

突き刺しと把持が可能なニードルグリップの開発と評価

Development and evaluation of a needle gripper for piercing and gripping

○学 巻山 結 (立命館大)
正 平井 慎一 (立命館大)

王 忠奎 (立命館大)

Yui MAKIYAMA, Ritsumeikan University, rr0081ix@ed.ritsumeikan.ac.jp
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University
Zhongkui WANG, Ritsumeikan University

In recent years, soft robot grippers capable of gripping various types of objects including food materials have been studied in order to improve the efficiency of food inspection and transport operations in food factories. However, gripping finely shredded food materials with conventional soft robot grippers and gripping in environments where there is no gap between foods has been difficult. This paper presents a pneumatically driven needle gripper that can penetrate confined areas and grip shredded food materials. By controlling the positive and negative pressure of the flexible membrane, which is the drive unit of the gripper that combines a needle-shaped hard material and a film-shaped flexible material, with a pneumatic regulator, it can perform two types of operations. The gripper was gripped on the shredded food using an industrial robot arm, and the gripper mass and appearance after gripping were analyzed to evaluate the gripper performance.

Key Words: Soft robot, grasping mechanism, shredded food

1. 緒言

ロボットと自動化の急速な発展にもかかわらず、食品産業は依然として自動化技術の導入が少ない現状である。そのため、日本のような高齢社会の国々では、こうした産業における労働力不足を抱えている[1]。食品生産の自動化における最も困難な点は、大きさや形状、物理的特性に大きなばらつきがある食品材料の取り扱いである。袋詰め食品材料の取り扱いに、吸着を行う真空パッドが広く使用されている。しかし、表面の質感保持と衛生上の問題から、真空パッドを未包装の食品材料の取り扱いに採用するのは困難である。その問題を解決するために開発されたのが、柔軟素材で空気圧駆動の多指ソフトグリップである[2]。この多指ソフトグリップは、から揚げ、茹で卵、焼き魚など、多様な特性の食品材料の取り扱いが可能である[2]。しかし、隣接する柔軟指間の間隔が広い場合、従来の多指ソフトグリップではひじきなどの細断食品やコーンなどの粒状食品を把握するのが困難という問題点がある。このような細断食品や粒状食品は日本のお弁当によく登場するため、現在人の手によって詰め込み作業がおこなわれている。

本論文では、突き刺しと把持の2種類の動作をする新しい機構のグリップを提案する。このグリップは、針形状の硬質素材と膜形状の柔軟素材を組み合わせて駆動部としており、空気圧レギュレータで正圧・負圧を制御することで2種類の動作を実現する。このグリップを以下「ニードルグリップ」と呼ぶ。ニードルグリップにより、真空パッドでの吸着把持ができない揚げ物などの食品材料の把持が可能となると考える。また、細断食品や粒状食品の把持が期待できる。さらに、食材同士の間隔が小さく、従来の多指ソフトグリップが把持位置に入ることができない場合において、細い針を用いて把持が可能となると考える。

本研究では、千切りキャベツに対してグリップによる把持を行い、把持質量測定と把持後の外形を撮影することで、把持量・外見のばらつきを分析し、ニードルグリップを評価した。

2. ニードルグリップの機構および動作

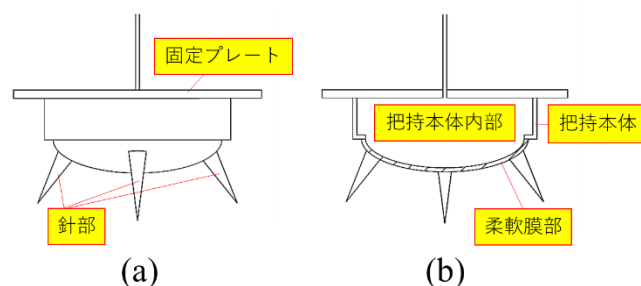
本研究で設計・製作したニードルグリップを図1に示す。数十段階の材料特性の異なる素材を印刷可能な3Dプリンタ(Stratasys社製、Objet350 connex3)を利用することにより、

