

植物工場のための 問題解決環境

A PROBLEM SOLVING ENVIRONMENT FOR A PLANT FACTORY

眞鍋保彦¹⁾, 宇佐見仁英²⁾, 川田重夫³⁾

Yasuhiko Manabe, Hitohide Usami and Shigeo Kawata

1)修士(工学) 沼津高専 電気電子工学科 (〒410-8501 静岡県沼津市大岡 3600, manabe@numazu-ct.ac.jp)

2)工博 玉川大学 学術研究所 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, usami@lab.tamagawa.ac.jp)

3)工博 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

This proceeding describes about PSE for a plant factory. In a plant factory, staffs must check a growing of plants. Currently, staffs remove samples from plants for checking the growing. But removing samples cannot be connected to original plants. In this study, we propose a PSE for detecting growth of plants without removing samples. This system takes pictures of plants periodically. Taking pictures are processed to extract edges. The system compares edges and growth models. If this comparison is different largely, we can find poor growth plants.

Key Words: *problem solving environment, plant factory, plant model*

1. はじめに

近年, 未来型の野菜づくりとして植物工場が注目されている¹⁻³⁾. 本論文では, 植物のモニタリングを支援する, 植物工場のための問題解決環境 (PSE) について述べる.

植物工場においては, 植物の成長具合を把握する必要があり各種計測が行われる. 必要な測定データは, 測定機器で取得できるものもあれば, 実際に植物を採取した上で測定可能なものもある. ただ, 植物はいったん採取してしまうと, もはや元には戻せない. 本研究では, 植物の成長の様子をデジタルカメラにて撮影し, あらかじめ用意した植物成長モデルと撮影画像とのマッチングを行うことにより, 植物を採取することなくモニタリングが行えるようなシステムを提案する⁴⁾. 近年では画像解析ツールを用いた植物の根の成長の抽出に関する研究も行われている⁵⁾.

2. 植物工場におけるモニタリング

植物工場においては, 植物の成長具合の把握のためにモニタリングが必須である. モニタリングによって得られる情報には大別して2種類ある. ひとつは計測器やセンサーを使って得られる数値的な情報であり, もうひとつは人間の目による視覚的な情報である.

植物工場におけるモニタリングについて言及する前に, 我々人間の健康診断に置き換えて考える. 数値的な情報とは, 血圧, 身長, 体重といったものであり, 計測器を用いて測定できる. 一方, 視覚的な情報とは, 医者が目視で判断し診断を下すための情報であり, 顔色を見

る, 触診を行う, などが該当する. いかにも計測器で各種測定を行っても, 最終的に健康であるか否かの判断には, 医者による問診, すなわち視覚的な情報が欠かせない.

植物のモニタリングも人間の健康診断と似ている. 温度, 湿度, CO₂濃度などといったものは, 測定器で容易に取得できる. ただし, 視覚的な情報は, 計測器だけではなかなか取得しにくい. 葉の面積を測定する場合などはサンプルとして植物の一部を採取しなければならないこともある. その場合, 採取した植物は二度と元には戻せない. 結果として破壊検査を行っていることになる.

本研究では, この視覚的な情報の把握という部分に着目する. 植物の様子を見る人間の目の代わりに, これをデジタルカメラに置き換えて, 撮影画像からさまざまな情報を採取しようと試みるものである.

3. 本PSEシステムの概念

図1に本PSEシステムの概念図を示す. 測定対象となる植物をデジタルカメラで撮影する. 撮影された画像はデータ処理用PCに取り込まれ, 輪郭線抽出等の画像処理が行われる. この作業により対象植物の成長の様子が把握できる. ただし, これだけでは成長が妥当なものであるかどうか判断しかねるため, PC上にはあらかじめ正常に成長した様子をシミュレーションによって作成しておき, この結果と実際の撮影画像とを比較する. 両者の差異がほとんどなければ, 植物の成長は妥当であるといえるが, そうでなければ, 何らかの原因で成長に不具合が生じていることになる. 本システムを用いることで, 植

