農業用ロボット技術の研究開発動向

宮原佳彦 Sumihiko Miyahara 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター

1 はじめに

現在、我が国では急速な少子高齢化が進む中、人口が減少に転じたとされ、近い将来における労働力不足の懸念が高まっている。特に、農業分野では、他分野よりも

更に急激な高齢化と人手不足が進み、既に深刻な状況となりつつある（図1）。このため、食料の安定生産や品質確保も脅かされる状況が迫っていると考えられている。そこで、農林水産省では、ロボット技術やICT等革新的な技術を農業現場に導入し、超省力的で、安定かつ高品質生産を実現する新たな農業、すなわち「スマート農業」の確立を目指す方向性が示されている（図2）。

筆者が所属する国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）農業技術革新工学研究センター（革新工学センター）では、前記「スマート農業」を実現するため、企業や地域の協力を得ながら、新技術の実用化と普及を図ることを目的として、農業用ロボットの研究開発を進めている。本稿では、現在の農業用ロボットの研究開発の動向とともに、当センタをはじめ、現在進められている農業用ロボット開発と実用化を目指した取組みについて紹介する。

図1 農業就業人口と平均年齢の推移

図2 「スマート農業」のイメージ

表 1 農業用ロボットの分類・実用化状況

類 型	Key Technology	対象作業	実用化の状況
車両型ロボット	位置・姿勢・方位情報 経路誘導, 動作制御	一斉 草刈, 防除 (耕うん, ほか)
設備型ロボット	物体検出, シーケンス制 御, 生体ハンドリング	一斉 搾乳, 接ぎ木 選果
マニピュレータ型 ロボット	画像処理, 機構制御, 生体ハンドリング	選択 収穫, 選別 調製
アシスト装置 (スーツ)	人間・労働科学, 機構・ 動作制御, センシング	選択 収穫, 管理 運搬
ドローン (UAV)	位置情報, 姿勢, 方位 経路誘導, 動作制御セン シング	一斉・選択 観測, 防除 資材搬送

図 3 初期のロボットトラクタ (耕うんロボット)

図 4 車両型ロボット (水田作用)

2 農業用ロボットの分類

本稿では便宜的に農業用ロボットを表1のように、①車両型、②設備型、③マニピュレータ型、④アシスト装置、⑤ドローンの五つに分類し、その中で主なものを次章以降で紹介する。

3 車両型ロボット

トラクタ、田植機、コンバイン等の車輪やクローラ等で構成される「車両型」の走行部を有し、ほ場(畦畔、柵等で一定区画に区切られた農耕地)の内外を走行し、それぞれ所定の作業を行う農業機械をほぼそのまま「ロボット化」したものをここでは「車両型ロボット」とした。これまでに実用化された例としては、芝刈りロボット、園芸施設用無人農業散布機、無人スピードスプレーヤ等があるが、ロボットトラクタに関しては、いまだ市販化には至っていないが、農機メーカーからはここ1~2年間に実用化するとの公表がされている。

トラクタのロボット化研究の歴史は古く、特別認可法人生物系特定産業技術研究機構(現在の農研機構・革新工学センター)の「耕うんロボット(図3)」は1990年代に研究開発が行われた^{(1),(2)}。ロボットトラクタには、本体の位置、方位・姿勢、速度等の情報を取得する「航法センサ」、オペレータに代わって機体を操縦する「自動操舵・走行制御システム」及び各部を制御する「コントローラ」が必要となる。前記「耕うんロボット」では、「航法センサ」として、地磁気方位センサ、光学センサ、GPS(GNSS)測位システム等が検討されたが、その後、高精度なRTK-GNSS(Real Time Kinematic-GNSS)装置の小形・軽量化、低価格化が進み、現在検討されている車両型ロボットの多くは、同センサとして、慣性計測装置(IMU)とRTK-GNSS装置を併用する例が一般的である。

農研機構中央農業総合研究センター(中央農研、現在の革新工学センター高度作業支援システム研究領域)では、乗用田植機、自脱及び普通型コンバインのロボット化技術の開発を行った(図4)⁽³⁾。これらのロボットは、前記「航法センサ」を搭載し、ベース機の走行・操舵装置及びエ

図5 ロボット農用車両遠隔運用システム

図6 車両型ロボット開発事例

ンジン等を制御する「自動操舵・走行制御システム」とそれらを自動制御するコントローラ（小形PC）を搭載している。開発機の航法センサは、異なるロボット同士で相互利用できる仕様であり、ロボット内外との制御信号や情報通信の規格は国際規格で統一・共通化されている。

