

Report レポート #01

ロボットトラクタによる 無人農作業システム



野口 伸 (のぐち のぼる)
北海道大学大学院農学研究院教授

1990年北海道大学大学院農学研究科博士課程修了。同年、同大学農学部農業工学科助手、97年助教授を経て、2004年教授。専門は生物環境情報学、農業ロボット工学。日本学術会議会員、日本生物環境工学会会長、国際自動制御連合 (IFAC) 技術委員会 (TC8.1) 委員長、国際農業工学会 (CIGR) SessionⅢ 幹事。

I はじめに

わが国の食料生産基盤は脆弱^{ぜいじやく}であり、自給率向上には多大な努力が必要であるのは言うまでもない。日本政府は2020年までの目標食料自給率（熱量ベース）を50%に設定するなど、農業生産技術は新たな技術形成に対してイノベーティブな展開が求められている。農業就業者人口は1990年には482万戸であったのに対して、2010年には260万戸と54%にまで激減した。加えて、農村地域では、若年層の流出により、2010年の基幹的農業従事者の平均年齢は65.8歳になり、労働力不足は深刻な状況にある。ガット・ウルグアイラウンドの合意に基づく貿易障壁削減の中で、コメを含む農産物の輸入の自由化が進み、競争力を確保するために、今まで以上の品質の向上や生産コストの削減が求められており、国内農業の構造改革とあわせて革新的な技術開発により、一層の品質の向上や生産コストの削減を図ることが喫緊な課題となっている。国内農業を揺るがす最近の懸案事項にTPP^{*1}がある。TPPが例外を認めない貿易自由化の協定であることから、参加した場合、コメをはじめ国内の農業・漁業は壊滅的な打撃を受けることが必至な情勢である。

このような背景から、農業経営の経済的な採算性に適合するようなロボット化を含めた超省力技術の開発が、日本農業を持続的に維持・発展させる上で必須である [1]。この日本農業が抱えている労働力不足は、北米も切迫した状況にあり、国際的に車両系農業機械のロボット化は高いニーズがある。著者らは大規模な圃場^{ほじょう}で使用できるGPS^{*2}を航法センサとしたロボットトラクタを車輪型とクローラ型の両方について開発した。さらに農業ロボットも群による協調作業を可能にして将来の大規模農業に貢献できるところまで進化させる必要があることから、複数のロボットの群管理について現在研究を行っている。本稿では著者らが今までに開発したロボットの事例紹介を通して車両系ロボット技術の到達点と実用化に向けた今後の課題を解説したい。

※1 TPP (Trans Pacific Partnership)
環太平洋パートナーシップ協定。

※2 GPS (Global Positioning System)
全世界測位システム。

II ロボットトラクタ

著者らは今までに6台のロボットトラクタを開発してきた。現在稼働しているロボットは図1に示した3台である。車輪ロボットトラクタとクローラロボットトラクタの2台は耕うん作業、播種作業など一般農作業を行うことができる。一方、電動運搬車両をロボット化したものは、自由経路を走行でき、収穫物や肥料などの資材を無人運搬させるために開発している。本稿では、このうち車輪ロボットトラクタとクローラロボットトラクタについて、その機能と性能について論じることとする。

ロボットトラクタを使用して耕うん、播種から最後の収穫まで全ての作業を行うためには、トラクタ本体のハードウェアの改造はもちろんのこと、ロボットの走行経路を含む作業計画を事前に作成する必要がある。作業計画は無人で高精度・高能率に耕うん、播種など行うためのもので、地理情報システム (Geographic Information System ; GIS) を活用して立てることができる。作業計画には経路情報のほかにロボットの前後進操作、変速、エンジン回転数、PTO (Power-Take-Off ; 動力取出し軸)、作業機取付位置など、通常のトラクタ運転時の操作情報も含みGIS上で事前設定する。ロボットはこの作業計画に基づいて、完全自律で農作業を行うことができる。

車輪ロボットトラクタは通常の農用トラクタを改造したもので、制御用PCから自動車などに使用されている車内通信システムのCAN-BUSを介して操舵、変速、機関回転数設定、作業機昇降、PTOのオン・オフを行う。位置計測には誤差2cm、周期20HzのRTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS) を、方位計測に慣性航法装置 (Inertial Measurement Unit ; IMU) を使用した。IMUは3軸の光ファイバジャイロスコー

