

2.2.11 農林水産ロボット

（1）研究開発領域の定義

わが国の農林水産業を取り巻く環境は大きく変化している。農業従事者の減少、地域社会の衰退、自然災害の頻発、地球温暖化の進行などは、日本の農作物生産に大きな影響を及ぼしており、それらへの対応が急務である。さらには、新型コロナウイルスのパンデミックや、ウクライナ紛争の勃発などによりフードチェーンの脆弱さが露呈し、食料安全保障の重要性が再認識された。このような状況の中、地域資源の最大活用、脱炭素化、労力軽減・生産性向上等の実現に向けて、農林水産業へのロボティクスの導入は強く求められている。また、世界においても、現場の効率化や労働力不足の他、地球温暖化、干ばつ、環境負荷低減への対応の中で、人に代わって自動で作業を行うロボットの開発が進行している¹⁾。本領域は、農業（施設園芸、露地栽培、果樹栽培）、林業、水産業に対して、地域資源の最大活用、脱炭素化、労力軽減・生産性向上等の実現するためのロボット技術の研究開発動向を述べる。

（2）キーワード

スマート農業、スマート林業、スマート水産業、農業 Cyber-Physical System、ロボット農機、ドローン、収穫ロボット、水中ドローン、精密農業、リモートセンシング、協調作業、マルチロボット、ローカル5G、みどりの食料システム戦略、標準化（ISOBUS）

（3）研究開発領域の概要

〔本領域の意義〕

2022年6月3日に閣議決定された「統合イノベーション戦略2022」では、食料・農林水産業分野の研究開発について「世界の食料需給等を巡るリスクの顕在化を踏まえ、食料や生産資材の多くを海外からの輸入に依存しているわが国においては、食料安全保障の確保を図ることが重要である。将来にわたり、農林水産業の発展と食料の安定供給を図るためには、生産力向上と持続性を両立した食料システムの確立が不可欠」であることから、「みどりの食料システム戦略（令和3年5月12日みどりの食料システム戦略本部決定）」²⁾に基づき、中長期的な観点から、食料、農林水産業における資材等の調達、生産、加工・流通、消費までの各段階について、地域資源の最大活用、脱炭素化、労力軽減・生産性向上等のイノベーションを推進するとされている。

農林水産業へのロボティクスの導入は、深刻な労働力不足に直面しているわが国の農林水産業を未来に継承していくため、スマート農林水産業の早期実装として重点的に取り組む必要がある。「農林水産研究イノベーション戦略2022（令和4年5月24日農林水産省農林水産技術会議事務局）」³⁾には、研究開発課題として、超省力・省資源型スマート農林水産技術の開発が挙げられている。具体的には、自動化を可能とする作業ロボットや農林業機械、ICT・AIを活用した生産・作業管理技術、無駄のない養殖システム等スマート農林水産業の研究開発である。また、品目横断的に利用できる汎用的な作業ロボットやさまざまな環境条件に対応できるロボット農機等の開発を戦略的に推進することが求められている。

〔研究開発の動向〕

日本における農業（施設園芸、露地栽培、果樹栽培）、林業、水産業へのロボット、ロボティクスの導入を中心に研究開発動向を述べる。

農業

（1）施設園芸

施設園芸用ロボットについて、わが国ではミニトマト⁴⁾、ピーマン⁵⁾、アスパラガス⁶⁾などを対象として、多

くのメーカーで収穫ロボットの開発が進められており、一部は農林水産省のスマート農業実証プロジェクトなどで実証試験が行われている。人工光型植物工場でのイチゴの栽培では、常栽培のようにハチによる授粉が行えないことから、受粉と収穫両方が可能なマルチタスクロボット⁷⁾も開発されている。近年は、収穫ロボットの他にも、施設園芸のトマト、イチゴを対象として、RGBカメラで着果果実を検出して、検出果実数から収量を予測する移動センシングロボットの開発も行われている。今後、施設園芸用ロボットの普及のためには、収穫作業などの高速化、低コスト化に加え、センシングで得られた作物の生育データ等を活用し収量増につながるようなシステムを加えるなど、ロボット導入による経営的メリットを最大化できる技術開発が望まれる。

（2）露地栽培

露地栽培用ロボットについては、ロボットトラクター、ロボット田植機、ロボットコンバインが既にメーカー各社から販売されている⁸⁾。これらは農林水産省「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」で定める安全性確保の自動化レベル2に対応したものであり、ロボット農機のそばで作業を目視で監視することが求められている⁹⁾。現在は、安全性確保の自動化レベル3に準拠した、遠隔監視下での自動走行のための研究が行われており、ほ場間移動も含めた自動走行技術の開発が産官学で進められている¹⁰⁾。また、遠隔監視における通信の遅延を低減するため、ローカル5G等の高度な情報通信環境を用いたスマート農機の遠隔監視制御機能の実現に向けた評価検証が行われている¹¹⁾。

