

## 第1回

日本の組込みシステム産業と  
技術者育成の課題

—統計データに見る実態と見える課題—



大原茂之 東海大学電子情報学部情報メディア学科  
IPA リサーチフェロー (SEC 担当)  
ohara@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

## 連載開始にあたって

家電製品、自動車、医療機器など多くの製品の内部は組込みシステムによって構成される方向にある。組込みシステムとは、コンピュータ、ネットワーク、ソフトウェア等を用いて、製品の機能を実現するシステムのことである。組込みシステムの要素となるソフトウェアをエンタプライズ系のソフトウェアと区別する必要がある場合、組込みソフトウェアと呼ぶことが多い。この組込みソフトウェアが製品の实现手段として大きな柱となってきた。これからの日本の産業競争力を高めるには、この組込みソフトウェアの開発力を強化すべきであるということが産官学の共通認識となりつつある。このような背景のもとに、2003年10月に経済産業省は国家プロジェクトとして「組込みソフトウェア開発力強化推進委員会準備会」を立ち上げた。さらに2004年10月に(独)情報処理推進機構(IPA)はソフトウェアエンジニアリングセンタ(SEC)を立ち上げ、経済産業省のこのプロジェクトを受け継ぎ、委員を増員してプロジェクトの作業を加速させている。SECにおけるこの活動は、組込みシステムの中の組込みソフトウェアの開発力強化を優先して進めている。この活動について、全6回の連載として次の順序で解説していく予定である。

- 第1回：日本の組込みシステム産業と技術者育成の課題
- 第2回：組込みシステム産業と高品質化への課題
- 第3回：組込みシステムの開発技術と標準化
- 第4回：日本の組込みシステム開発の職人文化として、「摺り合せ型」とその対極にある「組合せ型」を融合させることの重要性

第5回：組込みシステムのソフトウェア特性プロファイリングという開発プロジェクトをデザインする新しい手法

第6回：日本の組込みシステム産業の将来とそのために果たすべき産学官の連携の役割

第1回目の今回は、経済産業省が昨年度行った組込みシステム産業の調査結果に基づいて、組込みソフトウェア技術分野の人材不足の問題を示し、その問題を解決するための人材育成上の指針となる組込みスキル標準等について述べる。

## 製品と組込みシステム

製品開発に組込みシステムを用いることによる顕著な技術的特徴は、製品を構成する要素中でのソフトウェアの比重を大きくさせることにある。その理由はさまざま考えられるが、おおむね次に示すような効果を期待することによる。

- (1)ハードウェアでは実現困難な高機能の実現
- (2)部品点数の削減による低コスト化、小型化、省電力化、高信頼化

これらの効果はシステムLSIとの連携によってさらに高めることができる。こうした効果を発揮することができれば、製品の競争力強化に直接つながることは明らかであろう。そのためには、人材、開発環境等の資源を揃えることが必要条件となる。

## ■組込みソフトウェアの品質問題

このように多くの製品の機能が組込みソフトウェア

(単位：百万円)

	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年
1	自動車 (6,920,097)	自動車 (6,913,700)	自動車 (7,612,734)	自動車 (8,870,042)	自動車 (8,922,449)
2	半導体等電子部品 (3,929,797)	半導体等電子部品 (4,585,872)	半導体等電子部品 (3,459,807)	半導体等電子部品 (3,922,609)	半導体等電子部品 (4,183,226)
3	事務用機器 (3,037,938)	事務用機器 (3,145,907)	事務用機器 (2,747,751)	事務用機器 (2,918,287)	事務用機器 (2,610,466)
4	科学光学機器 (2,372,163)	科学光学機器 (2,674,320)	科学光学機器 (2,268,734)	自動車の部品 (2,164,549)	自動車の部品 (2,345,504)
5	自動車の部品 (1,691,185)	自動車の部品 (1,900,089)	自動車の部品 (1,918,332)	鉄鋼 (1,984,151)	科学光学機器 (2,151,147)
6	鉄鋼 (1,565,467)	原動機 (1,671,045)	原動機 (1,735,347)	科学光学機器 (1,912,620)	鉄鋼 (2,143,207)
7	原動機 (1,545,959)	鉄鋼 (1,601,134)	鉄鋼 (1,714,812)	原動機 (1,736,376)	映像機器 (1,877,821)
8	映像機器 (1,242,932)	映像機器 (1,422,860)	映像機器 (1,364,316)	映像機器 (1,649,456)	原動機 (1,754,760)
9	有機化合物 (1,168,974)	有機化合物 (1,209,827)	有機化合物 (1,225,565)	有機化合物 (1,393,333)	有機化合物 (1,495,550)
10	船舶 (1,063,979)	プラスチック (1,057,580)	船舶 (1,049,395)	プラスチック (1,190,905)	プラスチック (1,290,416)

