

アスパラガス収穫用ロボットハンドメカニズムの高度化

機械システム科 主任研究員 入江直樹
長崎大学大学院生産科学研究科 教授 石松隆和

長崎県は全国第4位のアスパラガス出荷量を誇り、「長崎アスパラ」としてブランド化を推進している。しかし、品質・鮮度を保つため限られた時間の中での作業を強いる収穫作業が重労働となりアスパラガス圃場の規模拡大を阻む要因の一つとなっている。この課題を鑑み、全自動でアスパラガスを収穫するロボットの実用化を目指している。本研究では、アスパラガス収穫用ロボットハンドを高度化することによる収穫作業の効率化、日中用アスパラガス位置検出センサを開発することによる稼働時間の拡大を図った。開発したアスパラガス収穫用ロボットハンドを取り付けたロボットは、アスパラガスを1本当たり約7.4秒で収穫可能であった。また、昼夜を問わず収穫できることを確認した。

1. 緒言

超高齢社会をむかえ、農家の高齢化・女性化による更なる労働力不足が懸念されている中、収穫の高効率化、作業の軽労化・省力化、安全性の確保をはかる手段として農業ロボットの役割は益々大きくなると期待されている^{[1], [2]}。

長崎県においてはアスパラガスの出荷量が全国第4位を誇り、「長崎アスパラ」としてブランド化を推進しているが、品質・鮮度を保つため限られた時間の中での作業を強いる収穫作業が重労働となりアスパラガス圃場の規模拡大を阻む要因の一つとなっている。この課題を鑑み、平成19年度から平成21年度にかけて連携プロジェクト研究：「全自動収穫ロボットシステムの開発」を実施し、アスパラガスを自動で収穫するシステムを構築した^{[3], [4], [5]}。

本研究では本ロボットシステムの実用化を目指し、アスパラガス収穫動作時間を短縮化し収穫作業を効率化するための高速駆動ロボットハンドの開発、ロボットの稼働時間を拡大するために日中においてもアスパラガスの位置と長さを検出可能なセンサ開発を行った。本ロボットシステムを用いて、圃場における収穫実験を行い、その有効性について検証した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 アスパラガス収穫ロボットの構成

図1に本研究におけるアスパラガス収穫ロボットの構成を示す。アスパラガスを把持切断するエンドエフェクタと垂直スカラ型ロボットアームから構成したロボットハンド、本ロボットハンドの関節(J3)上にレーザレンジファインダを設け、J3の回転運動に

よりアスパラガスをスキャンし、昼夜を問わず位置と長さを検出可能とするアスパラガス位置検出センサ、アスパラガスの畝に沿ったレール上を走行可能とする移動台車から構成している。

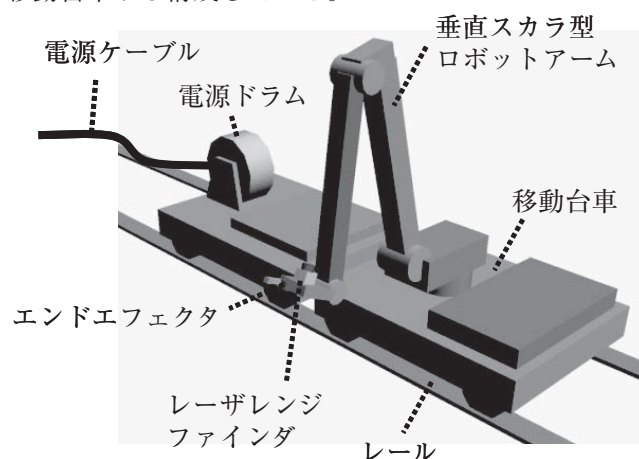


図1 アスパラガス収穫ロボットの構成

2.2 アスパラガス収穫ロボットのシステム構成

図2に本研究におけるアスパラガス収穫ロボットのシステム構成を示す。制御装置はノート型パーソナルコンピュータ(NEC製FC-N22A/CX6WS)を用いた。ノート型パーソナルコンピュータは、移動台車の駆動指令、レーザレンジファインダを用いてアスパラガスをスキャンする際使用するJ3モータの駆動指令、レーザレンジファインダからアスパラガスまでの距離データを用いてアスパラガスの長さや把持切断する位置の算出、ロボットアームの移動位置駆動量の算出及び駆動指令とエンドエフェクタの駆動指令を行う。空気圧駆動を行うエンドエフェクタにおいては、コンプレッサからエアシリンダへのエア供給を電磁弁を用いて制御している。電磁弁の制御はJ2モータのDI

