

次世代農業ロボットの開発を目指して

工学部機械工学科 准教授 樹野 淳也

1. はじめに

現在、ロボットは主に自動車産業や電気電子産業など第2次産業分野において活躍しているが、今後、農林水産業や建設業、社会福祉やサービス業のような第1次、第3次産業など異分野へのロボット進出が期待されている。これらの産業においては、これまでロボットが導入されていた産業とは大きく異なり、屋外での作業や人間が共存するなどロボットが活躍するためには解決すべき問題が多くある。本報では、農業のロボット化について筆者が取り組んでいる事例について報告する。

2. 農業のロボット化

2.1 産業用ロボットと非産業用ロボットの相違

従来の産業用ロボットの特徴は、環境の可制御性、定位置性、定形作業などのキーワードに集約することができる。環境の可制御性とは、ロボットに都合の良いように環境を変更できるということである。通常、産業用ロボットは屋内に配置され、ロボットを導入する際にロボットに合わせ室内レイアウトなどが変更でき、商用電源も簡単に使用できる。定位置性とはロボットは移動する必要がないことを示す。工場ではベルトコンベアとロボットを組み合わせて設置するため、対象となる物体がロボットに対し移動し、ロボットには移動機構を必要としない。定型作業とは、ロボットはルーチンワークを行うため、ロボットは高度の知能を必要としないことを意味している。

2.2 農業へのロボット技術の導入に対する問題点

農業にロボットを導入する場合、次のように多くの問題がある。まず、農作業は収穫後の調整作業などを除き、ほとんどの作業は土壌の上で育った作物に対し移動を必要とする。そのため、作業を行う機構だけでなく、何らかの移動機構を持たなければならない。屋外での移動となると、舗装されていない不整地や傾斜での移動も考慮しなければならない。さらに、ロボットを完全に隔離することは不可能で、周囲の人間の安全性も重要な問題となる。また、圃場では電源の確保も問題となる。

一方、作物は多様な品種・品目が存在し、作物だけでなく自然環境ともに時間変化を伴う。人間がさまざまな作業において行っている作物の認識・識別をロボットに代行させるには、非常に高度な能力が必要となる。対象物の認識・識別には、一般的に画像処理技術が用いられるが、屋外など自然環境のもとでは照明条件が変化するため容易ではない。

2.3 農業ロボットの研究開発動向

前述の問題点などにより、農業分野において望みどおりの作業を代行するロボットは実用化されていないが、産業用ロボットの技術が移転可能な作業ではロボット化が進んでいる。接木作業は、連作による土壌伝染被害の回避や苗木の強健性などを目的としており、熟練を要した繰り返し作業であるために自動化が望まれていた。実現にあたり、技術的なハードルが比較的低かった要因は、穂木・苗木のような対象物は、ベルトなどで搬送されるロ

ボットの定位置性にある。搾乳ロボットも成功している例であろう。これも対象物がロボットに向かってくる事に共通点があるが、搾乳は労働者によってその時間帯が決められていたことに対し、ロボットによる搾乳は、乳牛の能動的な行動にも基づくため、乳量が増加するなど乳牛のストレスが少ないと言われている。

他方、トラクタやコンバインの自律走行に関する研究も活発に行われており、米国の企業による開発例や、国内では北海道大学⁽¹⁾や生物系特定産業技術研究支援センター⁽²⁾により興味深い研究が報告されている。これら農業車両を自律的に走行させる研究者達が中心になり、情報技術を積極的に取り入れた精密農業⁽³⁾に関する研究が進められている。これは、圃場内の多様な情報を高密度で把握し、GPSなど航測機器を用い作業機を圃場内で正確に誘導し、圃場状態に最適な作業を施すものである。

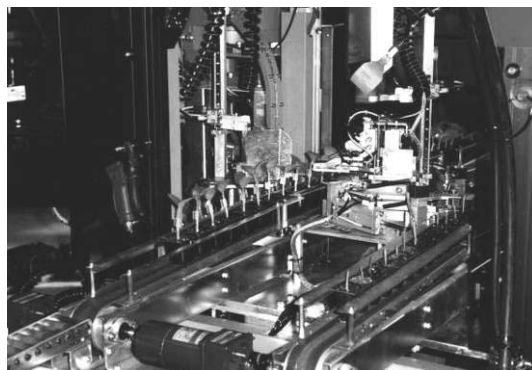


図1 接木ロボット
(三菱農機株式会社提供)



