

日蘭園芸セミナー

持続可能で収益性の高い温室事業自律栽培～実践と経験

日本における自律型植物工場の 現状と将来性



2024年7月25日

林 絵理

NPO植物工場研究会

植物工場研究会

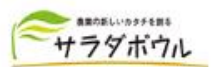
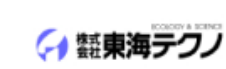
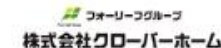
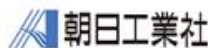
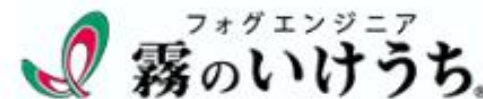
Japan Plant Factory Association

設立 : 2010年5月
所在地 : 千葉大学柏の葉キャンパス
会員 : (団体) 約120
(個人) 約100
施設見学者 : 約 50,000人 (累計)
研修参加者 : 約 4,600人 (累計)
勉強会参加者: 約 14,000人 (累計)
日・英メールリスト登録者数 : 4,500人以上

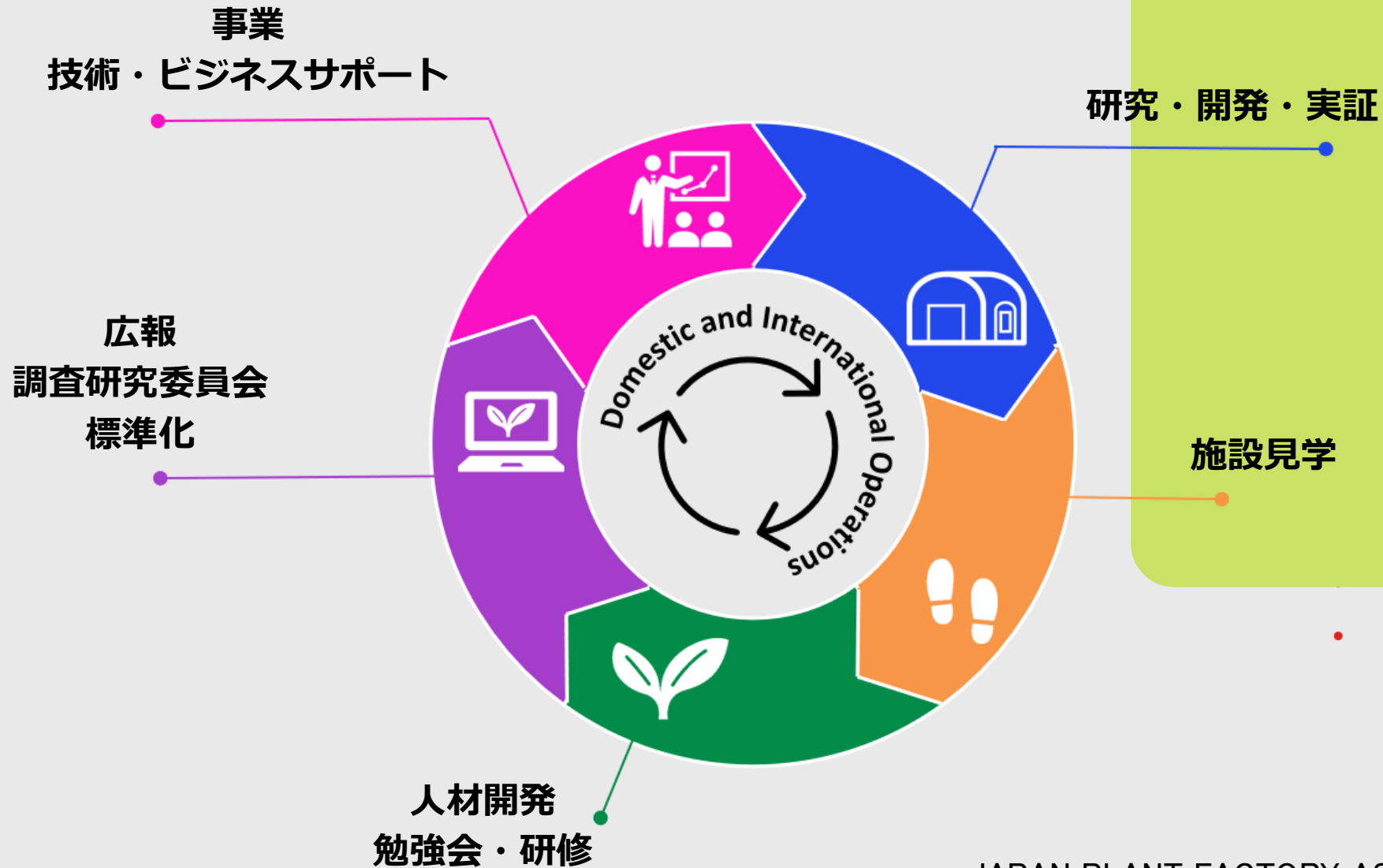




JPFA Members



植物工場研究会 活動概要



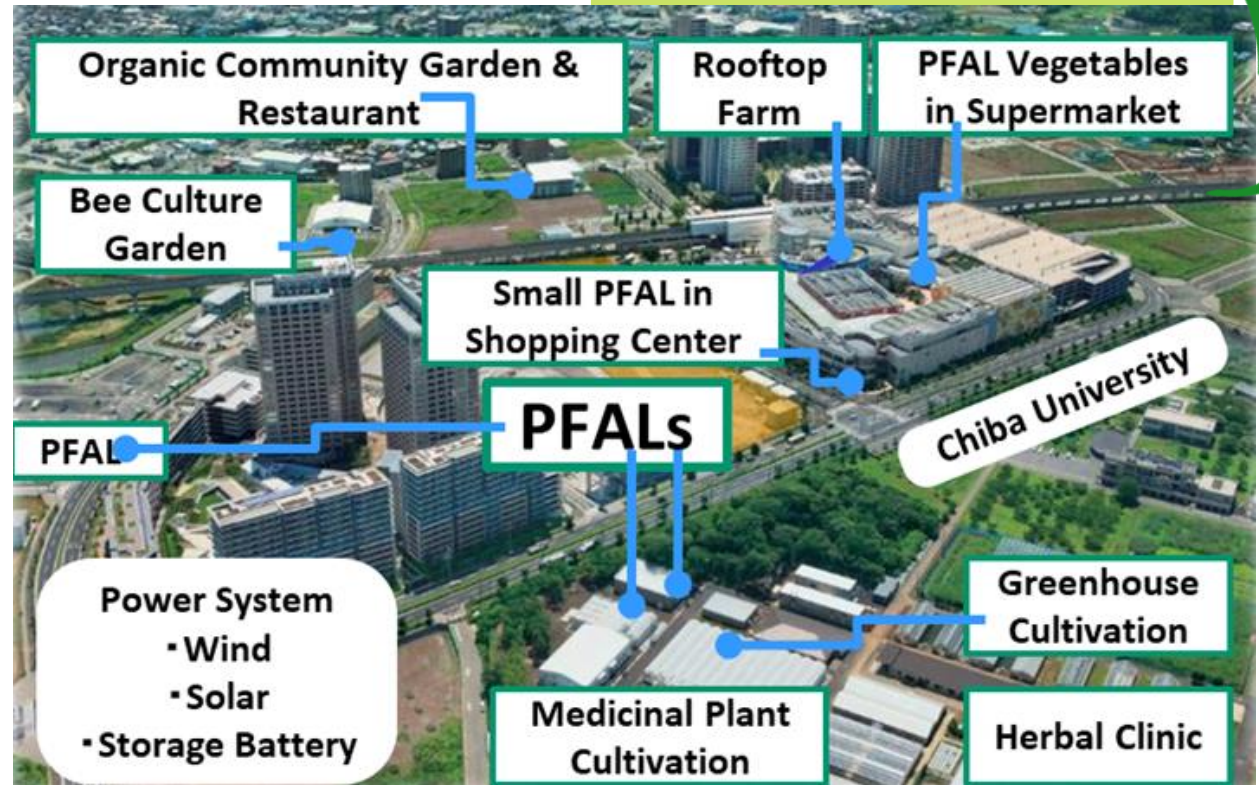
植物工場の拠点

千葉大学柏の葉キャンパス



スマート人工光型植物工場プロジェクト

人工知能（AI）を活用した植物フェノタイピングと次世代型植物工場システムの研究開発や育種プロジェクト



Kashiwanoha Campus, Chiba University



植物工場の拠点 千葉大学柏の葉キャンパス 植物工場研究会

11 残渣利用施設

施設面積：144 m²



施設面積：144 m²

10 苗テラス®(人工光型)

施設面積：49 m²



施設面積：49 m²

9 トマト選果施設

施設面積：640 m²



施設面積：640 m²

13 セミドライフォグ®

環境調節(太陽光型)

実証企業：
(株)いけうち
施設面積：243 m²



施設面積：243 m²

1 自然給水栽培装置(NSP) (太陽光型)

実証企業：
ヤンマーグリーンシ
ステム(株)
施設面積：2,151 m²



施設面積：2,151 m²

2 ハイドロカルチャー有機肥 料循環栽培(太陽光型)

実証企業：
(株)プラネット
施設面積：2,430 m²



施設面積：2,430 m²

3 植物工場向け種子の研究

実証企業：
(株)リーフ・ラボ
施設面積：2,412 m²



4 イチゴの多収生産(太陽光型)

実証企業：
三菱ケミカルアクア
ソリューションズ(株)
施設面積：1,080 m²



14 植物生産工程自動化 (人工光型)

実証企業：
千葉大学、
(株)大林組
施設面積：590 m²



施設面積：406 m²

6 多段式栽培工場 (人工光型)

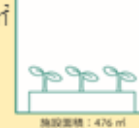
実証企業：
千葉大学、
NPO植物工場研究会
施設面積：406 m²



施設面積：406 m²

8 二次育苗施設(太陽光型)

施設面積：476 m²



施設面積：476 m²

12 高気密・省エネドーム (人工光型)

実証企業：
ジャパンドーム
ハウス(株)/エス
ベックミック(株)
施設面積：180 m²



施設面積：180 m²

7 イチゴの周年栽培 (人工光型)

実証企業：
(株)ハンモ
施設面積：207 m²



施設面積：207 m²



コンソーシアム形式による
産学官連携
共同研究・開発・実証



Fixed bench

3 trusses, 4 crops/y, 6 blocks

5,400 plants/10a



“The Fog Engineers”

H. IKEUCHI & CO., LTD.

Environment control (temperature, humidity and VPD) and automatic pest control





Showa Denko

Advanced Agri

TOSHIBA

KYOCERA

Signify(Philips)

Source : Japan Plant Factory Association

種子繁殖型イチゴ



<https://seedstrawberry.com/yotsuboshi.html>

柏の葉にある多目的な植物工場



10,000 heads/d



3,000 heads/d



700 heads/d



Seedling
Production



Hotel
Restaurant



Home-use



WELCOME TO "MIRAI"



I.B Diner(アイビーダイナー) 柏の葉

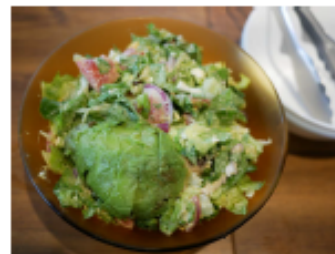
@Kashiwanoha



<https://ibdiner-kashiwanoha.owst.jp/>



植物工場野菜 レストラン・販売店MAP



柏の葉キャンパス駅、柏・我孫子市内、流山おおたかの森駅近辺で植物工場野菜を使用したメニューの提供や植物工場野菜の販売をしているお店を紹介します

柏の葉・柏・我孫子

A I.B DINER 柏の葉

ハンバーガーとサラダのお店。いつでもフレッシュな植物工場野菜を使用。

所在地: 柏市若葉277-7-183-1
電話番号: 04-7197-7287



B SALVATORE CUOMO & BAR 柏の葉

窯焼きピザのお店。シーザーサラダに植物工場産のロメインレタスを使用。

所在地: 柏市若葉178-4
ららぽーと北館1F
電話番号: 04-7197-7700



C カフェレストラン AGORA

街の定食屋さんを目指すビストロ。柏の葉の景色を一望できる。店舗内で栽培された野菜も提供。

所在地: 柏市若葉178-4 8F
電話番号: 050-5486-7891
定休日: 月曜日



D コメ・スタ 三井ガーデンホテル柏の葉

三井ガーデンホテル1Fに併設されたお店。

所在地: 三井ガーデンホテル柏の葉1F
電話番号: 04-7182-0058

E 東急ストア柏の葉店

直売コーナーで植物工場産のグリーンリーフ、フリルレタス、イタリアンパセリ、パジルなどをお買い求めいただけます

所在地: 柏の葉ららぽーと内東急ストア

F わくわく広場

「地域を結ぶ直売広場」をコンセプトに、地元の植物工場産の野菜も販売。

取扱店:
モラージュ柏店、イオンモール柏店、アビクオーレ店、あびこショップングプラザ店など



流山

G SALAD shop "the BoX"

サラダを食事の主役に、新鮮野菜をたっぷり使用したワンポウルサラダはボリューム満点

所在地: 流山市おおたかの森南1-5-1
駅前広場コンテナショップ
電話番号: 070-3313-2613



H 大衆イタリアン PORTA

幅広いシーンで気軽に立ち寄れるイタリアンバル。地元野菜をふんだんに使用した新鮮な美味しさ。

所在地: 流山市おおたかの森北1-5-4
クロシェットおおたかの森 2F
電話番号: 04-7188-6075



I I.B TERRACE

リゾート感のあるアメリカンダイニング。テラス席あり。グルメバーガー、サラダにパンケーキ、ぜひどうぞ。

所在地: 流山市おおたかの森南1-5-1
流山おおたかの森S・C FLAPS4F
電話番号: 04-7188-6075



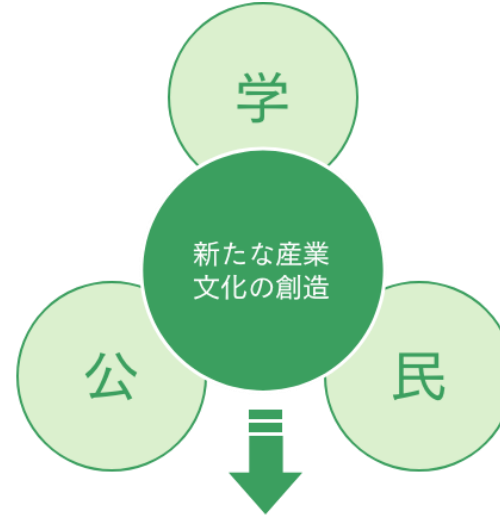
柏の葉スマートシティ

“「住むだけで健康」を目指す”

新産業創出



環境共生



街づくりの3つのテーマ

新産業創出

健康長寿

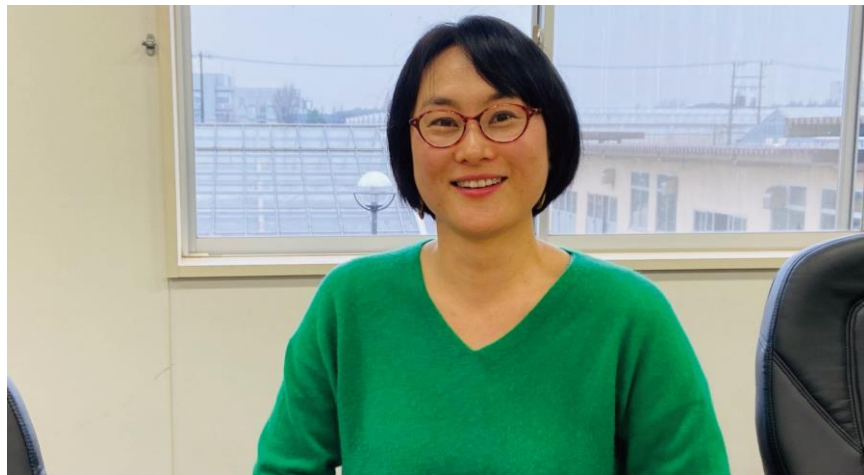
環境共生

健康長寿



柏の葉スマートシティとの共創

【植物工場研究会 林絵理副理事長インタビュー】「食料や環境、エネルギーなどに関する課題が深刻化している現在、植物工場の技術へのニーズはより高まっています。」



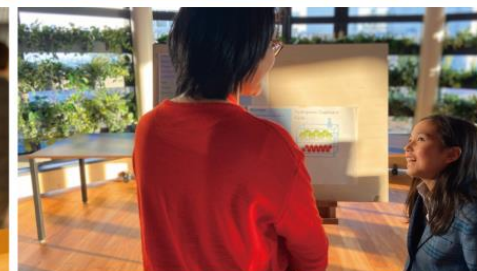
<https://www.kashiwanoha-smartcity.com/info/topics/39/>

【共創事例：企業×アカデミアによる新規事業開発】 大林組×植物工場研究会 インタビュー



<https://www.kashiwanoha-smartcity.com/info/topics/60/>

【共創事例】 Rugby School Japan × KOIL～地域で学びをつくり、ともに学ぶ



<https://www.kashiwanoha-smartcity.com/info/topics/80/>

柏の葉
&
オンライン

JPFA



植物工場国際シンポジウム

International Symposium on Plant Factory -

Sept. 4-5, 2023

@ 柏の葉カンファレンスセンター

持続可能な未来に向け、多様な目的・用途を有する人工光型植物工場の活用方法・役割・技術課題と方向性、地球生態系の一員として植物工場を用いた社会活動、多様で柔軟な食料・植物生産システムの可能性について、「住むだけで健康」を目指す柏の葉スマートシティにてオープンディスカッション・国際共創を目指す

<https://npoplantfactory.org/jpfasympoium2023/>

<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000001.000123796.html>



講演者/パネリスト



久保田 智恵利
Chieri Kubota

オハイオ州立大学 園芸作物学部 教授
Professor, the Department of Horticulture
and Crop Science, The Ohio State
University



Leo Marcelis

ワゲニンゲン大学 教授/園芸・植物生理学研
究グループ長
Professor and Head of Chair Group
Horticulture and Product Physiology,
Wageningen University



古賀 大貴
Hiroki Koga

Oishii Farm (米国) 最高経営責任者/共同創業
者
Co-founder and CEO, Oishii Farm



二宮 正士
Seishi Ninomiya

東京大学 名誉教授
Emeritus Professor, The University of Tokyo



Francesco Orsini

ボローニャ大学 教授
Full Professor, the Department of
Agricultural and Food Sciences (DISTAL),
University of Bologna



Roel Janssen

Planet Farms (イタリア) チーフ ビジネス オ
フィサー
Chief Business Officer, Planet Farms



後藤 英司
Eiji Goto

千葉大学 教授
Professor, Chiba University



北宅 善昭
Yoshiaki Kitaya

大阪公立大学 名誉教授/植物工場研究センター
長
Professor Emeritus and Director of the R&D
Center for the Plant Factory, Osaka
Metropolitan University



平藤 雅之
Masayuki Hirafuji

東京大学 特任教授
Project Professor, The University of Tokyo



甲斐 剛
Katashi Kai

有限会社新日邦 アグリ事業部長
General Manager, Shinnippou (808 factory)



野澤 永光
Nagateru Nozawa

MIRAI株式会社 代表取締役社長
CEO, MIRAI CO.,LTD



Paul Gauthier

クイーンズランド大学クイーンズランド農業・
食品革新同盟 (QAAFI) 被覆栽培学 教授
Professor, Protected Cropping, The
Queensland Alliance for Agriculture and
Food Innovation, The University of
Queensland

第2回&第3回
シンポジウム開催決定

2025 &
2026



JPFA International Symposium on Plant Factory

- JPFA植物工場国際シンポジウム -

2025年9月1日 - 3日 および 2026年8月31日 - 9月2日(予定)
@ 柏の葉カンファレンスセンター(柏の葉キャンパス駅近く)

柏の葉アグリスマートシティで「JPFA植物工場国際シンポジウム」を開催いたします。
持続可能な未来に向け、多様な目的や可能性のある植物工場の活用方法、社会的な役割、現在の技術課題や今後の方向性、そして地球生態系の一員として植物工場を用いて可能となる社会活動、多様で柔軟な未来の食料・植物生産システムの可能性について、「住むだけで健康」を目指す柏の葉スマートシティにてオープンディスカッション・国際共創を目指します。

講演、パネルディスカッション、ポスター発表、企業展示、ネットワーキングなど

人工光型植物工場 Plant Factories with Artificial Lighting (PFALs)



植物工場と持続可能性

- 省資源

⇒ 水量1/50、肥料1/2

- 環境保全

⇒ 無農薬、廃棄分50%減

高品質野菜

⇒ 超きれい、機能性強化

- 100%トレーサビリティ

- 夜間余剰電力利用、スマートLED照明利用

高資源効率・高生産性
周年安定生産

食料

エネルギー
資源

環境

生活の質

4大問題を同時解決

Plant Factories with Artificial Lighting (PFALs)

人工光型植物工場：高断熱性・高気密性

Resource Use Efficiency (RUE) = Output/Resource Input

costs and produce, and the cost performance (CP) of the PFAL can be estimated online



植物工場における生産 → データ

Changes with time in rates of net photosynthesis, transpiration and electricity consumption

