

ものづくり教育のための繊毛振動型ライントレース カーの開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 静岡大学教育学部 公開日: 2012-03-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡邊, 肇也, 小林, 建太, 江口, 啓 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00006494

ものづくり教育のための繊毛振動型ライントレースカーの開発

DEVELOPMENT OF A LINE-TRACE ROBOT DRIVEN BY CILIARY VIBRATION FOR
MANUFACTURING EDUCATION

渡 邊 肇 也* 小 林 建 太* 江 口 啓**

Toshiya WATANABE, Kenta KOBAYASHI, Kei EGUCHI

（平成23年10月6日受理）

Abstract

Aimed at manufacturing education in the field of technology and home economics, a novel line-trace robot is developed in this paper. Unlike conventional line-trace robots, the proposed robot is driven by ciliary vibration. Since gear boxes, tires, and so on are not required, the proposed robot can achieve a low cost and easy assembly. Consequently, the proposed teaching material can contribute not only to spreading the manufacturing education but also the robot education. The validity of the teaching material was confirmed by experimental classes. The results of questionnaire showed that the proposed teaching material was able to help students to understand the basic of electric circuits.

1. 緒言

近年、ロボットコンテストに代表されるように、教育現場におけるロボット学習^{1, 2)}が全国的に広まりつつある。中学校の技術・家庭科の分野においても“エネルギー変換”の学習のために、様々な種類のロボットの製作が盛んに行われており、その学習効果についての検討¹⁾も行われている。しかしながら、教材費を十分に確保できない教育機関においては、これまでに行われているような高価なキットや既成パーツを必要とするロボット学習は行えないという現状がある。例えば、科学技術振興機構と国立教育政策研究所の共同調査によると、公立中学校の平成20年度予算は理科の設備備品費で生徒1人当たり平均453円、消耗品費で341円である。このため、教育現場で広くロボット学習を行うためには、安価なロボット学習教材が必要である。マサチューセッツ工科大学（MIT）のニコラス・ネグロポンティによる100ドルPC計画や、インド政府の35ドルPC計画に代表されるように、学習の核となる教材や教具を低価格で実現することは、より良い教育を広げるという意味において意義がある。

以上の問題を鑑み、教育現場において広くロボット学習を可能にするために、安価で容易に製作できるライントレースロボット教材を提案する。従来研究における車型のロボットは、ギヤボックスを取り付けたモーターによって車輪を回転させている^{1, 2)}ため、部品価格が高くなり、その製作には数千円の費用を要する。一方、提案教材においては、従来ロボットとは異な

*静岡大学教育学部大学院

**静岡大学教育学部

り、歯ブラシと振動モーターによって駆動力³⁾を得る。このため、提案教材はギヤボックスや車輪等のパーツが不要であるため、安価に実現できる。

また、従来教材においては、一般的にマイクロコンピュータなどのIC素子を用いてロボットの制御^{1, 2)}を行っているため、回路がブラックボックス化しており、学習者には原理が分かりにくいという欠点がある。一方、提案教材においては学習者の理解を促進するために、個別素子を用いて制御回路を構成することで、回路原理のガラスボックス化を行っている。また、提案教材においては小型のブレッドボードそのものをロボットのシャーシとして利用することで、モーターと本体との接続部分を除く全ての配線を、半田付け無しで実現できる。これにより、基板の加工や半田付けによる配線作業等を削減できるため、製作に係る作業時間を大幅に短縮できる。提案教材の妥当性については、静岡大学教育学部に所属する学生を対象とした実践授業を行うことによって明らかにする。

2. 提案教材

2.1 制御動作

提案教材においては、白地に描かれた黒のラインの有無を判定するために、図1中に示す2つのセンサーを使用する。提案教材においては、各センサーの応答に対して、図2に示すような4パターンの動作を行う。図2に示した制御動作を2値論理として表現するために、センサー x_1 と x_2 に対する入力白地の場合には0、黒地の場合には1と設定する。また、モーター y_1 と y_2 の状態が停止の場合には0、回転の場合には1と設定する。これらの条件の下で、提案教材の制御動作を表現した真理値表を表1に示す。表1の真理値表において、出力 y_1 と y_2 は積和標準形を用いることで、次式のように表現できる。

$$\begin{aligned} y_1 &= \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2 = x_1 \\ y_2 &= \overline{x_1} \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2} = x_2 \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)から明らかなように、それぞれの出力 y_1 と y_2 に対応する入力 x_1 と x_2 を反転させるだけ

