

時代のニーズに合わせた学習意欲を向上させるための 実践的な組み込みシステム教育教材の開発と評価

Development and evaluation of practical educational material for embedded system
in order to increase the learning motivation and fit the current needs.

小島 有貴†
Yuki Kojima

越野 亮‡
Makoto Koshino

金寺 登‡
Noboru Kanedera

秋田 純一†
Junichi Akita

1. はじめに

現在、組み込みソフトウェアの産業規模は非常に大きく、2011年度のIPA(経済産業省)の調査では組み込み製品開発費におけるソフトウェア開発の市場は6兆円を超えている。さらに近年は、情報家電やモバイル端末などの普及に伴い高性能化と多様化が進み、より様々な分野で組み込みシステムが活用されるようになってきている。それに伴い、画像やビデオなどのグラフィック、オーディオ、ネットワークを用いたシステムなどのマルチメディア処理が必要となっており、組み込み機器の開発はより複雑なものとなっている。このように、工学教育の一環として組み込みシステム教育の重要性は増しており、筆者たちが所属する石川高専電子情報工学科ではマイコンボードを用いて組み込みソフトウェアの開発スキルを身につける実習を行っている[1,2,3]。しかし、当校を含めて多くの工学教育機関で用いているPICマイコンは実社会の開発であまり用いられていないだけでなく、近年必要となってきたマルチメディア処理を行えるだけの処理性能を有していない。また、市販されている教材でマルチメディア処理の演習を手軽に行える教育教材は殆どなく、ボタンやLEDだけで構成される乏しい入出力インターフェースでは、学生の興味関心や、学習意欲を向上させることが困難なのが現状である。

そこで、本研究ではより実践的な内容を学ぶことができ、学習者の学習意欲を喚起できる新たな組み込みシステムの教育教材である「E+ (イープラス)」を開発し、開発した教材を用いた授業を行うことでその有効性を評価した。E+を用いた授業は石川高専電子情報3年生に1年間を通して実施した。この授業ではコンピュータアーキテクチャについて学ぶ座学を半期行った後、E+を用いた組み込みプログラミングによる基礎的な演習と、学生が自ら作るものを決める応用的な自由演習を行った。

なお、この開発にあたっては、これまでの石川高専における組み込み技術者教育の成果を活用しつつ、組み込みシステム開発企業である東京ドロウイング株式会社と共同で行った。産学連帯で開発を行うことにより、教育機関側と企業側の両方の要望や視点を取り入れた新たな教育教材の開発を実現した。

本論文では、この取り組みを通して行ったアンケート調査の結果をまとめ、E+を用いた組み込み教育の効果について報告する。

2. 現在の教育教材の問題点

現在、多くの教育機関や企業新人教育などで用いられている組み込みシステム教育教材には以下の問題点がある。

① 学習者の興味・関心を得られない教材

教育教材の効果を高めるためには、ジョン・ケラー(John M. Keller)が提唱したARCSモデル[4]によると、教育する内容が学習者によって面白そうと思わせる「注意」(Attention)を引き付けられるか、また、自分に関係があると思わせる「関連性」(Relevance)を感じさせることが重要である。現在、標準的に用いられている学習教材は、ボタンやLEDなどの乏しい入出力インターフェースのみで作られているものが殆どである。これでは、「この教材を使ってみよう」と思わせて学習者の興味関心や、学習意欲を向上させることは困難である。

② マルチメディア処理への未対応

現在、組み込み機器はプロセッサの高性能化・低消費電力化が進み、動画・画像・音声などのマルチメディア処理が用いられる場合が増えている。特に、LCDの出荷数は近年増加の一途を続けており、大小限らず、様々な組み込みデバイスにおいてLCDが用いられる場合が多くなっている。しかし、組み込み学習教材はLCDを搭載していないものが多く、また、搭載している場合もキャラクタLCDであるものが殆どである。さらに、画像の表示などが可能となるカラーLCDの接続は膨大な配線が必要となり、手軽に拡張して取り付けることも難しい。同様に、音声処理にも周辺回路の作成が必要となり、限られた授業の学習時間内で用いることは難しい。また、画像や音声を用いた処理を行うためには高いCPUの処理性能も必要である。しかし、教育用に多く用いられている8bitマイコンのPICでは教育用途として構造が単純である点は良いが、マルチメディア処理を行う十分な処理性能を有していない。

