

# ネットメロン育苗時の自動灌水個体管理装置の開発研究

佐藤祐也・中野和弘\*・大橋慎太郎・小野塚拓平

(平成20年8月7日受付)

## 要約

ネットメロン育苗時の灌水作業は多大な時間と労力を要し、その作業の良否は収穫果実の品質にも影響を及ぼす。本研究では、メロン栽培における育苗期間の灌水作業の効率化・省力化を目的として、個々の苗に対する灌水作業の要・不要の判断を行う自動灌水個体管理装置を試作した。CCDカメラで育苗期の苗の画像データを個々に取得し、それを画像処理することで、灌水作業の有無の判断に用いる特徴を抽出した。得られた特徴をメロン栽培篤農家の灌水判断のノウハウとして集約し、制御結果と比較することで自動灌水判断の可能性を検討した。苗の成長速度や成長のばらつき程度の検証、篤農家による手灌水作業との比較を行った結果、本研究で開発された灌水システムは篤農家の灌水ノウハウを再現しており、育苗時の自動灌水個体管理の可能性が示された。

新大農研報, 61(1):105-110, 2008

キーワード：育苗、画像処理、灌水、個体管理、ネットメロン

## はじめに

外観、内容ともに純系アールスメロンに劣らず、「ハウスメロン」と称されるアールス系メロンの出現で、温室メロン以外でも周年供給が可能となり、庶民もかなりメロンを購入し易くなった。しかし、メロンの消費量は増加しているにもかかわらず、庶民はまだメロンを易々と食べる果物とは認識していないのが現状である(農産漁村文化協会編, 1999)。

一方、ネットメロンは、品質による価格差が他の農産物と比較して非常に大きい作物である。現在までに園芸施設における自動灌水装置や温室メロン栽培の省力化に関する研究が行われてきたが(筑紫ら, 1996; 朝倉と細川, 1998; 佐藤ら, 1995; 大須賀と佐藤, 1999; 渋谷, 1995)、灌水の決定は、農家が長年培ってきた知識と経験と勘により行われているのが現状である。特にメロン栽培における灌水管理は、その良否によって内部・外部品質に大きく影響するため、メロンの栽培管理の中でも難しい作業の1つであるとされている。

またメロンは、育苗期間における灌水管理の良し悪しが収穫果実の品質にまで影響を及ぼす作物である。そのため仮に育苗が悪ければ定植時の活着不良を起し、開花期における開花の不ぞろいを招き、ネット出現期の温度や灌水管理に支障をきたすといった恐れを生む(神谷, 1992)。定植後の栽培管理作業を軽減しながら、良品を生産し商品化率を高めるためにも、生育速度のそろった苗を作る必要がある。

本研究では、育苗時の灌水作業を効率化・省力化することを目的に、画像解析を装備した自動灌水個体管理装置の試作を行った。灌水判断には当研究室で検討してきた「メロン育苗時の灌水個体管理システム」の灌水判断アルゴリズム(中野ら, 2005; 中野ら, 2006; 佐藤ら, 2007)を利用した。このアルゴリズムは、メロン篤農家による育苗時の個体苗の画像データを解析することにより、灌水ノウハウを抽出し灌水判断のための指標を得たものである。苗の平面画像を取得し、苗と土壌の画像特徴を得るためにCCDカメラによる撮影と画像処理を行い、個々の苗に対して自動灌水判断を行う個体灌水管理装置の試作

を行った。

## 材料および方法

### 1. 育苗方法

育苗では、JAが指導するセルトレイによるセル成型育苗苗(図1)を行うこととした。セル成型育苗苗はセルトレイを利用することによって、ポット育苗に比べて育苗スペース・育苗床土の省減、定植時における苗の移動の軽減、育苗日数の短縮などの利点が挙げられる。しかし、セルに根が回るまでの日数が短いためポット苗より早く定植を行う必要があり、定植後から活着期までの管理が煩雑となる問題がある。

育苗の方法は、各セルトレイに種子を播種し、覆土した後十分灌水を行う。その直後に新聞紙でセルトレイを覆うことにより土壌の乾燥を防ぎ、地温を保つとともに発芽をそろえる。新聞紙は発芽の直前に取り除く。本葉が1.5~2枚になるまでセルトレイで育て、その後、ハウス内に定植する。

