

平成 21 年 5 月 11 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006 年度～2008 年度
 課題番号：18580251
 研究課題名（和文） 馬鈴薯収穫機械における馬鈴薯と土塊の高精度選別システムの開発
 研究課題名（英文） Development of precision separation system between potato tubers and clods for potato harvester
 研究代表者
 片岡 崇（KATAOKA TAKASHI）
 北海道大学・大学院農学研究院・准教授
 研究者番号：40231253

研究成果の概要：

馬鈴薯と土塊を自動選別するシステム開発を研究目的とした。マシンビジョンとして、RGBカラーCCDデジタルカメラ、ハイパースペクトルカメラ、紫外線カメラの3つを供試した。その結果、紫外線画像が最適と結論付けられた。動画像対応の画像処理プログラムを開発し、馬鈴薯の搬送コンベアシステムを製作した。コンベアの上方に紫外線カメラを設置し、コンベア終端に自動選別機構を装備させた。カメラで撮影した画像情報に基づき馬鈴薯と土塊を識別し、自動選別する。開発したシステムは、ほぼ100%に近い正答率で、馬鈴薯と土塊を選別してコンテナに入れる性能を持つことを確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,300,000	0	1,300,000
2007 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	600,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：馬鈴薯，収穫，画像処理，土塊，選別，ポテトハーベスター，自動制御，紫外線

1. 研究開始当初の背景

最近の統計によると、我が国の馬鈴薯の生産量は年間約 300 万トンであり、北海道では

その内の約 70%を生産している。北海道における馬鈴薯の作付面積は、全国の約 60%にあたる約 6 万 ha であり、馬鈴薯は北海道における主要農産物のひとつである。大規模面積

で作付けされている北海道での馬鈴薯の収穫作業には、ポテトハーベスターと呼ばれる収穫機械が使用されている。ポテトハーベスターは年間約 700 台出荷されており、この内約 4 割が北海道内で導入されている。

ポテトハーベスターは、馬鈴薯を掘り取り、土砂（土塊）、茎葉と分離し、バケットへの一時積み込みまで機械的な機構による一貫体系が確立されている。しかしながら、実際には、選別コンベア上で人力によって、土塊と馬鈴薯の分離、アオイモ、小イモ、損傷粒などの選別作業が行われているのが実情である。土塊の分離は、収穫時の土壌条件、ほ場の土性などに強く影響を受けるため、選別コンベアの前までに完全に分離することは達成されていない。現在のような形のポテトハーベスターが開発されて 30 年近く経過するが、馬鈴薯と土塊の分離は未だに解決をみていない大きな改善課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、図 1 に示すようにポテトハーベスターの選別コンベア上に一緒に上がってくる土塊と馬鈴薯を、近年の高度なセンシング技術および自動制御技術により、高精度にかつ自動的に分離するシステムの開発である。CCD カメラなどの視覚センサーで、土塊、馬鈴薯、アオイモ、小イモなどをセンシングし、自動的にこれらを選別するシステムを開発する。この選別システムは、選別コンベア上で機能させるような大きさと設計する。



図 1 ポテトハーベスター上の馬鈴薯と土塊

3. 研究の方法

(1) 静止画像処理

① マシンビジョンシステム

RGB カラー CCD デジタルカメラ (キャノン, Powershot A80), ハイパースペクトルカメラ (SPECIM, ImSpector V10), 紫外線カメラ (ソニー, XC-EU50) の 3 種類のマシンビジョン

