

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580382

研究課題名(和文)イチゴ植物工場を核とする群落生育診断技術の開発

研究課題名(英文)Development of a diagnose technique for plant growth using strawberry plant factory

研究代表者

林 茂彦(hayashi, shigehiko)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・本部総合企画調整部企画調整室・上席研究員

研究者番号：80391530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：イチゴの循環式移動栽培における効率的な栽培管理を目指し、非破壊非接触で群落の3次元情報、果実情報(数、大きさ)を推定し、栽培ベッド毎に個別管理可能な計測システムを開発した。各情報は、カラー画像と距離画像を組み合わせた画像処理アルゴリズムによって抽出を行った。

イチゴ群落の3D再構築により任意の断面で草高や幅を推定でき、2.5ヶ月間経時的に計測した結果、推定値から経時変化の観察が可能であった。果実の情報に関しては、赤色果実同士の重なりを距離情報によって分離することで着果密度によらず約95%の精度で計数できた。さらに、果実の大きさを推定した結果、推定精度はRMSEP12%であった。

研究成果の概要(英文)：Aiming at effective plant management of a strawberry production using a movable bench system, we developed a non-destructive sensing system which gets growth information of strawberry plant community as well as fruit information (number and size). Image processing algorithm was designed to extract these features from color and depth images.

Analyzing the reconstructed three dimensional data from plant community, plant height and width could be estimated at arbitrary profile. Chronological change of size of the plant community had been observed for two and a half months. Consequently it was revealed that the predicted growth data had a high correlation with the actual data. Regarding to fruit information, an accuracy for counting mature fruits reached approximately 95% using the depth information even in the condition of high fruit-density in a planting bed. Furthermore, RMS percentage error of the size estimation was 12%.

研究分野：植物環境工学

キーワード：画像処理 画像計測 植物工場 距離情報 イチゴ 生育情報

1. 研究開始当初の背景

新たな食料生産方式として、移動栽培装置を用いたイチゴ植物工場の開発に取り組み、移動栽培装置のアクセスポイントにおける生育診断技術の可能性に着想した。農作物の生育診断技術に関しては長年に渡り数多くの研究が行われ、SPAD 値のほかクロロフィル蛍光画像解析による生育情報の測定も可能になっているものの、測定対象が個体または群落の局所部位であることから、サンプリング誤差が生じるという課題が残っている。

2. 研究の目的

本研究では、ほぼ毎日アクセスポイントを通過する全てのイチゴを対象とし、高頻度・高精度で群落や果実の生育情報をモニタリングすることにより、斉一性などを評価する情報収集技術を開発する。これによりイチゴ植物工場における計画的な生産体系を実現するための研究基盤の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 循環式移動栽培装置の横移送ユニットへの組み込みを想定して、栽培ベッドを一定速度で移動させながらカラー画像と距離画像を取得でき、栽培ベッド毎の個別認識が可能な生育情報計測システムを開発する。

(2) 取得したイチゴ群落の色画像および距離画像をもとにイチゴ群落の 3D 再構築を試み、その精度を評価した。品種「あまおとめ」を 8~12 株栽植した栽培ベッド(長さ 1m)を 10 台供試した。供試作物の草高(最大値)は 27~39cm、幅(最大値)は 61~83cm であった。

(3) 上記(2)で開発した 3D 再構築手法を用い、2013 年 10 月 23 日から翌年 1 月 14 日までの間、2 日から 7 日おきにイチゴ群落の 3 次元情報を取得してその経時変化を解析した。

(4) 色情報と距離情報を組み合わせて同色果実の重なりを分離することを主な特徴とした果実計数アルゴリズム(RGB+TOF 処理)を開発し、「紅ほっぺ」を栽植した 1m の栽培ベッド 8 台(25.8 果/栽培ベッド)および「あまおとめ」の 14 台(6.6 果/栽培ベッド)を供試して精度を評価した。また、色情報のみを用いた果実計数アルゴリズム(RGB 処理)による計数結果と比較することで、距離情報を利用する有効性を検証した。

