限定なし

JERG-2-400-HB201H

CCSDS 概説

２０２５年３月２８日　Ｈ 改訂
（平成２９年５月１６日 制定）

宇宙航空研究開発機構

発行
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1
宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部
JAXA（Japan Aerospace Exploration Agency）

目　次

目次

1. はじめに

宇宙データシステム分野における標準化活動は、CCSDS 委員会で技術審議を実施し、ISO TC20 SC13 委員会において制定される流れとなっている。同委員会で制定された技術標準により、全世界における宇宙機および地上システム等、の通信設計が決定されるとともに、新たな通信技術に関する研究開発も決定されるため、本委員会の動向を把握する事が宇宙データシステムの設計を行う上で必要である。しかし、CCSDS において現在有効な文書はブルー、マジェンタ、グリーンのみで 180 冊弱となり（それぞれが数 10～100 ページに及ぶ)、JAXA が対応している文書が限定的であることから、全貌を把握する事が困難となっている。そこで、本CCSDS概説は発行済みCCSDS文書の内容を、図表を中心とした１～４ページの読みやすいサマリにまとめたものである。

2. 目的

民間、大学等による小型衛星の開発等、宇宙利用の広がりに対し、宇宙データシステム（CCSDS）の標準文書の存在や内容が充分に知られていない現状から、本標準は、潜在的な規格利用者（産業界、研究機関、大学、等）による利用を念頭に、どの CCSDS 文書にどの様な内容が記載されているかが簡単に分かるよう、カタログ的にその概要を与えることを目的としている。

3. CCSDS概説について

■ CCSDS概説書の作成上の観点

CCSDSの概説書の記述レベルは以下の通りです。

- **CCSDS概説書は、読者層を宇宙分野の一般関係者とした、導入的な技術文書という観点で作成しており、各専門分野の関係者は英文オリジナルを読まれることを推奨しています。**
- **現時点における規格の採用状況や、将来の採用機会の拡大などの情報も入手可能な範囲で記載しています。**
- **専門性の高い技術内容が多数含まれるため、図表を用いてわかりやすく表現しています。**

■ CCSDS概説書の位置づけ

CCSDS文書は定期的にステータス確認及び改訂が行われています。これは技術の進化や新技術の導入、ミッション要求の変化に対応すべく内容を見直しているためです。したがってCCSDS概説書もオリジナル文書の内容見直し、改訂、シルバー化（廃棄）に伴い、変更または削除を行っていきます。

■ 各ブックカラーの定義

本CCSDS概説が取り扱うブルー、マジェンタ、グリーン各ブックの定義を記します。

ブルーブック【Recommended Standard：推奨規格】

CCSDSが検討した宇宙ミッションデータに係わる技術仕様について推奨規格として記述した文書です。システムにCCSDSの技術を採用する場合には本書に記載された技術仕様に沿ったシステムとする必要があります。

マジェンタブック【Recommended Practice：推奨実践規範】

ブルーブックに記載された推奨規格をシステムに実装する際の最適な実装方法を記述した文書です。シ

ステムにCCSDSの技術を採用する場合、本書に従った実装方法を採用することで、CCSDSの技術仕様に沿ったシステム構築が容易となります。

グリーンブック【Informational Reports：解説資料】

ブルーブックやマジェンタブック、オレンジブックを理解するための補足的な技術情報を記述した、CCSDS技術に関しての解説文書です。ブルーブックもしくはマジェンダブックに至る背景やCCSDS技術の適用方法、CCSDS技術の裏付けとなる解析結果等が記載された文書です。

CCSDS文書一覧

■ SEA（システムエンジニアリングエリア）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 301.0-B-4	TIME CODE FORMATS 「タイムコードフォーマット」	2010 年 11 月
CCSDS 352.0-B-2	CCSDS CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS 「CCSDS 暗号アルゴリズム」	2019 年 8 月
CCSDS 356.0-B-1	NETWORK LAYER SCURITY ADAPTATION PROFILE 「ネットワークセキュリティ適合プロファイル」	2018 年 6 月
CCSDS 357.0-B-1	AUTHENTICATION CREDENTIALS CCSDS 認証証明書	2019 年 7 月
CCSDS 506.1-B-1	DELTA-DOR RAW DATA EXCHANGE FORMAT 「DDOR の生データ交換フォーマット」	2013 年 6 月
CCSDS 311.0-M-1	REFERENCE ARCHITECTURE FOR SPACE DATA SYSTEMS 「宇宙データシステムのための参照アーキテクチャ(RASDS)」	2008 年 9 月
CCSDS 320.0-M-7 Cor.1	CCSDS SPACECRAFT IDENTIFICATION FIELD CODE ASSIGNMENT CONTROL PROCEDURES 「CCSDS 宇宙機識別子（SCID）の取得/管理手順」	2019 年 7 月
CCSDS 350.8-M-3	INFORMATION SECURITY GLOSSARY OF TERMS 「情報セキュリティ用語集」	2024 年 2 月
CCSDS 351.0-M-1	SECURITY ARCHITECTURE FOR SPACE DATA SYSTEMS 「宇宙データシステムのためのセキュリティアーキテクチャ(SASDS)」	2012 年 11 月
CCSDS 506.0-M-2	DELTA-DIFFERENTIAL ONE WAY RANGING (DELTA-DOR) OPERATIONS 「DDOR 計測の運用手順」2	2018 年 2 月
CCSDS 506.3-M-1	DELTA-DIFFERENTIAL ONE-WAY RANGING (DELTA-DOR) QUASAR CATALOGUE UPDATE PROCEDURE 「Delta-DOR クエーサーカタログ更新手順」	2018 年 2 月
CCSDS 312.0-G-1	REFERENCE ARCHITECTURE FOR SPACE INFORMATION MANAGEMENT 「宇宙情報管理のための参照アーキテクチャ」	2013 年 3 月
CCSDS 350.0-G-3	THE APPLICATION OF SECURITY TO CCSDS PROTOCOLS 「CCSDS プロトコル群を対象としたセキュリティの実装」	2019 年 3 月
CCSDS 350.1-G-3	SECURITY THREATS AGAINST SPACE MISSIONS 「宇宙ミッションに対するセキュリティ脅威」	2022 年 2 月
CCSDS 350.4-G-2	CCSDS GUIDE FOR SECURE SYSTEM INTERCONNECTION 「セキュアなシステム間相互接続に関する CCSDS ガイド」	2019 年 4 月
CCSDS 350.6-G-1	SPACE MISSIONS KEY MANAGEMENT CONCEPT 「宇宙ミッションにおける鍵管理コンセプト」	2011 年 11 月
CCSDS 350.7-G-2	SECURITY GUIDE FOR MISSION PLANNERS 「ミッションプランナー向けセキュリティガイド」	2019 年 4 月
CCSDS 350.9-G-1	CCSDS CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS 「CCSDS 暗号アルゴリズム」	2014 年 12 月
CCSDS 371.0-G-1	APPLICATION AND SUPPORT LAYER ARCHITECTURE 「"アプリケーションとサポート"層のアーキテクチャ」	2020 年 11 月
CCSDS 500.1-G-2	DELTA-DOR--TECHNICAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE 「DDOR – 技術的特性と性能」	2019 年 11 月

■ MOIMS（ミッション運用情報管理サービス）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 502.0-B-3	ORBIT DATA MESSAGES 「軌道データメッセージ（ODM）」	2023 年 4 月
CCSDS 503.0-B-2 Cor.1	TRACKING DATA MESSAGE 「追跡データメッセージ（TDM）」	2021 年 10 月
CCSDS 504.0-B-2	ATTITUDE DATA MESSAGES 「姿勢データメッセージ（ADM）」	2024 年 1 月
CCSDS 505.0-B-3	XML SPECIFICATION FOR NAVIGATION DATA MESSAGES 「航法データメッセージ（NDM）の XML 仕様」	2023 年 5 月
CCSDS 508.0-B-1 Cor.2	CONJUNCTION DATA MESSAGE 「接近データメッセージ（CDM）」	2021 年 10 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 508.1-B-1 Cor.1	RE-ENTRY DATA MESSAGE 「大気圏再突入データメッセージ（RDM）」	2021 年 10 月
CCSDS 509.0-B-1 Cor.1	POINTING REQUEST MESSAGE 「指向要求メッセージ」	2021 年 5 月
CCSDS 521.0-B-3	MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER 「ミッション運用（MO）メッセージ抽象化層（MAL）」	2024 年 3 月
CCSDS 521.1-B-1	MISSION OPERATIONS COMMON OBJECT MODEL 「ミッション運用（MO）共通オブジェクトモデル」	2014 年 2 月
CCSDS 522.0-B-1	MISSIONOPERATIONS—COMMON SERVICES 「ミッション運用（MO）－共通サービス」	2020 年 5 月
CCSDS 522.1-B-1	MISSION OPERATIONS MONITOR & CONTROL SERVICES 「ミッション運用（MO）監視制御（M&C）サービス」	2017 年 10 月
CCSDS 524.1-B-1	MISSION OPERATIONS – MAL SPACE PACKET TRANSPORT BINDING AND BINARY ENCODING 「ミッション運用 - メッセージ抽象化層（MAL スペースパケット伝送バインド及び符号化」	2015 年 8 月
CCSDS 524.2-B-1	MISSION OPERATIONS - MESSAGE ABSTRATION LAYER BINDING TO TCP/IP TRANSPORT AND SPLIT BINARY ENCODING 「ミッション運用-MAL メッセージの TCP/IP へのバインド（対応付け）及び分割バイナリ符号化」	2017 年 11 月
CCSDS 524.3-B-1	MISSION OPERATIONS—MESSAGE ABSTRACTION LAYER BINDING TO HTTP TRANSPORT AND XML ENCODING 「ミッション運用―メッセージ抽象化層の HTTP バインド及び XML エンコーディング」	2018 年 6 月
CCSDS 524.4-B-1	MISSION OPERATIONS-MESSAGE ABSTRACTION LAYERBINDINGTO ZMTP TRANSPORT 「ミッション運用－メッセージ抽象化層の ZMTP バインド」	2019 年 10 月
CCSDS 620.0-B-2	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - STRUCTURE AND CONSTRUCTION RULES 「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－構造と構成規則」	1992 年 5 月
CCSDS 622.0-B-1	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - REFERENCING ENVIRONMENT 「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－参照環境」	1997 年 5 月
CCSDS 630.0-B-1	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - CONTROL AUTHORITY PROCEDURES 「標準フォーマットデータユニット(SFDU)－データ管理機構(CA)手順」	1993 年 6 月
CCSDS 632.0-B-1	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - CONTROL AUTHORITY DATA STRUCTURES 「標準フォーマットデータユニット(SFDU)－データ管理機構データ構造」	1994 年 11 月
CCSDS 641.0-B-2	PARAMETER VALUE LANGUAGE SPECIFICATION (CCSD0006 AND CCSD0008) 「パラメータ値言語仕様 （CCSD0006 及び CCSD0008)」	2000 年 6 月
CCSDS 643.0-B-1	ASCII ENCODED ENGLISH (CCSD0002) 「ASCII コード化英語」	1992 年 11 月
CCSDS 644.0-B-3	THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST SPECIFICATION (CCSD0010) 「データ記述言語 EAST 仕様」	2010 年 6 月
CCSDS 647.1-B-1	DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE (DEDSL) - ABSTRACT SYNTAX (CCSD0011) 「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語 (DEDSL) - 抽象構文 （CCSD0011)」	2001 年 6 月
CCSDS 647.2-B-1	DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE (DEDSL) - PVL SYNTAX (CCSD0012) 「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語 （DEDSL） - PVL 構文 （CCSD0012)」	2001 年 6 月
CCSDS 647.3-B-1	DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE (DEDSL)- XML/DTD SYNTAX (CCSD0013) 「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語 (DEDSL)- XML/DTD 構文 (CCSD0013)」	2002 年 1 月
CCSDS 651.1-B-1	PRODUCER-ARCHIVE INTERFACE SPECIFICATION (PAIS) 「プロデューサ／アーカイブ間インターフェース仕様 （PAIS)」	2014 年 2 月
CCSDS 660.0-B-2	XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE （XTCE) 「XML によるテレメトリ並びにコマンド変換 （XTCE)」	2020 年 2 月
CCSDS 661.0-B-1	XML FORMATTED DATA UNIT （XFDU）STRUCTURE AND CONSTRUCTION RULES 「XML フォーマット化データユニット （XFDU） 構造と構成法」	2008 年 9 月
CCSDS 520.1-M-1	MISSIONS OPERATIONS REFERENCE MODEL 「ミッション運用（MO）参照モデル」	2010 年 7 月
CCSDS 523.1-M-1	MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER — JAVA API 「ミッション運用メッセージ抽象化層－JAVA アプリケーションプログラムインタフェース」	2013 年 4 月
CCSDS 523.2-M-1	MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER — C++ API 「ミッション運用メッセージ抽象化層 - C++ アプリケーションプログラムインターフェース」	2018 年 12 月
CCSDS 650.0-M-2	REFERENCE MODEL FOR AN OPEN ARCHIVAL INFORMATION SYSTEM (OAIS) 「OAIS 参照モデル」	2012 年 6 月
CCSDS 651.0-M-1	PRODUCER–ARCHIVE INTERFACE METHODOLOGY ABSTRACT STANDARD 「デジタル情報保存インターフェース方式」	2004 年 5 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 652.0-M-1	AUDIT AND CERTIFICATION OF TRUSTWORTHY DIGITAL REPOSITORIES 「信頼できるデジタルリポジトリの監査と認証」	2011 年 9 月
CCSDS 652.1-M-2	REQUIREMENTS FOR BODIES PROVIDING AUDIT AND CERTIFICATION OF CANDIDATE TRUSTWORTHY DIGITAL REPOSITORIES 「信頼できるデジタルリポジトリの監査・認証を行う機関の要件」	2014 年 3 月
CCSDS 500.0-G-4	NAVIGATION DATA - DEFINITIONS AND CONVENTIONS 「航法データ　―定義と規約」	2019 年 11 月
CCSDS 500.2-G-3	NAVIGATION DATA MESSAGES OVERVIEW 「航法データメッセージ概要」	2023 年 3 月
CCSDS 520.0-G-3	MISSION OPERATIONS SERVICES CONCEPT 「ミッション運用サービスのコンセプト　―定義と規約」	2010 年 12 月
CCSDS 529.0-G-1	MISSION PLANNING AND SCHEDULING 「ミッション計画及びスケジュール」	2018 年 6 月
CCSDS 540.0-G-1	TELEROBOTIC OPERATIONS 「テレロボティクス運用」	2016 年 11 月
CCSDS 610.0-G-5	SPACE DATA SYSTEMS OPERATIONS WITH STANDARD FORMATTED DATA UNITS: SYSTEM AND IMPLEMENTATION ASPECTS 「標準フォーマットデータユニットを用いた宇宙データシステム運用:システムおよび実装」	1987 年 2 月
CCSDS 621.0-G-1	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - A TUTORIAL 「標準フォーマットによるデータユニット　- チュートリアル」	1992 年 5 月
CCSDS 631.0-G-2	STANDARD FORMATTED DATA UNITS - CONTROL AUTHORITY PROCEDURES TUTORIAL 「標準フォーマットデータユニット － データ管理機構（CA)手順チュートリアル」	1994 年 11 月
CCSDS 641.0-G-2	PARAMETER VALUE LANGUAGE- A TUTORIAL 「パラメータ値言語　－ チュートリアル」	2000 年 6 月
CCSDS 645.0-G-1	THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST- A TUTORIAL 「データ記述言語 EAST － チュートリアル」	1997 年 5 月
CCSDS 646.0-G-1	THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST - LIST OF CONVENTIONS 「データ記述言語 EAST － 規約一覧」	1997 年 5 月
CCSDS 651.2-G-1	PRODUCER - ARCHIVE INTERFACE SPECIFICATION （PAIS） - A TUTORIAL 「プロデューサ／アーカイブ間インターフェース仕様（PAIS）-チュートリアル」	2016 年 9 月
CCSDS 660.1-G-2	XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE（XTCE） - ELEMENT DESCRIPTION 「XML によるテレメトリ・コマンド交換（XTCE)」―エレメント記述	2021 年 8 月
CCSDS 660.2-G-2	XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE （XTCE） 「XML によるテレメトリ並びにコマンド変換（XTCE)」	2021 年 2 月

■ CSS（相互支援サービス）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 902.1-B-1 Cor.1	CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT -SIMPLE SCHEDULE FORMAT SPECIFICATION 「相互支援（クロスサポート）サービス管理-シンプルスケジュールフォーマット仕様」	2021 年 12 月
CCSDS 902.2-B-1	CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT -COMMUNICATIONS PLANNING INFORMATION FORMAT (1/2) 「相互支援（クロスサポート）サービス管理－通信計画情報フォーマット」	2022 年 3 月
~~CCSDS 910.4-B-2~~	~~COSS SUPPORT REFERENCE MODEL- PART-1 : SPACE LINK EXTENSION SERVICES~~ ~~「相互支援(クロスサポート)参照モデル - Part 1. SLE (Space Link Extension)サービス」~~	削除
CCSDS 911.1-B-5	SPACE LINK EXTENSION – RETURN ALL FRAMES SERVICE SPECIFICATION 「SLE (Space Link Extension)- リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」	2023 年 7 月
CCSDS 911.2-B-4	SPACE LINK EXTENSION – RETURN CHANNEL FRAMES SERVICE SPECIFICAITON 「SLE (Space Link Extension)- リターンチャネルフレーム（RCF）サービス仕様」	2023 年 7 月
CCSDS 911.5-B-4	SPACE LINK EXTENSION – RETURN OPERATIONAL CONTROL FIELDS SERVICE SPECIFICATION 「SLE (Space Link Extension)-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」	2023 年 7 月
CCSDS 912.1-B-5	SPACE LINK EXTENSION – FORWARD CLTU SERVICE SPECIFICATION 「SLE (Space Link Extension) -フォワード通信回線伝送単位(CLTU)サービス仕様」	2023 年 7 月
~~CCSDS 912.3-B-3~~	~~SPACE LINK EXTENSION – FORWARD SPACE PACKET SERVICE SPECIFICATION~~ ~~「SLE（Space Link Extension）- フォワードスペースパケット（FSP）サービス仕様」~~	削除
CCSDS 913.1-B-2	SPACE LINK EXTENSION – INTERNET PROTOCOL FOR TRANSFER SERVICES 「SLE (Space Link Extension) - 転送サービス向けインターネットプロトコル」	2015 年 9 月
CCSDS 921.1-B-2	CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE - SPECIFICATION FRAMEWORK 「相互支援トランスファーサービス - 規定フレームワーク」	2021 年 2 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 922.1-B-2	CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICES - MONITORED DATA SERVICE 「相互支援トランスファーサービス - 監視データサービス」	2022 年 9 月
CCSDS 922.2-B-1	CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE—TRACKING DATA SERVICE 「相互支援(クロスサポート)伝送サービス-追跡データサービス」	2023 年 2 月
CCSDS 922.3-B-1	CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE -FORWARD FRAME SERVICE 「相互支援 (クロスサポート)伝送サービス－フォワドレム」	2021 年 4 月
CCSDS 927.1-B-1	TERRESTRIAL GENERIC FILE TRANSFER（1/2） 「地上汎用ファイル転送」	2021 年 11 月
CCSDS 901.1-M-1	SPACE COMMUNICATIONS CROSS SUPPORT - ARCHITECTURE REQUIREMENTS DOCUMENT 「宇宙通信相互支援 (SCCS) - アーキテクチャ要求文書」	2015 年 5 月
CCSDS 902.12-M-1	CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT –COMMON DATA ENTITIES 「相互支援サービスマネジメント－共通データエンティティ」	2021 年 2 月
CCSDS 902.13-M-1 Cor.1	ABSTRACT EVENT DEFINITION 「抽象イベント定義」	2024 年 2 月
CCSDS 914.0-M-2 Cor.1	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES -CORE SPECIFICATION 「SLE (Space Link Extension) - 転送サービス API ‐ 主要仕様」	2016 年 8 月
CCSDS 915.1-M-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN ALL FRAMES SERVICE 「SLE (Space Link Extension) – リターンオールフレーム（RAF）サービス向け API」	2015 年 9 月
CCSDS 915.2-M-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN CHANNEL FRAMES SERVICE 「SLE（Space Link Extension）– リターンチャネルフレーム（RCF）サービス API」	2015 年 9 月
CCSDS 915.5-M-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN OPERATIONAL CONTROL FIELDS SERVICE 「SLE (Space Link Extension)-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス API」	2015 年 9 月
CCSDS 916.1-M-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR THE FORWARD CLTU SERVICE 「SLE (Space Link Extension）- フォワード CLTU (FCLTU)サービス API」	2015 年 9 月
CCSDS 916.3-M-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR THE FORWARD SPACE PACKET SERVICE 「SLE（Space Link Extension） – フォワードスペースパケット（FSP）サービス API」	2015 年 9 月
CCSDS 921.2-M-1 Cor.1	GUIDELINES FOR THE SPECIFICATION OF CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICES RECOMMENDED PRACTICE 「相互支援転送サービス仕様のガイドライン」 6-7	2020 年 8 月
CCSDS 901.0-G-1	SPACE COMMUNICATIONS CROSS SUPPORT – ARCHITECTURE DESCRIPTION DOCUMENT 「宇宙通信相互支援（SCCS）- アーキテクチャ解説文書」	2013 年 11 月
CCSDS 902.0-G-1	EXTENSIBLE SPACE COMMUNICATION CROSS SUPPORT – SERVICE MANAGEMENT – CONCEPT 「拡張可能型宇宙通信相互支援 - サービスマネジメント - 構想」	2014 年 9 月
~~CCSDS 910.0-G-2~~	~~SPACE LINK EXTENSION SERVICES - EXECUTIVE SUMMARY~~ ~~「SLE (Space Link Extension) サービス - 計画概要」~~	削除
CCSDS 910.2-G-1	STANDARD TERMINOLOGY, CONVENTIONS, AND METHODOLOGY (TCM) FOR DEFINING DATA SERVICES 「データサービス定義のための標準的な用語・規約・方法（TCM）」	1994 年 11 月
CCSDS 910.3-G-3	CROSS SUPPORT CONCEPT – PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES 「相互支援コンセプト - Part 1: SLE (Space Link Extension) サービス」	2006 年 3 月
CCSDS 914.1-G-1	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES - SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「SLE - 転送サービス API - コンセプトと背景の概要」	2006 年 1 月
CCSDS 914.2-G-2	SPACE LINK EXTENSION - APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES - APPLICATION PROGRAMMER'S GUIDE 「SLE - 転送サービス API - アプリケーションプログラマ向けガイド」	2008 年 10 月
CCSDS 920.0-G-1	CROSS SUPPORTTRANSFER SERVICE SPECIFICATION FRAMEWORK CONCEPT「相互支援伝送サービス規定フレームワーク概念」	2023 年 5 月

■ SOIS（宇宙機オンボードインターフェースサービス）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 876.0-B-1	SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES—XML SPECIFICATION FOR ELECTRONIC DATA SHEETS 「宇宙機オンボードインタフェースサービス（SOIS） - 電子データシートのための XML 定義」	2019 年 4 月
CCSDS 881.1-B-1	RFID TAG ENCODING SPECIFICATION 「RFID（無線自動識別）タグ符号化仕様」	2017 年 10 月
CCSDS 883.0-B-1	SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES -HIGH DATA RATE 3GPP AND WI-FI LOCAL AREA COMMUNICATIONS 「宇宙オンボードインタフェースサービス(SOIS) -高速 3GPP と Wi-Fi ローカルエリア通信」	2022 年 2 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 851.0-M-1	SUBNETWORK PACKET SERVICE 「サブネットワークパケットサービス」	2009 年 12 月
CCSDS 852.0-M-1	SUBNETWORK MEMORY ACCESS SERVICE 「サブネットワークメモリアクセスサービス」	2009 年 12 月
CCSDS 853.0-M-1	SUBNETWORK SYNCHRONIZATION SERVICE 「サブネットワーク同期サービス」	2009 年 12 月
CCSDS 854.0-M-1	SUBNETWORK DEVICE DISCOVERY SERVICE 「サブネットワークデバイスディスカバリサービス」	2009 年 12 月
CCSDS 855.0-M-1	SUBNETWORK TEST SERVICE 「サブネットワーク検証サービス」	2009 年 12 月
CCSDS 881.0-M-1	SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES - RFID-BASED INVENTORY MANAGEMENT SYSTEMS 「RFID による在庫管理システム」	2012 年 5 月
CCSDS 882.0-M-1	SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SYSTEMS- LOW DATA-RATE WIRELESS COMMUNICATIONS FOR SPACECRAFT MONITORING AND CONTROL 「宇宙機状態監視及び制御用低データレート無線通信」	2013 年 5 月
CCSDS 850.0-G-2	SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES 「宇宙機オンボードインターフェースサービス」	2013 年 12 月
CCSDS 880.0-G-3	WIRELESS NETWORK COMMUNICATIONS OVERVIEW FOR SPACE MISSION OPERATIONS 「宇宙ミッション運用のためのワイヤレスネットワーク通信の概要」	2017 年 5 月

■ SLS（スペースリンクサービス）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 121.0-B-3	LOSSLESS DATA COMPRESSION 「データの可逆圧縮」	2020 年 8 月
CCSDS 122.0-B-2	IMAGE DATA COMPRESSION 「画像データ圧縮」	2017 年 9 月
CCSDS 122.1-B-1	SPECTRAL PREPROCESSING TRANSFORM FOR MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION 「マルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像（3 次元）圧縮のスペクトル前処理変換」	2017 年 9 月
CCSDS 123.0-B-2 Cor.3	LOW-COMPLEXITY LOSSLESS AND NEAR-LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION 「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル&ハイパースペクトル画像圧縮」	2021 年 2 月
CCSDS124.0-B-1	ROBUST COMPRESSION OF FIXED-LENGTHHOUSEKEEPING DATA 「固定長ハウスキーピングデータのロバスト圧縮」	2023 年 2 月
CCSDS 131.0-B-4	TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING 「TM 同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	2022 年 4 月
CCSDS 131.2-B-2	FLEXIBLE ADVANCED CODING AND MODULATION SCHEME FOR HIGH RATE TELEMETRY APPLICATIONS 「高速テレメトリのための広範適用型高度符号化及び変調方式」	2023 年 3 月
CCSDS 131.3-B-2	CCSDS SPACE LINK PROTOCOLS OVER ETSI DVB-S2 STANDARD 「ETSI DVB-S2 規格に準拠した CCSDS スペースリンクプロトコル群」	2022 年 4 月
CCSDS 132.0-B-3	TM SPACE DATA LINK PROTOCOL 「TM 宇宙データリンクプロトコル」	2021 年 10 月
CCSDS 133.0-B-2	SPACE PACKET PROTOCOL 「スペースパケットプロトコル」	2020 年 6 月
CCSDS 133.1-B-3	ENCAPSULATION PACKET PROTOCOL 「カプセル化パケットプロトコル」	2020 年 5 月
CCSDS 141.0-B-1	OPTICAL COMMUNICATIONS PHYSICAL LAYER RECOMMENDED STANDARD 「光通信における物理層」	2019 年 8 月
CCSDS 142.0-B-1	OPTICAL COMMUNICATIONS CODING AND SYNCHRONIZATION RECOMMENDED STANDARD 「光通信における符号化及び同期」	2019 年 8 月
CCSDS 211.0-B-6	PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - DATA LINK LAYER 「近傍領域通信-1　スペースリンクプロトコル　ーデータリンク層」	2020 年 7 月
CCSDS 211.1-B-4	PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - PHYSICAL LAYER 「近傍領域通信ー1　スペースリンクプロトコルー物理層」	2013 年 12 月
CCSDS 211.2-B-3	PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL – CODING AND SYNCHRONIZATION SUBLAYER 「近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル：符号化及び同期副層」	2019 年 10 月
CCSDS 231.0-B-4	TC SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING 「TC 同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	2021 年 7 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 232.0-B-4	TC SPACE DATA LINK PROTOCOL 「TC 宇宙データリンクプロトコル」	2021 年 10 月
CCSDS 232.1-B-2 Cor.1	COMMUNICATIONS OPERATION PROCEDURE-1 「COP-1（通信運用手順１）」	2019 年 4 月
CCSDS 355.0-B-2	SPACE DATA LINK SECURITY PROTOCOL 「宇宙データリンクセキュリティプロトコル」	2022 年 7 月
CCSDS 355.1-B-1	SPACE DATA LINK SECURITYPROTOCOL -EXTENDED PROCEDURES 「宇宙データリンクセキュリティプロトコル–拡張手順」14	2020 年 2 月
CCSDS 401.0-B-32	RADIO FREQUENCY AND MODULATION SYSTEMS - PART 1：EARTH STATIONS AND SPACECRAFT 「無線周波数・変調システム Part 1：地上局と宇宙機」	202 1 年 10 月
CCSDS 414.1-B-3	PSEUDO-NOISE （PN） RANGING SYSTEMS 「擬似雑音（PN）測距システム 」	2022 年 1 月
CCSDS 415.1-B-1	DATA TRANSMISSION AND PN RANGING FOR 2 GHz CDMA LINK VIA DATA RELAY SATELLITE 「データ中継衛星による 2GHz CDMA リンクのデータ伝送と PN 測距」	2011 年 9 月
CCSDS 431.1-B-1 Cor.1	VARIABLE CODED MODULATION PROTOCOL 「可変符号化調プロトコル」	2022 年 4 月
CCSDS 732.0-B-4	AOS SPACE DATA LINK PROTOCOL 「AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル」	2021 年 10 月
CCSDS 732.1-B-2	UNIFIED SPACE DATA LINK PROTOCOL 「統合的宇宙データリンクプロトコル（USLP）」	2021 年 10 月
CCSDS 141.1-M-1	ATMOSPHERIC CHARACTERIZATION AND FORECASTING FOR OPTICAL LINK OPERATIONS 「大気の特性評価と光リンク運用の予測」	2022 年 1 月
CCSDS 120.0-G-4	LOSSLESS DATA COMPRESSION 「データの可逆圧縮」	2021 年 11 月
CCSDS 120.1-G-3	IMAGE DATA COMPRESSION 「画像データ圧縮」	2021 年 11 月
CCSDS 120.2-G-2	LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION 「マルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像の可逆圧縮」	2022 年 12 月
CCSDS 120.3-G-1	SPECTRAL PRE-PROCESSING TRANSFORM FOR MULTISPECTRAL & HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION INFORMATIONAL REPORT 「マルチスペクトル&ハイパースペクトル画像（3 次元）圧縮のスペクトル前処理変換」	2019 年 3 月
CCSDS 130.0-G-4	OVERVIEW OF SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOLS 「宇宙通信プロトコル概要」	2023 年 4 月
CCSDS 130.1-G-3	TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING - SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「TM 同期およびチャネルコーディング（通信路符号化）- コンセプトと論理的根拠の概説」8	2020 年 6 月
CCSDS 130.2-G-3	SPACE DATA LINK PROTOCOLS - SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「宇宙データリンクプロトコル　－　コンセプトと論理的根拠の概要」	2015 年 9 月
CCSDS 130.3-G-1	SPACE PACKET PROTOCOLS 「スペースパケットプロトコル」	2023 年 4 月
CCSDS 130.11-G-2	SCCC—SUMMARY OF DEFINITION AND PERFORMANCE INFORMATIONAL REPORT [SCCC（Serially Concatenated Convolutional Code）－定義と性能に関する要約」	2023 年 5 月
CCSDS 130.12-G-2	CCSDS PROTOCOLS OVER DVB-S2 - SUMMARY OF DEFINITION, IMPLEMENTATION, AND PERFORMANCE 「DVB-S2 を用いた CCSDS スペースリンクプロトコル群」	2023 年 6 月
CCSDS 140.1-G-2	REAL-TIME WEATHER AND ATMOSPHERIC CHARACTERIZATION DATA 「リアルタイムな天候と大気の特性データ」	2024 年 3 月
CCSDS 200.0-G-6	TELECOMMAND SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「テレコマンドのコンセプトおよび論理的根拠の概要」	1987 年 1 月
CCSDS 210.0-G-2	PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - RATIONALE, ARCHITECTURE, AND SCENARIOS 「近傍領域通信－1 スペースリンクプロトコル－論理的根拠、アーキテクチャおよび各種シナリオ」	2013 年 12 月
CCSDS 230.1-G-3	TC SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING - SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「TC 同期・チャネルコーディング（通信路符号化）- コンセプトおよび論理的根拠の概要」	2021 年 10 月
CCSDS 230.2-G-1	NEXT GENERATION UPLINK 「次世代アップリンク」	2014 年 7 月
CCSDS 350.5-G-2	SPACE DATA LINK SECURITY PROTOCOL - SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE 「宇宙データリンクセキュリティプロトコル－コンセプトと論理的根拠の概要」	2024 年 1 月
CCSDS 413.0-G-3	BANDWIDTH-EFFICIENT MODULATIONS SUMMARY OF DEFINITION, IMPLEMENTATION, AND PERFORMANCE 「帯域効率の良い変調方式：　定義、実装、性能の概要」	2018 年 2 月

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 413.1-G-2	SIMULTANEOUS TRANSMISSION OF GMSK TELEMETRY AND PN RANGING 「GMSK テレメトリと PN 測距の同時送信」	2021 年 11 月
CCSDS 414.0-G-2	PSEUDO-NOISE (PN) RANGING SYSTEMS 「擬似雑音（PN）測距システム」	2014 年 2 月
CCSDS 415.0-G-1	DATA TRANSMISSION AND PN RANGING FOR 2 GHz CDMA LINK VIA DATA RELAY SATELLITE 「データ中継衛星を介した 2GHz CDMA リンクにおけるデータ転送および PN 測距」	2013 年 4 月
CCSDS 700.0-G-3	ADVANCED ORBITING SYSTEMS, NETWORKS AND DATA LINKS: SUMMARY OF CONCEPT, RATIONALE AND PERFORMANCE 「AOS（将来型宇宙機システム）、ネットワークとデータリンク：コンセプト、論理的根拠、性能の概要」	1992 年 11 月
CCSDS 700.1-G-1	OVERVIEW OF THE UNIFIED SPACE DATA LINK PROTOCOL 「統合的宇宙データリンクプロトコル(USLP)概要」	2020 年 6 月

■ SIS（宇宙インターネットサービス）

文書番号	文書名	発行年月
CCSDS 702.1-B-1 Cor.1	IP OVER CCSDS SPACE LINKS 「CCSDS スペースリンクを用いたインターネット（IP）」	2014 年 4 月
CCSDS 714.0-B-2	SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOL SPECIFICATION (SCPS)-TRANSPORT PROTOCOL 「宇宙通信プロトコル仕様（SCPS）―トランスポート層プロトコル」	2006 年 10 月
CCSDS 727.0-B-5	CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL (CFDP) 「CCSDS ファイル転送プロトコル（CFDP）」	2020 年 7 月
CCSDS 734.1-B-1	LICKLIDER TRANSMISSION PROTOCOL (LTP) FOR CCSDS 「CCSDS リックライダー転送プロトコル（LTP）」	2015 年 5 月
CCSDS 734.2-B-1	CCSDS BUNDLE PROTOCOL SPECIFICATION 「CCSDS バンドルプロトコル仕様」	2015 年 9 月
CCSDS 734.3-B-1	SCHEDULE-AWARE BUNDLE ROUTING RECOMMENDED STANDARD 「計画認知バンドルーティグ」	2019 年 7 月
CCSDS 735.1-B-1	ASYNCHRONOUS MESSAGE SERVICE 「非同期メッセージ通信サービス」	2011 年 9 月
CCSDS 766.1-B-3	DIGITAL MOTION IMAGERY 「デジタル動画」	2021 年 4 月
CCSDS 766.2-B-1	VOICE AND AUDIO COMMUNICATIONS 「音声・オーディオ通信」	2017 年 11 月
CCSDS 722.1-M-1	OPERATION OF CFDP OVER ENCAPSULATION SERVICE 「カプセル化サービスを用いた CFDP 運用」	2014 年 3 月
CCSDS 706.1-G-2	MOTION IMAGERY AND APPLICATIONS 「動画およびアプリケーション」	2015 年 05 月
CCSDS 706.2-G-2	VOICE COMMUNICATIONS 「音声通信」	2018 年 12 月
CCSDS 720.1-G-4	CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL (CFDP) PART 1: INTRODUCTION AND OVERVIEW 「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 1: イントロダクションおよび概要」	2021 年 5 月
CCSDS 720.2-G-4	CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL (CFDP) PART 2: IMPLEMENTERS GUIDE 「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 2: 実装指針」	2021 年 5 月
CCSDS 720.3-G-1	CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL (CFDP) PART 3: INTEROPERABILITY TESTING FINAL REPORT 「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 3: 相互運用性試験（最終報告）」	2007 年 9 月
CCSDS 730.1-G-1	SOLAR SYSTEM INTERNETWORK (SSI) ARCHITECTURE 「太陽系内惑星間ネットワーク（SSI）のアーキテクチャ」	2014 年 7 月
CCSDS 730.2-G-1	CONCEPTS AND RATIONALE FOR STREAMING SERVICES OVER BUNDLE PROTOCOL 「バンドルプロトコルを使用したストリーミングサービスの概要」	2018 年 9 月
CCSDS 734.0-G-1	RATIONALE, SCENARIOS, AND REQUIREMENTS FOR DTN IN SPACE 「惑星間遅延耐性ネットワーク（DTN）の論理的根拠、各種シナリオ、並びに要件」	2010 年 8 月
CCSDS 735.0-G-1	ASYNCHRONOUS MESSAGE SERVICE 「非同期メッセージサービス」	2012 年 12 月

TIME CODE FORMATS

「タイムコードフォーマット」

Blue Book
CCSDS 301.0-B-4
発行月：2010年11月
ISO 11104:2011

【概要】

宇宙データにおける時刻データの表現方法を統一するための規格。

【内容】

宇宙データ（例えばテレメトリ）において時刻を2進数として表すためのデータフォーマットを規定したものである。時刻フォーマットはPフィールド（Preamble Field）およびTフィールド（Time Field）で構成され、Pフィールドに含まれる時刻コードIDにより以下のフォーマットを規定している。

- CUC：1958年1月1日もしくは機関が独自に定義した日時を元期とし、元期からの経過時間を秒単位の粗時刻と秒未満の精時刻で表現したもの。
- CDS：1958年1月1日もしくは機関が独自に定義した日時を元期とし、元期からの経過時間を日数、ミリ秒、マイクロ秒、および、ピコ秒の単位で表現したもの。
- CCS：2進化10進数（BCD）を用いて日付および時刻を表現したもの。
- 機関定義：機関が独自に定義できる時刻コードIDがアサインされている。

また、Tフィールドのみで構成するASCII文字による表現方法についても規定している。
例）2015-01-01T00:00:00.000Z（T:日付と時刻の区切文字、Z:終端文字）

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

各国の宇宙機関で広く使用されている。JAXAでは、宇宙機の通信・データ処理系や地上局システムに適用されているが、必ずしも完全に本勧告に準拠していない場合もある。

CCSDS CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS
「CCSDS暗号アルゴリズム」

Blue Book
CCSDS 352.0-B-2
発行月：2019年8月
ISO 20215

【概要】

本推奨規格は、宇宙機関間で使用するCCSDS用セキュリティ暗号アルゴリズムを定義するものである。

【内容】

データ、音声、画像、テレメトリ、コマンド等、衛星から地上に至る宇宙ミッションで利用できる、共通鍵を用いた暗号アルゴリズムや、認証アルゴリズムを推奨しており、以下が説明されている。

- CCSDSに適用したセキュリティアルゴリズムの暗号化についての概要
- セキュリティ暗号の概要
- 共通鍵を用いたMACアルゴリズム
- 公開鍵/秘密鍵を用いた認証
- 認証アルゴリズムとして知られているAEAD（Authenticated Encryption with Associated Data）の概要
- 暗号アルゴリズムで使用するモードや鍵サイズ等
- 認証アルゴリズムとして推奨するHMAC（Hash Message Authentication Code）の概要

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

海外では、DLR（ドイツ航空宇宙センター）がCCSDS暗号アルゴリズムを使用している。JAXAでは本推奨規格を使用していない。

NETWORK LAYER SCURITY ADAPTATION PROFILE

ネットワークセキュリティ適合プロファイル

Blue Book
CCSDS 356.0-B-1
発行月：2018年6月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、CCSDS宇宙リンクを介したインターネット（IP）データ通信※を利用する将来の宇宙機ミッションに備えて、ネットワーク層のセキュリティサービスを規定するものである。※IP over CCSDS Space Links（CCSDS 702.1-B-1）

【内容】
宇宙機ミッションにおけるデータ通信では、コマンドやソフトウェアアップロード、テレメトリ、実験ペイロードデータ等、各種データの機密性・整合性・認証性を確保するためのセキュリティサービスが要求される。インターネットプロトコル（IP）を利用するミッションも、データリンク層のCCSDSセキュリティ推奨規格「宇宙データリンクセキュリティ（SDLS）プロトコル（CCSDS 355.0-B-1 ）」を利用することができるが、SDLSは、右図1に示すとおり、2地点（例：地上局－衛星間等）をつなぐホップ・バイ・ホップ（hop-by-hop）に対応するセキュリティサービスである。したがって、宇宙機システムにIPを採用してインターネット用のデータ通信サービスを行う際には、ネットワーク層に適用可能なセキュリティサービスである「IPsec（IP Security）プロトコル」が必要となる。

IPsecでは、右図2に示すとおり、セキュリティサービスはデータ送信元（作成元）で適用され、データ送信先で解除される。中継の回数や中継システムの個数にかかわらず、情報はエンドツーエンドで保護され、ネットワーク層よりも下層のプロトコル群やフレームには影響しないため、既存の通信基盤を変更せずに実装することができる。

IPsecは「Authentication Header （AH）」と「Encapsulating Security Payload（ESP）」の2つのプロトコルから成るが、CCSDSでは、NULL 暗号化アルゴリズムを用いるESPのセキュリティ機能を採用する。ESPの概要（プロファイル）は、本推奨規格の第3章に規定されている。

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

本規格の開発に携わったNASAは採用を検討しているように伺えるが詳細については不明。

Hop-by-Hop Security

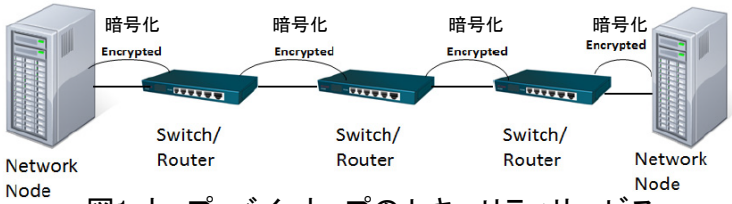


図1 ホップ・バイ・ホップのセキュリティサービス
※データリンク層で暗号化を行う

End-to-End Security

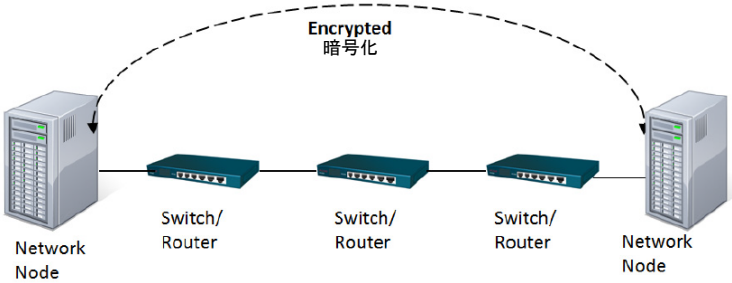


図2 エンドツーエンドのセキュリティサービス
※ネットワーク層で暗号化・復号を行う

CCSDS AUTHENTICATION CREDENTIALS
「CCSDS認証証明書」

Blue Book
CCSDS 357.0-B-1
発行月：2019年7月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、CCSDSミッションや地上システムによる認証に使用される証明書の仕様を定義している。

【内容】

多くのCCSDSミッションは、機関間の通信で扱う情報を保護するためのセキュリティサービスを必要としている。複製や偽造が困難で、複雑なメカニズムである証明書方式として技術的に実績のあるX.509証明書（IETF（インターネット技術の標準化を推進する任意団体）で規定）と、保護簡易認証（ISO9594-8で規定）をCCSDSミッションへ適用することを目的として、本推奨規格が作成されている。

- X.509証明書
  X.509証明書は、保護簡易認証よりも安全なメカニズムを持っており、CCSDSミッション向けの主要な証明書として推奨している。1つのドメイン内でのIFや1対1の対向システムIFの場合は下記保護簡易認証の採用も選択肢の1つとしている。X.509証明書は、送信者と受信者の二者間認証ではなく、第三者機関として、認証局（公開鍵の証明などを行う）を含めた三者間認証でやり取りを行う。
  まず、送信者は個人鍵と公開鍵のペアを作成し、認証局に公開鍵の証明を依頼する。次に、認証局は証明書に署名し、その証明書を発行する。最後に、送信者から受信者へ証明書が送付される。認証局は、ユーザやデバイスに発行される証明書について、登録過程、証明書作成過程、証明書発行、証明書失効、鍵付け替えを行い、証明書や指示事項に署名を付与する。

- 保護簡易認証
  保護簡易認証は、ユーザの識別名（パスワード）を用いたローカル認証であり、下記に示す基本的なログオン時の認証である。
  a. 特定の関数を適用することで、ユーザの識別名、パスワード、無作為な数字と（あるいは）タイムスタンプの転送を保護する。
  b. 特定の関数を適用することで、無作為な数字と（あるいは）タイムスタンプとともに、aで表現した保護情報の転送を保護する。

本推奨規格では、2.2節にX.509証明書、2.3節に保護簡易認証、3.1節にX.509証明書の構文規則、3.2節に保護簡易認証の仕様を説明している。

各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

DELTA-DOR RAW DATA EXCHANGE FORMAT

「DDORの生データ交換フォーマット」

Blue Book
CCSDS 506.1-B-1
発行月：2013年6月
ISO20208

【概要】
地上局で受信した電波の生波形（受信電圧の時系列データ）を記録し交換するためのフォーマット

【内容】
DDOR（Delta Differential One-Way Ranging）計測は、VLBI（Very Long Baseline Interferometry）技術を用いて深宇宙機の位置（視線方向と直交する成分）を効率的に決定するものであり、測距データやドップラーデータと併用することにより、深宇宙機の軌道決定精度を向上させるものである。

Delta-DOR観測には距離（基線：baseline）が離れた2つの地上局を用いる。観測に用いる地上局は、南北基線と東西基線の両方をそろえることが重要であり、それぞれの基線が直交する位置関係にあるのがベストである。しかし、これに最適な地上局を1つの宇宙機関で保有することは難しいことから、Delta-DOR観測は機関間協力が必須である。2つの地上局で同時に記録した電波の波形は、本フォーマットを用いてデータ解析機関（相関器局）に伝送される。解析機関では2つのデータの間の相関を計測（相関処理）し、計測結果を追跡データ（Tracking Data Message, CCSDS 503.0-B-1 ）として提供する。

本推奨規格は、上記の生データを機関間で交換する際に用いる「Delta-DORの生データ交換フォーマット（RDEF）」の仕様を規定するものであり、以下の構造を持つ。

- Delta-DOR技術の概要説明
- RDEFの構造と内容説明
  RDEFの交換ファイルである、以下の2つのファイルについて、ファイル名称のつけ方や、格納されるデータの定義等を記載している。
  - 観測ファイル（Observation file）：
    3つのセクション（Observation section、Scan Section、Ending Section）から構成
  - プロダクトファイル（Production file）：
    2つのセクション（Header Section、Data Section）から構成

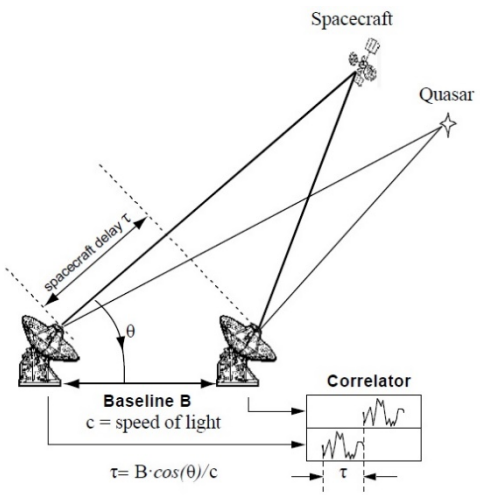


図1：DDOR観測

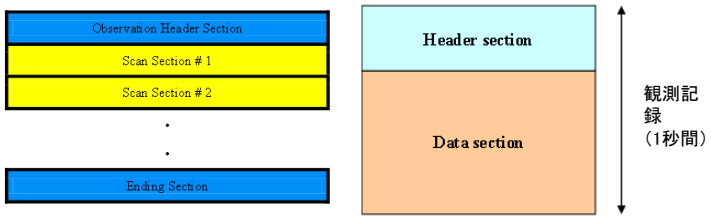


図2：RDEFのObservation Fileの構造（左）とProduct File の構造（右）

各国宇宙機関およびJAXAの動向

NASA、ESA、JAXAがDDOR標準サービス機能を有しており、ロシア、中国、インドも本機能を開発中である。JAXAは、これまでに、IKAROS、MAVEN、Planet-C、PROCYON、HAYABUSA-2を利用したDDOR計測をNASAおよびESAと共同で実施しており、それらの精度評価結果等に基づいてD-DORデータフォーマットを見直し、本文書に反映させている。特に、PROCYONでは、JAXAが提案・開発したスイープ型DORトーン発信器の評価をNASAと協同で実施しており、本フォーマットを通して扱える情報の精度向上に貢献している。また、DDORを利用したJPL/InsightやESA/BepiColomboの追跡支援も調整中である。

REFERENCE ARCHITECTURE FOR SPACE DATA SYSTEMS

「宇宙データシステムのための参照アーキテクチャ（RASDS）」

Magenta Book
CCSDS 311.0-M-1
発行月：2008年9月
ISO 13537

【概要】

宇宙データシステムのアーキテクチャを統一的に記述するための標準的な方法を規定するための規格。

【内容】

本推奨実践規範は、宇宙データシステムのアーキテクチャを統一的に記述する際の枠組みを示しており、共通の概念及び共通の図式的表現法を定義している。

従来は、様々な宇宙システム（搭載データ処理システム、衛星管制システム、衛星データ処理システムなど）のアーキテクチャ（システム構成原理）を記述するための統一的な基準はなく、アーキテクチャごとにそれぞれの方法で記述されていた。本規格は、どのようなシステムのアーキテクチャであろうと統一的な方法で記述及び解釈できるように、アーキテクチャを記述するための枠組みとして、アーキテクチャの基本要素とそれらの間の関係、及び、それらを図的に表現する方法を規定したものである。本規格では、Enterprise（組織）、Functional（機能）、Connectivity（接続性）、Communications（通信）、Information（情報）の5つの観点よりシステムを記述することを定め、それらの観点における基本要素とそれらの間の関係を定義している（右図参照）。

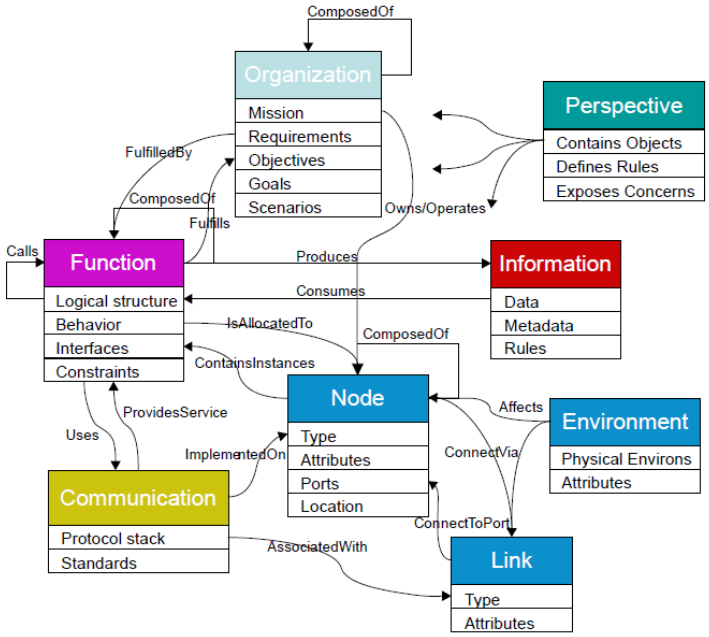


図1： RASDS Top Level Objects

各国宇宙機関およびJAXAの動向

各国宇宙機関あるいはCCSDSなどの諸団体では、新しくアーキテクチャを記述する場合に本規範に準拠する、あるいは、本規範を参考にする場合が増えているが、必ずしも100%の場合に本規範が適用されているとは言い難い。

CCSDS SPACECRAFT IDENTIFICATION FIELD CODE ASSIGNMENT CONTROL PROCEDURES

「CCSDS宇宙機識別子（SCID）の取得/管理手順」

Magenta Book
CCSDS 320.0-M-7 Cor.1
発行月：2019年7月
ISO －

【概要】

CCSDS規格に準拠したデータ伝送・構造を用いる宇宙機（CCSDS適合宇宙機）に割り当てる宇宙機識別子（SCID）について、取得手順、廃棄手順、管理手順を定義するものである。

【内容】

CCSDS規格に準拠したデータ伝送・構造を用いる宇宙機（CCSDS適合宇宙機）は、SCIDを個別に割り当てることで、その宇宙機からの受信データを別のCCSDS適合宇宙機のデータと誤認識する危険や、その宇宙機に送信したコマンドが誤ったプロセスで別のCCSDS適合宇宙機での誤受信・誤動作する危険を排除している。

SCIDは、右図に示す通り、SCIDデータフィールドのビット長に制限（8ビット長、10ビット長あるいは16ビット長）があり、利用可能なSCIDの数に限りがあるため、使用済みのSCIDを、超過需要に備えて再利用する必要がある。また、SCIDの枯渇問題を解決するために、SCIDに周波数帯域(Frequency band)を付与したQ-SCID (Qualified spacecraft Identifier)を導入している。

本推奨規格は、SCIDの取得及び廃棄の手順を定義すると共に、SCID取得及び廃棄の際のCCSDS事務局、CCSDSメンバー機関担当者、SANA※のそれぞれの役割と、申請・割当て・廃棄の各手順を規定している。

Version	Version Number	SCID
1	00(固定、2bit)	0～1023（10bit）
2	01（固定、2bit）	0～255(8bit)
3	11(固定、2bit)	0～1023（10bit）
4	1100（固定、4bit）	0～65535（16bit）
JAXAの例		
ETS-8コマンド用	00	0011101000
ETS-8テレメトリ用	01	11101000

CCSDSのSCIDは以下のサイトで確認できる。
＜https://sanaregistry.org/r/spacecraftid/spacecraftid.html＞

※SANA（Space Assigned Numbers Authority）
CCSDSの管轄下にあり、宇宙機識別子（SCID）の登録及び管理を行っている。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAを含む、CCSDSメンバー機関は本規格に則って、SCIDを取得し、運用終了後は、廃棄を行っている。

INFORMATION SECURITY GLOSSARY OF TERMS

「情報セキュリティ用語集」

Magenta Book
CCSDS 350.8-M-3
発行月：2024年2月
ISO －

【概要】

本推奨実践規範は、情報セキュリティに関する用語と、それらの定義をまとめたものである。

【内容】

本文書は用語集として、全てのCCSDS文書の執筆者に向けて、セキュリティ用語の定義を参照できるよう作成されており、1章では目的、範囲、適用、背景、および関連文書を、2章では概要を、3章ではセキュリティ用語とその解説を提供している。

これまで、セキュリティに関するCCSDS文書では、文書ごとに用語集を作成して掲載していたが、同じセキュリティ用語であっても、文書ごとに定義・解説が異なる状況が生じていた。そのため、作業の効率化と用語定義の統一を図るため、CCSDS文書の作成に携わるメンバー向けの参照文書として、本用語集が作成された。

なお、本文書はISO/IEC、NIST等の文書から定義を参照したものであり、CCSDSに適切と判断される場合はISO/IECの定義を優先的に参照している。

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

各国の宇宙機関の利用実績については不明である。

なお、JAXAは宇宙システムセキュリティ管理標準・対策標準作成において参照している。

SECURITY ARCHITECTURE FOR SPACE DATA SYSTEMS

「宇宙データシステムのためのセキュリティアーキテクチャ（SASDS）」

Magenta Book
CCSDS 351.0-M-1
発行月：2012年11月
ISO 20214

【概要】

本推奨規格「 Security Architecture for Space Data Systems：SASDS（宇宙データシステムのためのセキュリティアーキテクチャ）」は、技術者が、セキュアな宇宙システムに要求される階層化されたセキュリティ概念を理解することを目的として作成されている。本書はハイレベルなシステムエンジニアリングに関する文書に相当し、CCSDSのセキュリティに関する上位文書にあたる（図参照）。なお、SASDSは以下のために使用される。

- セキュリティに関わるCCSDS全体のコンセプトフレームワークを確立するため
- セキュリティに関わる共通言語や表現を定義するため
- セキュリティ設計者にシステムセキュリティデザインの開発に有用な情報を提供するため
- 系統立てた方法で標準の開発を容易にするため

【内容】

本書では、まず本書の上位にあたる宇宙データシステムのための参照アーキテクチャ（Reference Architecture for Space Data Systems：RASDS）の概要を示した上で、物理セキュリティ、情報セキュリティ、伝送セキュリティに関する一般的な原則と、セキュリティに関する文書化（セキュリティポリシー、リスクアセスメント、ミッションセキュリティアーキテクチャ、セキュリティ運用手順）について述べている。さらに、セキュリティシステム設計を行う際のガイドラインや、セキュリティアーキテクチャの原則（基本原則、拡張性、柔軟性、暗号化含む）、有人、地球観測、通信、科学、ナビゲーションの5つのミッション領域及び複数機関によって開発された宇宙機に対してどのようなセキュリティアーキテクチャが必要となるかをそれぞれ定義した上で、CCSDSの推奨するセキュリティアーキテクチャ、セキュリティサービスを定義している。

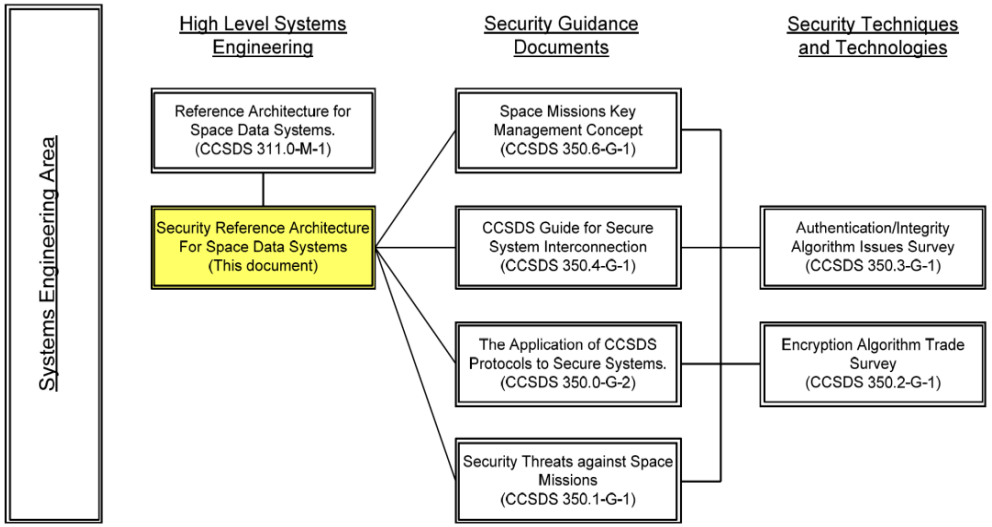


図1: 本書と他のCCSDS文書との関係（主にセキュリティ関連）

各国宇宙機関およびJAXAの動向

各国での利用実績は不明である。JAXAではまだ利用されていない。

DELTA-DIFFERENTIAL ONE WAY RANGING (DELTA-DOR) OPERATIONS

「DDOR計測の運用手順」

Magenta Book
CCSDS 506.0-M-2
発行月：2018年2月
ISO 17809

【概要】

DDOR計測の推奨運用手順を規定する文書

【内容】

DDOR（Delta-Differential One-Way Ranging）計測は、VLBI（超長基線電波干渉法）を用いた深宇宙のナビゲーション技法であり、ドップラ及びレンジ計測データと併用することで深宇宙機の軌道決定を効率的且つ高精度に行うことができる。VLBIは、地上の離れた2か所のアンテナで電波源（宇宙機）からの電波を受信し、2つのアンテナ間の電波到達時刻の差（Differential One-way Range）から電波源（宇宙機）の天球面上の位置を求める技法である。VLBI手法を単純に適用して探査機の位置を求めると、局位置誤差・大気遅延誤差・電離層遅延誤差などが誤差要因となり精度が出ない。そこで天球面上で宇宙機の近傍にあるクエーサー（基準電波源）のVLBI計測を探査機の計測の前後の時間に行い、両VLBI計測値の差をとる(Delta)ことにより校正し、高い精度を実現する手法がDDOR計測である。

DDOR計測を実施するためには、右図に示す通り様々なインターフェース(CCSDS Blue book 等で別途規定されている)を通じて情報を交換する必要がある。本推奨実践規範は、宇宙機関間でDDOR相互運用を行うためのDDOR技法の実践標準を定義し、各インターフェースで利用されるフォーマットを明示するものである。DDORを用いたナビゲーション技法の特徴、利点、制約、要件を特定し、機関間における標準的な運用・検証シナリオを紹介している。また、標準的な①高周波（RF）領域信号／電波受信、②各種データ交換、③支援依頼方法／データ伝送方法について定義・推奨している。

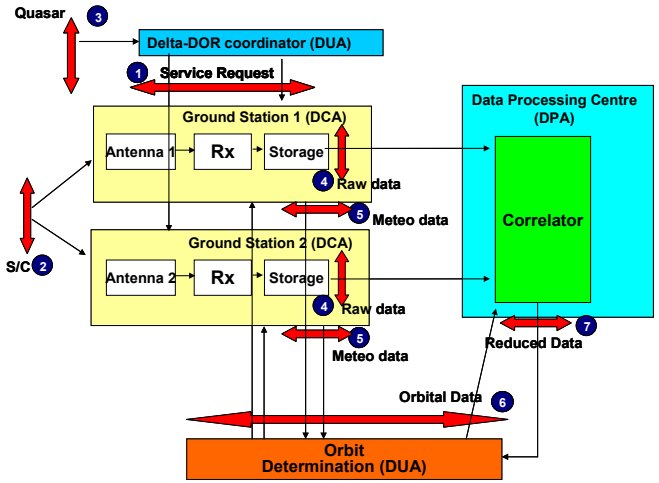


図1: High-Level Delta-DOR Flow

各国宇宙機関およびJAXAの動向

NASA、ESA、JAXAがDDOR標準サービス機能を有しており、ロシア、中国、インドも本機能を開発中である。JAXAは、これまでに、IKAROS、MAVEN、Planet-C、PROCYON、HAYABUSA-2を利用したDDOR計測をNASAおよびESAと共同で実施しており、それらの精度評価結果等に基づいて参照クェーサーの特性評価に貢献している。また、DDORを利用したJPL/InsightやESA/BepiColomboの追跡支援も調整中である。

DELTA-DIFFERENTIAL ONE-WAY RANGING (DELTA-DOR) QUASAR CATALOGUE UPDATE PROCEDURE

Magenta Book
CCSDS 506.3-M-1
発行月：2018年2月
ISO －

「Delta-DORクエーサーカタログ更新手順」

【概要】

Delta-DORで使用するクエーサーカタログの更新手順を規定する文書

【内容】

Delta-DOR（Delta-Differential One-Way Ranging）観測は、VLBI（超長基線電波干渉法）を用いたナビゲーション技法で、ドップラ計測及びレンジ計測データと併用することで宇宙機の天球上の角位置を効率的且つ高精度に測定することができるものである。

Delta-DOR観測では、宇宙機から発信されたトーン信号の一方向差分測定値を地上の離れた2局のアンテナで測定し、これと同じタイミングで宇宙機の付近にあるクエーサー（基準電波源）の電波との到達時刻の差を測定するため、クエーサーの正確な位置情報を事前に把握している必要があり、また利用可能なクエーサーの種類（コンパクトで、電波が強く、宇宙機に対する角度位置が近いことが望ましい）によって観測の質が左右される。

本推奨実践規範は、Delta-DOR測距で使用するクエーサーカタログの仕様、カタログを更新する際の留意点、クエーサーカタログ登録に必要な情報、SANA（カタログの登録・管理業務を担当する機関）のカタログ登録情報を更新する上でのルール等を定義するものである。

本実践規範では、X帯用のカタログにはJPLの発行する電波源カタログ「X-Band Radio Source Catalog」（関連文書[1]参照）を採用しており、その登録と管理はSANA（SPACE ASSIGNED NUMBER AUTHORITY(SANA) REGISTRY）のWebサイト上で行っている。

https://sanaregistry.org/r/radio_sources

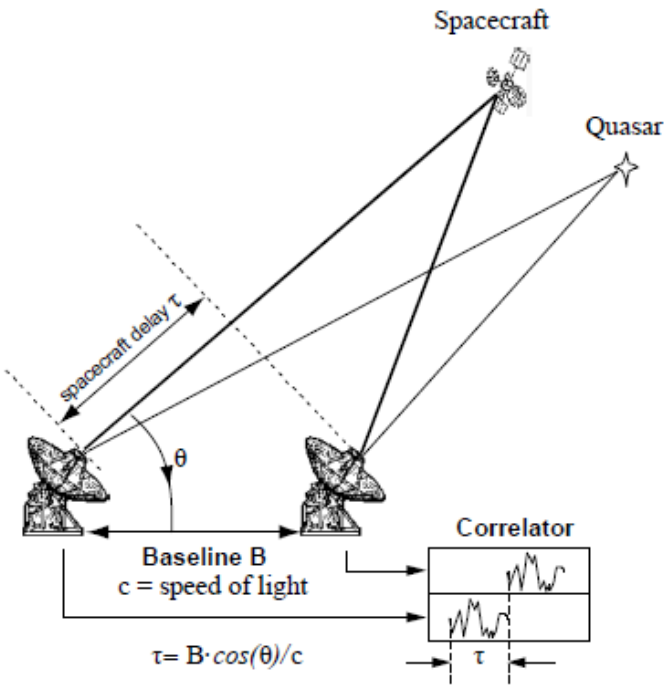


図1: Delta-DOR Observation Geometry

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨実践規範は、JAXA内ミッション(HAYABUSA-2等)でも適用されている。

REFERENCE ARCHITECTURE FOR SPACE INFORMATION MANAGEMENT

「宇宙情報管理のための参照アーキテクチャ」

Green Book
CCSDS 312.0-G-1
発行月：2013年3月

本解説資料は、宇宙機および地上システムにおけるデータ取得・管理・アクセス・交換における相互運用性を確保する目的で定義された推奨実践規範「Reference Architecture for Space Data Systems（CCSDS 311.0-M-1）：宇宙データシステムのための参照アーキテクチャ」の内容を解説するものである。

本解説資料では、ミッション運用地上データシステム、科学データシステム、オンボードデータ管理システム等の開発において参照可能なアーキテクチャを定義しており、それは宇宙データシステムのソフトウェア要素（レジストリ・リポジトリ）、データ要素、インターフェース等の開発時に参照利用できるよう、宇宙データシステム全体を網羅している。

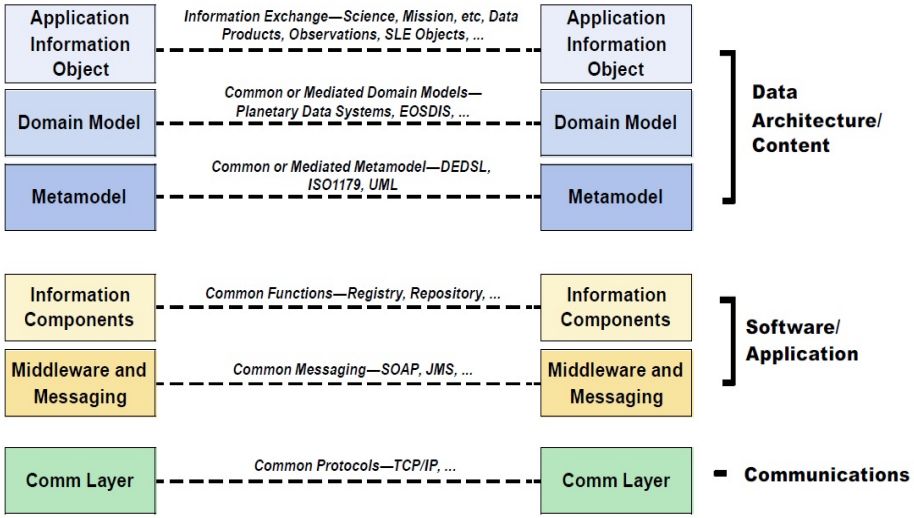


図1: High-Level Abstract View of Interoperable Information Architecture

相互運用を考慮していない情報管理システムでは、地上側および宇宙機側、それぞれのシステム間の情報交換に支障があり、宇宙機関間の相互運用のみならず、情報システム機器間のデータ交換・統合運用をも妨げる。

情報システム間の相互運用性を確保するためには、データの検出・アクセス・管理・変換に関する規範的なアーキテクチャ及び標準サービスが必要で、そのために、ミッション運用期間全体を通して適用可能な上記推奨実践規範が作成されるに至った。

情報アーキテクチャは階層化されており、左図に相互運用性を実現するために重要な各層を示す。本文書では、各領域内、領域間、アプリケーション間の相互運用性を促進するために、階層ごとに解説を与えている。

ソフトウェア、またはデータレベルで相互運用性を確保するためには、アプリケーションインターフェース間で交換するメッセージ内容の共通インターフェースとメタデータモデルだけでなく、データ自体の内容を定義する必要がある。下位モデルを考慮したアーキテクチャを定義することにより、ソフトウェアシステム設計の有効寿命を伸ばし、国際宇宙ミッションのデータの利用性を向上させる基盤整備が促進される。

