

高知県産業教育振興会総会・理事会（2022年5月14日）

講演

# Internet of Plants (IoP) の共創と 高知施設園芸の革新

高知大学 IoP共創センター  
センター長 北野雅治

# Internet of Plants (IoP) への変遷

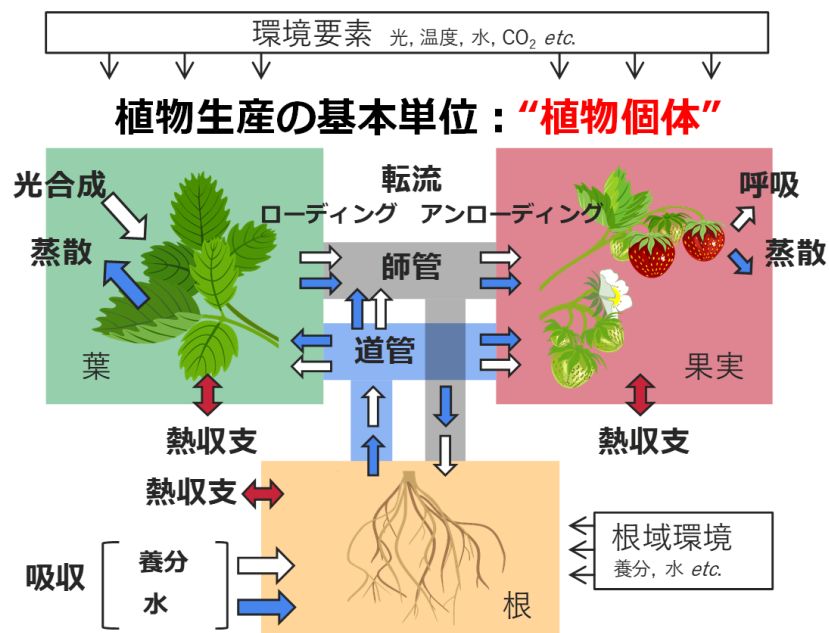
- 九州大学農業気象学研究室では自然災害の研究（豪雨、干ばつ、人工降雨）に馴染めず大学院を中退
- 北海道の国営農用地開発事業などに従事  
「開発せずに、手つかずの自然として残すべき」
- 牛乳消費低迷期：酪農家による食紅混入牛乳の廃棄抗議デモに遭遇
- 「ウイスキーのミルク割を飲もう」：  
ニッカウイスキーも経営危機 **行政キャンペーンに失望**
- 「農業の経験のない役人や研究者の施策や研究だけでは、農業はよくなるしない」**：ダム現場に配転
- 恩師の導きで九州大学バイオトロンへ **1982年**
- 「植物-環境系輸送現象論」**との出会い
- 2001年高知大学へ：日本一の施設園芸県（**6年間**）
- 2007年九大農業気象学へ転任：農業気象学の主流の教育研究（**13年間**）
- 植物-環境系輸送現象の時系列情報を、農家のために「見える化、使える化、共有化」をすれば、農家が農業を変えてくれるのではないか？5年前**
- 2018年国の科研費「挑戦的研究（萌芽）」で、Internet of Plants (IoP) を提唱



**サロベツ原野（泥炭地）を大規模酪農地帯にするための国営農用地開発事業**

**明渠排水路建設工事**

**植物-環境系輸送現象論** 1982年～



# 農業の非効率性は作物の生理生態にある

- 「稲のことは稲に聞け、農業のことは農民に聞け」
- 「農学栄えて農業滅ぶ」 (近代農学の祖 横井時敬)

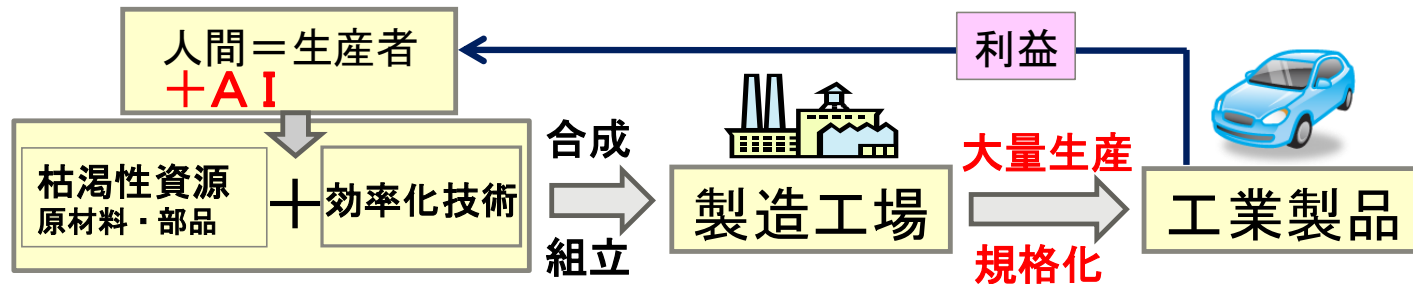
・ 工業：

“造って稼ぐ産業”

“生産者は人間”

“生産工程の効率化”

■ 工業：先端技術による人知自在の効率化と高度化



・ 農業：

“育てて稼ぐ産業”

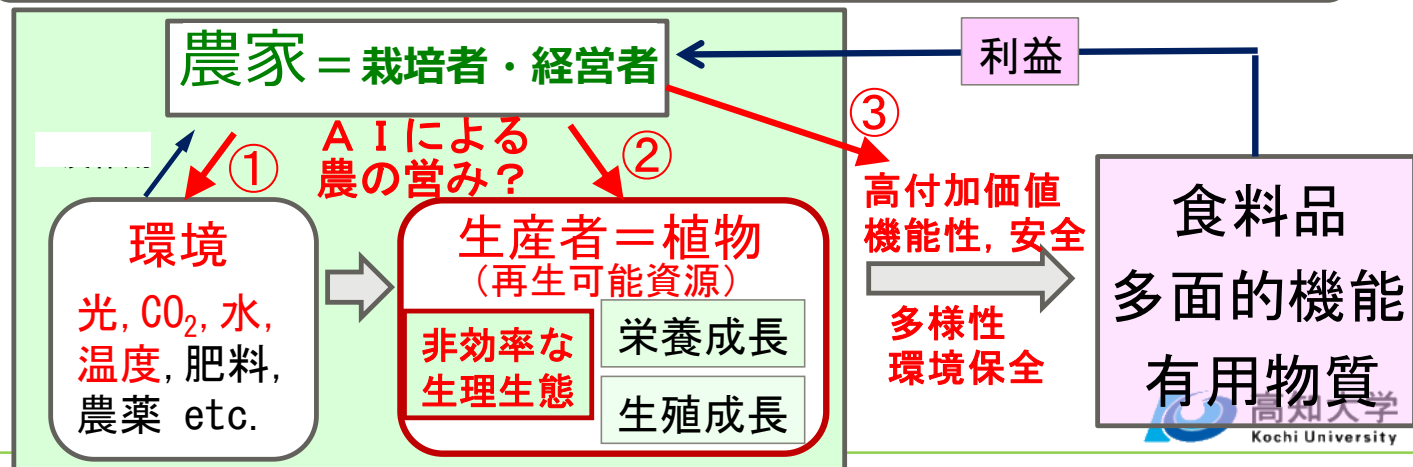
“生産者は作物”

“農家は栽培者 + 経営者”

“非効率な生理生態”

- × 天候に支配される
- × 作物：動けない
- × 育成：長期間・重労働
- × 収穫：1～数回/年
- × 収穫物：安価

★ 農業：作物の生理生態の人為及ばぬ非効率性 AIによる克服？





日本農業気象学会 創立75周年  
記念シンポジウム 2018年 3月 (九州大学椎木講堂)

# Internet of Plants (IoP)

---

A Perspective of Crop Production Accessible  
to Plant-Environment Transport Phenomena

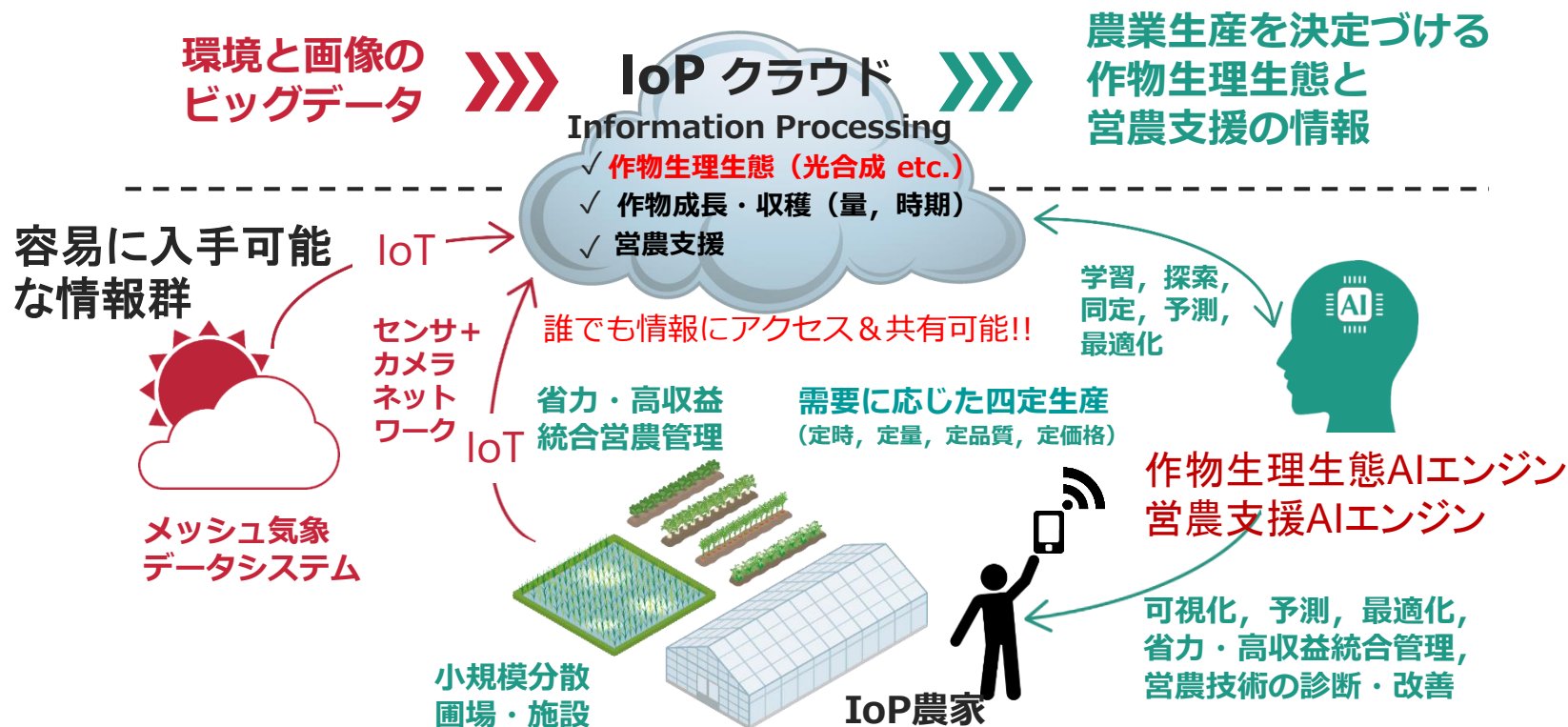
◦ **Masaharu Kitano, Kensuke Kimura, Koichi Nomura, Daisuke Yasutake**

---

The Laboratory of Agricultural Meteorology, Kyushu University



# Internet of Plants の概要



**IoPクラウドの機能：作物生理生態，成長・収穫関連，営農支援の情報群の「見える化，使える化，共有化」**

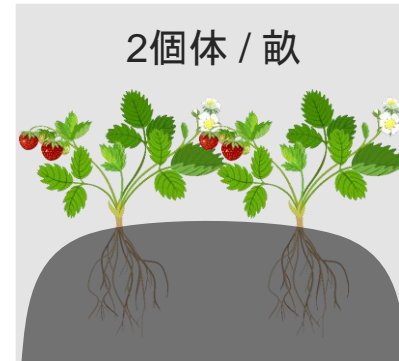
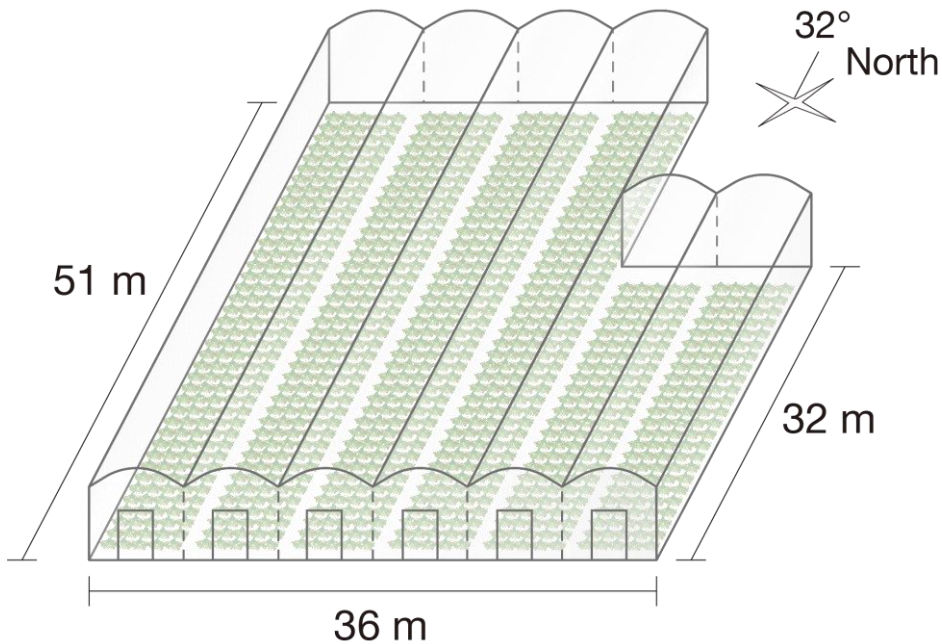
**見える化** ⇨ 株当たり光合成・蒸散，着果負担，開花数，葉面積，草勢の時系列など

