

カットケーキの箱詰め作業を可能とする薄型ソフトロボットハンドの開発

Development of A Thin Soft Robotic Hand Capable of Packaging Cut Cakes

○ 川島 圭太 (道総研) 正 平井 慎一 (立命館大)
正 王 忠奎 (立命館大)

Keita KAWASHIMA, Hokkaido Research Organization, Kawashima-keita@hro.or.jp
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University
Zhongkui WANG, Ritsumeikan University

In the food industry, automation using robots is highly demanded due to the influence of labor shortage. In this paper, we developed a pneumatically driven soft robot hand with thin and flexible fingers having thickness of 5 mm. With the developed soft robot hand, it is possible to arrange and pack cakes of different sizes and shapes without damaging them. In order to manufacture the thin finger, we proposed a new manufacturing method in which a soft skeleton part is embedded in the air chamber of the flexible finger. By using this manufacturing method, it was possible to simplify the manufacturing process of flexible fingers and improve the strength of the hand. Experiments were conducted to measure the gripping force and pack three different cut cakes.

Key Words: Robot hand, Manipulation, Thin soft robot hand

1. 緒言

北海道の食品製造業は、製造品出荷額が製造業全体の3割を超えており、北海道の主要産業となっている[1]。食品の加工・製造現場では、不良品の選別作業などに多くの人手を費やしており、昨今の労働力不足の中で人員の確保が困難な状況にある[2]。そのため、ロボットや機械導入による省人化が喫緊の課題となっている。

また、食品の加工・製造現場では、食品を把持して外観の確認などをしながら箱詰めする作業が多い。当該工程の自動化でロボットを導入する際の多くは、食品を柔らかく把持可能なロボットハンド（以下、ソフトロボットハンド）が必要となる。そこで、箱の隅々まで食品を詰めるために指の厚みが薄いソフトロボットハンドが求められている。

空気圧駆動のソフトロボットハンドは、3Dプリンタで製造可能なハンド[3]や裁断された食品を定量的に把持可能な包みグリップ[4]など様々なソフトロボットハンドが研究開発されている。しかし、箱詰め作業に適した空気圧駆動の薄型の柔軟指を持つソフトロボットハンドは開発されていない。

そこで本稿では、カットケーキの箱詰め作業を対象とした薄型の柔軟指を持つソフトロボットハンドの開発について報告する。

2. 薄型ソフトロボットハンドの設計

2.1 柔軟指と薄型ソフトロボットハンドの設計

薄型ソフトロボットハンドに取り付ける柔軟指は図1(a)に示す断面のような空気式の蛇腹アクチュエータである[5]。柔軟指の中に空気圧をかけることで指内の空気室が膨張し、隣り合った空気室と押し合うことで指が屈曲する。この構造を基に厚さ5mmの薄型の柔軟指を設計した。

次に図1(b)に本稿で設計した薄型ソフトロボットハンドの概要を示す。今回、カットケーキを横から把持するソフトロボットハンドを設計した。ハンドには、横からの把持を補助するためのケーキすくい板を追加した。さらに箱詰め後にケーキの位置の微調整を行えるようケーキ寄せ板を追加した。

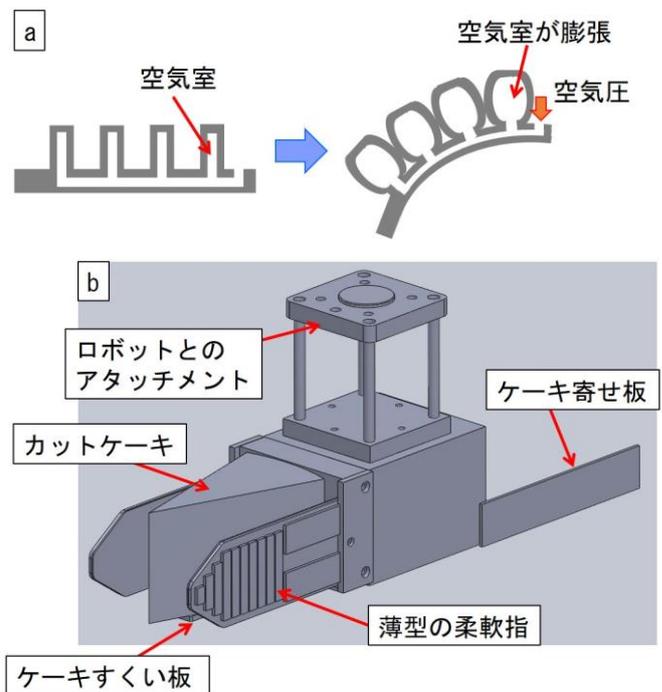


Fig. 1 Cross section of flexible finger (a) and Overview of the developed soft robot hand (b)

