東海大学紀要情報通信学部
vol.6,No1,2013,pp.39-42

報告

組込みモータ制御における人材育成教育カリキュラム開発

小峰　憲行[*1]，山田　圀裕[*2]，豊田　恭平[*3]，中村　俊雄[*3]

Curriculum Development for the Upgrading of Education in Embedded Motor Control

by

Noriyuki KOMINE[*1], Kunihiro YAMADA[*2], Kyohei TOYODA[*3]and Toshio NAKAMURA[*3]

(received on March 28, 2013 &　accepted on July 25, 2013)

Abstract

Recently, there has been a lot of embedded system with many functionalization, high function and complexity in applying the EV and electronics device, etc. A work of the embedded systems for which we can study a software technology to operate the hardware is important. The engineer of embedded technology has to need a wide skill of a high software technology. And also the education for teaching materials and a methodology are required for the upgrading of skill in embedded technology. This paper describes the curriculum development for the upgrading of skill for teaching materials for embedded engineer via the three kind of DC motor control. We paid attention to the next point and developed the education for teaching materials. First, we make a curriculum to take an uncertain operation of DC motor driver into consideration, because there is uncertain operation when driving DC motor by using motor drive IC and a C language software package. Second, we propose the driving module circuit and assembler software to be clear the operation of DC motor in detail. The teaching curriculum for embedded technology is saved to upgrading a skill of student of university, a graduate school and a company engineer.

Keywords: *Curriculum development, embedded system, Motor control*
キーワード:カリキュラム開発，組込みシステム，モータ制御

1. 概要

近年，電気自動車（EV）や電子機器など機械や機器にコンピュータが組込まれた組込みシステムの多機能化，高機能化，複雑化が要求されているのが現状である[1),2)]．組込みシステムソフトウエア開発では，製品に組込まれたコンピュータ（マイクロコンピュータ，マイコン）とハードウェアを動かすための組込みソフトウェア技術開発の範囲が益々拡大し，多機能化する傾向にある[3)]．また，組込みシステムを LAN によって汎用ネットワークに接続することによって，制御対象となる機械や機器の監視や制御などユビキタス社会の実現に寄与する[4)]．組込みシステムにおけるソフトウェア技術では，センサ，表示装置（LCD 等）入出力の周辺デバイスを含めたソフトウェア技術開発が要求され，また組込みソフトウェア技術の多機能化，高性能化に伴い，組込みソフトウェア技術者に幅広い工学的素養が要求される．組込みソフトウェア技術者を養成する教育教材と教育法が要求される．C 言語による組込みマイコンシステムの開発手法の多くの解説書がある[5),6)]．

本研究では，アセンブラ言語による DC モータ駆動を用いて組込みソフトウェア技術者育成のための教育教材を開発する．開発する教育教材は大学，大学院，および企業における組込みソフトウェア技術者育成での活用を目指す．

次の点に注目して教育教材の開発を行った．

1. DC モータ駆動を実現する組込みシステムにおいて，モータ駆動 IC や C 言語ソフトウェアパッケージに隠ぺいされ，ブラックボックス化されているため，モータ制御の基本動作が，不明確である．

2. この点を改善するため，モータ駆動のための基本モジュール回路とアセンブラソフトウェアを用いて，モータ制御を明確にする教育法を開拓した．

モータ制御教材は以下の５つから構成される．

Ⅰ．講義実施計画
Ⅱ．モータ制御教材テキスト
Ⅲ．モータ制御講義用教材（パワーポイント）
Ⅳ．モータ制御実験装置
Ⅴ．プログラムリスト

講義実施計画は DC モータ駆動を用いて組込みソフトウェア技術を修得するための企業向け教育教材である．

*1 組込みソフトウェア工学科　非常勤講師
*2 専門職大学院組込み技術研究科　教授
*3 専門職大学院組込み技術研究科　修士課程

2. 講義実施計画[7)]

本節では，講義内容および講義コースについて説明する．

講義内容は，モータ制御の基本編と応用編から構成される．基礎編では，電磁気学の基礎，ブラシ付き DC モータ制御，三相ブラシレス DC モータ制御，ステッピングモータ制御およびドライバ IC 駆動によるモータ制御に関する講義，演習，実験および実習

を実施する．応用編では，マイクロプロセッサによる PID コントローラ速度制御器設計に関する講義，演習および実習を行う．組込み技術の基礎から応用を修得する６日コースと組込み技術の応用を短期間に修得する３日コースがある．授業スケジュールおよび講義３の日程をそれぞれ Table 1，Table 2 に示す．

