



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」（概要）

2024年7月

生物系特定産業技術研究支援センター



<b>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</b>	<b>3</b>		
(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	4		
(3) 本研究開発構想の検討対象	5		
ア 対象地域・ほ場	5		
イ 対象品目・作業	6		
ウ 対象技術	7		
(4) 本研究開発構想のアプローチ	8		
<b>II. スマート農機の現状と研究開発の方向性</b>	<b>9</b>		
(1) 品目・作業別スマート農機の一覧	9		
(2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性	10		
ア 小型ロボットトラクター（水稻・畑作）	11		
イ 小型汎用無人車両（果樹・畑作）	14		
ウ 農作業用ドローン（水稻・畑作・果樹・放牧）	17		
エ 除草ロボット（水稻・畑作・果樹）	20		
オ 水田の水管理システム	24		
カ 米・麦・大豆の収穫機	26		
キ 果実収穫機	28		
ク 茶の複合管理機	30		
ケ 放牧管理システム	32		
		(3) スマート農機に共通の課題と研究開発の方向性	35
		ア 通信環境	35
		イ 電動化	37
		<b>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</b>	<b>38</b>
		(1) 研究課題の重点化	38
		(2) 低コスト化（導入に伴う費用負担の軽減）	38
		ア 低価格のスマート農機の研究開発	38
		イ 汎用性の高いスマート農機の研究開発	39
		ウ 利用形態の多様化	39
		エ 導入コスト目標	40
		(3) スマート農業サポート体制の整備	44
		(4) スマート農機の利用環境の整備	45
		ア 栽培管理体系の変更	45
		イ 農業基盤整備の推進	45
		ウ 情報通信に関する技術開発・システム整備	45
		エ 電力供給に関する技術開発・システム整備	45
		<b>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）</b>	<b>46</b>

# 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）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、令和3年度から、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、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靱性の強化」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

- 中山間地域は、農地面積、農業産出額等において全国の4割を占めるが、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。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も不安。
- 近年、スマート農業が推進されており、人手不足の現場への対応などが期待。中山間地域では取組が進んでおらず、その理由としてスマート農機（スマート農業を実現するための農業機械・設備）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。
- 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。このため「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。

### <中山間地域の現状と課題>

#### ① 人口減少と高齢化が進む

平地など他の地域に先行して人口が減少し、高齢化も進行。技能実習生は増加傾向だが、円安の進行などにより、今後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、1ほ場当たりの面積が小さく、ほ場間の移動が平地に比べ大幅に増加。畦畔や法面の面積も増大するため、農業者にとって大きな負担。果樹も傾斜地に多く、特にミカンでは15度以上の急傾斜地が44%を占めており、大きな労働負担となっている。

#### 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

山影や樹木等が障害となりGNSS衛星やデータ通信が届かない場合が多い。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

栽培管理データの管理やスマート農機の設定、調整に対応ができる人材が少ないケースが多く、外部からの人材確保や育成が課題。

#### ⑤ 給油所も減少している

給油所は全国的に減少し「SS過疎地問題」が懸念。携行缶での販売を行わない給油所も増加。

(3) 本研究開発構想の検討対象 (ア 対象地域・ほ場)

- 本構想では、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。
- 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や、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は、対象外。
- 従って、本構想では、下図の橙色で囲った範囲の地域・ほ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。

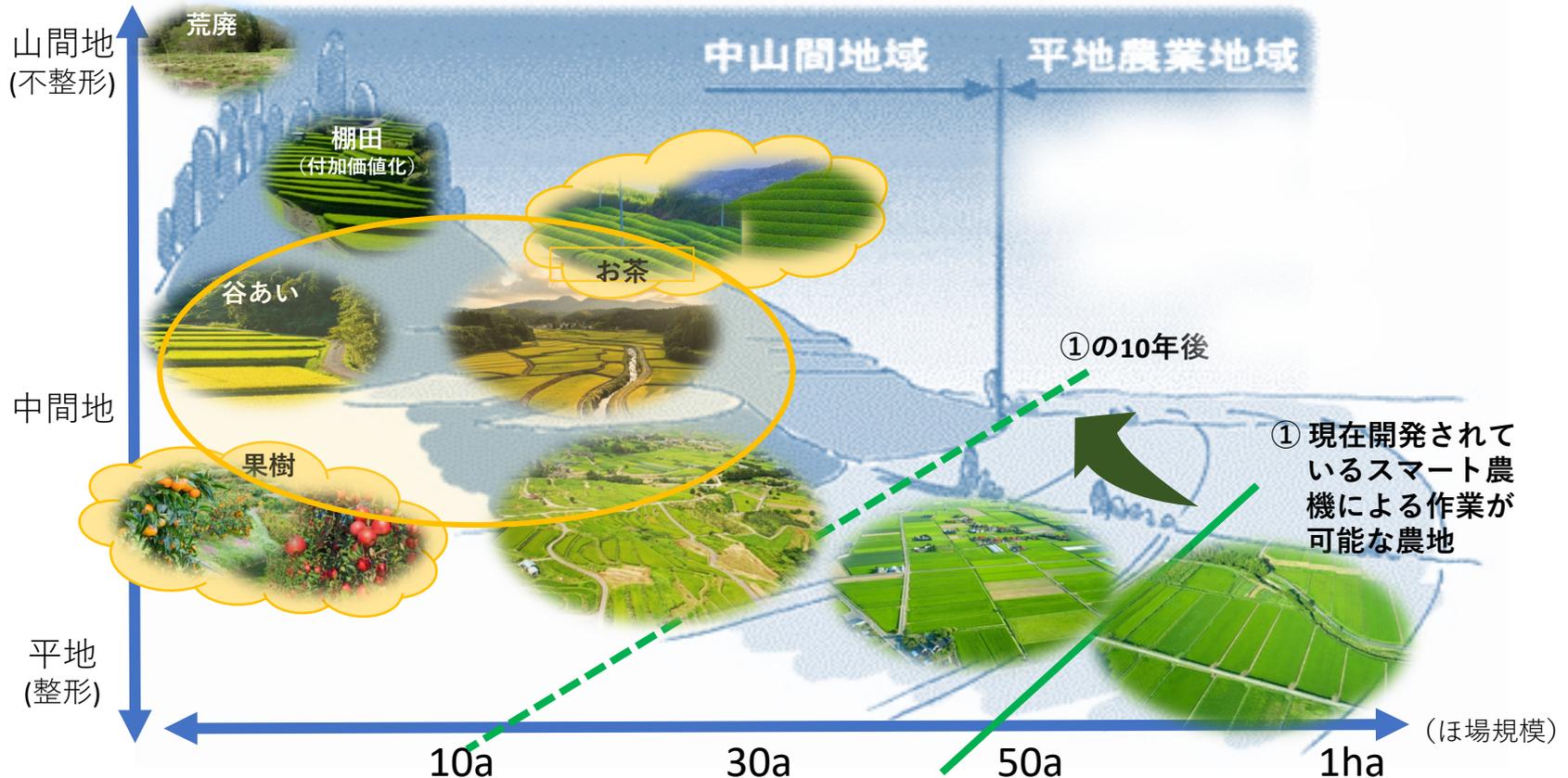


図1 研究開発構想で対象とする中山間地域のイメージ

農林水産省HP掲載図を加工

(3) 本研究開発構想の検討対象 (イ 対象品目・作業)