表-1 主要輸出品の年次変化

によって実現されるに従い、ソフトウェアの設計開発の特性が、製品の設計開発プロセスの中に絡んできたため、人材調達、人材育成、製品の品質管理等の面で改革が必要となってきたのである。組込みソフトウェアの不具合は世界規模で多くのユーザーに損害を与えることになり、製造メーカの責任は厳しく問われるようになってきている。不具合が引き起こした問題としては、2001年2月に、通信機器メーカが組込みソフトウェアの不具合によって、23万台の携帯電話を回収している。その後も、デジタルカメラや自動車のエンジン制御等、品質にかかわる問題が多発しているのである。このような問題の発生を防ぐには、徹底した組込みソフトウェアの品質管理が求められる<sup>1)</sup>。こうした問題の原因は、企業に固有のものもあれば、企業や業界に横断して存在していることもある。横断的な原因は、解として標準化を目指すべき性質を持つものであり、日本の製造業全体という規模感から見ると、この標準化は国家的に取り組むべき課題であるといつてよい。

## 日本の組込みシステム産業の実態

ここでは、経済産業の調査結果に基づいて、これまで実態の見えにくかった組込みシステム産業の実態を浮き彫りにする。

### ■ 輸出力と組込みシステム製品

まず、輸出力から見て日本の強みとなっている製品について分析する。表-1は昨年度までの5年間の輸出上位10品目を並べたものである<sup>3)</sup>。この中の、自動車、半導体電子部品、事務用機器、科学光学機器などの品目は組込みシステムを直接使用している製品であり、他の鉄鋼やプラスチック等は製造プロセスにおいて組込みシステムを使用している製品である。これらの製品は輸出競争力の面で我が国の技術力の強みを主張するものであるが、その競争力が組込みソフトウェアに依存する体質に変わりつつあることを認識しておく必要がある。

### ■ 日本の組込みシステム産業の特徴

組込みシステム技術をベースに産業競争力を考えるとき、日本の組込みシステム産業は図-1に示すような製品群の多様性という顕著な特徴を持っている。工業制御、医療機器、運輸機器、通信機器、家電製品など、諸外国に比べてこれほどまでに多種多様な製品を開発している国は、我が国をおいてほかにない。

