

# 精密・スマート農業を支える ICT ～サイバー・フィジカル空間の融合に向けて～

鈴木 浩司, 北島 孝弘, 安野 卓 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

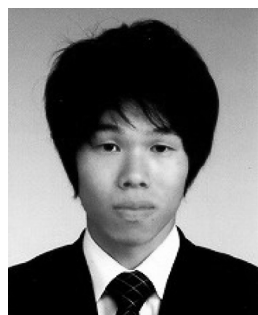


## 《鈴木 浩司 PROFILE》

略歴:

2011年 4月 香川高等専門学校 情報工学科 助教  
2015年 9月 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 助教  
2016年 4月 徳島大学大学院 理工学研究部 助教  
2017年 4月 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 助教

専門分野: 計測・制御工学 (知能ロボット, センサネットワーク)

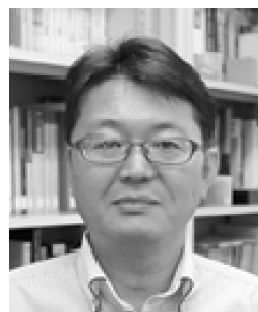


## 《北島 孝弘 PROFILE》

略歴:

2013年 4月 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 技術員  
2016年 4月 徳島大学大学院 理工学研究部 技術員  
2017年 4月 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 技術員

専門分野: 自然エネルギーシステム, 人工知能



## 《安野 卓 PROFILE》

略歴:

1994年 1月 徳島大学工学部 助手  
2001年 12月 徳島大学工学部 講師  
2007年 4月 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授  
2013年 10月 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授  
2017年 4月 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 教授

専門分野: 制御応用工学 (知的情報処理技術の工学的応用: 再生可能エネルギーシステム, ロボットシステム, 農業支援システム など)

## 1 はじめに

原始的な狩猟社会の Society1.0 に始まり、農耕社会の Society2.0, 蒸気機関の発明 (第1次産業革命) によって動力を獲得した工業社会の Society3.0, 電力やモータの普及 (第2次産業革命) を経て、コンピュータやインターネットの登場 (第3次産業革命) により実現した情報社会の Society4.0, そして、IoT や AI の高度な活用 (第4次産業革命) により実現される未来社会の Society5.0 に向かって現在は進んでいる。Society5.0 では、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合が不可

欠と言われ、それが実現できれば我々は超スマート社会を迎えることになる。

農業分野においても、センシング技術、情報通信ネットワーク技術、コンピュータサイエンス技術、ロボット技術などの様々な要素技術の進展を背景に、勘や経験に頼っていたこれまでの農業からデータに基づく農業へと転換が進み、安心・安全で高品質な作物を安定して供給可能な「スマート農業」が普及段階に入っている。本稿では、我々の研究グループで取り組んでいるサイバー・フィジカル空間の高度な融合に向けた研究事例を紹介し、「精密・スマート農業」への展望について述べる。

## 2 ネットワーク対応型3次元空間 温湿度分布モニタリングシステム

安心・安全で高品質な作物を安定して栽培するためには、植物に適したより良い環境を提供する必要がある。比較的その環境を提供しやすい植物工場には、完全人工光型植物工場と太陽光利用型植物工場がある。太陽光利用型植物工場は太陽エネルギーを利用できる反面、それを制御することはできないため、環境モニタリングとそれに基づく環境制御、同時に、生育予測によって安定生産や計画生産を実現しなければならない。ここでは、施設園芸ハウス内の環境（3次元空間温湿度分布）を精密（時空間的高分解能）にモニタリング可能なシステムを紹介する<sup>1)</sup>。

図1に示すように、試作システムは、コンピュータ（Raspberry Pi3）と独自設計の複数のマイコン基板から構成されている。温湿度センサはセンシリオン社のSHT-21を使用している。設計上、Raspberry Pi3にはUSBハブを介して最大25個（ID = A ~ Y）のMain

Boardを接続することができる。各Main BoardにはLANケーブルを使ったRS485バスを介して最大25個（ID = A ~ Y）のSensor Hubを接続することができ、電源もこのケーブルから給電される。各Sensor Hubには最大15個（ID = A ~ O）のSensor Unitを接続することができる仕様にしており、最大9,375のセンサID（AAA ~ YYO）を管理できる。

