



# 組込みソフトウェア分野における 産学間のギャップを埋めよう

高田広章

豊橋技術科学大学情報工学系

組込みソフトウェアは、日本の基幹産業を支える重要な基盤技術となりつつあるにもかかわらず、大学や公的研究機関においてこの分野の研究に取り組んでいる研究者はきわめて少ない。この原因として、組込みソフトウェア分野の研究を大学で進めるには、産業界との連携が不可欠であるにもかかわらず、それが円滑に進んでいない現状がある。本稿では、産学の連携を妨げている原因を分析し、産学間のギャップを埋めるための努力を呼びかける。

## 重要性を増す組込みシステム

各種の機器や機械に組み込まれてその制御を行うコンピュータシステムのことを組込みシステム (embedded system)、そのためのソフトウェアを組込みソフトウェアと呼ぶ。

最近、各種の機器・機械の情報化・デジタル化の進展が著しいことは周知の通りである。また、マイクロプロセッサやメモリの低価格化・高性能化もあり、組込みシステムの応用される機器・機械 (これを、組込み機器と呼ぶ) は高機能化・複合化するとともに、組込み機器の種類も増え続けている。その結果、ますます多くの組込みシステムが我々の身の回りで使われ、重要な役割を果たすようになってきた。

ここでは、筆者が比較的詳しい自動車の分野から例をとって説明する。現在、1台の自動車に20～40個のマイクロプロセッサが使われている。エンジンの制御には、以前からコンピュータ制御が適用されてきたが、燃費向上や排気ガスのクリーン化の要求から制御ソフトウェアの大規模化・複雑化が著しい。また、カーナビゲーションシステムやエアバッグのように、高性能なマイクロプロセッサの低価格化によ

り普及が進んだ組込み機器もある。さらには、ITSや自動運転など、さらに進んだ組込みシステム技術を要求する応用も多い。

組込みシステムは、家電、AV機器、産業用機械、自動車など、日本が優位性を持つとされる産業分野の多くで重要な役割を果たしており、組込みシステム技術の発展はこれらの産業分野の発展の鍵を握っているといえる。特に、家電やAV機器などのコンシューマ機器の分野では、世界的な有力メーカの多くが日本企業であり、この分野に適用される組込みシステム技術に対する要求は、日本において最も大きい。この意味で、組込みシステムは、日本が世界に先駆けて研究に取り組むべき分野であり、日本が先進性・独自性を発揮できる魅力的な研究分野でもある。

## 産学連携の必要性

このように、組込みシステム技術が重要性を増し、日本の基幹産業を支える基盤技術となりつつあるにもかかわらず、大学や公的研究機関においてこの組込みシステム分野、とりわけ組込みソフトウェアに関する研究に取り組んでいる研究者はきわめて少ないのが

現状である。また、組込みシステム技術を専門に扱うシンポジウムや研究会はほとんどなく、研究発表の機会も少ない。大学における研究者が少ないということは、組込みソフトウェア技術に関する専門教育を受ける学生が少ないことにもつながっている。

大学における研究者が少ない最大の理由として、組込みシステムの実態が大学の研究者に対してほとんど知られていないことが挙げられる。大学の研究者は、自分自身は組込み機器 (たとえば自動車) のユーザであっても、その内部 (たとえばエンジン制御システムの構成) がどうなっているかについては、ほとんど知らない (ロボット分野など、大学において組込みシステムの応用が研究されている分野もあるが、このような分野は例外的であろう)。この分野で何が要求され何が問題となっているかもほとんど知らないのが現状で、たとえ重要な分野であると認識したとしても、何を研究すべきかが分からないのが実状であろう。これは、組込み機器メーカーがシステム内部に関する技術情報をあまり公表していないことが原因であり、このような現状で組込みソフトウェア分野の研究を大学で行うためには、産業界との連携は不可

欠である。

組込みシステムに関する研究がまったく不十分である傍証として、組込みシステムの分類の問題がある。組込みシステムと一口に言っても、応用ごとにシステムに求められる特性は大きく異なり、その構築技術にも必然的に適不適がある。組込みソフトウェア構築技術を議論するためには、まず、組込みシステムをその特性に応じて分類することが入口になるが、それすらできていないのが現状である。たとえば、自動車応用などという括りで議論することがあるが、エンジン制御、エアバッグ、カーナビゲーションシステムではそれぞれ大きく特性が異なり、技術的な分類としてはナンセンスである。

このような分類ができていない原因の1つは、組込み機器メーカーがシステムの内部情報を公表していないために、多くの組込みシステム分野を横断的に見ることができる研究者がいないことにある。