THE APPLICATION OF SECURITY TO CCSDS PROTOCOLS (1/2)

「CCSDSプロトコル群を対象としたセキュリティの実装」

Green Book
CCSDS 350.0-G-3
発行月：2019年3月

本書は、宇宙機管制及びオンボードデータ処理系においてCCSDS推奨規格・推奨実践規範を採用する、宇宙機ミッションの通信を保護するためのセキュリティについて解説している。セキュリティの概念および定義、CCSDSにおけるセキュリティの要件、メカニズム（機密性、認証、データ整合性、アクセス制御等）、実装オプション（暗号化、各層におけるセキュリティーオプション等）や影響する範囲について解説している。なお、本資料では主に宇宙-地上間のデータリンクセキュリティについて詳述している。

従来の民間宇宙ミッションは、独自のデータシステムを使用することで不正アクセスを防いでいた。一方、軍事目的のミッションでは、ミッションごとに固有のセキュリティ対策を行って、コマンドやテレメトリデータを保護してきた。しかし、ミッション制御やデータ配信において、よりオープンなシステムが使われるようになり、インターネットを利用する場面が増え、頻繁に相互支援活動も行われるようになったことから、民間の宇宙ミッションや地上システムの開発者の間でも、システム設計段階からセキュリティを考慮する必要性が高まっている。

CCSDSの推奨規格231.0-B(TC Synchronization and Channel Coding)、232.0-B(TC Space Data Link Protocol)、131.0-B(TM Synchronization and Channel Coding)、132.0-B(TM Space Data Link Protocol)、732.0-B(AOS Space Data Link Protocol)は、主に民間の宇宙機関によって民間のミッションにおける通信要件を満たすために開発されたものだが、国家機関や軍、商用ミッションなどにおいても大きな関心を集めている。CCSDSの推奨規格が広く採用されるとさまざまな製品が市販されるようになり、将来のミッション開発費用の大幅な削減につながることが期待されている。

セキュリティ要求には、テレコマンドデータの保護、テレメトリデータの保護、地上データシステムデータの保護があり、それぞれに機密性、完全性、可用性、アクセス制御、認証等が求められる。セキュリティ要求のレベルはミッションにより異なる。

次ページに、CCSDS採用ミッションのセキュリティコンセプトのいくつかを示す。

THE APPLICATION OF SECURITY TO CCSDS PROTOCOLS (2/2)

「CCSDSプロトコル群を対象としたセキュリティの実装」

Green Book
CCSDS 350.0-G-3
発行月：2019年3月

図1では、本解説資料で取り扱っているセキュリティ実装ポイントの一部を示している。

図2では、ポイントツーポイント、ホップバイホップ、エンドツーエンドにおける、機密性保護のための暗号化オプションの違いを示している。

図3では、エンドツーエンドのデータ保護のためのネットワーク層セキュリティと、地上-宇宙間のトラフィック分析を防止するための下位層のセキュリティの併用コンセプトを示している。

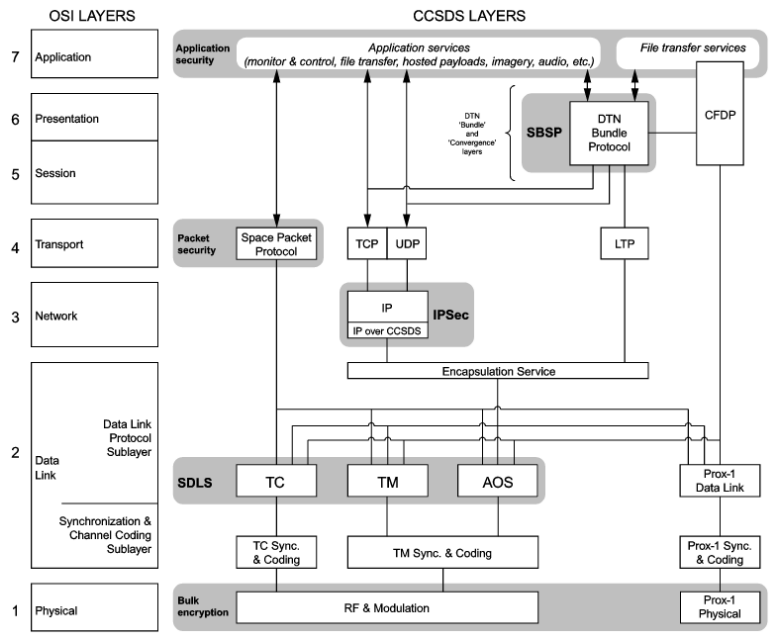


図1: CCSDSプロトコル群とセキュリティの実装ポイント

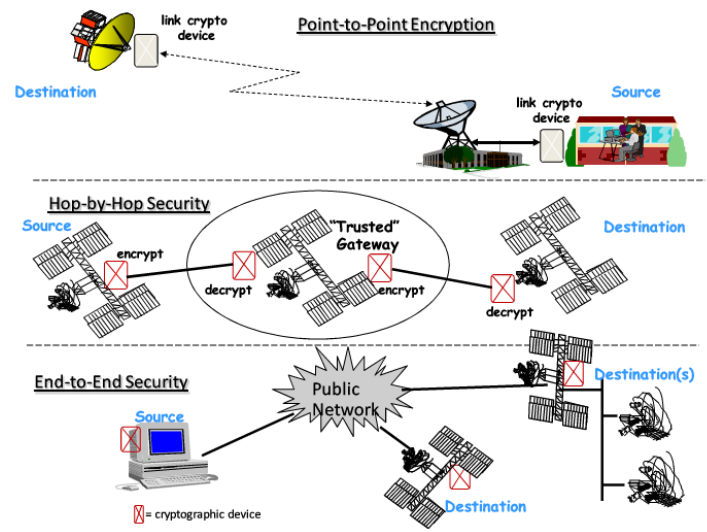


図2: ポイントツーポイント、ホップバイホップ、エンドツーエンドの暗号化通信

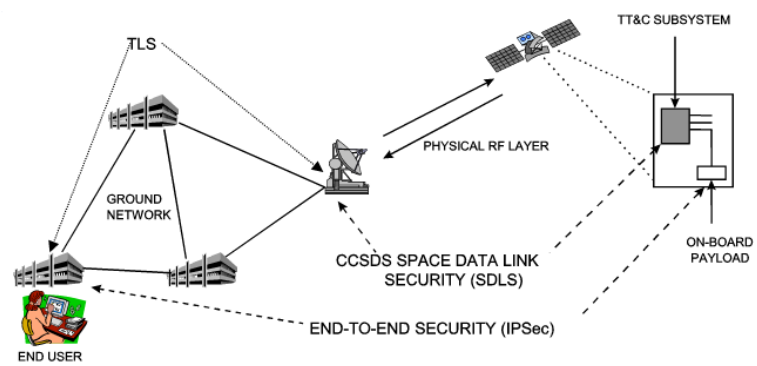


図3:エンドツーエンド間通信における
CCSDSデータリンク及びネットワーク層のセキュリティ構成

SECURITY THREATS AGAINST SPACE MISSIONS

「宇宙ミッションに対するセキュリティ脅威」

Green Book
CCSDS 350.1-G-3
発行月：2022年2月

本解説資料は、宇宙ミッションのミッションプランナーを対象に、宇宙ミッションの様々な側面に存在する脅威分析の概要、一般的なセキュリティ脅威とその根源の概要、および脅威への対策として考えられるセキュリティメカニズムを解説するものである。脅威の分析および特定に関して充分な知識のない読者を前提に書かれている。

通信のユビキタス化に伴い、宇宙ミッションも従来はなかった脅威にさらされるようになった。ミッションプランナーは、セキュリティ担当者と協力してセキュリティ脅威についての詳細分析を行い、ミッションのセキュリティ要求について十分に理解する必要がある。

右図はCCSDSの通信セキュリティに対する一般的な脅威をマッピングしたものである。

本解説資料の4章では、脅威分析の具体的な手法、およびリスクアセスメントの手順を紹介しており、5章では、ミッションのカテゴリ別にセキュリティリスクを特定している。

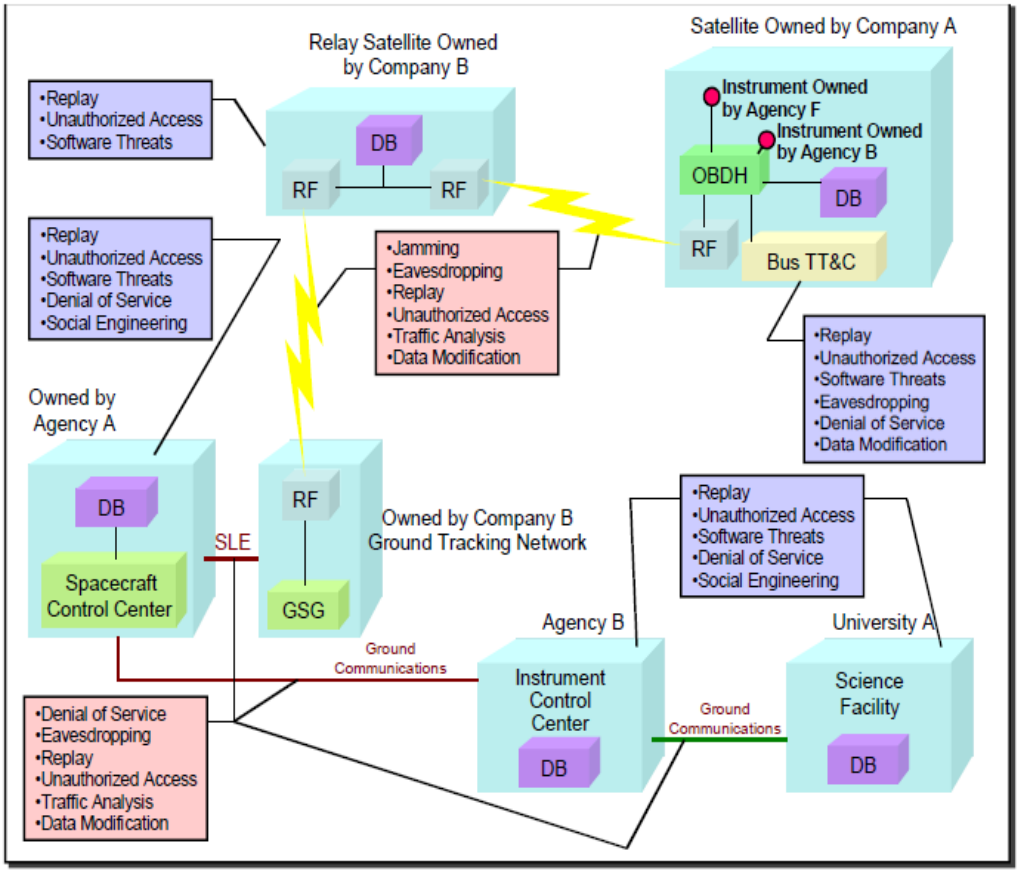


図1: CCSDS Security Communications Threats

CCSDS GUIDE FOR SECURE SYSTEM INTERCONNECTION

「セキュアなシステム間相互接続に関する CCSDSガイド」

Green Book
CCSDS 350.4-G-2
発行月：2019年4月

本解説資料は、アメリカ国立標準技術研究所（NIST）による情報システム間の相互接続に関する指針「Security Guide for Interconnecting Information Technology Systems （NIST Special Publication 800-47）」をベースに、宇宙機関を含む組織同士のネットワークや情報システムのセキュアな相互接続のための指針を示している。

宇宙機関を含む各組織には、それぞれ独自のセキュリティ要求や方針、執行方法などが存在し、ネットワークや情報システムの相互接続は容易ではない。本資料では、宇宙機関を含む組織間でネットワークや情報システムを相互接続する際のライフサイクル管理アプローチを、セキュリティに重点を置いて説明する。

- 接続計画（Planning the Interconnection）
- 接続確立（Establishing the Interconnection）
- 接続維持（Maintaining the Interconnection）
- 接続解除（Disconnecting the Interconnection）

例として、「接続計画」では図1のシステム相互接続のための計画手順、「接続確立」では図2のシステム相互接続のための確立手順を用いて、それぞれの流れを解説している。

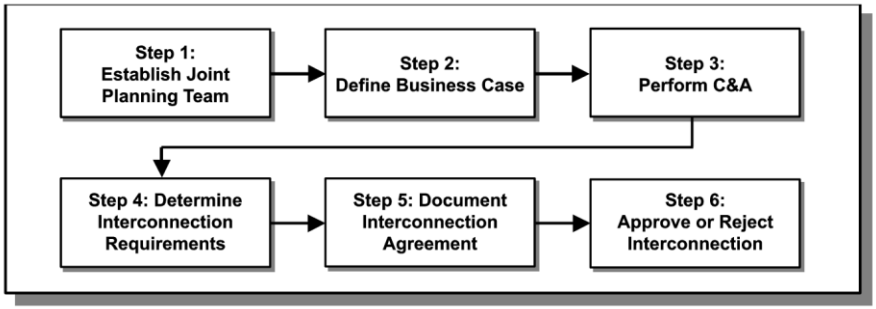


図1：システム相互接続のための計画手順

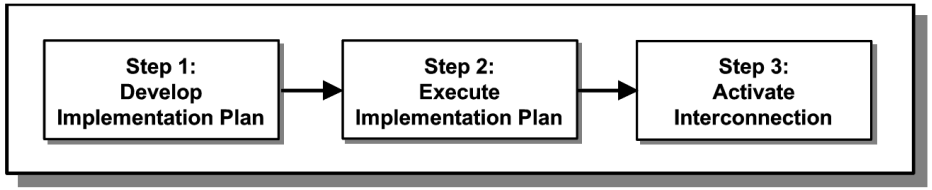


図2：システム相互接続のための確立手順

SPACE MISSIONS KEY MANAGEMENT CONCEPT

「宇宙ミッションにおける鍵管理コンセプト」

Green Book
CCSDS 350.6-G-1
発行月：2011年11月

本解説資料は、宇宙ミッションにおける暗号鍵管理のコンセプトを示すものである。

情報セキュリティ対策に関する意識が世界的に高まっており、それは宇宙ミッションにおいても同様である。セキュリティ対策を採用すると、さまざまな権限レベルの関係者間において暗号化ツールをやり取りする必要が生じ、そのプロセスを「鍵管理」と呼ぶ。鍵管理には、技術的ツールの実装以外にも、セキュリティ方針や、鍵ツールの取り扱い方、鍵の伝送など、さまざまな要素が含まれている。

宇宙の通信環境は地上とは全く異なりさまざまな制約（通信障害・干渉）が存在するため、鍵管理も地上のようにはいかない。そのため本解説資料では、地上における現行の鍵管理システムおよび鍵管理基盤の、宇宙ミッション（地上・宇宙ネットワーク）への適用可能性、および宇宙ミッションにおける鍵管理シナリオについて記載している。

具体的には、第4章では鍵管理モデルとして、宇宙−地上間の鍵配布モデル（鍵の生成、配布、非対称暗号鍵の交換、鍵の失効、鍵管理データ構造）、ペイロードデータ配布モデル、宇宙機コンステレーション、スペアマスターキーの運用などについて解説している。また第5章では、地上セグメントにおける鍵管理について解説している。

CCSDSでは、宇宙データシステムのセキュリティに関し、暗号アルゴリズムや認証にかかわる推奨規格や推奨実践規格を発行している。CCSDSの暗号アルゴリズムの利用にあたっては、権限を与えられた関係者間で暗号鍵をやりとりする必要があることから、暗号鍵管理は安全な通信システムの構築において非常に重要である。

SECURITY GUIDE FOR MISSION PLANNERS（1/2）

「ミッションプランナー向けセキュリティガイド」

Green Book
CCSDS 350.7-G-2
発行月：2019年4月

本解説資料は、宇宙データシステム開発の初期段階においてセキュリティを統合する際の方針や目的、プロセスの流れに関する基本的な情報を提供し、システムセキュリティ計画とセキュリティ制御フレームワークについて解説するものである。

システムセキュリティ計画の目的は、持続的なミッションの成功と継続を保証するために、情報と情報システムリソース両方の保護を強化することである。宇宙システムの情報や機器はさまざまな脅威にさらされており、ミッションの性質や、資産の物理的及び情報的価値に応じて、多様なレベルの保護を必要としている。各機関は、機関の運営支援やその資産保護のため、情報及び情報システムのセキュリティ対策として、機関全体を対象にしたプログラムを開発、文書化して実装しなければならない。

セキュリティ計画の目的は、システムのセキュリティ保護とリスクに関する最新ステータスの評価を継続的に更新し、一元的に提供することである。セキュリティ保護の開発から維持段階に至るまで、管理者の意向を伝達し、説明責任を果たすため、セキュリティ計画は不可欠である。

セキュリティ制御フレームワークの目的は、関連するセキュリティ関連事項を階層的にグループ化して、システム所有者がポリシーを設定する際の指針となり、ポリシーを実装するためのより具体的なアーキテクチャ要件及び手順要件に分解しやすくすることである。これにより、システムがセキュリティ目的を満たしているか、どのように満たしているかを評価することができる。

SECURITY GUIDE FOR MISSION PLANNERS（2/2）

「ミッションプランナー向けセキュリティガイド」

Green Book
CCSDS 350.7-G-2
発行月：2019年4月

図1はCCSDSセキュリティ関連文書の論理的構成を示したもので、図2は「The Application of CCSDS Protocols to Secure Systems セキュアシステムへのCCSDSプロトコル群の適用（CCSDS 350.0-G）」からミッション設計者向けのセキュリティフレームワーク及びセキュリティ推奨規格にどのように発展していくかをそれぞれ示している。

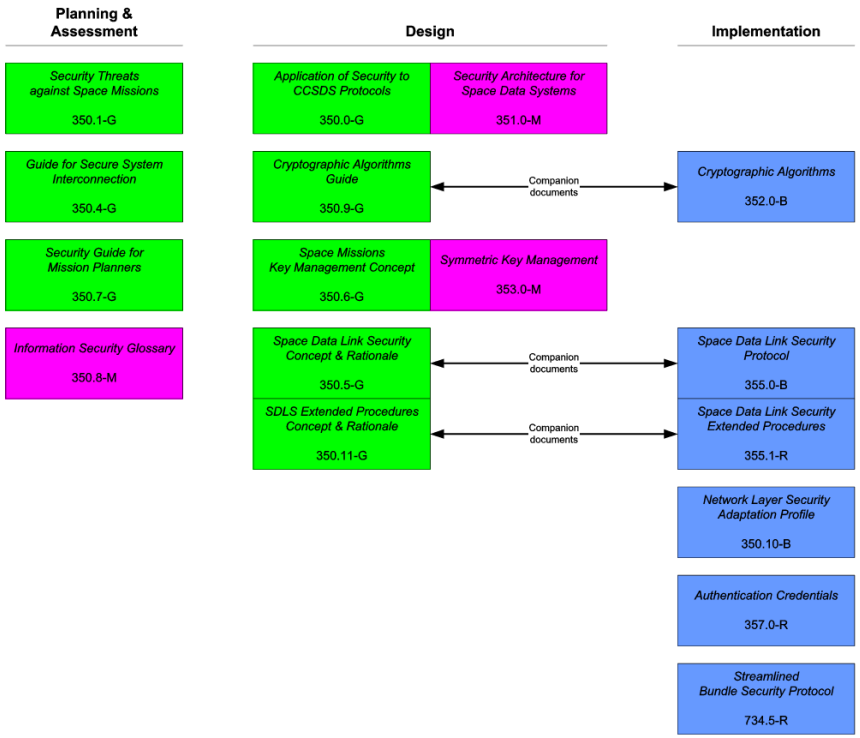


図1：CCSDSセキュリティ文書ツリー

図2：CCSDSセキュリティフレームワーク

※図1、2に記載がある「Application of Security to CCSDS Protocols」は「The Application of CCSDS Protocols to Secure System」を指す。

CCSDS CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS

「CCSDS暗号アルゴリズム」

Green Book
CCSDS 350.9-G-1
発行月：2014年12月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「CCSDS暗号アルゴリズム（CCSDS 352.0-B-1）」について解説するものである。

CCSDS暗号アルゴリズム推奨規格では、宇宙機および地上システムのいずれにおいても、単一の対称ブロック暗号アルゴリズムである「Advanced Encryption Standard （AES）」（図1）の、カウンター（CTR）モード（図2）、最短鍵長128bitを使用して機密性を確保するよう推奨している。

AESアルゴリズムは米国で公式に暗号化規格として採用されているほか、ISOでも規格化されている。標準化され、よく知られているアルゴリズムと高品質な暗号技術を使用することで、システムセキュリティと相互運用性を強化できる。

標準化されている公認アルゴリズムが広く普及すれば、特定のシステムやミッションに合わせたアルゴリズムを毎回実装する代わりに市販品を購入すればよくなるため、スケールメリットを得ることもできる。

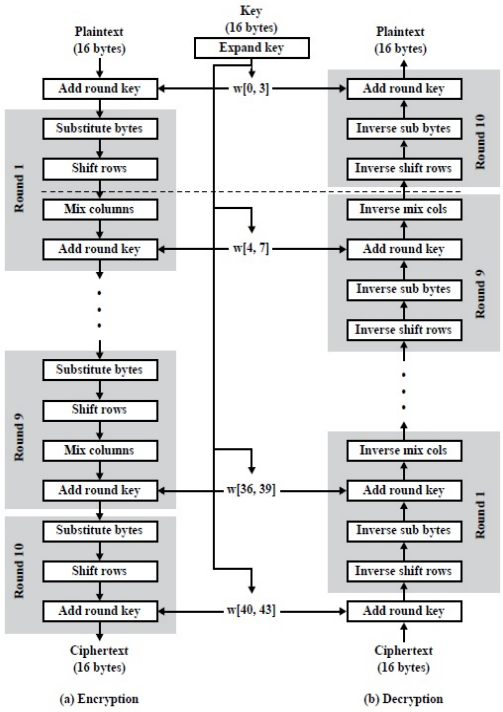


図1： Overview of AES

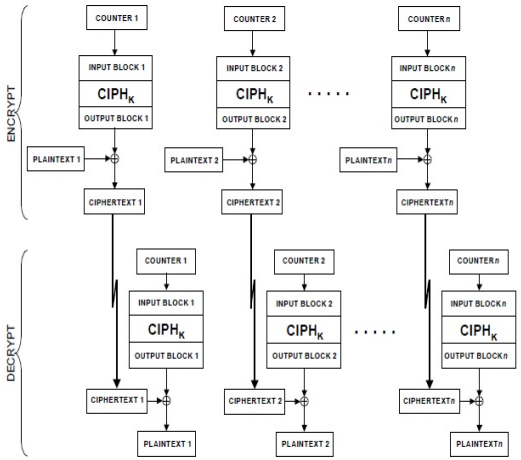


図2： Counter Mode

APPLICATION AND SUPPORT LAYER ARCHITECTURE

「”アプリケーションとサポート”層のアーキテクチャ」

Green Book
CCSDS 371.0-G-1
発行月：2020年11月

本解説資料は、ミッション運用サービス*1と宇宙機オンボードサービス*2を機関間で相互運用する際に使用する、”アプリケーションとサポート”層のリファレンスアーキテクチャについて解説している。

同層において交換される情報や、それらのデータ形式、構造、セマンティクス、情報コンテンツ等を、情報オブジェクトとして生成するための機能、また、通信エンティティ間の仕様や、導入されたアプリケーションなどが定義されている。

図1にミッション運用の機能概念を、図2に宇宙機、地上局、ミッション運用センター*3間において、ミッション運用がどの階層に位置付けられるかを示す。

*1: Mission Operations (MO)　*2: Spacecraft Onboard (SO)　*3: Mission Operation Center (MOC)

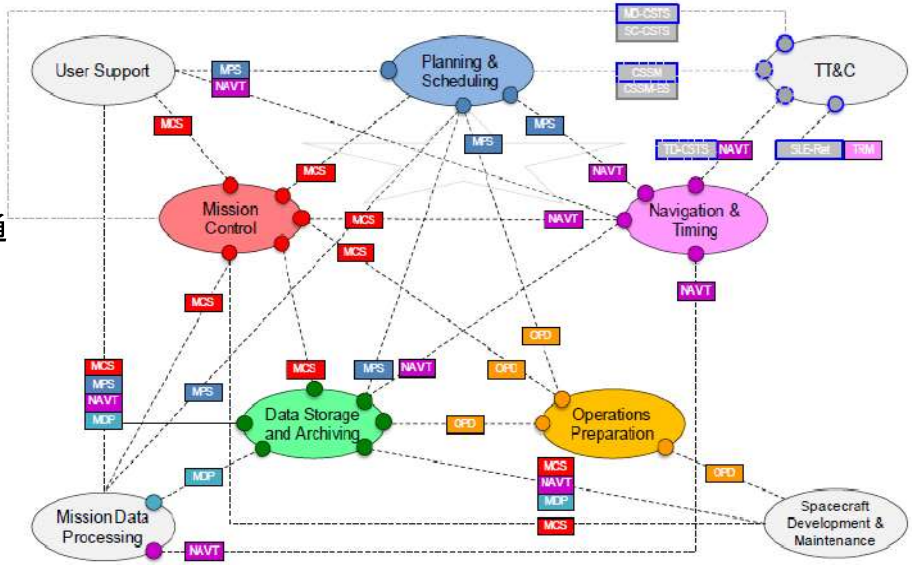


図1：ミッション運用の機能概念

本解説資料の構成は以下のとおりである。

- 第 1章　目的、範囲
- 第 2章　“アプリケーションとサポート”層のアーキテクチャ概要
- 第 3章　“アプリケーションとサポート”層のリファレンスアーキテクチャ
- 第 4章　各機能説明
- 第 5章　各機能間でインターフェースする情報オブジェクト
- 第 6章　サービス区分
- 第 7章　通信プロトコル
- 第 8章　ノード毎の機能配分アーキテクチャ
- 第 9章　アプリケーション毎の機能配分
- 第10章　実装時の適用技術

※第4章～第10章は、CCSDS推奨実践規範「宇宙データシステムのためのリファレンスアーキテクチャ(RASDS)」(Reference Architecture for Space Data Systems (CCSDS 311.0-M-1))に記述されている5つの観点を拡張したもの

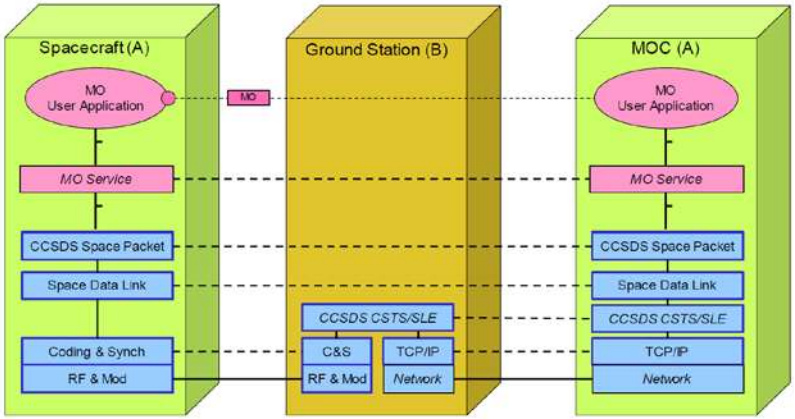


図2：　宇宙機、地上局、ミッション運用センター間のミッション運用の階層位置付け

DELTA-DOR--TECHNICAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE (1/2)

「DDOR – 技術的特性と性能」

Green Book
CCSDS 500.1-G-2
発行月：2019年11月

本解説資料は、VLBI（超長基線電波干渉法）を用いた深宇宙のナビゲーション技法である「Delta Differential One-Way Ranging（DDOR）計測」について、その理論、システム性能と各種制約とのトレードオフ、DDOR 運用に要求される宇宙機関間の相互支援環境の技術的定義や規約等について解説している。

DDOR計測は、ドップラ及びレンジ計測データと併用することで深宇宙機の軌道決定を効率的かつ高精度に行うことができる。その計測技法は、地上の離れた2か所のアンテナで宇宙機からの電波を受信し、アンテナ間の電波到達時刻の差（Differential One-Way Range）から宇宙機の天球面上の位置（視線方向と直行する成分）を求めるものである。

複数の宇宙機関間でDDOR運用を行うためには、各宇宙機関が取得・処理したDDORデータの相互運用性、DDORサービス要求、生データ交換フォーマット、そして関連プロダクトの交換インターフェースを標準規格化する必要がある。

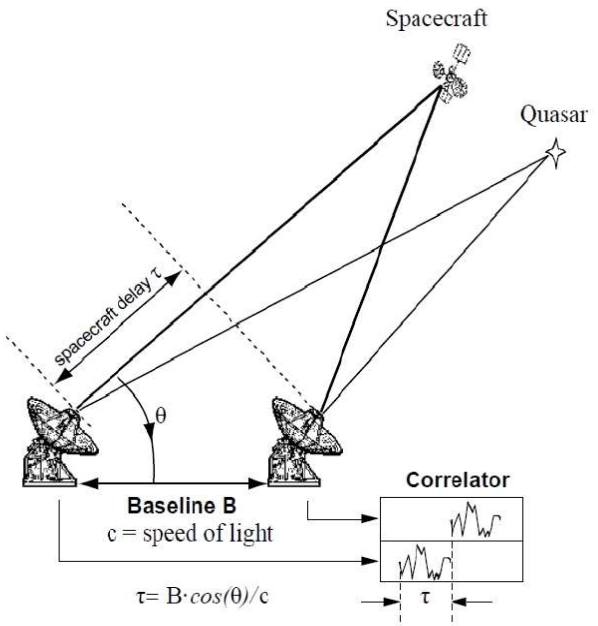


図2： Delta-DOR観測の幾何学的配置

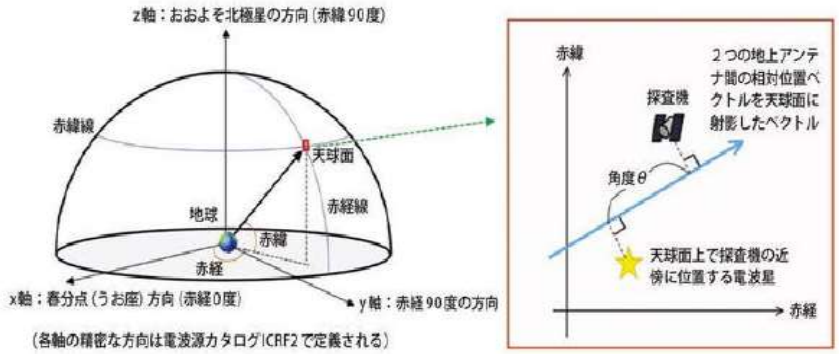


図1： Delta-DOR観測量の幾何学的意味

左図はDelta-DOR観測量の幾何学的意味を表している。

（「Delta-DOR 技術による深宇宙軌道決定の高精度化」より引用）

http://www.isas.jaxa.jp/feature/forefront/160509.html

DELTA-DOR--TECHNICAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE (2/2)

「DDOR – 技術的特性と性能」

Green Book
CCSDS 500.1-G-2
発行月：2019年11月

図3は、DDOR計測に用いられる地上システムのブロック図を示したものである。アンテナで受信した信号は、地上局のデジタル受信系で処理された後、大容量記録媒体にデータとして保存される。
離れた地上局（Station 2）で受信したデータは、相関をとるために一ヶ所に集められ、そこで遅延量の差が計算され、その観測値がエンドユーザーに送られる。計測に用いるDORトーンの生成には正弦波変調と矩形波変調の2つの方式がある。

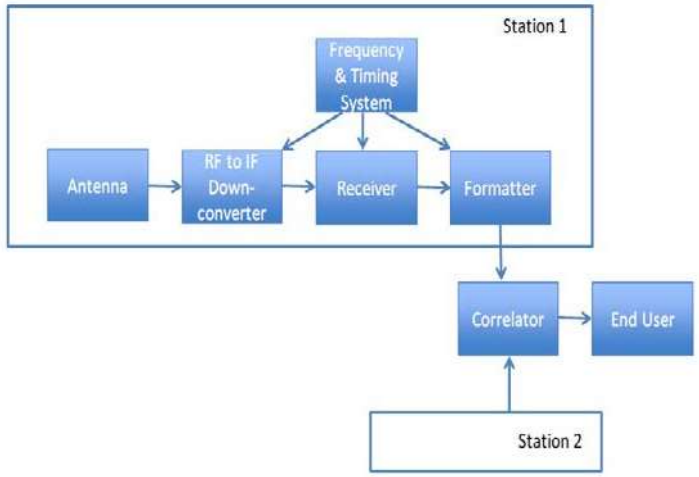


図3： Delta-DOR計測の地上システムブロック

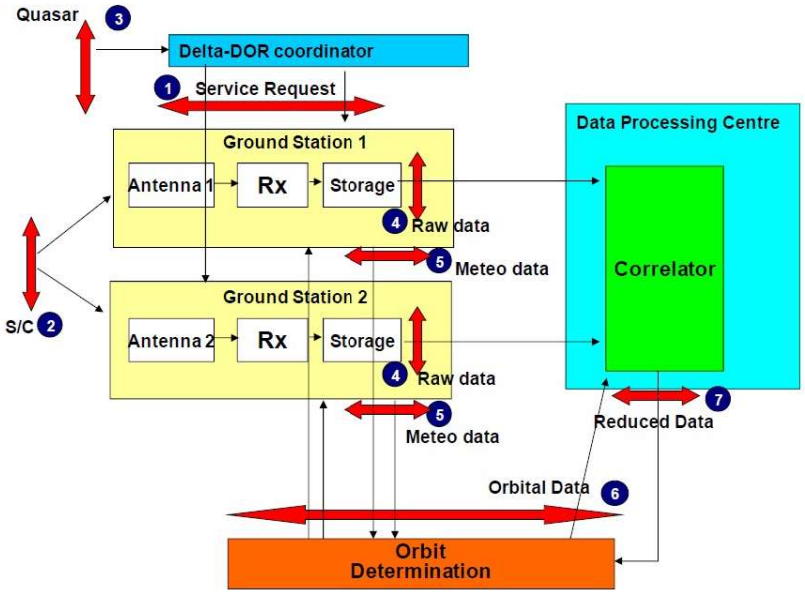


図4： Delta-DOR計測データフロー

図4の①～⑥は、DDOR運用において、信号受信から軌道決定までのシステム的なインターフェースを示すものである。各インターフェースは、以下のとおり、別の文書等で規定されている。

①：CCSDS 506.0-M-2　②：CCSDS 401.0-B-29
③：JPL DSN No.810-005. 107D　④：CCSDS 506.1-B-1
⑤、⑦：CCSDS 503.0-B-1　⑥：CCSDS 502.0-B-2

ORBIT DATA MESSAGES (1/2)

「軌道データメッセージ（ODM）」

Blue Book
CCSDS 502.0-B-3
発行月：2023年4月
ISO 26900

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の軌道情報の伝達に使用するためのメッセージフォーマットを規定している。

【内容】

ODMはASCIIテキストのファイルであり、本書では、KVN（keyword = value notation）および、XML（Extensible Markup Language）記法に従った表現形式について述べている。

ODMは、ヘッダ部、メタデータ部、データ部から構成される。ODMには、以下の4種類のメッセージフォーマットがある。

- Orbit Parameter Message（OPM: 軌道パラメータメッセージ）
- Orbit Mean-Elements Message（OMM: 平均軌道要素メッセージ）
- Orbit Ephemeris Message（OEM: 軌道暦メッセージ）
- Orbit Comprehensive Message（OCM: 軌道総合メッセージ）

OPMの主なデータ項目を表1に、OMMの主なデータ項目を表2に示す。

表1：Orbit Parameter Message: OPM（軌道パラメータメッセージ）

概要	主なデータ項目
ひとつの宇宙機の、ある時刻における位置と速度を格納する。 オプションとして、接触ケプラー軌道要素、太陽輻射圧や大気抵抗に関するパラメータ、位置速度の共分散行列、軌道制御に関するパラメータも格納できる。	【ヘッダ部】 ・フォーマットバージョン ・ユーザ定義分類 ・作成日時 ・作成機関 ・メッセージID 【メタデータ部】 ・宇宙機名、宇宙機ID ・中心天体、座標系、時系 【データ部】 ・エポック ・位置ベクトル ・速度ベクトル

表2：Orbit Mean-Elements Message: OMM（平均軌道要素メッセージ）

概要	主なデータ項目
ひとつの宇宙機の、ある時刻における平均ケプラー軌道要素を格納する。 オプションとして、地心重力定数、太陽輻射圧や大気抵抗に関するパラメータ、NORAD Two Line Element Sets（TLE）と互換性を取るためのパラメータ、位置速度の共分散行列を格納できる。	【ヘッダ部】 ・フォーマットバージョン ・ユーザ定義分類 ・作成日時 ・作成機関 ・メッセージID 【メタデータ部】 ・宇宙機名、宇宙機ID ・中心天体、座標系、時系 ・平均軌道要素の種類 【データ部】 ・エポック ・軌道長半径又は平均運動 ・離心率 ・軌道傾斜角 ・昇交点赤経 ・近地点引数 ・平均近点離角

ORBIT DATA MESSAGES (2/2)

「軌道データメッセージ（ODM）」

Blue Book
CCSDS 502.0-B-3
発行月：2023年4月
ISO 26900

OEMの主なデータ項目を表3に、OCMの主なデータ項目を表4に示す。

表3：Orbit Ephemeris Message: OEM
（軌道暦メッセージ）

概要	主なデータ項目
ひとつの宇宙機の、ある期間における時々刻々の位置と速度を格納する。 オプションとして、時々刻々の加速度、共分散行列を格納できる。	【ヘッダ部】 ・フォーマットバージョン ・ユーザ定義分類 ・作成日時 ・作成機関 ・メッセージID 【メタデータ部】 ・宇宙機名、宇宙機ID ・中心天体、座標系、時系 【データ部】 ・時々刻々の軌道要素 　－ エポック 　－ 位置ベクトル 　－ 速度ベクトル

表4：Orbit Comprehensive Message: OCM
（軌道総合メッセージ）

概要	主なデータ項目
OPM, OEM, OMMを単一のメッセージとして集約、拡張する。 多くの情報を格納するため、データ部がセクション分けされている。	【ヘッダ部】 ・フォーマットバージョン ・ユーザ定義分類 ・作成日時 ・作成機関 ・メッセージID 【メタデータ部】 ・宇宙機名、国際衛星識別符号 ・メッセージ分類、関連するCCSDSメッセージリンク ・作成者情報、機関情報 【データ部】 ・軌道力学モデルセクション ・物理パラメータセクション ・誤差共分散暦セクション ・マヌーバ仕様セクション ・軌道データセクション ・軌道決定データセクション ・ユーザ定義パラメータセクション

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

海外では、NASA（アメリカ航空宇宙局）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）、DLR（ドイツ航空宇宙センター）がODMを使用している。国内では、JAXAの水循環変動観測衛星「しずく」（2012年5月打ち上げ）、金星探査機「あかつき」（2010年5月打ち上げ）、小惑星探査機「はやぶさ2」（2014年12月打ち上げ）、水星磁気圏探査機「MMO」（2018年10月打ち上げ）、東京大学/中須賀・船瀬研究室を中心にJAXA宇宙科学研究所や全国の大学の共同ミッションである「EQUULEUS」（2022年11月打ち上げ）のシステムにOEMを使用している。

TRACKING DATA MESSAGE

「追跡データメッセージ（TDM）」

Blue Book
CCSDS 503.0-B-2 Cor.1
発行月： 2021年10月
ISO 13526

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の追跡データメッセージ（TDM）のデータフォーマットを規定するものである。

【内容】

TDMはASCIIテキストのファイルであり、本規格ではKeyword = Value Notation (KVN) 形式と、XML形式のフォーマットを定めている。
TDMはHeader部とBody部から構成され、Body部のSegment数に制限は無い。TDMの構成と主なデータ項目を表1に示す。
なお、衛星の軌道・姿勢等、航法関連データ全般については、CCSDS解説書（CCSDS 500.0-G, CCSDS 500.2-G）に概要が記載されている。

表1：追跡データメッセージの構成と主なデータ項目

項目			概要	主なデータ項目
Header			メッセージの基本的なパラメータを識別する情報で構成される。	・フォーマットバージョン、作成日時、作成宇宙機関
Body	Segment 1	Metadata 1	追跡データの補助的な情報で構成される。	・Time Tag(追跡データ時刻)の時系識別 ・データ部に格納されている追跡データに関係する地上局/宇宙機/クエーサの識別
		Data 1	追跡データと追跡データに関する補助的な情報、対流圏や電離層遅延等の補正に必要な情報で構成される。	【レンジ及びレンジレート関連データ】 電波送信強度、Instantaneous Doppler、Integrated Doppler、 電波送信強度のノイズスペクトル密度比、測距強度のノイズスペクトル密度比、 レンジ、受信周波数、平均受信周波数、送信周波数、送信周波数変化率 【VLBIデータ】 2局間のレンジ差分、2局間の観測時刻差 【角度データ】 方位角・仰角、赤経・赤緯、X角・Y角 【光学・レーダ関連データ】 見かけの等級、レーダ反射断面積 【時刻タグの補正データ】 クロックバイアス、クロックドリフト 【電離層及び対流圏補正データ】 視線方向の電離層全電子数、対流圏遅延乾燥成分、対流圏遅延湿潤成分 【気象データ】 大気圧、湿度、温度
	:	:		
	Segment n	Metadata n	（概要は上記と同一）	（主なデータ項目は上記と同一）
		Data n	（概要は上記と同一）	（主なデータ項目は上記と同一）

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）、DLR（ドイツ航空宇宙センター）が採用している。国内では、JAXAの金星探査機「あかつき」（2010年5月打ち上げ）、小惑星探査機「はやぶさ2」（2014年12月打ち上げ）、水星磁気圏探査機「MMO」（2018年10月打ち上げ）、東京大学/中須賀・船瀬研究室を中心にJAXA宇宙科学研究所や全国の大学の共同ミッションである超小型深宇宙探査機「PROCYON」（2014年12月打ち上げ）及び「EQUULEUS 」（2022年11月打ち上げ）のシステムが採用している。

ATTITUDE DATA MESSAGES

「姿勢データメッセージ（ADM）」

Blue Book
CCSDS 504.0-B-2
発行月：2024年1月
ISO 13541

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の姿勢情報を交換する際に用いるメッセージのフォーマットを規定するものである。

【内容】

メッセージはASCIIコードでの記述が推奨される。フォーマットとしてはAttitude Parameter Message（APM）、Attitude Ephemeris Message（AEM）、Attitude Comprehensive Message（ACM）の三種類が用意されている。なお、本規格は一つのメッセージファイルにつき一つの宇宙機の姿勢情報をやり取りする。また、慣性座標系で姿勢を記述した場合には本メッセージの情報のみで衛星の姿勢を特定することができるが、それ以外の座標系で姿勢を記述した場合、衛星の姿勢を特定するためには別途衛星の軌道の情報（ODM：Orbit Data Messages）も必要になることに注意する。

APM：Attitude Parameter Message（姿勢パラメータメッセージ）

APMはある特定のエポック（時刻）における、ある一つの物体の姿勢情報を記述するためのフォーマットである。一つの時刻の姿勢情報のみが記述されるため、他の時刻の姿勢を知りたい場合には姿勢伝播計算が必要となる。本メッセージには任意の数の姿勢制御情報も格納することが可能である。

AEM：Attitude Ephemeris Message（姿勢暦メッセージ）

AEMはある一つの物体の、指定された期間内の複数のエポック(時刻)における姿勢情報を記述するためのフォーマットである。メッセージ中に記述されている時刻以外の時刻における姿勢情報が必要である場合には、適切な補間計算が必要となる。

ACM：Attitude Comprehensive Message（包括的姿勢メッセージ）

ACMはAPM、AEMを統合し拡張した、包括的な姿勢情報を記述するためのフォーマットである。APM、AEMで記述できる情報に加えて、各種データの変化率、宇宙機の物理的特性、共分散情報、姿勢制御の追加情報、推定器の情報を記述することができる。

衛星の軌道・姿勢等、航法関連データ全般の定義については、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS 500.0-G-4, CCSDS 500.2-G-3）に概要が記載されている。

XML SPECIFICATION FOR NAVIGATION DATA MESSAGES

「航法データメッセージ（NDMs）のXML仕様」

Blue Book
CCSDS 505.0-B-3
発行月：2023年5月
ISO 17107

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の航法データメッセージ（Navigation Data Messages: NDMs）で使用するXMLのスキーマセットを規定している。

【内容】

航法データメッセージ（NDMs）には下記5種類のデータメッセージがあり、これらはXML(Extensible Markup Language) 形式でフォーマット化されている。

本推奨規格は、右記構造等、XMLスキーマセットの内容とレイアウトを規定している。

- ◆ **ATTITUDE DATA MESSAGES（ADM：姿勢データメッセージ）**
  ある時刻の姿勢情報を格納する Attitude Parameter Message（APM：姿勢パラメータ）と、時系列の姿勢情報を格納する Attitude Ephemeris Message（AEM：姿勢暦）から構成される。
- ◆ **ORBIT DATA MESSAGES（ODM：軌道データメッセージ）**
  ある時刻の軌道要素を格納する Orbit Parameter Message（OPM：軌道パラメータ）、ある時刻の平均軌道要素を格納する Orbit Mean-Elements Message（OMM：平均軌道要素）、時系列の軌道情報を格納する Orbit Ephemeris Message（OEM：軌道暦）、及びOPM、OMM、OEMの要素を合わせた追加情報を格納する Orbit Comprehensive Message（OCM：軌道総合メッセージ）から構成される。
- ◆ **TRACKING DATA MESSAGE（TDM：追跡データメッセージ）**
  ラジオメトリック特性、アップリンク/ダウンリンク周波数、レンジ、ドップラ、アンテナ角等の追跡データを格納する。
- ◆ **CONJUNCTION DATA MESSAGE（CDM：接近データメッセージ）**
  接近する物体の情報、最接近時の時刻、距離、衝突確率等の接近データを格納する。
- ◆ **RE-ENTRY DATA MESSAGE（RDM：大気圏再突入データメッセージ）**
  大気圏に再突入する宇宙機の情報、地球への影響や軌道要素、再突入時刻等の大気圏再突入データを格納する。

【NDMの構造について】

NDMはXML形式のファイルであり、下記構造を成す。

- <header>タグ内にはコメントや作成日を記述
- <body>タグには必ず1つ以上タグが必要
- タグの中には<metadata>タグと、<data>タグを1つ以上記述必要

```
<header>
</header>
<body>
  <segment>
    <metadata>
    </metadata>
    <data>
    </data>
  </segment>
</body>
```

各国宇宙機関およびJAXAの動向

海外では、CNES（フランス国立宇宙研究センター）がNDM（CDM、OMM、OEM、TDM）を採用している。

CONJUNCTION DATA MESSAGE

「接近データメッセージ（CDM）」

Blue Book
CCSDS 508.0-B-1 Cor.2
発行月：2021年10月
ISO 19389

【概要】
本推奨規格は、宇宙物体の接近情報に関するメッセージフォーマットを規定するものである。

【内容】
CDMはASCIIテキストのファイルであり、本書ではKeyword = Value Notation (KVN) 形式と、XML形式のフォーマットを定めている。
CDMはHeader部とBody部から構成される。Body部は「Relative Metadata/data」と「Segment」から構成され、Segmentは「物体1（Object1）」と「物体2（Object2）」の2つのSegmentで構成される。CDMの主なデータ項目を表1に示す。

表1：Conjunction Data Message: CDM（接近データメッセージ）の主なデータ項目

項目			概要	主なデータ項目
Header			ヘッダ部	・フォーマットバージョン、作成日時、作成機関、通知相手宇宙機名、メッセージID
Body	Relative Metadata/Data		相対メタデータ/データ部 （物体1に対する物体2の接近情報）	・TCA（最接近時刻）、最接近距離（ノルム）、相対速度（ノルム）、相対位置ベクトル、相対速度ベクトル ・接近評価の開始時刻及び終了時刻 ・接近評価に使った物体1を中心とする空間定義（座標系、形状定義（楕円 or BOX）とその大きさ） ・接近評価の空間に対する物体2の突入及び離脱時刻 ・衝突確率及び衝突確率の計算モデル
	Segment (Object1)	Meta data	メタデータ部	・物体識別（物体1 or 物体2）、物体のカタログ番号及びカタログ名、物体の名称及び国際識別番号 ・物体の軌道暦ファイル名、共分散の算出方法、物体の軌道制御能力の有無、中心天体、基準座標系 ・採用している摂動モデル（地球重力、地球潮汐、他天体重力、大気抵抗、太陽輻射圧、推力加速度）
		Data	データ部	【軌道決定パラメータ】軌道決定期間、軌道決定に使った観測データ件数及びパス数、残差のRMSなど 【補足パラメータ】大気抵抗や太陽輻射圧に対する宇宙機の有効断面積、宇宙機の質量、推力加速度など 【状態ベクトル】物体の位置及び速度ベクトル 【共分散行列】物体の共分散行列（位置ベクトル、速度ベクトル、大気抵抗係数、太陽輻射圧係数、推力の9成分）
	Segment (Object2)	Meta data	メタデータ部	（主なデータ項目は上記と同一）
		Data	データ部	（主なデータ項目は上記と同一）

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

海外では、NASA（アメリカ航空宇宙局）、DLR（ドイツ航空宇宙センター）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）、CSpOC（連合宇宙運用センター）等がCDMを使用している。国内では、JAXA/筑波宇宙センターにてCDMを使用している。

RE-ENTRY DATA MESSAGE

「大気圏再突入データメッセージ（RDM）」

Blue Book
CCSDS 508.1-B-1 Cor.1
発行月：2021年10月
ISO -

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の大気圏再突入に関する情報の交換に使用するメッセージフォーマットを規定するものである。

【内容】

Re-entry Data Message (RDM) はASCIIテキストのファイルであり、本規格ではKeyword = Value Notation (KVN) 形式と、XML形式のフォーマットを定めている。

RDMには、再突入までの残時間、再突入時刻、破片が地上に衝突する時刻（ウインドウの開始／終了時刻）、地球上の衝突位置（緯度・経度・高度）、及び物体の物理的特性、等が含まれる。これらの情報は、宇宙機の所有者／運用者に再突入の予測情報を通知、または民間の関係機関に地上の潜在的なリスクを警告するために使用することができる。

RDMは、Headerセクション、Metadataセクション、及びDataセクションから構成され、RDMファイルは1つの大気圏再突入イベントを対象としてデータを格納する。RDMの主なデータ項目を以下の表1に示す。

表1　Re-entry Data Message：RDM（大気圏再突入データメッセージ）の主な格納項目及び内容

項目	概要	格納される主な内容
Header	ヘッダのセクションであり、フォーマットバージョン、作成日時、作成機関、メッセージIDを格納する。	・フォーマットバージョン、作成日時、作成機関、メッセージID
Metadata	メタデータのセクションであり、再突入する物体の情報（名称/種類/運用者/エポック情報など）や、モデリング、RDM発行情報などを格納する。	・物体の名称、種類、運用者、国際衛星識別符号、再突入の制御可否 ・軌道データの座標系、時系、中心天体 ・再突入予測に用いた重力モデルや大気モデル ・前回のRDM発行ID、前回のRDM発行エポック、次回予定のRDM発行エポック
Data	データのセクションであり、大気圏再突入情報及び地球への影響や軌道要素、物理的パラメータや軌道決定パラメータなどを格納する。	【大気圏再突入に関する情報】 再突入までの時間、再突入時の高度、再突入時刻（ノミナル値、ウィンドウ） 【地表面への衝突に関する情報】 突入物体の破片が地表面に到達する確率、物体が大気圏で燃え尽きる確率、地球への衝突時刻（ノミナル値、ウィンドウ）、衝突位置（緯度・経度・高度） 【軌道要素】 軌道要素（状態ベクトル）のエポック、X軸、Y軸、Z軸の位置ベクトルと速度ベクトル 【物理パラメータ】 物体の質量、大気抵抗および太陽輻射圧の計算に使用した物体面積、質量、抵抗係数、太陽輻射圧係数 【軌道決定パラメータ】 最終観測データの取得時刻、推奨される軌道決定期間、実際の軌道決定期間

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

現在、CSpOC（連合宇宙運用センター）が発信しているTIP（Tracking and Impact Prediction）に代わりうる可能性がある。

POINTING REQUEST MESSAGE

指向要求メッセージ（1/2）

Blue Book
CCSDS 509.0-B-1 Cor.1
発行月：2021年5月
ISO/DIS 24127:2020

【概要】

本推奨規格は、指向要求の作成・通知・処理の自動化を可能とする、「標準フォーマット（PRM：Pointing Request Message）」を定義・推奨する。

【内容】

宇宙機のデータ中継や観測運用では、宇宙機に搭載されたデータ中継アンテナや観測センサ等の指向方向を指定するための指向要求（Pointing Request）を宇宙機オペレータに対して通知する必要がある。複数機関による相互運用では、こうした指向要求のやり取りは、形式化したフォーマットで行うことが望ましいが、現状、統一されたフォーマットは存在せず、また現在のフォーマットは非効率な自然言語記述で作成されている。

CCSDSがこれまで規定してきた、ODM（Orbit Data Message）、ADM（Attitude Data Message）、TDM（Tracking Data Message）の標準フォーマットには、Key-Value表記（KVN）とXML表記（XML）の2種類が提供されているが、PRM（Pointing Request Message）では複雑な構造の表現にKVNが適さないため、XMLのみとなる。

PRMの構造は下記の通りである。PRMのファイル名及びファイル交換方法は機関間の合意に基づき個々に決定し、インターフェース管理文書（ICD）に記録保存することとしている。

PRM構造の定義　（XMLフォーマット例は図1を参照）

- ルート要素（最上位の要素）は <prm> 要素とする。
- <prm> 要素の後に、NDM/XML[*1)]記述による標準NDMヘッダが続く。（*1「航法データメッセージのXML仕様」参照）
- XMLバージョン、ルート要素タグ、NDM/XMLヘッダは、NDM/XML記述とする。
- <prm> タグのfinal属性は、‘id’ 及び ‘version’とする。
- ‘id’ 属性は、‘id=“CCSDS_PRM_VERS”’ とする。
- <prm> の ‘version’ 属性は、‘version=“1.0”’ とする。
- <prm> 要素は、<header> 及び <body>　から構成される。
- <header> 要素には、データの作成日<creation date> 及び 作成者<originator> を含める。
- <originator> 及び関連窓口は、SANAに登録された宇宙機関が望ましいが、特に要件とはしない。
- <body> 要素は 要素群から構成される。
- 各 要素は、XML構造に従い、<metadata> 及び <data>　から構成される。
- <metadata> 要素は、<definition> 要素、または <source> 要素から構成される。
- <definition> 要素は、他のPRMとは別個に定義されたデータエンティティを記述する。
- <metadata> 要素には <TIME_SYSTEM> 子要素を入れて、segmentの参照タイムスケールを定義する。
  （付録Bに記載する値以外を使用する場合は、ICD（インターフェース管理文書）に記録保存する）

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<prm id="CCSDS_PRM_VERS" version="1.0">
        <header>
                <CREATION_DATE>2012-281T17:26:06</CREATION_DATE>
                <ORIGINATOR>ESA</ORIGINATOR>
        </header>
        <body>
                <segment>  <!-- Definition segment -->
                        <metadata>
                                <TIME_SYSTEM>UTC</TIME_SYSTEM>
                                <definition name="xxx" version="1.5" />
                                <definition name="defBlock" version="a.b" />
                                <definition name="yyy" version="a.b" />
                                <definition name="defBlock" version="1.5" />
                                …
                        </metadata>
                        <data />  <!---  Empty (or absent) data block -->
                </segment>
                <segment>  <!-- First pointing request -->
                        <metadata>  <!-- Definitions for the first request -->
                                     <!-- Not all necessarily referenced later -->
                                <TIME_SYSTEM>UTC</TIME_SYSTEM>
                                <definition name="zzz" version="1.0" />
                                <source name="xxx" version="1.5" />
                                <source name="yyy" version="a.b" />
                        </metadata>
                        <data>    <!-- Pointing request data for the first request -->
                        </data>
                </segment>
                <segment>   <!-- Second pointing request -->
                        <metadata>  <!--    Definitions for the second request -->
                                <TIME_SYSTEM>UTC</TIME_SYSTEM>
                                <source name="xxx" version="a.b" />
                        </metadata>
                        <data>   <!-- Pointing request data for the second request -->
                        </data>
                </segment>
                .
                .
                .
                <segment>  <!-- n-th pointing request -->
                        <metadata>    <!-- Definitions for the n-th request -->
                                <TIME_SYSTEM>UTC</TIME_SYSTEM>
                                <source name="xxx" version="1.5" />
                        </metadata>
                        <data>   <!-- Pointing request data for the n-th request -->
                        </data>
                </segment>
        </body>
</prm>
```

図1　PRMの構造（例）

POINTING REQUEST MESSAGE

指向要求メッセージ（2/2）

Blue Book
CCSDS 509.0-B-1 Cor.1
発行月：2021年5月
ISO/DIS 24127:2020

指向要求メッセージの交換が発生する運用は、大きく分けると次の2通りである。

科学運用：
　宇宙機に搭載された観測機器を運用するユーザー（科学者など）が、宇宙機オペレーターに対して、指向要求を通知する。観測運用における指向要求では、所定の時間に、慣性移動する観測機器の方向に照準を合わせるのが基本的な要求ではあるが、日照や大気による通信環境の変化を考慮すると、より複雑な要求内容となる。

データ中継運用：
　過去の実績として、火星ミッションにおいて、ESA及びNASAが以下のデータ中継相互支援運用を実施している。

- 宇宙機1の中継アンテナを、所定時間に、宇宙機2に向ける。
- 惑星オービタの中継アンテナを、所定時間に、惑星表面上に着陸中の着陸機またはローバーに向ける。
- 惑星オービタの中継アンテナを、惑星に降下中の着陸機の所定の高度に向ける。

本推奨規格では、一般的なPRMのフォーマット記述形式および内容を詳述するほか、上記の運用環境を想定したミッション固有の指向要求を記述するための各種テンプレートを紹介している。

図2は、PRMセグメントの構造であり、ミッション固有の指向要求を記述するためのルールである。

