

「食」をめぐる産業における ロボット活用に向けた提言

令和5年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究
(サービスロボット研究会)

～ 「食」をめぐる産業におけるロボット活用に向けた提言 ～

- 提言1: 「食のダイバシティ(多様性)」を守るためのロボット活用を考える
提言2: 食のダイバシティを守るためのロボット開発への投資を誘発するため、「長期的・社会的評価」など新たな評価軸を設定する柔軟な発想を持つ
提言3: ロボットの導入が「食」をめぐる産業に新たな魅力を創出し、新たな就業者を生み出すような地域の“エコシステム”、仕組みづくりを政策的に強力に後押しする

+++++

“人手不足問題の解消に役に立つロボット”を考える

日本の「人手不足」「少子高齢化」という大きな社会課題に対し、発展を続けるロボット、およびロボット技術の活用で対応する試みが様々に続けられている。この課題を議論する視点、視角は様々にあるが、本研究会では、人々の生活の基盤である衣食住の維持・向上にロボット活用を考えることとする。またそのなかでも、生命維持の根本である「食」の分野でのロボットを含む先端技術の活用注目していく。

これまでも、「食」の分野に関して、ロボットおよびロボット技術は、大量生産、長時間・長期間操業による効率化、最適化に貢献し、人々の生活の基盤を支えてきた。また、今後はより大きな貢献が期待されている。しかし、他方で、多品種少量、季節のみ・地域のみで生み出される、多様性を持った「食」に関してロボットが貢献することは、採算性の問題などから、決して多くはないのが現状である。そのような「食」に関わる産業では人手不足が深刻で、存亡の危機に瀕していることも多く、それがひいては地域の疲弊と食文化の衰退の危険性すらもたらしている。この重要な課題である「食のダイバシティ(多様性)の維持」にロボットを活用することは可能だろうか。ロボットにとっての大きなチャレンジであり可能性として、以下の提言を行う。

提言1: 「食のダイバシティ(多様性)」を守るためのロボット活用を考える

「食」は人々の生活の基盤である。その「食」に関して、世界は互いに矛盾するような2つの大きな課題に直面している。「飽食の時代」と言われるほど「食」に対する人々の需要は高まっているが、その飽食の裏で食の「量」と「質」の貧困が進んでいるのである。食の「量」の貧困は、2050年代には100億人を超えると見込まれる世界人口を支えるための食糧生産の実現可能性にかかっており、最悪の場合は飢餓として表れてしまう問題である。そのため、飢餓対策は持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)

の第 2 の目標となっている。しかし、世界の農業就労人口は急激に減少しており、地球温暖化に伴う気候変動や環境悪化による食糧生産の不安定化は深刻になってきている。また食品産業においても世界各国で人手不足が問題となっており、世界人口を支える食の生産・供給の確保は決して楽観視できない状況にある。

他方で、世界の人口の生命を支えるための大規模で効率的な農業・漁業を推し進めると失われがちな栽培種の多様性喪失の問題や、大量生産される食品の影で喪失しがちな地元食材で作られ培われてきた地域の食文化の問題、あるいは効率的な食糧生産・供給が可能な食に依存することによる食の偏向が引き起こす健康問題など、食の「質」の問題も対処すべき課題として浮かび上がっている。後者の問題は、持続可能な社会を実現するための生物多様性、文化等の多様性の維持をどうするのかという、SDGs の背景となる問題である。

図表 I 国連の持続可能な開発目標(SDGs)の 17 の目標



出所) 国際連合広報センター

(https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/sdgs_logo/)

日本に目を転じると、「食」をめぐる課題、問題の様相は少し異なっている。超高齢化がもたらす農水産業人口の減少は著しく、生産高の減少は特に水産業において顕著である。2022年に起きたロシアのウクライナ侵攻で先鋭化した食料安全保障の観点から、日本の食料自給率の低さが問題になっているが、輸入食品が途絶した場合には、日本にも食の「量」の貧困へつながる問題が生じてしまう。他方で、著しい農業・水産業の従事者の超高齢化が廃業の増加につながっており、農業においては荒廃農地の増加として表れている。水産業においても廃業が新規就業を上回っており、それが地域の衰退をもたらしている。地域で続けられてきた小規模生産種の生産も、農業従事者の超高齢化と廃業の増加により危機にさらされている。また、人手不足と超高齢化は、農水産業の衰退のみではなく、地域の食品加工場や飲食店の撤退にもつながっており、食の、そして食文化の「多様性」維持にとって、大きな脅威となっている。食の「多様性」の喪失は、食をめぐる産業の持続可能

性に悪影響を及ぼすだけでなく、人々の生活の「質」の貧困をもたらす。

「食」をめぐる分野でロボット活用を考えると、このような「食」の課題に対してどのような方向性、立ち位置で取り組んでいくのかが重要な論点となるだろう。

「食」をめぐる産業は、食糧生産（農水産業）から輸送、加工・調理（食品加工業）、そしてその消費者への提供（飲食業、小売業など）に至るまで幅が広い。その多くが身体的な負荷が大きい労働をとまなう産業である。そのため、機械の導入による「省力化」「省人化」が積極的に図られ、生産規模の拡大（大量生産化）による効率化と最適化が進められてきた。そしてその恩恵により人々の生活の基盤が支えられてきた。そうした大量生産と機械化による「省力化」「省人化」が進んでもなお人手不足に悩む分野が、「食」をめぐる産業である。従来、「機械化」「自動化」ひいては「ロボット化」は、ヒトから労働を奪うものとして敵視された面もある。しかし、「食」の関連産業、特に食糧生産の場の人手不足は深刻化した現在、これらの産業を衰退させないために、ヒトがやっていた労働を代替する機械、ロボットがこれまで以上に必要となってきた。世界でも少子高齢化と労働力人口の減少問題の深刻化が早く到来した日本では、この課題に対して他国より早くから取り組んでいるといえるが、多くの問題が残存しており、「自動化」「ロボット化」をより進め、生産規模の拡大、生産の効率化を図る余地は大きい。

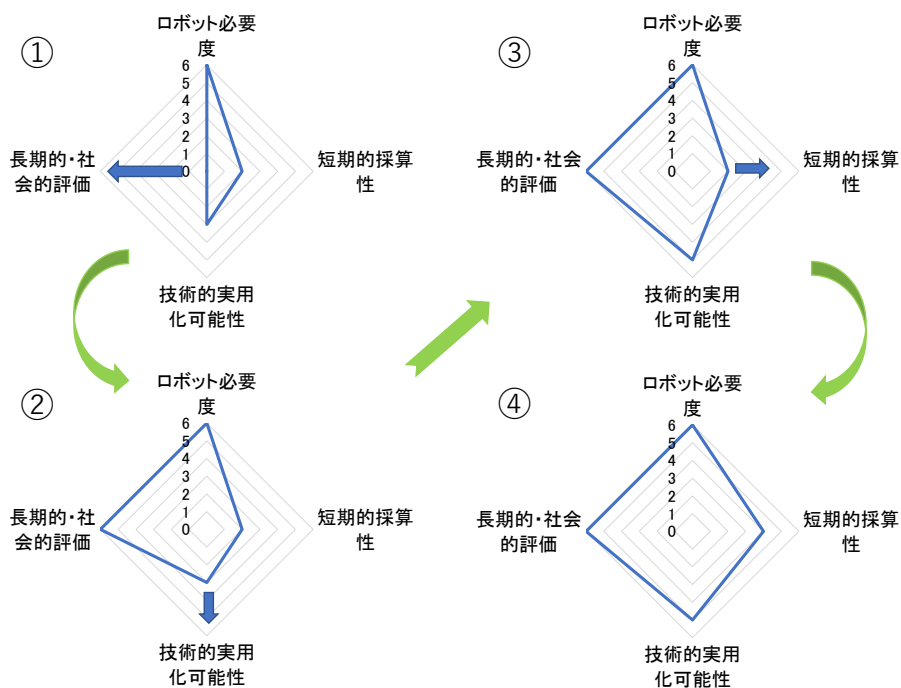
しかし、より深刻な問題は、このような従来の「機械化」「ロボット化」の流れにある。生産規模の拡大・大量生産体制の導入による効率化、最適化に注力しすぎるとかえって、そのような効率化が可能な領域には取り込むことのできない多様で複雑で零細・小規模の「食」に関する様々な領域が取り残されてしまう。こうした領域では、深刻化の度が増す人手不足のなかで、労働負荷の大きさと採算性の問題から、大量生産可能な領域にも増してヒトがいなくなっている。農水産業従事者の高齢化の著しい日本では、特に、零細・小規模の経営体が事業継承をすることなく撤退している。持続可能な社会の実現を考えると、こうした小規模で多様な農産物の生産と消費者への供給が人手不足のために消滅してしまうことは、生物・作物の多様性や食文化を通じた社会の多様性の維持にとって大きな悪影響を与え、明確には見えない(invisible)価値の喪失を招く。そこで、人手不足を従来とは異なる文脈での「自動化」「ロボット化」によって補うことで、「食のダイバシティ(多様性)」を守るという、ある種の発想の転換が必要となってくる。これは、ロボット開発に関わる誰しもにとって大きな挑戦、チャレンジである。しかし、ロボットの、未だ開拓があまりされていない可能性を拓くことにもつながるだろう。

提言2: 食のダイバシティを守るためのロボット開発への投資を誘発するため、「長期的・社会的評価」など新たな評価軸を設定する柔軟な発想を持つ

「食のダイバシティ」を守るために、関連分野での人手不足をロボットで補完することが実用化されるには、技術的にも未確立であり多くの開発投資を必要としている。また開発されたロボットが普及するための仕組み・制度的にみても未整備の領域が多く、様々な

工夫と改革が必要である。工業品の大量生産を大規模工場内で連続操業することを前提に発達してきた、産業用ロボットから派生したロボット技術は、多品種少量生産、職人的技術、繊細に取扱う必要がある不定形品の加工などについては“不得意”であり、その分野に適応するにあたっては採算面も悪かった。とはいえ、小規模な食品加工産業にそのようなロボット技術を適用することについては、既に多くの取り組みがあり、徐々に実用化の道が整いつつある。それでもなお、追加の技術開発と実用化に向けた仕組みづくりが必要である。また、食糧生産の場である農水産業では、既に多様な農業・水産業用の専用機械が導入され、特に大規模経営向けの機械には自動化技術・ロボット技術の応用が進みつつある。しかし、零細・小規模の経営体の事業に自動化技術・ロボット技術を適応・応用することには困難が多い。特に、従来の、大量生産・連続操業で採算性を確保することができ
るロボット技術を、これまで導入されてきた小型機械に単純に適応する形では、不採算性の高い過剰投資になるだけであり、これまでとは異なる技術開発とロボット導入の工夫を迫られる分野は多い。また、既にあるロボット技術の応用によるロボット価格の低減を図る発想では、実用性が達成されず、現実の問題の解決にならないことが多い。「人手不足をロボットで補完」して食のダイバシティを守るためには、より柔軟な発想で開発を進め、実用化への道を探る必要がある。

図表Ⅱ 「食のダイバシティを守る」ためのロボット開発を後押しするための評価



出所) サービスロボット研究会。

ロボットの開発は、(1)ロボットの必要度 (ニーズ)、(2)ロボット技術の適用可能性 (シ

ーズ)の合致に加え、(3)短期的採算性(ROIなど)という3条件が揃った場合に行われるものである。しかし、「食のダイバシティを守る」という目的を達成するためのロボットを開発・実用化するにあたっては、現状、(1)は高い水準にあるものの、(2)の技術的適応可能性や(3)の採算性が低いことが多い。そこで、従来にはない評価軸を設定し、現状を打破する必要がある。「食のダイバシティを守る」という持続可能な社会の実現という長期的・将来的な価値を第4の評価軸と置くことで、ロボット開発に新たな意義を持たせることができるだろう。その実現のために技術的な実用可能性を高める開発投資を誘発し、従来にはない発想のロボットを生み出すことで、現在は実現が困難な短期的な採算性も達成できるようになるサイクルができるのではないだろうか。

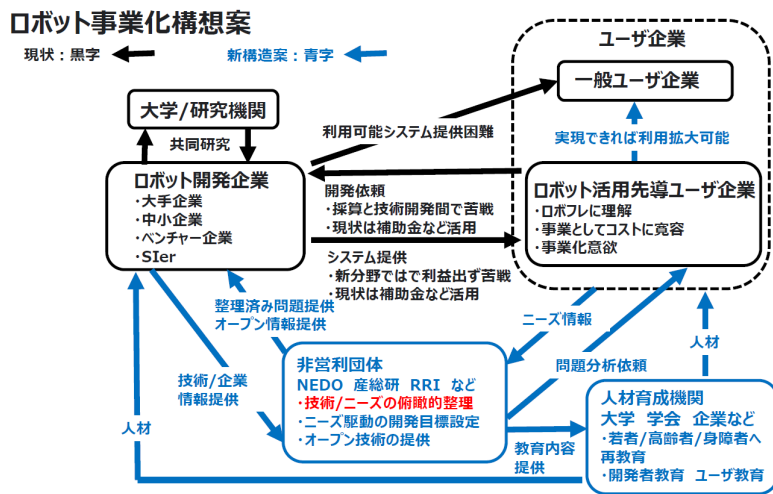
提言3: ロボットの導入が「食」をめぐる産業に新たな魅力を創出し、新たな就業者を生み出すような地域の“エコシステム”、仕組みづくりを政策的に強力に後押しする

せっかくロボット開発に投資をしても、そこから実用化され、市場で評価されるロボットが生み出されなければ意味がない。もちろん、食の「多様性」を維持するためのロボット開発を行うにあたっては、「地域の食文化の保存」、「地元食材の生産・消費維持」、「小規模農地の維持」など、“地域”をキーワードとして考えることは重要である。しかし、開発されたロボットの実用化、市場形成を考える際には、地域の技術で地域の課題を解決する狭い意味での地域内のニーズ・シーズマッチングには拘泥しないことも重要である。また、個々の開発案件へのカスタムメイドの最適解の発見を目指す、適正価格での開発が実現されないリスクが高まる。

したがって、多様な課題全体を見渡し、ある程度の共通解を見つけたうえで、必要な種類のバリエーションを持つアタッチメントを付ける、複数台で動かすことで多様な需要に応えるような、“カテゴリ化された汎用”を目指す技術開発をする必要がある。そうした取り組みのなかで、地域の人材・技術、および企業を適切に巻き込み、「食」をめぐる産業に新たな魅力を生み出していくような“エコシステム”を、地域を核として構築するのである。そうすることで、新たな就業者も生み出されると思われる。

また、従来の農業機械で全国的に普及したような、機械の買い切り制度から、RaaS(Robot as a Service)を進め、リース、レンタル、サブスクリプションなど新たな供給形態を駆使した柔軟な農業ロボットの供給体制の確立を目指すべきであろう。そうすることで、従来のロボット供給の体制では、アプローチが難しかったユーザーの取り込みを図るのである。そのためには、農家、漁業者、あるいは零細食品加工企業の経営者など、ロボットのユーザーとなる関係者の意識改革も促しつつ、ロボット技術を広く見渡し、さらにロボットを普及させる仲介者が必要となる。こうした人材の育成が今後の課題である。また、RaaSを食をめぐる産業で活用するには、広域連携、広域調整の必要性もでてくる。このような仕組みは、ロボット開発者、仲介者、ユーザーのみの努力では、構築・維持されない。政策的にも強力に後押しされる必要があると思われる。

図表Ⅲ 食品ロボットの開発と普及のためのエコシステム構想



出所) 川村貞夫 (2023) サービスロボット研究会資料。

<目次>

提 言	i
1. 令和4年度「サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究」 研究委員会の構成	2
2. ロボットの定義について	3
3. 食をめぐる課題・問題	4
3-1 世界の食をめぐる課題・問題	4
3-1-1 世界における食の「量」的貧困の問題 ～大規模生産で防止、しかし別の問題が～	4
3-1-2 世界における食の「質」的貧困の問題 ～人手不足への対処、多様性維持への視野～	5
3-2 日本の食をめぐる課題・問題	6
3-2-1 日本における食料生産の大規模生産の限界問題	6
① 農業の現状 ～農地の集約・大規模化が進まない～	6
② 水産業の現状 ～零細・小規模漁業者への依存～	8
③ 農水産業における就業者の超高齢化と急激な減少	9
④ “荒廃農地”の問題 ～食料自給力問題だけでなく地域の食の多様性維持が危機に～	10
3-2-2 日本における食品産業の課題	12
① 農水産業とは異なる人手不足問題	12
② 零細・小規模事業所が大多数の食品製造業 ～地元の「食」の担い手たちの危機～	14
4. 自動化、ロボット化による「食」の多様性維持へ	16
4-1 日本における「食」関連産業および食品機械産業の規模の概観	16
4-1-1 日本における「食」関連産業の規模	16
4-1-2 日本における「食」関連の機械産業の規模	16
① 農業機械	16
② 水産関連機械	18
③ 食品機械	19
4-2 「食」関連産業における機械化、自動化・ロボット化の現代的意味	19
4-2-1 “労働を奪う”自動化ではなく、産業を維持させるためのロボット化	19

4-2-2 多様化を維持するためのロボット活用を考えるために.....	24
5. 「食」に係る産業でのロボット化の課題 ～ロボット開発投資を促進する～	26
5-1 「食」に係る産業での先端技術応用の現在地.....	26
5-1-1 農業における“スマート”化とロボット開発・導入の現状	27
5-1-2 食品産業におけるロボット開発・導入の現状	27
5-2 農業分野にロボットを導入するにあたっての問題・課題.....	29
5-2-1 大規模農業でないと自動運転農機、農業ロボットが導入できない	29
5-2-2 有機農法や荒廃農地の復興にロボット活用を.....	32
① 有機農業／自然農法による稲作でのロボット活用.....	32
② 耕作放棄地再生に向けたロボット活用.....	36
5-3 食品分野にロボットを導入するにあたっての問題・課題.....	37
5-4 「食」の多様性を維持するためのロボット開発投資を呼び込む評価軸の設定	40
6. 食の“多様性”維持のためのロボット開発・普及を支える仕組みづくりの重要性.....	44

1. 令和 4 年度「サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究」 研究委員会の構成

本提言は、令和 4 年度「サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究」研究会における議論、意見をもとに、事務局がまとめたものである。

令和 4 年度「サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究」研究委員会の構成は以下のとおりである。（いずれも、所属、肩書は、令和 4 年度のもの）