③ 実社会で主流でない開発環境や開発手法

日本には優れた半導体製品があり、市場で多くの組み込み機器に使用されている中、実務での使用頻度の低いPICやZ80などのマイコンを用いた学習では習得した知識を活かすことができない。また、アセンブラ中心の学習はマイコンの根本的な動作実習やコンピュータアーキテクチャの学習には向いているが、機械語で得られたスキルは現実社会で生かす場所が限られる場合が多く、実社会のトレンドに沿った開発ツールを用いた授業を行えない。

† 金沢大学大学院 自然科学研究科

‡ 石川工業高等専門学校 電子情報工学科

また、組み込みシステムの開発に携わる地元企業 2 社と組み込み技術者教育に携わる石川高専の講師陣にヒアリングを行った。その意見の抜粋を表 1 にまとめた。教育機関側と企業側でも、学習者にはより興味関心を持って開発の面白さを知ってほしい点では一致しており、教材の持つべき重要な点だと言える。また、企業側としては実際に使われているモジュールを用いた実践的な内容を学んでほしいという意見がある一方で、教育機関側としては、新しい演習システムを導入する場合でも指導者がすぐ教えることができる教材であるのが望ましいとの意見がある。

表 1 教育機関と企業において
求められている組み込み教育教材

教育側	学生の興味を引き付けられる教材にしたい。
	新しい演習システムを導入する場合でも指導者が最低限の時間で使えるようにしたい。
	配線や部品の用意など実験の準備にかかる時間を減らすことで本質的な演習の時間を増やしたい。
	簡単でありながらも重要な内容は深く学ぶことができる教材にしたい。
企業側	組み込み開発の面白さを体験してもらえそうな授業が望ましい。
	企業でも広く用いているモジュールを用いて実践的な内容を学んでほしい。
	問題解決までの粘り強さを身につけてほしい。
	仕様の検討から設計・開発まで一連の流れを体験しておいてほしい。

3. 組み込み学習ボード「E+」の開発

これまでに述べた問題点を解決するために、E+は 3.1 から 3.4 節の 4 つの点を考慮して開発した。E+の全体図を図 1 に示し、表 2 には仕様を示す。

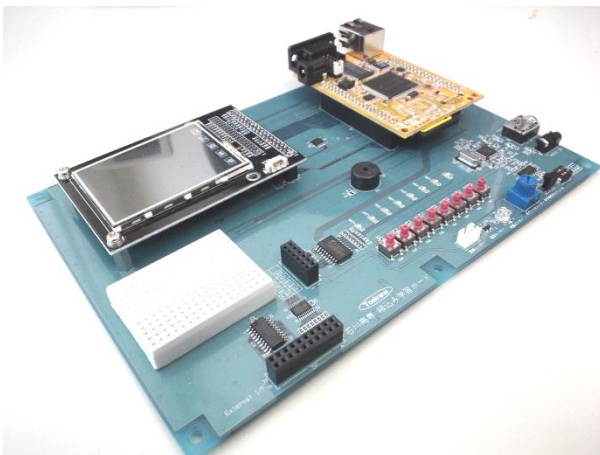


図 1 組み込みシステム学習ボード「E+」

まず、E+に搭載したモジュールや機能について述べる。E+には組み込み業界で広く用いられているルネサスエレクトロニクス社製 32bit の RISC マイコンである SH2 (7084) 80MHz を搭載した。LED とボタンなどの基本的な入出力インターフェースはもとより、タッチパネル付きのカラー液晶、MP3 デコーダ IC やマイク入力用回路などのマルチメディア処理を行えるモジュールを搭載した。これにより、学習者の教材に対する興味関心を高めることができる。また、赤外線、照度、温度、距離センサなどのセンサを搭載し、授業の演習でセンサを用いることを容易にしている。さらに、SD カードを用いたファイルの読み込みと書き込み、RTOS (Real Time OS) の搭載とイーサネット通信も可能にし、一つのボードで手軽でありながら高度な組み込みシステムの学習を行うことを可能にした。

表 2 E+のモジュールと機能の一覧

項目	内容
CPU	SH2 (SH7084) 80MHz
フラッシュメモリ	256Kbyte
内部メモリ	8Kbyte
外部メモリ	32Mbyte (SDRAM)
インターフェース	MMC (SD カード) イーサネットアダプタ RS-232C アダプタ
ディスプレイ	2.2 インチカラーLCD (タッチパネル付き)
センサ	赤外線センサ 距離センサ 温度センサ 光センサ ポテンショメータ
I/O	汎用入出力 4 端子 AD 変換 2 端子 スイッチ 8 個 / LED 8 個
音声入出力	マイク入力回路 MP3 デコーダ IC
その他	8bit DAC 圧電ブザー ブレッドボード領域 モニタデバッグ搭載

