

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24580383

研究課題名(和文) 偏光フィルタを使用した農産物の高品質画像取得に関する研究

研究課題名(英文) High-Quality Image capturing system of Agricultural Products using Two Polarizing Filters

研究代表者

西脇 健太郎 (Kentaro, Nishiwaki)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・大規模畑作研究領域・上級研究員

研究者番号：40355269

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：画像処理による非破壊検査によって、農産物の品質を迅速かつ高精度に計測する技術を開発するため、2枚の偏光フィルタを使用した撮影システムを提案し、農産物表面で生じる鏡面反射光(この光は単なる反射光であるため、農産物の色情報を含んでいない)を取り除いた高品質画像を取得することができることを示した。さらに、収穫ロボットへの応用を想定し、太陽を光源とする屋外環境へも適用できること、農産物によってフィルタの設置角度の許容誤差が異なることを示した。本成果を活用することで、国産農産物の付加価値を高め、国際競争力を向上させることが期待される。

研究成果の概要(英文)：An image capturing system that use two polarizing filter was proposed to realize rapid and precise non-destructive quality measuring system for agricultural products. Various agricultural products are captured and analyzed in this study. From the results, it was observed that the polarizing filtering technique was useful to capture high quality image that specular reflected rights were eliminated. The system was operational under outdoor condition where the system relay on the Sun for its light source, and the angle tolerance for the two filter varied according to a kind of agricultural products. Research results are expected to increase added value of agricultural products, and lead to improve international competitiveness of domestic agriculture.

研究分野：農業機械

キーワード：偏光フィルタ 農産物 ハレーション 画像処理

1. 研究開始当初の背景

TVカメラは、農作業の自動化には必要不可欠なセンサであるが、屋外に多くある農業生産現場では、光源に太陽を利用せざるを得ないため、光環境を制御することが難しい。植物表面で生じるハレーション(鏡面反射成分によって白く光ってしまう現象)や作物の影等のノイズが不規則に生じ、数多くの場合分けを必要としたり、適用場面を限定せざるを得なくなるなど、幅広い条件において安定して動作する画像処理アルゴリズムを構築することが容易でない。また、ハレーションおよび屋外における陰等の極端な照度の差等によって物体本来の色が正確に画像で捉えられていないことも多い。

一般に農産物は2種類の方法で光を反射する。1つは表面のクチクラ層で起きる鏡面反射で入射光と同じ色、偏光方向を持っている、もう1つは農産物の表面に浅く進入した後、再度表面に戻ってくる散乱反射で、細胞内を通過する際に色の吸収や再偏光を受けるため、農産物固有の色を持っているほか、様々な偏光方向を持った光として出力される。一方、2枚の偏光フィルタを照明とカメラの前に、それぞれの偏光格子が直交するように設置することで、鏡面反射成分をカットし、物体固有の色だけを効果的に撮影できることが知られている。これを応用し、青果物の選別技術に導入しようとした研究が蛍光灯等では報告されているものの、熱に弱く、約60度で溶け始める偏光フィルタを、価格、輝度、演色性に優れているが高温となるハロゲンランプと共に用いることは困難とされていた。しかし、近年、熱吸収フィルタと冷却空気を利用することでその問題を克服した偏光フィルタ付きハロゲンランプの照明装置が開発され、選果施設に導入され始めている。しかしながら、未だに偏光フィルタを用いたときの農産物の色再現性、および拡散板、反射板を用いたときのハレーション、植物体表面への写り込み等による影響を定量的に計測した報告はない。光環境の安定しない屋外においては、鏡面反射成分を取り除くための数々の報告があるが、植物を対象として偏光フィルタの効果の詳細に調べた報告はされていない。

2. 研究の目的

本研究は、高品質な農産物画像を取得する際に、1組の直交させた偏光フィルタを採用し、その効果を明らかにし、農業現場で利用するための指針を示すことを目的としている。そのために、屋内において、偏光フィルタを用いた照明方式と反射板、拡散板による照明方式を比較し、偏光フィルタの色再現性を定量化する。同時に、種々の農産物、農作物の表皮の物理的特性(クチクラ層の厚さ、表皮細胞の形状および配列状態、繊毛の有無など)と光沢およびハレーション等との関連を明らかにする。また、屋外での太陽光の環

