

# 航空・宇宙機向け Software Defined 実現のための MBSE(Model-Based Systems Engineering)適用

～より柔軟な安全保障向けソリューション実現へのアプローチ～

堀内 隆志† 福島 信純† 西川 和宏†

三菱電機株式会社 鎌倉製作所†

## 1. はじめに

近年わが国を取り巻く安全保障環境が急激に変化しており、情勢変化に対し素早くかつ柔軟に対応できる安全保障向けソリューション(ex.航空・宇宙機システム)の実現が求められている。

一方、ソフトウェア(S/W)でシステム機能を実現し S/W アップデートにより継続的にソリューション全体の価値を向上し続ける Software Defined(SD)という概念が浸透してきている。

我々は大規模化・複雑化が進む航空・宇宙機システムで SD を可能にする Software Defined Anything(SDx)実現を目指す[1]。SDx は 1)システム設計, 2)開発・運用, 3)システム試験の 3 プロセスで実現される。概要を図 1-1 に示す。

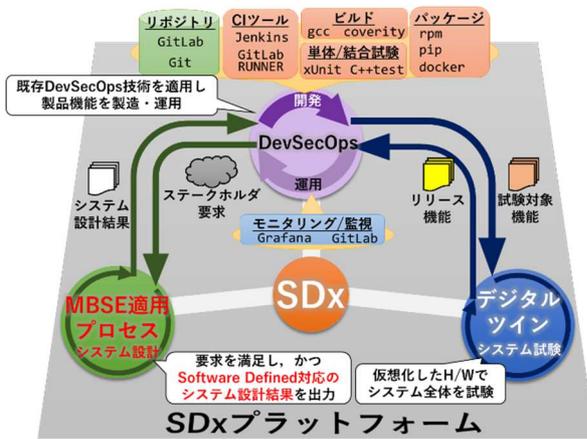


図 1-1 SDx 概要

図 1-1 より、SDx の各プロセスは表 1-1 に示す 3 つの実現プロセスにより実現を狙う。

本稿では表 1-1 (1)に示す MBSE プロセスを適用したシステム設計プロセスを提案する。以降では MBSE 適用プロセスの流れ、及び、MBSE 適用プロセスにおける今後の課題を述べる。

MBSE (model-based systems engineering) for software defined aerospace systems.

Takashi Horiuchi†, Nobusumi Fukushima†, Kazuhiro Nishikawa†  
†Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

表 1-1 SDx 実現に必要な要素

| NO  | プロセス   | 実現プロセス                                 | 実現事項  |
|-----|--------|--|---|
| (1) | システム設計 | Model-Based Systems Engineering (MBSE) | S/W 更新のみでシステムの機能・性能向上が可能なアーキテクチャ担保                          |
| (2) | 開発・運用  | DevSecOps                              | システム機能における開発-運用からのフィードバック間の連携                               |
| (3) | システム試験 | デジタルツイン                                | 仮想化した H/W を利用し S/W のみでシステム全体に渡る試験(システム試験)を行い、システム機能リリースを早期化 |

## 2. 課題

### 2.1. 航空・宇宙機 システム開発の課題

航空・宇宙機システムは部品点数が 100 万を超える大規模システムであり H/W・S/W 等複数技術分野から成る。またシステムの高性能・高機能化に伴う個別技術の高度化、システムの大規模・複雑化、ニーズ変化の高速化に伴う短納期化が求められている。一方、従来の Systems Engineering(従来 SE)では解決できない問題が存在する(表 3-1 “従来 SE の課題に対する本稿プロセス目標”列)。従来 SE は文書記述の仕様を基にした設計・開発のため、複雑化したシステム全体像の把握が難しい(課題①)。また異なる部門・技術分野を跨ぐインタフェース部分で認識齟齬に起因した不具合が発生しやすい(課題②)[2]。

### 2.2. SD 実現のためのシステム設計の課題

航空・宇宙機システムは H/W の交換・換装が容易ではないためソリューションの価値向上にはシステム機能の SD 化が必要である。システム機能のアップデート性向上のため、1)システム機能間の疎結合化、2)システム機能の H/W 依存性低減の 2 点の実現が必要である(課題③)。一方、

従来システムではシステムの機能構成・機能配分を固定化し作り込むことで性能・高信頼性を達成してきた。性能・高信頼性とSD化の両立にはシステム機能実現手段の最適設計および機能への性能配分の検討が必須である(課題④)。

