

# 無線ネットワークを活用した生物育成題材の提案

～遠隔管理型植物工場の開発を通して～

堤 健人 ・ 川田 和男\*

**要約:** 本研究の目的は、中学校技術科における生物育成の課題を解決する題材として遠隔管理型の植物工場を提案し、課題である栽培地の確保と再現性の解決状況を検証することである。その結果、LEDで栽培することで多段栽培が可能となり、気象条件に左右されにくくなることで、再現性が高まった。また、XBeeで無線ネットワークを構築したことで、遠隔地から植物工場を制御でき、空いたスペースでの栽培ができ栽培地における制約が少なくなった。Arduinoを用いたプログラミング学習によって、技術科の学習内容を横断的に扱うこともできた。

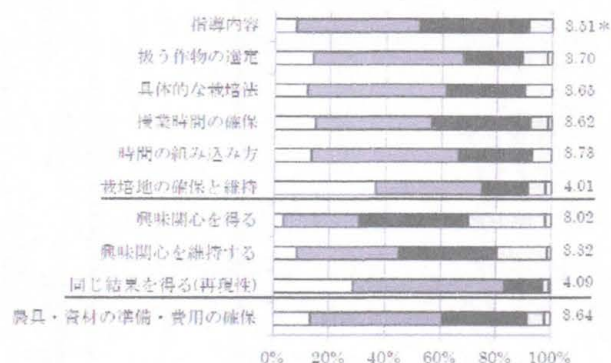
**キーワード:** 生物育成, 植物工場, 計測・制御, 無線ネットワーク

## I. はじめに

本校ではテーマを「小学校・中学校9年間の学びがながる授業づくりの在り方」と設定し、研究を続けており、今年度で4年目となる。技術・家庭科〔技術分野〕(以降、技術科とする)には、小学校の教科に系統的な流れを組む教科がないため、9年間という長い期間で考えることは難しい面がある。しかし、現行の学校教育法第21条の義務教育として行われる普通教育に記述された内容を達成する上で、技術科のものづくりなどの体験的な学習が果たす役割は大きい。そこで、技術科の主たる活動の1つであるものづくりに焦点をあて、研究を進めている。特に、ものづくりにおける「設計・計画」の工程は中学校から扱われる内容であるから、小学校・中学校の学びをつなげる鍵になると捉えている。

平成24年度より、現行の中学校学習指導要領が全面実施となり、これまでに様々な実践事例が提案されている。しかし、依然として技術科の課題に、選択であった学習内容を含め4内容で再構成され全て必修化されたことに起因する授業時数の不足がある。つまり、実質的な授業内容は増加しても、技術・家庭科の授業時数に変化はないので、4内容を横断的に扱ったり、題材を精選・工夫したりすることが求められている。

選択から必修の学習内容となった中に、生物育成に関する技術がある。稲葉(2011)は143校の技術科を担当する公立中学校教員にアンケート調査を実施した。図1より、「栽培地の確保と維持」や「同じ結果を得る(再現性)」を困難と考える公立中学校の技術科教員が多いことが分かる(図1の下線は筆者が加筆したものである)。この2点を解決する題材として植物工場を取り上げることが考



第1図 生物育成の教育の内容の難易程度

□ 難しい ■ 比較的難しい ■ 普通 □ 比較的簡単 □ 簡単

\*: 5段階の評価で最も難しいと回答したものを5点として配点し、簡単に近づくにつれて段階的に4点、3点と点数化した時の各項目の平均得点

## 図1 生物育成に関するアンケート結果(稲葉, 2011)

えられる。植物工場は施設内で温度や照明まで管理できるため、品質の差が少ないうえ天候と場所に依存せず安定供給ができたり(再現性が高い)、空いたスペースで多段栽培できたり(栽培地の確保と維持が容易)と利点が多い。また、小学校段階では経験できない完全人工光による作物の栽培ができる。様々な環境要因を整えることで植物は成長するが、光合成の占める割合は非常に大きい。つまり、照明の工夫によって、作物の開花や収穫時期、収量をより細かく調整することができるようになる。なお、太陽光ではない人工光源を用いた植物工場を題材とすることは、生徒一人ひとりに自身の私生活や災害時、他国の社会情勢といった多様な条件を想定させることによって、様々な目的意識と課題解決に取り組むものづくりにつながると考えられる。

