

中学校技術科における植物工場を用いた教材開発

高久 将輝・岡田 倫明・上岡 惇一・松原 真理

宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第7号 別刷

2020年8月31日

中学校技術科における植物工場を用いた教材開発[†]

高久 将輝*・岡田 倫明**・上岡 惇一***・松原 真理*

宇都宮大学共同教育学部*

宇都宮大学教育学研究科**

宇都宮大学共同教育学部附属中学校***

近年ICTが急速に発展し、ネットワーク化やIoTの利活用が進んでおり、第一次産業である農業にも変化が起こり、その1つとして植物工場が挙げられる。本研究では、中学校技術科「B生物育成の技術」における植物工場を用いた教材の開発を目的とする。植物工場はRaspberry Piを用いて制御したものを製作し、栽培実験を繰り返し改善を行った。それをもとに授業案を提案する。

キーワード：中学校技術科、生物育成、植物工場、Raspberry Pi

1. はじめに

現在、AIやIoTなど技術革新が進んでおり、農業も農業従事者不足等の問題によりICTを活用したスマート農業が主流になると考えられる。Society 5.0^[1]において新たな価値の事例の農業のところでスマート農業について紹介しており、その1つに植物工場がある。これは施設内で植物の生育環境（光・温度・湿度・二酸化炭素濃度・養水分等）を制御して栽培を行い、天候や季節に左右されず、計画的に品質の安定した植物を栽培することができる可能性がある。

このような背景のもと、中学校技術の新学習指導要領^[2]では、構想設計の部分が重要視されるようになった。「構想設計」については、材料加工やエネルギー、情報技術では比較的イメージしやすいと考えられる。一方、「生物育成の技術」内容では、「構想設計」と言われると具体的なイメージがつきにく

い。しかし、社会的な課題を解決するために最適な方法を生み出すのが技術であると考えれば、「生物育成の技術」においても同じである。「生物育成の技術」を栽培技術としてみれば、「一定面積の耕地から最大の収穫を上げる」ことが重要であり、生物の選定及び育成環境を最適化する過程が構想設計として重要であると考えられる。しかし、中学校技術教員からとったアンケート^[3]では、生物育成の技術において、天候に左右されやすい・時期が変更しにくいなど様々な問題点が挙げられている。このような問題が挙がっている中で、構想設計を重視した授業を行っていくのは現状難しいと予測できる。そこで、施設内で自動栽培が可能な植物工場を使用することで、栽培期間を短縮でき、温度や栽培条件を変えられるなど構想設計を重視した授業ができると考えた。また、時期や天候、害虫に左右されにくいことも期待でき、自動栽培をプログラミングで行うことで、分野横断的な授業も考えられる植物工場を用いた教材を開発し授業案を提案することを研究の目的にする。

2. 植物工場の構想

本研究では、生徒たちが植物工場本体を設計・制作できるような簡易的なもので、「B 生物育成の技術」と「D 情報の技術」に加え、「C エネルギー変換の技術」を加えた、3分野を連携させた教材にしたいと考えている。

植物工場は小型コンピュータを用いてセンサ類を

[†] Masaki TAKAKU*, Michiaki OKADA**, Junichi KAMIOKA***, Mari MATSUBARA*: Development of the teaching materials using the plant factory for junior high school technology class

Keywords: Junior high school technical class, Organism breeding, Plant factory, Raspberry Pi

* Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University

** Graduate school, Utsunomiya University

*** The Junior High School Attached to the Faculty of Education of Utsunomiya University (連絡先: marim@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

制御する。図1に構想図を示す。小型コンピュータの候補は様々あるが今回は「Raspberry Pi3 Model B」（以下ラズパイ）を用いる。このモデルのラズパイは、消費電力が少ない、値段が安い、GPIOピンを使った電子工作ができる、様々なセンサが扱える、単体でPCとして使用できる点、将来的にWi-Fiを使うことも可能である。