**使える化** ⇨ 収穫（収穫日・収量）・着果負担・開花などの予測，光合成最適化，収穫調整に向けた環境最適化，分散ハウス群の統合管理など

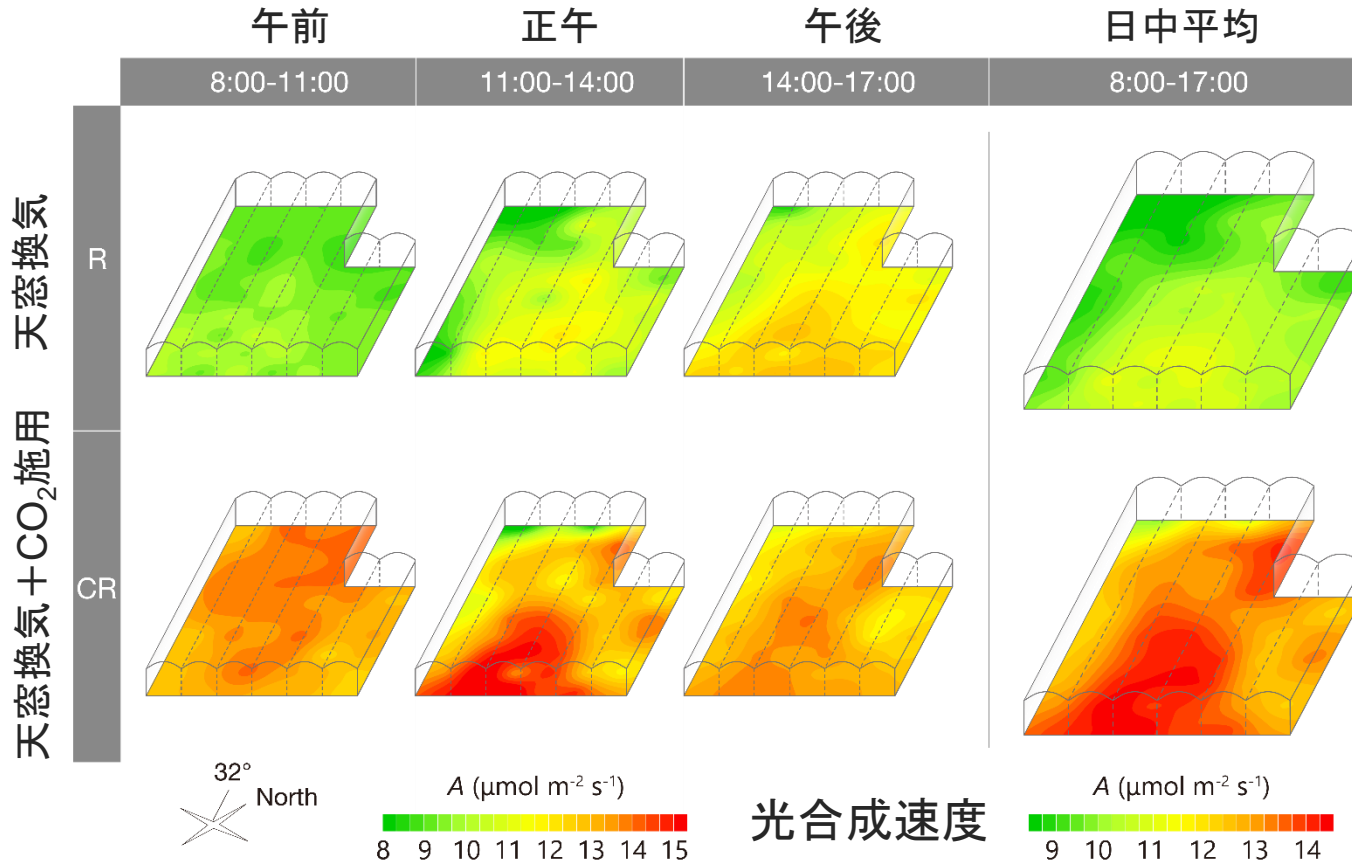
**共有化** ⇨ 篤農技術の抽出と共有，営農技術診断，技術改善など

# 温室内の光合成の時空間変動の見える化

## 6連棟のイチゴ温室



# 環境調節に由来する **個葉** 光合成の時空間変動



環境調節に由来する空間ムラ  
15~69 %



# 内閣府 大型プロジェクト(補助期間2018~2022)



## IoP (Internet of Plants) が導く 「Next次世代型施設園芸農業」 への進化

内閣府 地方大学・地域産業創生交付金  
【高知県・高知大学】

# 容赦なき「高知の産業の変遷」



温暖・多照・豊かな水資源

山、山、山  
山ばかりぜよ

平地が狭いぜよ

国土の縁辺ぜよ

## 江戸時代：

山の産物・林産加工 → 工業生産高日本一

## 戦前・戦後復興期：

温暖多照、豊富な水資源、コメ需要増、  
狭小平地、労働力 → 水稻二期作

## 高度経済成長期：

コメ余剰、京浜・阪神の大都市への人口集中、  
生鮮野菜需要増 → 土地・資材集約型施設  
園芸・全県系統出荷の確立

## 安定成長期（オイルショック～バブル崩壊）：

大都市周辺での競合産地の形成、食生活の多  
様化 → 多品目化

## 長期停滞期（バブル崩壊後の30年間）：

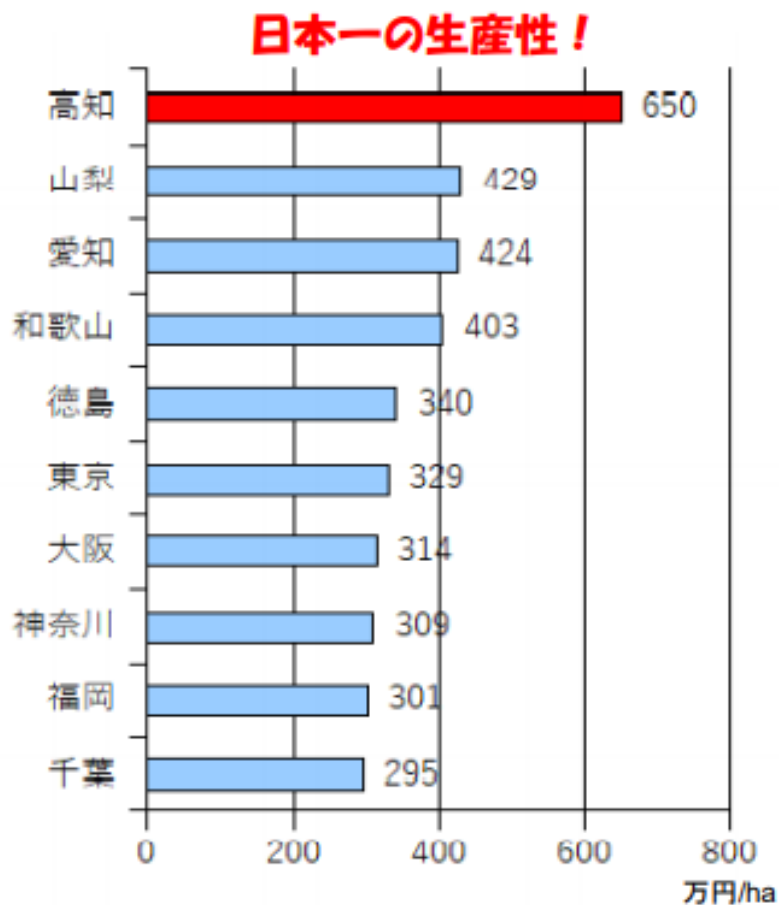
農家高齢化、大都市周辺産地との競合  
→ 軽量で嵩張らないニッチな品目へ傾斜

温暖化も南海大地震も大変ぜよ！

さあーッ、これからどうするぜよ？！

## ■ 高知県は重要な日本の産地

1haあたりの園芸作物等の産出額(トップ10)



## 全国シェアトップクラスの園芸品目が多い

品目名	出荷量	全国シェア	全国順位
ナス	37,200 t	15.8%	1位
キュウリ	21,800 t	4.6%	7位
ピーマン (シシトウを含む)	12,500 t	9.8%	3位
シシトウ	2,900 t	45.8%	1位
ミョウガ	4,899 t	87.1%	1位
ニラ	15,800 t	28.1%	1位
オクラ	1,733 t	15.6%	2位
ショウガ	17,800 t	44.4%	1位
ユズ	11,097 t	52.8%	1位
ブタン	9,604 t	94.1%	1位
日向夏 (小夏)	1,670 t	29.4%	2位
ユリ	1690万本	12.2%	2位

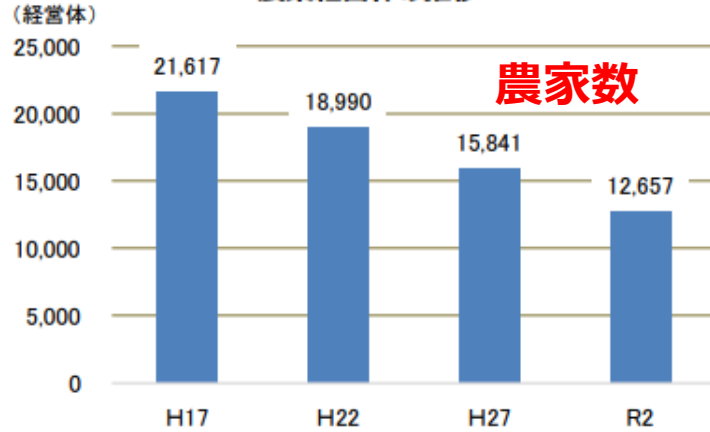
野菜・花き：平成28年産（ミョウガ、オクラは平成26年産）、果樹：平成27年産

出展:高知県農業の動向(主要指標)令和3年度

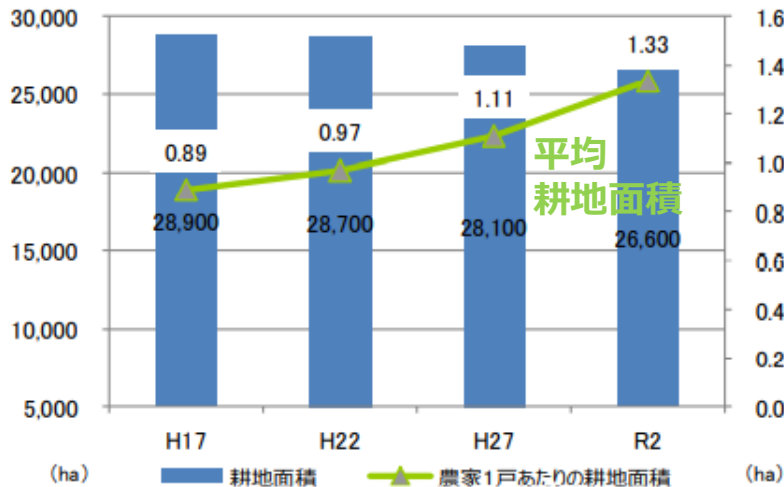


## 農業を取り巻く厳しい状況

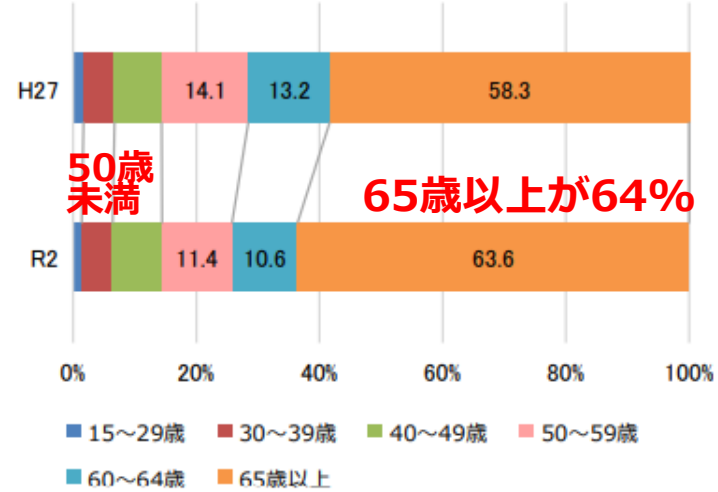
### 農業経営体の推移



### 耕地面積の推移



### 基幹的農業従事者（個人経営体）の構成比の推移



出典：農林業センサス

### <H17からR2に掛けての動向>

- ◇ 農業経営体は8,960経営体減少 (▲約41%)
- ◇ 個人経営体の基幹的農業従事者に占める65歳以上の割合は58.3%から63.6%へ約5%増加
- ◇ 耕地面積は2,300ha減少 (▲約8%) した一方、農家1戸あたりの耕地面積は増加傾向

出展:高知県農業の動向(主要指標)令和3年度

- (1) 急速な高齢化による農家数の減少
- (2) 世代交代に必要な新規就農者の確保難
- (3) 人口（労働・消費人口）減と農山村の衰退
- (4) 低賃金外国人労働者の確保難
- (5) 脱炭素政策の急展開（2030年50%減、2050年ゼロ）
- (6) 高まる南海トラフ大震災の発生確率
- (7) 過激化・頻発化する異常気象等の自然災害
- (8) 水土環境の劣化
- (9) 枯渇性資源の有限性の顕在化
- (10) パンデミック等による経営環境・需給関係等の急変

高知にとっては、  
特に(5)と(6)は、  
深刻とちゃう？

「今までのまんま」はありえんぜよ、IoPによる変革のチャンス？

# 作物群落の生理生態情報の見える化・使える化・共有化

IoT  
センサ・カメラ  
ネットワーク

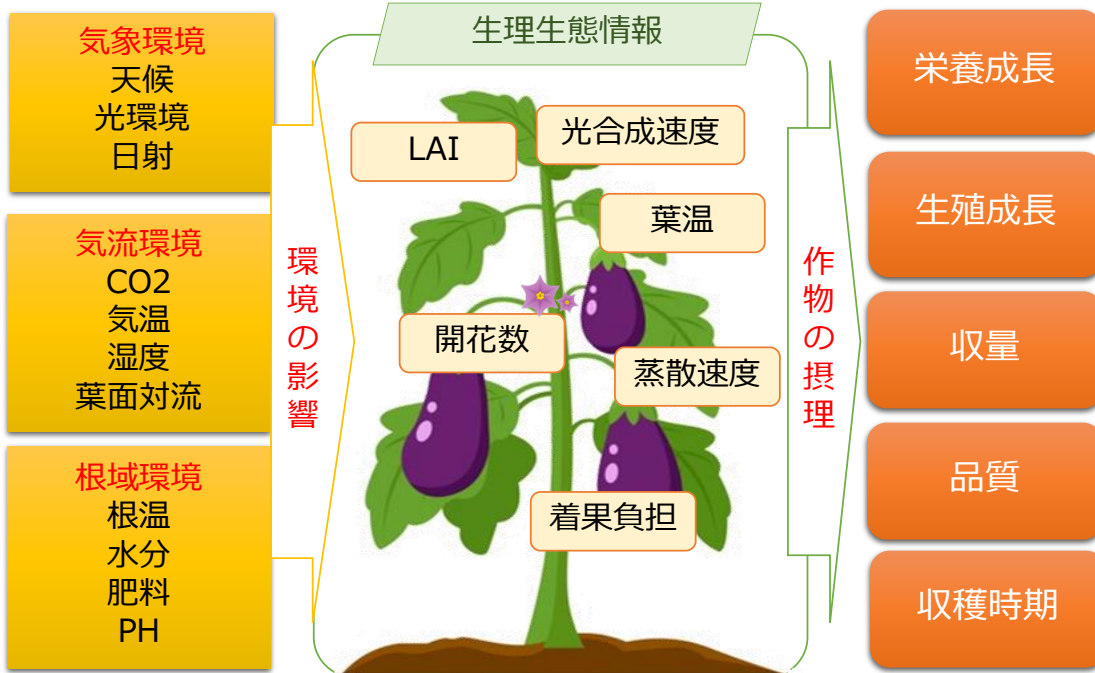
環境と画像の  
ビッグデータ



説明性の高い情報の  
見える化・使える化・共有化

説明性の高い  
作物生理生態と  
営農支援の情報

農業は、光合成を利活用する「モノづくり」産業  
作物生理生態 = 製造工程の見える化



来週の土曜の  
北と南のハウスの収量は？  
人が何人必要な？  
日曜に休むには、  
どうすれば？



農業の生産者は「作物」

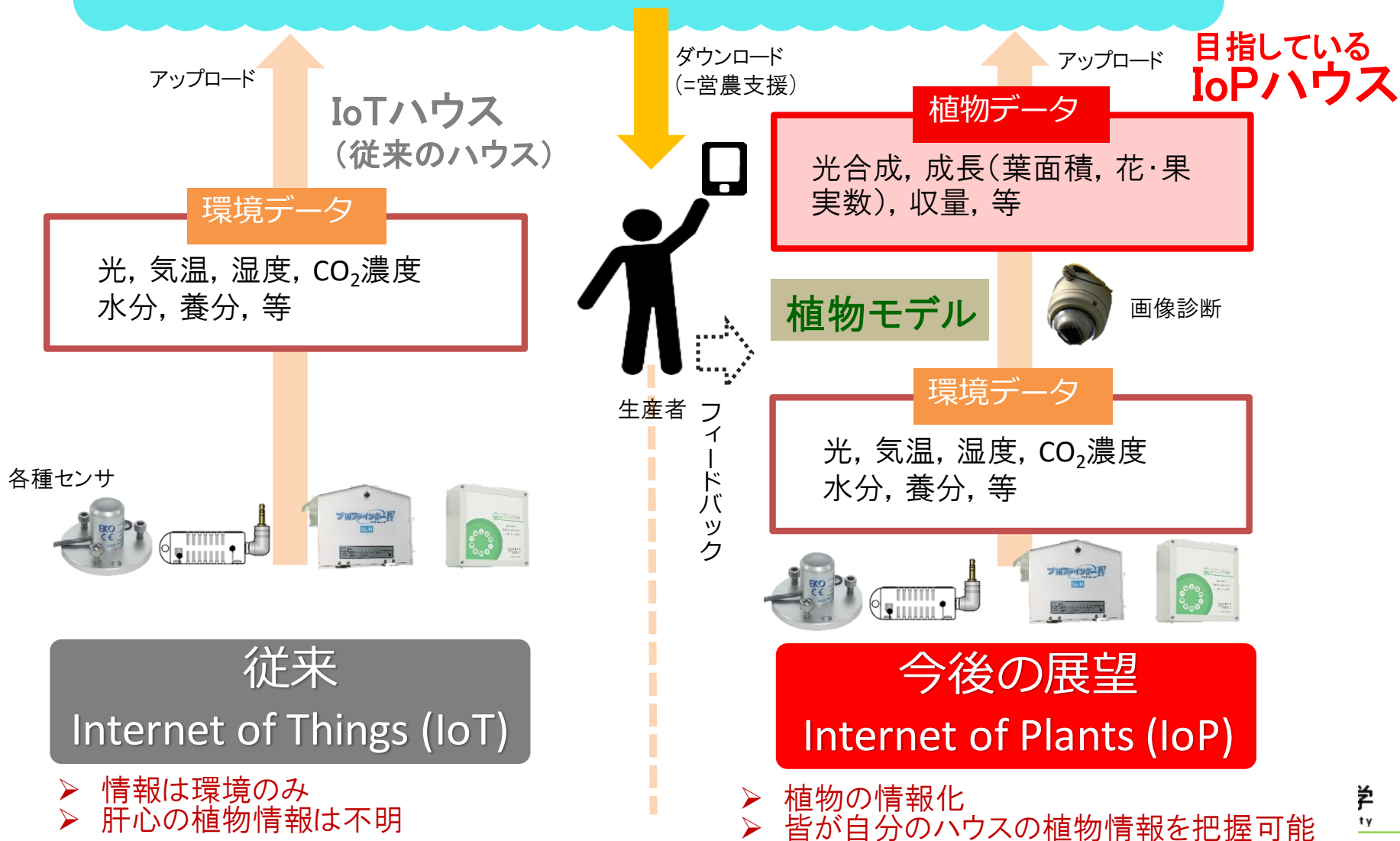
農家は「経営者」 高知大学 Kochi University



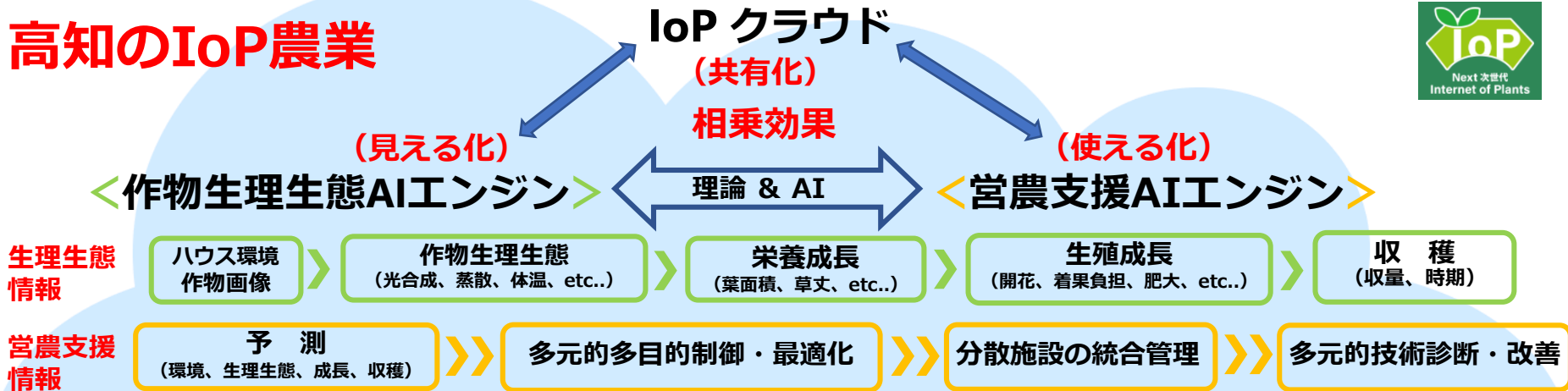
# IoTハウス から IoP ハウス へ



## クラウド（見える化・使える化・共有化）



# 高知のIoP農業



**情報の見える化・使える化・共有化で、無理なく無駄なく楽しく稼げる農業へ！**

- 時系列 (過去～未来) 情報:** 環境、光合成、蒸散、葉面積、栄養成長、着果数、果実肥大、着果負担、収量 etc.
- 多目的制御・最適化:** 光合成制御、着果負担制御、収量調整、収穫日調整、かん水制御、CO<sub>2</sub>排出削減、結露回避 etc.
- 診断・改善:** 多元的比較診断、篤農技術の見える化と共有、草勢・病害画像診断、産地技術の自律的進化 etc.

