

# VR 調理学習システムにおける調理容器の部分球形状への拡張

Partial Sphere Container as Chinese Pan with Convex Bottom for VR Cooking System

石原逸貴<sup>1)</sup>, 舟橋健司<sup>2)</sup>

Toshiki Ishihara and Kenji Funahashi

1) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, ishihara@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

**Abstract :** We have been proposed a manipulation model for a group of individual bodies (GIB) for VR cooking system. The GIB represents a mass of small solid bodies (such as rice and sand) and it is treated as one object in a container with flat bottom in our model. In this paper, we enable to use a chinese pan that shape is partial sphere. The shape of the GIB has been represented as a height field, and the shape of the container is also represented as a height field in our new model. The purpose of GIB manipulation model is to apply for and realize home use VR system. So interactive simulation process is more necessary than exact behavior.

**Key Words:** *VR cooking system, interactive manipulation, a group of individual bodies, transformation surface, partial sphere container*

## 1. はじめに

料理（調理）は、誰もが行う一般的な行為であるが、火や刃物などを扱うなど危険性のある行為でもある。また技術の向上のため練習や訓練が重要であるが、環境・素材の準備などが煩雑である。そのため VR の分野でも料理の学習・訓練を目的とした研究が進められている [1]。

当研究室でも VR 調理学習システム「バーチャルお料理教室」の研究・開発を行っている。この研究では、一般的な料理の一連の流れを学習できるシステム構築を目指している。これまでに加熱調理容器（フライパン）で食材を扱う操作モデルを提案している。食材は米や野菜・肉の食材片といった細かな固体の集まりを想定している。このような細かな固体の集まりに関する研究もあるが（例えば砂 [2] や溶岩 [3]）、リアルタイムでの操作や大域的な操作には対応していない。

当研究室では、細かな固体の集合であり、かつ人が個々の固体の挙動に注目するのではなく全体をひとまとまりの対象として扱うものを固体群と呼び、固体群に影響する力を大域的に考えることで簡易かつ高速に挙動を計算する固体群操作モデルを提案している [4][5]。実験システムにおいて操作者が固体群の入った容器を傾けたり振ったりした時に、固体群の表面形状を変化させることにより、固体群の容器内での移動を表現する。

従来の固体群操作モデルでは、固体群を操作する調理容

器は一般的なフライパンを簡略化した多角柱形状容器（容器の底部が多角形であり側面が垂直な形状）を想定している。多角柱形状容器は容器底部が平面であるため、容器を傾けた時に容器内固体群に影響する重力の大きさと方向が容器内の任意の位置で等しい。このことを利用して操作モデルを簡略化し、また底部平面に固体群の各位置における高さを表すハイトフィールドを定義し、少ない計算量での操作を実現している。しかし、一般的な調理容器には、中華鍋のような容器底部に丸みを帯びた形のものもある。そこで本論文では、部分球形状により表現する容器モデルを導入し、このような丸みを帯びた調理容器による固体群操作モデルを提案する。本モデルでは固体群を表現する従来のハイトフィールドに加え、容器形状を表現する新たなハイトフィールドも定義する。その上で曲面形状の底部から固体群がどのような影響を受けるのか考察し、挙動表現モデルを構築する。以下 2 節では従来の固体群操作モデルの概要、3 節では容器の部分球形状への拡張手法、4 節では実験とその結果を述べる。

## 2. 従来モデルの概要

### 2.1 多角柱形状調理容器

従来の、フライパンを想定した多角柱形状の調理容器（多角柱容器）は、多角形平面の底部と、高さ  $h$  の垂直な壁により構成される。また底部平面に二次元格子ハイトフィールド