\* 広島大学大学院教育学研究科

中学校でも浦山ら(2012)や正好ら(2012)はLEDを使用した植物工場の実践を行っている。浦山らは、生物育成の学習内容を中心に材料と加工やエネルギー変換を扱い、正好らは4内容すべてを横断的に扱い、学習内容の深化と授業時数の効率的な配分にも有効であった。しかし、これらの実践では、直接植物工場に対して作業をしなければならぬため、植物工場教材の前でしか授業ができず、必然的に栽培地が制限され、栽培地の確保や再現性での課題が残る。そこで、本稿では、XBeeとArduinoを用いた無線ネットワークを取り入れ、栽培地から離れたところでプログラミングを行い遠隔操作することで、学習内容を横断的に扱い、栽培地に制限されない遠隔管理型植物工場題材を提案し、栽培地の確保と維持、及び高い再現性に関する効果を検証する。

## II. 植物工場

### 1 概要

植物工場とは、作物の成長に必要な光・温度・湿度・二酸化炭素濃度・培養液などの環境条件を人工的にコントロールできる施設で栽培するシステムである。大きく完全制御型(図2)と太陽光利用型(図3)の2種類がある。電気代等のコストは嵩むが、気象条件に左右されず安定した供給が可能なることから、図2のような完全制御型の実用化に対する研究が盛んである。



図2 千葉大学の植物工場(完全制御型)



図3 千葉大学の植物工場(太陽光利用型)

### 2 照明設計における配慮事項

植物工場の照明の光源には、蛍光灯や高圧ナトリウムランプ、LEDが現実的であるが、今のところ蛍光灯が広く普及している。しかし、光合成に関わる葉緑素(クロロフィル)が吸収する光の波長には、図4のような吸収スペクトルが存在する。

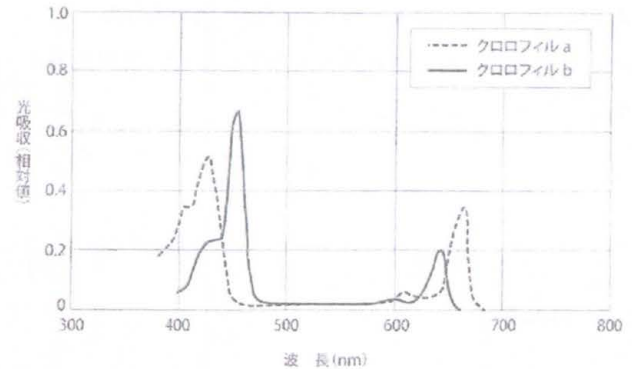


図4 葉緑素の吸収スペクトル(LED植物工場 p.43)

LEDは、その構造上、非常に狭い範囲の波長でしか発光しないため、植物の生長に必要な波長のみを照射し、エネルギーを高効率に利用することができる。図4より、赤色(660[nm]付近)と青色(450[nm]付近)を用いることが望ましいと分かる。

また、植物工場の照明の設計には、波長だけでなく光の量も考える必要がある。植物の光合成に有効な可視領域400~700[nm]に対する光強度は、光合成有効光子束密度(PPFD) [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ]として表すのが基本となる。これは単位時間・単位面積あたりの光合成に有効な光子数で考えることになる。一般的に、150 [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ]以上ないと、作物は生長できないものが多い。

## III. 提案題材

### 1 授業計画

本題材は「C. 生物育成に関する技術」を主に扱うとともに、次に学習する「D. 情報に関する技術」の(3)プログラムによる計測・制御の素地づくりも含んで設計する。授業計画を表1にまとめる。7・8時限は、「D. 情報に関する技術」がメインとなっているが、並行して作物の管理作業も行うため「C. 生物育成に関する技術」のC(2)アの内容も扱う。5時限の栽培計画の作成では、はじめに自身で制約や課題を考え栽培目的を決定する。次に、目的達成に向け社会的・環境的・経済的視点のバランスを考えながら、持続可能な社会の構築を意識した栽培計画を作成させる。また、9時限目では5時限目の



