

# VR 調理学習システムのための 近接ハイトフィールド間における固体群挙動

Behavior of Group of Individual Bodies  
between Neighboring Height Fields for VR Cooking System

佐東康平<sup>1)</sup>, 栗本雄多<sup>2)</sup>, 舟橋健司<sup>3)</sup>

Kohei SATO, Yuta KURIMOTO 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, ksato@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(現在: ヤマハモーターソリューション株式会社)

3) 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)

概要: 当研究室では簡単な料理体験が可能な VR 調理学習システムの構築を目指している。調理では食材として細かな固体の集まりを扱うことが多いが、このような集まりを固体群と定義し、ハイトフィールドを基に固体群の形状を表し、その変化により挙動を表現する。個々の固体の干渉を考えず一つの操作対象として扱うことで計算の簡略化を実現している。現在、フライパンなどの調理容器内の固体群をヘラなどの調理器具により直感的に操作することを目指している。ヘラによるすくい上げ操作も考慮して調理器具にもハイトフィールドを定義しているが、ヘラとフライパンが接近している場合には個々のハイトフィールド内で挙動計算が完結しない。本研究では、仮定の固体群操作面を想定することにより、近接ハイトフィールド間における固体群間の相互作用による固体群の挙動を考える。

キーワード: 調理学習システム, 固体群操作モデル, ハイトフィールド, 変形曲面, 調理器具

## 1. はじめに

近年, VR 技術の発展に伴い, 現実空間と同等の環境を再現する VR シミュレータが, 医療や産業などの様々な分野で開発・導入されている。VR シミュレータは大規模かつ高価なものが多いため, 一般家庭にも広く普及しているとは言いがたいが, ゲームコントローラーをはじめとする, 直感的な操作が可能である比較的安価なデバイスが入手可能になってきており, 一般家庭への導入を目的とした VR シミュレータの研究も行われている [1]。

当研究室では, 一般家庭を対象とした VR コンテンツ, 調理学習支援システム「バーチャルお料理教室」の開発を行っている。このシステムではユーザが調理における一連の手順を, 実際に体を動かすことによって学習することができる。我々はこれまでに, 調理工程における食材の操作に関する対話操作の研究を行ってきた。溶岩 [2] や砂 [3] などを対象とした対話操作に関する研究もあるが, 固体一つ一つの挙動を全て計算する手法のため, 計算量が大きく, リアルタイムでの対話操作には向いていない。

そこで我々は, フライパンなどの調理容器に入れて扱う

対象物, すなわち複数の小さな固体の集まりを全体で一つの操作対象として扱う。この操作対象を固体群と呼び, 固体群全体に作用する力学的影響を一括して近似的に計算することで, 高速な対話操作を可能とする固体群操作モデルを提案している [4]。この固体群操作モデルでは, 固体群を個々の粒子の集合ではなく, 調理容器の底面に定義した 2 次元格子に設定された各格子の高さの値, すなわちハイトフィールドにより, 固体群の形状と挙動の変化を表現している。これにより, 人が無意識に期待する挙動を高速に表現することを可能にした。また, 調理容器操作により固体群を扱うだけでなく, 固体群を局所的に操作するために, ユーザが自由に動かすことのできる調理器具を導入を試みている [5]。しかし, 調理容器ハイトフィールドと調理器具ハイトフィールドにまたがる固体群挙動について考察していなかった。

本研究では, 高速な処理速度を維持しつつ, 近接する複数のハイトフィールド間の固体群挙動を一体的に扱い, ハイトフィールド間の固体群移動を表現するためのモデルを提案する。

## 2. 固体群操作モデルの概要

当研究室がこれまでに提案している固体群操作モデルでは、固体群を調理容器内に定義したハイトフィールドにより表現する。ハイトフィールドの格子  $(x, y)$  における固体群の体積を  $V(x, y)$  とすると、調理容器  $c$  内に存在する固体群の総体積  $V_c$  は  $V_c = \sum V(x, y)$  と表される。各時刻で各格子の高さを適切に変化させることで、固体群の挙動を表現する。具体的には、固体群全体に作用する力による挙動の変化分を曲面により近似表現する。この曲面を変形曲面と呼ぶ。例えばある時刻  $t$  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に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  $t + \Delta$  の固体群は時刻  $t$  よりも容器下方へ移動する (図 1-3)。

