

論 説

リンク機構を備え往復運動で切断する農業ハサミ

田 村 駿 (産業イノベーション学科)
小長谷 圭 志* (産業イノベーション学科)
高 橋 学 (産業イノベーション学科)
山 本 智 規 (産業イノベーション学科)
八 木 秀 次 (産業イノベーション学科)

* 責任著者

Operation of agricultural scissors via back-and-forth motion implemented
using the link mechanism

Shun TAMURA (Industrial Innovation)
Keiji KONAGAYA * (Industrial Innovation)
Manabu TAKAHASHI (Industrial Innovation)
Tomonori YAMAMOTO (Industrial Innovation)
Hidetsugu YAGI (Industrial Innovation)

* Corresponding author

キーワード：農業ハサミ、往復運動、リンク機構

Keywords: agricultural scissors, back-and-forth motion, link mechanism

【原稿受付：2024年7月22日 受理・採録決定：2024年8月2日】

要旨

通常、農業ハサミでは植物の切断を繰り返すと病原体の感染拡大のリスクがあることから、器具消毒が推奨される。切断動作と同時に消毒を行う器具は市販されているものの、握力だけで切断するため通常よりも大きな力を要する。往復運動で切断できれば多くの身体部位を利用でき、切断と消毒にかかる身体負担を軽減できる。そこで本研究では、引くことで動作する農業ハサミの概念を検証するために、設計と試作、切断可否の検証を行った。機構は、往復運動をハサミの回転運動に変換するため、4節のスライダクランクを採用し、単純な1枚刃とした。その結果、計算において力伝達の逆比は1を下回り、直接刃を押し当てるよりも力負担が大きくならないことを確認できた。茎を模したシリコーンゴム（直径3.5mm）を10cm離れた2点で支持しその中間点を切断したところ、持ち手部分の最大荷重はそれぞれの直径で2.2, 4.9 Nであり、同じ刃を垂直に挿入したときの最大切断抵抗 5.5 ± 0.5 N, 9.8 ± 0.6 N よりも小さかった。往復運動は消毒液を備えた場合の液の射出と相性よく、切断と消毒を交互に行う現場においても役立つと期待できる。

1 はじめに

農作業における収穫、剪定、接ぎ木では、ハサミやナイフを使って組織を切断、部分的に切断する。その際、病害感染した個体の液汁が刃に付着し、そのまま次の個体を切断することによって感染を拡大させてしまうことがある。このように病原体以外から感染する経路を2次感染と呼ぶ（農林水産省 2020）。2次感染を防ぐ方法の一つとして、器具の消毒が推奨されている（小川ら 2008；川口ら 2011；篠崎ら 2014；農林水産省 2014）。

ハサミは栽培管理で頻繁に使うことから、消毒を簡単にするためにいくつかの製品が存在する。握る動作で消毒液を射出するもの（ジョン サン 2008）、電子制御によって消毒液を射出するもの（漆原ら 2008）、加熱で消毒するもの（株式会社イージーエス 2023；中島銅工株式会社）などである。しかし、農業現場では器具が濡れることが多く、電子制御では防水に関わる構造を要する。握るタイプは電子制御を必要としない製品だが（ジョン サン 2008）、握る動作で切断と消毒の2つを同時に行うため通常よりも力を必要とする¹。しかし、この場合でも、構造の単純さや、同じ動作で切断と消毒の両方が行える点は優れている。そこで、対象作物の切断と消毒を同じ動作で行える特徴はそのままにして、使う身体部位の選択肢を増やして体の負担を軽減できないかと考えた。

握る動作は手のひらの筋肉を使い、それ以外の部位では難しい。それに対して、様々な身体部位で行える動作に「往復」という動きがある。指先の筋肉を使ってもよいし、腕や上半身全体で往復させてもよい。下半身を含めて体全体を使ってもよい。往復動作はシンジヤポンプとの相性もよく、消毒液を射出しやすい。

一方、「往復」は「握る」に比べて、対象物を動かしてしまう。握る動作で刃を動かすと、2枚の刃の中心線上の点は空間をほとんど動かないので作物の茎は動かないが、往復動作で刃を動かすと、茎が手前に引かれてしまい切断が難しいばかりか、作物の生育にも悪影響を及ぼしかねない。