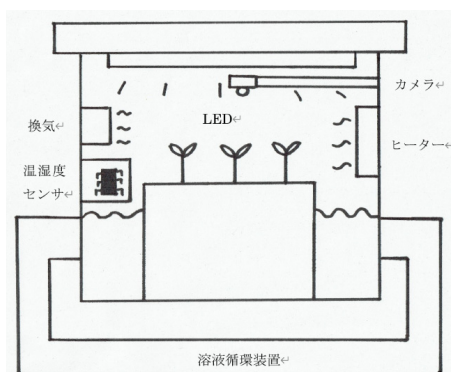


図1 構想図

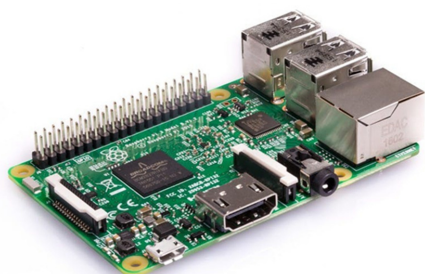


図2 Raspberry Pi3 Model B

3. 予備実験

植物工場のLEDの配置等を決定するために、まず、自動制御を行わずに簡単な装置で栽培を行った。栽培条件を表1に示す。作物は、植物工場では葉物が育てやすいということもあり、サニーレタスを選定した。生育は15°~20°が最適温度とされ、定植してから1か月で収穫可能である。この実験は、9/12~9/26までの2週間で行った。

表1

作物	サニーレタス
培養液	水3750ml, ハイポネクス7.5ml
LED	24時間照射（白色LED1本）
照射距離	10cm
場所	研究室内

この時の気温は、最高気温が30℃、最低気温が

16℃であった。別の容器で播種を行い、1週間経過して発芽したものを移植させている。LEDは容器の上部中央に一本配置している。

栽培1日目、1週間後、2週間後の様子を図3に示す。図で分かるように成長具合が場所によりばらつきがある。LEDの真下では成長が良いが離れると悪いのでLEDは複数個所必要になる。しかし図4で分かるように葉が白くなっているところがある。これはLEDに近すぎて焼けてしまったと考えられる。これにより、成長した時のことを考えてLEDを離す必要がある。

また2週間、培養液を交換せずに放置しておくと弱ってしまう。よって、培養液を交換する必要がある。

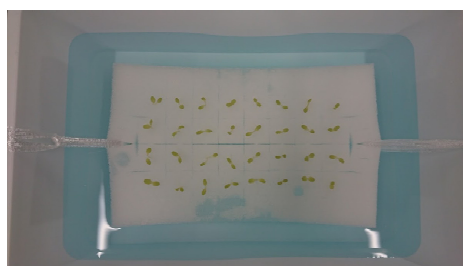


図3-1 栽培1日目

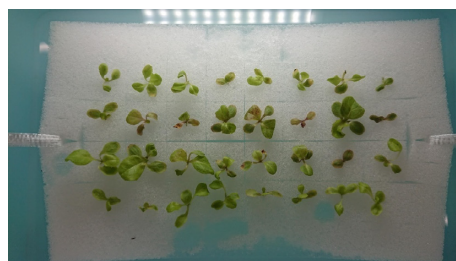


図3-2 栽培1週間後



図3-3 栽培2週間後

4. 植物工場の設計

予備実験から得られた結果を用い製作した植物工場の写真を図4に示す。

図の容器の内部が植物の栽培空間になる。上部蓋の内側にはLEDを装着している。この蓋にはカメ

ラなども装着している。蓋と容器は空気が入るよう隙間を開ける為、木の棒で支えている。容器の蓋にはLEDを取り付けている（図5）。内部には植物を育てる場所があるが、溶液の上に浮くので水耕栽培用スポンジ及びラックで固定している（図6）。



