

動機付けを考慮した Linux デバイスドライバ教育用教材 Teaching Materials for Linux Device Driver Programming Considering Motivation

堀田 忠義, 秋葉 将和, 菅野 恒雄

Tadayoshi Horita, Masakazu Akiba and Tsuneo Kanno

This paper proposes a set of teaching materials for Linux device driver programming including intrinsic motivation elements. The set of materials consists of a microcomputer car, the Nintendo Wii Remote, sample source codes of driver and user programs, text documents and Moodle contents. Among these materials, the intrinsic-motivation elements are the microcomputer car and the Wii Remote. Students can check programs developed by themselves, including the part of Linux device drivers, by observing movements of that car. Exercises using pressing buttons and 3-axis acceleration sensors in the Wii Remote are given to students.

Thus paper also reports the practical use of our developed materials for students of Polytechnic University of Japan(SYOKUGYO DAI), and shows that our materials surely give intrinsic motivations to students and that this lead to the educational effectiveness of our materials not only for the Linux device programming education but also the educations of related subjects such as C programming, Linux basis and networking.

Keyword: Linux device driver programming, teaching material, intrinsic motivation, game controller, microcomputer car

1. はじめに

職業能力開発総合大学校^[1] (以下「職業大」と略記する)の総合課程(4年間の学士課程)の上位学年学生向けに開発した, Linux デバイスドライバ教育のための教材について報告する. 開発した教材は, 自作のマイコンカー, Wii リモコン(任天堂社)^[2], ドライバやユーザプログラムのサンプルコード, テキストおよび Moodle^[3]コンテンツから構成される. マイコンカーは ARM9 仕様のマイコンボードによって制御され, DC モータによる駆動部分の他に, 障害物検出用スイッチや距離センサなどが搭載されている. Wii リモコンと ARM ボード間は Bluetooth アダプタを介して通信する.

これらの教材の中で, 学生への内発的な動機付けの要素は, マイコンカーと Wii リモコンである. 学生は, 自身が開発したデバイスドライバを含むプログラムを, マイコンカーの「動き」によって確認出来る. また Wii リモコンについては, デバイスドライバプログラミングの課題の設定は無いが, 同リモコンに搭載されている加速度センサや押しボタンの機能を用いた課題が設定されている.

なお, 対象の授業の概要を以下に示す.

- 対象の学生: 職業大総合課程電子情報専攻 3 年生.
 - 平成 27 年度授業実施時は 14 名
 - 平成 28 年度授業実施時は 19 名

- 対象の授業: 「組込みシステム構築実習」(2 単位).
- 実施形態: 9 日間の集中授業(9 日間連続して行う授業形式), 計 72 時間.
- 教材が扱う範囲: Linux やネットワークの基本事項, クロスコンパイル, 各種ハードウェア機能とデバイスドライバの関係に関する課題など(詳細は後述する).
- 前提: 学生は 2 年時の「ネットワーク工学実習」(72 時間)にて, Linux やネットワークの基本事項を既に学習している. またいくつかの実習科目を通じて C 言語も学習済みである.

LMS(学習管理システム: Learning Management System)構築用ソフトの 1 つである Moodle のサーバを構築し, 小テスト形式の多くの同コンテンツの作成も行い, 実習の 1 日目と 9 日目にそれを利用した小テストも実施している. そこから得られたデータより, 提案教材の有効性について述べる.

なお本論文は, 文献^[4]に更なる結果や考察を追加したものである.

2. 背景, 新規性, 必要性など

Linux デバイスドライバ開発の教育について, 一般の工学系大学のカリキュラムにおいてはほとんどされていないが, 1 日程度の座学あるいは実習を行うようなもの

が散見される状況である。

一般の工学系大学の授業で Linux ドライバの教育がほとんどされない理由は、1) 現役の大学生のような若年者にはそもそも難しすぎる内容である、2) その技術を習得しても学術研究などでの活用がほとんど期待できない、などの原因が考えられる。しかしながら職業大では、総合課程の卒業生の多くが将来職業訓練指導員となる事、および職業訓練施設⁵⁾で Linux ドライバの教育訓練を行う可能性があることから、その関連の授業を受けておくことが望ましいと言える。

ここで、対象者にとって難解であるとあらかじめ分かっている内容を教えるに際しては、技能習得のためには通常の授業以上の「苦勞」が必要なため、一部の受講者が学習の初期段階から授業内容に対して多少のネガティブな気持ちを持ってしまう事は、十分に予測出来る。そのようなネガティブな印象は、しばしば後続のより高度な関連の技能習得に、悪影響を与える。従って、大学のような教育機関で Linux ドライバの教育訓練を行うには、そのための何らかの対処が必要である。

