

## 特集

## [食品工場の計装とDX技術]

完全閉鎖人工光型  
植物工場向けDXの取り組み千代田化工建設株式会社 地球環境プロジェクト事業本部 ライフサイエンスプロジェクト部  
クリエイティブエンジニアリングセクション 事業化推進グループ グループリーダー 田村 諭

## 1 はじめに

完全閉鎖人工光型植物工場は、ハウスなどの施設園芸で行っている日光の享受を前提とした生育環境制御（温度、湿度、二酸化炭素、養分、水分など）に加え、断熱構造を用いた閉鎖された空間（筐体）内で人工光の照射による光波長設定や光量あるいは照射時間の制御を行って栽培することにより、周期的に一定の品種の農産物を生産することが可能となる。

千代田化工建設株式会社（以下、千代田と云う）の植物工場の取り組みの歴史は古く、2000年前後の宇宙初の植物生育実験を行った国際宇宙ステーション（ISS）きぼうでの装置納入に遡る。以後、国内の事業者への栽培に係る計測・モニタリング設備の提供により植物工場におけるIoT技術の検証などを行い、その経験と自社による栽培実証装置による取得データを礎に千代田の強みを活かしたプラントエンジニアリング会社流のレタス栽培の運転マニュアル化も行った。中東事業者への栽培設備の納入時には、このマニュアルを用いた栽培指導サービスも提供し、1回目の試験栽培から計画どおりの重量と品質で生産物を得ることができた。

こうした経験を経て、現在では葉菜あるいは

果菜の食糧工場としての大型化（スケールアップ）EPC<sup>(注1)</sup> 実現に向けた事業開拓を進めているのと同時に、食糧分野だけではなく遺伝子操作を伴う植物を用いた有用物質生産というバイオの分野での研究開発に向けても具体的な取り組みを進めている。

千代田は前述の過程において「植物工場のDX」に係る開発と実証に取り組んできたので、その内容の一部を本稿にて紹介する。

## 2 栽培実証試験装置（ベンチ）

千代田のエンジニアリングの対象は主に石油・ガスや化学工業、医薬品製造分野が挙げられ、主に、反応や相変化が一定の条件下（例えば、温度や圧力）において、化学反応式やマテリアルバランスを定量的に示すことである。また、プラントエンジニアリング会社の存在価値・真髄は、スケールアップ時に理論どおり再現するためのプロセス設計や機器の選択、オペレーション方法の構築などにある。

一方、千代田にとって新規参入の農業分野は、例えば植物の栽培を考えると、各々の種子の個性やポテンシャルを容易に評価することは難しいこと、栽培環境条件にしても、光量、光の波長、照射時間、気温、湿度、水温、養液成

分、二酸化炭素濃度、および気流などは植物の生理上それぞれ相関を持っており、この関係性が定量的にすべて解明されているとは言えない状況にある。

このような背景から、植物工場 EPC における技術のフォーマット作り、つまり農業の工業化への取り組みには、自身で栽培を行うことにより栽培を知り、定量的な特性を掴むことが必要不可欠である。つまり自社内の栽培試験の各種データを漏れなく収集し、解析に用いることを可能とすることが必要ということになる。

千代田は事業化推進グループと研究開発センターの共同により子安リサーチパーク内に栽培実証試験装置（以下、ベンチと云う）を設置し、2021 年に栽培実証試験を開始した（写真）。

ベンチは、断熱パネルに囲まれた筐体の中に空調および気流制御としてエアコンと送風機、加湿器、除湿器を備え、任意の栽培環境条件での自動制御可能としている。また、養液制御は養液循環系装置（タンク、ポンプ、配管、バルブなどにより構成）と市販されている追肥管理機により構成している。1 回のバッチ栽培では、

葉物野菜の栽培数は約 500 株規模である。

ベンチの技術上の特徴の 1 つに、栽培用 LED 照明は栽培面への照射光量の均一性と気流のスムーズさや軽量であることに利点があるシート型 LED 照明（大日本印刷株式会社）を採用した点が挙げられる。結果として収穫物重量の均一性を高められた。

IoT に関しては、栽培に関わる監視制御項目は、室温をはじめとする温・湿度、二酸化炭素濃度、EC 値、pH 値、養液タンクの液位などがあるのでそれらのセンシングとコントロールを行う。