今のままじゃいかんぜよ、DXによる農業革新のチャンス

わしの作物の生き様がよう見えて、ようわかるぜよ

高知はいつも先駆け、永遠のトップランナー

## 高知施設園芸の近未来の問題群

- (1) 急速な高齢化による農家数の減少
- (2) 世代交代に必要な新規就農者の確保難
- (3) 低賃金外国人労働者の確保難
- (4) 人口減と農山村の荒廃
- (5) 水土環境の劣化
- (6) 枯渇性資源の有限性の顕在化
- (7) 脱炭素政策の急展開
- (8) 過激化・頻発化する異常気象等の自然災害
- (9) 高まる南海トラフ大震災の発生確率
- (10) パンデミック等による需給関係の急変

こればあ教えてくれりゃ助かるけど、IoPのAIの言う通りじゃのうて、自分で工夫もせんにゃいかんぜよ！



**10年～20年**

わしらNext次世代は、IoPと創意工夫で自律的に進化するんじゃ

## IoP が実現する高知施設園芸の未来可能性

- (1) 農業のDXによるIoP農業の提唱と進化
- (2) 需要に応じた四定生産による戦略的営農
- (3) 無理なく無駄なく楽しく稼げる営農
- (4) 脱炭素・Low emissionでのサステナブル農業
- (5) 異常気象・自然災害に対する適応とレジリエンス
- (6) 高知大学 IoP共創センターの設置
- (7) IoPモデル農場による高知IoP農業の具現化と普及
- (8) IoP新規就農者の継続的な確保と就農支援
- (9) 県およびJAの農業支援行政の簡素化と合理化
- (10) 農家発のボトムアップ イノベーション

# Mission impossible?



## 果菜群落の生理生態情報



光合成（生産の原資）  
蒸散（根の吸水量）  
葉温（体温）  
葉面積  
群落の鉛直構造  
開花数  
果実肥大  
着果負担  
収穫日・収量

見える化  
使える化  
共有化

実現可能  
为什么呢？

## 葉菜群落の生理生態情報

光合成（生産の原資）  
蒸散（根の吸水量）  
葉温（体温）  
草丈  
葉面積  
分けつ数  
生体重  
収穫日・収量

見える化  
使える化  
共有化

実現可能  
为什么呢？



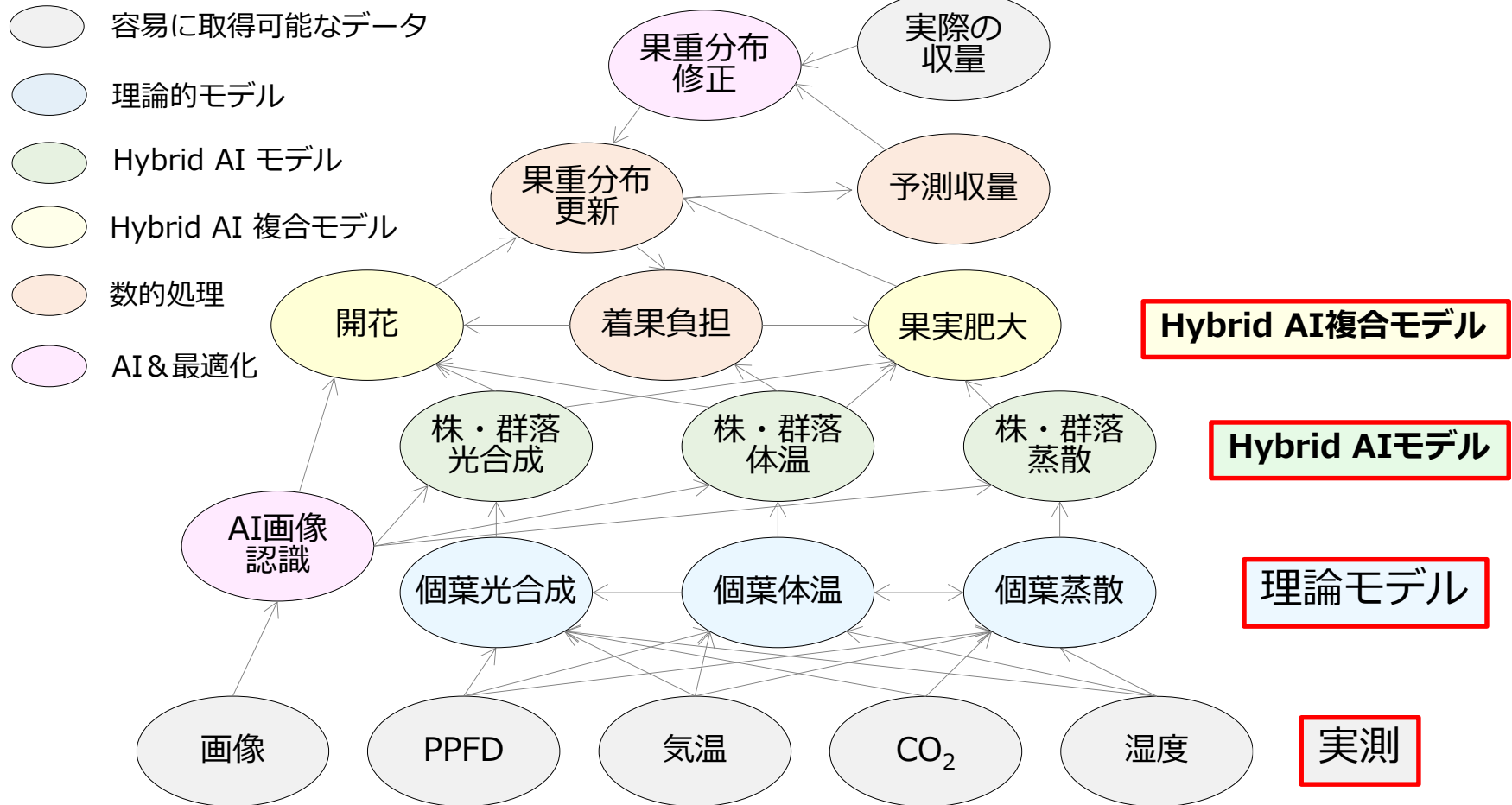


# 果菜類の作物生理生態AIエンジンを構築



果菜類群落の光合成、蒸散、葉面積、開花数、着果数、収量の見える化を実現

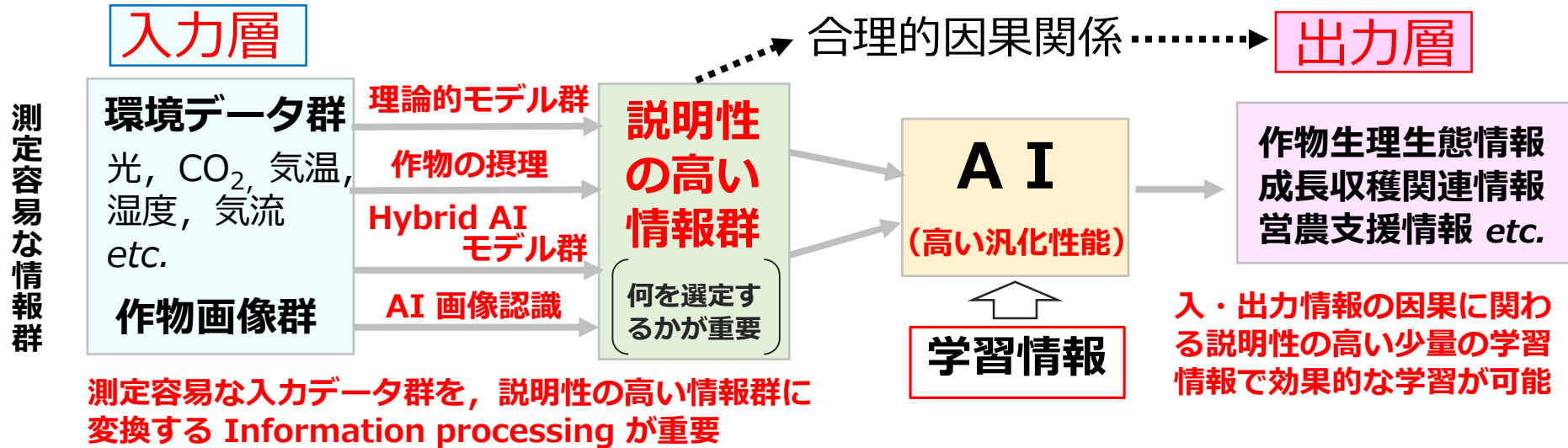
## 果菜類の作物生理生態AIエンジンの構成





# IoP Hybrid AI Model

IoP 中核モデル：「論理的に説明性の高い入力情報群」の定義・選定が最重要

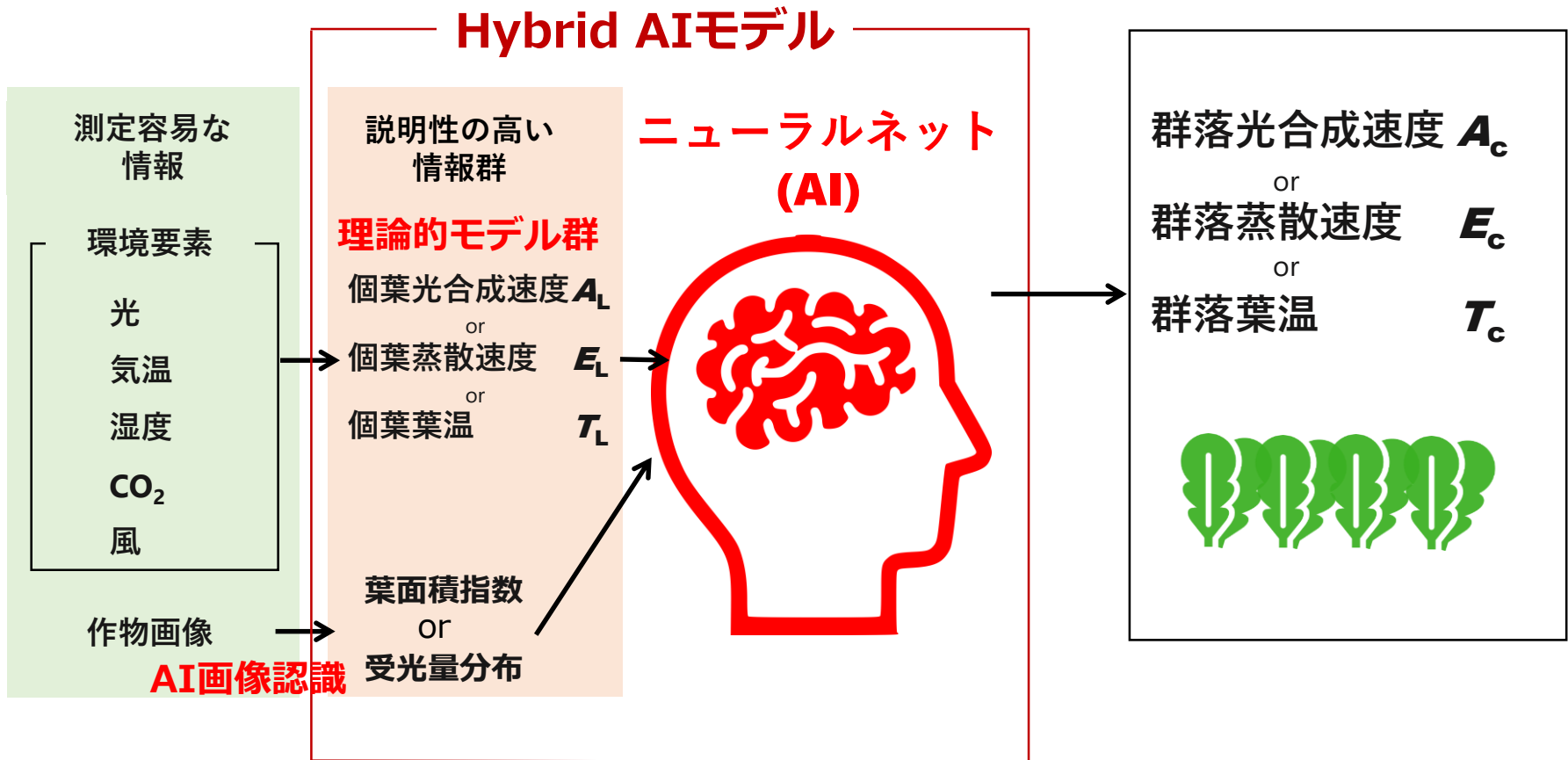


## 高知IoPにおけるHybrid AI Model の効果

- (1) 営農現場での取得が容易な入力データのみで運用可能 **(高い普及性)**
  - ・ 日射、気温、湿度、CO<sub>2</sub>濃度、作物群落1点画像などの普及済みのセンサ群で対応可能
- (2) 少量の学習で高い再現性と普遍性を実現 **(高い学習効率)**
  - ・ 学習のためのビッグデータの入手が不可能な営農現場が対象の農業AIでは必須条件
- (3) 継続的に学習を重ねるごとに進化する **(伸びしろがあるモデル)**
  - ・ 定期的な学習ルーチンを農技センター等で継続することで進化し続ける。
- (4) 複雑多様な生理生態プロセスに適用可能 **(高い汎用性)**
  - ・ 複雑多様で理論の適用が困難な群落光合成・蒸散、生殖成長、高付加価値化などに対して有効

