

人工衛星搭載ソフトウェアにおけるモデルベース開発の適用

八木 史也[†] 志村 奈緒人[†] 荻野 慎平[†] 平山 芳和[†]三菱電機株式会社 鎌倉製作所[†]

1 はじめに

近年、人工衛星は通信や観測、惑星探査などの様々なニーズに応じて役割が多様化し、需要が急速に高まっている。我々は、様々な役割をもつ人工衛星を開発してきたが、今後は激しいニーズの変化や需要の高まりによって、さらに素早く、柔軟性のある開発を目指す必要がある。とくに、人工衛星搭載ソフトウェア (OBS: On-board Software) においては、ニーズの変化に追従して柔軟に変更を可能とし、短期間で効率的に開発を進めることが重要となる。また、宇宙環境で持続的にサービス提供を可能とするための品質を維持することも重要となる。このような課題の解決策として、モデルベース開発 (MBD: Model Based Development) が有効と考える。MBD は、開発プロセスの上流フェーズで設計とシミュレーションを繰り返し、開発の早い段階で誤りを検出し、品質の作り込みを可能とする。また、モデルからソフトウェアを自動生成することで、要求分析から製造までモデルの更新のみで変更の取り込みが容易となり、開発の柔軟性を高め、効率化が見込める。

本論文では、OBS 開発に MBD を適用するためのアーキテクチャや開発プロセスの設計、MBD 適用による OBS 開発の柔軟性や効率化、モデル/ソフトウェア品質を評価した結果について示す。

2 課題

2.1 アーキテクチャ設計

当社の OBS 開発手法では、従来からウォーターフォール開発を採用している。この開発手法は、要求分析から設計、製造、試験と順に厳密なレビューや審査を通してフェーズ移行するため、品質や進捗の管理がしやすいことを特徴とする。一方、開発中の仕様変更や開発後期での不具合発生による手戻りのインパクトが大きく、開発スケジュールの遅延や開発コストの悪化につながる場合がある。これは、近年のニーズの変化や需要の急速な高まりに対する OBS 開発上の主となる課題として、2つに整理される。

課題①：仕様変更による手戻りに対して効率的で柔軟な対処が必要

課題②：不具合による手戻りに対して開発の早期に品質の担保が必要

仕様変更による手戻りは、顧客からの要求やシステムの成立に必要な変更がほとんどであり、効率的かつ柔軟に対処する必要がある。

The application of MBD (Model Based Development) to the satellite on-board software

[†]Fumiya Yagi [†]Naoto Shimura [†]Shimpei Ogino

[†]Yoshikazu Hirayama

[†]Kamakura Works, Mitsubishi Electric Corporation.

不具合による手戻りは、設計、製造、試験のどこでも発生する可能性があり、試験のような開発後期になるほど、要求分析から製造まで完了したフェーズへの手戻りが発生し、スケジュールの遅延に大きく影響する。そのため、開発の早期に不具合を検出する仕組みで品質を作り込んでいく必要がある。

3 方法

3.1 開発プロセス設計

2章で示した課題①と課題②を解決するために、大規模システムにおける開発早期のシミュレーションやソフトウェア開発の効率化という観点で MBD 手法が有効と考えた。OBS 開発における MBD 適用プロセス概要を表 1 に示す。表中には、OBS 開発フェーズごとの MBD 適用プロセスと課題、期待する効果の対応を示している。課題①に対しては、設計、製造、試験の作業に自動化の仕組みをつくることで作業の効率化を図る。また、自動化が手戻りによる負担の低減につながり、仕様変更に対する柔軟性を確保する。課題②に対しては MILS (Model-in-the-Loop Simulation) 環境とモデルを活用することで、シミュレーションと設計の繰り返しを可能とする。これにより、要求仕様と設計の確度を向上し、開発の上流フェーズで品質の作り込みを図る。また、ソフトウェア試験において、シミュレーションケースを再利用することで、ソフトウェアの妥当性確認を齟齬なく進めることができる。

表 1 OBS 開発における MBD 適用プロセス概要

フェーズ	MBD適用プロセス	課題	期待する効果
要求分析	MILS環境を活用して要求仕様を具体化する	課題②	・要求仕様誤りや漏れ防止による品質の担保
設計	MBDツールを活用してモデルを自動チェックする	課題①	・設計レビューの効率化
	シミュレーションから誤りや改善をモデルに反映する	課題②	・手戻り負担低減で柔軟性向上
製造	MBD環境でソフトウェアを自動で製造する	課題①	・ソフトウェア製造の効率化
		課題②	・手戻り負担低減で柔軟性向上 ・人為的なミス排除
試験	シミュレーションケースをソフトウェア試験に再利用する	課題①	・試験の効率化
		課題②	・手戻り負担低減で柔軟性向上 ・人為的なミス排除
	シミュレーション結果を妥当性確認に活用する		・妥当性確認の明確化による品質の担保

3.2 アーキテクチャ設計

OBS アーキテクチャ概要を図 1 に示す。OBS は、計算機に搭載され、主にアプリケーション層、ミドルウェア層、OS 層に分かれる。OBS のひとつに姿勢制御系ソフトウェア (ACFS: Attitude Control Flight Software) がある。ACFS の機能は、大まかに姿勢制御機能とインタフェース制御機能に識別される。姿勢制御機能に対しては、MILS 環境を構築してモデルから CSU (Computer Software Unit) を自動で生成する。CSU は、1

