令和５年度生研支援センター調査報告書（研究開発構想）

「スマート農機の中山間地域への展開」

令和６(2024)年７月

BRAIN

生物系特定産業技術研究支援センター

目　　次

Ⅰ．令和５年度の生研支援センター研究開発構想の目的と考え方 3
（１）生研支援センター研究開発構想について 3
（２）令和５年度の研究開発構想のテーマについて 3
ア　テーマ設定の背景と目的 3
イ　中山間地域の現状と課題 4
（３）本研究開発構想の検討対象 8
ア　対象地域・圃場..... 8
イ　対象品目・作業..... 8
ウ　対象技術..... 10
（４）本研究開発構想のアプローチ 10
ア　導入・普及すべきスマート農機 10
イ　主なスマート農機についての研究開発の調査・検討 10
ウ　スマート農機の研究開発及び導入・普及の加速化に向けた取組の検討.... 11
（５）本研究開発構想の策定方法 11
ア　文献・聞き取り調査 11
イ　アドバイザリー委員会 11

Ⅱ．スマート農機の現状と研究開発の方向性 13
（１）品目・作業別スマート農機の一覧 13
（２）主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性 14
ア　小型ロボットトラクター（水稲・畑作） 14
イ　小型汎用無人車両（果樹・畑作） 18
ウ　農作業用ドローン（水稲・畑作・果樹・放牧） 23
エ　除草ロボット（水稲・畑作・果樹） 29
オ　水田の水管理システム 36
カ　米・麦・大豆の収穫機 40
キ　果実収穫機..... 43
ク　茶の複合管理機..... 48
ケ　放牧管理システム 52
（３）スマート農機に共通の課題と研究開発の方向性 57
ア　通信環境..... 57
イ　電動化..... 59

Ⅲ．スマート農機の研究開発及び導入・普及の加速化に向けた取組 61
（１）研究課題の重点化..... 61
（２）低コスト化（導入に伴う費用負担の軽減） 61
ア　低価格のスマート農機の研究開発 62
イ　汎用性の高いスマート農機の研究開発 63
ウ　利用形態の多様化 64
エ　導入コスト目標..... 65
（３）スマート農業サポート体制の整備 66
（４）スマート農機の利用環境の整備 67
ア　栽培管理体系の変更 67
イ　農業基盤整備の推進 67
ウ　情報通信に関する技術開発・システム整備 68
エ　電力供給に関する技術開発・システム整備 68

Ⅳ．スマート農機の中山間地域への展開に向けて（まとめ・提言） 70

Ⅰ．令和５年度の生研支援センター研究開発構想の目的と考え方

（１）生研支援センター研究開発構想について

生物系特定産業技術研究支援センター（生研支援センター）は、農林水産・食品分野における「Society5.0」の早期実現を通じ、この分野で我が国が直面する諸課題を克服するため、農林水産・食品分野における研究開発の支援を専門とする唯一の資金配分機関（ファンディング・エージェンシー）である。主な業務として、①民間企業、大学、国立研究開発法人などから、幅広く研究課題の提案を募集し、②採択した課題に委託研究費を供給しつつ、社会実装を見据えて研究管理を行い、③その研究成果の発信や事業化などによって、社会実装を推進している。

こうした資金配分機関としての機能を強化し、農林水産・食品分野の研究開発とその成果の社会実装を一層推進するため、生研支援センターでは令和３年度から、今後の研究開発の方向を提案する「研究開発構想」の策定に取り組んでいる。

この研究開発構想では、毎年度、農林水産・食品分野において解決すべき重要課題をテーマとして設定し、これに関する国内外の研究開発の動向等の情報を収集・分析した上で、今後必要と考えられる研究開発の方向性を取りまとめている。その内容は、研究開発やその推進に取り組む関係機関・企業等にも広く周知すべく、ホームページやシンポジウムなどによって公表している。

これまで、令和３年度には「食品企業における研究開発動向と取り組むべき研究開発」、令和４年度には「我が国の水産業におけるリスク強靭性の強化」をテーマとした研究開発構想をとりまとめ、令和５年度の本報告書が、三回目の研究開発構想の策定となる。

（２）令和５年度の研究開発構想のテーマについて

ア　テーマ設定の背景と目的

中山間地域（農業地域類型区分のうち中間農業地域と山間農業地域を合わせた地域）は、農業経営体数、農地面積、農業産出額、農業経営体数において全国の4割を占め、我が国にとって重要な食料生産の場でもあるが、人口減少や少子高齢化が都市や平地に先駆けて進行していることに伴い、農業従事者の不足が深刻な懸念となっており、農業生産活動の維持、ひいては食料の安定供給や多面的機能の発揮への不安も増している。

一方で近年は、わが国でも、ロボット、AI 等の先端技術を活用した、いわゆるスマート農業が推進されている。スマート農業は、作業効率向上による生産性・所得の向上や、傾斜地・高所での危険作業の回避などが期待でき、特に人手不足の現場では、農業生産活動の維持のための重要なツールとなり得る。しかしながら、中山間地域では平地に比べてもスマート農業への取組が進んでいるとは言えず、その理由としてスマート農業を実現するための農業機械・設備（以下「スマ

ート農機」という。）について、平場の大規模経営を想定した大型で高額のものが多いことや、その導入には中山間地域特有の課題があることが指摘されている。

こうした中で、スマート農機の中山間地域への展開を実現することは、我が国の食料・農業・農村政策においても、また農業生産の現場ニーズからも、現下の最重要課題の一つと考えられる。このため、令和５年度の生研支援センター研究開発構想では、「スマート農機の中山間地域への展開」をテーマに設定し、その実現に必要な研究開発その他の方策を検討する。

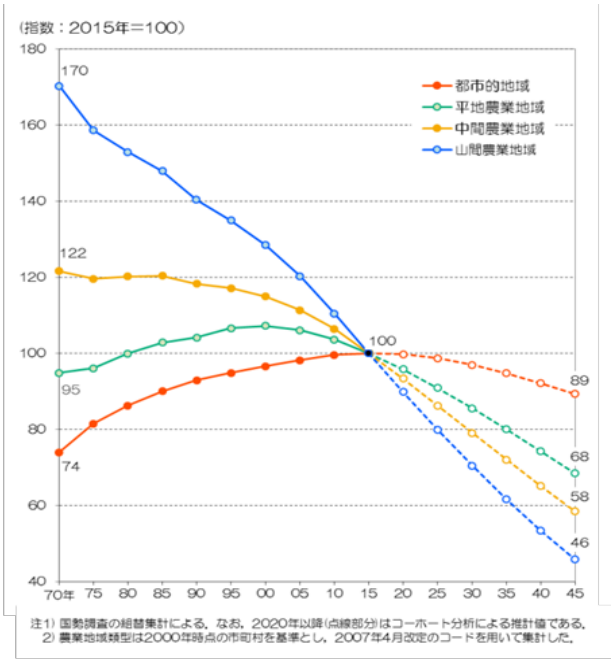
イ　中山間地域の現状と課題

本研究開発構想の舞台となる中山間地域については、その現状と課題として、以下のような点が指摘されている。

①　人口減少と高齢化が進む

中山間地域における人口減少の進行は深刻であり、平成 22（2010）年から令和 2（2020）年までの 10 年間の人口の推移をみても、都市的地域では横ばいだが、平地農業地域では 9%、中間農業地域では 14%、山間農業地域では 20%減少しており、中山間地域では他の地域に先行して人口減少が進んでいる[1)]。

更に、2015～45 年の 30 年間で山間農業地域は 46%、中間農業地域は 58%までに減少するとの予測もある。併せて、中山間地域では高齢化の進行も深刻であり、2045 年には 65 歳以上の人口比率が、山間農業地域で 54%、中間農業地域で 47%と、全国平均の 10 ポイント以上高くなると見込まれている[2)]。

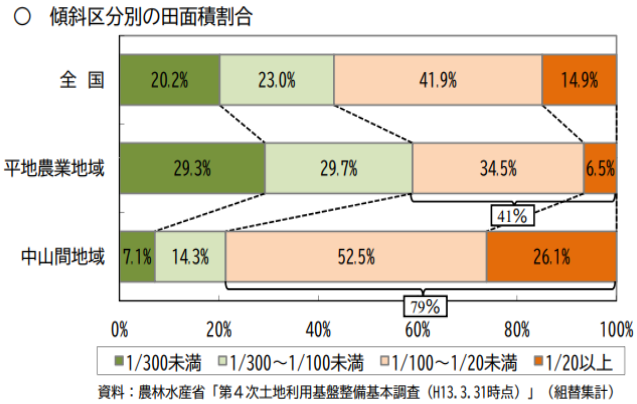


図Ⅰ-2-1　農業地域類型別の人口推移と将来予測[2)]

こうした中で、人手不足を外国人材で補うことも考えられ、実際、農業分野における外国人材の受け入れは、ここ数年のコロナ禍にもかかわらず増加傾向にあり、技能実習生は、令和 4 年度には前年比 1.8%増加し 3 万人超となった[3)]。しかしながら、円安の進行、他国の外国人受け入れ条件の向上などにより、外国人材が日本以外での就労を目指すケースも増えており、今後、日本での就業希望者が減少する可能性もある。

② 平地に比べ生産条件が厳しい

中山間地域の水田は、平地に比べ１圃場当たりの面積が小さく、また、1/100以上の傾斜地が79%を占め[4]ている。区画整理などの基盤整備が進められてはいるが、傾斜地では、一つの圃場の面積拡大に限度があることから、経営規模を拡大する場合は、圃場の枚数を増やさざるを得ない状況が多く、20ha の経営で水田が数百枚となるケースもある。このため、圃場間の移動が平地に比べ大幅に増加するとともに、畦畔や法面の面積が多くなり、その管理に要する時間が平たん地に比べ4.5倍[5]となるなど、農業者にとって大きな負担となっている。



図Ⅰ-2-2　地域別傾斜区分別　水田面積の割合[4]

また果樹についても、その多くが傾斜地を利用しており、特にミカンでは15度以上の急傾斜地が44%を占め[6]ている。果樹の管理は、枝の剪定や摘果・収穫など高い部分での作業に加え、重量のある収穫物の運搬などの作業もあり、これらの作業を急傾斜地で行うのは、大きな労働負担となっている。

このようなことから、中山間地域では経営規模の拡大が難しい状況であり、従って、単位面積当たりの農機具の経費負担も大きく、１農業経営体当たりの農業所得で見ると、中山間地域は全国平均の８割程度で推移している。

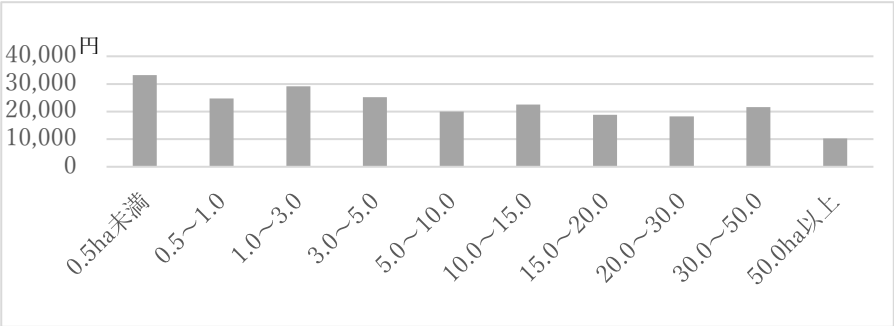
○ 果樹園の傾斜度別面積割合（平成14年）

（単位：%）

	５度未満	５～１５度	１５度以上
果樹全体	52	27	21
みかん	22	34	44
りんご	70	24	6
なし	77	18	6
かき	54	28	17
もも	77	19	4
ぶどう	71	22	8

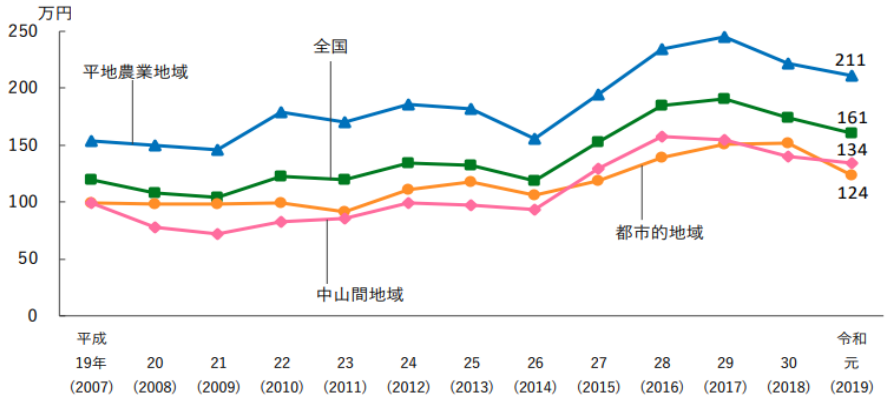
資料：農林水産省生産局果樹花き課調べ
注）なしは、西洋なしを含む。

図Ⅰ-2-3　果樹園の傾斜度別面積割合[6]



資料：農産物生産費統計（令和４年産米生産費（個別経営体））

図Ⅰ-2-4　作付け規模別 10a あたり農機具費



資料：農林水産省「農業経営統計調査 経営形態別経営統計(個別経営)」、「農業経営統計調査 令和元年農業経営体の経営収支(概数値)」(令和3(2021)年２月公表)を基に作成

注：1) 平成19(2007)年から平成30(2018)年までの数値は、「農業経営統計調査 経営形態別経営統計(個別経営)」の数値

2) 令和元(2019)年の数値は、「農業経営統計調査 令和元年農業経営体の経営収支(概数値)」の経営形態別経営統計(個人経営体)の数値を基に、1)と同一基準(旧基準)で試算した結果

図Ⅰ-2-5　農業地域類型別の１農業経営体当たり農業所得[7)]

③　GNSS 衛星測位システムの位置情報や携帯電話等の通信が届かない

スマート農業の推進にあたって、特にドローンの飛行や無人車両の走行には、GNSS 衛星測位システムによる位置情報は非常に重要である。しかしながら、中山間地域でのスマート農機の実証等において、山影や樹木等により上空が遮蔽される状況では GNSS 衛星からの信号を十分捉えることができず、位置情報にエラーが生じることが報告されている。

また、機器同士のデータの送受信や遠方からの作業指示のためには、機器同士を携帯電波（800MHz、2GHz）などで接続する必要がある。しかしながら、携帯電波の人口カバー率は 95%超であるのに対し、面積カバー率は 3～6 割程度[8)]であり、中山間地域、特に山間部の水田や果樹園、放牧地など人の住んでいない耕作地では、データ通信の環境整備は進んでいない。

その他の通信技術でも、山の起伏等が障害となる場合が多い。現在、自治体主導で基地局の設置などが取り組まれている地域もあるが、全国的には通信環境が十分に整っている状況ではない。

④　デジタル人材が不足している

スマート農業の実施にあたっては、栽培管理で得られたデータの管理や、スマート農機を実際に圃場で使用する際の設定、調子が悪い場合の調整などに対応する必要がある。少子高齢化が進行する中山間地域では、こうした対応ができる、いわゆるデジタル人材がいないケースが多く、外部からの人材確保や育成も課題となっている[9)]。

⑤　給油所も減少している

現在の農業機械の多くは、軽油やガソリン等の燃油をエネルギー源とした内燃機関によって稼働しているが、その燃油を販売している給油所（サービスステーション（SS））は全国的に減少[10]しており、いわゆる「SS 過疎地問題」[11]が懸念されている。また、燃油の取り扱いは、近年特に規制が厳しくなり、携行缶での販売を行わない給油所が増えている。このため、給油所の数が少ない中山間地域では、給油のために農機具を数十ｋｍ運搬しなくてはならない場合があるなど、農業機械の利用に伴う負担が大きくなっている。

全国の給油所の数

	平成29年度末	30年度末	令和元年度末	２年度末	３年度末
全国	30,747	30,070	29,637	29,005	28,475
対前年度比	-720	-677	-433	-632	-530
対前年度比増減率	-2.29%	-2.20%	-1.44%	-2.13%	-1.83%
	経済産業所資源エネルギー庁調べ				

図Ⅰ-2-6　給油所の数の推移[10]

【参考文献等】

1）農林水産書　令和３年度食料・農業・農村の動向　p.197
https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r3/pdf/zentaiban.pdf

2）農林水産政策研究所（令和元年８月）農村地域人口と農業集落の将来予測
https://www.maff.go.jp/primaff/seika/attach/pdf/190830_2.pdf

3）農林水産省　令和４年度食料・農業・農村の動向　p152
https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r4/pdf/zentaiban.pdf

4）農林水産省農村振興局（平成 21 年）中山間地域農業をめぐる情勢
https://www.maff.go.jp/j/nousin/tyusan/siharai_seido/s_project_team/01/pdf/ref_data2.pdf

5）鬼頭功・淡路和則・三浦聡（2010 年）傾斜地水田における畦畔・法面管理負担の評価　農業経営研究 48 巻 1 号

6）農林水産省（平成 16 年４月）果樹における生産構造・経営の実態及び検証
https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kazyu/santi-keiei/h16_1/pdf/data8.pdf

7）農林水産省（令和３年５月）令和２年度食料・農業・農村白書　p.237

8）総務省　令和４年度携帯電話及び全国 BWA に係る電波の利用状況調査の評価結果の概要
https://www.soumu.go.jp/main_content/000859612.pdf

9）農林水産省　中山間地域等のデジタル活用による課題解決に向けて（第５回デジタル田園都市国家構想実現会議資料 10）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/dai5/siryou10.pdf

10）経済産業省資源エネルギー庁　令和４年度末揮発油販売業者数及び給油所数を取りまとめました（令和５年７月 28 日）
https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnkakuhou/230728a.html

11）経済産業省資源エネルギー庁　SS 過疎地対策について
https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/sskasochi/

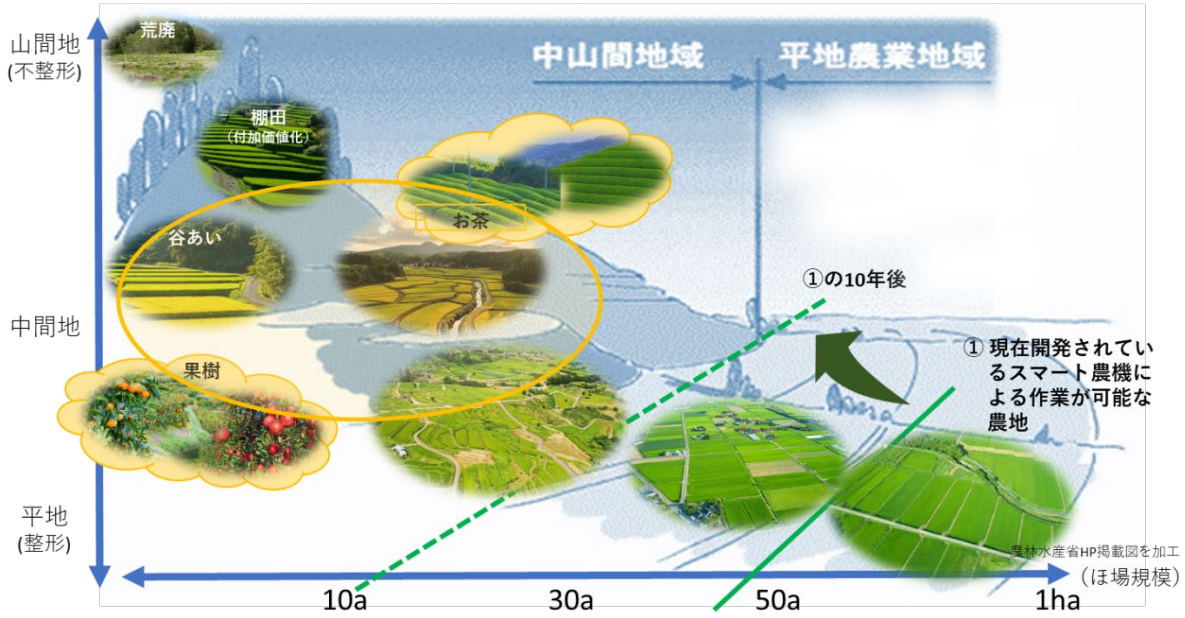
（３）本研究開発構想の検討対象

ア　対象地域・圃場

本研究開発構想では、中山間地域のうち、現在開発されているスマート農機では導入が難しく、このままでは農業従事者の不足に伴い農業生産活動の維持が困難となることが懸念されるような地域を、主な検討対象として想定する。

このため、中山間地域であっても、近い将来に農地集約や基盤整備が進むことで、現在開発されているスマート農機による作業が可能となることが見込まれるような農地は、検討の対象外となる。他方で、山間地域の棚田や極小農地のように、その農地に対応するスマート農機を開発・導入する技術的ハードルが極めて高い場合も、対象外となる。

従って、本研究開発構想では、下図の橙色で囲った範囲の地域・圃場への導入を念頭に、スマート農機の研究開発の方向性を検討する。



図Ⅰ-3-1　研究開発構想で対象とする中山間地域のイメージ

イ　対象品目・作業

本研究開発構想では、中山間地域で行われる典型的な農業の品目について、スマート農機の導入の必要性が高い作業を、主な検討対象として想定する。具体的には次のとおりである。

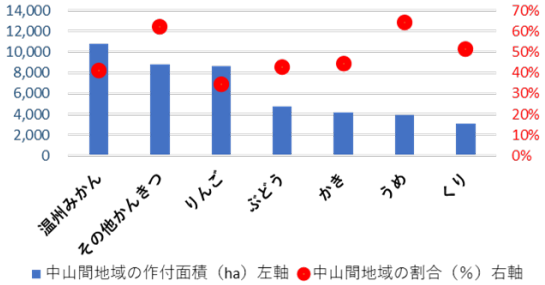
①　対象品目について

中山間地域での作付面積割合が多く、かつ、平地との生産条件が大きく異なる作物等を対象とする。まず、中山間地域でも多く栽培され、一般に平地との生産条件が異なる品目として、水稲や畑作（そば、こんにゃく等）、茶が挙げられる。また、果樹についても、中山間地域の基幹作物となっている場合が多

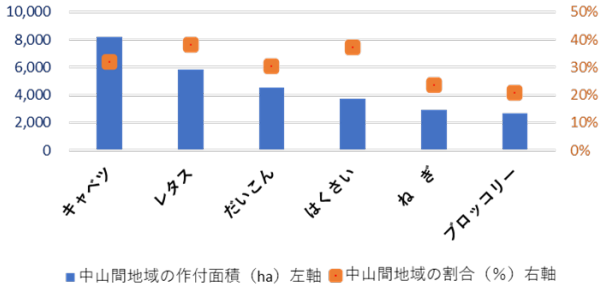
く、その中でも、図Ⅰ-3-2 のとおり、温州みかん等の柑橘が中山間地域での生産割合が多いことから、特に柑橘類を念頭に検討することとする。

このほか、放牧については、我が国では中山間地域で多く行われていることから、今回の検討対象とする。

なお、野菜については、図Ⅰ-3-3 のとおり、キャベツやレタス、だいこん、はくさいといった品目が、中山間地域での作付面積が多く中山間地域での生産割合も比較的高いことから、中山間地域の典型的品目と言えるものの、これらの品目は高冷地で比較的大規模に栽培されるなど、平地の栽培条件に比較的近い面がある。このため野菜は主な検討対象とはしないが、圃場が小さいなど平地と栽培条件が異なる場合については、畑作等についての検討結果が活用されることを想定する。



