

# 第 67 回 研 修 会

大阪公立大学植物工場研究センター  
コンソーシアム

共同研究等の成果発表会

2025年

日程

7月9日 (水)

時間

13時30分～17時

第67回植物工場研究センター（PFC）コンソーシアム研修会

「2024年度共同研究等の成果発表会」プログラム

日時：2025年7月9日（水）13：30～17：00

NO.	発表時間	題名	発表者（○）
		開会挨拶	植物工場研究センター北宅センター長 挨拶
1	13：40-13：55	植物工場デジタルツインの開発と 農業XRロボティクスの展望	○福田弘和 1 所属： 1 大阪公大・工学研究科
2	13：55-14：10	フォトリアリスティック植物概日時計 3Dシミュレータの開発	○八木亮太 1, 福田弘和 1 所属： 1 大阪公大・工学研究科
3	14：10-14：25	ファインバブルが植物に与える影響	○前野聖志 1, 平江真輝1, 北宅善昭2 所属： 1 株式会社サイエンス, 2 大阪公立大学
4	14：25-14：40	培養液中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率がワサビ の生育に及ぼす影響	○永澤藍香 1, 松井陽和 1, 和田光生 1, 北宅善昭 1, 遠藤良輔 1, 江口雅丈 1 中村謙治 2, 西口正幸 3 所属： 1 大阪公立大学, 2 エスペックミック株式会社, 3 (株)大和真空
5	14：40-14：55	アクアポニックスにおける魚由来肥料成分の割合がイチゴ の生育および果実の収量と品質に及ぼす影響	松井陽和 1, 永澤藍香 1, ○和田光生 1, 北宅善昭 1, 遠藤良輔 1, 江口雅丈 1, 中村謙治 2, 西口正幸 3 所属： 1 大阪公立大学, 2 エスペックミック株式会社, 3 (株)大和真空
6	14：55-15：10	大規模人工光型植物工場への有機質肥料の導入と安定生産 の実現に向けた検討	○江口雅丈 1, 中村謙治 2, 北宅善昭 1 所属： 1 大阪公大・研究推進機構, 2 エスペックミック株式会社
	15：10-15：20	休憩	
7	15：20-15：35	アクアポニックスにおける窒素濃度の変動の低減に向けた 植物栽培管理方式	○遠藤良輔 1, 吉田颯太 1, 北宅善昭 2, 中村謙治 3 所属： 1 大阪公大・農学研究科, 2 大阪公大・研究推進機構, 3 エスペック ミック株式会社
8	15：35-15：50	水耕栽培棚を利用したシイタケの菌床栽培方法	○坂 幸憲 1, 山口 タ 2 所属： 1 CKD株式会社, 2 大阪公大・農学研究科
9	15：50-16：05	植物工場の気流最適化設計のための 流体解析モデルの構築	○寺籠大地 1, 加賀田 翔 1,2, 坂 幸憲 3 所属：1大阪工大, 2 大阪公大・工学研究科, 3 CKD株式会社
10	16：05-16：20	植物工場用アオジソ品種育成に向けた取組	○山口タ 1, 正岡里穂 1, 藤原稜太 1, 竹田恵美 2 所属： 1大阪公大・農学研究科, 2 大阪公大・理学研究科
11	16：20-16：35	環境履歴を考慮した植物生理・生育予測モデルの開発	○木下進一 1, 鈴木優希也1, 木澤陸斗1, 吉田篤正2 所属： 1 大阪公大・大学院工学研究科, 2 早稲田大・理工学術院
12	16：35-16：50	植物工場の生育予測および最適化手法の開発	○木澤陸斗 1, 木下進一 1, 吉田篤正 2 所属： 1 大阪公大・大学院工学研究科, 2 早稲田大・理工学術院
		閉会挨拶	P F C コンソーシアム新井代表幹事 ご挨拶

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：農業XRロボティクス研究室  
 研究代表者（所属）：福田弘和（大阪公大・工学研究科）

## 発表タイトル：植物工場デジタルツインの開発と 農業XRロボティクスの展望

○福田弘和<sup>1</sup>

所属： 1 大阪公大・工学研究科

キーワード（5ワード程度）：3D Gaussian Splatting, Unreal Engine, XR

### 要 旨

バーチャル研究室「農業XRロボティクス研究室」では、AIロボットの設計・検証を行う没入型テストベッドとしてXR環境を活用するために、その基礎となる**植物工場のフォトリアリスティック・デジタルツイン**の構築を行った。従来困難だった植物の高精細3Dモデル化を3D Gaussian Splattingにより達成し、さらにUnreal Engine上で植物モデルに変形を与えることができる**3D物理シミュレーション技術**を開発した。本発表では、大阪公大 C22 棟での応用例と農業XRロボティクスの将来像を紹介する。

The Physical Turing Test: Jim Fan on Nvidia's Roadmap for Embodied AI  
[https://www.youtube.com/watch?v=\\_2NijXqBESI](https://www.youtube.com/watch?v=_2NijXqBESI)

## 仮想空間で、ヒューマノイドが作られている

物理シミュレーションを実行する単一のGPU上で、1万の環境を並列に実行する必要があります。

## JST-CRDS戦略プロポーザル 2025年5月 フィジカルAIシステムの研究開発 ~身体性を備えたAIとロボティクスの融合~



研究背景

# 農業デジタルツインの研究領域マップ

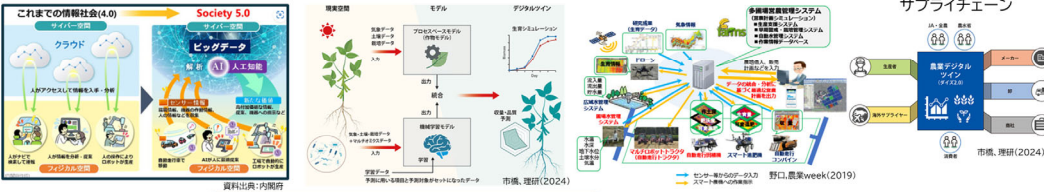
5

植物工場・スマート農業(→生産性向上、自動化・遠隔操作)

栽培技術

フィールド・ロボティクス

サプライチェーン



分子 μm 細胞 mm 器官 m 個体 m 栽培室 km 工場 km 圃場 社会 宇宙農業

農業XRロボティクス(→時空間・感覚・認識拡張・精密自動化・没入操作)

XR=VR+AR+MR



3D形態モデル 成長モデル

農業XRロボティクス研究室

Liu, Nat. Commun. (2023)

## フォトリアリスティックDT



仮想空間へのインポート

## 仮想空間での場面別シミュレーション

雨天

夕焼け



画像ベースAI技術のチューニング

## 物理インタラクション (XRハンドトラッキング)

「切除できる」植物デジタルツイン

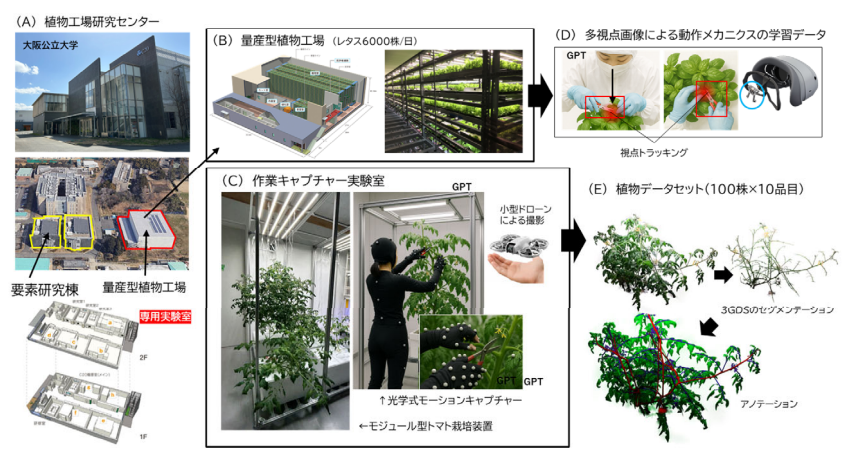




## 研究構想

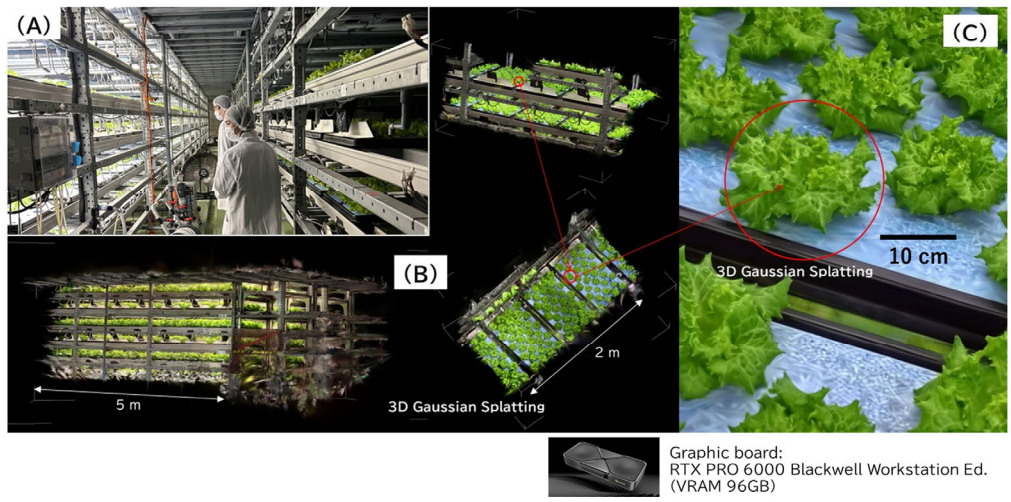
大学キャンパス内、14年ノウハウ蓄積

## 大阪公立大学植物工場研究センター「植物工場DTベンチマーク・モデル研究」



## 結果 フォトリリアスティックDT(植物工場)

大阪公立大学、量産型植物工場C22棟(栽培室)



## AIロボットの研究動向・研究戦略

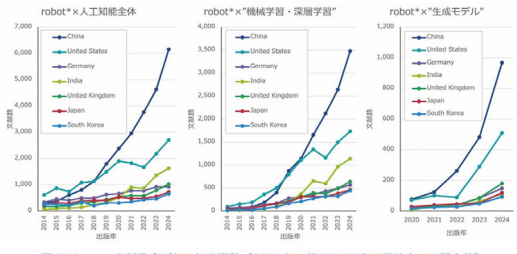
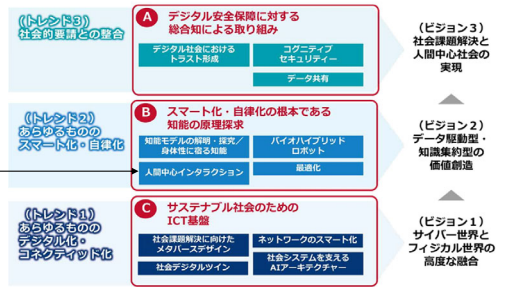
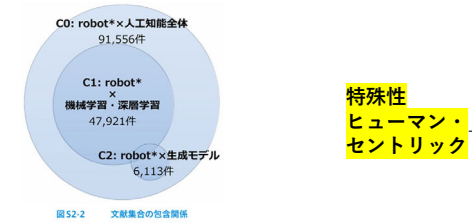


図 S2-4 文献集合ごとの年次推移 (2024年の値は2025年3月時点での暫定値)  
<https://www.ist.go.jp/crds/pdf/2025/SP/CRDS-FY2025-SP-01.pdf>

図 1-3-1 3つの技術トレンドと围って重点的に取り組むべき研究開発課題の関係

技術トレンド	主要な研究開発プログラム	実施期間
(トレンド3) デジタル安全	SP「サイバーセキュリティ」(2018-22)	2018-22
(トレンド2) スマート化	SP「スマート社会」(2018-22)	2018-22
(トレンド1) AI	SP「AI」(2018-22)	2018-22

図 S2-1 日本で実施されている主な研究開発プログラム (分野別) (2024年度現在)  
 ロボット関連の主要な研究開発プログラムを技術成熟度レベル (TRL) で整理した。プログラムの到達レベルに関しては CRDS が独自に整理・評価したものであり全てのプログラムを網羅するものではない

## 発表タイトル：フォトリアリスティック植物概日時計 3Dシミュレータの開発

○八木亮太<sup>1</sup>，福田弘和<sup>1</sup>  
 所属： 1 大阪公大・工学研究科

キーワード（5ワード程度）：概日時計，環境応答，Unreal Engine，農業デジタルツイン

### 要旨

農業デジタルツインの実現には、植物をリアル3Dモデルとしてデジタル空間に取り込み、3Dシミュレーションによって解析する必要がある。ゲームエンジンUnreal Engineは複雑な3Dシミュレーションを行うことができ、また高度なグラフィックス能力により写実的な3Dモデルを描画できる。これにより、各細胞の概日時計を実装したフォトリアリスティックな植物モデルの3Dシミュレーションが可能となる。本研究では、3D Gaussian Splattingを用いて実際のトマトのフォトリアリスティック3DモデルをパーティクルシステムとしてUnreal Engineに取り込み、各パーティクルに概日時計を実装した。この植物モデルに対し、局所的なパーティクル集団への複雑環境入力や、レーザーによる直観的入力を行う3Dシミュレータを開発した。

### 1. 研究背景①（農業デジタルツイン）

#### 農業デジタルツイン

実在データに基づく仮想空間上での農業シミュレーション  
 ・農業人口減少の解決  
 ・農作業の生産効率上昇

#### 植物工場のデジタルツイン



#### 現実を再現

- 工場施設
- ロボット
- 生体情報
- 環境制御



#### 現実に戻元

実在データに基づいたリアルな植物3Dシミュレーションが必要

### 1. 研究背景②（ゲーム化UI）

#### 植物制御技術

複雑系シミュレーション



#### 農業アバターロボット

遠隔操作/自律駆動



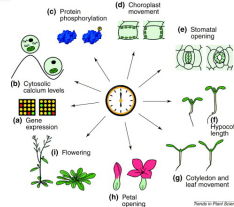
#### 農業デジタルツイン



植物3Dモデル  
 環境入力に対する  
 位相応答シミュレーション

汎用化ゲームUIが必要

### 1. 研究背景③（概日時計）



#### 植物の概日時計

- ・生理機能（気孔開閉,葉の就眠）に24時間周期（概日リズム）を駆動(1)
- ・植物工場の生産効率向上などの産業利用（サーカディアン共鳴）にも重要
- ・概日時計利用栽培技術(Chronoculture)として国際的に注目(2)

