

[illegible]

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

① 全体概要

<①解決すべき社会課題・産業課題>

- ・ 異常気象の頻発や高品質な食料の安定調達ニーズを背景として、近年、**欧米を中心に垂直農業（Vertical Farming、完全閉鎖型植物工場（人工光））への投資が加速**。民間調査会社によると、2034年に市場規模は約900億米ドル（約13.5兆円）に拡大すると予測。**完全閉鎖型植物工場は、世界をリードする我が国の「強み」技術であり、今後の成長産業化が期待される分野であるが、現状では、栽培可能な農作物が市況変動の大きい野菜等に限定されるため、経営収支が安定せず、技術（完全閉鎖型植物工場）の広がりが見込めない状況。**
- ・ 一方、日本では、イネ等の農作物を使い、より高付加価値な**有用物質（ヒト用サイトカイン、コレラワクチン、スギ花粉米等）を効率的に生産する遺伝子組換え技術が確立**。しかしながら、現状では、これら遺伝子組換え農作物は屋外での栽培が難しいため、今後は**完全閉鎖型植物工場の活用（マルチユース化（多品目化））が期待される状況。**
- ・ このため、令和5年度BRIDGE・FS課題では、**完全閉鎖型植物工場を活用したイネ生産の実現、並びにゲノム編集を利用したイネ胚乳への有用タンパク質の高蓄積などが可能であることを示し、マルチユース化に向けた実現可能性に道筋をつけたところ。**
- ・ 本課題では、これらFS成果を活用し、「**ロボティクス（完全閉鎖型植物工場）**」×「**バイオ（遺伝子組換え農作物）**」×「**AI・ビックデータ（精密栽培レシピ）**」の融合による世界初の植物工場のマルチユース化を実現し、関連する**スタートアップ等の市場開拓を支援**。また、大規模災害等の不測時の食料生産や、輸入に依存する薬用作物原料の国内自給等を可能とすることで**食料安全保障及び経済安全保障面にも貢献**。
- ・ さらに、各地の廃工場や廃校跡地などを活用した植物工場ビジネスを可能とすることで、政府の最重要施策である**地方創生にも貢献**。

<② 提案施策>

- ・ 令和5年度BRIDGE・FS課題で開発した革新技术を基盤とし、医薬品成分である**サイトカイン等の有用物質をイネ等に効率的に生産させるマルチユース型植物工場システムを開発**。
- ・ 開発に当たっては、**早期の社会実装を目指して、令和7年度は、FSを実施したイネで先行して開発を実施する。ビジネス採算性を確保するため、現行製造コスト（大腸菌等をバイオリクターとした製造法）以下となるよう、FS成果の性能改良の目標値を設定し、それぞれ更なる技術的改良を図るとともに、出口企業の参画・協力を得て、2025年度には費用対効果の評価、および最終年度（2027年度）までに栽培システム全体としての経営採算性の評価・概念実証を予定**。

<③成果の社会実装等>

- ・ **マルチユース型植物工場の事業展開に関しては、当面、スタートアップである(株)PLANTXが担い、製薬企業や他のベンチャー等と連携し、2030年度からの国内外での事業化を目指す。**
- ・ また、研究開発の進捗を踏まえながら、**医薬品原料の製造・販売を担うコンソ参画のA社がサイトカイン製造のビジネス化に着手**。
- ・ **農研機構では、サイトカインでの概念実証を踏まえ（課題終了後）、他の有用物質の発現イネ系統等を順次開発し、植物工場ビジネスを展開する他のスタートアップ等も含め製薬企業とのビジネスコンソーシアム形成し、マルチユース化植物工場ビジネスを推進**。

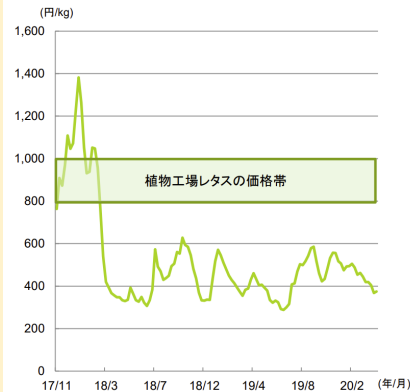
1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

② 全体俯瞰図

背景

- ✓ 完全閉鎖型植物工場は、**世界をリードする我が国の「強み」技術**であり、今後の成長産業化が期待される分野
- ✓ しかしながら、現状では、栽培可能な農作物が**市況変動が大きい葉物野菜等に限定**されるため、収益率が低く、経営が不安定化。**世界的に植物工場ビジネスの広がりが頭打ちの状況。**

