

「米国における組込みシステムへの対応」

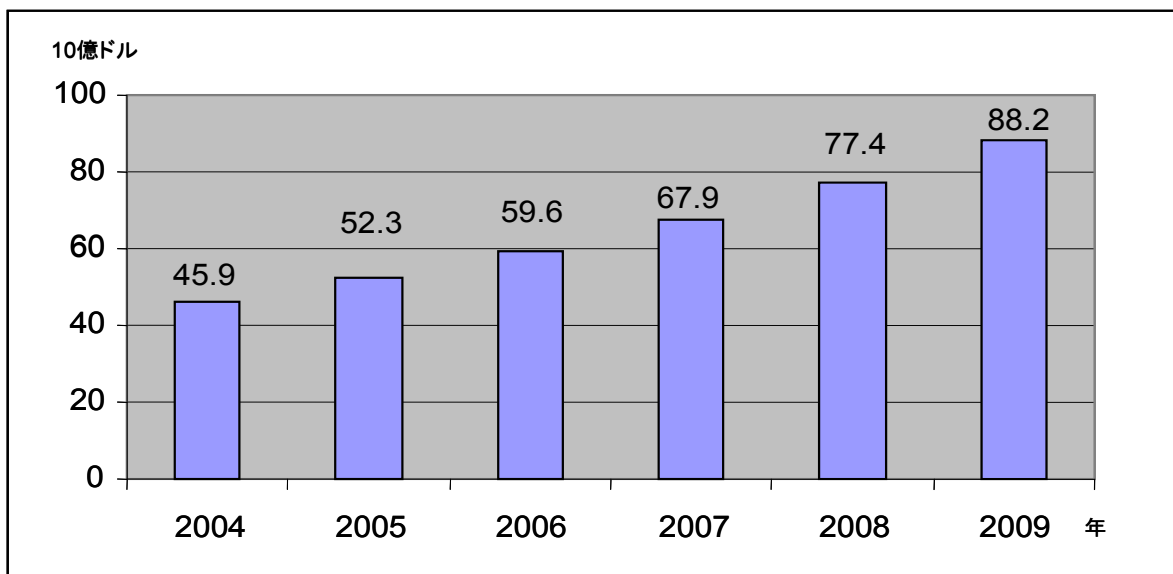
渡辺弘美@JETRO/IPA NY

1. 組込みシステム市場

(1) 組込みシステム及び開発ツール市場規模

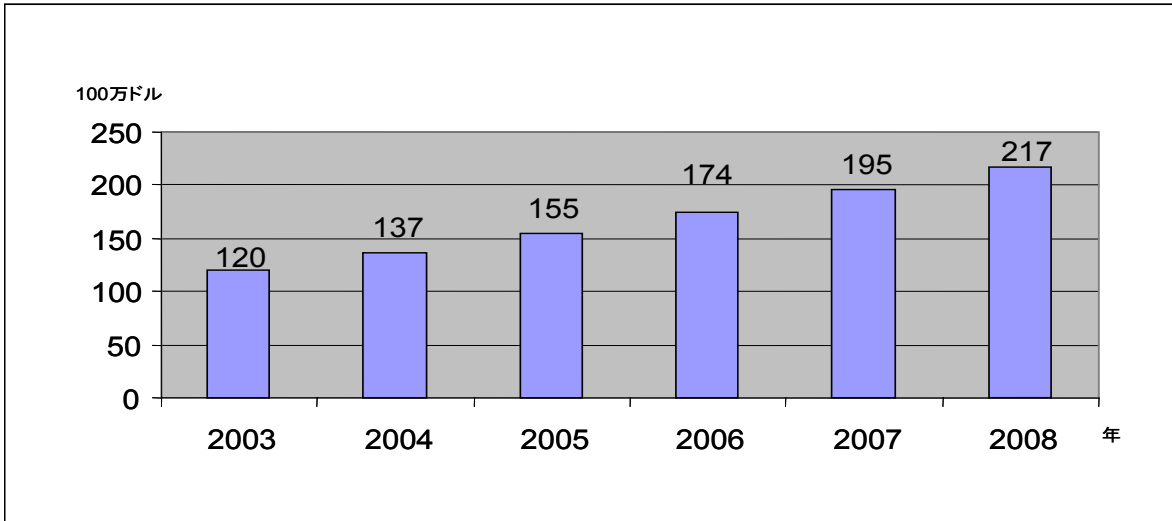
現在、家電製品、携帯電話、自動車、デジタルカメラなど、日常生活で利用するあらゆる電化製品や電子機器には、何らかの組込みシステム(Embedded Systems)が搭載されている。組込みシステムの世界市場は年々拡大しており、今後数年間、継続的に成長していくとみられ、2009年には、2004年の市場規模の2倍になることが予測されている。

組込みシステムの世界市場規模



こうした組込みシステムに対する需要の増加を受けて、世界中で組込みシステム開発のためのツールやソフトウェアの需要も高まっている。次頁では、北米や欧州における組込みシステム・ソフトウェアとツールのみ市場規模を示している。この市場は、2004年は1億3,700万ドルで、2009年には2億1,700万ドルに達すると見られている。

北米と欧州における組込みシステム・ソフトウェアと開発ツールの市場規模



2. 組込みシステムの不具合

このように組込みシステムの需要が増える一方で、システムが複雑・巨大化する組込みシステムの開発には、予期せぬバグや平常時の試験工程では再現不可能な不具合などが発生し、問題となっている。システム不具合により、企業は製品やサービスの提供ができなくなるだけでなく、企業イメージの低下、多額の損害賠償金支払い義務などへの迅速な対応を求められることになる。以下は、これまでに米国で起こった組込みシステムの不具合やバグ発生状況について、携帯電話、自動車、及び公共事業用設備について紹介する。

(1) 携帯電話用システム

米国でも欧州・アジアに続き、スマート・フォンなどの複雑な機能を持つ携帯電話の普及が見られるようになって来た。そうした中、携帯電話の組込みシステムに関して、さまざまな不具合やバグの発生などが報道されている。以下は、米国内で起こった事例である。

<2001年4月：Nokia 3G 携帯電話のネットワーク接続問題>

Nokiaは自社の携帯電話端末用ソフトウェアが米国のCDMAネットワーク上で、3Gネットワークに同調できないという問題に直面した。この問題はパッチを配布することで、問題は解決されたが、Nokiaは米国内での3G携帯電話端末販売スケジュールを大幅に遅らせる結果となった。

<2003年3月：Siemens 携帯電話のフリーズ>

Siemens は同社の 35～45 種類の携帯端末に関するソフトウェアの欠陥を発表した。これは、携帯電話端末が EMS (Enhanced Messaging Service) を通して、引用符(“)やアスタリスク(*)を使ったメッセージを受け取った場合、電話の機能が停止してしまう問題である。Siemens は、プレスリリースで、問題を説明し、ダメージの継続的チェックを行なうとともに、ワイヤレス・ネットワークを通じてパッチを配布することで、問題を解決した。

<2004年6月：VerizonのGPS付き携帯電話、緊急コール中の切断>

Verizon は、GPS が装備された携帯電話のソフトウェアの誤作動によって、緊急電話 (911 コール) 中に 2 秒間の切断が何度も起きていると告知した。この問題についても、パッチを配布することで解決された。同ケースは、初めての GPS 導入であったため、それに伴うバグの発生がある程度予想されていたため、同社の損害は特になかった。

<2004年8月：Siemens 携帯電話のバッテリー残量警告音による利用者の聴覚障害>

Siemens の 65 種類の商品でソフトウェアに問題があり、電話中に電池残量が足りないことを知らせる警告音が 1 分間に 3 回鳴り、その後通話が自動的に切られてしまうという問題がおきた。ある事例では、通話が切断される直前の警告音のボリュームが大きすぎ、利用者の聴覚障害を引き起こしたという被害も出ている。Siemens は、この問題を自動パッチを提供することで解決した。Siemens は電話機回収こそ免れたものの、同社の企業イメージに悪影響を及ぼす結果となった。

(2) 自動車用システム

自動車用組み込みシステムでも多くの問題が起こっている。携帯電話以上に、安全性が問われる問題であるため、発覚した場合には高額な代償が付きまとう。2004年12月17日付 eWeek の記事によると、最近の自動車は 1 台につき 70 ほどの組み込みシステム・モジュールが使われており、不具合を起こす可能性が益々高まっているとしている。例えば、自動車の故障が発生した際に、その補償を求められる問題の 30～40% が組み込みシステムの不具合によるものとなっている。

また、AMR Research の 2004 年の調査によると、北米における補償やリコールのための年間支出は 123 億ドルに上り、自動車メーカーの年間収益を超えてしまっている。

