

# 計測・制御技術を活用した植物工場ソリューション

Plant Factory Solution with Instrumentation and Control Technology

長瀬 一也 NAGASE, Kazuya

白木 崇志 SHIRAKI, Takashi

岩崎 秀威 IWASAKI, Hidenari

近年、農業人口の減少や異常気象に伴う農作物生産の不安定化などを背景に植物工場が注目される中、富士電機は、温度や湿度など複数の栽培環境因子を複合的にコントロールする複合環境制御システムを特徴とする植物工場ソリューションを展開している。現在、複合環境制御システムと連携する生産プロセスデータ予測システムの技術開発を進めており、その一つであるイチゴの収穫量予測機能では、1週間先まで収穫量を予測できるため、販売ロスの低減や人的資源の有効活用による収益改善が期待できる。今後、品種や作物などの違いにも対応する技術開発に取り組んでいく。

In recent years, plant factories have been attracting attention due to agricultural production instability resulting from the shrinkage in the farming population and abnormal weather. Against this backdrop, Fuji Electric has been offering plant factory solutions specializing in a complex environmental control system, which controls multiple environmental factors, such as temperature and humidity. We are currently advancing in the development of technologies for production process data forecasting systems that cooperate with the complex environmental control system. Among these technologies, we have developed a crop yield forecasting function for strawberry farmers, which is capable of forecasting crop yields up to one week in advance. This technology is expected to improve profitability by helping reduce sales loss and facilitating the effective use of human resources. In the future, we plan to pursue the development of technologies that can deal with differences in plant varieties and crops.

## 1 まえがき

近年、農業人口の減少や異常気象に伴う農作物生産の不安定化などを背景として、植物工場が注目されている。植物工場とは、温湿度やCO<sub>2</sub>濃度などの環境を高度に制御し、周年生産を行うことができる施設である。

富士電機では、温度や湿度など複数の栽培環境因子を複合的にコントロールする複合環境制御システムを主とする設備機器を含め、植物工場ソリューションを展開している。主な実施例として、2014年に北海道苫小牧市に建設された苫東ファーム株式会社の太陽光利用型植物工場がある<sup>(1)</sup>。複合環境制御システムをはじめ、受変電設備、環境計測機器、冷蔵設備、物流用保冷コンテナ「D-BOX」などを納入している。

本稿では、植物工場の市場動向、植物工場“苫東ファーム”の概要および計測・制御技術を活用した植物工場ソリューションについて述べる。

## 2 植物工場の市場動向

2009年12月施行の改正「農地法」により、農業への参入条件が大きく緩和された。以降、他業種からの参入が活発化し、参入者の多様化が進んでいる。特に、周年生産が可能な植物工場への新規参入が増加しており、大幅な市場拡大が見込まれている。図1に、国内植物工場のプラント建設額予測を示す。2025年には、2015年の約3.5倍の5,247億円に達すると予測されている。

植物工場は、太陽光利用型と完全人工光型に大別される。太陽光利用型は、温室で太陽光を利用しながら施設内環境を制御する施設であり、完全人工光型は、蛍光灯やLEDなどの人工光を光源とする閉鎖環境の施設である。

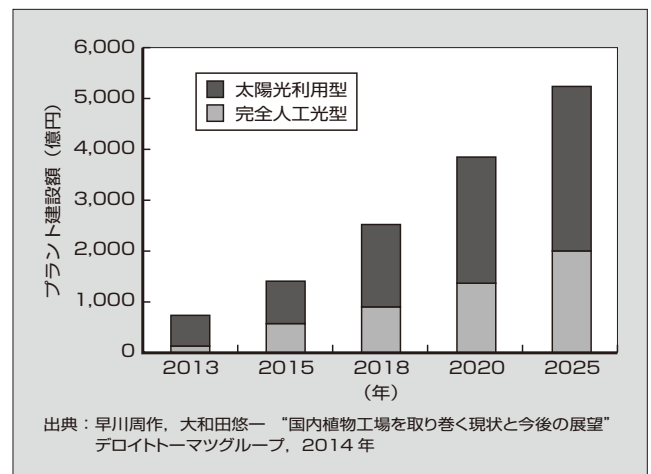


図1 国内植物工場のプラント建設額予測

植物工場の運用には、施設内環境の計測とともに、適切な環境条件にするための空調や給液装置などの制御が不可欠であり、富士電機が保有する計測・制御技術が活用できる。

富士電機の植物工場ソリューションは、植物工場の設計・調達・建設の一連の工程を請け負うEPC（Engineering Procurement Construction）が基本であり、複合環境制御システムが主な構成要素である。

