

# 組込み製品開発へのソフトウェア開発手法適用に関する一考察 — ET ロボコンを活用した事例 —

大原貴都<sup>†1</sup> 八木将計<sup>†1</sup> 深谷直彦<sup>†1</sup> 小川秀人<sup>†1</sup>

ソフトウェアの開発効率を向上すべく多様な開発手法が提案されているが、実際の製品開発への適用は難しい。本稿では、技術進歩の推移に着目して製品開発への開発手法の適用に対する課題を抽出する。技術進歩の過程を時系列に二分割し、前半部は新たな手法の提案とその効果を確認する適用試行期、後半部を手法の広い展開を行う技術展開期と位置づける。適用試行期では、開発手法が想定している状態と実際の製品開発にギャップがあり、手法を適用した際の開発プロセスが不明確であることが課題である。技術展開期では、開発手法は広く認知されているものの、手法適用ノウハウを理解し製品開発を実践できるソフトウェア開発者が不足することが課題である。これらの課題を解決するため、適用試行期に対してはPFD (Process Flow Diagram) の適用を提案する。技術展開期に対しては体験学習型の習得プログラムを提案する。ETロボコンを題材に提案手法を実践し、効果を検証する。

## Putting Development Technique for Embedded System into Practice — An Example of Utilizing ET-robocon —

TAKATOSHI OHARA<sup>†1</sup> MASAKAZU YAGI<sup>†1</sup>  
NAOHIKO FUKAYA<sup>†1</sup> HIDETO OGAWA<sup>†1</sup>

Development techniques are important to improve development efficiency. However, it is difficult to apply such development techniques into industrial products development. In this paper, we discuss about an approach for applying development techniques to industrial products development. At first, we focus on a progress model of development technique. It is revealed that problems are different between the first half and the latter half of the progress model. We describe the first half as “application trial period” and the latter half as “application spread period”. How to apply development technique to products development process is an issue in the application trial period. Education of developers is an issue in the application spread period. We propose an application of PFD (Process Flow Diagram) as a subject of the problem solution in application trial period. We propose a teaching material of the on-site training as a subject of problem solution in application spread period. As a result, we show that our approach is able to apply development techniques into industrial products development and improve development efficiency.

### 1. はじめに

携帯電話、カメラ、自動車等、身近な製品の電子化に伴い、組込みソフトウェアが複雑化、大規模化している。図1、図2に組込みソフトウェアに係る企業を対象とした実態調査報告1)の一部を示す。ソフトウェア開発が4割強を占めており、開発コスト増大の要因となっている。また、不具合内訳をみると、ソフトウェア起因の不具合が半数を超えており、組込みソフトウェアの信頼性確保が難しくなっている。

このような状況を鑑みて様々な開発手法が考案されており、ソフトウェアの開発効率向上や信頼性確保に貢献している2), 3), 4)。しかし、開発手法の製品開発への適用を試みるがうまくいかず、効果を挙げられない場合がある5)。本報告では、開発手法の適用について課題抽出を行い、解決方法を提案する。

以下、2章では開発手法の製品適用に関する課題を抽出する。3章で課題解決方法を提案し、4章でETロボコン6)開発に提案手法を適用した結果を述べる。5章で考察を行い、最後に6章で本報告についてまとめる。

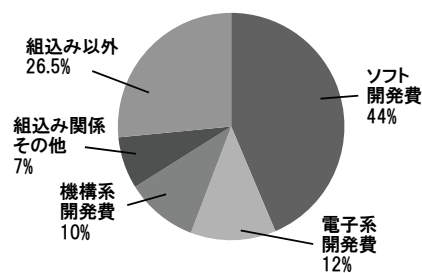


図1 組込みソフトウェア開発費に関する調査結果  
Figure 1 Development cost of embedded system.

