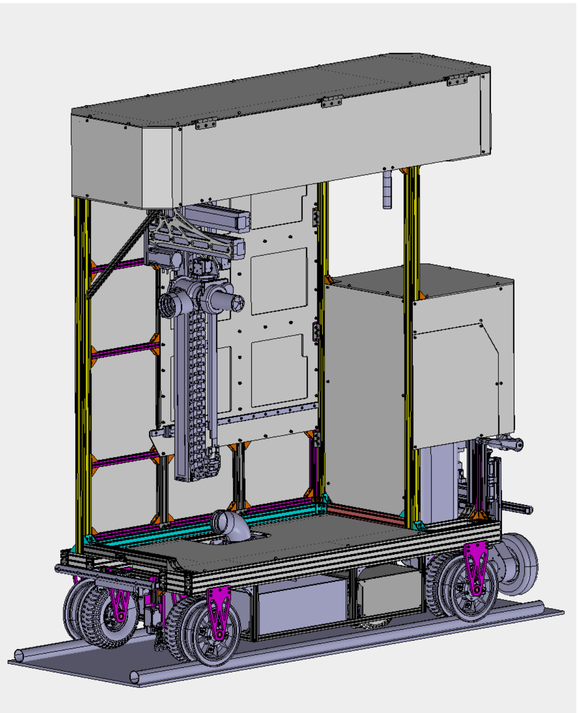
吸引型ミニトマト収穫ロボットによる実圃場における実証実験

○森 裕紀（トクイテン/早稲田大学）　野々山 昭太（トクイテン）
前原圭祐（トクイテン）　西川 隆介（トクイテン）
奥野 福実夫(トクイテン)
菅 祐樹(早稲田大学/Sugar Sweet Robotics)

概要：これまでのミニトマト収穫ロボットは制御された農場環境での評価に限定されており、実用レベルでの自動収穫作業の長期的な検証は行われていません。本研究では、吸引型ミニトマト収穫ロボットT7を開発しました。このロボットは、吸引型収穫機構とレール沿いに移動する移動システムを統合し、株式会社トクイテンが運営する知多有機農場において実証実験を実施した。本発表では、約3時間の連続運転で23.35kgの収穫を達成した結果を報告し、有機ミニトマト栽培における収穫ロボットの実用可能性について議論する。



