

# メーカーの開発プロセスを適用した組込み分野の教育プログラム

松原 裕之<sup>1,a)</sup>

受付日 2013年5月13日, 採録日 2013年11月1日

**概要:** 本論文では組込み分野の教育プログラムとして「メーカーの開発プロセス」を適用した実験について述べる。実験の導入シナリオは、ベンチャー企業に入社し、プロジェクトの限られた開発期間で消費者が欲しがるとクールな製品を開発する。プロジェクトの一員となり、リーダー職、技術職、営業職、デザイナー職などから一職種を担当する。組込み分野のものづくりの楽しさと大変さを体験する。開発プロセスマネジメント、リーダーシップ、納品などの重要性を体験させる教育プログラムである。履修者に対して実施したアンケート結果から、本教育プログラムにより一定の効果が得られたことを確認した。

**キーワード:** 開発プロセス, 課題解決型学習, 組込み技術

## An Embedded Engineering Education Program using the Manufacture Development Process

HIROYUKI MATSUBARA<sup>1,a)</sup>

Received: May 13, 2013, Accepted: November 1, 2013

**Abstract:** This paper describes an experiment that applies the “manufacturer development process” as an education program in the embedded technology field. The deployment scenario of the experiment is to join a venture company, and within a limited development period for the project, develop a cool product that is in demand by consumers. It is needed for the member to join the project team, and take charge of any one role from positions such as leader, technical, sales or designer. The joy and challenges of manufacturing in the embedded technology field will be experienced. This is an education program to experience the importance of the management, leadership, delivery etc., of the development process. From the survey results gathered from the participants, it was concluded that a certain effect was obtained from this educational program.

**Keywords:** development processes, project based learning, embedded technology

### 1. はじめに

組込みシステムは家電製品、通信機器、自動車などを制御するために、マイコンやシステム LSI などのコンピュータを搭載したシステムのことである。組込みシステムは産業のあらゆる分野で必要とされており、組込み分野の技術者の需要は大きい。これらの産業界のニーズに対応するため、近年、様々な教育機関では組込み分野の技術者を育成するためのカリキュラム [1] が整備されてきた。組込みに

関する講義や学生実験は様々な実施内容 [2], [3] が報告されている。組込み関連分野教育の実施状況の調査 [1] によると、大学における組込み分野の教育分野は知識や技術要素の教育に大きく偏っている。調査 20 項目 [1] のうち、大学での実施状況の下位 4 項目は開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略、リーダーシップ、ドキュメンテーションであった。これら産業界のニーズを取り組んだ教育分野の大学発の実践的教育プログラムの開発が期待されている。一方、組込みの研究開発でただちに求められる即戦力とされる専門的なスキルや要素技術は、大学としてカリキュラムを整備しても、日々のメンテナンスがなければ陳腐化が

<sup>1</sup> 福岡工業大学  
Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka 811-0295, Japan  
<sup>a)</sup> h-matsubara@fit.ac.jp

激しい。

そこで著者は、即戦力とされる要素技術の修得をあえて避け、組込み分野のものづくりの天国と地獄をお手軽に体験させる実践的教育プログラムの開発が重要だと考えた。天国は開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略、リーダーシップ、ドキュメンテーションの4項目にそれぞれ取り組んだ結果、自らが工夫した製品が動作し、周りからも評価されたときの感動、である。地獄はそれらが1つ以上欠けた状態のため、組込み分野のものづくりの大変さを実感することである。これらをバランスよく実験時間に織り込むことが、教育プログラムのノウハウとなる。

以上の考えから大学内で組込み分野の教育を担当しつつ、電機メーカの開発プロセスを学生実験に取り込んだ形式で2006年度からスタートした。本実験[4],[5]を履修するだけでメーカの疑似的なプロジェクトに参加でき、複数の職種から選択した1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。本論文では特に断りが無い限り、7年目にあたる2012年度の3回分の実施回(累積22,23,24回目)の取り組みを紹介する。2章では提案する教育プログラム「メーカの開発プロセス」の適用の狙い、導入シナリオ、事業体制と職種について述べる。3章ではCPLD学習教材について、4章では教育プログラムの詳細を説明する。5章では履修者のアンケートの分析による本教育プログラムの評価と考察を行う。最後の6章ではまとめと今後の課題を述べる。

## 2. メーカの開発プロセス

### 2.1 開発プロセス適用の狙い

メーカの開発プロセスを適用した本教育プログラムは、ロールプレイング形式でプロジェクト遂行の定石を学び、プロジェクト管理を実感しながら組込み開発を行う。シナリオに沿ってプロジェクトを経験することで、職種、役割、責任、振舞いなどを学ぶ。プロジェクトのチームの一員としてメンバとして管理されていることやコミュニケーションスキルを報告・連絡・相談、いわゆるホウレンソウを通じて、小さな失敗を積み重ねながら学ぶ。本学科では必修の実験科目として実施するため、年間を通じて100名前後の学生が履修する。履修生の職種の興味や技術スキルのレベル差を逆に利用して、技術スキルの異なる5人でチームを組む。

実験では「消費者が欲しがらる COOL な製品を完成させる」という唯一の要求仕様の下、チームで作りたい製品を開発する。指導教員やTAは基本的に手助けしない。あらかじめ準備しているドキュメントやサンプルプログラムだけでは上手く開発できないため、履修生は自ら情報を調べ、解決方法を探る必要がある。チームのメンバ間で開発製品の完成イメージをすり合わせ、最後には機能を当初よりも削減してもバグが取れた完成度が高い製品を製品発表

表 1 4つの教育項目に対する課題と提案手法

Table 1 Proposed method with the challenge of education in four areas.

