

小型衛星 SDS-4 の運用システム

森下 拓往^{*1} 三浦 尚幸^{*1} 西村 尚樹^{*1} 井上 浩一^{*1} 木村 真一^{*2}

Operation system for Small Demonstration Satellite-4 (SDS-4)

Hiroyuki Morishita^{*1}, Yoshiyuki Miura^{*1}, Naoki Nishimura^{*1}, Koichi Inoue^{*1}
and Shinichi Kimura^{*2}

Abstract – It is only 10 minutes at one time to communicate with satellites in low earth orbit. Small Demonstration Satellite-4 is one of satellites in low earth orbit, therefore we have to finish all of satellite operation work, such as checking satellite conditions, sending control commands and receiving mission data, within 10 minutes. In this paper, Overview of satellite operation and features of SDS-4 operation system are described.

Keywords: Operation system, small satellite, telemetry and command

1. はじめに

人工衛星は宇宙空間へ輸送された後、無線通信で地上とのデータのやり取りを行う。地球に近い軌道を周回する小型実証衛星 4 型 (Small Demonstration Satellite-4, SDS-4) の場合、衛星－地上間で常時通信することは出来ず、1 回の通信時間は 10 分程度、通信の回数は 1 日当たり 2 回程度である。人工衛星の運用作業では、この限られた時間の中で、衛星状態の確認、衛星取得データの地上への送信や実験指令の衛星への登録といった各種の作業を全て行う必要がある。

本稿では、このような作業を行うために開発した SDS-4 運用システムの概要と特徴、運用作業の負荷を評価するためにに行った実験の内容、結果および今後の課題について述べる。

2. SDS-4 運用システムの概要

2.1 人工衛星の運用とは

地球の周囲を周回する人工衛星と地球上にあるアンテナ (地上局) を介して通信を行うことを「人工衛星の運用」と言う。一般的に人工衛星の運用は、①人工衛星の基本機能の状態監視、データ取得および制御を行う「管制運用」、②人工衛星の用途 (ミッション) に応じた機能の状態監視、データ取得および制御を行う「ミッション運用」、③人工衛星の周回する軌道を知るために行う「レンジング運用」の 3 つに分類することができる。

どの運用をどの程度の頻度で行うかは、人工衛星への要求や運用方針によって異なり、SDS-4 の場合は管制運用とミッション運用を兼ねた運用を 1 日 2 回程度行っている。SDS-4 ではレンジング運用は他の運用と兼ねるこ

とが可能であるため、レンジング運用のみの運用は行っていない。

また、SDS-4 のような地球の比較的近くを周回する人工衛星の場合、人工衛星と地上局が常時通信を行うことは出来ず、人工衛星と地上局が通信できるタイミングや通信時間が限られており、この限られた時間の中で衛星の状態確認や各種指令の登録など、必要な作業を全て行う必要がある。人工衛星と地上局の通信時間や通信可能回数は、人工衛星の軌道や地上局の場所によって異なる。SDS-4 の場合、1 回の通信可能時間はおよそ 10 分間、通信可能回数は日本の地上局の場合で 1 日あたり 4 回程度である。

2.2 SDS-4 とは

SDS-4 は 2012 年 5 月 18 日、GCOM-W (しずく) および KOMPSAT-3 の相乗り衛星として、H-IIA ロケット 21 号機によって宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 種子島宇宙センターより打ち上げられた、50~100kg 級の小型衛星による技術実証を目的として JAXA が開発した 50kg 級小型衛星である^[1]。SDS-4 の外観を図 1 に、主要諸元を表 1 にそれぞれ示す。2015 年 7 月現在、SDS-4 は宇宙空間で 3 年以上の動作を続けており、予定していたミッション全てにおいて目標を超える成果を上げている^{[2]~[4]}。打ち上げから 3 年が経過した現在も衛星状態は良好である。

