

突き刺し把持と摘みみ把持が可能な ニードルグリップの開発と突き刺し動作の性能評価

○巻山 結（立命館大学） 王 忠奎（立命館大学） 平井 慎一（立命館大学）

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と、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、突き刺し把持と摘みみ把持の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、駆動部としており、空気圧レギュレータで膜の内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[3]。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、様々なお弁当具材に対してグリップによる突き刺し把持を行い、ニードルグリップの突き刺し動作の性能を評価した。

2. ニードルグリップの機構及び動作

本研究で設計・製作したニードルグリップを図1に示す。図1(a)に正圧印可状態、(b)に定常状態、(c)に負圧印可状態を示す。十数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。正圧印可のグリップのモデルを図2、負圧印可グリップのモデルを図3、突き刺し把持の例を図4に示す。



図1 柔軟膜の内圧によるグリップの構造変化

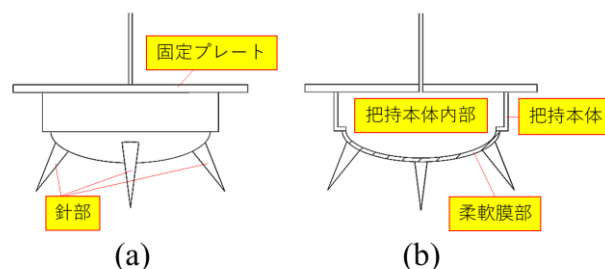


図2 正圧を印加したグリップの構造

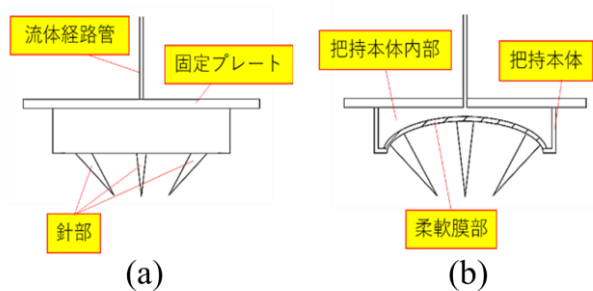


図3 負圧を印加したグリップの構造

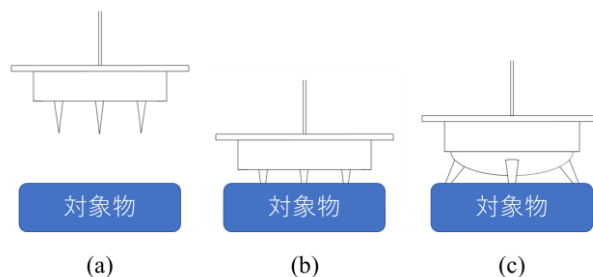


図4 突き刺し把持の一例

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4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。図3に示すように負圧を加えることで、柔軟膜部がへこみ針部が引き込まれることで、細断食品や粒状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]。

3. 突き刺し把持の性能評価

3.1 様々なお弁当具材の把持実験

様々なお弁当具材を対象にニードルグリップによる把持実験を行い、突き刺し把持動作の評価をした。図5に把持環境を示す。対象物には、サイズや質量や質感などの性質変化・ばらつきの少ない冷凍食品を使用した。グリップは対象物に定常状態で突き刺した後20 kPaの正圧を印可し、印可状態で運搬し定常状態に戻すことで対象物を開放する。この把持・解放のサイクルをそれぞれの食品で2回行い、把持できたか否かを評価した。グリップの詳細は、針間隔が20 mm、針直径が4 mm、針長さが10 mm、膜直径が35 mmである。

表1に各食品の詳細と把持結果を示す。表1の把持結果の○は把持・解放が共に成功した場合、△は把持が成功したが解放が失敗した場合、×は把持がそもそも失敗した場合の標記である。△は図6に示

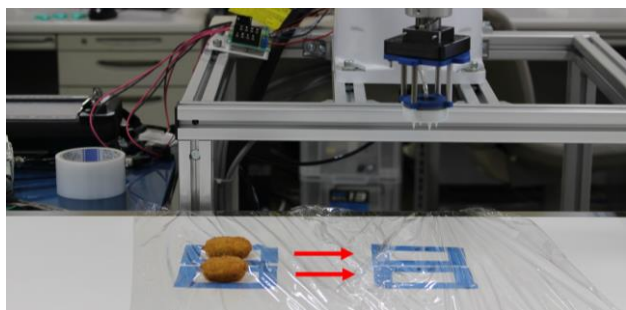


図5 お弁当具材の把持環境

表1 様々なお弁当具材の把持実験結果

具材	サイズ(mm)	質量(g)	1	2
鮭塩焼き	40×55×20	22.54	○	○
ハンバーグ	20×55×20	20.08	○	○
オムレツ	35×65×20	25.11	×	×
コロッケ	50×50×30	30.18	○	○
ナゲット	45×45×25	22.50	○	○
トンカツ	40×45×20	21.49	△	△
メンチカツ	40×45×20	23.22	○	○
まぐろ竜田	40×50×15	15.67	○	○
白身魚フライ	40×55×20	23.05	○	○
ごま団子	40×40×40	20.58	△	△
スイートポテト	30×60×40	15.08	○	○

