

リンク・カム機構を用いた(コマ形状)切削加工機

生産技術科 楠本 佳弘

1. はじめに

現在、切削加工機には人間が手で操作する汎用工作機械とプログラムでコントロールする NC 工作機械がある。単品物には、汎用工作機械が使用され、多量生産は NC 工作機械が使用される。

しかし、NC 工作機械には制御装置が使用されており精度も高いため 1 台当たり数千万円の導入コストがかかる。多量生産の製造方法には専用機械という大掛かりなシステムもあるが、これも大掛かりでコストがかかる。筆者らは、小さな部品加工の多量生産に役立つ加工機として汎用機と NC 工作機械の中間的な半自動加工機で、多少の形状のバリエーションも可能な簡易的で安価な切削加工機の製作を目的に機械の設計・製作を行った。本稿では切削加工機をテーマにした製品作成までの授業内容ならびに製品の問題点について報告する。

2. 自動制御について

自動制御とは、機械動作を手動で行われることなく機械や装置がプログラム等によって自律的に実行することである。機械動作での制御方式においては、機械加工では NC 制御（数値制御）による数値指令による制御方式が使用されている。この方式の機械は NC 工作機械と呼ばれ、非常に高価な機械となる。本切削加工機は安価な自動加工機を目指すため、カムを使った機械的な制御方式を採用した。カムによる機械制御は、回転中心から円周上までの距離が一定でない曲線形状をしたカム板が回転しこの円周側面に接したリンク棒（接線リンク）が周期的な運動をする仕組みである。図 1 にカムによる制御を示す。

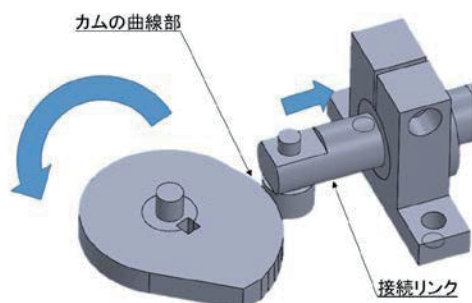


図 1 カムによる機械的制御

3. 要求仕様と全体設計

本加工機に要求する仕様を表 1 に示す。要求仕様から全体の設計を行った。

表 1. 切削加工機の要求仕様

幅×高さ×奥行	1,000×600×600 [mm]
重量	約 100 [Kg]
電源	AC100V
加工物のサイズ	φ 20 [mm]
加工物の材質	黄銅
切削工具	幅 5mm 完成バイト SKH
送り速度	0.05 [mm/rev]
切削速度	30 [m/min]
工具の移動量	15 [mm]
製品の加工回数	3 回

4. カム機構について

カム機構によって回転運動から往復運動に変換し、カムの不均一な曲線部分にリンク棒を接触させ、回転運動が往復運動に変える仕組みである。カムには平面カム、板カム、周縁カム、溝カムなどの種類があるが、今回はモータへの取り付けや加工のしやすさを考えて、板カムを採用した。カムの形状はカム線図を用いて形状を設計した。まず基礎円の直径を計算で求め、変位量（リンク棒の動かしたい移動量）ならびに動作周期から動かしたい角度が確定した。図 2 にリンク棒変位量とカム曲線を示す。

