

## 【目的】

**食料安全保障上重要な位置付けにある種子・種苗の確保**について、将来の不確実性を踏まえ、より盤石な安定供給体制の構築が必要。我が国が開発してきた閉鎖型の人工光型植物工場に高度な環境制御技術等を融合することで、**種子等の生産に対応可能な「完全閉鎖型植物工場」**を実現し、**国内展開及び海外市場の進出を目指す**上で必要な調査研究を実施。

## 【BRIDGE終了時の成果（社会実装）】

不測時において、完全閉鎖型植物工場で種子等を高効率生産できる技術を開発するとともに、必要な生産規模を明らかにする。また、植物工場の設備・装置を維持して平時においても稼働させる必要があるが、植物工場を広く導入していくためには事業採算性の向上が必要である。このため、種子以外の多様な品目への適用のほか、農作物由来の高付加価値な有用物質（グリーンマテリアル）について、平時に閉鎖型植物工場にて高効率生産するための技術開発を目指し、以下のFSを実施する。

1. 食料安全保障に資する完全閉鎖型植物工場に関する実現可能性調査
2. 種子等を高効率生産するための環境制御技術の調査研究
3. 有用物質を農作物に高発現させるための植物デザインの調査研究
4. 2及び3を融合し、種子等の高効率生産を可能とする生産ユニットの試作及びシステム設計

**社会実装のシナリオに基づき、完全閉鎖型植物工場の開発と事業化を推進することにより、垂直農業市場における国際競争力の強化を図る。**

## 【成果（KPI達成状況）／社会状況変化の対応など】

- ①本事業における研究・技術状況ならびに方向性の把握などを実施し、今後推進すべき方向性を明確にするとともに食料安全保障に資する**完全閉鎖型植物工場の実現に向けた社会実装シナリオを目標通り、策定し、設定の目標を達成した。**
- ②コシヒカリなど3品種で収量およびタンパク質濃度を最大化するための**高効率な栽培に向けた環境パラメータ**（気温、CO<sub>2</sub>濃度、ケイ酸添加、日長、水耕液の組成および濃度、栽培密度）**を取得し、設定目標を達成した。**
- ③ゲノム編集により**目的外タンパク質を除去して有用タンパク質を高蓄積**できること、元品種を短稈化できることを検証し、全て実現可能であることを示し、目標を達成した。
- ④**イネ用栽培ユニットを試作**することでベースプラントを整備し、**子実タンパク含量を増加するストレス**（高EC灌液、紫外線照射）**付加技術を開発**、イネ作物体センシング技術の精度を検証し、目標を達成した。

## 【今後の社会実装/普及に向け必要な措置等】

効率的、安定的に有用物質生産が可能な完全閉鎖型植物工場の開発を令和7年度開始のBRIDGE本課題において実施する。

## ① 全体概要

### 【解決すべき社会課題】

- ・ 食料安全保障の観点から、不測時においても国民への食料の安定供給を維持するためには、食料生産に不可欠な種子等を緊急的に供給できる体制を確保する必要。
- ・ 他方、欧米を中心に垂直農業（Vertical Farming、室内・人工光・多段で生産する植物工場）への投資が加速。こうした動向を踏まえ、中国や欧米では、AIを駆使した人工光型植物工場に係る研究開発が加速化し、我が国のプレゼンスが徐々に低下していたが、スタートアップ（株）プランテックス社（2014年設立）が一般的な植物工場の約5倍の生産性を実現する、世界初のユニット式閉鎖型の植物栽培装置の開発に成功し、国内ビジネスを開始する等、企業参入が活性化しつつあり、今後世界市場を狙える状況にある。