表1 提案題材の授業計画

時限	学習内容	指導要領との対応
1	生物育成の技術の進歩と生活の変化	C(1)イ
2	作物の成長への環境要因	C(1)ア
3	作物のふやし方	C(1)ア
4	栽培における管理技術	C(1)ア
5	栽培計画の作成	C(2)ア
6	作物管理プログラミング①	D(3)イ
7	アルゴリズムとフローチャート①	D(3)イ
8	アルゴリズムとフローチャート②	D(3)イ
9	栽培計画の改良	C(2)ア
10	作物管理プログラミング②	D(3)イ
11	伝統野菜の栽培を考える	C(1)イ
12	生物育成の技術を活かした生活	C(1)イ

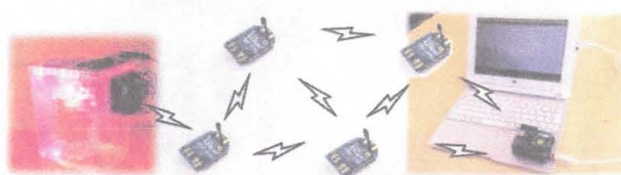


図7 XBeeで作る無線ネットワーク

なお、XBeeの設定には、Windows7の環境でX-CTUというフリーのソフトウェアを用いて行う。XBeeとコンピュータの接続は、秋月電子通商で購入したXBee USBインターフェースボードセットを用いる。また、ネットワークポロジリーはメッシュとし、コーディネーターを除くすべてのXBeeはルーターに設定している。

栽培計画に基づいて栽培した結果を受け、再度、栽培計画を考える。一度栽培を経験したことで、一斉授業の中で与えられた知識が深く理解され、次の栽培計画への活用が期待できる。

## 2 無線ネットワークの構築

現在、無線LANの環境が整備されていない中学校が多数存在することから、初期設定と電源供給のみで無線ネットワークを構築できるXBee(図5)を用いる。XBeeは、

## 3 遠隔管理型植物工場

本題材は「C. 生物育成に関する技術」で扱うため、生徒の設計は、栽培計画の作成となる。そのため、植物工場は教員が製作するか、他の学習内容で製作しておくこととなる。ただし、多様な栽培計画に対応できることが重要になるため、収穫までの日数の操作や、葉物の色合いの変化や温度管理ができるように配慮して製作する必要がある。そこで、今回は表2のような材料を用いる。また、製作する遠隔管理型植物工場は図8-図10のようになる。ここで、遠隔管理型植物工場のPPFDが作物の成長に必要な光強度かを図11に示す光量子計で計測した。消費電力も含め、その結果を、表3にまとめる。

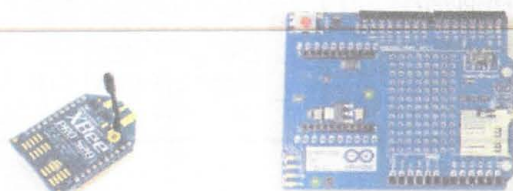


図5 XBee

図6 Arduino ワイヤレス SD シールド

ZigBeeプロトコルで無線ネットワークを構築し、メッシュ構成が可能であるため、比較的容易に強固な無線ネットワークができる。電池からの給電でも長時間動作し、500円玉程度の大きさのため、廊下や教室の隅など目立たないスペースに設置でき、中学校でも活用しやすいと考える。さらに、図6の機器に接続することで、Arduinoというマイクロコントローラと信号をシリアル通信することができる。つまり、図7のようなイメージで、生徒がArduinoに書き込んだプログラムをXBeeが植物工場まで届けることで、植物工場の遠隔操作を実現する。