○ 露地レタスとの市場競合の状況



BRIDGE R7～R9年度

生産高効率化（ロボティクス）

FS成果: イネの高効率生産を可能とする栽培ユニット（ハード）の開発

本格実施: 精密環境制御（ソフト）を組み合わせ高効率生産を実現

<R7先行実施>

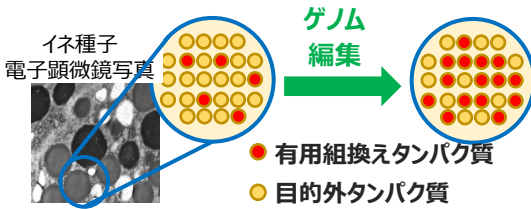


高付加価値化（バイオ）

FS成果: スギ花粉症緩和成分の生産を実証

本格実施: 他の医薬品成分（サイトカイン）のPoC

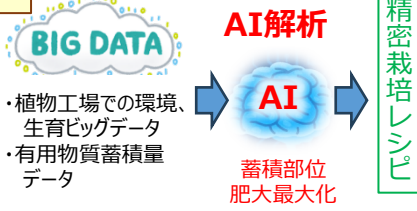
<R7先行実施>



多品目化（AI・ビックデータ解析）

FS成果: イネの生産が可能に

本格実施: 葉物以外の野菜（果菜類、根菜類）への用途拡大



マルチユース化（多品目化）により**植物工場を成長産業化**

社会実装

植物工場ビジネスを展開する**スタートアップ**等の市場開拓支援

大規模災害時の不測時の食用生産や、中国等に依存する薬用作物（原料成分）の国内自給等の**経済安全保障面への貢献**

廃工場・廃校施設を活用した食料生産による**地方創生への貢献**

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

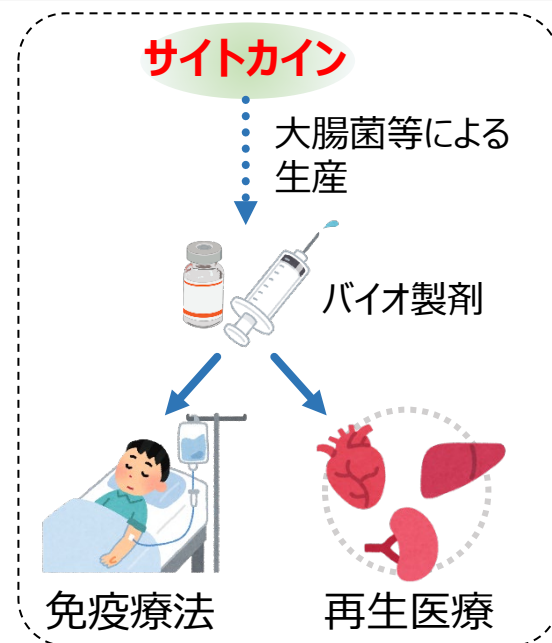
サイトカイン | 免疫反応や炎症の調節機能を持つ生理活性物質 (例：インターフェロン、インターロイキン)

- 細胞から分泌されるタンパク質であり、細胞間相互作用に関与する生理活性物質の総称。細胞間の情報伝達作用を持ち、特異的な受容体に結合することで、免疫反応の増強、制御、細胞増殖、分化の調節などを行う。
- 世界市場規模：2023年に約896億ドル → **2032年 1,633億ドル**

現行のサイトカイン製造における課題

- ✓ 現行は、大腸菌や動物細胞をバイオリアクターとして製造
- ✓ 大腸菌の毒素、動物細胞由来の病原体等の混入の懸念
- ✓ 大規模な培養装置が必要になるため初期投資が大きい
- ✓ バイオ医薬品の多くは海外からの輸入に依存

