

同化箱法によるレタスの生理応答評価と生育モデルの構築

大阪府立大学大学院工学研究科 教授 木下 進一

閉鎖空間で作物を栽培する完全人工光型植物工場において効率よく作物を生産するためには、栽培空間の温度、湿度、光、二酸化炭素、養液等の条件を均質にかつ最適に管理する必要がある。本研究では栽培環境の熱・エネルギー評価、空調設計、作物の収量予測に関連して、植物の生理応答に及ぼす環境因子の影響を、同化箱を用いて評価することにより、植物モデルの構築を行った。また実際の植物工場の栽培環境測定と生育評価の結果と比較しつつ、モデルの精度を検証した。

図1に同化箱の概略図を示す。本装置は温度、湿度、二酸化炭素濃度についてフィードバック制御によりほぼ一定に保持できている。光合成速度及び蒸散速度は、二酸化炭素の封入速度およびシリカゲル充填層の重量増加率と、同化箱測定後に別途測定した苗の総葉面積から算出できる。実験では大学内の植物工場の緑化室及び育苗室で22日間生育されたフリルレタス10株を用いた。

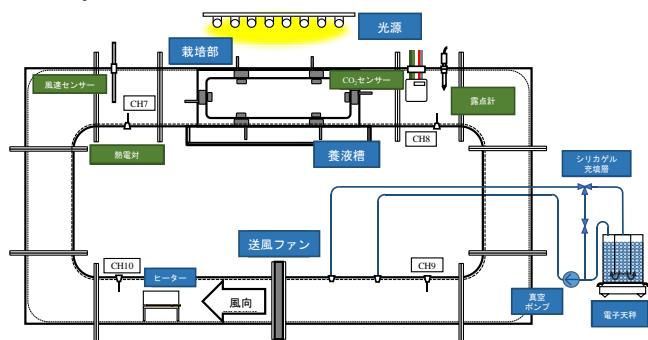


図1 同化箱概略図

同化箱の実験では学内植物工場では播種後22日間生育されたレタス苗を用い、光強度2条件(250、600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)に対して、温度、二酸化炭素濃度、湿度、風速をそれぞれ個別に変化させて生理応答を測定した。結果、光合成速度および蒸散速度に対する各環境因子の影響が確認されたが、特定の個体に対して環境条件を変化させた際の生理応答に及ぼす履歴の影響、個体間のばらつきの影響について明らかにする必要があり、今後そのための実験手順について検討する。光合成モデルについては非直角双曲線式を採用し、式中のパラメータを環境変数の関数として拡張し、実験結果からその同定を行った。

一方、得られた光合成モデルの妥当性を評価するために植物工場の栽培室を対象に、生育に関する環境因子の測定及び収穫レタスの生育具合の評価を行った。栽培室内ではレタスが定植されているパネル上に測定装置を設置し、各環境項目について栽培棚の水平方向分布を測定する移動測定と、影響が大きいと考えられる光強度についてより詳細な分布測定を行った。これ

と併せて、生育具合の評価のため、短期間で複数枚のパネルを回収し、株を特定しつつ重量測定を行った。パネルでは大きな光強度分布があり、パネル端部の強度は中央部の約7割程度であった。図2は定植場所各点での光強度の栽培期間中の積算量(積算光量子量)と苗の生重量との関係である。レタス重量についても積算光量子量の小さい端の株は中央の株と比べて生重量が明らかに小さくなった。

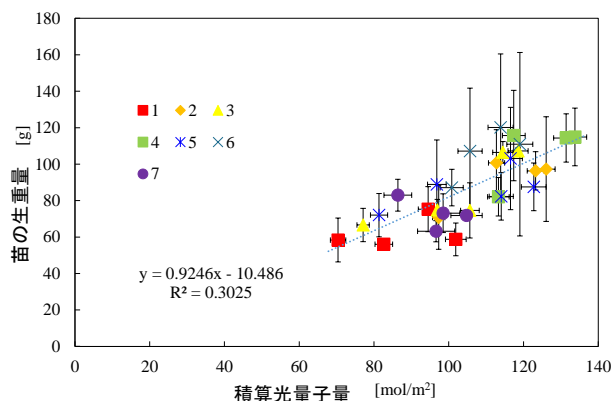


図2 積算光量子量と苗の生重量との関係

先に得られた光合成モデルを用いて生育予測モデルを構築し、上記の栽培室での測定結果を条件として入力して得られたレタスの生重量を予測し、実測値と比較した結果を図3に示す。収穫前(定植後23日目)の重量は近い結果となったものの、それまでの生育過程は定量的には一致していない。今後は周囲株の接触の影響、環境因子間の複合的な影響を考慮するなどにより、生育モデルの向上を図る。