### ■ 産業構造の変化

ハードウェアから組込みソフトウェアへの依存度が増加するということは、これまでハードウェアを軸に進めてきた産業構造そのものも変革を迫られていると考える

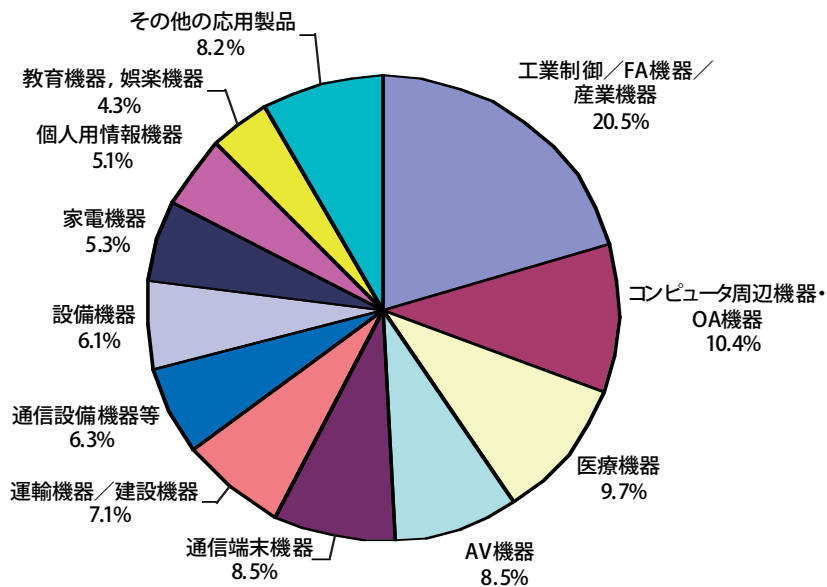


図-1 日本の組み製品群

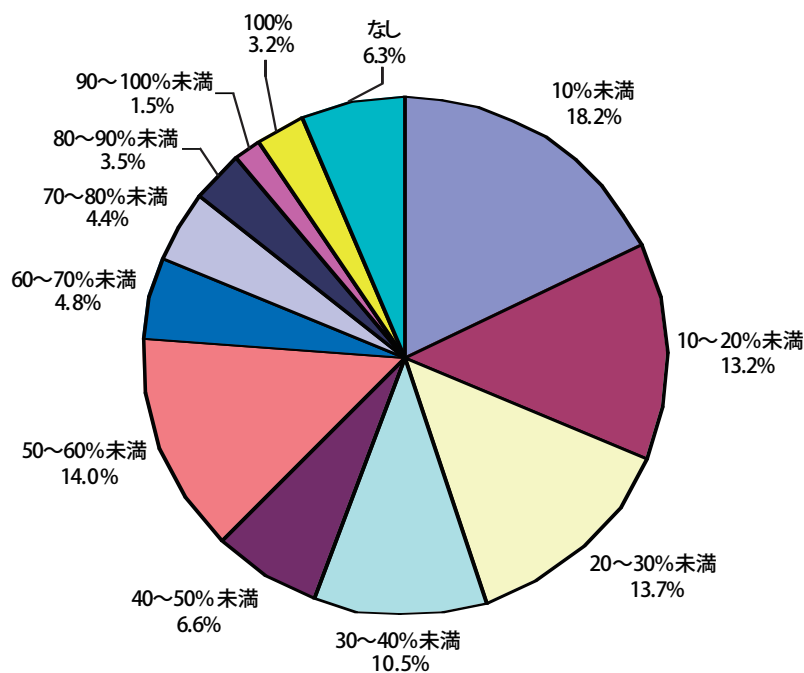


図-2 製品の開発費における組みソフトウェアの割合

べきである。この変革を進めるには、具体的にどのような課題が存在し、その課題に対しどのような解を求めるべきかを考察する。

**開発費：**

図-2は製品の開発費における組みソフトウェアの割合を示したものである。半数以上の製品において、その開発費の30%以上が組みソフトウェアの開発で占められていることが分かるであろう。

**開発量：**

ここでは統計データは示していないが、組みソフトウェアの開発量をソースコード量で見ると、1,000行未満のものから、1,000万行を超えるものまである。しかも、製品の約50%以上が5万行を超えているのである。組みソフトウェアの開発量がいかに大規模化しているかが分かる。

