

マイコン実習装置[AMA01型]ライトレース・ラジコンカーを用いた組み込みシステム制御に関連する訓練の実施

兵庫職業能力開発促進センター 長谷川 光一

1. はじめに

本稿は、『遠隔制御およびライン追従制御車「あまっこ1号」^[1]」を制作した背景および技術の特徴、兵庫職業能力開発促進センター（ポリテクセンター兵庫，以下ポリテク兵庫という）における活用例およびその成果について述べる。

本稿の対象分野は、IT分野・組み込み制御分野であるが、それ以外の専門分野の方々にもご一読いただきたい。

2. 概要

「あまっこ1号」（以降、マイコン実習装置[AMA01型]と称する）は、ライトレース・ラジコンカーおよびラジコンカーの機能があり、それとわかる特徴を備えている。その写真を、図1に示す。

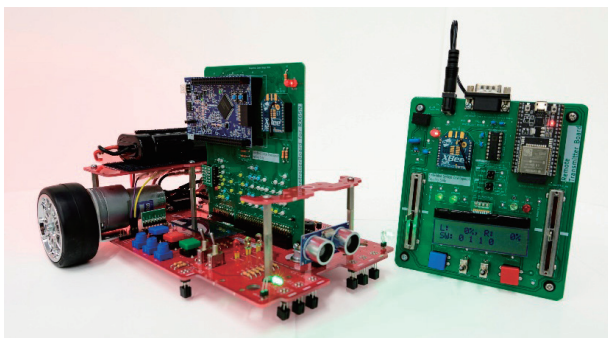


図1：AMA01型ライトレース・ラジコンカー

この実習装置は、組み込みシステムに関連する訓練で活用することを意図して制作した。

3. 制作に至った背景

私はこれまでに、組み込み分野に関連する実務を10年程度経験した後、公共職業訓練にてIT分野および組み込みシステム分野を12年程度担当してきた。その中で、とくに組み込みシステムに関する訓練現場では、次のような懸案・課題を常に抱えていた。

- (ア) 受講者のモチベーション低下
- (イ) 訓練用教材のミスマッチおよび不足
- (ウ) 後輩指導員育成および技能・技術伝承の素材不足
- (エ) 「学校教育で教わるプログラミング」からの脱却

上記（ア）については、IT分野全般にも言えることであるが、とくに組み込みシステムに関連する訓練では顕著である。受講生の大半は「プログラミング」というキーワードを手がかりに受講を志望するが、当初彼らが思い描いていたような「パソコンの前で座ってできる（事務職の延長のような）仕事」との乖離を目の当たりにする。

彼らは、「職業訓練なのだから難しいのは織り込み済み」と、モチベーションを高く保ち訓練に励むのだが、あまりの成果のあがらなさにモチベーションを著しく低下させ、意気消沈する。

組み込み分野以外の IT 関連訓練であれば、モチベーションの低下を防ぐ手立てをしやすい。

例えば、スマートフォンのアプリ制作に関連する訓練をする場合、スマホという最新技術に携わるといふ事実に加えて、画面を工夫し目まぐるしく動かすなどできるので、プログラムの成果がわかりやすい。加えて、普段自分が接しているものに関連することも相まって、やりがいがあると感じやすいため、モチベーションを保ちやすい。

組み込み分野の（とくに家電や自動車の制御をターゲットとした）訓練では、プッシュスイッチや LED を初歩の題材とすることが通例で、前述の分野に比べるといかにも地味である。加えて、プログラムの記述量も多くなりがちである。これでは意気消沈するのも無理はない。

そこに、(イ)の事情が加わる。市販の組み込み分野向けの教材は、いわゆる「帯に短し襷に長し」というものが大半である。ちょうどよい教材を発見しても、すぐに故障して修理や追加調達ができず、その後使用できなくなることも多くある。