```
<segment>
        <metadata>
                <TIME_SYSTEM>UTC</TIME_SYSTEM>
                <definition>
                </definition>
                ...
        </metadata>
        <data>
                <timeline>
                        <block>
                        </block>
                        ...
                </timeline>
                ...
        </data>
</segment>
```

図2　PRMセグメント構造

各国宇宙機関およびJAXAの動向
　新規文書につき、現在情報を収集中。

MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER

「ミッション運用（MO）メッセージ抽象化層（MAL）」

Blue Book
CCSDS 521.0-B-3
発行月：2024年3月
ISO 18202

【概要】

本推奨規格は、ミッション運用（Mission Operations：MO)の仕様を層構造で定義したモデルMission Operation Reference Modelのうち、メッセージ抽象化層（Message Abstraction Layer：MAL）の仕様を規定するものである。

【内容】

MOはMO serviceと呼ばれるサービスの複合体として定義される。このMO serviceはミッション運用サービス利用時における、サービス利用者とサービス提供者間の約束事を定義したものである。例えばサービス利用時には、サービス利用者からサービス提供者にメッセージが送信されることによりサービスが開始され、その後あるパターンに従って一連のメッセージの交換が行われる。MO serviceではInteraction Patternとして標準的な交換パターンが定義されており、この一連のInteraction Patternを、抽象的なインタフェースとして定義したものがMALである。

MALは図1に示す様に、3つのインタフェース

・1つ上の階層であるService Adaption Layerとのインタフェース

・1つ下の階層であるTransport Layerとのインタフェース

・Access Controlとのインタフェース

を有しているが、本規格はこのうちService Adaption Layer、Access Controlの二つとのインタフェースについてのみ標準を定めている。というのも、Transport Layerとのインタフェースの標準化はソフトウェア部品の互換性には寄与するものの、機関間の相互運用性にはあまり寄与しないからである。

MO serviceはMALを用いて抽象的に定義されたものであるため、実装にあたってはAPIの定義等が必要となることに注意する。

ミッション運用サービスのコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS520.0-G-3）に概要が記載されている。

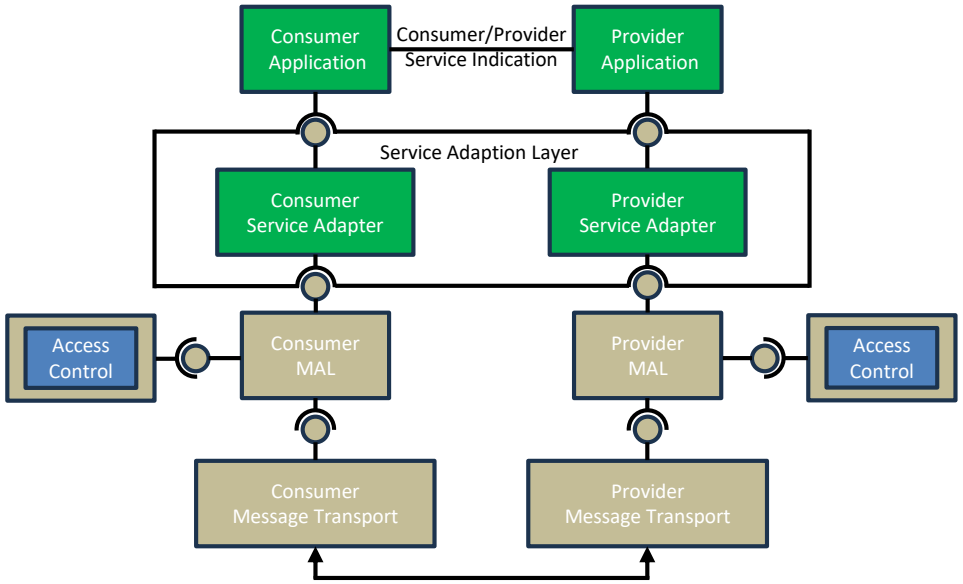


図1: MO の層構造

各国宇宙期間及びJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）が本規格の採用について計画中である。JAXAは本規格の作成に参加した。本規格の採用については未定。

MISSION OPERATIONS COMMON OBJECT MODEL (1/2)

「ミッション運用(MO)共通オブジェクトモデル」

Blue Book
CCSDS 521.1-B-1
発行月:2014年2月
ISO 20106:2015

【概要】

本推奨規格は、地上、および宇宙機上の各種運用サービス機能を、エンドツーエンドで提供するためのフレームワークを定義するものである。

【内容】

本推奨規格は図1の赤枠で囲った部分にあたり、運用システム等にこれらのサービスを実装する際に使用する標準テンプレートとして共通オブジェクトモデル(Common Object Model: COM)を規定している。

「COMについて」

COM は、ミッション運用(Mission Operations:MO)サービスを利用するための標準的なデータオブジェクトモデルを提供するものである(次頁の図2 COMの構造を参照)。

各サービスを実装する際には、この構造を利用し、サービスに必要なデータモデルを定義することになる。また、COMの仕様には、基本的なオブジェクトモデルに基づいて規定される次のサービスが含まれ、これらのサービスの詳細および、それに必要なデータモデルが定義されている。

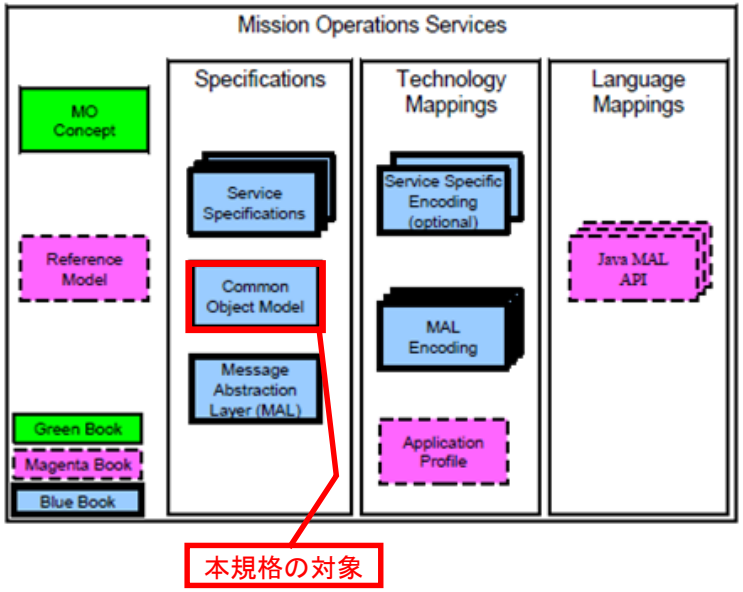


図1: ミッション運用サービスの体系と本規格の位置付け

ミッション運用サービスのコンセプトは、CCSDS解説書(グリーンブック、CCSDS520.0-G-3)に概要が記載されている。

MISSION OPERATIONS COMMON OBJECT MODEL (2/2)

「ミッション運用(MO)共通オブジェクトモデル」

Blue Book
CCSDS 521.1-B-1
発行月:2014年2月
ISO 20106:2015

◆ イベントサービス

サービス内で発生する事象をイベントとし、イベント配布に必要な共通の機能を提供する。また、イベントを作成するサービスに対してアーカイブサービスとのインターフェースを規定する。

◆ アーカイブサービス

オブジェクトを永続化するための汎用的な手順を提供する。作成、読み出し、更新、および、削除(Create, Retrieve, Update, Delete)といった永続化の4つの基本原則に従っており、ほとんどのアーカイブシステムと適合する。

◆ トラッキングサービス

サービスの進行状況をトラッキングする機能を提供する。トラッキング対象は、コマンド、リモートプロシージャー、もしくはスケジュールなどの時間で計測できるものとし、利用者からの初期化要求からサービス内の進行状況の受け付けまでを網羅する。

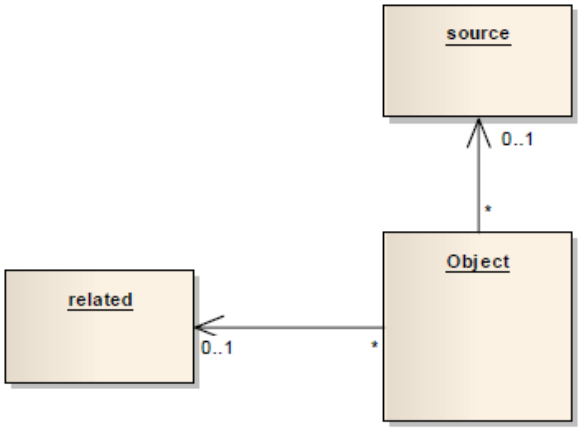


図2: COMの構造

各国宇宙期間及びJAXAの動向

ESA(欧州宇宙機関)は、2019年打上げ予定のOPS-SAT衛星が従来のPUS方式の代わりに本方式を採用し、検証を予定している。JAXAは本規格の作成に参加した。本規格の採用については未定。

MISSION OPERATIONS—COMMON SERVICES

ミッション運用（MO）ー共通サービス

Blue Book
CCSDS 522.0-B-1
発行月：2020年5月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の監視・制御における地上-宇宙機間データ伝送で利用されるMO(Mission Operation)サービスのデータインターフェース共通サービスを定義するものである。

【共通サービスの内容】

(1) ディレクトリサービス

URI形式でサービス提供側の場所を公開しておくことで、サービス利用側が事前にサービス提供側の場所を知らずとも検索及び閲覧取得ができるサービス。

(2) ログインサービス

サービス利用者が認証情報を用いてシステムに接続するサービス。認証方法としては、利用者の資格情報と独自のメカニズムを用いており、MALのアクセス制御でも使われる。

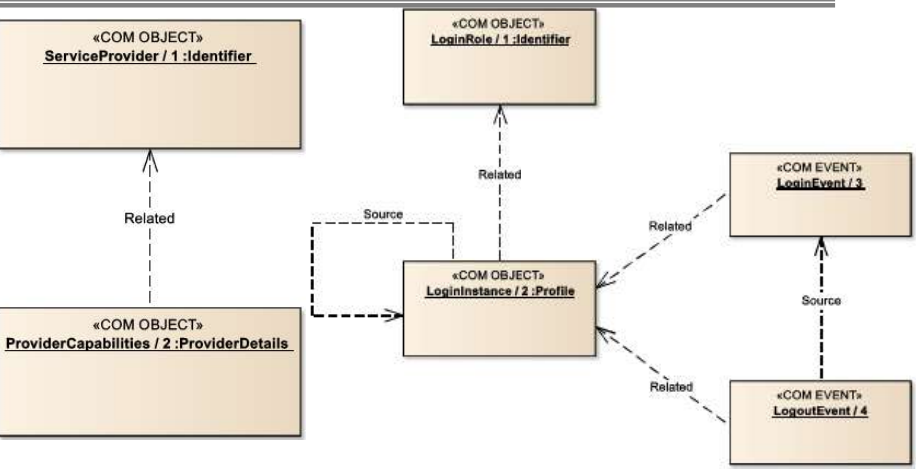
(3) コンフィグレーションサービス

サービス利用者とサービス提供者間で、サービスの設定情報を伝送するサービスで、以下のコンフィグレーションタイプがある。

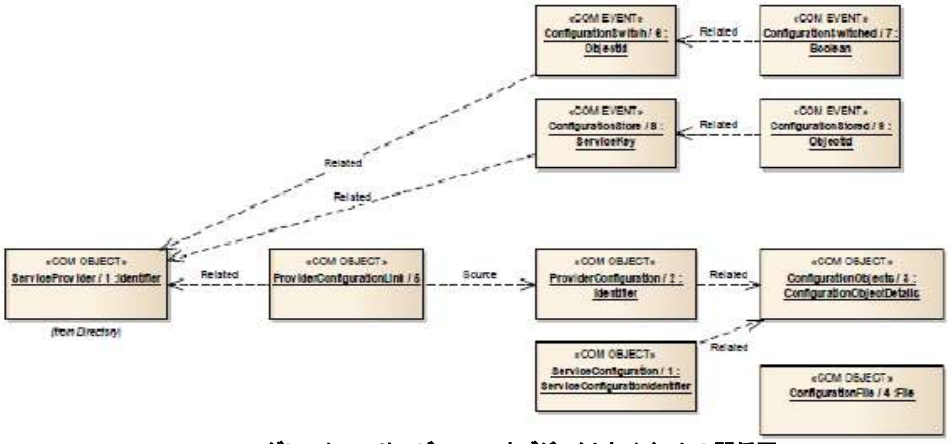
- 非表現型： ファイルではなくコードでコンフィグレーションが定義される
- COM対応型： Common Object Model(CCSDS 521.1-B-1、特にイベントサービス)を利用してコンフィグレーションが定義される
- COM非対応型： COMオブジェクトモデルを利用せず、サービス固有のコンフィグレーションが定義される

また、上記サービスを利用するにあたり必要となるオペレーションやオブジェクトの定義、及びデータタイプの構造を記述している。

ディレクトリサービスCOMオブジェクトの関係図



ログインサービスCOMオブジェクトとイベントの関係図



コンフィグレーションサービスCOMオブジェクトとイベントの関係図

各国宇宙機関およびJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

MISSION OPERATIONS
Monitor & Control Services

「ミッション運用（MO）監視制御（M&C）サービス」

Blue Book
CCSDS 522.1-B-1
発行月：2017年10月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、CCSDS解説文書『ミッション運用サービスのコンセプト－定義と規約（520.0-G-3）』に記載されたサービスフレームワークについて、適合する監視制御（M&C）サービス内容を定義するものである。

【内容】

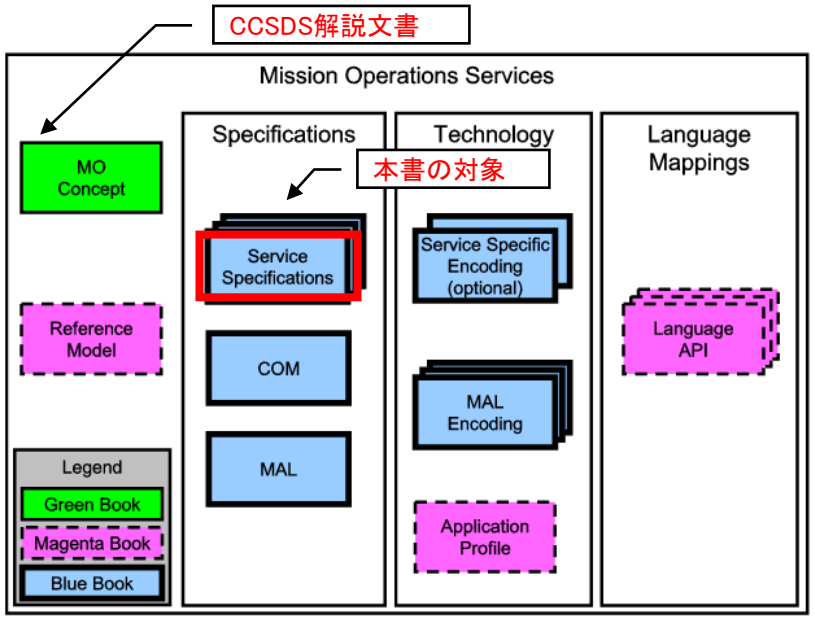
M&Cサービスは、宇宙機のリモート運用等においてローカルもしくはリモートにあるミッション機器を監視制御するための機能を提供するもので、主に下記3つのサービスを提供している。

① アクション：
制御命令の呼び出しや、進行状態の監視を可能とするサービス（例：テレコマンド）

② パラメータ：
ステータスの監視機能を提供するサービス

③ アラート：
運用上、重要なイベントや異常をサービスプロバイダからサービスコンシューマに通知（非同期）するメカニズムを提供するサービス

本推奨規格は、M&Cサービスに適合する共通オブジェクトモデルであるCOM(Common Object Model)、および、オペレーションを規定するMAL(Message Abstraction Layer)に基づいて、上記サービスのフレームワークを規定している。



各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

MISSION OPERATIONS – MAL SPACE PACKET TRANSPORT BINDING AND BINARY ENCODING (1/2)

「ミッション運用 – メッセージ抽象化層（MAL）スペースパケット伝送バインド及び符号化」

Blue Book
CCSDS 524.1-B-1
発行月：2015年8月
ISO 21082

【概要】

本推奨規格は、宇宙機ミッション運用において、スペースパケット通信を用いてメッセージ交換する際の、メッセージ抽象化層（Message Abstraction Layer : MAL）の抽象メッセージ、データ型の仕様、トランスポートインターフェースについて定義するものである。

【内容】

スペースパケット通信では、データ提供側とデータ利用側の間でやりとりするメッセージは、スペースパケットにエンコードされ、スペースパケットプロトコル（SPP）を介して送られるが、「メッセージ抽象化層（MAL）」は、この一連のメッセージのやりとりのパターン、およびインターフェースを、ミッション運用（MO）用に抽象的に規定するものである。

本推奨規格は、スペースパケットプロトコルにMALを統合（もしくはマッピング）する際の標準的な方式を示すことにより、送信者と受信者の間（エンドツーエンド）の通信リンクにおけるMAL相互運用を可能にするものである。具体的には、主な応用法や、伝送エラーや問題をどのように上位層に伝えるか、データリンク層またはネットワーク層の問題をどのように処理するか等を規定している。

また、こうしたマッピング構造や一般的な応用例を示すとともに、MALメッセージの各種仕様（URIフォーマット、MALヘッダ、スペースパケットフィールド、MALメッセージボディ）、MALトランスポートインターフェース（QOS要求、IP要求、要求送信、複数要求の送信、通知受信、複数通知の受信）、そしてMALデータエンコードについての推奨方式を紹介している。

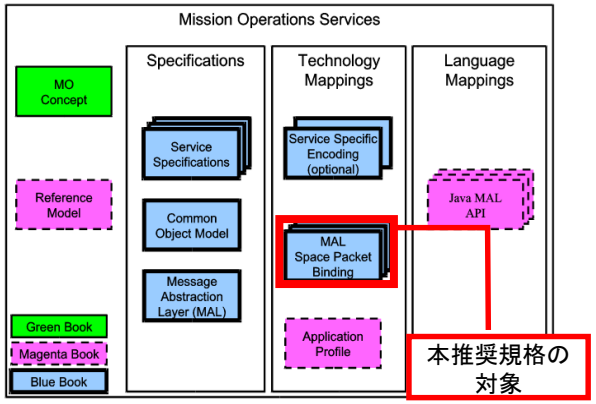


図1: ミッション運用サービス概要の文書体系

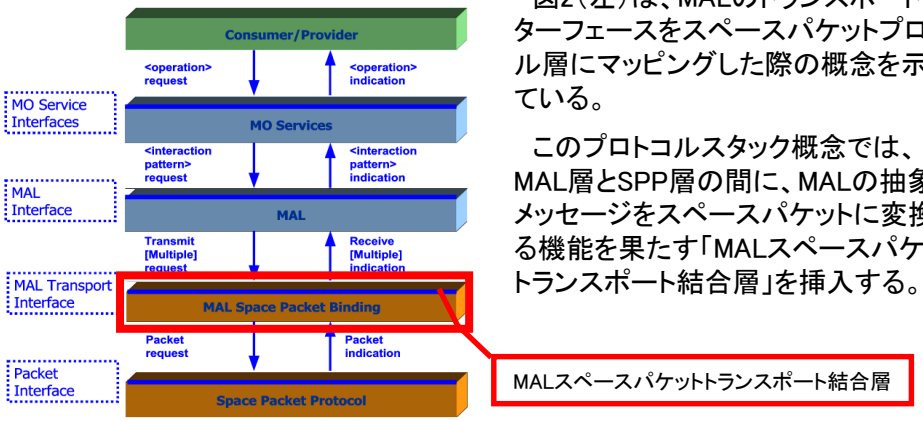


図2: プロトコルスタックの概念（各層で使用・実装される主なインターフェース）

図2（左）は、MALのトランスポートインターフェースをスペースパケットプロトコル層にマッピングした際の概念を示している。

このプロトコルスタック概念では、MAL層とSPP層の間に、MALの抽象メッセージをスペースパケットに変換する機能を果たす「MALスペースパケットトランスポート結合層」を挿入する。

ミッション運用サービスのコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS520.0-G-3）に概要が記載されている。

MISSION OPERATIONS – MAL SPACE PACKET TRANSPORT BINDING AND BINARY ENCODING (2/2)

「ミッション運用 – メッセージ抽象化層(MAL)スペースパケット伝送バインド及び符号化」

Blue Book
CCSDS 524.1-B-1
発行月:2015年8月
ISO 21082

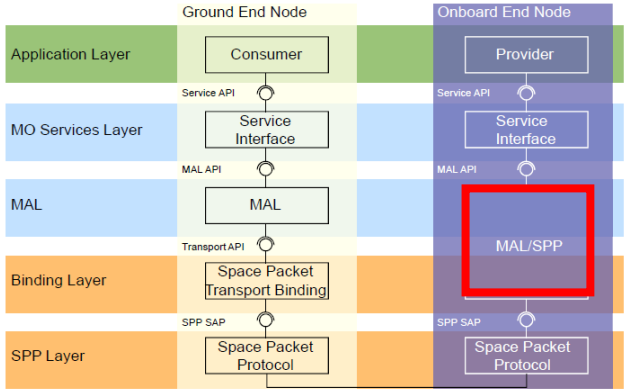


図3: MALスペースパケットトランスポート結合の一般的な配置

図3は、MALとSPPを結合した場合の一般的な配置例を示している。

この図から、地上側、および宇宙機側のエンドノードにミッション運用の抽象スタックがどのように実装されるかがわかる。

また各要素の配置や、抽象スタック上の各要素の役割、APIとSAPの利用例も示されている。

図4は、すべてのMALメッセージフィールドをスペースパケットフィールドにマッピングした全体図を示している。

MALメッセージのマッピングには、SPPに適合したエンコードフォーマットが必要であり、これによりMALのヘッダは、SPPのプライマリ、およびセカンダリヘッダへとマッピングされる。MALメッセージはPDUに変換され、MALデータ型はエンコードフォーマットへと流し込まれる。

本仕様にはバイナリエンコードを用いているが、XMLなどその他のエンコードを用いることも可能である。また、スペースパケットのプライマリヘッダ「APID」を、アプリケーション送受信プロセスの識別子として用いており、現行のシステムに合わせて、TCパケットのAPIDで送信先アプリケーションを識別し、TMパケットのAPIDで送信元アプリケーションを識別する(ルーティングプロトコルは採用しない)。

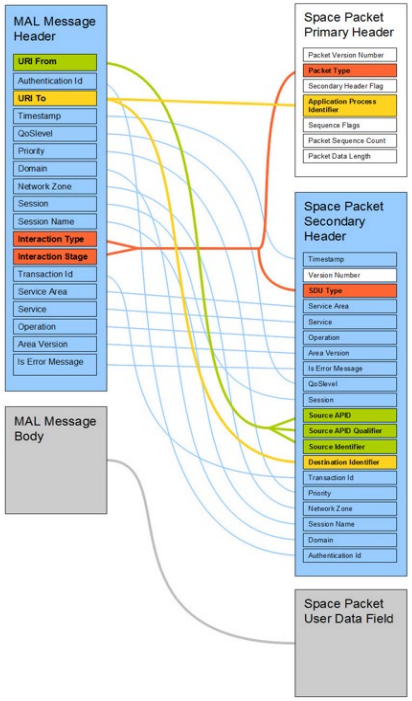


図4: MALメッセージ構造とスペースパケットのマッピング構造

各国宇宙期間及びJAXAの動向

ESA(欧州宇宙機関)は、2019年打上げ予定のOPS-SAT衛星が従来のPUS方式の代わりに本方式を採用し、検証を予定している。
JAXAは本規格の作成に参加した。本規格の採用については未定。

Mission Operations-Message Abstraction Layer Binding to TCP/IP Transport And Split Binary Encoding（1/2）

ミッション運用-MALメッセージのTCP/IPへのバインド（対応付け）及び分割バイナリ符号化

Blue Book
CCSDS 524.2-B-1
発行月：2017年11月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙機ミッション運用において、TCP/IP（インターネット用通信プロトコル）を用いてメッセージ抽象化層（Message Abstraction Layer：MAL）のメッセージを交換するための、MALメッセージのTCP/IPへのバインド（対応付け）と、MALメッセージを分割バイナリ符号（プロトコルデータユニット：PDU）に符号化する方式を定義するものである。

【内容】

TCP/IP通信では、メッセージはPDUへと符号化され、TCP/IPを介して送られる。本推奨規格は、（1）MALメッセージのPDUへのマッピング、（2）MAL伝送インターフェースのTCP/IPインターフェースへのマッピング、（3）MALデータタイプのバイナリ符号化フォーマットへのマッピングをそれぞれ定義することで、抽象的なMALメッセージを、TCP/IPで伝送可能な明確なメッセージ形式へと変換させる方法を規定し、またMALデータタイプをその他の通信プロトコルへとバインド（対応付け）させる際にも再利用できる分割バイナリ符号化フォーマットを定義することを目的としている。

図2（右下）は、MALのトランスポートインターフェースをマッピングしたプロトコルスタック概念図である。この概念図では、MAL層とTCP/IP層の間に、MALの抽象メッセージをTCP/IPのPDUに変換する機能を果たす「MALトランスポートインターフェース層」が挿入されている。

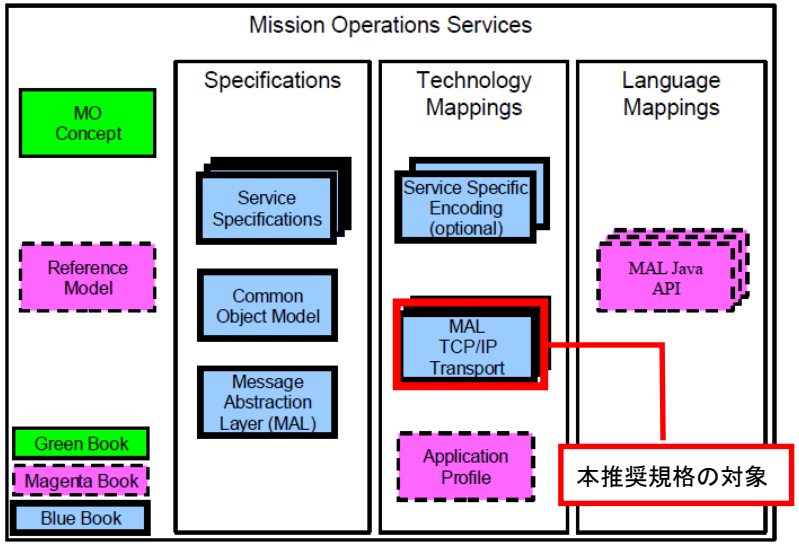


図1: ミッション運用サービス概要の文書体系

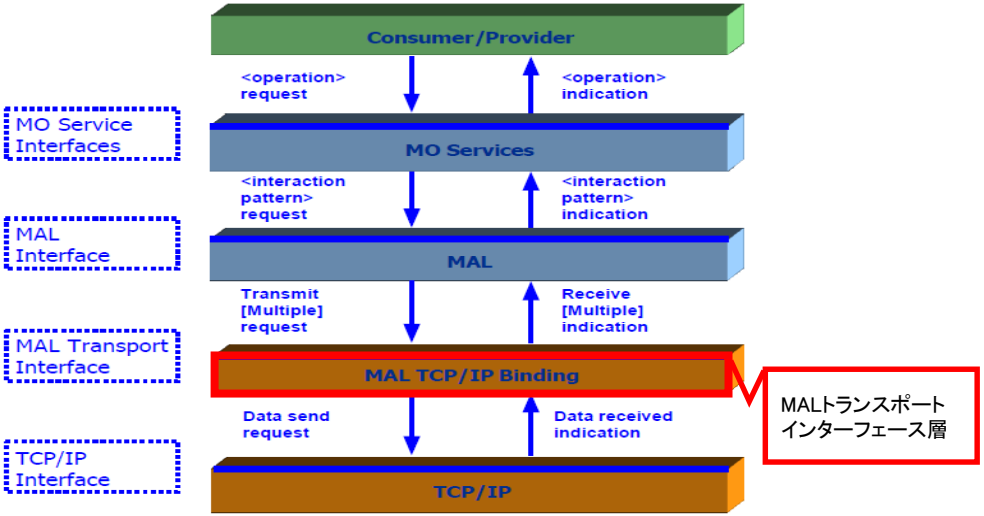


図2: プロトコルスタックの概念図（各層で使用・実装される主なインターフェース）

Mission Operations-Message Abstraction Layer Binding to TCP/IP Transport And Split Binary Encoding（2/2）

ミッション運用-MALメッセージのTCP/IPへのバインド（対応付け）及び分割バイナリ符号化

Blue Book
CCSDS 524.2-B-1
発行月：2017年11月
ISO －

MALメッセージは、概念上のヘッダー部とボディー部から構成されている。右図3は、MALメッセージのヘッダー部（黄＋青ボックス）とボディー部（グレーボックス）が、インターネットプロトコル（IP）のどの部分に該当するかを示している。

TCP/IPのPDUに変換されたMALメッセージが、TCP/IPの所定のサイズを超過した場合には、そのPDUは、右図の下部に示すように、いくつかのTCP/IPセグメントに分割される。

本推奨規格の構成は以下のとおりである：

第1章：本推奨規格の目的・範囲・適用・背景理由等

第2章：MALのTCP/IPバインド及び分割バイナリ符号化の概要
ミッション運用フレームワークにおける本書の位置づけ

第3章：MALメッセージ構造のTCP/IP PDU構造へのマッピング

第4章：TCP/IPインターフェースへのMAL伝送インターフェースのマッピング

第5章：MALデータタイプのための分割バイナリ符号化フォーマット

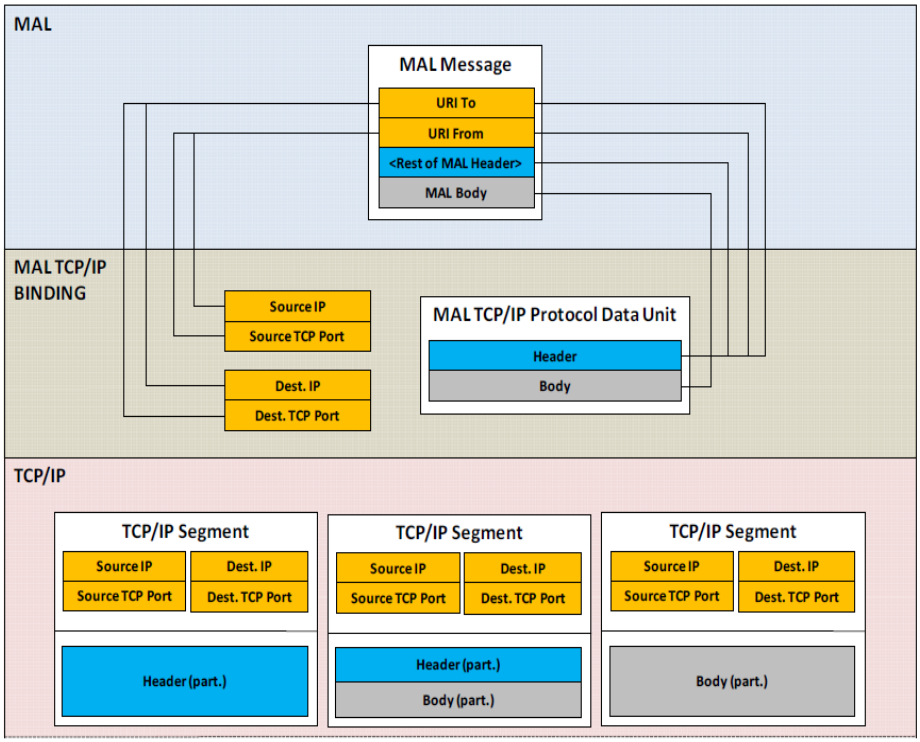


図3: MALとTCP/IPプロトコルデータユニットの対応付け、
およびTCP/IPセグメント分割

各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

MISSION OPERATIONS—MESSAGE ABSTRACTION LAYER BINDING TO HTTP TRANSPORT AND XML ENCODING

「ミッション運用—メッセージ抽象化層のHTTPバインド及びXMLエンコーディング」

Blue Book
CCSDS 524.3-B-1
発行月：2018年6月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の監視・制御のために地上-宇宙機間のデータ伝送に、MO(Mission Operation)サービスにおけるHTTPを用いてメッセージを交換する際のメッセージ抽象化層(Message Abstraction Layer ： MAL ※1)と、HTTPのバインド方法(MALメッセージをHTTPプロトコルで伝送するためのデータ変換方法)及び、MALメッセージのXMLエンコーディングについて規定している。

※1 推奨規格 (CCSDS 521.0-B-2) ： Mission Operations Message Abstraction Layer 参照

【内容】

HTTP通信では、メッセージはPDUへ符号化され、HTTPを介して送られる。本推奨規格は、（1）MALメッセージのPDUへのマッピング （2）MAL伝送インターフェースのHTTPインターフェースへのマッピング （3）MALデータタイプのXMLスキーマタイプへのマッピング をそれぞれ定義することで、抽象的なMALメッセージを、HTTPで伝送可能な明確なメッセージ形式へと変換させる方法を規定している。

図1は、MALのトランスポートインターフェースをマッピングしたプロトコルスタック概念図である。MAL層とHTTP層の間に、MALの抽象メッセージをHTTPのPDUに変換する機能を果たす”MAL Transport Interface”を挿入することで、HTTPを通してMALメッセージの伝送が可能となることを示している。

図2は、MALメッセージのヘッダやボディをHTTPメッセージへマッピングさせる際の構造を示している。

エンコーディング方式については、XMLを採用し、要素や属性などの基本ルールをまとめている。MALのデータタイプを網羅したXMLフォーマットについてはタグごとに記述がされている。

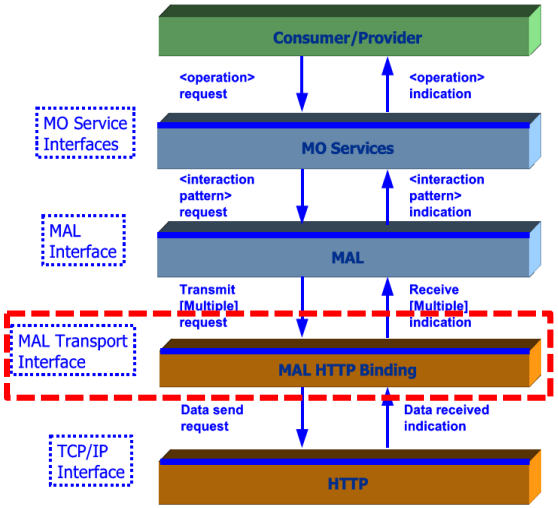


図1 プロトコルスタックの概念(データの一連の流れ)

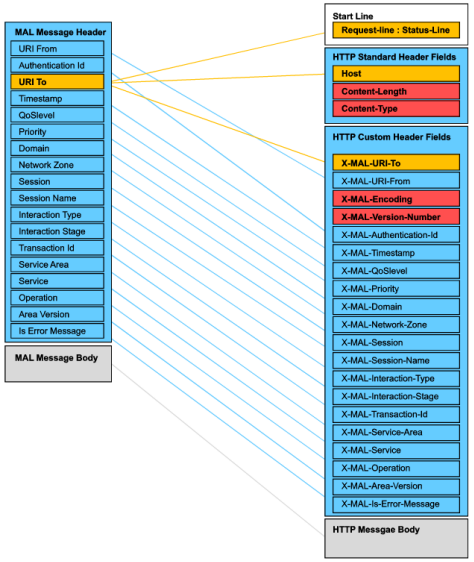


図2 MALメッセージとHTTPメッセージのマッピング構造

各国宇宙機関及びJAXAの動向

本規格の開発に携わったESA及びNASAは採用を検討しているように伺えるが詳細については不明。

MISSION OPERATIONS – MESSAGE ABSTRACTION LAYER BINDING TO ZMTP TRANSPORT

「ミッション運用ーメッセージ抽象化層のZMTPバインド」

Blue Book
CCSDS 524.4-B-1
発行月: 2019年10月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の監視・制御のために地上ー宇宙機間のデータ伝送に、MO（Mission Operation）サービスにおけるZeroMQメッセージトランスポートプロトコル（ZMTP）を使用する際のメッセージ抽象化層（Message Abstraction Layer：MAL※1）と、ZMTPのバインド方法（MALメッセージをZMTPプロトコルで伝送するためのデータ変換方法）について規定している。

※1 推奨規格（CCSDS 521.0-B）：Mission Operations Message Abstraction Layer 参照

【内容】

ZMTP通信では、メッセージはPDUへ符号化され、ZMTPを介して送られる。本推奨規格は、以下の2点を定義することで、抽象的なMALメッセージを、ZMTPで伝送可能な明確なメッセージ形式へと変換させる方法を規定している。

1. MALメッセージのPDUへのマッピング
2. MAL伝送インタフェースのZMTPインタフェースへのマッピング

なお、ZMTP通信はセキュアな通信を確立するセキュリティハンドシェイクが特徴の1つとして挙げられる。

図1は、MALのトランスポートインターフェースをマッピングしたプロトコルスタック概念図である。MAL層とZMTP層の間に、MALの抽象メッセージをZMTPのPDUに変換する機能を果たす「MAL Transport Interface（赤色点線枠）」を挿入することで、ZMTPを通してMALメッセージの伝送が可能となることを示している。

図2は、MALメッセージをZMTPで伝送するために、MALメッセージのヘッダやボディをMAL ZMTP PDUヘッダやデータフィールドへマッピングさせる際の構造を示している。

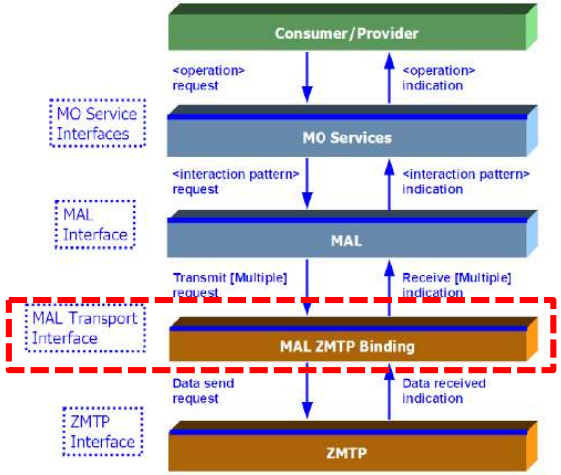


図1：プロトコルスタックの概念（データの一連の流れ）

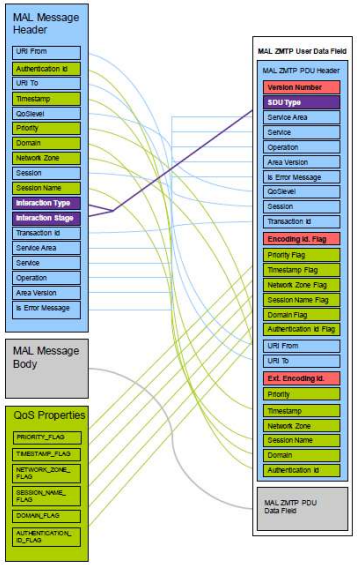


図2：MALメッセージとMAL ZMTP PDUのマッピング構造

各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

STANDARD FORMATTED DATA UNITS – STRUCTURE AND CONSTRUCTION RULES

「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－構造と構成規則」

Blue Book
CCSDS 620.0-B-2
発行月：1992年5月
ISO 12175:1994

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のデータ構造とその構成規則の規定。

【内容】

データ（例えばテレメトリ）をやり取りしたり、蓄積して公開したりする場合、データそのものをやり取りする、あるいは蓄積するだけではデータの意味の解釈が行えない。例えば、「15, 227」というデータを送ったり、蓄積したりしても、それだけではそれを受け取った人は15が何を表し、227が何を表しているのか理解できない。それを理解できるようにするためには、データの意味の規定を別に作成し、データを受け取った人が利用できるようにしておかなければならない。しかし、データの意味を規定するための標準規格が存在しないと、データごとにデータの意味を規定するための方法を考案しなければならない。SFDUは、この問題を解決するために、データの意味を規定する標準的な方法を規定したものであり、個々のデータに対してラベルを付与するための統一的な方法を規定している。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

多くの宇宙機関のデータ伝送システムやデータ蓄積システムにおいて、かつてはSFDUが採用された例は多い。しかし、最近はSFDUはあまり使われなくなっている。その一つの理由は、SFDUの構成規則がわかりにくく、図などを使ってデータの意味を表現した方が直感的に理解できるからである。もう一つは、何らかの規格が必要な場合でも、SFDUは宇宙独特の規格であり、宇宙独特の規格を使ってシステムを構築するよりも、宇宙以外でも使われていような一般的な規格（例えばXML等）を使った方が、安上がりになる場合が多いからである。

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS610.0-G-5）に概要が記載されている。

STANDARD FORMATTED DATA UNITS – REFERENCING ENVIRONMENT

「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－参照環境」

Blue Book
CCSDS 622.0-B-1
発行月：1997年5月
ISO 15888:2000

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）において外部データを参照する方法を定義するもの 。

【内容】

SFDU（「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目参照）では、外部のデータ（すでに別のファイルに蓄積されているデータなど）を呼び出し、それをSFDUの一部として使うことができる。本規格は、外部データをSFDUの中で参照するための規則を規定したものである。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

別途「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目で述べたように、SFDUの使用が最近では稀になっているために、本規格も現在ではほとんど使用されていない。

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS610.0-G-5）に概要が記載されている。

STANDARD FORMATTED DATA UNITS – CONTROL AUTHORITY PROCEDURES

「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－データ管理機構（CA）手順」

Blue Book
CCSDS 630.0-B-1
発行月：1993年6月
ISO 13764:1996

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のデータ記述の管理を行う「データ管理機構（Control Authority：CA）」の運営について定義したもの。

【内容】

SFDU（「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目参照）は、データの意味を規定するための規格であるが、データの意味の唯一性（ある範囲内ではデータの意味が統一的に規定されていること）を保証するためには、データの記述を統一的に管理する組織が必要となる。そのような組織は「データ管理機構（Control Authority：CA）」と呼ばれる。本規格は、データ管理機構の持つべき責任、およびデータ管理機構がデータ管理のために使用すべき手順を定めたものである。

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

別途「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目で述べたように、SFDUの使用が最近では稀になっているために、本規格も現在ではほとんど使用されていない。

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS610.0-G-5）に概要が記載されている。

STANDARD FORMATTED DATA UNITS – CONTROL AUTHORITY DATA STRUCTURES

「標準フォーマットデータユニット（SFDU）－データ管理機構データ構造」

Blue Book
CCSDS 632.0-B-1
発行月：1994年11月
ISO 15395

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のデータ記述を管理するデータ管理機構（CA）に対してデータ記述を登録するデータの構造を規定するもの。

【内容】

SFDU（「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目参照）は、データの意味を規定するための規格であり、データの記述を統一的に管理する組織がデータ管理機構（CA）（「標準フォーマットデータユニット－データ管理機構（CA）手順」の項目参照）であるが、本規格は、データ管理機構に対してデータ記述を登録する際に使用すべきデータの構造を定めたものである。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

別途「標準フォーマットデータユニット－構造と構成規則」の項目で述べたように、SFDUの使用が最近では稀になっているために、本規格も現在ではほとんど使用されていない。

標準フォーマットデータユニット（SFDU）のコンセプトは、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS610.0-G-5）に概要が記載されている。

PARAMETER VALUE LANGUAGE SPECIFICATION（CCSD0006 AND CCSD0008）

「パラメータ値言語仕様（CCSD0006 及び CCSD0008）」

Blue Book
CCSDS 641.0-B-2
発行月：2000年6月
ISO 14961

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）におけるデータ定義言語の記述ルールを規定したもの。

【内容】

Parameter Value Language（PVL）は、パラメータと値を紐付けるための構文を規定している。その表記方法にはAbstract Syntax Notation One（ASN.1）を用いている。

PVLの構造は図1に示す。PVLモジュールは0個以上のステートメントで構成される。また、複数のステートメントはブロックに集約することができる。

Assignment Statementの一般的な実データは以下、

```
Parameter = Value
```

また、Aggregation Blockの一般的な実データは以下となる。

```
Begin Aggregation Statement
        A collection of Assignment Statements and/or Aggregation Blocks
End Aggregation Statement
```

PVLで使用可能な文字として以下の2種類がある。

・基本タイプ（CCSD0006）：アスキー文字の一部（表2）

・拡張文字セットタイプ（CCSD0008）：CCSD0006に加え表2で示す文字セット

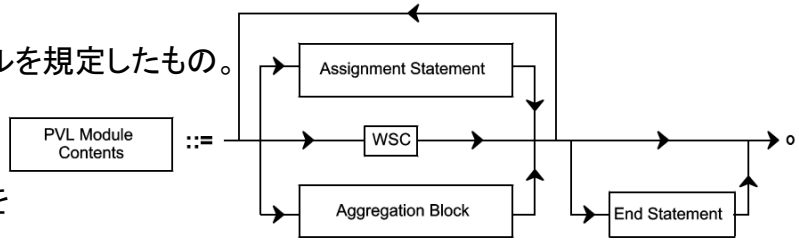


図1： PVL Module Contents Syntax Diagram

表1： CCSDS0006 Unrestricted Character Set

Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name
a-z	Lower Case Alphabetics	A-Z	Upper Case Alphabetics	0-9	Digits
*	Asterisk	$	Dollar Sign	?	Question Mark
^	Circumflex Accent, (Caret)	`	Grave Accent	/	Solidus, (Forward Slash)
:	Colon	.	Full Stop, (Period)	\	Reverse Solidus, (Backward Slash)
@	Commercial At	-	Hyphen-Minus Sign	_	Low Line, (Underscore)

表2： Additional Character Set

NBSP	°	À	Ð	à	ð
¡	±	Á	Ñ	á	ñ
¢	²	Â	Ò	â	ò
£	³	Ã	Ó	ã	ó
¤	´	Ä	Ô	ä	ô
¥	µ	Å	Õ	å	õ
¦	¶	Æ	Ö	æ	ö
§	·	Ç	×	ç	÷
¨	¸	È	Ø	è	ø
©	¹	É	Ù	é	ù
ª	º	Ê	Ú	ê	ú
«	»	Ë	Û	ë	û
¬	¼	Ì	Ü	ì	ü
SHY	½	Í	Ý	í	ý
®	¾	Î	Þ	î	þ
¯	¿	Ï	ß	ï	ÿ

各国宇宙機関およびJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）は、JWST（James Webb Space Telescope ）ミッションで採用予定。JAXAでは相模原においてSLEパラメータ規定において採用。また、筑波では、PVLそのものの使用事例ではないが考え方を参考にしたフォーマットがデータ配布管理システムで採用されている。

ASCII ENCODED ENGLISH (CCSD0002)

「ASCII コード化英語」

Blue Book
CCSDS 643.0-B-1
発行月：1992年11月
ISO 14962:1997

【概要】

標準フォーマットデータユニット（SFDU）においてデータ記述言語として英語を使う場合の規則を定義するもの。

【内容】

SFDU（「標準フォーマットデータユニットー構造と構成規則」の項目参照）は、データの意味を記述するための規格であるが、データの意味の記述に英語を使うことも許されている。本規格は、データ記述に英語を使う場合にはASCIIコードを使うことを定め、さらにASCIIコードの解釈について幾つかの規則を定めている。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

別途「標準フォーマットデータユニットー構造と構成規則」の項目で述べたように、SFDUの使用が最近では稀になっているために、本規格も現在ではほとんど使用されていない。

THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST SPECIFICATION（CCSD0010）

「データ記述言語EAST仕様」

Blue Book
CCSDS 644.0-B-3
発行月：2010年6月
ISO 15889

【概要】

EAST言語（Adaプログラム言語の一種）を用いてデータを表現するためのデータ記述仕様を規定するもの。

【内容】

宇宙機関内もしくは機関間でデータをやり取りする際のデータを表現する標準言語を規定している。

データ記述レコード（Data Description Records：DDRs）としてAdaを拡張した Enhanced Ada SubseT（EAST）言語を定義する。システムはこのDDRsに従って、実際のデータフォーマットを解釈することができる。

EASTは、大きく以下の2項目で構成されている。

・論理パート：基本構文について記述
- データを構成するすべてのコンポーネントの記述方法
- ビット長
- データ内の位置

・物理パート：実装環境に依存する部分について記述
- 論理パートで定義されているが、データを生成した環境に依存する、列挙型、整数、実数の表現方法
- 生成時の配列構成（first-index-firstまたはlast-index-first）
- 媒体上のオクテットやビットの構成（high-order-firstまたはlow-order-first）

package *logical_package_name* **is**

EAST version and -- tool version (optional)

Section for the Declaration of Types: Definition of the Data Models

- type declarations and representation clauses (see 3.2.1 and 3.2.4)
- subtype and constant declarations (see 3.2.2 and 3.2.3.2)

Section for the Declaration of Variables: Definition of the Data Occurrences

- variable and constant declarations (see 3.2.3.1 and 3.2.3.2)
- actual values of discriminant (see 3.2.1.6)

end *logical_package_name* ;

図1：Logical Past Structure

package *physical_package_name* **is**

way of storing arrays (see 3.3.1)

way of storing octets (see 3.3.2)

actual scalar type representations (see 3.3.3)

association of basic type names with their actual representations (see 3.3.4)

end *physical_package_name* ;

各国宇宙機関およびJAXAの動向

CNES（フランス国立宇宙研究センター）はいくつかの衛星ミッションに採用。
JAXAにおける採用実績および計画はない。

DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE（DEDSL）－ ABSTRACT SYNTAX（CCSD0011）

「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語（DEDSL）－ 抽象構文（CCSD0011）」

Blue Book
CCSDS 647.1-B-1
発行月：2001年6月
ISO 21961

【概要】
データの属性を表すメタデータ（データエンティティ・ディクショナリ）の抽象記法について規定するもの。

【内容】
データエンティティ・ディクショナリを定義するための手法を規定している。

属性を定義するための標準記述子として、その一覧（表1）を示すとともに、各記述子について説明している。さらに、属性を定義するために使用する標準属性についても、データエンティティ・ディクショナリ（表2）、および、データエンティティ（表3）、それぞれについて一覧を示すとともに、各属性について説明している。
また、利用者が独自に属性や実装ガイドラインを定義する方法についても説明している。

また、実装におけるガイドラインを示している。
- 標準属性は任意の順序で記述またはアクセス可能であるが、すべてのユーザに共通の体裁を提示するために本規格が示す順序に従うことを推奨する。
- ユーザ定義属性は標準属性の後に配置する。

表1: General Descriptors

descriptor of attribute	obligation
ATTRIBUTE_NAME	M
ATTRIBUTE_DEFINITION	M
ATTRIBUTE_OBLIGATION	M
ATTRIBUTE_CONDITION	C
ATTRIBUTE_MAXIMUM_OCCURRENCE	M
ATTRIBUTE_VALUE_TYPE	M
ATTRIBUTE_MAXIMUM_SIZE	O
ATTRIBUTE_ENUMERATION_VALUES	C
ATTRIBUTE_COMMENT	O
ATTRIBUTE_INHERITANCE	D
ATTRIBUTE_DEFAULT_VALUE	C
ATTRIBUTE_VALUE_EXAMPLE	O
ATTRIBUTE_SCOPE	D

表2: Data Entity Dictionary Attributes

Attribute Category	Name of data entity attribute	Obligation
Identifying	DICTIONARY_NAME	M
Definitional	DICTIONARY_DEFINITION	O
Relational	EXTERNAL_DICTIONARY_REFERENCE	C
Representational	TEXT_FIELD_CHARACTER_SET	M
	CASE_SENSITIVITY	D
	LANGUAGE	M
Administrative	DICTIONARY_VERSION	O
	DICTIONARY_IDENTIFIER	O
	DEDSL_VERSION	M

表3: Data Entity Attributes

Attribute Category	Name of data entity attribute	Obligation
Identifying	NAME	M
	ALIAS	O
	CLASS	D
Definitional	DEFINITION	M
	SHORT_DEFINITION	O
	COMMENT	O
	UNITS	C
	SPECIFIC_INSTANCE	O
Relational	INHERITS_FROM	O
	COMPONENT	O
	KEYWORD	O
	RELATION	O
Representational	DATA_TYPE	C
	ENUMERATION_VALUES	C
	ENUMERATION_MEANING	O
	ENUMERATION_CONVENTION	O
	RANGE	O
	TEXT_SIZE	C
	CASE_SENSITIVITY	O
	LANGUAGE	O
	CONSTANT_VALUE	C

各国宇宙機関およびJAXAの動向

CNES（フランス国立宇宙研究センター）は多くの衛星ミッションに採用。
JAXAにおける採用実績および計画はない。

DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE (DEDSL) – PVL SYNTAX (CCSD0012)

Blue Book
CCSDS 647.2-B-1
発行月：2001年6月
ISO 21962

「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語（DEDSL）－ PVL構文（CCSD0012）」

【概要】

データの属性を表すメタデータ（データエンティティ・ディクショナリ）をパラメータ値言語（PVL）を用いて記述する方法を規定するもの。

【内容】

データエンティティ・ディクショナリの構築および交換を行うために、データエンティティ・ディクショナリ仕様（DEDSL）の抽象構文（CCSDS 647.1-B-1）を採用し、パラメータ値言語仕様（PVL）（CCSDS 641.0-B-2）を用いて実装する方法を紹介している。

記述子の値と属性の値をPVL値として実装する際のDEDSL抽象構文タイプからPVL表現へのマッピングが表1で示される。

また、DEDSLの各データエンティティ・ディクショナリ属性を表現するためのPVL構文（図1）とPVLを用いた定義方法、および、DEDSLの各データエンティティ属性を表現するためのPVL構文（図2）とPVLを用いた定義方法が示されている。

表1: DEDSL Types/PVL Types Mapping

DEDSL Types	PVL Types
INTEGER	PVL Integer
REAL	PVL Floating Point or PVL Exponential
IDENTIFIER	PVL Unquoted String (see Note 1)
TEXT	PVL Quoted String (see Rule 1)
ENUMERATED	Set of PVL Unquoted String (see Note 1)
ENTITY_TYPE	ENTITY_TYPE (see Note 2)
LIST consisting of only mandatory elements	PVL Sequence (see Note 3)
CHOICE (arg1, arg2, ...) where each arg1, arg2 ... must have a different number of items due to optional elements	PVL Sequence containing the mandatory elements; or PVL Group containing the mandatory and any desired optional elements. (see Notes 3 and 4)
(item1, item2, ...) with exact number of items	PVL Set
List(Identifier) implying an unspecified number of items	(see Note 5)

< Dictionary_Identification_Block > ::= < Begin_Dictionary_Statement >
(< User_Defined_Attributes_Block >)
< Dictionary_Entity_Definition >
< End_Dictionary_Statement >

< Begin_Dictionary_Statement > ::=
BEGIN_GROUP = DICTIONARY_IDENTIFICATION (;)

< End_Dictionary_Statement > ::=
END_GROUP = DICTIONARY_IDENTIFICATION (;)

< Dictionary_Entity_Definition > ::= < Begin_Dictionary_Entity_Statement >
< Dictionary_Attribute_Statement > *
< End_Dictionary_Entity_Statement >

< Begin_Dictionary_Entity_Statement > ::=
BEGIN_GROUP = DICTIONARY_ENTITY_DEFINITION (;)

< End_Dictionary_Entity_Statement > ::=
END_GROUP = DICTIONARY_ENTITY_DEFINITION (;)

< Dictionary_Attribute_Statement > ::= [Sequence of PVL Statements whose syntax and semantics are defined in section 3]

図1: Structure of a Dictionary_Identification Block

< Data_Entity_Definitions_Block > ::= < Begin_DED_Statement >
(< User_Defined_Attributes_Block >)
< Entity_Definition_Block > *
< End_DED_Statement >

< Begin_DED_Statement > ::=
BEGIN_GROUP = DATA_ENTITY_DEFINITIONS (;)

< End_DED_Statement > ::=
END_GROUP = DATA_ENTITY_DEFINITIONS (;)

< Entity_Definition_Block > ::= < Begin_ED_Statement >
< Entity_Attribute_Statement > *
< End_ED_Statement >

< Begin_ED_Statement > ::= **BEGIN_GROUP = ENTITY_DEFINITION (;)**

< End_ED_Statement > ::= **END_GROUP = ENTITY_DEFINITION (;)**

< Entity_Attribute_Statement > ::= [Sequence of PVL Statements whose syntax and semantics are defined in section 4]

図2: Structure of a Data_Entity_Definitions Block

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

CNES（フランス国立宇宙研究センター）は多くの衛星ミッションに採用。 JAXAにおける採用実績および計画はない。

DATA ENTITY DICTIONARY SPECIFICATION LANGUAGE（DEDSL）－ XML/DTD SYNTAX（CCSD0013）

「データエンティティ・ディクショナリ仕様言語（DEDSL）－ XML/DTD構文（CCSD0013）」

Blue Book
CCSDS 647.3-B-1
発行月：2002年1月
ISO 22643

【概要】

データの属性を表すメタデータ（データエンティティ・ディクショナリ）をXML/DTD（文書型定義：Document Type Declaration）を用いて記述する方法 を規定するもの。

【内容】

データエンティティ・ディクショナリの構築および交換を行うために、データエンティティ・ディクショナリ仕様（DEDSL）の抽象構文（CCSDS 647.1-B-1）を採用し、XML/DTDを用いて実装する方法を紹介している。

DEDSLの各ディクショナリ属性を表現するためのXML/DTD構文と、XML/DTDを用いたデータエンティティ・ディクショナリの定義方法が示されている。

また、DEDSLの各データエンティティ属性を表現するためのXML/DTD構文と、XML/DTDを用いたデータエンティティの定義方法が示されている。

DTD DEFINITION

```
<!ELEMENT DICTIONARY_IDENTIFICATION  (
    DICTIONARY_NAME,
    DICTIONARY_DEFINITION?,
    EXTERNAL_DICTIONARY_REFERENCE*,
    DICTIONARY_LANGUAGE,
    DICTIONARY_VERSION?,
    DICTIONARY_IDENTIFIER?,
    DEDSL_VERSION,
    DICTIONARY_USER_DEFINED_ATTRIBUTES?
)>
< !ATTLIST DICTIONARY_NAME CASE_SENSITIVITY
(CASE_SENSITIVE|NOT_CASE_SENSITIVE) "NOT_CASE_SENSITIVE">
```

（一部）

DTD DEFINITION

```
<!ELEMENT DATA_ENTITY_DEFINITION (
    ALIAS*,
    DEFINITIONAL_PART,
    RELATIONAL_PART?,
    REPRESENTATIONAL_PART?,
    USER_DEFINED_ATTRIBUTES_PART?
)>
<!ATTLIST DATA_ENTITY_DEFINITION  NAME CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST DATA_ENTITY_DEFINITION  CLASS (MODEL|DATA_FIELD|CONSTANT)
"DATA_FIELD">