システムを使用して馬鈴薯と土塊を撮影した。

ハイパースペクトルカメラとは、図 1 に示す分光計であり、供試装置は 360~1010nm の光波長を約 10nm 間隔で取得できる。

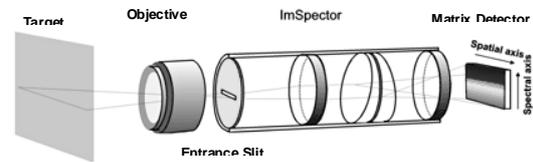


図 2 ハイパースペクトルカメラの構造

② 実験方法

馬鈴薯には、ダンシャク、キタアカリ、トウヤの 3 品種を供試した。土塊は、北海道大学生物生産研究農場の土壌から採取、成形した。馬鈴薯と土塊を一緒に、また水分状態を乾燥および湿潤状態として、総計約 300 枚の画像を撮影した。撮影時、背景に黒色紙を置き、照度状態は、屋外晴天時に傘で日陰をつくり、撮影した。

③ 画像処理方法

RGB カラー画像とハイパースペクトル画像については、撮影画像を教師画像と解析対象画像に半々に分けた。そして、教師画像から馬鈴薯と土塊について、(1)式で正規化し、(2)式で示される HSI 変換の H (色相) を求め、馬鈴薯と土塊を認識する線形判別関数を作成した。この関数を、解析対象画像中の馬鈴薯あるいは土塊相当の画素に適用し、馬鈴薯と土塊の識別を行う。

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{g}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B} \quad (1)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{1}{2} \frac{[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (2)$$

ここで、 R, G, B は画像の各画素の赤 (R), 青 (B), 緑 (G) の強度を表す。

紫外線画像は、グレースケール画像であるため、馬鈴薯、土塊の各画素の明度を求めた。明度に対するヒストグラムを作成し、しきい値を決定して、判別を行った。

(2) 選別システム

コンベアで搬送中の馬鈴薯と土塊をマシンビジョンで認識し、コンピュータで識別判定を行い、それに基づいて馬鈴薯と土塊を機械的に分離するシステムを開発した。

4. 研究成果

(1) 静止画像による識別

図 3 および図 4 に RGB カラー画像と、ハイ

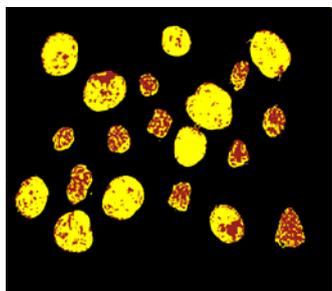
パースペクトル画像の識別結果の一例を示す。

図 3(a)は、RGB カラー画像の原画像である。この画像の各画素の情報について判別関数を適用した結果が図 3(b)である。この時、黄色は馬鈴薯と、赤色は土塊と認識された画素を示している。馬鈴薯内にも赤色が散見される。個体（塊り）ごとに塊り内部の各画素について多数決の原理で黄色か赤色、すなわち馬鈴薯あるいは土塊のどちらかとして判定した。これを図 3(c)に示す。なお、背景は、黒色として除去してある。

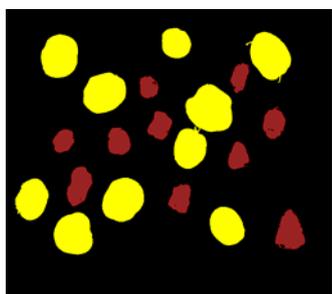
ハイパースペクトル画像についても、図 4 に示すように、同様のアルゴリズムで画像処理を行った。(a)図の原画像は波長 535nm で作成した。各画素の判別性能は、RGB カラー画像よりも高いことが分かる



(a) 原画像

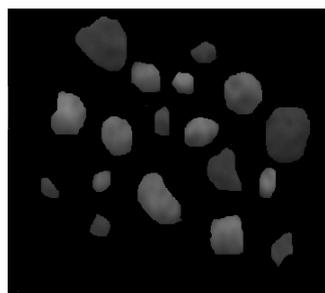


(b) 二値化画像

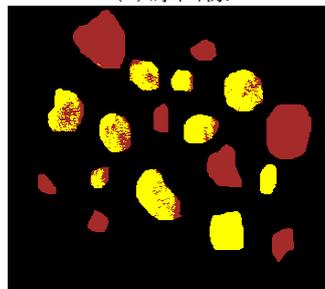


(b) 判別結果
(c)

