

ロボットトラクタ2台による代かき作業の様子。
オペレータは圃場のそばにいて、無人走行する
ロボットトラクタの動きを監視している。
(資料提供: 農業・食品産業技術総合研究機構)



スマート農業時代の到来へ 走り出したロボットトラクタ

日本の農業は、担い手不足や高齢化など、さまざまな問題を抱えている。これを解決するため、ロボット技術やICT技術などの先端技術への期待が高まっている。進化を続ける農業機械の中にもさまざまな鉄鋼製品が使用され、作業効率の向上や長寿命化に貢献している。



日本の農業を取り巻く現状

「田園回帰」という言葉をご存じだろうか。

これは都市から農山村への移住を表した言葉である。1990年代以降、スローライフやアウトドアブームが訪れ、リーマンショックや東日本大震災などの後、若者やシニア層の間で田園回帰の傾向が進んでいるといわれている。例えば、農山村などへの移住を支援する認定NPO法人ふるさと回帰支援センターへの移住相談者件数は、2008年の661件から2016年の4,974件と約7.5倍に急増した。こうした傾向から、いずれ新たな人材が

流入することが期待されている。

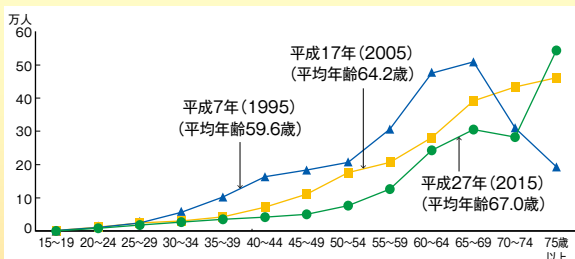
このような新しい流れが見られる一方、日本の農業の現場には、解決すべき課題が山積している。

日本の農産物は海外から高く評価されているが、すぐれた品質を支えてきたのは、長年農作業に従事してきた熟練者の努力であり、いわば農家の匠の技である。しかし、農業現場では未だに人海戦術の作業が多く、手間がかかるのが現実である。

農業従事者の高齢化も深刻であり、現在の農業従事者の平均年齢は67歳となっている(図1)。今後、熟練者が次々に引退すれば、貴重な技や知識は途絶えてしまう恐れがある。「田園回帰」が進んでも、新たな就業者数は熟練者不足を補うまでには至らず、農業の労働力不足は全国的に深刻化している。休耕地は増え、農業生産額は減少する。このような状況に伴い、農産物の品質が不安定になったり、農産物の安定供給が難しくなる、という問題も起こってしまう。

日本の農業を取り巻く様々な問題を解決し、農業のあり方に変革をもたらすものとして注目を集めているキーワードが、「スマート農業」である。「スマート農業」とは、ロボットやICTなどの先端技術を活用し、省力化や高品質生産などを可能にする新たな農業のことである。現在、ロボット技術や通信技術、制御技術などを取り入れた農業技術の研究開発が、研究機関や農業機械メーカーなどで進んでいる(図2)。

●年齢階層別基幹的農業従事者^{*1}数の推移(図1)



2015年の販売農家^{*2}における基幹的農業従事者の平均年齢は67.0歳で、10年前の64.2歳に比べ高齢化が進行している。

^{*1} 基幹的農業従事者: 農業就業人口のうち、普段の主に農業に従事している者

^{*2} 販売農家: 経営耕地面積が30a以上又は農産物販売金額が年間50万円以上の農家
(出典: 農林水産省「農林業センサス」)



無人で走行するロボットトラクタの実証実験

現在、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議が推進する「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」において「次世代農林水産業創造技術」の研究開発が行われており(2014～2018年度実施)、重点目標として「日本型の超省力・高生産なスマート農業モデルの実現」が挙げられている。テーマの一つに、複数のロボット農業機械を運用するマルチロボット作業システムの研究開発があり、標準区画(30a～1ha)と大区画(1ha以上)の圃場(農業用語で田畑の意味)を対象として実験が行われた(図3)。