図2 搾乳ロボット
(株式会社コーンズ・エージー提供)

3. 筆者らの取り組み

3.1 コンセプト

我々の研究のスタートは、「ロボットが人間と同じ農業をしなくてはならないか」、言い換えれば、「ロボットが行う農業は人間がやっていた農業と別のものになるのではないか」というところにある。

近代農業は、機械化、化学肥料、農薬の3つが揃う事により、飛躍的に労働生産性が向上してきた。近代農業は、あくまでも人間が実践するということが前提にあるものであるが、人間が実践することによってもたらされた恩恵もあれば、引き起こされた問題もある。後者は、いわゆる環境問題であり、過剰な施肥・農薬の使用による地下水汚染、全面を耕起することに起こる土壌流亡、化石燃料の大量使用に伴う二酸化炭素の増加などが挙げられよう。また、食の安全性についても、人間が作業をすることが要因とも言える。このような背景もあり、環境保全型や持続型といったキーワードのついた農業が求められ、実践されつつある。しかし、近代農業を環境保全型・持続型に転換することは、大変な労力が必要となるため、環境保全型農業をロボットに行わせることとし、ロボットに適した農作業方法まで問題を掘り下げて、研究をスタートさせている。

3.2 ロボットの特性

一般に、産業用ロボットを工場に導入すると、時間あたりの製造個数が大幅に増加し売上が上昇する。このため、産業用ロボットではサイクルタイムが重要な要求仕様の一つとなる。一方、農業ロボットについて考えると、苗を速く植えても生長速度は決まっている

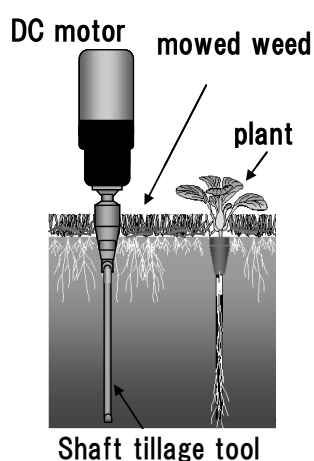
ため、収穫までの期間は短くならない。従って、農業をするロボットには高速で動くという性能はそれほど重要でないことが分かる。高速で動かなくて良いとすると、大きな出力の動力が必要でなくなり、その結果、小型軽量化が可能になる。安全性の観点からも、ロボットが低速、小型、軽量であることは重要であろう。

植物は光合成することにより生長するため、元来、農業は太陽に大きく依存している。このため、日当たりの良い場所に農地は存在することが多い。農作業についても、天気が良いから作物に灌水するのであって、雨天時には灌水は必要としないなど、天候にも大きく左右される。このように、農業と太陽は密接な関係があることから、エネルギーについても太陽から得ることが考えられる。太陽電池は低出力であると指摘されるが、我々のロボットの特性を考慮すると、利用の可能性が十分にあると判断し、研究を進めている。

3.3 ロボット向け耕うん栽培方法

最も重要な点は、耕うんの方法である。プラウによる反転耕やロータリを使った攪拌耕などトラクタにより行われた耕うんは、大きな動力を必要とする。耕うんの主たる目的は、作物の生長に適した環境を与える事であり、作物個体または作物個体の集合として考えても、圃場全面を耕すことは絶対条件ではない。また、前述のように全面を耕起することに起因する問題が顕在化してきたこともあり、近年では、部分耕うん、最小耕うん、不耕起栽培が研究・実践されつつある。我々が開発を目指しているロボットは、低出力の動力源しか持たないこともあり、エネルギー負荷の大きい全面耕うんでない新たな耕うん栽培法が必要となった。

局所耕うん法は、図 3(a)に示すように、圃場内の対象となる地点を局部的に深く耕うんし、苗を定植する手法である。局所耕うんは雑草を防除する機能を持たないので、図 3(b)(c)のように圃場表面は雑草によるリビングマルチの状態となる。雑草が作物生長の妨げとならないように栽培中は刈り込みにより雑草の生長を抑制することを考えている。このことにより、表土を侵食から守るばかりでなく、生物層を複雑に保ち農地の生物的な活性を高めることを期待している。



