

# システムズエンジニアリングと工学シミュレーション のモデルの統合

Integration of Systems Engineering Model and Engineering Simulation Model

吉田有一郎<sup>1)</sup>

Yuuichiro Yoshida

1) 博(工) 東芝インフォメーションシステムズ(株) (〒1050023 東京都港区芝浦1-1-43 東芝浜松町ビル4階,

E-mail: yuuichiro.yoshida@toshiba.co.jp)

This paper describes about integration of systems engineering model and engineering simulation model. INCOSE and ASME V&V50 committee have been working on Model Characterization Pattern, MCP, which includes the feature-based pattern of requirements for engineering simulation. INCOSE and NAFEMS have been working on integration of modeling and simulation for systems engineering and engineering simulation. NAFEMS and ASSESS have been trying to extend MCP. The author showed the idea of automatic generation of simulation data using MCP combined with the method of feature-based product line engineering factory of ISO26580.

**Key Words:** Systems Engineering, MBSE, Engineering Simulation, Verification and Validation, ISO26580.

## 1. 緒 言

航空宇宙産業、軍需産業等、複雑・大規模な製品を開発する産業では従来からシステムズエンジニアリングが適用され、近年では自動車産業における適用が急速に進んでいる[1]。現在、ドキュメントベースのシステムズエンジニアリングはモデルをベースとしたシステムズエンジニアリング (Model Based Systems Engineering, MBSE) へ移行しつつある。

MBSEは米国防総省 (DoD) が進めるデジタルエンジニアリング戦略の一部であり、MBSEに残る課題の1つは、システムズエンジニアリングのモデルと工学シミュレーションの物理的なモデルの統合とSEBoK[2]は述べている。

システムズエンジニアリングとISO9001はプロセスアプローチでありV&Vも同一である。システムズエンジニアリングとISO9001に基づく工学シミュレーションは要求事項が滑らかに接続する[3]が、物理的モデルの作成に必要なモデル要求事項の表現形式は標準化されていない。

本稿では、欧州と米国で進められている、システムズエンジニアリングのモデルと工学シミュレーションのモデルを統合する活動[4][5][6][7]、及びフィーチャーベースのプロダクトラインエンジニアリング (Feature-based Product Line Engineering) 手法[8]に基づく工学シミュレーションの要求事項からのシミュレーションモデルの自動生成の可能性について述べる。

## 2. 米国におけるシステムズエンジニアリングと 工学シミュレーションのモデルの統合の活動

文献[4]によれば、システムズエンジニアリングを推進

するINCOSEのMBSE Patterns WGのメンバがASME V&V50委員会に参加し、INCOSEとASME V&Vの連携が開始した。連携の目的は、(1)システムズエンジニアリングで使うシステムレベルのモデルの中にASME VVUQのフレームワークを取り込む、(2)物理シミュレーションのモデルを、システム開発のライフサイクル全体とサプライチェーン全体で、シミュレーションの非専門家でも利用可能な構造化されたモデル資産の形式で表現する、及び、(3)規制当局の要求するVVUQに対応し、長期間に渡り再利用可能なモデルとしてモデル利用コストを低減する等である。

Schindel[5]は、V&V50委員会のVerification and Validation Interactions with the Model Life Cycleの草案にModel Characterization Pattern (MCP、モデル特徴付けパターン) を採用する考えを述べている。MCP[4]は、種々のタイプ (数値シミュレーション、システムモデル、機械学習等) のモデルを記述する情報 (モデルの要求事項) の統合フレームワークである。個別のモデルを特徴づける情報 (個別のモデルに対するユーザの要求) をMCPのデータ構造に適用すると、結果は個別のモデルとして構成されたMCP (configured MCP) になる。構成されたMCPはモデルラッパー (モデルを隠蔽する) メタデータとして参照される。MCPの最上位のインターフェースはステークホルダ・フィーチャーパターンであり、次の6種類のフィーチャーグループ (図1(a)) がある。

- ・モデルの主題と焦点: モデルの主題または焦点を特定する。

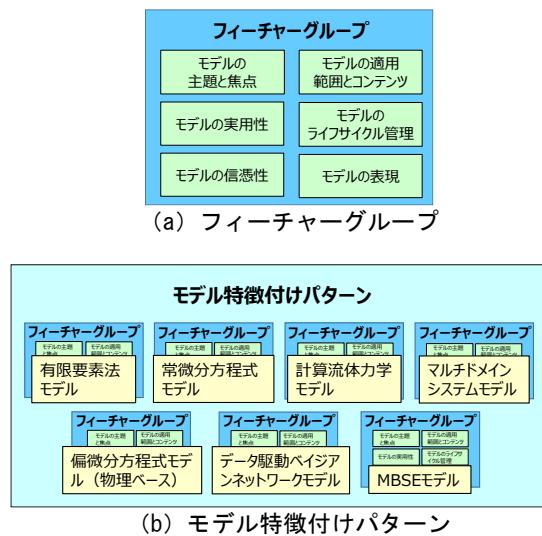


図1 フィーチャーグループのフレームワークの上に構築するモデル特徴付けパターン[4]