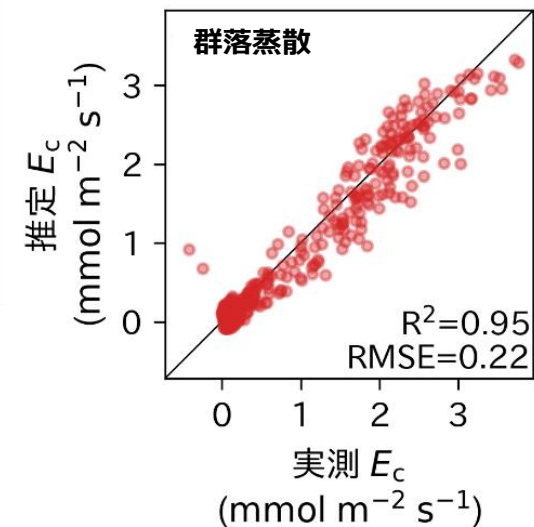
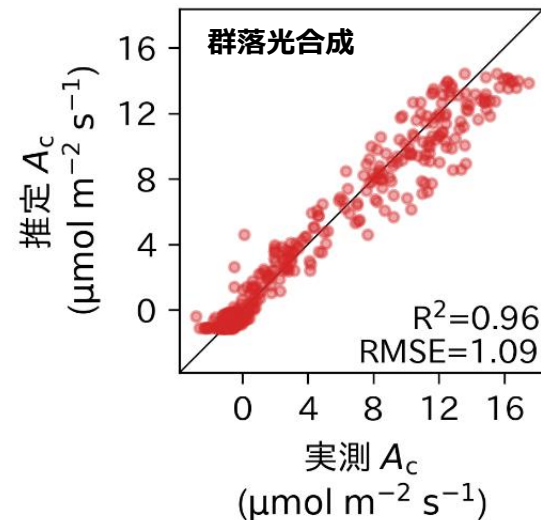
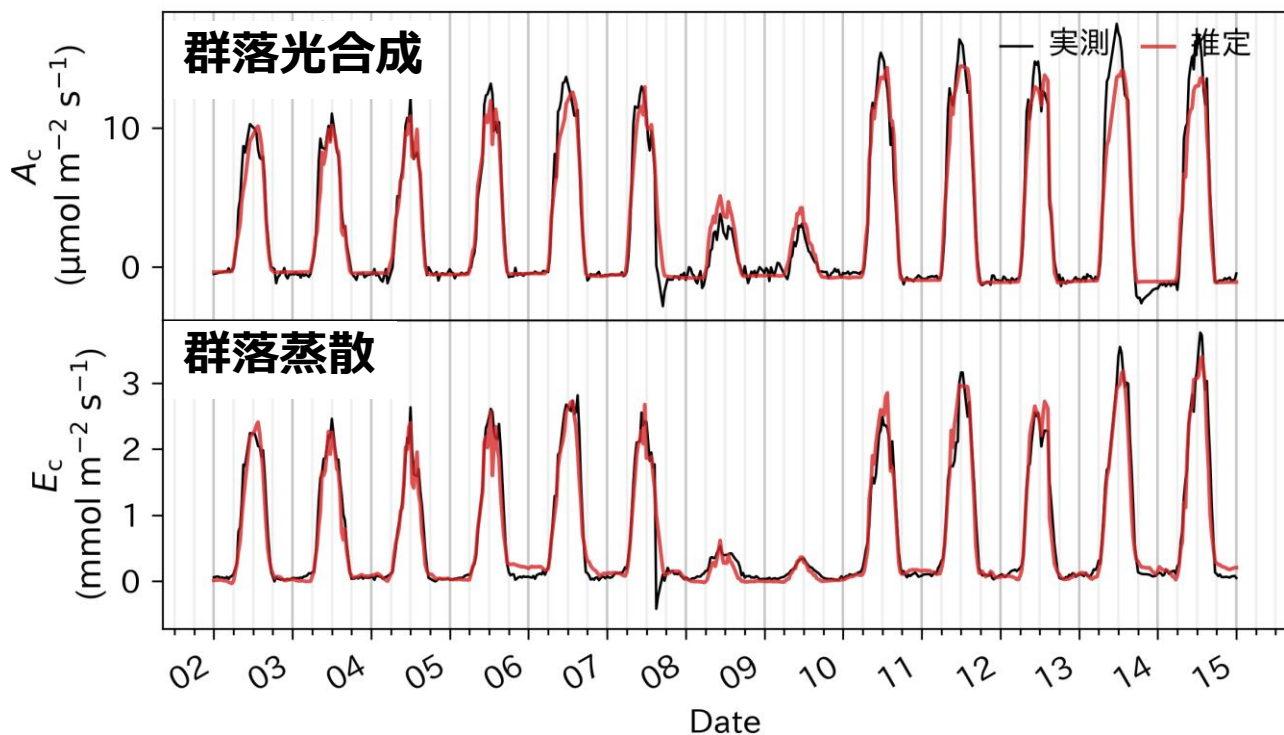
# IoP中核モデル：Hybrid AIモデル（世界初）

農家の営農現場で測定容易な環境情報と作物群落1点画像のみから作物群落の光合成、蒸散、葉温をリアルタイムで見える化を実現



# 作物群落の光合成速度と蒸散速度

少量の学習量で、異なる季節、異なる環境条件でも高精度に再現可能！



※学習+検証データが1割，テストデータが9割

# 高知IoPクラウド (SAWACHI)に実装



## 生理生態AIエンジンの一部をSAWACHIに実装！

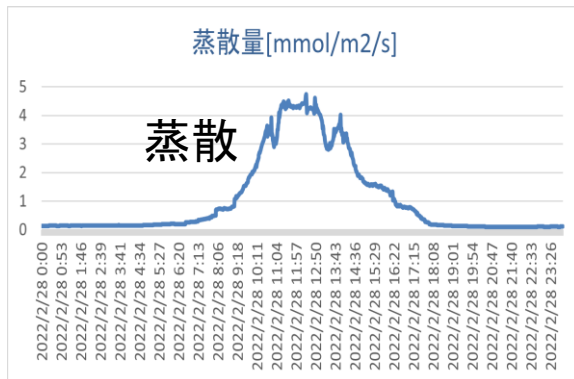
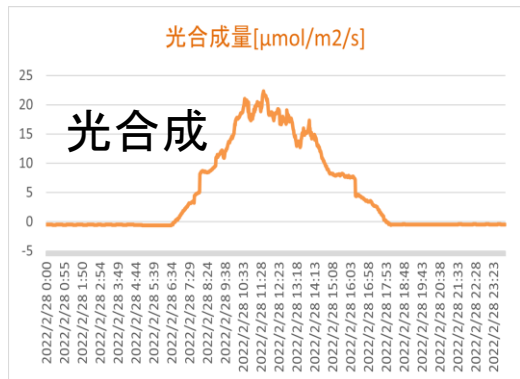
農家ハウスの環境データと作物群落画像データから、SAWACHIを介して  
**光合成・蒸散・葉面積** がリアルタイムで見える化されました。

### IoPクラウド 情報選択画面

The screenshot shows the SAWACHI web interface. On the left, there are filters for 'モデル' (Model), 'データ型' (Data Type), and 'フィルタ' (Filter). The 'データ型' dropdown is set to '数値' (Number). The 'フィルタ' section has '名前' (Name) selected. The main content area shows a list of data points for '生理生態AI 1 葉面積指数' (Physiological Ecology AI 1 Leaf Area Index). The right side shows a data table with columns for '#', 'timestamp', and 'value'. The table shows the latest value as 1.1179908824276084 and the oldest as 1.1701233310158758.

#	timestamp	value
最新	2022-03-07T09:20:00.000+09:00	1.1179908824276084
最古	2022-03-03T10:00:00.000+09:00	1.1701233310158758

### 作物生理生態の 時系列情報の出力例





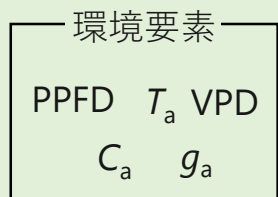
# 作物群落の葉温の時空間分布の見える化も実現

## Hybrid AI

ニューラルネット

(ANN)

情報変換



作物画像

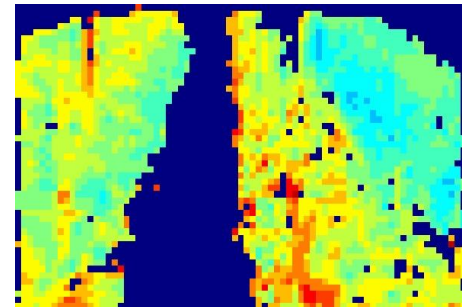
受光量  
LAI

$T_L$

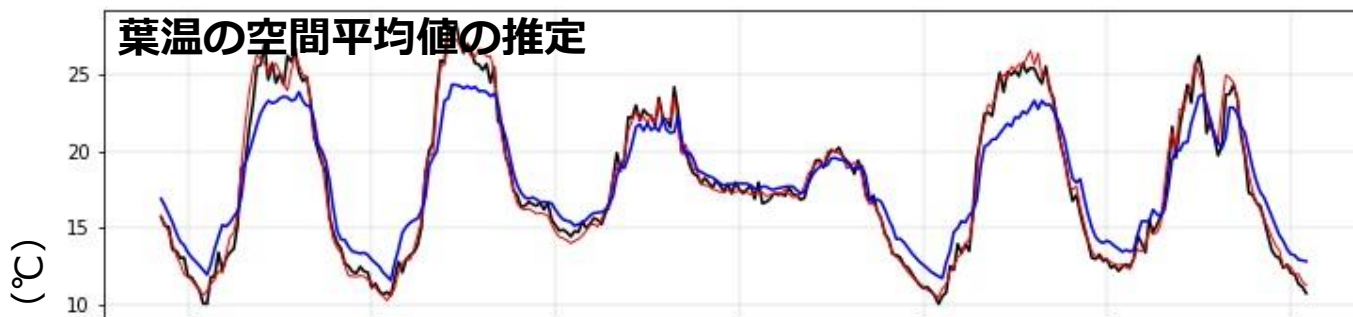


$T_c$

## 熱画像カメラによる葉温の教師データの実測

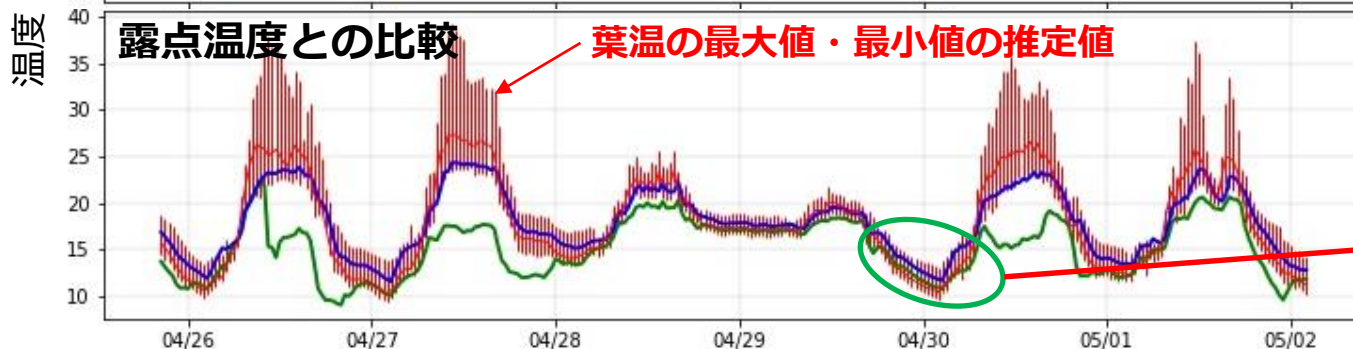


### 葉温の空間平均値の推定



- 葉温 (推定値)
- 葉温 (実測値)
- ハウス内温度

### 露点温度との比較



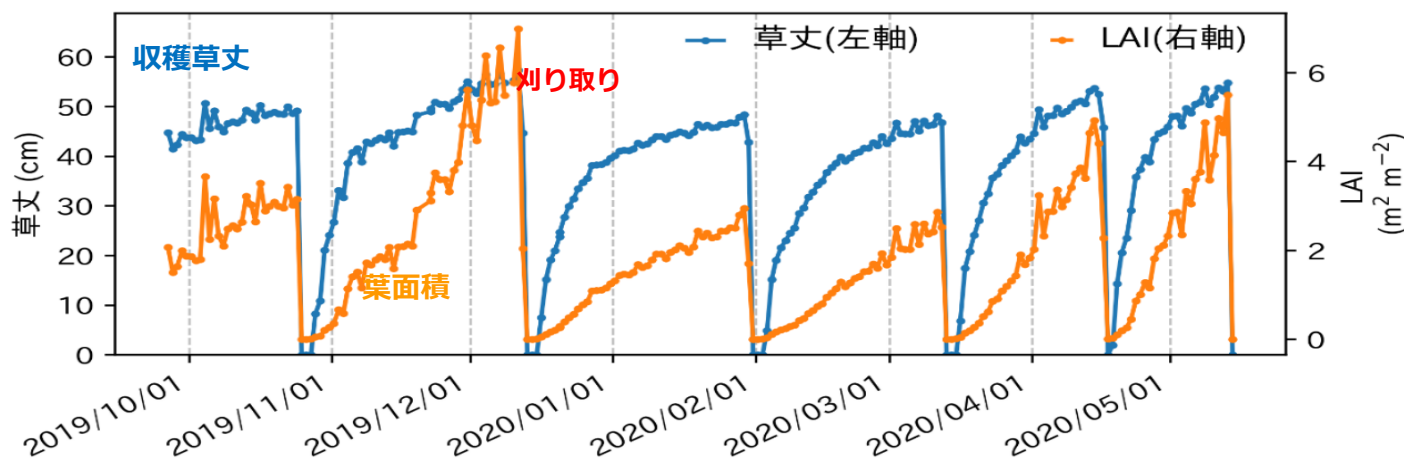
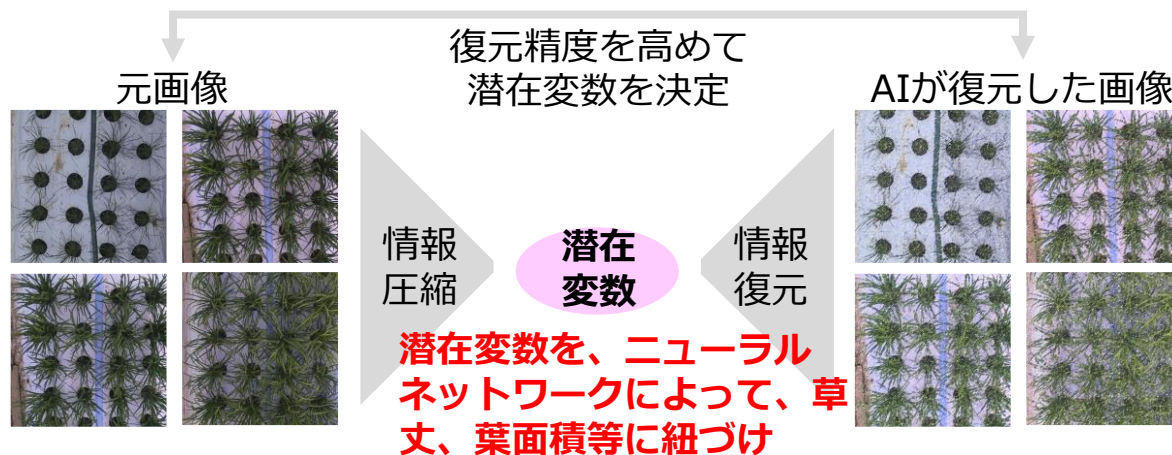
- 葉温 (推定値)
- 露点温度
- ハウス内温度

夜間結露の予測・回避にも活用可能

定植後日数 (日)