教育項目	課題	提案手法 (対象者)
開発プロセスマネジメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チーム内の進捗管理</li> <li>・技術のスキルアップ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部課長会議 (リーダー職)</li> <li>・個人週報 (全員)</li> <li>・チーム週報 (リーダー職)</li> <li>・中間発表会 (全役職)</li> <li>・講義方式の研修 (技術職)</li> </ul>
ビジネス戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フィージビリティスタディー</li> <li>・開発製品の早期決定</li> <li>・開発製品の機能やデザインの決定</li> <li>・売上予想と開発費の計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の発表資料の調査 (営業職)</li> <li>・技術職のスキルの把握 (技術職・リーダー職)</li> <li>・チーム内開発方針の決定 (リーダー職)</li> <li>・各発表会の投票ルール (営業職)</li> <li>・各発表会の投票結果 (全員)</li> </ul>
リーダーシップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メンバーのマネジメント</li> <li>・ホウレンソウの実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部課長会議 (リーダー職・幹部社員)</li> <li>・課内会議 (全員)</li> </ul>
ドキュメンテーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チーム内のドキュメントの品質のばらつきの解消</li> <li>・ドキュメント作成の進捗管理</li> <li>・エンジニアリングデザイン教育への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デザインレビュー (全員)</li> <li>・ドキュメント作成の進捗管理 (サポーター職)</li> <li>・電子納品作業 (リーダー職)</li> <li>・エンジニアリングデザイン報告書(開発の振返)の納品 (全員)</li> </ul>

会でリリースする。実験ではデザインレビューや納品用のドキュメント一式の作成まで実施する。本教育プログラムは、組込み開発の一連の開発フローを体験させ、開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略、リーダーシップ、ドキュメンテーションの4つ教育項目の効果を得ることが狙いである。表1に本論文の提案するメーカの開発プロセスの4つの教育項目、それぞれの課題と提案手法を示す。提案手法のうち、主要な手法の概要を4章で述べる。

### 2.2 導入シナリオ

本実験の導入シナリオは、履修生1人1人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



図 1 シナリオ

Fig. 1 Deployment scenario.

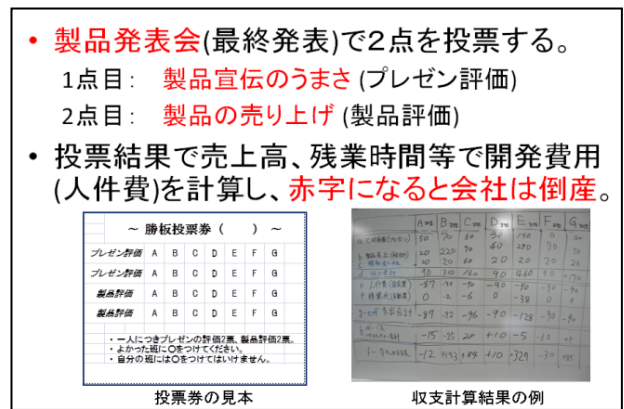


図 3 収支の計算

Fig. 3 Calculation of income and outgo.



図 2 デザインレビュー [6]

Fig. 2 Design review [6].

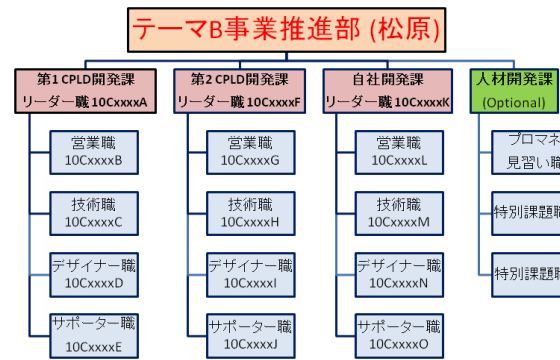


図 4 事業体制

Fig. 4 Business unit.

社員となり、9週間の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。シナリオ上の要求シナリオは、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)。図 2 は新製品のデザインレビューのイメージ写真 [6] である。チーム内で新製品のデザインレビューを実施している構図である。担当の技術職や営業職が、幹部社員の部長職や課長職に開発の進捗を報告している。このイメージ写真は高校生向けの大学案内の巻頭特集 [6] に掲載された。9週間目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い (図 3)、チームごとの会社の存続を決定する。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 (図 3)。収支が黒字になればチームは存続し、赤字になれば倒産し、メンバが路頭に迷う。

### 2.3 事業体制と職種

テーマ B 事業推進部は複数のチーム (開発課) からなる。図 4 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 開発課のメンバを構成する。チーム内のメンバは、リーダー職 (課長職)、営業職、技術職、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。

次にチーム内の担当職種の概要について述べる。

- ・ **リーダー職** チーム全体のスケジュールやメンバの進捗を管理する。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を作成し、事業推進部長に報告する。本実験の運用として、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を兼任する。

- ・ **営業職** 新製品を企画し、最終発表会に向けて、消費者に対して分かりやすい宣伝広報のプレゼンテーション資料 (図 5) を作成する。

- ・ **技術職** 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。新人研修後から中間発表までは講義形式で Verilog HDL の基礎を学ぶ。サンプルプログラムを元に、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、カウンタ回路、クロックの分周回路、などの



図 5 営業職の成果物  
Fig. 5 Product of sales.