- (1) Barak et al, *Trends Plant. Sci.* (2000)  
 (2) Steed et al, *Science* (2021)

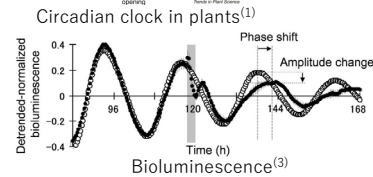
#### 概日時計の形成

#### 結合振動子システム

各時計細胞が自律的な振動子として個体レベルの概日時計を形成

#### 環境応答

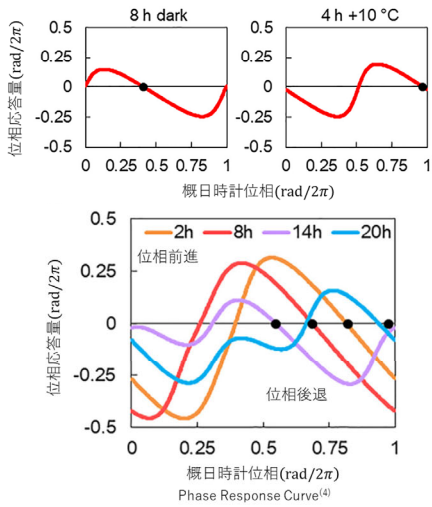
光，温度等の周期的変化に同期するよう，位相シフトが発生



(3) Fukuda et al, *Sci. Rep.* (2013)

概日時計制御には細胞間結合と環境応答が重要

# 1. 研究背景④ (位相応答)



## 位相応答曲線 (PRC)

外環境からの刺激に対する応答現象を特徴づける植物の活動期間中の各位相において刺激が入力された際の位相の変化量

## 結合PRC

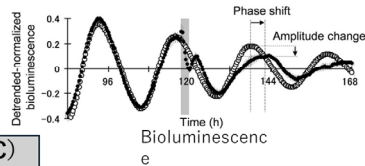
複数同調因子 (光, 温度) が存在する場合の結合PRC(4)  

$$\Gamma(\theta) = G_D(\theta + \theta_D) + G_T(\theta + \Delta\psi)$$

$$G_D: \text{暗黒刺激に対するPRC} \quad G_T: \text{温度刺激に対するPRC}$$

(4) Masuda, *Front. Plant. Sci.*, (2021)

PRCに基づく複雑環境応答シミュレーション



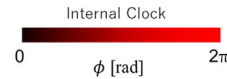
# 4. 研究結果① フォトリアリスティック植物3Dモデル

## フォトリアリスティック植物3Dモデル

実在の植物の外見、形状に基づいた3Dモデル  
 外見をフォトリアルと概日時計細胞集団で切替え可能



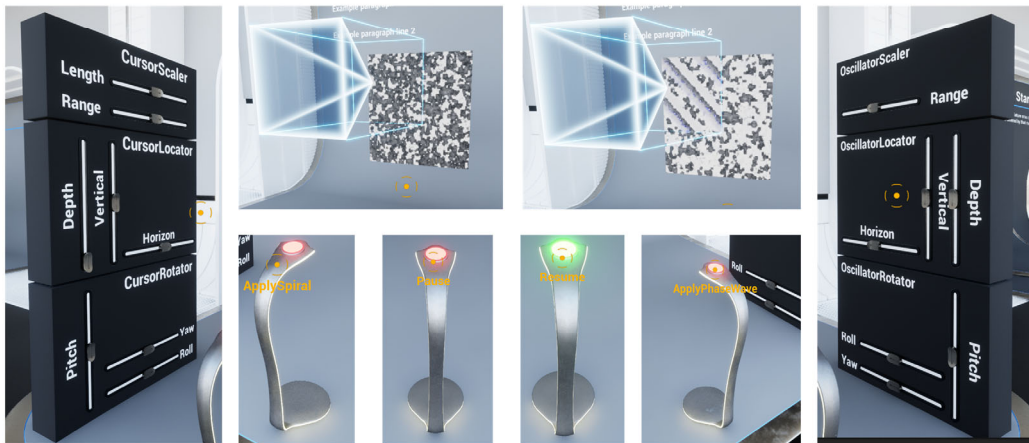
Unreal Engineに取り込んだ植物3Dモデル(トマト苗)



ランタイムでの外見切り替え

# 4. 研究結果② 概日時計シミュレーションUI

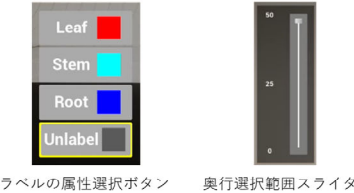
## 概日時計細胞集団への環境入力UI



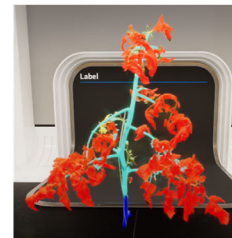
振動子平面に対するCUBE適用のプレイ画面

# 4. 研究結果⑦ 植物概日時計3Dシミュレータ

## 植物3Dモデルに対する点群ラベリング



ラベルの属性選択ボタン 実行選択範囲スライダー



Example of Labeling



Label Real Plant

共同研究・受託研究課題名：植物栽培における根圏環境改善へのファインバブルの応用  
研究代表者（所属）：前野 聖志（株式会社サイエンス）

## 発表タイトル：ファインバブルが植物に与える影響

○前野聖志<sup>1</sup>，平江真輝<sup>1</sup>  
所属：1 株式会社サイエンス

キーワード：ファインバブル、酸素濃度、植物、生理効果

### 要 旨

ファインバブル（FB）とは100 μm 以下の微細気泡のことであり、中でも1～100 μm の範囲をマイクロバブル（MB），1 μm未満をウルトラファインバブル（UFB）と呼ばれている。このFBは通常の気泡とは異なる性質を有している。MBは水中へ効率よく気体を溶かすことによる溶存酸素濃度の上昇、UFBはその微細さから水中で長期的な安定性を持っている。この特性により、洗浄分野、排水処理、漁業など多岐にわたり活用されている。今回はファインバブルが植物に与える影響について発表いたします。



# ファインバブル

## ファインバブルの国際規格化

一般社団法人ファインバブル産業会が提案をしていたISO/TC281において日本提案の『ファインバブルの使用と計測に関する一般原則-パート1(用語)』が発行されました。また、**気泡の世界においては「ナノ」という呼称は一切使用しないことも記載されています。**

100μm未満の気泡 ➡ 「マイクロバブル」

1μm未満の気泡 ➡ 「ウルトラファインバブル」



上記気泡の総称を、  
「ファインバブル」として定義されました。

## ファインバブルについて

Science<sup>1</sup>feel

### ファインバブルとは？

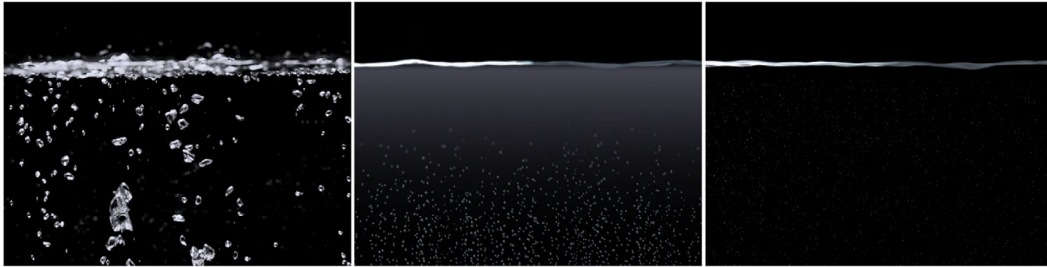
水と空気（気体と液体）を混合させて発生する**100ミクロン未満**の気泡のこと。

### ファインバブル技術（テクノロジー）とは？

目的用途に合わせた「ファインバブル」「発生機構」「水流技術」を掛け合わせ、人工的かつ安定的にファインバブルを発生させる技術。

ファインバブル技術は日本が世界をリードする日本発祥の技術であり、近年では計測技術の発展も世界から注目されています。

# ファインバブルとは



ミリバブル

マイクロバブル

ウルトラファインバブル

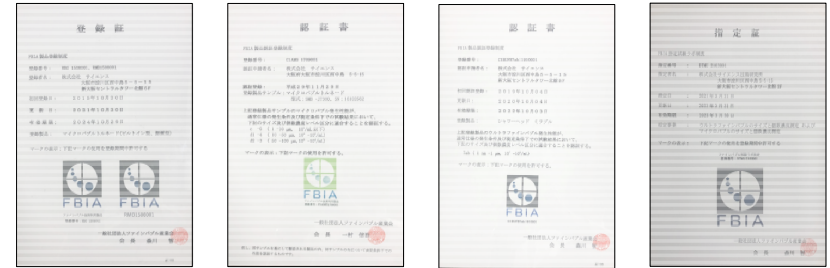
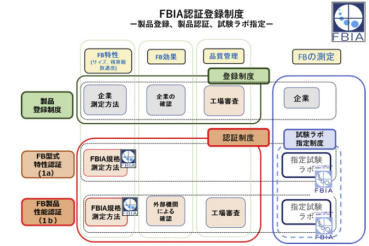
- ・ミリバブル : 水面に向かって上昇する。
- ・マイクロバブル (MB) : 1分間に数cm程度しか上昇せず、水中にて収縮する特性を持っている。
- ・ウルトラファインバブル (UFB) : 上昇する事無く、ブラウン運動しながら、水中に長くとどまる。

# ファインバブル産業会



法人正会員35社／賛助会員42社／計77社  
 (国内企業74社／国外企業3社)  
 個人正会員14名(所属参加機関・大学等12)  
 2022年7月1日現在

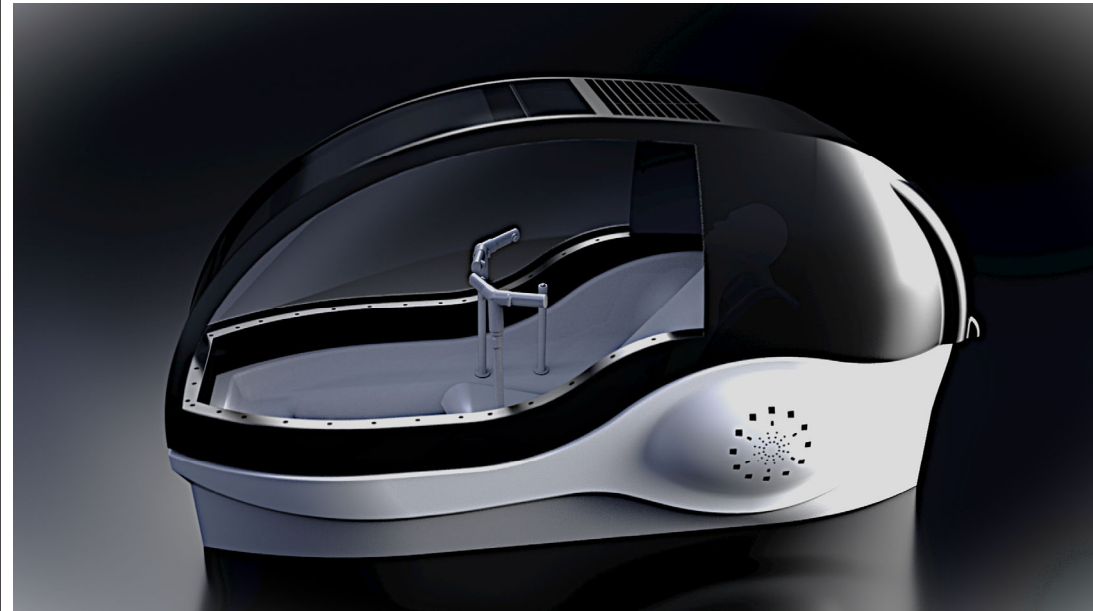
一般社団法人ファインバブル産業会は、「SDGs」(17の持続可能な開発目標)達成の為の活動を軸に、**ファインバブル技術の「国際標準化」「認証登録制度」**及び「利用技術開発」、更には「共通基盤情報の収集」などを総合的に行うプラットフォームとして、**業界/学会/政府共同でファインバブル産業の健全市場形成**を行い、産業全体の加速的発展を目指した活動を行います。

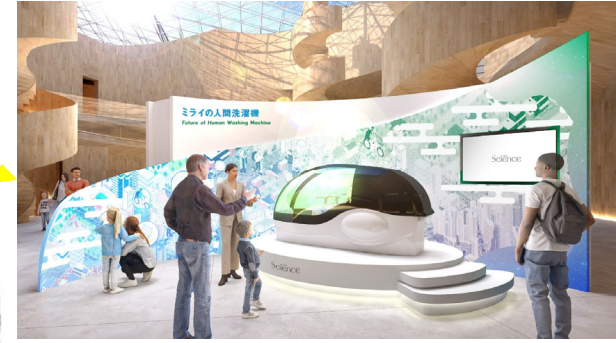
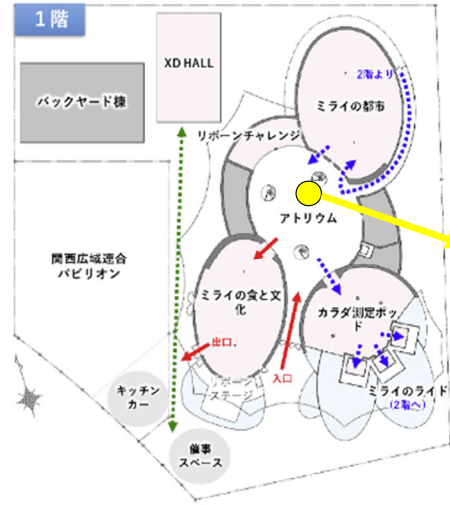
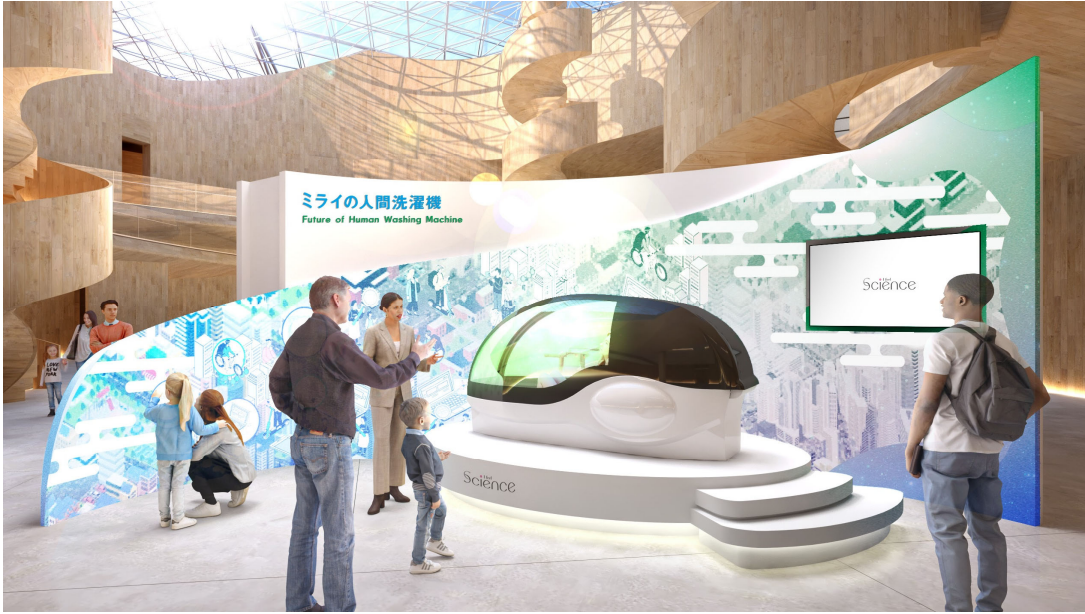


