

平成 25 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	佐藤 淳	研究室	舟橋研究室
入学年度	平成 24 年度	学籍番号	24417504	氏名	石原 逸貴

論文題目 VR 調理学習システムにおける部分球調理容器の動的姿勢変化による固体群あおり操作  
GIB Toss Manipulation with Dynamic Motion of Partial Sphere Container for VR Cooking System

## 1 はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術の普及に伴い一般家庭向けの様々なサービスが創出され始めている。その例として、料理を支援するための研究がある [1]。当研究室でも一般家庭を対象とした調理学習システム「バーチャルお料理教室」の開発を行っている。調理工程を再現するため米や食材片などの小さな固体の集まりを「固体群」という一つの操作対象として扱い簡易的な計算で挙動を表現する固体群操作モデルの研究を進めている [2]。実験システムでは調理容器としてフライパンを想定した多角柱容器と、中華鍋を想定した部分球容器を扱うことができる。操作者は容器を傾けたり振ったりすることで固体群を操作することができる。

多角柱容器を扱うモデルでは、容器底部平面から固体群が様な力を受け、固体群が容器底部に押し上げられ空中に舞い上がるような操作を提案している。しかし、部分球容器を扱う場合、底部曲面から固体群が受ける力が様でないため、多角柱容器と同様な手法での実現は難しい。そこでまず実験的に部分球調理容器が容器内の固体群挙動に及ぼす力は静的な容器姿勢および容器形状を考慮した重力のみとしていた。そこで本研究では、容器の動的な位置や姿勢の変化による固体群に直接的に及ぼす力を再考察し、固体群が容器の曲面を滑り上がった、押し上げられたりして空中に舞い上げられる挙動を起こす「あおり操作」を実現する。

## 2 固体群操作モデルの概要

固体群操作モデルにおいて、固体群形状および容器形状をハイトフィールドで表現している (図 1, 2)。また、固体群の挙動は各格子の値を変化させることで表現している。固体群挙動は変形曲面によって近似的に計算する。図 3-1 のように、時刻  $t$  において傾いた容器の中に固体群が存在するとき、下方向に滑り落ちる挙動を起こすことが考えられる。そこで図 3-2 のような正と負の部分をもつ曲面を適用し、体積を局所的に増加、減少させることで図 3-3 のように時刻  $t + \Delta t$  で固体群の形状を変化させ、挙動が表現する。

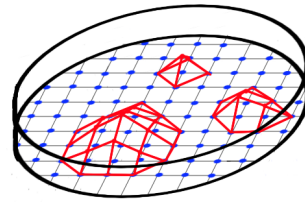


図 1: 固体群表現

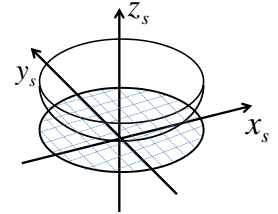


図 2: 容器形状表現

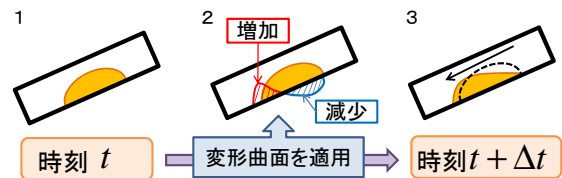


図 3: 変形曲面による固体群挙動

## 3 固体群あおり操作

### 3.1 固体群にかかる力の再考察

固体群が入った部分球容器を移動 (加速) したときに受ける力を  $\mathbf{F}$  とする (図 4)。固体群の重心 (容器面上) を点  $G$  とする。力  $\mathbf{F}$  を、点  $G$  および球の中心と最下点を含む平面における水平成分  $\mathbf{F}_u$ 、それに垂直な水平成分  $\mathbf{F}_v$ 、鉛直成分  $\mathbf{F}_z$  に分解する。固体群が容器に押される影響を求めめるため、 $\mathbf{F}_u$  と  $\mathbf{F}_z$  の合力  $\mathbf{F}_w$  を考える。まず水平面に対する重心  $G$  における接平面の角度  $\alpha$  と合力  $\mathbf{F}_w$  の角度  $\beta$  から合力  $\mathbf{F}_w$  と接平面の角度  $\theta$  を求める (図 5)。固体群は、図 6 のように合力  $\mathbf{F}_w$  により容器面から直接押されるように力  $\mathbf{F}_p = |\sin(\theta)| \mathbf{F}_w$  を受け、また、容器に対して滑ることによって相対的に反作用力  $\mathbf{F}_s = -|\cos(\theta)| \mathbf{F}_w$  を受けるものとする。これらと重力  $\mathbf{g}$  の合力を固体群が移動によって受ける力  $\mathbf{F}_g$  とする。