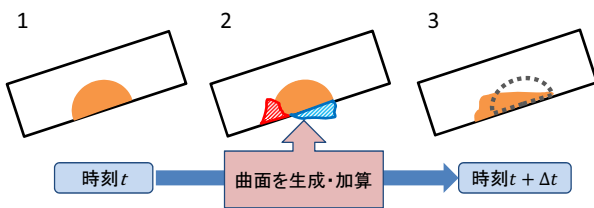


図 1: 変形曲面による固体群の移動

また、調理容器内の固体群を局所的に操作するための調理器具を考える。フライパンなども調理器具の一種であるが、これらは調理容器と呼び、ヘラなどを調理器具と呼ぶ。まず、調理器具操作面が常に鉛直である場合について検討した。この操作面の軌跡を三次元凸包と考え、固体群との干渉判定を行い、干渉した領域の固体群を減算する。また同体積の変形曲面により加算処理を行うことで移動を表現する。続いて、操作面を水平と限定し、調理器具を用いて調理容器内の固体群をすくい上げる場合について検討した。このとき、固体群は調理容器内に留まる部分と調理器具上に乗る部分に分かれる。そこで、調理器具上の操作面にもハイトフィールドを定義する。調理器具を水平に移動し、固体群に干渉する状態を考える (図 2)。この状態で調理器具を上、または水平に引き抜くように移動した場合、固体群の操作面上に位置する部分を、調理容器ハイトフィールドから調理器具ハイトフィールドに移動したい。

## 3. 近接ハイトフィールド間における固体群挙動

### 3.1 仮定の壁

調理容器内の固体群を調理器具で操作する場合、二つのハイトフィールドを同時に計算対象とする必要がある。これまでは挙動計算を個々のハイトフィールド内で行っていた。そこで近接ハイトフィールド間に仮定の境界を設定することにより、ハイトフィールド間にまたがる固体群の挙動を考慮した上で個々のハイトフィールド内の閉じた領域を計算対象として扱う方法を提案する。

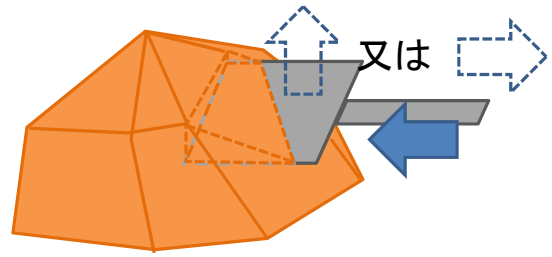


図 2: 固体群のすくい上げ動作

調理容器内の固体群を調理器具ですくい上げようとする際、近接する各ハイトフィールドによって表現される固体群は干渉している。このとき、それぞれの固体群は互いに寄りかかるように形状を保ち、またその均衡を失うと崩れ合い、再び寄りかかることで安定する。各ハイトフィールドを個別に扱い固体群の挙動を計算した場合、固体群が安定する形状を表現することができない。そこで、近接ハイトフィールド間における固体群が寄りかかり合う状態を簡易的に扱うために、仮定の壁を設定する (図 3)。仮定の壁は調理容器に対して垂直であり、高さは十分に高いものとする。仮定の壁により、調理容器及び調理器具それぞれのハイトフィールドにおいて固体群の挙動を決定した場合でも、近接ハイトフィールド間の領域において固体群が寄りかかり安定している状態として扱うことが可能である。

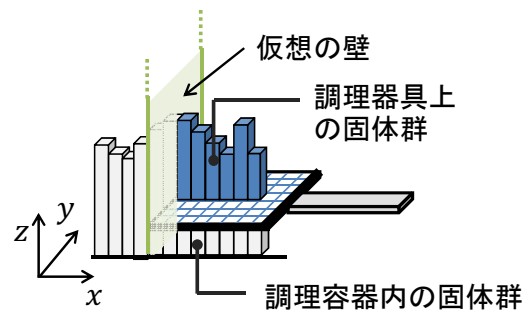


図 3: 仮定の壁

### 3.2 仮定の固体群操作面

調理器具で調理容器内の固体群をすくう過程において、調理器具上にすくい上げた固体群と調理器具の進行方向に存在する固体群が相互作用により移動し、崩れることがある。このとき、調理器具の進行方向に存在する固体群は調理器具上の固体群に押され、前方へ移動する。一方、調理器具上の固体群はその反作用により後方へ移動する (図 4)。そこで、仮定の固体群操作面を設定し、仮定の固体群操作面の軌跡により表される三次元凸包を考え、固体群との干渉判定を行い、近接ハイトフィールド間の個々の固体群の相互作用による形状変化として扱う。

