

越冬ハクサイ頭部結束機の開発

<農研機構農業機械研究部門 「農業機械技術クラスター事業」>

奥野慎*¹ 笠原章裕*¹ 山川翔平*² 白石知久*³ 森田寛之*³ 大森弘美***

Development of Head Binding Machine for Overwintering Chinese Cabbage

<Institute of Agricultural Machinery,NARO 「Agricultural Machinery Technology Cluster Project」>

OKUNO Shin*¹, KASAHARA Akihiro*¹, YAMAKAWA Shohei*², SHIRAIISHI Tomohisa*³,
MORITA Hiroyuki*³, OHMORI Hiromi**

抄録

作業者の負担軽減を図るため、越冬ハクサイ頭部結束機の開発を行った。

北関東を中心としたハクサイ農家では、冬季ハクサイを圃場で越冬させるために頭部を紐で結束する（霜害、冷害防止）。この作業は全て手作業で行われているため、高齢化が進む農家では機械化を求める声が多くあった。また、今回開発した結束機は作業者による補助走行のため、結束するハクサイの位置は目視による確認が必要であるが、今後の無人運転を視野に入れ、カメラによるハクサイの位置検出についても併せて検証を行った。

キーワード：ハクサイ，頭部結束，自動化，農業ロボット，農業機械，位置検出

1 はじめに

冬季ハクサイは霜害や冷害から芯部を守るため、外葉を持ち上げ、頭部を紐で結束する（図1）。この方法により、圃場で3箇月程度保蔵できると同時に、ハクサイ自ら凍らないように内部のデンプンを糖に変えるため、出荷量調整及び味の面で大きなメリットがある。この慣行作業を行っている北関東の茨城県、群馬県、埼玉県では、冬季ハクサイの大産地を形成している。

一方、この頭部結束は、手作業により中腰で行うため身体への負担が大きく（図2）、高齢化が進む農家では自動化を求める声が多くあった。

そこで、今回、この作業の軽労化を図る結束機の開発を行った。



図1 頭頂部を結束したハクサイ



図2 手作業による結束作業

*¹材料・機械技術担当、*²総務・事業化・製品開発支援担当、*³電気・電子技術・戦略プロジェクト担当、***農研機構 農業機械研究部門 無人化農作業研究領域 革新的作業機構開発グループ

2 開発内容

2.1 開発スキーム

本開発は、農研機構農業機械研究部門の農業機械技術クラスター事業の中で「ハクサイ頭部結束コンソーシアム（2019～2021年度）」として実施した。構成員は以下のとおりである。

- (1) 農研機構農業機械研究部門(さいたま市)
研究代表機関、総合調整、実証試験検証等
- (2) 東洋精機株式会社(鴻巣市 メーカー)
機械装置設計、組み立て、実証試験検証
- (3) 埼玉県産業技術総合センター北部研究所
樹脂部品試作、実証試験検証、ハクサイ位置検出技術
- (4) 公益社団法人農林水産食品産業技術振興協会
事務手続き

2.2 装置構成

結束機は、①紐送り部、②外葉持ち上げ及び結束部、③電気制御部から構成され、発電機から電力が供給される。装置全体図を図3に、①及び②の詳細を図4及び図5に示した。

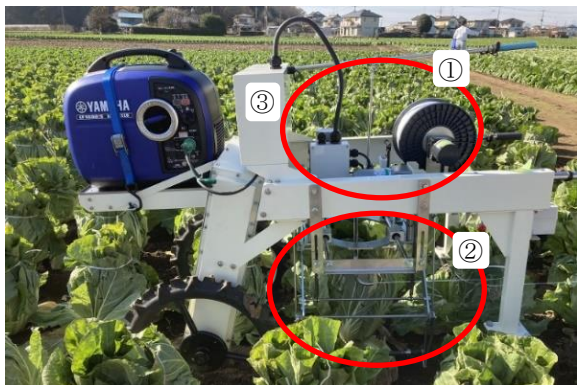


図3 機械装置全体



図4 紐送り部



図5 外葉持ち上げ及び結束部

2.3 結束動作

本結束機は、前輪を駆動輪、後輪を従動輪とし、作業者が補助しながらハクサイを跨ぐ形で走行させる。ハクサイを結束部直下に捉えたときに、ガイドローラーを装着させた1対のスプリングコイルをハクサイの側面下部に当接させ、さらに上部に回転させることで、外葉を持ち上げる(図6)。この状態で、結束紐により頭頂部から下方約10cmの位置で、連続的に結束を行う。