このため、これを利用せずに、ブレッドボードなどを用いてマイコンや部品同士を手作業で配線し、帯やら襷やらを制作してからプログラムの話題に入らざるを得なかった。

ブレッドボードで電子回路を制作するだけでも、かなりの労力を要する。その制作例を図 2 に示す。

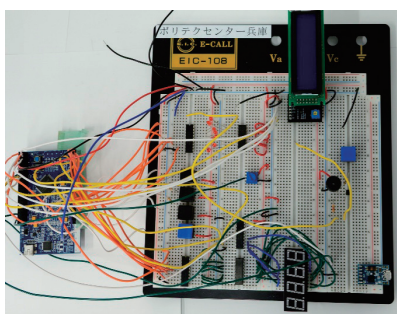


図 2：ブレッドボードを用いた回路制作例

さらに、配線不良やプログラムエラーのどちらも判別が付かない不具合に対処しなければならな

い。

ここまでの苦勞をして、やっとプッシュスイッチや LED を制御することができようになるため、成果に対して苦勞が見合わないと感じる。このため将来に不安を抱くようになる。

これらのことにより、スマートフォンの課題のような、もっと気の利いた、「やりがいのある」「帯にも襷にもちょうどよい」実習を提供する必要性を大いに感じていた。

(ウ)の後輩指導員への技能・技術伝承については、主に離職者訓練で行い、在職者訓練でレベルアップを図るのがセオリーである。理想的な指導員像は、一人前の組み込みエンジニアに比肩することであるが、それを期待するのは非常に酷である。

すくなくとも求められるのは、組み込みシステムの構築に必要な技術の幅広さを知っており、いつでも勉強に取り組み深められることである。

これまでの、プッシュスイッチや LED と、それらを取り扱う簡易なサンプルプログラムでは、幅広さや深みを伝えることができず、非常に歯がゆい思いをしてきた。

(エ)にも関連するが、用いる教材のレベルを超えた教育ができないので、いわゆる「学校教育のレベル」を超えて現場レベルで後輩指導員の育成をおこなうことが非常に難しかった。

学校教育において、プログラム作成の課題では、「～という動作をするプログラムを作成せよ」という指示がされることが多い。課題の解説では、標準的な完成例、つまりサンプルプログラムや、成果物を構築する操作手順が見本として示される。

自分でプログラムを考え出せなくても、サンプルプログラムを入力する操作ができたり、手順書どおりに操作ができれば、最低限の達成と見做すことも多い。

しかし、実際の現場においては、サンプルプログラムに相当するものを自分で考え作成することや、

操作手順そのものを自分で考えることが達成基準となる。

それを達成できるようになるには、プログラムを少しずつ作って、その途中で動作させてみては、機器や画面の動作を観察・確認することを繰り返して、完成に近づけていくことが必要である。

スマートフォンのアプリなどであれば、パソコンの画面で動作結果をすべて把握できる。

しかしながら、組み込みシステム開発では、それをするのは難しい。機器の外観を観察するだけでなく、内部の様子を観察し、内部にある制御回路の電気信号を測定する必要があるためである。

パソコンだけでなく、測定器の操作スキルも必要となる。

機器側も測定器の接続やパソコンとの連携を前提とした構造が求められる。

しかしながら、市販の教材では、そこまで考慮されているものは稀である。

つまり、市販教材では組み込みシステム開発を学ぶのに大なる不足がある。

これらの問題・懸案を解決するため、本教材は、様々な特徴を盛り込んで設計した。

本教材で実現できる訓練の「レベル感」は、活用のハードルが高すぎることなく、「学校教育のレベル感を脱却」し、かつ、開発現場で必要となりそうな最低限の機能や考え方を習得できる、といったものである。

4. 教材の基本的な構造および設計意図

本教材「AMA01型ラインレース・ラジコンカー」は、一般的なラインレースカーとラジコンカーの形状と機能を備えている。

車体が自走でき、自分の操作にも追従するため、プログラムの成果が目に見えやすく、とくに初学者のモチベーションの維持・向上ができることを意図

している。また、車体を高速走行させるなど、高度でハイレベルな制御へのチャレンジにも活用できることを意図している。

4.1. 教材の主な構造

車体のシャーシはプリント基板で兼ねている。車体を制御するマイコンは、車体とは別のプリント基板に取り付けて、コネクタを介して垂直に接続する。

車体を制御するマイコンは、異なる種類を接続できる。このため、訓練の目的や到達度に応じて適したマイコンを選択できる。

現在のところ、接続できるマイコンは、ルネサスエレクトロニクス RX65N, Arduino UNO, RaspberryPi 4B（または5B）である。この構造を [Adaptive Microcontroller Attachment, A.M.A] と称する。

