

安定生産と収益性の向上に貢献する農業ソリューション「SmileAGRI」

“SmileAGRI” Agricultural Solution for Stable Production and High Profitability

吉田 仁 YOSHIDA, Hitoshi

河村 賢 KAWAMURA, Satoshi

近年、農業従事者の減少や気象などの栽培環境の不安定化などにより、安定生産と収益性の向上が急務となっている。富士電機は、通年で安定した農産物の生産をサポートする農業ソリューション「SmileAGRI」を展開している。株式会社北海道サラダパブリカの植物工場においては、オランダ規格に準拠したハウス新工法を開発し、収穫量を約10%向上させた。暖房熱を得る際に発生する排ガスからCO₂を供給するシステムを開発し、暖房コストを25%程度削減した。また、作業の一元管理と栽培状況の見える化を実現する生産管理パッケージの開発を計画的に進めている。

In current agricultural industry, owing to the decrease of workforce and unstable cultivation environment such as abnormal weather, rapid measures are required to achieve stable production and improve profitability. Fuji Electric has been laying out its “SmileAGRI” agricultural solution to support stable agricultural production all year round. At the plant factory of Hokkaido Salad paprika Co., Ltd., we have been able to improve crop yield by approximately 10% by developing a new construction method for houses that is compliant with the Nederland’s standard. We have developed a system that is capable of reducing heating costs by about 25% by supplying CO₂ from the exhaust gas generated during heating. Furthermore, we are developing production management package software that can consolidate operation control and visualize cultivation situations in a planned way.

1 まえがき

近年、施設園芸業界は農業従事者の減少や気象などの栽培環境の不安定化などにより、安定生産と収益性の向上が急務となっている。

富士電機は業界の要請に応えるため、通年で安定した農産物の生産をサポートする農業ソリューション「SmileAGRI」を展開している。SmileAGRIでは、コア技術である“エネルギー技術”“冷熱技術”“システム制御技術”を活用し、植物工場プラントの収益性を向上するため

の運用コストの削減、設備を適正化することによる作業性の向上を実現している。図1に、SmileAGRIの概略図を示す。代表的な展開先の一つとして、2016年に北海道釧路市に建設した株式会社北海道サラダパブリカの太陽光利用型植物工場がある。同工場には、太陽光の採光性や作物の栽培作業性を向上させたハウス、エネルギーコストを最小限に抑えてランニングコストの削減につなげる熱供給システム、歩留り・収穫性を向上させる環境制御システムなどを納入している。