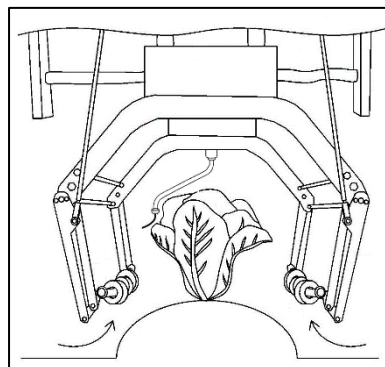


図6 外葉持ち上げ概略図

なお、スプリングコイルに装着したガイドローラーは、各ローラーが独立回転するため、ハクサイ表面各所の凹凸にフィットしながら外葉を持ち上げることができる。構造については図7のとおり、スプリングの曲線変形に対しても自在に回転できるように内部を鼓状にした。

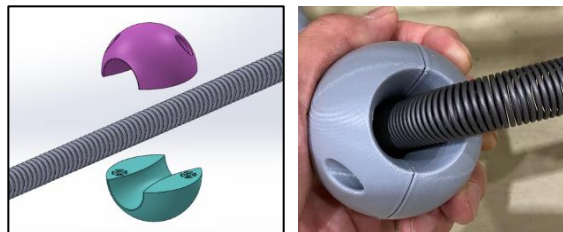


図7 ガイドローラー

結束方法は連続ループ方式とした(図8)。これは、結束紐を搭載したリールをトルク制御(図4)しながらハクサイを連続的に結束する。すなわち、進行時や結束時、紐は自然排出であるが、リールには常に自然排出を妨げない反対回転の穏やかな力を与える。この機構により、紐のたわみは直ちにリール回収され、紐は常に一定の張力を保った状態で連続結束を行うことができた。



図8 連続ループ式による結束

2.4 ハクサイ位置検出

結束機を用いて頭部を結束するには、現時点では、作業員により結束位置を補正・微調整している。人手不足解消、労働負荷の軽減には電動駆動と画像検出を連携させ、ハクサイ頭頂部を自動的に検出して結束することが重要であると考えている。そこで、カメラ及び人工知能(AI)を用いてハクサイ頭部を検出する試験を行い、検出率80%以上を目標とし結束の全自動化の検討を進めた。

3 結果及び考察

3.1 結束機の仕様

令和3年度に試作した結束機を最終仕様とした。令和元年度から試作改良を重ね、本機は2号機である(図9)。

- (1)大きさ(mm) : L1,610×W740×H1,290
- (2)質量(kg) : 113(発電機含まず)
- (3)電源 : 発電機(100V 1.6kVA)
- (4)走行 : 走行用モーター(120W×2個)0~0.6 m/s
前輪駆動(左右独立 旋回時片側駆動)
- (5)結束部 : 1,000m巻PP紐(ハクサイ約1000個分)

紐操出モーター(25W)

結束スピード6s/個~、連続ループ式

- (6)前輪カバー : 進行方向周辺のハクサイ外葉踏みつけ防止のため装着



図9 試作2号機

3.2 実証試験

令和3年12月に愛知県で行った実証試験結果について以下に示す。

(1)12月15日(豊橋市)

- ・品種 : 不明
- ・圃場等 : 条間60cm、株間32cm、
結球高さ30~38cm、結球径20~27cm
- ・結束成功率 : 50%程度
- ・結果 : ハクサイが大きく、外葉が硬いため3つの不具合が発生した。不具合1 : 前輪カバーによる外葉踏みつけ防止が機能しなかった(前輪カバーが前左右の外葉を破損させるケースもあった)。不具合2 : ガイドローラーが上まで上がり切らずに、外葉持ち上げが不十分であった。不具合3 : ハクサイが大きいため、結束アームがハクサイの芯部や外葉を破損させてしまった。



図10 破損した外葉

(2)12月16日 (みよし市 圃場A)

- ・ 品種：きらぼし
- ・ 圃場等：条間 60cm、株間 32cm、
結球高さ 30~34cm
- ・ 結束成功率：98.7% (150 個/152 個)
- ・ 結果：図 11 のとおり良好な結束ができた。



図 11 結束写真

(3)12月16日 (みよし市 圃場B)

