

DTN 技術に基づいた情報通信ネットワークの仕組みを学ぶ 自律型ロボット教材の開発

室伏 春樹^{1,a)} 紅林 秀治^{1,b)}

概要: 情報通信ネットワークの仕組みを学ぶことができる自律型ロボット教材を開発する。これまで計測・制御学習用に利用していた自律型ロボット教材にアドレスを付与し、メッセージの転送を可能とした。メッセージは自律型ロボット教材の動作プログラムとは別に保存され、正しい宛先にたどり着くまで転送を繰り返す。これにより、情報通信ネットワークで利用される通信先を特定するための技術やデータ転送の仕組みなどを体験的に学習できる教材となった。

Development of an Autonomous Robot for Students to Learn System of Information and Communication Network Based on Delay Tolerant Network

MUROFUSHI HARUKI^{1,a)} KUREBAYASHI SHUJI^{1,b)}

Abstract: We develop an autonomous robot to learn the mechanism of information and communication network. It can transfer a message, and have the device address. Messages are stored in a different location for the operation program of it. And, to repeat the message transfer to get to the correct destination. As a result, it is possible to understand the experience of the data transfer and communication of specific destination.

1. はじめに

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では、地震や津波による被害によって通信インフラが破壊され、安否情報や避難後の生活に必要な情報の入手が困難になる場面が見られた。このような事例をもとに注目されているのが Delay Tolerant Network (以下、DTN と略す) 技術である。DTN 技術は惑星・衛星間通信を実現するために設計されたものであるが、データ通信の遅延を許容する性格上、通信環境が劣悪な場所でも一定の通信が期待できる。これは、災害時における臨時の通信手段という意味だけでなく、現在のインターネットなどのネットワークや別通信体系のネットワークなどつながり、情報を効率よく伝達することができる技術として期待されている [1]。

一方、中学校「技術・家庭」技術分野（以下、技術科と略す）では、平成 24 年度より完全実施されている学習指導要領において指導する内容が整理された。この中で、情報教育にかかわる「D 情報に関する技術」では、(1) 情報通信ネットワークと情報モラル、(2) デジタル作品の設計・制作、(3) プログラムによる計測・制御、という 3 項目のうち (2) と (3) が従来の選択履修項目であったため [2]、多くの技術科教員にとって適切な教材や指導方法などの蓄積が少ないと考えられる。特に (3) プログラムによる計測・制御では、計測・制御システムの構成や、計測・制御システムの中で一連の情報がプログラムによって処理されていることを指導するため、マイクロコンピュータを搭載した自律型ロボット教材が利用されているが、これらの教材に対しての技術科教員の不安視する声がある [3]。筆者らは、この技術科教員が抱える不安の要因の一つに、「自律型ロボット教材の指導にかかる時間」があると推測する。技術科単独の授業時数は 3 年間で 87.5 時間と他教科に比べ少

¹ 静岡大学教育学部技術教育講座
Shizuoka University, 836 Ooya, Shizuoka, 422-8529, Japan

^{a)} ehmufof@ipc.shizuoka.ac.jp

^{b)} eskureb@ipc.shizuoka.ac.jp

ない [4]。そのため、ロボット本体の製作や動作プログラムの制作で時間がかかる自律型ロボット教材を利用すると、(3) プログラムによる計測・制御以外の指導内容がおろそかになるのではないかと不安視していると考えられる。

また、中学生のスマートフォン所持率の増加や [5]、学校のタブレット型端末の導入が進んでいることで [6]、中学生がインターネットをはじめとするネットワークに触れる機会が増加している。しかし、ネットワークを利用したサイバー犯罪は増加傾向にあり [7]、ネットワークを安全に利用するための知識や技能の習得が必要不可欠である。

そこで筆者らは、自律型ロボット教材を利用したネットワーク学習を提案することで技術科教員の不安を取り除くとともに、中学生がネットワークで利用される技術を体験的に学習することで、ネットワークを安全に利用するための知識や技能の習得ができるようになる教材の開発を行った。

2. 提案する学習の概要

従来の自律型ロボット教材は、制御ロボットに動作プログラムを送信し、動作を確認する体験を通して、プログラミングの体験と計測・制御の知識を獲得させるものであった [8],[9]。これらは、技術科の学習指導要領における「D 情報に関する技術」の (3) プログラムによる計測・制御の内容に加えて、制御基板のはんだ付けや移動ロボットの製作も行うことから、「B エネルギー変換に関する技術」の内容も扱う複合的な教材である。