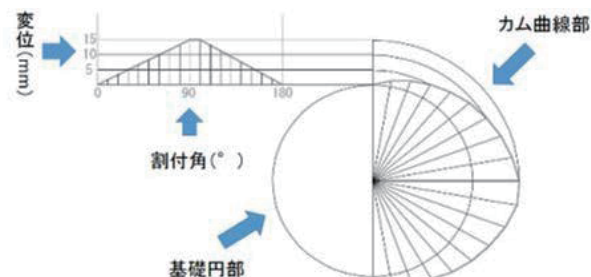


図 2 リンク棒変位量とカム曲線

カム形状は要求仕様に基づき、リンク棒変位量 15 mm、割付角 90 度とし検討を行った。

カムが回転を始めたらスタートから頂点 90 度にかけてカム曲線部を上昇し、移動距離である 15 mm に到着する。その後 180 度まで 15 mm 下降する。

カムが回転することで、リンク棒が往復運動としての機能を果たす。

図 3 に製作加工したカムとリンク棒を示す。

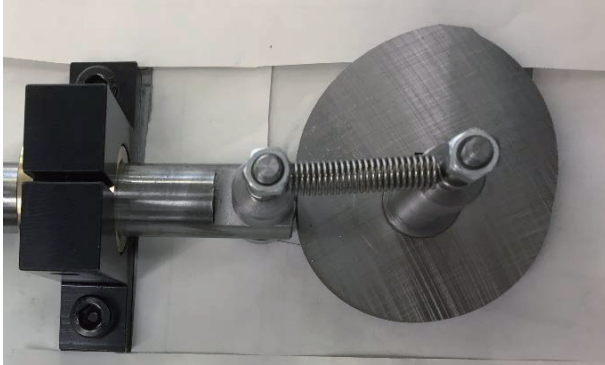


図 3 製作加工したカムとリンク棒

4. 切削工具について

切削加工を行う切削工具は、図 4 に示す工具形状 3 本を作成使用した。加工工具は手研ぎ後に汎用旋盤で切削確認し、モータ選定を行った。

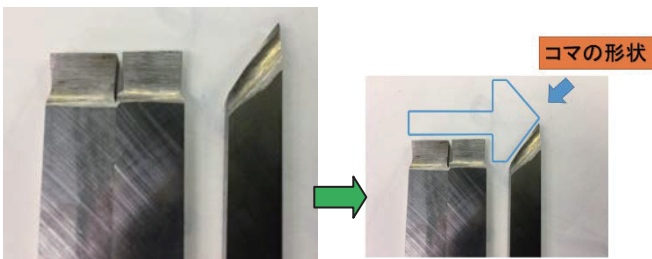


図 4 作成した切削工具

また作成した切削工具用の取り付けホルダーをリンク棒の形状で製作し、カム板からの制御動作ができる構造とした。図 5 に切削工具が取り付けられるリンク棒形状を示す。



図 5 切削工具取り付け用のリンク棒

5. 工具動作部分の製作

工具は 3 本取り付け、3 本の工具が周期的にタイミングを計る構造である。

図 6 にカム板から切削工具までの加工製品を示す。また、図 7 に 3 本の切削工具配置図を示す。

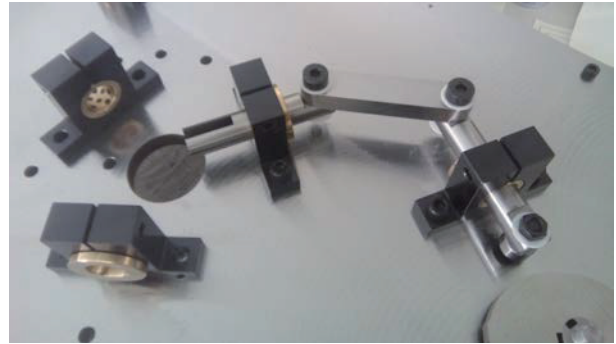


図 6 カム板から切削工具までの加工製品

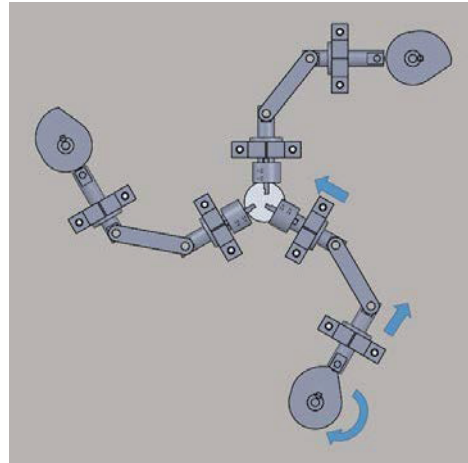


図 7 3 本の切削工具配置図

6. 主軸構造について

主軸用モータの選定実験は、切削動力計と普通旋盤を用いて比切削動力の測定を行った。その結果からモータに必要な動力を計算した。実験の結果、比切削抵抗は 61.51 であった。

この結果から計算を行い所要動力は 0.15kw 以上となったため、今回使用するモータは 0.2kw とした。主軸モータ選定の計算式を以下に示す。

$$P_c = \frac{ap \times f \times vc \times Kc}{60 \times 10^3 \times \eta}$$

P_c : 所要動力 [w]
 ap : 切り込み [mm]
 F : 1 回転当たりの送り [mm/rev]
 Vc : 切削速度 [m/min]
 Kc : 比切削抵抗 [MPa]
 η : 機械効率係数

実験結果の値を代入した結果を以下に示す。

$$P_c = \frac{2 \times 0.25 \times 30 \times 61.51}{60 \times 10^3 \times 0.1}$$

$$= 0.15 \text{kw}$$

切り込み量、送り量を大きくする可能性を考慮し、0.2kwのモータを使用することとした。

また、切削に必要な主軸回転数は460rpmであるため、モータの回転数に減速機構が必要となった。

表2に主軸の減速比並びに減速方法を示す。

上記の減速方法に基づき設計を行い、製品加工ならびに組立を行った。図8に、主軸動力部の組立途中と図9に主軸部動力部完成図を示す。

表2 主軸の減速比並びに減速方法

モータ回転数	減速方法	減速比	回転数
1710 [min^{-1}]	平歯車 はすば歯車	$\frac{27}{100}$	460 [min^{-1}]

