

パーソナル・ファブリケーション教育のための歩行ロボット教材の開発

中村 陽介* 大西 一生* 西村 厳生*

Development of walking robot for Education of the Personal Fabrication

Yosuke NAKAMURA, Kazuo ONISHI, Genki NISHIMURA

ABSTRACT

In recent years, by the spread of 3D printers and Arduino such as an easy-to-use microcomputer board, making things become familiar and personal fabrication has been actively carried out all over the world. On the other hand, classes of 3D-CAD design and electronic handicraft is not enough in this college, so personal fabrication is difficult for students. In this study, I developed a walking robot by using Arduino, 3DCAD design and 3D printer for the purpose of improving the lack ability of students.

KEY WORDS: Personal Fabrication, Theo Jansen's linkage, walking robot

1. はじめに

近年のものづくりは大きく様変わりを見せている。「Arduino」に代表される容易に扱えるマイコンボードが現れ、電子工作が劇的に容易になった。また3D-CADによりPDCAサイクルをパソコン内で行えるようになり製作コスト・期間が大幅に圧縮された。立体データをそのまま出力する3Dプリンタも徐々に普及し、ものづくりは身近でお手軽なものとなりパーソナル・ファブリケーション:「欲しいものは何でも自分で作る」が世界中で広く行われている¹⁾。

手軽になったものづくりを学ぶことで、ふと浮かんだ自由なアイデアを形にすることができるようになる。その過程で新たな工作の知識を得ることで、ものづくりの幅が広がり、新たなアイデアが湧き上がる (Fig. 1)。この循環の中でもものづくりの楽しさを知ること、生涯にわたり趣味・生き甲斐として自発的に学びを深めることもあり、この取り組みは本校が取り組んでいるアクティブラーニングの目指す所と一致する。

一方、本校の機械工学科のものづくりに関するカリキュラムを見ると、工作実習が1学年から4学年まであり機械加工の時間は充実しているが、設計製図は5年間あるもののほとんどが「手描き製図」のみであり3D-CADは工作実習のわずかな時間でしか取り扱っていない。また機械工学科4年生を対象とした電子工作

のアンケートでは「マイコン工作をしたことがあるか」の問いに「ある」と答えたのが9%、「昔やったが忘れた」が25%、「ない」が66%であった。また機械制御の基礎技術である「モータの可変速制御」が「できる」と答えた学生は0%であった。これによりパーソナル・ファブリケーションに必要な3D-CADと電子工作に関する教育が不足していることが明らかになった。

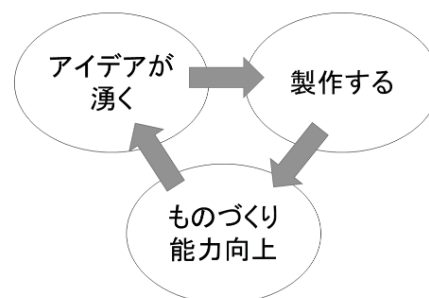


Fig. 1 ものづくりによる循環

そこで本研究ではArduinoなど扱いやすく汎用性の高いデバイスを取り入れ、3D-CADや3Dプリンタを用いて作り上げる8足歩行ロボット教材を開発する (Fig. 2)。これにより機械工学科に不足しているマイコン工作やモータの可変速制御が学修できるとともに、3D-CAD設計の能力も向上させることを目的とする。

*技術教育支援センター 第1班 (機械)

