

2019 年度

修士論文

IoT デバイスを用いた

デスクトップ型スマート施設園芸

Smart micro-horticulture using IoT devices

指導教官

古沢 浩 教授

高知工科大学大学院 工学研究科 工学基盤専攻

学籍番号 1125087

松村 敬太

Keita Matsumura

## はじめに

本研究は、完全制御型栽培で有用植物を栽培するために、大量の学習データを迅速に取得できる栽培シミュレーションシステムを構築した。そこで、3種類の供試植物を用いて、デモンストレーションを行った。

# 目次

はじめに	1
<b>第 1 章 緒論</b>	<b>3</b>
1.1 完全制御型栽培について	3
1.2 有用植物について	7
1.3 本研究の目的	8
<b>第 2 章 実験システム</b>	<b>10</b>
2.1 ハードウェアの詳細	10
2.2 ソフトウェアの詳細	13
2.3 校正	15
<b>第 3 章 実験方法</b>	<b>18</b>
3.1 供試植物	18
3.2 実験条件	19
3.3 実験方法	20
<b>第 4 章 実験結果</b>	<b>23</b>
4.1 環境データ	23
4.2 水質データ	31
<b>第 5 章 議論・総括</b>	<b>34</b>
5.1 植物間の比較	34
5.2 環境データと水質データ	35
5.3 結語	36
<b>謝辞</b>	<b>37</b>
<b>参考文献</b>	<b>38</b>
<b>付録</b>	<b>39</b>

# 第 1 章

## 緒論

### 1.1 完全制御型栽培について

#### 1.1.1 概要

完全制御型栽培は、内部環境をコントロールした閉鎖型な空間で野菜、苗を計画的に栽培するシステムである。人為的にコントロールする環境は、二種類あり、環境データと水質データである。環境データは温度、湿度、二酸化炭素濃度、光量、養液濃度であり、水質データは、電気伝導率(EC)と水素イオン指数(pH)である。ほとんどの場合、制御しやすい水耕栽培で行う。図 1.1 は、完全制御型栽培の植物工場の写真である。[1]



図 1.1 完全制御型栽培の植物工場

## 1.1.2 制御する環境

### I) 温度

光合成速度や呼吸、培養液の溶存酸素濃度の変動、湿度の変動に關与する事で、作物に対して2次的な影響を及ぼす。そして、植物の養分吸収率を変化させ、生理障害に発展する事もあるために最適な温度管理は必須である。

### II) 湿度

湿度は光と同様に気孔の開閉に關与しており、湿度が高いと蒸散が活発になり、気孔開度が大きくなる。逆に、空気が乾燥し、湿度が低いと、体内の水分を保持する為に蒸散を抑制し、気孔開度が小さくなる。。最適値は、作物によって異なるものの、65%~70%で管理するのが好ましい。

### III) 二酸化炭素濃度

生育促進効果により二酸化炭素の重要性が高くなっている。葉菜類の場合、炭酸ガス不足に陥ると、生体重や葉数の減少、葉の展開角度が大きくなる傾向がある

### IV) 光

光環境は、光合成速度や蒸散速度、養分吸収等に影響を与える。植物によって生長を促す波長は変わってくるため、適切な波長の光を当てなければならない。

### V) 養液濃度

各植物によって必要な栄養成分が違うことから、市販の養液における濃度もそれぞれ違う。濃度が薄すぎると、養分が足りず、生長が遅れる。また、濃すぎると根が養分を養液から吸い上げることができなくなり、枯れてしまう。このため、各植物の適切な濃度に合わせる必要がある。

### VI) 電気伝導率(EC)

LED 植物工場では、植物に最適な波長分布の光を効率よく照射可能なために、特定の肥料成分が極端に吸収される事もある。そのため、培養液の濃度と管理がより重要となる。培養液の濃度を示すのによく使われるのが EC で、単位は、国際単位系で dS/m(デシ・ジーメンズ・パー・メートル)が使われる。

### 1.1.3 現状

#### I)経営状態

図 1.2 は、2019 年度の植物工場の経営収支である。グラフの青色が黒字、緑が収支均衡、赤色が赤字経営である。植物工場には、太陽光のみの利用と LED を用いる人工光利用がある。完全制御型栽培の植物工場は、人工光利用型であるため、黒字が 44.0%、収支均衡が 14.0%、赤字が 42.0%である。[2]

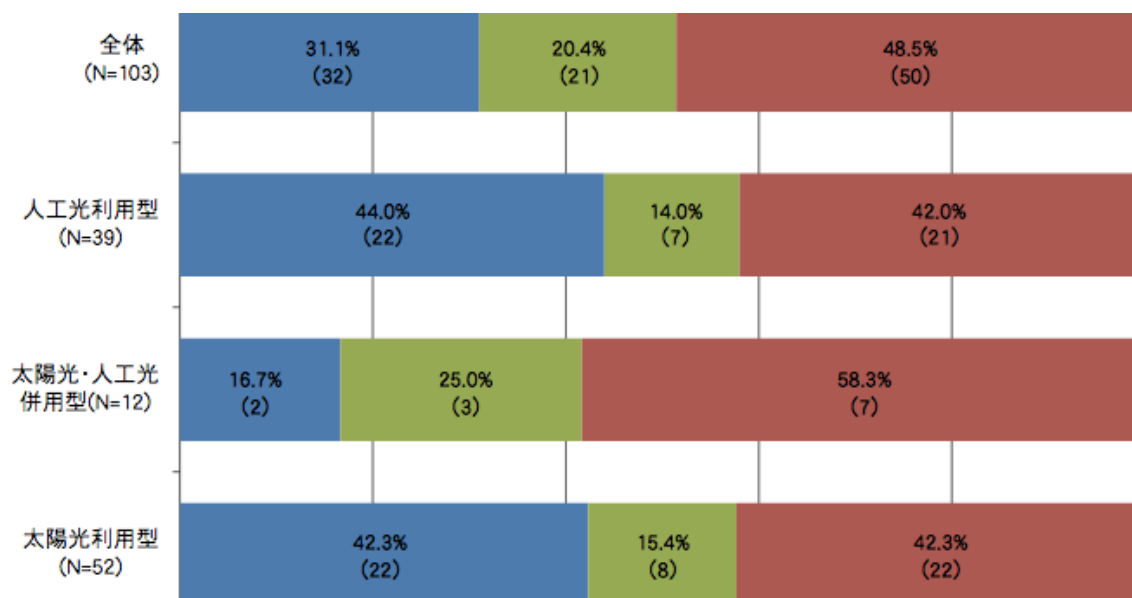


図 1.2 植物工場の経営収支(2019 年度)

#### II)栽培植物の種類

図 1.3 は、植物工場での主な栽培品目である。人工光利用では、周年を通じて安定した需要があり、比較的栽培しやすいレタス類が 83%であり最多である。次に、その他果菜類が 5%、ハーブ類が 5%となっている。更に、図 1.4 は、栽培品目の内訳を示している。[3]

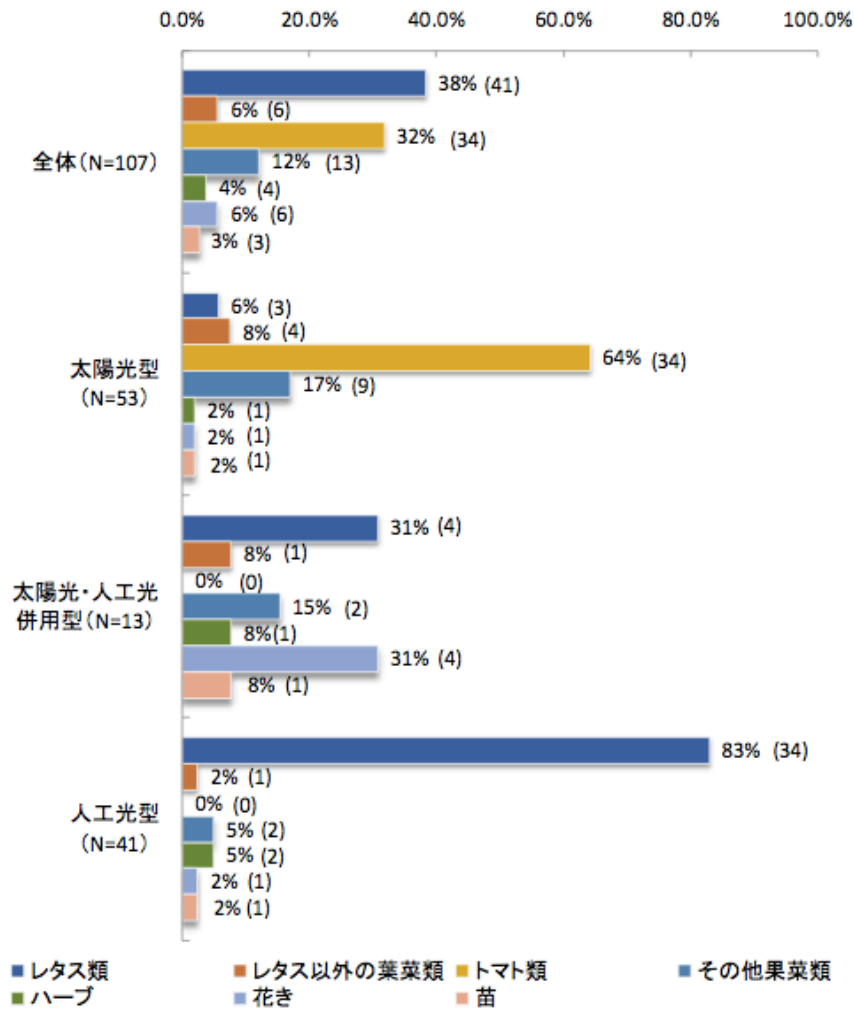


図 1.3 主な栽培品目(平成 30 年度)

カテゴリ	品目
レタス類	リーフレタス（フリルレタス、グリーンリーフ、サニーレタス）、ロメインレタス、ベビーリーフ等
レタス以外の葉菜類	ほうれん草、こまつ菜、水菜、みつ葉等
トマト類	大玉トマト、ミディトマト、ミニトマト
その他果菜類	いちご、パプリカ、ピーマン、キュウリ
ハーブ	バジル、パクチー、ルッコラ、クレソン等
花き	バラ、胡蝶蘭、トルコギキョウ、エディブルフラワー等
苗	花き苗、野菜苗、等

図 1.4 栽培品目の内訳(平成 30 年度)

