

さくらんぼ収穫動作のフォースおよびトルクセンシング

Force and torque sensing of cherry picking motion

○西澤彩花*, 峯田貴*, 佐藤将吾*, 鈴木佑也*, 佐々木成海*, 妻木勇一*, 工藤信**

○Ayaka NISHIZAWA*, Takashi MINETA*, Shyogo SATO*, Yuya SUZUKI*,
Narumi SASAKI*, Yuichi TSUMAKI*, Shin KUDO**

山形大学*, 山形園芸試験場**

Yamagata University*, Yamagata Horticultural Experiment Station**

キーワード：収穫ロボット(picking robot), 収穫ハンド(picking hand),
センシング(sensing), さくらんぼ(cherry), 力覚(force)

連絡先：山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部機械システム工学科

E-mail: mineta-t@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

近年、さくらんぼ農家の高齢化と人手不足が進んでおり、自動でさくらんぼを収穫できるような機械の開発に期待が寄せられている。さくらんぼは、実に触れると痛みやすく、また、収穫後の果実中の水分蒸発を防ぐために、収穫の際に茎の途中で切らず、茎の付け根ごとにもぎ取る必要があるなど、繊細な収穫作業が要求される。さくらんぼの収穫には、力を作用させる方向や力加減が重要であることが経験的に知られており、高品質のまま収穫するには、熟練者が行っているもぎ取り動作をロボットに再現させる必要がある。

農作物を収穫するロボットとしてこれまでに、いちごを収穫するロボット¹⁾、トマトを収穫するロボット²⁾等が研究されている。

しかし現在のところ、さくらんぼの収穫作業は作業者の目視と手先の感覚に基づいて行われており、適する作用力や軌道等を数値として調べた研究は行われていない。

そこで本研究では、人間がさくらんぼを収穫する際に作用させる力、トルク、および軌道について定量的に計測を行った。

2. 実験方法

図 1 に示す把持機構を作製し、3 軸のフォース・トルクセンサ (IFS- 7M25A-I40, JR3inc) を取り付けて、力とトルクの計測を行った。把持機構はさくらんぼの茎を掴むための可動部と収穫作業者が持つためのグリップで構成した。可動部およびグリップ部は

