

変形推移グラフを用いたレオロジー物体の成形

Forming of Rheological Objects Using Deformation Transition Graphs

徳本 真一 齋藤 拓哉 平井 慎一

(立命館大学 ロボティクス学科)

Shinichi Tokumoto, Takuya Saito and Shinichi Hirai

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

Abstract: Manipulative operations of rheological objects can be found in many industrial fields. In this paper, deformation transition graphs are proposed for the forming operations of rheological objects. First, we will propose deformation transition graphs. Second, we will propose a new method of generating deformation transition graphs using similitude degree. We will then propose how to compute similitude degree.

Key words: rheology, manufacturing, forming machine, deformation.

1.始めに

現在、食品産業を始めとする様々な分野において、レオロジー物体を扱う作業が存在する。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。これらの作業は、コスト面や衛生面から自動化が望まれている。

著者らは、レオロジー物体の成形プロセスを変形推移グラフで表し、このグラフを用いて成形作業を制御する手法を提案した[1]。変形推移グラフの生成および成形作業の制御においては、変形形状どうしの類似度を定量的に評価する必要がある。本報告ではレオロジー物体の類似度の計算法について述べる。

2.変形推移グラフ

レオロジー物体は材料の非均一性、特性の変化が著しく、定量的なシミュレーションは必ずしも必要ではない。むしろ、成形制御則と変形形状との関係を定性的に示すことができれば、それを用いて一連の成形作業を計画することができる。そこでレオロジー物体の成形過程を定性的に表現する。この時、レオロジー物体の変形形状をノードで表し、成形機械の動作をグラフのアーキで表す。これを変形推移グラフと呼ぶ。変形推移グラフの一例を Fig.1 に示す。

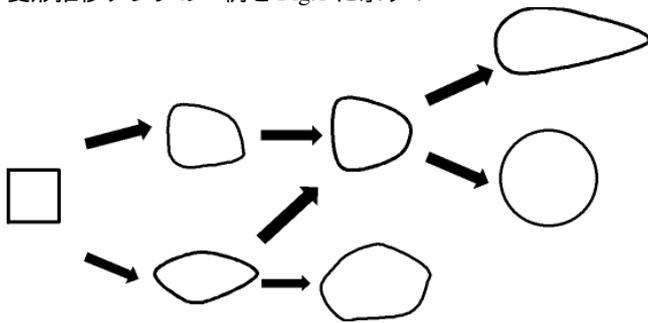


Fig.1 Deformation transition graph

変形形状グラフの生成、ならびに、変形推移グラフを用いた成形制御においては、二つの変形形状の近さの指標が必要である。これを、類似度と呼ぶ。

3.レオロジー物体の類似度

成形作業の場合、形状が問題であり、大きさは問題ではない。したがって、二つの形状が合同である場合、また相似の

場合類似度は0であると定める。二つの形状を比較するため形状をカメラから入力する。その時、二つの形状には、位置・姿勢の違い、大きさの違いがある。それぞれの形状に対して位置・姿勢の違い、大きさの違いを取り除く前処理を行う必要がある。

【前処理の手順】

2 値化処理

変形形状の重心を算出 (位置の計算)

輪郭グラフを計算 (姿勢と拡大率の計算)

以下各手順について述べる。

【重心座標の計算】

格子点 (i, j) における輝度値を $mat(i, j)$ とする。重心座標 (x_g, y_g) は次式で計算できる。

$$x_g = \frac{m_x}{w}, \quad y_g = \frac{m_y}{w}$$

ここで、

$$m_x = \sum_{j=1}^{i_{\max}} \sum_{i=1}^{i_{\max}} i \times mat(i, j), \quad m_y = \sum_{j=1}^{i_{\max}} \sum_{i=1}^{i_{\max}} j \times mat(i, j),$$

$$w = \sum_{j=1}^{i_{\max}} \sum_{i=1}^{i_{\max}} mat(i, j).$$

【輪郭グラフの計算】

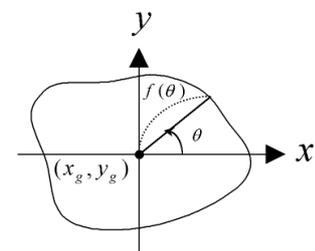


Fig.2 Outline graph

Fig.2 に示すように、 x 軸から角度 θ の方向において重心から物体の輪郭までの距離を $f(\theta)$ で表す。物体の輪郭は、関数 $f(\theta)$ ($0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$) で与えられる。これを変形形状の輪郭グラフと呼ぶ。

