

あいまいなアナログとデジタルの境界の理解を支援する教材の試作

— 表面実装部品を用いた同型ライントレーサー —

加藤良将*1・宮下十有*2・亀井美穂子*2・鳥居隆司*2

Email: kato@nua.ac.jp

*1: 名古屋芸術大学 芸術学部 芸術学科 デザイン領域

*2: 梶山女学園大学 文化情報学部

◎Key Words センサ, マイコン, アナログ, デジタル, PWM

1. はじめに

2003年度に新たな教科として加わった「情報¹⁾」は2022年度に入学した高校生から独立行政法人国立大学を受験する場合、「情報I」の選択を必須とすることとなった。一般社団法人国立大学協会では、会長談話²⁾や「2024年度以降の国立大学の入学者選抜制度—国立大学協会の基本方針—」において、「2024年度に実施する入学者選抜から、全ての国立大学は、・・・原則としてこれまでの「5教科7科目」に「情報」を加えた6教科8科目を課す。・・・2024年度に実施する入学者選抜での経過措置問題を含む「情報I」の活用の方法等について、各大学は、速やかに・・・」と記述³⁾している。

「情報I」が、大学入試の科目として多くの大学で必須科目に採用されることで、東京書籍からは、大学入試センター試験や大学入学共通テストの問題の他、個別学力試験で出題された情報に関する問題を含んだ教科書傍用の問題集⁴⁾も出版された。東京書籍の「情報I」の教科書は、都立高校及び都立中等教育学校（後期課程）では、実教出版に次ぐ採択率⁵⁾となった。また、大学入試に採用されるとなると、公平性の視点からその内容や範囲を明確化する必要があるという考え方が強くなり、問題文中に明確な定義がされていたとしても、学習指導要領の範囲を逸脱しているという議論は必ず出てくる。このような視点から「情報I」の検定済教科書の分析では、それぞれの用語についての調査・考察⁶⁾も行われている。

共通教科「情報」に関しては、ここまで述べてきた大学入試に関する問題点以外にも、様々な問題が存在する。現状の情報科は、2単位必修であるが、そのような単位数であれば、特に公立学校では、人口当たりの高校数やクラス数、人件費、教員一人当たりの担当コマ数等の面からも、2単位では、1校1名の配置は、困難である。このため、以前は、教科「情報」の教員免許のみの取得者の場合には、教員採用試験を受験する資格がない状況があった。

文部科学省は、この問題を解決するために、情報を担当する教員の専門性の向上や採用・配置を促進する文書⁷⁾を各都道府県教育委員会教育長及び各指定都市教育委員会教育長宛てに通知し、さらに、1人の教員が複数の高等学校で授業等を担当するためには、どうしたらよいかという手引書⁸⁾を配布しているが、簡単に解決する問題ではない。さらに、マルチメディア、ユビキタス、Web2.0に始まり、ロングテール、クラウドコンピューティング、シンクライアント、ビッグデータ、〇〇テック、IoT、AI、DX等々、あいまいな表現の用語が日常的に非常に多く用い

られていることも、状況を複雑にしている。

そもそも教科「情報」の履修すべき内容は、広く深いだけでなく、情報技術の進展にも著しいものがあるので、高等学校段階であっても、情報学のそれぞれの分野を専門とする教員が複数で担当すべき科目であるかもしれない。本研究では、これらの問題点の一部に過ぎないが、アナログとデジタルについて、実感を持って理解できるための支援教材を試作したので報告する。

2. アナログとデジタル

2.1 「情報I」による扱い

アナログは、基本的に、数値を連続した量で示すと説明され、デジタルは、有限桁の数字列によって離散的に示すと表現されていることが多い。今日の情報社会が進展しているのは、デジタル化の恩恵である。様々なメディアがマルチメディアという形で統合的に処理できるのは、デジタル化によるところが大きい。