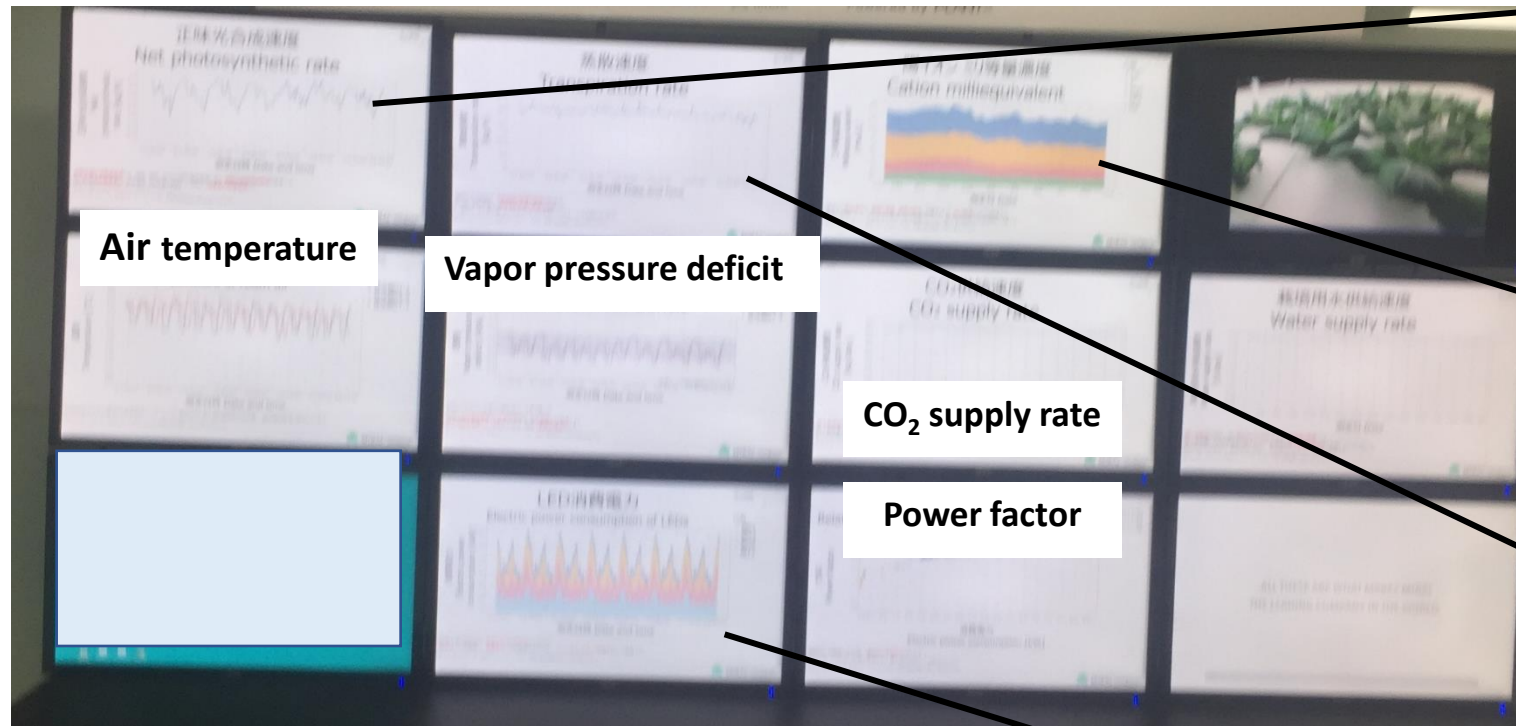
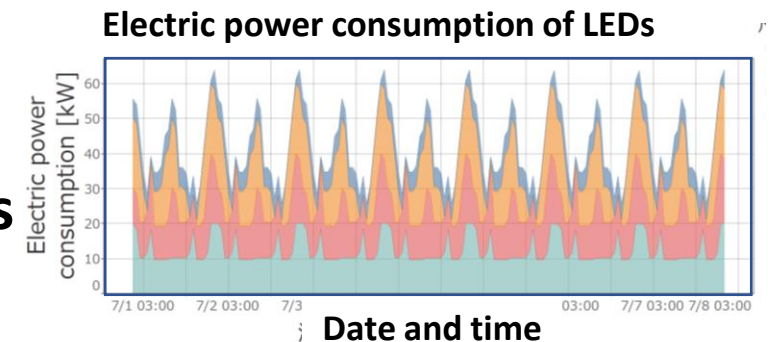
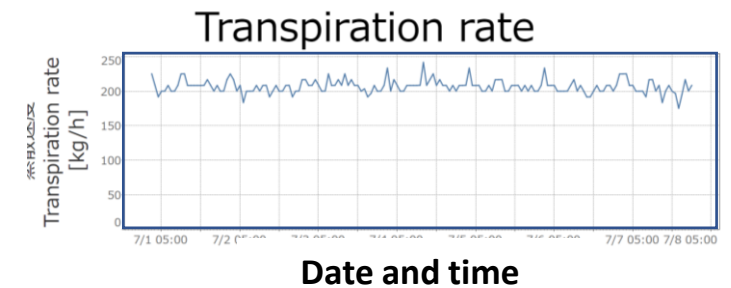
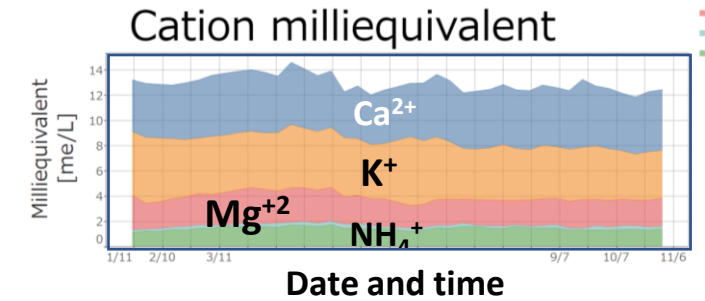
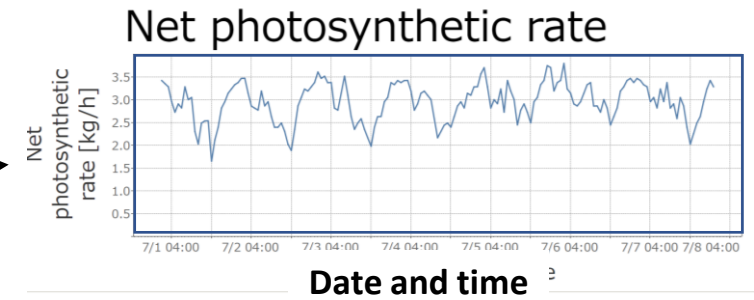
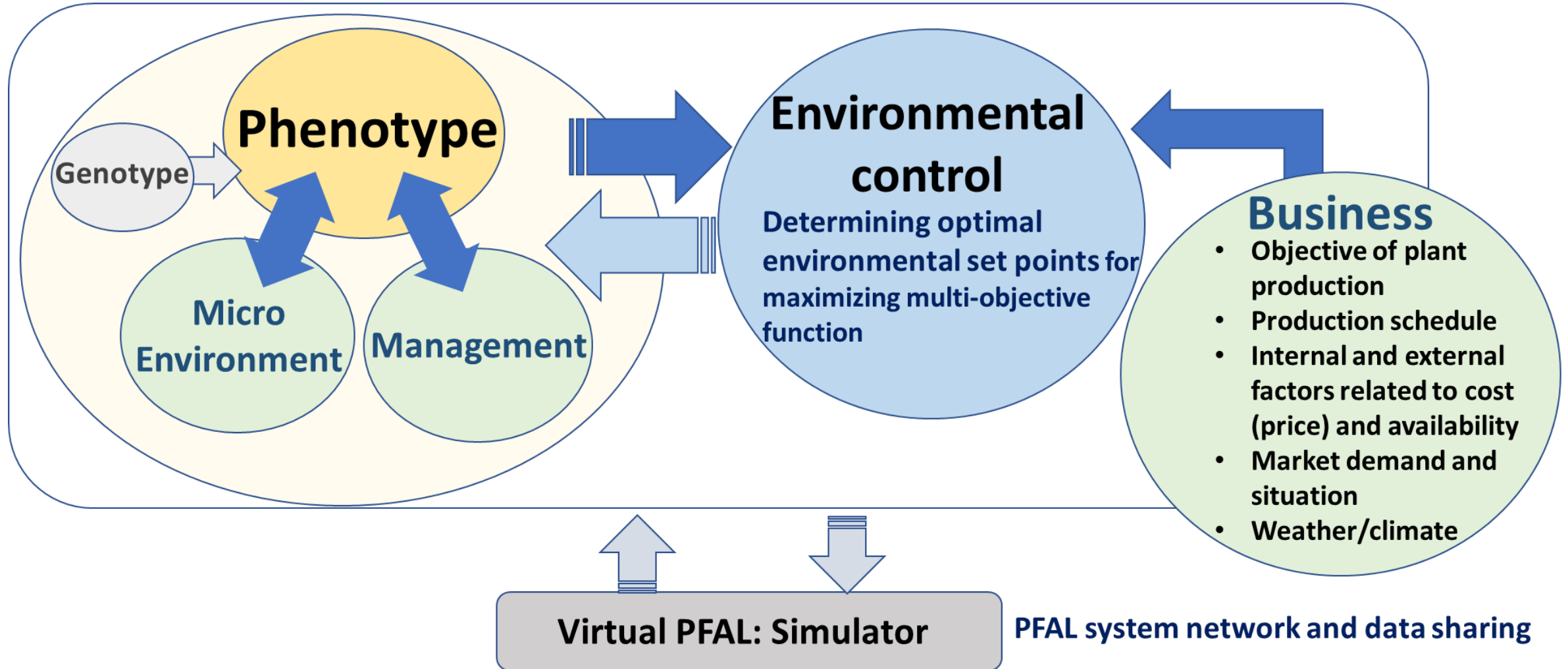


Photo taken at Chiba University

Dashboard (12 display screens) of the PFAL management system (SAIBAIX) developed by PlantX Corporation and installed at a commercial-use PFAL. The power factor indicates the electric energy use efficiency of the air conditioners.



Plant phenotype-based environmental control taking into account business-related factors



(Hayashi, 2023)

Theoretical max. RUE and RUEs in PFAL and Greenhouse

RUE	Max. RUE	PFAL	Greenhouse
Water	1.0	0.96	0.02-0.03
CO ₂	1.0	0.88	0.4-0.6
N, P, K, etc.	1.0	0.8-0.9	0.5-0.7
Seeds	1.0	0.95	0.8-0.9
PR energy (Q)	0.11 (max. quantum yield=1/9)	0.027	0.017
Electric energy	0.06 (= 0.5*Q)	0.007	-----

Ohyama et al. (2002; 2005; 2006); Yokoi et al. (2005); Kozai et al. (2012)

人工光型植物工場

環境制御

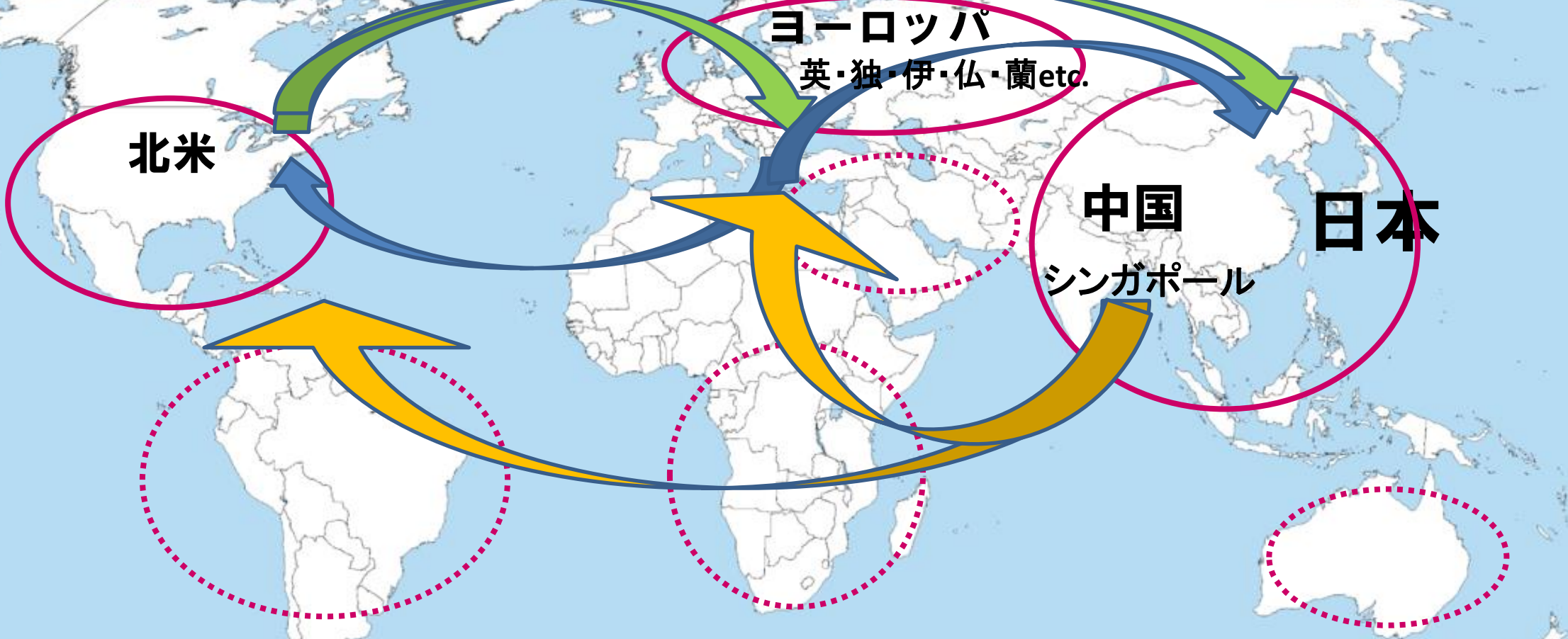
Creating Environment for plants
with multi-objective function

- + 高生産性
- + 安定性
- + 再現性
- + 予測可能性

高資源利用効率

AI, IoT, Robots, 5G, VR, AR, modelling and simulation

植物工場研究・ビジネスの国際化・多様化



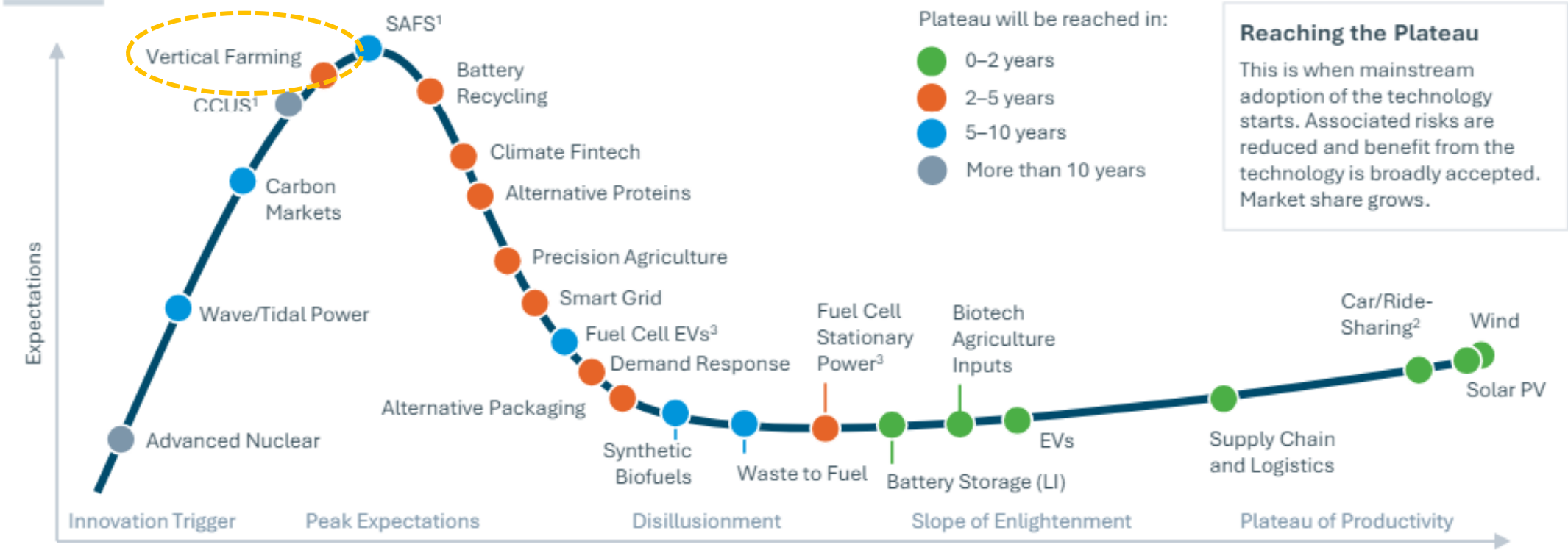
産学官プロジェクトの活発化

世界における植物工場関連企業（一部）2022年



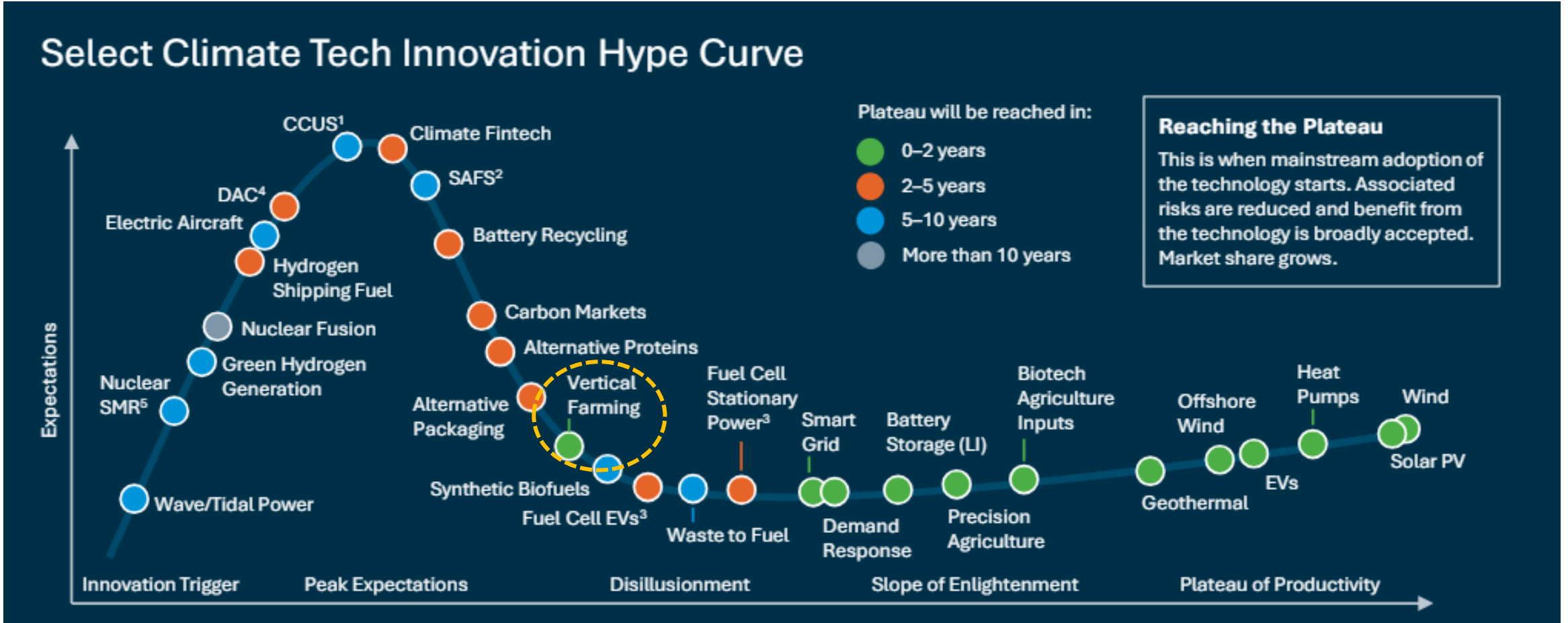
2022年

Select Climate Tech Innovation Hype Curve

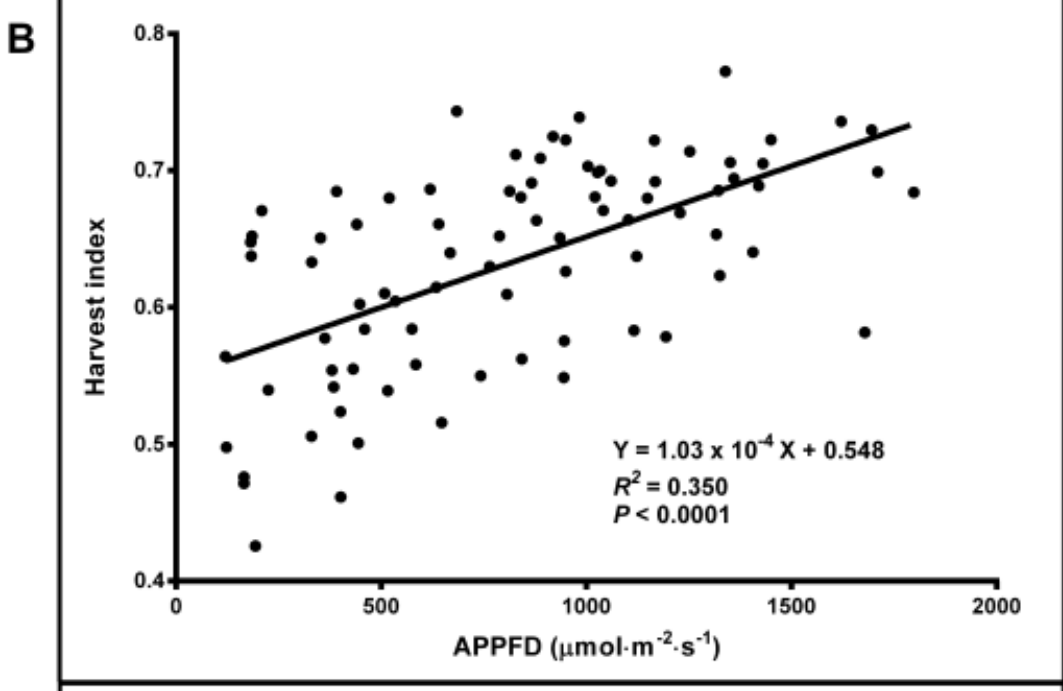
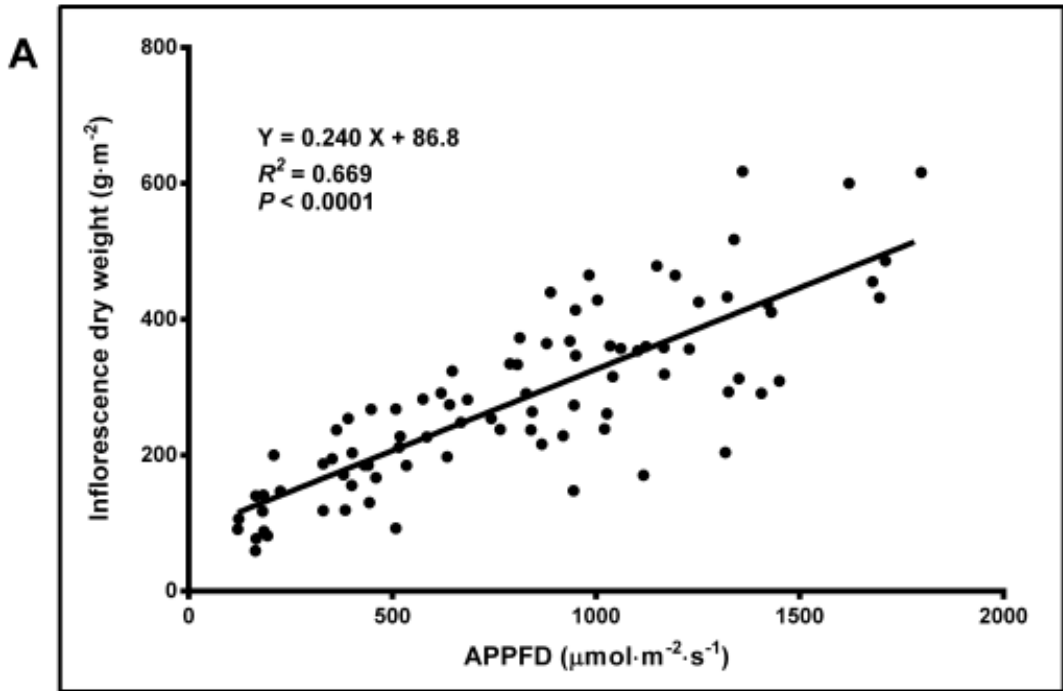