往復動作を刃先で「挟む」運動に変換することができれば引くことによる作物体の移動を抑えることができる。ところで、往復運動を回転運動に変換する機構としてリンク機構が挙げられる（太田 2014）。リンク機構は回転できるピンとフレームの役割を果たすリンクからなる機構の総称である。リンク機構を取り入れて往復動作とすることで、多様な身体部位を使うことができ、また切断と消毒が同時に行える。

そこで本研究では、引くことで動作する農業ハサミの概念を検証するために、設計と試作、切断可否の検証を行った。切断対象には、物性が均一で、せん

断弾性係数が果菜類のそれ（1.0 MPa）（Navas et al. 2020）と近いシリコンゴム（0.7-1.5 MPa）（タイガース 2021）を用いて対象作物の茎の代わりとし、切断の可否を検証した。

2 設計

（1）既存ハサミの構造分析

まず、設計にあたり、既存ハサミの構造を分析した。ハサミは力点、支点、作用点がある（図1（a））。さらに、両刃の中心線に作物茎を位置させて両刃を動かすことで茎を動かさないで済む。あるいは、どちらかの刃（例えば手の人差し指から小指で支える上の刃）を動かさないでもう一方の刃だけを動かせば、動かさないほうの刃で茎を支えながら切断することも可能である（飯村ら 2008）。この力点・作用点の位置関係は今回の引くハサミでも取り入れることができる。

次に刃の枚数について考える。通常、2枚の刃はどこか1点のみで接触するようにわずかに刃が曲がっている（図1（b））、曲がり刃は複雑となる。そこで今回は1枚の刃がそれを受ける構造と対にして切断するようにした。

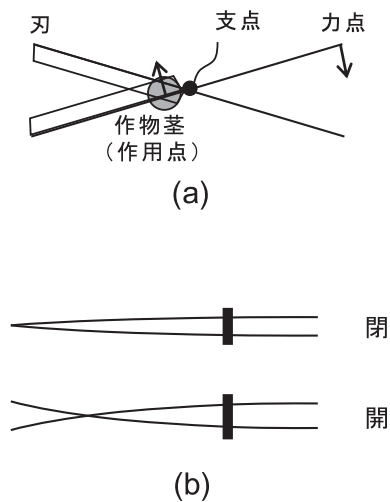


図1 既存ハサミの構造 (a) 回転軸方向から見た図 (b) 回転軸に垂直な方向から見た図

Fig. 1 Schematic diagram of scissors. (a) View along the rotation axis (b) View along the direction normal to the rotation axis

（2）往復で動作するリンク機構への置き換え

往復運動で作物体を挟んで切断するには運動の方向を変えることのできるリンク機構を取り入れる。単純な自由度1のリンクとして図2のようなスライダリンク構造を考えた。リンク4つからなり、リンク4は

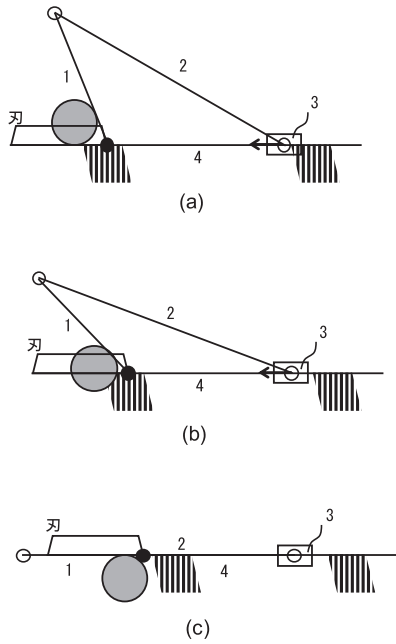


図2 往復運動で動作する農業ハサミの構造
数字はリンクの番号である。灰色丸は作物茎を示す。黒丸、白丸のそれぞれは固定ピン、可動ピンを示す。パネルは切断の (a) 前、(b) 途中、(c) 後である。

Fig. 2 Structure of scissors operating via linear motion. The integer denotes the ordinal number of links. The gray colored circle corresponds to the stem of agricultural crops. The black and open circles indicate the fix and movable pins, respectively. Panels denote (a) before, (b) during, and (c) after cutting.