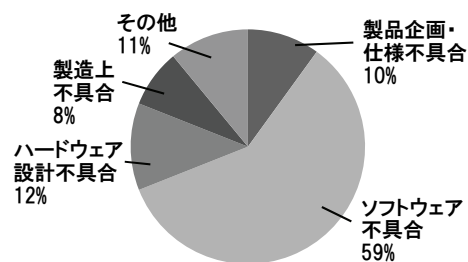


図2 組込みソフトウェア不具合に関する調査結果  
Figure 2 Failure of embedded system.

<sup>†1</sup> 株式会社日立製作所 横浜研究所  
Hitachi Ltd., Yokohama Research Laboratory

## 2. 開発手法の製品適用における課題

本報告では図 3 に示す Foster の技術進歩の推移モデル 7)に着目し開発手法の技術進歩について考え、開発手法の製品開発適用に関する課題を抽出する。

### 2.1 開発手法の技術進歩と製品適用

開発手法の進歩において、初期は様々な技術が提案、評価され、適用効果は学術論文等で報告される。次いで、提案された技術は開発手法として徐々に体系化されていき、支援ツール等が登場し、新たな組織や製品への実適用が進む。次第に開発手法の効果が広く認識され、技術講演やセミナーが広く開催される。図 3 の推移モデルを見ると開発に費やした時間や資源の増加に伴って技術成果は上昇し、ある時点境界に鈍化する。開発手法に技術進歩の推移モデルを当てはめた場合、開発手法が体系化される時期がこの境界にあたる。本報告では、前半部を“適用試行期”、後半部を“技術展開期”と呼び、次節以降で課題について述べる。

### 2.2 適用試行期の課題

適用試行期では、学会発表や学術論文などで適用結果が報告される。学会発表や学術論文では、提案手法の効果検証にオープンソースソフトウェアやサンプルコードなどが対象として用いられることが多い。これらは実際の製品開発と開発規模やプロジェクト体制が大きく異なるため、学術論文に記載された内容をそのまま製品開発へ適用することができない。このとき、開発手法を製品開発へ適用した際の開発プロセスが不明確であることが課題の一つとしてある。

### 2.3 技術展開期の課題

技術展開期では、実際の製品開発への適用結果が広く報告される。適用試行期から継続的に開発手法の適用を推進している場合、開発手法の適用先を拡大していく。開発手法の適用先を拡大するためには、開発手法の適用ノウハウを理解して製品開発を実践できるソフトウェア開発者が求められる。製品開発はチーム体制で行うため、開発の推進に必要な人数分の習得者を確保することが望ましい。

技術展開期から新たに開発手法の適用に取り組む組織も存在する。この場合、開発手法の適用対象である製品と同様の傾向を持つ他製品での適用事例を参照し、開発プロセスを事前に定められる。しかし、定めた開発プロセスを実践するためには、開発手法の適用ノウハウを理解して製品開発を実践できるソフトウェア開発者が開発の推進に必要な人数分求められる。

以上より、技術展開期は開発手法の習得者確保が課題の一つとしてある。

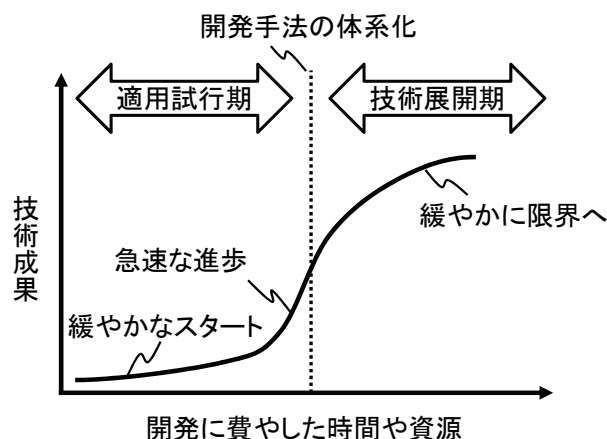


図 3 技術進歩の S 字カーブ

Figure 3 S-curve of the technological change.