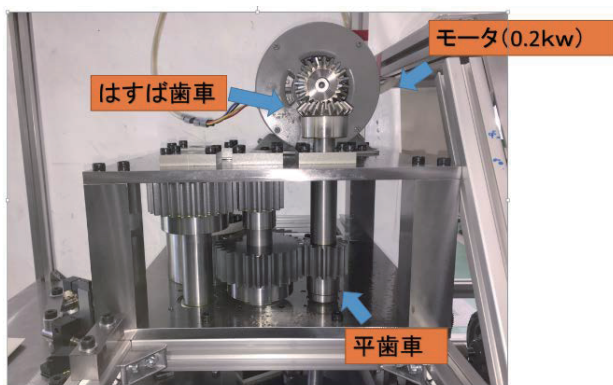


図8 主軸動力部の組立途中

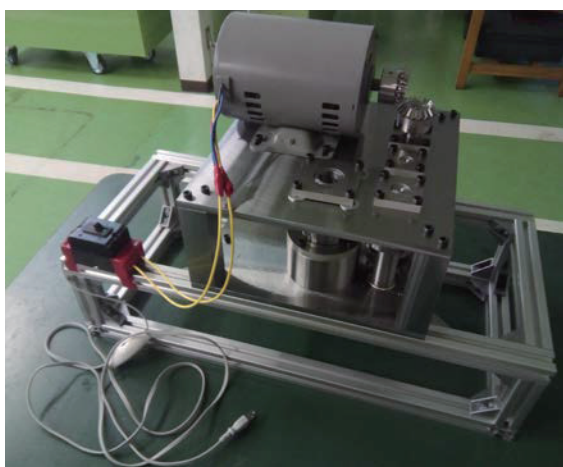


図9 主軸部動力部完成図

7. 材料取り付け部について

主軸への材料取り付け方法も独自で簡易的な方法を考え、容易に脱着ができることからテンションボルトによる材料取り付け方法を採用した。テンションボルトが回転することによりテンションボルトとねじで接合している押さえ口金が上下に動作して、材料の取り付け、取り外しを可能となる。今回使用する材料の直径はφ20mmであるため、材料取り付け部の穴をR10.0mmとすることで、押さえ口金が材料を押さえつけると材料の芯を捕らえる構造となっている。図10に材料取り付け部を示す。

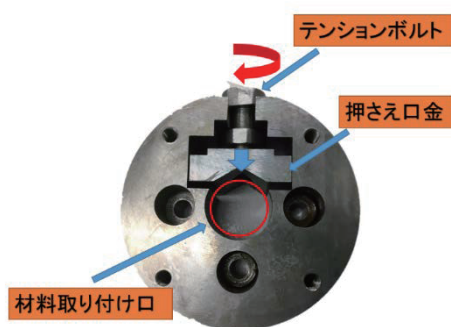


図10 材料取り付け部

8. カム軸用モータについて

3本の工具は3分で加工が終了し停止することを目標とした。1本の切削工具が1分となり、各リンク用カム板は3分で1回転する仕組みが必要であり表3に示すモータの減速比、減速方法が必要となる。

図11にカム軸用モータ部完成図を示す。

表3 カム軸用モータの減速比、減速方法

モータ回転数	減速方法	減速比	回転数
3400 [min^{-1}]	ウォームギヤ	$\frac{1}{10000}$	0.34 [min^{-1}]

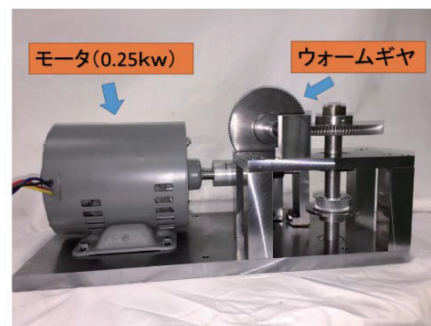


図11 カム軸用モータ部完成図

9. カム軸動力伝達部について

カム軸は各工具がタイムチャートに従った動作が必要である。そのため、動力伝達の方法としては、タイミングベルトを用いた。カム用モータの減速軸と各カム軸をタイミングベルトで繋いだ。図12に動力伝達部、図13に調整後を示す。

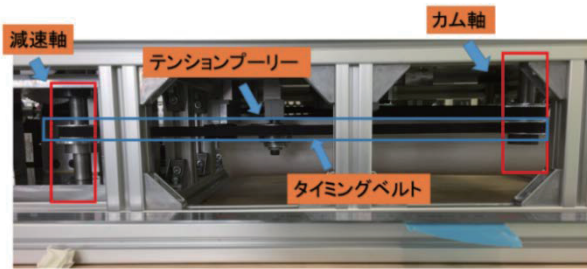


図12 動力伝達部

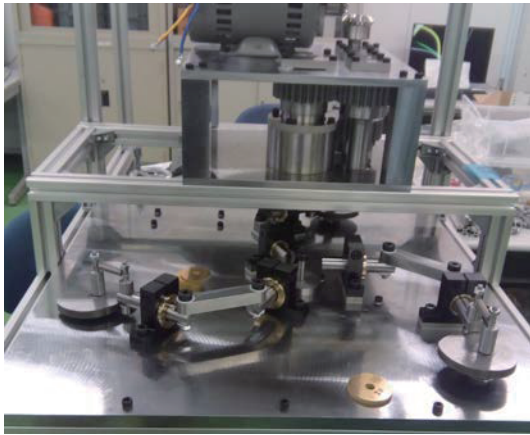


図13 調整後

10. 動作制御部について

動作制御方法として、タイマー制御を用いたりレレー制御にした。回路としてはモータ電源が始動すると回路の内部タイマーがスタートし、時間を計測し、設定時間に時間が経つと、モータ電源が停止する仕組みである。図14にラダー図を示す。

