

## 高密度無線センサネットワークを利用した 農業技術の形式知化に関する検討

増井崇裕<sup>†1</sup> 松野智明<sup>†2</sup> 安部恵一<sup>†3</sup>  
峰野博史<sup>†1</sup> 大須賀隆司<sup>†4</sup> 水野忠則<sup>†3</sup>

後継者不足を原因とする農業技術の伝承の困難化への対策として農業技術の形式知化が行われている。マニュアル化が困難だった熟練農家の処理判断を情報技術を用いて形式知化する事で、新規就農者にも熟練農家の持つ優れた農業技術を容易に参照できる環境の構築を目標としている。農業技術の形式知化の実現のためには、多種多様な環境データを測定できる高密度かつ信頼性の高いセンサネットワークが必須である。本稿では施設園芸における高密度無線センサネットワークを用いたデータ収集環境の構築とデータ収集を行い、ネットワークの信頼性と測定精度という2つの観点からその性能を評価した。

### Explicit Knowledge of Farming Techniques Using High-Density Wireless Sensor Networks

TAKAHIRO MASUI,<sup>†1</sup> TOMOAKI MATSUNO,<sup>†2</sup>  
KEIICHI ABE,<sup>†3</sup> HIROSHI MINENO,<sup>†1</sup> RYUJI OOSUKA<sup>†4</sup>  
and TADANORI MIZUNO<sup>†3</sup>

There is a challenge of inheriting farming techniques in Japan, because successor of agriculture is decreasing. Under this circumstance, explicit knowledge of farming technique is performed. This approach aims to make environment that rooky farmer can use skill of expert farmer, by modeling expert farmer's techniques that is difficult to standardize. It is necessary to build sensor network that has ability to monitor various environmental data, high-density and high-integrity for modeling of farming techniques. In this study, we build high-density wireless sensor network on horticultural facilities and monitor environment data. And then, we evaluate their reliability and measurement accuracy

### 1. はじめに

現在日本の農業では、農業従事者の高齢化と後継者不足の進行により、優れた農業技術の伝承が困難になる可能性がある<sup>1)</sup>。日本の農業従事者のうち若年層の割合は年々減少<sup>2)</sup>しており、世界的に見ても高いレベルにある日本の農業技術<sup>3)</sup>の伝承が、後継者不足により困難になる事が懸念される。

この課題を解決するための取り組みとして農業技術の形式知化が議論されている<sup>4)</sup>。この取り組みはこれまでマニュアル化が困難であった熟練農家の「経験」や「勘」に基づく様々なノウハウ等の「暗黙知」を情報技術を用いて「形式知」に置き換えることで技術の伝承に役立てる事を目的としている。このような取り組みには、多種多様な環境データが必要となる。温度・照度・土壌水分量といった測定項目の多様さはもとより、細やかで高密度なデータ測定も重要な要素となる。作物の成長度合いはそれぞれ異なるため、熟練農家は1つ1つの作物に対してその都度適切な判断処理を行っている。熟練農家が持つノウハウの形式知化のためには、作物の1つ1つに対してデータ収集を行うことができる高密度なデータ収集環境が必要となる。

そこで本稿では施設園芸における高密度無線センサネットワークを用いたデータ収集環境の構築を行う。無線センサネットワークを用いる事で、農場における高密度かつ導入の容易なデータ収集環境の構築が可能となる。本稿は以下のように構成される。まず第2章で関連研究、第3章で農場における高密度センサネットワークの構築と実証実験、4章で結果の検証と考察、5章でまとめと今後の展開について述べる。

### 2. 関連研究

情報学を用いた農業への取り組みは基本的に生産性の向上を目標としてきた。代表的な例として植物工場<sup>5)</sup>が挙げられる。植物工場とは主に閉鎖的な空間内において、植物を計画

<sup>†1</sup> 静岡大学情報学研究所

Graduate School of Informatics, Shizuoka University

<sup>†2</sup> 静岡大学情報学部

Faculty of Informatics, Shizuoka University

<sup>†3</sup> 静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

<sup>†4</sup> 静岡県農林技術研究所

Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry



図1 プラスチックハウス外観と内観

的に生産するシステムである。作物の栽培に影響があると考えられる農地の情報を人工的に管理し、農作業をマニュアル化する事で作物栽培における各要素の一定化を目指している。