計測データは、USBメモリへの保存に加え、メール送信、クラウドストレージやWebサーバにアップロードする機能を持っている。計測データや画面のキャプチャ画像、各種ログ情報を保存するタイミングは、イベント設定ファイルに記述することで、プログラムの変更なしに計測動作を設定できる。現在稼働中のシステムでは、計測データは10分毎と1時間毎にUSBメモリとクラウドストレージに保存される。また、計測データとシステム状態は10分毎にWebサーバにアップロードされ、12時間毎（0時と12時）にクラウドストレージに保存される。図2は、Webページに表示される温度、湿度、飽差の時系列データとそれらの空間分布の例を示している。

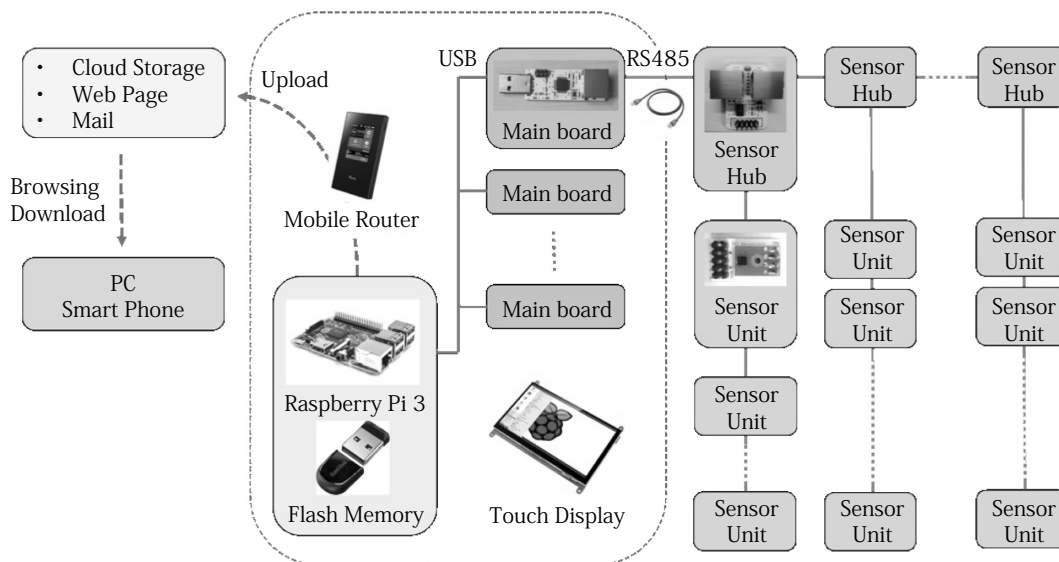
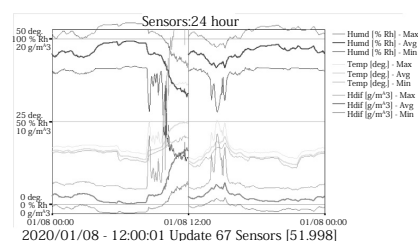
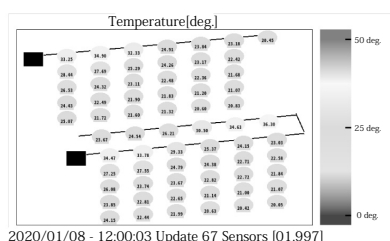


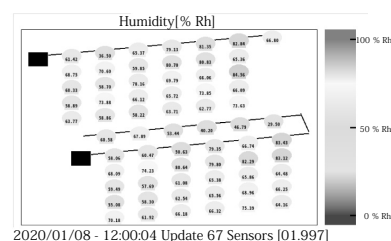
図1 ネットワーク対応型3次元空間温湿度分布モニタリングシステムの構成



(a) 時系列表示



(b) 温度分布表示



(c) 湿度分布表示

図2 Webページでのデータ表示例

### 3 畳み込み LSTM を用いた気象衛星雲画像予測システム

太陽光利用型植物工場において、制御できない環境因子は太陽エネルギーである。しかし、特に日射は植物の生育に関わる光合成に大きく影響するため、ある程度推定 (Nowcasting) あるいは予測 (Forecasting) して対応することが望ましい。大気外日射は理論的に計算できるが、地表面日射は雲の影響を受けるため、雲の状態が推定あるいは予測できなければ、見積もることはできない。ここでは、深層学習の1つで時系列画像処理予測に有

効とされている畳み込み LSTM (Convolutional Long Short-Term Memory ; ConvLSTM) を用いた気象衛星雲画像予測システムを紹介する<sup>2)</sup>。

図3に示す予測モデルは、大域的な雲の動きを考慮するために、ConvLSTMで処理される特徴マップの解像度を半分にダウンサンプリングし、また、予測画像を生成している畳み込み層の前にアップサンプリングを追加している。