図4 植物工場の全体図

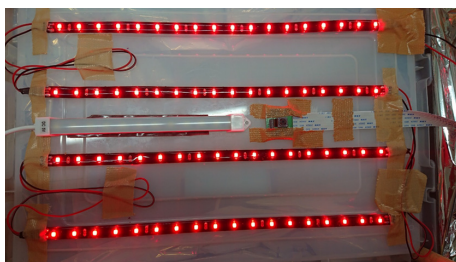


図5 蓋

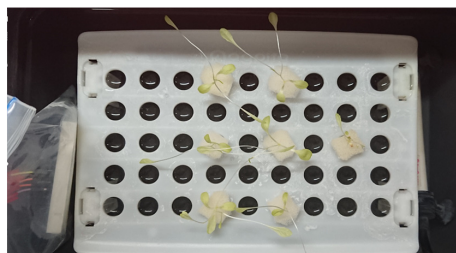


図6 内部

また図7、図8に植物工場の設計図とLED配置図を、表2に使用部品一覧を示す。

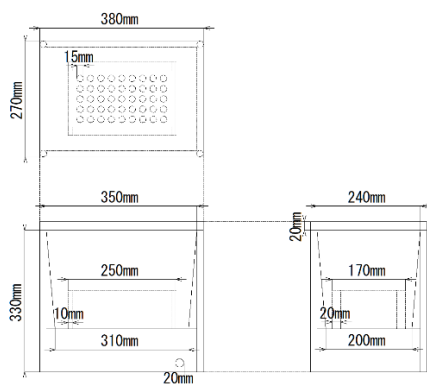


図7 植物工場全体の設計図

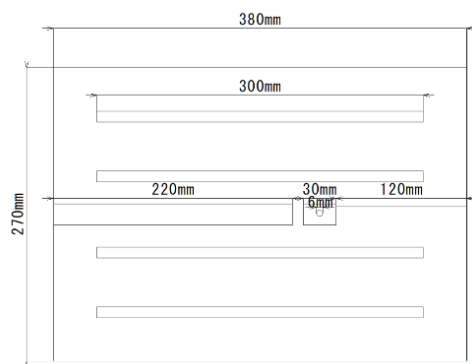


図8 LED配置の設計図

表2 使用部品一覧

分類	使用部品	個数
小型コンピュータ	ラズパイ Model B	1
カメラ	ラズパイ Camera Module V2	1
	カメラモジュール 延長ケーブル 100cm	1
温湿度センサ	AE-BME280	1
照明	テープLED 赤色	4
	USB LEDバーライト 白色	1
	大電流大型リレーモジュールキット5V	2
	ACアダプタ 12V	1
その他	ブレットボード	1
	ジャンパー線	11
ヒーター	コンパクトスリムオートヒーター	1
酸素供給	エアストーン	1
	エアポンプ	1
液肥	微分ハイポネックス	1
本体	お皿スッキリラック	1
	水耕栽培用スポンジ	4
	収納BOX (37×25×22cm)	1
	植物栽培 反射フィルム	1
	丸棒 木材	1
	チューブ	1
	発泡スチロール	1

5. ラズパイでのプログラミング

LED・カメラモジュール・AE-BME280（温度・湿度・気圧）の自動制御にはcronを用いている。Cronとは、ユーザの設定したスケジュールに基づいて指定したコマンドやシェルスクリプトなどを自動的に実行してくれるプログラムである。実行ス

スケジュールは毎時、毎日、毎週、毎月をはじめ細かく指定でき、「crontab」というファイルに記述・保存しておく。cron（cron daemon）というプロセスがcrontabの内容に従って、決められた日時にコマンドなどを実行してくれる。日時などの変更だけであれば、中学生でも十分プログラミングが出来ると思われる。このプログラミングで温度・湿度を計測した。データをグラフ化したものを図9に示す。

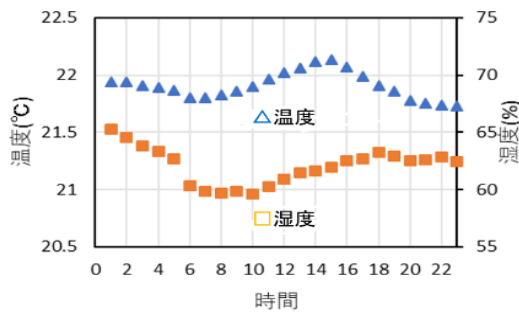


図9 温度・湿度のデータのグラフ

6. 栽培実験

植物工場を使用し、計3回の栽培実験を行った。それらの内容を説明する。

6.1 栽培実験1回目

栽培実験は、11/9～11/23までの期間で行った。栽培条件を表3に示す。この2週間の外気温の最高気温は21℃、最低気温は1℃だった。また、センサで計測した工場内の最高気温は24℃、最低気温は18℃であった。また今回、照射距離を10cmから25cmまでに広げた。

表3 栽培条件

作物	サニーレタス
培養液	水5000ml, 微粉ハイポネクス5g
LED	24時間照射 (赤色LED4本)
カメラ	1時間ごとに自動撮影
温度・湿度・気圧	1時間ごとに自動測定
照射距離	25cm
温度管理	なし
酸素供給	エアポンプ
場所	研究室内

この実験から出てきた問題点は、予備実験時と異なり、二週間たっても殆ど成長しなかった。レタスの通年栽培を計画した場合、温度管理は20℃～

25℃で保つ必要があると言われている。この時期は、予備実験のときよりも外気温が低く工場内部の温度もそれ以下の温度になってしまうことがあったので、温度管理が1番の原因ではないかと考えた。また酸素不足を考え、エアポンプを配置していたが、設置場所に1番近いサニーレタスが1週間もたたずに弱ってしまったため、過度なストレスを与えてしまったのが原因ではないかと考えられる。

