采用测量和控制技术的植物工厂解决方案

Plant Factory Solution with Instrumentation and Control Technology

长濑　一也 NAGASE, Kazuya　　白木　崇志 SHIRAKI, Takashi　　岩崎　秀威 IWASAKI, Hidenari

近年来，在农业人口减少以及伴随异常气候，农作物生产不稳定等背景下，植物工厂日益受到关注。为此，富士电机推出了植物工厂解决方案。这种复合环境控制系统的特点在于可集中控制温度、湿度等多种栽培环境因素。现在，富士电机正致力于开发与复合环境控制系统联动的生产流程数据预测系统，其中之一的草莓收获量预测功能可提前 1 周预测收获量，因此，有望通过降低销售损失、有效利用人力资源，改善收益。今后，我们也将针对不同品种和作物等推进技术开发。

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　引言

近年来，农业人口减少以及伴随异常气候，农作物生产不稳定等背景下，植物工厂越发受到关注。植物工厂是可对温湿度、CO_2 浓度等环境进行有力控制，实现全年生产的设施。

富士电机推出了植物工厂解决方案。其中包括以可复合地控制温度、湿度等多种栽培环境因素的复合环境控制系统为主的设备装置。主要的实施例有 2014 年在北海道苫小牧市建设的苫东农场株式会社的太阳光利用型植物工厂[(1)]。富士电机向该公司提供了复合环境控制系统以及受变电设备、环境测量仪器、冷藏设备、物流保冷集装箱“D-BOX”等产品。

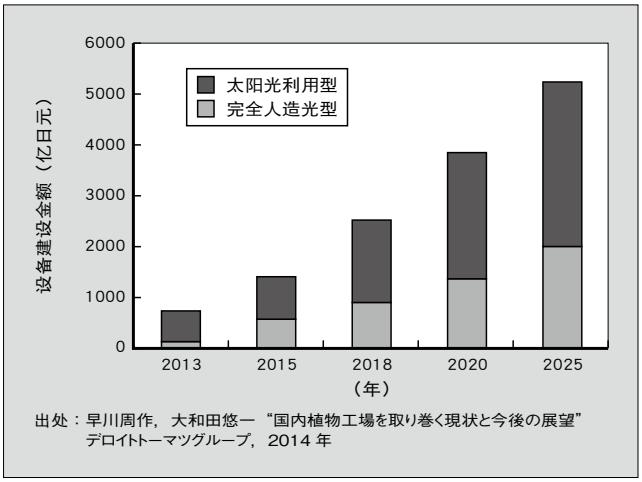
本稿将对植物工厂的市场动向、植物工厂“苫东农场”的概要和采用测量和控制技术的植物工厂解决方案进行介绍。

2　植物工厂的市场动向

根据 2009 年 12 月实施的修订版《农地法》，农业的准入条件大幅度放宽。之后，其他行业参与农业的情况增加，参与者呈现多样化的趋势。尤其是全新参与可进行全年生产的植物工厂事业的情况增加，市场规模预计将大幅扩大。**图 1** 展示了日本国内植物工厂的设备建设预测金额[(2)]。预测到 2025 年，该金额将是 2015 年的约 3.5 倍，达到 5,247 亿日元。

植物工厂大致可分为太阳光利用型和完全人造光型。太阳光利用型是在温室内，一边利用太阳光一边控制设施内环境的设施；完全人造光型则是以荧光灯、LED 等人造光为光源的环境密闭的设施。

在运用植物工厂时，设施内环境的测量以及实现合理环境条件所需的空调和供液装置等的控制不可欠缺，对此，可充分利用富士电机拥有的测量和控制技术。



出处：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 年

图 1　日本国内植物工厂的设备建设预测金额

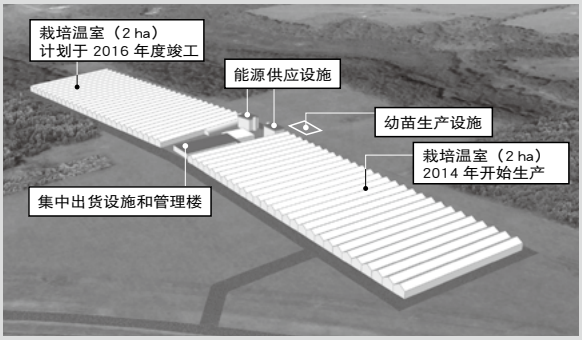
富士电机的植物工厂解决方案以承包植物工厂的设计、采购、建设这一系列工序的 EPC（Engineering Procurement Construction）为基本，以复合环境控制系统为主要构成要素。

