

## 力覚の拡張現実感提示手法の周波数応答特性による評価

五十嵐 勇太<sup>†</sup> 池田 篤俊<sup>†</sup> 栗田 雄一<sup>†</sup> 永田 和之<sup>††</sup> 小笠原 司<sup>†</sup>

<sup>†</sup>奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 <sup>††</sup>産業技術総合研究所

### 1 はじめに

複雑な力覚特性をもつ対象を再現性を高く提示しようとする、高性能力覚提示デバイスや、複雑な力覚モデルが必要となり、コストが増加してしまう。

そこで、永田ら[1]はハプティックレコーダにより作業中の力覚計測とその提示による力覚の拡張現実感提示(以下、ハプティックARまたはARと表記する)のコンセプトを示し、反力提示に実物体の反力応答を利用することを提案している。Jeonら[2]はハプティックARの基本アルゴリズムを提案し、実物体にハプティックデバイスで力を付加し、実物体とは異なる物体として力覚を提示できることを示している。Kuritaら[3]は、ハプティックARにより、簡単なモデルで粘弾性物体の力覚提示が可能であることを示した。このように、ハプティックARは簡単なモデルによって複雑な力覚特性を持つ対象を表現できるという特徴を持っている。

Kuritaら[3]の研究において、どのような性質の補助物体を置けば、目標物体の力覚を正確に提示できるようになるのか不明であるという課題があった。そこで本稿では、物体および力覚提示システムを持つ、周波数応答特性に着目して評価を行うことで、用いるべき補助物体の性質について考察する。

### 2 静的反力モデルの作成

本研究では、図1に示すように、力覚提示デバイスと補助物体を用いて力覚提示を行うシステムを利用する。デバイスとしてPHANTOM Omniを用い、反力提示の目標物体、および補助物体として、硬さの異なる3種類の人肌ゲル(Soft,Medium,Hard)を用いる。まず図2に示すシステムを用い、一軸ロボットによってファントム先端を各ゲルに一定距離押しこんだ状態での静的反力を計測する。この時の押し込み量 $x$ [mm]と反力 $F$ [N]を式(1)によってモデル化する。表1に各モデルのパラメータを示し、図3に各物体の計測データとモデルによる近似曲線を示す。

$$F = a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x \quad (1)$$

### 3 周波数応答特性解析手法

#### 3.1 解析手順

力覚提示システムの周波数応答特性の解析手順は以下のようにになっている。

1. システムにステップ入力を与え、応答を計測
2. 伝達関数をARXモデルによりモデル化
3. ARXモデルの周波数応答特性を比較

Evaluation of Haptic-AR by Frequency Responce

<sup>†</sup> Yuta IGARASHI, Atsutoshi IKEDA, Yuichi KURITA

<sup>††</sup> Kazuyuki NAGATA

<sup>†</sup> Tsukasa OGASAWARA

Nara Institute of Science and Technology (<sup>†</sup>)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (<sup>††</sup>)