### 【取組施策の内容】

- ・ 不測時において、（株）プランテックス社の完全閉鎖型植物工場の高生産性の強みを活かし、種子等を高効率生産できる技術を開発するとともに、必要な生産規模（面積等）を明らかにする。また、植物工場の設備・装置を維持して平時においても稼働させる必要があるが、植物工場を広く導入していくためには事業採算性の向上が必要である。このため、種子以外の多様な品目への適用のほか、農作物由来の高付加価値な有用物質（グリーンマテリアル）について、平時に閉鎖型植物工場において高効率生産するための技術開発を目指し、以下の開発項目に関するFSを実施し、以下の結果を得た。
  1. 食料安全保障に資する完全閉鎖型植物工場に関する実現可能性調査
  2. 種子等を高効率生産するための環境制御技術の調査研究
  3. 有用物質を農作物に高発現させるための植物デザインの調査研究
  4. 2及び3を融合し、種子等の高効率生産を可能とする生産ユニットの試作及びシステム設計

### 【成果の社会実装】

- ・ 食料安全保障に資する種子等の生産を行える植物工場が実現可能であることを明らかにし、社会実装シナリオを策定した。調査結果、社会実装シナリオに基づき、「完全閉鎖型植物工場」が導入され、民間研究開発投資額年間36億円が見込まれる。
- ・ 植物工場で農作物の種子を高効率で生産できる精密環境制御技術や有用物質生産に最適化した植物デザイン技術を検証した。加えて、生産性を更に向上させる専用ユニットを試作した。これらの技術については令和10年度までの社会実装を目指す。
- ・ 「完全閉鎖型植物工場」の開発と事業化を推進することにより垂直農業市場における国際競争力の強化を図る。
- ・ 農作物由来のグリーンマテリアルの新市場を創出するとともに、製薬企業等の協力を得て実用化を後押しする。
- ・ 不測時の種子の供給に資することで、食料安全保障の確保に貢献する。また、有機化学合成技術では製造できないようなグリーンマテリアルの新市場を創出する。さらに、開発された「完全閉鎖型植物工場」の強みを生かして国内外の展開を図る。

# 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

## ② 全体俯瞰図

### 【解決すべき社会課題】

**食料安全保障上重要な位置付けにある種子・種苗の確保**について、将来の不確実性を踏まえ、より盤石な安定供給体制の構築が必要。



種子等の安定供給体制の構築に資する、気象条件を精密コントロールできる閉鎖型の植物工場の開発と、その中で高効率生産実現するための技術開発を目指す必要

### 【取組施策の内容（調査研究）】 これまでにSIPで開発した有用物質生産に活用可能なゲノム編集技術を開発

#### 実現可能性の調査

食料安全保障に資する種子等の生産を行える植物工場の実現に向け、必要な設備・装置の性能や規模感、それらを維持するための高付加価値な作物生産や事業採算性の検証などについて、調査研究を行う。

#### 必要な技術開発

- 種子等を高効率生産するための**環境制御技術**
- 有用物質を農作物に高発現させるための**植物デザイン技術**
- 種子等の高効率生産を可能とする**生産ユニットの試作**

### 【成果の社会実装】FS成果を活用しBRIDGE本課題の実施により、完全閉鎖型植物工場の事業化を推進。民間研究開発投資見込み36億円/年

- ① 策定したシナリオに基づき「完全閉鎖型植物工場」が110ha設置・稼働されることにより、不測の事態に農作物の種子供給が必要となった際に、**必要量の水稲種子量:約1,700 t 野菜種子量:約320 t**を供給することで食料安全保障に貢献できることを試算した。
- ② 6つの栽培環境パラメータ（CO<sub>2</sub>濃度、ケイ酸添加等）を評価し、最適な栽培環境を構築した結果、**コシヒカリの収量が国内外の事例を大きく超えた。**
- ③ ゲノム編集によりコメ中のリソース転換をデザインし、**目的外タンパク質を低減させ、有用タンパク質を増加する**改変イネの作出に成功した。
- ④ **イネの生産に対応可能な閉鎖型人工光栽培ユニットを試作し**、イネの生産が可能であることを実証した。
- ⑤ **ストレス付加（高EC灌液、紫外線照射）**による子実中タンパク質含量の増加を確認した。