3　苫东农场的概要

苫东农场是位于北海道苫小牧市东部地区的植物工厂。由富士电机、清水建设株式会社、牛尾电机株式会社以及金融机构等共同出资成立的公司——苫东农场株式会社运营。被列入农林水产省的新一代设施园艺导入加速化支援事业，从 2014 年开始生产草莓。**图 2** 展示了苫东农场的外观和整体概念图。

苫东农场一个温室的面积约为 2 ha（正面宽 8 m× 纵深 93 m× 高 4 m×28 排），分为七个区域，按区域进行生

（a）外观



（b）整体概念图

图 2　苫东农场的外观和整体概念图

产和环境管理。采用高架水培（无沟漫灌式、岩棉颗粒状培养基）的栽培方式。以从冬季到初夏为生产周期的一季草莓（品种：枥乙女、红颊）和以从初夏到冬季为生产周期的四季草莓（品种：Suzuakane）组合栽培的模式，构建了草莓的全年生产体制。

育苗设施配备了培养苗育成用的完全人造光型育苗设施 1 台，采用高架水培方式的母株育成用塑料大棚（250 m^2×2 栋），台架育苗用塑料大棚（166 m^2×4 栋）。在台架育苗用塑料大棚中，通过扦插幼苗，进行一季草莓的小钵育苗，用于栽培温室中的生产。

作为能源供应设施，配备了木屑燃料锅炉和热泵冷热水机组。夏季供应冷水，冬季供应温水，用于栽培温室的制冷和加热。

另外还计划于 2016 年内增设栽培温室和能源供应设施，温室面积合计扩大至 4 ha。

4　苫东农场中的环境控制

4.1　系统的概要和特点

苫东农场的栽培温室内环境利用复合环境控制系统进行控制。**图 3** 中展示了系统的构成。

系统从富士电机产品群中选取，由包括双芯型温度传感器“FTNE 型”、CO_2 浓度分析仪“ZFP 型”在内的各种测量仪器，空调设备和供液装置等控制设备，以及可编程控制器“MICREX-SX”等构成。测量项目为温室内的温湿度、CO_2 浓度、日照量、供液的 EC（肥料浓度）和 pH、培养基

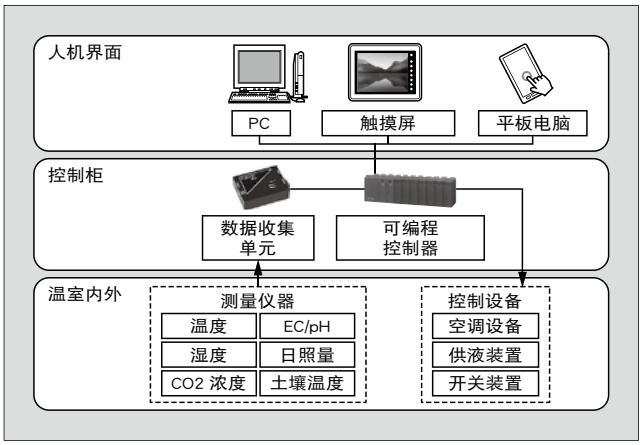


图 3　苫东农场复合环境控制系统的构成

温度、温室外的温湿度、日照量、风速、风向，也会检测降雨和降雪。根据测定的环境信息控制温室内环境，实现全年生产。环境控制的设定在管理楼内的 PC 上进行。并且，还能从触摸屏“MONITOUCH”及平板电脑上操作控制设备。

栽培温室被分为七个区域，可对各区域进行独立的控制。控制功能具备加热（融雪）、加湿、换气、保温、补光、遮光、CO_2 供应、空气循环以及供液的功能，可使各功能单独或复合运行。

还能在北海道的气候条件下，进行特有的控制，如室外温度较低情况下的换气，昼夜温差较大情况下的制冷加热切换等。

4.2　课题

为提升收益，除了改良现行控制以实现节能，省力化和单位面积收获量的提升也是重要的课题。苫东农场不断积累着环境、生长调查、收获量等数据。旨在通过推动各数据的关联，推进提升各品种收获量的分析，构建综合性的生产系统。