## 1.2 有用植物について

### 1.2.1 概要

有用植物とは、食用以外に薬剤や建築などにも用いられ、人間の役に立つ植物である。有用植物からの抽出物は生薬や漢方薬となる。多くの有用植物は、高付加価値商品を生み出すことができる。

### 1.2.2 市場動向

図 1.5 は、生薬と漢方薬の市場である。2005 年から 2020 年までの間で約 2 倍の売上となっており、医薬品全体の中でも大幅な伸びを示す有望なマーケットであることがわかる。

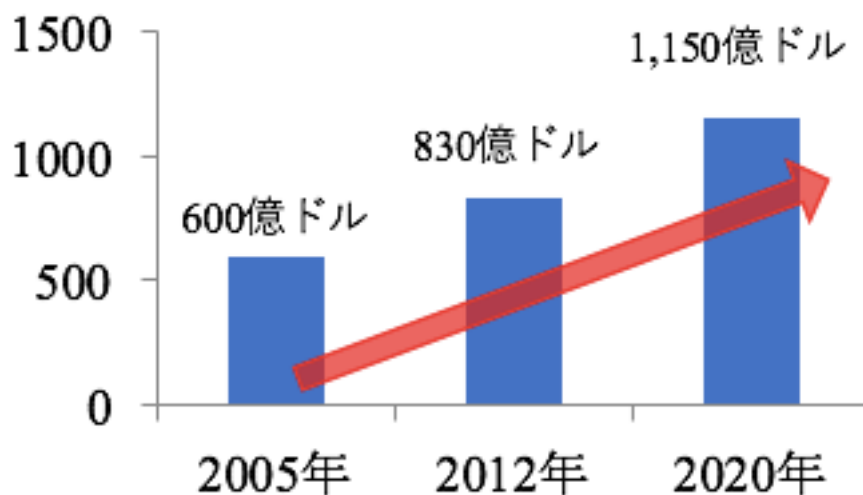


図 1.5 生薬と漢方薬の市場

### 1.2.3 有用植物栽培の課題

有用植物由来の原料生産には、(I)薬理活性の高い有用植物の情報収集、(II)有用植物育成の最適環境に関する情報、(III)最適環境を実現できる栽培システムの構築が必要になるが、技術的課題に直面し、実現に至っていない。

#### (I)薬理活性の高い有用植物の情報収集



生産コストに見合う含有分量を有する有用植物に関する情報が不足（日本国内で栽培可能な優良種苗の選抜、保存、増殖法の検討が必要）、有用植物採取に関する人材が世界的にも希少、種多様性が高い赤道付近に生育する希少有用植物の情報不足がある。

## **(II)有用植物育成の最適環境に関する情報**

世界各地の有望な有用植物の正確な位置情報が不足、薬理活性を高める要因となる土壌成分等の生育環境に関するデータを継続的かつ精緻に収集・分析する仕組みが未整備である。

## **(III)最適環境を実現できる栽培システムの構築**

生育に長期間を有するものが多く、栽培する場合、田畑等の利用効率が著しく劣る、含有成分が均質でなく、品質の安定が困難、効率的（期間の短縮、労力の短縮等）な栽培手法が確立していない、生育にばらつきがあり、収量が一定しないが挙げられる。

# **1.3 本研究の目的**

## **1.3.1 課題と解決策**

本研究では、有用植物由来の原料生産の課題である(II)有用植物育成の最適環境に関する情報と(III)最適環境を実現できる栽培システムの構築の2点を解決させていく。その解決策として、大量の学習データを迅速に取得できる栽培シミュレーションシステムである自律栽培システムの構築を掲げる。

## **1.3.2 戦略と期待される効果**

図 1.6 は、自律栽培システム構築のための戦略図である。小型化、ローコスト化、分散化の3点がある。この戦略より期待される効果は、希少植物(有用植物)を栽培するために小型化で行えること、ローコストで行うために居住空間を使える、分散化を行うことで並列栽培シミュレーションができる。これら3点が挙げられる。

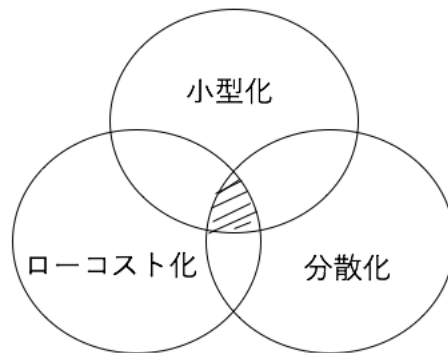


図 1.6 自律栽培システム構築のための戦略図

図 1.7 は、世界中の多数箇所での並列栽培シミュレーションの簡略図である。戦略の分散型では、この図のような想定で、クラウドを用いて、全世界どこでも情報を共有できるようにしている。



図 1.7 並列栽培シミュレーションの簡略図

これより、本研究の目的は、栽培シミュレーションシステム的设计とデモンストレーションを掲げる。

## 第2章

### 実験システム

#### 2.1 ハードウェアの詳細

図 2.1 は、我々の構成システムの模式図である。LED の下に小型化のため小さい密封容器を用意し、その中に植物を入れる。ローコストで行うため、環境データの収集に raspberry Pi を用いる。さらに、分散化のために環境データをクラウドに上げる Google drive を使用する。

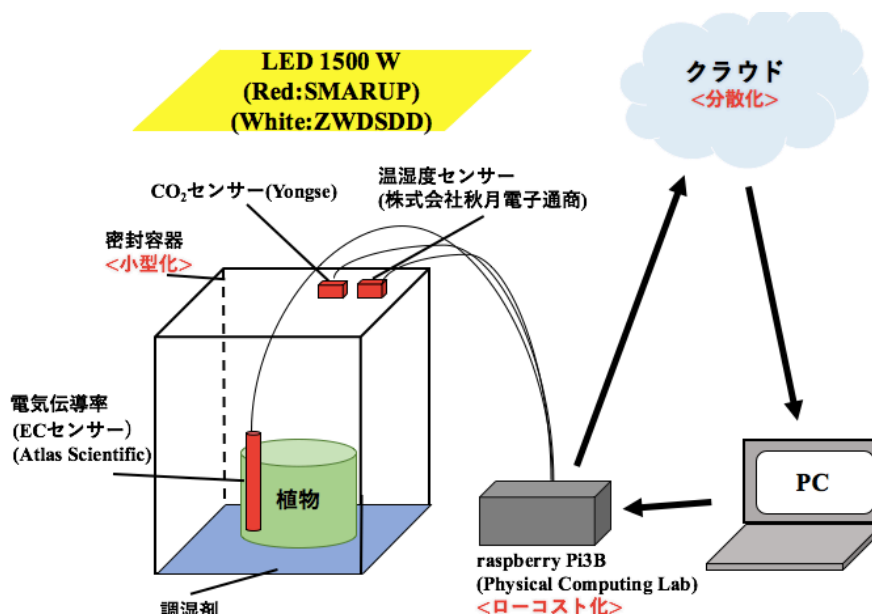


図 2.1 構成システムの模式図

次に、構成システムで用いている各製品についてのスペックの詳細を示す。

#### (I) 白 LED(図 2.2)

商品名：LED 植物育成ライト (ZWDSDD)

フルスペクトル：1500 W、電圧：85-265 V

サイズ：31×21×6 cm、重さ：3.5 kg

栄養期および開花期のフルスペクトル：430～440 nm、450～475 nm、620～630 nm、650～670 nm、ホワイト、IR (730 nm)



図 2.2 白 LED

### (II) 赤 LED(図 2.3)

商品名：led 植物育成ライト(SMARUP)

サイズ：400×200×60mm、重さ：4 kg

栄養期および開花期のフルスペクトル：赤(620nm-660nm); ブルー(430nm-460nm);  
IR(730nm); UV(380-410nm); 白(8000K-8500K)



図 2.3 赤 LED

### (III)密封容器(図 2.4)

商品名：ポップコンテナ 2 スモールスクエア ショート(OXO)

サイズ：110×110×160 mm、重さ：260 g

容量：1.0 L



図 2.4 密封容器

#### (IV)調湿剤(図 2.5)

商品名：床下さらり(アイリスオーヤマ)

主成分：加熱処理高機能化天然ゼオライト、重さ：10 kg



図 2.5 調湿剤

## 2.2 ソフトウェアの詳細

構成システムのローコスト化である Raspberry Pi についてのスペックの詳細を以下に示す。図 2.6 は、Raspberry Pi の完成形の写真である。

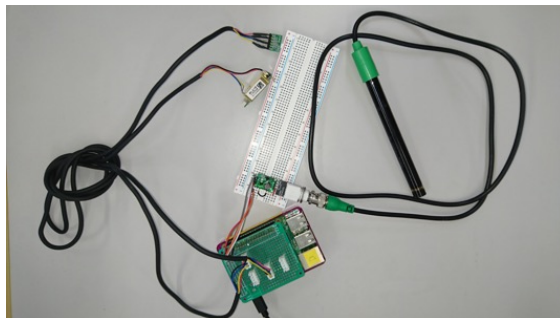


図 2.6 Raspberry Pi の完成形

次に、Raspberry Pi の完成形を形作っている、Raspberry Pi 本体とそれぞれの気象センサーのスペックを示す。

### ( I )Raspberry Pi 本体(図 2.7)

商品名：raspberrypi Pi3B V1.2(Physical Computing Lab)

電源：Micro USB B ソケット 5V2.5A/ 2.54mm ピンヘッダ

最大消費電力：約 12.5 W、サイズ：85 × 56 × 17 mm

サポート OS：Raspbian (Debian ベース)



図 2.7 Raspberry Pi 本体

### ( II )CO<sub>2</sub> センサー(図 2.8)

製品モデル：MH-Z19(Yongse)

サイズ：33 x 20 x 9 mm、測定範囲：400~5000 ppm

使用電圧：3.6~5.5 V



図 2.8 CO<sub>2</sub> センサー

### (Ⅲ) 温湿度センサー(図 2.9)

製品モデル：BME280(株式会社秋月電子通商)

サイズ：10×16 mm、温度：-40~+85℃、±1℃、湿度：0~100%、±3%

気圧：300~1100hPa、±1hPa、電源電圧：1.71V~3.6V



図 2.9 温湿度センサー

### (Ⅳ) 電気伝導率センサー(図 2.10)

製品モデル：Atlas Scientific Conductivity Kit(Atlas Scientific)

