



# 餅つき体験システムにおける 杵の沈み込み感提示のための計測と評価

Measurement and evaluation for presenting deformation of rice cake in Mochitsuki experience system

森湧翔<sup>1)</sup>, 渡辺久馬<sup>1)</sup>, 岩田将幸<sup>1)</sup>, 河合秀樹<sup>1)</sup>, 中野拓哉<sup>2)</sup>, 柳田康幸<sup>2)</sup>

Yuto MORI, Kyuma WATANABE, Masayuki IWATA, Hideki KAWAI, Takuya NAKANO and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学大学院 理工学研究科 (〒468-0073 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)

2) 名城大学 理工学部 (〒468-0073 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)

**概要:** 我々は、杵で餅をつく際の感触を提供する力触覚インタフェースとして餅つき体験システムを構築した。本システムは、餅をつく際に生じる感触を三つの感触（餅をついた際の杵の沈み込み感、餅のくっつき感、杵を引き上げる際の餅の伸び感）に分割し、各感触を再現するデバイスを割り当てるアプローチを取った。本稿では杵の沈み込み感に注目し、物理的性質とユーザ評価から本システムと実際の餅の類似性を調査する。

**キーワード:** 餅つき, 力触覚インタフェース, エンタテインメント

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 技術は、伝統文化の保存・伝承に用いられることがある。檜山らは視覚、聴覚、振動を組み合わせることで、熟練者の一人称視点からの追体験を実現するシステムを構築した[1]。また、嵯峨らは力覚提示装置を用いた書道技能伝達システムを構築した[2]。このシステムでは、書道熟練者が筆を操作する際に位置情報と力情報を記録し、学習者へ提示することで書道技能の向上を支援する。これらのような VR 技術を用いたシステムによって、伝統文化は保存・伝承されつつある。しかし、存亡の危機に陥っている伝統文化は未だ多く存在する。

その一つに日本の伝統文化である餅つきがある。餅つきは古くから世代を超えた地域のコミュニケーションの場となっている。さらに、現代でも餅つきは人々に受け継がれ、様々な地域で餅つき大会が開催されている。しかし、2016 年からノロウイルスが原因で餅つき大会が中止になることが相次いでいる[3]。そこで我々は、危機を迎えた餅つきを守るために、杵で餅をつく際の感触を提供する力触覚インタフェースとして餅つき体験システム (図 1) を構築した[4, 5]。

本システムでは、ユーザに質感・形状提示する部分や、杵で餅をついた際の大きな衝撃、餅の変形などの電子機器で表現することが難しい現象には実物を用いている。一方、力触覚体験に影響を与えるパラメータ (実物の状態によって変化する感触) に対しては電子機器で制御する。そのために、一つの力触覚体験で行われるユーザの動作を複数の要素に分割し、各要素で生じる感触を再現するデバイスを

割り当てるアプローチを取った。

我々はユーザが餅をつく際の動作を、杵で餅をつく、杵を引き上げる二つの要素に分割した。その際に各要素で生じる感触は、杵で餅をついた際に杵が餅に沈み込む感触、杵と餅が接触した際に餅が杵にくっつく感触、杵を引き上げる際の餅が伸びる感触の三つとなる。これら三つの感触はもち米から餅になるまでに段階に応じて変化する感触である。そのため、沈み込みの深さ、くっつきの有無、伸び上がる距離を力触覚体験に影響を与えるパラメータとして制御することで餅つき体験を再現した。

本システムでは、杵で餅をついた際の餅の感触を表現するためにスライムを使用した。また、もち米から餅になる過程での杵の沈み込みの変化は空気袋を膨らませることで表現している。しかし、実際の餅との物理的性質の関係は不明瞭であった。また、本システムは製作者らの



図 1: 餅つき体験システム

主観的印象や体験者の意見に基づいて設計されてはいたが、杵の沈み込みの触感を表現する素材としてスライムを使用することが適切であるか不明であった。したがって、本稿では杵の沈み込みに注目し、異なる素材の物理的性質と、ユーザ評価から本システムと実際の餅との類似性を調査する。