## 3 苫東ファームの概要

苫東ファームは、北海道苫小牧市の苫小牧東部地域にある植物工場である。富士電機、清水建設株式会社、ウシオ電機株式会社、金融機関などの共同出資会社である苫東ファーム株式会社が運営している。農林水産省の次世代施設園芸導入加速化支援事業に採択され、2014年からイチゴの生産を行っている。図2に苫東ファームの外観と全体

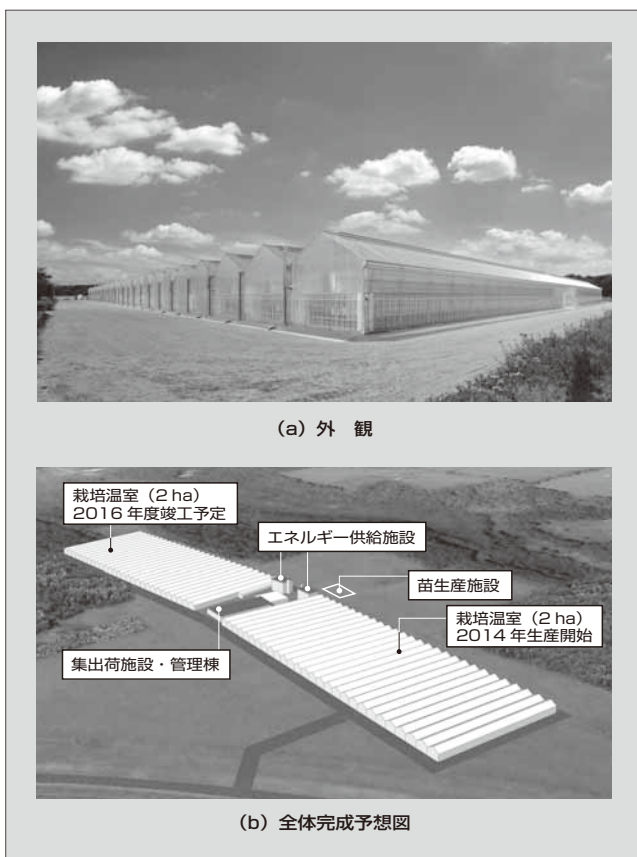


図2 苫東ファームの外観と全体完成予想図

完成予想図を示す。

苫東ファームは、一つの温室の面積が約2ha（間口8m×奥行93m×軒高4m×28連棟）であり、七つのエリアに区分けした上で、エリアごとの生産・環境管理を行う。栽培方式は高設水耕栽培（かけ流し式、ロックウール粒状綿培地）である。冬から初夏にかけて生産できる一季成リイチゴ（品種：とちおとめ、紅ほっぺ）と、初夏から冬にかけて生産できる四季成リイチゴ（品種：すずあかね）を組み合わせた作型を採用し、イチゴの周年生産の体制を構築している。

育苗施設として、培養育苗成用の完全人工光型育苗施設1台、高設水耕栽培による親株育成用パイプハウス（250m<sup>2</sup>×2棟）、ベンチ育苗用パイプハウス（166m<sup>2</sup>×4棟）を備えている。ベンチ育苗用パイプハウスでは、一季成リイチゴのポット育苗を挿し苗により行い、栽培温室での生産に使用する。