(a) 概要



(b) 栽培風景 (春季)



(c) 栽培風景 (秋季)

図 3 局所耕うん栽培

3.4 移動機構と自己位置認識

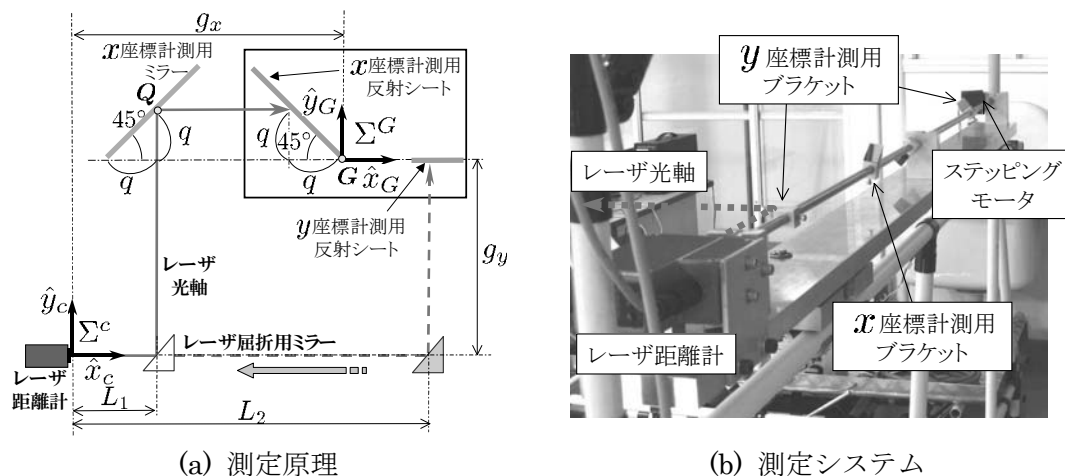


図4 自己位置認識システム

前述のように、圃場で活躍するロボットには何らかの移動機構が必要となる。また、移動ロボットが圃場内で自律的に作業をするには、自己位置を認識する装置も必要となる。

これまでに、屋外での移動ロボットの位置認識に関する研究が数多く実施されている。

外界センサを使った研究例には、作物列を画像認識させ操舵制御をする研究⁽⁴⁾などがあるが、これらの手法は環境条件に依存するため、環境を拘束するなどの工夫が必要である。また、画像処理を利用したセンシングの手法は、屋外の条件下では困難が多く、未だ研究段階である。車両外のセンサを利用する具体的な取り組みとしては、RTK-GPSを用いたナビゲーション⁽¹⁾や、自動追尾型のトータルステーションを用いたナビゲーション⁽²⁾などが報告されている。これらの手法は、高精度であるものの、コストの問題や基地局の設置・移動に関する問題があると思われる。我々が求める仕様は、圃場内に直径数 cm の穴をあけるといふ点から、10mm 以下の精度を目指している。この精度を満たす事ができる市販の測定システムにはトータルステーションがあるが、現時点では高コストである。そこで、高精度で低価格な計測手法開発のブレイクスルーは、センサ技術だけに依存するのではなく、センサの利用方法を含めたトータルシステムの構築の観点からのアプローチが必要であると考え、図4に示すように、一次元では高精度なレーザー距離計とメカトロシステムを併用する方法を提案している。