<!ELEMENT ALIAS (#PCDATA)>
<!ATTLIST ALIAS NAME CDATA #REQUIRED>

<!-- *** DEFINITIONAL PART *** -->

<!ELEMENT DEFINITIONAL_PART (
    DEFINITION,
    SHORT_DEFINITION?,
    COMMENT*,
    UNITS*,
    SPECIFIC_INSTANCE*
)>

<!ELEMENT DEFINITION (#PCDATA)>

<!ELEMENT SHORT_DEFINITION (#PCDATA)>

<!ELEMENT COMMENT (#PCDATA)>
```

各国宇宙機関およびJAXAの動向

CNES（フランス国立宇宙研究センター）はいくつかの衛星ミッションに採用。JAXAにおける採用実績および計画はない。

PRODUCER-ARCHIVE INTERFACE SPECIFICATION（PAIS）

「プロデューサ／アーカイブ間インターフェース仕様（PAIS）」

Blue Book
CCSDS 651.1-B-1
発行月：2014年2月
ISO 20104

【概要】

デジタルデータの情報保存者（Producer）がそのデータをアーカイブへ転送する際に用いる提出用情報パッケージ（Submission Information Packages ：SIPs）の構造および実装方法を規定するもの。

【内容】

定義フェーズとして、情報保存者（Producer）とアーカイブ（Archive）間で転送されるデジタルデータを定義する。その手法は、「Producer-Archive Information Methodology Abstract Standard（PAIMAS）（CCSDS 651.0-M-1 / ISO 20652:2006）」に基づいて行われる。

さらに、転送フェーズとして、「Open Archival Information System（OAIS）参照モデル（CCSDS 650.0-M-2 / ISO14721:2012）」でモデリング化された提出用情報パッケージ（SIPs）を用いて、デジタルデータの効率的な転送を支援する。
これらのプロセスを図1で示している。

本規格では、SIPsについて、記述子の構成、SIPタイプの定義方法、および、SIPタイプ間の順序制約について規定している。
また、これらを、抽象的なSIPとXML Formatted Data Unit（XFDU）構造および構築ルール（CCSDS 661.0-B-1 / ISO 13527:2010）を用いた実現方法について説明している。

なお、SIPの実際の転送やアーカイブがSIPを受信した際の検証方法については言及していない。

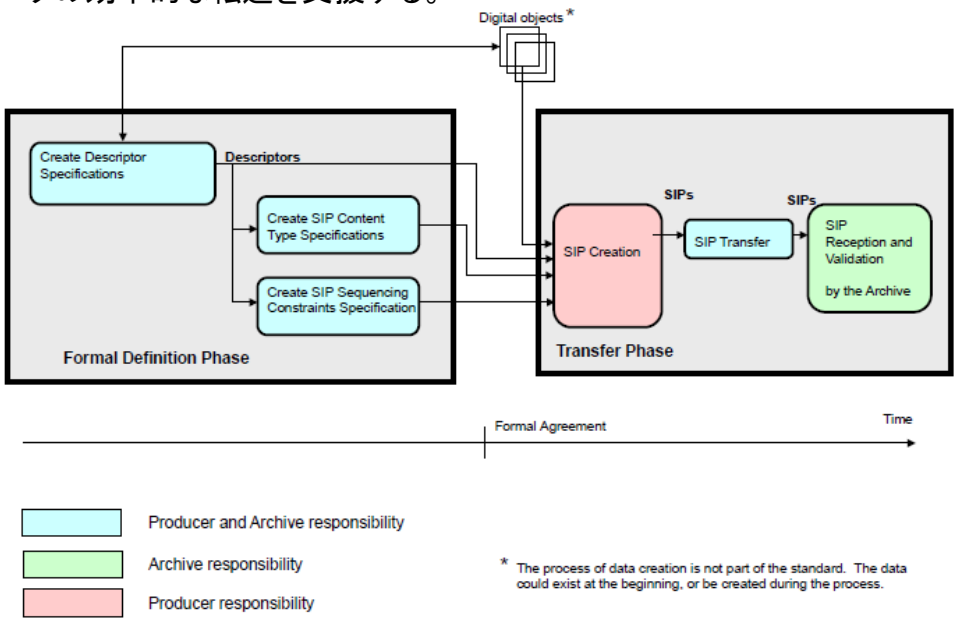


図1: PAIS General Process

各国宇宙機関およびJAXAの動向

INPE（ブラジル国立宇宙研究所）、UKSA（イギリス宇宙機関）で採用。

XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE（XTCE）

「XMLによるテレメトリ並びにコマンド変換（XTCE）」

Blue Book
CCSDS 660.0-B-2
発行月：2020年2月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙機システム、もしくは地上システムで使用するテレメトリ及びコマンドデータの処理・伝送時の設定項目について、XML形式で規定するものである。

【内容】

テレメトリ及びコマンドデータを異なる組織やシステム間で処理・伝送する際に、必要な設定項目の定義内容を容易に交換できるように、XML形式の標準フォーマットを定義する。

宇宙機システムや地上システム間のデータ処理・伝送における定義項目の概念を図1に示す。

本推奨規格では以下のメタデータを定義している。

- ・テレメトリ及びコマンドCCSDSパケット、TDMフレームの構造や順序処理
- ・個々のデータにおける格納・展開処理
- ・コマンド識別、設定値の範囲、検証条件などのコマンドデータ処理
- ・コマンドの符号化及びパラメータ処理
- ・デフォルト値、検証条件、データ依存関係などのデータ特性

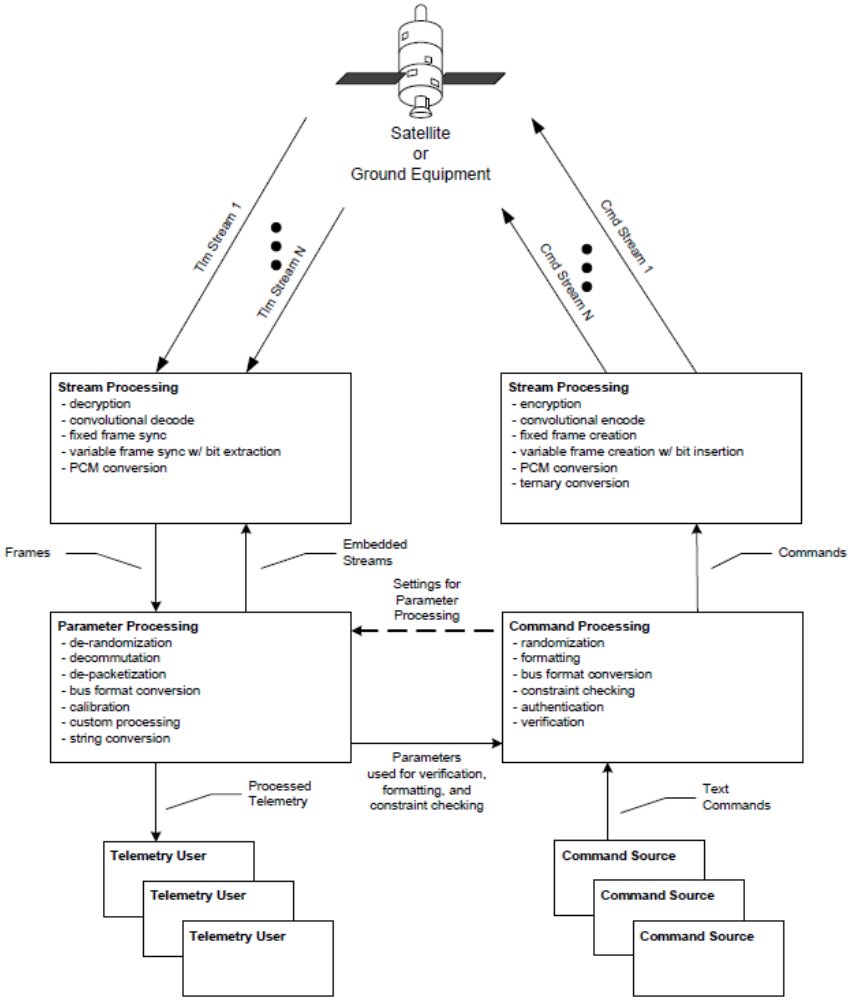


図1: Telemetric and Command Processing Meta Data Encapsulated in XTCE XML

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

NASAのJWST（James Webb Space Telescope）ミッションにおいて、国際協力しているESA（欧州宇宙機関）が採用予定。

XML FORMATTED DATA UNIT（XFDU）STRUCTURE AND CONSTRUCTION RULES

「XMLフォーマット化データユニット（XFDU）構造と構成法」

Blue Book
CCSDS 661.0-B-1
発行月：2008年9月
ISO 13527

【概要】

データの転送や保存を容易にするために、データおよびメタデータをXMLを用いて1つのパッケージにするための構造や手法を規定したもの。

【内容】

XML FORMATTED DATA UNIT（XFDU）の概要を図1に示す。XFDUは相互関係のある物理ファイルの集合である。

また、Package Interchange Fileを構成するManifest Documentにはファイル間の関係を記述し、Package Interchange File 内のファイルの索引を持つだけでなく、外部ファイルの参照も含むことができる。

XFDUとは、Package Interchange File およびそれに含まれるファイルだけでなく、Manifest Document から参照されるパッケージやファイルも含む。

論理構造はXMLスキーマで規定される。その例として図2にトップレベルの構造を示す。

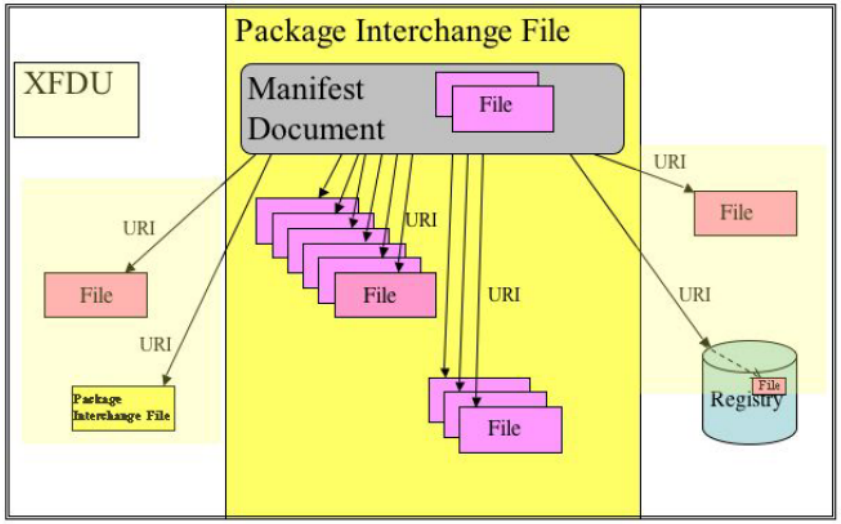


図1: Environment/Conceptual View of an XFDU

図2: First-Level Decomposition of XFDU Type

各国宇宙機関およびJAXAの動向

CNES（フランス国立宇宙センター）はミッションでの採用を計画中。JAXAにおける採用実績および計画はない。

MISSIONS OPERATIONS REFERENCE MODEL

「ミッション運用（MO）参照モデル」

Magenta Book
CCSDS 520.1-M-1
発行月：2010年7月
ISO 18201:2013

【概要】

本推奨実践規範は、ミッション運用（MISSIONS OPERATIONS：MO）の各種サービスに関連する推奨規格（Blue Book）を制定する上で、各推奨規格間の統一を目的として、共通的な方針として参照モデルを定義するものである。

【内容】

ミッション運用の各種サービスにおいて、参照モデルを記述する際の文書体系、用語定義、図形表現の取り決め等を規定している。以下に、図形表現の取り決めの例を図1～3に示す。

本推奨実践規範記述概要を以下に示す。

1. 導入

本実装推奨の目的、適用範囲、根拠文書体系、参照先、略称の定義、取り決め、基準となる参照先

2. 概要

相互作用のパターン、メッセージ概念、ミッション運用サービス、ミッション運用フレームワーク、相互運用性、移植性、配置

3. ミッション運用の背景とコンセプト

サービスの背景、サービスの分解、サービスメッセージ、サービスの配置、セキュリティとアクセス管理、サービス品質、一般的なオブジェクトモデル

4. ミッション運用の構造モデル

ミッション運用構造モデルの俯瞰、最上位の構造モデル、応用層の構造モデル、メッセージ層の構造モデル、トランスポート層の構造モデル

5. ミッション運用サービスの相互作用

セキュリティとログイン、セキュリティ上の挑戦、初期コミュニケーション

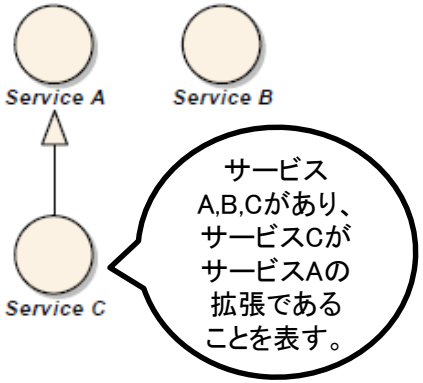


図1: サービス拡張の表現取り決め

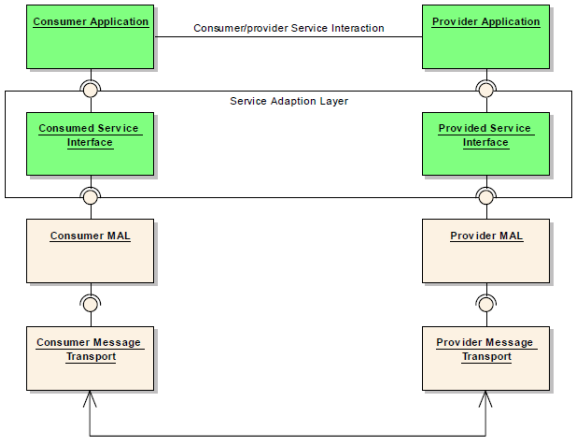


図3: 階層化の表現取り決め

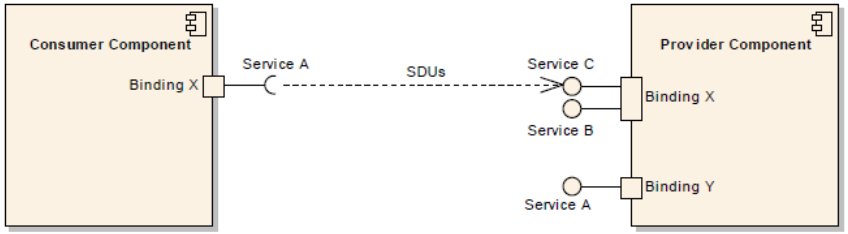


図2: コンポーネント の表現取り決め

各国宇宙期間及びJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）、CNES（フランス国立宇宙センター）が本実装規範の採用について計画中である。 JAXAは本実装規範の作成に参加した。

MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER – JAVA API

「ミッション運用メッセージ抽象化層－　JAVA アプリケーションプログラムインタフェース」

Magenta Book
CCSDS 523.1-M-1
発行月：2013年4月
ISO 20210:2015

【概要】
　本推奨実践規範は、ミッション運用において、地上から宇宙機上の機能までをエンドツーエンドなサービスとして提供するために必要なフレームワークとして図1に示す体系でミッション運用サービスを定義している。

【内容】
　本規格は図中の赤枠で囲った部分にあたり、ミッション運用サービス・メッセージ抽象化層（MAL）をJava言語で実装した場合のアプリケーションプログラムインタフェース（API）を説明している。

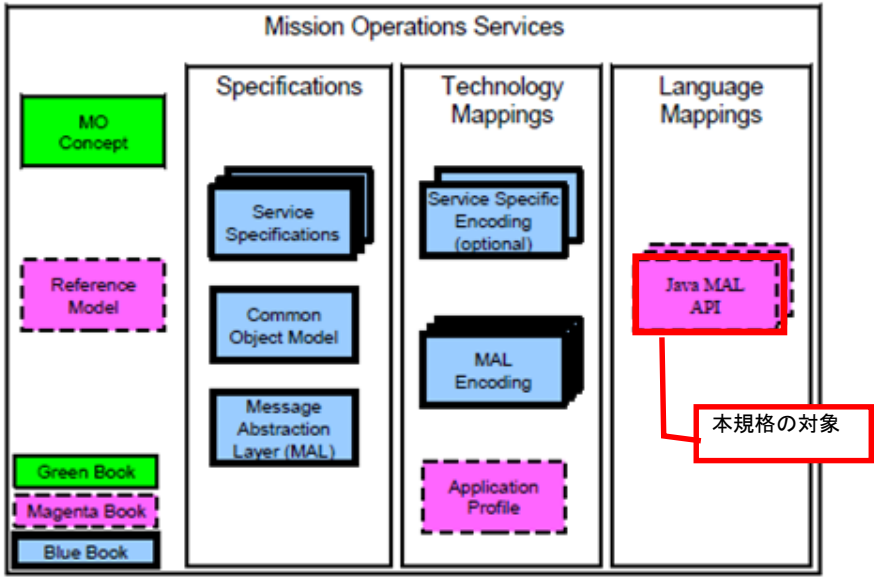


図1: ミッション運用サービスの体系および本規格の位置付け

表1: MAL APIで提供される主なインタフェース

API level	Interface name	Description
Generic	MALContextFactory	MALContext factory
	MALContext	Context enabling a client to use the communication functions provided by the MAL layer
Consumer	MALConsumerManager	MALConsumer factory and activator
	MALConsumer	Communication context enabling a client to initiate interaction patterns
Provider	MALProviderManager	MALProvider factory and activator.
	MALProvider	Execution context of a service provider handling all the interaction patterns and initiating the Publish/Subscribe interaction pattern as a publisher
Broker	MALBrokerManager	MALBroker factory and activator
	MALBroker	Execution context of a shared broker

<u>各国宇宙期間及びJAXAの動向</u>

　各国宇宙機関において、本実装規範の採用について計画は不明である。
JAXAは本実装規範の作成に参加した。

MISSION OPERATIONS MESSAGE ABSTRACTION LAYER — C++ API

「ミッション運用メッセージ抽象化層 – C++ アプリケーションプログラムインターフェース」

Magenta Book
CCSDS 523.2-M-1
発行月：2018年12月
ISO –

【概要】

本推奨実践規範は、MAL（ミッション運用メッセージ抽象化層）を、広くプログラマに使用されているC++インターフェースに変換する際のインターフェース仕様（API）を定義している。

【内容】

本書の構成は次の通り。第1章：本書の目的や適用範囲、第2章：MOサービス実装時の各APIの定義、第3章：MALサービスインターフェースを実現するためのAPIの定義、第4章：推奨規格"Mission Operations Message Abstraction Layer"（CCSDS521.0-B）で定義されたMALの仕様をC++で実装する際のマッピングの定義、第5章：MALトランスポートインターフェースを実現するためのAPIの定義、第6章：アクセスコントロールインターフェースを実現するためのAPIの定義、第7章：任意で利用するエンコーディングAPIの定義

MOサービスでの本文書の位置付けを図-1に示す。また、表-1にMAL APIで提供される主なインターフェースを示す。

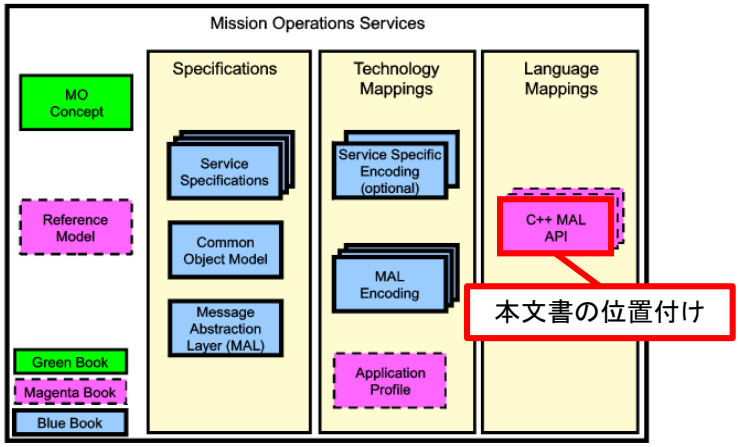


図-1 ミッション運用サービスの体系及び本文書の位置付け（第2章、p.2-1）

表-1 MAL APIで提供される主なインターフェース（第3章、p.3-1）

API level	Interface name	Description
Generic	MALContextFactory	MALContext factory
	MALContext	Context enabling a client to use the communication functions provided by the MAL layer
Consumer	MALConsumerManager	MALConsumer factory and activator
	MALConsumer	Communication context enabling a client to initiate interaction patterns
Provider	MALProviderManager	MALProvider factory and activator.
	MALProvider	Execution context of a service provider handling all the interaction patterns and initiating the Publish/Subscribe interaction pattern as a publisher
Broker	MALBrokerManager	MALBroker factory and activator
	MALBroker	Execution context of a shared broker

各国宇宙機関及びJAXAの動向

本推奨実践規範は、MALを用いた衛星/探査機管制システムを整備する際に利用することが想定されているが、現時点で、本文書を利用する宇宙機関のミッションはない。

REFERENCE MODEL FOR AN OPEN ARCHIVAL INFORMATION SYSTEM（OAIS）(1/2)

「OAIS参照モデル」

Magenta Book
CCSDS 650.0-M-2
発行月：2012年6月
ISO 14721

【概要】

本推奨実践規範は、OAIS（Open Archival Information System）[注1] 参照モデルについて定義するものである。

【内容】

OAIS参照モデルは、「特定のコミュニティー」のために情報を保存し、それを利用できるようにするためのデジタル情報アーカイブ（長期保存）方式である。本参照モデルは、宇宙における情報管理にとどまらず、広く一般的にデジタルデータを長期保存し、ユーザへ提供していくモデルとして有用であると証明されている。

本文書は、OAISの概念／利用環境／情報パッケージ化等の基本的な定義説明からはじまり、別の媒体・形式へのマイグレーション（移行）や、アーカイブ間におけるデジタル情報の交換、またアーカイブ機能の内部/外部インターフェース等まで、シナリオや応用例等を挙げて推奨している。

注1：「Open」は、本推奨がオープンフォーラムを通じて策定されたことからつけられたものであって、オープンアクセスを意味するものではない。

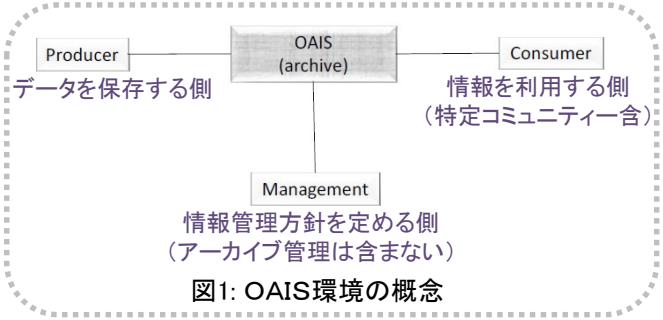


図1: OAIS環境の概念

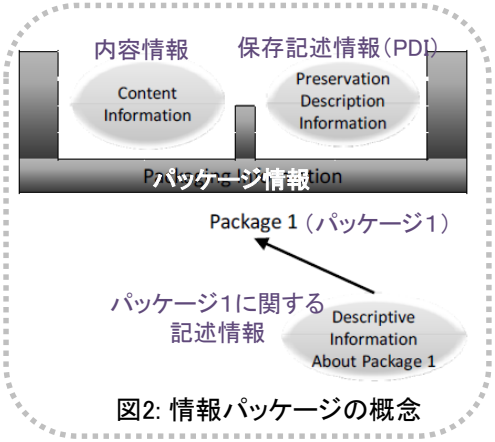


図2: 情報パッケージの概念

※情報パッケージは内容情報とPDIから成る

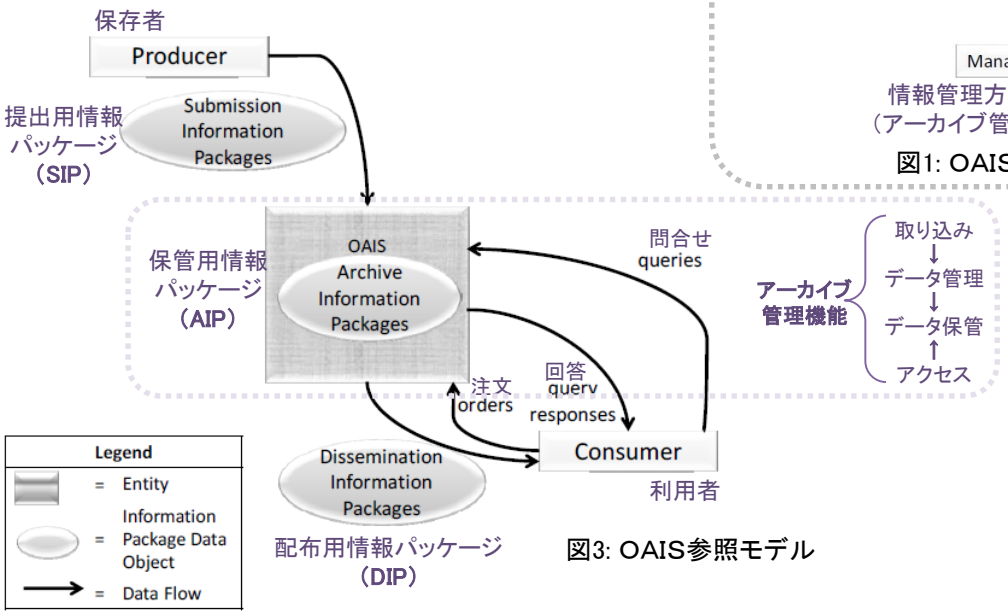


図3: OAIS参照モデル

OASI参照モデルは、3つのパッケージによりインタフェースされる。

(1)提出用情報パッケージ（SIP：Submission Information Packages）

(2)保管用情報パッケージ（AIP：Archive Information Packages）

(3)配布用情報パッケージ（DIP：Dissemination Information Packages）

REFERENCE MODEL FOR AN OPEN ARCHIVAL INFORMATION SYSTEM（OAIS）(2/2)

「OAIS参照モデル」

Magenta Book
CCSDS 650.0-M-2
発行月：2012年6月
ISO 14721

OAIS参照モデルは図4に示す6つの機能モデルより構成される。

(1)取り込み(Ingest)
情報保存者(Producer)から情報(SIP)を受け取り、パッケージ化(AIP)しアーカイブ保管機能に送る。

(2)アーカイブ保管(Archival Storage)
AIPを保守、保管する。

(3)データ管理(Data Management)
AIPの記述情報及びアーカイブを管理する。

(4)管理(Administration)
アーカイブの日々の運用を管理する。

(5)保存計画(Preservation Planning)
コンピュータシステムの換装時にもデジタル情報が損なわれることなく長期保存に耐えるよう計画する

(6)アクセス(access)
アーカイブからユーザが要求する情報(DIP)を提供する。

本書の4章に、機能の詳細な定義を記述している。

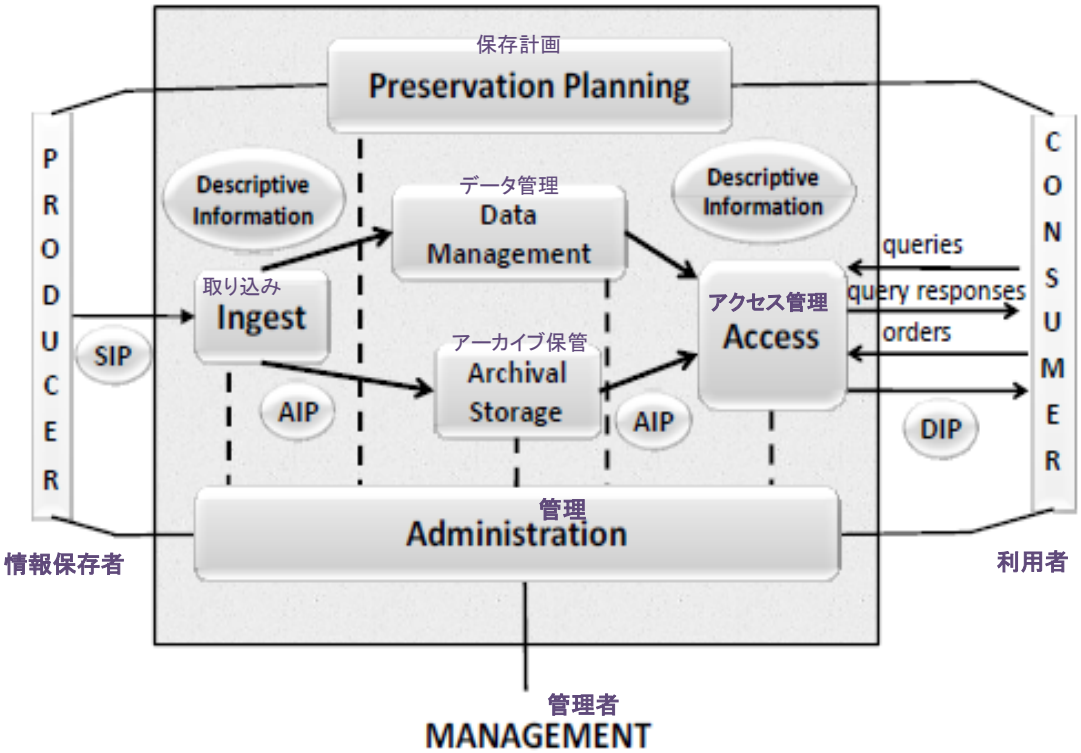


図4: OAIS参照機能モデル

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAは本推奨実践規範は未採用。ESA(欧州宇宙機関)、CNES(フランス国立宇宙センター)、INPE(フラジル国立宇宙研究所)で採用している。
また、本OAISは図書館情報システム等、宇宙分野以外でも採用されている。

PRODUCER-ARCHIVE INTERFACE METHODOLOGY ABSTRACT STANDARD

「デジタル情報保存インターフェース方式」

Magenta Book
CCSDS 651.0-M-1
発行月：2004年5月
ISO 20652

【概要】

本推奨実践規範は、デジタルアーカイブシステムにおいて、情報保存者（Producer）からのデジタルデータの保存方式を定義するものである。

【内容】

デジタルアーカイブシステム（Archive）と情報保存者（Producer）とのインターフェースにおいては、データの取り込み（Ingest）の際に様々な問題（エラー）が発生する。例えば、情報保存者側から受領したデジタルオブジェクトがアーカイブ側の要求仕様に一致しないケース、データ定義情報が不足しているケース、データ取り込みスケジュールのエラー、アーカイブ側のデータ読み込み時のエラー検出が遅れるケース等があり、これらは保存情報の品質に影響を及ぼし、エラー解決には余計な労力を要する。

そこで、本推奨実践規範は、OAISに推奨されるデジタル情報の取り込み（Ingest）プロセス（アーカイブ側が情報オブジェクトを取り込み、検証するまでの初期フェーズのアクション*下図1を参照）について定義することで、上記の諸問題の解消とOAIS参照モデルの補完に資するものである。

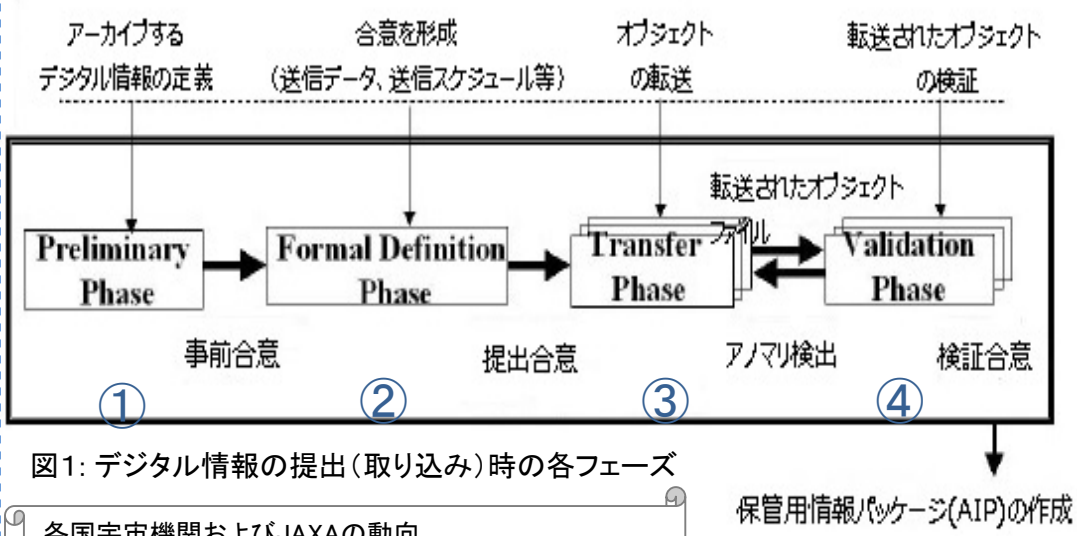


図1: デジタル情報の提出（取り込み）時の各フェーズ

① Preliminary Phase（予備フェーズ）
アーカイブ側と情報保存者側の事前合意のためのフェーズ。プロジェクトの範囲や、「提出（受入）用情報パッケージ（SIP）」草案、「提出合意」草案について双方が事前に確認等を行う。

② Formal Definition Phase（正式定義フェーズ）
保存するデジタルオブジェクトの詳細を含めたSIPのパッケージ設計を完成させ、アクセス制限や保存スケジュール等のデータ転送条件の詳細を盛り込んだ「提出合意」を完成させる。

③ Transfer Phase（転送フェーズ）
「提出合意」で合意した内容に基づき、情報保存者側からアーカイブ側へと実際にSIPを転送し、その後アーカイブ側でSIPの事前処理を行う。

④ Validation Phase（検証フェーズ）
アーカイブ側で、SIPの検証処理を行い、必要に応じて情報保存者側がフォローアップする。

各国宇宙機関およびJAXAの動向
JAXAは本推奨規格は未採用。INPE（ブラジル国立宇宙研究所）とUKSA（イギリス宇宙機関）が採用している。

AUDIT AND CERTIFICATION OF TRUSTWORTHY DIGITAL REPOSITORIES

「信頼できるデジタルリポジトリの監査と認証」

Magenta Book
CCSDS 652.0-M-1
発行月：2011年9月
ISO 16369

【概要】

本推奨実践規範は、信頼できるリポジトリとはどうあるべきかについての評価基準を示すため、デジタルリポジトリの信頼性評価に推奨される監査プロセスの詳細について80に及ぶ項目として定義するものである。

【内容】

OAIS参照モデルは、「デジタル情報の長期保存・管理に何が必要か」についての統一見解を示すものとして、デジタル情報を長期的に保存・管理するために最適な環境、機能、情報オブジェクトについて規定しているが、OAISに準拠していれば信頼性・信用性の高いリポジトリを提供できるとは言い切れず、デジタルリポジトリの信頼性・信用性を評価するための明確な尺度設定が必要である。

以下に示す3つの監査に分け定義される。

1. 組織インフラストラクチャ

   組織に関するリポジトリの管理能力、組織構成と人材、組織の財務、組織の持つ法務機能に関する事項

2. デジタルオブジェクト管理

   デジタル保存の基本事項に関して、受け入れからアクセスまでのデジタルオブジェクトの処理に関する事項。
   （コンテンツの受理、保管用情報パッケージ（AIP）生成、開示計画、アクセス管理）

3. テクノロジ、技術インフラストラクチャ及びセキュリティ

   取り込まれたデジタル情報（オブジェクト）を処理する技術及びセキュリティリスク管理に関する事項

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAおよび各国宇宙機関では、本推奨実践規範は未採用。

REQUIREMENTS FOR BODIES PROVIDING AUDIT AND CERTIFICATION OF CANDIDATE TRUSTWORTHY DIGITAL REPOSITORIES

「信頼できるデジタルリポジトリの監査・認証を行う機関の要件」

Magenta Book
CCSDS 652.1-M-2
発行月：2014年3月
ISO 16919

【概要】

本推奨実践規範は、信頼できるデジタルリポジトリの監査及び認証を実施する機関に対し、要求事項を定義している。

【内容】

デジタルデポジトリは、既に多数存在しているが、それらの信頼性は十分に証明されておらず、より明確な判定基準が必要となってきている。そこで、本規範では、信頼できるデジタルデポジトリの監査と認証行う機関への要件を定義している。

本推奨実践規範は、マネジメントシステムの認証に関するISO標準で広く用いられているISO/IEC 17021:2011を基本的に参照しており、候補となる信頼性の高いデジタルリポジトリの監査と認証を提供する団体に必要な特定の追加（少数）の要求事項を定義している。信頼できるということは、長期的に見れば、デジタル暗号化された情報の理解と可用性を維持することができることを意味している。

具体的には、章立て自体もISO/IEC 17021:2011に従い、構成され、その中でISO/IEC 17021:2011が参照されている。追加事項の主な記載内容を以下に示す。

- 一般要求事項　：　利害関係事項の追記
- 機構に関する要求事項　：　追記なし
- 資源に関する要求事項　：　能力のクライテリアの決定方法の追記
- 情報に関する要求事項　：　秘密性に関する事項の追記
- プロセス要求事項　：　追記なし
- 認証機関に対するマネジメントシステム要求事項　：　追記なし

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAおよび各国宇宙機関では、本推奨実践規範は未採用。

NAVIGATION DATA
– DEFINITIONS AND CONVENTIONS（1/2）

「航法データ　―定義と規約」

Green Book
CCSDS 500.0-G-4
発行月：2019年11月

本解説資料は、宇宙ミッションの相互運用等において、宇宙機関間で航法データをやりとりする際の航法関連情報（宇宙機力学情報、追跡データ、軌道要素、位置決定、姿勢決定、マヌーバ情報等）の技術定義について解説したものである。

本資料は、航法プロセス、航法メッセージ交換アーキテクチャ、航法データの概念及び用語を紹介するとともに、航法データの単位系、計算式、その他関連情報について詳述している。

航法データは各種データ項目から構成されており、表1に示すように国際単位系（SI）を用いることが推奨されている。

表1: 航法データ交換時の項目と単位

宇宙機諸元データ	
項目	単位
位置	km
角速度	deg/s
速度	km/s
加速度	km/s^2
…	

観測データ	
項目	単位
レンジ	km
レンジレート	km/s
光差	s
角度 （アンテナ測角、センサ計測角等）	deg
…	

補足情報　※
項目
送信機 ID
受信機 ID
座標系
時系
…

※補足情報とは、宇宙機諸元データと観測データを読み取る際に必要となる情報のこと

NAVIGATION DATA
– DEFINITIONS AND CONVENTIONS（2/2）

「航法データ　―定義と規約」

Green Book
CCSDS 500.0-G-4
発行月：2019年11月

航法データは、「宇宙機諸元データ」、「観測データ」、「補足情報」から構成され、主に以下の情報が含まれる。

■ 宇宙機諸元データ：
軌道、姿勢、共分散行列、物性、ハードウェア特性データ等

■ 観測データ：
軌道決定、姿勢制御、姿勢予測に必要なデータ

■ 補足情報：
座標系、時系、宇宙力学定数、環境モデル、アンテナタイプ等（表2参照）

表2: 補足情報（定義情報ー例）

座標系	
ICRS	国際天文基準座標系
ICRF	国際天文基準座標
ITRS	国際地球基準座標系
TOD	True of Date 赤道面座標系
GTOD	グリニッジTOD座標系
地球周回衛星の時系	
TT	地球時
TAI	国際原子時
GPS time	GPS時
GMST	グリニッジ平均恒星時
UT1	世界時
UTC	協定世界時
惑星間ミッションの時系	
TDB	太陽系力学時
TCB	太陽系重心座標時
宇宙力学定数（IERS）	
真空中の光速度	
天体の重力パラメータ	
地球/その他惑星の大きさ	
環境モデル	
アンテナタイプ	

NAVIGATION DATA MESSAGES OVERVIEW

「航法データメッセージ概要」

Green Book
CCSDS 500.2-G-2
発行月：2020年4月

本解説資料は、宇宙ミッションの相互運用において、宇宙機関間で航法データをやりとりする際の航法データメッセージ（軌道情報、姿勢情報、マヌーバ情報、追跡データ、接近解析情報、再突入物体データ）について解説したものである。

本資料では、宇宙機航法および軌道力学の用語、航法データ交換のフレームワーク概念、相互運用におけるメッセージ交換規定、等について解説しており、以下の内容から構成される。

第1章　本解説資料の目的、範囲、適用性、構成
第2章　宇宙機航法処理の概要と主な用語解説
第3章　航法データメッセージ交換のアーキテクチャ基本情報
第4章　CCSDSが規定する「航法データメッセージ（NDMs）」及び、メッセージ交換方式の概要

右図は、運用例として、追跡データメッセージ（TDM）をもとに作成した軌道データメッセージ（ODM）及び、姿勢データメッセージ（ADM）から宇宙機の状態を解析処理するイメージを示したものである。

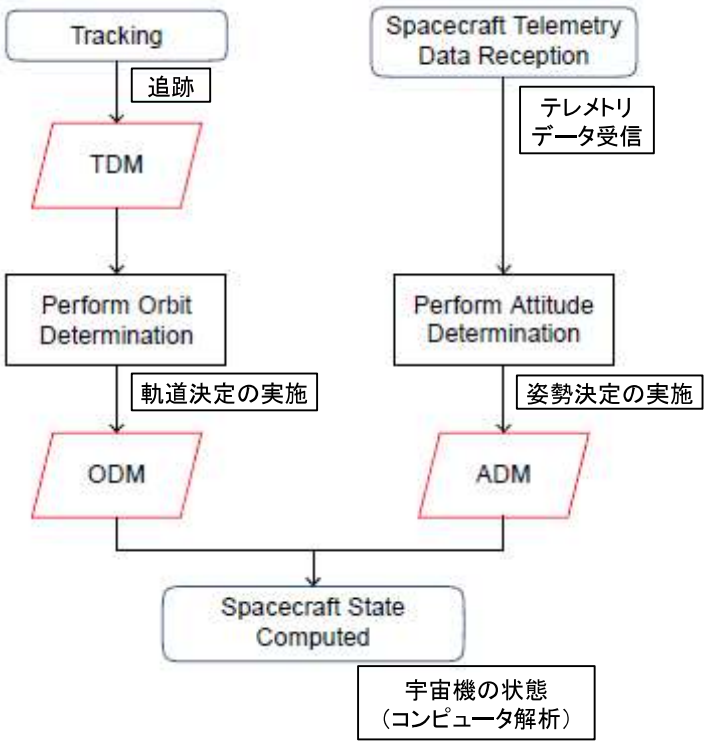


図1：航法データメッセージの解析処理例

MISSION OPERATIONS SERVICES CONCEPT

「ミッション運用サービスのコンセプト　―定義と規約」

Green Book
CCSDS 520.0-G-3
発行月：2010年12月

本解説資料は、宇宙機のモニタおよびコントロールにおけるミッション運用サービス・フレームワークについて概説するものである。

ここで言うミッション運用とは、地上から宇宙機上のそれぞれの機能間でのエンドツーエンドのサービスであり、その一例を図1に示す。

本資料には、ミッション運用サービスコンセンプトの対象範囲と目標、提案するサービスの枠組みやサービスの枠組みの定義、また、文書制定のロードマップが記載されている。以下に目次項目と記述概要を示す。

1. 導入
   目的、適用範囲、根拠、文書体系、参照先、略称の定義
2. ミッション運用サービスコンセプトの俯瞰
   ミッション運用サービスコンセプトの目的と対象範囲、サービスフレームワークの概要
3. サービスフレームワークの定義
   サービス識別へのアプローチ、サービス構造、ミッション運用機能、識別済みのミッション運用サービス
4. 文書のロードマップ
   ミッション運用サービスコンセプト、リファレンスモデル、メッセージ概念層、一般オブジェクトモデル、サービス仕様、開発言語のマッピング、関連技術のマッピング

付録A　条件の定義

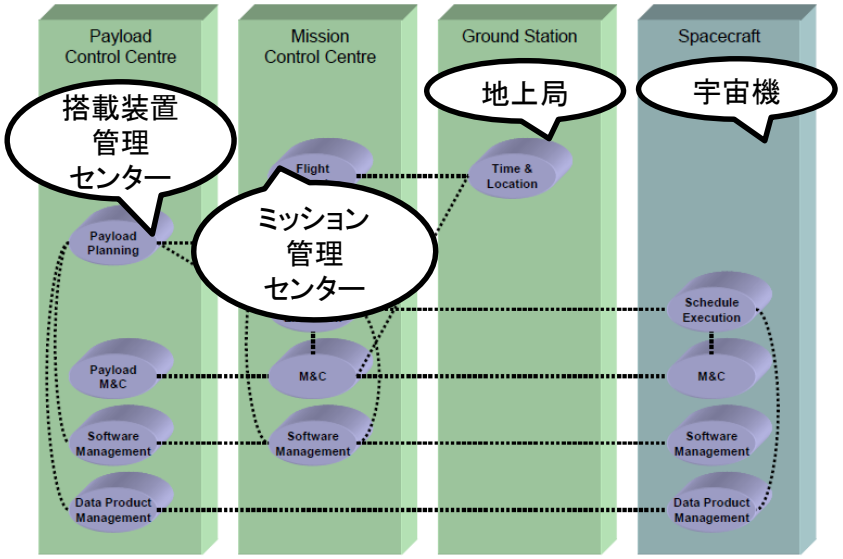


図1: エンドツーエンドでのミッション運用機能の配分例

MISSION PLANNING AND SCHEDULING

「ミッション計画及びスケジュール」

Green Book
CCSDS 529.0-G-1
発行月：2018年6月

本解説資料は、宇宙ミッションシステムにおけるミッション計画に関するアプリケーションレベルにおける機能の解説が記述されており、スケジュール情報モデル及び本サービスで使用する用語、ユースケースを規定し、その概念についての解説資料である。

ミッション計画での各機能を図1に示す。「Planning User」は、計画要求を送信する。また、計画要求や計画プロセスの状態のフィードバックを「Planning」から受信する。「Planning」は、「Planning User」から計画を受信して、処理結果をフィードバックし、また、「Plan Execution」に計画を送信して計画実行管理も実行する。また、軌道や姿勢情報を有する予測計画イベントを「Navigation」から受信する。「Plan Execution」は、計画の実行を担い「Planning」に計画実行状況を送信する。また、計画実行のために「Mission Control」を利用する。

本文書の第3章では、図2の通りミッション計画とエリアを超えた他CCSDS規格との関係性について説明している。

第4章では、階層計画などいくつかの計画の種類について説明しており、ミッション計画における一般的な概念について定義している。

第5章では、ユースケースシナリオを相互運用性シナリオと典型的なミッションタイプの分析に分けて説明している。

第6章では、ミッション計画及びスケジュールの推奨規格に適用される情報モデルの概要について説明している。

第7章では、ミッション計画及びスケジュールのサービス概要(Planning Request Service, Plan Distribution and Retrieval Service, Planning Process Management Service, Plan Execution Management Service)について説明している。

図1:ミッション計画に関わる各機能

図2:ミッション計画と各エリアとの関係性

TELEROBOTIC OPERATIONS

「テレロボティクス運用」

Green Book
CCSDS 540.0-G-1
発行月：2016年11月

本解説資料は、宇宙探査ミッションにおけるテレロボティクス運用をCCSDS標準文書化するにあたり、あらかじめテレロボティクス運用に関する基本概念や、運用のシナリオ等についての共通理解を持つために、それらを概説するものである。

宇宙探査ミッション等におけるロボティクス運用は、人間とロボットがどのような環境において、どのように作業を分担しながらミッションを実施するか、そのシナリオを想定しておく必要があり、また、各宇宙機関間の相互運用を可能にする必要性から、標準規格化が望まれている。

そのため本解説資料では、テレロボティクス運用の紹介や定義、ミッション運用のサービスフレームワーク概要等を記載している。

図1はCCSDSが定義するサービス指向アーキテクチャ（SOA）に基づくテレロボティクスのエンドツーエンドモデルを表現している。

図2のサービス階層で白抜きの分野がテレロボティクス運用に必要となり、求められるサービス内容を記載している。

本解説書には、図3に示す複数ロボットによる運用コンセプトや、図4に示す地上（スペイン・アンダルシア）における人間とロボットの相互運用性試験の様子等が紹介されている。

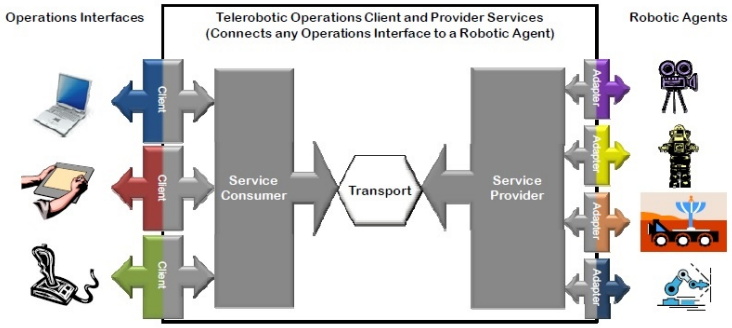


図1: Telerobotic End-to-End Model

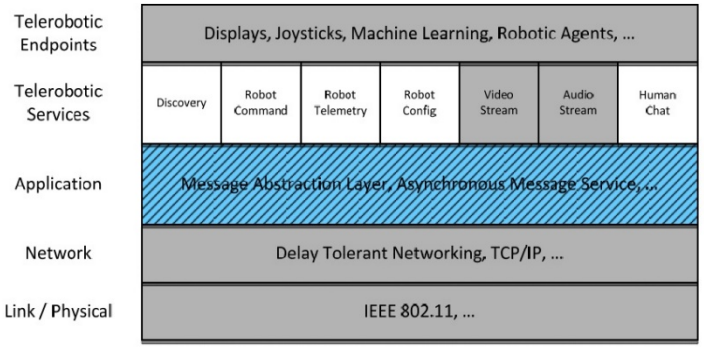


図2: A Strawman Gap Analysis

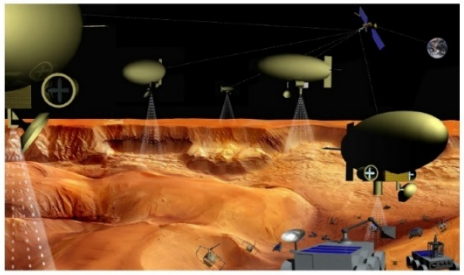


図3: Artist's Concept of Orbiter, Blimps, Rovers, and Robots Working Together

図4: ESA Rio Tinto Field Test in Andalusia, Spain

SPACE DATA SYSTEMS OPERATIONS WITH STANDARD FORMATTED DATA UNITS: SYSTEM AND IMPLEMENTATION ASPECTS

「標準フォーマットデータユニットを用いた宇宙データシステム運用：システムおよび実装」

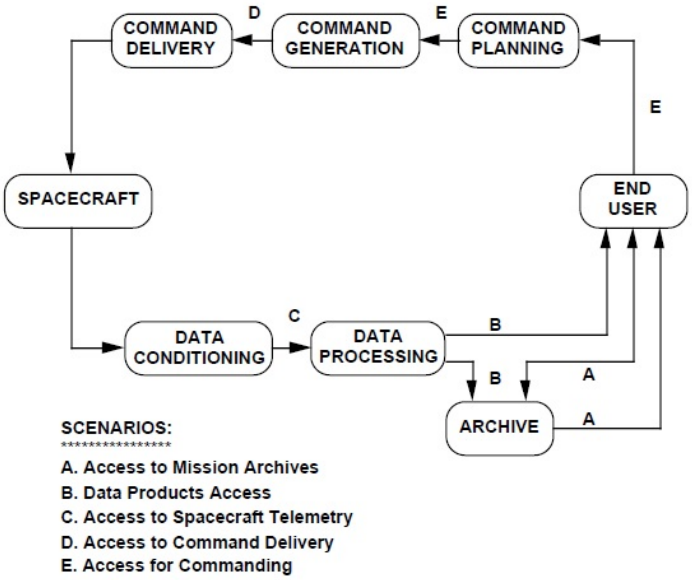
Green Book
CCSDS 610.0-G-5
発行月：1987年2月

本解説資料は、Standard Formatted Data Units（SFDU）を用いた宇宙データシステム運用について、システムおよび実装の観点から概説するものである。SFDU利用の応用シナリオ、運用上の要件、利点等について詳述している。

宇宙データシステム運用ではさまざまな種類のデータを取り扱うが、ユーザ側から見ると利用できるデータにはどんなものがあるのか、そのデータの適切な記述はどこにあるのかなどがわかりにくく、データを解釈したり、ソフトウェアで使用できる形に整えたりするためのプログラムを作成する費用もかさみがちである。

この問題を解決するためのデータ構造技術および運用手順として開発されたのが、SFDUである。SFDUの本質的な目的は、以下を実現することで、科学的あるいは技術的データのやりとりを容易にすることにある。

1. データの形式や構成方法に関する情報の記述方法を統一する。
2. 異なるデータ処理環境間において、人の手を介した宇宙データのやりとりを容易にし、また自動化を実現する。
3. 同一、あるいは類似した機能に使用する多くの異なったフォーマットに合わせてデータを成形する時間や手間、コストなどを削減する。
4. データが当初の値を保っている限り、その形式や内容の記述は修復可能であることを保証し、これによってデータの使用可能期間を延長する。
5. 交換したデータの自動構文分析を可能にする。
6. 将来的な宇宙プロジェクトで発生が見込まれる大量のデータおよび関連記述の管理を容易に、あるいは可能にする。
7. 処理履歴情報の効率的な取得開始と保存を可能にする。



STANDARD FORMATTED DATA UNITS – A TUTORIAL

「標準フォーマットによるデータユニット　– チュートリアル」

Green Book
CCSDS 621.0-G-1
発行月：1992年5月

本解説書は、標準フォーマットデータユニット（Standard Formatted Data Units: SFDU）に関するCCSDS推奨規格（CCSDS 620.0-B-2）を解説するもので、SFDUの構文規則を例示している。

SFDUは異なる環境間における情報交換の自動化促進を目的として開発されたが、本書はそのチュートリアルとして以下のような内容から構成されている。

1章：概説
2章：データ交換にまつわる基本的な問題点と、対処するにあたって使用した基本的な考え方を紹介する
3章：SFDUの構造と、基本構成単位について説明する
4章：SFDUプロダクト内にデータユニットを格納する方法について説明する
5章：データユニットを切り分ける方法について説明する
6章：「Information Data Unit」と「Description Data Unit」という2つの主要構成要素について説明する
7章：SFDUが必ず満たさなければならないすべての要件と、各要件の論理的根拠を提示する
8章：実際のプロジェクトでどのようにSFDUが使用されるのか、いくつかの例を紹介する

補遺として、本書で使用する略語や用語のリスト、および主な用語のインデックスも提供されており、「CCSDS推奨規格（CCSDS 620.0-B-2）」使用の際には、併せて参考資料とされたい。

STANDARD FORMATTED DATA UNITS – CONTROL AUTHORITY PROCEDURES TUTORIAL

「標準フォーマットデータユニット ― データ管理機構(CA)手順チュートリアル」

Green Book
CCSDS 631.0-G-2
発行月：1994年11月

本解説書は、CCSDS推奨規格「Control Authority Procedures（CAP）（CCSDS 630.0-B-1）」、および「Control Authority Data Structures（CADS）（CCSDS 632.0-B-1）」を解説するもので、これらの推奨規格で規定されている手順や業務内容、またそれらを効果的に実施するための予備知識、データ管理機構(Control Authority: CA)の必要性や要件について、実装者およびユーザ両者の観点から詳述している。

「標準フォーマットデータユニット(Standard Formatted Data Unit：SFDU)」は、異なる環境間における情報交換の自動化促進を目的として開発されたが、本文書はそのチュートリアルとして以下のような内容から構成されている。

1章：概説
2章：CAの基本的なコンセプトと論理的根拠を紹介する
3章：「Control Authority Procedures Recommendation」で指定している手順とサービスを、チュートリアルとして提供する
4章：「Control Authority Data Structures（CADS）Recommendation」で規定しているデータ記述パッケージのチュートリアルを提供する
5章：CAの設立およびCADSの構造に関する要件と論理的根拠を記載する

補遺として、本書で使用する略称や略語、用語のリスト、本資料作成時におけるMember Agency Control Authority Offices (MACAOs)の連絡先情報、データ記述登録フォームのサンプル、およびデータ記述のリバーシビリティというコンセプトを説明するシナリオ等も提供されている。

PARAMETER VALUE LANGUAGE – A TUTORIAL

「パラメータ値言語　ー チュートリアル」

Green Book
CCSDS 641.0-G-2
発行月：2000年6月

本資料は、「パラメータ値言語仕様（ Parameter Value Language: PVL）（CCSD0006、およびCCSD0008）（CCSDS 641.0-B-2）」を解説するものであり、開発の背景、用途、フォーマット／構文規則、応用例、注意点について記述している。また、データ（情報）交換にPVLを用いる方法や理由を示している。

CCSDSは、異なる環境間における情報交換の自動化促進を目的として、「標準フォーマットデータユニット（Standard Formatted Data Unit：SFDU）」を開発した。SFDUは異なるシステム間でやりとりされるため、単純かつ外的要因による変化を起こさないような表記法を指定する必要がある。このためにはキーワード値（keyword-value）表記が有効であることから、シンプルで柔軟な表記法としてPVLが開発された。

PVL（CCSD0006）の基本バージョンはASCIIコードで表現される。PVLは、既存のキーワード言語である「FITS：Flexible Image Transport System」や「ODL：Object Description Language」を基本に開発されており、PVLのシンタックスのほとんどはODLをベースとしている。（注： ODLはNASA-JPLで開発された言語）

PVLはシンタックス（構文）と、わずかなセマンティクス（意味）を提供する。セマンティクスを最小限にすることで、実装者は使用するアプリケーションごとに適したセマンティクスを指定できる。データエンティティディクショナリ（DED）と組み合わせて使用すれば、キーワード値言語を使用するアプリケーションに必要な機能のすべてが提供可能となる。

本解説書は、構文例を示してステートメントの記述方法を詳しく説明する。本書の1章では主にPVL開発の背景、2章はPVLの使用方法、3章ではPVLステートメントの構成が記載されている。

THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST – A TUTORIAL

「データ記述言語 EAST ― チュートリアル」

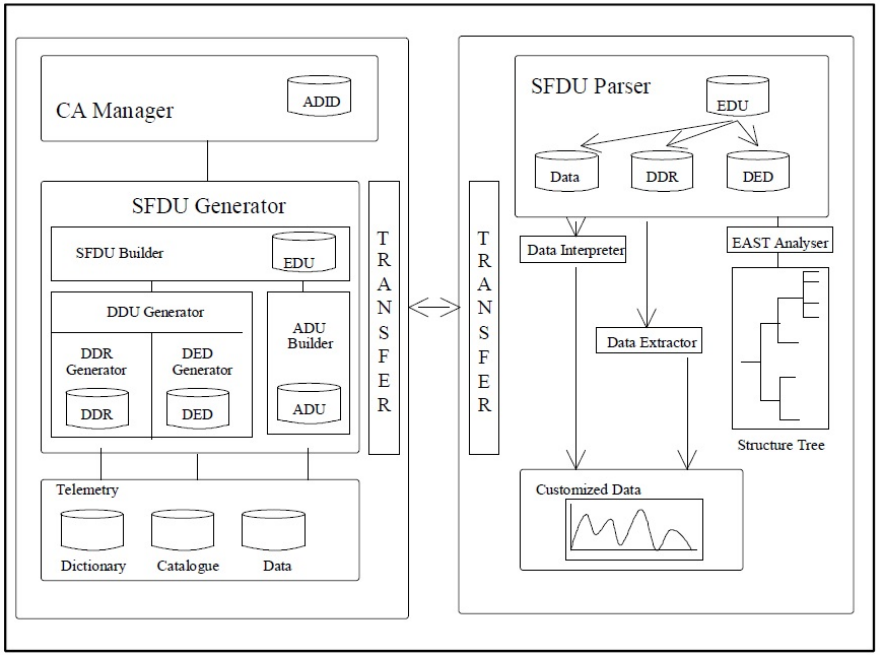
Green Book
CCSDS 645.0-G-1
発行月：1997年5月

本資料は、CCSDS推奨規格「データ記述言語EAST仕様（THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST SPECIFICATION （CCSD0010）（CCSDS644.0-B-3）」を解説するものである。EAST言語の使用法、フォーマット、構文規則、推奨される用法等について詳述している。

各国の宇宙機関では、それぞれ大量のデータが生成されている。瞬時に他機関と交換・分析されるデータもあるが、データ項目が何を表しているか、どのように使用すればいいのかが記述されていないと、データとしての意味をなさない。膨大な量のデータを維持・管理するためには、データ記述言語の統一が必要である。

CCSDSでは「標準言語データユニット（SFDU）」環境において自然言語英語の使用も推奨しているが、形式言語を使用すればデータの解釈が自動化できる。また、データとデータ記述とを物理的に分離できるため、データを何らかのフォーマットに加工する必要がなくなり、そのまま記述することが可能になる。

EASTは、こうした要件を満たす言語である。データの自動解釈や、データを「過去」または「将来」のデータとして記述することも可能である。



EASTは、SFDUにおけるデータ記述レコード（DDR）の作成のために提案された言語である。上図に、データ交換の一般的なコンテキストを示す。

THE DATA DESCRIPTION LANGUAGE EAST – LIST OF CONVENTIONS

「データ記述言語EAST ー 規約一覧」

Green Book
CCSDS 646.0-G-1
発行月：1997年5月

本資料では、データ生成プロセスにおいて実数を表現する際の規約について解説している。ここで解説している規約は、CCSDS推奨規格「EAST Data Descriptions（CCSDS 644.0-B-3）」で参照されているものである。データ交換を一意化・自動化するための標準言語（データ記述・表現のための標準言語）の定義に使用する。

本文書では、実値を取得するためにnビットフィールドに適用するべき規約に関するアルゴリズムを解説している。すべての規約は、Authority and Description Identifier（ADID）によって識別される。

本文書は、EASTに関する推奨規格とともに、CCSDSメンバー機関間でより統一的で自動化された方法でデータ交換を行うことを目的として、データ記述・表現のための標準言語を定義するものである。

本文書では以下の規約のアルゴリズムを解説している。

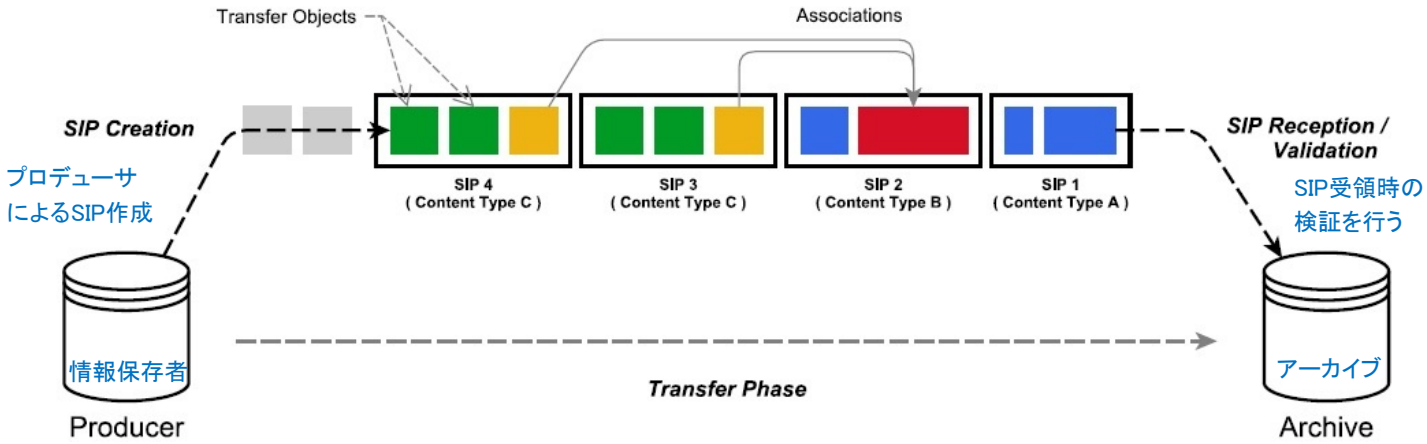
- FCSTC000 （ADID of the ANSI/IEEE Standard 754 convention）
- FCSTC001 （ADID of the Digital Equipment Corporation for VAX processors/OpenVMS Systems convention）
- FCSTC002 （ADID of the MIL-STD-1750A convention）
- FCSTC003 （ADID of the Control Data Corporation/NOS-VE convention）
- FCSTC004 （ADID of the Control Data Corporation/NOS-BE convention）
- FCSTC005 （ADID of the CMS and MVS IBM/Mainframe convention）

PRODUCER – ARCHIVE INTERFACE SPECIFICATION（PAIS）– A TUTORIAL

「プロデューサ／アーカイブ間インターフェース仕様（PAIS） -チュートリアル」

Green Book
CCSDS 651.2-G-1
発行月：2016年9月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「プロデューサ／アーカイブ間インターフェース仕様（CCSDS 651.1-B-1）」を解説するものである。PAIS規格は、デジタルデータの情報保存者（Producer）がデータをアーカイブへと転送する際に、提出用情報パッケージ（Submission Information Packages ：SIPs）を用いて効率よくかつ効果的にデータ転送・検証できるよう、SIPのフォーマット方式や標準的なXML実装方法を与えるものである。



PAISは、モデルとXMLファイルによるインスタンス化を行うことで、情報保存者が作成・転送（transfer）するデジタルオブジェクトについての正確で明確な定義を情報保存者とアーカイブ間で共有できるようにしている。

PAIS規格では、転送（transfer）とは、データオブジェクトを情報保存者がアーカイブ側に送付することを意味する。このデータオブジェクトは、個々に送られるのではなく、SIPというパッケージ（グループ化・カプセル化）で転送される。これにより、コンテンツタイプや、ファイルの固定性（Fixity）にかかわる情報，相互関係、シーケンス（上図を参照）などを輪郭づけている。

PAISは、このSIPsというパッケージ形式でのデジタルオブジェクトの正確な定義（転送順など）も可能にしている。

XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE（XTCE） – ELEMENT DESCRIPTION

「XMLによるテレメトリ並びにコマンド変換（XTCE） —エレメント記述」

Green Book
CCSDS 660.1-G-2
発行月：2021年8月

本解説資料は、CCSDS 660.0-B-1「XMLによるテレメトリ並びにコマンド変換（XTCE）1.2 」の内容を解説したものであり、主にXTCEの一般的な概念と用語について説明している。

XTCEは、衛星ミッションにおける地上でのテレメトリ受信やコマンド生成において必要となるテレメトリ・コマンドを記述をするためのXMLスキーマである。 XTCEは開発から運用までのあらゆるミッションフェーズにおいて、宇宙機のテレメトリ／コマンドデータベースを異なる機関間またはシステム間で交換するために使用される。

XTCEの構造を図1に示す。XTCEはルート要素であるSpaceSystemタグの下に、テレメトリメタデータとコマンドメタデータが定義されたものとなっている。

テレメトリメタデータの構造を図2に示す。
テレメトリメタデータに含まれる要素は、ParameterType, Parameter, Container, Messages, Streams, Algorithmである。

コマンドメタデータの構造を図3に示す。
コマンドメタデータに含まれる要素は、多くはテレメトリメタデータと同じであるが、ArgumentTypeおよびMetaCommandはコマンドメタデータ専用の要素である。なお、CommandContainerの構造はテレメトリメタデータのContainerと同じである。

```
<xtce:SpaceSystem> … XTCEのルート要素
    <xtce:TelemetryMetaData> … テレメトリメタデータ
    <xtce:CommandMetaData> … コマンドメタデータ
    <xtce:SpaceSystem>
</xtce:SpaceSystem>
```

SpaceSystemタグは再帰的な定義が可能

図1: XTCEの構造

```
<xtce:TeremetryMetaData>
    <xtce:ParameterTypeSet>
    <xtce:ParameterSet>
    <xtce:ContainerSet>
    <xtce:MessagesSet>
    <xtce:StreamSet>
    <xtce:AlgorithmSet>
</xtce:TeremetryMetaData>
```

図2: テレメトリメタデータ

```
<xtce:CommandMetaData>
    <xtce:ParemeterTypeSet>
    <xtce:ParameterSet>
    <xtce:ArgumentTypeSet>
    <xtce:MetaCommandSet>
    <xtce:CommandContainerSet>
    <xtce:StreamSet>
    <xtce:AlgorithmSet>
</xtce:CommandMetaData>
```

図3: コマンドメタデータ

XML TELEMETRIC AND COMMAND EXCHANGE （XTCE）

「XMLによるテレメトリ・コマンド交換（XTCE）」

Green Book
CCSDS 660.2-G-2
発行月：2021年2月

本解説資料は、宇宙機の監視・制御を行うテレメトリおよびコマンドのデータベース形式であるXML Telemetric and Command Exchange (XTCE) の概念、XTCEの主要な要素、使用例を解説している。

XTCEのバージョンには2006年に公開されたXTCE 1.0、2008年にCCSDSのレビューを経て公開されたXTCE 1.1、2019年にエンドユーザのレビューを経て公開されたXTCE 1.2があり、本解説書はすべてのバージョンに対応しているが、主にXTCE 1.2向けとなっている。

異なる開発チームやミッション間のデータ交換メカニズムとして活用可能なことから、CCSDSでは、衛星製造者、機器製造業者、地上システム等におけるデータベース交換において、XTCEを用いることを推奨している。

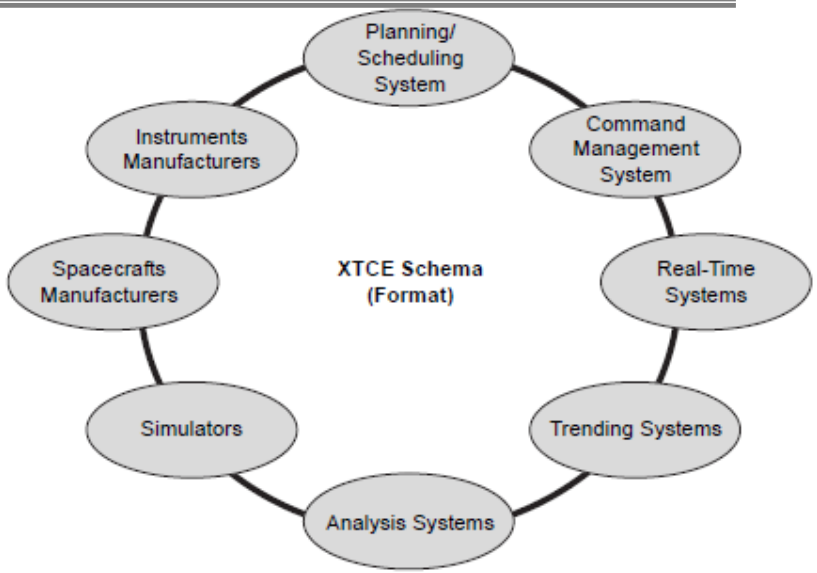


図1: XTCEによるデータベース交換のコンセプト

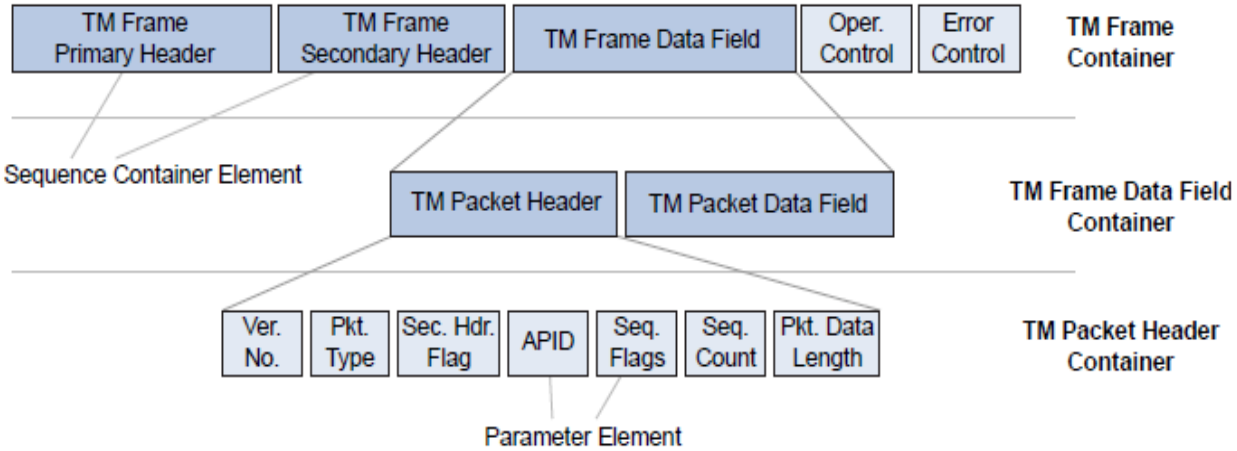


図2: テレメトリのCCSDS推奨標準を使用したXTCEパケット定義の概念

CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT –SIMPLE SCHEDULE FORMAT SPECIFICATION（1/2）

「相互支援（クロスサポート）サービス管理 –シンプルスケジュールフォーマット仕様」

Blue Book
CCSDS 902.1-B-1 Cor.1
発行月：2021年12月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、地上局またはデータ中継衛星の運用スケジューリング調整に利用する各種規格のうち、「シンプルスケジュール」のフォーマットを規定するものである。

【内容】

図1に宇宙通信相互運用サービスマネージメント（SCCS SM（＊））を構成する各規格の関係性を示す。規格の1つであるシンプルスケジュールは、アンテナ利用割当てのスケジューリング調整に必要な各種情報（追跡開始・終了時刻、周波数帯、サービス内容（*テレメトリ、コマンド、測距、等*）、等）をXMLスキーマを用いて定義する。図2にパラメータ構成の一例を示す。

（＊）SCCS SM:　追跡・テレメトリ&コマンド（TT&C）サービスを相互運用する際の事前交渉、システム構成、運用スケジュール、運用準備、アクセス、および報告に用いる情報の収集と交換に関わる一連のプロセス

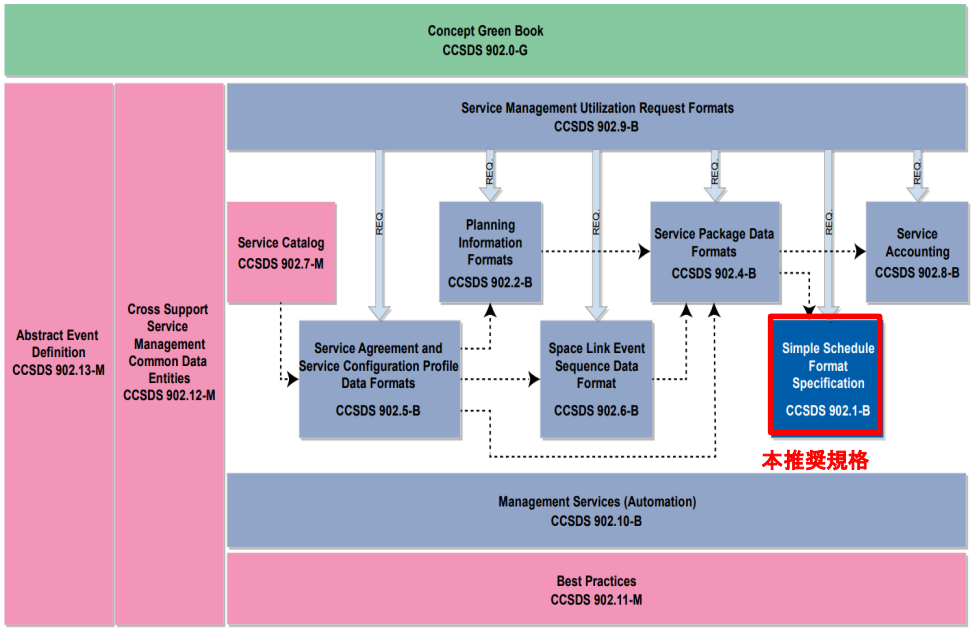


図1: 本推奨規格と他のCCSDS文書との関係性

```
Simple Schedule :   [M]シンプルスケジュールの情報本体
│
├ SimpleScheduleHeader :   [M]シンプルスケジュールのヘッダ
│
├ ScheduledPackage :        [O] スケジューリングされたサービスパッケージの
│ │                              情報を指定
│ ├ ScheduledActivity :   スケジュールされたアクティビティの詳細
│ │ └ ServiceInfo :       パス中に実行されるオペレーションタイプに関する情報
│ │
│ └ServicePackageXRef :  [O]SCCS SMのサービスパッケージにマッピング
│
└ ScheduledPkgAssn:       [O]スケジュールされたパッケージ間の関連付けを指定