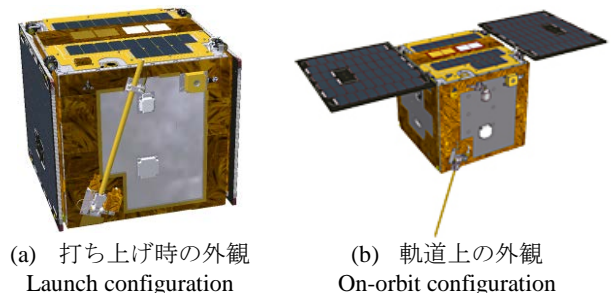


図 1 SDS-4 外観図

Fig. 1 Launch and on-orbit configuration of SDS-4

表 1 SDS-4 主要諸元

*1: 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門

*2: 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

*1: Aerospace Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency

*2: Department of Electrical Engineering, Tokyo University of Science

Table 1 Basic specifications of SDS-4

| 項目 | 仕様 |
|-------|---|
| 質量 | 50 kg |
| サイズ | 500 x 500 x 450 mm |
| 発生電力 | 120 W |
| 通信 | 2 GHz 帯 16 kbps / 1 Mbps (downlink) 4 kbps (uplink) |
| 軌道 | 太陽同期軌道 高度約 677 km |
| 打ち上げ日 | 2012 年 5 月 18 日 |

2.3 SDS-4 運用システム

SDS-4 の衛星運用を行う設備のうち、衛星状態の確認や指令送信の制御などを行う設備は、JAXA 筑波宇宙センターの小型衛星運用室に設置されている。地上局は JAXA の地上局ネットワークに接続されている世界中のアンテナを使用しており、地上局と小型衛星運用室はインターネットを介して接続されている（図 2）。

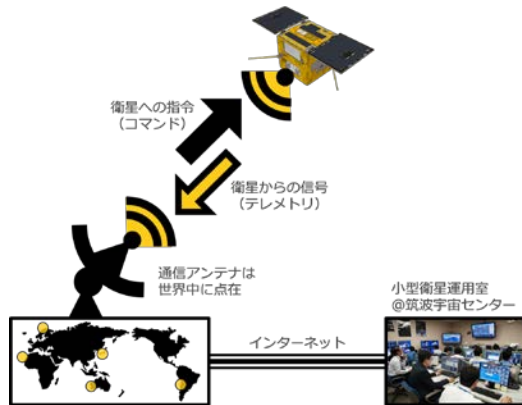


図 2 SDS-4—地上局—運用室のネットワーク

Fig. 2 Network between SDS-4, ground station and operation room

小型衛星運用室内には、運用の役割ごとに専用の端末が設置されており、さらに主系・従系の 2 系統が存在している。各々の端末は SDS-4 運用専用サーバを介して地上局と接続される。SDS-4 の運用体制を図 3 に、運用システムの構成を図 4 にそれぞれ示す。

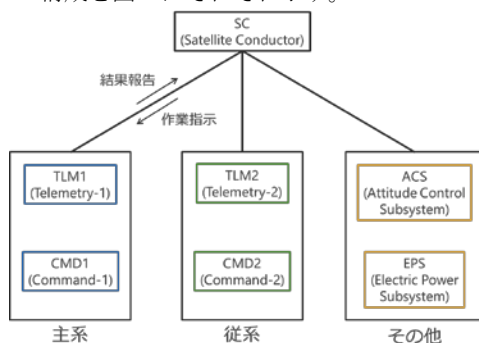


図 3 SDS-4 運用システムの運用体制

Fig. 3 Framework of SDS-4 operation system

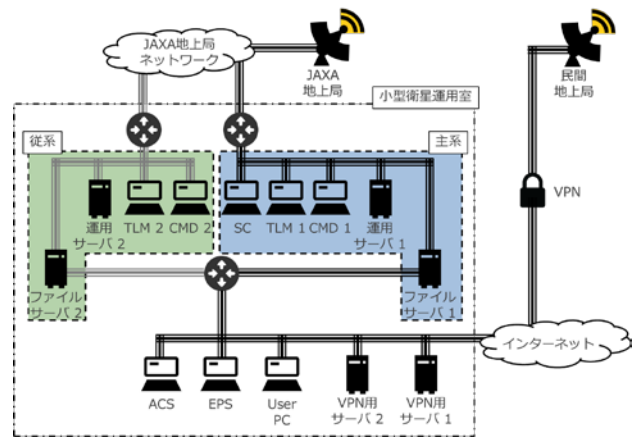


図 4 SDS-4 運用システムのネットワーク構成

Fig. 4 Network structure of SDS-4 operation system

Satellite Conductor (SC) は衛星運用の責任者であり、SC の指示に従って衛星運用は進められる。Telemetry (TLM) は、衛星からの信号（テレメトリ）の監視および衛星状態の判断を行う。Command (CMD) は SC の指示に従って衛星へ指令（コマンド）を送信する。