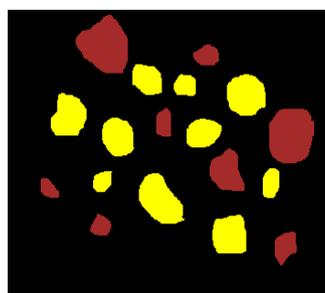
図 3 RGB カラー画像の画像処理



(a) 原画像



(b) 二値化画像



(c) 判別結果

図 4 ハイパースペクトル画像の画像処理

表 1 に、RGB カラー画像による馬鈴薯と土塊の識別正答率を、乾燥状態、湿潤状態それぞれで示す。湿潤状態では、馬鈴薯、土塊ともに正答率は 90% を超えている。しかし、乾燥状態では、70% 台にまで低下した。これは、馬鈴薯が土中から掘り出された直後ならば、RGB カラー画像で対応できるが、ポテトダイガー等で馬鈴薯を掘り起こし、地表面で乾燥後収穫するような作業体系には適さないことを示している。

表 2 は、ハイパースペクトル画像による識別正答率である。乾燥、湿潤状態に関係なく馬鈴薯と土塊ともに極めて高い正答率を示した。RGB カラー画像は 3 バンドの波長情報しか持たないのに対し、供試ハイパースペクトル画像は 60 バンドの情報を持つ。この情報量の違いが、高精度な識別結果をもたらしたといえる。照度等の他、多様な環境条件が想定される現場対応の技術としては十分適用可能と判断される。しかしながら、RGB カラー CCD デジタルカメラは、1 万円程度で購入できるのに対し、ハイパースペクトルカメラは 100 万円を超える。ハイパースペクトルカメラの普及には課題が残る。

図5は、紫外線画像による識別結果である。ほぼ100%の正答率で馬鈴薯を識別できた。紫外線画像はグレースケール画像であるために、単純な明度差を利用するので、画像処理アルゴリズムも簡略となる。カメラは、20万円程度であるが、コンピュータの計算処理への負荷が小さく、実用技術として採用され得ると考えられる。具備すべき条件は、一定の照明装置が必要である。また、馬鈴薯および土塊の乾燥、湿潤状態の影響はほぼ皆無であった。

以上の結果に基づき、馬鈴薯と土塊の自動選別システムにおけるマシンビジョンに、紫外線カメラを採用した。

なお、ここでの画像処理には馬鈴薯の品種間の有意差は認められなかった。

表1 RGBカラー画像による識別正答率

Conditions	Object	Discrimination Rate (%)	
		Tuber Pixel	Clod Pixel
Wet	Tuber Pixel	91.2	8.8
	Clod Pixel	5.6	94.4
Dry	Tuber Pixel	71.4	28.6
	Clod Pixel	24.6	75.4

表2 ハイパースペクトル画像による識別正答率

Conditions	Object	Discrimination Rate (%)	
		Tuber Pixel	Clod Pixel
Wet	Tuber Pixel	100	0
	Clod Pixel	0.2	99.8
Dry	Tuber Pixel	96.8	3.2
	Clod Pixel	1.6	98.4

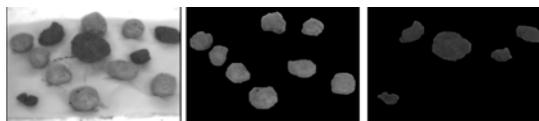


図5 紫外線画像による識別

(2) 動画像による応答性能評価

紫外線動画像から馬鈴薯と土塊を識別することができる画像処理プログラムを開発した。搬送コンベアを調整し、1フレーム/sで画像取得すれば、コンベアで搬送される全ての馬鈴薯を漏れなく識別の対象とすることができた。この時の搬送コンベアの最大速度は約20cm/sであり、ポテトハーベスターの搬送コンベアの約5倍の速度である。