提案する学習は、従来までの自律型ロボット教材に「ロボット間通信」機能を加えたものを教材として利用する。これにより、従来の自律型ロボット教材で扱う内容に加えて、(1) 情報通信ネットワークと情報モラルの内容も扱うことが可能である。

情報通信ネットワークについて指導する内容を、市販されている 3 社の技術科の教科書をもとに確認すると、ルータやサーバなどの通信機器やプロトコルなど、主にインターネットに関わる内容が解説されている。しかし、これらの解説はネットワークが常に接続されていることを前提とした解説であり、本質的な情報通信ネットワークを指導するものではない。

なぜなら、インターネットをはじめとした情報通信ネットワークは、予定調和でなく各ネットワークが随時、接続や切断を経たうえで成立しているからである [10]。そのため、本質的な情報通信ネットワークを指導するには、情報が伝達される仕組みをを体験的に学習させる必要がある。特に、情報がどのような手順で伝達するかを規定する通信プロトコルと、送信先を特定するためのアドレスの知識は情報通信ネットワークの仕組みの理解のためには必要な内容である。プロトコルやアドレスを指導する教材は、視聴覚教材やシミュレーション教材など複数存在している

が [11][12][13][14]、提案する学習で利用する自律型ロボットは、学習者が情報通信ネットワークを通常利用しているときには知覚できない通信データの流れをロボットの動作として目視できる。また、通信時に人間の意思による介入ができないため、学習時の効果が期待できる。

提案する学習では、最初に自律型ロボットの製作を行う。学習者は自律型ロボットに必要な部品を組み合わせていくことで、計測・制御システムに必要な要素を体験的に学習する。

次に、完成したロボットを動作させるために制御プログラムの制作を行う。学習者はセンサからの入力信号の利用方法や、アクチュエータへ出力する信号をプログラムという形で表現するとともに、制作したプログラムをインタフェースにより伝達することを体験的に学習する。

最後に、自律型ロボットをネットワーク上の端末と見なし、端末間通信を行う。学習者は情報通信ネットワークにおける通信プロトコルをロボットの制御プログラムという形で考えると同時に、情報通信ネットワークを構成するために必要な機器の具体的な動作や役割について体験的に学習する。また、学習者が普段利用していると思われるインターネットと自律型ロボットによるネットワークの情報伝達速度の違いや効率などの違いから、DTN 技術の基礎についても触れることが可能となる。

3. 利用する教材

提案する学習は、図 1 に示すように制御プログラムを制作するコンピュータと自律型ロボットを構成する制御基板、そして双方の情報通信を取り扱う制御ソフトウェアが必要となる。

教材を利用する学習者の対象は中学生とし、コンピュータと自律型ロボット、通信インタフェースは一人 1 台の環境を想定している。

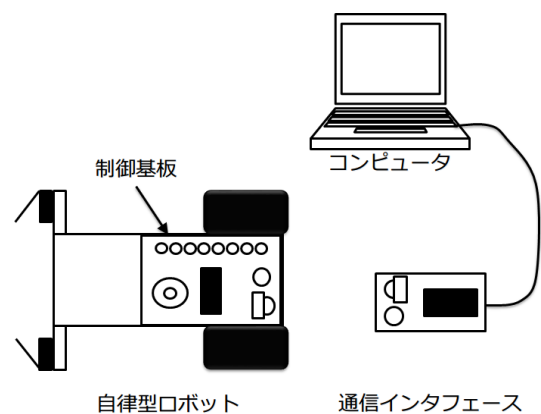


図 1 利用する教材の概要

Fig. 1 Overview of teaching materials.

表 1 制御基板部品一覧

Table 1 Parts table of the circuit board.

