

第6回

日本の組込みシステム産業の
現状と課題

ー経済産業省 2005 年版組込みソフトウェア産業実態調査からー



田丸喜一郎

(独) 情報処理推進機構
ソフトウェアエンジニアリングセンター／
(株) 東芝 セミコンダクター社
ブロードバンドシステム LSI 開発センター
kiichiro.tamaru@toshiba.co.jp

近年、組込みシステムにおける組込みソフトウェアの重要性は増すばかりである。組込みソフトウェアの急速な大規模・複雑化が進む中、開発リソースの慢性的な不足などにより組込みソフトウェアの品質低下が、組込みシステム産業のアキレス腱となるのではと懸念されている。このような状況から、経済産業省は平成 16 年度より組込みソフトウェア開発力強化に向けた活動に着手した。その活動の一環として組込みソフトウェア産業実態調査が実施されているが、最新の 2005 年版の調査報告書が 6 月 20 日に正式公開された^{1)～3)}。この調査では組込みシステムにかかわる企業約 250 社 (含む事業部門)、開発プロジェクト約 280 件、技術者約 1,400 名から回答を得た。本稿では、その最新の調査結果をもとに、我が国の組込みシステムを組込みソフトウェアにフォーカスしてその現状を解説し、組込みソフトウェアの開発現場の抱える課題を浮き彫りにしていく。

組込みソフトウェアの重要性が増大する
組込みシステム

総務省平成 16 年企業・事業所統計調査によると組込みシステムにかかわる企業総数は約 8 万 9 千社、総従業員数は約 480 万人、経済産業省平成 15 年動態統計によるとその総生産高は約 51 兆円、総開発費は約 6 兆円となっている。総従業員数では我が国の全産業約 5,200 万人の約 9%、製造業約 1,000 万人の約 48% を占め、生産高は国内総生産約 500 兆円の約 1 割を占めるに至っている。

組込みシステムは、機構部品、電子部品そしてソフトウェアからなるシステムであるが、それらを担う技術者の総数は今回の調査で約 38 万人と推定された。このうちの約 46% にあたる約 17.5 万人が組込みソフトウェア技術者で占められている。電子系のハードウェア技術者は約 22%、機構系のハードウェア技術者は約 12%、その他の技術者は約 20% を占める。

開発費で見ても、組込みソフトウェアの開発費は全開発費の約 41% を占める。総開発費約 6 兆円の約 41% で約 2.4 兆円となる。同じく、電子系のハードウェア開発費は約 20%、機構系のハードウェア開発費は約 12%、その他の開発費は約 27% である。

技術者数、開発費などコスト面で 4 割以上を占める組込みソフトウェアであるが、製品出荷後の不具合の原因でも不具合件数の約 34% をソフトウェアが占める。ハードウェアの不具合が約 23%、製品仕様の不具合が約 22%、その他の不具合が約 21% となっており、製品出荷後の不具合の原因のトップとなっている。

開発プロジェクトでは品質を重要視するが
1/3 のプロジェクトでは品質未達

プロジェクトで開発する製品にとって「品質」、「機能・性能」、「開発期間」、「開発費用」の重要度を問うと、それぞれ 7 割以上、5 割以上、4 割以上、4 割弱が「非常に重要」と回答している (図-1)。しかしながら、プロジェクトを完了した時点での当初の計画に対する達成度では、「品質」は約 1/3 が未達、「機能・性能」は約 1/4 が未達、「開発期間」は約 1/2 が超過、「開発費用」は 6 割弱が超過の状況となっている (図-2)。

「開発期間」と「開発費用」を超過させてでも、何とか「機能・性能」と「品質」を達成しようと努力している結果とも読み取れるが、それでも「機能・性能」「品質」を計画どおりに達成することが困難な状況となっているのである。

