

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 21 年度	学籍番号	21417632	氏名	森井 敦士

論文題目 VR調理学習システムのための存在確率の遷移に基づく固体群の上下動の表現

## 1 はじめに

近年、一般家庭における家電機器が高度化し、従来にはなかった一般家庭向けの新サービスの創出が期待されている。そのような状況の中で、「料理（調理）」を支援するためのシステム [1] が開発されている。また、当研究室では、「バーチャルお料理教室」の開発を行っており、そのための固体群操作モデル [2] を提案している。ここで、「固体群」とは小さな固体の集まりの事を指し、例として米や砂が挙げられる。当研究室で提案したモデル（格子・粒子法モデル）は、限定的に粒子法を取り入れたモデルであり、実験システムでは調理容器を傾けたり、振ったりすることで容器内の固体群を操作することができる。しかし、粒子法の計算コストが高く、容器を振り上げる事による固体群の「舞い上がり」などの挙動を表現することは困難であった。そこで本研究では、調理容器の上部に、容器により支配されていると考える空間を定義し、いわゆる粒子法を用いずに、拡張した格子法モデルにより固体群の上下動を表現するモデルを提案する。なお、容器縁から固体群が直接落下する「こぼれ」挙動は当研究室で別途開発中であり、本稿では言及しない。

## 2 従来の固体群操作モデル

格子・粒子法モデルでは、固体群を調理容器内に定義したハイトフィールドと粒子で表現している。ハイトフィールドで表現された固体群の挙動は、曲面（変形曲面）を用いて近似的に計算している。例えば、時刻  $t$  において、傾いた容器の中央に固体群が存在し（図 1-1）、固体群が挙動した後（時刻  $t + \Delta t$ ）の形状が図 1-3 とすると、本モデルではこの形状を、図 1-2 のように、曲面を生成して既存の固体群に加算することにより求める。固体群は曲面により、その部分によって増加したり減少したりする（図 1-2）。このような単純な処理により高速に固体群挙動を計算する。

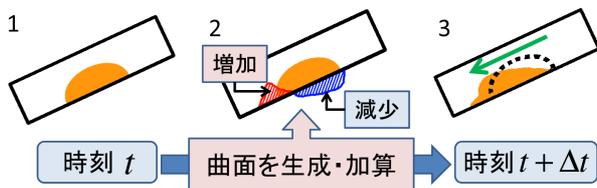


図 1: 曲面による形状変化の近似

## 3 固体群上下動表現モデル

### 3.1 提案モデルの全体像

提案モデルでは、容器により支配されていると考える空間を定義するため、調理容器周辺を図 2 のように 3 つの領域に分けて、それぞれの領域で異なる固体群表現を行うことで固体群挙動を表現する。固体群は状況に応じて異なる領域の固体群に変換される。本提案モデルでは、調理容器上部領域と調理容器外部領域の固体群を組み合わせて、固体群上下動を表現する。各領域の固体群

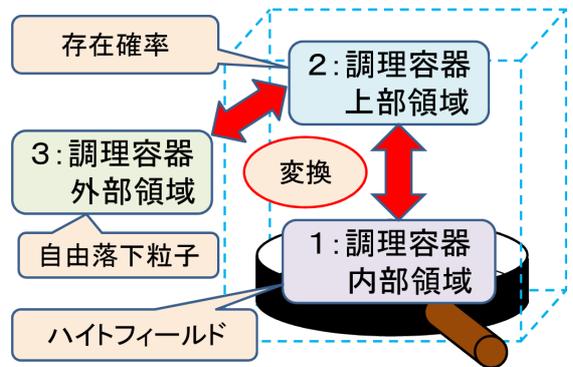


図 2: 固体群上下動モデルの概要図

表現と挙動計算についてまとめた表を表 1 に示す。内部領域の固体群は従来の格子法モデルを適用することにより表現する。また、外部領域の固体群は相互干渉を考慮しない自由落下粒子で表現する。さらに上部領域の固体群は、ある座標点の固体群分布状況を確率的に示す度合いである「存在確率」（第 3.2 節参照）によって表現する。以降は、主に上部領域の固体群について説明する。

表 1: 各領域の固体群表現と挙動計算

領域名	固体群表現	挙動計算
内部領域	ハイトフィールド (容器内固体群)	変形曲面
上部領域	存在確率 (上部固体群)	変形超曲面
外部領域	自由落下粒子 (外部固体群)	干渉を考慮しない 自由落下

### 3.2 上部領域の固体群表現

上部領域の固体群 (上部固体群) は, 調理容器を包みこむように配置した三次元格子 (存在確率フィールド) に, 各格子ごとの固体群分布状況を確率的に保持させる事で表現する. 具体的には, 格子が持つ確率から, 存在する固体群体積の期待値を求めて, さらに, 存在する体積量を確定する計算を毎フレーム行う. そのため, 存在確率フィールドの内容が同一であっても, 描画される固体群分布はフレーム毎に異なる. このような確率的な表現 (存在確率に基づく表現) で, 上部固体群の挙動表現の自然らしさの向上を図っている.

