



# シャボン玉を用いた 受動的かつ非装着な柔らかさ提示システム

Passive and Non-Wearable Softness Presentation System Using Soap Bubbles

柄沢未希子<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

Mikiko KARASAWA, and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {karasawa, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**概要:**我々は、受動的かつ非装着で柔らかさを提示するシンプルな構成のシステムを模索する中で、シャボン玉の皮膚への衝突が柔らかさ感を生じさせることを発見した。本稿では、シャボン玉を用いた受動的かつ非装着な柔らかさ提示システムを提案し、シャボン玉の衝突における柔らかさの提示の可否と柔らかさを知覚する条件を調査するための実験を行う。実験では、液組成や掌の乾燥具合などの条件下でそれぞれ得られる柔らかさ感の強度を被験者に判断させた。実験の結果、高評価を得た試行が存在したため、提案システムは柔らかさを提示できることが分かった。

**キーワード:** 柔らかさ, 受動的, 非装着, シャボン玉, 触覚提示

## 1. はじめに

人々は、視覚経験の有無に関係なく、柔らかいものを好む傾向がある[1]。柔らかさの体験は、心地よさを与えたり[2]、愛着の形成・維持に必要であったり[3]、ネガティブな気持ちを緩和して社会的な行動を促進したり[4]と、人々に有益な効果をもたらす。これらの効果をもたらす体験をシステムによって提供する場合、想定されるユーザの使用背景は様々である。

そうしたユーザの状況の1つとして、ネガティブな気持ちになっているがそれに気づかない、または、緩和方法が分からないユーザが考えられる。このようなケースに対応するためには、ユーザが能動的にシステムに触れたり、システムを身に付けたりする必要のない、受動的で「いつの間にか」柔らかさが提示されるシステムが求められる。

多くの研究[5][6][7][8][9][10]が柔らかさを提示する手法を提案しているが、そのほとんどはユーザが触れに行く、あるいは装着するものであり、受動的かつ非装着で提示するものではない。受動的かつ非装着で柔らかさを提示することが可能なシステムには、超音波振動子アレイを用いて柔らかい物体を押し込むときの圧力分布を再現するもの[11]が挙げられるが、現時点では大掛かりである。

我々は、シンプルな構成で受動的かつ非装着で柔らかさを提示するシステムを模索する中で、シャボン玉の皮膚への衝突が柔らかさ感を生じさせることを発見した。

これまでのシャボン玉または気泡を用いた研究には、視覚あるいは嗅覚へ情報を提示するシステムの例はあるが

[12][13][14][15]、我々の知る限り触覚へ提示するシステムの例は未だ存在しない。もしシャボン玉によって柔らかさを提示できるなら、「いつの間にか柔らかさを提示する(ことによって癒し等の効果をもたらす)」という我々のコンセプトが実現できると考えられる。

そこで本研究では、シャボン玉を用いて柔らかさを提示する触覚提示システムを提案する。シャボン玉は、空中に放出された後に、その軽さから浮遊することができるため、受動的かつ非装着で触覚提示が実現できる。本研究では、シャボン液を排出するポンプと、シャボン液を付着させるフレームと、空気を送り込む仕組みのみから成る、シンプルな構成の柔らかさ提示システムを開発した。

触覚による柔らかさの知覚は、皮膚感覚と深部感覚の両方の作用が関わっている[16]が、提案システムは受動的に柔らかさを提示するため、皮膚感覚のみを利用する。皮膚感覚に基づいた提示では、柔らかさと接地面積の変化の知覚との関係がこれまでに研究されており[17][18][19]、先に挙げた既存研究にも接地面積を大きくすることで柔らかさを提示するものがあった[5][6][7][8][9]。本研究では、シャボン玉の衝突においても、シャボン玉と掌との接地面積が時間ごとに大きくなることで柔らかさ感を生じさせられるのではないかと考え、提示システムを用いてその検証を行う。