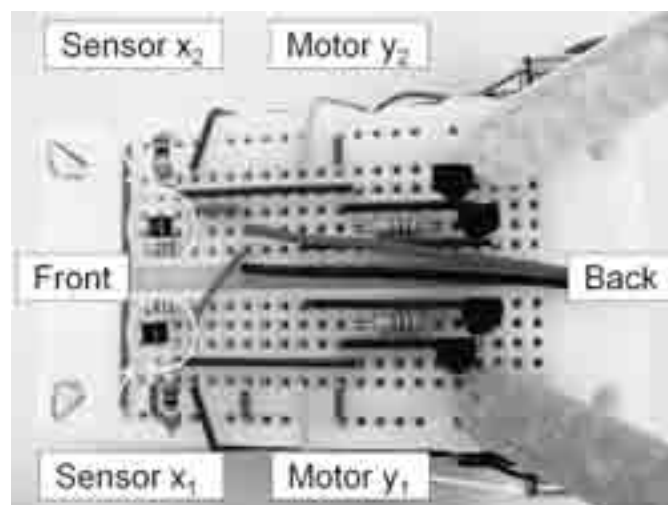


図1 提案教材の背面に取り付けられているセンサー

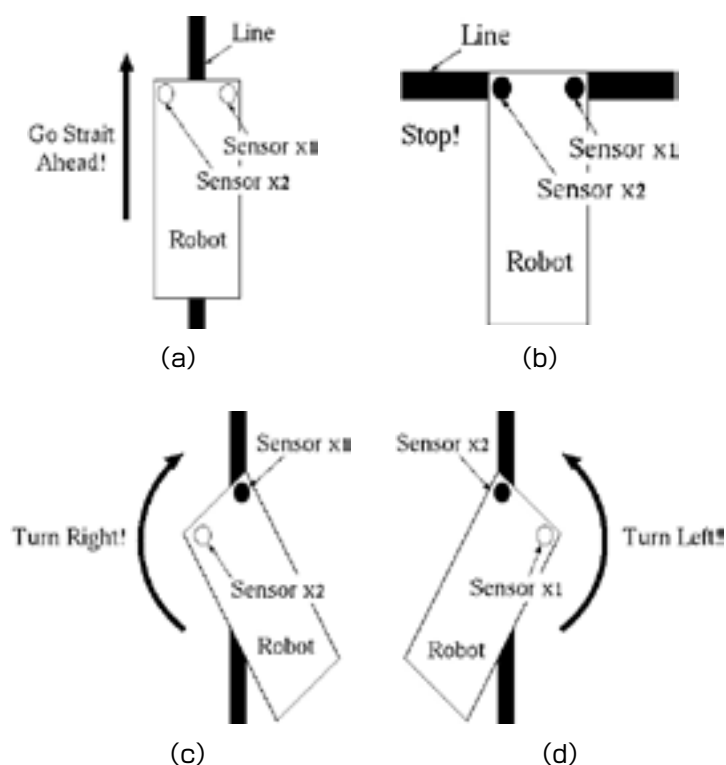


図2 モーターの制御動作 (a) 前進 (b) 停止 (c) 右回転 (d) 左回転

で制御動作を実現できることが分かる。

表1 制御動作を表す真理値表

入力		出力		動作
x_1	x_2	y_1	y_2	
0 (白)	0 (白)	1 (回転)	1 (回転)	前進
0 (白)	1 (黒)	1 (回転)	0 (停止)	右回転
1 (黒)	0 (白)	0 (停止)	1 (回転)	左回転
1 (黒)	1 (黒)	0 (停止)	0 (停止)	停止

2.2 制御回路の設計

図3に、式(1)を実現する提案教材の制御回路を示す。図3中の反射型フォトリフレクタにおいては、フォトダイオードから地面へ向けて照射された赤外線が反射して、フォトトランジスタに入力される。フォトダイオードは、図4の等価回路で表現できる。同図において、フォトダイオードからの出力電流 I は、次式で表現できる。

$$I = I_P - I_D \quad (2)$$

$$\text{ここで、 } I_P = \beta q R_T, \quad I_D = I_s \left\{ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right\}$$