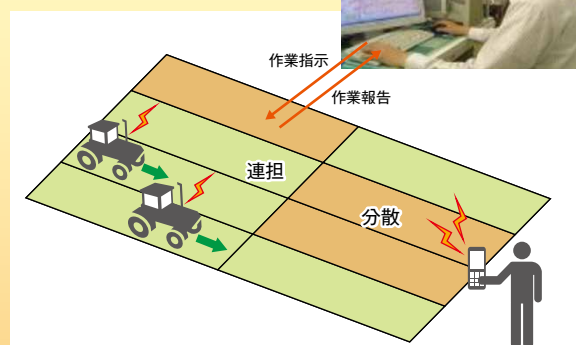
マルチロボット作業とは複数のロボット農業機械を運用することをいい、オペレータ1人が複数のロボット農業機械を遠隔監視して耕うんや代かき^{*1}を行う。このうち標準区画での実験は農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)農業技術革新工学研究センターが実施し、隣接した二つの圃場でそれぞれ1台ずつロボットトラクタを運用することにより、オペレータ1人当たりの可能作付面積を2倍に増やそうとする作業システムの実験が行われた。オペレータは、圃場の外側にいてロボットトラクタからの車両周囲の映像や位置情報、エンジン回転数などのデータを受信しながら、トラクタの走行や作業の遠隔監視を行う。

実験の主役であるロボットトラクタは、一般的なトラクタをベースに自動化、知能化が図られている。準天頂衛星^{*2}からのデータを元に自身の位置を判定する機能、予め設定した経路を無人走行して整地作業を行う機能を備えている。情報、通信、制御などの機能を搭載して知能化を進めることにより、収量と品質の安定化が図れる。

これらの機能と同時に、ロボットトラクタには十分な安全性能が求められる。無人での走行や作業の際に、ロボットトラクタが人と衝突したり、圃場外へ暴走することがあってはなら

●マルチロボット作業システムのイメージ(図3)

標準区画(30a～1ha)において、1圃場にロボットトラクタ1台を投入し、隣接した圃場で2台のロボットトラクタを運用する。オペレータは圃場近くで監視する。ロボットトラクタ等で得られた情報は、多圃場営農管理システムとデータ連携し、適正な施肥判断などに生かされる。



ない。農林水産省では、農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドラインを作成し、リスクアセスメント等の安全性確保の原則や、関係者の役割等の指針を示し、メーカーや使用者が遵守することを求めている。また農研機構では、ロボットトラクタの非常停止機能、自動運転切替装置、遠隔操作装置などの安全機能の評価方法や基準の検討を進めている。

一方、準天頂衛星を利用した通信機能利用については、2017年度に宇宙に打ち上げられた準天頂衛星「みちびき」4基が、2018年度から運用開始される予定である。このようにロボットトラクタが使いやすくなるような環境の整備も進められ、今後の普及を後押しすることが期待される。

- *1 耕うん:作物の種まきや植え付けの前に、表層の土と深層の土を反転させたり、土を細かく砕いたり、整地したりする作業。
代かき:田んぼに水を張って、土を細かく砕き、土の表面を平らにする作業。
- *2 準天頂衛星:特定地域の上空に長時間とどまる軌道上を移動する人工衛星。複数の衛星を利用して、高精度の衛星測位が可能となる。

●ロボット農業機械の例(図2)

トラクタをはじめ、田植機、コンバインなどのロボット農業機械と、ICT技術を活用したスマート農業の実現に向けての取り組みが進んでいる。



田植機

土壌診断センサを使い、作土層の深さや土壌の肥沃度をリアルタイムで検知し、自動制御によって施肥を行う。(詳細は連携記事参照)(資料提供: 井関農機(株))



トラクタ

無人作業を行うロボットトラクタと、有人の随伴トラクタとで運用。GPSを使った位置情報を用いた自律走行システムを搭載している。(資料提供: ヤンマー(株))



コンバイン

モミを貯蔵するタンクが満杯になると圃場端に移動。モミ排出後、再び刈り取りに戻るなどの作業を無人で行う。(資料提供: (株)クボタ)

トラクタの構造と動力伝達系

●農業用トラクタの特徴(自動車との相違点)(図5)

エンジン

高トルクで粘り強いディーゼルエンジンを搭載するのが一般的。エンジン最高回転数は3000rpm以下(自動車は8000rpm程度)。

車高

畝や作物をまたぐことができるように、車体の最低地上高が高い。

車速

最高速度は30km/h程度(自動車は200km/h程度)。

車輪

四輪駆動で、前輪に比べ後輪2本はサイズが大きい。畝に合わせ車輪間を変更することができる。クローラ(カタピラ)式のものもある。

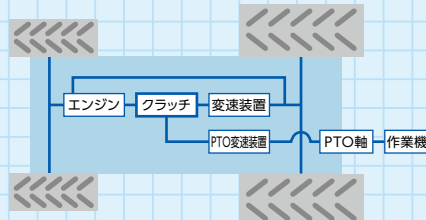
(写真提供: 井関農機(株))