TLM および CMD は主系と従系に分かれており、片方の系で不具合が発生しても、もう一方の系を使用することで衛星運用が支障なく実施できるようになっている。

また、主系および従系の TLM と CMD 以外に、衛星姿勢制御 (ACS) や電源制御 (EPS) などの個別機能のチェックに特化した端末も用意されており、必要に応じてこれらの担当者も衛星状態の確認を行っている。

現在の SDS-4 の運用では、ミッション関連の運用時は SC と TLM1 の 2 名（TLM1 が CMD1 の役割も担当）、衛星からのデータ取得のみを行う場合は SC のみ（SC が TLM1 および CMD1 の役割も担当）の人員体制で運用作業を行っている。

2.4 運用の流れ

SDS-4 の運用作業の基本的な手順を以下に述べる。この各手順の中で、第 3 章にて述べる SC、TLM および CMD 用のソフトウェアが使用される。なお、以下では、衛星運用の開始タイミングである衛星からの信号受信開始を AOS (Acquisition Of Signal)、衛星運用の終了タイミングとなる衛星からの信号受信停止を LOS (Loss Of Signal) と記載する。

(1) AOS 前作業

地上局と運用室のネットワーク回線の接続、運用手順書 (Spacecraft Operation Procedure, SOP) の SC 用ソフトウェアへの読み出し、送信コマンドリストの読み出しなど、通信開始と同時に運用作業を開始できるように各端末のセッティングを行う。

(2) AOS 後作業

これから予定している運用を実施可能な状態か、予定していた実験が正常に完了しているかどうか

ど、衛星状態の確認を行う。衛星の基本的な状態確認がメインであり、運用の区分における①管制運用に相当する作業である。

(3) 取得データの衛星からのダウンロード

過去の実験で取得したデータを、衛星から地上へ送信する。SDS-4 の運用では、ミッション運用のデータと管制運用のデータを同時に取得することが多く、①管制運用と②ミッション運用の作業を同時に行っていると言える。

(4) ミッション実行用コマンドの送信

軌道上で所定の実験を行うためのコマンドを衛星へ送信する。②ミッション運用に相当する作業である。

(5) 衛星機能維持用コマンドの送信

基本的な衛星の機能維持のためのコマンドを送信する。①管制運用に相当する作業である。

(6) LOS 前作業

LOS 前に再度衛星状態の確認を行う。SDS-4 のような地球に近い軌道を周回する衛星の場合、一般に地上と常時通信することは出来ず、限られた通信時間で多くの作業を行うため、SDS-4 の場合は LOS 直前に衛星状態を改めて確認するようにしている。

AOS 後作業と同じく、衛星の基礎的な状態確認がメインであり、①管制運用に相当する作業と言える。

(7) LOS 後作業

地上局と運用室のネットワーク回線の切断、衛星から取得したデータのデータベースへの登録など、運用後の後処理を実施する。

SDS-4 の通信時間は 1 回につき 10 分程度であるため、この 10 分の間に上記の(2)～(6)の作業をすべてこなす必要がある。1 回の衛星運用の大まかなタイムスケジュールは図 5 に示す通りである。

| 作業内容 | AOS後作業 | データDL コマンド登録 | ミッション用 コマンド登録 | 機能維持用 コマンド登録 | LOS前作業 |
|---------|--------|-----------------|------------------|-----------------|--------|
| 作業時間 | 1～2分 | 1分* | 0～4分 | 0～2分 | 1分 |
| 合計10分以内 | | | | | |