境下において、陰および日なたでの効果の差および農作物の光沢の相違による効果の差を定量化する。さらに、2枚の偏光フィルタの角度調整の許容範囲と対象物表皮の光沢等との関係を明らかにし、偏光フィルタ利用のための指針を示すことを試みた。

3. 研究の方法

研究1. 偏光フィルタによる農産物の高品質画像の取得

偏光フィルタの効果、色再現性を定量化するため、光源の前に拡散板を用いた直接照射方式の装置、光源をドーム壁面に向け、壁面からの2次間接光を利用した間接照射方式の装置、ハロゲンライト+偏光フィルタを照明に用いた直接照射方式の装置。以上の3種類の照明装置を作成し、屋内において農産物を撮影して比較実験を行った。対象物として、A:ピーマン、リンゴ等の光沢が大きい物、B:桃、キウイ等の果皮に繊毛を持つ物、C:バナナ、ダイコン等の光沢が小さい物を分類して用意した。これらの材料を装置から照らし、偏光フィルタを装着したカメラで画像入力した。

取得画像を各成分8bitのHIS画像に変換したのち、撮影画像の評価を行った。ハレーションは鏡面反射光によって生じるため、HIS画像のS(Saturation)成分を低下させる。そこで、Sの値が128以下になった画素ではハレーションが起きているとみなし、画像の評価をおこなった。

研究2. 屋外における太陽を光源とした偏光フィルム付き撮影装置の効果の検証

屋外において、太陽光の環境下で高品質画像を取得し、晴天時・曇天時における効果の差を調べるため、以下の装置を作成し、実験を行った。鋼材を使って直方体のフレーム(1m×1m×0.8m)を作り、その上面に天板として偏光フィルムを貼り付けた。側面は遮光カーテンで覆い、偏光フィルタによって直線偏光されたものだけがフレーム内に到達する構造とした。フレーム内に2台の同じCCDカメラを設置し、そのうち片方のカメラレンズの前面に2枚目の偏光フィルタを装着した。これは、太陽の高度、雲等の影響で照度、色温度が時々刻々と変化する屋外で、光条件が同じ2種類の画像を取得するためである。対象物には、コーヒーを使用した。撮影は様々な気象条件下で行った。

また、本装置を農業生産現場に応用する場合には側面の遮光カーテンが作物と干渉し、完全に遮光されないことも多いと考えられた。そこで、遮光の程度を3段階(全閉・半開・全開)に変化させ、側面からの漏れ光の入力画像に対する影響についても調査した。

研究3. 農作物を対象とした場合の2枚の偏光フィルタの設置許容角度の検討

農作物には光沢の程度に差があり、たとえ

ば、大豆のように光沢の少ないものに対しては、必ずしも、非常に高い精度で2枚目の偏光フィルタの相対角度を調整する必要はない。現実問題として、偏光フィルム自体のゆがみもあるばかりか、側面からの漏れ光の影響もある。これらのことより、農作物を対象とした目的対象物の特性に合わせた実用的な分解能およびシステムの仕様を決定することが重要である。そこで、カメラ前に設置した偏光フィルタの設置角度を変化させながら農産物を撮影し、フィルタの角度とハレーション発生との関係を調べた。また、ハレーションが最も強く観察された3×3画素の領域に注目し、フィルタの角度と Saturation の変化について調べた。

4. 研究成果

研究1. 偏光フィルタによる農産物の高品質画像の取得

装置 では、局所的に強いハレーションが観察された。装置 では、材料近傍のドーム壁面が表皮に映り込みを起こし、広範囲にわたり薄白く（ドームの内側はつや消しの白）撮影された。このように偏光された光を使用しない場合には、対象物が白く光ることを防ぐことが困難であった。一方、装置 では材料によって再偏光された散乱光成分だけが、カメラに到達するため、ハレーションをカットすると同時に、農産物固有の色を効果的に取得することが可能であった（図1）。

