

放送大学面接授業

植物工場-食料・環境への挑戦

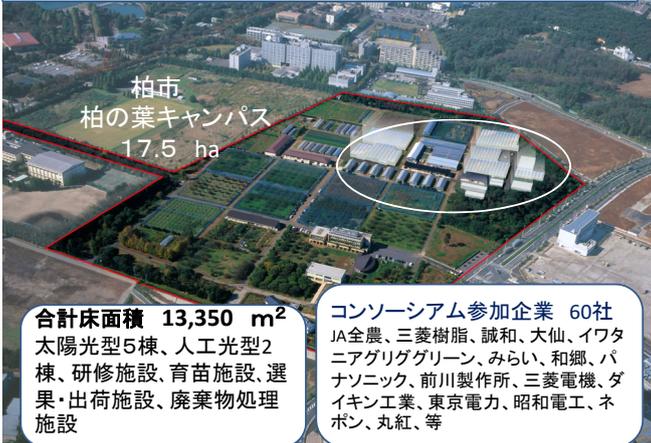
2013年7月6(土), 7(日)  
千葉大学環境健康フィールド科学センター

古在豊樹  
NPO植物工場研究会

内容

- ・ 国外における(人工光型)植物工場分野の最新動向
- ・ 人工光型植物工場市場の将来展望
- ・ 期待する技術や取組み
- ・ 太陽光型植物工場

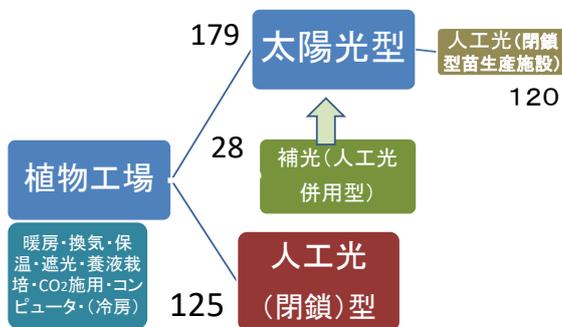
千葉大学・農水省植物工場プロジェクト(2011~)



植物工場への関心が世界的に高まっていることの社会的背景

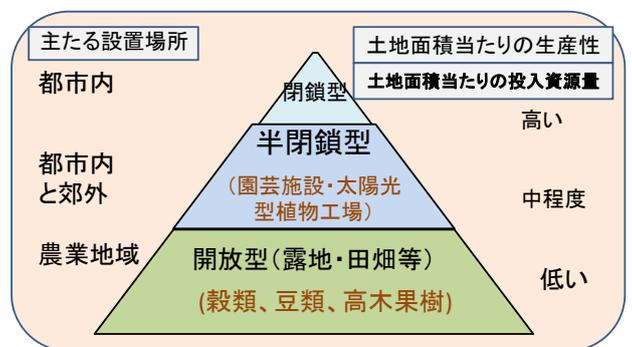
- 1 食料の安全・安心・高品質・安定供給への志向。健康・生活の質向上志向
- 2 世界人口の増大と都市人口比率の増大。都市における高齢者比率の増大
- 3 農業就業者人口の半減および農業就業者の高齢化
- 4 自国・地域における生鮮食料自給率の増加要求。フードセキュリティ(食料安全保障)向上への需要増。寒冷・熱帯・乾燥地域・国における周年安定植物生産需要の増大
- 5 遠隔生産地から消費地への輸送・包装・貯蔵・輸送中損失による資源消費量・コストの削減要求。地産地消によるフードマイレージの削減
- 6 近年の光源・空調・断熱・情報処理設備コストパフォーマンスの向上
- 7 都市内の資源循環利用促進、雇用創出、生活・教育改善のための都市農業(Urban Agriculture)の重要性の向上
- 7 かん水用水量の世界的不足とコスト高による節水栽培と水循環利用対策
- 8 異常気象、気候変動による作物収穫量の不安定化と価格乱高下の対策
- 9 経済定常化による失業者の増大と社会の不安定化。人間関係の希薄化

植物工場の分類と日本における設置概数



2013年3月の推定値

環境との間の閉鎖度(開放度)にもとづく植物性食料生産システム(閉鎖型、半閉鎖型、露地型)の分類と特徴



## 国外における人工光型植物工場の最新動向

- 中国
- 台湾・韓国
- 米国
- (オランダ)
- 日本企業の外国進出動向

(韓国、中国、台湾、モンゴル、シンガポール等)

## 中国における植物工場の地理的分布(2012年末)

● 人工光植物工場 25 ■ 自然光植物工場 50



## 中国における植物工場研究プロジェクト例(1)

国家高級科学技術プロジェクト・知能的植物工場生産技術 (Chinese 863 Project)。2013年～2017年(5年間)。年間50,000,000元(約6億円) 7つのサブ・プロジェクトに分けられ、15の研究教育機関と企業が参加プロジェクト・リーダー: 中国農業科学院 楊其長

|   |                                       |   |
|---|---------------------------------------|---|
| 1 | 植物工場における節電型LED光源および光環境の知能的制御          | 中国農業科学院 (CAAS) 農業における環境および持続的発展研究所、中国科学院半導体研究所、浙江大学、IEDA Ltd.(AgriGarden)   |
| 2 | 植物工場における多層栽培システムのキー・テクノロジーおよび装置に関する研究 | 北京市農業機械研究所、中国農業大学<br>北京京鵬 (Beijing Kingpeng Int'l Hi-tech Corporation), Tibet Lhasa National Hi-tech Agr. Demo. Park) |
| 3 | 植物工場における光環境と温度の連動による省エネ環境制御技術         | Donngying Tech. Top Photoelectric Technology Company, 南京農業大学  |

## 中国における植物工場研究プロジェクト例(続き)

|   |   |  |
|---|---|--|
| 4 | 植物工場における養液管理および野菜の品質技術に関する研究            | CAAS, 西北農林科技大学、中国農業大学<br>Beihang University(北京航空航天大学)  |
| 5 | 植物工場におけるネットワーク管理に基づく知能制御に関するキー・テクノロジー研究 | 北京信息技術研究中心 (Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture), 中国農業大学<br>北京農林科学院蔬菜研究中心、吉林大学 |
| 6 | 太陽光型植物工場における総合展示                        | 上海都市綠色工程有限公司 (Shanghai Urban Green Engineering Company Lit., 同濟大学、上海交通大學, Tongji Uni., SAAS)                 |
| 7 | 人工光型植物工場の総合展示                           | 浙江大学、中国農業科学院 (CAAS)  |

## 中国農業科学院 (北京市海淀区)



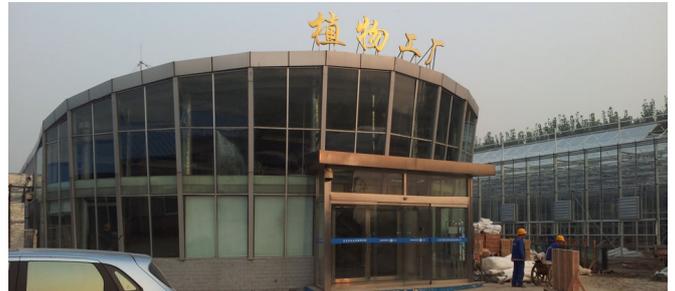
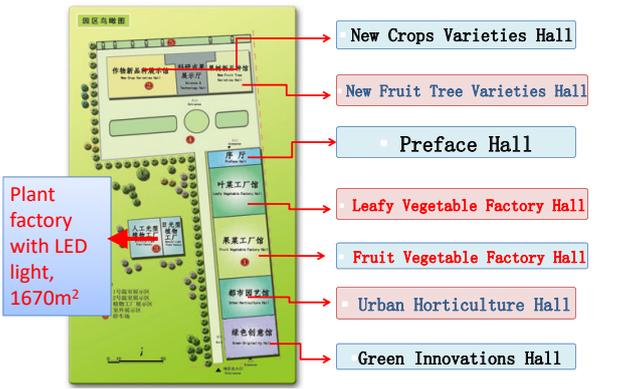
中国・農業科学院(北京)に2009年に楊基長氏らにより設置された、床面積100 m<sup>2</sup>の人工光(LED)型植物工場



中国農業科学院敷地内 国家農業科学展示園



中国農業科学院敷地内の植物工場配置



北京市農業機械研究所 植物工場研究センター



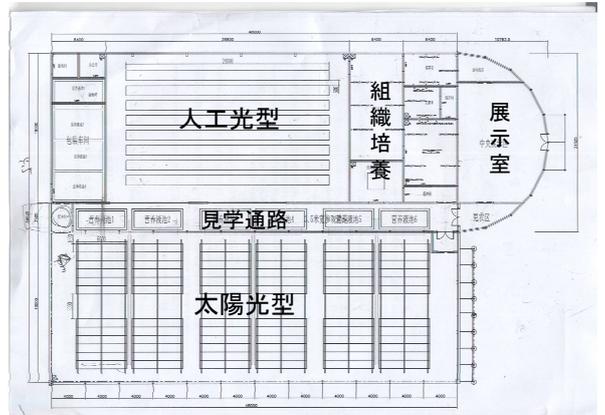
浙江大学(長興)植物工場プロジェクト  
2013年～2017年(2012年に準備開始)

