

2.2.10 農林水産ロボット

(1) 研究開発領域の定義：

我が国の農林水産業は、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。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、農林水産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。本研究開発領域では農林水産ロボット、特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) キーワード

GNSS（Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム）、リモートセンシング、自動作業機械、ドローン、アシストスーツ、スマート農業、スマート水産業、スマート林業

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

2015年2月10日に日本経済再生本部が決定した「ロボット新戦略」では農林水産分野のロボット導入について「ロボット技術を積極的に活用することで作業を機械化・自動化し、労働力を補うとともに、センシング技術等を活用した省力・高品質生産により、大幅な生産性向上を図ることを目指す。また、多くの作業が炎天下や急斜面等の厳しい労働環境で行われている中、依然として人手に頼っている分野において重労働を軽労化するとともに、ICTと一体的にロボット技術を活用することでノウハウが必要とされる作業を経験が少ない者でも可能にし、高齢者がいきいきと農業を継続するとともに、若者・女性等多様な人材の農林水産業への就業を促す環境を整える」ことを基本的考え方としている。重点的に取り組むべき分野としては以下の3技術が挙げられている。

- ① GNSS自動走行システム等を活用した作業の自動化
- ② 人手に頼っている重労働の機械化・自動化
- ③ ロボットと高度なセンシング技術の連動による省力・高品質生産

「① GNSS自動走行システム等を活用した作業の自動化」はGNSS（Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム）等による精密な測位データを用いて、作業の自動化を目指す技術である。農業においては、トラクタ等農業機械の夜間・複数台同時走行・自動走行を目指す。林業においては、自動伐倒作業車、自動集材機、運材用自動走行フォワード等の実現を目指す。水産業においては、将来のロボット漁船のための自動操縦システムの開発を目指す。

「② 人手に頼っている重労働の機械化・自動化」は、アシストスーツによる作業の軽労化、ロボット等による作業の自動化を目指す技術である。農業においては、アシストスーツは重量野菜の収穫やコンテナ運搬など足腰への負担強度の大きい作業を楽にできる技術として期待される。また、除草ロボット、畜舎洗浄ロボットは、きつい作業、危険な作業、繰り返し作業からの解放を可能とする。林業においては、伐採・搬出や造林などの作業を自動化することにより、厳しい地形条件等に起因して3K（きつい・危険・高コスト）であるとされてきた労働環境の改善と生産性の向上を可能とする。水産業においては、船上作業や養殖施設における資材積み下ろし作業の軽労化を可能とする。

「③ ロボットと高度なセンシング技術の連動による省力・高品質生産」はセンシング技術や過去のデータに基づいて、きめ細やかな作業まで自動化し、高い生産性を目指す技術である。農業においては、特に高度施設園芸が該当する。地域の自然環境を把握したうえでハウス環境を制御することが要求される施設園芸は、いまだ高い技術を有した人のオペレーションが必要であり、工業化・産業化に発展させるうえで大きな障害となる。すなわち、栽培ノウハウの可視化とインテリジェント化は次世代の施設園芸分野において重要な課題である。林業では航空機レーザー計測による資源情報の高度化・デジタル化を進めて、需要に応じた精緻な生産計画を立案し、その計画に基づいた自動作業を実施することが将来像である。水産業においては、沿岸漁業を対象に7日先までの漁場を予測する精密な気象予報に基づき、経験の少ない漁業者でも漁場へ直行できるような自動操船技術が注目されている。

[研究開発の動向]

日本では農林水産業のロボット化は農業が最も進んでおり、林業、水産業のロボット化の取り組みはまだ限定的である。ここでは農業を中心に研究開発動向を論じることとする。

農業

我が国では2018年に世界に先立ち無人で作業するロボット農機を社会実装し、無人トラクタや無人田植え機が市販されている。さらに、畦畔草刈りロボット、茶園管理ロボットなど様々な農業ロボットが実用化に向けて開発されている。これらのロボット農機は障害物検出センサーを装備し、安全に作業することができるが、農林水産省が2017年3月に制定した「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」により、ロボット農機の傍で作業を目視監視することが求められている²⁾。現在、この目視監視の次の技術である遠隔監視型のロボット農機を産学官で開発中である。遠隔監視型のロボット農機は、管制室にいる1人の監視者が、地域内に分散した圃場で同時に作業する複数のロボットを管理することができる。さらにこのロボット農機は自律的な圃場間移動も可能であり、作業能率が格段に向上すると期待される。

