# 自然エネルギー利用低炭素型施設園芸栽培技術の開発

## －施設園芸用 LED 照明技術の開発－（第１報）

生産技術部
大坪昭文　白仁田和彦　福島章吾
田中徹　中野太郎

本研究では，施設園芸作物に対する LED 照明の有効性を検証するため，LED 照明の設計と制御技術について研究し，園芸作物の生育に適する LED 照明の試作開発を行う．本年度は，作物の生育に影響する LED の波長や発光パターンなどの諸条件を調査，実験可能な LED 照明及び駆動回路を試作開発した．LED 照明は，波長が選択できる砲弾型高輝度 LED をパネル上に配置した．駆動回路は，光量の安定化のため定電流回路を用い，PWM 制御により光量を調節できるようにした．また，パソコンからの指令により複数の LED 照明を集中制御できる方式とした．試作開発には，PIC マイコンを用いたので安価で簡単なシステムを構築することができた．

### １．はじめに

佐賀県内の施設園芸では，出荷時期や品質の調節を図るため，電照栽培が行われており，照明器具として白熱電球がよく使用されているが，白熱電球は消費電力が大きいことから，蛍光灯や LED 照明など省エネ効果の高い照明器具への置き換えが検討されている．特に LED 照明は植物の成長に影響する特定の波長(色)の光を照射することができ，施設園芸用の有望な照明器具としての期待が大きい．しかしながら，佐賀県において LED 照明を用いた施設園芸栽培は，導入例がほとんどなく，また，その栽培ノウハウが十分には蓄積されていない．

そこで本研究では,佐賀県の施設園芸作物に対し，LED 照明の有効性を検証するため,LED 照明の設計と制御技術を研究し，施設園芸用の LED 照明の試作開発を行う．

本年度は，佐賀県内の施設園芸作物の生育に影響する LED の波長や発光周期パターンなどの諸条件を調査，実験するためのツールとして，LED 照明の発光制御システムを試作開発したので報告する．

### ２．システムの構成

#### 2.1 システムの設計方針

LED 照明は特定の波長の光を照射できることから，白熱電球に代わる植物育成用照明器具として使用されてきている．植物の成長に有効な波長として，例えば光合成においては葉緑素の吸収波長域（400nm～700nm）の中の赤色（640～690nm）と青色（420～470nm）が一般に有効とされ，試作事例としてよく見受けられる.その他にも,形態形成（葉を厚くする，茎を太くする等）や植物の伸長（茎を伸ばす，葉面積を広げる等）に有効な波長があるといわれている[1), 2)].

そこで，本研究においては，次のような仕様を目標にしてシステムの設計を行う．

・LED の発光波長を選択できること
・LED の光量を制御できること
・時間管理で LED の発光を制御できること
・遠隔地から操作管理できること
・簡便かつ低コストのシステムであること

以上の仕様を満足させるため，第一に，任意の波長が選択できる高輝度 LED 搭載したパネル型照明に対して，調光によく用いられる PWM 制御を採用した駆動回路を設計する．次に，複数の LED 照明の発光量を遠隔制御するために，通信回線とパソコンを用いて集中管理できるシステムを設計する．最後に，試作開発においては，PIC マイコンを使用し，できるだけシンプルで安価な電子回路を製作する．

#### 2.2 システム構成

図１に試作開発するシステムの構成を示す．本システムは「発光制御部」,「通信部」,「LED 照明部」で構成する．パソコンの Microsoft Excel シート上にあらかじめ各 LED 照明器の発光量をタイムテーブル形式で設定しておく．発光制御部では，この Excel シートの設定に従って，各 LED 照明器へ発光量の指令を送信する．通信部ではシリアル通信回線の RS-485 を使って，発光制御部と LED 照明部間のデータ通信を行う．LED 照明部では，発光制御部からの

指令に従って，対応する LED 照明器の発光量を調整する．以下に具体的な構成と動作内容を示す．

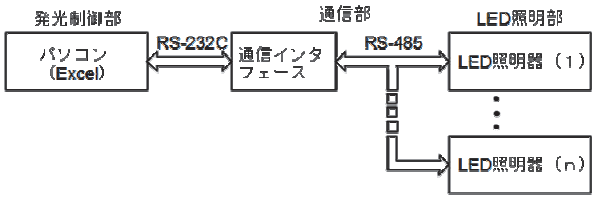


図１　システムの構成

## 2.3 発光制御部

複数の LED 照明器に対して，時間毎に発光量を設定するために，発光パターンをタイムテーブル形式で管理する．ここでは，Excel シート上に LED 照明器の接続の有無や時間毎の PWM 制御のデューティ比を設定する．

図２に24時間周期で複数のLED照明器の発光量を管理する例を示す．Excel シートの A 列には，あらかじめ LED 照明器に割り振られたアドレスを示す．B 列には，各アドレスの LED 照明器が接続されているか否かを ON か OFF で設定する．C 列には発光制御の際，応答があったか否かを表示する．D 列以降は 3 行目の時刻までの各 LED 照明器のデューティ比を 0～100%で設定する．