# ニラ群落の画像から収穫時期と収量の予測へ

ニラ群落の1点画像から、**Autoencoder**等のAI技術を駆使して、**草丈、葉面積、生重、分けつ数**のリアルタイム見える化を実現

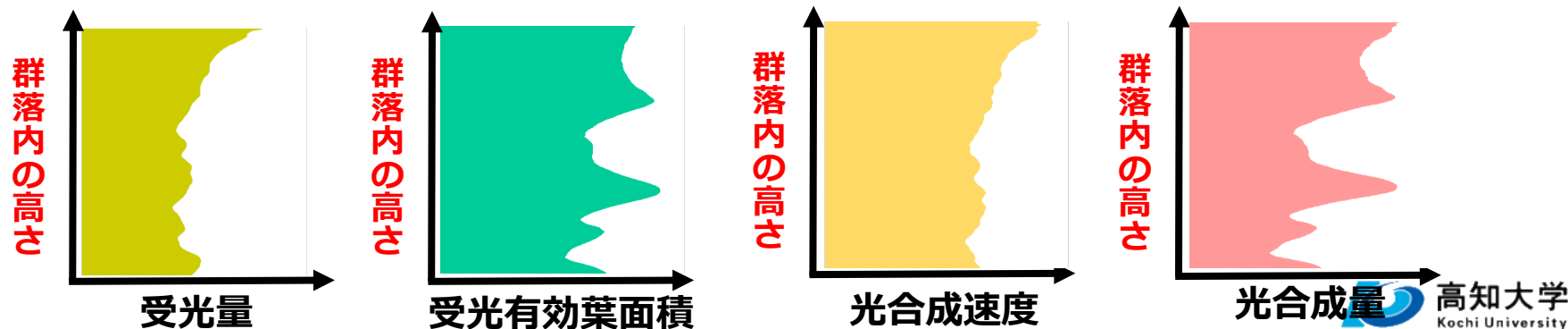


ニラの草丈、生体重、葉面積、分けつ数のリアルタイムでの見える化を実現！

# 生理生態の作物群落内鉛直分布の見える化を実現

農家が撮影するスマホ画像のみで、受光量、光合成、受光有効葉面積の作物群落内の鉛直分布を推定可能

整枝、誘引、摘葉の最適化に活用可能！



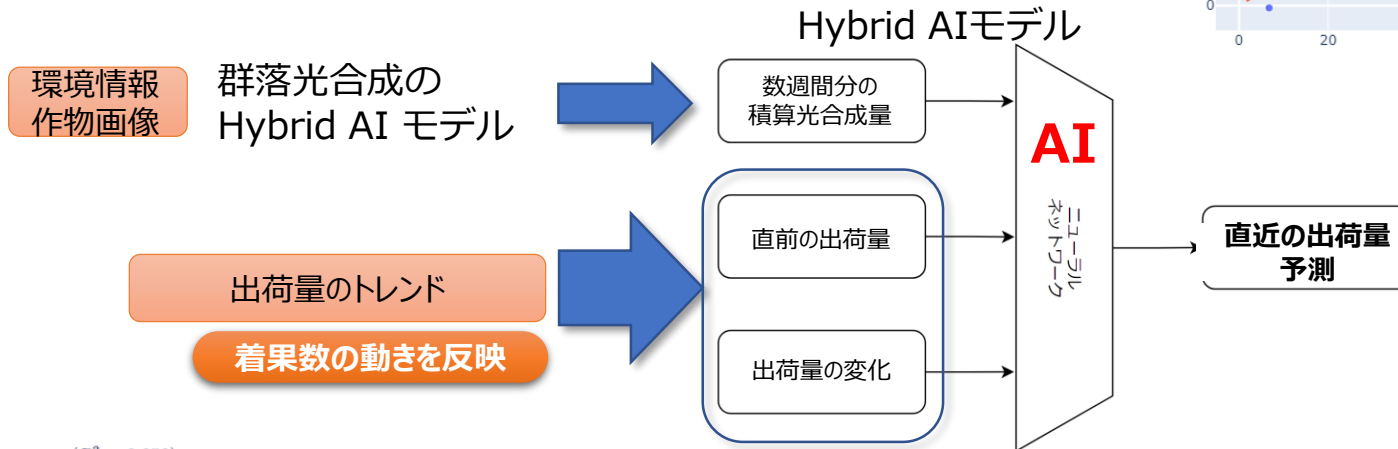


# ナスの出荷量の予測を高精度で実現

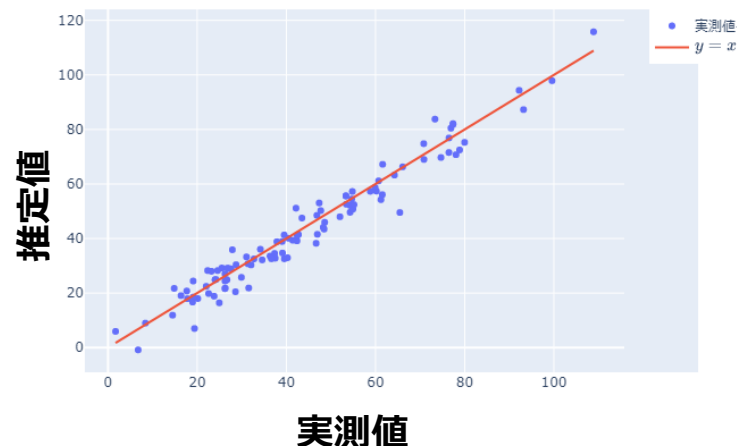


- 複合Hybrid AIモデルを用いて出荷量を予測
- 同じ学習モデルで複数の農家の出荷量を予測

## 出荷量の複合Hybrid AI モデル

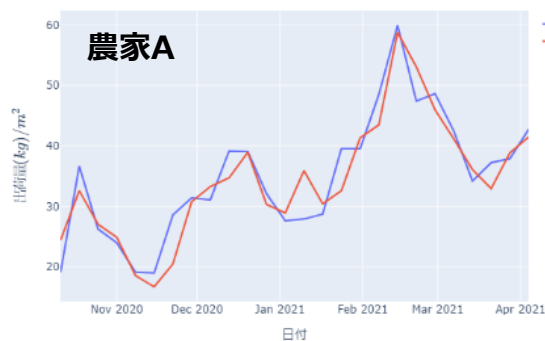


出荷推定 ( $R^2 = 0.954$ )



**SAWACHIの**  
出荷情報と  
群落光合成情報から、  
1週間後の  
出荷量を予測可能

出荷推定 ( $R^2 = 0.858$ )



出荷推定 ( $R^2 = 0.920$ )

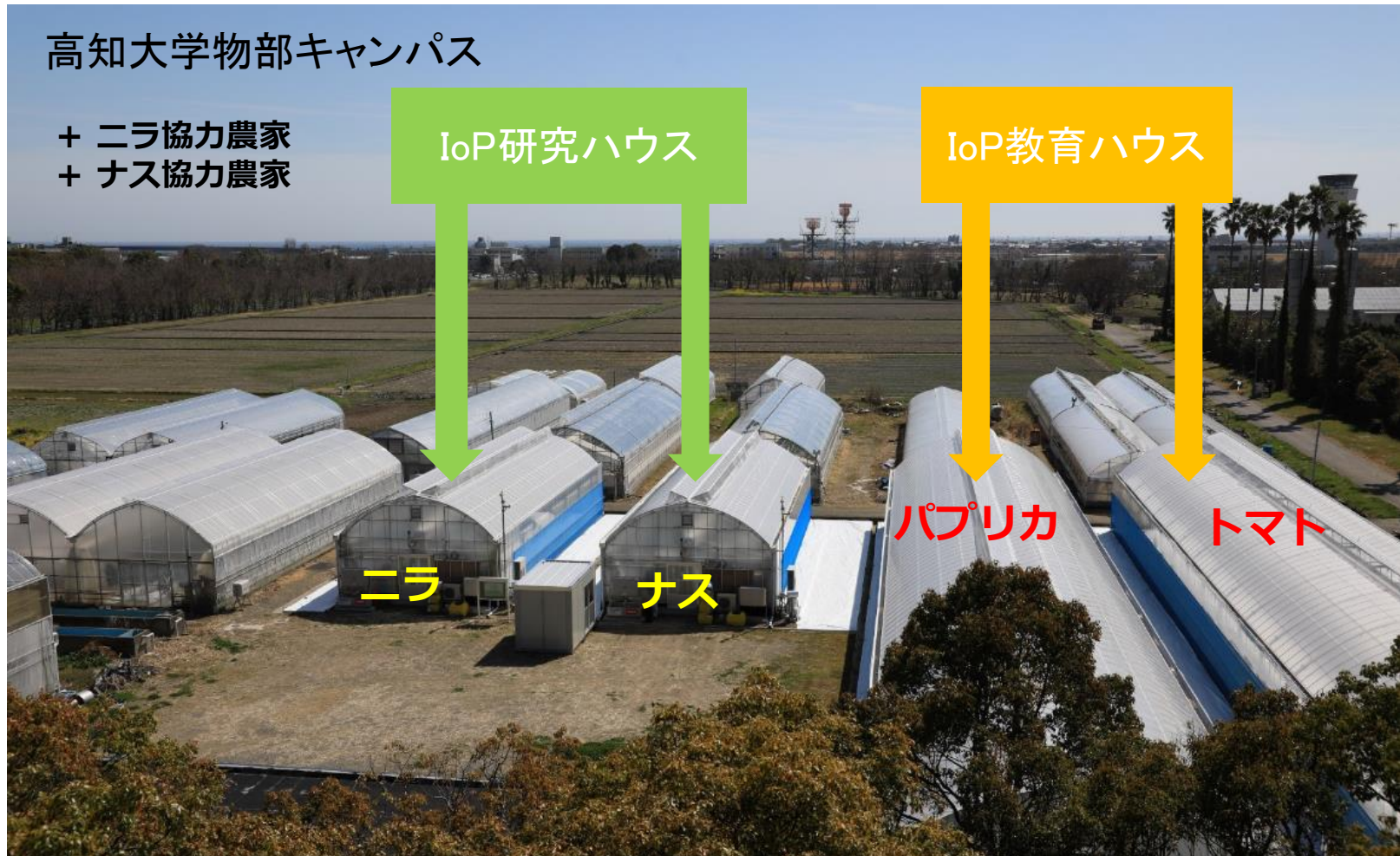




# IoPモデルハウス・実証システムの構築と運用

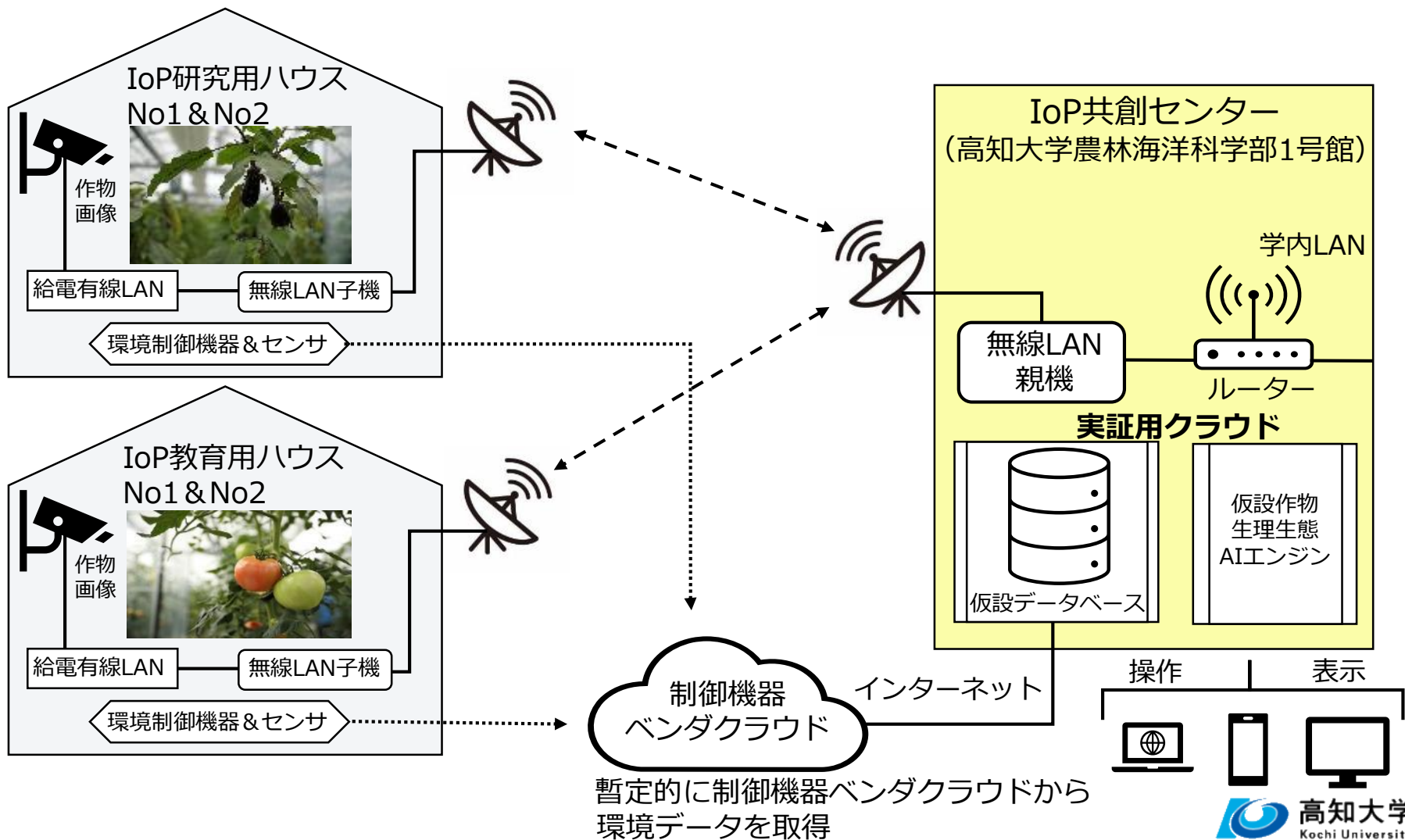


高知大学物部キャンパス内の IoP研究用ハウス（2棟）と IoP教育用ハウス（2棟）のシステムを、SAWACHIへの実装に向けた研究開発、実証研究、教育・人材育成の **テストベッド** として活用



# IoPモデルハウス・実証システムの概要

- ・ネットワークカメラによる作物画像データ
- ・環境制御機器用の環境センサで計測した環境データをベンダクラウドから取得
- ・作物画像と環境のデータを実証用クラウドのデータベースとAIエンジンで処理