エネルギー供給施設として、木質チップボイラとヒートポンプチャラーを備えている。夏季は冷水を、冬季は温水を供給し、栽培温室の冷暖房に使用する。

2016年度中に、栽培温室とエネルギー供給施設の増設を行い、温室の面積を合計4haに拡張する予定である。

#### 4 苫東ファームにおける環境制御

##### 4.1 システムの概要と特徴

苫東ファームの栽培温室内環境は、複合環境制御システム

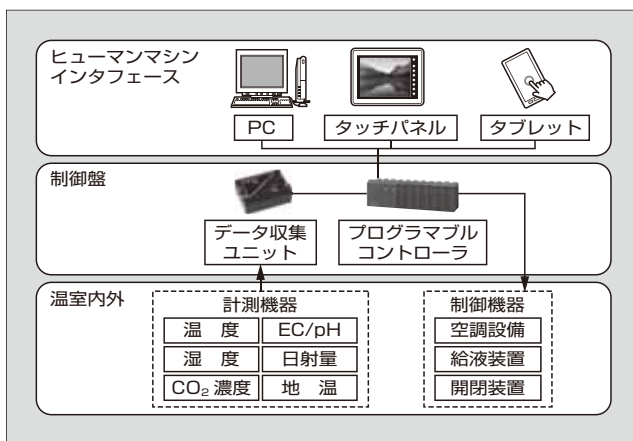


図3 苫東ファームにおける複合環境制御システムの構成

ムにより制御している。図3にシステムの構成を示す。

システムは、富士電機の製品群から、双芯型の温度センサ「FTNE形」やCO<sub>2</sub>濃度分析計「ZFP形」を含むさまざまな計測機器、空調設備や給液装置などの制御機器、プログラマブルコントローラ「MICREX-SX」などを用いて構成している。計測項目は、温室内における温湿度、CO<sub>2</sub>濃度、日射量、給液のEC（肥料濃度）とpH、培地温度、ならびに温室外における温湿度、日射量、風速、風向であり、降雨や降雪も検知する。測定した環境情報を基に、温室内環境を制御し、周年生産を実現する。環境制御の設定は管理棟内のPCで行う。さらに、タッチパネル「MONITOUCH」やタブレット端末から制御機器を操作できる。

栽培温室は七つのエリアに分かれており、エリアごとに独立した制御が可能である。制御機能として、加温（融雪）、加湿、換気、保温、補光、遮光、CO<sub>2</sub>供給、空気循環および給液の機能を備えており、それぞれの機能を単独で、あるいは複合的に動作させることができる。

外気温が低い中での換気や、昼夜の温度較差が大きい中での冷房と暖房の切替えなど、北海道の気象条件下における特有な制御も可能である。

##### 4.2 課題

収益向上のためには、現状の制御を改良することによる省エネルギー（省エネ）化に加えて、省力化および単位面積当たりの収穫量の向上が重要な課題である。苫東ファームでは、環境データ、生育調査データ、収量データなどを蓄積している。各データのひもづけを進めながら、品種別に収穫量向上のための解析を進め、統合的な生産システムの構築を目指す。

#### 5 生産プロセスデータ予測システム

表1に、植物工場の課題を解決するために市場が要求する製品と必要な技術を示す。富士電機では、植物工場における収益性の改善に向け、課題を解決するための製品と技術の開発を計画的に進めている。その中から本稿では、生

表1 植物工場の課題を解決するための市場要求（製品と必要な技術）

課題	製品	必要な技術
省エネ化	環境制御システム	○環境や生産量に合わせ、機器の稼働を最適化する技術 ○栽培に適した環境を効率的に実現する技術
省力化	生産自動化システム	○作物の状態管理、収穫、搬送を自動化する技術
収穫量向上	環境制御システム	○施設内の温度や湿度、CO <sub>2</sub> 、風速分布を均一化する技術 ○環境や作業における各種パラメータと収穫量の関係性を把握する栽培基礎技術
	室内空気品質向上システム	○施設内の空気清浄度を向上させる技術
	生産プロセスデータ予測システム	○病気・害虫や栽培障害の発生および収穫量を予測する技術

産プロセスデータ予測システムとそのアプリケーションの一つである収穫量予測機能について述べる。

### 5.1 構成

植物工場の課題に対応する製品として、生産プロセスデータ予測システムを開発している。将来発生する農作業の内容や規模、時期を予測することで、植物工場の収益の改善につなげることを目的としている。

作業の実施の有無や作業量の判断は、従来、日々のチェックの結果や熟練農業者の勘に頼って行っていた。しかし、植物工場においては、熟練農業者自身がエリアの全てをチェックすることはできない。また、環境のゆらぎなどによるばらつきがあるため、勘による作業判断も難しい。このため、客観的・定量的なデータを基に作業の判断が可能な技術の開発が課題となっていた。