供試品種には、篤農家が採用している「アールスナイト夏系2号」を使用した。5×10列の50穴のセルトレイを利用し、簡易ビニールハウスの中で育苗しながら、画像の取得、灌水実験を行った。このセルトレイを一つずつに分断し、一つずつCCDカメラの下の撮影台に固定し撮影した。また、育苗期後

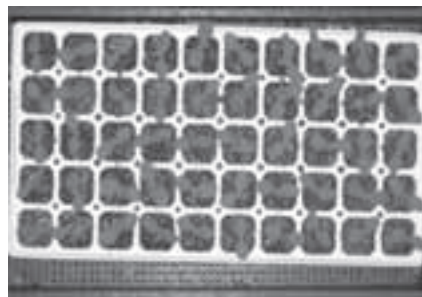


図1. セル成型育苗苗

半には成長した葉が重なり合うという問題が生じることから、苗同士の距離を大きく取るためにセルトレイの両端に苗を配置した(図2)。

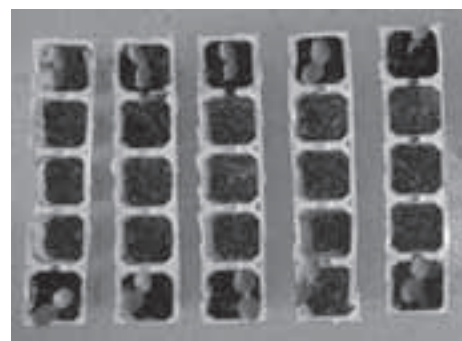


図2. セルトレイの分割状況

## 2. 実験装置

### 2.1 装置の構成

本研究では、図3のような実験装置を試作した。育苗画像取得用の CCD カメラ、画像解析、動作制御用のデスクトップコンピュータ (CPU: Intel Core2Duo 1.8GHz, Memory 960MB, 以下パソコン)、貯水タンクに接続した電磁弁、弁の開閉信号を送信するための IO コントローラ等から構成されている。また、画像撮影時にはハロゲン光源 (100W) と 4 基のハロゲンランプを設置し、遮光のため装置全体を暗室で覆った。

画像は、CCD カメラから Firmware を経由しパソコンへ転送する。電磁弁への信号は、パソコンから IO コントローラへ RS-232C ケーブルにより出力する。さらに、IO コントローラから電磁弁へ電力供給、開閉信号を送信する。

### 2.2 開発プログラム

実験装置の動作を制御するプログラムは、Microsoft 社製の「Visual Basic. NET」を用いて開発した。これにより、撮影ソフトウェアと画像処理ソフトウェアの制御、外部機器への信号出力を行う。したがってこのプログラムは、(1)画像撮影、(2)画像処理、(3)灌水判断、(4)灌水作業の4工程を制御する。なお、(4)灌水作業を行った後、再び(1)画像撮影に戻り、この一連の処理を自動連続的に行う。動作のフローチャートを図4に示す。作動時に、画像や苗の特徴をリアルタイムに表示する機能を持たせ、視覚的に灌水状況を確認しながら作業することの出来るインターフェイスとした。

以下に、各工程を説明する。

- (1) 画像撮影：カラー CCD カメラ撮影時に使用する「IC Imaging Control 3.0」(ALGO 社製)を開発プログラムにより自動制御し、苗画像を撮影する。図5のように1苗ずつ真上から撮影し、撮影された BMP (ビットマップ) 画像をパソコンのハードディスクに保存した。
- (2) 画像処理：画像処理アルゴリズムにより画像から灌水判断に用いる特徴 (以下、灌水指標) を抽出し、テキストファイルとしてパソコンに出力する。このアルゴリズムは画像処理用ソフトウェア「WiT」(Coreco Imaging 社製)によって作成し、開発プログラムによって自動制御する。
- (3) 灌水判断：上記の灌水指標から、「灌水を行うか否か」の判断を開発プログラムにより行う。農家の灌水作業からノウハウを抽出することで、灌水指標と灌水判断の基準を決定した。
- (4) 灌水作業：「灌水を行う」と判断された場合、パソコンから USB ケーブルで接続された IO コントローラへ電磁弁の開閉信号を出力する。電磁弁を一定時間開放することで灌水量を一律に供給する。