本稿では、植物工場の設備市場動向、北海道サラダパブ

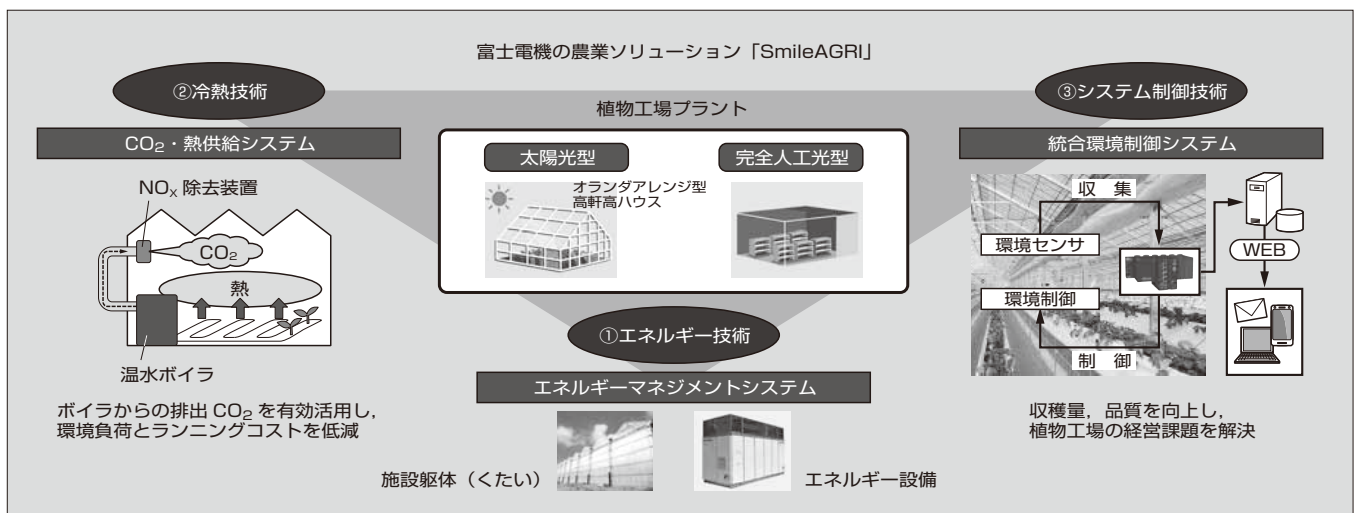


図1 「SmileAGRI」の概略図

〈注1〉施設園芸：農地をより高度に利用するために、ビニールハウス・温室・灌水（かんすい）・換気・空調などの設備で行われる農業のことである。その中でも施設内の栽培環境を制御し、安定した生産性を実現するものを植物工場という。

〈注2〉植物工場プラント：富士電機では、高度な環境制御により植物の周年生産や計画生産が可能な栽培施設に加えて、エネルギー設備を備えた施設を植物工場プラントと称している。

リカの概要および安定生産と収益性の向上に貢献する設備・システムについて述べる。

② 植物工場の設備市場動向

2009年12月施行の改正「農地法」により、植物工場の参入障壁が大きく緩和され、農地の集約化と異業種からの参入が急速に進んでいる。さらに、民間企業の参入と投資資本の拡大により大規模化が進んでいる。結果として採算性が向上し、植物工場の設備市場は、長期的な成長傾向に変化した。図2に国内の設備市場推移を示す⁽¹⁾。2023年には2017年の約2.1倍の設備市場規模に達する見通しである。一方で、農業従事者が減少する中、大規模農園における生産管理の不足、ならびにエネルギーを効率的に利用することなどのニーズが高まってきている。

このような状況を踏まえて、農林水産省は2013年から植物工場の収益性を向上させるため、オランダの先進的な技術を日本向けにアレンジした拠点を整備するとともに、高度な環境制御技術の導入による生産性向上や、地域エネルギーを活用する取組みを進めている⁽²⁾。

③ 北海道サラダパプリカの概要

株式会社北海道サラダパプリカは、北海道釧路市にある植物工場で、2016年からパプリカを生産している。富士電機、ウシオ電機株式会社をはじめその他6社が共同出資している。図3に北海道サラダパプリカの栽培室の外観を、図4に全体図を示す。

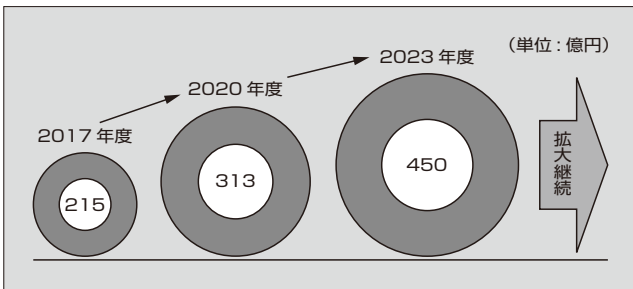


図2 植物工場の国内設備市場推移



図3 北海道サラダパプリカの栽培室の外観

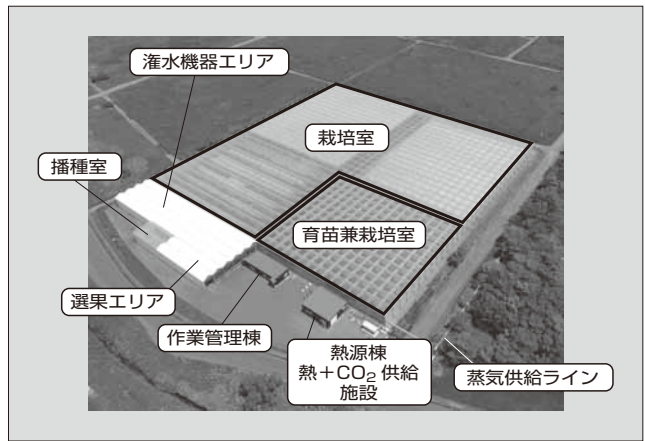


図4 北海道サラダパプリカの全体図

北海道サラダパプリカは、一つの温室の面積が約2.3ha（間口9.6m×奥行148.6m×軒高5.7m×19連棟）であり、五つのエリア（栽培室×3、初期育苗室、育苗兼栽培室）で生産を行う。栽培品目は釧路の気候に合うパプリカ7種類を選定し、周年生産の体制を構築している。