<委員長>

川村 貞夫 立命館大学 立命館グローバルイノベーション研究機構
機構長代理／特別招聘研究教授

<委員> (50 音順)

上村 沢雄 デロイトトーマツコンサルティング合同会社
産業機械・製造業セクター コンサルタント

高本 陽一 株式会社テムザック 代表取締役議長

結城 崇 株式会社エクサイザーズ AI ケア事業 Care Tech 部事業推進グループ
グループリーダー

<委員代理／オブザーバー>

松尾 潤二 株式会社テムザック 企画本部 副本部長

<経済研究所事務局>

北嶋 守 機械振興協会経済研究所 所長代理 兼 調査研究部長

森 直子 機械振興協会経済研究所 研究副主幹 (PL)

笠原 良太 機械振興協会経済研究所 リサーチアシスタント

2. ロボットの定義について

本提言では、「ロボット」について厳密な概念定義を設定することはせず、以下のような特徴を持つロボットを中心に「ロボット」という語を使っている。

<ロボット>

✓ センサ、コンピューター、アクチュエータからなるシステムで、人間の「身体的要素」を代替する、質量・速度を伴う機器・機械

<サービスロボット>

✓ 非製造業で使われるロボットを対象とし、中心はサービス業(対人)とする

また、「機械」「装置」「設備」「システム」など「ロボット」周辺にある自動化機能が部分的に組み込まれたものとの違いを意識しつつ、厳密な線引きをすることは敢えてせず、しかし、あくまでも中心は、人間の身体的要素を代替する、質量・速度を伴う機器として

いる。

ただし、「ロボット技術」という言葉は、質量・速度を伴う自動化技術ばかりではなく、センサのように「デジタル化」と呼ばれることが多い技術が主なものも含めることとする。また、農業用機械のように主に従来からある機器や装置に対して「高度な水準の工学技術を活用」したり「ロボット技術を用い」たりすることを「ロボット」化と呼ぶ状況を、厳密に排除することはしないこととする。

なお、農業分野では、2000年代に入ってから、センサなどのデジタル技術、ICT技術を駆使したデータ活用による省力化を主軸とする「スマート農業」の普及に力が入られてきた。漁業についても、特に養殖業を中心にデータ活用を進める「スマート化」が進められてきた。そうした「スマート化」のなかには、物理的な作業の軽減・代替としての「ロボット」の活用も一部含まれている。本提言では、こうした「スマート化」にも適宜触れながら、「ロボット」が食をめぐる産業の持続的発展にどのように貢献できるのか、どのように活用されるのかを探ることとする。

3. 食をめぐる課題・問題

3-1 世界の食をめぐる課題・問題

「食」は人々の生活の基盤である。国連の推計によると、世界の人口は2022年11月に80億人を超え、2050年代には100億人を超えるの見込まれている。それだけの人口を支えるに十分な食料生産を実現できなければ、大規模な飢餓を引き起こすことは必至であり、国連の持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）では、17の目標のなかで「飢餓をゼロに」という目標を2番目に掲げ、世界の課題としている。それでは、食料生産の規模を拡大するとともに、生産と供給の効率性・生産性を高め、量的貧困を防げばよいのだろうか。問題はそれほど単純ではない。

図表1 国連の持続可能な開発目標(SDGs)の17の目標



出所) 国際連合広報センター

(https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/sdgs_logo/)

3-1-1 世界における食の「量」的貧困の問題 ～大規模生産で防止、しかし別の問題が～

食料の量的貧困、さらには飢餓を防ぐだけが目的であれば、大規模農地開拓を推し進め、水産資源調査を徹底的に行うとともに水揚げ計画を緻密に作成し、その加工製造と供給網の整備まで一貫して見通したうえで、効率的な生産が可能でカロリー面や栄養素面で最小限必要な種類の食料を大量に産出するという、食料を可能な限り多くの人々に供給するために従来から行われてきた手法を、世界規模で徹底的に実施することで解決ができるだろう。実際、世界では、利用条件の良い土地を農地に転換すること、そして森林の伐採などにより、約1億4600万haの新たな農地が必要であるとの推計もできるほど、食料確保のための大規模農地開拓が議論されている。¹ さらに、食料の大規模生産と供給を効率的に実

¹ アンドニアン、川西、山田（2020）『マッキンゼーが読み解く食と農の未来』図表1-21参照。

施するための手段として、機械、近年ではロボットが世界中で活用されてきたわけだが、その技術開発をさらに推し進めることでも、食の「量」的貧困への対処ができるであろう。

しかし、大規模食料生産を実現するためとはいえ、現在以上の農地を開墾・開拓することは、自然破壊に繋がる大問題であるため、抑制されるべきとされている。また、大規模耕地で単作の連続作付けをすることは土壌に大きな負荷をかけることになり、農薬と肥料を多用する農法に繋がる。さらに、乾燥地帯など広大な未利用の土地は広がるものの農業に適さない土地で農業を進めるために、地下水源を利用するような取り組みも、結局は短期間で地下水源の枯渇を招き自然破壊に繋がってしまう。水産資源に関しても、近視眼的に需要と商業的利益のためだけに数種類の魚種のみを大量に水揚げしてしまえば、水産資源は枯渇し水棲生態系の破壊につながりかねない。さらに、そうした迫りくる食料危機の裏で、「飽食の時代」は依然として続いており、高まる需要に対して全体最適化の進まないまま生産・供給がされるため大量のフードロスが生まれるという世界規模の問題も生じている。

3-1-2 世界における食の「質」的貧困の問題 ～人手不足への対処、多様性維持への視野～

なにより問題なのは、こうした事態が続けば、経済・社会が持続可能ではなくなってしまうことである。持続可能な社会を実現するには、まず自然環境・生態系における多様性、が維持されることが重要である。自然環境や生態系の多様性を将来にわたって維持するための努力は、「種の保存」活動などにも表れている。また、地球上の社会は、自然環境や生態系の多様性が維持されればよいのではなく、人間活動、社会・文化の多様性も重要である。人々の生活は、多様な文化が相互に尊重し合い、支え合うことによって成り立っており、それは「食文化」も含んだ多様性を維持することも意味する。地理的条件や歴史的経緯の積み重ねのなかで受け継がれてきた多様な食品、調理法、食べ方などが存在することで、様々な刺激、発見、進化が生まれ、それが巡り巡って人々の生活の豊かさを形成し、ひいては社会の持続可能性と、必要な社会の質を高めているのである。「多様性の維持」はSDGsの17の目標には入っていないが、全ての目標を貫く思想の基盤となっており、それだけ重要な概念であることが分かる。そしてこれらの、社会の持続性維持のための多様性の確保は、食の「質」の維持に係る問題といえよう。

大規模・大量生産によって食の量的な充足を図りつつ、多様性の維持を図ることにより質の充足を図る、この両輪をバランス良く実行していくためには、そこに従事する人々が必要である。しかし、ここに「人手不足」という大問題が立ちふさがっている。まず、食料生産の大きな部分を支える農業の就労人口が近年急激に減少している。それは大規模食料生産の仕組みが世界各地で導入され、その実現のための機械化、ロボット導入が進み「省力化」「省人化」が進んでいる結果でもあるが、国連国際労働機関（ILO）統計では世界の農業就労人口が2000年の10億人超から2019年には約8億8千万人に減少していることが分かる。特にアジア地域での農業就労人口の減少が著しい。世界で毎年10万人を超

える農業労働者の死亡事故が起きていることが端的に示すように、農業の機械化が進んでも身体的負荷の大きい、また労働上のリスクの大きな労働であることには変わらない。² 食肉加工などの食品加工工場での労働環境の劣悪さもしばしば指摘をされる場所であり、従事者の減少が各国で見られる。

一般的に食糧・食品の価格は、ブランド商品など一部の高付加価値商品を除けば、一定水準以下に決定することが多く、ある程度機械化による生産性向上を実現しても、就業者の利益や報酬が低く抑えられてしまうことが多い。その結果として、より生産性が高く、賃金や報酬の高い産業に労働者が移動してしまう（産業構造の転換）。また、欧州などにおける野菜や果実などの大規模生産者は、植え付け時や収穫時に、「専門職」として最低賃金からすれば高水準の賃金を提示することで労働者を集めることが可能であったが、近年では限界まで賃金水準を上げても農作物の収穫作業に労働者が集まらないという新たな「人手不足」問題が発生している³。また、水産業でも、長時間労働かつ大きな身体的負荷、そして事故との隣り合わせの状況が、就労人口の下位停滞を招いている。⁴

そうした就業者の減少は、技術向上による機械の高度化で生産性を上げる対策をとる他は、多くの国で「安い労働力」である外国人により労働力の補填を図ることで対応してきている。そしてそうした低賃金で働く外国人労働者が移民として残留し、社会問題を引き起こす事態にも発展している。そして、低賃金で働く外国人未熟練労働者へのビザ発給を制限するなどの措置をとる国もある。さらにこうした国境を超えて移動する外国人労働者は、賃金の多寡によって国際的な再移動もするため、労働力供給としては不安定性が大きい。外国人労働者による労働力の補填には限界があることが露呈している。

「食」をめぐる人手不足の問題は、労働者が集まらないからといって、生産や供給からむやみに撤退する事業者が多数出現すると、人々の生活の基盤が揺らぐという大問題に直結することである。それが、農水産業および食品加工業における機械化のさらなる推進、そしてなによりも自動化やロボットの活用によって人手不足問題を克服しようとする、世界各地の動きに繋がっている。

3-2 日本の食をめぐる課題・問題

3-2-1 日本における食料生産の大規模生産の限界問題

① 農業の現状 ～農地の集約・大規模化が進まない～

日本に目を転じると、「食」をめぐる課題、問題の様相は少し異なっている。

² Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022) “Employment indicators 2000–2019 Global and regional trend,” FAOSTAT Analytical Brief 36.

³ Luc Christiaensen, Zachariah Rutledge, and J. Edward Taylor (2020) “The Future of Work in Agriculture,” Policy Research Working Paper 9193, World Bank Group, March 2020.

⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) “The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 —Sustainability in Action—.”

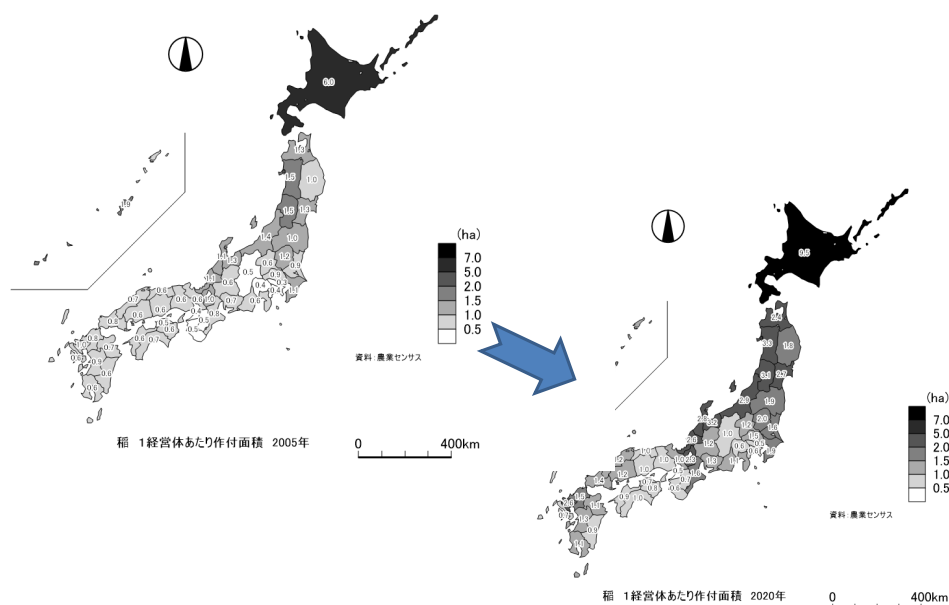
日本においても、食料生産の大規模化による効率性および生産性の向上は長年の課題である。特に、日本の「主食」とされるコメの生産は、生産性向上のための機械化とともに、農地の集約化をとまなう大規模農地化が長年推進されてきている。また秋田県の大潟村や九州の有明海などの大規模干拓などによる水田地の大規模な拡張も実施されるなど、農業経営体当たりの経営耕地面積の拡大のための政策的、そして民間の巨額の資金が投下されてきた。

図表2 農業経営体当たりの経営耕地面積

単位：ha			
区分	全国	北海道	都府県
平成 22 年	2.2	23.5	1.6
27	2.5	26.5	1.8
令和 2	3.1	30.2	2.2

出所) 農林水産省『農業センサス 2020』概要より転載。

図表3 農業経営体当たりの作付面積(稲)の変化(2005年から2020年)



出所) 農林水産省『農業センサス』2005年版および2020年版より事務局作成。
都道府県別の作物別作付面積を農業経営体数で除した。

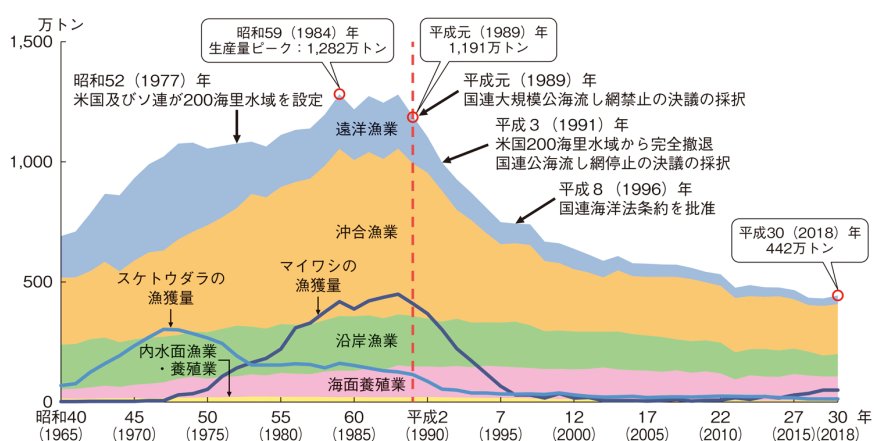
しかし、農業センサスの2020年のデータをもみても、農業経営体当たりの経営耕地面積は、全国平均で3.1haにすぎない。北海道は大規模農地化が進んでいるため、その数値が30.2haと全国平均から大きく乖離しているが、その他の都府県では、約2haにとどまる(図表2)。さらに、作物別の作付面積をみてみると、農業経営体当たりの数値はさらに小さくなる。(図表3) 稲作の場合を見てみても、全国平均では、2005年時点で0.99ha、2020年で1.8haであり、北海道でも2020年時点で9.5haにすぎない。農業経営体当たり

の平均耕地面積が 100ha を超えるような国・地域があるなかで、日本の農地の大規模化、集約化には限界があることがみてとれる。これは、農業政策や農業に係る制度の在り方にも深く関わる問題ではあるが、他方で、平地面積が国土の約 14% しかなく、山岳地帯が約 70% を占める、日本の地形も大きく関係している。伝統的に狭い耕地面積で多くの人手をかけ、肥料等を投入することで生産量上げる小規模集約農業が進んだのも、こうした地理的制約が大きくかかわっている。従って、日本の場合、世界と同レベルでの大規模農地による単作の大量生産は問題にはならない。

② 水産業の現状 ～零細・小規模漁業者への依存～

他方、水産業では、遠洋漁業など近代的な大規模漁船をつかった大船団による遠洋漁業は、1970 年代から 80 年代には盛んだったものの、国際的な水資源管理が厳しくなった 1990 年代以降は大幅に減少している。また、日本の漁業の中心であった沖合漁業に関しては、1980 年代をピークとして水産資源の枯渇が著しく、労働環境も厳しいことからこの分野の漁業就業者数の減少を招いている。漁業経営体の企業化が進み、大規模な組織化、そして水産資源管理手法や装備・設備の近代化が進む他の先進国とは日本の状況は明らかに異なっている。さらに沿岸漁業は多数の小規模漁港ごとに水産資源管理が行われてきたこともあり、近代的な水産資源管理の導入が遅れたことで水産資源賦存状況の変化に対応できず、漁獲高は減少している。それとともに沿岸漁業の従事者も新規参入者が非常に少ないまま高齢化が進み、人数は先細りとなっている。(以上、図表 4) その結果、漁船隻数も減少してきており、漁業センサスによれば、2018 年で約 13 万隻となっており、前回 2013 年の漁業センサス調査時に比べ 13.6% の減少をみている。

図表 4 日本の漁業生産量の推移及び漁業を取り巻く状況の変化



原出所) 農林水産省「漁業・養殖業生産統計」。

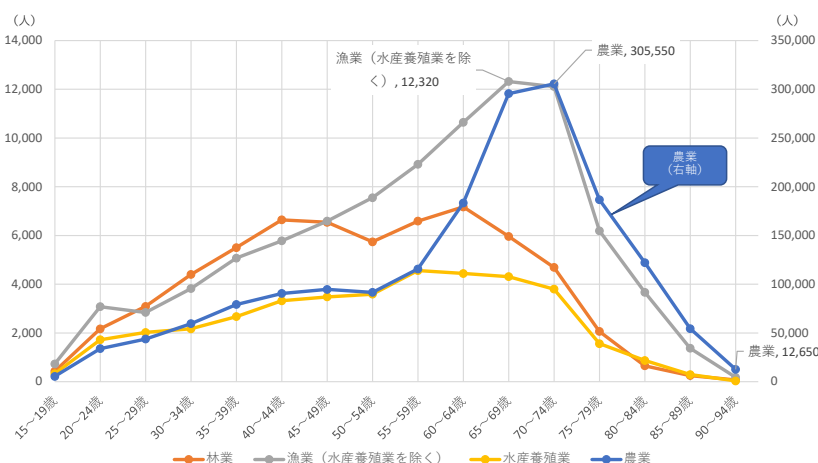
出所) 水産庁 (2020) 『令和元年度水産白書』第 1 部第 1 節「(1)漁業生産の状況の変化」図特-1-1 を転載。
https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r01_h/trend/1/t1_f1_1.html