表2 遠隔管理型植物工場の部品

部品名	個数
超高輝度LED(赤)	32
超高輝度LED(青)	4
FET(2SK4017)	8
抵抗器(1KΩ)	18
抵抗器(51Ω)	8
DCジャックDIP化キット	1
ジャンパーコード	15
DCファン	1
丸ピン	15
Arduino uno	1
USBケーブル	1
Xbee	1
Arduino Xbee シールド	1
ACアダプタ(12V)	2



図8 遠隔管理型植物工場

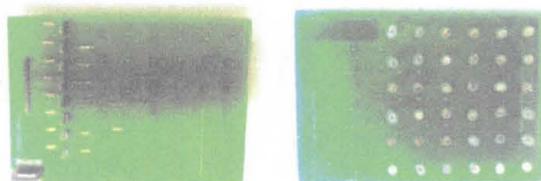
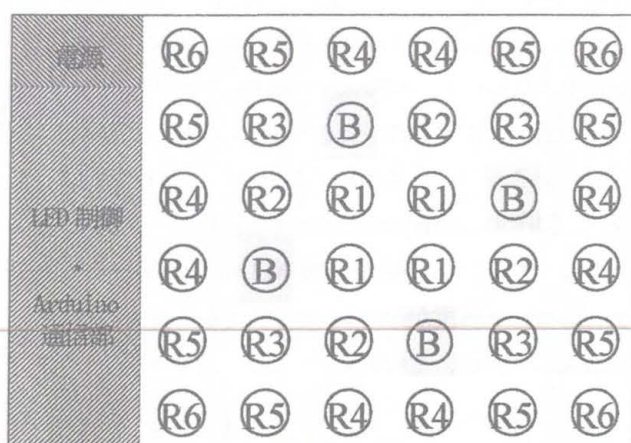


図9 遠隔管理型植物工場制御基板の両面



(B: 青色LED, R: 赤色LED)

図10 LED配置確認用制御基板略図

計測は、制御基板の中央から150[mm]離れたところにセンサを設置して行った。R3, R6, BはPPFDが不十分に見えるが、LEDは半減角が15°のものを使用していることが影響している。実際、センサの位置を基板中央の下で



図11 光量子計 (Apogee社製 MQ-200)

表3 遠隔管理型植物工場のPPFDと消費電力

点灯しているLEDグループ	PPFD [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ]	消費電力 [W]
R1	214	1
R2	183	1
R3	96	1
R4	187	2
R5	135	2
R6	97	1
B	61	1
ファン		2

はなく、LEDの下で動かすと十分な光量を得られた。従って、作物の成長に応じて点灯させることで、効率的に運用できる。

#### 4 遠隔管理型植物工場の制御

遠隔管理型植物工場のLEDとファンの制御は、Arduinoを用いて行う。本題材で使用する命令を表4にまとめる。

表4 遠隔管理型植物工場の制御命令

命令	制御対象
LED_RED1();	赤色のLED(図11のR1)
LED_RED2();	赤色のLED(図11のR2)
LED_RED3();	赤色のLED(図11のR3)
LED_RED4();	赤色のLED(図11のR4)
LED_RED5();	赤色のLED(図11のR5)
LED_RED6();	赤色のLED(図11のR6)
LED_BLUE();	青色のLED(図11のB)
FAN();	ファン

それぞれの命令の引数を「ON」とすれば、対応するLEDは点灯し、ファンは回転する。また、それぞれの命令の引数を「OFF」とすることで、対応するLEDは消灯し、ファンの回転は止まる。

プログラムの入力とArduinoへの書き込みは、専用のソフトウェアであるArduino IDEで行う。プログラムの編集画面を図12に示す。本来であれば、グローバル変数や関数のプロトタイピング、シリアル通信、使用するピンの入出力設定などの初期設定が必要となるが、生物育成に関する技術の学習内容と乖離するため、教員側でヘッダファイルの形で準備しておき、生徒には本題材で学習すべき遠隔管理型植物工場に対する制御命令に集中させる。XBeeとのシリアル通信は1バイト(2進数で8桁)