従来の多指ソフトグリップの製作方法では困難であった柔軟素材と硬質素材の一体成形が可能になり、ニードルグリップを製作することができた。図1(a)にグリップに空気圧を加えていない定常時状態を示す。図1(b)に正圧の空気圧を加えた状態を示す。図1の白色パーツは硬質素材である硬質樹脂(VeroWhite)、黒色パーツは柔軟素材であるゴムライク樹脂(Agilus30)でできており、柔軟素材を空気圧で駆動することができる。正圧を加えたグリップのモデルを図2、突き刺しの例を図3、負圧を加えたグリップのモデルを図4に示す。



(a) (b)

Fig. 1 A needle gripper at negative and positive pressure



(a) (b)

Fig. 2 A needle gripper at positive pressure

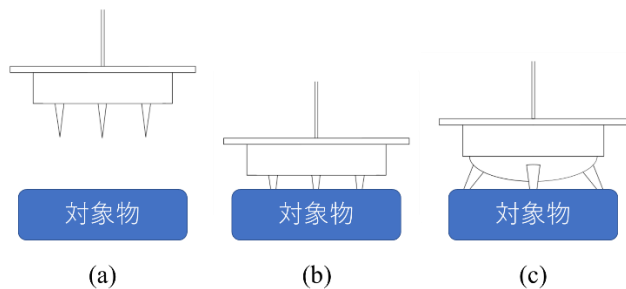


Fig. 3 Example of piercing operation by needle gripper

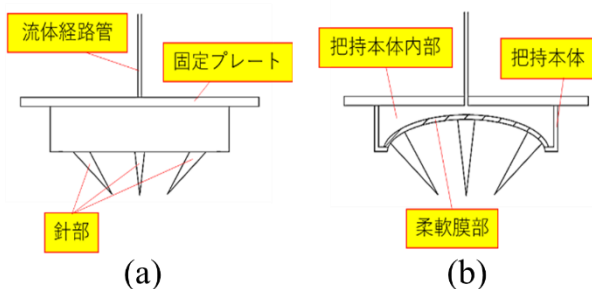


Fig. 4 A needle gripper at negative pressure

図 2 に示すように、正圧を加えることで柔軟膜部が膨らみ針部が押し出されることで、図 3 に示すように食品内部で針部が拡がり対象物の自重に対するストッパーとなり、対象物である食品を持ち上げる。負圧を加えることで、図 4 に示すように柔軟膜部がへこみ針部が引き込まれることで、細断食品などの細かい食品材料をかき寄せるように把持する。

3. 把持動作におけるグリッパ評価

本節では、細断食品である千切りキャベツを対象物として図 5 に示す実験環境にて、ニードルグリッパによる把持実験をおこなった。図 6 に示すように、グリッパで対象物を把持した後デジタルはかりに載ったトレーに対象物を載せて把持後の質量を測った。