図３は LED 照明器の発光制御を行うためのパソコン上でのフォーム画面の例である．発光パターンを設定した Excel ファイルを開き，現在時刻と表中の時刻を比較して該当する列の発光量(デューティ比)を接続されている LED 照明器へ送信する．なお，このフォーム画面は，プログラミング言語の Visual Basic 2012 Express Edition により作成した．

図３　LED 発光制御のフォーム画面

## 2.4 LED 照明部

LED 照明はパネル型として，波長が選択できる砲弾型の高輝度 LED を用い，LED を点灯させるための駆動回路としては，可変型 3 端子レギュレータ LM317 を用いた定電流回路を採用した．これは定電流回路を簡単な構成で実現でき，LED にバラツキがあっても安定した光量を照射できる理由による．定電流回路に流れる電流値は $i$=1.25/R となり抵抗 R によって決定することができる．

図４は定電流回路に対し PWM 制御により LED 照明の発光量調節を行う駆動回路を示す．PWM 制御は，単位時間に電源の ON と OFF を繰り返す制御方式で，ON の時間の割合（デューティ比）に応じて擬似的に LED の光量を変化させることができる．ここで，PWM のパルス信号は PIC マイコンを用いて生成した．

また，LED 照明部では発光制御部からの指令によって LED 照明器の発光量を調節するが，動作手順については後述の通信部において説明する．

| | A | B | C | D | E | F | G | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ON | OFF | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | LED発光制御表(24時間) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | アドレス | 接続 | STAT | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 23:59 |
| 4 | 01 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 02 | ON | -- | 0 | 10 | 20 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 03 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 04 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 05 | ON | -- | 100 | 100 | 100 | 90 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 06 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 07 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 08 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 09 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 10 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 11 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 12 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 13 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 14 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 15 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 16 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 17 | OFF | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

図２　発光パターンの設定画面

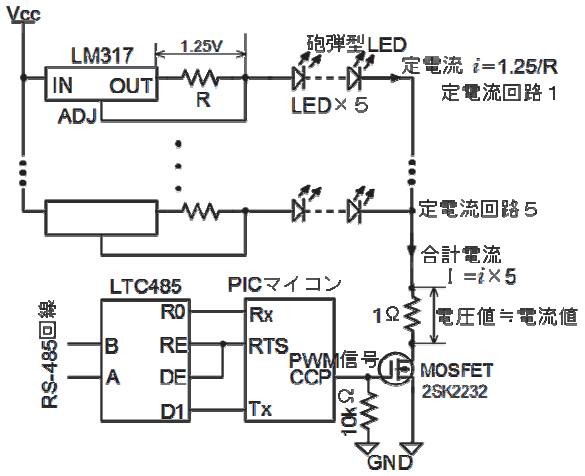


図４　LED 照明器の回路構成

## 2.5 通信部

複数の機器とできるだけ少ない信号線で長距離の通信を行いたい場合に，RS-485 通信回線がよく使用される．RS-485 通信回線は，一対の信号ライン上に最大 32 台の装置を接続できるマルチドロップによる通信方式である．信号の伝送には差動信号を用いているため，ノイズに強く，高速（12m で 2.5Mbps）で，遠距離（1.2km で 100kbps）の通信ができるという特長がある[3]．ただし，半二重通信となるので，送信と受信のタイミングを取る必要がある．

図５に RS-485 通信回線の接続図を示すが，RS-485 通信信号に変換する IC として LTC485 を用いている．パソコンとは RS-232C 通信回線で接続するので，信号変換 IC の ADM3202 を介している（図５の通信インタフェース部分）．通信プロトコルは 9600bps，パリティ無し，データ８ビット，ストップ１ビット

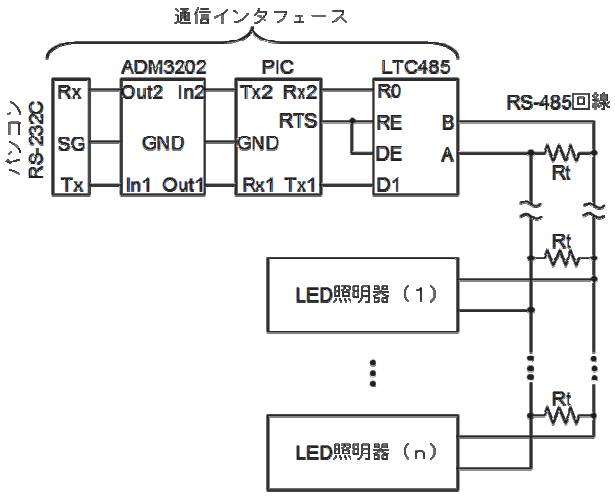


図５　通信部の接続図

とした．RS-485 通信においては，送信時に LTC485 の RE, DE 端子をＨとし，受信時はＬとなるように PIC マイコンによりタイミングを制御する．