式(2)において、 T は絶対温度、 I_s はダイオードの逆方向飽和電流、 β は電子・正孔対の収集

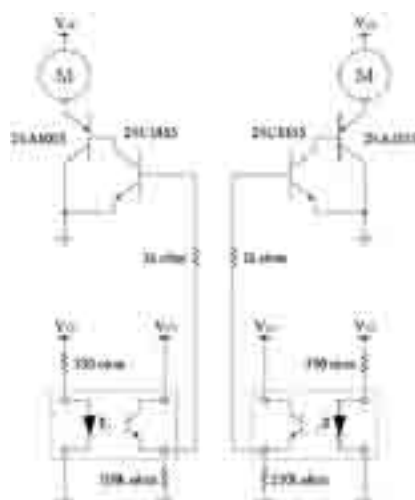


図3 提案教材の制御回路

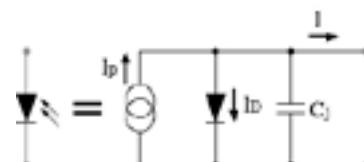


図4 フォトダイオードの等価回路

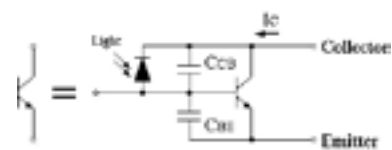


図5 フォトダイオードの等価回路

効率、 R_T は素子に吸収された有効光量子数、 k はボルツマン定数をそれぞれ示している。

一方、フォトトランジスタは、図5の等価回路によって表現できる。フォトダイオードからの赤外線は黒色に吸収されるという性質を持つため、寄生素子の影響等を無視した場合には、フォトトランジスタの瞬時等価回路は図6によって表現できる。ここで、図6中の R_{on} ($\ll 100k\Omega$) はフォトトランジスタのオン抵抗を示している。図6(a)から明らかなように、出力開放時

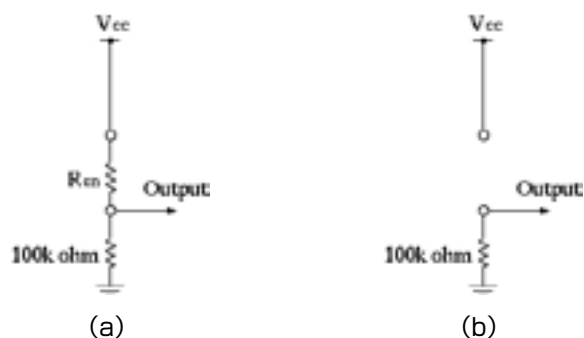


図6 フォトトランジスタの瞬時等価回路 (a) 赤外線照射有り (b) 赤外線照射無し

においては、赤外線が白地に照射された場合、電源電圧 V_{cc} 側から論理式の“1”に相当する出力電圧が得られることになる。一方、図6(b)から明らかなように、赤外線が黒地に照射された場合には、接地側から論理式の“0”に相当する出力電圧が得られる。すなわち、反射型フォトトリフレクタが白地を検出した場合には、 $1k\Omega$ の抵抗を介して、NPN形トランジスタにベース電流が流れ込む。

図3中のインバーテッドダーリントン接続されたトランジスタの動作は、以下の通りである。一般的に、バイポーラトランジスタにおいては、次の関係式が成立する。

$$I_C = \alpha I_E + I_{co} \quad \text{かつ} \quad I_E = I_B + I_C \quad (3)$$

ここで、 I_{co} はコレクタ遮断電流、 α ($\approx 0.9 \sim 0.998$) はベース接地トランジスタ増幅器における電流増幅率である。式(3)より、1段目のNPN形トランジスタのコレクタ電流は次式で与えられる。

$$I_{C1} = \frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} I_{B1} + \frac{1}{1-\alpha_1} I_{co1} \quad (4)$$

ここで、 α_1 は1段目のNPN形トランジスタの電流増幅率である。また、2段目のPNP形トランジスタにおいては、式(4)で与えられるコレクタ電流が入力電流となるので、式(3)と(4)を用いることで、インバーテッドダーリントン接続されたトランジスタの出力電流 I_{out} は次式で与えられる。

$$I_{out} = \left(\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} \right) \left(\frac{\alpha_2}{1-\alpha_2} \right) I_{B1} + \left(\frac{1}{1-\alpha_1} \right) \left(\frac{\alpha_2}{1-\alpha_2} \right) I_{co} + \left(\frac{1}{1-\alpha_2} \right) I_{co} \quad (5)$$

ここで、 α_2 は2段目のPNP形トランジスタの電流増幅率である。式(5)において、コレクタ遮断電流が無視できるほど小さいと仮定することで次式を得る。

$$I_{out} \cong \left(\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} \right) \left(\frac{\alpha_2}{1-\alpha_2} \right) I_{B1} \quad (6)$$

