

レオロジー物体の動的変形シミュレーション

はじめに

平井研究室は、立命館大学ロボティクス学科に所属しています。研究課題のひとつが、柔らかい物体のモデリングとハンドリングです。数年前からレオロジー物体の変形シミュレーションに関する研究を進めていますので、紹介させていただきます。パン生地やピザ生地、ゼリーなどのように、レオロジー的な変形特性を示す物体の三次元変形を、コンピュータ上で実現しようとしています。食品生地の成形のシミュレーション、ゼリーや餅を噛むときの圧力分布のシミュレーション、麺打ちや陶芸のシミュレーションなど、広い範囲に適用できると考えています。

レオロジー物体とは何でしょうか。

私たちは、レオロジー的な変形特性を示す物体をレオロジー物体とよんでいます。図1のように指で物体を押して変形させた後、指を離します。弾性物体は、もとの形状に完全に戻ります。塑性物体は、変形後の形状のままです。レオロジー物体は、これらの中間的な変形を示します。パン生地やピザ生地、ゼリー、生体組織がその典型例ですので、皆様には馴染みが深いと思います。

動的変形シミュレーションとは何をやるのですか。

われわれの研究室では、レオロジー物体の変形をコンピュータ上で表そうとしています。たとえば、図2(a)のようにローラで食品生地を成型する過程を、コンピュータで計算して、計算した変形を図2(b)のようにディスプレイ上に表します。また、レオロジー物体に触ったときの感覚を、ハプティックディスプレイとよばれる機械で人に提示することを試んでいます。このように、変形の形状や変形に伴う力を計算することを、変形シミュレーションとよびます。われわれの手法では、時々刻々変化する形状や力を、時間とともに計算していますので、動的な変形シミュレーションとよびます。

どのようにしてレオロジー物体の変形を表しているのですか。

格子モデリング法とよばれる手法を用いています。図3(a)に示すように、物体の三次元形状を四面体の組み合わせで表します。これをトラス構造とよびます。質点を四面体の頂点に、図3(b)に示す三要素モデルを四面体の稜線に配置します。三要素モデルでは、バネ(k_1)とダンパー(b_1)を並列に結合した部分で弾性変形を、それに直列につながっているダンパー(b_2)で塑性変形を表します。結果として、三要素モデルは、弾性変形と塑性変形の中間的な変形であるレオロジー変形を表すことができます。また、三要素モデルは、レオロジー変形を表す最も簡単なモデルです。

質点と三要素モデルの運動方程式をコンピュータで解くことにより、レオロジー物体の変形を求めています。図2に示す生地の成形では、ローラと生地、生地とテーブルが接触して摩擦力や粘着力が発生します。このような力も運動方程式に入れて、レオロジー物体の変形を計算します。図2に示す生地の成形過程は、このようにして計算しました。この

シミュレーションでは、図2(c)に示すように、ローラの出口側で生地が膨らむ様子が表されています。

なぜこのような研究をしているのですか。

以前、食品生地の自動成型を研究していました。そのときに、レオロジー物体の変形計算の必要性を痛感しました。レオロジーの教科書には、一次元の変形を表す方法が説明されていますが、三次元の変形を表す方法は載っていません。また、コンピュータグラフィックスでは、弾性物体や塑性物体の変形に関する研究が盛んに行われていますが、意外なことにレオロジー物体の変形に関する研究はありませんでした。それで、二年ほど前からこの研究を始めました。

どのようなことができるのでしょうか。

まずは、パン生地やピザ生地の成形過程をシミュレーションすることが可能です。また、ゼリーや餅を噛むときの口内や喉での圧力分布をシミュレーションすることができると考えています。最終的には、麺打ちや陶芸のシミュレーションができれば、面白いと考えています。

今後の課題は何でしょうか。

コンピュータ上で変形をシミュレーションするためには、実際のレオロジー物体の変形特性を数値で表す必要があります。これをモデル同定といいます。実際の物体と同じになるように、コンピュータ内の物体の特性を定めるということです。課題のひとつは、このモデル同定です。パン生地を押したり、ひねったりして、指先に感じる微妙な力や変形の様子から、人はパン生地の柔らかさを知ることができます。モデル同定においても、変形や力を計測して、その計測データから変形特性を求めます。変形や力の計測の方法と変形特性の推定の手法が、ともに研究課題です。

もうひとつの課題は、計算の高速化です。変形を細かく表すためには、四面体の数を増やす必要があります。ただし、四面体の数を増やすと、計算時間が急速に増えます。現在は、FPGAという特殊なLSIに変形を計算する回路を作成し、計算時間を短くしようと試みています。