### 2.3 画像処理アルゴリズム

画像処理プロセスとしては、取得した画像を階調画像に変換後、二値化処理などを経て、灌水判断に用いる灌水指標を出力する。本研究では、篤農家の灌水作業の観察やヒヤリングの結果から、土壤の乾燥程度と苗の萎れ程度から灌水判断を行うこととした。なお、農家の灌水方法に倣い、苗の本葉の第2葉が展開するまでを「育苗期間前半」、それ以降を「育苗期間後半」

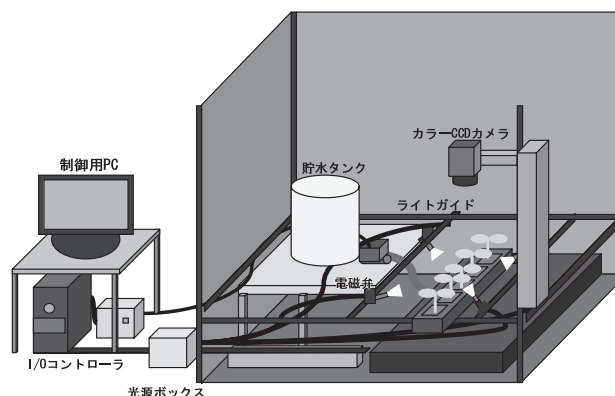


図3. 実験装置の構成図

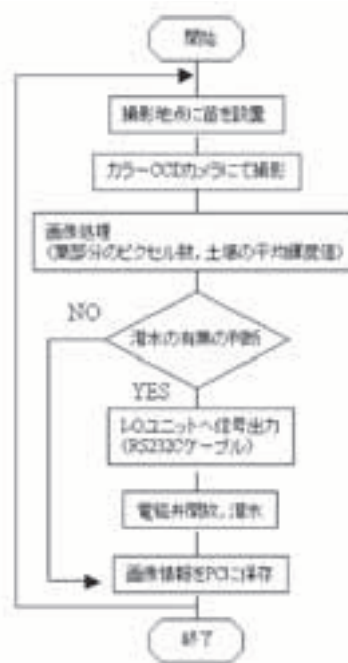


図4. フローチャート

と定義した。

## 2.4 土壌の乾燥程度

(1) 土壌の乾燥：篤農家は、育苗全期間を通じて、セルトレイ上の土壌の乾燥具合の観察により、「灌水を行うか否か」を決定していた。見た目にも土壌が湿っていると黒色に近い色となり、乾燥するに従って明るい茶色となる。よって土壌のRGB色座標系における各成分の平均輝度値を求めることにより灌水の指標を見出すこととした。同日に灌水を行った苗の画像を解析し、RGB色座標系における各成分の平均輝度値について経日変化を調べた(図6)。なお、図6では灌水を行った日(5, 7, 10, 11, 12, 14, 15日目)と行わなかった日(3, 4, 6, 8, 9, 13日目)について区別してある。R成分における土壌の平均輝度値と要灌水日との関係を見ると、全期間を通じて要灌水日はその前日と比べ、平均輝度値が高くなっていることがわかる。そして灌水後の土壌の平均輝度値は再び低い値を示し、徐々に上昇している。そこで、経過日数ごとの平均輝度値の変化が一番大きいRGB色座標系におけるR成分を用いることで土壌からの灌水指標を見出すこととした。

(2) 土壌のR成分平均輝度値の抽出：土壌のR成分平均輝度値の抽出アルゴリズムを図7に示した。育苗原画像(画像①)をHSV色座標系の色相・彩度・明度それぞれの階調画像にし、それぞれを画像演算させる。そして作成された画像②と画像③を画像演算させることで苗のマスク画像(画像④)を作成する。このマスク画像を反転処理した画像⑥と画像③をAND演算することにより土壌部分のマスク画像(画像⑦)を作成する。そして育苗原画像(画像①)と土壌のマスク画像(画像⑦)をマスク処理することにより土壌部分の抽出(画像⑧)を行い、土壌部分のRGB色座標系におけるR成分の平均輝度値を算出した。