## 3. 提案手法

適用試行期および技術展開期の課題に対し、解決方法をそれぞれ提案する。

### 3.1 適用試行期における解決策の提案

適用試行期では開発手法適用後の開発プロセスが不明確であることが課題である。各開発工程でどのような成果物がやり取りされるかに着目する。各工程で必要な成果物が明らかでなければ開発手法の運用が難しく、開発効率向上などの効果を挙げることは困難となる。開発手法の各開発工程で必要な成果物を可視化し、成果物間の依存関係を明らかにすることで課題を解決する。

本報告では、開発プロセスの設計および可視化を行うため、Process Flow Diagram (以降、PFD と呼ぶ) 8)の利用を提案する。PFD は、Data Flow Diagram (DFD) をベースに考案されたプロセスの分析設計手法である。プロセスと成果物を関連付けて図示する手法であり、開発手法を適用する際に必要となる成果物の明確化に好ましい。

### 3.2 技術展開期における解決策の提案

技術展開期は開発手法を習得している人材の確保が課題である。開発手法の習得プログラムを構築し、開発手法の適用ノウハウを習得した開発者の育成をめざす。製品開発時に他の企業へソフトウェア開発を発注し、開発手法の習得者を確保することはできる。開発手法を用いた継続した製品開発を考えた場合、自組織に開発手法の習得者を備えることが好ましい。

これまでに、開発力向上のための試みは多数行われている 9)、10)。プロジェクトベースの設計演習は効果が高く、適用ノウハウの習得に好ましい。本報告では体験学習型の習得プログラムを構築する。構築する体験学習型の習得プログラムは、座学での開発手法の基礎知識習得と、習得した知識の実践を盛り込む。実践を交えることで開発手法の適用ノウハウの獲得をめざす。

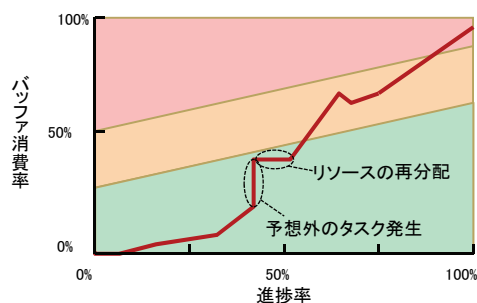


図 4 バッファ傾向グラフの結果

Figure 4 Result of buffer consumption rate.

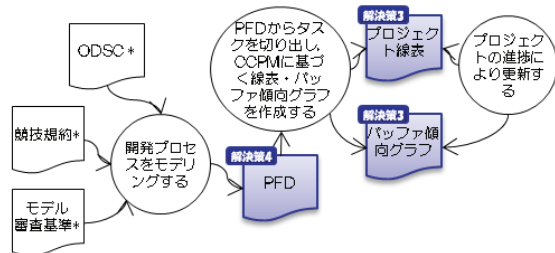


図 5 CCPM の PFD

Figure 5 PFD for CCPM.

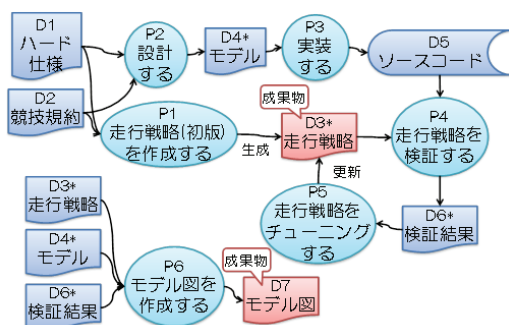


図 6 ET ロボコン 2011 の PFD

Figure 6 PFD for ETrobocon-2011.