サイズ：K 1.0、測定範囲：5~200,000 μS/cm

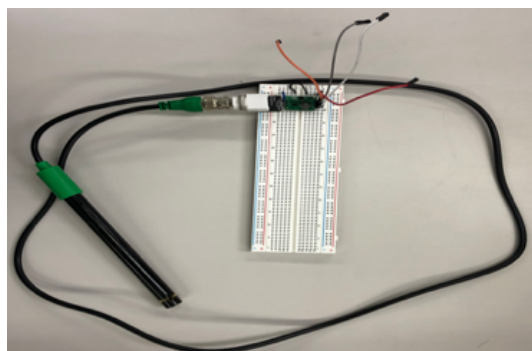


図 2.10 電気伝導率センサー(EC センサー)

## 2.3 校正

### 2.3.1 密封容器の密封度

図 2.11 は、密封容器の密封度を示したものである。縦軸は、各値を最大値で割り規格化したもので、横軸は時間である。

密封容器内に、CO<sub>2</sub> ポンプを用いて CO<sub>2</sub> を噴射し、一定時間の CO<sub>2</sub> 濃度の減少量を確認した。図 2.11 のグラフの直線が、一定時間経過後も横ばいであるため、密封であることが見て取れる。

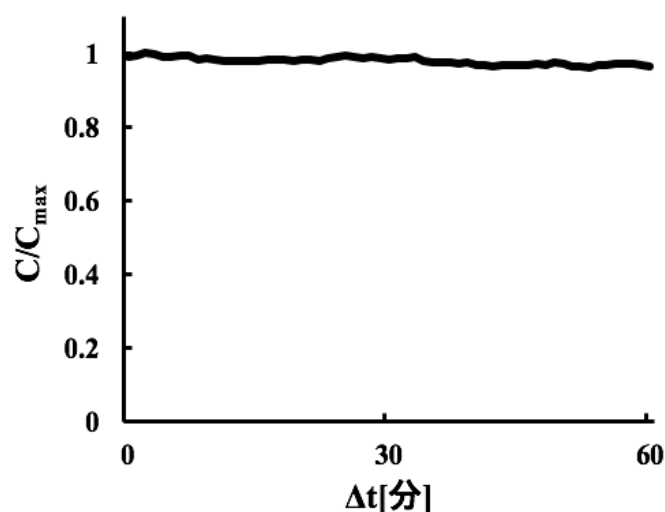


図 2.11 密封容器の密封度

### 2.3.2 Raspberry Pi のセンサーの校正

#### ( I )Raspberry Pi の基準センサー

Raspberry Pi を 4 台使用するためそれぞれの Raspberry Pi (A、B、C、D) を校正した。まず、Raspberry Pi の A~D のセンサーとモデルとなる気象センサーの NETATMO 図 2.12 を同じ容器に入れ、2 時間測定し、モデルに近い値を示すセンサーを調べた。



図 2.12 NETATMO[4]



図 2.14 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。モデルとなる NETATMO に最も近い値を示しているのは、Raspberry Pi D のセンサーである。図 2.15 は、縦軸が温度[°C]で、横軸が時間[分]である。モデルとなる NETATMO に最も近い値を示しているのは、Raspberry Pi D のセンサーである。図 2.16 は、縦軸が湿度[%]で、横軸が時間[分]である。モデルとなる NETATMO に最も近い値を示しているのは、Raspberry Pi A のセンサーである。しかし、B のセンサーは、測定していない。

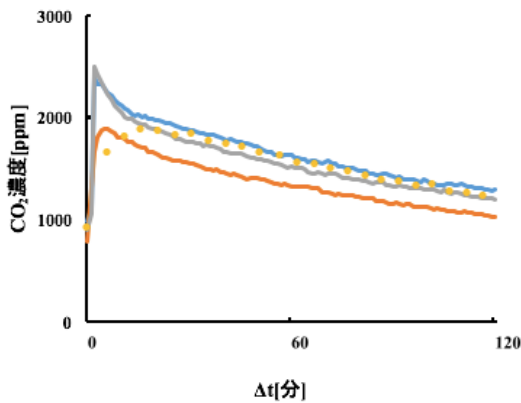


図 2.14 CO<sub>2</sub> 濃度

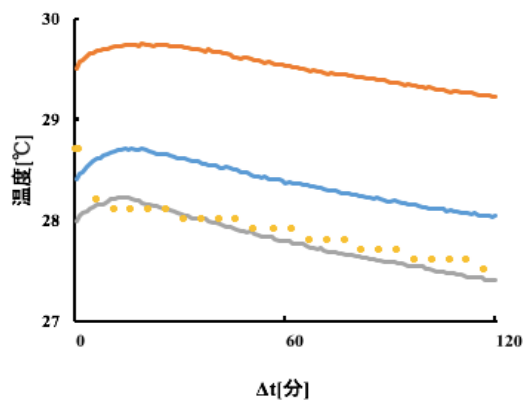


図 2.15 温度

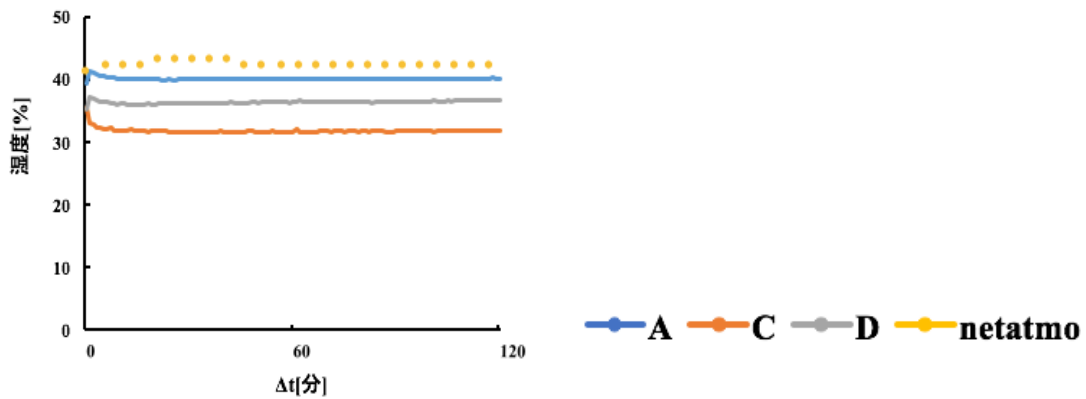


図 2.16 湿度

## (II)校正式の導出

Raspberry Pi(A~D)のセンサーを同じ容器に入れ、環境を変え、データを収集し、各条件(CO<sub>2</sub> 濃度、温度、湿度) に基準センサーとの近似直線(校正式) を導いた。

図 2.17 は、縦軸が Raspberry Pi D の CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が Raspberry Pi A の CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]である。目的変数を基準センサーにし、説明変数をその他のセンサーにした。

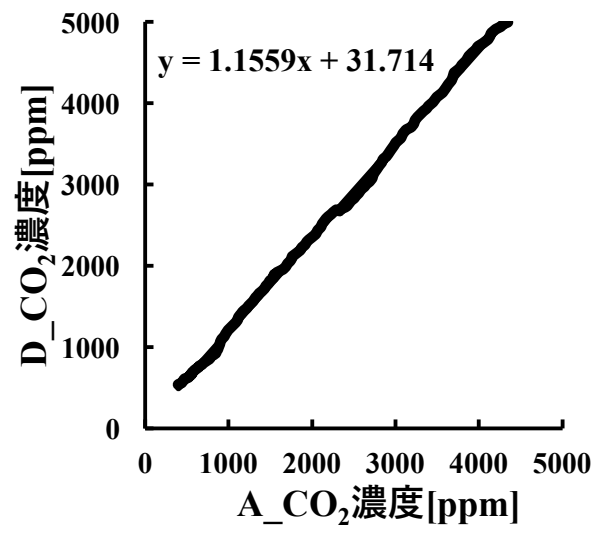


図 2.17 センサーA と D の近似直線(CO<sub>2</sub>濃度)

## 第3章

### 実験方法

#### 3.1 供試植物

##### (I) マスタードグリーン (図 3.1)

分類 : アブラナ科

特徴 : カリウム、カルシウム、カロテンを多く含む

効能 : 高血圧防止、抗発ガン作用、動脈硬化の予防[5]



図 3.1 実験用マスタードグリーン

##### (I) スイートバジル(図 3.2)

分類 : シソ科メボウキ属

特徴 :  $\beta$ カロテン、カルシウム、ビタミンKを多く含む

効能 : 強壮、鎮静、抗菌、抗うつ、駆風[6]



図 3.2 実験用スイートバジル

### (Ⅲ)高麗人參 (図 3.3)

分類 :ウコギ科トチバニンジン属

効能 : 健胃、強壯、強精、新陳代謝促進作用があり

今後の研究では、2年生苗を水耕栽培に移し替えて約1ヶ月で葉と根を収穫する栽培方法で行う。この栽培方法は根を収穫する6年生根と比較して、栽培期間が短く、更に効能成分が多く含まれることが、近年の研究でわかっている。しかし、水耕栽培での栽培が確立していないため、我々の最終目標は、高麗人參の栽培最適環境の確立である。[7]



図 3.3 高麗人參の葉(左)と根(右)

## 3.2 実験条件

植物の条件は、表 3.1 の 8 つである。表は、各条件に名称をつけた。攪拌子 2 は、等倍の養液に図 3.4 の攪拌子 2 cm を入れ、図 3.5 のスターラーを用いて 1500 rpm/分で攪拌している。同様に、攪拌子 3 は、等倍の養液に攪拌子 3 cm を入れ、1500 rpm/分で攪拌している。養液 0.5 は、養液濃度が 0.5 倍、養液 1 は濃度等倍、養液 2 は濃度 2 倍、養液 5 は濃度 5 倍、養液 10 は濃度 10 倍、養液 20 は濃度 20 倍である。

表 3.1 植物条件と名称

	各条件
攪拌子 2	水 2 L+原液(4 cc,4 cc)、攪拌子 2 cm(1500 rpm)
攪拌子 3	水 2 L+原液(4 cc,4 cc)、攪拌子 3 cm(1500 rpm)
養液 0.5	0.5 倍 : 水 2 L+原液(2 cc,2 cc)
養液 1	等倍 : 水 2 L+原液(4 cc,4 cc)
養液 2	2 倍 : 水 2 L+原液(8 cc,8 cc)
養液 5	5 倍 : 水 2 L+原液(20 cc,20 cc)
養液 10	10 倍 : 水 2 L+原液(40 cc,40 cc) ※1 週間以内に枯死
養液 20	20 倍 : 水 2 L+原液(80 cc,80 cc) ※1 週間以内に枯死



図 3.4 アズワン/攪拌子(1-4206-01)



図 3.5 アズワン/パソリナミニスターラー(CT-1AT)