海外では大規模な農場でセンサネットワークを用いたモニタリングを行うシステムが数多く検討されている<sup>6)7)8)</sup>。中でも UMAC-model<sup>9)</sup> では測定対象が大規模であることに加え、多くの人間が参加する農業に関するコミュニティを作るという特徴を持っている。多数の農家や技術者が協力しあう事でより良い精密農業<sup>10)</sup>の技法を作り出している。

前章で述べた農業技術の伝承という観点からの取り組みが AI 農業である<sup>11)</sup>。AI 農業では多数の熟練農家の判断処理を集積したデータ群から確からしい判断処理のアウトプットを求める。農業従事者は作物栽培に関する各種の環境情報を入力する事により、次に行うべき農作業のリストを得ることができ、新規就農者にも比較的安定した農場運営が可能となる。AI 農業の展開に関しては農林水産省が中心のプロジェクトが進行中であり、内閣府の知的財産推進計画 2010<sup>12)</sup>にも詳細施策として取り上げられている。

### 3. 施設園芸向け高密度無線センサネットワークの構築

施設園芸を用いた作物栽培環境に高密度無線センサネットワークを構築し、データ収集を行った。無線センサネットワークを用いてデータ収集環境を構築する事で、大量のセンサを比較的容易に設置できる。この方式をとった場合、データの信頼性(センサデータ欠落の有無)が大きな課題となる。また測定方法の違いがセンサデータの精度に大きく影響を与える事が考えられるため、適切な測定方法についての検討も必要になる。今回の実験ではデータの信頼性、データの精度、設置容易性の3つを満たすデータ収集環境の構築を目指した。

#### 3.1 測定環境

環境構築は静岡県磐田市にある静岡農林技術研究所のメロン栽培用プラスチックハウスで

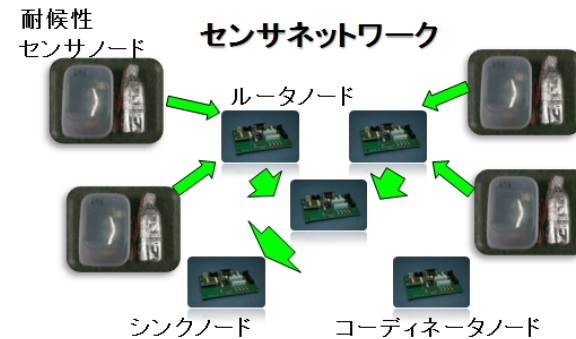


図2 ネットワークトポロジ

実施した。プラスチックハウスの外観と内観を図1に示す。プラスチックハウスは12.8m × 16mの大きさで内部で8列 × 36=288個のメロンを栽培している。メロンの品種はアールス・フェボリット夏型であり、生育期間は約3カ月である。

#### 3.2 ネットワークトポロジ

本実験では無線センサ方式に ZigBee を採用した。図2にネットワークトポロジを、表1に各ノードの役割を示す。ZigBeeとは短距離無線通信規格の1つであり、低消費電力性と接続可能端末の多さという2つの特徴を持っている。この事から我々の構築するデータ収集環境に適していると判断した。なおネットワークの構築には、株式会社ルネサスソリューションズ製 ZigBee/802.15.4 評価ボード、同社製センサボードをノードとして使用した。

ノード種別	役割	使用ボード
コーディネータノード	ネットワークの構成・管理	ZigBee/802.15.4 評価ボード
シンクノード	センサデータの集計	ZigBee/802.15.4 評価ボード
ルータノード	ネットワークの拡張・センサデータの中継	ZigBee/802.15.4 評価ボード
耐候性センサノード	センサデータの測定	センサボード

表1 センサネットワーク構成ノードの名前と役割

#### 3.3 耐候性センサノードの開発

プラスチックハウス内での無線センサ運用のために耐候性センサノードを開発した。プラスチックハウス内は、一般的な屋外と比較しても温度・湿度や水の散布等により過酷な環境にある。そのような環境においても正確なデータ収集を行うためには、耐候性を備えたセン