## 4. 提案手法の効果検証

提案手法の効果を確認するため、ET ロボコン 6)に参加した。ET ロボコンは、決められた走行体 (LEGO Mindstorms NXT®) に UML®等で分析・設計したソフトウェアを搭載し指定コースを自律走行して競うコンテストである。4 名から 10 名程度でチームを結成し、約 5 か月間ソフトウェアの開発を行う。ET ロボコン開発過程へ適用試行期および技術展開期の開発手法について提案手法を用いて適用し、開発手法および提案手法それぞれの効果を確認する。

適用試行期の開発手法として Critical Chain Project Management (以降、CCPM と呼ぶ) 11)、技術展開期の開発手法として Software Product Line Engineering (以降、SPLE と呼ぶ) 12)を取り上げる。以下で、提案手法の効果につい

て述べる。

### 4.1 適用試行期に関する提案手法の検証

#### 4.1.1 検証方法

適用試行期の開発技術 CCPM を ET ロボコン 2011 の開発に適用するにあたり、提案手法である PFD を用いた。参加メンバーは組み込みソフトウェア生産技術に従事する若手研究者 (主に、入社 1 年目から 5 年目) を中心とした 11 名である。今回は適用試行期の技術として CCPM を取り上げる。参加者の多くは CCPM について聞いたことがある程度であり、適用試行期の開発手法であるとみなした。

#### 4.1.2 開発技術の効果

CCPM は個々のタスクに含まれる余力 (バッファ) をプロジェクト全体に集めて管理し、プロジェクトを管理する手法である。適用結果を図 4 に示す。進捗率 40% の時点でバッファ消費率が大きく増加している。これは予想外のタスクが発生したためである。リソースの再分配を行うことでバッファ消費率の上昇を抑え、最終的に遅延なくプロジェクトを終えることが出来た。

#### 4.1.3 提案手法の効果

CCPM に関する PFD を図 5 に示す。大会の競技規約や審査基準に基づき図 6 に示すように ET ロボコンの開発プロセスをモデリングし、モデリング結果からタスクを切り出して線表・バッファ傾向グラフを作成した。ET ロボコンの開発プロセスとプロジェクト線表およびバッファ傾向グラフは依存関係を有していることが分かる。

バッファ傾向グラフにおいて、進捗率 40% 付近でバッファ消費率が著しく増加している。これは ET ロボコンの要素技術開発や基本設計が概ね終了し、成果物であるモデル、走行戦略、ソースコードがプロジェクト初期の状態から更新された結果である。提案手法を用いることでプロジェクト線表およびバッファ傾向グラフと ET ロボコンの開発プロセスとの依存関係が明らかとなっている。更新された ET ロボコンの成果物は予想外のタスクとしてバッファ傾向グラフへと反映されバッファ消費率が上昇した。開発プロセスが事前に定まっていなかった状況で予想外のタスクが発生した場合、どの工程に影響を与えるか判別できないことが考えられる。この時、バッファ消費率が不明確となり、CCPM によるプロジェクト管理が実施できない。提案手法を用いて、事前に開発プロセスを明らかにすることで、予想外のタスクが発生しても CCPM に基づくプロジェクト管理を実践できたと言える。提案手法を用いることで ET ロボコン開発への開発手法の適用が可能となり、有効性を確認できた。

### 4.2 技術展開期に関する提案手法の効果

#### 4.2.1 検証方法

技術展開期の開発手法として SPLE を取り上げ、図 7 に

■ 学習プログラムの概要

- 一日チュートリアルで理論を学び、ETロボコンで実践
- 再利用対象は過去のETロボコン参加チームが作成した走行機能
- 再利用対象を抜き差し可能なソフトウェアの構成を目指す
- SPLの開発プロセスのうち3工程を体験

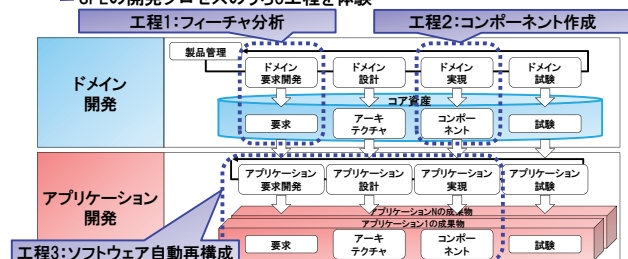


図 7 習得プログラムの概要

Figure 7 Summary of teaching material.