3.1 マルチメディア処理

E+にはタッチパネル付きの 2.2 インチカラー液晶ディスプレイ (GRAM 内蔵型) を搭載した。また、オペアンプによる増幅回路と MP3 デコーダ IC を搭載し、マイクによる音声の入力と音楽ファイルの再生も可能にした。さらに、RTOS を用いることで、ネットワークへ接続することも可能となっている。図 2 にはカラーLCD を制御しているソフトウェアの実行例を示す。このプログラムでは、SD カードから BMP 画像データを読み出し、タッチパネルで画像を選択してディスプレイに表示している。この他にも、曲を選択して再生するプログラムや、センサのデータをグラフとして一覧表示するプログラムなど、多彩なアプリケーションの開発が可能となっている。

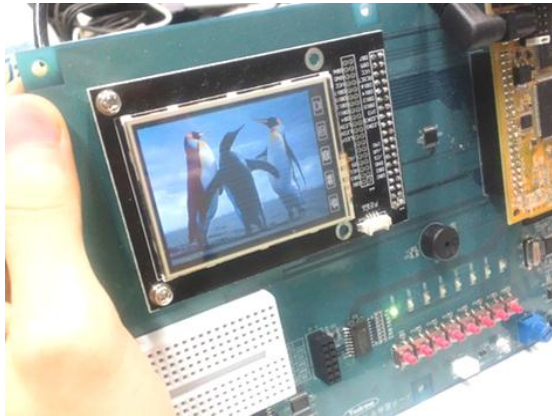


図 2 画像表示プログラム実行例

3.2 実社会で使われている CPU とツール

E+には家電や車載マイコンなどで非常に広く流通しているルネサスエレクトロニクス社の SH2 マイコンを搭載した。また、教育用であるため開発環境は無償で整備できるのが望ましい。そこで、開発環境にはルネサスエレクトロニクス社製の HEW を用いる。多機能な統合開発環境である HEW は、多くの会社で実際に用いられている標準的な開発ツールである。

3.3 ボード 1 枚に必要な機能を実装したシステム

組み込みソフトウェアの開発時、書き込みやデバッグに大きな手間がかかる問題点がある。ICE ツールは非常に高価で、教育機関すべてに導入することは不可能である。そこで、モニタデバッグソフトウェアをあらかじめ SH2 マイコンへ書き込みを済ませておき、シリアル通信デバッグを簡単に行えるようにした。また、LCD やセンサなどは接続時の配線のミスで CPU を破壊してしまうことがあり、限られた授業の学習時間を無駄に使う問題点があった。そのため、E+では予め必要となる基本的なセンサ、LCD などのモジュールを 1 つのボードにまとめて搭載しており、学習をスムーズに行えるようにした。

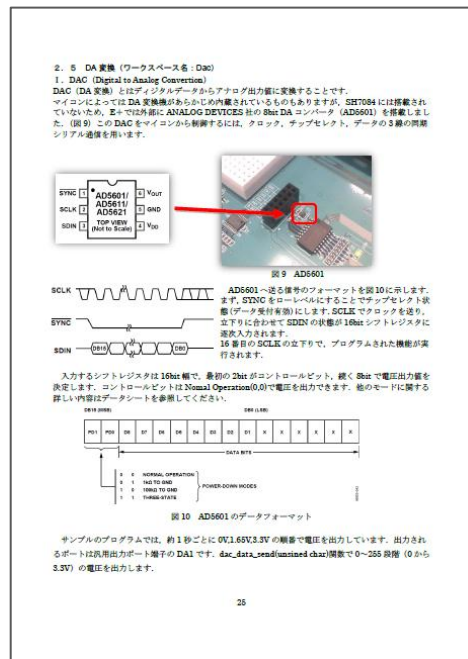
3.4 ドキュメントとサンプルプロジェクト

初学者が効率よく組み込みシステムやソフトウェアに関して学習するためには、ドキュメントの整備が必要不可欠である。そのため、教育現場の要望や様々な学生のレベルに対応できるようにマニュアルの作成とサンプルプロジェクトの開発を行った。以下に作成したマニュアル構成を示す。

