

# 共有資源を用いる制御システムのための SysML 2 に向けた解析モデルの検討

田中 輝明<sup>1,2,a)</sup> 武内 良典<sup>2,b)</sup> 今井 正治<sup>2,c)</sup>

**概要:** 制御用コントローラに関するアーキテクチャ設計手法では、対象システムが持つ各種の性質をいかに記述するかと共に、システムへの要求の充足性を評価するために適切な解析手法の検討が重要である。現在検討中である共有資源を用いる実時間制御システムのモデリング手法に関して、SysML 2.0 に向け提案と検討が行われているシステム解析用メタモデル定義である Analysis Concept Model に基づき整理・検討を行った、対象システムとその解析に関するモデリング結果について報告する。

**キーワード:** システムレベル設計, 実時間制御用コントローラ, 組込みシステム, 共有資源, 計算資源, 記憶資源, SysML, 解析概念モデル, モデルベース・システムズエンジニアリング

## Study on the Analysis Model of Control System with Shared Resources based on SysML 2.0 Concept

TERUAKI TANAKA<sup>1,2,a)</sup> YOSHINORI TAKEUCHI<sup>2,b)</sup> MASAHARU IMAI<sup>2,c)</sup>

**Abstract:** In the architecture design methodology for the controller of real-time control system, it is important to realize an appropriate system analysis method that can evaluate satisfiability to system requirements, together with an appropriate model description method of various aspects owned by the target system. Regarding the modeling method of the real-time control system using the shared resources currently under consideration, we report the system modeling and system analysis results based on the Analysis Concept Model which is the meta-model definition of the system analysis proposed for SysML 2.0.

**Keywords:** System-level Design, Realtime Controller, Embedded System, Shared Resource, Computational Resource, Memory Resource, SysML, Analysis Concept Model, Model Based Systems Engineering (MBSE)

### 1. はじめに

近年の M2M (Machine to Machine), IoT (Internet of Things) やサイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical Systems, CPS) 等で用いられる装置においては、ネットワーク通信機能を持ち相互のデータ交換やクラウド環境等の上位大規模計算機とのデータ通信機能が求められている。これらシステムでは、高速・大容量のネットワーク通信を使用し様々な計算リソースと有機的に接続することで、知的な制御を行い得る産業用機器の実現が期待されている。

制御用コントローラに必要とされる制御機能と通信機能とを単一の電子システム・プラットフォームで実現する場合、それら機能が使用する CPU 等の計算資源やメモリ等の記憶資源間での競合および干渉により、目標とするシステム性能を満足するコントローラアーキテクチャの実現は容易ではない。またコントローラシステム開発に必要なコストやリスク等の様々な要件を同時に成立させる必要があり、その実現には適切なエンジニアリング手法が必要である。

本稿では、共有資源を用いる制御システムのためのシステムレベル設計手法をモデルベース・システムズエンジニアリング (Model Based Systems Engineering, MBSE) 手法で取り扱うことを目指し、MBSE 向けシステムモデリング言語 SysML の次期バージョンで検討されているモデル解析コンセプトに基づき、システム設計で必要となる解析モデルを検討した結果について報告する。

<sup>1</sup> 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所  
8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

<sup>2</sup> 大阪大学 大学院 情報科学研究科  
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

a) tanaka.teruaki@ak.mitsubishielectric.co.jp

b) takeuchi@ist.osaka-u.ac.jp

c) imai@ist.osaka-u.ac.jp

## 2. 先行研究

近年、複雑なシステムの実現を成功に導くアプローチおよび手段として MBSE が検討されている [1][2]。MBSE では対象システムを文章ではなくモデルによって表現することで理解の容易化、モデル再利用による開発効率化、また抽象度向上による新たな気づき等のシステム設計上の様々な効果を期待出来る [1]。また MBSE 向けモデリング言語として SysML が標準化されており [4]、SysML によるモデル表現を用いた各種システムズエンジニアリング手法が検討されている [1][2][3]。

SysML は、UML(Unified Modeling Language) のサブセットに対しシステムズエンジニアリングに必要な拡張を行ったモデリング言語である [5]。SysML によるシステムのモデル記述は「構造 (Structure)」と「振る舞い (Behavior)」を表現するモデル図 (ダイアグラム) を用いて図形表記が可能であり、システムズエンジニアリングで求められる様々なシステム要求を表現するための「要求図」と、システムの各種制約を表現する「パラメトリック図」が UML への拡張部分として追加されている。