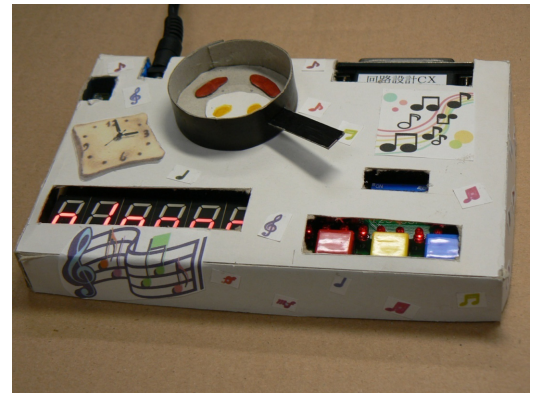


図 8 デザイナ職の成果物  
Fig. 8 Product of designer.

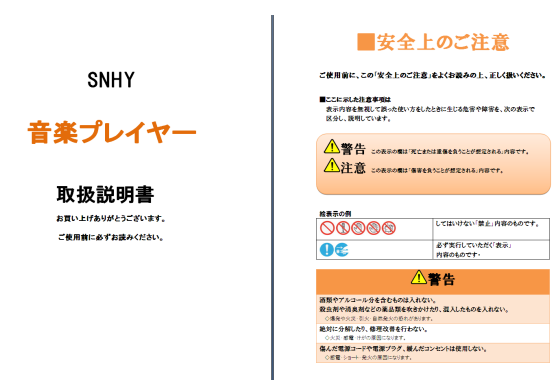


図 6 サポート職の成果物  
Fig. 6 Product of technical writer.

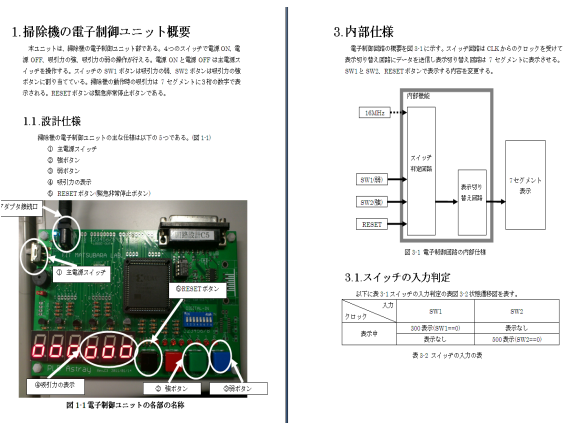


図 7 技術職の成果物  
Fig. 7 Product of technical.

要素技術の制御を体験する。その後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。

- ・デザイナー職 チームが開発する新製品の寸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(図8)。
- ・サポート職 チームの新製品の取扱説明書(図6)を執筆する。まず、市販の家電製品など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。次に、チーム内で合意が取れた機能のマニュアルを執筆し、最終的には、デザイナー職が製作したカバーを取り付けた状態の写真をふんだんに用いて仕上げる。

- ・幹部社員 実験の担当教員は事業推進部長の役割で参加する。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。実験補助のティーチングアシスタントは、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。
- ・プロジェクトマネージャ見習い職 実験の実施回によってはプロジェクトマネージャ見習い職を設け、幹部社員の指示の下、各CPLD開発課を横断した進捗管理を分担する。

### 3. CPLD 学習教材

#### 3.1 CPLD 学習ボードとプロトタイプ

本実験では Xilinx 社の CPLD (Complex Programmable Logic Device) デバイス XC95108 を搭載した 2 種類の CPLD 学習ボードを用いて開発を行う。市販の MAL 社の PLD MASTER [7] 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 9) である。チーム内の 2 名の技術職は PLD Master と PLD Astray 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。

PLD Astray は既存の PLD MASTER とバイナリ互換で入出力 I/O が上位機能となるコンセプトで開発した。プリント基板を CadSoft 社の Eagle5 で設計し、Olimex 社や SILVER CIRCUITS 社に製造委託した。約 20 台分の PLD Astray を学生アルバイトと協力して、手作業で電子部品を実装した。

技術職が新製品を開発する際のプロトタイプとなる CPLD 学習教材は開発仕様書と Verilog HDL 記述のサンプルプログラムからなる。2 種類の CPLD 学習ボードのどちらでもプログラムが動作するように互換性を持たした。プロトタイプは、デジタル時計、キッチンタイマ、ストップ

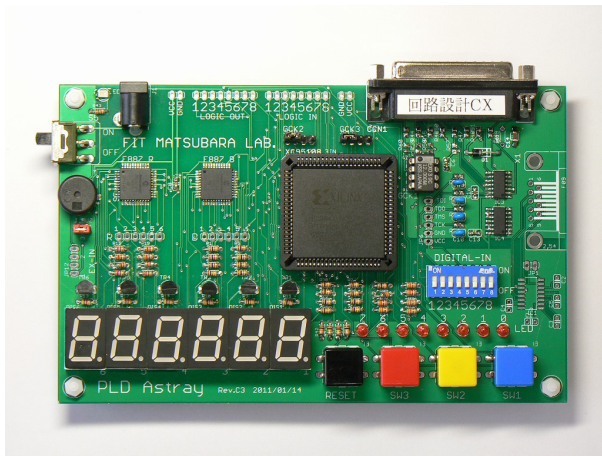


図 9 CPLD 学習ボード PLD Astray  
Fig. 9 CPLD learning board PLD Astray.