開発する「完全閉鎖型植物工場」で、不測時に水稲・野菜種子供給、平時は有用物質生産が、それぞれ可能であることを試算で確認



・「完全閉鎖型植物工場」の開発と事業化を推進することにより**垂直農業市場における国際競争力の強化を図る。**

# 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

## テーマ ①食料安全保障に資する完全閉鎖型植物工場に関する実現可能性調査

### ① 研究成果及び達成状況

#### 【研究成果概要】

食料安全保障における完全閉鎖型植物工場の位置づけ等に関する分析・検討、平時に完全閉鎖型植物工場を安定稼働させる多様な手段の検証を進め、完全閉鎖型植物工場における有用物質生産が社会実装されることにより、不測の事態に農作物の種子供給が必要となった際に、**完全閉鎖型植物工場に必要な量の種子を供給することで食料安全保障に貢献できるシナリオを策定した。**

#### 【目標の達成状況】

本事業における研究・技術状況ならびに方向性の把握などを実施し、今後推進すべき方向性を明確にするとともに食料安全保障に資する完全閉鎖型植物工場の実現に向けた社会実装シナリオを策定し、目標を達成した。

#### 【研究成果】

FS研究を実施し、有効な技術の評価を行い、完全閉鎖型植物工場における有用物質生産が社会実装されることにより、不測の事態に農作物の種子供給が必要となった際に、完全閉鎖型植物工場に必要な量の種子を供給することで食料安全保障に貢献できることを試算した。

#### A 不測の事態における必要種子量

〈シナリオ1〉巨大地震により国内水田に甚大な被害があり、被災地域以外で水稻を増産するために種子が必要となるシナリオ

① 南海トラフ地震による想定被害水田面積：約4万ha、② 水稻の1haあたり播種量：35kg/ha

② ①の被害分を被災地域以外で生産する際に必要となる水稻種子量：約1400t

〈シナリオ2〉海外における不測の事態により、野菜種子の輸入量（年間3～4千t）の一部の輸入がストップするシナリオ

① 輸入分の1割の輸入がストップした際に必要となる野菜種子量：約300t

#### B 有用物質が完全閉鎖型植物工場で供給可能な種子量

① 患者200万人／年がスギ花粉米により治療すると仮定すると、スギ花粉米必要量：約1700t (0.84kg/人)

② ①を生産するために必要となる植物工場栽培面積：1,100,000㎡、③ ②の植物工場で生産可能な種子量

**水稻種子量:約1,700t 野菜種子量:約320t**

シナリオ1及び2のいずれもA<Bとなることから、**完全閉鎖型植物工場のマルチユース化により食料安全保障に貢献すること**を示した。

### ② 出口戦略・研究成果の波及

- FS成果を活用し試算したシナリオに基づきBRIDGE本課題を実施し、イネ栽培による高効率な**有用物質生産が可能な植物工場を社会実装**する。

### ③ 目標達成状況等の特記事項

- 特になし。

# 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

## テーマ ②種子等を高効率生産するための環境制御技術の調査研究

### ① 研究成果及び達成状況

#### 【研究成果概要】

人工気象室栽培において、6つの栽培環境パラメータ（CO<sub>2</sub>濃度、ケイ酸添加、日長、栽培密度、水耕液組成および濃度）を評価し、**最適な栽培環境を構築した結果、コシヒカリの収量が国内外の事例を大きく超えた（図）**。小型水耕栽培装置を用いた矮化剤処理の結果、草丈が40～50%減少し、出穂時期が約15日遅延したが、分げつ数が増加する結果を得た。

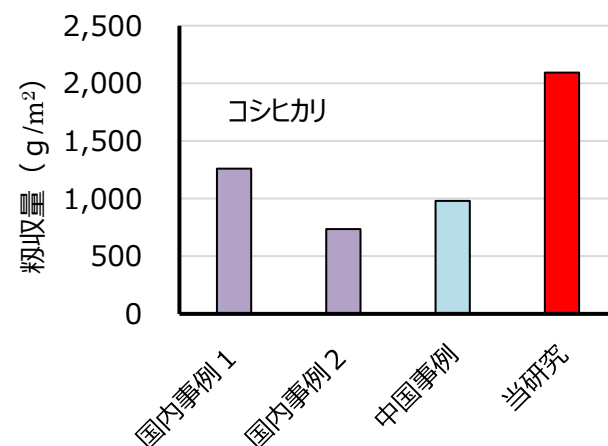
#### 【目標の達成状況】

コシヒカリをベースに収量およびタンパク質濃度を最大化するための高効率な栽培に向けた環境パラメータの取得を実施した。**収量が2010g/m<sup>2</sup>/年で、国内外の事例約700～1250g/m<sup>2</sup>/年を大幅に上回ったことから、収量最大化を確認する目標は達成した（図）**。