# 大阪ヘルスケアパビリオン

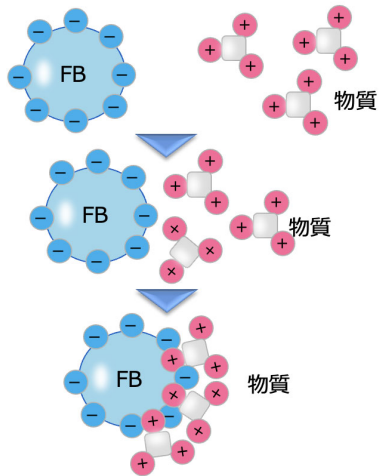
## REBORN

大阪・関西万博に地元大阪が出展参加するにあたってのテーマはREBORNです。  
 このテーマには「人は生まれ変わる」、「新たな一歩を踏み出す」という意味を込めています。





ファインバブルの性質 (FBIAホームページより)

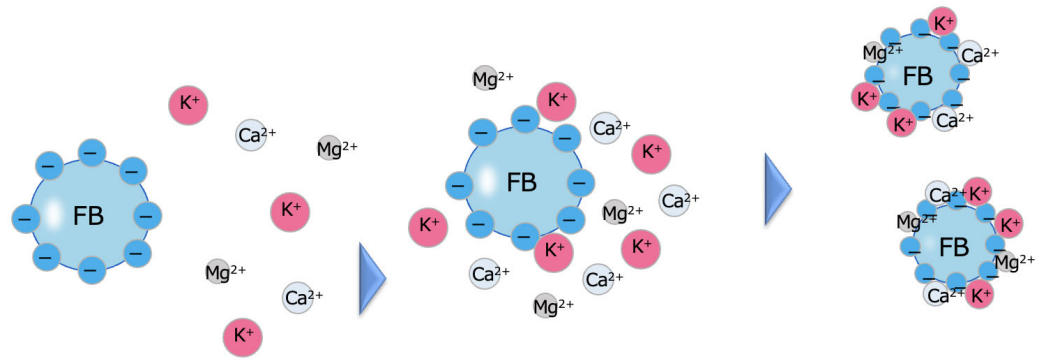


FB表面がマイナスに帯電することでの吸着性

水中ではFBの表面はマイナスに帯電する。  
(ゼータ電位) マイナスに帯電したバブルがプラスに帯電した物質を引き付ける。

イメージ図

ファインバブルの性質 (FBIAホームページより)



FB表面がマイナスに帯電することでの吸着性

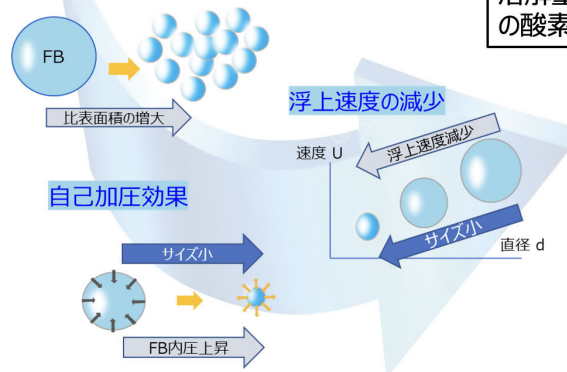
水中ではFB表面はマイナスに帯電する (ゼータ電位)。  
マイナスに帯電したFBがプラスに帯電した物質 (イオン) を引き付ける

FBは植物の根に集まり、水揚げを促進すると考えられる。

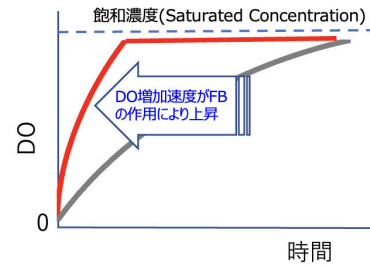
## ファインバブルの性質 (FBIAホームページより)

■従来技術である散気管（エアレーション）やディフューザーと比べて、ファインバブルの応用により大幅な酸素溶解効率が高まっている

比表面積の増大



FBの内部ガスの液相への物質移動、酸素の溶解量は格段に促進され、効率よく養殖魚への酸素供給ができる



共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：物質循環型野菜生産技術の開発  
研究代表者（所属）：北宅善昭（大阪公大・研究推進機構）

## 発表タイトル：培養液中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率がワサビの生育に及ぼす影響

○永澤藍香<sup>1</sup>，松井陽和<sup>1</sup>，和田光生<sup>1</sup>，北宅善昭<sup>1</sup>，遠藤良輔<sup>1</sup>，江口雅丈<sup>1</sup>，中村謙治<sup>2</sup>，西口正幸<sup>3</sup>  
所属：1 大阪公立大学，2 エスベックミック(株)，3 (株)大和真空

キーワード（5ワード程度）：アクアポニックス，根茎，人工光型植物工場，無機養分吸収濃度，pH

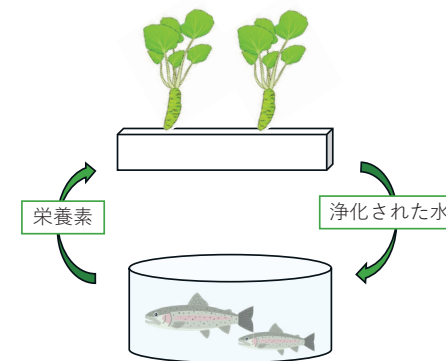
### 要旨（300文字程度）

アクアポニックスでは、窒素はアンモニア態で供給されるため、アンモニア態窒素に対する耐性が高い植物種が適するが、生育に最適なアンモニア態窒素と硝酸態窒素の比率は植物種によって異なることが知られている。本実験では、人工気象下でワサビを水耕し、培養液中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率を10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10とする7処理区設定し、培養液中無機養分濃度の変化および植物体の生育を調査した。その結果、アンモニアによる生理障害により、0:10区では生育せず、1:9区でも生育が抑制された。一方、アンモニア態窒素濃度が3:7区より低い区では正常に生育し、3:7区で最も生育がよかった。また、根からの無機養分吸収濃度が低いことも明らかとなった。これらのことから、ワサビは培養液中のアンモニア態窒素濃度に対する耐性は比較的強く、硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率は3:7程度が最もよいと考えられた。

## 背景

### 〈養液栽培と陸上養殖の課題〉

- 大量の水を消費
- 餌料、肥料のコスト
- 排液の処理
- 稼働のための電気代



### アクアポニックス：養液栽培と陸上養殖を組み合わせた技術

## 背景

### 〈アクアポニックスのメリット〉 〈アクアポニックスのデメリット〉

#### • 排水の再利用

養殖排水を植物の生育に用いて、再び養殖に用い循環

#### • 施肥コストの削減

魚の排泄物や餌から植物へ栄養素の供給

#### • 作物以外の収益源

作物と養殖魚の両面で収益化

#### • 生産性の向上

水耕栽培と同等、それ以上の生産性  
環境制御下で年間生産が可能

#### • 初期費用が高い

環境制御可能な建物を必要とする

#### • 淡水魚の需要が低い

ドジョウやコイ、ティラピアが多く  
単価が低い

#### • 魚と植物で必要な栄養素が異なる

餌にはPやCaは多く含まれているが、  
KやMgは少なく植物は欠乏しやすい

## 背景

アクアポニックスでは、レタスやハーブなどの生産が多い  
→収益性が低く飽和状態

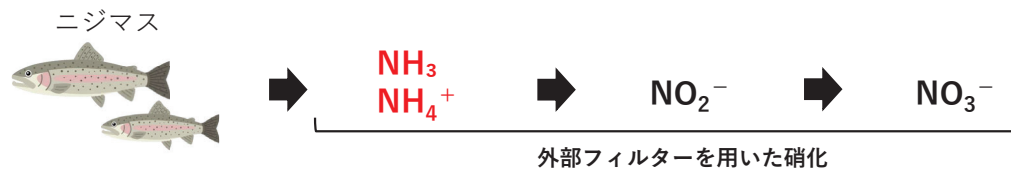
収益性が高い作物の栽培技術の実用化が必要

### 〈ワサビ〉

- 根茎、葉柄、花、花軸、根の全てが利用される
- 山の斜面や林間地での栽培が多いため、自然災害の影響を受けやすい
- 自然界では生育が遅く、年間をとして低温環境が必要

➡ 環境制御＋施肥効果による生育促進が期待できる

## 背景



- 窒素は植物の生育において重要な栄養素である
- アクアポニクスではアンモニア態窒素過剰による生育阻害が起こりうる
- ほとんどの植物は、硝酸態窒素とアンモニア態窒素を併用した方が良い

ワサビの最適な窒素供給形態は明らかになっていない

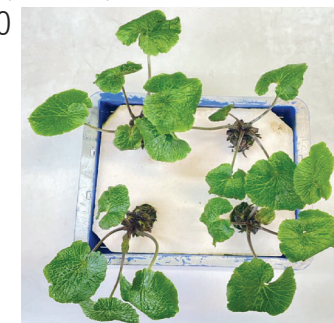
アクアポニクス実用化のため水耕で窒素の実験を行った

## 材料と方法

- 材料：ワサビ *Eutrema japonicum* 品種：真妻
- 培養液：1/2単位園試処方を基とした養液 (EC  $1.2 \pm 0.1$  dS  $m^{-1}$ , pH  $6 \pm 0.02$ )  
2週間で培養液を全量交換  
硝酸：アンモニア=10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10

- 栽培方式：湛液型水耕 (通気あり)
- 気温：明期18°C/暗期16°C 日長16時間
- 期間：6カ月

1ヶ月に1度5枚の葉を残し収穫、生育調査  
2ヶ月に1度葉の成分、無機養分吸収量の調査



## 結果 収穫



0:10

アンモニア害が発生  
10週目で枯れた



10:0,

9:1,

7:3,

5:5,

3:7,

1:9

$NO_3$ -N濃度が高いと根は長く  
 $NH_4$ -N濃度が高いと短くなった

## 結果 生育と収量 (全体、根茎)

硝酸:アンモニア=10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10

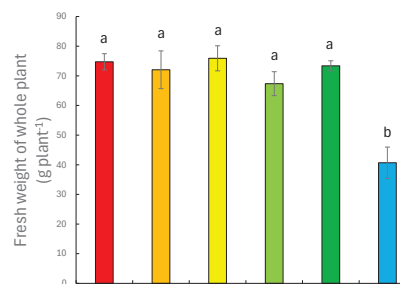


Fig.1 Total yield of wasabi

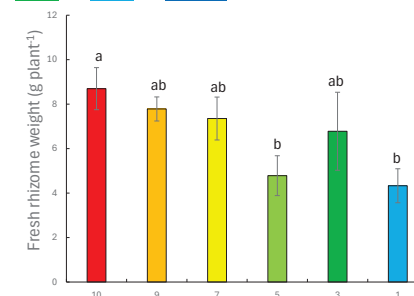


Fig.2 Fresh rhizome weight of wasabi

### 最終収量

1:9区で優位に低かった

### 根茎の新鮮重

$NO_3$ -N濃度が高いほど生育が良かった

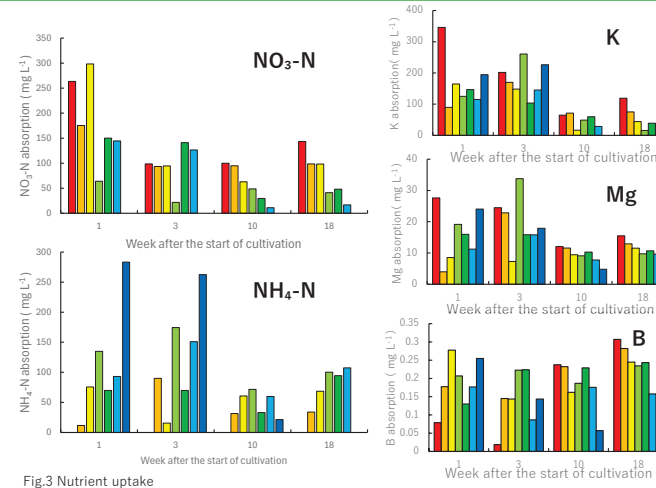
## 結果 生育と収量（葉）

Table.1 Yield of harvested leaves

Treatment	Total number of harvested leaves (no. plant <sup>-1</sup> )	Total weight of harvested leaves yield (g plant <sup>-1</sup> )	Total dry weight (g plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight per leaf (g leaf <sup>-1</sup> )
10 : 0	39.5	122.93	13.73	3.11
9 : 1	39.8	116.24	13.77	2.92
7 : 3	45.6	113.74	12.96	2.50
5 : 5	41.4	119.80	12.81	2.89
3 : 7	45.6	149.76	14.84	3.28
1 : 9	38.8	93.87	10.44	2.42
0 : 10	16.8	33.07	2.85	1.97

