

3次元入力デバイスを用いたガラス細工体験システム

A Simulated System of Glasswork Using Haptic Device.

瀬田 陽平[†]
Youhei Seta

渡辺 大地[‡]
Taichi Watanabe

1 はじめに

近年、CG技術の発展に伴い3DCGグラフィックスを用いた様々な表現の開発が盛んである。バーチャルリアリティ技術を利用した仮想粘土細工システム、仮想陶芸体験システム、仮想ガラス細工体験システム等現実世界の様々な技法を擬似的に体感可能なシステムの需要は高まっている。その中でも、ガラス細工の体験システムに着目した。既存のガラス細工体験システムにおいて高温状態のガラスの持つ粘性変化の特性を考慮した変形については実現されていなかった。しかし、ガラス細工の一手法であるバーナーワーク [1] では粘性変化の特性を利用することで任意の形状を作り出すため、この特性の表現は不可欠であるといえる。

そこで本研究ではガラスの粘性変化の特性を考慮したバーナーワークのひき伸ばし変形について実現することを目的とする。本手法では球メタボール [2] と円錐メタボールの組み合わせによるガラス変形モデルを提案し、現実のバーナーワークにおいて確認される任意の長さをもつ突起形状を再現することで本手法の有効性を検証した。

2 バーナーワークとは

今回シミュレーションするバーナーワークとはバーナーの炎によってガラスを加熱し、ピンセット等を用いて成形を行うガラス細工技法である。高温のガラスの特性として一般的に温度低下により粘性は上昇し固体に近づき、また温度上昇により粘性は低下し液体に近づく。もうひとつの特性としてひずみ速度による粘性の変化も存在する。ひずみ速度とはガラスの形状が変化する際、隣接する分子同士の位置がずれて移動する速度であり、これが上昇し、ある一定を超えるとガラスの粘性が低下す

る。バーナーワーク職人はこれらの粘性変化の特性を利用して、様々な形状を作り出している。ひき伸ばしに関して言えば、短い突起、長い突起、短く丸い突起、長く丸い突起を任意に使い分けて成形している。このことからガラス細工では粘性の変化と生成可能な形状には重要な関係が存在するといえる。バーナーワークをシミュレーションするにあたり上記の特性を考慮することは不可欠であると考え、粘性が高い状態ではガラスが分裂せず長く伸びるという表現を行い、熱とひずみ速度による粘性の変化を考慮したひき伸ばし変形が可能なガラス細工シミュレーションを提案する。

3 提案手法

バーナーワークにおけるガラス形状は細長く伸びて変形し、ある一定長を超えると分裂し突起を形成する。このような特徴を再現するためメタボールによる形状表現を行った。

3.1 メタボールとは

メタボールは濃度分布により形状を定義する3Dモデルの表現手法である。その性質上滑らかな変形・分裂に適しているといえ、ガラスの滑らかな曲面と分裂するという性質を表現するためメタボールを採用した。

3.2 メタボールを用いたガラス変形モデル

本研究で用いるガラス変形モデルは丸みを帯びた部分を表す球メタボールと、突起部分を表す円錐メタボールにより表現する。一般的な球のメタボール濃度値は中心点からの距離場関数を用い求める。円錐メタボールの濃度値は式 (3.1) により求める。

$$M(\mathbf{A}) = \left(1 - \left(\frac{|\mathbf{A} - \mathbf{A}'|}{b(1-c)}\right)^2\right)^2 D \quad (3.1)$$

ある地点 \mathbf{A} が、 b を底面の半径、 \mathbf{P}_0 を底面の中心点、 \mathbf{P}_1 を頂点とする円錐領域内に存在するとき、式 (3.1) を用いて濃度値を求める。 \mathbf{A} が円錐領域外ならば濃度値は0とする。 $M(\mathbf{A})$ は地点 \mathbf{A} での濃度値、 \mathbf{A}' は、 \mathbf{A} から \mathbf{P}_0 と \mathbf{P}_1 を通る直線への垂線の足を表す。 c は \mathbf{P}_0 と \mathbf{P}_1