摘要	品名	数量
制御用 IC	PIC18F2550[16]	1
モータドライバ IC	LB1639[17]	2~4
三端子レギュレータ	TA4805F[18]	1
抵抗	330Ω, 10kΩ	13
コンデンサ	0.1μF, 47μF, 470μF	3
デジタル入力端子		4
アナログ入力端子		5
赤外線受光モジュール	PL-IRM0101[19]	1
赤外線 LED		1
LED		9
モータ	FA130 互換	2~4

3.1 制御基板の概要

技術科で利用されている自律型ロボット教材には、情報通信ネットワークの指導が可能な教材は販売されていない。そのため、自律型ロボット教材用の制御基板を開発した。開発した制御基板の回路図を図 2 に示す。また、制御基板に使用する部品を表 1 に、実際に製作した制御基板の概観を図 3 に示す。

本制御基板は情報通信ネットワークの指導を可能とするため、変更が可能なアドレスを個別に持つことができる。ネットワークにおけるアドレスは、IP アドレスや MAC アドレスなど複数存在しているが、これらの目的は端末の特定である。本制御基板でも同様に、端末の特定を行うためにアドレスを利用するが、中学生の学習利用である点やネットワーク規模の点などを踏まえ、1 から 8 までの 1 ビット分をアドレスとして設定することができるようにした。また、アドレスが 0 に設定された信号を受信した場合は、IP アドレスにおけるブロードキャストアドレスと同様に字端末のアドレスの設定にかかわらずデータを受け取ることができるようにした。本制御基板にアドレスを設定する方法は、ハードウェア上の設定により行う。ソフトウェアによるアドレス設定ではなく、ハードウェアによるアドレス設定としたのは、学習者が設定したアドレスを忘れてしまうことで生じると想定されるトラブルを防止するためである。

信号の送受信は、学習者にとって身近な TV リモコン等で利用される赤外線を利用している。制御基板同士は赤外線による送受信が可能であるが、制御ソフトウェアを利用するコンピュータ側には、赤外線を利用することが通常困難であるため、図 4 に示す USB 通信インタフェースが必要となる [15]。

3.2 制御基板で使用できる命令

制御基板で使用できる命令の一覧を表 2 に示す。命令は大きく 9 種類に別れるが、すべての命令は引数と合わせて 2

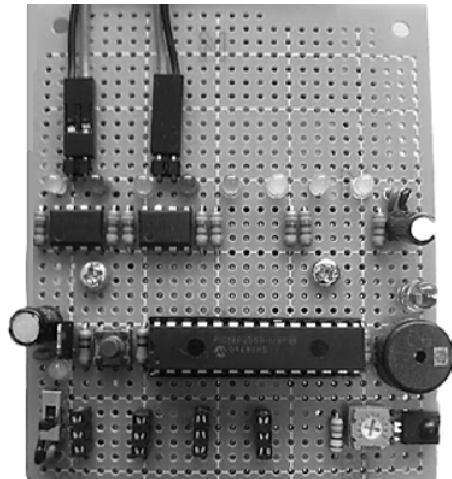


図 3 制御基板の概観

Fig. 3 Overview of the circuit board.

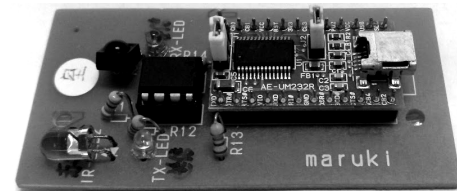


図 4 USB 通信インタフェースの概観

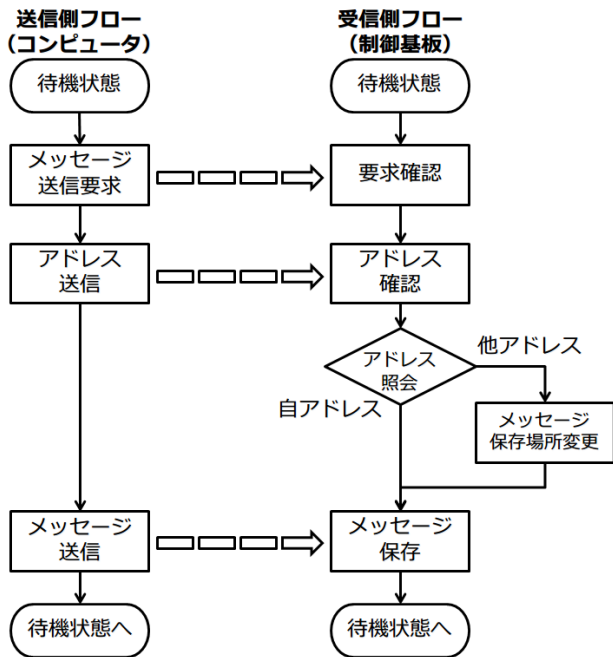
Fig. 4 Overview of the USB communication interface.