#### 【研究成果】

（1）6つの栽培環境パラメータについて、収量・成分を最大化するための条件を決定した。  
①CO<sub>2</sub>濃度：1000 ppm、1500 ppm区での超高CO<sub>2</sub>濃度下において成長の促進が認められた。②ケイ酸添加：ケイ酸の施用により収量がおよそ1.5倍に増加した。③日長：6h、20h、22hを比較し、22h区で著しく栄養成長が加速した。④栽培密度：各条件における精籾の収量は21.7 株/m<sup>2</sup>、43.4 株/m<sup>2</sup>、86.8 株/m<sup>2</sup>を比較すると、栽培密度の増加に伴い収量が増加した。【養液組成および濃度】最も成長が旺盛であった養液は市販の1.4倍の重量を示した。出穂後のEC（養液中の肥料濃度を表す電気伝導度）を調整することで収量が大きく向上した（図）。

（2）小型水耕栽培装置を利用した密植栽培において矮化剤処理を行った結果、出穂・収穫期における草丈は対照区（約100cm）と比較して40～50%減少した。



### ② 出口戦略・研究成果の波及

- FSにおいて、完全閉鎖型植物工場でのイネ生産に成功したことから、R9年度までにBRIDGE本課題の実施により、有用物質抽出用品種（コシヒカリとは異なる）で現行収量（1,050g/m<sup>2</sup>/年）の**1.2倍を実現する精密環境パラメータ情報（栽培レシピ）**を確立し、民間研究開発投資を誘発し、**植物工場で実証、社会実装**をする。

### ③ 目標達成状況等の特記事項

- 開発したケイ酸添加技術の特許を出願した。

# 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

## テーマ ③有用物質を農作物に高発現させるための植物デザイン技術の調査研究

### ① 研究成果及び達成状況

#### 【研究成果概要】

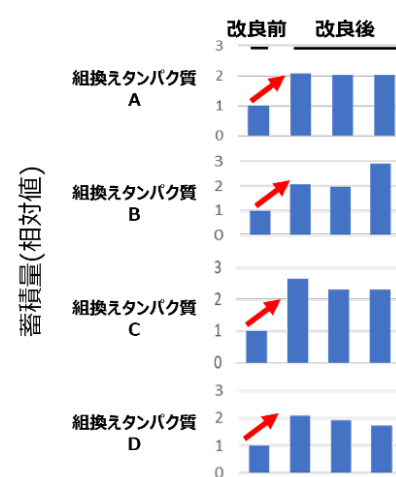
目的外タンパク質が消費するリソースを目的の組換えタンパク質（有用物質）に転換する発想に基づき、ゲノム編集によりコメ中の種子貯蔵タンパク質を大幅に低減させた改変イネを作出した（左図）。この改変イネにおいて組換えタンパク質の蓄積量増加が認められ、有用物質高生産技術の実現可能性が示された。また、最新の精密ゲノム編集技術prime editingを用いたタンパク質構造の微細な改変により、従来技術では困難であった草丈の精密調整に成功し、完全閉鎖型植物工場に適した草型改良技術の実現可能性が示された（右図）。

#### 【目標の達成状況】

複数の種子貯蔵タンパク質遺伝子を同時に破壊できること、ゲノム編集により元品種を短稈化できること、目的外タンパク質を除去して有用タンパク質を高蓄積できることを検証した。これら全てにおいて実現可能であることを示し、目標を達成した。

#### 【研究成果】

ゲノム編集によりグルテリン（貯蔵タンパク質）を大幅に低減させた改変イネの作出に成功した。このグルテリン低減イネにおいて、組換えタンパク質 4 種類の蓄積量がいずれも約 2 倍に増加した。残存しているプロラミンも低減させることで、組換えタンパク質蓄積量がさらに高まると期待される。グルテリン低減イネとは別に、ゲノム編集でプロラミンを大幅に低減させた改変イネの作出にも成功し、今後、グルテリンとプロラミンの同時低減に利用できる材料が得られた。また、prime editing技術により短稈化を実現できた。



