

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	DIMAS FIRMANDA AL RIZA
論文題目	Potato surface defect detection using machine vision systems based on spectral reflection and fluorescence characteristics in the UV-NIR region (紫外から近赤外領域の分光反射および蛍光特性に基づいたマシンビジョンによるジャガイモ表面の欠陥検出)		
(論文内容の要旨)			
現在、ジャガイモの国内需要は増加しているにも関わらず国内生産量は減少傾向にあるため輸入量が増加している。そのため歩留まりを維持し、損失を削減するために新しい品質評価技術が求められている。その際、表皮の欠陥は品質を決定し、価格に影響を与えるため、ジャガイモの選別において重要な評価基準となっている。そのセンサとしてマシンビジョンが一般的であるが、表皮に付着した土壌等と特徴が酷似しているそうか病は、通常のソフトウェアでは判別が困難である。本研究ではそうか病部位を初めとして、毒素であるソラニン等を含む緑化部位、機械損傷部位を、健常部位あるいは付着土壌と識別可能なマシンビジョンシステムの開発を目的としている。そのハードウェアの仕様を決定するため、まず紫外から近赤外までの広帯域な分光特性を調査した後、判別精度の高い波長帯を明らかにし、マシンビジョンによる検出可能性を検証した。 本論文は6章で構成され、第1章では、研究背景および現状の問題点を示した後、研究目的が述べられている。第2章では、様々なジャガイモの表面欠陥に対して紫外から近赤外領域における拡散反射率を測定し、遺伝的アルゴリズムに基づく部分的最小二乗回帰（GA-PLS）で検出の可能性が検討された。この実験では2016年9月に収穫された140個のジャガイモ（<i>Solanum tuberosum</i> cv. May Queen）が用いられ、判別に有効であると選択された波長帯は200-2400 nmのうち、A: 577-580 nm, B: 688-690 nm, C:916-918 nm, D:1132 nm, E:1651-1654 nmの5つで、キャリブレーション用サンプルで99%、バリデーション用サンプルで97.6%の判別精度を得た。 第3章では、可視領域と近赤外領域の両方の画像を同時に計測できる2 CCDカメラを用いて画像判別の可能性を調べた。実験には2017年9月に収穫された105個の同品種のジャガイモを使用し、そうか病、機械損傷、付着土壌について画像判別を行った結果、約64%の成功率を得た。 第4章では、近赤外領域に感度を持つInGaAs（インジウム・ガリウム・ヒ素）を受光素子に有するカメラを使用し、疑似カラーセグメンテーション法を組み合わせたマルチスペクトルイメージングによるジャガイモの外部欠陥部位と欠陥の程度の評価について調査した。本章では、近赤外の3つの波長帯域（950, 1150, 1600 nm）を用い、2018年9月に収穫されたジャガイモの各種欠陥と付着土壌の反射特性を比較した。その結果、欠陥部位は健全な皮に比べて近赤外線領域で反射率が高くなること、およびそうか病は機械的損傷と識別できることがわかった。乗算処理を使用した疑似カラー画像に対するしきい値ベースの分離においては、類似度を示すSørensen–Dice係数0.64、判別精度68.53%を得た。また、欠陥の有無だけでなく、その重症度の評価結果との相関においては決定係数（R^2）0.84を得た。 第5章では、紫外線励起蛍光イメージングによる緑化部位、機械損傷部部位、芽の判別を試みた。まず、これらの欠陥部位と健常部位の励起蛍光マトリクスデータを取得し、入手が容易で産業的にメリットのある365 nmの紫外線励起による蛍光画像を入力して検討した。その結果、通常のカラ画像と比較して紫外線励起蛍光画像はこれらの欠陥部位を判別するのに有効であると結論づけた。			

第6章では、各章を総括するとともに、可視から近赤外領域、近赤外画像ならびに紫外励起による可視画像それぞれの特徴に基づき、そうか病部位、緑化部位、機械損傷部位、付着土壌部位の判別を行う際の最適な手法を提案することで、ジャガイモ表皮を適切に計測可能なシステムが構築できると結論づけている。また、種々の波長を用いた画像を組み合わせる場合のメリットのみならず、デメリットについても指摘し、実用的なシステムの提案を行うことで締めくくっている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、マシンビジョンによるジャガイモ表面の欠陥検出技術の開発を目指し、ジャガイモ (*Solanum tuberosum* cv. May Queen) を対象として波長200-2400 nmの分光特性に基づくそうか病部位、緑化部位、機械損傷部位等と付着土壌を識別する画像計測手法について論じられたものである。本論文では、欠陥識別に重要となる波長帯の探索、特性の異なる3種類のイメージングシステムが提案されており、評価できる点は以下の通りである。

1. ジャガイモ表面の欠陥(そうか病、緑化、機械損傷等)、健全皮、付着土壌の光学特性はそれぞれ異なり、欠陥識別に重要な波長帯は577-580 nm, 688-690 nm, 916-918 nm, 1132 nmおよび1651-1654 nmの5つであることを示した。
2. 可視画像と近赤外画像の組み合わせが可能な2 CCDカメラを用いることで、そうか病、機械損傷、付着土壌が判別できることを明らかにした。
3. 900-1800 nmの近赤外領域に感度を持つカメラを用い、そうか病、機械損傷、付着土壌の判別可能な3つの波長域を用いたマルチスペクトル画像で識別した結果、欠陥の程度まで検出できることを示した。また、近赤外光は土壌の透過性が可視光に比べて高いことを示し、土壌に覆われたそうか病の検出も可能であることを見出した。
4. 紫外励起蛍光画像を用いることで、機械損傷、緑化および芽の検出が容易になることを明らかにした。

以上のように、本論文はジャガイモ表面の可視 - 近赤外の拡散反射分光および蛍光特性に基づくマシンビジョンシステムによって、品質評価技術の実現可能性を示したものであることから、農産物の情報化に関して大きな貢献が期待される。このことから生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和元年8月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降(学位授与日から3ヶ月以

内)