- 対象品目については、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とし、水稲、畑作（そば、こんにゃく等）、果樹（特に温州みかん等の柑橘類）、茶、放牧を中心に検討する。（野菜については、中山間地域での作付面積が多い品目は高冷地で比較的大規模に栽培されているが、平地と栽培条件が異なる場合は畑作等の検討結果を活用。）
- 対象作業については、労働時間が比較的長く、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とし、各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を中心に検討する。

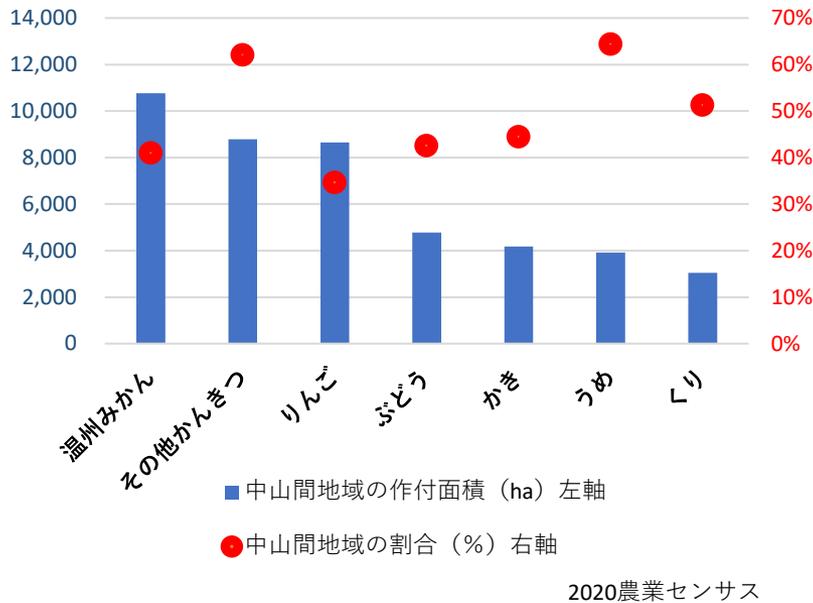
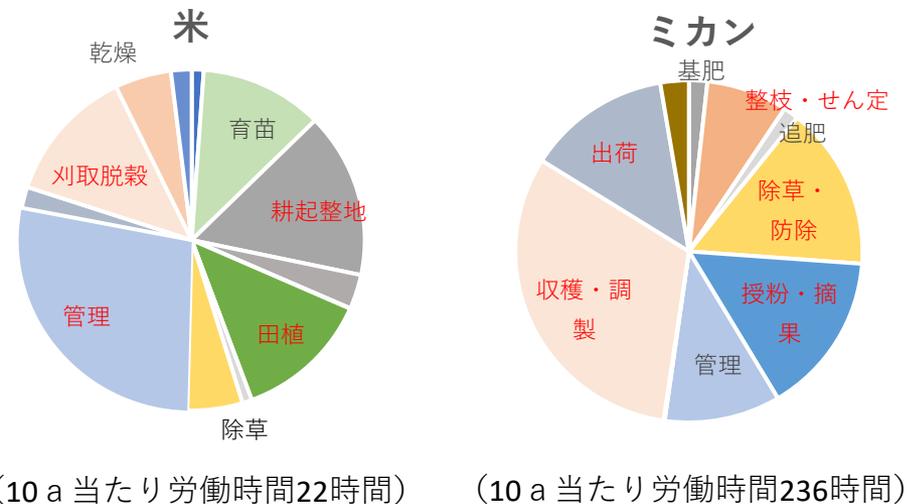


図2 中山間地域の果樹生産



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: 平成19年産品目別経営統計

図3 米・ミカンの労働時間の作業別の割合 (%)

### (3) 本研究開発構想の検討対象（ウ 対象技術）

#### 【対象技術】

- 本構想では、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。
- プログラムや経営支援システム（ソフト面の技術）などは、ハード面の研究開発に必要な範囲で検討対象とする。
- 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。

## (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

- 対象品目・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列挙した上で、これらをスマート農機ごとに整理する。

### 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①～⑤について調査・検討する。  
(通信環境や電動化といった共通の課題はまとめて整理)

- ① スマート農機の開発の現状
- ② 主な技術要素とその関連技術の動向
- ③ 中山間地域への導入にあたっての課題
- 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

### 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

- 上記イで10年後程度に現場に導入又は普及することを目指すとしたスマート農機のあり方について、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。

## 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

○ 対象品目・作業毎に、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は以下のとおり。

#### 【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

## 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



○ 前頁の品目・作業別一覧を、主なスマート農機ごとに次の9種類に整理。これらの各機種について、現状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

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (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）

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 大型(75～123PS)のロボットトラクターが国内で上市。有人監視下での無人自動運転作業と、作業者1人で無人機と有人機を操作する2台協調運転作業が実用化。標準仕様と比べ、200～350万円高い1,400万円～2,200万円で販売（図4）。また、ほ場間移動を含めた遠隔監視運転等が研究開発中。
- 中・小型トラクターの無人化は研究段階。直進アシスト機能を搭載した有人運転機種は普及が進みつつある。



**図4 無人ロボットトラクター<sup>1)</sup>**  
**【性能】** 遠隔操作による無人運転。一人で2台操作可能。  
**【主なメーカー】** クボタ、ヤンマー、キセキ  
**【価格】** 1,440～1,730万円

#### <農業経営における効果>

- ロボットトラクター導入により、耕うんと代かきで平均して35%の労働時間削減効果が認められた（スマート農業実証プロジェクト）。

ロボットトラクターの労働時間削減効果

	実証面積 ha	耕うん	代掻き	耕うん+代かき
		削減率(%)	削減率(%)	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E 1	16	33%		33%
実証地区E 2	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) 当該スマート機械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ではディーゼル機関だが、電動化の研究開発も国内外で進行。

