

対話可能な選択的機械除草ロボットの開発

— 自給的暮らしを彩る農業ロボット —

1. 背景

農業の生産体系は常に時代の技術の影響を受けてきた。あらゆる分野における技術的革新が有機的に結びつくことで農業の生産体系が躍進する。近年注目されているスマート農業は、農用トラクタの自動操舵技術に発端し、センシング技術や深層学習、ロボティクス、ゲノム編集といったあらゆる技術の結晶によって農業の無人化や労働生産性・土地生産性の向上を実現しうる「夢の技術」である。提案者はこのスマート農業を日本で先導する研究室に所属しているが、この夢の技術に対して現場との連携不足や実用化の難しさといった大きな障壁を痛感してきた。少子高齢化や後継者不足、世界的な人口増加や食糧難に対する解決策の一つがスマート農業であることに疑う余地は無い。しかし、その技術の応用の仕方一つで人々の食に対する関わり方、ひいては暮らしの様式や地域の在り方が大きく左右されることもまた自明である。グランドセオリーとして「人々の幸福」を措定したときに、現状のスマート農業研究がどれほどその大前提に則っているのかを推しはかると心許ない。

一方で、技術が未発達であるが故に様々な犠牲が生じると考えることもできる。本プロジェクト立ち上げのトリガーとなったのは、学習済み Transformer モデルの登場と性能の飛躍である。大規模言語モデルによって人とロボットのインタフェースがより自然になり、農学の知見が誰でも知ることができ、ビジョン AI によってより柔軟なタスクを実行できるようになると考えた。この技術の発達によって創発される新しいスマート農業の在り方とは何か？どのようにしたらより自然と共生しながら農業を営めるのか？我々日本人は農耕民族であるが、これからの時代どのように生きるのが幸福か？そういった看過されてきた視点を再び取り戻して世界観を描きつつ、ロボットとして実装すること、つまりスマート農業のオルタナティブをノンフィクション・ストーリーとして示すことは極めて意義深い。

2. 目的

本プロジェクトでは、ここ 1 年で進歩速度が滝上がりしている AI の技術を農業ロボットに積極的に取り込むこと、および自然と人間とロボットとの持続可能な共生をテーマにする。まず AI 技術に関しては、大規模言語モデル (LLM) やビジョンを含む大規模マルチモーダルモデル (LMM) 等の活用である。これらをロボットにどのように応用するかを設計して、実用に耐えうるシステムを開発する。

次に後者に関して、雑草をキーワードに取り上げる。即ち、雑草を全て除草剤で駆除するのではなく、選択的な機械除草をすることを試みたい。これによって環境負荷

低減や土壌性改善，生物多様性の向上や食用利用といった価値を生み出す。では，選択的除草をするメカはどのような形態を取るのか？それはどのようなソフトウェアで実現できるか？実際にロボットを開発して農耕民に使ってもらう中で，自然と人間とロボットが生き生きと共生する未来を描いてみたい。

3. 開発の内容

本プロジェクトでは，対話型の除草ロボット「OHANA-ROBOT」を開発した(図 1)。

a. ハードウェア

小型二輪クローラを採用し，それをアルミフレームで骨格を作った。その形状は，一列の畝を跨げるように設計しており，幅や高さはフレーム長を変えるだけで柔軟に変更することができる。また，除草ユニットとして3軸マニピュレータを作成し，エンドエフェクタには芝刈り用のバリカンを改造して取り付けた。これらはホームセンタ等で誰でも購入できる部材を用いており，開発手法のドキュメントを作成してオープンソース化した。これによって，誰にとっても開発・修理・カスタマイズ可能なロボットを実現した。このクローラは多少の段差や傾斜，草藪，小石を走破する能力がある。除草マニピュレータは畝の形状にフィットするように3自由度になっている。バリカンで畝や地面を除草することができる(図 2)。

b. ソフトウェア

ロボットの制御や通信には Ubuntu22.04 上で動作する ROS 2 Humble を用いている。メインセンサは単眼カメラで，言語とコントローラによるロボット操縦を実現した。

i. 言葉による指示

ロボットが実行可能な2つのコマンド“GO_TO()”と“GO_ALONG()”を実装した。ユーザの言葉をそのコマンドに変換することで，自然言語のインタフェースでロボットの操縦ができる。故に，子供から爺婆までマニピュレーションが可能である。“GO_TO()”は，引数で指定されたオブジェクトの方へ向かうコマンドである(図 3)。これにより，目印まで進んだり人追従したりする機能を実現した。“GO_ALONG()”は道や作物列といった，それに沿って進むためのコマンドである(図 4)。OpenAI API の Speech-to-Text モデルと LLM を用いてコマンドに変換する。撮影された画像は全て Google Cloud Pub/Sub を経由してサーバに送信し，サーバ上で画像処理をしている。画像処理では，基

盤モデルを積極的に活用し、物体検出モデル（Grounding DINO）とセグメンテーションモデル（Segment Anything Model）、および深度推定モデル（ZoeDepth）等を利用している。

ii. 植物の解説実況

ユーザはカメラに写った植物の解説をラジオ感覚で聞くことができる。PI@ntNet API を用いて植物種を同定し、OpenAI API の LLM で解説文を生成し、Text-to-Speech モデルで音声化している。

iii. 除草マニピュレータ

ROS 2 の Moveit 2 を用いた制御をしている。あらかじめ操縦コントローラのボタンにそれぞれのアームの姿勢を割り振っておき、操縦コントローラでアームを駆動するようなシステムにした。