### 産業界側の問題と事情

組込み機器メーカーが、システムの内部情報（システムのハードウェア構成やソフトウェア構成など）の公開に消極的で、どのような要求事項や問題点があるかについて話すことが少ないのには、以下のような事情がある。

#### ●システムの内部情報は企業秘密である

最も大きい理由は、組込みシステムの内部に関する技術情報が、企業秘密として扱われているケースが多いことである。重要なノウハウであって競合他社に知られたくない技術が企業秘密になっているのはうなずけるが、どの程度の技術水準にあるかを他社に知られたくないという理由で企業秘密とされていることも多い。言い換えると、レベルが低いために恥ずかしくて言えない（もっと言うと、知られると会社の信用が下がる）というわけである。

#### ●OEMしている／受注開発している

他社にOEMする機器を開発している場合や、他社の機器に組み込むソフトウェア開発の外注を受けている場合には、OEM先ないしは発注者の同意が得られない限り、システムの内部情

報を出せないのが普通である。一方、OEM先ないしは発注者側は、OEMしているという事実や外注に出しているという事実を知られたくない（知られると、企業の競争力がばれてしまう）ことが多く、組込みシステムの内部情報の公開を妨げる大きな原因となっている。

さらにこの背景には、組込み機器メーカーがOEMや外注に頼らざるを得ない実情がある。機器メーカーにおいては従来、機械そのものに関する技術が重視され、それを制御するコンピュータ技術が重視されてこなかったために、この分野の技術者が少ないという事情がある。最近ではこの傾向は変わりつつあるが、機器メーカーからは、情報分野の学生がなかなか来てくれないという声もある。

#### ●技術者が忙しすぎる

組込みソフトウェア技術者は不足しており、優秀な技術者は皆多くの仕事を抱えており、きわめて多忙である。応用によっては製品のライフサイクルがきわめて短く（携帯電話やデジタルカメラの新製品が出るサイクルを考えるとほしい）、短い開発期間内に信頼性の高いソフトウェア開発を求められる（機器を出荷するとソフトウェアのバグを修正するのが困難な場合が多い）。技術者の不足は、大学でこの分野の専門教育を受けた学生が少ないことからきており、悪循環している。

#### ●何が問題点か分かっていない

組込みソフトウェア開発における問題点を質問しても、何が問題点であるかを整理できていないことが多い。これにも、機器メーカーに情報分野の専門教育を受けた技術者が少ないことが関係している。

#### ●公表するメリット（動機）がない

組込みソフトウェア開発技術が優れていることが、それを適用した機器が優れていることに直接結び付くとは限らず、技術が優れていることをアピールする動機が少ない。

上記の中には、組込みシステムに固有の事情ではないものも含まれるが、これらが複合して、組込みシステム内部の技術情報の公開を妨げている。

### 大学側の問題と事情

一方、大学側にも、組込みシステムに関する情報が足りないことに加え、組込みシステム研究の進展を妨げる次のような事情がある。

#### ●海外にない研究分野である

海外の研究動向を見て、研究の方向性やテーマを決めている研究者が多い。組込みソフトウェアという研究分野は、海外においても成立しておらず、そのような方法で研究テーマを選ぶと組込みソフトウェア分野にはたどりつかない。

しかしながら、最初にも書いた通り、組込みシステムは日本が世界に先駆けて研究に取り組むべき分野であり、海外にそのような分野がないことが、日本で取り組まなくてよい理由とはならない。

#### ●組込みソフトウェアに関する研究は論文になりにくい

多くの組込みシステムはコスト制約が厳しく、ソフトウェアをいかにコンパクトに作るかが重要な課題となる。高性能・大規模なコンピュータシステム構築技術が論文になりやすいのに対して、コンパクトや低コストを指向した研究は論文になりにくい。また、組込みソフトウェア技術は泥臭く、アカデミックでないという指摘もある。

しかしながら、アカデミックなアプローチがされていないために泥臭いのであって、泥臭いからアカデミックでないという指摘はおかしい。また、コンパクトや低コストを指向した研究が論文にならないとすれば、それは研究者の努力が足りないためではないだろうか？

#### ●企業で組込みソフトウェアの開発に従事した技術者が大学に移るケースが少ない

組込みソフトウェア分野の研究発表の場が少ないために、この分野の技術者が論文を出す機会は少なく、大学へ転職することは難しい。そのために、大学における組込みソフトウェア研究者が増えず、研究発表の場も増えないという悪循環がここにもある。