(5) 果実計数のために検出した赤色果実の最大径を推定するアルゴリズムを開発し、生育中の「紅ほっぺ」(栽培ベッド 12 台)を供試して着果状態別に測定精度を評価した。なお、着果状態は、果実の重なりが無く全体が見える「単独(A)」、色情報による果実領域の分離が困難な「赤色果実の重なり有り(B)」、色情報による分離はできるが果実全体が見

えない「下方に未熟果実有り(C)」および「赤色果実の重なりと下方に未熟果実有り(D)」の 4 つに分類した。

4. 研究成果

(1) 生育情報計測システムは、栽培ベッドの上方から RGB-depth センサ(Kinect)、下方から RGB カメラと TOF センサで撮影することにより、イチゴ群落画像および果実周辺の色情報と距離情報を取得できる。栽培ベッドを 16mm/s で移動させながら時系列で画素列を合成することで、栽培ベッドの長短に左右されず全体画像の取得が可能である。また、各栽培ベッドに搭載した RFID タグと横移送開始位置に設置したアンテナを介して該当の栽培ベッド番号と取得情報とを関連付ける栽培ベッド識別機能を有している(図 1)。

(2) イチゴ群落の 3D 再構築の結果、任意の断面における草高と幅を推定でき、距離情報をもとに葉領域のカラー情報を得ることができた(図 2)。推定した草高と幅の最大値を実測値と比較した結果、誤差は草高で平均 1.6cm であり、幅で平均 3.7cm であった。

(3) およそ 2.5 ヶ月の測定期間中、草高の測定誤差は平均で 1.2cm であり、幅で -0.67cm であった。草高および幅の実測値と推定値の経時変化の比較を図 3 に示す。この図は一例であるが、供試した全 10 台の栽培ベッドにおいて、実測値と推定値の間に誤差が生じるものの同様の变化傾向を観察できたことから、イチゴ群落変化が概ね把握できる見込みが得られた。

(4) 取得した栽培ベッドの全体画像(カラー画像、距離画像)、RGB 処理結果、RGB+TOF 処理結果の例を図 4 に示す。品種「あまおとめ」では、距離情報を使わない RGB 処理で計数成功率(正検出数/対象果実数)が 90.3%であったのに対し、距離情報を用いた RGB+TOF 処理により計数成功率が 96.8%に向上した。一方、「紅ほっぺ」では、RGB 処理で計数成功率が 74.3%と低かったが、距離情報を用いた RGB+TOF 処理では計数成功率が 94.7%であり、栽培ベッドの着果密度に影響を受けることなく計数可能であることがわかった。

RGB+TOF 処理による未熟果実の計数成功率は、「あまおとめ」で 69.6%、「紅ほっぺ」で 71.2%であり、距離情報を用いることによる精度向上は認められなかった。特に、肥大前の緑色果実はサイズが小さく、かつ葉裏と同系色であるため、検出が困難であった。ただし、高い位置に着花する花等を距離情報によって除去することで、誤検出数を削減できることが確認できた。

今後、未熟果実の計数成功率を向上させるためには、葉やガクと未熟果実の正確な識別を行うことが重要であり、各部位の反射スペクトルの違いを用いた認識手法を導入する

などの方策が考えられる。

(5) 全 12 台の栽培ベッドには、赤色果実が 187 果あり、果実計数アルゴリズムによって 180 果の果実を検出できた。図 5 に着果状態別の大きさ推定結果を示す。着果状態 (A) では、実測した最大径に対する推定径の RMS 誤差は 5.6% (1.6mm) と良好な精度を得た。着果状態 (C) では、RMS 誤差は 8.2% (3.1mm) となり、着果状態 (A) より誤差が大きかった。これは、未熟果実により対象果実が隠れているため、果実の一部のみを計測したためと考えられた。着果状態 (B) では RMS 誤差 16.5% (5.1mm)、着果状態 (D) では RMS 誤差 11.6% (5.1mm) で、着果状態 (A) や (C) に比べて精度が低下した。これは、着果状態 (B) および (D) の 73 果の果実のうち、赤色果実同士の重なり領域を明らかに間違っ分分離した果実が 14 果あり、RMS 誤差が 27.4% (8.9mm) と大きくなったからである。着果状態により測定精度にバラツキが生じたものの、全 180 果の果実径の実測値に対する推定値の RMS 誤差は 12.2% (3.7mm) で、概ね良好と判断された。