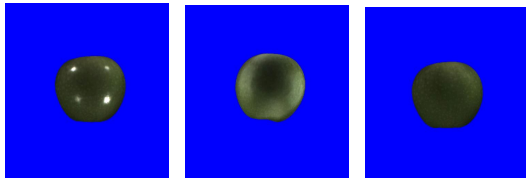


図1 各撮影装置での撮影例（青リンゴ）
（左から順に、撮影装置 、 、 ）

撮影した画像を HSI 画像変換し、Saturation に注目してハレーションが起きている領域を抽出したところ、光沢のある農産物、繊毛を持つ農産物、光沢の小さく農産物、すべ他の場合において。装置 を使用した場合にハレーションを抑えた高品質画像を取得できることが確認され、偏光フィルタを使用した撮影装置の有用性が示された（図2）。

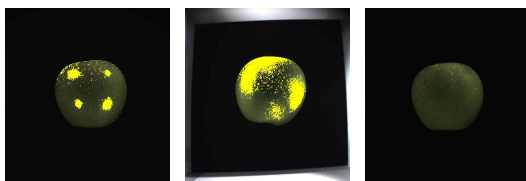
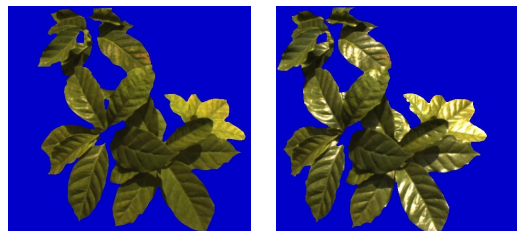


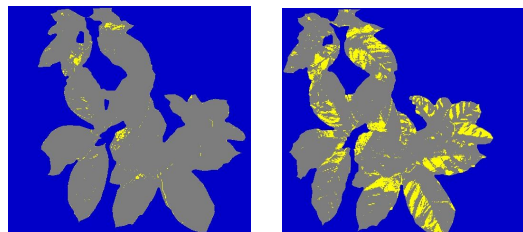
図2 ハレーション領域抽出例（青リンゴ）
（左から順に、撮影装置 、 、
黄色いハレーション領域が少ないほうが品質の高い画像となる）

研究2. 屋外における太陽を光源とした偏光フィルム付き撮影装置の効果の検証

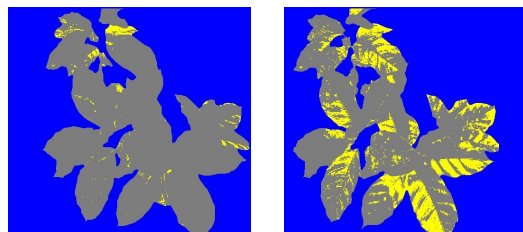
図3に快晴時に取得した画像を示す。どちらも、葉以外の部分を青くマスクしている。光源が点（太陽）であること、対象物が複雑な形状をしていることから、どちらの画像にも影が存在し、露光不足となった。また、偏光フィルタ無しの場合には多数のハレーションが観測された。図4に露光不足部分（輝度<25）とハレーション発生部分（ $S < 128$ ）を不良部分として黄色でマスクした画像を示す。葉に占める不良面積の比率を計算すると、偏光フィルタを使用した場合は1%、使用しない場合は16%となった。図5に曇天時に取得した画像に対し、不良部分をマスクした画像を示す。葉に占める不良面積を計算すると、偏光フィルタを使用した場合は1%、使用しない場合は24%となった。晴天、曇天いずれの場合も、偏光フィルタを使用することにより不良面積が大幅に減少しており、屋外に於いて、太陽を光源とした場合においてもフィルタの有効性が示された。



偏光フィルタ有り 偏光フィルタ無し
図3 屋外における取得画像（快晴時、110k lux）



偏光フィルタ有り 偏光フィルタ無し
図4 不良部分をマスクしたもの（快晴時、110k lux）



偏光フィルタ有り 偏光フィルタ無し
図5 不良部分をマスクしたもの（曇天時、50k lux）

撮影装置側面の遮光カーテンを開閉した様子を図6に、それぞれにおいて葉全体に占める不良部分の割合を計測した結果を図7

に示す。ここでも、偏光フィルタの使用により、不良領域を大幅に削減できることがわかる。また、遮光カーテンを半開した場合であっても、不良領域を3%以下に抑えることが可能であったことから、作物生産現場では側面からの入射光をおおよそ50%以下に制限することにより、比較的品质の良い画像を取得できると考えられる。