* データDLはコマンド登録後、LOSまでバックグラウンドで実施

図 5 SDS-4 の運用タイムスケジュール

Fig. 5 Time schedule of SDS-4 operation

3. SDS-4 運用ソフトウェア

3.1 SC 用ソフトウェア

SDS-4 の運用作業において、SC は運用の責任者であり、運用作業時は作業の進行状況の管理および TLM・CMD への作業指示を出すことがメインの作業となる。この作業を支援するために使用するソフトウェアが、図 6 に示す「SOP 記録ソフトウェア」である。本ソフトウェアでは、SOP の内容に従って、SC の進捗管理作業の支援や作業記録を行う。



図 6 SC 用 SOP 記録ソフトウェア

Fig. 6 SOP recording software for Satellite Conductor

SOP 記録ソフトウェアは、大きく分けて 4 つの要素(基本設定欄、SOP 概要欄、SOP 詳細内容欄、進捗記録欄)から構成されている。

基本設定欄では、運用作業者名の記録、各回線の接続・切断、読み出す SOP の選択など、運用を行うにあたっての基本的な情報の設定を行う。

SOP 概要欄は、読み出した SOP の概要を示す部分である。欄の背景色で各作業の進捗状態を示しており、作業中の手順は黄色、作業が正常に完了した手順は灰色、作業内容に何かしらの異常があった場合は赤色、未着手の手順は白色の背景色で示される。手順の区分は、SOP 作成時に使用した区分をそのまま使用している。

SOP 詳細内容欄は、SOP 概要欄にて選択した手順の詳細内容を表示する。テレメトリ内容をチェックする手順においては、SDS-4 から受信したデータをリアルタイムに文字表示し、SOP の内容と照合することが出来る。

進捗記録欄では、SOP の詳細情報の各内容に対して、作業結果 (OK, NG, Skip の 3 種類) とその時刻を記録する。時刻は作業結果を選択したタイミングとしている。

3.2 TLM 用ソフトウェア

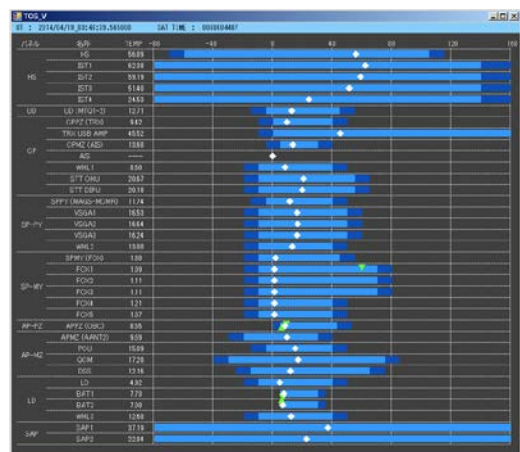
SDS-4 からは約 1400 項目もの膨大な数のテレメトリが送信されている。このテレメトリを効率良く確認するために使用するソフトウェアが、図 7 に示すテレメトリ表示ソフトウェアである。