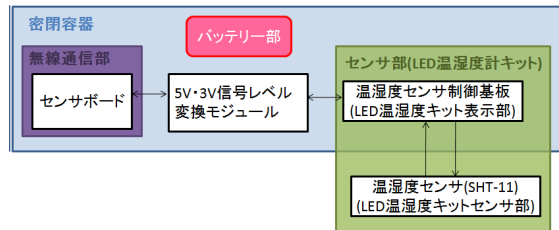


図3 耐候性センサノードブロック図

サノードが必要となる。

図3と図4に無線通信部・センサ部・5V-3Vレベル変換モジュール・バッテリー部・密閉容器より構成される耐候性センサノードのブロック図と写真を示す。

無線通信部はルネサス製センサボードの無線通信機能を使用している。単体でも温度・照度等の測定が可能だが耐候性の問題から無線通信機能のみ使用した。センサデータの送信周期は10分である。センサ部はストロベリーリナックス製LED温湿度計キットを使用した。ルネサス製センサボードと接続し温湿度を測定する。分解能は温度：0.01℃，湿度：0.1%である。またむき出しになっている基板の物理的な保護のためにラジエーションシールドを使用している。5V-3Vレベル変換モジュールはルネサス製センサボードと温湿度センサの電圧レベルの違いを吸収する。密閉容器は無線通信部・5V-3Vレベル変換モジュール・バッテリー部を格納して水の散布等から保護する。湿気対策に乾燥剤を使用している。

### 3.4 プラスチックハウス内へのセンサの配置と設置状況

図5にプラスチックハウス内のセンサ配置図を示す。前述のプラスチックハウスに4×5=20台の耐候性センサノードを格子状に配置した。データ信頼性の向上のために北側10台と南側10台の耐候性センサノードでそれぞれ別にネットワークを構築した。

図6に各センサノードの設置状況を示す。密閉容器で保護された無線通信部やバッテリー部等で構成されるセンサノードの本体部分はプランター下側に設置し、センサ部分のみを上部に固定した。センサ部およびセンサ部-本体部をつなぐ線は耐候性の結束バンドでプランターに固定しメロン栽培の妨げにならないように設置している。

### 3.5 測定期間

測定期間は6月7日～8月10日頃を予定している。基本的にはメロンの定植から収穫までの期間にデータ収集を行う。なおバッテリーの関係で週1回の電池交換を行っている。

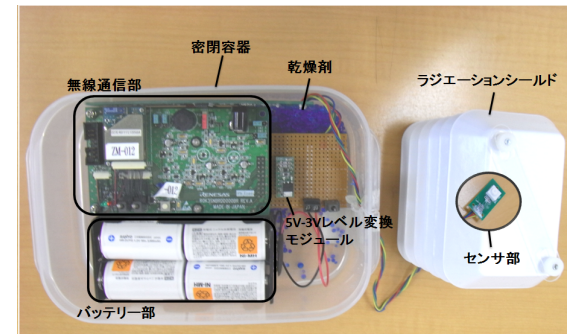


図4 耐候性センサ

### 3.6 評価方法

構築した施設園芸向け高密度無線センサネットワークの高密度センシングの有効性と信頼性、収集データ精度の3つに関する評価を行う。評価方法の詳細を以下に示す。

高密度センシングの有効性は、図5と対応した温湿度の分布図から温湿度ばらつきを検証する事で評価する。同じ栽培環境でも作物の生育に差ができるのは、位置によって温度・湿度等の環境データが異なるからだと推定できる。プラスチックハウス内に設置した各耐候性センサノードの測定値を比較し、プラスチックハウス内における環境データのばらつきを検証することで、高密度センシングの有効性を評価する。

信頼性の評価にはデータ収集率を用いる。設置したセンサ毎に算出したデータ収集率から構築したネットワークの信頼性を評価する。データ収集率は以下の計算式から算出する。

$$\text{データ収集率 (\%)} = \frac{(\text{実際に受け取ったデータ数})}{(\text{理論上の受け取るデータ数})} \times 100$$

収集データの精度は、商用の温湿度測定機器と、開発した耐候性センサノードの測定値を比較する事で評価する。比較にはT & D CORPORATIONのおんどりを用いる。おんどりは耐候性センサノードと違い有線を用いて温度・湿度のデータ収集を行っている。最もデータ収集率の高かった耐候性センサノード：ID9A1と、付近に設置したおんどりのデータを比較することで精度の評価とする。

