

博 士 (農 学) アルマラヒ アハマド アリ

学 位 論 文 題 名

Development of Potato Tubers and Clods Separating Mechanism for Potato Harvester Based on Machine Vision Technique

(マシンビジョンを用いたポテトハーベスタの馬鈴薯と
土塊の選別機構の開発)

学位論文内容の要旨

In this research, a mechanism which can separate clods from potato tubers on the potato harvester automatically was developed. The mechanism was designed to replace the manual removal of the clods performed by approximately 4 labourers in the small-scale and medium-scale harvesters. The main reason to automate the separation is to improve the productivity of the farmers by accomplishing this agricultural task with smaller number of labourers. In addition, ageing in agricultural societies in developed countries is a problem that needs to be solved by automating physically-tiring and dangerous tasks as well as repetitive tasks. Developing the mechanism required two components, the first was a machine vision system able to detect the potato tubers and distinguish them from the clods, while the second was a set of mechanical components which removed the clods.

Chapter 2 summarizes observing the performance of the potato harvester in Hokkaido University indicated that the objects flow on the harvester in an average rate which was approximately 4.2 object/s and did not exceed 7 object/s. Besides, the observation of the size and mass of the tubers indicated that the diameters of the varieties investigated ranged from 25 to 100 mm. Besides a relationship between the diameters of the tuber and the mass could be observed as the correlation was high and reached 0.943 for one of the varieties.

Chapter 3 describes the machine vision system which distinguishes between potato tubers and clods bearing the changes in clods colour due to different water contents and the changes in the lighting conditions. Three cameras were tested to choose the most appropriate vision sensor. Since the objects have similar wide ranges of sizes and masses, the recognition was based on the spectral reflections. Therefore, the general concept of detecting the

objects was to capture an image, to isolate the objects from the background, and to discriminate every pixel separately. Finally, a judgement was required to identify whether the cluster of pixels was a tuber or a clod.

The RGB colour camera provided distinct differences between the objects when the clods were wet but failed to discriminate in the same success rate when the clods were dry. The hyperspectral camera provided two spectral reflections at 752 nm and 480 nm which could discriminate the objects under any water content rate. The setbacks of the hyperspectral camera were its high cost and excessive amount of information which affected the image processing speed. The ultraviolet camera could also differentiate between tubers and clods under the wet and dry conditions. Its cheap price and few amount of information gave it the favour to be applied as the vision sensor of the machine vision system in this research. Using UV images, the image processing rate was 10 frame/s when the frame size was 320×240 pixels. The machine vision system was also enabled to perform additional processing such as singulating attached tubers and clods visually by finding the contact points if the objects were arranged in-lines. Also, it was enabled to calculate the diameters and sizes of the tubers for future size grading of the tubers.

Chapter 4 describes the mechanical components needed to complete the potato and clod separating mechanism. They included separating deflectors and a set of conveyors. The separating deflectors were connected to the machine vision system via relay circuit and a micro-controller which switched on the motor of each deflector when a potato tuber entered a corresponding detection area of the vision system. Examining the response of the deflectors, it was found that they work without any error if the objects approach them in a rate equal to 2 object/s.

In the set of conveyors, the objects entered a feeding conveyor where they flowed randomly. At the other end of the conveyor, two arranging conveyors were placed perpendicular to the feeding conveyor. A difference in speed between the arranging and feeding conveyors detached the successive objects. Also, having two arranging conveyor broke each line of objects on the feeding conveyor creating two queues of objects simultaneously. The queue in each arranging conveyor moves toward the sorting conveyor which runs in a high speed causing additional detachment between the objects. It was found that a speed ratio of 20:1 between the feeding and sorting conveyors was able to detach and arrange the objects in an error rate which did not exceed 3%. At a sorting conveyor speed of 200 mm/s, the rate of objects was approximately 1.25 object/s for each row. In order to meet the required rate in practice, increasing the number of arranging conveyors so that more objects can be simultaneously discriminated and increasing the overall speed of the conveyors are suggested.

Chapter 5 describes some of the perspectives of using the potato and clod separating mechanism. Using the machine vision system developed in this research with its hardware specification it was found that the highest rate of object detection was 20 object/s. However, it requires creating 16 rows of objects in order to detach and queue the objects in the same rate. In the next step, automatic collection of the small tubers is required. The machine vision system can be extended toward automating the collection of small tubers as it is able to provide information about the diameters and the area of the tubers. In addition, extending the automation toward post harvest grading based on quality was also observed. This can be obtained by developing a machine vision system using the hyperspectral imaging. However, subjectivity in judging diseased and injured potatoes as well as the feasibility of using hyperspectral imaging should be considered when developing grading system based on quality.