The Future of Climate Tech, svb, 2022

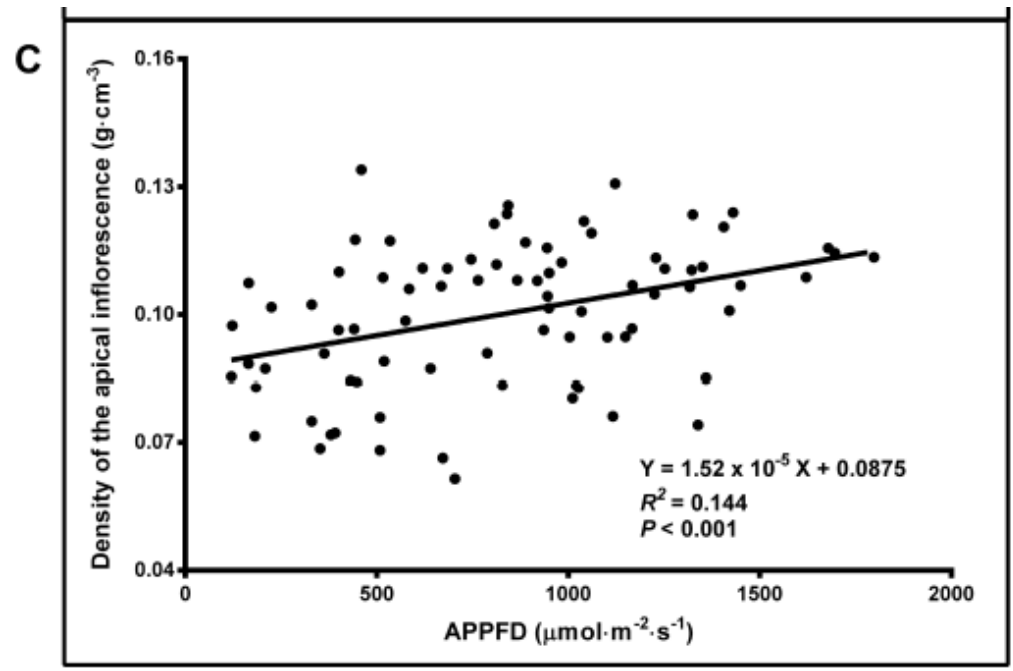
2023年



The Future of Climate Tech, svb, 2023



The relationship between average apical photosynthetic photon flux density (APPFD) applied during the flowering stage (81 days) and inflorescence dry weight (A), harvest index (total inflorescence dry weight / total aboveground dry weight) (B), and apical inflorescence density (based on fresh weight) (C) of *Cannabis sativa* 'Stillwater'. Each datum is a single plant



Rodriguez-Morrison V, Llewellyn D and Zheng Y (2021) Cannabis Yield, Potency, and Leaf Photosynthesis Respond Differently to Increasing Light Levels in an Indoor Environment. *Front. Plant Sci.* 12:646020. doi: 10.3389/fpls.2021.646020

Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms

Senthod Asseng , Jose R. Guarin , Mahadev Raman , , and Paul P. G. Gauthier   [Authors Info &](#)

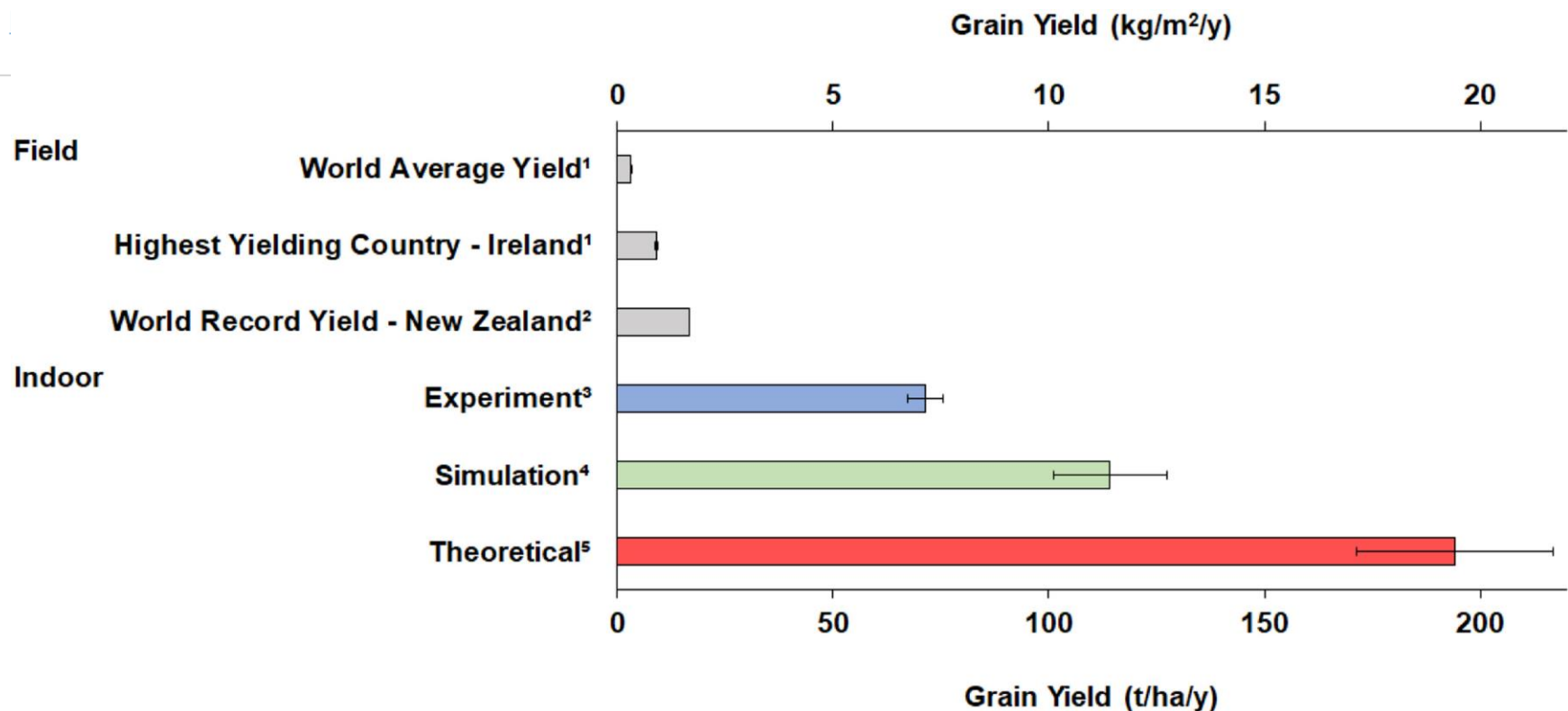
[Affiliations](#)

Edited by Dieter Gerten, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, and accepted by Editorial Board Member Hans J.

Schellnhuber June 19, 2020 (received for review February 11, 2020)

July 27, 2020 | 117 (32) 19131-19135 |

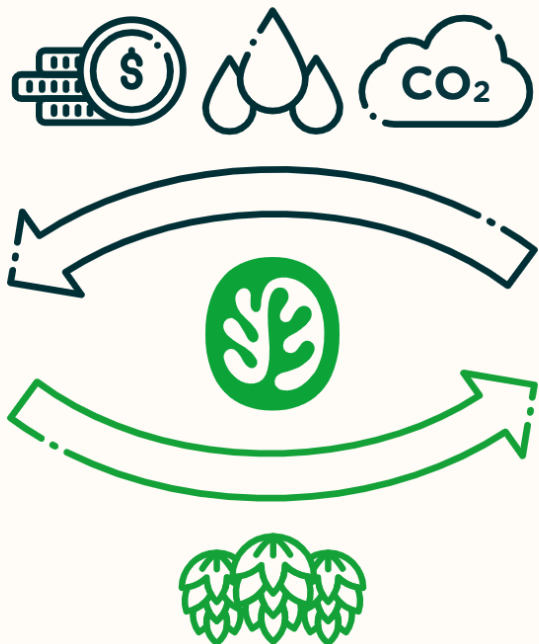
 167,912 | 57





Indoor hops farm run by EKONOKE

Our business model is simple: we don't want our hops to travel, but we want our knowledge and technology to travel instead to every corner of the world where there is a brewer concerned with the reliability of their supply chain and the sustainability impact of their sourcing.



BREWER

If you are such a brewer, we will set up a large-scale indoor farm next door to supply you with local top-quality hops year-round for your all-natural beers, while using your wastewater and excess CO₂ in the process.



Our locally-produced hops are 100% climate-resilient.

<https://www.ekonoke.com/>

国内の植物工場における背景と動向

- 1980s 1st PFAL generation: HPS Lamp
- 1990s 2nd PFAL generation: Fluorescent Lamp
- 2009～ 3rd PFAL generation: LED (particularly after 2012)



※ 平成31年度の「人工光型」は、研究開発や展示目的等のものも含まれていた可能性がある。

Plant Factories with automation in Japan in 1980 – 1990s



The International Exposition,
Tsukuba in 1985

Daiei supermarket at Lalaport Funabashi, Chiba

Source : Mr. Nakamura, Especmic  Quality is more than a word

Seedling Production System



国内の植物工場における背景と動向

• 2017～ 4th PFAL generation

大規模化: 安定生産の重要性

→ 小売から業務用へ (全国規模)

自動化, ロボット技術

機械学習 (AI)

フェノタイピング

選抜・育種

連携, Open Data

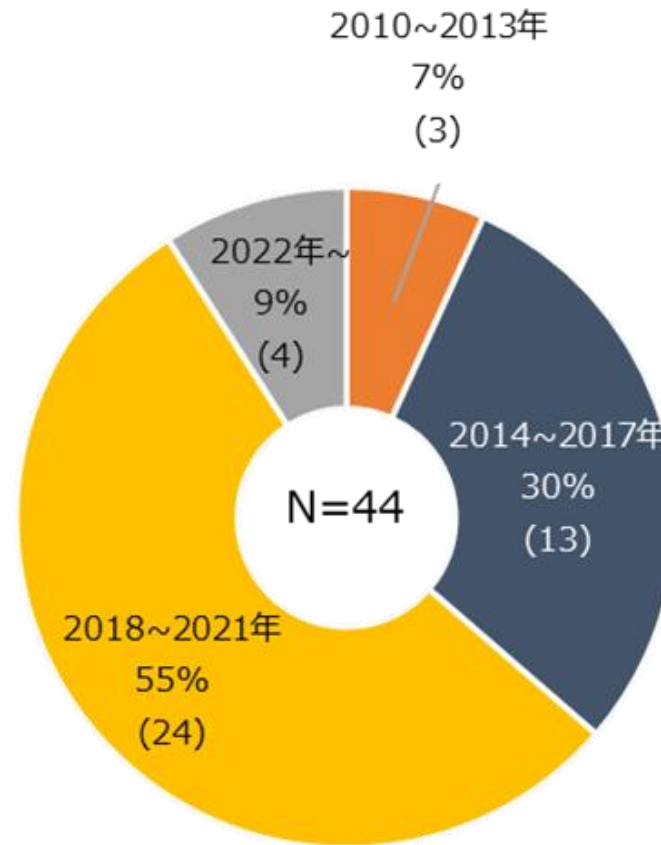


Photo: Eri Hayashi



<https://technofarm.com/innovation/>

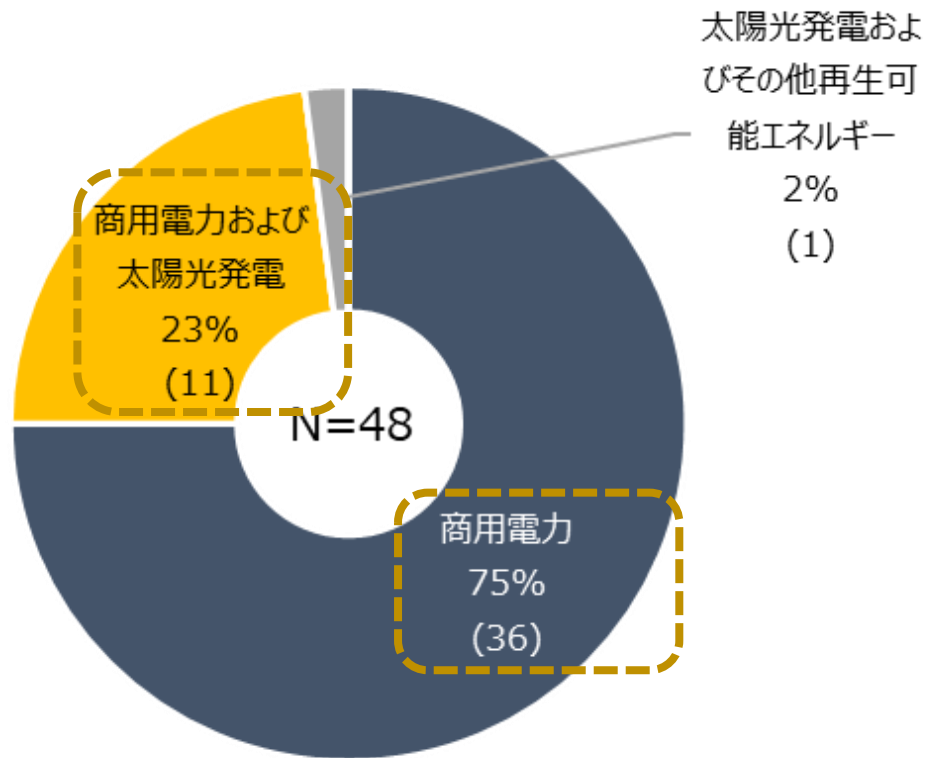
国内の植物工場 LEDの使用開始年



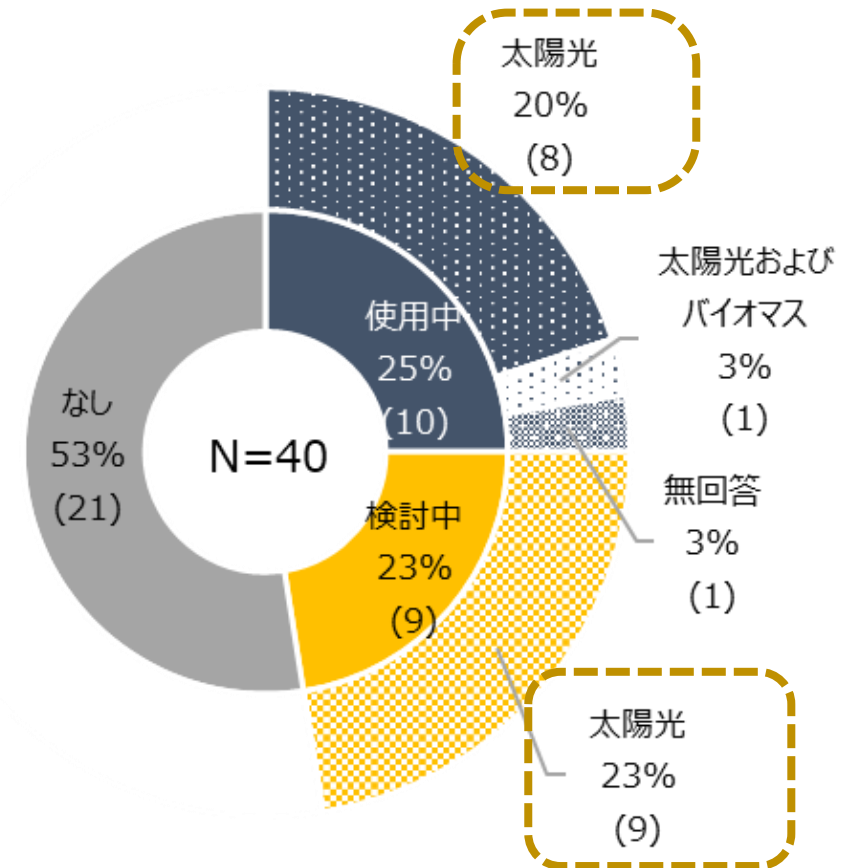
<https://jgha.com/wp-content/uploads/2024/04/TM06-05-bessatsu1.pdf>