切断の間静止していると考え。持ち手のリンク3を押すと先端のリンク1が前に回転する。リンク1の先には固定刃が備わっており、動くリンク1によって作物茎が切断される。この場合、往復運動は押す動作となるが、押す運動は微妙な力加減のコントロールが難しい。引くことで切断するためには、図3のようにリンク1を下方に延長してその先で切断すればよい。このスライダクランク機構を採用することで、引いて切断できる。

(3) 力伝達の計算

力の伝達において、切断に必要な力は刃を直接押し当てるよりも小さくしたい。回転部分と往復部分の力の伝達の逆比、 $F_{往復}/F_{回転}$ を1より小さくすればよい。

力伝達はリンクの長さやリンクの相対的な位置関係(角度)によって決まる。いま、注目している力 $F_{回転}$ 、 $F_{往復}$ を配置(角度、変位量)との関係で図3に示す。

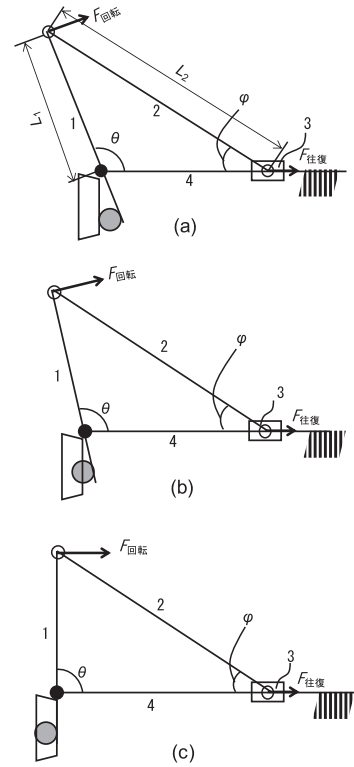


図3 引くことで動作する農業ハサミ構造
数字はリンクの番号である。灰色丸は作物茎を示す。黒丸、白丸のそれぞれは固定ピン、可動ピンを示す。パネルは切断の (a) 前、(b) 途中、(c) 後である。

Fig. 3 Structure of scissors operating via drawing motion. The integer denotes the ordinal number of links. The gray colored circle corresponds to the stem of agricultural crops. The black and open circles indicate the fix and movable pins, respectively. Panels denote (a) before, (b) during, and (c) after cutting.

$F_{回転}$ はリンク1に垂直に作用する力とする。 $F_{往復}$ はいつでもリンク4と平行になっている。角度について、リンク1とリンク3がリンク4となす角度を閉構造の内側の角度で定義し、それぞれ図3中に示す θ 、 φ とおいた($90^\circ < \theta < 180^\circ$, $0^\circ < \varphi < 90^\circ$)。いま、一定速度でリンクが動いているとすると(加速度は0)、 $F_{往復}$ と $F_{回転}$ の関係は、リンク3について自身の方向で力のつりあいが成り立つ。

$$F_{回転} \cos(\theta + \varphi - 90^\circ) = F_{往復} \cos \varphi \quad (1)$$

となる。左辺の $\cos$ 関数部分は -90° の部分を無くして $\sin(\theta + \varphi)$ となる。また、加法定理で展開して、

$$F_{往復} / F_{回転} = \sin \theta + \cos \theta \tan \varphi \quad (2)$$

と書ける。さらに、 φ と θ は対応しているので、 φ は

すべて θ で書き換えられる。2つのリンク1とリンク2のピンまでの長さを図3で示したように L_1 と L_2 とすると、リンク1と2の腕がリンク4に垂直な方向に正射影された部分の長さが等しくなる：

$$L_1 \sin \theta = L_2 \sin \varphi \quad (3)$$

($L_2 > L_1$)。式(2)の $\tan \varphi$ を $\tan \varphi = \frac{1}{\sqrt{1/\sin^2 \varphi - 1}}$ という一般的な関係で $\sin$ 関数に書き換え、さらに関係式(3)を用いると変数 φ を他の因子に係る変数 θ で書ける。

$$\tan \varphi = \frac{1}{\sqrt{(L_2/L_1)^2 1/\sin^2 \varphi - 1}} \quad (4)$$

この式(4)を式(2)に代入することで、力伝達の比の逆数 $F_{\text{往復}}/F_{\text{回転}}$ は θ および L_2/L_1 の関数となる(切断するためにリンク3を引くと θ は小さくなる)。 $F_{\text{往復}}/F_{\text{回転}}$ を θ との関係で図示したものを図4に示す。すべての θ の定義域で力伝達の逆比が1を下回っており、刃を直接押し当てるよりも小さな力で切断できることを意味する。