図 1：OHANA-ROBOT に言葉で指示を出しているところ



図 2：畝の傾斜に合わせてバリカンで除草しているところ



図 3：人追従の様子。「ついてきて」などの指示を出すと、GO_TO(“person”)というコマンドに変換され、元画像（左）から人の検出・セグメンテーション（中）と深度推定（右）を実行する。



図 4：作物列追従の様子。「この作物列を進んで」などの指示を出すと、GO_ALONG(“crop row”)というコマンドに変換され、作物列の検出・セグメンテーションと深度推定を実行する。

4. 従来の技術（または機能）との相違

そもそも対象としている農業の体系がスマート農業では扱われなかったものなので、比較の対象になるロボットはないのだが、あえて従来のスマート農業研究や農業ロボットの体系の中に位置付けてみる。ただし、比較対象としてハウス等の屋内で動作するロボットは除外している。

a. ハードウェアのカスタマイズ性

個人でも入手・加工可能な部材を用いてオープンソースにしたことで、誰でも制作可能なロボットになっている。個人でも修理できるため、耐久性が多少低くても問題ない。従来の農業ロボットは故障したら半年修理待ちや買い替えのような事態になるために耐久性が重要視されているが、本ロボットは修復可能性を高めることでこれを解決した。また、これは除草ロボットという体裁をとっておきながらも、カゴをつけて運搬ロボットに変化したり、老婆のシルバーカートに変化したり、スピーカやライトをつけて場を盛り上げるメディアに変化したりと、カスタマイズ性に富んだ設計になっている。専用の機能がない代わりに、汎用的に使える農業ロボットというコンセプトを実現した。

b. 自律性

従来の農業ロボットは、RTK-GNSS と IMU のセンサフュージョンによる自動操舵が一般的である。しかし、基地局のインフラに依存することや Fix 解が得られない状況下がある場合は利用できない。LiDAR やカメラ等のビジョンセンサを用いた SLAM 等による自律移動や、GNSS とカメラ等のセンサフュージョンによる自律移動の研究も盛んであるが、どちらも研究段階にとどまっている印象が強い。本プロジェクトでは、発想の転換を行なって、自律性を犠牲にする代わりに人間との距離が近いロボットを目指した。作物列を追従しながら除草するのは自動でできるが、圃場までの移動は人間が操縦するか人間を追従する、ということにしている。人間追従だけでなく、基盤モデルで検出できる物体や動物なら何でも追従できる点が特長だ。

c. 対話可能性

LLM を農業ロボットに応用した研究例は極めて少ない。対して室内のロボットではここ 1 年で数多の研究例が報告されており、本プロジェクトでも積極的に取り入れるよう工夫した。言葉による指示を可能にしたことで、人間とロボットとの距離が近くなった。植物の解説をすることで人間と自然の距離も近くなった。

d. 選択的機械除草

機械的な除草としてはホーやタインといった除草機や中耕除草機などが一般

的である。選択的な除草としては、雑草を検知してピンポイントで除草剤を噴霧したり、レーザーを照射したりという方法が商用レベルの方法で確立されている。小規模の農家の間でよく用いられる芝刈りバリカンを選択し、畝の形状にフィットした角度に調整するような3軸アームを搭載している。雑草との共生を目指すべく、このような一つの生産体系を作る試みをしている。

5. 期待される効果

スマート農業や大規模効率化していく農業が主流の中で、それとは対極にある自然派の農業や自給的農業に、最先端の情報技術を活用した知能的な道具を開発した。特に、LLM や LVM 等のモデルを積極的に活用することを試みた。従来のスマート農業研究では、研究機関が限定的な種類の大規模なデータセットを構築することで、特定の地域・作物における特定の種類の雑草検出器モデルを開発するのが主流であった。そうではなくて、基盤モデルを下流タスクに適用することで、現場の人が自身の環境に合う形でカスタマイズすることができる。従来のスマート農業の恩恵を受けられないような農業形態に良い影響を与えられる可能性がある。スマート農業研究のオルタナティブを示すことで、その研究の発展にも寄与するだろう。

6. 普及（または活用）の見通し

自分が第一の利用者である。今年の実験するための畑を見つけて、その地域のコミュニティに入り、OHANA-ROBOT あるライフスタイルを送り、それを発信する。そのような人が今後3年で5人くらいに増えれば面白い。各人は、それぞれの地域において自給的暮らしを OHANA-ROBOT とともに過ごす。このライフスタイルはパトロン制度によって成立し、パトロンは収穫体験等の恩恵を受けることができる。OHANA-ROBOT のある自給的暮らしを営むコミュニティは、農家、エンジニアにとどまらず、地元の人や古民家、シェフといった人が関わっており、地方の活性化にもつながる。

7. クリエータ名（所属）

子安 竜司（北海道大学農学院）

（参考）関連 URL

- OHANA-ROBOT のホームページ
<https://ryujikoyasu.github.io/ohana-robot/>