- ① スタートアップマニュアル (23 ページ)
 - ・ E+の概要
 - ・ 開発環境の構築方法
 - ・ プログラムのコンパイルと実行方法
- ② 基本マニュアル (34 ページ)
 - ・ 組み込みシステムの概論
 - ・ マイコン制御の概論
 - ・ E+搭載モジュールの解説
 - ・ 基本サンプルプロジェクトの解説

- ③ 応用マニュアル (14 ページ)
 - ・ 応用サンプルプロジェクトの解説
- ④ アプリケーションノート (13 ページ)
 - ・ 開発におけるヒント、技術解説資料

開発環境の構築からサンプルの実行までの基本的な流れを示した「スタートアップマニュアル」、搭載している個々のモジュールの機能の説明と対応するサンプルプロジェクトの解説を記載している「基本マニュアル」、基本マニュアルで用いる複数の機能を組み合わせた開発のための「応用マニュアル」を作成した。また、デバッグの効率的な方法を示した技術解説資料である「アプリケーションノート」を準備した。図 3 に基本マニュアルの例を示す。



```

II. プログラミング
#include "codefine.h"
#define DA_CS      PE_DR_BIT_05
#define DA_SCK    PE_DR_BIT_06
#define DA_SD0    PE_DR_BIT_10

void dac_data_send(unsigned char);
void Delay(unsigned int);

void main(void)
{
    PFC_PIE0L_WORD = 0xE5F7;
    while(1)
    {
        dac_data_send(0x00);
        Delay(1000);
        dac_data_send(0xFF);
        Delay(1000);
        dac_data_send(0xFF);
        Delay(1000);
    }

    void dac_data_send(unsigned char data)
    {
        unsigned char shift_count = 7;
        DA_CS = 1; // コントロールビット
        // CS 直下リデータ送信開始
        DA_CS = 0; // PDI_PDI = 0 : Normal Operation
        DA_SCK = 1; // PDI_PDI = 1
        for(i = 0; i < 8; i++)
        {
            DA_SCK = data >> shift_count;
            shift_count--;
            DA_CS = 1;
        }
        for(i = 0; i < 8; i++)
        {
            DA_SCK = 1;
            DA_CS = 0;
        }
        DA_SCK = 0;
        DA_CS = 1;
    }
}
(デレイ関数は省略)
    
```

図 3 基本マニュアル (DA 変換解説)

サンプルプロジェクトは LED 点滅やセンサ値の取得などの基礎となる「基本サンプルプロジェクト」と、MP3 ファイルの再生方法やタッチパネルの制御方法など高度な組み合わせアプリケーションの「応用サンプルプロジェクト」の分類に分け、合計 16 種類を作成した。以下に内容を示す。

- ① 基本サンプルプロジェクト (7 種類)
 - ・ LED 点滅
 - ・ スイッチ入力
 - ・ AD 変換
 - ・ ブザー制御
 - ・ DA 変換
 - ・ シリアル文字出力
 - ・ 外部割り込み処理
- ② 応用サンプルプロジェクト (9 種類)
 - ・ AD 変換値を PC で表示
 - ・ タッチパネルの座標取得
 - ・ 赤外線リモコン連動
 - ・ SD カードにテキスト保存
 - ・ LCD に BMP 画像表示
 - ・ LCD にセンサ値を棒グラフ表示
 - ・ MP3 ファイル再生
 - ・ サーボモータ制御
 - ・ シリアル・パラレル変換 IC で IO を拡張する

これらのサンプルプロジェクトは学生が理解して使うことが重要であるため、処理の最適化によるブラックボックス化を避け、マニュアルを見ながらプログラムを追うことで制御の仕組みを理解できるように配慮している。

このように、充実したドキュメントと、それに対応する 16 種類の豊富なサンプルプロジェクトによって、基本的な内容から発展的な内容まで学生や教育現場の要望に柔軟に対応することが可能である。

また、これらのマニュアルやサンプルプロジェクトは当校の越野研究室のページ (<http://koshinolab.jp/eplus.html>) で公開しており、誰でも自由に閲覧することが可能である。

4. 評価

4. 1 授業前評価

E+は石川高専電子情報工学科に合計 45 台導入しており、2011 年 7 月 13 日から 3 年生の「コンピュータアーキテクチャ」の授業で使用を開始した。本研究の目的が達成されているのか調査するため、E+を授業前と授業後の 2 回に分けてアンケート調査により評価を行った。

