

モジュール化による RC サーボモータを用いた教材開発

竹本 怜央 生産システム工学専攻 2年 154003
指導教員 前田 弘文

Development of Teaching Materials Using RC Servomotors by the Modularization

Reo Takemoto and Hirofumi Maeda (Adviser)

ABSTRACT

Recently, many robot teaching materials which appeal to people of all ages have been on the market as an effective way of nurturing children's interest in science. These teaching materials have been used in experiments and practical training at school. Using the commercially available materials has achieved significant results in reduction of the burden on teachers, but students today possibly lose interest in them. In addition, the educational materials can not be used when switching over to a new operating system, or sudden discontinuation of sales may result in a situation in which other teaching materials must be prepared in a hurry. In using the commercially available teaching materials in class, there is a risk of being forced to replace the materials due to the external influences. In this study, a prototype of a robot teaching material will be created. It is so versatile that it can be used for education and academic research. Since it can be used for the both purpose and compact, it is cost-effective. In this paper, the outline of the compact versatile teaching materials using modularization from its concept to communication standard will be shown.

1. 緒言

これまで国立高等専門学校では、専門技術に興味・関心を持った学生に対して、中学校を卒業したばかりの低学年の段階から専門的知識の教育指導を行ってきた。その指導方法は実験・実習・実技を中心とした体験的な学習を重視したもので、少人数によるきめ細やかな指導を行うことにより、産業界へ創造力ある実践的技術者を継続的に送り出す成果を上げてきた^[1]。しかし近年では、小中学生の理科離れ、不景気による就職率の低迷、育児費が及ぼす家庭への影響などにより、必ずしもものづくりに興味・関心のある理系学生が高等専門学校に入学するとは限らなくなってきた。そのため、これまでのような高等専門学校の教育に対して求められる"人材の育成・確保"の他に、小中学校

の教育で身に着けるべきものづくりへの"好奇心・興味"についても、実験・実習・実技を通して育む必要性が出てきた^[2]。

また近年では、子供たちの"好奇心・興味"を育むための有効な手段として、床面に描いたラインを読み取ることでライン上を走行するライントレースロボットやレゴブロックを自由に組み合わせて作ったロボットを制御することができるレゴマインドストームなど、幅広い世代に興味・関心を引くことができるロボット教材が数多く市販され、実験・実習など幅広い分野で利用されてきた^{[3]-[12]}。しかし市販品を用いた教育は、教員者の負担軽減において大きな成果を挙げている反面、ものが溢れた時代を生きる現代の学生にとってすぐに興味が削がれるものとなる

恐れもある。さらに安価な教材においては、インターネットで購入することで自宅学習ができるため、実験・実習の時間を確保してまで学習する必要性がなく、自己学習で完結してしまう。加えて市販品である以上、購入時のコストが高むだけでなく、電池や故障時の修理費などのランニングコストが高くつく傾向もあり、最初の導入予算を確保したとしてもその後の継続的学習を維持するための予算費を確保することが難しい。その上、直感的に操作できるように専用の GUI を用いている教材が多いことから、OS 依存が強く、OS の移行によって教材が使えなくなるデメリットや、突如の販売中止などによって、急遽他の教材を用意しなければならない状態に陥る恐れもある。このように、外部の影響によって買い替えを余儀なくされることは、購入者の運営スケジュールにうまくリンクすることが少なく、運営面において不確定で突発的な時限爆弾的要素を含んだデメリットも抱えることとなる。

本研究では、この突発的なデメリットを回避するために、教材を自作することとする。しかし、高等専門学校の教員は多忙で、実験・実習に多くの労力やコストを掛けたり、実験教材を置くスペースを大きく確保することができないなどの問題が生じる。そこで、実験・実習に留まらない、研究レベルまで拡張が可能な汎用的でコンパクトな教材を作成することで、実験・実習と研究を共有し、コストパフォーマンスを向上させるとともに、運営面でも自由度の高い拡張性を確保する。本論文では、モジュール化を用いて小型化した汎用性の高い教材の開発について、コンセプトから通信規格までその概要を示す。