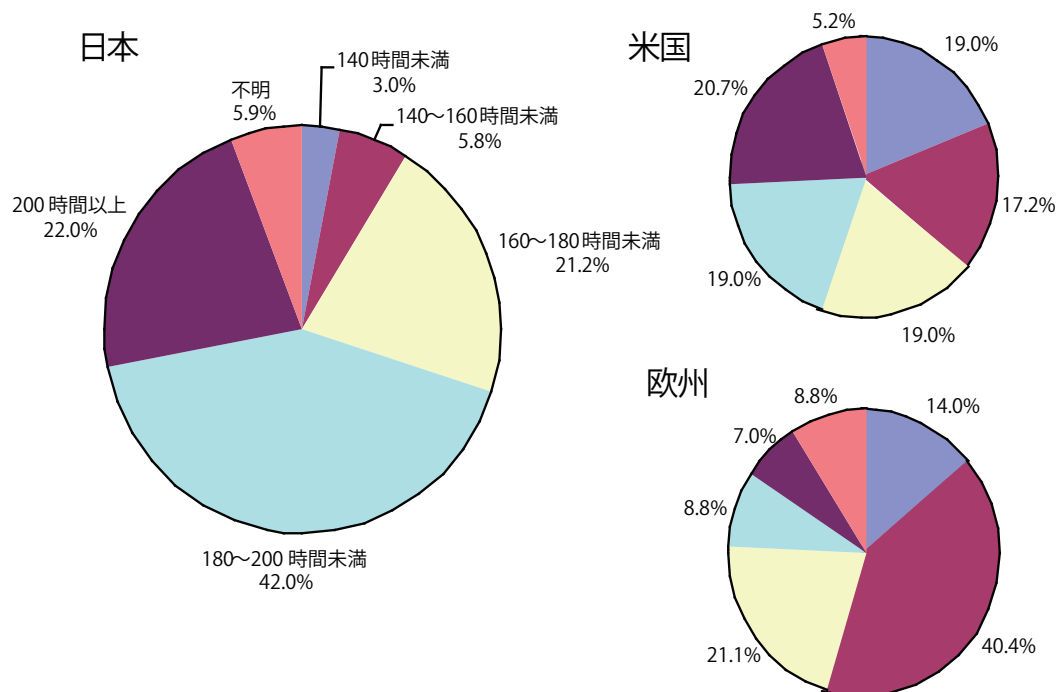


図-3 日米欧における組込みソフトウェア開発チームの月平均労働時間比較

#### 開発期間：

ここでは統計データを示していないが、6カ月未満で開発する製品は20%弱、6カ月以上1年未満で開発する製品は60%強ある。

#### 労働時間：

図-3は日米欧に見る組込みソフトウェア開発チームの月平均労働時間の比較である。欧米に比べると、日本の労働時間がいかに長いかが分かるであろう。

以上のことから、日本の組込みシステム産業が抱える次のような脆弱性が見えてくる。

- 多種多様な組込みシステム産業があることから組込み技術に従事する人材が細かく分散されている。
- 業界が異なるため共通して解決すべき問題点を共有できない。
- 製品の開発コストに占める組込みソフトウェアの割合が製品開発の成否に直結し得るほど大きいにもかかわらず、組込み分野の品質管理が体系化されていない。
- 大量のコードの生産、短い開発期間、高い品質を、技術者の工数で解決している可能性が高い。

日本の組込みソフトウェアの技術力の強さが、実は技術者の労働力に依存している体質になっている可能性が高いことが理解できよう。しかも、今後は若年層の減少により、相対的に現役世代の高齢化が進むことが確実視されている。このような背景を考えると、産業構造の改

革や産業にかかわるステークホルダの意識を改革していかなければ、日本の産業競争力低下は避けられないことである。厳しい国家財政の中、国として打てる選択肢もそれほど多くはない。いかなる戦略に基づいて日本の産業競争力を強化するかということは、産学官に課せられた緊急を要する優先課題であるといえよう。

## 組込み産業が求める人材とその育成

上述した課題を解決して産業競争力を高める戦略上の大きな要は、人材育成と技術開発である。さらに、多種多様な産業構造を抱える日本の特殊性を考えると、人材と技術に関する標準化を促進することは、他の国には真似のできない総合力を発揮できることになり、日本独自の持続的な競争力を確保することになるので、きわめて重要なことである。

### ■企業が求める組込み技術者

組込み技術者に要求する技術力や素養について調査した結果を図-4に示す。プログラミング能力は当然のこととして、専門分野の技術知識が求められている。専門分野とは図-1に示した工業制御、医療機器、運輸機器などの領域に固有の技術や知識の集まりのことである。さらに、これらの技術や知識はその領域の製品を組込みシステムとして設計開発する上での必要条件でもある。ほかに、開発経験や職務経歴といったスキルも求められ

