

1A04 小規模チームによる衛星管制システムの開発と スケーラビリティの実現

○三吉貴大, 小林和弘, 藤田朱門, 石川晃寛, 小林秀和, 佐藤雄一
(株式会社アークエッジ・スペース)

Developing a Scalable Satellite Control System by a Small Team
Takahiro Miyoshi, Kazuhiro Kobayashi, Shumon Fujita, Akihiro Ishikawa, Hidekazu Kobayashi and
Yuichi Sato (ArkEdge Space Inc.)

Keywords: Satellite Operations, Ground Segment, Agile Development, DevOps

Abstract

Aegs (ArkEdge Ground Segment) is a cloud-native satellite control system developed by a small Scrum team. It adopts a microservices architecture and DevOps practices, enabling scalability for growing satellites, diverse ground stations, and operator-driven automation.

1. はじめに

衛星コンステレーションによるサービス提供において、地上システムのスケーラビリティは重要な課題である。地上システムが衛星や地上局の増加に容易に対応できなければ、サービスの拡大や安定的な提供は困難となる。衛星ビジネスを取り巻く環境は激しく変化しており、サービスの競争力を維持するには、地上システムも迅速かつ柔軟に拡張できなければならない。

本稿では、株式会社アークエッジ・スペースが開発する衛星管制システム「Aegs (エイジス: ArkEdge Ground Segment)」を紹介する。Aegsは、従来の衛星管制システムと異なり、クラウドネイティブなアーキテクチャを採用し、パブリッククラウドのスケーラビリティを最大限に活用している。加えて、スクラムやDevOpsといったアジャイル手法を導入し、5名以下の小規模チームながら衛星の増加に短期間で対応してきた。

Aegsの設計は2023年12月に始まり、2024年5月に開発が着手した。2024年12月にアークエッジ・スペースのAE1b衛星の運用開始に伴い、本番稼働を開始した。さらに、2025年1月からAE1cとAE1d、2025年6月からAE2aとAE3Vaの運用にも活用されている。これらの衛星運用と並行して継続的な改善を進めており、本稿ではその成果を通じてAegsのスケーラビリティの有効性も示す。

2. システムアーキテクチャ

Aegsは設計当初から、以下の3種類のスケーラビリティを重視した。

- 異なるインターフェースを持つ地上局の追加への対応
- ミッションの異なる複数衛星の並行運用への対応
- 衛星運用者自身による拡張や自動化への対応

これらを実現するため、5つの主要なサービスからなるマイクロサービスアーキテクチャを採用している。図1にAegsのアーキテクチャ概要を示す。矢印の向きは依存の方向を表す。以下、それぞれのスケーラビリティをどのように実現しているかを述べる。

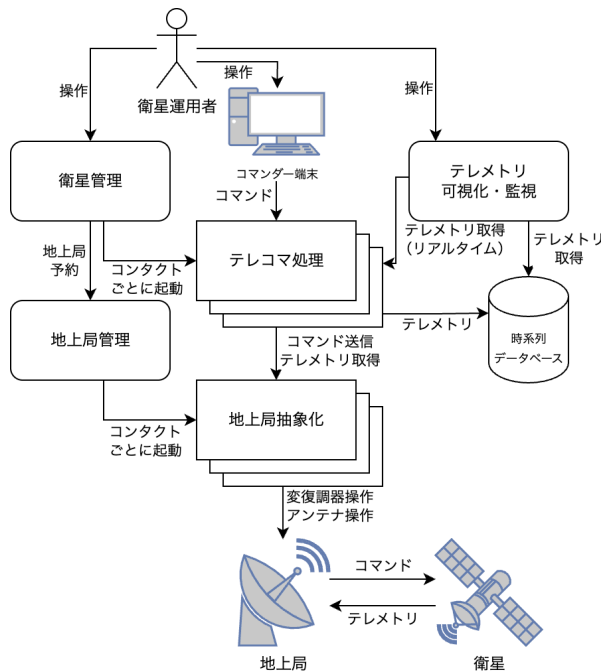


図1 Aegsのアーキテクチャ

まず、自社で所有する地上局や社外の地上局サービスなどのインターフェースの差異を吸収するため、「地上局抽象化」サービスと「地上局管理」サービスを設けた。前者は衛星コンタクト時における地上局ハードウェアのインターフェースを抽象化し、後者は地上局ごとの設定や利用予約などを管理する。これにより、上位のサービスは地上局の違いを意識せず動作できる。

次に、「テレコマ処理」と「衛星管理」サービスは、ミッションの異なる衛星の並行運用を可能にするた

めのものである。「テレコマ処理」サービスは、主に衛星とのコンタクト時におけるテレメトリ・コマンド（テレコマ）の汎用的なシリアライズやデシリアライズを担う。「衛星管理」サービスは、衛星ごとのテレコマのフォーマットを管理し、コンタクトごとに「テレコマ処理」サービスに渡す。さらに、複数コンタクトを同時に実行するため、コンタクト時にのみ必要な「テレコマ処理」と「地上局抽象化」サービスは、サーバレスなコンテナ実行環境でコンタクトごとに起動し、容易に水平スケール可能としている。

最後に、衛星運用者による拡張や自動化のため、「テレメトリ可視化・監視」サービスにはオープンソースソフトウェアの Grafana²⁾を採用した。Grafanaは大量のテレメトリを柔軟に可視化・分析できるとともに、ダッシュボードの拡張やアラート管理を運用者自身が行える点で適していた。また、その他のサービスもAPIを提供し、外部ツールとの連携や自動化を可能とすることを目指している。