増加し続ける自動車のリコール問題に対して、米連邦議会は 2002 年、TREAD 法 (Transportation Recall Enhanced Accountability Document Act) を通過させた。TREAD 法は、米国幹線道路交通安全局 (National Highway Traffic Safety Authority : NHTSA) の下で実施されている、米国内外における自動車のリコー

ルに関する法律である。2000年のFord車とFirestoneタイヤの大規模なリコール発生を機に制定された。自動車メーカーおよび部品メーカーは自社製品の欠陥のクレームがあった場合、速やかにNHTSAに通知する義務を負う。不具合・欠陥の可能性の早期警告、海外におけるリコールに関する通告なども義務付けられ、不十分な通告は罰せられるなど利用者の安全と自動車業界の信頼性を追及する厳しい法律となっている。同法を遵守するにあたり、自動車業界は最初の2年だけで20億ドルの支出を課される結果となった。

こうした自動車のシステム不具合は、多数の組込みシステムが相互連携して機能するために起こるケースが多い。特に、実際に路上を走ると、試験段階では想定できないような状況に遭遇することもあり、そうした状況下ではシステムが設計どおりに連携しないという問題が起こっている。例えば、消費者が路上で故障したと思って修理店に持ち込んだ自動車が、修理工場では何も異常がない状態に戻り、すべてが上手く作動しているように見えるということが多数起こっている。

<2004年12月：Daimler Chryslerのリコール事件>

DaimlerChrysler AGは、組込み電動ブレーキ・コンピュータ・システムの欠陥により、130万台の自動車をリコールしなけりならなかったケースが特に大規模な事例として注目を集めた。このリコールに伴う同社の総支出額はまだ発表されていないが、数十億ドル規模の出費が確実とみられている。

(3) 公共事業システム

組込みシステムの不具合による公共事業システムへの影響も問題になっている。これは、古いシステムを使用し続け、現在深刻な問題となっているセキュリティの課題にシステムが対応しきれていないためである。以下は、最近の事例である。

<2003年8月：電力供給施設におけるレガシー組込みシステム>

近年増えつつある問題は、水・ガス・電力などを提供する公益事業におけるシステムの脆弱性である。中でも、組込みシステムの不具合が原因となった2003年の米国の北東・中世部地域における停電は、大きな事例として挙げられる。この停電が発生した際、テロリストグループが米国の公益事業を狙ったテロの可能性を示唆していたこともあり、セキュリティの脆弱性を狙ったテロ攻撃との見方もあったが、単なるシステムの不具合が原因であると結論づけられた。この停電は、単なる組込みシステムの不具合が原因であったものの、その解決作業は複雑で、最終的に40～60億ドルの費用がかかった。

3. 組込みシステムの諸課題

こうした不具合やバグ発生は、多様な組込みシステム開発における問題が絡み合っ
て起きている。2005年7月に National Science Foundation (NSF) と European Union (EU) の Information Society Technologies (IST) とが共催した「Component-based Engineering for Embedded Systems」というワークショップの基調講演のトップを切って、Raytheon 社の Don Wilson は「Industry Challenges in Embedded Software Development」と題した講演を行い、そのプレゼンテーションの中で組込みシステム開発が直面する課題 (Challenges) として、以下のような点を指摘している。

- (1) 組込みシステムの業界横断的アーキテクチャの不在
- (2) 信頼性・正確性を確保するための既存のメソッドが不十分
- (3) スキルの高い組込みソフトウェア開発者不足
- (4) 不十分な開発ツール

(1) 組込みシステムの業界横断的アーキテクチャの不在

組込みシステムは、PCなどのシステムと異なり、特定のタスクに合わせて開発が行われる。また、プロセッサ毎に多様なシステムが存在し、業界が異なるとさらにその違いが広がってしまう。そのため、複数の業界に横断的な組込みシステムのユニバーサルなアーキテクチャというものがない。

同氏の意見を裏付けるように、IBMが行なった、組込みシステム開発における問題に大きな影響を及ぼしたと思われる点に関する調査では、「少人数のチームや、一人のエンジニアによって開発されることが多く、わずかな資源と予算しかない」という問題に並び、「開発の対象となるプラットフォームは様々であるため、一つのシステムを開発しても互換性がなく、明確なデザイン・モデルがない」ということが挙げられた。組込みシステムに関する調査会社 Embedded Market Forecasters 社のレポート「Optimizing Technology Choices for Device Software」によるデバイス毎に要求される組込みシステムは次頁のとおり。

デバイス毎に異なる組込みシステムに対する要求

Device Category/Vertical	Representative Devices	Software Requirement
Avionics	guidance, controls, communications	Mission-critical, real-time, highly secure
Automotive/Transportation	infotainment, ABS, drivetrain, GPS	mostly non-real-time; highly secure
Consumer Electronics	audio/video digital media, games	non-real-time
Gateway Server	routers, gateways, modems, appliances	some real-time, secure
Industrial Controls	test and measurement, controls, instrumentation	some real-time, secure
Office Automation	printers, projectors, communications	non-real-time
Internet Appliance	Web pads, browser phones, access devices	non-real-time, some security
POS/kiosk	POS terminals, modems, gaming	non-real-time, secure
Datacom	servers, routers, DAQ	non-real-time, secure
Telecom	SS7, wireless, optical	non-real-time, secure
Set-Top Box	satellite, cable, DSL, modems	non-real-time
Military	ships, integrated communications, weapons	mission-critical, real-time, highly secure

こうした共通のアーキテクチャが不在であるために、業界横断的に組込みシステムに関する問題などを議論し、文章化し、研究し、そして比較するために必要となる共通言語も存在しない状況を生み、その結果として、過去の成功事例を生かして将来に生かすことが難しい状況を生んでいると Wilson は指摘している。

業界横断的に議論する土台がないために、組込みシステムに関する研究、出版、及び標準化活動も十分に行われていない点についても同氏は問題視している。研究・出版・標準化といった活動は、組込みシステム・アーキテクチャを進化させ、開発ツール及びテクニックの完成度を高めることをサポートし、さらに既存のアーキテクチャの構成要素であるコンポーネントを新たなアーキテクチャ・コンポーネントとして発展させるなどといったメリットを生み、組込みシステムの問題解決だけでなく、将来の技術革新を導くことからその対応が求められている。

また、共通のアーキテクチャと関連して、同氏はリアルタイム・モデリングやそのためのメソッドをサポートする技術の標準化についても必要であるとしている。

(2) 信頼性・正確性を確保するための既存のメソッドが不十分

組込みシステムの信頼性及び品質に対する要求は高まる一方であるが、先に見たように、組込みシステムの不具合やバグは相次いで発生している。この原因の

ひとつには、今日使われている信頼性・正確性向上のための試験メソッドなどが不十分であることが指摘されている。

組込みシステムは、PCなどのシステム以上に、実社会との接点強い環境で利用される。前述の自動車における組込みシステムの問題のように、実社会では、試験環境では実現できないような状況が発生することも多く、試験段階では検地できないバグがシステムに残っているケースが起こってしまう結果となる。

また、ソフトウェアだけを見た場合、問題がないようであっても、ハードウェアと組み合わせると上手くいかないという状況も生じる。こうしたことから、より幅広い範囲にわたり、出来る限り多くのケースを想定した検証試験が必要となり、そのための技術・ツールが求められている。

(3) スキルの高い組込みソフトウェア開発者不足

組込みシステムは、それ以外のシステムとは異なる特徴が多々あるにもかかわらず、専門の教育を受けた、経験豊かな組込みシステム開発者が不足しており、システムの信頼性向上を妨げる結果となっていることも同氏は指摘している。

教育機関における専門教育の不足に加え、システムごとに異なる開発方法の違いが、開発者不足の状況に拍車をかけている。先の Embedded Market Forecasters 社によるレポートから、組込みシステム開発における人材の問題として、以下の点が挙げられる。

- システム開発者は1～2のプロセッサに対する組込みシステム開発スキルを身につけることができても、それ以上の数の異なるプロセッサのシステム開発に熟練するというのは難しい。
- 開発者は新たなプロセッサ技術に関する授業などを受ける時間がほとんどない上、利用できるマニュアルがそろっていないため、開発期間中の休暇時間が削られる結果となる。
- システム開発者が、あるプロジェクトから次のプロジェクトに移るとき、両方のプロジェクトが互いに似たような開発プロセスであれば、開発者の適応時間は短くなる（が、異なる場合は対応に時間がかかる）。