生産プロセスデータ予測システムの構成を図4に示す。システムにおける処理の流れは次のとおりである。

#### (1) 入力機能

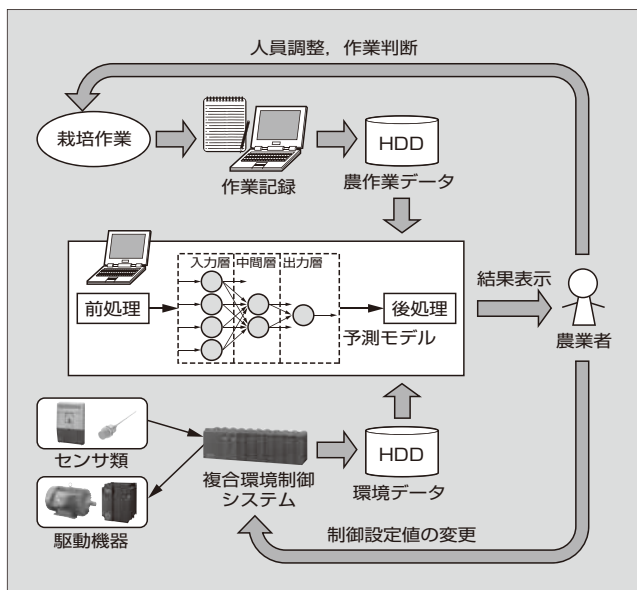


図4 生産プロセスデータ予測システムの構成

予測モデルに入力するためのデータを準備する。データには、環境データと農作業データが挙げられる。

#### (a) 環境データ

温度、湿度、日射量、CO<sub>2</sub>濃度などの時系列データであり、環境制御システムから取得する。

#### (b) 農作業データ

手入れ作業の有無や収穫量などの日々のデータを入力し、農作業データとする。

#### (2) 前処理機能

データ形式の統一、サンプリング周期の統一、欠損値の補完、データのマージなどの変換手法を用いて各種データを加工し、予測に使用可能なデータ形式に変換する。

#### (3) 予測機能

予測機能は、予測モデルを生成するプロセスとそのモデルを運用するプロセスから成る。

#### (a) 予測モデルの生成

予測モデルの生成には、過去のデータを用いる。収穫量など予測したいデータを目的変数とし、環境データなどその予測対象に関係するデータを説明変数として、学習を行うことによって予測モデルを生成する。

#### (b) 予測モデルの運用

説明変数のデータを生成した予測モデルに入力することにより、リアルタイムで予測対象の結果を出力することができる。

#### (4) 後処理、表示機能

単位などのデータ属性の変更や、積算などの演算手法を用いることで、予測結果のデータを農業者にとって作業判断を行いやすい形式に加工・変換した後、画面に表示する。農業者は、予測対象に関する作業を実施するかどうかを判断する際、その表示内容を参考にできる。

### 5.2 予測対象と予測モデル

栽培管理において望まれる予測対象は次のとおりである。

#### (a) 病気・害虫の発生

うどんこ病、灰色かび病、炭そ病、ハダニ、ホコリダニ、アブラムシなど

#### (b) 栽培障害の発生

高温障害、低温障害、変形果、ふち枯れ、チップバーンなど

#### (c) 収穫量、栽培作業タイミング

収穫量、葉かき・摘果・摘花・マルチ掛けなどのタイミングなど

予測対象の発生量や実施量および時期は、温度、湿度、日射量、光合成量、生育日数、苗の生育状態、関連作業の数量、土壌成分、ハチの活動などの複合的で自然的な要素が影響する。さらに各要素の影響量は、作物の種類（イチゴほか）、品種（とちおとめ、紅ほっぺ）、設備条件（土耕・水耕、採光条件、立地場所）などによっても大きく変動する。そのため、各要素を条件として事前の実験によって数式化することは膨大な工数が掛かる。

生産プロセスデータ予測システムは、機械学習をベース

に置いた方式を用いている。回帰式などの複雑な数式により予測する方法では複雑なパラメータの設定が必要であるが、この方式ではその必要がないため、条件変更の際に掛かる工数を大幅に削減できる。

