

高専生による2輪型および慣性ロータ型の 倒立振り子ロボットの作製

浜崎 淳^{1,a)} 繁内 宏治¹ 坂本 寛和¹

概要：本校では5年の教育課程のうちの4年次前期において、「ものづくり実習」という実習時間がある。この実習では担当教員に複数の学生が配属され、設定課題（または自由課題）にしたがってものづくりをおこなう。本研究室では倒立振り子ロボットを作製する課題を設定し、学生が主体的に2輪型および慣性ロータ型のロボットを作製した。2輪型および慣性ロータ型の2台のロボットはともに平面上での倒立は10分以上可能であった。本報告では実践的にものづくりのできる専門教育課程、ロボットの制御方法および作製したロボットについて述べる。

1. はじめに

本校の教育課程では4年次前期に「ものづくり実習」と呼ばれる半期にわたる実習がある。これは、国立高等専門学校機構が掲げる「実験・実習を重視した専門教育を行い、大学とほぼ同程度の専門的な知識、技術が身につけられる」という高等専門学校（以下高専）の特色 [1] に沿った実習である。この実習では、本校電子制御工学科の教員の研究室に配属された学生がそれぞれの教員から与えられた課題または自由課題に沿って、何らかのものづくりを実施する。1人の教員には3～4名の学生が配属され、学生は週1回に約4時間の作業をおこなう。半期の授業回数を15回とすると、約60時間の作業時間を確保している。作製した作品は学校祭で発表することになっており、正規の実習時間からさらに20時間程度の作業をおこなう学生もいる。

本研究室では、ロボットが自律してバランスを保つ倒立振り子ロボットを2台作製した。ひとつは2輪型で、もうひとつは慣性ロータ型である。重力によって前後に倒れようとする機体を前後に移動することによってバランスを保つものが2輪型倒立振り子である。また、左右に倒れようとする機体をモータのトルクを使ってバランスを保つものが慣性ロータ型倒立振り子である。

機体の作製には製図や機構の知識および技術が必要であり、倒立振り子の制御には電子回路およびプログラミングによるセンサやモータの駆動などの知識および技術が必要に

なるため、実践的技術者を育成するには有効な課題であるといえる。

本報告では、高専の教育課程の有効性を示すために、高専で3年間学習した学生が倒立振り子ロボットを作製するために必要な知識および技術（専門科目）について説明し、作製したロボットについて述べる。

2. 「ものづくり実習」に必要な専門科目

本校電子制御工学科では1年次から専門科目があり、学年が上がるごとに専門科目数が増加する。専門科目は講義形式または実験・実習形式で実施される。本校では、実験・実習において講義に先がけて知識・技術に触れ、その後に講義で理論づけるという授業方法を採用している。

1～3年の各学年で履修する専門科目を表1に示す。専門科目は電子制御に関係のある3つの分野（電気系、情報系、機械系）に分類される。1年次には電子制御に関する専門基礎科目の講義および基礎実習が実施される。2年次には上記の3つの分野の専門基礎科目の講義および基礎実習が実施される。3年次には上記の3つの分野の専門科目の講義および実習が実施される。

3年間で電子制御に関係のある専門科目を学習することで、各学生は「ものづくり実習」に必要な知識および技術を習得できる。電子部品の取扱い、モータドライバの作製（電気系）、マイコンプログラミング、ステッピングモータの制御（情報系）、倒立振り子モデルの理解、ロボット機体の設計・製図（機械系）の知識および技術は3年間の専門科目で習得する。これらの専門科目が本実習でのロボット作製の基礎となっている。

¹ 広島商船高等専門学校電子制御工学科
Hiroshima National College of Maritime Technology, Department of Control Engineering

^{a)} hamasaki@hiroshima-cmt.ac.jp

表 1 電子制御工学科の専門科目

	電気系	情報系	機械系
1年	電子制御工学基礎 I・実習		
2年	電気回路基礎	情報処理 I	機械工学基礎
	電磁気学基礎	プログラミング I	電子制御工学基礎 II・実習
3年	計測工学	論理回路	工業力学
	電子工学	情報処理 II	設計製図
	電気回路	プログラミング II	
		実験・実習	

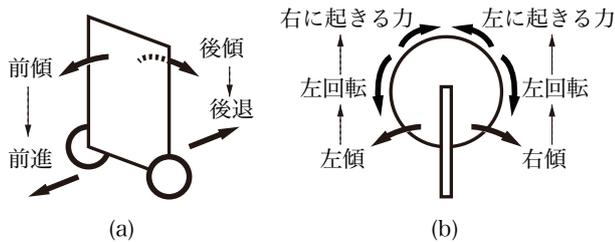


図 1 (a)2 輪型および (b) 回転ロータ型倒立振子のバランスの保ち方

3. ロボットの構成と制御方法

本研究室では 2 輪型と慣性ロータ型の 2 台の倒立振子ロボットを作製した。ここでは 2 輪型と慣性ロータ型倒立振子について説明し、ロボットを構成する回路および制御方法について述べる。