AMA 構造の概要を、図3に示す。

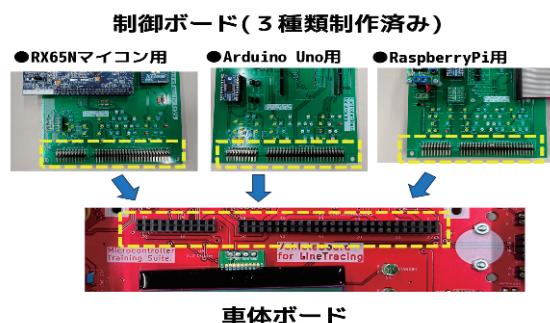


図3：Adaptive Microcontroller Attachment 概念図

車体側には、走行に必要なモーターやラインレースに必要なセンサなどを備えている。

車体前部および右側面の写真を、図4に示す。車体前部には、前照灯LED、ラインレース用赤外

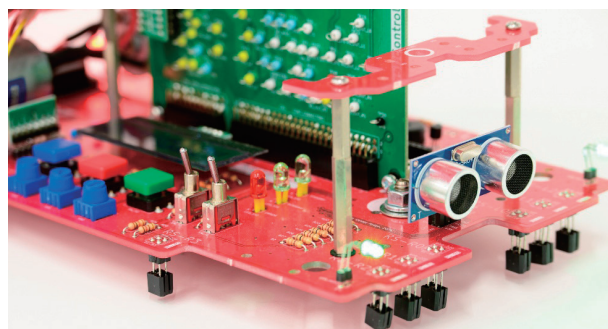


図4：車体前部および右側面

線反射センサ，超音波距離センサ，WEBカメラ取り付けブラケットを備える。右側面には，状態表示LED，プッシュスイッチおよびトグルスイッチ，可変抵抗器，ドットマトリクスLCDパネル，オシロスコープ用チェック端子を備える。

