

# 格子モデルを用いた粘弾性物体のモデリングとその成形作業過程の解析

## Modeling of Viscoelastic Objects Using Lattice Structure Approach and Analysis of their Shaping Process

徳本真一 藤田欣晃 平井慎一

(立命館大学 ロボティクス学科)

Shinichi Tokumoto, Yoshiaki Fujita, and Shinichi Hirai

Ritsumeikan University, Noji-higashi 1-1-1, Kusatsu, Shiga 525-8577

A new machine for deforming viscoelastic objects is presented. First, deforming process of viscoelastic objects is investigated. Second, a new mechanism is developed to realize deforming process of viscoelastic objects. Finally, modeling of viscoelastic objects is proposed so that the deforming process can be simulated in advance.

*Key Words:* deforming machine, modeling, viscoelasticity, deformation, four element model

### 1. 緒言

現在、様々な分野において、粘弾性物体を扱う作業が存在する。たとえば、食品の製造現場では、パン生地、ピザ生地、プリン、ゼリーなど粘弾性を有する物体が多く扱われている。医療分野では、生体をハンドリングする作業がある。特に、物体を大きく変形させる成形作業においては、人間によって行われている部分が多い。たとえば、少量生産のピザ生地を成形する工程では、生地を平らに伸ばし、円形にしなければならない。現在、生地を伸ばす機械は開発されている。この機械は、最終的な成形を行うことができない。最終的な成形は、人間によって行われている。一方、食品や生体を対象とする作業は、コスト面や衛生面から自動化が望まれている。

本報告では、ピザ生地の成形作業を対象とし、成形作業の自動化について考察する。まず粘弾性物体を成形する機械のメカニズムを提案する。次に、粘弾性物体の形状を計測する方法を提案する。また、粘弾性物体のモデリング手法を示し、成形過程の2次元シミュレーション結果を述べる。

### 2. 粘弾性物体の成形作業

今回、粘弾性物体としてピザ生地を対象とする。ピザ生地の特徴として粘性・弾性があるため時々刻々と形状が変化すること、主原料が小麦粉と水のため個々の特性にばらつきがあることが挙げられる。また温度・湿度によっても、特性が変化する。したがってFig.1に示すような専用機械では、ローラーとテーブルの位置関係が固定

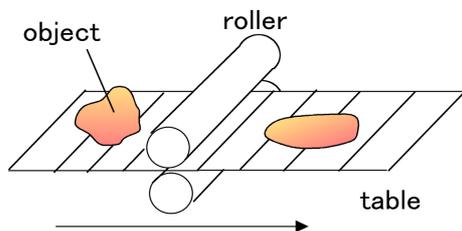


Fig.1 Traditional deforming machine

されており、成形作業の自動化は難しい。そこで、自動化を実現するためには、ローラーとテーブルの間隔とローラーの傾きの変化ならびにテーブルの回転と往復を実現するメカニズムが必要である。また粘弾性物体の3次元形状計測、計測結果を用いてメカニズムの動作を決定する制御則が必要である。この制御則を得るため、粘弾性物体モデルとモデルを用いた成形工程のシミュレーションを行う必要がある。

### 3. 粘弾性物体成形機械のメカニズム

成形機械のメカニズムに望まれることは、多様な形状・特性に対応するメカニズムである。そこで、本報告では、Fig.2に示すメカニズムを提案する。このメカニズムは、ローラーとテーブルの間隔、ローラーの傾きを変えられることができ、テーブルの回転運動と往復運動を実行できる。

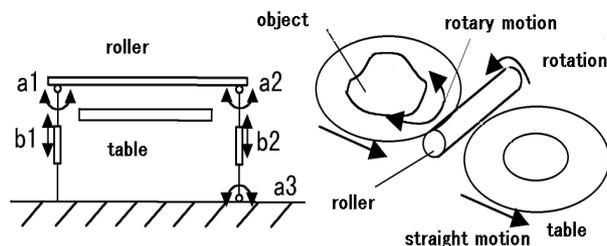


Fig.2 Mechanism of new deforming machine

ローラー部は、回転ジョイント  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  と伸縮ジョイント  $b_1$ ,  $b_2$  からなる。これらにより、ローラーの傾き、ローラーとテーブルの間隔を調節する。またテーブル部は、テーブルを回転させる部分とテーブルを前後させる部分からなる。2つの機構により、テーブル上の物体を全方向より、伸ばすことが可能になる。また、テーブルの往復運動を行い、複数回伸ばすことができる。この基本メカニズムを持つ機械の試作品をFig.3に示す。