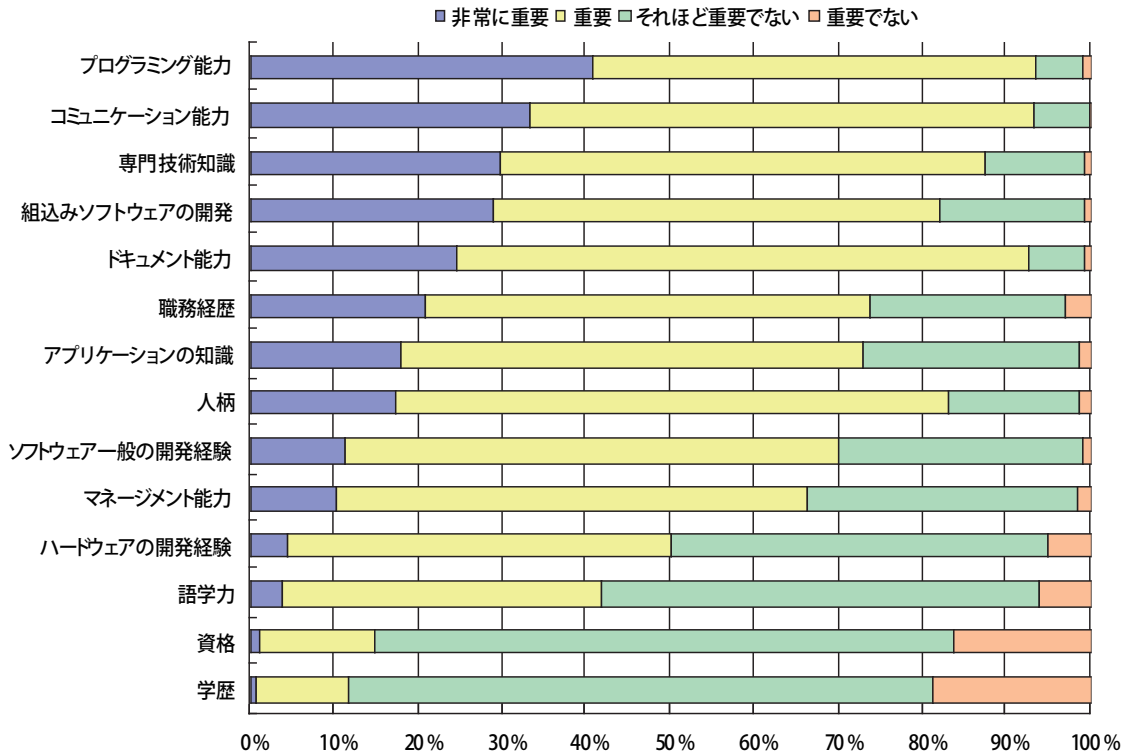


図-4 組み込み技術者として要求される素養

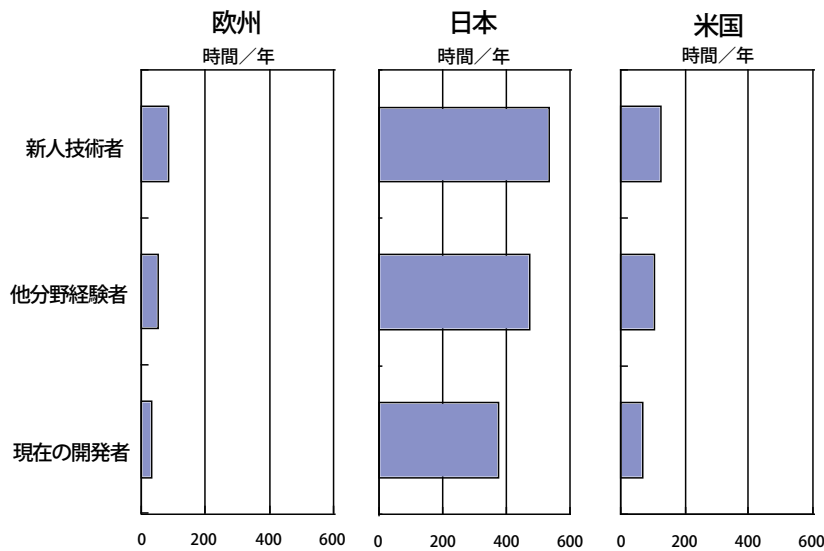


図-5 日米欧に見る組み込み技術者教育にかかる時間

ている。このことは、組み込みソフトウェア開発技術がまだ確立されておらず、経験に基づく熟練度が重要視されることを意味している。専門分野が特化していることから資源を集中させることが容易であろう諸外国に比べて、日本は多くの専門分野を抱えてしかもさまざまな製品を開発するために資源が分散しているといえよう。このような日本の特性を強みとして発揮するには、分散してい

る専門分野を組織化し、各領域に共通な技術を技術基盤として確立し、分散している資源の厚みを増やすことである。そのためには、領域を超えて人材を含めた技術資源を流通しやすくする仕組みを構築する必要がある。