## 2. 物理特性の計測

物体同士の衝突により生じる衝撃力の特性を調査する研究では、コンクリート、鋼、ゴム等の被衝突体における衝撃力特性の相違について報告している[6]。このように、物体同士の衝突によって生じた衝撃は被衝突体の衝撃力特性によって異なる。杵で餅をついた際の感触においても被衝突体の衝撃力特性によって変化すると考えられる。そこで、実際の餅に加えて、餅に近い材質であると想定されるスライム、スポンジ、油粘土、発泡スチロールの衝撃力特性について調査を行った。

### 2.1 計測手法

本システムで使用されているものと同様の杵を一定の速度(33.8 m/s)で振り下ろす装置を製作した(図 2)。

杵を振り下ろした際の撃力と杵の沈み込む変位を各被衝突体(厚さ 25.0 mm)において計測する。計測装置をボタン型ロードセル(Phidgets 製, RB-Phi-121)の上に木板(半径 150 mm, 厚さ 5.00 mm)、空気袋、被衝突体、鉄粉袋と導電性ゴムの順に乗せるように設計する。また、変位は被衝突体の上部からレーザー変位センサ(KEYENCE 製, LK-G400)を用いて計測する。実際の餅については、もち米の状態(初期状態)、もち米から餅になる過程の状態(中間状態)、餅の状態(最終状態)の三段階に分け、各段階の撃力と変位を計測する。一方、本システムの餅は被衝突体直下の空気袋を膨らませることで変化させているため、各被衝突体で空気袋に空気を入れない初期状態、空気を 25 ml 入れた中間状態、空気を 50 ml 入れた最終状態の三段階において計測を行う。一回の試行の度に形を整えながら同様に十回試行を行い、計測された撃力と撃力が加わる時間(衝撃計測時間)、変位を平均する。

### 2.2 計測結果

各被衝突体の各状態における衝撃計測時間とその際に生じた撃力の関係を図 3-5 に示す。横軸は時間、縦軸はロードセルにより計測された撃力である。また、表 1 に各被

衝突体の衝撃継続時間と撃力最大値、杵が沈み込んだ変位、実際の餅と各被衝突体の計測された値の差を示す。

表 1 より、初期状態において撃力最大値と衝撃計測時間、変位が実際の餅に最も近い被衝突体はスライムであった。中間状態では、初期状態と同様にスライムが最大撃力値と変位が最も近かった。一方、衝撃計測時間は発泡スチロールが最も近い値を示した。最終状態においても、撃力最大値と変位はスライムが最も近い値を示したが、衝撃計測時間は油粘土が最も近い値を示した。

次に、撃力の変化の傾向では、図 3 より初期状態において他の被衝突体と比較しスライムが実際の餅と類似していることが確認できた。図 4 より中間状態では、初期状態において類似性が見られたスライムよりも、発泡スチロールに近い傾向を示したことが確認された。また、図 5 の最終状態においても、発泡スチロールと油粘土に近い傾向を示した。

初期状態から最終状態に遷移するにつれての撃力最大値と衝撃計測時間、変位の変化では、実際の餅は初期状態から最終状態に遷移するにつれて撃力最大値が低くなる。一方、衝撃計測時間は長くなり、変位は大きくなる傾向がみられる。各被衝突体における各状態においても同様な傾向が見られた。

### 2.3 考察

初期状態において、スライムの撃力最大値と衝撃計測時間、変位、撃力の変化の傾向が他の被衝突体と比較し、実際の餅と最も類似していたことからスライムの沈み込みは実際の杵の沈み込みの触感に近いと考えられる。しかし、中間状態と最終状態では、最大撃力値と変位はスライムが実際の餅に近い値を示したが、衝撃計測時間と撃力の変化に関しては発泡スチロールと油粘土に近い値を示した。この結果から、中間状態と最終状態においては、スライム、発泡スチロール、油粘土の各素材で実際の餅に近い沈み込みを提示できると考えられる。