[M]：必須
[O]：オプション
```

図2: シンプルスケジュールの構成例

CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT -SIMPLE SCHEDULE FORMAT SPECIFICATION（2/2）

「相互支援（クロスサポート）サービス管理 -シンプルスケジュールフォーマット仕様」

Blue Book
CCSDS 902.1-B-1 Cor.1
発行月：2021年12月
ISO -

シンプルスケジュールは、宇宙通信相互運用を行う際に必要なスケジュール情報交換手段として、下記のような利用が考えられる。

- **ミッション設計段階**
  ミッションの設計段階では、必要な通信を行うためのデータ伝送速度を確保出来るかを評価するために、数年先の特定の期間に要求を満たすアンテナが利用可能かどうかを事前確認する。現状、この情報を得るための標準化された方法が存在しないため、シンプルスケジュールフォーマットの利用が有効となる。
- **ミッション計画段階**
  ミッションの計画段階では、サービスを提供する側がユーザ側に対して、アップリンク/ダウンリンク・リソースが利用可能かどうかといった情報を「スケジュール」という形で提供するが、その際にシンプルスケジュールフォーマットを使用できる。計画段階ではこのやりとりを実際の運用の数か月前から数日前まで、何サイクルか繰り返すことで運用計画が策定される。
- **サービス提供側の相互支援サービスシステム（CSSS)スケジュール配布**
  CSSSスケジュールは、異なる機関間でも、あるいはひとつの機関内でも、標準化された方法で配布されるのが望ましいが、現状、配布されるスケジュールの内容は機関毎に方式が異なる。全スケジュールを全ユーザに配布する機関もあれば、特定の宇宙機に割り当てられたスケジュールのみをそのミッションのオペレータだけに配布する機関もある。そのため、シンプルスケジュールフォーマットは様々な方式の違いに対応できるよう、柔軟に設計されている。
- **未割当時間スケジュールの配布**
  所有アンテナの未割当時間リストを配布している機関もあり、ユーザー側はそのリストを参照して追加の運用を要求できる空き時間があるかどうかを確認できる。シンプルスケジュールフォーマットでは未割当時間の利用を要求する方法までは言及していないものの、サービス提供側がCSSSスケジュールを公開したり、未割当リソースの使用要求に対する回答をユーザー側に通知する際に使用できる。
- **スケジュールクエリへのレスポンス**
  シンプルスケジュールフォーマットは、アンテナが利用可能か否かといった問い合わせに対して、スケジュール情報を返す際にも使用できる。

なお、本推奨規格はフォーマットを規定するもので、本フォーマットの伝送方式までは規定していない。そのため、例えば本フォーマットをメール交換に利用することでスケジュール情報を交換することも可能である。

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

DLRをはじめ、DSN(NASAの深宇宙ネットワーク)、ESTRACK(ESAの追跡ネットワーク)が採用を予定している他、CNES等、他機関も採用を検討している。

CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT -COMMUNICATIONS PLANNING INFORMATION FORMAT (1/2)

「相互支援(クロスサポート)サービス管理 ー通信計画情報フォーマット」

Blue Book
CCSDS 902.2-B-1
発行月: 2022年3月
ISO -

【概要】

本推奨規格は、地上局またはデータ中継衛星の運用スケジューリング調整に利用する各種規格のうち、「通信計画情報」のフォーマットを規定するものである。

【内容】

宇宙通信相互運用サービスマネージメント(SCCS SM(*1))の「通信計画情報」は、下記の利用形態が考えられている。

宇宙機のミッション設計段階: ユーザ側は追跡サービス提供側に対して、宇宙機運用に必要な追跡支援サービスが受けられることを事前確認するが、その際に本フォーマットを用いて宇宙機ミッションの通信計画情報を提供する。

宇宙機のミッション計画段階: 追跡サービス提供側は、宇宙機運用の数カ月前から数日前までの間、他ユーザとの優先度などを考慮しつつ、通信計画情報を基に追跡リソースの割り当てを調整する。この作業は軌道/姿勢予測の精度を上げながら何サイクルか繰り返されるが、この間、ユーザ側は追跡リソース割り当てに必要な情報を通信計画情報として提供する。

図1にSCCS SMを構成する各規格の関係性を示す。通信計画情報はXMLスキーマを用いて定義される。伝達される通信計画情報は、下記の a)～e)を想定するが、現行版では a)のみが対象であり、b)～e)は将来版での対応が予定されている。

a) predicted communications geometry events
(予測通信ジオメトリイベント(局イベント情報等))

b) sustainable data rates and volume estimate events
(持続可能データレート/量推定イベント)

c) predicted radio frequency interference events
(予測無線周波数干渉イベント)

d) predicted resource conflict events (予測資源競合イベント)

e) cost estimates (コスト見積もり)

**1 SCCS SM:*
追跡・テレメトリ&コマンド(TT&C)サービスを相互運用する際の事前交渉、システム構成、運用スケジュール、運用準備、アクセス、および報告に用いる情報の収集と交換に関わる一連のプロセス

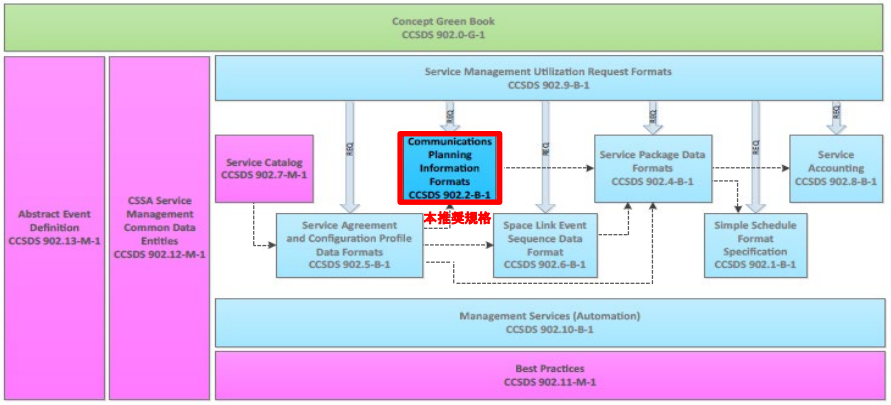


図1:本推奨規約と他のCCSDS文書との関係性

CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT
-COMMUNICATIONS PLANNING INFORMATION FORMAT (2/2)

「相互支援(クロスサポート)サービス管理 ー通信計画情報フォーマット」

Blue Book
CCSDS 902.2-B-1
発行月: 2022年3月
ISO -

図2に通信計画情報のデータ項目の一例を示す。太陽軸角は、アンテナ開口部を基準として、ある時刻における太陽、アンテナ開口部、宇宙機の間の角度を示すものであり、宇宙機のミッション設計やミッション計画の段階において参照される。

また、表1にはイベントのパラメータ定義の一例を示す。昇降角イベントは、宇宙機が上昇する際に通過する所定の角度などを示すものである。

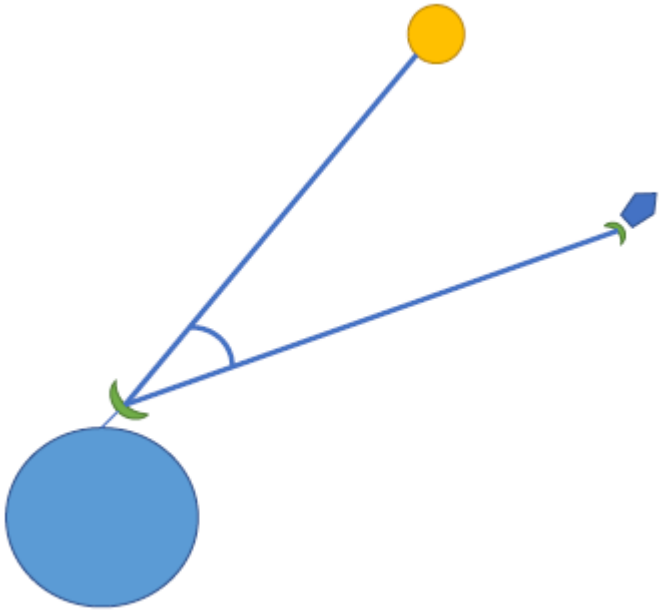


図2:通信計画情報の一例(太陽軸角)

表1:イベントのパラメータ定義の一例(昇降角イベントのパラメータ定義)

Parameter	Mandatory	Parameter Definition	
angle	Y	xsd:float 0 ≤ Angle < 180	Degrees
elevation	N	xsd:float -90.0 ≤ Elevation < 90	Degrees
azimuth	N	xsd:float 0 ≤ Azimuth < 360	Degrees
rtlt	N	xsd:double ≥ 0	Seconds
rangeRate	N	xsd:double	m/s

rtlt: 光の往復時間を表し、光がアンテナ開口部から宇宙機まで往復するのに必要な時間
(Round trip light time)

各国宇宙機関及びJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

SPACE LINK EXTENSION – RETURN ALL FRAMES SERVICE SPECIFICATION（1/2）

「SLE（Space Link Extension） – リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 911.1-B-5
発行月：2023年7月
ISO 22669

【概要】

本推奨規格は、宇宙リンクリターンサービス（TM/AOS/USLP）を地上間のデータ転送に拡張するSLE転送サービス（図1参照）のうち、「リターンオールフレーム（Return All Frames：RAF）」サービスについて、サービスオペレーション、オペレーションの呼び出し及び実行結果に付随するデータ、各オペレーションを呼び出した際の動作を規定する文書である。

【内容】

RAFサービスは、スペースリンク物理チャネルから要求した品質を満たす全てのテレメトリフレームをサービス利用者へ提供するSLE転送サービスである。

スペースリンクから取得したテレメトリフレームはSLEプロトコルデータユニットによりプロバイダからサービス利用者に配信されるが、RAFサービスでは2ページ目の図3に示すように要求した品質を満たす全てのフレームを転送する。

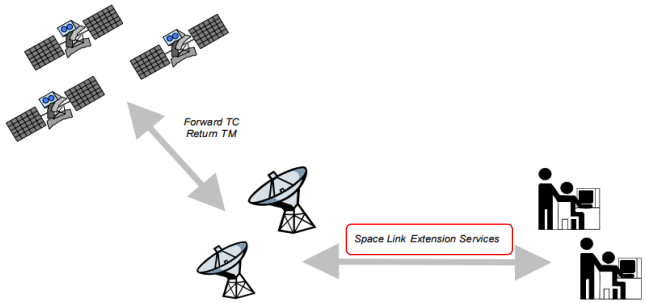


図1： SLE転送サービス概念

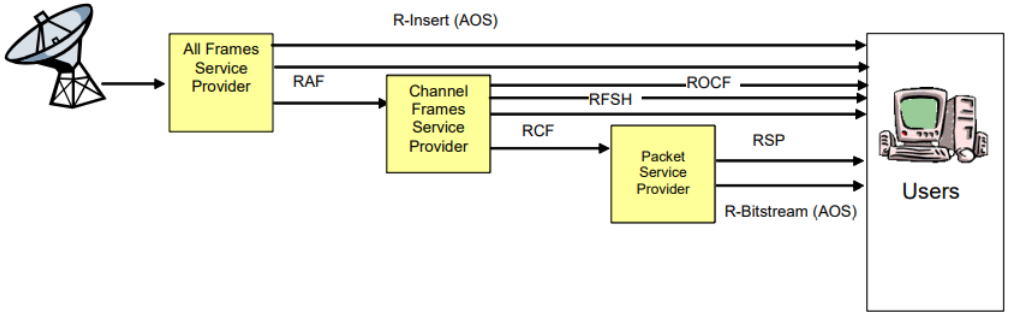


図2： Return系SLE転送サービス概念

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）、等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SPACE LINK EXTENSION – RETURN ALL FRAMES SERVICE SPECIFICATION（2/2）

「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 911.1-B-5
発行月：2023年7月
ISO 22669

本サービスの伝送モードにはオンラインモード（タイムリーオンライン、コンプリートオンライン）とオフラインモードが用意されており、標準的な運用シーケンスの例を図4に示す。

なお、SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（CCSDS 910.3-G-3）にサービスのコンセプトと事例を紹介している。

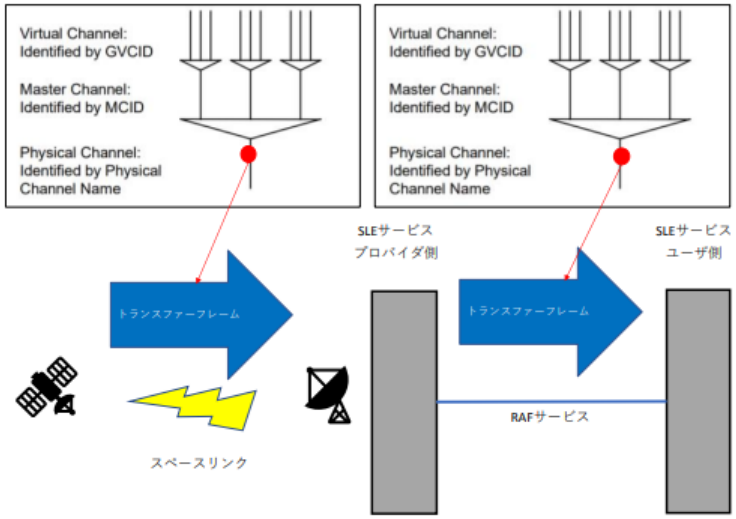


図3： RAFサービスのデータ転送

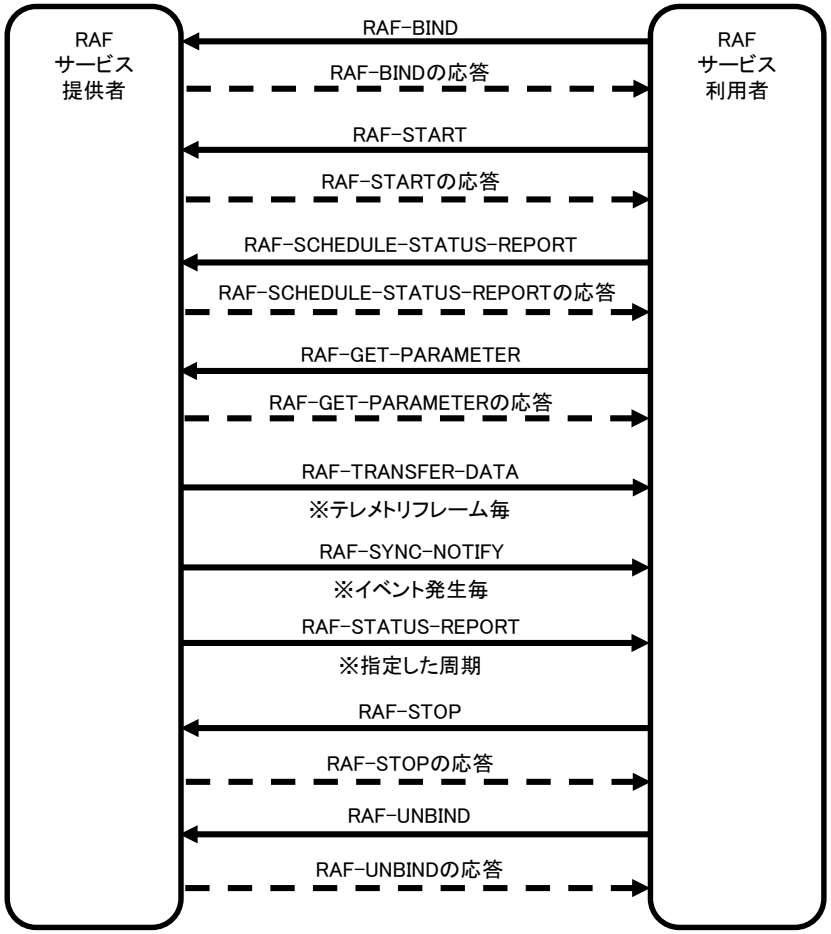


図4： 標準的な運用シーケンス例

CCSDS　地上サブネット(SLE)に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	推奨実践規範（Magenta Book）	予備検討規格（Orange Book）
本文書	CCSDS 911.1-B-5 Space Link Extension - Return All Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」	CCSDS 915.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return All Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンオールフレーム（RAF）サービス向けAPI」	
	CCSDS 911.2-B-4 Space Link Extension - Return Channel Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム (RCF) サービス仕様」	CCSDS 915.2-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Channel Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンチャネルフレーム（RCF）サービスAPI」	
	CCSDS 911.5-B-4 Space Link Extension - Return Operational Control Fields Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」	CCSDS 915.5-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Operational Control Fields Service 「SLE（Space Link Extension）-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスAPI」	
CCSDS 910.3-G-3 Cross Support Concept - Part 1: Space Link Extension 「相互支援（クロスサポート）コンセプト - Part 1 ：Space Link Extension（SLE）」	CCSDS 912.1-B-5 Space Link Extension - Forward CLTU Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－通信回線伝送単位（CLTU）サービス仕様」	CCSDS 916.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward CLTU Service 「SLE（Space Link Extension）-フォワードCLTU（FCLTU）サービスAPI」	CCSDS 912.11-O-1 Space Link Extension - Enhanced Forward CLTU Service Specification 「SLE-改良フォワードCLTUサービス仕様」
		CCSDS 916.3-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward Space Packet Service 「SLE（Space Link Extension）- フォワードスペースパケット（FSP）サービスAPI」	
	CCSDS 913.1-B-2 Space Link Extension - Internet Protocol for Transfer Services 「SLE（Space Link Extension）－転送サービス向けインターネットプロトコル」		

SPACE LINK EXTENSION – RETURN CHANNEL FRAMES SERVICE SPECIFICAITON（1/2）

「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム（RCF）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 911.2-B-4
発行月：2023年7月
ISO 22670

【概要】

本推奨規格は、宇宙リンクリターンサービス（TM/AOS/USLP）を地上間のデータ転送に拡張するSLE転送サービス（図1参照）のうち、「リターンチャネルフレーム（Return Channel Frame：RCF）」サービスについて、サービスオペレーション、オペレーションの呼び出し及び実行結果に付随するデータ、各オペレーションを呼び出した際の動作を規定する文書である。

【内容】

RCFサービスは、1つのマスターチャネルまたは1つのバーチャルチャネルから全てのテレメトリフレームを取得、配信することができるサービスである。取得したテレメトリフレームはSLEプロトコルデータユニットによりプロバイダからサービス利用者に配信される。RCFサービスでは、2ページ目の図3に示すようにチャネルを指定することで転送するフレームを絞り、転送データ量を小さくすることができる（地上データ回線が細い場合等に利用）。

RCFサービスの提供の際には、1ユーザに対してフレーム取得の対象となるチャネル1つごとに1つのサービスインスタンスが作成される。複数ユーザへの配信や複数チャネルからの取得、配信は可能であるが、その場合には複数のインスタンスが作成されることになる。

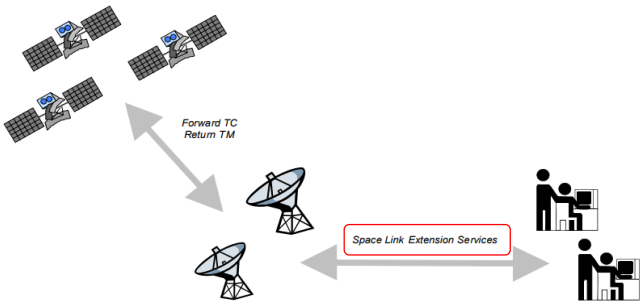


図1： SLE転送サービス概念

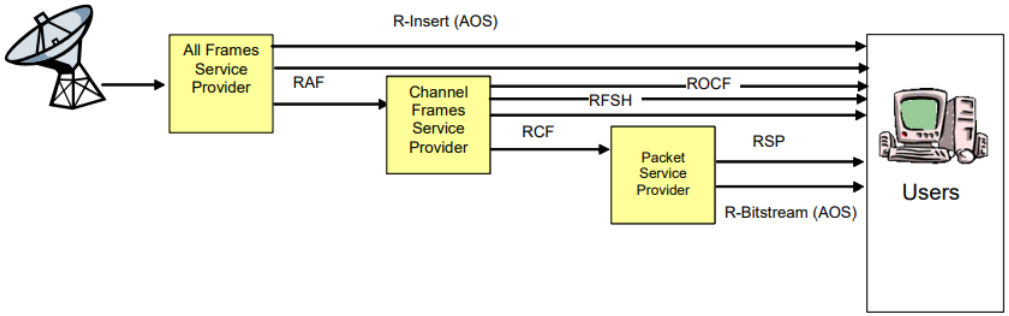


図2： Return系SLE転送サービス概念

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）、等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SPACE LINK EXTENSION – RETURN CHANNEL FRAMES SERVICE SPECIFICAITON（2/2）

「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム（RCF）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 911.2-B-4
発行月：2023年7月
ISO 22670

本サービスの伝送モードにはオンラインモードとオフラインモードが用意されている。標準的な運用シーケンスの例を図4に示す。

なお、SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（CCSDS 910.3-G-3）にサービスのコンセプトと事例を紹介している。

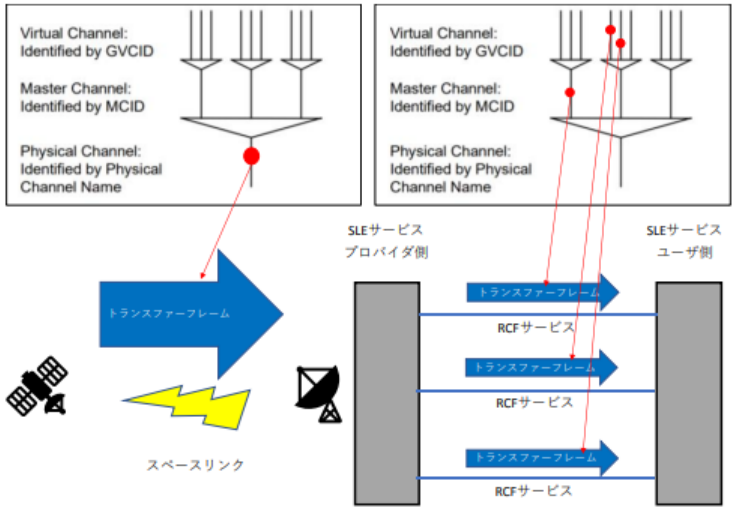


図3： RCFサービスのデータ転送

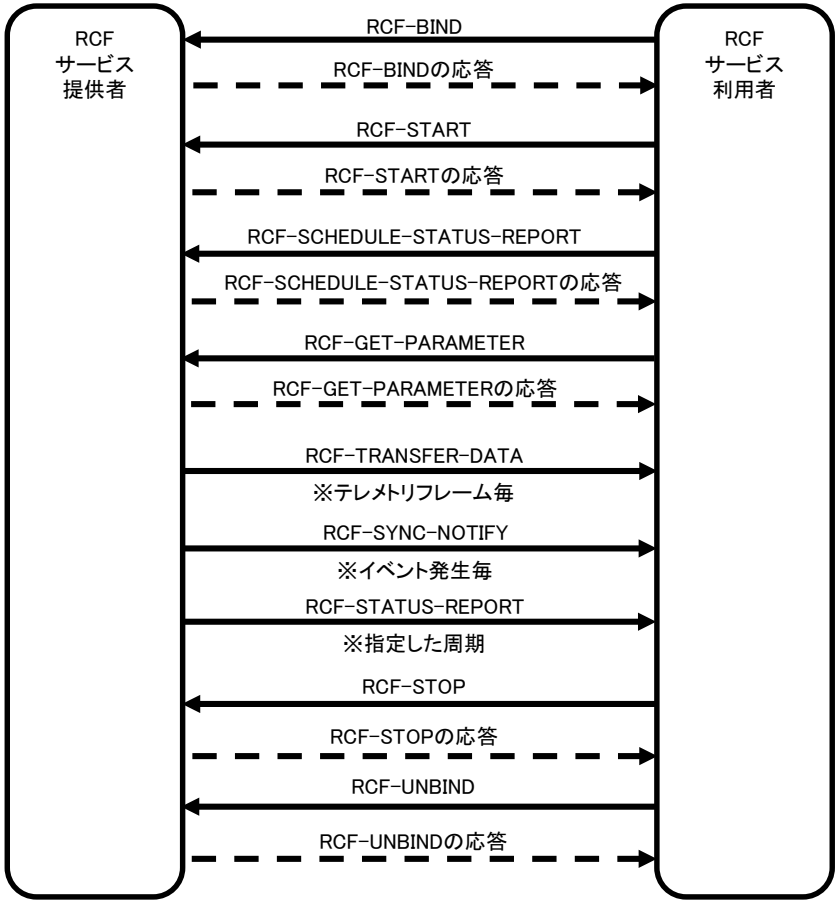


図4： 標準的な運用シーケンス例

CCSDS　地上サブネット(SLE)に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	推奨実践規範（Magenta Book）	予備検討規格（Orange Book）
CCSDS 910.3-G-3 Cross Support Concept - Part 1: Space Link Extension 「相互支援（クロスサポート）コンセプト - Part 1 ：Space Link Extension（SLE）」	CCSDS 911.1-B-5 Space Link Extension - Return All Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」	CCSDS 915.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return All Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンオールフレーム（RAF）サービス向けAPI」	
本文書	CCSDS 911.2-B-4 Space Link Extension - Return Channel Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム (RCF) サービス仕様」	CCSDS 915.2-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Channel Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンチャネルフレーム（RCF）サービスAPI」	
	CCSDS 911.5-B-4 Space Link Extension - Return Operational Control Fields Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」	CCSDS 915.5-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Operational Control Fields Service 「SLE（Space Link Extension）-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスAPI」	
	CCSDS 912.1-B-5 Space Link Extension - Forward CLTU Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－通信回線伝送単位（CLTU）サービス仕様」	CCSDS 916.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward CLTU Service 「SLE（Space Link Extension）-フォワードCLTU（FCLTU）サービスAPI」	CCSDS 912.11-O-1 Space Link Extension - Enhanced Forward CLTU Service Specification 「SLE-改良フォワードCLTUサービス仕様」
		CCSDS 916.3-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward Space Packet Service 「SLE（Space Link Extension）- フォワードスペースパケット（FSP）サービスAPI」	
	CCSDS 913.1-B-2 Space Link Extension - Internet Protocol for Transfer Services 「SLE（Space Link Extension）－転送サービス向けインターネットプロトコル」		

SPACE LINK EXTENSION – RETURN OPERATIONAL CONTROL FIELDS SERVICE SPECIFICATION（1/2）

Blue Book
CCSDS 911.5-B-4
発行月：2023年7月
ISO 26143

「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」

【概要】

本推奨規格は、宇宙リンクリターンサービス（TM/AOS/USLP）を地上間のデータ転送に拡張するSLE転送サービス（図1参照）のうち、「リターンオペレーショナルコントロールフィールド（Return Operational Control Fields*1：ROCF）」サービスについて、サービスオペレーション、オペレーションの呼び出し及び実行結果に付随するデータ、各オペレーションを呼び出した際の動作を規定する文書である。

【内容】

ROCFサービスは、リターンスペースリンクチャネルから1個のマスターチャネル、もしくは1個の仮想チャネルのテレメトリフレームに含まれる運用制御領域（Operational Control Fields: OCF）の全体あるいは一部を、サービス利用者へ提供するSLE転送サービスである。

ROCFサービスの提供にあたっては、1ユーザーに対してフレーム取得の対象となるチャネル1つ毎に1つのサービスインスタンスが作成される。複数ユーザーへの配信や複数チャネルからの取得、配信は可能であるが、その場合には複数のインスタンスが作成されることになる。

スペースリンクから取得したOCFは配信基準を満たしていれば受信した順番でSLEプロトコルデータユニットによりプロバイダからサービス利用者に配信される。OCFに含まれる最も一般的なデータはCommunications Link Control Word (CLCW)であり、テレコマンド通信における通信手順 (COP)の一部として規定されている。

*1：ROCFサービスは、CCSDS 910.4-B-2で規定されているReturn Master Channel OCF、Return Virtual Channel OCFの両方を扱うサービスであり、したがって英語ではReturn Operational Control **Fields** Serviceと複数形で記述される。

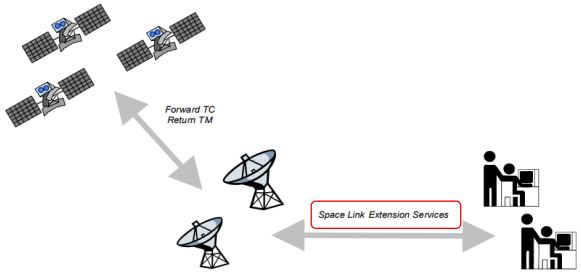


図1： SLE転送サービス概念

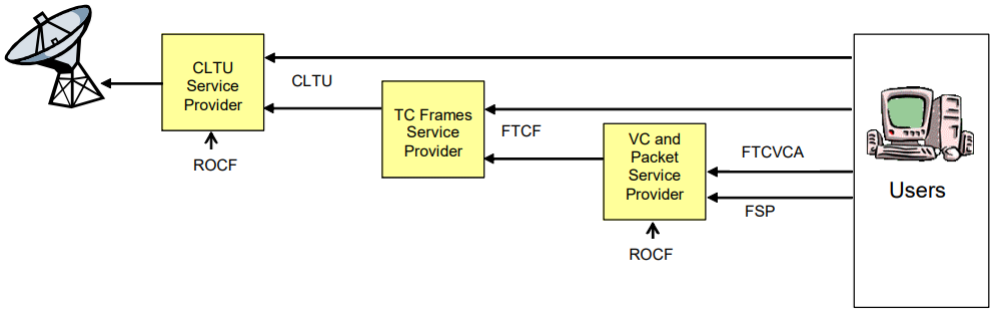


図2： Return系SLE転送サービス概念

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）、等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SPACE LINK EXTENSION – RETURN OPERATIONAL CONTROL FIELDS SERVICE SPECIFICATION（2/2）

「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 911.5-B-4
発行月：2023年7月
ISO 26143

本サービスの伝送モードにはオンラインモードとオフラインモードが用意されていている。またROCF伝送の更新モードとして、連続(continuous)と変更ベース(change-based)の2種類がある。
標準的な運用シーケンスの例を図3に示す。

なお、SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（CCSDS 910.3-G-3）にサービスのコンセプトと事例を紹介している。

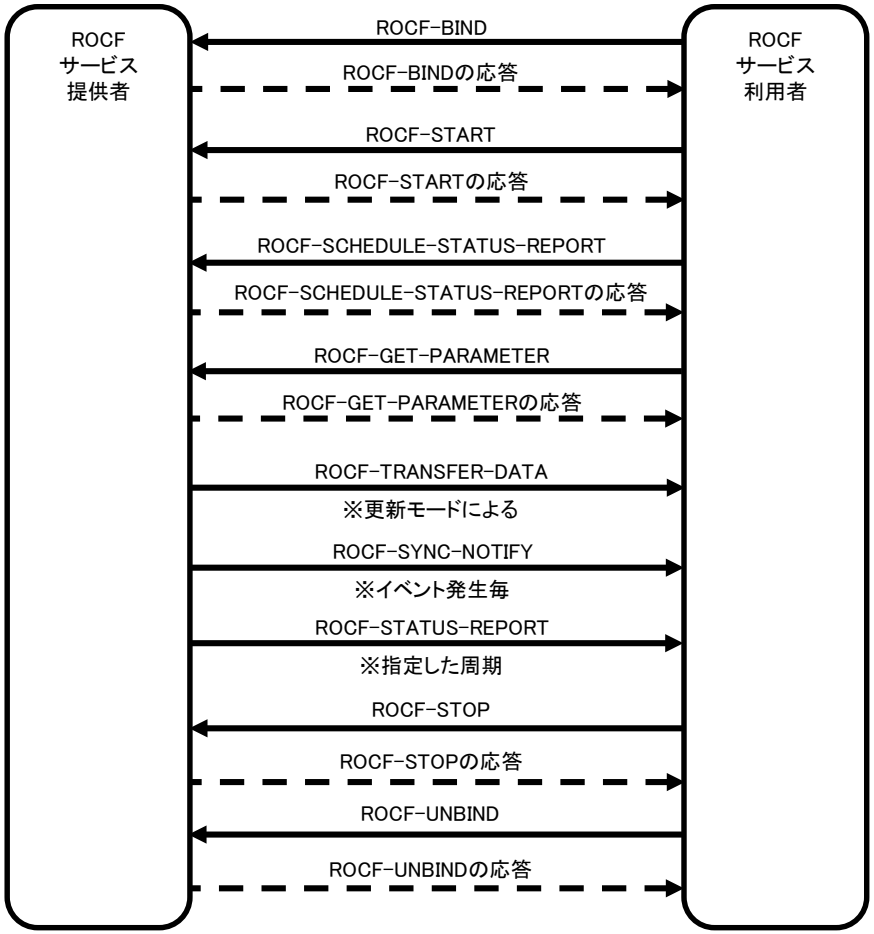


図3： 標準的な運用シーケンス例

CCSDS　地上サブネット(SLE)に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	推奨実践規範（Magenta Book）	予備検討規格（Orange Book）
本文書 CCSDS 910.3-G-3 Cross Support Concept - Part 1: Space Link Extension 「相互支援（クロスサポート）コンセプト - Part 1 ：Space Link Extension（SLE）」	CCSDS 911.1-B-5 Space Link Extension - Return All Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」	CCSDS 915.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return All Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンオールフレーム（RAF）サービス向けAPI」	
	CCSDS 911.2-B-4 Space Link Extension - Return Channel Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム (RCF) サービス仕様」	CCSDS 915.2-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Channel Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンチャネルフレーム（RCF）サービスAPI」	
	CCSDS 911.5-B-4 Space Link Extension - Return Operational Control Fields Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」	CCSDS 915.5-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Operational Control Fields Service 「SLE（Space Link Extension）-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスAPI」	
	CCSDS 912.1-B-5 Space Link Extension - Forward CLTU Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－通信回線伝送単位（CLTU）サービス仕様」	CCSDS 916.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward CLTU Service 「SLE（Space Link Extension）-フォワードCLTU（FCLTU）サービスAPI」	CCSDS 912.11-O-1 Space Link Extension - Enhanced Forward CLTU Service Specification 「SLE-改良フォワードCLTUサービス仕様」
		CCSDS 916.3-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward Space Packet Service 「SLE（Space Link Extension）- フォワードスペースパケット（FSP）サービスAPI」	
	CCSDS 913.1-B-2 Space Link Extension - Internet Protocol for Transfer Services 「SLE（Space Link Extension）－転送サービス向けインターネットプロトコル」		

SPACE LINK EXTENSION – FORWARD CLTU SERVICE SPECIFICATION（1/2）

「SLE（Space Link Extension）–フォワード通信回線伝送単位（FCLTU）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 912.1-B-5
発行月：2023年7月
ISO 22671

【概要】

本推奨規格は、宇宙リンクフォワードサービス（TC/AOS/USLP）を地上間のデータ転送に拡張するSLE転送サービス（図1参照）のひとつである「フォワード通信回線伝送単位（Forward Communications Link Transmission Unit: FCLTU）」サービスについて、サービスオペレーション、オペレーションの呼び出し及び実行結果に付随するデータ、各オペレーションを呼び出した際の動作を規定する文書である。

【内容】

FCLTUサービスは、確立されたフォワードスペースリンク（forward space link [1]）チャネルを介してCLTU（Communications Link Transmission Unit）を宇宙機に送信するサービスである。このサービスでは、CLTUはビット単位でサービスユーザから受信した順番通りに送信される。プロバイダがFCLTUサービスを生成する際には、宇宙機とのアップリンク通信に使う無線周波数搬送チャネル(Radio Frequency (RF) carrier channel)を変調するのに必要な変換作業を行うなど、ユーザから転送されたCLTUの処理も行う。CLTUは[2]に規定されるフォーマットに準拠する必要はない。FCLTUサービスは任意のoctet-alignedビットパターンをアップリンクする際に用いることが可能である。

FCLTUサービスはオンライン伝送モードでのみ使用可能であり、オフライン伝送モードについては今後検討がなされる。1ユーザが1つの物理チャネルにアクセスするためのFCLTUサービスの提供を、1サービスインスタンスとする。FCLTUサービスのサービスインスタンスは、1物理チャネルにつき一度に1つしか存在できない。

[1] CCSDS 910.4-B-2. Cross Support Reference Model—Part 1: Space Link Extension Services.
[2] CCSDS 232.0-B-4. TC Space Data Link Protocol.

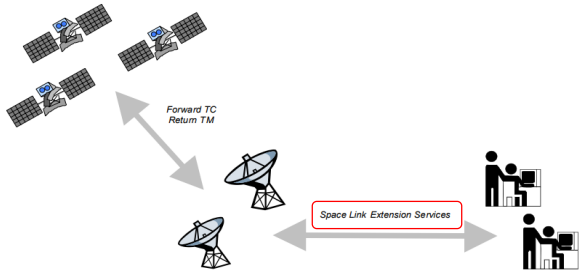


図1： SLE転送サービス概念

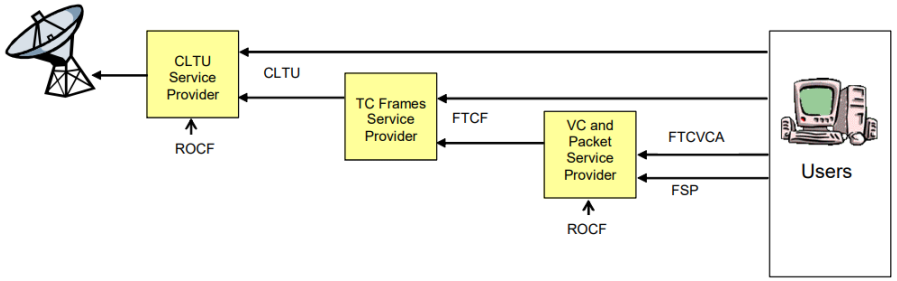


図2： Forward系SLE転送サービス概念

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）、等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SPACE LINK EXTENSION – FORWARD CLTU SERVICE SPECIFICATION（2/2）

「SLE（Space Link Extension）–フォワード通信回線伝送単位（FCLTU）サービス仕様」

Blue Book
CCSDS 912.1-B-5
発行月：2023年7月
ISO 22671

本サービスの標準的な運用シーケンスの例を図3に示す。

なお、SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（CCSDS 910.3-G-3）にサービスのコンセプトと事例を紹介している。

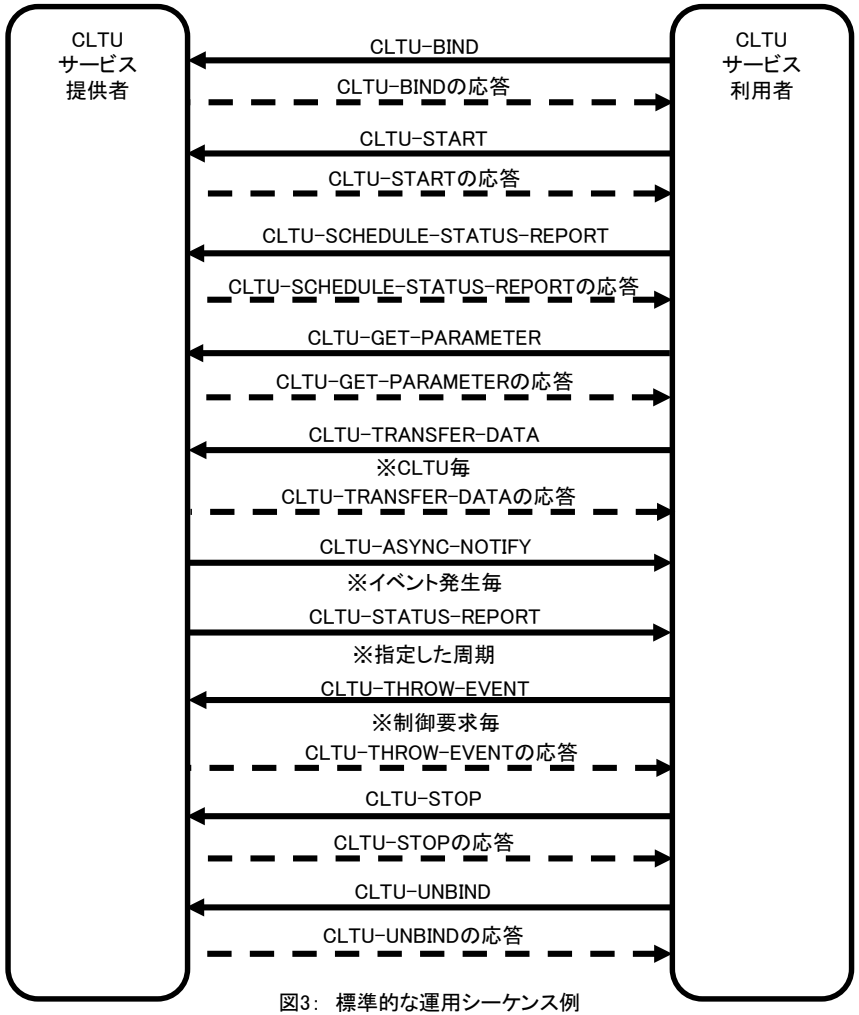


図3： 標準的な運用シーケンス例

CCSDS　地上サブネット(SLE)に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	推奨実践規範（Magenta Book）	予備検討規格（Orange Book）
CCSDS 910.3-G-3 Cross Support Concept - Part 1: Space Link Extension 「相互支援（クロスサポート）コンセプト - Part 1 ：Space Link Extension（SLE）」 本文書	CCSDS 911.1-B-5 Space Link Extension - Return All Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス仕様」	CCSDS 915.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return All Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンオールフレーム（RAF）サービス向けAPI」	
	CCSDS 911.2-B-4 Space Link Extension - Return Channel Frames Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム (RCF) サービス仕様」	CCSDS 915.2-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Channel Frames Service 「SLE（Space Link Extension）- リターンチャネルフレーム（RCF）サービスAPI」	
	CCSDS 911.5-B-4 Space Link Extension - Return Operational Control Fields Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービス仕様」	CCSDS 915.5-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for Return Operational Control Fields Service 「SLE（Space Link Extension）-リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスAPI」	
	CCSDS 912.1-B-5 Space Link Extension - Forward CLTU Service Specification 「SLE（Space Link Extension）－通信回線伝送単位（CLTU）サービス仕様」	CCSDS 916.1-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward CLTU Service 「SLE（Space Link Extension）-フォワードCLTU（FCLTU）サービスAPI」	CCSDS 912.11-O-1 Space Link Extension - Enhanced Forward CLTU Service Specification 「SLE-改良フォワードCLTUサービス仕様」
		CCSDS 916.3-M-2 Space Link Extension - Application Program Interface for the Forward Space Packet Service 「SLE（Space Link Extension）- フォワードスペースパケット（FSP）サービスAPI」	
	CCSDS 913.1-B-2 Space Link Extension - Internet Protocol for Transfer Services 「SLE（Space Link Extension）－転送サービス向けインターネットプロトコル」		

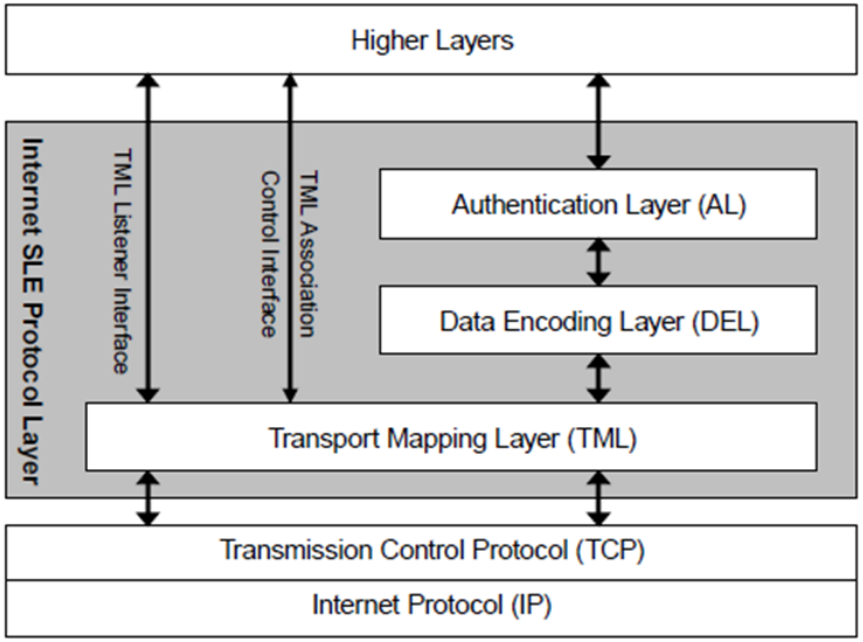
SPACE LINK EXTENSION – INTERNET PROTOCOL FOR TRANSFER SERVICES

「SLE（Space Link Extension）– 転送サービス向けインターネットプロトコル」

Blue Book
CCSDS 913.1-B-2
発行月：2015年9月
ISO 18440

【概要】
CCSDS 910.4-B-2で規定されたSLE転送サービスで使用するプロトコルデータユニット（PDU）をインターネットプロトコル（TCP/IP）上で転送するためのプロトコルを規定したものである。

【内容】
本規格で規定するプロトコルを ISP1（Internet SLE Protocol One）と呼び、その階層構成は以下となる。



a）Transport Mapping Layer（TML）
TCPとのインターフェースとなる層

b）Data Encoding Layer（DEL）
ASN.1およびASN.1 Basic Encoding Rules（BER）を使用して上位層-通信相手間のエンコードおよびデコードを行う層

c）Authentication Layer（AL）
公開鍵を使用したX.509証明書（ISO/IEC 9594-8）やハッシュ関数（SHA-1）を使用して、認証情報を生成、解析する層

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE – SPECIFICATION FRAMEWORK

「相互支援トランスファーサービス – 規定フレームワーク」

Blue Book
CCSDS 921.1-B-2
発行月：2021年2月
ISO 23103:2020

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の追跡運用を支援する際に利用する相互支援トランスファーサービス（Cross Support Transfer Service：CSTS）を規格化する上で必要となる論理構成を定めている。

【内容】

CSTSは、地上エレメント間でテレメトリ・コマンドデータ、追跡データ、追跡サービス監視データなどの追跡支援関連データをアクセス制御された手段で確実に転送するためのサービスである。

本推奨規格は、さまざまな宇宙機関が所有する地上局や地上データ処理システムと、宇宙機のデータや監視/制御情報の生成者やユーザとの間の相互運用性を確保するための規格である。CSTS規定フレームワークの概要を第2章に、CSTSで利用する共通運用を第3章に、CSTSの手順を第4章に規定している。

CSTSでは数種の基本パターンを採用しているため、異なるデータ毎の要求事項に対応させる必要がなく、サービスの規定・実装・運用が簡易となる。

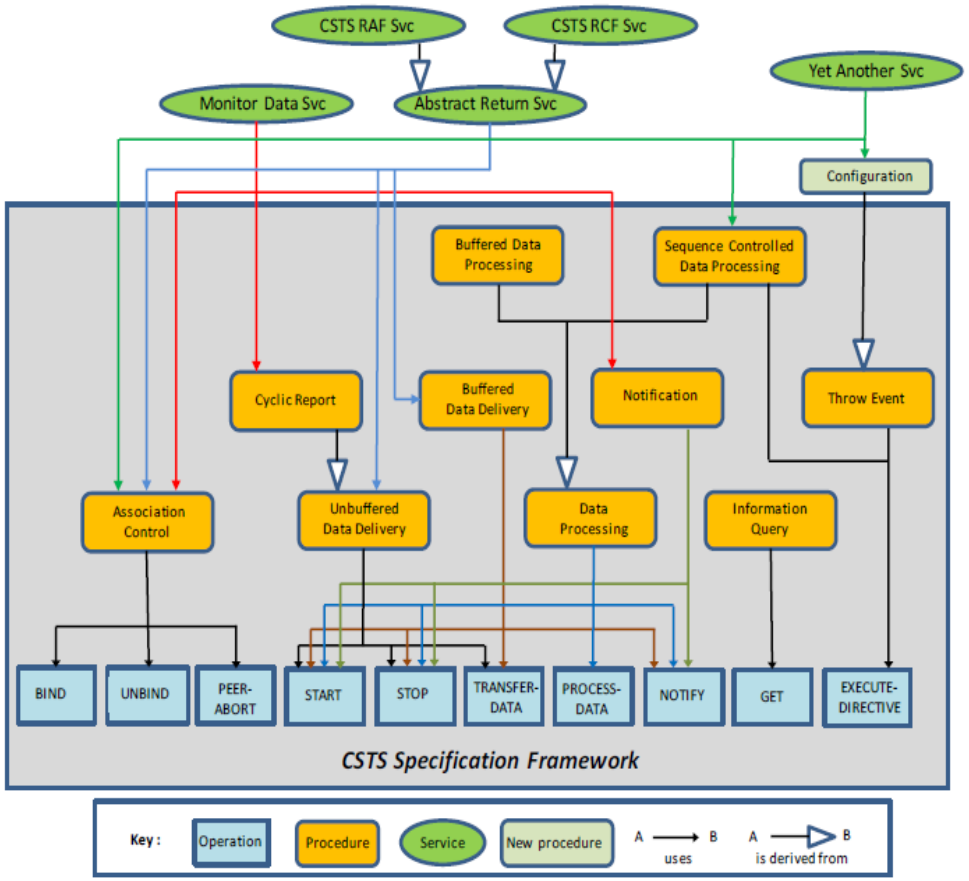


図1：CSTS規定フレームワークの概念図

各国宇宙機関およびJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICES –MONITORED DATA SERVICE

「相互支援伝送サービス –監視データサービス」

Blue Book
CCSDS 922.1-B-2
発行月：2022年9月
ISO 23104

【概要】

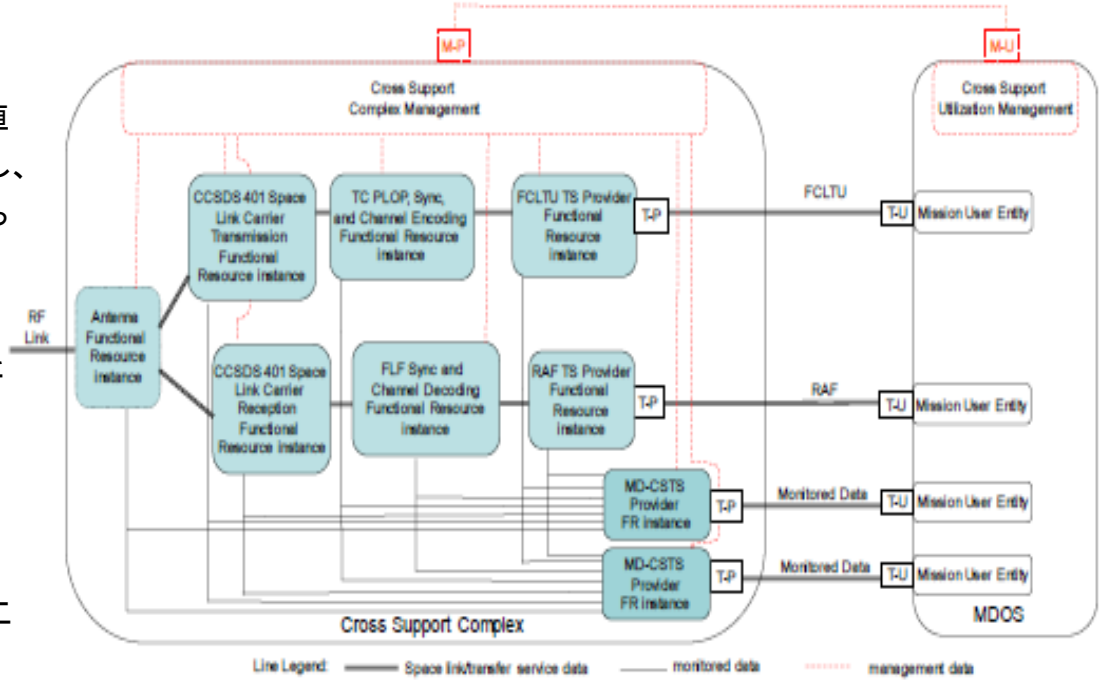
本推奨規格は、追跡局の相互支援伝送サービス（CSTS）のうち、局内装置の動作状態をモニタ可能とする監視データサービス（MD-CSTS：Monitored Data Cross Support Transfer Service）を規定するものである。

【内容】

MD-CSTSは、追跡局装置の監視対象パラメータ値を宇宙機ミッション運用システム側に定期的に提供し、また、最新値を検索可能にするサービスである。あらかじめ定義した特定のイベントが発生した際には、ユーザがその通知を受け取ることも可能である。

監視対象のパラメータ値やイベント通知を一貫した方法で表現するためにファンクショナルリソースが使用されており、ファンクショナルリソースの標準セットの最新版はSANAに登録されている。

図1に示すように、単一のサービスパッケージに監視対象データサービスのインスタンスを複数含めることができる。またMD-CSTSのすべてのインスタンス（すなわちすべてのMD-CSTSユーザ）は、監視対象となるすべてのパラメータ、および当該サービスパッケージに関連した通知可能なすべてのイベントにアクセスできる。



MDOS: Mission Data Operations System）

図1　CSTS監視データサービス提供例

各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE —TRACKING DATA SERVICE

「相互支援(クロスサポート)伝送サービス – 追跡データサービス」

Blue Book
CCSDS 922.2-B-1
発行月：2020年5月
ISO: –

【概要】

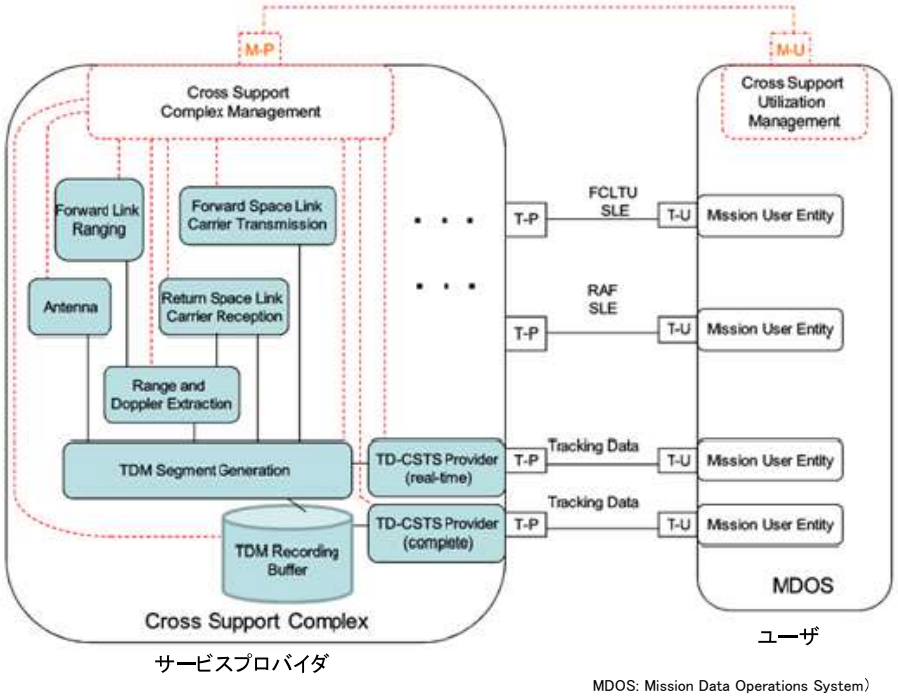
本推奨規格は、宇宙機相互運用における追跡データのリアルタイム伝送インターフェースを規定している。追跡データの伝送方式はCross Support Transfer Service(CSTS)を利用し、データフォーマットはCCSDS推奨規格のTDM(CCSDS 503.0-B)を利用する。

【内容】

追跡データ相互支援伝送サービス（TD-CSTS：Tracking Data Cross Support Transfer Service）は、図1に示すようにサービスプロバイダが追跡データ（ドップラ、測距、アンテナ角度、送信電力等）を生成して直ぐに、または、いつでも定期的に受信できる転送サービスである。TD-CSTSは、CSTSで定義された手順と操作を用いて構築される。

データ伝送モードには、リアルタイムモードとコンプリートモードの2つがある。リアルタイムモードは通信遅延のワーストケースを考慮してデータ量を予め定義した配信であり、コンプリートモードは伝送遅延を考慮せずに全てのデータを配信するものである。

相互支援のリファレンスモデル（CCSDS 910.4-B）によると、相互支援サービスはサービスパッケージにバンドルされる。サービスパッケージには、追跡データを生成する機能と提供する機能(TD-CSTSのサービスインスタンス)が含まれている。



MDOS: Mission Data Operations System）

図1：CSTS追跡データサービス提供例

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

新規文書につき、現在情報を収集中。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE –TRACKING DATA SERVICE

「相互支援伝送サービス –追跡データサービス」

Blue Book
CCSDS 922.2-B-2
発行月：2023年2月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の追跡運用支援で利用される相互支援伝送サービス（CSTS）のうち、追跡データサービス（TD-CSTS：Tracking Data Cross Support Transfer Service）を定義するものである。

【内容】

本規格が定めるTD-CSTSは、図1に示すように、サービスプロバイダ側が追跡データ（ドップラ、測距、アンテナ角度、送信電力、等）をサービスユーザに伝送するサービスで、本サービスは推奨規格「相互支援トランスファーサービス –規定フレームワーク（CCSDS 921.1-B-2）」に基づいて構築される。

追跡データは、推奨規格「追跡データメッセージ(TDM)（CCSDS 503.0-B-2）」に従って伝送され、データ伝送モードには、リアルタイムモードとコンプリートモードがある。リアルタイムモードは通信遅延のワーストケースを考慮してデータ量をあらかじめ設定するが、コンプリートモードでは伝送遅延を考慮せずに全てのデータを配信するもので、サービス提供前のデータも含めて伝送することが可能である。

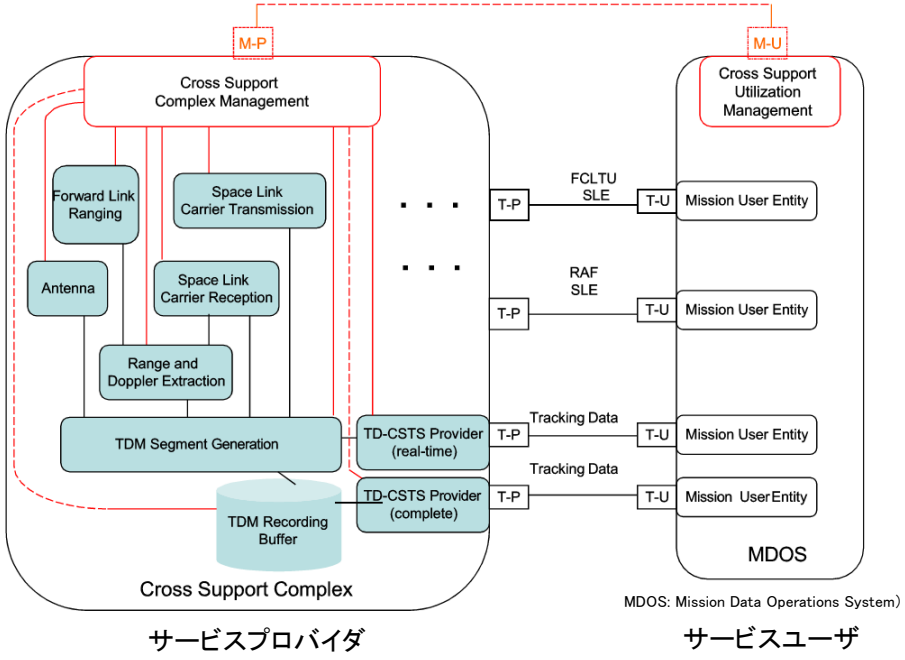


図1　CSTS追跡データサービス提供例

各国宇宙機関及びJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE – FORWARD FRAME SERVICE

「相互支援(クロスサポート)伝送サービス－フォワードフレームサービス」

Blue Book
CCSDS 922.3-B-1
発行月：2021年4月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、宇宙機の追跡運用を支援する際に利用する相互支援伝送サービスの一部であるフォワードフレームサービス（FF-CSTS）を規定している。

【内容】
FF-CSTSは、固定長または可変長のトランスファーフレーム、および固定長のチャネルアクセスデータユニット（CADU）を追跡支援を行う側の地上局等に伝送し、必要に応じて暗号化などを行った後、宇宙機などのユーザノードに転送するサービスである。

対応する可変長のトランスファーフレームには、TC（CCSDS 232.0-B-3）、および可変長USLP（CCSDS 732.1-B-1）があり、一方、固定長のトランスファーフレームには、AOS（CCSDS 732.0-B-3）、および固定長USLP（CCSDS 732.1-B-1）がある。

FF-CSTSは、以下の2つの処理モードのいずれかで動作する。

- **シーケンス制御データ処理モード**
  （sequence-controlled data processing mode）
  プロバイダがSL-PDUを受信する順序と、SL-PDUの送信時間窓について、ユーザが制限を設けることができる。
  ユーザには各SL-PDUの供給・処理状況を通知する。
- **バッファデータ処理モード**（buffered data processing mode）
  スループットを最大化するため、SL-PDUのフローに対して規制を行わない。スループットが増加した場合は、複数のSL-PDUを単一のフォワードバッファに置くことで対応する。
  ユーザには異常なSL-PDUのみ通知する。

SL-PDU: トランスファーフレームまたはCADUのいずれかを表す

トランスファーフレームを使用した場合の、FF-CSTSを提供・生成するプロセスを図1に示す。

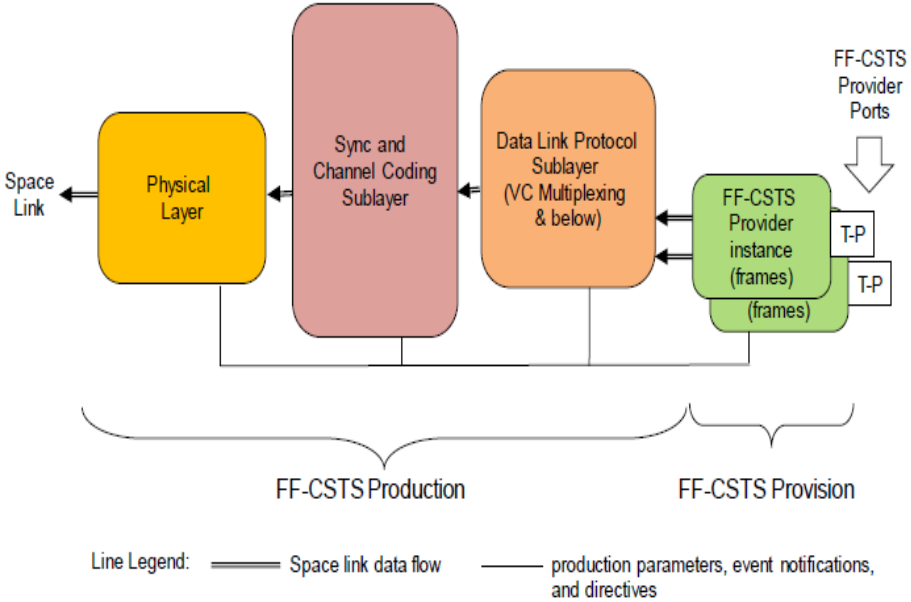


図1：FF-CSTSの提供・生成（トランスファーフレーム設定）

各国宇宙機関およびJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

TERRESTRIAL GENERIC FILE TRANSFER（1/2）
「地上汎用ファイル転送」

Blue Book
CCSDS 927.1-B-1
発行月：2021年11月
ISO －

【概要】

本推奨規格（TGFT)は、宇宙通信相互運用性のレベルを向上させるために、ファイルや関連するメタデータをパッケージ化し、地上間のポイントツーポイントで転送するための標準メカニズムを規定するものである。

【内容】

ファイルを交換する標準メカニズムとしては、TGFT 送信側からTGFT 受信側にHTTPSを使用して、「XFDU (*1) パッケージ」を転送することを推奨している。　*(*1 XFDU: XML Formatted Data Unit (CCSDS 661.0-B-1参照))*

交換されるファイルは下記用途等において利用される。

- ミッション設計段階：　他機関から支援を受ける際にミッションの実行可能性を調査
- ミッション運用段階：　ミッションの成功に必要なファイルを、2つ以上の機関、又は地上システムのエレメント間で転送
- ミッション終了後：　ミッションに関連するデータを保管するなど、ミッション後の各種活動

現状、宇宙機関間やミッション間のファイル転送の多くが、多種多様なアドホックなメカニズムを使用して定義・実装されていることから、本推奨規格はこのようなアドホック的なメカニズムを改善するために作成された。

なお、DDOR（CCSDS 500.1-G-2参照）など、既に充分に確立されたメカニズムが存在する場合には、本規格の使用を義務付けるものではない。

TERRESTRIAL GENERIC FILE TRANSFER(2/2)
「地上汎用ファイル転送」

Blue Book
CCSDS 927.1-B-1
発行月：2021年11月
ISO －

TGFTの利用範囲は、地上間のファイル転送に限定されており、特に地上環境におけるファイルの2地点間転送を扱っている。ただし、ファイルをCCSDSのファイル転送プロトコル（CFDP）エンティティに挿入できるようにするメタデータと共にTGFTでファイル配信し、宇宙リンクを経由して宇宙機に転送したり、逆にCFDPエンティティが受信したファイルをTGFTに挿入して他の宇宙機関へ転送するなどの仕組みを構築することもできる。

図1は地上汎用ファイル転送の概念モデルを示している。ファイル転送は本来単一方向であり、双方向とする場合は複数のファイル転送のエンドポイント（発信ノードと宛先ノード）を必要とする。また、セキュリティを考慮して、ファイル転送のエンドポイントは、ファイアウォールなどにより定義されたDMZネットワークまたはセキュリティゾーンへの配置を想定している。

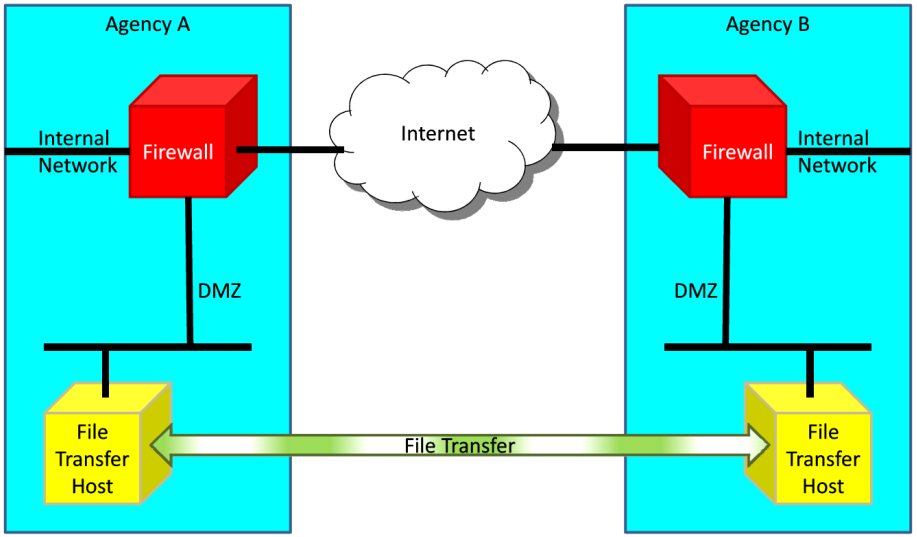


図1：地上汎用ファイル転送の概念モデル

なお、図中には宇宙機関ごとに単一のファイル転送ホストしか描かれていないが、実際には複数ある場合もある。

各国宇宙機関及びJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

SPACE COMMUNICATIONS CROSS SUPPORT –ARCHITECTURE REQUIREMENTS DOCUMENT（1/2）

「宇宙通信相互支援（SCCS）– アーキテクチャ要求文書」

Magenta Book
CCSDS 901.1-M-1
発行月：2015年5月
ISO 21076

【概要】

本推奨実践規範で推奨する「宇宙通信相互支援（SCCS）アーキテクチャ」は、通信システム及び通信サービスの開発、提供、利用にあたっての、共通フレーム（概念、プロトコル、コンフィギュレーション、用語等）を提供するものである。

【内容】

宇宙機の相互支援（クロスサポート）では、様々な通信支援形態において、テレコマンドやテレメトリの伝送が行われる。通信アーキテクチャの共通的な要件を定義することで、確実な通信（相互支援運用）の実現につながる。