### b. 自動走行技術

主に衛星測位システム（GPS/GNSS）、必要に応じてレーザースキャナー（LiDAR）等のセンサーで自己位置推定。

### c. 安全走行技術

カメラ、レーザースキャナ（LiDAR）、ミリ波レーダー、超音波センサー等により、人・障害物を検知。

### d. アタッチメント

車両本体に作業機を接続することで、様々な作業を実施。

## (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- ① 中山間地域では、小区画、傾斜地のほ場が多く、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。                      《通信環境はⅡ(3)で検討》
- 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。   《電動化はⅡ(3)で検討》

#### (iv) 当面の研究開発の方向性

- 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の課題①に対応）
- 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（iiiの課題①に対応）  
 （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）

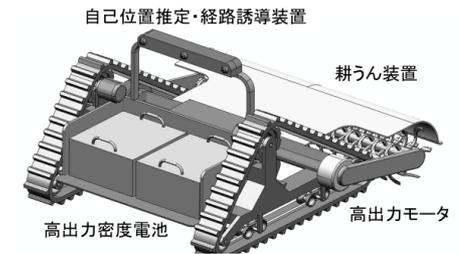


図5 自走式電動ロータリのイメージ図

- 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の課題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、自動でほ場間を移動し、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実施する。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### イ 小型汎用無人車両（果樹・畑作）

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 主に果樹や野菜の運搬用として、様々な小型汎用無人車両が多くのメーカーから開発・販売。
- アタッチメントの活用等により、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への利用も取り組み。

##### (1) 自走無人式



(株) Doog  
電動式運搬ロボット  
「メカロン」<sup>2)</sup>  
・同社と農研機構が  
共同で研究・試作

##### (2) 追従式



中西金属工業  
「アグビー」<sup>3)</sup>  
・運搬、計測・  
予測が可能

##### (3) 追従・自律・遠隔走行式



アルプス技研  
「DONKEY」<sup>4)</sup>  
・100kgを運搬可能  
・着脱式アタッチメン  
トにより多様な作業  
支援  
・作業データ等を取得  
・荒地でも安定走行  
・価格情報なし

##### (4) 追従・自律・遠隔走行式



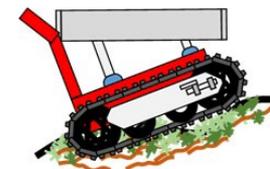
ヤマハ<sup>5)</sup>  
・人工アームを  
搭載し、ブドウ  
収穫と運搬  
について実証  
試験を実施中。  
・未発売

##### (5) 追従・自律・遠隔走行式



XAG JAPAN R150<sup>6)</sup>  
・自動、追従、遠隔走  
行  
・アタッチメントとタイ  
ヤを変えることで  
様々な作業と環境に  
対応

##### (6) 作業台車兼運搬車



三晃精機(株)<sup>7)</sup>  
・傾斜地におけ  
る安全作業をサ  
ポート（電動  
式）  
・移動式作業台  
車兼運搬車  
・未発売

## < 農業経営における効果 >

- 汎用無人車両（運搬補助ロボット）導入により、平均で剪定枝収集では52%、除草剤散布では49%、収穫作業補助では29%の労働時間削減効果が認められた（スマート農業実証プロジェクト）。

汎用無人車両（多機能ロボット）の労働時間削減効果

	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) 当該スマート機械の主な技術要素と 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項参照 >>

b. 自動追従技術

カメラ等のセンサーで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ムなどで構成。

c. 悪路や傾斜地への対応

ホイール式（走行は速く公道も可）、クローラ式（安定性が高く軟弱な地盤でも使用可能）のほか、脚車輪式（4本足や6本足）なども開発。

d. 荷台水平制御技術

e. 安全走行技術 << 小型ロボットトラクターの項参照 >>

f. アタッチメント

除草、肥料散布、剪定枝収集等の作業用アタッチメントが開発。

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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。《通信環境はII(3)で検討》
- ⑤ 中山間地では給油所が少なく、今後さらに減る傾向。《電動化はII(3)で検討》

### (iv) 当面の研究開発の方向性

- 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（iiiの課題①に対応）  
（例：不安定な路盤でも、荷台が水平に保たれる技術）
- 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（iiiの課題②に対応）  
（例：声などにより操作可能な技術）
- 様々な作業（例：物品運搬、除草、肥料・農薬の散布、せん定枝収集、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の課題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、自動では場間を移動し、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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### ウ 農作業用ドローン（水稲・畑作・果樹・放牧）

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 多くのメーカーが農業用ドローンを市販。農薬や肥料の散布、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。

- ▶ **農薬・肥料散布**：圃場センシングと組み合わせて、農薬や肥料の「ピンポイント散布」の実証試験が行われている。
- ▶ **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、農作物の生育状況や土壌の状態の分析、病虫害や雑草の発生状況の確認などが行われている。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ている。
- ▶ **播種**：水稲直播（散播・条播）の実証試験に活用されている。民間企業による「ドローン打ち込み条播サービス」も開始。
- ▶ **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に活用されている。また、トマトの温室栽培で、小型ドローンによる授粉作業の研究も行われている。
- ▶ **農作物等の運搬**：ドローンによる農作物の自動運搬の実証実験が、各地で実施されている。
- ▶ **鳥獣害対策**：有害鳥獣の生息、行動把握、追い払い、誘引等に活用されている。



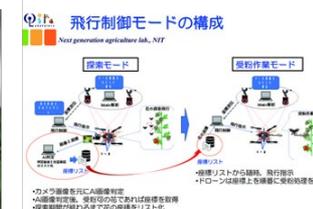
農薬散布<sup>8)</sup>



圃場センシング<sup>9)</sup>



小型ドローンによるトマトの受粉<sup>10, 11)</sup>



## < 農業経営における効果 >

- ドローンによる農薬散布（中山間地域）で、平均で57%の労働時間削減効果が認められた（スマート農業実証プロジェクト）。

ドローン（農薬散布）の労働時間削減効果

	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) 当該スマート機械の主な技術要素とその関連技術の動向

### a. ドローン本体

中山間地域の農業への活用に関与する技術は以下の通り。

- ・ 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、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、容易な脱着機能
- ・ 耐候性能 : 悪天候（風、雨、雷等）下での安定飛行

### b. アタッチメント

ドローン本体に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。また、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、デバイスからデータ取得などを行うアタッチメントの開発も期待。

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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《通信環境はII(3)で検討》

### (iv) 当面の研究開発の方向性

#### ○ 位置情報で補足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 (iiiの課題①に対応)

- (例：LiDARドローンの農業分野への利用 (右図6))
- (例：ほ場や作物からの高度を一定に保つ技術の開発・改良)