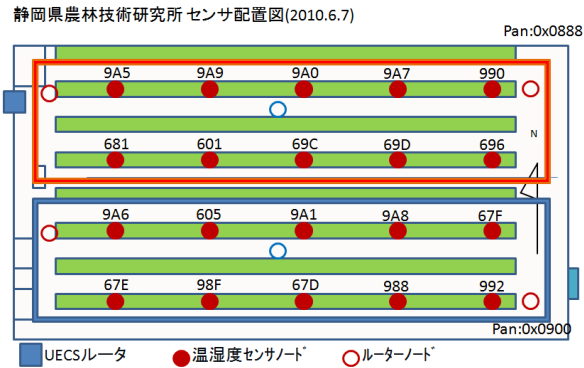


図 5 プラスチックハウス内センサ配置図

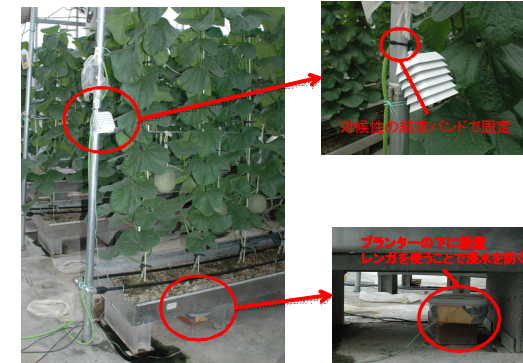


図 6 センサの設置状況

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 実験結果：高密度センシング

図 7 に 2010 年 6 月 17 日の時系列温湿度分布図と時系列温湿度変化グラフを示す。時系列温湿度分布図は図 5 のセンサ配置図と対応して耐候性センサノードの ID が割り当てられており、ブロックの色は温度の高低を表している。時系列温湿度変化グラフは各センサの温度変化の推移を表している。

時系列温度分布図からプラスチックハウス全体における時系列の温度変化の推移や温度のばらついている事と、温度の高い時間帯においてプラスチックハウス内の温度のばらつきが大きいことが分かる。更に時系列温度変化グラフからは、8 時～16 時において大きく温度がばらついており、同じプラスチックハウス内でも最大で 5℃以上の温度差が発生していることが見て取れる。湿度に関しても同様で最大で 20%程度の湿度差が発生している。以上から同一の栽培環境であっても、位置の違いから環境データにばらつきが出ると言える。

### 4.2 実験結果：データ収集率

図 8 に 2010 年 6 月 12 日～2010 年 6 月 20 日までのデータ取得率の分布図を示す。データ取得率の分布図の見方は時系列温湿度分布図と同様で、例えば 図 8 左上の 9A5 のブロックの色が赤に近いほど ID9A5 の耐候性センサノードのデータ取得率が高いことを表す。

大半の耐候性センサノードが 100%に近いデータ収集率であることが分かる。データ取得率の低いセンサノードのうち 2 台は全くデータを収集できていない。ただ、その他のセンサ

ノードは 50%以上のデータ収集率である。また、データ取得率の低い耐候性センサノードはプラスチックハウスの北側部分に集中している。これは北西に設置してある UECS ルータ (無線 LAN ルータ) による干渉が原因と考えられる。

### 4.3 実験結果：収集データの精度

図 9 に 2010 年 6 月 17 日 (晴天), 2010 年 6 月 18 日 (雨天) における耐候性センサとおんどりの時系列温度・湿度変化グラフを示す。まず温度について、耐候性センサノードとおんどりの全体的な温度変化の遷移はおおよそ近似していることが分かる。ただ時間帯や環境によっては多少のずれも見て取れる。例えば温度変化の激しい時間帯 (晴天 10 時～17 時, 雨天時の 10 時～12 時) においては、耐候性センサノードとおんどりとの測定値のずれが大きくなる傾向にある。加えて雨天時よりも晴天時の方が測定値のずれが大きくなっている事も分かる。また、温度変化の安定している時間帯において、常時 0.5℃程度耐候性センサノードの方が温度が高いことも分かる。

次に湿度の変化について、こちらも耐候性センサノードとおんどりの全体的な湿度変化の遷移はおおよそ近似していることが分かる。ただし耐候性センサノードはおんどりと比較して湿度変化の幅が小さい。湿度変化の激しい時間帯 (晴天時の 10 時～16 時) においてはその傾向が顕著である。また湿度変化の安定している時間帯では常時 5%程度耐候性センサノードの方が湿度が高いことも分かる。