また、容器を素早く傾ける、すなわち回転させることでも固体群に力が加わる。プログラム上、容器は柄の部分を中心に回転するものとしているが、各時刻における運動を固体群重心を中心とする回転と並進に分けて考えることで簡易的な計算を行う。容器回転軸から固体群重心が距離  $l$  離れて存在しているとき、容器を

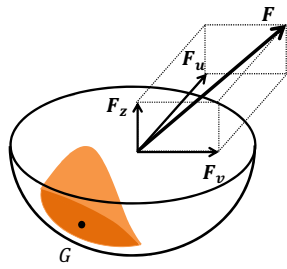


図 4: 容器が受ける力の分解

微小角度  $\Delta\varphi$  回転させたとき、固体群のフレーム間での移動距離は  $l_r = l\Delta\varphi$  となる。よって容器回転により固体群が受ける力を  $\mathbf{F}_n = K_1 l_r \mathbf{N}$  とする。なお固体群の重心を中心とした回転は、容器内の一点に集まっていると仮定しているため、挙動に影響はないものとする。こうして求められた  $\mathbf{F}_g$  と  $\mathbf{F}_n$  の合力が点  $G$  から接平面よりも球の外側に伸びるとき容器面上を滑り、内側に伸びるとき空中に舞い上がる。

### 3.2 固体群挙動の表現

前節により固体群が滑る挙動を起こすと判定された場合、その挙動を力  $\mathbf{F}_g$  の接平面に平行な成分  $\mathbf{F}_r$  と分力  $\mathbf{F}_v$  の反作用  $\mathbf{F}_t = -\mathbf{F}_v$  の合力により決定する。従来の重力による滑り挙動と同様に変形曲面を適用することで任意の方向への滑り挙動を表現する。また、舞い上がる挙動を起こすと判定された場合、舞い上がる固体群を固体群粒子で表現する。固体群粒子は細かな固体が体積  $V_p$  だけ集まったものとし、重力を受け自由落下する。前節で固体群の舞い上がりが起きる際、ハイトフィールドで表現される容器内固体群を固体群粒子に変換する必要がある。そのため固体群粒子を固体群体積により求められる範囲内にランダムに重心  $G$  の周辺に生成する。変換量および個々の粒子の初速度は前節で求めた合力に応じて決定する。そして、ある時刻  $t$  で固体群粒子を  $k$  個舞い上げ、また粒子  $l$  個が容器内に受け止められた場合の容器内固体群の体積  $V$  を

$$V(t) = V(t - \Delta t) - kV_p + lV_p$$

とすることで固体群の舞い上がりを実現する。

## 4 実験と結果

提案モデルを用いて実験システムを構築し、処理速度と挙動の自然さの2方面について実証実験を行った。部分球容器として中華鍋、固体群として炒飯を想定している。実験の結果、本論文での提案処理による計算時間の増加はわずかであることがわかった。システム

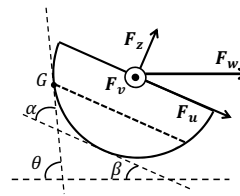


図 5: 力と容器面の角度

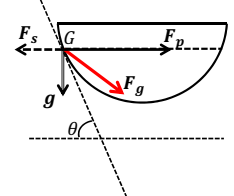


図 6: 容器移動による力



図 7: 実験の様子

全体としても約 105FPS での実行が可能であり、十分な処理速度が得られていることが言える。また、数名の被験者より固体群の滑り、舞い上がりが自然に行えているという意見が得られた。

## 5 むすび

本研究では、これまで考慮していなかった部分球容器の動的な位置変化および姿勢変化による固体群挙動への影響を再考察し、固体群を部分球形状を利用し容器外に舞い上げる「固体群あおり操作」を行うことができる固体群操作モデルを提案した。実験結果より、高い処理速度を維持しつつ、自然な滑りや舞い上がりの挙動が可能になったといえる。今後の課題として、炒め調理を行う際に用いるおたまのような調理器具を扱うモデルの提案があげられる。そして最終的には料理の工程全体を学習することができる調理学習システムの完成を目指す。

## 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] 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.