### 処方箋は？

さて、ここでこの現状を打開するた

めのアプローチを提案すべきところであるが、残念ながら有効な手段は思い当たらない。つまり、学問に王道なしの言葉通り、上述の問題点を1つずつ取り除く努力を積み重ねるしかないものと思われる。そのためにはまず、組込みシステム分野の研究を日本において発展させることの重要性が十分に理解されることが出発点である。

組込み機器メーカーには、短いレンジでの企業利益にとらわれずに、組込みシステムに関する情報や要求事項・問題点をオープンにするよう努力をお願いしたい。企業秘密とはされていても、とりあえず秘密としておけば安全ということも多く、本来は公開しても差し支えないことも多いと思われる。また、要求事項や問題点がある場合には、大学の研究者に相談するという姿勢を持つてほしい。

大学側でも、組込みシステム分野の重要性を認識し、研究活動を促進することを期待したい。また、学会におけ

る研究成果の評価基準も、コンパクトや低コスト指向の研究を評価するように運用すべきである。他のアプローチとしては、政府がこの分野における産学連携を促進する施策を打ち出す方法もあるだろう。

個々の努力の結果は小さいものであるけれども、それを積み重ねることで悪循環を断ち切り、組込みソフトウェア分野の研究を進展させることができるし、またそうしなければならないと考えている。

最後に、本稿には産業界や大学に対する批判的な記述が多数含まれるが、組込みソフトウェア分野の研究・開発の発展を願ってのもので、特定の組織や個人を批判するつもりはまったくない。ご理解いただけると幸いである。

参考文献  
1) 特集「組込みシステム開発の現状」, 情報処理, Vol.38, No.10 (Oct. 1997).  
(1999.4.11)

低いのではないかとのご意見です。

## 学における問題提起

さて、本当に現在の日本の大学は著者の主張されるような役割を担うことができるのでしょうか。過去において、また、現在も国立大学の教官の民間企業との兼務は制限があり障壁になっておりました。つい最近もこの種の問題が提起されております。制度的な制約以外に大学での開発にはいくつもの障害があります。それらの主な点を列挙すると以下の通りです。

### ●教員のみでソフトウェア開発するには限界がある

教員は各々が独立して活動するのが原則で、組織がなく、システム開発のような分野で貢献できる範囲は限られている。

### ●研究室の学生とともに開発する際の問題点

学生は教育を受ける権利があり、実用レベルのソフトウェア開発には興味の持てない部分が多く存在するので強い動機を持ち得ない。もしやるなら、報酬を必要とするが、一般的に大学では報酬制度がない。原資がないこと、たとえ原資があつたとしても制度的に許される範囲が狭い。

### ●製品に近いソフトウェア開発では広範囲な技術を要する

教員ならびに学生に生産技術を求めるには多くの場合困難がある。時間を要し、開発管理に気まぐれな学生はついてこれない。

### ●品質に対する考え方が大学と企業とは異なる

従来、大学の作るソフトウェアは研究成果の実証のためであり、多くの場合メインパスを通れば満足なのである。製品のようにあらゆる異常状態を予想したプログラムは作らない。しかも、プログラムのテストを十分やるだけの技術、時間、管理能力などが不足している。これらから品質保障はできない。

### ●情報の汚染を防げるのか

ソフトウェアの分野では知的所有権が厳しく要求されます。大学のように開かれた社会では、企業との共同研究における秘守義務が果たせるか問題です。また、教員や学生が情報を不用意

# 産学共同開発の問題点と方法

吉澤康文  
東京農工大学

## 世の中の状況

ここでの議論は組込みシステムに特有の問題ではなく、産学のソフトウェア開発に関する一般的な問題提起と判断できます。アメリカではソフトウェアの分野で大学からビッグビジネスが育っている例があるにもかかわらず、日本では皆無に等しい状況がこの問題提起の裏にあるのではないのでしょうか。今日、産学共同での成果が社会からも問われており、いくつかの大学ではベンチャビジネスラボのような組織を作ったり、TLO (TLO: Technical Licensing Organization) のような特許活動が芽生え始めている状況です。

## 主張点の理解

本来、大学における究極の目的は論文にあり、社会に対する直接の貢献ではなかったはず。一方、企業活動の根本は製品開発を通して社会に貢献し、その結果として雇用を維持・拡大し利潤を得ることにあります。つまり、産と学では最初から行動の原点が異なっていたわけです。唯一類似なのは、新しい技術の追及、実現です。著者のご意見はこの類似点を原点にされているのに産業界が閉じていると主張されています。また、大学人は産業界の技術に感心を示し、そのリーダになるべきであるのにもかかわらず、貢献度が