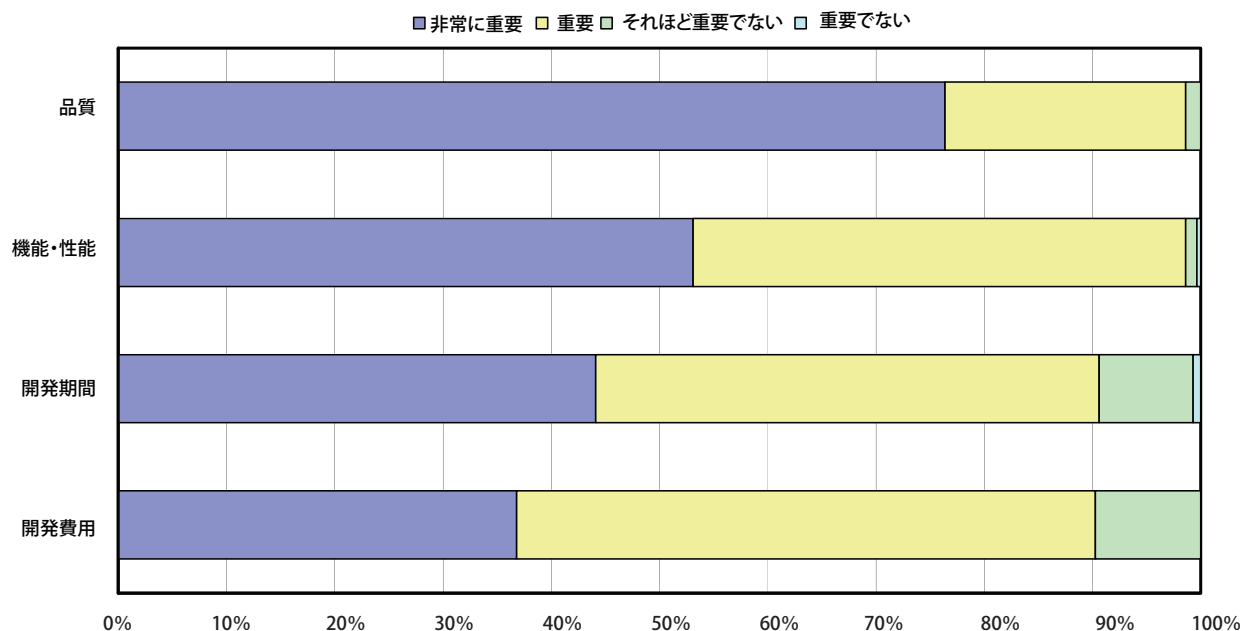


図-1 プロジェクトで開発する組込みシステムの重要度

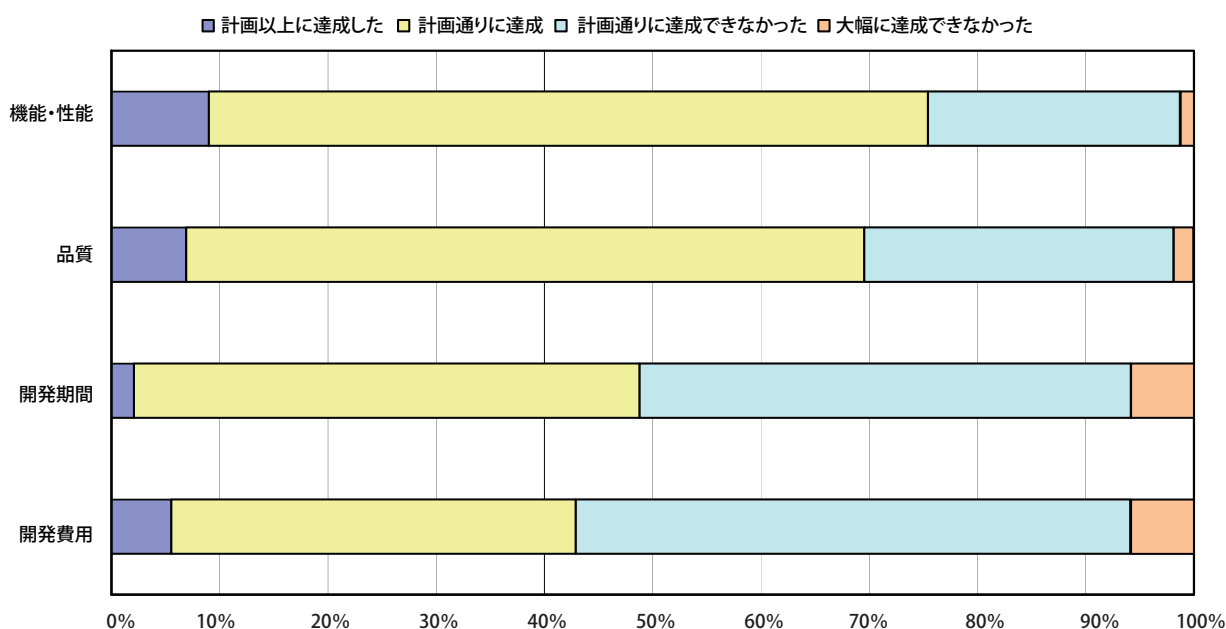


図-2 プロジェクトの計画達成状況

慢性的に不足する組込みソフトウェア技術者：7万人が不足

組込みソフトウェア開発に従事する技術者は昨年の2004年版調査の推定値の15万人に対して、今回の調査結果からの推定値では17.5万人と増加している。集計方法が一部異なることによる差異も含まれるが、大規模化する組込みソフトウェアに対応して増加傾向を示している。それでも需要の増加には対応できず、約7万人が不足しているという。不足する人員を補うため8割以上の

企業が組込みソフトウェア開発の外部委託を行っている。海外への委託も増えており、約1/3の企業が海外へも委託している。

手軽に不足する人員を補える外部委託ではあるが、品質管理が困難であることが最大の課題となっている(図-3)。約6割の企業が課題としてこれを挙げている。2番目に大きな課題として挙げられているのは、要求仕様や設計仕様の共有や伝達が困難であること(約5割)であるが、これも間接的には品質に関連する。調査結果で見ると、外部委託している企業と外部委託していな

