

農業のロボット化の現状と今後の展開

はじめに

農耕の歴史はおよそ2万年前から始まったと言われているが、それからの非常に長い年数を人類は人力や牛・馬など畜力に頼って農業を営んできた。

年数を経るに従って簡素な農機具から徐々に人力、畜力、水力、風力などを動力源とした農業機械へと発展していったが、農業の長い歴史から見ればわずか100年前頃からようやく蒸気機関や内燃機関を動力源とした本格的な農用車両であるトラクタやコンバインハーベスタなどの普及が始まった。こうした農用車両は営農のスタイルを一変させ、著しい生産性向上によって農業現場に大きな恩恵をもたらした。

そして近年、ICT（情報通信技術）を活用した「スマート農業」の導入が始まりつつあり、農業の形が再び大きく変わろうとしている。ICTを活用したスマート農業には様々な形があるが、中でも農業ロボットが注目を集めている。現在日本においては農業人口の減少や高齢化が急速に進んでおり、農業現場における担い手不足が深刻となっている。こうした状況を解決する策として農作業を無人で行う農業ロボットは非常に有望である。

筆者の所属する研究室では長年にわたって農用車両のロボット化についての研究開発を行ってきた。本稿ではトラクタなど農用車両のロボット化を中心に技術的な側面や実用化・普及促進に向けた運用面、そしてロボット化農業の将来的な方向性などについて述べる。

北海道大学における農用ロボット車両の研究開発

北海道大学においてはビークルロボティクス研究室の野口伸教授らによっておよそ30年前の1990年代初頭より農用車両ロボット化の研究開発が始まり、現在に至るまで続いている。図1に試作ロボットトラクタの1号機（1991年開発）を示す。主にトラク



図1 北海道大学試作ロボットトラクタ第1号機（1991年）

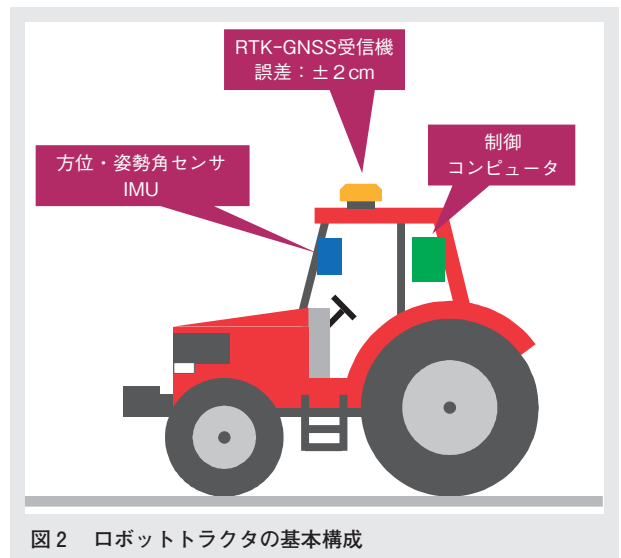


図2 ロボットトラクタの基本構成

タのロボット化を行ってきたが、コンバインハーベスタ、田植機、運搬車などのロボット化にも取り組んできた。

農用ロボット車両の基本構成を図2に示す。農用ロボット車両はあらかじめ決められた計画経路（作業マップ）に沿って無人走行し圃場作業を行う。計画経路は絶対位置座標に基づいて作成されており、ロボット車両はGNSS（GPS）受信機から得られた車両位置と計画経路とのズレを算出し計画経路に

沿って走行するよう制御（操舵など）を行う。

精度の高い走行を実現するには何よりもまずGNSS受信機から得られる測位データが高精度である必要がある。そのためRTKと呼ばれる方式の受信機を使用しており、測位誤差はわずか2～3cmほどである。RTK方式のGNSS受信機はこれまで200～300万円ほどと非常に高価であり、ロボット化コスト全体の大きな上昇要因となっていたが、近年RTK受信機の急激な低価格化が進んでいる。また、車両の走行制御には車両の向きの情報も必要であるため方位センサ（IMU）も搭載している。