更に、農研機構・生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター、現在の革新工学センター）では、複数のロボット農用車両を遠隔監視し、少人数で運用するシステムの開発に取り組んできた。同システムは、「遠隔操縦」と「自律運転」が可能なロボットトラクタ本体と、遠隔地でロボットの監視を行う基地局から成る（図5）⁽⁴⁾。ロボットトラクタ本体は、市販中型トラクタがベースで、前記同様の航法センサ、自動操舵・走行制御システム及びコントローラ（PC）に加えて、遠隔操縦・監視用の小形ビデオカメラ数台と無線での通信・自動制御機器類を搭載している。基地局（図5）は、遠隔操縦用の運転席と操縦装置、画面表示装置（ディスプレイ類）、音響装置（スピーカ、警報ブザー等）、ロボットの作動状況や位置情報を管理・制御するPC等から構成されている。同システムでは、遠隔操作でロボットのは場への移動等を行い、は場到着後は、あらかじめ作成された作業計画経路に基づいて、

オペレータの直接操作なしの自律自動作業を実行する。同システムでは、現在までに、耕うん、代かき作業を通常の有人トラクタと同程度の精度で可能であることを確認しているが、作業能率を考え、構想では、1～2名程度の作業員（オペレータと監視役等）が2～4台のロボットトラクタを操作する機能に拡充していく予定である。

車両型ロボットは以上のほか、「傾斜地用除草ロボット」や「水田除草ロボット」等が開発中である（図6）。「傾斜地用除草ロボット」は、無線による遠隔操作で水田等の畦畔上の雑草の草刈作業を行うもので、走行部と刈取部は電動で、従来のエンジン駆動式草刈ロボットよりも小形・軽量で、最大45度の急傾斜地でも安定作業ができる性能を持つ。農研機構・近畿中国四国農業研究センター（現・西日本農業研究センター）が、大学、企業及び研究機関と共同で開発してきたもので、現在実用化の検討が行われている。「水田除草ロボット」は、水田内の稲株の列間（条間）をクローラ式走行部が繰返し走行する際に、雑草が損傷する作用により、水田内除草を行う。駆動は電動モータで、水稻有機栽培で著名な「アイガモ栽培」になぞらえて「アイガモロボット」とも呼ばれる。現在、公的研究機関、大学及び民間企業が共同で開発中であり、近い将来での実用化が検討されている。

4 マニピュレータ型ロボット

人が手や簡単な道具を使って行う作業を代わりに行うロボットを「マニピュレータ型ロボット」と分類する。トマトやイチゴ等を収穫するロボットがこれに該当する。

トマト収穫ロボットの開発は1992年頃から大学が中心となり行われた。同ロボットは、マニピュレータとエ

図7 イチゴ収穫ロボット(移動式)

図8 「循環移動式栽培装置」と「定置型イチゴ収穫ロボット」

ンドエフェクタ及びステレオカメラによる画像処理装置等を組み合わせた構成であった。同ロボットは、画像処理装置の視野内の複数果実の中から、果実の色等に関する情報に基づいて熟度を判別し、採果する機能を有していたが、人が行う作業を代行するまでには至らなかった。ほかにも、ほぼ同様の技術を応用したナス収穫ロボット(1997年頃)やキャベツ収穫ロボット(1990年頃)等の例がある。

生研センターでは、民間企業との共同開発により、イチゴの収穫ロボットの開発に取り組んだ(図7)⁽⁵⁾。当初の開発コンセプトは、①イチゴの栽培施設内で、収穫適期の果実のみ収穫する、②主に夜間に移動する、③果柄(果実から主茎につながる柄の部分)を切断し収穫する、④つり下げ式高設栽培方式(図7の栽培装置)を対象とする等であった。開発されたイチゴ収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータとその先端に設置されたエンドエフェクタ(果柄を把持し、所定の部位で切断し、果実をトレイに収納する)、果実検出部(LED照明と複数のCCDカメラで構成される視覚装置)及び収穫果実を収納するトレイ、同トレイの収納部及び施設内を移動する装置等で構成される。移動装置は、施設内の作業通路に設置したレールに沿って移動する方式で、適期収穫割合が約70%、1果収穫所要時間約9秒とおおむね