[†] 東京工科大学大学院

Tokyo University of Technology Graduate School

[‡] 東京工科大学メディア学部

Tokyo University of Technology School of Media Science

を結ぶ線分の内分点 A' を表す補間係数である。 D は円錐底面の中心点での濃度値をそれぞれ表している。

上式により求めた円錐と球の濃度分布を用い、濃度閾値 t との比較を行いメタボールの表面形状を生成した。また t はあらかじめ設定した定数である。

3.3 円錐メタボールの変形による粘性表現

バーナーワークのひき伸ばし操作を行うため、本手法では3次元入力デバイスを用い選択した任意の3次元位置をデバイス操作により入力可能とした。操作を行うため最初に入力した3次元位置にひき伸ばし変形の基準点 P_A を生成し、 P_A は移動しないとす。その後デバイス入力位置上に操作点 P_B を生成し、入力継続中 P_B はデバイス操作に追従するとす。このとき前項で定義した球メタボールを P_A 、および P_B を中心点とし生成する。また円錐メタボールは P_A と P_B を通る直線を軸とし、円錐底面の中心点は P_A 、および P_B へそれぞれ設定し、円錐頂点は反対側の球メタボールの中心点へ設定し生成する。

図1、図2は変形操作中の球メタボールと円錐メタボールの配置図である。

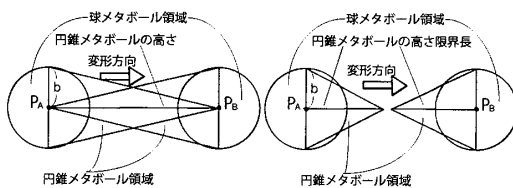


図1 高粘性時の配置図 図2 低粘性時の配置図

配置した P_B を中心点とするメタボールはデバイス操作に追従し移動するため、変形操作が可能となる。操作点メタボールが離れるにつれ二つの円錐メタボールの高さも伸びる。本手法ではこの伸びの上限を設定し高さ限界長とし、高さ限界長は後述する粘性値によって変動するとす。粘性値が高いほど高さ限界長は長く、粘性値が低いほど高さ限界長は短くなる。二つの球メタボールの中心点の距離 $|P_A - P_B|$ が円錐メタボールの高さ限界長未満である場合、円錐メタボールの高さは $|P_A - P_B|$ と等しくなる。また円錐メタボールの限界長以上に二つの球メタボールが離れた場合、円錐メタボールの高さは高さ限界長と等しくなる。デバイス操作により離れた中心点の距離が円錐メタボールの高さの2倍かつ、球メタボールの影響半径の2倍より大きいとき、ガラスモデルは分離したと判断し、操作点側の球メタボールおよび円錐メタボールを削除する。これによりその時点での円錐メ

タボールの高さを持つ突起が基準点上に生成できる。またデバイス操作をガラスモデルが接続している状態で終了すれば、その時点の高さを持つ丸みを帯びた突起ができる。このように円錐メタボールの高さ限界長の変動を用いこれをガラスの粘性表現とした。

3.4 粘性値の設定

円錐メタボールの高さ限界長の設定に用いる粘性値は、ガラスの特性を考慮し、温度値とガラスのひずみ速度により決定する。温度値は個々のメタボールごとに与え、デバイス操作により任意に上昇可能とした。デバイス入力速度をタイムステップあたりの移動量から算出し、それをガラスのひずみ速度とした。温度値により粘性値は増減する。さらにガラスのひずみ速度により増減する係数を乗算し粘性値を決定する。また現実のガラスの熱伝導は考慮せず、時間経過によって個々の温度値は一定値ずつ減少するとす。

4 検証

本手法を C++ で実装し、検証を行った。ひき伸ばし操作を行い短い突起、長い突起、短く丸い突起、長く丸い突起を任意に生成可能なことが確認できた。生成した形状と実際のガラス細工との比較を行い、ある程度の形状の再現が確認できた。しかし、今回は重力によるたれなどは考慮していないため、長い突起を作った際の変形時の形状が大きく異なっていた。

5 まとめ

球メタボールと円錐メタボールのガラス変形モデルを提案し、円錐メタボールの高さ限界長の増減による粘性表現を実現した。これを用い任意の長さや形状の突起の成形に成功した。これによりバーナーワークのひき伸ばし操作における、熱とひずみ速度による粘性変化の特性を擬似的に考慮したガラス変形モデルを実現した。今後は粘性値の設定を調節し力覚フィードバックとの組み合わせを行い、現実に近い操作感を目指していきたい。

参考文献

- [1] 松村潔, "バーナーワーク 酸素バーナーを使った耐熱ガラス工房", ほるぷ出版, (2007).
- [2] JAMES F. BLINN, "A Generalization Drawing of Algebraic Surface", ACM Transactions on Graphics, Vol. 1, No. 3, (1982).