

大学放浪記 (19)

伊藤信孝

マエジヨ大学客員教授・再生可能エネルギー学部

本報でもこれまでの筆者の研究回顧（レビュー）について記す。トピックは果実収穫ロボットで、軍事技術と類似している点について記述する。一昔前までは、電子部品のコストも高価で、それほど手軽に手に入れる事は出来なかった。問題はメモリーの容量と価格、その処理速度にあった。例えばロボットで果実を収穫するには、その標的とする果実が何処にあるかその位置を知らなければならない。また、果実の位置はわかったがどの果実を対象果実として収穫するのか、ロボット自身が認識する必要がある。従来果実収穫はトランク・シェーカー (Trunk shaker) やリム・シェーカー (Limb shaker) という収穫機での収穫が一般的で大きな樹木の幹の部分、大きなハンド（グラバ、Grabber）で捉え、数秒間振動を与えてなっている果実を揺り落とし、落ちた果実を集めて選択する方式が一般的で、落下による果実への損傷を抑えるために振動を与える前に大きな布またはビニールなどの素材でできたキャンバスを拡げ、果実が直接地面に落ちるのを防ぐ装置も装備していた。野菜も同様で機械が収穫してピックアップされてきた野菜のトリミング (Trimming)、選別、箱詰めは機械に同乗の数名の作業員が手作業でこなし、圃場外に搬出搬送、時には家庭に、また時にはそのまま市場に運ぶという方式が一般的であった。しかし、この機械収穫方式では野菜も果実も、新鮮で無傷の産物を収穫する事は難しく、その多くが加工用という事になる。新鮮で無傷の付加価値の高い農産物を提供すると言う事にはならない。人件費も年を追って高くなる背景も有り、人件費の大幅な削減、或いは労働者の事故による保険などの経費負担などの条件も重なって、収穫機械の自動化、ロボット化の研究が1980年前後から盛んになった。一般に五穀と言われる中でも米、小麦、トウモロコシ（これらは一般にマジョリティ・クロップと言われる）用の自走機械は比較的自動化、知能化が進んだ。一方マイノリティ・クロップと言われる果物・野菜収穫機械は上記の穀物と比して市場が小さいことも有り、また収穫時の制約条件も多く地域性も手伝い、開発の速度は遅かった。勿論そのためのセンサーや視認後の演算処理に於けるメモリーの速度、容量も不十分であった。加えてそうした素子の価格も高価であった。軍事用に限られていたGPSが民生用に解放され、スマホや各種の情報通信機器の生産拠点が途上国となり、性能の割に価格が抑えられ、ユーザの拡大と共に社会的な需要と受容を産み、普及へとつながった。人々の地球上の生活、距離感は一変した。しかも利用料金もワイファイ(WiFi)を使う限り、無料と言うところまで下がり、音声のみならず映像を共に確認しつつ会話ができ、場所を選ばず電波が得られるところであればどこでもピンポイントで相手とコミュニケーションが可能と言う段階まで来た。言うまでも無くその反面居場所が分かるとか、プライバシーに関するセキュリティへの保障など法的規制や管理も重要な問題になりつつあるが、筆者

の参加、経験した国際学会は1983年にさかのぼるが、当時は自動化からロボット化への変遷期に有り、GPSは未だ解放されていなかった。1990年が一応のロボット化推進の目標年であり、その年にはワン・アームでなくツー・アームロボットも出回り、コストも飛躍的に下がり、広く普及するという見通しでもあった。それから5年後にフランスで同様の国際学会があった。6足歩行ロボットなども紹介されたが、人間が乗車して操作する必要があった。今では兵隊ロボット開発への挑戦、さらには兵隊が運搬する荷物を運ばせる4足歩行ロボット、しかも倒れても起き上がり、かなりの高速で走る事も出来る。障害物も見分けて乗り越えるなど、全くの自律型ロボットが開発されている。その前に日本のバイク企業が開発発表した人型2足歩行ロボット(Humanoid robot)が話題を集めた。他企業も追随し、同じレベルに追いついたと想ったときには、先行の2足歩行ロボットは子供達とかけっこをしているという驚異的な技術力を見せつけた。2足歩行ロボットは動いているとき、うまくバランスを取る事が難しく、この企業が大大に発表するまでは大学も他の研究機関もこの偉業を成し遂げてはいなかった。今では大型バイクが運転手の手を借りることなくバイク自身が自動的にバランスを取り、倒れずに運転手を追従する技術として応用されている。ツー・アームロボットは余り見かけないが、建設機械でその商品化例を見ることができる。特に危険地、災害地での重量物の撤去において、必要に応じて対象の障害物を片方の腕で保持しつつ、もう一つの腕で道具を操作して切断するなど協調作業を可能としている。収穫作業の能率を上げるためには、腕の数を増すことで対応する事が出来る。こうした観点から将来的に千手観音のような多くの腕を持つロボットも考えられたが、腕同士の作業中の干渉などもあってか、殆どはツー・アーム以下であり大半はワン・アームというのが現状のようである。

