

## 組み込みシステムのエンジニアリングデザイン教育の試み

## An Attempt of Engineering Design of Embedded System in Engineering Education

松原 裕之<sup>†</sup>  
Hiroyuki Matsubara

## 1. まえがき

エンジニアリングデザイン能力の育成のため、情報システム工学科の3年次通年科目の「情報処理工学実験」では、講義などで学んだ知識と理論の理解を深め、それらを実際の問題に応用する能力、デザイン能力、論理的な思考と記述能力、プレゼンテーション能力を身につけることを目的としている。実施は年間を通じ3ないし4つのテーマに分かれている。著者が担当している1テーマの回路設計では、組み込み分野のエンジニアリングデザイン教育に加え、インターンシップの要素を織り込むコンセプトを導入し、就業体験を手軽に実施できる授業形態を試みてきた。

2006年度から回路設計を担当するにあたり、当初は典型的な電子情報系の組み込み分野の実験内容を検討していた。履修者全員がCPLD学習ボードにハードウェア記述言語のひとつであるVHDLを用いて仕様を実装し、完成した製品を実験の最終週に発表する。しかしながら著者の個人的なIT関連企業の勤務経験から、情報系出身の学生といえども全員がシステムエンジニアやプログラマーといった開発職になる必要はない。人材は適職や適材適所で活躍する場がたくさんある。技術力よりマネジメント能力やコミュニケーション能力が必要とされる開発リーダー職や技術営業職など、様々な職種から会社の事業が成立していること知って欲しい。本テーマを通じて学生に開発リーダー職や技術営業職など、普段体験することができない役割をインターンシップとして体験させたい。

以上の考えから情報処理工学実験の組み込み分野の回路設計の教育を分担しつつ、インターンシップ制度を取り込んだ形式で2006年度からスタートした。本テーマの実験を履修するだけで企業の疑似的なプロジェクトに参加するインターンシップとなり、複数の職種から選択した一つの職種を6-9週間にわたって体験できるようになった。

本テーマは年に数回のタイミングでインターンシップ制度の実施方法を見直し、実験教材の補充や変更をした。開始3年目にあたる2008年には学科内の外部評価委員会にて企業の勤務経験がある複数の外部評価委員のレビューを受け、インターンシップ制度のコンセプトについて称賛を受け、方向性に確信を持った。本学科のJABEEの継続受審後にあたる2011年度の3回目からエンジニアリングデザイン教育のさらなる充実を図った。本テーマの9週間の実験後の提出レポートに「エンジニアリングデザイン報告書」を追加し、履修者自身が9週間の振り返り学習ができるように改善した。本報告書は「JABEEにおけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針」[1]に示された「デザイン教育の観点」との整合性を持たせた。

以上、6年の間、インターンシップ制度を取り込んだ組み込み分野のエンジニアリングデザイン教育の試みを行ってきた。本発表では特に断りがない限り6年目にあたる

- あなたはベンチャー企業に入社しました。
- 限られた9週間で、製品の企画・開発・進捗管理・プレゼンテーションを通じて、消費者が欲しがるCOOLな製品を完成させよう!!



開発事例1: 高性能ストップウォッチ



開発事例2: 電子スロット

図1 導入シナリオと開発事例

- 製品発表会(最終発表)で2点を投票する。  
1点目: 製品宣伝のうまさ (プレゼン評価)  
2点目: 製品の売り上げ (製品評価)
- 投票結果で売上高、残業時間等で開発費用(人件費)を計算し、赤字になると会社は倒産。

～ 勝板投票券 ( ) ～

プレゼン評価	A	B	C	D	E	F	G
製品評価	A	B	C	D	E	F	G
開発評価	A	B	C	D	E	F	G
最終評価	A	B	C	D	E	F	G

・一人につきプレゼンの評価のみ、製品評価のみ、  
・よからずらに○をつけてください。  
・最終の欄には○をつけてはいけません。

投票券の見本

	A	B	C	D	E	F	G
売上高(万円)	100	200	300	400	500	600	700
開発費用(万円)	50	100	150	200	250	300	350
赤字(万円)	50	100	150	200	250	300	350
赤字(万円)	0	0	0	0	0	0	0