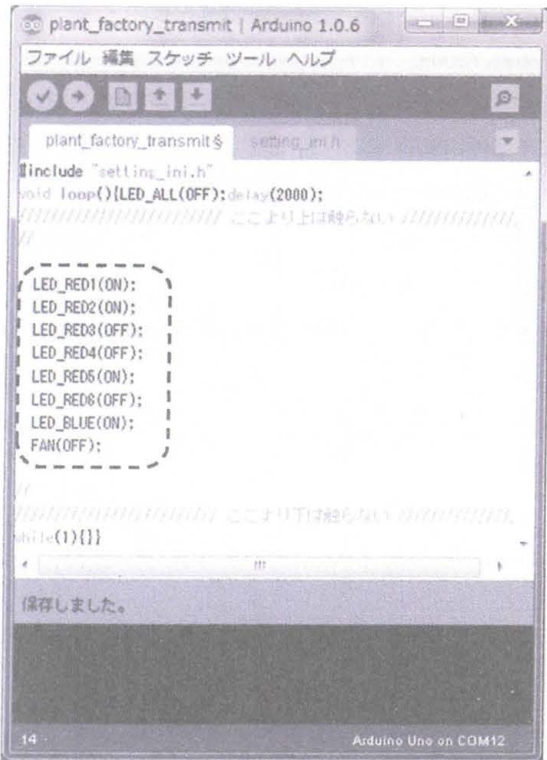


図12 プログラムの編集画面

でやりとりすることがシンプルで正確な処理を実現しやすい。例えば、図12の破線内のようなプログラムを生徒が記述したとする。このままの文字列で送受信するのではなく、図13のようにArduinoがバックグラウンドで表4の8つの命令のON/OFFを2進数で表記した各ビットに1/0で割り当てる処理をし、1バイトのデータに変換してやりとりを行うように予めプログラムを書き込んでおく。

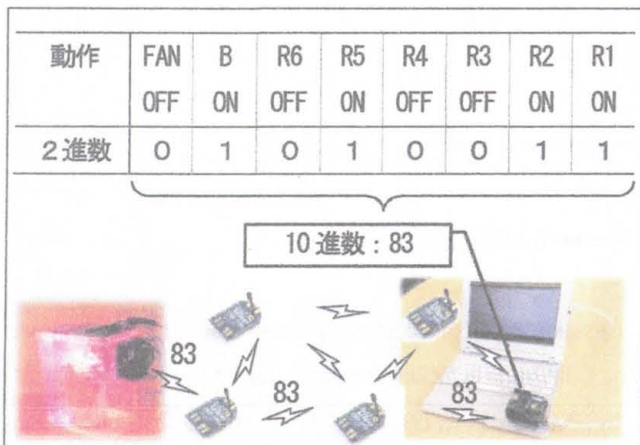


図13 無線ネットワーク内の送受信模式図

こうすることで、10進数の0~255の数字をXbeeで送受信させることで遠隔地から36個のLEDとファンの挙動を制御する。

#### IV. おわりに

本研究では、技術科の学習内容「C. 生物育成に関する技術」における題材として無線ネットワークを活用した遠隔管理型植物工場を提案し、公立の中学校教員が困難と感じる要因である「栽培地の確保と維持」や「再現性（同じ結果を得る）」を解決する効果を検証した。実際にリーフレタス（レッドサンスター）を用いて栽培した。図14, 15の左が太陽光のみで栽培したもので、図14, 15の右が本植物工場基板の光源で栽培したものである。



図14 リーフレタス成長比較 (10/31)



図15 リーフレタス成長比較 (11/12)

およそ2週間栽培したところ、本植物工場で栽培したリーフレタスの方が、葉は大きく厚く、濃い緑色のしつかりとしたリーフレタスができた。

また、本題材は、小学校と中学校のものづくり学習の学びをつなげる鍵となる「設計・計画」について、エネルギー効率や植物の成長についての知識を基盤として、その成果と課題の分析を通して、さらなる高次の概念を獲得することができる。また、プログラミング学習を体験できることにより、技術科の学習内容を横断的に扱うことができ、授業時数の有効活用や学習内容の有機的なつながりが果たせるといえる。

今後は新しく提案した遠隔管理型植物工場を用いた授業実践から、さらに有効性と課題を明らかにし、中学校技術科の題材としての価値を発信していきたい。

## 引用・参考文献

技術教育分科会編集：新技術科教育総論，日本産業教育技術学会，2009.