そして、水産業の活性化のカギと言われる海面養殖業、そして内面水産業・養殖業の振興には官民を挙げて力が入られているとはいえ、規模の大幅な拡大は実現していない。

③ 農水産業における就業者の超高齢化と急激な減少

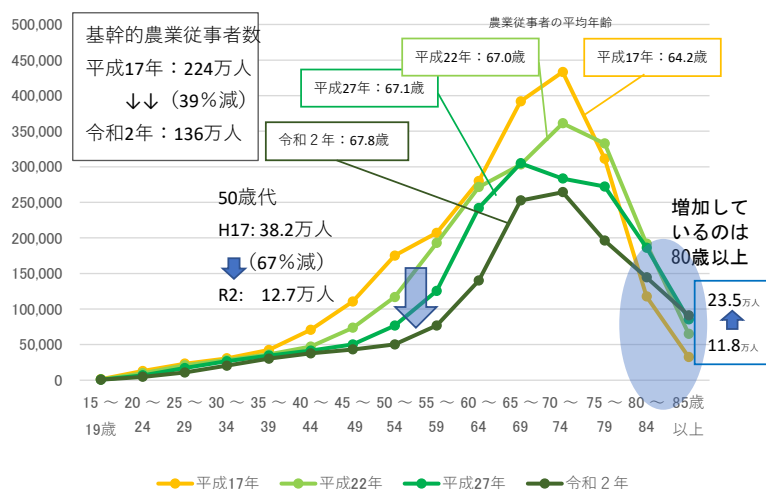
このように、日本の農水産業においては、他国に比較して、大規模生産体制がとりづらい状況にあるため、経営体の多くが零細・小規模にとどまっている。農業、水産業ともに、長年にわたり機械化が精力的に進められているが、それでも、従来の機械化による生産性向上には限界がある。その結果、若い世代の新規就業者が大幅に減少し、年とともに就業者の高齢化が激しくなっている。

図表5 日本の農林水産業における年齢階層別就業者(2020年)



出所) 総務省『令和2年度国勢調査』産業別就業者数(5歳階級別)より事務局作成。

図表6 日本の基幹的農業従事者数の年齢階層別推移(2005年~2020年)



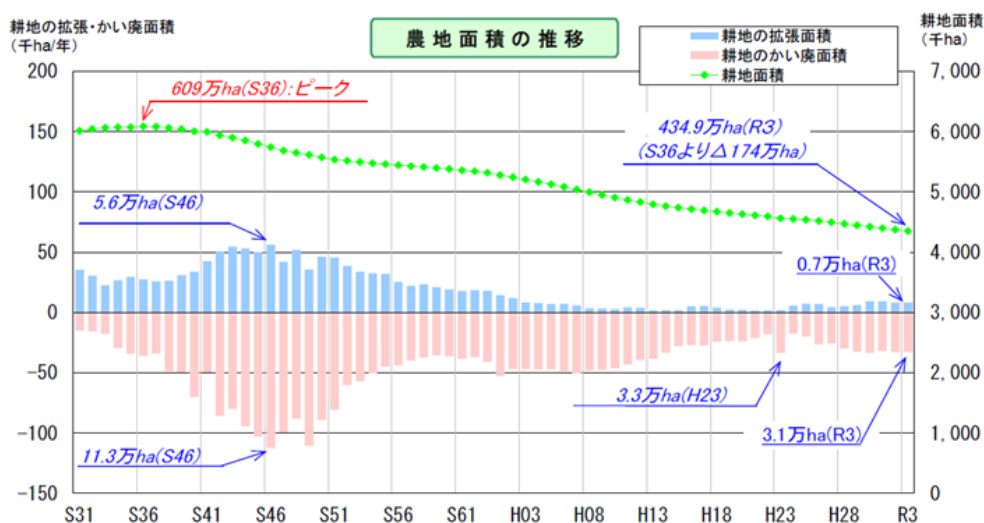
出所) 農林水産省『農業センサス』2005年版、2010年版、2015年版、2020年版より事務局作成。

2020年の国勢調査によれば、漁業（養殖業を除く）就業者の最多年齢階層は65～69歳（90,870人中の12,230人（13.4%））、農業は70～74歳（全体1,775,700人中の305,550人（17.2%））と、他の産業であれば引退をしているはずの年齢層が主力となっている（図表5）。さらに、長年にわたり若年層の新規就業が非常に少ない状況が続いていることから、現在既に就業している従事者の高齢化とともに全体的な就業者数の大幅な減少を招いている。農業を例にとると、農業センサスによれば（図表6）、2005年から2020年の15年間に基幹的農業就業者数は224万人から136万人へと39%もの減少をみている。特に、50歳代は約38万人から約13万人へと67%もの減少をみている。2020年の基幹的農業就業者の79.9%が60歳以上、さらに70歳以上だけでも51.1%を占めており、10年後の農業就業者数が大幅な減少をみることは避けようがない。

④ “荒廃農地”の問題 ～食料自給力問題だけでなく地域の食の多様性維持が危機に～

就業者数が減少しても、例えば農業の場合、機械の活用や種苗の改良、そして肥料や農薬の利用などにより単位面積当たりの収量を上げる、また農地を集約化して少ない就業者数でも生産活動が維持できるような大規模農地化を急速に進めることができれば、全体の農業生産は維持され、問題とはならないはずである。しかし、いまだ小規模・零細農業経営体が多くを占め、機械化や種苗の改良、肥料等の活用による工夫・努力が既に長年続けられている日本では、従来型の生産性向上策の延長線上の対策をとっても、今後の基幹的農業従事者の大幅な減少が営農自体の大幅縮小に直結する可能性が非常に大きく、「人手不足」問題は非常に深刻である。これまでの状況を見ても上述のとおり農地の集約化が進まない状況も手伝い、日本の農地面積は減少の一途とたどっており（図表7）、農業就業者数の減少が農業生産量の減少に結びついてしまっている。

図表7 日本の農地面積の推移(1956年～2021年)



出所) 農林水産省 (2021) 「荒廃農地の現状と対策」より転載。

図表8 日本の農地の改廃面積の推移(2006年~2021年)

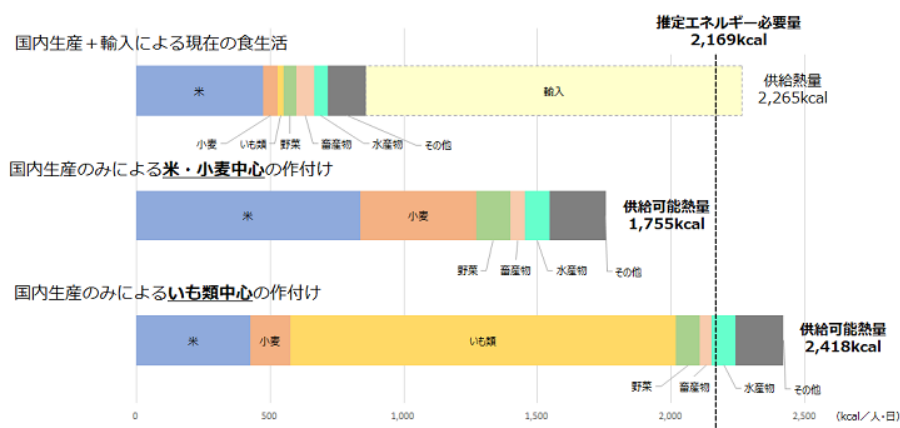
	平18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	令和元	2	3
かい廃計	24,300	23,700	23,900	21,200	17,700	33,400	17,400	19,800	26,200	25,900	29,900	32,500	33,700	31,700	33,000	30,800
自然災害	52	56	23	49	186	16,800	1,400	1	335	82	1,430	...	...	...	...	...
荒廃農地 (耕作放棄)	11,400	10,400	9,760	9,770	7,790	7,870	6,940	9,530	13,000	13,500	16,200	19,300	14,500	13,200	15,100	12,800
非農業用途 への転用	10,510	11,210	11,910	9,066	7,983	6,996	7,119	8,382	9,894	10,165	9,860	...	...	...	...	...
植林・農林道 等への転用	2,294	2,058	2,205	2,254	1,753	1,737	1,916	1,845	2,901	2,181	2,408	...	...	...	...	...

出所) 農林水産省 (2021) 「荒廃農地の現状と対策」より転載。

特に問題となるのが、住宅地など非農業用途に転用される以外の農地の非耕作化、つまり耕作放棄地および荒廃農地であり、毎年1万haを超える農用地が荒廃農地になっている(図8)。さらに、農用区域には区分されていないが農業に供されている土地を含めると、毎年2万ha弱(新たに発生した荒廃農地面積から新たに再生利用された農地面積を除いた数値)が荒廃農地になっている。

荒廃農地の発生を含めた耕地面積の減少は、食料安全保障上の問題も引き起こす可能性がある。日本では長年、食料自給率の低さが問題となっているが、輸入食品が途絶した場合には、日本でも食の「量」の貧困へつながる問題が生じてしまう。元農林水産省官僚による『世界で最初に飢えるのは日本』⁵というセンセーショナルな題名の書も出版されているが、現在約28万haある荒廃農地を緊急的に農地として利用すると仮定してなお、米・小麦を中心とした国内生産のみでは、必要なエネルギー量を全国民に供給することは不可能であるという(図表9)。

図表9 日本の食料自給力(2021年)



出所) 農林水産省 (2021) 「日本の食料自給力」より転載。

⁵ 鈴木 宣弘 (2022) 『世界で最初に飢えるのは日本 食の安全保障をどう守るか』講談社+α新書。

必要カロリーを供給することのみを考え、イモ類の生産を可能な限り確保した場合は、どうか「量」の貧困に陥ることを防ぐことができるとのシミュレーションが農林水産省の委員会から発表されているが、これが実現可能かどうかは別の話であるし、そのような状況に日本社会全体が耐えられるのかどうかは大きな課題である。食料安全保障の問題は2022年に起きたロシアのウクライナ侵攻で先鋭化したが、農地をこれ以上減少させていけば、食料自給力は低下し、状況はより厳しくなるばかりである。

また、荒廃農地化につながる耕作放棄の原因として最も多い理由が、耕作の担い手の「高齢化」とされており、80歳を超えてなお農業を続ける人数（現在では、いわゆる昭和ヒト桁世代にあたる）は増加しているものの、やはり多くの農業従事者が70歳を超える頃に農業をやめており、若い世代の就業者数が減少していることを鑑みると、高齢になって農業をやめる人たちには継承者がいないままとなっていることが窺える。こうした廃業する農家の増加により、地域で続けられてきた小規模生産種の生産も危機に瀕するケースもでてきている。

3-2-2 日本における食品産業の課題

① 農水産業とは異なる人手不足問題

また、食品加工業を含めた食品関連産業の状況は、事業所数の減少と従業者数の減少が同時に発生している。（図表 10）

図表 10 日本の食品関連産業の事業所数と従業者数の変化(2016年と2021年の比較)

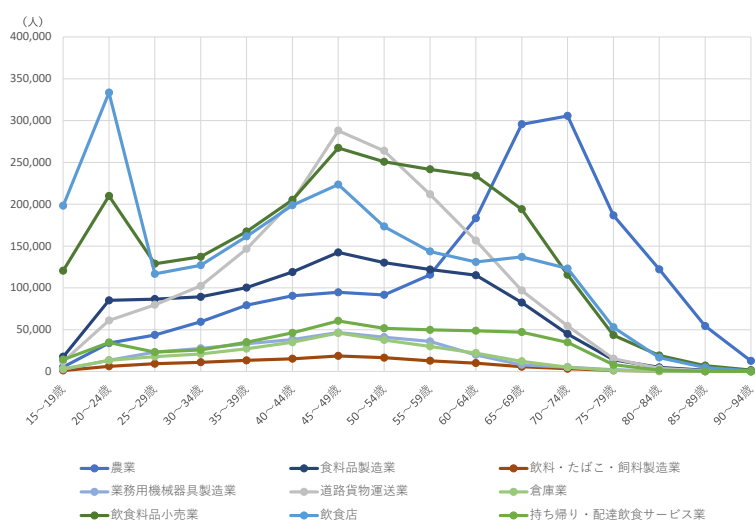
	平成24年調査		令和3年調査		H24とR3の差	
	事業所数	従業者数	事業所数	従業者数	事業所数	従業者数
畜産食料品製造業	3,687	160,978	2,699	165,378	-988	4,400
水産食料品製造業	9,180	180,146	4,855	129,198	-4,325	-50,948
野菜缶詰・果実缶詰・農産保存食料品製造業	3,069	60,783	1,644	42,592	-1,425	-18,191
調味料製造業	2,975	56,008	1,672	52,266	-1,303	-3,742
糖類製造業	213	7,231	125	6,369	-88	-862
精穀・製粉業	1,366	18,895	832	15,914	-534	-2,981
パン・菓子製造業	9,888	285,001	4,477	241,013	-5,411	-43,988
動植物油脂製造業	284	10,394	230	10,528	-54	134
その他の食料品製造業	19,468	473,571	8,195	437,912	-11,273	-35,659
清涼飲料製造業	943	30,090	714	31,690	-229	1,600
酒類製造業	2,140	43,304	1,797	34,526	-343	-8,778
茶・コーヒー製造業（清涼飲料を除く）	3,088	32,178	1,210	17,683	-1,878	-14,495
食品関連 製造業	56,301	1,358,579	28,450	1,185,069	-27,851	-173,510
農畜産物・水産物卸売業	35,066	367,239	30,635	332,395	-4,431	-34,844
食料・飲料卸売業	36,924	410,282	32,023	383,356	-4,901	-26,926
食品関連 卸売業	71,990	777,521	62,658	715,751	-9,332	-61,770
各種食料品小売業	29,504	976,976	23,860	1,101,681	-5,644	124,705
野菜・果実小売業	20,986	95,265	14,379	75,418	-6,607	-19,847
食肉小売業	12,534	63,300	9,322	54,530	-3,212	-8,770
鮮魚小売業	15,833	67,631	10,244	46,867	-5,589	-20,764
酒小売業	37,277	115,638	24,210	73,189	-13,067	-42,449
菓子・パン小売業	62,077	368,267	55,447	355,491	-6,630	-12,776
その他の飲食料品小売業	138,295	1,319,725	119,428	1,366,941	-18,867	47,216
食品関連 小売業	316,506	3,006,802	256,890	3,074,117	-59,616	67,315
飲食店	608,825	4,160,355	430,360	2,908,548	-178,465	-1,251,807
持ち帰り・配達飲食サービス業	45,148	486,181	38,591	403,180	-6,557	-83,001
食品関連 サービス業	653,973	4,646,536	468,951	3,311,728	-185,022	-1,334,808

出所) 経済産業省「経済センサス 活動調査」平成24年版と令和3年版より事務局作成。

食品（加工）製造業では、水産食料品製造業で従業員数の減少が著しく、事業所数と従

業者数ともに大きく減少しているのが弁当や総菜加工を含む「その他の食料品製造業」である。また、新型コロナウイルス感染症の蔓延による行動制限や店舗の営業規制などの影響も大きかった「飲食店」は、事業所数と従業者数ともに著しい減少を見ている。デリバリー需要が拡大したと言われる「持ち帰り・配送飲食サービス業」でも事業所数と従業者数とも大きく減少している。

図表11 日本の食品関連産業の就業者数の年齢階層別構成(2020年)



出所) 総務省『令和2年度国勢調査』産業別就業者数(5歳階級別)より事務局作成。

また、図表 11 に示すように、食品関連産業の就業者の年齢階層別構造を見ると、「飲食店」や「持ち帰り・配送飲食サービス業」では、20歳代前半の就業者の割合が多く、40～50歳代もボリュームゾーンとなっているなど、少子高齢化の日本にあって、生産性の高い労働人口を確保できている。また、食料品製造業でも、農水産業のように極端に高齢者層に偏った年齢階層別構成にはなっていない。しかし、そもそも、「医療業」や「社会保険・社会福祉・介護事業」など、就業者数が増加しており、なおかつ若年層の就業者の割合が多い産業と比較すると、全体的な就業者数は少なく、図 10 で示したように就業者数が減少していることを踏まえると、人手不足に陥っていることが分かる。(図表 12)

図表12 日本の食品関連産業および比較対象産業の就業者数(2020年)

農業	1,775,700	道路貨物運送業	1,697,250
林業	61,940	倉庫業	272,740
漁業(水産養殖業を除く)	90,870	飲食料品小売業	2,344,080
水産養殖業	39,160	飲食店	2,142,350
食料品製造業	1,155,650	持ち帰り・配送飲食サービス業	482,030
飲料・たばこ・飼料製造業	125,760		
業務用機械器具製造業	298,430	医療業	3,642,340
		社会保険・社会福祉・介護事業	3,864,110

出所) 総務省『令和2年度国勢調査』より事務局作成。

② 零細・小規模事業所が大多数の食品製造業 ～地元の「食」の担い手たちの危機～

さらに、日本の食品関連産業の産業構造が零細・小規模の事業所に非常に偏っていることも問題の一角を形成している。2021年版の経済センサスで食品（加工）製造業の規模別の構造をみると、7割弱の事業所が、従業員数30人未満の零細・小規模事業所である。しかし、出荷額の6割は従業員規模30～299人の事業所が生み出している。事業所数では大多数を占める従業員数30人未満の事業所は、出荷額では全体の7%以下の割合しかない。そして、従業員数300人以上の事業所は事業所数では2.5%しかないが、従業員数の3割弱を擁し、出荷額も3割弱を生み出している。（図表13）

図表13 日本の食品関連製造業の従業員規模別状況(2021年調査)

	事業所数／割合		従業員数(人)／割合		製造品出荷額等(百万円)／割合	
1～29人	17,023	68.8%	113,724	10.3%	2,034,679	6.9%
(1～9人)	(9,249)	37.4%	(45,455)	4.1%	(749,225)	2.5%
30～299人	7,100	28.7%	607,634	55.2%	18,001,441	60.8%
300人以上	606	2.5%	309,551	28.1%	8,177,292	27.6%

出所) 経済産業省「経済センサス 活動調査」令和3年版より事務局作成。

これらの多数の零細・小規模な食品加工業、そして同様に零細・小規模の飲食店は、地域の素材で作られてきた地域の食文化の担い手でもある。従って、これらの事業所が人手不足によって事業維持が困難になり、さらに継承者の途絶により廃業・事業撤退に至った場合、それらの事業がより事業規模の大きな事業所に吸収されることが不可能である場合も多いのである。そうした事態が起これば、日本各地ではぐくまれてきた「食」の多様性が喪失してしまう危機的な状況が生まれる。

<参考文献>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) “The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 —Sustainability in Action—.”

—— (2022) “Employment indicators 2000–2019 Global and regional trend,” FAOSTAT Analytical Brief 36.