コンピュータのCPUにPentiumM-1.1GHzを使用した場合、識別プログラムの処理時間は約0.17sで、十分にリアルタイム処理が可能といえる。

(3) 選別システム

図6、図7に馬鈴薯と土塊の自動選別システムを示す。

搬送コンベア上を馬鈴薯と土塊が流れ、その上方に設置されたマシンビジョン（紫外線カメラ）で対象を撮影する。コンピュータには、画像キャプチャーボードを介してマシンビジョンが、I/Oインターフェースを介して電動アクチュエータが接続されている。動画像からコンピュータが、コンベア上の対象物を馬鈴薯あるいは土塊と判断し、コンベア終端に取り付けられた自動選別機構をアクチュエータで動作させることで馬鈴薯と土塊を分けてコンテナに収納する。

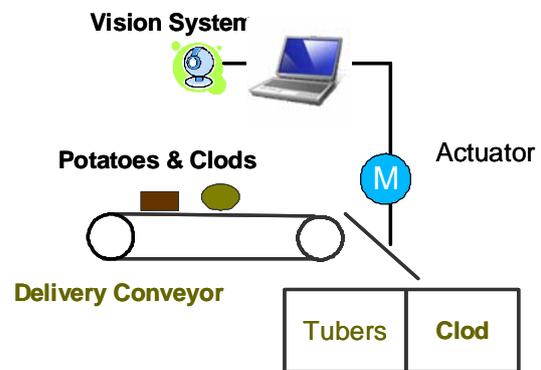


図6 馬鈴薯と土塊の自動選別システム概略図



図7 馬鈴薯と土塊の自動選別システム

このシステムの大きな問題点は、対象物が接触している場合の識別である。対象が互いに分離されていれば、ひとつの画像内に複数の対象（20個以上）が存在していても問題なく識別できることは確認された。これを解決するため、次のふたつの方法を考案した。

ひとつは、画像処理アルゴリズムで分離することである。馬鈴薯は基本的に球形であることに基づき輪郭線を抽出し、ふたつ以上の対象物の接触点を推定する方法である。これについては、画像処理アルゴリズムを工夫しており、研究途中である。

もうひとつは、コンベアシステムを改良し、機械的に対象物を分離する方法である。包装工場では、コンベアの機構等で接触物をひとつずつ分離する。ポテトハーベスター上に搭載するには、大きさの制約があるので、このような工場のコンベアの適用は困難である。そこで、図8に示す整列搬送システムを考案した。コンベアAには馬鈴薯と土塊が一緒に送られる。これと直交するコンベアBは、コンベアAと速度差をもっているため、コンベアAから受け渡される馬鈴薯あるいは土塊には間隔が生じる。さらに、一列に並べられてコンベアCへ移動する。コンベアCは、図7に示した自動選別システムのコンベアである。これらのコンベアシステムは、段違いに設置されているので、コンパクト化できる。本システムを用いた馬鈴薯と土塊の分離、整列、作業効率など性能は評価中である。処理能力は、コンベアBを多列化することで解決できる。開発したマシンビジョンでは、4列以上でも十分な識別性能、応答時間を持つことを確認した。

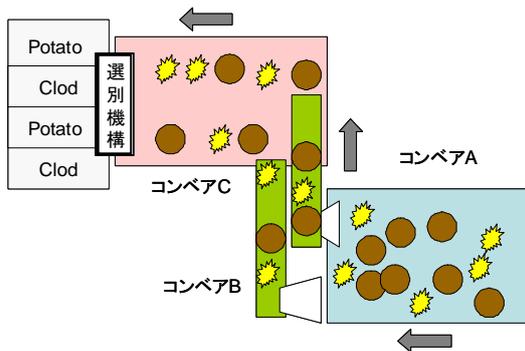


図8 整列搬送システム

馬鈴薯と土塊を高精度に選別するために紫外線カメラを用いたので、馬鈴薯の正常粒とアオイモなどの損傷粒の選別、すなわち馬鈴薯間の識別が困難になった。しかし、これはカラー情報で対応できるので、マシンビジョンシステムの並列処理で対応できるものと期待される。