2. コンセプト

ロボット教材を開発する上で、以下の3つを重要課題とした。

①コスト

ここでのコストは製作費だけではなく、教材を保管して置くためのスペース（場所の確保）も含んでいる。製作費については、買い替えなどの処分が容易になるように教材一式で10万円以下（消耗品扱い）になることを前提とする。またサイズについては、安全の面

も考慮し、片手で持てるもしくは手のひらに乗る程度とする。

②メンテナンス性

制御系、通信系、駆動系などをそれぞれモジュール化することで、メンテナンス性の向上を図る。

③拡張性

教材に拡張性を持たせることで、教材に幅を持たせるだけでなく、研究としても使用できる教材にする。

この3つの課題を達成するために、制御基板を全ての部品を一つとした1枚のオンボードとする。これによりコストを抑えるだけでなく、1枚の基板を交換するだけで修理が可能となり、メンテナンス性の向上も図ることができる。さらに自作基板を用いることで、部品の販売中止などによるトラブルにおいても、一部の部品を代替品に変更するなどに対応することが可能となる。また書き込み回路については、別基板とする。これは、制御基板を小さくするだけでなく、複数の教材を添えた場合においても、書き込み回路1つで代用でき、部品単価が高くなる書き込み回路を切り離すことで、コストを下げることができるからである。

また、安価で小型な RC サーボモータを使用する。RC サーボモータは、元々ラジオコントローラに使用される目的で開発されたものである。そのため、モータ内に制御基板やモータドライバを内蔵したコンパクトな作りとなっており、モータそのものがモジュールとして機能する。このことは、モータドライバを必要としないだけでなく、3線のケーブルを制御基板に接続するだけで、電源供給から制御まで行えるシンプルな設計が可能となり、コストおよびメンテナンス性の面で優れていることも意味する。またモータの個数を増やす際も、モータ同士をデジチューンで接続するだけよく、拡張性にも優れている。

3. 教材用モジュール

3.1 システム構成

Figure 1 にシステム構成を示す。制御基板の CPU には、RC サーボモータの最高通信速度 1.25 [Mbps] に対応し、5

[V]駆動する SH7125F（ルネサスエレクトロニクス株式会社）を使用している。PCや無線 LAN ルータなどと通信する機器として WiPort（日本ラントロニクス株式会社）を使用し、SH7125F との信号をやり取りするためのレベルシフトも回路に組み込んでいる。バッテリーには、容量が大きく、安全な ROBO パワーセル F2-850 タイプ（Li-fe）（近藤科学株式会社）を使用し、過放電の防止のためのデジタルパネル電圧計（DMS-20PC-1-LM-C：Murata Power Solutions 社製）も回路に搭載している（Figure 2）。RC サーボモータには、バッテリーと同じ近藤科学株式会社の KRS-3301 ICS を使用する。

本制御基板の特徴は、外部回路である LCD 回路と書き込み回路の接続に、USB3.0 のコネクタを採用している点である。これは、市販のケーブルをそのまま利用する形式をとることで、ケーブルの断線などを極力抑えるための工夫である。また、書き込み回路には、USB3.0 コネクタの特徴を利用した工夫も施しているが詳細は後で述べる。

