

# 農業分野における下水熱利用の取組み

---

長岡技術科学大学大学院  
環境社会基盤工学専攻 姫野修司



# 1. 研究概要

## 2. 実証試験施設概要と栽培環境構築

## 3. 植物栽培技術の進捗状況

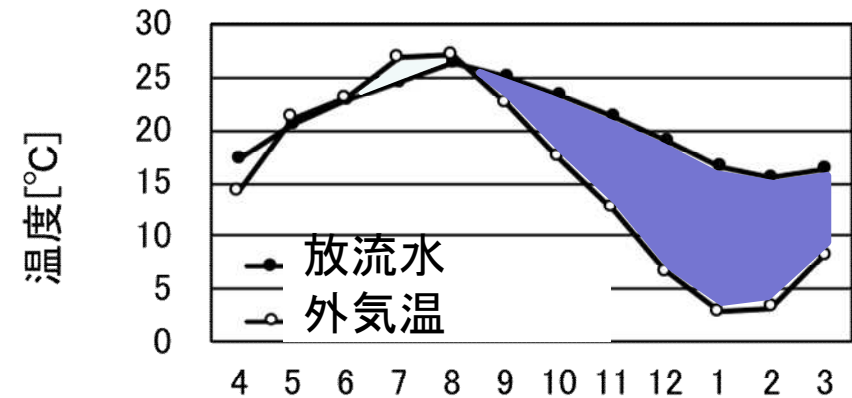
# 研究背景

## 下水熱とは

- 下水の持つ熱エネルギー（温度差）を利用
- 下水処理場には大量の下水が安定的に流入  
→ 大きなエネルギーを持つ
- 下水処理場では放流水の利用が可能でバイオガス等と併用した活用ができる

地方都市での熱利用が困難

- 低い人口密度
- 大規模熱需要家がない



外気温と放流水温度の推移



処理場と近隣の状況

# 研究背景と下水熱の取り組み状況

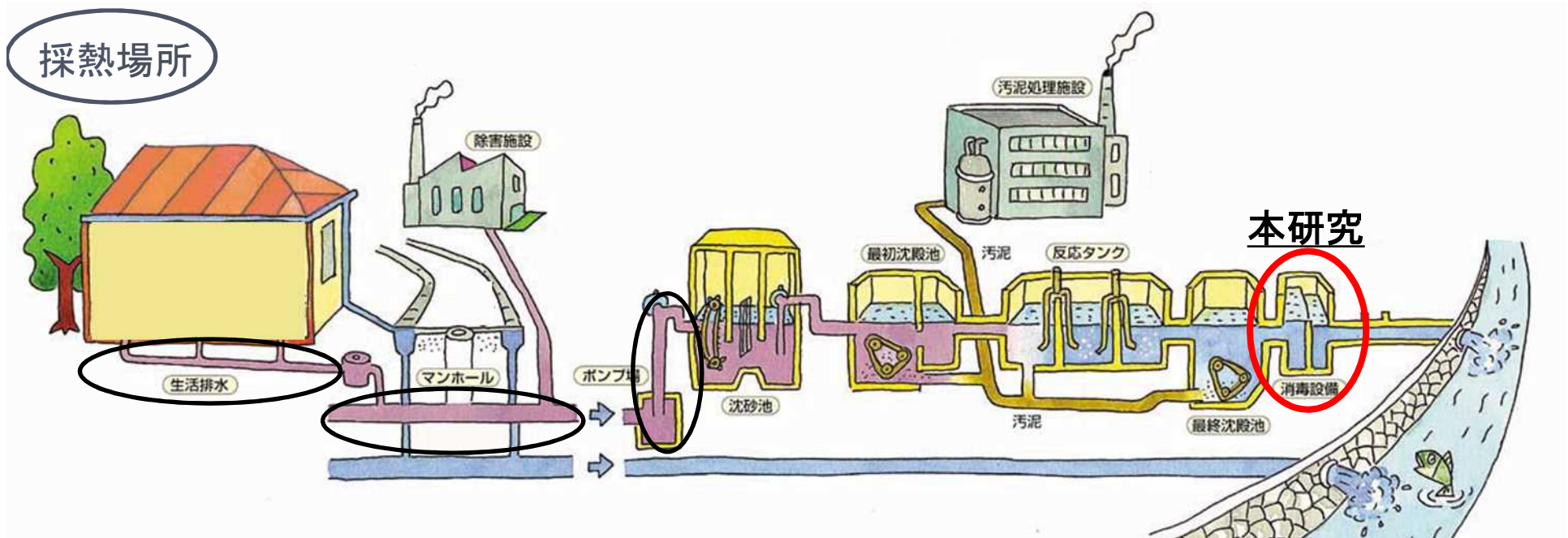
我々が生活するうえで排出される下水からは様々な資源回収が可能

| 各ポテンシャル | 賦存量                             | 利用状況                            |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| 下水汚泥    | 下水汚泥発生量<br>約230万 t /年(乾燥ベース)    | エネルギー利用割合：約22%<br>バイオガス発電：104か所 |
| リン      | 流入するリン<br>約5万 t /年              | リンの利用割合：約1割                     |
| 下水熱     | 下水処理量<br>約145億m <sup>3</sup> /年 | 下水熱利用：26箇所                      |