Jacques Attali (2019) *Histoires de l'alimentation*, Fayard. (ジャック・アタリ (2020) 『食の歴史 人類はこれまで何を食べてきたのか』林昌宏訳、プレジデント社)。

Jacques Attali (2017) *Histoires de la mer*, Fayard. (ジャック・アタリ (2018) 『海の歴史』林昌宏訳、プレジデント社)。

Luc Christiaensen, Zachariah Rutledge, and J. Edward Taylor (2020) “The Future of

- Work in Agriculture,” Policy Research Working Paper 9193, World Bank Group, March 2020.
- Xia, L., A. Robock, K. Scherrer, C. Harrison, B.L. Bodirsky, I. Weindl, J. Jägermeyr, C. Bardeen, O.B. Toon, and R. Heneghan (2022) ”Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection,” *Nature Food*, 3, No. 8, pp.586-596.
- アンドレ・アンドニアン、川西剛史、山田唯人 (2020) 『マッキンゼーが読み解く食と農の未来 REIMAGINING AGRICULTURE～A perspective by McKinsey』日経 BP 日本経済新聞出版本部。
- 蟹江憲史 (2017) 「SDGs によるガバナンスの本質を踏まえた指標の役割と機能」、『廃棄物資源循環学会誌』、Vol.28、No.6、pp.412-419。
- 経済産業省「経済センサス 活動調査」平成 24 年版、令和 3 年版。
- 水産庁 (2020) 『令和元年度水産白書』。
- 総務省 (2023) 『令和 2 年度国勢調査』。
- 田中宏隆、岡田亜希子、瀬川明秀、外村仁 (2020) 『フードテック革命 世界 700 兆円の新産業 「食」の進化と再定義』日経 BP。
- ナショナルジオグラフィック (2014) 「90 億人の食」、2014 年 5 月号。
- 農林水産省 (2020) 『食料・農業・農村白書』令和 2 年度版、令和 3 年度版。
- (2021) 「日本の食料自給力」 (https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/012_1.html)
- (2021) 「荒廃農地の現状と対策」 (<https://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/attach/pdf/index-2.pdf>)
- 『農業センサス』2005 年版、2010 年版、2015 年版、2020 年版。
- 『漁業センサス』2018 年版。

4. 自動化、ロボット化による「食」の多様性維持へ

「食」は、ヒトの生活の最も重要な基盤要素である「衣・食・住」の一角を構成し、とりわけ生命維持に直結するために欠かすことができない。効率的かつ安定的に十分な食料を確保し、なおかつ美味しく食事を摂るために、ヒトは様々な「食」をめぐる産業を発達させてきた。しかし、食糧生産（農水産業）から輸送、加工・調理（食品加工業）、そしてその商業的な提供（飲食業）に至るまで、「食」をめぐる産業は、身体的な負荷が大きい労働をとまなう産業が多い。そのため、ヒトの長い歴史のなかでは、道具の利用から始まり、近代は機械の導入による「省力化」、さらに「省人化」が積極的に図られてきた分野でもある。

4-1 日本における「食」関連産業および食品機械産業の規模の概観

4-1-1 日本における「食」関連産業の規模

まず、日本における「食」に関連する産業の経済活動規模をみると、2021年で約91兆円であり、全経済活動の約1割を占める規模を持っている（図表14）。農林水産業は1.2%を占め、いわゆる「食品産業」と言われる領域（食品製造業、食品関連流通業、外食産業の合計）は全産業の経済活動の8.8%を占めている。

図表14 日本の「食」関連産業の経済活動の規模

（単位：10億円）

区 分	1970年	1990年	2000年	2010年	2020年	2021年（概算）
農 業 ・ 食 料 関 連 産 業	25,032.7	104,535.7	113,167.2	102,320.4	108,825.6	108,532.1 (10.5%)
農 林 漁 業	6,114.0	16,307.6	12,766.6	11,367.9	12,405.2	12,350.2 (1.2%)
食 品 関 連 製 造 業	10,431.2	38,420.0	38,856.6	35,745.7	38,639.6	39,126.4 (3.8%)
食 品 関 連 投 資	917.1	4,108.3	4,259.5	2,063.5	2,323.3	2,472.0 (0.2%)
食 品 関 連 流 通 業	4,395.3	24,224.7	30,297.3	27,674.8	34,851.7	35,445.9 (3.4%)
外 食 産 業	3,175.1	21,475.1	26,987.1	25,468.5	20,605.8	19,137.7 (1.8%)
（再掲）食品産業	16,993.3	81,704.3	94,308.0	86,902.0	91,749.4	91,072.0 (8.8%)
全 経 済 活 動	162,913.4	866,653.7	955,426.9	943,655.9	988,709.1	1,035,059.2 —

注1) 「全経済活動」は、内閣府「国民経済計算」による経済活動別の産出額の合計。

注2) 食品産業＝食品製造業（食品関連製造業の内数）＋食品関連流通業＋外食産業。

注3) 2021年の()内の数値は、当該年における各産業の全経済活動に占める割合。

出所) 農林水産省（2022）「令和3年農業・食料関連産業の経済計算（概算）」より事務局作成。

4-1-2 日本における「食」関連の機械産業の規模

① 農業機械

また、そうした「食」関連の産業を支える機械・設備については、既に多種多様な機械が商品化されており、大きな市場を形成している。

日本における農業機械の出荷額の現状をみると、2022年は4,992億円（国内向けが2,833億円）で、農業機械として挙げられている機械の種類をみると、稲作向けが多くを

占めていることが分かる（図表 15）。もちろん、汎用性の高い農機であるトラクタが総出荷額の約 54%を占めており、稲作向け機械ばかりが商品化されているわけではない。また、耕起用作業機や砕土・整地用作業機あるいは播種・移植用作業機などを含む、栽培品目によらない「作業機」の出荷額も 2022 年で 437 億円とシェアが大きい。他方で、「野菜用機械」の出荷額が 2022 年で 69 億円と小さいことは注目に値する。

図表 15 日本の農業機械の出荷額

(単位：100 万円)

	2021年	2022年
総合計（作業機含）	526,052	499,233
国内向	292,822	283,353
輸南向	233,230	215,880
合計	472,817	448,507
国内向	242,317	235,534
輸南向	230,501	212,972
トラクタ	289,280	269,280
耕うん機	15,419	15,060
田植機	35,725	36,762
防除機	17,759	14,835
刈払機	20,750	18,938
コンバイン	67,131	67,563
バインダ	312	226
動力脱穀機	174	153
糶すり機	4,677	4,453
乾燥機	12,082	11,486
カッタ一	443	380
精米機	835	784
コイン精米機	1,481	1,346
米選機	1,651	1,540
農用運搬車両	5,098	5,700
作業機関係		
作業機	43,926	43,776
野菜用機械	9,309	6,950

注 1) 走行式防除機にはスピードスプレーヤーも含まる。

注 2) カッターには「搭載型カッター」は含まれない。

出所) 日本農業機械工業会「日農工統計（農業機械の生産・出荷実績）」2021 年、2022 年より作成。

② 水産関連機械

漁業関連の「機械」で最も金額の大きなものは、漁船本体である。日本の漁業経営体の約 48%と半数が 10 トン以下の小型漁船を使用しているが⁶、それでも新艇 1 隻あたり 1 千万円を越す価格になる。また、魚群探知機、集魚灯、超音響測定器、漁業クレーンなどの漁業用機械、そして関連の漁具が必要となる。なお、船上で方位を測定するジャイロ計器や磁気コンパスの出荷額は 2016 年の経済センサスによれば約 170 億円であった⁷。

⁶ 農林水産省『2018 年漁業センサス』第 1 巻海面漁業に関する統計（全国・大海区編）、1-(2)「漁船使用の有無別経営体数」。

⁷ なお、経済産業省「経済センサス 活動調査」令和 3 年版では、この領域の事業所数は 14 であり、そのうち従業員規模 4 人以上の 12 事業所の分の出荷額（154 億円）しか公表されていない。残りの零細 2 社分を合わせた出荷総額は秘匿情報となっている。なお、2016 年の経済センサスによると、事業所総数は 15 で、そのうちの従業員規模 4 人以上の 11 事業所の出荷額は 169 億円であった。

③ 食品機械

また、食品機械の分野を概観すると、日本国内の 2021 年の食品機械の国内販売額（輸入品も含む）は、5,731 億円にのぼる（図表 16）。品目としては製パン・製菓機械の占める割合は大きく、約 22%（1,297 億円）にのぼる。しかし、総菜加工なども含む「その他の食品機械」は 2021 年時点で 43%の最大のシェアを占めており、その割合は徐々に増えてきている。この食品機械分野では、輸出額も多いが、輸入額も多いのが特徴となっている。いずれにしても、食品機械は、既に、農業機械以上に大きな市場を形成しており、また、大規模工場では食品の大量生産も進められていることから、自動生産ライン化の進展も進んでいる。ただし、図 11 でみたように、零細・小規模事業所の多い産業分野でもあることから、そうした規模の事業所では、一部の機械化のみで全体的な自動化が進まず、いわゆる「三品産業（食品／医薬品／化粧品）」の一角を占めてもいる。

図表 16 日本の食品機械の販売額

（単位：100 万円）

	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
精米麦機械	14,332	14,397	14,612	14,392	14,607	14,753	14,783	14,502
製粉機械	12,577	12,526	12,689	13,006	13,005	12,355	12,170	11,963
製めん機械	10,854	10,802	11,040	10,764	10,252	9,688	10,270	10,783
製パン・製菓機械	113,962	126,770	126,502	141,784	142,201	135,802	133,086	129,760
醸造用機械	13,988	14,561	14,462	16,660	16,882	15,953	15,730	16,517
乳製品加工機械	55,174	57,308	59,371	65,308	66,003	64,353	68,858	68,170
飲料加工機械	22,597	23,048	23,693	24,048	24,445	23,712	23,427	24,645
肉類加工機械	18,478	21,732	21,688	26,068	26,710	26,112	28,723	31,126
水産加工機械	16,045	15,907	16,063	17,268	17,008	17,093	17,743	17,530
その他の食品機械	170,198	220,498	221,288	246,858	250,560	250,810	261,227	248,130
合計	448,205	517,546	521,408	576,156	581,673	570,631	586,017	573,126

出所) 日本食品帰化工業会 (2022) 「2021 年 食品機械調査統計資料」表 1 より事務局作成。

4-2 「食」関連産業における機械化、自動化・ロボット化の現在の意味

4-2-1 “労働を奪う”自動化ではなく、産業を維持させるためのロボット化

このように、「食」に関する産業は、食料・食品そのもので大きな市場を形成しており、その生産機械の市場についても農業機械の出荷額と食品機械の販売額を単純に足せば 1 兆円を超える規模となっている。それでも、「食」をめぐる産業には、季節的な変動への対応が必要であったり、多様な形状と形質の食品への柔軟かつ繊細な対応が必要であったりといった場面が多く存在することから、ヒトの労働に依存する場面が多く残されている。また、ブランド商品など一部の高付加価値商品を除けば、一般的に食糧・食品の価格は一定水準以下に決定することが多く、ある程度機械化による生産性向上を実現しても、就業者の利益や報酬が低く抑えられてしまうことが多い。その結果として、より生産性が高く、賃金や報酬の高い産業、あるいは賃金や報酬は同程度でもより参入のしやすい産業に労働者が移動してしまう。

そうした就業者の減少は、技術向上による機械の高度化で生産性を上げる対策をとる他は、多くの国で「安い労働力」である外国人により労働力の補填を図ることで対応している。そしてそうした低賃金で働く外国人労働者が移民として残留し、社会問題を引き起こす事態にも発展している。そして、低賃金で働く外国人未熟練労働者へのビザ発給を制限するなどの措置をとる国もある。さらにこうした国境を超えて移動する外国人労働者は、賃金の多寡によって国際的な再移動もするため、労働力供給としては不安定性が大きい。外国人労働者による労働力の補填には限界がある。

またそもそも、国内の農水産業など「食」関連の就業者減は、海外からの農水産品、加工食品の積極的輸入を進めた結果である。安い労働力の活用や大規模農地での大型機械の使用など生産コストが低く抑えられる国・地域で生産された食糧・農水産品を、安い加工賃が実現できる国・地域で加工し、消費国・地域に輸送する、国際的なフードバリューチェーンの効率的な利用が求められてきた。

従って、上記のような「食」関連の産業における様々な危機的状況を、政策的支援などで解決しようという機運が高まっているが、そのなかには、先端技術の活用により状況の打開を図ろうという試みも盛んになっている。上述のとおり、これまでも「食」関連の産業には、機械の導入による「省力化」「省人化」が積極的に図られ、生産規模の拡大（大量生産化）による効率化と最適化が進められてきた。そしてその恩恵により人々の生活の基盤が支えられてきた。そうした大量生産と機械化による「省力化」「省人化」が進んでもなお人手不足に悩む分野が、「食」をめぐる産業である。

そこで ICT 技術、データ分析などを組み合わせた“スマート化”や“DX”活用、そして自動操舵（操縦）・遠隔操作も含めた生産・加工現場の「自動化」「無人化」「ロボット導入」の実現が喫緊の課題となってきた。例えば、農業では、**Agriculture** と **technology** の二つの言葉を組み合わせた“アグリテック（Agritech）”という造語も生まれている。食品分野全体としては、“フードテック（Foodtech）”という語が登場し、世界全体で 700 兆円（2025 年時点の予測）の市場が生まれると言われるまでになっている。

従来、「機械化」「自動化」ひいては「ロボット化」は、特に農水産業分野では、ヒトから労働を奪うものとして敵視された面もある。「省力化」はまだしも、「省人化」は労働者を賃金を得る場である当該の職から追放し、経営者の利益を増すための手段のように捉えられることもあった。しかし、「食」の関連産業、特に食料生産の場の人手不足は深刻化した現在、これらの産業を衰退させないために、ヒトがやっていた労働を代替する機械、ロボットがこれまで以上に必要となってきた。世界でも少子高齢化と労働力人口の減少問題の深刻化が早く到来した日本では、この課題に対して他国より早くから取り組んでいるといえるが、多くの問題が残存しており、「自動化」「ロボット化」をより進め、生産の効率化を図る余地は大きい。

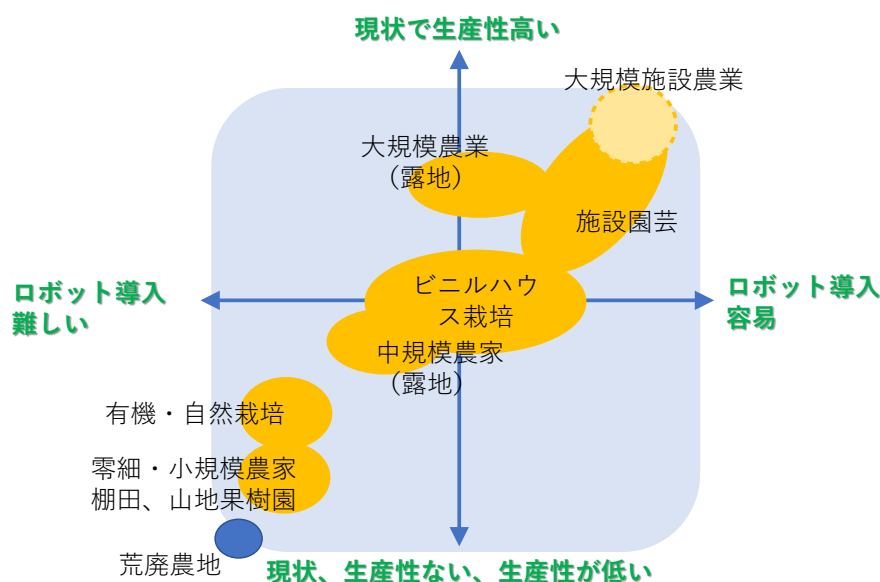
しかしそこで問題となるのは、「自動化」「ロボット化」をどの領域を重点として進めていくのか、という問題であろう。例えば、農業で言えば、日本でも先端技術で農業の生産

性向上、省人化・省力化を進めようとして“スマート農業”推進が盛んであるが、総花的な取り組みになってしまっている。例えば、

- ・集約化した大規模農地での、センサ活用や自動走行農機の導入による省力化。
- ・施設園芸の大型化、高度化、スマート化による効率 UP。
- ・果樹園などでの自動運搬装置などの導入による省力化。

など、あらゆる領域で、データ活用を中心に技術高度化や自動化などが試みられている。⁸ だが、そうした総花的なアプローチでは、開発投資の分散化が生じ、効果的な技術の活用が遠のく危険性も大きい。例えば、農業と一口に言っても、現状での生産性も生産規模や領域によって異なり、さらには「自動化」「ロボット化」といった軸で見たときの難易度の格差も大きく、それぞれの領域に適合した技術開発が求められるが、そこを全て同時にカバーするのは困難である。(図表 17)

図表 17 日本における農業の各領域の現状



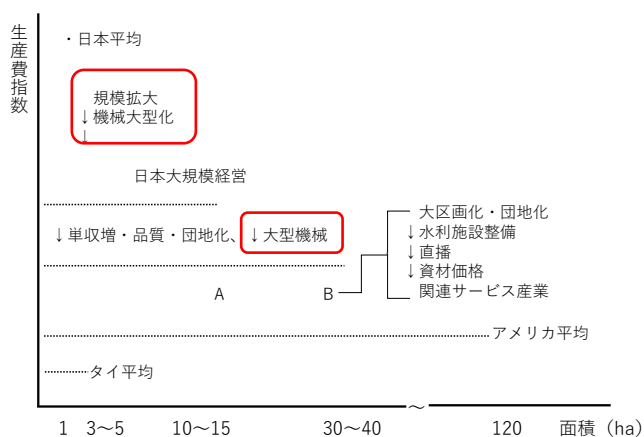
出所) サービスロボット研究会。

現時点で「自動化」「ロボット化」をどこから実用化しやすいか、また効果が大きいのか、という点で一般的に考えれば、大規模施設園芸や露地栽培でも大規模集約化された農業を対象にすることが妥当であろう。従来、日本の農業、特に稲作において、技術革新の導入といえば、種苗や肥料、農薬の改良とともに、大規模農業向けの「機械の大型化」が主眼であったことから（図表 18）、これらの機械が使われている農業領域向けに、先端

⁸ たとえば、農林水産省が農業・食品産業技術総合研究機構（NARO）と行っている「スマート農業実証プロジェクト」では、2019年度に開始した事業では、水田策、畑作、露地野菜、花き、施設園芸、果樹、地域作物、畜産の48品目で現場実証をしており、非常に範囲が広く、焦点がぼやけている。

技術を付加することが有効と考えられるのは、ある意味で当然である。実際にそれらの領域において、農機に自動操舵装置やGNSSガイダンス装置を取り付けて自動走行を実現する取り組み、あるいは収穫ロボットの導入の試みなどが積極的に実施されている。