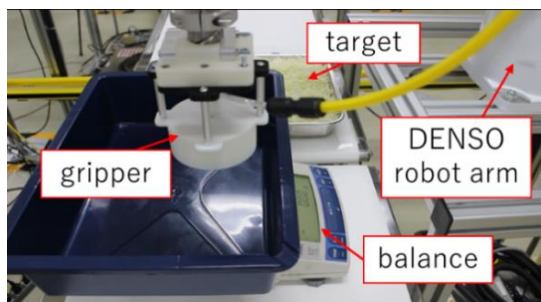


Fig. 5 The experimental system for grasping tests

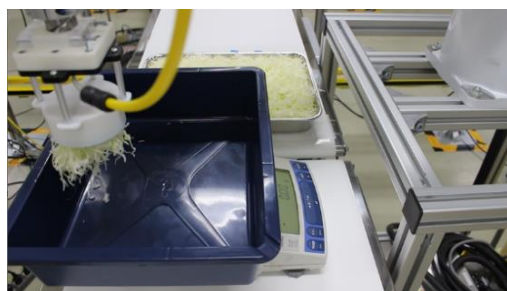


Fig. 6 The method for target weighing

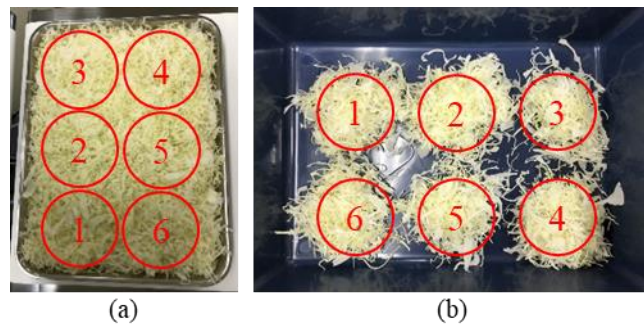


Fig. 7 Target appearance of 6 grips

図 7(a)に示すそれぞれの数字 6 箇所を図 7(b)に示すそれぞれの数字にマッチする場所へ盛り付けをおこなう。6 箇所の盛り付けを 1 サイクル (6 回把持) として、5 サイクル (30 回把持) 実験をおこなった。

3.1 把持質量の分析

本節では、千切りキャベツの 6 回把持×5 サイクルの合計 30 回把持における把持質量の実験結果を分析した。30 回把持を行った実験の、毎回の把持質量の結果を図 8 に示す。図 8 において青色棒グラフは毎回の把持質量を、橙色実線は 30 回の平均値を表す。実験結果の分析を表 1、2 に示す。表 1 は把持 30 回すべての結果についての平均値 (average)、標準偏差値 (STD)、相対標準偏差値 (RSD) を示した。表 2 は 1 サイクル (6 回把持) ごとの各平均値 (average)、標準偏差値 (STD)、相対標準偏差値 (RSD) を示す。

表 1、2 の平均値から、把持質量平均はサイクルごとに減少傾向にあり、表 2 の相対標準偏差値から、把持質量のばらつきは増加傾向にあった。また、質量のばらつきは全体を通してサイクルごとでも、20%前後という結果であった。

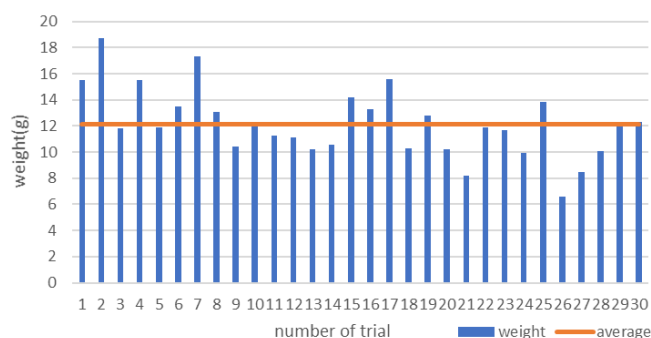


Fig. 8 The results of grasping test

Table 1 Statistical analysis of target weight for all trials

Average [g]	STD [g]	RSD
12.144	2.6041	0.214

Table 2 Statistical analysis of target weight for each cycle

Average [g]	STD [g]	RSD
14.488	2.4112	0.166
12.518	2.2827	0.182
12.352	2.1126	0.171
10.778	1.5159	0.141
10.583	2.4781	0.234

3.2 把持後の外形の分析

本節では、千切りキャベツの6回把持×5サイクルの合計30回把持における把持後の外形を分析した。30回把持を行った実験の、毎回の把持後の外形の一部を図9に示す。図9の撮影画像を図10に示すように、1把持ごとに切り取って二値化し、千切りキャベツ部分である黒色部分を対象としてpixel数を計算した。計算したpixel数の結果を図11に示す。図11において青色棒グラフは毎回のpixel数を、橙色実線は30回の平均値を表す。実験結果の分析を表3、4に示す。表3は把持30回すべての結果についての平均値 (average)、標準偏差値 (STD)、相対標準偏差値 (RSD) を示した。表4は1サイクル (6回把持) ごとの各平均値 (average)、標準偏差値 (STD)、相対標準偏差値 (RSD) を示す。

表3、4の平均値から、pixel数平均はサイクルごとに減少傾向にあり、表4の相対標準偏差値から、外形面積のばらつきは増加傾向にあった。また、外形面積のばらつきは全体を通してサイクルごとでも、20%弱という結果であった。