ドローンに関しては、わが国では、2022年に航空法を改正することで可能となった、三者上空の目視外飛行（レベル4飛行）に対応した技術開発が進められている。世界シェア7割を超えている¹²⁾といわれているDJIの農業用ドローンAgras T30は、ほ場の形に合わせて外周を自動で1周する「額縁散布モード」を追加するなど農薬散布自動化技術を向上させた。さらに、Agras T30は、目視外飛行への対応技術として球面型全方向レーダーシステムを搭載し、3D環境のリアルタイム認識により、正確な地形適応、全方向の障害物回避・自動迂回機能を提供している¹³⁾。

国内では他の飛行体や障害物との衝突を回避しつつ飛行するための衝突回避技術の開発、実証が行われており、非協調式SAA（Sense And Avoid）システム、協調式SAAシステムともに相対速度200km/hの対有人航空機に対して自律的に回避できることを確認した¹⁴⁾。このように国内、海外問わず目視外衝突回避技術は向上しており、2020年から2025年にかけて市場規模が約3倍に伸びると予測されている、国内の農業のドローンサービス分野¹⁵⁾でのドローン目視外飛行での利用が進むと思われる。

（3）果樹栽培

果樹栽培用ロボットは、国内ではリンゴ、ナシ¹⁶⁾、ブドウ、オウトウ用収穫ロボットの開発が行われている。特に、ナシではV字ジョイント仕立てを対象にした収穫ロボットの实証¹⁷⁾が行われるなど、果樹ではナシのロボット化技術開発が最も進んでいる。日本産果実は海外で人気が高く、輸出拡大が期待されている一方で、果樹生産は収穫に加え、摘果などの多様な管理作業を行う必要があり、機械化が進まず規模拡大も困難で生産は漸減傾向である。果実の種類やさまざまな管理作業に応じた個別の機械開発では高コストになることから汎用化が必須である。そこで、ブドウ・オウトウなどの軟弱果実を対象として、アーム・車両に既存の産業用機器の技術を活用し、共通の機体を複数の樹種・作業に適用し、低コスト化を実現する取り組みが進められている。栽培面でも、近年、平面的に着果させる省力樹形栽培が実用化され、ロボット導入の素地が整いつつある。

林業

日本の林業は、厳しい地形条件等に起因してきつい・危険・高コストの3K産業である。このような労働環境の改善と生産性の向上のために伐採・搬出や造林などの作業を自動化する機械の開発が必要である。とりわけ、林業における死亡災害の7割を占める伐倒作業の自動化は急務である。このような背景のもと、わが

2.2

俯瞰区分と研究開発領域 ロボティクス

国では伐採作業のロボット化に関する研究開発が林野庁を中心に進められてきた¹⁸⁾。一方で、ICTなど最新技術を活用した「スマート林業」の実現を目指して、電動四足歩行ロボットによる造林地の巡回や見回り、監視、荷物の運搬などの作業を担わせる実証実験を開始している¹⁹⁾。傾斜角度が30度までの斜面の上り下りができる電動四足歩行ロボットを用いて、高精度な自動歩行や作業が可能な地表面の柔らかさなどへの対応の実験が進められている。

水産業

水産分野においても、水産資源の持続的な利用と水産業の成長産業化の両立化のため、「スマート水産業」によるロボット技術の導入が進められている²⁰⁾。特に、ICTなどの技術の利用には、水中ドローン²¹⁾の利用が重要となってくる。養殖業では、魚の生育具合や死骸の除去、養殖施設確認などのための職員が毎日潜水していたが、水中ドローンを適用することで、潜水せずとも毎日の海中の状況を把握できたり、台風やしけなどによる網の損傷具合を確認したり、補修箇所も共有できるので、効率的かつ省力化が図れる。また、将来的な漁業者の人材不足を補うために、操業を助けるドローン²²⁾や、かつお自動釣り機²³⁾などの開発が進められている。

[論文や特許の動向]

論文に関しては、領域全体の論文数は約200件（2012年）から約1700件（2021年）に大幅に増加している。国別の比較では、論文数、シェアとも中国、米国が二強。日本は3位グループに埋もれる。Top1%、10%も米中の争いで、日本は存在感が薄い。論文数上位機関では中国が1位、次いでノルウェーや米国が続く、日本は香川大が9位に食い込む。

特許に関しては、特許ファミリー件数シェアは中国1強、2022年段階で70%を超えるシェアを持つ。Patent Asset indexシェアは米国が30%から20%のシェアをもつものの、中国が50%のシェアを確保。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

・協調作業

ロボット農機の開発が進む中で、複数台のロボット農機が同時に作業を行うことができれば大幅な作業効率の向上に加え、作業可能面積の増大や労働コストの削減が見込まれることから、マルチロボットによる協調作業が注目されている^{24), 25)}。水田作では、導入対象ほ場の大きさに応じて「標準区画（30a～1ha）」向けマルチロボット作業システム²⁶⁾および「大区画（1ha以上）」向けマルチロボット作業システム²⁷⁾が提案されている。