浜原和明ほか：超お手軽無線モジュール XBee，CQ 出版，2012.

稲葉健五：学習指導要領の改訂に伴う生物育成技術の扱いについて— 中学校技術科担当教員に対するアンケート調査—，兵庫教育大学教科教育学会紀要，No. 13，pp. 67-75，2011.

正好東洋：中学校技術・家庭科〔技術分野〕における融合題材を用いた授業づくりに関する提案Ⅱ，岡山県総合教育センター研究紀要，第5号，pp. 1-29，2012.

文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編，教育図書，2008.

文部科学省：小学校学習指導要領，東京書籍，2008.

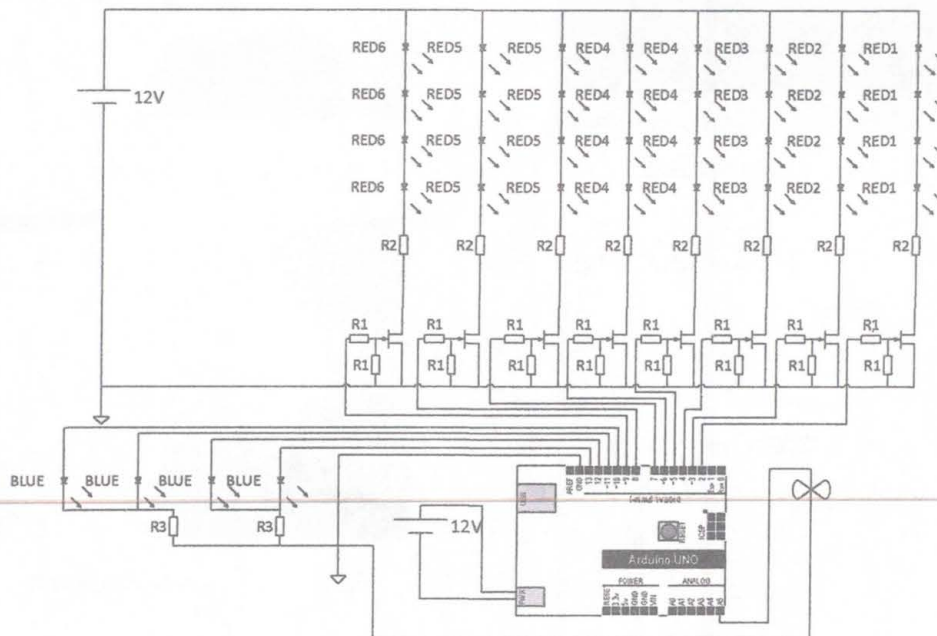
日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育(改訂)，日本産業技術教育学会誌第54巻，4号別冊，2012.

Robert Faludi：XBee でつくるワイヤレスセンサネットワーク，オーム社，2011.

高辻正基・森康裕：LED 植物工場，日刊工業新聞社，2011.

浦山浩史ほか：LED を使用した植物工場でのレタス栽培を通じた学習指導法の研究—生物育成のリテラシーを習得させる指導の工夫—，No. 39，pp. 71-84，2012.

## 資料1 遠隔管理型植物工場の回路図



## Teaching Plant Cultivation Using Wireless Networks

Kento TSUTSUMI and Kazuo KAWADA

**Abstract.** This study examined a remotely managed factory for plant cultivation as part of technical education. This is a potential solution to ensure the maintenance and sustainability of agricultural areas. Cultivation in facilities results in greater yields, compared with traditional farming techniques, since these facilities are unaffected by adverse weather conditions. This kind of cultivation may be enhanced using the XBee wireless network, and students may be taught to operate it by programming with Arduino.

**Key words:** Plant Cultivation, Plant Factory, Measurement and Control, Wireless Networks