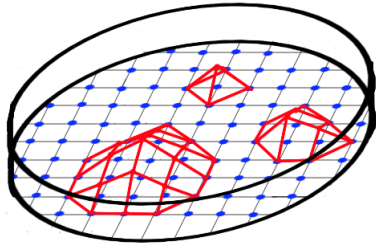


図 1: 多角柱容器における固体群表現

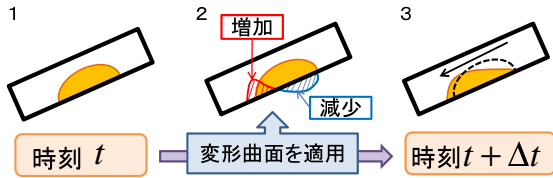


図 2: 変形曲面による固体群変形の過程

を定義し、固体群全体の形状、およびその変化としての挙動を各格子の値により表現している（図 1）。ハイトフィールドの座標  $(x_i, z_j)$  における固体群の高さ  $h(x_i, z_j)$  より求まる、その格子における固体群の体積を  $f(x_i, z_j)$  とすると、容器内固体群の総体積  $V$  は、ハイトフィールドの格子数を  $n$  として次式により求められる。

$$V = \sum^n f(x_i, z_j) \quad (1)$$

## 2.2 変形曲面による固体群の挙動

固体群の挙動、すなわち各固体の移動を、固体群の形状変化と考える。このハイトフィールドの変化分を、変形を表す曲面ということで変形曲面と定義する。例えば容器を横からみた断面図において、図 2-1 のように固体群が存在している場合、容器を傾けるとその底面下方向に移動することが期待される。そこで、図 2-2 のように正、負の変形曲面を適用する。すなわち、もとの固体群高さに足し合わせる。時刻  $t + \Delta t$  では図 2-3 のような形状となり、固体群の移動を表現する。

変形曲面の形状を求めることは容易ではないため、実験システムでは変形曲面の適用を段階的にわけることで処理を実現している。具体的には、図 3-1 において時刻  $t$  で容器内中央部に存在する固体群は容器を傾けることで重力の分力を受け、容器内を移動する。そこで、半楕円柱形状の正の変形曲面を図 3-2 のように適用する。さらに、図 3-3 のように全体の体積が元の体積と等しくなるように、各格子同士の高さの比が一定に保たれるような負の変形曲面を適用する。このような代替処理により、図 3-4 のような時刻  $t + \Delta t$  における固体群形状を決定する。

半楕円柱変形曲面による代替処理は、容器が多角柱形状

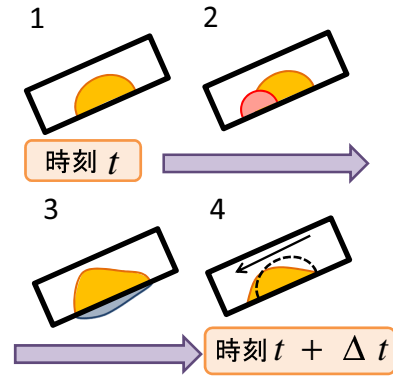


図 3: 半楕円柱変形曲面による代替処理

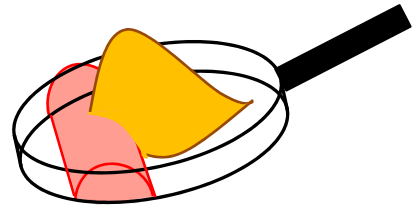


図 4: 半楕円柱状の変形曲面

である、すなわち底部が平面であることに基づいている。容器を傾けることにより固体群に影響する力は容器内の任意の位置で等しいためである。つまり、容器全体に同じ方向、同じ大きさの力がはたらくため、図 4 のようなパラメータの調節が容易な半楕円柱を正の変形曲面として設定することにより、簡易的に表現している。