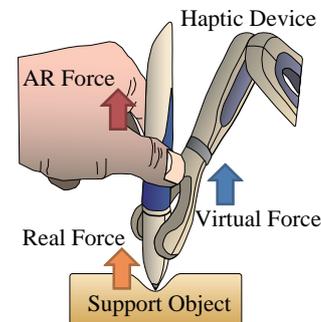


図 1: ハプティックARシステム

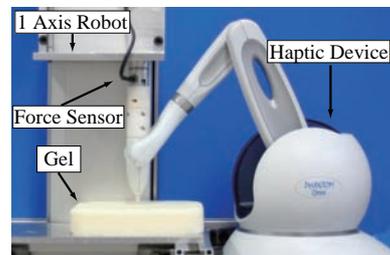


図 2: 静的反力計測実験

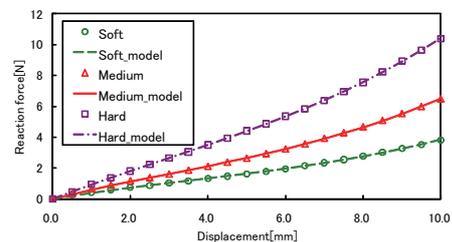


図 3: 各物体の反力とモデルによる近似曲線

#### 3.2 反力、位置変化計測実験

力覚提示のパターンはいずれも目標をMediumのゲルとし、Softのゲルを用いたAR提示(AR Soft)、Hardのゲルを用いたAR提示(AR Hard)、補助物体を用いないデバイスのみによる提示(VR)である。ハプティックARでは、目標物体と補助物体の静的反力モデルの差の力をハプティックデバイスから発生させる。その為、Softのゲルを用いたAR提示ではデバイスはゲルの反力を増大させる方向に力を発生させ、Hardのゲルを用いたAR提示ではゲルの反力を減少させる方向に力を発生させる。VRでは目標物体の静的反力モデルにより計算された力をデバイスから提示する。また、デバイスから力を発生させず、目標物体そのものの応答(Target)も計測する。

実験は図2の環境から一軸ロボットを取り外し、ファントムの先端位置を計測するためのポテンショメータを取り付けた環境を用いる。ステップ入力としてPHANTOM先端を物体の約5mm上方から自由落下させ、物体に衝突させる。物体に衝突後は各力

表 1: 静的反力モデルのパラメータ

Object	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Soft	$2.9 \times 10^{-4}$	$-3.2 \times 10^{-2}$	$4.1 \times 10^{-1}$
Medium	$4.0 \times 10^{-3}$	$-3.7 \times 10^{-2}$	$6.1 \times 10^{-1}$
Hard	$5.0 \times 10^{-3}$	$-4.3 \times 10^{-2}$	$9.7 \times 10^{-1}$

覚提示パターンに基づきデバイスから力を発生させる。衝突後の反力および先端位置をそれぞれポテンシオメータ、力センサを用いて計測し、ステップ入力に対する応答とする。図4、図5の下段にステップ入力を、上段に物体接触後の反力及び先端位置の変化をそれぞれ示す。

### 3.3 周波数応答特性の比較

ステップ入力に対する応答として反力および先端位置のデータを扱い、伝達関数をARXモデルによってモデル化を行う。作成したARXモデルのボード線図を図6、図7に示す。それぞれ上段はゲインを、下段は位相をあらわしている。

Hardのゲルを用いたARやVRよりも、Softのゲルを用いたARの周波数応答特性が目標物体の周波数応答特性に近い事が分かり、今回の目標物体に対しては、SoftのゲルがAR提示に適していることが分かる。VR提示については先端位置が振動している事が確認でき、制御性が不足していると考えられる。AR提示において補助物体により周波数応答特性に差が生じた理由として、補助物体の静的な状態の反力をモデル化しているが、モデル化を行っていない押し込み速度に依存する反力も持っており、その反力の違いが影響したと考えられる。また、AR SoftとAR Hardでは、デバイス力の発生方向の違うため、これらが影響していると考えられる。

## 4 まとめ

周波数応答特性を調べる事により、力覚提示システムを評価することを提案した。静的な反力モデルを作成してハプティックAR提示を行った場合に、補助物体によってハプティックARシステムの周波数応答特性に違いがあることを示した。

今後の方針として、周波数応答特性の定量的な評価方法を検討する予定である。また、周波数応答特性の違いが人の知覚にも影響すると考えており、人の知覚特性とシステムの周波数応答特性を相互に考慮することが、ハプティックARシステムに用いる補助物体の選定指針となると考えている。

### 参考文献

- [1] 永田和之, 多田充徳, 貴田恭旭, 岩崎英丈: “ハプティックレコーダの開発 第1報: 基本システムの開発”, SI2006講演論文集, 103-1, 2006.
- [2] Seokhee Jeon and Seungmoon Choi: “Modulating Real Object Stiffness for Haptic Augmented Reality,” EuroHaptics, pp. 609-618, 2008.
- [3] Yuichi Kurita, Atsutoshi Ikeda, Takeshi Tamaki, Kazuyuki Nagata, and Tsukasa Ogasawara: “Haptic Augmented Reality Interface using the Real Force Response of an Object,” The 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2009), pp.83-86, 2009.