一方で、職業訓練施設⁶⁾をはじめ、一般企業のセミナーなどによる Linux ドライバ開発の教育や教材は既に多くあるが、それらの対象者は現役の IT 技術者や離職者である社会人であって、現役の大学生と比較して社会経験や技術的経験が豊富である。その事や授業時間的な制約からと察せられるが、それらの教材には「遊び心」を利用したような動機づけ要素は見られない。

以上より、Linux デバイスドライバ教育を扱う優れた教材は既に多くあるにもかかわらず、職業大の総合課程の9日間の集中実習のような機会に、学生の興味を維持かつ増進しうるような、提案教材に匹敵するような教材は、現時点では見当たらない。よって、提案教材を開発するに至った。

3. 開発教材



図1 マイコンカー (左) と Wii リモコン (右) の外観

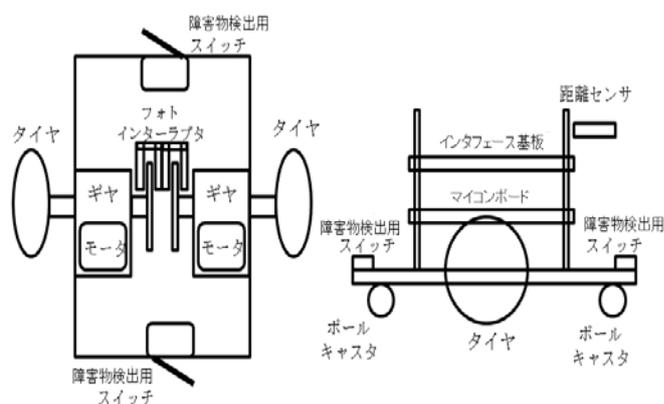


図2 マイコンカーの構成図

表1 マイコンカーの主な部品

マイコンボード	ARM9 ボード (日昇テクノロジー社製 mini2440 ⁷⁾)
インタフェース基板	モータドライブ回路や各センサへのコネクタを搭載、自作
駆動部	ギアボックス(タミヤ ITEM72003), タイヤ(タミヤ ITEM70145)
無線 LAN アダプタ	プラネックス社製 GW-US54GXS
Bluetooth アダプタ	PCI 社製 BT-MicroEDR1X
距離センサ	シャープ社製 GP2Y0A21YK

図1に、マイコンカーと Wii リモコンの外観を示す。

図2および表1に、マイコンカーの構成図およびマイコンカーの主な部品を示す。図2のように、マイコンカーはだまかに3層構造であり、上から、インタフェース基板、マイコンボードおよび駆動部分である。また前方向には距離センサも搭載されている。

駆動部分では、厚さ2mmのアルミ板に駆動部(ギアボックスとタイヤ)、ボールキャスター、フォトインタラプタ、および前後方向にそれぞれ1つの障害物検出用スイッチが、それぞれネジ止めされている。フォトインタラプタによって、1/6回転単位の各タイヤの回転数を計測可能である。

インタフェース基板は、著者の1人がCADソフトを使用して必要な各種パターンデータを作成の上、プリント基板制作業者に外注し、さらに部品を手作業ではんだ付けしたものである。この基板には、モータドライブ回路が実装され、加えて、マイコンボードのGPIOコネクタへの接続ケーブル、駆動部や各センサ等への電源を含む配線ケーブルが接続されており、マイコンのほぼ全ての配線は、このインタフェース基板を介して行うような電気的な構造になっている。参考までに、その回路図の概要とモータドライブ回路部分(片側用のみ)の詳細を、付録の図3および図4にそれぞれ示す。

インタフェース基板の物理サイズはマイコンボードに合わせてあり、同じくマイコンボードの四隅のネジ穴に

合わせて配置された 4 つのネジ穴に対し、各 1 本の 10 cm のネジ、ナットおよび樹脂のスペーサーにより、マイコンボードと共に駆動部分のアルミ板に固定されている。

マイコンの GPIO ポートと各部との接続状況は以下の通りである。インタフェース基板のモータドライブ IC の制御端子は、GPIO の出力ポートに接続されている。障害物検出用スイッチとフォトインタラプタの信号端子は、GPIO の割り込み入力ポートに接続されている。距離センサの信号端子は、GPIO のアナログ入力ポートに接続されており、マイコン内の A/D 変換モジュールを介して処理される。

Bluetooth アダプタおよび無線 LAN アダプタは、小型の 4 ポート USB ハブを介して、マイコンの USB コネクタに接続されている。

マイコンカーの電源であるが、単 3 電池 2 本用と同 4 本用の電池ボックスをそれぞれ搭載している。前者は DC モータの電源用に、後者はレギュレータ素子を介して 5 (V) に変圧の上、その他のマイコンボードやインタフェース基板の IC 用の電源に、それぞれ使用されている。また単 3 の一次電池だけでなく、それよりも電圧の低い充電式電池での正常な動作も確認出来ている。