微生物、
動物細胞由来
**Game
Change**
植物由来



イネ種子をバイオリアクターとした新たなサイトカイン製造法を確立

イネを用いるメリット

- 高い安全性（微生物毒素や動物由来病原体を含まない）
- 高い保存性（米のまま長期常温保存可能で、いつでも成分抽出が可能）

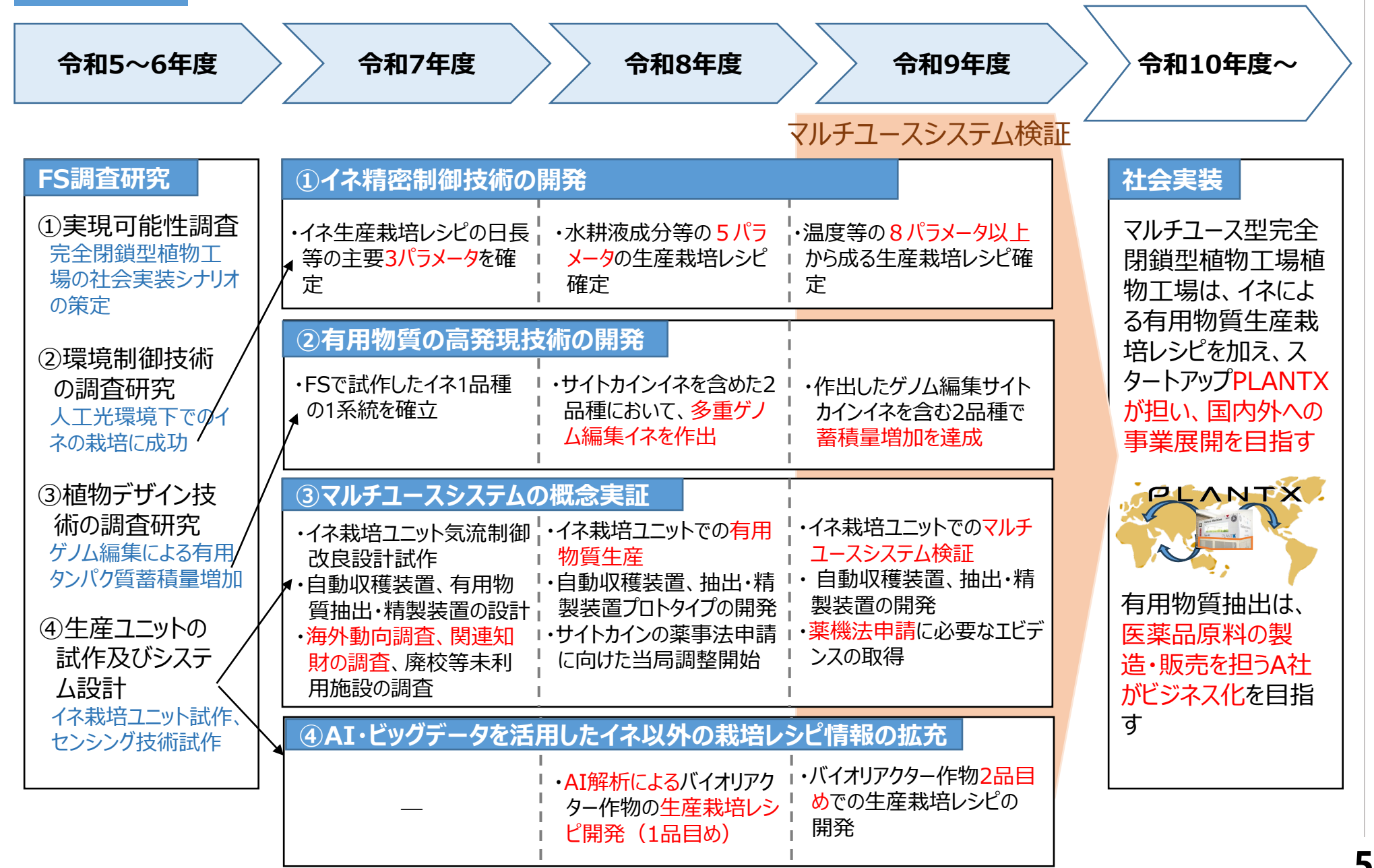


完全閉鎖型植物工場

- ・植物工場でサイトカイン（有用物質）を含むイネ種子を低コストで安定的に生産
- ・海外からの輸入に依存するバイオ医薬品分野におけるゲームチェンジを狙う

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

② 全体俯瞰図



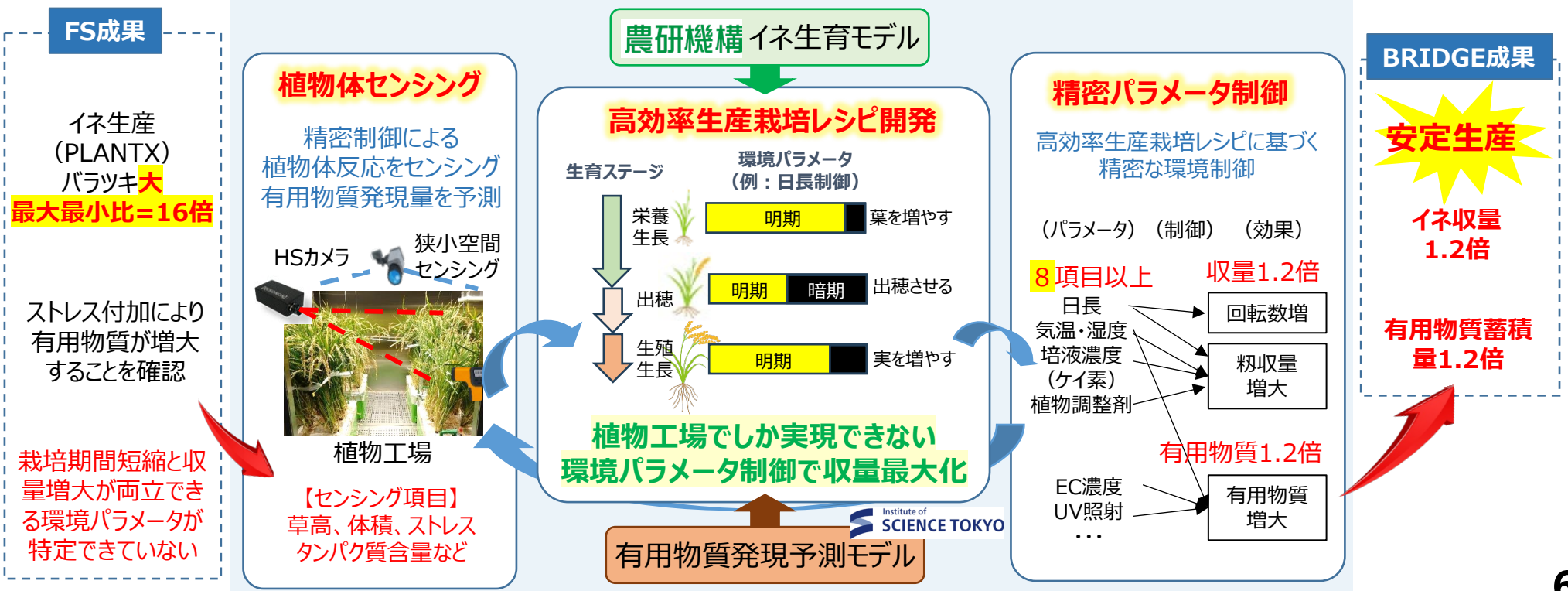
2. 研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標 ①イネ精密制御技術の開発

① 研究開発・社会実装の目標

- 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年度までに現行収量（1,050g/m²/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。
- また、環境パラメータ制御による**有用物質の発現量（イネ胚乳中）**を**1.2倍**に高める。

② 研究開発等の具体的な内容

- FS成果である人工光環境下でのイネ栽培技術（種子生産が可能化）を発展させ、完全閉鎖型植物工場でしか実現できない**日長時間制御**などの寄与率の高い**8以上の環境パラメータ**を制御し、イネ収量1.2倍を実現する**イネの「高効率栽培レシピ」**を確立する。
- サイトカイン等の有用物質をイネ胚乳中に発現させるには、ストレス付加（強UV照射等）が有効であるが、ストレスの過付加は収量を大きく下げることが予想されるため、**ストレス等のセンシング技術と有用物質の発現量モデル**を開発し、当該予測に基づく環境パラメータ制御（栽培レシピ）を精密化する。



