

## CPS つくりについて

豊 島 真 澄<sup>†1</sup>

### “Engineering of CPS”: a view from automotive E/E development

#### 1. はじめに

自動車業界では1970年の米国大気浄化法改正を機に電子化が始まったと言われ、今日に至るまで電子システムとその進化は、環境・安全・快適につながる様々な機能を提供することに貢献してきた。

本稿では、車載組込みシステム開発に対するソフトウェア工学の今日の貢献例を幾つか示した後、CPS つくりに対するソフトウェア工学への期待を述べる。

#### 2. 現在の組込みシステム開発

いわゆる Tier-1 サプライヤでは多種多様な部品を扱うため、扱うソフトウェアの性質は対象製品に依存して多岐にわたる。

例えばドアロックの制御などを司るボデー系と呼ばれるシステムは、比較的コード規模が小さく、求められる実時間性は数十ミリ秒以上が一般的であるが、直接ユーザに触れる部品が多いため、振舞いは安全性に直結する。この分野では特に、FTA 等による安全性分析や、状態ベースのモデル化に基づいたモデル検査などが一部で実践されており、品質向上ならびにシステム設計の正しさを証明するのに貢献している。

一方動力に関するパワートレインと呼ばれる領域では、例えばエンジン点火制御の実時間性は一般にミリ秒単位、時にはサブミリ秒単位であり、振舞に関する詳細なパラメータ調整も必要とされる。これらの緻密かつ膨大なモデルは計算機の低レベルの振舞を含める網羅的な検証/証明には適しておらず、制御モデルレベルでのシミュレーションが主に用いられるとともに、一部ではチップや OS の情報を抽象的に扱った実時間シミュレーションツールが、トレードオフの可視化な

どの目的で使用されている。またアプリケーション非依存の共通部分 (OS 等) に限定して、その正しさを検証する取り組みが試行されている。

またシステム開発全体のプロセス最適化やプロダクトライン開発導入を推進するため、開発プロセスの社内標準が作成されている。これはソフトウェア工学の開発プロセス構築の手法と類似であるが、他分野の開発手法、例えば制御システム設計や HMI 設計、さらに機能安全など規格への対応等を取り込みながら、我々が扱うドメインに適した開発プロセスが開発される。

以上、ソフトウェア工学の成果が今日の車載電子システム開発に貢献しているほんの一部を示したが、特に最近では最後の例にあるような他分野との融合的な技術開発に対して関心が高まっている。つまり、現在は”ソフト +  $\alpha$ ” の技量と経験を持つ握りのエンジニアによって行われている属人的になりがちな開発作業を、CPS ものづくり時代に合わせた形で工学化する事へのニーズが高まっている。

#### 3. これからの開発 (アプリ視点から)

CPS 分野の国際会議などでは、しばしば車載電子システムは事例として取り上げられている。ここでの取り上げられ方としては、「少し将来を想定した上で、理論 ~ 工学手法のつなぎを考える」という、目的基礎研究的な文脈が多いと感じている。

本説ではこの文脈に則り、想定される課題からその解決技術に存在しうる根本的な変化や特徴について、3つのターゲット応用を想定しながら私見を述べる。

##### 3.1 自動化の進展/自律化

ADAS(高度運転支援システム)の普及や自動運転化の度合いが高まることにより、センシング-計算-アクチュエーションのループにおいて、ドライバーの関与

<sup>†1</sup> 株式会社デンソー 電子基盤システム開発部先行技術開発室

が低下し、計算機システムはセンサーから得られる定量的な情報や内部に持つ限られた情報にもとづいて、計算と制御を実行する。このようなシステムの妥当性とは何か、その性質が満たされていることをどのように確認できるかは、現時点では科学的に説明の仕方が決まっておらず、現実には「1億 km のテスト走行」など、実践が困難な実践的基準が採用されている。

昨今、H2020 ではこの課題に関係すると思われる多くの研究プロジェクト提案が行われており、一方業界側でも、社会合意と妥当性基準の制定に向けた議論が主に欧州で始まっている。つまり、合意形成を経た妥当性基準の制定と、その確認を行うための科学と技術が、同時並行して検討・研究開発されるという状況にある。