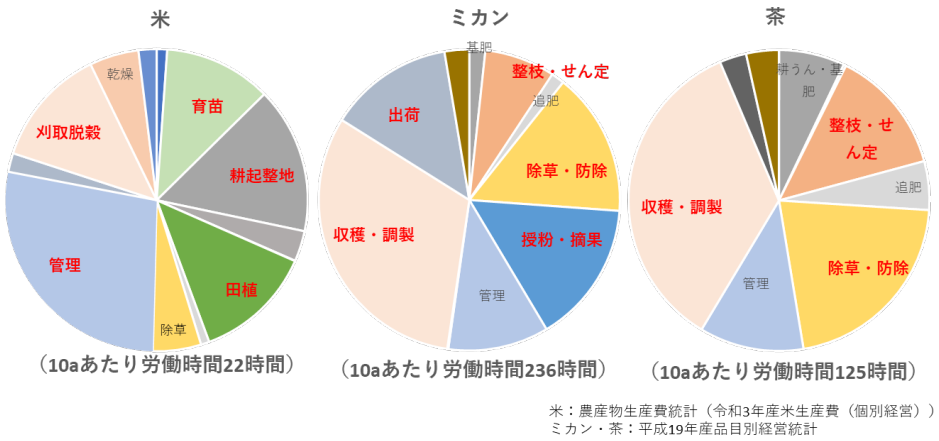
図Ⅰ-3-2　中山間地域の果樹生産（都府県）（2020 農業センサス）



図Ⅰ-3-3　中山間地域の野菜生産（都府県）（2020 農業センサス）

②　対象とする作業について

①の対象品目ごとに、労働時間が比較的長く、このため、農業者が減少した場合に機械に置き換える必要性の高い作業を、主な検討対象とする。具体的には、農業者が減少した場合には、労働時間の長い作業から順に対応が困難となると想定し、対象品目ごとに、全労働時間に占める割合が比較的大きい農作業の中から選定することとする。（必ずしも、労働時間の長い全ての作業を網羅するものではない。例えば、水稲の育苗・田植については、既存の技術（水田直播）で大幅な省力化が可能であることも考慮する。）



米：農産物生産費統計（令和3年産米生産費（個別経営））
ミカン・茶：平成19年産品目別経営統計

図Ⅰ-3-4　米・ミカン・茶の労働時間の作業別の割合（%）

ウ　対象技術

本研究開発構想では、人口減少等に伴う労働力不足に対応する観点から、スマート農業を構成する諸要素のうち、人間の労働力を物理的に代替するスマート農機（ハード面の技術）に焦点をあてることとする。スマート農業には、スマート農機というハード面に加え、プログラムや経営支援システムなどのソフト面が必要であるが、これらソフト面については、ハード面の研究開発に必要な範囲で検討対象とする。

また、栽培管理体系の変更や農業基盤整備の推進などは、スマート農機の利用可能な範囲を拡大し、中山間地域のスマート化を加速する方策として重要だが、本構想では、これらについて、スマート農機の研究開発（第Ⅱ章）とは別に、その研究開発及び導入、普及の加速化に向けた取組（第Ⅲ章）の中で、整理することとする。

（４）本研究開発構想のアプローチ

ア　導入・普及すべきスマート農機

上記（３）イにより対象とすることとした品目の作業ごとに、農業従事者の不足に対応するために導入・普及することが必要と考えられるスマート農機を列挙した上で、これらを主なスマート農機ごとに整理する。

これらのスマート農機は、中山間地域での利用も想定して研究開発中又は導入中のスマート農機だけでなく、現在は平地や大区画圃場向けに導入中又は研究開発中のスマート農機でもよいこととする。

イ　主なスマート農機についての研究開発の調査・検討

上記アで整理した各スマート農機に関し、以下の事項について調査・検討する。この場合、個別のスマート農機ごとに調査・検討することを基本とするが、通信環境や電動化といった共通の課題はまとめて整理する。

① スマート農機の開発の現状（市販や研究開発の状況に加え、農業経営への効果も検証する。）

② 主な技術要素とその関連技術の動向（必要に応じ一部のスマート農機及び技術について詳しく調査する。）

③ 中山間地域への導入にあたっての課題（農業関係者からの聞き取り、スマート農業実証プロジェクトの結果等を踏まえて整理する。）

④ 当面の研究開発の方向性（上記③の課題を解決するため、10 年後程度に現場に導入又は普及することを目指すスマート農機のあり方を提示し、具体的に考えられる個別の技術も例示する。）

⑤ 将来的に目指す姿（上記④によって③の課題に対応した上で、更なるスマート農業の推進によって将来的に実現を目指す農業の姿を示す。）

なお上記④において、「10 年後程度に現場に導入又は普及することを目指す」とするのは、既に一部に導入され今後の普及が課題となっている技術から、現場への導入に 10 年程度が見込まれる難度の高い技術まで、課題解決に資する技術が幅広く含まれるようにするためである。

ウ　スマート農機の研究開発及び導入・普及の加速化に向けた取組の検討

本開発構想では上記イの通り、当面の研究開発の方向として、10 年後程度に現場に導入又は普及することを目指すスマート農機のあり方を示すこととするが、他方で農業関係者からは、中山間地域の農業を維持するためには 10 年後の導入・普及では遅すぎるといった声もある。

このため本研究開発構想では、より早期の実現を目指し、その研究開発及び導入・普及を加速するために必要な取組についても検討する。

（５）本研究開発構想の策定方法

ア　文献・聞き取り調査

スマート農機に関係する国内外の論文や研究発表、情報誌などを調査するとともに、研究者、農機メーカー、生産者などから、スマート農機の開発の現状や中山間地域のスマート化に向けた課題、課題解決のための取組などについて聞き取り調査を行った。

イ　アドバイザリー委員会

有識者からなるアドバイザリー委員会を開催し、スマート農機の中山間地域への展開に必要な取組等について意見をいただくとともに、アの調査結果やこれらのご意見を踏まえて作成した研究開発構想の骨子や原案について、検討・助言をいただいた。

＜アドバイザリー委員会メンバー＞

氏名	所属・役職
有馬　誠一	愛媛大学　大学院農学研究科　教授
飯田　訓久	京都大学　大学院農学研究科　教授
伊藤　浩之	東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授
川口　尚	一般社団法人日本農業機械工業会　常務理事
岸本　淳平	公益社団法人日本農業法人協会　経営支援課　課長
寺田　文典	明治飼糧株式会社研究開発部　研究開発コンサルタント
松添　直隆	熊本県立大学　環境共生学部　教授〃
森田　吉公	一般社団法人日本農業情報システム協会　理事

（五十音順）

＜アドバイザリー委員会開催実績＞

① 第 1 回アドバイザリー委員会
令和 5 年 11 月 14 日全体会議（オンライン開催）
令和 5 年 11 月 15～27 日個別意見交換（オンライン開催）

② 第 2 回アドバイザリー委員会
令和 6 年 3 月 6 日（オンライン開催）

Ⅱ．スマート農機の現状と研究開発の方向性

（１）品目・作業別スマート農機の一覧

ア　前章（第Ⅰ章）で示した考え方に基づき、本研究開発構想の対象品目・作業を選定したうえで、当該品目・作業ごとに、農業従事者の不足に対応するために導入・普及することが必要と考えられるスマート農機を挙げると、以下の表Ⅱ-1 のとおり。

表Ⅱ-1　導入・普及すべきスマート農機（品目・作業別）

【水稲･畑作】

作　業	導入・普及すべきスマート農機
耕うん、代掻き	・小型ロボットトラクター
播　種	・高精度条播ドローン ・小型汎用無人車両
水管理（水田）	・水田センシングドローン ・完全自律型低コスト自動水位制御システム ・無線通信中継ドローンの活用 ・水路掃除ロボット
防除、施肥	・高精度ピンポイント農薬散布・施肥ドローン ・小型汎用無人車両
除　草	・雑草と作物を識別するピンポイント除草機 ・急傾斜畦畔に対応した電動小型自動草刈機 ・果樹園や草地用電動自動草刈機 ・除草機能（草刈り,レーザー等）ドローン
収　穫	・無人小型自動運転コンバイン（数十馬力） ・小型汎用無人車両
鳥獣害対策	・完全自動航行追い払いドローン ・完全自動航行追い払い小型汎用無人車両

【茶】

作　業	導入・普及すべきスマート農機
防除、整枝剪定、被覆、収穫	・汎用小型自動管理機

【果樹】

作　業	導入・普及すべきスマート農機
防除、施肥	・葉裏や木の奥へのピンポイント農薬散布ドローン ・小型汎用無人車両
除　草	・小型汎用無人車両
授　粉	・ピンポイント授粉ドローン
整枝剪定、摘果	・剪定・摘果（カット・レーザー等）人工アーム ・剪定・摘果（カット・レーザー等）ドローン
収　穫	・小型汎用無人車両（収穫アーム搭載） ・車両以外のアーム搭載機 ・柑橘類果実収穫アーム
運　搬	・小型汎用無人車両（圃場内の運搬） ・風や航行による揺れを防ぎ、重いものを運搬可能な自動航行ドローン
鳥獣害対策	・完全自動航行追い払いドローン ・完全自動航行追い払い小型汎用無人車両

【放牧】

作　業	導入・普及すべきスマート農機
放牧牛の管理	・小型管理タグ（体温で発電する技術の活用等） ・仮想フェンスシステム
鳥獣害対策	・完全自動航行追い払いドローン ・完全自動航行追い払い小型汎用無人車両

イ　これらをスマート農機ごとに整理すると、以下の９種類にまとめられることから、次項よりこれらの各機種について、現状・課題と研究開発の方向性を示す。

①　小型ロボットトラクター（水稲・畑作）
②　小型汎用無人車両（果樹・畑作）
③　農作業用ドローン（水稲・畑作・果樹・放牧）
④　除草ロボット（水稲・畑作・果樹）
⑤　水田の水管理システム
⑥　米・麦・大豆の収穫機
⑦　果実収穫機
⑧　茶の複合管理機
⑨　放牧管理システム

（２）主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

ア　小型ロボットトラクター（水稲・畑作）

水田・畑作では、耕うん、代かきなどの作業を行う農業機械としてトラクターが広く使われており、装着作業機の交換により畦塗り、施肥、防除といった管理作業にも対応できる。近年はトラクターを自動化・無人化したロボットトラクターが登場し、スマート農機の代表例として紹介されることが多い。

これらのロボットトラクターは平地の大区画圃場に導入されているが、狭小な農道や小区画・非定型圃場が多い中山間地域向けの小型ロボットトラクターを開発・導入することで、これら地域の手間と時間がかかる農作業の省力化・効率化、農作業安全上のリスクの軽減が期待できる。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

ロボットトラクターは、2017 年頃に 60 馬力（PS）の中型トラクターをベースに開発・モニター販売が始まったが、2024 年現在、それよりも高出力の 75～123PS の大型クラスのロボットトラクターが国内で上市されている。これらは、専ら耕うん・代かき作業や施肥作業等を対象としており、水田作や一部の畑作の比較的大規模な圃場において、実証事業等を通じて利用されている。

これらのロボットトラクターを利用した有人監視下での無人作業には、主に二つの方法がある。一つは、ロボットトラクターの運転席や圃場内または圃場周辺から、人が目視により常時監視する方法である。もう一つは、一人で無人機と有人機を操作する二台協調運転作業であり、人は慣行トラクターに乗車して運転するとともに、同一圃場内にある無人のロボットトラクターを併走又は追走しながら監視する方法である（図Ⅱ-2-1-1）。標準仕様と比べ、200～350 万円高い 1,400 万円～2,200 万円で販売されている。

この他、次代の実用化を目指して、圃場から遠く離れた場所での操作による圃場内作業や圃場間移動を可能とする、ロボットトラクターの遠隔監視運転や、一人の運転者による複数台のロボットトラクターの同時運転等の研究開発が行われている。

図Ⅱ-2-1-1　ロボットトラクターによる無人作業
左：近接監視作業[1)]　右：有人－無人協調作業[2)]

一方、国内向け国産トラクター（10.5～170PS）の出荷統計((一社)日本農業機械工業会,2022)をみると、全体の約５割を 30PS 未満の小型トラクターが占めているが、こうした中山間地域の小規模圃場にも適する小型クラスのロボットトラクターは、現在のところ開発されていない。

なお、運転者が乗車した状態でハンドル操作を不要とする自動走行については、馬力帯を問わずニーズが高まっており、中山間地域においても、後付けの自動操舵装置や直進アシスト機能を搭載した小型クラスのトラクターが普及しつつある。

＜農業経営における効果＞

農研機構が行ったスマート農業実証プロジェクトにおいて、ロボットトラクター導入による労働時間削減効果としては、耕うんと代かきで平均して 35%の削減効果が認められた。

表Ⅱ-2-1-1　ロボットトラクターの実証結果

	実証面積 ha	耕うん 削減率（%）	代掻き 削減率（%）	耕うん＋代かき 削減率（%）
実証地区A	66	37%		37%
実証地区B	17	-1%	43%	8%
実証地区C	15	55%	51%	52%
実証地区D1	12	46%	43%	44%
実証地区D2	12	31%	27%	28%
実証地区E１	16	33%		33%
実証地区E２	16	40%		40%
平　均		33%	36%	35%

農研機構スマート農業実証プロジェクト（中山間地域事例）実績より

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

a. 駆動システム

現在実用化されているロボットトラクターは、従来型のトラクターと同様、ディーゼル機関を搭載しているが、従来型の車両形態を基本として、電動化の研究開発も国内外で進められている。(各スマート農機に共通の課題として、（３）のイ「電動化」で詳述する。)

b. 自動走行技術

農業用車両の自動走行に必要な技術は、「ナビゲーション」「マップ」「ソフトウェア」の三つである[3)]。

ナビゲーションでは、主に GNSS（全地球航法衛星システム）によっているが、衛星測位情報が遮断又は測位誤差が大きい場合には、レーザースキャナ（LiDAR）等のセンシング情報（対象物を 2 次元または 3 次元測位した点群データを基に地図を作成）による自己位置推定の技術が用いることも可能。同じく重要な情報が「方位」であり、GNSS、地磁気、ジャイロのうちいずれかの方法で把握する。

マップとは地図情報のことであり、車両を走行させて、その軌跡から圃場区画

マップを作成する方法が一般的である。

「位置」「方位」「マップ」の各情報を元に、「ソフトウェア」による前進・後進・停止、速度の調整、方向転換など操舵の制御が加わり、走行が可能となる。また、圃場には障害物が存在することから、これらを回避する機能も必要となる。

上記の各機能の向上と各機能のすり合わせが、自動走行技術の研究開発の対象である。なお、自動走行技術全般については、公道での走行を目指して自動車業界において研究開発が進められており、同技術の農業分野への転用も期待される。

c. 安全走行技術

現行のロボットトラクターでは、人・障害物の検知用に、カメラ、レーザースキャナー(LiDAR)、ミリ波レーダー、超音波センサー等が搭載されている。

d. アタッチメント

ロボットトラクターに、作業機となるアタッチメントを接続することで、防除及び収穫を含めた様々な作業や、更に果樹・園芸、畜産といった他の品目に、その利用を拡大できる可能性がある。一方、特に畑作用においては、各種作業機と連動した自動制御機能の搭載が十分とは言えないため、現在、各種作業機の自動着脱技術の開発、作業機側との情報通信やトラクター油圧外部取出し機構等の自動化に向けた開発が進められている。(汎用化については、第Ⅲ章においても取り上げる。)

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

ロボットトラクターを中山間地域に導入する際には、以下のような課題が想定される。

① 中山間地域では、小区画、傾斜地の圃場が多く、またアクセス道は幅が狭く、搬入路も傾斜があるため、現在実用化されているロボットトラクターではサイズが過大であり、転倒の恐れもある。

② 農業従事者の減少が著しい中、ロボットトラクターを監視する人員を確保できない。

③ 中山間地域では GPS/GNSS 信号の受信が不安定。レーザースキャナ（LiDAR）等のセンシング情報で補正しようとしても、畦畔や作物が単一で特徴的な対象物がない場所では基準点を得ることができない。(各スマート農機に共通の課題として、（３）のア「通信環境」で検討する。)

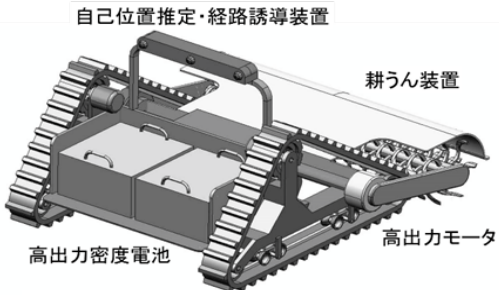
④ 中山間地域では給油所が少なく、今後さらに減少する傾向。(各スマート農機に共通の課題として、（３）のイ「電動化」で検討する。)

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○　既存の大型ロボットトラクターの技術を活用した、小型（10PS 級）のロボットトラクターの開発。併せて、その汎用化や省エネ農法（部分・簡易耕起等）への活用に適応したアタッチメントの開発。（ⅲで記載した課題①に対応）

○　非乗用型の小型電動専用作業機(図Ⅱ-2-1-2)と、その汎用化アタッチメントの開発。(例：内燃動力を電動化することで動力伝達機構を省き小型化し、既存のトラクターと異なる車両体系を開発。)（ⅲで記載した課題①に対応）



図Ⅱ-2-1-2　小型電動専用作業機のイメージ図

○　AI 自律型ロボットトラクターシステムの開発（AI がロボットトラクターを監視することで、人的なリソースの節約と安全性を両立)。（ⅲで記載した課題②に対応）

（ⅴ）将来的に目指す姿

電動の小型で安価な無人車両が、自動で圃場間を移動し、アタッチメント等により耕うんをはじめとした様々な作業を安全に実施する。

【参考文献等】

1）井関農機　【公式 PV】ISEKI　ロボットトラクタ　TJV755,985
https://www.youtube.com/watch?v=nzlinHgItwc

2）ヤンマー　ロボットトラクター
https://www.yanmar.com/jp/about/technology/vision2/robotics.html

3）農林水産省　スマート農業技術の基礎 車両ロボット
https://www.maff.go.jp/j/keiei/nougyou_jinzaiikusei_kakuho/attach/pdf/smart_kyoiku-6.pdf

イ　小型汎用無人車両（果樹・畑作）

果樹や畑作の収穫物は大きく重量があり、傷や打ち身ができると商品価値が低下するなど、運搬は人手のかかる負担の大きい作業となっている。特に、中山間地域では、圃場が傾斜していたり、軽トラが通行可能な農道から離れた場所にあるケースが多い。

このため、収穫場所まで走行し、収穫物を軽トラまで自動で運搬する小型汎用無人車両が開発・導入されれば、これら作業の大幅な負担軽減が可能となる。また、運搬のほか、肥料・薬剤散布や草刈りなどのその他の機能を付加することで、一層の省力化が期待される。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

小型汎用無人車両（AGV：Automated Guided Vehicle）は、主に果樹・野菜や畑作での運搬用として、リモコン・自走・追従式の機能を持つもの、タイヤやクロールで走行するものなど、様々なタイプが多くのメーカーから開発・販売されている[1,2]。

近年では、当初の運搬用車両から、複数の農作業をサポートする多目的のスマート農機へと進化が見られており、ロボティクス技術を活用したアタッチメント等と融合することで、運搬以外にも、圃場環境のセンシングや肥料・農薬散布、除草、脚立、自動収穫アームの台座など、多様な用途への利用の取組が見られる。

既に販売されている製品は、価格が高く、また適用可能な作業が限られ年間稼働率が低いことから、あまり普及はしていないが、今後、汎用性が高められ相対的にコストが低下する等により、普及に繋がることが期待される。

アグビー　中西金属工業㈱[3]

・作業者に追従して収穫物などの荷物を運び、積み降ろしをサポート
・積載 100 kg、牽引 300 kg
・収穫中は畑の状態や収穫量を計測、計測データを元に将来的な収量予測

農業用無人走行車両　ヤマハ発動機㈱[4]

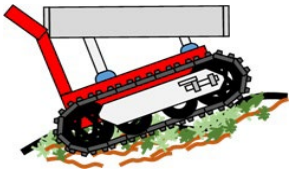
・自律走行
・人工アームを搭載し、ブドウ収穫と運搬の実証試験を実施中

図Ⅱ-2-2-1　小型無人走行車両の事例（１）

DONKEY ㈱アルプス技研[5)]

・追従・自律・遠隔走行
・100kg を運搬可能
・アタッチメントにより、多様な作業を支援
・作業データ等を取得
・荒地でも安定して走行

電動式・移動式作業台車兼運搬車 三晃精機㈱[6)]



・設定ルート上を自律走行
・200kg 積載で 20 度の傾斜地を登坂
・荷台を水平に制御
・障害物を回避した後に元のルートに回帰可能

メカロン ㈱Doog[7)]

・自動追従 、手動走行
・凹凸や斜面等に強い
・荷台は収穫カゴ 2 つ分 100～200kg を積載
・約 8～12 時間連続稼働

図Ⅱ-2-2-2　小型無人走行車両の事例（２）

＜農業経営における効果＞

農研機構が行ったスマート農業実証プロジェクトにおいて、汎用無人車両（運搬補助ロボット）導入による平均的な労働時間削減効果としては、剪定枝収集で 52%、除草剤散布で 49%、収穫作業補助に 29%の労働時間削減効果が認められた。

表Ⅱ-2-2-1　多機能ロボット（運搬補助ロボット）の実証結果

	実証面積 ha	剪定枝収集	除草剤散布	収穫作業補助
		削減率(%)	削減率(%)	削減率(%)
実証地区A	4.5	52%	50%	15%
実証地区B	0.6		45%	
実証地区C	3		51%	42%
平　均		52%	49%	29%

農研機構スマート農業実証プロジェクト（中山間地域事例）実績より

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

ａ．自動走行技術（小型ロボットトラクターのⅱのｂを参照）

ｂ．自動追従技術

運搬等のための農業用車両が、自動的に作業者を追従する機能を有することで、作業者はその運転や操作の手間から解放され、農作業に集中することができる。自動追従技術は、カメラ等のセンサーにより追従対象を認識する仕組みと、追従対象との距離を一定に保つプログラミングなどで構成される。

自動追従では、作業者の速度や動きに合わせて移動する必要があるが、複数の作業者がいると、追従対象の判断が難しくなることがある。また、追従対象の人や車両が何かに隠れてしまうと、追従が不可能となる。このため、これらの問題に対応する技術改善が望まれる。

c. 悪路や傾斜地への対応

一般に車両においては、車重の支持、地面からの衝撃の緩衝、駆動力・制御力の伝動、進路の維持・転換を行う仕組みとして、「ホイール式」が採用されるのが通常であるが、悪路や傾斜地での走行に向いていないのが弱点である。

これに対して「クローラ式」は、足回りの幅を大きくとれることから安定性が高く、また接地面積が広いことから接地圧が小いため、ホイール式に比べ、軟弱な地盤でも使用可能である。ただしクローラ式は、走行速度が遅く、しかも公道を走行できないため、圃場への移動にはトレーラなどに搭載して輸送する必要がある。

車両に採用され得るその他の方式として、「脚車輪式」（４本ないし６本の脚を持つ構造）や「ホイールローダー式」（四輪駆動方式、前輪と後輪の間が折れ曲がる中折式構造）が開発されている。

d. 荷台水平制御技術[8)]

農業用車両の荷台水平制御技術によって、傾斜地において車両の荷台に人が乗って剪定作業を行うことや、また荷台に収穫物などの荷物を積載して傾斜地や悪路を走行することが可能となる。現在、荷台のピッチ・ロール角度から水平制御を行う技術などが開発されている。

ｅ．安全走行技術（小型ロボットトラクターのⅱのｃを参照）

ｆ．アタッチメント

小型汎用無人車両に、作業内容に応じたアタッチメントを装着することにより、複数の用途への使用が可能となり、これによって汎用性が高まれば、当該車両の年間稼働率の向上にもつながる。現在、除草、肥料・農薬の散布、剪定枝収集、脚立作業[6)]、収穫等の作業用のアタッチメントが開発され、一部は販売され

ている。

ただし、装着できるアタッチメントの種類が限られていること、一般にアタッチメントの機能は専用機の能力に劣ること、アタッチメントを取り付けられるのは同じ会社の小型汎用無人車両に限られることなどの問題がある。