図6 「LiDARドローン」の運用開始<sup>12)</sup>

#### ○ 多種多様なアタッチメント (作業機) の開発 (iiiの課題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：剪定枝や摘果果を判別し、ハサミや鋸、レーザー等で切断するアタッチメント)
- (例：授粉の必要な花に、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 (右図7))
- (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：放牧牛の位置監視に加え、草地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7 ドローンで草刈り実験<sup>13)</sup>

### (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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### エ 除草ロボット（水稲・畑作・果樹）

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 遠隔操作機種（リモコン草刈機）：畦畔などの除草用に、多くのメーカーから販売。エンジン駆動で、40～50度程度の傾斜まで対応可能であり、数十万円から200万円程度。この他、電動式の草刈機や、小型汎用無人車両に草刈アタッチメントを装着するタイプも開発・販売。
- 自動運転機種（除草ロボット）：数種類が開発・販売されているが、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。
- 圃場（水稲・畑作）向け機種：水田では、水を攪拌・にごらすことで雑草の生育を抑える機器（例：アイガモロボット）が開発され、比較的低価格で販売。畑作では、雑草を判別し除草（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。

#### <農業経営における効果>

- リモコン式除草機の水田畦畔での利用、果樹園での利用で、ともに平均で7割程度の労働時間削減効果が認められた（スマート農業実証プロジェクト）。

リモコン式除草機（水田畦畔・果樹）の労働時間削減効果

水田畦畔	実証面積 (ha)	削減率(%)	果樹園	実証面積 (ha)	削減率(%)
実証地区A	0.5	43%	実証地区A	0.3	89%
実証地区B	15	74%	実証地区B	0.2	47%
実証地区C	2	81%	実証地区C	2	92%
実証地区D	12	36%	実証地区D	1	27%
実証地区E	5	59%	実証地区E	0.1	65%
平均		67%	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

### (1) 遠隔操作（リモコン）草刈機<sup>14,15)</sup>

・車輪やクローラなど様々なタイプが開発

・傾斜地用のオール電動草刈機



### (2) 自動運転（自走無人式）機種<sup>16,17)</sup>



・果樹園など平らで凸凹の少ない場所で利用。移動エリアをワイヤーで囲む必要。



・ロボットソーラー除草機（フランクリンロボティクス）  
・8～10万円。移動し雑草を除草。2cm程度の高さを壁と認識し方向転換。

### (3) 圃場（水稻・畑作）向け機種<sup>18,19)</sup>

a. 水田除草機： 水稻栽培中は、水を攪拌し濁らせることで、光合成を阻害し雑草の生育を抑える機器が色々開発



・球体ロボット。  
・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）  
・重さ7kg、1反当り20分前後で完了。  
・レンタル提供（10万円/1シーズン）により実証中。

b. その他（精密除草、刈り払い以外）<sup>20,21,22)</sup>：ピンポイント農薬散布、電流やレーザー、引き抜き方式の除草機などが開発。



自動で検知した雑草に電流をあて根まで枯死させて除草。

[smallrobotcompany.com](http://smallrobotcompany.com)

（スモール・ロボット・カンパニー）



圃場を自律走行し、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。

（オッド・ボッド社）



青色ダイオードレーザーモジュールを搭載。レーザーで雑草を刈ることが可能なロボット



## (ii) 当該スマート機械の主な技術要素とその関連技術の動向

### a. 自動走行技術

自動走行技術は、小型ロボットトラクター等と同様。走行範囲を決定する技術は、自動無人式除草機に特有。エリアワイヤを必要としないタイプも開発されているが、除草能力は限定的。

### b. 傾斜地への対応技術

小型汎用無人車両で記載した足回りの技術（例：クローラ式）に加え、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。

### c. 除草方法

刈刃による草刈り、農薬の散布が一般的。レーザーや電流照射、ドローンの活用も考案されているが、実用化には至っていない。

### d. ピンポイント除草技術

雑草を検知・識別する技術と、識別した雑草のみ除草する技術の組み合わせ。

#### 雑草の成長を抑制する新たな除草手法（雑草を識別してレーザーで除草）<sup>23)</sup>



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。カメラを用いて農作物と雑草を判別し、雑草のみを標的にレーザーを照射する仕組み。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。

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- ① 中山間地域には、幅の狭い畦畔や急傾斜の法面、水路やほ場の境界近くなど、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。《通信環境はII(3)で検討》
- 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。《電動化はII(3)で検討》

### (iv) 当面の研究開発の方向性

#### ○ 傾斜地や凸凹など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の課題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の課題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の課題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：病害・鳥獣害対策など他分野用途への活用)

### (v) 将来的に目指す姿

オペレータフリーで、ほ場にも畦畔にも使用可能な、汎用型の除草ロボット（ほ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。

(2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

オ 水田の水管理システム

(i) スマート農機の開発の現状

- 水田センサーや水位制御装置が、様々なメーカーから開発・販売。 モニター側との通信は、多くの機種がLPWA無線通信技術を利用。
- また、水利施設と自動給水栓を連携させ、全体の配水を管理するシステムも開発。

【水田センサー】<sup>30,31,32)</sup>

水田の水位・水温データを、管理者のスマホ等に送信。給水ゲート・給水バルブなどと連動させて、水位自動制御も可能。価格は、約2万円/台～。

【水位制御システム】

水田毎の給水ゲート（水門）や給水バルブを遠隔操作。タイマーのほか、水田センサーとの連動により自動制御も可能。価格は、約7万円/台～。



paditch 給水ゲート (左) ・給水バルブ (右) 24

<農業経営における効果>

- 水管理システム（水田センサー＋自動給水栓）により、平均して76%削減効果が認められた（スマート農業実証プログラム）。

水管理システムの労働時間削減効果

	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スマホや別途設置された給水ゲート等に送信する通信機器により構成。

### b. 水位制御装置

水位センサーや管理者からの指示を受信し、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技術。

## (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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。《通信環境はII(3)で検討》

## (iv) 当面の研究開発の方向性

- 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の課題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の課題②に対応)
- 開水路でのゴミ詰まり防止技術の開発 (iiiの課題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

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### カ 米・麦・大豆の収穫機

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 自動運転アシスト機能を有する大型の自脱式コンバイン（刈幅2m前後）が、大手農機メーカーから販売。価格は1,500万円以上。最初に圃場の外周を手動運転することにより圃場マップが作成され、以降はRTK-GNSS方式で位置を把握。高機能コンバインは、収量・食味（タンパク質含量）等を収穫時に自動測定することも可能。
- 更に、無人自動運転コンバインも、2024年1月に上市。



##### 《無人自動運転コンバイン》<sup>25)</sup>

(株)クボタから無人運転できる普通型コンバインが2024年1月から販売（価格2,200万円～）。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。圃場の最外周の1周だけオペレータが運転して刈取り作業をすることで、機械が自動で最適な刈取りルートを作成し、2周目からは圃場周辺で使用者による監視の下、無人自動運転が可能。