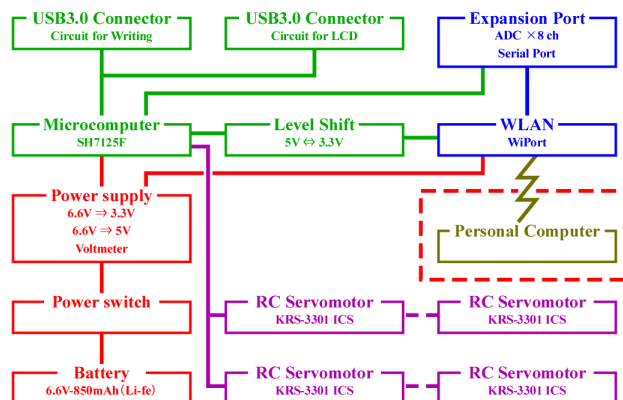


Fig. 1 システム構成図



Fig. 2 デジタルパネル電圧計

次に WiPort の詳細について述べる（Figure 3）。WiPort は組み込み用 Wi-Fi デバイスサーバで、10.5×32.5×33.9 [mm]、29 [g]の小型デバイスである。ハードウェアとしては、CPU、メモリー、無線 LAN、イーサネットチップなどを搭載し、ソフトウェアとしては、RTOS、TCP/IP プロトコル、WEB サーバー、Eメール発信機能、暗号などの機能を有している。今回の教材では、UDP/IP のアドホック通信によって通信を確立しているが、WLAN 接続によって Web インターフェイス上から各種通信設定を容易に変更することができる。また、KRS-3301 ICS の詳細についても述べる（Figure 4）。



Fig. 3 WiPort



Fig. 4 KRS-3301 ICS

KRS-3301 ICS はロボット専用の RC サーボモータで、通信規格 ICS3.6 を使用することで、デジタル通信によるコマンド指令が可能となる。その結果、通信時に発生するノイズをカットすることができるだけでなく、モータパラメータなどの細かい設定を行うことができる。また、モータの速度フィードバックや位置フィードバックを行うことが

可能で、今回は速度フィードバックに設定することで、車輪の駆動部として使用している。なお、速度フィードバックにおける速度指令と速度の関係はリミットを含んだ一次関数となり、非常に扱いやすいものとなっている。

ここで、先に触れた書き込み回路の詳細について述べる (Figure 5, Figure 6)。

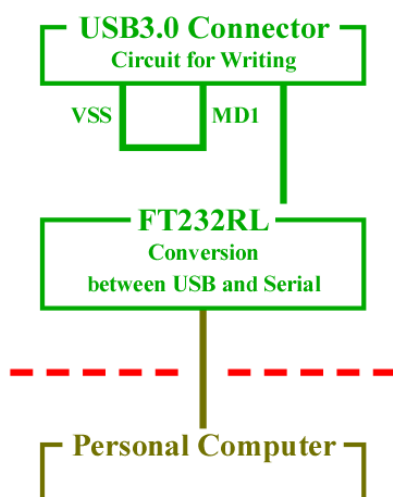


Fig. 5 書き込み回路の構成図

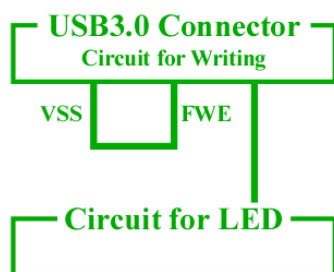


Fig. 6 LED 回路の構成図

SH7125F の読み込み時は、MD1 ピンをオープン、FWE ピンを GND に接続する必要がある。また、逆に書き込み時は、FWE ピンをオープン、MD1 ピンを GND に接続する必要がある。このためのスイッチを制御基板上に設ける方法もあるが、そのスペースを省くために USB の特徴を利用することとした。USB3.0 は USB2.0 の仕様に準拠しており、1 ピンから 4 ピンまでは互換性がある。そこで、2 ピンと 3 ピンに FWE ピンと MD1 ピンに割り当てることで、書き込み時は USB3.0 コネクタを使用した書き込み回路 (Fig. 5) を接続し、読み込み時は USB2.0 コネクタを使用

した LED 回路 (Fig. 6) を接続することで、コネクタがスイッチの役割を担い、コネクタを差し替えるだけで読み込みモードと書き込みモードのスイッチングが行われる工夫を施した。また、LED 回路には車用の USB イルミカバー EL-168 (星光産業株式会社) の回路基板を差し替えることで、コストの削減と安定性の向上を図った。