表 2 制御命令の一覧

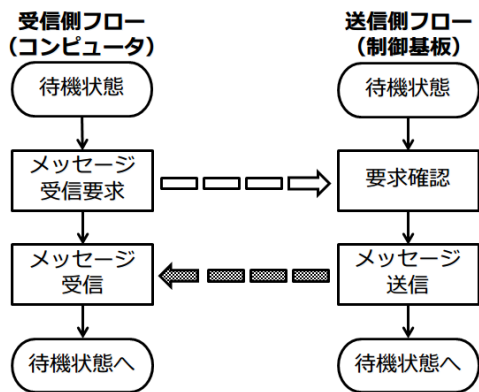
Table 2 List of control Instructions.

命令	機能	例
約束命令	通信時の決まり事	はじめろぼ、 おわりろぼ
送信命令	格納しているプログラムを送信する	プログラム送信、 送信アドレス
モータ調整命令	DC モータの PWM 値を設定する	モータ 1 パワー、 モータ 2 パワー
移動命令	接続している DC モータを制御する	前進、後退
繰り返し命令	繰り返しの指定	ここからくりかえし、 ここまでくりかえし
スイッチ分岐命令	デジタルスイッチの入力検知	入力ありなら、 入力なしなら
計測値分岐命令	アナログ入力値に応じて分岐	計測値以上、 計測値以下
サブルーチン命令	サブルーチンの指定	さぶ、もどれ、 さぶ実行
音命令	3 オクターブ分の音出力	ド、レ、ミ

バイトで構成される命令ブロックとして通信インタフェースから送信される。命令ブロックは制御基板の制御用 IC の EEPROM に最大 4000 命令ブロックを保存できる。



(a) コンピュータからメッセージの送信時



(b) 制御基板からメッセージの送信時

図 6 コンピュータと制御基板の通信フロー

Fig. 6 Communication flow of a computer to the control board.

行われる。

3.4.2 制御基板同士の送受信

図 7 は、制御基板同士のデータ送受信における通信フローの概略である。メッセージの送信までの流れは図 6(a) に示した通信フローと変わらないが、制御基板同士の送受信の場合は通信が正常に行うことができない可能性が高い。そのため、受信側の制御基板から送信側の制御基板に異常の有無を伝える確認動作がコンピュータと制御基板の送受信と大きく異なる部分である。この仕組みにより、制御基板同士の送受信において蓄積型のデータ転送が可能になるため、DTN 技術に基づいた自律型ロボット教材を利用したネットワーク学習が可能となる。

4. 指導計画案

表 3 は制御基板を利用する技術科の指導計画案である。

表 3 の項目 4 では、時間によるシーケンス制御を行うためのプログラミングを取り扱う。表 3 の項目 5 では、制御

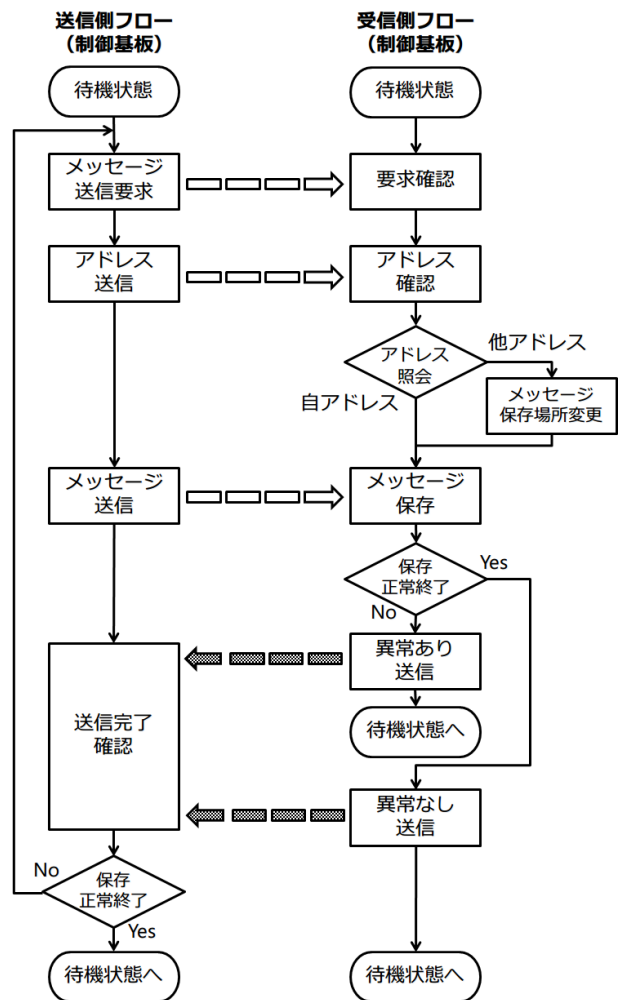


図 7 制御基板同士の通信フロー

Fig. 7 Communication flow of between the control boards.