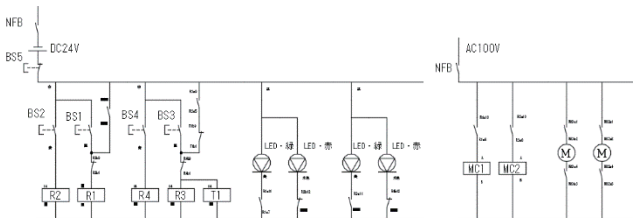


図14 制御ラダー図

11. 課題とまとめ

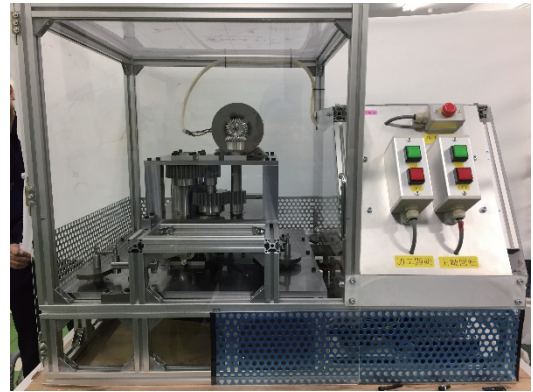


図15 完成品

製作した切削加工機で試し削りを行った結果、図16のように試し削りの切削は行えた。

しかし、びびり現象が発生し、図17のような目標製品の形状まで切削が行えなかった。原因は切削工具のリンク部の摺動時に振動発生したためである。今回は原因が明らかであるためリンク棒の滑り軸受を再製作し、滑り軸受の隙間調整により剛性を上げることで対処は可能である。



図16 試し削り



図17 目標製品
(完成バイトにより普通旋盤で加工)

参考文献

- (1) カム機構図例集 日刊工業出版社

ピッチングマシンの製作

生産技術科 繁永 匠

1. はじめに

近年、若者のものづくりに対する興味関心への低下が懸念されている。その要因として「難しそう」「何が面白いのか分からない」「汚い」などの先行したイメージが強く、また、身近なものづくりを直に感じられるような製品がないことも興味関心の低下に繋がると考えられる。

著者自身も、子供達や20代30代の製造業に関連しない方々と接する機会が多いが、同様の意見をよく耳にする。

しかし、スポーツに興味のある方は、年齢・性別に関係なく多く、これにもものづくりを関連付け出来ないかと考え、その結果ピッチングマシンという機械にたどり着いた。

日本は国技と言っても過言ではない程、野球人気が高く、部活動・クラブチームに所属経験なくとも、バッティングセンターでボールを打った経験のある方は大勢おられる。しかし、投球をしている機械はピッチングマシンであるが、バックネット裏にあるため実際に機械を目にすることは無く、機構及び動力といった機械要素に触れる機会がないことは、ものづくりに興味・関心を抱いてもらえる機会を失うことになり、非常に残念であると感じた。

そこで、身近に機械要素に触れられ、尚且つバッティングも行える機械を製作し、スポーツともものづくりに対して同時に興味・関心を抱いてもらえると考え、設計・製作した。

2. 仕様

本機械は、1人でも汎用性のあるバッティングが可能となるよう、以下の機能を搭載させ、設計・製作に取り組んだ。搭載機能を表1に示す。

表1 搭載機能

屋外での使用
複数球の自動排出
投球間隔の調整
排出球の回転速度の調整
排出球速度の調整

次に本機械の全体仕様を表2に全体図を、図1に示す。

表2 全体仕様

仕様項目	仕様内容
全体寸法 (mm)	横幅約 600mm×奥行き約 1,000mm×高さ 1,600mm
重量 (kg)	約 92kg
モータ電源各種	AC100V
モータ最高回転数	18,000min ⁻¹



図1 全体図

2.1 屋外での使用について

本機械を屋外でも使用できるように、主要な機構部分の外周を透明アクリル板で覆い、内部機構を直接的に見ることを可能とし、短時間の小雨程度の雨量ならば直接的に水気が入らないようにしている。また、打球が直撃する可能性もあることから排出部正

面はアクリル板ではなく、強度及び腐食に強いステンレス板を使用した。

2.2 複数球の自動排出について

バッティングは1球ごとにボールをセットしているとは集中できず、練習効率も悪いことから、複数球を1回の起動で排出可能とする機構とした。複数個のボールをセットし、一定間隔でボールを排出できるようにステッピングモータ機構を利用した装置を設置した。

2.3 投球間隔の調整

実際にボールを投げる投手の投球間隔は、投手によって異なるため、間隔の調整を2.2で述べたステッピングモータにて調整可能とした。

2.4 排出球の回転速度の調整について

実際に投球をするときには、指先にてボールを押し出し、ボールに回転をかけていく。その回転数が多ければ多いほど、揚力を受けながら進むため、ノビのあるボール(キレのあるボール)となる。

しかし、投手によってこの回転数は異なることから、自在に変更できるように、上下独立のローラで回転数を設定し、「キレのあるボール」～「回転のないボール(別名:ナックルボール)」を実現可能とした。

ボールの回転数は、プロ野球の投手平均が $2,200\text{min}^{-1}$ 程といわれているため、仮にその設定を行う場合には、上下のローラ回転数を理論上 $2,200$ 回転差にすると良い。

2.5 排出速度の調整について

上下独立のローラで回転数を設定していることから、それぞれの回転数を上げることにより、球速の増減を調整することができる。

今回はローラ直径 190mm 、想定球速 110km/h とすると以下のような回転数の計算式となる。

$$110\text{km/h} = 1.38 \times 10^6 \text{mm/min}$$

$$190\text{mm} \times \pi = 596.9 \text{mm}$$

$$1.38 \times 10^6 \text{mm/min} \div 596.9 \text{mm} = 2311.8 \text{min}^{-1}$$

そのため、ローラ回転 $2,200$ 回転差及び、球速 110km/h を可能にするため、下側ローラ $3,243$ 回転、上側ローラ $1,234$ 回転と設定する。