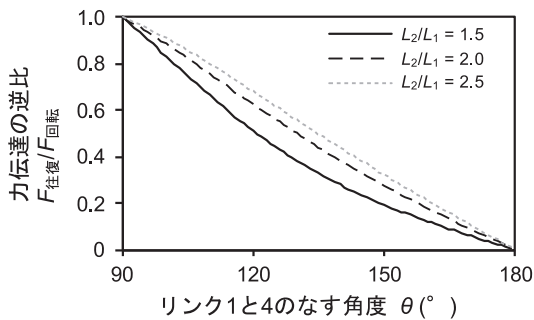


図4 力伝達の逆比 ($F_{\text{往復}}/F_{\text{回転}}$)

Fig. 4 Reciprocal ratio of force transmission (ratio of linear motion per rotational motion).

3 試作

次に、2設計で決定した機構を手で往復させ作物体のモデルを切断できるかどうか検証した。図面は3DCAD ソフトウェア SolidWorks (ダッソー・システムズ株式会社) を用いて作成した。図面を図5に示す。全体の長さは既存のハサミと同程度になるようにし、持ち手部分の直径は成人が軽く手を丸めたときの太さにした。

この図面を基に、3D プリンター MF-2200D (武藤化学工業) によって造形した。フィラメントはポリ乳酸 (径 1.7mm) である。刃の厚みは 0.4mm とした (オルファ株式会社)。

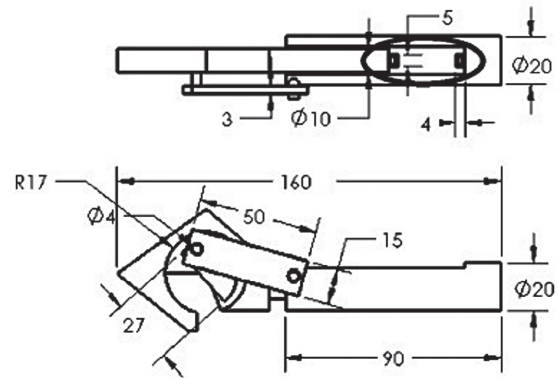


図5 引くことで動作する農業ハサミの図面 (丸棒はスプリング挿入部)

Fig. 5 Schematic of operation of agricultural scissors (The circle line indicates the position of spring).

4 切断可否の検証

本研究の目的は、引くことで動作する農業ハサミの概念を検証すること、対象作物茎のモデルとしてシリコーンゴムを用いて切断の可否を検証することである。製作した試作機を動かし、直径の異なるシリコーンゴム 3-2316-02 (直径 3mm) および 3-2316-04 (直径 5mm) (アズワン) を切断できるかどうか調べた。その結果、直径の違いによらずに問題なく切断できた (様子を図6に示す)。

それぞれの切断時の最大荷重をデジタルフォースゲージ ZTS-50N (株式会社イマダ) によって測定した。その結果、3, 5mm直径のそれぞれで 2.2, 4.9 N となり、手先や腕で負担を感じることなく切断できた。また今回用いた 5mm よりも太い直径を持つ茎を切断した場合の負荷を予想するために、今回の 3mm と 5mm の最大荷重の比を求めると、2.1 であった。これは、固定したシリコーンゴムに引張圧縮試験機 MCT-2150 (株式会社エー・アンド・デイ) で同じ刃を垂直に挿入したときの最大切断抵抗 5.5 ± 0.5 N, 9.8 ± 0.6 N (それぞれ 3, 5mm) の比 1.8 に近いが、それよりも 1 割程度大きかった。

対象が固定された状態で求められた切断抵抗よりも荷重の増加が大きくなった要因としては、ゴムの固定の仕方の違いに起因する可能性がある。引くハサミの概念検証ではつるおろしの作物の状態に近い、シリコーンゴムを長さ 10cm 程度の梁 (両端ピン固定) 状態で支持したことで、切断後半にゴムがたわんで刃の両側の摩擦が無視できない。そして、その摩擦は直径・断面積が大きいくほど大きくなる。切断時の茎のたわみが無視できないような作物体においては切断対象



図6 切断の様子

Fig. 6 Image of a cutting test.