このため、新たな作業に対応できるアタッチメントの開発や、専用機並みへの能力の向上が重要となる。さらに、他社製の小型汎用無人車両にもアタッチメントを装着することを可能にするためには、取り付け部位の標準化が必要となる。

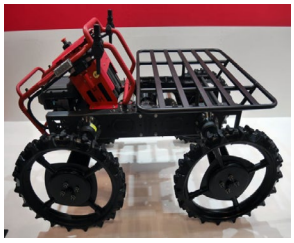
R150 XAG JAPAN㈱[9)]

アタッチメントを取り換えることにより、四種類の用途が可能。

散布モード

薬液噴霧モード

除草モード



運搬用荷台と大きなサイズのタイヤ

図Ⅱ-2-2-3　アタッチメントの例

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

小型汎用無人車両を中山間地域に導入する際には、以下のような課題が想定される。

① 傾斜地が多く、地面が凸凹しているため、転倒し易い。また、中山間地域では圃場が点在することがあり、圃場間のスムーズな移動が課題。

② 自動走行機能や自動追従機能を付けると高価格。

③ 運搬以外の用途への利用拡大（汎用化）には、各用途に応じたアタッチメントの開発が必要だが、そのための取組は一部のメーカーや作業にとどまっており、また、その作業能力は専門の機器に比べて劣る。

④ 果樹棚の下などは、GPS 機能を使用する場合に電波が届かない。（スマート農機に共通の課題として（３）のア「通信環境」で検討する。）

⑤ 中山間地では給油所が少なく、今後さらに減る傾向。（各スマート農機に共通の課題として（３）のイ「電動化」で検討する。）

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた中山間地域への導入にあたっての課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○　傾斜地や凸凹など条件の悪い圃場でも、自動で安定した走行が可能な車両の開発。（例：不安定な路盤でも、荷台が水平に保たれる技術。）（ⅲで記載した課題①に対応）

○　現行の自動走行機能や自動追従機能よりも、簡易で低コストな走行管理技術の開発。（例：声などにより操作可能な技術。）（ⅲで記載した課題②に対応）

○　様々な作業（例：物品運搬、除草、肥料・農薬の散布、剪定枝収集、脚立作業、収穫）に対応し、専門機器に見劣りしない性能を持ち、かつ、台車を選ばず設置できるアタッチメントの開発。（ⅲで記載した課題③に対応）

（ⅴ）将来的に目指す姿

電動駆動の小型で安価な無人車両が、自動で圃場間を移動し、アタッチメント等により運搬や除草、収穫など様々な作業を実施する。

【参考文献等】

１）Robotics and Automation in Agricultute: Present and Future Applications. Mohd Saiful Azimi Mahmud, Mohamad Shukri Zainal Abidin, Abioye Abiodun Emmanuel and Hameedah Sahib Hasan School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia. Applications of Modelling and Simulation. Vol.4, p.130-140, 2020

２）農業用搬送台車の自律移動における課題と開発事例.有山達也、伊藤和寿. システム/制御/情報 Vol.65, No.12, pp.489-494, 2021

３）アグビー（中西金属工業)。アグビー公式サイト https://agbee.co.jp/

４）ヤマハ発動機、農業用無人走行車両の走行試験開始へ. Response（2019 年 7 月 23 日） https://s.response.jp/article/2019/07/23/324751.html

５）DONKEY（アルプス技研）ホームページ https://www.donkey.co.jp/

６）イノベーション創出強化研究推進事業（開発研究ステージ）/研究紹介２０２１ https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/innovation/results/files/2021_results_kaihatsu-27.pdf

７）農作業の重労働を楽にする「メカロン」。人を追いかけ作物運搬. Impress Watch. 2021 年 11 月 9 日 https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1364797.html

８）傾斜果樹園における電動作業台車兼運搬車の無人運搬システム. 柳澤佑太他. 産業応用工学会論文雑誌, Vol.9, No.2, pp.107-117, Sept. 2021

９）事例７　R150（XAG JAPAN） https://drone-journal.impress.co.jp/docs/event/1183927.html

ウ　農作業用ドローン（水稲・畑作・果樹・放牧）

小型無人航空機（ドローン）は、2000 年以降、技術革新により小型化が進んだことで、農林水産分野のみならず、土木・建築分野、物流分野、エンターテイメント分野など、応用分野を急速に拡大している[1-2]。スマート農機としてのドローンは、急傾斜地や高所などの危険区域が多く、圃場が分散しているという中山間地域特有の不利な条件の影響を大きく受けずに作業ができる特性があり、また、無人ヘリコプターに比べ、小型・軽量で扱いやすいことから、中山間地域における利活用に親和性がある。作業機等となるアタッチメントを装着することで、様々な作業等に対応できる可能性も大きい。

（ｉ）ドローンの農業利用の現状

ドローンの農業分野への活用拡大に伴い、多くのメーカーが農業用ドローンを市販している[3]。機種としては、農薬用のタンクや荷物など重量物を積んで作業する運搬用ドローンと、農作物の生育状況などを把握するための特殊なカメラを搭載したセンシング用ドローンに大別される。このうち前者は、数十万円から３百万円程度であり、作業に必要な数のバッテリー及び充電器その他の付属品を含めると、初期費用は比較的高額である。これに対し後者は、数万円～百万円程度である。

現状では主に運搬用ドローンによる農薬散布が先行しているが、肥料の散布、圃場センシング、播種、受粉、農産物等の運搬、鳥獣被害対策など、多様な用途に活用が広がっている[4-6]。以下にそれぞれの用途ごとの現状を示す。

ａ.農薬・肥料散布

ドローンによる農薬や肥料の散布は、個人の使用に加えて集落営農法人による現場での取組が進むほか、サービス事業体による防除受託でも広がりを見せている。また、圃場センシングのデータと組み合わせて、農薬や肥料の「ピンポイント散布」や、果樹の防除方法の実証試験が行われている。

図Ⅱ-2-3-1　農薬散布[7]

ｂ.圃場センシング

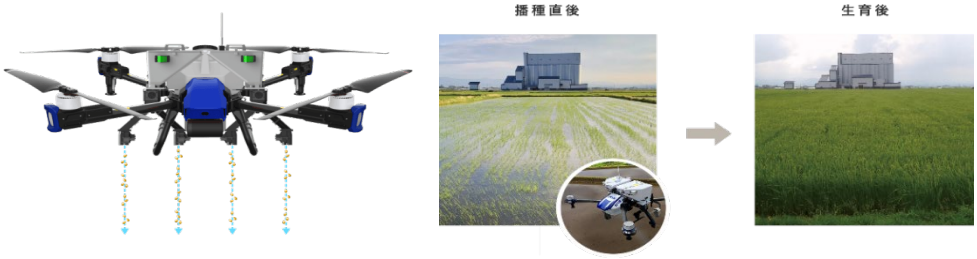
「マルチスペクトルカメラ」等の特殊カメラを装着したドローンにより、農作物の生育状況や土壌状態の分析、病虫害や雑草の発生状況の確認などが行われている。撮影高度を 100m 以上に設定することにより、100ha の広域面積を 2 時間程度で空撮することも可能である。また、農地の高低差や形状などの３次元基盤

情報の把握にも活用されるなど、様々なセンシングサービスが民間企業により実施されている。

図Ⅱ-2-3-2　生育診断が可能な汎用型ドローンを利用した広域リモートセンシング[8)]

c．播種

ドローンを活用した水稲の直播（散播・条播）の実証試験が、多くの地域で行われ、播種条件等の検討が進められている。また、民間企業による「ドローン打ち込み条播サービス」も開始されている。

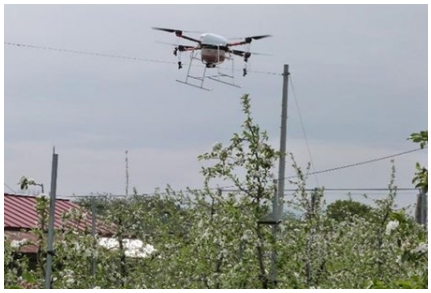


図Ⅱ-2-3-3　ドローンによる播種[9)]

d．受粉

リンゴやナシで、花粉を混ぜた溶液散布による受粉作業の検証が、ドローンを活用して行われている。また、10cm 角の小型ドローンがトマト栽培の温室ハウス内を巡回し、受粉可能な形の花を探索し、受粉作業を行う研究も行われている。

図Ⅱ-2-3-4　小型ドローンによるトマトの受粉[10, 11)]
本研究は生研支援センターの「イノベーション創出強化研究推進事業」で実施された。（日本工業大学プレスリリース）



図Ⅱ-2-3-5　ドローンによる果樹の受粉[12)]

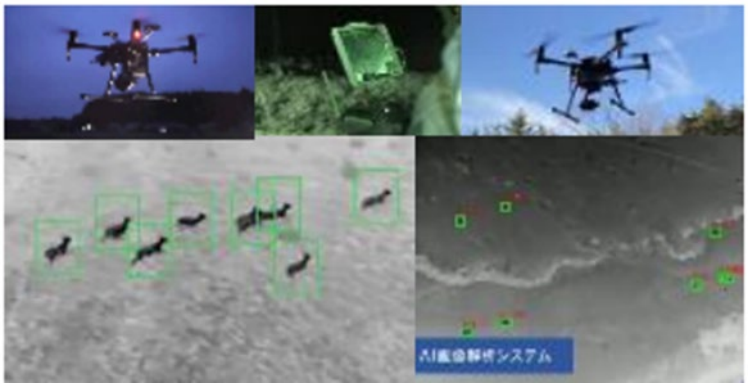
e．農産物等の運搬

ドローンによる農産物の自動運搬の実証実験が、各地で実施されている。

図Ⅱ-2-3-6　農産物の運搬[13)]

f．鳥獣害対策

一部の自治体において、有害鳥獣の生息、行動把握、追い払い、誘因等に、ドローンが活用されている。



図Ⅱ-2-3-7　ドローンによる野生鳥獣の生息域等調査[14)]
（株）スカイシーカー（農林水産省資料より）

＜農業経営における効果＞

農研機構が行ったスマート農業実証プロジェクトにおいて、ドローンによる農薬散布では、平均で 57％の労働時間削減が認められた。

表Ⅱ-2-3-1　ドローン（農薬散布）の実証結果

	実証面積(ha)	削減率(%)
実証地区A	8	72%
実証地区B	15	42%
実証地区C	24	21%
実証地区D	12	73%
実証地区E	16	36%
実証地区F	4	83%
実証地区G	27	63%
実証地区H	95	68%
平均		57%

農研機構スマート農業実証プロジェクト（中山間地域事例）実績より

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

ａ．ドローン本体

農業以外の用途を含め、ドローン本体の主な技術要素には、①動力、安全構造、積載重量等の構造技術、②航路・位置制御、飛行・姿勢制御、自動操縦、異常時対応等の飛行制御技術、③無線通信、データ伝送等の通信技術のほか、ドローンの運用の省力化・無人化を目指した周辺技術であるドローンポート（ドローンの格納庫。離着陸制御や充電、監視、気象の観測・予測等を行う。）の技術があり、様々なメーカー等で技術開発が進められている。

それらのうち、中山間地域における農業への活用に特に関連する技術は以下の通りである。

・自律飛行　：非 GNSS 下での飛行（LoRa/SLAM 等の位置情報把握システム、衝突回避システム）、斜面に対応した高度維持
・長時間飛行：バッテリー高容量、軽量化、ワイヤレス電力供給システム
・搭載機能　：高（適正）ペイロード、アタッチメントの容易な脱着機能
・耐候性能　：悪天候（雨、風、雷等）下での安定飛行

ｂ．アタッチメント

ドローン本体にアタッチメントとして作業機を接続し、連動させることで、各種の農作業を実施することが可能となる。アタッチメントによる作業適用範囲が多いほど、ドローンの農業利用の可能性が拡大する。

また、作業機だけでなく、圃場に設置された種々のセンサーデバイスのオンオフ制御や、デバイスからのデータ取得などを行うアタッチメントの開発も期待される。例えば、ドローンが一定のルートを決まった時間に自動飛行することで、通信環境が良くない地域に設置したデバイスの効率的な操作（例：必要な時にだけデバイスを ON にすることで省電力化）が可能となる。

なお、アタッチメントの開発においては、ダウンウォッシュ等のドローンの特性を踏まえる必要がある。

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

ドローンを中山間地域に導入する際には、以下のような課題がある。

① 農薬や肥料の散布には、圃場の近くを低く飛行する必要があるが、樹木が多く木の枝が伸びるなど、予測不可能な飛行の障害物がある。また、飛行地域の地形に高低差がある。

② 現在はドローンと特定のアタッチメントがセットになっており、多様な品目・作業に対応できない。

③ 山や樹木の陰になるなど、GNSS や携帯電話の受信が困難な場所が多い。（各スマート農機に共通の課題として（３）のア「通信環境」で検討する。）

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた中山間地域への導入にあたっての課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○　位置情報で捕捉不能な障害物があっても、安定飛行が可能なドローンの開発。（例：LiDAR ドローンの農業分野への利用（図Ⅱ-2-3-8　参照）。圃場からの高度を一定に保つ技術の開発。）（ⅲで記載した課題①に対応）

図Ⅱ-2-3-8　LiDAR ドローン（Terra LiDar X モデル）[15)]

レーザースキャナーと IMU（慣性計測装置）を搭載（右図）
・高低差が激しい山間部や急傾斜地、災害地などの多様な現場
・出来形計測にも対応しているため精度・密度の要求される現場での活用が可能

○　多種多様なアタッチメント(作業機)の開発。（ⅲで記載した課題②に対応）

（例：水田の水位・水温を測定することが可能なセンシング機器）

（例：正条で直播が可能なアタッチメント）

（例：対象とする剪定枝や摘果果を的確に判別し、ハサミや鋸、レーザー等で切断するアタッチメント）

（例：受粉の必要な花に、ピンポイントで花粉を吹き付ける等の手段により受粉を行うアタッチメント）

（例：病気発生部位や害虫にピンポイントで農薬を吹き付ける水鉄砲のようなアタッチメント）

（例：確実な鳥獣の撃退方法（光、音、レーザー等）を持つアタッチメント（図Ⅱ-2-3-9　参照））

（例：草刈り用の刃を持ったアタッチメント（図Ⅱ-2-3-10　参照））

（例：風が吹いても荷物が揺れない仕組みを持つ運搬アタッチメント）

（例：放牧牛の位置監視や生体情報の取得に加え、装置の繁茂状況や雑草を検知する多様な機能を有するアタッチメント）

図Ⅱ-2-3-9　鳥獣撃退装置（HTRLASER）[16)]

複数メーカー（テクノロジック、POLARIS、HTRLASER 等）商品あり。数千円～数万円

図Ⅱ-2-3-10　草刈り機を搭載したドローンの実証実験（林野庁補助事業）[17)]

機体から伸びるアームの先で草を刈る

（ｖ）将来的に目指す姿

複数のアタッチメントにより多くの作業が可能な汎用型ドローンが、自動で目的地まで移動し、各種作業を効率的に実施する。

【参考文献等】

1) ドローン技術の現状と課題およびビジネス最前線．野波健蔵，情報管理，2017，vol.59，755-763. http://10.1241/johokanri.59.755
2) 2023 年度、日本国内におけるドローンビジネスの現状と今後の展望．春原久徳，2023, https://www.jftc.go.jp/cprc/events/bbl/index_files/278th-bbl.pdf
3) 農業用ドローンカタログ 機体編．農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協議会，2022.7, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/drone-15.pdf
4) 農業用ドローンの普及拡大に向けて．農林水産省生産局，2019.8, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/drone-165.pdf
5) 令和 3 年度 農業分野におけるドローンの活用状況．農林水産省農産局，2021.8, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/drone-176.pdf
6) 令和 4 年度 農業分野におけるドローンの活用状況．農林水産省農産局，2022.10, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/drone-26.pdf
7) （株）石川エナジーリサーチ．Agri Flyer （最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日），https://agri-flyer.ier-prod.jp/feature
8) ほ場単位の生育診断が可能な汎用型ドローンを利用した広域リモートセンシング．農林水産省（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）．https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/forum/R2smaforum/rice/seika02.html
9) ドローンによる籾の直播．農業×IT solutions（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）. https://www.optim.co.jp/agriculture/rd/drone-seeding-and-AI-analysis
10) ドローンがトマト温室内をハチのように飛び回り、花を探し、受粉を行う！～ハチ不足、人手不足の問題を解決し、着果率を改善するスマート農業の研究．日本工業大学（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）. https://www.u-presscenter.jp/article/post-51018.html
11) ハチの群飛行を模した超小型ドローンによる受粉技術の開発．平栗健史ら，2022，計測と制御，61 巻 1 号，41-46
12) 昆虫や人の代わりにリンゴの受粉をドローンが担う、新たな活用 -ドローン受粉で結実率アップ、収量安定につなげる-．ドローンジャーナル，新井千佳子，2022/6/6（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）. https://drone-journal.impress.co.jp/docs/special/1184282.html
13) 農業用ドローンのメリット｜農業用ドローンの主な活用事例、農作物の運搬．マイナビ農業（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）．https://agri.mynavi.jp/2022_09_29_203417/
14) 鳥獣被害対策におけるドローンの活用について（農林水産省資料）．農林水産省，2022, https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_kensyu/attach/pdf/R4/tukubakensyu-5.pdf
15) Terra LiDar．TerraDrone（株）（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）．https://terra-drone.net/service/survey/tl/
16) 超高出力レーザーポインター303 カラス撃退緑色レーザー5000mw．HTRLASER（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）．https://www.htrlaser.com/product-p790526.html
17) 九電、ドローンで草刈り　林業の負担軽減へ実験．産経新聞 2021/11/12（最終閲覧日：2024 年 1 月 11 日）．https://www.sankei.com/article/20211112-23JQY2433FMDBMSVKKN3WWXIMA/

エ　除草ロボット（水稲・畑作・果樹）

水田・畑作や果樹栽培において、除草や防除は労働時間の多くを占めている。特に、中山間地域の農地は段差が多く、水田・畑地の畦畔や法面の雑草管理（除草剤の利用は根まで枯らし法面崩壊の原因となる）も人手がかかり、耕作放棄地増加の要因の一つになっている。また、除草作業においては労働災害が多く、農業機械事故の 20%近くを占めており [1-2]、労災予防の観点からも除草作業の自動化が望まれる。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

ａ. 遠隔操作機種（リモコン草刈機）

リモコン草刈機は、多くのメーカーから多くの機種が市販されている [3]。畦畔の法面などの除草には、40～50 度程度の傾斜まで対応可能なエンジン式の草刈機が、数十万円から 200 万円程度の価格で販売されている（図Ⅱ-2-4-1）。リモコン草刈機の多くはエンジン式であるが、電動の草刈機も開発されている（図Ⅱ-2-4-2）。

リモコン式草刈機　AKJ600
三陽機器（株）
・フリーハンマー刃
・４輪駆動
・40 度の傾斜地での作業可
・200m まで遠隔操作可

ラジコン草刈機　ARC-500
（株）クボタ
・後継機 ARC-501 は ARC-500 と比べ 1.5 倍の高馬力
・４輪駆動
・40 度の傾斜地での作業可

ラジコン草刈機　RJ700『神刈』（株）アテックス
・クローラ型
・走行はモーター、草刈りはエンジンのハイブリッド
・45 度の傾斜地での作業可

図Ⅱ-2-4-1　リモコン草刈機 [4]　足回りは車輪やクローラなど様々なタイプが開発

UNiMOWERS　QE-M500
（株）ユニック

低重心設計とクローラ型
・45 度（横）、30 度（前後）

軽量（88 kg）コンパクト
・軽トラ、バンなどで運搬可

図Ⅱ-2-4-2　リモコン草刈機 [5]　傾斜に強いラジコン式オール電動草刈機（UNiMOERS）

また、電動のリモコン作業機に草刈りアタッチメントを装着するタイプの草刈機もある（図Ⅱ-2-4-3）。この機種は、アタッチメントを変えることで、傾斜地

の草刈りや太陽光パネルの下草刈り、畦畔上面や法面の草刈りなど、様々な草刈りができる他、荷物の牽引や運搬にも対応できる汎用性の高いものとなっている。農林水産省による「農業新技術活用事例」の令和４年度調査[7]によると、リモコン草刈機の導入により省力化、軽労化、安全確保、労働環境改善、ストレス軽減などの効果があった一方、クローラ部分の刈り残し、機種により狭い畦畔への対応が困難、傾斜が強い斜面や雨天時に機械が滑り作業性が低下するなどの意見があった。

図Ⅱ-2-4-3　電動リモコン作業機[6]　アタッチメントにより様々な作業が可能

b. 自動運転機種（除草ロボット）

自動運転草刈機は除草ロボットともいわれ、数種類が開発・販売されているが（図Ⅱ-2-4-4）、その作業場所は果樹園や施設栽培など、平らで凹凸の少ない所での利用に限られている。機体自体の価格帯は 40 万円から 80 万円程度であるが、充電器や境界ワイヤー（エリアワイヤー）、その他の制御系のオプションに費用がかかる。

前述の農林水産省による調査[7]によると、果樹園での除草作業に自動運転草刈機を導入したことにより、リモコン草刈機と

AUTOMOWER™ 450X
ハスクバーナ・ゼノア（株）
・果樹園など平らで凹凸のない場所で利用
・移動エリアをワイヤーで囲む必要がある

ロボットソーラー除草機 Tertill
フランクリンロボティクス
・ソーラーパワーで自律移動
・2cm 程度の高さを認識し方向転換

図Ⅱ-2-4-4　自動無人式草刈機[8-10]

同様の効果があった一方、圃場の形状、傾斜の程度、園内敷設物等が原因で稼働停止が起こる、ソーラーパネル式充電タイプでは曇天時などに十分充電ができないなどの意見があった。これらから、現状の自動運転草刈機は、圃場の凹凸や傾斜への対応、充電機能などで改良の余地が残されていると考えられる。

他方で、昼夜を問わず作業が可能であり、副次的な効果として夜行性動物被害が隣接地を含めてなくなった、病害虫対策にもなったなどの意見もみられたことから、その効果検証や鳥獣害対策に向けた応用研究も期待される。

c.圃場（水稲・畑作）向け機種

圃場内の除草向けには、水田では、アイガモロボットをはじめ、水田内を自由に動きまわり、水を攪拌・にごらすことで雑草の生育を抑える機器が開発され、比較的低価格で販売されている（図Ⅱ-2-4-5）。

また、畑作においては、畑作物と雑草を判別し雑草のみを除草（ピンポイント除草、精密除草）する自律型除草ロボットが、実装に向け検証されているが、日本ではそのような機種はまだ少ない。

・球体ロボット [11-12)]
・5kg 以下、直径 25cm 程度と軽量で、水田周囲にビーコンを設置することで水田内を均一に走行

・「ミズニゴール」(株)ハタケホットケ [13-14)]
・重さ 7kg、1 反当たり 20 分程度で完了
・レンタル提供（10 万円/1 シーズン）により実証中

図Ⅱ-2-4-5　攪拌ロボット　水を攪拌して濁らせることで雑草の生育を抑制

＜農業経営における効果＞

農研機構が行ったスマート農業実証プロジェクトにおいて、リモコン式除草機では水田畦畔での利用、果樹園での利用とも、平均で 7 割程度の労働時間削減効果が認められた。

表Ⅱ-2-4-1　リモコン式除草機の実証結果

水田畦畔	実証面積(ha)	削減率(%)
実証地区A	0.5	43%
実証地区B	15	74%
実証地区C	2	81%
実証地区D	12	36%
実証地区E	5	59%
平　均		67%

果樹園	実証面積(ha)	削減率(%)
実証地区A	0.3	89%
実証地区B	0.2	47%
実証地区C	2	92%
実証地区D	1	27%
実証地区E	0.1	65%
平　均		68%