マイコンカーの物理サイズは、長さ 220(mm)、幅 175(mm)、高さ 121(mm) である。また重量は 590(g) (電池を含まない) である。

Wii リモコンの機能のうち、教材で使用するのは、十字キーや押しボタン、3 軸の加速度センサ、振動機能、および LED インジゲータである。

表 2 開発環境

OS	Microsoft Windows 7 Premium, Fedora 13 i386 版
コンパイラ	arm-linux-gcc 4.3.2
Bluetooth 通信	bluez-3.36
マイコンボードの OS	linux2.6.29

表 2 に、開発環境を示す。

ベース OS が Windows 7 であるノート PC に、仮想化ソフトを利用して Fedora13 をゲスト OS としてインストールする。マイコンボード用のコンパイラは Fedora13 にインストールされる。

NFS(Network File System)と無線 LAN を使用する事により、Fedora13 でコンパイルされた実行形式のファイルは、マイコンボードにもファイル共有される。このような設定により、マイコンカーでのプログラムの実行手順を容易にしている。

bluez ライブラリはマイコンボードにインストールされ、Wii リモコンとの通信に使用される。

実習用のテキストは、110 ページから成る著者が自作のものを使用する。

Moodle サーバおよび小テストなどのコンテンツにつ

いては後述する。

4. 実施日程と実習課題の概要

4.1. 実習の日程

実習の日程について以下に列挙する。

- 1 日目： 実習の概要説明, Moodle 小テスト, 開発環境の構築 (Fedora13 のインストールと設定, 無線 LAN と NFS 環境), Linux の基本事項の復習。
- 2 日目： ARM ボードの初期設定, Makefile の説明, Hello World の実行, マイコンカーの概要説明, デバイスドライバの基本, モータドライバ 1
- 3 日目： 障害物検出用スイッチの割り込み, モータドライバ 2 と 3。
- 4 日目： フォトインタラプタの割り込み, 距離センサ, Wii リモコン 1。
- 5 日目： Wii リモコン 2 と 3。
- 6 日目： ボードのブザードライバ, 自由課題の仕様策定, 作業。
- 7 日目： 自由課題の作業。
- 8 日目： 自由課題の作業, 発表練習。
- 9 日目： 発表会, Moodle 小テスト, レポート作成, 片付け。

4.2. Moodle 関連部分の概要

1 日目の Moodle 小テストの内容は、以前の実習科目で学生が習得しているはずの内容 (C 言語の基本, Linux コマンドライン, ネットワークの基本事項など) であり、それらの中で特にこの授業関連の深い部分を出題している。学生は回答を提出後すぐに採点結果と正解を確認出来るため、各学生は自分の苦手部分を授業の冒頭で認識出来る。一方で、教員はその小テストの結果から学生全体としての苦手部分をすぐに把握し、その対策をその後の授業の中で速やかに行う。これらの事によって、学生は以降の授業内容の理解をより深める事が出来、それは授業のスムーズな進行につながる。

9 日目の Moodle 小テストについて、出題内容は、初日の内容に加えて、この実習で学習した Linux デバイスドライバの内容も含む。またいくつかの項目についての印象や、感想、提案事項を問うような、アンケート的出題も行っている。さらに実習全体に対するこの小テストの配点と共に、正解率が成績に影響する旨、学生に周知される。

1 日目および 9 日目での Moodle 小テストでの回答時間内では、学生は配布資料や教科書は参照出来るが、他人には一切相談出来ない状況での回答を求められる。

これら Moodle 関連の教材の部分の詳細は次章に述べる。

4.3. 課題構成の概要

Moodle 小テストの回答以外の課題では、2 人 1 組 (班) での実施となる。2 日目の「Hello World の実行」から 4

日目の「Wii リモコン 1」までの各課題では、未完成のソースファイルがそれぞれ与えられ、残りのソースコードを追加するような「穴埋め問題」的な課題となっている。それらの難易度としては、最初は簡単で実習が進むにつれて徐々に難しくなるように設定されている。例えば前半の「モータドライバ 1」のドライバ部分の課題では、片側のモータに対するソースコードは完成しているが、もう片方のコードは未完成なソースファイルが与えられる。学生はその完成している部分を参考にして、もう片方のコードを記述するような課題となっている。一方で3日目の「障害物検出用スイッチの割込み」の課題では、テキストに割込みのための関数や手続きなどの説明があり、学生はそれを読んで理解した上で、必要なコードを考えて入力するような課題となっている。

2日目の「モータドライバ 1」から徐々にドライバ部分のプログラミングが進み、4日目の「フォトインタラプタの割込み」の課題でドライバ部分のプログラムが完成する、つまりそれらの課題では、ドライバプログラムとユーザプログラム両方を開発する課題となっており、それら2つについてそれぞれ最初に未完成プログラムが学生に配布される。また4日目の「距離センサ」以降の課題では、ドライバプログラムの課題は無く、ユーザプログラムに関する課題のみである。

