低吸引力においても収穫可能なプラム型ミニトマト吸引収穫機構

◯森　裕紀（トクイテン/早大）　野々山　昭太（トクイテン）
今野　麟太郎（豊技大）　水上　裕太（豊技大）
田光　太郎（豊技大）　菅　佑樹（Suger Sweet Robotics/早大）

概要：本論文では、個別の果実の収穫、損傷防止のための低吸引力、ヘタからトマトを引き剥がす瞬間のみ吸引力が高くホース以降は吸引力を低くするなどの要件を満たすことを目的としたA,B,Cの3種類の吸引式収穫機構を提案する。提案機構は回転機構によりトマトを捻りながらヘタから実をはなれさせつつ吸引するのが特徴である。実験結果から、偏心したシリコン製オリフィスの回転機構を持つ提案Cが定性的に最も効果的であることが示された。今後の開発では、完全自動化システムのために、トマトの検出、収穫、輸送、ロボットの移動機能を統合することを目指す。

キーワード: 収穫ロボット、吸引、トマト

目的：ミニトマトの収穫作業は労働時間の25%を占め、コスト削減が求められている。本研究は、吸引を利用したミニトマトの収穫自動化を目指し、特に収穫時にヘタから実が離れるタイプのプラム型トマト・ENZA ZADEN社（オランダ）の品種「サンタスティ」を対象に、効果的な吸引機構を提案する。

ミニトマトの特徴と収穫戦略

- トマトには大きさや収穫方法で多様な品種がある
- ミニトマトの一種サンタスティは皮が厚くゼリー質が少ない
- サンタスティはヘタなし収穫される品種
- ヘタなしでの出荷は貯蔵性に優れている
- 株式会社トクイテンではヘタなしでの販売を行っている
- 一房のうち出荷に適した熟したトマトは1〜2個
- 出荷には狙った果実のみを選択的に収穫する必要がある

トマト自動収穫の戦略と機構

- トマト収穫ロボットの開発は活発だが、実用化はまだされていない
  - ○ 矢口ら2018は、大玉トマトの自動収穫機構を設計・比較
  - ○ 荒木ら2021は、ミニトマトのヘタの上部を切断する自動収穫機構を開発
  - ○ 長谷川2021は、鈴なりのミニトマトを電動バサミで収穫するシステムを開発
  - ○ 森ら2023は、サンタスティをトングで捻って収穫する手法を提案
- ほとんどの収穫ロボットはヘタを実に残す設計
- 株式会社トクイテンではヘタなしでの販売実績があり、本提案ではヘタを残さない収穫機構を提案

吸引型収穫エンドエフェクタ要求仕様

a. 吸引により一粒づつトマトを収穫する
b. トマト収穫時，ヘタは枝に残す
c. 衝突による損傷を防ぐため吸引力を低減する
d. トマトをヘタから剥がす瞬間だけは吸引力を増加
e. 捻ると実が剥がれやすい品種の性質を生かす
f. 吸引口をトマトに押し付ける際に，吸引口の中心軸とトマトの中心が5-10mm程度離れていても吸引できる

吸引機構を三種類提案

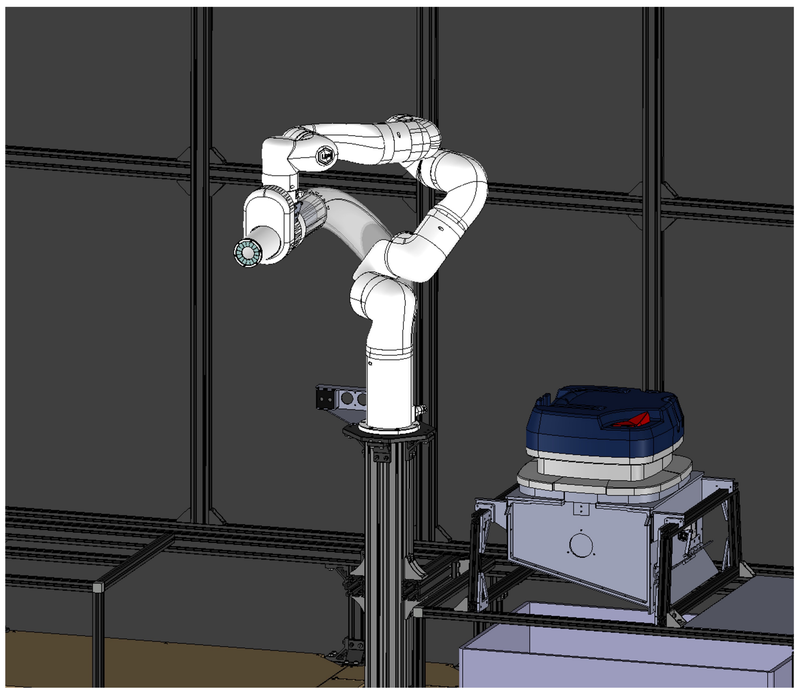
提案A: 放射形状のシリコン製オリフィス（固定）による吸引力増強と回転する歯状構造によるトマト位置の誘導