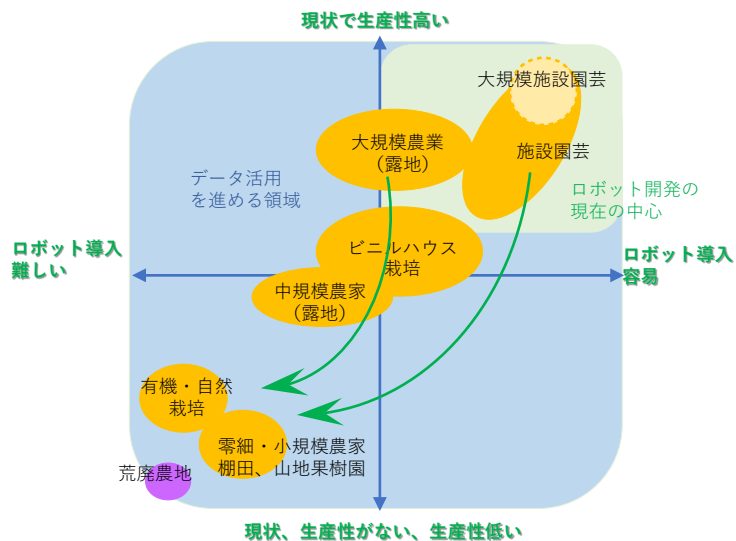
図 18 「稲作における生産費内外格差の構図—その縮小の可能性と限界—」



出所) 稲本・桂 (2000) 『アグリビジネスと農業・農村』放送大学教育振興会、図 4-3 に加筆。

さらに、一般的に考えれば、そうした大規模農業で開発されたロボットを、より規模の小さい農業領域に適用させていくことが農業分野における「自動化」「ロボット化」の展開の方向性であろう。(図表 19)

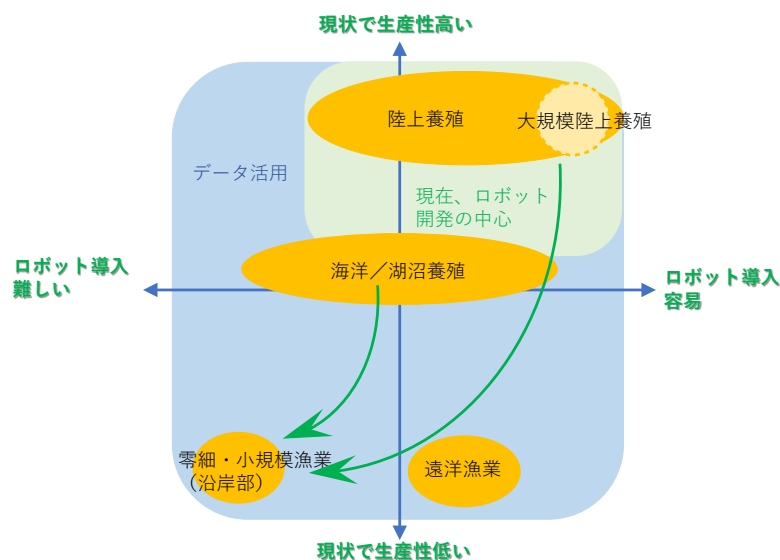
図表 19 日本において一般的に考えられる農業でのロボット開発・導入の方向性



出所) サービスロボット研究会。

しかし、このような従来の農業における「機械化」、そして「自動化」「ロボット化」の流れは大きな問題をはらんでいる。生産規模の拡大・大量生産体制の導入による効率化、最適化をしてしまうと、そのような効率化が可能な領域には取り込むことのできない多様で複雑で零細・小規模の領域には対応できない技術が出来上がる。また、そうした多様で複雑で規模の小さな農業に適応させようとする、コストがかかり過ぎて実用化できなくなってしまう。そうすると、そのような零細・小規模の農業領域は、取り残されてしまうことになる。そして、こうした領域では、深刻化の度が増す人手不足のなかで、労働負荷の大きさと採算性の問題から、大量生産可能な領域にも増してヒトがいなくなっている。農水産業従事者の高齢化の著しい日本では、特に、零細・小規模の経営体が事業継承をすることなく撤退している。

図表 20 日本において一般的に考えられる水産業でのロボット開発・導入の方向性



出所) サービスロボット研究会。

同様の問題は、例えば水産業でも考えられ、まず、養殖業における技術開発と、海洋・湖沼の一般の漁業の技術開発な内容的に異なるし、大規模漁業用に開発される技術では、零細・小規模の領域に適用することは業務体制が大きく異なることから難しいことも多く、また、規模の小さな漁業に適応させようとする、コストがかかり過ぎる問題が発生する。そうすると、農業同様に、零細・小規模の漁業領域は、取り残されてしまうことになる。

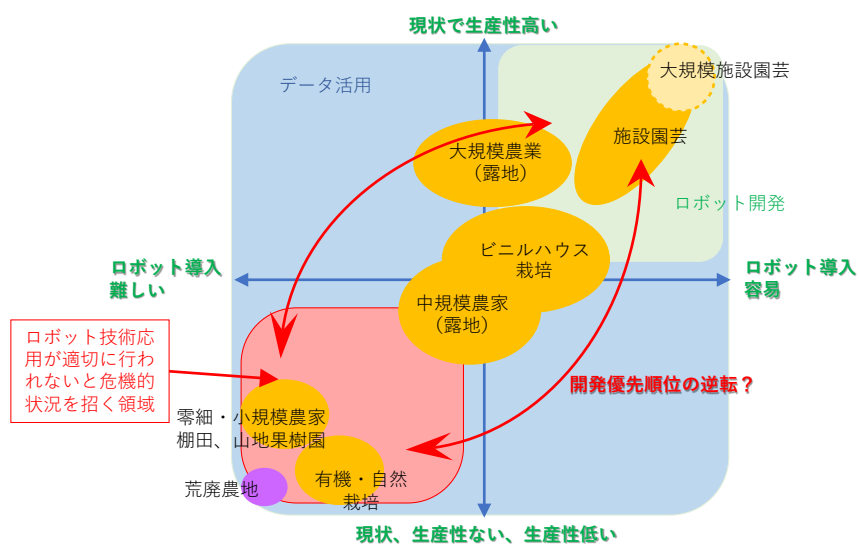
また、既にみたように、食品産業では、大量生産のための機械化、自動化は進んでいるものの、零細・小規模事業所では、一部の機械化のみで全体的な自動化が進まず、「三品産業（食品／医薬品／化粧品）」と呼ばれる低生産性領域となってしまう。

4-2-2 多様性を維持するためのロボット活用に向けて

持続可能な社会の実現を考えると、こうした小規模で多様な農産品の生産と消費者への供給が人手不足のために消滅してしまうことは、生物・作物の多様性や食文化を通じた社会の多様性の維持にとって大きな悪影響を与え、明確には見えない (invisible) 価値の喪失を招く。

そこで、人手不足を従来とは異なる文脈での「自動化」「ロボット化」によって補うことで、「食のダイバシティ (多様性)」を守るという、ある種の発想の転換が必要となってくる。これは、ロボット開発に関わる誰しもにとって大きな挑戦、チャレンジである。しかし、ロボットの、未だ開拓があまりされていない可能性を拓くことにもつながるだろう。

図表 20 ロボット開発の重点領域を変える必要性(例:農業)



出所) サービスロボット研究会。

新型コロナウイルス感染症の蔓延が世界を襲い、経済・社会活動に大幅な制限が加えられる事態が生じた。さらに、2022年2月には、ロシアのウクライナ侵攻とそれに伴うロシアへの経済制裁の影響から、世界中で食品価格が値上がりする事態になった。国際的なフードバリューチェーンへの過度の依存に強い警告を鳴らすものであり、また、食料自給や地産地消という言葉が新たに脚光を浴びる状況になっている。

また、世界の人口増加は食糧確保の見通しに暗い影を投げかけている。2060年には100億人を超えるとされる世界の人口の“健全な食事”支えるためには、食料生産を現在の2倍にする必要があると言われる。しかし、先進国での農業従事者や食品加工業の従事者の減少は進み、発展途上国でも若者層を中心に労働負荷の大きいこれらの産業を労働者が忌避する傾向が強まっている。「食」に関連した産業で深刻で急速な人手不足が世界中で生じているのである。「省力化」「省人化」を目指して進められてきた従来の機械化での対

応では、「食」をめぐる産業が立ち行かなくなる事態は、世界のそこかしこで生じている
と言えよう。

世界の「食」を支えるためにも、今、「食」とロボット、そして技術の関係を今一度見
直していくことが求められる。

<参考資料>

稲本志良・桂瑛一（2000）『アグリビジネスと農業・農村』放送大学教育振興会
社会開発研究センター編、高辻正基・石原隆司監修（2011）『図解よくわかる農業技術イ
ノベーション ―農業はここまで工業化・IT化できる―』日刊工業新聞社。

日本食品機械工業会（2022）「2021年 食品機械調査統計資料」

（https://www.fooma.or.jp/file/statistics_year/%E9%A3%9F%E5%93%81%E6%A9%9F%E6%A2%B0%E7%B5%B1%E8%A8%88%E8%B3%87%E6%96%99_2021.pdf）

日本農業機械工業会「日農工統計（農業機械の生産・出荷実績）」2021年、2022年。

農林水産省『2018年漁業センサス』（<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/fc/2018/2018fc.html>）

——（2022）「令和3年農業・食料関連産業の経済計算（概算）」。

（https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/keizai_keisan/r3/index.html）

——「スマート農業」（<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/>）

鷺津明由、中野諭（2021）「スマート農業の実情調査の分析：SAKL(Smart Agricultural
Kaizen Level)技術マップに基づく分析」IASS WP 2021-J003。

5. 「食」に係る産業でのロボット導入の課題 ～ロボット開発投資を促進する～

「食」に関連する産業には、人手不足という共通の課題があるとはいえ、飲食業のように賃金や労働条件の変更によって人手不足が緩和されやすい業界もあれば、食品加工業のように従来から機械化が進んでおり自動化やロボット化が概ね実現しているが残された部分では課題が大きく当面は強い人手不足に悩む領域がある産業もある。そして農水産業のように、大きな部分で低生産性が解消されないことから賃金上昇による人手不足緩和も困難で、なおかつそうしたなかで機械の導入が進んだことから、これ以上の自動化・ロボット化が採算面で難しい産業もある。また、農水産業ひとつ取り上げても、そのなかに露地農業や施設園芸、大規模農業法人から個人の農家による農業など様々な分野を含んでおり、全ての農水産業分野に適応可能な単純な人手不足の解決策はないといえよう。

5-1 「食」に係る産業での先端技術応用の現在地

そうした問題を考えるあたり、まず、「食」に係る産業でのロボットを含む先端技術応用の現在地を確認しておこう。

ちなみに、経済産業省及び NEDO の 2010 年推計では、ロボットの潜在的な市場規模は、

農林水産分野： 2020 年に約 1,200 億円

食品産業分野： 2020 年に約 980 億円

になるとされていた（図表 21）。なお、農林水産分野のうち約 600 億円は農業物流、約 300 億円は酪農・畜産によるものとする。土地利用型農業と露地・施設栽培は約 60 億円、漁業・水産養殖業は約 170 億円とされていた。

図表 21 ロボット産業の将来市場予測(2010 年予測)

			2015年	2020年	2025年	2035年
製造業分野			10,018	12,564	15,807	27,294
ロボテック製品			1,771	4,516	8,057	15,555
農林水産分野	農業	土地利用型農業	(11)	(23)	(73)	(276)
		露地・施設栽培	(9)	(39)	(150)	(927)
		酪農・畜産	(102)	(294)	(498)	(588)
		農業物流	(273)	(603)	(812)	(858)
	林業		(17)	(84)	(304)	(872)
	漁業・水産養殖業		(54)	(168)	(417)	(1,142)
小計			467	1,212	2,555	4,663
サービス分野	食品産業	食品ハンドリング	(179)	(675)	(1,432)	(1,640)
		食品加工	(81)	(305)	(793)	(1,743)
	食品産業以外		(3,473)	(9,261)	(24,237)	(46,185)
小計			3,733	10,241	26,462	49,568
合計			15,990	28,533	52,580	97,080
「食」関連産業 計			727	2,192	4,780	8,046

出所) NEDO (2010) 「将来市場予測の概要」 (<https://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf>) より事務局作成。

5-1-1 農業における“スマート”化とロボット開発・導入の現状

スマート農業関連の市場規模をみてみよう。

富士経済によると、高生産性と省人化を先端技術の活用によって達成することができる代表格とされる人工光型植物工場や養液培養プラントでは、「施設／プラント」が、2019年度に543億円、2021年度に441億円と推計されており、栽培環境制御装置や灌水・給水管理装置や光源を含む「施設園芸構成機器／システム」の2019年度の86億円、2021年度の81億円という数値と比べると、コストの大きな部分を占めていることが分かる。⁹

栽培環境モニタリングシステムや水田水管理システムや自動操舵システム、農業ロボット・農業用ドローンを含む「スマート化関連機器／システム」は、2019年度に100億円、2021年度に144億円と推計されており、人工光型植物工場や養液培養プラントといった施設そのものの市場規模からすると、露地農業関連のスマート化関連機器の市場規模は小さい。

さらに「スマート化関連機器／システム」の詳細をみてみると、「農業用ロボット」（無人農業機械（自動化レベル2）と自動収穫ロボット）の日本における市場規模は、2020年度に3億円、2022年度で10億円と非常に小さい。農業用ドローンの市場規模は、2019年度に22億円、2021年度で51億円となっており、「スマート化関連機器／システム」のなかでは大きな割合を占めていることが見て取れる。

とはいえ、従来型の農業機械の出荷額が5,000億円規模であることからすると、ロボットを含めたスマート農業関連の機械・システムの市場規模はまだまだ小さいということが見て取れる。農研機構（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）には、「農業ロボティクス研究センター」もあり、それとは別にAI活用やデータ連携の基盤構築を目指す「農業情報研究センター」があり、なおかつ本体のなかには「農業機械研究部門」で「無人化農作業研究領域」を置くなど、農業における先端技術の活用方法の研究・開発、そして促進支援を精力的に行っているが、カバーする領域が広すぎ、また総花的になっているため、農業のスマート化、あるいはロボット活用の強力な後押しとはなっていない。

5-1-2 食品産業におけるロボット開発・導入の現状

世界の食品ロボットの市場規模の推計は、なにを「食品ロボット」とするのかによって大きく異なっている。市場調査会社のグローバルインフォメーションによれば、「食品産業用ロボット」は2020年に17億1000万ドルであり、2028までには53億ドルあまりに成長すると見込まれている。¹⁰この場合の「食品産業用ロボット」は、食品産業における

⁹ 以下、「スマート化関連機器／システム」、その内訳である「農業用ロボット」、および「農業用ドローン」の市場規模まで、富士経済（2022）『次世代アグリ&食糧ビジネスの最前線と将来展望 2022』、富士経済（2022）『2022年版 ワールドワイドロボット関連市場の現状と将来展望 No.2』を参照。

¹⁰ グローバルインフォメーション「食品産業用ロボット：世界市場規模予測（2020年～2028年）」

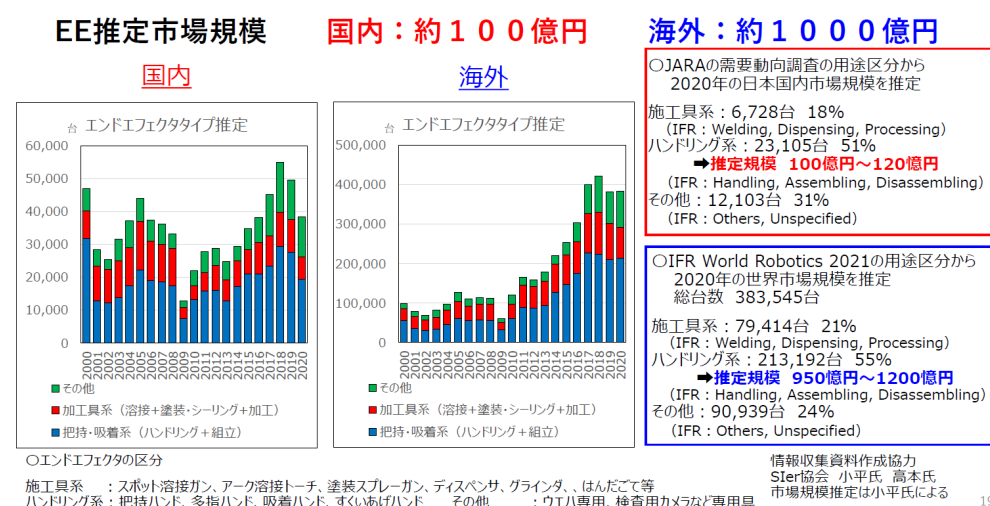
（<https://www.gii.co.jp/report/smrc1004630-food-robotics-global-market-outlook.html#:~:text=世界の食品産業用,測されています。>）

「カットとスライス」「グレーディング」「ロジスティクス」「梱包と再梱包」「パレタイズとデパレタイズ」「ピックアンドプレース」「処理」「品質検査」「仕分けと欠陥の除去」と、食品加工業のほぼ全ての工程で使用されるロボットを含んでいる。一方、Report Oceanによると、「食品ロボット」市場は、2021年度に2億2,220万米ドルであり、2030年度には5億5650万米ドルに成長すると予想されている。¹¹ この場合の「食品ロボット」は、食品・飲料産業における「ピッキング」「パッキング」「パレタイジング」「加工」などの作業を行うロボットとされている。

以前から、包装された食品を扱う工場では、工程間の搬送や、出荷用の箱を荷台積み上げる、あるいは包装された食品のピッキング等に産業用ロボットを活用してきた。したがって、上記の世界の食品ロボット市場予測の多くが、ロボットが直接食品を取り扱のではない領域で使用されるロボットに関するものだといえる、近年は、調理ロボットや惣菜盛付けなど直接食品を扱う作業へのロボット活用が進められており、その市場の成長が見込まれている。

なお、調理ロボットや惣菜盛付けなど直接食品を扱う作業を担うロボットの市場規模の推計を入手することは大変難しいことから、立命館大学 SIP チームが、ロボットハンド（エンドエフェクタ）の市場規模を代替値とし、推計を行ったが、それによると、ロボットハンド市場は、国内で約100億円、海外で約1,000億円と、確固たる市場規模を形成しているという推計結果となった。（図表22）

図表22 立命館大 SIP チームによるロボットハンド(エンドエフェクタ)市場の推計



出所) 川村貞夫 (2023) 「CPS 構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムの開発と実用化白書」 mimeo.