5日目以降の課題では、テキストに書かれている要求仕様を学生は読んで理解し、それまでに学んだ事柄を使って自分で関数から定義するような、より高度な内容になっている。

自由課題は、与えられた要求仕様を満たすようなシステムを考案してプログラムする内容になっている。

要求仕様は以下の通りである。

- オリジナルな要素を含む。
- オリジナル関数を3個以上/人作成する。
- これまでに学んだ機能（駆動装置、各種割込み、距離センサ、wii リモコン）を、システムにおいて意味のある方法で必ず使用されるようにする。

4.4. ドライバ開発課題部分の概要

ドライバプログラミング課題の中で、そのソースコード編集まで行う課題は、GPIO 制御の部分、すなわち、DC モータ制御部分と、障害物検出用スイッチおよびフォトインタラプタ関連の割込みの部分である。これらの課題の作成に際しては、マイコンボードのメーカーが Web サイト⁷⁾経由で配布しているマニュアルおよびサンプルのデバイスドライバのソースコードを参考にした。

実習で扱っているのは、いわゆるキャラクタ型のドライバで、初心者向けの比較的簡単なプログラミング開発の内容である。ブロック型ドライバや、マイコンボードのデータシートを見なければ出来ないようなレベルの課題は設定していない。

一方で、Bluetooth アダプタおよび無線 LAN アダプタのドライバについての課題は設定しておらず、それらのドライバを既に組み込んだカーネルを配布している。

4.5. 課題における動機付け要素の説明

まず以下では、マイコンカーの「動き」の利用から得られる動機づけの部分の説明を行う。

- 作成したプログラムの実行結果を、マイコンカーのタイヤの回転の様子や物理的に動く「走り方」によって確かめる。そのような物理的な動きの観察は、学生にある種の感動を与えるので、内発的な動機づけ要因となりうる。
- 2日目以降の駆動部分に関わるドライバプログラミングの課題（「モータドライバ 1」など）では、作成したドライバプログラムの動作を、マイコンカーの「動き」によって確かめるような課題となっている。
- 「障害物検出用スイッチの割込み」と「フォトインタラプタの割込み」の課題ではまず、それぞれの割込みに関わるドライバプログラミングを行う。その上で、それらの機能をそれまでのプログラムに追加する。その実行結果をマイコンカーの「動き方」で確認するような課題となっている。
- 「距離センサ」の課題では、ドライバ部分はそれ以前で完成したものを利用するためドライバプログラミングの課題は無いが、測定した物体までの距離に応じたマイコンカーの「動き」によって、作成したユーザプログラムの実行結果を確認するような課題となっている。

次に、Wii リモコンの利用から得られる動機づけについて説明する。

- Wii リモコンの利用は、過去に Wii やその類のゲーム機を使用した経験を持つ学生に対して、ゲームをした時に感じた「楽しかった」という気持ちを思い出させる効果がある。電子情報専攻の分野を志す大学生の年齢層の大抵の若者は、そのようなゲーム機の使用経験があるので、そのような学生への授業での Wii リモコンの使用は、高い内発的な動機づけの効果が期待出来る。
- 4日目以降の「Wii リモコン」に関わる課題では、それまでのプログラムを利用して、Wii リモコンでマイコンカーを「操作」出来るようにプログラムを追加する課題となっている。
- リモコンの十字キーやボタンについては、それらを「押す」状態がマイコンカーの「動き」に正しく反映されるようにする課題となっている。
- リモコンの加速度センサについては、リモコンの傾きや、強く振った時の加速度の値がマイコンカーの「動き」に正しく反映されるようにする課題となっている。特に「Wii リモコン」の後半の課題では、簡易なパンチングマシンを作る課題となっている。（ここでパンチングマシンとは、ゲームセンターなどにある、パンチ力を測定して表示する、いわゆる「腕力比べ」を基本コンセプトとした、極めて単純なアーケードゲームである。）課題においては、その腕力は X 軸方向の加速度センサで測定された加速度の値とし、リモコンを振る強さが強い程その値

は高くなる。この何かを「振る」という動作だけでなく、「カビベ」のような要因は、多感な大学生年代の若者（特に男子学生）特有の「競争意識」に関連した独特の感動を与えるので、高い内発的な動機づけ要因となりうる。