2. 研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標 ②有用物質の高発現技術

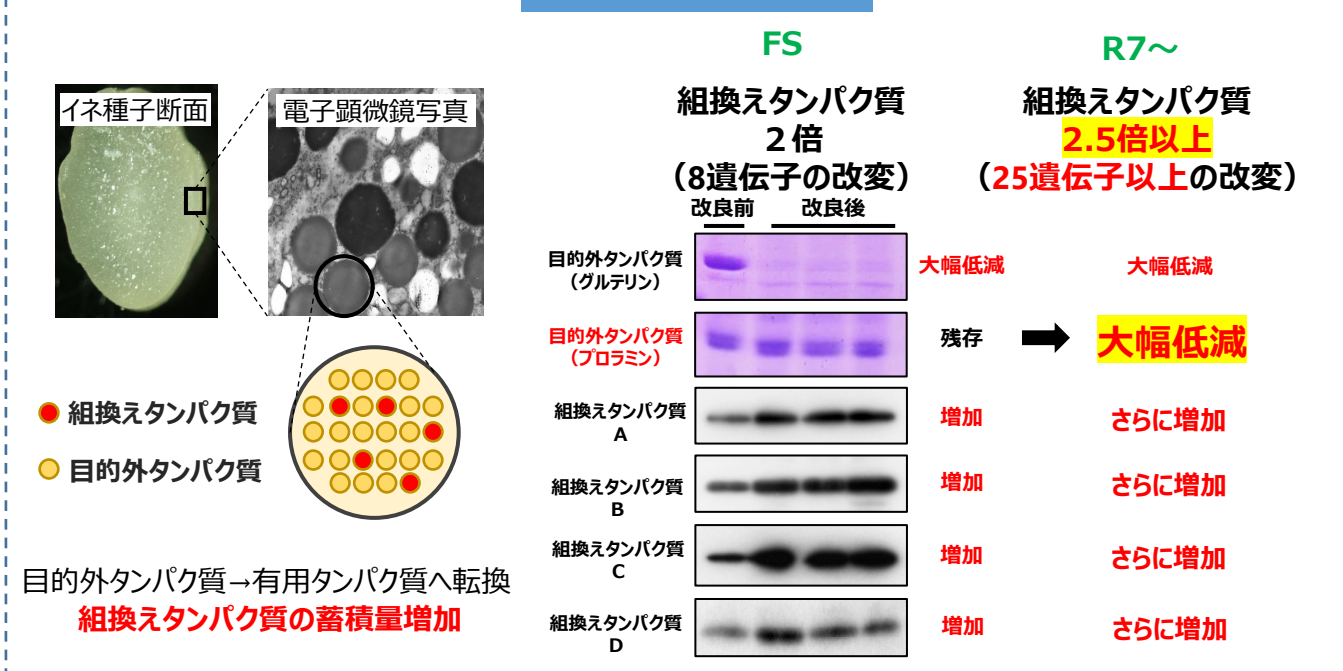
① 研究開発・社会実装の目標

- FSにおいて、イネ胚乳中に存在するグルテリン（内生タンパク質）を抑制すると目的の組換えタンパク質（有用物質）が高発現できることが確認されたため、新たにプロラミン（同上）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。
- その他、モジュール式植物工場に適したイネの草型改良として、**着粒数増加、脱粒性を付与**する。

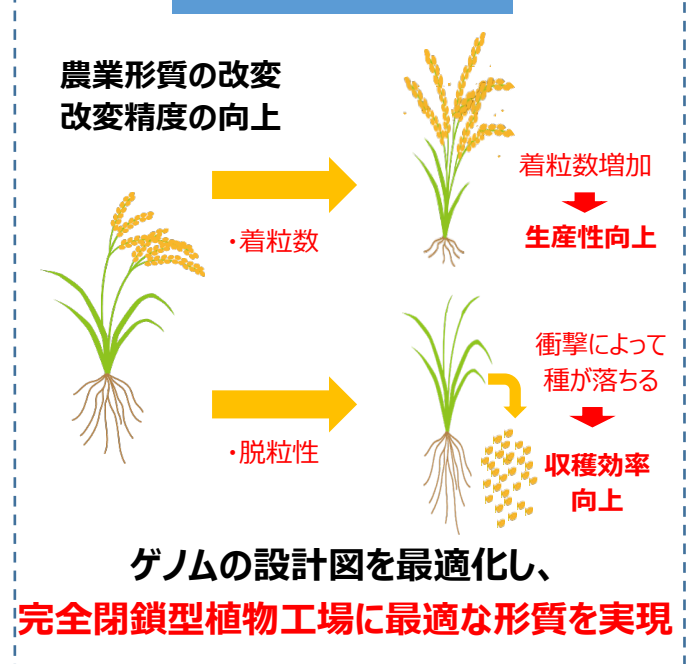
② 研究開発等の具体的な内容

- FS成果であるイネ胚乳中の内生タンパク質であるグルテリンのノックアウトに加え、プロラミンを同時にノックアウトする**多重ゲノム編集技術を開発**。
- FSで達成したイネ草丈の短桿化に加え、**着粒数や脱粒性の最適化**を実現。