示す習得プログラムを構築した。SPLE の各工程のうち、ドメイン要求開発、ドメイン実現、アプリケーション開発全般を体験可能な形態としている。ET ロボコン 2010 の開発へ、作成した習得プログラムを適用し、効果を確認する。参加メンバは製品開発に従事する若手開発者（主に、入社1年目から5年目）を中心とした6名である。参加者の多くは同コンテストに初参加である。

4.2.2 開発技術の効果

SPLE は複数製品にわたって組織的、計画的に構築したソフトウェア資産を再利用することでソフトウェアの生産性を高める開発手法である。図8にETロボコンおよび教育スケジュールを示す。通常、ETロボコンの開発は約5か月かけて行う。SPLEの適用により、約3か月で開発を終えている。ソフトウェアの実装のみに着目すると期間は約1か月である。SPLEを適用することで開発期間を短縮することが出来た。

4.2.3 提案手法の効果

大会のモデル審査結果を表1に示す。モデル審査の結果より、ソフトウェアの再利用性を意識したフィーチャツリーおよびソフトアーキテクチャが作成できていることが評価されている。表2に示す参加者の感想を見ると、SPLEの基本概念や効果を理解することができたと感じていることが分かった。

作成した習得プログラムはSPLEにおける開発プロセスを踏まえて作成されており、理論の学習と実践の両者を取り入れている。特に、SPLEの技術的な特徴であるフィーチャツリーの構築とそれに基づくコンポーネントの作成に重点を置いている。体験学習させるポイントを絞り込むことで参加者の理解が深まったと考えている。特にフィーチャツリーはモデル審査結果でも良かった点として評価されており、ツリーの記法習得だけでなく、適用ノウハウも獲得した結果であると言える。また、参加者アンケートでは、フィーチャツリーに基づく可変性実装体験を通してその設計の難しさを感じ、自己学習意欲の情勢に貢献していることも見て取れる。これにより、提案手法を用いることによ

表 1 モデル審査結果

Table 1 Result of a modeling section.

良かった点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発環境をモデリング対象とした点はオリジナリティとして評価いたします。</li> <li>・ フィーチャツリーを正しく使えており、走行戦略を資産として活用できています。</li> <li>・ 走行戦略の変更容易性が読み取れました。</li> </ul>
悪かった点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発環境をモデリングするのであれば、UC に対するクラスとして開発環境自体のデータ構造を表現すべきです。記述されているクラス図はフィーチャツリー自体のデータ構造であり、UC と合致していません。</li> <li>・ 「勝つ」コンセプトがどこにも示されていません。勝つためにどう走行戦略を作ったか示されていないのでモデルとして不十分です。</li> <li>・ UC のシナリオについて、ロボットシステムに対するアクターが開発者になっており、UC 図と不整合を起こしています。</li> <li>・ ライントレースなどの要素技術に関する記述が欲しかったです。</li> </ul>

る開発手法の習得について、その有効性が確認できた。

参加者アンケートでは、プロジェクト管理がうまくいっていないことに言及している。これは適用対象であるETロボコンにおいて競技ルールや各種資料の提出期限が事前に定まっておらず、大会運営本部より開示される時期も遅いためであると考えられる。

5. 考察

まず、適用試行期について述べる。適用試行期は技術進歩のS字カーブにおける前半部分にあたり、課題の一つとして開発プロセスが不明確であることを取り上げた。PFDを用いてソフトウェア開発の各工程における成果物とアクティビティを明らかにすることを提案している。効果確認で取り上げたETロボコンやCCPMは参加メンバにとって未知であるため、開発プロセスが不明確である。提案手法を用いることで開発手法の運用に必要な成果物や成果物間の依存関係が明らかになり、開発手法を正しく運用して期間内にプロジェクトを終えることが出来た。よって、提案手法は適用試行期の課題である開発プロセスの明確化に対して有効である。

次に、技術展開期について述べる。技術展開期は技術進

▲:大会スケジュール □:チームメンバ行動

4月	5月	6月	7月	8月	9月
▲4/6:参加申し込み締切	▲5/21:技術教育1	▲6/11:技術教育2	▲7/24:試走会1	▲8/20:モデル資料提出 ▲8/21:試走会2	▲9/4:東京地区大会
		基礎学習	フィーチャツリー・コンポーネント実装	モデル資料作成	チューニング

図 8 ET ロボコン 2010 の実施スケジュール

Figure 8 Schedule of ETrobocon2010.