- ・ 品種：晴黄
- ・ 圃場等：条間 60cm、株間 32cm、
結球高さ 26~30cm、結球径 14~17cm
- ・ 結束成功率：99.1% (113 個/114 個)
- ・ 結果：図 12 のとおり良好な結束ができた。



図 12 結束写真

3.3 ハクサイ位置検出

ハクサイを上部から撮影し(図 13)、頭部の画像を抽出して学習モデルのデータとした。

AI 学習結果を表 1 に示した。頭頂部を 84%で判定することができた。スコアは検出の確度を示し、大きい値ほど確度が高い(最大: 1)。

さらに、図 14 のように頭頂部が確認できる画像だけでなく、図 15 のように外葉により隠れてしまった頭頂部も検出することができた。しかし、

図 14 のスコア値 0.665 及び図 15 のスコア値 0.654 のように、複数の箇所を頭頂部として検出してしまふ場合がある。これに対しては、検出した確度を示すスコアの最高値のみを表示する設定を行うことで改善することが可能である。



図 13 ハクサイ頭頂部画像撮影写真

※カメラ：Nano-C1920
(解像度 1936×1216, フレームレート 39fps)

表 1 AI 学習結果

プログラミング言語	MATLAB
学習データ数	600 枚
学習モデル	深層学習
スコア最高値 (平均)	0.820
ハクサイ頭頂部検出	84%



図 14 AI による検出結果 (頭頂部露出)



図 15 AI による検出結果(外葉による頭頂部遮蔽)

4 まとめ

4.1 機械装置性能評価

- (1)本結束機による結束可能なハクサイは、結球高さが最大約 35cm で、結球径が最大約 20cm であった(株間 32cm 以上)。
- (2)結球高さ 35cm 以上で、結球径 25cm 以上のハクサイでは、結束成功率が 50%程度であった。
- (3)畝から畝へ方向転換する場合、枕地が狭いと旋回ができないため、幅 1.5m 以上の旋回スペースが必要であった。

以上、ハクサイが結束可能な大きさであり、株間が一定距離以上であれば連続結束ができ、結束スピードは 7s/個で行えることがわかった。これは熟練農家が行う手作業と同程度であるが、手作業の場合、足腰の負担から休憩が必要であるため、機械化による効率化、担い手不足解消に寄与することが期待される。また、留意点として本結束機を導入、効率的に稼働させるためには、あらかじめ圃場整備、株間の保持、中型品種の選定が必要となる。

4.2 ハクサイ位置検出及び結束機との連携

カメラ及び AI を用いて、ハクサイ頭頂部の検出を行った結果、84%の検出率が得られた。目標値を達成したが、検出率の精度は天候の変化、ハクサイの品種、結球部の大きさ、株間等のパラメーターが大きく起因している。すなわち、学習モデルに使用した画像が特定の条件下で撮影したものに限定されると、他の条件での撮影画像の検出

精度が大きく落ちてしまうことがわかった。

今後、様々な条件下でのハクサイ頭頂部画像を撮影し、学習モデルへ追加することにより頭頂部検出率を改善し、更に頭頂部の検出箇所を 1 箇所にとりこむことなどの検討が必要である。

結束機の無人運転化に必要な条件として、カメラによるハクサイ位置検出とほぼ同時に結束機が停止する連携が求められる。すなわち、走行しながらハクサイの位置を検出するため、結束機停止までに大きなタイムラグがあると目的のハクサイを通り過ぎてしまう。具体的には、結束機の走行スピードは 50cm/s であり、ハクサイと結束機進行方向のズレの許容範囲は 8cm 以内であるため、位置検出後 0.16s 以内に結束機の停止が必要となる。全自動化には、この許容差に対応できるような AI 解析スピード、走行モーターの制御等の各種仕様変更が求められる。

以上の課題解決を図ることにより、AI を用いた全自動ハクサイ結束機が期待できる。

謝 辞

本開発は、農研機構農業機械研究部門の農業機械技術クラスター事業の支援を受けて行った。

<https://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/iam/cluster/index.html>

参考文献

- 1) 大森弘美, 令和 3 年度, 農研機構, 農業機械研究部門研究報告会資料「越冬ハクサイ頭部結束機の開発」
- 2) 河野政美, 奥野慎, 金木祐介, 山川翔平: 野菜結束装置, 特願 2020-45450