### 4.4 考 察

以上よりこの実験において施設園芸における高密度センシングの有効性の検証と、信頼性



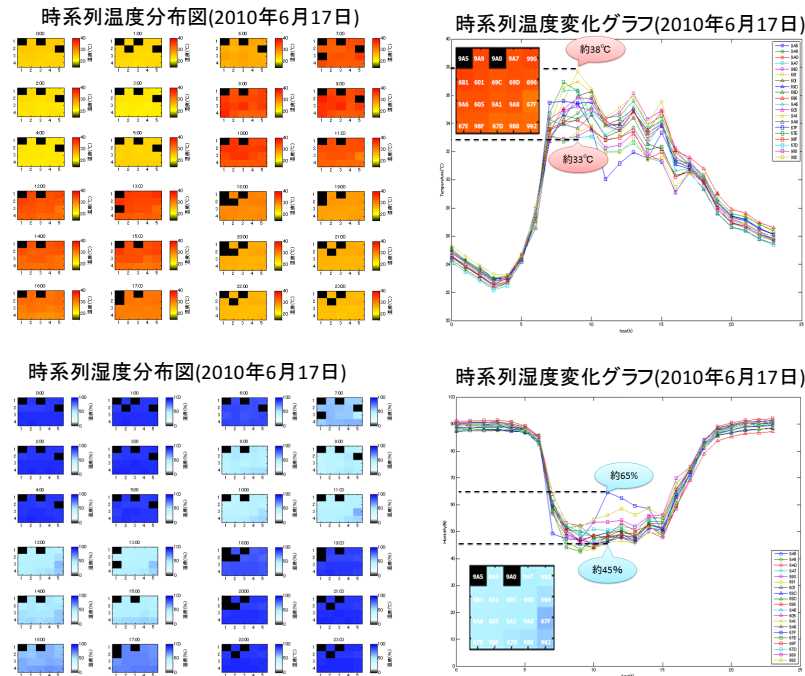


図 7 時系列温湿度分布図と時系列温湿度変化グラフ

とデータ精度を両立した無線センサネットワークの構築を行ったと言える。高密度センシングの評価から栽培作物は同一の栽培環境であっても位置によって環境データの測定値に違いがある事を発見し、高密度センシングの有効性を示した。データ収集率に関しては大半のセンサノードにおいて十分なデータ収集率を示すことができ、データの精度に関しても温度・湿度の両方に関して、有線で設置された既存の製品とある程度近似した値を測定できた。

しかし同時にいくつかの課題も見つかっている。高密度センシングに関しては位置による環境の差が作物の成長与える影響に関しては判明していない。温度・湿度を初めとする様々な環境データと作物の成長具合を時系列で比較する事でその相関関係についての検証を行う必要がある。

データ収集率においては、プラスチックハウス北側の数台のセンサノードが低いデータ取

ガラスハウス内データ取得率(6月14日～20日)

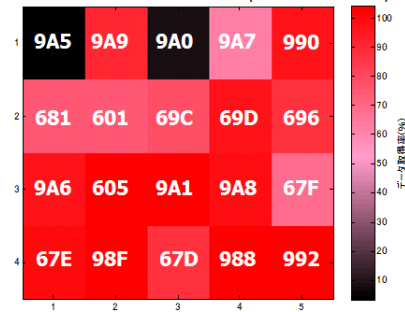


図 8 プラスチックハウス内データ取得率

集率を記録し、ネットワークの信頼性が損なわれていることが分かった。これはプラスチックハウス北側にネットワークに干渉する何らかの要因があることを示しており、要因の発見と排除が必要となる。また無線センサネットワークの信頼性の低下原因としては、季節や時間帯等、作物の成長等による環境の変化が考えられる。今後は環境の変化や時系列等も考慮したデータ収集率の評価も行う必要がある。

収集データの精度においては、商用製品(おんどとり)と耐候性センサノードの全体的な測定値のずれと、急激な温度・湿度変化の際の測定値のずれという2つの課題を発見した。課題の解決法としてはまず測定方法の再検討が挙げられる。センサ部を保護しているラジエーションシールドが周囲の空気の流れを妨げ、結果上記のような測定値のずれの原因となっていることが考えられる。ファンなど用いてラジエーションシールド内に空気の流れを作ることでこの課題への対処が可能となる。また、現在は温度・湿度のみを測定しているが、施設園芸において必要となる環境データとしては不十分であると言える。日照量・土壌温湿度・土壌水分量等を測定するためにセンサの拡張が必要となる。

## 5. まとめと今後の展開

本稿では施設園芸における高密度センシングの有効性の検証と、信頼性と測定精度を両立した高密度無線センサネットワークの構築を行った。農業技術伝承に関する課題の解決のためには、熟練農家の持つ農業技術の形式知化を行い、新規就農者にも容易に優れた農業技術を参照できる環境が必要となる。高密度な無線センサネットワークの構築により栽培作物に