その他に、設備費削減と作業性を両立した“オランダアレンジ型高軒高ハウス”，エネルギーを最小限に抑える“熱+CO₂生成システム”，栽培環境を最適化させる“環境制御システム”，冬場の日射量を補うナトリウムランプを備えている。

④ 安定生産と収益性の向上のための施策

パプリカは23℃以下が栽培の最適温度であり、図5に示すとおり、釧路市は年間を通して冷涼な気候のため、その生育に適切な場所である。

パプリカの国内売上高は、毎年5～10%伸びているが85～90%は外国産であり、国産は10～15%のシェアにとどまっている。その要因の一つとして、他の果菜類に比べて関税が3%と低く、安定供給力と販売価格の面で外国産が国産を上回っていることが挙げられる。

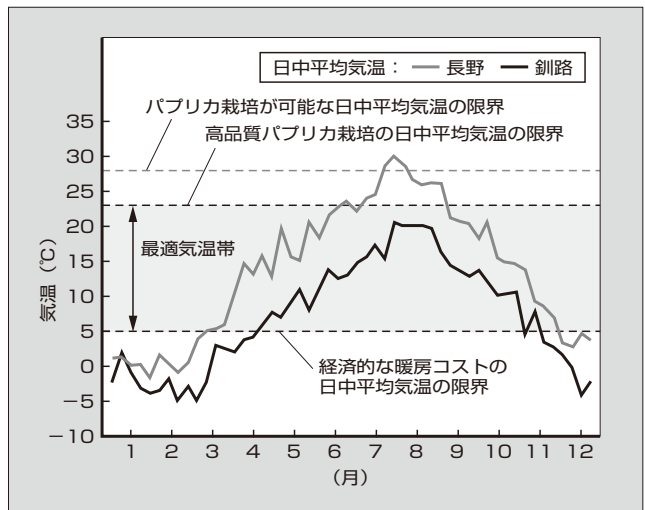


図5 釧路市の年間気温

安定生産と収益性の向上のためには、施設の大型化によるスケールメリットが必要であるが、同時にエネルギーコスト（暖房、CO₂）の削減、設備コストの削減、ハウス性能の向上（採光性・作業性）、環境の均一化がより重要となってくる。

4.1 オランダ規格に準拠したハウス新工法

一般的な国内基準によるハウスは、軒高が低く（4m）、間口（8m）や奥行方向の支柱の間隔（3.75m）が狭い。そのため、支柱の影によって生じる日陰といった日射量の不均一、単位面積当たり設置可能な栽培レーン数の減少、さらには使用する骨材増によるコスト増につながっている。鉛直方向に成長し、多数の栽培レーンを用いるパプリカ栽培では、採光性と作業性の向上は収益性の向上において必要不可欠であるため、オランダ規格（オランダ規格協会 NEN 準拠）の先進的なハウス工法に着目した。

オランダ規格は、高軒高（5.7m）のため支柱の影によって生じる日射量の不均一が軽減される。また、間口（9.6m）、支柱間隔（4.5m）が広いので、単位面積当たりの日陰が少なく栽培レーンも多く設置できる。だが採用においては、国内でのハウス認可条件は、日本施設園芸協会の“園芸用施設安全構造基準”を満たすことが必要である。このため、基準を満足した上でオランダ規格の長所を採用入れることとした。表1に主なアレンジ項目を示す。これらの施策の結果、骨材の削減による設備コストの削減と同時に採光性や作業性を高め、総じて収穫量を約10%向上させた。

4.2 工場排熱利用型 CO₂・熱供給システム

釧路市は年間を通じて冷涼な気候であるが、厳冬期は-20℃となることも少なくない。一方で、パプリカの生育に必要な17℃以上の温度にハウス内の室温を保つにはエネルギーコストが膨大になる。また、光合成を促して植物の成長を促進し収量を上げるためには、ハウス内にCO₂を供給する必要がある。一般的にCO₂を供給するには、液化炭酸ガスが用いられるが、釧路においては道内の輸送であるため、輸送インフラが発達している本州内の輸送に比べて1.6～2倍の輸送コストが必要となる。