標準区画向けシステムでは、2台のロボットトラクターがそれぞれ異なるほ場において同時に作業を行う体系である。オペレーターは1人で2台の監視とほ場間移動等を行い、タブレット等の情報端末を用いてロボットトラクターに作業の開始や停止等の指示を出す。耕うん作業を対象としたシステムの実証試験の結果、最大1.8倍の作業効率の向上が得られている。この他にも、代かきの同時作業、乾田直播と鎮圧作業、麦稈処理と大豆は種などの異種作業について取り組みが進められている。

大区画ほ場向けシステムは、1ほ場に複数台（3台以上）のロボットが連携協力して作業を行う体系であり、うち1台に監視要員を搭乗させるか、管制室からの遠隔監視を想定している。ロボットトラクターは、相互通信により互いの位置や動作状態を確認することで、走行速度の変更、停止を行う。このシステムでは、生産規模の拡大に対してもロボット群の台数を増すことで対応可能であり、既存のロボットを継続使用できるメリットがある。旋回時に待ち時間が発生すると作業効率の妨げとなるため、ほ場面積に応じた投入台数を決定するなどの、ロボット作業プランナー・シミュレーターが同時に開発されている。

・精密農業

ロボット農機の開発が進む一方で、農地・農作物の状態を良く観察し、きめ細かく対処し、農作物の収量および品質の向上を図る農業技術として精密農業が提案されている²⁸⁾。空間的にも時間的にも一定ではない土壌環境や作物の生育状態に対して、従来は農家の勘や経験で対処してきたが、近年注目されているCyber-Physical System（CPS）を導入することで新たな展開が期待される。

土壌物理性・化学性の可視化については、リモートセンシングによる手法²⁹⁾として、近赤外スペクトルによる水分、全炭素、全窒素などの定量の他、可視・近赤外域の反射光の分光分析による紫外線域の蛍光スペクトルによる可給態窒素の推定³⁰⁾、レーザー変位計で土壌の破砕度を計測³¹⁾、田植え時の作土深と土壌肥沃度を測るものなど、多くの研究が進められている³²⁾。

植物の生育状態を可視化するリモートセンシング技術として代表的なものに、近赤外域と可視赤色域の反射率から求めるNormalized Difference Vegetation Index（NDVI）が挙げられる。衛星画像を用いた植物量の推定に利用されてきたが、近年、低価格のマルチスペクトルカメラの登場とドローンの普及により農業における利用場面が広がっている^{33), 34), 35), 36)}。ドローン空撮では、1ピクセルが数センチメートルから数ミリメートルと、衛星画像と比べ格段に精細な画像情報を得ることができる。また、3次元に再構成した画像からは、作物の高さ方向の凹凸を知ることができ、草丈や植物体のボリュームをより詳細に知ることが可能となっている。さらにAIを活用し、作物の収量予測、病害発生箇所の同定、雑草検出と判別などの研究開発が推進されている^{37), 38)}。

【注目すべき国内外のプロジェクト】

【1】スマート農業の実現に向けた産官学連携プロジェクト（日本）

農業生産の現場では労働力不足が深刻な問題となっており、その解決手段の一つとしてスマート農業が期待されている。そこで、ロボット、AI、IoTなど先端技術を活用したスマート農業技術を実際に生産現場に導入し、技術実証を行うとともに技術の導入による経営への効果を明らかにすることを目的として、令和元年度から「スマート農業実証プロジェクト」³⁹⁾が開始された。このプロジェクトでは、これまでに全国205地区において実証が行われ、対象とする経営体は大規模水田作、施設園芸および畜産など多岐にわたり、さまざまなスマート技術を導入、実証してきた。プロジェクト第1期の課題で多く導入されたロボット技術は、水田・畑作を対象とするロボットトラクターであった。このロボットトラクターは安全性確保の自動化レベル2⁹⁾であり、人が目視で監視することを前提に、耕起、碎土・整地および播種等の無人作業を行い、作業効率の向上を図るものであった。トラクター以外では作業者に追従する運搬車や茶の摘採ロボットなど、人手不足解消を主眼に置いた取り組みが多くみられた。実証を終了した課題の成果として、経営体の大きさや栽培様式によって差があるものの、ロボットトラクターの協調作業による作業時間3割減、未熟練者が熟練者並みの作業精度を達成などの導入効果が明らかになっており、経営面からの評価も進んでいる。2期以降は、これまでのスマート農業技術に加え、ローカル5G技術の活用の取り組みも始まり、映像遅延を抑え遠隔監視によるトラクターの自動運転が可能であることが実証された。また、高額なロボット農機をシェアリングすることで機械費を低減し、スマート農業技術の普及を加速する取り組みも進んでいる。3期以降は、これまでの取り組みでは不十分であった野菜・果樹等に係る作業を主な対象として、自動走行する小型ロボットによる作物センシング、除草、農薬散布、人と協調した運搬作業などの実証が盛んになっている。

【2】「2030年に向けたEU土壌戦略」(EU)