- リモコンの振動機能および LED インジゲータについても、それらの機能を 4 日目以降の課題で使うように設定されている。マイコンカーの状況に応じて自分の手元での振動や LED 点灯の変化を確認できる事は、同様に内発的な動機づけ要因となりうる。最後に、「ボードのブザードライバ」の課題から得られる動機づけについて説明する。
- この課題ではマイコンボードに元々実装されているブザーで音を鳴らす機能を、前述のパンチングマシンプログラムに追加する課題となっている。ブザー用のドライバは完成したものを使用するが、それを使うためのユーザプログラム側の変更が要求される。
- 音色はいわゆる「ピープ音」であるため、和音も出せないような、決して美しい音ではない。しかし、周波数を変更してある程度の「音色」あるいは「音楽」を演奏出来る。大学生の多くは日ごろから携帯音楽プレーヤで音楽を聴いている事からも、この要因は特にそのような学生にある種の感動を与えるので、内発的な動機づけ要因となりうる。

5. Moodle サーバと小テスト

Moodle サーバを構築し、かつ同サーバのコンテンツとして上記実習に関連した内容の小テスト形式の課題を作成し、実際の授業で実施した。

構築した Moodle サーバの構成を表 3 に示す。OS として Linux をインストールした通常の DOS/V 機に、必要なサーバ類をインストールおよび設定を行っている。

表 3 Moodle サーバの構成

CPU	AMD FX(tm)-8120 (8 Core)
RAM	4GB DDR3
OS	CentOS 7.0
httpd サーバ	Apache 2.4.6
データベース	mariadb 5.5.44
php	php 5.4.16
Moodle	moodle 2.9.3
Moodle 追加プラグイン	Regular expression

Moodle コンテンツ部分の概要を以下に述べる。

小テストの出題範囲は以下の通りである。カッコ内の数字は問題数である。

- C 言語 (変数の宣言と代入(6), 条件分岐(4), 一重繰り返し(4), 関数(2), 構造体(2)) .
- Linux コマンド(5), 仮想環境(5), ネットワーク関連(6), クロス開発(7).

- Linux デバイスドライバ関連 (ファイルの種類とコマンド(5), ドライバ関連の関数 1(6), ドライバ関連の関数 1(4)) .

Linux デバイスドライバ関連以外の部分は、1 日目と 9 日目の両方で、ほぼ同じ内容の小テストを実施している。

C 言語や各種コマンドに関連した小テストでは、正解の記述に正規表現を扱える Regular expression プラグインを利用し、ソースコードやコマンドを 1 行分だけタイプさせるような問題を多く出題している。以下の例題 1 にそのサンプルを示す。

例題 1 :

buzzer 関連のドライバをボードに組み込むためのコマンドをタイプしなさい。(問題文はもう少し長い説明文が付加されているがここでは省略する。関連のデバイスドライバやユーザプログラムのソースファイルも閲覧可能になっている。)

答え : insmod my_buzzer.ko

ドライバ関連の関数やクロス開発の用語に関わる問題では、多岐選択問題形式を多く出題している。以下の例題 2 と 3 にそのサンプルを示す。

例題 2 :

(サンプルのソースコードを表示できるようにしておいて、) ユーザプログラムの 66 行目「close(fd);」が実行されたときに、ドライバプログラムで実行される関数を 1 つ選びなさい。

(s3c24xx_buzzer_close など 10 個の選択肢の中から 1 つを答えとして選ぶ仕様になっている。)

例題 3 :

デバイスドライバ空間で使用する関数「printk()」の説明文として正しいものを 1 つ選びなさい。

(10 個の選択肢の中から 1 つを答えとして選ぶ仕様になっている。)

ドライバ関連の関数 1 では、例題 2 のように、ユーザプログラムでのドライバ関連のある関数の実行が、デバイスプログラムでのどの関数の実行に対応するかを問うている。一方で、ドライバ関連の関数 2 では、例題 3 のように、ドライバプログラム内のみで使われる printk() や copy_to_user() などの関数の機能を問うている。

6. 授業実践と考察

表 4 Moodle 小テストの結果

小テスト課題の範囲	正解率の平均(%)	
	H27	H28
C 言語 (1 日目)	63.9	68.6
C 言語 (9 日目)	71.5	77.3
Linux コマンド〜クロス開発 (1 日目)	40.1	51.9
Linux コマンド〜クロス開発 (9 日目)	73.5	79.4
Linux デバイスドライバ関連	49.3	65.7

1日目と9日目に行った Moodle での小テストの結果を表 4 に示す。同表での値は、各項目の出題範囲での全学生の正解率の平均値である。また H27 と H28 はそれぞれ授業実施年度である「平成 27 年度」および「平成 28 年度」を示し、これ以降の表においても同じ意味を示す。