今後の課題として、推定した果実径を生育情報として利用し、収量予測へ適用するために、本測定手法により生じた誤差が予測収量にどのように影響するかを調べる必要がある。そのため、経時的な計測データなどの活用が一つの方策と考えられた。

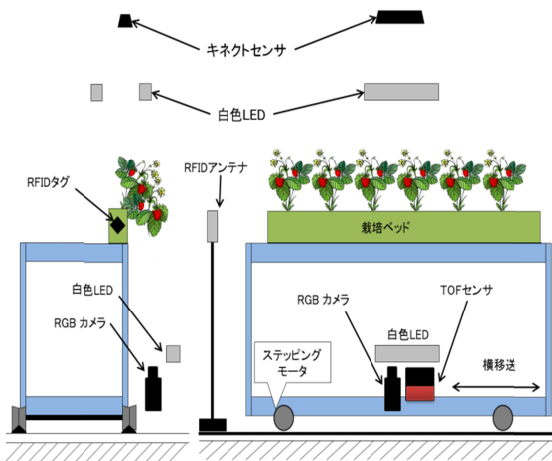


図 1 生育情報計測システム

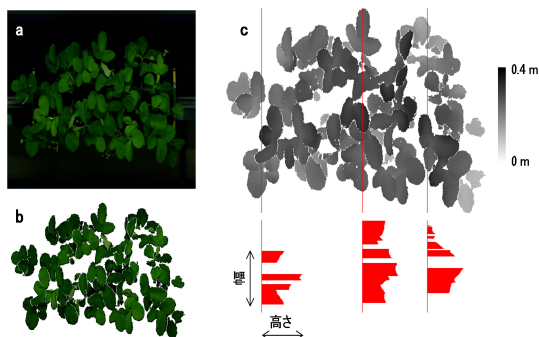


図 2 3D 再構築の結果 a) 合成したカラー画像、b) 葉領域のカラー情報、c) 合成した距離画像と任意断面における草高・幅の分布

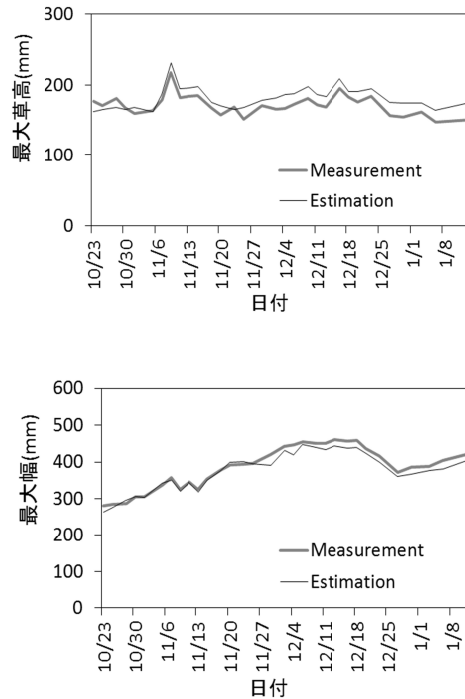


図 3 イチゴ群落の草高と幅の経時変化

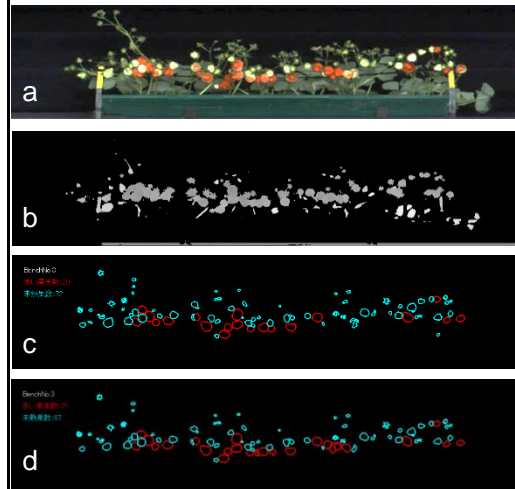


図 4 栽培ベッドの全体画像および果実検出結果例

a) RGB 画像、b) 距離画像、c) RGB 処理結果、d) RGB+TOF 処理結果

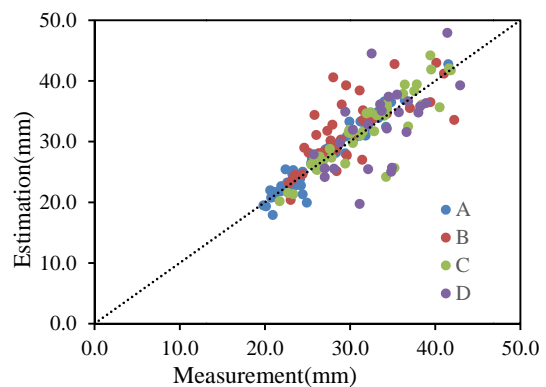


図 5 イチゴ果実の着果状態別大きさ推定結果
A: 単独 (60 果)、B: 赤色果実の重なり有り (45 果)、C: 下方に未熟果実有り (47 果)、D: 赤色果実の重なりと下方に未熟果実有り (28 果)

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4件)

Satoshi YAMAMOTO, Shigehiko HAYASHI, Shogo Tsubota, Growth Measurement of Plant Community of Strawberries Using 3D Sensor, Environmental Control in Biology, 査読有、印刷中、2015、印刷中

坪田将吾・山本聡史・手島司・林茂彦、イチゴの循環式移動栽培における果実計数手法の開発、植物環境工学、査読有、印刷中、2015、印刷中

S. Yamamoto, S. Hayashi, S. Saitoh, Y. Ochiai, Y. Takeshima, K. Imou, K. Saga and S. Tsubota, Basic study on non-destructive growth measurement of strawberry plants using a machine-vision system, Acta Horticulturae, 査読有、1037、2014、651-656

林茂彦・武下大作・山本聡史・齊藤貞文・佐賀清崇・芋生憲司、未熟果実認識によるイチゴ収穫ロボットの衝突回避制御、植物環境工学、査読有、25(1)、2013、27-35

[学会発表](計6件)

坪田将吾・山本聡史・手島司・林茂彦、画像処理を用いた循環式移動栽培におけるイチゴ果実の大きさ推定、日本生物環境工学会 2014 年東京大会、2014 年 9 月 8 日～2014 年 9 月 11 日、明治大学(東京都千代田区)