本推奨実践規範では、各種サービスのインターフェースで要求される要素・属性・挙動、ノードの機能割り当て、プロトコルスタック等を、図形を使ったダイアグラムを用いて視覚的に紹介している（図1参照）。

なお、本SCCSでは、主に「ABA（シングルホップ環境）」及び「SSI（惑星間インターネット環境」の2つの通信環境におけるクロスサポートを想定してモデルを与えている（ABAとSSIの主な通信コンフィギュレーションは図2、3参照）。

ABA：地上–宇宙間のダイレクトなシングルホップ通信ネットワーク
*ABAは、A点–B点–A点間のシングルホップ環境を意味する抽象表現

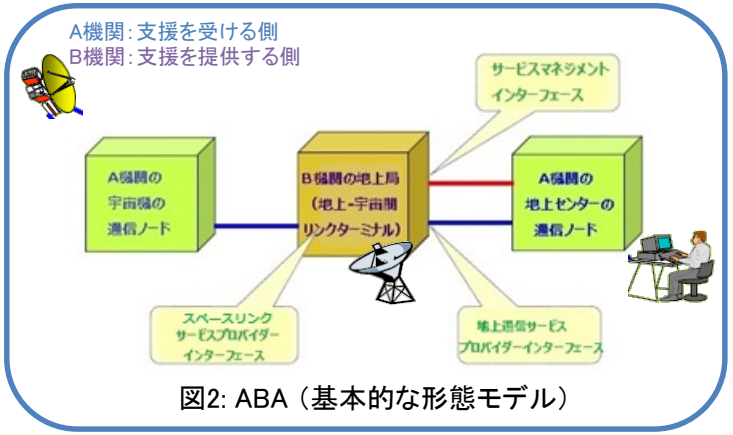


図2: ABA（基本的な形態モデル）

SSI：（惑星間インターネット： Solar System Internetwork）：ネットワーク層プロトコルを共有してネットワーク層のプロトコルデータユニット（PDU）を交換／相互運用できる通信ネットワーク

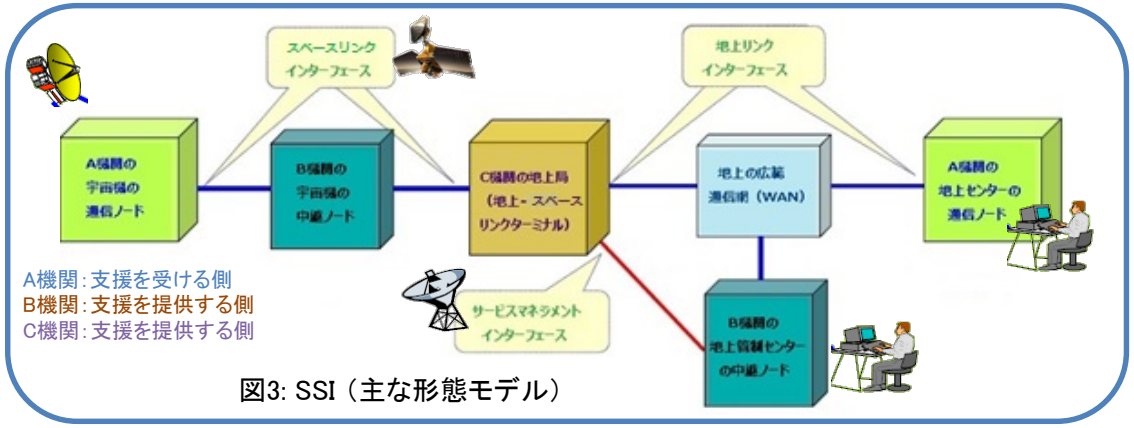


図3: SSI（主な形態モデル）

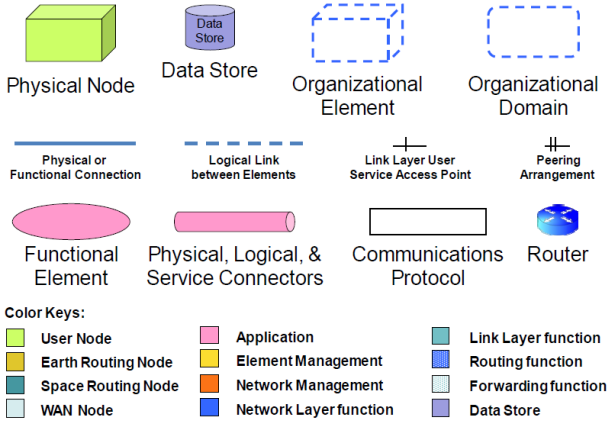


図1: 本書のダイアグラムに用いられている図形

SPACE COMMUNICATIONS CROSS SUPPORT –ARCHITECTURE REQUIREMENTS DOCUMENT（2/2）

「宇宙通信相互支援（SCCS）－アーキテクチャ要求文書」

Magenta Book
CCSDS 901.1-M-1
発行月：2015年5月
ISO 21076

本推奨実践規範で推奨する「ABA」及び「SSI」におけるエンドツーエンド通信（フォワードリンク）アーキテクチャの一例を下図に示す。

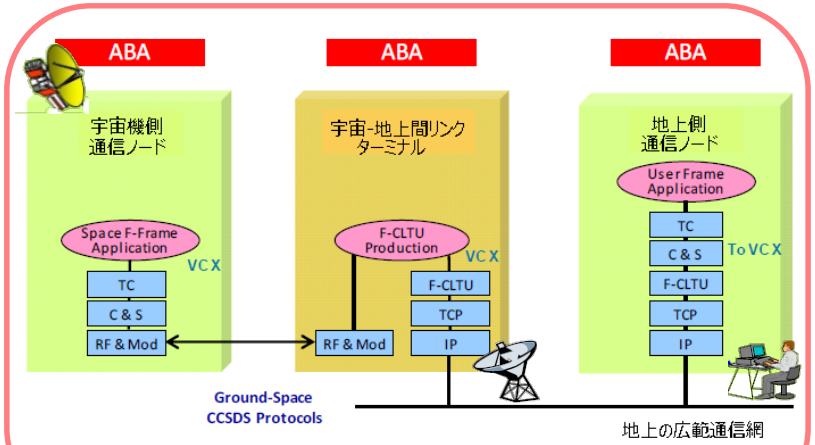


図4: ABA のエンドツーエンドの通信プロトコルスタックモデル

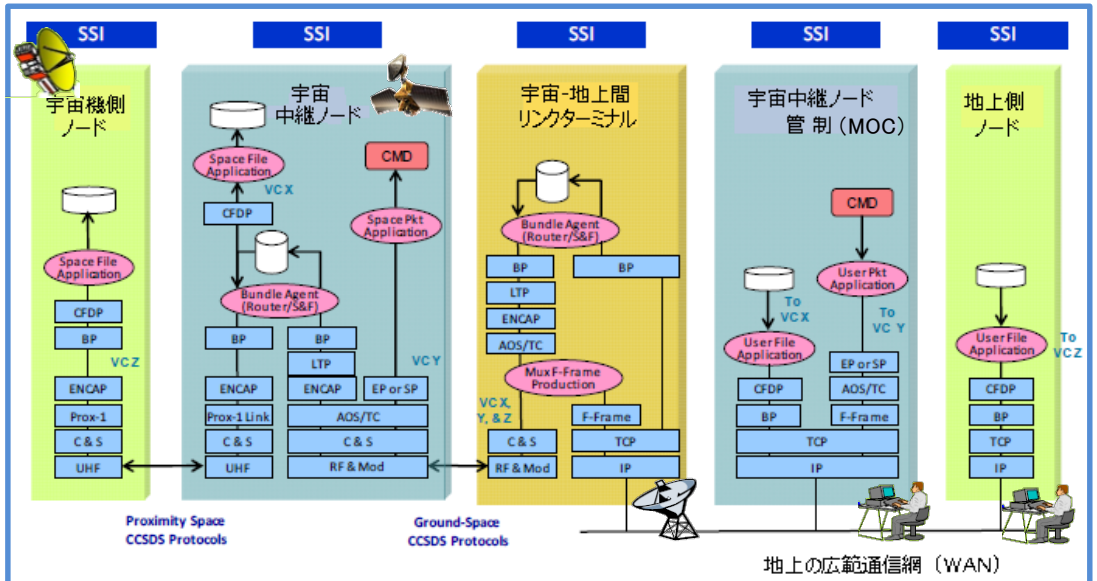


図5: SSI のエンドツーエンドの通信プロトコルスタックモデル

TC： テレコマンドプロトコル
C&S： コーディング及び同期プロトコル
RF&Mod： RF変調プロトコル

通信ノード
各種アプリケーション
各種プロトコル

CFDP： CCSDSファイル転送プロトコル
BP： バンドルプロトコル
ENCAP： カプセル化プロトコル

Prox-1： 近傍領域通信-1プロトコル
C&S： コーディング及び同期プロトコル
UHF： UHFプロトコル

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、外部機関ネットワークとの相互通信に本アーキテクチャーを適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンド等に係る相互通信に利用されている。

CROSS SUPPORT SERVICE MANAGEMENT –COMMON DATA ENTITIES

「相互支援サービスマネジメント－共通データエンティティ」

Magenta Book
CCSDS 902.12-M-1
発行月：2021年2月
ISO －

【概要】

本推奨実践規範は、宇宙機追跡相互支援に用いるサービスマネジメント機能の様々なデータエンティティのうち、複数の推奨規格に適用される共通のデータエンティティを規定するものである。

【内容】

本書では、サービスマネジメント共通データエンティティとして、下記5つのデータエンティティの内容／構成を説明している。
なお、データエンティティはXMLスキーマファイルで定義される。

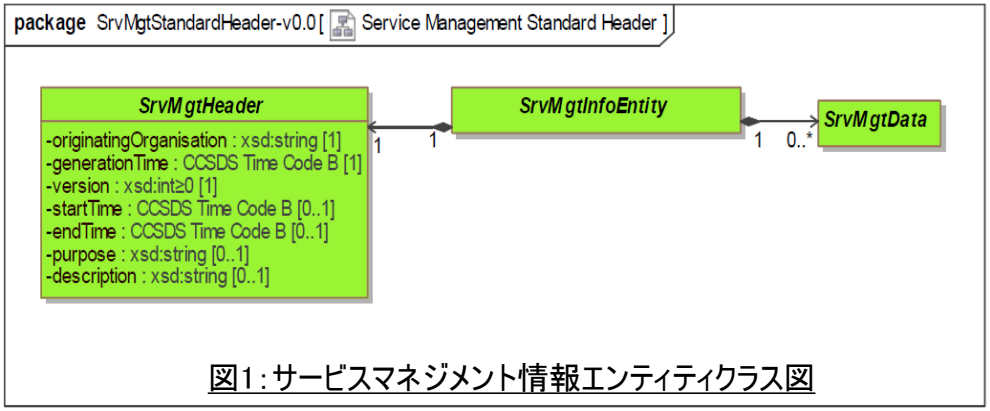


図1：サービスマネジメント情報エンティティクラス図

① **サービスマネジメント情報エンティティ**
（Service Management Information Entity）：
サービスマネジメントに必要な情報エンティティを定義する基盤を形成する。

② **サービスマネジメント抽象イベント（SrvMgtAbstractEvent）及びサービスマネジメントイベント時刻（SrvMgtEventTime）**：
サービスマネジメントでのイベント定義に必要なイベント及び時刻のクラスを定義

③ **サービスマネジメント共通クラス－ApertureLocation**：　アンテナの位置を示す様々なクラスを定義

④ **サービスマネジメント共通クラス－PlanningInfoTypeList**：　サービスマネジメントで交換する計画情報の種別をリストとして示すクラスを定義

⑤ **サービスマネジメント共通クラス－ModResParm**：　パラメータ変更の対象リソースを定義

データエンティティの一例として、図1にサービスマネジメント情報エンティティのクラス図を示す。SrvMgtHeader、 SrvMgtinfoEntity、 SrvMgtData の3つのクラスで構成されている。

各国宇宙機関及びJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

ABSTRACT EVENT DEFINITION
「抽象イベント定義」

Magenta Book
CCSDS 902.13-M-1 Cor.1
発行月：2024年2月
ISO －

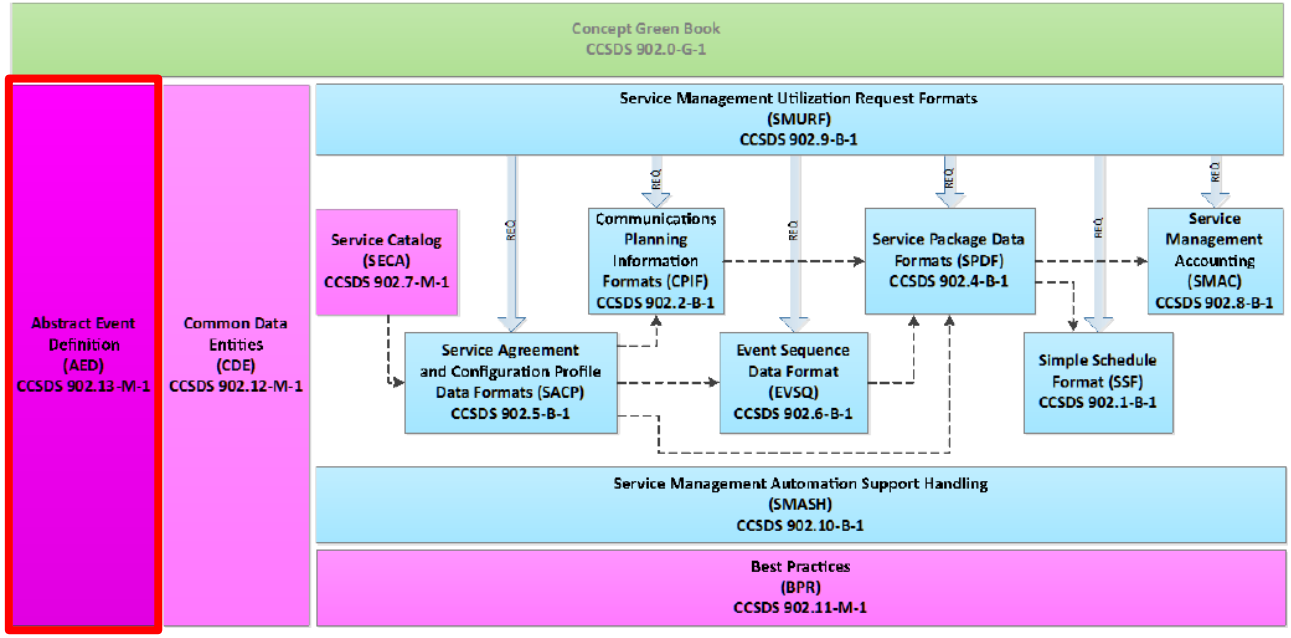
【概要】

本推奨実践規範は、CCSDS規格において汎用的に利用できるよう、イベントを抽象的に定義した文書である。

【内容】

本規格で規定される抽象イベントのクラス仕様は図1に示す様に宇宙通信クロスサポートサービスマネジメント(Space Communication Cross Support Service Management : SCCS SM)を形作る様々な標準に適用される。抽象イベントにおけるデータの固まりは統一モデリング言語(UML※)のクラス図を用いて定義され、実装の段階でW3C XML構文での記述に落とし込まれる。本規格ではこのXML構文への落とし込み方についても仕様を規定している。

※ 統一モデリング言語（Unified Modeling Language: UML）：
オブジェクト指向のプログラムを設計する際に用いる標準的な技法であり、 クラス図やパッケージ図など、さまざまな種類の図をサポートしている。



本推奨実践規範

図1：本推奨実践規範と他のCCSDS文書との関係性

各国宇宙機関及びJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

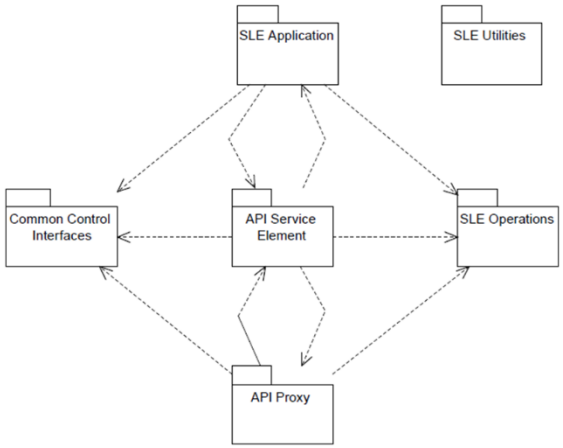
SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES –CORE SPECIFICATION

Magenta Book
CCSDS 914.0-M-2 Cor.1
発行月：2016年8月
ISO 18441

「SLE（Space Link Extension）– 転送サービスAPI - 主要仕様」

【概要】
SLE（Space Link Extension）転送サービスAPIの主要仕様について推奨実践規範を示したもの。

【内容】
CCSDS 910.4-B-2で規定されているSLE 転送サービスを実装するにあたり、サービス共通のアプリケーションプログラムインターフェース（Application Program Interface：API）を推奨実践規範として示したものである。 以下にモデル構造を示す。



SLE（Space Link Extension）サービスについては、下記解説書（グリーンブック）に概要が記載されている。
・CCSDS910.3-G-3, CCSDS914.1-G-1, CCSDS914.2-G-2

a）<u>API Proxy</u>
API Proxyを構成するコンポーネント及びそれらが提供するインタフェース

b）<u>API Service Element</u>
API Service Elementを構成するコンポーネント及びそれらが提供するインタフェース

c）<u>Common Control Interface</u>
API Proxy及びAPI Service Element がサポートするインタフェース

d）<u>SLE Application</u>
ソフトウェアを構成するコンポーネント

e）<u>SLE Operations</u>
SLE転送サービスで規定されているオペレーションに関するインタフェース

f）<u>SLE Utilities</u>
モデル全体で利用される汎用的なクラスとそのインタフェースをセットとしたユーティリティ

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>
JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドに係る相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドに係る相互通信に利用されている。

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN ALL FRAMES SERVICE

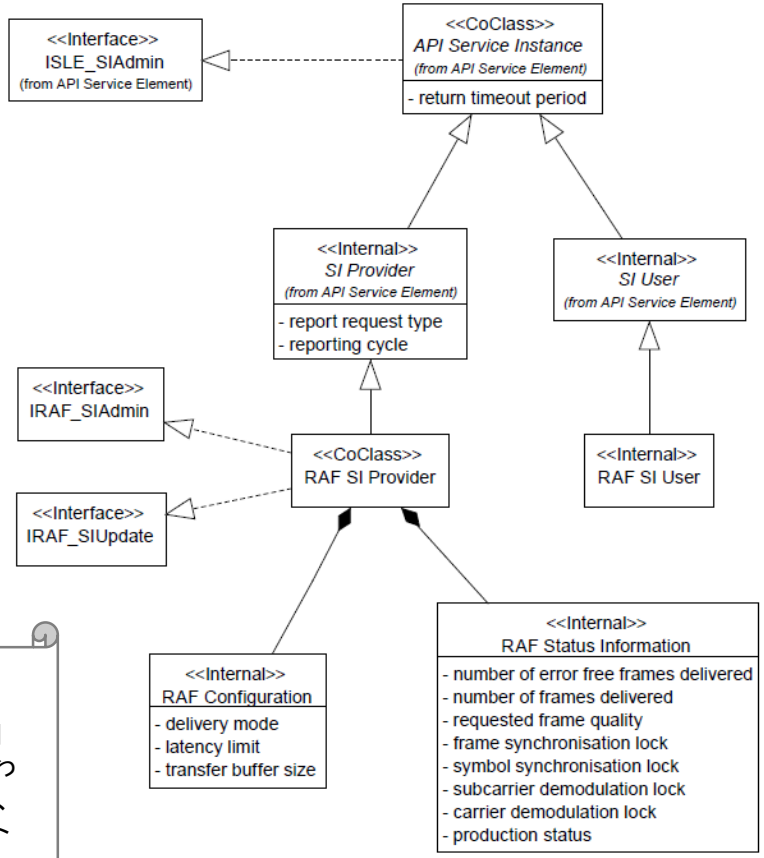
Magenta Book
CCSDS 915.1-M-2
発行月：2015年9月
ISO 18442

「SLE（Space Link Extension）－リターンオールフレーム（RAF）サービス向けAPI」

【概要】
リターンオールフレーム（RAF）サービスについて推奨実践規範を示したもの。

【内容】
CCSDS 911.1-B-3で規定されたRAFサービスを実装するにあたり、CCSDS 914.0-M-2で示されたモデルを元にRAFサービス用に拡張したアプリケーションプログラムインターフェース（Application Program Interface：API）を推奨実践規範として示したものである。
サービスの主体となるService Instance（SI）として以下の2つのクラスが示されている。

a）RAF SI User：RAFサービスユーザ
b）RAF SI Provider：RAFサービスプロバイダ



各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

SPACE LINK EXTENSION –APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN CHANNEL FRAMES SERVICE

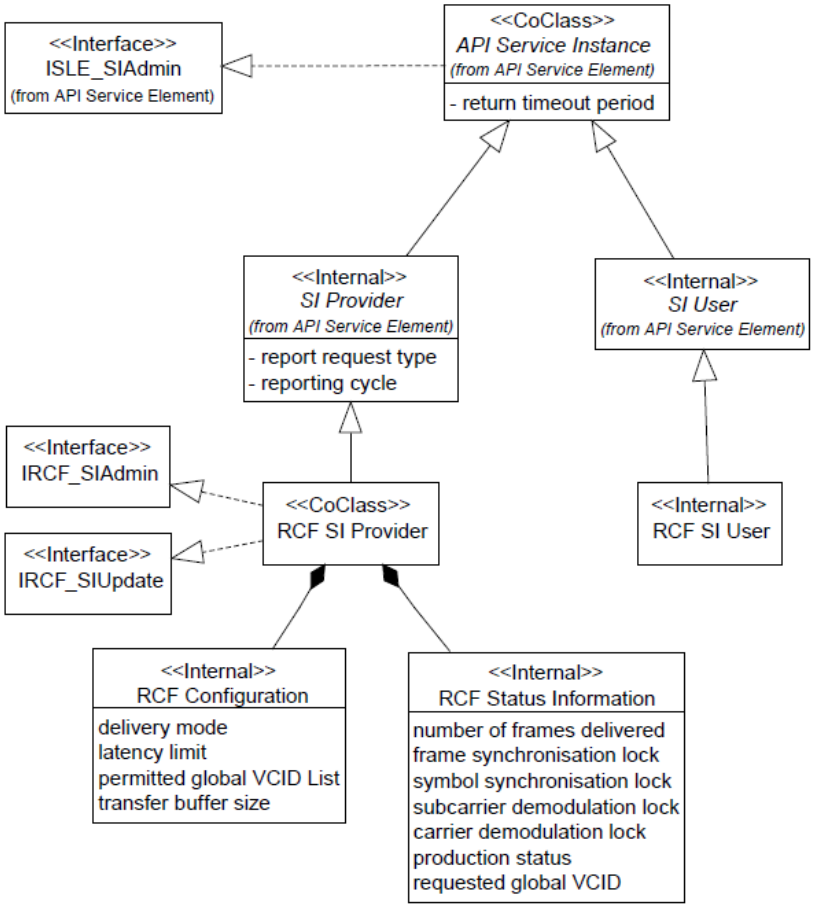
Magenta Book
CCSDS 915.2-M-2
発行月：2015年9月
ISO 18443

「SLE（Space Link Extension）－リターンチャネルフレーム（RCF）サービスAPI」

【概要】
リターンチャネルフレーム（RCF）サービスについて推奨実践規範を示したもの。

【内容】
CCSDS 911.2-B-2で規定されたRCFサービスを実装するにあたり、CCSDS 914.0-M-2で示されたモデルを元にRCFサービス用に拡張したアプリケーションプログラムインターフェース（Application Program Interface： API）を推奨実践規範として示したものである。
サービスの主体となるService Instance（SI）として以下の2つのクラスが示されている。

a）RCF SI User：RCFサービスユーザ
b）RCF SI Provider：RCFサービスプロバイダ



各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR RETURN OPERATIONAL CONTROL FIELDS SERVICE

Magenta Book
CCSDS 915.5-M-2
発行月：2015年9月
ISO 18444

「SLE（Space Link Extension）–リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスAPI」

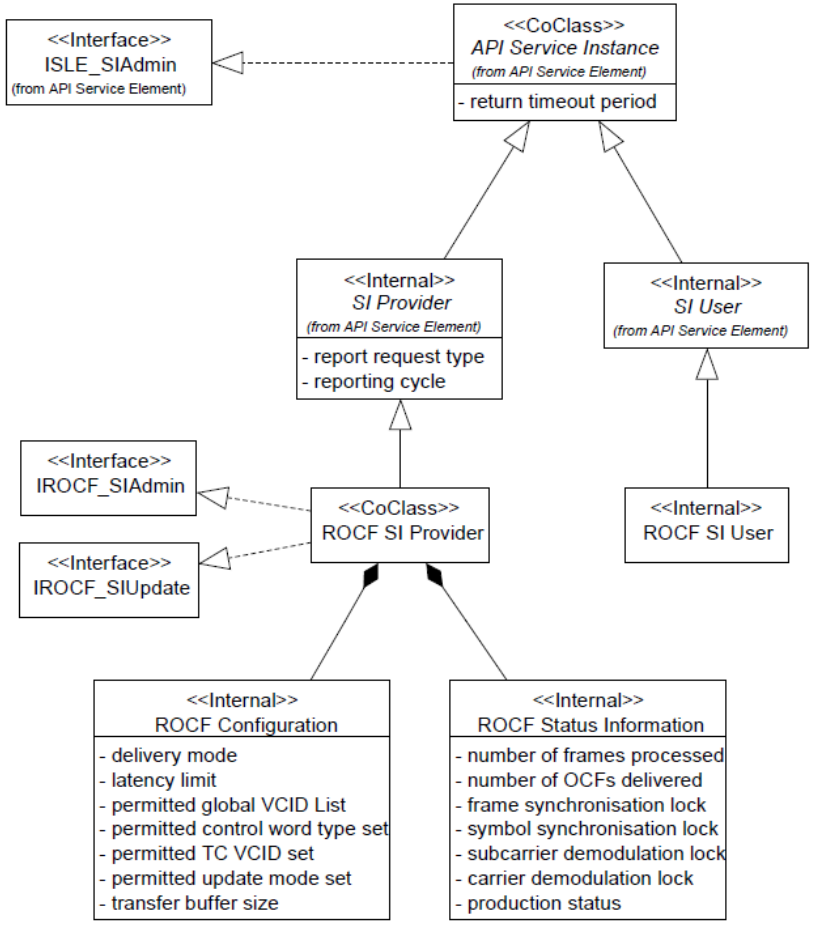
【概要】
リターンオペレーショナルコントロールフィールド（ROCF）サービスについて推奨実践規範を示したもの。

【内容】
CCSDS 911.5-B-2で規定されたROCFサービスを実装するにあたり、CCSDS 914.0-M-2で示されたモデルを元にROCFサービス用に拡張したアプリケーションプログラムインターフェース（Application Program Interface：API）を推奨実践規範として示したものである。

サービスの主体となるService Instance（SI）として以下の2つのクラスが示されている。

a）ROCF SI User：ROCFサービスユーザ

b）ROCF SI Provider：ROCFサービスプロバイダ



<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）、等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR THE FORWARD CLTU SERVICE

「SLE（Space Link Extension）－フォワードCLTU（FCLTU）サービスAPI」

Magenta Book
CCSDS 916.1-M-2
発行月：2015年9月
ISO 18445

【概要】

フォワードCLTU（FCLTU）サービスについて推奨実践規範を示したもの。

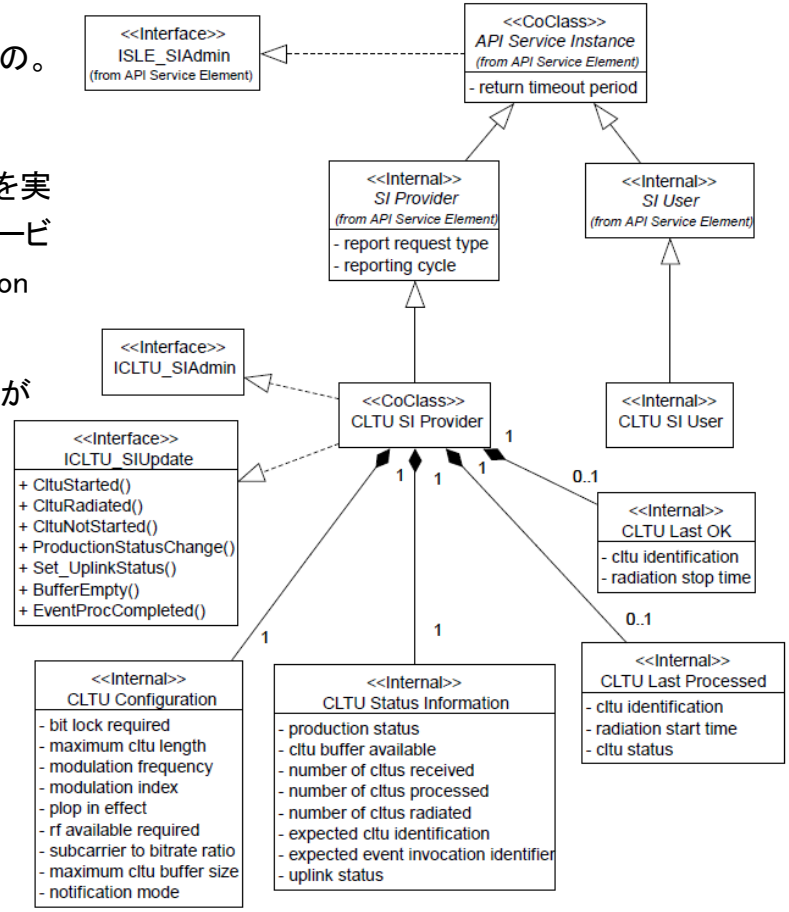
【内容】

CCSDS 912.1-B-3で規定された通信回線伝送単位（CLTU）サービスを実装するにあたり、CCSDS 914.0-M-2で示されたモデルを元にCLTUサービス用に拡張したアプリケーションプログラムインターフェース（Application Program Interface：API）を推奨実践規範として示したものである。

サービスの主体となるService Instance（SI）として以下の2つのクラスが示されている。

a）CLTU SI User：CLTUサービスユーザ

b）CLTU SI Provider：CLTUサービスプロバイダ



各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）等との相互支援運用を行うため、地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信にSLE（Space Link Extension）の規格を適用している。本規格は、NASA、ESA、CNES（フランス国立宇宙センター）等、多くの宇宙機関が採用しており、テレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信に利用されている。

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR THE FORWARD SPACE PACKET SERVICE

「SLE（Space Link Extension）－フォワードスペースパケット（FSP）サービスAPI」

Magenta Book
CCSDS 916.3-M-2
発行月：2015年9月
ISO 18446

【概要】

フォワードスペースパケット（FSP）サービスについて推奨実践規範を示したもの。

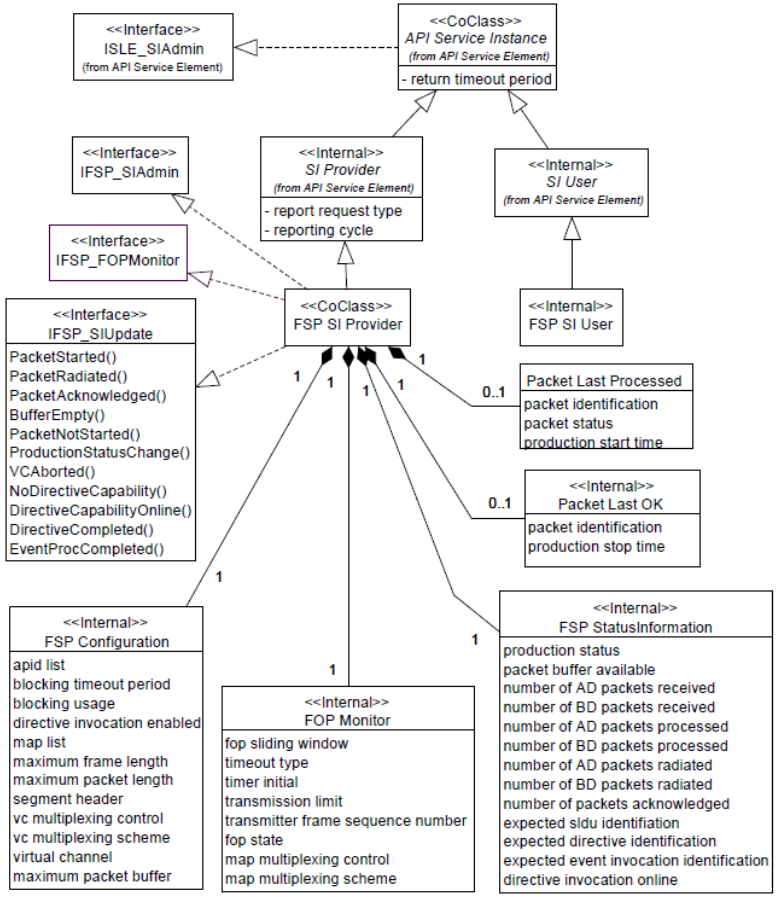
【内容】

CCSDS 912.3-B-2で規定されたFSPサービスを実装するにあたり、CCSDS 914.0-M-2で示されたモデルを元にFSPサービス用に拡張したAPI（Application Program Interface）を推奨実践規範として示したものである。

サービスの主体となるService Instance（SI）として以下の2つのクラスが示されている。

a）FSP SI User：FSPサービスユーザ

b）FSP SI Provider：FSPサービスプロバイダ



各国宇宙機関およびJAXAの動向

本規格は、NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、CNES（フランス国立宇宙センター）等の宇宙機関が地上における外部機関ネットワークとのテレメトリ／テレコマンドにかかわる相互通信の規格として採用している。なお、JAXAでの本規格の採用実績はない。

SLE（Space Link Extension）サービスについては、解説書（グリーンブックCCSDS 910.3-G-3）に、サービスのコンセプトと事例を紹介している。

GUIDELINES FOR SPECIFICATIONS OF CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICES（1/2）

「相互支援転送サービス仕様のガイドライン」

Magenta Book
CCSDS 921.2-M-1 Cor. 1
発行月：2020年8月
ISO －

【概要】

テレメトリ、追跡データ、監視データ、等の宇宙ミッション関連データを地上エレメント間で、信頼性のある、アクセス制御可能な手段でデータ転送するサービスとして、相互支援転送サービス（Cross Support Transfer Services：CSTS）があり、本推奨実践規範は、同サービスを実装する際のガイドラインとして、パラメータの定義方法、プロトコルの実装方法を規定している。

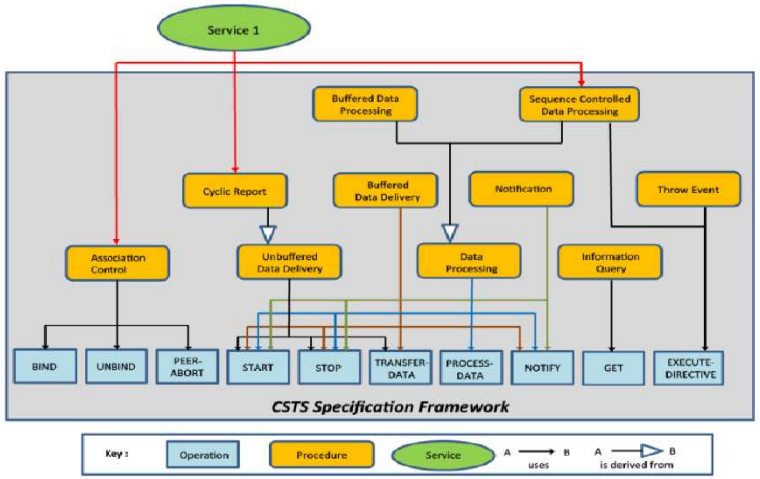


図1：Procedureに変更を加えない例

【内容】

本書では、推奨規格文書「CSTS Specification Framework」（CCSDS 921.1-B-1）で定義されているCSTS基本サービスの拡張性も踏まえつつ、CSTSサービスの実装方法を定義している。

第1～2章では、CSTSサービスの概要及び主な実装方法として以下の4方式を挙げている。

1. 上記推奨規格で定義されている既存のProcedureに変更は加えず、サービスを実現する方法（図1）
2. 既存のProcedureを基に新しいProcedureを作成し、Procedureの機能拡張によりサービスを実現する方法（図2）

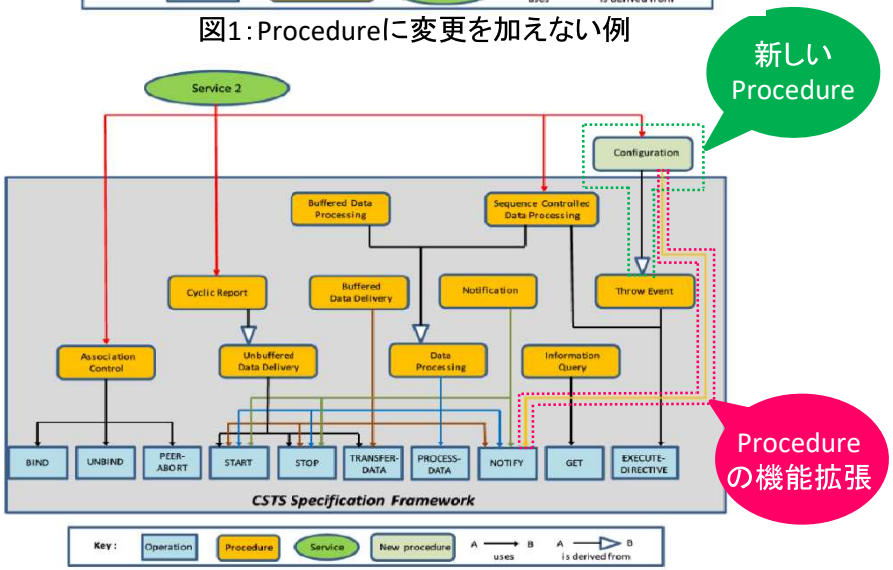


図2：新しいProcedureを既存のProcedureをもとに作成する例

GUIDELINES FOR SPECIFICATIONS OF CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICES（2/2）

「相互支援転送サービス仕様のガイドライン」

Magenta Book
CCSDS 921.2-M-1 Cor. 1
発行月：2020年8月
ISO －

【続き】

3. 既存Operationを拡張し、新たなProcedureを作成してサービスを実現する方法（図3）
4. 既存のCSTSを基に新たなCSTSを作成することでサービスを実現する方法（図4）

第3章では、CSTSを構成する上で必要となるProcedureやインスタンスの定義ルール、また、上記4種類の実装方法に関する具体的な実装ルール（Operationのパラメータなど）を規定している。

第4章では、CSTS仕様書に関する文書構成について記述ルールを規定している。

＜用語説明＞

- Operation：
  サービス利用者がサービス提供者に対して実行を要求するタスク。
- Procedure：
  複数のOperationをまとめたもの。

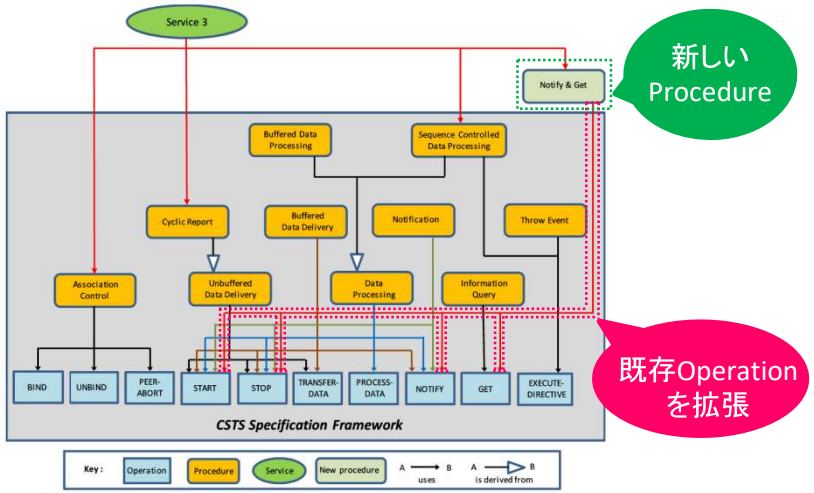


図3：既存Operationを拡張して新しいProcedureを作成する例

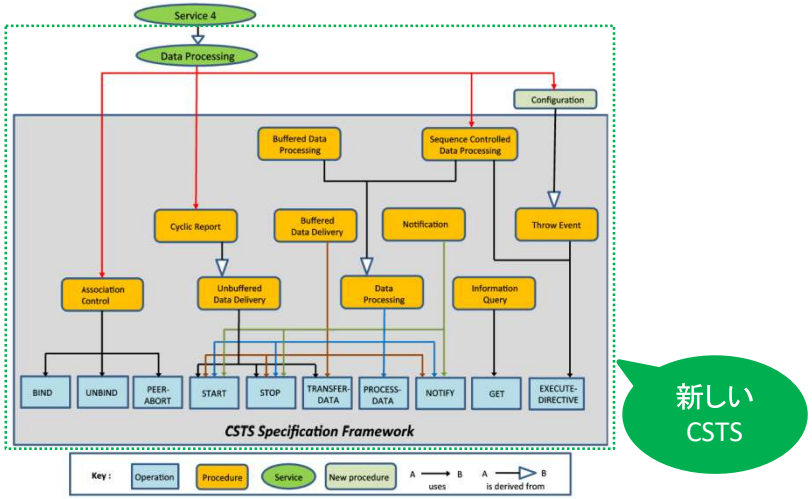


図4：既存のCSTSをもとに新しいCSTSを作成する例

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>
新規文書につき、現在情報を収集中。

SPACE COMMUNICATIONS CROSS SUPPORT – ARCHITECTURE DESCRIPTION DOCUMENT

「宇宙通信相互支援（SCCS） – アーキテクチャ解説文書」

Green Book
CCSDS 901.0-G-1
発行月：2013年11月

本解説資料は、CCSDSが推奨するセキュアな宇宙通信相互支援（SCCS）の体系・構造を示したもので、宇宙機関間で宇宙通信相互支援サービスを提供・利用する場合や、相互支援サービスを提供可能なシステムを開発する際に、共通の枠組みとして利用されることを意図している。

宇宙通信相互支援サービスには、データリンク層サービスとネットワーク層サービスの2通りがある。データリンク層サービスは、ミッション運用センター（MOC）と宇宙機をつなぐエンドツーエンド回線によるものであり、他方ネットワーク層サービスは、MOCと宇宙機をつなぐインターネットワーキング（ルーティングやインターネットワーキングなど複数の中継器を介する接続）によるものである。

本解説資料では、シングルホップ通信（ABA）と、マルチホップ通信（SSI）の2つのアーキテクチャを紹介している。

ABAでの相互支援（図1）は、よく見られる通信支援形態である。SSIの相互支援（図2）では、宇宙機関Bの宇宙機に対して宇宙機関Aの中継衛星で支援を提供する際、宇宙機関Cの地上局が宇宙機関AとBを支援する、といった形態が用いられる。

CCSDSでは、ABA/SSIのいずれの形態でも相互支援を効率よく、かつ効果的に提供/利用できるように、宇宙通信相互支援サービスの標準アーキテクチャを定義している。本解説資料は以下を提供している。

- 宇宙通信相互支援アーキテクチャの概要
- ABAおよびSSI、それぞれの回線の相互支援アーキテクチャの概要、サービスの定義（ユーザ/プロバイダの観点で）、構築する宇宙機／地上システムの機能要素の定義
- 通信やプロトコルの用例
- エンドツーエンド回線の概観や応用例

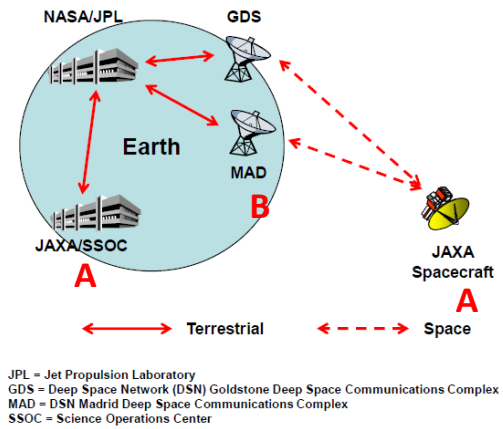


図1: ABAの相互支援アーキテクチャ（例）

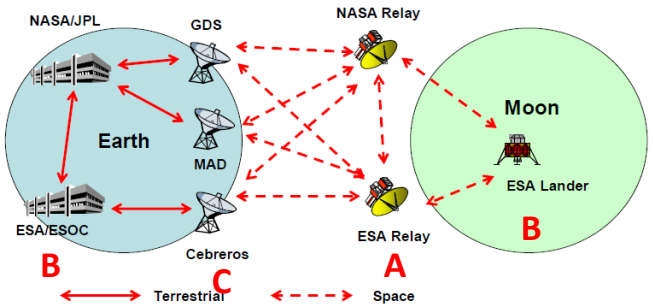


図2: SSIの相互支援アーキテクチャ（例）

EXTENSIBLE SPACE COMMUNICATION CROSS SUPPORT - SERVICE MANAGEMENT - CONCEPT（1/2）

「拡張可能型宇宙通信相互支援 – サービスマネジメント – 構想」

Green Book
CCSDS 902.0-G-1
発行月：2014年9月

本解説資料は、宇宙ミッションの全ライフサイクルに渡って使用する宇宙通信相互支援サービス（SCCS）の業務管理を、宇宙通信技術の進化に合わせてスムースに修正・移行できるよう、その拡張性と構想について解説するものである。

相互支援サービスの実施においては、宇宙ミッション間で管理情報をやりとりし、支援側はそれらの情報に基づき、スペースリンクサービスや地上データ転送サービスを提供するためのコンフィギュレーションを設定する。本資料においては、ミッション側と支援側との一連のやり取り（各種サービスに関する交渉、設定、スケジュール、準備、アクセス、報告等）に関するプロセスを解説している。

既発行のサービスマネジメント文書「宇宙通信相互支援 ー サービスマネジメント（SM）ーサービス仕様（CCSDS 910.11-B-1）」は、相互支援の標準インターフェースを定義しているが、ミッション側と支援側の支援ライフサイクル（図1参照）を通した長期的なサービスマネジメントの定義や、将来の新たな宇宙通信技術の導入までは想定されておらず、またサービスマネジメントのインターフェース業務管理の技術的進化も想定されていない。

そのため、CCSDSでは、次世代を想定した相互支援サービスマネジメント標準「拡張可能型宇宙通信相互支援サービスマネジメント」を作成することで、既発行のサービスマネジメント関連文書を補完し、管理情報および管理インターフェースに関するCCSDS定義・規定を、今後の技術進化にも対応させることができるようにするものである。

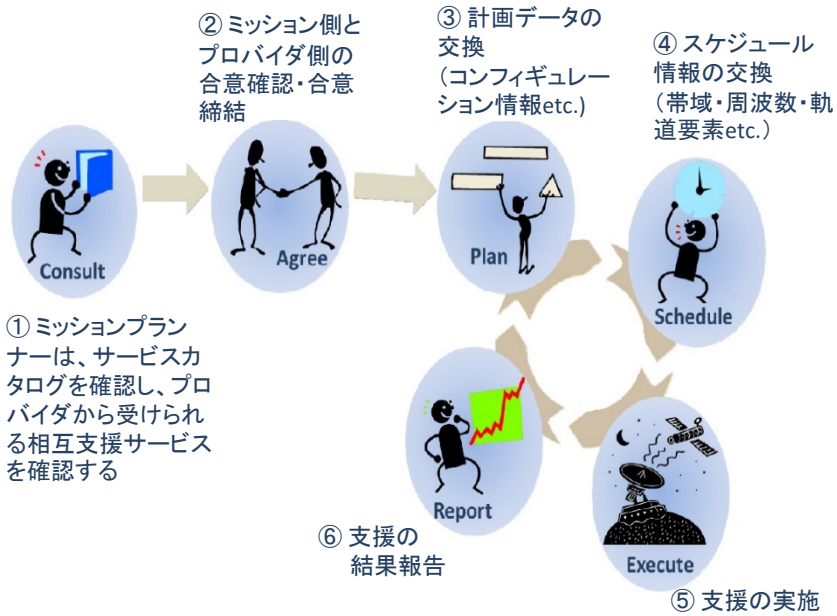


図1：ミッションにおける相互支援のライフサイクル

EXTENSIBLE SPACE COMMUNICATION CROSS SUPPORT - SERVICE MANAGEMENT - CONCEPT（2/2）

「拡張可能型宇宙通信相互支援 - サービスマネジメント - 構想」

Green Book
CCSDS 902.0-G-1
発行月：2014年9月

本資料は、拡張可能型SCCS-SMの構想概要（第2章）、相互支援の機能・形態モデル（第3章）、SCCSのミッション支援ライフサイクル（第4章）、支援側とミッション側でやり取りする各種情報（第5章）について記述している。

また、エンティティ（情報）への拡張性の適用とそれにより支援リソース管理パラメータ情報、支援スケジュール調整情報、支援サービス計画情報がいかに拡張されるか（第6章）、エンティティ（右表1参照）をやり取りするための標準的相互支援管理（第7章）、SCCSサービスマネジメントの開発ロードマップ（第8章）を示している。

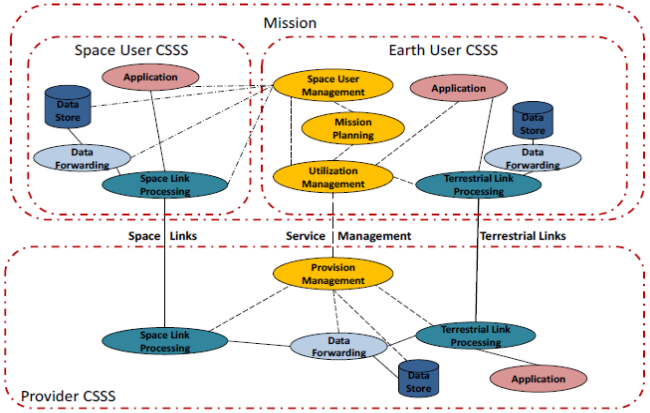


図2: 宇宙通信相互支援のサービスマネジメントの例

表1: 相互支援運用で交換する主な情報（エンティティ）とその内容

サービスカタログ	支援提供側の相互支援サービスシステム（CSSS）で提供可能な宇宙通信・追跡サービスを規定
サービス合意	契約期間中に支援手境側が提供するサービスのタイプ、範囲等を明記
コンフィギュレーションプロファイル	スペースリンクサービス、地上データ転送サービス、惑星間インターネットサービスに適用する再利用可能なパラメータ値を規定
通信ジオメトリ	通信／追跡サービスのスケジューリングに用いるための双方のイベント（可視帯など）を特定
スペースリンクイベントシーケンス	ユーザノードがスペースリンクのコンフィギュレーションの変更を予定しているなど、制約事項を特定
トラジェクトリ予測区間	一地点における宇宙機の予測位置および速度を特定
サービスパッケージ要求	リクエストをスケジュールする際に必要な各種情報
サービススケジュール	支援提供側が実施する通信・追跡サービスの概要
結果報告	支援側が実施したサービスの質やデータ処理量の概要

STANDARD TERMINOLOGY, CONVENTIONS, AND METHODOLOGY（TCM）FOR DEFINING DATA SERVICES（1/4）

「データサービス定義のための標準的な用語・規約・方法（TCM）」

Green Book
CCSDS 910.2-G-1
発行月：1994年11月

本解説書は、CCSDSによるデータサービス定義への活用を目的として、国際標準化機構（ISO）が標準化したデータサービス定義に関する用語・規約・方法（Terminology, Conventions, and Methodologies： TCM）をまとめており、CCSDS規格の策定に利用可能な抽象的な概念レベルから、具体的な技術・プロトコル・アプリケーションの適用場面に至るまでのシステムやシステム間相互作用を記述する共通の用語を提供している。

本資料は、CCSDS のSLE（Space Link Extension）サービス定義の際に各種のデータサービス定義規約を調査した結果得られたものであるが、SLEサービス以外のデータサービス定義活動での利用が可能である。

以下に各サービス定義について概説する。

【データサービス】
CCSDS規格が扱うデータサービスは、大きくデータ通信サービスとアプリケーションサービスとに分類される。

<u>データ通信サービス</u>
2つ以上のサービスユーザ間のデータ交換を可能にするサービス。データ通信システムのモデル化はOSIアーキテクチャが標準となっている。OSIサービスのユーザはコンピュータプログラムであり、プロバイダは抽象的なマシンとなる。OSIモデルおよびそのサービス定義が広く普及しているため、データ通信システムのモデル化にはこれらの使用が合理的。

<u>アプリケーションサービス</u>
あるエンティティが他のエンティティに代わり実施するデータ処理サービス。ユーザが単一である点がデータ通信サービスと異なる。プロバイダはデータ転送を行うのみでなく自らデータ処理も行う。アプリケーションサービスのモデル化の方法に世界的標準はない。ここでは、メッセージ指向型文書交換システム（Message-Oriented Text Interchange System：MOTIS）の一部として開発され、分散処理環境でのピアツーピアサービスを記述する際に用いられるOSI Abstract Service Definition Conventions（ASDC）を利用する。ASDCは、SLE のサービス定義にも使用されている。

※宇宙通信におけるクロスサポートシナリオでは、プロバイダが扱うデータが非対称（RF変調信号を受け取り、CCSDSパケットをユーザに提供する）であり、この点が対称型のOSIサービスとは異なる。

STANDARD TERMINOLOGY, CONVENTIONS, AND METHODOLOGY（TCM）FOR DEFINING DATA SERVICES（2/4）

「データサービス定義のための標準的な用語・規約・方法（TCM）」

Green Book
CCSDS 910.2-G-1
発行月：1994年11月

【OSI サービス定義】

2つ以上の開放型システム間のデータ通信に関わるOSIモデルにおいて、サービスとは通信路の提供を指す。

「submit」プリミティブ：ユーザがイニシエートするプリミティブ

「deliver」プリミティブ： OSI-service-provider がイニシエートするプリミティブ

OSI-local-view： サービスの境界線におけるユーザとプロバイダ の挙動

OSI-service-procedure： 互いに関連する「submit」プリミティブと「deliver」プリミティブにより構成される

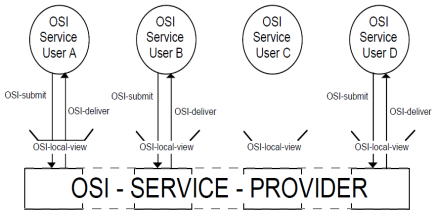


図1： OSI サービスモデル

【OSI-service-procedure 】

Requestor：「submit」プリミティブを発行後「deliver」プリミティブを受け取るユーザ

Acceptor：「deliver」プリミティブを受け取った後「submit」プリミティブを発行するユーザ

Request：Requestor が発行する「submit」プリミティブ

Indication：Acceptorが受け取る「deliver」プリミティブ

Response：Acceptor が Indication を受け取った後に発行する「submit」プリミティブ

Confirm： Requestor が受け取る「deliver」プリミティブ

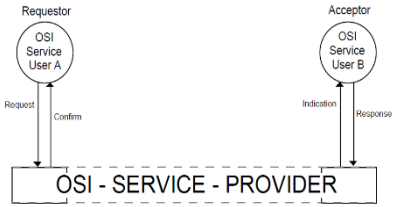


図2：ピアツーピア接続における RequestorとAcceptor

【OSI 参照モデル】

OSI 参照モデルは、OSIサービス定義による開放型システム間相互接続のモデルであり、階層型アーキテクチャを採用している。図3は、こうしたOSI参照モデルにおけるサービスのユーザとプロバイダの関係図である。

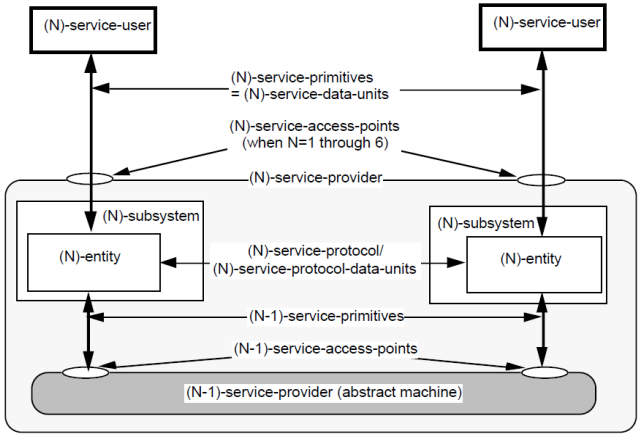


図3：開放型システム間における サービスのユーザとプロバイダの関係図

STANDARD TERMINOLOGY, CONVENTIONS, AND METHODOLOGY（TCM）FOR DEFINING DATA SERVICES（3/4）

「データサービス定義のための標準的な用語・規約・方法（TCM）」

Green Book
CCSDS 910.2-G-1
発行月：1994年11月

【アプリケーション層】

アプリケーション層は、OSI環境とアプリケーションプロセスが交差する所。アプリケーション機能実現のため2つのApplication Entity（AE）がAE起動を行うが、これによりApplication-associationが構成される。AE起動は実際には下層のサービス提供を受け実行される。

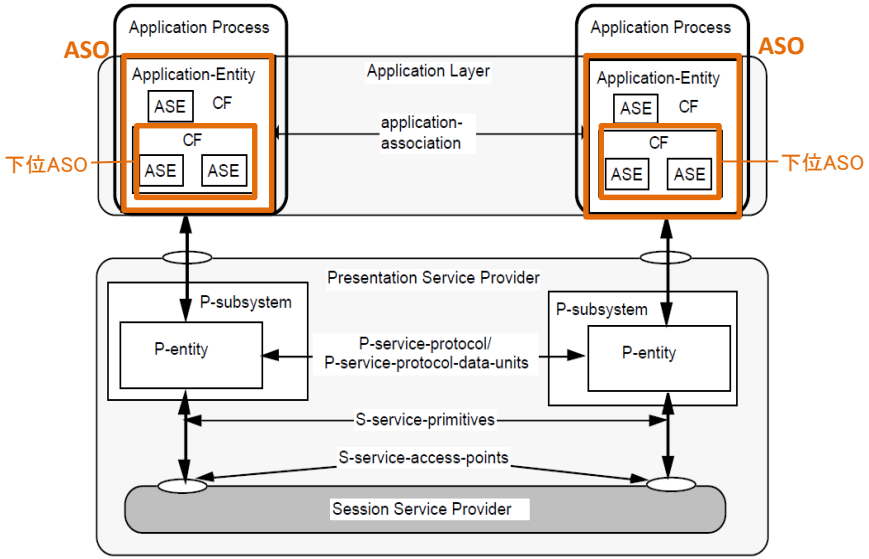


図4：アプリケーション層における構成要素

CF（Contorol-function）
ASE（Application-service-element）：OSIサービス及びプロトコルで識別される、分割不可能なアプリケーション通信機能のひとまとまり。
ASO（Application-service-object）：アプリケーション層で定義されるひとまとまりの機能を実現するAE内のアクティブな要素。ASEとCF（およびASO）の集合により構成される。

【抽象サービス定義：ASDC】

抽象サービス定義規約（Abstract Service Definition Conventions：ASDC）は、ROS（遠隔操作サービス）をベースに、複雑な分散処理システムを抽象的に記述するために考案されたもの。

抽象モデル

オブジェクト、ポート、サービスを抽象化してモデル化する。図5において抽象オブジェクトは Yellow User と Yellow System があり、ポートは四角形で表される。

抽象サービス

抽象サービスについては分散処理タスクの開始、制御、終了の仕方を定義する。すなわち、抽象結合（bind）オペレーション、抽象結合解放（unbind）オペレーション、抽象オペレーション、および抽象エラーによって定義する。結合（開放）要求を出す抽象オブジェクトを Initiator と呼び、これを実行する抽象オブジェクトを Responder と呼ぶ。抽象オペレーションの場合、これらは Invoker、Performer と呼ばれる。

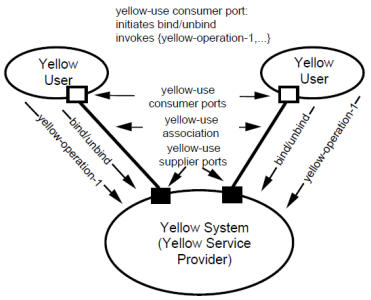


図5：ASDCによるシステム抽象モデルの例

ASN.1記法

ASDC では、ASN.1記法のマクロにより上記の抽象オブジェクト、ポート、サービス、並びに各種オペレーションを定義する。

STANDARD TERMINOLOGY, CONVENTIONS, AND METHODOLOGY（TCM）FOR DEFINING DATA SERVICES（4/4）

「データサービス定義のための標準的な用語・規約・方法（TCM）」

Green Book
CCSDS 910.2-G-1
発行月：1994年11月

【ASDC モデルとアプリケーションサービスのマッピング】

実装に際しては抽象オブジェクトをアプリケーションプロセス、AE、ASO、ASEにマッピングする。これは、抽象アソシエーションが確立される抽象オブジェクト対に対してアプリケーションプロセスを定義することにより行う。

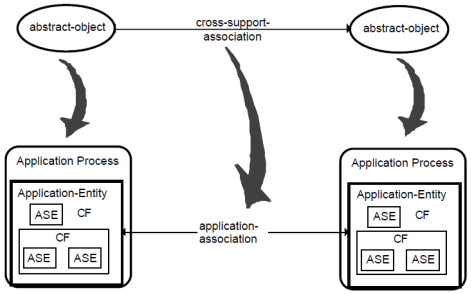


図6：ASDC モデルとアプリケーションサービスモデルのマッピング

【OSI サービスモデルとASDCの適用対象】

OSIサービスの通信サービスに関するOSI サービスモデルは、データ通信規格の策定に利用することが適切。一方分散処理環境でのピアツーピア接続の定義を目的としたASDC は、CCSDS が想定するクロスサポートのシナリオ（ある宇宙機関が他の機関に代わってサービスを実行する）のモデル化に役立つ。CCSDS独自のサービスを定義する場合、ISO のサービスモデル化の手法に従う。

【OSI マネジメントフレームワーク】

解放型システムの管理に関するモデルや用語を提供するもの。データ通信サービスのみならずアプリケーションサービスの管理にも利用できる。フォールト、会計、コンフィギュレーション、性能、セキュリティの5つの管理領域が設定されており、また管理対象がシステム全体か特定のレイヤか、あるいは1つの通信インスタンスであるかによっても区別される。

【クロスサポートシステムへの応用】

下図は、CNESがNASAに地上局サービスや軌道決定等の支援を提供したDelta-launched Small Expendable-tether Deployer System（Delta/SEDS）ミッション（1993年打上げ）の地上システム構築時に使用された ASDC モデルである。

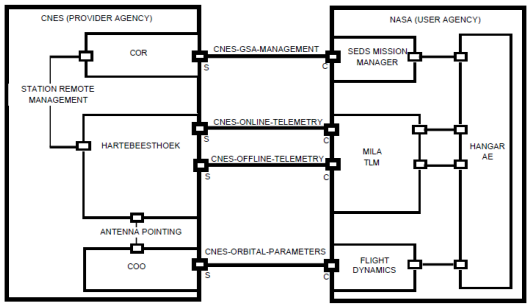


図7：CNES-NASA間相互支援時のシステムモデル化例

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（1/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）転送サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

本解説書は、追跡局の相互支援（クロスサポート）において、宇宙リンクサービスを地上間のデータ転送に拡張するSpace Link Extension（SLE）転送サービスを解説したものである。相互支援の実施環境を示しながら、SLEを用いたデータ転送サービスの仕組みと、SLEサービスを利用する際の準備を担うサービスマネジメントの機能を紹介している。

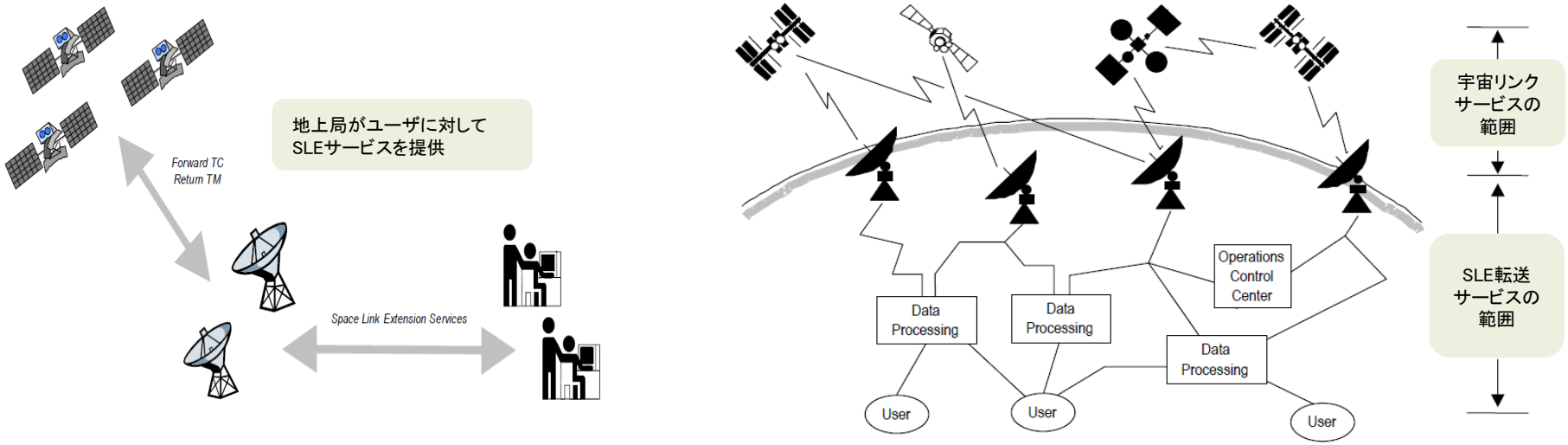


図1: SLE転送サービス概観

SLE転送サービスの説明に際しては、CCSDSが定義する宇宙リンクのリターンテレメトリ、フォワードコマンド、フォワードAOSの3つのサービスに分けて、それぞれの転送処理を次ページ以降に図示する。

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（2/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）転送サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

【リターンテレメトリ・データ転送サービス】

テレメトリデータを転送するSLEサービスには以下がある（図2参照）。
- Return All Frames (RAF)
- Return Channel Frames (RCF)
- Return Frame Secondary Headers (RFSH)
- Return Operational Control Field (ROCF、次ページに補足あり)
- Return Space Packet (RSP)
- Return Insert (R-Insert) and Return Bitstream (R-Bitstream)

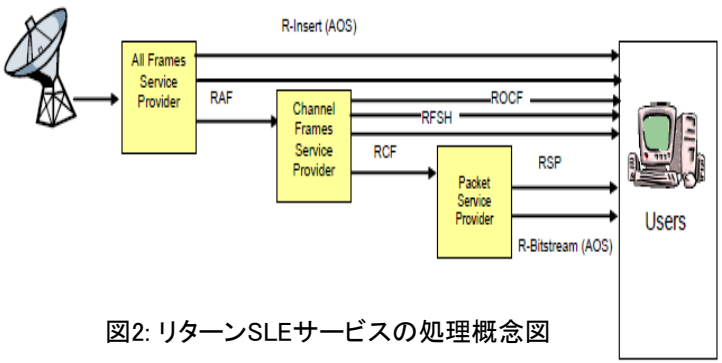


図2: リターンSLEサービスの処理概念図

RAFサービスでは全てのトランスファーフレームを転送するのに対して、RCFサービスはチャネルを指定することで転送するフレームを絞り、転送データ量を小さくすることができる（地上データ回線が細い場合等に利用）。

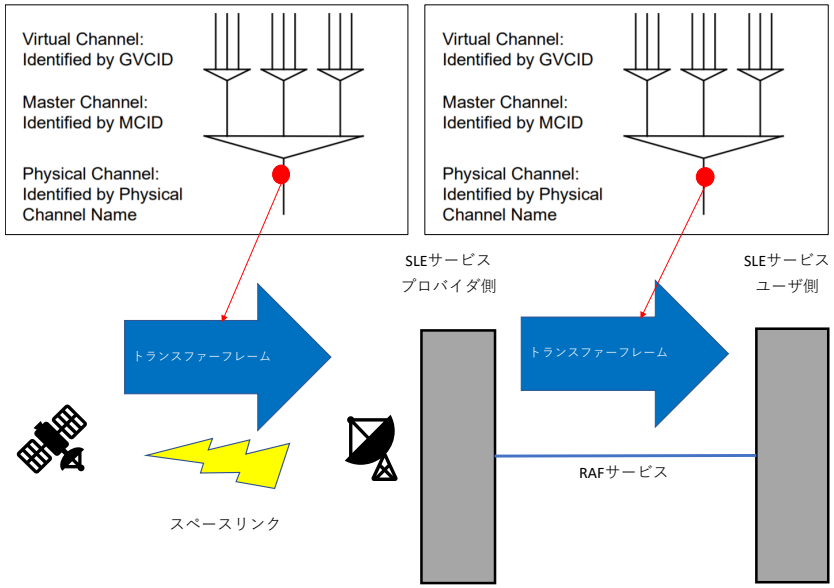


図3: RAFサービスのデータ転送

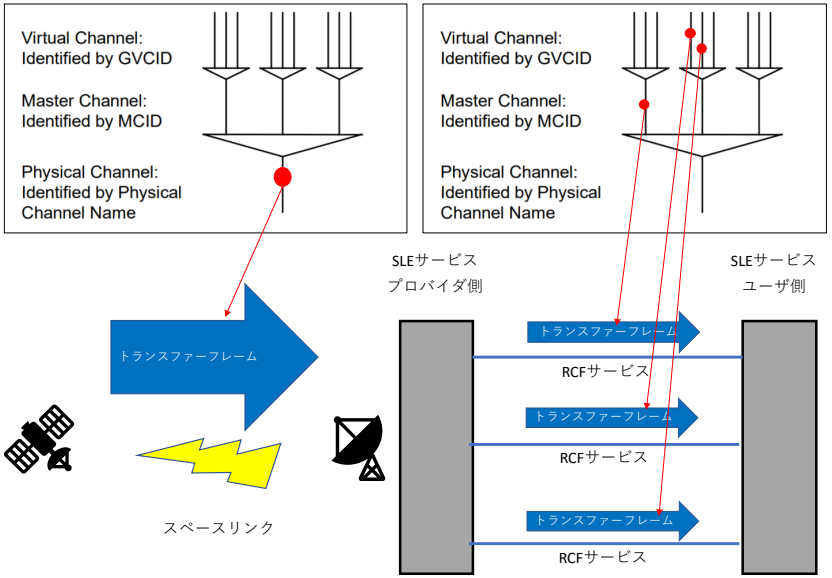


図4: RCFサービスのデータ転送

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（3/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

【SLEの補足説明： ROCFサービスについて】

■ コマンド到達確認を行うCOP制御においては、コマンドデータの衛星への到達を確認するための情報として、トランスファーフレームに含まれるOCF（CLCW）情報を利用している。RCFサービスでは、トランスファーフレームを絞るため、チャネル指定されないフレームではOCFが転送されず、コマンドの到達確認が遅延する場合がある。ROCFサービスでは、トランスファーフレームに付与されたOCFのみを転送するため、RCFサービスでトランスファーフレームが絞られていても、COP制御におけるコマンドの到達確認の遅延を防ぐことができる（図5参照）。

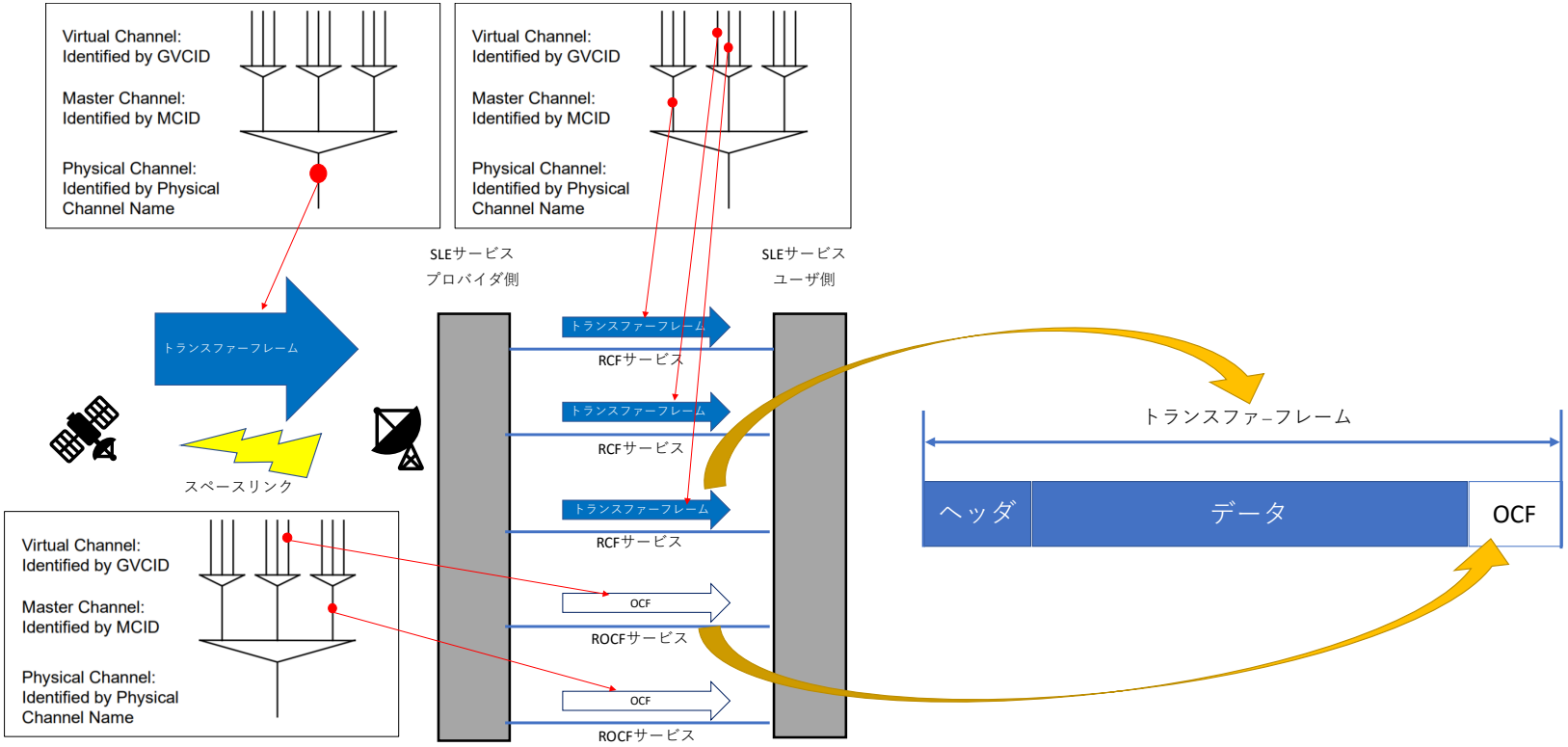


図5: ROCFサービスの処理概念図

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（4/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

【フォワードコマンド・データ転送サービス】

従来型のコマンドデータを用いるフォワードSLEサービスには、以下がある（右図参照）。

- Forward Space Packet（FSP、次ページに補足あり）
- Forward Telecommand Virtual Channel Access（FTCVCA）
- Forward Telecommand Frame（FTCF）
- Forward Communications Link Transmission Unit（FCLTU、次ページに補足あり）

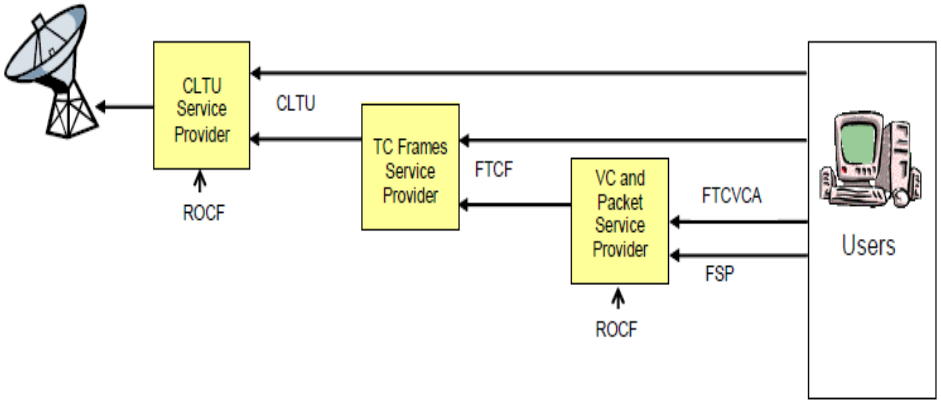


図6: フォワードSLEサービスの従来型コマンドフレーム処理概念図（3段階）

【フォワードAOS・データ転送サービス】

国際宇宙ステーションの運用等に適用されているAOSプロトコルを用いたフォワードSLEサービスは、現段階ではCCSDSによる定義がされていないものの、以下が扱われる予定である（右図参照）。

- Forward AOS Space Packet（F-AOSSP）
- Forward AOS Virtual Channel Access（F-AOSVCA）
- Forward Bitstream（F-Bitstream）
- Forward Proto Virtual Channel Data Unit（F-pVCDU）
- Forward Coded Virtual Channel Data Unit（F-cVCDU）
- Forward Virtual Channel Data Unit（F-VCDU）
- Forward Insert（F-Insert）

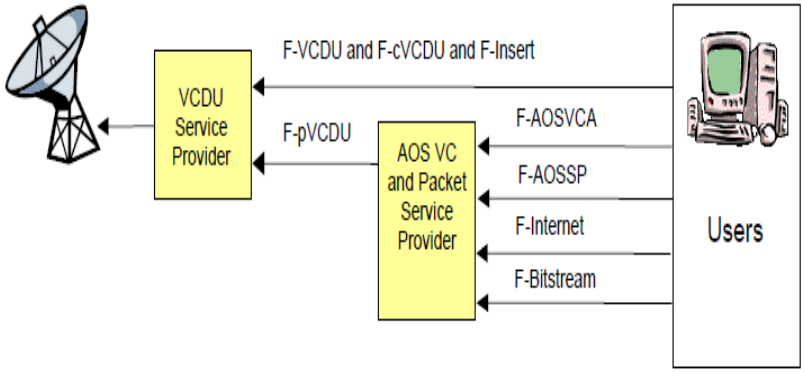


図7: フォワード AOS SLEサービスの各種フォワードデータ処理概念図（2段階）

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（5/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

【SLEの補足説明： FCLTUサービスとFSPサービスについて】

フォワードコマンド・データ転送サービスにおけるFCLTUサービスとFSPサービスでは、COP制御(FOP-1)を処理する場所（プロバイダ側かユーザ側か）が異なるので注意が必要である。下図に示すように、FCLTUサービスの場合は利用者（ユーザ）側でCOP制御(FOP-1)を行い、一方、FSPサービスの場合は提供者（プロバイダ）側でCOP制御(FOP-1)を行う。

※各処理の関連は宇宙通信プロコル概要(CCSDS 1130.0-G-3)を参照

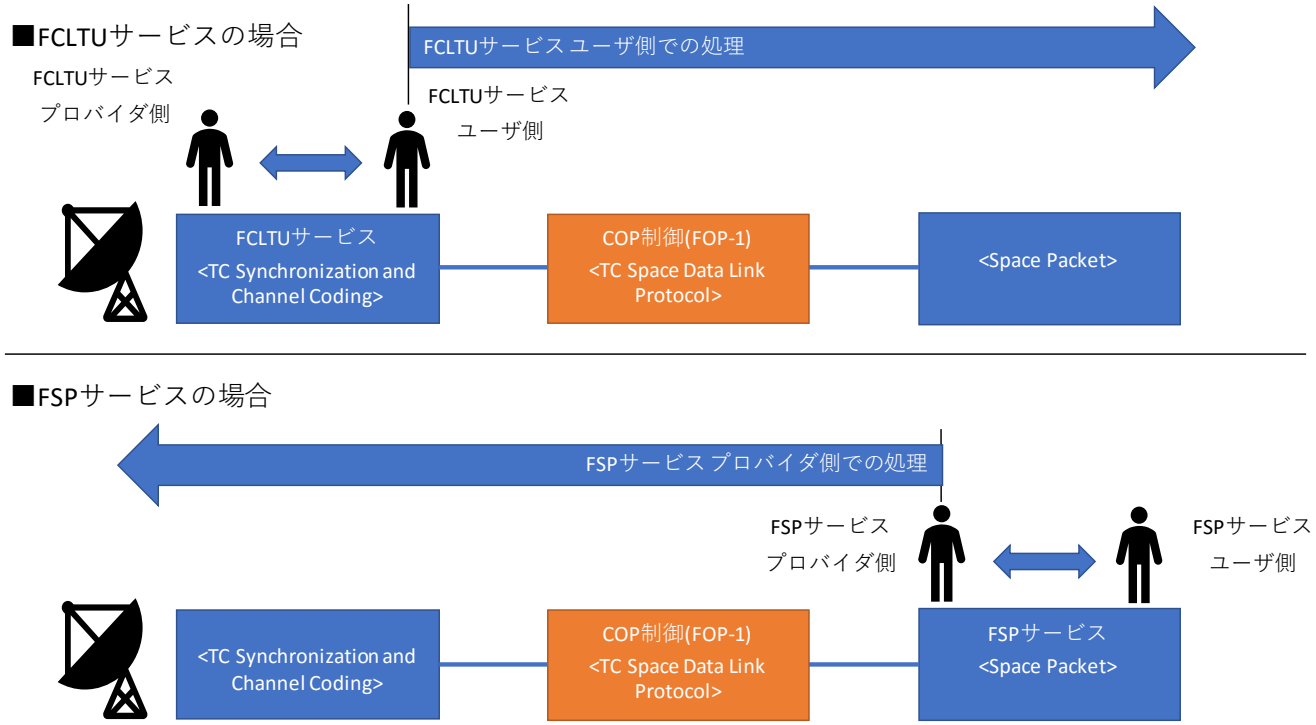


図8: FCLTUサービスとFSPサービスのデータ処理概念図

CROSS SUPPORT CONCEPT
– PART1: SPACE LINK EXTENSION SERVICES（6/6）

「相互支援コンセプト – Part 1: SLE（Space Link Extension）サービス」

Green Book
CCSDS 910.3-G-3
発行月：2006年3月

【サービスマネジメントサービス】

SLEサービスマネジメントの目的は、SLEサービス内容の合意、および同サービスのスケジュール・準備・アクセスに必要な全ての情報の収集・交換を容易にすることである。そのため、SLEサービスマネジメントは標準的なデータテンプレート／コミュニケーション方法を提供する。

データテンプレートでは下記に必要な全てのパラメータを把握可能にする。

- ミッションフェーズのサポートに必要なサービスタイプやサービスインスタンスの決定
- サービスインスタンスのスケジューリング
- SLEサービスの提供に充てるSLE複合体*のリソースの決定
- サービスインスタンスへのアクセスおよびその管理のためのインターフェースの構築と開示
- SLE複合体のリソース提供者による、サービス実行中のリソースのコンフィギュレーション、監視、管理

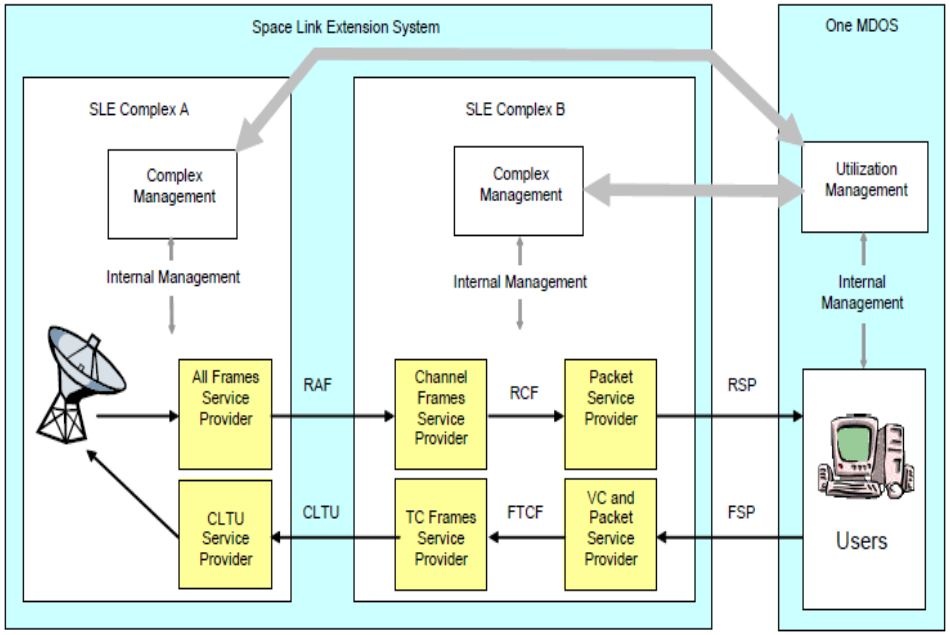


図9: SLEサービスマネジメントの一例

*論理的に分けられた機能群であり、それらが集まりSLE機能全体を構成する。

注）本書における上記サービスマネジメントの記載はSLEサービスのみを対象としているが、現在検討が進められているサービスマネジメントの対象はいくつかの変遷を経て変化しているため、最新のサービスマネジメントのコンセプトについてはCCSDS 910.3-G-3を参照願います。

SPACE LINK EXTENSION

– APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES
– SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE（1/4）

「SLE – 転送サービスAPI – コンセプトと背景の概要」

Green Book
CCSDS 914.1-G-1
発行月：2006年1月

本解説資料は、SLE（Space Link Extension）転送サービスのAPIを定義している文書群を解説するもので、SLE APIの背景にあるコンセプトや論理的根拠を紹介している。

なお、本資料は読者がSLEの各種転送サービスに関する一般的理解を有することを前提としており、前提知識がない場合には、【関連CCSDS文書】2番目の参考資料「Cross Support Concept — Part 1: Space Link Extension Services」を先に読むことが望ましい。

【サービスプロバイダとサービスユーザ】

SLEサービスは、SLE複合体内のSLEサービスプロバイダから ミッションデータ・オペレーションシステム（MDOS）内のミッションユーザエンティティ（MUE）、または別のSLE複合体内のSLEサービスユーザに対して提供される（図2）。

サービスプロバイダ側では、サービスの生成と提供が識別される（推奨規格）。サービスプロバイダとサービスユーザ間のやりとりはオペレーションだが、アプリケーションエンティティから見たときにやり取りされているものはPDUである。

<u>リターンサービス：</u> リターンサービスの生成とは、スペースリンクからスペースリンクデータユニット（SL-DU）とアノテーションを取得し、特定のサービスインスタンスに依存しないSLEサービスデータユニット（SLES-DU）のストリームを形成することであり、リターンサービスの提供とはSLE-SDUストリームをサービスユーザに提供することを指す。

<u>フォワードサービス：</u> フォワードサービスの生成とは1つ以上のSLE-SDUストリームからSL-DUを抽出し、スペースリンク上で多重送信することであり、フォワードサービスの提供とはサービスユーザからSLE-SDUストリームを受け取ることを指す。

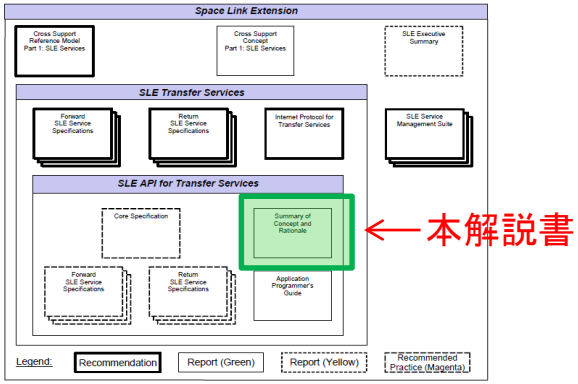


図1: SLE API関連文書群における本書の位置付け

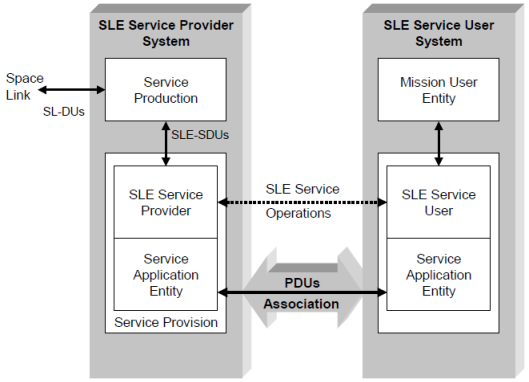


図2: SLEサービスの生成と提供

SPACE LINK EXTENSION

– APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES
– SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE（2/4）

「SLE – 転送サービスAPI – コンセプトと背景の概要」

Green Book
CCSDS 914.1-G-1
発行月：2006年1月

【SLE API】

SLE APIは、SLEサービスユーザとサービスプロバイダ間のSLEオペレーション（呼出しとリターン）を行うインターフェースを提供する。このインターフェースはソフトウェアコンポーネントにより実装され、SLEインターフェースをサポートするソフトウェアプログラムに対して提供される。

SLE APIの目的は、特定の通信技術に依存しないインターフェースをSLEアプリケーションプログラムに提供する、再利用可能なソフトウェアパッケージの開発を可能にすることである。これによりSLEをサポートしているシステムの導入・維持に必要なリソースを最小化できるとともに、相互運用性の達成が可能となる。

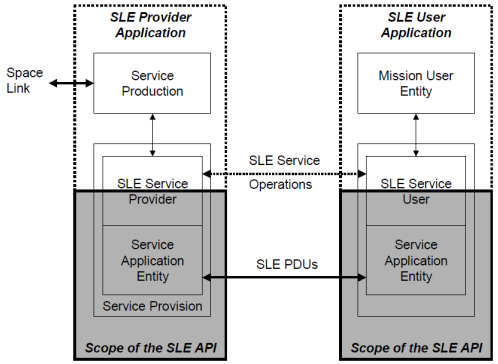


図3: SLE APIの対象領域

【SLE APIの主な仕様】

- APIプロキシ：通信技術抽象化層（図4中、technology abstraction layer）であり、SLE-DUをやり取りするデータ通信インターフェースを、下層にある特定の通信技術から独立させる。データ通信ソフトウェアや構文解析ツール等を含む。APIプロキシにより提供されるPDU転送サービスは、連続的に、完全性を保ち、重複なく、フロー制御の下で行われ、通信の断絶があった場合に通知を行うよう所期される。
- APIサービスエレメント：サービスの生成と利用から分離されたSLE転送サービスの提供に関わる全ての側面を実装するもので、APIプロキシの上層に位置する。APIプロキシのみを利用するため、通信技術からの独立性が得られる。
- APIは、C++言語で記述され、基本的にコンポーネントとして設計され、SLEアプリケーションによるSLE APIパッケージのサービスの利用を実現する。

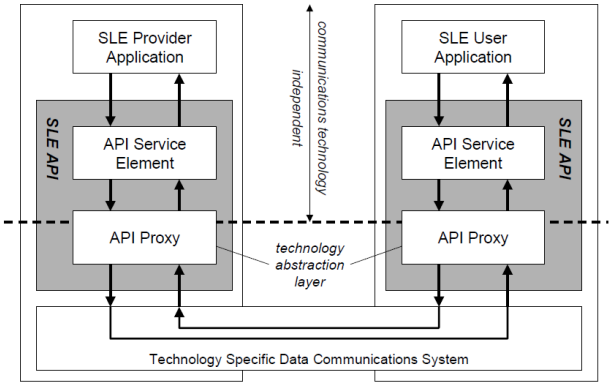


図4: SLE APIの階層構造

SPACE LINK EXTENSION

– APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES
– SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE (3/4)

「SLE – 転送サービスAPI – コンセプトと背景の概要」

Green Book
CCSDS 914.1-G-1
発行月：2006年1月

【技術マッピング】

「Space Link Extension – Internet Protocol for Transfer Services (CCSDS 913.1-B-2)」は、SLE APIとその他の技術を以下の通りマッピングしている。

- データ通信サービス：TCP/IP
- データ符号化：ASN. 1
- アプリケーション層プロトコル：Internet SLE Protocol One (ISP1)、およびSLE APIをサポートしたその他プロトコル

【SLE APIを実装したソフトウェアパッケージの各種機能】

- データ通信インターフェースのカプセル化（APIプロキシ）
- アクセス制御リストによるアクセス制御（APIプロキシのコンフィギュレーションDB）
- ピア認証（APIプロキシ）
- PDU処理（SLE各種転送サービスの推奨規格で定義されたステートテーブルがSLE APIに実装されており、パラメータ呼出しと戻り値等をチェックする。）
- サービスインスタンスの管理
- データ転送（オペレーション／呼出し）にかかわるフロー制御
- 重要なイベントのログ管理とアプリケーションへの警告通知