##### <農業経営における効果>

- 中山間地域において自動運転コンバイン（ほ場の外周を手動で作業し、ほ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%削減されたとの報告がある（スマート農業実証プロジェクト）。

##### (ii) 当該スマート機械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項参照》

###### b. 収穫物の自動排出

収穫した穀粒を運搬用コンテナに適切に排出する技術、収穫タンクの容量と排出のタイミングを制御するシステムなど。

###### c. 安全走行技術

小型ロボットトラクターの項の記載事項と同じだが、刈り取り部分が機械の進行方向にあるため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

- 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、外周の辺が曲線の圃場には適用できない。
- ② GNSS衛星の受信が困難。《通信環境はII(3)で検討》

### (iv) 当面の研究開発の方向性

- **小型自動コンバインの開発**（iiiの課題①に対応）  
（例：開発済の自動コンバインの技術を数十馬力級の小型コンバインへ応用）
- **コンバインの枠組みから脱却した、新しい収穫機の開発**（iiiの課題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、トラックのある位置まで移動して収穫物を自動排出する。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### キ 果実収穫機

##### (i) スマート農機の開発の現状

リンゴ・ナシ・西洋ナシ、ブドウ等の収穫機の実証研究が行われているが、平地の凸凹の少ない果樹園での利用を想定。また、柑橘類に対する収穫機の研究開発の情報はない。

##### (ii) 当該スマート機械の主な技術要素とその関連技術の動向

###### a. ハードウェア

1. マニピュレータ (ロボットアームなど)
2. エンドエフェクタ (フィンガータイプ、吸引タイプ、ハサミで切断するタイプが研究開発中)
3. 収穫果実の集積機能
4. 台車 (小型汎用無人車両の活用の他、四足歩行技術も候補)
5. 各種のセンサー

###### b. ソフトウェア

1. 果実の認識 (fruit perception)
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)

【Tevel Aerobotics Technologies社】<sup>26)</sup>  
(イスラエル スタートアップ)



・2~4台の有線ドローンがカメラで色と大きさを評価し、熟した果物を吸引アームで収穫。

【ヤマハ発動機】<sup>27)</sup>



・垂直多関節ロボットと農業用UGVにより、ブドウを持って切断し自動で収穫。

【農研機構、立命館大学、(株)デンソー】<sup>28)</sup>



・自動走行車両がけん引。2本のアームで収穫。  
・コンテナ自動交換。  
・11秒/個と人とはほぼ同じ速度で収穫。

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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ほ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。  
 ≪通信環境はII(3)で検討≫

### (iv) 当面の研究開発の方向性

#### ○ 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の課題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(右図8)等車両以外のアーム搭載機)

(例：装着型の複数人工アーム(右図9))

#### ○ 柑橘類の収穫機の開発 (iiiの課題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))



(図8) 29)

・米ボストン・ダイナミクス  
の4脚歩行ロボット  
「Spot」



(図9) 30)

・装着型ロボットアーム  
東京大学

### (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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### ク 茶の複合管理機

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 平地の大規模茶園用には、超音波センサで茶樹を検知し、うねに沿って走行する大型のロボット管理機が開発・実証中。複数の農機メーカーが販売（価格帯：1,000～1,500万円）。
- 小型乗用管理機についても、自動走行システムが研究開発中。



【大型ロボット摘採機】<sup>31)</sup>  
農研機構、スマート農業実証プロジェクト  
ウェブサイト

##### (ii) 当該スマート機械の主な技術要素とその関連技術の動向

主な技術要素は、茶樹の畝を検知して自走し、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、防除などの作業を行うアタッチメント。

中山間地域では、軽トラで運搬可能な小型・軽量化、急傾斜でもバランスを確保する技術も必要。



- 軽トラックに積載できる乗用軽量管理機、機体重量319kg、傾斜15度以下で安定走行
- 摘採と枝条管理を1名で作業
- フルタ電機(株)が販売、価格帯：160万円

【軽トラックに積載できる乗用軽量管理機】<sup>32,33)</sup>  
(左) 生研セ ウェブサイト (右) 中村ら(2019)



- 傾斜地で機体フレームを平行四辺形に変形する重心移動機能
- 無線による遠隔操縦

【遠隔操縦型傾斜地用摘採ロボット】<sup>34)</sup> 山根 (2008)

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- ① ほ場は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。中山間地の茶園に対応した軽量管理機は開発されているが、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、茶樹を一定期間被覆する作業が必要だが、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) 当面の研究開発の方向性

- **小型・軽量で汎用性の高いスマート複合管理機の開発**（iiiの課題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の課題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

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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (2) 主なスマート農機の現状・課題と研究開発の方向性

#### ケ 放牧管理システム

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 放牧牛に個体管理タグ/トラッカーを装着してセンシングするシステム等が、複数のメーカーから開発・販売。
- 放牧に必要な体重測定、給餌・給水などのシステムも開発されているが、実用化に至っていない。

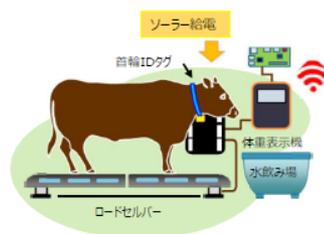
##### (ii) 当該スマート機械の主な技術要素とその関連技術の動向

###### 【位置・発情監視システム】<sup>35)</sup>

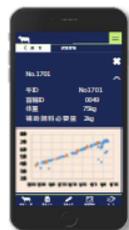


- ・牛の首につけ、位置、行動量、体調、発情等のデータをセンシングして送信。
- ・通信料、アプリ使用料、サーバー使用料等の経費が恒常的に発生。現状では高コスト。

###### 【体重自動計測システム】<sup>36)</sup>



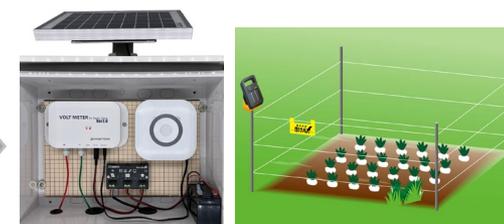
自動体重計測システムによる子牛の生育状況の把握



成育の見える化

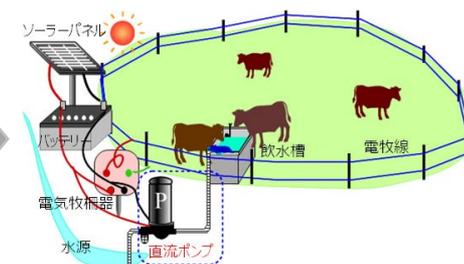
- ・一定時間間隔で電気柵の電圧を測定。
- ・スマホ等により遠隔で電気柵の電圧の状態を把握。
- ・小型ソーラーパネルと小型バッテリーで稼働
- ・スターターフルセットの価格は146.3千円/セット。