プと3軸の加速度計で構成されている。IMUから出力される傾斜角はGPSアンテナの傾斜補正にも利用している [2]。図2にロボットトラクタの全景と航法センサの配置を示した。圃場内を自由に作業走行させるために作業計画が事前に用意されていることは前述したとおりである。作業計画に基づいたオートガイダンスシステムを構築するために、経路情報とロボットの動作状態を含んだナビゲーションマップを作成した。ナビゲーションマップはロボットの経路情報と作業情報によって構成されている。ロボットが走行すべき経路を地図として持っている耕うん、播種、中耕、防除、そして収穫までの全ての農作業を無人化できる。さらに、ロボット自身で格納庫から農道を通って作業すべき圃場へ移動して作業を行い、作業終了後に自ら格納庫に戻るといった一連の作業の完全無人化も可能である [3]。すなわち、このようなロボットの場合、農家は圃場までロボットを運ぶ必要はない。図3はロボットの4行程の耕うん作業軌跡と走行精度である。速度1.5m/sの作業時の横方向偏差 (走行誤差) は最大 ± 8 cm、平均3.5cmであり、人間の運転を超える作業精度を有している。

他方、俗にキャタピラと呼ばれるクローラトラクタは、すでにオフロード車両の走行系として広く利用されており、将来性の高い走行系である。畑作地帯ではクローラトラクタは耕うん、整地、施肥に24時間体制で使用できる。特に、傾斜地や圃場のぬかるみなどに対してロバスト (頑強) なクローラトラクタはこの種の24時間作業に向いている。また、多雪地帯では融雪剤散布にも活用できることもメリットの一つである。我々のクローラロボットトラクタも車輪ロボットトラ



図1 北海道大学農学研究院で開発中のロボット車両

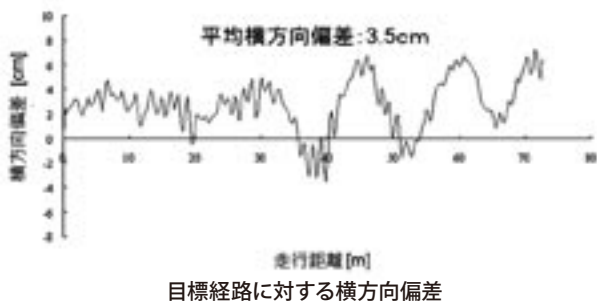


図2 車輪ロボットトラクタと航法センサ

クタ同様、位置・方位計測装置とロボットコントローラを用いている。トラクタの制御項目は操舵^{そうた}、前進・停止・後退の切り替え、変速機、副変速、エンジン回転数、トラクタに装着される作業機取付位置とPTOのオン・オフである。また、トラクタから観測可能な情報は車速、エンジン回転数、作業機取付位置である。航法センサは前述の車輪ロボットトラクタと同様、RTK-GPSとIMUを使用した。図4にクローラロボッ

トトラクタの走行速度1.2m/sで肥料散布作業を行ったときの走行軌跡を示した。作業開始地点から作業終了地点まで5cm以内で走行しており、農作業には十分な走行精度である。また全作業経路において、横方向偏差の平均は1.1cmであり、前述の車輪ロボットトラクタの走行精度を上回った。

ロボットトラクタは安全性が重要な性能の一つであることはいうまでもなく、人間を含めた障害物の認識機能や搭乗者の安全に配慮した自己診断機能などが最低限必要な機能である [4]。使用環境下での障害物の認識には、超音波、レーダー、レーザー、ビジョンセンサ、接触センサなど様々な方法が今までに提案されており、ロボットトラクタが自ら障害物を検出して停止、アラームなど適切な危険回避を施すことが要求される。上述のクローラロボットトラクタ、車輪ロボットトラクタともに安全対策は施されている。一つはロボットトラクタの前部に装備している二次元レーザー距離計である。図5に示した二次元レーザー距離計は半径8m、前方180°の範囲を走査し、その範囲内に存在する物体までの距離をリアルタイムに取得できる。また、障害物の機体との接触を検出できるテープセンサをバンパー部に装着し、さらに衝突時に生じるリンク変位を近接スイッチにより検出できるようにしている。すなわち、非接触の二次元レーザー距離計と障害物衝突時対応のテープセンサと近接センサの2種類の衝突センサを装備している。ロボットに適した作業環境に整備しづらい農業用の場合、このような多段で冗長な障害物検出系を採用する必要がある。



