

植物の最適な収穫時期写真を収集するための環境計測システム： 初期結果

Environmental measurement system for collecting pictures of best time to harvest plants:
Initial results

生亀 弘務¹ 藤本 柊弥¹ 鈴木 悠泰¹ 星野 拓巳¹ 大角 理人² 中山 信² 高田 拓¹

Hiromu Ikigame Shuya Fujimoto Yuta Suzuki Takumi Hoshino Masato Ohsumi Sin Nakayama Taku Takada

要旨： 植物の最適な収穫時期写真を収集するため、水耕栽培キットによるリーフレタスの生長の様子を、タイムラプスカメラで撮像する計測システムを構築した。得られたリーフレタスの画像に、生長特徴量が含まれていることを確認するため、HSV 値を用いて、画像中のリーフレタスの面積率を算出した。面積率は、日照や LED 光によるフィルター幅への影響により日変化を生じるが、日変化の影響を取り除くと 1 日の生長を検出できた。長期間の面積率の時系列変化から、間引きなどに起因した大きな面積率の変化や期間によって異なる生長速度を確認できた。今後、本計測システムで撮像した写真から最適収穫時期を選定し、教師データとして利用することを目指す。

キーワード： 水耕栽培, HSV 値, 葉の面積率, リーフレタス

1. はじめに

近年、世界中で異常気象による野菜の収穫量不足などが問題となっており、重要な栄養源である野菜価格の高騰へとつながっている。LED 採光を利用した水耕栽培は、天候に左右されずに各家庭やレストラン、店舗などの空きスペースで栽培でき、特に鮮度が重要な野菜に対して需要が高い。しかしながら、収穫の最適時期の判断は、植物や環境条件により異なるため素人が見極めることは難しい。

一方で、収穫に適した植物の画像が大量にあれば、深層学習による AI を利用して、最適時期を判断することができる。家庭菜園などでは収穫時期を視覚的情報から判断しており、食すのに適しているかを判断できるが、最適な時期を選択することは難しい。レタスの葉の画像を畳込みニューラルネットワーク (CNN) させることで、重量を推定する試みがあり、葉の画像情報には、レタスの重量につながる特徴量が含まれていると考えられる^[1]。

また、枯れや生長しすぎに関しては、実際には枯れ始めや生長しすぎの直前に収穫する必要があるが、枯れ始める前に枯れることを検知するのは難しい。植物の萎れに対しては、HSV 色空間の色相を用いて植物全体の投影面積を検出する方法^[2]や、植物の移動検出が可能なオプティカルフローによる変化量を機械学習で推定する試みがあり^[3]、植物画像には萎れなどに関係した特徴量が含まれていると考えられる。そこで、植物を育てる過程をタイ

ムラプスカメラで撮像し、枯れや生長しすぎの直前画像を抽出して学習することができれば、深層学習などで最適な収穫時期を判断できると考えた。

本研究では、リーフレタスの水耕栽培を行い、タイムラプスカメラの画像から、収穫に最適なリーフレタスの画像を集めることを目的とする。また、得られたリーフレタスの画像を画像処理することで、最適な収穫時期に関わる特徴量が含まれているかどうかを確認する。

2. 計測システム

2.1 装置の概要

表 1 測定装置の機能概要

機器名	型番	備考
水耕栽培キット	iDOO 水耕栽培キット IG301	LED は 16 時間点灯後、8 時間消灯を繰り返す
リーフレタス	サカタのタネ 美咲野菜 3673	発芽適温は 15~20°C、収穫まで 1 か月半
タイムラプスカメラ	Brinno BARD BAC2000 (マウント付き)	解像度 2MP, F 値 2.2
環境計測装置	自作	温湿度, 日照量の計測