## 2.5 苗の萎れ程度

(1) 苗の萎れ：育苗期間において、本葉の2枚目が出始める頃から苗が水分不足で萎れてしまう現象が見られる。この現象が見られる時は苗が弱っている状態であり、早急な灌水が必要である。さらに、苗の萎れが見られると葉の面積は見た目の上では微量の増加もしくは減少するように見られる。このことから苗の面積(ピクセル数)を算出することにより、苗の萎れを判断できるものとし、苗の背景除去画像(図7-④)を用いてピクセル数を算出することとした。

同日に灌水を行った苗の画像を解析し、本葉部分のpixel数の変化量について頃日変化を調べた(図8)。なお図8では灌水を行った日(5, 7, 10, 11, 12, 15日目)と行わなかった日(3, 4, 6, 8, 9, 14, 13日目)について区別してある。図中破線で囲んだ部分は苗が萎れて葉部分のpixel数の変化量がマイナスの値を示している。そこで、本葉部分のpixel数の変化量を自動灌水判断の指標として用いることとした。

(2) 本葉部分 pixel 数の変化量の抽出：本葉部分 pixel 数の変化量の抽出アルゴリズムを図9に示す。育苗原画像(画像①)をHSV色座標系の色相・彩度・明度それぞれの階調画像にし、それぞれを画像演算させる。作成された

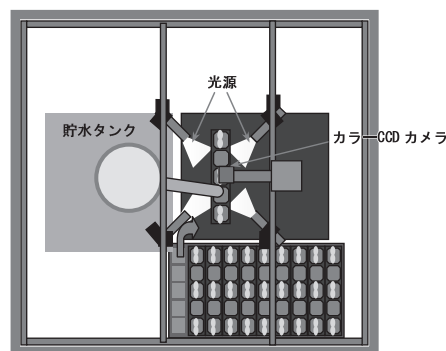


図5. 撮影方法(平面図)