国内の植物工場 使用電力/自然エネルギーの利用

主に太陽光発電を使用・検討

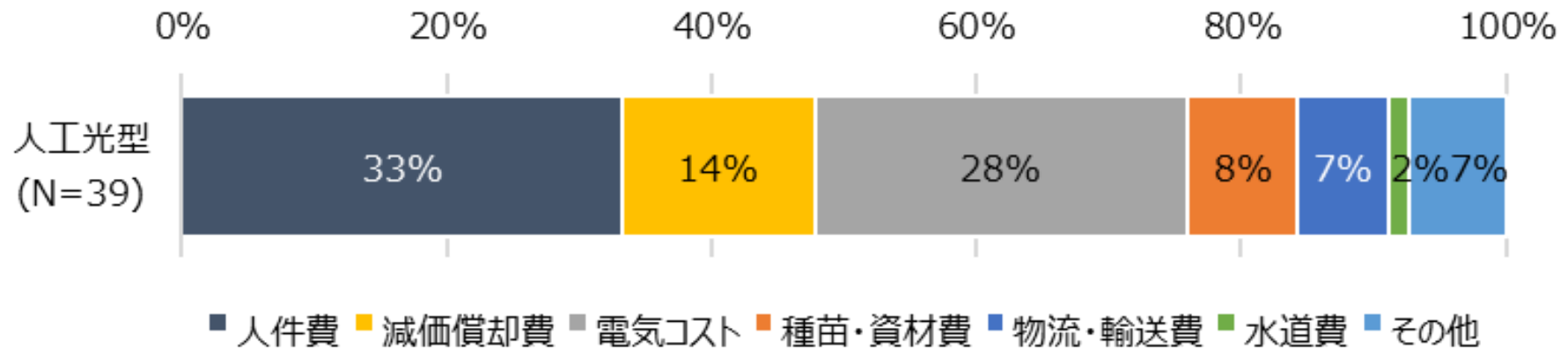


使用電力（人工光型）



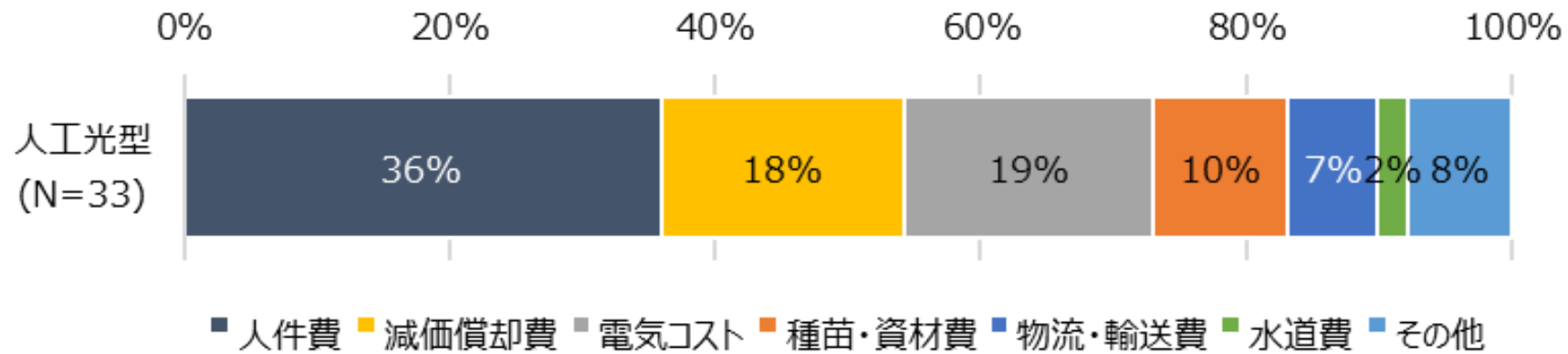
自然エネルギーの利用（人工光型）

国内の植物工場 コスト比率（2023年）



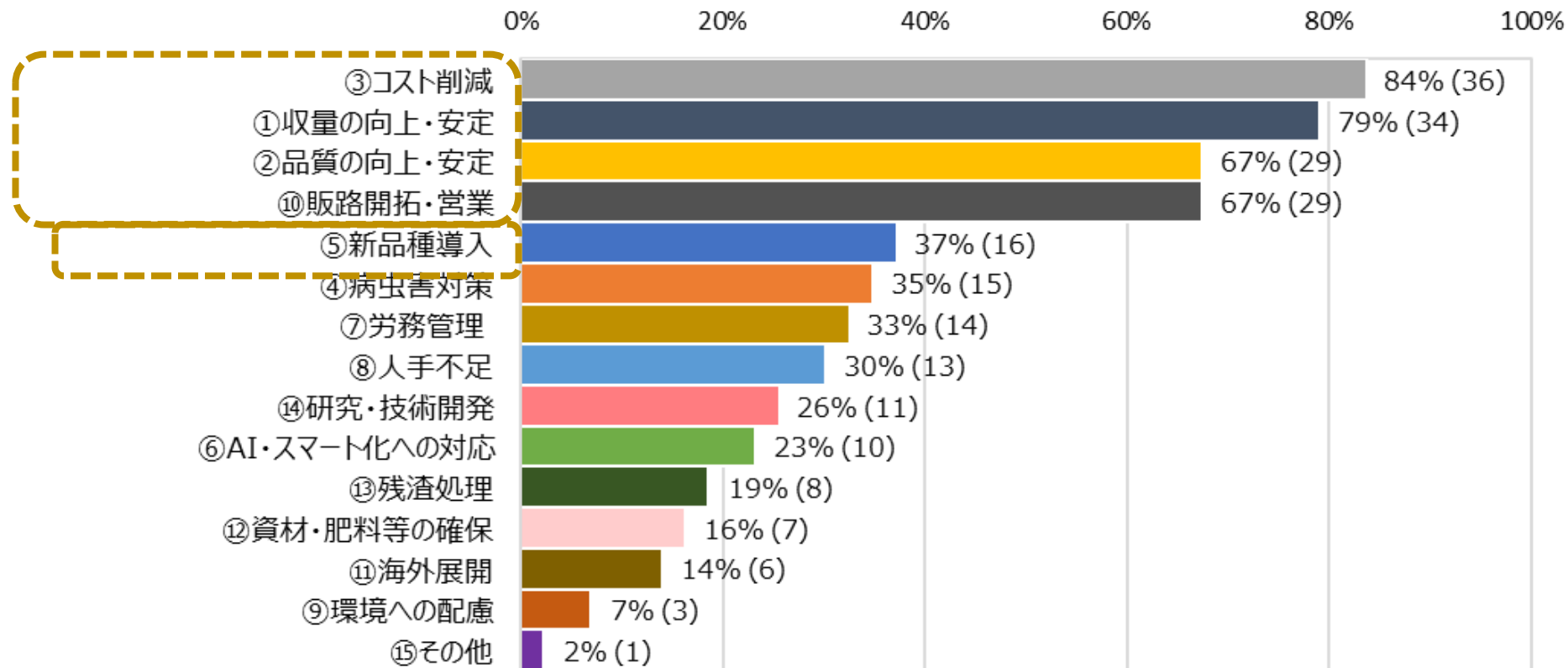
<https://jgha.com/wp-content/uploads/2024/04/TM06-05-bessatsu1.pdf>

【参考】国内の植物工場 コスト比率（2021年）



<https://jgha.com/wp-content/uploads/2022/04/TM06-03-bessatsu1.pdf>

国内の植物工場 生産・経営上の課題と対策・工夫



<https://jgha.com/wp-content/uploads/2024/04/TM06-05-bessatsu1.pdf>

スプレッド テクノファームけいはんな 栽培室のオートメーション化



<https://technofarm.com/keihanna/>

テクノファーム成田 Jリーフ（ENEOSグループ）



- 大規模自動化工場
- 2021年6月30日創業
- **日産3万株のレタス生産**
- テクノファームけいはんなの2倍となる **28段の栽培棚**
- 敷地面積：約 8,000 m²
- 太陽光パネルを設置
- ENEOS グループ遊休地の有効活用



テクノファーム成田 リーフ (ENEOSグループ)

- Large-scale PFAL with **automation**
- Started operation in June, 2021
- Production: **30,000 heads (4 t) of leafy Lettuce/day**
- Land area: approx. 8,000 m²
- Cultivation floor area: 2,500 m²
- Solar panel installation (300 kWh)
- Effective use of idle land of ENEOS group
- Global GAP certified



テクノファーム成田 リーフ (ENEOSグループ)



- Automation in cultivation room
- 70% automation of the whole process (sowing, seedling, transplanting x 2, growing, harvesting, trimming, packaging)
- 28 layers of each cultivation rack (twofold of Techno farm Keihanna)
- 20 of 19 m -high cultivation racks

Techno Farm Fukuroi

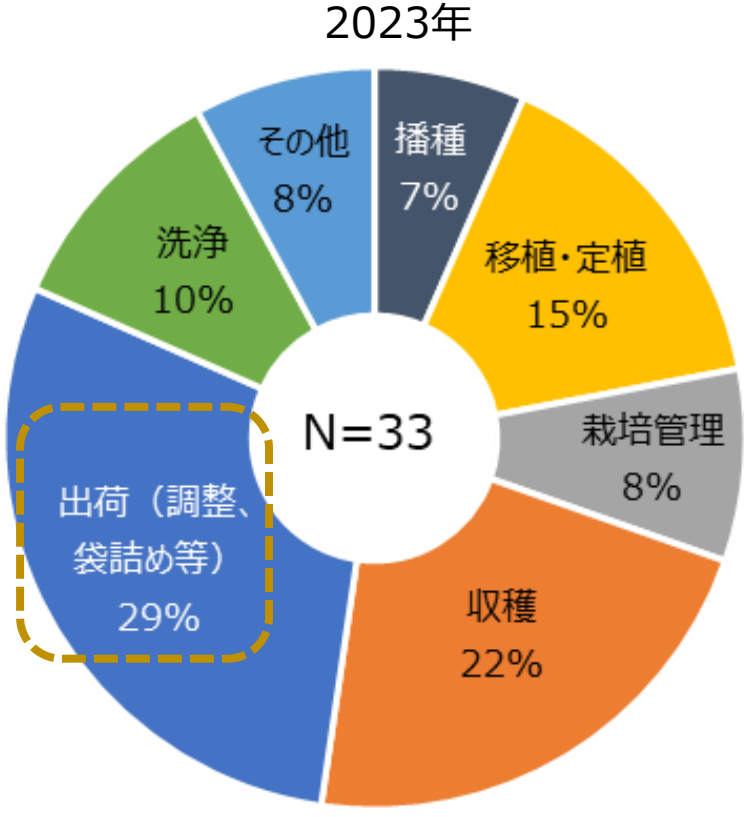
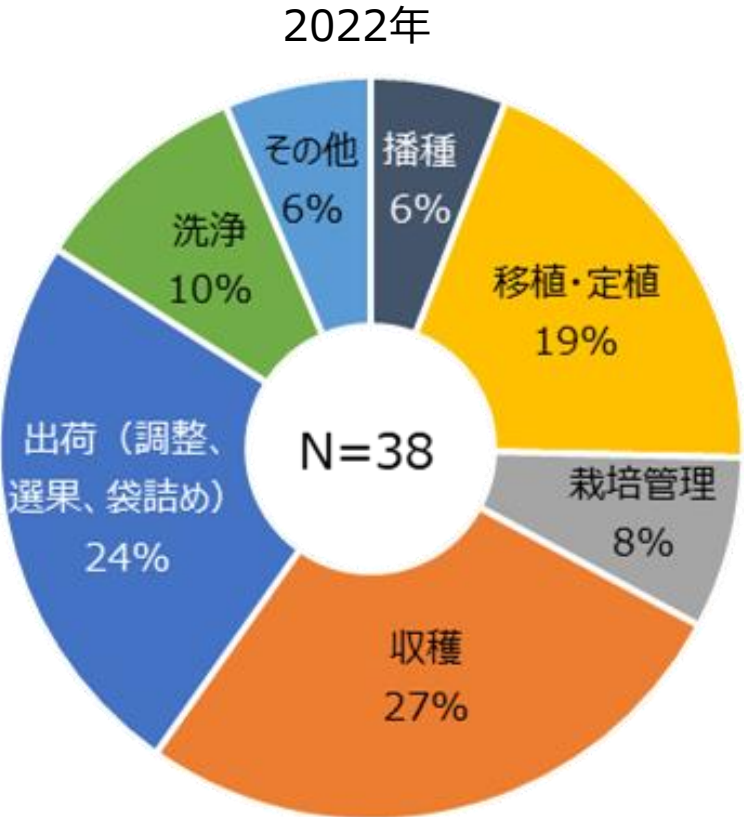
中部電力



- Production capacity:
10 ton lettuce/day
- **Automated PFAL**

<https://tc-farm.co.jp/>

国内の植物工場 主要品目に係る作業比率（レタス類）



*ベビーリーフを除く

<https://jgha.com/wp-content/uploads/2023/03/TM06-04-bessatsu1.pdf>

<https://jgha.com/wp-content/uploads/2024/04/TM06-05-bessatsu1.pdf>



国内植物工場 建物延床面積に対する 衛生管理エリアの床面積の割合

2022年

衛生管理エリアの床面積	施設数	平均割合
500 m ² 未満	8	0.6
500~1 千m ² 未満	5	0.7
1~5 千m ² 未満	11	0.8
5 千~1 万m ² 未満	2	0.7
合計	26	0.7

<https://jgha.com/wp-content/uploads/2023/03/TM06-04-bessatsu1.pdf>

データ駆動型オペレーション: 新日邦 808 Factory



808 FACTORY

ハチマル ハチファクトリー



Source: Shinnippou

-第1工場 : 2014年~

-第2工場: 2017年~

- 日産2万株のレタス生産
- センシング・データ取得
- Original NFT system
- Automation
- Solar Panel



Data-Driven Operations: 808 Factory



Source : Shinnippou

Data-Driven Operations: 808 Factory



Source : Shinnippou

Sensing/Monitoring

Resource Use Efficiency

Hygiene & Process Management



- **Food Safety**
- **Clean: No Need to Wash**
- **Consumer Awareness**
- **Consistent Supply**

Creation of standard operating procedures based on data

Environment

Management

Phenotype



<https://jgha.com/wp-content/uploads/2023/03/TM06-04-bessatsu1.pdf>

Source : Shinnippou

Advances in plant factories

New technologies in indoor vertical farming

Edited by Emeritus Professor Toyoki Kozai, Chiba University, Japan
and Dr Eri Hayashi, Japan Plant Factory Association, Japan



<https://shop.bdspublishing.com/store/bds/detail/workgroup/3-190-125660>

808 Factory: Products

Green Leaf

Frill Lettuce

Silk Lettuce

Romaine Lettuce





Photo: Eri Hayashi

Planet Farms (イタリア)



<https://www.planetfarms.ag/en/>

Planet Farms (イタリア)

植物工場産バジルを使用したペスト



<https://www.verticalfarmdaily.com/article/9636715/planet-farms-launches-pesto-line/>

Agricola Moderna (イタリア)



A-Plus



Photo : Eri Hayashi

Vegetable Lineup



Frill Lettuce



Green Leaf Lettuce



Red Leaf Lettuce



Half Head Lettuce



Ice Plant



Basil



Arugula



Italian Parsley



Mint



Tomato



Coriander



Cress



Cress



Mustard Leaf



Strawberry



Spinach



Mitsuba



Radish



Shiso



chrysanthemum greens



https://www.especmic.co.jp/download/pdf/ENG_PlantFactory.pdf

<https://www.especmic.co.jp/download/pdf/PlantFactory.pdf>

日本における植物工場の資源別生産性および金額換算生産性の推定範囲例

投入資源の種類	資源生産性の範囲例	金額生産性の範囲例 (kg/1000円)	生産コストの範囲例 (円/kg)
① 電気エネルギー	0.11 - 0.14 kg/kWh	7.1 - 8.3	120 - 141
② 作業時間	7.7 - 10.0 kg/h	6.5 - 7.7	130 - 179
③ 栽培面積	0.25 - 0.33 kg/m ² /d	5.3 - 7.1	141 - 189
④ その他の資源	-	6.7 - 9.1	110 - 150
全投入資源	-	1.5 - 2.0	501 - 659

古在豊樹, 浦勇和也, 甲斐剛, 林絵理 (2019) 人工光型植物工場に関する生産性指標の種類、定義、計算式および注釈. 農業および園芸. Vol. 94 No.8 p661-672

日清紡



https://www.nisshinbo.co.jp/news/news20170809_1631.html

Oishii Farm in the US



<https://www.verticalfarmdaily.com/article/9428604/oishii-opens-new-product-segment-by-introducing-20-dollar-berries/>

Oishii Farm



Photo: Eri Hayashi

“Omakase Berry”

\$50/pack (8-11)



\$20/pack in 2022



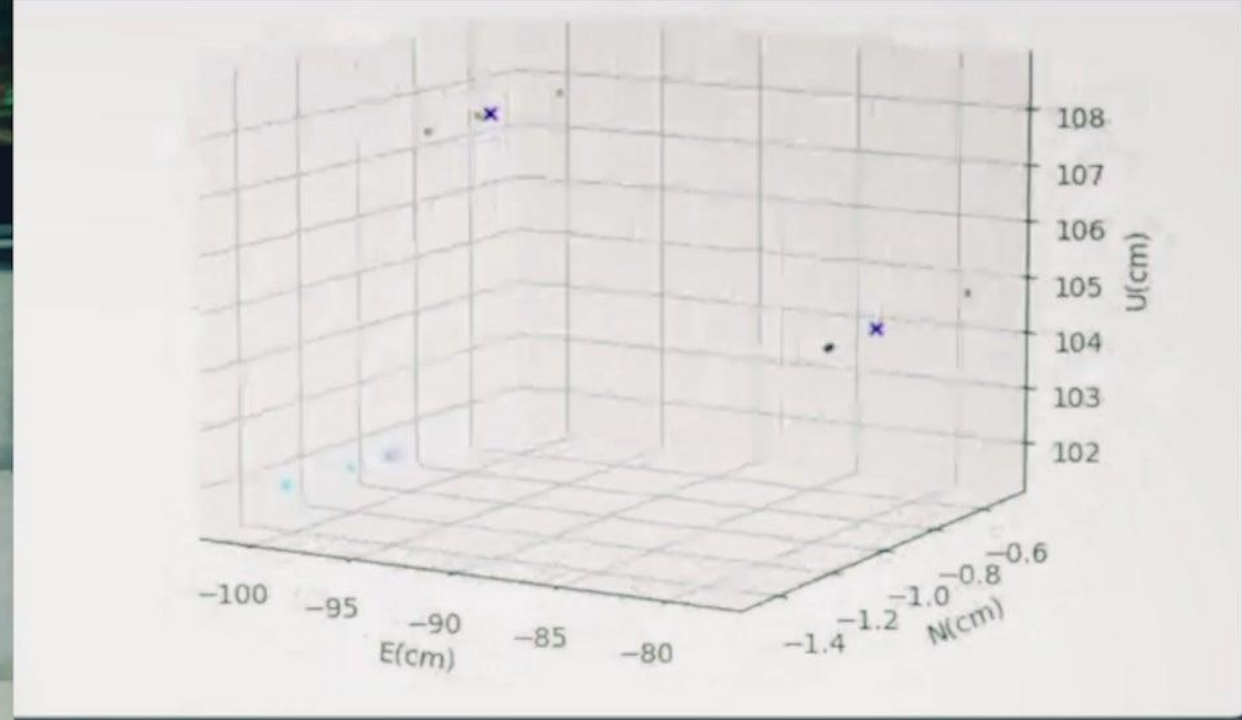
\$9.99/pack in 2024









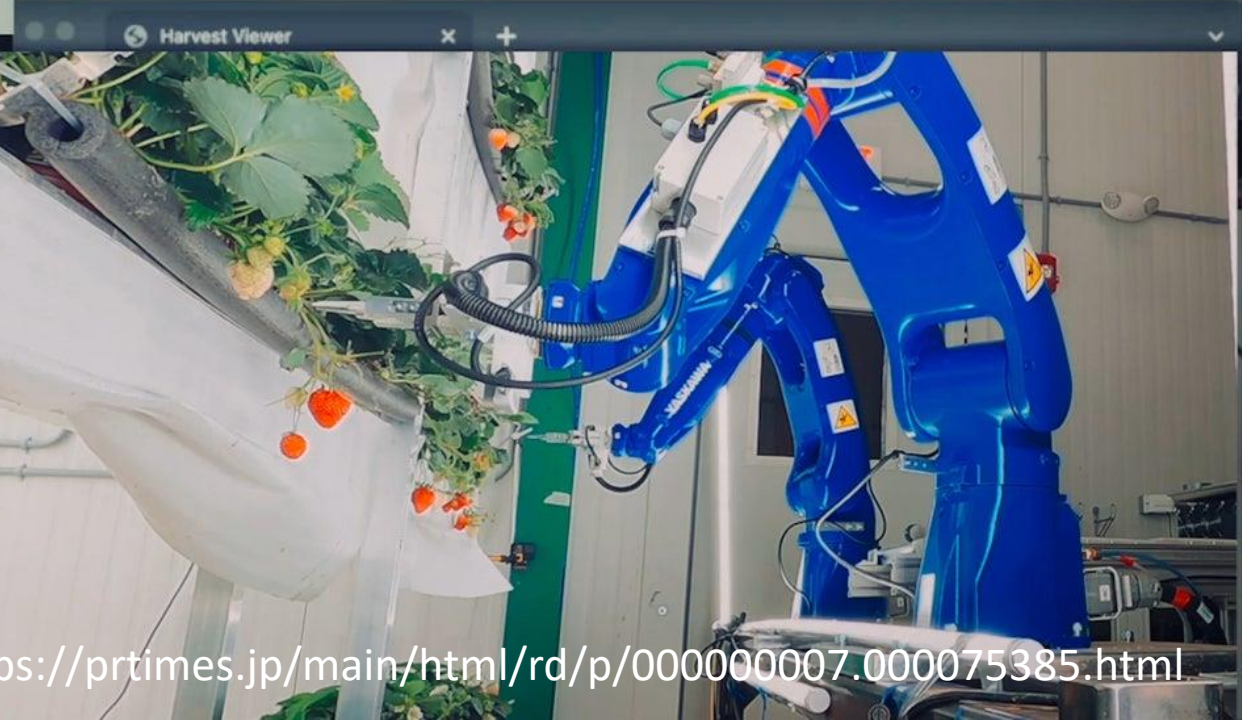


```

MEM: n/a

INFO:robot.py:New scan beginning! Closing file
INFO:robot.py:Capture ready
INFO:robot.py:Received captured data
INFO:robot.py:Unable to connect to db. Please check for errors or restart this service!
INFO:robot.py:Deleted captured data
INFO:robot.py:Received event with timestamp
INFO:robot.py:Publishing matched image with timestamp
INFO:robot.py:Message delay in seconds
INFO:robot.py:Rack tracking enabled
INFO:robot.py:Rack index changed
INFO:robot.py:Bad location.
INFO:robot.py:Sending detections: with 3 detections
INFO:robot.py:Processed message. Result, Metadata
INFO:robot.py:Received pointcloud
INFO:robot.py:Resetted pointcloud and poses
INFO:robot.py:Raw pointcloud
INFO:robot.py:Grouping pointcloud
INFO:robot.py:Input clusters
INFO:robot.py:Good clusters
INFO:robot.py:Harvest robot starting.
INFO:robot.py:Only recording in specified namespace
INFO:robot.py:Recorded - Stopping recording...
INFO:robot.py:Opening new file for recording
INFO:robot.py:New scan beginning! Closing file
INFO:robot.py:Capture ready
INFO:robot.py:Received captured data
INFO:robot.py:Unable to connect to db. Please check for errors or restart this service!
INFO:robot.py:Deleted captured data
INFO:robot.py:Received event with timestamp
INFO:robot.py:Publishing matched image with timestamp
INFO:robot.py:Message delay in seconds
INFO:robot.py:Rack tracking enabled
INFO:robot.py:Rack index changed
INFO:robot.py:Bad location.
INFO:robot.py:Sending detections: with 3 detections
INFO:robot.py:Processed message. Result, Metadata
INFO:robot.py:Received pointcloud
INFO:robot.py:Resetted pointcloud and poses

```



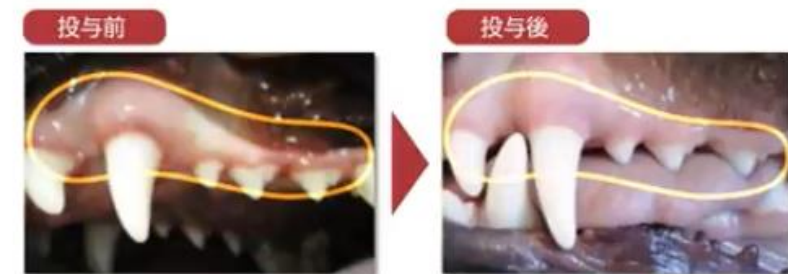
Monetary productivity (yearly sales/yearly cost) of selected crops

Factors	Leaf lettuce	Rice	Strawberry	Cherry-tomato
Whole sale price (JPY/kg)	1,200	300	1,600	500
No. of cropping/y	23	3.8	1	1
Yield (kg m ⁻² y ⁻¹)	69	3.8	20	100
Yearly sales (JPY/m ² /y)	82,800	1,150	32,000	50,000
Electricity cost (JPY/m ² /y)	11,730	58,650	23,460	34,500
Production cost (JPY/m ² /y)	58,650	293,250	117,300	172,500
Yearly sales/Yearly costs	1.4	0.0039	0.27	0.29

Kozai, T., E. Hayashi and Y. Amagai (2020) Plant factories with artificial lighting (PFAL) towards sustainable plant Production. Acta Horticulture 1273 (IHC 2018, Istanbul, Turkey). 251-259.

