

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	Agung Putra Pamungkas
審査委員	主査 羽藤 堅治 副査 森本 哲夫 副査 石川 勝美 副査 深井 誠一 副査 高山 弘太郎

### 論文名

Environmental Condition Assessment of Tomato Production Systems based on Speaking Plant Approach for Supporting Intelligent Control Systems

「知的制御システムを支援するためのスピーキング・プラント・アプローチに基づくトマト生産システムの環境条件評価」

### 審査結果の要旨

愛媛大学で長年研究されてきたスピーキング・プラント・アプローチ (SPA)に着目し、将来的なインドネシア農業の灌水などへの生体情報の利用も考慮に入れ本研究を行った。SPAにおける環境制御の特徴として植物の状態を診断し、その結果から制御値を決定することにある。本研究においては、将来的に知能的な環境制御を目指した環境状況の評価のために指標とモデルの検討を行った。本論文は、①人工ニューラルネットワーク (ANN) を利用した花の形状評価システムの検討、②ANN を利用したトマトの果実の収穫量、糖度、酸度の予測モデルの検討、最後に③トマト生育に重要な養液の灌水の自動化のために、環境条件からトマトの蒸散量を求めるモデルを作成し、最終的に灌水量のパターンを決定するシステムの検討の3つの研究から構成されている。

本研究で使用した植物材料は、愛媛大学植物工場において生産しているトマトを利用した。同時に植物工場で得られた環境・栽培などのデータを使用した。

人工ニューラルネットワーク (ANN) を利用した花の形状評価システムの検討は、植物の状態を診断するために成長点付近における形状の顕著な変化の観察できる花に着目し、その形状を診断するためのアルゴリズムの検討を行った。温度や水ストレスなどの影響による成長点付近の花の特徴としては、鬼花と呼ばれる奇形花の発生数割合が増大する傾向が観察される。そこで、花の形状を診断し、奇形花を判定するシステムの開発を行った。花の形状診断にはデジタルカメラで撮影された画像から、背景を除去し花だけを切り出す前処理を行うプログラムを作成した。画像処理は、黄色の花を持つけだしマスクングした後に、背景の削除を行った。ANN はバックプロパゲーション法による学習方法を使用した。学習のための教師信号としては、正常な形状の花と奇形の花の画像をそれぞれ100枚用意した。その結果、花の状態を見分けるために最適な ANN における中間層のニューロン数は40、学習回数は10000回であることが判った。また、この方法による奇形花の判定は70%程度であったが、今後は、

前処理の方法を改善することで、高めることが出来ると考えている。

次に、ANN を用いてトマト果実の 1 週間の収穫量と果実の重さを予測するモデルを作成した。モデルの入力データは、生体情報として 1 週間の平均の植物の先端における伸び、葉の長さ、茎径を使用し、環境情報としては気温、湿度、光量を使用した。生体情報の計測は、3 日おきにメジャーと目視によって計測を行った。環境情報は、植物工場の環境制御用コンピュータの設定値と、実測値を利用した。学習用の果実のデータは、3 日おきに果実の大きさと 1 本当たりの収穫量を選果機によって計測した。収穫量の予測モデルは、1 週間分をまとめて予測するシステムとした。その結果、モデルによる 1 週間の果実の収穫量と 1 個あたりの重さについての推測値と実測値の相関  $R^2$  は、それぞれ 0.77 と 0.85 であった。このことから収穫果実の大きさと収穫量については、環境データと生育データから予測することが可能であることを示すことができた。

最後の実験では、植物工場などの養液栽培において最も重要な灌水の評価に取り組んだ。トマトの水吸収量は蒸発散 (ET) と関連している。ET 予測は作物の水の使用つまり灌水パターンの決定に必要である。そこで、蒸発散量 (ET) を Stanghellini モデルを用いて予測した。Stanghellini モデルは、気象データ (太陽放射、気温、相対湿度、および風速など) と植物の生育データ (葉面積指数など) を入力として、蒸散速度を予測した。モデルの作成は MATLAB を利用した。MATLAB を選んだ理由は、世界的に標準的なモデル作成ツールで有ること、モデルの変更やパラメータの検討に掛かる手数が、プログラム言語による手法と比較し圧倒的に少ないことにある。また、今後さらに複雑なモデルの検討や路地における灌水モデルにも簡単に応用できる。モデルにおいては、様々な要因のパラメータの影響について検討を行うことが出来た。とくに、灌水量を通常の状態を 100% とし 70%、35% 区を設け水ストレスのパラメータとした。水ストレス区における収穫量と糖・酸度のデータを使用することにより、高糖度トマトにも対応できるようにした。その結果、モデルによる蒸散量の推定値と実測値の相関  $R^2$  は、0.86 と高かった。また、蒸散量から求めた灌水量については、灌水量の推定に有効であることを示すことができた。

本論文に関する公開審査会は、平成 26 年 (2014 年) 8 月 2 日 (土) に香川大学農学部において開催され、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審査委員会で本論文を慎重に審査し、審査員全員一致して博士 (学術) の学位を授与するに値するものと判定した。