表 2 アンケート結果

Table 2 Result of a questionnaire.

	メンバ A	メンバ B	メンバ C
面白かった点	自分の実装でロボットの動きが変わる点が面白かった。	交流会で様々な方とコミュニケーションできたこと。	自分の調整パラメータがすぐに反映されてロボットの動きが変わるのが面白い
難しかった点	UML の知識が乏しく学びながらの参加だったので難しさを感じた。	フリーソフトの申請など、組織の差を感じた。あとは開発スケジュールがタイトだった。	日程に無理があった。
改善点	ロボットの挙動が電池残量でかなり左右される。対策必要。	線表を明確に示す。	モデルの偽損時間をもっとあれば良いのでは。
SPLE を習得できたと感じるか	参加し始めた時、すでにフィーチャツリーがあったのでツリー作成できなかった。難所だけのコーディングだけで参加できたため、SPLE の恩恵は実感できたが習得といわれるとギャップを感じる。	概念は理解できた。ツリーの気泡は分かったが実際に自分で書くとうまくいかなかった。慣れが必要であろう。今回は良い機会になったので、実際に使いこなしていく。	pure::variants というツールを知れた。その恩恵も感じる事ができた。感動。
参加目的は達成できたか	目的は UML を学ぶ点にあった。ある程度は達成したと思う。	目的は様々な方と交流を深めることにあった。達成した。	UML の勉強を目的にしていた。入口には入れた気がしている。
来年も参加したいか	参加したい	本業が許せば参加	今年の結果は不完全燃焼。来年も出たい。
	メンバ D	メンバ E	メンバ F
面白かった点	コーディングはしなかったが、意識共有できた。	普段は GUI 関係の仕事のため、ハード触れることが出来て良かった。C++触れたのが良かった。	学生時代は場当たり的にソフト作成していたが、モデルによる計画的な作成を経験できた。
難しかった点	日程。ロボコン開発に割いた時間の組織フィードバックを求められ、プレッシャーを感じた。	時間	思ったようにロボットが動いてくれなかった。
改善点	性能をもっと向上させられるのではないか。ハードの特性をもっと理解してソフトを作っていければよかった。	トライ&チェックで実装していたが、センサ値に基づいた妥当性のある開発が出来ればよいのではないか。	チーム開発の進め方に課題あり。一人でやったほうが良い個所、皆でやったほうが良い個所をはっきりさせるべき。
SPLE を習得できたと感じるか	効果は理解した。本業もこうなっていたら楽だと感じた。習得といわれるとまだギャップを感じる。	SPLE は組織構造まで話が入るはずなので疑問は残る。可変性の実現方法は C++の機能を使っただけではないのか。	フィーチャツリーの記法はマスター。可変性の実現方法、今回のやり方は分かったが他にもあるはず。継続して学びたい。
参加目的は達成できたか	SPLE の習得を目的にしていた。効果は理解。UML と SPLE とともに学ぶきっかけになっている。勉強進めていきたい。	SPLE に関する疑問を晴らすことが目的。効果は理解できたが、まだ晴れない印象。	チーム開発経験できたので目的は達成。リーダーの重要性とチームの和を再認識。
来年も参加したいか	会社の状況次第。できればしたい	辞退する。	参加したい。もっと上位をめざしたい。