Table 1 Schedule of class

講義	授業内容	基礎/応用	6日コース	3日コース	講義	演習	実験	実習
講義1	電磁気学の基礎	基礎	○	○	○	○	○	
講義2	ブラシ付き DC モータ制御	基本	○		○	○		○
講義3	三相ブラシレス DC モータ制御	基本	○	○	○	○		○
講義4	ステッピングモータ制御	基本	○		○	○		○
講義5	ドライバ IC 駆動によるモータ制御	基本	○		○	○		○
講義6	PID コントローラを用いた速度制御器設計	応用	○	○	○	○		○

Table 2 Schedule of lecture 3

時間 ()の数値は分を表す	授業形態	授業内容
9:30-10:30(60)	講義	三相ブラシレスDCモータ制御
10:40-11:40(60)	演習	三相ブラシレスDCモータ制御に関する演習
13:00-14:00(60)	講義	アセンブラ言語によるソフトウェア設計
14:10-15:10(60)	実習	アセンブラ言語によるソフトウェア設計に関する実習
15:20-16:20(60)	実習	アセンブラ言語によるソフトウェア設計に関する実習
16:30-17:00(30)	発表	発表会

3. モータ制御教材

本節では，モータ教材テキストの内容について述べる．第１章では，モータの動作原理に必要な電流と磁場および電磁誘導の基礎について述べる．第２章から第５章では，汎用性の高い３種類のモータであるブラシ付き DC モータ，三相ブラシレス DC モータおよびステッピングモータについて，構造，動作原理，駆動原理およびアセンブラ言語によるソフトウェア設計について述べる．最後の第６章では，PID コントローラを用いた速度制御器設計および設計された制御器（コントローラ）のソフトウェア設計について組込みソフトウェア技術の視点から述べる．プログラム設計では，ルネサスハードウエアマニュアルとソフトウエアマニュアルを活用した [9),10)]．また各章において開発したアセンブラ言語プログラムは付録にした．各章の内容を次に示す．

第１章　電磁気学の基礎
　１．電流と磁場
　1.1 電流と磁場
　1.2 電流がつくる磁場
　1.3 電流が磁場から受ける力
　1.4 ローレンツの力
　1.5 演習問題
　２．電磁誘導
　2.1 概要
　2.2 電磁誘導の法則
　2.3 電場中を運動する誘導の棒
　2.4 自己誘導と相互誘導
　3. 演習
　4. 実験１磁力線
　5. 実験２モータ開発
　6. 発表
第２章　ブラシ付き DC モータ制御
　2.1 概要
　2.2 ブラシ付き DC モータの構造
　2.3 ブラシ付き DC モータの駆動原理
　2.4 基本モジュール回路
　2.5 アセンブラ言語によるソフトウェア設計
　2.7 アセンブラ言語によるソフトウェア設計
　2.8 演習問題
第３章　三相ブラシレス DC モータ制御
　3.1 概要
　3.2 三相ブラシレス DC モータの構造
　3.3 三相ブラシレス DC モータの動作原理
　3.4 三相ブラシレス DC モータの駆動原理
　3.5 アセンブラ言語によるソフトウェア設計
　3.6 演習問題
第４章　ステッピングモータ制御
　4.1 概要
　4.2 ステッピングモータの構造
　4.3 ステッピングモータの駆動回路
　4.4 ステッピングモータの駆動原理
　4.5 アセンブラ言語によるソフトウェア設計

4.6 演習問題
第５章　ＤＣモータ制御ドライバ IC 制御
5.1 概要
5.2 ドライバ IC(TB6608FNG, 東芝)駆動による DC モータ制御
5.3 ドライバ IC(TB6588FG, 東芝)駆動による DC モータ制御
5.4 ドライバ IC(TB6608FNG, 東芝)駆動による DC モータ制御
5.5 演習問題
第６章 PID コントローラを用いた速度制御器設計
6.1 概要
6.2 DC モータのモデル
6.3 PID コントローラを用いた速度制御器設計
6.4 回転速度計測のためのソフトウェア設計
6.5 実験装置による検証
6.6 演習問題
付録　プログラムリスト

4. 講義用教材 [7)]

本節では，モータ制御講義用教材について述べる．講義用教材は講義用資料と実習用資料から構成されている．　各々の講義ではプレゼンテーション用ソフト･パワーポイント(PowerPoint)を使用する．　文字情報だけではなく，画像，プログラムのコンパイルや実行を含めて多くの情報授業に取り込むことが可能である．　講義におけるパワーポイントの画面を Fig.1 に示す．　講義１から講義２のパワーポイント資料の内容および実習２から実習６までの資料の内容をそれぞれ 4.1 節と 4.2 節に示す．