- 通信障害の診断トレース（オプション、推奨実践規範）

【オブジェクトモデル】

SLE APIの設計では、SLE Reference Model (CCSDS 910.4-B-2)、およびSLEの各種転送サービス（CCSDS 911.1-B-2 、CCSDS 911.2-B-1 、CCSDS 911.5-B-1、CCSDS 912.1-B-2 、CCSDS 912.3-B-1）の推奨規範で扱われている概念をそのままオブジェクトとしているため、直感的でわかりやすくなっている。

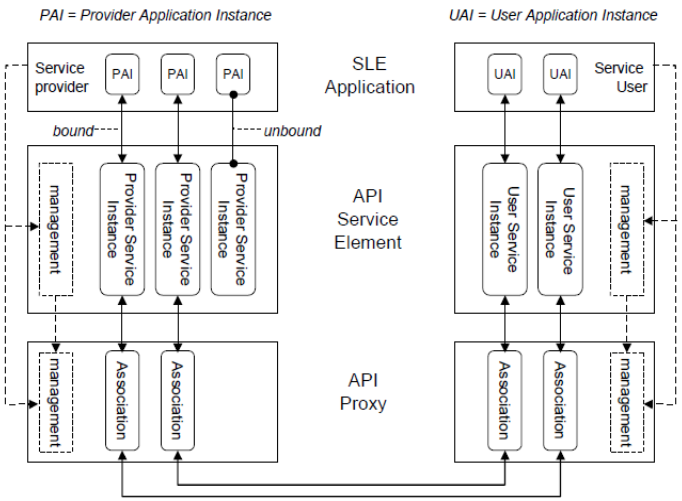


図5: SLE APIオブジェクトモデル

（例）サービスプロバイダが3つのサービスインスタンスを有しており、そのうち2つがユーザサービスインスタンスとアソシエーションを確立している。

SPACE LINK EXTENSION

– APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES
– SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE（4/4）

「SLE – 転送サービスAPI – コンセプトと背景の概要」

Green Book
CCSDS 914.1-G-1
発行月：2006年1月

【SLE APIがサポートしている相互運用性の実現方法】

- 共通APIプロキシの実装（図6）： SLEサービス提供機関が、同機関で利用している通信技術をサポートするAPIプロキシの実装内容をSLEサービスユーザに開示する。SLEユーザアプリケーションは、SLE API により異なるプロキシを統合可能となり、複数のサービスプロバイダからSLEサービスを同時に利用可能となる。

- SLEと他の技術のマッピングの共通化（図7）： SLEサービスユーザとサービスプロバイダが特定の通信技術、ならびにこの技術に対するSLEサービスオペレーションのマッピングにつき合意された共通のものを使用する。これらが共通である限り、図6中のAPI Proxy A とAPI Proxy A’ はイコールでなくともよい。

- ゲートウェイの利用（図8）： SLE転送サービスのゲートウェイは、特定の技術から独立し、これに依存しない層のうち、最下層に位置付ける。したがって、ゲートウェイでつなぐ通信技術の上にAPIプロキシのコンポーネントを置き、その上にAPIプロキシとのインターフェース（初期化、オペレーション呼出し、戻り値）を行うモジュールを1つ置く。ゲートウェイを置く場合は、ユーザ側とプロバイダ側のAPIプロキシをサービスインスタンス管理から独立させる。

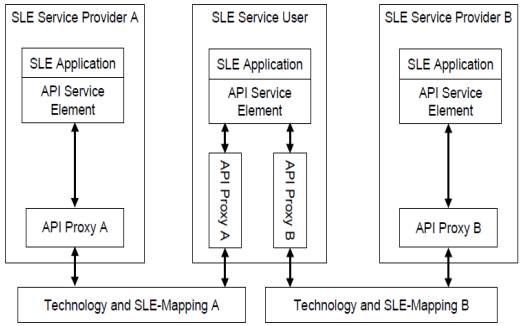


図6: 共通APIプロキシの実装による相互運用性の実現

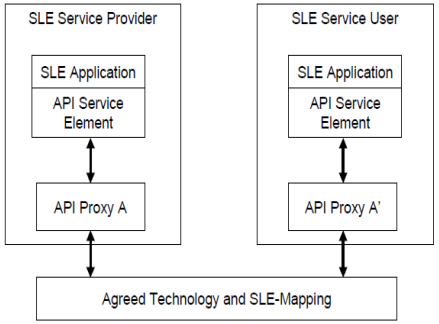


図7: SLEと他の技術のマッピングの共通化による相互運用性の実現

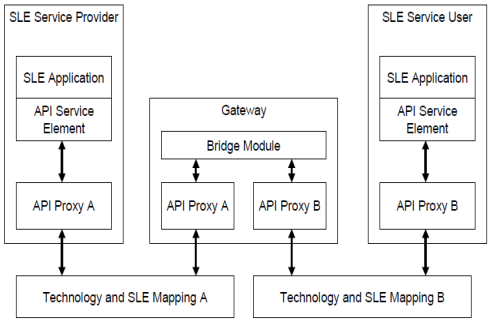


図8: ゲートウェイによる相互運用性の実現

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES

– APPLICATION PROGRAMMER'S GUIDE(1/2)

「SLE – 転送サービスAPI – アプリケーションプログラマ向けガイド」

Green Book
CCSDS 914.2-G-2
発行月：2008年10月

本解説資料は、SLE（Space Link Extension）のサービスユーザやサービスプロバイダとなるアプリケーションへの API の実装を考えているソフトウェア開発者を対象とした入門的資料で、特にAPI コンポーネントの作成やコンフィギュレーションについて説明し、アプリケーションによるAPIの利用方法を例示しつつ、さまざまなシナリオを紹介している。

各章の構成は下記の通り。

第1章：目的と範囲

第2章：転送サービスに関するSLE API の概要

第3章：SLEアプリケーションの設計方法及びSLE API の使用方法の概説

第4章：SLE API を用いたSLEアプリケーションの開発方法の概説

第5章：リターンサービスに固有の事由

第6章：フォワードサービスに固有の事由

【SLE アプリケーション】

SLE 実装の展開が容易となるように、SLE API のアーキテクチャはコンポーネントベースの設計アプローチを採用している。これにより、ソースコードではなくバイナリ API コンポーネントが利用可能となっているため、提供元が異なる API コンポーネントの統合が可能。

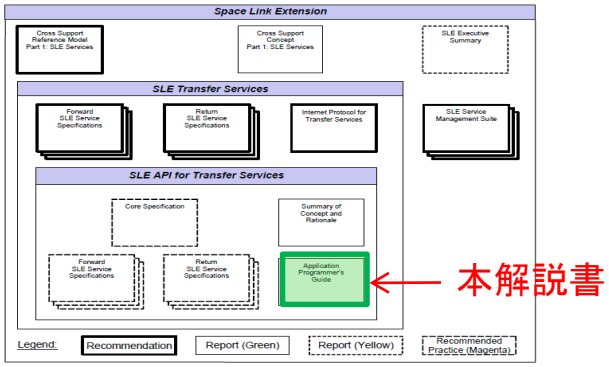


図1: SLE API関連文書群における本書の位置付け

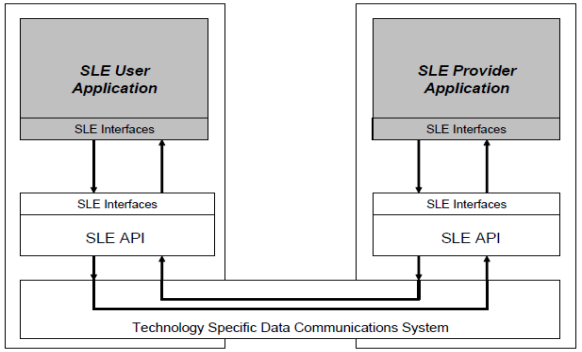


図2: SLE アプリケーション

SPACE LINK EXTENSION – APPLICATION PROGRAM INTERFACE FOR TRANSFER SERVICES

– APPLICATION PROGRAMMER'S GUIDE(2/2)

「SLE – 転送サービスAPI – アプリケーションプログラマ向けガイド」

Green Book
CCSDS 914.2-G-2
発行月：2008年10月

【SLE API コンポーネント】

SLE API コンポーネントはソフトウェアとしてのモジュールであり、複数のインターフェースを通じて定義済みのサービスを提供している。

1つのSLE API は、下記の4つのSLEコンポーネントに分けることができる(図3)。

- API Service Element：サービスインスタンスの提供に関わる。他のSLE コンポーネントのコンフィギュレーション、初期化、管理等を行う。
- API プロキシ：ある技術に固有の機能を実装する。データ通信システム、アクセス制御、ピアの認証等の実装。
- SLE Operations：オペレーションのオブジェクトを実装する。SLEアプリケーションがSLEオペレーションを作成・処理するには、このコンポーネントの実装が必須。
- SLE Utilities：小さな単位のユーティリティ・オブジェクトを提供する。
  (例)メモリ管理、CCSDSタイムコード処理、SLEサービスインスタンス識別子

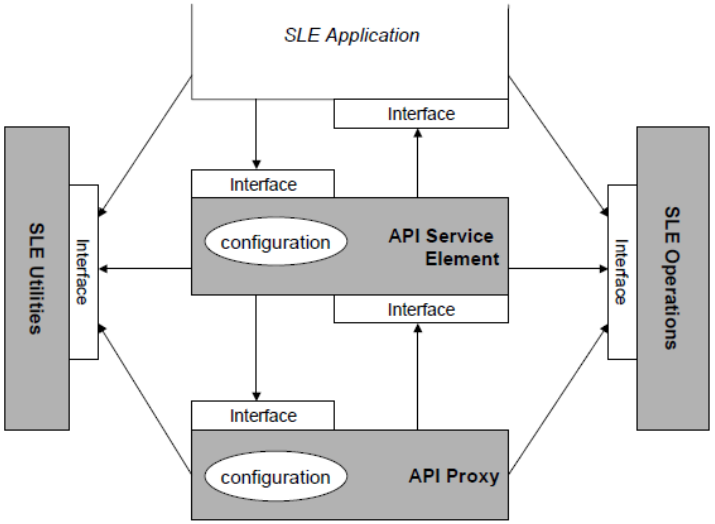


図3: SLE API アプリケーション

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – XML SPECIFICATION FOR ELECTRONIC DATA SHEETS

「宇宙機オンボードインタフェースサービス（SOIS）－ 電子データシートのためのXML定義」

Blue Book
CCSDS 876.0-B-1
発行月: 2019年4月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、宇宙機オンボードインタフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Services: SOIS）に対応した、宇宙機搭載機器のコンフィギュレーションを電子データシート化する際に使用するXMLのスキーマを定義するものである。

【内容】

電子データシートは、宇宙機内デバイスのデータインタフェースに関する情報を記述するために用いる。

右図1は、SOIS Electronic Data Sheet（SEDS）の概念を示し、関連するCCSDS文書との関係性を表している。青色の部分が本書で焦点を当てている箇所である。

右図2は、宇宙機内でのSEDSデータの流れを示しており、左側のデバイスから右側の宇宙機データシステムにかけてSEDSデータが集約されていく様子を示されている。

SEDSの採用は、デバイスの動作と通信方法を決定するために必要な従来のインタフェース制御文書及び専有のデータシートに取って代わることを目的としている。

第3章では、SEDS及びXMLスキーマの基本構造を定義しており、データシートを構成する様々なXML及びXSDファイルの性質や関係について説明している。

第4章では、電子データシートを作成する上で守らなければならない規則を定義しており、XMLファイルの記述方法や型及びインタフェースの定義と使用方法をどのように結びつけるかを説明している。

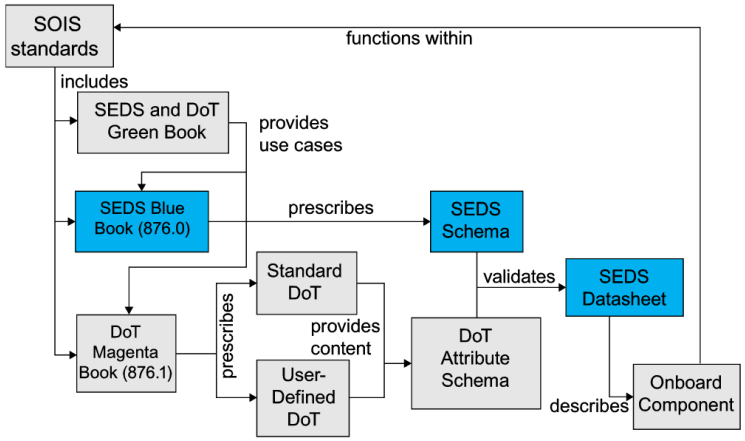


図1: SEDS概念図

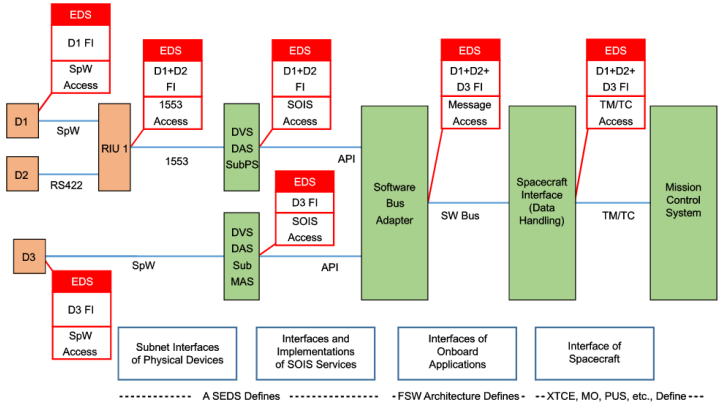


図2: 宇宙機内のSEDSデータインタフェース図

各国宇宙機関およびJAXAの動向

アメリカではcFS、欧州ではSAVOIR、中国ではCAST flight Software等のフライトソフトウェアへの採用が検討されている。

RFID TAG Encoding Specification

RFID（無線自動識別）タグ符号化仕様

Blue Book
CCSDS 881.1-B-1
発行月：2017年10月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙ミッションにおける宇宙機関間の相互物品管理等に有効なRFIDタグの符号化仕様を規定したものである。

【内容】

国際宇宙ステーション（ISS）における物品管理システム（ISS Inventory Management System：IMS）の拡大運用（自動物品管理等）を対象としており、ISSの現行のRFID技術と互換性をもたせている。CCSDS推奨RFID技術は、物品管理はもとより、ISS搭載センサーやISS航法支援機器等にも応用可能な技術であり、宇宙機関間における相互物品管理の促進及び効率化に有用なものである。

本推奨規格では主に以下の内容について説明している。

- 宇宙ミッションにおける物品管理で必要となるRFID及びその符号化の概要
- 国際宇宙ステーション物品管理システム（IMS）で使用しているRFID仕様（CCSDS推奨符号方式）

現行IMSのRFIDタグ構造を表1に、本推奨規格で規定するRFIDタグフィールド仕様を表2に示す。また付録には、実装適合性ステートメント、セキュリティ及び特許に関する考慮事項、符号化例、RFIDタグフィールドのField Typeに用いられているECMA-113 character符号化表を掲載している。

表1: 現行IMSのRFIDタグ構造

Owner / Program name	Database-ID	Owner-ID	Program-ID		Unique-ID (Serial Number ID)					Owner-ID	Object-ID	
	byte 0	*byte 1*	*byte 2*	*byte 3*	*byte 4*	*byte 5*	*byte 6*	*byte 7*	*byte 8*	*byte 9*	*byte 10*	*byte 11*
IMS	I	X	C	P						J		
IMS Russian	I	X	0	0						R		
coffee	I	X	F	2								
coffee	I	X	F	3								
food BOB	I	X	F	E								
SF Tucker/Kimmel	I	H	R	F						J		
CHeCS BPECG hardware	I	X	C	B						J		
SF Water Kits	I	X	W	M	S					J		
SD4 Bara medical	M	H	M	S								
MCT Sam Hussey/GRC	M	M	C	T								
EV4 testing	I	E	V	J								
R2 testing	I	R	2	T	E	S	T					
		<---	B	A	R	C	O	D	E	--->		

表2: RFIDタグフィールド仕様

Tag ID Field Address	Field Type	Field	Description	Namespace Administrator
$00_h - 07_h$	8-bit ECMA-113 character	Database-ID	ID of the database	SANA Registry (See table B-1)
$08_h - 0F_h$	8-bit ECMA-113 character	Owner-ID Byte 0	Byte 1 of 2-byte Owner-ID	Database-ID Owner
$10_h - 17_h$	8-bit ECMA-113 character	Program-ID Byte 0	Byte 1 of 2-byte Program-ID	Database-ID Owner
$18_h - 1F_h$	8-bit ECMA-113 character	Program-ID Byte 1	Byte 2 of 2-byte Program-ID	Database-ID Owner
$20_h - 27_h$	8-bit ECMA-113 character	Serial-ID Byte 0	Byte 1 of 5-byte or 6-byte Serial-ID	Database-ID Owner
$28_h - 2F_h$	8-bit ECMA-113 character	Serial-ID Byte 1	Byte 2 of 5-byte or 6-byte Serial-ID	Database-ID Owner
$30_h - 37_h$	8-bit ECMA-113 character	Serial-ID Byte 2	Byte 3 of 5-byte or 6-byte Serial-ID	Database-ID Owner
$38_h - 3F_h$	8-bit ECMA-113 character	Serial-ID Byte 3	Byte 4 of 5-byte or 6-byte Serial-ID	Database-ID Owner
$40_h - 47_h$	8-bit ECMA-113 character	Serial-ID Byte 4	Byte 5 of 5-byte or 6-byte Serial-ID	Database-ID Owner
$48_h - 4F_h$	8-bit ECMA-113 character	Owner-ID Byte 1	Byte 2 of 2-byte Owner-ID	Database-ID Owner
$50_h - 5F_h$	16-bit integer	Object-ID	[0 – 65535]	Database-ID Owner [0 : 32767] SANA Registry (See table B-2) [32768 : 65535]

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

新規文書につき、現在情報を収集中。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES –HIGH DATA RATE 3GPP AND WI-FI LOCAL AREA COMMUNICATIONS

「宇宙オンボードインタフェースサービス(SOIS) –高速3GPPとWi-Fiローカルエリア通信」

Blue Book
CCSDS 883.0-B-1
発行月：2022年2月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、宇宙探査等の宇宙ミッションで使用する相互運用可能な高速無線近傍ネットワーク通信システムについて、その概要および方式の選択指針を提供するものである。

【内容】

高速無線近傍ネットワーク通信は、宇宙探査や月・惑星表面での使用が見込まれており、1つのノード当たりで最大100Mbps、トータルスループットで最大1Gbps程度の高速通信を想定している。

本推奨規格は地上でも広く使われているIEEE802.11シリーズと3GPPを適用勧告している。IEEE 802.11（Wi-Fi）は、主に短距離の屋内ネットワーク向けに設計され、比較的低質量であまりシステムが複雑でないことから広範囲で利用されている。一方、3GPPは、主に長距離の屋外ネットワーク向けに設計され、相互運用性、長距離運用、高速通信に適している。

なお、ワイヤレス周波数の選択に際しては、月裏側での電波天文観測に支障をきたさないよう、SFCG勧告32-2が勧告する周波数以外をSZM領域（Shielded Zone of the Moon）で利用する場合にはSFCG側との事前調整を求めている。

表1 ワイヤレス技術の性能評価

Wireless Standard	Internal Comms	External Comms	Low Network Mobility	High Network Mobility	Non-Critical	Mission Critical	Midrate Data	High-Rate Data	Very High Rate	Range S	Range M	Range L	Range VL
802.11ah	x	x	x		x		x (note 2)				x	x	x
802.11n (note 4)	x	x	x		x		x			x	x		
802.11ac	x	x	x		x			x		x	x		
802.11ax	x	x	x		x	x			x	x	x		
802.11ad	x	x	x		x				x	x			
802.11ay	x	x	x		x				x (note 1)	x			
802.11be	x	x	x		x	x			x (note 1)	x	x		
LTE	x	x		x	x	x		x			x	x	x
5G	x	x		x	x	x (note 3)			x		x	x	x

NOTES
1 Extremely high throughput (EHT).
2 802.11ah @ 900 MHz HaLow is low to midrate throughput.
3 5G is more mission-critical than 802.11ax or LTE and is comparable to wireline-grade latency and resilience.
4 This Recommended Standard specifies recommendations for IEEE 802.11n, 802.11ac, 802.11ax, and 3GPP LTE, in coordination with SFCG and applicable Radio Astronomy representatives. Mission designers should only consider IEEE 802.11n products for legacy system maintenance and operational support.

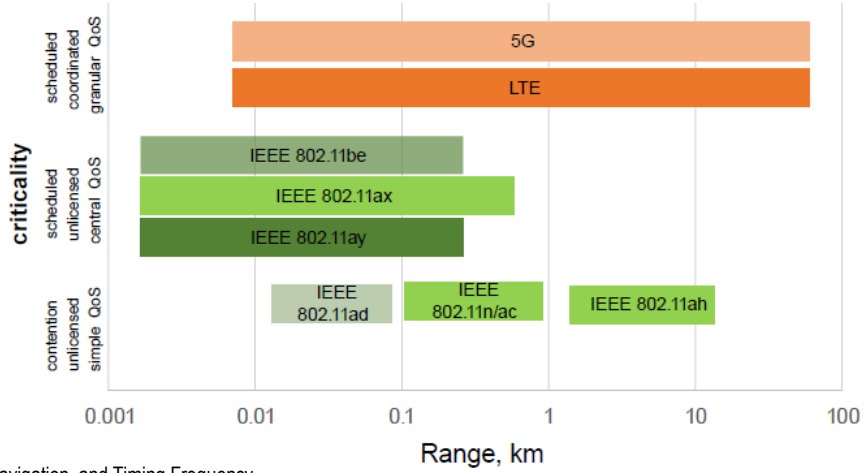


図1 近傍ネットワーク通信範囲

各国宇宙機関およびJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

3GPP: 3rd Generation Partnership Project
SFCG勧告32-2: Communication and Positioning, Navigation, and Timing Frequency Allocation and Sharing in the Lunar Region

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – SUBNETWORK PACKET SERVICE

「サブネットワークパケットサービス」

Magenta Book
CCSDS 851.0-M-1
発行月：2009年12月
ISO 18425:2013

【概要】

宇宙機オンボードのサブネットワークにおいてデータをパケット転送する際の提供サービス及びそのインターフェースについて規定したもの。

【内容】

宇宙機オンボードインターフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Service：SOIS）のサブネットワークにおける5サービス（図1）の内容が、それぞれCCSDS 851.0-M-1～855.0-M-1に示されている。本推奨実践規範はこのうち、パケットサービスに関し、サービスクラス、各種サービスパラメータを示している。それぞれの概要は以下の通りである。

「サブネットワークパケットサービス（Subnetwork Packet Service）」は、以下の4つのサービスクラスによって優先制御／伝送路識別される。

●Best-effort：1回のみの送信であり、確実な伝送は保証されない。優先制御はPriority parameterが使用される。

●Assured：送信先への伝送が保証される。優先制御はPriority parameterが使用される。

●Reserved：優先制御はPriority parameterが使用される。伝送には時分割等によるチャンネルが使用される。

●Guaranteed：送信先への伝送が保証される。伝送には時分割等によるチャンネルが使用される。

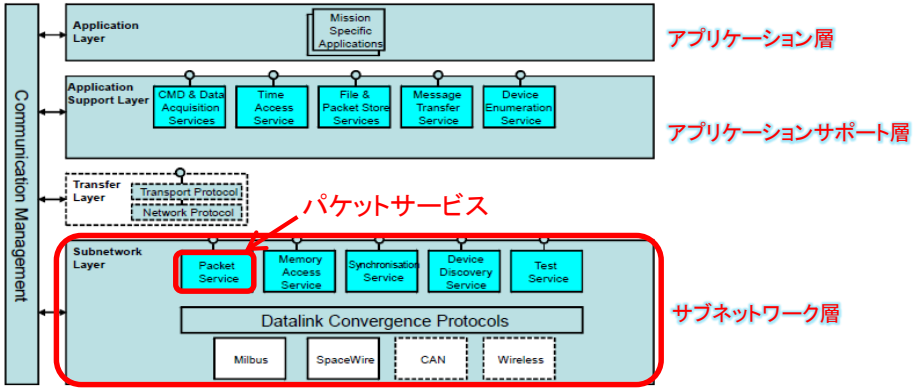


図1：サブネットワーク層のサービス相関図

また、パケットサービスでは以下のプリミティブを使用される。

●PACKET_SEND.request　：SDUの送信要求。この要求をもとに、SDUをカプセル化し、PDUを生成する。

●PACKET_RECEIVE.indication　：パケット受信・受渡し完了通知。受信したPDUの内容をユーザプロトコルに渡したことを示す。

●PACKET_FAILURE.indication　：パケット伝送の失敗通知。Assured/Guaranteedサービスにおいて、SDUの伝送が失敗したことを示す。

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

ESA（欧州宇宙機関）が本推奨実践規範を採用することを計画中。本Magenta Bookの採用にあたっては、各機関において具体的な使用データバス（1553B、SpW等）の規格と合わせた形で、規定し、検証する必要がある。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – SUBNETWORK MEMORY ACCESS SERVICE

「サブネットワークメモリアクセスサービス」

Magenta Book
CCSDS 852.0-M-1
発行月：2009年12月
ISO18426

【概要】

宇宙機オンボードサブネットワークにおいてメモリアクセスを行う際のサービス及びサービスインターフェースを定義している。

【内容】

宇宙機オンボードインターフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Service：SOIS）のサブネットワーク層では、図1に示すように上位層に対して幾つかのサービスを提供している。これらのサービスは、Spacewireや1553Bなど各種データリンク層のプロトコルを利用するが、その利用方法、実装、及びデータリンク層については、SOISの範疇外である。

本推奨実践規範は、上記サービスのうち、メモリアクセスについて定義するものである。「サブネットワークメモリアクセスサービス（Subnetwork Memory Service）」は、ユーザエンティティ（通信機器）が、データリンク上またはサブネットワーク上の通信ノードのメモリからデータを取り込んだり修正する手段を提供する。

本サービスでは、「リソース予約」「優先度」「応答確認」「検証」「認証」の5項目のQoS（サービス品質）機能を採用している。

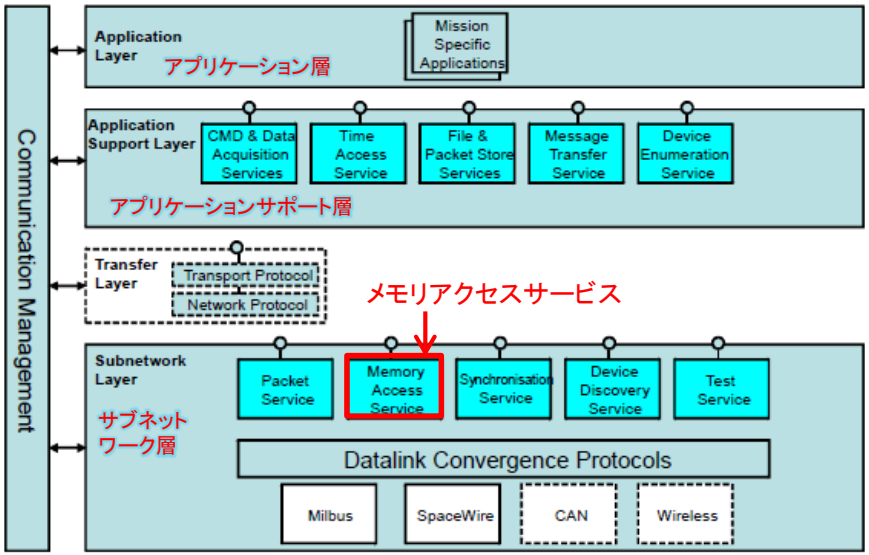


図1：サブネットワーク層のサービス相関図

なお、本サービスでは、以下のプリミティブを使用する。

- READ.request　（要求：メモリからのデータの取込み）
- READ.indication　（通知：メモリからのデータ送付）
- WRITE.request　（要求：メモリのデータの修正・変更）
- READ/MODIFY/WRITE.request（要求：メモリでのデータ取込み・修正・書込み）
- MEMORY_ACCESS_RESULT.indication（通知：メモリアクセスの結果通知）

各国宇宙機関およびJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）のみが本推奨実践規範の採用を計画中である。本マジェンタブックの採用にあたっては、各機関において具体的なデータバス（1553B、SpW等）の規格と併せた形で、規定し、検証する必要がある。

SPACECAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – SUBNETWORK SYNCHRONIZATION SERVICE

「サブネットワーク同期サービス」

Magenta Book
CCSDS 853.0-M-1
発行月：2009年12月
ISO18427

【概要】

宇宙機オンボードサブネットワークにおいて時刻同期及びイベント通知を行う際のサービス及びサービスインターフェースを定義している。

【内容】

宇宙機オンボードインターフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Service：SOIS）のサブネットワーク層では、図1に示すように上位層に対して幾つかのサービスを提供している。これらのサービスは、Spacewireや1553Bなど各種データリンク層のプロトコルを利用するが、その利用方法、実装、及びデータリンク層については、SOISの範疇外である。

本推奨実践規範は、上記サービスのうち、時刻同期及びイベント通知について定義するものである。「サブネットワーク同期サービス（Subnetwork Synchronization Service）」は、ユーザエンティティが、サブネットワークのデータシステムに共通の時刻情報を取得するための手段をベストエフォート品質で提供する。

なお、本サービスでは、以下のプリミティブを使用する。

- TIME.request　（要求：ユーザからの時刻データ取込み依頼）
- TIME.indication（通知：ユーザへの時刻データ送付）
- EVENT.request（要求：サブネットワークイベントの通知／中止依頼）
- EVENT.indication（通知：ユーザへのイベント通知）

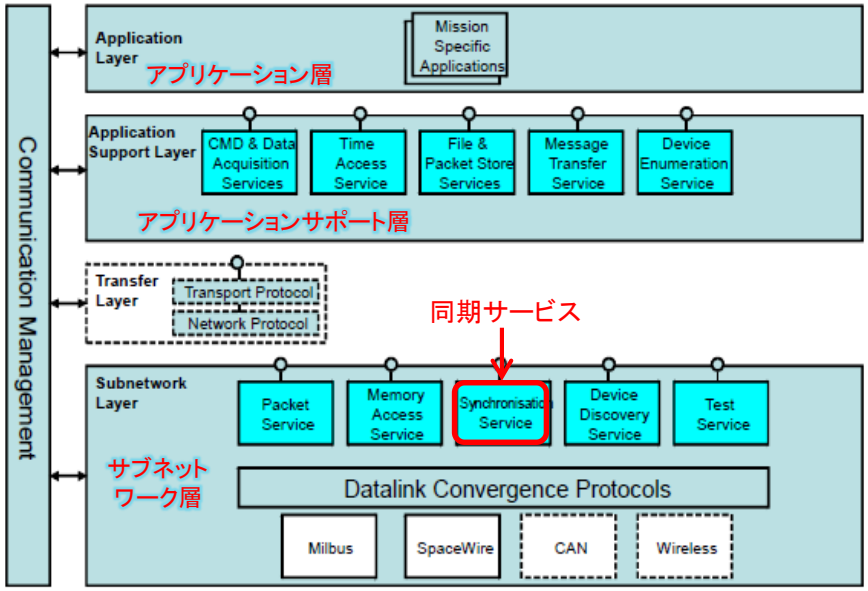


図1：サブネットワーク層のサービス相関図

各国宇宙機関およびJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）のみが本推奨実践規範の採用を計画中である。本マジェンタブックの採用にあたっては、各機関において具体的なデータバス（1553B、SpW等）の規格と併せた形で、規定し、検証する必要がある。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICIES – SUBNETWORK DEVICE DISCOVERY SERVICE

「サブネットワークデバイスディスカバリサービス」

Magenta Book
CCSDS 854.0-M-1
発行月：2009年12月
ISO18428

【概要】

宇宙機オンボードサブネットワークにおいてデバイスの検出（接続検出）を行う際のサービス及びサービスインターフェースを定義している。

【内容】

宇宙機オンボードインターフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Service：SOIS）のサブネットワーク層では、図1に示すように上位層に対して幾つかのサービスを提供している。これらのサービスは、Spacewireや1553Bなど各種データリンク層のプロトコルを利用するが、その利用方法、実装、及びデータリンク層については、SOISの範疇外である。

本推奨実践規範は、上記サービスのうち、デバイスの検出（接続検出）について定義するものである。「サブネットワークデバイスディスカバリサービス（Subnetwork Device Discovery Service）」は、サブネットワークの各ユーザ機器、またはサブネットワーク内のメカニズムによって実行される。あるユーザ機器によって本サービスが実行された場合は、そのユーザ機器にデータが返される。また、本サービスはベストエフォート品質で提供される。

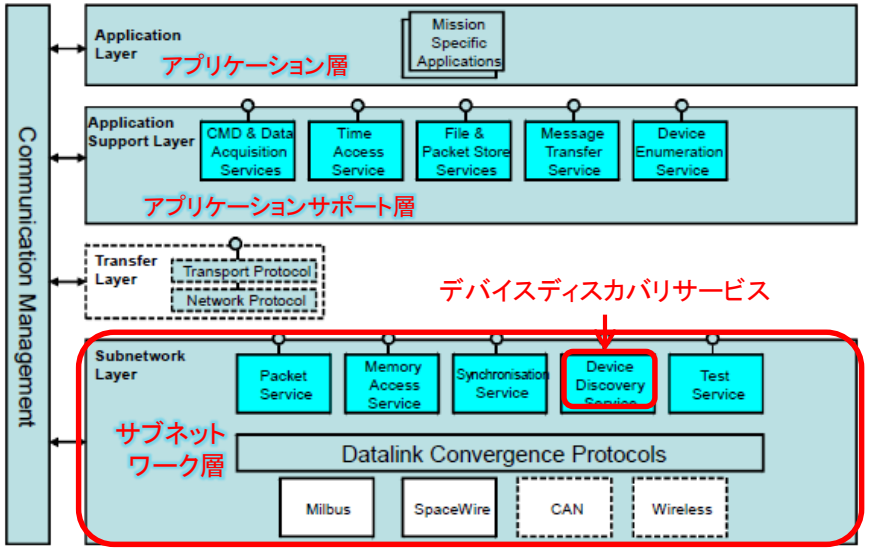


図1：サブネットワーク層のサービス相関図

なお、本サービスでは、以下のプリミティブを使用する。

- DEVICE_DISCOVERY.request（要求：サブネットワークからのデバイスID検出）
- DEVICE_DISCOVERY.indication（通知：デバイスIDとメタデータを返送）
- DEVICE_DISCOVERY_LOSS.indication（通知：デバイスの喪失状態を通知）

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

ESA（欧州宇宙機関）のみが本推奨実践規範の採用を計画中である。本マジェンタブックの採用にあたっては、各機関において具体的なデータバス（1553B、SpW等）の規格と併せた形で、規定し、検証する必要がある。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – SUBNETWORK TEST SERVICE

「サブネットワーク検証サービス」

Magenta Book
CCSDS 855.0-M-1
発行月：2009年12月
ISO18436

【概要】

宇宙機オンボードサブネットワークにおいて機能検証を行う際のサービス及びサービスインターフェースを定義している。

【内容】

宇宙機オンボードインターフェースサービス（Spacecraft Onboard Interface Service：SOIS）のサブネットワーク層では、図1に示すように上位層に対して幾つかのサービスを提供している。これらのサービスは、Spacewireや1553Bなど各種データリンク層のプロトコルを利用するが、その利用方法、実装、及びデータリンク層については、SOISの範疇外である。

本推奨実践規範は、上記サービスのうち、機能検証について定義するものである。「サブネットワーク検証サービス（Subnetwork Test Service）」は、ユーザ機器によって実行され、検証結果はそのユーザ機器に返される。

また、本サービスはベストエフォート品質で提供される。

なお、本サービスでは、以下のプリミティブを使用する。

- TEST.request　（要求：検証を要求）
- TEST.indication（通知：検証結果を通知）

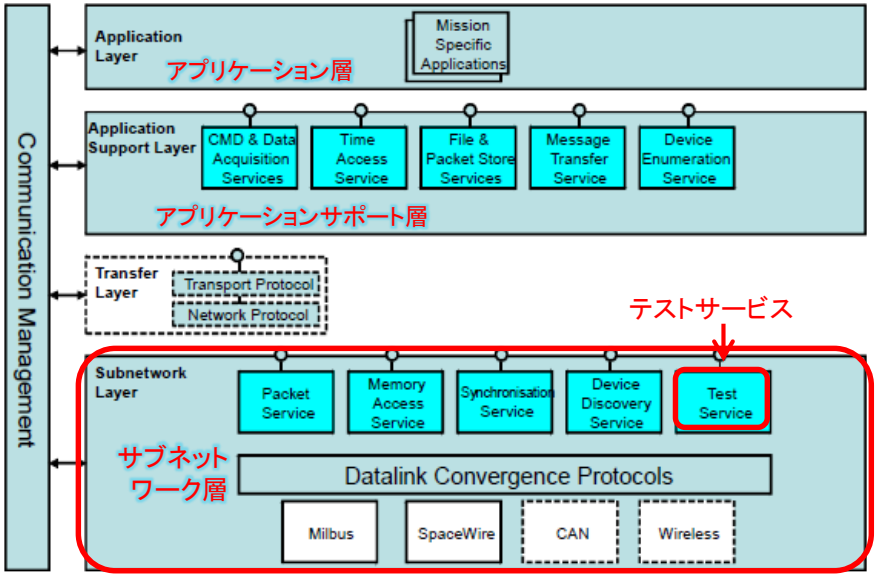


図1: サブネットワーク層のサービス相関図

各国宇宙機関およびJAXAの動向

ESA（欧州宇宙機関）のみが本推奨実践規範の採用を計画中である。本マジェンタブックの採用にあたっては、各機関において具体的なデータバス（1553B、SpW等）の規格と併せた形で、規定し、検証する必要がある。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES – RFID-BASED INVENTORY MANAGEMENT SYSTEMS

「RFIDによる在庫管理システム」

Magenta Book
CCSDS 881.0-M-1
発行月：2012年5月
ISO 18382

【概要】

本推奨実践規範は、宇宙ミッションで使用する物資の在庫管理に用いる無線ICタグ（RFID）の通信プロトコルおよび規格について、推奨内容を記述したものである。

【内容】

本文書が推奨する在庫管理システムは、地上および宇宙機内、どちらの在庫管理にも適用できるように、860MHzから960MHzのUHF帯のパッシブタグ（電源を必要としないタイプ）を採用している。本推奨実践規範の目的は、将来的な相互支援（クロスサポート）運用を視野に入れ、宇宙機関間におけるICリーダーとICタグの相互運用性を確保することである。

表1に示す通り、最も一般的な標準規格であるISO18000-6C（EPCglobal Class 1 Gen-2）に準拠した仕様を推奨しているので、民間企業・業者の製品との相互運用性も確保できる。

Frequency Band	LF 125/134.2 kHz	HF 13.36 MHz	HF 433 MHz	UHF 860-960 MHz	UHF 2.45 GHz
ISO	ISO 18000-2A ISO 18000-2B	ISO 18000-3	ISO 18000-7	ISO 18000-6A ISO 18000-6B ISO 18000-6C	ISO 18000-4
EPCglobal				Class 0 Class 1 Class 1 Gen 2	

表1: 無線ICタグの周波数帯の国際標準一覧

地上におけるサプライチェーン*管理（フライト機器、構成要素）	ミッションの物資（地上用またはフライト用）を追跡管理する
宇宙機による補給物資輸送	宇宙機から移送した補給物資の所在を正確に追跡する
機器類・消耗品の資産監査	自動的に在庫管理を行い、消耗品・機器類の補給レベルを管理する
機器類・消耗品の保管場所の特定	消耗品・機器類の保管場所を示し、クルーの作業負荷を低減（最小限化）させる
医療用補給物品の維持・管理	医療用物資の管理を自動的に行い、保管場所の特定や消費期限を管理する
部品の特定と関連付け	膨大な数の部品を瞬時に識別し、在庫データベースに関連付ける
科学実験サンプルの在庫物品	正確に科学実験サンプルの在庫を識別し、保管場所を示す
処分すべき物品の追跡管理	在庫品の識別を自動で行う

表2: 無線ICタグの利用例

サプライチェーン*： 原材料・部品の調達から、製造、納品、在庫管理までの製品の全体的な流れ

各国宇宙機関及びJAXAの動向

本推奨実践規範は、ESA（欧州宇宙機関）が採用を計画中である。

宇宙機のオンボードインターフェースサービスについては、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS 850.0-G-2）にその概要が記載されている。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SYSTEMS ー LOW DATA-RATE WIRELESS COMMUNICATIONS FOR SPACECRAFT MONITORING AND CONTROL

「宇宙機状態監視及び制御用低データレート無線通信」

Magenta Book
CCSDS 882.0-M-1
発行月：2013年5月
ISO 20205

【概要】
衛星の地上試験時の機器状態監視／制御、ならびに軌道上における宇宙機オンボード機器の状態監視及び制御に利用可能な低ビットレート（250kbps以下）かつ低消費電力（10mW以下）のワイヤレス通信技術の推奨規格を定めたものである。

【内容】
OSIモデルにおける物理層とMAC層（IEEEのStd802.15.4を参照）を含むプロトコル群について記述している（ワイヤレス通信技術の一般的な概念についてはIEEE802.15.4-2006やISA100.11aを推奨）。また、低データレートのワイヤレス通信技術を用いたM&C（Monitoring and Control）アプリケーションの有効性や、同技術の相互運用性について説明している。

機器間接続用のハーネスの重量は増加傾向にあり、組立には多大な労力、費用、時間が必要となってきているが、無線通信技術を導入することで、これらを低減することができる。本実践規格の目的は、スケーラブルな低ビットレート無線通信インフラ構築のための枠組みの提供と、同一周波数帯を使用する複数の無線ネットワークの運用促進である。物理層とMAC層の相互接続性を確保することで、センサー種別やアプリケーションに依らないデータ通信が可能となる。

●コンテンションベースとスケジュールチャネルアクセス
無線センサーネットワークのメディアアクセス方式には、主に2つの方式が存在する。1つは「コンテンションベース（ランダムアクセス）」であり、もう一つは「スケジュールアクセス」である。前者は全体を制御する中央コントローラが不要で制御が簡単なため、ad-hocネットワーク向きである。CSMA-CA方式が最も良く使われている。バーストトラヒックの転送には向いているが、遅延量を保証することができない。一方、後者はスケジューリングを行う中央コントローラが必要で制御が複雑となるが、QoS（Quality of Service）制御が可能である。TDMA方式が最も良く使われている。遅延量を保証することができるが、バーストトラヒックの転送には向いていない。

●その他
暗号化には高い演算能力や消費電力が必要となるため、セキュリティの提供にはこれらの要求とのバランス（トレードオフ）を考える必要がある。本規格では、共通鍵暗号方式による暗号化について記述している。また、IEEE 802.15.4のCSMA-CAモードで使用されているQoS制御のメカニズム（GTS、Guaranteed Time Slotを使用した方式）について主に記述している。

本推奨実践規範では、物理層とMAC層にのみフォーカスしている。以下により、2つのシステムによる周波数帯の共有や、同一の無線ネットワークへの接続が可能となる。

- シングルホップコンテンションベース通信向きのアプリケーション： 物理層とMAC層はIEEE 802.15.4-2011に準拠すること。2.4GHz帯を使用すること。
- シングルホップスケジュールアクセス通信向きのアプリケーション： 物理層とMAC層はISA1000.11a-2011に準拠すること。
- 制約事項／ハザード： 使用周波数帯、送信電力、ロケーション等を考慮したリスクアセスメントを実施すること。

【特記事項】 ミッション運用に必要な高速／低速データ用のワイヤレス通信技術情報として有益な情報。

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

JAXA及び各国宇宙機関では、本推奨実践規範については、まだ採用予定はない。

SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES

「宇宙機オンボードインターフェースサービス」

Green Book
CCSDS 850.0-G-2
発行月：2013年12月

本解説資料では、宇宙機オンボードインターフェースサービス（SOIS）による標準化の目指す概念やその根拠を冒頭第1章に示し、第2章にて図1に示すアーキテクチャと、そこに流れるコンセプトを紹介している。デバイス仮想化やプラグ＆プレイ、また、図2に例示するようなアドレス指定方式などであり、各々の視点でのアーキテクチャ詳説を行っている。

第3章、第4章では、アプリケーションサポート層・サブネットワーク層が備えるべき各サービスについて、第5章では電子ICDとも呼べる電子データシート(EDS)について概説し、各標推奨規格や実践規範に導いている。また最後にSOISの利用について、既存の例や他の規格との比較・関連に言及しながら具体的な例示説明を試みている。

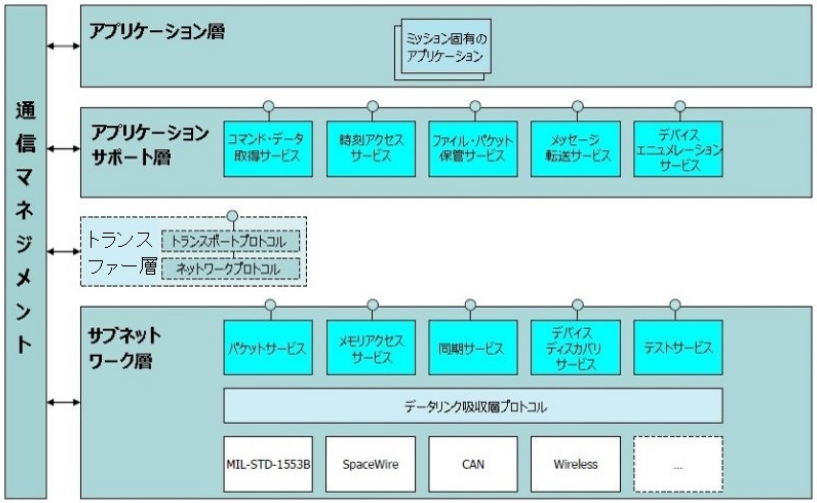


図1: SOIS参照通信アーキテクチャ（各層のサービス）

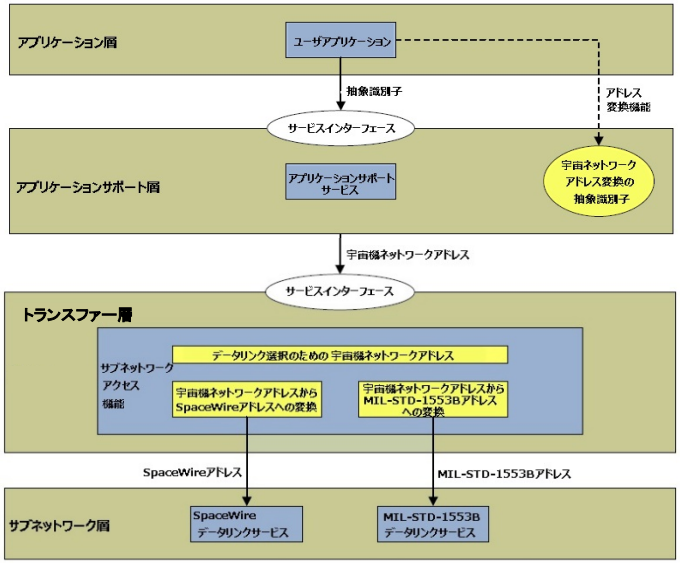


図2: アプリケーションサポート層
およびサブネットワーク層のアドレス指定方式

WIRELESS NETWORK COMMUNICATIONS OVERVIEW FOR SPACE MISSION OPERATIONS (1/2)

「宇宙ミッション運用のためのワイヤレスネットワーク通信の概要」

Green Book
CCSDS 880.0-G-3
発行月：2017年5月

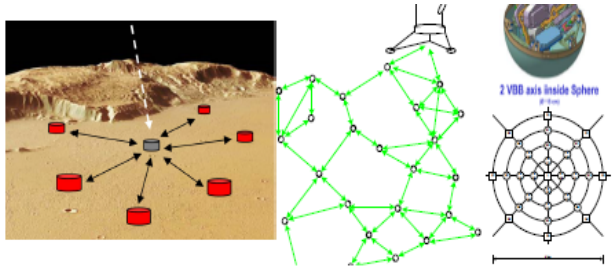
本解説資料は、CCSDSが推奨する宇宙ミッションのためのワイヤレスネットワーク通信に関する予備知識について解説するものであり、宇宙ミッションにオンボードワイヤレス通信技術を適用する可能性と利点について考察し、宇宙ドメインにおける主な利用例を示している。さらに宇宙利用の諸要件を満たすような現行の技術や、地上商業規格の活用についても評価している。

本解説資料は下記内容から構成されている。

第1章 本解説資料の目的、範囲、根拠、用語
第2章 宇宙ミッションにワイヤレスネットワークが有効な理由
第3章 利用ケース*、および有効な利用シナリオ
第4章 ワイヤレス通信技術の基礎理論
第5章 商用ワイヤレス通信規格の概要
第6章 宇宙機における電磁干渉（EMI）及び電磁適合性（EMC）の影響
第7章 本解説資料のまとめ／ワイヤレス通信の勧告

*利用ケースはANNEX D～Fにも記載されている

【利用例】国際宇宙ステーション（ISS）に収納された物資輸送用バッグ（CTB）の在庫管理



【利用シナリオ】惑星探査におけるワイヤレスセンサネットワーク

WIRELESS NETWORK COMMUNICATIONS OVERVIEW FOR SPACE MISSION OPERATIONS (2/2)

「宇宙ミッション運用のためのワイヤレスネットワーク通信の概要」

Green Book
CCSDS 880.0-G-3
発行月：2017年5月

地上における市場の隆盛からもわかるように、ワイヤレスネットワーク通信技術は極めて広範囲な分野での使用が可能である。これまで宇宙分野では主に宇宙と地上間リンクでのみ使用されてきたが、今後は宇宙ドメインにおいてもあらゆる場面で使用が進むことが予想される。

CCSDSではその使用領域を以下のように分類している。

a) **宇宙機内**: 宇宙機内や居住区域内部の極短距離ワイヤレスリンクとネットワーキング、宇宙機間の近接通信用ワイヤレスリンクとネットワーキング（数百メートルレンジまで）

b) **宇宙機間**: 短・中距離にある宇宙機間（数十キロメートルレンジまで）

c) **惑星表面間**: ワイヤレスリンクとネットワーキング（数キロメートルレンジまで）

1) 惑星表面上の探査車（RV）や居住空間と、有人船外活動（EVA）とのローカルリンク
2) RVと居住区域間のリンク（両者が近くにいる場合）
3) 独立したローカルシステム間のリンク（居住区域、ロボット、外部資産など）

d) **惑星表面と探査機間**: ワイヤレスリンクとネットワーキング

工学的観点から見ると、ワイヤレス通信技術は標準ベースにせよ独自開発にせよ選択肢が山ほどあるが、ワイヤレスプロトコルの各機能や制限、開発シナリオの典型例などをまとめた本書を参照することで評価工数の大幅な削減につながり、ワイヤレスデータ通信やネットワーキングにおいて協力する必要のある個々のシステム間の相互運用性を大いに改善できると期待される。

LOSSLESS DATA COMPRESSION

「データの可逆圧縮」

Blue Book
CCSDS 121.0-B-3
発行月：2020年8月
ISO 15887:2013

【概要】

本推奨規格は、デジタルデータを可逆圧縮する際のソースコーディングの圧縮アルゴリズム※1及び解凍（復元）方式を定義するものである。（※1オンボードソースパケット用に最適化されたアルゴリズム）

【内容】

可逆圧縮（Lossless data compression）は、データの欠落が起こらないデータ圧縮方式である。可逆圧縮は、元データの内容はそのまま残して、データソース内に存在する重複情報を除去することでデータサイズを低減させる方式であり、データを解凍（復元）する際には、除去した重複情報を回復させて元データの再現を行うため、圧縮前の状態に復元することができ、復元処理の際にデータ列に歪みが生じることが全くないことから、画像の正確性が要求されるミッションのデータ圧縮には可逆圧縮を用いることが推奨される。（本推奨規格）

ソースコーディング処理は、「前処理」と「エントロピー符号化」から成る（図1参照）。エントロピー符号化については第3章に、前処理については第4章に定義されている。データセットとパケットフォーマットについては5章に、ファイルフォーマットについては7章に定義されている。データ可逆圧縮技術の符号化ビットレート性能（ビット/サンプル）に寄与する要因は、前処理段階におけるデータサンプル間で除去される相関の量と、エントロピー符号化器の符号化効率の2つである。

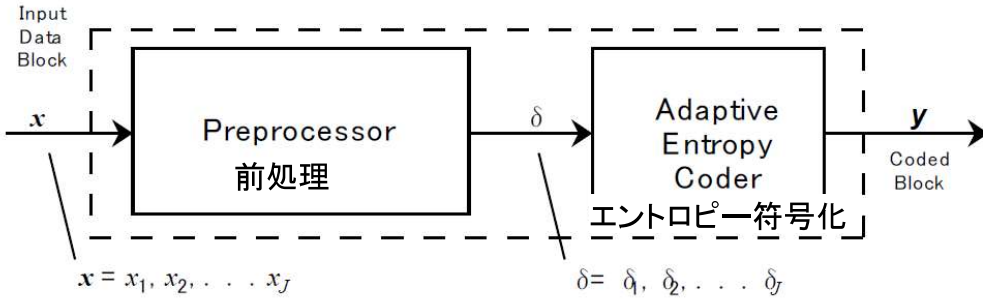


図1: ソースコーディング方式

各国宇宙機関及びJAXAの動向

本標準は、米国のNASA、NASA以外の機関、国防省が現在使用中。

【前処理】

前処理の機能は、データを相関解除し、それらを好ましい確率分布で非負の整数に再フォーマットすることである。予測とマッピングという2つの関数で構成される。

【エントロピー符号化】

基本の符号化はゴロム・ライス符号を用いた可変長コードである。符号化のオプションとして、FS（Fundamental Sequence）、分割サンプルなどが存在する。符号化されたデータブロックには、符号化IDが付与され、このIDをもとにエンコードされる。符号化の選択は、サンプルデータにより圧縮されたデータの最小化に適した符号化が選択される。

IMAGE DATA COMPRESSION

「画像データ圧縮」

Blue Book
CCSDS 122.0-B-2
発行月：2017年9月
ISO 26868

【概要】

本推奨規格は、宇宙機搭載ペイロードから得られるデジタル画像データ（2次元空間データ）に適用するデータ圧縮アルゴリズムを定義し、圧縮データをどのようなフォーマットでセグメント符号化するかを規定している。

【内容】

本推奨規格のデータ圧縮アルゴリズムは、離散ウェーブレット変換（Discrete Wavelet Transform：DWT）とビットプレーン・エンコーダ（Bit-Plane Encoder：BPE）から構成され（図1参照）、宇宙仕様という観点から、圧縮性、高速・低電力送信、高レート機器への対応等の点で、JPEG 2000（画像フォーマット国際標準規格）とは異なる。DWTの仕様は第3章に、BPEの仕様は第4章に詳述されている。なお、デジタル画像圧縮は、非可逆及び可逆方式があるが、本推奨規格では、どちらも適用可能である。

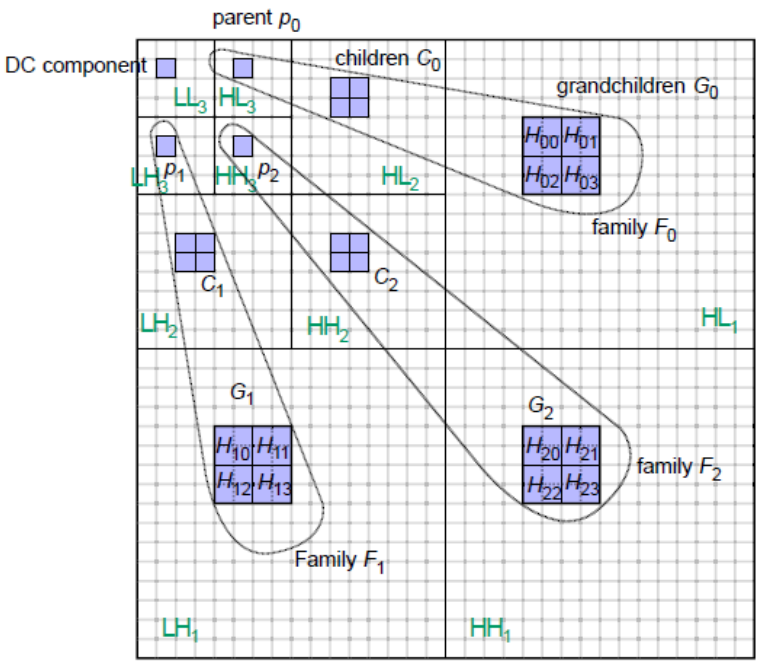


図2: ビットプレーン・エンコーダ

【ビットプレーン・エンコーダ：BPE】

ビットプレーンエンコーダ（BPE）は、ブロックと呼ばれる64個の係数のグループのウェーブレット係数を処理する。図2に、ブロックの例が陰影付きピクセルで示される。

本推奨規格では以下を定義。

- セグメントヘッダ
- DC係数の初期コーディング
- 各ブロックのACビット深度の指定
- ビットプレーンコーディング

【離散ウェーブレット変換：DWT】

本推奨規格では以下を定義。

- 1次元単一レベルDWTと逆DWT
- 2次元単一レベルDWTと逆DWT
- 2次元多レベルDWTと逆DWT

各国宇宙機関及びJAXAの動向

CNES（フランス国立宇宙センター）で採用を検討中。

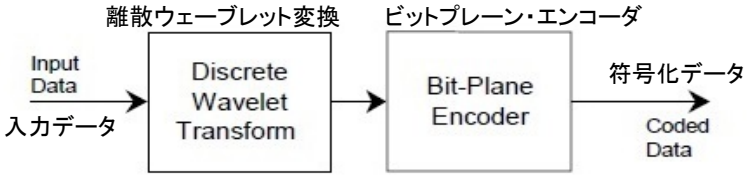


図1: 画像データ符号化方式

SPECTRAL PREPROCESSING TRANSFORM FOR MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION

「マルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像（3次元）圧縮のスペクトル前処理変換」

Blue Book
CCSDS 122.1-B-1
発行月：2017年9月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、発行済のCCSDS122.0-B-2(Image Data Compression)で定義された2次元の画像データの圧縮方式を利用したマルチスペクトルおよびハイパースペクトル画像（3次元）の圧縮方式を定義したものである。

【内容】

3次元画像データの圧縮は、図1に示すようにスペクトル変換と2Dエンコーダの部品から構成される。スペクトル変換の目的は、画像のスペクトル帯域間の類似性を利用して、2Dエンコーダによってより効率的に圧縮するために変換画像を作成する。 スペクトル変換方式には、4章で詳細に記述されている4つ（① Identity Transform、②Integer Wavelet Transform、③Pairwise Orthogonal Transform、④Arbitrary Affine Transform)がある。変換された各帯域のデータは2Dエンコーダ（5章で定義）によって独立して圧縮される。また、スペクトル変換の前に入力画像のビット幅を広げるためのUpshift stageとスペクトル変換されたデータを2Dエンコーダに適応させるためにビット幅を狭めるDownshift Stageが組み込まれている。圧縮されたデータは、可変長ヘッダーと符号化セグメントから構成されるCollectionと呼ばれるグループ毎に分けられる。図2に、圧縮データの構成例を示す。

この推奨規格では、圧縮プロセスの定義に加えて、非圧縮プロセスの重要な部分も記述されている。

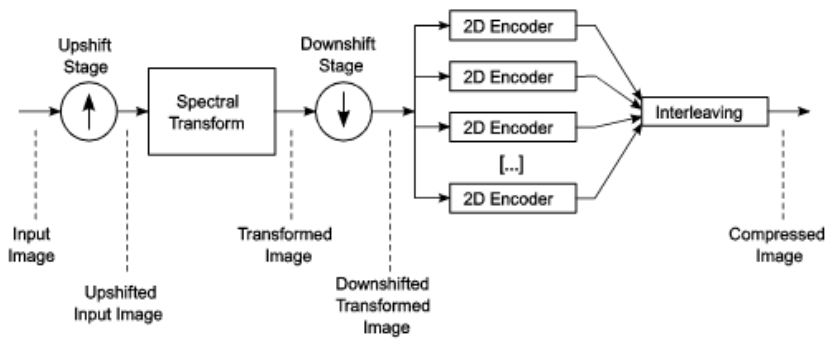


図1: データ圧縮方式の概要図

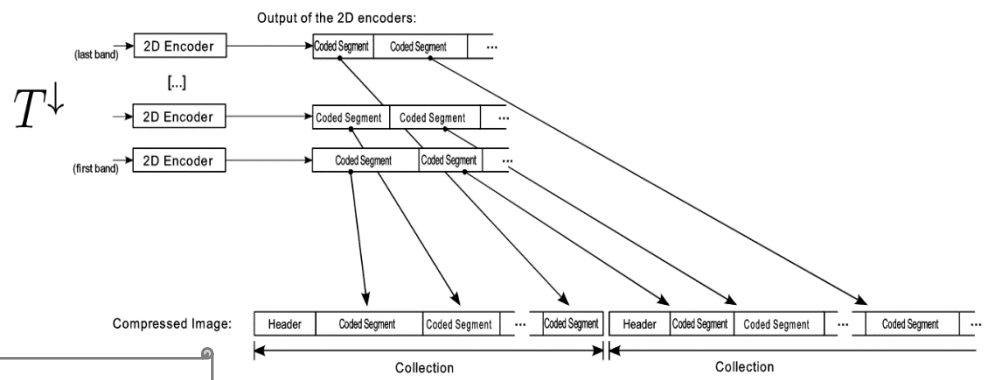


図2: 圧縮データの構成例

各国宇宙機関およびJAXAの動向
新規文書につき、現在情報を収集中。

LOW-COMPLEXITY LOSSLESS AND NEAR-LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION

Blue Book
CCSDS 123.0-B-2 Cor.3
発行月：2021年2月
ISO 18381:2013

「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル&ハイパースペクトル画像圧縮」

【概要】

本推奨規格は、3次元デジタル画像の圧縮アルゴリズムを規定するもので、宇宙機のペイロードで取得した3D画像データ（マルチスペクトル画像、ハイパースペクトル画像）の可逆圧縮/解凍方式、圧縮データフォーマットを定めている。

【内容】

圧縮処理は、「プレディクタ」と「エンコーダ」の2つの処理（図1を参照）からなる。「プレディクタ」では、3次元データの近傍サンプル値にもとづき、適応線形予測法（Adaptive Liner Prediction）で画像の予測値を算出する。圧縮画像は、ヘッダー（画像、予測、エントロピー符号のメタデータ）及びボディー（マッピングされた予測残差を無歪み圧縮してエントロピー符号で作成）から構成される。

この符号化されたビットストリーム（圧縮画像）を、CCSDSスペースリンクで伝送する場合、以下のプロトコルを用いることができる。

・スペースパケットプロトコル（Space Packet Protocol）
・CCSDSファイル転送プロトコル（CCSDS File Delivery Protocol: CFDP）
・AOS宇宙データリンクプロトコルのパケットサービス及びビットストリームサービス

本推奨規格の改訂では、クローズドループ量子化の導入と低エントロピー画像の圧縮性能向上が追記された。これらの技術により、ユーザは画質を選択して、圧縮処理を行うことができる。

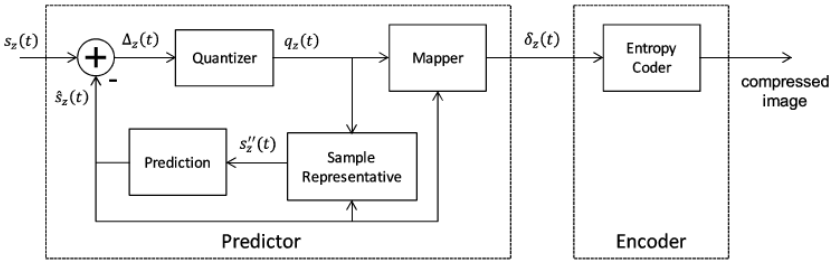


図1: データ圧縮方式

【プレディクタ】

プレディクタは入力画像サンプルから、予測サンプル値及びマッピングされた予測残差の集合を求める。本推奨規格では、この計算方法について定義する。

【エンコーダ】

マッピングされた予測残差を符号化するには、サンプル適応エントロピー符号化アプローチ（可変長バイナリコードワードを使用して符号化される）またはブロック適応エントロピー符号化アプローチ（マッピングされた予測残差のシーケンスはショートブロックに分割され、使用される符号化方法はブロック毎に独立して選択される）のいずれかを使用することができる。

