連載記事

「本学会のパラダイムと学術用語」 (第二回)

農業・食品産業ロボット

野口 伸

(理事長, 北海道大学ディステイングイッシュトプロフェッサー・北海道大学大学院農学研究院 教授)

Robots for Agriculture and Food Industry

Noboru NOGUCHI

(Hokkaido University Distinguished Professor: Professor, Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

1. はじめに

我が国の農業は、就業者の減少と高齢化により労働力不足が深刻である¹⁾。多くの作業が炎天下や急斜面等の過酷な労働環境であるため、ロボットを活用した省力化、省人化技術のニーズが高まっている²⁾。他方、世界では今後人口の増加とともに地球温暖化、干ばつ、砂漠化など地球環境の過酷化が進行する中で、農業において人に代わるロボットが必要不可欠との認識である。本稿ではロボットとくに最も技術開発が進んでいる農業を中心にその最新の技術動向とともに今後の発展方向について述べる。

2. 研究開発の動向

2.1 農業

我が国では無人で作業するロボット農機 (agricultural robot) を世界に先立ち 2018 年に社会実装した。すでに無人化した農機としてトラクタや田植え機があるが、ロボット農機は障害物検出センサー (obstacle detection sensor) を装備し、安全に作業することができる。ただし、人がロボット農機の傍でロボットの作業を目視監視することが前提である³⁾。他方、トラクタ、田植え機のみならず、畦畔草刈りロボット (weeding robot for ridge)、茶園管理ロボット (robot for tea plantation) など様々な農業ロボットが近年陸續と実用化しており、これら無人機の安全性を確保するために農林水産

省は 2017 年 3 月に「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」を制定した⁴⁾。現在、この目視監視 (visual monitoring) の次の技術である遠隔監視 (remote-monitor) によって 1 人が複数台のロボットを管理できるロボット農機を産学官で開発中である。さらにこの遠隔監視型のロボット農機は圃場間移動 (transfer between fields) も可能である。日本政府はこの圃場間移動・遠隔監視型のロボット農機の 2020 年の実現を KPI にしていた⁵⁾。この遠隔監視によるロボット作業システムは、地域内で複数のロボットに同時作業させることができ、ロボット管制室 (robot control room) にいる 1 人の監視者が離れた複数の畑で作業しているロボットを管理することができる。分散した圃場におけるロボットによる同時作業を可能にし、さらに圃場間も自律的に移動するため格段に作業能率を向上させられうる。加えて、群管理ロボット (multi-robot) も今後の研究開発のトレンドであろう。日本の小規模農地に有効であることは言うまでもないが、この技術は欧米も注目している⁶⁾。現在、大規模農業を実践している欧米では大型機械による土壌踏圧 (soil compaction) が作物の生育環境を悪化させ、その対策として不可欠な心土破碎作業の消費エネルギーが増大している。さらに大型トラクタの車幅も限界に達し、法規制によって道路走行できない国も存在する。このような状況から群管理型の小型ロボットの設計思想は日本にとどまらず世界の農業に大きな変革をもたらす可能性も有しているのである。さらに近年、5G や AI を活用したスマート農業 (smart agriculture) 研究も進められている⁷⁾。たとえば AI と高精細画像により作物生育の良否に基づいて精密施肥や病虫害の超早期検出と対処ができるロボット

が、その一例である。データ伝送に5Gを利用してエッジクラウド（edge cloud）でデータを分析するインテリジェントシステムである。さらに水田管理用のロボットボート（robotic boat）、農業散布のみならず生育情報を収集する自律型ドローン（autonomous drone）の研究も国際的な研究課題になっている。

