

平成 26 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	北村 正	研究室	舟橋研究室
入学年度	平成 25 年度	学籍番号	25417556	氏名	佐東 康平

論文題目 調理学習システムにおける調理器具のすくい上げと押し動作の複合操作による固体群挙動  
Push-Press and Scoop Manipulation of GIB with Cookware for VR Cooking System

## 1 はじめに

当研究室では一般家庭を対象とした VR 調理学習システム「バーチャルお料理教室」の開発を行っており、調理工程を再現するために米や具材などの小さな固体の集まり（以下、固体群）をインタラクティブに操作するための固体群操作モデルを提案している [1]。固体群を構成する固体一つ一つの挙動を厳密に再現しようとすると計算量が大きくなり、対話操作の実現が困難である。そこで本システムでは、固体群を 2 次元格子上のハイトフィールドにより表現し、各格子に設定した値を変化させることで固体群の挙動を表現する。これによりユーザが期待する挙動を高速に表現することができる。これまで、フライパンを想定した調理容器とヘラを想定した調理器具による固体群の操作について考えてきている。調理器具について、問題点を明確にするために、まず操作面を垂直に限定した上で水平方向、鉛直方向の移動と鉛直軸を中心とした回転の計 4 自由度の操作により固体群を押し動かす動作について検討した。また調理器具の操作面を水平に限定した上で、計 4 自由度の操作により固体群を押さえつける動作も取り上げた [2]。さらに調理器具上にハイトフィールドを定義することで、固体群をすくい上げる動作の実現を試みた [3]。本研究では、一般的な状況は前述の各状況の組み合わせで表現できると考え、押し動かし動作、押さえつけ動作、すくい上げ動作の複合操作として挙動計算をすることで、6 自由度自由に動く調理器具による操作を実現する。

## 2 固体群操作モデルの概要

固体群操作モデルでは固体群全体、またはその一部分を一つの操作対象として扱い挙動を近似的に計算し、曲面（変形曲面）によって形状変化を表現する。ある時刻  $t$  において、傾けられた調理容器内に固体群が存在する場合（図 1-1）、固体群は重力により調理容器下方へ移動すると考えられる。そこで、正の変形曲面と負の変形曲面を適用する（図 1-2）。これにより、時刻  $t + \Delta t$  の固体群は時刻  $t$  よりも容器下方へ移動する（図 1-3）。調理器具で固体群を操作する場合、操作面の移動軌跡により固体群との干渉を判定し、調理器具の移動方向

及びその周囲に変形曲面を適用することで固体群を押し動かす動作、または押さえつける動作を表現する（図 2）。また、仮想の操作面を設定することで異なるハイトフィールドにまたがる固体群移動（すくい上げ動作）を表現する。

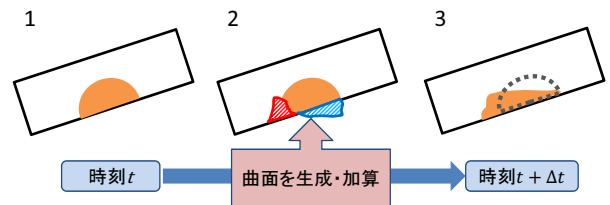


図 1: 変形曲面による固体群の移動

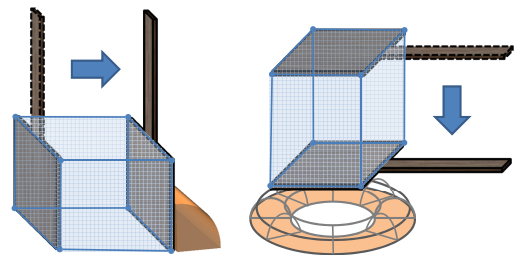


図 2: 押し動かし動作（左）と押さえつけ動作（右）

## 3 調理器具の複合動作

### 3.1 押し動かし動作と押さえつけ動作の複合

調理器具の操作面の角度に応じて固体群を押し動かし動作、押さえつけ動作、すくい上げ動作の三つの動作を重み付けし、合成することによって複合動作と考える。具体的には、操作面の法線ベクトル  $\vec{n}$  の鉛直成分と、操作面の移動ベクトル  $\vec{v}$  と  $\vec{n}$  の内積の値の組み合わせにより分類する。調理器具の操作を押し動かし動作と押さえつけ動作の複合動作と分類する場合、 $xy$  平面と操作面が成す角度を  $\phi$  ( $0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$ ) とすると、押し動かす成分  $r^{push}$  と押さえつける成分  $r^{press}$  は以下のように求める。

$$r^{push} = \frac{\sin\phi}{\sin\phi + \cos\phi}$$

$$r^{press} = \frac{\cos\phi}{\sin\phi + \cos\phi}$$

$r^{push}$  と  $r^{press}$  は押し動かし動作と押さえつけ動作の変形曲面のパラメータの導出に用いる．押し動かし動作と押さえつけ動作の変形曲面を適用し，挙動を表現する (図 3)．