目標経路に対する横方向偏差

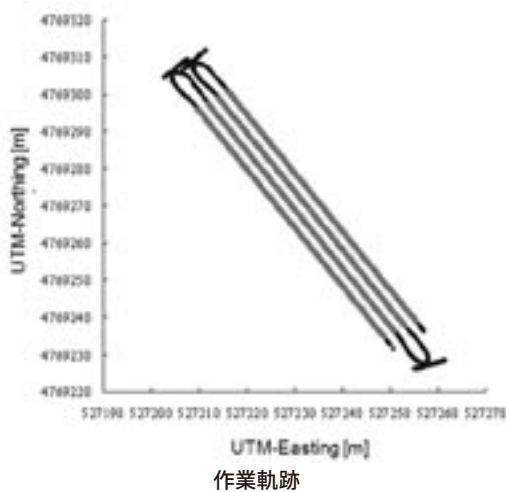


図3 車輪ロボットトラクタのロータリ作業軌跡と走行精度

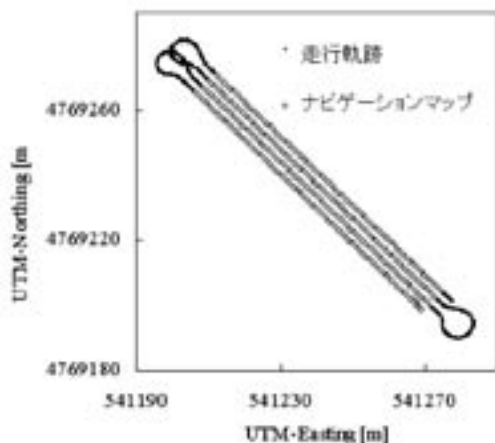


図4 クローラロボットトラクタによる施肥作業時の軌跡



図5 ロボットトラクタの安全対策

Ⅲ 農業ロボット実用化を目指した農林水産省研究開発プロジェクト

2010年6月から農林水産省の委託プロジェクト研究「農作業の軽労化に向けた農業自動化・アシストシステムの開発」が5カ年のプロジェクトとしてスタートした。本プロジェクトには「小型ロボットによる畦畔^{けいはん}除草等自動化技術の開発」など5課題が設定され、その中に「稲麦大豆作等土地利用型農業における自動農作業体系化技術の開発」という土地利用型農業におけるロボットシステム開発を行う課題もある。北海道大学農学研究院が中核機関となり研究開発を進めている。共同研究機関に京都大学農学研究科、農業・食品産業技術総合研究機構（中央農業総合研究センター・北海道農業研究センター・近畿中国四国農業研究センター・生物系特定産業技術研究支援センター）、企業からはヤンマー(株)、日立ソリューションズ(株)、(株)トプコン、ボッシュ(株)が参画している。

この課題では稲麦大豆作等の土地利用型農業において、全栽培期間で耕うん、整地、播種、施肥、防除、除草、収穫等の一連の作業をロボットによって安全に遂行できる農作業ロボットシステムを開発する。図6に開発システムのイメージを示した。ロボットシステムは北海道などの大規模農業への適用のみならず都府県に展開している30,000㎡の小型圃場が分散している圃場環境下にも適用でき、導入効果を発揮するシステム開発を目指している。また、開発技術パッケージについてモデル地域を設定して最後の2カ年で実証試験を実施する。さらにロボット導入の経営的評価と最適営農モデルを策定するとともに、ロボット導入効果を最大化できる経営組織のあり方について提言をまとめることを目標にしている。以下が具体的な開発目標である。

ロボットの目標性能

ロボットトラクタ、ロボット田植機、ロボットコンバイン、そして各種ロボット用作業機を開発する。開発する全てのロボットは共通した航法センサを使用し

て、走行精度は横方向偏差で±10cm、作業速度も慣行の有人作業と同等で走行できるものを目指す。また、ロボットは障害物センサを装備しており、自動作業中に人や障害物を検出してアラーム、一時停止、待機など適切な行動をとることができる。

複数ロボットによる同時作業と24時間連続作業が可能なシステム

作業従事者ひとり当たりの作業面積を飛躍的に増加させるために、地域内で複数のロボットに同時作業させられうるシステム設計を行う。特に小型圃場が分散している分散錯圃な環境下では、複数のロボットが同時に作業できる体制が作業能率向上の観点から望ましい。本プロジェクトでは管理センター1人、現地担当1人の計2人で4台のロボットの同時作業を管理できることを実証する。さらに大規模農業において耕うん、整地、代かきなどロボットが昼夜を問わず24時間連続作業できることも実証する。

GISに基づいたロボット作業管理システム

作業管理者がロボットの作業計画を作成し、作業状況をモニタでき、さらにロボットの作業履歴を記録できる統合型のロボット作業管理システムを開発する。農薬・肥料など資材の補給、収穫物の排出の必要性や