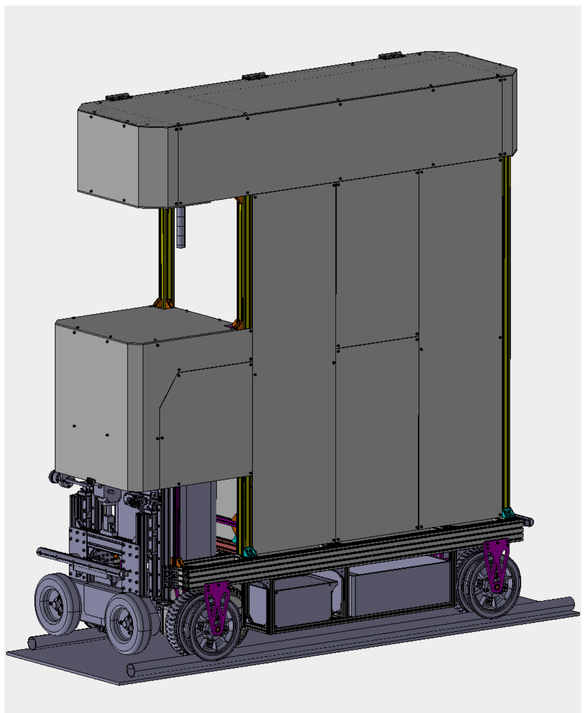


図１：直行アームによる吸引型収穫ロボットのデザイン



図２：開発した吸引収穫型ロボット：T7

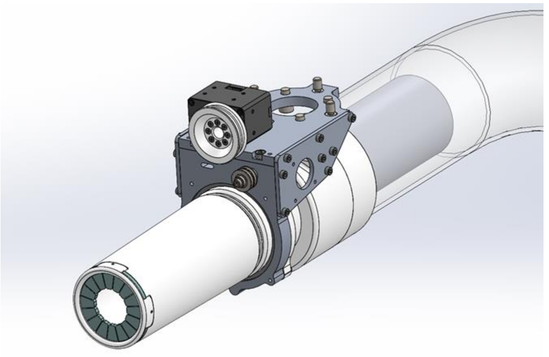


図３：昨年提案した吸引用エンドエフェクタ
シリコン製オリフィスが回転することで、トマトを吸着して回転し、トマトをヘタからもぎ取って吸引する。

目的：本研究では吸引収穫機構とレール上を移動する移動機構を統合した吸引型ミニトマト収穫ロボットT7を開発し、株式会社トクイテンの知多有機農場における実圃場での実証実験を行った。本論文では、3時間程度の連続稼働で23.35kgの収穫量を達成した結果について報告し、有機ミニトマト栽培における収穫ロボットの実用可能性について考察する。

T7収穫動作のフロー

1. カメラ映像からYOLOv5によりトマトを検出
2. 検出された赤トマトに対して完熟度を推定
3. 完熟度が閾値以上のトマトを収穫対象としてリスト化
4. 収穫対象のトマトの位置から効率的な収穫順序を決定
5. 吸引装置をONにし、シリコン製オリフィスの回転を開始
6. 収穫順に従い、各トマトに対して：
   a. トマトの位置へアームを移動
   b. トマトに対して正面からアプローチして吸引を試みる
   c. エンドエフェクタの赤外線センサがトマト吸引を感知したら、アームを引いて収穫完了
   d. 次のトマトの位置へ移動
7. 全収穫対象トマトへのアプローチが完了したら、吸引とオリフィスの回転を停止
8. ロボットを0.5m前方へ移動
9. 手順1から繰り返す
10. 設定回数の収穫動作が完了するか、レール下に設置された杭にセンサが反応したら収穫を終了し、畝の入り口へ戻る

評価方法

- 対象畝のトマトをロボットで可能な限り収穫
- 収穫後、ロボットが取りきれなかったトマトを人間が手作業で収穫
- ロボットと人間が収穫したトマトをそれぞれ選果し、以下に分類：
  A級品：品質が良く市場価値の高いトマト
  B級品：品質は劣るが出荷可能なトマト
  廃棄品：傷や形状不良により出荷できないトマト
- 各分類の重量を計測
  ロボットが収穫したA級品トマト　Ra [kg]
  ロボットが収穫したB級品トマト　Rb [kg]
  ロボットが収穫した廃棄品トマト　Rc [kg]
  人間が収穫したA級品トマト　Ha [kg]
  人間が収穫したB級品トマト　Hb [kg]
- 収穫率：出荷できるトマトのうちロボットで取れた割合
  収穫率 = (Ra+Rb)/(Ra+Rb+Ha+Hb)×100　(1)
- 損失率：ロボット収穫したトマトのうちの廃棄割合
  損失率 = Rc/(Ra+Rb+Rc)×100　（2）
- A品率：ロボット収穫したトマトのうちのA品の割合
  A品率 = Ra/(Ra+Rb+Rc)×100　（3）
- A品収穫率：A品トマトのうちロボットで取れた割合
  A品収穫率 = Ra/(Ra+Ha)×100　(4)