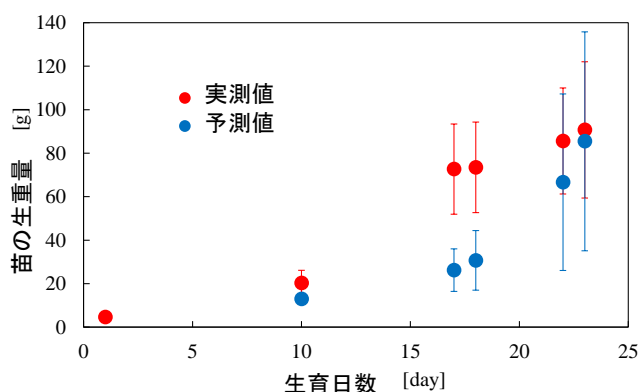


図3 生育モデルによる予測と実測との比較

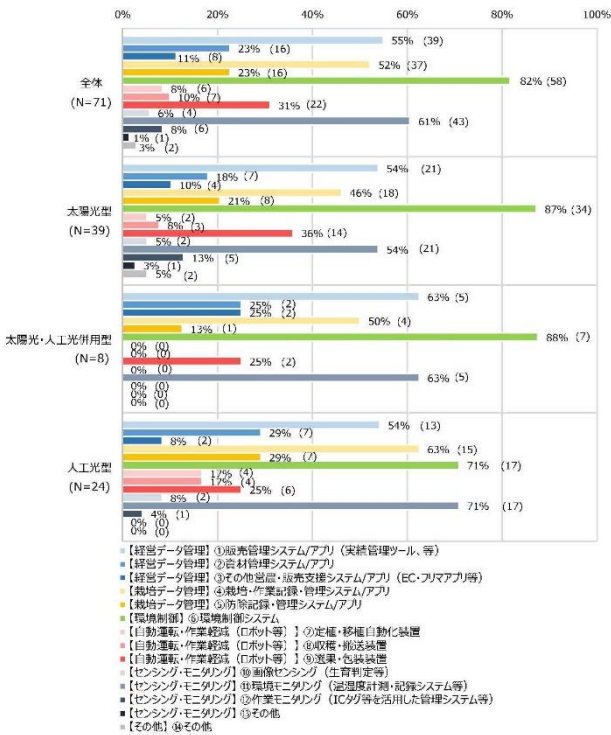
「大規模施設園芸・植物工場実態調査・事例調査」報告（令和3年3月発行）その3

前号に続き、一般社団法人日本施設園芸協会からの報告（続き）を日本施設園芸協会の許可を頂いて連載します。

④ スマート化の状況

全体では、対象が施設園芸、植物工場ということもあり、環境制御システムのほか、環境モニタリング（温湿度計測・記録）の導入割合が高い。また、販売管理システム・アプリ、栽培・作業記録管理システム・アプリの導入も半数を超える。