同表のデータより、以下を確認出来る。

- H27 よりも H28 の数値の方が全体的に高い。その原因の詳細は不明であるが、以下のように考えている。まず 1 つは、両年度における 1 日目の各数値を比較すると、2 種類のテスト両方で H28 の方が高い事から、H28 の学生グループの基礎学力の方が H27 のそれよりも平均として高いということが考えられる。もう 1 つは、両年度での担当教員が同じである事から、教員の授業経験増加に伴う教授法の改善が考えられる。
- 両年度において、C 言語および Linux コマンド〜クロス開発に関しては、1 日目と比べて 9 日目の方が 7.6%以上数値が高く、かつ 70%を超えている事から、提案教材は、それらの内容を教えるという観点から有効であると言える。C 言語については、学生は 1 年生の時から様々な実習科目を通じて繰り返し学習してきたので、学生は十分スキルを身に付けているはずであるので、当初はこのような 9 日間の実習の前でスキルの上昇は期待できないと予想されたが、実際には正解率 7.6%以上の向上が確認できた。
- Linux コマンド〜クロス開発の内容については、学生は 1 年前の実習科目で経験しただけで、それ以降そのスキルを使う機会がなかったため、1 日目のテストの結果では正解率が 52%以下とあまり良くない状態だったが、9 日目のテストでは 27.5%以上の数値的な向上が確認出来る事から、このような分野を教えるという観点でも提案教材の有効性が示されている。
- ドライバ関連部分については、H27 では正解率約 50%で決して高くない正解率であったが、H28 では 65.7%と年度ごとの比較では向上している。この正解率 65.7%という数値は、あまり高くない数値ではあるが、教授法の改善により、提案教材が Linux デバイスドライバプログラミングを教えるのにある程度有効である事を示している。

表 5 印象の変化に関するデータ (平均値)

調査項目	H27		H28	
	前	後	前	後
デバイスドライバ全般	2.4	3.3	3.2	3.7
マイコンカーのようなハードを扱うシステム開発全般	2.4	3.2	3.9	4.2
OS 無しシステムと比較した場合の組込み Linux の存在意義	2.9	3.5	3.1	3.8

Moodle の小テスト形式を使用して、「印象」について調査した結果を表 5 に示す。同表における「前」と「後」

は、それぞれ実習実施前とその後を意味する。3 つの調査項目につき、それぞれの印象を、H27 では (0=すごく嫌い, 1=嫌い, 2=少し嫌い, 3=普通, 4=面白い, 5=すごく面白い), H28 では (1=とてもつまらない, 2=つまらない, 3=普通, 4=面白い, 5=とても面白い) という意味で数値を入力する形式で行った。(両年度でのこの違いは、文献⁴⁾発表時に H28 のもののように変更するように指摘を頂いたためである。) 同表の値はその平均値である。

同表のデータより、以下を確認出来る。

- 両年度の各項目において、実習実施前後で 0.3 ポイント以上の改善が確認できる。この改善は、提案教材が実習内容について学生に内発的な動機づけを与えている事を意味している。
- H27 のデータについて述べる。数値で 3 未満の値は「ネガティブな印象」、3 より大きな値は「ポジティブな印象」を意味する。つまり、表のデータが意味するのは、実習実施の前では平均として実習内容に対してネガティブな印象を持っているグループに対して、提案教材を用いた授業により、それをポジティブに変化させる、という事である。
- H28 のデータについて述べる。数値 3 が中立を意味する。つまり、表のデータが意味するのは、実習実施の前では平均として実習内容に対してポジティブな印象を持っているグループに対して、提案教材を用いた授業により、より一層ポジティブに変化させる、という事である。

表 6 動機づけ要因

選択肢	回答数	
	H27	H28
Wii リモコンの加速度センサを使用した事 (リモコン形状の物を「振る」という動作)	4	8
Wii リモコンのボタンを使用した事 (リモコン形状のボタン押しという動作)	4	2
組込み開発 (マイコン搭載ハードとプログラミングの両方があること)	0	5
マイコンカー (モータで実際の物が動く事)	1	3
Linux, Fedora	2	1
デバイスドライバプログラミング	2	0
C 言語	1	0
Moodle のクイズ, 「バッジ」の存在	0	0
距離センサ, 障害物検出用スイッチ	0	0
そのような要因, 事項は無い (何も楽しくなかった)	0	0

Moodle の小テスト形式を使用して、「動機づけ要因」(「この実習への興味/維持/増進について、あなたにとって一番大きな要因」) について調査した結果を表 6 に示す。同表の「選択肢」の欄にある 10 個から 1 つを選ぶ多岐選択問題形式として学生に提示した。「回答数」は、学生がその項目を選択した数を意味し、同表では両年度の合計としてのその数が多かった順に掲載している。従って回答数が 0 は、学生のうちだれもその項目を選択しなかった事を意味するが、調査時に選択肢として提示したという意味で参考までに同表に掲載している。

同表のデータより, 以下を確認出来る.