## 3. SysML 2.0

最新の SysML (バージョン 1.5、2017 年 6 月時点 [4]) では、システムに対する要求から制約、またシステムの実現表現までをモデル化の対象としているが、次のメジャーバージョンである SysML2.0 では、モデル化の対象範囲を拡張し、様々なツールサポートやモデルライブラリを活用するための **System Modeling Environment (SME)** と称するモデリング環境全体の仕様検討が進められている [6][7]。SME はシステムモデルに対する *construction, visualization, analysis, management, exchange and integration* 等の実現を目標としている [6]。SME に準じたモデル表現を採用することで、システムエンジニアリングにおける様々な計算機支援が容易化され、システム実現検討を効率的に実行し、より最適なシステム実現解に近づくことが期待できる。

SME で新たに検討されているモデル化対象の 1 つにシステムの各種解析に関するモデル化のための **System Analysis** と、そのモデル表現のための **Analysis Concept Model** がある [9]。Analysis Concept Model はシステム解析の基盤となるメタモデル定義であり、基幹となる各種コンセプトモデルで構成されている。図 1 から図 3 に、そのコンセプトのブロック定義図を示す。また、その内容について以下簡単に説明する。

**System Analysis** モデルでは複数の解析種別となる Effectiveness Analysis, Risk Analysis, Cost Analysis, Trade-off Analysis 等が定義されている。

また System Analysis は、解析に必要な解析目的 (Analysis

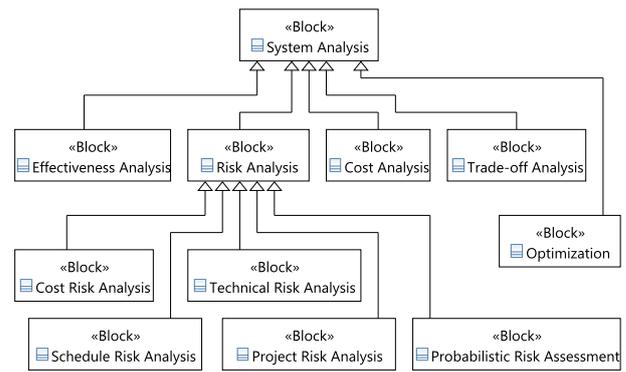


図 1 Types of system analyses (SysML BDD)[8]

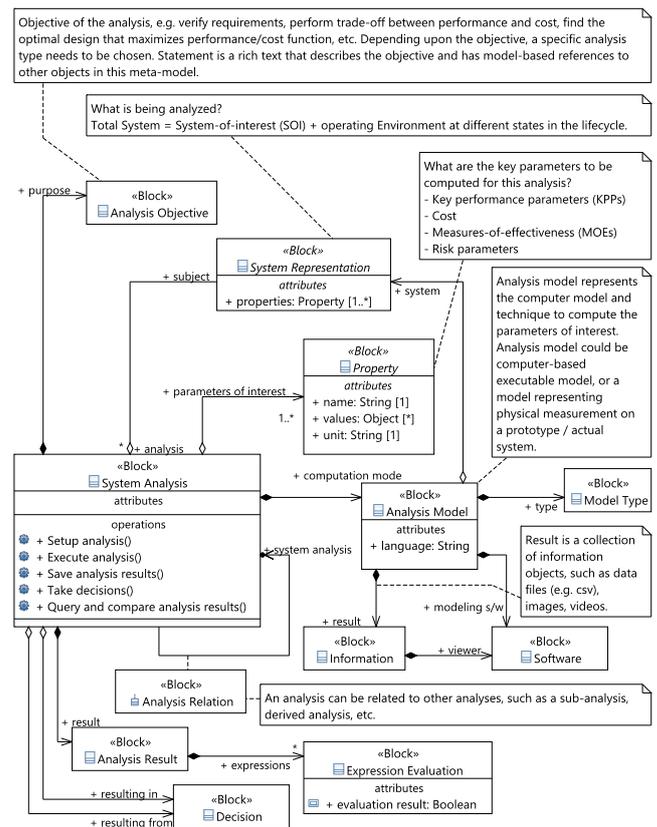


図 2 System Analysis concept (SysML BDD)[8]