最後に、専用基板のガーバーデータを示す (Figure 7, Figure 8, Figure 9)。

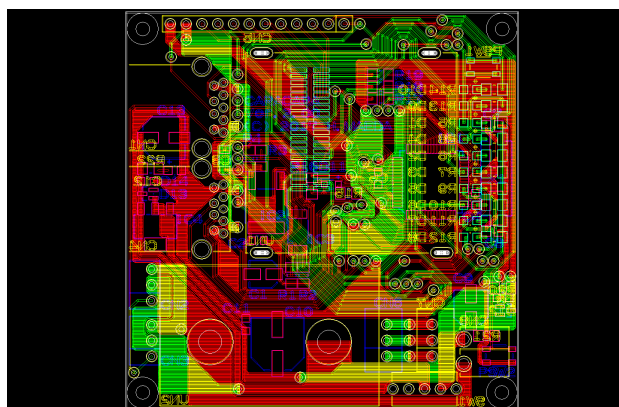


Fig. 7 制御基板のガーバーデータ

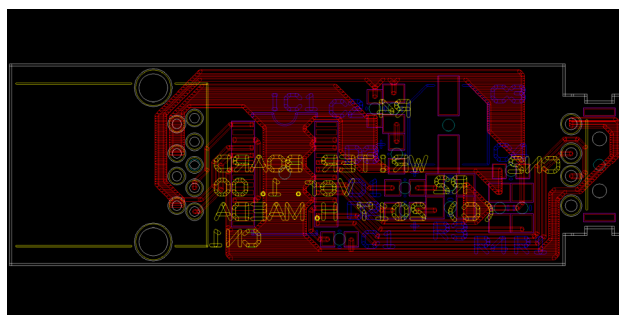


Fig. 8 書き込み回路のガーバーデータ

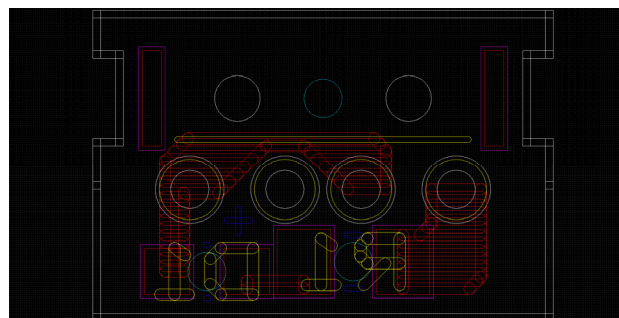


Fig. 9 LED 回路のガーバーデータ

3. 2 通信フォーマット

Figure 10 と Figure 11 に教材用モジュールのために開発した通信フォーマットを示す。今回は、WiPort を使用する関係上、バイトを添える方が制御が容易であるため、空データ (0x80) を含めて全てのコマンドをヘッダ 1 [byte]、ボディ 2 [byte] の計 3 [byte] に統一している。また、通信はシリアルによるバイナリデータ送受信であるが、ASCII コードしか対応していない通信ソフトであっても送受信の確認が行える工夫として NULL 文字が発生しないように、ヘッダは 0x40 (64) 以上、ボディは 0x80 (128) 以上の値をとるようにフォーマットを構築している。

