

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

1 組込みシステムはどこへ向かうか？

基
般

高瀬英希 | 京都大学／組込みシステム研究会 (EMB)

「組込みシステム」はどこから来てどこへ向かうのか、30 年後のあるべき姿はどのようなになっているのか。35 歳の若輩者である筆者には荷の重いタスクではあるが、組込みシステム研究会 (SIGEMB) の幹事として、出来得る限りの想像を巡らせてみたい。

組込みシステムの概説と出自

組込みシステムとは、家電製品や通信機器、運輸機器や工業制御装置などといった、各種の情報機器に組み込まれて、特定の機能を実現するための制御を行うコンピュータシステムのことを指す。アプリケーションに特有の要求に特化して設計されるため、必然的に多様な専用システムとなる。

Wikipedia 英語版の“Embedded system”項¹⁾に頼るならば、宇宙航空機アポロのガイドコンピュータが最初の組込みシステムの例であるとされている(ただし [citation needed] の脚注がある)。なお、本会 電子図書館で検索できた最も古い文献としては、昭和 56 年後期第 23 回全国大会 (1981 年 10 月開催) におけるパネル討論会「Ada とどうつきあうか」の論文²⁾において、この単語を見つけることができた。ただし、1980 年代頃までは、組込みシステムではなく「マイコン」(マイクロコンピュータあるいはマイクロコントローラ) と称されることが多かったようである。このことは、コンピュータシステムの初期はすべて専用システムとして設計されるのが一般的であったことがうかがえる。

しばしば組込みシステムでは、処理結果の正確性および信頼性だけでなく、リアルタイム性(実時間性)と呼ばれる、システム内の各処理が定められた時刻までに完了させるための性能が要求される。特に 1990 年代頃からは、情報機器におけるこのリアルタイム性の

保証技術が重視されるようになった。2000 年に入ってから、ハードウェア設計技術の進展に伴って、搭載されるソフトウェアの大規模・複雑化が注目されるようになった。このころから「組込みシステム」という用語が一般的に使われるようになってきた。これらの背景から、組込みシステムの設計技術・開発手法に関する学術研究が(特にソフトウェアの立場から)注目されることが多くなった。海外では ACM において SIGBED (Special Interest Group on Embedded Systems) が組織化された。本会では 2005 年 4 月に組込みシステム研究グループが立ち上がり、2006 年 4 月には研究会として活動を開始することとなった。

近年の組込みシステムの潮流

2010 年代に入ると、Arduino や Raspberry Pi といったデバイスの登場によって、「ものづくりの大衆化」が推し進められた。組込みシステムの制御アプリケーションは、外部環境(物理現象)との情報の入出力を伴って処理を行う必要がある。特に Raspberry Pi が好例となる SBC (シングルボードコンピュータ) のようなデバイスは、オンボードに大容量の主メモリが配置されて Linux カーネルが動作可能な環境でソフトウェア開発されるものと定義できる。これらの新たなデバイスは、ユーザやコミュニティを巻き込んだエコシステムが充実し成長し続けているという特筆すべき利点がある。

さらに注視すべき潮流として、IoT (モノのインターネット化) というキーワードが旗印となって、組込みデバイスのネットワーク接続性が必須の要件となりつつある。また、IoT や Industry 4.0/Society 5.0 のコンセプトは、ネットワーク環境の拡充ならびに通信技術の進展と密接に関係がある。これによって、デバイス同士

だけでなくエッジサーバやクラウドサーバと密接に処理連携して、新たな社会的価値を創造できるアプリケーションを勃興させる機運が高まってきている。

組込みシステムはどこへ向かうのか？

大量の計算機とデータが相互にかかわり合って1つの大きな情報システムが形成されるIoT時代の情報システム開発においても、組込み技術の「マイコン」から「組込みシステム」に代わったように、新たな用語で呼称される可能性は高いとは考えるが、いずれにしても、応用と要求に応じて最適化・専用化を進める「組込みシステム技術」の重要性は増す一方であるものと考え。

近年の組込みシステム開発は、問題領域が複雑化しているにもかかわらず、従来からの開発手法のまま、人員の拡大のみで対応してきた結果、開発効率の低下、ディペンダビリティ確保の困難、サイバーセキュリティリスクの増大などを引き起こしている。デジタルトランスフォーメーションの重要性が叫ばれる中で、今、組込みシステム開発の革新に取り組まないと、数年のうちに、急速に競争力が失われるおそれがある。この課題に対応するため、2018年11月にSIGEMBの有志が集い、早急に取り組むべき研究開発の課題を湯河原宣言2018³⁾としてまとめている。

- (1) 先端デジタル技術を活用して設計生産性を10倍に
- (2) 利用時情報のフィードバックによるプロダクトのアップデートで価値を2倍に
- (3) サービスの変化に応えられるIoTプラットフォームによりビジネスを変革
- (4) 社会実装と新規ビジネスの創出
- (5) 国際標準化

組込みシステムの今後の方向性を見据えると、いわゆるマイコンとSBCの境界がより曖昧になっていく傾向がある。前者は、プロセッサと小容量のメモリがオンチップに集積された(古典的な)構成でありベアメタルあるいはリアルタイムOSのプログラミングによってソフトウェア開発するものと定義できる。一方で後者は、Linux

上から汎用のプログラミング環境と統一的な入出力モジュールによって外部環境とのインタラクションを実現できることに強みがあり、IoTプログラミングとの親和性が高い。ただし、ある程度の計算資源が許容される対象では有用であるが、これらのシステム環境では省電力性やリアルタイム性の確保は困難となる。これに対応するため、MicroPythonやmruby、Elixir/Erlangに対するNerves/GRiSPなど、汎用のプログラミング言語を用いながら組込みデバイスプログラミングを実現する環境が近年多く登場している。開發生産性を向上しつつ先進的な組込み技術を活用できることを目指すようなこの傾向は、ますます進んでいくものと考え。

物理世界とつながったITシステムである組込みシステムの技術は、日本が競争力を持つものづくり産業の多くを支える重要な技術であるが、一言で「組込みシステムの研究」といっても、その研究領域と課題は多岐に渡る。それぞれの応用ごとの要求に応じて組込みシステム全体が最適に設計されるためには、システムを構成するさまざまな要素技術が密接に関係する。リアルタイム性を向上させるためのカーネル技術や消費電力や性能を最適化するためのコンパイラ技術、システムの大規模・複雑化に対応して開発の効率化を進めるためのモデリング手法や開発プロセス論、システム検証技術も重要な課題である。組込みシステム技術の発展に取り組んでいる研究者の皆さまに多大なる敬意の念を示すとともに、私自身もさらなる発展に少しでも貢献できるよう、研究開発に勤しむ所存である。

参考文献

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system
- 2) <http://id.nii.ac.jp/1001/00006401/>
- 3) 湯河原宣言2018, <http://www.sigemb.jp/wordpress/archives/394> (2020年1月31日受付)

■高瀬英希(正会員) takase@i.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院情報学研究所 准教授。博士(情報科学)。科学技術振興機構さきがけ研究者を兼任。組込みシステムのプラットフォーム技術および協調設計方法論の研究に従事。最近の興味は関数型言語ElixirによるIoTシステム開発手法。