農研機構スマート農業実証プロジェクト（中山間地域事例）実績より

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

除草ロボットの基本構造は、走行車体に草刈りや薬剤散布の機能を付加したものであり、以下、除草ロボットに特有の技術要素を中心に、その概要と開発が進められている技術内容を示す。

a. 自動走行技術

自動走行技術の多くは、小型ロボットトラクターのⅱのｂと同様の技術要素である。これらに対し、走行範囲を決定する技術は、自動無人式除草機に特有の技術である。エリアワイヤーを用いる方法のほか、エリアワイヤー等の設置を必要としないタイプの機器も開発されているが、その除草能力は限定的である。

b. 傾斜地への対応技術

傾斜地での安定走行性能については、小型汎用無人車両のⅱのｃで記載した足回りの技術要素（例：クローラ式）に加え、傾斜に対応するための傾斜角度の把握、傾斜に対応した出力配分、自己角度や地形を把握するための 3 次元マップ作製などがある。

c. 除草方法

除草の方法としては、刈刃による草刈りのほか、農薬の散布が一般的であり、そのほかには、レーザーや電流の照射や、ドローンを用いて除草するといった、新たな方法による除草機が考案されているが、実用化には至っていない。

雑草の成長を抑制する新たな除草手法を開発 [15)]
（レーザーセンターハノーバー）

ドイツの研究機関レーザーセンターハノーバーでは、レーザー照射によって雑草の成長を抑制する新たな除草手法を開発。画像により農作物と雑草を判別し、雑草のみにレーザーを照射する。自律走行ロボットや自動運転農機、ドローンなど、様々なプラットフォームに実装可能。

青色ダイオードレーザーモジュールを搭載したレーザーで雑草を刈ることが可能な芝刈りロボット

https://gigazine.net/news/20220905-cutting-grass-with-lasers/

https://www.youtube.com/watch?v=WTPHsouuGq4

d. ピンポイント除草技術

ピンポイント除草技術は、雑草を検知・識別する技術と、識別した雑草のみを農薬や物理的手法などにより除草する技術を組み合わせたものであり、以下のような技術要素がある。なお、農薬を使用する場合は、必要な箇所に必要な量の薬剤を散布するので、環境負荷と資材コストの低減も期待できる[16)]。

・雑草判別　　：作物と雑草を判別する AI 画像認識技術
・除草方法　　：識別情報を踏まえて、雑草に対し、農薬やレーザー・電流等をピンポイントで照射する技術
・自動走行・除草：自走プログラム、通信手段の確保、エリアマップ

精密除草ロボット[17)]
（スモール・ロボット・カンパニー）
雑草と農作物を区別して雑草だけを取り除くロボット「ディック」に、ルート・ウェーブ社の除草技術を実装。自動で検知した雑草に電流をあて、熱によって根まで枯死させて除草。

有機農場向け除草ロボット[18)]
（オッド・ボッド社）
「ウィード・ワッカー」。自律走行しながら、農作物と雑草を判別。中心部のツールを下方に伸ばし、雑草を自動で引き抜く。

自律走行型除草ロボット[19)]
（エコロボティクス社）
4 本脚の自律走行型除草ロボット「アヴォ」。0.6ha/1h のペースで自走し、85％以上の精度で雑草を検知し、中心部の噴霧器によりピンポイントで除草剤を散布。

図Ⅱ-2-4-6　ピンポイント除草機

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

除草ロボットを中山間地域に導入する際には、以下のような課題が想定される。

① 中山間地域には、幅の狭い畦畔や急傾斜の法面、水路や圃場の境界近くなど、現行の草刈機では走行や除草ができない場所が多い。
② 小区画・不整形の圃場が多く、また中山間地域の果樹園地は凸凹や枝など障害物も多く、安定走行が困難。
③ 少量多品目栽培の生産者が多く、一人の農業者が様々な除草に対応する必要がある。
④ 果樹下は GNSS の受信が困難。（各スマート農機に共通の課題として（３）のア「通信環境」で検討する。）
⑤ ガソリン等の燃油で稼働する場合、中山間地域では、GS などの給油所が少ない上にさらに減る傾向。（各スマート農機に共通の課題として（３）のイ「電動化」で検討する。）

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○　傾斜地や、凸凹などで条件の悪い園地でも、エリアワイヤーなしで自動安定走行が可能な小型除草機の開発。（ⅲで記載した課題①②に対応）

（例：急傾斜での滑落を防止する傾斜アシスト機能の向上、凹凸や敷設物等を回避あるいは安定して走破する技術）

（例：畦畔を含む三次元農地マップと連動した自動走行技術）

○　急傾斜地や境界近くなど、車両による除草機では対応できない場所の除草が可能な機器の開発。（ⅲで記載した課題①に対応）

（例：草刈り用の刃を持ったドローン）

○　作物や牧草と雑草を見分けるピンポイント除草技術の開発などの除草技術の高度化。（ⅲで記載した課題③に対応）

（例：AI による判別、レーザー照射による除草）

（例：除草スピードの高速化、刈幅の増大技術）

（例：小型自動除草機の特性を活かした病害・鳥獣害対策など他分野用途への活用を見据えた応用研究）

（ⅴ）将来的に目指す姿

オペレータフリーで、圃場にも畦畔にも使用可能な、汎用型の除草ロボット（圃場内では作物と雑草を識別）が、定期的に自動巡回し除草を行う。

【参考文献】

1) 令和４年度 農作業安全総合対策推進 業作業安全に係る民間（推進）団体への支援 結果報告書. 令和５年, 一般社団法人 日本農業機械化協会, https://nitinoki.or.jp/bloc3/karte/r4report.pdf
2) 農作業安全「リスクカルテ」解説書. 平成 29 年, 一般社団法人 日本農業機械化協会, https://nitinoki.or.jp/bloc3/karte/r2riskkarte_kaisetsu.pdf
3) ６．リモコン草刈機. 農林水産省, （最終閲覧日：2024 年１月 11 日). https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/products-171.pdf
4) リモコン草刈機. 農林水産省, （最終閲覧日：2024 年１月 16 日). https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/forum/R2smaforum/mattingu/kusakari.html
5) 草刈りをより安全に効率的に！ラジコン式電動草刈機「ユニモワーズ」. 株式会社ユニック, （最終閲覧日：2024 年１月 16 日). https://uniq-eng.com/unimowers/
6) 電動リモコン作業機 sumamo(スマモ). (株)ササキコーポレーション, （最終閲覧日：2024 年１月 17 日）. http://www.sasaki-corp.co.jp/corner803375/corner804742/smamo.html
7) 農業新技術活用事例（令和４年度調査）. 農林水産省, （最終閲覧日：2024 年１月 17 日）. https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/jirei/smajirei_2019.html
8) ロボット芝刈機 AUTOMOWERTM 450X. ハスクバーナ・ゼノア株式会社, （最終閲覧日：2024 年１月 16 日). https://www.husqvarna.com/jp/robotic-lawn-mowers/automower-450x/
9) ロボモア（自律走行無人草刈機）KRONOS. 和同産業株式会社, （最終閲覧日：2024 年１月 16 日). https://www.wadosng.jp/mr-300/
10) ターティル・ロボットソーラー除草機. Agtecher, （最終閲覧日：2024 年１月 16 日).

https://agtecher.com/ja/product-ja/tertil%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%83%83%E3%83%88/
11) 水田内除草ロボットの研究開発. 熊本県立大学, (最終閲覧日：2024 年 1 月 16 日). https://suiden-robo.com/
12) 水田における小型球体ロボットの除草能力. 高山耕二ら, 2022, 鹿大農学術報告, 72, 1-6, https://www.agri.kagoshima-u.ac.jp/wpo/wp-content/uploads/2022/06/suiden-202206.pdf
13) 農薬を使わない水田専用除草ロボット「ミズニゴール」、SMART AGRI, 2022.04.21, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://smartagri-jp.com/news/4328
14) ミズニゴール 水田雑草対策草地. 株式会社ハタケホットケ, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://hhtk.jp/
15) レーザー照射で雑草の成長を抑制！ ドイツで開発された除草剤不要の除草手法とは. AGRI JOURNAL, 2020.04.09, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://agrijournal.jp/material/50502/
16) スマート農業オンライン講座 フォローノート. 農林水産省, (最終閲覧日：2024 年 1 月 31 日）. https://www.maff.go.jp/j/keiei/nougyou_jinzaiikusei_kakuho/attach/pdf/smart_kyoiku-23.pdf
17) 世界初！ 除草剤不要の除草ロボットが登場！ 電流で雑草を枯死させる技術とは. AGRI JOURNAL, 2020.03.20, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://agrijournal.jp/material/50493/
18) 除草剤不要 有機農場向け除草ロボット, AGRI JOURNAL, 2021.01.12, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://agrijournal.jp/renewableenergy/57122/
19) 除草剤の散布量を 9 割削減、作業コストを 3 割軽減!? 自律走行型除草ロボットがスゴい. AGRI JOURNAL, 2020.03.24, (最終閲覧日：2024 年 1 月 17 日). https://agrijournal.jp/material/50497/

オ　水田の水管理システム

水管理は、水田農作業の総労働時間の約３割を占め、圃場周囲の気象変化が稲の生育に影響を与えないよう、細やかな管理が必要な作業である。例えば、新しい茎と根が発生する約２週間の活着期の間は、適切な水温に保つため朝夕に水深をコントロールする必要があり、分げつ増加を促す１か月程度の期間も、昼と夜の温度差確保のため朝夕に水を入れる必要がある。稲穂を膨らませる時期にも、数日おきに入水と落水を実施する必要がある。

また、特に中山間地域では、経営規模が大きくなるほど圃場が分散する傾向にあり、例えば 20ha を経営すると、約 200 筆の圃場が谷を隔てて離れている場合もあることから、圃場１つ１つの水管理に、非常に多くの時間と労力が必要となる。

こうしたことから、水田の各圃場のモニターや水位の制御といった水管理を、遠隔や自動で行うことができるようになれば、作業時間の大幅な減少が期待できる。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

水田の水管理システムについては、これまでも様々なメーカーにより、水田センサーや水位制御装置が開発・販売されている[1-5]（表Ⅱ-2-5-1、図Ⅱ-2-5-1）。

水田センサーは、水田の圃場に設置され、センシングした水位や水温等のデータを管理者のパソコンやスマホ等に送信するもので、管理者は受け取ったデータを基に、圃場に行き水管理作業を実施するか、遠隔で給水ゲートやバルブを操作するか、センサーと連動させた水位制御装置で自動制御するかのいずれかの対応をすることになる。価格は水位・水温を観測するシンプルなタイプほど安く、約２万円/台程度のものもある。

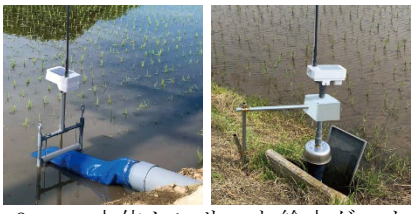
また、水位制御装置は、給水ゲート（開水路の場合）や給水バルブ（管水路の場合）を遠隔から操作するタイプの他、タイマーで作動するタイプや、水田センサーからのデータを元に給水ゲートや給水バルブを自動で開閉するタイプが開発・販売されており、価格は約７万円/台からとなっている。

水田センサーや水位制御装置とモニター側との通信は、多くの機種が LoRaWAN などの LPWA 無線通信技術を利用している。

また、主に平場を想定したものであるが、土地改良区等の施設管理者が管理する水利施設と、担い手農家が管理する自動給水栓とを一体として連携させ、パソコンやタブレットの簡単な操作で全体の配水を管理するシステムも開発されている[6]。

表Ⅱ-2-5-1　市販されている水管理システムの例

	メーカー	型番	HP	機能	通信	備考
水位センサー	(株)iij	MITSUHA：LP-01	https://mitsuha.iij.jp/	水位・水温	LoRaWAN（無線基地局～LTE）	要電源
水位制御	(株)笑農和	paditch gate シリーズ	https://paditch.com/product/paditch-gate	水門の開閉	LoRaWAN	17.6 万円/台（paditch gate 02+）、太陽光発電・バッテリー
水位制御	(株)笑農和	paditch valve 01	https://paditch.com/product/paditch-valve-01	給水弁の開閉	同上	マサル工業 MH 型フィールドバルブのみに対応
水位センサー	(株)farmo	ファーモ	https://farmo.info/product_paddy/	水位（水温オプション）	LPWA（独自の無線基地局）	2 万円/台、太陽光発電・バッテリー
水位制御	(株)farmo	ファーモ	https://farmo.info/product_paddy/gate/	給水ゲート、給水バルブ	同上	各 6.6 万円/台＋水位センサー（2 万円）
水位制御	(株)ほくつう	水まわりくん 水まわりゲートくん	https://www.hokutsu.co.jp/agri/feature/index.html	給水バルブ、給水ゲート	LoRaWAN	ソーラーパネルを標準搭載
水位センサー	ベジタリア（株）	PaddyWatch	https://field-server.jp/paddywatch/	水位・水温ほか、自動水門	FOMA（NTT docomo 社）	
水位センサー	(株)AmaterZ	inamo	https://www.amaterz.com/tukumo/inamo.html	水位・水温ほか	独自無線（LoRaWAN？～Bluetooth）	
水位センサー 水位制御	(株)クボタ	WATARAS	https://agriculture.kubota.co.jp/product/rice_equipment/watering-WATARAS/	水位・水温 給排水バルブ・ゲート	LoRaWAN（中継機）・LTE-M～クラウドサーバ	
水位制御システム	農研機構	iDAS	https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nire/119976.html	自動給水栓	LPWA、クラウドサーバ、LTE	ポンプ場制御も可（10～100ha）



farmo 水位センサーと給水ゲート（左）・給水バルブ（右）

paditch 給水ゲート（左）・給水バルブ（右）

図Ⅱ-2-5-1　市販されている自動給排水ゲート・バルブの例

※写真は各社ホームページより[1）2）3）]

＜農業経営における効果＞

農研機構が行ったスマート農業実証プロジェクトにおいて、水管理システムによって、平均して労働時間の 76%の削減効果が認められた。

表Ⅱ-2-5-2　水管理システムの実証結果

	実証面積（ha）	ほ場の数	削減率(%)
実証地区A	4	29	61%
実証地区B	2		62%
実証地区C	3	28	83%
実証地区D	8	15	74%
実証地区E	16		88%
実証地区F	17		39%
実証地区G	0.8	7	73%
実証地区H	66	360	91%
平　均			76%

農研機構スマート農業実証プロジェクト（中山間地域事例）実績より

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

ａ．水田センサー

水田センサーの主な技術要素は、水田の水位・水温などをセンシングするセンサーと、得られたデータを管理者のパソコン・スマホや別途設置された給水ゲートなどに送信する通信機器である。

また、単にセンシングしたデータを送信するだけでなく、特定の品種の栽培管理データを基に、そのデータの範囲を超えた場合にアラームを発したり、栽培状況を映像として管理者に伝えるなどの監視機能を持たせた機器もあり、この場合は、それに応じたプログラムやカメラと機器との連動なども技術要素となる。

ｂ．水位制御装置

水位制御装置の主な技術要素は、開水路のゲートや管水路のバルブを、遠隔もしくは自動で開閉する技術である。

具体的には、水位センサーから送信されたデータや管理者からの指示を基に、電動アクチュエータなどによりゲートやバルブを開閉する。また、バルブ部の詰まり防止のために異物の排出を促すリトライ機能などを備えた装置もある。

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

水田センサーや水位制御装置といった水管理システムを、中山間地域の水田に導入する際には、以下のような課題がある。

① 小規模水田が非常に多くあるため、多くの機器台数が必要で、その分コストがかかる。

② 自然水を利用している場合、水量によっては複数圃場で同時に給排水することができない場合がある。

③ 中山間地では開水路を利用することが多いが、開水路には落ち葉や砂などが溜まりやすく、自動給水に悪影響を及ぼすことが懸念される。

④ LPWA は、中山間地など地形の陰になるところが多い場所では通信性能が極端に劣化する。電源供給体制も十分でない。（各スマート農機に共通の課題として（３）のア「通信環境」、イ「電動化」で検討する。）

（ⅳ）今後の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ 低コストな水田センシングシステムと水位制御システムの開発。（ⅲで記載した課題①②に対応）

（例：ドローンを活用した水田センシング（水温や水位など））

○　水田センシング情報を分析し、水位制御システムにロスが最も少ない最適な指示を送信する統合システムの開発。（ⅲに記載した課題②に対応）

○　開水路でのゴミ詰まり防止技術の開発。（ⅲで記載した課題③に対応）
（例：水路掃除ロボット）

（ⅴ）将来的に目指す姿

全ての水田と水路を対象とする低コストの水管理システムが構築され、センシングや水位制御をはじめとする水管理作業が、自動的に行われる。

【参考文献】

１）(株)farmo　スマホでらくらく田んぼの水管理｜水田ファーモ
https://farmo.info/product_paddy/

２）(株)笑農和　paditch（パディッチ）水門型水管理システム
https://paditch.com/product/paditch-gate

３）(株)笑農和　paditch valve（パディッチ バルブ）パイプライン型自動給水栓
https://paditch.com/product/paditch-valve-01

４）ベジタリア(株)　PaddyWatch
https://field-server.jp/paddywatch/

５）(株)クボタ　ほ場水管理システム WATARAS
https://agriculture.kubota.co.jp/product/rice_equipment/watering-WATARAS/

６）ICT を活用した圃場-水利施設連携による効率的な配水管理制御システムを開発（農研機構農工研プレスリリース資料）
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nire/119976.html

カ　米・麦・大豆の収穫機

米・麦・大豆といった土地利用型作物の収穫は、これら各作物の全労働時間の1～2割程度を占め、また、この割合は圃場面積が小さいと高くなる。一台で刈り取りから脱穀までが同時に可能なコンバインが用いられているが、脱穀にも適した状態で収穫する必要があるので、収穫適期や収穫日が限られる場合が多い。このため収穫時期には短期間に集中して多大な労力を要することから、収穫機のスマート化による労力軽減が期待される。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

大手農機メーカーから、自動運転アシスト機能を有する大型（100馬力以上）の自脱式コンバイン（刈幅2m前後）や汎用式コンバイン（刈幅2.5～3.5m）が開発・販売されている。人が乗車することを基本としつつ、最初に圃場の外周をオペレータが手動運転で周囲刈りすることにより圃場マップを作成し、それ以降はRTK-GNSS方式により位置を把握する。価格は1,500万円以上である[1)2)]（図Ⅱ-2-6-1）。[1)]

図Ⅱ-2-6-1　市販されている自動運転アシストコンバインの例
左：ヤンマー(株) オートコンバインYH6115（115PS）
右：(株)クボタ アグリロボコンバインAgri Robo DR6130A（120PS）
※写真は各社ホームページより[1)2)]

また、収量やタンパク質含量に基づく食味等を、収穫と同時に自動測定する機能や、収量センサーのデータによりグレインタンクの貯留状況を把握・予測して、効率的なタイミングやルートで自動的に集荷トラックの位置に移動する機能を搭載しているコンバインもある。

更に、AI カメラとミリ波レーダで、収穫対象の稲・麦と周囲の人や障害物を識別することにより、無人走行と刈取りをすることができる汎用型自動運転コンバイン（(株)クボタ：アグリロボコンバイン）が、2024 年 1 月に上市された[3)]。

図Ⅱ-2-6-2　無人自動運転コンバイン（(株)クボタ：アグリロボコンバイン）
※写真は同社ホームページより[3)]

なお現在の自動運転アシスト機能は、四角形の圃場に限られる、位置情報把握のための衛星通信状況が良い地形に限られるなど、中山間地域の圃場への適用には制約がある。一方、収穫時にタンパク質含量を測定する機能は、収穫物の品質について圃場毎の違いが大きい中山間地域で必要な機能とされる可能性が高い。

＜農業経営における効果＞

農研機構のスマート農業実証プロジェクトの実証では、事例は少ないが、中山間地域において自動運転コンバイン（圃場の外周を手動で作業し、圃場内の収穫作業や旋回を自動で実施する）を導入することで、作業時間が 10～40％削減されたと報告されている。

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

ａ．自動走行技術（小型ロボットトラクターのⅱのｂを参照）

ｂ．収穫物の自動排出

収穫した穀粒を運搬用コンテナに排出するにあたって、特に収穫タンクから穀粒を排出する排出口（排出オーガ）を運搬用コンテナ上の適切な位置にあわせる必要があり、カメラ画像をもとに自動で位置を制御するシステムの研究開発が行われている[4)]。

また、収穫タンクの容量と運搬用コンテナへの排出のタイミング、運搬用コンテナへの移動などを制御するシステムも必要である。

ｃ．安全走行技術

自動走行に向けた安全走行技術は、小型ロボットトラクターのⅱのｃで記載した記述が基本となるが、収穫機においては、刈り取り部分が機械の進行方向にあることから、その他の自動走行農機よりも、安全面の強化が求められる。

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

このような収穫機を中山間地域に導入するに当たっては、以下のような課題が想定される。

① 中山間地域では小区画で不整形の圃場が多く、搬入路は傾斜があることから、現在実用化されている100馬力相当の大型機械ではサイズが過大であり、転倒の恐れもある。また自動運転アシスト機能は、はじめに外周を手動運転して圃場をマップ化する必要があり、小規模圃場では非効率である。さらに多角形の圃場には適用できるが、外周の辺が曲線の圃場には適用できない。

② GNSSの受信が困難な場所が多い。（各スマート農機の共通の課題として（3）のア「通信環境」で検討する。）

（ⅳ）今後の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ 小型自動コンバインの開発。（ⅱで記載した課題①に対応）

（例：開発済の自動運転コンバインの技術を活用し、数十馬力級の小型コンバインをスマート化。）

○ コンバインの枠組みから脱却した、新しい収穫機の開発。（ⅱで記載した課題①に対応）

（例：小型汎用無人車両に搭載する収穫用アタッチメントの開発）

（ⅴ）将来的に目指す姿

無人小型コンバイン又は小型汎用無人車両（収穫用アタッチメント装着）が、自動で収穫作業を行い、自動でトラックのある位置まで移動して収穫物を排出する。

【参考文献等】

1）ヤンマーホールディングス(株) YH6115 オートコンバイン
https://www.yanmar.com/jp/agri/products/harvest/combine/yh6101_yh6115_yh7115/auto.html

2）(株)クボタ Agri Robo DR6130A
https://agriculture.kubota.co.jp/product/combine/DR-6130-A/

3）(株)クボタ：アグリロボコンバイン
https://www.kubota.co.jp/news/2023/newproduct-20230614.html

4）京都大学大学院農学研究科フィールドロボティクス分野　画像処理による排出オーガの自動位置決め制御
https://elam.kais.kyoto-u.ac.jp/Research/auger

キ　果実収穫機

果実の収穫は、果樹栽培の中でも大きな比重を占める作業の一つであり、樹の手前や奥、低いところから高いところまで、様々な場所に実った果実を１つ１つ人手で収穫している。露地栽培では、実をつける時期がほぼ同時期になり収穫時期が集中し、また天候にも左右され収穫日が限られる場合もある。このため、果実収穫の省力化を実現する果実収穫機への期待は大きい。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

現在、国内外で研究開発が進められている果実収穫機[1）2）3）]では、対象となる果樹の種類は、今回調査した範囲ではリンゴ、ナシ、西洋ナシ、ブドウ、クリであり、また、イチゴやキャベツ、アスパラなど一部の野菜に対する収穫機も研究開発されており、中には販売されているものも存在する。但し、これらは主に平地の凸凹の無い果樹園等での利用を想定している。また、収穫機がスムーズに動けるような圃場を整備することや、作業を効率的に進められるような樹形や樹高への変更あるいは列植を施すことが、併せて必要となることが多い。