3.1 2 輪型および慣性ロータ型倒立振子

2 輪型には前進・後退のための 2 つの車輪があり、それぞれの車輪にモータを取り付けた。機体が前傾したときには前進し、後傾したときには後退することで前後のバランスを保つことができる(図 1(a))。慣性ロータ型は左右のバランスを保つためのロータがあり、ロータにモータを取り付けた。左傾したときにはロータを左回転させることでモータのトルクによって右に起き上がる力が得られ、右傾したときにはロータを右回転させることで左に起きる力を得て、左右のバランスを保つことができる(図 1(b))。

3.2 回路構成

2 輪型および慣性ロータ型のロボットはモータの個数が異なることを除き、回路構成は共通である。図 2 に共通部分の回路構成の概要を示す。ロボットを制御するマイコンには Atmel 社の ATMEGA328P[2] を用いた。本体の傾き検出には富山村田製作所の圧電振動ジャイロ [3] を用いた。モータにはステップ角度が 1 度の日本電産コパル株式会社のステッピングモータ [4] を用いた。

ロボットはジャイロからの入力値を計算してモータに回転方向と回転角を渡すマイコン制御部、ジャイロの値を出力するジャイロ部、ステッピングモータとモータドライバからなるモータ部およびジャイロの値や計算値をパソコン

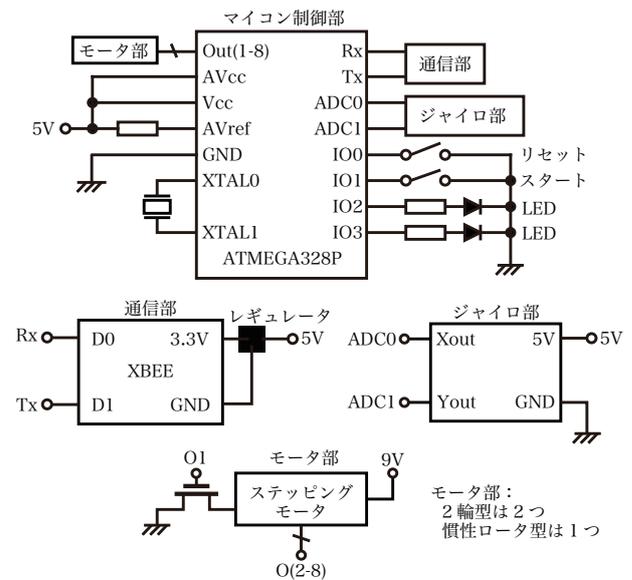


図 2 回路構成

に通信する通信部より構成される。

マイコンは 20MHz の水晶発振子をクロックとして動き、2 つのスイッチをそれぞれリセットおよびスタートスイッチとして用いる。

3.3 制御方法

制御用のマイコンは実行直後に機体の傾きを計算する割り込みおよびモータ駆動用の割り込みを始める。傾きを計算するための割り込みは 0.1ms 間隔とした。モータ駆動用の割り込みは機体が傾く際の角速度等から計算された時間後に再度発生する。

図 3(a) に傾きを計算する割り込みの手順を示す。割り込み開始後にジャイロの値を 1 度読み込む。このとき、過去 10 秒分のジャイロからの値を記憶させておく。温度等のドリフトによるジャイロの値の変化の影響を除くために過去 10 秒分のジャイロの値の平均をとり、それをオフセット値として保持する。オフセット値と現在のジャイロの値から角速度を計算する。計算した角速度を積分することで機体の傾きを計算することができる。傾きに対応した値だけモータを回すことでロボットは倒立できる。

図 3(b) にモータ駆動用割り込みの手順を示す。割り込み開始後にモータを 1 ステップ回す。モータへ与える角加速度と現在の角速度から次のモータ駆動用の割り込みを発生させるまでの時間を計算する。本体の傾きが小さいときには、モータの回転は少なくてもよい。逆に本体の傾きが大きいときにはモータの回転を大きくする必要がある。よって、ある一定時間内にモータ駆動用割り込みが多く発生するとモータの回転角度は大きくなる。このため、モータ駆動用割り込みの発生間隔は不定であり、機体の傾きに応じた間隔で発生させる。