が固定された場合よりも大きな力が必要となる可能性を考える必要がある。

5 まとめ

本研究では、農業ハサミの茎切断と器具消毒を同じ動作かつ複数の身体部位で行えるハサミの概念を確かめること、作物茎を模したシリコンゴムをハサミで切断できるかどうか調べた。往復運動をハサミの回転運動に変換するため、4節スライダクランク機構を採用し、単純な1枚刃とした。その結果、計算において力伝達の逆比は1を下回り、直接刃を押し当てるよりも力負担が大きくなることを確認できた。成人の手のサイズ等を考慮した寸法で設計し、試作機を樹脂で製作した。シリコンゴム（直径3.5mm）を10cm離れた2点で支持しその中間点を切断したところ、持ち手部分の最大荷重はそれぞれの直径で2.2, 4.9 Nであり、同じ刃を垂直に挿入したときの最大切断抵抗 5.5 ± 0.5 N, 9.8 ± 0.6 N よりも小さかった。往復運動は消毒液を備えた場合の液の射出と相性よく、本論文は切断と消毒を交互に行う現場においても役立つと期待できる。

謝辞

本研究の実施にあたり協力をいただいた地域農業者に感謝の意を表する。

注

- 1 当該ハサミを使用する愛媛県内生産者からの聞き取りによる（2020年10月28日実施）。

References

- Navas E, Fernandez R, Sepúlveda D, Armada M, Gonzalez-de-Santos P (2020) A Design Criterion Based on Shear Energy Consumption for Robotic Harvesting Tools. *Agronomy* 10 (5), 734. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050734>.
- ジョン サンチョン (2008). ビー.アイ.ジー カンパニー リミテッド. 切断及び消毒を並行できる園芸用はさみ. 実用新案登録第 3144790 号. 2008-08-20.
- タイガース (2021) タイガースラバーシートカタログ. https://tigers.jp/product/catalog/pdf_catalog/pdf_sheets.pdf. Accessed Oct. 26, 2022.
- 中島銅工株式会社 熱ハサミ Top. <https://nakajimadoko-co.jp.prm-ssl.jp/scissors/>. Accessed Apr. 11, 2023.
- 太田智彦 (2014) 3枚刃構造の果樹用摘果ハサミと摘果ロボット. *農業食料工学会誌* 76 (3), 229-231.
- 小川孝之, 田中久二夫 (2008) PMMoV が付着したハサミの消石灰液による消毒方法. *茨城県病害虫研究会報* (47), 52-55.
- 川口章, 谷名光治, 井上幸次 (2011) 雨除け栽培で発生するトマトかいよう病に対する土壌消毒と地上部伝染防止対策の防除効果. *近畿中国四国農業研究* (18), 13-17.
- 株式会社イージーエス (2023) 【スイッチ ON で刃を加熱！】バッテリー式自動除菌ハサミ！電熱ジョッキン. <https://egs21.co.jp/product/jokkin.html>. Accessed Apr. 11, 2023.
- 漆原寿彦, 原昌生, 谷脇憲, 武田浩一 (2008) 刃を自動消毒するハサミの開発とトマトかいよう病の二次伝染防止. *群馬県農業技術センター研究報告* (5), 17-26.
- 篠崎毅, 清水伸一 (2014) 愛媛県におけるキウイフルーツかいよう病発生の現状と今後の課題. *植物防疫* 68 (5), 255-258.
- 農林水産省 (2020) 夏期高温期の湛水によるタマネギべと病の一次伝染抑制技術. https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/new_tech_cultivar/2020/2020seika-10.html. Accessed Apr. 11, 2023.
- 農林水産省 (2014) キウイフルーツ かいよう病緊急対策. <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/siryu2/pdf/sanko.pdf>. Accessed Apr. 6, 2023.
- 飯村崇, 長嶋宏之, 井上研司, 井山俊郎, 本村貢 (2008) 低切断荷重はさみの切断荷重の推定. *岩手県工業技術センター研究報告* (15). https://www2.prefiwate.jp/~kiri/study/report/2007/pdf/H19_06.pdf. Accessed Apr. 11, 2023.