(a) (b)
Fig. 9 The images of target shape



(a) (b) (c)
Fig. 10 Image binarization of the target shape

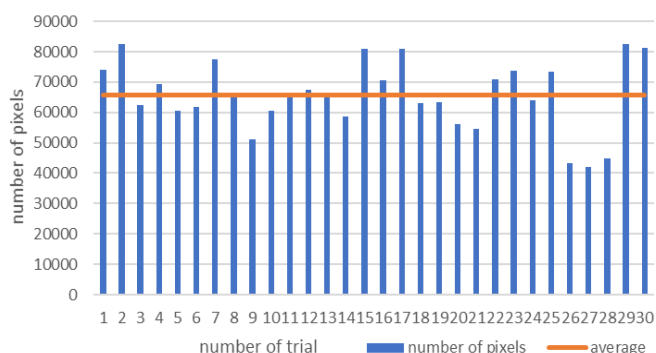


Fig. 11 The result of image analysis for number of pixels

Table 3 Statistical result of the number of pixels for all trials

Average [pixel]	STD [pixel]	RSD
65675.2333	11141.5317	0.170

Table 4 Statistical result of the number of pixels for each cycle

Average [pixel]	STD [pixel]	RSD
68387.8333	7890.7283	0.115
64898.0000	7872.0046	0.121
70031.0000	8428.7533	0.120
63820.6667	6983.8922	0.109
61238.6667	18070.9829	0.295

3.3 質量と外形の関係

表2と表4の相対標準偏差値が近かったため、質量と外形の関係を調べた。質量と外形のサイクルごとの結果を比べるため、確率密度を計算しフィッティングした結果を図12に示す。青色棒グラフは質量の、橙色棒グラフはpixel数の確率密度を示す。回数を重ねるごとに質量は減少傾向に、pixel数は増加傾向にあった。これは、キャベツに含まれる水分量が時間経過とともに減少していき、質量が水分の質量分軽くなったためと考えられる。一方で水分量が減ると、把持後にグリッパが対象物を離すときに広がって置く傾向にあるのではないかと考えられる。

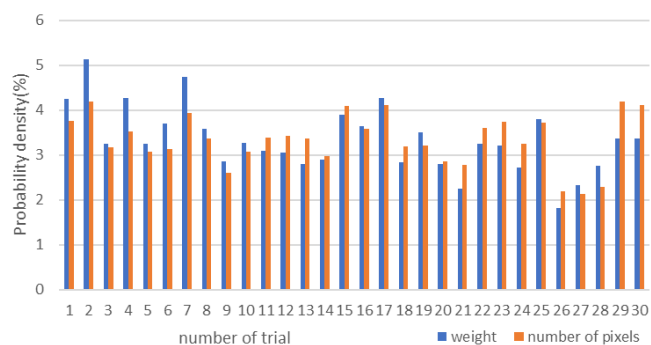


Fig. 12 Comparison of probability density of weight and number of pixels

4. 結言

本論文では、従来のソフトグリッパでは困難な細断食品の把持を試みたことで、ニードルグリッパの性能評価をおこなうことができた。柔軟膜に加える空気圧を変化させることでグリッパの駆動を大きく変えることができ、把持可能対象物の幅が広がった。

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」(管理人: NEDO) によって実施された。ここに関係者に謝意を表す。

参考文献

- [1] N.P. Mahalik and A.N. Nambiar, "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology," Food Science & Technology, vol. 21, pp. 117-128, 2010.
- [2] Z. Wang, D.S. Chathuranga, and S. Hirai, "3D printed soft gripper for automatic lunch box packing," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 503-508, Dec. 3-7, Qingdao, 2016.
- [3] J. Shintake, V. Cacucciolo, D. Floreano, and H. Shea, "Soft robotic grippers," Advanced Materials, 1707035, May 2018.
- [4] N. Sakamoto, M. Higashimori, T. Tsuji and M. Kaneko, "Piercing Based Grasping by Self-Tightening Effect," Journal of the Robotics Society of Japan, vol. 27, No.4, August 2007.