図5は、車輪型農作業ロボットを提案している自己位置認識システムにて誘導している様子である。

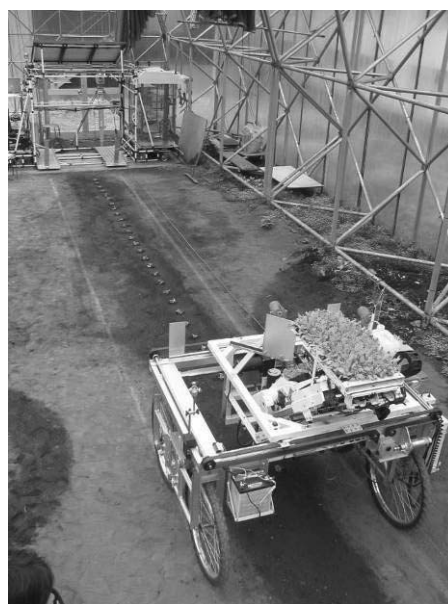


図5 車輪型農作業ロボットの誘導

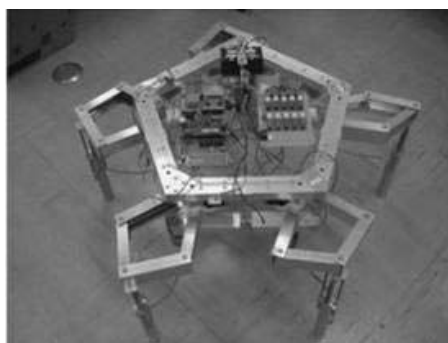


図6 試作中の脚式ロボット

圃場にて精度約 10mm で苗が移植できることを確認している⁽⁵⁾。このように、車輪式ロボットを開発しているほか、現在は、局所耕うん栽培との高親和性から、脚式移動機構について研究⁽⁶⁾をすすめている(図6)。

3.5 作業機開発

図7は、ロボットによる農作業の流れを示したものである。まず、ロボットは耕うんを行い、苗を移植する。その後、圃場での栽培期間中に、生育調査、雑草管理などの管理作業を数週にわたり実施した後に、収穫を行う。移動するためのロボットシステムのほか、各作業を実践する作業機が必要であり、これまでにいくつかの作業機を開発している。

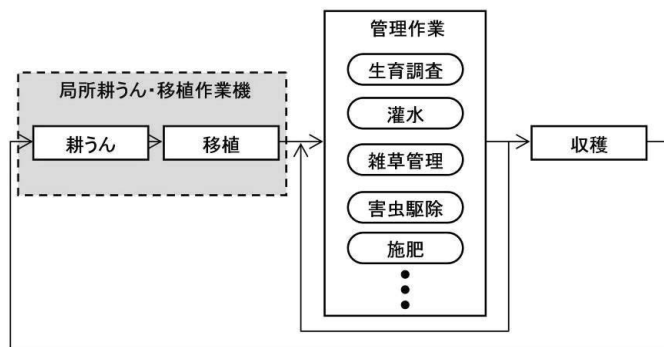


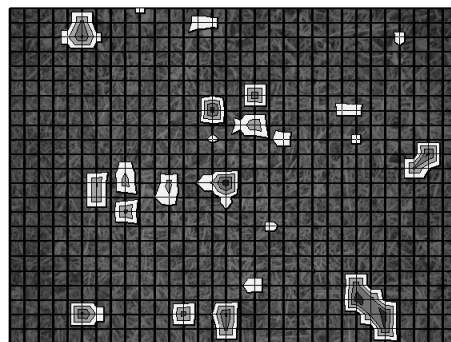
図7 作業の流れ

(1) 耕うん・移植用作業機

図5は耕うんと移植を同時に行う作業機を搭載した様子である。この作業機は、セル成型苗用のエンジン駆動型全自動移植機(井関農機、PVC1-60L)の移植部を電動モータ駆動に置き換えることにより開発した⁽⁷⁾。また、軟弱野菜に用いられているチェーンポット苗が