### 3.3 実験方法

表 3.1 で示した条件の下で 1 日経過した植物と 3 日経過した植物をそれぞれ用いて実験を行った。各条件下で白 LED を用いて行った。高麗人参では、白 LED のみの実験、養液 1 における赤 LED と白 LED の比較を行った。図 3.6 のように、密封容器に植物と Raspberry Pi の CO<sub>2</sub> センサー、温湿度センサー、EC センサーを入れる。次に、CO<sub>2</sub> ポンペで密封容器内に 5000 ppm まで噴射し、一定時間の CO<sub>2</sub> 吸収速度を測定した。測定を行うために、PC のターミナルを用いて Raspberry Pi に各環境データの測定の命令を行った。

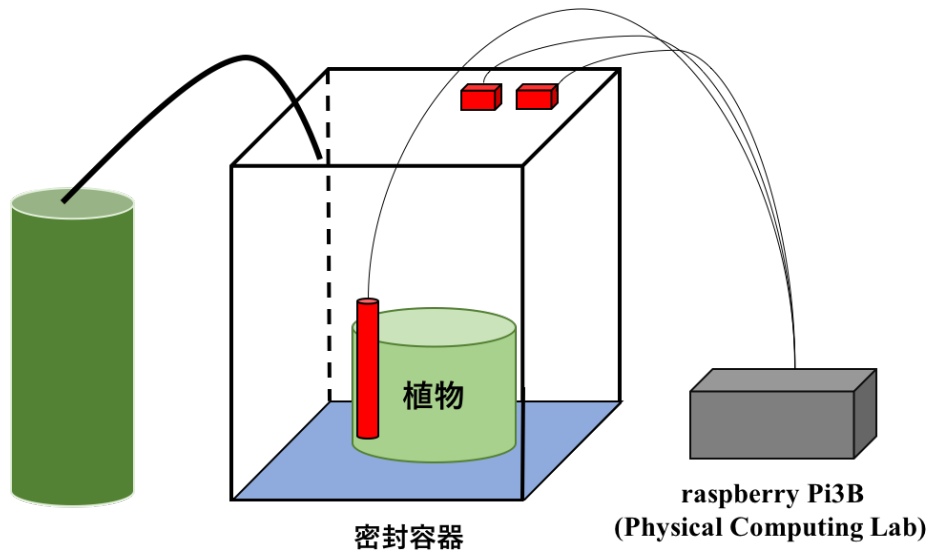


図 3.6 実験の構成システム

実験終了後、Google drive のクラウドから実験データを取得した。その後、図 2.17 のように該当するペアの校正式を用いて実験データを校正し、表 3.2 のように CO<sub>2</sub> が 5000 ppm に近い値を抽出した。その時間に該当する温度、湿度を用いた。そして、表 3.3 のように、同条件の供試植物の値から平均値を算出した。平均値を図 3.7 のように、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で横軸が時間[分]のグラフで示し、直線の傾きである CO<sub>2</sub> 吸収速度を比較した。

表 3.2 校正した後の CO<sub>2</sub> 濃度

	各条件の供試植物						
	攪拌子2_a	攪拌子2_b	...	養液5_a	養液5_b	養液10_a	養液10_b
0	5026	5024		5020	5021	5049	5000
1	4991	4963		4980	4995	4985	4995
2	4945	4927		4947	4967	4978	4977
3	4891	4898		4910	4909	4960	4959
4	4837	4842		4870	4870	4947	4941
118	1159	1179		944	755	3196	2842
119	1147	1159		935	745	3183	2825
120	1134	1141		921	724	3179	2804

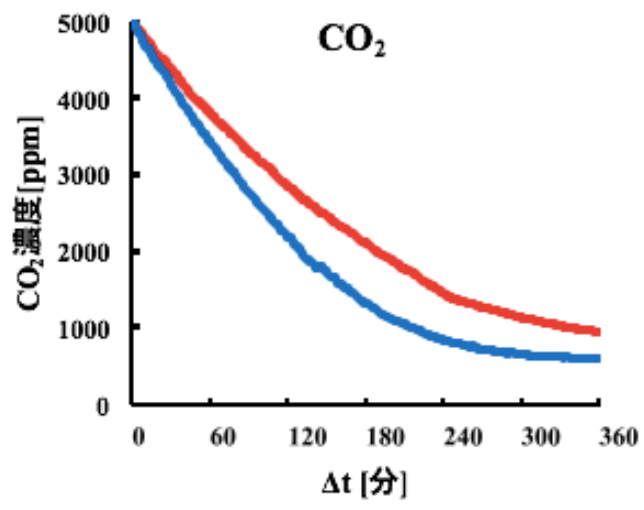


図 3.7 CO<sub>2</sub> 吸収速度

# 第4章 実験結果

## 4.1 環境データ

### 4.1.1 マスタードグリーン

#### (I)1日目(白LED)

表 4.1 は、各条件下における植物のサンプル数である。今回は全て2つのサンプルで行った。

表 4.1 サンプル数

	攪拌子2	攪拌子3	養液0.5	養液1	養液2	養液5	養液10	養液20
サンプル数	2	2	2	2	2	2	2	2

図 4.1 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。サンプル間で、CO<sub>2</sub> 濃度減少の傾きに大きく差は見られなかった。これより、各条件下で育て初めて1日目であったため、条件によって変化が出にくいことが示唆された。これより条件を加える前は、CO<sub>2</sub> 吸収能力は同じであるとわかった。

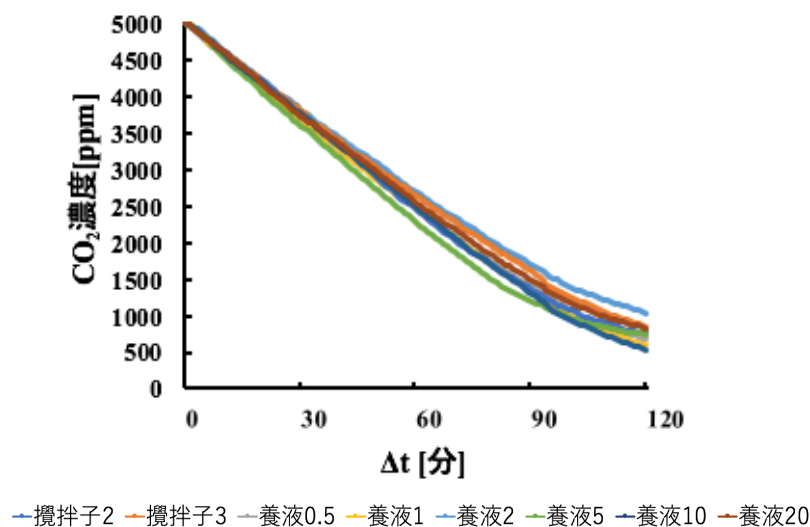


図 4.1 CO<sub>2</sub> 濃度



図 4.2 は、縦軸が温度[°C]で、横軸が時間[分]である。養液 0.5 と養液 2 の温度は、他の条件と比較して実験開始から、大きく違っていた。全体的に見て、温度が下がっており、蒸散効果が見られた。

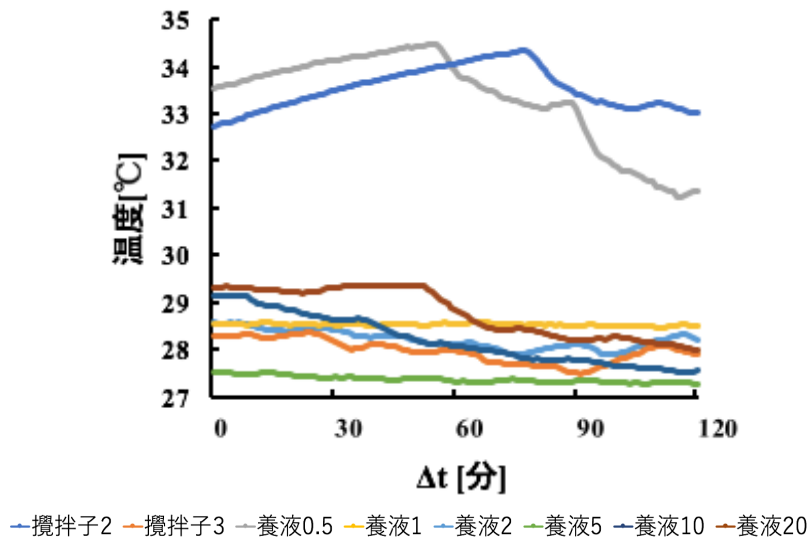


図 4.2 温度

図 4.3 は、縦軸が湿度[%]で、横軸が時間[分]である。湿度は、密封容器に入れていることもあり、湿度上昇が見られた。

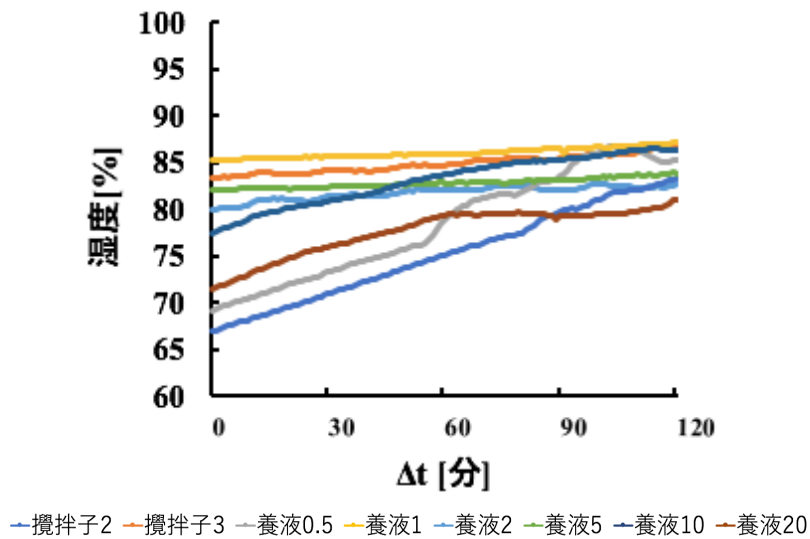


図 4.3 湿度

### (II)3 日目(白 LED)

表 4.2 は、各条件下における植物のサンプル数である。今回は全て 2 つのサンプルで行った。

表 4.2 サンプル数

	攪拌子2	攪拌子3	養液0.5	養液1	養液2	養液5	養液10	養液20
サンプル数	2	2	2	2	2	2	2	2

図 4.4 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。1 日目の図 4.1 と比較して、CO<sub>2</sub> 吸収速度に大きく差が示された。CO<sub>2</sub> 吸収速度が遅いとは、直線の傾きが小さいということで、養液 10 や養液 20 の高濃度養液の条件が該当した。更に、CO<sub>2</sub> 吸収速度が速いとは、直線の傾きが大きいということで、養液 1 や養液 2 が該当した。