データのモニタリングと監視制御については、プラント建設技術としてはオーソドックスな構成（現場盤内の PLC によるロジックコントロールと現場盤での監視、あるいはクラウドを用いることによりデータロギングと PC によるデータ閲覧も可能）を採用した。また、プラント建設でのノウハウを取り入れた UI の構築も並行して開発することで、本ベンチの設備構成を、そのまま千代田が建設する大型植物工場の構成と同様のものとして見立てることを可能とした（図 1）。

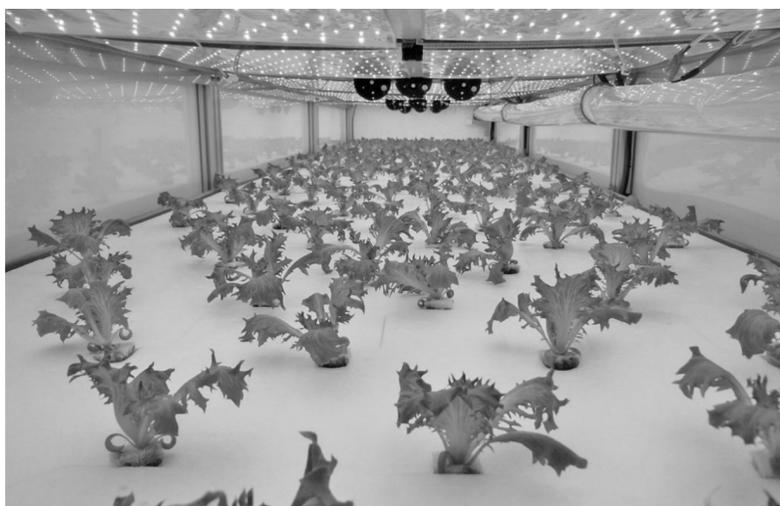


写真 子安リサーチパーク内「栽培実証試験装置」（ベンチ）

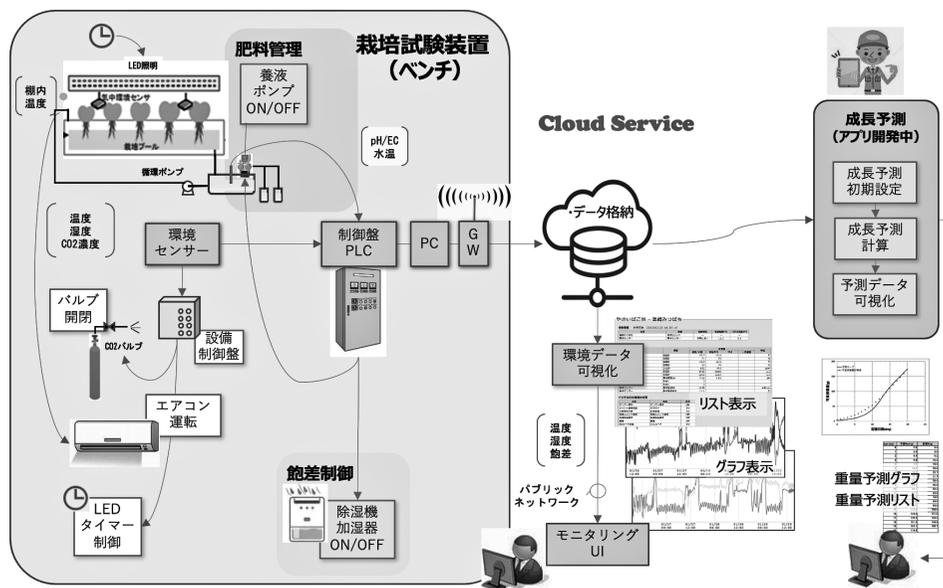


図1 IoTシステム概要図 栽培実証試験設備（ベンチ）

また、オペレーションコストについては、例えばデータの通信とクラウド仕様の面では、植物工場事業はデータの取扱量は比較的小さいため、メジャーなプラットフォームにこだわらず極力ランニングコストが少ないサービスも選択肢の1つとすること、あえて社内のLAN環境の経由を考慮せずにモバイル通信の採用も一案とすること、必要なクラウドサービスのみを組み合わせることができることを検討目標に掲げた。結果として、モバイル通信とクラウドの連携を一貫して提供している事業者のサービスを活用することで、コストメリットを出すことに成功した。

一次産業、この場合では葉菜野菜栽培、特にレタスなどを生産物として販売する場合、低菌数などの植物工場産の野菜の優位性のアピールは可能だが、一般市場での販売では結局は安価な露地物との熾烈な価格の戦いとなり、売値は叩かれやすい状況にある。