しかし、アナログ、デジタルという言葉は、高等学校学習指導要領⁹⁾の第2章第10節「情報」には、直接記述されておらず、その高等学校学習指導要領解説の「情報I¹⁰⁾」の単元「コミュニケーションと情報デザイン」において、デジタルは、「・・・情報のデジタル化に関して標本化、量子化、符号化、二進法による表現などを理解するようにするとともに、標本化の精度や量子化のレベルによって・・・」と表現され、アナログは、「イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること。」の「(ア) メディアとコミュニケーション手段の関係を科学的に捉え、それらを目的や状況に応じて適切に選択すること」において、その例として、「・・・数値や文字、静止画や動画、音声や音楽などの情報について、アナログ情報をデジタル化する一連の手続（標本化、量子化、符号化）を行い、効率的に伝送するためにデータの圧縮を行うなど・・・」と記述されているに過ぎない。

したがって、「情報I」の教科書によっては、単元「コミュニケーションと情報デザイン」を「メディアとデザイン」と「システムとデジタル化」に分け、「システムとデジタル化」の中に「情報のデジタル化」という単元を設け、教科書全体の割に及ぶ20ページの紙面を割いてかなり詳しく説明しているもの¹¹⁾もある。

2.2 アナログとデジタル

前述の教科書の単元においては、「システムとデジタル化」が、「アナログとデジタル」、「2進数と情報量」「演算

の仕組み」「数値と文字の表現」「数値の計算」「音声の表現」「静止画と動画の表現」「情報のデータ量」等のセクションに分けられ、アナログとデジタルの表現から、2進数と情報量、論理回路による演算の仕組みの他、音声をデジタル化する事例を挙げ、標準化、量子化が扱われている。また、正弦波をデジタル化する際の最小標準化周波数に関する例題も扱っており、アナログ・デジタル変換（AD変換という言葉は、扱われていない）の考え方がある程度把握でき、論理演算の仕組みを理解できていれば、入力されたアナログ信号の電圧を比較し、どちらが大きいかで出力を切り替えることのできる素子（コンパレータ）に渡したのち、何らかのエンコーダによってデジタル出力されることを想像できるかもしれない。

ところが、デジタル信号をアナログ信号に変換する DA 変換については、ほとんどの教科書で扱っていない。自然界に存在する情報のうち、人にとって身近で、最も直感的に理解できるものはアナログ情報であること、コンピュータが内部で扱うデータはデジタルデータであり、その直接の出力はデジタル信号であることは、詳しく説明する。しかし、コンピュータの出力を DA 変換によってアナログ信号にしなければ、人は音楽や音声として聞くことができないことには、あまり言及しないようである。

最近では、低電圧、低電流で点灯する LED と、Raspberry Pi や Arduino 等のワンボードマイコンが身近になり、その出力に LED を直接接続して、簡単なプログラミングによって LED を容易に制御することが可能であることから、コンピュータにモーターを直接接続すると動作させられるのではないかと短絡的に考える人も多い。LED は、低電圧、低電流で点灯する素子であるので、コンピュータの直接の出力程度の電流・電圧で点灯することができただけであって、動作させるために大きな電流・電圧が必要なモーターを動作させることが不可能であることは、なかなか想像できない。

音声については、さらに説明が困難で、たとえば、コンピュータの出力に圧電スピーカーを直接接続し、そのデジタル信号のまま音を出すことが可能である。デジタル信号は、1 か 0 しかないが、コンピュータの動作周波数は十分に高いので、デジタル信号を出力する間隔を調整することによって、PWM で出力できる。この方法によって、疑似的にデジタル信号は、人にとっては、アナログ信号的に聞こえるものとなるので、容易に耳年齢測定にも応用できる。この方法を前述の LED に応用すれば、LED の明るさを疑似的にアナログ制御することも可能になる。このように、コンピュータが様々なデータを処理することで成立する情報社会において、デジタル化は、非常に重要な考え方であるものの、基礎的な理解のうえ、その原理や仕組みに基づいて、アナログやデジタルという言葉を使用していないことが多い。