こうした人材不足の問題から、バグや不具合だけでなく、計画当初のスケジュールで開発を終えることが出来ず、期限を超過するケースが多数発生している。

各業界における組込みシステム開発スケジュールの変更状況

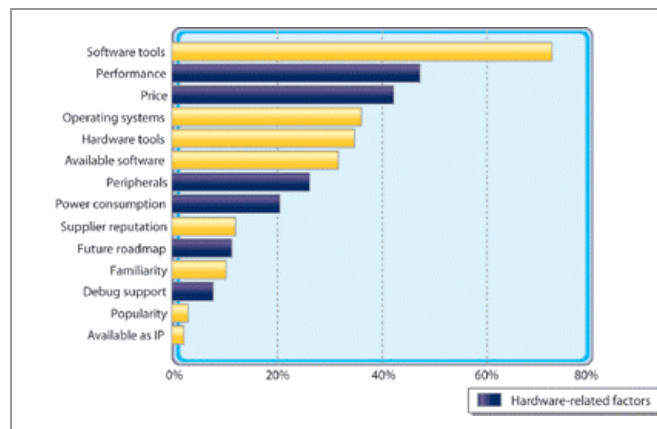
Vertical Market	Ahead	Behind	Cancelled	Outsourced
Auto-Transport	14.8%	55.4%	15.1%	13.1%
Avionics	15.1%	52.0%	11.8%	15.2%
Bus Mach & Peripherals	15.1%	52.9%	14.8%	11.6%
Consumer Electronics	17.2%	52.3%	14.8%	11.9%
Datacom	11.8%	57.2%	16.5%	13.2%
Telecom	10.6%	60.2%	18.3%	7.5%
Electronic Instrumentation	18.3%	57.3%	13.3%	11.1%
Industrial Automation	19.1%	51.3%	13.0%	8.1%
Medical	18.1%	56.2%	11.6%	11.3%
Military	17.6%	52.1%	8.3%	14.3%

(4) 不十分な開発ツール

試験や開発者に加え、開発ツールに関する問題も指摘されている。現状では、コマーシャル・ベンダが開発ツールとして導入したものが市場に出回るのみで、研究開発から生まれる創造的なツールが日の目を見るのが少ないという状況にある。特にシステム開発者にとって、開発ツールが重要な鍵を握るだけに、この問題は深刻とも言える。

開発ツールの重要性については、組込みシステム開発者のための業界雑誌 Embedded.com が行なった 2005 年 4 月に行なった調査で明らかである。組込みシステム開発者の多くが、プロセッサ選択基準の第 1 位として、プロセッサのパフォーマンスや価格を抜いて、ソフトウェア開発ツールを選択した。これは開発者がハードウェア（プロセッサ）を動かすための優れたソフトウェアを開発するためには、最適な開発ツールの支援が欠かせないと考えていることの現われといえる。

プロセッサ選択基準



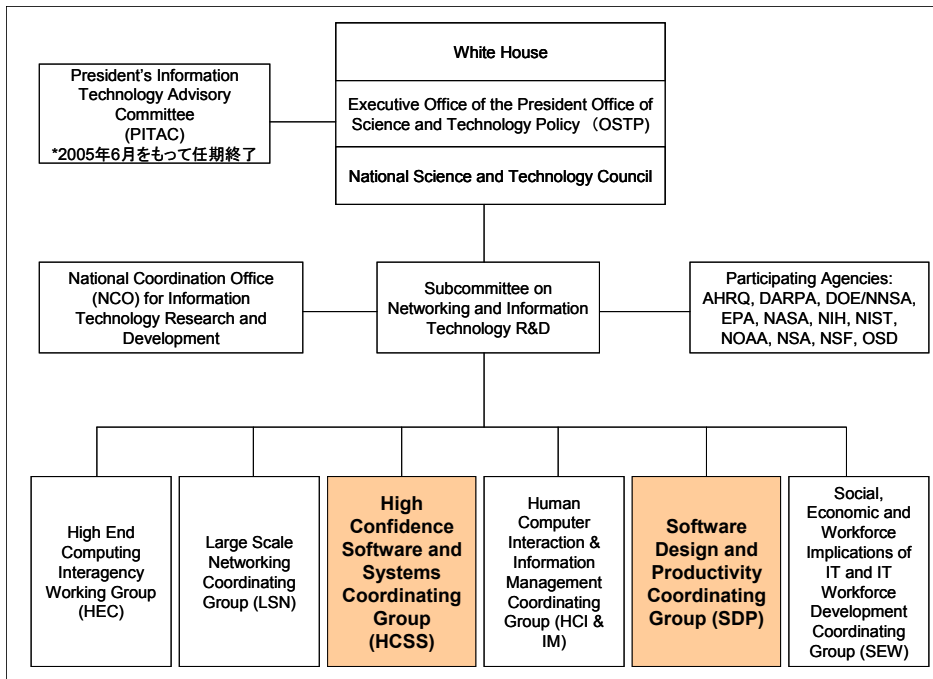
4. 問題解決と次世代組込みシステム開発に向けた取り組み

今後も成長が期待される組込みシステム分野の問題を解決するとともに、一般のソフトウェアやシステムだけでなく組み込みシステムでも、米国の開発競争力を確固たるものにすべく、政府、学术界、産業界がそれぞれに取り組みを行なっている。

(1) 政府機関連携プログラム：NITRD

連邦政府における組込みシステム・プロジェクトの中心となっているのが、これまで本ニューヨークだよりで度々取り上げてきた Networking and Information Technology Research and Development (NITRD)である。同プログラムには6つのワーキング・グループがあるが、組込みシステムに関しては、「High Confidence Software and Systems (HCSS)」と「Software Design and Productivity (SDP)」とよばれる省庁間横断型の科学技術関連委員会を通じて、米国ソフトウェア品質の向上に向けた研究開発に関する方向性を検討している（「ニューヨークだより 2004年10月、2005年1月」参照）。

NITRD内の組込みシステムに関連するワーキング・グループ



① High Confidence Software and Systems

HCSSには、国家安全保障局（NSA）、全米科学財団（NSF）、航空宇宙局（NASA）、国立標準技術研究所（NIST）などが参加者しており、組込みシステムを含めた米国で生産されるあらゆるソフトウェアの品質と信頼性の向上を目指

している。HCSSでは、ソフトウェア品質評価方法、品質保証制度の構築、システム及びデータの安全確保などに関する議論が行われている。これまで、システム構築の信頼性の向上に関する研究・開発プログラムの推進やワークショップなどを開催してきた。

組込みシステムは2006年度のNITRD Supplement to the President's FY 2006 Budget中でも、重点項目とされている。今日、スーパーコンピュータのような巨大システムだけでなく、小さな組込みシステムでも、数百万ラインのプログラム・コードが必要とされており、システム開発における技術的複雑さが急速な勢いで増している。そうした状況で、システムの安全性・信頼性が低下することを懸念し、特に業界における組込みセンサー・アプリケーションへ焦点を当てている。

HSCCの中で、組込みシステムに関して取組みが積極的なのは、NSF、NSA、NASA、NISTなどによるパートナーシップ・プロジェクトである。

- NSF :
NSFはComputing Processes and Artifacts及びComputing Systems Researchプロジェクトにおいて、組込みシステムの信頼性向上を図るための研究開発支援を行なっている。
- NSA、NSF、NASA、NIST他によるパートナーシップ :
同パートナーシップは、安全性・信頼性の高いリアル・タイム・オペレーション・システム及びミドルウェアの研究開発に対して、共同出資を行なうものである。同パートナーシップは、あらゆる場面で安全かつ信頼性の高い、次世代分散型リアルタイム組込みシステム (distributed, real-time, embedded systems) の実現を目標としている。

② Software Design and Productivity

SDPは、NSF、国立衛生研究所 (NIH)、国防省高等研究事業局 (DARPA)、NASA、NIST、エネルギー省 (DOE) などが参加するワーキンググループで、センサー・ネットワークや組込みシステム、自律ソフトウェアなど、複雑に連携したシステムなどの研究分野も視野に入れ、ITドメイン全体にわたるソフトウェアのエンジニアリング・コンポーネントの作成と効率的なソフトウェア管理を目指すものである。

特に組込みシステムに関連しているのは、NSFとDARPAの共同出資によるEmbedded Systems Consortium for Hybrid and Embedded Research (ESCHER) と呼ばれるプログラムである。ESCHERは、モデル・ベース・コンピューティング (Model-Based Computing) と分散型リアルタイム組込みシステム (Distributed Real-time Embedded Systems : DREs) のためのツール開発を目的として、政府の

研究プログラムの元マネージャーらが設立した研究所である。現在、Vanderbilt University の School of Engineering 内にある Institute For Software Integrated Systems (ISIS) を中心に運営されており、Raytheon 社などの企業も参加している。