物が正常に成長しているかどうか判断できると考える。

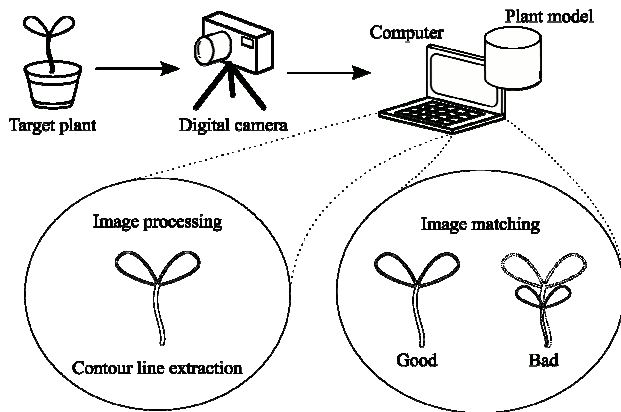


図1 本PSEシステムの概念図

4. 測定システム

測定にあたり、2つのシステムを構築したので、それぞれ説明する。

4. 1 日照時間制御を考慮したシステム

図2は日照時間制御を考慮した測定システムの構成図である。システムのケースはスチール製ラックであり、その周りを遮光カーテンで覆うことで簡易暗室化している。照光装置としては蛍光灯を用いている。蛍光灯はプログラムタイマーに接続され、日照時間の制御が行えるようになっている。簡易暗室内には撮影対象となる植物が置かれ、それをデジタル一眼レフカメラで撮影する。撮影自体は安価なコンパクトカメラでも十分可能であるが、インターバル撮影を行うなど高度な制御が必要であったため、エントリーモデルのデジタル一眼レフカメラを利用している。データ採取用PCからソフトウェア制御にて1時間ごとに植物の様子を撮影する。撮影した画像はPCに取り込まれ、後で画像処理が行われる。

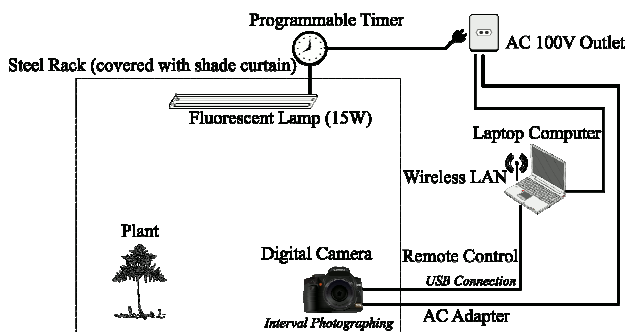


図2 日照時間制御を考慮したシステム

4. 2 日照時間制御を行わないシステム

図3は日照時間制御を行わない測定システムの構成図である。蛍光灯とプログラムタイマーは取り去っている。追加部品としてはUSB接続の温度・湿度のデータロガーがある。湿度・温度の採取は1時間ごとに行われる。ま

た、前節のシステムは筐体が大きいため、洋服収納ケースを利用してコンパクト化を図った。

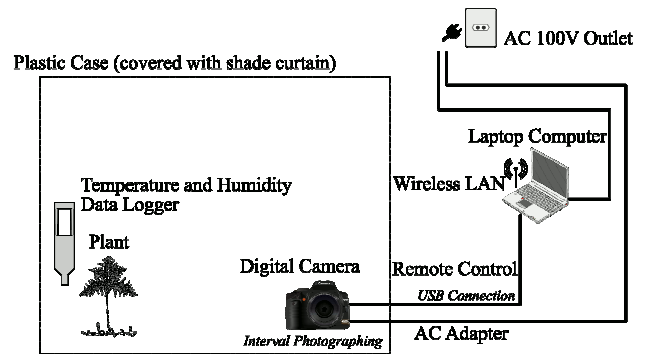


図3 日照時間制御を行わないシステム

5. 測定結果

簡易暗室にてカイワレ大根の成長を観測した。苗床を変えて2つの測定を行ったので、それぞれの結果を示す。

5. 1 園芸用給水スポンジを苗床とした成長結果

最初の結果は、苗床としてフラワーアレンジメントなどに使われる緑色のスポンジ（いわゆる園芸用給水スポンジ）を使用したものである（図4）。このときには温度と湿度の採取は行っていない。