3. ライントレーサーの試作

3.1 ライントレーサーの回路

本研究では、あいまいなアナログとデジタルの意味を少しでも正確に、体験をともなって、直感的にも理解できること、さらに、現在の情報機器の中身を知ることができるよう、表面実装部品を用い、アナログ回路とデジタル回路で、ほぼ同型のライントレーサーをそれぞれ試作し

た。アナログ回路のライントレーサー（以下、アナログライントレーサー）では、赤外線 LED とフォトトランジスタが一体となっている反射型フォトセンサからの信号をトランジスタで増幅し、その後、比較的大きなコレクタ電流を流せるトランジスタを用いたダーリントン回路で電流を増幅している。光センサの捉えた信号を増幅してモーターを駆動する仕組み（図 1）とした。

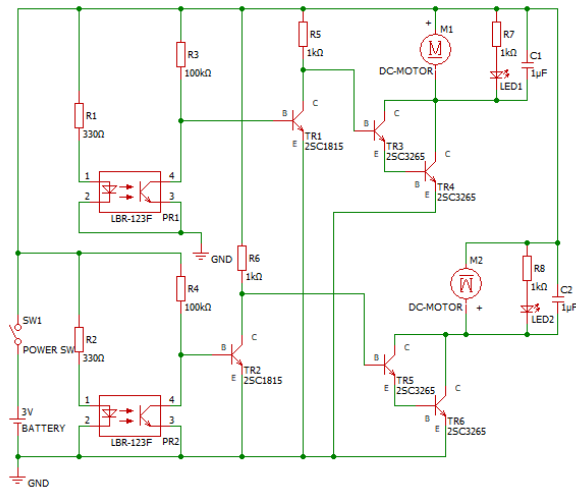


図 1 アナログライントレーサーの回路図

マイコンを用いデジタル信号で動作するライントレーサー（以下、デジタルライントレーサー）では、光センサからの信号は、マイコンに入力され、AD 変換の後、プログラムによって処理され、その結果に基づいて、マイコンから送られるモーターを動かす制御信号によって動作する。マイコンからの制御信号は、低電圧フルブリッジモータードライバーを用いて、モーターを動作させる仕組み（図 2）とした。低電圧フルブリッジモータードライバーは、低い電圧で動作し、ひとつの電源でモーターを正転、逆転、ブレーキ、フリーの制御が可能である。なお、光センサからの信号をマイコンに伝える部分は、前述のアナログ回路と全く同じ回路（図 2）とした。

マイコンを用いたライントレーサーでは、前述の理由からマイコンのデジタル出力をできるだけそのまま使用する方針としたため、マイコンの端子として、少なくとも、センサからの入力 2 端子、モーターの制御出力 4 端子の他、電源、プログラムの書き込み 2 端子、接地の 10 端子が必要となる。したがって、14 ピンのマイコン (PICAXE) を用いた。駆動には、3V、100rpm のギアードモーターを用いた。このマイコンには、Revolution Education Ltd.が開発したシステムが組み込まれており、開発環境 PICAXE Editor で作成したプログラム（ビジュアルプログラミングも可能）を USB-シリアル変換ケーブルを用いて容易に書き込むことができる。なお、このマイコンは、元々 Microchip 社製 PIC16F1825-I/SL で、半導体パッケージとしては、ピンピッチ 1.27mm の SOIC の汎用 PIC マイコンであるので、PIC ライタを用い、C 言語のプログラムを書き込んで使用することもできる。

図 3 にアナログライントレーサーの基板デザインを、図 4 にデジタルライントレーサーの基板デザインを示す。デジタルライントレーサーでは、前述の端子 10 個以外に