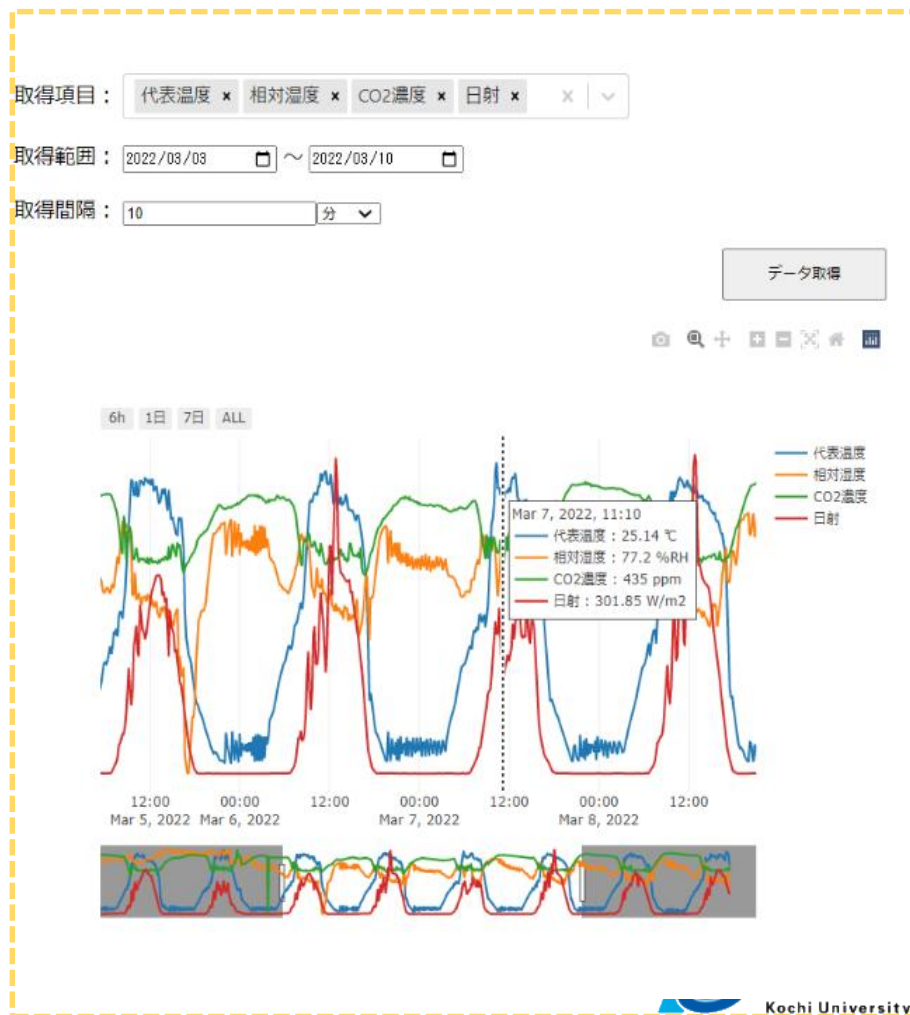


## 作物生理生態情報の見える化・共有化を実現

### リアルタイム表示



### 時系列グラフ



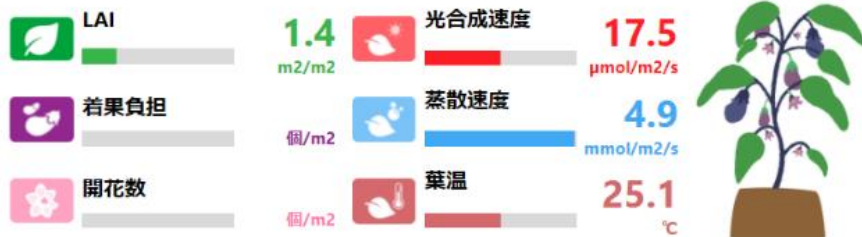


# ナス協力農家のハウスでも「見える化」を実現

## ナス農家（安芸地区）での生理生態情報の見える化

リアルタイム表示

### 作物生理生態情報



### ハウス内環境情報



### ハウス内カメラ画像



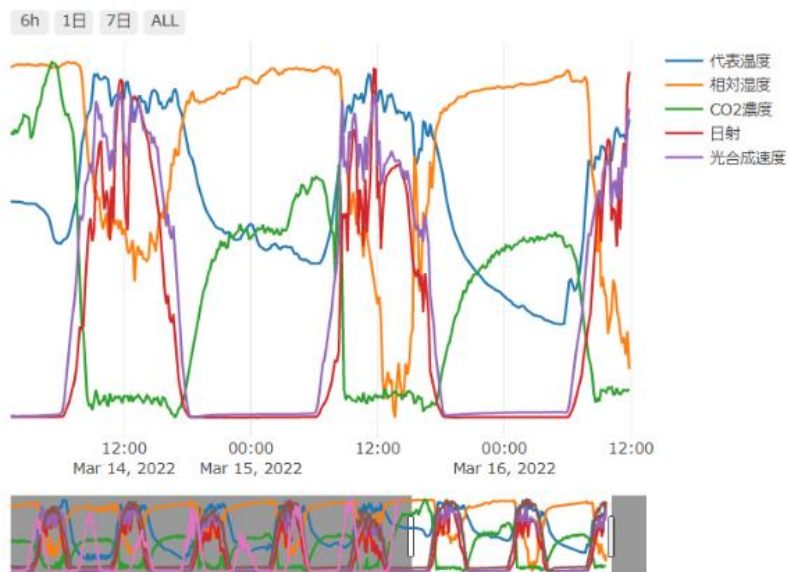
時系列グラフ

取得項目: 代表温度 × 相対湿度 × CO<sub>2</sub>濃度 × 日射 × 光合成速度 × × ×

取得範囲: 2022/03/09 ~ 2022/03/16

取得間隔: 10 分

データ取得





# ニラ協力農家のハウスでも「見える化」を実現

## ニラ農家（野市地区）での生理生態情報の見える化

### リアルタイム表示

#### 作物生理生態情報



### ハウス内環境情報



### ハウス内カメラ画像



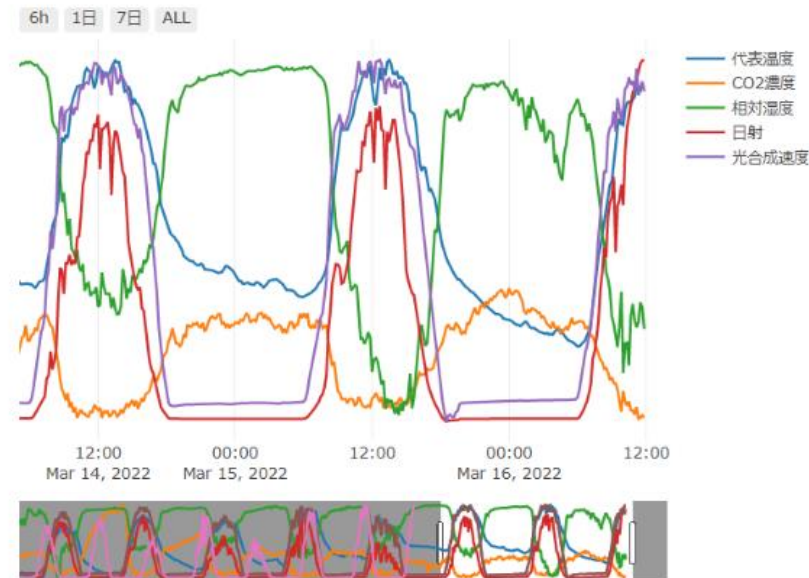
### 時系列グラフ

取得項目: 代表温度 × CO<sub>2</sub>濃度 × 相対湿度 × 日射 × 光合成速度 × × | v

取得範囲: 2022/03/09 ~ 2022/03/16

取得間隔: 10 分

データ取得

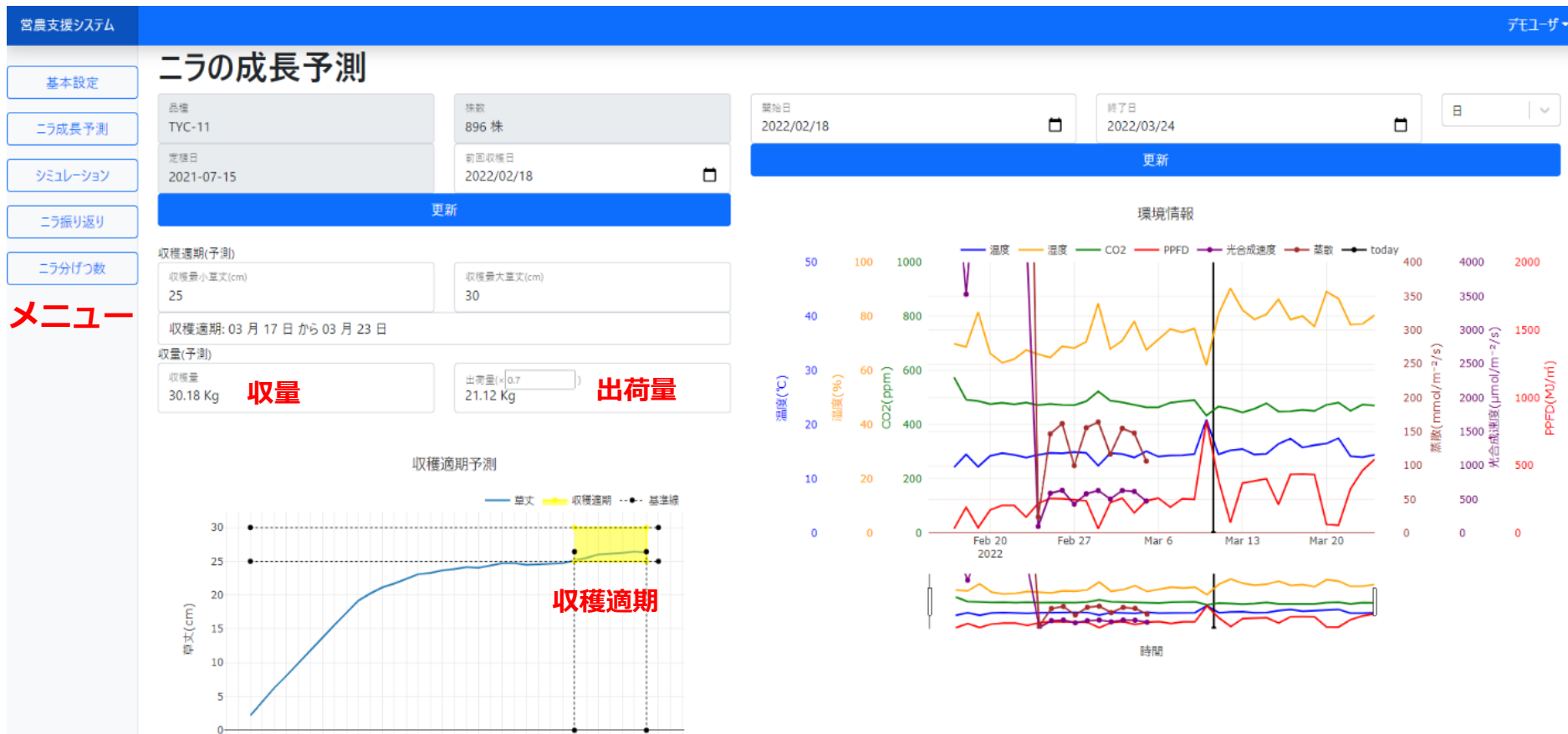


# 営農支援システムの開発・実証・機能強化（1）



## ニラの成長・収穫（収穫適期、収量）予測の例：

- ・ 次回の収穫適期を予測
- ・ 次回の収穫適期までの草丈の推移と収量について予測



# 営農支援システムの開発・実証・機能強化（2）



## 二つの光合成と成長・収穫の調整の例：

- ・現行の環境設定（例えば気温設定値）を変更した場合の光合成と草丈の将来の推移を予測
- ・収穫適期と収量の調整のための環境最適化に活用可能



## 二つの環境制御の「振り返り学習」の例：

- 過去の環境制御の実績に対して、気温とCO<sub>2</sub>濃度の設定を変更した場合の光合成と成長を推定し、適切な環境制御であったかを診断

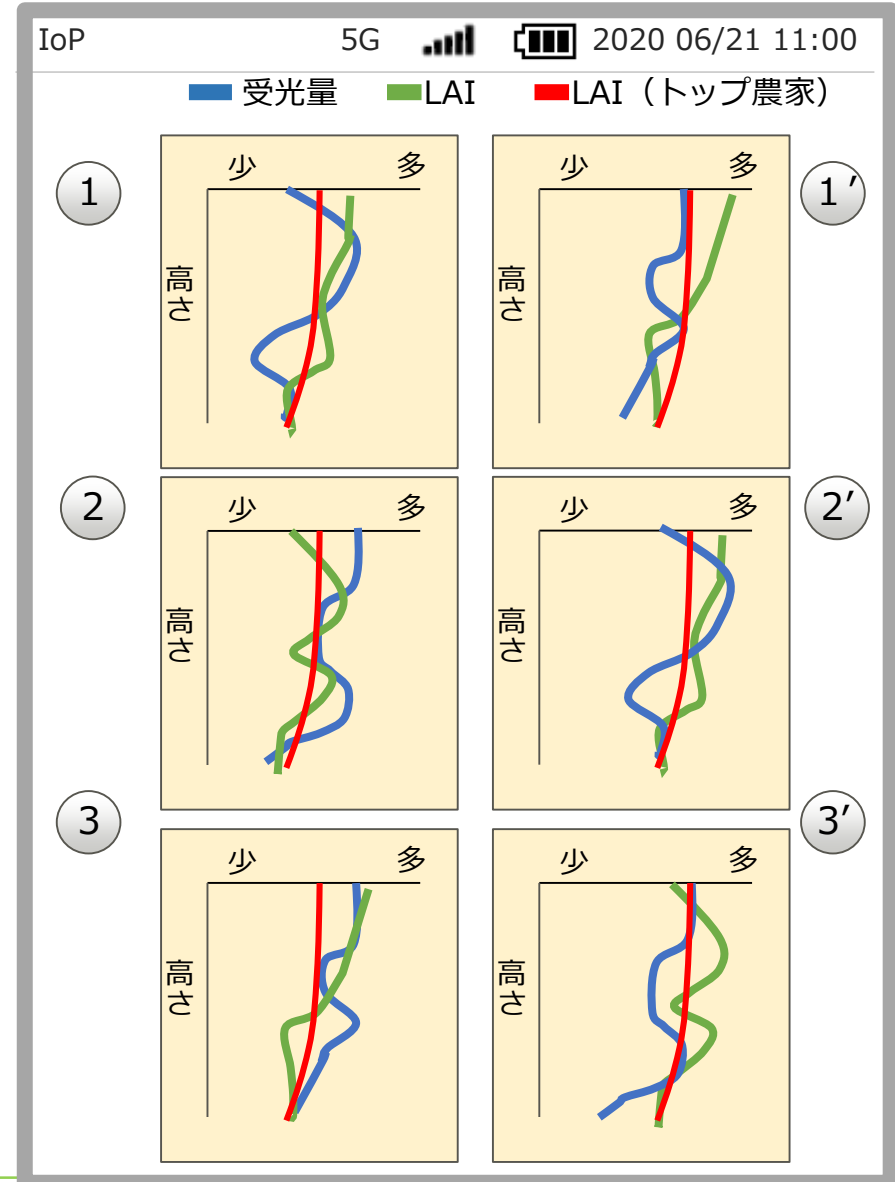
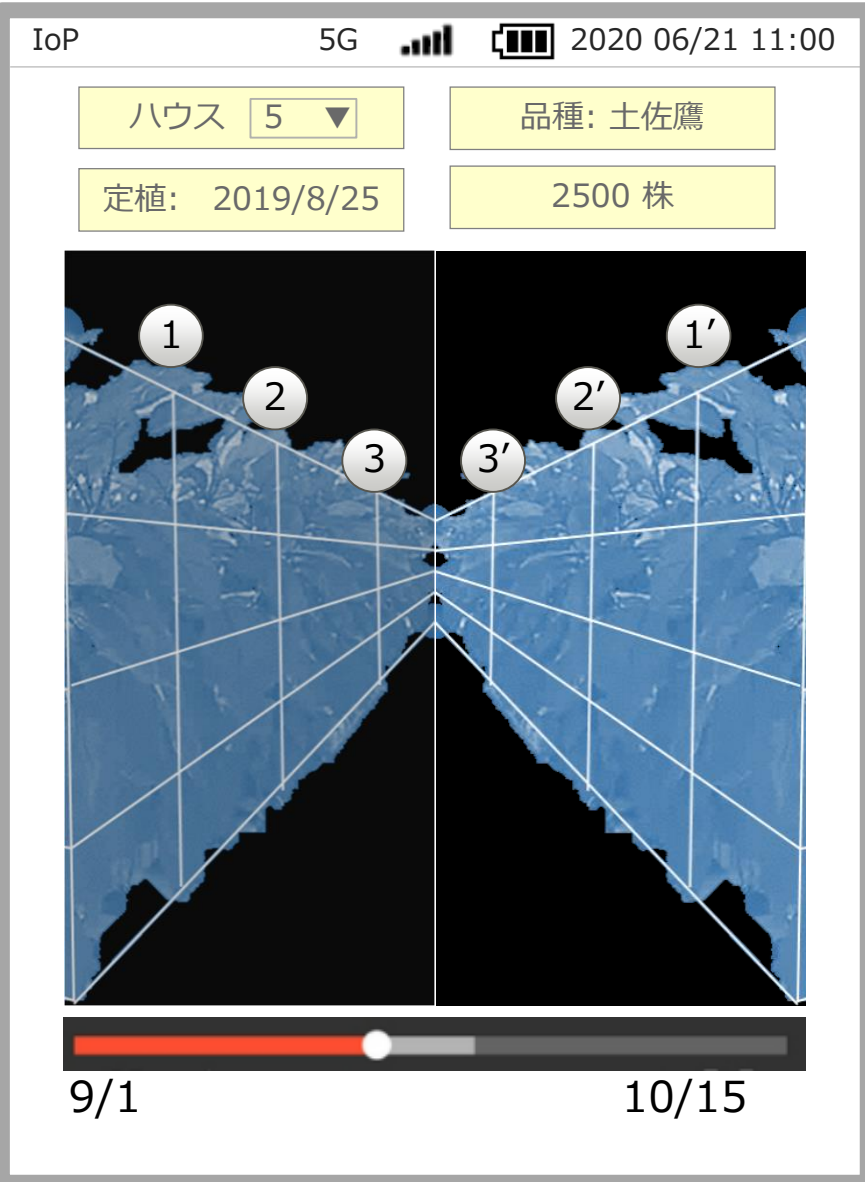




# 共有化の例：ナスの作物管理（摘葉・整枝・誘引）の診断



## トップ農家との比較



# 共有化の例：ナスの樹勢判断

篤農家の暗黙知を活用して画像から樹勢を判定します。

IoP 5G 2020/06/21 11:00

ハウス 5 品種: 土佐鷹

定植: 2019/8/25 2500 株

草勢判断 [2019/12/12]



水不足 病気

正常

着果負担 過大 日照不足

IoP 5G 2020/06/21 11:00

今日 [2019/12/12]

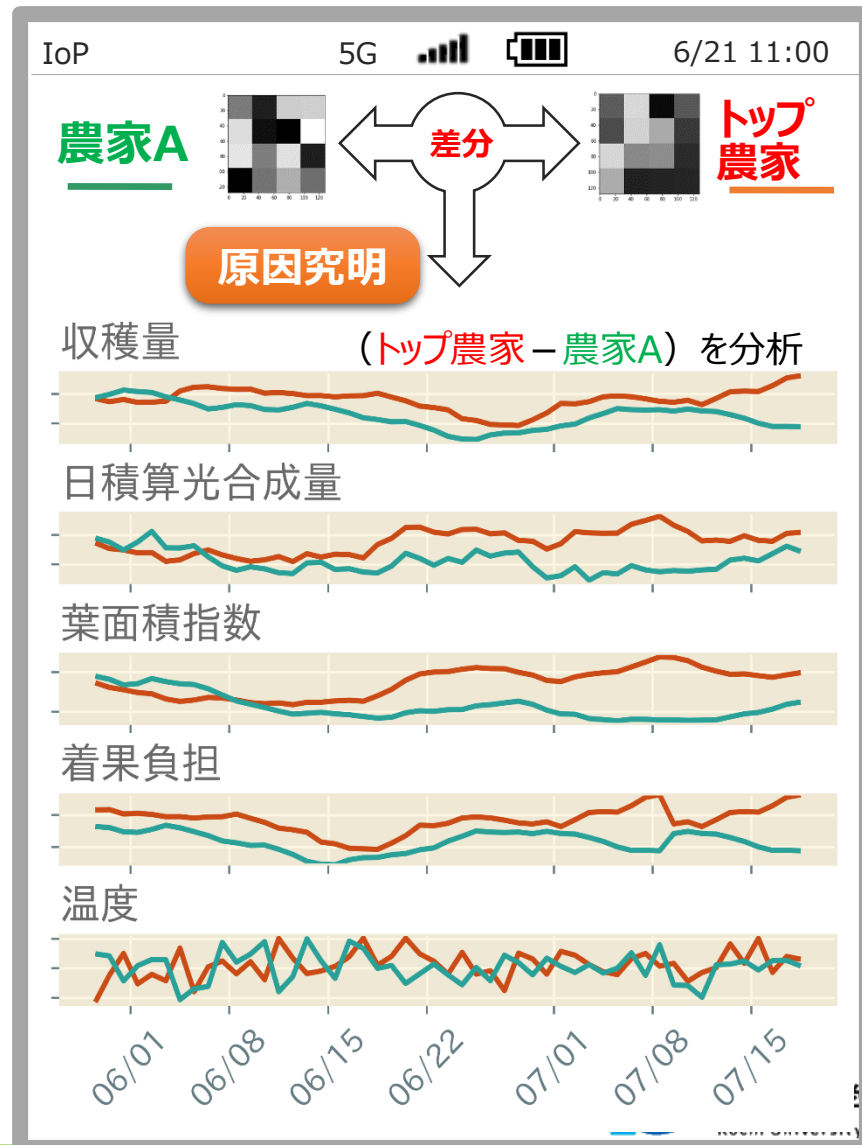
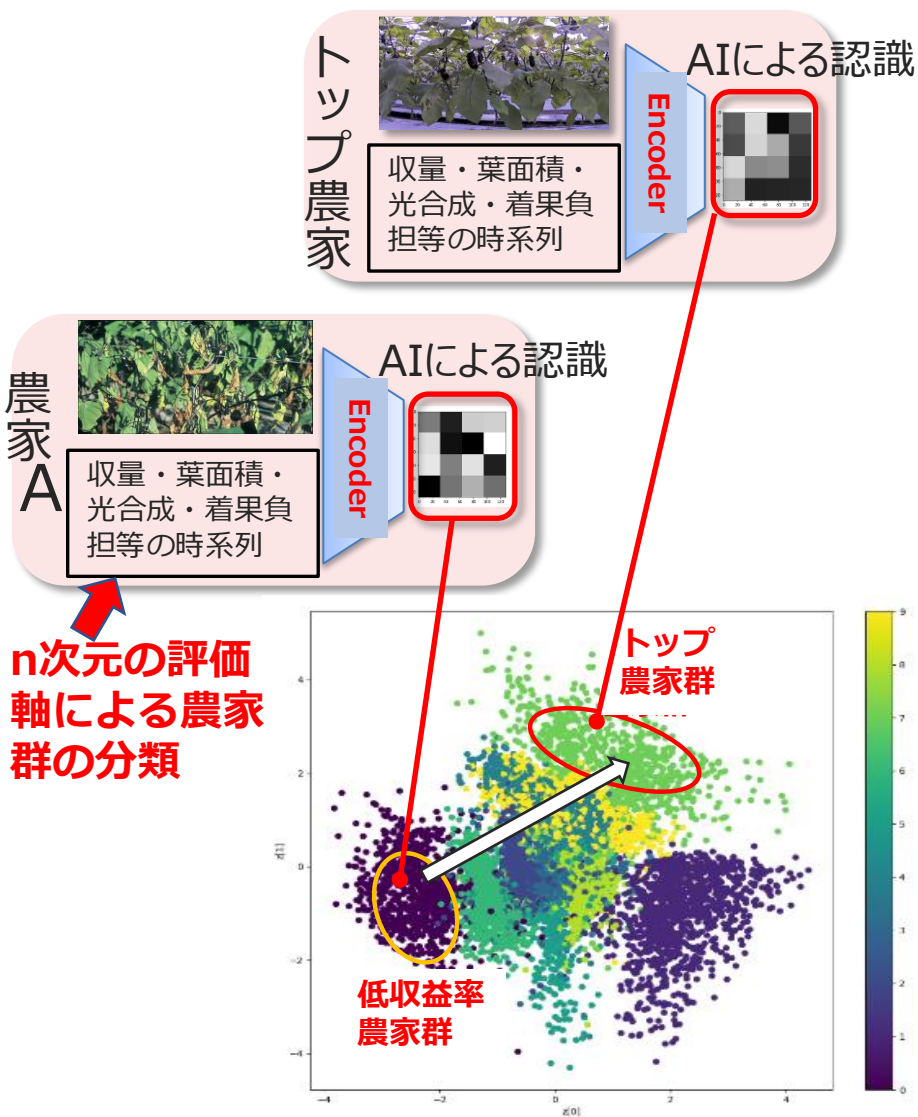