- ほぼ予想できた事だが, Wii リモコンに関連した項目の回答数が, 両年度の合計で 18 件と多い事は, ゲームコントローラーの類の効果的な使用が, 大半の学生の実習内容についての内発的な動機付けにとっても役に立つことを示している.
- Wii リモコンほどではないが, マイコンカーの「動き」も内発的な動機付けに役立っている事も示されている.
- 上記のそれらほど多くはないが, 「組込み開発」, 「Linux, Fedora」, 「デバイスドライバプログラミング」といった, 一見地味ではあるが創造的な項目を選択した学生もおり, そういった創造的な要素も一部の学生の内発的な動機付けに役に立つ事が分かった.

表 7 「感想, 提案」分類結果

コメントの種類	該当件数	
	H27	H28
Moodle 問題訂正指摘, 授業改善提案	5	8
Wii リモコンなどの動機付け要因に肯定的	2	2
Wii リモコンなどの動機付け要因に否定的	0	0
その他の肯定的コメント	2	6
その他の否定的コメント, 愚痴	1	1

Moodle を使用し, プレーンテキスト入力で自由に入力可能な小テスト形式を利用して, 実習全体に関わる「感想や改善点の提案」について調査し, コメント毎にその意図を分類し集計した結果を表 7 に示す.

同表より, 以下が確認出来る.

- Wii リモコンやマイコンカーの「動き」などの動機付けに肯定的なコメントが両年度合わせて 4 件あり, かつそれに否定的なコメントは 0 件である事から, これらの要素が内発的な動機づけ要因として有効である.
 - 授業改善提案が各年度で数件寄せられているが, その大半はマイコンボードの寿命による不具合と, 椅子に背もたれが無い事に関するものであるため, 教材の教育効果に関する本質的な内容ではない.
 - その他の肯定的なコメントが, その否定的なコメントよりも多い事から, 提案教材および教授法が, 学生に好意的に受け止められていることが分かる.
- 最後に, 自由課題においては, 以下を確認出来た.
- 両年度共に, 全ての学生において, 要求仕様を満たしたシステムを作成出来た.
 - 学生のシステム開発の作業中および 9 日目の発表会の態度は, 時折笑い声も聞こえるようなポジティブな雰囲気であった事から, 開発教材の内発的な動機づけの効果を確認出来た.
 - 特に H28 においては, ビープ音で音楽再生を取り入れた作品が 4 件あった事は, 教材における音楽的要素が内発的な動機づけに役立つ事を示している.

7. まとめ

提案教材を使用した実習によって, Linux デバイスドライバ教育の部分だけでなく, その関連の C 言語, Linux の基本事項やネットワークといった教育内容についても, 学生のスキル向上が確認出来た. さらにデバイスドライバプログラミング等を含めたシステム開発についての, 学生の印象の改善も確認された. このようにして, 提案教材の有効性が示された. 各年度の学生のうちの幾人かが将来職業訓練指導員として職業訓練施設で活躍する事を考えると, 提案教材の波及効果は決して小さくないと思われる.

今後の課題としては, 学生のより高いスキル向上効果を目指した教材, 教授方法の改善が挙げられる. さらに, 提案教材を発展させた指導員研修用の教材開発も, 今後の課題である. 各地の職業訓練指導員が研修という形で, 本研究で開発した教材の使い方および同種の教材開発の方法を習得し, 実際の訓練現場で使用する事による波及効果は大きいと期待出来る. さらに, 多くの学生から指摘のあった劣化マイコンボードの問題に対応するため, 別のタイプのマイコンボードを使用した新たな教材を開発する.

謝辞

本研究でのデータ収集に関連して, 組込みシステム構築実習を受講した職業大総合課程電子情報専攻 3 年生 (平成 28 および 29 年度授業実施時の 14 名および 19 名) に深く感謝する.

参考文献

- [1] 職業大ホームページ(2017), <http://www.uitec.jeed.or.jp/>
- [2] 任天堂ホームページ(2017), http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html
- [3] Moodle ホームページ(2017), <https://moodle.org/>
- [4] 堀田忠義, 秋葉将和, 寺内美奈, 菅野恒雄, "職業訓練向け Linux デバイスドライバ開発教育用教材", FIT2016 第 15 回情報科学技術フォーラム講演論文集, K-009, pp.429-432, 2016
- [5] 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構(2017), <http://www.jeed.or.jp/>
- [6] TETRAS ホームページ(2017), <http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/>
- [7] 日昇テクノロジーホームページ(2017), <http://www.csun.co.jp/>

(原稿受付 2017/11/21, 受理 2017/5/1)

*堀田忠義, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1

Tadatyoshi Horita, Faculty of Human Resources Development, Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035.

Email: horita@uitec.ac.jp

*秋葉将和, 博士 (工学)
 職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1
 Masakazu Akiba, Faculty of Human Resources Development,
 Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
 Kodaira, Tokyo 187-0035.
 Email: akiba@uitech.ac.jp

*菅野恒雄, 博士 (工学)
 職業能力開発総合大学校 名誉教授
 Tsuneo Kanno, professor emeritus of Polytechnic University of Japan.

