

柔軟支持機構による果実摘み取りハンド

Fruit Picking Hand with Flexible Support Mechanism

知能機械工学コース

機械システム制御研究室 1275001 赤塚 広洋

1. 緒言

農林水産省の農業労働力に関する統計⁽¹⁾によると2020年の基幹的農業従事者数は2020年の136.3万人であったが、2024年には111.4万人と4年間で18.3%減少している。この問題を解決する方法としてAI、ロボット、IoTなどを活用したスマート農業が提案されている。また、ロボットによって無人で農作物の管理が可能となることで、これまで耕作放棄地となっていた田畑を活用することができ、食糧生産量の増加が期待される。

果実は葉や茎に隠れて成長することがあり、そのような果実も収穫する必要がある。しかし、このような果実を収穫する際、葉や茎などを傷つけないようにするために、葉や茎を避ける動作が必要となる。また、今回収穫対象であるピーマンは他の果菜類に比べて比較的軽量であるため、果実が傾いて育つこともある。これらの問題に対し、複雑な機構を用いた摘み取りハンドを用いると摘み取りハンドの全体の重量が増加し、その結果ハンドを支えるためにロボットが大型化してしまう。しかし、畝間は約30cmであるためロボットが大型化すると畝間を通過することができないという問題が生じる。そのため、本研究では茎に引っ掛からないように摘み取りハンドの小型化とハンド先を軽量で柔軟な機構で動作させることにより、茎や葉を回避できる収穫ハンドを開発することを目的とする。

2. 摘み取りハンド

2.1 摘み取りハンドの概要

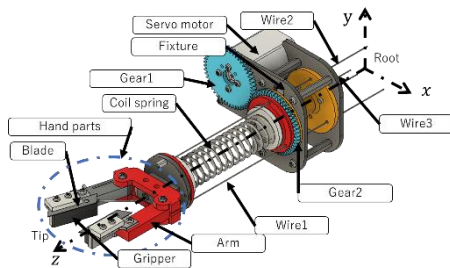


Fig1 Overview of picking hand

図1に今回製作した摘み取りハンドを示す。本研究で開発する摘み取りハンドには手先の姿勢制御のために4自由度とハンド開閉の1自由度の計5自由度で構成されており、駆動には5つのアクチュエータが必要である。また、本ハンドには大きく3つの特徴がある。

1つ目の特徴はハンド本体に設置するアクチュエータを最小限に抑えた点である。本ハンドでは図1に示すアクチュエータのみをハンド本体に設置し、Z軸周りの回転に使用する。他のアクチュエータはマニピュレータの根元などに設置し、ワイヤ駆動を用いて動力を伝達させる。この構成によりハンド全体の重量を軽減させることができる。

2つ目の特徴はコイルばねを使用した点である。コイルばねは比較的軽量でありながら、多方向に屈曲可能な柔軟性が

ある。この柔軟性を用いて葉や茎を回避させる。

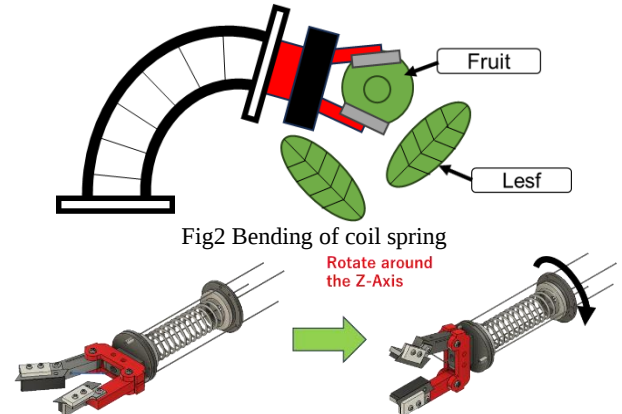
3つ目の特徴は保持機構と切断機構を一体化した点である。これにより、単一の動作で果実の保持と切断を同時に行うことが可能となり、必要なアクチュエータを減らすことができる。

2.2 各動作の役割

この摘み取りハンドには大きく分けて2種類の動作がある。

1つ目は屈曲動作である。ハンド部品はばねによって支持されており、ワイヤ1から3の巻き取り量をそれぞれ制御することにより任意の角度に屈曲することが可能となる。これにより、葉や茎の裏側に隠れている果実に対しても回り込むようにして収穫することができる。

2つ目は回転動作である。緒言で述べた通り、今回収穫対象であるピーマンは比較的軽量であるため成長過程で傾いた状態となる場合がある。そこで、本ハンドには回転機構を組み込み、果実の傾きにに応じてハンドの角度を調整できるようにした。具体的には、図1に示すアクチュエータを駆動させることでギヤ1が回転し、それと噛み合ったギヤ2も同時に駆動する。ギヤ2とハンド全体が接続されているため、ハンド全体の回転が可能となる。これにより、傾いた果実の角度に合わせてハンドの回転量を制御することで、適切に収穫を行うことができる。



3. 意図しない屈曲

図4に示すように、コイルばねを組み込んだ状態でハンド部品の動作確認を行った。この際、ハンドの開閉動作に関与するワイヤのみを動作させたにもかかわらず、コイルばねが屈曲する現象が確認された。本来、コイルばねを屈曲させるためには、前章で述べたようにワイヤ1から3を動作させる必要がある。しかし、今回はこれらのワイヤを動作させていないにもかかわらず、コイルばねが屈曲した。そのため、この現象を意図しない屈曲と名付ける。また、その際の様子を図5に示す。

意図しない屈曲が発生する要因として、ハンド部品を動作させるためのワイヤの張力がコイルばねに伝わっているからと考える。これらより、新たな機構の摘み取りハンドを製作する。