多重ゲノム編集技術



精密形質改変技術



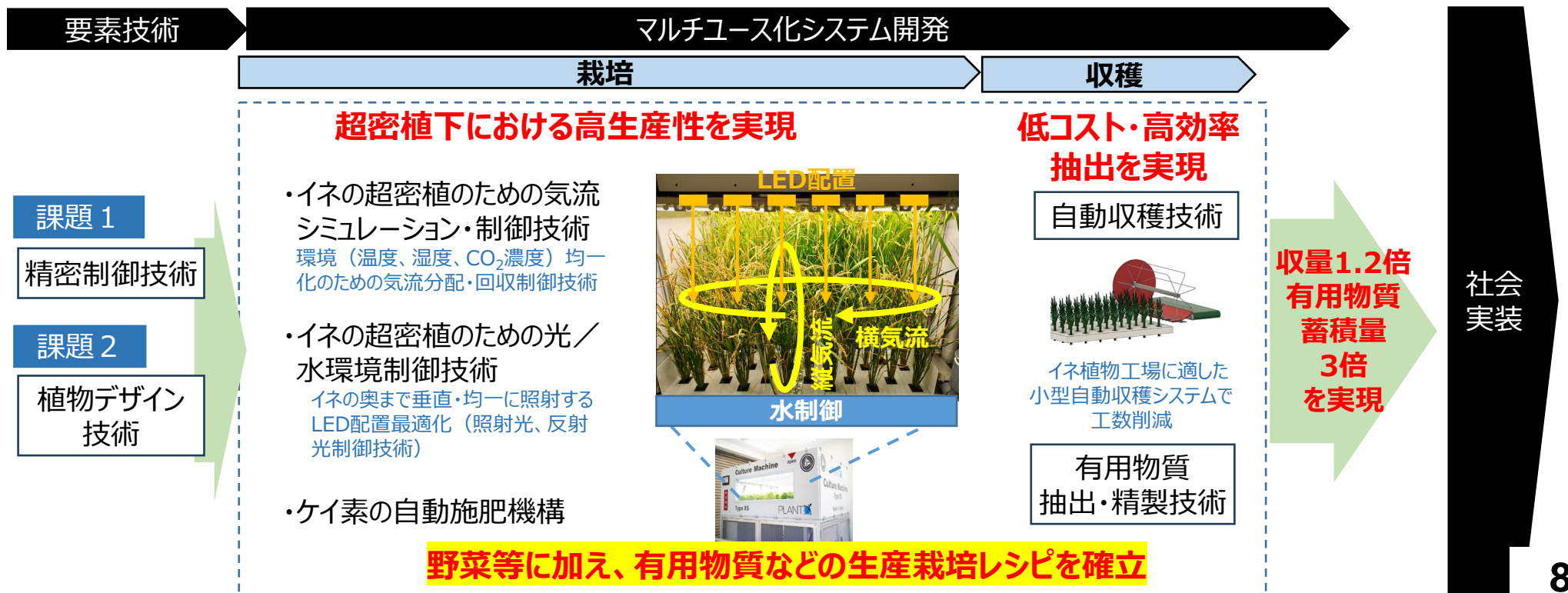
2. 研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標 ③マルチユース化システムの概念実証

① 研究開発・社会実装の目標

- 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。
- また、社会実装時に必要となる収穫作業の自動化技術、有用物質の抽出・精製技術・装置を開発する。
- 上記技術がマルチユース化システムに組み込まれることにより、**サイトカインの目標製造コストが既存方法を下回ることを確認**する。

② 研究開発等の具体的な内容

- FS成果であるイネ生産に対応した栽培ユニット試作を活用、発展させ、上記課題①及び②の技術を統合し、**実際に植物工場を用いたサイトカインの高効率生産が可能であることを概念実証**する。
- また、省力・低コスト栽培に必要な**小型のイネ自動収穫装置**、**サイトカインの高効率抽出精製装置**（**目標抽出率60%**）を開発する。併せて、**イネ以外で社会実装が見込まれる作物の調査等**を実施する。



3. 年度別の実施内容・到達目標（KPI）

テーマ名	実施内容の概要 到達目標（KPI）	R7年度実施内容 到達目標（KPI）	R8年度実施内容 到達目標（KPI）	R9年度実施内容 到達目標（KPI）
①イネ精密制御技術の開発	・日長時間制御等の8以上の環境パラメータの制御手法（イネ高効率生産栽培レシピ）を開発し、イネ収量1.2倍を実現。 ・ストレス等のセンシング技術と有用物質発現量モデルを開発し、予測に基づく環境制御を行うことで有用物質蓄積量1.2倍を実現。 （TRL7）	・日長など、主要3パラメータを確定する。イネ収量1倍を達成。 ・有用物質発現量モデル、ストレスセンシング技術、植物工場内イネ体積推定モデルのプロトタイプを開発。 （TRL5）	・水耕液成分等の5以上のパラメータの生産栽培レシピを確定し、収量1.1倍を実現。 ・開発した有用物質発現量モデル等によるストレス等の制御により、有用物質蓄積量1.1倍を達成。 （TRL6）	・温度等の8パラメータ以上から成る生産栽培レシピを確定し、収量1.2倍を実現。 ・ストレス等の制御技術の高度化により、有用物質蓄積量1.2倍を達成。 （TRL7）
②有用物質の高発現技術の開発	・多重ゲノム編集イネを作出し、種子1粒当たりの組換えタンパク質蓄積量2.5倍以上を達成する。 ・着粒数、脱粒性の複数形質を精密改変した「京のゆめ」（サイトカインイネの原品種）を作出する。 （TRL7）	・FSで試作した有用組換えタンパク質蓄積量2倍のモデルイネを1系統確立する。また、多重ゲノム編集によって2種類の目的外タンパク質を低減させる技術を開発。 ・ゲノム編集「京のゆめ」（サイトカインイネの原品種）で各形質の精密改変を検証。 （TRL5）	・R7で開発した技術を適用し、サイトカインイネを含む2品種以上でそれぞれ20以上の多重ゲノム編集個体を作成。 ・複数形質の同時精密改変のため、「京のゆめ」（サイトカインイネの原品種）のゲノム編集個体を20個体以上作出。 （TRL6）	・2品種以上の多重ゲノム編集イネにおいて有用組換えタンパク質蓄積量2.5倍以上を達成。 ・ゲノム編集「京のゆめ」（サイトカインイネの原品種）で、着粒数・脱粒性の同時精密改変を実現。 （TRL7）