生産事業者の投資回収を少しでも早めるために、インシヤルコストとともにランニングコス

トの削減は喫緊の課題と考えられ、ハードやソフトにお金をかければかけるほど、より多くの緻密なデータ収集と解析が可能となる一方、そこから得られたデータを収益に替えるには工夫と時間が必要であることは今後も継続した課題と考えている。

ベンチの成果ポイントを以下に紹介する。

- ① レタス他の栽培実証試験を行い、栽培技術に関するデータの蓄積と評価ができた。
- ② 植物工場の設備構成技術の内容とコストを掴むことができた。
- ③ 特にIoT分野については、比較的低廉な選択肢を検証し運用性の確認ができた。
- ④ ベンチを用いて栽培技術の検証と市販されている複数社の栽培用デバイス、特にLED照明類の比較評価ができたことなどにより、自社固有の知見を得ることができた。
- ⑤ 以上の成果により、植物工場事業者や農業事業者の課題をより深く協議し解決策を提示できるようになったこと。

## 3

## 小型栽培実証試験装置とIoT商品開発

植物工場を始めようとされる事業者を大きく2つにケース分けすると、「既存の農家が近代化とスケールアップ、法人化他による高収益を目指すケース」と「異業種から植物工場分野に新規事業として参入するケース」が考えられる。特に後者の新規参入検討事業者は、いきなり大規模な工場を企画して建設、事業遂行するようなアプローチではなく、まずは小規模の実証の場を設け、そこで栽培を学び、栽培生産物の選択を行い、試験栽培での生産物を用いてプレセールスなどで販売先を模索する、というような事業化に向けたステップを設け検証を行っていくことになる。

しかしながら、小型の栽培実証設備は一からオーダーメイドをすると割高になり、比較的割安な市販されているパッケージを採用するにも定型のコンテナタイプやユニットハウスを流用したものなどはあるものの、新規参入検討者が重要と考えるであろうデータのモニタリングやログ機能、自動制御機能などのトータルなIoTを筐体や設備とともにパッケージとして備えるものは多くないのが実状のように見える。

千代田としては大規模工場EPCをご提供することが第一義となるが、このような新規事業への参入の際の検討に必要な仕組みがないのであれば、その仕組み（この場合は、小型栽培実証設備）を新しく安価に提供することにより、お客様の新規事業へのアプローチ判断を容易にするとともに、大規模工場に向けた事業化プロセスに並走してサポートすることも可能となり、結果としてお客様とwin-winの関係で大規模工場の提供に結び付くと考えるに至った。これは、「社会の“かなえない”を共創する（エンジニアリング）」という千代田の存在意義を

具現化することにも通じる。

この思想から、ベンチで培ったデジタル構築をベースにした新しい安価な小型栽培装置を開発し、取得栽培データのさらなるデータドリブンな活用を目指した。また千代田の植物工場への取り組みとして長年準備を進めてきた「植物スマートセル」への具体的な研究を一歩進める場としても活用できるものを目標とし、プロトタイプを子安リサーチパークに設置することとした。

最小栽培規模を1回のバッチ栽培で100株程度とし、筐体の大きさは建築確認申請対応を考慮して床面積10㎡以下を目指した。

断熱性の筐体をはじめとして、筐体内の栽培設備や空調などのパッケージ販売を行っている三協フロンテア株式会社（以下、三協と云う）の「やさいばこ」シリーズがこの条件を満たし、さらには床面積が最大20坪の大きさの栽培工場までのパリエーションがあるため、新規参入検討者のニーズ、ステップアップに伴う規模拡大に対するフレキシビリティが高いので、「やさいばこ」シリーズの装置をベースに環境管理をはじめとする植物工場向けのIoTを構築してインストールすることとした。

また、IoTツールの構築については、監視制御項目はベンチの内容と同等として、監視制御に係るハードは一般プラントひいてはベンチのようなPLCを用いてオーダーメイドで一から構築していくのではなく、入門用として低廉なことは重要であることから、既存の監視制御装置パッケージに千代田のベンチ開発と運用で得た「植物工場での栽培」ノウハウを盛り込むことで、低価格と量産を目指した。

検討の結果、IoTのベース資材としては圃場などの施設園芸向け統合環境制御器であるITbookテクノロジー株式会社（以下、IBT社と云う）の「温調みつばち」が最適と評価し選

択した。「温調みつばち」の利点は、PLCを用いることなくクラウド上に組み込まれたLogicにより制御設定を行えることで、安価な汎用クラウドサーバサービスの活用と相まって、イニシャルコストとランニングコストを抑えられているところにある。現場盤の大きさもプラント向けと比してはるかに小型になっている（図2）。