太陽光型では、選果・包装装置の導入も36%と他の施設形態より導入が進んでいるのがわかる。



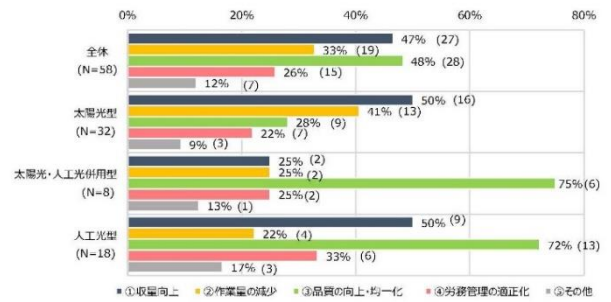
図表 28 スマート化のシステム・ツールの導入状況

図表 29 導入ツールの例

分類	施設型	導入ツール（一部抜粋）
①販売管理システム/アプリ（業務管理ツール、等）	太陽光型 併用型	販売王、犬の森、弥生、自社開発など Air レジ、弥生、自社開発など
②資材管理システム/アプリ	太陽光型 併用型	コンチネンタル、販売王、弥生、自社開発など Excel、恵など
③その他資材・販売支援システム/アプリ（EC・フリマアプリ等）	太陽光型 併用型	Excel、Google スプレッドシートなど Excel、isii など
④栽培・作業記録・管理システム/アプリ	太陽光型 併用型	食べチョク、ぞくマル、自社開発など Excel、Priva FS Performance、アグリノート、アグリボード、エアロビート、プロバなど
⑤防除記録・管理システム/アプリ	太陽光型 併用型	Excel、アグリネット、自社開発など Excel
⑥環境制御システム	太陽光型 併用型	Excel、アグリネット、コンパス、自社開発など Excel、アグリネット、プロファイナダー、isii、Akisai、自社開発など
⑦定植・移植自動化装置	太陽光型 人工光型	M 式定植機・移植機、キタムラ移植機、日本ボリ鉢ポツティングマシンなど 橋本チエイン輸送システムなど
⑧収穫・搬送装置	太陽光型 人工光型	トヨタキーカート、パナソニック自動収穫ロボット 橋本チエイン輸送システム、伊東電機搬送装置など
⑨選果・包装装置	太陽光型 併用型	Green World、Vegastar、アウエタなど アウエタなど
⑩画像センシング（生育判定等）	太陽光型 人工光型	日本ボリスター・野菜包装機など 自社開発など
⑪環境モニタリング（温湿度計測・記録システム等）	太陽光型 併用型	ICIS、コンパス コンパス、インテグロ、アグリネット、Akisai など
⑫作業モニタリング（ICタグ等を活用した管理システム等）	太陽光型 人工光型	アウエタ、Akisai、自社開発など コンパス、アグリネット、自社開発など
⑬センシング・モニタリングその他	太陽光型	FS Performance など Google スプレッドシート
⑭その他	太陽光型	培地水分モニタリングスラブサイト 自動受粉装置

太陽光型では、環境制御システムと環境モニタリング（温湿度計測・記録）の導入割合が高かったが、回答者の半数は収量向上の効果があるとしている。

また、人工光型では、環境制御システム、環境モニタリング（温湿度計測・記録）のほか、販売管理システム・アプリ、栽培・作業記録管理システム・アプリの導入も半数を超えているが、品質の向上・均一化に効果があったと答えている。



図表 30 スマート化のシステム・ツール導入後の効果

スマート化のシステム・ツール導入・活用における課題としては、以下が挙げられた。

【導入していない事業者からの回答】

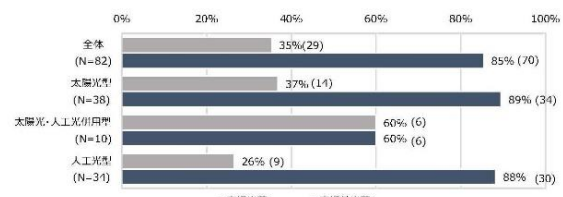
- 導入コストが高い：10 件
- 費用対効果が不明：3 件
- 導入後の管理や分析の工数増：2 件
- 対応要員の不足：2 件

【導入している事業者からの回答】

- 遠隔地操作を簡易に廉価に行えるようにしたい
- 自動化装置が不具合により活用できていない
- 入力もれ、入力ミスが多く、出退勤管理の2重チェックが外せない

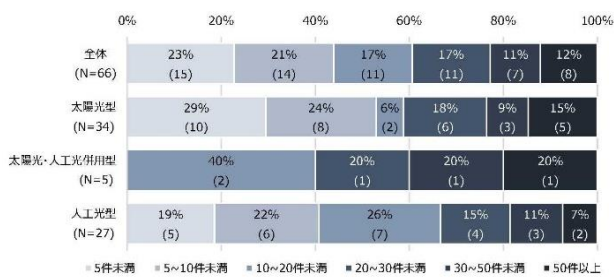
⑤ 主な販売取引先

主な取引先では、太陽光型、人工光型で市場外出荷をしている事業者は、90%近くとなっているのに対して、併用型では60%、市場出荷をする事業者が60%となっている。花きの栽培事業者が多く、市場を通じた出荷の割合が高い事業者が多いことが影響していることが考えられる。



