

IEICE

電子情報通信学会技術研究報告

*IEICE Technical Report*

HIP2009-48 – HIP2009-72

ヒューマン情報処理

Human Information Processing

2009年6月15日～16日

June 15-16, 2009

**IEIC**

**電子情報通信学会**

The Institute of Electronics, Information  
and Communication Engineers

<http://www.ieice.org/>

## 構成要素のすべての運動を反映した仮想器具の力覚提示

本間 達<sup>†</sup> 若松 秀俊<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京医科歯科大学大学院保健衛生学研究科 〒113-8519 東京都文京区湯島 1-5-45

E-mail: †{hommtec,wakamats.mtec}@tmd.ac.jp

あらまし 力覚表示システムでは、操作デバイスに組み込んだモータの出力を、操作者が受けて力覚を生じる。これは、ともに粘弾塑性固体モデルで構築した仮想器具と物体の相互作用によるモータの軸まわりのモーメントに相当する。モデルに与えたパラメータおよびモータとの相対的位置関係から、各成分ごとにモータの発するモーメントを算出する。

キーワード 力覚表示システム, 粘弾塑性体モデル, 相互作用, 実時間操作, 破壊

### Force display reflecting all the force components caused by the movement of virtual device

Satoru HONMA<sup>†</sup> Hidetoshi WAKAMATSU<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Health Care Sciences, Tokyo Medical and Dental University

1-5-45 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8519 Japan

E-mail: †{hommtec,wakamats.mtec}@tmd.ac.jp

**Abstract** An operator may feel a reactive force given by the system using driving motors of operational devices. It is given as moments around the axes of motors caused by the interaction between virtual devices and objects synthesized as visco-elasto-plastic models. The components of moments given by motors are calculated taking into account the relative locations and parameters of the models.

**Keyword** force display system, elasto-visco-plastic model, interaction of virtual objects, real-time destruction

#### 1. はじめに

仮想空間内に構築した実体のない物体を、触覚を伴いながら操作する技術の一つに力覚表示システムがある。これらのシステムでは、物体や器具の質感を表現することが必要である。従来の研究[1]では、仮想物体の変形を視覚的に表現するために粘弾性を考慮した物理モデルで構築した。これにより弾性限界を逸脱しない範囲での変形加工の視覚的表現について、一定の成果が得られてきた。一方、器具は演算量の削減のため変形を生じない剛体として考えた。さらに力覚の表現を主に器具の位置姿勢や速度の変化に基づく単純な数式で表現してきたので、器具自体のひずみや破損に伴う力覚の表現は考慮されていなかった。ところで器具と物

体は相互に力が作用するので、現実には物体からの反力により器具にも変形・破壊を生じる場合がある。これを表現するために、塑性を考慮した物理モデルで物体と器具を構築し、その相互作用によって物体の変形・破壊を表現する手法が提案されている[2]。この手法では、物体の運動による弾性限界からの逸脱が弾性限界内から連続して生じるので、結果として生じる破壊の表現が可能である。このとき仮想空間内の「物体」を構成する要素ごとに質量と速度を計算するので、位置姿勢の情報のみならず物体内部の運動状態も反映した力覚表現が可能である。本研究では、力覚表示システムの操作器具に取りつけたモータで出力することを前提として、粘弾塑性体モデルで構築した物体と器具

の相互作用で生じた仮想空間内の「力」により生じるモータの軸まわりのモーメントを算出するための手法について検討する。

## 2. 切離器具型力覚表示システムの構築

### 2.1 力覚表示システム の概念

仮想空間内にある器具を実空間から操作し、空間内の物体から受ける反力を提示するシステムが力覚表示システムである[1]。力覚表示システムは仮想空間内にある物体の位置・姿勢・形状を視覚情報として提示すると同時に、操作器具が受ける反力を、デバイスを介して力覚として表現する。可能な限り五感の全てに情報をフィードバックするのが望ましいが、最低限、上記の二感に対して同期した情報を表示しなければならない。すなわち視覚情報作成時に利用する物体の情報とデバイスの位置姿勢情報を同時に用いて、実時間で反力を計算し、描画と力覚表示を行う必要がある。このために、用いる器具の特性を十分に備えつつ、エンコーダのような単純なセンサでその動態を検出し、モータなどのアクチュエータで力覚表示を行うことが可能な操作デバイスを開発しなければならない。操作デバイスは設計上可動範囲が設定されるが、これは仮想空間内で器具の動作範囲より大きいことが必要である。ところで、器具がもつすべての特徴を再現するためには自由度を大きくすることが必要であるが、重量の増加による操作感覚の劣化を回避するために、一部の動態は簡略化してデバイスを軽量化し、ソフトウェアでこれを補完・支援する。