図1との比較で図2では、クラウド上でデータ格納のみならず制御値の設定を可能としている点と、現場側の制御ユニットはデータ受発信機能を持つ点に特徴がある。特に制御設定変更が遠隔の任意のPC上で可能なことはユーザーの使い勝手の向上に貢献すると考えられる。

IBT社に開発発注を行い、千代田コーディネートの「植物工場向け温調みつばち」（植物工場向けIoTツール）としてさらに以下の機能を確保した。

- ① モニタリング画面のTOPページに直近数日の主要な監視データの集約表示画面を表示

- ② 前回閲覧以降に異常があった場合には警報アラート画面を表示
- ③ データの一時的な欠損エラー発生時の各装置のアクションの冗長化
- ④ 加湿器と除湿器の併設と専用開発した制御プログラムによる飽差自動制御
- ⑤ ポンプとのマッチングを行い、追肥管理専用機を別購入することなく追肥自動管理を可能とした。

結果として、ベンチと同等な植物工場における栽培監視制御機能を維持しつつ低廉な運用を達成可能であることを確認した。この「植物工場向け温調みつばち」は弊社から販売を行うが、納入作業や立ち上げ、使用後の各種サポートは、IBT社が行うことにより既存の温調みつばちと同様の安定したサービスの提供が可能となる（図3）。なお、当該IoTツールと筐体および栽培設備を含む「自動監視制御機能付き小型栽培パッケージ」としては三協にて取りまとめ販売を行う。

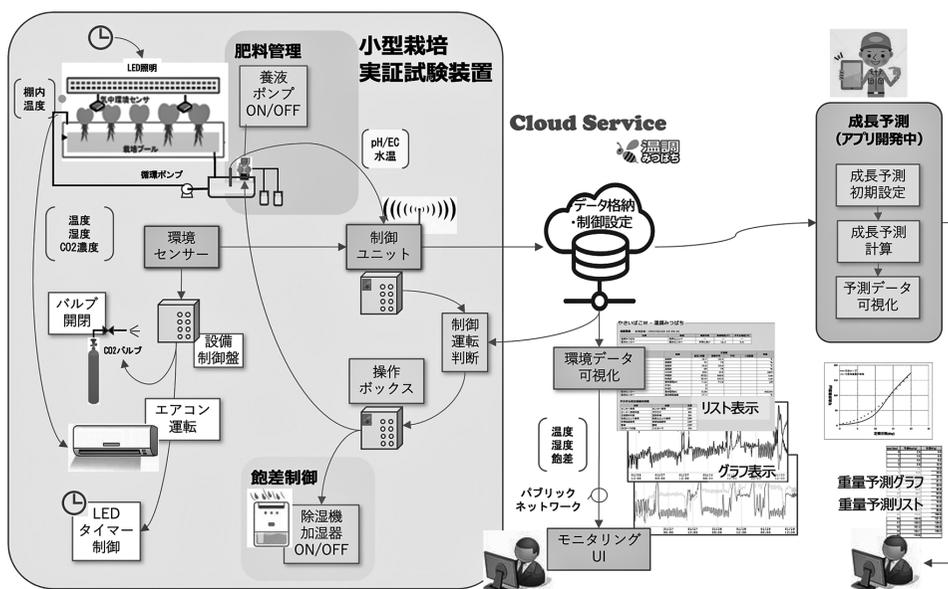
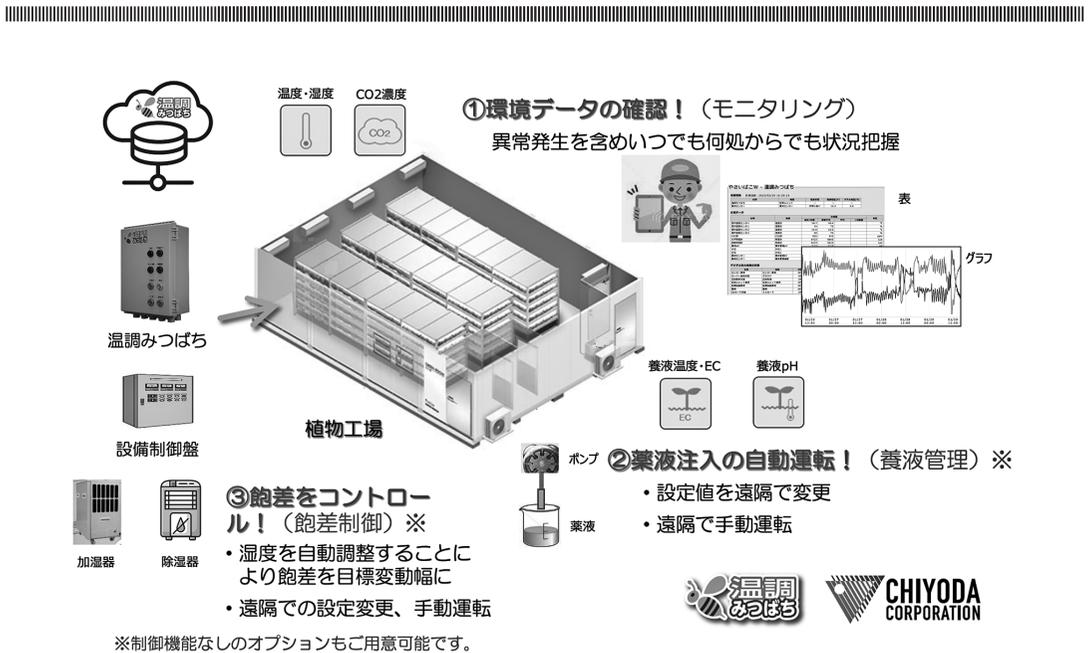