ウォッチ，電子ルーレット，ジュークボックス，などの全 5 種類とその派生バージョンを開発した。これらの CPLD 学習教材は歴代の研究室の卒業研究で開発した教材をベースに実験での使用に耐えられるように修正したものである。

### 3.2 新人研修用教材

本教育プログラムでは履修者全員に組み込み分野の新人研修として CPLD 学習ボードの開発フローを体験させる。新人研修用教材は開発環境 Xilinx 社 ISE WebPack 12.4 ベースの開発フローのマニュアルと Verilog HDL で記述した 10 種類のサンプルプログラムを準備した。サンプルプログラムの狙いは CPLD 学習ボードがクロックに同期して動作することを効果的に学習させることである。CPLD 学習ボードの LED，7セグメント LED，ブザーを用いて，レジスタ内部の見える化や聞こえる化を考慮した。

CPLD 学習ボードを用いた開発フローの体験では，サンプルプログラムとして D フリップフロップの機能を Verilog HDL で記述する。論理合成後のバイナリを CPLD 学習ボードに書き込み，CPLD 学習ボード上の実機で D フリップフロップが実装できているかを入力スイッチと出力 LED から動作確認する。その後，実験時間が終わるまで，残りのサンプルプログラムの課題からいくつかの課題の動作確認をする。

残りのサンプルプログラムは，D フリップフロップで記載した 3 ビットのシフトレジスタ，JK フリップフロップを用いた入力スイッチの判定，7セグメント LED 表示器を用いた 10 進カウンタ，音の生成用の分周回路，などである。各サンプルプログラムは，CPLD 学習ボードの LED や 7セグメント LED の表示で内部状態が判別できるように工夫した。シフトレジスタの現在値や JK フリップフロップの値などは LED の点滅，10 進カウンタの値は 7セグメント LED の表示，分周回路の生成周波数はブザーの出力音で確認できるようにした。たとえばタクトスイッチの入力

値を D フリップフロップに取り組み課題では，入力値が供給クロックの立ち上がりエッジに同期して取り込まれ，複数ビットのシフトレジスタの内部値の変化が LED の点灯表示による見える化を意図して作成した。

## 4. 教育プログラム

### 4.1 実験の概要

実験の実施期間は 9 週間であり，1 週の実験は半日（3 時間）である。1 週目は実験のガイダンスおよび新人研修，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。

### 4.2 指示系統と進捗管理

各週の実験は「部課長会議」の開催から始まる。具体的な指示内容をトップダウンで伝え，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。

部課長会議は事業推進部長，事業推進部長代理，各チームのリーダー職，プロマネ見習い職など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してのアドバイス，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，実験室のドアをいったん閉め，部課長会議の内容がチームのメンバ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，作業内容，作業時間の内訳，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，などである。

1 週間の実験の完了は，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。

### 4.3 新人研修と担当作業

実験開始時の1週目の段階ではチーム分けや担当職種の決定をせず、履修者全員を技術職相当の新人として扱う。組込み分野の新人研修として、CPLD 学習ボードに回路設計の体験をする。

全員に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のかを1人1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。

### 4.4 チームビルディング

新人研修の修了後に1チーム原則5名の単位でチームへの配属を行う。チームビルディングは60分程度をかけて丁寧に行う。まず、各役職のミッション、作業内容、開発修了後の納品物、について再度説明する。次に履修生に役職別の希望の分布をとる。2012年度の例では1チームにリーダー兼デザイナー職1名、営業職1名、技術職2名、サポーター職1名の体制である。どのチームにも少なくとも優秀な技術職1名とリーダー職1名が確保できるように優先的にアサインする。その後、残りの役職を本人の希望やプログラムなどの適性を教員が考慮しつつ、決まらない場合は履修生間の話し合いやじゃんけんなどで決定し、チームビルディングを終わらせる。

### 4.5 製品開発

チーム内で初回の課内会議を実施後、製品発表会に向けて担当職別の作業を実施する。新人研修後に把握した技術職のスキルを考えて、チームで作りたい製品の開発合意をとる。あらかじめ準備している5種類のプロトタイプや新人研修用のプログラムやドキュメントだけでは上手く開発できないため、チームのメンバは自ら情報を調べ、解決方法を探りながら開発を進める。指導教員やTAは基本的に手助けしない。

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から技術職のスキルに合わせて機能を削減し、製品発表会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。

### 4.6 製品発表会

実験期間中に進捗報告を兼ねて2回の製品発表会(図10)



図10 製品発表会

Fig. 10 Result presentation.

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11 投票ルール

Fig. 11 Rules of vote.

を実施する。5週目では中間の製品発表会、8週目では最終の製品発表会を行う。製品発表会では、開発した新製品をテレビのCMのように分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ことが求められる。中間発表会ではチームの新製品の概要とその進捗を含むプレゼンテーションが主体である。最終発表会ではプレゼンテーションに加え、開発した新製品の動作デモとその体験会を実施する。すべ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、の視点で1人1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、チーム別の人件費などの収支を投票ルール(図11)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。投票ルールは原則として実施回ごとに全体でゼロサムになるように収入と支出を決め、黒字と赤字のチームの割合をおおむね半数とする。ただし、多くのチームに開発を通じた達成感を体験して欲しいと考えるため、黒字のチームが若干多くなるように配分した。さらに教育的な配慮の面で、教員が各チームに実施して欲しいことにはインセンティブを加算し、逆にたとえば、リーダーのチーム週報の提出遅延が積み重なるとペナル

ティーとして赤字になる仕組みを取り入れている。シナリオ上、最終的に赤字になっても本実験の再履修とはならない。履修者にとってビジネス戦略の失敗であるため反省材料の1つになる。成績評価は発表会のプレゼンテーションと納品物と見なすレポートでの2点を総合的に判断するため、レポート内に記載された開発の振り返りやその反省点が成績評価の一部となる。

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の判断材料になる。最終発表会では集計結果を発表し、成績の上位チームを表彰する。発表後に各チームのリーダーは反省会を実施する。残時間は最終発表会までの対策を練る、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準備する、などの時間に割り当て、通常作業の続きを行う。