これらの設計により、Aegsは衛星数・地上局数・運用要求の増加に対して、効率的にスケールするアーキテクチャを実現している。

3. アジャイル開発体制

数ヶ月ごとに衛星が増えていく変化の激しい環境において、運用から得られた知見を迅速にプロダクトに反映するため、Aegs開発チームでは、アジャイルフレームワークとしてスクラムを採用し、DevOpsのプラクティスを実践している。

スクラムガイド³⁾によれば、「スクラムとは、複雑な問題に対応する適応型のソリューションを通じて、人々、チーム、組織が価値を生み出すための軽量級フレームワークである。」スクラムでは、スプリントと呼ばれる短い開発サイクルを繰り返しながら、プロダクトの価値を漸進的に高めてゆく。2025年8月現在、Aegsのスクラムチームは1名のプロダクトオーナーと3名の開発者で構成され、開発者のうち1名がスクラムマスターを兼任している。プロダクトオーナーは衛星運用の経験者だが、開発者は当初運用経験を持たなかった。衛星運用という複雑な問題に対して、実運用を通じて適応的に改善を重ねるうえで、スクラムは適した開発体制であると判断した。

DevOpsは、Development（開発）とOperations（運用）の連携を強化し、ソフトウェアの変更を迅速かつ安定して本番環境に届けるための考え方である。Forsgrenらは、DevOpsのプラクティスの実践が変更失敗率や復旧時間などのソフトウェアデリバリー性能を改善し、さらに組織のパフォーマンスや事業成果とも相関することを示している⁴⁾。

Aegs開発チームでは、これらの知見に基づきDevOpsのプラクティスである継続的デリバリーを重視している。開発者自身がデプロイメントパイプラインを構築し、変更は可能な限り小さな単位とし、速や

かに本番環境へリリースすることを原則とした。これにより、衛星数の増加に伴う頻繁な更新や障害対応にも迅速に対応できる体制を構築している。

さらに、衛星管制システムの開発と衛星運用を統合するさらなるDevOpsの実践として、AE2aの運用はAegs開発チームが主体となって実施している。開発者が自らプロダクトのユーザとなることで、より短いフィードバックループを実現し、改善サイクルを加速させている。

4. 6U衛星運用におけるAegsの実績と改善

アークエッジ・スペースが開発する6U汎用衛星バスを搭載した5機の衛星⁵⁾は、すべてAegsを利用して運用されている。2024年12月10日のAE1b運用開始から2025年8月末現在までに、2341回の衛星コンタクトを実施した。

この間、Aegsのすべてのサービスを合計して420回のデプロイを本番環境で実施した。1営業日あたりの平均デプロイ回数は2.4回であり、1日に複数回のデプロイ頻度を実現できている。デプロイ起因でコンタクトが実施できなくなった障害は2回のみで、変更失敗率は0.5%以下、平均復旧時間は42分であった。これらの値はソフトウェア開発組織のパフォーマンス指標⁶⁾に照らしても高水準である。変更リードタイムは計測できていないが、2024年のDORAレポート⁶⁾に基づけば、エリートレベルに相当する開発体制を達成している。

また、継続的デリバリーにより短いサイクルで改善を重ね、本番稼働後も以下のような機能を導入した。

無人テレメトリ監視 コンタクト時刻に地上局追尾とテレメトリ送信を事前予約することで、人員配置なしに衛星の状態確認を可能にした。

自動コマンド送信 定常的な運用コマンドを人間の操作を介さずに送信できるようにした。

コマンドスクリプトの静的検査 衛星に送信するコマンドスクリプトの型検査を継続的インテグレーションに組み込み、実行時エラーを大幅に削減した⁷⁾。

運用計画管理のシステム化 スプレッドシートを廃止し、Aegsで運用計画を一元管理するとともに、社内予定管理システムと連携できるようにした。

今後も6U衛星や利用地上局の増加が見込まれるが、Aegsの継続的な開発により、衛星運用のさらなる省力化とスケールを目指していく。

参考文献

- 1) Lewis, James, Fowler, Martin. Microservices. 2014. <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>, (参照 2025-09-12).

- 2) “Grafana OSS and Enterprise”. Grafana documentation. <https://grafana.com/docs/grafana/v12.1/>, (参照 2025-09-12).
- 3) Schwaber, Ken, Sutherland, Jeff. スクラムガイド. 2020. <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Japanese.pdf>, (参照 2025-09-12).
- 4) Forsgren, Nicole, Kim, Gene, Humble, Jez. Lean と DevOps の科学. インプレス, 2018.
- 5) 船曳敦漠, 石川晃寛, 秋間敏史, 徳田正章, 鈴木聡宏. “6U 汎用衛星バスの複数機製造および軌道上動作実績に関する報告”. 第 69 回宇宙科学技術連合講演会. 1A02, 2025.
- 6) Accelerate State of DevOps 2024. DevOps Research and Assessment, 2024. <https://dora.dev/research/2024/dora-report/>, (参照 2025-09-12).
- 7) 小林和弘. 衛星運用の実際と、効率化のために型システムを実装した話. 2025. <https://blog.arkedg.space/entry/2025/04/24/080000>, (参照 2025-09-12).