3 : 7区で最も高く，1 : 9区で生育が抑制，0 : 10区は生育しなかった

## 結果 養分吸収量



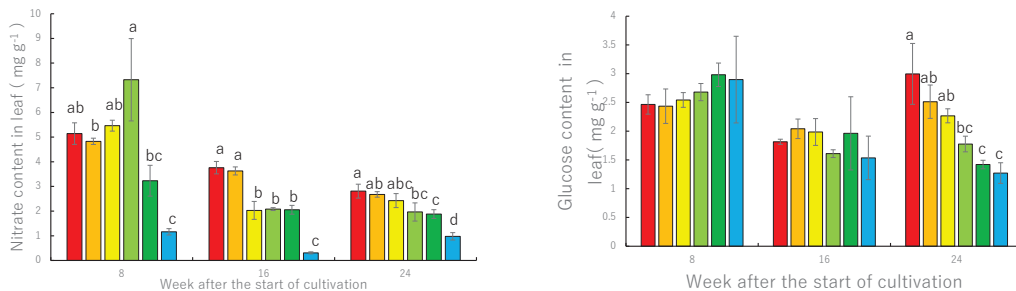
**NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N吸収量**  
濃度が高くなるにつれ  
吸収量も増加

**無機養分吸収量**  
吸収濃度が低い

NO<sub>3</sub>-N濃度が高い処理区  
で無機養分吸収量が増加

アクアポニックスで  
欠乏が起こりやすい  
無機養分吸収量は低い

## 結果 成分調査（葉）



### 葉の硝酸イオン含量

NO<sub>3</sub>-N 濃度が高くなるにつれ増加

### 葉のグルコース含量

8週目

NH<sub>4</sub>-N濃度が高くなるにつれ増加

24週目

NH<sub>4</sub>-N濃度が高くなるにつれ減少

## 結論

- 1 : 9区で生育抑制，0 : 10区で枯れた  
→アンモニア態窒素90%以上では生育しない
- 3 : 7区の高濃度NH<sub>4</sub>-Hでは…  
葉の生育と収量が最も高かった →アンモニア態窒素濃度が比較的高くても生育可能
- 高濃度NO<sub>3</sub>-Nでは…  
根茎の新鮮重，乾物重が高い →根茎の生育促進にはNO<sub>3</sub>-Nが必要  
無機養分の吸収濃度が増加する →吸収量は少ない

▼  
アクアポニックスで十分に生育できる可能性が高い

### 今後の方針

アクアポニックス実用化に向け，養殖密度や最適pHについて調査を進める

## 発表タイトル：アクアポニックスにおける魚由来肥料成分の割合がイチゴの生育および果実の収量と品質に及ぼす影響

松井陽和<sup>1</sup>，永澤藍香<sup>1</sup>，<sup>○</sup>和田光生<sup>1</sup>，北宅善昭<sup>1</sup>，遠藤良輔<sup>1</sup>，江口雅丈<sup>1</sup>，中村謙治<sup>2</sup>，西口正幸<sup>3</sup>  
所属： 1 大阪公立大学， 2 エスベックミック(株)， 3 (株)大和真空

キーワード（5ワード程度）：ニジマス，給餌量，果実硬度，糖度，無機養分

### 要旨（300文字程度）

比較的低い温度を好むイチゴに生育適温が低いニジマスを組み合わせたアクアポニックスを行っている。魚の排泄物から培養液中に供給される肥料成分は餌料に含まれる無機養分に影響され、ニジマスを用いたアクアポニックスの場合、Kに加えて、MgおよびBも不足する。そこで、培養液中の肥料成分の内、魚由来の割合を50%（AP50）および80%（AP80）とする区を設けて、不足する肥料成分は硫酸カリウム、塩化マグネシウムおよび微量元素複合肥料によって補給することでイチゴのアクアポニックスを行った。AP80と比較してAP50では果実収量が多く、果実の糖度および酸度も高い傾向が見られ、適度に肥料成分を補うことの有効性が証明された。

## 本研究では

人工光型植物工場における報告では初めての組み合わせとなる・・・  
『イチゴ』と『ニジマス』を用いてアクアポニックスを行う



○イチゴ  
✓生育適温は18-25℃（伊達，2012）  
✓国内需要が高い  
✓単価が高い→収益性が高い



○ニジマス  
✓国内需要が高い  
✓生育水温は10-18℃（FAO，2014）  
✓イチゴとの組み合わせに最適

### 実験2：イチゴ×ニジマスの組み合わせでの基礎データの収集

- ・栽培期間中の培養液の水質変化
- ・イチゴの生育、果実の収量と品質
- ・ニジマスの体重変化と化学肥料添加量の変化

## アクアポニックスにおける魚由来肥料成分の割合がイチゴの生育および果実の収量と品質に及ぼす影響

栽培日数 2024年7月9日～2025年2月末頃まで

環境 日長：12時間，気温：20/15℃（明/暗期）  
白色LED光源（栽培パネル面での平均PPFD： $185.1 \pm 3.45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）

材料 イチゴ：収穫期の‘よつぼし’ 66株（現在は63株）  
ニジマス：約4 gの稚魚 40匹

培養液のECと減水量の値を基に期間通じて比率を算出

装置 実験2と同様

処理区	処理区	システム	培養液中の肥料成分の比率	
			魚由来	化学肥料由来
	HP	水耕	—	—
	AP 50%区	アクアポニックス	1	1
	AP 80%区	アクアポニックス	4	1

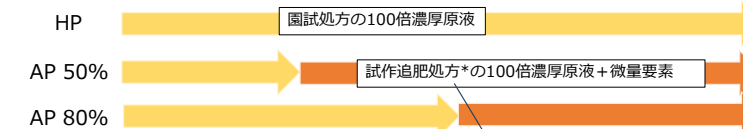
比率は魚の数を変えて維持する

## 方法

### 培養液

基本培養液：1/4単位園試処方（pH 6.0、EC 0.85 dS m<sup>-1</sup>）を用いて間断給液

### 追肥：



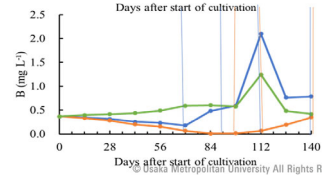
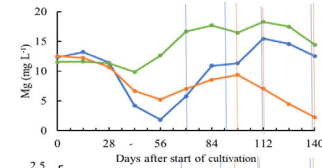
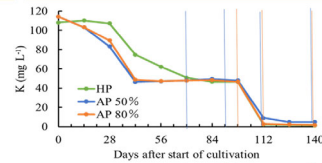
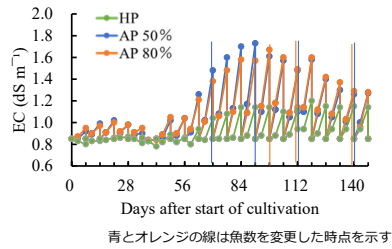
AP 50%は培養液の肥料成分のうち化学肥料が50%、  
AP 80%は化学肥料が20%になった際に追肥方法を変更

\*K：Mg＝8：2（mM）  
K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>とMgCl<sub>2</sub>で作成

培養液管理 週に1度，サンプリングし養殖槽底部に蓄積する固形物を除去後，補水し，  
pHとECの設定値に調整，pHは週に2度調整

餌料 体重の1.5%分を1日2回に分けて給餌

## ECおよびK, Mg, B濃度の変化



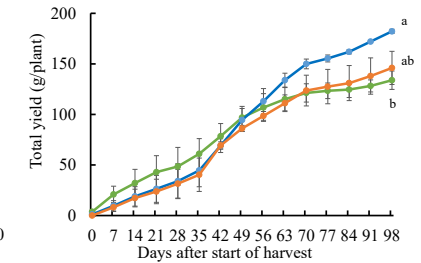
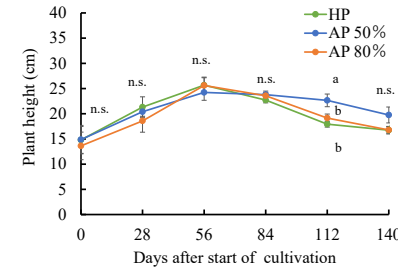
**EC** 魚数の変更以降、両AP区で急激な上昇は見られず  
→化学肥料添加量  
AP 80%区 < AP 50%区

**K** 処理区間でほとんど差はなし

**Mg, B** AP 80%区 < AP 50%区

5

## 植物体の生育と果実収量

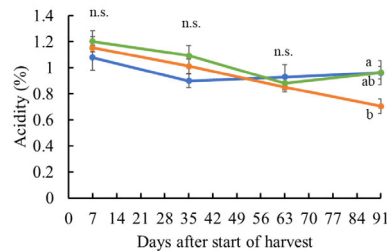
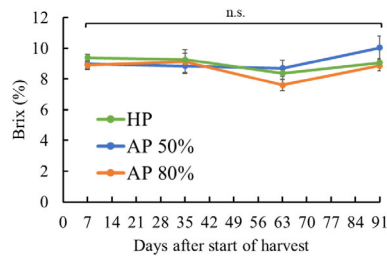


**草高** 栽培後期でAP 50%区が他の処理区を上回った

**果実収量** HP区よりAP 50%区で有意に高かった

© Osaka Metropolitan University All Rights Reserved. 6

## 果実の糖度と酸度



**糖度** 栽培後期にAP 50%区が上昇する傾向

**酸度** AP 80%区では期間通じて低下する傾向

↓

AP 50%区では低下せずAP 80%区より有意に高くなった  
→果実、葉中のK含量はAP 50%区 > AP 80%区 (データ示さず)

© Osaka Metropolitan University All Rights Reserved. 7

## まとめ

**水質**  
魚数の制御によりECの急激な変化を抑え、期間通じて化学肥料を添加できた  
→AP 80%区よりAP 50%区でK、Mg、B濃度が高く維持できた

**生育・収量**  
生育、果実収量はAP 80%区よりAP 50%区で改善し、HP区を上回った

**成分**  
・糖度と酸度においてAP 80%区よりAP 50%区で上昇する傾向が見られた

➡ 魚の数を制御し培養液中の肥料成分における魚由来と化学肥料由来の比率を1:1に維持することで水質や生育は改善し、品質は向上

© Osaka Metropolitan University All Rights Reserved. 8

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：物質循環型植物生産システム（アクアポニックス等）の研究開発  
研究代表者（所属）：北宅善昭（大阪公大・研究推進機構）

## 発表タイトル：大規模人工光型植物工場への有機質肥料の導入と 安定生産の実現に向けた検討

○江口雅文<sup>1</sup>，中村謙治<sup>2</sup>，北宅善昭<sup>1</sup>（発表者の左肩に○印をつけてください）

所属： 1 大阪公大・研究推進機構， 2 エスペックミック(株)

キーワード（5ワード程度）：有機質肥料，プロバイオポニックス，資源循環，物質生産，生理障害

### 要 旨（300文字程度）

環境負荷の軽減を含む持続可能な食料システムの構築に向け、化学肥料の使用量削減が求められている。また、肥料供給の不安定化への懸念や生産物の高付加価値化への期待から、化学肥料を用いた養液栽培が主流である人工光型植物工場においても、生産者の有機質肥料利用への興味が年々高まっている。本研究では、大規模人工光型植物工場での有機質肥料を利用した栽培・生産の可能性を検討することを目的とし、大規模人工光型植物工場を想定した環境下で有機質肥料を用いて栽培したリーフレタスの生育特性を調査した。本発表では、昨年度までの試験結果について報告する。

公開資料なし

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：物質循環型野菜生産技術の開発  
研究代表者（所属）：北宅善昭（大阪公大・研究推進機構）

## アクアポニックスにおける窒素濃度の変動の低減に向けた 植物栽培管理方式

○遠藤良輔<sup>1</sup>，吉田颯太<sup>1</sup>，北宅善昭<sup>2</sup>，中村謙治<sup>3</sup>

所属： 1 大阪公大・農学研究科， 2 大阪公大・研究推進機構， 3 エスペックミック株式会社

キーワード（5ワード程度）：物質循環，環境調節，養液栽培，レタス

### 要 旨（300文字程度）

アクアポニックスでは、水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の濃度変動やpHの急激な変化がシステム全体に悪影響を及ぼす。特に、植物を一斉に収穫・定植する際には物質の吸収や排出のバランスが崩れやすい。本研究では、生育段階の異なるレタスを組み合わせて栽培する逐次収穫方式が、この問題の緩和に資する効果についてアクアポニックス実験で検証した。その結果、逐次収穫により窒素吸収が平準化され、水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度やpHの急変が抑えられる可能性が示された。今後、長期運用下での有効性について検証を行うことが重要であると考えられる。

公開資料なし

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：最適化空調システムの研究  
研究代表者（所属）：木下進一（大阪大・工学研究科）



### 発表タイトル：水耕栽培棚を利用したシタケの菌床栽培方法



〇坂 幸憲<sup>1</sup>, 山口 タ<sup>2</sup>  
所属： 1 CKD株式会社 2 大阪大・農学研究科

キーワード（5ワード程度）：菌床栽培, 植物工場, CO<sub>2</sub>発生, 菌床栽培棚, 水耕栽培棚

#### 要旨（300文字程度）

近年の物価高騰で炭酸ガスポンベの購入価格も大幅値上げ、葉物野菜の植物工場の経営を圧迫、エネルギー価格高騰で電気料金も値上げ、シタケの栽培ハウスの経営を圧迫、互いに大きな経営課題となっています。  
この炭酸ガスを購入する植物工場と炭酸ガスを排気する栽培ハウスとに注目、炭酸ガスを無駄なく活用しながら省電力で菌床を培養するNewシステムを考案、葉物野菜の栽培環境下での菌床培養の実証試験を行い、炭酸ガス発生と培養結果について検証したので報告する。

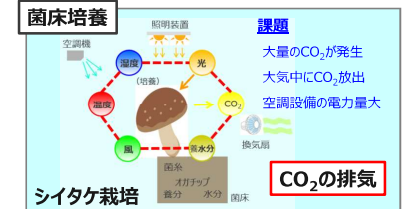
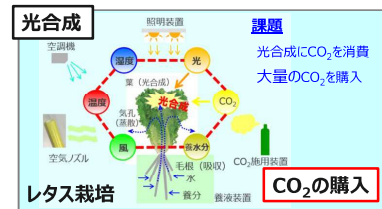
「2024年度共同研究等の成果発表会」2025/07/09

