解 説

生物生産機械の自動化とロボット化

Automatization and Robotization of Agricultural Machinery

芋 生 憲 司* *東京大学大学院農学生命科学研究科

Kenji Imou* *Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1. はじめに

筆者が物心ついた1960年代のはじめごろ、農作業の多くは畜力と人力で行われていた。そのころ歩行式の耕耘機が普及し始めていたが、郷里の山村ではまだ少なく、ほとんどの農家は牛を使っていた。農業は人手の掛かる仕事であり、田植えや稲刈りの時期には子供も年寄りも何かしら手伝った。その後、多くの農業機械が普及し、作業効率は飛躍的に向上したが、近年は農業従事者の高齢化や後継者不足が深刻化しており、ロボットの導入が期待されている。ここでは農業用ロボットの概要と筆者らが研究中の草刈りロボットについて述べる。

2. 農業用ロボットの必要性

周知のように、日本の農業は多くの課題に直面している。第一にTPPや二国間協定の交渉に見られるように厳しい外圧を受けており、大幅なコストダウンと品質向上、安全性の保証などによる国際競争力の強化が求められている。第二に日本の食糧自給率はカロリーベースで約39%と先進国では最低水準にあり、食料安全保障上深刻な状況にある。第三に耕作放棄地の増加による農地の荒廃が止まらない。農地は生物生産だけではなく、環境保全上も重要な役割を果たしており深刻である。第四は農業従事者の急激な減少と高齢化で、これが最も深刻な問題である。図1に過去30年間の日本の年齢別基幹的農業従事者数の推移を示す[1][2]。基幹的農業従事者とは、普段おもに自営農業に従事している者を指す。30年間で従事者は半減し、平均年齢が約67歳と高くなった。高齢化に伴い事故率も増えている。図2は農作業中の死亡事故件数の過去20年間の推移を示す[3]。死亡事故は年間400件程度でほぼ一定に推移している。死亡事故の約7割は農業機械の操作にかかわるものである。農業機械の安全性は年々向上しているのに死亡事故が減らないのは、従事者の高齢化によると考えられる。図1の年

図1 日本の年齢別基幹的農業従事者数
出典：農林業センサス[1][2]

図2 農作業中の年齢別死亡事故件数
出典：農林水産省[3]

齢構成割合と比較すると高齢者の死亡事故割合が高いことが分かる。ロボットの導入はこれらの課題解決の有効な手段の一つになると考えられる。

3. 自律走行車両

農業用ロボットはまだそれほど普及していないが、多種のロボットが開発され、実証試験が行われている。事例が多いのは、自律走行車両と果菜収穫ロボットである。自律走行車両とは無人車両のことで、農業分野ではトラクタ、田植機、コンバインなどがある。外見からは分かりにくいのが近年の農業機械は市販されている有人の機種でも多くの電子制御装置が装備されて自動化が進んでいる。その延長にロボットがあるとも言える。

原稿受付 2017年2月27日

キーワード: Robot, Agricultural Machinery, Autonomous Driving, Farm Work Accident

*〒113-8657 文京区弥生 1-1-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

自律走行車両は従来の農業用車両に位置計測装置、自動操舵装置、安全のための各種センサなどを装着して構成される。位置計測装置については、これまでにレーザ測量器、ジャイロコンパスや速度計などの内界センサ、マシンビジョンなど各種の機器を用いた方法が研究されたが、最近の主流はGNSS（Global Navigation Satellite System）あるいはGNSSとほかのセンサの組み合わせである。測量用に開発されたRTK-GNSS（Real Time Kinematic-GNSS）は条件が良ければ2[cm]程度の誤差でほぼリアルタイムに位置計測ができる。これを車両に搭載して圃場内の位置を知り、計画された経路を走行する。