本稿では、検証に先駆けた予備調査として、シャボン玉の衝突における柔らかさの提示の可否と柔らかさを知覚する条件を明確化することを目的とした実験を行う。実験

では、液組成や掌の乾燥具合などの条件下でそれぞれ得られる柔らかさの強度を被験者に判断させた。その後、実験の結果より得られた、柔らかさを強く知覚し得る条件において、シャボン玉と掌との接地面積の変化を計測する。

2. 提案システム

提案システムの構成を図 1 に示す。

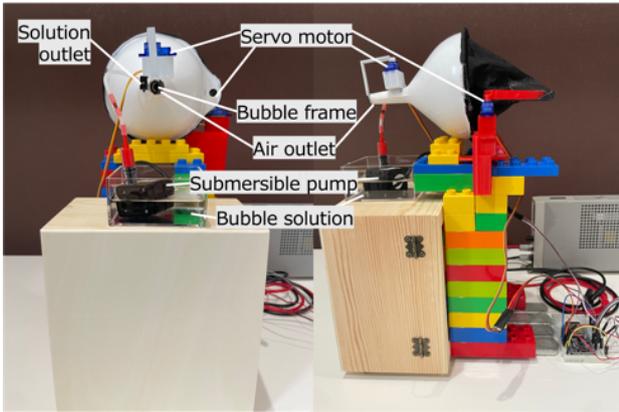


図 1 提案システムの構成

システムは、シャボン液を付着させるフレームと、容器に貯められたシャボン液を吸い上げてフレーム付近に排出する水中ポンプ(LEDGLE)と、フレームを排出中のシャボン液に付着させて空気の出出口前まで動かすマイクロサーボ(SG-90, Tower Pro Pte Ltd)と、漏斗および布で作られた密閉空間中の空気を排出口より外へ送り出し、フレームに付着したシャボン液からシャボン玉を生成するアームおよびマイクロサーボで構成される。各マイクロサーボはマイクロコントローラ(ESP32-DevkitC, Espressif Systems)により制御する。

なお、空気を外へ送り出す仕組みは、SensaBubble[15]の密閉空間中の空気を外に押し出す手法を採用した。一方、シャボン液をフレームに付着させる仕組みは、SensaBubbleの手法では付着させるシャボン液の量を変える実験に不向きと考えたため、別の手法を採用した。

3. 実験

本実験では、シャボン玉の衝突における柔らかさの提示の可否と柔らかさ知覚する条件を明らかにすることを目的として、複数条件下でそれぞれ得られる柔らかさの強度を被験者に判断させた。

3.1 実験条件

本実験で設定した実験条件を表 1 に示す。

液組成(液の粘性)

標準条件として市販のシャボン液(とらや, 水 180 l, 界面活性剤 18 l, 増粘剤 175 g)を使用し、高粘性条件として標準条件の液より増粘剤の割合を増やしたシャボン液(とらや, 成分: 水 180 l, 界面活性剤 18 l, 増粘剤 275 g)70 ml に対して市販のグリセリン(大洋製薬)30 ml を混ぜた液を使用する。

表 1 実験条件

| 条件 | 液組成(液の粘性) | 掌の乾燥具合 | 掌の表面温度 | シャボン液の排出量 | シャボン玉のサイズ |
|----|-----------|--------|--------|-----------|-----------|
| 1  | 標準        | 標準     | 標準     | 標準        | 標準        |
| 2  | 高粘性       | 標準     | 標準     | 標準        | 標準        |
| 3  | 標準        | 湿潤     | 標準     | 標準        | 標準        |
| 4  | 標準        | 標準     | 低温     | 標準        | 標準        |
| 5  | 標準        | 標準     | 標準     | 少量        | 標準        |
| 6  | 標準        | 標準     | 標準     | 標準        | 小         |