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	片 岡	崇
副 査	教 授	柴 田	洋 一
副 査	教 授	近江谷	和 彦
副 査	教 授	野 口	伸

学 位 論 文 題 名

Development of Potato Tubers and Clods Separating Mechanism for Potato Harvester Based on Machine Vision Technique

(マシンビジョンを用いたポテトハーベスタの馬鈴薯と
土塊の選別機構の開発)

本論文は、全 6 章からなる総頁数 125 の英文論文である。論文には、図 53, 表 25, 引用文献 86 が含まれている。別に参考論文 3 編が添えられている。

馬鈴薯の収穫にはポテトハーベスタが使用されているが、馬鈴薯と土塊の選別は人の手により行われているのが実情である。本研究は、この選別作業を自動化する機構を開発することを目的とした。自動化により、作業者数の低減とともに生産性の向上が期待される。加えて、農業従事者の高齢化に伴う、疲労による事故や危険作業を回避する上でも有用である。開発した機構は、馬鈴薯と土塊を視認し、識別するマシンビジョンシステムと、馬鈴薯と土塊を機械的に分けるシステムのふたつから構成される。

第 2 章では、北海道大学生物生産研究農場における馬鈴薯と土塊の収穫作業について観察した。同農場で使用しているポテトハーベスタの馬鈴薯や土塊の搬送能力は最大で 6.7 個/s であった。また、馬鈴薯の大きさ（外径）と質量を測定したところ、供試した 3 品種（男爵芋，キタアカリ，とうや）について相関係数 0.920 以上で相関関係があった。これは、画像で馬鈴薯を視認することで、質量の推定、つまりリアルタイム収量センシングが可能であること示唆した。

第 3 章では、馬鈴薯と土塊を識別するマシンビジョンの開発を行った。RGB カラーカメラ，ハイパースペクトルカメラ，紫外線カメラを供試した。教師画像データとして、馬鈴薯あるいは土塊のピクセルの反射強度を求めた。そして、解析用画像の各ピクセル情報を馬鈴薯あるいは土塊と判

断して、馬鈴薯と土塊を判別した。RGB カラー画像では、馬鈴薯が湿っている場合の識別正答率はほぼ 100%であったのに対し、乾いている場合は 87.9%にまで低下した。ハイパースペクトル画像では、近赤外線領域（750nm 付近）と青から緑にかけての 480nm 付近の 2 バンドを用いることで、土塊の水分状態に関係なく識別正答率は 98%以上であった。グレースケール画像の紫外線画像では、土塊の水分状態に関係なく 98.9%以上の識別正答率を得た。ハイパースペクトルカメラは非常に高価なため、ポテトハーベスタへの実装には不向きである。情報量に関しては、紫外線画像が最も少ないので、本研究のマシンビジョンには紫外線カメラを採用した。ここで採用した紫外線画像の画像サイズは 320×240 ピクセルで、その際の画像処理速度は 10fps と見積もられた。

馬鈴薯と土塊をマシンビジョンを用いて識別し、選別するためにはこれらが個々に分離された状態を作る必要がある。第 4 章では、馬鈴薯と土塊を完全に分離するコンベアシステムと選別機構を開発した。機構の全体像は、（搬送）コンベア上を搬送される馬鈴薯と土塊をマシンビジョンにより視認する。そして、コンピュータで画像処理し、それらを識別する。識別結果に基づいて、選別機構が動作し、馬鈴薯用あるいは土塊用のコンテナに分けて収納する。選別機構のアクチュエータには電動シリンダモータを採用し、その最大応答速度は 2 個/s であった。コンベアシステムは、搬送コンベア、2 台の横搬送コンベア、選別コンベアの 3 つのコンベアから構成される。馬鈴薯や土塊は、まず、搬送コンベアにランダムに載せられる。そして、横搬送コンベア、選別コンベアの速度差によって、選別コンベア上では馬鈴薯や土塊がひとつひとつに分離される。搬送コンベアと選別コンベアの速度比が 1 : 20 の時、分離のエラーを 3%まで下げることができた。この時の選別コンベアの速度は 200mm/s であり、1 秒間に 1.25 個の割合で馬鈴薯や土塊が搬送された。

第 5 章では、開発した選別機構の実用化およびポテトハーベスタへの実装に関する問題点について検討した。本機構のマシンビジョンの認識能力は 20 個/s であった。コンベアシステムによる分離能力は 1.25 個/s であった。また、選別機構の応答性能は 4 個/s だったので、機構全体の処理能力は、1.25 個/s となる。北海道大学で使用されているポテトハーベスタの馬鈴薯および土塊の搬送能力は、6.7 個/s であり、この搬送量に対応するためには、横搬送コンベアを増設して 11 列の馬鈴薯及び土塊の列を選別コンベア上に作る必要がある。開発したマシンビジョンの能力は 20 個/s なので、この列数に十分対応できる。本機構全体の選別エラーは約 10%であった。この原因は、選別部における馬鈴薯と土塊の仕分け精度であった。以上から、コンベアシステムを改良することで開発した選別機構は実用的に機能することが分かった。

本研究で開発したマシンビジョンは、ポテトハーベスタ上の馬鈴薯と土塊を精度よく識別することができ、また、開発した自動選別機構は、馬鈴薯収穫作業に十分適応可能であった。開発した機構は、馬鈴薯収穫作業の省力化、効率化に大きく寄与すると判断できる。

よって、審査員一同は、Ahmad Ali Al-Mallahi（アーマッド アリ アルマラヒ）が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。