¹¹ Report Ocean 「食品用ロボティクス市場は2030年まで年平均成長率10.5%で成長する見込み」2022年3月2日。(https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000005426.000067400.html)

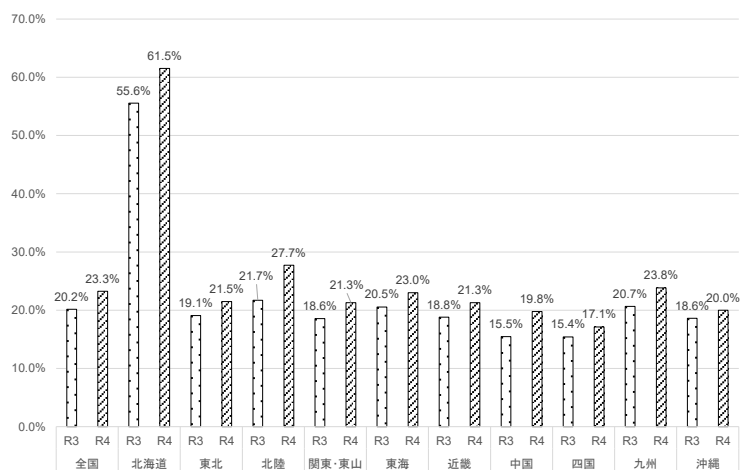
5-2 農業分野にロボットを導入するにあたっての問題・課題

5-2-1 大規模農業でない自動運転農機、農業ロボットが導入できない

農業分野にロボットを導入し、人手不足や多様性維持による「食」の質の維持を試みる議論するにあたっては、先端技術が現状としてどの程度導入されつつあるのかを、まず検討する必要がある。

先端技術を取り入れた農業として括られる“スマート農業”が日本でどれだけ普及しているのかについては、農業構造動態調査の「データを活用した農業を行っている経営体数」で大まかな傾向がみてとれる。全国でみると、令和4年時点でも23%の農業経営体しか、データ活用を行っていないという結果となっている。(図表23)ここでいう「データ活用」は、なんらかのデータ取得をしている経営体全部を指しており、取得したデータを分析し活用している農業経営体になると、さらに少数である。地域別にみると、北海道は61%を超える農業経営体がデータを活用した農業を行っていると回答しており、図表2「農業経営体当たりの経営耕地面積」で示した、北海道の農業経営体が他地域に比べて平均で10倍もの経営耕地面積で営農していることを考え合わせると、日本では“大規模”農地でないと、農業におけるデータ活用、ひいてはスマート化が低調である現状がある。

図表23 全農業経営体に占める「データを活用した農業を行っている経営体」の割合
(地域別、令和3・4年度)



出所) 農林水産省「令和3年 農業構造動態調査」1-(1)-ナ データを活用した農業を行っている経営体数より事務局作成。

ちなみに、マッキンゼーによれば、アメリカの農家は、2018年時点で64%がGPS自動操舵システムを導入しており、同じGPS技術の利用では収量モニタリングの活用は59%、ノズル制御が48%、さらに植え付け列の制御でも41%に達している。高度な“スマート農業”の一つであるVRT(栽培エリアごとにインプット投入を可変・調整する技術: Variable Rate Technology)の導入も51%が導入しており、大規模農地での営農が主流であるアメリカでは、先端技術を利用した農業が主流になっている状況が、日本と大きく異

なる。12

日本では大規模農地での営農でないと先端技術の活用が限定的であるという傾向は、GPS 等を活用した経路誘導装置や自動操舵システムなど、農業機械の「自動化」「ロボット化」技術の出荷台数の推移をみても同様のことがいえる。北海道農政部技術普及課の調べでは、日本全国で2008年から2021年までに出荷されたGNSSガイダンスシステムの約7割、自動操舵システムの約8割が北海道向けとなっている。(図表24) 農業機械の「自動化」「ロボット化」が普及しているのは、「大規模」農地が日本国内ではとびぬけて多い北海道に集中している現状が見えてくる。

図表 24 農業用 GNSS ガイダンスシステム等の出荷台数の推移

区分	年度	平成20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	令和1	2	3	累計
GNSSガイダンスシステム (経路誘導装置)	全国	110	380	510	630	910	890	1,080	2,010	2,070	2,910	3,140	3,420	6,070	4,140	28,270
	北海道	100	350	480	580	830	780	980	1,250	1,650	2,200	2,330	2,520	4,300	2,360	20,710
	シェア	91	92	94	92	91	88	91	62	80	73	74	74	71	57	73
自動操舵システム	全国	0	10	20	90	140	190	510	760	1,310	1,770	1,900	2,410	5,250	3,630	17,990
	北海道	0	10	20	80	130	170	480	730	1,220	1,590	1,690	1,990	3,730	1,990	13,830
	シェア	-	100	100	89	93	89	94	96	93	90	89	83	71	55	77

注) GNSS ガイダンスシステムと自動操舵システムがセットの場合は、両方にカウントする。
出所) 北海道庁農政部 (2022) 「農業用 GNSS ガイダンスシステム等の出荷台数の推移」
(https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/a0007/b0003/smart_guidance.html)。

現状では、国内外で、大規模農地用の農業機械への経路誘導装置や自動運転機能を搭載が盛んである。トラクタへの搭載はもちろん、大規模農地向けとはいえ繊細な制御技術が要求される田植機やハーベスタ(収穫機)への自動運転機能の搭載も増えてきている。

(図表 25) さらに、農機の完全自動走行実現を目指し、複数の自動運転農機を遠隔で広域管理するシステムの開発計画も進みつつある。日本では、北海道大学の野口伸教授を中心に、NTT グループなどが協力をして進められている実証実験がある。(図表 26) 野口教授の研究室では、協調して編隊を組むロボットトラクタ(「マルチロボット(協調型ロボット)」化したトラクタ)を無人化する技術も開発が進んでおり、広い圃場の作業効率を飛躍的に高める技術開発が盛んである。

図表 25 実用化されている大規模農地向け自動走行農機の例



自動運転田植機
©農研機構農業技術革新工学研究センター



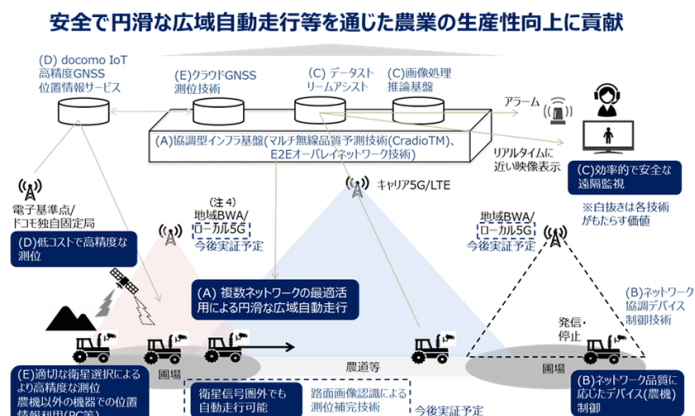
キャベツ自動収穫機
©立命館大学・オサダ農機(露地野菜生産ロボット化コンソーシアム)



自動運転トラクタ
©ヤンマー

12 アン Dre・アンドニアン、川西剛史、山田唯人 (2020) 『マッキンゼーが読み解く食と農の未来 REIMAGINING AGRICULTURE~A perspective by McKinsey』日経 BP 日本経済新聞出版本部。

図表 26 北大、岩見沢市、NTT、NTT 東日本、NTT ドコモによる無人トラクタ管理システム



出所) NTTプレスリリース (2020年11月16日) (<https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/16/201116b.html>)

また、国内外で、大規模施設園芸作物（トマト、イチゴ等）の自動収穫・搬送ロボットの開発が実用化段階にたどり着く、あるいは実用化直前までになっている。イチゴ自動収穫ロボットでは、宇都宮大学とアイ・イート株式会社の共同開発など、生産量が大きく、また単位当たりの売価も高く、また収穫時に短時間で繊細な作業をこなさねばならないイチゴ生産の効率化を目指して、開発に参入する主体は複数ある。また、トマトの自動収穫ロボットでは、パナソニックホールディングス株式会社や株式会社デンソーなど、従来は農業分野に関わりの薄かった企業の参入がみられている。これらの自動収穫ロボットは、単位時間での収穫効率は、ヒトによる収穫より劣るが、長時間連続作動により全体的な生産性を向上（平準化）するものである。なお、現在開発されている大規模施設園芸作物用の自動収穫ロボットは、完全無人化ではなく、圃場のどこかにヒトの作業員がいることを前提とした開発となっている。

農業就業者数が急減している日本の農業の現状を鑑みるに、これら大規模農業向け農機の「自動化」「ロボット化」の開発は、より加速化されることが望ましい。

しかし、4-2-2で議論したように、中規模以下、特に小規模・零細規模の農地で営農する農業経営体にとっては、これらの機械を利用することは難しいものである。また、大規模農業向けに開発された農業機械、ロボットは、小規模・零細規模の農業経営体にとっては、高価すぎる機械となっており、従来の農業機械への投資で精いっぱいの高齢農業従事者には手が出ない。

水稲作を例にとっても、トラクタやコンバインはそれぞれ 200 万円から 300 万円、田植機に 100 万円から 200 万円と、現在の技術の中核的農機を揃えるだけで 1,000 万円の予算が最低必要である。(図表 27) 現在の農機に、経路誘導装置や自動操舵・自動運転機能を付加する形では、それぞれの農機が高額化することになるため、大規模農地で営農する農業経営体のように、生産性がある程度高い農業が可能な場合にしか導入が容易ではない。もちろん、高齢の農業従事者にとっては、先端技術を駆使した、自動化、ロボット化された農機に対して拒否感が強いだろうという点も問題となると思われるが、まずは資金的な

負担の大きさを考えねばならない。さらに、高齢層ではない年齢層が中心となる新規就農者であっても、新規就農時の問題が設備投資資金の不足である状況で、現状以上の投資には、二の足を踏みかねない。日本の農地の集約化・大規模化に限界がある以上、中規模以下の農業経営体に適した「自動化」「ロボット化」も、もっと積極的に進められることが必要であろう。

図表 27 農業経営に必要な機械の価格(水稲作の例)

【参考資料1】水稲作の機械化の状況

○ 我が国では水稲作において、トラクターと各種作業機の組み合わせ、田植機・播種機、コンバイン、乾燥機等による機械化一貫体系が確立されているところ。

トラクタ (25ps) 279万円、トラクタ (35ps) 474万円

作目	耕うん・整地・基肥	育苗・移植・播種	追肥・除草・防除	収穫	乾燥・調製
水稲・麦類・大豆	・プラウ 56万円 	・田植機 126万円 	・動力散布機 18万円 	・自脱コンバイン 	・穀物乾燥機 
	・ロータリー 45万円 	・不耕起汎用播種機 	・兼用管理ビークル 	・汎用コンバイン 	16石用 115万円
	・肥料散布機 	・耕うん同時畝立て播種機 	・中耕除草機 	2条刈 268万円 4条刈 743万円	
	・溝掘機 		肩掛け刈払機 7万円 		

出所) 農林水産省「米の生産コストに係る日韓比較」(平成 28 年 2 月)に農林水産省「令和 3 年度農業物価指数統計」の「農業水産資材の販売価格」「全国平均販売価格」の情報を事務局が加味(図中の赤字)。

5-2-2 有機農業や荒廃農地の復興にロボット活用を

小規模・零細規模の農業に適した「自動化」「ロボット化」開発を推進するといっても、多様な内容を含んでおり、それだけでは課題が分散し過ぎてしまう。ここでは、本研究会で議論の焦点として取り上げた、「多様性の維持」のためのロボット活用、という論点につなげるため、自然農法を含む有機農業向けロボットと荒廃農地の復興向けロボットという二つの視点を取り上げてみたい。

① 有機農業／自然農法による稲作でのロボット活用

最近では、「慣行農法(農薬、化学肥料等を使用した近代農法)」による稲作に問題意識を持つ農家や農業経営体が、有機栽培／自然農法による稲作を志向することが多くなってきている。また従来は、ほとんどの JA 農協が有機栽培／自然農法による稲作とは関わらなかったが、令和 3 年度には農林水産省が「みどりの食料システム戦略」にて 2050 年までに「耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を 25% (100 万 ha) に拡大することを目指す」とうたい、有機農業を政策的に支援する動きが強まってきており、JA 農協自体が

有機栽培／自然農法を推進することも多くなってきている。¹³ 有機栽培や自然農法は、持続的な農業を目指す試みの一つの大きな流れを形成しており、「食」の多様性を維持するという目的もあり、積極的な取り組みがなされるようになってきている。

その有機農業／自然農法による稲作を実施する農業経営体では、「慣行農法」に比べて手間暇がかかることもあり、耕地が小規模にとどまるという現状、そして小規模耕作であるがゆえに、各農家・農業経営体が高価な農機を全て揃える状況にはないという課題を抱えている。そのため、小規模農業経営体であり、農薬や化学肥料を使わないという条件での農業を実施するに適した機械・ロボットが、適切な価格設定で新たに開発される必要性が高まっている。

有機栽培／自然農法による稲作において、最大の労働負荷がかかるのは「水田の除草」とされる。そこで、2000年代に入ったころから、「水田の除草ロボット」の開発が少しずつ実施されてきている。(図表 28)

図表 28 水田除草ロボット開発の例

	①有機米デザイン	②岐阜県情報技術研究所	③新潟県農業総合研究所	④エコ・ライス新潟	⑤アイビーシステム	⑥ハタケホットケ
形態	太陽光発電で自律航行。フロート型	カメラ認識、自走。バッテリー充電。クリア型	カメラ認識、自走。バッテリー充電。クリア型	CCD カメラ認識、自走。バッテリー充電。クリア型	CCD カメラ認識、自走。バッテリー充電。除草ハンド付き。クリア型	ラジコン操縦。バッテリー充電。車輪型
開発開始	2012年	2003年	2016年	2018年	2020年(?)	2021年
技術面での開発者	元日産自動車のエンジニア2人	岐阜県農政部、岐阜県中山間農業研究所などとの共同開発	みのる産業㈱と共同開発	長岡工業高等専門学校と共同開発	長岡技術科学大学と共同開発	米国人発明家(社長知人)
	ヤマガタデザインに順次開発母体を移行。2019年にヤ社100%の現法人へ		みのる産業、泰地の会、(研)農研機構、中央農業研究センターなどと除草ロボットコンソーシアム	有機米の作付けを増やすため、水田除草ロボットだけではなく、最新技術応用を考える	AIシステム開発の知見を活かし、自動走行のみならず、イネと雑草の判別、病気診断等を行う	単純な形状でコスト低減と強靱性確保を実現。将来は自走式に。「田植えから収穫まで」ロボット
提携企業・自治体	井関農機	平成22年度農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」	みのる産業		新潟県新発田市	長野県松川町 & (公財)自然農法センター、長野県駒ヶ根市
拠点	新潟県新潟市	岐阜県	新潟県	新潟県長岡市	新潟県新発田市	長野県塩尻町
現状	2022年6月に商品化	実証実験を重ねる	実証実験後、市販化を試行も停止	プロトタイプで実証実験中	2023年2月までに実証実験実施	2023年に第2段階実証実験実施

出所) 井関農機「水に浮かべる『自動“抑草”ロボット』アイガモロボ®」(<https://products.iseki.co.jp/kanren/aigamo/>)、熊澤・藤井・久田・鍵谷(2016)「有機栽培における水田用小型除草ロボットの除草効果」岐阜県中山間農業研究所研究報告 第11号、除草ロボットコンソーシアム「水稲有機栽培の規模拡大を目指す除草ロボットの導入」新潟県農業総合研究所、久保田(2019)「企業と高専がタッグした水田除草ロボット——有限会社エコ・ライス新潟(前編)(後編)」(<https://smartagri-jp.com/smartagri/165> および/166)、日本経済新聞(2022)「新潟のアイビーシステム、水田の雑草除去ロボ開発へ」2022年9月27日。株式会社ハタケホットケ HP (<https://hhtk.jp/>) およびヒアリング(2022年9月27日)などより事務局作成。

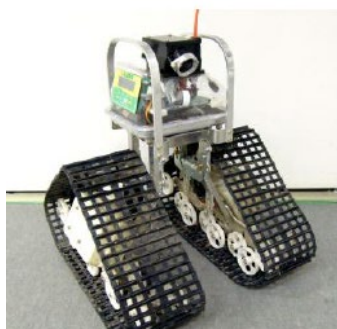
¹³ 令和4年4月22日には、環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律(みどりの食料システム法)が成立した(5月2日公布、7月1日施行)。

①有機米デザイン



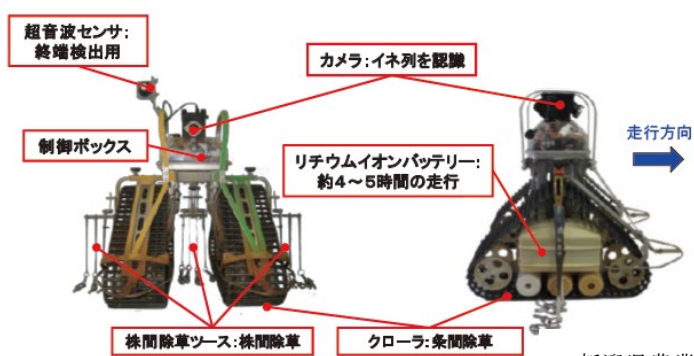
©井関農機、有機米デザイン

②岐阜県情報技術研究所



©岐阜県情報技術研究所

③新潟県農業総合研究所



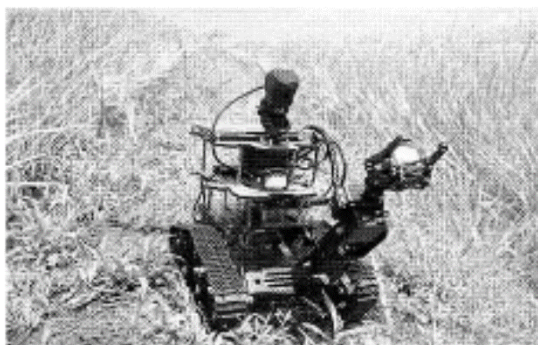
©新潟県農業総合研究所

④エコ・ライス新潟



©エコ・ライス新潟

⑤アイビーシステム



©アイビーシステム

⑥ハタケホットケ



©ハタケホットケ

慣行農法のように除草剤を使用すれば、除草剤散布作業を 2~3 回繰り返すことでこの「水田の除草」は終了し、労働負荷は最小限で終わる。しかし、除草剤を使わない有機／自然農法では、水田の“除草”を少しでも効率化するため、水田の水中を攪拌し泥を巻き上げることで光を遮るとともに、土の物理性に影響を及ぼし、水面下にある雑草の生長を抑制する手法がとられ、労力・時間ともにかかってしまうものとなっている。現在のところ、中規模農地向けの搭乗型除草機はいくつかの中堅規模の農機メーカーから発売されているが、小規模・零細規模農地では、①人力で引くチェーン付機器、②動力付きチェーン付機器、③アイガモ農法などにより、水田除草が行われている。しかし、いずれも根本的な省力化、効率化を達成することができずにいる。そこで、開発されてきたのが、有機栽培、自然農法向けの水田除草ロボットである。