#### ■ 日米欧の組み込み技術者育成への取り組み

日本と欧米に見る組み込み技術者育成の状況を図-5に

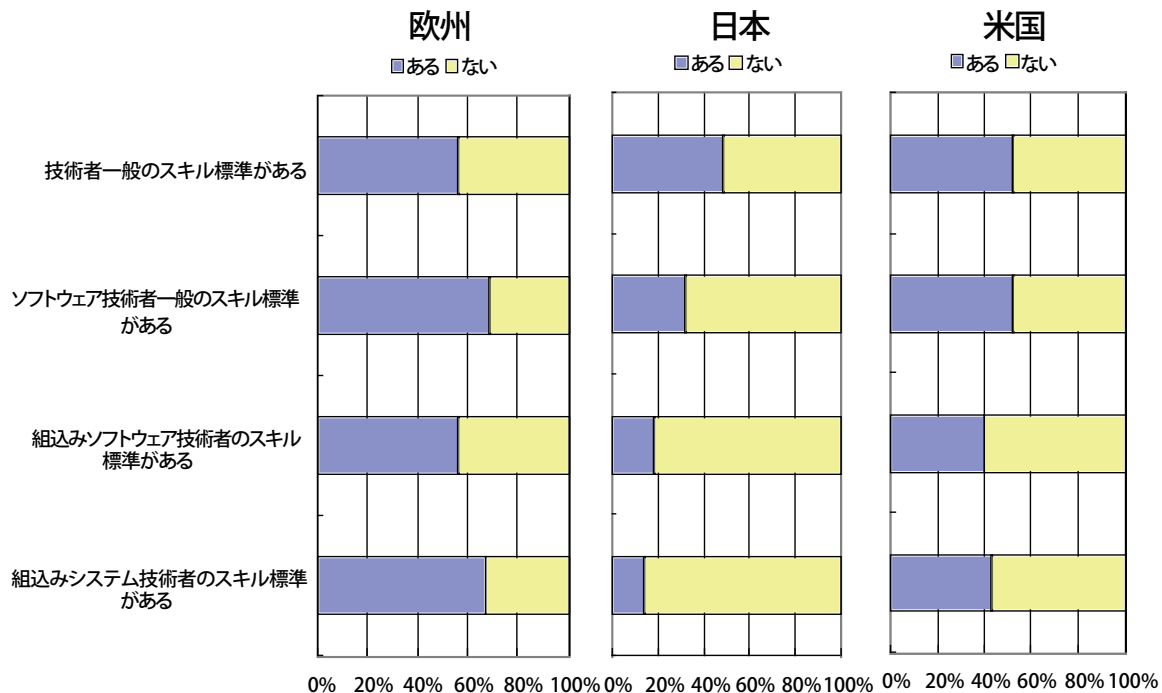


図-6 日米欧に見るスキル標準の整備状況

示す。欧米に比べて、日本が技術者育成にかけている時間が桁外れに多いことが分かる。企業にとって人材は重要な資源であるが、製品の設計・開発・製造等の企業活動から見れば、人材育成はオーバーヘッドとなる。このオーバーヘッドが大きくなると、企業会計的にはキャッシュフローを悪化させる要因であると極論することもできる。また、自社内での人材育成は、育成した人材が流出するリスクも負うことになる。何ゆえ、欧米と日本の間にこれだけの育成時間の差があるのか、また両者の人材育成内容等の違いを含めた詳細については現在のところ不明である。

#### ■ 日米欧の組み込みスキル標準の整備状況

上述のように人材育成に関しては欧米よりもはるかに手厚く取り組んでいる日本であるが、図-6に見るようにスキル標準の整備状況に関しては欧米よりも遅れていることが分かる。このような、企業の人材育成の負荷が大きい一方で、スキル標準の整備の遅れは我が国産業界における人材の育成と利活用の矛盾を意味するものである。この矛盾は、将来的に見ると我が国の産業競争力の低下につながる可能性がある。

図-7に示した学校教育で強化すべき教育分野の中にソフトウェアを実現する実践的な教育内容が並んでいることから、産業界から教育機関への人材育成に関する

切実な願いと見ることができよう。すなわち、企業での人材育成の負荷軽減のニーズの表れであるとも見られる。企業側からは教育機関の教育内容が現状のままでもよいとする回答は皆無とあってよく、教育機関に対して人材育成の変化を求めているといえよう<sup>1), 4)</sup>。

### 組み込みスキル標準の概要と利活用

#### ■ ITスキル標準の狙いと組み込みスキル標準の狙い

IT分野においては、エンドユーザのスキル向上やIT環境の整備に伴い、プログラムを提供するビジネスモデルからソリューションを提供するビジネスモデルへの人材の質的転換を進めている。そのために、ソリューションサービスを提供するためのキャリアを定義し、各キャリアで要求されるスキルレベルを示したITスキル標準・Ver.1.0が2002年12月に経済産業省から発表された<sup>2)</sup>。現在は、IPAのITスキル標準センターによって運営されている。