(1) 工場排熱余剰蒸気の活用

エネルギーコストを削減するため、近隣工場の排熱から熱交換器により生成された温水を暖房源とした熱源システムを検討した。コスト試算の結果、近隣工場の余剰蒸気を用いることで、農業において一般的に使われるA重油を

表1 主なアレンジ項目

アレンジ項目	効果
間口拡大（8m⇒9.6m）	日射量向上による単位面積当たりの収穫量4%UP
高軒高化（4m⇒5.7m）	
外壁フィルムの最適化および遮光カーテンの最適配置	日射量均一化による単位面積当たりの収穫量3%UP
その他効果	生産性向上による収穫量3%UP

使用した場合に比べ、40%のコストで必要な暖房エネルギーを得られることが分かった。だが、パプリカは温湿度に敏感であり、最低温度を下回った場合、数十分レベルで生育に影響が発生してしまう。供給量の変動や大規模停電時などに熱源供給不足が発生した場合、パプリカの生産に大きな影響を与えてしまうリスクがあった。余剰蒸気を活用するためには、熱源供給量を補完する設備が必要である。

(2) CO₂ と熱の同時供給

余剰蒸気による暖房の補完とCO₂の供給を同時に行うため、温水ボイラで暖房熱を得る際に発生する排ガスからCO₂の供給も併せて行うシステムを開発した。図6に、CO₂・熱供給システム概念図を示す。本システムを用いることで、安定的なCO₂の供給と熱供給が可能になる。その結果、CO₂と熱を個別に供給する従来の設備に比べて、暖房コストを25%程度削減するとともに、環境負荷の低減にも貢献した。図7に年間エネルギーコストを示す。開発はボイラ燃料の選定に留意しながら行った。ボイラ排ガスからのCO₂をハウス内に供給するため、NO_x、SO_xの排出量を考慮して、A重油、灯油、都市ガスの三つを検

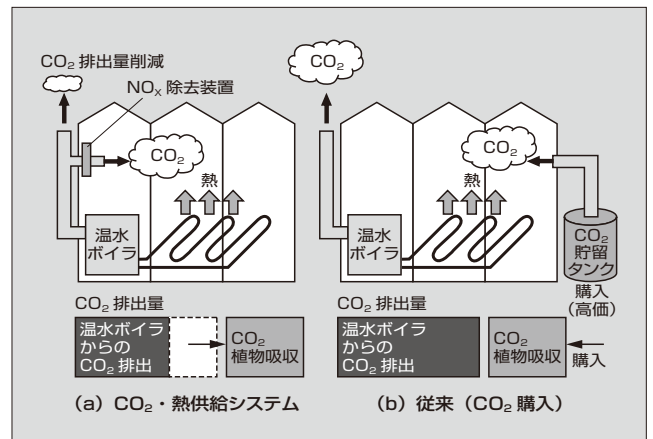


図6 CO₂・熱供給システム概念図

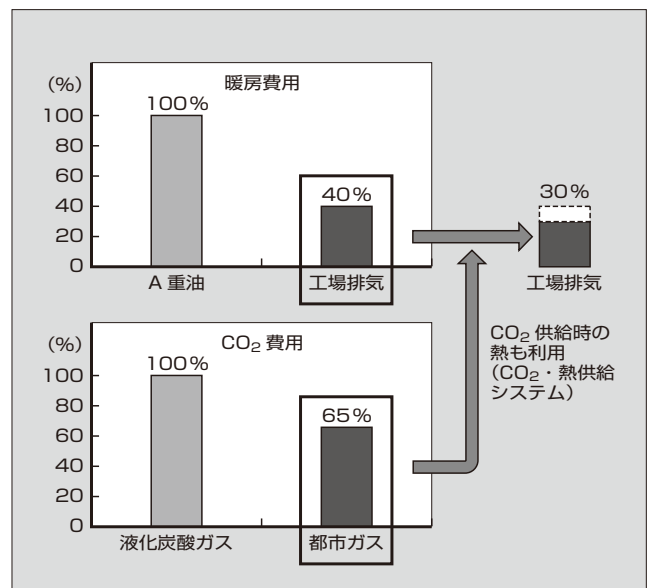


図7 年間エネルギーコスト比較

討した。A 重油は NO_x、SO_x とともに排出量が多い。灯油は燃料コストが低く SO_x の排出量は少ないが、NO_x の排出量が多い。結果として、SO_x と NO_x の排出量が小さい都市ガスを用いた。次に、低 NO_x 仕様のバーナを選定し、ボイラ出口で 30～40 ppm 程度に、さらに NO_x 除去装置を導入することで最終的に 5 ppm 以下に低減した。また、施設内には CO センサを設置し安全対策を施している。