- 床面積 3,000 m<sup>2</sup> (人工光:約800m<sup>2</sup>、太陽光:約900m<sup>2</sup>、他設備 1,300m<sup>2</sup>)
- 2013年度事業費5,000万元(6億円)、2014年度4年間1,000万元(1.2億円)/年

浙江大学(杭州市),浙江大学(長興)、上海,南京の位置関係



浙江大学(長興)植物工場平面図(案) 2013年夏竣工予定



人工光植物工場栽培棚モデルを用いた予備試験  
2012年12月24日



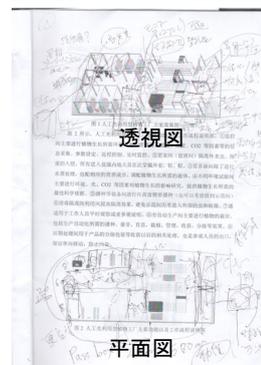
西北農林科技大学(楊凌)の地理的位置



西北農林科技大学植物工場建設予定地  
2012年11月30日



西北農林科技大学  
(North-west A&F University)



人工光自動化植物工場(案)

床面積 約400 m<sup>2</sup> (30x14 m)

張光強(書記)  
Zhou志榮(園芸学院院长)  
崔(Cui Yongjie)

西北農林科技大学 園芸学研究院 院長 教授  
Zhou Zhi-Ron博士



中国農業大学  
閉鎖型システム  
黄元教授  
馬承偉教授  
賀冬仙准教授



上海・新鮮館 有機野菜売り場



ウラジオストック(ロシア)市内のスーパーマーケットにおける  
葉もの野菜の価格(2012年)



手のひらサイズの白菜  
1/パック3つで185円。  
中国からの輸入品



# 台湾

2013年4月現在で、25の人工光型植物工場が稼働  
2013年春に、日産2万株の新工場が、台北と台中の中間地域で稼働開始



Cal-Comp Biotech., 1st site



<http://www.kinpo.com.tw>

2012年3月

金寶電子

## Cal-Comp Biotech., 2nd site



<http://www.kinpo.com.tw>

2012年11月24日

金寶電子

## 太平洋建設 (SOFRESH) 台北市 2012年11月22日



2012/11/22

## SOFRE3SH, Caffe Plant Factory, Organic & Natural Foods (太平洋建設)、台北市、台湾、2012, 11, 22



2012/11/22

## Nice Green Kitchen (庭茂農業生技股份有限公司) 2012年11月24日 台北市



2012/11/24

Shanpignon(姫マツタケ)のコンテナ栽培  
台湾・華南市 LOHAS Biotech Development Corp.



LED-太陽光 融合型 (高麗)人参水耕栽培システム開発  
韓国・金博士

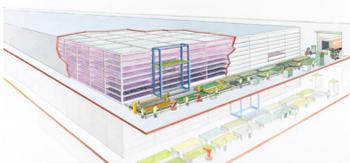


水耕ginseng

(4ヶ月後の大きくなるのに畑作では2年を要する)



オランダ・PlantLab社



米国

## 米国・テキサス州のLED植物工場におけるインフルエンザ用ワクチンの生産

ベンサミアナタバコ  
(*Nicotiana benthamiana*)  
を用いた、インフルエンザ  
用ワクチンの生産

光源はすべてLED  
14段栽培

[www.illumitex.com](http://www.illumitex.com)

<http://vimeo.com/31257744>



## 人工光型植物工場によるワクチン製造の順序

- ベンサミアナタバコ (*Nicotiana benthamiana*) (非GMO) を栽培する
- トレイの植物を逆さまにして、launch vectorを真空浸透により接種する
- 摂取済植物を栽培棚に戻して育て、目標タンパク質を体内に蓄積させる
- 収穫する。
- 収穫後、いくつかの段階を経てタンパク質を精製する。

苗生産からから収穫まではすべて自動化されている。

Courtesy of Fraunhofer USA

## Plant Growth

## Fraunhofer USA



Courtesy of Fraunhofer USA, Dr. Noritake

## Vacuum Infiltration



Courtesy of Fraunhofer USA, Dr. Noritake

## Post-Infiltration



Courtesy of Fraunhofer USA, Dr. Noritake

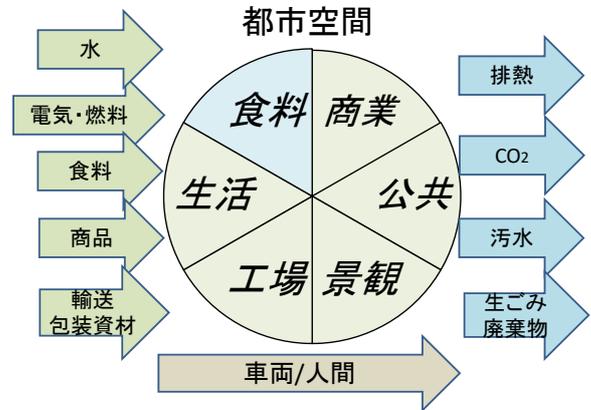
## Urban Agriculture 都市農業

- 都市への流入物と都市からの流出物
- 都市における食料生産
- 考慮すべき点
- 垂直農場

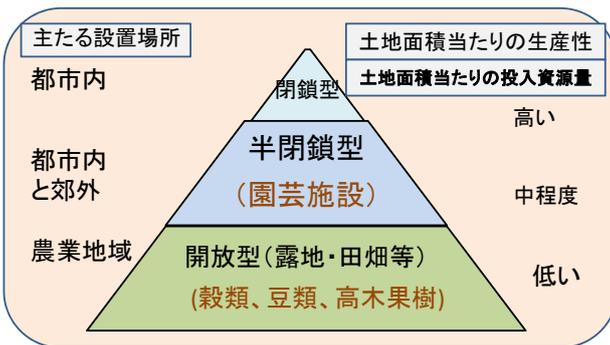
The vertical Farm – Feeding the world in the 21<sup>st</sup> century –  
 垂直農場 Dickson Despommier 著 依田卓巳訳、NTT出版



都市空間への流入物と都市空間からの排出物



環境との間の閉鎖度（開放度）にもとづく植物性食料生産システム（閉鎖型、半閉鎖型、露地型）の分類と特徴



都市での植物（生物）生産の可能性

- 建物内の空き部屋、日陰の空き地などに設置された閉鎖型（人工光）施設
- 建物屋上や空き地で半閉鎖型（自然光）施設
- 都市内の農地で露地栽培・ハウス栽培
- 個人の庭やベランダで家庭菜園

野菜、花き、緑化用を含む各種の苗、ハーブ、小型鑑賞植物、キノコ、養殖

都市内・建物内における地産地消



農業都市(Agri-culture city)における食料の  
 グローナカル生産  
 Glonacal (global+national+local) Production of Foods



## 都市農業・農業都市の構築において考慮すべき点

- ・ ライフスタイル・人生の価値観の変換
- ・ 芸術と科学技術の統合→文化の再考
- ・ グローバリゼーションをもたらす文明とローカリゼーションをもたらす文化の統合を基盤とする農業文化都市 (agri-culture city)の展開
- ・ 都市内における生鮮青果物の地産地消による (低温)輸送に起因する資源消費、環境汚染、交通渋滞、青果物の損失の削減
- ・ 地球は、エネルギーに関しては開放系であるが、物質に関しては閉鎖系であることの認識

## Challenges in Vertical Farming:

<http://challengesinverticalfarming.org/>

- ・ このワークショップの目的は、垂直農場の現状を明らかにし、政策立案に活用可能な研究実施計画を提案し、さらに、生物学、経済学および建築学に關係する作業部会を設置することである。
- ・ A workshop to capture the state of the art, define a research agenda, and establish a working group at the nexus of Biology, Economics and Architecture
- ・ 2012年9月26日9～17時 (事前登録者には公開) 夕方に1時間の日本セッション (非公開)
- ・ 2012年9月27日, フリーディスカッション (非公開)
- ・ 開催場所: The University of Maryland

## 9月26日の話題提供者

- ・ Dickson Despommier, Columbia University コロンビア大学
- ・ Martin Felsen, Urban Lab.
- ・ Gene Giacomelli, University of Arizona アリゾナ大学
- ・ Ed Harwood, Aerofarm
- ・ George Kantor, Carnegie Mellon University カーネギーメロン大学
- ・ Naoshi Kondo, Kyoto University 京都大学
- ・ Toyoki Kozai, NPO植物工場研究会
- ・ Chieri Kubota, University of Arizona アリゾナ大学
- ・ Gertjan Meeuws, Plant Lab オランダ
- ・ Cary Mitchel, Purdue University パデュー大学
- ・ Jennifer Melkin, Gotham Greens
- ・ Devon Patterson, BD+C
- ・ Emmanuel Pratt, Sweetwater Foundation
- ・ Daniel Schubert, German Aerospace Center ドイツ
- ・ KC Ting, University of Illinois イリノイ大学
- ・ Shigeharu Shimamura, Mirai Co. (株)みらい
- ・ Ray Wheeler, NASA

参加日本企業  
(9月5日現在)

ドコモUSA、  
三井物産USA、  
パナソニックNA、  
東芝アメリカ、  
GVV

## ユビキタス(街中)植物工場

- ・ 大学・学校
- ・ ショッピングセンター
- ・ 病院
- ・ 家庭
- ・ レストラン
- ・ ホテル
- ・ 駐車場
- ・ オフィス
- ・ コミュニティーセンター
- ・ 老人ホーム
- ・ その他