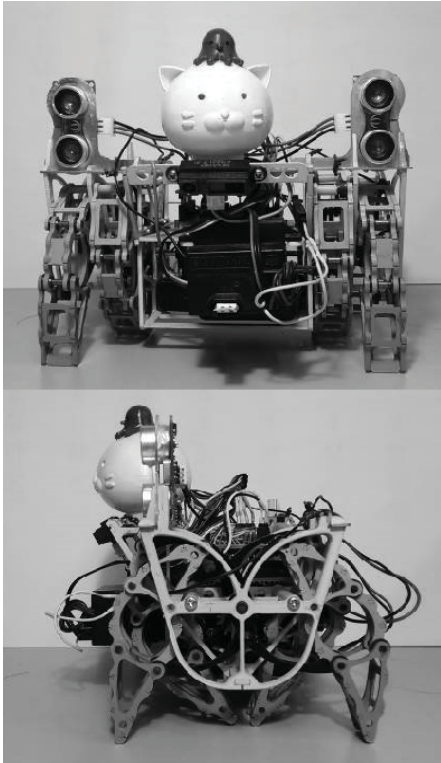


Fig. 2 8足歩行ロボット「たこにゃん」

本稿では開発した教材を紹介し、学生のアンケート結果とともに評価する。

2. 歩行ロボットの概要

パーソナル・ファブリケーションのきっかけを与える教材となるよう、以下のコンセプトで製作した。

- ・学生の興味を引く、魅力的なもの
- ・3D-CAD を活用した設計を学べるもの
- ・電子工作を学べるもの
- ・低予算で作れるもの

学生の興味を引くものとするために「生き物のような歩き方をするロボット」を開発する。デザインは一般的に好感を持つ人の多い「ねこ」の頭部に明石名物の「たこ」が乗ったものとする。名前は覚えやすく呼びやすく愛着が湧くよう「たこにゃん」という名前とする。

生物のようななめらかな歩行は「テオ・ヤンセンリンク²⁾」と呼ばれる歩行機構により実現する。このリンクの設計に 3D-CAD を用いることにより、

- ・PC 画面内でメカニズムの挙動を確認できる
- ・寸法や形状の修正が容易である
- ・部品同士の干渉のチェックが容易である

等の 3D-CAD 設計の利点を学習できるものとする。

操作方法は手動制御と自動制御をスイッチで切り替えることができるものとする。手動制御はカーラジオの無線通信と Arduino の組み合わせ、自動制御は超

音波距離センサと Arduino の組み合わせにより実現する (Fig. 3, Fig. 4)。Arduino を用いることにより電子工作の入門に適した教材とする。