4つの端子の空きがあるので、後ろの光センサ2端子、圧電スピーカー、タクトスイッチを取り付けられるように回路設計し、基板デザインを行った。

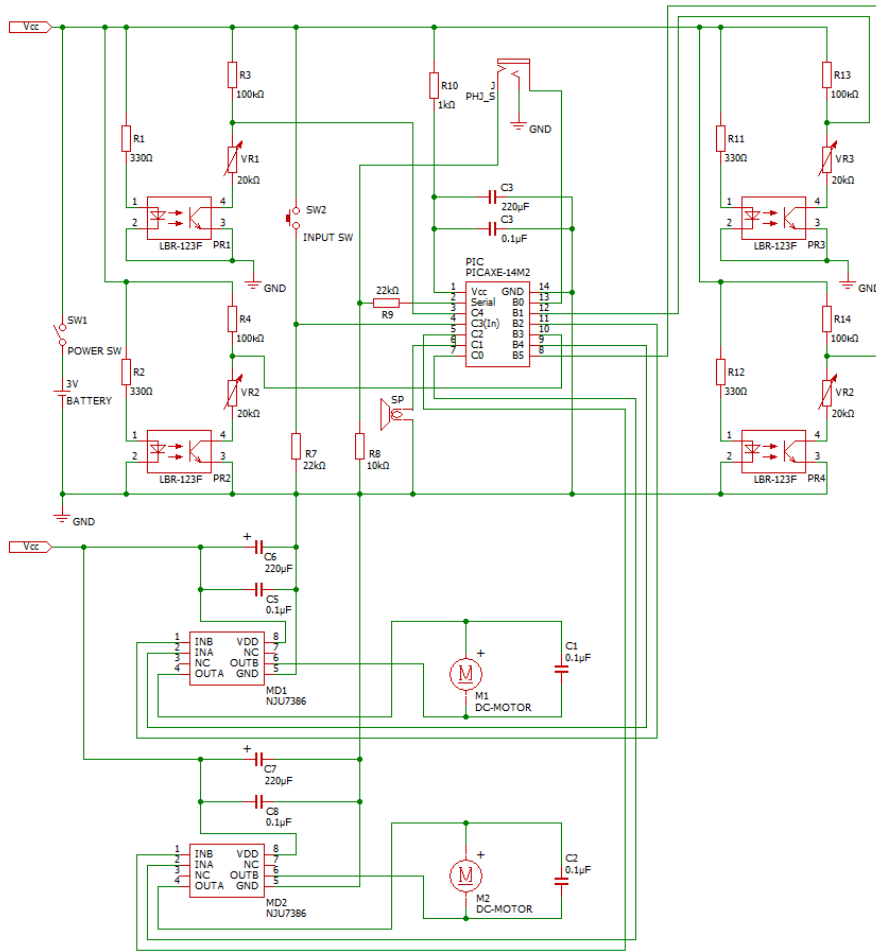


図2 デジタルライトレーサーの回路図

3.2 ライトレーサーの基板デザイン

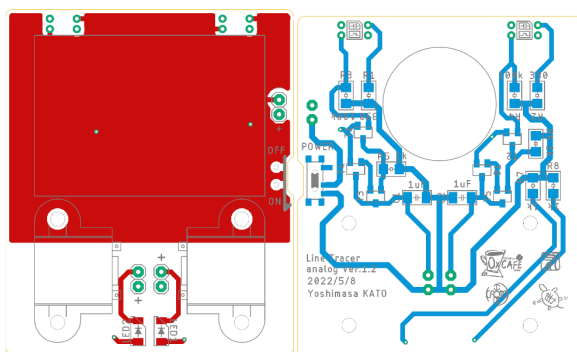


図3 アナログライトレーサーの基板デザイン
(左：上面、右：下面)

なお、光センサからの入力部分の回路は、昨今の半導体不足や部品調達の困難さに対応できるように、冗長ではあるが、CdS素子等に変更しても問題なく動作させることが容易になるようにしている。