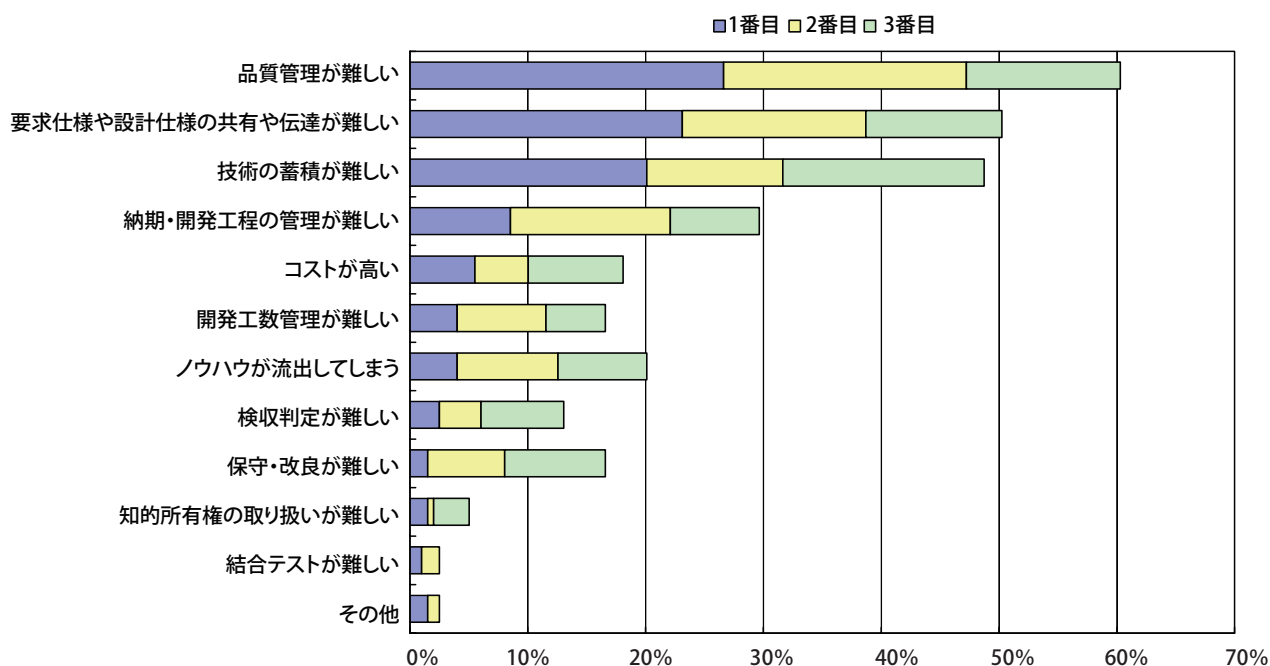


図-3 外部委託での課題（上位3位までの課題）

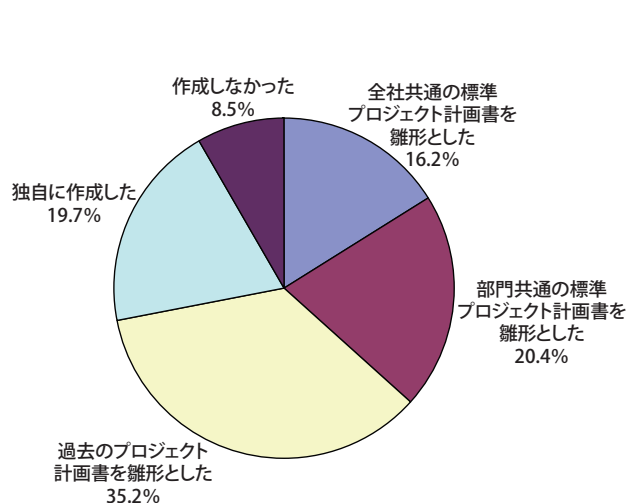


図-4 プロジェクト計画書の作成方法

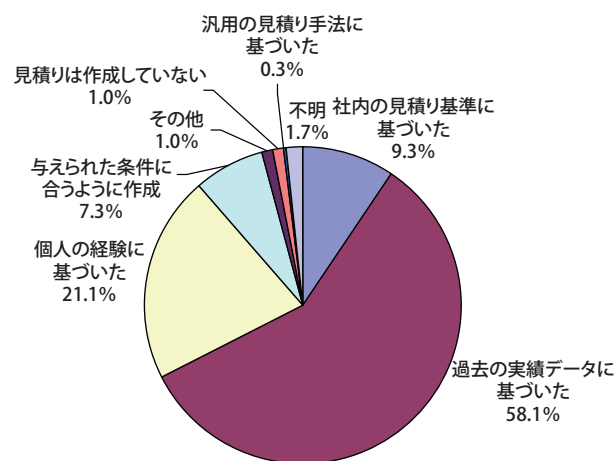


図-5 期間・コストの見積り方法

い企業の製品出荷後の不具合の発生率においても、前述の経営トップの「品質の向上」と同様の傾向が見られる。外部委託をしていない企業では、製品出荷後の不具合発生率が10%以上である企業は全体の1/4以下であるのに対して、外部委託している企業では半数近くが10%を超える不具合発生率となっている。

ずさんな開発計画，経験に頼る見積り

開発計画どおりになかなかプロジェクトを進められないことは前述の通りであるが、計画書の作成方法についても過去の実績と経験に任されている。標準の開発計画

書を雛形にして作成しているプロジェクトは1/3程度で、残りは過去の計画書を雛形にしたり独自に作成している状況である（図-4）。中には、計画書すら作成しないプロジェクトもある。

開発計画の工数やコストの見積りについても、標準の見積り基準に従って見積りを行っているのは1割にも満たない（図-5）。8割近くが過去のデータや個人の経験に頼っている現状である。「与えられた条件に合うように作成した」など見積りをしていないプロジェクトも1割に迫る。これでは、計画通りにプロジェクトが進まないのも頷ける。