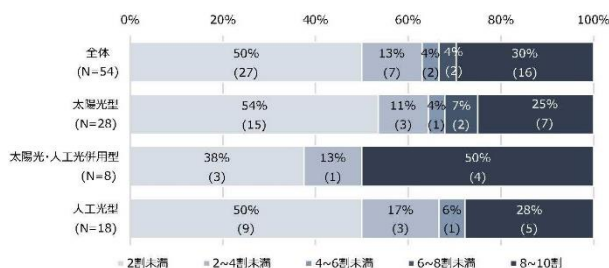
図表 31 市場出荷の状況

また、取引先の件数についてみると、各栽培形態とも、市場向けを含め数件~数十件と分散している。



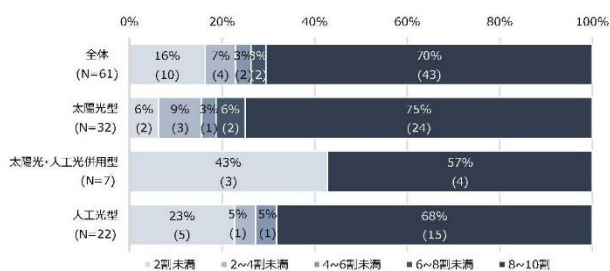
図表 32 取引先の件数

続いて、販売額に占める市場出荷額の割合をみると、全体で50%の事業者が、市場出荷割合を2割未満としており、金額面でも市場外出荷が大勢を占める傾向がみられる。



図表 33 販売額に占める市場出荷額の割合

販売額に占める契約栽培の割合をみると、全体で70%の事業者が8~10割を契約栽培で出荷している。全体の傾向として、市場外出荷かつ契約栽培が主流となっていることがわかる。5)



図表 34 販売額に占める契約栽培の割合

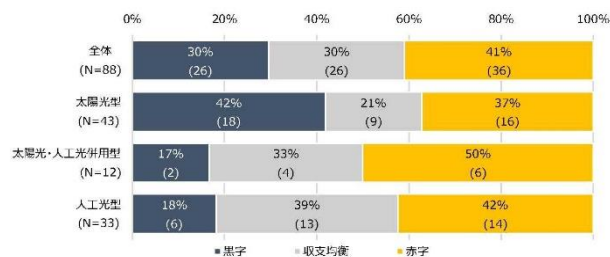
3) 経営状況

① 直近の決算

直近の決算をみると、黒字・収支均衡の事業者の割合は、全体で59%と半数を上回る。いずれの栽培形態でも、半数以上が黒字か収支均衡している。

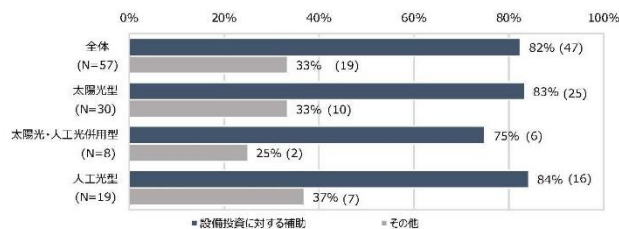
黒字と回答した事業者のうち、太陽光型は大半が2ha以上の施設面積でトマト、パプリカなどの果菜類を栽培している事業者が多く、栽培開始年は2000年から2016年と幅広い。併用型は品目や規模に共通はなかったが、栽培開始から10年以上が経つ事業者のみであった。

人工光型では、レタス類を栽培している事業者のみで、栽培実面積が360㎡から10,000㎡超まで幅広く、9件中5件が5年以内に栽培開始をしている。



図表 35 直近の決算

活用している行政等の補助金の使途を聞いたところ、いずれも8割前後が設備投資に対する補助を活用していることが分かった。その他の内訳では、総務省地域経済循環交付金、地方創生推進交付金、農林水産省アグリチャレンジャー支援事業、厚生労働省農の雇用事業助成金、職場適応援助者助成金などが挙げられた。

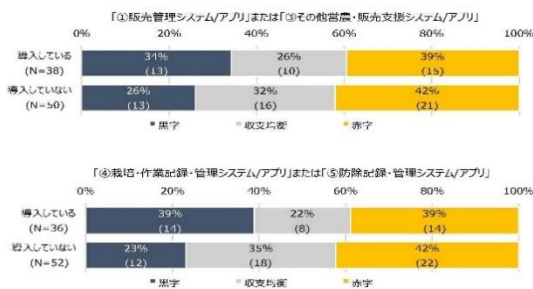


図表 36 活用している行政等の補助金

② スマート化と決算の状況

販売管理システム/アプリ、その他の営農・販売支援システム/アプリの導入状況と直近の決算を見たところ、導入しているほうが黒字化の割合が高かった。これらのシステム/アプリの導入により、販売計画を意識した経営をしている事業者多いことが推測される。