収支計算結果の例

図2 製品発表会

2011年度の3回目の実施回の取り組みを紹介する。

## 2. インターンシップ制度

## 2.1 インターンシップの導入シナリオ

本回路設計では、履修生が少数精鋭のベンチャー企業の事業部(テーマB事業推進部)の新入社員となり、9週間の学生実験を疑似的なプロジェクトのチームの一員として過ごす。シナリオ上の目的は、配属されたチームごとに消費者が所望する新製品を企画・開発し、他のチームと差別化を行いながら高い売上を目指すことである(図1)。8週間後に実施する製品発表会では、各チームが開発した新製品のプレゼンテーションと動作デモを行い、投票で製品宣伝のうまさと製品の完成度を競う(図2)。投票結果から算出した製品の売り上げと残業時間を含むチーム全体の人件費などから、各チームの収支を算出する。収支が黒字になればチームは存続し、赤字で終われば倒産しメンバーが路頭に迷う。

## 2.2 チームの構成と職種

テーマB事業推進部は複数のチーム(CPLD開発課)から成る。図3に想定する事業体制を示す。1チームは原則5名の単位でCPLD開発課のメンバーを構成する。チーム内のメンバーは、リーダー職(課長職)、営業職、技術職、

<sup>†</sup> 福岡工業大学, Fukuoka Institute of Technology

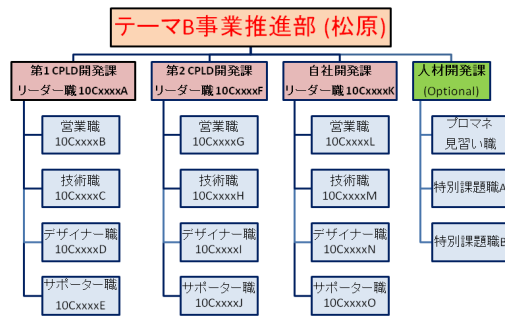


図 3 事業体制

デザイナー職、サポーター職、のいずれかの職を専任または兼任で担当する。チームの一員として9週間の間、担当職種を途中で変更することなく、製品発表会、デザインレビュー、成果物の納品作業、の一連の開発フローをこなす。

チーム内の担当職種の概要について述べる。リーダー職はチーム全体のスケジュールやメンバーの進捗を管理する。営業職は新製品を企画し、最終発表会に向けて、消費者に対してわかりやすい宣伝広報のプレゼンテーション資料を作成する。技術職は CPLD 学習ボードに新製品の機能の実装を担当する。サポーター職は新製品のわかりやすい取扱説明書を執筆する。デザイナー職は新製品の実寸大のモックアップや色彩デザインを厚紙や段ボールの加工や彩色で素早く形にする。

幹部社員の役割について述べる。事業推進部長はテーマB事業部全体（実験全体）の進捗管理を統括する責任者である。担当教員は事業推進部長の役割で参加する。実験補助の大学院生のティーチングアシスタントや学部4年生のチュードントアシスタントは、事業推進部長代理として参加する。役割は主に技術職のプログラミングや回路設計の質問、デザイナー職や営業職の相談などである。実験の実施回によってはプロジェクトマネージャー見習い職を設け、各 CPLD 開発課を横断した進捗管理を分担する。

### 2.3 指示系統と進捗管理

各週の開始指示はトップダウンである。実験中の具体的な指示内容は、事業推進部長、各チームのリーダー職、各チームの担当、の順で伝言ゲームを行う。これはリーダー職を中間管理職として挟み、チーム内のコミュニケーションの大切さを体験させるためである。