技術者から見ても、これまで述べてきた組込みソフト

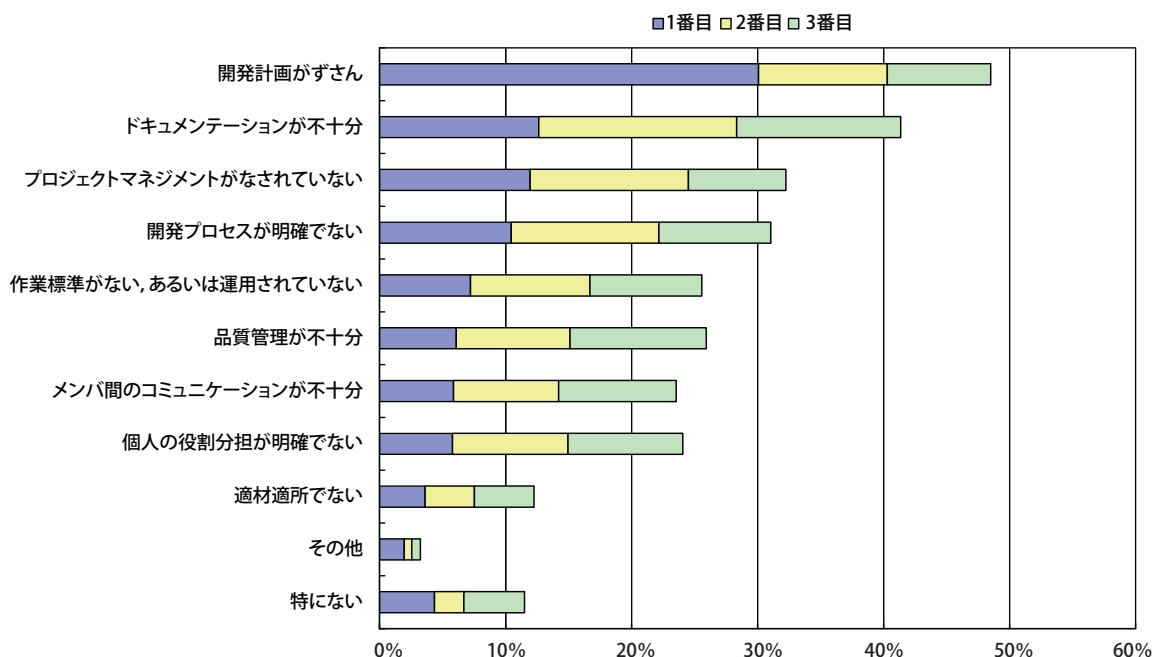


図-6 技術者がプロジェクトの進め方で課題として感じていること（上位3位までの課題）

ウェア開発の現場が抱える課題が的確に指摘されている。「開発計画がずさん」「ドキュメンテーションが不十分」「プロジェクトマネジメントがなされていない」「開発プロセスが明確でない」などである（図-6）。開発プロセスが明確でなければ、開発計画も的確に作成することは困難になり、開発計画がずさんであればプロジェクトマネジメントもキチンとはできない。当然、開発プロセスが明確でなければ、十分なドキュメントが準備されることを期待するのも困難である。

開発プロセスを乱すハードウェアに起因するトラブル

開発プロセスでは、約1/3のプロジェクトがウォーターフォール方式を採用する。他の方式に関してはスパイラル方式、プロトタイプングモデル方式やインクリメンタル方式などを採用するプロジェクトも合わせると約1/3となる（図-7）。開発プロセスの選択理由としては、「開発条件に合うから」「開発メンバーが慣れているから」などが多く挙げられているが、結果的には「開発期間の維持が困難だった」「品質の確保が困難だった」「マネジメントが困難だった」などの課題が多く挙げられている。

その原因の1つとして考えられるのが開発途中で直面するハードウェアに起因するトラブルである。ハードウェアの不具合をソフトウェアで回避したり、ハード

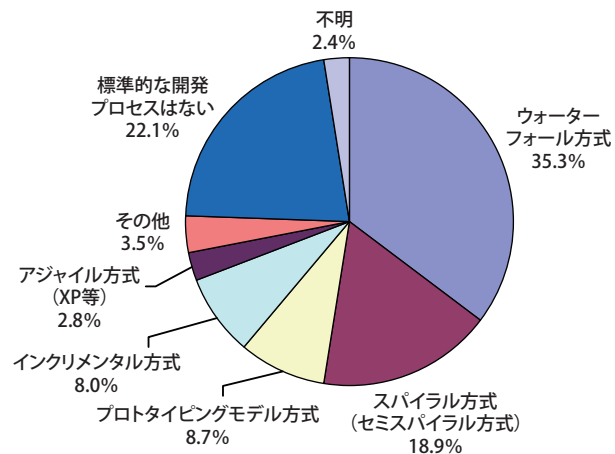


図-7 採用した開発プロセス

ウェアの仕様変更によりソフトウェアの修正を余儀なくされたりするなどは約6割の開発プロジェクトが直面する（図-8）。中にはソフトウェアの開発完了直前にこのような事態に直面するケースもある。

ハードウェアに起因するトラブルにまったく直面しないプロジェクトは全体の1割にも満たない。ハードウェアと並行開発されることの多い組込みソフトウェア開発では、ハードウェアに起因するトラブルが開発プロセスを乱す大きな原因となっているのである。