## 3. 調理容器の部分球形状への拡張

### 3.1 部分球容器

従来モデル、正確には半楕円柱変形曲面による代替処理は多角柱形状の調理容器を前提としており、底面が平面でない容器を扱うことができない。また任意の形状の容器では変形曲面を適切に求めることは非常に困難であろう。しかし実際には、調理容器や皿などの多くは単純な形状、あるいは単純な形状の組み合わせにより構成されていることが多く、複雑な形状であることは少ない。そこで、多角柱形状に加えて、中華鍋のような球の一部分、すなわち部分球形状の容器を考える（図 5）。容器の口の半径を  $r_s$ 、容器の深さ（球の断面から最低点までの距離）を  $d_s$  とすると、球の半径  $R_s$  に対して以下の関係が成り立つ。

$$R_s = \frac{d_s^2 + r_s^2}{2d_s} \quad (2)$$

部分球容器形状は、将来的に球以外の形状にも対応することを視野に入れ、固体群と同様、平面に定義したハイトフィールド

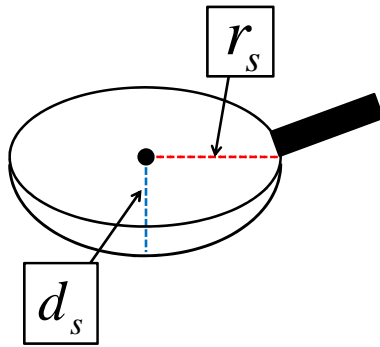


図 5: 部分球調理容器

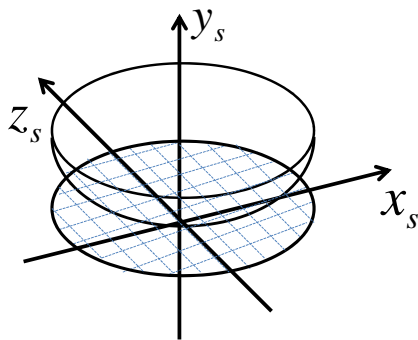


図 6: 部分球容器に対するハイトフィールド格子

ドにより表す (図 6)。格子  $(x_i, z_j)$  におけるハイトフィールド平面から部分球までの高さを  $h_s(x_i, z_j)$ 、体積を  $f_s(x_i, z_j)$  とすると、次式が成り立つ。

$$h_s(x_i, z_j) = R_s - \sqrt{R_s^2 - (x_i^2 + z_j^2)} \quad (3)$$

また格子  $(x_i, z_j)$  におけるハイトフィールド平面からの固体群の表面の高さは  $h(x_i, z_j) + h_s(x_i, z_j)$  により求められる。

### 3.2 固体群の挙動

部分球容器は底部が曲面であるため、各固体の存在する場所により影響を受ける実際の力が異なる。しかし正確に、かつリアルタイムでこの挙動を再現することは困難であろう。そこで図 7 のように、正の (半楕円柱ではなく) 半楕円体変形曲面を適用した上で、全体の体積が元の体積と等しくなるような、かつ各格子同士の高さの比が一定に保たれるような負の変形曲面を適用することで、部分球容器内の固体群挙動を表現する。半楕円体変形曲面の大きさや位置は、固体群の重心位置、固体群の受ける力、および容器の姿勢により決定する。固体群が重力により受ける力は、固体群の重心の底部曲面への投影点における、底面の最大傾斜方向、および傾斜角度より、重力の分力として求める。

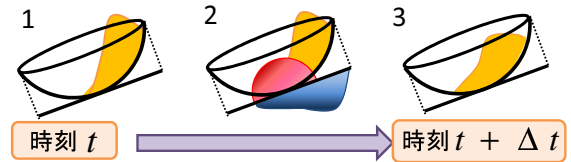


図 7: 部分球容器内の固体群挙動



図 8: 実験の様子

## 4. 実験と結果

前述のモデルによる実験システムを計算機上に C++ および DirectX を用いて構築した。図 8 に実験の様子を示す。計算機の構成は CPU 2.5GHz、メモリ 1GB である。入力デバイスには任天堂株式会社 Wii リモコンを用いる。調理容器は中華鍋、固体群は炒飯を想定し、固体群の挙動は提案モデルにより計算した上で、テクスチャマッピングにより描画する。