Table 1 に主要部品と価格を示す。アルミ板 (7,000 円) や電子部品 (2,000 円) を合わせて 25,000 円程度の予算とする。

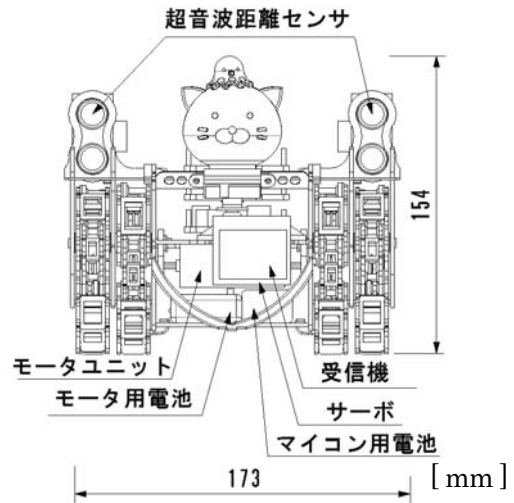


Fig. 3 「たこにゃん」正面図

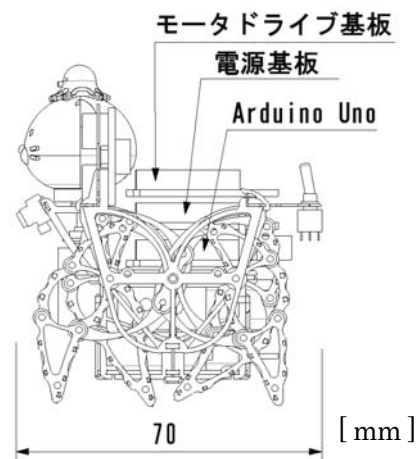


Fig. 4 「たこにゃん」右側面図

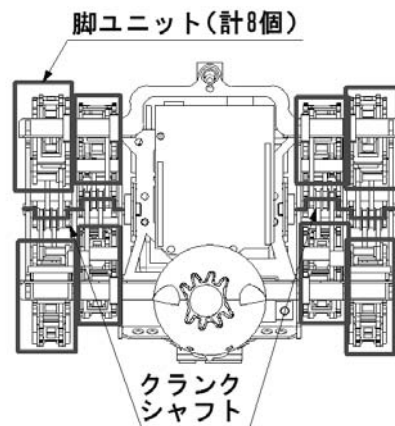


Fig. 5 「たこにゃん」平面図

Table 1 主要部品と価格

品目	型式(価格・円)	個数
ダブルギヤボックス	タミヤ Item No: 70168 (700)	1
電池ボックス	秋月電子 P-00735(200)	1
角形電池スナップ	Keystone 233 006P(200)	1
マイコンボード	Arduino Uno R3(3,000)	1
モータドライバ	TA8429HQ(400)	2
超音波距離センサ	SeeedStudio SEN136B5B(500)	2
フルカラーLED	OptoSupply OSTA-5131A(50)	2
プロポ	タミヤ TTU-03(4,000)	1
受信機	タミヤ TRU-02(3,000)	1
サーボ	タミヤ TSU-01(3,000)	1
合計金額	16,000 円	

3. 機構

3・1 テオ・ヤンセンリンク

Fig. 6 は今回用いる歩行機構である。A がモータの回転中心となり、その回転が足先となる H に伝わり歩行を行う構造となっている。オリジナルのテオ・ヤンセンリンクを元に SolidWorks でリンク長さを調整し決定する。ジョイント C はロボットのフレームに固定される。ジョイント B は、ジョイント A を中心に回転する。∠DCF と ∠GEH は直角とする。θ を 15° ずつ増加した時の足先の点 H の軌道をプロットしている。θ が 90° から 270° までの 180° の位相においてほぼ直線の軌道となり、この間は足先が接地する。リンクの長さを Table 2 に示す。左右に 4 個ずつの脚を備え、合計 8 脚で歩行する (Fig. 5)。これにより上下動の少ないめらかな歩行が可能となる。また左右の脚を別々に制御し、前進、後進、左右旋回、その場旋回が可能となる。

3・2 ジョイント部

リンクのジョイント部の軸は φ3 の鉄の棒を使用し、軸受けにフランジブッシュを用いる。剛性を高めるために隙間は 0.02mm で設計し、片持ちを避けて両持ちとなるよう設計する。

3・3 動力とクランクシャフト

動力はタミヤのダブルギヤボックスを減速比 114.7 : 1 で使用する。リンク AB はクランクシャフトとなる。そのシャフト部には外径 φ3mm の鉄六角棒を使用し、t2mm のアルミ板をワイヤ放電加工したリン

クの六角穴に挿入することにより、必要十分な剛性を持ち、安価で簡易に製作できるものとする。外径 φ3mm の六角棒はタミヤ等から発売されている工作キットに広く用いられているもので入手性が良く、また φ3mm のフランジブッシュを用いることで滑らかに回転するため高価なベアリングが不要となる。

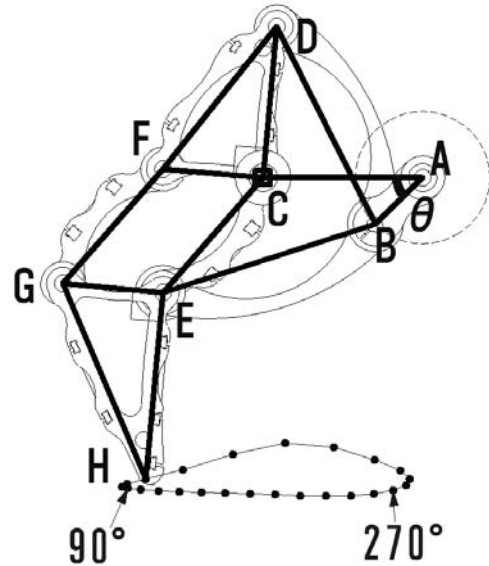


Fig. 6 テオ・ヤンセンリンク

Table 2 リンク長さ

リンク名称	リンク長さ (mm)
AB	12
AC	28.6
BD, BE	40
CD, CE, FG	27.5
EH	34

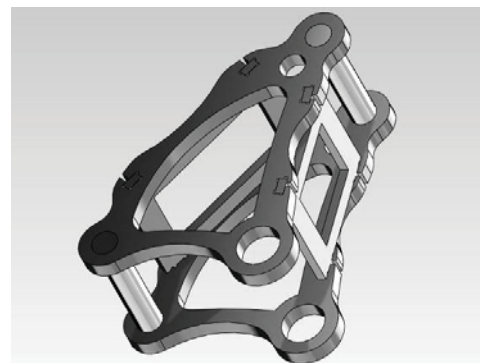


Fig. 7 リンク部の部品組み立て

3・4 リンク部

リンク部の設計は、重量・剛性・製作の容易性を考

慮し、板厚 2mm のアルミ板をワイヤ放電加工したもの
のを立体パズルのようにはめ合いで組み立て、接着剤
で固定するという方法を採用する (Fig. 7).