この有機／自然農法向けの水田除草ロボットは、早くは 2003 年に開発を開始した岐阜県情報技術研究所があり、また、2016 年には新潟県農業総合研究所がみのる産業と共同開発を始め、さらに 2018 年には同じく新潟に拠点を持つエコ・ライス新潟が長岡工業高等専門学校と共同開発を開始するなど、各地で散発的にロボット開発が進められてきた。図表 28 は、ウェブなどで情報ができた事例を取り上げているが、上記の写真でわかるように②~⑤までの水田除草ロボットは、同じ発想が重なったものであり、ほとんど見分けがつかない外見をしている。つまり、搭載カメラによる画像でイネを認識すること、クローラが三角おにぎり型で左右両側についていること（このクローラ部分で水田の水を攪拌することで雑草の成長を抑制する）などの基本構造がほとんど一緒である。このクローラ型の水田除草ロボットは、②の岐阜県情報技術研究所の事業が、平成 22 年度農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に採択されているように、注目される形式のロボットであり、複数の論文も発表されているものであるが、いずれも実用化までは至っていない。いずれも、技術的な課題、実用化・商品化への問題点は共通していると思われるが、大規模なプロジェクトを共同で構築することで横の連携を図る、あるいはお互いの開発競争の密度を上げることで、こうした共通課題が解決の道に向かっているようには見えない。こうした競争や連携の生じない小規模かつ散発的な開発の現状をみると、地元の問題を地元で解決しようとする地産地消型技術開発の限界を指摘せざるを得ない。

図表 27 の①は、井関農機が有機米デザインと組んで、日本の大手農機メーカーとして初めて有機／自然農法用ロボット開発に取り組んだ水田除草ロボットであるが、ここで取り上げた水田除草ロボットで唯一、市販開始されている。フロート式でロボットの下部に取り付けられた特殊なスクリーで水を攪拌する形式になっている。本体価格が約 50 万円と比較的低価格に抑えられているが、1 枚の水田に 1 台必要な設定（当該の水田にこの除草ロボットを入れると、除草が必要な期間中は水田に入れたままにする）であり、複数に分かれた水田を持つ農業経営体は、枚数分のロボットが必要となる。柵田も含めた小さな複数の水田で工作をする有機／自然農法の農業経営体にとって、このロボットを水田の枚数だけ揃えることは大きな負担と思われ、普及への障害となる可能性が大きい。

新たな発想で有機／自然農法の水田除草ロボット開発をするベンチャー企業も登場している。¹⁴ 長野県塩尻市に拠点があるハタケホットケ社は「ミズニゴール」という水田除草ロボットを開発し、実証実験を重ねている。小型で非常に単純な構造をとっておりメンテナンスがしやすい。現在はラジオコントロール式の操作方式をとっているが、2024年以降にリリースされるものはGPS搭載自動運転型のロボットとなる予定である。また購入方式ではなくリース方式をとり、1期間あたりのリース料は1台22万円程度（自動運転型はさらに10万円程度高くなる）であるが、複数の農業経営体で共同利用すると1経営体当たりの負担は数万円程度に抑えられるという。そして、水田の広さによって複数台のロボットを使う方式をとるとしている。クラウドファンディングでの資金調達は目標額の250%を達成するなど成功しているが、より大きな事業展開をするための銀行融資やベンチャー投資の獲得には苦慮するところがあるといい、また全国展開の道筋を建てるのに苦労があるようである。

いずれにしても、零細・小規模の有機栽培／自然農法を行う農業経営体が省力化、省人化を図り、効率的な水稻栽培が可能となるような水田除草ロボットの開発が効率的に行われていない実態が浮かび上がっている。

② 耕作放棄地再生に向けたロボット活用

3-2-1の④で取り上げたように、日本の農業の大きな問題に、農地ではあるが耕作を停止した「耕作放棄地」、さらにその状態が長引いた結果、農地として直ちに再生することが困難な「荒廃農地」がある。ロシアのウクライナ侵攻によってより鮮明に浮き彫りになった食料安全保障の問題への対処という意味もあり、これらの「耕作放棄地」、特に「荒廃農地」に生産性を取り戻すための試みは各地で自治体を中心となって実施されている。しかし、一旦、生産性を失った土地を農地に戻すのは、容易ではなく、大きな資金や労力の投入が必要であるとともに、持続させるための仕組み、工夫が必要となっている。

一つには、荒廃農地にならないよう耕作放棄地の段階で生産性を維持をする予防行為をすること、そして、生産性がゼロになってしまった荒廃農地では生産性を取り戻し、向上させる仕組みを、コストを抑え、省力化・省人化を達成する形で構築することである。各自治体は、新規就農者を募りこうした荒廃農地の再生を試みようとしたり、大手の農機メーカーのCSR（Corporate Social Responsibility）をもとにしたボランティア活動による再耕地化事業を誘致したりと、様々な試みをしている。しかし、もともと生産条件が比較的不利な耕地が「耕作放棄地」や「荒廃農地」になりやすい現状を考えると、そうでなくとも大きなリスクを抱えた事業開始時期にある新規就農者が全ての責任を負って再耕地化

¹⁴ ここで取り上げたハタケホットケ社の事例の他にも水田除草ロボットは、鹿児島大学農学部を中心とするチームが小型球体ロボットを利用するアイデアを出している（高山ほか（2022）「水田における小型球体ロボットの除草能力」鹿大農学術報告第72号 pp.1-6）ほか、岡山県のIKOMAロボテック社がクローラ型ではなく羽のついた小型の車輪型の水田除草ロボットを開発に着手したと自社ホームページ（<http://www.ikoma-rb.com/weedingrb.html>）で紹介をしている。

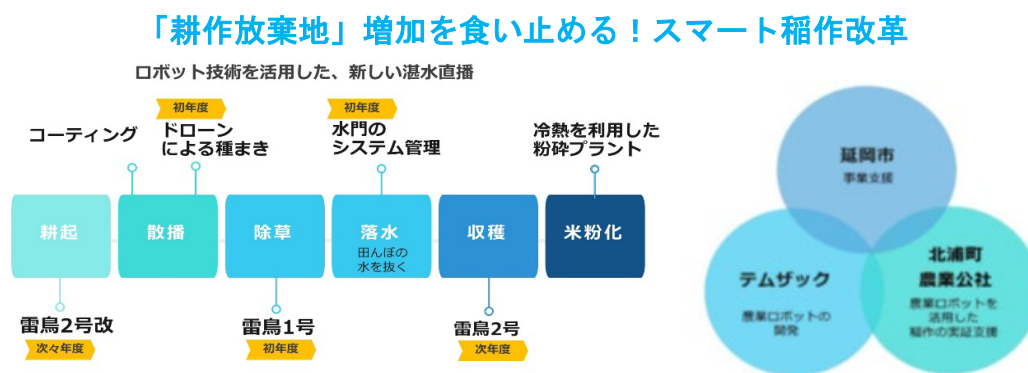
をすることは荷が重すぎ、また企業の“好意”を継続的かつ広範囲にあてにする計画では将来性がない。

また、大規模で効果な機械の導入によって耕作放棄地・荒廃農地の再生を試みれば作業効率は良いが、現状で生産性がゼロであるこうした土地に大きなコストをかけて再生作業をするための資金を誰が負担するのかが大きな問題となってしまう。また、小規模で分散して存在する、特に中山間地にある耕作放棄地や荒廃農地には大型機械をもって農地を再生することが困難な場合も多い。

そこで、ロボット技術とスマート化を駆使した新たな発想で、耕作放棄地化の予防と再生に動く試みも登場している。例えば、株式会社テムザックは、宮崎県延岡市からの要請で、耕作放棄地を新たに開発する比較的小型のロボットで耕し、ドローンによる直播播種やセンサと連動した水管理システムの構築による省人化・低リスク化を組み合わせ、さらにロボットによる自動収穫、新たな加工方法による米粉生産までの一貫生産管理体制を構築することで、低コストおよび低労力投入での耕作放棄地再生事業を実現しようと計画している。(図表 29)

つまり、こうした耕作放棄地や荒廃農地の再生に投資をするには、耕地再生をするにあたりコスト・労力を最低限度まで抑えることができる新たな機械・ロボットの開発が必要である。そして、そのような新たな機械・ロボットの開発を進めるにあたって必要な投資を呼び込むためには、小規模農地を農業の持続可能性、多様性維持による新たな発展という新たな価値づけをする工夫・仕掛けが必要である。

図表 29 株式会社テムザック、延岡市、北浦町農業公社のロボット活用による耕作放棄地再生事業



出所) 株式会社テムザック プレスリリース (2022年12月15日)。

5-3 食品分野にロボットを導入するにあたっての問題・課題

4-1-2の③で既にふれたように、食品産業は、零細・小規模事業所の多い産業分野で、そうした規模の事業所では、一部の機械化のみで全体的な自動化やロボット導入が困難な状況は、既に多く議論されている。これまでは、大量生産品を供給する大規模な食品製造

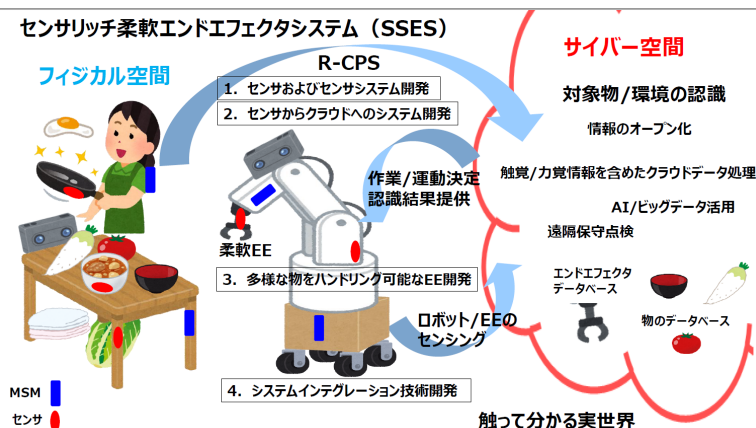
工場において、専用自動化ラインにおいて包装された食品を工程間の搬送を担ったり、出荷用の箱の荷台積み上げ等に産業用ロボットを活用したりしていたが、多品種少量生産が常の中小規模以下の食品産業では、そもそも専用自動化ラインが組みづらいこともあり、また、ロボットを導入する空間的問題をあり、部分的な機械化が達成された以外は、人手に頼ってきた。しかし、こうした人手に頼る作業が多く自動化が進まない、いわゆる「三品産業」の一角を成す、多品種少量生産で地元市場を対象にするような惣菜や弁当盛付けなどの食品産業へのロボットの導入が進みつつある。これらの中小規模以下の食品産業では、ロボットが直接食品を扱う作業に対して導入されようとしている。これらの状況の変化は、ひとつには協働ロボット (Co-bot : Collaboration Robot) の開発が進み、人間の作業と同じ空間で (特別に柵などを設けて作業空間を分けることがない) ロボットが作業を行うことが可能になったことも大きい。FOOM (国際食品製造総合展) などでは、総菜や弁当の盛付けロボットが複数展示され、人気を集めている。代表的な事例としては、株式会社アールティの弁当盛付けヒト型双腕ロボットや、コネクテッドロボティクス株式会社のポテトサラダなど総菜盛付けロボットシステムなどが挙げられ、毎年の FOOMA の「顔」となっている。また、産業ロボットの大手メーカーも参入をしてきており、例えば株式会社デンソーウェーブが唐揚げやコールスローサラダを盛り付けるロボットシステムの開発を手掛けたりしている。また、立命館大学等が参加する SIP「フィジカル空間デジタルデータ処理基盤研究開発計画」では、料理盛付けを実行するロボットシステム・技術を開発するとともに、こうした中小規模以下の食品産業向けのロボット開発および導入の課題を整理している。¹⁵

中小規模以下の食品産業向けのロボット導入に際しての大きな課題は、大量生産の自動化ラインで使われてきたロボットをそのまま活用することができず、規模や生産状況に合わせたロボットハンド (エンドエフェクタ) およびそのエンドエフェクタで効果的な作業を実現するためのシステムなどの新たな開発が必要なことである。(図表 30)

多様な食品・素材を直接扱うロボットのためには、従来にはなかった柔軟なロボットハンドの開発 (素材・制御機構等を含む) も必要であるし、また複数のセンサを活用した位置や動作制御システムが必要となる。大手食品メーカー向けの機械やロボットの市場と、中小規模以下の食品産業向けの機械やロボットの市場の間には、いわゆる「ギャズム (溝)」が存在するとも言える。(図表 31)

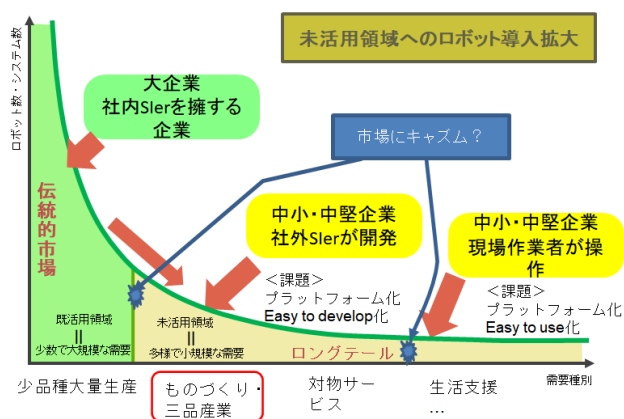
¹⁵ この立命館大学等が参加する SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) については https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/2_physical.pdf を参照。なお、FOOMA では、令和 4 年から「来場者参加型企画 食品製造ライン自動化推進プロジェクト」を 3 か年プロジェクトとして実施しており、ロボットを含む食品製造工場での自動化の課題を整理し、将来の開発および市場化の推進を試みている。

図表 30 食品産業向けのロボットハンド(エンドエフェクタシステム)の開発



出所) 川村貞夫 (2023) 「CPS 構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムの開発と実用化白書」 mimeo。

図表 31 ロボット導入拡大の概念図



出所) NEDO ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト資料に事務局加筆 (青部分)。

そして、そのような、中小規模以下の企業向けの食品産業向けのロボットシステムの開発とビジネス化については、①新たなロボット開発をするのにシステム全体の価格を低く抑える必要がある、ユーザーの課題が複雑で多様であることから達成すべき目標の選択肢が多様で、②解決策としてのシステムの選択肢も多くあるなかから適切な選択をする必要がある、また③操作が容易な技術で解決策を示す必要がある、などの課題がある。(図表 32)

特に、価格設定の問題は、非常に重要で、立命館大学等の参加する SIP プロジェクトでのヒアリング結果では、ユーザー企業としては「1つのロボットシステムとしては 300 万円程度」を望むという。そうしたユーザー企業の要望を実現するような開発は現状では困難であるものの、最高でも 500 万円程度の価格に収められるような技術開発を模索することが求められている。まずは、こうした当面は採算性の低いと見込まれる技術開発に参入者を可能な限り多く集めること、そしてその後の中長期的な事業性を確保する道を見つけ

ることが必要だと思われる。

図表 32 食品産業向けのロボットシステムの開発とビジネス化の課題

- ロボットビジネスの課題
1. 食産業ではシステム価格を300万円/1システム程度要望
 2. 専門家不在での日常運用の容易性
 3. ヒューマン/環境フレンドリとロボットフレンドリの線引きの明確化
- 解決法
1. システム価格を500万円/1システム程度以下を実現できる技術開発
 - ・SIコスト削減のための要素開発（繋ぎやすいデバイス、低価格化）
 - ・新SI技術開発

新しいロボットアーム開発
 2. ユーザ操作の容易化技術開発/CPS利用遠隔サポート技術開発
 - ・Slerのインターネットによる管理業務

Slerの利益率向上
 3. 経営者と研究者の正確な情報交換
線引き事例の蓄積とオープン化
- 目標の選択肢が多く、システム解の選択肢も多い

出所) 川村貞夫 (2023) 「CPS 構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムの開発と実用化白書」 mimeo。

5-4 「食」の多様性を維持するためのロボット開発投資を呼び込む評価軸の設定

「食」をめぐる状況をみたととき、従来の評価方法では、ロボット開発が非現実的な領域でも、ロボット開発を進めるべき領域が複数見えてくる。そうした状況に対応するには、評価軸自体を変えていくしかないと思われる。特に、食糧生産を担う農水産業をみれば、人手不足問題が単に深刻なばかりではなく、10年後には産業としての存亡が危ぶまれるほどの危機的状況にある。農水産業は、国民の生活を支える最重要基盤に関わる産業であり、消滅させる訳にはいかない。したがって、農水産業の深刻な人手不足問題は、社会問題であり、ロボット開発の評価軸にもそうした側面が含まれるべきである。