車体後部の写真を，図5に示す。

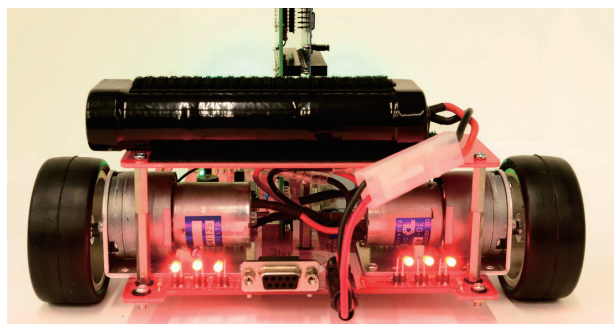


図5：車体後部

車体後部には，電池取り付けブラケット，給電用DCジャック，走行用モーター，尾灯LED，RS-232Cコネクタを備える。

そのほか，リモコンボードを備える。リモコンボードは，無線通信を主な手段として，使用者の操作を車体側に伝える役割をもつ。

これにより，ラジコンカーのように操縦できる。ライトレース時の動作を図6に，ラジコン操縦時

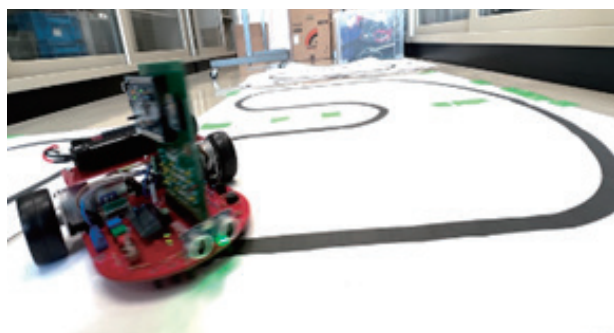


図6：ライトレース動作のようす

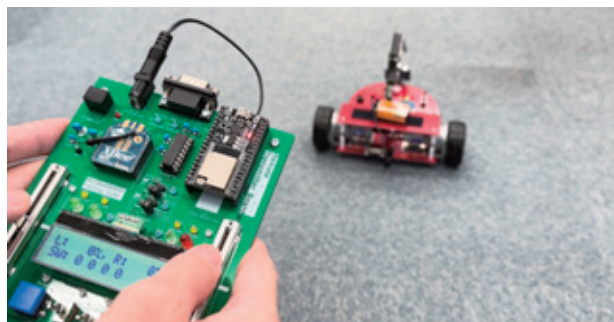


図7：ラジコン動作のようす

の動作を図7に，それぞれ示す。

このように，AMA01型は，さまざまな機能と動作モードを実現できる構造である。この構造は，次のことに寄与する。

- 訓練の目標や受講者の到達度に応じて，さまざまなパターンの課題を設定できること
- 受講生の創作意欲を呼び起こし，モチベーションの維持・向上につながる

4.2. 初学者の心を掴む工夫

市販の教材（とくに車両の形状をしたもの）は，そのメーカーが指定するライブラリや開発環境が必要となることが多い。最初の一步を動かすまでに，かなりの労力を要するので，初学者にはハードルが高い。

Arduino UNOマイコンは，電子工作用としても知られている。応用例も多く，書籍やWEBサイトで扱われている。このマイコンを使用する場合，簡単なライトレース動作を40行程度（本誌左側1ページ分）のプログラムにて実現できる。開発環境の構築も標準的な手順でよい。

RaspberryPiを使用する場合，文字でのプログラミングをせずに，ブロックや線を組み合わせることでラジコン操作を実現できる。未検証ではあるものの，同じ方法で，ライトレース動作も実現できる見込みである。

これらのように，非常に低い労力で目に見える成果を実現できるため，初学者の心を掴みやすい。

4.3. ハイレベルな制御への応用

○リアルタイム制御

リアルタイム性は，本書においては「センサの状態読み取りおよびアクチュエータ制御等の処理を規定のタイミングで起動し，規定の時間内に完了できる特性」と定義する。これは，組み込み機器制御において非常に重要な特性である。

ライトレース動作においては，センサの状態読み取りとフィルタ処理，走行状態の判定，走行制御の指令など，さまざまな処理にリアルタイム性をも

っておこなう必要がある。

リアルタイム性が失われた場合、制御タイミングが歪になるので走行動作に乱れが生じたり、走行が遅くなるなどする。これを解決するという動機を与えることにより、リアルタイム性を確保する動機づけができる。

○通信制御

AMA01型は、RaspberryPi マイコンを接続できる。このとき、RaspberryPi OS (Linux) を使用できる。

リモコンボードのマイコンはESP32である。このマイコンは無線 LAN 機能をもっているので、ネットワーク経由にて通信し、ラジコン操縦ができる。

通信制御は、スレッドや排他制御、同期などの高度な制御を必要とする。

いずれも組み込みシステム制御において必須となる知識である。これらを習得する実用的な例なので習得のモチベーションも上がりやすい。

4.4. 教材としての使いやすさの工夫

教材として使いやすいように、次のような工夫を盛り込んでいる。

- 全ての設計データを指導員が把握できる
- プリント基板は、一般的なプリント基板製造業者に依頼して製造できる
- 部品は、すべて電子部品 EC サイト等で入手できる
- ライフサイクルが短いと思慮される部品は使用しない

