスタイラスと物体の接触時に生じる振動刺激による材質知覚 [1] を対象に、触覚(振動)と視覚(二次元のバーチャル物体のテクスチャ)で一致・不一致な材質を提示する実験システムを構築した [2]。本システムを用いて視覚で感じた材質を即時に回答させる課題を考える。触覚と視覚で材質が不一致である状況で触覚刺激がもっともらしければ回答時間が長くなる(ストロープ効果 [3] が生じる)という仮説を立てた。これが真であれば、回答時間というユーザの行動より刺激のもっともらしさを客観的に評価することが可能になると考えられる。

本研究では、バーチャル空間におけるデフォルメされた触覚刺激のもっともらしさの客観的評価方法の確立を目的とする。本稿では先に述べた仮説を検証するために、触覚

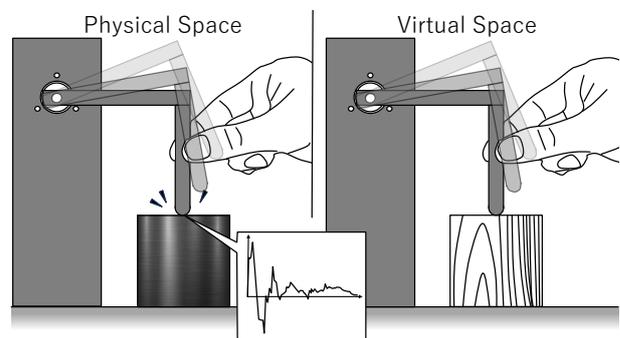


図 1: スタイラスと物体の接触時に実物体との接触時に生じる振動(触覚刺激)およびバーチャル物体のテクスチャ(視覚刺激)を提示し、視覚より感じた材質の回答時間を計測するストロープ課題システム

刺激に物理空間での実物体との接触時に生じる刺激を利用し、視覚刺激に三次元バーチャル空間のバーチャル物体のテクスチャを利用する実験システム(図 1)の設計に関する基礎検討について報告する。

## 2. 実験システム

実験システムの設計要件として: 1) 実物体およびバーチャル物体の材質をホストコンピュータからの指令で即座に変更できること; 2) スタイラスと実物体の接触時から実験参加者の回答までの時間および回答内容を計測可能であること; 3) 実物体とバーチャル物体の位置を一致させること、を設定する。図 2 に示すように本システムをホストコンピュー

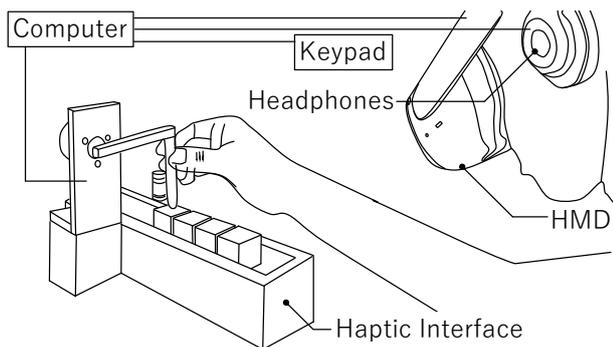


図 2: 実験システム

タ (ASUS, ROG Strix SCAR 16 G634JZ), ハプティックインタフェース, HMD (Meta, Meta Quest 2), ヘッドホン, テンキー (ELECOM, TK-TCM011) より構成する。これまでのシステムでは、ディスプレイ上に材質を表す二次元テクスチャとスタイラスを示すカーソルが表示されており、ハプティックインタフェースのスタイラス直下にはスポンジが配置されていた。本稿では、ハプティックインタフェースのスタイラス直下に任意の材質 (30 mm \* 30 mm \* 30 mm の実物体) を提示するラックアンドピニオン機構と, Meta Quest 2 による材質の三次元映像を Unity を使用して開発する。