これに対し、国内で生産量が多い温州ミカンなどの柑橘類については、収穫機の研究開発の情報はほとんどない。その理由としては、圃場の多くが傾斜地にあること、摘み取りにハサミを用いる必要があり自動化が難しいことなどが考えられる。

リンゴ収穫機　農研機構、立命館大学、（株）デンソー[4）]

・自動走行車両がけん引。2 本のアームの先に取り付けられたフィンガータイプのエンドエフェクタで掴みねじって収穫
・コンテナ自動交換、コンテナ車は収穫物が満杯になると集荷所まで自走により往復
・11 秒/個と人とほぼ同じ速度で収穫

リンゴ収穫機　Tevel Aerobotics Technologies 社[5）]

・2～4 台の有線ドローンがカメラからの情報で色や大きさを評価し、熟した果物を吸引アームで収穫
・フィンガータイプのエンドエフェクタに交換可能

ブドウ収穫機　ヤマハ発動機㈱[6）]　　ヤマハ発動機

・垂直多関節ロボットと自動走行車両の組合せ
・アームの先のエンド エフェクタが自動でブドウの柄を掴みハサミ機能で切断して収穫

図Ⅱ-2-7-1　果実収穫機の事例

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

果実収穫機は、人であれば腕に相当するマニピュレータ、手に相当するエンドエフェクタ、足に相当する台車などのハードウェアに加え、人であれば頭脳に相当するソフトウェア（果実の知覚機構、収穫対象の果実を選択するための運動を計画するモーションプランニング機構、マニピュレータアームとエンドエフェクタを制御するモーションコントロール機構など）で構成される。対象とする果実に適した果実収穫機の研究開発に向けて、各技術要素とその組み合わせの改良が取り組まれている。

a．ハードウェア

a-1. マニピュレータ

マニピュレータとは、工学分野では機械などで作業を行う部分を指す。一般的にはロボットアームが用いられており、多関節ロボットアームは人の腕よりも複雑な動きをこなすことができる。ロボットアームの代わりに、ドローンを用いる方法もある[5)]。

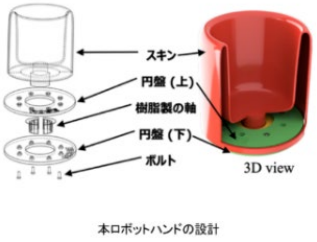
・東京大学が自在肢（JIZAI ARMS）というロボットアームを研究開発中[7)]
・人の背中に取り付けて使用
・農業分野への展開としては、足場の悪い傾斜地での収穫への適用が期待される

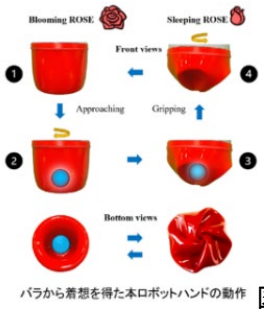
図Ⅱ-2-7-2　装着型ロボットアーム

a-2. エンドエフェクタ

エンドエフェクタは、ロボットアームの先端に取り付けられて果物を摘む装置である。収穫対象果実に対応させるために、果実の形状、表皮や果肉の固さ、摘み取り方法などに応じて、フィンガータイプ[4)]、吸引タイプ[5)]、ハサミで切断するタイプ[6)]が研究開発されている。

柑橘類の果実は、表皮が柔らかいものが多く、また摘み取りにハサミによる切断が必要であるが、例えば、（ア）果実を包み込み掴む技術[8)]と、（イ）果実の柄を掴み切断する技術[6)]を組み合わせたエンドエフェクタを開発することで、自動収穫が実現する可能性がある。





・北陸先端大の物を柔らかく掴む技術技術[8)]
・少量の樹脂素材を用いた回転部分を 3D プリントにより安価に形成可能（R5.7 公表）

図Ⅱ-2-7-3　果実を包み込む技術の例

a-3. 収穫果実の集積機能

摘み取った果実をトレイに置く仕組みや、収穫した果実を傷つけずにケースに収納する仕組み、果実をコンベヤーで移動させて収納させる仕組みなどの研究開発が行われている。

a-4. 台車

マニピュレータ等を搭載する台車としては、小型汎用無人車両の活用が考えられるが、傾斜地や凸凹など悪条件の圃場でも移動が可能な台車としては、四足歩行技術[9)]を用いたロボットも候補となる。

4 足歩行ロボット SpotMini Boston Dynamics 社[10)]

・用途は定まっていない。建設、配送、セキュリティ、ホームアシスタンス等の分野で展開中
・下図のようなアタッチメントの取り付けが可能、現状では、物を掴むこと、ドアを開けることが可能
・果樹収穫に関しては、圃場の凸凹や傾斜地における歩行機能とアタッチメント開発により、中山間地域での収穫への展開が期待される
・価格：（Explorer モデル）74,500 ドル

図Ⅱ-2-7-4　四足歩行の事例

a-5. 各種のセンサー

種々のセンサーが台車、マニピュレータおよびエンドエフェクタに取り付けられて、センサーにより収集された情報を統合し、台車の移動、果物の識別、果物の位置確認などが行われる。

b. ソフトウェア

b-1. 果実の認識（fruit perception）

センサーから得られる情報を元に、幾何学、統計、確率などの手法により情報処理を行い、得られる結果に基づいて、果実が認識される。枝や葉と区別した上で果実を認識し、その中から収穫時期にある果実を認識する必要がある。更に、晴・曇・雨などの天候変化や夜間での果実の認識など各面での能力を高めるため、センサーの改良とともに、情報処理と判断を行う AI のプログラミング開発と機械学習を積み重ねる必要がある。

b-2. 選択的収穫のための運動（モーションプランニングとモーションコントロール）

モーションプランニングは、特定の目的地へ移動する経路や軌道を計画する

プロセスである。木の枝などの障害物の回避や安全性を考慮して、最適な移動経路を決定する。このため、収穫の効率性は、モーションプラニングの信頼性と速度に大きく依存する。モーションコントロールは、マニピュレータアームとエンドエフェクタを制御する機構である。

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

果実収穫機を中山間地域の果樹栽培に導入する際には、以下のような課題が想定される。

① 現在開発が進められている果実収穫機は、平地の果樹園を想定したもので、かつ、実証研究段階が多いが、中山間地域では、傾斜地や凸凹など条件の悪い圃場でも使用できることが必要。

② 中山間地域で最も生産が多い温州ミカン等の柑橘類は、リンゴやブドウと比べても栽培圃場が狭く急傾斜であり、また収穫時に枝から果実を切り取る作業が必要。

③ 果樹下では、枝葉により GNSS 衛星の電波がさえぎられるため、GNSS を用いた位置情報の把握は困難。（各スマート農機に共通の課題として（３）のア「通信環境」で検討する。）

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ 傾斜地や凸凹など条件の悪い圃場でも、安定した移動ができる台車等の開発。（ⅲで記載した課題①に対応）

（例：条件の悪い圃場でも安定走行可能な車両）

（例：ドローンや脚ロボットなど、車両以外のアーム搭載機）

（例：人体装着型の複数人工アーム）

○ 柑橘類の収穫機の開発。（ⅲで記載した課題②に対応）

（例：柑橘類の果実を認識し、収穫適期を判別する技術）

（例：柑橘類の収穫アーム（表皮のやわらかい果実を掴む、果実の柄を切断するという２つの機能が必要））

（ⅴ）将来的に目指す姿

あらゆる傾斜地、樹形に対応する収穫ロボット（ヒト型など）が、収穫対象樹や収穫適期を迎えた果実を自ら判断し、自動で移動し収穫する。

【参考文献等】

１）Towards Autonomous Selective Harvesting: A Review of Robot Perception, Robot Design, Motion Planning and Control. Vishnu Rajendran S. (University of Lincoln, UK). arXiv:2304.09617v1 [cs.RO] 19 Apr 2023

２）リンゴ収穫ロボットの市販に向けた取り組み状況. Good Fruit Grower 誌(2020 年12 月号). 海外果樹農業ニュースレター（公財）中央果実協会 (03) 3586-1381 2020 年12 月 第 59 号

３）デジタル技術を使ったリンゴ収量の最適化研究. Freshplaza 電子版(2020 年11 月10 日). 海外果樹農業ニュースレター（公財）中央果実協会 (03) 3586-1381 2020 年12 月 第 59 号

４）(研究成果) 果実収穫ロボットのプロトタイプを開発.
農研機構プレスリリース（2020 年 12 月 23 日）
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nifts/137793.html

５）ドローンによる「空飛ぶ」果実収穫ロボットを開発したTevel Aerobotics Technologies、日本進出も計画. Foovo（2022年10月8日） https://foodtech-japan.com/2022/10/08/tevel-aerobotics-technologies/

６）農業用 UGV(無人走行車両)を使った、ブドウ収穫の実験動画を公開～ロボティクス技術を活用し、人手不足をスマート農業で克服～. ヤマハ発動機株式会社 ホームページ（2020 年 12 月 17 日）
https://news.yamaha-motor.co.jp/2020/020453.html

７）装着型ロボットアーム「【ロボットアーム新時代】東大教授が開発！その名も「自在肢（JIZAI ARMS）」災害時の救助や新アート誕生の可能性」. FNNプライムオンライン（2023年6月29日）
https://www.fnn.jp/articles/-/549253

８）ROSEハンド バラの花から着想を得た包み込むように掴むロボットハンドを開発. 北陸先端科学技術大学院大学 プレスリリース（令和5年7月14日） https://www.jaist.ac.jp/whatsnew/press/2023/07/14-1.html

９）未知の斜面における4脚歩行ロボットに基づくロボット歩容. 亀川哲志、五福明夫（岡山大学）、北郷淳一（日産自動車（株））

10）Gigazine（2018年5月14日） あの四足歩行ロボット「SpotMini」をボストン・ダイナミクスが市販することに - GIGAZINE https://gigazine.net/news/20180514-spotmini-release/

ク　茶の複合管理機

茶栽培の基幹的農業従事者数は年々減少し、65 歳以上の割合は 2000 年の 51%から 2020 年には 61%に増加するなど、高齢化が進んでいる。茶は全国栽培面積の約 4 割が中山間地域に位置し、中山間地の低温寡照という微気象は、旨味や香気に優れる茶の生産に適しているとされるが、機械化が困難な傾斜地茶園では、面積当たり労働時間が平坦地と比較して長く、特に摘採（収穫）時期の労働負荷が大きい[1)]。可搬型の摘採機を使用して、摘採袋の運搬も含めた収穫作業を作業者 3 名で行っているケースもあるが、生産者の減少と高齢化により、こうした収穫体系の維持は困難となってきており、対策を急ぐ必要がある。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

茶栽培のスマート農業技術の導入に向けた取組として、平坦地の大規模茶園用には、超音波センサで茶樹を検知し、畝（うね）に沿って走行する技術を装備した大型ロボット管理機（価格帯：1,000～1,500 万円）が開発され[2)]、その自動運転の実証試験が進められている[3)]。また、小型乗用管理機についても、農研機構などが自動走行システムを研究開発中である[3)]。

中山間地の茶園を対象とするスマート農業の実証試験は、これまでのところ、リモートセンシング技術（衛星画像やドローン空撮）や地上モニタリングに生育予測モデルを組み合わせた茶園の栽培管理のスマート化が中心となっている。スマート管理機の導入に向けた取り組みは少ないが、自動操縦システムを搭載した乗用防除機[4)]や走行速度に応じて散布量を調整できる防除機[5)]などの例がある。

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

茶の複合管理機の主な技術要素は、茶樹の畝を感知して自走し、次の畝に移動するシステムと、収穫や剪定、被覆資材の展開・巻き取り、防除（薬剤散布など）といった複数の作業を行うためのアタッチメントである。

中山間地域の茶園では、軽トラックで運搬できるような小型・軽量化や、急傾斜でもバランスを崩さないシステムの構築なども必要となる。以下では、中山間地域の茶園向けに特に必要と考えられる技術要素について、研究開発事例とともに紹介する。

a. 小型・軽量化

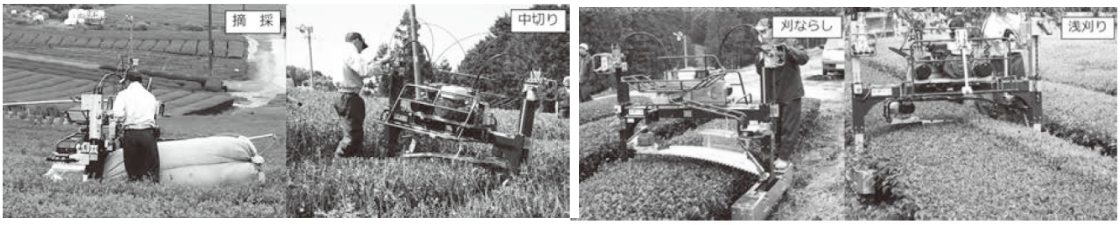
２トントラックが通行できない中山間地域の茶園向けに、佐賀県などにより軽トラックに積載できる乗用型の軽量管理機が開発され、市販されている[6)]。機体は全長 138cm×全幅 188cm×全高 200cm、重量は 319kg（図Ⅱ-2-8-1）である。立乗りが可能な自走式で、高さ可変式の操作ハンドルを作業者が操作する。走行部は油圧モーター駆動のゴムクローラ方式で、一般的な栽培様式である畝幅

180cm の茶園に適応し、傾斜角 15 度までの傾斜地に導入可能である。

図Ⅱ-2-8-1　軽トラックに積

本機では、その作業部に摘採や枝条管理用の作業機（アタッチメント）を装着して、それぞれの作業を行う（図Ⅱ-2-8-2）。

軽量化されていない従来機を使用する場合は、摘採は 3 名、中切りなどの枝条管理は 2 名で行う必要があるが、本機を利用すれば両作業とも 1 名で作業できる。



図Ⅱ-2-8-2　軽量茶園管理機による作業状況 [6)]

b. 急傾斜地への対応、遠隔操作

2000 年代前半に静岡県が、最大傾斜 30 度の茶園を作業者 1 名で摘採できる遠隔操作ロボットを開発した [8)]。機体寸法は、軽トラックの荷台よりはやや大きいが、全長 170cm×全幅 200cm×全高 162cm、機体全重量は 260kg で、当時としてはかなりの小型・軽量化が図られている（図Ⅱ-2-8-3）。傾斜茶園での作業時には、機体フレームを電動油圧シリンダにより平行四辺形に変形させる重心移動機能を備えており、茶樹上面と摘採機刈取刃を平行にするとともに、等高線に沿う走行性能を高めている。また、無線による遠隔操作ですべての機械動作を行うことができるため、急傾斜地での作業者の安全が確保される。

図Ⅱ-2-8-3　遠隔操作型傾斜地茶園用摘採ロボット [8)]

c. 手摘み作業のロボット化

中国では浙江理工大学の研究チームが、手摘みと同じレベルで適切な茶葉の選別（芽葉のサイズ、柔らかさ、鮮度など）を行った上で、その茶葉を傷つけることなく的確に摘み取る技術を備えた、銘茶に適した茶摘みロボットの研究開発を進めている。このロボットは、AI により新芽の葉柄を画像認識して、ロボットアームの先端に付けられたハサミで新芽を枝から切り離し、ロボットアームの一時保管ケースに吸入する仕組みである[9)]。

d. 被覆資材の展開・巻取

収穫直前の一定期間、茶樹を遮光する被覆茶栽培向けに、乗用管理（摘採）機に装着する被覆資材の展開用および巻取り用のアタッチメントが開発され、市販されている[9)]。（図Ⅱ-2-8-4）

図Ⅱ-2-8-4　被覆資材の展開アタッチメント
（左）および巻取りアタッチメント（右）を装着した小型乗用摘採機による作業状況[9)]

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

中山間地域の茶園にスマート農機を導入するに当たっての課題は、以下の通りまとめられる。

① 中山間地域の茶園は、圃場が小区画で傾斜地に多く、２トントラックでは通行できない場所にあることも多い。これに対応するため軽量管理機が開発されているが、スマート化されていない。

② 需要が拡大している加工用抹茶や高品質の被覆茶の栽培には、茶樹を一定期間遮光するための被覆作業が必要だが、中山間地域向けの軽量管理機に対応した被覆アタッチメントや被覆資材が未開発。

（ⅳ）今後の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○　小型・軽量で汎用性の高いスマート複合管理機の開発。（ⅲで記載した課題①に対応）

（例：現行の乗用軽量管理機の無線操縦型への転換）

（例：軽量管理機の作業部に装着可能な多様な作業用アタッチメント）

○　中山間地域の被覆茶栽培用の被覆装置及び被覆資材等の開発。（ⅲで記載した課題②に対応）

（例：現行の被覆資材の展開・巻取り装置を傾斜地茶園でも容易に使用できるよう改良、軽量化）

（例：中山間地の傾斜地茶園でも利用しやすい、被覆資材や直がけ被覆以外の遮光栽培技術）

（ⅴ）将来的に目指す姿

急傾斜地の小区画でも摘採や枝条管理、被覆や防除といった作業全般を自動で行う、小型・軽量で汎用性の高いスマート複合管理機（必要に応じてアタッチメントを装着）が、リモートセンシングや地上モニタリング、生育予測モデル等を用いたスマート栽培管理と連携し、付加価値を高めた特色のある茶を生産する。

【参考文献等】

1）農林水産省，2023：茶をめぐる情勢（令和 5 年 12 月版）.

2）野邉勝郎・深水裕信，2020：「ロボット茶園管理機」の開発．JATAFF ジャーナル，8(8)，20-24.

3）生物系特定産業技術研究支援センター，茶のスマート有機栽培技術体系の開発と現地実証試験.「スマート農業技術の開発・実証・実装プロジェクト」における「戦略的スマート農業技術等の開発・改良」研究概要，2023-1-18 更新.
https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/smart-nogyo/theme/index.html

4）農研機構，スマート農業実証プロジェクト 茶 C01．LoRa を活用した茶園ネットワークの形成による、分散茶園の省力管理と茶工場の品質コントロールを核とした、茶業経営一貫技術体系の実証.
https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/r1/results/kaju-cha/154314.html

5）農研機構，スマート農業実証プロジェクト 茶 2F01．中山間傾斜地茶園における高品質てん茶の省力生産体系の実証．https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/r2/results/kaju-cha/155352.html

6）中村典義ら，2019：軽トラに搭載できる軽量茶園管理機の開発．茶業研究報告，128，9-21.

7）根角厚司，2020：中山間地・小規模生産者向けの軽トラック積載可能な軽量茶園管理機.革新的技術開発・緊急的展開事業（うち経営体プロジェクト）研究成果，生物系特定産業技術研究支援センター.
https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/keiei/result/files/keiei_2020_result-k016-y05.pdf

8）山根俊，2008：静岡県における農業の機械化ニーズと対応．農業機械学会誌，70(4)，8-11.

9）中国網日本語版（チャイナネット），ロボットも茶摘？その難易度は「畑で刺繍」(2023-04-10)．
http://japanese.china.org.cn/business/txt/2023-04/10/content_85220972.htm

ケ　放牧管理システム

放牧経営では、給餌、健康管理、行動管理、任意の場所への誘導・集畜などの放牧牛の管理作業や、牧草や侵入雑草の生育状況の把握、牧草への施肥、侵入雑草の除去などの放牧地の管理作業が必要である。中山間地域の場合、地形的制約により狭小な放牧地が分散せざるを得ないため、これらの作業には更に人手がかかる。高齢化等による中山間地域の人手不足に対応し、これらの作業のスマート化が求められる。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

放牧牛の首輪などに個体管理タグ/トラッカー（メーカーにより形態や呼称が異なる）を装着し、牛の状況をセンシングするシステム[1-6]が開発され、複数のメーカーから販売されている[1-4]。

加えて、放牧に必要な体重測定、自動給餌、飲水管理、電気柵の管理などのシステム開発にも種々取り組まれている[7-11]。しかし、放牧地等における稼働が実証されているにもかかわらず、未上市のシステムや機器も少なくない[7-9]。

また、中山間地域などの小区画で分散した放牧地等を効率的に活用するために、母牛や子牛から収集したセンシングデータや、電気牧柵の通電状況等を総合的に解析したデータを、放牧農家や生産法人がスマホ等から入手し、放牧管理に活用するスマート放牧に向けた取組が進められている[12]。

（ⅱ）当該スマート農機の主な技術要素とその関連技術の動向

ａ．位置・発情監視システム[1-6]

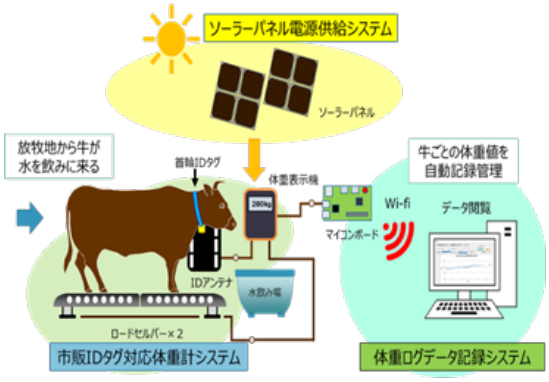
放牧牛の首輪などに装着した個体管理タグ/トラッカー（図Ⅱ-2-9-1）が、牛の位置、行動量（発情時には増加する）等をセンシングした上で、データとしてサーバーに送信し、そのデータやAI（人工知能）で解析した情報を、放牧農家がスマホ等から入手して、放牧牛の管理作業に利用するシステムが、複数の企業から販売されてている[1-4]。

図Ⅱ-2-9-1　市販の位置・発情監視システムで利用される個体管理タグ/トラッカー（首輪装着用）の例[1]

ｂ．体重自動計測システム[7]

放牧牛に首輪式のRFID（電波を用いてICタグの情報を非接触で読み書きする自動認識技術）タグを装着し、このタグに対応した体重システムを放牧地の水飲み場前に設置して、水を飲みに来た放牧牛の体重を自動的に測定するシステム

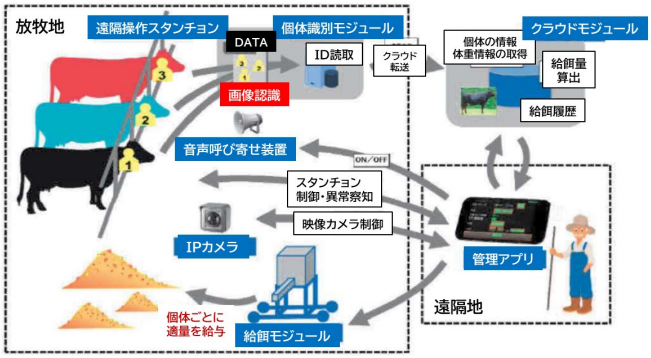
（図Ⅱ-2-9-2）が開発・実証されている。本システムはソーラーパネルとバッテリーによる小電力で駆動されるため、商用電源は不要である。



図Ⅱ-2-9-2　体重自動計測システム[7]

c．個体識別自動遠隔自動給餌システム[8]

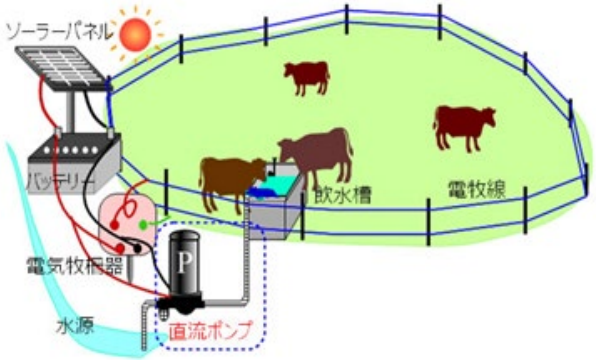
音響誘導で放牧牛を給餌機に誘導し、給餌機と連動したつなぎ止め具（スタンチョン）で保定して、各牛にとって適量の補助飼料を、遠隔操作で個別に給与するシステム（図Ⅱ-2-9-3）が開発・実証されている。本システムでは、IP カメラの遠隔操作により、放牧牛の状態（長時間動かないなどの行動異常、ケガなど）の把握も可能である。