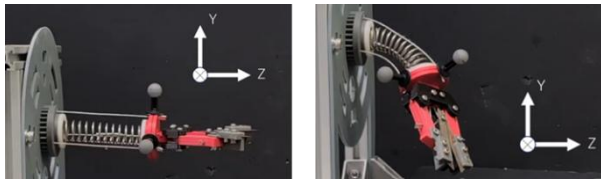


Fig4 Unintended bending motion (Right: Before Left: After)

4. 新たな摘み取りハンド

4.1 新たな摘み取りハンドの概要

図5に新たに製作した摘み取りハンドを示す。前章の問題を考慮し、ハンドを改良した。主な変更点はハンド部品とコイルばねの間にエアシリンダを追加した点である。このエアシリンダのピストンロッドとハンド部品はワイヤで接続されている。そのため、ピストンロッドが引き込まれた状態ではハンド部品が開いており、ピストンロッドが押し出された状態ではハンド部品が閉じる動作を行う。

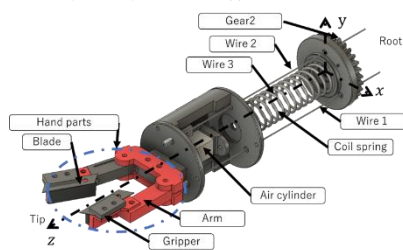


Fig5 New picking hand

4.2 軌道実験

新たに製作したハンドが意図しない屈曲を防いでいるかを確認する。確認にはモーションキャプチャーを用い、軌道を測定する。測定位置は図6に示す白丸の箇所である。比較のため、図1のハンドにも同様の実験を行う。また、図1のハンドをノーマル型、新たに製作したハンドをシリンダ型とする。

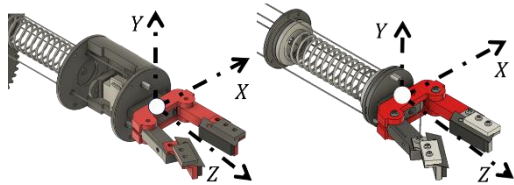


Fig6 Position for investigating the trajectory of each hand

4.3 実験結果

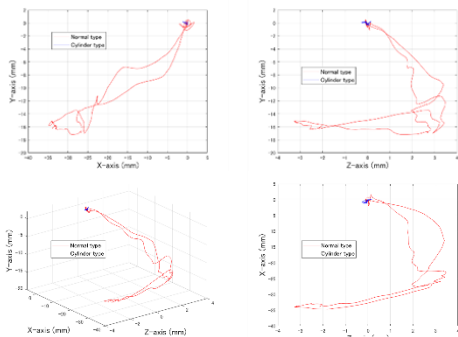


Fig7 Two types of trajectories

図7にノーマル型とシリンダ型の実験結果を重ね合わせた図を示す。赤線がノーマル型、青線がシリンダ型の軌道を表す。ノーマル型のX軸方向の振れ幅は36.4mmであったが、シリンダ型では1.42mmとなり、改善率は96.1%であった。

Y軸方向ではノーマル型が17.7mm、シリンダ型が0.56mmで改善率が96.8%であった。Z軸方向ではノーマル型が6.73mm、シリンダ型が0.44mmとなり、改善率が93.5%であった。これらより、シリンダ型は意図しない屈曲を抑制できることが確認された。

5. 屈曲制御実験

5.1 実験内容

この実験ではハンド先が果実の方向に屈曲しているかを確認する。実験の様子を図8に示す。

図8に示すカメラ①は深度カメラであり、このカメラで果実の位置を測定する。カメラ②ではハンド先が果実の方向に屈曲しているかを確認する。

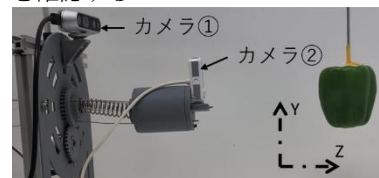


Fig8 Bending control experiment overview

5.2 実験結果

図9はカメラ②の画像である。この画像から果実は一部しか映らなかったことが分かった。画像中心から果実までの距離はX軸方向には61px、Y軸方向には300pxずれている。このようにY軸方向の誤差が大きいので、重力の影響であると考える。そこで、FB制御を用いることにより重力による外乱を防ぐことができると考える。

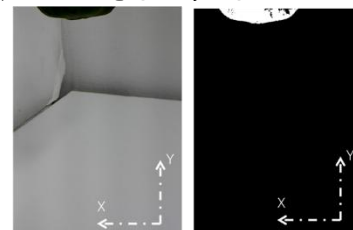


Fig9 Camera ② image

6. 結言

軽量で柔軟性がある摘み取りハンドの設計、製作を行った。しかし、ハンドの開閉を行った際にコイルばねが意図しない屈曲をすることが分かった。そのため、エアシリンダを用いて意図しない屈曲を防ごうとした。結果としてエアシリンダを用いることにより意図しない屈曲を防ぐことができた。また、果実の方向にハンド先が屈曲するかを確認した。結果はY軸方向に大きな誤差が生まれたが、原因として重力の影響だと考える。そのため、今後FB制御を用いることにより解決できると考える。

7. 謝辞

本研究は高知県が進めるプロジェクト「『IoP(Internet of Plant)』が導く『Next 次世代型施設園芸農業』への進化」の助成を受けております。この場をお借りして感謝申し上げます。

文献

- (1) 農林水産省 農業労働力に関する統計
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
(参照日 2025年2月5日)
- (2) 農林水産技術会議 「スマート農業実証プロジェクト」に
https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/smart_agri_pro.htm

(参照日 2025年2月5日)