### 2.1 触覚刺激

ハプティックインタフェースは主に参加者のタッピング動作の計測および触覚刺激の提示を行う。ハプティックインタフェースをスタイラス, エンコーダ, ラックアンドピニオン機構, 制御回路より構成する。スタイラスをエンコーダに接続し, 参加者の操作によってスタイラスが地面に対して垂直になるときに実物体の上面中心と接触する。サーボモータ (Tower Pro Pte Ltd, SG90) およびラックアンドピニオン機構によってスタイラスと接触する実物体 (ゴム, 木, アルミニウム) を変更できるようにする。実物体は 30 mm 四方の立方体を用いる。エンコーダの値のコンピュータへの送信, コンピュータからの使用する実物体の指令は制御回路内のマイクロコントローラ (Espressif Systems, ESP32 DevKitC) を介してシリアル通信で更新周期 10 kHz で行う。

### 2.2 視覚刺激

コンピュータはゲームエンジン (Unity) より生成した三次元バーチャル空間を HMD を介して視覚刺激の提示を行う。図 3 に示すようにバーチャル空間には物理空間のハプティックインタフェースと同様にスタイラスやバーチャル物体を配置する。また Meta Quest 2 のコントローラを使用し, 物理空間と同様の視点となるようにカメラを配置する。物理空間と同様の視点となるようにカメラを配置する。前節で述べたエンコーダの値に基づきスタイラスの姿勢を物理空間とバーチャル空間で同様にする。バーチャル物体にはゴム, 木, または金属のテクスチャを適用する。

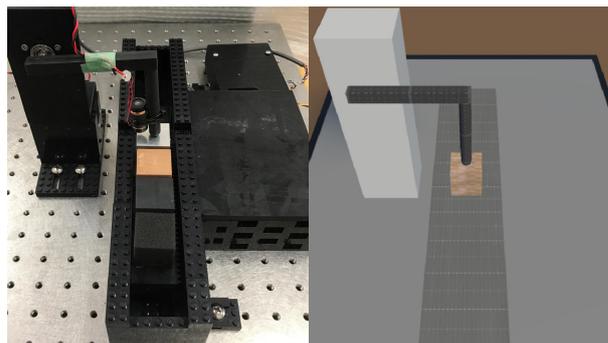


図 3: 物理空間での触覚刺激提示とバーチャル空間での視覚刺激提示

### 2.3 実験設計

本実験では触覚刺激と視覚刺激をそれぞれ 3 水準 (ゴム, 木, アルミニウム) 設定する。実験条件として, 触覚刺激と視覚刺激が一致している一致条件と一致していない不一致条件を設定する。それぞれの条件において, 本システムが検知したバーチャル空間でのスタイラスとバーチャル物体の接触時刻から実験参加者の回答時刻までの時間を回答時間とする。

実験参加者に耳栓, ヘッドホン (ホワイトノイズを提示), Meta Quest 2 を装着させた状態でスタイラスを把持させる。まず, 初期状態ではバーチャル物体をポリゴン表示する (テクスチャを適用しない)。次に, 実験参加者にスタイラスで本システムが各条件下で無作為に選択した実物体を叩くように接触させ, 接触後即座に視覚刺激より感じられた材質をテンキーより回答するよう指示する。この時, 本システムはスタイラスと実物体の接触を検知すると同時にバーチャル物体に各条件下で無作為に選択したテクスチャを適用する。以上の課題を各条件でシステムに慣れるための練習を含めて数十から数百回程度繰り返させる。参加者内実験計画に基づき, 不一致条件で回答時間が長くなるという仮説の基, 統計検定を実施する。

### 3. おわりに

本稿では, 触覚刺激に物理空間での実物体の接触時に生じる刺激を利用し, 視覚刺激に三次元バーチャル空間のバーチャル物体のテクスチャを利用するストループ課題システムの設計に関する基礎検討を行った。今後は実験参加者を募り本システムを用いたストループ課題により触覚刺激のもっともらしさを評価可能であるか検証する。

### 謝辞

本研究は JST CREST JPMJCR22P4 の支援を受けたものである。

### 参考文献

- [1] A. Okamura, M. Cutkosky and J. Dennerlein: "Reality-based models for vibration feedback in virtual environments", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, **6**, pp. 245–252 (2001).

- [2] 石川遼太郎, 蜂須拓: “ストロープ課題に基づくデフォルメされた触覚刺激に対するもっもらしさの評価” (2022).
- [3] J. R. Stroop: “Studies of interference in serial verbal reactions.”, *Journal of experimental psychology*, **18**, 6, p. 643 (1935).