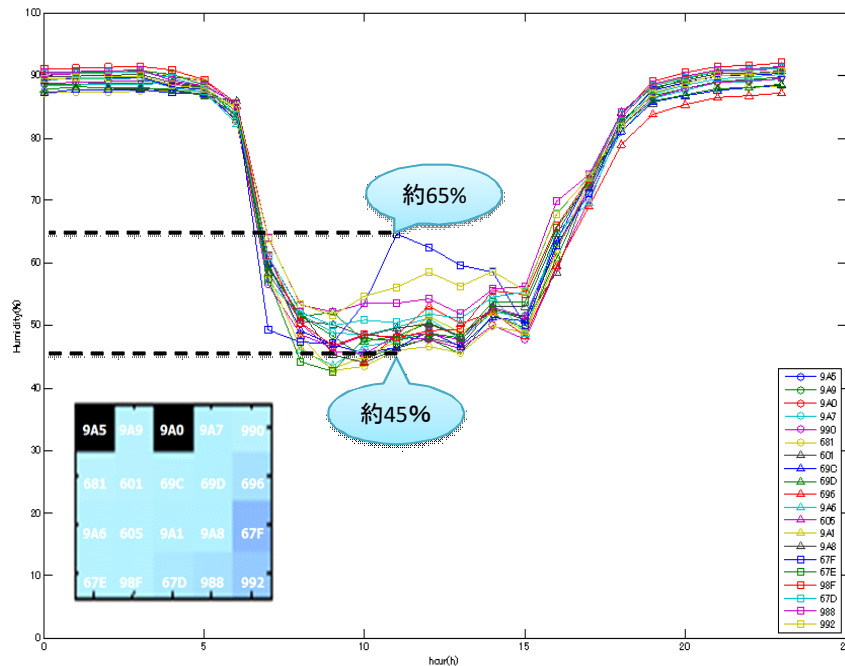


図9 耐候センサとおんどりの時系列温度・湿度変化グラフ

関する細やかなデータ収集が可能となり、熟練農家の技術の形式知化に大きく貢献した。

今後まず取り組むべき課題はデータ収集品質の向上である。前章で考察したネットワークの相互干渉、測定精度の向上、測定種目の追加の3つに取り組む事で、より細やかで正確な環境データ収集を目指す。質の高い環境データ収集が可能となった後は、測定データを利用した農業技術の形式知化に取り組む。測定データと実際に農家が行った作物栽培行動の比較から両者の相関関係を発見し、実際に農家が行う作物栽培行動の予測と検証を行う。これらを繰り返す事で農業技術の形式知化を目指す。

## 謝 辞

本研究の一部は、科学研究費 若手研究 A (21680007) および挑戦的萌芽研究 (22650012) の助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) Hiroshi MINENO, Kenji OBATA, Takahiro MASUI, Keichi ABE and Tadanori MIZUNO, "Development of a Wireless Sensor Network for Visualizing Agricultural Knowledge", KES IDT pp.1-8, 2010.
- 2) 農林水産省, 農業構造動態調査報告書, 2009, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001061909>.
- 3) 農林水産省, 農業・農村の潜在力の発揮のために～国民に安心を, 農業者に希望を, 農村に雇用とにぎわいをもたらす農政改革の推進, <http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/minutes/2009/0203/item5.pdf>.
- 4) 神成淳司, "特集 新しい〇〇情報学 農業情報学", 会誌「情報処理」Vol.51 No.6, pp.635-641.
- 5) 高辻正基, 完全制御型植物工場, オーム社出版部, 2007.
- 6) Alberto Camilli, Carlos E. Cugnasca, Antonio M. Saraiva, Andre R. Hirakawa, Pedro L.P. Correa "From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture", Computers and Electronics in Agriculture 55, pp.25-36, 2007.
- 7) F.J. Pierce, T.V. Elliott, "Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington", computers and electronics in agriculture 61, pp.32-43, 2008.
- 8) Buenafe R. Abdon, Robert T. Raab, "Knowledge Sharing and Distance Learning for Sustainable Agriculture in the Asia Pacific Region: The Role of the Internet", Plant production science 8(3), pp.298-307, 2005.
- 9) Santhosh K. Seelan, Soizik Laguette, Grant M. Casady, George A. Seielstad, "Remote sensing applications for precision agriculture", Remote Sensing of Environment 88, pp.157-169, 2003.
- 10) Alex Mcbratney, Brett Whelan, Tihomir Ancev, "Future Directions of Precision Agriculture", Precision Agriculture 6, pp.7-23, 2005.
- 11) 農林水産省: 農業分野における情報科学の活用等の関わる研究会報告書—AI 農業の展開について—, <http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kihyo03/pdf/090820-01.pdf>(2009).
- 12) 内閣府, 知的財産推進計画 2010 骨子, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/100330/gijisidai.html>.