ESCHER は DARPA 内の Information Technology Office (現 Information Processing Technology Office : ITPO) の Active Software Composition program の援助を受けて、Active Software Composition with Adaptive Model-Integrated Computing というプロジェクトを実行した実績をもつ。

(2) 連邦政府機関独自のプログラム : NSF

NSF は、NITRD の中でも積極的に組込みシステムに関する研究・開発支援を積極的に行なってきたが、NSF 自身としても、大学研究機関に資金を支援金を拠出し、科学関連の研究・開発プログラムやプロジェクトを促進している。

例えば、近年、NSF の助成金を受けて「組込みシステム」関連の研究を進めてきた主なセンターとしては、以下の2センターがある。

- ① Center for Hybrid and Embedded Systems and Software (UC Berkeley)
- ② Center for Cognitive Ubiquitous Computing (Arizona State University)

また、こうした大学研究機関に対する助成プログラムに加え、ワークショップなども実施している。

① Center for Hybrid and Embedded Systems and Software (Chess)

<Chess 概要>

Center for Hybrid and Embedded Systems and Software (Chess)は、UC Berkeley (University of California at Berkeley) が NSF の Information Technology Research (ITR) プロジェクトの一環として助成金を受け、Vanderbilt University の Institute For Software Integrated Systems (ISIS) 、University of Memphis の Department of Mathematical Science と共同研究を進めているプロジェクトである。

異なる分散型プラットフォーム上のリアルタイムの耐故障ソフトウェアに関する、モデルベース型とツール支援型のデザイン手法を開発することを目指している。最終的なゴールは、コンピュータ・サイエンスとシステム・サイエンスの間のギャップを埋めることである。このギャップを埋めるために、計算的かつ物理的に並行する近代システム・サイエンスの基礎を開発することを目的としている。

これまでの Chess の実績としては、以下のようなものがある。

- FuSe (Mini-workshop on the Fundamentals of Sensor Webs)

2003年5月9日に、DARPAのNetwork Embedded System TechnologyとChessがスポンサーとなり、環境センサーや大規模なセンサー・ネットワークなど、センサー・ウェブの基礎が課題として開催された。レーダー、コミュニケーション、コントロール、シグナル処理、ネットワーク・コミュニティなどの分野からの研究者を招き、センサーやセンサー・ネットワークについての様々な理論的問題についてのワークショップを展開した。

- MoBIES (Model-Based Integration of Embedded Software)
 DARPAのInformation Technology Office (ITO)の支援を受け、2000年6月から2003年11月まで実施されたプロジェクトで、リアルタイムの組み込みシステムのためのプロセス指向コンポーネントと、その実行時間環境のデザインに焦点が当てられた。
- SEC (Software Enabled Control)
 Software Enabled Control (SEC) プロジェクトは、併用・多様型コントロール・システム (multi-agent multi-modal control systems) のデザインや、分散型リアルタイム・ソフトウェア (distributed real-time software) の導入、形式的分析 (formal analysis) を研究課題とした。そして、共通の基礎の構築において、複数のハイブリッド・モデリング手法を使用した。
- VDL (Vehicle Dynamics Lab)
 Vehicle Dynamics Lab (VDL)プロジェクトは、陸、海、空の乗り物の分析とコントロールの焦点を置いた研究である。自律性をもつ航空機や自動車のコントロールシステムの研究を行い、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) の研究にも取り組んできた。VDL研究所は、鉄道や陸上の乗り物のコントロールに実績を持っており、カリフォルニア州の交通機関 California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH)に開発プログラムにも参加した。また、NASAなど連邦政府のプログラムにも関与した実績をもっている。
- Soft Walls (Airspace protection)
 Soft Walls プロジェクトは、9・11同時多発テロ以来、民間航空機が武器として使用されぬよう、技術的レスポンスの改善を目指すものである。航空機の航空工学コントロール・システムを改善し、飛行区域を制限するものである、このプログラムは、NASAのWestern Joint University Program (JUP)の下で援助を受け、ChessがCITRIS (Center for information technology research in the interests of society) として管理・運営している。

同センターでは、組込みシステムに関連する研究者たちのネットワークを広げ、意見の交換や学習の機会などを設けるためのテーマ別のワーク・グループが設置されている。中には自動車メーカーの General Motors (GM) との共同研究グループもある。さらに、学部学生のための夏期研究プログラム、SUPERB IT などもあり、継続的な研究の促進を目指すものと見られる。

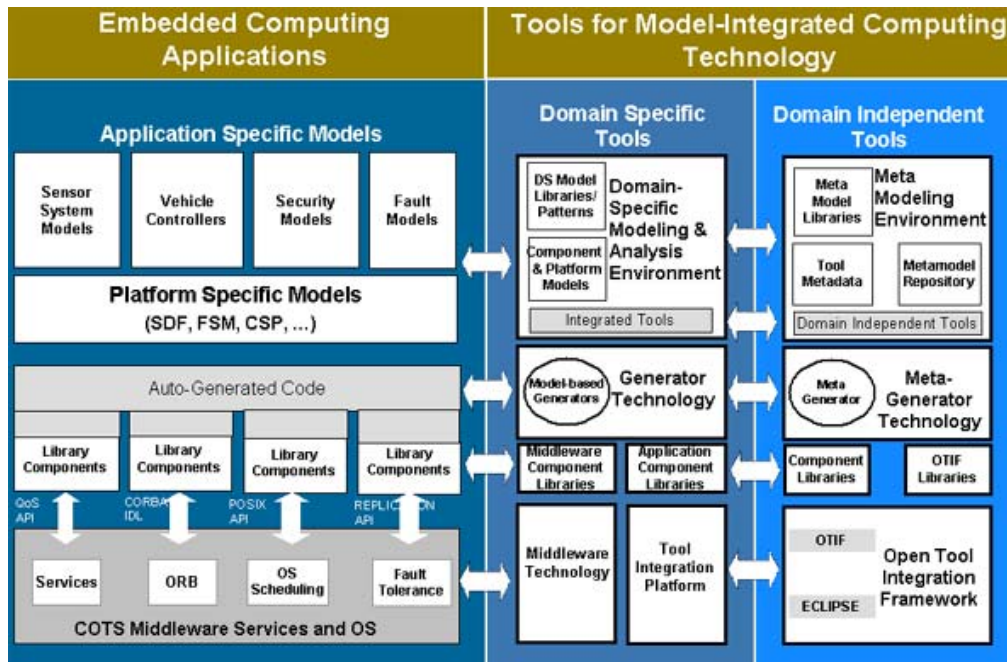
<NSFの支援によるプロジェクト>

Chess が NSF からの支援を受けているプロジェクトは、Chess ITR (Information and Technology Research) と呼ばれており、2003 年より 5 年間の実施予定である。下記の 4 つの領域に重点を置いている。

- a) Hybrid systems theory
確率的な属性を用い、より複雑な計算システムのモデリングを目指す。この研究の中では、連続的、非連続的なドメインの統合のために、数学的基礎理論の再構築を見直す必要もあるとされている。
- b) Model-based design
数学的基礎を用いて、モデル・セットを作り出し、システム仕様・デザイン・合成、・分析・検証実行、そしてデザイン展開などのシステムの統合を可能にすることを旨とする。
- c) Advanced tool architecture
再使用可能で、相互運用ソフトウェア・モジュールのセットを作り出し、オープンソース・ソフトウェアとして普及させることを目標とする。組込みシステムのデザインを支援し、特定ドメイン用のツール (domain-specific tools) を提供するツールキットやフレームワークのモジュールとし、モデルベースのコード・ジェネレータを提供する。
- d) Experimental research
このプログラムは、航空工学的、対テロリズム技術、自動車技術、自律ロボットなどを含めた既存のシステム構築をてこ入れするものである。このプロジェクトはまた、環境モニタリング、建築物・設備 (building) 保護、緊急対応などに関するアプリケーションのための組み込む型システムのネットワークを利用していく。

次頁は、Chess ITR が目指すモデル統合コンピューティング (Model-Integrated Computing) の構想図である。

Model-Integrated Computing の構想図



② Center for Cognitive Ubiquitous Computing (CUbiC)

<CUbiC 概要>

Center for Cognitive Ubiquitous Computing (CubiC) は、様々なアプリケーション開発分野で最先端を行く研究に焦点をあて、大学と複数の企業が連携した研究開発プロジェクトの拠点として、Arizona State University 内に設立された。アプリケーション分野の最先端テクノロジーを使って、実社会における問題を解決することをミッションとし、研究開発を進めている。