また、栽培・作業記録・管理システム・アプリ、防除記録・管理システム/アプリの導入状況と直近の決算を見たところ、こちらも導入しているほうが黒字化の割合が高かった。作業記録の振り返りと参照により、確実な対策を行うことで生産性を上げられる可能性を示唆している。



図表 37 スマート化のシステム・ツールと収益性

5) ただし、契約栽培の一部には、予約相対取引での市場出荷も含まれることがあるため、市場出荷かつ契約栽培であるという販売形態もあり得る。
~次号へつづく~

「企業研究関連シーズ発表会」の概要紹介

8月20日(金)にオンラインで開催しました、「企業研究関連シーズ発表会」の概要をご紹介します。

また、PFCのホームページにて発表用の資料を公開しております。是非、ホームページもご覧ください。

1. 植物工場で威力を発揮する送風パネルの効果

株式会社大和真空

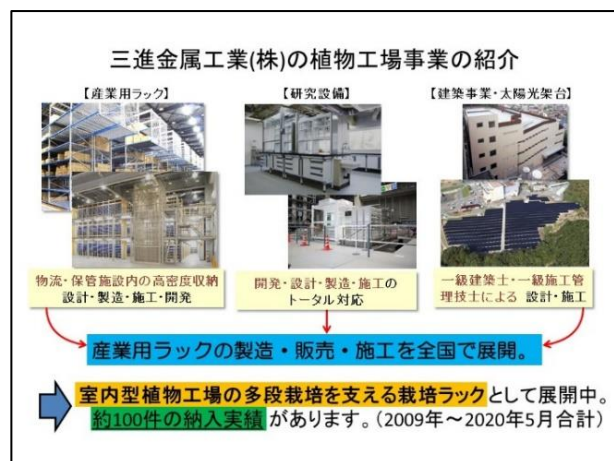


葉菜類の養液栽培では、その生長に伴い葉が密集すると、空気の滞留により株元が多湿や高温条件になりやすく、病害・生理障害が多発しやすくなる。そのため、除湿や冷房による施設全体の環境改善策が必要となるが、高コスト化の問題に直面する。葉菜類は植物群落が小さいため、群落内のみを環境制御できれば、多大なコストが不要である。そこで、演者らは、株元の除湿・温度制御を目的とした養液栽培用の定植パネル(以下送風パネル)を開発した(特願2017-242485 提出日:平成29年12月19日)。

コマツナ、シュンギクに本パネルを用いて養液栽培した結果、冷気の連続通気では株元湿度が低下し、シュンギクの栽培では生理障害であるチップバーンの抑制効果がみられた。

2. 三進金属工業(株)の植物工場事業への取り組み

三進金属工業株式会社

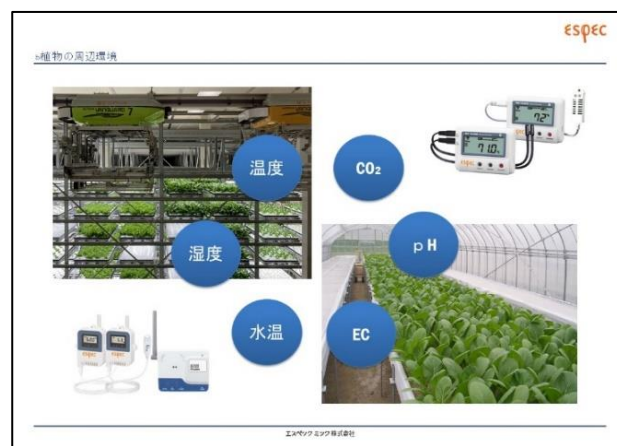


三進金属工業(株)は栽培ラックを切り口に植物工場事業へ参入し、(株)M式水耕研究所と連携して栽培ラッ

クのみならず栽培・運営まで含めた植物工場の総合的な提案、提供を行っている。今回、自動移植機、自動定植機、ベビーリーフ収穫機を紹介する。昨今、植物工場の大規模化が進みつつある中で、栽培事業者の作業省力化機器への需要が高まっている。三進金属工業(株)ではこのような需要に応え、作業省力化機器の開発、販売を行っている。三進金属工業(株)はプラント販売のみならず、植物工場の運営を補助する作業省力化機器分野での提案も積極的に展開してゆく。