4. ライトレーサーの試作

4.1 アナログとデジタルのライトレーサー

試作したライトレーサーは、図5に示すように、アナログライトレーサーもデジタルライトレーサーも、

基板の色は異なる設計としたが、基板形状、光センサ、電池ボックス、モーター及びその位置は、ほぼ同じである。

4.2 ライトレーサーの走行

アナログライトレーサーの実際の走行の様子を図6に示す。アナログレーサーでは、その後ろの部分にLEDを2つ取り付けており、光センサに光が入り、モーターが駆動するときに点灯するようになっている。図6は、右側の光センサに光が入った結果、左側のモーターが動作している様子を示している。デジタルライトレーサーには、モーターの動作を示すLEDを取り付けられるように設計していないが、マイコンにアナログライトレーサーの動作と同様の働きをする単純なプログラミングを行った後、アナログライトレーサーと同じコースを走行させたところ、図7に示すように同様に走行できた。本試作教材では、学習者は、同型のアナログライトレーサーと、デジタルライトレーサーの光センサやトランジスタの働き等を学びながら、

表面実装部品を用いて、はんだ付け等を行うことで、我々が常に使用している情報機器でも同様の非常に小さな部品が使用されていることを知ることができる。

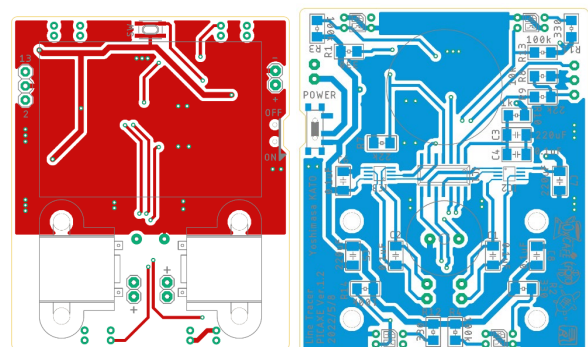


図4 デジタルライトレーサーの基板デザイン
(左：上面、右：下面)

今回開発したライトレーサーにおいて、ブラックボックスとなっている部品は、マイコンとモータードライバのみであるが、マイコンは、プログラミングを行うことで、その働きを理解できるし、モータードライバについて

は、入力信号に対する出力の対応は単純であるので、理解も容易である。そして、アナログライトレーサーでは、その制御や走行の仕組みを学び、デジタルライトレーサーでは、光センサの挙動を確認しながら、どのようにモーターを駆動させたらいいかを考え、マイコンにプログラムを書き込む。これらのプロセスを通して、アナログとデジタルによる制御の考え方やその仕組みの違いを理解する支援ができるのではないかと考えている。



図5 試作したライトレーサー、電源は単5電池を用いた(左:デジタルライトレーサー、右:アナログライトレーサー)

例えば、デジタルライトレーサーの走行速度を変化させるためには、マイコンによるPWM制御により、モーターを回転、停止させる時間間隔を細かく変化させることで、容易に可能であるが、アナログライトレーサーで走行速度を変化させるためには、モーターを駆動させる電圧を変化させるか、モーターと車輪の間に変速機を加える等、ライトレーサー自体の設計に基づいた変更が必要になる。このような違いもアナログとデジタルを理解するための一助になるのではないかと考えられる。

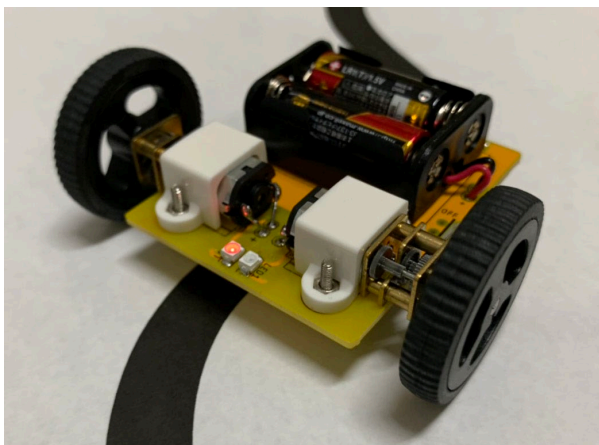


図6 アナログライトレーサーの走行の様子

5. おわりに

本研究では、アナログとデジタルに注目し、その理解を支援するため、アナログ回路とマイコンによるデジタル信号で動作するほぼ同型のライトレーサーを試作した。その部品には、最近、身近な電子機器に一般的に使用されている表面実装部品を用いた。どちらのライトレーサーも、センサからの信号の処理方法は、全く異なるにも関わらず、ほぼ同様の挙動を示した。

