

全自動収穫ロボットシステムの開発

機械システム科	主任研究員	田口喜祥
機械システム科	主任研究員	入江直樹
電子情報科	主任研究員	堀江貴雄
総合農林試験場 経営機械科	科長	片岡正登
総合農林試験場 野菜科	科長	内田善朗
京都大学大学院農学研究科	教授	近藤直

アスパラガスは長崎アスパラとしてブランド化を推進中の農作物であり、収益性の高さから栽培面積の拡大が望まれている。しかし、アスパラガスの収穫作業は重労働であるうえ、毎日行う必要があることが、栽培面積を拡大できない原因の一つと考えられている。そこで、工業技術センターでは総合農林試験場と共同でアスパラガスを全自動で収穫するロボットシステムの開発を連携プロジェクト研究により実施している。このプロジェクト研究では、総合農林試験場でロボットに適したアスパラガス栽培技術の開発を行い、工業技術センターでは収穫ロボットの開発を実施している。

本報では、ビニールハウス内で毎日運用することが可能な有索式アスパラガス収穫ロボットと、ロボットが畝間の移動を行うために畝に直行した方向に移動台車を設置したロボット用圃場から構成されるアスパラガス収穫ロボットシステムを試作したので報告する。

1. 緒言

アスパラガスは長崎アスパラとして長崎県がブランド化を推進中の農作物であり、収益性の高さから栽培面積の拡大が望まれている。長崎県で栽培されているアスパラガスは、ハウス雨除けによる半促成長期どり栽培と呼ばれる栽培法で栽培されている。この栽培法は、立茎栽培とも呼ばれ、通常の露地栽培と比較して単位面積あたり最大5倍の収穫量を望める栽培法である¹⁾。しかし、収穫作業を中腰姿勢で行う必要があり、過大な労働負荷を農業従事者にあたえる事が問題となっている。さらに、アスパラガスは毎日収穫する必要がある作物であるため、収穫作業の自動化、機械化、軽労化が強く望まれている。収穫作業を自動化するために、これまでに様々な農作物を対象とした収穫ロボットが提案され、研究開発されているが、アスパラガスを対象とした収穫ロボットは報告されていない²⁾。

現在、アスパラガスの収穫作業を全自動化するための収穫ロボットを開発する事を目標として研究開発を実施している。平成19年度には、半促成長期どり栽培（以後立茎栽培と呼ぶ）に対応した収穫ロボットを開発するために必要な要素技術であるビニールハウス内で連続運転が可能な移動台車、アスパラガスを把持・切断し収穫作業を行うロボットマニピュレータ、規定

の長さ以上のアスパラガスを認識し位置を計測するビジョンセンサを開発した。平成20年度は、19年度に開発した要素技術を結合し、アスパラガスを対象とした収穫ロボットシステムの試作を行う事を目標として研究開発を行った。試作した収穫ロボットシステムは、収穫ロボット本体に電源ドラムを搭載し電源ケーブルを繰り出し若しくは巻き取りながらビニールハウス内を移動し、収穫作業を行う有索式収穫ロボットと、有索式収穫ロボットが畝間の移動を行うために用いる畝間移動台車を設置したロボット用圃場から構成されている。さらに、ロボット用圃場では、ロボットが収穫しやすいアスパラガスの栽培技術の試験を行っている。試作した収穫ロボットシステムの有効性を確認するために、収穫実験を行ったので報告する。

2. 収穫ロボットシステム

アスパラガスは一般に長さのみにより収穫の可否が決定される。アスパラガスの成長は早いことが知られており、季節によっては1日10cm以上成長することがある。規定の長さに満たないものや規定の長さより長すぎるものは商品価値がなくなるため、収穫作業は毎日実施する事が必要とされている。このような理由により、開発する収穫ロボットシステムは、毎日動くことが