## 小型植物工場の3例

右下 家庭用植物工場(キャストインターネット接続)、パナソニック

右 榊原記念病院ロビー  
(東京都府中市)

左下 ショッピングセンター  
ららぽーと柏の葉(千葉県柏市)



## 千葉県柏市柏の葉地区で実施されている家庭用植物工場ネットワーク



## 人工光型植物工場の将来展望

- 特長
- 土地生産性
- 対象植物とその拡大
- マーケットとその拡大
- 二次代謝成分の生産
- 育苗への利用
- 速度変数制御

## 人工光型植物工場の長所

- 1 無農薬、夾雑物ゼロ、殺菌・洗浄不要で加工工程の簡略化可能
- 2 肥料溶液の循環使用により、排水はほぼなし。肥料使用料節減
- 3 かん水量は温室の約1/50。蒸散水を冷房時結露水として回収
- 4 冬期の夜間でもランプからの発熱により、暖房不要(冷房必要)
- 5 地産地消による輸送の資源・コスト、野菜傷みの節減。
- 6 周年快適労働。気温20~25℃の気温。軽作業のみ。安全作業
- 7 気象によらず、計画生産、安定収量、安定品質、安定生産コスト
- 8 土地面積当たりの年間生産量は露地の約100倍以上。
- 9 野菜の品質を環境管理により経年的、体系的に向上し得る
- 10 栽培と環境管理のノウハウを気候・地域によらず標準化し得る。
- 11 商品の外見、栄養、味などが異なり、事実上の新商品となる。
- 12 2013年時点では、日本の技術水準、普及水準は世界一
- 13 商品化率が高い。病虫害や枯死による損失がほぼ皆無。

## 人工光型植物工場の短所

1. 機能性成分の生産性向上や生産量当たりの労働時間短縮等に関する研究が開始されたばかり
2. 栽培品目が機能性植物に限定される
3. 高度な技術が必要で、設計・管理の人材が不足
4. 現状では初期コストと運転コストが高い(今後、半減する)。
5. 技術、経営の歴史が浅く、未知な部分が多い

## 千葉大学(みらい(株))・人工光型植物工場

リーフ・レタス、全床面積406 m<sup>2</sup>、栽培室338 m<sup>2</sup>、栽培棚10段、9列、



毎日約3,000株、年間100万株の生産能力  
栽培室1 ha当たり、8.8万株/日、2.6百万株/月、3000万株/年)、約25~30億円/年)

## 千葉大学・柏の葉キャンパス地区 東急ストアで販売



ロメインレタス 198円/袋 みらい畑

## 人工光植物工場で生産された、小型化された葉もの野菜

写真提供: ㈱みらい、丸尾達氏撮影)



サニーレタス、バジル、シソ

ミツバ、シュンギク、ミズナ

人工光植物工場で生産されたリーフレタスの袋入り



工場内の栽培室で密封包装されるので、「洗わずにそのままどうぞ」と袋に書かれている。

人工光型植物工場で栽培された結球葉もの野菜  
今後、結球前に収穫して、カット野菜を含む多様な利用が進む

結球性レタス品種を結球前に収穫 (約150グラム)

ハクサイ(結球性品種)を結球前に収穫 (約200グラム)



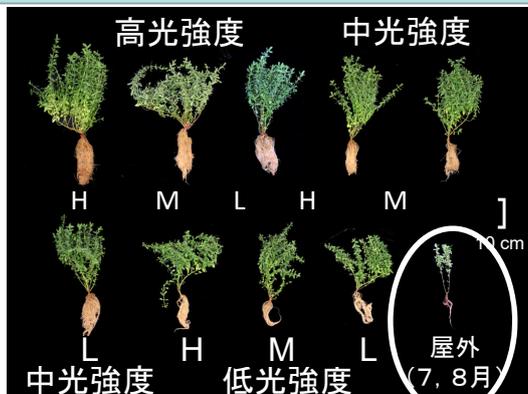
露地型野菜生産に対する人工光型植物工場による野菜生産の相対的な土地生産性の概算例。番号6の要因は、相対的収量だけでなく、その商品価値(販売価格)にも関係する。

| No. | 土地生産性増大要因                           | 倍化係数 | 累積係数 |
|-----|-------------------------------------|------|------|
| 1   | 栽培棚を10段にすることで10倍(N段でN倍、N=5~20)      | 10   | 10   |
| 2   | 環境調節により苗移植から収穫までの日数を半減              | 2    | 20   |
| 3   | 年間栽培日数を倍化。収穫翌日の苗移植により、年間360日栽培。     | 2    | 40   |
| 4   | 栽培棚面積当たりの植物本数を、収量低下を伴わずに、1.5倍にする    | 1.5  | 60   |
| 5   | 病虫害、高低温、強風、豪雨、乾燥などによる収量低下が無いので、1.5倍 | 1.5  | 90   |
| 6   | 収穫時および収穫後のロスが少なく、また、高品質である          | 1.3  | 117  |

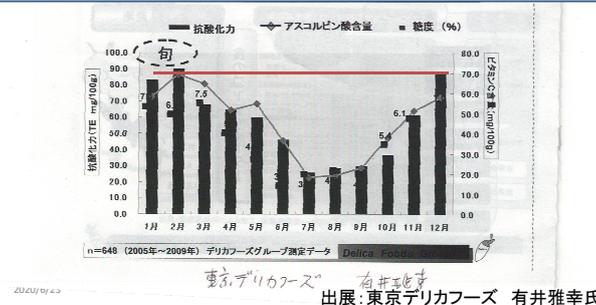
閉鎖型(人工光)植物生産システムによる薬用植物(セイヨウオトギリソウ:抗うつ作用)の生産



セイヨウオトギリソウの生長におよぼす光強度とCO<sub>2</sub>濃度の影響 (Mosaleeyanon et al., 2005)。図中のL, M, HはCO<sub>2</sub>濃度が、それぞれ、500, 1000, 1500  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ を示す。低、中、高光強度は、PPFが、100, 300, 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を意味する。

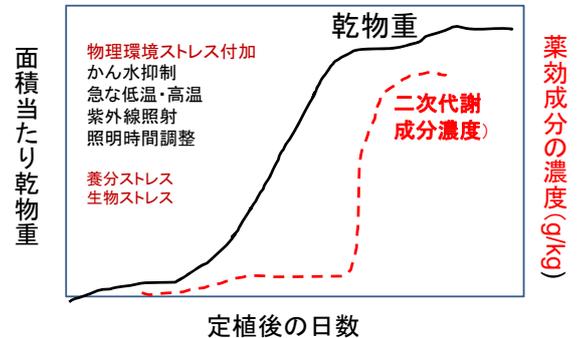


露地栽培ホウレンソウの抗酸化力、ビタミンC(アスコルビン酸)および糖度の月別変化  
機能性成分濃度を高めるための環境調節  
に関する研究は急速に進展しつつある



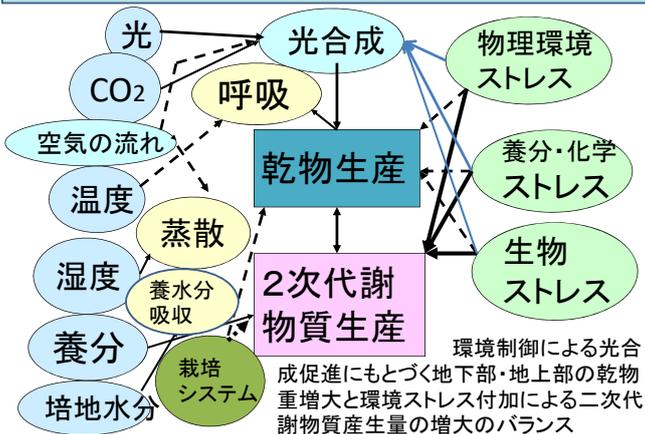
## 二次代謝成分(薬効成分などの有用成分)の生産

生育の初期・中期までは光合成成長を促進し、生育後期に二次代謝成分の濃度を高める環調節(環境ストレス付加)を行う



収穫時における薬効成分の収量 = 乾物収量 × 収穫指数 × 薬効成分濃度  
 収穫指数: 薬効成分を抽出し得る植物体部分の割合

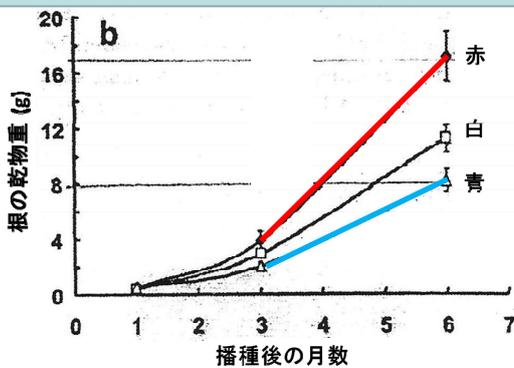
## 2次代謝物質の生産性は環境制御により変動する



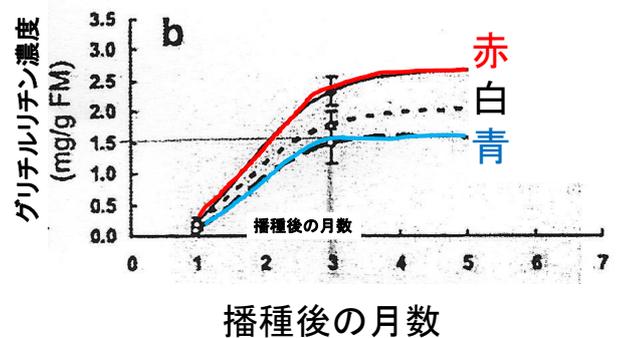
## 播種後90日目のカンゾウ(甘草)