日本経済再生本部の「日本再興戦略 2016」において、この圃場間移動・遠隔監視型のロボット農機を2020年の実現目標として掲げている。

農業施設で働くロボットの研究開発も進んでいる³⁾。酪農分野ではすでに搾乳ロボット、哺乳ロボット、自動給餌装置などが実用化され、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。

イチゴ、トマト、ピーマン、キュウリ、アスパラガスなどの果菜類の施設園芸では、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⁴⁾。このような状況のもと、果菜類の施設内収穫ロボットの研究開発が進められている。技術的課題として「センシング技術」と「ハンドリング技術」が挙げられる。センシング技術においては、熟した果実を認識し、個体レベルで位置を計測し、収穫の適否の判断を行うことが要求される。AIによる画像認識技術を利用した研究も行われているが、いまだ開発途上にある。ハンドリング技術として、柔らかく、形、大きさ、硬さなどにばらつきがある果実を傷つけないよう正確にハンドリングすることが要求される⁵⁾。ソフトグリッパーなどが活用されているが、人に比べてロボットによる収穫速度は遅い点が課題である。このように実用化に向け解決すべき技術的課題は多いが高付加価値・高価な果菜

類の大規模生産を可能とし、さらにはアジア・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に繋がることが期待されるなど、果菜類の施設園芸用のロボットは魅力的な技術である。

レタスを代表とする葉菜類については、育苗から収穫、出荷までを自動化した清浄レタスの高度施設園芸（植物工場）が実用化されている。一方、労働負荷が高い葉菜類の露地栽培については、高齢化の観点からロボット化のニーズが大きい、いまだ開発途上にあり、今後の研究開発に期待がかかる。

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、わが国では林業技術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いる⁶⁾。

伐採作業のロボット化の事例として、遠隔操作による樹木の把持・伐採・集材システムの開発が挙げられる。ラジコン式伐倒作業車「ラプトル」は、傾斜30°までの森林内を走行可能な作業車を無線で操作し、作業車からのリアルタイムカメラ画像を見ながら直径40cmまでの樹木の把持・伐採・集材の遠隔作業が可能である。集材作業については、架線集材装置にカメラを搭載し、安全な場所から映像を見て、荷掛け・荷下ろしの遠隔操作が可能なシステムが国内で開発中である。運材作業については、誘導電線上を無人走行するフォワードが国内で開発中である。このフォワードは積込み以外の運材、荷下ろしは無人運転が可能である。無人運転の教示には、人が一度運転し、速度等をフォワードに記憶・再現させるティーチング・プレイバック方式が採用されている。さらに、造林作業の労働負担を軽減する林業用アシストスーツが開発されている。アシストスーツを用いることで急傾斜・不整地での移動、造林作業を17%程度軽労化できる⁷⁾。

水産業

水産分野でもロボット技術の導入が始まっており、操業の効率化や漁獲物の高付加価値化により、生産性を向上させるとともに、担い手確保にも貢献することが期待されている⁸⁾。漁業においても新規就業者に技術承継していくために先端技術の導入は喫緊の課題となっている。漁業従事者が減少する中で多くの乗組員を必要とする定置網漁業では、自動化システムによる省人化に期待されている。たとえば自動網掃除ロボットの導入により作業時間の約80%削減を達成した。また、養殖業では自動網掃除ロボットに加え、スマートフォンで養殖魚の摂餌状況を確認しながら、遠隔給餌が可能な自動給餌装置も15%の労働力削減を実現した。水産加工分野ではホタテの生剥きに係る全作業工程の自動化を可能にしたホタテ貝自動生剥きロボットがあり、ロボット1台で15人程度の人員削減効果がある。また、アシストスーツは、腰に大きな負担のかかる漁労作業で省力効果を発揮し⁹⁾、沿岸漁業における船上作業、養殖においては海中に沈められたコンテナの引き上げ作業、かがんだ姿勢で作業するため腰にかかる負担が大きいコンブ干しなどの作業に使用されている。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