毎週の実験は「部課長会議」の開催から始まる。事業推進部長、事業推進部長代理、各チームのリーダー職、プロマネ見習い職等の幹部社員のみが出席する。部課長会議の伝達内容は2点あり、1点目は事業推進部長からの今週の作業内容の指示とその質疑応答、2点目は先週までの各チームの進捗や問題点に対するアドバイス、である。伝言ゲームが確実に行われるように、実験室前の廊下に集合後、実験室のドアを一旦閉め、部課長会議の内容がチームのメンバーに直接伝わらないようにする。

部課長会議の終了後、各チームのリーダー職は自分のチームに戻り、チーム内で「課内会議」を開く。チームのメンバーにそれぞれ今週のミッションを伝達する。各担当は着手すべき仕事が理解でき次第、担当の作業に着手する。

1回3時間の実験が終わり次第、各担当の作業内容や進捗を今度は逆にボトムアップのアプローチで集約する。各



過去の開発例

- 世界時計
- キッチンタイマー
- 電子ルーレット
- 電子スロット
- 野球ゲーム
- もぐらたたき など

図 4 CPLD 学習ボード PLD Astray

#### 9週間を計画的にすこそう。

- 1,2週目：新人研修。製品開発のサンプルの実行。
- 3,4,6,7週目：製品開発。プレゼンテーション作成。
- 5週目：中間発表会
- 8週目：最終発表会
- 9週目：デザインレビュー（納品物の確認）

#### 1週間の作業は以下を繰り返す。

- 13:05 部課長会議。 -13:15 チーム内の定期ディスカッション (16:10まで計3時間の作業を実施。)
- 16:10以降 残業するかどうかはリーダーの指示による。

(1週間の作業内容を 個人週報にまとめ、リーダー経由で提出)

### 図 5 プロジェクトの進め方

担当は各チームのリーダー職を経由して、事業推進部長に報告する。手順はまず、各担当は一週間の作業が終わり次第、作業内容や進捗を「個人週報」に記入し、リーダー職に提出する。個人週報の報告内容は、今週の作業内容の概要を3行、作業内容を10行、今週の作業時間の内訳、これまでの作業時間(自己申請の残業時間を含む)の累積時間、である。リーダー職は各担当の個人週報を参考にしながら、「チーム週報」を作成し、事業推進部長までメールで速報する。報告内容は、チーム全体の作業概要、進捗、問題点、各担当の作業の概要、等である。1週間のチームの実験の完了は、リーダー職がチーム全員の個人週報をクリアファイルに入れて face to face の手渡しで事業推進部長まで報告するまでである。これらのトップダウンの指示とボトムアップの報告を繰り返し、新製品の開発を進めていく。

## 3. 回路設計の教育内容

### 3.1 CPLD 学習ボード

本テーマでは Xilinx 社の XC95108 搭載の CPLD 学習ボードを2種類採用する。市販の MAL 社の PLD Master[2]とプログラムのバイナリ互換性を持った松原研開発の PLD Astray(図4)である。PLD Astray は一から設計し20台弱手作りで製造した。チーム内の2名の技術職は2種類の CPLD 学習ボードに Verilog HDL を用いてプログラミングし、新製品のバリエーションを2種類開発する。

### 3.2 9週間の実験の概要

実験期間は9週間であり、1週の実験は3時間である。概要を図5に示す。1週目は実験のガイダンス及び新人研修、2週目はチーム配属と担当職種決め、5週目に中間発表会、8週目に最終発表会、9週目にデザインレビュー、その後開発した成果物一式の電子納品を実施する。それ以外の週は担当職別の作業と作業内容のデザインレビューを実施する。以下、主な作業内容のトピックを述べる。