3. 年度別の実施内容・到達目標 (KPI)

テーマ名	実施内容の概要 到達目標 (KPI)	R7年度実施内容 到達目標 (KPI)	R8年度実施内容 到達目標 (KPI)	R9年度実施内容 到達目標 (KPI)
③マルチユースシステムの概念実証	・完全閉鎖型植物工場におけるマルチユース用物質生産システムの確立、収量1.2倍、組換えタンパク質蓄積量3倍を実証する。 ・完全閉鎖型植物工場での稲生産に適した自動収穫装置の開発及び有用物質抽出・精製装置（抽出率60%）を開発する。 ・栽培システム全体としての経営採算性の評価 (TRL7) (BRL7)	・FSでの栽培レシピによるマルチユースシステムの実証、密植栽培での気流・光照射改善方法の設計、検証。 ・自動収穫装置のプロトタイプ設計、抽出・精製装置について、開発コンセプト設計。回収率、品質向上のためのBBM (ブレッド・ボード・モデル)試験の実施。 ・イネで有用物質を生産するマルチユース化に対する費用対効果の評価、イネ以外の作物の調査 (TRL5) (BRL5)	・密植栽培での気流・光照射改善技術の開発。前年度までの栽培レシピ、植物デザイン技術を実証し、収量1.1倍、組換えタンパク質蓄積量1.1倍を実証。 ・自動収穫装置プロトタイプの試作、抽出・精製装置プロトタイプを設計/試作し、抽出率30%を達成。 ・イネ、イネ以外の作物でのマルチユース化に対する費用対効果の評価 (TRL6) (BRL6)	・開発した栽培レシピ等によりマルチユース用物質生産システムの確立し、収量1.2倍、組換えタンパク質蓄積量3倍を実証。 ・人工工型植物工場での稲生産に適した自動収穫装置の開発及び有用物質抽出・精製装置を開発。抽出率60%を達成。 ・栽培システム全体としての経営採算性の評価 (TRL7) (BRL7)
④AI・ビッグデータを活用したイネ以外の生産栽培レシピ情報の拡充	・完全閉鎖型植物工場において有用物質を蓄積するバイオリクター作物の生産栽培レシピを2品目以上拡充する。栽培期間を従来の3/4、有用物質1.1倍を達成する。 (TRL7)	—	・生育ビッグデータと有用物質分析データを用いたAI解析によりバイオリクター作物の有用物質蓄積部位を最大化する生産栽培レシピを開発し、有用物質収量1.1倍を達成。 (TRL6)	・バイオリクター作物（2品目め）について、栽培期間を従来の3/4、有用物質1.1倍となる生産栽培レシピを開発、実証する。 (TRL7)