ホクサン

動物用バイオ医薬品



週2回、5週間連続投与

同様に、歯肉炎が軽減されています

<https://www.hokusan-kk.jp/product/interberry/index.html>

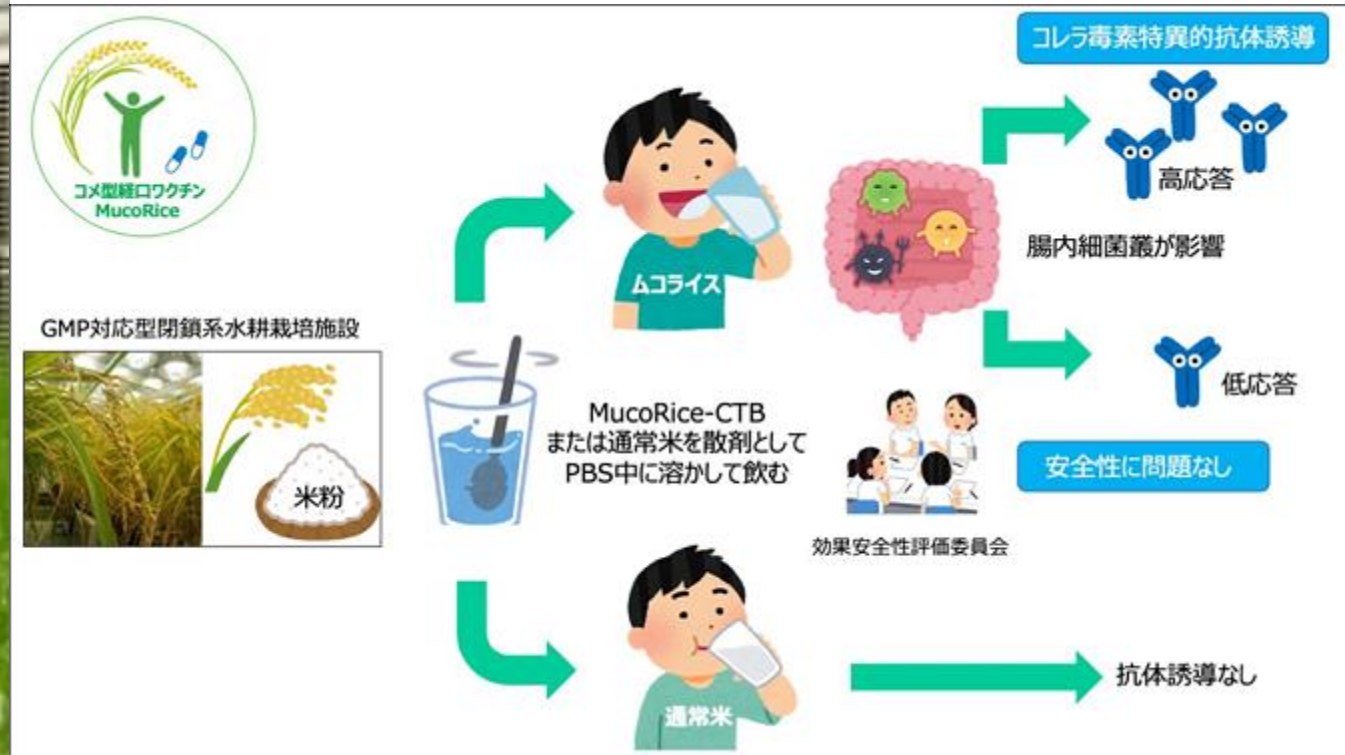
<https://www.youtube.com/watch?v=zKCmlZcu0Lg&t=555s>

コメで作った飲むワクチン「ムコライス」 (MucoRice-CTB)



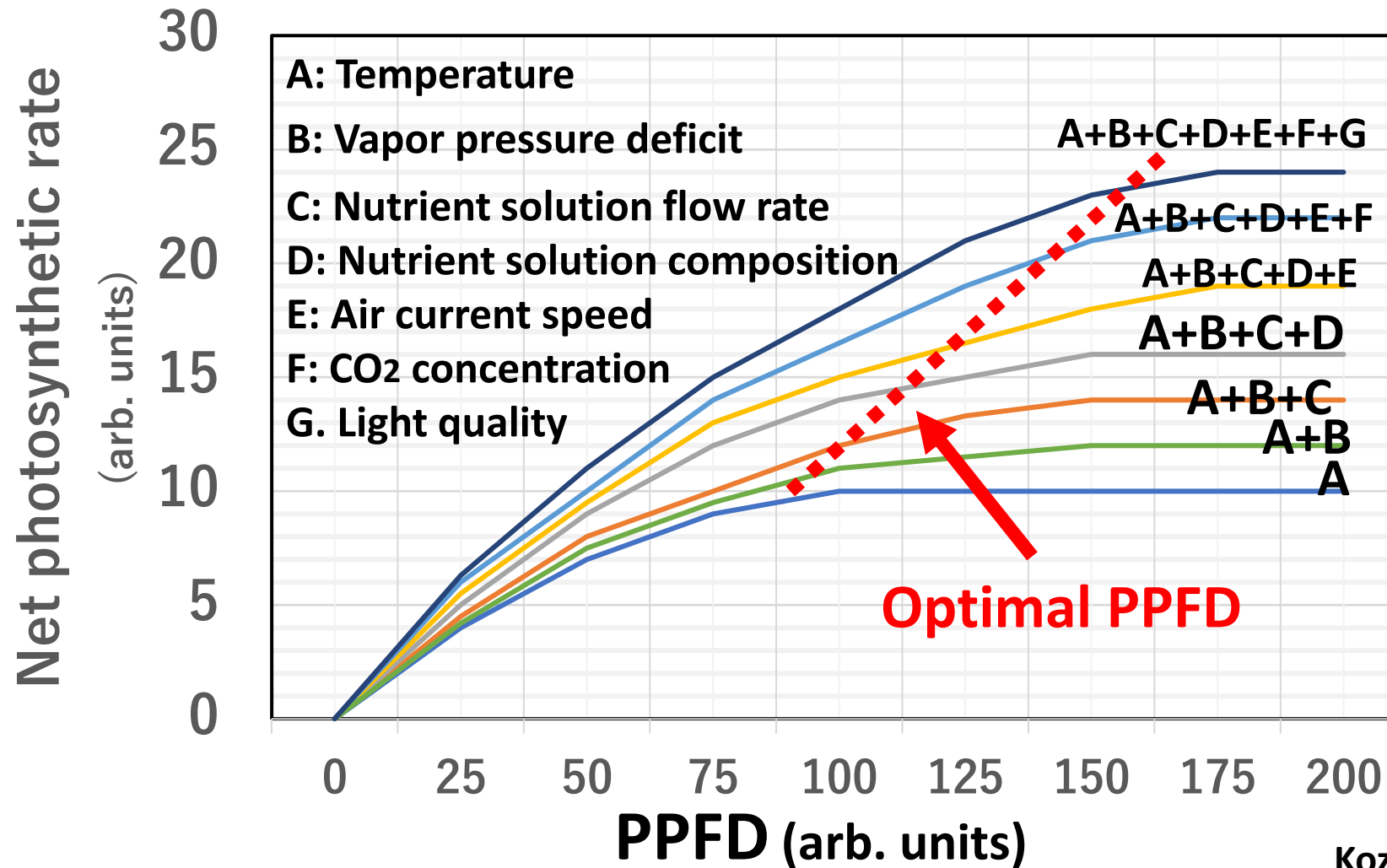
<http://s-park.wao.ne.jp/archives/1144>

MucoRice-CTB



https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/jp/about/press/page_00104.html

Optimal PPFD for photosynthesis affected by other environmental factors



Kozai (2020)

PFALs can achieve relatively simple and accurate data acquisition, time-series analysis, and plant growth or phenotypes prediction, including resource use efficiency or productivity with a unit of time in PFALs

PFALs : highly airtight and thermally insulated

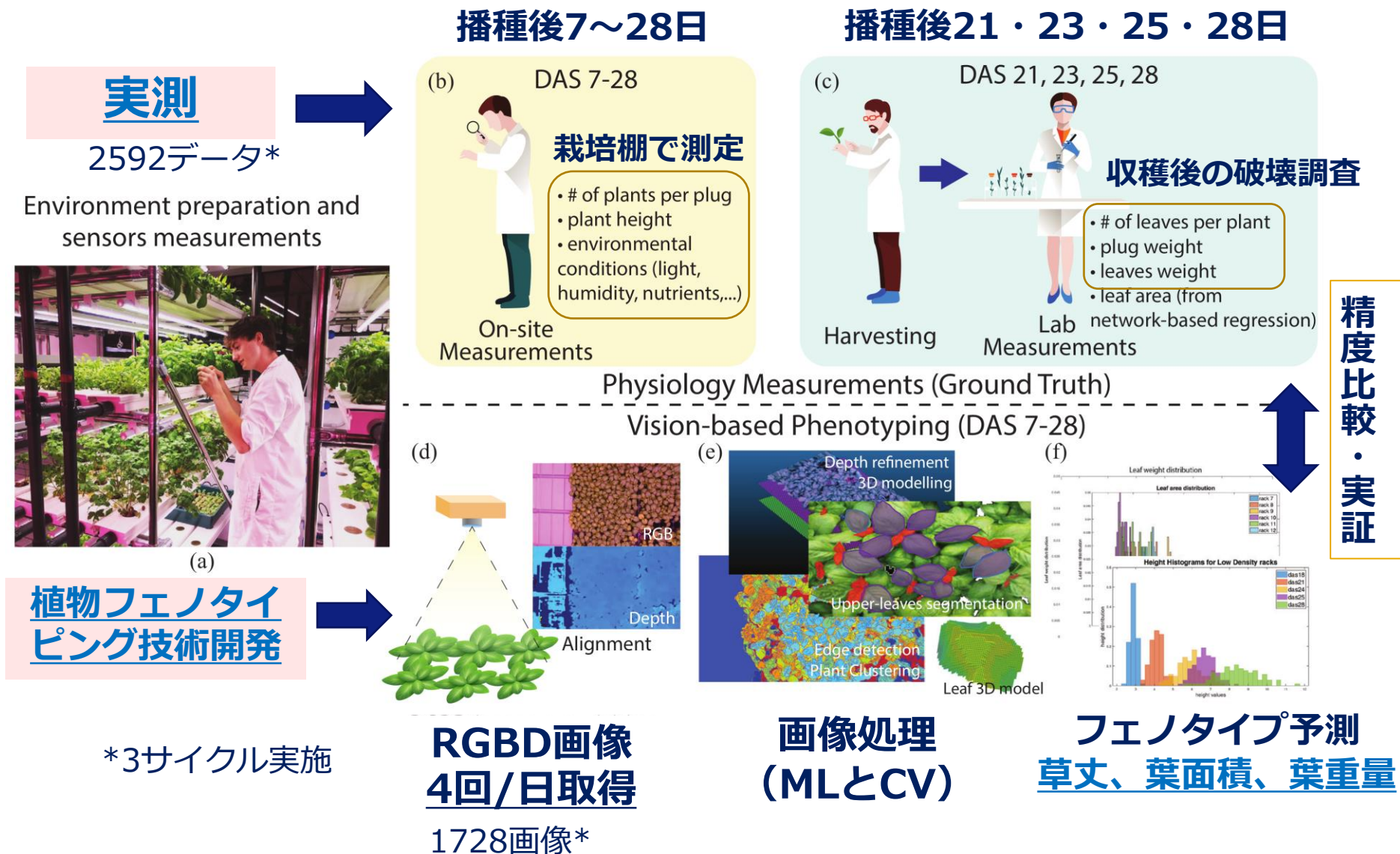


Production in PFALs → Research

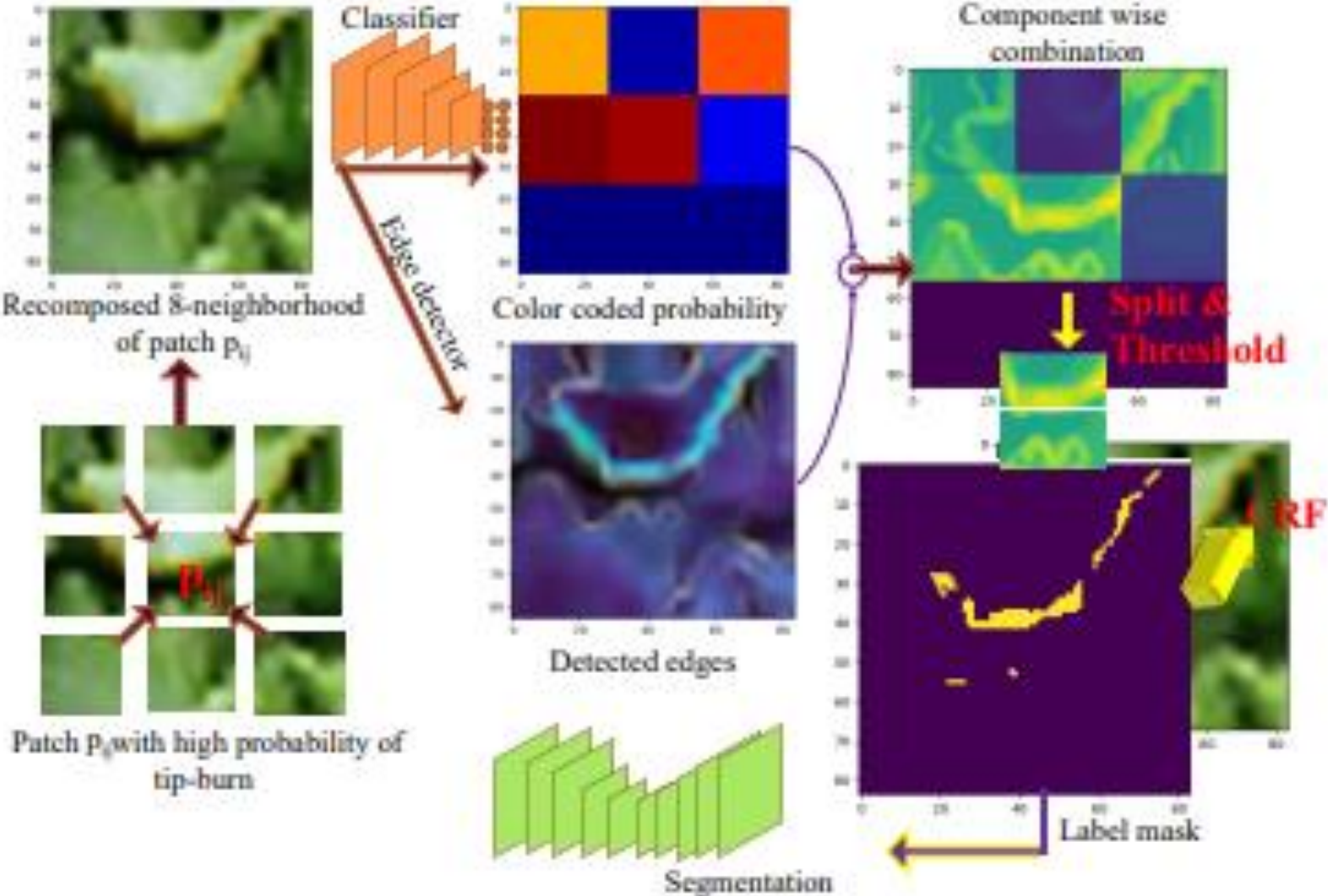
Visual (and hopefully other) sense of Plants !???



<https://xn--tv-asahi-lc4gyeo159g.co.jp/doraemon/story/0501/>



チップバーンの検出



Gozzovelli R., Franchetti B., Bekmurat M., Pirri F. (2021). Tip-burn stress detection of lettuce canopy grown in plant factories, in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (Montreal, BC: IEEE;), 1259–1268.

植物工場にて植物を生産しながら 植物群落・個体別に連続計測・解析することの重要性

植物特性・環境・マネジメントデータ全体の連続計測と解析
⇒環境制御＝パラダイムシフト

- 植物の個体別の成長⇒栽培空間占有率の変化
- 群落内で個体同士が競合・密集

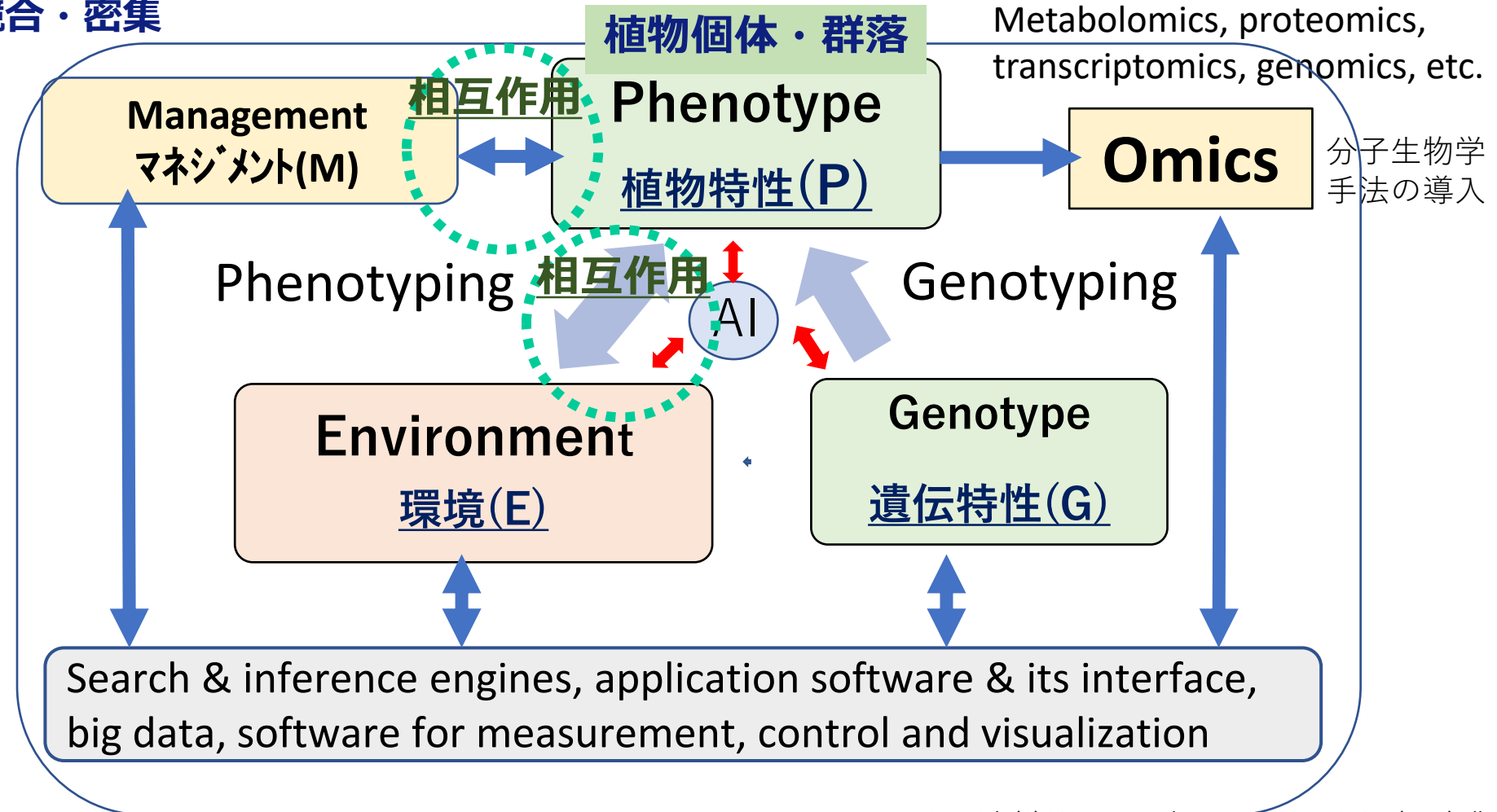
栽培マネジメント
(例：種子の加工、播種、移植、スペーシングなど、自動化も含む)

相互作用・応答
時系列的变化

植物個体・群落

相互作用・応答
時系列的变化

栽培環境
(植物体周辺の Microenvironment 含む)

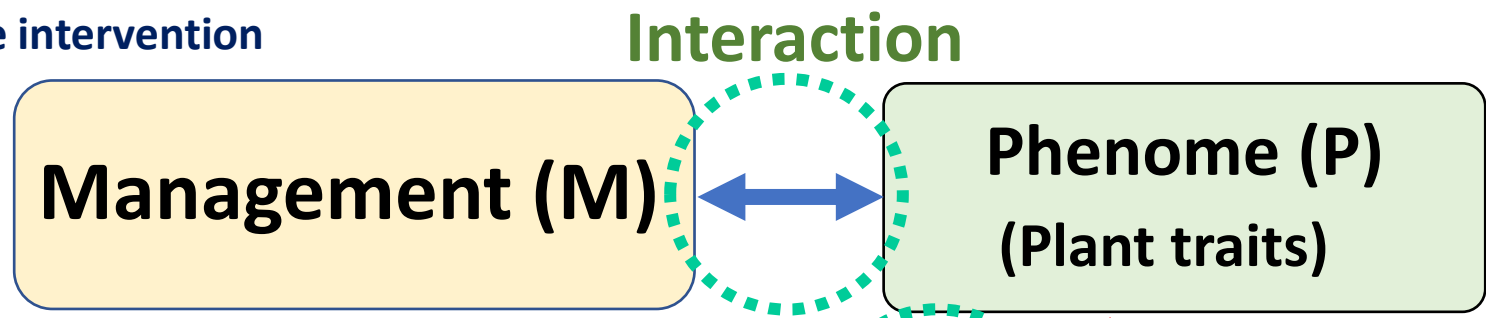


- Plant density?
- Spectral reflectance of cultivation space (panels/system)
- Human/machine intervention
- Seed processing
- etc.