マルチロボットによる協調作業

北海道大学 野口 伸らは、群管理型の小型ロボットとしてマルチロボットを開発した¹⁰⁾。マルチロボットは、協調作業を行う3台以上のロボット群と人間が搭乗する自動運転の監視用ロボットから構成され、従来は人間が操作するトラクタで実施していた農地の耕運、施肥、播種、収穫といった作業をロボット群の協調作業

により実施する。人間は自動運転のロボットに搭乗し、ロボット群の監視にあたる¹¹⁾。このシステムの場合、複数のロボットを同時に使用するので作業能率は格段に向上する。また、ロボット群に対する運転操作を必要としないため、高齢者や農機操縦に慣れていない初心者もオペレータの役割を果たすことができる。また、人間が搭乗する監視用ロボットは自動走行なので夜間でも安全に作業ができる。マルチロボットの利点として、は農家の規模拡大をする場合、トラクタなど農機の大型化による対応ではなく、ロボット群の台数を増して対応することになるため、既存のロボットを継続使用でき、投資額を抑制できる点が挙げられる。さらに、個々の圃場の大きさや作業の進捗に合わせてロボット群の台数を変更可能であり、ロボットの貸し借りによる柔軟な作業体系を組むことができる点、24時間体制で作業ができる点、複数の小區画圃場における同時作業を1人の監視者により実施できる点も利点である。このマルチロボットが、日本そして世界の農業を大きく変える可能性がある。

AIとの連携によるスマートロボット

農業ロボットの将来像として、ロボットの知能化を進め、農家が代々受け継いできた篤農技術をロボットに実装することが挙げられる¹²⁾。このようなスマートロボットの具体例として、窒素ストレス検出センサーを用い、水稻、麦類に最適な追肥作業を行うロボットが挙げられる¹³⁾。

近年、5GやAIを活用したスマート農業研究も進められている¹⁴⁾。例えば、農地の高精細画像をAIによって解析することで作物生育の良否判定を行い、この結果に基づいた精密施肥や病虫害の超早期検出・対処ができるロボットが例として挙げられる¹⁵⁾。このシステムでは、5Gの大容量通信を利用してセンサーデータを伝送し、エッジとクラウドの双方が連携してデータの分析を行う。このように、センシングやAIによる意思決定は必ずしもロボット農機と一体である必要はない。たとえば目の機能を担うドローンが上空から情報を効率的に収集し、その情報をクラウドサーバーにあるAIで解析し、その最終結果だけをロボット農機に伝送して精密な作業を行うことが可能である。

また、作物と雑草を識別して雑草だけをスポット防除するロボットの研究も行われている¹⁶⁾。実現に向けた課題として、作物・雑草の識別を行うためのAIと連携したセンサーの開発、学習データの効率的な収集法の確立が挙げられる。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

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）

日本の農業は長期にわたる就農人口の減少と高齢化、後継者不足による「労働力の不足」に直面しており、産業として維持・拡大するためには、この社会課題を早期に克服する必要がある。そのため、これらの課題解決に向けた取り組みが進められている。NTTグループ（NTT、NTT東日本、NTTドコモ）と北海道大学は、「最先端の農業ロボット技術と情報通信技術の活用による世界トップレベルのスマート農業および持続可能なスマートアグリシティの実現に向けた産官学連携協定」により岩見沢市をフィールドとした近未来スマート農業技術の実証に取り組み、農機のロボット化やベテラン農家の匠の技をデータ化・活用するデータ駆動型農業の実現によるイノベーション創出に取り組んでいる¹⁷⁾。

ロボット農機については現在、世界に先駆けた複数台の協調作業システムや遠隔監視による無人状態での完全自動走行の実証フェーズにあり、その実現に向けては、正確な測位情報が必要なことに加え、ロボット農機に搭載されたカメラからの映像情報等を、低遅延かつ信頼性を担保しながら監視拠点まで伝送することも必要である。また将来はロボット農機も動くIoT機器として位置づけられる。ロボット農機に搭載した複数