図4は、静止衛星ひまわり8号が観測する16の波長帯のうち、バンド13の赤外データを輝度温度に換算した上で0~1の範囲で正規化し、その雲画像から

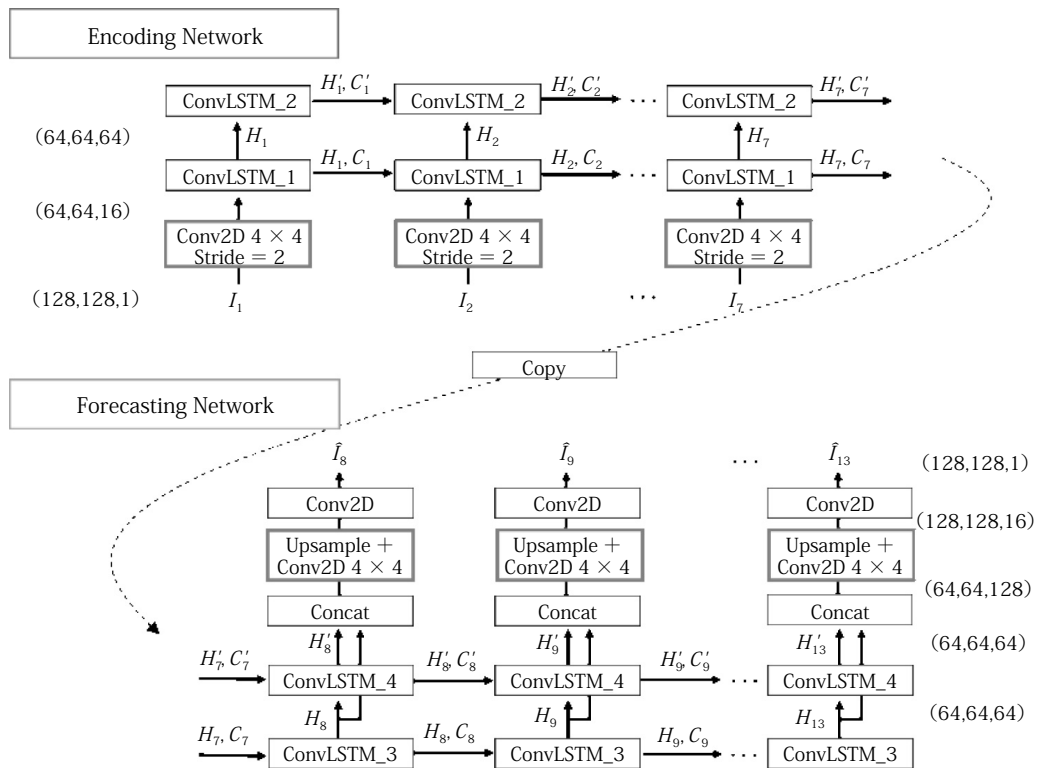


図3 畳み込み LSTM を用いた予測モデルの構成

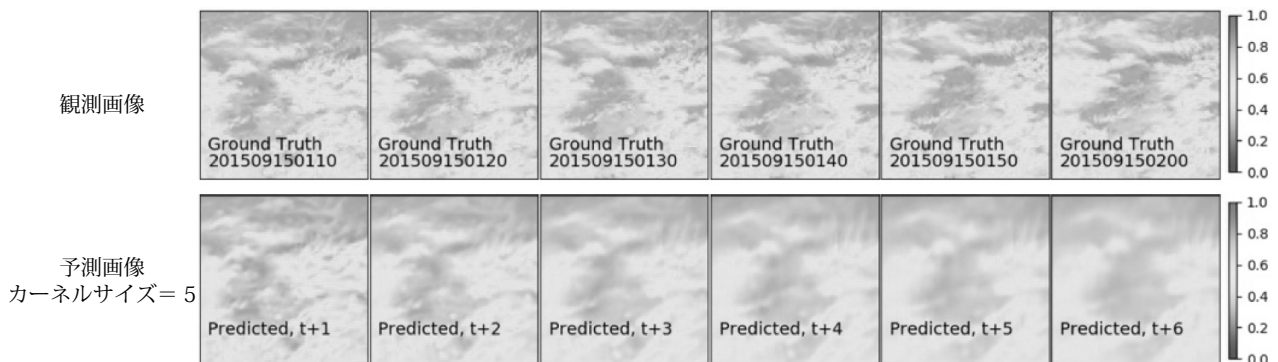


図4 ConvLSTMによる雲画像予測結果

高知市を中心とする  $256 \times 256$  ピクセルを切り出して  $128 \times 128$  ピクセルに縮小した雲画像データ ( $I_1 \sim I_T$ ) から予測された雲画像を示している。観測画像では左端と右端の雲が時間の経過とともに右方向に移動しており、予測画像はその雲の移動を予測できていることが分かる。この結果を基に日射量に換算すれば、予測日射量を得ることができる。