3・5 3D-CAD 設計

設計には 3D-CAD ソフト SolidWorks2011 を用いる。
その際、

- ・設計で重要なところからモデリングする
- ・設計基準を明確にする
- ・「1 フィーチャー= 1 設計機能」と捉える

という設計の定石³⁾を徹底し、効率的で設計変更が容
易なモデリングを行う方法を指導できる内容とした。

3・6 部品加工

今回製作するロボットは立体パズルのように組み立
てる部品が 178 点と多く、ほとんどの部品に「はめ合
い部」があるため複雑な形状を高精度で加工する必要
がある。そのため手仕上げや汎用工作機械での製作は
難易度が高い。そこで 3D-CAD の 3 次元データから
CAM ソフト (MasterCamX6) を用いて加工プログラム
を生成し、マシニングセンタとワイヤ放電加工とい
う NC 加工機を用いて多数の部品を一括で加工する
(Fig. 8)。これにより実習授業ではあまり扱えない
「CAD-CAM」, 「多数個部品の一括加工」を体験でき
る。

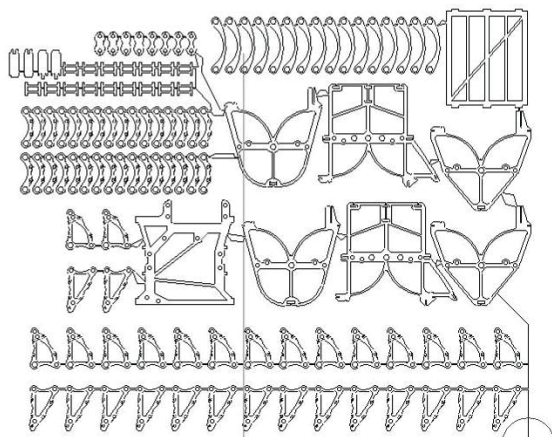


Fig. 8 ワイヤ放電加工機の加工経路例

4. 電子制御

Fig. 9 にロボットの制御部の概要を示す。また、
Arduino のピンの接続先を Table 3 に示す。主要部分
であるモータ駆動回路、手動制御、自動制御について、
以下に述べる。

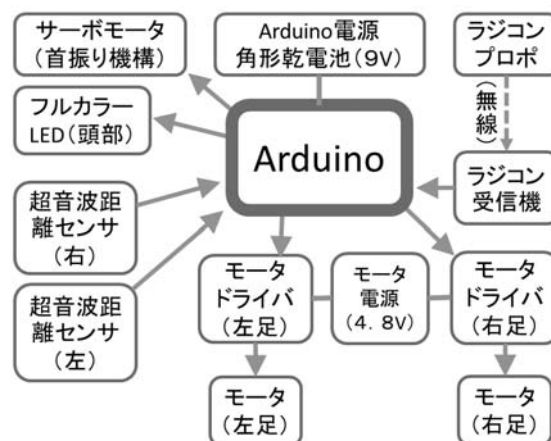


Fig. 9 電子制御概要

Table 3 Arduino のピンの接続先

Arduino	I/O	接続先
12	IN	受信機からのホイール信号
13	IN	受信機からのトリガ信号
9	OUT	赤色 LED
10	OUT	青色 LED
11	OUT	緑色 LED
2	OUT	モータドライバ(右)1
4	OUT	モータドライバ(右)2
5	OUT	モータドライバ(右)PWM
7	OUT	モータドライバ(左)1
8	OUT	モータドライバ(左)2
6	OUT	モータドライバ(左)PWM
3	OUT	サーボ
15	IN	超音波距離センサ(右)
14	IN	超音波距離センサ(左)
19	IN	ディップスイッチ 1
18	IN	ディップスイッチ 2