2.2 既存の手法での柔軟指の製造

はじめに既存の手法[4]で厚さ5mmの柔軟指の製造を行った。図2に示す3Dプリンタで製作した2種類の金型に、SMOOTH-ON社製シリコンゴムDragon Skin30[6]を流し込む鋳造成形法で製造した。柔軟指本体とカバー部品を製造した後、Dragon Skin30で柔軟指本体とカバー部品を接着することで空気室を確保する。接着後、柔軟指にテフロンチューブを差し込み、瞬間接着剤で接着した。

完成した柔軟指を図3(a)に示す。柔軟指に圧縮空気を入れた結果、空気圧を最大40kPaまでかけることができた。しかし、その後、数回駆動させると内側から破損した。破損の様子を図3(b)に示す。



Fig.2 Conventional mold



Fig.4 New method mold(a) and State of modeling of new method(b)

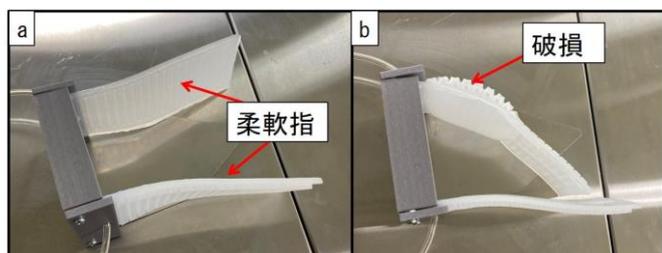


Fig.3 Flexible finger of conventional method(a) and Broken flexible finger(b)

2. 3 新手法での柔軟指と薄型ソフトロボットハンドの製造

次に新たに考案した手法で柔軟指の製造を行った。図 4(a)に示す 3D プリンタで製作した金型に、SMOOTH-ON 社製シリコンゴム Dragon Skin30 を流し込む鋳造成形法で製造した。既存の手法と同様に柔軟指本体用金型を使用し、柔軟指の本体を製造する。この時、カバー部品は製造しない。次に図 4(a)に示す柔軟指の空気室を充填する形状の柔軟な骨格部品を 3D プリンタで製造する。今回、骨格部品に使用した材料は Ninja Flex TPU[7]を使用した。2つの部品を製造後、図 4(b)のようにカバー用金型に製造した柔軟指本体と骨格部をはめ込む。その後、Dragon Skin30 を流し込み、カバーする。カバー後、柔軟指にテフロンチューブを差し込み、瞬間接着剤で接着した。

完成した図 5 に示す柔軟指は 40kPa を加圧しても破損することなく駆動することが確認できた。柔軟指本体に骨格部を充填したため、柔軟指の空気室はなくなった。しかし、骨格部と柔軟指は、密着しているが接着していない状態のため、空気圧をかけると空気が通るための隙間ができ、空気室が膨張し、隣り合った空気室と押し合うことで指が屈曲する。

しかし、図 5 のように横向きに柔軟指に取り付けると先端がたわみ、対象を把持できない。そこで図 6 に示すように柔軟指の根元部分に PLA 樹脂ブロックを埋め込み、さらにカバーする際に流し込む樹脂を Dragon Skin30 よりも硬度の高い Smooth-Sil 960 を使用した。

製造した柔軟指を使用した薄型ソフトロボットハンドを図 6 に示す。柔軟指以外の部材は主に 3D プリンタで PLA 樹脂を使用し製造した。ケーキすくい板は、摺動性の高いポリアセタール樹脂を加工して製造した。