出典：国土交通省 下水道における資源・エネルギー利用の現状とポテンシャルより

下水資源として、下水熱の回収・利用に注目

# 下水熱の採熱場所と特徴



採熱量: 大  
熱交換器の汚染: 大

採熱量: 小  
熱交換器の汚染: 小

熱交換器の汚染が少ない地点での下水熱回収

# 研究概要

## 研究名称

官民連携による下水道資源・エネルギーを活かした植物栽培技術

## 実施者

- ・長岡技術科学大学
- ・土木研究所
- ・大原鉄工所
- ・クインリード
- ・東亜グラウト工業共同研究体

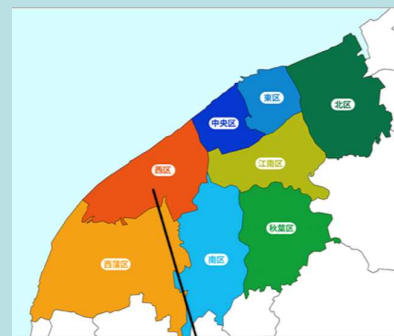
## 実証場所

### 西川浄化センター

処理区域面積：2,570 ha

処理区域人口：100,000 人

平均流入水量：22,000 m<sup>3</sup>/日



新潟市西区



## 検証項目

- ① 新規熱交換器の開発
- ② CO<sub>2</sub>供給型発電機の開発
- ③ 冷室ワサビ栽培の実施
- ③ 温室バジル栽培の実施
- ⑤ 藻類培養技術の開発

---

1. 研究概要

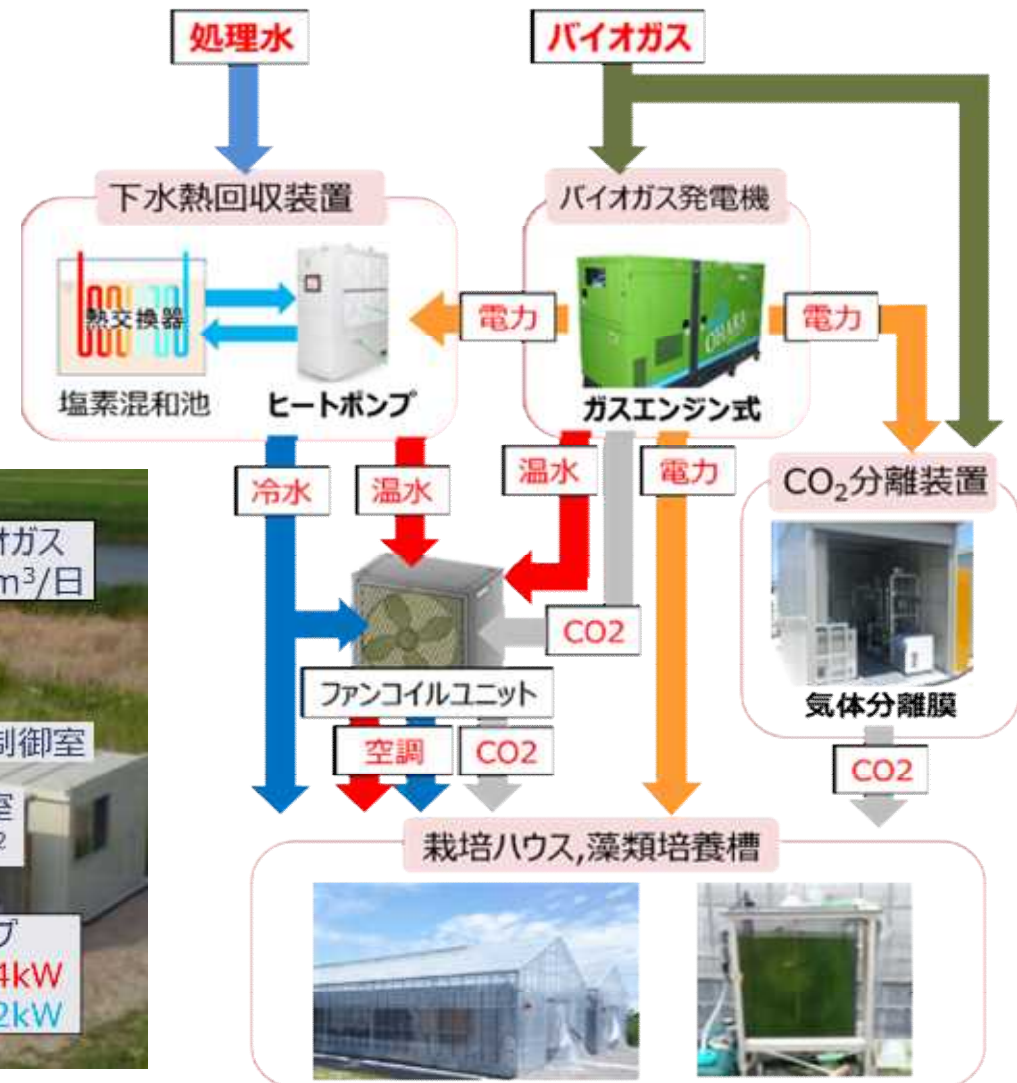
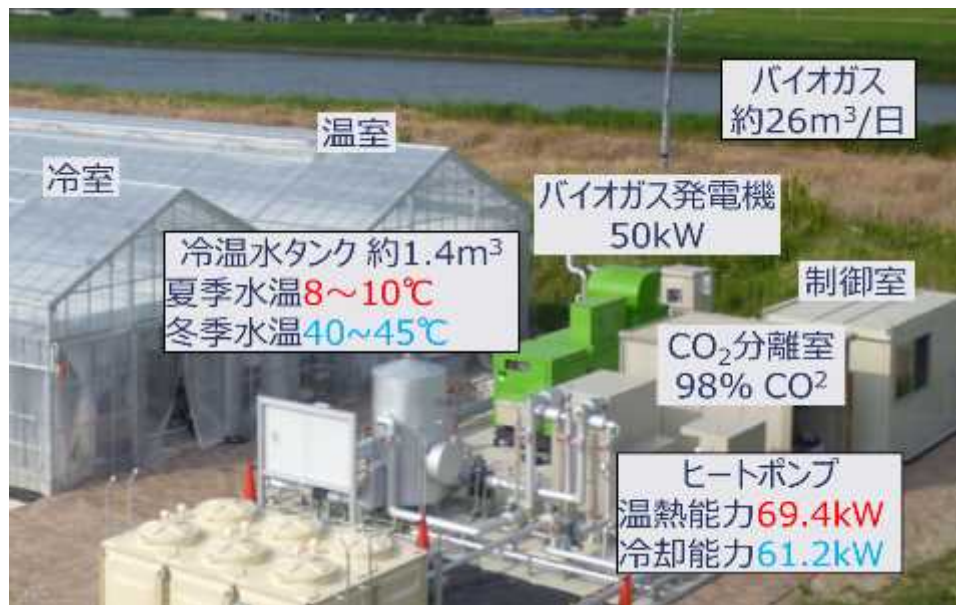
2. 実証試験施設概要と栽培環境構築