しかし、これは理論値のため、ローラの摩擦係数、ボールへの動力伝達効率によって実際の球速は減少すると予想される。

3. 主な動作の流れ

今回製作したピッチングマシンの動作の流れについて、以下のような順序になる。

3.1 排出球の設置

ボールの設置は、集中し打撃練習ができるよう、 10 球を設置できる設計とした。

ボール設置状況を図2に示す。

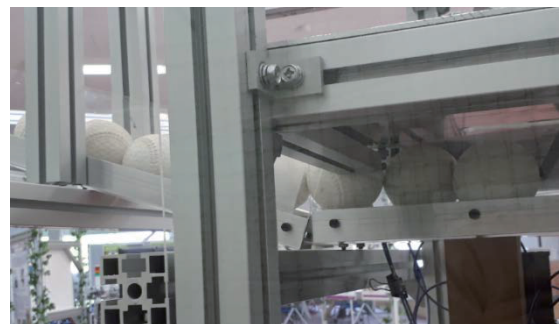


図2 ボール設置状況

3.2 投球間隔時間ごとのボールの転送

2.3で述べたように、投球間隔をステッピングモータで調整可能とした。

調整方法は、ステッピングモータのドライバーに設置されている分解能を設定することで、1ステップあたりの回転角を設定するというものである。

分解能とは1ステップあたり何度回転するかという調整機能のことを示す。

本装置の分解能の設定状況を図3に、分解能の設定登録番号表を表3に示す。

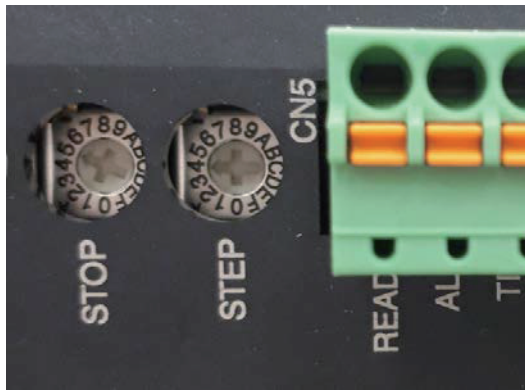


図3 分解能の設定状況

表3 分解能の設定登録番号表

STEP	ステップ角(deg)	分解能
0	0.72	500
1	0.36	1000
2	0.288	1250
3	0.18	2000
4	0.144	2500
5	0.09	4000
6	0.072	5000
7	0.036	10000
8	0.0288	12500
9	0.018	20000
A	0.0144	25000
B	0.009	40000
C	0.0072	50000
D	0.00576	62500
E	0.0036	100000
F	0.00288	125000

また、ステッピングモータの先端軸部分に、ボールをせき止める羽が取り付けられており、ステッピングモータのステップごとに羽が回転し、ボールを転送する仕組みとなっている。

羽部品は、ボールが1度に2球入らない幅と長さにし、羽の先端を丸くしてボールが引っかからず、すべるような設計をした。

図4に、ボールが羽によってせき止められている状況を示す。

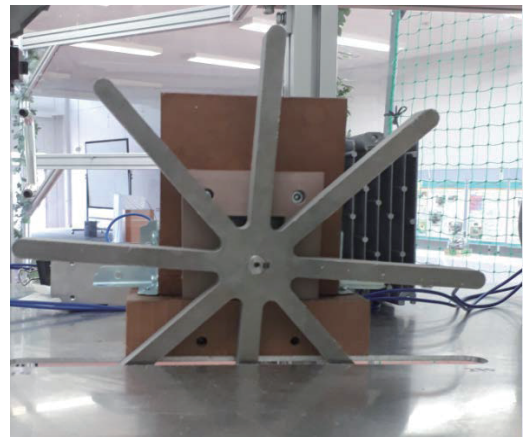


図4 ボールの転送状況

今回は、ボールを約15秒に1球排出するよう設定する。その為STEPの設定は以下のような計算を行う。

西日本の周波数60Hzの為、1周期の時間は
 $60\text{Hz} = 1/60 \text{ 秒}$

1周期 (1ステップ) = 0.016 秒/周期 (ステップ)

15秒に1球排出するためには、1ステップ0.016秒のため、 $15 \text{ 秒} / 0.016 \text{ (秒/ステップ)} = 937 \text{ ステップ}$

1球排出するには、羽が約 115° 移動する必要があるため、 $115^\circ / 937 \text{ ステップ} = 0.12^\circ / \text{ステップ}$ となる。