(3) 環境制御システムを用いた効率運用

環境制御システムを活用し、二つの熱源エネルギーの効率運用を図った。通常の運用では余剰蒸気を優先利用し、熱量が不足した場合は不足分を温水ボイラで賄う。CO₂ の供給時には都市ガス燃料の温水ボイラを優先して利用し、熱量が不足した場合には、不足分を余剰蒸気で賄う制御とした。

4.3 環境制御システム

(1) システム構成

北海道サラダパプリカのハウス内環境は、環境制御システムにより制御している。図 8 に環境制御システムのシステムの構成を示す。本システムにおける計測項目は、ハウス内の温湿度、CO₂ 濃度、日射量、給排液の EC（肥料濃度）と pH および流量、ならびにハウス外における温湿度、風向・風速、日射量・積算日射量であり、降雨や降雪も検知する。測定した環境データを基にハウス内環境を制御し、周年栽培を実現する。

なお、本システムは富士電機の製品群から、CO₂ 濃度分析計「ZFP 形」やガス分析計「ZSU 形」を含むさまざまな計測機器、CO₂・熱供給システムなどの制御機器、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。

(2) 制御機能

ハウスは五つに分かれているエリアごとに独立した制御

が可能である。加温（融雪）、換気、保温、遮光、CO₂ 供給、空気循環、灌水、補光を制御する機能を備えており、それぞれを単独で、あるいは複合的に動作させることができる。本施設で採用している作物を密集させて栽培面積が向上する“ダブルローハンギングガター方式”（栽培プランター部分をワイヤで吊り下げる方式）で必要となる厳密な温湿度管理を、これらの制御機能により適切に行うことができる。この中で、本施設の特徴的な制御機能である加温機能について詳しく述べる。

(3) 加温機能

ハウス内の温度が低下した場合、またはハウス内の湿度が上昇した場合に加温装置を制御する機能である。本機能で制御する対象機器と加温装置を次に示す。

(a) 制御対象機器

① 熱交換器（余剰蒸気）

ハウス内の温湿度、配管やタンク内の温水温度に応じて蒸気量を制御する。

② 温水ボイラ（熱・CO₂ 供給）

余剰蒸気の供給が停止した場合やハウス内の温度が低下した場合に自動起動させ、供給再開後に停止する。

(b) 加温（暖房）装置

① 周囲温水放熱パイプ

養液タンクと殺菌タンク内の熱交換用ホースに温水を流し、タンク内の水を加温する。

② レールヒーティングパイプ

栽培レーン間の床面上に設置されており、温水を流しハウス内を暖房する。温度設定によって温水温度の変更が可能である。

③ 屋根融雪パイプ

融雪用の温湯管に温水を流すことで、ハウス全体の融雪を行う。

本機能では、1 日を最大で六つの時間帯に分けて制御できる。加温による温度制御は、状況に応じて緩やかな温度シフトができ、また日射量や積算日射量に応じた制御パラメータの自動調整が可能である。これにより、熱応答が遅い温水利用型暖房を植物工場にも適用可能とした。加えて、換気や空気循環の機能も複合的に制御することで、ハウス内の適正な温湿度を提供している。

5 生産管理パッケージの開発

安定生産と収益性の向上のためには、現在の設備およびシステムを改良することによるエネルギーの効率化利用に加えて、昨今の労働者不足（未熟練農業者の増加）の中で安定的な生産性の確保と、経営に関する支援が重要な課題である。そこで、富士電機では、作業の一元管理と栽培状況の見える化を行うことで、植物工場の収益改善につながる生産管理パッケージの開発を計画的に進めている。