図４：ハイワイヤーによるトマト栽培環境
レールによりロボットや高所作業車が移動できる

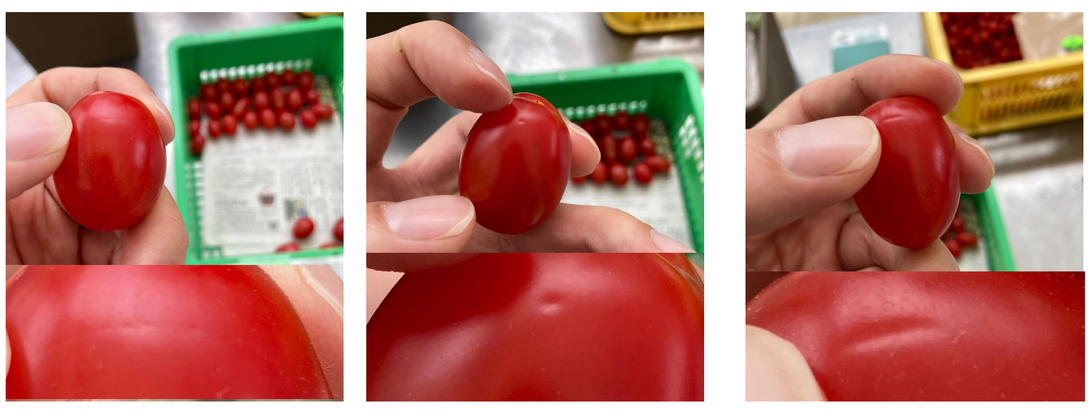


図６：ロボット収穫により凹みが現れたトマト
トマトの傷や痛みが見つかるたびにロボットを改善している。
ロボットで収穫したトマトを選果した上で出荷しているが、
現在（2025年5月末）のところ消費者からのクレームはない。



図５：ロボットによる収穫結果

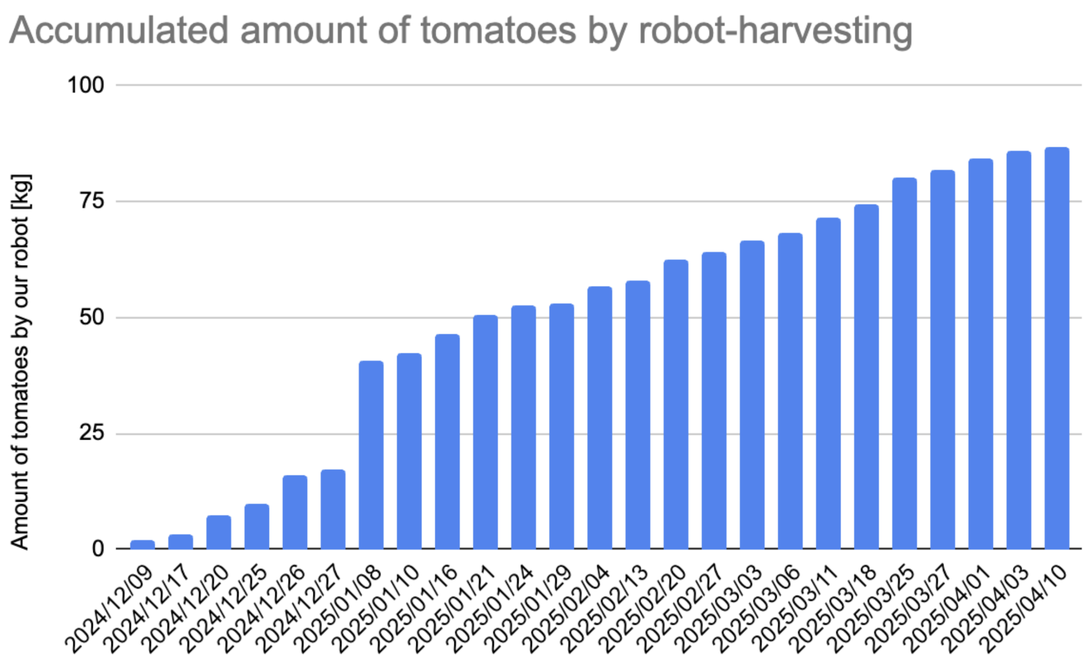


図７：ロボットによる累積収穫量

実験条件

2025年1月8日10時頃から15時頃にかけて昼休みを1時間を挟んで実証実験を行った。畝に挟まれた幅80cmの長さ25mの3つの通路にレールを敷設し畝の片側25mを1回として、4回の収穫試験を行った。