次に、予測に必要なデータについて述べる。次に示す二つの要件を満たすデータを取得することで、スムーズに予測の開始につなげることができる。

- (a) 予測モデルの生成：数か月程度のデータが事前に取得済みであること
- (b) 予測モデルの運用：データが定周期かつ自動で取得できること

なお、類似条件の予測モデルが準備できれば、事前にデータ取得期間を設けることなく予測モデルの運用を開始できる。また、農作業データについては、記録ツールを介して入力を行うことでデータを自動で取得できる。

### 5.3 収穫量予測機能

生産プロセスデータ予測システムのアプリケーションとして、イチゴの収穫量を予測する機能の開発を進めている。

販売ロスの低減や作業効率の改善によって植物工場の収益を向上させるためには、予測収穫量と実収穫量の誤差が可能な限り少ないことが望ましい。また、特にイチゴは収穫後に保存可能な期間が非常に短いため、1日単位という短周期での収穫量予測が求められている。

収穫量予測は、5.2節で述べた生産プロセスデータ予測システムの流れに沿った処理を行っている。温度や日射量などのデータを説明変数とし、1日単位の収穫量を目的変数として過去のデータから予測モデルを生成する。これにより、1日単位の収穫量の予測と表示を可能にしている。

また、週間天気予報を基に温室内の環境を予測したデータを収穫量予測モデルに適用することで、1週間先までの収穫量の予測を可能にしている。

農業者は、その予測値を参考にして顧客に出荷量を回答

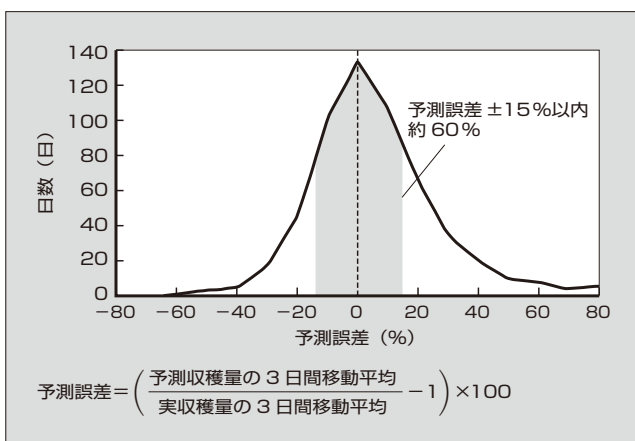


図5 収穫量予測結果

でき、販売ロスの低減による収益改善が期待できる。また、収穫などの作業量を見積もることで、人的資源の有効活用による収益改善も期待できる。

図5に、苫東ファームにおけるあるエリアの収穫量の予測結果を示す。全日数のうち約60%の日が±15%以内の誤差となることを確認した。

今後、さらに高度な予測技術を構築することによって予測精度を向上させるとともに、他作物への展開を目指す。また、富士電機が得意とする異常診断技術や最適化技術などの数理応用技術を組み合わせるとともに、業務管理や制御システムなど他システムとの連携によって植物工場における顧客価値の向上につなげていく。

## 6 あとがき

本稿では、計測・制御技術を活用した植物工場ソリューションについて述べた。今後も富士電機のコア技術である冷熱技術、制御技術、数理応用技術を生かして総合的な技術開発に取り組み、ソリューションを強化していく所存である。

### 参考文献

- (1) 吉田仁. 大規模イチゴ栽培園芸施設への複合環境制御システムの適用. 施設と園芸. 2015, no.171, p.39-42.
- (2) 早川周作, 大和田悠一. 国内植物工場を取り巻く現状と今後の展望. デロイトトーマツグループ, 2014. <http://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/consumer-business/articles/ag/agribusiness-botanical-factory1.html>, (参照 2016-01-19).



### 長瀬 一也

植物工場のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部組立・施設事業部アグリ技術部長。



### 白木 崇志

制御システムおよび予測技術の研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部コア技術研究所制御技術開発センターエネルギーソリューション開発部主任。



### 岩崎 秀威

土壌保全の研究およびイチゴ植物工場の生産業務に従事。現在、苫東ファーム株式会社生産部長。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。