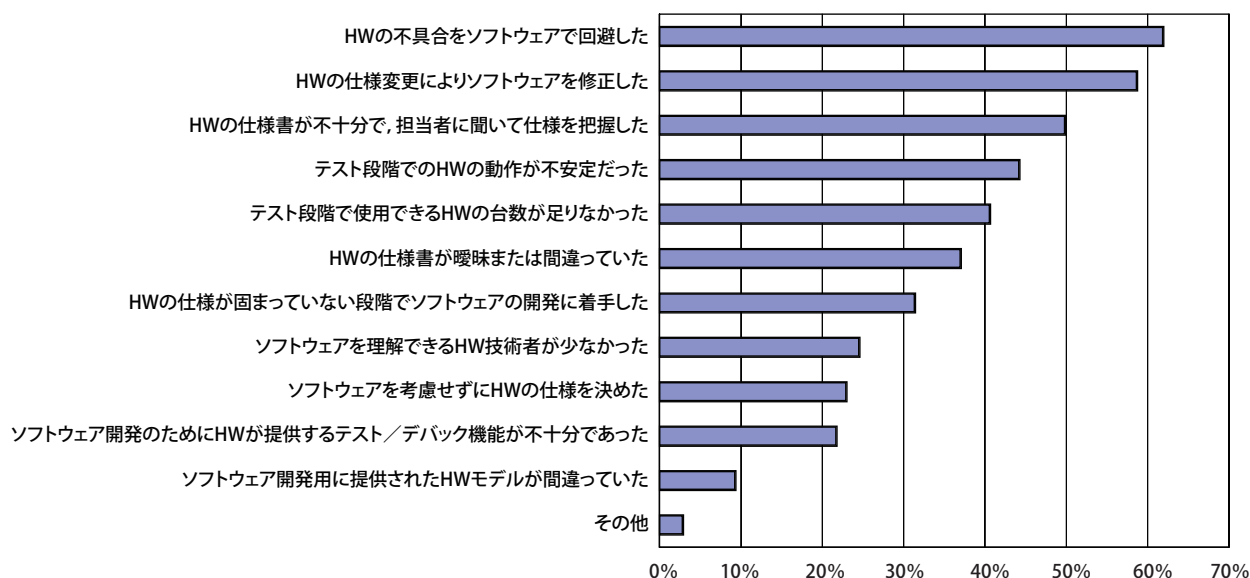


図-8 ハードウェアに起因して直面した課題

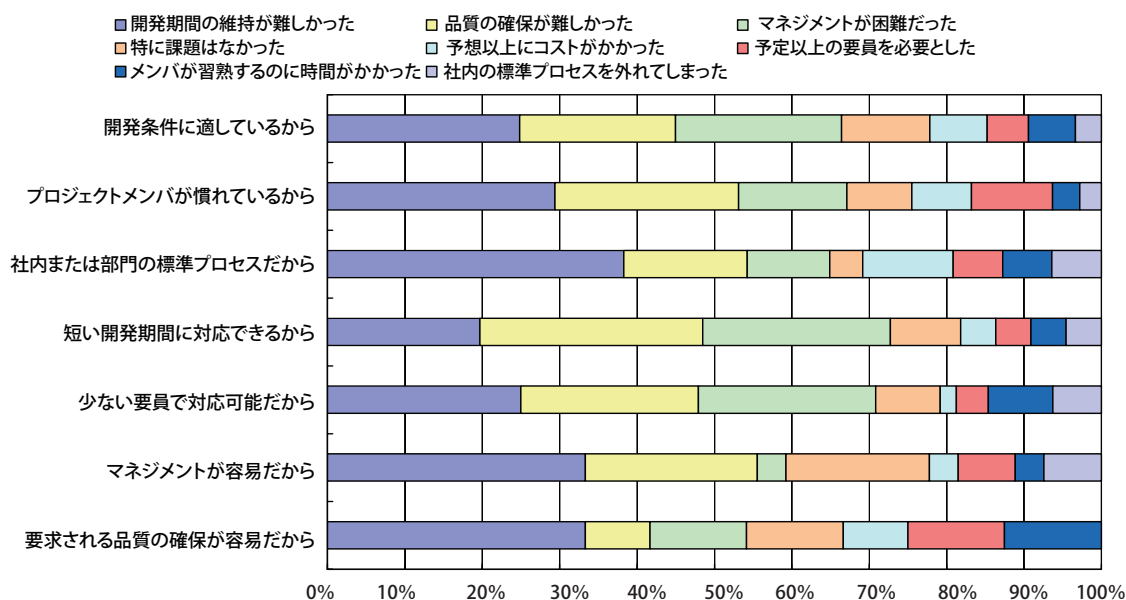


図-9 開発プロセスの選択理由と直面した課題

選択理由と直面した課題の関係をみると（図-9）、「プロジェクトメンバが慣れている」「短い開発期間に対応」「少ない要員で対応可能」「マネジメントが容易」「品質の確保が容易」などの特定の目的を選択理由としている場合には、それと直接対応する課題に直面する割合は低く抑えられているものの、それ以外の課題とのトレードオフとなっており、開発プロセスが近年の組込みソフトウェアの開発にうまく適用できていない状況も鮮明になってきている。

レビュー・インスペクションが頻発する手戻りを低減

図-10は開発工程で発見された不具合件数を、不具合を発生させた工程別に表示したものである。図では調査したプロジェクトの不具合件数の平均値で示している。たとえば、ソフトウェアテストの工程では約100件の不具合が発見され、そのうち20件弱はソフトウェアテスト工程が原因の不具合、60件弱はソフトウェア実装工程