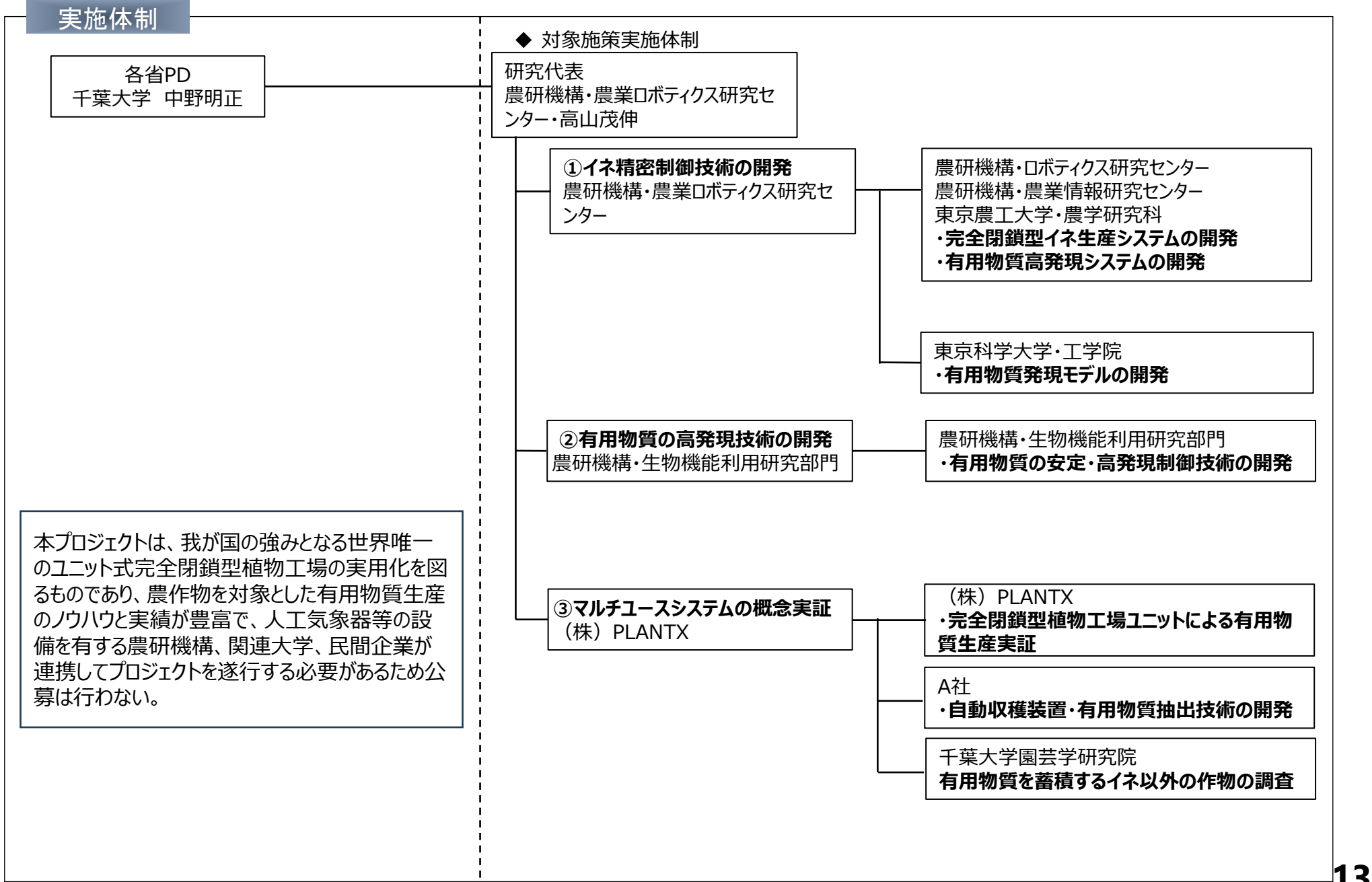
4. 工程表

テーマ名	R7年度	R8年度	R9年度
①イネ精密制御技術の開発	日長など、イネ栽培レシピにおける主要3パラメータの確定	水耕液を中心に5以上のパラメータの生産栽培レシピの確定	温度等の8パラメータ以上から成る生産栽培レシピの確立
	有用物質発現量モデル、ストレスセンシング技術、植物工場内イネ体積推定モデルの開発	開発した有用物質発現量モデルによるストレス等の制御技術開発	ストレス等の制御技術等の高度化有用物質増大技術の確立
②有用物質の高発現技術の開発	蓄積量2倍のイネ系統確立、2種類の目的外タンパク質を低減する多重ゲノム編集技術を開発	多重ゲノム編集技術をサイトカインイネを含む2品種に適用	多重ゲノム編集システムを用いた生産実証（蓄積量2.5倍）
	着粒数、脱粒性の各形質を精密改変したゲノム編集イネ作出	「京のゆめ」のゲノム編集による複数形質を同時精密改変	ゲノム編集「京のゆめ」の栽培実証
③マルチユースシステムの概念実証	FSでの栽培レシピによるマルチユースシステムの実証、密植栽培での気流・光照射改善方法検証	気流・光照射改善技術の開発栽培レシピ、植物デザイン技術の実証	開発した栽培レシピ等によりマルチユース用物質生産システムの確立
	自動収穫装置のプロトタイプ設計、抽出・精製装置の開発コンセプト設計・BBM試験	自動収穫装置のプロトタイプ、抽出・精製装置のプロトタイプ試作	自動収穫装置、抽出・精製装置の開発
	イネで有用物質を生産するマルチユース化に対する費用対効果の評価	イネ、イネ以外の作物でのマルチユース化に対する費用対効果の評価	栽培システム全体としての経営採算性の評価
④AI・ビッグデータと活用したイネ以外の生産栽培レシピ情報の拡充		生産栽培レシピ開発のための環境・生育ビッグデータの収集（1品目め）	
		AI解析による有用物質蓄積部位を最大化する生産栽培レシピ開発（1品目め）	AI解析による有用物質蓄積部位を最大化する生産栽培レシピ開発（2品目め）