#### 4.7 デザインレビューと納品

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、たとえば、チーム内の各ドキュメントの不整合箇所の指摘し、実験レポートの提出締切までに修正や補充すべき箇所や内容をコメントする。チーム内の全員の成果物の修正が完了次第、リーダーは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データとして納品する。この納品された電子データは翌年以降の学習教材の開発の素材となる。

#### 4.8 教育プログラムの経年変化

本教育プログラムは、実施1年目から電機メーカーの開発プロセスを複数の役職で体験するコンセプトで組み込み分野の学生実験として開始した。大きなコンセプトは変化していないが、経年変化が3点ある。

1点目として本実験は日本技術者教育認定機構(JABEE)のエンジニアリングデザイン教育に対応する科目である。実施3年目までにチームを組むだけのPBL学習でなく、解が1つではない課題に対して、複数の解決策を提案でき、コミュニケーション能力、チームワーク力、問題解決能力、コストなどの制約条件の考慮などをすべて実施するように改良した。さらに実施状況のエビデンスが残るようにドキュメンテーションやその納品作業に実験1回分の重点を置いた。現在は発表後に全員に提出を義務付けているエンジニアリングデザイン報告書の記載内に、開発の振り返りから公衆の安全・社会への影響までの考察を含めるようにした。

2点目は教育効果の向上である。たとえば、実施1年目ではリーダー職は専任とし、担当の仕事させずにマネジメントに特化させていた。しかし、チーム内にトラブルが発生しない場合、3時間の実験時間の大半を結果として無駄に過ごすことが多かった。そのためリーダー職は原則として

営業職またはデザイナー職を兼任させ、教育効果を向上させることとした。現在は廃止されている職種の広報職(blog更新係)は学外のblogを更新するミッションであった。運営上、情報リテラシーや情報倫理の教育コストがかかり、情報倫理上のリスクがあるために廃止した。技術職やサポーター職は定期的な進捗管理をしないと作業が止まっていることが多々あった。このため、リーダー職のチーム週報の報告に加え、技術職は担当教員が2~3回程度の講義を実施し基礎を教え、サポーター職は2週に一度、進捗と納品物をきめ細かく直接チェックする体制とした。さらに7年目からは教育効果をアンケートで測定することにした。

3点目は実験環境の変更への対応を述べる。開始当初はパソコン24台と市販のCPLD学習ボード10台の体制であった。1回の実施回は6週間で、履修者は偶然24名前後で1人1台のパソコン環境を実現した。その後、年度別の教員体制の変化や入学者の人数の増減のため、2年後の実施回が9週間で最大40名弱になることが予想される時期があった。対応のため、営業職を別の実験室にサテライトオフィスと称して常駐させ、パソコンを常時必要としないデザイナー職を新規に立ち上げた。同一の実験室のパソコンの利用者を最大20名前後になるように調整した。9週間化にともない、増えた週を使ってデザインレビューや丁寧な納品物チェックを実施するようになった。また市販のCPLD学習ボードの終息のため、教員がメンテナンスできるオリジナルのCPLD学習ボードPLD Astrayを開発し、実験に用いることとした。

## 5. 実施結果

### 5.1 実施条件

2012年度1~3回目の実施回の履修者107名に対してアンケートを実施し、本教育プログラムの評価を行った。アンケートの実施タイミングは各実施回の最終の製品発表会の翌週の9週目である。アンケートの質問は実施回によって20~22項目であるが、本教育プログラムの評価に関連する10項目のみとする。表2にアンケートの質問と対応する4つの教育項目(開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略、リーダーシップ、ドキュメンテーション)とその総合項目を示す。アンケートは5件法である。

1回目の実施回は2012年度4~6月に実施し、履修者35名を7つのチームとした。2回目の実施回は2012年度6~10月に実施し、履修者37名を7つのチームとした。3回目の実施回は2012年度11~1月に実施し、履修者35名を7つのチームとした。チーム内の職種は原則としてリーダー兼デザイナー職1名、営業職1名、技術職2名、サポーター職1名の5名構成である。

### 5.2 開発プロセスの適用結果

図12は2012年度の1~3回目の実施回の履修者107名

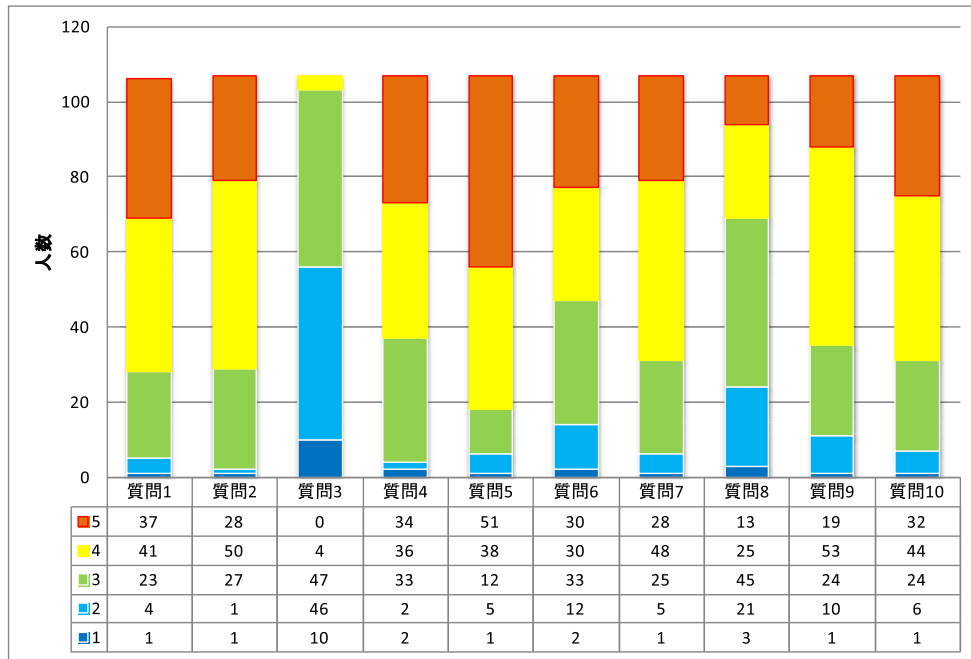


図 12 メーカーの開発プロセスの適用結果

Fig. 12 Results of questionnaire research of manufacture development process.