目標を達成したが、移動装置・設備等を含む導入コストが大きく、実用化には至らなかった。

一方、栽培ベッドを施設内で移動し循環させることで、慣行のつり下げ式高設栽培の約2倍の密植栽培ができる「循環移動式栽培装置」が開発された。同装置は、栽培ベッドが縦方向と横方向に順次移動し、同じ位置を循環する機構であり、作業者は定位置で定植や収穫などを行うことができる。このため、定置型の収穫ロボットが開発された(図8)⁽⁶⁾。同ロボットは、マニピュレータ、エンドエフェクタ、果実検出部及びトレイ収容部等の主要構成は移動式と同様であるが、移動装置がなく、定位置に固定される。性能試験の結果、夜間運転で適期収穫割合42~79%の作業が可能であり、果実の損傷も人手と大差なかった。また、ロボットが定位置に設置されているため、マシンビジョン範囲内を遮光することで昼間も円滑な作業ができる。以上の結果を受け、同ロボットは2013年度に実用化された。

生研センターでは、イチゴのパッケージセンタ向けのイチゴパック詰めロボットの開発も行っている⁽⁷⁾。同ロボットは、選果ラインの終端に組み込まれ、ライン上で階級別に選別された果実を平詰めソフトパックに詰め込む作業を行うマニピュレータ型ロボットの一種である(図9)。パック詰めユニット、搬送容器ユニット、出荷

図9 イチゴパック詰めロボット

容器ユニットで構成され、1回の動作で複数のイチゴ果実（図8の構成では6個以内）を同時に搬送容器から吸い上げ、平詰めソフトバックに詰める。性能試験の結果、同ロボットは、1パック当りの作業時間45～59秒と、人に比べて約40%の能率を向上できた。なお、吸着成功割合99%以上で、一部果実姿勢の手直しが必要な場合もある。これらの結果を受け、同ロボットは2014年度に実用化された。

5 施設型ロボット

酪農における搾乳や給餌の施設、施設園芸で行われる各種作業工程の一部若しくは全体を担うロボットを「施設型ロボット」として分類する。

施設型ロボットの代表的なものに、大規模酪農家で導入されている搾乳ロボットがある。同ロボットは、放し飼い方式の牧場における搾乳施設（ミルクパーラー）に設置され、同施設に誘導された乳牛をロボット内で静止させ、光学センサ等で乳頭位置を検出し、搾乳器を自動的に着脱して搾乳を行う。全世界の先進酪農家に普及しており、農業用ロボットとしては最も普及しているとされている。しかし、同ロボットが対応していないつなぎ飼い方式（日本国内に多い）に対しては、搾乳ユニットが牛の近くまで自動的に搬送される搾乳ユニット自動搬送装置（呼称：キャリロボ）が、生研センターと企業により共同開発され、2002年に実用化された後、現在までに国内で350台程度普及している。

施設園芸分野では、生研センターと農機メーカーが共同開発した接ぎ木ロボットがある。同ロボットは、キュウリ、スイカ、メロン等のウリ科野菜の接ぎ木苗生産工程において、栽培する野菜の苗（穂木、根側を切断）とカボチャ等のほかの野菜苗（台木、枝葉側を切断）を切断

部で自動的に接合する作業を行う。接ぎ木苗は、育苗施設で一定期間生育された後、苗市場や生産現場に出荷される。同ロボットは、1993年より市販化され、これまでに国内で100台以上が普及している。

6 その他のロボット

人力に頼る作業、例えば、運送業での荷物の持ち運び、介護や医療現場での人体の持ち上げや支持等において、作業者の肉体的負担軽減を目的とした人体装着型のロボットや機器の研究開発が近年急速に進んでいる。農業分野でも、野菜や果樹等の収穫、袋詰め肥料の運搬等、作業者の肉体的負担が大きく、機械化が進んでいない作業の負担軽減が強く要望されているため、そのような農作業時の作業者の負担軽減を目的として、人体装着式の作業負担軽減装置の研究開発が盛んに行われている。それらには、ロボットやセンサ技術等を利用した高度な制御を行うタイプから、ばねや記憶形状合金等を利用した機械的で簡易な構造のものまで様々な方式が研究されている。本稿では、特に、ロボット技術を使用若しくは応用し、農作業における作業者の負担軽減を目的とした装置を「農作業アシスト装置」に分類する。

「農作業アシスト装置」の例としては、作業者に装着し、上半身を支えつつ、両腕と両脚の動きを補助する方式の装置（呼称：農作業アシストスーツ）がある。同装置では、コンテナ入りの収穫物（果実や野菜等）の持ち上げ・運搬作業において腰・膝等への負担軽減や傾斜地での安定姿勢維持や歩行を容易にすること等を目指している。一方、より安価で簡易なアシスト装置としては、桃・柿・ブドウなどの棚仕立ての果樹等において、上向き姿勢での摘花・摘果・袋かけ等の長時間作業における作業者の肉体的負担を軽減することを目指した装置の開発が