Single leaf

Individual plant

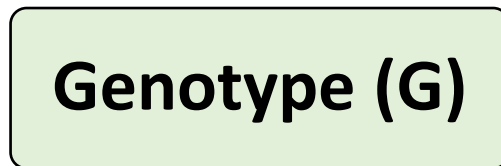
Plant community (shoot/root)



Phenotyping

Genotyping

AI



Environmental setpoints

Cultivation room Environment

Air

Plant canopy

Above

Within

Light

Root-zone

Plant community

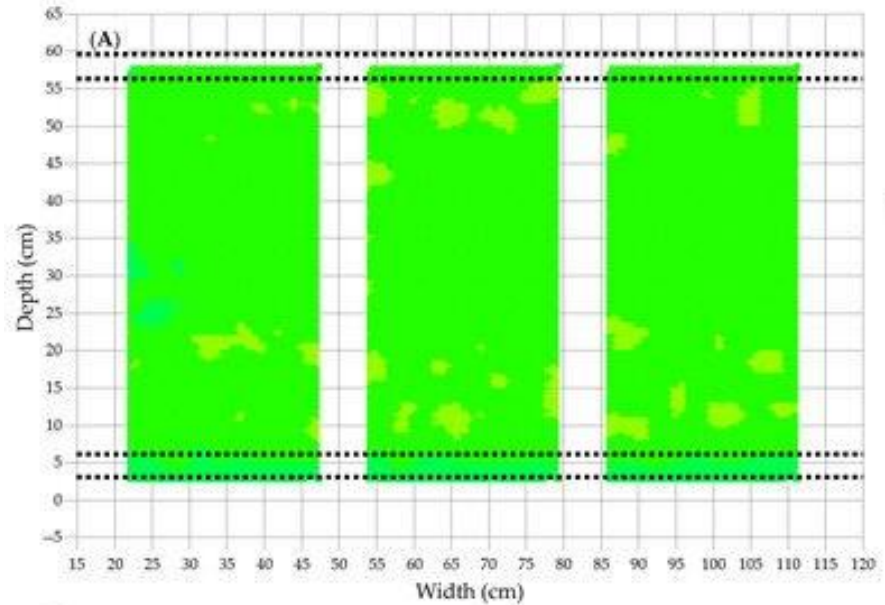
Above

Within

Revised from (Kozai, in press)

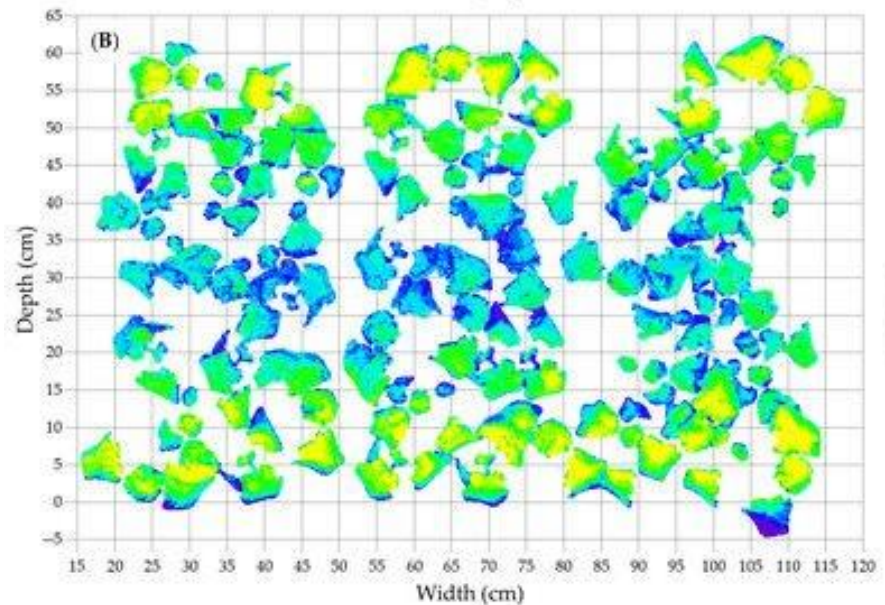
植物工場の栽培面における光合成有効量子束密度(PPFD)の 二次元分布に関する先行研究の一例

植物体の有無におけるPPFD分布の相違



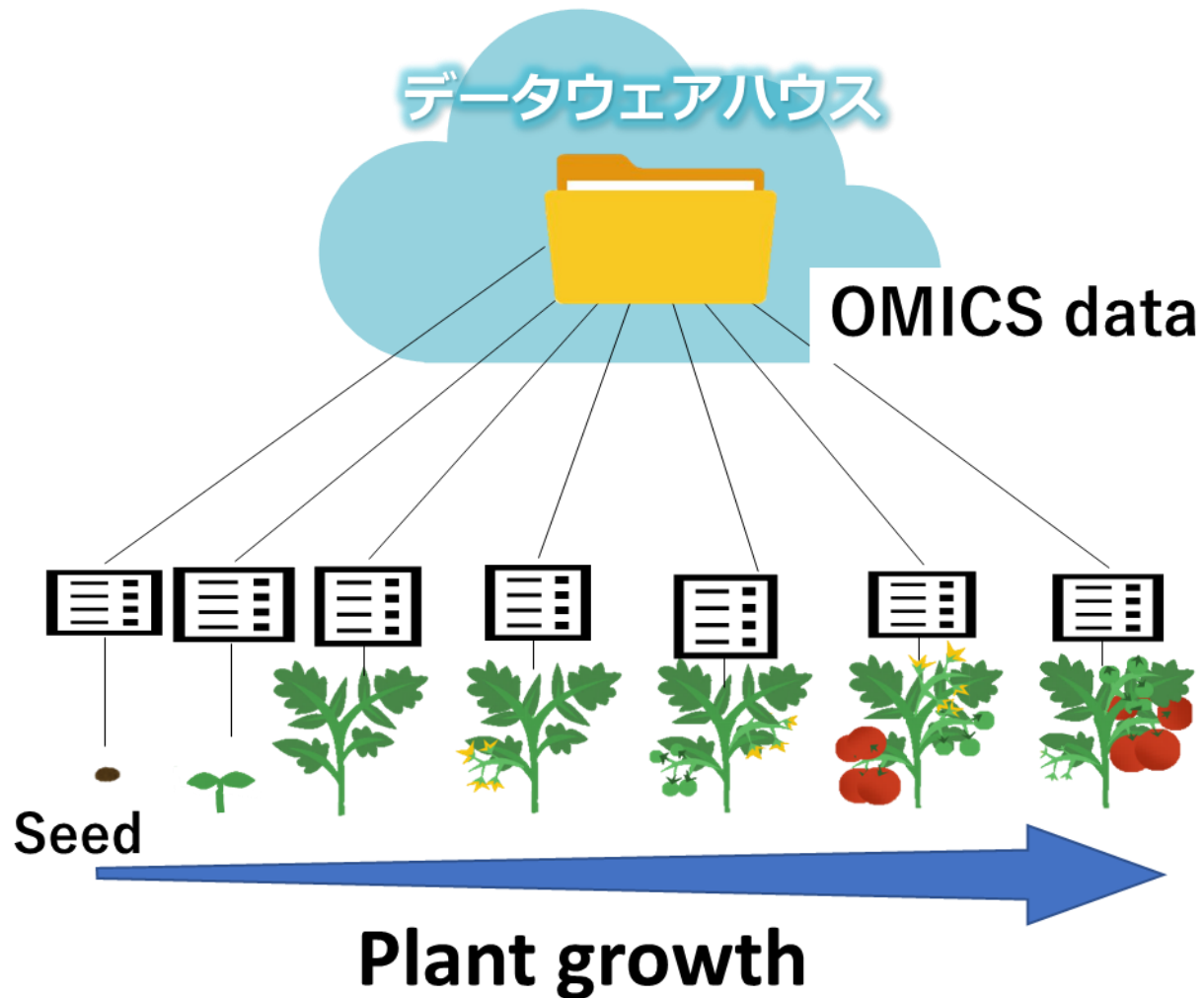
同じ照明設計下における
PPFD分布

- ・ 植物体なし：栽培エリア
表面（上）変動係数4.2%
- ・ 植物体あり：葉面（下）
変動係数44.6%



Saito, K.; Ishigami, Y.; Goto, E. Evaluation of the Light Environment of a Plant Factory with Artificial Light by Using an Optical Simulation. *Agronomy* **2020**, *10*, 1663.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111663>
に加筆

Methodology of phenotyping and AI-based environmental control and breeding for PFAL



$$P = f(G, E, M, \text{etc.})$$

P: Phenotype, G: Genotype
E: Environment, M: Management

植物コホート研究

Plant cohort research

with continuous, non-invasive
measurement of individual
plants

各種カメラと画像処理AI技術による表現型計測は環境制御および育種における重要技術になりつつある (Hayashi et al., 2022)



• 種子発芽



• 苗成長



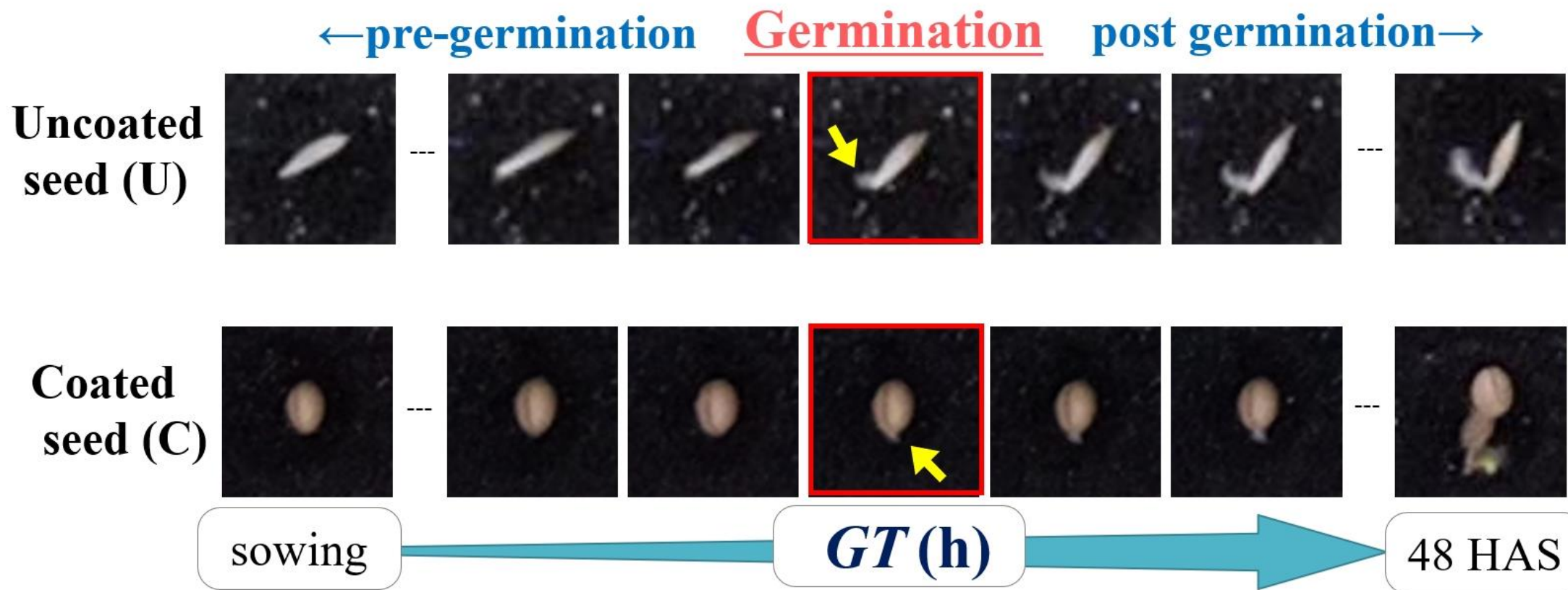
• 密集した群落



• 果菜類などの花芽形成、開花、結実、成長、成熟

複雑さ

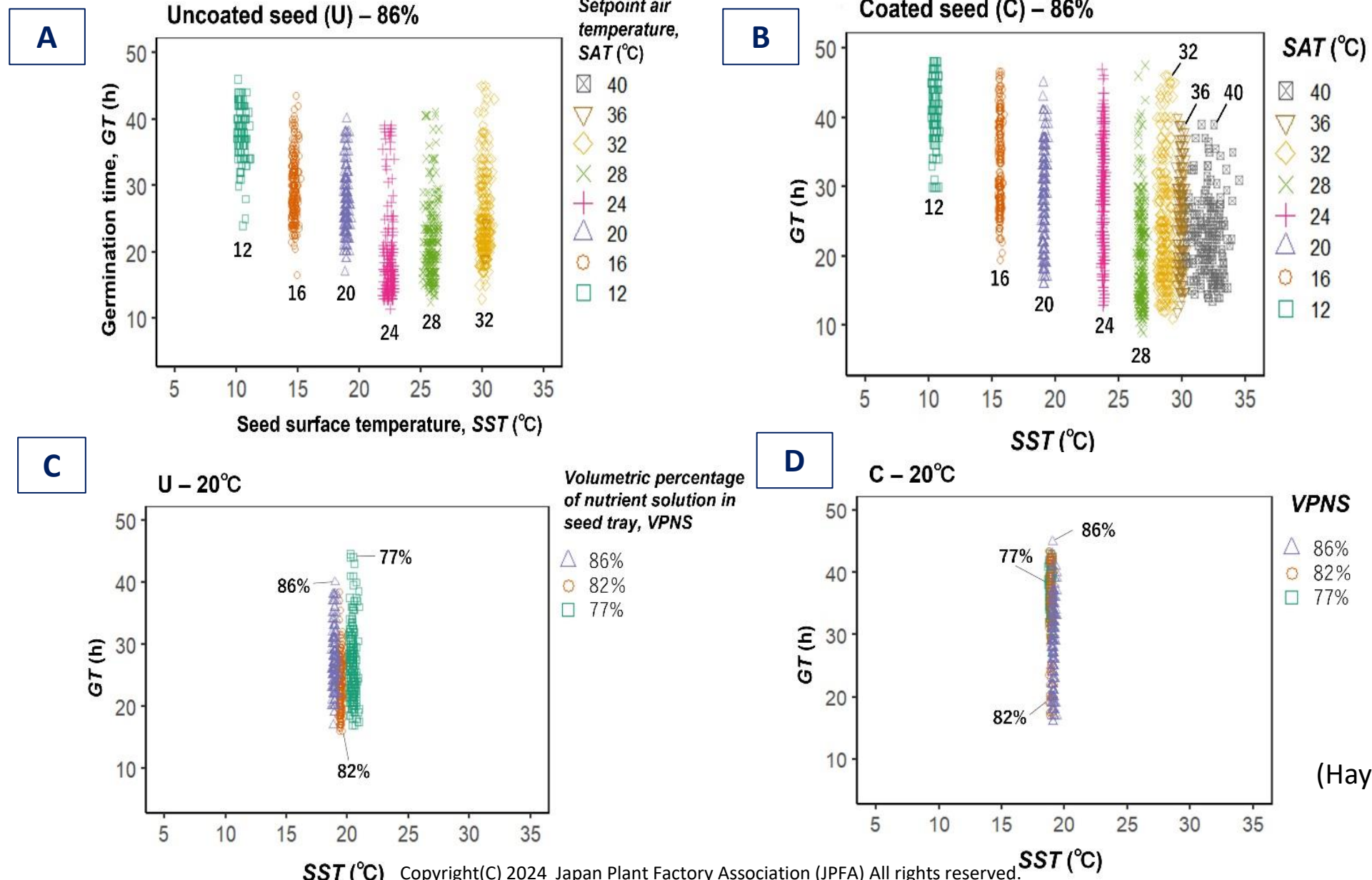
フェノタイピングシステムを用いた個体別の発芽時間(*GT*)の推定 およびmicroenvironmentとmanagement factorによる影響分析 ～植物工場におけるコホート研究～



Hayashi et al. Phenotypic Analysis of Germination Time of Individual Seeds Affected by Microenvironment and Management Factors for Cohort Research in Plant Factory. *Agronomy* **2020**, 10, 1680. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111680>

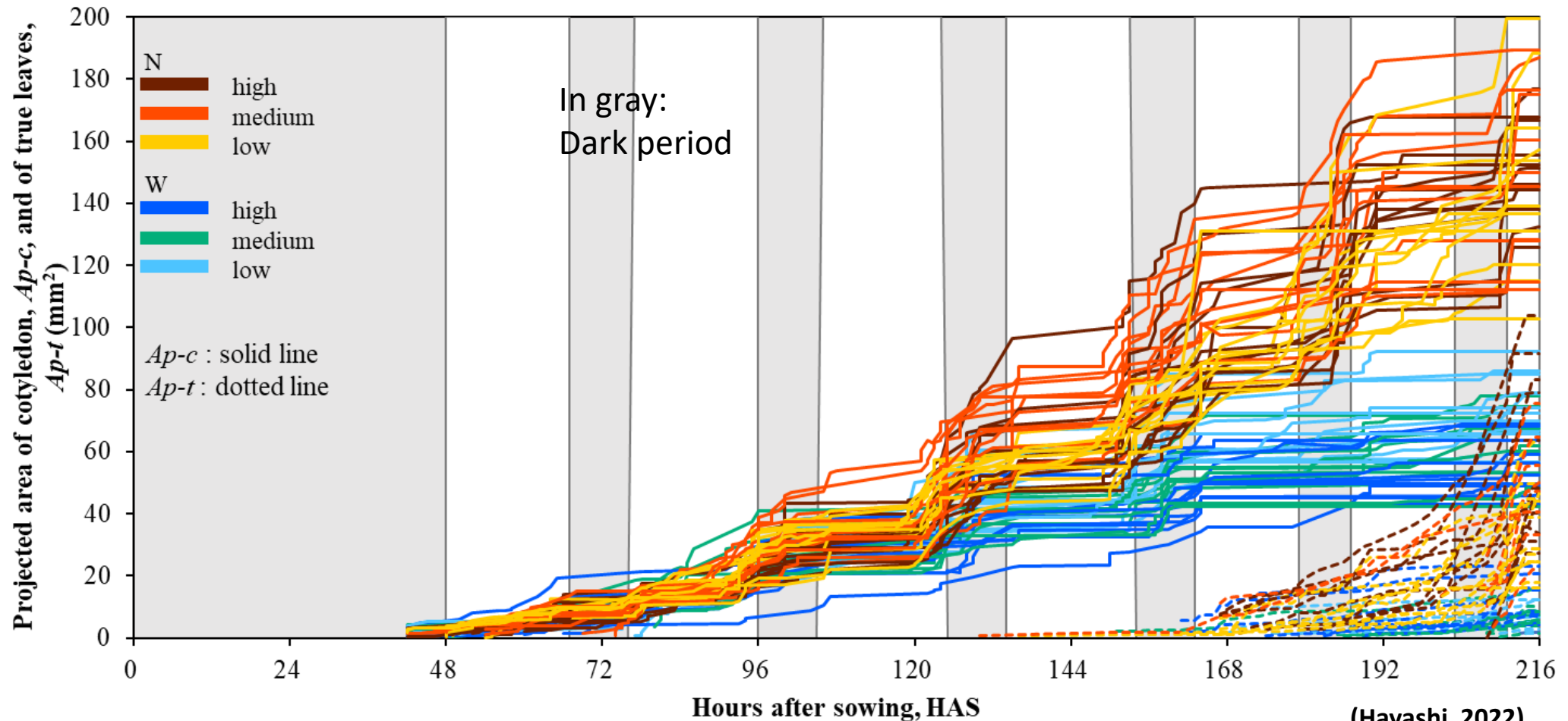
GT および SST の散布図

1) 変動SATとVPNS 86%, 2) 変動VPNSとSAT 20°C
各300個の非コート種子 (UB) とコート種子 (CB)