4.1 講義用資料
講義１　電気磁気学の基礎
講義２　ブラシ付き DC モータ
講義３　ブラシレス DC モータ
講義４　ステッピングモータ
講義５　ドライバ IC 駆動
講義６　PID モータ制御

4.2 実習用資料
実習２　ブラシ付き DC モータ
実習３　ブラシレス DC モータ
実習４　ステッピングモータ
実習５　ドライバ IC 駆動
実習６　PID モータ制御

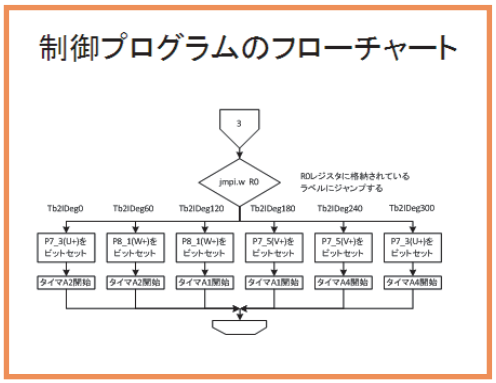

Fig.1 Slid view by Power Point software

5. 開発環境 [8)]

Renesas 統合開発環境 HEW を用いてアセンブラ開発を行う．この開発環境における実行内容は次の通りである．

１．HEW の起動
２．プロジェクト作成
３．ファイルコピー
４．ファイルの追加
５．ビルド
６．E8a の接続
７．デバッグ

デバッグにおける HEW の画面を Fig.2 に示す．

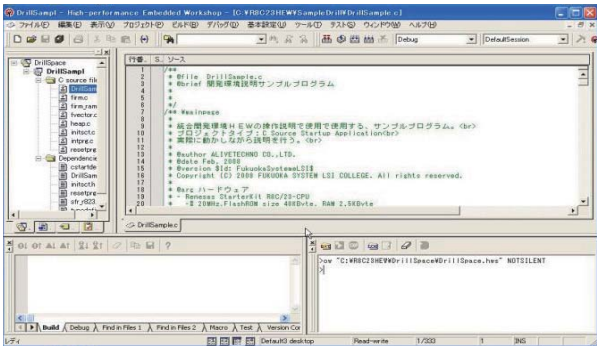

Fig.2 Debugger window of HEW

6. モータ制御実験装置

モータ実験装置はモータ制御基礎実験装置とモータ制御応用実験装置の二つの装置から構成される．

4.1 モータ制御基本実験装置
モータ制御基本実験装置全体構成図およびその回路をそれぞれ Fig.3, Fig.4 に示す．
1. 基本モジュール基板 ALT166A
2. ブラシ付き DC モータドライバ IC 基板 ALT167A
3. ブラシレス DC モータドライバ IC 基板 ALT168A
4. ステッピングモータドライバ IC 基板　ALT169A