掌の乾燥具合

標準条件として無水エタノール(大洋製薬)で軽く拭き取り乾燥させた掌を使用し、湿潤条件としてシャボン液 1ml をスプーンで塗り伸ばした掌を使用する。

掌の表面温度

標準条件として 35 度 に保たれた恒温ホットプレート(Hanchen)に 30 秒間触れた掌を使用し、低温条件として布でくるまれた保冷剤に 2 分間触れた掌を使用する。

シャボン液の排出量

標準条件として 25 ml/分、少量条件として 10 ml/分 排出されているシャボン液をフレームに付着させる。なお、シャボン液の排出量の変更は、穴径の異なるコネクタをチューブ中間に接続することで行う。生成されるシャボン玉の重量を高精密スケール(Fincy Palmoo)で測った結果、標準条件下で約 4.1 mg、少量条件下で約 2.7 mg であった。

シャボン玉のサイズ

標準条件として直径約 3.0 cm のシャボン玉を使用し、小条件として直径約 2.4 cm のシャボン玉を使用する。なお、シャボン玉のサイズの変更は、空気を排出するアームの振れ角と速度を変更することで行う。

3.2 実験手順

21 歳~38 歳の男女 10 名(男性 6 名, 女性 4 名)に対して、前節で示した条件 1 から 6 でランダムにシャボン玉を衝突させ、得られた柔らかさの強度を 7 段階のリッカートスケールで回答してもらった。これを 5 回繰り返し行い、1 人あたり合計 30 回の試行となった。シャボン玉を衝突させる際は、被験者が装着したイヤホンからピンクノイズを流し、目を閉じてもらった。実験の様子を図 2 に示す。



図 2 実験の様子

### 3.3 実験結果

各条件における柔らかさ感の強度についての回答結果を図3に示す。

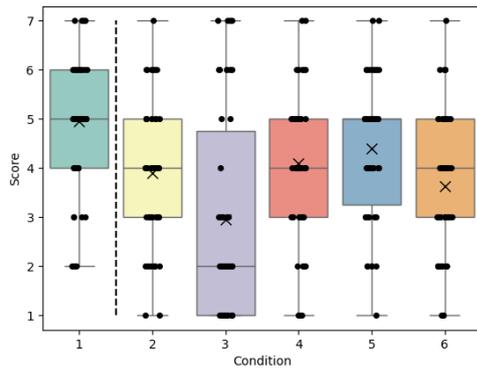


図3 柔らかさ感の強度についての回答結果  
(条件1=標準, 2=液高粘性, 3=掌湿潤, 4=掌低温,  
5=液少量, 6=シャボン玉小)

実験後のインタビューで被験者が表現した「高評価時に得られた感触」の一部を以下に示す：

- 毛皮のポンポンで押された感じ
- 求肥のようなもっちり感
- シャボン玉っぽくない柔らかさで驚いた
- フワッフワ、ホワッフワとした感触

## 4. 計測

本計測では、シャボン玉の衝突における接地面積の広がり方を調査するため、評価の値の平均値が最も高かった標準条件に対して、接地面積の計測を行った。

計測では、高速カメラ(Cyber-shot RX10 IV DSC-RX10M4, SONY, 960fps)を用いてシャボン玉が衝突する様子を掌の真上から撮影し、画像処理ソフトウェア ImageJ を用いてシャボン玉と掌との接地領域を手動で指定することで各動画フレームにおける接地面積を得る(図4)。図5に、ある1回の計測結果を示す。グラフは、接地領域を真円とみなし、接地面積から算出した半径の変化である。また、ある時刻における接地領域の広がり速度を推定するために、半径の変化に対して式(1)の関数でカーブフィッティングを行った。

$$f(x) = a * (1 - e^{-bx}) \quad (1)$$

## 5. 考察

実験結果から、高評価を得た試行が存在するため、提案システムは柔らかさを提示できることが分かった。

一方で、どの条件においてもばらつきが大きいことから、柔らかさを知覚する条件は、今回設定した条件以外に存在する可能性があると考えられる。したがって、シャボン玉の衝突における柔らかさを知覚する条件のすべてを明らかにすることはできなかったと考え、今後は大きいばらつきの原因となった条件を見出すための実験および計測を行っていく。