したがって、式(6)が示すように反射型フォトトリフレクタが白地を検出した場合には、振動モーターに約 $\alpha_1 \alpha_2 / (1-\alpha_1)(1-\alpha_2)$ 倍に増幅された電流が流れ、モーターが回転する。一方、反射型フォトトリフレクタが黒地を検出した場合には、NPN形トランジスタのベースに電流が流れないために、モーターは回転しない。

以上の制御回路の設計から明らかなように、提案教材の制御回路においては、PIC等のマイ

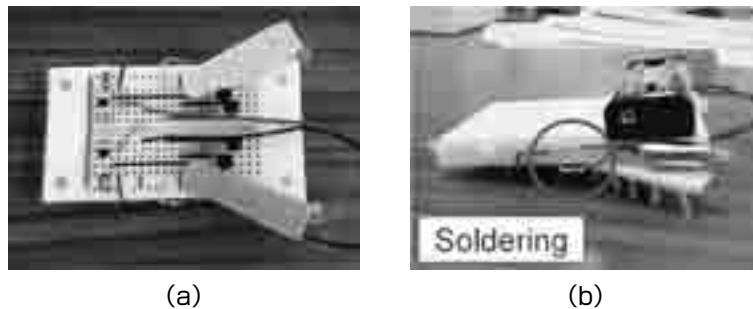


図7 提案教材の概観 (a) 背面 (b) 側面 (半田付け部分2箇所×2)

クロコンピュータを用いずに、式（1）の制御動作を実現可能である。このため、提案教材においては回路原理のガラスボックス化を実現できる。

2.3 個別部品による実現

図7に、提案教材の一例を示す。提案教材においては、小型のブレッドボード自体をシャーシとして利用しており、ジャンプワイアによって素子間の配線を行う。一般的に、手作りのライントレースロボットの製作においては、煩雑な半田付け作業を必要とするが、提案教材の製作においては、半田付けを行う箇所が図7(b)に示す通り、モーターの正負端子と基板との間の4箇所のみである。このように、従来のライントレースロボットに比べて、半田付けにかかる製作時間を短縮可能である。また、図7から明らかなように、提案教材においては従来ロボットを駆動するために必要なギヤボックスや車輪が存在しない。提案教材においては振動モーターの振動によって、モーター直下に取り付けられた歯ブラシを振動させることで駆動力を得る。このように、提案教材はギヤボックスや車輪などの既成部品を必要としないので、製作コストを大幅に削減することができる。具体的には、提案教材の製作に必要な部品は表2に示す通りであり、700円以下の教材費で実現可能である。

表2 使用部品一覧

部品名称	価格
振動モーター ×2 (FM34F)	256円
フォトリフレクタ ×2 (TPR-105F)	60円
歯ブラシ ×2 (100円ショップ)	35円
ブレッドボード ×1	150円
カーボン抵抗 ×6 (330, 1k, 100k)	6円
電池ホルダー ×1 (BH421A)	46円
単4電池 ×2	50円
トランジスタ×4 (2SC1815, 2SA1015)	12円
その他（線材、テープ、クリップ等）	50円

3. 授業による検証

提案教材の妥当性を評価するため、静岡大学教育学部に所属する学生8名に対して提案教材を製作する授業を行った。授業終了後、提案教材の有効性を確認するために、受講者に対して表3に示すアンケートを実施した。図8に、アンケートの集計結果を示す。

図8におけるQ3,Q5およびQ6の回答結果から、本教材は中学生向けの安価なロボット教材として妥当であると考えられる。一方、Q4から、本教材の難易度についての評価にばらつきが見られる。そこで、授業を受けた学生らの志望校種とロボット製作経験の有無が、本教材の製作に対して感じた難しさに関係しているかの調査をするために、Q1とQ4、Q2とQ4に対するクロス集計結果を図9に示す。

図9から、ロボット製作の経験の有無で学生を分けても、難易度に対する回答の傾向には大きな変化は見られないが、志望校種では中学校志望の学生が本教材の製作を簡単と捉える傾向

表3 アンケートにおける質問内容

1. 志望校種を教えてください。
①小学校・②中学校・③その他（ ）
2. 授業等で過去にロボットを製作した経験がありますか？
①ある・②ない
3. 本ロボット製作の対象年齢をどのように考えますか？
①小学校高学年以上・②中学校低学年以上・③中学校高学年以上
④高校生以上・⑤それ以外（ ）
4. 製作の難易度についてどのように感じましたか？
①非常に簡単・②簡単・③どちらともいえない・④難しい・⑤非常に難しい
5. 今回製作したロボットの費用についてどう感じますか？
①非常に安い・②安い・③どちらともいえない・④高い・⑤非常に高い
6. 本ロボット教材を授業や公開講座で取り上げることに興味がありますか？
①非常に興味がある・②興味がある・③どちらともいえない
④興味がない・⑤全く興味がない
7. 本教材に関するコメントをお聞かせ下さい。
8. 本講習に関するコメントをお聞かせ下さい。