. otor :ブラシ付き DC モータ
. . otor:三相ブラシレス DC モータ
S. otor:ステッピングモータ

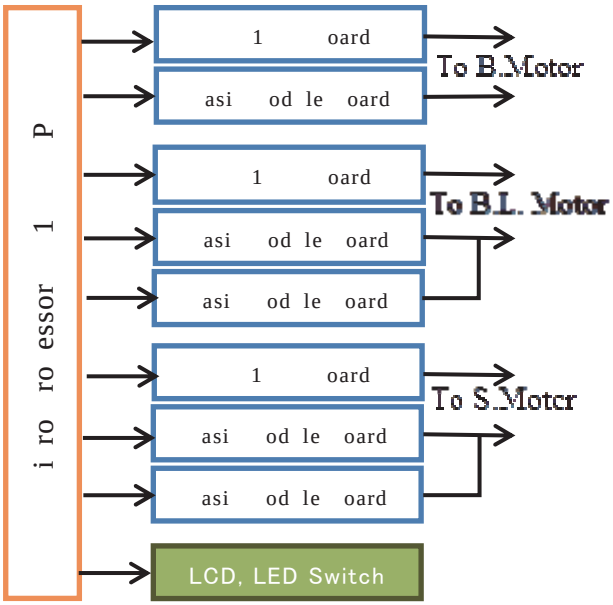

Fig.3 onfig ration of t e ain board for otor ontrol

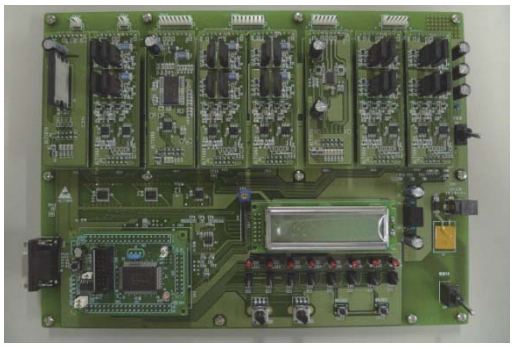

Fig. e ain board for otor ontrol

4.2 モータ制御応用実験装置

モータ制御応用実験装置全体構成図を Fig.5 に示す．モータ制御応用実験装置は PID コントローラのマイクロプロセッサ M16/62P，モータ駆動のドライバ TCP-S12 および DC モータ TG-MX1685-R854 から構成される．

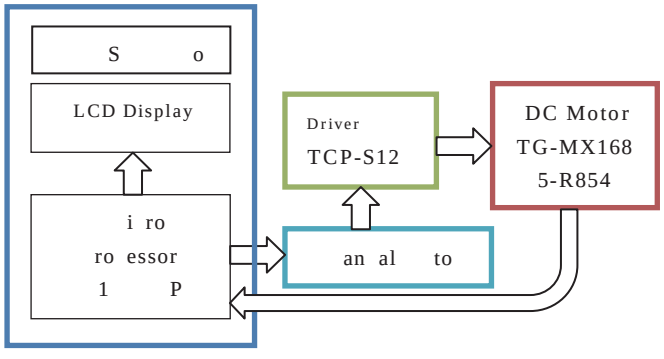

Fig. lo diagra of otor ontrol

7. おわりに

開発された教育教材のモータ制御組込みシステムの基礎編と応用編の研究成果を以下に述べる．

1．ブラシ付き DC モータ，三相ブラシレス DC モータおよびステッピングモータの３種類のモータを駆動のための基本モジュール回路を設計した．
2．３種類の DC モータを基本モジュール回路によって駆動するアセンブラソフトと３種類の専用ドライバ IC を用いてモータを駆動のためのアセンブラソフトを開発した．
3．DC モータ駆動の組込みソフトウェア技術者育成に対する講義実施計画と講義資料を開発した．
4．OAKS16-62P マイコンボード（M16C M30626FHPFP）組込みによる DC モータの速度制御を行うソフトウェアを開発した．
5．DC モータの速度制御の組込みソフトウェア技術者育成に対する講義実施計画と講義資料を開発した．

謝辞：本研究書は，東芝ソリューション株式会社から東海大学に依頼された「 モータ制御コース人材育成学習カリキュラム開発」の研究委託（ 11.1 .1 1 . .3 ）に対応した．研究委託にあたり東芝ソリューション株式会社 石井正悟氏，株式会社アライブテクノ小澤俊二氏に大変お世話になりました．ここに心より感謝の意を表す．

参考文献

1）阪田史郎，高田広章：IT Text 組込みシステム，情報処理学会編集，オーム，2006.
2）水野忠則 監修，中条直也，井上雅裕，山田圀裕：未来へつなぐデジタルシリーズ２０ 組込みシステム，共立出版，2013.
3）松本平八，松本雅俊，多田哲生，山田圀裕：未来へつなぐデジタルシリーズ品質・信頼性技術，第１２章，共立出版，2011.
4）高 正博：組込みネットワーク技術の動向と展望，東海大学紀要情報通信学部 Vol3.No.2,pp51-56，2010.
5）浅川毅 他：H8マイコンで学ぶ組込みシステム開発入門，電波新聞社，2010.
6）山形孝雄 編集：モータ制御＆メカトロ技術入門，CQ出版（株）Special No.61，1998.
7）東芝ソリューション：EAモータ制御コース講座資料(1)，(2)，東海大学専門職大学院，2012.
8）東芝ソリューション：EAモータ制御コース講座資料 関連マニュアル(1),(2)，東海大学専門職大学院，2012.
9）ルネサス：ルネサス１６ビットシングルチップマイクロコンピュータM16C/62Pグループハードウェマニュアル，(株)ルネサステクノロジ，2006.
10）ルネサス：ルネサス１６ビットシングルチップマイクロコンピュータM16C/60ソフトウェマニュアル，(株)ルネサステクノロジ，2006.