## はじめに

近年の物価高騰で炭酸ガスポンベの購入価格は毎年の様に値上げ、エネルギー価格高騰で電気料金も値上げで、大量の炭酸ガスを購入する葉物野菜の植物工場と炭酸ガスの排気処理で空調設備を稼働、多くの電力消費するシタケ栽培ハウスの経営は圧迫され、大きな経営課題となっている。

その対策で炭酸ガスを無駄なく活用しながら省電力で菌床を培養するNewシステムを考案、栽培室の設定温度21℃で菌床を培養して、加湿器不要で温湿度を制御、省電力で培養を完了、光合成に必要な炭酸ガスを発生する事<sup>1)</sup>を報告している。

環境設定を変え明期/暗期で温度差が生ずる植物栽培の栽培室内にNewシステムを導入、栽培棚で菌床培養とわさび栽培とを同時栽培する実証試験を行い効果が確認できたので、その結果を報告する。



1) 坂幸憲、山口タ：“水耕栽培棚を利用したシタケの菌床栽培方法”2024生態工学会年次大会より

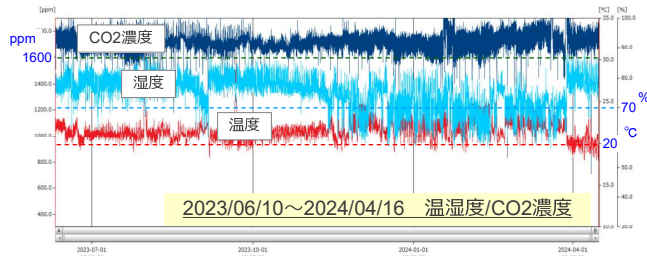
CKD Corporation

## シタケの菌床栽培 よろしい茸工房（大阪市）



発生する大量の炭酸ガスを屋外に排気、その際の外気吸入で変動した温湿度を空調機と加湿器とで補正、エネルギー価格高騰で電気料金も値上げ、経営を圧迫している。

シタケの菌床栽培は、原料となるオガチップを粉砕して袋に詰め固めた菌床に種菌を接種して、フィルターを通して呼吸させながら、21~22℃で光を遮断した1次培養期間（50日間）に続けて、24~25℃で光を与える2次培養期間（50日間）を行う。これらの期間、湿度は60~70%を維持、CO2濃度は2000ppm以下に管理する。



※ よろしい茸工房 2018/12/19より 環境モニタリング開始

## 栽培試験の方法

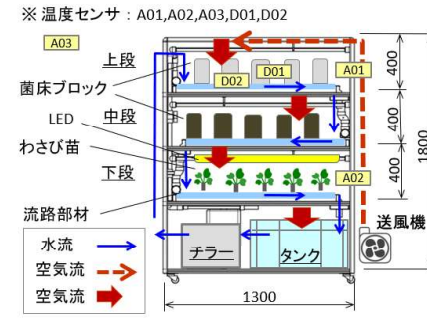


図1. 栽培棚の概要 試験区

設定温度：明23℃ / 暗17℃

注記：下段の風制御機器の表記はなし

### 栽培棚A <省電力で菌床を培養するNewシステム>

養液の循環機構を備えた3段式水耕栽培棚に改造を加えて栽培棚を製作。

栽培空間の前面/背面/左右側面の4面にアクリル板を設置して空気の流れを遮断、上段には黒色アクリル板で遮光空間を構成して接種直後の菌床10床を並べる。中段には透明アクリル板で微光空間を構成、接種後50日間培養した菌床10床を金網板上に並べる。

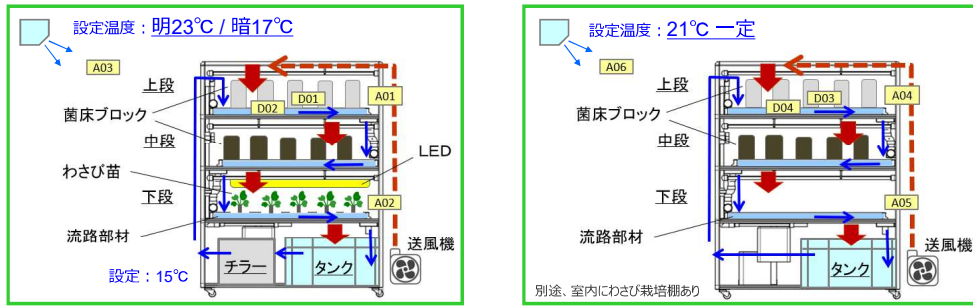
下段は透明アクリル板で囲い、タイマー制御のLED照明と風制御機器とを配置、栽培パレットを使いわさび苗12株を並べ栽培棚内で混在させ、上/中段の菌床から発生した炭酸ガスを消費させる。

菌床内に挿入した温度センサ(D01)と横に配置した温度センサ(D02)で、培養過程で発生する温度変化を観測する。

CKD Corporation

# 栽培試験の方法

Confidential  
AG250608



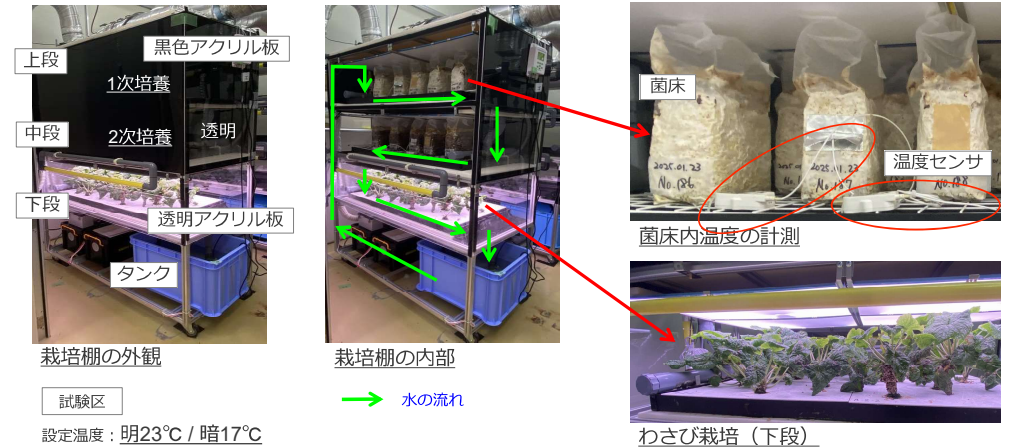
栽培棚A	栽培棚B
上段：1次培養試験区 (遮光空間)	上段：1次培養対照区 (遮光空間)
中段：2次培養試験区 (微光空間)	中段：2次培養対照区 (微光空間)
下段：植物生育試験区 (LED照明 明16H / 暗8H)	下段：空き空間
温度設定：23°C / 17°C	温度設定：21°C 一定
循環水：液肥 15°C (チラー制御)	循環水：水道水

表1. 環境条件

CKD Corporation

# 栽培棚の概要

養液の循環機構を備えた3段式水耕栽培棚に改造  
Confidential  
AG250608



→ 水の流れ

CKD Corporation

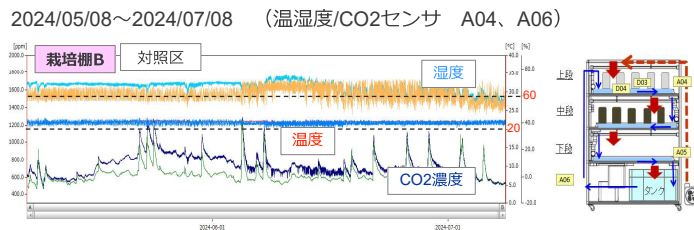
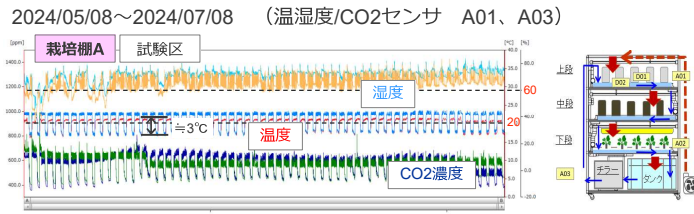
# 菌床栽培の結果 温度・湿度変化 (栽培棚の加湿・保湿効果の良否)

Confidential  
AG250608

## 試験データ (温度・湿度)

明期23°C/暗期17°Cの温度設定の影響で栽培棚Aの棚内は3°C程度の温度変動(赤色)が見られ、湿度(水色)も微小変動しているが70%前後で一定に推移している。

栽培棚Bは棚内の温度(赤色)は22°C前後で一定に推移、湿度(水色)も微小変動は見られるが60%以上で一定に推移している。



## シイタケの菌床栽培

- 1次培養期間 21~22°C
- 2次培養期間 24~25°C
- 湿度は60~70%、CO<sub>2</sub>濃度は2000ppm以下

CKD Corporation

# 菌床栽培の結果 菌床内温度の変化 (培養状態の良否)

Confidential  
AG250608

## 測定データ (温度)

菌床内に温度センサを差込んで菌床内温度を計測、接種直後はその差は小さく10日間で徐々に拡大、D02、D04に対してD01とD03との温度差が4°C程度高くなり、20日以降は安定している。

明期/暗期の温度設定の変動でD01(橙色)とD02(緑色)共に振幅が見られるが、温度差は十分確認できる。D01、D02はD03、D04と比べ全般的に温度が低く、その影響から接種直後の菌床内の温度上昇に数日の遅れがあり、温度差も少し低い。

図5に示す菌床袋内の温度変化と比較検証すると、接種後から温度差が拡大、その後減少して安定する傾向が類似、菌の培養による菌床内温度の上昇も十分見られ、培養状態は良好と判断する。

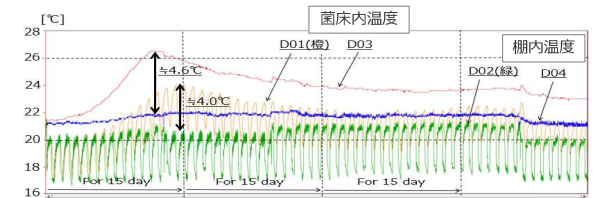


図2. 菌床袋内の温度変化

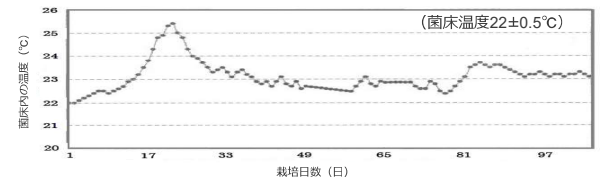


図3. 培養中の菌床内温度<sup>2)</sup>

2) 清水豊、赤石博：“森産業型による菌床シイタケ栽培の最新技術”より

CKD Corporation

## 菌床栽培の結果 菌床の外観検査 (培養状態の良否)

Confidential

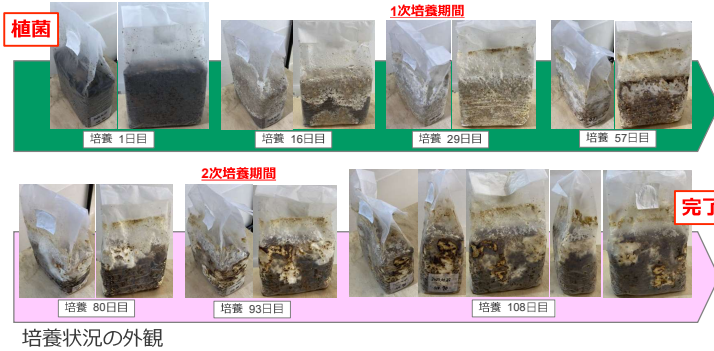
AG250608

### 外観検査

培養中の菌床の外観を観察、1次培養期間は菌が広がり上部より白く変色、全体が真っ白となり徐々に黒褐色に変化、2次培養期間は表面に凹凸が見られ茶褐色の水が発生、シイタケ栽培ハウスの培養室内の菌床の状態変化と比較検証して、培養状態を判断する。



シイタケ栽培ハウス



培養状況の外観

CKD Corporation

## 菌床栽培の結果 菌床の外観検査 (培養状態の良否)

Confidential

AG250608

### シイタケの発生

培養中の菌床の外観を定期的に観察、1次培養期間は栽培棚Aと栽培棚Bの菌床は共にシイタケ栽培ハウスの培養室内の菌床と同様の状態変化を確認。2次培養期間も同様の状態変化で推移したが、終盤に栽培棚Aの菌床のみ袋内でシイタケが発生する不具合が発生した。



2次培養期間後の菌床の外観



シイタケの発生



シイタケの発生した菌床を分解調査

菌の培養状況

CKD Corporation

## 菌床栽培の結果 菌床の外観検査 (シイタケの発生)

Confidential

AG250608

### シイタケの発生

2次培養期間の終盤に袋内でシイタケが発生。試験時期をずらして実証試験を5回実施、2次培養期間終了後の外観観察を実施。

発生が無かったもの(O)、1個発生したもの(△)、複数個発生したもの(x)として集計。

明期/暗期で温度が変化する栽培棚Aでシイタケの発生があり、5回目の実証試験で栽培棚Aの菌床を2次培養期間は栽培棚Bに移動して一定温度の環境で培養させた処、袋内でのシイタケの発生は無かった。

	栽培棚A				栽培棚B			
	対象数	O	△	x	対象数	O	△	x
1	10	0	7	3	10	10	0	0
2	10	6	2	2	10	10	0	0
3	10	3	3	4	10	10	0	0
4	10	1	3	6	10	10	0	0
5	10	10	0	0	10	10	0	0

表2. 外観観察結果

栽培棚A		栽培棚B	
上段: 1次培養試験区 (遮光空間)	上段: 1次培養対照区 (遮光空間)	中段: 2次培養試験区 (微光空間)	中段: 2次培養対照区 (微光空間)
下段: 植物生育試験区 (LED照明 明16H / 暗8H)	下段: 空き空間		
温度設定: 23℃ / 17℃	温度設定: 21℃ 一定		
循環水: 液肥 15℃ (チラー制御)	循環水: 水道水		

表1. 環境条件

栽培棚Aは明期/暗期で温度差があり、温度刺激によりシイタケの発生が起きたと推測する。5回目の実証試験で栽培棚Aの2次培養期間の菌床を温度差が無い栽培棚Bへ移動、温度刺激を無くすことで発生が抑制されたと考える。(シイタケ栽培ハウスでは昼夜の10~15℃の温度差でシイタケを発生させている。)

栽培棚Aの袋内でシイタケが発生した菌床と、栽培棚Bの発生が無かった菌床を切断して菌床内の培養状況を確認、シイタケの発生に関係なく培養状態は良好と判定。シイタケ栽培ハウスの移動した発生確認でも差異は見られず、全て培養は良好と判断する。