基板に接続したアナログセンサからの入力値に基づいたフィードバック制御を行うためのプログラミングを取り扱う。この 2 項目の指導が、ネットワーク学習のための前提となる知識となる。

表 3 の項目 6 では、コンピュータ間の通信を自律型ロボットが行う演習を実施する。ここでは、以下の 2 つの学習課題を用意する。

- (1) 単純なメッセージの送信
- (2) 移動を伴うメッセージの送信

単純なメッセージの送信では、ネットワーク利用によるメッセージの交換を具体的に体験することを目的とし、コンピュータと制御基板、制御基板からコンピュータへのメッセージ転送が行えることを確認する。この確認を通して、メッセージ転送の機能確認とアドレスが果たす役割を理解させることとなる。

移動を伴うメッセージの送信では、図 8 に示すような状況を設定し、メッセージをコンピュータ 1 からコンピュータ 3 まで *1 リレー式に転送する課題を設定する。コンピュー

*1 コンピュータの識別番号は説明のために用意したもので、現段階では自律型ロボットから各コンピュータを識別できない。

表 3 指導計画案

Table 3 A sample of educational programs

項目	指導内容	時間数
1	ガイダンス	1
2	制御基板の製作	3
3	移動ロボットの製作	2
4	シーケンス制御のプログラミング	3
5	フィードバック制御のプログラミング	2
6	メッセージ送信演習	4
7	まとめ	1

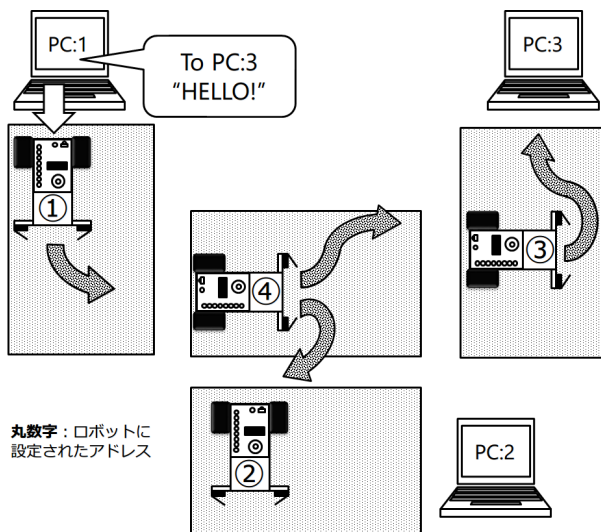


図 8 学習課題例

Fig. 8 A example of study project.

タ 1 から送信されたメッセージを受信したアドレス 1 の自律型ロボットは、付近にいたアドレス 4 のロボットにメッセージを送信する。アドレス 4 のロボットは自分のアドレスと異なるメッセージのため、付近のロボットの探索を行い、アドレス 2 または 3 の自律型ロボットにメッセージを送信する。アドレス 2 の自律型ロボットにメッセージを送信した場合は、再度自分宛に送信されるまで待機し、送信されたら受信内容を他の端末に送信しなおす。アドレス 3 の自律型ロボットにメッセージを送信した場合は、目的であったコンピュータ 3 へのメッセージ送信が達成されることとなる。

これらの活動を通して、情報通信ネットワークで情報が伝わるということは様々な機器がその情報に関与した結果であることや、誤った経路に情報が伝わっても、アドレスにより正しい経路へ復帰できる柔軟性があることに気付かせることができる。その上で、インターネットで標準的に利用されている TCP/IP といった通信プロトコルやハブ、ルーターなどの機器の役割について、自律型ロボットでの演習と対比しながら解説することで、情報通信ネットワークについての理解が深まると考える。