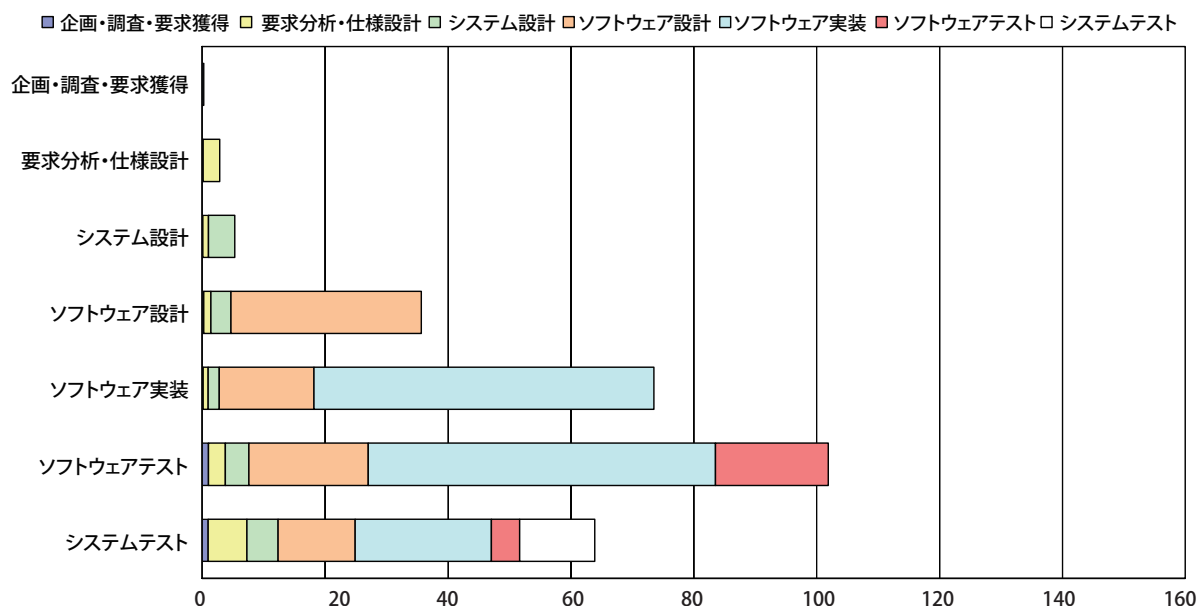


図-10 工程別の不具合の発見件数とその発生工程の内訳

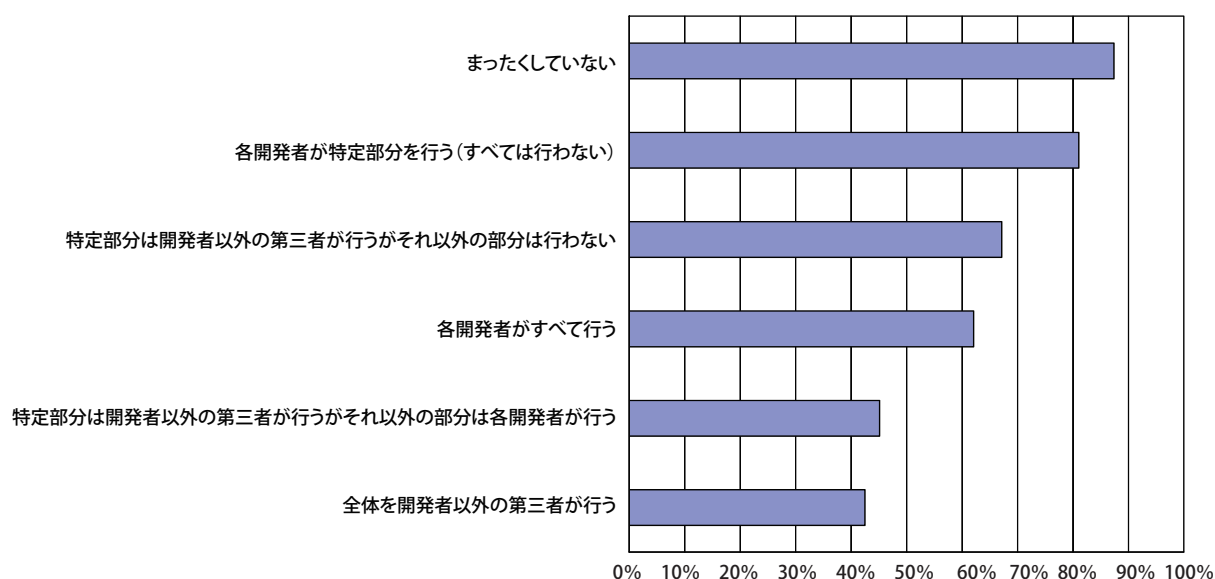


図-11 レビュー・インスペクションの実施方法と手戻り発生率の関係

が原因の不具合、20件弱はソフトウェア設計工程が原因の不具合であることを示している。

全体では約300件、その約1/3がソフトウェアテストの工程で発見される。発見された不具合の半数弱はその工程内に原因があるが、残りの半数以上は発見した工程以前の工程に原因があり、いわゆる手戻りを発生させる結果となっている。ソフトウェアテストの工程の例では、発見された不具合約100件のうち、自工程であるソフトウェアテスト工程が原因の不具合20件弱を除く残り約80件は、ソフトウェア実装以前の工程が原因の不具合

となっており、その部分が手戻りとなっている。中には、システムテストの段階になってから仕様や企画の不具合が発見されるケースもあり、その場合の手戻りに伴う開発期間や開発費用へのインパクトは多大なものになる。

1つの工程を完了して次の工程に進む際に、その工程の結果を精査するためにレビューやインスペクションを行うのが組込みソフトウェア開発でも標準的な開発プロセスとなりつつある。調査結果でもレビューやインスペクションが手戻りを防ぐのに有効であるとの結果が出ているが、その実施の仕方によって大きく効果が異なる(図-11)。

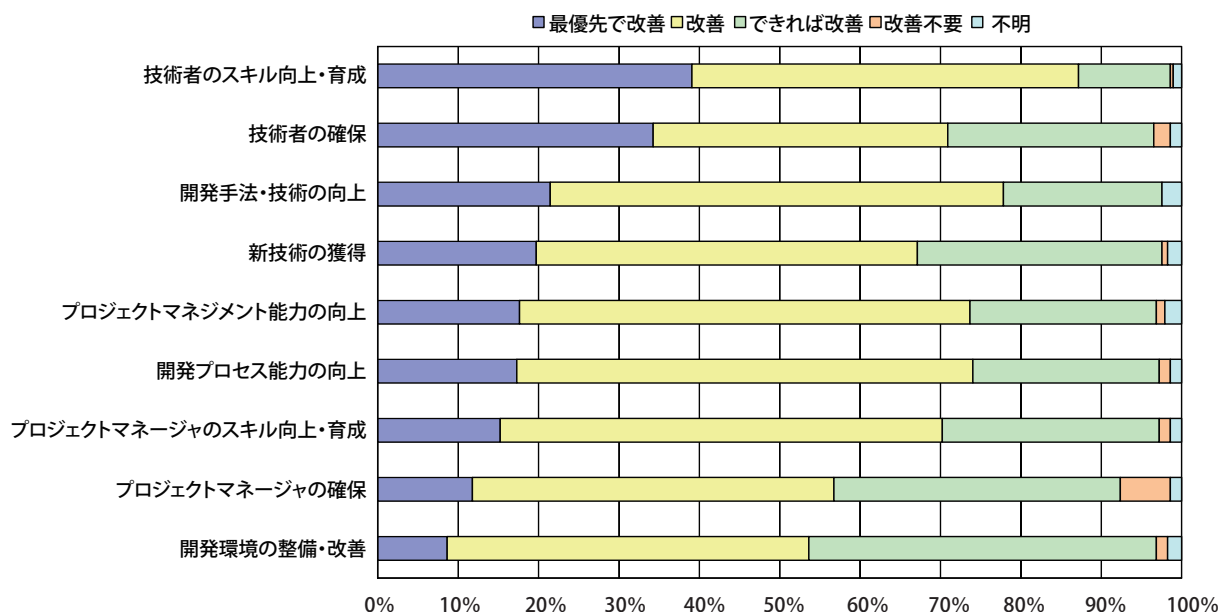


図-12 今後のプロジェクトで改善すべき課題

レビューやインスペクションをまったく実施しない場合には発見された不具合の9割近くが手戻りとなるのに対して、開発者自身が全体を実施する場合には6割程度にまで手戻りを減らせ、さらに第三者が全体を実施する場合には4割程度にまで減らすことができる。また、開発者自身が重要と思う特定部分のみを自分自身で実施するケースでは、効果はほとんどなく、手戻りを数パーセント減らせるだけである。レビューやインスペクションを単に標準プロセスとして定義しても、その実施方法まで管理しないと効果は期待できないのである。

技術者の確保とスキル向上が改善の最優先課題

課題の山積する組込みソフトウェア開発の現場ではあるが、開発プロジェクトのリーダーに問うと、今後に向けて改善の意欲は高い。慢性的な技術者不足から、「技術者のスキル向上・育成」と「技術者の確保」を最優先に改善したいとするプロジェクトが多いが、「スキルの向上・育成」から「開発環境の整備・改善」まで多岐に渡る項目で、「最優先で改善」から「できれば改善」までを含めると9割を超えるプロジェクトが改善を目指している(図-12)。