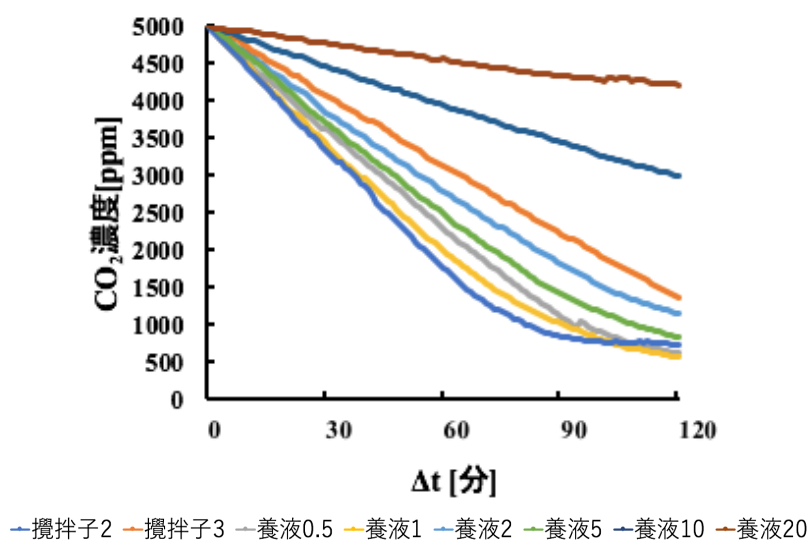
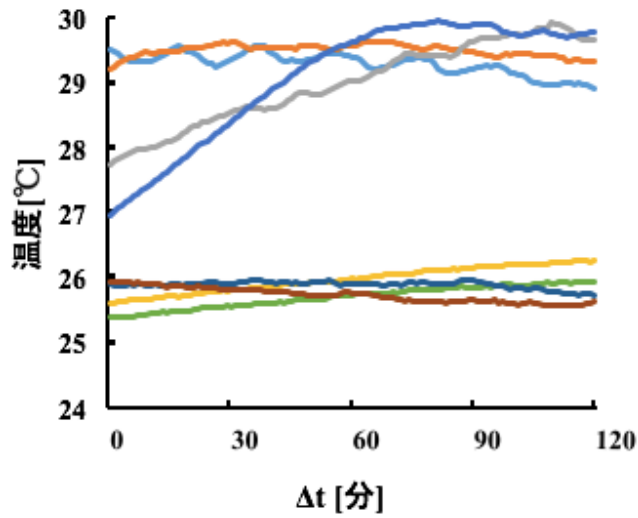


図 4.4 CO<sub>2</sub> 濃度

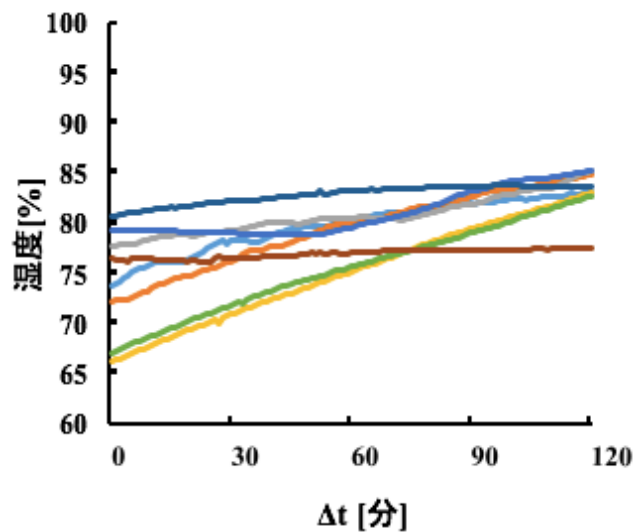
図 4.5 は、縦軸が温度[°C]で、横軸が時間[分]である。温度が 25~26 °C の条件と温度 27~30 °C の 2 つのパターンに分かれた。



—攪拌子2 —攪拌子3 —養液0.5 —養液1 —養液2 —養液5 —養液10 —養液20

図 4.5 温度

図 4.6 は、縦軸が湿度[%]で、横軸が時間[分]である。湿度は、密封容器に入れていることもあり、湿度上昇が見られた。



—攪拌子2 —攪拌子3 —養液0.5 —養液1 —養液2 —養液5 —養液10 —養液20

図 4.6 湿度

## 4.1.2 スイートバジル

### (I)3日目(白LED)

表 4.3 は、各条件下における植物のサンプル数である。今回は、攪拌子 2 と養液 5 と養液 20 のサンプル数は 2 つで、養液 10 は 1 つ、その他の条件は 3 つである。

表 4.3 サンプル数

	攪拌子2	攪拌子3	養液0.5	養液1	養液2	養液5	養液10	養液20
サンプル数	2	3	3	3	3	2	1	2

図 4.7 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。CO<sub>2</sub> 吸収速度が速い条件は、攪拌子 3、攪拌子 2、養液 1 であった。また、CO<sub>2</sub> 吸収速度が遅い条件は、濃度の濃い養液 10 と養液 20 であった。

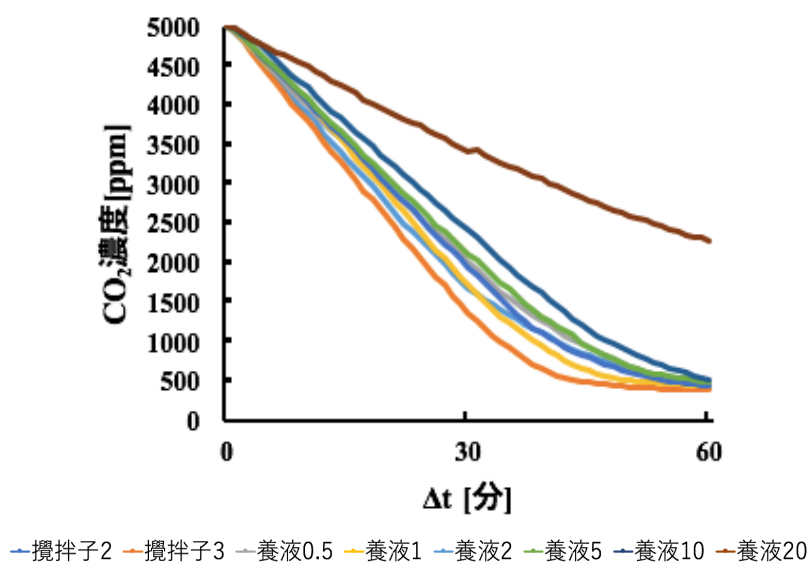


図 4.7 CO<sub>2</sub> 濃度

図 4.8 は、縦軸が温度[°C]で、横軸が時間[分]である。温度は、条件関係なく、大きく変化は見られなかった。

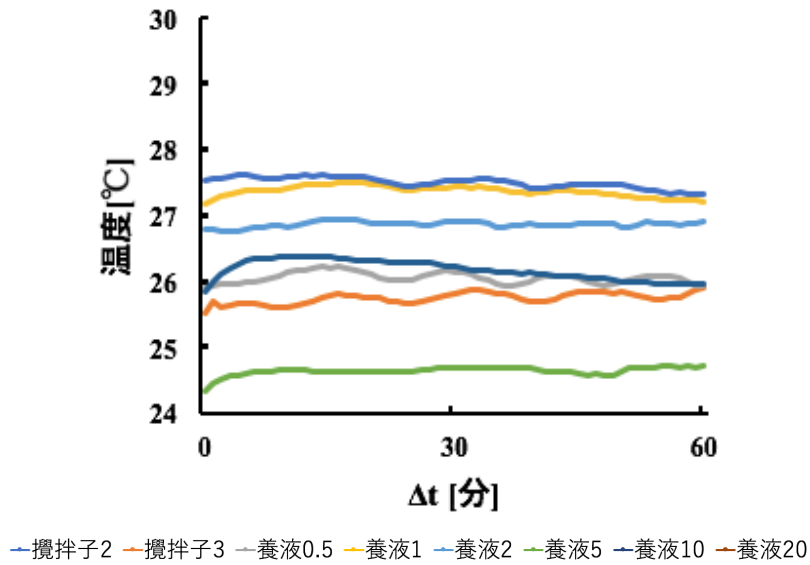


図 4.8 温度

図 4.9 は、縦軸が湿度[%]で、横軸が時間[分]である。湿度は、密封容器に入れていることもあり、湿度上昇が見られた。最終的には、75~85%の湿度に集まった。

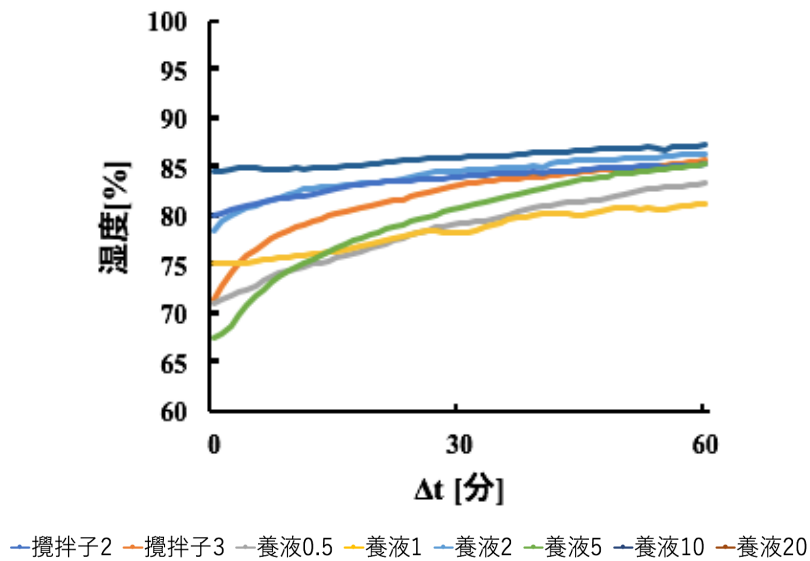


図 4.9 湿度

### 4.1.3 高麗人参

#### (I)3 日目(白 LED)

表 4.4 は、各条件下における植物のサンプル数である。養液 0.5、養液 1、養液 2、養液 20 の条件で、それぞれ 1 つのサンプルを用いた。

表 4.4 サンプル数

	養液0.5	養液1	養液2	養液20
サンプル数	1	1	1	1

図 4.10 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。CO<sub>2</sub> 吸収速度は、速い条件は、養液 1 で、遅い条件が最も濃い養液濃度の養液 20 であった。