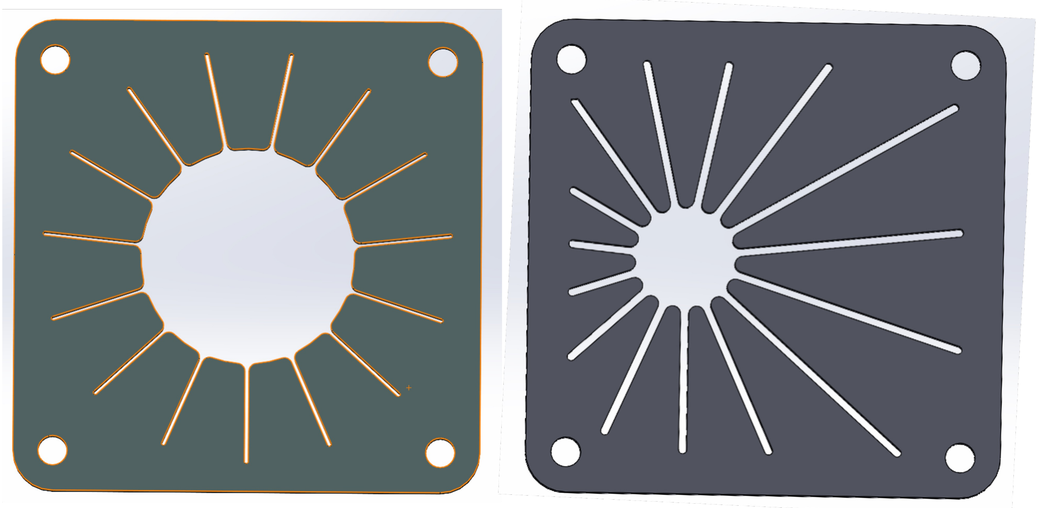
提案B: 放射形状のシリコン製オリフィスによる吸引力増強とオリフィス自身の回転によるトマトの捻り

提案C: 偏心した放射形状のシリコン製オリフィスによる吸引力増強とその回転によるトマトの捻り



図１：有機トマト農場での試験の様子


図２：吸引収穫機構テスト用アームロボット


図３：シリコン製オリフィスの形状
（左：提案A、提案B　右：提案C）

特許情報

青果物収穫装置　特許第7468962号
青果物収穫装置　特許第7485321号

表１：バキューム仕様

風量	3.0m²/min
真空度	25kPa
吸引仕事率	280W
電源電圧	単相100V
消費電力	1150W

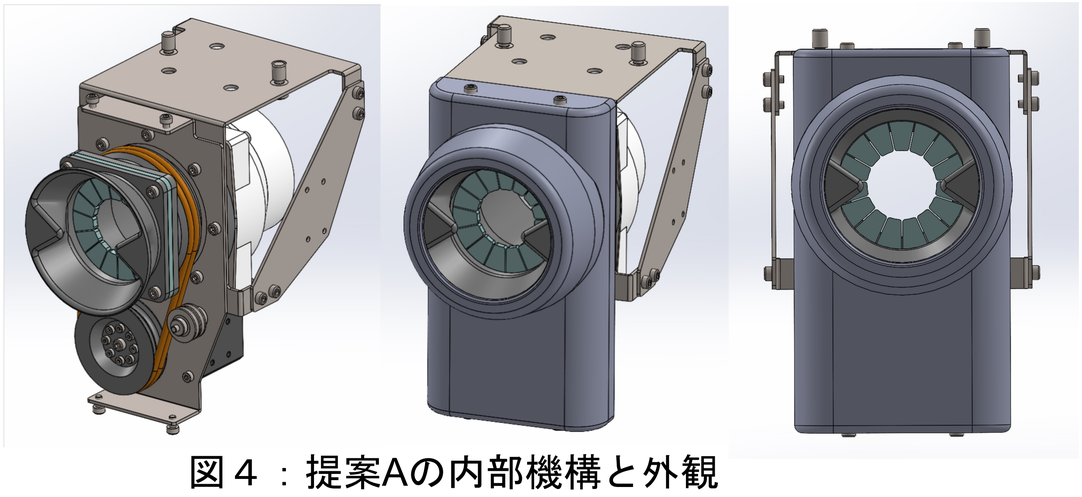


図４：提案Aの内部機構と外観



図６：提案Aの実現

システム概要

- 提案エンドエフェクタをxArm7のアーム先端に設置
- アーム根本にRealsense D405を設置
- D405はステレオ視による深度センサで、太陽光下でロバストに計測可能
- トマトや葉の位置を適切に計測確認