台のカメラやセンサーから、作物の生育や土壌、病害虫の発生、農作業の状況、農機の空き状況等、さまざまなデータを収集し、さらに人工衛星からのリモートセンシングデータ等の外部からの情報も組合せ、AIにより処理・分析することにより、ロボット農機の行動計画や、農機シェアリング計画等の農業経営意思決定支援を行う仕組みが期待されている。岩見沢市は内閣府の「近未来技術等社会実装事業」において「世界トップレベルの「スマート一次産業」の実現に向けた実証フィールド形成による地域創生」が認定される等、日本におけるスマート農業のフロントランナーとして取り組んでいる。これらの技術を活用し、ロボット農機システムを含む農業分野をユースケースの1つとして位置づけ、新たな価値創出をめざしている。

完全無人農場プロジェクト「ハンズフリー・ヘクタールプロジェクト」(英国)

2017年に英国ハーパーアダムス大学において完全無人農場プロジェクト「ハンズフリー・ヘクタールプロジェクト」が行われた¹⁸⁾。耕うん、播種、防除そして最後の収穫までの全作業を無人で行う実証試験である。100m×100mの圃場内に秋播き小麦を栽培した。枕地部分と移動経路部分を確保して110×120mのエリアが農場で、そのエリアには人が立ち入らないことを前提とした。実証試験ではRTK-GNSSを航法センサーとした小型無人トラクタ、無人コンバイン、土壌サンプリングロボット、UAVが供試された。無人トラクタにより、10月の耕うん作業、11月の播種作業、翌3、4月の追肥作業、5月の防除作業が行われ、無人コンバインにより、8月の収穫作業が行われた。その間、UAVを使用した作物生育状況のマッピングや夜間作業のモニタリングも行っている。この実証プロジェクトの特徴的な点として、供試したトラクタが英国の農作業では使われることのない小型の日本製トラクタを改造したものであったことが挙げられる。これは安全性における小型機器のメリットと、オペレータが不要であるというロボットのメリットを活かしつつ、機械の大型化によらず台数の調整で規模拡大に対応するという戦略に基づいている。なお、このプロジェクトは2020年現在も継続しており、面積を拡大して35haの実証を行っている¹⁹⁾。

GRAPEプロジェクト「ブドウ園管理ロボット」(イタリア)

GRAPEプロジェクトはEUの「農業・食品分野のロボティクス」に関するプロジェクトであり、Eurecat社、ミラノ工科大学、Vitirover社によって構成されたコンソーシアムにて実施されている²⁰⁾。このプロジェクトではブドウ園を対象に自律走行、ブドウ生育モニター、作業を行うロボットアームを備えた知能ロボットの開発を目指している。ロボットは、ブドウ園の3次元モデルを生成するために三次元LiDARを装備し、ローカルセンサーとGNSSとの統合に基づいた測位を行っている。これによりブドウ園の変化にとんだ地形における自律走行を可能としている。

精密農業の実践は、農薬の過剰使用による農業の環境への悪影響を大幅に軽減すると同時に、世界人口の増加による食料需要増に対して必要十分な食料を生産するための効果的な方法である。高度なセンシング機能の導入により、植物個体レベルでのモニターを可能にし、病害虫の被害を未然に防ぐことができる。さらに、農薬を必要最小限の量で使用し、可能な限り環境影響の少ない技術（たとえば、生物的防除）に変更する。ブドウ園の管理作業は剪定、摘葉、草刈、農薬散布、灌水など多くの作業を含むが、GRAPEプロジェクトでは、これらブドウ園の精密な管理作業をロボットによって行わせることを目指している。特に、このプロジェクトは、ロボット車両を使用してブドウ園の自動監視とブドウ栽培に必要な資材施用、たとえばフェロモンディスペンサーのブドウ樹木への自動装着も行う。このフェロモンディスペンサーによって従来の化学防除に比べて環境への影響を大幅に軽減する。

(5) 科学技術的課題

群管理型の小型ロボットが今後の研究開発課題として挙げられる。小型ロボットは、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、大規模農業を実践している欧米もこの技術に注目している^{21), 22)}。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。また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。さらにトラクタの大型化に伴う車幅の増大も限界に達し、国によっては、法規制によって道路走行できない事例も存在する。