リーフレタスの生育に水耕栽培キットを使用し、生長の様子をタイムラプスカメラで記録する。また、周辺環境の温湿度や日射量を計測する装置を製作した^[4,5]。表 1

¹ 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科

に、各種装置の一覧を示す。

水耕栽培キットは、16時間の点灯と8時間の消灯を繰り返すことが可能であり、今回の測定ではLEDを15時から7時に点灯後、7時から15時は消灯する。図1に示すようにタイムラプスカメラを水耕栽培キットの正面に置き、1時間毎に撮像する。図2に、環境計測部のシステム構成図を示す。環境計測部は2022年11月2日から11月7日まで1分毎のデータを収集した。温度、相対湿度、二酸化炭素濃度、日射量の計測が可能である。

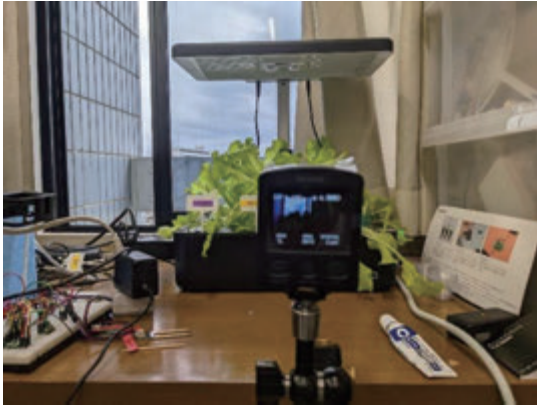


図1 計測装置の外観

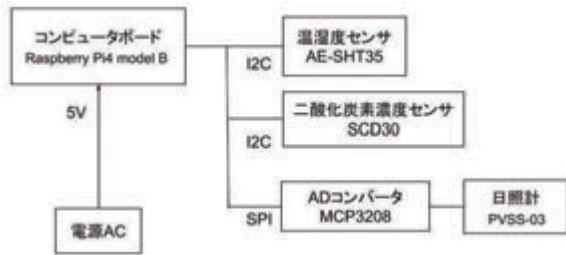


図2 環境計測装置のシステム構成図

2.2 生育環境

本装置を設置した場所は、建物8階の室内で、南西側の窓に面しており、冷暖房は使用せず、基本的には窓を閉めた状態とした。水耕栽培キットは12株用であり、専用のバスケットキット1個につき、3、4個の種を2022年9月28日頃に蒔いた。7日後の10月5日に発芽し、10月12日の時点で、ほぼすべてのバスケットで発芽を確認できた。10月5日以降、タイムラプスカメラで約33日(790時間)の生長の様子を撮像した。

3. リーフレタスの生長画像

図3に、3日毎の16時13分のリーフレタス画像を示す。芽が出始めた10月5日から順調に育っている。リーフレタスを十分に生長させるため、適宜間引きを行っており、10月12日に、すべてのバスケットの一つだけの苗

を残し、残りを間引いた。リーフレタスが植えられているバスケットの個数を、10月19日には12個から4個にし、10月26日には4個から2個にし、残りのリーフレタスを取り除いた。また、11月5日にリーフレタスの葉がカメラの視野外に出るようになった。この段階では、リーフレタスの芯はかなり太く、葉は厚くなってきており食用には向かない状態であった。

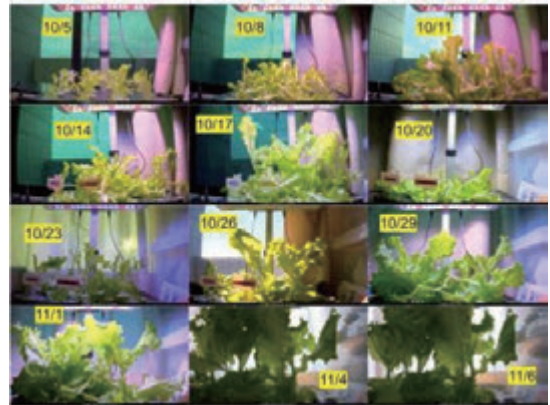


図3 リーフレタスの生長記録(10月5日~11月6日)