3DプリンタによりPLA樹脂で作製した。可動部をセンサ可動部へねじ止めし、グリップは可動部に触れないようにセンサ固定部へねじ止めた。

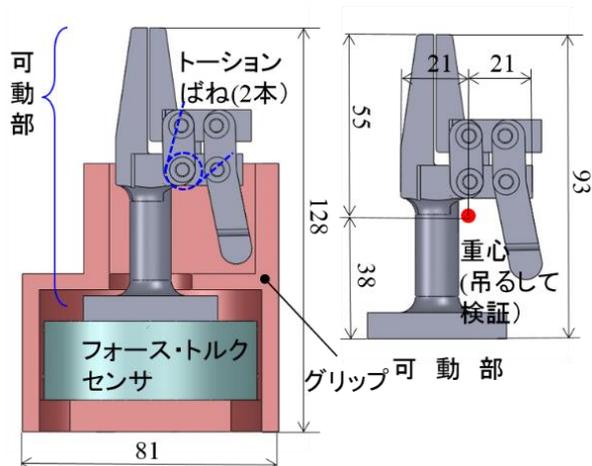


図 1. 把持機構の外観

作製した把持機構の外観を図 2 に示す。また、センサの主な仕様を表 1 に示す。

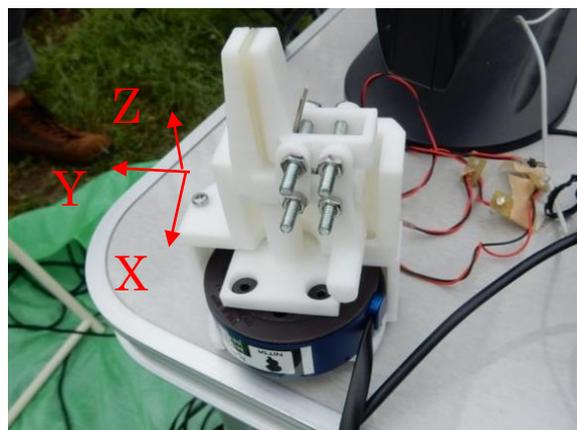


図 2. 把持機構の外観

表 1. 力覚センサの主な仕様

| | | |
|--------|----------------------|--------------|
| 定格 | F_x, F_y (N) | 100 |
| | F_z (N) | 200 |
| | M_x, M_y, M_z (Nm) | 7 |
| 分解能 | | 定格の1/16384 |
| 最大許容荷重 | | 各軸定格の400 (%) |

可動部に取り付けられたトーションばね (T057A, ULTRA SPRING) の復元力によりさくらんぼを把持する。把持部は平行機構

になっているため、約 12 N のほぼ一定の把持力を持つ。

収穫作業の計測実験の手順を以下に示す。

- (1) グリップ部を持ち、姿勢が極力変わらないように維持しながら、把持部を開いて静かにさくらんぼの茎を挟む。
- (2) さくらんぼをもぎ取る。
- (3) 把持機構を緩めてさくらんぼの茎を取り外す。

また、3 台のカメラで収穫の様子を撮影し、動作の軌道についても観察した。

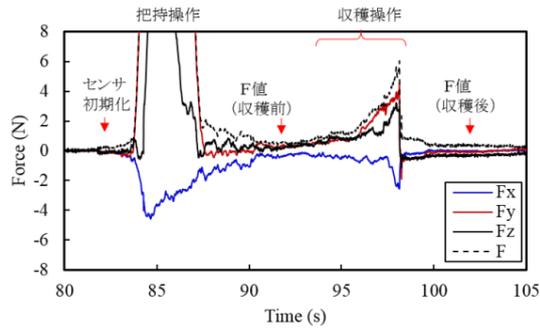
3. 可動部自重の影響

把持機構可動部の自重と、把持後に茎から受ける力による計測結果への影響を確認するため、さくらんぼ把持後に力覚センサを初期化し、収穫の前と後での力とトルクの計測値の変化を確認した。

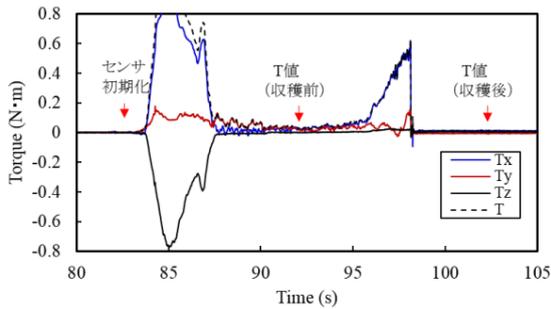
把持後にセンサを初期化した場合、図 4 に示すように、収穫前と収穫後で力の 3 軸成分 F_x, F_y, F_z の変化は、それぞれ 0.31, 0.14, -0.79 (N) であり、トルクの 3 軸成分 T_x, T_y, T_z の変化は、それぞれ -0.04, 0.03, -0.01 (N・m) であった。これは後述する収穫時に発生する最大の力およびトルクに比べて充分小さい値であったため、本実験では可動部の自重の影響等は無視し、補正等は行っていない。