図Ⅱ-2-9-3　個体識別自動遠隔自動給餌システム

d．飲水施設管理システム[9]

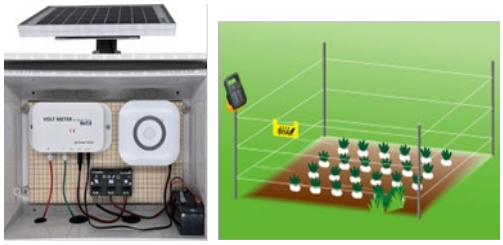
沢などの水源から高台にある放牧地の飲水槽へ水をくみ上げる直流揚水ポンプと、電気牧柵システム（ソーラーパネルとバッテリーによる小電力で駆動）とを組み合わせたシステム（図Ⅱ-2-9-4）が開発・実証されている。本システムでは、商用電源の確保が困難な中山間地域の放牧地でも、牛が必要とする水量を安定的かつ自動的に供給できる。



図Ⅱ-2-9-4　飲水施設管理システム[9]

e．電気牧柵監視システム[10]

小型ソーラーパネルと小型バッテリーを組み合わせ、一定間隔で電気柵の電圧を測定し、スマホ等により電気柵の電圧の状態を 24 時間監視する電気柵監視システム（図Ⅱ-2-9-5）が販売中である（スターターフルセットの価格は 146.3 千円/セット程度）。このシステムでは、放牧農家が放牧地に行かなく



図Ⅱ-2-9-5　市販の牧柵監視システムの例

ても、電気柵の断裂、繁茂した雑草の接触による漏電等を、電圧の状態からスマホ等を介して把握できる。

f．ドローン搭載機器から得られたデータを利用した放牧地等の草種分布パターンや侵入雑草の評価システム

放牧地等における草種の分布パターン[13)]や、放牧地等に侵入した雑草（チカラシバ、クサヨシ）の把握[14,15)]が、ドローン搭載機器で取得したデータの解析により可能となっている。さらに、ドローン搭載機器で得られたデータとAI解析を組み合わせることで、牧草地の植生（例えばイネ科牧草とマメ科牧草の混播牧草地におけるマメ科牧草の被度）も推定可能[16)]となっている。

（ⅲ）中山間地域への導入にあたっての課題

中山間地域の放牧経営にスマート農機を導入する際の課題として、以下が挙げられる。

① 広域の放牧地における多数の放牧牛の個体管理が必要。そのためには個体管理タグが不可欠だが、現在実用化しているタグはサイズが大きいため壊れやすく、他方で長時間駆動させるためにはある程度の容量のバッテリーが必要。

② 放牧地が広域のため、施肥や雑草除去などの放牧地管理にも時間と労力を要する。特に、雑草と牧草が共存するため農薬利用による省力的除去ができない。

③ 牧柵の設置、破損部分の把握など管理の負担が大きい。

④ 地形的制約により、放牧地が分散せざるを得ないため、放牧地毎に給餌機や給水機が多数必要。

⑤ GNSS衛星が受信困難。（各スマート農機に共通の課題として（３）ア「通信環境」で検討する。）

（ⅳ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅲ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ 多様なセンシング機能を備えた小型で安価な個体管理タグ/トラッカー等の開発（ⅲで記載した課題①に対応）

（例：牛の体温を利用した熱化学電池[17)]や、振動ならびに牛に装着可能な小型ソーラーパネルを利用した発電によって、連続駆動可能な牛装着用の省電力タグの開発）

（例：受信障害等に伴い個体管理タグ/トラッカーからサーバーへ送信されないデータを回復する機能（メモリー機能等）の開発）

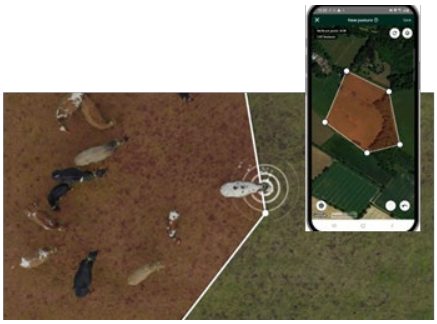
（例：ドローンの群画像による体重等の個体管理機能の開発）

○　個体管理タグ/トラッカーと連動可能な安価な API の開発。（iii で記載した課題①に対応）

○　遠隔操作による放牧牛誘導システムの開発。（iii で記載した課題①に対応）

○　機動力のあるスマートな放牧地管理機の開発（iii で記載した課題②に対応）
（例：ドローンによる放牧地等の牧草へのピンポイントの施肥とこまめな掃除刈りを行う機器）
（例：ドローンで収集して AI 解析した情報と連動して自動運転できる除草管理機の開発）
（例：放牧地内の除草地点まで自走できる除草管理機）

○　導入・管理コストの低い牧柵や給餌・給水システムの開発。（iii で記載した課題③に対応）
（例：GNSS やスマホ等の受信障害が短時間あっても牛の脱柵がない、省電力型のバーチャルフェンス（図Ⅱ-2-9-6）
（例：安価な自動給餌機や自動給水機）

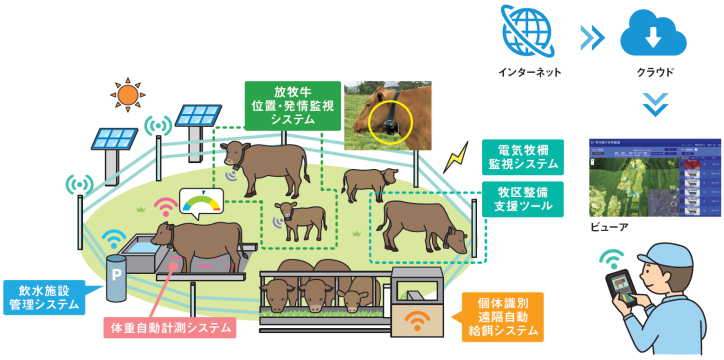


図Ⅱ-2-9-6　バーチャルフェンスの例 [18]

バーチャルフェンスから放牧牛が外に出ると、首輪に信号が送られ音楽が流れる。家畜は音楽を止めようと自発的に内側に引き返す。

（ｖ）将来的に目指す姿

放牧牛や放牧地の管理作業、更に放牧地の移動などが、スマート農機群（ドローンを含む）とスマホ等によって遠隔操作で行うことができる放牧システム（スマート放牧システム、図Ⅱ-2-9-7)）[12]が構築され、農業者が放牧地には行かず、自宅や旅行先などからも放牧管理が可能になる。



図Ⅱ-2-9-7　中山間地域におけるスマート放牧（放牧牛の管理作業）の将来イメージ [12]

【参考文献等】

１）ユーピーアール株式会社　牛の発情検知、体調管理を低価格で可能にする DX タグ®
https://www.upr-net.co.jp/iot/rfid/farm/

２）ユーピーアール株式会社 牛の発情・体調不良検知の自動化 畜産業界の人手不足解決を目指し実証実験を開始 物流技術から生まれたアクティブ RFID タグで畜産業を DX
https://www.upr-net.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2023/07/news_20230714-1.pdf

３）株式会社 GISupply 放牧牛管理システム「うしみる」
https://www.trackers.jp/products_ushimiru.html

４）株式会社 GISupply 放牧牛管理システム「うしみる」（パンフレット）
https://www.trackers.jp/download/LoRa_catalog_ushimiru.pdf

５）科学技術振興機構 COI プログラム　終了報告書 ビジョン２　豊かな生活環境の構築（繁栄し、尊敬される国へ）　『サイレントボイスとの共感』地球インクルーシブセンシング研究拠点（東京工業大）
https://www.jst.go.jp/coi/hyoka/data/240_titech_hokoku.pdf

６）ロボスタ 東工大/信州大/ソニーらがエッジ AI と LPWA 技術で「放牧牛 AI モニタリング」実証実験 牛の島「沖縄県竹富町黒島」
https://robotstart.info/2021/07/27/grazing-cow-peter-abl.html

７)農研機構 周年親子放牧_新技術解説編_05 放牧牛体重計測システム
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.05.pdf

８）農研機構 周年親子放牧_新技術解説編_06 個体識別遠隔自動給餌システム
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.06.pdf

９）農研機構 周年親子放牧_新技術解説編_04 家畜飲水システム
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.04.pdf

10）協和テクノ株式会社 電気柵監視システム
https://www.kyowatecno.jp/monitoring-system/efmos/

11）農研機構 公共牧場等における草地管理の効率化を支援する「草地管理支援システム」（2016 年度農研機構研究成果情報）
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nilgs/2016/16_017.html

12）農研機構 育てる 発展するスマート放牧
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/responsive/naro/naro20-cont05.html

13)安在 ウシの空間分布を考えるなら,草種の分布パターンも分けちゃいなよ！日草誌 67(4):204-208(2022)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/grass/67/4/67_204/_pdf/-char/ja

14）川村 放牧地に侵入したチカラシバを見つけちゃいなよ！　日草誌 67（4）：191-194（2022）
https://www.jstage.jst.go.jp/article/grass/67/4/67_191/_pdf/-char/ja

15）BRAIN　ドローンを利用した草地雑草検出技術の開発
https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/aipro/result/files/aipro_2020_result-k04-01.pdf

16）農研機構　ドローン・AI によるスマート植生評価法の開発
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/harc/153395.html

17）NEDO 日常生活や製造現場の熱で発電、充電の可能な熱化学電池を開発
https://www.nedo.go.jp/content/100943155.pdf

18）Nofence, Easy access to fresh pastures
https://www.nofence.no/en/

（３）スマート農機に共通の課題と研究開発の方向性

ア　通信環境

スマート農機では、自動運転に必要な位置情報にはGNSS衛星の位置情報が用いられており、また、遠隔操作やデータ通信等にはLPWAなどの無線通信が用いられている。このため、ほぼ全てのスマート農機において通信環境は必要不可欠の技術要素となっている。

（ｉ）スマート農機の開発の現状

ａ.GNSS衛星通信

現在、トラクターやコンバインの自動運転では、自律走行に必要な自己位置推定のため、主に衛星測位システム(GPS/GNSS)を利用している。特に、GNSS衛星の位置情報と基地局を組み合わせたRTK-GNSS方式が多く採用されており、誤差２センチメートルと精度が高く、精密な農作業が可能であるが、一方で、RTK基地局の設置などのコストは高い。

このため、RTK基地局が不要で、誤差も数センチメートルである準天頂衛星システム（QZSS）の運用も始まっており、これを利用するドローンなどが開発されている。

いずれの場合も、GNSS信号を遮る電波障害物のない圃場環境であることが前提となる。また、GNSS受信装置の装備はスマート農機のコストアップの主要因となっており、例えばロボットトラクターの市場価格は、慣行トラクターの標準仕様と比べて200～400万円以上高くなる。

ｂ.無線通信

トラクター等の稼働に合わせて圃場の情報をデータ管理するシステムや、水田センサーのデータ通信には、LPWAが多く使われている。

また、ドローンを基地局として活用する取り組みや、新たな通信サービスとして通信事業者によるNTN（非地上系ネットワーク）の取り組みも始まっている。

一方、3Gなど一部サービス提供を終了する通信規格があり、今後、新しい通信規格の開発や普及によっては、機器の更新が必要となる可能性がある。

（ⅱ）中山間地域での課題

中山間地域に各種スマート農機を展開するに当たっては、通信環境に関する以下のような課題がある。

①　中山間地域では、山や樹木の陰になる等、GNSS衛星の位置情報が受信困難な場所が多く、正確な位置情報を取得することができない場合がある。また、RTK基地局の整備も十分ではない。

② GNSS 衛星の位置情報の受信システムは、以前に比べ価格が下がってきているが、システムのほか通信料金などランニングコストが負担となる。

③ GNSS に依らない位置情報の把握方法として、LiDAR を用いた SLAM が考えられるが、中山間地域では人工的な構造物が少なく、地上物の特徴点を基にした空間情報を得にくいとの課題がある。

④ 無線通信として普及しつつある LPWA 通信は、中山間地など地形の陰になるところでは、性能が劣化する。

⑤ 現行のスマート農機では、通信やデータ処理の規格が必ずしも統一されていないため、複数のスマート農機を組み合わせて運用する場合には、農機ごとのデータ処理システムの導入と運用を強いられることになり、経費（データ処理システムの個別導入経費とその運用コスト）も過大になる傾向。

（iii）当面の研究開発の方向性

上記（ii）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ GNSS に依らない安価な位置情報システムの開発。（ii で記載した課題①②③に対応）
（例：LiDAR を用いた SLAM の改良）
（例：果樹の下などでの小型汎用無人車両の自動追従機能の活用）

○ 新たな通信技術・システムの開発。（ii で記載した課題④に対応）
（例：NTN などの新しい通信サービスに対応した水位制御システムの開発）
（例：無線通信機能を持ったドローンを介したデータ通信システムの開発）

○ 通信やデータ処理の規格の統一（ii で記載した課題⑤に対応）

図Ⅱ-3-1[1] ※写真は KDDI(株)ホームページより

図Ⅱ-3-2 スターリンク（米国スペース X 社）用アンテナ

※ 写真は Impress Watch ホームページより[2]

（ⅳ）将来的に目指す姿

中山間地域の全ての環境下で、安価で安定した通信が可能となり、これによりスマート農機が自動で走行して作業を実施するとともに、データに基づく効率的なスマート農業が展開する。

イ　電動化

世界的に地球温暖化への対応が喫緊の課題となっている中で、農業分野でも脱化石燃料が求められており、現在は内燃機関による駆動が中心となっている農業機械も、農林水産省の「みどりの食料システム戦略」等を受けて、電動化を推進することとされている。また、特に中山間地域では給油所が少なく、今後更に減る傾向にあり、こうした中で燃油への依存度を減らすためにも、農業機械の電動化が必要になると考えられる。

スマート農機に電動機（モーター）を搭載する場合、内燃機関（エンジン）と比べると現時点で馬力では劣るものの、トルク応答性(負荷変動に対する応答速度)が速いことから制御性に優れており、自動運転との親和性が高いという強みがある。また、電動機は内燃機関と比べ、動力伝達系の部品点数を減らすことで機体をコンパクト化できるなど、小型化・軽量化が可能であるという点でも、小区画の圃場が分散している中山間地域での利用に適している面がある。

（ⅰ）スマート農機の開発の現状

農業機械のうち、トラクターやコンバイン、畦畔用の草刈機などは、主に軽油を燃料としており、現場での電動機の稼働は限られるが、脱炭素化やエネルギー資源枯渇といった課題解決のため、これらの機種についても電動化に向けた研究開発は国内外で進められている。

トラクターの例では、果樹園等を対象にした電動のロボットトラクター(40PS)が、海外で市販されている。小型トラクターについても、2022 年から欧州の自治体を対象に、緑地管理等の軽負荷作業用途として、国産の小型電動トラクター(26PS)のレンタルサービスが行われている（図Ⅱ-3-3)。更に、国内の農機メーカー各社は、国内向け小型クラスの電動トラクターを、数年先に商用化する目標を掲げている。

また、電動化の推進は、カーボンニュートラルの観点から農業用分野に限らず望まれていることから、他産業でもバッテリーの長寿命化、消費電力を低減する高効率モーターなどの技術開発が進められている。

図Ⅱ-3-3
欧州向け電気トラクター[3)]

（ⅱ）中山間地域での課題

中山間地域に展開するスマート農機について、その電動化を推進するに当たっての主な課題として以下が挙げられる。

① 一般に電動機は、現時点では内燃機関と比べて馬力に劣り、またバッテリー切れの懸念もある。価格も比較的高い。

② 中山間地域では、小水力発電などの再生エネルギー発電の可能性があるが、必ずしも十分に活かされていない。

（ⅲ）当面の研究開発の方向性

上記（ⅱ）に挙げた課題を解決するため、以下のような技術の研究開発が考えられる。

○ 内燃動力と同程度の作業性能を持ち、かつ、比較的安価な電動機の開発。（ⅱで記載した課題①に対応）

（例：電動小型ロボットトラクター、電動小型汎用無人車両）

○ 中山間地域の地形的条件等を活用した小水力発電などの再生エネルギー発電と、その電力を農業機械へ利用できる装置等の普及。（ⅱで記載した課題②に対応）

（ⅳ）将来的に目指す姿

できるだけ多くのスマート農機について、電動化を実現する。その電力に中山間地域での再生エネルギー発電を利用することで、エネルギーの地産地消にも貢献する。

【参考文献等】

1）KDDI(株) 「ドローン基地局」の開発について（2017 年 2 月 24 日）
https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2017/02/24/2336.html

2）Impress(株) ImpressWatch：スターリンク、回転不要の新型アンテナ ルーターも刷新
https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1548297.html

3）クボタ Compact Electric Tractor LXe-261 Released in European Markets
https://www.kubota.com/news/2022/20220905.html

Ⅲ．スマート農機の研究開発及び導入・普及の加速化に向けた取組

第Ⅱ章においては、中山間地域の現場に10年度程度に導入又は普及することを目指し、主なスマート農機について当面の研究開発の方向性を示したが、中山間地域における農業従事者の不足への懸念は強く、農業関係者からは、10年後では遅すぎる、むしろ５年後には農業存続の危機が訪れるといった声も聞かれる。

このため第Ⅲ章では、こうしたスマート農機の研究開発及び導入・普及について、より早期の実現を図るため、その加速化に必要と考えられる取組を整理する。

（１）研究課題の重点化

スマート農機の研究開発は、様々な品目・作業に対応する必要があるが、当面の研究開発のために使うことができる時間、人員、資金といったリソースには限りがある。

このため、多くの研究課題の中から、特に早期の導入・普及が必要なスマート農機に関する研究開発を優先的に取り上げ、重点的に推進することを検討する必要がある。この点、中山間地域においては、農業従事者の減少への対応が喫緊の課題となっていることから、例えば、水稲では水管理や除草、放牧では個体管理といった、労働負担が特に大きい作業に対応するスマート農機の研究開発を優先的・重点的に推進することが考えられる。

また、研究開発には基礎的研究から製品開発まで様々な段階があるが、このうちのどの段階を重点的に支援すべきかも論点となる。一般に研究開発では、製品開発は消費者ニーズに対応する民間事業者の取組に委ね、基礎的研究を支援の対象とすべきとの考え方があるが、製品のマーケットが小さい場合にも同様に考えてよいかという議論もあり、また、早期の社会実装が必要な取組や、その見込みがある取組こそ支援すべきとの考え方もある。これらを踏まえ、中山間地域向けのスマート農機の研究開発についても、どの段階の研究開発を重点的に支援すべきかを含め、検討する必要がある。

（２）低コスト化（導入に伴う費用負担の軽減）

スマート農機は、自動走行機能等が付加されることから、従来の農業機械と比べて価格が高額となるが、中山間地域の農業経営では、平地に比べ規模拡大が難しく農業所得が少ない傾向にあることから、農業機械のための費用負担には限界がある。こうした中で、スマート農機の導入・普及を進めるには、その低コスト化、すなわち、スマート農機を導入して使用する農業者にとっての費用負担の軽減を図る必要がある。

ア　低価格のスマート農機の研究開発

まず考えられるのは、スマート農機自体の低価格化であり、そのための以下のような取組である。こうした取組によるスマート農機の多くは、早期の開発が可能と考えられ、その点からも導入・普及の加速化に資する。ただし、安くても使い勝手の悪い製品の開発とならないように注意が必要である。

①　必要最小限の機能を搭載した農機の開発

搭載する機能を絞ったり、その機能を簡素化した、簡易版・廉価版のスマート農機を開発することが考えられる。果実収穫機を例にとると、果樹になっている全ての果実を短時間で収穫できるスマート農機の開発を目指すとすれば、それに応じた技術や精度が求められることから、開発には時間がかかり、価格も高額になる。しかしながら、そこまで高い性能の農機ではなくても、機械がとりやすい一部の果実だけ収穫したり、収穫速度は遅くても夜間連続稼働することで、労力の削減につながる。

同様に、水稲の移植や収穫においても、センサーの数を減らしたり、その感度を落としたりすることで、水田圃場の畦畔ギリギリまでは作業しないなど、従来の８割程度の性能のスマート農機を開発することも考えられる。更に、仮に人が住まない中山間地域において、無人栽培地区といった特別の区域を設けることができるとすれば、周囲に人がいることを想定した安全機能を簡素化したり、不要にすることができるかもしれない。

こうしたスマート農機には、多くの機能や高度な機能を求めることはできないが、その代わりに、低価格化と早期の社会実装が期待できる。

②　現場で利用されている機械への機能付加

既に現場に普及している機械に一定の機能を付加することで、低価格なスマート農機として利用することができる。例えば、多くの農家で利用されている軽トラックに、自動走行技術を実装することで汎用無人車両の代わりにしたり、圃場近くに駐車して LiDAR 技術の目標物として活用することが考えられ、農研機構、自動車メーカーのスズキ、地図情報会社のゼンリンが共同開発に取り組んでいる。[1,2)]

③　他産業で利用が拡大し低価格化が実現している技術の活用

他産業で開発・利用が進んでいる技術を農業機械に活用することで、低価格化や現場導入の早期化が期待できる。例えば小型無人車両やドローンは、建設現場や警備、娯楽など他分野でも利用され、今後とも市場が拡大し、多くのメーカー参入による低価格化が期待される。また自動走行技術については、自動車業界で研究開発が進められている。その他にも、国の研究機関や行政機関が開発・普及する技術をはじめ、農業以外の幅広い分野の技術について、農業機械へ応用する可能性を検討することが有益である。

④　安価な代替素材の活用

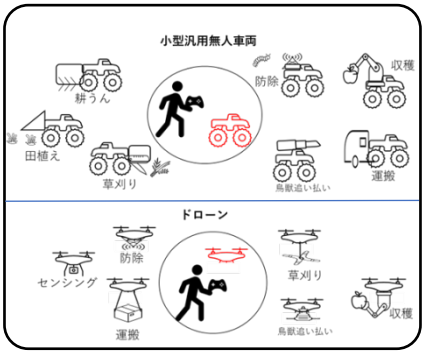
安価な代替素材を利用することができれば、機械自体の価格を下げることができる。このため例えば、国の研究機関や行政機関が中心となり、スマート農機に活用可能な素材の探索研究を進めることが考えられる。但し、そのような素材であっても、機械全体の強度や性能を必要な水準に維持できることが必要である。

また、材料や部品の変更に伴い、その部分だけではなく設計から変更することが必要になることもある。このため、研究開発の当初から、低コストな素材を前提とした設計・開発を行うことや、途中での素材の変更を想定した設計・開発を行うことが考えられる。

イ　汎用性の高いスマート農機の研究開発

農業機械は品目ごと、作業ごとに専門性の高い機械の開発・販売が主流となっており、このため農家は多くの農業機械を所有していることが多く、その分、費用もかかっている。これに対し、一つのスマート農機によって複数の品目や複数の作業に対応することができれば、それ以外に多くの農業機械を所有する必要がなく、農業経営としての費用負担を軽減することができる。

例えば、小型無人車両やドローンは、作業アタッチメントの開発と規格の統一により、様々な作業に対応することが期待できる。ロボットトラクターについても、同様に、水田・畑作の耕うんだけでなく、防除や収穫といった作業や、果樹・園芸、畜産といった他品目への活用の拡大が期待される。



図Ⅲ-2-1　台車となる小型汎用無人車両やドローンに様々なアタッチメントを付けて多様な作業機として利用するイメージ図

なお、中山間地域向けの汎用的な農機の研究開発については、スマート農機の事例ではないが、小区画・非定型水田向けに、１台の小型乗用作業車を耕うん・代かき、田植え、管理作業(溝切り・薬剤散布・施肥)へ幅広く利用することを目的とした「中山間地域向け栽培管理ビークルの開発(農業機械等緊急開発事業(2014～2017 年))」といった例もある（本機はその後実用化には至っていない）[3)]。