4・1 モータ駆動回路

Fig. 9 のモータドライバは DC モータ用フルブリッ
ジドライバ TA8429HQ を用いてユニバーサル基板で
製作する⁴⁾。このドライバは安価で広く普及しており、
正転・逆転、PWM 制御を単純な回路で実現できるも
のである。

4. 2 手動制御

「たこにゃん」の手動制御は、カーラジオの 2ch
プロポと受信機を流用し、受信機からの制御信号を
Arduino で読み込み、「たこにゃん」用の制御信号に変
換して行う。受信機からの制御信号は周波数 20msec
のパルス信号である。パルス幅はプロポのスティック

の傾きにより、 $1.5\text{msec} \pm 0.5\text{msec}$ と変化する⁵⁾。

この信号を Arduino で読み込みモータ駆動用の信号に変換し、モータドライバに出力する。

4・3 自動制御

Fig. 3 に示す「たこにゃん」の両肩部に前向きに取り付けられた超音波距離センサにより前方の物体までの距離を読み取り⁴⁾⁶⁾、その値を元に物体に追従する。

Fig. 10 に測定距離と Arduino からモータドライバへ出力する信号の関係を示す。出力信号は±255 の範囲で変化させることができ、-255 は最大速度の後進、255 は最大速度の前進、0 は停止である。右側の超音波距離センサの値を右脚のモータと、左側の超音波距離センサの値を左脚のモータと、それぞれ関係付ける。これにより測定距離が 150mm 以下の場合は後進、150-170mm の場合は停止、170mm 以上では前進とする。これにより前方にある物体との距離を 150-170mm に保つように前進後進を行う。また右前方に物体がある場合、左側センサと比べて右側センサの測定距離が小さくなる。すると右脚モータの回転が左脚よりも遅くなりロボットは右へ旋回し物体の方を向く。このようにして追従動作を実現する。

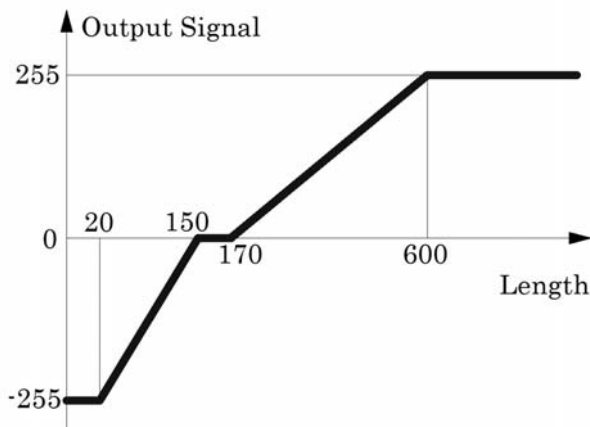


Fig. 10 距離センサとモータ出力の関係

5. 動作確認

歩行ロボットを製作した後に実施した動作確認テストについて以下に記す。

5・1 手動制御

プロポを用いた手動制御については、前進、後進、左右旋回、その場旋回が可能であることを確認した。また、速度 0 からフルスロットルまで、滑らかに速度を変化させられることを確認した。

5・2 自動制御

追従させる目標物については、布など柔らかい素材は超音波を吸収してしまうためセンサによる距離測定ができず不適當である。また目標物が小さすぎる場合、Fig. 11 に示すセンサの死角に入ってしまうため追従動作ができない。よって追従する目標物は超音波を反射する素材で、死角よりも大きな物体にする必要が有ることがわかった。そこで入手しやすさも考慮し 2l ペットボトルを追従目標として使用することとした。

追従目標がない状態では最大速度で前進を行った。右前方 1m 付近に追従目標物を置いたところ、徐々に右方に向きを変えながら減速し追従目標物の手前およそ 170mm で停止した。そこから追従目標物を約 100mm/sec 程度の速度で近づけたり遠ざけたりすると、ロボットは 150-170mm の距離を保つように前進後進を行い、左右に動かすとロボットは追従目標に向かって向きを変えた。さらに前後左右にランダムに動かすとロボットは目標物に追従する動きを見せた。しかし目標物の速度を徐々に上げてゆくと追従できなくなることが徐々に増え、500mm/sec 以上で動かすと追従が困難となった。また狭い部屋の中で実験した場合、追従目標物以外の壁などにも反応してしまうため目標物のみを追従させることが困難であることがわかった。