これは把持機構可動部の自重が軽く、把持した後に収穫操作に移るまで、大きな動きが無かったためである。

さくらんぼ把持前に力覚センサを初期化した際の、力とトルクへの計測結果の影響についても確認したが、収穫前と収穫後での力とトルクの計測値に大きな違いはなかった。



(a) 力の変化



(b) トルクの変化

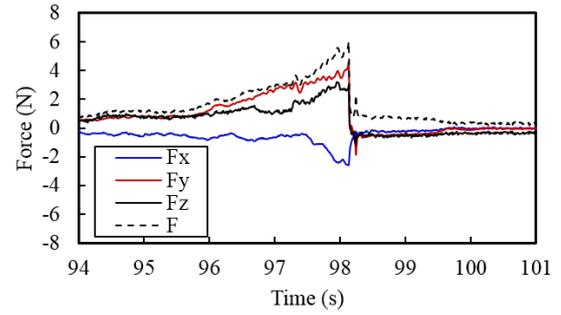
図3. 把持前に初期化した時の力およびトルク

4. 実験結果

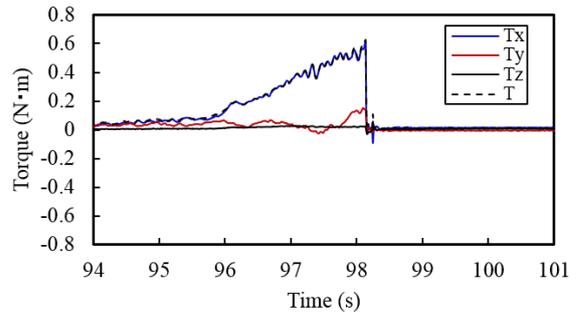
さくらんぼ収穫の熟練度が異なる3人の被験者により収穫を行い、熟練した作業者による上級の作業、収穫作業を行ったことのある作業者による中級の作業、素人による初級の作業の3種類の収穫動作について調べた。それぞれの場合の力およびトルク計測の結果を以下に示す。これらは収穫動作の部分のみを抽出してプロットしたものである。

図4に上級の作業による収穫時の計測結果を示す。力およびトルクは5(N)、0.6(N・m)程度であり、茎の根元をせん断する方向に力をかけている。

複数回行った実験のうち、もっと抵抗が小さくスムーズにもぎ取ることができた場合もあった。その時の結果を図5に示す。力およびトルクはそれぞれ1(N)以下および0.1(N・m)以下であった。やはり茎の根元に対してほぼ真横に力を作用させており、最適の方向に作用させた場合と考えられるが、実験日がさくらんぼ収穫期の後期(7月上旬)で

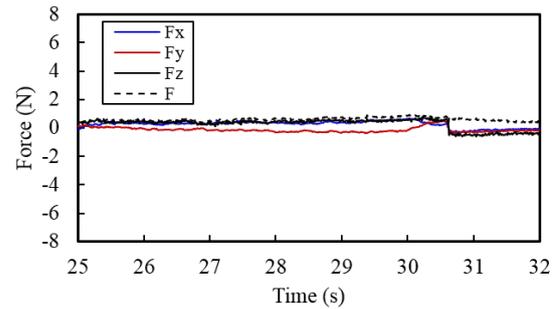


(a) 力の変化

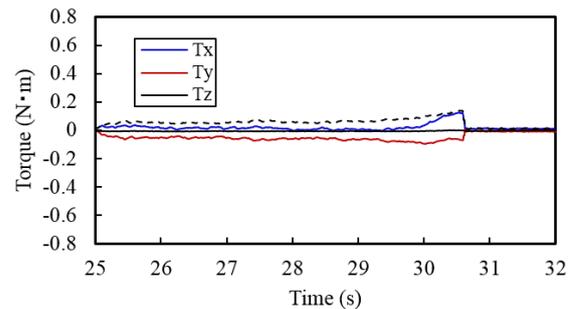


(b) トルクの変化

図4. 上級の作業による力およびトルク (大きい力)



(a) 力の変化



(b) トルクの変化

図5. 上級の作業による力およびトルク (スムーズ)