自律走行車両は技術的にはほぼ完成しており、各メーカーからデモ機が発表されている。それではすぐにでも市販されるかという点、そういう訳にもいかない。無人車両が圃場で対人事故を起こした場合に、責任の割合を定める制度が整っていないからである。自律走行車両にはもちろん各種のセンサが取り付けられ、誤って人が近づいた場合には停止するようになっている。しかし、どれだけ安全装置を充実させても事故の確率はゼロにはならない。工場内のロボットであれば、外から侵入して事故が起きた場合に、侵入者の責任を問えるが、圃場の場合は不明確である。圃場への侵入者に非があっても、メーカーが責任を問われるおそれがある。これについては、法整備や保険制度の検討が行われているところである。

農林水産省は農業機械の安全性確保の自動化レベルを0から3の4段階に設定している。レベル0は使用者による操縦、レベル1は使用者が搭乗しての自動操縦、レベル2は使用者の監視下における自動操縦、レベル3は完全無人運転である。自律走行車両が市販されれば、当面はレベル2で使われると考えられる。

自律走行車両の技術は精密農業にも利用されつつある。精密農業とは、圃場の中の土壌の状態や作物の生育状況のばらつきに対応して、適切な農作業を行うことである。例えば1枚の圃場の中で、肥料を均一に散布するのではなく、必要な場所にだけ必要な量の散布を行う。これによってコストと環境負荷を低減できる。散布量は自動計測された土壌状態、作物の生育状況、前年の収量分布などのデータから決定され、走行中に散布機が自動制御される。精密農業の作業は今のところ有人運転で行われているが、車両の位置検出、圃場センシング、可変作業などに自律走行車両に近い技術が用いられている。

4. 果菜収穫ロボット

果菜収穫ロボットについては様々な農産物を対象にして研究されているが、生産量の多いトマトと収穫作業時間の長いイチゴについての研究事例が多い。果菜収穫ロボットのハードウェアは移動装置（脚）、マニピュレータ（腕）、エ

ンドエフェクタ（手）、マシンビジョン（目）などから構成されている。ロボットは露地栽培よりも集約的な施設園芸を対象とする場合が多く、施設内で土耕栽培の場合は畝間を、高設栽培の場合は栽培ベッドの間を移動する。農産物は傷つきやすく強く把持することができないため、様々なソフトハンドリング技術が研究されてきたが、最近のイチゴ収穫ロボットなどでは果実ではなく果柄を把持・切断する機構を持つものが多い。果菜収穫ロボットで困難な課題は対象物の検出である。イチゴ収穫ロボットを例にとると、カメラで赤く色づいた敵熟果を見つけて、その果柄を特定し、果柄の位置を検出する。人間には簡単なことであるが、ロボットにとっては難しい。特に果実が密集している場合は撮影した画像内で果実が重なり、敵熟果の認識が困難になる。また果柄も密集するので、収穫対象の果実に対応する果柄の特定も難しい。このため複数のカメラを用いたり、レーザ距離計などほかのセンサを併用することが行われているが、まだ不完全である。

農林水産省の「農業機械等緊急開発事業」でイチゴ収穫ロボットが開発され、新農業機械実用化促進株式会社より市販されている。しかし筆者の知る限りではまだ農家への販売実績はなく、さらなる技術開発が求められている。収穫成功率が50～60%程度とまだ低いので、これを改善する必要がある。また開発されたロボットは、高設栽培の施設内でレールの上を移動するようになっている。このため既存の施設にそのまま導入することができない。ロボットの利用に適した栽培方法の検討も重要である。施設栽培ではロボットが移動しやすい栽培ベッドの配置や、ロボットが収穫しやすい野菜の仕立て方が研究されている。作業別のロボットを導入するのではなく、栽培用のベンチを循環移動させ、施設そのものを無人工場化しようという考えもある。このように施設用のロボットについては、ロボット単体ではなく、施設全体のシステムの一部として検討するのが有効かも知れない。