要求されるが、電池を動力源として収穫ロボットを動作させる場合、電池の容量、充電や電池交換の時間などが問題となり毎日長時間駆動させることが難しくなると考えられる。そこで本研究では、連続して長時間駆動が可能な有索式アスパラガス収穫ロボットシステムを提案する。提案するアスパラガス収穫ロボットのシステムの構成を Fig 1 に写真を Fig.2 に示す。有索式アスパラガス収穫ロボットは、電源ケーブルにより電力を供給することで長時間の駆動が可能となっているが、電源ケーブルがあるため、ロボット本体は、ほぼ直線運動のみの動作に制限されてしまう。そこで、圃場の片側に畝と直角方向にロボットが畝間の移動を行うための移動台車を設置し広い圃場へ対応した。有索式収穫ロボットは一つの畝での作業が終了した後、畝間移動台車に乗り移り、隣の畝に移動する。現在、畝間移動台車は手動で動作させているが、将来的には自動動作を実現し、全自動で収穫作業が行えるロボットシステムとする予定である。

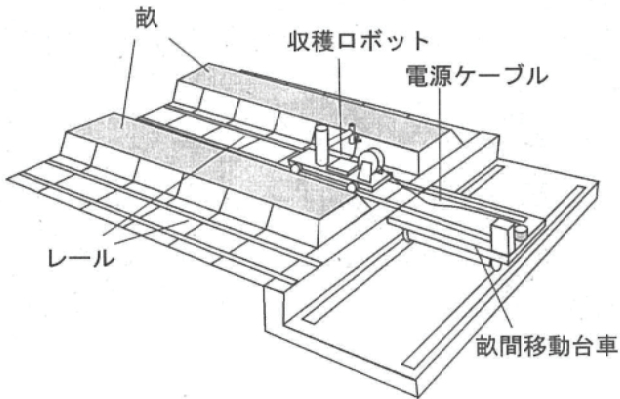


Fig.1 アスパラガス収穫ロボットシステムの構成



Fig.2 アスパラガス収穫ロボットシステムの写真

新たに試作した収穫ロボット制御装置の構成を Fig.3 に示す。有索式アスパラガス収穫ロボットは、

ノート型パソコン (Panasonic CF-19FWIAXS) を中核とした制御装置で動作する。ノート型パソコンではビジョンセンサからの信号処理を行い、アスパラガスの長さや位置の計測を行っている。また、アスパラガスの位置情報を基に、マニピュレータの各モータの目標角度の算出を行う。算出されたモータ角度情報を UDP 通信によりシーケンサに渡すことで、マニピュレータ駆動用モータの制御を行う。また、ビジョンセンサのスリットレーザの ON-OFF 制御はワンチップコンピュータ (Cypress PSoC 29466) で行っている。

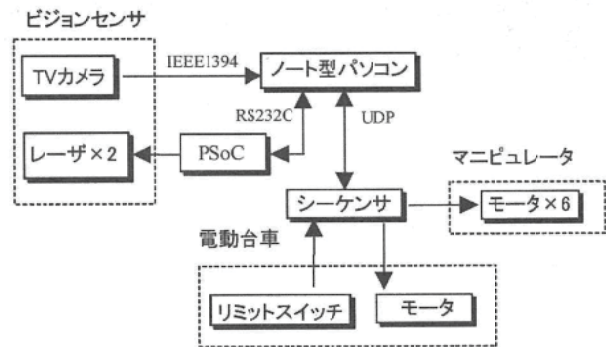


Fig.3 収穫ロボット制御装置

なお、収穫ロボットの制御プログラムは Microsoft 製 VisualStudio2005 で開発を行った。

3. 収穫ロボット用栽培技術

立茎栽培では春芽を収穫した後、立茎作業を行う。立茎栽培での立茎場所を示すため、上から圃場を見たイメージ図を Fig.4 に、立茎した圃場の写真を Fig.5 に示す。通常の立茎栽培では単位面積あたりの収量増加を目的とし、隣り合う茎の距離が均一になるよう立茎を行う。この栽培方法は土地の面積を有効に利用するという点では優れているが、収穫を行う場合立茎した茎を除けて若芽を探し出し収穫を行う必要があるため、ロボットでの収穫作業を難しくする要因の一つと考えられている。