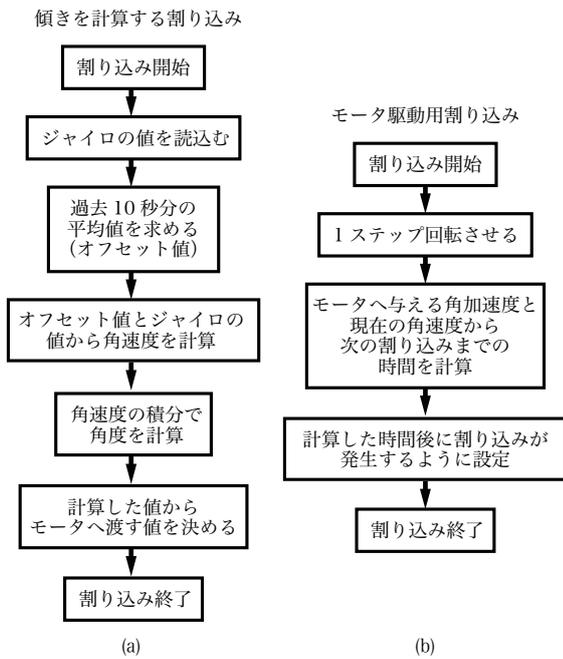


図 3 (a) 傾きを計算する割り込みと (b) モータ駆動用の割り込み



図 4 作製した回路基板

4. 本体の作製および動作

回路はユニバーサル基板を用いて作製し、すべての電子部品は基板にはんだづけした。図 4 に作製した回路基板を示す。

ロボットの機体、車輪および慣性ロータはすべて JW-CAD を用いて製図し、データをもとに本校の実習工場でアクリル板を加工して作製した。

図 5(a) および (b) にそれぞれ作製した 2 輪型および慣性ロータ型ロボットを示す。2 輪型ロボットの高さ、幅および奥行きはそれぞれ約 18cm、約 9cm、約 5cm である。慣性ロータ型ロボットの高さは約 23cm、幅は約 9cm である。慣性ロータを除いた本体の幅は約 6cm である。

5. 結果・考察

2 輪型および慣性ロータ型のロボットを実際に動作させ

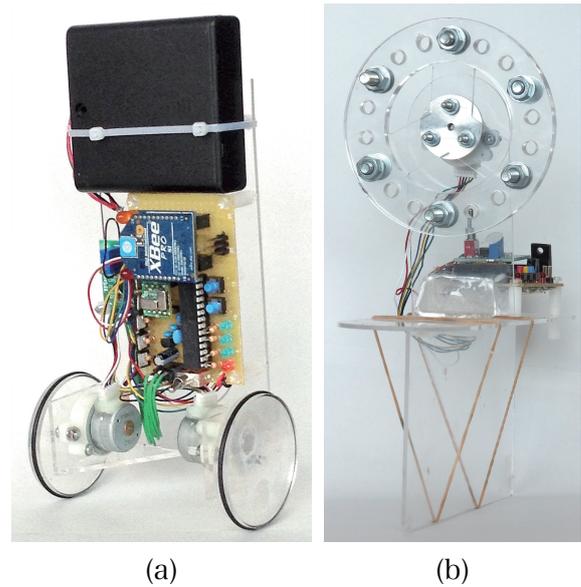


図 5 (a) 2 輪型ロボットと (b) 慣性ロータ型ロボット

ると、平面ではどちらも 10 分以上の倒立ができた。しかし、車輪および慣性ロータの制御のパラメータを決定することが難しく、環境が変わった場合、再度倒立させるためにパラメータの調節が必要であった。2 輪型においては、一度倒立が安定すると機体の上に物体を乗せてもそのまま倒立を続けることができた。

6. おわりに

本報告は、高専の 3 年間の専門教育によって実践的な知識および技術を身につけることができることを示すことを目的とした。3 年間で学生が学習した電気・電子回路、プログラミング、機械設計等の知識および技術を通して、倒立方法の異なる 2 台の倒立振り子ロボットを学生が作製した。その結果、環境ごとのパラメータ調節は必要であるものの、2 台とも 10 分以上の倒立が実現した。

この 2 台によって、前後方向および横方向の倒立が可能となったので、現在は 2 つの倒立方法を組み合わせた 1 輪車型の倒立振り子ロボットの作製に取り組んでいる。

本報告が高専または大学でのものづくり教育の参考となれば幸いである。

参考文献

- [1] 国立高専機構：WEB サイト(高専の学校制度上の特色), 入手先 (<http://www.kosen-k.go.jp/hj-1-12tokushoku.html>) (2013).
- [2] Atmel: *ATmega328P*, 入手先 (<http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>) (2013).
- [3] 富山村田製作所: 圧電振動ジャイロ, 入手先 (<http://www.murata.co.jp/toyamamura/product/gyro.html>) (2013).
- [4] コパル電産株式会社: ステッピングモータ SPG20, 入手先 (http://www.copal-electronics.com/j/product/stepping_motors.htm) (2013).