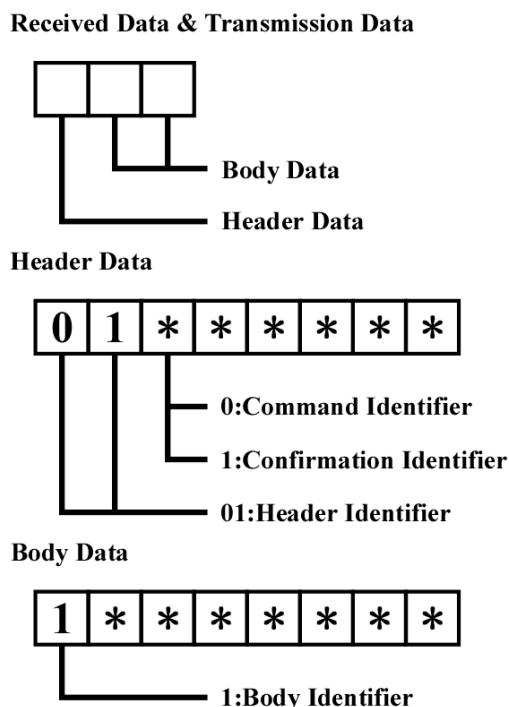


Fig. 10 通信フォーマット

コマンドは 35 種類あり、命令コマンドが 8 種類、確認コマンドが 27 種類となっている。命令コマンドは、制御基板に接続された 2 つの RC サーボモータと LCD に指令を与えるもので、RC サーボモータの速度、最高速度、ストレッチと LCD の表示使用・未使用となっている。確認コマンドは制御基板に接続された RC サーボモータと LCD、センサの状態を確認するもので、命令コマンドデータの情報の確認とは別に、各モータのエンコーダ値と各センサの ADC デジタル値 (8ch) のデータを受信することができる。

また、エンコーダ値とデジタル値は単発配信モードと連続配信モードを兼ね備えている。

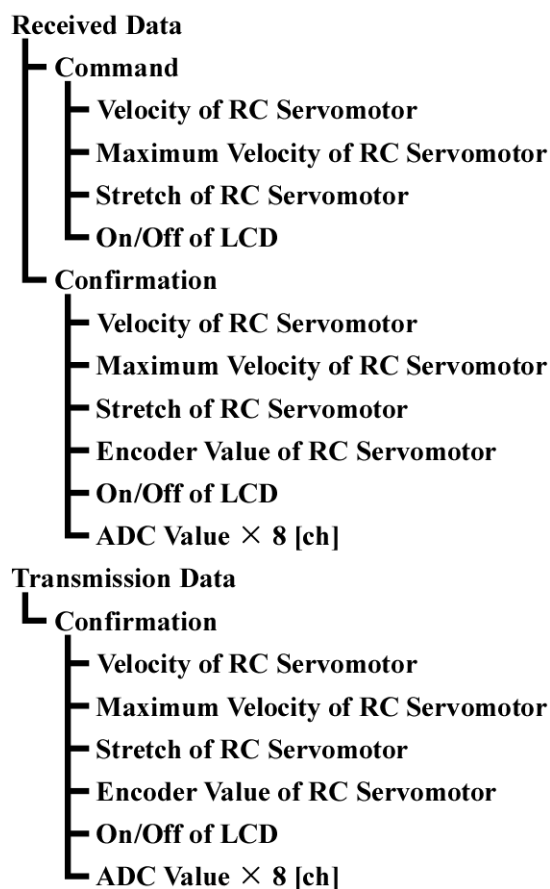


Fig. 11 コマンド一覧

3. 3 拡張性

本教材用モジュールには、拡張性を持たせるために以下の 3 つの機能を持たせている。これにより、幅広い拡張が可能となり、結果汎用性が増すことで、教材の用途を多方面に展開することが可能となる。

①汎用 ADC ポート

SH7125F には、分解能 10 [bit] の ADC が 8 [ch] 搭載されている。このポートを 5 [V] 電源と共に外部端子として開放することで、距離センサやタッチセンサなどセンサを新たに追加し、教材の用途に幅を持たせることができる工夫を施している。

②全方位駆動への変更

通信フォーマットには、リザーブとして RC サーボモータを 2 個追加する部分を確保している。また、ハードウェアとしても KRS-3301 ICS に搭載されたデジタイゼーションの機能を使用することで、RC サーボモータを 2 個拡張することが可能である。今回作成した教材モジュールは 2 輪型のベース（台車）を対象としているが、拡張することで全方位駆動に容易に拡張することができる。近年のモビリティロボットにおいて、全方位駆動が多く採用されていることから、需要があると考えられる。