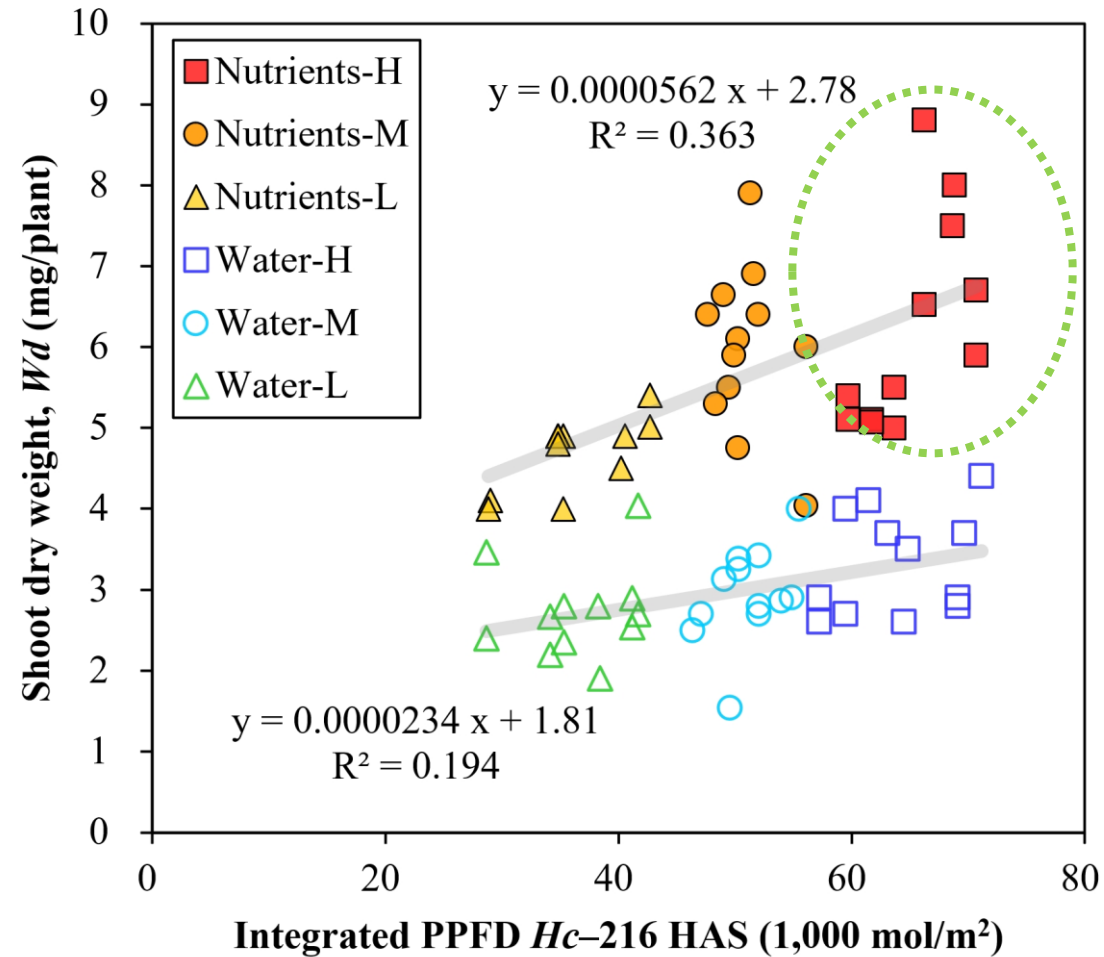
(Hayashi et al., 2020)

Time-course increasing changes in projected areas of the cotyledon (*Ap-c*) and true leaves (*Ap-t*) of individual seedlings



(Hayashi, 2022)

個体別の積算水平面PPFDと地上部乾物重 (W_d)



✓ 相対的な成長速度
が大きいほどバラ
ツキが大きい

(Hayashi et al., 2022)

有用物質生産に求められる精密な環境制御

人工光型植物工場における

植物個体別のフェノタイピングの重要性

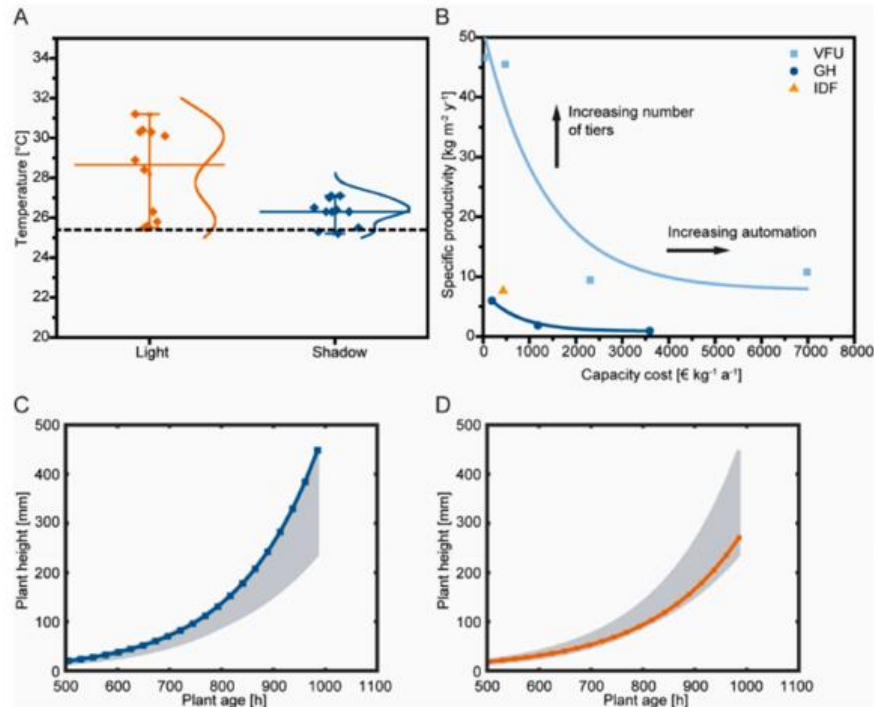


Fig. 8. Cultivation facility operation, investment costs and plant growth. (A) In a greenhouse, plants exposed to direct sunlight can exhibit leaf temperatures that substantially higher than the ambient air temperature (dashed black line) or of plants growing in the shade under otherwise identical conditions. The leaf temperature in the light appears bimodal, representing leaf areas exposed to sunlight and leaf areas shaded by other leaves. (B) Asymptotic models ($y = a - b \times e^{-x}$) fit cost and productivity data for greenhouse (GH) and vertical farm (VFU) facilities. Coordinates for a single-tier in door farming (IDF) facility are shown for comparison. (C) The height of tobacco plants increases rapidly when sown at the beginning of spring (day 90 in a calendar year, green line) compared to the overall growth corridor (gray area) observed in a greenhouse. (D) In contrast, seeding plants in late summer (day 240 in a calendar year, orange line) results in less height gain. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

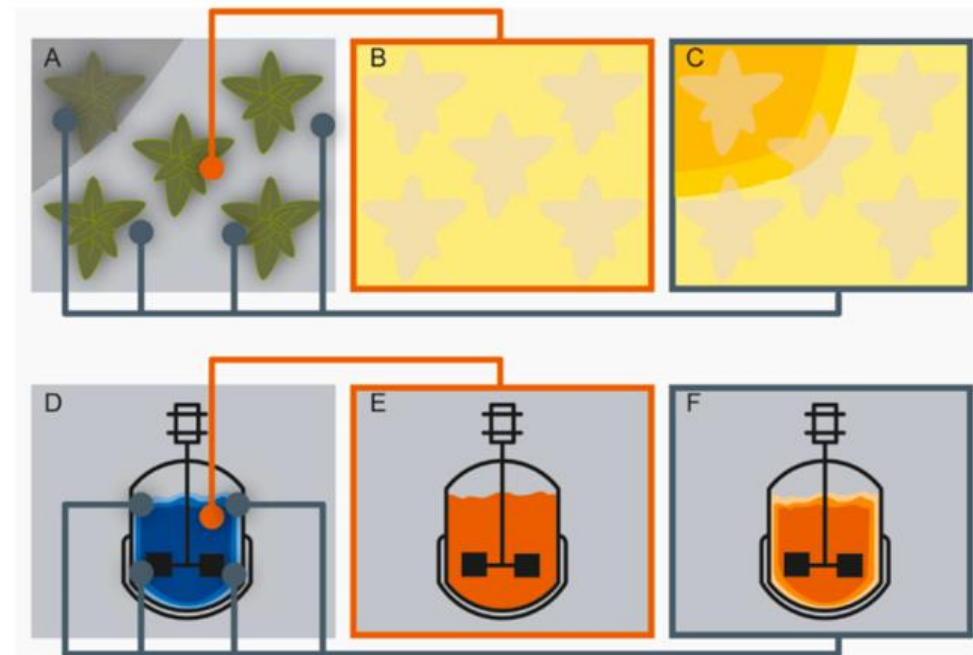


Fig. 6. Sensor density for bulk parameter measurements. For discrete production entities such as plants, parameter values may differ substantially between individuals (A) as shown here for light intensity (shades of gray). Accordingly, a single sensor (orange) is unable to represent the parameter distribution (B) and a sensor network will provide more relevant data (C). In contrast, if a continuum such as liquid extract or fertilizer is handled (D), a single sensor (E) can provide enough information for process control and a complex sensor network (F) is not required.

J.W. Huebbers, J.F. Buyel, On the verge of the market – Plant factories for the automated and standardized production of biopharmaceuticals, *Biotechnology Advances*, Volume 46, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107681>.

222 第5章 生態学におけるシミュレーションモデルの実験

C. 正方形植え個体群の光環境のシミュレーション

これまで述べてきたモンテカルロ法によるランダム (RD) 個体群の光環境のシミュレーションが非常に有効であることは、御理解いただけたであろう。し

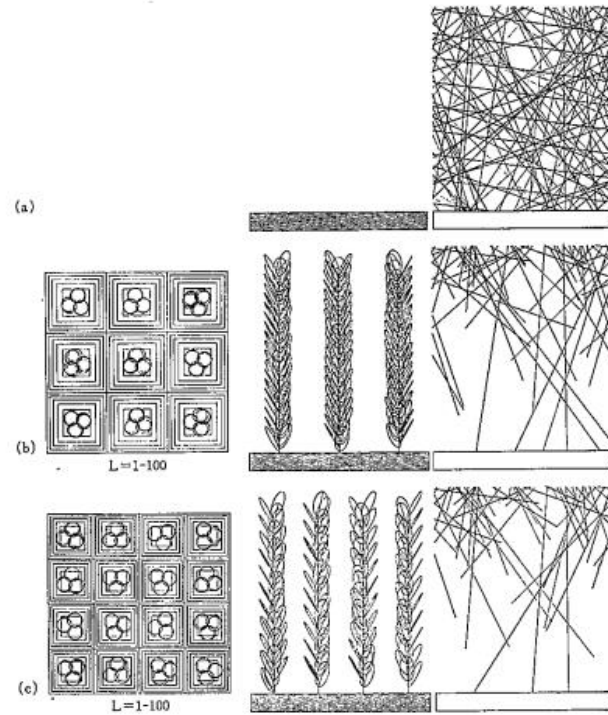


図 5.27 正方形植え個体群の構造と光の軌跡
図の左列に正方形植え個体群の平面図を示し、中列に立面図を示し、右列に照射された光線のうちの初めの 50 本の軌跡を示している。

5.3 モンテカルロ法による植物個体群内の光環境のシミュレーション 223

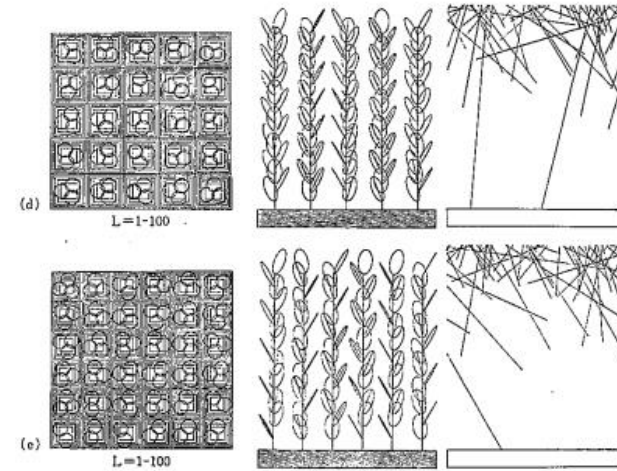
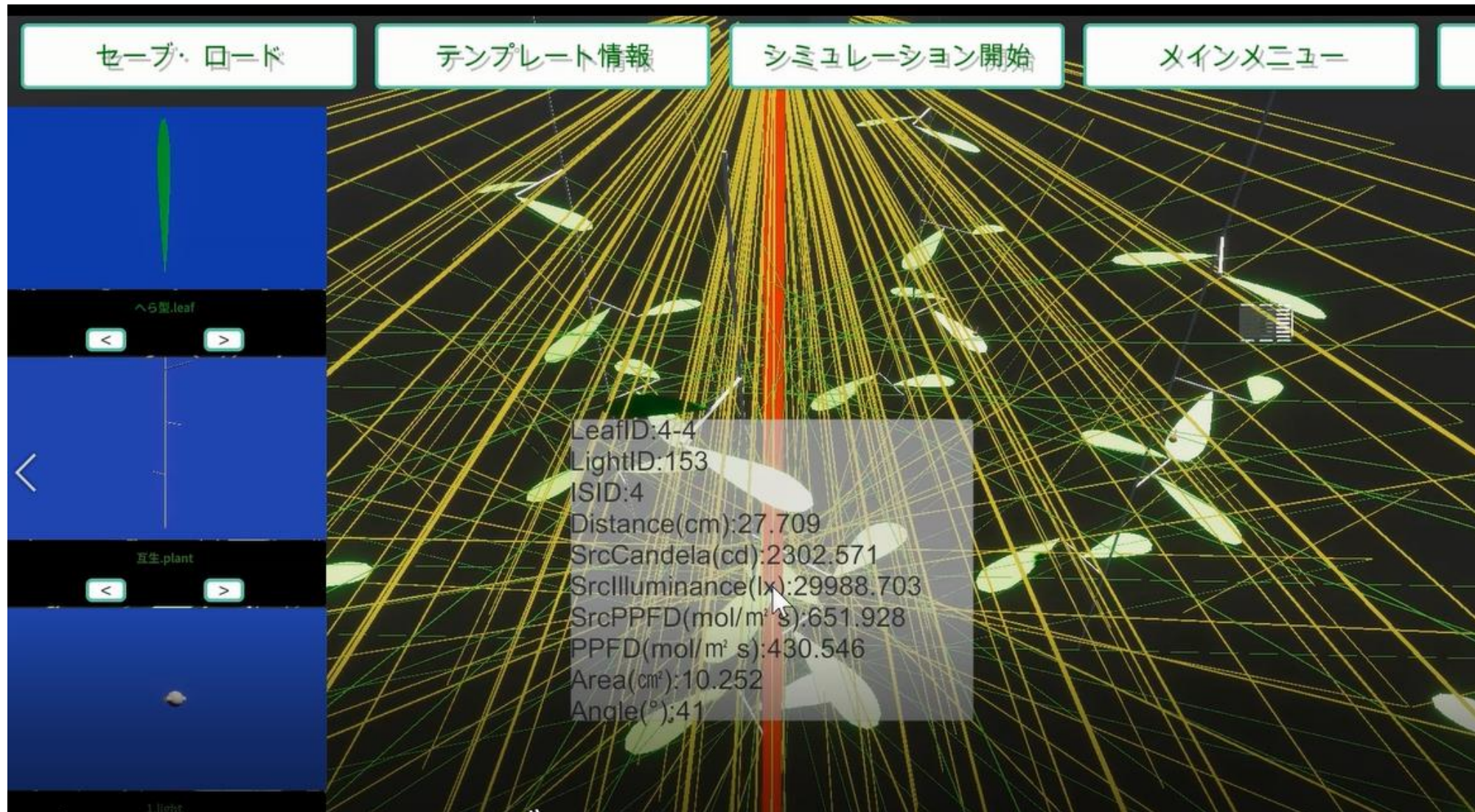


図 5.27 (つづき)

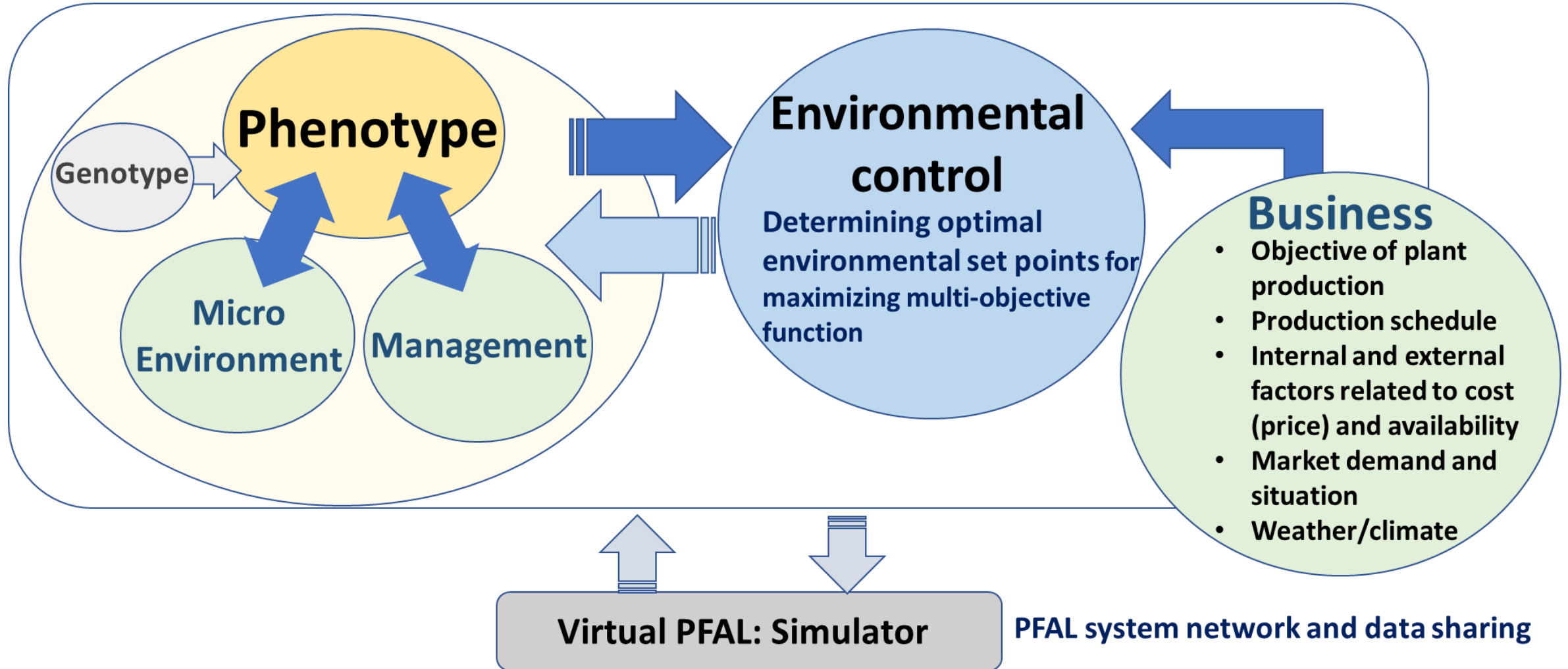
かし、ここで注目していただきたいことは、モンテカルロ法では、葉の空間分布に何の制約もない、ということである。図 5.20 の流れ図を見ればわかるように、いったん葉の分布が決められたならば、全く同じ操作でその群落の光環境を測定することができるのである。

そこで次に、野外の栽培実験を想定した正方形植え (SP) 個体群がコンピュータ内につくられ、その光環境が調べられた (Oikawa, 1977 a)。正方形植え用 POPULATION GENERATOR でつくられた一連の単位個体群が、図 5.27 に示されている。単位土地面積当たりの葉数は 500 枚、葉形は長径と短径の比が 2:1 の楕円形で、葉面積指数は 5 という点は、先の RD 個体群の場合と同じである。さらにここでは、1 列に植える個体数 ND 、1 節に付く葉数 LN (互生, 対生, 輪生)、互生の場合の葉の間隔 LD 、葉面積密度 LAD 、単位個体群の高さ H と幅 W との比 (H/W 比) といった個体群構造を決め

Light simulation Software (C) MTI Ltd.