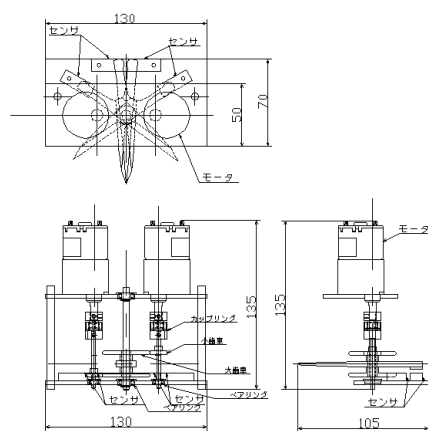


(a) 原画像

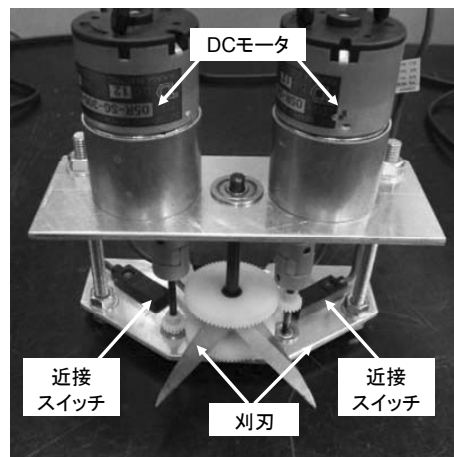


(b) 処理結果

図8 雑草と作物の識別



(a) 組立図



(b) 試作機

図9 雑草刈り込み部

適用できる耕うん・移植用作業機も開発中である。

(2) 雑草管理

前述のように、局所耕うん栽培圃場は雑草リビングマルチの状態であり、雑草を定期的に刈り込むことを考えている。ロボットが自動的に刈り込みを行うには、まず、雑草リビングマルチ圃場において作物を認識する必要がある、画像処理による作物の認識に取り組んでいる。図 8(a)で示される圃場にて、近赤外フィルタを使い画像を得た後、テキストチャ解析により画像内の小領域の特徴量を求める。さらに、ニューラルネットワークを用いて、雑草と作物を識別させると、図 8(b)を得る。形状の近い雑草を作物と誤認識しているほか、作物の一部を雑草と誤認識していた。作物を刈り込むことは決して許されないことから、さらなる精度向上が必要であり、研究をすすめている。なお、この画像処理方法により、成長の把握など作物管理も行う事ができると考えている。

また、刈り取り部の試作もおこなっている。刈刃の選択が最も重要な項目であるが、刈刃について検討した結果、人の手では非常に精度よく刈ることができるハサミの利用に至っている。図 9(a)および(b)は、試作機の組立図と外観である。刈り込み試験の結果、一般的なモータ制御では、うまく雑草を刈ることができなかつたことから、人間の器用さを再現する方法について研究をすすめている。

4. まとめ

本報では、次世代の農業ロボットを目指した取り組みについで紹介した。要素技術の実用化は十分考えられるが、システム前提としての実用化は遠い将来と考えている。しかし、大学の研究は、そのくらい先を見据えるべきと考えている。先人の言葉に、すぐに役立つ事はすぐに役に立たなくなる、というものがある。

参考文献

- (1) 木瀬道夫, 野口伸, 石井一暢, 寺尾日出男, “RTK-GPS と FOG を使用したほ場作業ロボット (第 1 報)”, 農業機械学会誌, 63(5), pp.74-79, 2001.
- (2) 松尾陽介, 行本修, 入江康夫, 一杉則昭, 野口伸, “耕うんロボットの航法技術と作業性能 (第 1 報)”, 農業機械学会誌, 63(3), pp.114-121, 2001.
- (3) ”特集 : プレシジョンアグリカルチャ”, 農業機械学会誌, 61(1), pp.6-40, 1999.
- (4) Torii T., Takamizawa A., Okamoto T., Imou K., “Crop Row Tracking by an Autonomous Vehicle Using Machine Vision (Part 2) - Field Test Using an Autonomous Tractor “, Journal of JSAM, 62(5), 37-42, 2000.
- (5) 樹野淳也, 田島淳, 加藤雅義, 石井忠司, 玉木浩二, “局所耕うん・定植作業を行う圃場内作業車両の誘導”, 農業機械学会誌, 71(2), pp.46-53, 2009.
- (6) Junya TATSUNO, Katsuhiko INAGAKI, Kiyoshi TAJIMA, "Development of a Legged Robot for Shaft Tillage Cultivation - Proposal of Basic Concept-", 4th IFAC International Workshop on Bio - Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, Bio-Robotics IV, Paper.203, 2009.
- (7) 田島淳, 樹野淳也, 加藤雅義, 佐々木豊, 川島平太, 石井忠司, 宮内康弘, 木下榮一郎, “局所耕うん・定植用全自動作業機の開発”, 農作業研究, 43(3), pp.135-142,2008.