ウ　利用形態の多様化

一人の農業者が多くの農業機械を所有することは、農業経営として経済的な負担が大きいため、農業機械を地域で共同所有したり、一部作業をサービス事業体に委託することが考えられる。例えば水田畦畔の除草やドローンによる農薬散布などは、地域単位でサービス事業体を利用するケースが多くなっている。

また、近年は、メーカー等が運営・管理する農機のシェアリングサービスが始まっている。シェアリングは、播種機、田植機、コンバイン等では、各農機の利用が各作業の適期に集中することが課題であるが、小型のロボットトラクターによる耕うん・代かき、施肥及び雑草防除等では、作業適期が限定的でないことから、各農機の利用が集中する懸念は小さいとも言われている。

更に、スマート農機本体ではなく、ドローンのバッテリーや作業アタッチメントなど、スマート農機の一部の共同利用やサブスクリプション利用も考えられる。例えば、ドローンのバッテリーは、一度の作業に多くの数を必要とするが、個々の農家がいくつものバッテリーを所有するのではなく、バッテリーだけサービス事業体からリースし、料金は年定額のサブスクリプションにするなどの新しいサービスの展開が考えられる。

このように、農業者の費用負担を軽減し、効率的な農業経営を可能とするために、スマート農機の利用形態に多くの選択肢を用意することが効果的である。農業支援サービスの形態は下表のとおりいくつか挙げられるが、地域に合った利用形態を検討する必要がある。

なお、スマート農機の研究開発においても、必要に応じて、こうした利用形態も想定した取組が求められる。

農業支援サービスの例

専門作業 受注型	**播種や防除、収穫などの農作業を受託**し、農業者の作業の負担を軽減するサービスを提供する事業です。 利用に当たって技術が必要なドローンによる防除作業を農業者に代わって行う JA 等の事業も登場しています。
機械施設 供給型	**機械・機具のリース・レンタル、シェアリング**により、農業者の導入コストを低減するサービスを提供する事業です。 機械を無償で貸し出し、その稼働実績に応じた課金を行う事業も登場しています。
人材 供給型	**作業者を必要とする農業現場のために、人材を派遣する**等の事業です。各地の繁忙期に着目して、社員を専門的に育成・派遣する事業者も登場しています。
データ 分析型	**農業関連データを分析してソリューションを提供する**事業です。 ドローンによる作物の生育状況のセンシングや、農業生産・市況データ等を駆使して農業経営をコンサルタントする様々な事業者が登場しています。

※　農業支援サービスについては上記のようなものが考えられますが、日本標準産業分類上の農業にかかわらず、農業をサポートする事業を展開する事業者と広く捉えています。

図Ⅲ-1-3-1　農業支援サービスの例

出典：農林水産省「スマート農業　次世代型農業支援サービス　農業支援サービスの例」https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/nougyousien.html

エ　導入コスト目標

以上に述べてきたように、スマート農機の導入・普及の加速化に向けては、スマート農機の導入・利用に伴う現場の農業者にとっての費用負担を、できるだけ軽減することが不可欠である。従って、スマート農機の研究開発においても、その性能だけでなく農業者にとって導入可能なコストを実現することが重要である。例えば、高性能のスマート農機を導入することで、作業に必要な労働時間を多く削減することができても、その削減効果以上に購入価格などのコストがかかるようでは、農業者による導入にはつながらない。

このため本研究開発構想では、スマート農機を導入しようとする農業者を想定し、その視点に立って、各スマート農機の研究開発において目指すべき導入コスト目標を提示することとした。これは、農業者がスマート農機を導入しようとする際、どれくらいの価格であれば購入するかを、一定の仮定の下に試算したものである。具体的には、①あるスマート農機のコスト目標（研究開発等によって実現を目指すコスト）は、農業者が、その導入のために支払っても良いと考える費用（導入可能な費用）であると考え、②この費用は、その農業者がスマート農機の導入により受けるメリットと同等と考え、③このメリットは、当該スマート農機導入による単位面積当たりの労働時間削減効果と考え、この効果を費用換算することで算出した。

このような考え方により、第Ⅱ章で取り上げたスマート農機のうち、主なものについての導入コスト目標として試算した結果は、表Ⅲ-2-1 のとおりである。（具体的な試算は別紙２の通り。）

表Ⅲ-2-1　スマート農機のコスト目標試算例

スマート農機	労働時間削減効果	導入コスト目標
小型ロボットトラクター （水田の耕うん・代かき・基肥・直播）	・既存の小型トラクターとの　性能差（自動運転機能） ・耕うん・代かき・基肥散布等にかかる時間を4割削減	約 14 千円／10a
小型汎用無人車両 （果樹の剪定・防除・収穫）	・剪定枝運搬にかかる時間を 50%削減 ・農薬散布に係る時間を 50%削減 ・収穫補助で収穫関係の時間を 30%割削減	約 28 千円／10a
農作業用ドローン （水田の防除・施肥）	・農薬散布にかかる時間を 65%削減 ・追肥に係る時間を 35%削減	約 3 千円／10a
リモコン式除草機 （水田畦畔の除草）	・水田畦畔の除草にかかる時間を7割削減	約 32 千円／10a
リモコン式除草機 （果樹園の除草）	・果樹園地内の除草にかかる時間を7割削減	約 19 千円／10a
水田の水管理システム （水田の水管理）	・水管理にかかる時間を8割削減	約 52 千円／10a
米・麦・大豆の収穫機 （水田の収穫）	・既存の小型普通コンバインとの性能差（自動運転機能） ・作業時間を3割削減	約 7 千円／10a
果実収穫機 （果実の収穫）	・収穫・調整にかかる時間を8割削減	約 50 万円／10a

なお、上記の導入コスト目標の試算にあたっては、労働時間削減効果を費用換算する際に、農業者の雇用賃金のデータを利用しているため、計算上は、雇用労働者の代替としてスマート農機を導入するケースを想定したような試算となっている。これは、既存のデータを用いて農業者の労働を金銭で評価したことに伴うものであり、実際には、中山間地域において農業従事者の減少が深刻化する中で、スマート農機の導入によって、従来は数人で行っていた作業を一人で行ったり、あるいは一人で作業する面積を従来から拡大するといったケースが想定される。

また、農業者はスマート農機の導入により、労働時間の削減のほかにも、各スマート農機の種類や性能次第で、労働時間削減に伴う規模拡大や高付加価値化に向けた取組の実施、高所・炎天下等の危険環境での農作業事故の回避、ピンポイント施肥・除草による無駄な資材コストの削減、適切な水管理による収量・品質の向上、ロボットの夜間作業による野生動物の被害軽減など、様々なメリットを受けることを期待できる。

更に、スマート農機の利用形態によっては、スマート農機の導入のために支払っても良いと考える費用（導入可能な費用）の水準や考え方も変わる可能性がある。たとえば、スマート農機を地域で共同所有することとすれば、導入可能な費用は個々の農業者ではなく、地域の農業者が共同で負担できる水準になると考えられる。また、サービス事業体を活用する場合は、農業者ではなく、サービスを提供する事業者が負担できる費用になるとも考えられる。

このため、上記の導入コスト目標を一つの指標としつつ、スマート農機の導入により得られる実際のメリットや、利用形態に応じた費用負担の在り方なども踏まえて、総合的・経済的に判断し、現実的な導入コスト目標を設定することが適当である。

（３）スマート農業サポート体制の整備

中山間地域の農業者によるスマート農機の導入・普及を推進するためには、これら農業者がスマート農業に取り組みやすくなるよう、スマート農機の利用・管理をはじめ、スマート農業のサポート体制の整備が必要である。

農研機構ではスマートサポートチームメンバー[4)]をHPで公開し、技術的な支援者を紹介しているが、さらに経営も含めたコンサルティングがあると、よりスマート農業に取り組みやすくなる。

このため、例えば各地域において、「地域スマ農サポートセンター」のような体制を構築し、国や自治体の支援の下、スマート農業のノウハウを持つ農業経営者や民間の農機メーカーも連携し、事例収集やデータ管理など、中山間地域のスマート農業に関する情報やデータを集約するとともに、農業者に対し、最適なスマート農機の選定や、営農・経営のサポートや改善指導などを行うことが考えられる。

（４）スマート農機の利用環境の整備

スマート農機が現場の農業者によって利用しやすくなるとともに、その性能を十分発揮するためには、下記のような利用環境の整備が必要である。これらについても、国や自治体、民間事業者をはじめ、幅広い関係者の取組や支援が必要である。

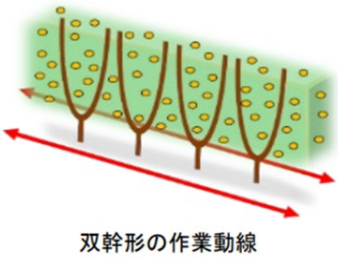
ア　栽培管理体系の変更

野菜や果樹では、自動運転収穫機等の機械利用にあわせた栽培体系や樹形の見直しによって、スマート農機の導入が容易になることが知られている。

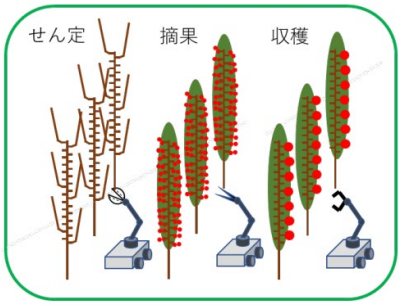
更に、これらの栽培管理体系を複数の品目で共通化することで、スマート農機の汎用性を高くすることも検討されている。例えば、野菜の畝幅や移植間隔などを共通化することで、自動運転収穫機の作業効率を向上させることが可能と考えられることから、農研機構が野菜の機械化のための標準的様式を提案[5)]している。果樹では樹形をシステム化しやすい平面的な新樹形とし、樹種共通で使用できる自動走行車両や収穫ロボットと組み合わせることで、労働時間を削減する研究[6,7)]も進められている。

このほか、機械収穫で傷みにくいレタス等の葉菜類、ハサミを使わず収穫できる柑橘類など、スマート農機による栽培に適した新品種の開発も期待される。

水田では、部分・簡易耕起など、作業効率を重視した栽培体系への変更や、そのような栽培方法に適した品種の開発などが考えられる。



図Ⅲ-4-1　温州ミカンの双幹形の作業同線[6)]



図Ⅲ-4-2　カラムナータイプリンゴの機械化栽培のイメージ[7)]

イ　農業基盤整備の推進

スマート農機の普及拡大には、圃場について、区画の大型化・整形化、畦畔傾斜の緩和といった整備も重要である。このため農林水産省は、自動走行農機等に対応した農地整備の手引き[8)]において、自動走行農機等を導入する際に押さえておくべき基盤整備の留意点等を整理している。中山間地域については、傾斜地が多いため平地に比べ圃場整備に係る事業費は大きく[9)]、基盤整備が遅れることが懸念されているが、そうした中でも、急傾斜地の効率的かつ安全性の高い圃場整

備の在り方についての研究[10]など、スマート農機の性能を十分発揮できる中山間地域の圃場区画の研究も進められている。

また、中山間地域では農作業用道路も狭小で傾斜路が多い。スマート農機の小型化も進むと思われるが、２トントラックが走行可能な農道整備や自動運転を考慮した磁気マーカーの設置[11]など、スマート農業の推進を加速する農道整備が行われることを期待したい。

ウ　情報通信に関する技術開発・システム整備

スマート農業に欠かせないデータ通信の分野では、次世代通信の研究開発が進められており、5G の特長である「高速・大容量」、「低遅延」、「多数同時接続」の機能を更に高度化することに加え、新たに「超低消費電力」、「通信カバレッジの拡張性」、「自律性」、「超安全・信頼性」などの機能が期待されている[12]

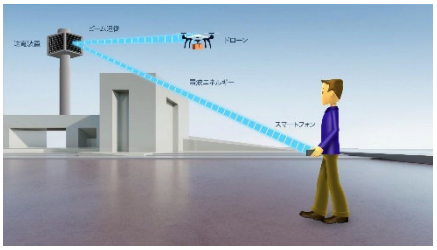
一方、携帯電波（800MHz、2GHz）の人口カバー率は 95%超であるが、面積カバー率は 3～6 割程度[13]で、人の住んでいない耕作地や放牧地は十分カバーされておらず、自治体主導による基地局の整備や、NTN（非地上系ネットワーク）などの新しい通信環境の拡大などにより、中山間地域の情報通信の課題が解決されることで、スマート農機の展開への寄与が期待される。

エ　電力供給に関する技術開発・システム整備

スマート農機は、通信機器や電動モーターなどに電力を必要とすることから、電力供給に関する技術開発も、スマート農機の普及・拡大にとって重要である。

即時性の高い方法としては、多くの農家が使用する軽トラックを、充電ステーションとして活用することなどが考えられる。（（２）②参照）

産業界では、全固体電池などの新しい電池の研究開発が行われており、バッテリーの小型化、長寿命化への期待は大きい。（第Ⅱ章（３）のイ参照。）また、電力を空間伝送するシステムの研究開発[14,15]も行われており、スマート農機への活用が期待される。



図Ⅲ-4-3　「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム」の電力供給イメージ[14]

【参考文献等】

１）日本農業新聞（2022 年 12 月 16 日）
https://www.agrinews.co.jp/news/index/124624
２）全国農業共済協会ホームページ（2023 年 1 月）
http://www.nosai.or.jp/mt6/2023/01/post-7205.html
３）藤岡修 2017　中山間地用水田栽培管理ビークルとその作業機の開発　農業食料工学会誌 79(3)216～219

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsamfe/79/3/79_216/_pdf/-char/ja
４）農研機構　https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/suishin-kyogikai/index.html#smk01
５）農研機構　緊プロ事業の歩み　標準的栽培様式
https://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/iam/kinpuro/youshiki/saibaiyosiki.html
６）農研機構（2021）　省力樹形樹種別栽培事例集
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nifts_jukeijushubetsusaibaijirei20210322.pdf
７）農研機構（2019）　スマート農業と果樹の樹体改造　Fruit＆TeaTime　No.17
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/Fruit_Tea_Times_No17.pdf
８）農林水産省（2023）　自動走行農機等に対応した農地整備の手引き
https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/kizyun/attach/tebiki.html
９）竹谷裕之（1989）　傾斜地農業の基盤整備　農業経営研究第 26 巻第 3 号　p.14
https://www.jstage.jst.go.jp/article/fmsj1963/26/3/26_14/_pdf
10）千野敦義ら（1993）　山間急傾斜地水田における圃場整備計画の基本的考え方と計画事例　信州大学農学部紀要 30 巻 2 号 p125
https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030521983.pdf
11）ヤマハ発動機株式会社　磁気マーカシステム（GMPS）による高精度な自動走行を確認　2023 年
https://news.yamaha-motor.co.jp/2023/024977.html
12）総務省　令和５年版　情報通信白書
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r05/html/nd25760f.html
13）総務省　令和４年度携帯電話及び全国 BWA に係る電波の利用状況調査の評価結果の概要
https://www.soumu.go.jp/main_content/000859612.pdf
14）京セラ株式会社　「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム」を実現する基礎技術を開発
https://www.kyocera.co.jp/newsroom/news/2023/002277.html
15）安昌俊（千葉大学大学院工学研究院教授）2020「無人航空機基地局（ドローン基地局）におけるエネルギー源の開発とその応用」公益財団法人電気通信普及財団研究調査助成報告書第 35 号
https://www.taf.or.jp/files/items/1649/File/%E5%AE%89%E6%98%8C%E4%BF%8A.pdf

Ⅳ．スマート農機の中山間地域への展開に向けて（まとめ・提言）

生研支援センターの令和５年度研究開発構想では、「スマート農機の中山間地域への展開」をテーマとした。中山間地域では、人口減少や少子高齢化に伴う農業従事者の不足が深刻な懸念となっている一方、平地と比べてもスマート農機の導入・普及は進んでおらず、現場のニーズからも、当面の研究開発の必要性が高いテーマである。

中山間地域では、多種多様な品目の農業が営まれているが、本構想ではそのうち、中山間地域の主要農作物であり、かつ、平地との生産条件が大きく異なる作物等として、水稲、畑作、果樹（特に柑橘類）、茶、放牧を取り上げた。また、これら各品目における様々な農作業の中から、農業従事者の不足により継続が困難となる可能性が高い作業に着目した。そして、これらの品目・作業に対応するために導入・普及すべきスマート農機として、①小型ロボットトラクター（水稲・畑作）、②小型汎用無人車両（果樹・畑作）、③農作業用ドローン（水稲・畑作・果樹・放牧）、④除草ロボット（水稲・畑作・果樹）、⑤水田の水管理システム、⑥米・麦・大豆の収穫機、⑦果実収穫機、⑧茶の複合管理機、そして⑨放牧管理システムの計９種類を検討対象とした。

各スマート農機の検討にあたっては、まず、それぞれの開発の状況を調査した。本構想で導入・普及すべきとしたスマート農機に関して、既に様々な技術の研究開発が行われているが、その現状としては、多くは研究・実証段階であること、平地や大区画圃場向けの大型機械が先行していること、通常の農業機械と比べて高額であること等が挙げられる。

次に、これら各スマート農機の中山間地域への導入にあたっての課題を、平地とは異なる中山間地域に特有の生産条件を中心に整理した。各スマート農機に共通する主な課題をみると、圃場については、その多くが小区画で不整形であり、傾斜や凸凹があることや、農業者が作業する圃場が点在しているケースも多いこと、圃場にアクセスする農業用道路についても、狭小で急傾斜であることなどが挙げられる。また、多くのスマート農機の運用に不可欠な通信環境については、地形や植生が GNSS 衛星からの受信の障害となること、携帯電波などの無線通信の送受信にも困難があることなどが指摘されている。更に、農機を動かすために必要な燃油については、給油所が少なく、今後も減る傾向にあることなどに留意する必要がある。

その上で、これらの課題を解決するため、１０年後程度の現場への導入又は普及を目指して、当面必要と考えられる研究開発の方向性を整理するとともに、具体的に考えられる技術も例示した。多くの農機に共通する主な方向性をみると、農機の自動走行等による作業負担の代替・軽減に加え、小型化・軽量化による小区画の圃場等への適応、汎用化による多様な作業への対応、GNSS 衛星通信だけに依存しないシステム

構築による安価で安定した通信環境の実現、電動化の推進などが挙げられる。各スマート農機ごとの検討結果は、別紙１にまとめているので、参照願いたい。

以上に加えて、本構想では、これらスマート農機の研究開発及び導入・普及について、より早期の実現を図るため、その加速化に向けた取組を整理した。このうち研究開発の加速化に関しては、限られた時間とリソースの中で、労働負担が特に大きい作業を代替するための研究開発に優先的に取り組むなど、研究課題の重点化が必要と考えられる。

また、導入・普及の加速化に向けては、スマート農機の利用に伴う現場の農業者の費用負担の軽減が不可欠である。このため、低価格なスマート農機の研究開発（例：必要最小限の機能の搭載、軽トラックなどへの機能付加、他産業の技術の活用、安価な代替素材への転換）や、複数の品目・作業に対応できる汎用的なスマート農機の研究開発（例：一台のスマート農機と複数の作業アタッチメントの組み合わせ）に取り組むことが考えられる。併せて、農業者がスマート農機を購入することなく利用できるよう、サービス事業体やシェアリング、サブスクリプションなどの活用を推進することも必要となる。このようにスマート農機の研究開発においては、その性能だけでなく農業者にとって経済性の観点から導入可能なコストを実現することが重要であることから、そうした農業者の視点に立ち、各スマート農機についての導入コスト目標も提示した。

このほか、スマート農機の導入・普及の加速化に向けては、研究開発と併せて、中山間地域の農業者がスマート農業に取り組みやすくするためのサポート体制を整備するとともに、栽培管理体系の変更、農業基盤整備の推進、情報通信や電力供給に関する技術開発・システム整備といった、スマート農機の利用環境の整備も必要である。

本構想では以上の通り、スマート農機の中山間地域への展開のために、必要と考えられる研究開発や関連する取組を整理した。その内容は、今後の行政部局による関係政策・施策の企画立案と実施運用、関係機関・企業による具体的な研究開発、そして中山間地域の現場関係者によるスマート農機の利用拡大をはじめ、幅広い関係者による取組の参考になるものと考える。

なお、冒頭に説明の通り、本構想は、中山間地域における特定の品目・作業を対象として検討を開始した。しかしながら、その検討の結果は、スマート農機の汎用化の重要性もあり、その他の品目や作業にも、更に中山間地域に限らず広くスマート農機の研究開発やスマート農業の推進にも、意義ある内容となったと考える。

他方、本構想の策定にあたって行った調査や検討は、スマート農機に関する内外の現状や課題の全てを網羅したとは言えない。また、本構想が提示した研究開発や取組は、具体的な実施に当たっては更なる検討が必要である。更に、本構想とは異なるア

プローチにより、あるいは本構想が想定しない技術や発想により、別の課題解決の方法もあり得る。そうした点も踏まえ、更なる検討や取組が行われることを期待する。

本構想が一助となり、スマート農機についての研究開発や現場への導入・普及が推進され、中山間地域を含む我が国農業の持続発展に寄与することを願うものである。

最後に、今回の研究開発構想の策定にあたって、当センターの調査・検討にご協力いただいた多くの関係者の皆様に、心より感謝申し上げます。

【別紙１】

スマート農機の中山間地域への展開に向けた研究開発の方向性

（１）各品目・作業への対応

ア　小型ロボットトラクター（水田・畑作）

①　既存の大型ロボットトラクターの技術を活用した、小型（10PS 級）のロボットトラクターの開発。併せて、その汎用化や省エネ農法（部分・簡易耕起等）への活用に適応したアタッチメントの開発。

②　非乗用型の小型電動専用作業機と、その汎用化アタッチメントの開発。

（例：内燃動力を電動化することで動力伝達機構を省き小型化し、既存のトラクターと異なる車両体系を開発。）

③　AI 自律型ロボットトラクターシステムの開発（AI がロボットトラクターを監視することで、人的なリソースの節約と安全性を両立)。

イ　小型汎用無人車両（果樹・畑作）

①　傾斜地や凸凹など条件の悪い圃場でも、自動で安定した走行が可能な車両の開発。

（例：不安定な路盤でも、荷台が水平に保たれる技術。）

②　現行の自動走行機能や自動追従機能よりも、簡易で低コストな走行管理技術の開発。

（例：声などにより操作可能な技術）

③　様々な作業（例：物品運搬、除草、肥料・農薬の散布、剪定枝収集、脚立作業、収穫）に対応し、専門機器に見劣りしない性能を持ち、かつ、台車を選ばず設置できるアタッチメントの開発。