最初に、授業前評価として E+を用いた授業を受ける予定の学生を対象に調査を行った。学生はコンピュータアーキテクチャの基礎的な知識と、C 言語プログラミングに関する知識を有する電子情報工学科 3 年の学生 38 名を対象にして実施した。まず、昨年度までの授業で用いていた教育教材である MikroElektronika 社製の EasyPIC と今回新たに開発した E+の概要とその応用例を紹介するプレゼンテーションを行った。その後、学生には EasyPIC と E+のそれぞれに興味関心を持たかどうかを計 16 個の質問で調査した。アンケートはそれぞれの質問に対して 1 から 5 の 5 段階で評点を設定しており、1 が一番悪く、5 が一番良い意味となっている。

また、アンケート項目は ARCS モデルを用いて作成した。ARCS モデルとは、ジョン・ケラーが提唱した動機づけを説明するための理論である。学習意欲を刺激し、持続させるための動機づけを行うことで教育効果を高めるためには、ARCS の 4 つの要素が必要であるとしている。1 つめとして「注意」(Attention)、2 つめは「関連性」(Relevance)、3 つめは「自信」(Confidence)、4 つめは「満足感」(Satisfaction)である。この中で「注意」と「関連性」は教育教材が持つべき重要な要素であるため、この 2 つを中心にアンケート項目を作成した。

表 3 に ARCS モデルと質問項目の対応を示す。なお、「自信」と「満足感」は教育教材だけでなく一連の教育プロセスが重要となるため、今回のアンケートには取り入れず、全ての演習を終えた後に評価を行っている。

今回のアンケートを集計し、EasyPIC と E+の評価のそれぞれで 5 段階の回答の平均を求めた。その結果を表 3 に示す。「将来役に立つか」の質問項目は同値となったが、その他の全ての質問項目に関しては E+の方が EasyPIC に比べてより学生の興味関心を得られていることが示された。また、質問項目全体での平均値は EasyPIC が 4.00 であるのに対し、E+が 4.23 であり総合的にも E+の方が優れていることが分かった。

表 3 Attention と Relevance に関して、従来の EasyPIC と提案する E+の評価結果

質問項目	質問文	EasyPIC	E+
A: 注意	このボードによる応用例は面白い	4.24	4.34
A1: 知覚的喚起	このボードでできることは予想以上だった	3.84	4.24
A2: 探究心の喚起	このボードに好奇心をそそられた	3.89	4.21
A3: 変化性	このボードでできることは変化に富んでいる	3.87	4.24
R: 関連性	自分に関係のある技術と思う	3.92	4.13
R1: 親しみやすさ	このボードは気軽に触ってみたいと思う	3.92	4.13
R2: 目的志向性	このボードでの学習内容は将来役に立つと思う	4.26	4.26
R3: 動機との一致	このボードで学習できる内容を身につけたいと思う	4.03	4.26

表 4 Confidence と Satisfaction に関して E+の評価結果

質問項目	質問文	平均値
C: 自信	学習を通して組込みシステムの開発の自信が付いたか	2.30
C1: 学習欲求	学ぶべき内容 (目的) ははっきりしていたか	2.79
C2: 成功の機会	開発や学習は着実に進めることができたか	2.47
C3: コントロールの個人化	自分なりの工夫ができたか	2.93
S: 満足感	E+での学習をやった良かったか	3.80
S1: 自然の結果	この演習はものづくりの技術力向上に役立ったか	3.54
S2: 肯定的な結果	演習で作ったものは自他共に認められるものとなったか	2.59
S3: 公平さ	演習の評価方法に関しては公平さがあると思うか	3.05

4. 2 授業の演習

当校ではこの授業の中で「周辺機器を駆使したオリジナルシステムを作成せよ」との課題を与える「周辺機器制御演習」を3から5週間で実施している。実施前にはスイッチ、LED、AD変換、割り込み処理などの基本的な入出力演習を終えた後、1人1台のE+を使って演習に取り組んでもらった。演習では、E+に搭載している以外に別のモジュールを使いたい場合は電子部品の通販サイトから必要なモジュールを学生が選んで注文することもできる。