3. サーモレコーダーによるクラウドを用いた温湿度監視システムのご提案

エスペックミック株式会社



植物を栽培している温度・湿度・水温などの環境を、クラウドで監視するサーモレコーダーをご紹介します。サーモレコーダーは温度・湿度・電圧・パルスなどを測定、記録する電池駆動の小型データロガーです。有線LAN/無線LANを経由してクラウドに記録データを自動送信することで、インターネットに接続する遠隔地のパソコンやスマホ、タブレットから「いつでも、どこからでも」温度・湿度監視が可能となります。さらに、警報メール機能もあり、温度・湿度が許容範囲を超えた場合は警報メールを送信することができます。

また、インターネットに接続できない場合を想定した、Bluetooth接続やUSB通信でのデータ収集方法もあわせてご紹介させていただきます。

4. MDR (MotorDrivenRoller) を駆動源とした自動搬送について

伊東電機株式会社

伊東電機は独自のモーター技術と制御・ソフトウェア技術で人材確保に困る世界中の物流センター、生産工場、植物工場の自動化を加速させています。

弊社はソフトウェアを融合させたコンベヤブロックを繋ぎ合わせて簡単に自動化ラインを創るソリューションを展開しています。

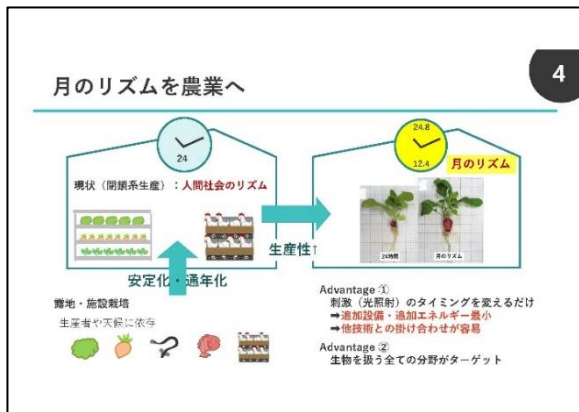
従来のコンベヤ設計に対し大幅に時間とコストを削減します。また、ソフトウェア技術を駆使したリモート

メンテナンス、搬送データ分析から情報をアウトプットする ICT 技術も備え、コンベヤのデジタル革新を牽引する企業として注目を集めています。



5. 月のリズムで農業を

トヨタ紡織株式会社



将来、人々が安心して暮らすためには現在の 1.7 倍もの食料が必要とされており、植物工場に期待される役割は大きい。私たちは伝統農業に在る経験知に注目し、月のリズムを採用した植物工場栽培技術の開発に取り組んでいる。これまでに、月のリズムに合わせて照明のオン・オフを切り替えるだけでレタスなどの成長が大きく変化することを見出し、レタスでは約 20%の重量増に成功している。新たな追加設備、追加エネルギー不要のため、植物工場の生産性の向上に貢献できると期待している。

6. 世界で活躍するCKD株式会社の技術

CKD株式会社



CKD株式会社の会社概要と、広く社会に浸透し、あらゆるフィールドで活躍しているCKDの技術を紹介いたします。植物工場ビジネスへの展開で、参加している植物工場研究センターの最適化空調システムプロジェクトの研究内容を紹介、風をコントロールすることで歩留まりが改善するNew技術を発表します。

7. “おうち時間” 時代における植物工場の在り方
大阪堺植物工場株式会社



大阪堺植物工場株式会社は大阪府立大学中百舌鳥キャンパスC22棟を初め、現在、閉鎖系人口光型植物工場を2工場、トマト農場1農場の計3拠点を運営する都市園芸に特化した植物工場事業者として大阪/関西圏に及ばず中四国や首都圏への販売促進を進めていますが、このコロナ禍時代の植物工場の在り方について、事業継続の実情により様々な取り組みを進めております。