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位置情報をRTK-GNSSで正確に把握することにより、耕うん、播種、生育観察、中耕除草、収穫について超精密な「点」の作業が可能となる。作物をグリッド状に播種・栽培することで畝間除草および株間除草が極めて容易になる。雑草にピンポイントに除草剤を施用することで慣行の0.1%まで除草剤使用量を減らせる。作物の栽培位置を正確に把握されているので、作物の根の成長域だけに中耕作業を行うことが可能である。そして、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ことが可能である。これら技術はい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²³⁾。

さらに水田管理用のロボットボート、農薬散布に加え生育情報も収集する自律型ドローンの研究も国際的な研究課題になっている。

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い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²⁴⁾。エクスパートの剪定法をAIによって解析・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。

(6) その他の課題

ロボットの開発・普及には技術に加え、制度の整備も必要となる。特に安全性の確保が、社会実装に向けた最も重要な課題である。実際に草刈ロボット、茶園管理ロボットなど様々なロボット農機の実用化と並行して、前述の「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」はほぼ毎年改正されている。また、2019年10月に国土交通省は農用トラクタに関わる道路運送車両法の運用を見直し、保安基準に緩和措置が盛り込まれることとなった。これにより、灯火器類、作業機トラクタ速度、運転免許、チェーンなどが一定の条件をクリアした場合に限り、作業機を装着・けん引した状態のトラクタの公道走行が可能となった。これは圃場間移動・遠隔監視型のロボット農機の現場実装には不可欠な措置である。さらに警察庁は農道管理者が一般交通の用に供しない農道と判断した場合、当該農道は道路交通法の適用を受けず、農道管理者が必要な措置を行うという整理をした。これらは圃場間移動・遠隔監視型のロボット農機の社会実装に対して大きな前進と言える。

農業ロボットの導入は人件費節減に有効であることは自明であるが、同時に雇用問題に発展する可能性もある。欧州では農業のロボット化が移民をはじめ人の仕事を奪っていると非難する意見もあり、ロボットの社会的受容性の醸成も今後の課題である。

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	○	→	大学はじめ公的研究機関が内閣府、文科省、農林水産省、経済産業省などの予算で研究開発を行っている。特にドローン利用、AI 利用研究が盛んである。
	応用研究・開発	◎	↗	内閣府 SIP「次世代農林水産業創造技術」など出口が要求される国家プロジェクトが多いので、産学官による応用研究の成果は大きい。特にロボット農機などは世界に先駆けて実用化した。
米国	基礎研究	◎	→	NSF、州政府の予算で大学を中心に基礎研究が行われている。おもに農作物の品質センサー、AI による病害虫の早期検出技術などが多い。フロリダ大学、イリノイ大学などは精力的に研究を行っている。
	応用研究・開発	◎	↗	大手農機メーカーが果樹園用ロボットなどを研究開発している。ベンチャー企業や大学のコンソーシアムが多い。
欧州	基礎研究	○	→	オランダ・ワグeningen大学の収穫ロボット、スペイン・バレンシア・ポリテクニク大学、イタリア、フランスではワイン用ブドウ栽培ロボットの研究が盛んである。見回りロボットや剪定ロボットなどが研究されている。また英国では「ハンズフリー・ヘクタールプロジェクト」を規模を拡大しながら実施している。
	応用研究・開発	◎	↗	パブリカ収穫ロボット、果樹園用ロボットなど高収益作物で人手不足が多い作業のロボット化が進められており、施設園芸や果樹分野のロボットでは世界をリードしている。
中国	基礎研究	◎	↗	土地利用型農業、施設園芸両者においてロボット研究は科学技術部の Smart Farm 関連予算が潤沢で、多くの大学・公的研究機関でロボット研究を実施している。
	応用研究・開発	△	→	農業の自動化に力を入れており、江蘇省ではロボット農機による農作業の実証実験が行われている。防除など自律ドローン利用の技術開発が進んでいる。
韓国	基礎研究	○	→	ロボット自体の研究よりもセンサー開発、AI 研究が主流である。
	応用研究・開発	◎	↗	日本とほぼ同様の研究開発が進められている。ただ、韓国は日本よりも施設園芸や畜産分野の自動化・ロボット化に力点が置かれている。また農林畜産食品部の予算で産学プロジェクトで自動走行農機の研究開発が進められている。

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

- 1) 日本学術会議. 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」2008年7月24日.
- 2) 野口 伸. 「ロボット農機の現状と今後の展望」. 自動車技術. 73 (2), (2019) pp.93-98.