4. 画像解析と考察

4.1 HSV色空間でのフィルタ処理

収集した画像からリーフレタスの生育の様子を抽出するためにPythonを用いて、画像解析を行った。レタスの葉に対する画像処理として、HSV色空間の彩度(S値)を用いたフィルタ処理により、葉面積を算出する試みがある^[6]。本研究では、緑系色のレタスのみを取り出すため、画像をRGBからHSV値へ変換し、色相(H値)に基づいてフィルタ処理した。図4に、元画像と画像中のH値のヒストグラムを示す。PythonのOpenCVライブラリでは、H値は0~180である。

一般に緑色はH値が25~75の間であるため、ヒストグラム上のH値30~50のピクセルがリーフレタスを表す。H値の上限と下限を決めて、全ピクセル数に対する当該ピクセル数の割合を算出し、緑色面積率とした。



図4 10月30日 05:13の元画像(上), フィルター処理画像(中), H値のヒストグラム(下)

4.2 緑色面積率の変化

図5に, 10月9日の1日の緑色面積率の変化を示す. 緑色面積率は, 1日の中で大きく変化している. また, 同日の1時間ごとの撮像写真を図6に示す. 深夜は暗い状態

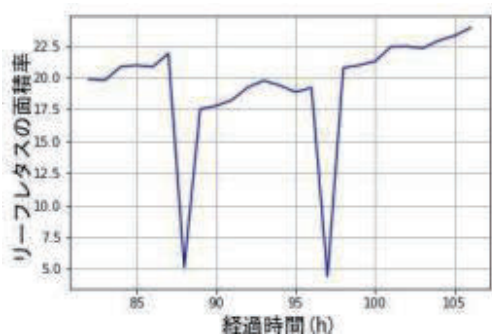


図5 10月9日の緑色面積率の日変化

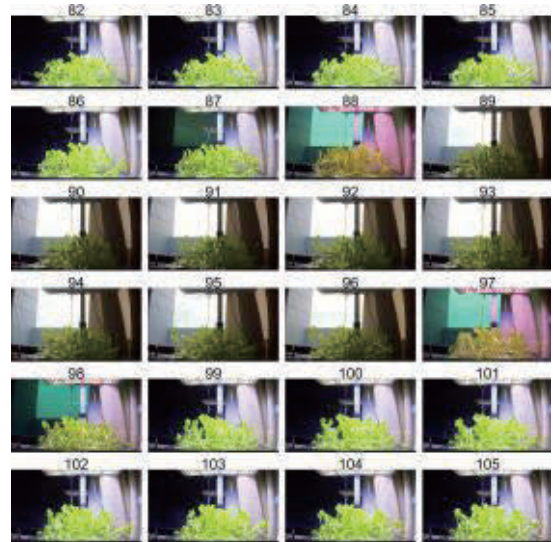


図6 10月9日の画像の日変化(0時~23時)