よって、表3のステップ角は、値が最も近い0.144のSTEP4に設定することが好ましい。

3.3 ボールの排出

ボールの排出には、回転させた樹脂製ローラ2つの間にボールを送り、回転に巻き込ませて発射するという設計にした。

2.4及び2.5で述べたように、ボール回転数の調整及び、ボール排出速度の調整を可能とするた

め、各ローラにモータ及びインバータを設置し、それぞれで回転速度を設定可能としている。

また、ローラ及びモータの設置状況を図 5 に示す。

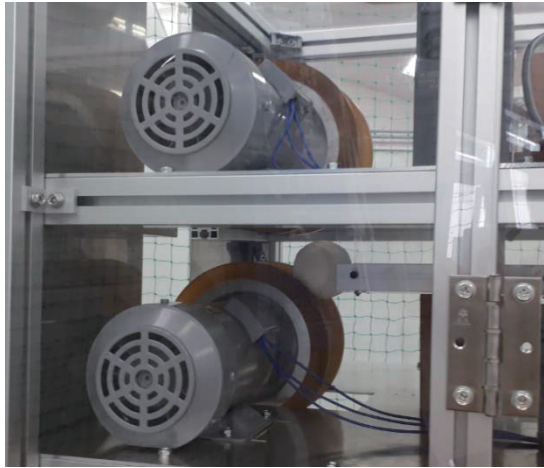


図 5 ローラ及びモータ設置状況

4. モータ制御方法

図 5 ローラ及びモータ設置状況より、スペースの問題から、上下のモータは同一方向に設置をしている。

モータは、通常左周り（反時計回り）で回転する為、下部のモータはボールが逆流をしてしまう回転方向となる。そのため下部のモータと共に設置してあるインバータの設定を変更し、回転方向を右回り（時計回り）とする。

インバータのパラメータ設定内容を表 4 に示す。

また、インバータ及びモータの接続状況について図 6 に示す。

表 4 インバータのパラメータ設定内容

パラメータ番号	名称	初期値	設定範囲	内容
40	RUN キー一回転方向選択	0	0	正転
			1	逆転

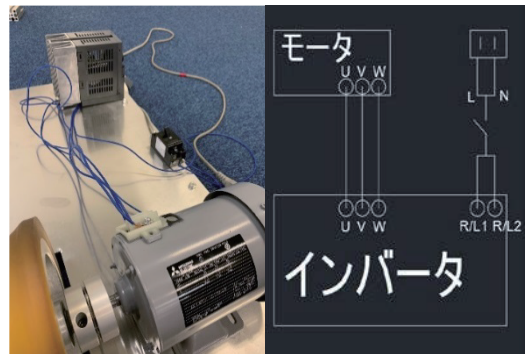


図 6 インバータ及びモータの接続状況

5. 試運転及び試し打ち

試運転及び試し打ちを行った状況を図 7 に示す。



図 7 試運転及び試し打ち状況

実際にコントロールよく投球できているか、球速は計算通りか、投球間隔は計算通りかと言う点を確認したところ、投球間隔時間 10 球平均 16.3 秒と予定通りになり、コントロールにおいても多少のばらつきはあるものの、ストライクゾーンに入っており、合格と言える。

しかし、球速については計算の半分にあたる 65km/h しか出なかったため、回転速度調整、ローラ間距離の修正をおこなったが、改善されなかった。

原因としては、ローラとボールの滑り、排出時のモータ取付け台の変形によるローラ間距離の変動が影響していると考えられるため、躯体の強度及びローラ材質の再検討が必要となる。

参考文献

- (1) base ball futures 著「野球の未来を作る」
- (2) Orientalmotor 著「データメモリ型コントローラ 取扱い説明書」
- (3) Orientalmotor 著「RK II シリーズ パルス入力タイプ取扱い説明書」
- (4) 新免 浩 榊原 昭宏著「5 相ステッピングモータユニット RK II シリーズの特徴」

水耕栽培装置の製作

電子情報技術科 古元 克彦

1. はじめに

植物の育成に必要な要素は、葉で光合成を促すための光と、根から吸収される養分や水である。水耕栽培は、光合成に必要な光を照明で供給し、さらに根から吸収させる養分を栽培液で提供し、手軽に美味しい野菜を作ることができる栽培方法である。また、季節や天候の影響を受けず、無農薬で安全に作れるといったメリットがあり多くの人に注目されている。

電子情報技術科では、主にマイコンの活用方法や電子回路を学んでいる。水耕栽培装置はこれらの内容を活かした教材になると考え、総合制作実習において学生と共に設計・製作に取り組んだ。

2. 水耕栽培装置について

レタスなどの葉野菜を栽培できる装置を製作した。図1及び図2に示すように、植物の光合成を促すための光を発する照明装置は、赤・青の2色のLEDを使用し、水・養分の供給は、水道水に市販の液体肥料を加えた栽培液を入れる育成容器を用意した。さらに、栽培液には溶存酸素の供給も必要となるので、酸素の供給は、市販の金魚の育成などに使用する小型のポンプを使用した。

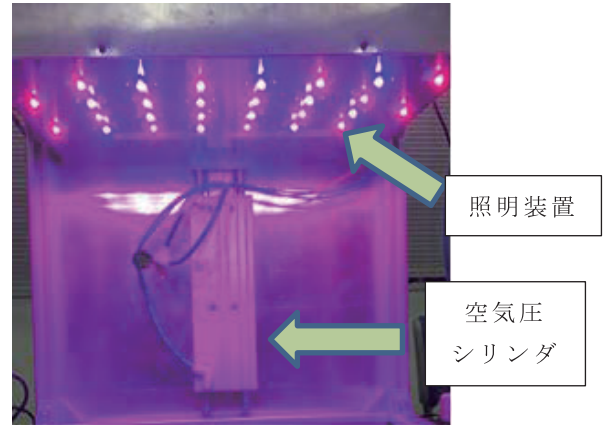
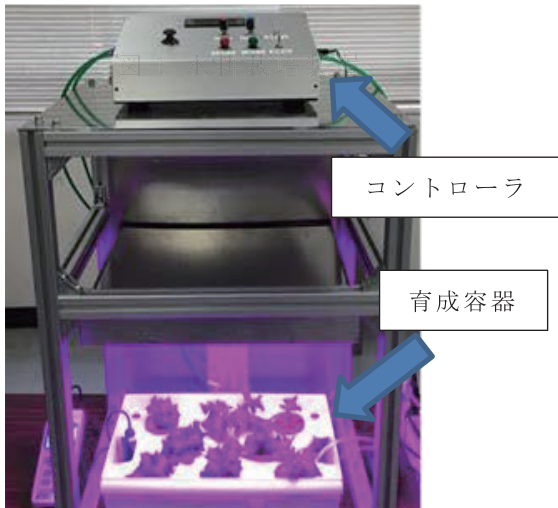