###### 【牧柵管理システム】<sup>38)</sup>



- ・放牧牛に首輪装着式RFIDタグを取り付け、RFID対応体重システムを放牧地の水飲み場前に設置。
- ・水を飲みに来た放牧牛の体重を自動に測定（未上市）

###### 【水管理システム】<sup>39)</sup>



###### 【個体識別自動遠隔自動給餌システム】<sup>37)</sup>

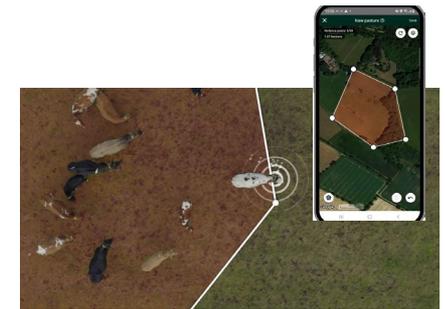
- ・音響誘導で集められた放牧牛を遠隔操作により給餌機と連動したスタンションで保定。
- ・保定した牛ごとに、補助飼料を給与するシステムが開発（未上市）。

### (iii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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衛星の受信が困難。《通信環境はIIの2で検討》

### (iv) 当面の研究開発の方向性

- **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の課題①に対応)
  - (例：牛の体温を利用した熱化学電池や、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)
  - (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) )
  - (例：ドローンの群画像による体重等の個体管理機能)
- **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の課題①に対応)
- **遠隔操作による放牧牛誘導システムの開発** (iiiの課題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の課題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)
- **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の課題③④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10) )
  - (例：安価な自動給餌機や自動給水機)



(図10) <sup>40)</sup> バーチャルフェンスから外へ出ると、首輪に信号が送られ音楽が流れる。家畜は自発的に内側へ引き返す。

## (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）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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (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

##### (i) スマート農機の開発の現状

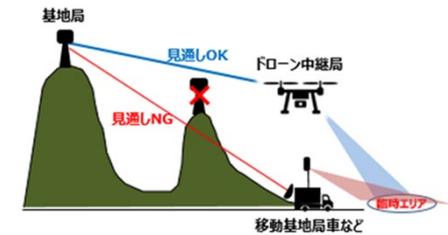
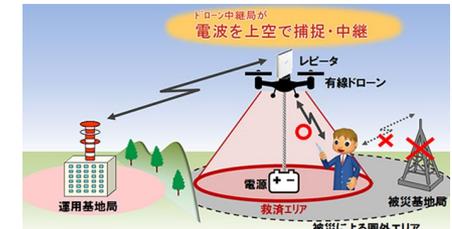
- トラクターやコンバインの自動運転（自己位置推定）に、GNSS衛星通信を利用。RTK-GNSS方式が多く使われているが、RTK基地局の設置など高コスト。RTK基地局が不要の準天頂衛星システム（QZSS）の運用も始まり、これを利用するドローンなどが開発。（GNSS：Global Navigation Satellite System（全球測位衛星システム）、RTK：Real Time Kinematic（相対測位））
- 遠隔操作やデータ通信等に、無線通信を利用。水田センサーなどでは、LPWAが多く使われている。（LPWA：Low Power Wide Area（低電力・広域ネットワーク））

##### (ii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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。（LiDAR：Light Detection And Ranging（レーザーにより距離などを計測）、SLAM：Simultaneous Localization and Mapping（位置と地図の同時推定））。
- 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

- **GNSSに依らない安価な位置情報システムの開発** (ii の課題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 の課題④に対応)  
 (例: NTN (非地上系ネットワーク) 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)  
 (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)
- **通信やデータ処理の規格の統一** (ii の課題⑤に対応)



ドローン中継局<sup>41)</sup>

### (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。

## II. スマート農機の現状と研究開発の方向性

### (3) スマート農機に共通の課題と研究開発の方向性

#### イ 電動化

##### (i) スマート農機の開発の現状

- 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、電動化は一部の農機に限られる。
- 脱炭素化やエネルギー枯渇への対応のため、トラクターを含め、電動化に向けた研究開発が国内外で進められている。



欧州向け電気トラクター<sup>42)</sup>

##### (ii) 中山間地域への導入にあたっての課題

- 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、必ずしも十分に生かされていない。

##### (iii) 当面の研究開発の方向性

- 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の課題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の課題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。

### 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

前章（第II章）で、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、中山間地域の農業従事者の不足への懸念は強いことから、第III章では、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。

#### （1）研究課題の重点化

（例：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重点的に推進。）

#### （2）低コスト化（導入に伴う費用負担の軽減）

##### ア 低価格のスマート農機の研究開発

##### ① 必要最小限の機能を搭載した農機（簡易版・廉価版のスマート農機）の開発

（例：機械が取りやすい一部の果実だけ収穫したり、収穫速度は遅いが夜間連続稼働が可能な果実収穫機）

（例：水田ほ場の畦畔ギリギリまでの移植や収穫はしないなど、従来の8割程度の性能のスマート農機）

##### ② 現場で利用されている機械への機能付加

（例：軽トラックに自動走行技術を実装し、汎用無人車両として利用）

##### 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

（例：車両の自動走行技術）

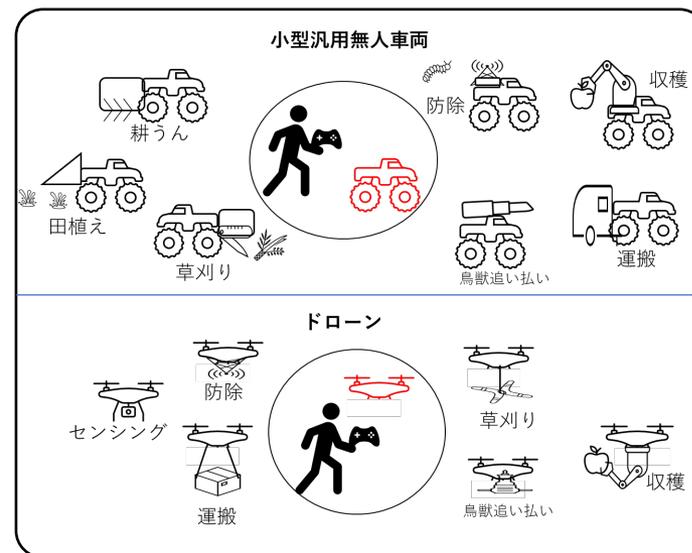
##### ④ 安価な代替素材の活用

（スマート農機に活用可能な素材の探索研究、低コストな素材や途中での素材変更を想定した設計・開発も必要。）

## イ 汎用性の高いスマート農機の研究開発

品目・作業ごとに専門性の高い機械が開発・販売されており、農家は多くの機械を所有していることが多いが、一つのスマート農機が複数の品目・作業に対応できれば、そ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。