3. 植物栽培技術の進捗状況

# 本格的な下水道資源・エネルギーの供給実験設備

## 実験設備全景

- ・処理水から熱回収し、ヒートポンプによって冷水・温水を製造する
- ・ハウスは2棟（冷室，温室）有しており，植物栽培へ適用



**下水処理場で発生する熱を回収し、エネルギーを生産することで  
植物栽培に必要な環境を構築する**



# コイル型熱交換による下水熱回収と結果

## 放流水からの熱回収



塩素混和池



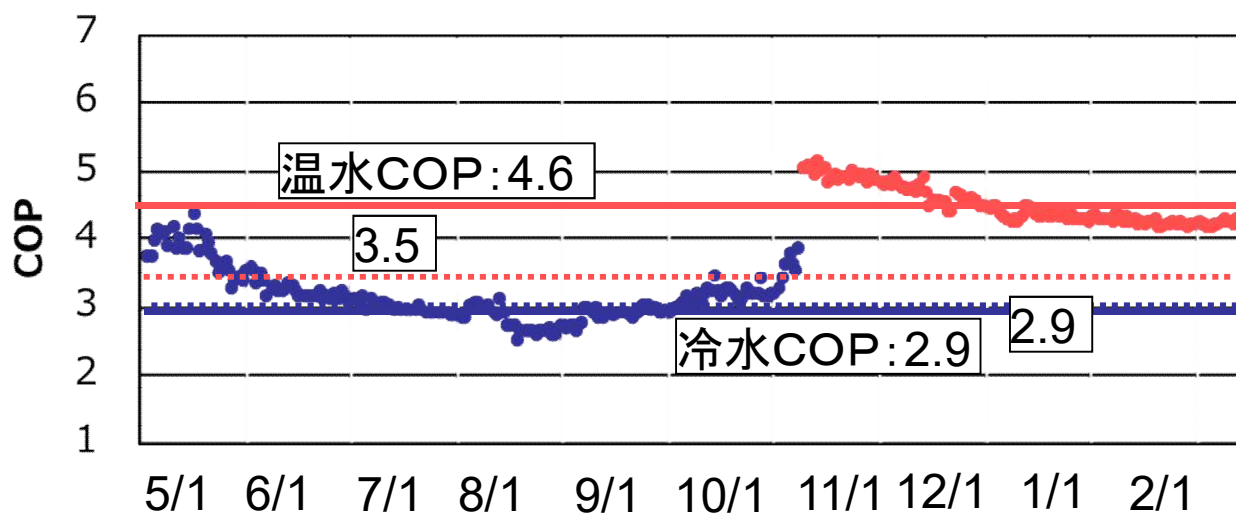
コイル型熱交換ユニット



設置状況

## ヒートポンプの性能評価

ヒートポンプ



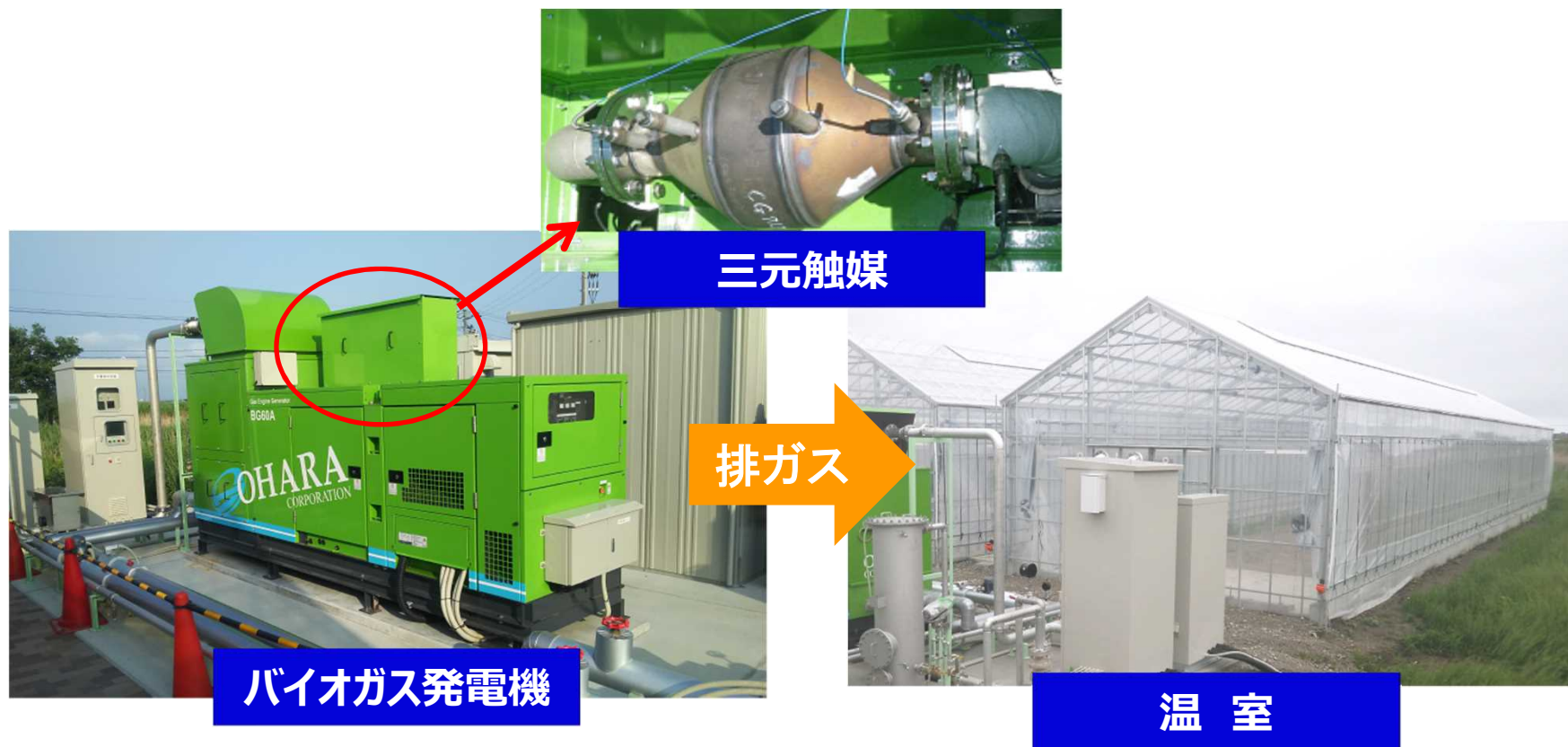
## 結果

・全体の平均COPは冷水作成時**2.9** 温水時は**4.6**で通年で空気熱源以上