これにより「広い場所で」「目標物を 100mm/sec 程度の速度で移動させた場合」という条件下であれば追従動作できることを確認した。今後はこれらの課題を踏まえ、より多様な環境に対応できるよう改良を進めていく。

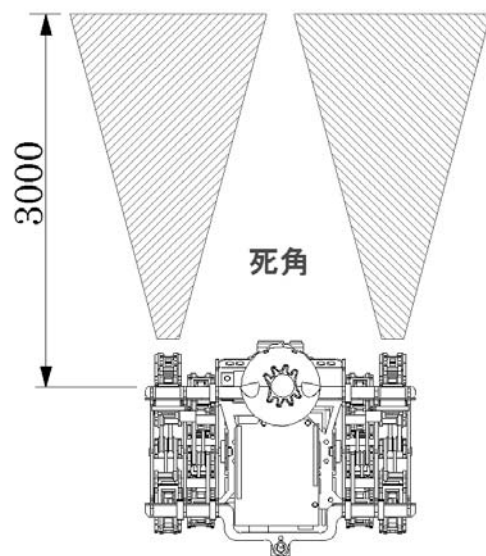


Fig. 11 センサの測定範囲と死角

6. 成果と反省

開発終了時点で、開発に参加した機械工学科の学生3名に対してものづくり教育に関するアンケートを実施した。

電子工作の理解度については、「Arduinoを使った電子工作を習得できた」:100%、「モータの可変速制御を習得できた」:100%、「センサの使い方がわかった」:100%という結果を得た。またその他に「電子工作がこんなに簡単にできるというのが驚きだった」、「Arduino とモータとセンサの組み合わせでいろいろ作れると思った」という意見も見られ、Arduino が電子工作の入門に適していることが確認できた。

3D-CAD 設計の理解度については、「3D-CAD を使ったリンク機構の設計ができる」:100%、「3D-CAD 設計の定石を理解できた」:100%という結果となった。その他、「今まで 3D-CAD で設計していたとき、大量にエラーが出ていたがその原因がわかった」、「3D-CAD の便利さが実感できた」との意見を得た。

これにより「機械工学科に不足しているマイコン工作やモータの可変速制御が学修できるとともに、3D-CAD 設計の能力も向上させる」という本研究の目的を満たす教材となったことが確認できた。

また、3名の学生はその後、6軸センサを用いた倒立振り子や距離センサとブザーを組み合わせた電子楽器などを自主的に製作しており、本研究がものづくりにのめり込むきっかけとなったことが伺えた。

その一方、「課題が難しすぎた」、「期間が長かった」、「学ぶことが多く忙しかった」との意見もあり、より易しい教材にする必要性も感じた。

7. おわりに

3D-CAD や Arduino により手軽になったものづくりを学生に体験させ、その楽しさを実感させ、新たな創作意欲を湧き起こさせることを目的とし、8足歩行ロボットを学生とともに開発し、アンケートにより効果を評価した。課題が高度すぎたり、期間が長過ぎたりとのマイナスの意見もあったものの、今後のものづくりにつながってゆくようなアンケート結果を得ることができた。今後、より短期間で製作が容易な教材を開発し、より多くの学生にもものづくりに触れてもらえるようにしたい。

参考文献

- 1) 田中浩也:「FabLife デジタルファブリケーションから生まれるつくりかたの未来」, オライリー・ジャパン, 2012.
- 2) 大人の科学マガジン編集部:「大人の科学マガジン Vol.30 (テオ・ヤンセンのミニビースト)」, Gakken Mook, 2011.
- 3) 独立行政法人 雇用・能力開発機構:「設計ツールを活用した製品設計技術 (部品設計編)」, pp.124-134, 2009
- 4) 小林茂:「Prototyping Lab 「作りながら考える」ための Arduino 実践レシピ」, オライリー・ジャパン, pp.116-120, pp.230-241, 2012.
- 5) Kengo HORIUCHI:「Hori's Library」,
<http://berry.sakura.ne.jp/index.html>
- 6) ROHM:「はじめての電子工作超入門 第16回 Arduino でパーツやセンサを使ってみよう～超音波モジュール編」,
<http://deviceplus.jp/hobby/entry016/>