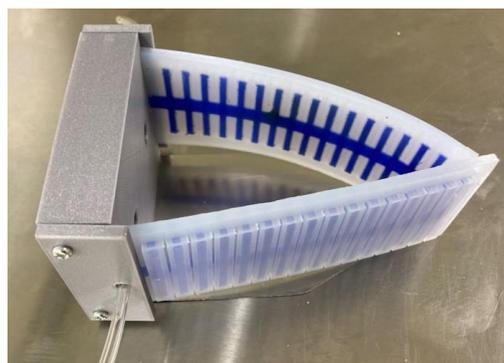


Fig.5 Flexible finger of new method

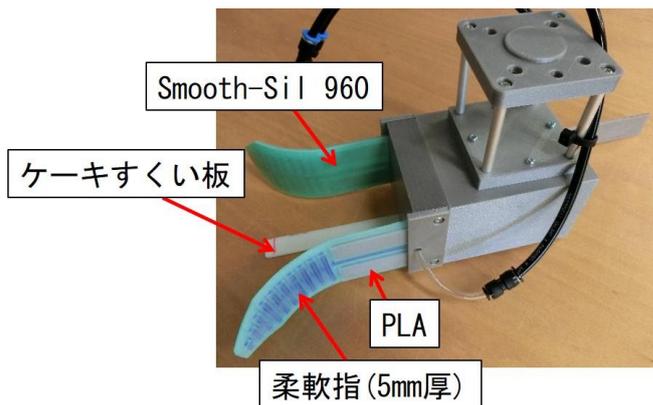


Fig.6 Developed thin soft robot hand

3. 薄型ハンドの強度シミュレーション

既存の手法と新手法で製造した柔軟指の強度の違いについてシミュレーションで確認した。

確認に使用したソフトは SolidWorks Simulation Premium2010 を使用した。柔軟指の物性値は、柔軟指本体には Smooth-Sil 930、骨格部には Ninja Flex TPU の値を使

用した[6], [7]. 拘束条件は, 図 7 に示す柔軟指の根元部分を固定する面とした. 空気圧の条件は, 柔軟指内部に 40kPa かかる設定とした.

解析結果は, 図 7 に示すとおりである. 新手法で製造した柔軟指の方が柔軟指にかかる応力が小さいことを確認した.

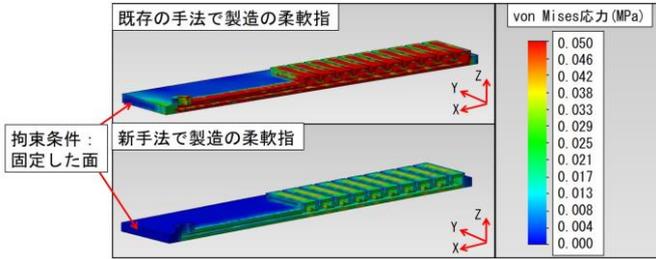


Fig. 7 Result for strength simulation

4. 薄型ソフトロボットハンドの把持力確認

次に開発した薄型ソフトロボットハンドの把持力確認の試験を行った. 実験系は, 図 8 に示すとおりである. 試験は, 薄型ソフトロボットハンドで 5 秒間ロードセルを把持し 5 秒解放する工程を 5 回繰り返した. 各回の最大把持力と空気圧ごとの最大把持力の平均を表 1 に示す.

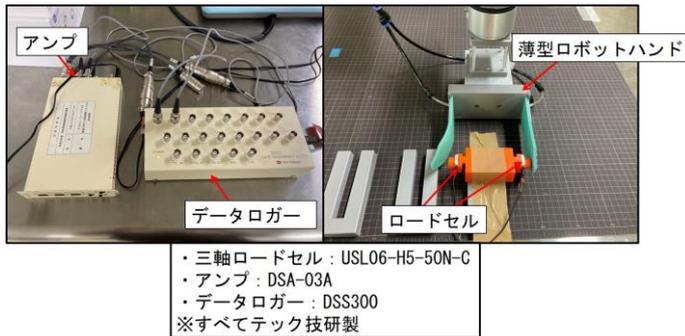


Fig.8 Experimental system for gripping force test

Table 1 Results for gripping force test of the developed soft robot hand

空気圧 [kPa]	最大把持力 [N]					
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
50	0.13	0.19	0.13	0.13	0.13	0.14
60	0.25	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20

5. カットケーキの箱詰め試験

最後に開発した薄型ソフトロボットハンドを図 9 に示すロボットシステムに組み込み, カットケーキの箱詰め試験を行った. ロボットは Universal Robot 社製 UR5e を使用した. 開発した薄型ソフトロボットハンドには 60kPa の空気圧をかけて把持を行っている.

また, 試験に使用したカットケーキを図 10(a)に示す. 形や大きさの異なる実際のカットケーキ 3 種類を使用した. 各カットケーキの大きさや重量は表 2 に示す.

箱詰め試験をした結果, 図 10(b)に示すとおり 3 種類のカットケーキを破損することなく整列・箱詰めが可能であることを確認した.