空気袋で実際の杵の沈み込みの各状態を表現することは、各被衝突体の撃力最大値と衝撃計測時間、変位の変化から可能であるように見える。しかし、スライムに注目すると、空気袋を膨らませない初期状態から空気袋を膨らませた最終状態に遷移するにつれて、撃力の変化が実際の餅と徐々に異なる傾向になった。このことから、空気袋は杵の沈み込みの変化を忠実に再現出来ていないと考えられる。

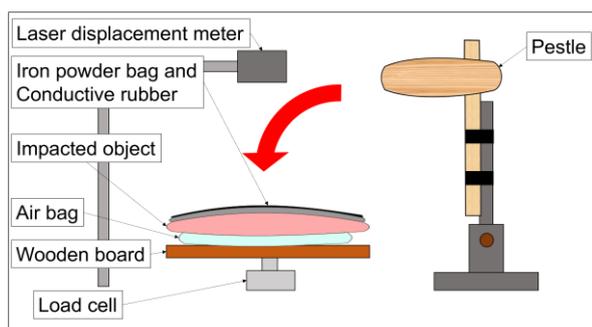


図 2: 撃力測定装置

## 3. 主観的印象の評価

第 2 章より、実際の杵の沈み込みは初期状態ではスライム、中間状態と最終状態ではスライム、発泡スチロール、油粘土の各素材を用いることで再現できることが示唆された。しかし、もち米から餅になる過程で変化する感触は空気袋では再現できないことが示唆された。

本章ではこれらの考察を確認するために、杵の沈み込みに関して変化を含め、第 2 章で使用した各被衝突体(スライム、スポンジ、油粘土、発泡スチロール)と実際の餅の主観的評価実験を行う。

表 1: 各被衝突体の撃力最大値と衝撃計測時間, 変位

Impacted object		Maximum impact force [kg]		Impact measurement time [ms]		amount of deformation of rice cake [mm]	
			Difference with Rice cake		Difference with Rice cake		Difference with Rice cake
Initial state	Rice cake	17.5		11.1		19.3	
	Slime	15.14	2.36	12	0.9	7.9	11.4
	Sponge	11.74	5.76	23.1	12	2.7	16.6
	Oil clay	19.96	2.46	8.4	2.7	2.8	16.5
	Styrofoam	20.87	3.37	8.7	2.4	2.4	16.9
Intermediate state	Rice cake	15.72		12		22.1	
	Slime	13.54	2.18	16.2	4.2	10.5	11.6
	Sponge	8.99	6.73	24.9	12.9	4.3	17.8
	Oil clay	18	2.28	14.1	2.1	6.6	15.5
	Styrofoam	18.28	2.56	12.3	0.3	3.3	18.8
Final state	Rice cake	12.19		14.7		24.1	
	Slime	11.92	0.27	16.8	2.1	14.5	9.6
	Sponge	8.41	3.78	25.2	10.5	5.5	18.6
	Oil clay	16.29	4.1	14.4	0.3	7.1	17
	Styrofoam	10.81	1.38	13.5	1.2	3.5	20.6

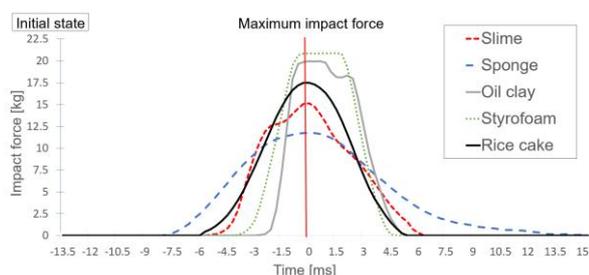


図 3: 各被衝突体の撃力変化 (初期状態)

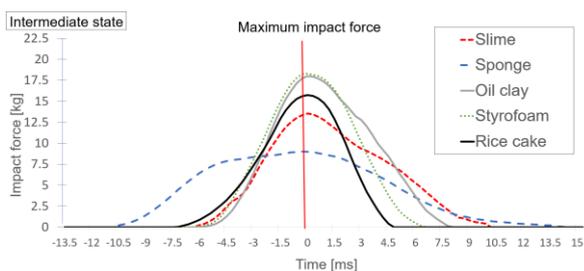


図 4: 各被衝突体の撃力変化 (中間状態)