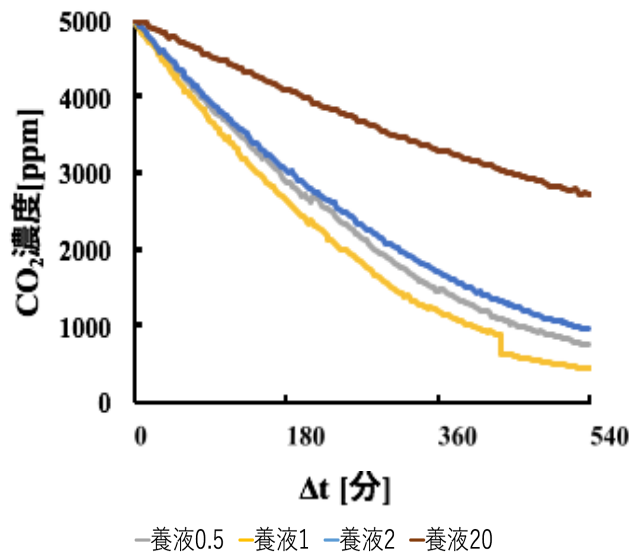


図 4.10 CO<sub>2</sub> 濃度

### (II)3 日目(白 LED と赤 LED)

表 4.5 は、養液 1 で植物のサンプル数である。赤 LED と白 LED のサンプル数は、2 つである。

表 4.5 サンプル数

	赤LED	白LED
サンプル数	2	2

図 4.11 は、縦軸が CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]で、横軸が時間[分]である。赤い曲線が赤色 LED であり、青い曲線は白色 LED である。白色 LED が赤色 LED よりも CO<sub>2</sub> 吸収速度が速い結果になった。

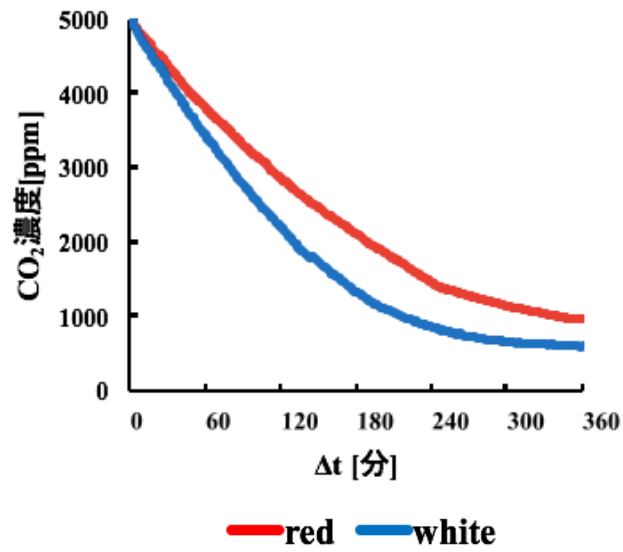


図 4.11 CO<sub>2</sub> 濃度

図 4.12 は、縦軸が温度[°C]で、横軸が時間[分]である。赤色 LED は、時間経過とともに温度が減少していくことがわかった。更に、白色 LED は、温度が上昇する傾向に見られた。

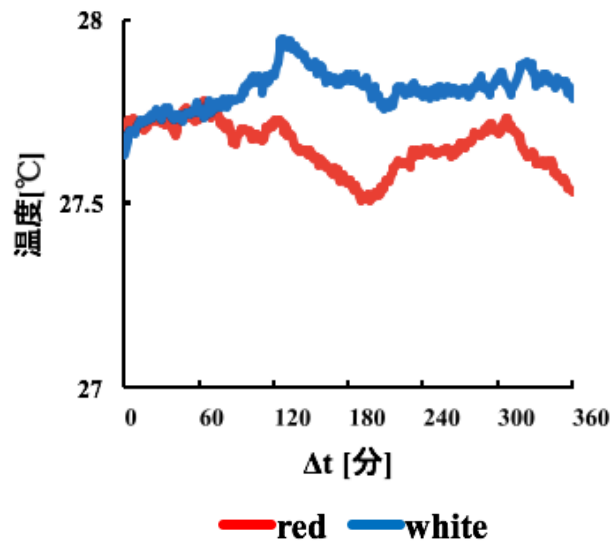


図 4.12 温度

図 4.13 は、縦軸が湿度[%]で、横軸が時間[分]である。赤色 LED と白色 LED の湿度は、初めから 5% 差があった。時間経過 360 分後には、並行移動を行っており、その差は変わらなかった。

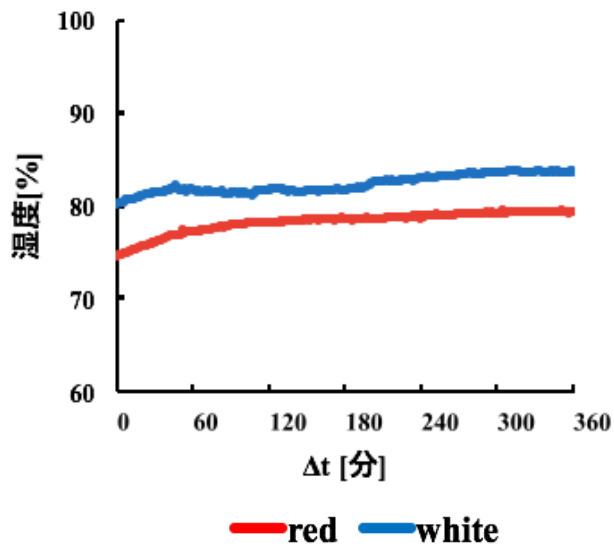


図 4.13 湿度

## 4.2 水質データ

### 4.2.1 マスタードグリーン

図 4.14 は、縦軸が EC(電気伝導率)の各値を初期値比で比較した  $EC/EC_0$  で、横軸が時間[分]である。サンプル数は各条件に 1 つである。養液 0.5 と養液 1、養液 2 の養液濃度が高すぎない条件では、EC のピーク時より EC が下がる傾向が見られた。しかし、養液 5 以上の養液濃度の条件では、EC が上がり続ける傾向が見られた。

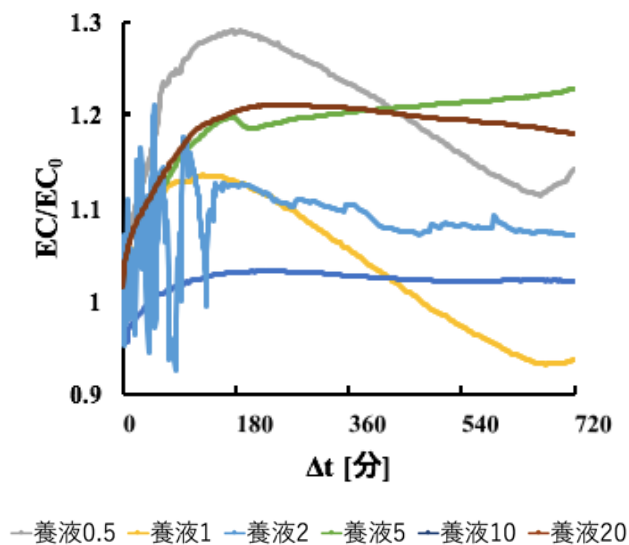


図 4.14 EC



## 4.2.2 スイートバジル

図 4.15 は、縦軸が EC(電気伝導率)の各値を初期値比で比較した  $EC/EC_0$  で、横軸が時間[分]である。サンプル数は各条件に 1 つである。養液 0.5 と養液 1、養液 2 の養液濃度が高すぎない条件では、EC のピーク時より EC が下がる傾向が見られた。しかし、養液 5 以上の養液濃度の条件では、EC が上がり続ける傾向が見られた。

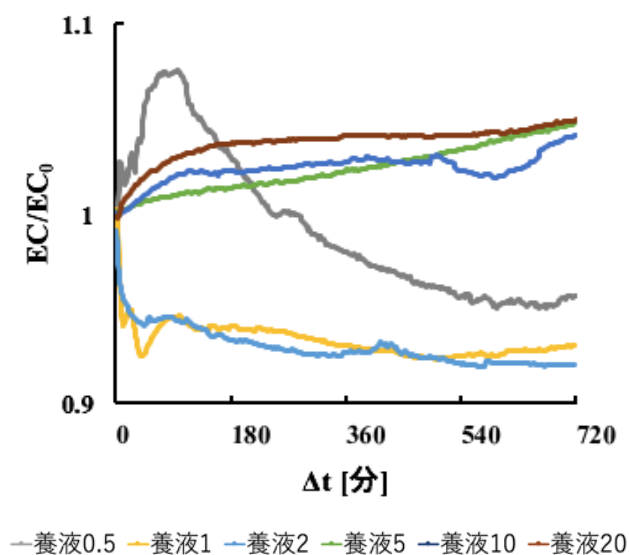
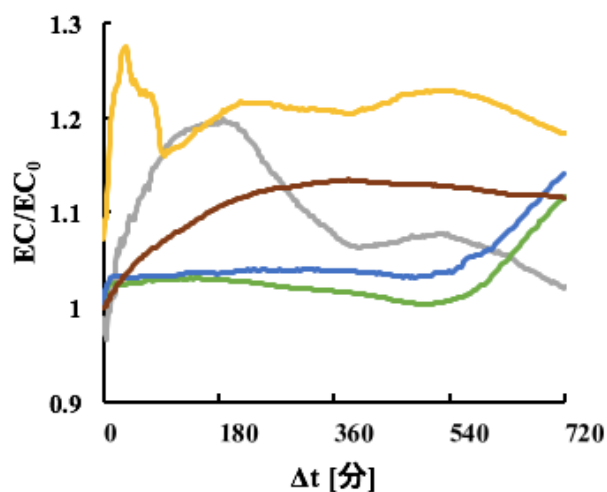


図 4.15 EC

## 4.2.3 高麗人参

図 4.16 は、縦軸が EC(電気伝導率)の各値を初期値比で比較した  $EC/EC_0$  で、横軸が時間[分]である。サンプル数は各条件に 1 つである。養液濃度が高すぎない条件では、EC のピーク時より EC が下がる傾向が見られた。しかし、養液 5 以上の養液濃度の条件では、EC が上がり続ける傾向が見られた。養液 2 の条件は、実験結果が取れていない。