(a) ホーム画面
Home window

| TLID | TLID NAME | TLID | TLID NAME | TLID | TLID NAME |
|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| AC2001 | 衛星時刻(ACT) | AC2008 | 衛星時刻(BCT) | AC2015 | 衛星時刻(CCT) |
| AC2002 | 衛星時刻(BCT) | AC2009 | 衛星時刻(CCT) | AC2016 | 衛星時刻(DCT) |
| AC2003 | 衛星時刻(CCT) | AC2010 | 衛星時刻(DCT) | AC2017 | 衛星時刻(ECT) |
| AC2004 | 衛星時刻(DCT) | AC2011 | 衛星時刻(FCT) | AC2018 | 衛星時刻(GCT) |
| AC2005 | 衛星時刻(ECT) | AC2012 | 衛星時刻(HCT) | AC2019 | 衛星時刻(ICT) |
| AC2006 | 衛星時刻(FCT) | AC2013 | 衛星時刻(JCT) | AC2020 | 衛星時刻(KCT) |
| AC2007 | 衛星時刻(GCT) | AC2014 | 衛星時刻(LCT) | AC2021 | 衛星時刻(MCT) |
| AC2008 | 衛星時刻(HCT) | AC2015 | 衛星時刻(NCT) | AC2022 | 衛星時刻(OCT) |
| AC2009 | 衛星時刻(ICT) | AC2016 | 衛星時刻(PCT) | AC2023 | 衛星時刻(QCT) |
| AC2010 | 衛星時刻(JCT) | AC2017 | 衛星時刻(RCT) | AC2024 | 衛星時刻(SCT) |
| AC2011 | 衛星時刻(KCT) | AC2018 | 衛星時刻(TCT) | AC2025 | 衛星時刻(UCT) |
| AC2012 | 衛星時刻(LCT) | AC2019 | 衛星時刻(VCT) | AC2026 | 衛星時刻(WCT) |
| AC2013 | 衛星時刻(MCT) | AC2020 | 衛星時刻(XCT) | AC2027 | 衛星時刻(YCT) |
| AC2014 | 衛星時刻(NCT) | AC2021 | 衛星時刻(ZCT) | | |
| AC2015 | 衛星時刻(OCT) | | | | |
| AC2016 | 衛星時刻(PCT) | | | | |
| AC2017 | 衛星時刻(QCT) | | | | |
| AC2018 | 衛星時刻(RCT) | | | | |
| AC2019 | 衛星時刻(SCT) | | | | |
| AC2020 | 衛星時刻(TCT) | | | | |
| AC2021 | 衛星時刻(UCT) | | | | |
| AC2022 | 衛星時刻(WCT) | | | | |
| AC2023 | 衛星時刻(XCT) | | | | |
| AC2024 | 衛星時刻(YCT) | | | | |
| AC2025 | 衛星時刻(ZCT) | | | | |
| AC2026 | 衛星時刻(ACT) | | | | |
| AC2027 | 衛星時刻(BCT) | | | | |

(b) 文字表示画面
Telemetry display by text form



(c) ビジュアル画面表示
Telemetry display by visual form

図 7 テレメトリ表示ソフトウェア

Fig. 7 Telemetry display software for telemetry check

本ソフトウェアによるテレメトリ内容の表示画面には、文字表示とビジュアル表示の2種類の画面がある。

文字表示画面では、図 7(b)に示すように、すべてのテレメトリを文字表示で確認することが出来る。本表示では一画面あたりの情報の密度を高められる一方で、大量の情報が一度に表示されるため、必要な情報の識別に時間がかかってしまう。このため、決まった内容のチェックのみを行う定常の運用時にはあまり使用せず、異常発生時のような一度に出来るだけ多くの情報にアクセスしたい場合に使用することが多い。

ビジュアル表示画面では、図 7(c)に示すように、テレメトリ内容をグラフ等にして表示することで、より直観的に内容の把握が出来るようにしている。文字表示と比較して直観的に内容を把握できるため、テレメトリのチェックに要する時間を短縮できる点、運用作業に習熟していなくてもテレメトリの内容を把握しやすい点が本表示のメリットである。デメリットとしては、衛星モードなどビジュアル表示には向かないテレメトリが存在する点、文字表示ほどは情報の密度が高くないため異常対応時などの多くの情報に一度にアクセスしたい場合には不向きである点が挙げられる。

3.3 CMD 用ソフトウェア

SDS-4 へ送信するコマンドは、多いときで約 300 個もの数に上る。また、運用の進捗によっては作業手順を一部スキップするなど、突発的な手順変更が生じるケースもある。多くのコマンド送信や突発的な変更に対応するために、図 8のコマンド送信ソフトウェアを使用する。

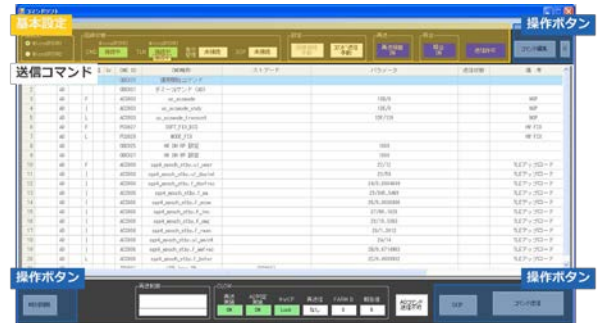


図 8 コマンド送信ソフトウェア

Fig. 8 Command software for transmitting commands

本ソフトウェアには、SOP の内容に従って、送信すべきコマンドが送信タイミング順に並んでいる。定常的な運用では、CMD は SC の指示に従ってコマンド送信ボタンを押すだけで、順番にコマンドを送信することが出来る。また、コマンドの意図しないタイミングでの送信やスキップ操作を防止するため、Shift キーを押しながら操作しなければ、コマンド送信やスキップといったアクションは実行されないようになっている。