ロボット車両のベースは市販の製品であり、外部から電気信号により操舵、変速、ヒッチ上昇下降、PTOなどの制御ができるよう改造されている。ロボットシステムの中核は搭載コンピュータ上で動作する制御ソフトウェアであり、GNSS受信機およびIMUによって得られる位置・方位情報をリアルタイムで計画経路と比較しながら独自アルゴリズムによって制御信号を生成して車両に送出する。この制御ソフトウェアは作業うねに沿った直進走行だけでなく、速度・エンジン回転数の変更、枕地での旋回、装着作業機の昇降、PTO軸回転のON/OFFなど圃場作業全般を無人でこなせるようになっている。

ロボットトラクタの実用化・製品化

農用車両のロボット化における本質的な技術は、前項で述べたとおり、あらかじめ決められた計画経路に沿って自動走行させることである。しかし、実用化・製品化にあたってはこうした技術だけでは不十分である。

現在工場などで多くの産業用ロボットが稼働しているが、これらはフェンスで囲まれているなど厳重に安全管理がなされており、またロボットに近づくのは安全教育を受けた従業員のみである。

それに対して農業現場でロボットを使用する場合、栽培圃場はオープンな空間であり子供を含む第三者や野生動物などが圃場内に侵入してくる可能性が考えられ、そうした事態に対応するための安全対策をロボットが備える必要がある。そこで北海道大学ではロボット周辺に現れた人間や動物などを検知するための仕組みとしてレーザスキャナ、ステレオビジョンカメラ、バンパースイッチなどを採用した安全センサをこれまでに研究・開発してきた。安全センサがロボット周辺に障害物を検知すると制御ソフトウェアはロボットを緊急停止し、その後障害物が移動などによって消滅すると作業を再開するよう

プログラムされている。

しかし、農用ロボット車両がこのような安全センサを備えていてもなお、実用化にはまだ不十分である。このようなロボットシステムではハードウェアあるいはソフトウェアの動作不良・故障がつきものである。例えば、制御ソフトウェアや測位・方位センサの動作不良によりロボットが圃場外に飛び出す、安全センサのハードウェア故障により障害物を検知できない、障害物を検知できたとしても自動停止しない、といったトラブルが考えられる。設計開発や製造の段階でいくら品質保証に努力したとしても100%の正常動作を保証するのは困難である。

農用車両は大型で重量の大きい危険なものであり、圃場内に侵入した人間と衝突するなど万が一にも事故が発生すれば命に関わる深刻な事態となる可能性が懸念され、またロボットは無人での動作が前提となるため責任の所在が曖昧となるなどの問題も生じる。こうしたことから農用ロボット車両は試作機レベルではほぼ完成の域に達していたにもかかわらず、実用化・製品化が進まないという状況であった。

しかし、運用面における「無人ロボットと有人作業の協調」という新たなアイデアにより、実用化・製品化に向けた道が大きく開いた。このアイデアは、安全センサを備えたロボットが自動・無人作業を行うのを基本としつつ、万が一の動作不良・故障に備えて周辺で別作業を行っている作業員（人間）が目視によりロボットの監視・緊急停止を行うというものである。具体的な運用方法としては例えば図3のようなものが考えられる。前方を走るロボットトラクタ（無人）は土壌の耕起を行っており、その直後を有人トラクタが追走し施肥・播種を行っている。作業員（人間）は自らが搭乗する後方トラクタ



図3 無人ロボットと有人作業の協調（追走型）

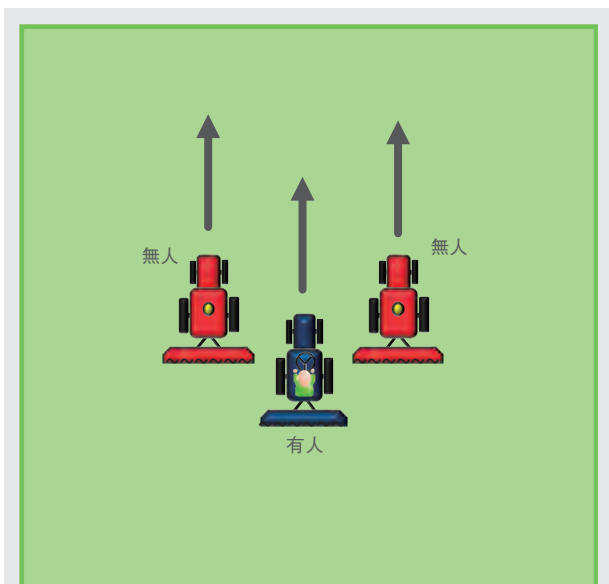


図4 無人ロボットと有人作業の協調（並走型）

の運転を手動で行いつつ、同時に前方の無人トラクタを監視する形となる。また別の運用例として図4のように、同じ作業機を装着したトラクタを複数台並走作業させることとし、そのうちの1台のみを有人で手動運転しつつその他の無人ロボットを監視するという形も考えられる。このような運用によって、万が一の動作不良・故障の場合にも最終的な安全確認や対処を人間に委ねることができるため信頼性が著しく向上し、また責任の所在も明確になる。