## カンゾウの根の乾物重増加におよぼす赤、白および青色光の影響

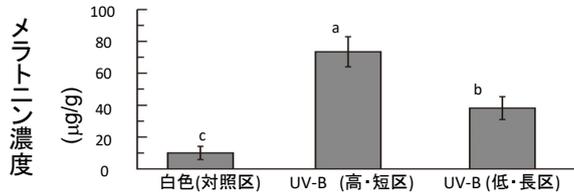


## カンゾウの根の薬効成分(グリチルリチン濃度)におよぼす赤、白および青色光の影響



### カンゾウ (*Glycyrrhiza uralensis*) 根部のメラトニン濃度

播種3か月後に、①白色(対照区)では15日間、②白色を12日間と強い紫外線を3日間照射(3日間積算では54.2 W・hr/m<sup>2</sup>)、高・短区)、③弱い紫外線(UV-B、280-315 nm)を15日間(15日間積算では 103.2 W・hr/m<sup>2</sup>、低・長区)した場合。



PPF(光合成有効光量子束)は、すべての処理区で 300 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.  
 植物材料の育成条件: PPF: 300 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>でUV-B照射は無し。  
 相対湿度: 65-70%; CO<sub>2</sub>濃度: 1000 μmol mol<sup>-1</sup>;  
 気温: 明期28/暗期26°C (Zobayed, et al., 2006).

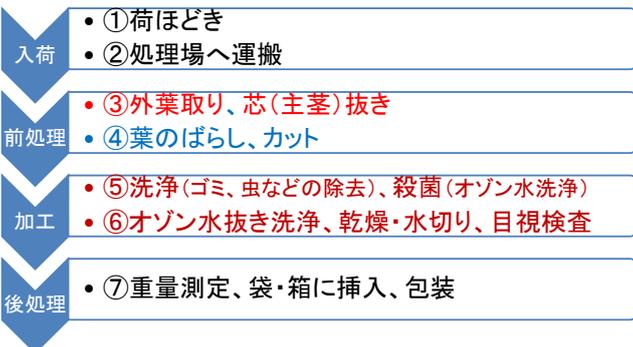
### 圃場での結球ハクサイの栽培状況(左) および商品となる結球部分(右)



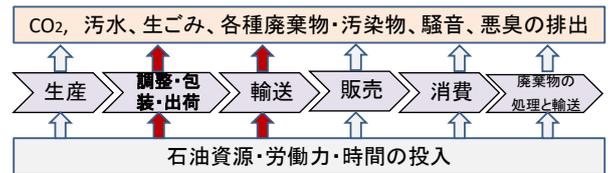
露地レタスの外葉の13枚前後は商品にならず畑に破棄される。  
 露地レタスの結球部分の葉は内側ほど白くなる。

### 葉もの野菜のカット加工の工程の簡略化

人工光植物工場の葉もの野菜に関しては、上記工程の③、⑤、⑥を省略/簡略化できるので、中食産業、外食産業では好まれる。



### 食料生産から廃棄物の処理・輸送にいたるまでの各段階における資源投入と環境汚染物質の排出。



生鮮食料がその消費地である都市内で生産されれば、包装・出荷・輸送に関わる投入量と排出量は大幅に削減される。定量的考察には、LCA (Life Cycle Assessment) が必要である。

### 人工光型植物工場に適した植物

- 比較的低い光強度(200 μmol/m<sup>2</sup>/s前後)と高いCO<sub>2</sub>濃度(2000ppm程度)で良く成長する。
- 定植から収穫までの日数が短い(10~30日)。播種・育苗には数週間必要でも構わない。
- 栽植密度が50~500本/m<sup>2</sup>と高くても良く成長する。
- 植物体の90%前後が商品になる(商品にする)。
- 植物体の生体重量当たりに商品単価が比較的高い(1000円/kg前後)
- 草丈が30cm前後で商品になる(刈り取り再生方式でも可)。
- 機能性成分(ビタミン、リコピン、薬効成分等)の濃度を環境調節(光質、気温、水分等)によって高めることができる。

### 人工光型植物工場で今後生産されると予想される用途の例

| No. | 用途                              |
|-----|---------------------------------|
| 1   | 生野菜、カット野菜                       |
| 2   | 冷凍野菜、冷凍食品、乾燥野菜                  |
| 3   | ペースト、ソース材料、ドリンク剤材料              |
| 4   | 漬け物・キムチ材料                       |
| 5   | 鍋物野菜・中華料理の野菜食材                  |
| 6   | 香草、香料、香辛料、染料、化粧品                |
| 7   | 薬用植物(生薬原料)                      |
| 8   | 薬草・機能性野菜・粉末材料、医薬品(ワクチン、抗がん、歯周病) |
| 9   | 露地野菜・農作物・植林用の苗、採種               |
| 10  | ベリー類(ジャム、ジュース等)                 |

人工光型植物工場で今後生産されると予想される植物の用途と種類の例

| No. | 用途                              | 植物例   |
|-----|---------------------------------|---|
| 1   | 生野菜、カット野菜                       | 多くのレタス類、ホウレンソウ、ミズナ、シュンギク、ルッコラ、ミツバ、小型カブ、コマツナ、デンゲンサイ、小型葉ダイコン、ハツカダイコン、クレソン、イチゴ、アサツキ、ワケギ等 |
| 2   | 冷凍野菜、冷凍食品、乾燥野菜                  | ニラ、ハクサイ、キャベツ、ニンジン、コマツナ等、餃子等具材。  |
| 3   | ペースト、ソース、ドリンク剤                  | ホウレンソウ、小型ニンジンなどの離乳食、病院食、病人食、後期高齢者食、バジル、ミント、タイム、セージ等のハーブ類                              |
| 4   | 漬け物・キムチ材料                       | タカナ、ハクサイ、ニラ、キャベツ、コカブなど  |
| 5   | 鍋物野菜・中華料理の野菜食材                  | ハクサイ、シュンギク、ミツバ、食用キクなど   |
| 6   | 香草、香料、香辛料、染料、化粧品                | パセリ、香菜、ペニバナ、サフラン、セリ、ラベンダーなど   |
| 7   | 薬用植物(生薬原料)                      | 当帰、ブルーベリー、ケシ、薬用セッコク、センブリ、トリカブト、オタネニンジンなど  |
| 8   | 薬草・機能性野菜・粉末材料、医薬品(ワクチン、抗がん、歯周病) | シソ、ワサビ、モロヘイヤ、ヨモギ、葉ニンニク、ニガ、セイヨウオトギリソウ、サフラン、イチゴ、ヨモギ、オオバコなど                              |
| 9   | 苗、採種                            | 露地野菜苗、トウモロコシ、ダイズ等の畑用種子苗、植林用苗、採種用栽培  |
| 10  | ベリー類(ジャム、ジュース等)                 | イチゴ、ブルーベリー、ラズベリー、ブラックベリー等   |

人工光型植物工場によるイチゴ生産

<http://innoplex.org/archives/9425>



日清紡HD 徳島工場 イチゴの商品名:あぼろベリー(R)

主要葉もの野菜の生産量、加工・業務用比率、国産比率および価格比

| 作目     | 国内年間生産量(トン) | 加工・業務用比率(%) | 加工・業務用国産比率(%) | 加工・業務用契約価格(A)/生鮮用市場価格(B) A/B |
|--------|-------------|-------------|---------------|------------------------------|
| キャベツ   | 1,359,000   | 50          | 96            | 0.85                         |
| レタス    | 544,000     | 58          | 98            | 0.81                         |
| ハクサイ   | 918,800     | 52          | 98            | -                            |
| ホウレンソウ | 298,200     | 48          | 89            | 0.66                         |

注)統計年、国内年間生産量:2007年、加工・業務用比率:2010年  
(資料:農水省:加工・業務用野菜をめぐる現状(2013年1月))

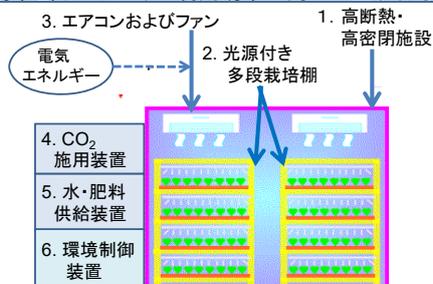
主要葉もの野菜の輸入量と輸入量比率(2010年): キャベツ3万トン(2%)、レタス3.7万トン(1.2%)、2.8万トン(3%)、ホウレンソウ3.7万トン(12%)  
冷凍ホウレンソウの輸入量(2011年): 3.3万トン(中国からの比率84%)