物体の拡大率を求めるために、輪郭グラフ $f(\theta)$ の平均値

\bar{f} を求める。すなわち、

$$\bar{f} = \frac{1}{360} \sum_{\theta=1}^{360} f(\theta)$$

形状の大きさの基準を $base$ で表す。形状の拡大率を一定にするためには、輪郭グラフに $base/\bar{f}$ を乗じ、その平均値を $base$ に一致させればよい。さらに、 $base$ を減じ、平均値を 0 に一致させる。すなわち、次式を計算する。

$$F(\theta) = f(\theta) \frac{base}{\bar{f}} - base$$

関数 $F(\theta)$ を正規化輪郭グラフと呼ぶ。姿勢が等しい相似形状の正規化輪郭グラフは一致する。次に、変形形状の姿勢を求める。二つの形状の正規化輪郭グラフを $F(\theta)$ 、 $G(\theta)$ とする。ここで、次式で与えられる関数 $\sigma(\tau)$ ($0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$) を計算する。

$$\sigma(\tau) = \sum_{\theta=1}^{360} \{F(\theta + \tau) - G(\theta)\}^2$$

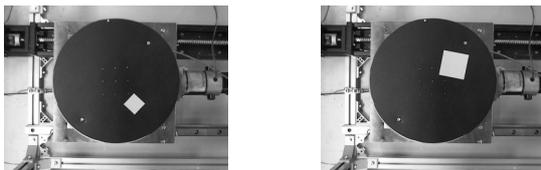
二つの変形形状が相似である場合、 $\sigma(\tau) = 0$ となる τ が存在する。この τ の値が姿勢角に等しい。

関数 $\sigma(\tau)$ は $\tau = \tau_{min}$ で最小値 $\sigma_{min} = \sigma(\tau_{min})$ をとるとする。この σ_{min} を二つの形状の類似度と定義する。また、 τ_{min} が姿勢角である二つの形状が相似であるときは、類似度は 0 である。二つの形状が似ているほど、類似度は小さい。

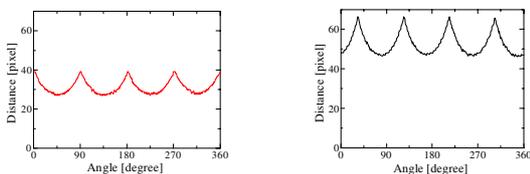
4. 実験

本節では、類似度の計算結果を示す。

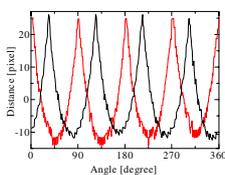
Fig.3-(a),(b) に示す一辺 3cm の正方形と一辺 5cm の正方形の類似度を求める。輪郭グラフを Fig.3-(c),(d) に示す。横軸は角度、縦軸は重心からの距離を表す。距離はピクセル単位 (1 ピクセル=0.52mm) で表す。正規化輪郭グラフを Fig.3-(e) に示す。ここでは、 $base=100$ である。類似度を計算した結果、 $\sigma_{min}=1028$ が得られた。



(a) Square of side 3cm (b) Square of side 5cm



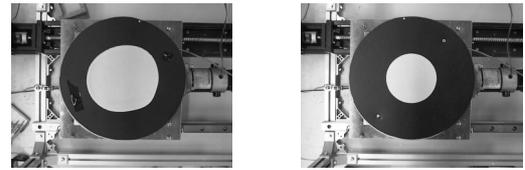
(c) Outline graph from (a) (d) Outline graph from (b)



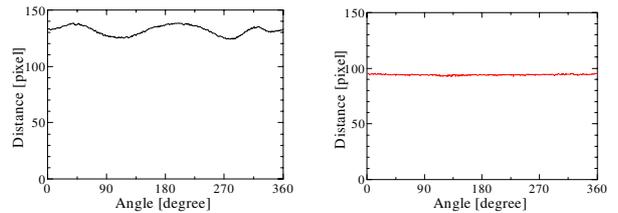
(e) Normalized outline graphs

Fig.3 Comparison of two squares

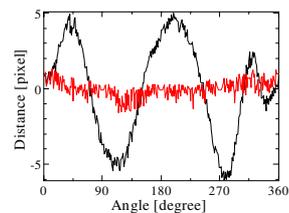
Fig.4-(a),(b) に示す成形した生地と、直径 10cm の円の類似度を求める。同様の手順で、類似度を計算した結果 $\sigma_{min}=3542$ が得られた。



(a) Formed rheology object (b) Circle of 10cm in the diameter



(c) Outline graph from (a) (d) Outline graph from (b)



(e) Normalized outline graphs

Fig.4 Comparison of formed rheology object and circle

なお、正方形と円に対して、同様の手順で類似度を計算した結果 $\sigma_{min}=40397$ が得られた。

これらの数値から、二つの物体の形状が異なっているとき、数値のオーダーが一桁異なることがわかる。そこで、類似度が 5000 以下であるならば、二つの物体形状は類似しているとみなす。

5. 終わりに

実験結果に示すように、二つの物体の類似性を数値的に表すことができた。今後、類似度を用いて変形推移グラフを作成する。次に変形推移グラフを用いて、成形制御を行う。

【参考文献】

[1] 藤田, 徳本, 平井. “レオロジー物体の変形形状グラフ” 第 17 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp77-78, 1999