5　生产流程数据预测系统

表 1 中展示了为解决植物工厂的课题，市场所要求的产品和必备技术。富士电机为改善植物工厂的收益性，有计划地推进着可解决课题的产品和技术的开发。本稿中将对其中

表 1　为解决植物工厂的课题的市场要求（产品和必备技术）

课题	产品	必备技术
节能化	环境控制系统	○根据环境和产量，优化设备运转的技术 ○高效实现适合栽培的环境的技术
省力化	生产自动化系统	○作物的状态管理、收获、搬运自动化的技术
收获量提升	环境控制系统	○设施内的温度、湿度、CO_2、风速分布均匀化的技术 ○把握环境、作业方面的各项参数与收获量的关联的栽培基础技术
	室内空气品质提升系统	○提升设施内空气洁净度的技术
	生产流程数据预测系统	○预测病虫害、栽培灾害发生和收获量的技术

的生产流程数据预测系统及其应用程序之一的收获量预测功能进行介绍。

5.1 构成

作为解决植物工厂课题的产品，富士电机正致力于开发生产流程数据预测系统。该系统旨在通过预测未来将发生的农务作业内容和规模、时期，改善植物工厂的收益。

过去，是否需要作业和作业量的判断，依赖于每天确认的结果和熟练务农者的经验。但在植物工厂中，熟练务农者无法亲自对所有区域进行确认。而且，环境的波动等会导致差异，因此，难以依据经验进行作业判断。因此，开发能够以客观、定量的数据为基础进行作业判断的技术成为课题。

图 4 中展示了生产流程数据预测系统的构成。系统处理的过程如下所示。

⑴ 输入功能

准备要输入到预测模型中的数据。数据有环境数据和农务作业数据。

(a) 环境数据

温度、湿度、日照量、CO_2 浓度等时间序列数据，从环境控制系统中获取。

(b) 农务作业数据

输入有无养护作业、收获量等每日数据，作为农务作业数据。

⑵ 预处理功能

采用统一数据格式、统一采样周期、补充缺损值、合并数据等转换手法，加工各种数据，转换为可用于预测的数据格式。

⑶ 预测功能

预测功能由生成预测模型的流程，和运用该模型的流程组成。

(a) 预测模型的生成

预测模型的生成需要使用过去的数据。以收获量等想要预测的数据为目标变量，环境数据等与预测对象相关的数据为解释变量，通过学习，生成预测模型。

(b) 预测模型的运用

将解释变量的数据输入到生成的预测模型中，便可实时输出预测对象的结果。

⑷ 后处理、显示功能

通过变更单位等数据属性，使用积算等运算手法，将预测结果的数据加工、转换为方便务农者进行作业判断的格式，然后显示于画面中。务农者在判断是否实施与预测对象相关的作业时，可参考该显示内容。

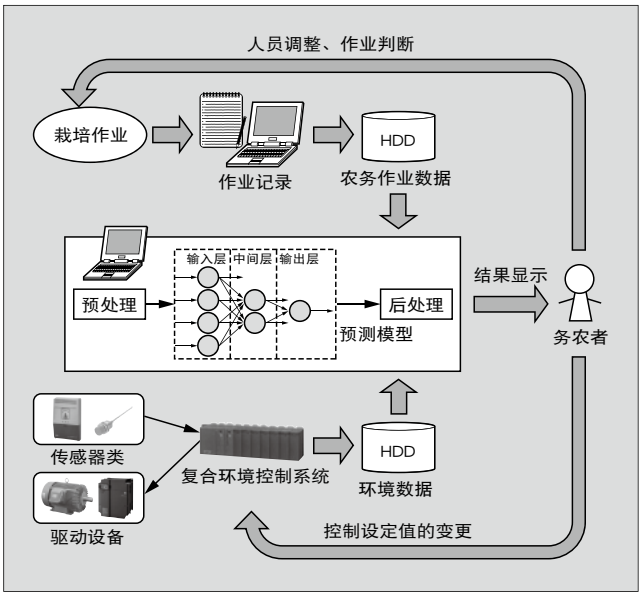


图 4　生产流程数据预测系统的构成

5.2 预测对象和预测模型

栽培管理中所期待的预测对象如下所示。

(a) 病虫害的发生

白粉病、灰霉病、炭疽病、红蜘蛛、尘螨、蚜虫等

(b) 栽培灾害的发生

高温灾害、低温灾害、变形果实、边缘枯萎、尖端枯萎等

(c) 收获量、栽培作业的时机

收获量，摘叶、摘果、摘花、铺设盖布等的时机等

预测对象的发生量、实施量以及时期，受到温度、湿度、日照量、光合成量、生长天数、幼苗的生长状态、关联作业的数量、土壤成分、蜜蜂的活动等多重自然要素影响。且各要素的影响量会因为作物的种类（草莓等）、品种（枥乙女、红颊）、设备条件（土培和水培、采光条件、地理位置）等显著变化。因此，以各要素为条件，通过事前的实验确立计算公式，需要耗费大量时间。