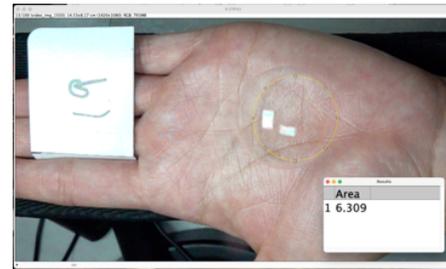


図4 接地領域(黄線)を指定して接地面積を得たときのImageJ 操作画面

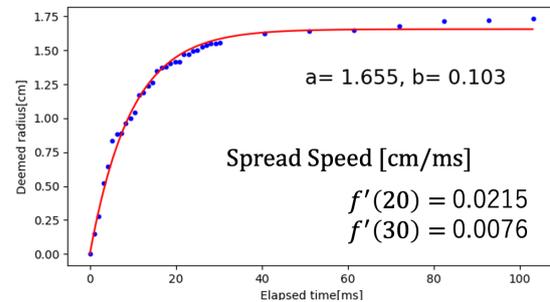


図5 接地領域のみなし半径の変化  
(縦軸=半径 cm, 横軸=衝突開始からの経過時間 ms)

湿潤条件については、柔らかさを知覚しにくい傾向が見られた。接地面積の計測では、湿潤条件と標準条件で目立った差が見られなかった。したがって、接地面積の広がり方によるものではない他の原因として、掌上の液層が触覚の感度を下げている可能性が考えられる。

低温条件については、今回の実験において触覚感度が落ちるほど掌を冷やすことができなかった。これは冷却後から提示までに掌の表面温度が上昇したものと考えられる。実験中、提示時の掌の表面温度を不定期に計測したところ、平均温度が 29.5℃(最低温度 25.4℃)であった。

接地面積の広がり速度については、求められた曲線から、時刻 20 ms のときに 21.5 cm/s、時刻 30 ms のときに 7.6 cm/s と推定された(図5)。左母指球におけるストローク提示時に最大の方向感受性を示した速度が 7.4 cm/s と 20.09 cm/s であること[20]を参考にすると、シャボン玉の衝突においても接地面積の広がり知覚可能な時機が存在すると思われる。

制限事項として、シャボン玉の着地位置の制御が今後の課題である。例えば、静電気がシャボン玉を引き寄せる性質を利用したシャボン玉の着地位置制御や、空気の流れを生成することによるシャボン玉の着地位置制御など、フィージビリティ・スタディも含めて今後検討していきたい。

## 6. まとめ

本稿では、シャボン玉を用いた受動的かつ非装着な柔らかさ提示システムを提案し、シャボン玉の衝突における柔らかさの提示の可否および条件を調査する実験を行った。実験の結果、高評価を得た試行が存在したため、提案システムは柔らかさを提示できることが分かった。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP20H05957の助成を受けたものです。実験に使用したシャボン玉液は株式会社とらやより提供して頂いたものです。