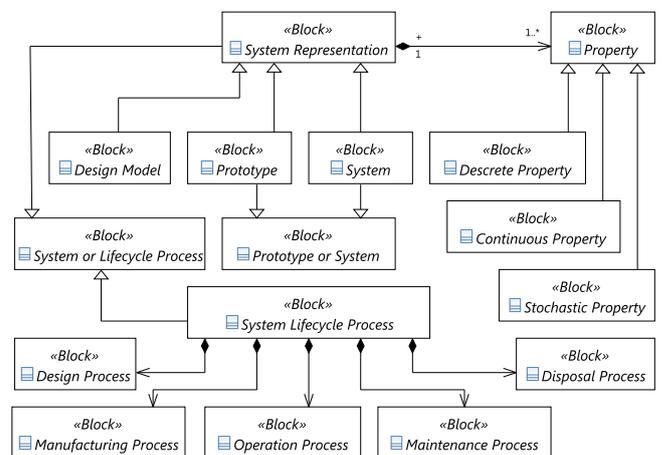


図 3 System representation (SysML BDD)[8]

Objective), その解析を特徴づけるプロパティ (Property), 解析モデル (Analysis Model), 解析結果 (Analysis Result), 最終的な Decision 等のモデル情報に関する構造定義が行われている。

Analysis Model は対象システム表現 (System Representation) を参照し, システム解析が実行され, その結果を取得する核となる概念である。なお System Analysis では, 再帰的な System Analysis の呼び出しを想定し, 複数の解析結果に基づいた Decision の実施が可能となっている。

System Representation はシステムのモデル記述となる Design Model のみではなく, Prototype や実システムも対象システムとして想定している。

#### 4. 共有資源を用いた制御システム設計

制御用コントローラで最も中心的な機能である制御機能とネットワーク通信等の各種サービス機能との高度な両立が求められる近年の実時間制御システム実現では, 確度の高い性能見積もりが行えハードウェア資源の積極的な共有によりコスト低減が可能なアーキテクチャ設計手法が必要となっている。その設計手法として筆者らは, 共有資源モデル記述を用いたコントローラ・アーキテクチャ検討のためのシステム・モデリング手法を提案している [10]。本手法では, 設計者が理解しやすいアーキテクチャ上の資源制約モデル記述を用い, 並行処理動作, 時間指定動作, 資源共有に伴う並行プロセスの逐次の動作を含む対象システムに対し, 確度の高いシミュレーション動作確認と性能評価を可能としている。本システム・モデリング手法の概要を図4にて示す。

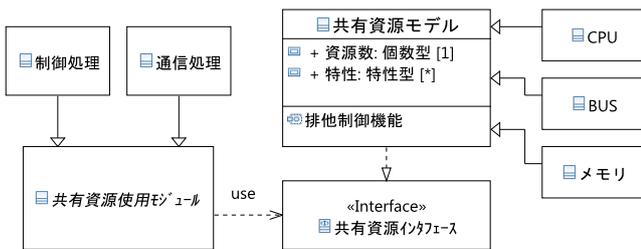


図4 共有資源モデル記述を用いたシステム・モデリング手法

本手法におけるシミュレーションの実現手段では OSCI (Open SystemC Initiative) の SystemC ライブラリを使用している。また共有資源モデルや同資源を使用する動作モデルは, 同ライブラリで提供される C++言語クラスライブラリを継承使用し構築している。その概要を図5に示す。

図5に示した共有資源モデル (slm\_resource) と動作モデル (slm\_shared\_module) を用い, 図6に示す実時間制御システムをモデル化し, モデルシミュレーションすることで, 各種アーキテクチャでの制御処理の最悪実行時間 (以下, 制御処理時間) と通信処理の平均実行時間 (以下, 通信処

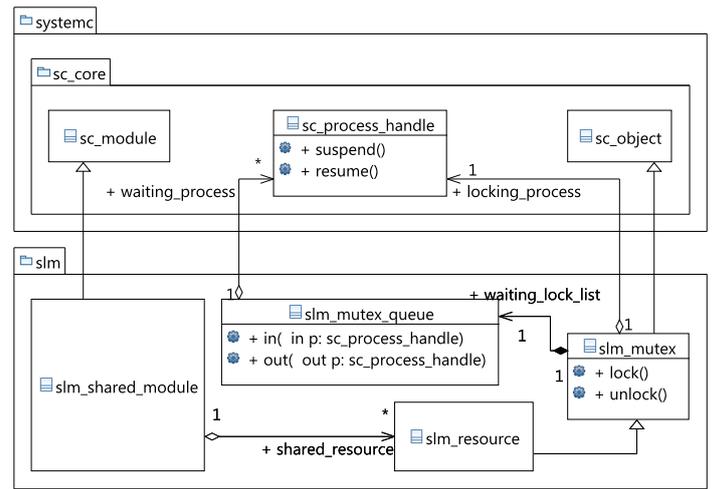


図5 共有資源に関する基本的なクラス構造 (UML クラス図)