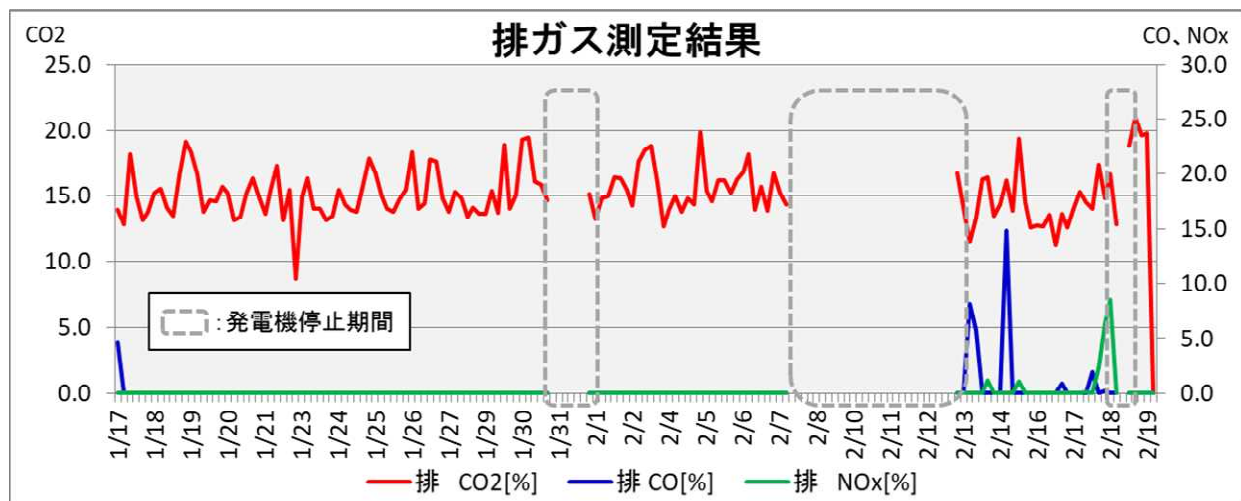
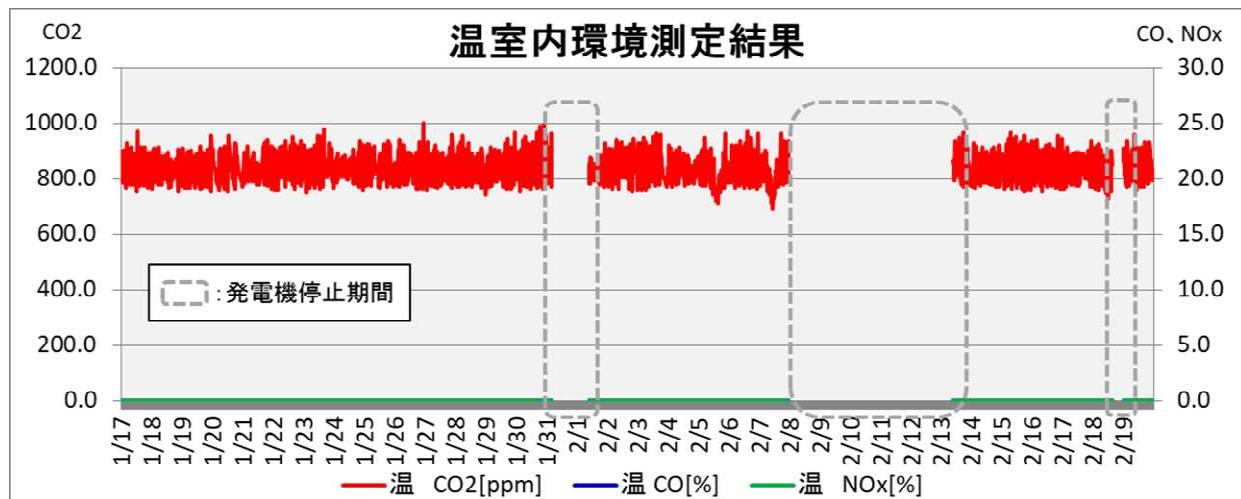
# 発電機による温室への排ガス供給

## 目的

- 発電機（30kW発電）の排ガスにより温室内へCO<sub>2</sub>を供給し、温室内CO<sub>2</sub>濃度を制御する
  - ・三元触媒により浄化した排ガスを供給する（7時～17時）
  - ・排ガス中のCO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、温室中のCO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>を測定し排ガス供給の自動制御を行う