4. 現状の課題と解決へのアプローチ

4.1 現状の SDS-4 運用の課題

SDS-4 の運用システムの大きな特徴は、衛星開発時に使用したソフトウェアをベースとして運用システムが構築されている点である。SDS-4 は開発者がそのまま運用も行う計画であり、「開発者＝運用者」という前提に基づいて運用システムも構築されている。開発者と運用者が同じである点には、衛星開発中から運用で使用するソフトウェアを用いることにより、使い慣れたソフトウェアを用いて衛星の運用作業を行うことができ、短時間で衛星状態の把握が可能な「熟練運用者」による衛星運用を打ち上げ当初から実施できるという利点がある。

一方で、SDS-4 の運用ソフトウェアはいずれも作業に慣れた「熟練運用者」が操作することを前提としており、衛星打ち上げ後に新たに運用作業に従事する者（SDS-4 の開発経験のない者、つまり「運用初心者」）にとっては、あまり使い勝手の良いものではない。このため、長期の訓練を経た上でしか運用作業に従事することが出来ず、結果として運用者の確保が難しくなっている。

なお、この「開発者＝運用者」という前提は、日本の小型衛星関連の大学や企業にも見られる傾向であり、大きな人的リソースを割くことが難しい小型衛星の開発や運用に共通した前提であると言える。

このような熟練運用者の確保に関して、アプローチの方法としては2つの方向性がある。

- ① 熟練運用者になるまでに要する訓練期間の短縮を目指し、訓練方法や訓練内容を工夫する。
- ② 熟練運用者に求められるスキルのレベルを低くすることを目指し、運用システムの構成や作業内容を工夫する。

このうち、次節以降では②のアプローチを採用し、現状の運用システムの課題を洗い出した結果およびその課題に対する改善提案について述べる。

4.2 SDS-4 運用システムを用いた負荷の評価実験

スキルや経験の有無が衛星運用に与える影響を評価するため、SDS-4 運用作業のうちTLMの行う作業を対象に、作業負荷の評価実験を行った。本実験では、客観的な指標としてアイマークレコーダ^{[5]~[7]}（ナックイメージテクノロジー社製 EMR-8B）で計測した運用者の視線の動きおよび各作業の所要時間、主観的な指標として運用者へのアンケート調査を行い、運用作業の負荷を評価した。本実験で用いたアイマークレコーダおよび実験の様子を図9、テレメトリ表示ソフトウェアの画面配置を図10、被験者の分類を表2に示す。本実験では、目線情報からどの項目を見ているかを確実に読み取る必要がある。今回は各ウインドウの配置を固定し、かつウインドウの重なりを最小限とするため、図9(b)のように4つの画面にテレメトリ表示ソフトウェアの各ウインドウを配置した。



(a) アイマークレコーダ
Eye mark recorder



(b) 実験の様子
Overview of the experiments

図9 アイマークレコーダを用いた実験の様子

Fig. 9 Overview of experiments about SDS-4 operation system using eye mark recorder