あったために茎の根本が弱くなったものが混在していた可能性も考えられる。

図6に中級の作業による収穫時の力およびトルクの計測結果を示す。作用させた力は5(N)、トルクは0.6(N・m)程度であり、茎

の根元に対して斜め下に引っ張る方向に力をかけている。

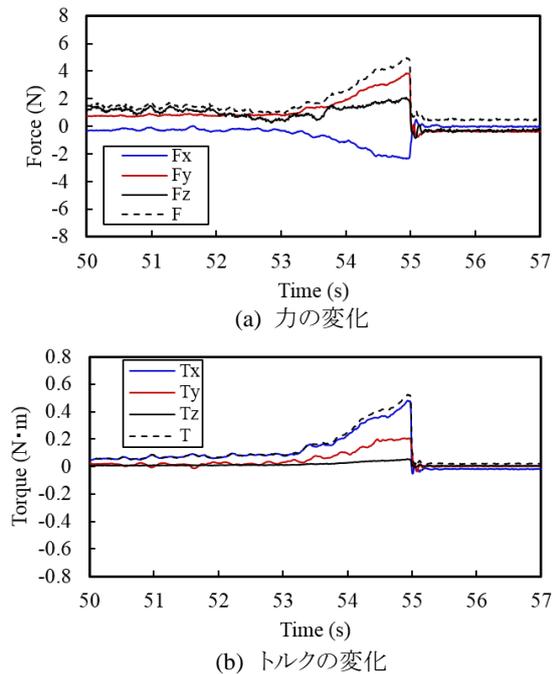


図 6. 中級の作業による力およびトルク

図 7 に初級の作業による収穫時の計測結果を示す。力およびトルクは最大で約 15 (N) および 0.4 (N・m) であり、いずれも大きな値であったが、把持している茎が滑って把持部から外れても、もぎ取ることができなかった。茎を引っ張る方向に力をかけている。

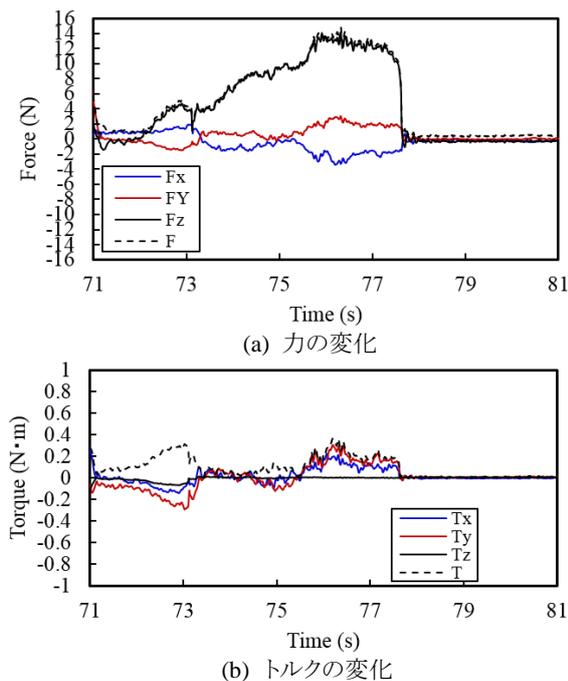


図 7. 初級の作業による力およびトルク

5. まとめ

茎の根元をせん断させる方向に、5 (N) 程度の力と 0.5 (N・m) 程度のトルクを作用させることで、さくらんぼをもぎ取ることができることがわかった。また、この際の把持力は 12 (N) 程度で十分であることがわかった。しかし、茎の根元を引っ張る方向に力を作用させると 15 (N) 程度の力と 0.4 (N・m) 程度のトルクを作用させてももぎ取れない場合があり、力を作用させる方向が重要であると考えられる。

また、同じ上級者による収穫作業でも、極めて小さい 1 (N) 以下の力と 0.1 (N・m) 以下のトルクでもぎ取れる場合があった。根本が弱いものが混在していた可能性も考えられ、今後、さくらんぼ収穫の時期による違いについても確認していく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、山形県さくらんぼ世界プロジェクトの一環として行われた。

参考文献

- 1) 林茂彦, 山本聡史, 齋藤貞文, 山下智輝, 田中基雅, 坂本直樹, 柏原直哉, 菅野重樹: 内側収穫ロボットを用いたイチゴ果実への接近収穫方法の検討, 農業機械学会誌, vol. 74 (2012) No.4 p.325-333
- 2) 太田智彦, 山下貴史, 林茂彦, 米田隆志: 鏡面反射利用の視覚システムを持つトマト収穫ロボットの開発 (第 1 報), 農業機械学会誌, vol. 72 (2010) No. 6 p. 587-594