図2 水耕栽培装置の照明部

照明装置は野菜の成長にしたがって、手動での高さ調整が必要と考え、空気圧シリンダを用いて昇降が可能となっている。この昇降操作やLEDの点灯時間設定、明るさ調整はすべてコントローラで行う。

3. 照明装置

① LEDの選定

植物の育成には最低でも1000~1500LUX程度の光量が必要とされている。また、植物の光合成や野菜の成長には赤色、青色の光が必要であり、各色の光の強さが野菜の味や栄養成分に影響する。様々な機関の実験結果から、植物の光の吸収波長のピークは2箇所あり、440nm付近の青色と660nm付近の赤色であることが分かっている。これらの理由から、照明には、波長が660nmの赤色LEDと470nmの青色LEDを使用した。表1に選定したLEDの定格を示す。

表1 選定したLEDの定格

LED色	波長 [nm]	順方向電流 [mA]	順方向電圧 [V]	半減角 [度]
赤	660	350	2.5	140
青	440	350	3.3	120

② LED の配置と外観

LED の配置は 50mm 間隔とし、赤色 LED を 16 個、青色 LED を 12 個使用した。図 3 は製作した照明装置の外観である。

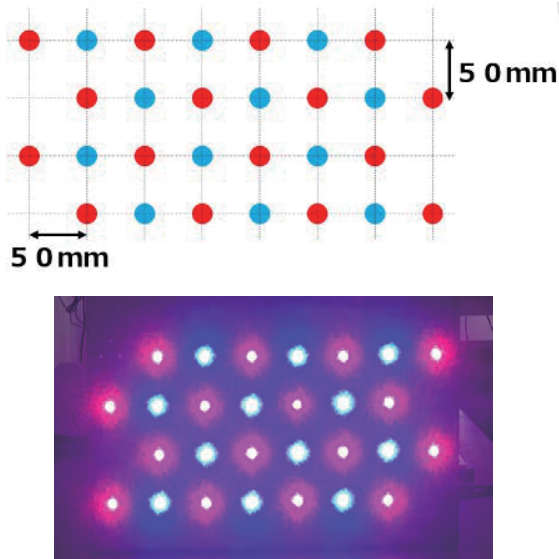


図 3 照明装置の外観

赤色は 8 個を直列に接続し、これを 2 つ並列接続した回路を製作した。また、青色も同様に 6 個を直列に接続し、これを 2 並列に接続した回路とした。なお、電流制限は定電流ダイオードで行った。(図 4)

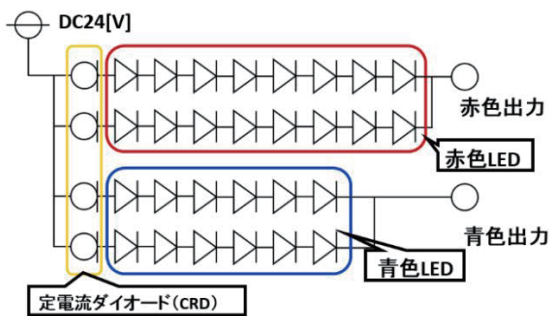


図 4 LED 照明の回路図

4. コントローラ

① コントローラのシステム構成

コントローラの外観を図 5 に示す。左部のジョイスティックは、LCD のカーソル移動と照明の高さ調整の指示に使用する。赤と青のボリュームは各色に対応する LED の調光に使用する。調光は PWM で行う。また、LCD の設定で表示値をインクリメントする +ボタンと

デクリメントする -ボタンは押しボタンで、LCD に表示される値の増減や、画面切り替えで使用する。さらに、コントローラ用の DC5V 電源投入用のトグルスイッチと電源表示用の LED を取り付けた。