- ・モデルの実用性：モデルの用途、ユーザ、有用性、及び価値を記述する。
- ・モデルの信憑性：モデルの信憑性を記述する。
- ・モデルの適用範囲とコンテンツ：モデルのコンテンツの適用範囲を記述する。
- ・モデルのライフサイクル管理：関連するモデルのライフサイクル管理能力を記述する。
- ・モデルの表現：モデル及び関連する成果物で使用される表現を記述する。

個々のフィーチャーグループは更にいくつつかのフィーチャーを内包し、合計35個のMCPフィーチャーが用意されている。一例を示すと、モデルの信憑性フィーチャーグループは、次の7個のフィーチャーを内包している。個々のフィーチャーはプライマリキー（PK）及び他の複数のアトリビュート（属性）を内包している。

- ・モデルエンベロープ
- ・妥当性確認済の概念モデルの信憑性
- ・検証済の実行可能モデルの信憑性
- ・信憑性のアセスメント
- ・信頼された構成可能パターン（のID）
- ・パターンベースのモデル要求事項（汎用モデル要求事項パターンからの構成）

#### ・標準の遵守

「標準の遵守」のプライマリーキーアトリビュートは“標準”であり、モデル、モデル化、モデルのVVUQ、セキュリティ、情報技術に適用可能な標準、または他のモデルをサポートする標準を特定する。フィーチャーはオブジェクト指向プログラミングのクラスと考えられる。

フィーチャーグループのフレームワーク上に構築するモデル特徴付けパターンを図1 (b) に示す。文献[4]では、モデルに対する要求事項の標準形式がMCPで提供されれ

ば、シミュレーションベンダは自社のシミュレータ用のシミュレーションモデルを自動生成できると考えている。

### 3. 欧州におけるシステムズエンジニアリングと工学シミュレーションのモデルの統合の活動

英国のNAFEMSとINCOSEは2013年にSMS（System Modeling and Simulation）WG[6]を設立し、システムズエンジニアリングと工学シミュレーションのモデルの統合の活動を開始した。SMS WGによるSMSの説明は「MBSEの実施において、ひとまとめの部品、サブシステム、システム、及びプロセスを、明確に記述し、概念化し、設計し、分析し、検証と妥当性確認するために、複数の異なる分野にまたがる、機能、アーキテクチャ、及び振る舞いのモデル（物理、数理、及び論理の表現がある）を使うこと。」である。これに対し工学シミュレーションの説明は「物理に基づく数理（数値）モデル、論理モデル、及びモデルが表現する物理モデルから抽出した適切なデータを、概念、現実システム、現象、プロセスの表現として利用し、技術的要件及び運用における振る舞いを検討する。」である。SMS WGの活動の目的は「システムズエンジニアリングと工学シミュレーションのモデリングとシミュレーションの視点を組み合わせ、ライフサイクル全体で、システムズエンジニアリングに必要なコミュニケーションと調整を改善すること。」である。

SMS WGには複数の焦点技術チームがある。SMS標準エコシステムチームはMBSEと工学シミュレーションのモデルの統合を可能にする適切な国際標準の成熟度と産業適用を確認し促進している。SMS標準エコシステムチームは次の標準に注目している。

- ・Modelica協会の標準. FMI/FMU, SSP (System Structure and Parameterization)
- ・システムズエンジニアリング利用を前提とする航空宇宙産業の標準. ISO10303-209:Application protocol: Multidisciplinary analysis and design (空力弹性関連), ISO10303-243:Application protocol: For modelling and simulation information in a collaborative systems engineering context (MoSSEC)，及びMBSEのためのNAS9300-520 (Long term archiving and retrieval of analytical models described by specification or executable code, containing differential, algebraic, and discrete equations) .

・Web標準. OSLC(Open Services for Lifecycle Collaboration)他。

・OMG標準. ReqIF(Requirements Interchange Format), SysML(Systems Modeling Language), UAF(Unified Architecture Framework)他。

SMSモデリング&メタデータチームは、SMSのモデリングとモデル特徴付け、及びメタデータの扱いの標準化の動向を調査・検討し、次のメタデータに注目している。

- ・NAFEMS傘下のASSESSが推進するUMC4ES (Unified

## Model Characterization for Engineering Simulation)

[7]

- NAS9300-520

・システムズエンジニアリングにおけるシミュレーション用メタモデルの標準形式であるMIC (Model Identification Card)

- OAIS (Open Archival Information System)
- INCOSEが推進するMCP
- MoSSEC

SMSモデリング&メタデータチームは、これらモデル特徴付けのカテゴリーとメタデータの比較とマッピングを支援している。UMC4ESは、MCPのデータ構造と内容を拡張し、MoSSEC、MIC、AP209を取り込む方針で開発されている。

## 4. ISO26580

ISO26580[8]はフィーチャーベースのシステムとソフトウェアのプロダクトラインエンジニアリング (Feature-based Product Line Engineering) の規格であり、フィーチャーベースPLEファクトリー (図2) を規定している。