2021年、EUの政策執行機関であるEuropean Commission（EC）により、ヨーロッパの土壌健全化に関する方針⁴⁰⁾が示され、2030年までに土壌の養分損失を50%、農薬リスクを50%削減することなどが目標に掲げられた。ヨーロッパの土壌健康目標に向けた進捗状況を監視するための必要なデータを提供するための組織として、European Soil Observatory（EUSO）⁴¹⁾が2020年に発足し、EU全体の25万点超の土

2.2

俯瞰区分と研究開発領域 ロボティクス

壤データベースである Land Use and Coverage Area frame statistics Survey (LUCAS)⁴²⁾ に炭素量、土壤汚染データを整理しモニタリングを行っている。2020年からは、農家が衛星データ等に基づき環境規制を遵守するための意思決定支援システムとして、Farm Sustainability Tools (FaST)⁴³⁾ の開発を開始し、無料Webアプリケーションとして公開を予定している。また、資金面から土壤研究とイノベーションを促進するため、砂漠化防止、有機炭素保護、土壤再利用、土壤汚染防止と回復、浸食防止、生物多様性の向上等を目的とする資金調達公募⁴⁴⁾ が2022年10月まで進められている。

[3]「Robs4Cropsプロジェクト」(オランダ、フランス、スペイン、ギリシャ)

農業の人手不足問題を解決するため、ロボットによる自動化を目的とするRobos4CropsプロジェクトがEurope Horizon 2020の資金提供を受け、2021年から2024年末までの4年計画で進められている⁴⁵⁾。ワーヘニンゲン大学を中心とし、オランダ、フランス、スペイン、ギリシャ4カ国の農家と連携し、実際の運用条件でロボットを用いた試験を行い、ユーザー要件の分析、反復テスト、ビジネスモデルの実験を行うことで、既存の農機やロボット⁴⁶⁾、除草機⁴⁷⁾を統合した全体システムの完成を目指している。具体的課題として、ジャガイモ栽培における除草、リンゴ園での農薬散布、ブドウ園の機械除草、ブドウへの噴霧等のロボット化を行う中で、画像認識に基づく散布機、除草機といったスマート作業機、環境センシングと自己位置推定に基づく自動運転、デジタルツインテクノロジーを使用しプロアクティブかつリアクティブに作業計画を提示する営農管理ソフトウェアの開発を推進している⁴⁸⁾。

[4] VINEROBOT、VINBOT、VineScout「自律走行生育センシングロボット」(EU)

近年、ワイン用ブドウを対象としてEUの3プロジェクト(VINEROBOT⁴⁹⁾、VINBOT⁵⁰⁾、VineScout⁵¹⁾) がほぼ同期間に実施され、3機種種の樹列間自動走行ロボットが開発された。いずれもスペインを中心に、EU内3～5カ国の大学、研究機関、メーカーで進められた国際プロジェクトである。各機種にはLiDAR、RGBステレオカメラなどからなる3Dビジョンシステムが搭載され、ブドウ樹列の間を自動走行し、着果房数・熟度、繁茂度合いなどの生育状態をマッピングし、かん水の区画別制御など精密栽培管理に役立てる。ワイン用ブドウは欧州果樹生産の中でも生産額が高く、産業としても大きいと、自動収穫機や環境負荷低減型防除機の開発・導入など機械化・省力化が進んだ作物である。

[5] International Plant Phenotyping Networkプロジェクト (EUを中心に米国、中国等)

高速育種を目的としたハイスループットフェノタイピング (high-throughput phenotyping) においては、自動的に大量のデータを取得するためにセンシングを行うロボット技術が導入されている。人工気象再現設備 (人工光を利用した閉鎖型施設、太陽光を利用した開放型施設) においては高精度センサーによるハイスループットフェノタイピングを実現しようとしているのに対し、露地を対象としたフィールドベース設備においては、ガントリー、トラクターなどに搭載された画像計測装置、センサーを用いて露地栽培の多数の植物を計測するためのロボット技術活用の研究開発が必要である⁵²⁾。

[6] Specialty Crop Automation (米国)

カーネギーメロン大学のNational Robotics Engineering Centerでは、農機メーカー大手のJohn Deere社と共同で、果樹園を対象とした自動走行トラクター、収穫機の開発および病害検出、精密農薬散布技術等の開発を行っている。自動走行トラクターでは、樹冠によりGNSS信号が取得困難な状況を想定し、GPS-Free Navigationシステムの開発を進めている⁵³⁾。

[7] LASERWEEDER IMLEMNET (米国)

Carbon Robotics社は、畑地向けの自動除草機を開発し、2021年から市販を開始した。本機は、機体に

取り付けカメラで取得した画像からAIで認識した雑草のみを30本の炭酸レーザーで除去する。作業速度は最大1.6km/hで1時間に20万本の除草が可能としている⁵⁴⁾。