4. 工程表（令和7年度の詳細）

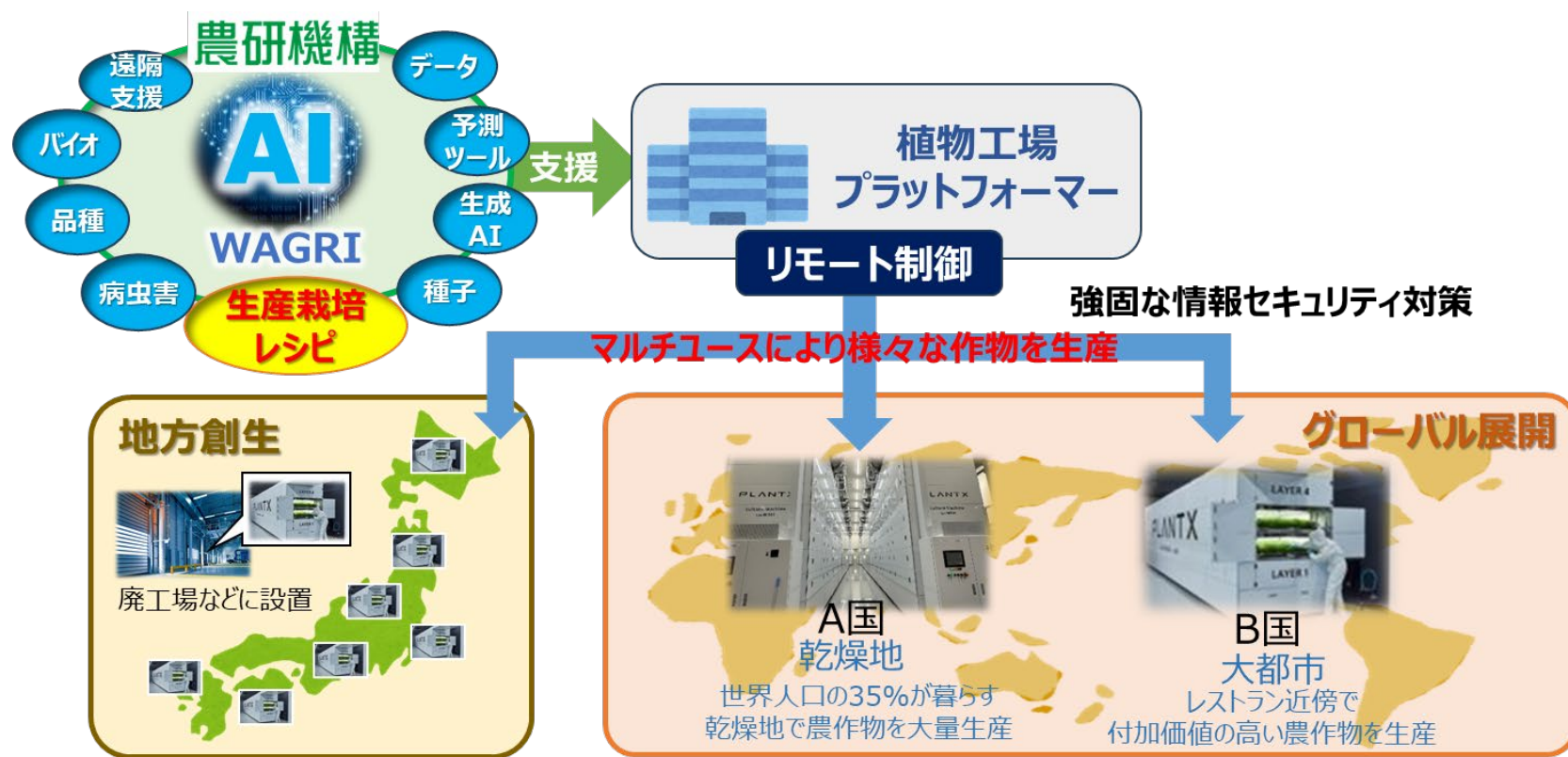
内容	令和7年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①イネ精密制御技術の開発 ・精密環境制御を用いたイネの高効率生産栽培レシピを開発 ・有用物質の発現モデル及びストレス付加制御技術を開発	日長条件等のパラメータを様々に変更したイネ栽培								パラメータの寄与率分析			
	ストレス付加によるイネ葉、穂への影響検証 イネ体積推定モデルの開発						ストレスセンシング対象スペクトルの決定 有用物質発現予測モデルの開発					
②有用物質の高発現技術の開発 ・組換えタンパク質高蓄積化のためのゲノム編集による2種類の目的外タンパク質除去技術（多重ゲノム変種技術） ・着粒数、脱粒性の各形質を精密改変した「京のゆめ」作出	FSで作出したイネを系統として確立 （1種類の目的外タンパク質低減、蓄積量2倍）				多重ゲノム編集イネの作出 （2種類の目的外タンパク質低減）				有望系統の評価・選抜			
	サイトカイン蓄積イネの入手および蓄積量評価系の構築											
	遺伝子改変用ベクター設計		各形質を精密改変するための「京のゆめ」ゲノム編集個体作出と形質確認									
③マルチユースシステムの概念実証 ・FSでの生産栽培レシピによるマルチユースシステムの実証、密植栽培での気流・光照射改善方法の設計、検証 ・自動収穫装置のプロトタイプ設計、抽出精製装置の開発コンセプト設計	FSでの生産栽培レシピによるマルチユースシステムの実証						密植栽培での気流・光照射改善方法の設計、検証					
	自動収穫装置、抽出装置仕様検討				自動収穫装置、抽出装置プロトタイプ機的设计							
	イネで有用物質を生産するマルチユース化に対する費用対効果の評価							有用物質を蓄積するイネ以外の作物の調査				

5. 実施体制及び実施者の役割分担



6. BRIDGE終了後の出口戦略

- マルチユース型植物工場の事業展開に関しては、当面、スタートアップ（株）PLANTXが担い、製薬企業や他のベンチャー等と連携し、2030年度からの国内外での事業化を目指す。また、製造されたサイトカインに関しては、医薬品原料の製造・販売を担うA社が速やかにビジネス化に着手。
- 具体的には、電源の確保や遺伝子組換え規制に対応可能な構造を有する廃工場施設（実装場所を調整中）を念頭に、研究成果を速やかに社会実装。
- 農研機構では、サイトカインでの概念実証を踏まえ（課題終了後）、他の有用物質の発現イネ系統等を順次開発し、植物工場ビジネスを展開する他のスタートアップ等も含め製薬企業とのビジネスコンソーシアム形成し、マルチユース化植物工場ビジネスを推進。



新産業の創出とともに、経済安全保障・食料安全保障の確保、地方創生にも貢献

7. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンドの見込み

① 民間研究開発投資誘発効果（財政支出の効率化）の見込み

- 本施策により、植物工場のマルチユース化が実現することにより、日本国内において完全閉鎖型植物工場への投資が拡大し、**民間研究投資誘発効果を36億円※と見込む。**

※ ① 2034年の植物工場の市場規模：約900億ドル（≒13.5兆円 150円/ドル換算）

出典：Precedence Research

② ①のうちアジアの市場規模：約200億ドル（≒3兆円）

出典：Precedence Research

③ ②のうち日本の有用物質生産用植物工場の市場規模：約900億円

（②×20%（アジア内の日本の割合）×15%（有用物質生産用植物工場の割合））

出典：Data Bridgeの2030年時点構成比等

④ 民間研究投資誘発効果：約36億円（③×4%（製造業における研究投資比率））

出典：2024年科学技術研究調査

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）の見込み

- 参画する民間企業からの施設、人材、技術提供等により**毎年度3,500万円程度を見込む。**
- また、これ以外にも生産した有用物質の品質評価において製薬メーカーの協力を得る予定。