生产流程数据预测系统采用以机械学习为基础的方式。在采用回归方程式等复杂计算公式的预测方法中，必须进行复杂的参数设定，但在该方法中则没有必要，所以可大幅削减条件变更时所需的工时。

下面将介绍预测所必需的数据。获取数据时若能满足以下所示 2 个要件，便可使预测顺利开始。

(a) 预测模型的生成：应已提前获取数月的数据

(b) 预测模型的运用：应可以固定周期且自动获取数据

另外，如果能准备类似条件的预测模型，则无需设定事先的数据获取期间，可直接开始运用预测模型。而农务作业数据则借助记录工具输入，可自动获取数据。

5.3 收获量预测功能

作为生产流程数据预测系统的应用程序，富士电机正致力于推进草莓收获量预测功能的开发。

为通过减少销售损失、改善作业效率来提升植物工厂的收益，应尽可能缩小预测收获量和实际收获量的误差。特别是草莓在收获后可保存的期间非常短，因此，要求实现以 1 天为单位的短周期的收获量预测。

收获量预测是按照 **5.2 节**中介绍的生产流程数据预测系统的过程处理的。以温度、日照量等数据为解释变量，以 1 天单位的收获量为目标变量，根据过去的数据生成预测模型。由此，可预测和显示 1 天单位的收获量。

另外，将根据每周天气预报预测的温室内环境的数据适用于收获量预测模型，可提前 1 周预测收获量。

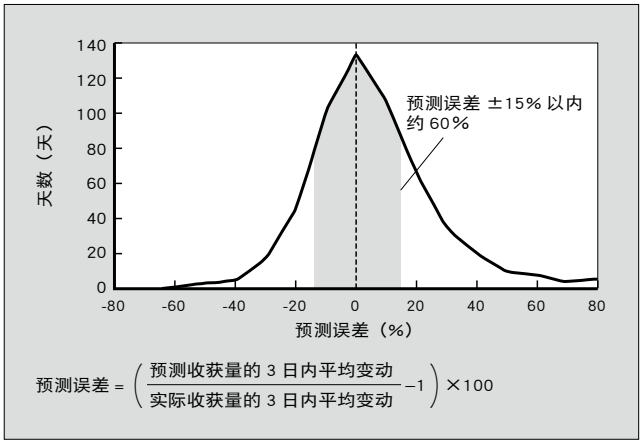


图 5　收获量预测结果

务农者可参考该预测值向客户答复出货量，有望通过减少消费损失，实现收益改善。另外，通过预估收获等的作业量，也有望通过有效利用人力资源，实现收益改善。

图 5 中展示了苫东农场中某区域收获量的预测结果。可见全天数中约 60% 的天数的误差在 ±15% 以内。

今后，富士电机将通过构建更强大的预测技术，提升预测精度，同时推广用于其他作物。另外，还将结合富士电机擅长的异常诊断技术、优化技术等数学应用技术，并与业务管理、控制系统等其他系统联动，从而提升植物工厂的顾客价值。

6　后记

本稿中对采用测量和控制技术的植物工厂解决方案进行了介绍。今后，我们也将发挥富士电机的核心技术——冷热技术、控制技术、数学应用技术，致力于综合性的技术开发，强化解决方案。

参考文献

⑴　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.

⑵　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）.

长濑　一也

从事植物工厂的工程设计业务。现为富士电机株式会社产业基础设施事业本部组装和设施事业部农业技术部课长。

白木　崇志

从事控制系统和预测技术的研究开发。现为富士电机株式会社技术开发本部核心技术研究所控制技术开发中心能源解决方案开发部主任。

岩崎　秀威

从事土壤养护研究和草莓植物工厂的生产业务。现为苫东农场株式会社生产部长。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。