図6 撮影ボックス遮光カーテンの開閉

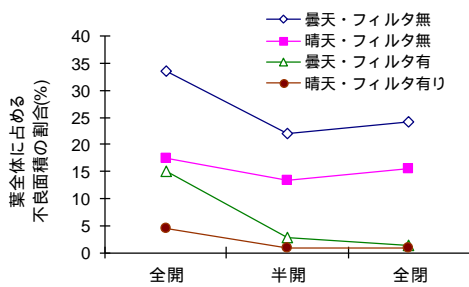


図7 遮光カーテン開度と不良面積の関係

研究3．農作物を対象とした場合の2枚の偏光フィルタの設置許容角度の検討

カメラ前に取り付けられた偏光フィルタ(図8)の設置角度を、理想的な状態から変化させながら取得した農産物画像を図9に示す。フィルタを回転させていくと、ハレーション領域が増大していくことが観察された。また、ハレーションが初めて観察される角度(図中に角度を表示)は農産物によって異なり、光沢の強い農産物は少ない角度から観察され始めることがわかる。

ハレーションが最も強く観察された領域におけるフィルタの角度と Saturation の値の関係を図10に示す。フィルタを理想的な位置から回転させていくと Saturation が低下していくこと、光沢の強い農産物は低下率が大きく、光沢の弱い農産物は低下率が小さいことが読み取れる。さらに、ハレーションが初めて観察される角度(図10 矢印)は、理想的な角度における Saturation の値よりも10%程度低下した位置で観察される場合が多かった。この10%低下点を利用し、ハレーションの発生を客観的に評価できる可能性がある。

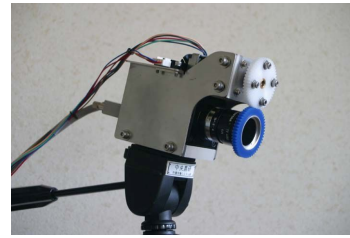


図8 カメラ、および、ステッピングモータで角度設定可能な偏光フィルタ

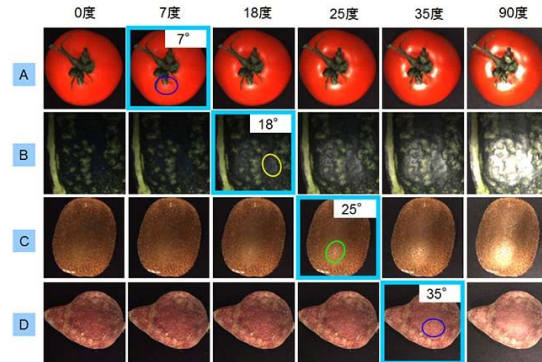


図9 偏光フィルタの設置角度とハレーションの関係

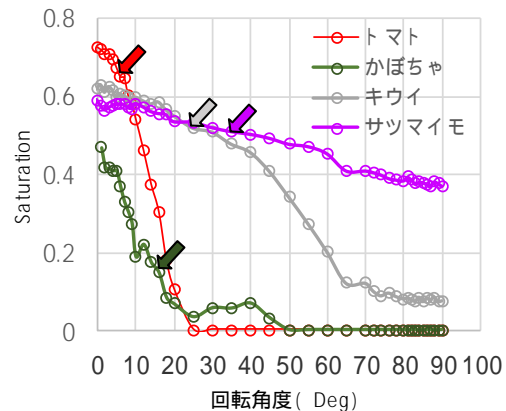


図10 偏光フィルタの設置角度と Saturation の関係(目視により初めてハレーションが観察されたところを矢印で示す。)

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0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西脇 健太郎 (NISHIWAKI Kentaro)
国立研究開発法人 農業・食品産業技術
総合研究機構・北海道農業研究センター・大
規模畑作研究領域・上級研究員
研究者番号：40355269