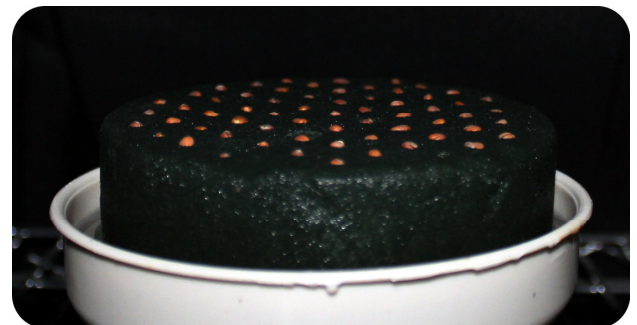


図4 園芸用給水スポンジの苗床

図5にカイワレ大根の成長の測定結果を示す。縦軸は経過日数を、横軸は根の部分を含まないカイワレ大根の背丈を示す。

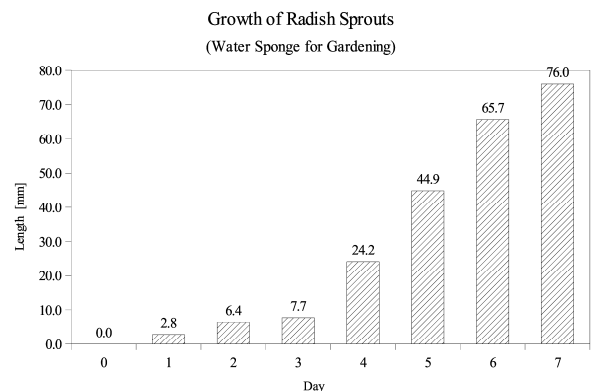


図5 成長結果（園芸用給水スポンジ苗床）



図6 背丈の計測

なお、背丈は画像データから計算によって求めている(図6)。これは基準の大きさとなる苗床の大きさと、それに対応する画面上のピクセル値との比例関係から算出したものである。このデータ採取時に使用した苗床は直径100[mm]の円形であった。これが画面上で1630[pixel]に対応する。したがって、成長したカイワレ大根の背丈の大きさを y [pixel]、求める実際の長さを x [mm]とすれば、 x は式(1)で計算される。

$$x = \frac{100y}{1630} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

図5の結果を見ると、4日目までは成長が芳しくない。4日目から6日目にかけては1日あたり16[mm]から20[mm]の成長率であり、経過日数に対し、ほぼ比例の関係が得られた。

5. 2 メラミンスポンジを苗床とした成長の結果

次の結果は、汚れ落としによく利用されるメラミンスポンジ(図7)を苗床としたものである。これは、吸水性がよいことからカイワレ大根の苗床として適していると考えたからである。また、前節の園芸用スポンジと比較して、弾力性があり、取り扱いやすい。



図7 メラミンスポンジの苗床

成長の測定結果を図8に示す。先の例と比較して、成長率が高い。これは、メラミンスポンジの苗床が水分を

豊富に含んだこと、測定時期が夏季の比較的気温の高い時期であったことなどが理由としてあげられる。

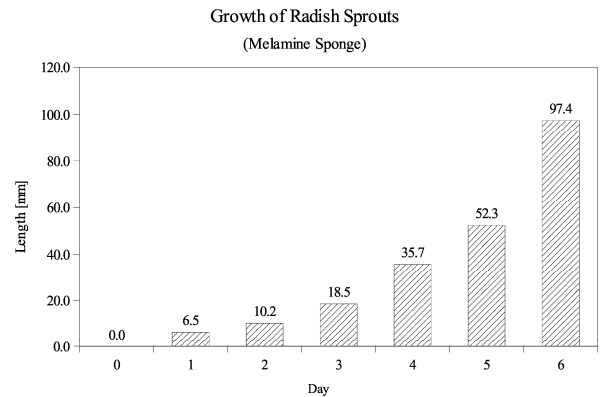


図8 成長結果(メラミンスポンジ苗床)

6. 成長モデル

撮影画像とのマッチングを行うための植物成長モデルを作成した。

6. 1 植物の成長例

種を土に植えた場合、図9のような流れで植物が成長する。図の各記号の状態は以下ようになる。

- (a)種をまいた直後
- (b)根が出た状態
- (c)芽が出た状態(根は成長を続ける)
- (d)芽の成長が進み、根の伸びが鈍化し、根毛が発生
- (e)葉が作られ、成長し始める

成長モデルでは、この流れをシミュレートすることにした。

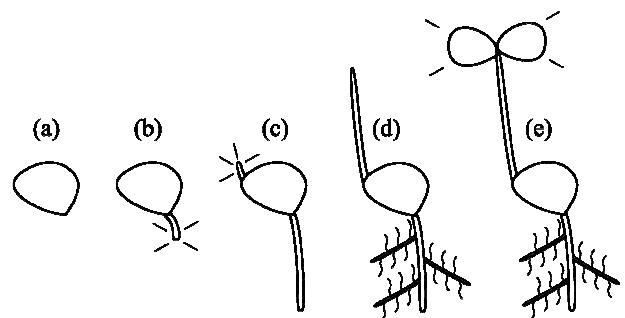


図9 植物の成長例

6. 2 植物形状のモデル化

植物は複雑な形状をしているため、今回は図10に示すように、簡素化して考えることにした。葉は円で表現し、その半径が葉の大きさを表している。茎は細長い長方形で表現し、縦方向の長さが茎の背丈を横方向の大きさが茎の太さをあらわしている。根は根毛を省略し、縦長の長方形だけで表現している。根毛は成長の把握に深く関係しないと考えたからである。