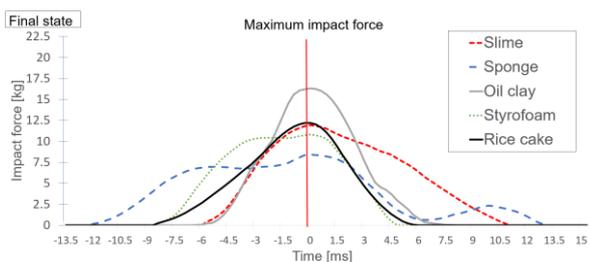


図 5: 各被衝突体の撃力変化 (最終状態)

### 3.1 評価方法

各被衝突体と実際の餅に関して、杵の沈み込みの類似性を検証するために被験者（20代男性16名）に実際の餅をつかせた後に各被衝突体をつかせる評価実験を行った。実際の餅をつかせる際に、被験者には餅をついた際の沈み込みのみを記憶するよう指示を出した。これをもち米の初期状態、もち米から餅になる過程の中間状態、餅の最終状態の三段階で行った。また、各被衝突体については、第2章で行った実験条件と同様に、空気袋に空気を入れない初期状態、25 ml 入れた中間状態、50 ml 入れた

最終状態の三段階に分けて試行を行った。被衝突体をつかせる際は、被験者にはHMDで本システムの餅の映像を見せると共にヘッドホンで音声を流し、各被衝突体の沈み込みが実際の餅に近いかどうかを5段階のリッカート尺度で評価させた（1：杵の沈み込みと感しない。2：杵の沈み込みとあまり感しない。3：どちらとも言えない。4：杵の沈み込みと多少感じる。5：杵の沈み込みと感する）。被験者が4か5を答えた場合は、実際の餅のどの状態に近いかを答えさせた。

### 3.2 実験結果

図6に各被衝突体における評価値平均、表2に各被衝突体の評価値平均と、4か5を評価した際に実際の餅のどの状態に近いかを答えた回数示す。この結果に対し、ウィルコクソンの符号順位と検定にて各状態でスライムと各被衝突体について結果の解析を行った。棄却閾の確率は $\alpha = 0.05$ である。その結果、全ての状態においてスライムに有意差が確認された。また、表2より、被験者が4か5を評価した際に実際の餅のどの状態に近いかを答えた回数では、スライムの全ての状態において空気袋で表現した状態と同様の状態を答える割合が高かった。

### 3.3 考察

スライムの評価値平均が全ての状態において3を上回っているため、スライムで実際の杵の沈み込みを再現できることが分かる。また、全ての状態においてスライムと他の被衝突体の有意差が確認された。したがって、本実験で使用した被衝突体の中ではスライムが実際の杵の沈み込みを再現するのに最適である。第2章の結果より、スライムの最大撃力値と杵の沈みこむ変位が全ての状態において餅に最も近かった。このことから、餅の沈み込み感を再現するために被衝突体の最大撃力値と杵の沈みこむ変位の二つの要素が重要になると考えられる。

空気袋を用いた杵の沈み込みの変化においても、スライムと組み合わせることで、実際の杵の沈み込みを再現できることが示された。しかし、第2章の結果から、スライムの状態が遷移するにつれて撃力の変化は実際の餅における撃力の変化と異なる傾向になった。それにも関わらず、スライムの状態が遷移するにつれて杵の沈み感の評価値

表 2: 評価値平均と答えた回数

Impacted object	Evaluation value average	Number of times answered			
		Initial state	Intermediate state	Final state	
Initial state	Slime	3.4375	6	2	0
	Sponge	2.5625	2	1	2
	Oil clay	1.6875	1	0	0
	Styrofoam	1.4375	0	0	1
Intermediate state	Slime	4.1875	3	8	3
	Sponge	3.125	0	3	2
	Oil clay	2.8125	5	0	0
	Styrofoam	2.9375	3	2	2
Final state	Slime	4.4375	0	6	9
	Sponge	3.5	1	1	8
	Oil clay	3.4375	6	1	3
	Styrofoam	3	5	0	3