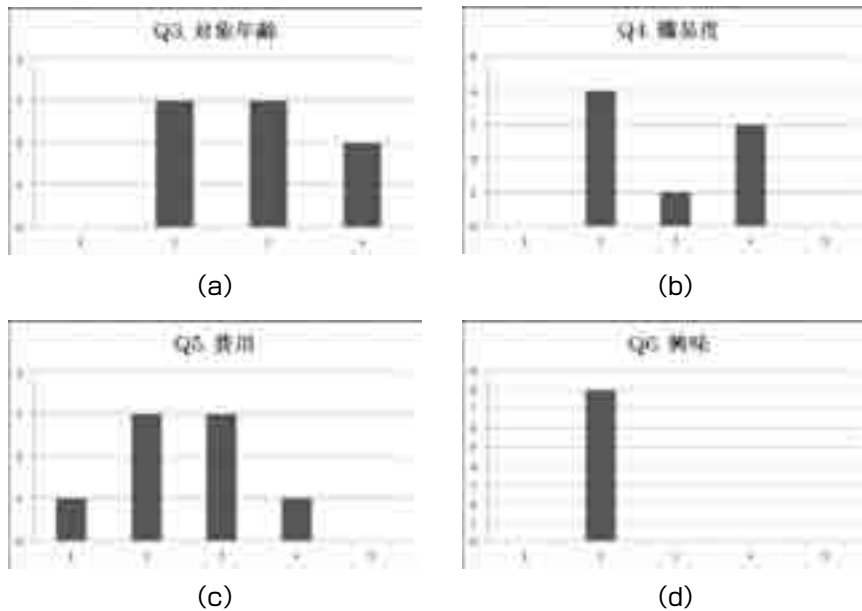


図8

(a) ロボット製作の対象年齢について (b) ロボット製作の難易度について
(c) ロボット製作の費用について (d) 教材導入に対する興味

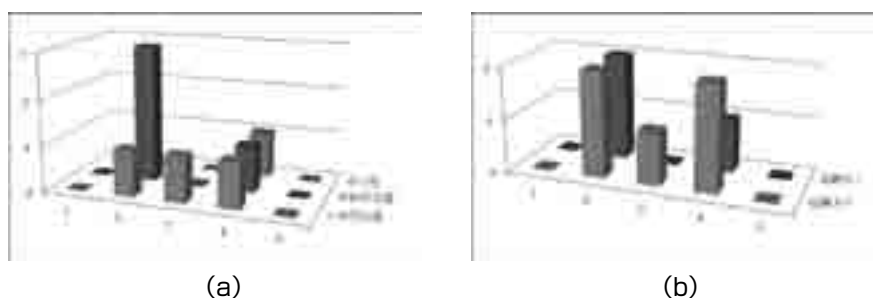


図9 (a) 志望校種と感じた難易度 (b) ロボットの製作経験と感じた難易度

があることが分かる。

また、Q7,Q8の自由記述欄においては、小さな部品の加工を伴うセンサーの取り付けや、走行試験を繰り返しながらの試行錯誤となる歯ブラシの調整に難しさを感じたとした学生が見られた。センサーの取り付けを容易にする治具の製作や、扱いやすい部品への変更、効率的な歯ブラシの調整方法の考案が課題として考えられる。

4. まとめ

本論文では、振動モーターを利用したラインレースロボット教材を提案した。製作実験を通じて、提案教材は700円以下の教材費で実現可能であることを明らかにした。このため、教材費の確保が難しい教育機関でもロボット学習を行うことが可能になると考えられる。また、提案教材は製作時間を大幅に削減できることを明らかにした。提案教材は、教育現場において広くロボット学習を行うための一助となると考えられる。

参考文献

- 1) 森慎之助：ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習の授業実践と作業分析，第47巻第3号，pp.27-33，日本産業技術教育学会誌，2005
- 2) 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，第52巻第3号，pp.159-167，日本産業技術教育学会誌，2009
- 3) 初澤毅：繊維振動型アクチュエータ，Vol.68，No.5，精密工学会誌，2002