技術者個人向けの調査でも同様な結果が得られている(図-13)。図では課題として挙げられた3位までを色分けして示しているが、技術者不足が最大の課題として挙げられている。スキル不足が2番である。しかし、今後の方向性については「収入を増やしたい」が2位とはなるものの、「いろいろな技術を身につけたい」「技術を極めたい」がそれぞれ1位、3位となっており、技術に対する向上心は高い(図-14)。数多くの課題を抱える組込みソフトウェアの開発現場の中で、これら技術者の姿勢が一筋の光でもある。

調査データ 1,200点で見つける解決への道

本稿では2005年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書で公開された約1,200点のデータから14点のデータを参照して、組込みソフトウェアを中心として我が国の組込みシステム産業の実態を解説した。経済産業省の組込みソフトウェア開発力強化に向けた活動は、本実態調査をもととすることで、我が国の組込みソフトウェア開発現場の課題を解決できる成果を目指している。

この活動の中核組織が、平成16年10月に(独)情報処理推進機構内に発足したソフトウェア・エンジニアリング・センターであるが、最初の成果である「組込みスキ

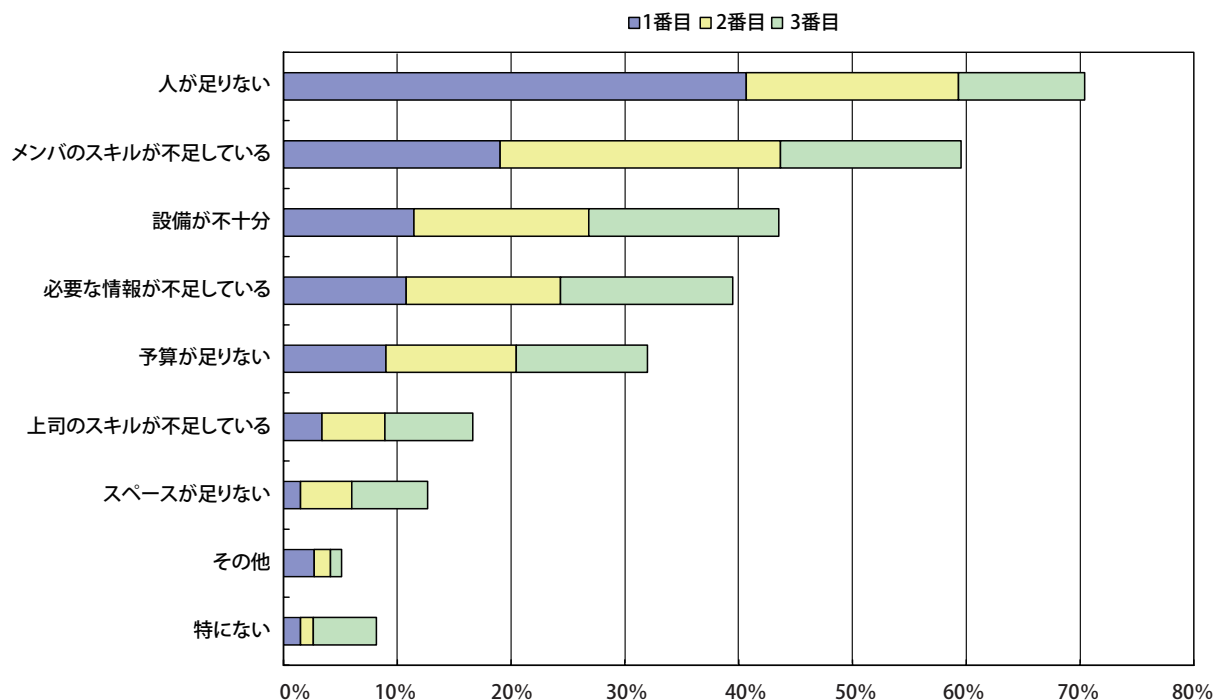


図-13 技術者が開発資源・環境で課題として感じていること（上位3位までの課題）

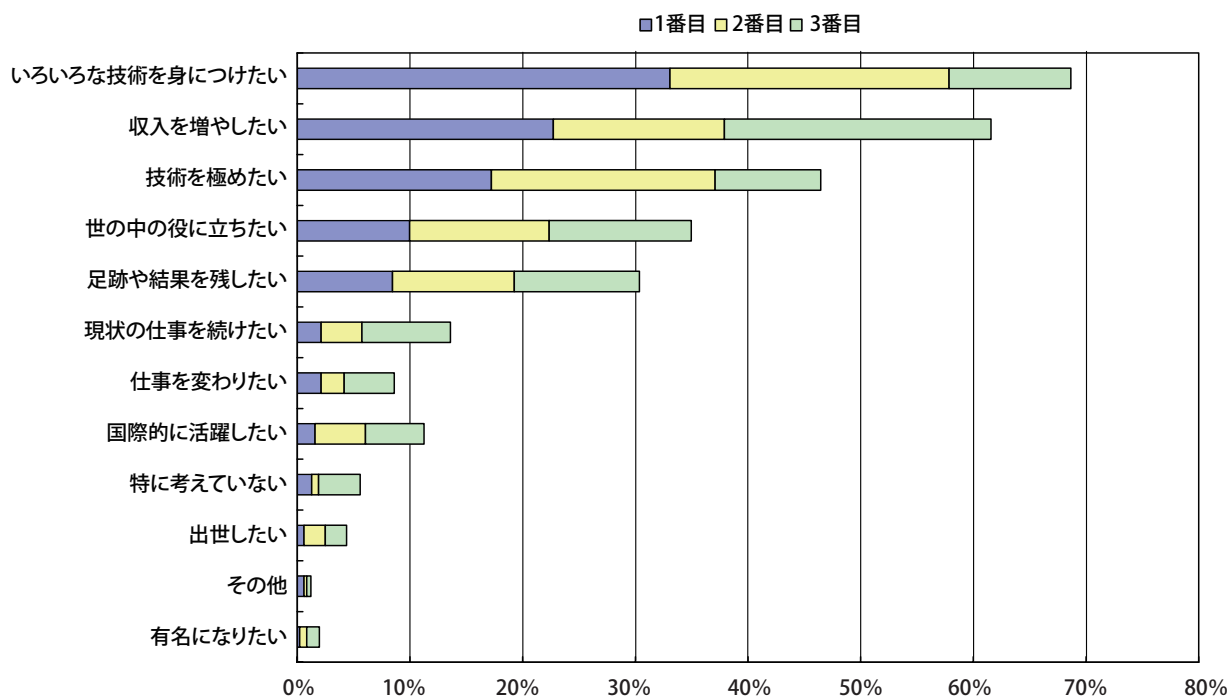


図-14 技術者の自分の今後の方向性（上位3位までの方向性）

ル標準（ETSS）」「コーディング作法ガイド」などがすでに公開されている。興味をお持ちの読者は、ぜひご活用いただければと思う。

調査報告書、課題の解決に向けた活動内容と成果は経済産業省あるいは（独）情報処理推進機構のWebサイトより無償でダウンロード可能となっている。

組込みソフトウェア特集連載のおわりに

近年、デジタル家電や携帯電話、あるいは自動車や産業機器などさまざまな領域で、いわゆる、組込みソフトウェアが活躍する場が広がりつつあり、それにつれ、産業界、学术界を中心に活発な議論が展開されている。たとえば、産業界では、組込みソフトウェアや組

込みシステムを主テーマとしたセミナーや展示会が毎月のように開催され、また、関心のある多くのボランティアに支えられた業界団体などの活動も活発に進められている。一方、学術界でも平成17年度より情報処理学会に組み込みシステム研究グループが設立されるなどさまざまな議論の場が広がっている。また、昨年にはソフトウェアエンジニアリングの研究と推進を目的として、筆者らが所属するソフトウェアエンジニアリングセンターが(独)情報処理推進機構内に設立され、我が国にも産官学の連携によるこの領域の強力な技術推進体制が整備された。

本年の2月号より本号まで6回にわたり、「組み込みソフトウェア産業の実態と開発の課題」と題して、組み込みソフトウェア開発に焦点をあて、その実状や抱える課題、我が国の強みと弱みなどを紹介してきた。以下に本連載で示されたいくつかのヒントをまとめてみる。

■人材の育成と強化

本連載第1回で述べたように組み込みソフトウェア技術者の育成は緊急の課題の1つである。教育は世代を超えた投資として、我が国の長期的な技術戦略の核となる部分である。組み込みソフトウェア技術者のスキルとその育成については、前述のETSSなども策定途中であり、これに準拠した教育カリキュラムの整備が望まれる。