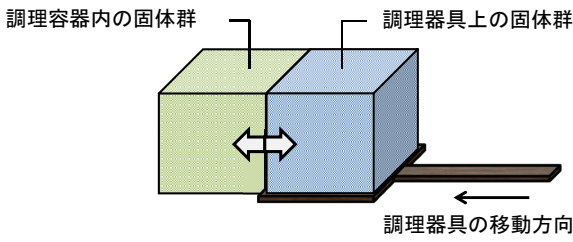


図 4: 固体群の相互作用

### 3.3 仮想の固体群操作面による固体群移動

仮想の固体群操作面の移動は調理器具の移動に一致するとは限らない。例えば、調理器具で固体群をすくい始めて間もない段階において、調理器具上の固体群に対して調理器具の進行方向上に存在する固体群の体積のほうが十分に大きい場合、調理器具上の固体群の大部分が進行方向と反対の向きに押し返される。調理器具上の固体群の体積が徐々に増加することで、調理器具の進行方向上に存在する固体群に及ぼす力が大きくなり、調理容器内の固体群は調理器具上の固体群によって押され始める。なお、ここでは調理容器と調理器具の摩擦係数の違いなどは考慮していない。この一連の挙動を仮想の固体群操作面の移動により表現する(図5)。調理容器に着目すると、調理容器内の固体群は進行方向へ押されて移動する(図6)。一方、調理器具に着目すると、調理器具上の固体群は相対的に後方へ押されて移動する(図7)。したがって、仮想の固体群操作面の進行方向に位置する固体群の体積と、調理器具上に存在する固体群の体積の比率によって仮想の固体群操作面の移動距離を変化させ、仮想の固体群操作面により固体群を押し動かすことで調理器具の進行方向へ移動する調理容器内の固体群と、調理器具上で相対的に後方へ移動する固体群を表現する。調理器具の進行方向へ固体群を押し動かす仮想の固体群操作面の移動距離を  $d_f$ 、相対的に後方へ移動する固体群操作面の移動距離を  $d_b$ 、調理器具上の固体群の総体積を  $V_s$ 、調理器具の進行方向上に存在する固体群の体積を  $V_e$  とすると、仮想の固体群操作面の移動距離  $d_f$ 、 $d_b$  を  $V_s$  および  $V_e$  の比率により決定する。

$$d_f = \frac{V_s}{V_e + V_s} \quad (1)$$

$$d_b = d - d_f \quad (2)$$

ここで、 $d$  は調理器具の移動距離である。そのうえで、2 節後半で述べた調理器具操作面と同様に变形曲面により調理器具の移動にともなう固体群移動を表現する。以上の手法に基づき、調理器具を固体群に差し込んだときの固体群挙動を表現する。その後の調理器具を引き抜く操作に関しては、文献 [6] を参照されたい。

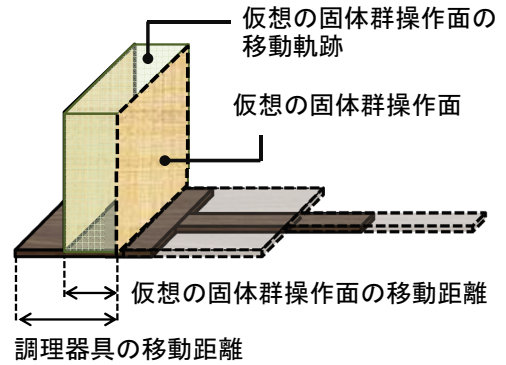


図 5: 仮想の固体群操作面の移動

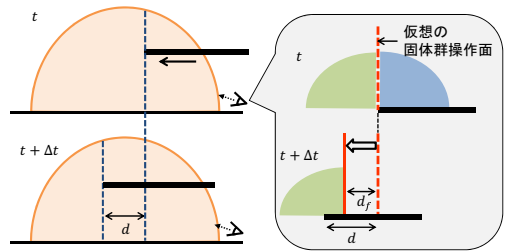


図 6: 調理器具の進行方向へ移動する固体群

## 4. 実験結果

前述した提案モデルに基づいて実験システムを計算機 (Intel Core i5-2400, 3.10GHz) 上に C++および DirectX を用いて構築し、実験を行った。実験の様子を図 8 に示す。本実験では、入力装置として、任天堂株式会社より発売されている Wii リモコンと、POLHEMUS 社より発売されている PATRIOT を用いた。調理容器、調理器具、固体群をそれぞれフライパン、ヘラ、炒飯と想定し、固体群はテクスチャマッピングにより描画する。固体群をすくい上げた調理器具を押し動かす様子を図 9 に示す。