—養液0.5 —養液1 —養液2 —養液5 —養液10 —養液20

図 4.16 EC

## 第5章

### 議論・総括

#### 5.1 植物間の比較

##### 5.1.1 CO<sub>2</sub>濃度

表 5.1 は、3 日経過した 3 つの供試植物の CO<sub>2</sub> 吸収速度を示している。濃い赤は、CO<sub>2</sub> 吸収速度が最も速い条件で、濃い青は、最も CO<sub>2</sub> 吸収速度が遅い条件である。

マスタードグリーンでは、養液 2 が最も速い条件であり、攪拌子 2 と攪拌子 3 が速い条件に該当していないのは要因があると考えられる。その要因は、攪拌子の回転によって養液に渦が発生し、短い根が養液に触れていなかったことで、養分が適正に与えられていなかったことが挙げられる。養液 10 と養液 20 は、養液濃度が濃すぎたため、枯れてしまい光合成できなかつたと考えられる。

スイートバジルでは、攪拌子 3 が最も速い条件であり、攪拌子の効果により根に十分な酸素が行き渡り、効率よく光合成ができていたと考えられる。養液 10 と養液 20 は、養液濃度が濃すぎたため、枯れてしまい光合成できなかつたと考えられる。

高麗人参では、攪拌子での実験を行っていないため、養液 1 の条件で最も速い条件であった。適正な養液濃度で育成することで、効率よく光合成が行われることがわかつた。[8]

表 5.1 各植物の CO<sub>2</sub> 吸収速度

		攪拌子2	攪拌子3	養液0.5	養液1	養液2	養液5	養液10	養液20
マスタードグリーン (3day)	CO <sub>2</sub>				50.7	54.6		18.1	7.6
スイートバジル(3day)	CO <sub>2</sub>	111	121					86.3	53.4
高麗人参(3day)	CO <sub>2</sub>			9.8	10.6				4.7

##### 5.1.2 温度

###### (I) マスタードグリーン(白 LED\_1 日目)

多くの条件下で温度が実験開始より下がり、光合成による蒸散効果が見られた。蒸散効果とは、根から水分を吸い上げ、光合成を行う間で気孔から水分が放出される。そして、その放出された水分により空気が冷やされ温度が下がることを示す。

###### (II) マスタードグリーン(白 LED\_3 日目)

実験開始時から、各条件下で温度差があつた。攪拌子 2 と攪拌子 3 の実験条件で、実験開始よりも温度が下がっているため、蒸散効果が見られたと考えられる。また、

養液 10 と養液 20 で、温度が下がっているのは、水面からの蒸発による減少であると考えられる。

### (Ⅲ)スイートバジル(白 LED\_3 日目)

全ての実験条件で大きく変化が見られなかったため、スイートバジルでは、蒸散効果が起きにくいと考えられる。

### (Ⅳ)高麗人参(赤 LED と白 LED\_3 日目)

赤色 LED では、温度が下がり、白色 LED では、温度が上がった。赤色 LED では、白色 LED よりも光合成の際に蒸散効果を大きく促す効果があると推測できる。

## 5.1.3 湿度

### (Ⅰ)マスタードグリーン(白 LED\_1 日目)

密封容器に入れるため、湿度は上昇する。条件ごとに実験開始時の湿度が違うため、精査が行いにくい。実験終了時には、湿度は 80 %前後になった。

### (Ⅱ)マスタードグリーン(白 LED\_3 日目)

条件ごとに実験開始時の湿度が違うため、精査は行いにくい。しかし、養液 10 と養液 20 は、他の条件と比較し、湿度の上昇が弱い。濃度が濃い養液で育てることで、植物の植物生理の能力を低下させていると考えることが可能である。

### (Ⅲ)スイートバジル(白 LED\_3 日目)

攪拌子 3 は、養液 1 より蒸散量増え、湿度が上昇した。攪拌することにより、根の呼吸速度が増加し、養水分の吸収速度が増加する。そして、植物の生長を促し、蒸散量も増えたと考えられる。

### (Ⅳ)高麗人参(赤 LED と白 LED\_3 日目)

赤色 LED も白色 LED も大きく湿度上昇には、変化が見れなかった。よって、赤色 LED も白色 LED も蒸散効果には、関係しないと推測できる。

## 5.2 環境データと水質データ

表 5.2 は、マスタードグリーン、スイートバジル、高麗人参がそれぞれ 3 日経過した後の CO<sub>2</sub> 吸収速度と EC を示したものである。濃い赤は、CO<sub>2</sub> 吸収速度が最も速い条件で、濃い青は、最も CO<sub>2</sub> 吸収速度が遅い条件である。また、橙色は、EC の観点における、各植物に適切な養液濃度である。EC が上昇すると、根が老廃物を放出していたり、養液を吸収してないことを示唆する一方、減少すると、根から養液を吸収できているため、正常であると言える。そこで、橙色は、EC が減少しているか、上昇しても少量である条件をあげている。スイートバジルは、攪拌子ありの実験で EC を測定しておらず、濃い赤色と橙色の条件はズレが生じているものの、マスタードグリー

ンと高麗人参はマッチングしていることがわかる。よって、CO<sub>2</sub>吸収速度と EC の精査により、各植物に適切な溶液濃度が示唆できた。

表 5.2 各植物の CO<sub>2</sub> 吸収速度と EC

		攪拌子2	攪拌子3	養液0.5	養液1	養液2	養液5	養液10	養液20
マスタードグリーン (3day)	CO <sub>2</sub>				50.7	54.6		18.1	7.6
	EC	—	—		-0.06	+0.02			
スイートバジル(3day)	CO <sub>2</sub>	111	121					86.3	53.4
	EC	—	—	-0.04	-0.07	-0.08			
高麗人参(3day)	CO <sub>2</sub>			9.8	10.6				4.7
	EC	—	—	+0.02					

### 5.3 結語

植物の光合成をクラウド上で観察し、栽培シミュレーションシステムの設計を行い、デモンストレーションを行った。各植物によって、最適な温度や湿度が違い、更に、適切な養液濃度が違う。本研究では、各植物の適切な養液濃度を CO<sub>2</sub> 吸収速度と EC の観点より精査が可能であるとわかった。

今後の課題としては、サンプルデータを分散型収集で増やすことや、各条件を細かく設定すること、1~3 日のデータだけではなく、長期のデータを収集することがあげられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導戴いた古沢浩教授に深謝致します。また、共同研究者で同研究室の後輩である学部4年生の土居哲也くん、学部3年生の下元湧貴くん  
に深謝致します。更に、研究中に助言を戴いた後輩、同輩の皆様に感謝致します。

## 参考文献

[1]完全制御型栽培植物工場

<http://agrinasia.com/archives/824>

(最終閲覧日:2020年3月9日)

[2]完全制御型栽培の経営状態

[http://www.kenkocho.co.jp/html/publication/181/181\\_pdf/181\\_13.pdf](http://www.kenkocho.co.jp/html/publication/181/181_pdf/181_13.pdf)

(最終閲覧日:2020年3月9日)

[3]植物工場の栽培品目

<https://jgha.com/wp-content/uploads/2020/01/TM06-1-30bessatsu1.pdf>

(最終閲覧日:2020年3月9日)

[4]Netatmo Official Site

<https://helpcenter.netatmo.com/en-us>

(最終閲覧日:2020年3月9日)

[5]マスタートグリーン

<https://foodslink.jp/syokuzaihyakka/syun/vegetable/karashina3.htm>

(最終閲覧日:2020年3月12日)

[6]スイートバジル

<https://horti.jp/15454>

(最終閲覧日:2020年3月12日)

[7]高麗人参

[https://www.jadea.org/houkokusho/yakuyou/documents/H28yakuyou\\_touhoku\\_2.pdf](https://www.jadea.org/houkokusho/yakuyou/documents/H28yakuyou_touhoku_2.pdf)

(最終閲覧日:2020年3月12日)

[8]Yuka NAKANO, Shinichi WATANABE, Kunio OKANO and Jiro TATSUMI

“Effects of Flow Rate of Hydroponic Nutrient Solution on Growth and Ion Uptake by Tomato Seedlings”

生物環境調節 39(3),199-204,2001

[9]温湿度センサー

<https://karaage.hatenadiary.jp/entry/2016/05/11/073000>

(最終閲覧日:2020年3月12日)

[10]CO<sub>2</sub>センサー

<https://qiita.com/revsystem/items/5a362e749ef80358e801>

(最終閲覧日:2020年3月12日)

[11]電気伝導率センサー

[https://www.atlas-scientific.com/\\_files/code/pi\\_sample\\_code.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/code/pi_sample_code.pdf)

(最終閲覧日:2020年3月12日)

# 付録 1

## Raspberry Pi について

### (I) 初期設定

1. 「NOOBS」をミラーサイトから最新版をインストールする。
2. microSDカードに「NOOBS」を入れる。  
※ファイルの中身をC&Pする。
3. Raspberry PiにmicroSDカードを差し込み、立ち上げる。

### (II) 様々な設定

① LXTerminal を起動して、以下のように nano エディタで、/etc/apt/apt.conf を作成する。

```
$ sudo nano /etc/apt/apt.conf  
  
#/etc/apt/apt.conf の作成  
  
Acquire::http::proxy "http://プロキシサーバ名:ポート番号/";  
Acquire::https::proxy "https://プロキシサーバ名:ポート番号/";  
Acquire::ftp::proxy "ftp://プロキシサーバ名:ポート番号/";  
Acquire::socks::proxy "socks://プロキシサーバ名:ポート番号/";
```

② LXTerminal を起動して、以下のように nano エディタで、.bashrc を編集する。

```
$ nano .bashrc  
#.bashrc への追加  
export http_proxy=http://プロキシサーバ名:ポート番号/  
export https_proxy=http://プロキシサーバ名:ポート番号/  
export ftp_proxy=http://プロキシサーバ名:ポート番号/
```

- ③ .bashrcを保存して、nanoを終了させる。
- ④ 再起動して、.bashrcを読み込む。



- ⑤ IC2 通信関係のツールをインストール

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install i2c-tools
$ sudo apt-get install python-smbus
```

- ⑥ 以下のコマンドで IC2 の接続確認が行える。

```
$ i2cdetect -y 1
```

- ⑦ この様に結果が出ることを確認する。

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f
00: -----
10: -----
20: -----
30: -----
40: -----
50: -----
60: -----
70: ----- 76 --
```

### (Ⅲ) 温湿度センサー(BME280) [9]

#### ○ダウンロード

以下のコマンドで、プログラムのダウンロードができる。

```
$ git clone https://github.com/SWITCHSCIENCE/BME280.git
```