つの機能をもつソフトウェアを分割した最小の単位を示す。モデルから CSU を自動生成することで、要求分析で確認したアルゴリズムやロジックと齟齬のないソフトウェアを製造できる。一方、ACFS のインタフェース制御機能は、ハードウェア層、OS 層、ミドルウェア層の仕様に依存するため、過去開発のソフトウェアコンポーネントを再利用し、MBD 適用対象と分離する。MILS 環境は、MATLAB[®] /Simulink[®] (MathWorks, Inc. の登録商標) の S-function 機能により、衛星や宇宙環境を模擬する衛星模擬ソフトウェア (DTS: Dynamics Test Software) からプラントモデルを生成して構築する。[1]

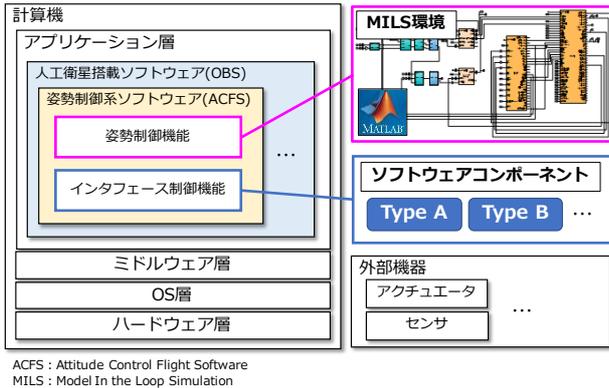


図 1 OBS アーキテクチャ概要

4 MBD 適用結果

ACFS におけるリアクションホイール (RW : Reaction Wheel) の速度ループ制御機能に MBD を適用した結果を示す。課題①、課題②を解決するため、OBS 開発の柔軟性向上、効率化、モデル/ソフトウェア品質担保の観点で、MILS 環境によるモデル作成、モデルからソフトウェアの自動生成、モデルとソフトウェアの等価性について評価した。

4.1 MILS 環境によるモデル作成

RW 速度ループ制御機能は、目標の角運動量を入力すると、閉ループ制御で RW に対する制御量を出力する。MILS 環境を活用し、モデル作成とシミュレーションを繰り返し行った。結果として、改善点や誤りを要求仕様や設計にフィードバックしながら進め、要求仕様に適合するモデルを作成でき、開発の柔軟性とモデル品質担保の観点で有効なことを確認した。

4.2 モデルからソフトウェアの自動生成

モデルから CSU を自動生成し、モデル解析、モデル単体試験、ソフトウェア静的解析を行った。モデル解析では、MBD ツールを活用してモデルの文法エラーや当社ガイドライン違反などを自動でチェックした。また、モデル単体試験では、モデルの判定 (DC) カバレッジを網羅する試験ケースを自動で生成し、期待値と合致する結果が得られた。これらにより、効率的にモデルの品質が担保されていることを確認した。ソ

フトウェア静的解析では、モデルから自動生成した CSU に対して、文法エラーやゼロによる除算などの誤りがないことを確認した。モデルから自動生成した CSU に対して、ソフトウェア品質が担保されていることを確認した。

4.3 モデルとソフトウェアの等価性

モデルとソフトウェアの等価性は、モデルから自動生成した CSU と、その他すべての CSU を結合した ACFS に対して MILS 環境での振る舞いと等価であることを確認した。モデルと自動生成した CSU の等価性は、モデル単体試験ケースを再利用することで、効率的に CSU の振る舞いと一致することを確認した。モデルと ACFS の等価性は、MILS 環境のシミュレーションケースを再利用することで、効率的にワークステーション上および計算機上の ACFS の振る舞いが等価であることを確認した。RW4 台における速度ループ制御機能の等価性評価結果を図 2 に示す。ワークステーションおよび計算機上の試験結果は、MILS 環境によるシミュレーションと振る舞いが一致したことで、モデルとソフトウェアの等価性を確認し、ソフトウェア品質が担保されていることを確認した。

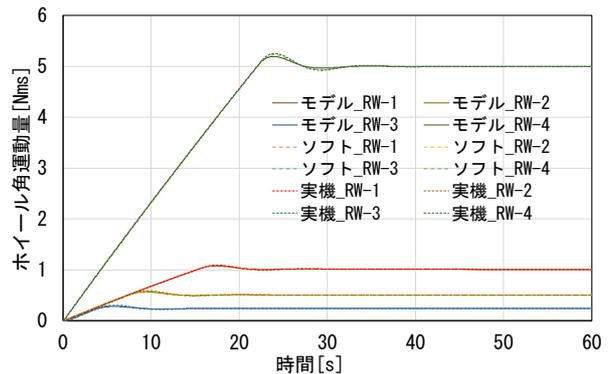


図 2 RW4 台における速度ループ制御機能の等価性評価結果

5 まとめ

OBS 開発における仕様変更と不具合による手戻りの課題に対して、MBD の適用を試みた。課題①に対しては、要求分析から製造までモデルを効率的に変更可能な仕組みを取り入れたことで柔軟性を高めた。また、MBD ツールを活用したプロセスにより、作業を効率化することができた。課題②に対しては、シミュレーションと設計の繰り返しで品質を作り込み、試験からの手戻りもなく、ソフトウェア品質を担保して開発を進められた。これらの結果により、MBD 適用プロセスの継続的な改善は必要だが、適用を拡大していくことで更なる効果が見込めることを示した。

6 参考文献

[1] 志村 他, "衛星開発プロセスにおける MBD (Model-Based Development) 適用のためのモデル環境構築", 第 85 回全国大会講演論文集, 2023(1), 155-166, 2023.