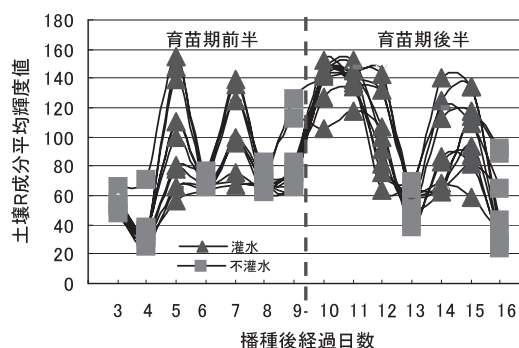


図6. 土壌のR成分平均輝度値の経日変化

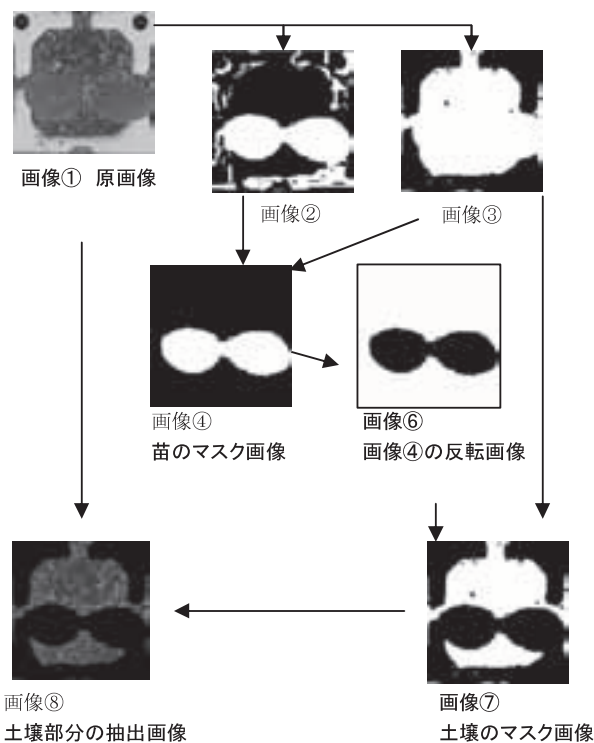


図7. 土壌部分の画像抽出アルゴリズム



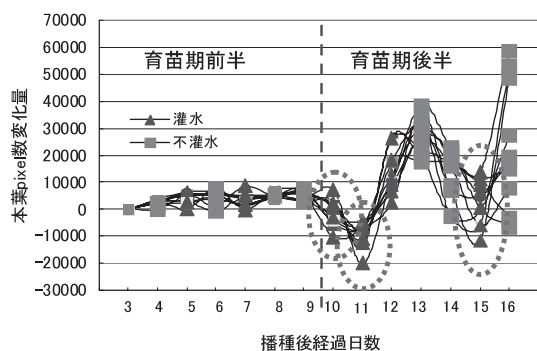


図 8. 本葉部分の pixel 数変化量の経日変化

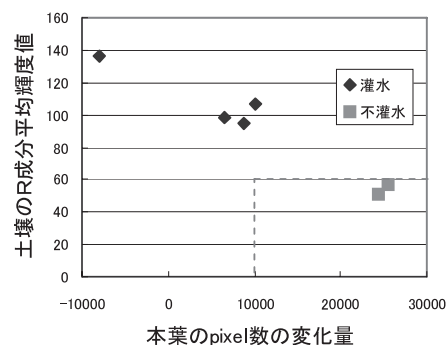


図 11. 育苗期後半における灌漑指標の関係

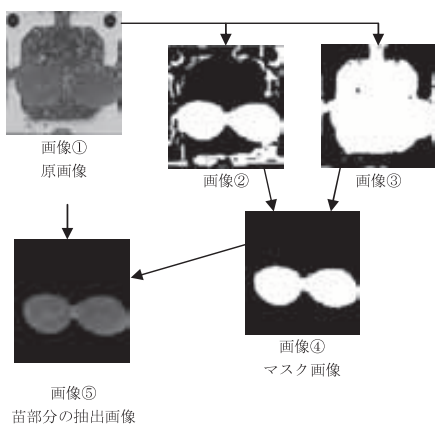


図 9. 苗部分の抽出アルゴリズム

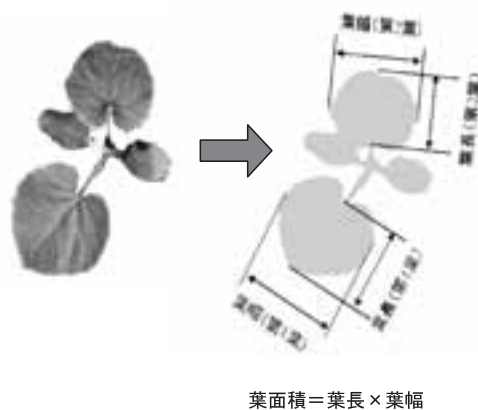


図 12. ノギスによる葉面積の測定方法

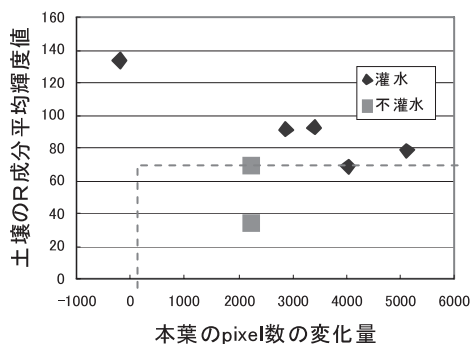


図 10. 育苗期前半における灌漑指標の関係

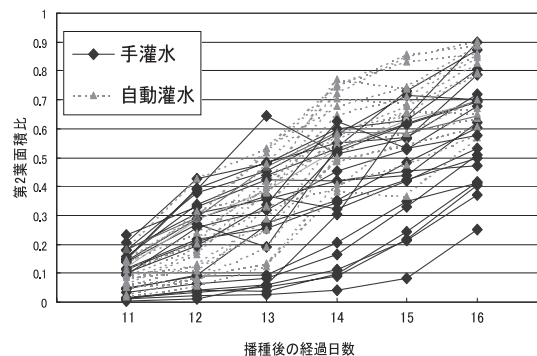


図 13. 第 2 葉面積比の経日変化

表 1. 第 2 葉面積比の比較

days	自動灌漑			手灌漑			平均の差の検定	分散比の検定
	Ave	Range	Std	Ave	Range	Std		
11	0.094	0.018 ~ 0.184	0.048	0.106	0.005 ~ 0.233	0.072	0.280*	2.278*
12	0.187	0.056 ~ 0.427	0.100	0.220	0.013 ~ 0.427	0.144	0.207*	2.083
13	0.351	0.125 ~ 0.531	0.123	0.274	0.026 ~ 0.643	0.187	0.069**	2.305*
14	0.585	0.384 ~ 0.771	0.120	0.358	0.040 ~ 0.6	0.184	0.000**	2.335*
15	0.645	0.368 ~ 0.857	0.125	0.464	0.083 ~ 0.730	0.180	0.000**	2.072
16	0.729	0.571 ~ 0.901	0.125	0.597	0.251 ~ 0.900	0.179	0.005**	2.245*