理時間) を結果として取得することが可能である。

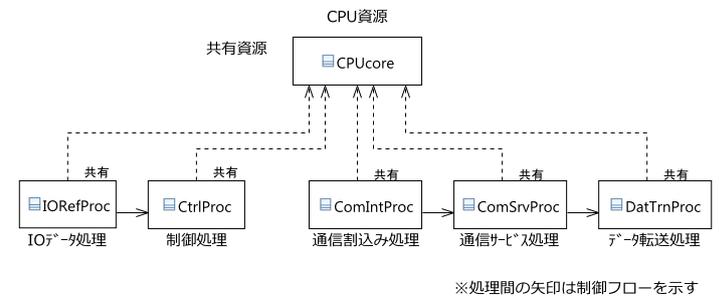


図6 共有資源モデルを使用したシステムモデル

#### 5. SysML 2 に向けた解析モデル

前章の制御システム設計手法を SysML 2.0 の System Analysis Concept に基づき実現する場合のモデル化を検討した結果について本章で説明する。

**Analysis Objective** は「製品実現リスクを低減し, 制御処理時間と通信処理時間を共に規定値以下とし, 適切なコストとなるコントローラ実現形態を策定する」と定義される。この「製品実現リスク」は Risk Analysis モデルにて規定されるが, その中でも解決策が難しい **Technical Risk Analysis** と, 契約や Time-to-Market への影響が大きい **Schedule Risk Analysis** が主因となることが多い。これら Risk Analysis の結果として, 使用する「IC 部品の選択肢」や「アーキテクチャの基本設計」の現実解が選択され, それらが System Representation における H/W アーキテクチャのパラメータセットを与えられられる。

H/W アーキテクチャパラメータセットの1つとして規定される特定のアーキテクチャに対し, S/W アーキテクチャ (各処理の CPU 割り当てや各種データのメモリ割り当て) をパラメータ化した組合せが System Representation のパラメータとなる。

System Analysis は同パラメータを変更しながら、製品コストと制御処理時間や通信処理時間の性能指標を、**Cost Analysis** と **Effectiveness Analysis** とで評価すると考えられる。Cost Analysis としては使用する IC 部品に関するコストの総和に基づき概算見積を行うことが可能である。制御処理時間と通信処理時間は、共有資源を使用する複雑なシステム動作ではシミュレーション実行が必要となる。これは System Representation を **Analysis Model** で使用する SystemC による System Representation に変換した後にシミュレーション実行し、その結果となる **Information** を順次取得することで実現しうる。

Analysis Model の複数シミュレーション実行は System Analysis における **Analysis Relation** で繰り返し実行される形となる。実行で得られた複数の結果に対して多目的最適化が必要となる。特に評価する組合せ数を低減し適切な時間で必要となる解析を終えるためのパレート解の探索が重要である。その実行は **Trade-off Analysis** で取り扱うと考えられる。

それらの結果となる **Analysis Result** に対し、Analysis Objective から設定される **Expression Evaluation** により規定範囲内判定を行った結果を提示し、それに基づきシステム設計者が **Decision** を下す形となる。

このような対応づけにより、検討中の設計手法を SysML 2.0 の System Analysis にて実現可能であることが判明した。本検討の結果を SysML のブロック定義図を用いて表現したモデル図を図 7 に示す。

## 6. おわりに

共有資源を用いた制御システム設計を SysML 2.0 システム解析コンセプトで実現する場合のモデル化を検討し、想定する解析機能と解析モデルを SysML 2.0 / Analysis Concept Model に対応づけ可能であることが分かった。