生産管理パッケージは、次の三つのパッケージで構成されている。図 9 に生産管理パッケージの構成を示す。

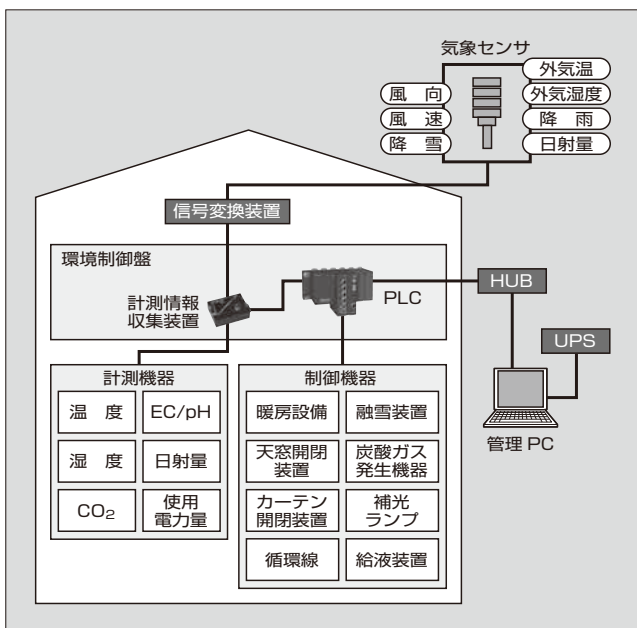


図 8 環境制御システムの構成

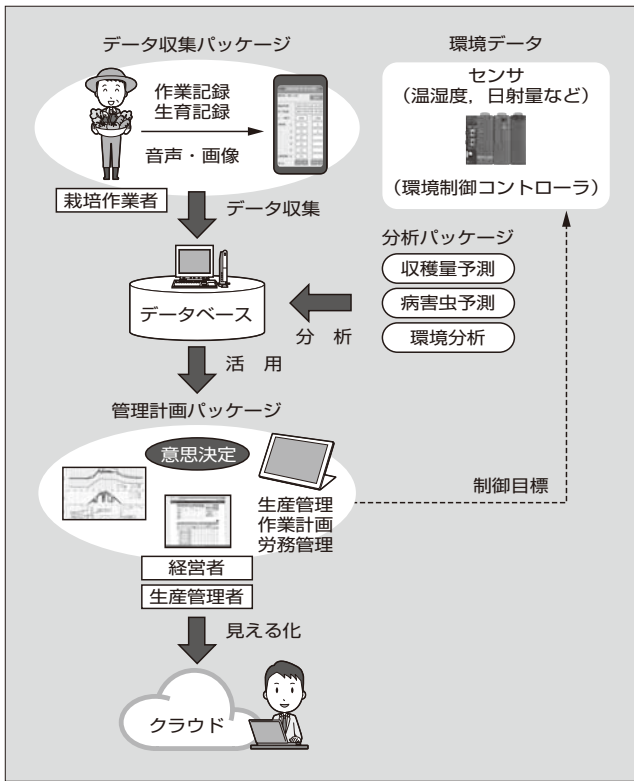


図9 生産管理パッケージの構成

(1) データ収集パッケージ

音声認識技術などを活用することで、作業状況や育成状況の情報を作業者が作業を中断することなく収集する。例えば、携帯しているタブレット端末から音声入力を行う。

(2) 分析パッケージ

複合環境制御システムから入手した環境データに加えて、データ収集パッケージから得たデータを加味し、収穫量予測、作業効率などの分析を行う。

(3) 管理計画パッケージ

データ収集パッケージ、分析パッケージから得られた情報を基に、経営の意思決定に関する情報（予実情報、労働

生産性など）を提供する。

現在、北海道サラダパブリカにおいて、フィールドテストを実施中である。分析パッケージの収穫量予測機能については、短期予測（3～4日）において予測誤差17%を達成している。

⑥ あとがき

安定生産と収益性の向上に貢献する農業ソリューション「SmileAGRI」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、システム制御技術、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) 富士経済社. アグリビジネスの現状と将来展望. 2016.
- (2) 農林水産省. 次世代施設園芸導入加速化支援事業. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/NextGenerationHorticulture/index.html>. (参照 2018-01-11).
- (3) 日本施設園芸協会. 園芸用施設安全構造基準.
- (4) 長瀬一也ほか. 計測・制御技術を活用した植物工場ソリューション. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.3, p.163-166.



吉田 仁

植物工場のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部産業流通技術部担当課長。



河村 賢

植物工場のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部産業流通技術部課長補佐。環境計量士（騒音・振動関係）。



*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。