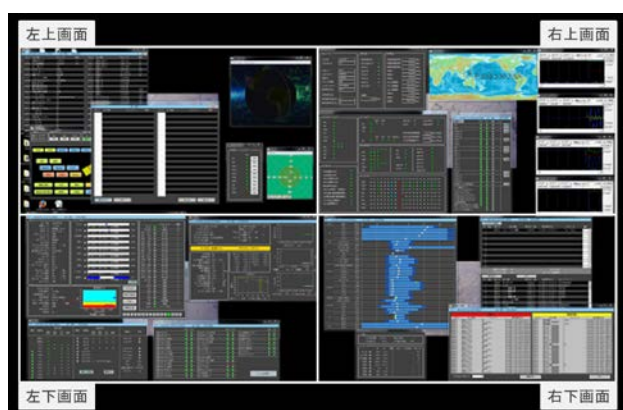


図10 実験時の画面配置

Fig. 10 Layout of windows in experiments

表2 被験者の分類

Table 2 Categorization of subjects

| 分類 | 直近の運用回数 | 通算の運用回数 | 被験者数 |
|------|---------|---------|------|
| 初心者 | 少 | 少 | 7 |
| 訓練中 | 多 | 少 | 2 |
| 現運用者 | 多 | 多 | 4 |
| 元運用者 | 少 | 多 | 5 |

本実験では、AOS 後作業およびLOS 前作業のみを対象とした。これは、これらの作業は運用内容に関係なく毎回必ず実施するが、他の作業は運用内容によっては実施しないこともあるためである。また、毎回行う作業の負荷を軽減することで、運用作業全体の負荷軽減にも大きな効果があると考えたことも、これらの作業のみを対象とした理由である。

4.3 実験結果と課題の抽出

AOS 後作業の内容と確認項目数を表3、各内容の確認時間の測定結果を図11、確認回数の測定結果を図12にそれぞれ示す。確認時間と確認回数は、表2に示した分類の中で全被験者の平均を取った。なお、LOS 前作業は基本的にAOS 後作業を簡略化したものであり、作業内容および測定結果はともにAOS 後作業と同じ傾向であったため、本稿では実験結果は割愛する。

表3 AOS 後作業の内容と項目数

Table 3 Number of items about AOS telemetry check

| No. | 作業内容 | 確認項目数 |
|-----|-----------------|-------|
| 1 | 主局 AOS 確認 | 2 |
| 2 | データ処理系テレメトリチェック | 6 |
| 3 | 全機器 ON/OFF 確認 | 20 |
| 4 | 電源系テレメトリチェック | 9 |
| 5 | 姿勢制御系テレメトリチェック | 12 |
| 6 | AOS 後の衛星状態の確認 | 1 |
| 7 | 各系専用テレメの確認 | 1 |
| 8 | コマンド送信確認 | 3 |

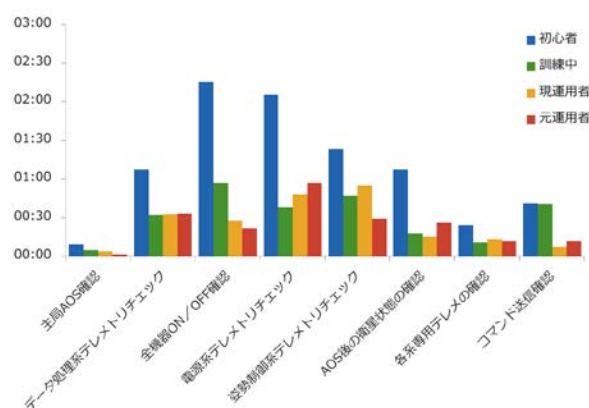


図11 AOS 後作業の平均確認時間

Fig. 11 Average duration about AOS telemetry check

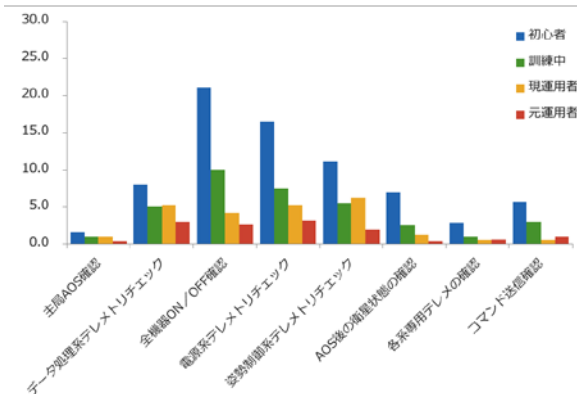


図 12 AOS 後作業の平均確認回数

Fig. 12 Average number of confirmation about AOS telemetry check

“1 項目の確認回数が多い”、“1 項目の確認時間が長い”といった傾向が見られた場合を作業負荷の大きい状態とすると、図 11および図 12から、初心者は他の 3 つのカテゴリの被験者と比較して、全ての作業において作業負荷が大きいと言える。また、全被験者に共通する傾向が見られないことから、作業者のスキルや経験に関係なく大きな負荷のかかる作業項目はないことも分かる。