# 発電機による温室への排ガス供給～結果～



## 結果

- 温室内CO2を平均**838ppm**で維持することができた(7～17時)
- 排気ガス中のCOは平均0.3ppm、NOxは平均0.1ppmに抑えられ、温室内CO、NOx共に0.0ppmで維持することができた

- 
1. 研究概要
  2. 研究工程
  3. 植物栽培技術の進捗状況

# ワサビについて

## 天然ワサビ

生育地 : 山岳部で水の澄んだ溪流沿い

栽培水温 : 12~14 [°C]の冷水

※16 [°C]以上で成長低下

生育期間 : 18~24か月 (約2年)



溪流域に生育する天然ワサビ

## 人工のワサビ栽培

商業的に栽培される際、河川水や湧水、地下水を利用  
栽培可能な地域が限定される



河川水による栽培 (全景)

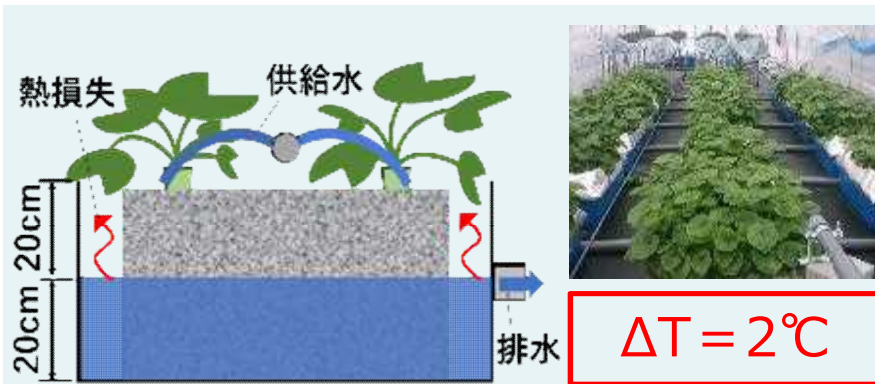


河川水による栽培 (拡大)

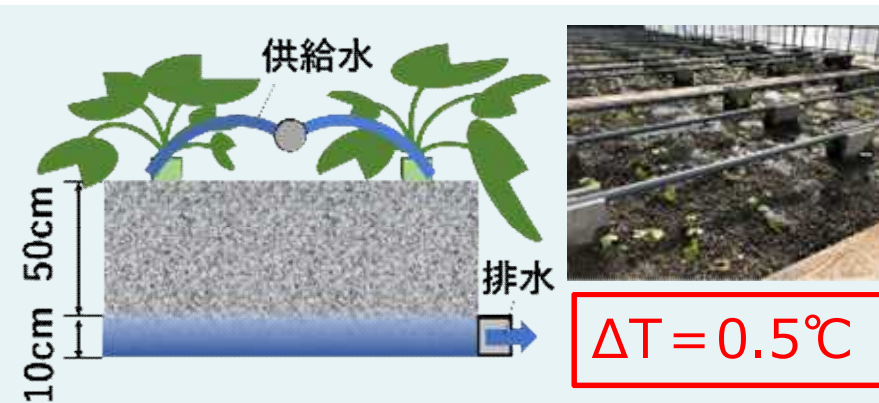


収穫後のワサビ

# 冷室ワサビ栽培技術の開発



これまでの栽培手法



新しい栽培手法



収穫後

- ・河川水を流す栽培を参考として栽培水に浸かる方式で栽培を実施
- ・90株の栽培に**成功**し、生育が可能であることを確認した。

栽培水の滞留時間を  
90分から15分に削減

滞留する栽培水が**外気に  
触れない**培地構造

熱損失を緩和し**冷熱**  
を無駄にしない

# ワサビ栽培の設備設計・設置



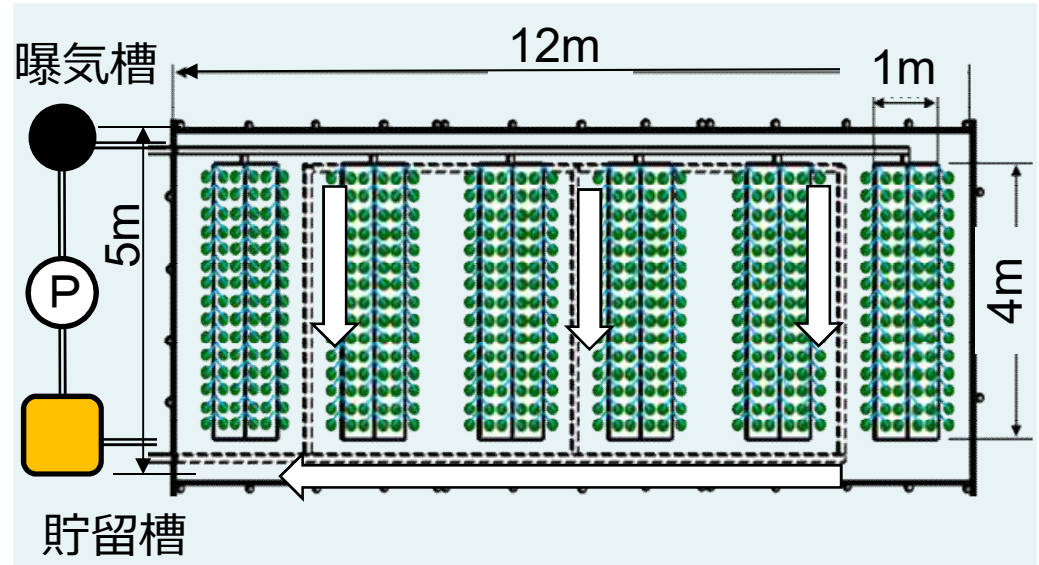
散水時



曝気槽



定植から8ヶ月後



ワサビ棚の設置図面

拡大後の栽培規模

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 栽培面積(m <sup>2</sup> ) | 48      |
| 栽培数(株)                | 600     |
| 供給水量(L/min)           | 100~150 |