この運用アイデアは農林水産省を中心に農業生産者、農機メーカー、研究者などによる議論をもとに2017年3月「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⁾としてまとめられた。このガイドラインではレベル設定がされており、現時点では「レベル2」すなわち監視者がロボット農機の周辺で「目視」により監視することが要件である。

農機メーカーはこのガイドラインに沿った仕様によりロボットトラクタを開発・販売することができ、農業生産者もこのガイドラインを遵守することでロボットトラクタを実際の圃場で使用することができるようになったのである。そして、2018年秋、主要農機メーカー3社（クボタ、ヤンマー、井関農機）からロボットトラクタの製品がついに販売され、翌2019年の栽培シーズンから農業現場で使用されるようになった。2019年は「ロボット農業元年」と言っていーいだろう。

農用ロボット車両の今後の展開

前述の通り、2018年秋にロボットトラクタの販売が開始されロボット農業の時代が幕を開けたが、こ

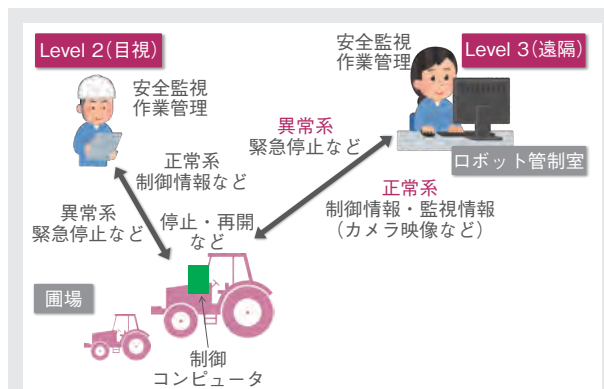


図5 遠隔での安全監視・作業管理（レベル3）

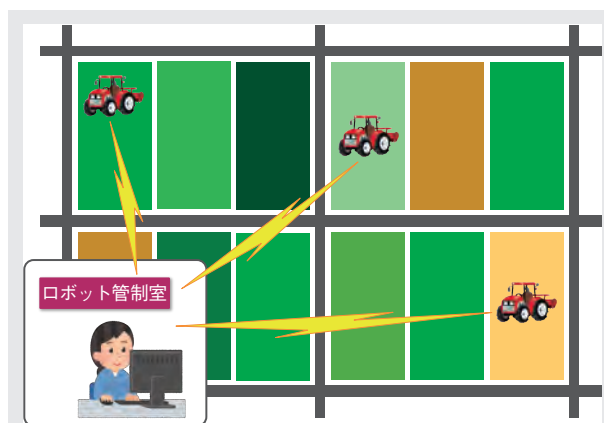


図6 分散した圃場でのロボット作業

れはほんの初期段階に過ぎない。現在の安全ガイドラインでは目視監視（レベル2）が義務づけられているため、監視者をロボット周辺に配置する必要があり、「無人運転による省人化」というロボット本来のメリットを100%享受することは難しい。

そこで次の段階としてレベル3「遠隔での監視・制御」が現在検討されている。レベル3での運用が解禁されれば、ロボット周辺での目視監視は不要となり、その代わりに通信を利用した遠隔地（監視センターなど）での監視・制御が認められることになる。

ロボットに搭載したカメラで撮影された周辺映像を遠隔地に伝送することで遠隔地にいる監視者は目視の代わりにその映像によって安全確認を行うことができる。そして、もし監視映像の中で圃場への侵入者や異常などを発見した場合は遠隔監視者が緊急停止信号をロボット側に送信する（図5）。