まず、挙動の自然さについての実験をおこなった。被験者 8 人に本システムを体験してもらい、部分球容器内の固体群挙動がどのくらい自然であるかを 7 段階にて評価してもらった。評価の目安は「1: 全く自然に見えない」~「7: とても自然に近い」とした。実験におけるハイトフィールドの格子数は 317 点とした。なお、格子数に関する予備調査より、格子数が 317 点程度以上で固体群操作の自然さに大きな変化が見られないことがわかっている。図 9 に評価の結果を示す。評価値の平均値は 4.875 であり、評価基準の中央の値である 4 を超えている。部分球調理容器内の自然な固体群挙動を再現できていると考えられる。また、図 10 のような、多角柱容器と部分球容器の操作による固体群

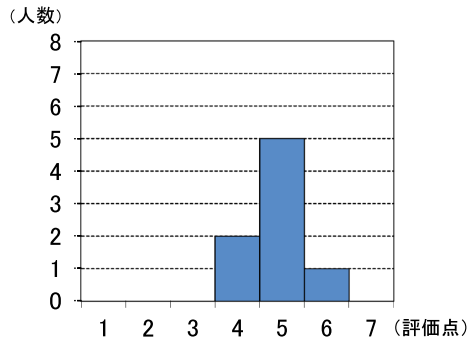


図 9: 実験の結果



図 10: 容器内固体群の挙動 (左: 多角柱形状調理容器、右: 部分球形状調理容器)

挙動の違いを比べてもらったところ、両者とも容器形状に応じた固体群の挙動が表現できているとの評価を得た。

次にハイトフィールドの格子数と、描画更新速度 (FPS) の関係を調べた。表 1 に実験結果を示す。格子数が整数の二乗の数でないのは、容器が円形であるためである。描画更新速度は小数点以下を四捨五入した値である。317 点よ

表 1: 処理速度についての実験結果

格子数	FPS(平均)
317	1563
529	1264
901	748
1373	620

りも多い格子数を用いた時の処理速度の結果は、固体群の体積を増やしたり、複数の容器を使用することを考慮したものである。なお、一般に言われる対話操作に必要な描画更新速度より遥かに速い速度が得られているが、実際の調理学習システム構築時には、ヘラなどの調理器具による固体群操作、調理容器外の固体群挙動 (固体群の舞い上がり、こぼれ) に加え、食材の切断などの加工も処理する必要があるため、過剰な処理速度ではない。

## 5. むすび

我々が提案してきている固体群操作モデルでは変形曲面により挙動計算することで高速処理を実現しているが、これまでは固体群を扱う容器形状を多角柱に限定していた。本研究では底面に丸みを帯びた容器として部分球形状調理容器による操作を実現するために、変形曲面の形状、適用位置を再考察し、操作モデルの改良を行った。提案モデルでは従来の多角柱形状調理容器と同程度の自然らしさで、部分球容器内固体群の操作が可能である。

今後の課題としては、更なる容器形状の拡張があげられる。例えば、複数の面を組み合わせた底部を持つ容器を扱うことができるようになれば、挙動の質の向上だけでなく、料理工程の一つである盛り付けで用いる皿などへの応用が可能となる。また、将来的には、これまでの容器を介した固体群操作モデルのほか、食材の準備や盛り付けといった一連の作業のモデルを提案し、VR コンテンツとしての VR 調理学習システムの開発を目指す。

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた本研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 24501186 の研究助成による。

## 参考文献

- [1] 加藤史洋, 三武裕玄, 長谷川晶一: “体験型料理シミュレータ”, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会講演論文集, 2D2-2(DVD-ROM), 2010.
- [2] Onoue, K., and Nishita, T.: “Virtual Sandbox”, In: Proc. of the 11th Pacific Graphics, pp.252-259, 2003.
- [3] Stora D., Agliati P.O., Cani M.P., Neyret F., and Gascuel, J.D: “Animating lavaflows”, In: Proc. of the Graphics Interface, pp.203-210, 1999.
- [4] 舟橋健司, 小栗進一郎: “家庭での利用を目的とした VR 調理学習システムのための固体群操作モデルの検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会講演論文集, pp.171-172, 2008.
- [5] 森井敦士, 上垣内翔太, 山本大介, 舟橋健司: “VR 調理学習システムのための存在確率に基づく粒子による固体群の上下動の表現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.539-549, 2011.