

# 体積要素を用いた仮想レオロジー物体のモデリング

○徳本真一(立命館大学ロボティクス学科)  
平井慎一(立命館大学ロボティクス学科)

## Modeling of Virtual Rheological Objects Using Volume Element

\*Shinichi TOKUMOTO (Dept.Robotics, Ritsumeikan Univ.),  
Shinichi HIRAI (Dept.Robotics, Ritsumeikan Univ.)

**Abstract**—A new approach to the construction of virtual rheological objects is presented. Construction of virtual rheological objects has not been studied yet though various objects in real world show rheological nature in their deformation. Therefore, a method to construct virtual rheological objects according to actual objects is required to improve the reality in a virtual world.

First, we will select rheological elements appropriate for virtual rheological objects. Next, we will investigate the structures of virtual rheological objects. Then, we will introduce a volume element in order to express volume effect in the deformation of a real object. Finally, we will show simulation results of the constructed virtual rheological objects.

**Key Words:** Virtual, Rheology, Modeling

### 1. 緒言

現在, VR技術は多くの分野で利用され始めている. たとえば, 医療分野では, 血管や筋肉, 内臓などをVR上でモデル化することにより, インターンの外科手術教育用のシミュレーションとして利用されている. また, 極限作業のシミュレーションや, 新設住宅の居住性を評価するためのツールとして利用されている.

これらVR上の仮想物体はモデル化され, 触覚デバイスを用いることによって, 現実の物体に触れた時と同様の感覚をユーザーに提供することができる. VRの分野のモデリングに関する研究は多く行われているが, 剛体, もしくは弾性体のモデリングが多くを占めており, レオロジー物体のモデリングに関する研究はあまりなされていない. また, 形状変化を表す手法としてVoxelモデルが提案されている. しかし, Voxelモデルは幾何学的なモデルであり, 力学的特性は表現されていない. われわれが対象としているレオロジー物体は, 1) 残留変位が生じる, 2) 戻り変位が生じる, という特性を示しており, これらのモデルだけでは, この特性を表現するには不十分である.

本研究では, VRシステムで表現することができる, 仮想レオロジー物体のモデルを構築する. 本報告では, はじめにレオロジー物体の挙動を仮想空間上で再現するための, レオロジー要素を選定する. 次に仮想レオロジー物体を空間上に構築するための方法を示す. そして, より実際の物体の変形挙動に近づけるため, モデルに面積の効果を表現する面積要素を付加する. 最後に, 構築した仮想レオロジー物体モデルを用いて, シミュレーションを行い, その有効性を示す.

### 2. レオロジー要素

本節では, 仮想レオロジー物体に用いるレオロジー要素について検討する. 本研究で考えるレオロジー物体は, パン生地やピザ生地などの食品生地を対象とす

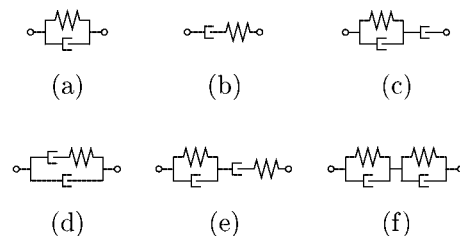


Fig.1 Rheological elements

る. これらのレオロジー物体の特性として,

- 残留変位が生じる
- 戻り変位が生じる
- 振動は減衰する

が挙げられる. 本研究におけるレオロジー物体モデルの変形は, 粘性要素と弾性要素を並列, または直列に結合した力学モデルにより表現される. 力学モデルの例を, Fig. 1に示す. これらの力学モデルの中で, 上記のレオロジー物体の特性を表現でき, その中で最も少ない要素数は, Fig. 1-(c)に示す3要素モデルである<sup>1)</sup>.

### 3. 格子構造モデリング

本節では, 前節で示したレオロジー要素を用いた, レオロジー物体モデルの構築法を示す. 3次元空間上にモデルを展開する場合, まず Fig. 2-(a)に示すように, レオロジー物体を単位長さにあわせて空間3軸方向に等間隔に分割する. 次に, 物体内部の格子点に, 質点を配置し, Fig. 2-(b)に示すように, すべての隣り合った質点間にレオロジー要素を配置する. すなわち, レオロジー要素は, 縦, 横, 斜め方向に配置される. 物体の変形は, 配置したレオロジー要素の変形によって表現することができる. このモデルを格子構造モデルと呼ぶ.