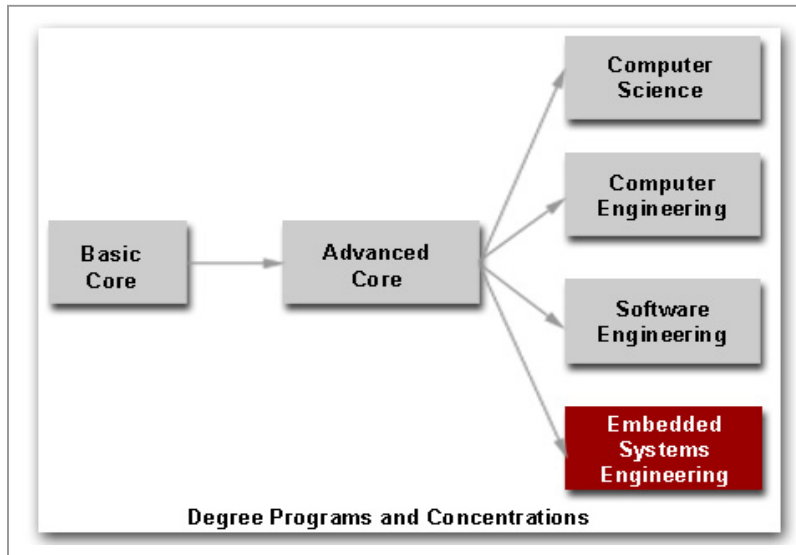
<NSF の支援によるプロジェクト>

CubiC は NSF の Experimental and Integrative Activities (EIA) の下で 2001 年 9 月～2004 年 8 月の 3 年間の支援を受け、組み込みシステム研究開発における産業界との連携プロジェクトを実施した。同プロジェクトでは、インターンシップ制度により、学生を企業での最先端の組み込みシステム研究開発に参加させ、通常の大学カリキュラムの中では触れられないが、実際の企業における開発現場では非常に重要な組み込みシステムの諸問題について研究することを目的としている。同プロジェクトの企業参加には Motorola や Intel が含まれている。

NSF による助成金を受けた同プロジェクトの最終目標は、企業にとって今後さらに重要性が増すとされる組み込みシステムに強い専門家を生み出すために、インターンシップなどの大学－企業連携を通じて、従来の大学カリキュラムにない、組み込みシステムを専門とする学位取得プログラムを設置することである。CubiC

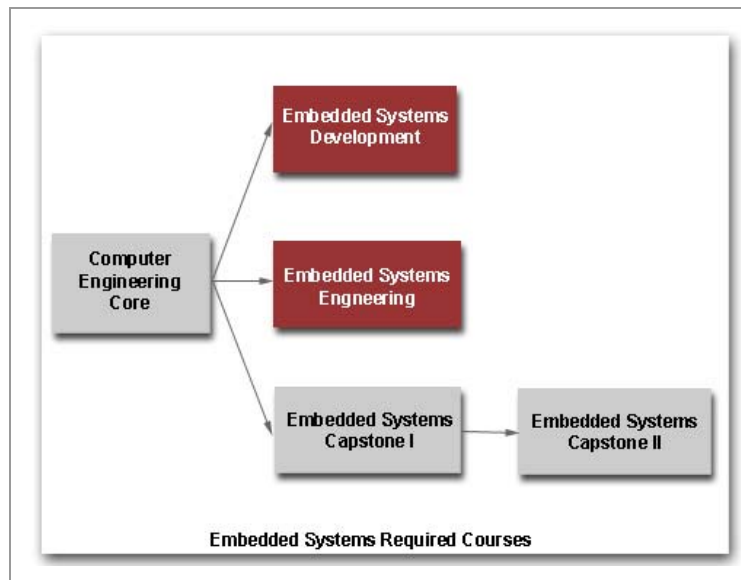
が計画する組込みシステム専門プログラム位置づけは以下のように考えられている。

CUBiC が計画する組込みシステム専門プログラムの位置づけ



また、専門プログラムにおける必修科目は以下のように計画されている。

CUBiC が計画する組込みシステム専門プログラムの必修科目



③ ワークショップ

こうした研究機関への助成に加え、組込みシステムに関するワークショップを欧州のカウンターパートと提携して実施している。最近の例としては、2005年7

月7～8日の2日間にわたって、組込みシステム・エンジニアリングに関係するNSFとEuropean Union(EU)のInformation Society Technologies (IST)との合同ワークショップ「Component-based Engineering for Embedded Systems (7日)」と「Transatlantic workshop on Future Challenges in Embedded Systems Design (8日)」を開催(フランス・パリ)し、組込みシステムの開発研究の促進に努めている。一般には公開されず招待のみであるが、20カ国から40人が集まった。

同ワークショップの狙いは、米国及び欧州の学术界・産業界から、組込みシステムの世界的な研究者を集め、組込みシステム業界が抱える課題や、コンポーネント・ベース・エンジニアリングといった最近のトレンドについて議論を深めることを目的としている。最終的には、組込みシステムの分野横断的な標準化に向けて、各分野の専門家が考えを補完し、シナジー効果を生むことを狙ったものである。

同ワークショップで議論された内容は次頁の通りである。

USA-EU & NSF- IST Workshop の内容

テーマ及び目的	プレゼンテーション
<p>2005/7/7 Component-based Engineering for Embedded Systems</p>	<p>Part I Industrial Needs and Projects</p> <ul style="list-style-type: none"> • Don Winter - Director, Network Centric Operations; Boeing Phantom Works "Embedded Systems Challenges at Boeing" • Don Wilson - Senior Fellow, Raytheon Co. "Industry Challenges in Embedded Systems Software Development" • Steve Vestal - Fellow, Honeywell Labs "Models, Abstractions and Architectures in Component-Based Engineering" • Gert Döhmen - Airbus "Processes and Methods for Integrated Modular Avionics" • David Lesens - EADS Space Transportation "Code Generation and Simulation from Heterogeneous Models" • Véronique Normand (replacing Serge Salicki) - Architecture & Engineering Department, Thalès Research and Technology Software Research Group "Model Driven Engineering and solutions for Software Intensive Systems" <p>Part II Position Statements</p> <ul style="list-style-type: none"> • András Tóth - Ericsson AB, Corporate Research • Eric Conquet - European Space Agency • Philippe Kajfasz - Head of Advanced Architecture Lab, Thalès Land & Joint Systems • Gabor Karsai - Vanderbilt University • George Pappas - University of Pennsylvania • Claire Tomlin - Stanford University • Albert Benveniste - INRIA <p>Part III Discussion and Synthesis</p> <p>Panel members:</p> <ul style="list-style-type: none"> • David Corman - Technical Fellow, Boeing • Dominique Potier - Scientific Director for Software Technologies, Thalès • Joseph Sifakis - Director, Verimag Laboratory and ARTIST2 Scientific Coordinator • Janos Sztipanovits - Distinguished Professor at Vanderbilt University, Director of Institute for Software Integrated Systems • Michael Winokur - Corporate R&D and Business Development Manager of Embedded Computer Systems at Israel Aircraft Industries

<p>2005/7/8 Transatlantic Research Agenda on Future Challenges in Embedded Systems Design</p>	<p>Part I Towards a Joint IST-NSF Research Agenda in Embedded Systems Design</p> <ul style="list-style-type: none"> • US Keynote Presentation <i>Helen Gill</i> <i>NSF - Computer and Network Systems Division, Program Director</i> • EU Keynote Presentation <i>Kostas Glinos</i> <i>European Commission - IST, Embedded Systems Unit Head</i> <p>Collaborating Projects : Early Experiences and Assessment of EU-US Collaboration Co-chairs: Alkis Konstantellos and Helen Gill</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hipeac - Rutgers, Princeton Olivier Temam (IRISA), Nacho Navarro (UPC), Liviu Iftode (Rutgers University), Margaret Martonosi (Princeton University) • DECOS - University of California, Irvine / Vanderbilt University Roman Obermaisser (TU Vienna) • RUNES- Berkeley, Caltech András Tóth (Ericsson) • ARTIST/ARTIST2 – Berkeley/Vanderbilt University Joseph Sifakis (Verimag&Artist) / Janos Sztipanovits (ISIS-Vanderbilt), Claire Tomlin (Stanford University & Chess-Berkeley), Mary Margaret Sprinkle (Chess-Berkeley: The Trust Project) <p>Part II Views on Challenging Topics / Priorities</p> <ul style="list-style-type: none"> • Security: Catherine Meadows, Head of the Formal Methods Section - Center for High Assurance Computer Systems - Naval Research Laboratory "Computer Security: the Good, the Bad, and the Ugly" • Component-based Design: Joseph Sifakis, Scientific Coordinator of the Artist2 NoE, and Director of Verimag Lab "Directions in Component-based Design" • Networked Embedded Systems: Margaret Martonosi (Princeton University), "Networked Embedded Systems and the ZebraNet Project: Experiences and Challenges" • Mechanisms for EU-USA International Collaboration: Helen Gill (NSF), Alkis Konstantellos (European Commission) • Discussion (chaired by Janos Sztipanovits) <p>Part III Thematic and Organisational issues</p> <ul style="list-style-type: none"> • Means for Synchronisation, Announcement, Evaluation Chair: Bruno Bouyssounouse (Verimag) • Informal synthesis by Tariq Samad (Honeywell) and Brian Krogh (CMU)
---	---