図 6 プレゼンテーション資料の例

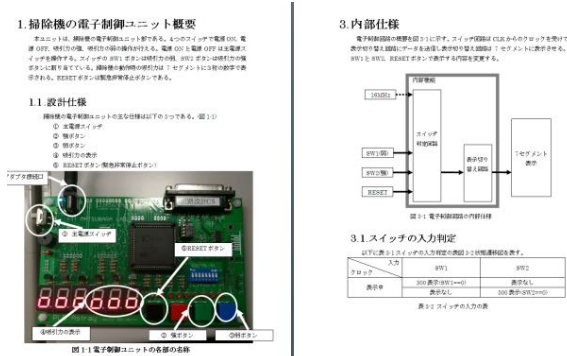


図 7 開発仕様書の例

### 3.3 新人研修 (回路設計の体験)

1 週目では実験概要のガイダンスを行う。インターシッップのシナリオや担当職種など説明する。1 週目の段階ではチーム分けや担当職種の決定をせず、履修者全員が技術職相当の新人として新人研修を受講する。新人研修はまず CPLD 学習ボードに回路設計の体験をする。全員がそれぞれ 1 回ずつ、CPLD 学習ボードの開発環境を立ち上げ、D フリップフロップの機能を Verilog HDL で記述する。CPLD 学習ボードに論理合成後のバイナリを書き込み、D フリップフロップが実装できているかを動作確認する。

その後、実験時間が終わるまで、複数の課題からいくつかの課題の動作を確認する。課題は 3 ビットの D フリップフロップ、8 ビットの D フリップフロップ、JK フリップフロップ、7 セグメント LED 表示器、などである。フリップフロップの入力をタクトスイッチ、各フリップフロップの現在の値を CPLD 学習ボード上の LED の点滅で判別できるように工夫した。これは CPLD 学習ボードの供給クロックを 1 から 10Hz 程度に変化させたとき、タクトスイッチからの入力供給クロックの立ち上がりエッジに動作して取り込まれることや、複数ビットのフリップフロップの内部の値の変化を直感的に理解させるためである。

全員に技術職相当の新人研修を受講させる理由は 2 点ある。1 点目は実験で用いる CPLD 学習ボードでどのような機能が実装できるかを一人一人に検討させること、2 点目は自分自身に技術職の適性があるかを見極められるようにするため、Verilog HDL の記述から CPLD 学習ボード上での動作確認までの開発フローを一通り体験させること、である。

SNHY  
音楽プレイヤー

#### 取扱説明書

お買い上げありがとうございます。  
ご使用にあたっては必ずお読みください。

#### 安全上のご注意

ご使用前に、この「安全上のご注意」をよくお読みください。

■この製品は高圧電圧  
部品が搭載されています。誤った取り扱いにより感電や感電障害、火災の原因  
となり、危険です。

⚠警告  
この製品の修理は、死亡や人身障害を生じることがあります。内部です。  
⚠注意  
この製品の修理は、感電を生じることがあります。内部です。

電源の接続  
電源の接続は、必ず電源スイッチがオフの状態で行ってください。  
電源の接続は、必ず電源スイッチがオフの状態で行ってください。

⚠警告  
この製品の修理は、死亡や人身障害を生じることがあります。内部です。  
この製品の修理は、感電を生じることがあります。内部です。  
この製品の修理は、感電を生じることがあります。内部です。

図 8 取扱説明書の例

### 3.4 チーム配属と担当職種決め

2 週目前半に担当職種について再度ガイダンスを行い、1 チーム原則 5 名の単位でチームの配属を行う。チーム内でそれぞれ担当職種を決定する。その後、チームのリーダー職を含む幹部社員のみが出席する部課長会議を実施する。チーム内の担当職にはリーダー職を経由して、9 週間の作業内容を記述した担当種別の配布ファイル一式を配布する。リーダー職は、各担当に配布物の内、担当種別のマニュアルは熟読するように指示だけを出す。リーダー職は各担当と一緒に指示内容を把握する。指示内容が理解できたら、各担当は指示内容の作業を開始する。

### 3.5 担当職種別の作業

2 週目の前半に担当職を決定次第、毎週、担当職別の作業を実施する。担当職種別の主要な作業内容を示す。

- ・**リーダー職** 実験開始時に課内会議を主催し、実験時間中は各担当の進捗管理やトラブルの対応を行う。実験終了後、チーム内の各担当の個人週報の回収およびそれらを要約したチーム週報の作成し事業推進部長に報告する。本テーマの運用として、リーダー職単独では実験時間中の待ち時間が多いため、営業職またはデザイナー職のどちらかの担当を兼任する。