S. Yamamoto, S. Hayashi, Y. Ochiai, Y. Takeshima, K. Imou, K. Saga, S. Tsubota, Basic study on non-destructive growth measurement of strawberry plants using a machine-vision system, Greensys2013, 2013.10.6～2013.10.11, Jeju (Korea)

山本聡史・林茂彦・坪田将吾・落合良治、移動栽培技術と組み合わせたイチゴ群落の生育情報の測定、日本生物環境工学会 2013 年高松大会、2013 年 9 月 2 日～2013 年 9 月 5 日、香川大学(香川県高松市)

坪田将吾・林茂彦・山本聡史、画像処理を用いた循環式移動栽培における果実計数手法、日本生物環境工学会 2013 年高松大会、2013 年 9 月 2 日～2013 年 9 月 5 日、香川大学(香川県高松市)

Shigehiko HAYASHI, Satoshi YAMAMOTO, Sadafumi Saito, Yoshiji Ochiai,

Hiroyuki Inazumi, Shogo Tsubota, Development of Movable Bench System for Strawberries and the Potential for Plant Growth Measurement, AGRICONTROL2013, 2013.8.28～2013.8.30, Espo (Finland)

Satoshi YAMAMOTO, Shigehiko HAYASHI, Sadafumi Saito, Yoshiji Ochiai, Measurement of Growth Information of Strawberry Plant Using a Natural Interaction Device, 2012 ASABE annual international meeting, 2012.7.29～2012.8.1, Dallas, Texas (USA)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林茂彦(Shigehiko Hayashi)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・本部総合企画調整室・上席研究員
研究者番号：80391530

(2) 研究分担者

山本聡史(Satoshi Yamamoto)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・生物系特定産業技術研究支援センター園芸工学研究部・主任研究員
研究者番号：20391526

手島司(Tsukasa Teshima)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・生物系特定産業技術研究支援センター園芸工学研究部・主任研究員
研究者番号：10391509
(平成26年度より研究分担者)