一方、人材不足といった深刻な問題を抱える組み込みソフトウェア分野のさまざまな課題は、エンドユーザ向けソリューションを提供するビジネスモデルへの質的転換を図るITスキル標準で解決することは困難である。さらに、組み込みソフトウェアにおいては高品質のプログラムコードが成果物として要求される。そのため、ハード

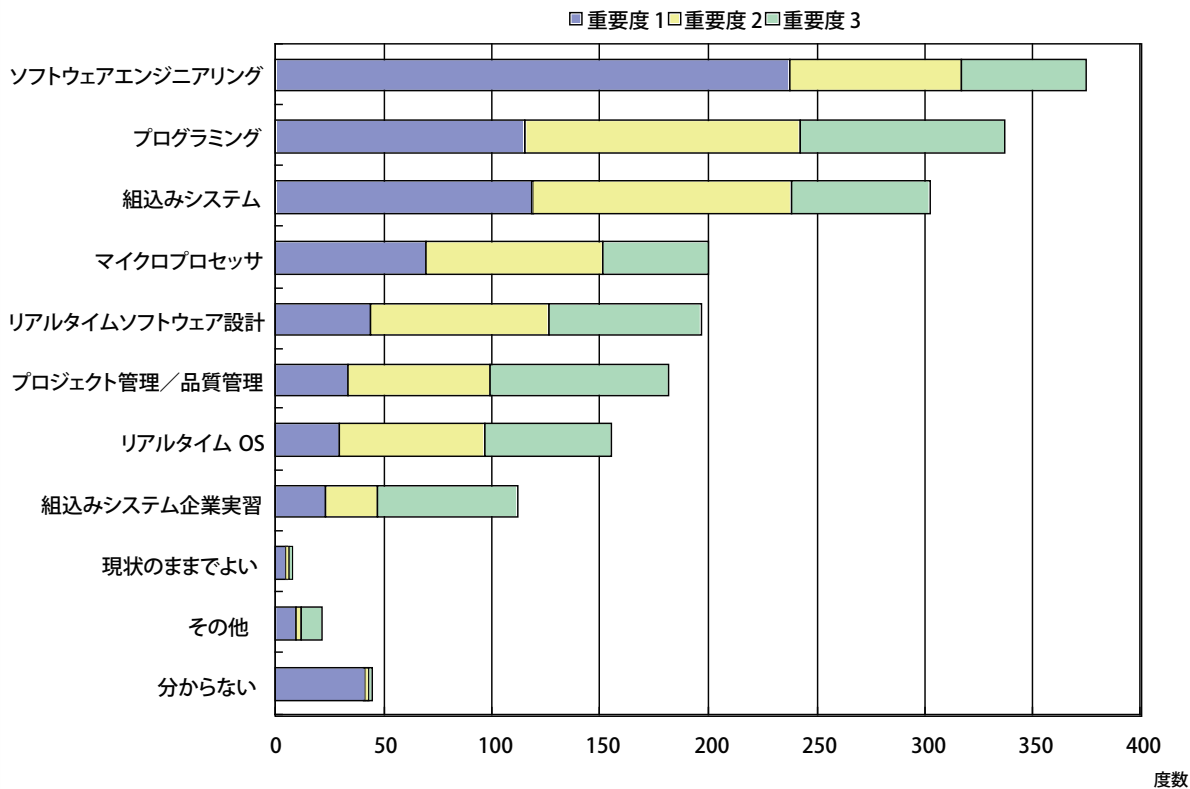


図-7 学校教育で強化すべき教育分野

ウェアとの並行設計、OSの利活用、プログラムを設計するために要求されるデバイスドライバ、インタフェースなどの技術要素を設計し、利用できる高度なスキルも要求される。

このような背景のもとに、ITスキル標準とは別に、これまで述べてきた組み込み分野の問題を解決することを目的に、2003年10月に経済産業省において組み込みスキル標準の策定が開始された。現在は、IPAのSECに引き継がれ、策定作業が進められている。具体的には、組み込みスキル部会、キャリア開発部会、教育部会の3部会で対応している。このうち、組み込みスキル基準については、Ver.1.0の公表を今年度の目標としている。