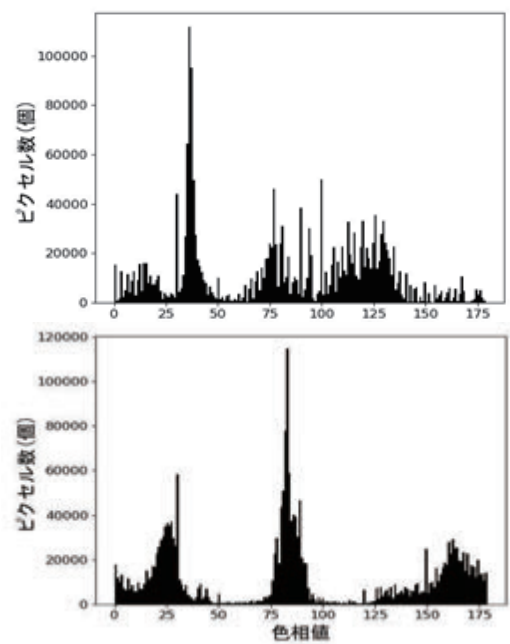


図7 10月9日画像のH値ヒストグラム: (上) 14:13, (下) 15:13

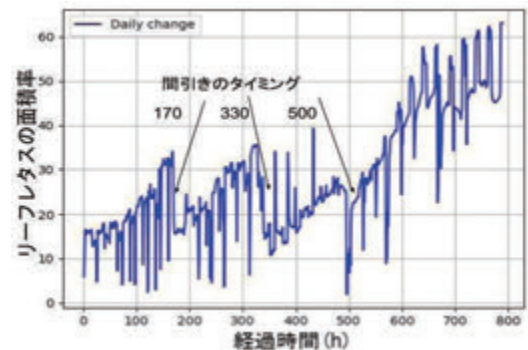


図8 リーフレタスの緑色面積率(全データ), 同面積率

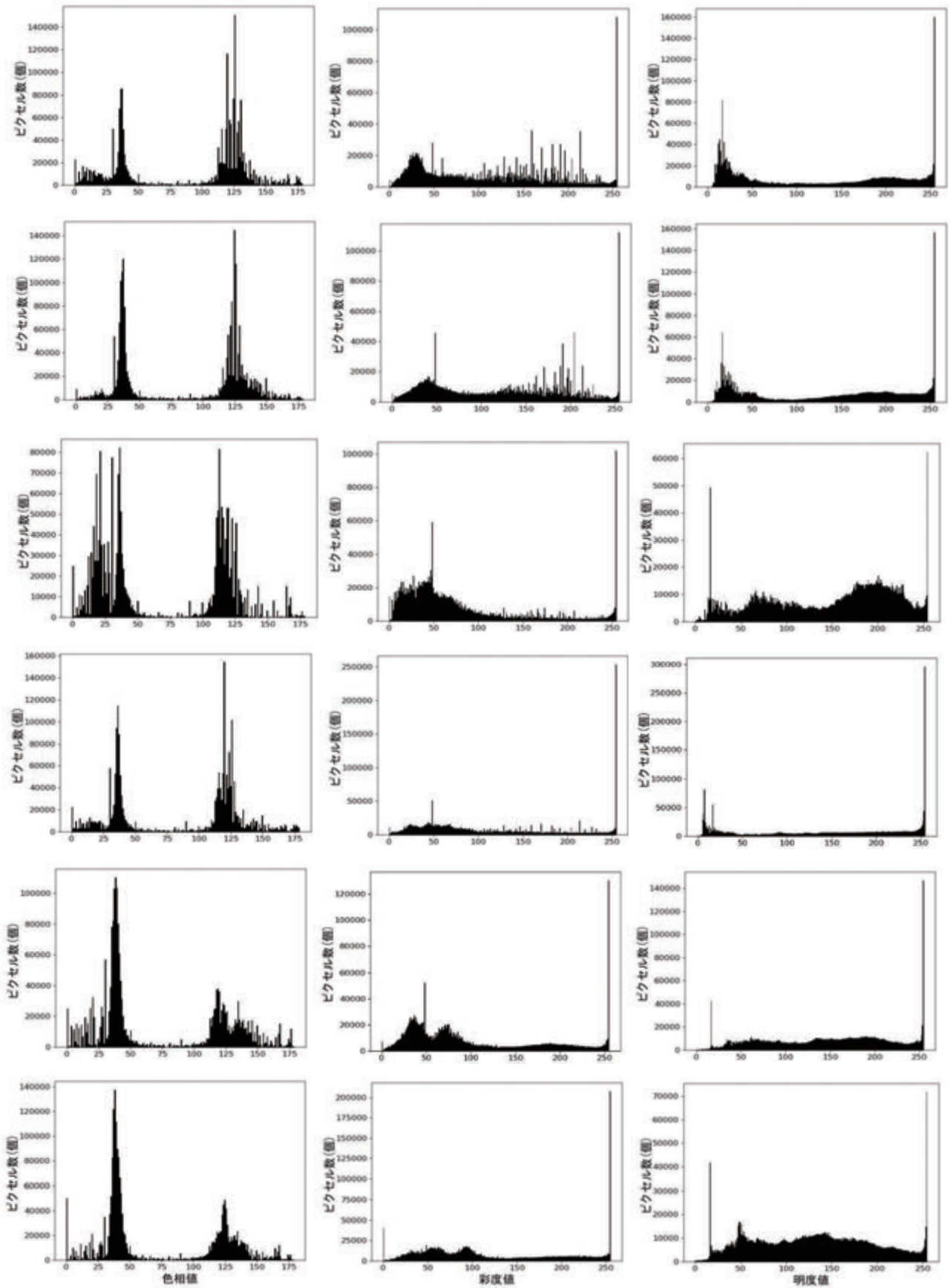


図9 HSV色空間のヒストグラム (200, 296, 391, 487, 582, 679時間目)

で LED が光った状態である。05:13 頃から外が明るくなり始め、06:13 頃に赤色 LED の光が目立った後、LED は消灯し、日光が入ってきている。15:13 頃に赤色 LED の光が再び目立った後、LED が点灯し、日照は暗くなっている。つまり、図5の緑色面積率の大きな変化は、オンオフで切り替わる LED 光源と連続的に変化する日光の重ね合わせた影響を反映している。一方で、一定の LED 光である夜間であっても、緑色面積率は徐々に増加しており、リーフレタスの生長を反映していると考えられる。実際、図5の例では、1日当りの生長増加率は $24.5\% - 20.0\% = 4.5\%$ 程度である

図7に、LEDと日光が切り替わる前後の色相H値のヒストグラムを示す。05:13のLEDが光っているときは、 $H=30\sim40$ のピクセルがレタスに相当する。06:13の赤色LEDのタイミングでは、 $H=75\sim100$ のやや青みがかったピクセルがレタスに相当している。その後、LEDが消灯し、日光が当たっているときは、 $H=30\sim50$ の黄緑色から緑色のピクセルがレタスに相当する。