### 2.2 破壊表現可能な物理モデルによる仮想空間の構築

仮想空間内での変形・破壊を実時間で表現するために、物理モデルで仮想物体を構築するが、計算機単独のシミュレーションと異なり、人間の操作により仮想空間に介入するために、単純化したモデルによる実時間での計算を実現する。本間らは力覚表示システムへの応用を前提として、粘弾性固体を表現する Kelvin-Voigt モデルに塑性を組み合わせた粘弾塑性体モデルを提案した[2]。このモデルでは一般的な PC の演算能力でも実時間で、物体同士の相互作用による変形・破壊も表現できることが示されている。正四面体構造の各辺に同モデルを、頂点に質点をそれぞれ配置した基本構造を連続的に接続して任意の形状の物体を構築することが可能である。

本研究では仮想空間内に存在する固体の物体、すなわち仮想臓器と仮想器具の双方を粘弾塑性体モデルで構築する。物体ごとに異なるかたさ、もろさ、密度などはモデルに与える弾性、粘性、塑性、質量の各パラ

メータを変更して表現する。これらのパラメータはモデルの要素ごとに設定可能なので、現実の物体に存在する物性の不均一さなども表現可能である。

### 2.3 操作デバイスの位置・姿勢に基づいた力覚の算出

上述のように、操作される物体のみならず、操作する器具もそれぞれ物性の異なる仮想物体として考え、仮想空間内に存在する全ての物体を物理モデルで構築し、器具を構成する要素ごとに質量と速度・加速度を演算する。力覚を表示するために、一般的には力を算出するが、操作デバイスに組み込んだアクチュエータの多くはトルク制御を行う。そこで各軸方向への成分を考慮した質点同士の相互作用が及ぼす力を用いて、力覚を及ぼすモーメントを算出する。具体的には、デバイスと仮想器具の姿勢が一致するので、操作デバイスの関節部にあるモータの軸を基準点と考え、器具との相対位置から空間内に設定した仮想の基準点まわりのモーメントを要素ごとに算出し、操作デバイスのモータより出力する。質点に作用する力は  $x,y,z$  軸方向のベクトルに分解するので、これに対応するモーメントの出力が必要である。また、器具のねじりによって生ずる力覚も表現するために4つのモータを利用する。操作者の視点から、操作器具、仮想器具、仮想物体の順に配置し、器具の動作範囲を限定する。このため、 $x,y,z$  軸方向の力により、それぞれモータ 1,2,3 の軸まわりのモーメントを生ずる。さらに操作者のねじる動作によって Motor4 まわりのモーメントを生ずる。この様子を図1に示した。

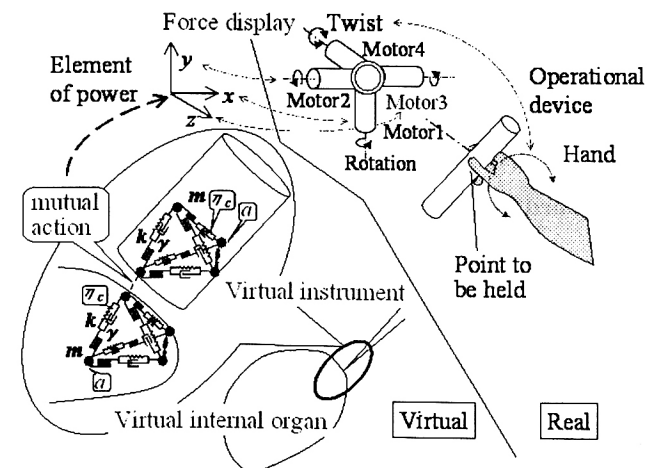


図1 臓器と器具間の相互作用に基づく力覚表示の概念

## 文 献

- [1] 本間, 若松: 仮想物体の変形破壊の研究を振り返って, 日本 VR 学会第 1 回力触覚の提示と計算研究会報告書, Vol.001, No.HDC01, 25-28, 2009
- [2] 本間, 若松: 粘弾塑性体モデルで表現した物体間の相互作用による破壊, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.7, 600-608, 2008.