③オプション機能

WiPort には、シリアルポートが 2 [ch] 搭載されており、1 つは制御基板に使用、もう 1 つは開放している。2 つのシリアルの使い分けには、WiPort への WLAN による TCP/IP 通信や UDP/IP 通信に使用するポート番号を使用する。この開放しているシリアルポートを使用することで、制御基板の上部に新たに独立した制御基板を設けることができるため、コンピュータの構築やレーザレンジファインダの搭載などが可能となり、作業ロボットや障害物回避、群ロボットなど多岐に渡った用途へ拡張することができる。

4. 結論

本論文では、教育用モジュールについて述べた。開発には、明確なコンセプトを提示し、そのコンセプトを基に将来の拡張性も考慮した上でシステムを構成した。また、ユーザ視点に立った設計を心掛け、過放電の問題や拡張性を持つ上で、汎用 ADC ポート、全方位駆動への変更、オプション機能の 3 つの視点を有した。さらに、実際に教育用モジュールを基板加工機を用いて作成し、PC との通信において最大 50 [msec] 周期で正常に制御できることを確認した。

今後は、実際に教材として 2 輪型のロボットを作成し、ユーザ視点でのデバッグや運営上の問題の洗い出しなどを行っていく予定である。また、要望の多い全方位駆動への拡張も行い、その上でコンピュータの構築やレーザレ

ンジファインダの搭載を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省，“独立行政法人国立高等専門学校機構の中期目標”，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/dokuritu/chuuki/1346673.htm (2017/01/13 アクセス).
- [2] ロボット教育研究専門委員会，“ロボット教育研究専門委員会(Robot Education)報告書”，ロボット教育研究専門委員会(2011).
- [3] 大倉宏之，“ものづくり学習における磁気ラインレース型ロボットの教材化”，静岡大学教育学部研究報告自然科学篇，No.53(2002)，pp.41-51.
- [4] 森岡弘，“マインドストームを利用した技術科の教育方法に関する研究”，教育実践総合センター研究概要，Vol.17(2004)，pp.35-50.
- [5] 古平真一郎，“自立型ロボット教材を用いたプログラム学習に対する効果”，宇都宮大学教育学部 教育実践総合センター紀要，第 30 号(2007).
- [6] 山管和良，“新しい教材と学ぶ楽しさを実感できる授業の工夫—レゴ・マインドストームロボラボを利用した授業実践を通して—”，宇都宮大学附属中学校研究論集，No.52(2004)，pp.66-75.
- [7] 嶋田泰幸，“成長型ラインレースロボットを機軸とするシステム制御教育カリキュラムの設計”，工学教育，Vol.55，No.3(2007)，pp.99-104.
- [8] 金塚茉莉子，“情報教育におけるレゴマインドストーム教材の活用”，日本教育情報学会年会論文集，Vol.24(2008)，pp.264-265.
- [9] 博多哲也，“ラインレースロボットを用いた組み込みシステム教育”，熊本高等専門学校 研究紀要，第 3 号(2011)，pp.29-35.
- [10] 佐々木了，“情報系学生向けロボット教材の開発”，工学教育研究講演会講演論文集，No.60(2012)，pp.580-581.
- [11] 高橋知希，“高校生への導入体験としての LEGO プログラミング演習の支援-高大連携の LEGO 講座における教育実施-”，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.113，No.482(2013)，pp.53-58.
- [12] 外山茂浩，“中学校技術・家庭科の教材開発をテーマとしたエンジニアリングデザイン演習～レゴマインドストームを用いた「プログラムによる計測・制御」の教材開発～”，自動制御連合講演会，第 57 回(2014)，pp.540-543.