すように、定常状態に戻ったが対象物が針に刺さったまま解放されない結果を表す。揚げ物全般に対して把持することに成功したが、メンチカツとトンカツで解放できたか否かの結果が分かれた。対象物として実験した揚げ物の内容物は魚・肉・練り物に大きく分かれるが、肉の繊維が針から抜けにくかったのではと推測する。

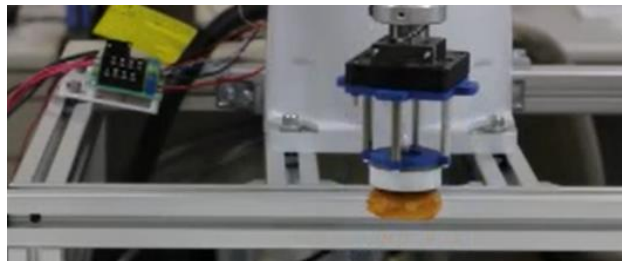


図6 対象物がグリップから解放されない状態

3.2 柔軟膜内圧による突き刺し把持評価

対象物の性質による把持結果を踏まえ、柔軟膜内に印可する圧力によって把持結果が変わるのか調べた。把持の環境や評価方法は3.1と同様に、対象物をトンカツとメンチカツのみに絞り、グリップに印可する圧力を変化させて実験をおこなった。

表2に各食品を対象に印可圧力別の把持結果を示す。各食品を圧力別に各2回把持をし、把持・解放が成功したか否かを評価した。表2の圧力の「-」部分は、負圧を印可したがエジェクタによって空気を吸引したため内圧詳細が不明であり、以上の表記にした。負圧印可の把持動作の方が正圧印可と比較した時、対象物に関わらず把持・解放共に安定という結果であった。

図7に正圧印可時のグリップによる把持の様子を示す。対象物が落下しそうで不安定な様子がわかる。

表2 印可圧力別による特定対象物(トンカツとメンチカツ)の把持実験結果

圧力(kPa)	トンカツ		メンチカツ	
	1	2	1	2
0	△	△	○	○
10	△	△	○	○
20	△	△	○	○
30	△	△	○	○
-	○	○	△	○
-	○	○	○	○

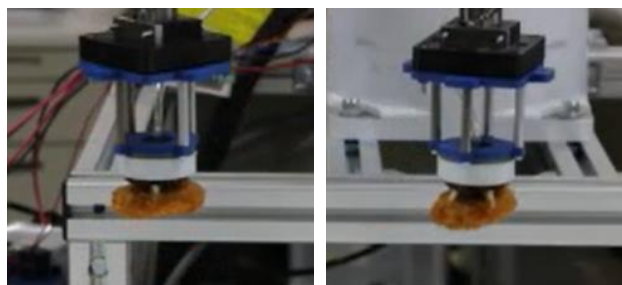


図7 正圧印可状態のグリップでの把持の様子

図 8 に負圧印可時のグリッパによる把持の様子を示す。正圧印可時と比較して、針から対象物が落下しそうな様子はなく安定した把持ができていると言える。

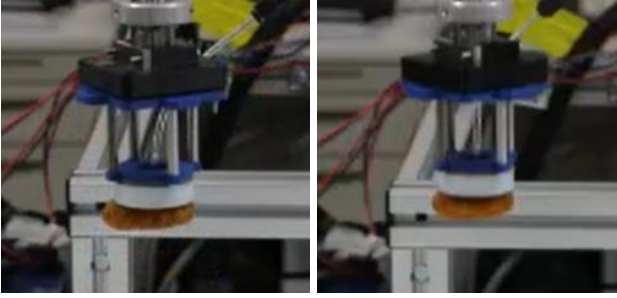


図 8 負圧印可状態のグリッパでの把持の様子

さらに対象物の解放において、針から抜け落ちそうになった対象物が運搬先の場所に到着する際グリッパに上から押し付けられ、針が押し込まれ抜けにくくなることが起きた。

把持が負圧印可時の方が安定した理由として、針が内側へ引き込まれる形状になるため、対象物に針が刺さる位置が多少ずれ込んでも対象物内部に針が全て入り込むのが容易であることである。また、対象物内部を針が挟み込む状態になることで落下しにくくなったことも要因である。

解放が負圧印可時の方が安定した理由として、針が内側へ引き込まれる形状になるため、正圧印可時に針が引っかかる構造にならず針が抜けにくくなる現象が起きにくかったと考えられる。

4. 結言

本論文では、ニードルグリッパの突き刺し把持動作の評価をおこなうことで、柔軟膜に印可する圧力変化によるグリッパの各動作によって把持・解放の安定性が変わることがわかった。対象物の性質に関わらず、負圧印可状態のグリッパの動作では把持・解放共に安定したため、把持可能な環境や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. Chaturanga, 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] 卷山 結, 王 忠奎, 平井 慎一, 突き刺しと把持が可能なニードルグリッパの開発と評価, ロボティクス・メ