(3) 大学などの学術界を中心とした取り組み

米国のコンピュータ・サイエンスを専門に研究する学者の間では、先の Chess や CUbiC に見るように、組込みシステムをコンピュータ・エンジニアリングという学術分野のひとつとして確立させ、次世代システムに向けた開発、技術革新及び専門の人材輩出に力を注いでいる。

① コンピュータ・サイエンス学会：ACM

コンピュータ関連の研究者が集まる世界的学会 ACM (Association for Computer Machinery) は、組込みシステムに特化した特別グループ SIGBED (Special Interest Group on Embedded Systems) を立ち上げた。ACM は、インフォメーション・テクノロジー分野に関してプログラミング言語、グラフィックス、ヒューマン・インターフェース、モバイル・コミュニケーションなどといった 34 のグループを持っており、各グループに、カンファレンス、ワーキング・グループ、ニュースレターや専門誌の出版を行なっている。

SIGBED は、組込みシステムの重要性が高まっていることをにらみ設置されたグループである。ソフトウェア及びハードウェアを含む組込みシステムに関するあらゆる分野を対象とし、コンピュータ及びシステム科学の基盤、デザイン技術、ソフトウェア・ハードウェア・フレームワークなどといった次世代組込みシステムの開発に必要な学術的議論を高めようとするものである。

同グループが特に高い関心を持っているものとして、以下の 9 テーマが挙げられている。

- Mathematical foundations for embedded systems
- Embedded system design methodologies
- Model-based generation and integration technology
- Models of computations
- Real-time systems
- Architectures and compilers
- Networked embedded systems and wireless sensor networks
- Hardware architectures
- Secure embedded systems

同グループは 2002 年 11 月より、学術論文誌 Transaction on Embedded Computing Systems を、2004 年より四半期に一度、SIGBED Review というニュースレターの発行も開始している。

また、国際的な組込みシステム関連カンファレンスの主催・共催などを行っている。以下は直近に開催されるカンファレンス例である。

ACM SIGBED が主催・共催する主なカンファレンス・スケジュール

開催時期	場所	カンファレンス
2005/9/19-21	Jersey City, New Jersey	CODES/ISSS '05: Third IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis
2005/9/19-22	Jersey City, New Jersey	EMSOFT'05: Fifth ACM International Conference on Embedded Software 2005
2005/9/24-27	San Francisco, California	CASES '05: 2005 International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis for Embedded Systems
2005/11/2-4	San Diego, California	SENSYS '05: ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems 2005
2006/4/19-21	Nashville, Tennessee	IPSN '06: The Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks 2006

② 学術団体の国際共同研究：COLUMBUS Consortium

COLUMBUS Consortium は、安全重視システム（Safety critical program）組込みコントローラーのデザインに関する国際的学術研究プロジェクトである。このプロジェクトへには、米国から Vanderbilt University の ESCHER と UC Berkeley の CHES の 2 団体、欧州から University of Patras、University of Cambridge、University of L'Aquila とフランス政府の研究所 INRIA の合計 4 団体が参加している。

③ 人材開発：UC Irvine

University of California at Irvine (UC Irvine) の生涯学習コースの一環として職業訓練講座や通信教育などを提供する UC Irvine Extension は、2005 年の夏期講座より組込みシステム・エンジニアリングに関する資格認定プログラムを開始すると発表した。このプログラムは同大学が独自に運営する専門的職業訓練講座となり、組込みシステム開発に関わるエンジニアを主な対象としている。

講義の内容は組込みシステムのデザイン・プログラミング、組込み機器、リアルタイム OS の知識の拡大、最新技術の習得などを目指したものとなる。同大学は、携帯電話や PDA、テレビなどの“スマート消費財”や、軍隊技術、NASA の宇宙開発技術に加え、自動車や医療機器にも進出を始めた組み込み技術の需要に応えるべく、開発関係者に育成を進めたいとしている。

(4) 業界団体を通じた民間の取り組み

組込みシステムに関する民間での取り組みは、システム開発を行なう企業独自による取り組みの他に、業界団体を結成し、相互ネットワークを利用した問題解決や技術向上を行なっている。

以下、組込みシステムに関連したコンソーシアムを挙げる。

① Embedded Linux Consortium

Embedded Linux Consortium (ELC) は、非営利のベンダ間中立の立場を取る業界団体で、組込み、応用型のアプライアンス・コンピューティング市場における Linux のシェアの拡大と促進、そして組込み Linux 標準化を目指している。

会員には、Finite State Machine Labs, Inc.、IBM、LynuxWorks、Metrowerkes (Motorola 傘下)、MontaVista Software、Panasonic/Matsushita Electronic Industrial Co., Ltd.、Real-Time Innovations が含まれている。会員企業は、管理、促進、導入、プラットフォーム仕様などのワーキング・グループに参加・貢献し、成長中の市場における事業拡大の機会を得ることを狙っている。

同団体では、市場における組込み Linux の優位性の確保を目指しており、オンライン・セミナーを開催したり、市場に関する情報や関連資料のカタログを提供している。オンラインセミナーには、150人近くの IT 専門家やデバイス開発者などが参加し、ELC のエグゼクティブ・ディレクタ Murry Shohat 氏や LinuxDevices.com の Ziff Davis 氏をはじめとした Embedded Linux System の専門家の話を聞くことができる。参加者も半導体ベンダから販売者まで幅広い層で構成されている模様である。また、他のオペレーションシステムとの比較なども行ない、Linux の市場拡大に特化した研究グループではあるが、同団体は OS に関係なく参加会員を募っている。

② The Open Group

The Open Group も、ベンダ間や技術に関して中立の立場を取る業界団体である。この団体の Boundaryless Information Flow というビジョンは、オープン・スタンダードや世界規模の相互運用性を基にして、企業内、企業間の統合情報へのアクセスが可能となることを目指したものである。

主な会員企業には、CiscoSystems、Green Hills Software、Fujitsu Limited、Hewlett-Packard、Hitachi、IBM、Intel、Novell、Sun Microsystems、WindRiver などが名を連ねている。

同団体には、アーキテクチャやプラットフォーム、エンタープライズ・マネジメント、セキュリティなどに関するフォーラムが設置されている。組込みシステムに関するフォーラムでは、The Real-time and Embedded Systems Forum があり、他の業界標準団体と同様に、分析、保証、セキュリティ、安全性やミッションを重視したアプリケーション (Safety/mission critical application)、オープン・アーキテクチャ、また Real-timeJava の統合などについて取り組んでいる。また、リ

アルタイムや組込みのシステムの普及のために、標準を遵守している商品のテスト・スイートや保証プログラムなども規定している。

③ Object Management Group (OMG)

Object Management Group (OMG) は、非営利の業界団体として、共同利用が可能なエンタープライズ・アプリケーションのためのコンピュータ業界規格を策定、維持につとめている。大手企業から中小企業まで、幅広い会員を抱え、関心分野についての意見交換などを活発にすることを目的としている。同団体の会員となると、仕様の策定などの作業グループに参加することができる。

世界各国から 450 以上の産・官・学界の団体が参加しており、アーキテクチャ、プラットフォーム、ドメインなどの技術などに関するさまざまなワーキンググループが設置されているが、OMG の組込みシステムに関しては、Realtime, Embedded and Specialized Systems Platform Task Force (RTESS PTF) と呼ばれるワーキング・グループを設置している。RTESS PTF は、1998 年から活動し、会合を開いてきた。2000 年以降、Real-Time And Embedded Systems に関する Workshop が毎年開催されている。2005 年の Workshop は、7 月 11～14 日にワシントン DC にて開催され、Real-time, high-confidence, or embedded applications, services, tools and methodologies に関するチュートリアルと展示やデモンストレーションが行なわれた。