人工光型植物工場の基本的特性

- ・閉鎖・高密閉構造
- ・資源利用効率
- ・高機能植物生産
- ・計画的な高品質生産

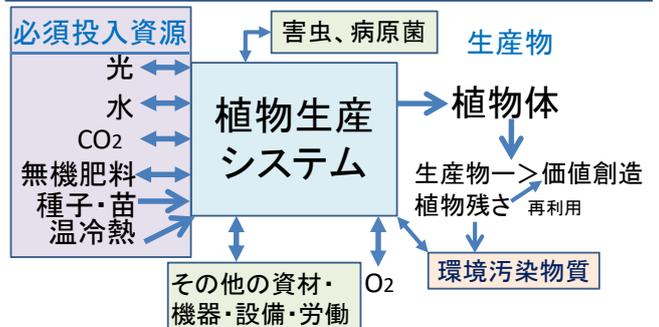
人工光型植物工場の栽培室の基本構造と6つの基本要素。

栽培室における電力消費比率は、光源80%、エアコンとファン15%、その他5%程度である。電気、光エネルギー、CO<sub>2</sub>、水および肥料の利用効率は、投入量に対する植物の保持(固定)量の百分率として定義される。電気利用効率は1~3%程度、光エネルギー利用効率は2~6%程度、水利用効率と肥料利用効率は、共に、95%程度である。電気利用効率と光エネルギー利用効率の向上が望まれる。

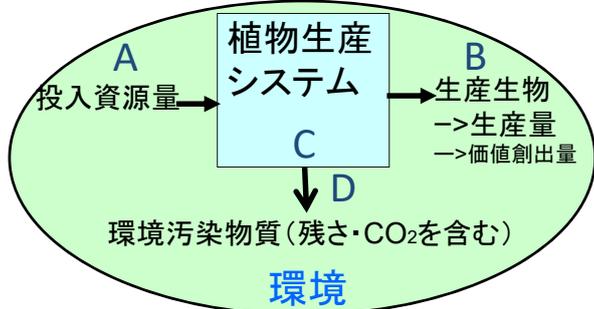


植物生産システムにおける必須投入資源

最小の投入資源量で最大の価値を安定的・計画的に生み出すと、環境汚染物質の排出量が最小になる



植物生産システムにおける資源利用効率および閉鎖型植物生産システムの定義を示す概念図。



植物生産システムを持続可能にするには、資源利用効率(Aに対するBの比)を可能最大値に近づけて、環境汚染物質排出量Dと内部残存量Cを最小化する必要がある。すると、省資源的、環境保全的になり、投入資源コストが最小になる。資源利用効率が理論的に可能な最大値に近いものを閉鎖型植物生産システムと呼ぶ。

投入資源利用効率の意味とその具体例

植物工場に投入された資源量に対する植物体に保持された資源量の割合

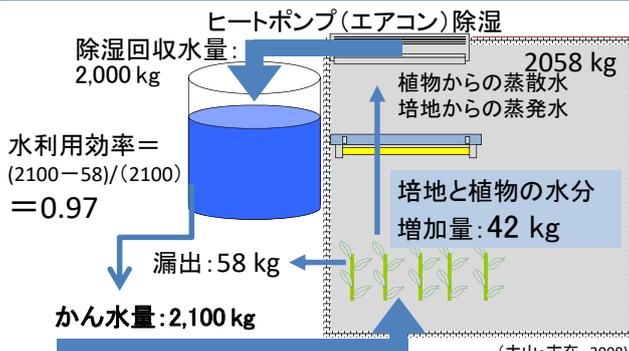
必須投入資源の利用効率  
光エネルギー利用効率、水利用効率、  
CO<sub>2</sub>利用効率、無機肥料利用効率、電気利用効率

無機肥料利用効率は、チッソ、リン、カリの利用効率などに分けられる。

投入資源利用効率の理論的上限值と最大実現値

| 利用効率                 | 理論的上限值 | 最大実現値 | ハウス土耕栽培における概算値 |
|----------------------|--------|-------|----------------|
| 水利用効率                | 1.00   | 0.95  | 0.02           |
| CO <sub>2</sub> 利用効率 | 1.00   | 0.90  | 0.40           |
| 肥料利用効率               | 1.00   | 0.95  | 0.50           |
| 光エネルギー利用効率           | 0.11   | 0.05  | 0.02           |
| 電気利用効率               | 0.05   | 0.02  | -              |

閉鎖型植物生産システムにおける水利用効率の実測例



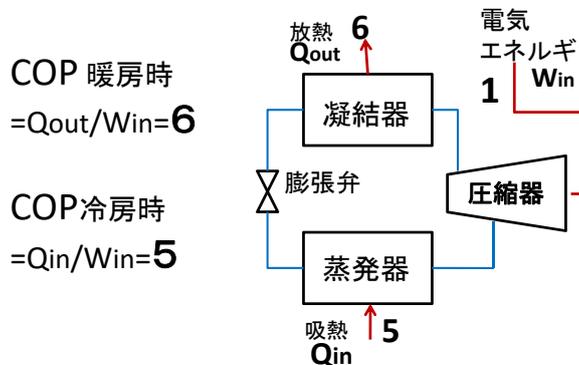
上図において、人工光型植物工場の水利用効率は0.97である。温室でかん水した場合、蒸散・蒸発した水蒸気は回収できないので、その水利用効率は、 $(2100 - 2058) / 2100 \text{kg} = 0.02$ より小さくなるので、水利用効率0.97はその48倍以上となる。

人工光植物工場における年間電力消費量の内訳 (大山・古在、2008。)

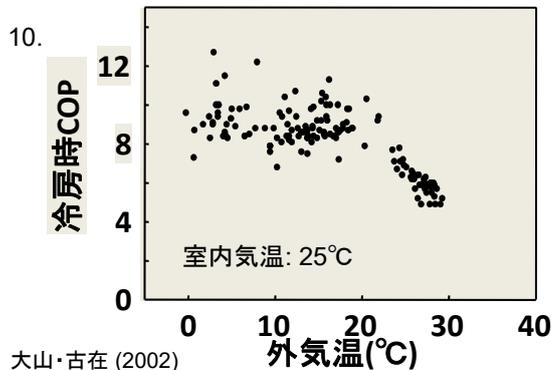
| 使用目的 | 消費割合 | 機器                 |
|------|------|--------------------|
| 照明   | 約80% | 蛍光灯40W             |
| 冷房   | 約16% | 家庭用ヒートポンプ(ルームエアコン) |
| その他  | 約4%  | 養液循環ポンプ、送風ファン等     |

この場合、家庭用ヒートポンプ(エアコン)の成績係数(COP)は、およそ、 $(80+4)/16=5.25$ である。

ヒートポンプの構成と動作原理、および成績係数COP(電気エネルギー利用効率)の定義を示す模式図



冷房時COP (成績係数)におよぼす外気温の影響。  
外気温が20°C以下の時のCOPは8~10



電気エネルギーが光エネルギーに変換され、さらに植物体の化学エネルギーへ変換される過程における比率の概算数値例

節電には、各個別比率を高めることが重要。累積比率の理論的最大限度は5~6%であるので、今後、数倍の向上が期待される。

| No. | 項目                   | 個別比率(%) | 累積比率(%) |
|-----|----------------------|---------|---------|
| 1   | 電気エネルギー              | 100     | 100     |
| 2   | 光源から発せられる光合成有効放射     | 25      | 25      |
| 3   | 植物体の受光率(栽培期間平均)      | 60      | 15      |
| 4   | 葉面の受光率(茎枝等を除く葉の受光比率) | 85      | 17.6    |
| 5   | 葉面吸光比率(反射と透過を除いた受光)  | 90      | 15.8    |
| 6   | 化学エネルギー固定比率          | 20      | 3.2     |
| 7   | 光呼吸・暗呼吸損失率           | 50      | 1.6     |
| 8   | 商品化率(商品乾物重/植物体乾物重)   | 90      | 1.4     |

### 人工光(LED)植物工場の設備コスト(1万株/日)とその内訳

(安部恒夫氏のNPO植物工場研究会での講演から作成(2012年10月18日))

| 設備項目          | コスト(単位: 百分率<br>百万円) |       |
|---------------|---------------------|-------|
| LED 照明システム    | 138                 | 33.3  |
| 栽培ベッド/栽培棚     | 125                 | 30.2  |
| 冷房装置、パイプ、ポンプ  | 50                  | 12.1  |
| 電気・電源設備       | 48                  | 11.6  |
| 室内空気攪拌設備      | 21                  | 5.1   |
| 計測/監視システム     | 13                  | 3.1   |
| 養液管理用pH計、EC計等 | 9                   | 2.1   |
| 包装機械          | 7.3                 | 1.8   |
| 給水/排水設備       | 2.5                 | 0.6   |
| 設計料/雑費        | -                   | -     |
| 合計            | 413.8               | 100.0 |