例えば図6のように、互いに離れた生産圃場においてそれぞれロボットトラクタで無人作業を行うことを考える。レベル2（目視監視）での運用の場合、各圃場にそれぞれ監視者を配置しなければならず省人化の効果は薄い、レベル3（遠隔監視）での運

用が可能となれば監視センター（遠隔地）にいる監視者が複数台のロボットを一人で同時に管理することができるのである。

安全性の担保という目的を満たした上で遠隔監視・制御を実現するにはまだ課題がいくつかある。圃場で稼働するロボットと通信するためには当然電波による無線通信が必須となるが、安全監視という目的のためには鮮明（高解像度）な映像を低遅延で伝送するための技術が求められる。さらに遠隔監視中に通信が途絶えることのないよう信頼性の高い通信技術が必要であり、万が一通信が途絶えた場合は状況の如何にかかわらずロボット側で強制停止するような仕組みも必要である。

遠隔監視の実現に向けて北海道大学は岩見沢市およびNTTグループ（NTT、NTT東日本、NTTドコモ）との間で連携協定を締結し、先端の無線通信技術である5G（第5世代移動通信システム）などを活用した技術開発、実証を共同で行っている。

現状のロボット農機についても一つの課題は圃場間移動である。ロボットは生産圃場内を走行するだけでなく、格納庫から圃場まで、あるいは圃場から別の圃場までの移動を行う必要もある。圃場内であれば障害物と遭遇する可能性はそれほど高くないが、移動のために道路上を走行する場合は日常的に自動車や歩行者と遭遇することになるため、より高度な安全対策が求められる。現状では無人車両の公道走行が法的に禁止されていることもありロボット農機の圃場間移動は手動運転により行われているが、ロボットの利点を最大限生かすためには圃場間移動についても自動化・無人化されることが望ましい。そのため、安全対策技術の向上や法的な規制緩和に向けた努力が進められている。

また、現在のロボット農機はあらかじめ決められた作業計画のとおり動作するだけであるが、将来ロボットが高い知能（AI）を持つようになれば状況に応じた意思決定をロボット自身が行うことが可能となる。

農業ロボットに対する社会の関心

2015年、「ロボット革命実現会議」²⁾において日本政府は農業現場にロボット技術を積極的に導入していく方針を示した。大学においては農業ロボットの勉強や研究をしたいという学生が増加しており、また新聞、雑誌、テレビなどマスメディアによる報道も増加している。

2018年に刊行された池井戸潤氏原作の小説「下町ロケット ヤタガラス」³⁾は農業ロボットをテーマとした作品である。さらに同年、それを原作としてテレビドラマ化⁴⁾もされた。この小説およびテレビドラマは北海道大学の野口教授が監修を務めており、同作品内には野口教授をモデルとした人物も登場する。

これらのことから農業関係者だけでなく社会全般において農業ロボットに対する関心が高まっていることがわかるだろう。

その他の農業ロボット

これまで述べたように、ロボット農業の実用化に関してはトラクタが先行しているが、田植機やコンバインハーベスタなどトラクタ以外の農用車両に関しても大学、研究機関、農機メーカーなどで研究開発が進んでおり近い将来の実用化が見込まれる。

農用車両以外では、収穫作業のロボット化が強く求められている。特に園芸作物や果樹などでは作業の複雑さから収穫機の普及が遅れており、複雑な作業に対応できるロボットに期待が集まっている。

例えばトマトやイチゴなどの園芸作物では収穫の際、人手によって行われているのが現状である。そこでこうした労働負担を軽減するため研究機関や企業などによって収穫ロボットの開発が行われている。

また、カボチャも重量物野菜であるため収穫の際の労働負担が過大である。このため市場の需要は非常に大きいにもかかわらず生産者側はその栽培を忌避する傾向があり、需要に対して供給が追いついていないのが現状である。こうしたことを背景に北海道大学などの研究開発グループはカボチャ収穫ロボットシステムの開発を行っている。

引用文献

- 1) 農林水産省（2018）農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン（改訂版）、<https://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sizai/attach/pdf/180327-8.pdf>
- 2) 首相官邸（2014）ロボット革命実現会議、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/robot/>
- 3) 池井戸潤（2018）下町ロケット ヤタガラス、小学館
- 4) TBSテレビ（2018）下町ロケット、https://www.tbs.co.jp/shitamachi_rocket/