図 11及び図 12のグラフ形状が極めて似ていることから、確認時間と確認回数のどちらかを削減するともう一方も削減され、運用負荷は軽減され则认为られる。初心者の確認回数が多くなっている要因をアイマークレコーダの測定結果から探したところ、初心者はあるテレメトリの値が正常かを判断する際に、何度も同じ項目を見直していることが判明した。現状の運用システムは大半のテレメトリについては名称と値を表示するのみで、値の正常・異常の判定は運用者が判断している。初心者は判定基準が記載されている作業説明書を見返す回数が多く、結果的に確認回数が多くなっている。また、確認回数が多くなると、情報を見返す動作に時間を要するため、確認回数が増えると確認時間も増えていると认为られる。

運用者へ行ったアンケート調査の結果を図 13に示す。

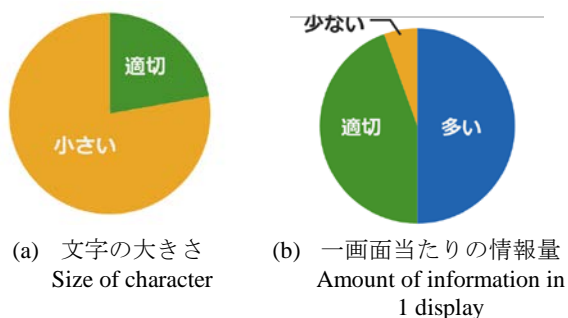


図 13 被験者へのアンケート結果 (抜粋)

Fig. 13 Excerpt results of questionnaire to subjects

このような情報提示に関わる項目において、例えば「文字をもっと大きくすべき」、「一画面の情報が多く、どこを見ればいいかが分かりにくい」など、アンケート結果でも改善の要望が多く出ていた。

よって、運用システムの改修ポイントとして、「運用システムから運用者への情報提示をいかに分かりやすくするか」という点を挙げる事が出来る。

今回の実験では、被験者の視線情報から得られた客観的なデータ、被験者へのアンケートを通して得られた主観的なデータの両方において、現状の運用システムには情報提示に問題がある可能性が示唆される結果となった。

5. おわりに

本稿では、SDS-4 の運用システム構成および運用時に使用するソフトウェアの紹介、運用システム改善のために行った実験の結果について述べた。衛星からのテレメトリをいかに分かりやすく、かつ運用の効率を下げずにを行うかについて、今回のデモ発表を通してディスカッションを行い、その結果を SDS-4 運用システムの改善や今後の宇宙機運用システムの構築に活かしていきたい。

参考文献

- [1] 高井, 大谷, 河原, 中村, 井上, 平子: 小型実証衛星 4 型 (SDS-4)の運用結果; 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 3M10 (2012).
- [2] 押村, 朴澤: SDS-4 搭載の衛星 AIS の利用成果について; 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 1S03 (2012).
- [3] 宮崎, 木本, 中村, 藤平, Remaury, Escrivan, Nabarra: SDS-4 搭載「THERME を用いた熱制御材実証実験」(IST)の軌道上評価速報; 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 1L07 (2012).
- [4] 岡本, 安藤, 前田, 杉田: SDS-4 搭載平板型ヒートパイプ軌道上実験の初期評価; 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 1N09 (2012).
- [5] 後藤, 木村, 中島: アイカメラを用いた歩行者の視線分析; 長崎大学工学部研究報告, Vol.31, pp.119-124 (2001).
- [6] 森, 間下, 清川, 竹村: 広視野アイマークレコーダのための線形回帰モデルによる視線推定手法; 第 52 回自動制御連合講演会, F6-1 (2010).
- [7] 布施, 木村: 遠隔操作時における監視画像視点が作業効率に与える効果; 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3I2-1 (2012).