### 参考文献

- [1] A. K. M. Rezaul Karim, Sanchary Prativa, and Lora T. LikovaKarim, "Perception and appreciation of tactile objects: The role of visual experience and texture parameters." *Journal of perceptual imaging*, 5, 2022.
- [2] Ryo Kitada, Megan Ng, Zheng Yee Tan, Xue Er Lee, and Takanori Kochiyama, "Physical correlates of human-like softness elicit high tactile pleasantness." *Scientific Reports* 11, 16510, 2021.
- [3] Harry F. Harlow, "The nature of love." *American Psychologist*, 13(12), pp. 673-685, 1958.
- [4] Kenneth Tai, Michelle Xue Zheng and Jayanth Narayanan, "Touching a teddy bear mitigates negative effects of social exclusion to increase prosocial behavior." *Social Psychological and Personality Science*, 2(6), pp. 618-626, 2011.
- [5] Kinya Fujita and Hisayuki Ohmori, "A new softness display interface by dynamic fingertip contact area control." In 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, pp. 78-82, 2001.
- [6] Seiya Takei, Ryo Watanabe, Ryuta Okazaki, Taku Hachisu, and Hiroyuki Kajimoto, "Presentation of softness using film-type electro-tactile display and pressure distribution measurement." *Asia Haptics*, 2014.
- [7] Toshiki Kitazawa, and Akio Yamamoto, "Rendering Different Sensations to Multiple Fingers in a Multi-digit Softness Display: Pulsation and Distributed Softness." *Asia Haptics*, 2014.
- [8] Taku Nakamura, and Akio Yamamoto, "Extension of an electrostatic visuo-haptic display to provide softness sensation." 2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), pp. 78-83, 2016.
- [9] Yujie Tao, Shan Yuan Teng, and Pedro Lopes, "Altering perceived softness of real rigid objects by restricting fingerpad deformation." *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 985-996, 2021.
- [10] Jia Liu, Aiguo Song, and Haiyan Zhang, "Research on Stiffness Display Perception of Virtual Soft Object," 2007 International Conference on Information Acquisition, pp. 558-562, 2007.
- [11] Atsushi Matsubayashi, Tomohisa Yamaguchi, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda, "Rendering softness using airborne ultrasound." 2021 IEEE World Haptics Conference (WHC), pp. 355-360, 2021.
- [12] Yoichi Ochiai, Alexis Oyama, Takayuki Hoshi, and Jun Rekimoto, "Theory and application of the colloidal display: programmable bubble screen for computer entertainment." *Advances in Computer Entertainment: 10th International Conference, ACE 2013, Proceedings* 10, pp. 198-214, 2013.
- [13] Yuki Kubo, Hirobumi Tomita, Shuta Nakamae, Takayuki Hoshi, and Yoichi Ochiai, "Bubble cloud: projection of an image onto a bubble cluster." *Advances in Computer Entertainment: 13th International Conference, ACE 2016, Article* 41, pp. 1-4, 2016.
- [14] Ayaka Ishii, and Itiro Siio, "Bubblowl: Display vessel using electrolysis bubbles in drinkable beverages." *The 32th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 619-623, 2019.
- [15] Sue Ann Seah, Diego Martinez Plasencia, Peter D. Bennett, Abhijit Karnik, Vlad Stefan Otrocol, Jarrod Knibbe, Andy Cockburn, and Sriram Subramanian, "SensaBubble: a chrono-sensory mid-air display of sight and smell." *the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2863-2872, 2014.
- [16] M. A. Srinivasan, Robert H. LaMotte, "Tactual discrimination of softness." *Journal of neurophysiology*, 73(1), pp. 88-101, 1995.
- [17] Giulio Ambrosi, Antonio Bicchi, Danilo De Rossi, and Enzo Pasquale Scilingo, "The role of contact area spread rate in haptic discrimination of softness." 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Cat. No. 99CH36288C, Vol. 1, pp. 305-310, 1999.
- [18] Antonio Bicchi, Enzo Pasquale Scilingo, and Danilo De Ross, "Haptic discrimination of softness in teleoperation: the role of the contact area spread rate." *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, no. 5, pp. 496-504, 2000.
- [19] Alessandro Moscatelli, Matteo Bianchi, Alessandro Serio, Alexander Terekhov, Vincent Hayward, Marc O. Ernst, and Antonio Bicchi, "The change in fingertip contact area as a novel proprioceptive cue." *Current Biology*, 26(9), 1159-1163, 2016.
- [20] G.K. Essick, and B.L. Whitsel "Factors influencing cutaneous directional sensitivity: A correlative psychophysical and neurophysiological investigation." *Brain Research Reviews*, vol. 10, Issue 3, pp. 213-230, 1985.