6.2 栽培実験2回目

栽培実験は、12/17～12/31までで行った。栽培条件を表4に示す。この2週間の外気温の最高気温は17℃、最低気温は-2℃だった。また、センサで計測した工場内の最高水温は27℃、最低水温は24℃であった。

表4 栽培条件2回目

作物	サニーレタス
培養液	水5000ml, 微粉ハイポネクス5g
LED	24時間照射(赤色LED4本, 白色LED1本)
カメラ	1時間ごとに自動撮影
温度・湿度・気圧	1時間ごとに自動測定
照射距離	25cm
温度管理	水槽用ヒーターを25℃
酸素供給	なし
場所	研究室内

前回の問題点として挙げられた、成長速度が遅い原因の1つとして考えられた温度管理については、今回の栽培実験から水槽用ヒーターを導入し、水温を20℃～25℃の間を保てるようにした。時期的に温度がさらに下がることを考え、少し高めめの25℃に設定した。エアポンプに関しては、サニーレタスにストレスを与えないように、酸素不足になってしまうことも考えられたが、今回は外すことにした。しかしながら、前回の実験と同様に2週間後になっても成長が見られなかった上、約半分のサニーレタスが枯れてしまった。そこで、光が弱いのではないかと考え、照射距離を短くすることを考えた。

6.3 栽培実験3回目

栽培実験は、1/21～2/4までで行った。栽培条件を表5に示す。この2週間の外気温の最高気温は17℃、最低気温は-2℃だった。また、センサで計測した工場内の最高水温は27℃、最低水温は24℃で

あった。この栽培実験においての変更点としては、照射距離を25cmから15cmに変えた。また、温度管理についても前回よりも少し下げ、20℃に設定することにした。

表5 栽培条件3回目

作物	サニーレタス
培養液	水5000ml, 微粉ハイポネクス5g
LED	24時間照射(赤色LED4本, 白色LED1本)
カメラ	1時間ごとに自動撮影
温度・湿度・気圧	1時間ごとに自動測定
照射距離	25cm→15cm
温度管理	水槽用ヒーターを25℃→20℃
酸素供給	なし
場所	研究室内

2週間後の様子を図10に示す。この栽培実験の結果、成長速度は予備実験を除いた前2回の栽培実験よりも早くなっていることが写真からも確認できる。よって、生育が正しく行われなかった1つの要因として照射距離の問題があったことが分かった。



図10 栽培実験3回, 2週間目

6.4 考察

今回、予備実験を除いた3回の栽培実験を行い、共通の問題として考えられるのが、茎が細長く、葉と葉の間隔が長いレタスになってしまったことである。この原因として徒長が挙げられる。徒長が起る原因として、日光不足、水分過多、窒素肥料過多、風不足などが挙げられる。3回目の栽培実験において成長速度が少し上がったのも、日光不足が少し改善されたからだと考えられる。しかし、現状的にはまだまだ日光不足であると予測できる。そのための改善点としては、LEDの増設や実を大きく形成する効果を持つ青色LEDを組み合わせることが考えられる。光は波長域ごとに赤色光(600～700nm)、緑色光(500～600nm)、青色光(400～500nm)

と分けられることが多いとされている。その中で今回は、これらの波長域の中で最も光合成を活性化し、成長促進をする効果を持つことから赤色LEDを使用していた。赤色LEDを増設し、そこに青色LEDを加えることで、日光不足が改善されるのではないかと考える。水分過多や窒素肥料過多においては、今回使用した培養液の量を調節することが必要だと考えられる。風不足に関しては、換気の自動化を行うことが必要だと考えられる。その上で、残りのヒーターの自動化や溶液循環装置の製作をしていくことが必要だと考えている。

7. 授業提案

指導計画として、3年生の9.5時間を考えて作成した。指導計画表を表6に示す。ここで、3年生の授業は2週間に一度とする。

表6 授業計画表

時限	学習内容	指導要領との対応
1	日本の農業について知ろう	B (1) イ
2	植物工場について知ろう, サニーレタスを栽培しよう	B (1) ア B (2) イ
3	Pythonを使ってプログラミングをしよう. 植物の観察	B (1) ア D (3) イ
4	crontabを使ってプログラミングをしよう. 植物の観察	D (3) イ B (1) ア
5	植物工場の構想(栽培計画・プログラミング)	B (2) イ D (3) イ
6	植物工場の製作(プログラミング) サニーレタスを栽培しよう	D (3) イ B (1) ア
7	植物の観察, 栽培計画を改良しよう(プログラミング)	B (1) ア D (3) イ
8	栽培計画を改良しよう	B (2) イ
9.5	収穫量の発表, 今後の植物工場と農業について考えよう	B (3) ア B (2) イ