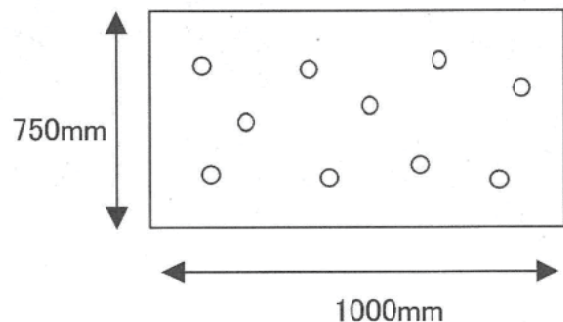


Fig.4 立茎場所イメージ図 (従来型栽培)



Fig.5 アスパラガス圃場 (従来型栽培)

そこで、収穫ロボットを利用することを前提として、立茎を畝の中心部250mmの範囲でのみ行うロボット用栽培を提案する。ロボット用栽培では、畝の中心部のみで立茎を行い、畝の端部からの萌芽を促す。畝の端部から萌芽したアスパラガスは全て収穫対象となる。

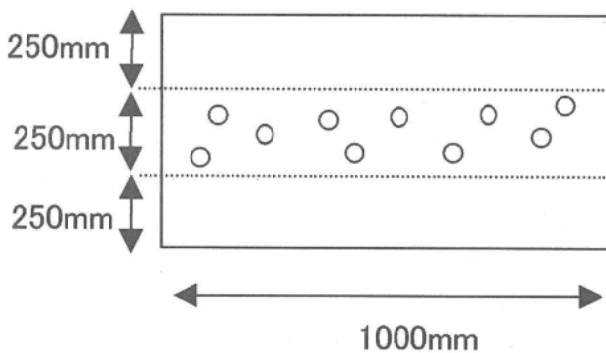


Fig.6 立茎イメージ図 (ロボット用栽培)



Fig. 7 アスパラガス圃場 (ロボット用栽培)

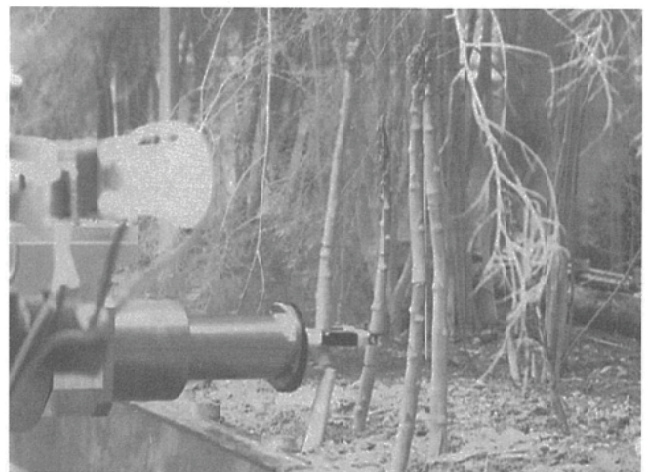
また、ロボットが取りやすい高さでアスパラガスを栽培するため、プラスチック板で畝を覆い、高さ300mmの高畝栽培とした。現在、従来型栽培とロボット用栽培で収穫量にどのくらいの差があるか調査中である。

4. 収穫実験

開発した有索式アスパラガス収穫ロボットシステムの有効性を確認するため、収穫実験を行った。ロボット用圃場のアスパラガスはまだ1年目であり、収穫対象範囲に萌芽するアスパラガスは非常に少ない。そこで、収穫対象範囲にアスパラガスを植え、収穫実験を実施した。実験中の写真を Fig.8 に示す。