LEDの赤色によって、レタスの色味が緑系色からずれるため、緑色面積率が大きく減少している。また、日光が当たると、レタスがやや影となっており、Hの値が小さくなる。現状のフィルタ処理では、Hの範囲を同じにしているが、実際には、日光やLEDの状態によって、Hの範囲を変化させる必要がある。

図8は、全データに対するリーフレタスの緑色面積率を示す。170時間目や330時間目、500時間目あたりで大きく面積率が減少しているのは、前述した間引きのタイミングである。日変化を繰り返しながらも、間引きのタイミングまでは面積率が増加している。ただし、600時間以降の傾きは、それ以前の傾きと比較しても大きく、700時間以降では傾きがかなり緩やかになっている。700時間以降では画像内における境界の影響が考えられるが、生長時期の違いによる生長率の変化を捉えられている可能性がある。

4.3 緑色中の彩度・明度の変化

ここでは、生長に伴ってレタスの葉の色合いがどう変化するかを確認する。そのため、色相で緑色と判定したピクセル値について、彩度と明度(V値)を調べた。図9では、間引きを行った前後の典型的な画像に対して、H値、S値、明度のヒストグラムを示す。まず、H値については、概ね $H=30\sim50$ の値をもつ成分がレタスの葉であるが、生長に伴って分布の幅が多少変化している。S値については、その差は明確でないが、前半は比較的小さな

値(淡い色)が多く、後半は比較的大きな値(鮮やかな色)が多い。V値に関しては、生長に伴って、大きな値(明るい色)から小さな値(暗い色)に徐々に変化している。S値とV値が示す傾向は似ており、一般的な葉の色の生長に伴う変化とも合っている。