トマトは土に苗を植える土耕栽培であり、ハイワイヤーと呼ばれるトマトの茎を上へ誘導する栽培方式である（図4）。

実験結果

実証実験の結果、全体で23.35kgの収穫をロボットで行い、20.9kgの出荷可能なトマトを得ることができた。この出荷可能なトマトは、当日株式会社トクイテン知多農場で収穫された全体のトマトと同様のプロセスにより、愛知県内のスーパーなどへ出荷された。

表２：実験結果

項目	結果
ロボット総収穫量	23.35kg
ロボット収穫A品 Ra	13.1kg
ロボット収穫B品 Rb	7.8kg
ロボット収穫廃棄 Rc	2.45kg
人収穫 H	11.65kg
収穫率	64.2%
損失率	10.4%
A品率	56.1%

その後

23.35kgの収穫に成功した後も収穫テストを続けロボット収穫によるトマトに凹みや傷があれば適宜改善を行なった。また、2025年4月10日時点でロボットによる収穫は86.95kgの累積収穫量となった（図7）。また、A品収穫率とA品率は概ね50%を超える結果となった（図8）。ロボット収穫したトマトは継続的に出荷されている。

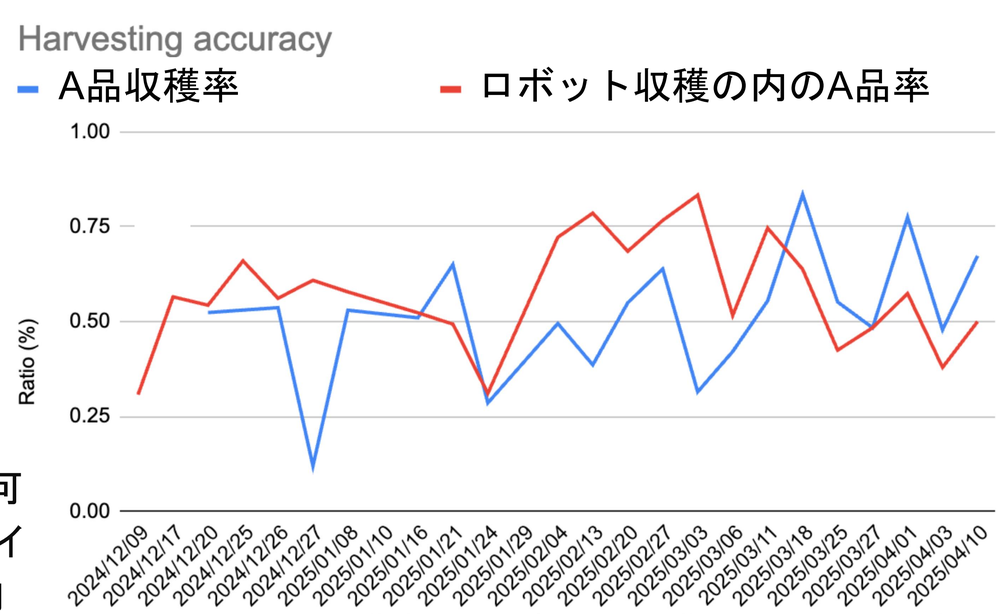


図８：A品収穫率とロボット収穫のうちのA品率

まとめ

本研究では、有機トマト農場において実運用を見据えたロボット収穫実証実験を行った。23.45kgのトマトをロボットにより自動収穫することに成功した。人による収穫は1日1人当たり100kg程度であると考えると、このロボットを1日中稼働させれば人と同等の収穫量を達成することができる。

ただし、今回の収穫実験ではレールへの上げ降ろしや、レール間の移動は人力で行っており、全自動化が達成されているわけではない。今後は、収穫の精度を高めると同時に、複数の通路に跨った一連の収穫動作を全自動化するロボットシステムを目指す。

謝辞：本事業は「中小企業イノベーション創出推進事業（SBIRフェーズ３基金事業）」の支援を受けて行われました．感謝いたします．

特許情報

青果物収穫装置　特許第7485321号