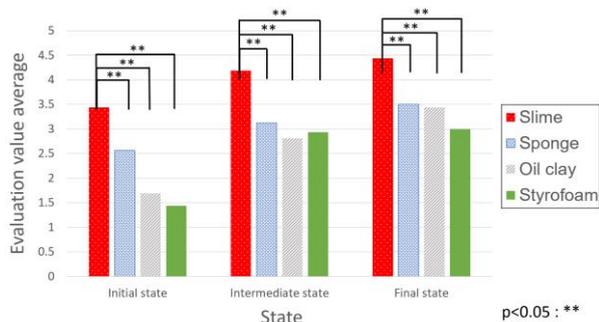


図 6: 評価値平均

が高くなった. このことから, 本システムにおいてもち米から餅になるまでに変化する杵の沈み込み感で重要な要素は, 撃力の変化ではなく, もち米から餅になるまでに段階に応じて変化する最大撃力値と変位を再現することだと考えられる.

#### 4. まとめ

本稿では, 餅をついた際の感触をユーザに提示する餅つき体験システムの杵の沈み込み感に注目し, 物理的性質とユーザ評価から実際の餅との類似性を調査した.

最大撃力値や衝撃計測時間, 変位は初期状態ではスライムが実際の餅と類似性があった. 中間状態と最終状態では最大撃力値と杵の沈みこむ変位においてはスライム, 衝撃計測時間においては発泡スチロール, 油粘土で類似性が見られた. 評価実験では, 実験で使用した被衝突体の中でスライムの評価が比較的高く, 実験で用いた各被衝突体と有意差が見られたことから, スライムで実際の杵の沈み込み感を再現することが可能であることが示された. また, 第 2 章の結果より, スライムの最大撃力値と杵の沈みこむ変位が全ての状態において餅に最も近かつ

た. このことから, 餅の沈み込み感を再現するために被衝突体の最大撃力値と杵の沈みこむ変位の二つの要素が重要になると考えられた. さらに, 空気袋を用いたスライムの状態が遷移するにつれての撃力の変化は, 実際の餅における撃力の変化とは異なる傾向を示した. それにも関わらず, 第 3 章の評価実験ではスライムの状態が遷移するにつれて杵の沈み込み感の評価値が高くなった. このことから, 本システムにおいてもち米から餅になるまでに変化する杵の沈み込み感で重要な要素は, 撃力の変化ではなく, もち米から餅になるまでに段階に応じて変化する最大撃力値と変位を再現することだと考えられた.

#### 参考文献

- [1] 檜山敦, 土山祐介, 宮下真理子, 江渕栄貴, 関正純, 廣瀬通孝: 一人称視点からの多感覚追体験による伝統技能教示支援, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 643–652, 2011.
- [2] 嵯峨智, 川上直樹, 舘暉: 力覚の主体性を活用した教示手法に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 363–369, 2005.
- [3] 毎日新聞デジタル: ノロウイルス流行, もちつき大会中止相次ぐ, 2016年12月22日 (最終閲覧日: 2019年7月12日)  
<http://www.asahi.com/articles/ASJDQ00GCJDPUBQU01D.html>
- [4] Y. Mori, K. Watanabe, M. Iwata, Y. Yanagida: Mochitsuki, in Proceedings of the Virtual Reality International Conference (VRIC '18), ACM press, Article No. 26, 2018.
- [5] Y. Mori, K. Watanabe, M. Iwata, H. Kawai, Y. Yanagida: Mochitsuki: a real-object-based, interactive haptic interface, in Proceedings of SIGGRAPH Asia 2018 Virtual Reality & Augmented Reality (SA '18), ACM press, Article No. 10, 2018.
- [6] 大久保一徳, 別府万寿博, 大野友則, 山口貴之: 物体の衝突による衝撃力特性の評価に関する基礎的研究, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, Vol. 30–1, pp. 95–96, 2003.