4.4 環境計測データと緑色面積率の関係

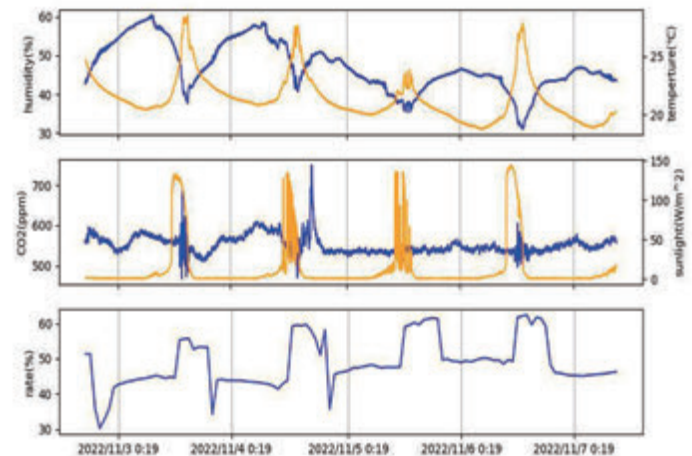


図10 温湿度および日射量、二酸化炭素濃度とリーフレタスの緑色面積率

環境測定装置で取得した11月3日から11月7日までの環境計測データと緑色面積率の関係を図10に示す。緑色面積率の日変化を考えないように、夜間同士の差を確認する。11月3日と11月6日の日中を挟むと面積率はほとんど増えておらず、11月4日と11月5日の日中を挟むと、面積率は増加している。11月3日と11月6日は、気温が比較的高く、日中の日射量に変化が少なく全体に日射量が強いつ典型的な快晴の日である。一方、11月4日と11月5日は、日射量の強度はそれなりにあるが、変化が大きく、晴れ時々曇りの日である。快晴の日の方が、1日あたりの面積率の増加が小さいことが確認できた。原因については、萎れの可能性が考えられるが、今後究明していく。

5. まとめ

本研究では、植物の最適な収穫時期を判断するための画像収集システムを開発した。取得した撮像画像を用いて、植物生長の特徴量が含まれるかを確認した。

リーフレタスの画像に対して、HSV色空間の色相フィルタを用いることで緑色面積率を算出した。緑色面積率は、背景光源であるLEDや日光の違いによって典型的な

日変化を示す。ただし、光源の強さが一定の時間帯で比較することで、1日当りの面積率増加分をレタスの生長割合として見積ることができる。また、HSVの彩度や明度に関して、生長に伴って緩やかに変化する特徴が見られており、レタスの葉の画像に成長に関連した特徴量が含まれていることは確実である。そのため、開発した計測システムを用いることで収穫時期を判断することは可能であると考えている。

謝辞

計測装置の開発に関して、一般財団法人WNI気象文化創造センターから助成を受けました。

参考文献

- [1] 福島誠人, 竹長慎太郎, 波部斉ほか: 画像解析による植物の重さ推定の提案, 2020年度情報処理学会関西支部支部大会, G-50, 2020
- [2] 高山弘太郎, 仁科弘重, 山本展寛ほか: デジタルカメラを用いた投影面積モニタリングによるトマトの水ストレス早期診断, 植物環境工学, 21-2, pp. 59-64, 2009
- [3] 若森和昌, 兼田千雅, 柴田瞬ほか: 草姿画像を用いた植物萎れ具合高精度推定, 情報処理学会第79回全国大会, 2017-1, pp. 231-232, 2017
- [4] 高田拓, 上田久生我, 木村竜士ほか: 可視・熱画像データ解析による植物生長に関する特徴量抽出手法の検討, 高知工業高等専門学校学術紀要, 66, pp. 57-65, 2021
- [5] 鈴木悠泰, 須原廉, 星野拓巳ほか: 土耕栽培における水分重量監視装置の開発と実証試験, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 16, pp. 59-63, 2022
- [6] 玉木智子, 岩崎洋一郎, 阿久津雅子ほか: 植物工場におけるレタス生育状況のカラー画像と正規化植生指標(NDVI)による計測, 2019年度電気・情報関係学会九州支部連合大会(第72回連合大会)講演論文集, 06-1A-01, 2019