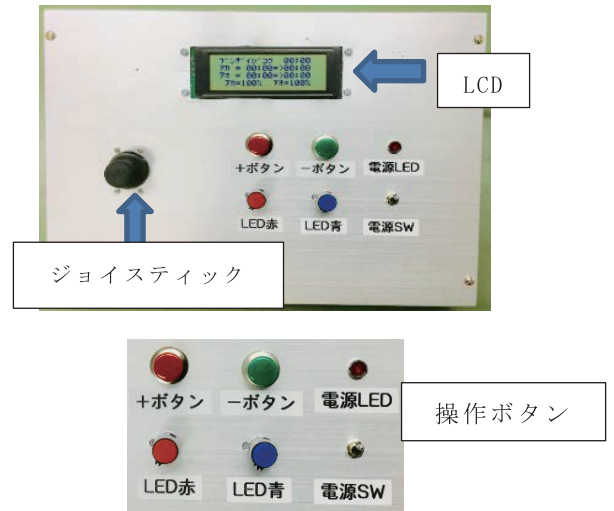


図 5 コントローラの外観

コントローラのシステム構成図を図 6 に、回路図を図 7 に示す。



図 6 コントローラのシステム構成図

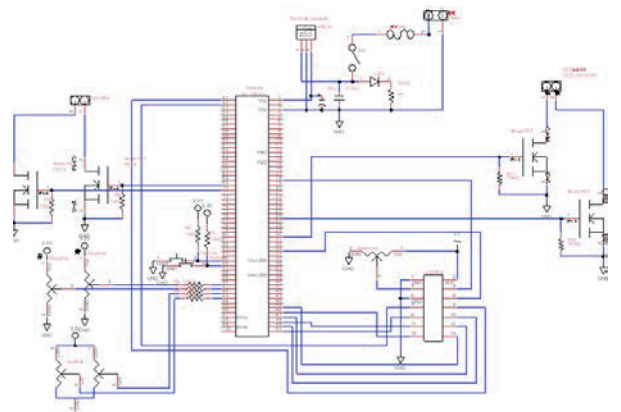


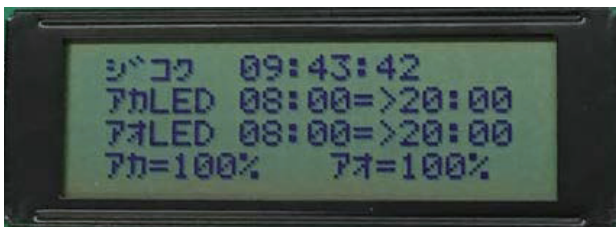
図 7 コントローラの回路図

② LCD の表示画面

LCD の表示画面は 3 画面構成となっており、この表示画面の状態により、コントローラの操作方式を表 2 のように変更している。

表 2 各 LCD 画面の表示状態

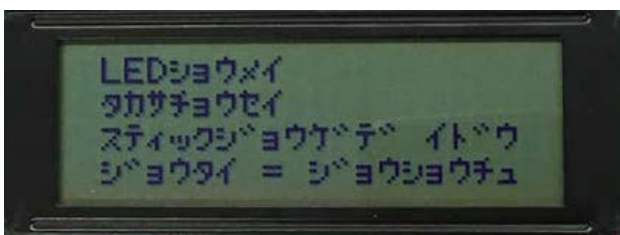
画面番号	表示項目
1	<ul style="list-style-type: none"> LED の点灯時間 LED の出力状態 (PWM の Duty 比)
2	<ul style="list-style-type: none"> 現在時刻の設定 LED の点灯・消灯時刻の設定
3	<ul style="list-style-type: none"> シリンダの昇降指示



<画面番号 1 時刻表示画面>



<画面番号 2 時刻設定画面>



<画面番号 3 シリンダ動作画面>

図 8 LCD 表示画面

5. 栽培実験及び試食

表 3 の環境において行った栽培実験の様子と、成長したレタスの状態を図 9 に示す。

表 3 栽培実験の環境

項目	値	備考
温度	22℃	エアコン使用
栽培液肥料濃度	1.6mS/cm	導電率測定
照明照度	10250LUX	中央付近
点灯時間	8:00~20:00	
栽培日数	45 日間	12/16~1/31

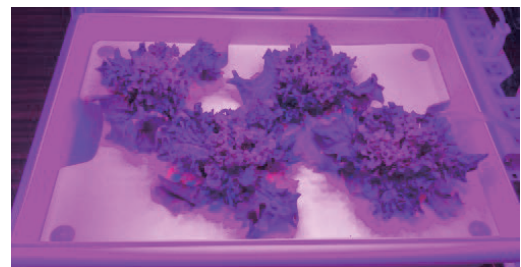
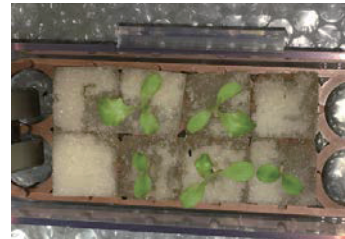


図 9 栽培実験の様子

職員や学生に試食をしてもらい、味に関する感想を聞いたところ、野菜の味が濃く、おいしいという意見が多かった。また时期的に葉野菜の価格が高騰している時期でもあったため、皆さんに喜ばれた。



図 10 試食の様子

6. 使用機器

表 4 に使用した主要機器を示す。

表 4 主な使用機器

名称	型番
マイコン	ルネサス RX62N
赤色 LED	OptoSupply OSR7XNE1E1E
青色 LED	OptoSupply OSB5XNE1C1E
定電流 ダイオード	ON Semiconductor NSI50350AST3G
ジョイスティック	Parallex Axis Joystick (#27800)
空気圧 シリンダ	SMC SY3420-5L-M5-F2
電磁バルブ	SMC MLQPM20-200-B-M9B4

参考文献

(1) リビングファーム

<http://www.living-farm.com/category/1757926.html>

(2) 秋月電子通商

<http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx>

(3) 水耕栽培ナビ

<http://www.suikou-saibai.net/blog/2014/12/18/93/2>

(4) 高輝度/パワーLEDの活用テクニック

トランジスタ技術編集部 CQ 出版社