に開発するシステムに他から取り入れることもあり得ます。つまり、情報の汚染 (contamination) をどのように防ぐかという管理能力が問題になるでしょう。そもそもこのような風習は日本の大学には今まであまりなかったのではないのでしょうか。

### 学役割

思いつく問題点をいくつか挙げてみました。いくつもの否定的な意見を述べたので、最後に大学と企業が共に力を合わせて成果を出すべきことを3点ばかり述べて終わりにしたいと思います。

#### ●大学は企業と接触し問題点を把握する能力を養うべきである

企業は今日的な問題をたくさん抱えている。もちろん将来的な問題もある。そのような意味では研究の種となるべき課題を持っている。ここに提起されている組込ソフトウェアのようなフィールドサイエンスに属す分野は、企業

からの情報が重要であり、大学の現状、教員ならびそのスタッフの能力で推進できる課題を見いだすべきである。

#### ●一般化、普遍化を進める

上記のようなフィールドでの問題を解決しながら、そこに存在する普遍性を見いだし一般化する。つまり、原理原則や法則などを創ることである。場合によると標準化を提案する必要があるかもしれない。このような活躍は大学の本来の使命であろう。

#### ●技術コンサルタントとしての役割

企業としていろいろな状況から現段階で開発に踏み込めないような課題に対して、サーベイ、アイディアの提供、開発などの方法論、場合によるとプロトタイプ開発などを行い、先行する。これにより得られた知見、ノウハウなどは貴重である。そして、さらに新たに見いだした研究課題などに取り組むことで技術的な展開が可能となる。

(1999.4.15)

組込ソフトウェアは、比較的規模が小さい。このソフトウェアにも、比較的大きなシステムの基盤ソフトウェアに関する技術は役に立つ。しかし、組込ソフトウェア特有の課題もある。たとえば、大きなシステムでは、ソフトウェアからみてハードウェアはその名のとおりに「硬い」もので変更できない。しかし、組込ソフトウェアでは、ハードウェアは硬くなく、ハードウェアとソフトウェアの境界が変動し得る。経済性や小型化あるいは性能の観点から、最適なハードウェアとソフトウェアの分担を模索できる面白さがある。

### 産学連携とアピール

研究者の研究課題は、その研究者の過去の経験に深く関係している。経験に基づく研究課題は、研究の目的 (研究へのニーズ) を把握しやすいからである。研究成果を産業界へ移行するためには、ニーズの把握が重要であることはいままでもない。一方、組込ソフトウェアについての経験を持つ「学」の経験者は非常に少ない。

組込ソフトウェア分野で「産」と「学」の連携を強めるには、まず、経験豊富な「産」の積極的な活動を期待したい。組込ソフトウェアに関する情報を「産」が積極的に公開することが必要である。公開とまでいなくても、課題の解決を積極的に「学」に相談することが望まれる。「学」の研究者に組みませれば、「学」の研究者は研究成果の論文文化を余儀なくされるため、学術的にもこの分野をアピールすることができる。「学」は、経験に基づくニーズを把握することで、積極的に組込ソフトウェアに関する研究を進め、この分野の研究者を育成できる。

### 学術面からの支援

論文として採録されやすい内容は、過去に関連する研究例があり、その内容と過去の研究との違いが明確で、その内容の優位性を数値で示したものである。したがって、新しい研究課題のように、関連研究との比較が難しい研究は論文になりにくい傾向がある。また、優位性は、高性能や高機能に着目することが多い。高田先生がおっしゃ

## 小さなシステムが面白い

谷口秀夫

九州大学大学院システム情報科学研究科

### 組込ソフトウェアの面白さ

計算機の基盤ソフトウェアに関する研究は、比較的大きなシステムに関する研究が多く、特に大学ではこの傾向にある。大学では、特定の部分に絞った研究ができるため、個人ひとりで大きなシステムの一部分に関する研究を行うことができる。しかし、企業では、システムの一部分のみを対象に研究することは難しいため、システム全体を複数の研究者で研究することになる。したがって、個人ひとりでシステム全体を把握することは難しくなり、ややもすると歯車的な研究分担になってしまう。

これは、個人ひとりの能力に限界が

ある以上、仕方のないことである。一方、小さなシステムは、個人ひとりでシステム全体を把握することが可能である。システム全体が把握できれば、その長所や短所あるいは問題点を把握でき、それを改善することを個人ひとりで行うことができる。このように、小さなシステムでは、個人ひとりでシステム全体を把握する楽しさを体験できることが嬉しい。かつて、UNIXは小さなオペレーティングシステムであり、個人ひとりでその構造を把握することができ、楽しかった。しかし、残念ながら、現在では、そのプログラム規模は10倍以上になり、個人ひとりの手に負えない。