# バジルについて

## バジル

原産 : インド・熱帯アジア

栽培環境 : 昼夜通して20 [°C]以上の**温暖**  
な環境

生育期間 : 1~2か月



スイートバジル

## 本研究でバジルを栽培する意義

**温暖**な環境を要するため秋期から冬期にかけて日本での  
栽培可能北限が南下

12月から1月は九州，沖縄からの出荷となり首都圏への出荷距離が長い

地方都市で低コストな栽培ができれば首都圏への出荷が容易になる利点



# バジル栽培の方法

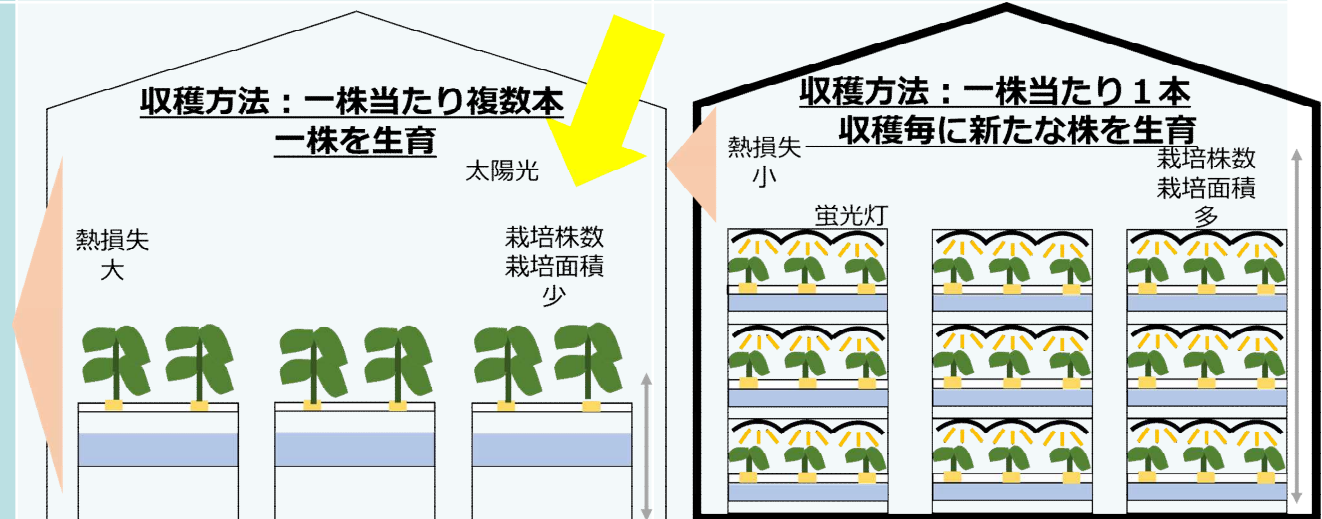
## 太陽光型植物工場 (本設備)