0を介して行った。本ロボットの制御プログラムは、Microsoft 製 VisualStudio2008 を用いて開発を行っている。

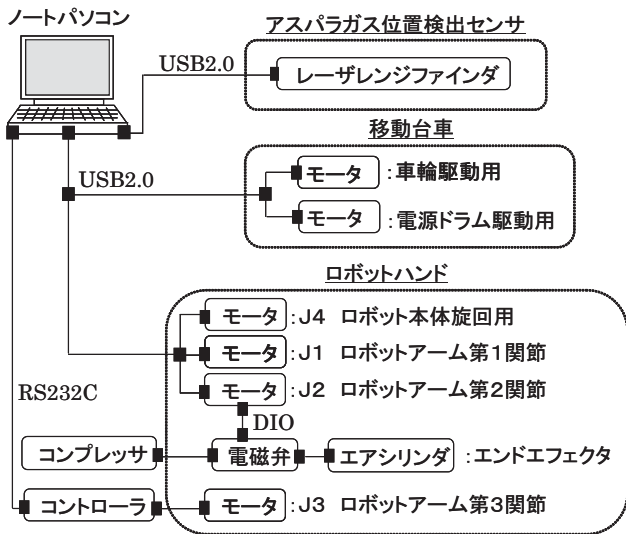



図2 アスパラガス収穫ロボットのシステム構成

2.3 ロボットハンド

2.3.1 垂直スカラ型ロボットアーム

折りたたんだ際の設置スペースが小さく、かつ広い作業範囲をとることができる垂直スカラ型ロボットアームを採用している。本アーム構造の構成を図3に示す。エンドエフェクタの位置決め用に4自由度（J1～J4）使用した。アスパラガスの圃場では重力方向におけるアスパラガスの生え際を揃えるため、畝は通路から300mm上げた高床形式を採用している。通路の中央にロボットを設置し、アスパラガスが生育する  の範囲にエンドエフェクタがアクセスできるように、L1（=444mm）とL2（=378mm）を設計した。最遠点はロボットの回転軸（J4）から約900mmである。3D-CAD（シーメンス製 I-deas）を用いて設計した設計図を図4に示す。先端部を軽量化し慣性モーメントを小さくするため、J2の駆動はモータをアームの基部に位置するJ1モータと並列して設置し、歯付きベルトとプーリを用いてトルク伝達を行っている。J1とJ2は、ブレーキ付きスマートモータ（多摩川精機製）と遊星減速機（アベックスダイナミクス製）を併用した。また、J3はDCモータと遊星減速機（ともに FAULHARBER 製）を使用している。機械部品の材質には、アルミ系材料と樹脂系材料を多用し軽量化を図った。各関節（J1～J3）の構造は、剛性を高めるため両持ち構造とし、ベアリングを介して駆動軸を回転し駆動時における振動の発生を抑えている。部品点数は80点程度であっ