先週 [2019/12/5]

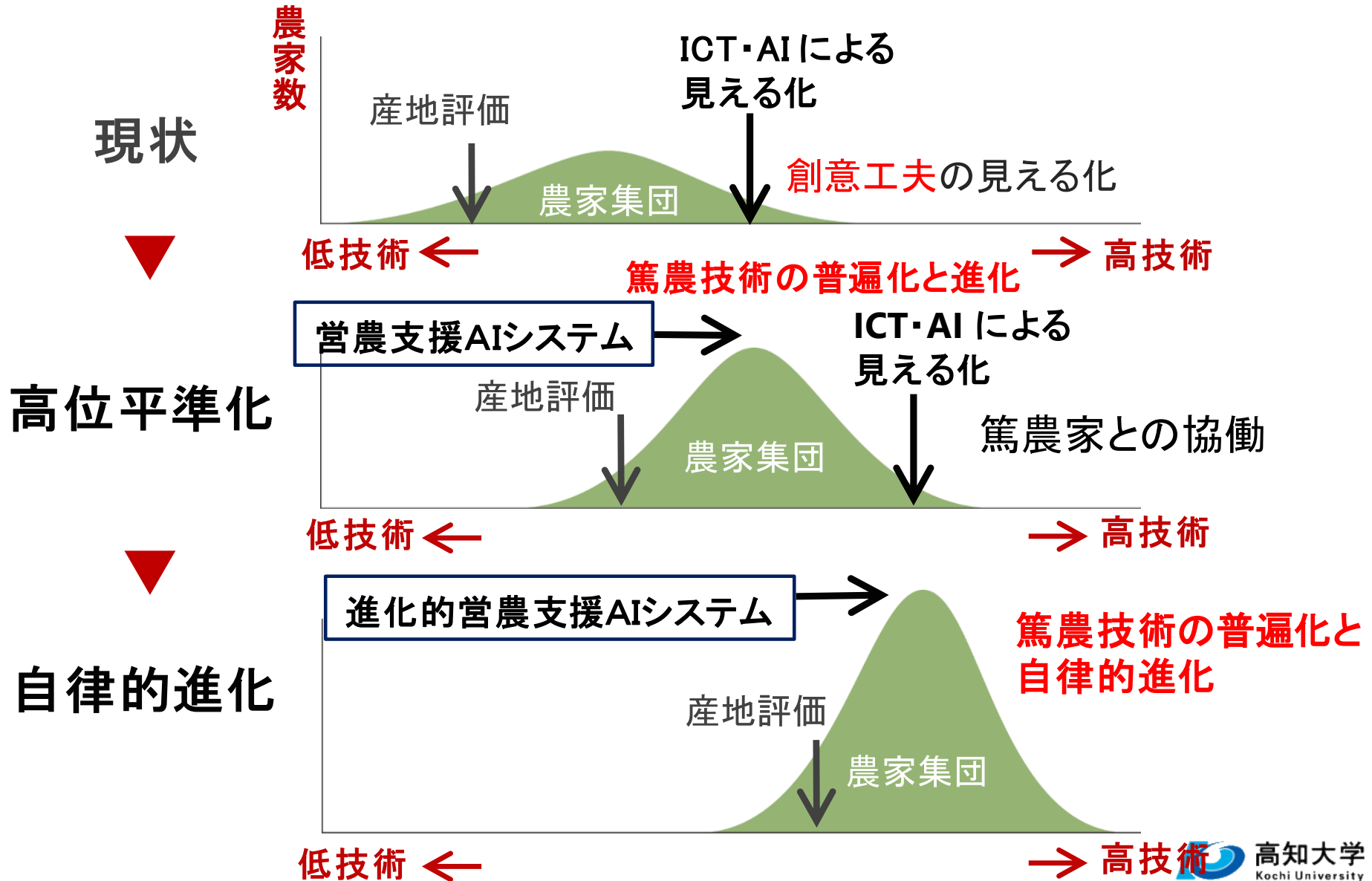


# 共有化の例：営農技術の多元的診断と改善

## トップ農家の特徴抽出と比較による技術診断



# 共有化の例：産地における営農技術の高位平準化





# 高知大学 IoP共創センター開所（2021年10月）



NHK高知 “こうちいちばん”  
2021.10.29（金）18:10 放映

KUTV（テレビ高知）“からふる”  
2021.10.29（金）18:15 放映



# Internet of Plants

## の共創



### IoP クラウド (共有化)

光合成・蒸散・体温・  
栄養・生殖成長・収量  
時系列情報

デジタルツイン

予測・多目的最適化・  
営農技術診断・改善  
時系列情報

(見える化)

持続可能な  
高収益生産

需要に応じた  
四定生産

分散圃場  
統合管理

無駄のない  
環境管理  
作物管理

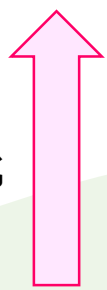
(使える化)

生理生態 AIエンジン

協働システム

営農支援 AIエンジン

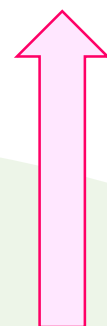
研究開発  
機能強化  
自律的進化



DX  
価値の創造  
知の創造

生理生態情報  
営農支援情報

### IoP 農家群 (ボトムアップ)



維持管理  
公益事業  
収益事業

地域情報共創学  
農学 × データサイエンス  
数理・AI

高知大学  
IoP共創センター

(R3年10月開設)

IoP農業  
研究会  
PDCA  
共創

創意工夫

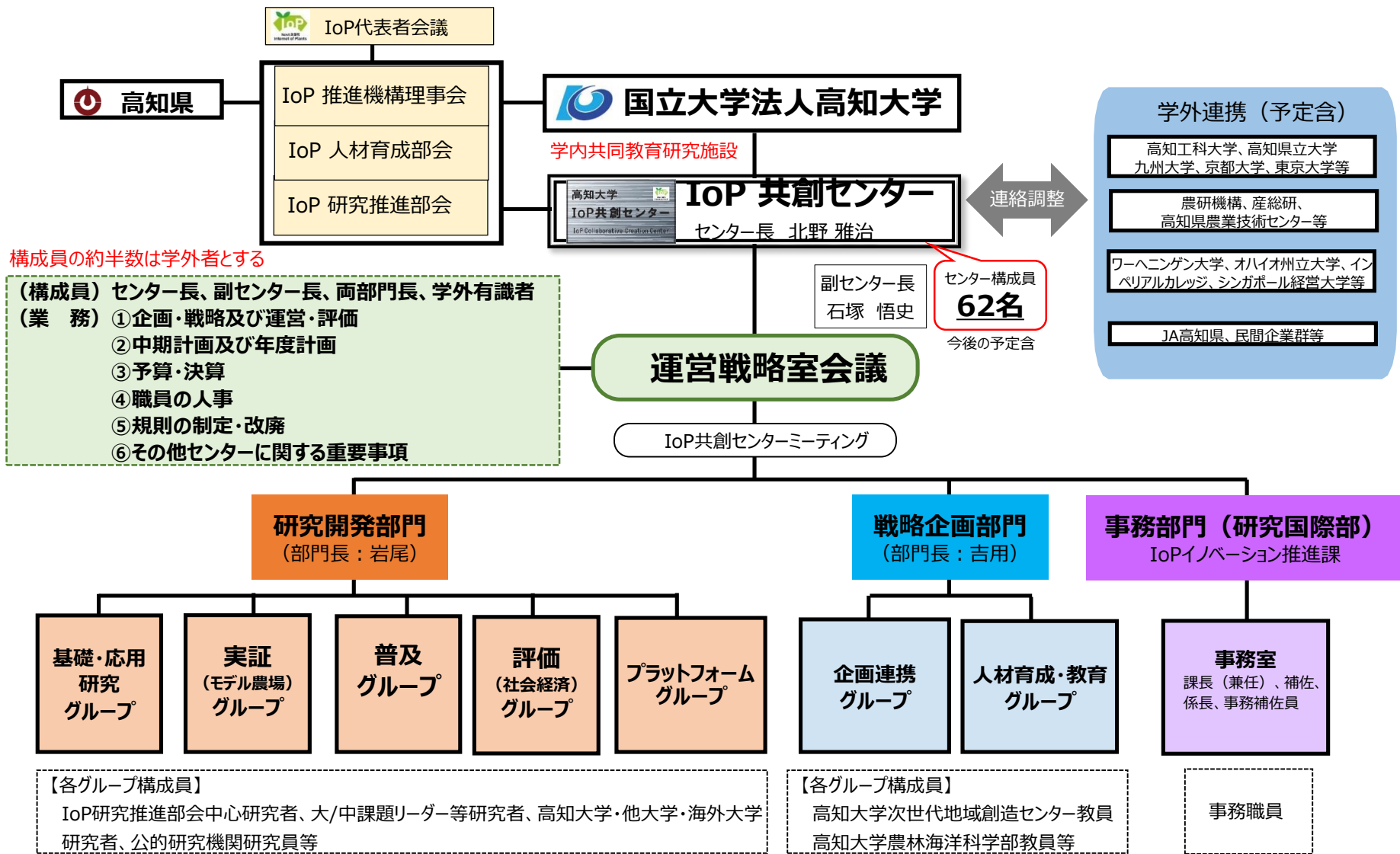
普及・支援  
要望・提案

(施策・ビジネス)

高知県庁  
農業技術センター  
IoP推進機構  
JA・企業群

産学官共創

# IoP 共創センター運営体制

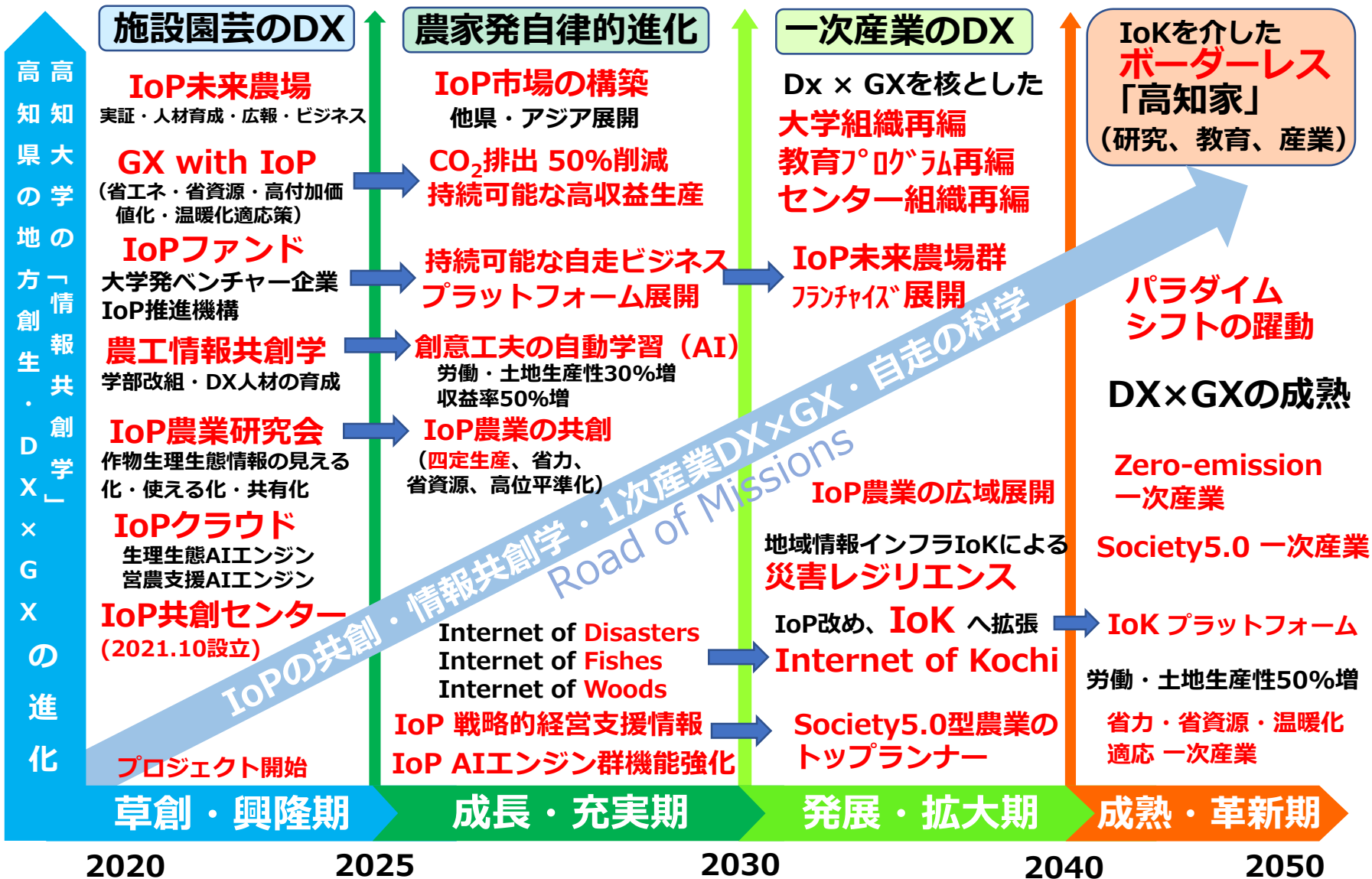




# 高知大学 IoP共創センター ロードマップ



合言葉は「ボーダレス」





# IoP共創センターのミッション

## 柱1 IoPの共創による施設園芸DXの実現：

生理生態AIエンジンと営農支援AIエンジンの構築と機能強化。**生理生態と営農支援情報の見える化・使える化・共有化**を前提としたIoP農業による施設園芸DXの実現。

## 柱2 農工情報共創学の確立とDX人材の育成：

農学×データサイエンスの異分野融合によって、IoPによる**Society 5.0型農業を先導する農工情報共創学**を確立し、IoP農業を担うDX人材を育成する。