5. まとめ

DTN 技術に基づいたネットワークの仕組みを学ぶことができる制御基板を開発し、指導計画案を立案した。開発した制御基板を利用する自律型ロボットは、従来の自律型ロボットに機器を特定するアドレスを付与することで、これまで指導可能な内容の範囲ではなかった情報通信ネットワークに関する内容を指導することが可能となる。特に、自律型ロボットの制御プログラムを通信プロトコルとして捉えることで、自律型ロボットの動作が情報伝達の流れとして目視できるため、学習者に興味・関心をもたせることができると考える。また、1つの教材で複数の内容を指導することで、学習内容が密接に連携し、学習者の主体的な活動参加が期待できる。

今後は開発した制御基板の改良を続けるとともに、中学校での実験を通して、中学生に情報通信ネットワークの仕組みを理解させるために有効な教材であるか検証を行なう。

参考文献

- [1] 鶴正人, 内田真人, 滝根哲哉, 永田晃, 松田崇弘, 巳波弘佳, 山村新也: DTN 技術の現状と展望, 通信ソサエティマガジン, No.16, pp.57-68(2011).
- [2] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説技術・家庭科編, 教育図書, p.9(2008).
- [3] 大阪府教育センター: 平成 23 年度技術分野「制御とプログラミングに関する研究」, 入手先 (<http://www.osaka-c.ed.jp/kak/senmon/h23seigyo.pdf>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [4] 文部科学省: 中学校学習指導要領, 東山書房, p.143(2008)
- [5] 内閣府: 平成 24 年度青少年のインターネット利用環境実態調査概要入手先 (<http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/chousa/>)(最終アクセス 2013.7.8)
- [6] 総務省: フューチャースクール推進事業入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_joho-ka/future_school.html)(最終アクセス 2013.7.8)
- [7] 警察庁: 平成 24 年中のサイバー犯罪の検挙状況等について, サイバー犯罪対策入手先 (<http://www.npa.go.jp/cyber/statics/h24/pdf01-2.pdf>)(最終アクセス 2013.7.8)
- [8] 西ヶ谷浩史, 兼宗進, 青木浩之, 紅林秀治: アーム付き自律型移動ロボットを使った授業実践, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告 2008(13), 17-23, 2008-02-16
- [9] 高橋知希, 富永浩之: 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践-, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告 2013-CE-118(18), 1-7, 2013-02-01
- [10] あきみち, 空閑洋平: インターネットのカタチ もろさが織りなす粘り強い世界, オーム社, p.4(2011)
- [11] 兼宗進 監訳: コンピュータを使わない情報教育アンブレグドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所, pp.81-83(2007).
- [12] 荒井正之, 田村尚也, 渡辺博芳, 小木曾千秋, 武井恵雄: TCP/IP プロトコル学習ツールの開発と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.3242-3251(2003).
- [13] 石川賢, 川島芳明: マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータ・ネットワークシミュレータの概要, 日本産業

技術教育学会, 第 54 回全国大会 (宇都宮) 講演要旨集, p.95(2011).

- [14] 文部科学省: 情報機器と情報社会のしくみ素材集, 入手先 (<http://www.sugilab.net/jk/johokiki/index.html>)(2013.7.10 現在).
- [15] 紅林秀治, 室伏春樹, 樋口大輔, 江口啓: 計測学習を取り入れたロボット制御教材の開発, 産業技術教育学会誌, 第 52 巻, 第 3 号, pp.159-167(2010).
- [16] Microchip Technology Inc.: PIC18F2550, 入手先 (<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00622/>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [17] SANYO: モータードライバ IC, LB1639, 入手先 (<http://www.datasheetarchive.com/LB1639-datasheet.html>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [18] TOSHIBA: 東芝バイポーラ型リニア集積回路, TA4805F, 入手先 (<http://akizukidenshi.com/download/TA4805S.pdf>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [19] 秋月電気通商, PL-IRM0101, 赤外線リモコン受信モジュール, 入手先 (<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00622/>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [20] Microchip Technology Inc.: PIC12F675, 入手先 (<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?DocName=en010114>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [21] 秋月電気通商: USB シリアル変換モジュール, FT232RL, 入手先 (<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-01977/>)(最終アクセス 2013.5.30)
- [22] 兼宗進: プログラミング言語「ドリトル」, 入手先 (<http://dolittle.eplang.jp/>)(最終アクセス 2013.5.30)