■組み込みソフトウェア工学の整備

連載第2回で述べたように、組み込みソフトウェアの特質を考慮して、既存のソフトウェア工学領域で培われた技術を組み込みソフトウェア向けにテーラリングしていくことが求められる。それはいわゆる、設計、実装、テストといった製品(プロダクト)を生み出す直接的な作業だけではなく、開発プロセスやマネジメントなど広範な技術が対象になる。この場合、連載第5回で述べたように、対象製品や対象ドメインの特性(プロファイル)を評価する手法と併せて考えていくことが求められる。

■技術の標準化と要素技術の進化

一方で、国際的な技術競争力の視点からは、連載第3回の記事に示したように、技術の囲い込みや技術の標準化などの戦略を使い分ける必要がある。技術標準化に関しては、国際的なパートナーシップの持ち方なども重要となる。一方で、SoC技術やさまざまなデバイス技術などの要素技術は我が国の組み込みシステム開発にとって欠

くことのできない差異化技術である。この領域の技術を長期戦略のもとにどのように育てていくかが今後の大きな課題となっている。

■組み合わせと擦り合せ

この領域のソフトウェア規模拡大と競争の激化を考えた場合、近隣諸国とのパートナーシップに基づく国際分業化は避けて通ることは難しい。この場合、我が国の強み、近隣諸国の強みなどを考慮し、連載第4回記事に述べたように、システムアーキテクチャ分割に基づいた組み合わせ/擦り合せなどを適切に進めていく必要がある。我が国のシステム産業の強みは、ハードウェアとソフトウェアの擦り合せにあり、そこが我が国の強みになっているといっても過言ではない。この組み合わせ/擦り合せを円滑に進めるための技術や経営的な視点からの変革なども必要とされている。

以上、6回の連載を振り返り、その中から我が国の組み込みシステム・ソフトウェア開発技術のあるべき方向性を考えてみた。さて本連載を通してお読みいただいた皆様の中には、この連載を機に組み込みシステムに関心を持たれた方がいるのではないかと思う。我が国の組み込みシステム開発の領域は、まだまだ未成熟な技術なども数多くあり、これから読者の皆様も含め、多くの方々の力を必要としている領域である。ぜひ、より多くの皆様に組み込みシステム領域に興味を持っていただき、この分野のさらなる発展を目指していきたいと考えている。

最後になりましたが、本連載の掲載にあたり、貴重な助言やレビューをしていただいた学会誌編集委員会の皆様、および、学会誌編集担当の綿谷さまに誌面を借りて感謝したいと思います。

参考文献

- 1) 経済産業省：2005年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書－経営者・事業責任者向け調査－(平成17年6月20日)。
- 2) 経済産業省：2005年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書－開発プロジェクト責任者向け調査－(平成17年6月20日)。
- 3) 経済産業省：2005年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書－技術者個人向け調査－(平成17年6月20日)。

(平成17年6月20日受付)



本稿で参照している調査データは平成17年6月20日公開の資料として参照していますが、本稿の執筆時期が公開以前となっているため誌面に収録した調査データは正式公開版と内容が異なる場合があります。
本文等に含まれる商標は権利を保有する各社の商標です。