図６に送信と受信に用いる通信データのフォーマットを示す．図３に示すパソコン上のフォーム画面に入力した LED アドレスとデューティ比を，送信フォーマットに代入して送信される．この通信データは全ての LED 照明器で受信されるが，図７の受信手順に従って，通信データに記述してあるアドレスの LED 照明器だけが PWM 信号を変更（LED の発光量を変更）し，応答を返す．

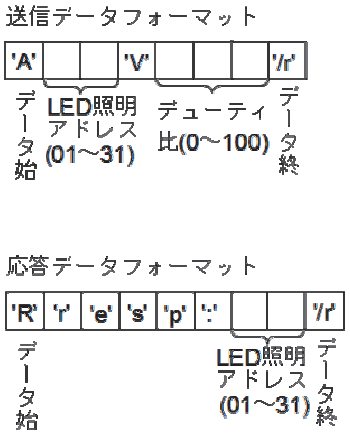


図６　通信データフォーマット

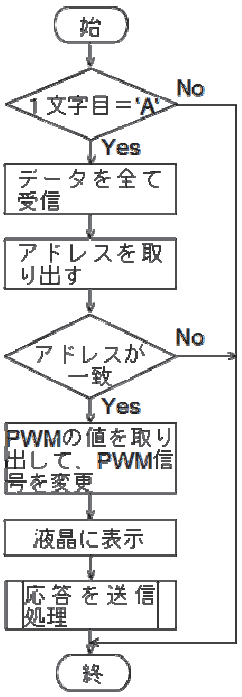


図７　アドレスを判定して処理する手順

## ３．動作試験

### 3.1 LED 照明器の調光性能試験

LED 照明器は PWM パルス信号のデューティ比により光量を調節している．ここでは，デューティ比が光量制御性能に及ぼす影響を調べる．まず，デューティ比と電流との関係を調べる．図４の回路において１Ωの抵抗はセンス抵抗でその両端電圧値を測定することで電流値とみなせる．センス抵抗の電圧をテスターで測定し，デューティ比と電流の関係を調べた（図８参照）．なお，LED 照明器は砲弾型 LED を 100 個，波長は 630nm，抵抗 R=47Ωを使用した．また，比較のため，デューティ比と照度の関係も同図に併せて表示した．この結果から，PWM 制御では，デューティ比にほぼ比例した調光ができることが分かる．

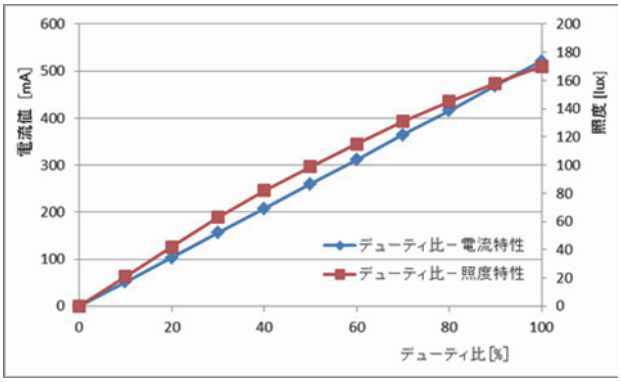


図８　PWM 制御の特性

### 3.2 システムの遠隔制御検証試験

本システムが目標とする仕様を満たすことを確認するために，図９のように LED 照明器を２台接続して，24 時間周期の発光制御試験を実施した．LED 照明器（１）は波長 660nm の LED を 25 個，LED 照明器（２）は波長 470nm の LED を 25 個用いている．

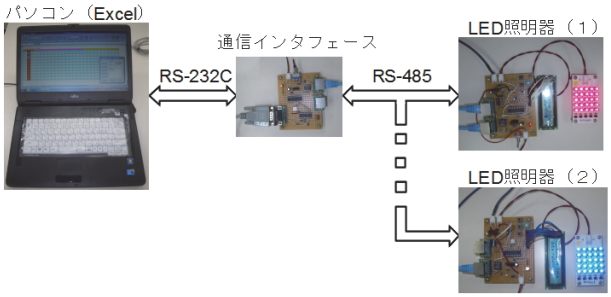


図９　本システムの発光制御試験概観

LED 照明器（１）にはアドレス”02”を，LED 照明器（２）にはアドレス”05”を割り付けてある．通信インタフェースと LED 照明器（１）間，及び，LED 照明器（１）と LED 照明器（２）間はそれぞれ 30m のイーサネットケーブルを用いた．この試験結果から本システムを用いることで複数の LED 照明器の遠隔発光量制御が可能であることが分かった．

## ４．おわりに

本研究では，複数の LED 照明器を遠隔調光するシステムを，PIC マイコンを使った電子回路により，簡便で安価に試作開発することができた．

今後は，このシステムを実地検証し，より使い易いものに改良を重ねていく予定である．

## 参考文献

1) 後藤 英司：LED の植物育成分野への応用，照明学会誌，第 89 巻，第 3 号（2005）
2) 高辻正基，森　康裕：ＬＥＤ植物工場，日刊工業新聞（2011）
3) トランジスタ技術，2012 年 10 月号，pp. 206-209（2012）