このように、Cyber-Physical を科学的に捉えることと、CPS と社会との対応付けをする作業が、相互に影響し合いながら並行して進められているという特徴がある。

### 3.2 つながる/IoT

車載電子システムは、車両外の通信機器と様々な形で繋がり、サービスは高度化すると見られている。車内外を含めた分散システムにおいて1台のクルマは自律的な要素となる。分散システムのアーキテクチャを考えずして自律要素を単体で設計・実装することがナンセンスであると同様、車載電子システムについても車外をどのように仮定するか、またモデリングするかの重要性が増している。またソフトウェアの更新/購入の自由度は今後上がると見られており、これを実現するためには、より高度なディペンダビリティとセキュリティが一要素技術として、また更にアーキテクチャに影響を与える事柄として、重要である。

### 3.3 エネルギーの社会的な最適化

クルマは社会でエネルギーを消費/生産する一つの大きな要素とみなすことができ、電動化の流れはその位置づけを現在よりも強めてゆく可能性がある。利用可能な情報の高度化と行える制御の高度化が進めば、社会的な利益を大きく向上させる可能性がある。また末端のセンサー・アクチュエーターがどれだけ普遍的なものになるかは、使える情報と行える制御を現実的に規定する条件となる。

つまり、デバイスと情報の偏在性は社会利益を高める可能性を増すが、事前にその可能性を共有して正しく見積もった議論を行うことは簡単ではない。ここにおいても、社会的な価値とそれを実現する計算機システムという、ある意味で技術的に広い範囲の検討と設計が必要となる。

## 4. CPS づくりのための課題とニーズ

### 4.1 ソフトウェアの基礎を持つ技術者

前節で述べたとおり、ソフトウェア開発や研究が扱うべき領域は膨張する傾向にあり、システムズ工学や制御工学と連携できる分野横断的な技術に対するニーズが増加している。膨張には必然的な理由が二つあると考えている。

- 計算機システムが高度に複雑化したことに起因して、社会に与えるインパクトをソフトウェア抜きに分析することができなくなった。
- ソフトウェアの理論的な基礎知識を持つ開発者は、抽象化能力を身に付けている場合が多く、逆に最終的な計算機実装を比較的早期に想像することもできることから、分析やコンセプト設計にも有用。

つまり今後のソフトウェアエンジニアには、今より一層の応用領域知識の継続的獲得が求められる。

また別の実現手段として、計算機科学外の学生に対して、計算機科学とソフトウェア工学の基礎を広く教えることによって対応することも考えられる。英国では初等教育においてこの考えを実践し始めた。

### 4.2 ボトムアップとトップダウンの組合せ

日本の技術開発やものづくりは概してボトムアップや擦り合わせが得意とされるが、CPS づくりは、Cyber-Physical 両面での全体俯瞰や最適化も必要とする。両アプローチを最適に融合または使い分ける技術とビジネスモデルを開発する必要がある。

### 4.3 基盤技術の重要性とその導入タイミング

従来分野横断的と言われることがある手法の幾つかは、特定分野のモデリングパラダイムに局所最適化したツールを提供することによりその領域で急速に普及した後に、あと付け的に周辺領域とのブリッジを追加したものが多い。しかし CPS ものづくりにおいては、システム全体視点でのトレードオフ検討や追跡可能性を扱う必要があり、個別最適な方法論を寄せ集めるだけでは不十分である。

CPS ものづくりを実現するには、個別領域での技術適用よりも前に、CPS 開発に必要な基盤的な技術の全体像を明らかにして分野横断や全体最適を実現する必要がある。具体的には、技術スコーピングやモデリングフォーマリズムの選定を的確に行い、あるべき開発スタイルやスキルセットを検討する必要があり、このためには、理論から実践までを含む多様な研究者が本質的な課題を共有し、要素技術、CPS ものづくりの仕方、教育システムまで含めて検討する必要があると考えている。