## ウ 利用形態の多様化

1人の農業者が多くの農業機械を所有することは経済的負担が大きいいため、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。(水田畦畔の除草やドローンによる農薬散布などは、地域単位でのサービス事業体の利用が増加。)

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開始。

更に、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なども考えられる。

### 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。

## エ 導入コスト目標

- 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導入可能なコストを実現することが重要。このため本研究開発構想では、スマート農機を導入する農業者の視点に立ち、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。
- 具体的には、
  - ① スマート農機の導入コスト目標（研究開発等によって実現を目指すコスト）は、農業者が当該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）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労働時間削減効果と考え、この効果を費用換算して算出。

この場合、単位面積あたりの労働時間の削減時間を、雇用賃金データにより費用換算しているが、実際には、中山間地域において農業従事者の不足が深刻化する中で、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1人で行ったり、あるいは1人で作業する面積を拡大するといったケースを想定。
- 労働時間の削減効果以外にも、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、様々なメリットが期待。更に、サービス事業体の活用をはじめ、スマート農機の利用形態によって、導入可能な費用の水準や考え方も変わる可能性。

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る実際のメリットや利用形態に応じた費用負担のあ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。

## (1) スマート農機の導入コスト目標の算出方法

### <算出方法>

- ① 作業に要する労働時間 (○時間/10a/年) <参考：統計データ、スマート農業実証プロジェクトの結果>  
×
- 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)  
× <参考：スマート農業実証プロジェクトの結果>
- ③ 労働単価 (○円/時間)  
× <参考：全国農業会議所調べの農業臨時雇賃金>
- ④ スマート農機の耐用年数 (○年) <参考：財務省令 (農業用設備は7年)>  
||

労働時間削減効果 (○円/10a) (= 農家の導入可能な費用) (= 研究開発における導入コスト目標)

### <算出例>

	作業に要する労働時間 ①	スマート農機導入による労働時間の目標削減効果 ②	労働単価 ③	スマート農機の耐用年数 ④	コスト目標 (円/10a) ①×②×③×④
小型ロボットトラクター (耕うん・代かき・基肥・直播)	4.04	40%	1,200	7	13,574
農作業用ドローン (追肥) (農薬散布)	0.22 0.38	35% 65%	1,200	7	2,722

## (2) 各スマート農機の導入コスト目標

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)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の小型トラクターとの性能差(自動運転機能)</li> <li>耕うん・代かき・基肥散布等にかかる時間を4割削減</li> </ul>	約14千円/10a
小型汎用無人車両 (果樹の剪定・防除・収穫)	<ul style="list-style-type: none"> <li>剪定枝運搬にかかる時間を50%削減</li> <li>農薬散布に係る時間を50%削減</li> <li>収穫補助で収穫関係の時間を30%削減</li> </ul>	約28千円/10a
農作業用ドローン (水田の防除・施肥)	<ul style="list-style-type: none"> <li>農薬散布にかかる時間を65%削減</li> <li>追肥に係る時間を35%削減</li> </ul>	約3千円/10a
リモコン式除草機 (水田畦畔の除草)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水田畦畔の除草にかかる時間を7割削減</li> </ul>	約32千円/10a
リモコン式除草機 (果樹園の除草)	<ul style="list-style-type: none"> <li>果樹園地内の除草にかかる時間を7割削減</li> </ul>	約19千円/10a
水田の水管理システム (水田の水管理)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水管理にかかる時間を8割削減</li> </ul>	約52千円/10a
米・麦・大豆の収穫機 (水田の収穫)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の小型普通コンバインとの性能差(自動運転機能)</li> <li>作業時間を3割削減</li> </ul>	約7千円/10a
果実収穫機 (果実の収穫)	<ul style="list-style-type: none"> <li>収穫・調整にかかる時間を8割削減</li> </ul>	約50万円/10a

## < (参考) 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、下記のデータを用いた。

		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			40%									
	小型ロボットトラクター (水田)												
	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	(剪定支運搬)	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			50%			50%						30%		
	小型汎用無人車両 (果樹)														
	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。

「③ 労働単価」は、全国農業会議所調べによる農業臨時雇賃金 (1,137円/時間) 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。

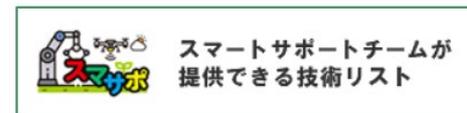
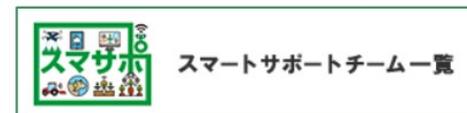
「④ スマート農機の耐用年数」は、財務省令 (農業用設備は7年) を踏まえ、一律とした。

#### (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、サポート体制の整備が必要。

農研機構ではスマートサポートチームメンバーをHPで公開し、技術的な支援者を紹介。

更に、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。



農研機構HPより  
(<https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/suishin-kyogikai/index.html#smk01>)

## (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、その利用環境の整備が必要。これらについても、国や自治体、民間事業者などの幅広い関係者の取組や支援が必要。

### ア 栽培管理体系の変更

- ・ スマート農機の利用にあわせた栽培体系や樹形の見直し・共通化。
- ・ スマート農機による栽培に適した新品種の開発。

### イ 農業基盤整備の推進

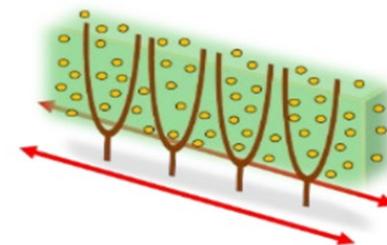
- ・ 圃場について、区画の大型化・整形化や、畦畔傾斜の緩和。
- ・ 農作業用道路について、2 t車でも走行可能な農道整備や、自動運転を考慮した磁気マーカーの設置。

### ウ 情報通信に関する技術開発・システム整備

- ・ 次世代通信の研究開発による5Gの機能（高速・大容量、低遅延、多数同時接続、超低消費電力など）の向上。
- ・ 自治体主導による基地局の整備。
- ・ NTN（非地上系ネットワーク）などの新しい通信環境の拡大。

### エ 電力供給に関する技術開発・システム整備

- ・ 即効性のある対策として、例えば、軽トラックの充電ステーション化。
- ・ 将来に向けては、全固体電池などの新しい電池、バッテリーの小型化・長寿命化。
- ・ 電力を空間伝送するシステムの研究開発。