今回その一旦をご紹介させて頂きたいと考えております。

8. Hi-5 (CFRTP) 射出成形のご紹介

東神電気株式会社



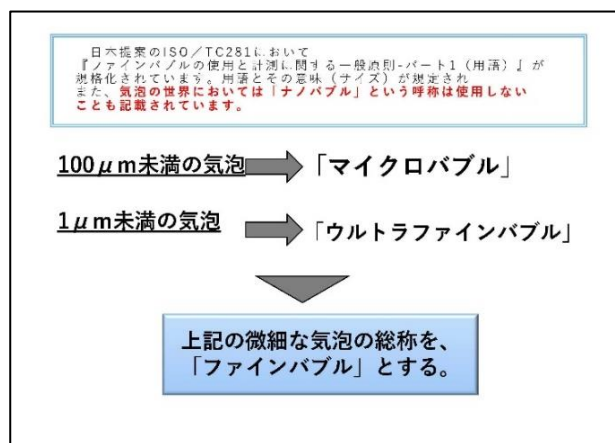
金属製品・部品を少しでも軽くできる材料の調査および適用検討を行い、炭素繊維と樹脂との複合材 CFRTP (炭素繊維強化熱可塑性樹脂) に着目し、従来とは異なる独自の成形技術を活かしたオリジナル成形ブランド「Hi-5」とHi-5で成形した工具シリーズCARBLACK製品のご紹介を致します。

9. ファインバブルとその可能性に関して

株式会社サイエンス

ファインバブルは、とても細かな泡（直径 100 μm 未満）の意味をもつ。一般的な泡とは異なる側面があるとして着目され日本国提案として国際標準規格（ISO）の技術委員会が設立された。ISO/TC281 としてファインバブルの規格化が進められており、一般用語や計測方法、及び輸送保存やサンプリングなど基本原則や測定比較試験などの応用規格が発刊されました。また環境への親和性も高いと思われることから、SDGs の為の貢献評価ガイドラインが公開されました。現在も多岐にわたる規格の提案が参加国より寄せられ、それぞれ活発な審議が行われています。

このファインバブルの特徴などを説明しつつ、液体と気体の混合（コントロール）技術とも言えるファインバブルの可能性を示し、その活用事例を紹介致します。



「PFC セミナーⅢ」のご案内

今回のセミナーは「植物工場における病害虫防除」と「植物工場における植物遺伝形質の最適化について」をテーマに本学生命環境科学研究科の教員が講演します。講演ののち、北宅センター長のコーディネートによる講演者とのディスカッションを予定しています。是非、ご参加ください。

第1回 PFC セミナーⅢ


【日 時】12月9日（木）13：30～16：20

【内 容】1 コマ目

「溶液栽培における病害の診断と防除」
大阪府立大学生命環境科学研究科教授
東條元昭先生

2 コマ目

「害虫とその防除」
大阪府立大学生命環境科学研究科教授
平井規央先生

第1回：植物工場における病害虫防除	
2021年 12月9日(木) 13:30~16:20	 溶液栽培における 病害の診断と防除 東條 元昭 大阪府立大学 生命環境科学研究科 教授
定員：80名 Zoomにて開催	
参加費：2,000円	
申込・振込締切： 12月6日（月） ※定員になり次第締め切り	 害虫とその防除 平井 規央 大阪府立大学 生命環境科学研究科 教授
コーディネーター：北宅 善昭 大阪府立大学 植物工場研究センター長	

第2回 PFC セミナーⅢ

【日 時】12月21日（火）13：30～16：20

【内 容】「植物工場の有効利用を目指した作物の改変」
大阪府立大学生命環境科学研究科准教授
山口夕先生

第2回：植物工場における植物遺伝形質の最適化	
植物工場の有効利用を目指した 作物の改変  山口 夕 大阪府立大学 生命環境科学研究科 准教授	2021年 12月21日(火) 13:30~16:20
	定員：80名
	Zoomにて開催
	参加費：2,000円
	申込・振込締切： 12月17日（金） ※定員になり次第締め切り
コーディネーター：北宅 善昭 大阪府立大学 植物工場研究センター長	

◇各回共通◇

【会 場】Web セミナー（Zoom 開催）
【定 員】80 名 定員になり次第締め切り
【参加費】2,000 円/日 事前振込
※コンソーシアム会員様には割引クーポンがあります。
詳細は HP へ。

植物工場研究センターの SNS を開設

この度、植物工場研究センターの SNS（Twitter、Instagram、YouTube）を開設しました。ホームページ以外でも様々な情報を発信して参ります。是非、フォローをお願いします。