た。試作したロボットハンドを図5に示す。

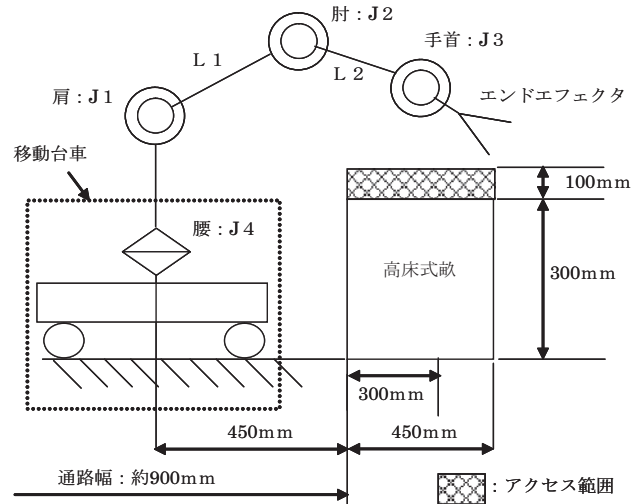


図3 アーム構造の構成

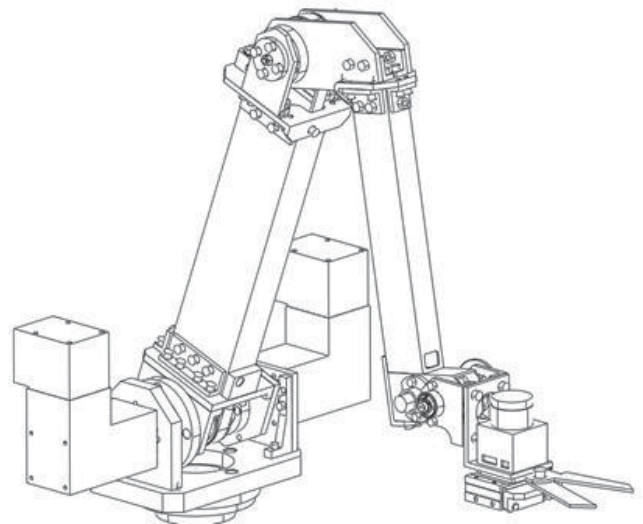


図4 ロボットハンドの設計図

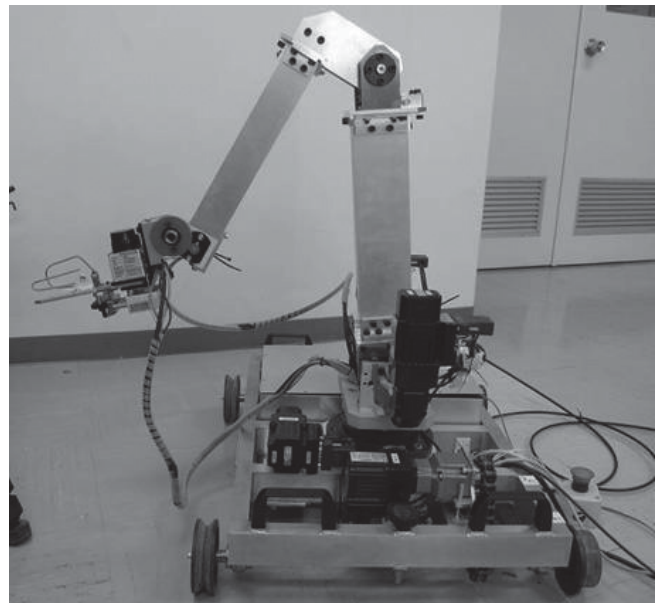


図5 試作したロボットハンドの外観

2.3.2 エンドエフェクタ

2.3.2.1 アスパラガス切断力測定

アスパラガスを把持切断する機能を有するエンドエフェクタに備えるべき切断力を求めるため、アスパラガスの切断力測定を行った。直径6mm~16mm程度の測定用アスパラガスを用意し、合計40本行った。その結果を図6に示す。測定結果の最大値である19Nに対して安全率を1.5とし、約30Nの切断力を発生することができる切刃用駆動機構をエンドエフェクタに設けた。