双幹形の作業動線

省力樹形（カンキツ） 43)

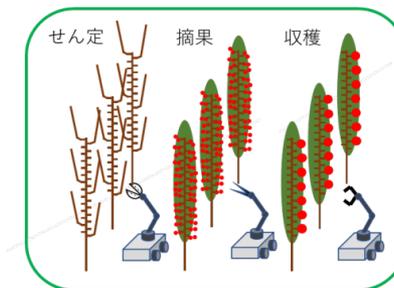


図3 カラムナータイプリンゴの機械化栽培のイメージ

省力樹形（リンゴ） 44)



「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（京セラHP） 45)

- 1 中山間地域では、農業従事者の不足が深刻な懸念となる一方、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、「スマート農機の中山間地域への展開」のための研究開発の必要性は高い。
- 2 本報告書では、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品目について、農業従事者の不足により継続が困難となる可能性の高い作業に着目。これら品目・作業に対応すべき 9種類のスマート農機について検討。
  - ① 開発の現状：スマート農機の多くは研究・実証段階、大型機械が先行、通常の農機と比べ高額、など。
  - ② 中山間地域への導入にあたっての課題：圃場の多くが小区画・不整形で傾斜・凸凹あり、道路は狭小で急傾斜、通信環境に困難、給油所が少なく今後も減る傾向、など。
  - ③ 当面の研究開発の方向性（②の課題解決のため10年後程度の現場への導入又は普及を目指す）：農機の自動走行、小型化・軽量化、汎用化、安価で安定した通信環境、電動化、など（各農機ごとの詳細は別添の通り）。
- 3 また、これら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も整理。
  - ① 研究課題の重点化：労働負担が特に大きい作業を代替するための研究開発の優先など。
  - ② 低コスト化：低価格な農機や汎用性の高い農機の研究開発に加え、サービス事業者への委託など利用形態の多様化。農業者が導入可能なコスト実現の重要性から、各スマート農機についての導入コスト目標も提示。
  - ③ スマート農業のサポート体制の整備
  - ④ スマート農機の利用環境の整備：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。
- 4 本報告書は、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。

## 1. スマート農機の研究開発の方向性

### (1) 主なスマート農機ごとの研究開発の方向性

#### ア 小型ロボットトラクター（水田・畑作）

- 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
- 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）
- 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、人的なり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）

- 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）
- 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）
- 様々な作業（例：物品運搬、除草、肥料・農薬の散布、せん定枝収集、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）

- 位置情報で補足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）  
（例：ほ場や作物からの高度を一定に保つ技術の開発・改良）
- 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）  
（例：剪定枝や摘果果を判別し、ハサミや鋸、レーザー等で切断するアタッチメント）  
（例：授粉の必要な花に、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：放牧牛の位置監視に加え、草地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）

- 傾斜地や凸凹など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）
- 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）
- 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、その他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 水田の水管理設備

- 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））
- 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総合システムの開発
- 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

- 小型自動コンバインの開発  
（例：開発済の自動コンバインの技術を数十馬力級の小型コンバインへ応用）
- 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

- 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）等車両以外のアーム搭載機）  
（例：装着型の複数人工アーム）
- 柑橘類の収穫機の開発  
（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

- 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の開発)
- 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の開発)

## ケ 放牧管理機器

- 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/トラッカーの開発  
(例：牛の体温を利用した熱化学電池や、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)  
(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）)  
(例：ドローンの群画像による体重等の個体管理機能)
- 個体管理タグ/トラッカーと連動可能な安価なAPIの開発
- 遠隔操作による放牧牛誘導システムの開発
- 機動力のあるスマートな放牧地管理機の開発  
(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)  
(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  
(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研究開発の方向性

### ア 通信環境

- 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)
- 新たな通信技術・システムの開発  
(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)  
(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)
- 通信やデータ処理の規格の統一

### イ 電動化

- 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)
- 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

## 図・写真の出典

- 1) ヤンマー ロボットトラクター  
<https://www.yanmar.com/jp/about/technology/vision2/robotics.html>
- 2) 農作業の重労働を楽にする「メカロン」。人を追いかけて作物運搬. Impress Watch. 2021年11月9日 <https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1364797.html>
- 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) DONKEY (アルプス技研) ホームページ <https://www.donkey.co.jp/>
- 5) 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>
- 6) 事例7 R150 (XAG JAPAN)  
<https://drone-journal.impress.co.jp/docs/event/1183927.html>
- 7) 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 2 0 2 1  
[https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/innovation/results/files/2021\\_results\\_kaihatsu-27.pdf](https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/innovation/results/files/2021_results_kaihatsu-27.pdf)
- 8) (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>
- 9) は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>
- 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) Terra LiDar. TerraDrone (株) (最終閲覧日: 2024年1月11日). <https://terra-drone.net/service/survey/tl/>
- 13) 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/20211112-23JQY2433FMDMBMSVKN3WVXIMA/>
- 14) 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>
- 15) 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/>
- 16) 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/>
- 17) 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/>
- 18) 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/>
- 19) 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/>
- 20) 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/>
- 21) 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/>
- 22) <https://gigazine.net/news/20220905-cutting-grass-with-lasers/>  
<https://www.youtube.com/watch?v=WTPHsouuGq4>
- 23) 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/>
- 24) (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, 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-gate, 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>
- 25) (株)クボタ: アグリロボコンバイン  
<https://www.kubota.co.jp/news/2023/newproduct-20230614.html>

- 26) 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/>
- 27) 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>
- 28) (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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nifts/137793.html)
- 29) 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/>
- 30) 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>
- 31) 農研機構、スマート農業実証プロジェクトWEBサイト
- 32) 生研支援センターWEBサイト
- 33) 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.
- 34) 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.
- 35) ユービーアール株式会社 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/>
- 36) 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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.05.pdf)
- 37) 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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.06.pdf)
- 38) 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/>
- 39) 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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/3.YRGCC_manual_NewTech.04.pdf)
- 40) (農)狩尾牧場 スマート農業技術を活用した広大な中山間地における周年放牧システム体系の実証 [https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/r2/files/r2\\_chikusan\\_H04.pdf](https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/r2/files/r2_chikusan_H04.pdf)
- 41) NTTドコモプレスリリース、2022.02.09 [https://www.docomo.ne.jp/info/news\\_release/2022/02/09\\_00.html](https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/02/09_00.html)
- 42) クボタ Compact Electric Tractor LXe-261 Released in European Markets <https://www.kubota.com/news/2022/20220905.html>
- 43) 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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nifts_jukeijushubetsusaibaijirei20210322.pdf)
- 44) 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](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/Fruit_Tea_Times_No17.pdf)
- 45) 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>