（5）科学技術的課題

生産者の減少・高齢化、地球温暖化など、食料・農林水産業が直面している課題に対応するべく、農林水産省は「みどりの食料システム戦略」を令和3年に策定した²⁾。この中で、施設園芸においては、温室効果ガス低減のため2050年までに化石燃料を使用しない施設園芸への完全移行を目指し、2030年までに省エネ型施設園芸設備の開発を進めるなどの目標設定が行われ、露地栽培においては、2050年までに化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減、化学肥料の使用量の30%低減などの目標設定が行われた。

一方で、飛躍的に発展したICT、デジタル技術を活用して、フィジカル空間とサイバー空間を融合することで新たな価値を創造し、経済発展と社会課題を同時に達成する「Society5.0」の早期実現がさまざまな産業分野で提唱されている。農業・食品産業分野においても、これらの目標達成に向け、フィジカル空間とサイバー空間を融合させたCyber Physical System（CPS）をフル活用した革新的な研究開発が開始されている。

施設園芸では、生育や施設環境のセンシングデータとトマトの収量予測シミュレーション⁵⁵⁾、局所暖房⁵⁶⁾などを組み合わせて施設園芸の省エネ化を実現する環境制御を実現するCPSの開発が望まれる。また、露地栽培でも、以前から提案されている精密農業の高度化を目指して、作物生育や土壌、ほ場環境のセンシングデータと検量線、スマート農機を組み合わせ、収量最大化・環境負荷低減を実現するCPSの開発の加速化が求められている。

（6）その他の課題

・法制度上の課題

ロボット農機の生産現場への普及と同時に新たな技術開発が進んでいる。ロボット農機を安全に使用するために、「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」⁹⁾（平成29年策定）において製造者、導入主体、使用者の担う役割を規定している。このガイドラインはロボット技術の開発状況や社会情勢を反映して改正されており、令和4年度には、隣接するほ場からの監視でロボット農機を使用することを想定し、「ほ場内やほ場周囲等の目視可能な場所から監視する方法」に監視方法が適用範囲の拡大がなされた。さらに、研究開発中の遠隔地から農機をモニター等により遠隔監視による自動走行、ほ場間移動における自動走行についても実用化を見据えた安全性確保策が検討されている⁵⁷⁾。ロボット農機の普及加速化にはほ場間移動等による利便性向上が求められており、いっそうの規制緩和が期待される場所ではあるが、公道では第三者の安全確保が最優先事項である。利便性向上と安全性確保を高度に両立させるためにも、生産者や農機メーカーだけでなく、周辺住民や自治体等の利害関係者を交えた協議の場を設けていくための支援策が期待される。

・標準（ISOBUS）への対応

電子化が進む農業機械間のデータ交換のための国際通信規格としてISO11783が定義されており、その実装規格であるISOBUSは欧米を中心に開発、普及が進んでいる。ISOBUS対応機器の導入により作業機のコントローラーを共通化でき、トラクター内への配線や個別の制御装置を省略できるなどのメリットがある。さらには、測位情報と処方箋マップに基づく可変レート制御（TC-GEO）、測位情報と作業履歴・ほ場マップを参照して重複作業、ほ場外への散布を防ぐセクションコントロール（TC-SC）などの高次機能を利用できる。現在のところISOBUS対応機器は海外製のトラクターや作業機が主であるが、スマート農業の普及もあり国産農機でもISOBUSに対応した可変施肥作業機、可変施肥の処方箋マップを出力するソフトウェア、セクションコントロールが可能な防除機⁵⁸⁾などが市販化されている。ISOBUSは規格が発行された以降も改訂や機能追加が行われており、世界の標準化の流れに遅れないよう常に動向を把握する必要がある。最近追加された機能に、作業機からの要求によりトラクターを自動制御するTractor-Implement-Management-System

（TIM）があるが、この機能を実装したトラクターおよび作業機は既に海外市場に投入されている⁵⁹⁾。また、水田農業を中心とする東南アジア地域等においてもスマート農業の普及拡大が見込まれており、拡大する東南アジアの農業機械市場を開拓し、今後の国際標準づくりに向けて欧米と対等な力関係を確保するためには、わが国が強みとする水田用の中小型農機を対象とした規格獲得に向け積極的な標準化活動を行う必要がある。

・中国の台頭

中国も、農業ロボットの研究開発を積極的に行っている。2018年には江蘇省興化市において、国内外100名以上の専門家や政府・企業関係者を招き、トラクター、田植機、コンバイン等のロボット農機による完全自動化農業の実演を実施した⁶⁰⁾。また、2021年には中国内の大学、研究機関、技術系企業から195のプロジェクトを集めた“First China Agricultural Robot Innovation Competition”が開催された⁶¹⁾。本大会は、中国人工知能学会、国家農業情報工学技術研究センター、華南農業大学、ECプラットフォームの拼多多による共同主催で、産学官が連携して研究開発を加速させようとしていることがうかがえる。今後も中国の技術開発動向を把握していくとともに、研究開発予算の確保のために、公的資金だけでなく民間投資の拡大を誘発していく方策が必要であると考えられる。