\*\* 危険率 1% 水準で有意; \* 危険率 5% 水準で有意

days: 播種後経過日数, Ave: 平均値, Renge: 範囲, Std: 標準偏差

画像②と画像③を画像演算させることで苗のマスク画像(画像④)を作成する。そして育苗原画像(画像①)とマスク画像(画像④)をマスク処理することにより苗部分の抽出(画像⑤)を行い、苗部分のピクセル数を算出した。

## 2.6 灌水判断基準

図 10, 11 は、「2.3 画像処理アルゴリズム」で記述した灌水指標を苗全体で平均し、経過日数毎に示したものである。この結果から、育苗期前半では『土壌の R 成分平均輝度値が 80 以上になったら灌水を行う』または『本葉の pixel 数の変化量が前日と比較し減少したら灌水する』という灌水判断基準を、育苗期後半では『土壌の R 成分平均輝度値が 80 以上になったら灌水する』または『本葉の pixel 数の変化量が前日と比較して +10,000 以下であったら灌水する』という灌水判断基準を決定した。

## 3. 灌水装置を用いた実験

平成 19 年 8 月 10 日から 8 月 26 日までの期間、篤農家の手動による灌水作業(以下、手灌水)と、開発された装置による自動灌水作業(以下、自動灌水)とを比較する実験を行った。手灌水、自動灌水により育苗した成長程度から灌水作業の精度を検証することにした。

### 3.1 育苗方法

自動灌水、手灌水ともに 20 本ずつ苗を栽培し、播種後 3～16 日目までの 14 日間、午前 9 時に灌水実験を行った。灌水量に関しては、自動灌水、手灌水ともに「灌水を行う」と判断された苗には一律 20 ml を供給した。

### 3.2 評価方法

農家がメロン育苗の際、本葉の第 1 葉と第 2 葉の大きさを比較して定植段階に達しているかの判断を行っていることから、本葉第 1 葉の面積と第 2 葉の面積の比(以下、第 2 葉面積比)を設定し、この値から苗の成長速度を評価することとした。図 12 のように本葉の大きさをノギスによって測定した。本実験では農家の指導に従い、この第 2 葉面積比が 0.5～0.8 に達した時点で定植可能段階まで成長したものと判断する。第 2 葉面積比の算出方法は、次式(1)によった。

$$\text{第 2 葉面積比} = \text{第 2 葉面積} / \text{第 1 葉面積} \quad (1)$$

実験は播種後 16 日目に自動灌水区の苗が全て第 2 葉面積比 0.5 以上となった時に終了した。

育苗における灌水作業については、苗の成長が速いほうが育苗期間をより短縮でき、また成長にばらつきがない方が定植後の農家の作業負担を低減できることから、苗の成長速度とそのばらつきを灌水作業の精度の指標と考えた。第 2 葉面積比の増加と苗の成長とは相関関係にあることから、自動灌水と手灌水それぞれの第 2 葉面積比の平均の差の検定から成長速度を比較し、分散比の検定から成長のばらつきを比較した。

### 結果および考察

図 13 に、自動灌水と手灌水における第 2 葉面積比の経日変化を示した。育苗期間を通じて灌水回数は、自動灌水では平均 6.9 回、手灌水では 8.0 回の灌水となった。播種後 16 日目には、全ての自動灌水苗の第 2 葉面積比が 0.5 以上となり、定植可能段階まで生育したが、手灌水区では 35% の苗が定植ステージに達しなかった。自動灌水の方が灌水回数は少ないにもかかわらず、

全身的に自動灌水の苗の成長が速く、またそのばらつきも小さい結果が認められた(表 1)。育苗期間最終日である播種後 16 日目の第 2 葉面積比を自動灌水、手灌水で比較すると、第 2 葉面積比は自動灌水が手灌水より有意に高い平均値であった( $p = 0.009$ )。また、第 2 葉面積比のばらつきも自動灌水が手灌水より有意にばらつきの小さい結果となった( $p = 0.043$ )。