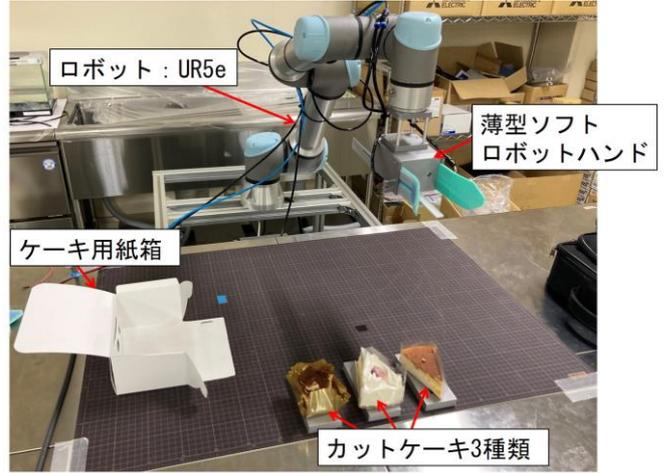


Fig.9 Experimental robot system

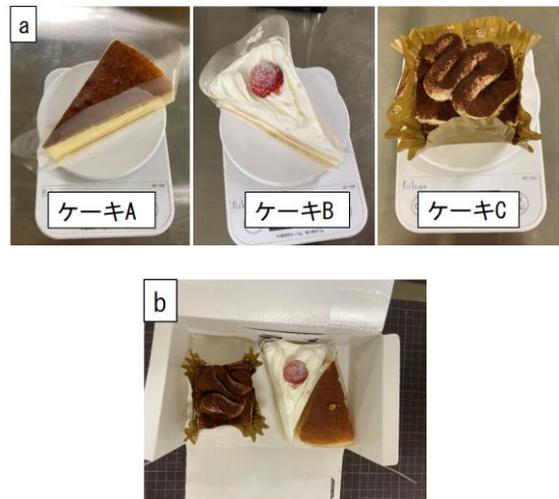


Fig.10 Cut cake before the test (a) and Boxing test results (b)

Table 2 Detail of cut cakes

	重量 [g]	縦 [mm]	横 [mm]	高さ [mm]	形状
ケーキA	88	105	60	30	三角
ケーキB	79	110	75	65	三角
ケーキC	74	90	95	55	四角

6. 結言

本稿では, 新たな柔軟指の製造手法を考案し, 厚さ 5mm の柔軟指を持つ薄型ソフトロボットハンドを開発した. 開発した薄型ソフトロボットハンドを用いて, 複数個の大きさや形状の異なるカットケーキを破損することなく, 整列・箱詰め可能であることを確認した.

また, 本稿で考案した製造手法を用いることでハンドの製造工程の簡略化, さらにハンドの強度向上が実現できた. しかし, 薄型ソフトロボットハンドの把持力には, まだ課題がある. 今後, 実用化を目指し, 製造する際の樹脂の組み合わせを変更するなどして把持力の向上を目指す.

謝辞

本研究の一部は, 内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期/フィジカル空間デジタル

データ処理基盤」(管理法人：NEDO)によって実施されました。ここに関係者に謝意を表します。

参考文献

- [1] 北海道経済部食関連産業局食産業振興課, 北海道の食品工業の現状, <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/sss/shkhn/genjo.html>, November 1, 2021
- [2] 農林水産省, 食品製造業における労働力不足克服ビジョン, <https://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/seizo/190711.html>, July 11, 2019
- [3] Z. Wang, Y. Torigoe, S. Hirai, “A prestressed soft gripper: design, modeling, fabrication, and tests for food handling”, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2(4), pp. 1909-1916, Oct. 2017.
- [4] 栗山 佳之, 王 忠奎, 平井 慎一, 包み込みグリップによる粒状食品把持量の安定化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, オンライン, May 27-30, 2020
- [5] Z. Wang and S. Hirai, “Chamber dimension optimization of abellow-type soft actuator for food material handling”, in *Proc. IEEE International Conference on Soft Robotics*, pp. 382-387, Apr. 24-28, Livorno, 2018
- [6] サツク株式会社, “Smooth-Sil™ シリーズ”, http://sac-corp.co.jp/products/Smooth-Sil_TI.pdf [accessed Feb. 18, 2022].
- [7] FennerInc, “NinjaFlexTechnicalDataSheet”, <https://ninjatek.com/wp-content/uploads/NinjaFlex-TDS.pdf> [accessed Feb. 18, 2022].