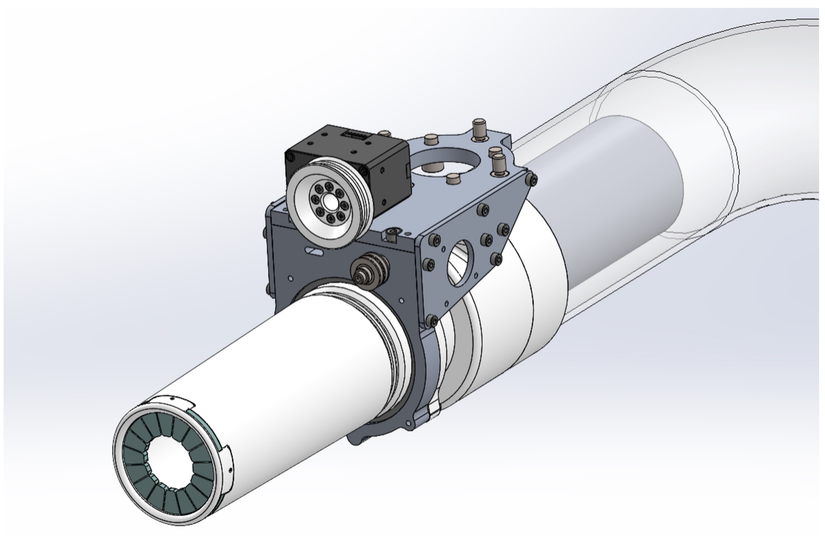


図５：提案B,Cのデザイン

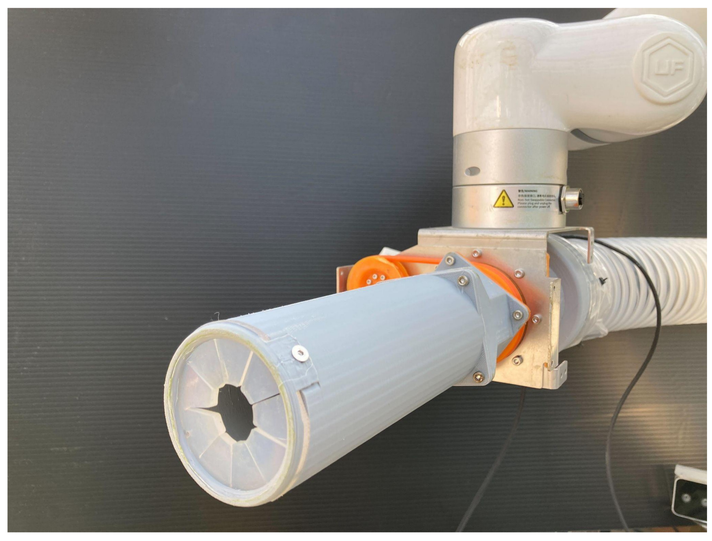


図７：提案B,Cの機構の実現

実験環境

- 株式会社トクイテンの知多農場の温室内で実施
- プラム型ミニトマト「サンタスティ」を使用

実験手順

- サンタスティを対象
- Realsenseから得たRGB画像で収穫目標を手動設定
  - 設定された画像位置の3次元座標を深度画像から計算
  - トマト検出モデルも実装（今回は検出ミスを反映させないため手動で目標設定）
- 動作手順：
  - 1. ロボットが目標トマトの手前で静止
  - 2. 直線的にトマト方向へ移動
  - 3. 吸引口の中心がトマトに触れる程度で5秒間静止
  - 4. 初期位置へ戻る
- トライしたトマトの数は条件で異なる

表２：実験結果

提案機構	トライ	成功	成功率	道連れ吸引
提案A（回転歯状構造＋オリフィス）	15	10	66%	0
提案B（回転オリフィス）	19	15	79%	6
提案C（回転偏心オリフィス）	10	8	80%	1