[付録]

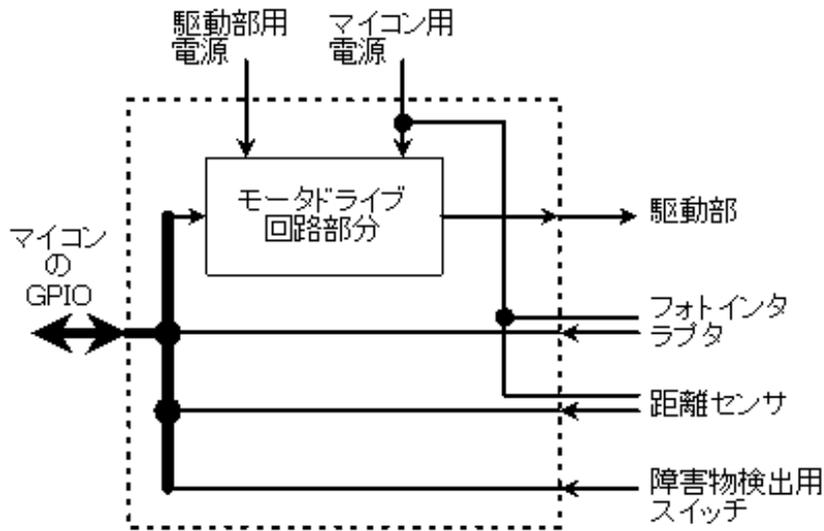


図3 インタフェース基板の回路図の概要

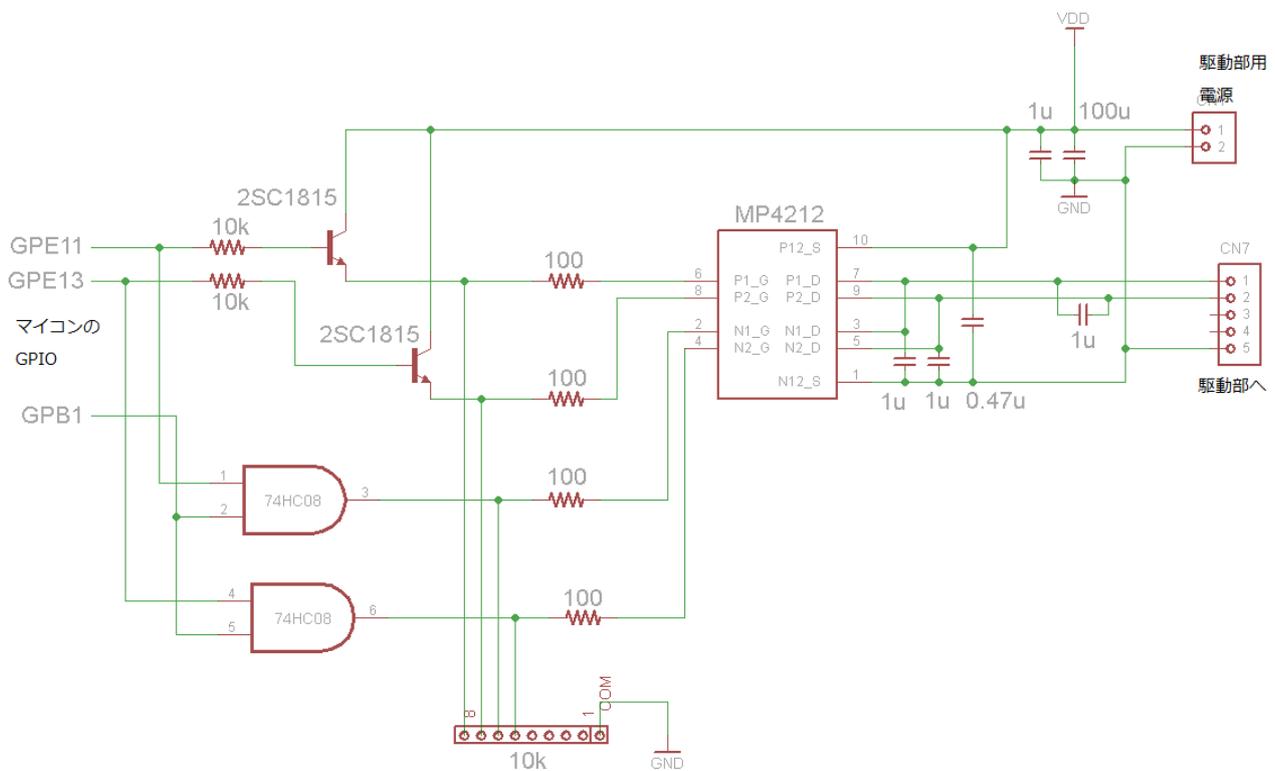


図4 モータドライブ回路部分 (片側用のみ)