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	内閣府や関係各省庁の予算による研究開発が推進されている。AI技術の農業分野への応用が試みられており、病害虫・雑草診断、果実の熟期判定、品質予測など、幅広い作物を対象とした研究が行われている。
	応用研究・開発	◎	↗	2019年から農林水産省によるスマート農業実証プロジェクトが開始され、生産現場における実証研究が進んでいる。また、ローカル5G等の先端通信技術を用いたロボット農機の遠隔無人走行の実証試験も行われている。
米国	基礎研究	◎	→	米国農務省の国立食品農業研究所を始めとする政府機関が農業用ロボット開発への資金提供を行っている。これらを受け、イリノイ大学では複数のロボット群の行動計画プログラミングを容易にするツールの開発を進めている。また、カーネギーメロン大学では、John Deere社と協力し、柑橘類を対象とした自動走行トラクターの開発を行っている。
	応用研究・開発	◎	↗	iRobot社の元社員が設立したHarvest Automation社などベンチャー企業の参入が活発となっている。多くは収益性の高い施設園芸、果樹を対象としている一方、露地栽培でもAIによる雑草認識を組み込んだ除草ロボットが市販されている。
欧州	基礎研究	○	→	EUの機関であるEuropean Commisionにより土壌健全化に関する方針が示され、砂漠化防止、生物多様性保護等に向けた複数の研究プロジェクトがEurope Horizonによる資金提供のもとに進められている。Europe Horizonでは、ロボットによる自動化農業に関するプロジェクトも多く推進されており、ワーヘニンゲン大学ではオランダ、フランス、スペイン、ギリシャ4カ国の農家と連携した研究が進められている。
	応用研究・開発	◎	↗	施設園芸を中心に人間を代替するロボットの開発が進められている。露地栽培においては、環境保全を目的とした精密農業が普及し、ロボットの小型化・電動化や農薬削減に資する除草ロボット（Bosh社 Bonirob）の開発、実証が進んでいる ^{1), 2)} 。
中国	基礎研究	◎	↗	政策によりロボット研究、スマート農業の関連予算が潤沢で、土地利用型作物・施設園芸、いずれも多くの大学、公的研究機関で要素技術研究を実施している。
	応用研究・開発	◎	↗	土地利用型農業ロボットに力を入れており、上海、広州等で無人農場の実証実験が行われている。施設園芸用収穫ロボットについてもIT企業、農業施設・機械企業複数社が実証研究を行っている。

韓国	基礎研究	○	→	畜産・園芸・土地利用型作物ともにロボット自体の研究よりもセンサー、AI、アクチュエーターといった要素技術開発が多い。
	応用研究・開発	◎	↗	政府のプロジェクトで企業を中心とした実証研究により、土地利用型作物や施設園芸より畜産のロボット化・スマート化の研究開発が多く行われている。畜産では家畜飼養・管理、畜舎環境制御でロボット・AI利用技術開発が行われている。

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

参考文献

- 1) 農林水産省農林水産技術会議事務局「農林水産研究イノベーション戦略2021（2021年6月）」
<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/innovate/attach/pdf/index-3.pdf>, (2023年2月23日アクセス)。
- 2) 農林水産省「みどりの食料システム戦略（本体）（令和3年5月）」<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-10.pdf>, (2023年2月23日アクセス)。
- 3) 農林水産省農林水産技術会議事務局「農林水産研究イノベーション戦略2022」<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/innovate/attach/pdf/index-6.pdf>, (2023年2月23日アクセス)。
- 4) 株式会社デンソー「FARO」DENSO DESIGN, http://design.denso.com/works/works_096.html, (2023年2月23日アクセス)。
- 5) 農林水産省「令和2年度スマート農業実証プロジェクト：実証成果：新富町農業研究会（宮崎県新富町）」農林水産技術会議, https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/pdf/pamphlet/r2/R2_2-51.pdf, (2023年2月23日アクセス)。
- 6) inaho株式会社「RaaSモデルによるアスパラガス収穫ロボットの導入」<https://inaho.co/solution/raas>, (2023年2月23日アクセス)。
- 7) HarvestX株式会社, <https://harvestx.jp>, (2023年2月23日アクセス)。
- 8) 川島礼二郎「憧れの自動運転！トラクター自動化製品まとめ：スマートトラクター編」AGRI JOURNAL, <https://agrijournal.jp/renewableenergy/66612/>, (2023年2月23日アクセス)。
- 9) 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（令和4年3月）」<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/index-11.pdf>, (2023年2月23日アクセス)。
- 10) 農研機構「遠隔監視ロボット農機現地実演会」https://www.naro.go.jp/project/research_activities/laboratory/naro/137232.html, (2023年2月23日アクセス)。
- 11) 農業共同組合新聞「国内初 岩見沢市でローカル5Gの実証を開始 NTT東日本」<https://www.jacom.or.jp/saibai/news/2021/01/210122-48991.php>, (2023年2月23日アクセス)。
- 12) 財務省関東財務局 経済調査課「ドローン機体ビジネスの動向について」財務省関東財務局, https://lfb.mof.go.jp/kantou/keichou/20211112_doron.pdf, (2023年2月23日アクセス)。
- 13) DJI JAPAN 株式会社「Agras T30」<https://www.dji.com/jp/t30>, (2023年2月23日アクセス)。
- 14) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「2020年度～2021年度成果報告書：

