

## 組込みシステムの開発における協調検証手法と技術者教育への適用実践

清尾, 克彦

<https://doi.org/10.15017/1866322>

---

出版情報：九州大学, 2017, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：



氏 名 : 清 尾 克 彦

論 文 名 : 組込みシステムの開発における協調検証手法と技術者教育への適用実践

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

1990 年代後半から 2000 年代にかけて、半導体技術の進歩とデジタル化の進展によりコンピュータの高性能化・低価格化・低消費電力化が進み、あらゆる分野の電子機器や制御機器にコンピュータ機能が組み込まれて製品が実現されるようになってきた。このように、コンピュータ機能を組み込んで実現される電子機器や制御機器は総称して「組込みシステム」と呼ばれる。

組込みシステムは応用分野ごとに性能・コスト・納期・消費電力などに関して最適なバランスになるようにハードウェアとソフトウェアによる協調設計（コデザイン）により実現される。ハードウェアは半導体の進歩で 1 チップのシステム LSI で実現されるようになり、組込みソフトウェアと組み合わせて事前に検証をしっかりと行なうことが必要となってきた。また、組込みシステムは時代の進展とともにいろいろな機能をハードウェアとソフトウェアで積み重ねて大規模化・複雑化した複合システムであり、内部はますますブラックボックス化してきている。

競争が激しい最先端の分野では、独創的なアイデアを含んだ新しい組込みシステム製品の開発が求められており、ニーズを満たし不具合のない組込みシステムを如何に短期間で実現するかが重要になってきている。このような組込みシステムの開発における問題点を分析してみると大きく設計、検証と技術者育成の 3 つの課題に分類できる。

設計については、再利用可能な設計資産（IP）の活用、IP の搭載を容易にするプラットフォームベース設計の採用や、抽象度の高い表現ができる高位言語の採用と高位合成ツールの利用により、設計の生産性向上と品質向上などが実現されつつある。

検証については、独創的なアイデアがニーズを満たしているかを評価したり、設計の不具合を取り除くために、システム全体を繰り返し動作させてみる必要があり、如何に効率良く評価していくかが大きな課題となっている。設計の上流ステージでのシステム機能を高位言語で記述した動作モデルによる評価・検証、その後のアーキテクチャ設計ステージでのハードウェアとソフトウェアによる協調検証、設計の下流にあたる実機に近い動作環境ステージでの人間の五感による評価・検証によって問題ないことが確認されてはじめてシステム LSI のモノづくりに入ることができる。

従来のやり方では、各設計ステージにおいて、設計モデル（コンピュータで実行できるように表現した設計対象）の抽象度に応じた検証環境を使ってバラバラに評価が行われてきた。そのため、設計の上流から下流まで効率良く検証を行なうことができなかった。また、ハードウェアとソフトウェアによる協調検証が必要になることから、そのインタフェースを各検証ステージでどのように実現するかも課題であった。

本研究では、組込みシステム開発における上流でのシステムレベルシミュレーションによる検証ステージから、下流の実機に近い環境での検証ステージまで、検証環境の統合と共通テストベンチの適用、および、コンポーネント論理バスアーキテクチャによるハードウェアとソフトウェアのイ

ンタフェースの統一により、階層的に効率良く繰り返し検証を行うトップダウン協調検証手法を提案する。トップダウン協調検証手法をマルチメディア系の 2 つの事例に適用し、各検証ステージにおいて実用レベルの性能で実行し、階層的に効率よく繰り返し検証できた成果を報告する。

技術者育成においては、最先端の組込みシステムの新規開発で、性能・コスト・消費電力などの目標を満足できるように、ハードウェアとソフトウェアの協調設計により、最適な分担を実現するシステムアーキテクトの育成が求められている。既に、組込みシステム分野では、システム LSI 開発の立場からのハードウェアとソフトウェアを含めた技術者の育成や、組込みソフトウェアに重点をおいた技術者の育成が行われているが、組込みシステム開発の課題を踏まえた技術者育成の取り組みも必要であると考えられる。

本研究では、組込みシステム開発の課題の分析や経験から抽出した「全体を俯瞰しながら基礎から応用へのスパイラルアップの取り組み」、「領域間のインタフェースの両面からの取り組み」、「ブラックボックス化した技術の階層的なモデリングの取り組み」、および、「ハードウェアとソフトウェアの最適な組み合わせを評価・選択する協調設計の取り組み」という 4 つのアプローチに基づいて、ハードウェアとソフトウェアの基本、およびインタフェースである命令セットを理解した上で、トレードオフを行えるシステムアーキテクトを育成するためのカリキュラムを提案する。実際にサイバー大学や岩手県立大学で実践した成果を報告する。

2017 年現在の IoT 時代を迎え、モノづくりの考え方が組込みシステム単体によるプロダクト指向から、ネットワークを介して、クラウドで評価・分析して付加価値を提供するサービス指向に変わってきている。IoT 時代では独創的なアイデアの創出が求められており、デザイン思考のアプローチが提案され、プロトタイピングによる評価検証による素早い繰り返しプロセスが提唱されている。本提案の「トップダウン協調検証手法」による効率の良い繰り返し検証のアプローチは IoT 時代と言われる 2017 年の今の視点から見ても役に立つと考えられる。また、IoT 時代の技術者育成について 2017 年現在取り組み中であるが、今回提案した 4 つのアプローチがクラウドコンピューティンと通信ネットワークを含めた IoT システムの教育へ拡張するのに有効と考えている。