結果

提案A

- 回転する歯状構造により少しずれたトマトも吸引口中央へ移動
- 歯状構造でオリフィスとトマトの距離ができ吸引が不十分
- トマトが横向きだと捻りが起きやすい

提案B

- 吸引力が強いことを実感
- トマトのお尻が中央の穴に入らないと吸引されない

提案C（図8に収穫の様子）

- 吸引力が強い
- 回転軸がずれているため、どの状態でもトマトとヒダが接触し捻りが加わる
- 枝に邪魔されなければ収穫可能

まとめ

定性的には偏心オリフィスを回転させた場合（提案C）が最も安定感があったが，偏心していないオリフィス（提案B）とは定量的にはほとんど差がなかった

ただし，トマトの位置や周辺状況はそれぞれ異なっているため，意義のある定量結果を得るためにはさらに多くの試行を重ねなければならないだろう

謝辞：本事業は「令和5年度新あいち創造研究開発補助金」の支援を受けて行われました．感謝いたします．

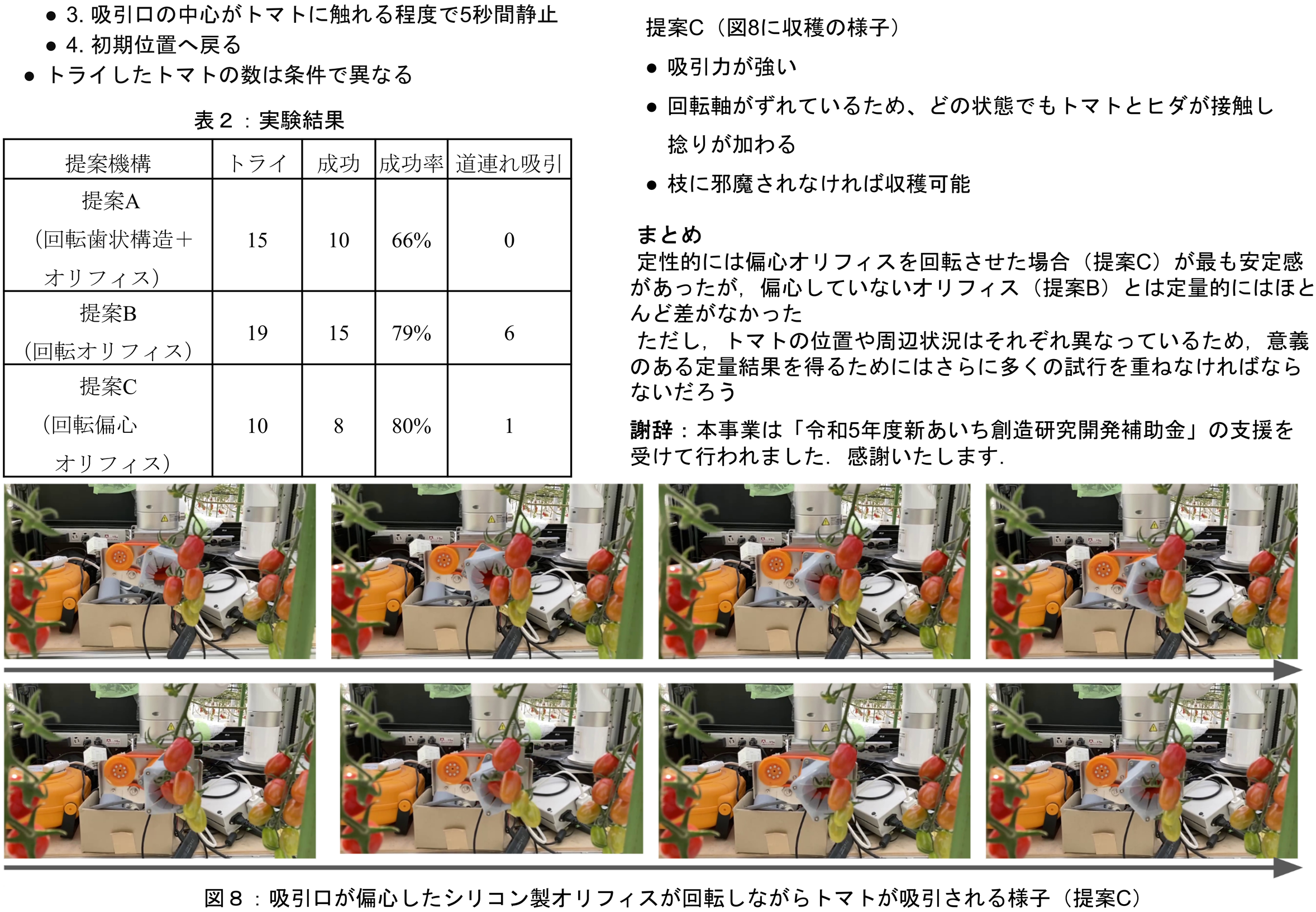


図８：吸引口が偏心したシリコン製オリフィスが回転しながらトマトが吸引される様子（提案C）