Real-time and Embedded Systems Workshop (2005/7/11-14) プログラム

日程	プログラム
2005/7/11	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Real-time CORBA Kevin Buesing, Objective Interface Systems ◇ Building and Implementing Concurrent Specifications Cortland Starrett, Engineering Manager & Stephen Mellor, Chief Scientist, Mentor Graphics ◇ Using the Lightweight CORBA Component Model to Develop Distributed Real-time and Embedded Applications (Part 1) Douglas C. Schmidt, Professor of Computer Science, Vanderbilt University; Frank Pilhofer, Member of Technical Staff, Mercury Computer Systems ◇ MDA in Eclipse for Embedded and High Performance Presenter: Peter J. Fontana, President, Pathfinder Solutions
2005/7/12	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Using the Lightweight CORBA Component Model to Develop Distributed Real-time and Embedded Applications (Part 2) Douglas C. Schmidt, Professor of Computer Science, Vanderbilt University; Frank Pilhofer, Member of Technical Staff, Mercury Computer Systems ◇ Data Distribution Service Victor Giddings, Senior Scientist, Objective Interface Systems, Inc. <p>Session 1: Design Techniques for Real-time and Embedded Applications Chair: Andrew Watson, Object Management Group</p> <ul style="list-style-type: none"> • Model-Driven QoS Provisioning Techniques for CCM DRE Systems Stoyan Paunov, Gan Deng, Douglas C. Schmidt, and Anirudha Gokhale, Vanderbilt University • Applying MDD, Generative Programming and Agile Software Techniques to the SDR

	<p>Domain Bruce Trask, PrismTech</p> <ul style="list-style-type: none"> • A Performance Modeling and Simulation Approach to Software Defined Radio Shawkang Wu, Ph.D., Scientist & Long Ho, Senior Software Engineer, The Boeing Company • Leveraging Agile Software Design Techniques in the Implementation of Software Defined Radios Vincent Rivas, MTS & Joseph N Frisina, Manager-Advanced Software Development, BAE Systems <p>Session 2: High Assurance Chair: Dock Allen, Lead Software Systems Engineer, MITRE</p> <ul style="list-style-type: none"> • High Assurance CORBA and DDS Profiles Victor Giddings, Senior Scientist, Objective Interface Systems, Inc. • Multiple Independent Levels of Safety and Security: High Assurance Architecture Gordon Uchenick, Mentor/Principal Engineer, Objective Interface Systems, Inc. • Living Realistically with Nondeterminism in Fault-Tolerant Middleware Joseph G. Slember and Priya Narasimhan, Carnegie Mellon University
2005/7/13	<p>Session 3: Experiences with COTS Implementations of the Data Distribution Service (DDS) Chair: Steve Jennis, SVP, Corporate Development, PrismTech</p> <ul style="list-style-type: none"> • CORBA / DDS - Competing or Complementary Technologies? Ramzi Karoui, EMEA Technical Supervisor, PrismTech • OMG-DDS "Exploiting The Potential" Hans van 't Hag, Product Manager Middleware, Thales Naval Netherlands • Open Architecture Computing Environment: DDS Middleware Benchmarking Bruce McCormick & Leslie Madden, Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division • Data Consistency with the SPLICE Middleware Leslie Madden & Chad Offenbacher, Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division <p>Session 4: Real-time Java: The New World of RTSJ Chair: Joseph M. Jacob, Senior Vice President, Objective Interface Systems, Inc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experience Migrating a Representative Naval Combat Systems Application to Real-Time Java Tim Childress & Barbara Doyal, Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division • Experiences in Developing a Real-Time Java Object Request Broker John Russell, Product Manager, PrismTech • Recommendations for a CORBA Language Mapping for RTSJ Victor Giddings, Objective Interface Systems <p>◇ Panel: Real-time Java Moderator: Joseph M. Jacob, Senior Vice President, Objective Interface Systems, Inc.</p>
2005/7/14	<p>Session 5: Real-time Middleware Chair: Doug Jensen, Consulting Scientist, MITRE Corporation</p> <ul style="list-style-type: none"> • The COMPARE Project: Component-based Approach for Real-time & Embedded Systems The COMPARE Consortium - Presenter: Vincent Seignole, Engineer, THALES • A QoS-aware Deployment & Configuration Engine for Component-Based DRE Systems Gan Deng, Jaiganesh Balasubramanian, Arvind Krishna, William R. Otte, Krishnakumar Balasubramanian, Anirudha Gokhale, and Douglas Schmidt, ISIS, Vanderbilt University & Nanbor Wang, Tech-X Corp • Simplifying the Development of QoS-aware EJB Applications via Model-Integrated Computing Jules White, Douglas Schmidt and Aniruddha Gokhale, Department of EECS, Vanderbilt University • Techniques for Dynamic Swapping in the Lightweight CORBA Component Model Jaiganesh Balasubramanian, Gan Deng, Balachandran Natarajan, Aniruddha Gokhale, and Douglas Schmidt, Department of EECS, Vanderbilt University • Evaluating Adaptive Resource Management for Distributed Real-Time Embedded Systems

	<p>Nishanth Shankaran, Xenofon Koutsoukos, Douglas C. Schmidt, & Aniruddha Gokhale, EECS Dept., Vanderbilt U.</p> <p>Session 6: Middleware for Specialized Devices Chair: Gordon Uchenick, Objective Interface Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Using CORBA on DSPs, FPGAs & Microcontrollers - Synthesizing an Ubiquitous SCA Machine in Soft-Radio Devices Andrew Foster, Product Manager, PrismTech • Middleware for DSPs and FPGAs Bill Beckwith, Objective Interface Systems <p>Session 7: Protocols Chair: Douglas C. Schmidt, Professor of Computer Science, Vanderbilt University</p> <ul style="list-style-type: none"> • Practical Experiences Using the OMG's Extensible Transport Framework (ETF) Under a Real-Time CORBA ORB to Implement QoS Sensitive Custom Transports Andrew Foster, Product Manager, PrismTech • The Time Triggered (TT) Ethernet Astrit Ademaj, Hermann Kopetz, Petr Grillinger & Klaus Stainhammer, Vienna University of Technology
--	---

④ Embedded Microprocessor Benchmark Consortium (EEMBC)

1997年に設立され、以来、組み込みシステム内のハードウェアやソフトウェアのために重要な性能ベンチマークを開発している。EEMBCは、2000年以來、組み込みシステム標準やベンチマークのための業界標準を自主的に策定する活動に積極的に参加している。

EEMBCの活動分野は、自動車、消費財、デジタル・エンターテイメント、Java、ネットワーク、オフィス・オートメーション、通信である。また同団体には、Analog Devices、ARM、ARC、Green Hills、IBM、Improv Systems、Infineon Technologies、Intrinsity、MIPS Technologies、National Semiconductor、NEC、Tensilica、Texas Instrumentsなどが参加している。

(別添) 米国の主要組み込みシステム開発ベンダ

(1) Major Multinational and Semiconductor Firms with a stake in Embedded Systems

	Firm Name	Location/ HQ	URL	Size	Clients	Major (Embedded) Product
1	Freescale Semiconductor	Austin, TX	http://www.freescale.com/	2004 revenue: \$5.7 billion	Alcatel, Cisco Systems, Fujitsu, HP, QUALCOMM, Siemens (Hoovers)	Automotive ES devices including 8-, 16-, and 32-bit microprocessors; analog and digital signal processors; sensors; and access/ remote control devices.
2	AMD	Sunnyvale, CA	www.amd.com	2004 revenue: \$5 billion	ES Developers and Designers. AMD makes the hardware that ES vendors then sell to the end-user.	Processors geared toward running Linux embedded OS, such as E86 processor family of Am186 16-Bit systems and Elan 32-bit Microcontrollers. Also has the Geode processor line for mobile devices.
3	Micron Technology	Boise, ID	www.micron.com	2004 revenue: \$4.5 billion	Dell, Hewlett Packard (Hoovers)	Memory components and solutions including DRAMs for PC's; NOR and NAND Flash memory; CMOS image sensors; and PSRAM for cellular applications.
4	Broadcom	Irvine, CA	http://www.broadcom.com/	2004 revenue: \$2.4 billion	HP, Motorola, Dell, Cisco Systems (Hoovers)	ES hardware and software for Bluetooth, handsets, wired and wireless communication, and satellite TV
5	Agere	Allentown, PA	http://www.agere.com/	2004 revenue: \$1.9 billion	Lucent, Apple, Cisco Systems, Maxtor (Hoovers)	Chips and software for a broad range of applications: Enterprise & Networking; Mobility; Storage; and Telecommunications.
6	Marvell Technology	Sunnyvale, CA	http://www.marvell.com/	2004 revenue: \$1.2 billion	Intel, Western Digital, Samsung,	ES systems and hardware for communication applications,