表 2 4つの教育内容に対するアンケートの質問

Table 2 Survey questions of education in four areas.

教育項目	質問	回答項目
総合	質問1: 製品開発の疑似体験シナリオの評価	
開発プロセスマネジメント	質問2: トップダウンの指示とボトムアップの進捗報告	5: とても良い 4: やや良い 3: どちらでもない
	質問3: 9週間の開発期間の長さ	2: やや悪い 1: とても悪い
	質問4: 実験前半の講義方式の研修	
		(質問3のみ)
ビジネス戦略	質問5: 売上・人件費・残業代等の計算	5: 長い
	質問6: 残業のペナルティー発生	4: やや長い 3: 適切
リーダーシップ	質問7: トップダウンのマネジメント手法	2: やや短い 1: 短い
	質問8: 後半では部長が一担当の技術的な質問に回答しない	
ドキュメンテーション	質問9: 一個人の範囲で開発の満足度	5: 満足 4: やや満足
	質問10: チームとしての開発の満足度	3: どちらでもない 2: やや不満足 1: 不満足

に対してメーカーの開発プロセスを適用に関するアンケートのまとめである。質問1は本教育プログラム「製品開発の疑似体験シナリオの評価」である。5のとても良いと4のやや良いを含めると7割以上が肯定的な評価であった。

質問2, 3, 4は主に「開発プロセスマネジメント」の質問である。質問2の会社と同様のトップダウンの指示系統とボトムアップの指示、質問4の講義方式の研修について、それぞれおおむね7割が肯定的な評価であった。質問3の9週間の開発期間の長さについて、2のやや短いと3の適切である回答が拮抗していた。

質問5, 6は主に「ビジネス戦略」に関する質問である。質問5の売上・人件費・残業代などの計算はおおむね8割が肯定的な評価であった。質問6では実験時間外にシナリオ上では残業代のペナルティーが発生することについて質問した。残業のペナルティーについて肯定的な回答は6割弱まで低下した。従来の学生実験のように時間外に残業してでも作業をやり遂げたい一部の履修生には不満があったためだと思われる。

質問7, 8は主に「リーダーシップ」に関する質問である。質問7ではトップダウンのマネジメント手法について、質問8では後半では部長が一担当の技術的な質問に回答しない設定について質問した。トップダウンのマネジメント手法について7割が肯定的な回答であったが、質問8では肯定的な回答は3割まで低下した。これはメーカーと同様の指揮系統を再現したこと、実験の後半では部長が一担当に直接指示せず、また技術的な回答をしないことについて賛否がばらついた。もともとの趣旨は担当教員やTAは基本的に手助けしない。履修生は自ら情報を調べ、解決方法を探



る必要がある。うまく解決方法を見つけた履修生からは教育プログラムの設計意図通り良い評価だったが、見つからない履修生からは悪い評価になったためである。

質問9, 10は主に「ドキュメンテーション」の分野で、担当した開発物をドキュメントとして納品するまでの作業に

関する質問である。質問9は個人としての開発の満足度、質問10はチームとしての開発の満足度について質問した。おおむね7割程度の肯定的な評価であり、ドキュメンテーションまでの一連の作業に満足していることが分かった。

### 5.3 アンケートの詳細な分析

図13は2012年度の1~3回目の実施回別の経年変化を平均点で分析したものである。同一年度の3回の実施回ともおおむね同等の傾向であったが、2点異なる傾向があった。1回目の質問8「後半では部長が一担当の技術的な質問に回答しない」について評価が悪い理由は、部長の代わりにTAが代わりに技術的な質問について回答している。年度初めの1回目ではTAの教えるスキルがまだ十分でなかったことが影響していると考えられる。3回目の質問7「トップダウンのマネジメント手法」の評価が悪い理由として、教員がシナリオ上の部長の役割を忠実に実行したため、リーダーを経由した担当者へのコミュニケーションのロスが多発したためである。

図14は2012年度の1~3回目の実施回の履修者107名に対して、職種別に分析したものである。技術職が42名、リーダー兼デザイナー職、営業職、サポーター職が各21名である。その他の職種は各1名の少数であるため分析から外した。分析の結果、全職種平均と比較して技術職とサポーター職はほぼ同等の傾向であった。リーダー兼デザイナー職は教育項目の総合、開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略について評価が高かった。逆に営業職は教育項目の総合、ビジネス戦略についての評価が低いことが分かった。これは