このように、従来、手作業で行われていた

ポテトハーベスター上での馬鈴薯と土塊の選別作業を自動化できるシステムが提案され、効率的な馬鈴薯収穫体系の確立に寄与する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, Discrimination between potato tubers and clods by detecting the significant wavebands, Biosystems Engineering, 100 (3), P329-337, 2008, 査読有
- ②アーマッド・アルマラヒ, 片岡 崇, 岡本博史, 端 俊一, 画像処理による馬鈴薯と土塊の自動識別, 農業機械学会北海道支部報, 47, P1-8, 2007, 査読無

[学会発表] (計9件)

- ①A. A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, Y. Shibata, A Strategy for Designing a Mechanical Clod Removing System on the Potato Harvester, 第29回テラメカニクス研究会プログラム, P19, 2008年9月26日(夕張市 ホテルマウントレースイ)
- ②A. A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, Y. Shibata, Machine Vision System for Detecting Potato Tubers on the Harvester, 農業機械学会北海道支部第59回年次大会講演要旨, P54-55, 2008年9月12日(美唄市 専修大学北海道短期大学)
- ③Ahmad A. Al-Mallahi, Takashi Kataoka, Hiroshi Okamoto, An Algorithm for Distinguishing Potato Tubers on the Conveyor of the Potato Harvester using UV Camera, ASABE Paper No. 084582, P1-12, Providence (USA), 2008年7月1日(アメリカ・ロードアイランド州プロビデンス市プロビデンスコンベンションセンター)
- ④A. A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, Development of Machine Vision System for Discrimination between Tubers and Clods (Part 2), 第67回農業機械学会年次大会講演要旨, P305-306, 2008年3月29日(宮崎市 宮崎観光ホテル)
- ⑤A. A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, Potato and Clod Discrimination Using UV Camera and Dynamic Thresholding, 農業機械学会北海道支部第58回年次大会講演要旨, P52-53, 2007年9月20日(帯広市 とかちプラザ)
- ⑥アーマッド アリ アルマラヒ, 片岡 崇, 岡本博史, 端 俊一, Development of Machine Vision System for

Discrimination Between Potato Tubers and Clods, 農業環境工学関連学会 2007 年合同大会講演要旨集 (CD-ROM), 2007 年 9 月 14 日 (府中市 東京農工大学)

⑦アーマッド アリ アルマラヒ, 片岡 崇, 岡本博史, 端 俊一, Distinguishing Potato Tubers and Clods by the Significant Wavebands, 農業環境工学関連学会 2007 年合同大会講演要旨集 (CD-ROM), 2007 年 9 月 12 日 (府中市 東京農工大学)

⑧Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, S. Hata, Distinction between Potato Tubers and Clods for Potato Harvesting Using Machine Vision, Preprints of 3rd IFAC International Workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, P171-176, 2006 年 9 月 9 日 (札幌市 札幌コンベンションセンター)

⑨A. Al-Mallahi, T. Kataoka, H. Okamoto, S. Hata, Image Analysis for Automated Grading for Potato Tubers and Clods on Potato Harvester, 農業機械学会北海道支部第 57 回年次大会講演要旨, P17-18, 2006 年 7 月 15 日 (帯広市 とかちプラザ)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片岡 崇 (KATAOKA TAKASHI)
北海道大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：40231253

(2) 研究分担者

端 俊一 (HATA SHUN-ICHI)
北海道大学・大学院農学研究院・元教授
研究者番号：40003115
和田龍彦 (WADA TATSUHIKO)
北海道大学・大学院農学研究院・名誉教授
研究者番号：90002112
岡本博史 (OKAMOTO HIROSHI)
北海道大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号：40322838

(3) 連携研究者

なし