

(第5号様式)

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	戸田清太郎
審査委員	主査 高山弘太郎 副査 仁科弘重 副査 羽藤堅治 副査 奥田延幸 副査 鈴木保志

論文名 太陽光植物工場に実装可能な植物生体情報画像計測システム

### 審査結果の要旨

太陽光植物工場は、植物の生育状態にあわせて光・気温・湿度・CO<sub>2</sub>濃度等の様々な環境要因を制御することで作物の安定生産を通年で維持する施設である。しかしながら、植物の生育状態の見極めが人間の観察、経験と勘に基づいていることが太陽光植物工場における生産に残された最後かつ最大の不安定要素である。そのため、本研究では、スピーキング・プラント・アプローチ (SPA) 型太陽光植物工場への実装を念頭においた多元的植物画像計測技術を開発することを目的として、クロロフィル (Chl) 蛍光画像計測による光合成活性診断の高度化を目指した Chl 蛍光インダクションカーブの解析技術の開発、さらには、同化産物の分配先 (主要なシンク) である茎・葉・果実の日単位の変化を計測する各種画像計測技術の開発を行っている。

第1章では、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、クロロフィル (Chl) 蛍光画像計測による光合成活性診断の高度化を目指した Chl 蛍光インダクションカーブの解析技術の開発を行っている。具体的には、Chl 蛍光インダクションカーブの Slow phase を 6 次式で近似し、インダクションカーブ中の特徴点である S 点および M 点の特定プロセスの自動化を行っている。インダクションカーブの形状解析を行うことで光合成活性の診断が可能となっているが、形状解析に用いるインダクションカーブの特徴点である S 点および M 点の特定が人間の判断に基づいていることが、光合成活性の数値評価指標である P/S や M/S の再現性を損なっていることが喫緊の課題であった。そこで、S 点および M 点の特定プロセスの自動化を行った。S 点および M 点が含まれる Chl 蛍光インダクションカーブの Slow phase に着目して、これを数理モデルで表現することを試

みた。その結果、6次関数式がインダクションカーブの Slow phase によく近似することが確認され、得られた近似式を用いて S 点および M 点を特定するアルゴリズムを開発している。

第3章では、トマト個体群を対象とした日単位の茎伸長計測システムの開発を行っている。具体的には、市販の Ch1 蛍光画像計測ロボットを用いて、作物個体群を対象とした Ch1 蛍光画像計測を行い、画像計測部を個体群の茎頂の高さに固定した状態で水平方向に移動しながら連続的に Ch1 蛍光画像を取得することで茎頂高を計測(茎頂の y 座標[≒茎頂高]を目視で確認)し、前日と当日の茎頂高の差分を日単位の茎伸長量としている。ロボットを用いた高さ計測の精密さの検証として、30 mm × 40 mm の方形蛍光シートを計測対象レーン上のほぼ同一の高さに 0.4 m 間隔で 40 箇所を設置し、5 回の反復計測を行った。その結果、高さ計測の再現性は 0.01 %以内であることを確認した。この結果に基づいて、70 日間連続の茎伸長計測を行った。その結果、茎伸長量の日単位のダイナミックな変化を把握することに成功した。第4章では、トマト個体群を対象とした日単位の葉量計測システムの開発を行っている。具体的には、茎伸長計測システムと同様の方法で Ch1 蛍光画像を取得し、各画像の中央部 10%の輝度 30 以上の pixel 数の積算値を葉量としている。葉面積との相関解析を行うことで両者に強い正の相関があることを確認し、葉量を計測することで葉面積の変化のトレンドを把握可能とした。その結果に基づいて、70 日間連続の葉量計測を行った。その結果、葉量とその変化量の日単位のダイナミックな変化を把握することに成功した。

第5章では、トマト個体群を対象とした果実計測システムの開発を行っている。具体的には、果実を対象とした日単位の变化の把握技術として、果実着色速度計測システムを開発している。白色光を照射しながらカラーカメラを用いて撮像した白色光反射画像(以降、カラー画像)を用いて、色相 319~360° および 0~40° , 彩度 140~255[0~255 が変域], 明度 30~255[0~255 が変域]のピクセルを赤色果実領域とした。なお、鏡面反射による白飛びの影響を低減するために、カラーカメラの左右に配置した白色 LED をそれぞれ個別に点灯させて取得した 2 枚のカラー画像の赤色果実領域の論理和をとることとした。愛媛大学農学部の太陽光植物工場で栽培されているトマト個体群を対象として 2 週間連続の果実計測を行った結果、成熟による日単位の赤色果実領域の増大、および、収穫による赤色果実領域の減少を捉えていた。なお、白飛び低減機能によって、色情報の欠落を約 19.2 %低減でき、本システムを用いることで、果実着色速度の正確な計測が可能になった。

以上、本研究から、Ch1 蛍光画像計測による光合成活性診断の高度化と同化産物の主な分配先である茎、葉、果実の生体情報を統合して把握可能とするシステムを開発するに至った。また、本システムを用いることで、太陽光植物工場で栽培されるトマト個体群の日単位の生体情報を取得できることが確認された。

本論文に関する公開審査会は令和 2 年 2 月 8 日に愛媛大学農学部で開催され、申請者の論文発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位論文審査会で本論文の内容を慎重に審議した結果、審査委員全員一致して、本論文が博士(農学)の学位を授与するに値するものと判定した。