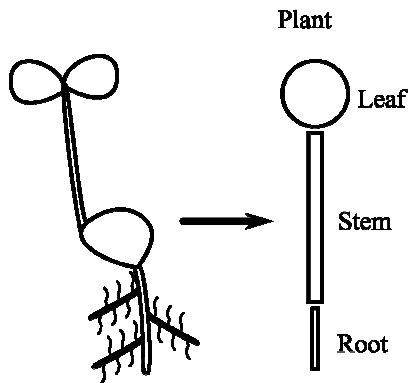


図10 植物形状のモデル化

6.3 シミュレーションプログラム

シミュレーションプログラムを作成するにあたり、前節のモデルに従って図11のようなプログラム構成を考える。各部分はエージェントとして他の部分と協調しながら成長させるものとする。

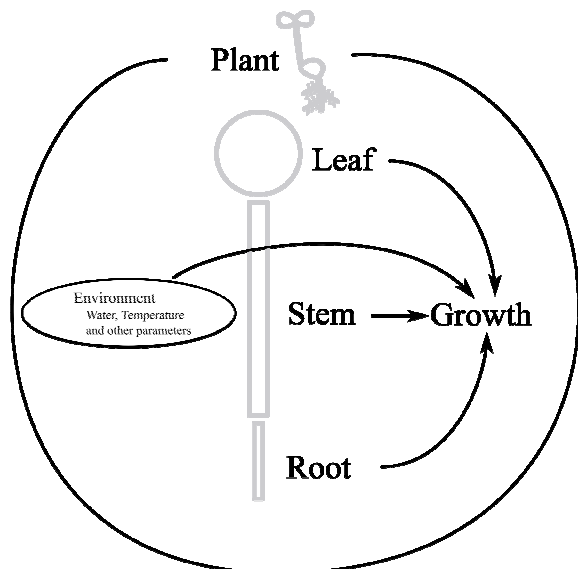


図11 シミュレーションプログラムの構成図

今回、植物(Plant)は、カイワレ大根を想定し、葉(Leaf)、茎(Stem)、根(Root)の3つに部分に分割した。植物の成長には外部の環境が大きく影響するため、成長に際し、水、温度といった各種パラメータを作用させる。各部分の成長の計算には式(2)を利用している。

$$y \leftarrow y + ar \quad (2)$$

ここでyは各部分の長さ、aは成長率、rは不確定要素を与えるための0以上1以下の乱数である。成長は基本的に線

形であるという仮定のもとでシミュレーションを行っている。シミュレーション結果の一例を図12に示す。この結果は6.1節で述べた植物の成長の流れをシミュレートしている。たとえば、茎は根がある程度成長してから成長を始めている。葉については茎がある程度成長してから成長を始めている。ただし、縦軸、横軸ともにシミュレーションプログラム内の仮想的な値であり、現実空間の値ではない。

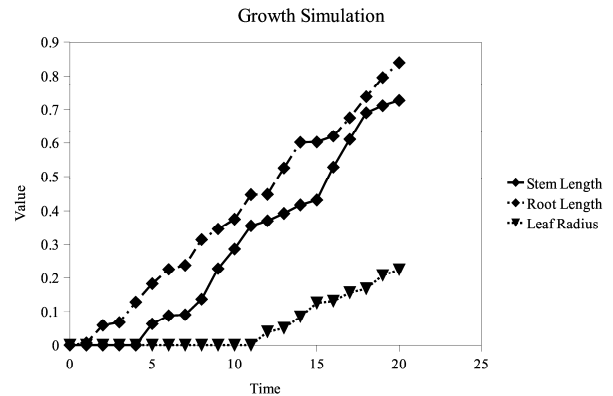


図12 シミュレーション結果

今後、さまざまな条件で成長データを採取し、この式の妥当性を含め検討していく必要がある。

7. まとめ

植物工場における植物の生育状況の把握のためのPSEシステムを提案し、今回はその足がかりとなる部分を構築し、データの採取を行った。今後はシミュレーションプログラムの改善、植物モデルのさらなる考察などを行い、システムを発展させていく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたっては、PSE研究会メンバーから多くのご指導・ご支援をいただきました。

参考文献

- 1)玉川大学 大学院 農学研究科：LEDによる植物工場、<http://www.tamagawa.jp/graduate/agriculture/index.html>
- 2)宇佐見仁英：知能型植物工場における問題解決環境、PSE Workshop 2009, pp. 25-30, 2009
- 3)宇佐見仁英：植物生産におけるPSE, PSE Workshop 2010, pp. 9-12, 2010
- 4)眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫：植物工場のためのPSE, 計算工学講演会論文集, Vol. 16, 2011
- 5)Andrew French et al., Plant Physiology, Vol. 150, pp. 1784-1795, 2009