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発(離島対応)」<https://seika.nedo.go.jp/pmg/PMG01B/PMG01BG02>, (2023年2月23日アクセス)。

- 15) 春原久徳, 青山祐介, インプレス総合研究所『ドローンビジネス調査報告書2022』(東京: インプレス, 2022)。
- 16) Takeshi Yoshida, et al., “Automated harvesting by a dual-arm fruit harvesting robot,” *ROBOMECH Journal* 9 (2022) : 19., <https://doi.org/10.1186/s40648-022-00233-9>.
- 17) 農林水産省「令和3年度スマート農業実証プロジェクト:(農)世羅幸水農園(広島県世羅町)」農林水産技術会議, https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/pdf/pamphlet/r3/R3_3-32.pdf, (2023年2月23日アクセス)。
- 18) 林野庁「林業イノベーション現場実装推進プログラム(令和4年7月アップデート版)」https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/ken_sidou/attach/pdf/220715-2.pdf, (2023年2月23日アクセス)。
- 19) 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所, ソフトバンク株式会社「スマート林業の実現に向けて、電動四足歩行ロボットを荷物の運搬などに活用するための実証実験を実施」森林総合研究所, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2022/20220628/index.html>, (2023年2月23日アクセス)。
- 20) 農林水産省「スマート農林水産業の展開について:水産業(2021年2月)」内閣官房, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/wgkaisai/nougyou_dai1/siryous3-1.pdf, (2023年2月23日アクセス)。
- 21) 日本水中ドローン協会「水中ドローンとは」<https://japan-underwaterdrone.com/underwater-drone/>, (2023年2月23日アクセス)。
- 22) 長崎大学「漁業者、ロボット開発企業と水産業の持続性を高める「漁火(いさりび)ロボ」を開発」<https://www.nagasaki-u.ac.jp/ja/science/science252.html>, (2023年2月23日アクセス)。
- 23) 木村拓人「次世代型かつお自動釣り機の開発:ロボットで魚を釣る」国立研究開発法人水産研究・教育機構, <https://www.fra.affrc.go.jp/topics/20200302/01.pdf>, (2023年2月23日アクセス)。
- 24) Noboru Noguchi, “Agricultural Vehicle Robot,” *Journal of Robotics and Mechatronics* 30, no. 2 (2018) : 165-172., <https://doi.org/10.20965/jrm.2018.p0165>.
- 25) Chi Zhang and Noboru Noguchi, “Development of a multi-robot tractor system for agriculture field work,” *Computers and Electronics in Agriculture* 142, Part A (2017) : 79-90., <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.017>.
- 26) 趙元在, 林和信「標準区画向けマルチロボット作業システム」『農業食料工学会誌』81巻5号(2019): 270-274., https://doi.org/10.11357/jsamfe.81.5_270.
- 27) 石井一暢「大区画向けマルチロボット作業システム」『農業食料工学会誌』81巻5号(2019): 275-279., https://doi.org/10.11357/jsamfe.81.5_275.
- 28) 澁澤栄「精密農業におけるイノベーション」『計測と制御』48巻2号(2009): 151-156., <https://doi.org/10.11499/sicejl.48.151>.
- 29) 澁澤栄, 平子進一「精密農法のためのリアルタイム土中光センサー」『分光研究』50巻6号(2001): 251-260., <https://doi.org/10.5111/bunkou.50.251>.
- 30) 織井孝治, 井上直人「紫外LED励起蛍光分析による畑作土壌の可給態窒素、全炭素、全窒素、C/N比の推定」『日本土壌肥科学雑誌』90巻2号(2019): 116-122., https://doi.org/10.20710/dojo.90.2_116.
- 31) 泉貴仁, 他「ロータリ耕うんにおける土壌破砕度の非破壊リアルタイム計測」『農業機械学会誌』67巻3号(2005): 90-95., https://doi.org/10.11357/jsam1937.67.3_90.
- 32) 亀岡孝治「農業の現在と未来を考える中でのIT・センシングの有効利用」『情報処理学会研究報告・CVIM』2014巻11号(2019): 1-14.