### 人工光(LED)植物工場におけるリーフレタス一株あたりのコストと比率

(安部恒夫氏のNPO植物工場研究会での講演資料から作成(2012年10月18日))

| 項目                        | 葉レタス1株当たり(円)       | 百分率               |
|---------------------------|--------------------|-------------------|
| 電気料金                      | 13.00              | 21.42             |
| 設備投資償却                    | 11.00              | 18.20             |
| 賃金(パート雇用30人)              | 10.41              | 17.15             |
| 給料(管理者2名)                 | 2.77               | 4.56              |
| 出荷用段ボール箱                  | 3.30               | 5.43              |
| 種子/播種マット                  | 2.00 / 0.90        | 3.29 / 1.48       |
| Fax・電話・インターネット            | 0.30               | 0.40              |
| CO <sub>2</sub> / 肥料 / 雑費 | 1.70 / 1.97 / 0.40 | 2.8 / 3.24 / 0.65 |
| 水道水 / プラスチック袋             | 0.60 / 2.00        | 0.98 / 3.29       |
| 保守と科学分析                   | 1.50               | 2.47              |
| 無菌手袋/殺菌剤                  | 0.44               | 0.72              |
| 産業廃棄物処理                   | 0.30               | 0.40              |
| 福利厚生費 / 家賃                | 2.00/0.0           | 3.29/0.0          |
| 交通費/物流                    | 1.00 / 5.00        | 1.64 / 8.23       |
| 合計                        | 60.69              | 99.64             |

## 状態変数と速度変数

- 状態変数(単位に時間の次元を含まない変数)
  - 環境的: 温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度、養液のpHなど
  - 生態的: 植物体数、草丈、葉面積、色、重量など
  - 生体的: 葉温、クロロフィル蛍光、成分組成など
- 速度変数(単位に時間の次元を含む変数)
  - 生態的: 正味光合成速度、暗呼吸速度、蒸散速度、吸水速度、養分吸収速度など
  - システム特性: 換気回数など
  - 制御変数: CO<sub>2</sub>施用速度、かん水速度、消費電力、燃料消費速度、給肥速度など

### 人工光型植物工場における正味光合成速度、蒸散速度、CO<sub>2</sub>施用速度などの連続計測と制御および資源利用効率の見える化

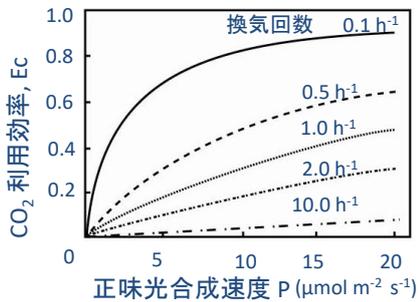
P<sub>n</sub>に価値創出の単価、S<sub>c</sub>にコストの単価を乗じて、両者の比を最大にする室内CO<sub>2</sub>濃度(C<sub>in</sub>)が、CO<sub>2</sub>施用のコスト・パフォーマンスを最大にする。



CO<sub>2</sub>損失速度L=kxNxVx(C<sub>in</sub>-C<sub>out</sub>)、正味光合成速度P<sub>n</sub>=S<sub>c</sub>-Lc  
施用CO<sub>2</sub>利用効率=P<sub>n</sub>/S<sub>c</sub>=(S<sub>c</sub>-Lc)/S<sub>c</sub>

k: 変換係数、N: 換気回数(=時間当たり換気量/空気容積)、V: 空気容積、C<sub>in</sub>: 室内CO<sub>2</sub>濃度、C<sub>out</sub>: 室外CO<sub>2</sub>濃度。S<sub>c</sub>, P<sub>n</sub>, Lcの単位は、kg h<sup>-1</sup>。

### 施用CO<sub>2</sub>利用効率におよぼす正味光合成速度と換気回数の影響



床面積:1000 m<sup>2</sup>、空気容積3000 m<sup>3</sup>; 換気回数: 0.1, 0.5, 12, 10 h<sup>-1</sup>、  
CO<sub>2</sub> 濃度 室内 1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  (ppm)、室外350  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ; 室内外  
気温: 27 C; 培地の微生物呼吸速度は無視できると仮定 (横井ら,  
2005).

### 人工光型植物工場の技術開発課題

| No. | 大項目       | 解決すべき小項目   |
|-----|-----------|--|
| 1   | 照明        | LED利用、受光率・照明率、分布、反射板、照射方向、電力消費平準化、照射角度可変照明、発光効率、明暗サイクル、光質        |
| 2   | 空調        | 空気分布、気温・葉温、CO <sub>2</sub> 濃度、水蒸気飽差、気流速度、ヒートポンプCOP、結露液回収利用、殺菌・浄化 |
| 3   | 建屋・棚の構造   | 栽培棚と建屋の一体構造化、モジュール化、軽量化  |
| 4   | サービス・デザイン | 家庭、学校、ホテル、病院、各種店舗、公共施設、集合住宅                                      |
| 5   | 衛生・品質     | 病原菌・昆虫の侵入阻止、生菌数、機能性成分、食味、質感                                      |
| 6   | 断熱性・気密性   | 熱貫流係数と換気回数の最適化   |
| 7   | 養液(肥料液)   | 肥料組成、液温、電気伝導度(EC)、pH、病原菌、根の残渣処理                                  |
| 8   | 作業(半)自動化  | 種子処理、播種、スレーシング、定植、収穫、調整、搬送、袋・箱詰、予備冷蔵、出荷、計数・計量、サンプリング             |
| 9   | 計測・制御     | 状態変数と速度変数の見える化、統合環境制御、時・日・週・月・4半期・年の自動報告、警報、画像解析、ネットワーク化         |
| 10  | 品種・商品開発   | 生理病、食味、 <b>機能性成分</b> 、成長速度、 <b>環境反応性</b> 、小型化                    |
| 11  | 人材養成、認証   | 管理者・作業者・経営者研修、安全性認証、広報   |
| 12  | 商品開発      | 生鮮・漬物、ペースト・粉末加工、生薬・化粧品・香料素材、苗                                    |

### 人工光(閉鎖型)システムによる育苗

### 人工光(閉鎖型)苗生産システムの内側 トマト苗生産(静岡県)



### 人工光(閉鎖型)苗生産システムの外観



### 人工光苗生産システムの商業利用例(1)



### 静岡県「アメーラ倶楽部」高精度トマト生産

トマトセル苗(本葉4枚前後)年間40万本/2.5ha  
苗テラスの収納トレイ数: 448トレイ(32256本)  
サイズ: 6.3m × 3.6m × 4室(7棚/室 × 4室=28棚)

## ハウス育苗と人工光（閉鎖型）育苗における育苗面積と年間育苗回数の比較

3段密植トマト（栽培温室面積：2.5ha）

|        | ハウス                 | 閉鎖型                | 効率   |
|--------|---------------------|--------------------|------|
| 育苗面積   | 2500 m <sup>2</sup> | 100 m <sup>2</sup> | 25倍  |
| 年間育苗回数 | 10回                 | 19回                | 1.9倍 |

土地面積当たりの年間苗生産本数は、約48倍（=25x1.9）  
苗生産システムは4段。10段にすれば、118倍（48x10/4）

（大洋興業㈱による）

## 閉鎖型植物生産システムの内部



12棚×2列（384トレイ収納）、徳島シードリング  
288セルトレイ使用時：11万本収納可能  
播種後14日で接ぎ木（人工光育苗は12日）の場合  
のトマト苗生産能力：27万本／月、300万本／年

## 閉鎖型システムの商業的利用例（3）（株）ベルゲアース



## トマト実生苗の均一生育度、強健度、短期生育（播種後20日）に注目！



1年中、着花葉位は8以下。品種：ハウス桃太郎

## 苗1本あたりの電力コスト試算例

| 品目                         | セル<br>穴数 | 育苗<br>日数 | 電気代<br>(円／本) |
|----------------------------|----------|----------|--------------|
| トマト接木元苗                    | 200      | 11       | ¥1.06        |
| トマト接木元苗                    | 288      | 11       | ¥0.74        |
| キュウリ穂木                     | 200      | 5        | ¥0.48        |
| キュウリ台木（カホ <sup>®</sup> チャ） | 128      | 5        | ¥0.75        |
| 水耕ホウレンソウ                   | 288      | 9        | ¥0.61        |
| 土耕レタス                      | 288      | 13       | ¥0.87        |
| パンジー                       | 406      | 20       | ¥0.95        |

（株）大洋興業

## 水耕ホウレンソウ用苗の2倍密度化



ハウス  
144セル  
播種後17日

ハウス  
144セル  
播種後13日

閉鎖型  
288セル  
播種後12日

## ハウス育苗と閉鎖型育苗の比較

水耕ホウレンソウ (栽培面積: 1500 m<sup>2</sup>)

|        | ハウス                | 閉鎖型               | 倍率   |
|--------|--------------------|-------------------|------|
| 育苗床面積  | 210 m <sup>2</sup> | 15 m <sup>2</sup> | 14倍  |
| 年間育苗回数 | 18回                | 32回               | 1.8倍 |
| 栽植密度   | 144セル              | 288セル             | 2.0倍 |

計 50倍

(太洋興業(株)による)

閉鎖型では育苗密度を2倍にできる  
コマツナ(夏楽天)播種後11日



閉鎖型苗

ハウス苗

閉鎖型によるキュウリ穂木の苗質の均質化  
播種後7日



品種: アンコール10

パンジーのポット上げ時の様子



「閉鎖型」育苗      ハウス育苗

播種後29日 (播種日: 8月10日) 品種: イオナ・エロー(タキイ)

パンジーのポット上げ時様子



「閉鎖型」育苗      ハウス育苗

播種後29日 (播種日: 8月10日) 品種: イオナ・エロー(タキイ)

パンジーポット苗 出荷開始時の様子



「閉鎖型」育苗

ハウス育苗

播種後64日 (ポット上げ後: 35日)