CKD Corporation

## まとめ

Confidential

AG250608

- ・養液の循環機構を備えた水耕栽培棚をアクリル板で遮蔽改造したNewシステムの栽培棚を使った菌床栽培の実証試験を実施。明期と暗期で温度差が生ずる植物栽培の栽培室内での菌床培養で、2次培養の終盤に袋内でシイタケが発生する不具合も発生したが、培養状態は良好で炭酸ガスの発生も確認、Newシステムの導入効果は有効であると実証した。
- ・【培養状態の良否】菌床内に温度センサを差込んで菌床内温度を計測 栽培室温度は明期23℃/暗期17℃と変動するため、センサ温度に振幅が見られるが温度差は十分確認できる。接種後から温度差が拡大、その後減少して安定する傾向が類似しており、菌床の培養状態は良好と判断する。
- ・【培養状態の良否】培養中の菌床の外観を観察 明期/暗期で温度差があり、温度刺激により袋内でシイタケの発生が見られたが、菌床を切断して菌床内の培養状況を確認、シイタケの発生に関係なく培養状態は良好、シイタケ栽培ハウスに移動した発生確認でも差異は無く、培養は良好と判断する。
- ・【わさび栽培の良否】チラー導入で液温管理 循環する養液温度をチラー導入で15℃に下げた一方地上部温度は23℃と厳しい環境。結果は生育状況は良好とまでは言えないが根茎の成長を確認した。
- ・植物栽培とキノコ栽培のコラボはエネルギー価格高騰などで厳しい状況下で植物工場の新設を後押しする方策の一つとして大いに期待している。今後もNewシステムを活用した栽培組合せを構想しながら、植物工場ビジネス拡大に向けた活動を続けていく。

CKD Corporation

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：最適化空調システムの研究  
 研究代表者（所属）：木下進一（大阪公大・工学研究科）

## 発表タイトル：植物工場の気流最適化設計のための 流体解析モデルの構築

○寺籠大地<sup>1</sup>，加賀田 翔<sup>1,2</sup>，坂 幸憲<sup>3</sup>  
 所属：1大阪工大，2 大阪公大・工学研究科，3 OKD株式会社

キーワード（5ワード程度）：植物工場，空調，気流，流体シミュレーション，可視化

### 要 旨（300文字程度）

植物工場において気流は、照明によって発生する熱を植物から取り除き、蒸散によって増加する水蒸気を植物近傍から排出し、また光合成によって消費されるCO<sub>2</sub>を供給する役割を持つ。気流は植物の光合成速度や蒸散速度に直接的に影響を及ぼす重要な要素である。しかし特に人工光型植物工場では植物の栽培密度が高いため、気流を植物全体に均一に行き渡らせることは容易ではない。本研究は植物工場内の気流最適化設計に利用できる流体シミュレーションモデルの構築を目指す。気流可視化技術によって、実際の栽培棚内や植物周囲の気流を定量的に把握し、それらを流体シミュレーション上で再現する方法について検討を行った。

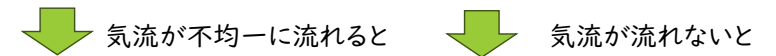
## 研究背景

人工光型植物工場とは人工的に環境制御された屋内で植物を計画的に生産する施設

光，養分，CO<sub>2</sub>濃度，温湿度，風

植物の生育には風が重要

葉へのCO<sub>2</sub>供給・水蒸気の除去



不均一な生育

生育障害

### 目的

設計段階で植物工場内の空気の流れを検討する必要がある

植物工場栽培棚内の気流最適化の検討に利用できる  
 流体シミュレーションモデルを構築する

## 流体シミュレーションモデルの構想

条件の変化に基づき気流解析を行い、各位置の植物が受ける気流を定量的に予測する

栽培植物・・・大きさ，数，位置，間隔  
 装置・・・送風方法，流速，棚の形状・大きさ

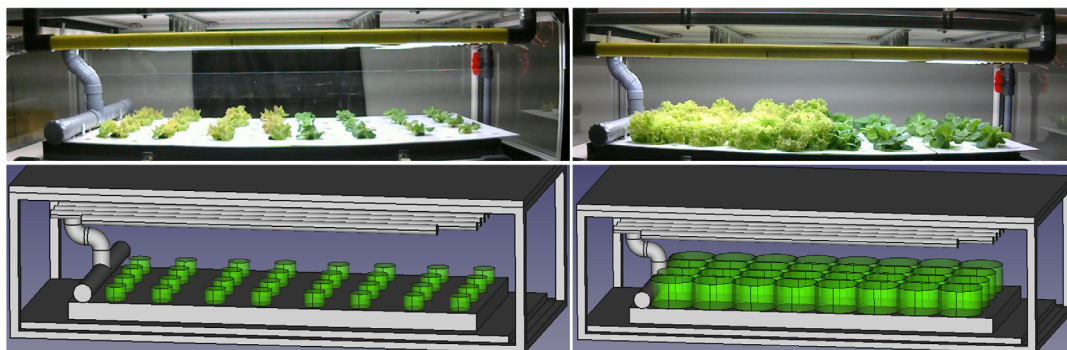


図1 完成モデルイメージ

## 完成モデルと気流の評価イメージ

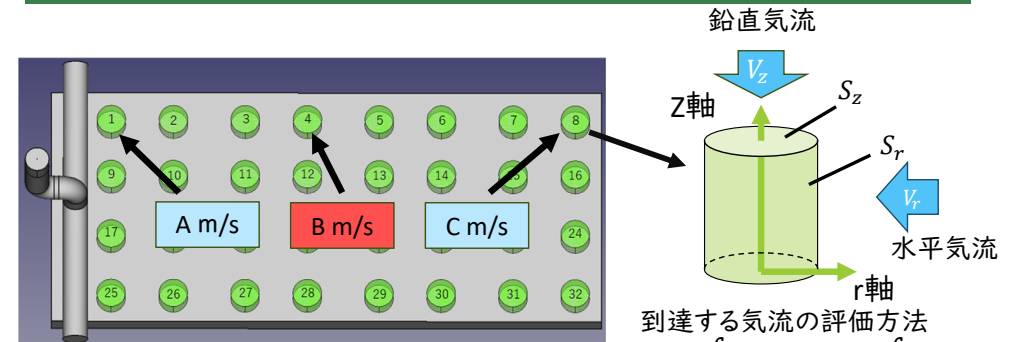


図2 概念図

$$U = a \int_{S_r} v_r dS_r + b \int_{S_z} v_z dS_z$$

図3 気流評価イメージ

### 最終目標

- ・面に到達する気流速度の積算をシミュレーション結果から抽出し、気流の評価を行う
- ・積算値の評価において気流方向の重みa,bを変化させられるようにする

# 研究の流れ

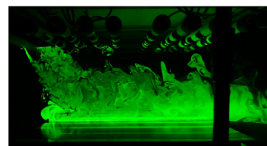
## 1. 可視化技術による気流の特徴把握

- ・栽培棚内
- ・植物単体
- ・隣接株との重なり
- ・植物群落周り

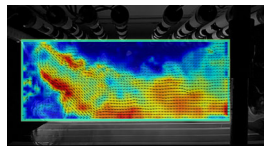


## 2. CFDによるモデル化

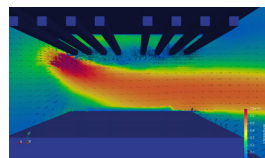
- ・栽培棚モデル
- ・植物モデル
  - └ 植物単体
  - └ 植物群落



可視化



PIV解析



シミュレーション

# 目視法とPIV結果の比較

## 目的

PIV結果の妥当性の確認

## 方法

栽培棚内の気流の様子をカメラで撮影し、目視法とPIV測定と比較した

## 比較結果

- ・PIV結果が可視化結果と明らかに異なる

## PIVにおける課題

- ・スモークの濃淡が明瞭でない
- ・レーザー光が栽培棚の端まで届かない



図4 可視化結果

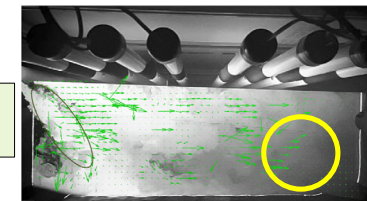


図5 PIV結果

# PIV結果

## 目的

スモークの濃淡を明瞭にし、PIV測定で粒子の移動を認識できるようにする

## 方法

スモークマシンと送風機の距離を遠ざけることで、

スモーク量を減少させPIV測定を行う

## 結果

粒子の移動を認識し、ベクトル表示がされた。

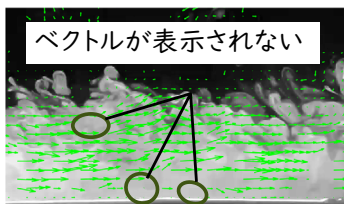
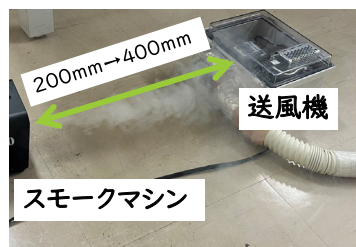


図6 PIV結果 (200mm)

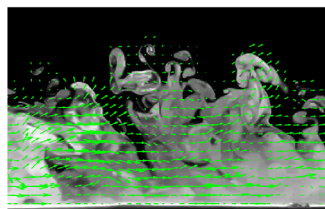


図7 PIV結果 (400mm)

# 栽培棚内の気流の可視化例 (PIV結果)

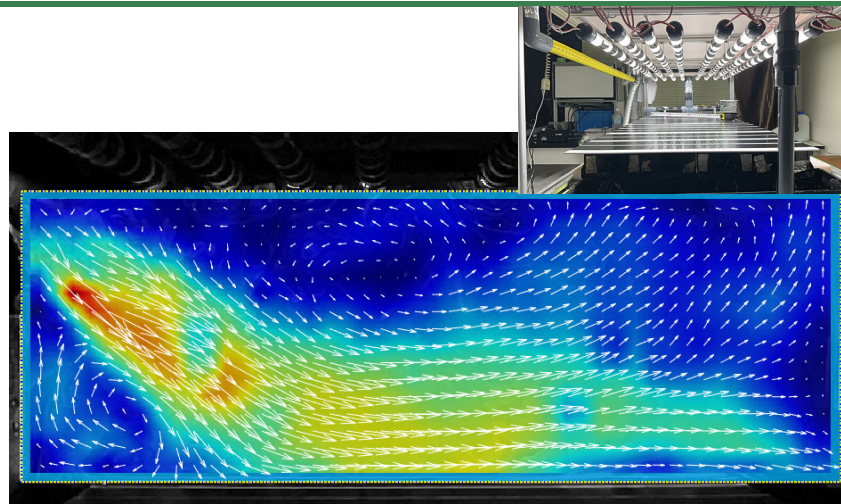


図8 PIV結果

# 植物モデルの案

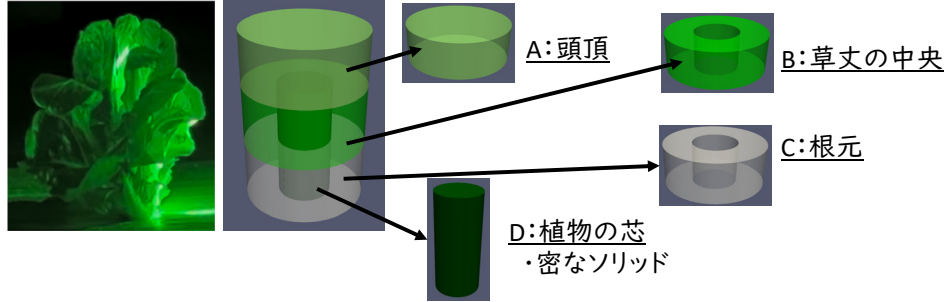
植物モデル化のアイデア

- ・形状が複雑
- ・気流の通過
- ・葉の密度による通過気流の変化
- ・・・軸対象
- ・・・多孔質体
- ・・・密度に応じて**圧力損失を調節する**

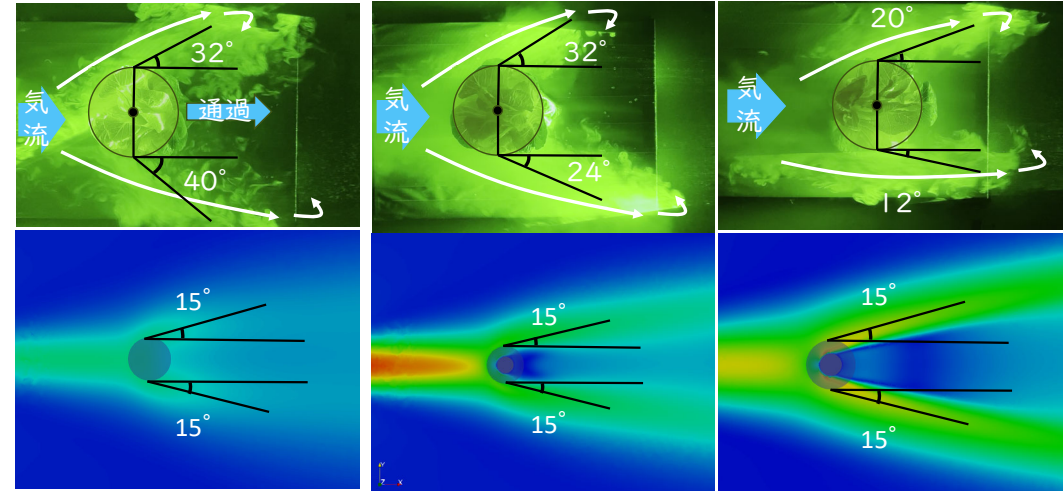
Darcy-Forchheimer式

$$\nabla p = \mu UD + \frac{1}{2} \rho F U^2$$

$\nabla p$ : 圧力損失 [Pa/m]  $\mu$ : 粘度 [Pa · s]  $\rho$ : 密度 [kg/m<sup>3</sup>]  $U$ : 速度 [m/s]  $D$ : Darcy係数 [1/m<sup>2</sup>]  $F$ : Forchheimer係数 [1/m]