Plant phenotype-based environmental control taking into account business-related factors



(Hayashi, in press)

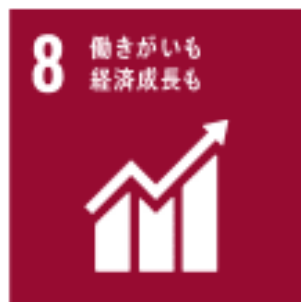
PFALs can achieve relatively simple and accurate data acquisition, time-series analysis, and plant growth or phenotypes prediction, including resource use efficiency or productivity with a unit of time in PFALs

PFALs : highly airtight and thermally insulated



Production in PFALs → Research

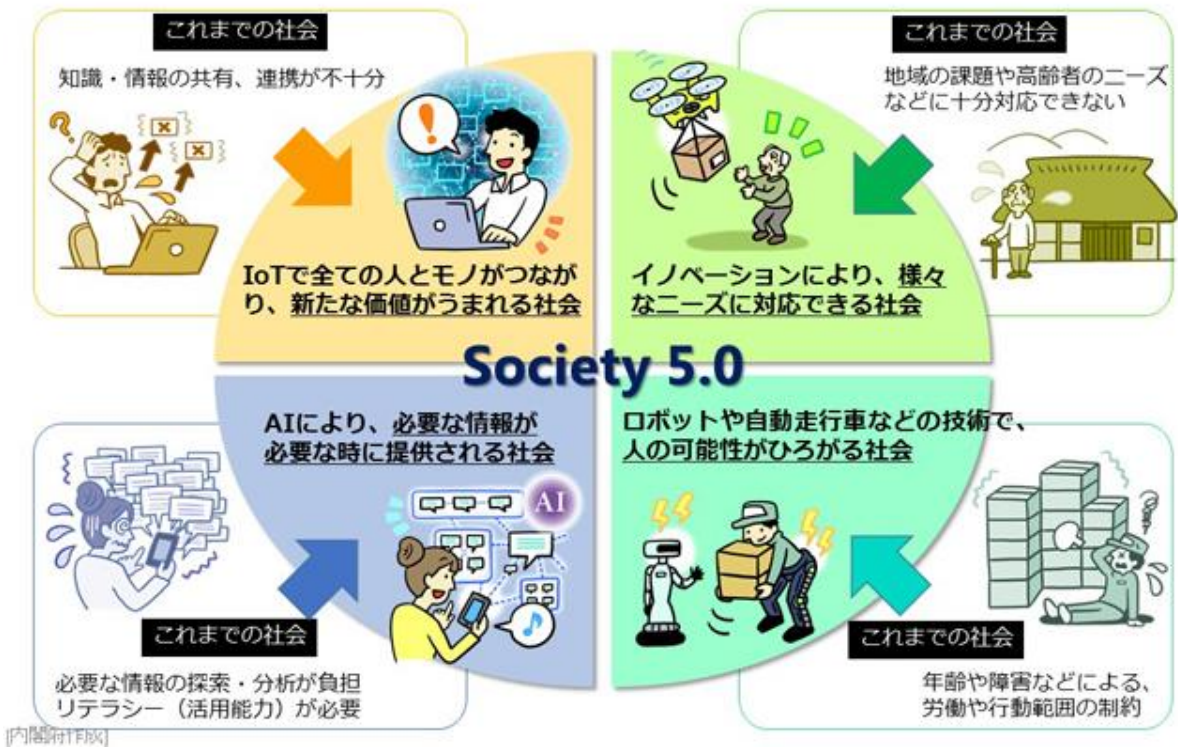
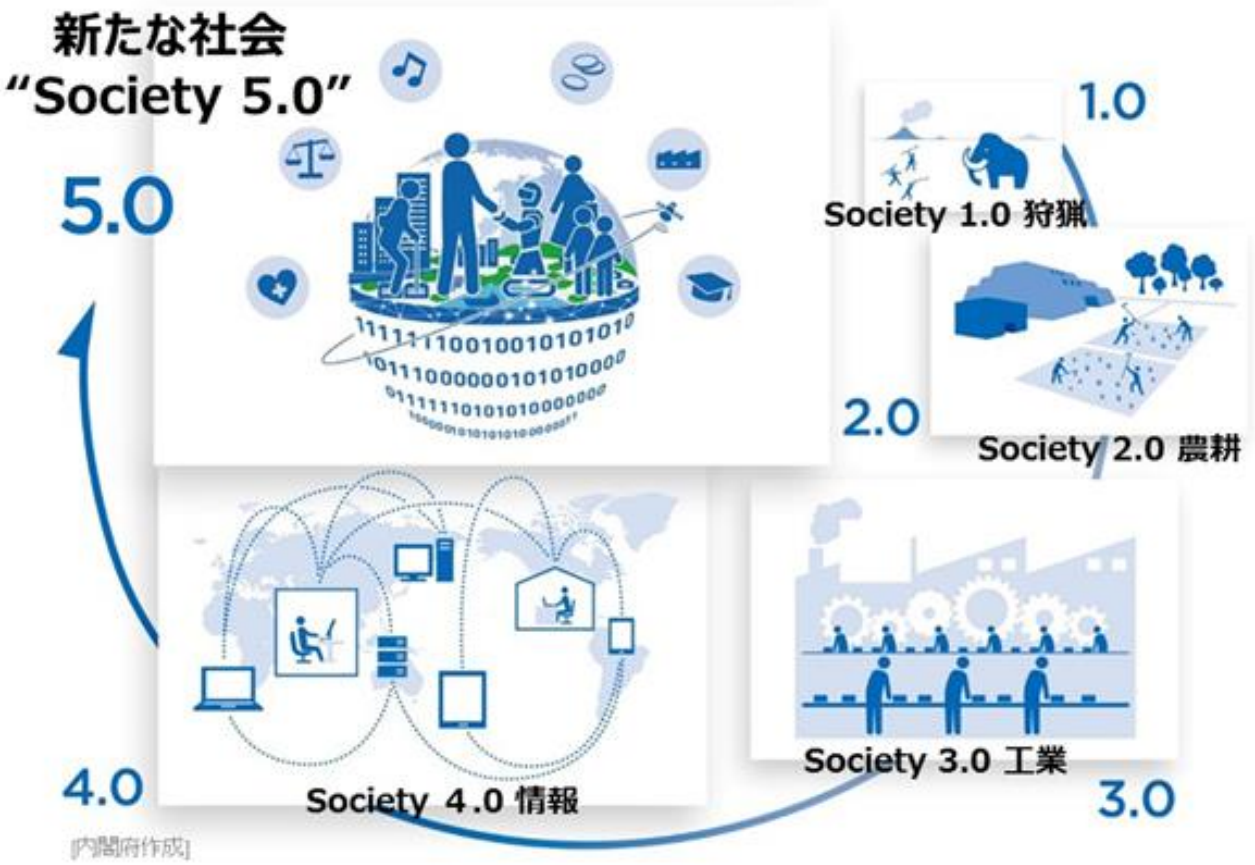
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



新たな社会 Society 5.0

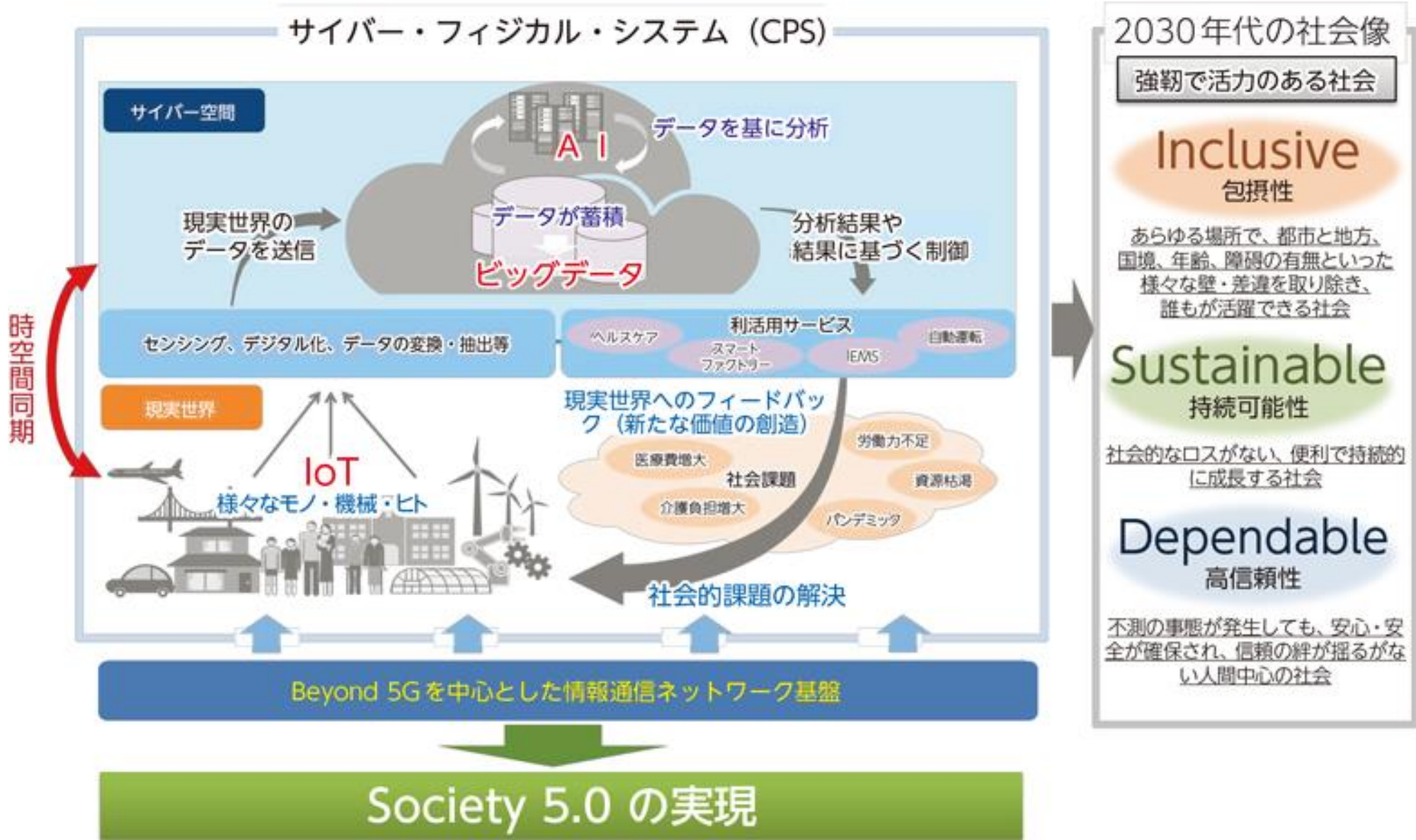
第5期・6期科学技術・イノベーション基本計画

「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、**経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会**」

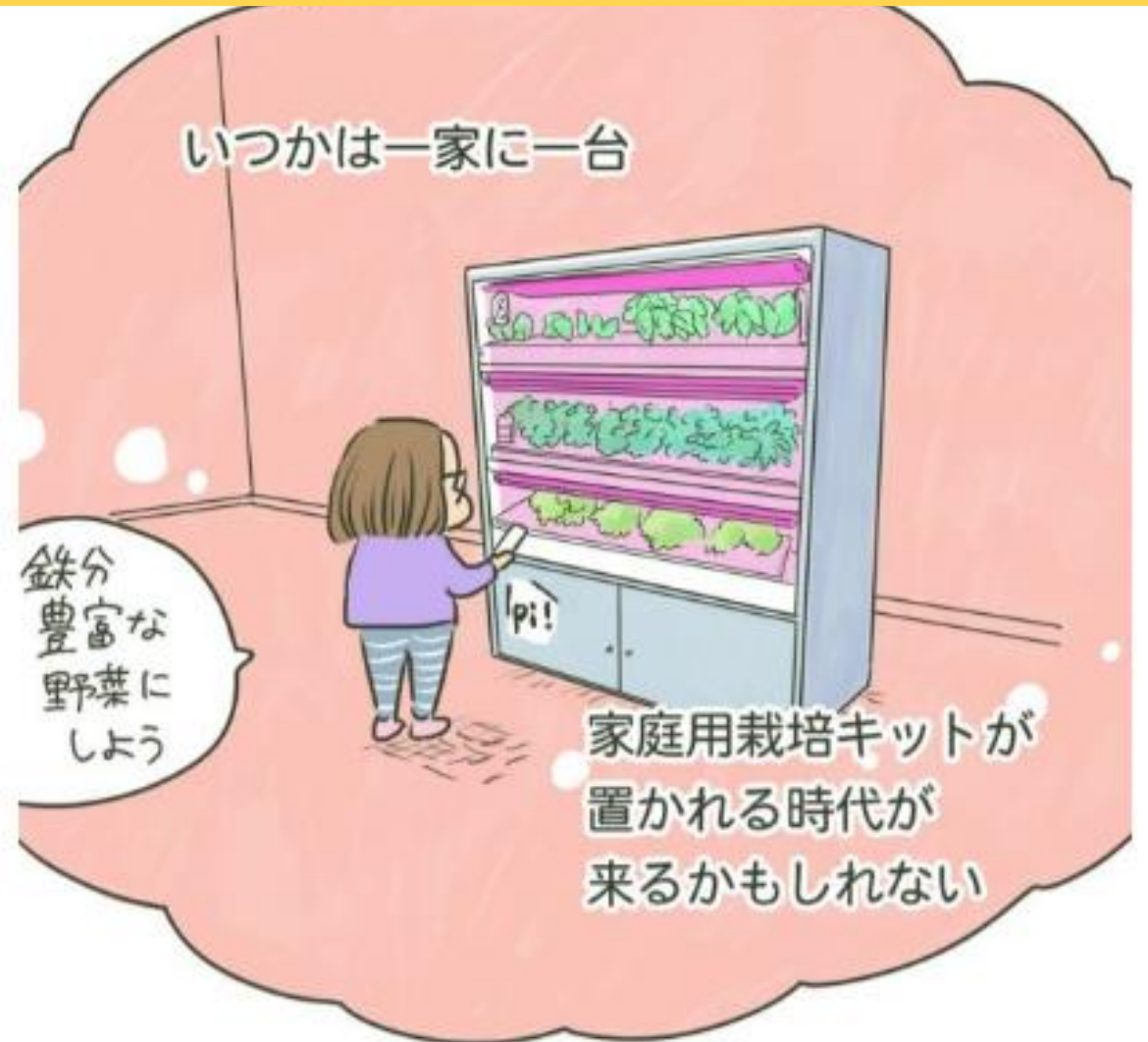


https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/

データ主導型の「超スマート社会」



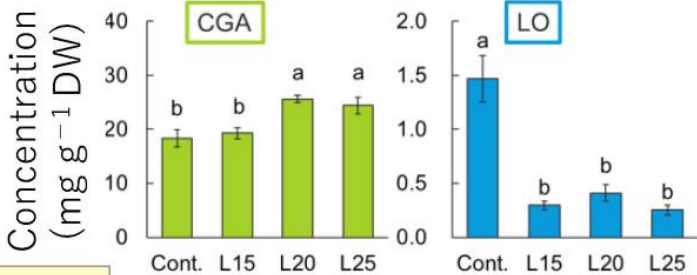
For plant production and evolutionary research



Development of LCA-Multidimensional Map (LAMP): A Platform to Support Information Sharing and Formulate CO₂-Level-Reduction Plans toward Zero Emissions

Information of light quality, radiation flux, life-span, electricity consumption of lighting facilities in a greenhouse and plant factory.

Data on secondary metabolites



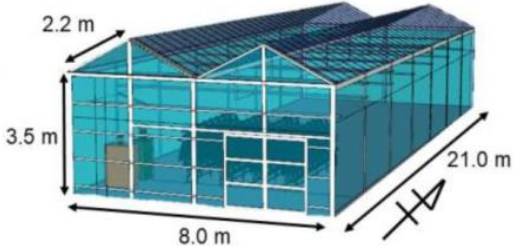
Leafy vegetables	Lettuce, Spinach, Komatsuna, Chinese leaf vegetables, <i>Eruca vesicaria</i> (Arugula), <i>Corchorus olitorius</i> (Molokheiya), <i>Brassica oleracea var. acephala</i> (Kale)
Fruit vegetables	Tomato, Cucumber, Strawberry
Other vegetables	Radish, Broccoli sprout
Field crops	Rice, Soybean
Medicinal plants	<i>Glycyrrhiza</i> , Red perilla, Japanese mint, <i>Hypericum perforatum</i> (St. John's wort), Japanese honeysuckle, <i>Ophiorrhiza pumila</i>
Flower plants	<i>Phalaenopsis</i> , <i>Eustoma grandiflorum</i>



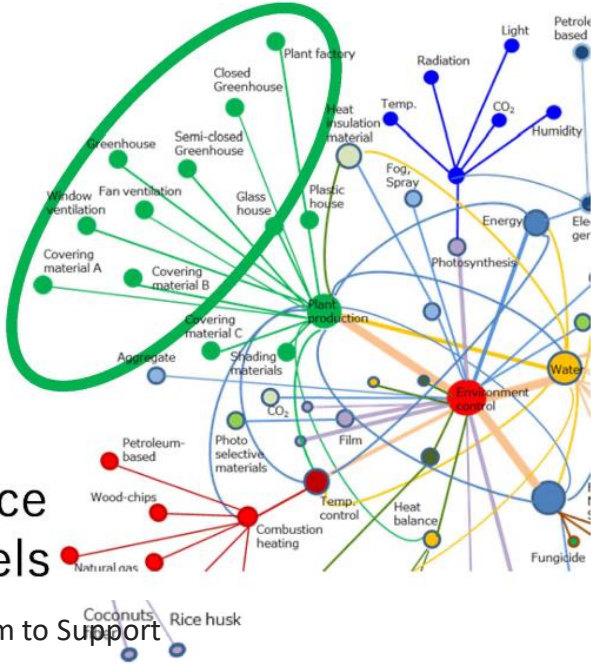
Fogging system



Shading material



The application software interface (API) of various simulation models

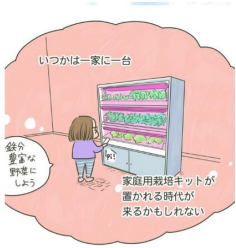
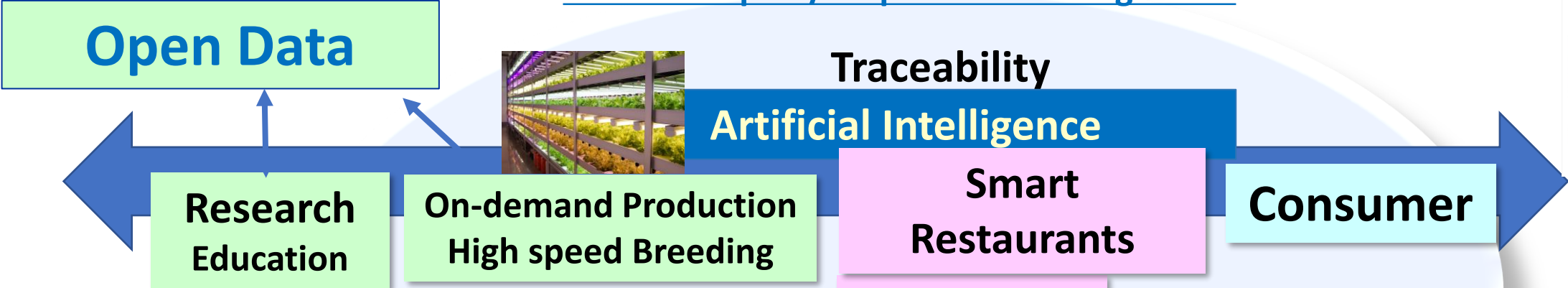


Hikosaka, S.; Hayashi, E.; Nakano, A.; Kasai, M.; Yamaguchi, T.; Kozai, T. Development of LCA-Multidimensional Map (LAMP): A Platform to Support Information Sharing and Formulate CO₂-Level-Reduction Plans toward Zero Emissions. *Sustainability* **2023**, *15*, 16066.

<https://doi.org/10.3390/su152216066>

Plant Factory-based Well-being

Multi-crop tailored production, based on big data analysis of phenome, genome, environment, resource inputs/outputs and management



Sustainability
Social Economy



- Nutritious crops
- High quality/value Vegetables
- Medicinal Plants

Clean Energy

Traceability

Artificial Intelligence

Plant Socialization
Healthy
Entertainment

Design, Art

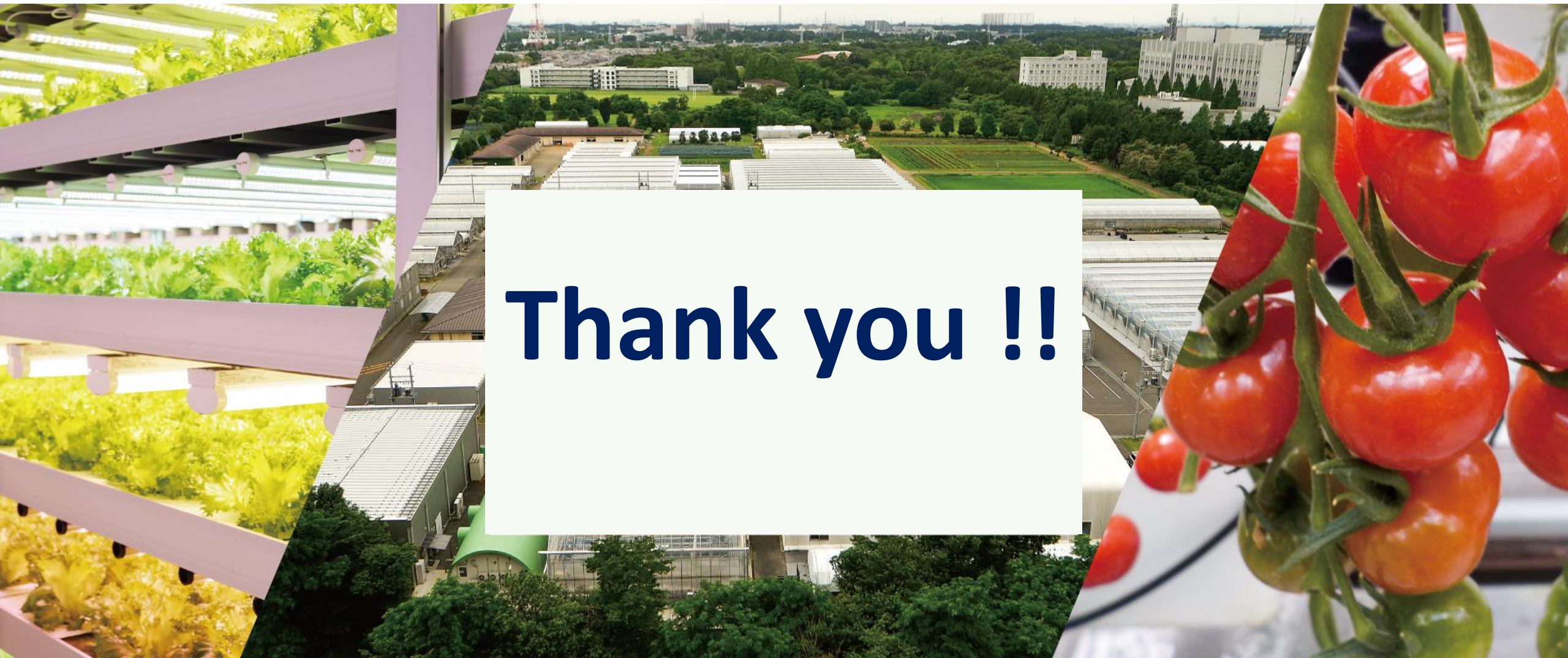
Personalized Medicine
Food and Health
Quality of Life

Culture



Art





Thank you !!

**Contact: ehayashi@nplantfactory.org
info.english@nplantfactory.org**

For more: <https://nplantfactory.org>
[@nplantfactory](#)