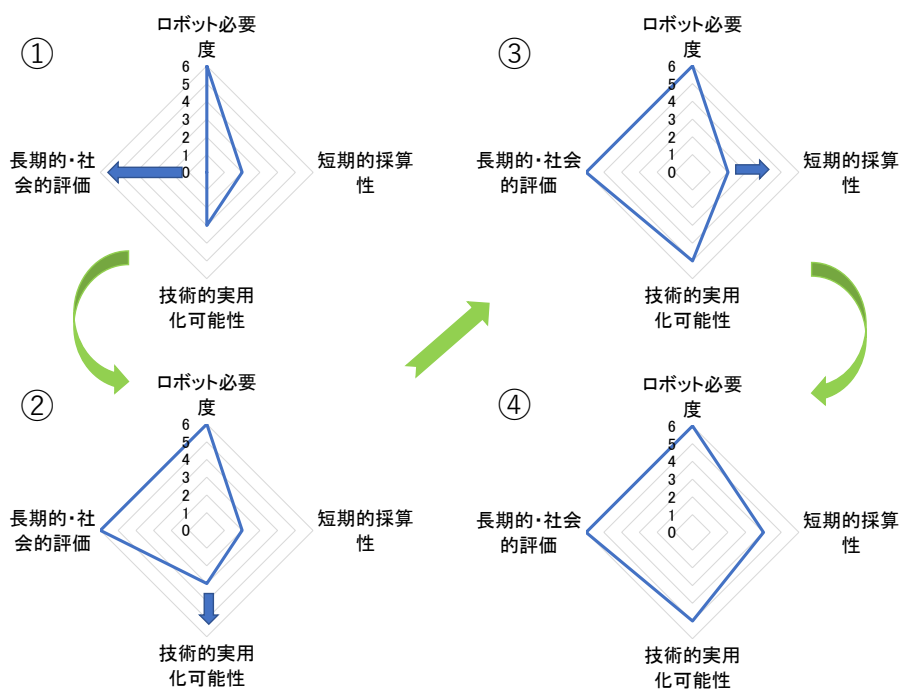
また、「食」の多様性を守るために、関連分野での人手不足をロボットで補完することが実用化されるには、技術的にも未確立であり多くの開発投資を必要としている。また開発されたロボットが普及するための仕組み・制度的にみても未整備の領域が多く、様々な工夫と改革が必要である。工業品の大量生産を大規模工場内で連続操業することを前提に発達してきた産業用ロボットから派生したロボット技術は、多品種少量生産、職人的技術、繊細に取扱う必要がある不定形品の加工などについては“不得意”であり、その分野に適応するにあたっては採算面も悪かった。とはいえ、小規模な食品加工産業にそのようなロボット技術を適用することについては、既に多くの取り組みがあり、徐々に実用化の道が整いつつある。それでもなお、追加の技術開発と実用化に向けた仕組みづくりが必要である。また、食糧生産の場である農水産業では、既に多様な農業・水産業用の専用機械が導入され、特に大規模経営向けの機械には自動化技術・ロボット技術の応用が進みつつある。しかし、零細・小規模の経営体の事業に自動化技術・ロボット技術を適応・応用することには困難が多い。

特に、従来の、大量生産・連続操業で採算性を確保することができるロボット技術を、

これまで導入されてきた小型機械に単純に適応する形では、不採算性の高い過剰投資になるだけであり、これまでとは異なる技術開発とロボット導入の工夫を迫られる分野は多い。また、既にあるロボット技術の応用によるロボット価格の低減を図る発想では、実用性が達成されず、現実の問題の解決にならないことが多い。「人手不足をロボットで補完」して食のダイバシティを守るためには、より柔軟な発想で開発を進め、実用化への道を探る必要がある。

ロボットの開発は、(1)ロボットの必要度（ニーズ）、(2)ロボット技術の適用可能性（シーズ）の合致に加え、(3)短期的採算性（ROI など）という3条件が揃った場合に行われるものである。しかし、「食のダイバシティを守る」という目的を達成するためのロボットを開発・実用化するにあたっては、現状、(1)は高い水準にあるものの、(2)の技術的適用可能性や(3)の採算性が低いことが多い。そこで、従来にはない評価軸を設定し、現状を打破する必要がある。「食の多様性（ダイバシティ）を守る」によって持続可能な社会の実現という「長期的・将来的な価値」を第4の評価軸と置くことで、ロボット開発に新たな意義を持たせることができるだろう。（図表33）つまり、まずは「長期的・将来的な価値」を高く評価することで開発投資を誘発し、その開発投資により技術的な実用可能性を高める。そして従来にはない発想や技術のロボットを生み出すことで、現在は実現が困難な短期的な採算性も達成できるようになるサイクルができるのではないだろうか。

図 33 「食の多様性を守る」ためのロボット開発を後押しするための新たな評価軸の設定



出所) サービスロボット研究会。

<参考文献>

NEDO (2010)「将来市場予測の概要」(<https://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf>)

NTT プレスリリース (2020 年 11 月 16 日)

(<https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/16/201116b.html>)

Report Ocean「食品用ロボティクス市場は 2030 年まで年平均成長率 10.5%で成長する見込み」2022 年 3 月 2 日。(<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000005426.000067400.html>)

井関農機「水に浮かべる『自動“抑草”ロボット』アイガモロボ®」

(<https://products.iseki.co.jp/kanren/aigamo/>)

川村貞夫 (2023)「CPS 構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムの開発と実用化白書」mimeo。

熊澤良介・藤井勝敏・久田浩志・鍵谷俊樹 (2016)「有機栽培における水田用小型除草ロボットの除草効果」岐阜県中山間農業研究所研究報告 第 11 号、pp1-8。

窪田新之助 (2019)「企業と高専がタッグした水田除草ロボット——有限会社エコ・ライス新潟 (前編) (後編)」(<https://smartagri-jp.com/smartagri/165> および/166)。

グローバルインフォメーション「食品産業用ロボット：世界市場規模予測 (2020 年～2028 年)」(<https://www.gii.co.jp/report/smrc1004630-food-robotics-global-market-outlook.html#:~:text=世界の食品産業用,測されています。>)

除草ロボットコンソーシアム「水稲有機栽培の規模拡大を目指す除草ロボットの導入」新潟県農業総合研究所

(一財) 全国農業会議所・全国新規就農相談センター「新規就農者の収納実態に関する調査結果」、平成 28 年度・平成 31 年度、令和 3 年度。

高山耕二、山植珠翠、中村南美子、加藤達也、大塚弘文、小田川裕之、中西良孝、松添直隆 (2022)「水田における小型球体ロボットの除草能力」鹿大農学術報告第 72 号 pp.1-6。

デンソー「株式会社アグリッドでの技術紹介」(<https://www.denso.com/jp/ja/business/products-and-services/other-industries/fvc/agrid/>)。

——「あらゆる人が活躍できる場、「スマート大規模農場」とは？」

(https://www.denso.com/jp/ja/driven-base/tech-design/smart-large-scale-greenhouse/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=rebranding_article)

日本経済新聞 (2022)「新潟のアイビーシステム、水田の雑草除去ロボ開発へ」2022 年 9 月 27 日。

農林水産省 (2016)「米の生産コストに係る日韓比較」日本経済再生本部産業競争力会議、第 33 回実行実現点検会合 (平成 28 年 3 月 30 日)、参考資料 1。

—— (2022)「令和 3 年度農業物価指数統計—平成 27 年基準—」。

(https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/noubukka/noubukka_y/r3/)

- (2022)「令和3年 農業構造動態調査」
- 「みどりの食料システム法について」(<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/houritsu.html>)
- 福島県農村振興課・(一財)福島県農業会議(2021)「再生困難農地の利活用に向けて 荒廃農地に由来する諸課題の解決へ」(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/512789.pdf>)
- 北海道庁農政部(2022)「農業用GNSSガイダンスシステム等の出荷台数の推移」(https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/a0007/b0003/smart_guidance.html)。
- 富士経済(2022)『次世代アグリ&食糧ビジネスの最前線と将来展望2022』。
- (2022)『2022年版 ワールドワイドロボット関連市場の現状と将来展望 No.2』。
- 未来コトハジメ(2018)「社会デザイン研究 AIで農業の人手不足解消へ トマトを自動で収穫するロボットが活躍」(https://project.nikkeibp.co.jp/mirakoto/atcl/design/2/t_vol25/?P=2)。
- 「環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律」(<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=504AC0000000037>)

6. 食の“多様性”維持のためのロボット開発・普及を支える仕組みづくりの重要性

新たな評価軸を設定し、ロボット開発に投資をしても、そこから実用化され、市場で評価され、普及していくロボットが生み出されなければ意味がない。

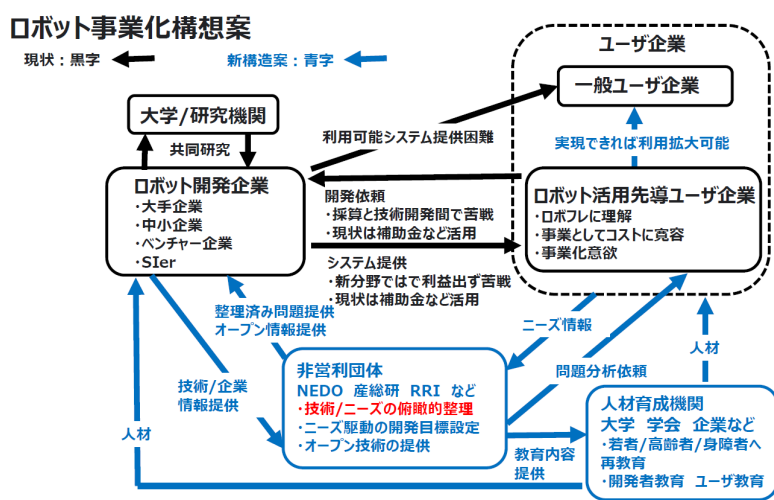
有機栽培／自然農法の水田除草ロボットの事例でもみたように、食の「多様性」を維持するためのロボット開発を行うにあたっては、「地域の食文化の保存」、「地元食材の生産・消費維持」、「小規模農地の維持」など、“地域”をキーワードとして考えることは重要である。しかし、開発されたロボットの実用化、市場形成を考える際には、地域の技術で地域の課題を解決する狭い意味での地域内のニーズ・シーズマッチングには拘泥しないことも重要である。大規模なプロジェクトを多様な主体が共同で構築することで横の連携を図る、あるいは個々に独立して実施されているロボット開発事業を全国で発掘し、相互の開発競争の密度を上げるなどの仕組みを工夫することが同時に行われる必要がある。多様な課題全体を見渡し、ある程度の共通解を見つけたうえで解決策を見出すような仕組みづくりが積極的に行われることが求められる。

また、「食」の多様性を維持していくためには、多数多様な零細・小規模の事業者を支え、効率性や生産性を向上させることが重要であるが、上記の議論で示したように個々の開発案件へのカスタムメイドの最適解の発見を目指すと、適正価格での開発が実現されないリスクが高まる。ここでもある程度の共通解を見つけたうえで解決策を見出すような仕組みづくりが求められるのである。中心となる比較的小型のロボットを開発する、あるいは特定し、それに対して必要な種類のバリエーションを持つアタッチメントを付ける、または複数台で動かすことで多様な需要に応えるような、“カテゴライズされた汎用”を目指す技術開発をする必要がある。

そのような、多様な課題の全体を見渡し、協力・連携関係と密度の濃い開発競争を促進し、共通課題の解決と適切な汎用性を保ちながら多様なニーズへ柔軟に対応できるロボットシステムを開発していくには、地域の人材・技術、および企業を適切に巻き込みつつ、広域での連携を組み込み、「食」をめぐる産業に新たな魅力を生み出していくような“エコシステム”を構築する必要がある。そのようなエコシステムが構築されていくためには、様々な人材が必要となり、地域にも新たな就業者も生み出されると思われる。図表 34 には、本サービスロボット研究会の川村座長による食品ロボットの開発と普及のためのエコシステム構想が示されているが、非常に多様な主体が関与していることが分かる。ユーザー企業（ここでは食品産業企業）としても、ロボット活用先導ユーザー企業と一般ユーザー企業を区別して挙げられている。それは、ロボット開発の段階によって関与する主体が変化することも想定することがエコシステム構想では必要となるからである。また、産業の“エコシステム”として「産官学」連携がよく取り上げられるが、産官学の中間にあるような「非営利組織」の役割も大きい。実際、農業関係では、農研機構（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）や都道府県別に設置されている農業試験場等が、そ

して、図表 34 にあるように食品分野では、NEDO（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）、産総研（国立研究開発法人産業技術総合研究所）、RRI（ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会）等が、既に各テーマでの開発目標の設定、オープン技術の提供や支援策の提供などを行っている。しかし、今後は、上記の課題である多様な課題の全体を見渡し技術やニーズの「俯瞰的整理」をする役割を、もう少し積極的に行っていくことが求められよう。

図表34 食品ロボットの開発と普及のためのエコシステム構想



出所) 川村貞夫 (2023) サービスロボット研究会資料。

ロボットを開発する段階までの視野だけではなく、普及や市場拡大までを見据えた“エコシステム”として持続的、発展的な仕組みを構築するために一つ大きな問題となるのが、事業化のプロデューサー、コーディネーター的な仲介者人材である。“カテゴリ化された汎用”技術が開発されても、ユーザー自身が自分自身に適切な選択・組み合わせを見出すことは困難だし、ときには不可能である。ユーザーが拡大しなければ、ロボット開発側でも事業化ができない。この仲介者の役割は非常に重要である。ただし、その人材育成の仕組みをどのように設計し、運営するのかが大きな課題となる。単にニーズとシーズを適時マッチングさせるという単発のプロジェクト発想であれば、近年、ロボット分野でも専門職として確立されてきた現在の **Sier** (System Integrator) の活躍を期待すれば良いが、上記のようなエコシステムにおける普及段階での仲介者人材は、より広範囲のプロデューサー、コーディネートをする必要があり、従来の **Sier** の業務範囲を大きく超えてしまう。IoT や DX などの知識も含めた広い視野でシステムとしてロボット開発・導入・普及を支える、新たな仲介人材が育成される仕組みが望まれる。そうした人材は、狭く深い専門知識を持つことに重きを置くのではなく、一定レベルの技術知識は持つことは必要だが中小企業や小規模零細の農業経営体や漁業者に対して、広い視野と知識でロボットシステムのコーディネートができることの方が重要である。食品産業の場合では、企業内での人材育

成でそうした人材を輩出することも可能だと思われるし、退職者などがリスキリングで活躍することも考えられよう。また、農業や漁業の場合は、JA 農協や漁協との関係性を円滑に運ぶことも必要な場面も多いと思われ、そうした関係者がリスキリングを通して仲介者となることも考えられよう。さらに最近では、技術的な専門知識を持った人材を揃え、独自のコーディネートでロボットシステムを提供するような業務展開をする商社も登場しており、エコシステムに適切に組み込むことも必要かと思われる。

図表 34 は、食品産業におけるロボットシステムの開発と普及のためのエコシステム構想図であるが、農業・水産業における多様性維持のためのロボット開発においても、基本的には、エコシステムの仕組みは大きく異なることはなく、開発から実用化、普及、市場拡大までが円滑に進むような仕組みづくりが求められている。

また、このようなロボットの普及が促進されるためには、機械の買い切り制度に固執せず、リース、レンタル、サブスクリプションなどを駆使した RaaS (Robot as a Service) を進め、柔軟な農業・水産業ロボット、食品ロボットの供給体制の確立を目指すべきであろう。そうすることで、従来のロボット供給の体制では、アプローチが難しかったユーザーの取り込みを図るのである。

食品分野においては、機械のリース方式、レンタル方式は定着しているが、導入時および導入後の伴走支援サービスまで含めた供給方法の確立が求められる。既に、総菜盛付分野での食品ロボット開発企業のなかには、リースやサブスクリプションも検討している企業はある。そこにコーディネーター／プロデューサーのサービスまでを含めた RaaS を構築することで、多品種少量生産で常に変化に対応せざるをえない小規模・零細規模の食品関連企業がロボットを使い続けることができるようになると思われる。

また農業分野では、特に JA 農協を核としてローンを組むことでの機械の買い切り制度が全国的に普及し、自前の機械を自分の都合で好きなように使うことに慣れた農家が多数のため、リース方式、レンタル方式ですら、導入が低調である現実がある。もちろん、農家の意識の問題だけではなく、例えば米農家の場合、小規模・零細規模では兼業農家が大多数を占め、週末に農作業をする人が集中するためレンタル方式の事業が成立しにくい、あるいは天候によって作業が可能かどうかが変わるのでレンタル期間を決めにくいのでレンタル方式の利用が低調になるという事情もあるとのことである。しかし、農業機械を共同で利用すること、自分で買い切った機械ではないものを使うことに心理的になじまない農業経営者も多いと言われる。いくつかの JA 農協、あるいは地方自治体の農業関連部署でも、農業機械や農業用ロボットの共同利用、レンタルやリース、サブスクリプション等の活用を促進、支援する動きもでていますが、どちらかというとな農業法人化を果たすような中規模・大規模の農業経営体がそうした手法で効率的な機械の導入をしているようである。今後、小規模・零細規模の農業を維持・発展させていくためには、そうした農業経営体であっても、農業機械とロボットを地域内の複数の農業経営体で共同利用する、気候の異なる地域で時期をずらして順次利用をするなどの仕組みを導入し、農業経営における機械設

備投資の負担を軽減しながら、省人化や効率化をすすめることが重要であろう。さらに、農業経営者側の意識改革も促しつつ、ロボット技術を広く見渡し、さらにロボットを普及させる仲介者と RaaS の仕組みが必要となる。農業用ロボットでいえば、水田除草ロボットの項で紹介した株式会社ハタケホットケの「ミズニゴール」は共同利用を軸に展開しようとしているし、アスパラガス収穫ロボットをサブスクリプションと収穫量をもとにした利用料設定を組み合わせた RaaS で展開する inaho 株式会社のような事例もある。すでに、少しずつこうした動きは始まっているが、もっと強化していくべきだと思われる。また、そのための人材の育成が今後の課題である。

また、RaaS を「食」に関わる産業で活用するには、季節性の問題も多いことから、狭い地域での調整が難しいことも多い。そのため、広域連携、広域調整の必要性もでてくる。このような仕組みは、ロボット開発者、仲介者、ユーザーのみの努力では、構築・維持されない。政策的にも強力に後押しされる必要があると思われる。

<参考文献>

- 日本学術会議機械工学委員会ロボット学分科会（2020）「提言 よりより近未来創造のためのロボット／AI の理解と人材育成」日本学術会議。
- 川村貞夫（2023）「CPS 構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムの開発と実用化白書」mimeo。

謝 辞

本サービスロボット研究会の報告書作成にあたっては、株式会社デンソー フードバリューチェーン事業推進部、株式会社ハタケホットケ、パナソニックホールディングス株式会社技術部ロボティクス推進室の皆様には、ご多忙にも関わらずヒアリングにご協力をいただきました。心より謝辞を述べさせていただきます。

なお、掲載にご許可をいただいた企業（および部署）のみを掲載しています。ご協力を賜った方々は他にもいらっしゃいます。皆様に心より謝辞を述べさせていただきます。

(禁無断転載)

22-2

「食」をめぐる産業におけるロボット市場拡大に向けた提言

令和5年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号

TEL: 03-3434-8251

<http://www.jspmi.or.jp>

© JSPMI-ERI 2023