ウ　農作業用ドローン（水田・畑作・果樹・放牧）

①　位置情報で捕捉不能な障害物があっても、安定飛行が可能なドローンの開発。

（例：LiDAR ドローンの農業分野への利用。圃場からの高度を一定に保つ技術の開発。）

②　多種多様なアタッチメント(作業機)の開発。

（例：水田の水位・水温を測定することが可能なセンシング機器）

（例：正条で直播が可能なアタッチメントの開発）

（例：対象とする剪定枝や摘果果を的確に判別し、ハサミや鋸、レーザー等で切断するアタッチメント）

（例：受粉の必要な花に、ピンポイントで花粉を吹き付ける等の手段により受粉を行うアタッチメント）

（例：病気発生部位や害虫にピンポイントで農薬を吹き付ける水鉄砲のようなアタッチメント）

（例：確実な鳥獣の撃退方法（光、音、レーザー等）を持つアタッチメント）

（例：草刈り用の刃を持ったアタッチメント）

（例：風が吹いても荷物が揺れない仕組みを持つ運搬アタッチメント）

（例：放牧牛の位置監視や生体情報の取得に加え、装置の繁茂状況や雑草を検知する多様な機能を有するアタッチメント）

エ　除草ロボット（水田・畑作・果樹）

①　傾斜地や、凸凹などで条件の悪い園地でも、エリアワイヤーなしで自動安定走行が可能な小型除草機の開発。

（例：急傾斜での滑落を防止する傾斜アシスト機能の向上、凹凸や敷設物等を回避あるいは安定して走破する技術）

（例：畦畔を含む三次元農地マップと連動した自動走行技術）

②　急傾斜地や境界近くなど、車両による除草機では対応できない場所の除草が可能な機器の開発。

（例：草刈り用の刃を持ったドローン）

（例：レーザー照射等による遠隔からの除草技術）

③　作物や牧草と雑草を見分けるピンポイント除草技術の開発などの除草技術の高度化。

（例：AI による判別、レーザー照射による除草）

（例：除草スピードの高速化、刈幅の増大技術）

（例：小型自動除草機の特性を活かした病害・鳥獣害対策など他分野用途への活用を見据えた応用研究）

オ　水田の水管理システム

①　低コストな水田センシングシステムと水位制御システムの開発。

（例：ドローンを活用した水田センシング（水温や水位など））

②　水田センシング情報を分析し、水位制御システムにロスが最も少ない最適な指示を送信する統合システムの開発。

③　開水路でのゴミ詰まり防止技術の開発。

（例：水路掃除ロボット）

カ　米・麦・大豆の収穫機

①　小型自動コンバインの開発。

（例：開発済の自動運転コンバインの技術を活用し、数十馬力級の小型コンバインをスマート化。）

②　コンバインの枠組みから脱却した、新しい収穫機の開発。

（例：小型汎用無人車両に搭載する収穫用アタッチメントの開発）

キ　果実収穫機

①　傾斜地や凸凹など条件の悪い圃場でも、安定した移動ができる台車等の開発。

（例：条件の悪い圃場でも安定走行可能な車両）

（例：ドローンや脚ロボットなど、車両以外のアーム搭載機）

（例：人体装着型の複数人工アーム）

②　柑橘類の収穫機の開発。（ⅲで記載した課題②に対応）

（例：柑橘類の果実を認識し、収穫適期を判別する技術）

（例：柑橘類の収穫アーム（表皮のやわらかい果実を掴む、果実の柄を切断するという 2 つの機能が必要））

ク　茶の複合管理機

①　小型・軽量で汎用性の高いスマート複合管理機の開発。

（例：現行の乗用軽量管理機の無線操縦型への転換）

（例：軽量管理機の作業部に装着可能な多様な作業用アタッチメント）

②　中山間地域の被覆茶栽培用の被覆装置及び被覆資材等の開発

（例：現行の被覆資材の展開・巻取り装置を傾斜地茶園でも容易に使用できるよう改良、軽量化）

（例：中山間地の傾斜地茶園でも利用しやすい、被覆資材や直がけ被覆以外の遮光栽培技術）

ケ　放牧管理システム

①　多様なセンシング機能を備えた小型で安価な個体管理タグ/トラッカー等の開発

（例：牛の体温を利用した熱化学電池[21]や、振動ならびに牛に装着可能な小型ソーラーパネルを利用した発電によって、連続駆動可能な牛装着用の省電力タグの開発）

（例：受信障害等に伴い個体管理タグ/トラッカーからサーバーへ送信されないデータを回復する機能（メモリー機能等）の開発）

（例：ドローンの群画像による体重等の個体管理機能の開発）

② 個体管理タグ/トラッカーと連動可能な安価な API の開発。

③ 遠隔操作による放牧牛誘導システムの開発。

④ 機動力のあるスマートな放牧地管理機の開発（ⅲで記載した課題②に対応）

（例：ドローンによる放牧地等の牧草へのピンポイントの施肥とこまめな掃除刈りを行う機器）

（例：ドローンで収集して AI 解析した情報と連動して自動運転できる除草管理機の開発）

（例：放牧地内の除草地点まで自走できる除草管理機）

⑤ 導入・管理コストの低い牧柵や給餌・給水システムの開発。

（例：GNSS やスマホ等の受信障害が短時間あっても牛の脱柵がない、省電力型のバーチャルフェンス）

（例：安価な自動給餌機や自動給水機）

（２）スマート農機に共通する課題への対応

ア 通信環境

① GNSS に依らない安価な位置情報システムの開発。

（例：LiDAR を用いた SLAM の改良）

（例：果樹の下などでの小型汎用無人車両の自動追従機能の活用）

② 新たな通信技術・システムの開発。（ⅱで記載した課題④に対応）

（例：NTN などの新しい通信サービスに対応した水位制御システムの開発）

（例：無線通信機能を持ったドローンを介したデータ通信システムの開発）

③ 通信やデータ処理の規格の統一

イ 電動化

① 内燃動力と同程度の作業性能を持ち、かつ、比較的安価な電動機の開発。

（例：電動小型ロボットトラクター、電動小型汎用無人車両）

② 中山間地域の地形的条件等を活用した小水力発電などの再生エネルギー発電と、その電力を農業機械へ利用できる装置等の普及。

【別紙２】

各スマート農機の導入コスト目標の試算

≪考え方≫

今回の研究開発構想では、農業者が、あるスマート農機の導入のために支払っても良いと考える費用（導入可能な費用）を、当該スマート農機のコスト目標（研究開発等によって実現を目指すコスト）とし、この「農業者が導入可能な費用」は、その農業者がスマート農機の導入により受けるメリットと同等と考え、具体的には、当該スマート農機導入による労働時間削減効果を費用換算して算出した。

≪算出方法≫

① 作業に要する労働時間　（○時間/10a/年）
×② スマート農機導入による労働時間の削減効果　（削減率：○割）
×③ 労働単価　（○円／時間）
×④ スマート農機の耐用年数　（○年）
‖
労働時間削減効果（＝農業者の導入可能な費用）（＝コスト目標）（○円／10a）

≪試算に用いた数値等≫

・「①作業に要する労働時間」及び「②スマート農機導入による労働時間の削減効果」は、統計データやスマート農業実証プロジェクトの結果を踏まえ、品目ごと・作業ごとに下表のとおりとした。
・「③労働単価」は、全国農業会議所調べの農業臨時雇賃金（1,137 円）を踏まえ、将来の労賃上昇も考慮し、一律に 1,200 円／時間とした。
・「④スマート農機の耐用年数」は、財務省令の農業用設備についての規定（農業機械含め一律 7 年）を踏まえ、一律に 7 年とした。

		水稲											
		種子予措	育苗	耕起整地・基肥・直播	田植	追肥	除草	畦畔管理	水管理	防除	刈取脱穀	乾燥	生産管理
① 作業に要する時間（時間/10a）		**0.23**	**2.41**	**4.04**	**2.77**	0.22	**1.06**	5.38	7.70	0.38	**2.81**	**1.22**	**0.43**
② スマート農機導入による労働時間の削減効果	小型ロボットトラクター（水田）			40%									
	農作業用ドローン（水田）					35%				65%			
	リモコン式除草機（水田）畦畔							70%					
	水田の水管理システム								80%				
	米・麦・大豆の収穫機										30%		

		果樹（みかん）													
		基肥	整枝・剪定	（剪定枝運搬）	追肥	除草・防除	（うち農薬散布補助）	授粉・摘果	管理	（うち草刈）	袋かけ・除袋	収穫・調整	（うち収穫補助）	出荷	管理・間接労働
① 作業に要する時間（時間/10a）		**4.04**	**17.92**	0.54	**3.36**	**36.48**	0.76	**36.11**	**25.53**	3.15	**0.27**	**74.58**	9.00	**31.74**	**6.27**
② スマート農機導入による労働時間の削減効果	小型汎用無人車両（果樹）			50%			50%						30%		
	リモコン式除草機（果樹）									70%					
	果実収穫機											80%			

太字は生産費統計、細字はスマ農実証値を基に設定。赤字は想定値。

１．小型ロボットトラクター（水田の耕うん・代かき・基肥・直播）

（１）現在はトラクターで行っている作業に要する労働時間について、自動運転技術の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、対象作業を「耕うん・代かき・基肥・直播」とし、これに係る労働時間として統計データから 4.04 時間/10a/年

（2021 年農業経営統計調査「農産物生産費（個別経営体）」から米の作業別労働時間（都府県））

② スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクトにおける自動運転トラクターを導入した中山間地域の事例において平均して約 37％の削減効果があったことを踏まえ、削減率 40％

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

（試算結果：4.04（時間/10a/年）×40％×1,200（円/時間）×7 年
＝13,574 円/10ａ）

（２）トラクターは、ほぼすべての農家で導入されていることから、小型ロボットトラクターの導入コスト目標は、既存トラクターに要する導入コストへの上乗せ分として、**約 14 千円／10ａ**と整理。

２．小型汎用無人車両（果樹の剪定・防除・収穫）

（１）現在は手作業で行っている運搬等に要する労働時間について、小型汎用無人車両（作業者に追従し運搬機能を持つ）の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、対象作業を「剪定枝運搬・防除・収穫補助」とし、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例から、剪定枝運搬 0.54 時間/10a/年、防除 0.76 時間/10a/年、収穫補助 9 時間/10a/年

② スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例において、剪定枝運搬 52％、農薬散布 49％、収穫補助 29％であったことを踏まえ、剪定枝運搬 50％、農薬散布 50％、収穫 30％

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

試算結果：≪運搬≫0.54(時間/10a/年)×50％＝0.27
≪防除≫0.76(時間/10a/年)×50％＝0.38
≪収穫≫　9(時間/10a/年)×30％=2.7

(0.27+0.38+2.7)（時間/10a/年）×1,200(円/時間)×7 年
＝28,140 円/10ａ

（２）作業者に追従し、運搬機能も持つ小型汎用無人車両の導入コスト目標は、**約 28 千円／10ａ**と整理。

３．農作業用ドローン（水田の防除・施肥）

（１）現在、動力噴霧器で行っている作業による農薬散布等の作業に要する労働時間について、農作業用ドローンの導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、対象作業を「追肥・防除」とし、これに係る労働時間としてスマート農業実証プロジェクト（中山間地域）の事例から、追肥 0.22 時間/10a/年、防除 0.38 時間/10a/年

② スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクトにおける中山間地域でのドローンによる実証事例において、平均して追肥 33％、防除 57％の削減効果があったことを踏まえ、追肥 35％、防除 65％

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

試算結果：≪追肥≫0.22(時間/10a/年)×35％＝0.077
≪防除≫0.38(時間/10a/年)×65％＝0.247

(0.077+0.247)（時間/10a/年）×1,200(円/時間)×7 年
＝2,722 円/10ａ

（２）追肥と防除を行う農作業用ドローンの導入コスト目標は、**約 3 千円／10ａ**と整理。

４．リモコン式除草機（水田畦畔の除草）

（１）現在は、刈り払い機で行っている水田畦畔の除草作業に要する労働時間について、リモコン式除草機の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、「水田畦畔の除草」に係る労働時間は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例から、5.38 時間/10a/年

② スマート農機導入による労働時間削減効果は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例では、平均して 67%の労働時間削減効果が得られたことを踏まえ、削減率 70%

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

（試算結果：5.38（時間/10a/年）×70%×1,200（円/時間）×7 年
＝31,634 円/10ａ）

（２）水田畦畔の除草を行うリモコン式除草機の導入コスト目標は、**約 32 千円／10ａ**と整理。

５．リモコン式除草機（果樹園の除草）

（１）現在は、刈り払い機で行っている果樹園地の除草作業に要する労働時間について、リモコン除草機による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、「果樹園地の除草」に係る労働時間は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例から、3.15 時間/10a/年

② スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例では、平均で 68%の削減効果があったことから、70%

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

（試算結果：3.15（時間/10a/年）×70%×1,200（円/時間）×7 年）

＝18,522 円/10ａ

（２）果樹園地の除草を行うリモコン式除草機の導入コスト目標は、**約 19 千円／10ａ**と整理。

６．水田の水管理システム（水田の水管理）

（１）現在は、見回りと手作業で行っている水管理に要する労働時間について、水管理システム（水田センサーと自動給水栓）の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には

① 作業に要する時間については、「水田の水管理」に係る労働時間として、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例から、7.7 時間/10a/年

② スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクトの中山間地域の事例において、平均 76%の労働時間削減効果が得られたことを踏まえ、削減率 80%

③ 労働単価は、1,200 円／時間

④ スマート農機の耐用年数は、7 年

として、算出。

（試算結果：7.7（時間/10a/年）×80%×1,200（円/時間）×7 年
＝51,744 円/10ａ）

（２）水管理システム（水田センサーと自動給水栓）の導入コスト目標は、**約 52 千円／10ａ**と整理。

７．米・麦・大豆の収穫機（水田の収穫）

（１）現在は、従来のコンバインで行っている作業に要する労働時間について、自動運転技術の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

① 作業に要する時間については、「収穫脱穀」に係る労働時間として統計データから 2.81 時間/10a/年

（2021 年農業経営統計調査「農産物生産費（個別経営体）」から　米の作業別労働時間（都府県））

② スマート農機導入による労働時間削減効果は、スマート農業実証プロジェクトの実証事例がないことから、自動運転トラクターの労働時間削減効果が 37%で

あったこと（「１．小型ロボットトラクター」参照）を考慮し、30%

③　労働単価は、1,200 円／時間

④　スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

試算結果：2.81(時間/10a/年)×30%×1,200(円/時間)×7 年
＝7,081 円/10ａ

（２）自動収穫コンバインの導入コスト目標は、既存のコンバインに要する導入コストへの上乗せ分として、**約 7 千円／10ａ**と整理。

８．果実収穫機（果実の収穫）

（１）現在は、手作業で行っている果実の収穫に要する労働時間について、自動収穫機の導入による削減効果を費用換算した。

具体的には、

①　作業に要する時間については、対象作業を「収穫・調整」とし、統計データから 74.58 時間/10a/年

（2007 年農業経営統計調査品目別経営統計（みかん））

②　スマート農機導入による労働時間の削減効果は、スマート農業実証プロジェクト（中山間地域）では実証事例がないことから、完全自動化は難しく、一定程度人手による集荷も必要であることを考慮し、80%

③　労働単価は、1,200 円／時間

④　スマート農機の耐用年数は、7 年

として算出。

試算結果：74.58（時間/10a/年）×80%×1,200（円/時間）×7 年
＝501,177 円/10ａ

（２）労働時間を 80%削減できる果実収穫機の導入コスト目標は、**約 50 万円／10ａ**と整理。

―以　上―

【別紙３】用語解説（アイウエオ順）

エネルギー密度	単位体積当たりのエネルギー量のことで、ここでは出力のモーター体積比を指す。モーターを小型・軽量・高出力にするためには、エネルギー密度を大きくとる必要がある。
エンド エフェクタ	ロボットアームの先端に取り付けられ、物を掴むなどの動作を行う機器。ロボットハンドとも呼ばれる。
カラムナータイプリンゴ	リンゴには、カラムナータイプと呼ばれる枝のほとんどが少し伸びただけで止まり、柱のような樹形（カラム状）になる系統がある。カラムナータイプのリンゴは枝が横に張り出さないため密植することができ樹列が壁のように平面になる。
脚車輪式	接地部分に車輪アクチュエータを搭載した４本以上の脚構造を持ち、車輪アクチュエータを駆動させる「車輪移動」と脚を交互に動かす「脚移動」を用いて移動可能。
境界ワイヤー（エリアワイヤー）	自動草刈り機の稼働範囲を設定し、草刈り機がエリア外に出てしまうことを防ぐ電子柵の役目をするワイヤー。稼働範囲を囲うようにペグで固定、あるいは埋設設置する。
クローラ式	無限軌道（キャタピラー）を使用した走行方式。接地面積が広いため、地盤が悪くても沈み難い。 基本的に公道走行は不可、移動時にはトラックなどに乗せて運ぶ必要がある。
高効率モーター	電力を効率的に変換して動力を生み出すモーターを指す。モーターは電力を受け取って回転運動を生み出すが、その過程で一部の電力は熱や損失として失われる。高効率モーターは、電力損失を最小限に抑え、最大限に有効利用する設計がされたもの。
小水力発電	河川や農業用水路などで利用される水のエネルギーを利用し、水車を回すことで発電する方法。中山間の落差のある用水路を利用した小型発電設備が開発されている。
侵入雑草	放牧地等に侵入した雑草。ここで雑草とは、①牛が食べない草種（エゾノギシギシ（*Rumex obtusifolius* L.等）、②牛にとって毒になりうる草種（ワラビ（*Pteridium aquilium*（L.）*Kuhn var. latiusculum*（*Desi.*）Und.等）をさす。また、高栄養な牧草を維持している（または、したい）放牧草地や経営方針では、③栄養価や生産性の低い牧草（ケンタッキーブルーグラス（*Poa pratensis* L.）やリードカナリーグラス（クサヨシ）（*Phalaris arundinacea* L.））等も雑草に分類することがある。 https://www.jstage.jst.go.jp/article/grass/66/1/66_31/_pdf/-char/ja
スマート農業実証プロジェクト	「スマート農業」の社会実装を加速化するため、最先端の技術を生産現場に導入・実証する事業。国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）が事業実施主体となり、実証地区を公募。令和元年度から開始し、令和５年度まで全国 217 地区で実証を行っている。 https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/index.html
全固体電池	電池を構成する電解質は、これまで液体であったが、それを全て固体で構成した電池。安全性、寿命、出力など多くの点で、これまでの電池を上回る性能を持ち、電気自動車の電源として注目されているが、実用化はまだ開発途上。
ドローン	航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船その他政令で定める機器であって構造上人が乗ることのできないもののうち、遠隔操作又は自動操縦（プログラムにより自動操縦を行うことをいう。）により飛行させることができるもの。(航空法第 2 条 22 項)
トルク応答性	アクセルを作用させたときにエンジン(内燃機関)やモーター(電動機)がどれだけ速やかに、そしてどれだけ力強く反応するかを示すもので、主に車両のエンジンやモーターの反応性を示す指標として用いられる。運転の快適性や性能に影響を与える重要な要素の一つであり、一般にモーターは、エンジンよりも負荷変動に対する応答速度が著しく速いとされる。
ピッチ・ロール角度	物体をロール軸（前後）・ピッチ軸（横）・ヨー軸（垂直）という３つの直交軸を中心に回転させることを、それぞれロール・ピッチ・ヨー（またはローリング・ピッチング・ヨーイング）と言い、その角度をロール角・ピッチ角・ヨー角と言う。
べたがけ	不織布や寒冷紗などの資材で作物を被覆する栽培法。このうち、支柱を使わず、被覆資材で直接、作物を覆う方法を直がけ、支柱で作物の上部に空間をつくり、被覆資材が作物に直接触れないように覆う方法を浮きがけという。
ホイールローダー式	建設機械のホイールローダーのように、四輪駆動（大型ゴムタイヤを装着）で、前輪と後輪の間が折れ曲がる構造を持つ。不整地や柔らかい土壌、急傾斜地でも走行可能。
ホイール式	自動車のようにタイヤによる走行方式。車検をとり、ナンバープレートを取得すれば、公道を走行できる。

防霜ファン	茶園の霜害防止対策として、高さ 6～10m に設置して上空の暖気を下方に向けて送るための送風機。防霜ファンの支柱が茶園のあぜに設置され、機械走行の障害となる場合が多い。
マニピュレータアーム	通常は複数の関節を持ち、関節を回転動作させて、人間の腕のように動く機器。ロボットアームとも呼ばれる。
マルチスペクトルカメラ	被写体の画像（光スペクトル）情報を観測するためのカメラの一つ。赤・緑・青の３種類の波長帯域を観測できる「RGB カメラ（可視光カメラ)」に対し、「マルチスペクトルカメラ」は可視光に加え近赤外線帯域の波長を観測できる。それ以上の帯域を観測できるのが「ハイパースペクトルカメラ」だが、コスト高。マルチスペクトルカメラは農地の状態（農作物の生育状況など）を把握するためにドローン等に搭載して利用されている。
ミリ波レーダー	自動車の ADAS（Advanced Driver-Assistance Systems：先進運転支援システム）に活用される、高周波数帯（30～300GHz）の電波を使って対象物との距離・速度・角度を測定するレーダー。 分解能が高く最小で 0.1mm の動きを検出可能とされており、測定距離も比較的長く、150m 以上の距離の対象物を検知できる。また、悪環境下での運用が可能。 反射率の低い対象物、近距離の対象物、小さな物体は検知しづらいという弱点もある。
モーションコントロール	動きを制御することであり、工作機械や産業機器などの装置を動かすために必要な技術の総称。
モーションプランニング	ロボットの動きを計画する方法に関する技術の総称。
CLAS	「Centimeter Level Augmentation Service の略。シーラス。 日本の準天頂衛星「みちびき」から送信されるセンチメーター級測位補強サービスで、国土地理院が全国に整備している電子基準点のデータを利用して補正情報を計算し、通信・基地局なしで誤差数センチレベルの正確な現在位置を求めることが可能とされる。GPS と異なるため、専用の受信機が必要となる。ロボット農機など比較的低速で安全を確保しやすい環境下であれば、自動運転の自己位置推定技術として活用が期待される。
GNSS	「Global Navigation Satellite System」の略、日本語では「全球測位衛星システム」。地球の上空数万 km を周回する人工衛星と通信し、地球上のどの場所にいるかを正確に割り出す機能を持つ。GPS は GNSS の一つ。
LiDAR	「Light Detection And Ranging」の略。 レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測するリモートセンシング技術。計測精度が高いことから、航空測量や地形図作成などに使用される。自動車搭載用をはじめとした応用範囲が広がっている。
LoRa	「Long Range」の略称。 米国のセムテック社の開発した無線の周波数変調方式で、長距離通信を得意とする変調方式
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network（長距離・広域ネットワーク）の略。 LoRa 変調方式を採用した LPWAN ネットワークの規格のひとつ。 通信速度は最大 250kbps 程度と低速だが、低電力での広域・長距離通信が可能なため、温度センサーなどのデータを定時的・長期的に取得するためには適している。 遮蔽物などで電波が遮られる場合は、独自に基地局を設置することによって回避することができる。
LPWA	Low Power Wide Area（低電力・広域ネットワーク）の略。 低速だが、低電力で広域・長距離（数 km～数十 km）の通信を特徴とする無線通信技術の総称。 ライセンスが必要なライセンスバンド（通信キャリア：NB-IoT、LTE-M、Cat.NB1 など）と、ライセンス不要のアンライセンスバンド（特定小電力無線：Sigfox、LoRaWAN、Wi-Fi HaLow、Wi-SUN、ELTRES、ZETA など）がある。 前者の周波数は 700MHz～2.1GHz、後者の周波数はいずれも 920MHz。
LTE-M	LTE（携帯電話のネットワーク）の一部周波数帯域のみを利用することで、省電力・広域エリア・低コストでの利用が可能な IoT 向け通信規格（「M」は「Machine」の略)。 通信速度は 1Mbps 以下だが、LoRaWAN などの LPWA より早い。またデバイスは省電力で使用できる。 利用するためには携帯電話通信会社とライセンス契約して SIM を入手する必要がある。
RTK-GNSS 方式	RTK は「Real Time Kinematic」の頭文字を取った言葉で、相対測位と呼ばれる方式の一つ。RTK-GNSS は、基準局と移動局の 2 つの受信機で GNSS 衛星から 4 つ以上の信号を受信し、その 2 つの受信機間で位置情報のズレを補正することでより高精度な位置を算出する。誤差数センチメートル。

SLAM	「Simultaneous Localization and Mapping」の略。スラム。 自己位置推定と地図作成を同時に効率よく行うことができる技術であり、GNSS 情報がなくても相対的な位置情報を得ることができるため、山間部や屋根のある堆肥舎など場所を問うことなく活用が期待される。センサーは、主にカメラ、LiDAR 等が用いられる。ロボット農機では、はじめに作業領域を走行してマッピングした後、マッピングした対象物とカメラなどのセンサーからリアルタイムで検出される対象物の情報を照合することで、自己位置推定をしながら自律走行することが可能とされる。