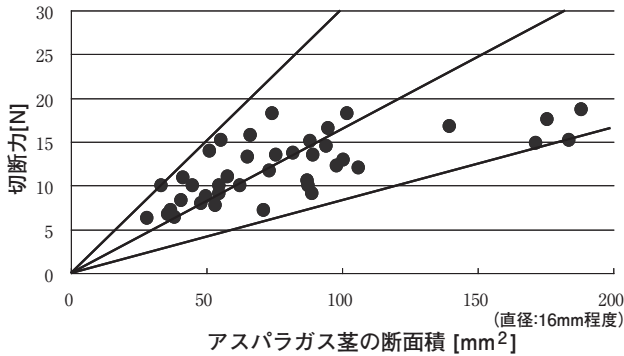


図6 アスパラガス切断力測定結果

2.3.2.2 エンドエフェクタの構造

本研究におけるエンドエフェクタの概略図を図7に示す。2本のフィンガを2枚の切刃上に設置した構造である。直径約1mmの針金を折り曲げて作製したフィンガは弾性体となり、ばね特性を有しているため6mm~35mmにわたる直径のアスパラガスを把持可能である。また、本針金を樹脂系材料により覆っているため、把持時における衝撃によりアスパラガスが損傷する危険性は低い。切刃はエアシリンダの往復直進運動を回転運動に変換し駆動する。図7においてエアシリンダは、電磁弁によるエア供給方向制御により選択方向へリンクバーを直進運動する。A軸にてリンクバーと接合している切刃は、B軸を中心として回転運動し把持切断動作を行う。アスパラガスの把持機構と切断機構を別々に設け、把持した後に切断する動作を行い、把持切断に成功した報告^{[3][4]}があるが、弾性体のフィンガを切刃上に設置した本構造を用いることにより、アスパラガスを把持すると同時に切断することができるため、収穫動作を高速化できる。切刃は腐食防止と軽量化をはかるためセラミック製を使用している。本エンドエフェクタの重量は約600gであった。

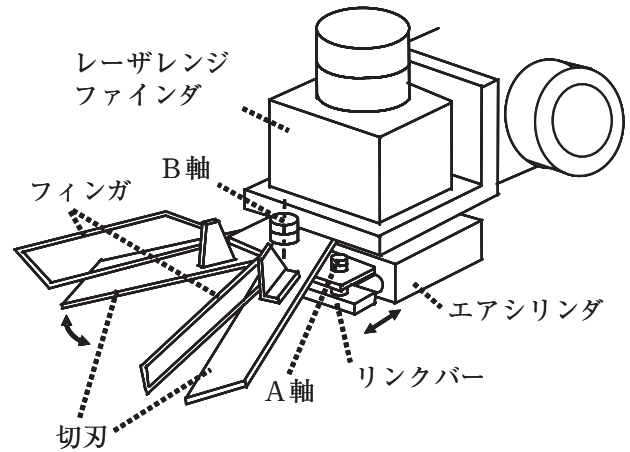


図7 エンドエフェクタ概略図

2.3.3 アスパラガス位置検出センサ

収穫ロボットの対象物認識センサとしてカメラを用いたマシンビジョンが多用されている。カラーカメラを用いてマシンビジョンを構成し、色情報などを活用して瞬時に高密度な3次元データを得ることができる。しかし、マシンビジョンは、特に屋外において太陽光などによる外乱光の影響を多大に受けるため、主に夜間における収穫作業に用いられている。本研究においては、日中においても簡易的に対象物の位置を測定できるレーザレンジファインダ（北陽電機製URG-04LX）を用いてアスパラガスの認識を行った。認識内容は図8に示すように、ロボットハンドの手首に当たるJ3にレーザレンジファインダを設け、手首を45度回転し対象のアスパラガスをスキャンする。5度毎にレーザレンジファインダからアスパラガスまでの距離データを取得し、各距離データの対応付けからアスパラガスの長さを算出する。求めた長さが250mm~350mmの範囲である場合、収穫適期であると判断する^[6]。