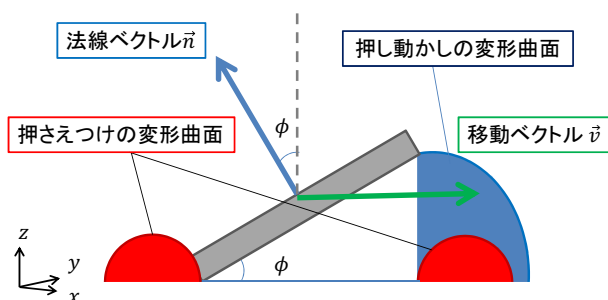


図 3: 押し動かし動作と押さえつけ動作の複合

### 3.2 押し動かし動作とすくい上げ動作の複合

調理器具の操作を押し動かし動作とすくい上げ動作の複合動作と分類する場合，まず前述したように  $\phi$  を用いて押し動かし成分を求め，押し動かし動作の変形曲面を適用する．続いて，すくい上げ動作について考える．調理器具の操作面が成す角度  $\phi$  であり，調理器具の移動ベクトル  $\vec{v}$  と操作面が成す角度が  $\epsilon$  の時，操作面を  $xy$  平面に対して水平になるように便宜的に  $\phi$  回転させて考える (図 4)．調理器具の移動距離の水平成分  $|\vec{v}| \times \cos \epsilon$ ，調理器具上の固体群の総体積  $V_s$  と調理器具の進行方向上に存在する固体群の体積  $V_e$  を用いて，固体群のすくい上げ動作を表現する (文献 [3] 参照)．以上より，押し動かし動作とすくい上げ動作の複合動作を実現する．

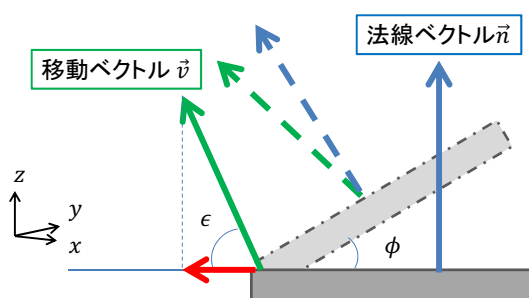


図 4: 6 自由度操作によるすくい上げ

## 4 実験と結果

提案モデルを用いた実験システムを構築した．実験の様子を図 5 に示す．実験システムの処理速度を調べた結果，約 105FPS で実行可能であることがわかった．また，提案手法の処理追加による計算時間の増加はわずかであった．よって，本システムは対話操作に可能

な処理速度で実行できるだけでなく，今後の拡張に十分な余裕があると言える．



図 5: 実験の様子

## 5 むすび

本研究では，これまで調理器具の操作面を鉛直または水平に限定して検討してきた計算手法を複合的に適用することで，6 自由度自由に動く調理器具による固体群操作を可能とするモデルを提案した．調理器具の操作面の角度に応じて，押し動かし動作，押さえつけ動作，すくい上げ動作を重み付けして合成し，複合動作として考えることで 6 自由度操作による調理器具の固体群挙動を表現した．今後はヘラ以外の調理器具，例えばおたまのような操作部分が部分球形状の調理器具も導入し，臨場感を向上させたい．最終的には，一連の調理工程を再現するモデルを提案し，これまでの固体群操作と組み合わせることでシステムの完成を目指す．

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 佐東康平, 舟橋健司, “VR 調理学習システムにおける調理器具による押さえつけ動作とすくい上げ動作の考察”, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, pp.252-255, 2013.
- [3] 佐東康平, 栗本雄多, 舟橋健司, “VR 調理学習のための近接ハイトフィールド間における固体群挙動”, 日本バーチャルリアリティ学会第 19 回大会講演論文集, pp.268-271, 2014.