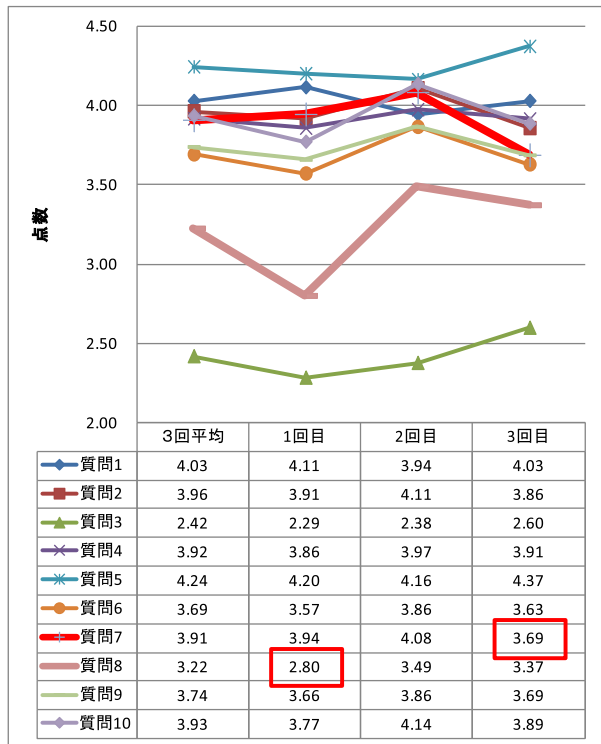


図13 実施回別の経年変化 (平均点)

Fig. 13 Aging of implementation different times (average points).

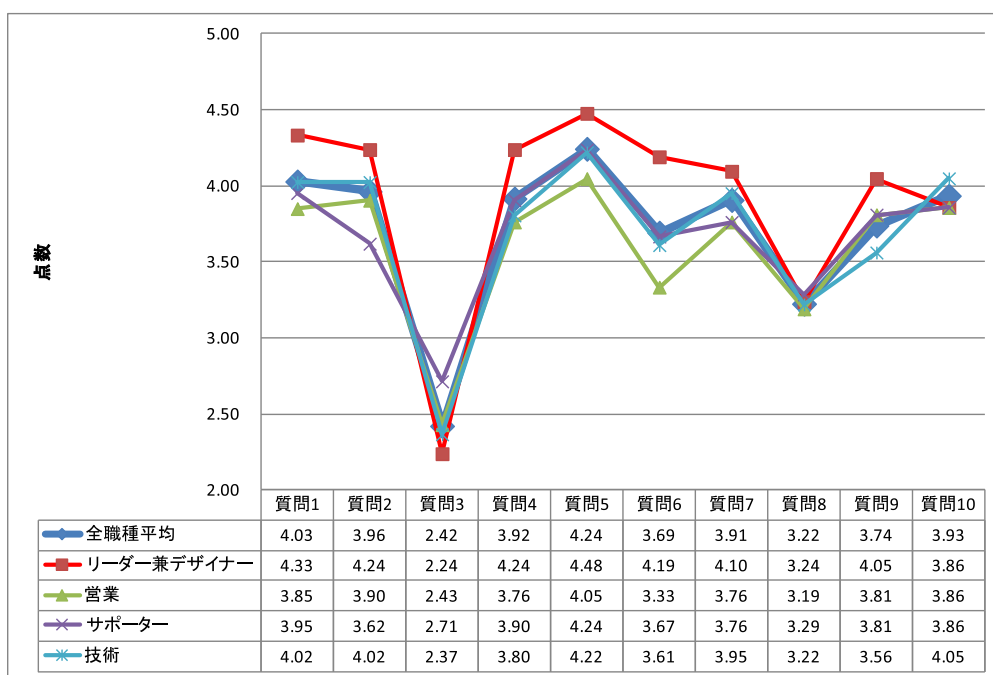


図14 職種ごとの特性 (平均点)

Fig. 14 Characteristics of each job (average points).

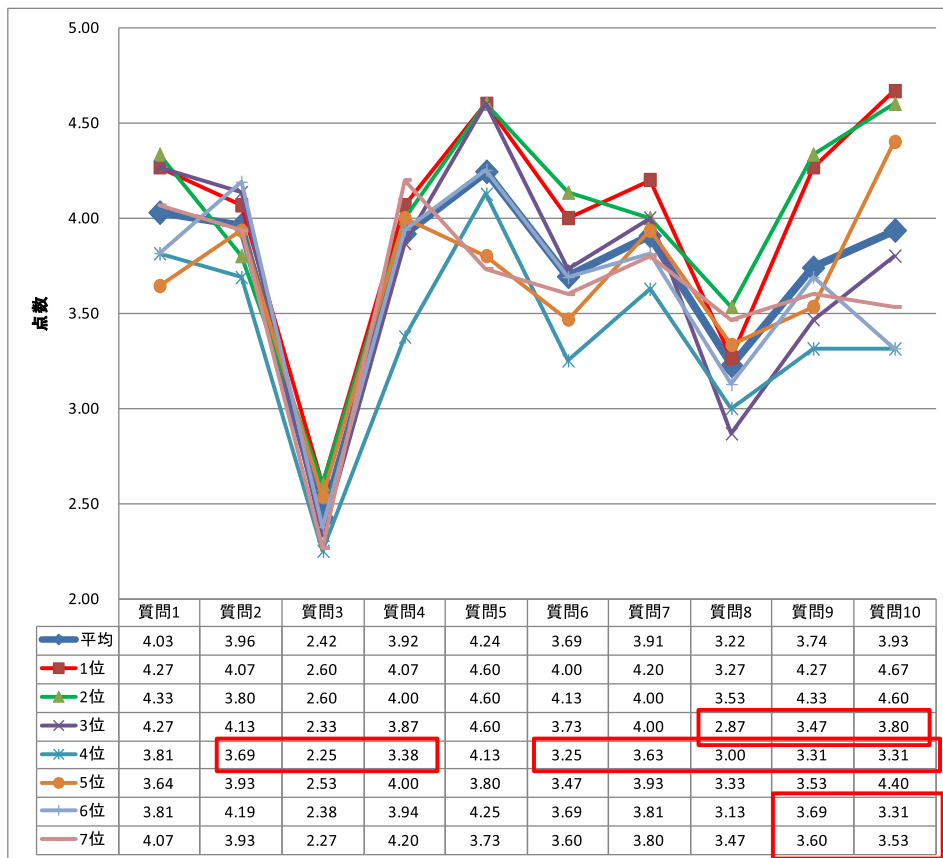


図 15 チームごとの特性 (平均点)  
 Fig. 15 Characteristics of each team (average points).