### 3. MBSE 適用プロセスの構築

#### 3.1. プロセス構築の目的と対策

従来SEの課題及び対策を表3-1に示す。

表3-1 従来SEの課題及び対策

| LN | 従来SEの課題に対する本稿プロセス目標                       | 課題への対策 (MBSE適用プロセス指針)   |
|----|---|---|
| ①  | システム全体の可視性の確保・向上                          | (1-1)MBSEモデル(モデル)化によるシステム全体像/システム機能間の関係明確化<br>(1-2)MBSEモデリングツール(ツール)上でのトレーサビリティ一元管理によるシステム全体のモデル統合<br>(1-3)モデル化による作業仲間意思疎通の促進 |
| ②  | 部門/技術分野間の認識齟齬低減                           | (2-1)運用構想(ConOps)を立脚点としたシステム要求を定義と、システム方式設計へのブレークダウン実施<br>(2-2)ブレークダウン後のシステム構成要素の、S/W実現部分(=SD対象)とH/W実現部分の最適配分を検討する設計プロセス構築    |
| ③  | S/W更新可能なシステム機能の識別・分離                      |   |
| ④  | S/Wで実現する機能と既存設計(H/W)両方に対する最適設計および機能への性能配分 |   |

#### 3.2. MBSE 適用プロセス

MBSEによる設計プロセスを図3-1に示す。

##### 3.2.1. ステークホルダ要求分析フェーズ

ステークホルダ要求の実現に必要な機能を抽出する。従来SEでは既存システム構成を踏襲したためシステム機能の追加・変更が困難な場合があった。MBSE適用プロセスではまずConOpsを分析し(分析では機能のS/W, H/Wへの割付は行わない)、運用に柔軟性を要する機能(=SD化対象システム機能)を特定する。フェーズ成果物はシステム機能一覧およびSD化対象システム機能である(対策1-1, 2-1)。

##### 3.2.2. システム設計フェーズ

前項定義のシステム機能に対する要求, 振舞, 構造を要求図, ブロック定義図, アクティビティおよびシーケンス図としてモデル化する。モデル化の際S/W-H/W間の機能配分及び機能間I/Fを定義する(対策1-2)。システム機能を実現するS/W・H/W機能の関連をモデルで一元

管理するためステークホルダ間で抜け漏れない機能・I/Fの把握が可能となる(対策1-3)。

##### 3.2.3. H/W・S/W設計フェーズ

前項定義のH/W・S/W機能の詳細な実現手段を検討する。設計具体化に伴い既存設計資産(資産)を流用可能なケースが発生する。一方で資産がシステム設計と整合しない場合もあり得る。不整合解消方法として以下2点がある。

- A) システム設計に合わせ資産を改修する。
- B) 資産に合わせシステム設計を修正する。  
ツール上でH/W・S/W設計→システム設計へ遡上し関連性のある上位設計要素及びシステム他構成要素を修正する。

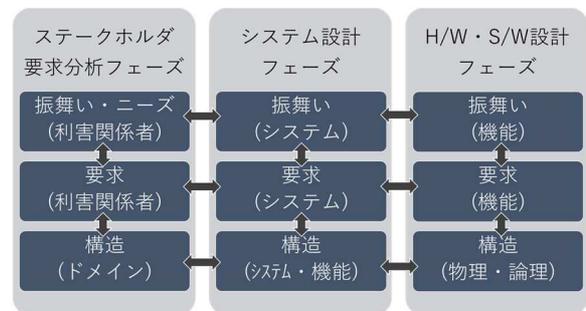


図3-1 設計の階層構造と観点

A), B)いずれの場合でもツール機能を利用し機能間の関係性を漏れなく検証可能である。

### 4. おわりに

航空・宇宙機システムにおいてSDを実現する際の課題を挙げ、解決手段としてMBSEを適用した設計プロセスを提案した。また、本稿執筆段階では、実システム開発を踏まえ本稿未達の(対策2-2)実現方法を検討中である。性能・高信頼性とSD化の両立のため、既存設計とSD化した設計を比較できるよう、既存設計も要求からモデル化する手段が考えられる。トレースを元に既存設計とSD化設計とをツール上で比較検討できることを目指す。

### 5. 参考文献

[1] 青柳 他, "航空宇宙向け Software Defined アーキテクチャの設計", 情報処理学会第85回全国大会, 2023  
 [2] 西川 他, "宇宙機・人工衛星開発における Architecture Vee 構成レイヤ間のインタフェース構築による認識齟齬防止", 第66回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2022-4605-3L01, 2022