2.2

俯瞰区分と研究開発領域
ロボティクス

- 33) 杉浦綾「ドローン空撮画像による大規模圃場のリモートセンシング」『日本農薬学会誌』45 巻 2 号 (2020) : 146-149., <https://doi.org/10.1584/jpestics.W20-22>.
- 34) 岡安崇史, 深見公一郎, 長谷川克也「露地栽培作物の生育評価のためのドローンの利用」『農業食料工学会誌』78 巻 2 号 (2016) : 110-115., https://doi.org/10.11357/jsamfe.78.2_110.
- 35) 大政謙次「植物機能リモートセンシングとフェノミクス研究への展開」『学術の動向』21 巻 2 号 (2016) : 2_72-2_76., https://doi.org/10.5363/tits.21.2_72.
- 36) Ryo Sugiura, et al., “Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle,” *Biosystems Engineering* 148 (2016) : 1-10., <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.010>.
- 37) 田邊大, 他「無人航空機 (UAV) と畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を利用したバレイショの収量予測」『農業食料工学会誌』82 巻 6 号 (2020) : 624-635.
- 38) 田邊大, 他「無人航空機 (UAV) と人工知能 (AI) を利用したバレイショの収量予測のためのモニタリングシステムの開発 (第1報)」『農業食料工学会誌』82 巻 4 号 (2020) : 339-346.
- 39) 農林水産技術会議「スマート農業実証プロジェクトについて」https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/smart_agri_pro.htm, (2023年2月23日アクセス) .
- 40) European Commission, “EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate,” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>, (2023年2月23日アクセス) .
- 41) Joint Research Centre, “European Soil Observatory launched to monitor trends of soil health in Europe,” European Commission, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/eu-soil-observatory-launched-monitor-trends-soil-health-europe-2020-12-04_en, (2023年2月23日アクセス) .
- 42) European Soil Data Centre (ESDAC), “LUCAS: Land Use and Coverage Area frame statistics Survey,” European Commission, <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>, (2023年2月23日アクセス) .
- 43) EU Space Data for Sustainable Farming (FaST), “About FaST,” European Commission, <https://fastplatform.eu/about>, (2023年2月23日アクセス) .
- 44) European Commission, “EU Mission: A Soil Deal for Europe,” https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-health-and-food_en, (2023年2月23日アクセス) .
- 45) Wageningen University & Research, “New EU project Robs4Crops accelerates shift towards robotics,” <https://www.wur.nl/en/research-results/projects-and-programmes/agro-food-robotics/show-agrofoodrobotics/new-eu-project-robs4crops-accelerates-shift-towards-robotics.htm>, (2023年2月23日アクセス) .
- 46) Agreenculture, “CEOL: Robot agricole autonome,” <https://www.agreenculture.net/ceol>, (2023年2月23日アクセス) .
- 47) AGROINTELLI, “ROBOTTI,” <https://agrointelli.com/robotti/>, (2023年2月23日アクセス) .
- 48) The Robs4Crops Consortium, “Robs4Crops,” <https://robs4crops.eu>, (2023年2月23日アクセス) .
- 49) VINEROBOT, <https://www.vinrobot.eu>, (2023年2月23日アクセス) .
- 50) Robotnik Automation S.L., “VINBOT,” https://robotnik.eu/projects/vinbot-en/#pll_switcher, (2023年2月23日アクセス) .
- 51) VineScout, <http://vinescout.eu/web/>, (2023年2月23日アクセス) .

- 52) International Plant Phenotyping Network (IPPN), <https://www.plant-phenotyping.org>, (2023年2月23日アクセス) .
- 53) National Robotics Engineering Center, “Specialty Crop Automation,” Carnegie Mellon University, <https://www.nrec.ri.cmu.edu/solutions/agriculture/specialty-crop-automation.html>, (2023年2月23日アクセス) .
- 54) Carbon Robotics, “2023 LASERWEEDER™ IMPLEMENT,” <https://carbonrobotics.com/laserweeder>, (2023年2月23日アクセス) .
- 55) 農研機構「重点普及成果：施設園芸作物の生育・収量予測ツール」 https://www.naro.go.jp/project/results/juten_fukyu/2018/juten06.html, (2023年2月23日アクセス) .
- 56) 河崎靖, 他「トマトの生長点：開花花房付近の局部加温が植物体表面温度および収量関連形質に与える影響」『園芸学会誌』9巻3号(2010): 345-350., <https://doi.org/10.2503/hrj.9.345>
- 57) 一般社団法人日本農業機械化協会「農作業安全関連：ロボット農機安全コーナー」 <https://nitinoki.or.jp/bloc3/robotics/index.html>, (2023年2月23日アクセス) .
- 58) 湯木正一「やまびこのISOBUS対応ブームスプレーヤ」『農業食料工学会誌』84巻2号(2022): 79-82.
- 59) 和田学「ISOBUSの近年の機能拡張と最新動向」『農業食料工学会誌』84巻2号(2022): 70-74.
- 60) 新浪财经「我国首轮農業全過程無人作業試験啓働」 <http://finance.sina.com.cn/roll/2018-06-04/doc-ihcmurvh2048800.shtml>, (2023年2月23日アクセス) .
- 61) domeet webmaster, ““The First China Agricultural Robot Innovation Competition” ended successfully 20 “Robot Sky Groups” help the digitalization of agriculture,” <https://www.ww01.net/en/archives/134785>, (2023年2月23日アクセス) .

2.2

俯瞰区分と研究開発領域
ロボティクス