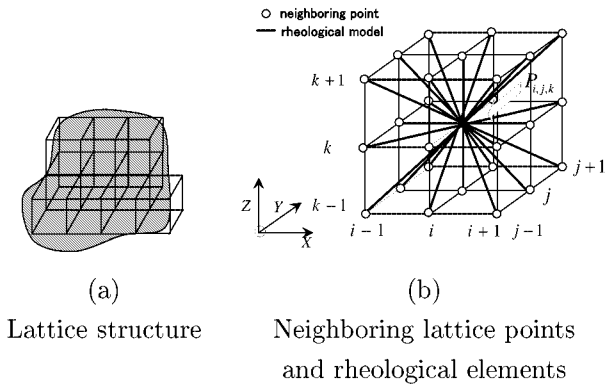


Fig.2 Lattice model of rheological object

#### 4. 体積要素の導入

前節で提案した格子構造モデルでは、物体の体積に対する変形を記述することはできない。この格子構造モデルの変形では、変形前と変形後の体積は異なってしまう。対象とするレオロジー物体は、一般に変形による体積変化が小さい。このようなレオロジー物体の変形を表現するためには、体積効果を表現することができる要素を、格子構造モデルに付加する必要がある。本研究では、体積に対して Fig. 3-(a) に示すように、体積変化に対して作用する力を定義し、モデル表面上の質点に作用する体積要素を導入する。体積要素として、Fig. 3-(b) に示すように体積に対する Voigt モデルを設定する。この要素は体積  $V$  に対して、次式の力をモデル表面上の質点に発生させる。

$$F_{vol} = -K_{vol}(V - V_{init}) - C_{vol}\dot{V} \quad (1)$$

ここで、 $V_{init}$  は初期の物体の体積である。

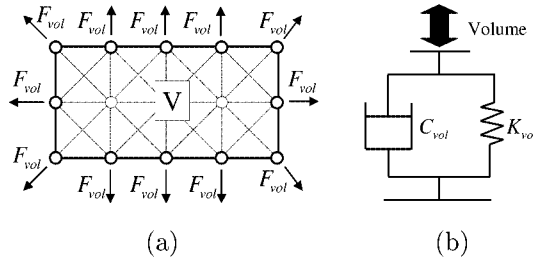
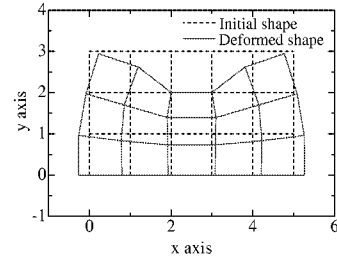


Fig.3 Volume element

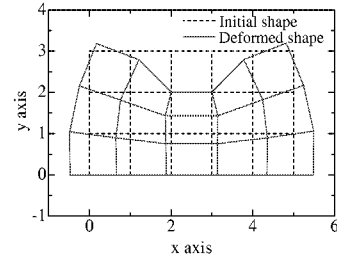
#### 5. 変形シミュレーション

本節では、前節で提案した体積要素を用いた格子構造モデルでの変形シミュレーションを示す。本報告では、2次元モデルを用いるため、体積要素は面積要素となる。2次元のモデルとして、 $6 \times 4$  の質点から成る格子構造を構築する。レオロジー要素は、全ての隣り合った質点間に配置される。さらに、モデルの表面の質点、このモデルでは16個にあたる質点にのみ、面積要素による力が作用する。ここで、押し付けによる物体の変形をシミュレーションするために、モデルの中央上部2点に対して下方方向に強制変位を与える。2点を1秒間に速度  $1 \text{ unit/s}$  で強制的に下に押し下げ、30秒間その状態を保つ。

Fig. 4-(a) に、格子構造モデルのみの変形シミュレーション ( $t = 30[\text{sec}]$ ) の結果を示す。また、Fig. 4-(b) には、格子構造モデルと面積要素を合わせたモデルの変形シミュレーション ( $t = 50[\text{sec}]$ ) の結果を示す。さらに、Fig. 5に、Fig. 4-(a) に示す格子構造モデルと、Fig. 4-(b) に示す面積要素を加えた格子構造モデルのシミュレーション時の面積の推移を示す。図中の破線が格子構造モデルのみ、実線が面積要素を加えた格子構造モデルの面積の推移を示す。これらの図からわかるように、格子構造モデルのみでは、元の面積に戻ることはないが、面積要素を加えた格子構造モデルの場合、元の面積に戻る事がわかる。



(a) Lattice structure model



(b) Lattice structure model with area element

Fig.4 Results of deformational simulation

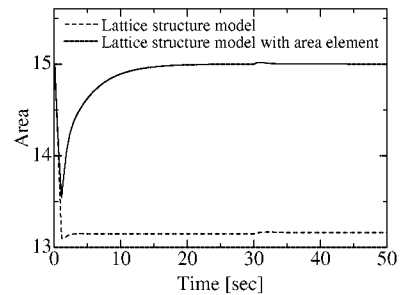


Fig.5 Transition of area

#### 6. 結言

本研究では、格子構造モデルにおいて、変形によって体積が定期的に変化してしまうことを改善するため、体積要素を提案し、定期的な物体の体積を一定にすることが可能であることを示した。今後は、このモデルが妥当であるかを実物体の変形から検証する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 徳本真一, 平井慎一: 形状制御のためのレオロジー物体の変形モデリング, 日本ロボット学会誌, 18, 8, pp.1141-1148 (2000).