PTO軸
(Power Take Off)

エンジンの動力を作業機に伝達するための軸。

●農業用トラクタの動力伝達系(図6)



●ロータリーとロータリー爪(図7)

トラクタの作業機の代表的なものに、回転する金属の爪がついたロータリーがある。水田の耕うん、代かきなどの作業で、作業に適したロータリー爪に付け替えられる。



ロータリー



なた爪

耕うんなどに使われる一般的な爪。



花型爪

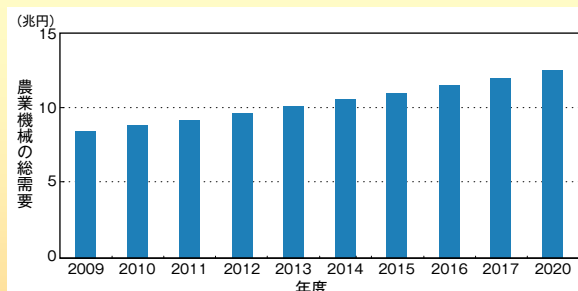
地面の表面近くの土をかき混ぜるのに使う。

世界の農業機械市場の拡大

そもそも農業機械は、人力で行ってきた農作業を代替するために作られ、農作業の種類や用途に合わせ多種多様な機械がある。

世界全体の農業機械の需要は年々拡大しており、2018年には約12.5兆円に達すると予想されている。最近、とくに中国、インド、その他のアジア各国で需要が増加している(図4)。需要が拡大する理由としては、人口増加による食料需要の増大、バイオ燃料など食用以外の農産物の需要増加、新興国における農業の機械化の進展などが考えられる。農業機械の種類別ではトラクタが最も多く、世界の生産量の半分以上を占めている。

●世界の農業機械の総需要(図4)



(出典: 「世界の農業機械市場: 2014年・2019年の市場予測 (The Freedonia Group)」を元に作成)

日本では、1970年代に各種の農業機械が普及拡大したが、その後国内市場の縮小に伴い出荷台数は減少を続けている。日本の農業機械メーカーは、高機能、差別化商品の開発を進め、現在では高い技術を生かして海外市場への展開を図っている。

日本では稲作を中心に、各種の作業を行うトラクタ、田植機、収穫を行うコンバインなどが使われている。トラクタは元々「牽引する」という意味だが、農業用トラクタはトラクタ自体が農作業をするのではなく、車体の前や後ろに作業機を取り付けて、碎土、耕うん、播種、肥料散布、除草などの作業を行う。

トラクタに使用される鉄鋼製品

ここでは代表例として、トラクタの構造を紹介する。

トラクタの基本的な構造は、乗用車とほぼ同様である。しかし、速く走る乗用車に対し、トラクタは大きな力を出して作業することから、異なる部分も多くある(図5)。例えば車輪は起伏の大きい地面を走行するため、後輪の直径は大きく、タイヤの溝は深い。畝の作物をまたいで走行できるように最低地上高は高く作られている。エンジンの最高回転数は、高速で走る自動車が8000rpm程度なのに対し、トラクタは3000rpm以下であり、最高速度は30km/h程度と遅い。またトラクタでは、運転席以外のほとんどの部品に、重量があり頑丈で長寿命な鉄鋼製品が使われている。

軸受部品の長寿命化を図る材料技術

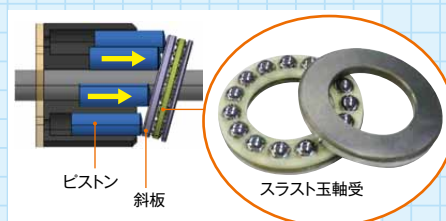
農業用トラクタの変速装置に使われるHST無段変速機において、スラスト玉軸受部品のはく離とは、軸受の内輪や外輪の軌道面、玉の転動面が材料疲労によってうろこ状にはがれる現象であった。この現象を原因から分析すると、材料内部の非金属介在物が起点となって起こる「内部起点型はく離」と、表面の圧痕やキズなどに応力が集中して起こる「表面起点型はく離」とに分けられることが分かった。

このうち、内部起点型はく離の対策として有効だったのは高纯净度化である。鋼中の酸素量を低減することにより、非金属介在物の量を少なく、サイズを小さく抑え、標準材に比べ5倍以上の長寿命化が達成された。