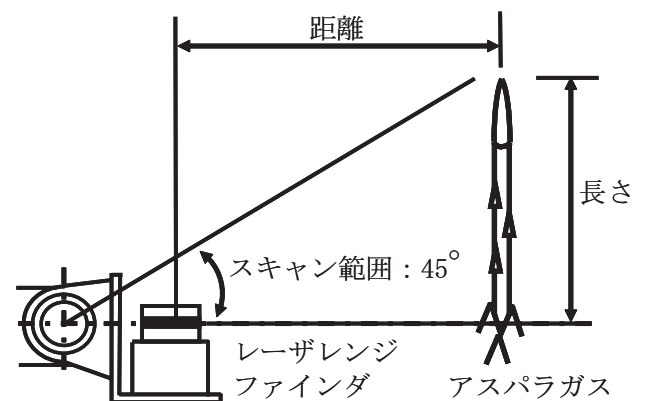


図8 アスパラガス位置検出センサによる測定動作

3. 結果と考察

図9に示すように、アスパラガス収穫ロボット専用の圃場において日中に収穫実験を行った。ロボットは180mm毎に移動し、アスパラガスの長さや位置計測を行い、収穫適期を判断する。250mm～350mm範囲の長さを有するアスパラガス収穫適期と判断し収穫動作を行う。収穫動作の手順は、アスパラガスの位置にロボットアームを伸長し、エンドエフェクタにより把持切断を行う。その後、ロボットアームを短縮、旋回し収穫したアスパラガスをロボットの移動台車上に設けたトレイへ運搬、アスパラガスの穂先を揃えて格納する。アスパラガス1本当たりの収穫時間とアスパラガス収穫するための各動作に要した時間を測定した。その結果を表1に示す。

本実験結果である7.4秒/本の収穫時間を用いて、180mm毎に収穫可能なアスパラガスが1本あったと仮定すると、12時間20分で人手による1日あたりの収穫量の約3倍にあたる6000本の収穫を可能とする。

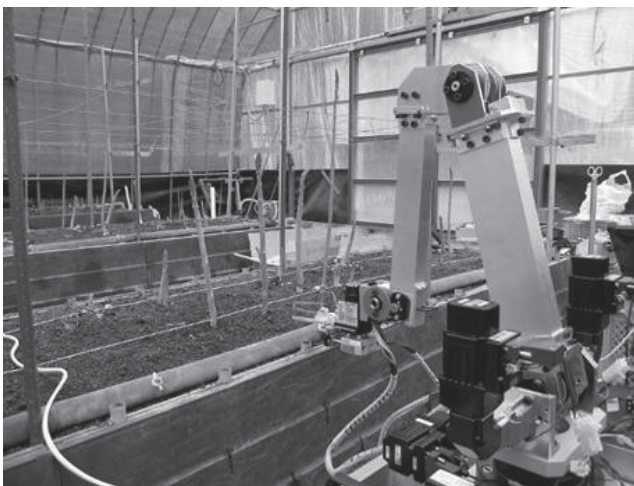


図9 圃場におけるアスパラガス収穫実験

表1 収穫動作の所要時間

収穫動作	所要時間 [秒]
ロボット移動 [180mm]	3.0
アスパラガス認識	2.0
ロボットアーム伸長	0.5
把持切断	0.2
ロボットアーム短縮	0.5
ロボットアーム旋回	0.7
穂先揃え動作	0.3
フィンガ開放	0.2
所要時間の合計	7.4

4. 結 言

本研究の成果について以下に要約する。

1) 日中においてアスパラガスの距離と長さを測定し、収穫適期判断を行うことが可能であった。これを受けて、昼夜を問わずロボットによる収穫作業が可能となりロボットの稼働率が向上した。

2) ロボットハンドメカニズムの高度化により高速な収穫動作を可能とした。アスパラガス1本当たりの収穫時間を短縮し、ロボットによる収穫作業を効率化した。

今後、ロボットハンドにおける最大駆動トルクを最小化するロボットアーム長の最適化などを実施し、モータの小型化、ロボットハンドのコンパクト化を実施してゆく予定である。

参考文献

- [1] 近藤、門田、野口：農業ロボット（Ⅰ）－基礎と理論－、コロナ社、2004.
- [2] 近藤、門田、野口：農業ロボット（Ⅱ）－機構と実例－、コロナ社、2006.
- [3] 田口喜祥、堀江貴雄、入江直樹、片岡正登、野口浩隆：長崎県工業技術センター研究報告 No.37、pp.8-11、2008.
- [4] 田口喜祥、入江直樹、堀江貴雄、片岡正登、内田善朗、近藤直：長崎県工業技術センター研究報告 No.38、pp.6-9、2009.
- [5] 田口喜祥、入江直樹、堀江貴雄、陣野信博、片岡正登、近藤直：長崎県工業技術センター研究報告 No.39、pp.3-8、2010.
- [6] 田口、酒井：昼夜使用可能なアスパラガス収穫ロボット用センサ装置の開発、JSME、ROBOMECH2011、1A1-A05、2011.