この工夫により、教材が故障してもすぐに補修したり、必要になったらすぐに複製・増産できるので、訓練に穴が開くことが無くなる。

これまでの訓練にて懸案の大部分を占めていたが、これを解決できる。

4.5. 現場で必要となるスキルを習得できる工夫

組み込みシステム開発において、必須となるスキルのひとつが、測定器による制御信号の観測である。

にもかかわらず、学校教育の段階ではそれを重要視することが非常に希である。実際に、市販教材の多くは、制御信号の観測が考慮されていない。

ここでは、制御信号を教科書の紙面上のみで提示するのみで、制御信号の理解につなげることができないし、測定器の使用方法も提示できない。

AMA01型は、制御信号については、ほぼすべてのものについてオシロスコープなどの測定器で観測できるよう、チェック端子を設けている。

制御信号の実際のようなすとプログラム上の指令との関係性を確認できるので、理解の促進につながる。測定器の使用・活用方法も数多く提示できる。

図8に、オシロスコープと接続し制御信号を測定しているようすを示す。

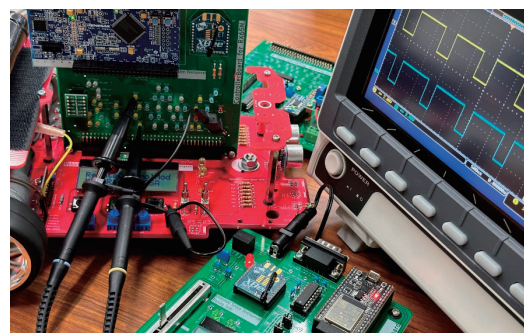


図8：オシロスコープとの接続

必須となるスキルのもうひとつは、デバッグに関するスキルである。デバッグをするには、対象の機器にデバッグ装置や測定器を接続して、状態を観測・確認することが必要となる。

機器の動作中や走行中の状態をデバッグする場合、測定器やデバッグ装置を接続して内部状態を把握する必要があるが、そのためには困難を伴うことが多い。

対応策は、同時並行で通信をしながら機器の内部状態をパソコンに送信することが一般的である。

この場合の通信手段はUARTが一般的である。UARTを用いる通信手段として、AMA01型はRS-232C または ZigBee が利用できる。

4.6. サンプルプログラム

サンプルプログラムは、受講生や後輩指導員がプログラムを学ぶ上で重要な資料である。

学校教育においては、提供されるプログラム例が実用的でないことが多くある。

実用的ではない例は次の通りである。

- ① プログラム言語の文法・機能としては知っておくべきであるが、実務では使用しない（または使用を禁じられている）文法・機能を用いるもの
- ② 制御機能の説明において、説明対象の機能単体だけに焦点を当て、他の機能と組み合わせた場合の構造を考慮していないもの

上記①については、教育のために提示する必要があるのではやむを得ない。②についても、他の機能との組み合わせを考慮するのは、理解を難しくするのでやむを得ない。なお、①にあつては、時代によってはプログラム動作高速化の手法として推奨していたものも含まれる。これらを、「学校教育的なプログラム例」と称する。

一方で、「(実務で使う) 実用的なプログラム」ときけば、複雑怪奇で難解なプログラムおよび構造に違いないという先入観があるが、実際はそうではない。実務では、簡潔な構造で目的が明瞭であることが求められる。とくに、近代においてはその傾向が強い。

とはいうものの、実用的であれば、教育上必ず理解の促進に有利というものでもない。学校教育で多用されているということは、それだけ効果があったということでもある。

実用的な構造のプログラムは、ある程度の理解が進み、制御対象の規模が大きくなり制御の複雑さが増してきたとき、恩恵を感じて、動機を持つことができる。

AMA01型を制御するソフトウェアは実用的な構造の恩恵や動機を感じる程度の規模となる。

プログラム例は、説明のために一旦は学校教育的なものを提示して、その後に実的なものを提示することが望ましい。

AMA01型のサンプルプログラムは、学校教育的な形式を多く提供しているが、今後はそれを改良して実的な形式も増やしていく予定である。

4.7. 製造用データによる教材の複製

本教材を製造するためのデータは、必要なものを一式備えている。例えば、回路図、プリント基板製造パターン（以下、パターンという）、部品表である。回路図およびパターンはKiCADで作成した。