### 3.3 変形超曲面を用いた挙動計算

上部固体群挙動は従来モデルの変形曲面を 1 次元拡張して存在確率フィールドに適用することで実現する. しかし, 図 1-2 のような働きをする超曲面を求める事は困難なため, 本モデルでは以下のように代替処理を段階的に行うことで図 1-2 に相当する処理を実現する. まず, 図 3-1 のように, 時刻  $t$  において, 存在確率フィールドに固体群が分布している時に, 固体群が移動する方向へ, 固体群分布量を増加させる働きをする 4 次元超曲面 (変形超曲面) を生成する (図 3-2). 超曲面を 3 次元に投影した立体の中に含まれる格子は, その座標における超曲面の第 4 次元成分の値に従って値が加算される (図 3-3). その後, 存在確率フィールドに存在する固体群の総量が, 超曲面加算前と比べて増加するので, 超曲面を生成する前の固体群総量と等しくなるように全体を修正する. 本提案モデルでは三次元空間へ投影した形状が楕円球状, 凸多角柱状となる 2 つの超曲面を利用する.

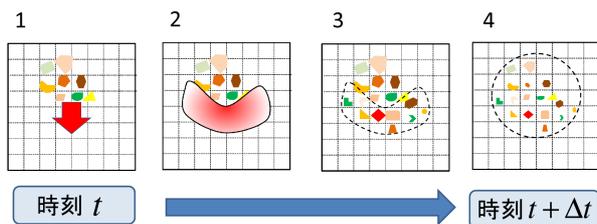


図 3: 変形超曲面に基づく固体群挙動

### 3.4 異なる領域間の固体群変換

本提案モデルでは, ある領域の固体群が別領域に達すると, 異なる固体群表現に変換する. 固体群変換は図 2 のように, 領域ごとに変換先となる固体群表現が定まっている. 固体群変換を行うために, 調理容器内に定義されたハイトフィールドと存在確率フィールドの格子を関連づける. また, 存在確率フィールドの外縁に位置する格子群を「変換領域」として, 変換を行うために定義する. 固体群変換について, 調理容器の中に固体群が存

在する時に行う操作を例にして説明すると, 例えば, 容器開口部を上にして上下に振ると, 容器内固体群は上部固体群に変換されて容器から離れる. 舞い上がった固体群は (上部固体群) は変形超曲面により移動し, 容器底面まで移動すると容器内固体群に変換される. また, 容器から離れる動きをすると, 変換領域で外部固体群に変換されて調理容器の外へ落下する.

## 4 実験と評価

提案モデルを用いて実験システムを作成し, 処理速度, 固体群上下動の自然さについて実験を行った. 図 4 に実験システムの様子を示す. このシステムでは調理容器を「フライパン」, 固体群を「炒飯」と想定している. 実験の結果, 本モデルは格子・粒子法モデルに比べて高速に固体群挙動を表現できることがわかった. また, 固体群挙動についてアンケートを行ったところ, 固体群挙動がある程度自然に感じられるとの評価が得られた. しかし, 「舞い上がり」挙動については, 挙動計算が厳密な物理法則に則っていないため, やや消極的な意見も得られた.



図 4: 実験システムの様子

## 5 むすび

本研究では, 従来モデルよりも高速な「舞い上がり」などの上下動を実現した固体群操作モデルを提案した. 提案モデルでは, 容器により支配されていると考える領域を定義して, その領域の固体群挙動計算に, 従来モデルの手法を拡張して取り入れることにより高速な挙動計算を実現した. さらに, その領域での固体群を確率的に表現することで, 視覚的な固体群挙動の自然らしさの向上を図った. 今後の課題としては, 「舞い上がり」挙動の自然らしさの改良などが挙げられる. 最終的に VR 調理学習システムを完成させる予定である.

## 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, pp390-393, 2010
- [2] Morii, A., Yamamoto, D., Funahashi, K.: "Interactive Manipulation Model of Group of Individual Bodies for VR Cooking System". In: Proc. of the ICEC2010, pp484-486, 2010