収穫作業では目的とする果実が「何処にあるか」その位置を探す事から作業が始まる。ロボットと収穫する果実がなっている樹木との位置関係が余りにも掛け離れた初期位置から作業を始めるとなると、果実の位置を探り当てるのに多大の時間を浪費することになる。産業用ロボットと農業ロボットの大きく異なる点は、取り扱うワークが規格品であるか非規格品であるかと言う点にある。産業用ロボットはコンベアで運ばれてくるワークが全て人間が設計した規格品であり、農業に於けるワーク(農産物)は殆どが非規格品であり、大きさ、色、形、固さなど一つとして同じものは無い。したがって生産者である農家と消費者の指向や地域性を考慮して決めたスタンダード規格の範囲の条件を満たす物をまとめて収穫、パッキングして市場に出す。収穫の段階で選別も行われる。収穫対象の樹木に向かってロボットが位置するとき、その視野にいくつの果実があるかを見通し、番号付け(Numbering)をして記憶する。そして収穫作業を進めると記憶した果実の数は一つずつ減少し、全てが収穫されるとその樹木から別の樹木に移る。言うまでも無く、収穫すべき果実の条件を満たさない果実は収穫されずに残るからそれも勘案して収穫作業の完了をロボットが確認する。確認が終えたら次の果樹に移動する。自然環境下で育った果樹は、上記したように樹木の並びも整然としていない場合もあるが、温室など大型の施設内での栽培で

はロボットが移動する軌道を予め敷設し、常にその軌道上を移動する形の栽培法もある。いわゆる植物工場型の栽培施設ではこうした方式が多い。省力、省エネを勘案した自動化を容易にするためである。一般的な栽培法ではロボットにとって果実視認や位置確認などに時間を要するので、ロボットが収穫しやすい栽培環境に換えるか、機械の側を作物にあわせるかの工夫が要る。