パターンの製造用データをプリント基板製造業者に送付すれば、プリント基板が製造できる。

残念ながら、切削型の基板加工機での加工は適していない。パターン間の余白に余裕がないことと、両面に回路が必要であり、スルーホール加工が多く必要なためである。

パターンデータの一部を、図9に示す。

部品表を元に部品を購入し、製造したプリント基板に取り付けて、マイコンにサンプルプログラムを書き込めば、教材を複製できる。

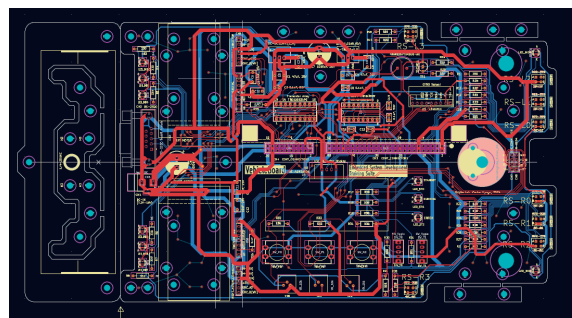


図9：プリント基板製造パターンデータ

5. 訓練における活用およびその成果

AMA01型は、受講生の人数分を制作済みで、訓練において活用している。

離職者訓練の最終月（6か月目）において、それ

までの訓練成果を総合的に用いて制御をおこなう課題として活用している。

この活用は2期続いている。意欲の高い受講生においては、積極的に機能を作り込み、高レベルの課題に取り組むなどしているのが見受けられた。

AMA01型の導入前は、海外製の戦車型模型車両を用いていたが、2期使用したところで故障が多発したため予備機から部品交換して凌いだ。しかし、その後も故障が続き、部品のやりくりができなくなったため、実習ができなくなった。

そのさらに前は、ブレッドボードによる配線作業の後にプログラムを扱っていた。

このような不具合対応や配線作業の必要がなくなったため、その時間をプログラムやマイコン機能、組み込みシステム開発の心構え等の説明、および実習に割り当てることができている。

これが功を奏しており、自主的に活発に課題に取り組んでいる様子を見せる受講生の割合が大幅に増えたように見受けられる。

なお、AMA01型を訓練の最終月で使用している理由は、サンプルプログラムと教材の整備が追いついていないためである。

6. 今後の活用予定

AMA01型の使用は、現在入所している離職者訓練の受講生に活用すれば3期目となる。

現在、試用段階ではあるものの、別に制作したマイコン実習装〔AMA02型〕を訓練中盤で使用している。これにより、基礎力の向上が見受けられるので、AMA01型と組み合わせて、さらなる活用に成果につながると思慮される。

ポリテク兵庫だけでなく、施設外での活用の道も開けつつある。

近畿地区における「顔の見えるねっとわ〜く」活動において、本教材の紹介をしたところ、他施設の指導員より学生の開発課題として活用したい旨相談があった。

製造用データを提供することにより複製できるので、他施設での使用も可能である。

複製した車体を使って、ソフトウェアや制御設計の課題とすることもできる。そのほかの活用としては、製造用データを参考に派生した車体を設計・製作する課題としてもよい。この場合、車体側と接続するコネクタの仕様を共通にする必要がある。

在職者訓練においては、受講見込み企業におけるヒアリングにて、現場では教育に適した教材が無いことなどから、受講後は教材を購入したいとの申し出があるなど、好評価をいただいている。

先述の企業をはじめ、いくつかの企業からは、組み込みシステムに携わることができる十分な技能・技術をもったエンジニアが不足している旨相談を受けることがある。

このような企業において、組み込み分野の教育・人材育成における懸案・課題を解決するため、本教材を活用することは大変有効であると考えている。

7. おわりに

本教材を、令和6年度職業訓練教材コンクールに応募し、特別賞^[1]をいただくことができた。

本教材を設計・製作するにあたっては、ポリテクセンター兵庫の役職員より多大な支援をいただいた。この場を借りて深く御礼申し上げる。

<参考文献>

- [1] 長谷川光一、川出泰木、小澤弘明：「遠隔制御およびライン追従制御車『あまっこ1号』」、令和6年度 職業訓練教材コンクール 受賞教材、職業能力開発総合大学校 基盤整備センター、<https://www.tetras.uitec.jeed.go.jp/statistics/concours/24kyouzai/sakuhin#c15>、令和8年4月30日参照