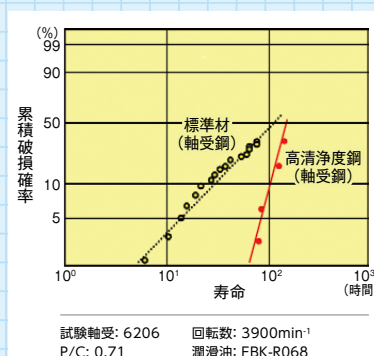
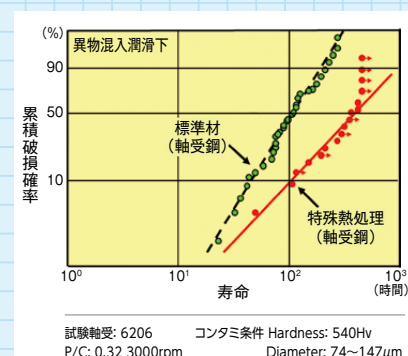
また表面起点型はく離の対策では、特殊熱処理により表面に炭素や窒素による固溶をさせて残留オーステナイトを増やすことで疲労寿命の延長を図り、標準材に比べ2倍以上の長寿命化が達成された。

今後もトラクタの高出力化に伴い、軸受荷重が増加することが予想されるため、長寿命化を支える材料技術は重要な役割を果たすことだろう。

●HSTのスラスト玉軸受の構造(図8)



●軸受部品のはく離状況(図9)

●高纯净度鋼による長寿命化(図10)
(内部起点型はく離への対応)●特殊熱処理による長寿命化(図11)
(表面起点型はく離への対応)

(資料提供: 日本精工(株))

トラクタの動力伝達系は、エンジンから主クラッチを経て、変速装置から前輪および後輪に伝えられる系統と、エンジンからPTO (Power Take Off) 軸に伝えられる系統の2つがある。動力はPTO軸を介して接続された作業機に伝わる(図6)。

例えば、耕うんや代かきで使われる作業機である「ロータリー」は、何枚もの爪が付いた長い軸がトラクタの走行とともに回転し、地面を耕す。ロータリーによる作業は人の労力を大幅に軽減するので、多くの水田はロータリーで耕されている。ロータリーに付けられる爪には形状により、なた爪、花形爪などの種類があり、材料には炭素鋼や工具鋼などが使われる(図7)。



トラクタ用無段変速機の長寿命化技術

最近のトラクタには、大規模農業への対応、エンジンの高出力化などのニーズが高まっている。これに伴い、部品の性能向上や、材料技術の進歩が図られている。トラクタとともに大きな進歩を遂げてきた部品の一つが、軸受である。トラクタに使われる軸受の種類は、標準的な深溝玉軸受や、針状ころ軸受などである。トラクタ1台には約60~100個の軸受が使われる。ちなみに乗用車1台には約100~150個の軸受が使われると言われている。

従来のトラクタは、作業に合わせ最適な速度で走行するため、変速段数が非常に多いという特徴があった。最近のトラクタでは、HST (Hydraulic Static Transmission) と呼ばれる無段変速

機が普及している。無段変速によって、作業の快適性や操作性が向上し、高出力化が図れるようになるメリットがある。

HSTは、円周上に配置された複数のピストンが円形の斜板に接しており、ピストンが順番に斜板を押すことによって回転力を発生させる(図8)。エンジンの高出力化により、斜板を支えるスラスト玉軸受にかかる荷重が増大するため、スラスト玉軸受の部品のはく離や保持器の破損などが起こりやすいという問題があった(図9)。

この問題を解決するため、軸受部品の破損のメカニズムを解明し、部品の長寿命化を図る取り組みが行われてきた。具体的なアプローチの例としては、材料の高纯净度化、熱処理による材料強化(図10、11)、その他に異物侵入防止構造などがある。これらを組み合わせることにより、従来より長寿命化を達成した軸受が開発され、広く普及している。

変化する社会のニーズに対応して、農業機械にはロボット化やICT技術のような新たな技術が導入され、飛躍的な省力化や生産性が期待できる時代を迎えようとしている。農業は私たちの食を支えるだけでなく、社会や生活を根底から支えてくれる重要な産業である。次の時代の農業の風景はどのように変わるのだろうか。新たなステージが到来するのは、もう間もなくのことかもしれない。

●取材協力 農業・食品産業技術総合研究機構、日本精工(株)
●文 杉山 香里