トウモロコシ、ダイズ、キャベツ、ハクサイ等は、畑への直播からハウス育苗・機械定植へ、ハウス育苗から人工光(閉鎖型)育苗へ。写真はトウモロコシのハウス育苗。



播種時期は定植時期より10日前後遅い。播種直後の異常気象被害を避けられる。間引き、補植の手間を軽減できる？ マルチ・不織布なしでも鳥虫獣被害を軽減できる？ 種子量を減らせる。稲作は昔からこの方法！

### 閉鎖型システムによるサツマイモ単節からのウイルスフリー・プラグ苗の高速成長



### 閉鎖型システムによるカンゾウ(甘草)苗の生産



写真提供: 三菱樹脂(株)・(株)グリーンイノベーション

### 閉鎖型苗生産システムで育苗された発芽後32日目のカンゾウ(甘草)苗



写真提供: 三菱樹脂(株) (株)グリーンイノベーション

### 閉鎖型システムによるトウキ(当帰)苗の生産



園芸用培地が入ったトレイに播種して暗所で発芽 → 発芽種子を約30日間、トレイで第一次育苗 → 定植用ポットに移植後、約70日間第二次育苗

播種後、105日間で定植用苗が得られるので、冬季に育苗して春に畑に定植すれば、同年の秋に収穫可能  
播種から収穫まで: 従来18か月 → >8か月(小山, 2011)を改変)

### 閉鎖型で冬に生産されたトウキ(当帰)を春に畑に定植することにより、その年の秋に収穫できる





7月12日(金) 13時開場  
13時30分開演

開場: 星陵会館  
(東京都千代田区永田町)

## 太陽光型植物工場

- 環境制御機器
- 主な対象植物
- 環境制御の考え方
- 統合環境制御の考え方
- ヒートポンプの多目的利用と制御

## 米国・アリゾナ州における太陽光型植物工場

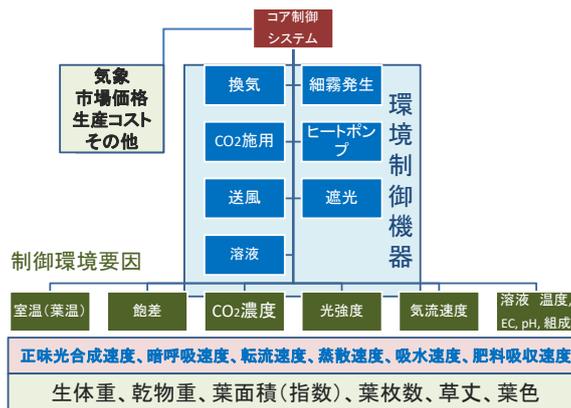


外観

内部

オランダ式太陽光型植物工場(床面積127 ha)  
トマト収量: 750-850トン/ha/年  
久保田智恵利氏提供。

## 太陽光型植物工場内植物の成長制御に必要な環境制御機器と制御環境要因(病虫害関係は除く)



## 太陽光型植物工場の主な対象植物

- 果菜類(トマト、パプリカ、キュウリ、イチゴ等)
- 花卉(バラ、カーネーション、キク等)
- 一作の栽培期間が半年以上
- 比較的の高い光強度を必要とする
- 草丈が1.5~5.0m
- 栽植密度が比較的低い(3~30本/m<sup>2</sup>)

## 太陽光型植物工場の環境調節における理論的背景

- 太陽光型植物工場におけるトマト等の果菜類の可能最大な年間収量は、年間の積算透過日射量にほぼ比例する。
- 上記の最大年間収量の実現を阻む二大要因は夏季の昼間に最大限の換気をして35℃を超える室温、および外気の400 ppmに対して、しばしば250 ppmを下回る室内CO<sub>2</sub>濃度である。
- 上記の2項に続く、高収量阻害要因は、昼間の室内低湿度、曇雨天時および夜間の高い室内湿度および夏期夜間の高湿である。
- 高い生産コストの主要因の1つは、高い暖房コストである。
- 経営的に最適な環境設定値は、農産物や燃料の市場価格などに影響され、短期(分)、中期(日)および長期(月)で異なる。

### 千葉大学における統合環境制御システム開発実証事業の背景

— オランダ製を超える太陽光型植物工場用環境制御システム —

#### 技術的課題

太陽光利用型植物工場は、オランダのPriva社等の製品が主流

#### 設計思想が古い

1980年初頭に設計されたシステムを約30年を費やして改良を継続してきたために、設計思想を分散協調型に変えられない。また、環境制御ソフトウェアがブラックボックスなので、日本の栽培者による環境制御法の変更が不可能。

#### 高い初期コスト

床面積数ヘクタールの温室を対象しているため、システム導入費が約5百万～数千万円と高く、導入の障壁。

#### 高ランニングコスト

オランダ製の装置、資材、技術を購入し、コンサルを受けるので、高コストになる。

#### 本申請での課題解決法

オランダに現存しない独立分散協調進化型セミ・オープン・システムの開発

#### 千葉大・ビッグデータを活用したコアシステム(CS)

千葉大学・植物工場で収集された4億個のビッグデータを活用し、データマイニングと定型式化によるコアシステム(CS)の開発と環境制御への利用。

#### インテリジェントコントローラ(IC)の開発

小型・軽量・高性能で独立型の目的別の環境制御ICの開発を目指す。IC単独で、すべての園芸施設に利用可能なので、大量生産で安価。

#### CSとICの連結で次世代型統合環境制御を実現

CSとICの連結で世界に類を見ないほどコスト・パフォーマンスが高い、進化型の統合環境制御システムが実用化し、世界標準となる。

若い世代に対し魅力的な新産業となり、新しい魅力ある農業の創出に寄与する

### 環境制御の課題と本事業における解決法

#### 解決すべき課題

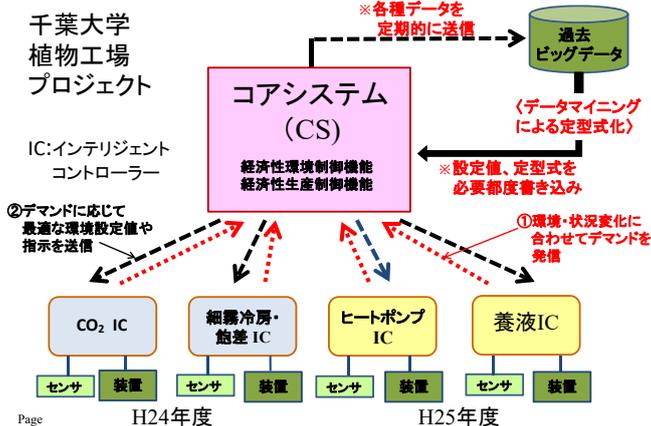
#### H24, H25 年度における解決法

- ・夏季昼間の高室温
- ・夏季昼間の低CO<sub>2</sub>濃度
- ・夏季夜間の高室温
- ・昼間の低湿度
- ・夜間の高湿度
- ・高い暖房コスト
- ・計測・通信・制御が国際標準化されていない
- ・経済性と生育モデルを考慮した環境設定値は手入力
- ・状態変数(温湿度、CO<sub>2</sub>濃度等)だけの計測制御

- ・細霧冷房(室温29℃以下)
- ・室内外CO<sub>2</sub>濃度差がゼロの施用
- ・ヒートポンプ夜間冷房
- ・細霧による加湿(飽差制御)
- ・ヒートポンプ除湿
- ・ヒートポンプ暖房(30%カット)
- ・IEEE1888プロトコル採用で国際標準化
- ・CSによる定型式化で経済性を考慮して環境設定値を策定する方法を検討
- ・速度変数(光合成・暗呼吸・給水・蒸散速度)の計測制御

Page 134

### 統合型環境制御システム構成(太陽光型植物工場)



Page 135

### 太陽光型植物工場の環境制御に関する基本的考え方

- ・室外日射強度は時刻、日、季節、年変動する。
- ・室内温湿度、CO<sub>2</sub>濃度、気流速度等は透過日射強度と葉面積指数に影響される。
- ・他方、植物の正味光合成速度、呼吸速度、蒸散速度は室内環境に影響される。
- ・植物の正味光合成速度を最適(最大)にするように、光以外の環境条件を最小コストで制御する。
- ・この時、正味光合成速度の最大化を律速する要因は日射強度だけとなる。

### 多目的評価関数

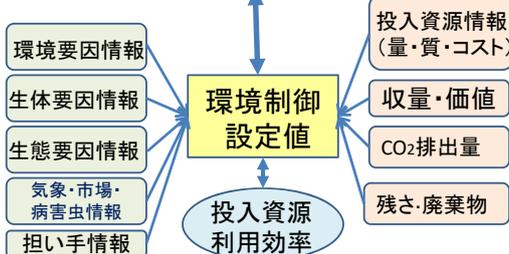
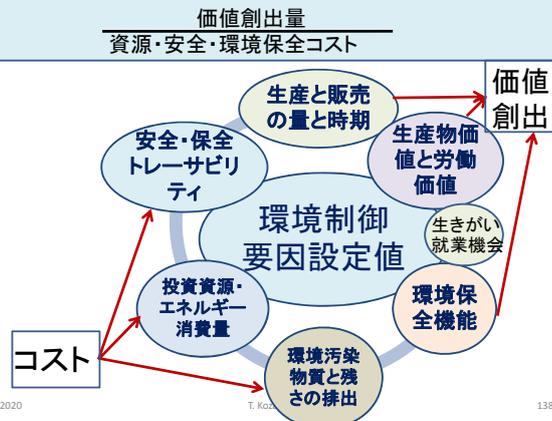