農業施設で働くロボットも研究開発が進んでいる⁸⁾。酪農分野ではすでに搾乳ロボット（milking robot）、哺乳ロボット（breastfeeding robot）、自動給餌装置（automatic feeding apparatus）などが実用化し、省力化に大きな貢献をしているが、今後は省力化にとどまらず発情発見装置や分娩監視装置などのセンシング技術や画像処理技術を用いた検査データの活用による個体管理の充実を図り、酪農自体のスマート化の方向に進むと思われる。施設園芸では育苗、管理、収穫、調製、出荷などほとんどの作業がいまだ手作業であり、労働力不足は深刻である。たとえばイチゴ生産における育苗、定植、管理、収穫、調製、出荷などの合計労働時間は10a当たり2,019時間にもなり、稲作労働時間の25時間/10aの80倍といったデータもある⁹⁾。現在、研究開発が進められているハウスなど施設内収穫ロボット（indoor harvesting robot）は、イチゴ、トマト、ピーマン、キュウリ、アスパラガスなどである。これら果菜類を収穫するロボットを開発する上で必要な要素技術は①果実のセンシング技術、②果実のハンドリング技術、③走行制御技術（auto navigation technology）の3つである。技術課題は果実の「センシング技術（sensing technology）」と「ハンドリング技術（handling technology）」にある。センシング技術とは熟した果実を認識して、位置を計測することである。この視覚・認識判断機能には技術的に解決すべき課題が多い。AI利用も研究されているが、いまだ開発途上にある。またロボットによる収穫速度は人に比べると遅い。しかし、付加価値の高い果物、野菜、花卉等の高価格な農産物を法人組織で大規模に生産することで、ロボット導入の効果を最大化できることは魅力である。また、アジア・オセアニア地域をターゲットとしたイチゴなど果物の輸出の可能性もあり、施設園芸用のロボットは期待される技術である。また清浄レタスを代表とする葉菜類の施設生産システムや苗生産システム（seedling production system）では播種から出荷までの各過程においてロボットが既に一部実用化しているが、高齢化と労働負荷の観点からニーズが大きい各種管理・収穫ロボットは葉菜類においてもいまだ開発途上にあり、今後の研究開発に期待がかかる。さらに、農産物の加工・流通過程において光センサーを用いた等級選別（grade selection）、近赤外分析（near-infrared analysis）による食味計（taste sensor）などが品質の管理・向上のためにさらに利用されることになる

う¹⁰⁾。次世代施設園芸では消費者が求めるオーダーメイドな生産を可能にし、農産物の生産から消費までのフードチェーン全体を対象にした自動化・最適化されたシステムに進化することが予想される。

2.2 食品産業

食品業界の人手不足も深刻な問題となっており、ロボットのニーズは大きい。特に近年中食産業の市場規模が拡大していく中、弁当製造の人手を確保することが困難になりつつあり、食品のソフトハンドリング（soft handling）の自動化が望まれている。基本的に食品ハンドリングにはマニピレータ型の産業用ロボット（industrial robot）が多用されるが、規格化された部品を扱う産業用と比較して、食品は柔らかく、形、大きさ、硬さなどにばらつきがあるなど食材を正確にハンドリングすることは難しい。また、生産ラインの変更など段取り替えが多いことも食品工場の特長である。このようなことから食品用ハンドは食品物性（food physical property）に適した機構を採用することと汎用性の確保が課題である。他方、食品の生産ラインでは人とロボットの協働（people-robot collaboration）を基本とした生産ラインが組まれることが多い。これは人が得意とする作業とロボットが得意とする作業がライン内に混在しているからである。この点でロボット周辺にいる人への安全性の確保も重要な要件になる。さらに、オイル漏れや機械の破片混入等の課題もあり、食品に対応した衛生対策（hygiene measure）も施す必要がある。

3. 今後の発展方向

欧米におけるロボット化の基本概念は作物生育に適したロボットシステムである。慣行の農業機械ではできない作業、作業コストが大きく、作業時間が長い作業に対してロボット導入が望ましい。また、省エネルギー、低接地圧、高い費用対効果、高い安全性が基本要件であり、そのため軽量・小型で自律システム、メンテナンスが容易、天候に影響されないロボットシステムの開発を目指している。このような理由から欧米では近年小型ロボットを開発して、その小型ロボットを複数連携して超精密な農作業を行うシステムに注目している¹¹⁾。トラクタの大型化により畑の土壌踏圧が増大し、作物の根系成長が阻害され作物生育に悪影響を及ぼしている。さらに農作業に使用されるトラクタの燃料など投入エネルギーの90%がこの土壌踏圧によって形成された硬盤層の破碎作業に費やされている現実がある。また、近年の気候変動によって過去になかった降水量の増加、それに起因してトラクタ作業ができない日が増え農作業に支障がでてきた。この問題は農業機械の大型化が助長しているのは言うまでもない。さらに作物をグリット状に播種・栽培できれば畝間除草とともに株間除草も極め