るように「コンパクトや低コストを指向した研究は論文になりにくい」という現実がある。しかし、産業への貢献においては、低コストが非常に重要である。たとえば、新しい材料の研究においては、生産コストが低いことが非常に重要である。目的とする性質を有する材料であっても、生産コストが高ければ実用化できない。

したがって、ソフトウェアにおいても、高機能や高性能だけではなく、機

能の組み易さ（柔軟性）やコンパクト化および低コスト化を高く評価することが必要である。おりしも、情報処理学会論文誌では、査読の考え方を改善し、多様な価値観を認める方向へ進んでいる。産学連携により、組み込みソフトウェアに関する研究者数を増加させ、投稿論文数を増やすことで、組み込みソフトウェア分野の研究を進展させることができると考える。

(1999.4.16)

省させられるものがあつた。

正直なところ、組み込みシステムは地味である。理由は単純で、機械に組み込まれているために、外部からは見えない。文字通り、陽が当たらないわけである。が、地味だとあきらめていては、研究者も学生も集まらない。谷口先生のコメントを読んで、もっと面白さを強調することが大切だと反省した。

谷口先生には、組み込みソフトウェアの面白さを強調していただいた。ご意見の通り、小さなシステムは面白い。組み込みシステム向けのリアルタイムOSなら、大学で開発することもそれほど難しくはない。手前味噌になるが、私の研究室のリアルタイムOSの実験環境には、プロセッサ上で動いているすべてのプログラムのソースコードが手元にあり、すべてを理解することもそれほど難しくはないという古き良き時代が残っている。

## 再コメント

高田広章

豊橋技術科学大学情報工学系

お2人の先生から、貴重なコメントをいただいた。ここでは、お2人のコメントに対して再コメントする。

### 産学共同開発もやりたいが...

吉澤先生からは、私の主張とは少しずれた観点で反論をいただいた。私の拙文のために、意図したところが正しく伝わらなかったのかもしれない。

私の最初の意見は、産学のより密接な連携を呼びかけたものであるが、産学共同による開発を進めようとまでは主張していない。組み込みソフトウェア分野について言えば、産学協同研究開発を議論するはるかに手前の状況である。この分野でまず大学側が行うべきことは、産業界の抱える問題点を理解し、問題を分類・形式化し、それを解決する努力をすることである。このような基本的なことが、組み込みソフトウェア分野ではまだできていないというのが、私が言いたかったことである。その意味では、吉澤先生が「学役割」としてまとめて下さった3点は、まさにこれから積み重ねていくべき努力項目ではないかと思う。

産学共同開発には、吉澤先生のコメ

ントにある通り、特に大学側に多くの問題がある。とりわけ、情報の汚染の問題は致命的ではないかと思う。情報の汚染を防ぐことを要請されると、ほかで研究・開発された先端的なソフトウェアに触れることができなくなり、研究と並ぶ大学の基本的な役割である「教育」と矛盾するように思われる。

ではあるが、大学で開発したソフトウェアを産業界で利用してもらうことは、私もぜひ進めたいと思っている。ただし、大学からは無保証のフリーソフトウェアしか出せないと考えており、それに対して有償のサポートビジネスをしてくれる会社がないものかと探している（GNUソフトウェアのサポートはビジネスとして成立しているようなので、不可能ではないと思う）。おそらくこのテーマについては、インタラクティブエッセイがもう1本できるだけの話題があると思われるので、ここではこれ以上の深入りは避ける。

### 応援コメントに感謝

谷口先生からのコメントは、私の最初の意見に対する応援コメントと解釈させていただいた。と同時に、少し反

### さいごに

実は、お2人の先生からコメントをもらうのと並行して、組み込みシステム技術者のメーリングリストに同じ原稿を送ったところ、短い期間であつたにもかかわらず産業界の方からさまざまなコメントをいただいた。誌面の制約で紹介できないのが残念であるが、各方面で議論を継続したいと考えている。

現在、組み込みシステムに絞ったシンポジウムが研究会の活動を計画する動きがある。具体的なことは何も決まっていないが、そのような活動の案内を目にされた際には、ご理解とご支援を賜われると幸いである。

最後に、会誌上でこのような討論をする機会を設けてくださった東京工科大学の塚本先生に感謝します。

(1999.4.19)