図5 多目的評価関数による統合環境制御設定値の決定—最大の価値創造を最小の資源と環境汚染物質質量で達成する—

2020/6/23

137

### 統合環境制御によるコストパフォーマンスの向上

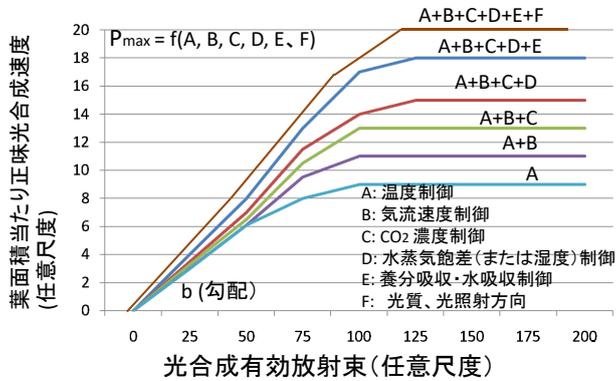


6/23/2020

T. Kozu

138

### 複数の環境要因を環境制御した場合の 正味光合成速度の段階的増大を示す模式図



### 園芸施設における電気ヒートポンプ (HP) の多面的利用の例

| No | 分類 | 機能   |
|----|----|--|
| 1  | 暖房 | 暖房コスト軽減。一次エネルギー(石油)消費量の削減。CO <sub>2</sub> 排出量の削減 |
| 2  | 冷房 | 夏期夜間における換気窓および断熱カーテンを閉じての冷房                      |
| 3  | 冷房 | 朝夕、曇雨天の昼間のCO <sub>2</sub> 施用時間を長くするための換気窓を閉じての冷房 |
| 4  | 飽差 | 蒸発機における除湿機能による温室内空気の水蒸気飽差の制御                     |
| 5  | 送風 | HPの送風ファンのみを用いた室内気流速度増大および室内空気分布の均一化              |
| 6  | 送風 | 気流速度増大で葉面拡散抵抗を低下させ、光合成・蒸散・根からの吸水の促進              |
| 7  | 集水 | 蒸発機で得られる結露(ドレン)水のかん水などへの利用                       |
| 8  | ほか | 凝縮機・蒸発機における室外廃棄熱を乾燥・加熱・冷却・蓄熱・蓄冷熱等に利用             |

### 換気せずにヒートポンプ冷房とCO<sub>2</sub>施用を同時に行うことの利点 (ただし、利点を活かす環境制御が行われている場合)

| 番号 | 事項  | 説明   |
|----|---|--|
| 1  | CO <sub>2</sub> 施用時間増大                          | 換気窓が閉じられているので、施用時のCO <sub>2</sub> 濃度を1000~1500 ppmに維持できる時間帯を増大することができる。  |
| 2  | 施用CO <sub>2</sub> の利用効率向上、CO <sub>2</sub> 濃度の増大 | 冷房負荷を軽減するために気密度を高めるので、結果的に、施用したCO <sub>2</sub> の室外に流出する比率が減少し、施用CO <sub>2</sub> 利用率が高まる。CO <sub>2</sub> 流出比率が低下するので、ムダとなるCO <sub>2</sub> 量が減少し、CO <sub>2</sub> 濃度を高くする合理性が高まる。 |
| 3  | 換気設定気温を高められる                                    | CO <sub>2</sub> 濃度が高いと正味光合成速度を最大にする温度が数℃高くなるので、換気設定気温を高くできる。結果的に、CO <sub>2</sub> 施用時間が増大する。  |
| 4  | 蒸散促進による葉温低下                                     | 冷房時の除湿が、VPD(水蒸気飽差)の増大をもたらす場合は、蒸散が促進され、葉温が低下する。そうすれば、換気設定気温をさらに高くし、あるいは、強光時でも遮光が不要にできる場合がある。  |
| 5  | 発育促進  | 室温が高めになれば、植物の発育速度(出葉速度、開花時期など)が速まり、収量向上が期待できる。   |
| 6  | 加湿による室温低下                                       | 冷房によりVPDが過大になる場合は加湿する。すると、室内空気の顕熱が潜熱に変換され、気温が低下する。結果として、換気窓を閉じてCO <sub>2</sub> 施用する時間帯が長くなる。   |
| 7  | 集水と熱利用  | 蒸発機での結露水と凝縮機での発熱の利用が可能になる。   |

### ヒートポンプの送風ファンを暖冷房・除湿と並行または独立させて運転することにより期待される効果

| 番号 | 項目            | 説明   |
|----|---------------|--|
| 1  | 室内環境均一化       | 気温、VPD(飽差)、CO <sub>2</sub> 濃度の空間分布を均一化する                   |
| 2  | 光合成促進         | 空気拡散抵抗、葉面境界層CO <sub>2</sub> 拡散抵抗の低下による                     |
| 3  | 蒸散促進          | 空気拡散抵抗、葉面境界層水蒸気拡散抵抗の低下による                                  |
| 4  | 養分吸収促進        | 蒸散促進に伴い吸水と特定肥料成分の吸収が促進される                                  |
| 5  | 植物の濡れ防止       | 屋根から植物へ落下した結露水、植物体への直接的な結露水、植物体からのいつ液の蒸発を促進させる             |
| 6  | 害虫、胞子の除去      | 送風ファン設置されている空気フィルターにより害虫、病原菌胞子などが除去される。葉の濡れ防止で胞子の発芽が抑制される。 |
| 7  | 植物下部への光透過促進など | 昼間、植物がわずかにゆれることにより、植物下部に太陽光が「ちらちら」と届く(木漏れ日効果)。             |

### 太陽光植物工場の研究開発課題

| No. | 制御機器                | 解決すべき課題                                   |
|-----|---------------------|---|
| 1   | 換気窓・換気扇             | 防虫対策、風向・風速・内外室温差による開度・回転数制御               |
| 2   | ヒートポンプ              | 熱源(空気、土壌、水)、台数制御、ルームエアコン利用、暖冷房・送風、養液加熱・冷却 |
| 3   | CO <sub>2</sub> 施用機 | 可変設定値制御、ゼロ濃度差制御、正味光合成速度推定                 |
| 4   | 細霧発生装置              | 気化冷房、飽差制御・蒸散速度制御、養液散布                     |
| 5   | 養液ポンプ・殺菌            | pH・EC調整、蒸散速度・換気回数推定、ろ過・紫外線                |
| 6   | 統合環境制御              | コストと利益を考慮したコスト・パフォーマンス最大化制御               |
| 7   | 空気攪拌                | 気流速度、空気分布、                                |
| 8   | 遮光スクリーン             | 他の環境制御機器との関係性                             |
| 9   | 保温スクリーン             | 他の環境制御機器との関係性                             |
| 10  | 作業機                 | 運搬・移動、昇降、選果、袋・箱詰め                         |
| 11  | 計測ネットワーク            | 状態変数、速度変数、画像、換算値・積算値の見える化                 |
| 12  | 雨水タンク               | かん水用、蓄熱・蓄冷熱用、ヒートポンプ熱源                     |
| 13  | 栽培管理                | 育苗、定植、脇芽切除、摘芯・摘果、裂果・葉面積管理、収穫、残渣           |
| 14  | 病虫害防除               | 黄色葉巻病、灰色カビ病、うどんこ病、べと病                     |

### おわりに

- 植物工場は、今後の食料生産、都市農業、ライフスタイルを変えるキーテクノロジーとなり、環境健康産業を成長させ、街づくりの在り方を変える原動力の1つとなる。
- 植物工場は、食料の生産性と品質を向上させるだけでなく、LCAの観点での省資源、環境保全を推進し、人類の生活の質の向上に寄与するものでなければならない。

• 参考文献

- 1) 古在豊樹(1999)閉鎖型苗生産システムの開発と利用ー食料・環境・エネルギー問題の解決を目指してー、養賢堂、191ページ
- 2) 古在豊樹・板木利隆・岡部勝美・大山克己:最新の苗生産実用技術閉鎖型苗生産システムの実用化が始まった(2005)農業電化協会、150ページ
- 3) 古在豊樹編著(2009)太陽光型植物工場ー先進的植物工場のサステナブル・デザイン、オーム社、186ページ
- 4) 古在豊樹(2012a)人工光型植物工場ー世界に広がる日本の農業革命ー、オーム社、228ページ
- 5) 古在豊樹(2012b)太陽光型植物工場、エネルギー・資源、33(4)、183-186
- 6) 古在豊樹(2013a)植物工場の背景、課題および動向、冷凍、88(1025)、143-150.
- 7) 古在豊樹(2013b) 小型植物工場ネットワーク、日本機械学会誌、116(11329)、168-169
- 8) 古在豊樹(2013c) なぜ植物工場なのか-その背景、現状および社会的役割、ハイオサイエンスとインダストリー、7(3)、1-14

用途と輸送性・貯蔵性に基づく植物性食料の分類



上図には4グループ、6種が示されているが、大別すれば、カロリー摂取用食料と機能成分摂取用食料2種となる