図 10 ドローン（市販機）の例

行われており、市販化された装置も幾つかある。

一方、「ドローン」は、UAV (Unmanned Aerial Vehicle の略) と呼ばれ、無人で遠隔操作や自動制御によって飛行する小形の航空機で、特に複数の水平回転翼を持つタイプを指す(図 10)が、これを農業で利用する技術が注目されている。このため、前記表 1 の分類にも加えている。利用場面としては、これまで、産業用無人ヘリ(ラジコンヘリ)を主体に行われてきた水田等への農薬散布作業に、ドローンを使用するもので、所定の仕様・性能を持った農薬散布装置を搭載したドローンの機種認定今年度から開始され、また、これに合わせた新機種も市場に登場するなど、農業現場での本格的利用が始まりつつある。また、農薬散布以外にも、農作物の生育情報の取得、ほ場の遠隔監視、あるいは、害鳥獣への威嚇等への応用が検討されており^{(8), (9)}、今後の進展が期待される。

7 おわりに

我が国政府は「ロボットによる新たな産業革命」を目指す取組みを進めており、様々な産業分野において、ロボット技術、ICT 等を活用した革新的な技術の開発を推進するとともに、生み出された新技術の速やかな社会実装を図ることを目指すとしている。このため、場合によっては、規制改革・緩和、技術の標準化の推進など、具体的な政策も進めるとしている。既に、工業生産現場においては、ロボット技術や ICT 等の活用が進んでおり、国際競争力の源泉ともなっているが、今後は、農業分野にも、高度な生産技術を導入し、産業としての活性化を図ることが重要と考えられている。これまで、大学や民間公的研究機関を中心に行われてきた農業用ロボットの研究開発も、以上の情勢から、民間企業や農業現場での

取組みが大幅に活発化しており、現場への普及の機運も日に日に大きくなっている。今後の展開が大いに期待されるところである。

■ 文献

- (1) 例えば、行本 修、松尾陽介、野口 伸、鈴木正壯、
“耕うんロボットシステムの開発 (第 1 報),” 農機誌,
vol.60 no.3, pp.37-44, May 1998.
- (2) 例えば、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),” 農機誌, vol.63, no.3, pp.114-121, May 2001.
- (3) 農研機構・中央農研、
“田植えロボット：無人で施肥・移植・除草剤散布,” 研究成果ダイジェスト,
https://www.naro.affrc.go.jp/narc/result_digest/jisedai/seisan/028171.html, 2008.
- (4) 紺屋秀之、山下貴史、林 和信、塙 圭二、中山夏希、
吉永慶太、窪田陽介、山田祐一、市来秀之、重松健太、
吉野知佳、西村 洋、小林 研、宮原佳彦、
“遠隔操縦および自律運転により除染作業を支援する無人トラクタ,” 農研機構・生研センター、研究成果情報,
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2012/600d0_01_03.html, 2012.
- (5) 林 茂彦、山本聡史、齋藤貞文、小林 研、重松健太、
吉田啓孝、河野 靖、鎌田順三、栗田充隆、
“つり下げ式高設栽培ベッドに対応したイチゴ収穫ロボット,” 農研機構・生研センター、普及成果情報,
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2010/brain10-08.html>, 2010.
- (6) 坪田将吾、林 茂彦、山本聡史、齋藤貞文、岡崎剛政、
瀬尾 明、鎌田順三、稲積浩之、P. Rajendra、
“循環移動式栽培装置と連動する定置型イチゴ収穫ロボット,” 農研機構・生研センター、普及成果情報,
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2013/13_087.html, 2013.
- (7) 山本聡史、林 茂彦、坪田将吾、落合良治、田中伸明、
山田久也、
“イチゴパック詰めロボットの開発,” 農食工誌, vol.77, no.3, pp.197-209, May 2015.
- (8) 田中勝千 (編)、
“農業分野におけるドローン利用の可能性 I (特集),” 農食工誌, vol.78, no.2, pp.109-121, March 2016.
- (9) 田中勝千 (編)、
“農業分野におけるドローン利用の可能性 II (特集),” 農食工誌, vol.78, no.3, pp.191-200, May 2016.

宮原佳彦

1981 筑波大大学院了(農博)。現職は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)・農業技術革新工学研究センター(革新工学センター)・土地利用型システム研究領域長。過去に水田、畑、果樹等で使用する農薬散布機等の研究開発を担当。近年は農作業用ロボットを含む新たな農業機械・装置の研究開発を統括。