最後に

詳しいことは、次のウェブサイトをご覧ください。特に、参考資料の欄にある動画をご覧ください。ご意見を頂ければ幸いです。

<http://www.ritsumeai.ac.jp/se/~hirai/research/vro-j.html>

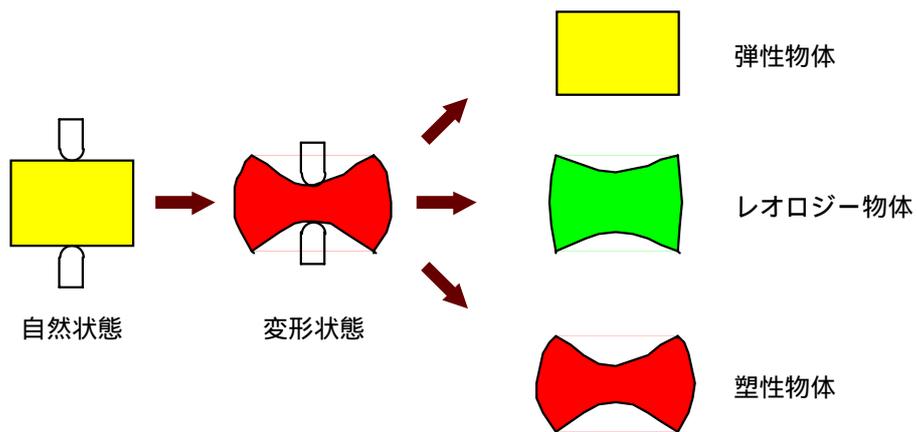
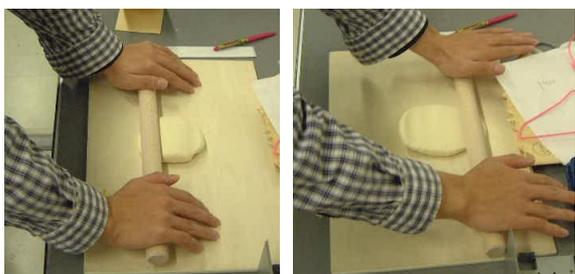
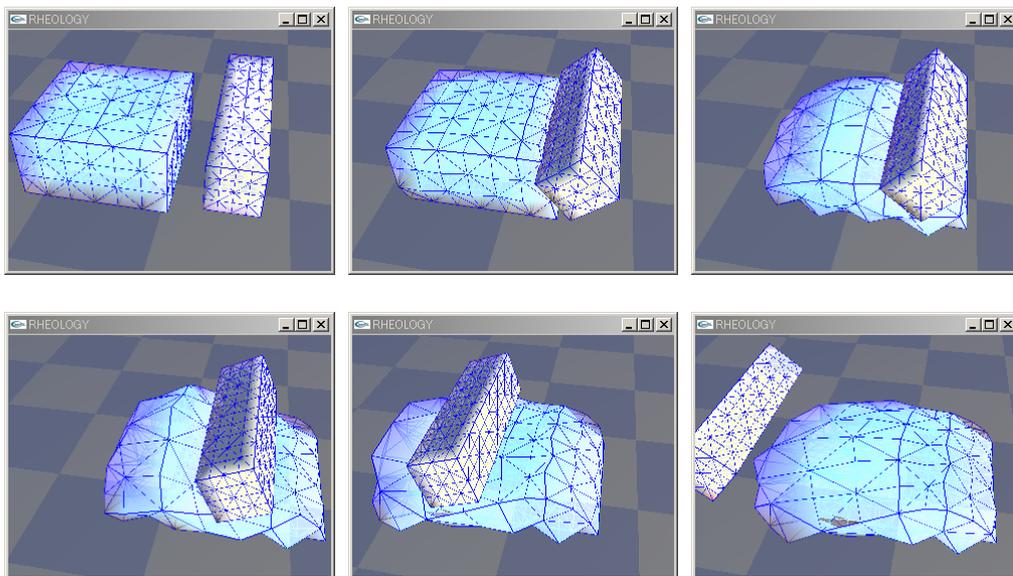


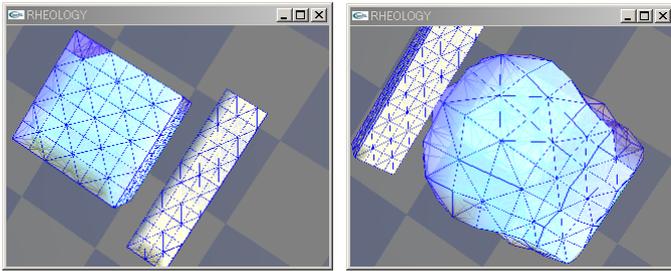
図1 レオロジー物体



(a) 人による成形

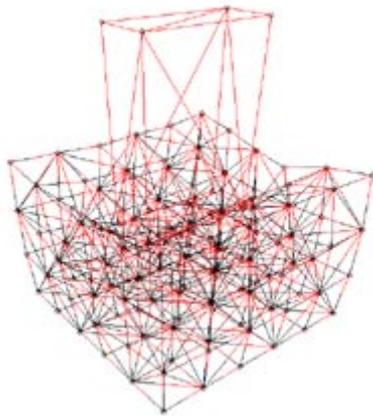


(b) コンピュータ内での成形

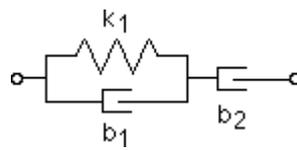


(c) 初期形状と最終形状

図2 生地成型過程のシミュレーション



(a) トラス構造



(b) 三要素モデル

図3 格子モデリング