## 柱3 大学発ベンチャーの設置と自走ビジネス：

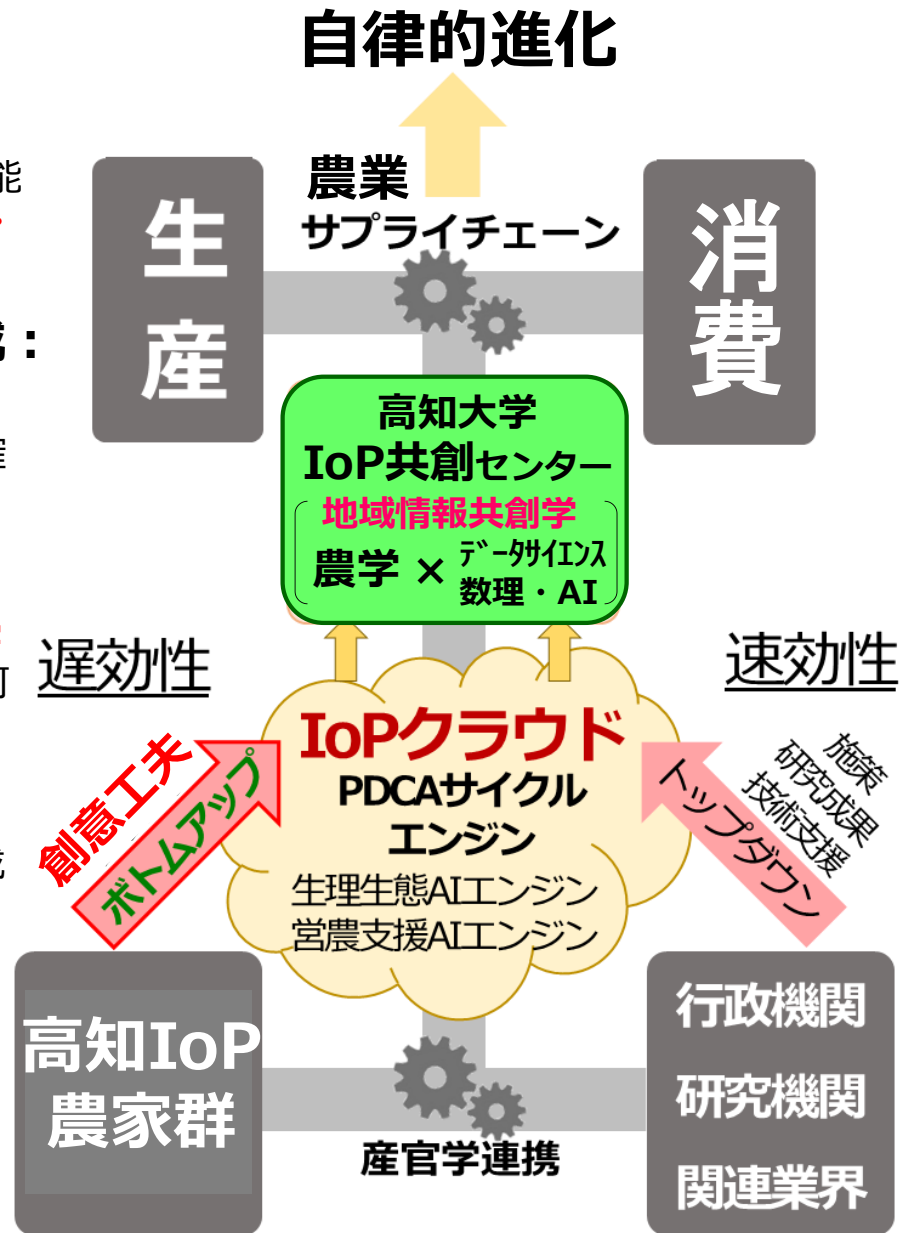
IoP共創センターが生み出す研究成果を事業化する**大学発ベンチャーとIoPファンド**を設立し、恒常的自走が可能な資金調達を実現する多様なビジネスを展開する。

## 柱4 GX with IoPの推進：

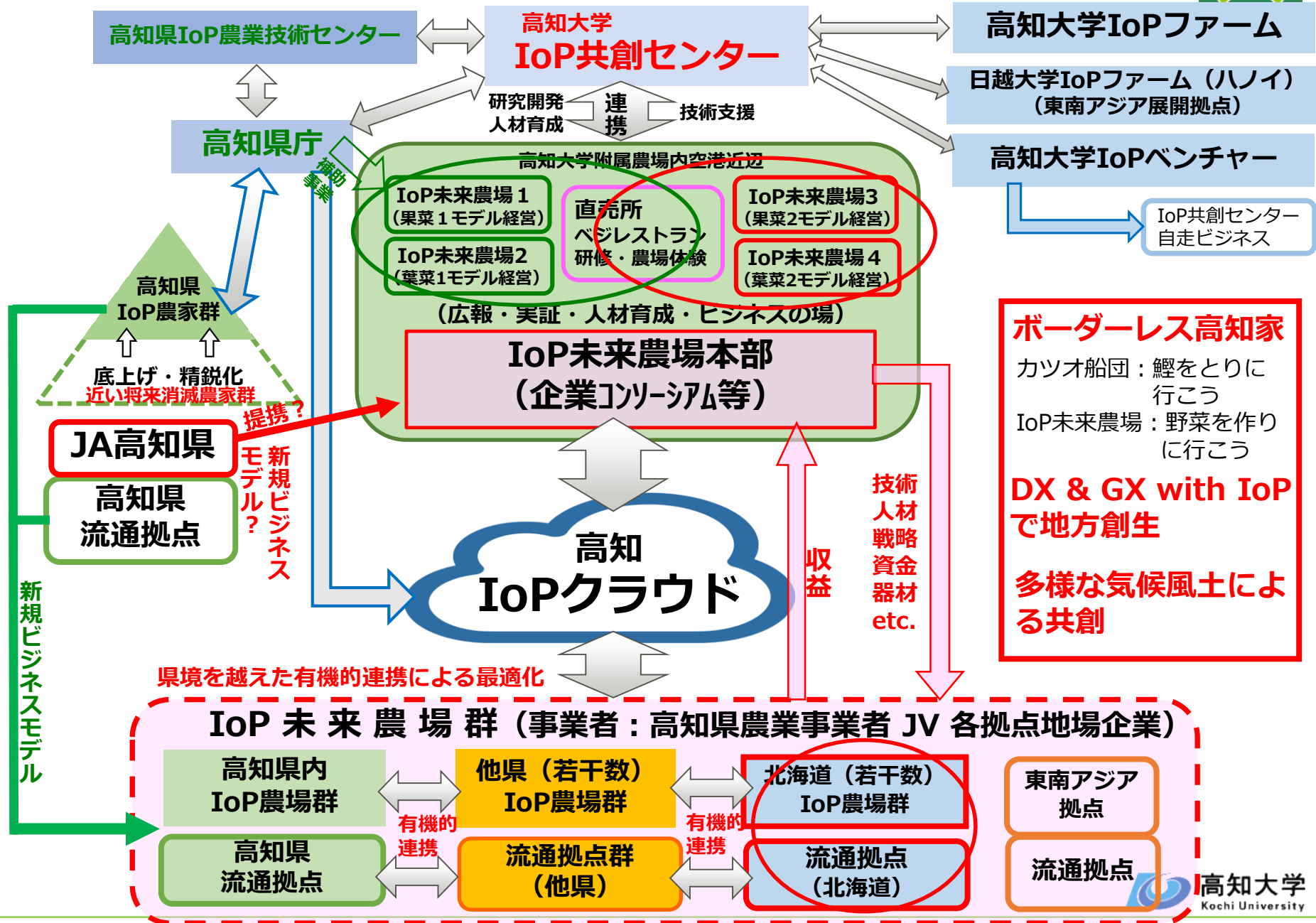
農業における「**カーボンニュートラル**」と**SDGs**の達成に向けて、グリーンエネルギー等の資源の無駄のない有効利用を実現するIoP農業を確立する。

## 柱5 IoP未来農場群の設置・展開・運営：

**IoPが目指す姿を具現化するIoP未来農場群**を設置し、実経営規模でのIoP農業の実証研究・人材育成・広報・ビジネスの場として持続可能な運営を展開する。



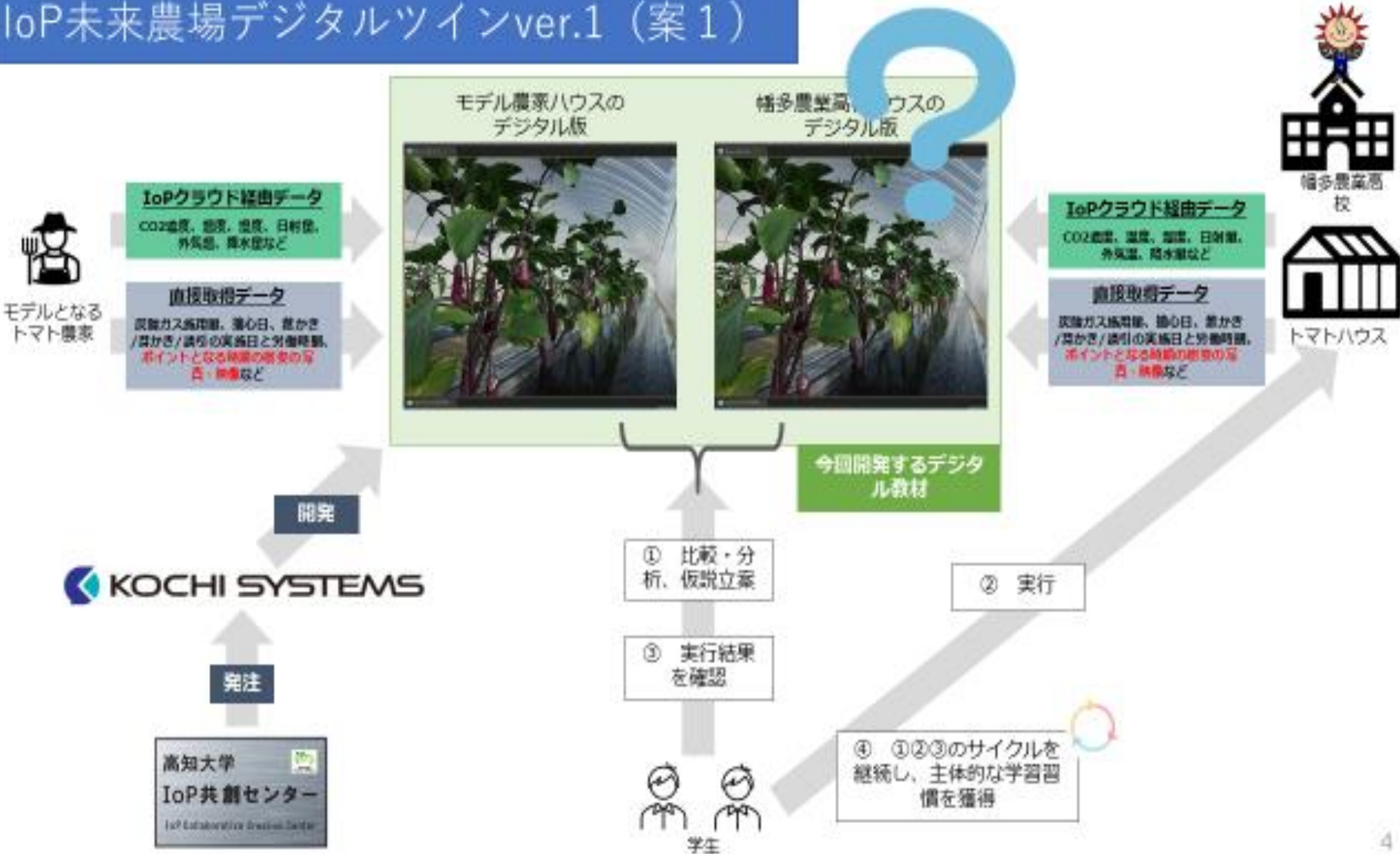
# IoP未来農場群構想(Ver.4) 概要図



# 幡多農業高校 安部誠一郎先生 只今挑戦中！



## IoP未来農場デジタルツインver.1 (案1)



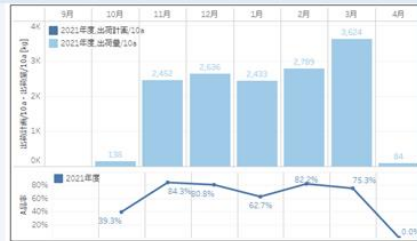
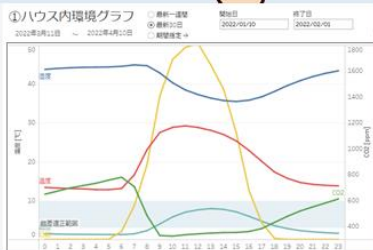


# 幡多農業高校 安部誠一郎先生 只今挑戦中！

操作画面

## 視覚的に比較しやすいコンテンツを目指す

### 新田トマト農場



メモ

### 幡多農業高校



メモ



# IoP の実装・普及にむけて取り組むべき課題



- (1) **メインエンジンの機能強化と多作目化**
- (2) **何の情報を、どう加工して、どう見せて、どう使って、どのように営農改善につなげるか？**
- (3) **IoP未来農場の設置・運営による目指す姿の具現化**
- (4) **農家の創意工夫をAIエンジンが自動学習する仕組みの構築と Society 5.0型農業の実現**

# 「IoP 農業研究会」 へのお誘い



## 共に創ろう IoP農業

### 【趣 旨】

- (1) IoPで実現される、作物生理生態情報の見える化、使える化、共有化を前提とした「IoP農業」の共創を希求する同好の士の集まりとする。
- (2) IoPの普及によって、農業者等による創意工夫の発出とそれらの共有を促進し、高知県施設園芸の自律的進化を目指す同志の集まりとする。
- (3) 職業、慣例、成功体験等にとらわれない自由闊達な創造力によって、IoPによる農業のDXを目指す先駆的挑戦者の集まりとする。

### 【活 動】

- (1) インターネットを介した活動 (IoP共創センターのホームページにサイトを設置) 現場の課題、課題解決策、IoPの活用法などの提案と共有
- (2) 定例月例会
- (3) 表彰 (創意工夫賞)

**IoP共創センターHPで  
会員登録受付中です！！**

**(4) 会費不要**

# IoPで産地力を向上させよう!!



## 農業者

- 経営目標に沿った栽培
- より正確な成長予測
- 創意工夫促進

変化に  
対する  
適応

## 集団 (部会)

- 出荷予測精度向上
- 四定生産
- 高位平準化

## 県

- データ駆動型農業定着
- 栽培方法の研究・共有
- IoP指導者育成

産地力 **UP!**



規模が拡大  
できた!!

家族の時  
間と両立  
できた!!



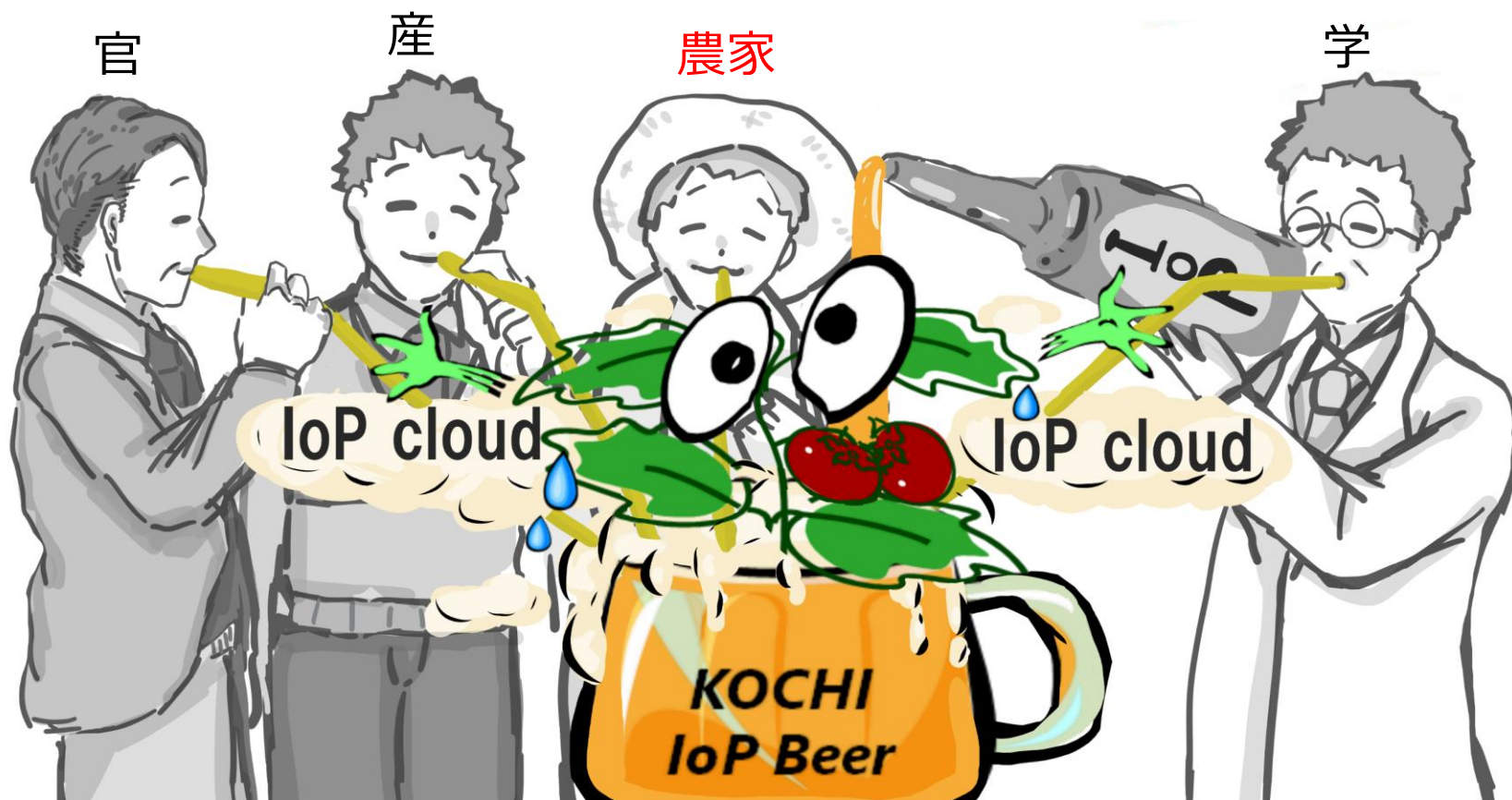
品質の良  
い物がで  
きたわ!!

今のま  
まが良  
いんじ  
ゃ。



# 農家の生産現場が実験室に！

## 共に創ろう！ IoP 農業！





ご清聴  
ありがとうございました