# 可視化結果とシミュレーション結果比較



# 2024年度進捗まとめ

・気流の可視化

PIV解析を用いた可視化手法の確立

・シミュレーション

CFDにおける植物のモデル化方法の考案

- ・軸対象形状での再現
- ・多孔質設定による気流の通過の再現
- ・密度差による気流の通過の違いを再現
- ・植物を高さ方向の密度分布の違いの再現

可視化実験結果とシミュレーション結果との比較

共同研究・受託研究・バーチャル研究室等課題名：最適化空調システムプロジェクト  
研究代表者（所属）：木下進一（大阪公大・工学研究科）

## 植物工場用アオジソ品種育成に向けた取組

○山口夕<sup>1</sup>，正岡里穂<sup>1</sup>，藤原稜太<sup>1</sup>，竹田恵美<sup>2</sup>  
所属： <sup>1</sup>大阪公大・農学研究科， <sup>2</sup>大阪公大・理学研究科

キーワード（5ワード程度）：完全人工光型植物工場、アオジソ、交配後代、形質評価

### 要 旨（300文字程度）

人工光型植物工場での栽培に適したアオジソを育成するために、農業生物資源ジーンバンクおよび市販品種を用いて特性評価を実施し、優先順位をつけて交配を進めてきた。SSRマーカーを用いて交配が確認できたF<sub>1</sub>個体を自殖させて得られたF<sub>2</sub>239個体を3回に分けて植物工場設備で栽培し、収量、草丈、ペリルアルデヒド含量、ロスマリン酸含量について評価した。また世代促進を行うために、シソ種子の休眠打破条件と日長管理による花芽形成促進条件についても検討した。

公開資料なし

## 発表タイトル：環境履歴を考慮した植物生理・生育予測モデルの開発

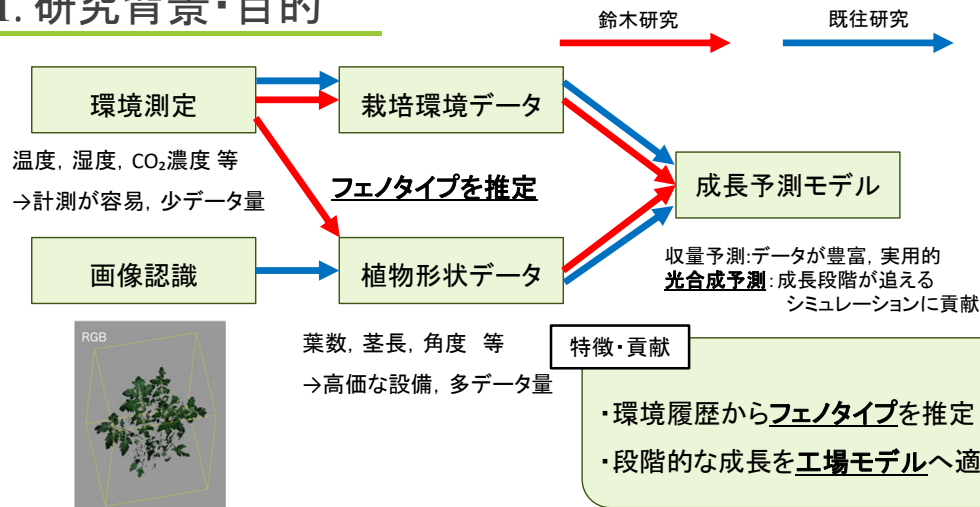
○木下進一<sup>1</sup>，鈴木優希也<sup>1</sup>，木澤陸斗<sup>1</sup>，吉田篤正<sup>2</sup>  
 所属： 1 大阪公大・大学院工学研究科， 2 早稲田大・理工学術院

キーワード：植物工場，植物生理生育モデル，同化箱，フェノタイプ，ニューラルネットワーク

### 要旨

人工光型植物工場における課題である運用コストの低減を図る上で、工場全体のエネルギーおよび物質収支を詳細に評価できる工場モデルを構築することは重要であり、種々の環境因子の影響を考慮した高精度の植物生理・生育モデルの構築が肝要である。作物の生育速度に寄与するフェノタイプ（形質）は、生育段階における環境要因により引き起こされることを考慮して、本研究では播種段階から制御された環境下で作物を栽培し、環境履歴とフェノタイプの関係を調査するとともに、それら作物の生理応答の環境影響を同化箱により評価し、その結果に基づいた包括的な植物生理・生育モデルをニューラルネットワークにより構築した。

## 1. 研究背景・目的



## 1. 研究背景・目的

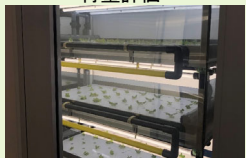
### 1. 栽培実験

#### 目的

- 栽培環境履歴とフェノタイプの関係を定量的に評価する

#### 手法

- 制御環境下における長期栽培と、生育量評価



### 2. 同化箱実験

#### 目的

- 環境因子と生理応答量の関係を測定する

#### 手法

- 閉鎖型同化箱を利用して光合成速度, 蒸散速度を測定



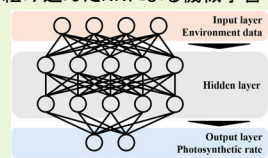
### 3. モデルの構築

#### 目的

- 環境履歴と環境因子の相互作用を考慮した植物モデルの構築

#### 手法

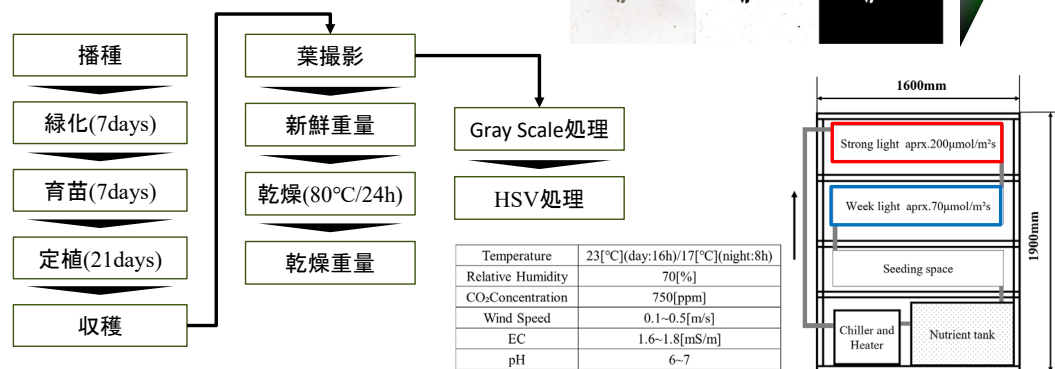
- 環境データの拡張と学習デザインを組み込んだNNIによる機械学習



## 成長予測モデル

## 2. 栽培実験

目的 光環境履歴とフェノタイプの関係を定量的に評価する



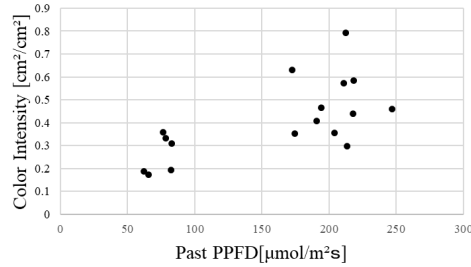
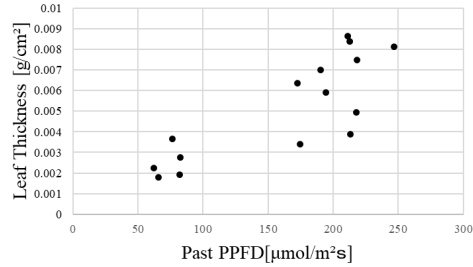
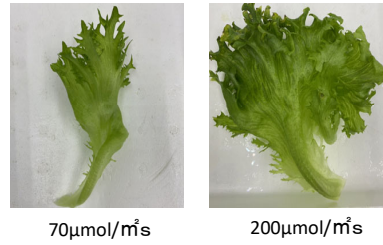
## 2. 栽培実験

### 結果

- 成長段階のPPFDと葉の厚さ、色の濃さはともに正の相関があった  
→環境履歴からフェノタイプの推定の可能性を示唆

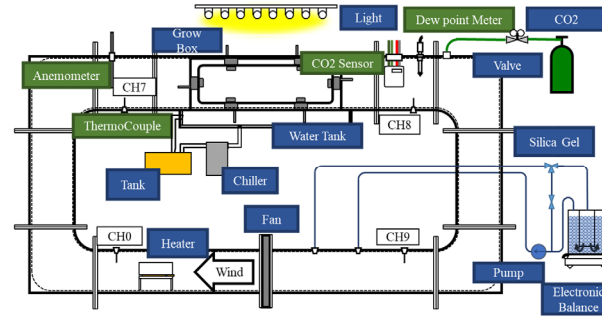
### 考察

- 光の利用効率を高める適応能力と考えられる  
→その他環境因子(光以外)の履歴の影響も確かめる



5

## 3. 同化箱実験



Temp.[°C]	RH[%]	CO <sub>2</sub> [ppm]	PPFD[μmol/cm <sup>2</sup> s]
18	60	600	100
18	70	900	150
18	80	1200	200
18	90	1500	250
22	60	900	200
22	70	600	250
22	80	1500	100
22	90	1200	150
26	60	1200	250
26	70	1500	200
26	80	600	150
26	90	900	100
30	60	1500	150
30	70	1200	100
30	80	900	250
30	90	600	200

Wind Speed is constant.(0.2m/s)

目的 環境条件と生理応答量の関係を調査する

手法 同化箱法 制御環境下での植物の光合成速度を計測

実験計画法 L16直行表により、実験条件を削減

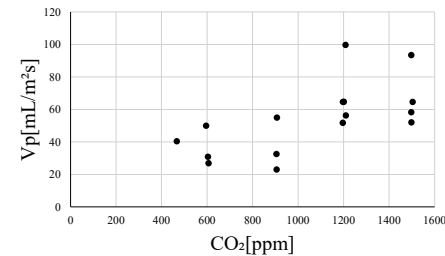
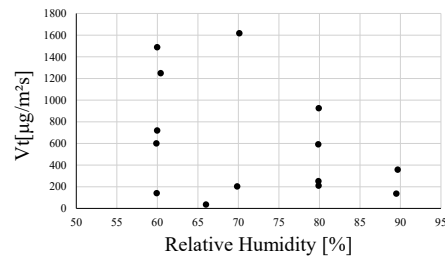
6

## 3. 同化箱実験

### 結果

- 相対湿度-蒸散速度、CO<sub>2</sub>濃度-光合成速度以外の組み合わせでは、**相関係数が小さい**という結果になった  
→複数因子の**相互作用**の影響や、**遺伝的個体差**による影響の大きさを示唆

- 複雑な相互作用の影響を評価できるモデル
- 個体差を包含するモデル(展望)  
を構築することで、予測精度が向上する



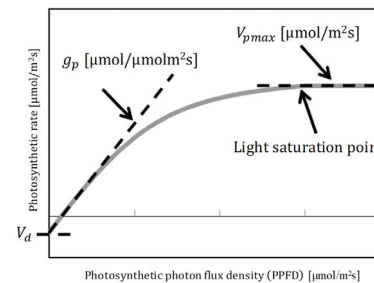
7

## 4. モデルの構築・検証

目的 限られたデータから、成長予測モデルを構築する

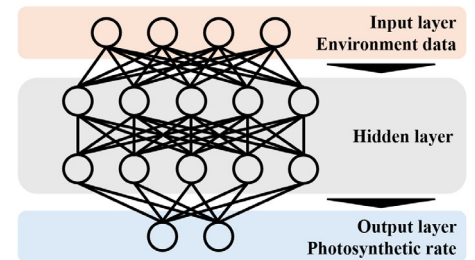
従来の**光-光合成曲線**では、相互作用や、光以外の因子による律速を表現できない

→**全結合のNN**を用いてモデルを構築



### NNの特徴

- 相互作用を表現しやすい
- 不確実性を評価し、表現できる(BNN)  
↔データ数が必要



8

## 4. モデルの構築・検証

### 学習デザイン

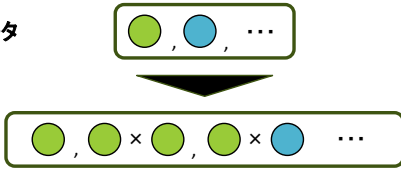
・データ数の制約と、各因子の非線形な影響をクリアするために、データの前処理と学習デザインの構築を行った

- 1.特徴量の拡張
- 2.ハイパーパラメータ探索
- 3.交差検証

1.