## 人工光型植物工場

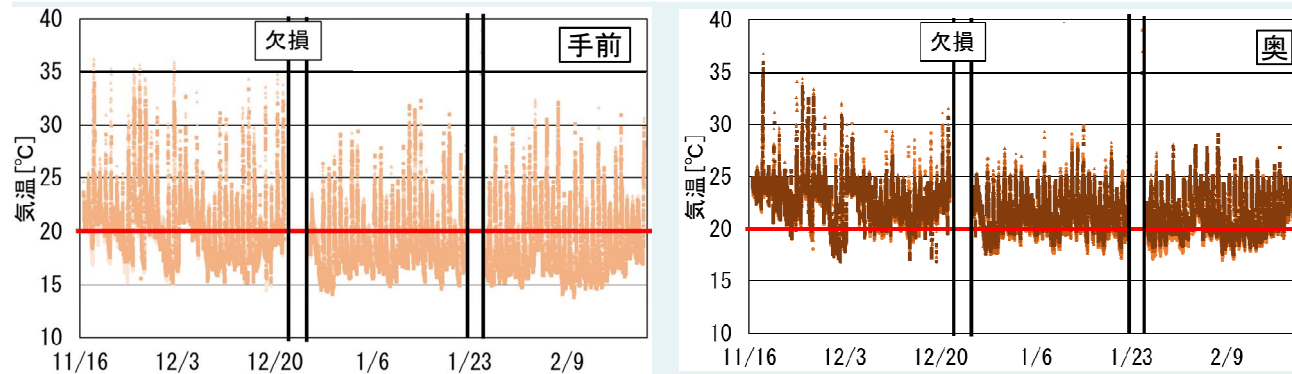
### 栽培設備



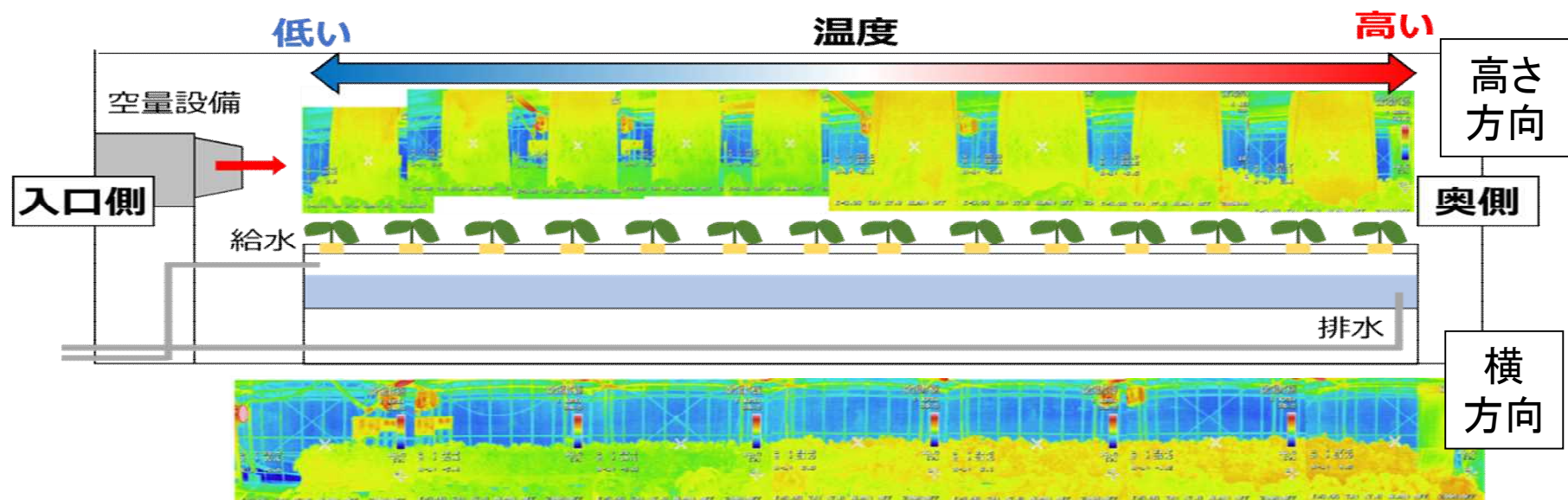
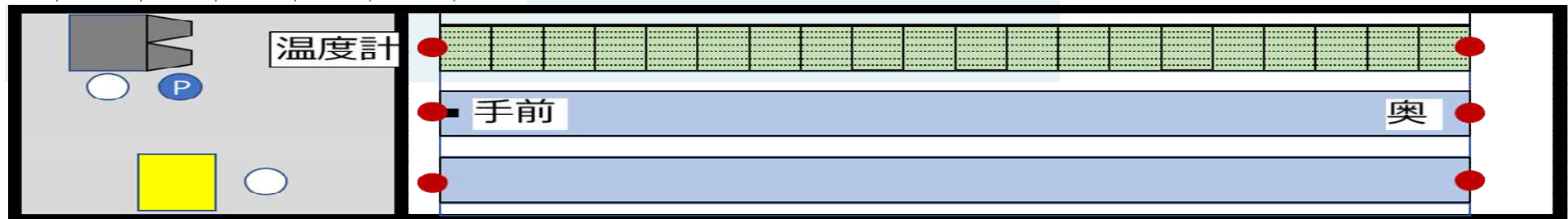
### 栽培方法



# バジル栽培温度分布

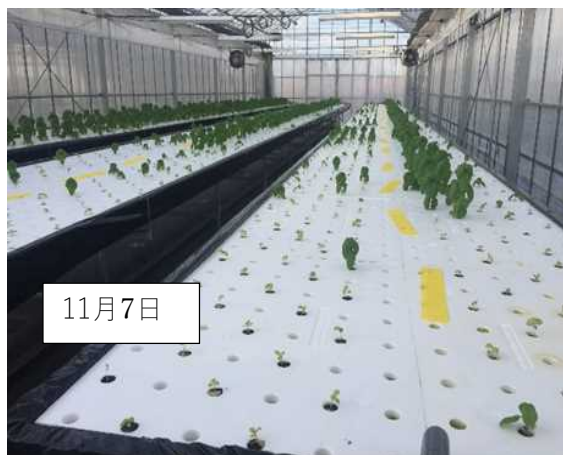


- ・バジルハウス内室温は20℃以上を維持する必要がある
- ・22時～10時には温度が低下する現象



**温度斑の発生があり、ダクトの設置や風向の調整が今後必要**

# バジル栽培の収穫実績評価



11月7日



12月7日



1月22日

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| 栽培面積(パネル枚数)   | 64.8m <sup>2</sup> (120枚) |
| 定植株数          | 2,880株(パネル1枚に24株)         |
| 12月収穫量(茎除去後)  | 55kg                      |
| 12月収穫量(パネル1枚) | 0.46kg                    |

| 収穫月    | 収穫重量<br>(茎除去後) |
|--------|----------------|
| 1月     | 31kg           |
| 2月     | 20kg           |
| 3月(見込) | 20kg           |
| 合計     | 126kg          |

## 【実績評価】

定植予定の遅れにもかかわらず、12月の収穫量は約55kgと、別事業所の植物工場での実績と比較しても遜色なく、同程度の実績となった。

12月中にハウス全面の収穫を終え、最大収穫量の把握がある程度確認出来たため、1月以降はハウス内の温度分布による成育状況の確認、及びその対策の検討を行った。

# バジル栽培の品質評価

1月15日

【栃尾産】



【西川産】



1月22日

【栃尾産】



【西川産】



同日に栃尾・西川で収穫されたバジルの経日劣化を確認。  
冷蔵庫内で同じケースに入れて保管したが、双方水分の抜け、葉のしおれを確認した。葉の付け根部の黒変は両者あったが、1週間経過後も商品としての価値がある事が確認された。

# バジルの利用について

## 試験出荷

- ・これまで収穫したバジルは試験出荷を行い、**製品価値**を精査している

## 加工品

- ・木の実やオリーブオイルと混ぜ合わせた**バジルペースト**
- ・バジルペーストはパスタのソースとして使用もできる
- ・イタリア料理の**ジェノベーゼパスタ**などが代表的