- ・**デザイナー職** チームが開発する新製品の筐体やモックアップのデザインをボール紙や段ボールを加工して試作する。

- ・**営業職** 製品発表会(中間発表、最終発表)で発表する新製品をチームのメンバーと相談して決め、そのプレゼンテーション用の資料(図 6)を作成する。

- ・**技術職** 2 週目と 3 週目は講義形式で Verilog HDL の基礎をサンプルプログラムをベースに学習し、入力スイッチ、LED 点灯、7 セグメント LED の数字表示、ブザー出力、カウンター回路、クロックの分周回路などの要素技術の制御を体験する。新製品の開発に応用できるように応用課題として DIP スイッチを使った簡易楽器、ジュークボックス (オルゴール)、カウンター回路、などの作成とその改造を行う。4 週目以降は所属チームで合意が取れた新製品の開発に着手し、最後に開発仕様書(図 7)を作成する。

- ・**サポーター職** チームの新製品の取扱説明書(図 8)を執筆する。取扱説明書は質も量も重視し、最終的なページ数は 20 ページ以上とする。2 週目は市販の家電製品等の取扱説明書の構成を調査し、どのように書けば取扱説明書が分かりやすくなるかを考える。3 週目以降ではまだチーム内の新製品の開発方針が定まっていないため、汎用的に書けるところから執筆する。例えば、目次、アイコン、保

一人ひとりに投票券を配ります。発表終了後、**プレゼン発表がうまいプロジェクト、製品の完成度が高いプロジェクトに投票します。**

- a) CM効果(プレゼンのうまさ) 一人2票  
 b) 製品売上(製品の完成度) 一人2票  
 (同一チームに投票可)

学生全員+先生の投票を集計し、**収入・支出を計算**します。

**収入(計算例)**

- a) CM効果 1位 150万円、2位70万円、3位50万円 など  
 b) 製品売上 1票につき5万円

**支出(計算例)**

- d) 人件費 一人1回(3時間)につき3万円、5回で15万円  
 e) 残業費 16:20をすぎたら、時給2万円のペナルティ

### 図 9 製品発表会の投票と収支計算

証書、やっではいけないこと、困った時には、などの項目である。

### 3.6 製品発表会(中間発表会)

各チームの進捗報告を兼ねて5週目に中間発表会を行う。営業職が主導し、チームの開発中の新製品の概要を含むプレゼンテーションを行う。全てのチームのプレゼンテーションが終わり次第、各チームのプレゼンテーションの出来、新製品の動作デモの完成度の優劣、を投票する。投票結果から各チーム新製品の中間発表会時点の売上額などの収入、チーム別の人件費等の支出などを最終発表会に準じて図9のルールで計算し、各チームが黒字で生き残れそうか、それとも赤字でつぶれそうかを判定する。中間発表会では各チームは自分たちの新製品の開発が相対的に進んでいるか、それとも遅れているかを判断する。中間発表の終了後、各チームは反省会を実施し、最終発表会までの対策を練る。発表後の残時間は通常作業の続きを行う。

### 3.7 リリースエンジニアリング

製品発表会(最終発表会)に向けて、6-7週目では各担当職種別の作業を進める。進捗が進んでいるチームは、他のチームに対して差別化できる機能を追加開発する。消費者にインパクトがあるプレゼンテーションに仕上げ、動作デモの完成度を上げる。進捗が遅れているチームは、当初考えていた新製品の仕様を技術職のスキルに合わせて機能を削減し、製品発表会のデモではバグがなく動作するように完成度を高める。いずれにしてもリリースエンジニアリングの視点で開発を進める。サポーター職は取扱説明書の内容を最終発表会時の仕様に合わせて修正する。