	Group				Hitachi, Seagate Electronics, Toshiba (Hoovers)	including Switching, Transceivers, Power Management, Wireless, PC Networking, and Storage.
7	Spanion	Sunnyvale, CA	http://www.spanion.com/	2004 revenue: \$1.1 billion	Large scale manufacturers such as Cisco Systems, Nortel Networks and Volkswagen.	NOR Flash Memory products for a variety of applications
8	Cypress	San Jose, CA	www.cypress.com	2004 revenue: \$948 million	Cisco Systems, EMC, Logitech, Motorola, Sony (Hoovers)	Manufacturers a variety of hardware for embedded systems applications, including clocks & buffers, control communications, image sensors, network devices, and memory.
9	Conexant	Newport Beach, CA	www.conexant.com	2004 revenue: \$901 million	Apple, Dell, HP, Microsoft, Motorola, Samsung (Hoovers)	Semiconductor/ embedded systems solutions for broadband communications, enterprise networks and the digital home. (Conexant web site)
10	Mentor Graphics	Wilsonville, OR	http://www.mentor.com/	2004 revenue: \$711 million	Vendor of embedded systems hardware, middleware, and development tools	ES Development tools, hardware, and software

(2) Top Ten Major Players of Firms whose business is devoted Exclusively on Embedded Systems:

	Firm Name	Location/ HQ	URL	Size	Clients	Major (Embedded) Product
1	Zoran Corporation	Sunnyvale, CA	http://www.zoran.com/	2004 revenue: \$378 million	Fujifilm, HP, Konica Minolta, Samsung, and Sanyo (Hoovers)	Develops and manufactures hardware technology to improved embedded system performance in

						convergence devices such as cell phones.
2	OmniVision Technologies	Sunnyvale, CA	www.ovt.com	2004 revenue: \$318 million	Creative Technologies, Primax Electronics, Taiwan Semiconductor (Hoovers)	Maker of CameraChips™ for digital cameras, mobile phone and other convergence devices
3	Wind River	Alameda, CA	http://www.windriver.com/	2004 revenue: \$235.4 million	Raptor Networks, Eurocopter, Echelon, CASA/ EADS (European Aerospace)	ES manufacture and development, including merchant boards, embedded OS, and development tools/ software
4	SMSC (Standard Microsystems Corporation)	Hauppauge, NY	http://www.smsc.com/	2004 revenue: \$208 million	Dell, Gateway, IBM, Hewlett Packard (Hoovers)	Leading fables semiconductor company delivering innovative system solutions spanning analog, digital and mixed-signal technologies. (vendor of embedded systems hardware and middleware)
5	SigmaTel	Austin, TX	www.sigmatel.com	2004 revenue: \$200 million	GMI Technology, Holystone Enterprise, Creative Technology (Hoovers)	a leader in analog-intensive mixed-signal integrated circuits (for use in portable consumer electronics such as MP3 players)
6	Mercury Computer Systems	Chelmsford, MA	www.mc.com	2004 revenue: \$185 million	Northrop Grumman, Lockheed Martin, Raytheon, and GE Medical Systems (Hoovers)	Manufacturer of high-performance embedded systems for military and medical equipment
7	ZiLOG	San Jose, CA	http://www.zilog.com/	2004 revenue: \$100 million	EchoStar, Samsung Electronics, Philips Electronics, Emerson Electronics, THOMSON	Markets a broad portfolio of devices for embedded control and communication applications used in consumer electronics, home appliances, security systems, point of sales terminals, personal

						computer peripherals, as well as industrial and automotive applications
8	ENE A	Sweden	www.enea.com	2004 revenue: 655,000,000 Swedish Kroner (equals \$87 million)	Nokia, Texas Instruments	Manufacturer of embedded real-time OS and hardware for wireless, automotive, medical, industrial, and defense applications.
9	CSP Inc.	Billerica, MA	http://www.cspi.com/	2004 revenue: \$52.8 million	Military and Industrial end-users	Manufacturer of high-performance embedded systems for military and medical equipment
10	MIPS Technologies	Mountain View, CA	www.mips.com	2004 revenue: \$47 million	Toshiba, Broadcom, Infineon, Texas Instruments (Hoovers)	Provider of industry-standard processor architectures and cores for digital consumer and business applications.

(参考資料)

<http://www.electronics.ca/PressCenter/articles/95/1/High-Growth-Expected-in-the-Worldwide-Embedded-System-Market-in-the-Next-Five-Years>
<http://www.vdc-corp.com/embedded/reports/03/br03-36.html>
<http://www.computerworld.com/networkingtopics/networking/story/0,10801,59357,00.html>
<http://www.pcworldmalta.com/news/2003/Mar/221.htm>
<http://www.geek.com/news/geeknews/2004Jun/bpd20040618025618.htm>
http://www.consumeraffairs.com/news04/siemens_mobile.html
<http://www.eweek.com/article2/0,1895,1743559,00.asp>
http://www.nhtsa.dot.gov/nhtsa/Cfc_title49/publ414.106.pdf
<http://www.amrresearch.com/Content/View.asp?pmillid=17815>
<http://www.sdmagazine.com/documents/s=9740/ddj0411r/>
<http://www.detnews.com/2005/autosinsider/0504/01/D01-136043.htm>
http://www.eet.com/in_focus/communications/OEG20021014S0070
http://www.electricdistribution.ctc.com/pdfs/gridwise_brochure_jt31-3-05.pdf
http://www.artist-embedded.org/FP6/ARTIST2Events/PastEvents/IST-NSF/Thursday/EU-US_Raytheon_DonWilson.pdf
<http://www-128.ibm.com/developerworks/rational/library/459.html>
www.embedded-forecast.com/OptimizingTechChoices.pdf
<http://www.embedded.com/showArticle.jhtml?articleID=160700620>
<http://www.hpcc.gov/pubs/2006supplement/hess.pdf>
http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=9682
http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13385
<http://www.escherinstitute.org/AboutUs/AboutUs.asp>
<http://escher.isis.vanderbilt.edu/>
<http://chess.eecs.berkeley.edu/>
<http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/projects/mobies/main.htm>
<http://sec.eecs.berkeley.edu/main.htm>
<http://vehicle.me.berkeley.edu/main.htm>
<http://chess.eecs.berkeley.edu/chess/>
<http://fountain.isis.vanderbilt.edu/fountain>
http://cubic.asu.edu/grants/NSF_EI.html
<http://www.artist-embedded.org/FP6/ARTIST2Events/PastEvents/IST-NSF/>
<http://www.acm.org/sigbed/>
<http://www.columbus.gr/>
http://unex.uci.edu/services/pressroom/releases/2005/0517_embedded.asp
<http://unex.uci.edu/certificates/engineering/embedded/details.asp>
<http://www.embedded-linux.org/index.php3>
<http://www.opengroup.org/rtforum/>
<http://www.omg.org/gettingstarted/gettingstartedindex.htm>
<http://realtime.omg.org/>
http://realtime.omg.org/realtime_info.htm#meetings
<http://www.omg.org/news/meetings/realtime2005/index.htm>

<http://www.eembc.org/>
<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?nodeId=02Wcbf&tid=FSH>.
<http://www.amd.com/epd/index.html>.
http://www.amd.com/us-en/ConnectivitySolutions/ProductInformation/0,,50_2330_9863,00.html.
<http://www.micron.com/products/>
<http://www.broadcom.com/products/>
<http://www.agere.com/azlisting.html>
<http://www.marvell.com/products/index.jsp>
<http://www.internetnews.com/bus-news/article.php/3497736>
http://www.spansion.com/flash_memory_products/index.html.
http://www.cypress.com/portal/server.pt?space=CommunityPage&cached=true&parentname=CommunityPage&parentid=0&in_hi_userid=2&control=SetCommunity&CommunityID=209&PageID=0.
<http://www.zoran.com/products/index.html>.
http://www.ovt.com/i_products.html
http://www.windriver.com/portal/server.pt?space=Opener&control=OpenObject&cached=true&parentname=CommunityPage&parentid=18&in_hi_ClassID=512&in_hi_userid=27106&in_hi_ObjectID=239&in_hi_OpenerMode=2&
<http://www.worldwidewords.org/turnsofphrase/tp-fab1.htm>
<http://www.smsc.com/main/catalog/products.html>
<http://www.sigmatel.com/products/s-prod.html>
<http://www.mc.com/products/>
<http://www.zilog.com/products/>
http://www.enea.com/templates/Page_1191.aspx
http://www.enea.com/templates/Page_1466.aspx
http://www.enea.com/templates/Page_42.aspx
<http://www.mips.com/content/Products/ProductInfo>

このレポートに対するご質問、ご意見、ご要望がありましたら、
hiroyoshi_watanabe@jetro.go.jp までお願いします。