

(2) 収穫ロボットの定義

収穫ロボットとは、対象とする作物を何らかの手段で認識・判断し、定められたプログラムに従って収穫作業を行う装置を指し、その構成要素として、認識・判別のための処理機能付きセンシング装置、機体を作業場所へ移動するための走行装置、作物を切断、拾い上げるためのマニピュレーター、作物の損傷防止のためのエンドエフェクタがあげられる。このロボットの機能を満足させるためには、まず、その作業環境をよく認識することが必要である。ハウス内のように温度、湿度が管理された環境下で作業するのか、気象条件が変化し、凹凸のある果樹園地で作業するかにより開発目標の設定が大幅に異なる。次に、ロボットの作業空間、作業範囲をを明確にしておく必要がある。例えば葉の裏に隠れた果実も収穫するのか、収穫以外の摘果（花）、防除作業も行える汎用ロボットを目指すのか明確にしておく必要がある。

(3) 収穫ロボット開発の歴史および現況

表 4.3.2-1 に果実、野菜収穫用ロボットの研究開発事例を示す。昭和 59 年に、収穫分野におけるロボット研究が実験室以外でトマト収穫を対象に行われてから 16 年が経過している。その間種々の形でロボット化、自動化に関する取り組みがなされてきた。ロボットの作業環境を大別すると以下の 3 ケースになる。まずは、植物工場や苗生産工場などの照度、背景色、対象物配置、温度、湿度環境を人為的にコントロールできる最も整った環境の場合である。例えば収穫ロボットではないが、きくの接ぎ木ロボットの例がある。次に、グリーンハウス内の環境の場合がある。ここでは、気候条件変動の影響を比較的に受けにくく、地形も整っている。開発中の例として、トマト、いちご、きゅうりのハウス内の収穫ロボットがあげられる。最後に、最も厳しい樹園地内や露地栽培地内の環境がある。ここでは、温度、湿度、照度、天候などが時間とともに変化し、必ずしも整備された区画内での作業とは限らない。具体例として、平棚で仕立てられ、果房が棚から吊り下げられて栽培されているぶどうに対する収穫ロボットがあげられる。ここでは、屋外環境ながらも、比較的栽培条件が整えられている点が特徴である。

表 4.3.2-1 果実・野菜収穫ロボットの開発事例(1/2)

対象ロボット	内容	課題	開発元
トマト収穫ロボット用視覚センサおよびマニピュレーター	テレビカメラ複眼視により果実の三次元位置を確認し、多関節マニピュレーターで果実を掴む実験を行った。発泡スチロール球をトマトに見たてて取りに行き成功した。		鳥取大、昭和 59 年、基礎研究終了
トマト収穫ロボット	PSD 投受光方式三角測量式三次元距離センサー、7 + 3 自由度マニピュレーター、真空吸着パッド式ハンド搭載後輪駆動台車からなるロボットを開発し、トマトをもぎとりに成功。		鳥取大、平成 6 年基礎研究終了
トマト・ミニトマト収穫機	果実と茎葉識別用カラー CCD カメラ、三角測量式果実位置決め装置、トマトの吸着パッドもぎ取り方式・ミニトマト吸込み空気搬送方式のエンドエフェクタ、7 自由度のマニピュレーターを搭載した 4 輪走行台車を開発。	果柄を短くしない栽培技術、同一果房内果実の収穫適期をそろえる栽培技術の開発	岡山大、平成 9 年、開発中

表 4.3.2-1 果実・野菜収穫ロボットの開発事例(2/2)