5. 草刈りロボット

農業用ロボットの概要を述べたが、次に筆者らの研究事例として、現在共同研究で開発している草刈りロボットを紹介する。研究の背景として、特に中山間地における圃場畦畔の草刈り作業が重労働であり、事故が多いことがある。愛知県農業試験場により、水田畦畔の草刈り作業を平坦地水田と傾斜地水田で比較したデータが報告されている[4]。傾斜地水田とは中山間地に多い棚田を指す。それによると、平坦地水田では10[a]あたりの畦畔面積が71.4[m²]、草刈りの作業時間が年間1.9時間なのに対し、棚田では畦畔面積が230.7[m²]、草刈りの作業時間が年間9.2時間であり、畦畔除草の作業量が非常に多い。畦畔除草の目的は、作業性の向上に加えて、病害虫の抑制と景観の向上である。こ

図3 三陽機器株式会社で開発中の畦畔草刈り機

のため休耕田や耕作放棄地においても除草を求められることがある。

畦畔除草の省力化のため除草剤が使用されることもあるが、除草剤は草の根まで枯死させて畦畔を軟化させるため、継続的に使用するのは不適切であり、機械除草が望ましい。除草機械はこれまでに多くの機種が開発され、市販されているが、その多くは平坦地向けである。外国製の除草機で傾斜地に対応できる機種もあるが、大型で日本の中山間地には適さない。このような理由で、中山間地の畦畔除草はほとんどが動力刈払機によって行われている。ところがこれは大変な重労働である。特に夏期の草刈りは作業への負担が大きい。また中山間地では足場の悪い傾斜地での作業が多く、事故の発生頻度が高い。図2に示した死亡事故件数のうち、平均して年間約6件が動力刈払機による事故である。また、負傷事故が非常に多い、負傷事故の正確な統計はとられていないが、農林水産省が1999～2002年まで、傷害共済加入者のうち農業機械による事故で給付を受けた者を対象に調査した事例がある[5]。これによると、農業機械の機種別では動力刈払機による事故が約20%であり最も多い。事故原因で多いのは、刈刃による切傷と小石などの飛来である。

中山間地の畦畔除草は以上のような現状であり、無人除草機の開発に対するニーズが多い。そこで、筆者の所属する東京大学生物機械工学研究室では三陽機器株式会社と共同で中山間地の畦畔に対応する草刈りロボットの研究を行っている。図3は三陽機器株式会社が開発した無線操縦の草刈り機である。最大斜度40°まで対応でき、前後進の両方向で作業が可能のため、旋回動作が不要であることが特長である。共同研究ではこれをさらに小型化するとともに、自律走行機能を付加し、ロボット化することを目的としている。これまでに平坦地では自律走行が可能であることを確認した。急傾斜地では常に滑りが生じるので、滑りの検出とそれを補正する制御が課題となる。

6. お わ り に

農業用ロボット導入の最大の目的は、省力化による労働力不足の解消であるが、ほかにも多くの効果が期待できる。まず農作業の安全性が向上する。人間は農薬散布や傾斜地の草刈りなどの危険な作業から解放される。また、農業による環境負荷が低減する。ロボットによる精密農業で農薬や肥料を必要とところにだけ正確に無駄なく散布することで使用量を押さえることができる。人間には手間の掛かる機械除草をロボットに行わせることで、除草剤の使用量が減ることも期待される。これにより、有機農業や減農薬農業のコストが低減し、これらの高価値農産物がより多く生産されるかもしれない。

農業用ロボットは過去数十年にわたって研究されてきた。現在、この成果がやっと実用化されようとしている。日本の農業が持続的に行われ、農業経営がより魅力的な事業となるために、ぜひロボットの普及を期待したい。

参 考 文 献

- [1] 農林水産省：農林業センサス累年統計，2011.
- [2] 農林水産省：2015年農林業センサス報告書，2015.
- [3] 農林水産省報道発表資料，1995～2015.
- [4] 愛知県農業試験場研究短報102，2012.
- [5] 農業機械傷害事故調査結果，農林水産省生産局，1999～2002.

芋生憲司 (Kenji Imou)

1984年東京大学大学院農学系研究科修士課程修了，農学博士。東京大学准教授を経て，2010年教授，現在に至る。農業機械およびバイオ燃料の研究に従事。農業機械学会学術賞，CIGR Outstanding Paper Award などを受賞。日本農業機械学会，日本エネルギー学会，ASABE

などの会員。