今回の実験では、自動灌水装置を開発し、実際に育苗実験を行うことができたことから、将来的に自動育苗管理装置の開発の可能性が示唆された。また、苗の成長速度、成長のばらつきに関しても自動灌水が手灌水に比較し、有意に良好な結果となったことから、灌水作業の精度においても、開発装置の有用性が示された。今後の課題については、より有効な灌水指標、灌水判断手法を取り入れ、装置の作業精度をさらに高めるための装置改良を行う。また、現時点では苗の移動は人間の手によって行っているため、苗の移動を制御する機構を連動させ、灌水作業に必要な作業を全自動化する装置の開発を行いたいと考えている。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、新潟県新潟市北区南浜地区のメロン篤農家此村和也氏には、メロン育苗時の灌水作業に関する貴重な情報の提供と灌水判断の指導を頂いた。また、本研究の一部は、平成 18 年度佐々木環境技術振興財団および平成 19 年度科学研究費補助金(基盤研究(B) No.19380142)の研究助成により実施されたものである。ここに記して深く謝意を表す次第です。

## 参考文献

- 朝倉利員・細川徳夫. 1998. 果重変化を水管理指標とするメロンの自動灌水. *園芸学会雑誌*, **65**(別 1): 14-15.
- 筑紫二郎・E. Villaviencio Floriani・豊田正範. 1996. ファジィ制御によるドリップ灌漑の灌水量の制御. *農土論集*, pp.186.
- 神谷圓一・農耕と園芸編集部共著. 1992. *アールスメロンの高品質生産*, 誠文堂新光社, 東京
- 中野和弘・小野塚拓平・阿部啓太郎・楊迪桂・陳青雲. 2005. メロン栽培における育苗自動灌水制御システムの開発研究. *農業環境工学関連 7 学会講演要旨集*, 463.
- 中野和弘・小野塚拓平・佐藤祐也・陳青雲. 2006. メロン育苗時の灌水個体管理システムの開発研究. *農業機械学会関東支部年次大会講演要旨集*, 52-53.
- 農産漁村文化協会編. 1999. *野菜編メロン類*, pp.153. *農業技術体系*. 農産漁村文化協会, 東京.
- 大須賀隆司・佐藤展之. 1999. フェンロー型温室における各種省力技術を利用した温室メロン省力生産システムの開発. *静岡農試研究報告*, **44**: 43-59.
- 佐藤展之. 1995. 温室メロンの灌水自動化への取り組み. *施設園芸*, **37**(3): 15-18.
- 佐藤展之・長谷川和弘. 1995. レーザーセンサを利用した温室メロンの茎径変化による体内水分連続測定. *静岡農試研究報告*, **40**: 1-5.
- 佐藤祐也・中野和弘・巖海軍・小幡谷夏貴. 2007. メロン栽培における定植前育苗自動灌水ロボットの開発研究. *システム農学会秋期大会講演要旨集*, 41-42.
- 渋谷俊夫. 1995. セル成型苗個体群の連続秤量に基づく自動灌水制御の試作. *園芸学会雑誌*, **64**(別 2): 364-365.

## Development of Automatic Individual Watering System for Raising Seedling Period of Net-melon Cultivation

Yuya SATO, Kazuhiro NAKANO\*, Shintaroh OHASHI and Takuhei ONOZUKA

(Received August 7, 2008)

### Summary

Watering control for raising seedling of net-melon is very difficult and needs a lot of time and hard labor of farmer. The good or poor performance in watering affects on the quality of harvested melon. The goal of this study is intended to streamline and save labor in the period of raising seedling of melon cultivation. An automatic individual watering system for raising seedling was produced experimentally to make a decision of watering for each seedling. Image data from the individual seedling was collected using CCD camera. The features between the processed image and the farmer's decision of watering were extracted.

These features were decided as the full-experienced farmer's know-how of watering for seedling. The watering system developed in this study could show the know-how of watering and the possibility of automatic individual watering for raising seedling period of net-melon cultivation.

*Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 61(1):105-110, 2008*

**Key words** : image processing, individual management, net-melon, raising seedling, watering