次に bme280\_sample.py の 3 行目を以下のように変更する。(2 を削る)

```
- from smbus2 import SMBus
+ from smbus import SMBus
```

#### ○実行

以下のコマンドにより、測定を行うことができる。

```
$ cd BME280/Python27/  
$ python bme280_sample.py
```

#### ○結果

以下の様に、結果が出てくる。

```
temp : 22.60 °C  
pressure : 1018.42 hPa  
hum : 52.03 %
```

### (IV)CO<sub>2</sub> センサー(MH-Z19) [10]

#### ○ダウンロード

以下のコマンドで、プログラムのダウンロードができる。

```
$ git clone https://github.com/UedaTakeyuki/slider.git
```

#### ○実行

```
$ cd slider  
$ sudo mkdir -p /home/pi/LOG/  
$ sudo python mh_z19.py
```

#### ○結果

```
co2= 453
```

### (V)電気伝導率センサー [11]

#### ○ダウンロード

以下のコマンドで、プログラムのダウンロードができる。

```
git clone https://github.com/AtlasScientific/Raspberry-Pi-sample-code.git
```

#### ○実行

以下のコマンドにより、測定を行うことができる。

ADDRESS,100 でチャンネルを EC に合わせる。

Poll,60 は、測定間隔を 60 秒に設定している。

```
cd ~/Raspberry-Pi-sample-code
sudo python i2c.py
ADDRESS,100
Poll,60
```

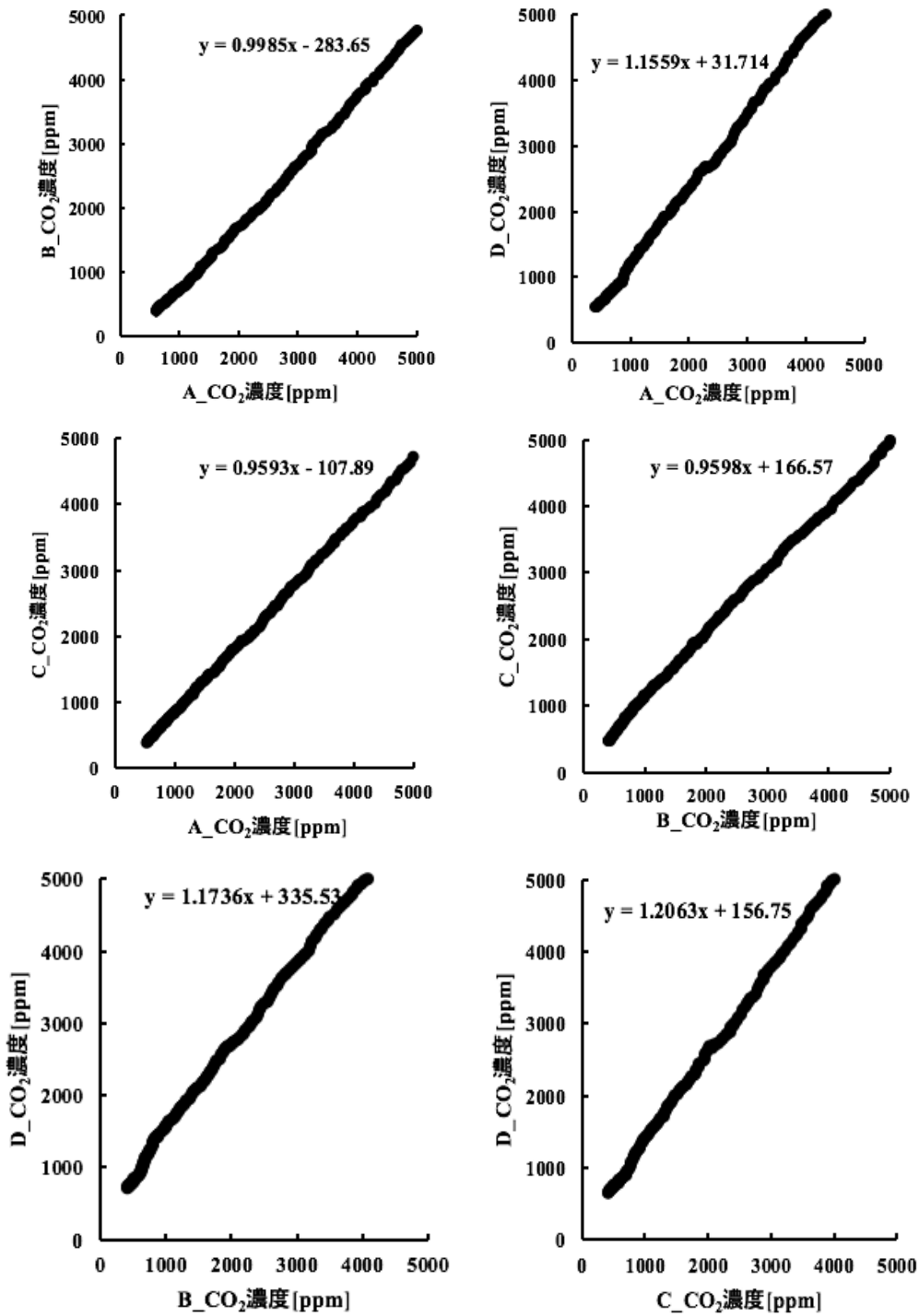
○結果

```
Command succeeded 1089
```

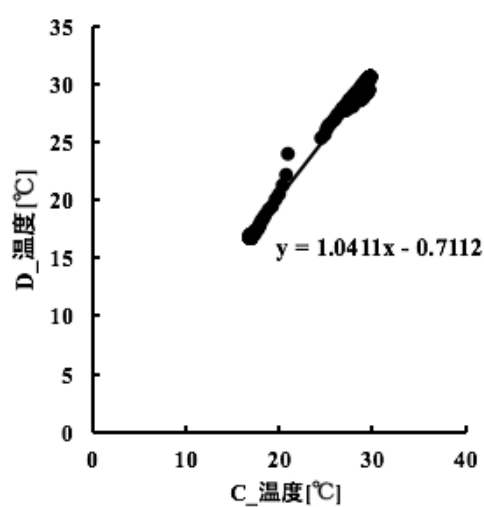
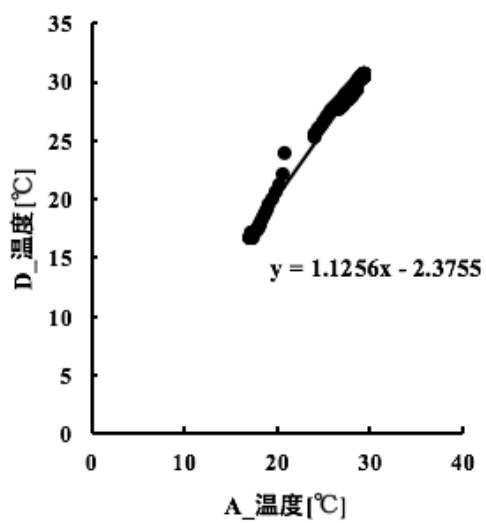
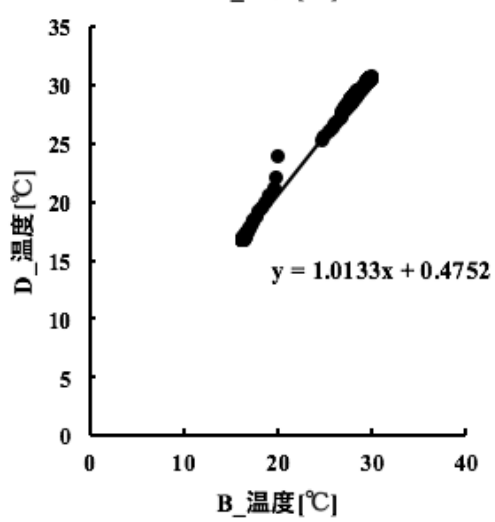
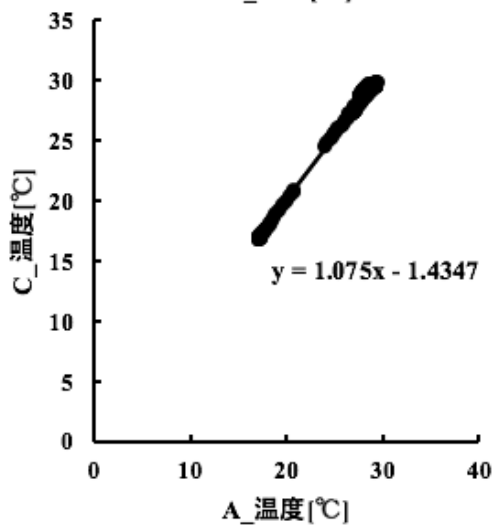
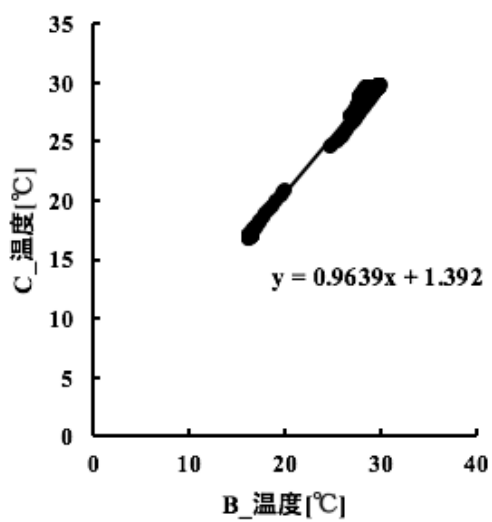
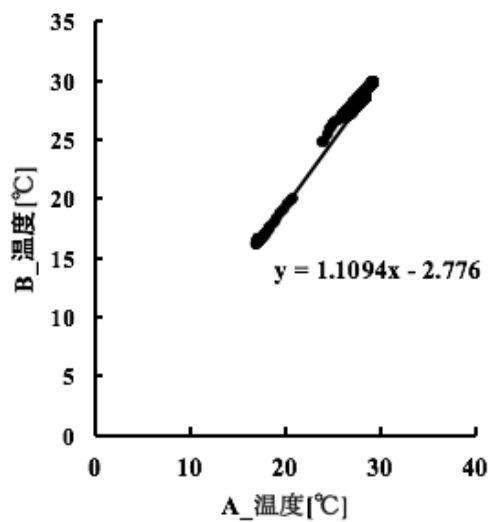
## 付録2

### 各センサーの近似直線グラフ(校正式)

#### (I)CO<sub>2</sub>(Raspberry Pi A~D)



## (II) 温湿度(Raspberry Pi A~D)



### (III)湿度(Raspberry Pi A~D)