チームの製品開発に積極的に寄与できるか、受け身なのかによると考える。

図 15 は 2012 年度の 1~3 回目の実施回の履修者 107 名に対して、チームごとの特性を調べるため、最終発表会の総合評価の順位別に分析したものである。21 チームの順位は 1 位から 7 位までそれぞれ 3 チームずつ 15~16 名存在する。全チームの平均と比較して 1, 2 位のチームに所属するメンバは、ほぼすべての質問について高い評価であった。これは本教育プログラムの教育効果が高く表れたからだとと思われる。3 位のチームは質問 8, 9, 10 の評価が低い傾向であった。これは実験後半に技術的な指導があれば、より上位の入賞が狙えたからだとと思われる。特に質問 9, 10 の評価より、開発の満足度が低いことが分かった。成績中位の 4 位のチームは質問 1, 5 を除くすべての質問の評価が低かった。これはチームとしてやる気を出して開発に取り組んだが、結果として 4 つの教育目標のいくつかがうまくいかず、モノ作りの大変さだけを味わったからだと考える。特に質問 9, 10 の評価より個人やチーム単位の開発の満足度が最低であった。成績下位の 6, 7 位のチームはドキュメンテーションや開発の満足度が低い傾向であった。6, 7 位のチームに対して教員や TA は裏方としてある程度つきっきりになって開発を支援していた。しかしながらチームとして満足いくものが開発できなかったことが主

な原因だと思われる。

#### 5.4 教育効果の考察

本教育プログラムは学生実験でメーカーの開発プロセスを体験し、4 つの教育項目の教育効果を狙ったものである。必修科目の学生実験のため、設計意図として特に学力の中位層の人数が多いボリュームゾーンに対して一番教育効果が出ることを期待していた。そのため、履修者全員の基礎学力、能力、希望に応じて適切な職種に応じたチームを構成し、開発プロセスを体験させてきた。

アンケート結果から全般的に 7 割程度の履修者に高い教育効果があったと考える。特に顕著な教育効果は、リーダー職などコミュニケーション能力がある履修者、開発に成功し 1, 2 位となったチームの構成員などに多く見られた。成績の上位層は意図通り自ら進んで開発を進め、成績の下位層は教員や TA のフォローである程度効果があった。

今後の課題は中位層をシステムティックに教育が実施でき、履修者全員の教育効果のさらなる底上げができる教育プログラムへの改良と、CPLD 学習教材の整備である。

#### 6. おわりに

組込み分野の教育プログラムとして「メーカーの開発プロセス」を適用した実験を 7 年間、24 回実施し、これまで約

600名の履修者を輩出してきた。実験ごとに細かな改良を続け、メーカーの開発プロセスのリアリティを高め続けてきた。今回のアンケート結果から4つの教育項目（開発プロセスマネジメント、ビジネス戦略、リーダーシップ、ドキュメンテーション）に関して、おおむね教育プログラムの意図したとおりの評価であった。

一方、課題として自律的に解決方法を探れない学生にとっては、ある程度自学自習できるドキュメントやサンプルプログラムの継続的な整備が必要であることが分かった。今後も本教育プログラムの改良を続けていき、産業のニーズに対応する組込み分野の人材を育成していきたい。

**謝辞** CPLD学習ボードのPLD Astrayの原型はJSPS科研費19860078と平成18年度の福岡工業大学エレクトロニクス研究所の短期研究員の助成を受けて開発したものである。本教育プログラムの平成25年度の改良はJSPS科研費25750076の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] 経済産業省：組込み技術者教育ベストプラクティス集，入手先 (<http://sec.ipa.go.jp/reports/20070607/ebtrainbp20070612.pdf>).
- [2] 千葉慎二，與那嶺尚弘，佐々木正明，菅原浩弥，鹿股昭雄：組込みシステム技術者育成のための教育システムの開発と研修プログラムの実践，工学教育，Vol.58，No.5，pp.12-17 (2010).
- [3] 千葉悦弥，管隆寿，秋田敏宏，山本美幸：組込み技術を使用したものづくり教育プログラムの実施と評価，工学教育，Vol.58，No.5，pp.18-23 (2010).
- [4] 松原裕之：インターンシップ制度を取り込んだエンジニアリングデザイン教育の試み—情報処理工学実験（テーマB：回路設計），福岡工業大学FD Annual Report，Vol.2，pp.15-24 (2012).
- [5] 松原裕之：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，第11回情報科学技術フォーラム（FIT2012）講演論文集，第3分冊，pp.605-608 (2012).
- [6] 松原裕之：福工大夢へのトリセツ：伸びる【教育】グングン成長できる環境がある，福岡工業大学2013年大学案内，pp.6-7 (2012).
- [7] PLD MASTER, available from (<http://www.mal.jp/open/products/pm01/pm01.html>).



松原 裕之（正会員）

福岡工業大学情報工学部講師。博士（情報科学）。技術士（電気電子部門）。1級技能士（半導体製品製造集積回路チップ製造作業）。富士通を経て、2006年より現職。システムLSIの教育研究と技術者育成教育に従事。電子情報通信学会、IEEEの各会員。