#### 入力データ

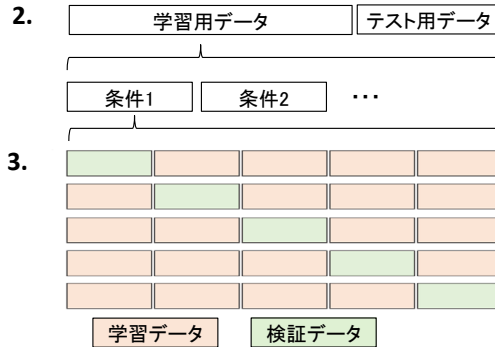
履歴PPFD  
照射PPFD  
温度  
湿度  
CO<sub>2</sub>濃度



### ハイパーパラメータ探索

エポック数:50  
隠れ層ノード:16,32  
ドロップアウト率:0.3,0.4,0.5  
学習率:0.001,0.0075,0.0005  
正則化の強さ:0.001,0.0005,0.0001

54通り



9

## 4. モデルの構築・検証

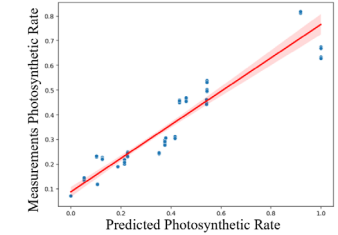
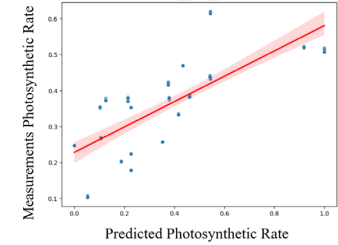
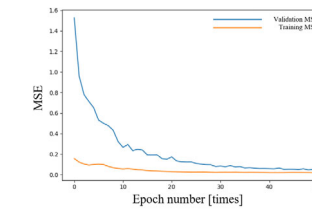
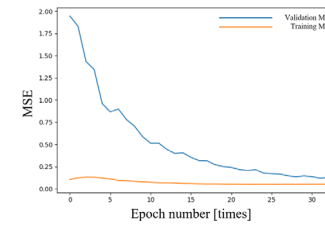
### 学習デザインの効果検証

デザインなしの学習(上図)  
MSE=0.18  
R<sup>2</sup>=0.47

デザインありの学習(下図)  
MSE=0.01  
R<sup>2</sup>=0.82

### 結果

今回設計した学習デザインは、植物モデルを構築する上で有効であった。



10

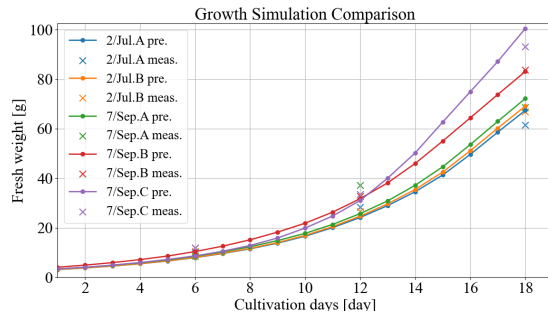
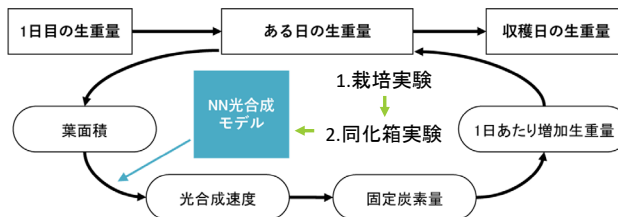
## 4. モデルの構築・検証

### 成長予測モデルと検証

・1日ごとに同化量を加算するサイクルで成長をトレース

・実際に稼働している植物工場(大阪公立大学植物工場研究センター)で得られた環境データを入力

→平均絶対誤差は15.1%であった



11

## 4. 結言・展望

- 環境履歴が植物のフェノタイプに顕著な影響を及ぼすことが示された。
- 単一の環境因子のみでは植物の光合成速度を正確に予測することが困難であることが明らかとなった。
- NNを用いることで、環境因子間の相互関係を考慮した予測モデルが構築可能であり、その結果として予測精度が向上することが確認された。

- データの拡充によって、予測精度と適用範囲が向上する。
- BNNを導入してばらつきの大きさを評価することで、ばらつきを抑える環境設定を同定できる。
- 工場のエネルギー解析モデルへ導入する。

12

## 発表タイトル：植物工場の生育予測および最適化手法の開発

○木澤陸斗<sup>1</sup>，木下進一<sup>1</sup>，吉田篤正<sup>2</sup>

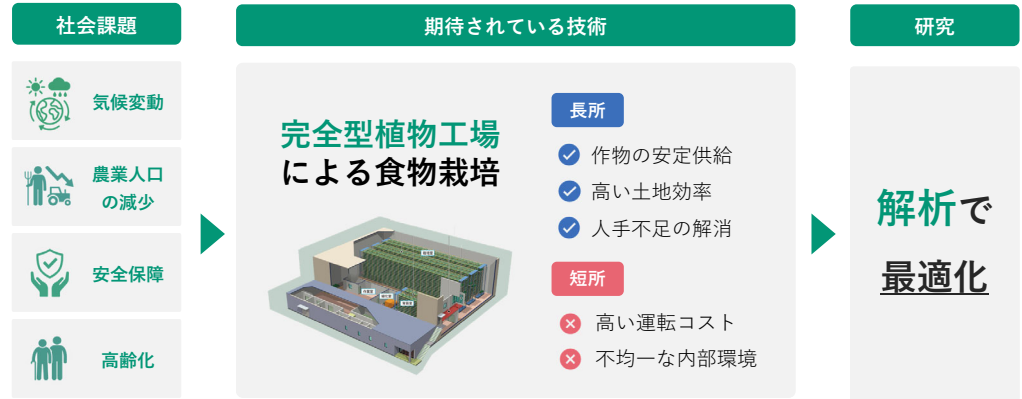
所属： 1 大阪公大・大学院工学研究科， 2 早稲田大・理工学術院

キーワード：植物工場，エネルギーシミュレーション，植物生理生育モデル，熱・物質移動

### 要旨

人工光型植物工場は屋外環境によらず安定した生産を行える一方で、照明や空調の運転に必要なコストが非常に高い。本研究では、工場の運用最適化による照明や空調の運転コスト削減を目指し、人工光型植物工場のエネルギー解析手法の開発を行なった。植物生理生育モデル、各設備の熱・物質収支モデル、移流モデルを統合し、工場内部における環境ばらつきを考慮しながら収支解析を行うモデルの構築手法を提案する。解析の結果では、空調の吹き出し口から離れたエリアの温度が高くなり、生育に遅れが出る様子が確認できた。今後、モデルの精度向上により行うことで高精度な解析モデルを完成させ、運転コストの削減を行える解析条件の提案を目指す。

## 課題：採算の取れる植物工場の形づくり



### 植物工場が抱える課題

照明・空調の高いコスト  
ばらつきによる歩留まりの低下

### 解決手法

工場測定による問題点の発見  
解析を用いた運用条件最適化

### 空間分布を考慮した熱・物質システム解析の構築

#### 手法

外気環境・建物構造から工場内の温湿度・CO<sub>2</sub>濃度生産性などを計算する熱・物質収支解析を構築

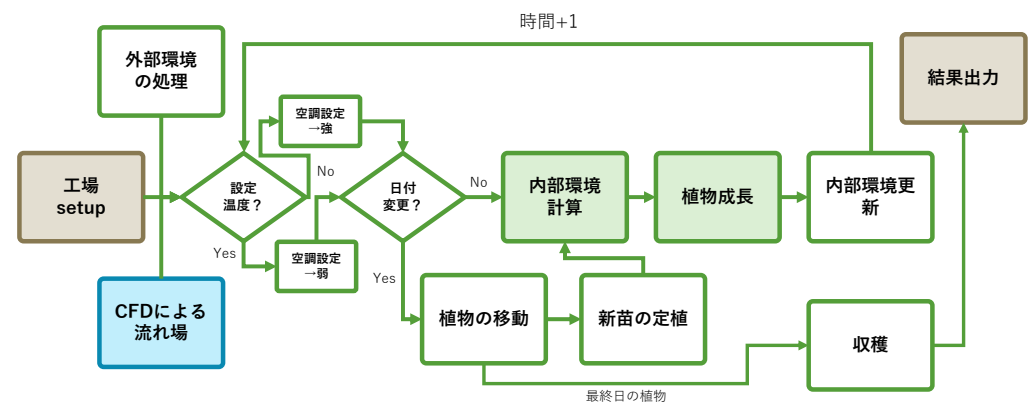
#### 特徴

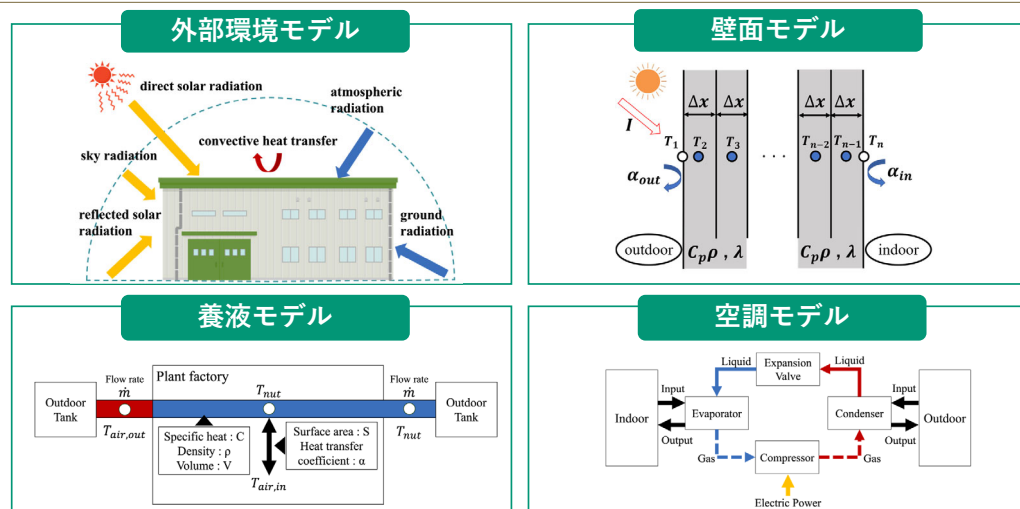
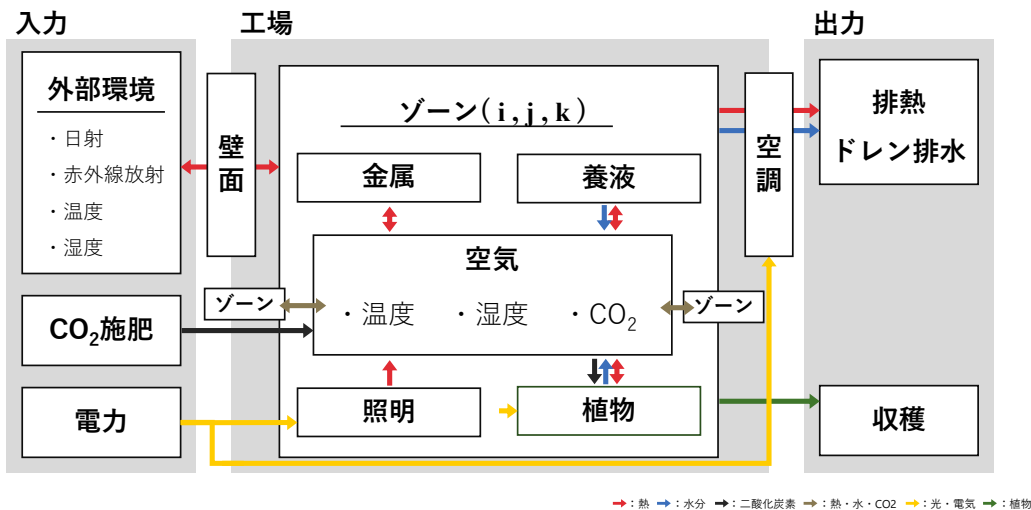
空間分布を考慮し植物生育を個体別に計算環境・生育のばらつきを含めた生産評価を行う

#### 目標

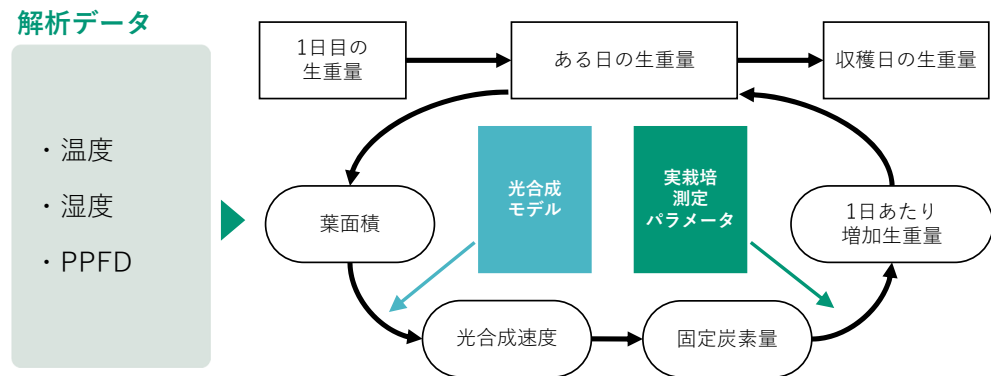
設備設計・運転条件を最適化  
・工場のコスト削減  
・歩留まりの向上

## 計算負荷を抑えながら室内分布を考慮するモデル

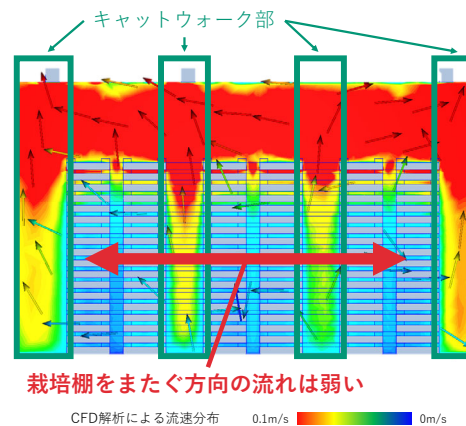




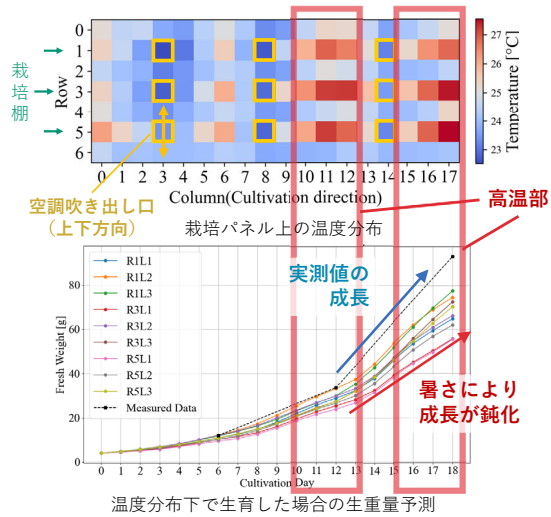
環境に応じて植物が成長



流れの強さ：キャットウォーク部 > 栽培棚部



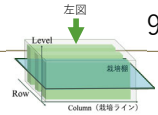
- 結果**
- キャットウォーク部の流れが相対的に強く、パネル部分の空気はほとんど流れていない
  - 栽培棚をまたいで移動する空気量は少ないと考えられ、栽培棚ごとに運転条件を変えることの検証価値が示唆される
  - 空調だけではパネル上(栽培棚)の空気が十分循環できておらず、送風機設置などの対策が必要



## 温度むら大 空調の拡散のみでは不十分

### 結果

- 設定温度 (24°C) に対して温度が上  
がっている部分があり、  
特に生育後半において生育不足として  
影響が出ている
- 工場全体を 空調機のみで環境制御する  
のは難しい ことが示唆される



## 結論

- CFD解析により、キャットウォーク部の  
流れが支配的であり  
棚を挟んだ空気の移動は少ない

- 空調のみで工場内環境を均一化させる  
ことは難しい

### 生育に重要な植物近傍環境を空調する

タスク & アンビエントな環境制御の  
重要性が示唆される

## 展望

- 各モデルの精度向上
- 流れ場の複数準備と切替
- 工場運転条件の変更による影響を評価  
→ 最適な運転条件の提案
- 工場設計が生産性に与える影響検証