### ■ 組み込みスキル標準の概要

組み込みスキル標準は、各企業が社内外を問わず人材の育成や調達等に利活用できるように策定している。しかし、組み込みスキル標準の策定を目指す上で大きな壁がある。それは各企業で必要とするスキルはそのスキル名称を含めて、社外に公開してよいスキルもあれば社外秘となるスキルもあることである。各企業にとって、組み込みスキル標準の策定は総論で協力できるが、各論では非協力的にならざるを得ない事情がある。

このような矛盾を解決するために、現在策定中の組み込みスキル標準では、まずスキル項目を記入するフレーム

を標準化し、そのフレームの中には共通に公開されるスキルを記入し、社外秘になるスキル項目は各企業内においてフレームの中に記入して使用する構造になっている。

図-8は組み込みスキル標準のスキルフレームワークのイメージである。基本的な構造はスキルカテゴリとして、要素技術、開発技術、管理技術の3つに分類する。このように分類されたスキルは「使えるスキル」、「作れるスキル」という属性で評価する。

さらに、3つのカテゴリごとに各スキル項目を大、中、小といったレベルに分類する。このように分類したスキル項目は、それぞれスキルレベル1から4の範囲で評価する。

スキルレベルの評価基準は次の通りである。

スキルレベル1：当該職種の上位レベルの指導の下で、業務上の課題の発見・解決ができる。

スキルレベル2：自らのスキルを駆使することによって、業務上の課題の発見・解決ができる。

スキルレベル3：社内において当該職種/専門分野に係るテクノロジーやメソッドロジ、ビジネスをリードできる。

スキルレベル4：技術開拓や市場化をリードし、戦略策定に貢献できる。

図-8のグラフは、項目ごとにスキルレベルを記入した場合を例示したものである。このようなスキルごとの

スキル カテゴリ	スキル 粒度			スキル レベル			
	大項目	中項目	小項目	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4
要素技術							
開発技術							
管理技術							

図-8 スキルフレームワークのイメージ

レベルの集まりをスキルプロファイルとよぶ。人材のスキルプロファイルを見ることによって、その人材のスキル向上戦略、スキル獲得までのスケジュールの立案、あるいは組込みシステムの設計開発を行うプロジェクトに必要なスキルプロファイルが設計可能になる。こうして先にプロジェクトのスキルプロファイルを設計することで、そのプロジェクトに必要な人材を、人材のスキルプロファイルを参照しながら調達可能になるなどの効果が期待できる。

## 現在取り組んでいるさらなる課題

本稿では、製品開発と組込みシステムの関係性を述べ、我が国の製品開発の特徴とその強みと弱みについて述べた。そして、強みをさらに強くし、弱みをカバーするために、人材の育成と活用を戦略上の要として位置づけ、これを推進する仕組みである組込みスキル標準について紹介した。

現在、スキル基準を策定する一方で、技術者のモチベーションを高めることや、人材育成指針、人材調達の効率化などを可能にすることを目標に、スキルプロファイル

をキャリアとしてカテゴリ化する標準化も推進している。組込みキャリア標準を策定するによって、各自のキャリアデザインが可能となる。

また、産業界が期待する人材を教育機関から輩出するには、その人材が短期的ではなく長期的に持続的に伸びていく素養を習得させる必要がある。単に企業で役立つことだけを目標に実践的な組込み技術だけを習得させただけでは不幸なことになる可能性がある。技術者にとって重要なことは、持続的に現状を改善していくことのできる能力である。そのためには、基礎教育と実務教育のバランスをとったカリキュラムを設計する必要がある。この点についても、教育部会において鋭意開発中である。

### 参考文献

- 1) IPA 講演資料, 独立行政法人情報処理推進機構, <http://www.ipa.go.jp/software/sec/index.php>
- 2) ITスキル標準-ITサービス・プロフェッショナル育成の基盤構築に向けて-(ITスキル・スタンダード協議会報告書), <http://www.meti.go.jp/report/data/g21226aj.html>
- 3) 財務省貿易統計, 新聞発表資料, <http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyyou.htm>
- 4) 産業競争力向上の観点からみた大学活動評価手法の開発について, 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0004641/>  
(平成17年1月11日受付)