学生は最初からいきなりプログラムを作り始める傾向がある。そのため、本演習では筆者がプログラム開発における心得をプレゼンテーションした後、最初に仕様書とマニュアルを作成してもらうことで、自由演習の形をとりながらもシステム全体を見据えた開発ができるように指導を行っている。

また、演習では実践的な組込み開発スキルを身に付けることを目標としているため、学生は自分でよく検討したり、マニュアルを十分に調べたりして悩んだ後でなければ先生や筆者はヒントを与えないようにしている。本演習の最後では、学生が開発したシステムの工夫した点や動作デモを数分のプレゼンテーションで紹介する。

この演習で制作された作品の主なものを以下に示す。

- ・距離で変化するカラーLEDイルミネーション
- ・ブロック崩しゲーム
- ・リモコン制御MP3プレイヤー
- ・音楽プレイヤーのスペクトルアナライザ
- ・圧電ブザーによる電子オルガン
- ・タッチパネルを用いたお絵かきソフト
- ・タッチパネル操作によるフォトビューア

E+に搭載している豊富なセンサや周辺機器を活用し、従来教材では簡単に作れなかった多彩なアプリケーションやシステムの開発を短期間で実現しており、学生はより実践的な開発内容を学ぶことができたと分かる。

4. 3 授業後評価

授業前評価ではE+によって学習者が本教材に高い興味を持ったことが分かった。同様に周辺機器制御演習の学習後にも受講者に対してアンケート調査を実施した。

アンケート項目はARCSの「自信 (Confidence)」と「満足感 (Satisfaction)」に関する項目に加え、E+の目的が達成できたかを確認できる質問をいくつか行った。

ARCSの項目と質問文とその評価結果を表4に示す。

前年度の演習ではこのアンケート調査を行っていないため比較していないため、表3のように従来のEasyPICと比較することができない。そこで、E+のみでの評価を述べる。

独学で行う個人「学習」の満足感(S)の「E+での学習をやった良かったか」の質問が平均3.80と最も高い値となっている。また、本演習全体を通しての満足感「E+を用いた演習をやった良かったですか?」に対しての内訳を図4に示す。半数以上の54%の学生が一番良い評価の5番を答えており、E+を通して学んだ授業が学生に満足感を与えたことが示されている。

続いて、表4の自然の結果(S1)の「この演習はモノづくりの技術力向上に役立ったか」の質問も平均3.54と高い値となった。これにより、E+によって高い満足感を与え、学習者がこの教育を受けて良かったと感じたことが分かる。

しかし、表4の自信(C)に関する項目は平均が3.0以下となっており、この教材を用いたことで生徒に自信を与えたとは言えない結果となった。自由意見記述欄の意見から推測すると、E+で学べる内容が高度であった分、学生が理解できなかったことに対して自信をなくしてしまったと考えられるが、学生からは「難しくて大変だったが、身近な機器がどのようにできているか分かった」など意見が多く、今後の学習に対して前向きな効果を与えていると言える。

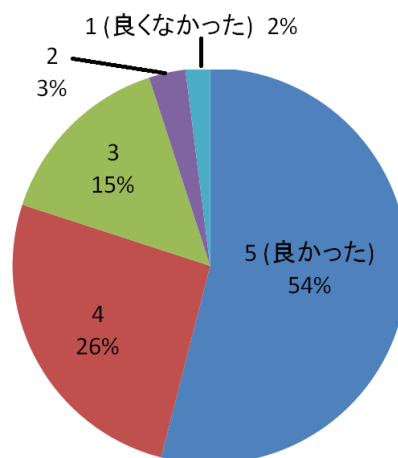


図4 E+を用いた演習をやった良かったですか?

また、図 5 の「E+で学んだ内容によって身近な電子機器の制御方法がよりイメージできるようになりましたか？」との質問では平均で 3.9 となっており、多くの学生が E+で組込みシステムへの理解を深めたと言える。中でも、E+の目的の一つとしてマルチメディア処理の学習があげられる。ディスプレイと MP3 デコーダを演習で用いた学生に対してプログラムや制御方法を理解できたかとの質問の結果を表 5 に示す。時間の都合上、授業中にディスプレイ制御や MP3 デコーダについての解説は行っておらず、加えて難易度の高い内容であるにも関わらず 58%の学生が「おおよその流れが理解できた」「大体は理解できた」と答えている。これより、E+による学習がマルチメディア処理への理解の一助になっていることは確かだと言える。しかし、理解できなかったと答えた学生もいるため、マルチメディア処理を理解してもらう教材とするためには、別途ドキュメントの準備や授業でも講義が必要だと思われる。