バジルの試験出荷

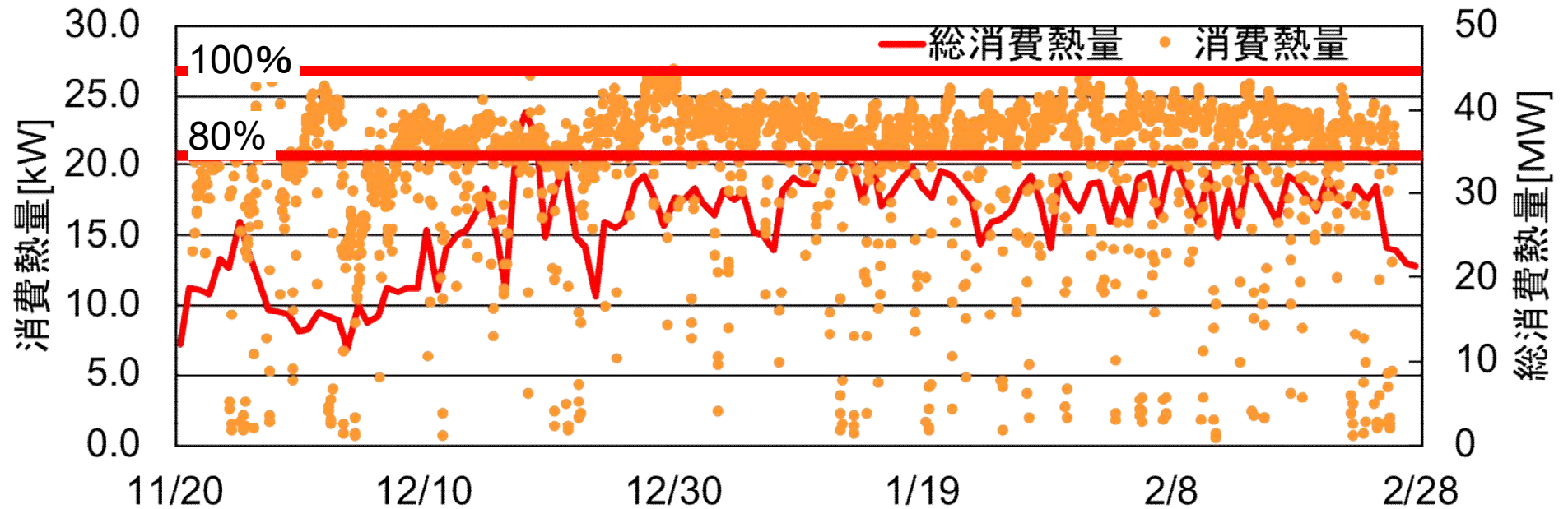


バジルペースト

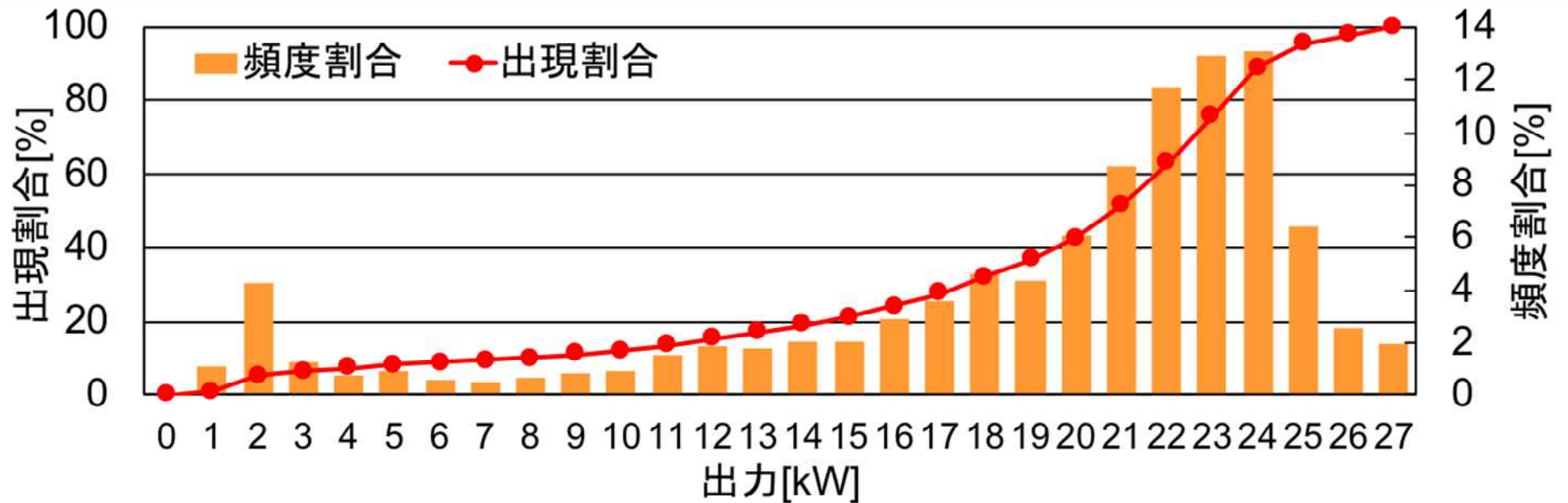


ジェノベーゼパスタ

# バジル栽培の消費熱量と一日総消費熱量



## 消費熱量の累積分布と度数分布



# 灯油暖房機とのエネルギーコスト比較 (ハウス1棟)

## ヒートポンプと灯油暖房機のエネルギーコスト計算

|                  | ヒートポンプ        | 灯油暖房機          | 備考                             |
|------------------|---------------|----------------|--------------------------------|
| ①熱出力[kWh]        | 27            | 27             | カタログ                           |
| ②燃料消費量[L/h]      | -             | 3              | カタログ                           |
| ③消費電力[kWh]       | <b>8</b>      | -              |                                |
| ④12月の総消費熱量[kwh]  | 20            | 20             | 実測値                            |
| ⑤電力量料金[円/kWh]    | 13            | -              | 東北電力                           |
| ⑥年間平均灯油価格[円/L]   | -             | 90             | 全国平均                           |
| ⑦一時間の電気代[円]      | 76            | -              | $(④ \div ①) \times ③ \times ⑤$ |
| ⑧一時間の燃料代[円]      | -             | 186            | $(② \times ④ \times ⑥) \div ①$ |
| ⑨一カ月のエネルギーコスト[円] | <b>56,000</b> | <b>140,000</b> | $⑦(⑧) \times 24時間 \times 31$   |

**ヒートポンプのエネルギーコスト割合は灯油暖房機の40%**