歩の S 字カーブにおける後半部分にあたり、課題の一つとして開発手法を習得している人材の確保を取り上げた。提案手法では体験型の学習プログラムを構築し、開発手法の適用ノウハウ獲得をめざした。効果確認で取り上げた SPLE に関して、フィーチャツリーの記法および効果を理解できている。ET ロボコンのモデル審査結果においても良かった点として評価されており、提案手法を用いることで参加者全員が開発手法の適用ノウハウを獲得出来たとと言える。技術展開期の開発手法の習得を可能とするため、提案手法は技術展開期の課題である開発手法習得者確保に有効である。

## 6. まとめ

組込みシステムのソフトウェア開発手法の製品適用について検討した。開発手法は、その技術進歩の推移に着目すると、主要な手法が確立される前後で課題が大きく異なっている。開発手法確立前は、様々な開発手法が試行・評価される適用試行期であり、開発プロセスが不明確であることが課題である。開発手法確立後は、その開発手法を多数の製品へと展開していく技術展開期であり、開発手法を習得している開発者の確保が課題である。

本報告では、適用試行期に対して、開発手法の運用に必要な成果物を明らかにした上で製品開発プロセスへ組み入れることで課題を解決することを提案した。また、技術展開期については体験型の教育プログラムを提案した。

ET ロボコン 2010 および ET ロボコン 2011 の開発に提案手法を適用し、その有効性を確認した。適用試行期に関しては、PFD を用いることで ET ロボコンの開発で作成する成果物と CCPM の運用で使用する成果物との依存関係を明らかにし、実開発を行う前に開発プロセスを定義した。提案手法を用いることで開発手法の適用を円滑に行うことができ、その有効性を示した。技術展開期に関しては、体験型の学習プログラムを用いることで、参加者全員が SPLE に関する基本概念や効果を理解することが出来、提案する習得プログラムが有効であることを示した。

## 7. 今後の課題

本報告では、提案手法の効果を確認するために ET ロボコンを活用し、有効性を確認した。今後は実際の製品開発へ提案手法を適用し、評価を行う。

## 参考文献

- 1) 経済産業省、2010 年度版組込みソフトウェア産業実態調査報告書、2010。
- 2) 竹辺靖昭、近久真章、島袋潤、高木由充、塙俊英、多様な製品展開を支える再利用型組込みソフトウェア生産技術、日立評論、2009 年 5 月号、pp.30-33。
- 3) 川上真澄、小川秀人、デジタル家電ドメインに特化したモデルベース開発環境、Vol. 52, No. 12, pp3184-3191, 2011。
- 4) Ichii, M et al.: A Rule-based Automated Approach for Extracting Models from Source Code, WCRE'12, pp.308-pp.317 (2012)。
- 5) J. Hutchinson et al.: Empirical assessment of MDE in industry, Proc.

ICSE'11, pp.471-480 (2011)。

6) ET ロボコン 2011 ホームページ,  
<http://www.etrobo.jp/2011/index.php>。

7) Richard N. Foster, Innovation: The attacker's Advantage, Summit Books, 1986。

8) 清水吉男, PFD (Process Flow Diagram) の書き方,  
[http://homepage3.nifty.com/koha\\_hp/process/PFDform3.pdf/](http://homepage3.nifty.com/koha_hp/process/PFDform3.pdf/)。

9) 渡邊茂, 谷地健治, 徳田孝明, 庄林雅了, 電子情報技術科における導入教育の取組み, 東北職業能力開発大学附属秋田職業能力開発短期大学校紀要 15, pp.32-35, 2010。

10) 小倉信彦, 渡辺晴美, ロボットコンテストを利用した組込み教育の実践, 組込みシンポジウム 2007, pp.15-22, 2007。

11) 西原隆, 栗山潤, TOC/CCPM 標準ハンドブック — クリティカルチェーン・プロジェクトマネジメント入門, 秀和システム, 2010。

12) McGregor, J.D. et al. :Guest Editors Introduction: Successful Software Product Line Practices, IEEE Software, vol.27, no.3, pp.16-21 (2010)。