(a)



(b)

Fig.8 収穫実験

ビジョンセンサで計測しながら、圃場を移動しているロボットの写真を Fig.8(a)に、収穫対象のアスパラガスを把持・切断している写真を Fig.8(b)に示す。

収穫作業はビジョンセンサの視野角の関係から、収

収穫ロボットが180mm移動するごとにアスパラガスを計測し、収穫する。1回の計測で収穫可能なアスパラガスが1本あったときに動作に要した時間をTable.1に、収穫可能なアスパラガスが2本あったときに動作に要した時間をTable.2に示す。

Table.1 収穫動作時間（収穫対象1本の場合）

収穫動作	時間 [秒]
ロボット移動 (180mm)	5.0
マニピュレータ回転	2.0
マニピュレータ伸張	0.9
把持切断	2.2
マニピュレータ伸縮	1.5
マニピュレータ回転	1.5
ハンド開放	0.6
全時間	13.7

Table.2 収穫動作時間（収穫対象2本の場合）

収穫動作	時間 [秒]
ロボット移動 (180mm)	5.0
マニピュレータ回転	1.9
マニピュレータ伸張	1.1
把持切断	2.1
マニピュレータ伸縮	1.5
マニピュレータ回転	1.9
ハンド開放	0.6
マニピュレータ回転	1.8
マニピュレータ伸張	1.3
把持切断	2.3
マニピュレータ伸縮	1.4
マニピュレータ回転	2.1
ハンド開放	0.7
全時間	23.7

それぞれの各動作に要した時間は、ほぼ同じであった。1本当たりの収穫速度は人間が1日に収穫する2,000本を8時間で収穫するために必要な時間14.4秒より短い事を確認した。

5. 考察

試作したロボットシステムによりアスパラガスの収穫作業を行える事を確認した。しかし、実験の結果、試作した収穫ロボットでは、以下の問題のため収穫量の向上が難しいことが明らかとなった。

- ・開発したビジョンセンサは画像を用いているため外乱光に弱く、夜間のみで使用に限定される
- ・ロボットマニピュレータの重量が35kgと重いため、マニピュレータの回転・伸縮速度を上げる事が難しい。
- ・把持動作終了後に切断動作を行うため、把持切断動作に時間がかかる。
- ・ロボット自体の重量が重いため移動速度の向上が難しい。

現在、これらの点を考慮し、より高速で動作する試作2号機を開発中である。試作2号機の収穫速度目標として、当初目標の3倍である1日あたり6,000本とした。この本数を夜間のみで収穫する事は難しいため、新たにレーザセンサを用いた認識センサを検討し^[4]、昼夜駆動可能な収穫ロボットの開発を目指したい。

6. 結言

昨年度試作した有索式移動台車、ロボットマニピュレータ、ビジョンセンサとノート型パソコンを中核とする制御装置を用いて有索式アスパラガス収穫ロボットを試作した。また、ロボットで収穫する事を考慮した栽培方法を提案し、有索式収穫ロボットが畝間移動を行うための移動台車を設置したロボット用圃場を試作した。これら有索式アスパラガス収穫ロボットとロボット用圃場から構成される収穫ロボットシステムで収穫実験を行ったところ、アスパラガスを1本当たり14秒以下で収穫可能であることを確認した。

文献

- [1] 井上：半促成長期どりアスパラガスの養分動態，長崎県総合農林試験場研究報告，農林部門23号 p31-45(1998-3)
- [2] 近藤，門田，野口：農業ロボット（I）－基礎と理論－，コロナ社，(2004-9)
- [3] 近藤，門田，野口：農業ロボット（II）－機構と実例－，コロナ社，(2006-6)
- [4] 椎木，近藤，田口，清水：アスパラガス検出のためのステレオビジョンとレーザレンジファインダの比較，JSME，ROBOMECH2009，1A2-C06，(2009-5)