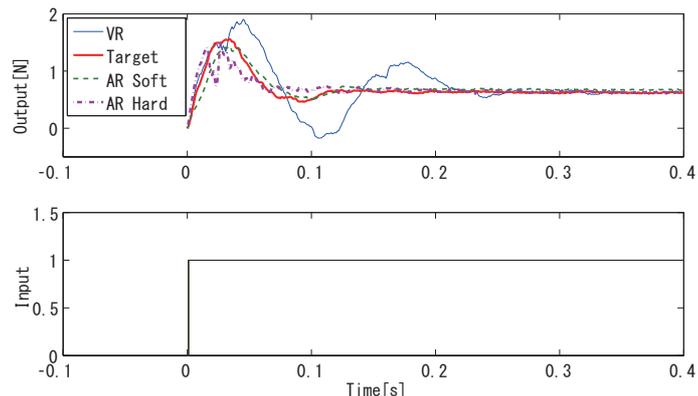


図 4: 反力の変化

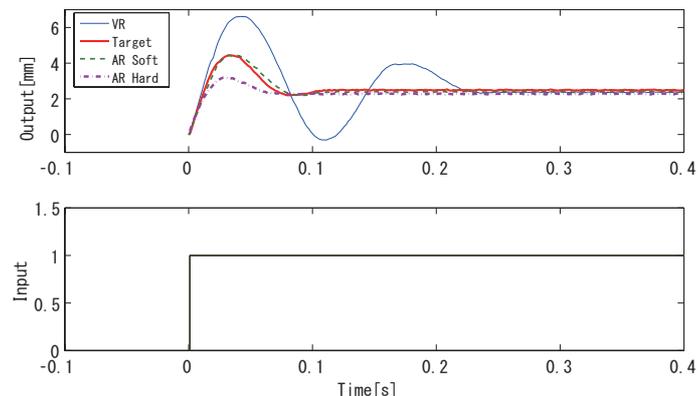


図 5: 先端位置の変化

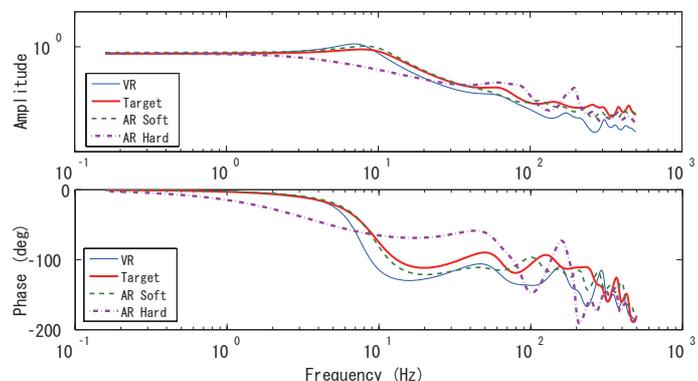


図 6: 反力の周波数応答特性

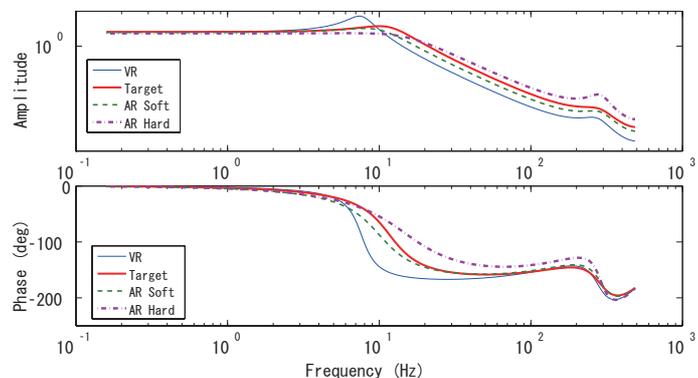


図 7: 先端位置の周波数応答特性