て容易になること、雑草にピンポイントに除草剤を施用できれば、慣行の0.1%まで除草剤使用量を減らせるといった調査結果が超精密な作物位置決めを基盤とした小型ロボットの開発動機になっている。小型ロボットは軽量であるためピンポイントで耕うん、播種、生育観察、中耕除草、収穫を行う必要がある。従来の農業は畑一面を均一に処理する「面」の作業であるが、この小型ロボットは「点」で作業するのが特徴である。播種後の管理作業も作物の栽培位置がRTK-GNSS (real-time kinematic GNSS) で正確に把握されているので、作物の根の成長域だけ中耕作業や除草剤散布作業を行う。そして、最後の収穫作業も成熟した商品価値のあるものだけ選択して収穫するロボットである。これら技術ははまだ基礎研究の段階であるが欧米の農業ロボット化の一つの方向である¹²⁾。

さらに果樹生産のロボット化も欧州を中心に進められているが、収穫作業や剪定作業ははまだ実用レベルに達していない。特に熟練技術を要する剪定作業の自動化は、様々な取り組みがなされているが課題が多い¹³⁾。エキスパートの剪定法をAIを用いて解析・モデル化することが要求されるが、果樹の仕立て方も多様であることから問題は複雑である。今後、果樹用ロボットの発展には、ロボット技術にとどまらず、ロボットに適した果樹の仕立て方、栽培方法の考案と標準化が必要になるであろう。

引用文献

- 1) 日本学術会議 農学基礎委員会農業情報システム学分科会。提言 IT・ロボット技術による持続可能な食料生産システムのあり方。日本学術会議。1-25. 2008.
- 2) 日本経済再生本部。ロボット新戦略。1-90. 2015. (https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/robot_honbun_150210.pdf)
- 3) 野口 伸。ロボット農機の現状と今後の展望。自動車技術。73: 93-98. 2019.
- 4) 農林水産省。農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン。1-12. 2021. (<https://www.maff.go.jp/j/press/seisan/gizyutu/attach/pdf/210326-3.pdf>)
- 5) 日本経済再生本部。日本再興戦略 2016。1-226. 2016. (https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf)
- 6) UK-RAS networks (ed.). Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture. EPSRC UK-RAS Network, London. 1-26. 2018.
- 7) Partel V, Charan Kakarla S, Ampatzidis Y. Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. Computers and Electronics in Agriculture. 157: 339-350. 2019.
- 8) Jacobs JA, Siegford J. The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. Journal of Dairy Science. 95: 2227-2247. 2012.
- 9) 内藤裕貴。イチゴ収穫ロボット。アグリバイオ。1(13): 18-22. 2017.
- 10) Zettel V, Ahmad MH, Beltramo T, Hermannseder B, Hitzemann A, Nache M, Paquet-Durand O, Schöck T, Hecker F, Hitzmann B. Supervision of food manufacturing processes using optical process analyzers – an overview. ChemBioEng. 3: 219-228. 2016.
- 11) Lowenberg-DeBoer J, Behrendt K, Godwin R, Franklin K. The impact of swarm robotics on arable farm size and structure in the UK. In: Proc. 93rd Annual Conference of the Agricultural Economics Society, Warwick. 15-17 April, 2019.
- 12) Grimstad L, Pham CD, Phan HT, Prom PJ. On the design of a low-cost, light-weight, and highly versatile agricultural robot. In: Proc. 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, Lyon. 30 June-2 July, DOI: 10.1109/ARSO.2015.7428210. 2016.
- 13) Botterill T, Paulin S, Green R, Williams S, Lin J, Saxton V, Mills S, Chen X, Corbett-Davies S. A robot system for pruning grape vines. Journal of Field Robotics. 34: 1100-1122. 2017.

※ 用語のリストは日本生物環境工学会のホームページに掲載しています。次の URL を参照して下さい。
<http://jsabees.org/tterms>