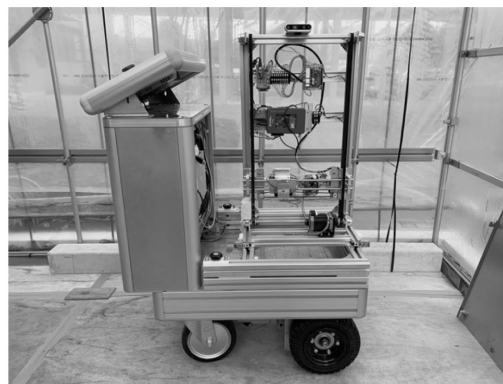
## 4 農作業支援ロボット

農林水産省が提供する施設園芸野菜（トマト）の作業別労働時間の統計データ<sup>3)</sup>によると、薬剤散布や収穫・調整に多くの時間が割かれていることが分かる。これらの作業の負担軽減（省力化）を目的とした農作業支援ロボットへの期待は高く、様々なロボットが研究・開発されている。ここでは、防除や生育モニタリングに利用可能な自律型移動ロボット台車を紹介する<sup>4)</sup>。

図5は、我々の研究室で開発した自律型移動ロボット台車に防除ユニット（静電噴霧装置）および生育モニタリングユニット（深度カメラ）を搭載した写真を示す。このロボット台車は施設園芸ハウス内を自律走行しながら人手を介すことなくそれぞれの作業を実現できる。例えば、図6は生育モニタリングユニットを搭載してトマトの生育状況を撮影した画像（原画像と深度画像）を示している。様々な画像処理技術を適用することで、トマトの生育状態（色味、大きさ、果房位置など）を定量的に得ることができる。これは、栽培段階からのトレーサビリティに有用で、環境制御や灌水制御などの制御指令の決定や収穫ロボットの制御等にも応用が期待できる。



(a) 防除ユニット搭載時

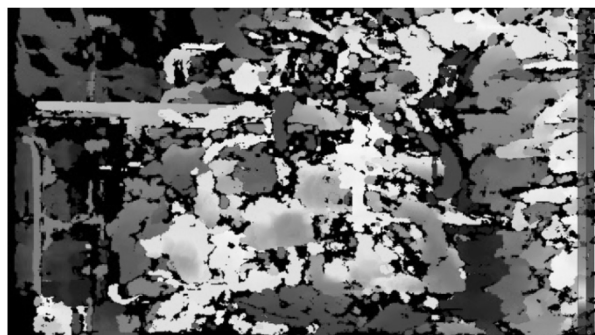


(b) 生育モニタリングユニット搭載時

図5 試作した自律型移動ロボット台車



(a) カラー原画像



(b) 深度画像

図6 生育状況の撮影画像例

## 5 おわりに

本稿では、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合に向けた研究事例として、ICTを応用した「ネットワーク対応型3次元空間温湿度分布モニタリングシステム」、AIを応用した「畳み込みLSTMを用いた気象衛星雲画像予測システム」、RT (Robot Technology) を応用した「自律型移動ロボットシステム」を紹介した。

今後、ICT, IoT, AI, RT がそれぞれバランスよく進展し、本稿で例示した個々のシステムが1つのシステムとして統合されたとき、サイバー・フィジカル空間は高度に融合し、「精密・スマート農業」が実現できるものと考えている。

### 参考文献

- 1) 安野卓, 鈴木浩司, 北島孝弘, 人工知能による環境の計測・予測・制御と防除ロボットの開発, 技術情報協会, 第11章, 第7節, No. 2, pp. 429-437 (2018)
- 2) 藤岡直人, 鈴木浩司, 北島孝弘, 桑原明伸, 安野卓, 瀧川喜義, 第24回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, pp. 57-60 (2019)
- 3) 農林水産省, 農業経営統計調査・品目別経営統計, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500201&tstat=000001013460&cycle=7&year=20070&month=0&tclass1=000001013649&tclass2=000001020117&tclass3=000001034993> (2017)
- 4) Takahiro Kitajima, Akinobu Kuwahara, Takashi Yasuno, Tatsuya Fujii, Ken Inoue, Masahiro Inoue, Development of Autonomous Pesticide Spray Robot and Its Driving Algorithm for Greenhouse Horticulture, International Conference on Design and Concurrent Engineering (iDECON2015), No.52 (2015)