- 3) Jacquelyn A. Jacobs and Janice Siegford. “The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare”, Journal of Dairy Science, 95 (5), (2012) pp.2227-47.
- 4) 内藤裕貴. 「イチゴ収穫ロボット」, アグリバイオ, 1 (13), (2017) pp.18-22.
- 5) Ali Roshanianfard and Noboru Noguchi. “Pumpkin harvesting robotic end-effector” Computers and Electronics in Agriculture, 157, (2020) 105503.
- 6) 林野庁. 「林業イノベーション現場実装推進プログラム」
https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/ken_sidou/attach/pdf/191210-1.pdf
- 7) 森林総合研究所 web. “林業用アシストスーツ 17% 負担軽減「2017 国際ロボット展」に出展”
<https://www.affrc.go.jp/press/2017/20171128/index.htm>
- 8) 水産庁. 「水産新技術の現場実装推進プログラム」 <https://www.jfa.maff.go.jp/j/press/kenkyu/attach/pdf/191210-1.pdf>
- 9) 高橋秀行ほか. “漁業用サロペットと一体化した漁業用軽労化支援スーツの試作” 平成 30 年度日本水産工学会学術講演会講演要旨 (2018 年 5 月) .
- 10) Noboru Noguchi. “Agricultural vehicle robot”, Journal of Robotics and Mechatronics, 30 (2), (2018) pp.165-172.
- 11) Chi Zhang and Noboru Noguchi. “Development of a multi-robot tractor system for agriculture field work” Computers and Electronics in Agriculture, 142, (2017), pp.79-90.
- 12) Dallan Adams. “Future of farming : AI-enabled harvest robot flexes new dexterity skills” <https://www.techrepublic.com/article/future-of-farming-ai-enabled-harvest-robot-flexes-new-dexterity-skills/>
- 13) M. M. Ali et.al. “Leaf nitrogen determination using non-destructive techniques—A review”, Journal of Plant Nutrition, 40 (7), (2017), pp.928-953.
- 14) Victor Partel et.al. “Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence” Computers and Electronics in Agriculture, 157, (2019) pp.339-350.
- 15) Redmond Ramin Shamshiri et.al. “Research and development in agricultural robotics : A perspective of digital farming”, International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11 (4), (2018)
- 16) Brian Steward et al. “The use of agricultural robots in weed management and control” In Robotics and automation for improving agriculture, edited by John Billingsley. Burleigh Dodds Science Publishing (2019)
- 17) 日本電信電話株式会社. “最先端の農業ロボット技術と情報通信技術の活用による世界トップレベルのスマート農業およびサステナブルなスマートアグリシティの実現に向けた産官学連携協定を締結”.
<https://www.ntt.co.jp/news2019/1906/190628a.html>
- 18) Hands Free Hectare Project web. <http://www.handsfreehectare.com/>
- 19) Harper Adams University web. “Hands Free Hectare broadens out to 35-hectare farm”
<https://www.harper-adams.ac.uk/news/203368/hands-free-hectare-broadens-out-to-35hectare-farm>

- 20) GRAPE project web. <http://www.grape-project.eu/home/>
- 21) UK-RAS networks (ed.) . “Agricultural robotics : The future of robotic agriculture” June 2018.
- 22) James Lowenberg-DeBoer et.al. “The impact of swarm robotics on arable farm size and structure in the UK”, 93rd Annual Conference of the Agricultural Economics Society (April 2019) .
- 23) Lars Grimstad et.al. “On the design of a low-cost, light-weight, and highly versatile agricultural robot” 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, DOI : 10.1109/ARSO.2015.7428210 (March, 2016) .
- 24) Tom Botterill¹ et.al. “A robot system for pruning grape vines”.Journal of Field Robotics.34(6), (2017) , pp.1100-1122.22)
GRAPE project web. <http://www.grape-project.eu/home/>

2.2

俯瞰区分と研究開発領域 ロボティクス