今後、解析モデル仕様の詳細化および必要となるモデル要素の追加と改良を実施し、想定するシステム解析を実行可能な SysML ベースのモデル環境の構築を行い、SysML 2.0 に基づくシステム設計手法の実現性評価を進めていく予定である。またその評価結果をフィードバックし、制御システム設計手法の改良も進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] 西村秀和, 藤倉俊幸, 『モデルに基づくシステムズエンジニアリング』, 日経 BP 社 (2015).
- [2] Friedenthal, S., Moore, A., and Steiner, R.: *A practical guide to SysML: the systems modeling language*. Morgan Kaufmann (2014).
- [3] Estefan, J. A.: *Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies*. IncoSE MBSE Focus Group, 25(8). (2007).
- [4] OMG, *OMG Systems Modeling Language (OMG SysML), Version 1.5*. Technical report, Object Man-

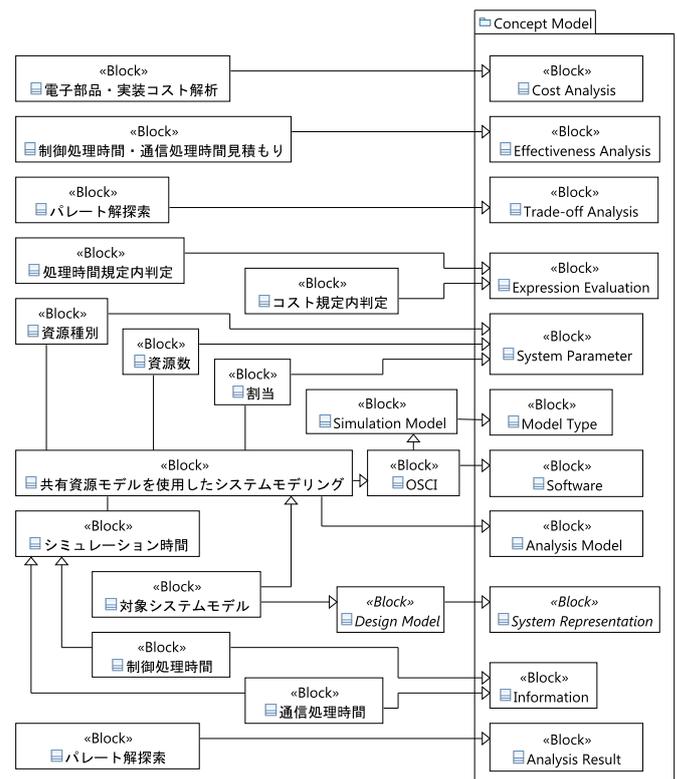


図 7 SysML2.0 System Analysis に対応づけを行った設計手法の解析モデル

agement Group, 入手先 (<http://www.omg.org/spec/SysML/>) (2017). (最終アクセス 2017.6.30).

- [5] OMG: *WHAT IS SYSML*?. Object Management Group, 入手先 (<http://www.omg.org/what-is-sysml.htm>) (2017). (最終アクセス 2017.6.30).
- [6] OMG: *SysML v2 RFP Working Group*. OMG, 入手先 ([http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-roadmap:sysml\\_assessment\\_and\\_roadmap\\_working\\_group](http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-roadmap:sysml_assessment_and_roadmap_working_group)) (2017). (最終アクセス 2017.6.30).
- [7] Friedenthal, S.: *SysML v2 RFP WG Meeting/Introduction*. OMG Meeting, Reston, Virginia, March 21 - 23, 入手先 (<http://www.omgwiki.org/OMGSysML/lib/exe/fetch.php?media=sysml-roadmap:sysmlv2rfpwg-reston-02-introduction-friedenthal-2017-03-21-ppt>) (2017). (最終アクセス 2017.6.30).
- [8] Bajaj, M., Qamar, A., Walley, G., Cole, B., and Bailey, B., *SysML 2.0 RFP - Analysis*, Systems Analysis Workgroup, OMG SysML Portal, 入手先 ([http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-roadmap:system\\_analysis\\_workgroup](http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-roadmap:system_analysis_workgroup)) (2017). (最終アクセス 2017.6.30).
- [9] Bajaj, M., Scott, A., Deming, D., Wickstrom, G., Spain, M. D., Zwemer, D., and Peak, R.: *Maestro - A model-based systems engineering environment for complex electronic systems*. In INCOSE International Symposium, Vol. 22. No. 1. (2012).
- [10] 田中 輝明, Salita Sombatsiri, 武内 良典 and 今井 正治: 共有資源モデル記述を用いた実時間制御システムのモデリング手法. 組込みシステムシンポジウム 2016 論文集, 10-17. (2016).