### 3.8 製品発表会(最終発表会)

8週目に製品発表会を行う。各チームが開発した新製品をテレビのCMのようにわかりやすくプレゼンテーションし、新製品の動作デモを行う。中間発表会と同様に全てのチームのプレゼンテーションが終わり次第、各チームのプレゼンテーションの出来、新製品の動作デモの完成度の優劣、を競い一人一人が投票する。投票結果に基づき、各チームの新製品の売上額などの収入、チーム別の人件費等の支出などを図9に示す収支表のルールを元に算出する。チームが黒字で生き残れたか、それとも赤字でつぶれたか、を判定する。集計結果を発表し、成績の上位チームを表彰する。その後、各チームのリーダーは反省会を実施する。残りの時間は9週目のデザインレビューを短時間で適切に実施できるように、各担当は事前に納品物を準備する。

### 3.9 デザインレビューと電子納品

最終週にあたる9週目では、事業推進部長が各担当職の成果物(納品物に相当する実験レポート)のデザインレビューをチーム単位で一括して実施する。チームとして成果物の不備、例えば、チーム内の各ドキュメントの不整合箇所の指摘し、翌週の実験レポートの提出前切までに修正や補充すべき箇所や内容をコメントする。リーダーはチーム内の全員の成果物の修正が完了次第、担当職種別に成果物のデータを整理し、事業推進部長に電子納品する。

### 4. 実施結果と今後の検討課題

2011年度3回目の実施回の履修者29名が提出したエンジニアリングデザイン報告書の「本実験を通じた感想」の内、典型的な記述内容を表1に2名分抜粋する。

表1 本実験を通じた感想

(リーダー職) 全員がプログラミングを行うわけではなく役割によって行う作業が異なり、お互いをカバーすることが難しかった。そのため自分ができることを徹底的に行い、ほかにも今何ができるのかを考えることが多い実験だったと思う。班ごとに利益を争うという趣旨も面白くできるだけ早い段階でチーム週報を提出し、できるだけ残業を行わないよう、実験の時間内に製品の完成を目指すなどほかの実験にはない要素があり良い経験になった。

(技術職) 技術が他のメンバーと話し合って実現したい機能や実装が困難な難しい機能について入念な話し合いが必要であり、さらに作業時間は多くならないように綿密なスケジュール管理が求められた。

本実験を通じた感想より、チームのメンバーの一員として新製品の商品企画、開発、広報などの仕事を分担しながら、チームとして責任を持って仕事をこなすというインターンシップ制度の導入が概ねうまくいっていることが分かった。どの担当職になっても実験終了時の充実感が概ね高く、担当職別の課題や反省点を感じていたことが分かった。各担当職の挙げた共通の課題として、コミュニケーション、スケジュール管理、早期のトラブル対応、の3点が多かった。以上により本発表で提案するエンジニアリングデザイン教育の試みが一定の効果があったといえる。

今後の検討課題として2点あげる。1点目は毎週の実験でチーム内のコミュニケーションを密にとるための運用面の工夫である。現在は実験開始時のチームごとのミーティングと終了時の個人週報の回収の2回しか設定していない。進捗等のトラブルがあってもリーダー職は3時間の実験中は進捗管理が積極的にできない。今後はチーム内のコミュニケーションを密にとるための仕組みや頻度を再検討したい。2点目はチーム内のスケジュールの進捗管理の遅延に対して、幹部社員(担当教員やティーティングアシスタント)側から効果的に介入できる仕組みをどのように作りこむか、である。幹部社員のスキルや人依存が大きいため、今後は進捗管理を改善するため、実験全体の運用をマニュアル化し、運用方法を逐次見直しを含む工夫を施したい。

#### 参考文献

- [1] “JABEE におけるエンジニアリング・デザイン教育への対応基本方針(2010.4.30)”, 日本技術者教育認定機構(JABEE)ホームページ, <http://www.jabee.org/>(2010).  
 [2] “PLD MASTER 解説書”, Micro Application Lab, <http://www.mal.jp/open/products/pm01/pm01.html>.