4種類の組換えタンパク質が増加

Prime editing により  
イネの短稈化に成功



元系統 改変系統

### ② 出口戦略・研究成果の波及

- R7年度開始のBRIDGEでは新たにプロラミン（内生タンパク質）を同時ゲノム編集（多重ゲノム編集技術）することにより、FS時を上回る有用物質の発現量を2.5倍以上に高める技術を開発し、民間研究開発投資を誘発し、植物工場用品種として社会実装する。

### ③ 目標達成状況等の特記事項

- 特になし。

# 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

## テーマ ④種子等の高効率生産を可能とする生産ユニットの試作及びシステム設計

### ① 研究成果及び達成状況

#### 【研究成果概要】

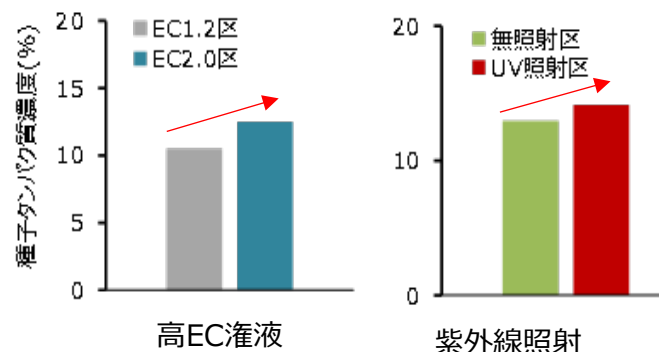
完全閉鎖型植物工場のマルチユース化に向けて、①**イネの生産に対応可能な栽培ユニットを試作**し、イネの生産が可能であることを実証（上図）、②イネへのストレス付加による**子実中タンパク質含量を増加させるためのストレス付加技術**（高EC灌液、紫外線照射）を開発（下図）、③**子実中タンパク質含量のセンシング技術、イネの生育状況（草丈）のセンシング技術**を開発するなどの成果を得た。

#### 【目標の達成状況】

- ①イネ用の栽培ユニットを試作し、イネの栽培試験を実施することで、完全閉鎖型植物工場での種子及びグリーンマテリアルの生産が実現可能であることを確認し、最終目標は達成した。
- ②イネ作物体センシング技術の精度の検証、レーザー光によるイネ栽培効率、及びストレス源を付加することによるイネ胚乳タンパク含量への効果を検証し、最終目標は達成した。

#### 【研究成果】

- ①多様な品目が可能となるよう、ユニットの高さ等を改良した栽培ユニットを試作し、試験栽培を実施し、最大収量1357 g/m<sup>2</sup>を確認した。また、2世代にわたる栽培試験を実施し、種子生産ができることを確認した。
- ②完全閉鎖型植物工場のマルチユース化に向けて、イネへのストレス付加による子実中タンパク質含量を増加させるためのストレス付加技術を開発し、高EC灌液やUV照射により種子タンパク質濃度の増加できる可能性を見出した。
- ③イネの生育状況（草丈）のセンシング技術のプロトタイプを開発した結果、撮影画像中央部では誤差約10%、周辺部では誤差約30%であった。また、ストレスと相関の高いキーパラメータをハイパースペクトルデータから抽出し、高い相関係数（0.934）を実現する非破壊ストレス計測手法を確立した。



### ② 出口戦略・研究成果の波及

- ・ R7年度開始BRIDGEでR9年度までに、完全閉鎖型植物工場のマルチユース化システムを確立し、イネの子実**収量1.2倍、サイトカインの蓄積量3倍（2.5倍×1.2倍）**を実現する。
- ・ 事業終了後に、民間研究開発投資の誘発のため、スタートアップなどによる有用物質生産の事業化を支援する。

### ③ 目標達成状況等の特記事項

- ・ 開発したストレス付加技術の特許を出願した。