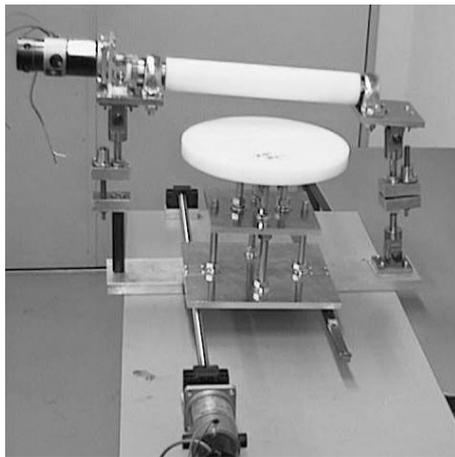


Fig.3 Proto type of new deforming machine

#### 4. 粘弾性物体の形状計測

成形作業を制御するためには、ローラーに物体を通す前と後で対象物の3次元形状を計測しなければならない。そこで、Fig.4のような機構を提案する。レーザー変位センサを用いて、センサヘッドから物体表面までの距離計測を行う。センサヘッドを前後左右に動かし、対象物の3次元形状を求めることができる。

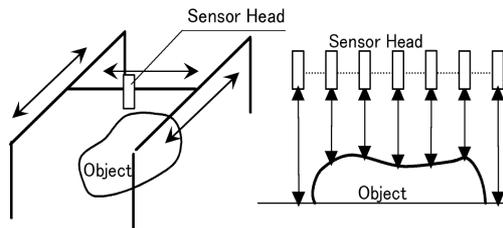


Fig.4 Measurement of 3D deformation

#### 5. 粘弾性物体のモデリング

本研究では、材料の粘弾性特性を、Fig.5に示す、4要素モデルで表す。ここで、 $K_1, K_2$ はバネ係数、 $C_1, C_2$ はダンパー係数、 $M$ は質量である。このモデルは、VoigtモデルとMaxwellモデルを直列に結合したものである。

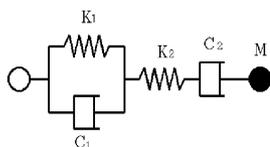


Fig.5 Four element model

粘弾性物体は、4要素モデルを用いた格子構造モデルで表す<sup>(1)</sup>。格子構造モデルでは、Fig.6に示すように、物体を等間隔に分割し、物体内部の格子点を配置する。そして、すべての隣り合った質点間に4要素モデルを配置する。これにより、物体の粘弾性特性は、各質点間に置かれた4要素モデルにより表現できる。

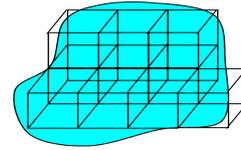


Fig.6 Lattice model of viscoelastic object

#### 6. 成形工程の2次元シミュレーション

成形工程での制御のためには、3次元変形のシミュレーションが必要である。本報告では、シミュレーションの妥当性を見るために、2次元変形のシミュレーションを行う。Fig.7に示すように、粘弾性物体は、回転するローラーによって成形される。シミュレーションにおいては、粘弾性物体を、4要素モデルの格子構造によりモデル化する。ローラーは半径1とし、回転角速度  $\omega = 1$  (rad/sec) で回転しながら、初期位置  $(-1.1, 5.1)$  から、 $x$ 方向に  $V = 0.4$  (/sec) の速度で移動する。このシミュレーション結果を、Fig.8に示す。破線が初期状態、実線が変形後の定常状態を示す。

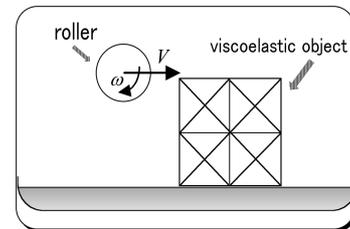


Fig.7 Deforming of viscoelastic object by roller

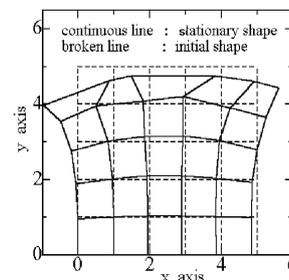


Fig.8 Simulation result

#### 7. 結言

今回、粘弾性物体の成形機械のメカニズム、計測方法を提案した。また粘弾性物体の基本モデルを用いて、2次元の成形工程シミュレーションを行った。今後は、3次元の成形工程シミュレーションを行い、生地成形作業の方策を確立する。そして成形機械を用いて、検証を行う。

#### 【参考文献】

- (1) 徳本真一 藤田欣晃 平井慎一：形状制御のための粘弾性物体の変形モデリング、第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.1545-1546，1998