対象ロボット	内容	課題	開発元
かんきつ類収穫ロボット	ステレオ・カラー画像法による果実の三次元位置決め、ゴム製ハンドと空気圧式挟み取り付け油圧式マニピュレーターで、夏みかんの収穫実験し、ほぼ満足できる結果を得た。	果実と枝葉の識別、樹冠の奥の果実の識別	鳥取大、平成元年、基礎研究終了
きゅうり収穫ロボット用マニピュレーター	果実と茎葉が分離しやすい棚の角度が 65 度程度の傾斜棚を採用。直動関節を含む 6 自由度マニピュレーターを試作。テスト結果、棚の角度を大きくすること、スライドストロークを長くすると操作性が向上することが判明した。	ロボットと栽培両面から検討して、棚の角度、品種選択などを行うことが必要	井関農機、平成 6 年、基礎研究終了
きゅうり収穫ロボット	白黒カメラの近赤外領域視覚センサにて果実の認識を行い、果実を把持するフィンガ、花柄を検出する接触センサおよび果柄を切断するカッタを備えたエンドエフェクタ、6 自由度のマニピュレーターを搭載した車輪式移動装置を開発。果実が葉に隠れないよう傾斜棚に仕立てて栽培。	果柄が長く、果実と茎葉の分離が容易な品種の選択	岡山大、平成 9 年、開発中
りんご収穫機用視覚センサー	レーザー発生装置、ハーフミラー、モノクロカメラからなる三次元画像計測システム・CCD カメラによる連続画像法の 2 通りの視覚認識装置を開発。りんごの徒長枝の切断テスト結果、距離 400～900mm で、誤差 40mm 以内、連続画像法で果実との距離、直径の誤差ともに 15mm 以下。	距離 500～1,000mm を越える広い範囲のエンドエフェクタの開発、複数の対象物の計測	生研機構、平成 7～11 年、基礎試験終了
りんご収穫機用視覚センサー	赤色系りんごを対象に、CCD カメラにより、天候、時刻の異なる条件下で果実、葉、枝、空・反射シートに関する画像の RGB 値および RGB 信号比の関係と特徴を解析し、領域分割の画像処理法を考案。りんご園でのテスト結果、ほとんどの果実、葉と空で 80% 以上の描画率が得られた。	枝の領域分割の精度を高めること。	弘前大、平成 10 年、基礎研究段階
りんご収穫機用視覚センサー	りんごまでの距離を赤外線撮影装置を用いて、ステレオ画像により計算。付属農場での実験結果、距離 200～300cm において、計算値と実測値との最大誤差は 17cm。これは、実際の果実の直径約 8 cm より大きく、十分ではない。	解像度の高い CCD カメラと赤外カメラとの併用が必要。	弘前大、平成 11 年、基礎研究段階
その他のロボットなど	その他すいかロボットマニピュレーター（平成 7 年、京大）、同視覚センサー（平成 9 年、神戸大）、同エンドエフェクタ（平成 11 年、生研機構）の基礎研究終了、いちご視覚センサー（平成 9 年、宮崎大）、いちご収穫ロボット（平成 9 年、岡山大）、ぶどう収穫ロボット（平成 9 年、岡山大）などの基礎研究が終了ないしは開発中である。	マニピュレーターの軽量化	京大ほか、平成 7～11 年、基礎研究終了ないしは開発中

大学や農業試験研究所における研究レベルのロボットの開発は活発に続けられていて、農業機械学会においても、平成4年以降ロボットをテーマにしたシンポジウムの開催、平成8年における農業ロボット開発の状況と課題のまとめなどの活動がなされている。しかし、このような研究・開発の努力にもかかわらず、実用化にこぎつけるまでには進展していない。これは、手作業に比肩し得る高度な判断力、動作と信頼性のある技術まで到達していないことおよび手作業に対抗し得るリーズナブルな価格の装置が市販されていないためであると考えられる。また最近では、果実、果菜類以外にキャベツやレタスなどの結球性葉菜、生菜のロボット収穫機の研究・開発もみられるようになった。

なお、収穫作業においては、軽労化・省力化に大きなウエイトがおかれているために、ロボット化とともに、作業補助用機械にも目が向けられ、収穫作業台車などの開発が精力的に進められ、普及し始めている。平成3年のバッテリーカーによる施設園芸用無人運搬車の開発以来、平成9年終了の緊プロにおける果樹収穫作業車、いちご収穫台車の開発、平成12年終了予定の21緊プロにおける傾斜地果樹用多目的モノレール、傾斜草地用多機能トラクターの開発の推進や地域キーテクにおける省力化の中で取り上げられている。到達技術の容易さ、装置価格の点からも、当面の実用化推進の主体は、収穫作業台車中心となるようである。

平成4年6月に、農水省の「新農政」の中で生産・作業改善技術として、センサーやコンピュータを活用した作業ロボットの開発などにより、土地利用型農業の生産性の向上、高品質な農産物の生産などを目指すことが示され、「軽労化農業」の中で推進されている。

(4) 収穫ロボットの将来展望

ロボット化を進展させるためには、ロボット装置側の開発のみでは不十分で、ロボットの取り扱う対象作物ならびに作業環境をロボット作業に適したものに变えるように整備する必要がある。例えば、果樹の樹高をそろえかつ低くしてロボットが容易にアクセスできるように作物栽培・環境のシステム化をはかること、収穫適期をそろえ、果実の選択収穫ではなく、一斉収穫を可能にして生産性を上げるなど栽培管理制御システムを開発すること、農地の整形区画への整備、凹凸のない樹園地の整備により、走行車のスムーズな移動を確保するような環境のシステム化を図ることなどがあげられる。これは、特に圃場用の収穫ロボットに関していえることである。また、ハウス用収穫ロボットに関しても、前記4個の構成要素それぞれについて、三次元視覚センサの高精度化、マニピュレーターの軽量化などの開発を進め、これらを総合したロボットの開発が望まれる。