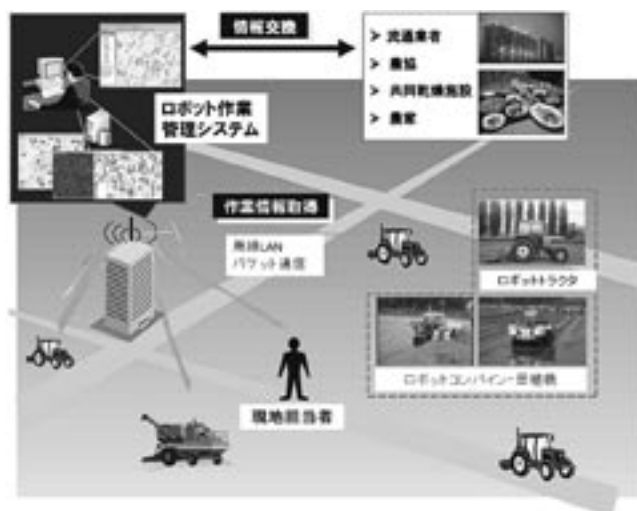


図6 農林水産省プロジェクト「稲麦大豆作等土地利用型農業における自動農作業体系化技術の開発」のイメージ

自動作業中に人や障害物を検出してアラーム、一時停止、待機などの状態も管理センターでモニタでき、迅速に適切な対策をとることができる。生体情報センサにより取得されたデータの蓄積、そしてマップベースとセンサベースでロボットに可変施肥を行わせる技術を確立する。

IV おわりに

日本農業の持続性をロボットによって確保できるかどうかは、今後これら革新技術を最大限活用できる農業経営組織や作業体系を生み出せるかどうかにもかかっている。経営の大規模化による生産コストの削減にロボットが貢献することは言うまでもない。基本的にロボット1台は労働者1人に相当し、人手不足の解消に有効であることは明白である。実際にはロボットは昼夜を問わず24時間連続作業が可能であり、その労働生産性は2～3人の労働力に匹敵するとみることもできる。必要労働力の削減は、雇用労働力に対する支払い賃金の削減を意味する。すなわち、ロボットは自家労働力によって成立している家族農業経営でなく、法人経営において収益面で大きなメリットを発揮する。ロボット技術は国際市場を念頭におき、しかも要素技術の共通化を図ることで製造コストの削減に努める必要がある。他方、企業の農業参入のさらなる促進など、ロボットの導入効果を最大化できる経営組織構築のための支援制度の整備・拡充も重要な課題である。

また、ロボットの開発・普及には、技術的問題にとどまらず、制度の整備も重要な課題となる。ロボットの安全性評価とガイドラインの策定、社会的受容形成の検討も必要である。個々の技術の実用化に対しては構造改革特別区域制度、市場創出支援事業なども視野に入れなければならない。また、安全性確保ガイドラインやロボットシステムを最大限有効活用できる生産経営基盤も検討しなければならない。特に水田作、畑作などオープンフィールドで作業を行うロボットには、安全性の問題を抱えているものもあるので、行政

主導による制度の整備なくして普及は困難である。すなわち、社会フィールド実証実験は、企業—研究機関—行政—農業者（市民）の連携により実行され、社会的コンセンサス形成に資する重要なものとなる。

2010年11月26日、士別市と北海道開発局等の共催で開催された講演会とロボット実演会「大区画水田における農作業の“超効率化”にむけて～IT農業のデモンストレーション～」に、この活動方針の一環として参加した。士別市では、水田の大区画化や集約化を通じ生産性を高めることで持続可能な農業経営の実現に資することを目的とした国営農地再編整備事業「上士別地区」が実施されている。大規模農業を代表する北海道において大区画水田におけるロボットトラクタ活用の可能性を展示するために、実演会では、上述の車輪ロボットトラクタ、クローラーロボットトラクタ2台により農機具庫から圃場までの農道自律移動、耕うん作業、障害物検出と衝突回避動作などをデモンストレーションした。

当日はみぞれ混じりの悪天候の中、約170名の参加者とテレビ局4局、新聞社8社が取材に来ており、少なからず反響があったと感じている。これからも我々のロボットの進化をぜひ多くの人に見て知っていただき、世界に先立ったロボット農業の実用化に微力ながら貢献したいと考えている。



図7 講演会・実演会「大区画水田における農作業の“超効率化”にむけて～IT農業のデモンストレーション～」の様子

引用文献

- (1) 日本学術会議：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、第20期日本学術会議対外報告書（2008）
- (2) 野口 伸：ロボットトラクタ、農業ロボット（Ⅱ）、コロナ社、180-183（2006）
- (3) 野口 伸：農業生産の軽労化・省力化を先導するロボット技術、農林水産技術研究ジャーナル、28（11）、5-9（2005）
- (4) 野口 伸：ピークルオートメーション、農業ロボット（Ⅰ）、コロナ社、143-205（2004）