1時間目は、生物育成の技術の最初の授業ということもあり、まず生徒に対し、生物育成の技術に対するイメージを発表させる。その中の1つとして農業について、どのようなイメージをもっているかを生徒に考えさせる。次に農業にはどんな問題があるかを考えさせ生徒に意見を聞く。その上で、日本での農業問題について教師側が問題の一つとして農業従事者の減少の問題について取り上げ、改善策を考

えさせる。

2時間目は、植物工場について知ろうということで、まずスマート農業とその例について振り返りを行う。例の1つである植物工場について取り上げ、イメージを考えさせる。その上で、植物工場の説明と実際に農業で使われている例を紹介する。その後で、実際に製作した植物工場を紹介する。ここでは、LEDの自動点灯・消灯、温湿度の自動計測、カメラモジュールでの自動撮影している様子等プログラムを使って制御しているなどを紹介する。実際に稼働しているところを見せることで、植物工場の理解を深める。サニーレタスを栽培しようということで、実際室内でペットボトルを用いて栽培を始める。苗はあらかじめ準備しておく。

3時間目は、Pythonを使ってプログラミングをしようということで、ラズパイを用いて、LEDの点灯・消灯プログラムについて学習する。初めに赤色LEDの点灯・消灯プログラムの説明及びGPIOピンの説明を行う。その後で、教師側でGPIOを指定した白色LEDのプログラムを実際に生徒に作らせる。また、2時間目に植えたサニーレタスの様子を観察する。

4時間目では、crontabを使ってプログラミングをしようということで、前時の時間に作成した、赤色及び白色の点灯・消灯プログラムを使用し、時間制御をおこなうためのプログラムを作成する。初めに、温湿度センサとカメラモジュールがcrontabで制御してある様子を見せ、実際に動かすところを見せる。その上で、crontabの時間制御についての説明を行う。その上で、教師が指定した時間になったらLEDが点灯・消灯するプログラムを作成させ、動かさせる。その後植物の観察を行い、栽培計画を作成しようということで、9時間目にサニーレタスを使って焼肉パーティーをしようという目標を与えてからグループごとに課題を設定させる。

5時間目は、温かい時期であれば2時間目に行ったサニーレタスも収穫可能と思われる。この結果をもとに、収穫量を他のグループよりも収穫量を多くする、葉を大きくする、栽培次期、できるだけ早く栽培するなど様々な課題設定を考えさせる。それぞれのグループで課題を決定させた後、LEDの照射時間の設定、照射距離、LEDの色の組み合わせ等植物工場の構想をグループごとに決めさせ、プログラミングさせる。

6時間目は前時で決定した植物工場の構想をもとに、製作を行う。またサニーレタスの栽培を始める。これ以降は、授業時間に関わらずマメに観察することを生徒たちに指導する。

7時間目では、植物の観察を行い、9時限目に収穫量が多くなるよう、栽培計画及び植物工場の改良を行う。

8時間目は6時間目に栽培を始めたサニーレタスが収穫可能になると思われる。9時限目に収穫が多くなるためにはどうするかをグループで話し合わせる。

9.5時間目では、収穫量の発表と栽培計画・植物工場の改善案をグループごとに発表させる。その後で、今後の植物工場と農業について考えようということで、植物工場のメリット・デメリットを一人ひとりに考えさせる。

8. まとめ

本研究では、中学校技術科における構想設計を重視した植物工場を用いた教材を開発し授業提案を示した。この工場を用い栽培実験を行った結果、成長速度の改善は見られたが、徒長の問題があることが挙げられた。今後は、徒長の問題を解決し、構想図に示し、自動制御できなかった換気のためのファンやヒーターの自動化、溶液循環装置の製作を行う必要がある。それを用いて栽培実験を行い、授業実践を行うことで、植物工場を用いた教材が完成できると思われる。

参考文献

- [1] Society 5.0- 科学技術政策-内閣府
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭科編，2017
- [3] 鎌田英一郎 藤本登：中学校技術・家庭科技術分野の生物育成に関する技術における現状と課題－長崎県技術科教員へのアンケート調査から－長崎大学教育学部 附属教育実践総合センター紀要 (16)，pp.113-121，2017

令和2年4月1日 受理

Development of the teaching materials using the plant factory for junior high school technology class

Masaki TAKAKU, Michiaki OKADA, Junichi KAMIOKA, Mari MATSUBARA