ISO26580では、多様な顧客要求事項に対応するバリエーションを有する製品ファミリーを、製品のフィーチャーのツリー構造であるフィーチャーカタログとして表現する。フィーチャーカタログが表現する製品ファミリーの全ての製品は予め設計、検証、妥当性確認が済んでおり、製品データは製品データベースであるシェアドアセットスーパーセットに格納されている。製品コンフィグレータを使い、個別の顧客の1つ1つの要求事項を満たすフィーチャーを、フィーチャーカタログのフィーチャーツリーから選択する。次に、選択結果としての、個別の製品のフィーチャーツリーであるフィーチャー表ポートフォリオ (Bill of Features Portfolio) に対応する製品データをシェアドアセットスーパーセットから引き出すことにより、個別の製品のデータであるプロダクトアセットインスタンスが得られる。プロダクトアセットインスタンスには製品組み立て後の試験関連データ等も含まれる。製品は製品データに基づき製造され、組み立てと試験を経て出来上がる。

MCPを利用した工学シミュレーションの要求事項の標準形式に対し、要求事項を満たす工学シミュレーションの仕様をフィーチャーの集合として、ツリー構造の工学シミュレーション・フィーチャーカタログの形式で整理しておくことにより、既存のシミュレーションのデータを利用した、シミュレーションデータの自動生成（シミュレーションデータの自動的再利用）が実現可能と考えられる。シミュレーションベンダでの製品化に期待したい。

## 5. 結 言

欧州と米国で進められている、システムズエンジニアリングのモデルと工学シミュレーションのモデルの統合活動について述べた。また、フィーチャーベースのプロダ

クトラインエンジニアリングの考え方に基づく、工学シミュレーションの要求事項の標準形式MCPからのシミュレーションデータの自動生成（シミュレーションデータの自動的再利用）の可能性について述べた。

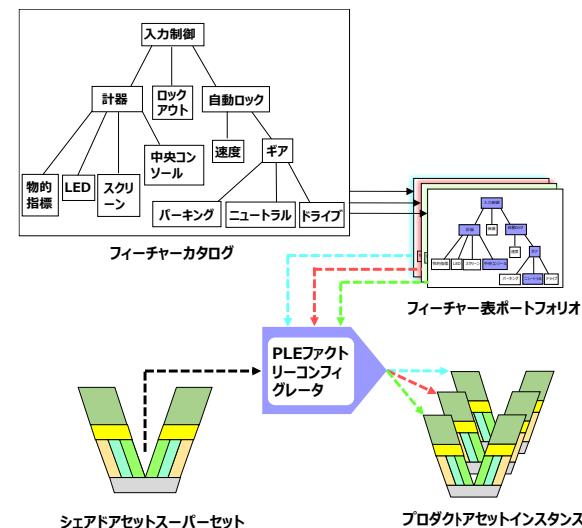


図2 フィーチャーベース PLE ファクトリー[8]

## 参考文献

- [1]例えば、ダニエル・クロブ、岡部英幸、システムズエンジニアリングとフランス産業界の動向、日本機械学会誌, Vol.119 No.2277, pp.650-653, 2016.
- [2]Giachetti, R., Digital Engineering. [https://sebokwiki.org/wiki/Digital\\_Engineering](https://sebokwiki.org/wiki/Digital_Engineering)
- [3]吉田有一郎, システムズエンジニアリングのV&Vと工学シミュレーションのV&V, 第27回計算工学講演会, 2022.
- [4]The Model Characterization Pattern (MCP). [https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:patterns:model\\_characterization\\_pattern\\_mcp\\_v1.9.3.pdf](https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:patterns:model_characterization_pattern_mcp_v1.9.3.pdf)
- [5]Schindel, B., Verification and Validation Interactions with the Model Life Cycle: Status of a VV50 Working Group, ASME Virtual Symposium on Verification and Validation, May19-20, 2021. [https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:patterns:model\\_life\\_cycle\\_working\\_group\\_status\\_v1.2.5.pdf](https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:patterns:model_life_cycle_working_group_status_v1.2.5.pdf)
- [6]Coleman P., Systems Modeling & Simulation (SMS) Working Group Update for MBSE workshop-30 Jan 2022, 2022 Annual INCOSE international workshop, Torrance, CA, USA, Jan29-Feb1, 2022. [https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:incose\\_mbse\\_iw\\_2022:iw2022\\_smswg\\_update.pdf](https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:incose_mbse_iw_2022:iw2022_smswg_update.pdf)
- [7]ASSESS Efforts for a Unified Model Characterization for Engineering Simulation (UMC4ES), An ASSESS Insight Webinar Presentation, Feb 2021, 2021. <https://www.assessinitiative.com/wp-content/uploads/ASSESS-Efforts-for-Uniform-Model-Characterizations-for-Engineering-Simulation.pdf>
- [8]ISO/IEC 26580:2021, Software and systems engineering—Methods and tools for the feature-based approach to software and systems product line engineering, 2021.