ところで農産物を対象にした収穫作業では収穫すべき対象果実が規定のスタンダードに合致しているかどうかを検証してから収穫作業に入る必要がある、規格に合わない対象果実を収穫する必要は無いからである。また熟度が一定のレベルに達していない場合は、後日熟してから収穫すると言った具合に収穫時期をずらして作業をする。温室栽培では栽培期間を調整できる上に、季節に関係なく何度も栽培する事が出来る。このことが産物の付加価値を高める事にもなるし、設備・施設のフル稼働を可能とする。いずれにしても収穫すべき対象農産物を見定めるには、既定の条件を満たしているかどうかをロボットが判断する、或いはできる必要がある。この条件が多いほどセンサーの数、演算時間も多くなる。カメラが高価な初期の時代には、1つのカメラで、ある間隔を置いて位置をずらし、果実の位置を決める方式もあったが、時間が掛かる。カメラの価格が安くなると2台のカメラで同時に対象果実を見て、ロボットからの位置関係を定め、エンド・エフェクターを伸ばして収穫する。これは位置のみを知る操作であるが、対象果実の色や大きさ、形などはさらに調べる必要がある。そうして条件を満たした果実のみが収穫される。これらの諸条件を人間の目は3秒間で認知できると言われた。しかしロボットの初期のカメラではその3倍ほどの時間を要した。センサーの数が増えると、得られた情報を用いて条件に合致しているかの演算に時間が掛かる。そこで想いついたのが、人間の対象物視認の速度の速さを利用して、収穫すべき果実をレーザーポインタで指示し、ロボットに教えてやる迄の作業を人間が行い、その後はロボットがその対象果実を収穫するというシステムである。欠点と言えば人間が介在し、収穫作業という重労働からは解放されるが収穫作業を終える迄の時間をフルにロボットと費やしななければならないことである。無線操縦での草刈りロボットなども、重労働からは解放されるが作業時間は削減されない。この問題を解決するには、最終的に無人化、自律操縦機能を装備する必要がある。すなわちそうでなければ完全な自動化ロボットではないということである。ところがこれに類似の技術が軍事部門で利用されている。レーザー誘導ミサイルである。1発何千億円というミサイルでも命中率が悪いと多大の戦費を浪費することになる。ミサイルを発射し、そのミサイルを正確に破壊すべき対象物に命中させるべくレーザーで誘導する点で類似している。ベトナム戦争で重要な橋梁の爆破を試みていた米軍が2年がかりで爆破に成功した背景にはこのレーザー誘導式ミサイルの開発があったと言われる。農業と異なり、軍事では何事においても桁外れの経費が費やされる。命中すれば良いが、命中しないと全くの損失である。ミサイルを破壊対象物まで誘導するだけでなく、その対象物のどの部分に命中させれば大きな損傷。破壊、打撃となるかをも制御できる。堅固な建物でもドアの部分の強度は壁などより劣る。戦車も

鉄の塊で、分厚い装甲で中の人間を保護しているが、上部の出入り口の強度は非常に弱い。ただ動けなくするだけであれば、足回り部分のクローラに損傷を与えるだけでたちまち動けなくなる。また中の運転手を含む兵隊までも死に至らしめるというのであれば鋼板の厚さが薄い上部のハッチなど特に強度的に弱い部分を狙うと容易に破壊できる。最近のドローンは偵察機能に加えて攻撃機能も備えている。ジャベリンやステインガー対戦車砲（ミサイル）では 2 つのモードが用意されており。撃ったミサイルが直接まっすぐに標的に向かい命中するモードと標的に近づくと高度を上げて、戦車のハッチの部分を確認してから命中するモードがある。使い勝手の良さ、手軽に持ち運べる軽量で、命中率も高く極めて精度の高い信頼できる兵器である。随分昔の研究であり、分野的にも農業分野でのロボット技術と言うことであまり気がつかなかったが、レーザー誘導という点で類似している。

図 1 は標的果実をレーザーポインターで指示し、収穫対象果実の位置、あるいは収穫すべき果実の条件を具備しているかを人間が視認し、その後の作業はロボットに任せる、ヒューマン・アシストを取り入れた収穫ロボットのシステム構成を示す。収穫すべき果実の位置を探る P S D (Position Sensing Device) と エンド・エフェクタに C C D (Charge Coupled Camera) カメラを装備したロボットで、人間が指示した果実をロボットが視認し、位置を計算、特定し、ロボットが動き収穫する。図 2 はロボットの前方に用意した模擬果実をレーザーポインタで指示することでロボットに収穫する果実を指示し、以下果実収穫までの作業をロボットがする状況を示す。本来ビデオ画像であるがここでは静止画像として示してある。

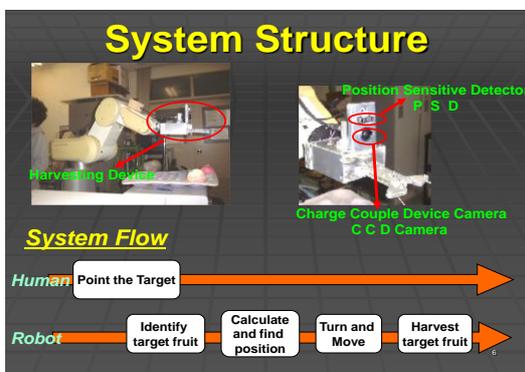


図 1 標的果実指示アシスト収穫ロボット



図 2 レーザーポインタで対象果実を指示した後はロボットが残りの収穫作業を完結する。軍事技術との類似点はレーザー誘導ミサイルというところであろうか。