本提案モデルの処理速度を評価するため、各プロセスの処理時間を調べた。調理容器底面は直径 325mm の円、調理器具の固体群操作面は一辺の長さが 100mm の正方形を想定し、それぞれのハイトフィールドの格子の解像度が等

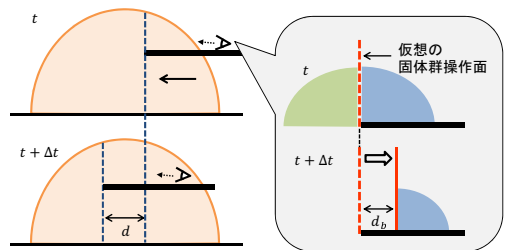


図 7: 調理器具に対し相対的に後方へ移動する固体群





図 8: 実験の様子



図 9: 水平にした調理器具による固体群の押し動かす様子

しくなるように格子数を設定する。格子サイズは事前調査により固体群挙動が自然に感じられるとの評価を得られた  $16.5\text{mm} \times 16.5\text{mm}$  とする。一般的に対話操作システムには 10~12FPS 以上の処理速度が必要とされている。表 1 より、対話操作を行うのに十分な処理速度が得られていることがわかる。また実際の調理学習システム構築時には、調理容器外への固体群のこぼれ、調理容器の煽り操作による固体群の舞い上がり、変形曲面による固体群の崩れに加え、洗う、切る、盛り付けるなどの処理も行う必要がある。これらを考慮しても十分な余裕をもった速度である。

## 5. むすび

本研究では、近接したハイトフィールド間の固体群に設定した仮想の壁、仮想の操作面により、異なるハイトフィールドにまたがる固体群の挙動を表現するモデルを提案した。提案モデルにより、調理容器内の固体群を調理器具により直接、操作することが可能である。また処理速度に関する実験結果が示すように、対話操作が可能であるだけでなく、今後の拡張が十分可能なモデルだと言える。

表 1: 処理時間についての実験結果

処理	処理時間 [sec]
変形曲面決定 (調理容器操作)	$4.0 \times 10^{-5}$
変形曲面決定 (調理器具操作)	$2.5 \times 10^{-5}$
変形曲面決定 (崩れ)	$2.5 \times 10^{-5}$
粒子による固体群の挙動計算	$3.0 \times 10^{-5}$
仮想ハイトフィールドの統合, 分割	$1.5 \times 10^{-5}$
変形曲面適用	$20 \times 10^{-5}$
描画	$200 \times 10^{-5}$
動作入力 (キー・マウス)	$20 \times 10^{-5}$
動作入力 (Wii リモコン・PATRIOT)	$700 \times 10^{-5}$
その他	$15 \times 10^{-5}$

本論文では問題を単純化するために調理器具の操作面を常に水平に限定していた。今後はこれを 6 自由度で自由に動かせるように挙動計算モデルを完成させる必要がある。また、本研究の最終目標は調理工程を網羅したシステムの構築である。食材の準備、加工といった調理における一連の手順のモデルを提案し組み合わせることで、VR 調理学習システム全体の構築を進めていく。

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] 小田康行, 村岡一信, 千葉則茂: “溶岩流の粒子ベース・ビジュアルシミュレーション”, 芸術科学会論文誌, Vol.2, No.1, pp.51-60, 2003.
- [3] 西田友是, 尾上耕一: “Virtual Sandbox”, Proceedings of IEEE 2003 Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, pp.252-259, 2003.
- [4] 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.
- [5] 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.252-251, 2013.
- [6] 栗本雄多, 舟橋健司: “VR 調理学習システムのための近接ハイトフィールド間における固体群の崩れ表現”, 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.248-251, 2013.