図2 IoTシステム概要図 小型実証栽培試験装置



## 4 植物工場のIoT活用がもたらした開発技術

ベンチ、小型栽培設備などのIoTツールの活用による千代田独自技術として、反射光量子による作物の成長予測法や飽差の自動管理による栽培作物の成長促進が挙げられ、いずれも一定の成果を得ることができた。

以下に、植物工場事業への研究開発により得られた千代田の知見を紹介する。

- ・植物栽培システム  
特許 6549777号
- ・作物と生育状態判別方法および生育方法  
特許 6656925号
- ・植物栽培システムおよび植物栽培法  
特開 2019-103452号
- ・生育状態推定方法及び栽培装置  
特開 2023-130726号
- ・成長性改善を目指した飽差(湿度管理)の自動化  
特許出願準備中

今後は、IoTの活用により栽培データの取得が一定量進んだことや、最近急激に汎用性が向上したAIツールの活用を行うことで植物生理に係る環境複合要素の特定と栽培環境管理の最適解の獲得を目指す試みの検討を進める計画である。

## 5 おわりに

植物工場は、昨今の異常気象や耕作不適合地での安定した地産地消の作物生産が望めることに加え、工場内の作業は比較的軽微でルーチン作業が大半であることから、年齢などを問わない雇用先としてもすでに農水省や経産省、自治体他により取り組みが推進されている。また、閉鎖された完全管理の空間での生産となるため、生産物の安全性、菌数制御による清潔性の確保が可能であり、「定時・定量・定品質・定生産コスト」の実現が期待されるため「農業の工業化」や「農業の6次産業化」の急先鋒となっている。

露地栽培の生産物との熾烈な価格競争下に置かれてしまっているものの、上記のような産業構造の変化への適応力は従来の農業生産とは比較にならない。例えば、あるコンビニエンスストア向け中食メーカーは、自らの材料調達の手段として総菜工場に隣接した大規模植物工場を設置し、輸送費や洗浄コストの削減、材料を含めた生産に係るトータルなマネジメント（時間、品質、品種など）の効率化を図りそれに成功しており、植物工場は食品工場との親和性が高いことを実証している。

また、再生可能エネルギーの需給調整機能としても植物工場は期待されており、大手電力会社他複数の企業による実証が開始されている状況にある。

持続可能な取り組みやカーボンニュートラルが食品工業界にも求められていることは論を待たず、このような異業種間の潤滑油の役目を担

うのがエンジニアリング会社であると考ええる。

なお、今回ご紹介のような植物生理の解明に基づく栽培技術の技術革新に対してDX技術を用いるアプローチはすでに農業事業者、研究機関、メーカーなどのさまざまな各社で行われている。それぞれの栽培データを企業や国の垣根なく共有し分析することができれば農業の工業化への道も近くなるのではと期待するところである。

最後に、今回ご紹介した千代田の植物工場のDXのご紹介が、将来の植物工場展開をお考えの事業者の皆様のご検討へのきっかけの一助となれば幸いである。

■注1 EPC：設計（Engineering）、調達（Procurement）、建設（Construction）を一括したプロジェクトとして設備建設工事を請負う契約