今回は、マイコンのデジタル出力でモーターを駆動させるためにモータードライバを使用した。今後は、すべ

てトランジスタで構成する回路とし、さらに仕組みが理解しやすいデザインとしていきたいと考えている。また、本ライトレーサーは、普通教室で使用されている一般的な机の上であっても走行させることが可能な大きさであるが、もう少し小型化することで、さらに複雑なコースを走行させることが可能となるものとしていきたい。

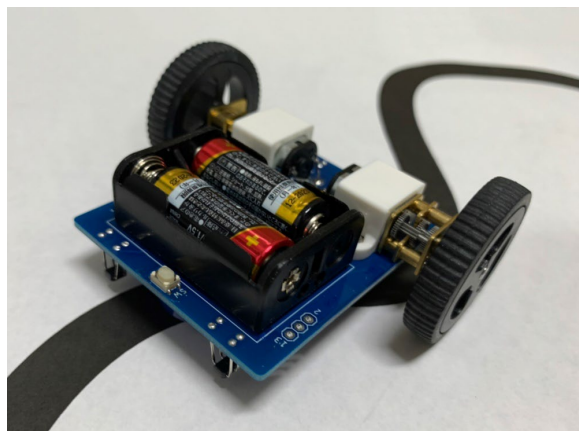


図7 デジタルライトレーサーの走行の様子

また、マイコンによるライトレーサーには、後部の光センサ、圧電スピーカー、タクトスイッチを用いることで、より複雑なプログラミングやPWMによるデジタル信号の直接の音声出力等を扱う教材としても活用できるため、我々が、例年、開催している「あいちワークショップギャザリング」等で、これらの教材を用いたワークショップを実施する予定にしている。

参考文献

- (1) 高等学校学習指導要領(平成11年3月29日告示第58号)、文部科学省、ISBN 978-4-17-153522-6(2007)。
- (2) 2024年度以降の国立大学の入学者選抜制度—国立大学協会の基本方針—の策定に当たって(会長談話)、(2022年1月28日)、一般社団法人国立大学協会、2022。
- (3) 2024年度以降の国立大学の入学者選抜制度—国立大学協会の基本方針—(2022年1月28日)、一般社団法人国立大学協会、2022。
- (4) ニューステップアップ情報I教科書傍用問題集、日経BP編集、東京書籍(2022)。
- (5) 令和4年度使用都立高等学校及び都立中等教育学校(後期課程)用教科書教科別採択結果(2021年10月)、東京都教育委員会(2021)。
- (6) 赤澤紀子、赤池英夫、柴田雄登、山根一朗、角田博保、中山泰一、高等学校共通教科情報科の知識体系に関する一考察、情報教育シンポジウムSSS2021論文集、情報処理学会、pp.261-268(2021)。
- (7) 文部科学省:高等学校情報担当教員の専門性向上及び採用・配置の促進について(通知)、令和3年3月23日(2021)。
- (8) 情報教育指導充実事業「情報教育指導充実に向けた調査研究」高等学校教科「情報」の免許保持教員による複数校指導の手引き、文部科学省(2021)。
- (9) 高等学校学習指導要領(平成30年3月告示)、文部科学省、ISBN 978-4-8278-1567-2(2019)。
- (10) 高等学校学習指導要領(平成30年3月告示)解説 情報編、文部科学省、ISBN 978-4304041655(2019)。
- (11) 文部科学省検定教科書 情I705 最新情報I、実況出版(2022)。