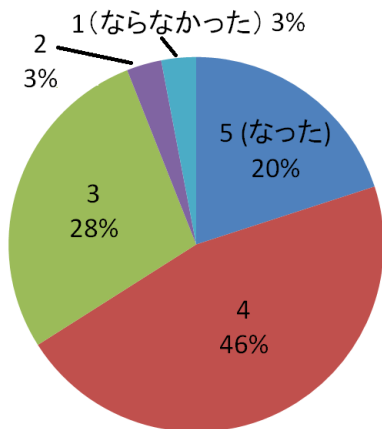


図 5 E+で学んだ内容によって身近な電子機器の制御方法がよりイメージできるようになりましたか？

表 5 LCD や MP3 デコーダ使用者の理解度

回答	人数 (人)	割合 (%)
理解できなかった	2	17
何となく理解した	3	25
大よその流れは理解した	4	33
大体は理解した	3	25
完璧に理解した	0	0

E+の特徴の一つにわかりやすく充実した資料を用意した点がある。表 6 に「資料の中で役だったものを教えてください」との質問に対する回答を示す。スタートアップマニュアルが 35%、基本マニュアルは 79%、応用マニュアルが 51%と多くの学生が利用したと答えている。また、用意した基本サンプルプロジェクトや応用サンプルプロジェクトも半数以上の学生が利用しているとわかる。さらに、「E+のマニュアルはわかりやすかったですか？」との質問の結果は図 6 のようになり、平均で 3.56 と高い値となった。この結果より、E+の豊富なマニュアルやサンプルプロジェクトで学習者へ十分な支援ができていると言える。

表 6 資料の中で役だったものを教えてください

回答	人数	割合 (%)
スタートアップマニュアル	14	35
基本マニュアル	31	79
応用マニュアル	20	51
基本サンプルプロジェクト	28	71
応用サンプルプロジェクト	24	61

(複数回答可により 100%を超える)

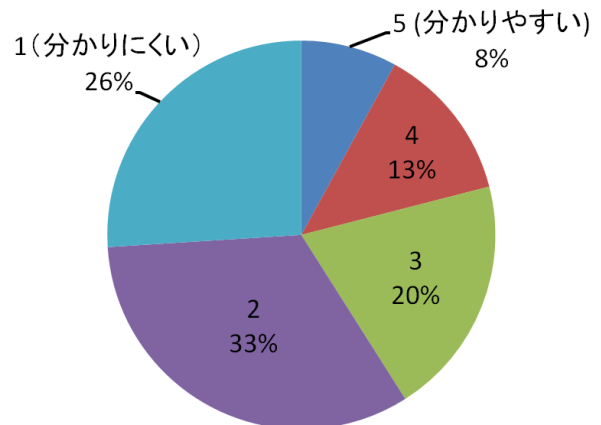


図 6 E+のマニュアルはわかりやすかったですか？

5. まとめ

本研究では時代のニーズに合わせた学習者の意欲を高める実践的な組込み教育教材の開発を行った。また、学習を効率的に進めるためのサンプルプロジェクトやマニュアルの整備を行った。そして、当校の授業と演習に導入し、ARCS モデルを用いたアンケート調査によって従来の教材に比べて学習者の意欲関心を高められていることを実証した。また、マルチメディア処理への理解を促す点や、従来の学習教材の多くの問題点を改善していることが分かった。今後はアンケート結果や学生の感想を元に、企業とも連携しつつ、更なる E+の改良を続けていく予定である。

参考文献

[1] 中町幸仁, 金寺 登, 飯田忠夫, 田中永美, "PIC 演習システムの開発", 石川工業高等専門学校紀要, No.39, pp.45-50, 2007.

[2] 金寺 登, 山田洋士, 小村良太郎, 堀田素志, 岡野 修一, 竹下哲義, 山田健二, 長岡健一, 越野 亮, 川除佳和, 飯田忠夫, 田中永美, "意欲喚起と自学自習支援による専門教育の質の保証,"平成 22 年度全国高専教育フォーラム・教育教員研究集会, pp.207-210, 2010.8.28.

[3] 田中永美, 越野 亮, "LEGO ロボットによる組込みソフトウェア技術者教育", 高専教育, No.30, pp.59-64, 2007.3.

[4] J.M.Keller, "Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach", Springer, 2010.