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

ESA（欧州宇宙機関）/CNES（フランス国立宇宙センター）で採用を計画中。

ROBUST COMPRESSION OF FIXED-LENGTH HOUSEKEEPING DATA

「固定長ハウスキーピングデータのロバスト圧縮」

Blue Book
CCSDS 124.0-B-1
発行月：2023年2月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、宇宙機の固定長ハウスキーピングデータの入力バイナリ ベクトルシーケンスを可変長の出力バイナリ ベクトルシーケンスに可逆圧縮する方式を定めるものである。

【内容】

本圧縮方式は、ハウスキーピングテレメトリや宇宙機のペイロードデータによく見られるように、ある入力ベクトルから次の入力ベクトルまでビットのサブセットが変化しない傾向がある場合に効果的であり、アルゴリズムは入力ベクトルが固定長であることを除き、入力データの形式に制約は無い。

本方式は、圧縮処理における遅延を生じさせること無く、入力ベクトルごとにエンコードされたバイナリ出力ベクトルを生成するため、バイナリベクトルのストリームライブ伝送に適用することができる。圧縮器は、ライブストリーム伝送、低消費電力、メモリ要件を考慮し、必要な数学的演算をOR、XOR、AND、ビットシフトなどの非常に低レベルのビット演算で実装できるように設計されている。

図1に圧縮処理の概要を示す。

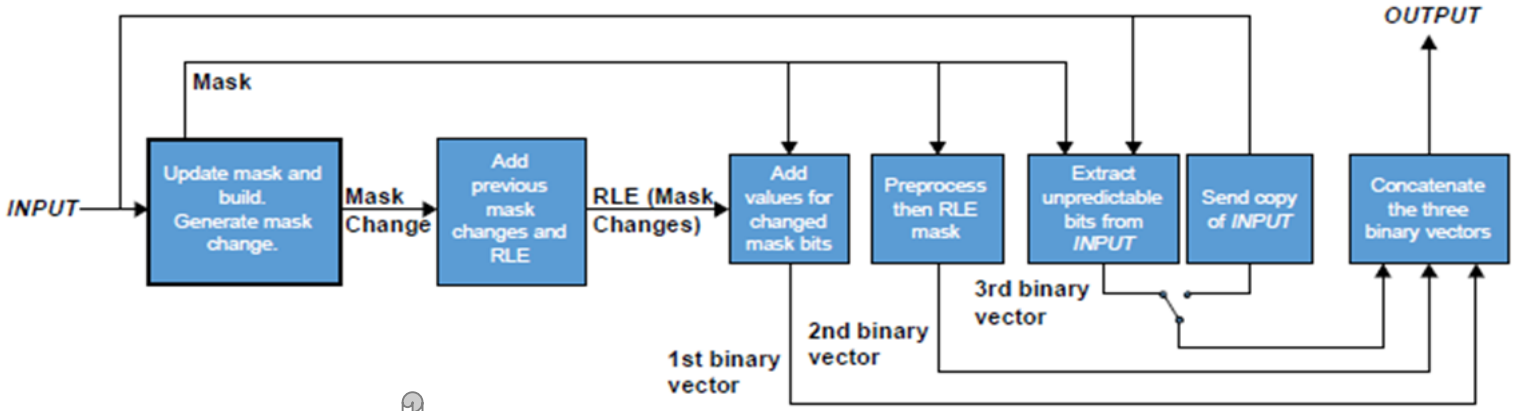


図1　圧縮処理の概要

各国宇宙機関およびJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING

「TM 同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」

Blue Book
CCSDS 131.0-B-4
発行月：2022年4月
ISO 22641

【概要】

本推奨規格は、宇宙機と地上間、及び宇宙機間の通信リンクを介したテレメトリ（TM）伝送のための同期・通信路符号化方式を規定するものである。

【内容】

「TM同期・通信路符号化副層（サブレイヤ）」は、スペースリンクを介してトランスファーフレームを転送するために、次の3つの機能を提供するもので、下記宇宙データリンクプロトコルと併せて使用される。

a) フレーム検証を含む誤り制御符号化／復号化
b) 同期
c) 擬似ランダマイズ／デランダマイズ

<u>CCSDS宇宙データリンクプロトコル</u>

・CCSDS 132.0-B-3： TM Space Data Link Protocol「TM宇宙データリンクプロトコル」
・CCSDS 732.0-B-4： AOS Space Data Link Protocol「AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル」
・CCSDS 732.1-B-2： Unified Space Data Link Protocol「統合的宇宙データリンクプロトコル(USLP)」

本推奨規格とOSI参照モデル、CCSDS階層および、CCSDSプロトコルとの対応関係を図1に示す。

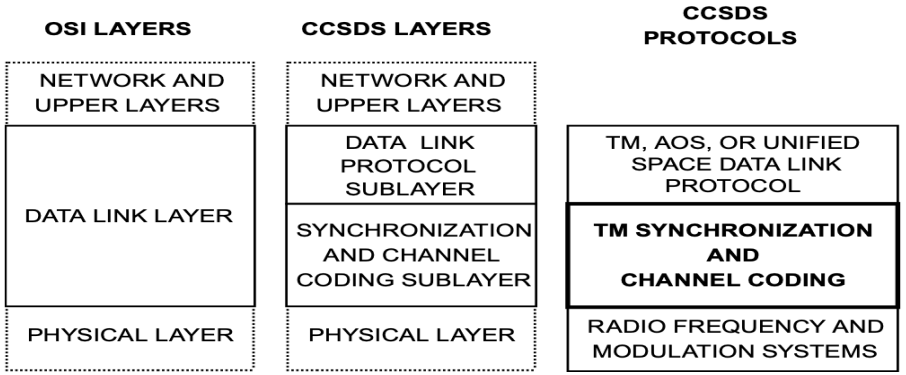


図1 OSI参照モデル/CCSDS階層/CCSDSプロトコルと、本規格の対応関係

TM：Telemetry　AOS：Advanced Orbiting System

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

世界の宇宙機関で広く採用され、JAXAでは通信設計標準の一部を成している。SOLAR-B以降、ほぼすべての宇宙機で採用しているプロトコルである。

CCSDS宇宙リンク同期・符号化に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	予備検討規格（Orange Book）
CCSDS 130.1-G TM Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TM同期およびチャネルコーディング(通信路符号化)- コンセプトと論理的根拠」	CCSDS 131.0-B TM Synchronization and Channel Coding 「TM同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	← 本文書
	CCSDS 131.2-B Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications 「高速テレメトリのための広範適用型高度符号化及び変調方式」	
CCSDS 130.12-G CCSDS Protocols over DVB-S2 – Summary of Definition, Implementation, and Performance 「DVB-S2を用いたCCSDSスペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.3-B CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard 「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.31-O CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2X Standard 「ETSI DVB-S2X規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」
		CCSDS 131.5-O Erasure Correcting Codes for Use in Near-Earth and Deep-Space Communications 「近地球通信及び深宇宙通信用の消失訂正符号」
CCSDS 130.11-G SCCC-Summary of Definition and Performance 「SCCC (Serially Concatenated Convolutional Code)-定義と性能に関する要約」		CCSDS 131.21-O Serially Concatenated Convolutional Codes – extension (SCCC-X) 「SCCC拡張 (SCCC-X)」
CCSDS 230.1-G TC Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）－コンセプトおよび論理的根拠の概要」	CCSDS 231.0-B TC Synchronization and Channel Coding 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	
	CCSDS 431.1-B Variable Coded Modulation Protocol 「可変符号化変調プロトコル」	

FLEXIBLE ADVANCED CODING AND MODULATION SCHEME FOR HIGH RATE TELEMETRY APPLICATIONS

「高速テレメトリのための広範適用型高度符号化及び変調方式」

Blue Book
CCSDS 131.2-B-2
発行月： 2023年2月
ISO 17854

【概要】
本推奨規格は、広範のスペクトル効率およびデータレートをサポート可能な、効率的かつ包括的な符号化・変調方式を定めている。

【内容】
本規格は、OSI参照モデルのデータリンク層（CCSDSにおける同期・チャネルコーディング副層）と物理層を包括するもので、スペースリンクでの「トランスファーフレーム（Transfer Frames）」に関して、以下の機能を提供する：

1. フレーム検証を含む誤り制御符号化（直列連接畳み込み符号（SCCC）に基づく）
2. トランスファーフレームの同期及びランダマイズ
3. 物理層のフレーミング、ビット同期、ランダマイズ

本推奨規格は、次のプロトコルと併せて使用される。

- CCSDS 132.0-B-3：TM Space Data Link Protocol
  「TM宇宙データリンクプロトコル」
- CCSDS 732.0-B-4：AOS Space Data Link Protocol
  「AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル」
- CCSDS 732.1-B-2：Unified Space Data Link Protocol
  「統合的宇宙データリンクプロトコル(USLP)」

本推奨規格の送信側での内部構造（機能ブロック概念図）を図1に示す。

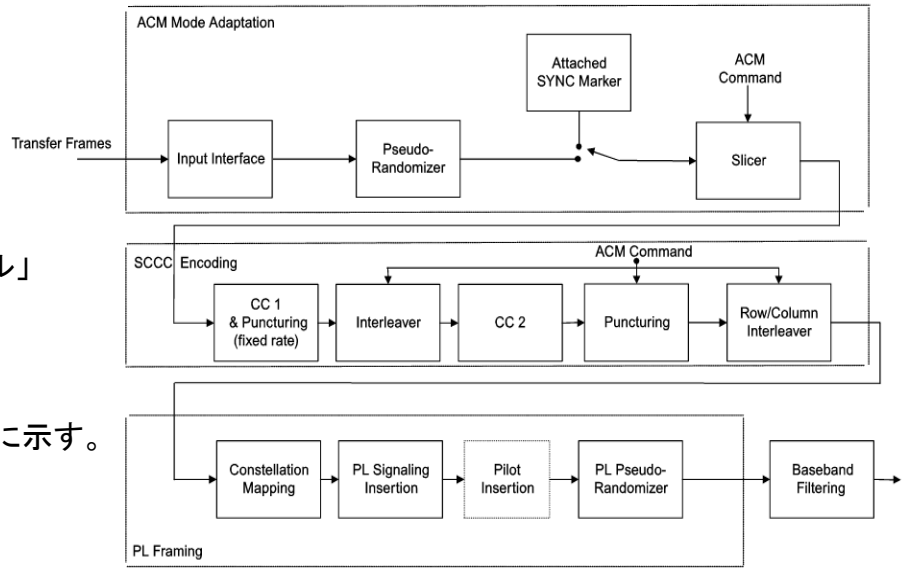


図1: 送信側の機能概念

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXA（日本）ではHODOYOSHI-4で採用しており、今後の超小型衛星での採用が検討されている。ESA（欧州宇宙機関）では本規格の採用を計画している。

CC: Convolutional Coding
ACM: Adaptive Coding and Modulation
SCCC: Serial Concatenated Convolutional Code
PL: Physical Layer

CCSDS SPACE LINK PROTOCOLS OVER ETSI DVB-S2 STANDARD

「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」

Blue Book
CCSDS 131.3-B-2
発行月：2022年4月
ISO 20207

【概要】

本推奨規格は、欧州電気通信標準化機構（European Telecommunications Standards Institute： ETSI）が規定している衛星デジタル放送の欧州規格である「DVB-S2 （Digital Video Broadcasting – Satellite – Second Generation） 」と、CCSDS スペースリンクプロトコルとの間の推奨インターフェイスを定義し、地球観測ペイロード テレメトリなどの高データ レート伝送アプリケーションに適したDVB-S2 規格のオプションを推奨するもので、同期&チャネルコーディング副層と物理層について規定している。

【内容】

DVB-S2 規格は、「入力ストリーム同期、エラー検出、スクランブル（擬似ランダム化）」、「誤り訂正符号化および変調／復調」、「同期信号やダミーフレーム機能の提供を含む物理層フレーム」を備える他、可変／適応符号化変調機能をサポートしている。

本推奨規格では、CCSDSスペースリンクプロトコル（SMTF）とDVB-S2規格のインタフェースとして、スクランブル化（DVB-S2規格準拠）、誤り訂正符号および変調方式（DVB-S2規格準拠）、トランスファーフレームの同期方法（ASMを利用）、ならびにその検証方法を規定している。

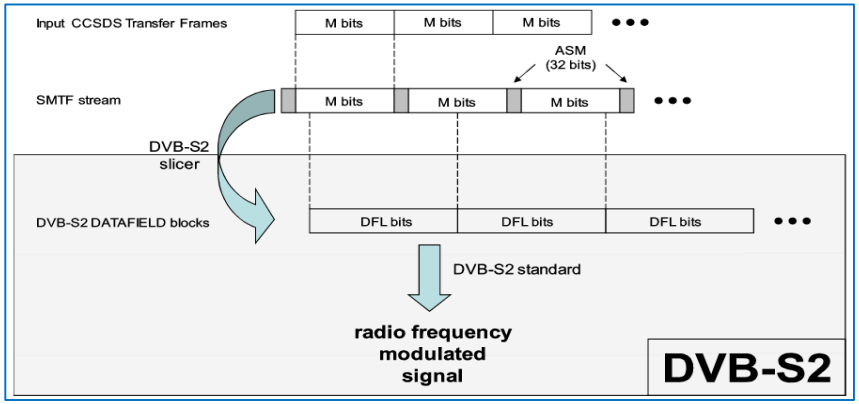


図1：DVB-S2を使用してCCSDSトランスファーフレームを送信する際のストリームフォーマット

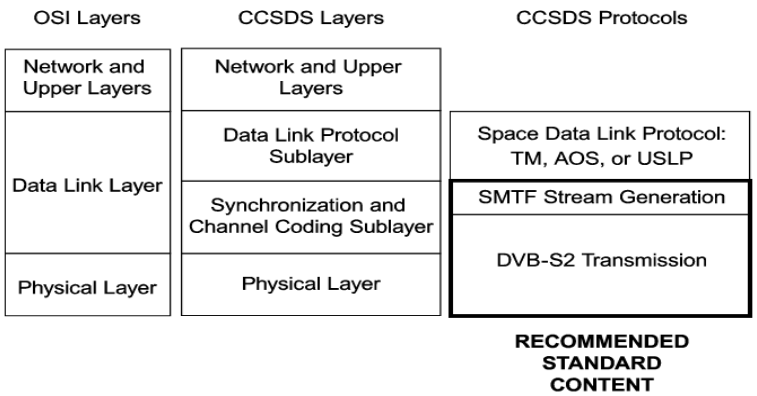


図2． OSI参照モデル/CCSDS階層/CCSDSプロトコルと、本規格の対応関係

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、CNES（フランス国立宇宙センター）が現在採用を計画中。JAXAでは現在利用に向けた検討を実施している。

OSI：Open Systems Interconnection
ASM： Attached Sync Marker
DFL：Data Field Length

TM ：Telemetry
AOS：Advanced Orbiting Systems
SMTF：Sync-Marked Transfer Frame

USLP：Unified Space Data Link Protocol
CRC：Cyclic Redundancy Check

CCSDS宇宙リンク同期・符号化に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	予備検討規格（Orange Book）
CCSDS 130.1-G TM Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TM同期およびチャネルコーディング(通信路符号化)- コンセプトと論理的根拠」	CCSDS 131.0-B TM Synchronization and Channel Coding 「TM同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	
	CCSDS 131.2-B Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications 「高速テレメトリのための広範適用型高度符号化及び変調方式」	
CCSDS 130.12-G CCSDS Protocols over DVB-S2 – Summary of Definition, Implementation, and Performance 「DVB-S2を用いたCCSDSスペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.3-B CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard 「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.31-O CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2X Standard 「ETSI DVB-S2X規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」
	↑ 本文書	CCSDS 131.5-O Erasure Correcting Codes for Use in Near-Earth and Deep-Space Communications 「近地球通信及び深宇宙通信用の消失訂正符号」
CCSDS 130.11-G SCCC-Summary of Definition and Performance 「SCCC (Serially Concatenated Convolutional Code)-定義と性能に関する要約」		CCSDS 131.21-O Serially Concatenated Convolutional Codes – extension (SCCC-X) 「SCCC拡張 (SCCC-X)」
CCSDS 230.1-G TC Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）－コンセプトおよび論理的根拠の概要」	CCSDS 231.0-B TC Synchronization and Channel Coding 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	
	CCSDS 431.1-B Variable Coded Modulation Protocol 「可変符号化変調プロトコル」	

TM SPACE DATA LINK PROTOCOL

「TM宇宙データリンクプロトコル」

Blue Book
CCSDS 132.0-B-3
発行月：2021年10月
ISO 22645

【概要】

本推奨規格は、宇宙ミッションで使用される、宇宙-地上間、もしくは、宇宙-宇宙間の通信において、データリンク層に位置付けられるテレメトリ（TM）宇宙データリンクプロトコルを規定するものである。

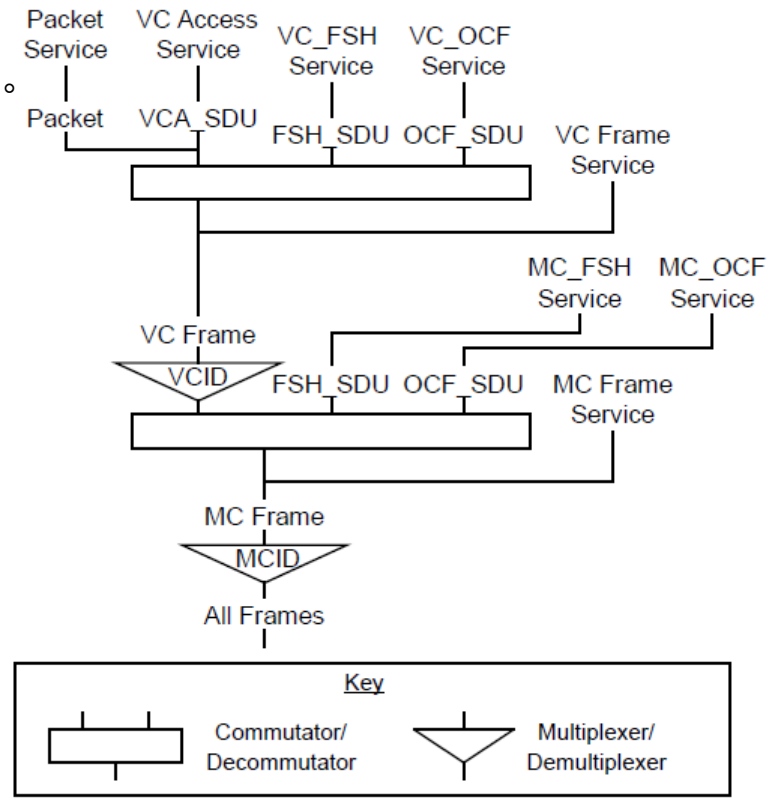
【内容】

本プロトコルは、TMトランスファーフレーム（TM Transfer Frame）と呼ぶ固定長のプロトコルデータユニット（PDU）を使用する。また、1つの物理チャネルにバーチャルチャネル（VC）と呼ばれる論理的なデータチャネルを複数割り当てて使用することができる。

TM宇宙データリンクプロトコルが提供するサービスは下記のとおりである。

a）Packet
b）Virtual Channel Access（VCA）
c）Virtual Channel Frame Secondary Header（VC-FSH）
d）Virtual Channel Operational Control Field（VC_OCF）
e）Virtual Channel Frame（VCF）
f）Master Channel Frame Secondary Header（MC_FSH）
g）Master Channel Operational Control Field（MC_OCF）
h）Master Channel Frame（MCF）

多重化/非多重化、結合/分解を伴うチャネル構造を右図に示す。



各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、JAXAを含む全てのメンバー機関が採用している。
JAXAは、本プルトコルを地上局の通信系・データ処理系に適用している。

SPACE PACKET PROTOCOL

「スペースパケットプロトコル」

Blue Book
CCSDS 133.0-B-2
発行月：2020年6月
ISO 22646:2005

【概要】

本推奨規格は、宇宙ミッションにおいて、送信側と受信側のエンティティ間で宇宙アプリケーションデータをパケット伝送するためのスペースパケットプロトコル（SPP: Space Packet Protocol）を定めるものである。

【内容】

SPPは、さまざまなタイプや特性の宇宙アプリケーション・データを、1つ以上のサブネットワークを介して、1つの送信元ユーザアプリケーション（Source User Application）から1つ以上の宛先ユーザアプリケーション（Destination User Application）へ伝送するサービスを提供する。 本推奨規格で規定する伝送サービスには、単方向伝送、非同期伝送、そして予め構築された管理データパスを介して伝送されるといった特色がある。

図1は、スペースリンクを使用する際に、SPPがCCSDSプロトコルスタック内でどのように位置づけられるかを示す。SPPは、アプリケーション層のプロトコルと「Shim」プロトコルの両機能を提供するため、図中に2回登場しており、上位層に示されている“SPP”は、本推奨規格がスペースパケットを定義していることを意味する。

パケット伝送は、スペースデータリンクプロトコル（USLP、TM、TC、AOS、Proximity-1）あるいは、バンドルプロトコル（BP: Bundle Protocol）の何れかを用いて行われる。図2に、スペースパケットの構造を示す。送信側と受信側のエンティティ間の識別には、APID（Application Process Identifier）が用いられる。

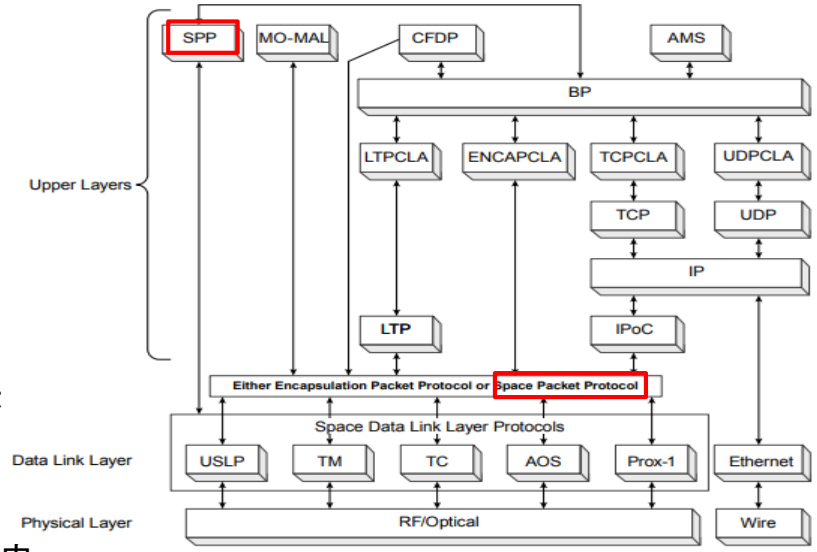


図1：CCSDSプロトコルスタックにおけるSPPの位置づけ

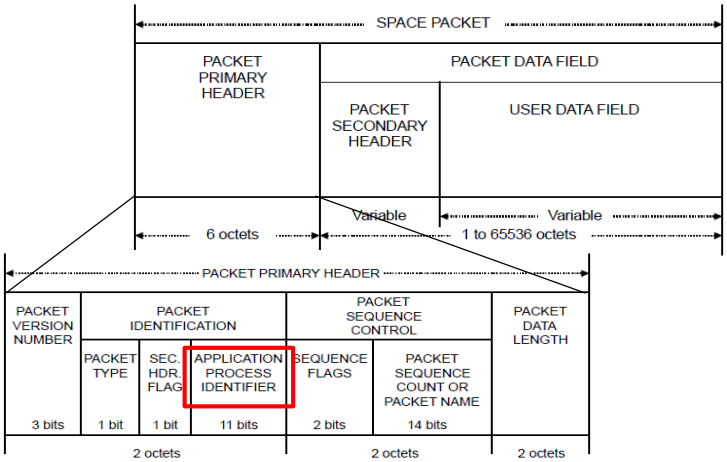


図2：スペースパケットの構造

各国宇宙機関及びJAXAの動向

本推奨規格は、JAXAを含むすべてのメンバー機関が採用している。JAXAは、本プロトコルをJAXA通信設計標準として、宇宙機の通信・データ処理系、地上局に適用している。

ENCAPSULATION PACKET PROTOCOL（1/2）

「カプセル化パケットプロトコル」

Blue Book
CCSDS 133.1-B-3
発行月：2020年5月
ISO 10537:2016

【概要】

本推奨規格は、地上-宇宙間、宇宙-宇宙間のスペースリンクにおいて、宇宙データリンクプロトコルでは直接転送できないCCSDSプロトコルデータユニットを転送する際に用いるカプセル化パケットプロトコル（EPP）を規定するものである。

【内容】

宇宙データリンクプロトコル（※次頁関連文書①～⑤参照）によって直接転送されるデータユニットは、CCSDSが承認したパケットバージョン番号（PVN）を持つ。EPPの主な目的は、認可されたPVNを持たないプロトコルデータユニットを宇宙リンク上で転送する仕組みを提供することである。本プロトコルは、PVNをヘッダ部に付与するカプセル化処理に用いられるもので、宇宙データリンクプロトコル群の推奨規格と併せて利用する。パケットヘッダに付与するPVNを標準化・形式化することで、インターネットプロトコル（IPv4、IPv6）等を含むネットワークプロトコルの多様化にも対応可能な、効率の良いパケット伝送を実現できる。

図1にCCSDSプロトコルスタックにおけるEPPの位置づけを示すと共に、図2にカプセル化パケットプロトコルの概念を示す。上位層のプロトコルX、プロトコルYのプロトコルデータユニットは、本プロトコルによってカプセル化された後、宇宙データリンクプロトコル群の何れかを使用してデータリンク層にてデータ転送が行われる。

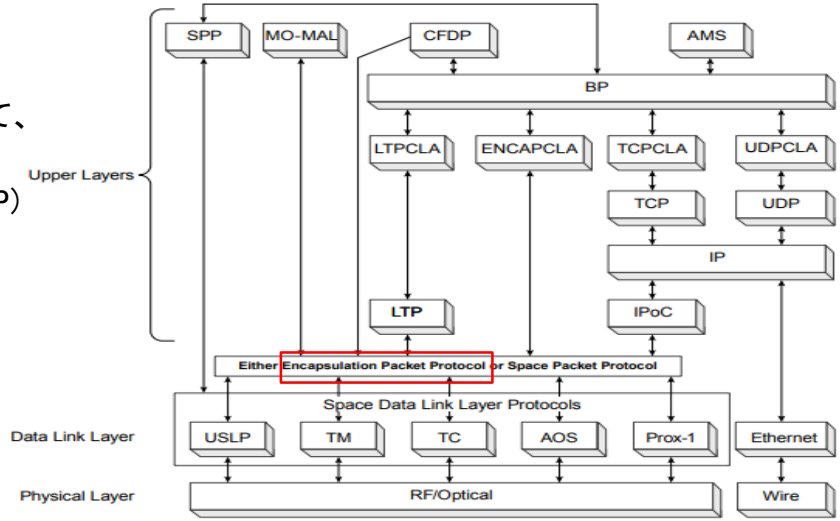


図1：CCSDSプロトコルスタックにおけるEPPの位置づけ

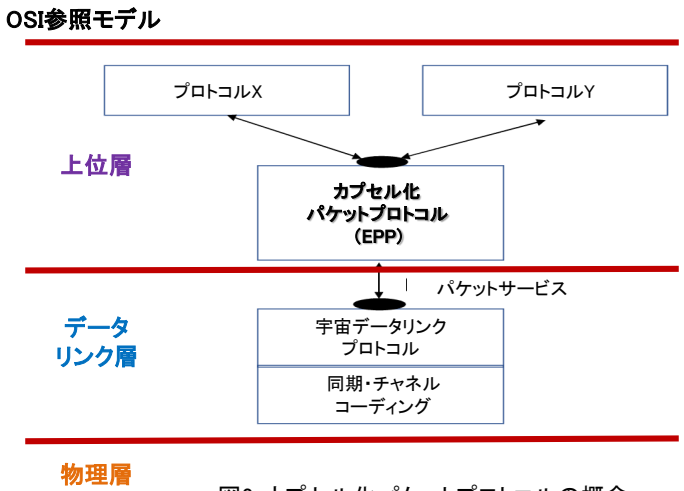


図2: カプセル化パケットプロトコルの概念

ENCAPSULATION PACKET PROTOCOL（2/2）

「カプセル化パケットプロトコル」

Blue Book
CCSDS 133.1-B-3
発行月： 2020年5月
ISO 10537:2016

カプセル化パケットの構造を図3に、
カプセル化パケットのヘッダー仕様を図4に示す。

カプセル化パケットは、ヘッダーとデータフィールドから構成されており、ヘッダー部分には図4の宛先などの付帯情報が格納される。

Packet Version Number の”111”はEPPを表す。

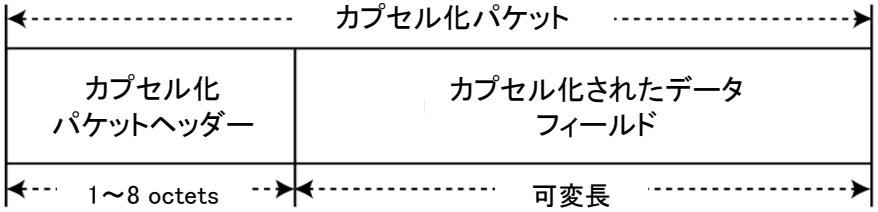


図3: カプセル化パケットの構造

カプセル化パケットヘッダー

PACKET VERSION NUMBER 3 bits	ENCAPSULATION PROTOCOL ID 3 bits	LENGTH OF LENGTH 2 bits	USER DEFINED FIELD 0 or 4 bits	ENCAPSULATION PROTOCOL ID EXTENSION 0 or 4 bits	CCSDS DEFINED FIELD 0 or 2 octets	PACKET LENGTH 0 to 4 octets
‘111’	‘XXX’	‘00’	0 bits	0 bits	0 octets	0 octets
‘111’	‘XXX’	‘01’	0 bits	0 bits	0 octets	1 octet
‘111’	‘XXX’	‘10’	4 bits	4 bits	0 octets	2 octets
‘111’	‘XXX’	‘11’	4 bits	4 bits	2 octets	4 octets

図4: カプセル化パケットのヘッダー仕様

※関連文書

①TM宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 132.0-B-2: TM Space Data Link Protocol. Issue 2）（推奨規格）

②TC宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 232.0-B-3: TC Space Data Link Protocol. Issue 3）（推奨規格）

③AOS宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 732.0-B-3: AOS Space Data Link Protocol . Issue 3 ）（推奨規格）

④近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル-データリンク層（CCSDS 211.0-B-5: Proximity-1 Space Link Protocol—Data Link Layer. Issue 5）（推奨規格）

⑤統合的宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 732.1-B-1: Unified Space Data Link Protocol. Issue 1）（推奨規格）

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

本推奨規格は、CNES（フランス国立宇宙センター）が採用しており、ESA（欧州宇宙機関）が採用を計画している。

OPTICAL COMMUNICATIONS PHYSICAL LAYER（1/2）
「光通信における物理層」

Blue Book
CCSDS 141.0-B-1
発行月: 2019年8月
ISO －

【概要】

本推奨規格は、光通信の物理層で伝送するレーザーの中心周波数やレーザー線幅、偏波方式等を定義するものである。本推奨規格が規定する方式は、HPE（High Photon Efficiency）とO3K（Optical On-Off Keying）であるが、O3K方式については今後記述が追加される予定である。（光通信における他の層との関係及び、OSI参照モデルとの関係は次ページを参照）

【内容】

本書は、光通信における物理層部分のデータ伝送処理について、推奨規格化するものである。

第2章では、本書の対象となる光通信物理層の定義とOSIリファレンスモデルとの関係、上位層である光通信同期＆チャネルコーディング副層との関係を定義している。

第3章では、テレメトリデータ伝送時の信号仕様として、レーザの中心周波数やレーザー線幅、減衰や偏波方式、変調やパルス波形、時間的揺らぎやスロット幅（波長で使用できる帯域）等を記載している。

第4章では、ビーコン通信及びオプションデータ伝送時の信号特性を定義しており、レーザの中心周波数やレーザー線幅、減衰、変調や時間的揺らぎ等を記載している。

第5章では、光通信方式の信号に関する管理パラメータの項目及び値を定義している。

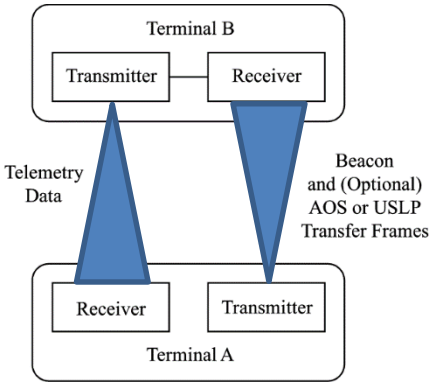


図1: トランスミッター（送信機）-レシーバー（受信機）間の光通信

本書にて定義しているアーキテクチャの実装例では、符号化方式として宇宙－地上間のダウンリンクではTMを採用し、地上－宇宙間のアップリンクではビーコン及びAOSもしくはUSLPを用いている。

各国宇宙機関及びJAXAの動向

NASAがPsycheミッション（2022年打ち上げ予定，小惑星探査）に、ESAが太陽監視ミッション（SWE、太陽-地球のL5の静止観測宇宙機、2023年打ち上げ予定）において、本勧告を適用した光通信の実施を計画している。

OPTICAL COMMUNICATIONS PHYSICAL LAYER(2/2)
「光通信における物理層」

Blue Book
CCSDS 141.0-B-1
発行月: 2019年8月
ISO –

本推奨規格は表1の赤枠部分に示すように、物理層部分の処理をCCSDS標準として規格化するものである。

図2は、光通信ネットワークにおけるOSI参照モデルとのCCSDS階層の関連性を示しており、CCSDSの各層では以下の処理が行われる 。

①データリンク上層(データリンクプロトコル副層)
TM Space Data Link Protocol、AOS Space Data Link Protocol及びUnified Space Data Link Protocol(USLP)のトランスファーフレームを生成する。

②データリンク下層(同期&チャネルコーディング副層)
トランスファーフレームを光スペースリンクを通して伝送するため、データリンク層ー物理層間の符号化及び同期を行う。

③物理層
光通信におけるデータ伝送を実現するため、物理的伝送に必要となる、光信号の特性を定めている。

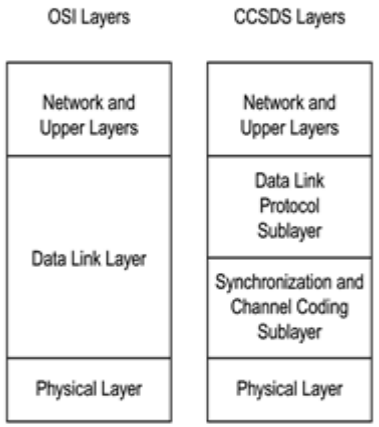


図2: OSI参照モデルとCCSDS階層の関係性

表1: CCSDS階層とOPT*勧告案の関係性

方式	High Photon Efficiency (HPE)	Optical On-Off Keying (O3K)	High Data Rate (HDR)	
特徴	月・惑星との光通信のための規格	主に低軌道衛星から地上への光通信回線のための規格	静止衛星を用いた光データ中継や光フィーダリンク用の規格	
データリンクプロトコル副層	TM (推奨規格 132.0-B-2)			
	AOS (推奨規格 732.0-B-3)			
	USLP (推奨規格 732.1-B-1)			
同期&チャネルコーディング副層	推奨規格 142.0-B-1	O3K方式の規格を追記予定	HDR 1064nm (ESA/DLR)	HDR 1550nm (NASA/CNES/JAXA/NICT)
物理層	推奨規格 141.0-B-1	O3K方式の規格を追記予定	予備検討規格 141.11-O-1	予備検討規格 TBD

* Optical Communications Working Group

OPTICAL COMMUNICATIONS CODING AND SYNCHRONIZATION（1/2）
「光通信における符号化及び同期」

Blue Book
CCSDS 142.0-B-1
発行月: 2019年8月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、光通信の同期＆チャネルコーディング副層で実施する符号化、同期、インターリービングのパラメータ及び技術を定義するものである。本推奨規格が規定する方式は、HPE（High Photon Efficiency）とO3K（Optical On-Off Keying）であるが、O3K方式については今後記述が追加される予定である。（光通信における他の層との関係及び、OSI参照モデルとの関係は次ページを参照）

【内容】
本書は、光通信における同期＆チャネルコーディング副層部分の処理について、推奨規格化するものであり 、光スペースリンクを介したトランスファーフレーム伝送における以下の機能を定義している。

1）チャネルコーディング
2）同期
3）テレメトリトランスファーフレームの検証

第2章では、本書の対象となる同期＆チャネルコーディング副層の定義とOSIリファレンスモデルとの関係、光通信での他の層との関係を定義している。

第3章では、テレメトリデータ伝送時の信号仕様として、トランスファーフレームがデータリンクプロトコル副層から本層を経由して、物理層に至るまでの流れや各処理機能（スライサーや擬似ランダマイズ、SCCCエンコード等）を記載している。

第4章では、ビーコン及びAOS／USLPトランスファーフレームのオプション伝送を定義しており、AOS／USLPトランスファーフレームがデータリンクプロトコル副層から本層を経由して、物理層に至るまでの流れや各処理機能（スライサーやLDPCエンコード等）を記載している。

第5章では、光通信方式の信号に関する管理パラメータの項目及び値を定義している。

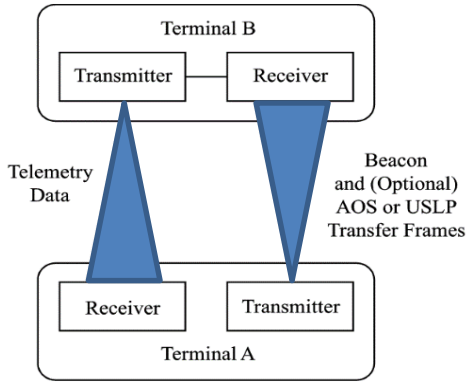


図1: トランスミッター（送信機）－レシーバー（受信機）間の光通信

本書にて定義しているアーキテクチャの実装例では、宇宙－地上間のダウンリンクではTMを採用し、地上－宇宙間のアップリンクではビーコン及びAOSもしくはUSLPを用いている。

各国宇宙機関及びJAXAの動向
NASAがPsycheミッション(2022年打上予定、小惑星探査)に、ESAが太陽監視ミッション(SWE、太陽-地球のL5の静止観測宇宙機、2023年打上予定）において、本勧告を適用した光通信の実施を計画している。

OPTICAL COMMUNICATIONS CODING AND SYNCHRONIZATION（2/2）
「光通信における符号化及び同期」

Blue Book
CCSDS 142.0-B-1
発行月: 2019年8月
ISO －

本推奨規格は表１の赤枠部分に示すように、同期＆チャネルコーディング副層部分の処理をCCSDS標準として規格化するものである。

図2は、光通信ネットワークにおけるOSI参照モデルとのCCSDS階層の関連性を示しており、CCSDSの各層では以下の処理が行われる 。

①データリンク上層（データリンクプロトコル副層）
TM Space Data Link Protocol、AOS Space Data Link Protocol及びUnified Space Data Link Protocol（USLP）のトランスファーフレームを生成する。

②データリンク下層（同期&チャネルコーディング副層）
トランスファーフレームを光スペースリンクを通して伝送するため、データリンク層－物理層間の符号化及び同期を行う。

③物理層
光通信におけるデータ伝送を実現するため、物理的伝送に必要となる、光信号の特性を定めている。

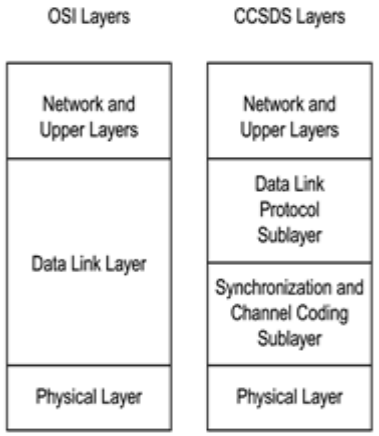


図2: OSI参照モデルとCCSDS階層の関係性

表1: CCSDS階層とOPT*勧告案の関係性

方式	High Photon Efficiency (HPE)	Optical On-Off Keying (O3K)	High Data Rate (HDR)	
特徴	月・惑星との光通信のための規格	主に低軌道衛星から地上への光通信回線のための規格	静止衛星を用いた光データ中継や光フィーダリンク用の規格	
データリンクプロトコル副層	TM （推奨規格 132.0-B-2）			
	AOS （推奨規格 732.0-B-3）			
	USLP （推奨規格 732.1-B-1）			
同期&チャネルコーディング副層	推奨規格 142.0-B-1	O3K方式の規格を追記予定	HDR 1064nm (ESA/DLR)	HDR 1550nm (NASA/CNES/JAXA/NICT)
物理層	推奨規格 141.0-B-1	O3K方式の規格を追記予定	予備検討規格 141.11-O-1	予備検討規格 TBD

* Optical Communications Working Group

PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL – DATA LINK LAYER (1/2)

「近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル – データリンク層」

Blue Book
CCSDS 211.0-B-6
発行月: 2020年7月
ISO 22663:2015

【概要】

本推奨規格は、近傍領域通信-1（Proximity-1）プロトコルのデータリンク層における転送制御手順等の処理を規定している。

【内容】

本プロトコルは、宇宙ミッションの様々な種類や特徴を持った近傍宇宙機器通信リンク間での効率的なデータ転送に用いられ、近傍領域通信-1のコーディング・同期副層及び物理層の推奨規格と併せて利用される。

近傍宇宙機器通信リンクは、短距離かつ双方向の、固定もしくは可動性の無線回線であり、主に探査機や着陸機、惑星ローバー、軌道上の衛星コンステレーション、データ中継機などの間で使用される。本通信リンクは、遅延時間が短く、信号は微弱ではなく中程度で、個々のセッションが短く独立しているなどの特徴がある。

本推奨規格では、近傍領域通信-1の概念、プロトコルデータユニット（PDU）の構成、データリンク層におけるフレーム副層、メディアアクセス制御（MAC）、優先/順次制御データ伝送、タイミングサービス、I/O制御、発信者と受信者間のセッションの開始・終了手順等について規定している。

（参考）

本プロトコルの概要については、CCSDS解説資料「PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL – RATIONALE, ARCHITECTURE, AND SCENARIOS（近傍領域通信－1 スペースリンクプロトコル－論理的根拠、アーキテクチャ及び各種シナリオ）（CCSDS 210.0-G）」にて解説している。また、本プロトコルのコーディングおよび同期副層については、「Proximity-1 Space Link Protocol—Coding and Synchronization Sublayer（近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル－コーディング&同期副層）（CCSDS 211.2-B）」に、物理層については「Proximity-1 Space Link Protocol—Physical Layer（近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル－物理層）（CCSDS 211.1-B）」にてそれぞれ定義されている。

PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL – DATA LINK LAYER (2/2)

「近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル – データリンク層」

Blue Book
CCSDS 211.0-B-6
発行月: 2020年6月
ISO 22663:2015

本推奨規格では下記等を記述している。

- 近傍領域通信-1プロトコルに含まれる下記サービスの概要
  1. データ伝送サービス
     - CCSDSパケット送達サービス
     - ユーザ定義データの送達サービス
     - タイミングサービス
  2. サービス品質
     - 順次制御サービス
     - 優先サービス
- 近傍領域通信-1プロトコル、およびサービスに属する各要素に関する形式や運用方式
- PDUのセクションでは、Proximity Link Transmission Unit（PLTU）内のVersion-3およびVersion-4トランスファーフレームに関する下記内容
  - Version-3トランスファーフレームの構造
  - トランスファーフレームのヘッダ
  - トランスファーフレームのデータフィールド
  - Supervisory PDU

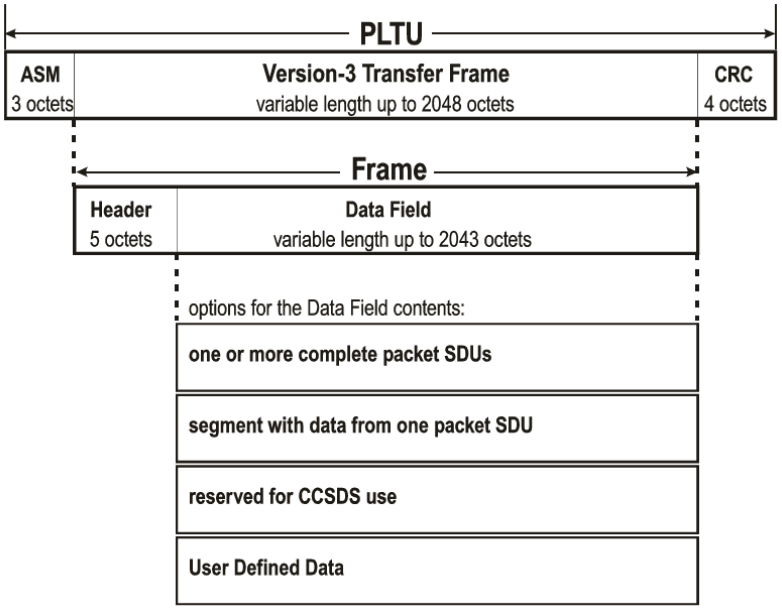


図1: Version-3 PLTU のコンテキストダイアグラム

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、ESA（欧州宇宙機関）、CNSA（中国国家航天局）、UKSA（英国宇宙機関）が採用している。
月/火星軌道上でのデータ中継衛星－探査機間通信向け伝送プロトコルとしての利用が考えられている。

PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL -- PHYSICAL LAYER

「近傍領域通信—1　スペースリンクプロトコル－物理層」

Blue Book
CCSDS 211.1-B-4
発行月：2013年12月
ISO 21460

【概要】

本推奨規格は、近傍領域通信-1（Proximity-1）の物理層を定義するものである。

【内容】

近傍領域通信-1（探査機/着陸機/ローバ/軌道上コンステレーション/軌道上中継機間の短距離、双方向、固定、または移動無線リンク）は、宇宙ミッションで使用するための双方向スペースリンク層プロトコルであり、物理層とデータリンク層で構成されている。このプロトコルは、近傍領域空間リンクの様々なタイプおよび特性にわたって空間データを効率的に転送するようにしている。

近傍領域通信を送信側と受信側とに分けて、通信（物理）チャネルの確立、維持、および終了する手順を規定している。

通信チャネルの確立は、共通の特性が両方の通信側（送信／受信）に存在するように、周波数、偏波、変調、捕捉、アイドルシーケンス、符号化シンボルレートの物理層パラメータの設定／手順を規定している。

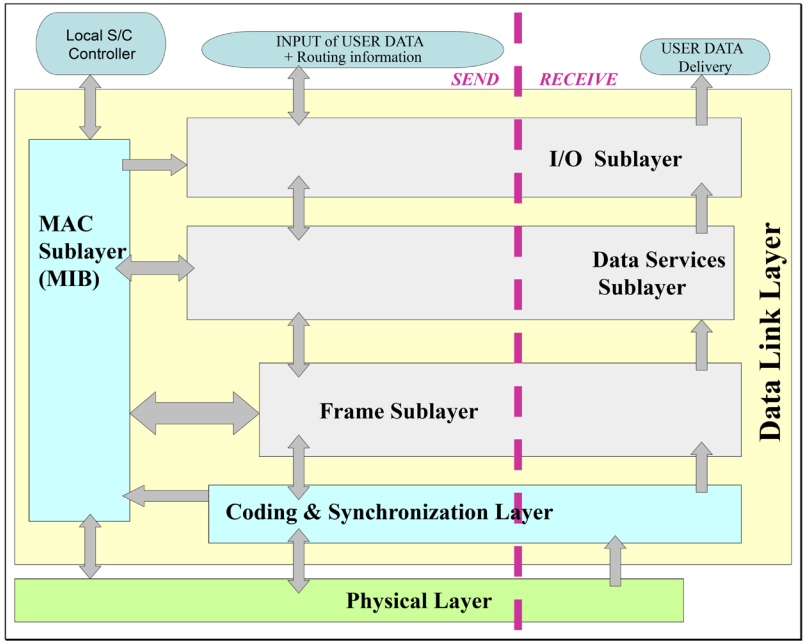


図1：近傍領域通信-1のプロトコル概要

PLTU : Proximity-1 Link Transmission Unit
MAC : Medium Access Control
MIB : Management Information Base
C&S : Coding and Synchronization

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、CNSA（中国国家航天局）とUKSA（イギリス宇宙機関）が採用実績あり。またESA（欧州宇宙機関）が現在採用を計画中。

PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - CODING AND SYNCHRONIZATION SUBLAYER

「近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル：コーディング&同期副層」

Blue Book
CCSDS 211.2-B-3
発行月：2019年10月
ISO -

【概要】

本推奨規格は、近傍領域宇宙機器通信リンクにおけるコーディング&同期副層のプロトコルについて規定するものである。「近傍領域通信-1 データリンクプロトコルと物理層プロトコル」とあわせて使用するもので、ローバ間やコンステレーション宇宙機間の短距離・双方向・固定、あるいは可動無線通信での使用を想定している。

【内容】

本規格はデータフォーマットとその生成・処理手順を規定している。図1に、近傍領域通信-1スペースリンクの階層概念、及びコーディング&同期副層（C&S Sublayer）の位置づけを示す。また送信側における下記1～4の処理の流れを図2に示す。受信側ではこの逆手順となる。

1. 近傍領域通信-1 リンク転送ユニット（PLTU）の生成
2. 符号化のためのデータストリーム生成（必要に応じてアイドルデータの挿入）
3. チャネルコーディング
4. 物理層への転送

MAC：Medium Access Control
MIB：Management Information Base
S/C：Spacecraft
I/O：Input/Output

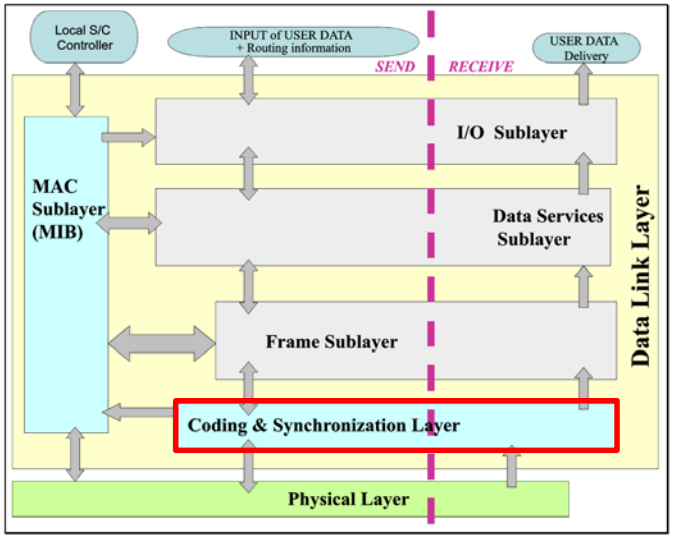


図1：近傍領域通信-1　階層概念図

PLTU：Proximity Link Transmission Unit
LDPC：Low-Density Parity-Check

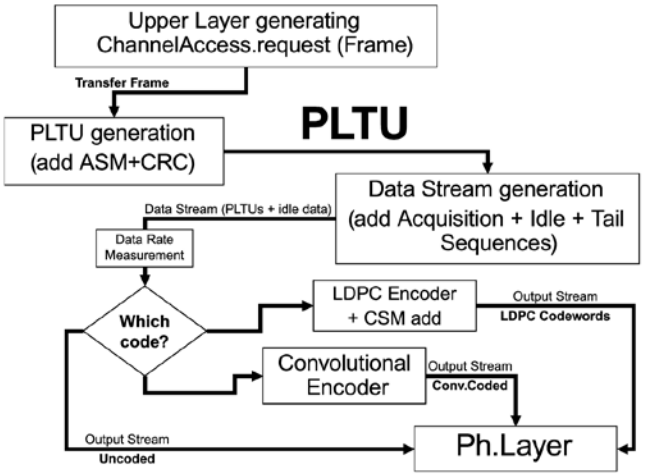


図2：コーディング&同期副層の処理フロー（送信側）

各国宇宙機関及びJAXAの動向

NASA（アメリカ航空宇宙局）、
CNSA（中国国家航天局）、
UKSA（イギリス宇宙機関）
で採用されており、
ESA（欧州宇宙機関）では
採用を計画中である。

TC SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING (1/2)

「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」

Blue Book
CCSDS 231.0-B-4
発行月：2021年7月
ISO 22642:2015

【概要】

本推奨規格は、地上－宇宙機間、宇宙機－宇宙機間のスペースリンクにおいて、テレコマンド（TC）に用いる同期・チャネルコーディング方式を規定するもの。

【内容】

本推奨規格は、以下のプロトコルと併せて利用される。

・CCSDS 232.0-B-3：TC Space Data Link Protocol「TC宇宙データリンクプロトコル」
・CCSDS 732.1-B-1：Unified Space Data Link Protocol「統合的宇宙データリンクプロトコル」

TC：Telecommand
PLOP：Physical Layer Operations Procedure
BCH：Bose-Chaudhuri-Hocquenghem
LDPC：Low-Density Parity-Check
CLTU：Communications Link Transmission Unit

TC 同期・チャネルコーディング副層（サブレイヤ）は、スペースリンク上でトランスファーフレームを伝送するために次の4つの機能を提供する。

a） 誤り制御符号化
b） 同期
c） 疑似ランダマイズ（オプション）
d） 再送（オプション）

なお、同期を達成・維持できるように、物理通信チャネルを活性化・非活性化するための「物理層運用手順（PLOP）」は物理層に帰属するが、本規格で規定する通信回線伝送単位（CLTU）の送信に必要なことから、本推奨規格で扱う。

本プロトコルの送信側における同期・チャネルコーディング副層と物理層の内部構成を図1及び図2に示す。 送信側では、データリンクプロトコル副層から受け取ったトランスファーフレームを符号化して、物理層へ伝送する。

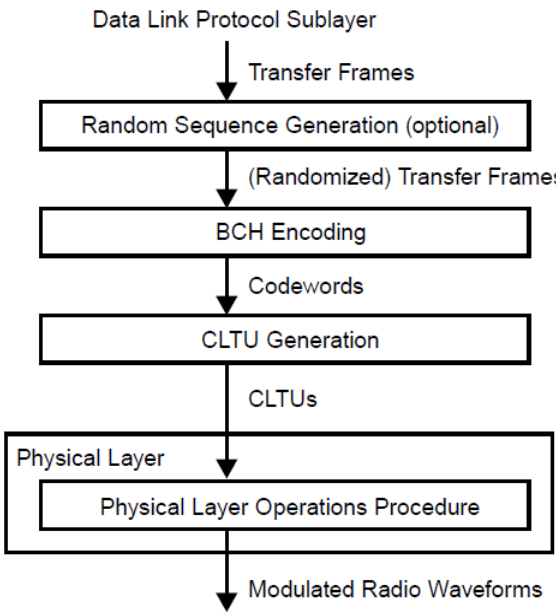


図1: BCHコーディングを使用した場合の送信側での内部構造

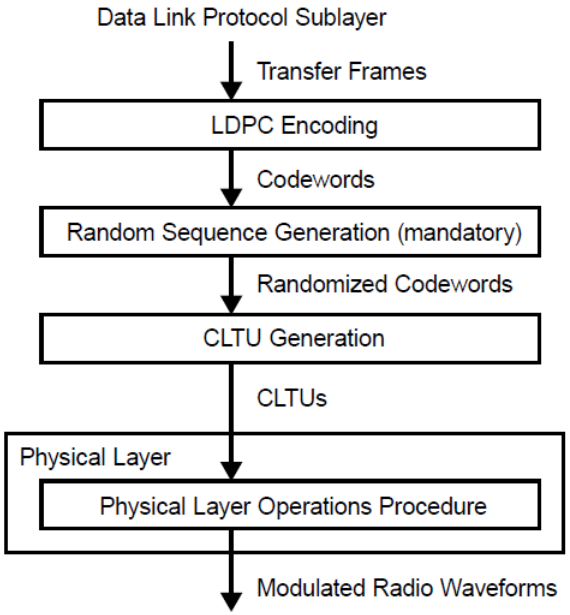


図2: LDPCコーディングを使用した場合の送信側での内部構造

TC SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING (2/2)

「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」

Blue Book
CCSDS 231.0-B-4
発行月：2021年7月
ISO 22642:2015

本プロトコルの受信側における同期・チャネルコーディング副層の内部構造を図3および図4に示す。
受信側では、物理層から受け取ったトランスファーフレームを復号化し、データリンクプロトコル副層へ伝送する。伝送されるトランスファーフレームには、不完全なデータや、フィルデータ（足りないデータ長を補うためのデータ）が含まれている場合がある。

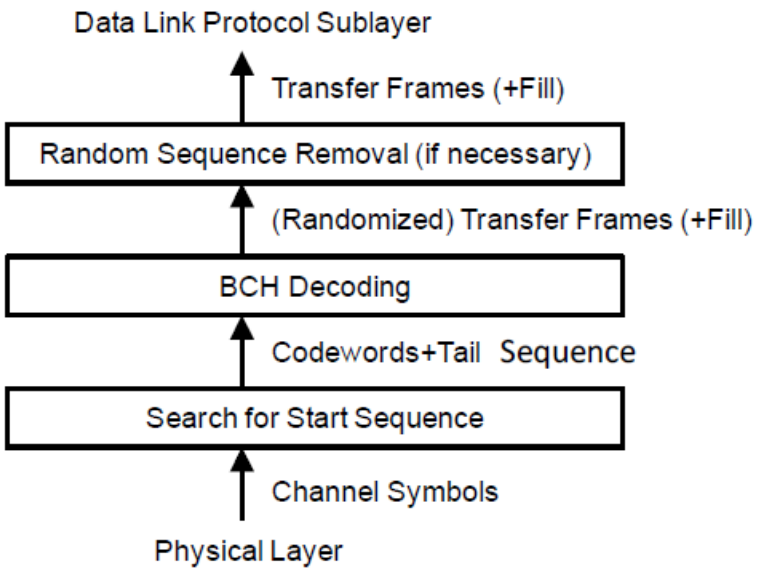


図3: BCHコーディングを使用した場合の受信側での内部構造

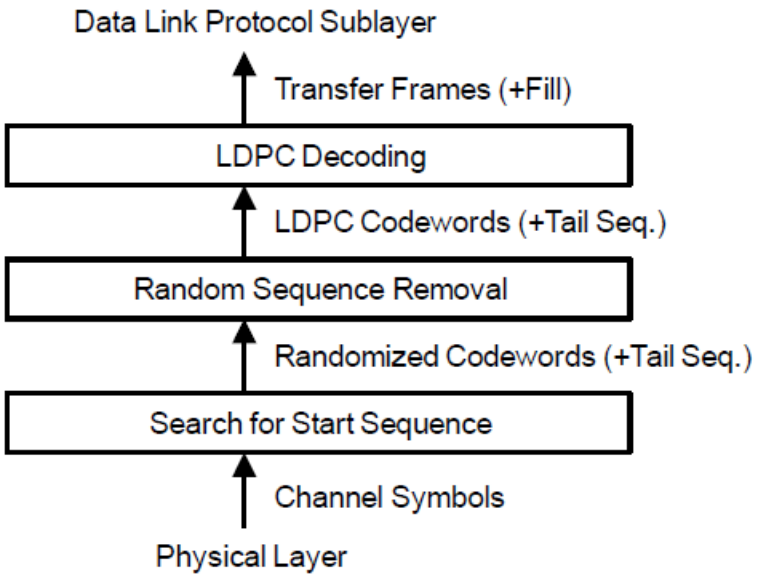


図4: LDPCコーディングを使用した場合の受信側での内部構造

各国宇宙機関およびJAXAの動向

世界の機関で広く採用され、JAXAでは通信設計標準の一部を成している。SOLAR-B以降、ほぼすべての宇宙機で採用しているプロトコルである。

TC SPACE DATA LINK PROTOCOL

「TC宇宙データリンクプロトコル」

Blue Book
CCSDS 232.0-B-4
発行月：2021年10月
ISO 22664

【概要】

本推奨規格は、宇宙ミッションで使用される、宇宙-地上間、もしくは、宇宙-宇宙間の通信において、データリンク層に位置付けられるテレコマンド（TC）宇宙データリンクプロトコルを規定するものである。

【内容】

本プロトコルは、TC トランスファーフレーム（TC Transfer Frame）と呼ぶ固定長のプロトコルデータユニット（PDU）を使用する。また、1つの物理チャネルにバーチャルチャネル（VC）と呼ばれる論理的なデータチャネルを複数割り当てて使用することができる。

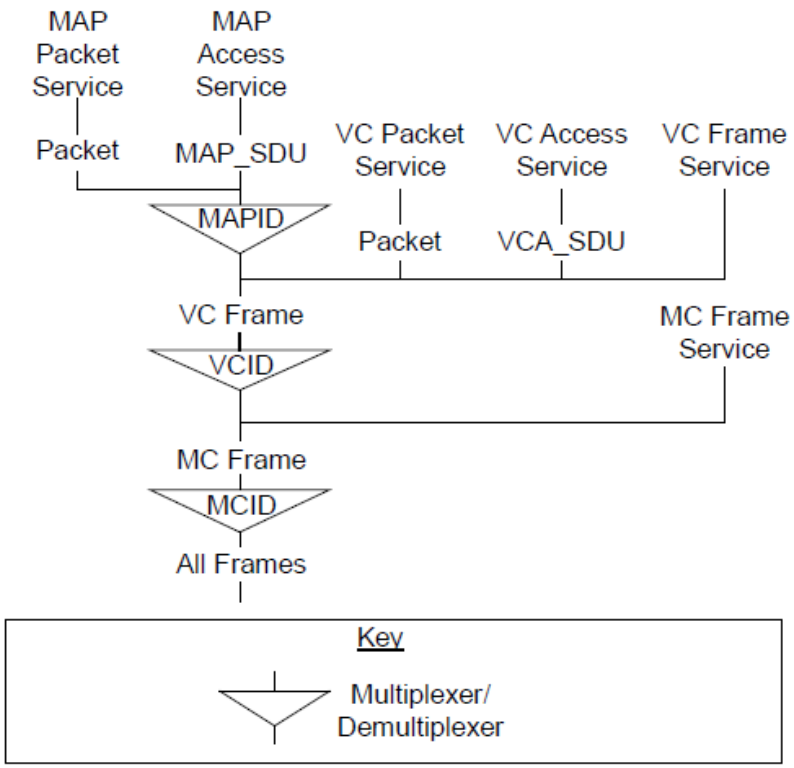
TC宇宙データプロトコルが提供するサービスは下記の通りである。

a）MAP Packet（MAPP）
b）Virtual Channel Packet（VCP）
c）MAP Access（MAPA）
d）Virtual Channel Access（VCA）
e）Virtual Channel Frame（VCF）
f）Master Channel Frame（MCF）

併せて、送信側で使用される以下の管理サービスを提供する。

g）COP Management

多重化/非多重化を伴うチャネル構造を右図に示す。



各国宇宙機関およびJAXAの動向

本プロトコルは、JAXAを含む全てのメンバー機関が採用している。JAXAは、本プロトコルをJAXA通信設計標準として、宇宙機の通信・データ処理系、および地上局に適用している。

COMMUNICATIONS OPERATION PROCEDURE-1

「COP-1（通信運用手順1）」

Blue Book
CCSDS 232.1-B-2 Cor.1
発行月：2019年4月
ISO 22667

【概要】
本推奨規格は、テレコマンド通信におけるデータ転送手順を規定するものである。

【内容】
「COP-1（通信運用手順-1）」は、スペースリンクサブネットワークの送信エンド及び受信エンドで実行される手順のため「テレコマンド（TC）宇宙データリンクプロトコル」及び「統合的宇宙データリンクプロトコル（USLP）」と併せて使用される。COP-1は、送信エンドで実行されるFOP-1（Frame Operation Procedure-1）と、受信エンドで実行されるFARM-1（Frame Acceptance and Reporting Mechanism-1）から構成されており（図1参照）、自動再送要求（ARQ）による誤り制御手法を採用している。

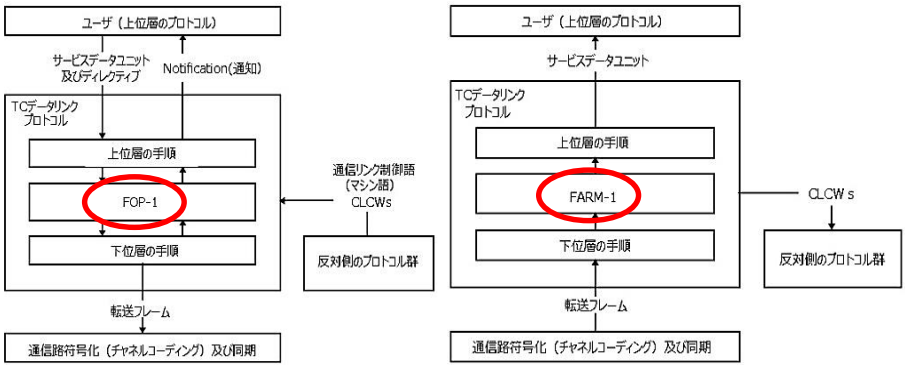


図1：送信エンド（左）と受信エンド（右）の上位・下位プロトコル相関図

本推奨規格の第2章にはCOP-1の概要、第3章にはTCプロトコル及びUSLPとのインターフェース、第4章にはCOP-1の各種サービスを定義している。具体的な通信手順は第5章以降に規定している。

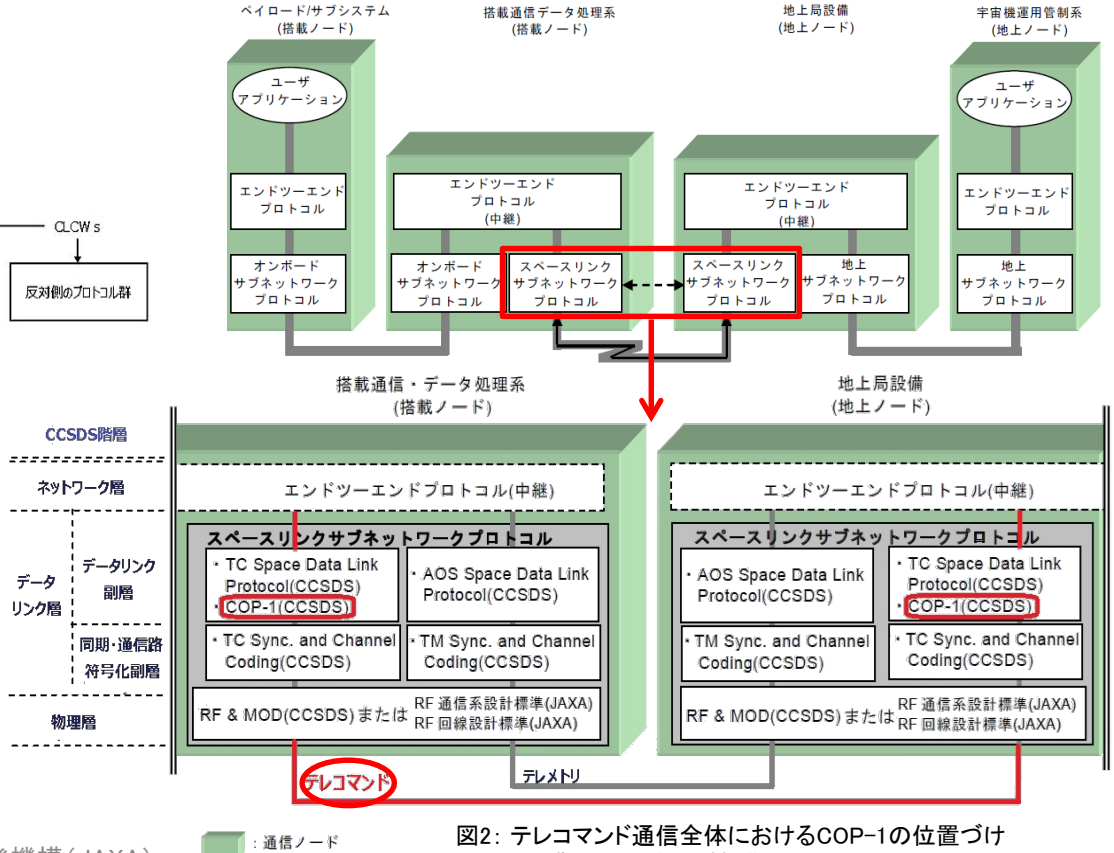


図2：テレコマンド通信全体におけるCOP-1の位置づけ
（出典：JAXA通信設計標準 JERG-2-400Aより）

各国宇宙機関及びJAXAの動向

TCプロトコルと併せて使用するCOP-1プロトコルをJAXAを含む全てのメンバー機関が採用しており、JAXAでは、通信設計標準として、宇宙機の通信・データ処理系及び地上局に適用している。

SPACE DATA LINK SECURITY PROTOCOL

「宇宙データリンクセキュリティプロトコル」

Blue Book
CCSDS 355.0-B-2
発行月: 2022年7月
ISO 21324

【概要】

本推奨規格は、データリンク層におけるセキュリティプロトコルを規定するもので、スペースリンク上で転送するフレーム（データ）の 認証や守秘性確保を行うためのフレーム形式（セキュリティヘッダ、セキュリティトレーラ）を定義・推奨している。

【内容】

本セキュリティプロトコルは、データリンク層の4つのCCSDS宇宙データリンクプロトコルである、TM（Telemetry：テレメトリ）、TC（Telecommand：テレコマンド）、AOS（Advanced Orbiting System：将来型宇宙機システム）、およびUSLP（Unified Space Data Link Protocol：統合的宇宙データリンクプロトコル）に適用させるもので、どの宇宙ミッションが採用する暗号化アルゴリズムにも干渉することなく、標準的なセキュリティ方式をデータリンク層に与えるものである。

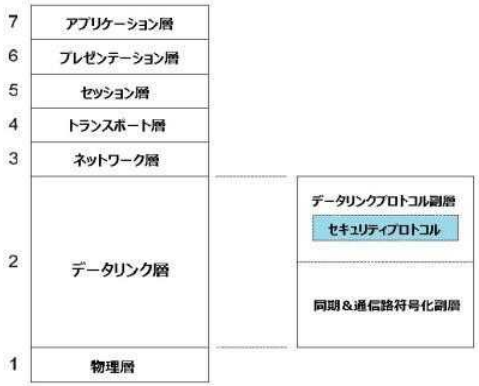


図1: OSI参照モデルにおける本セキュリティプロトコルの位置づけ

本セキュリティプロトコルでは、セキュリティアソシエーション（SA：通信を始める前に、送/受信側が暗号化方式や暗号鍵などの情報を交換・共有し、安全な通信路を確立）により、認証、データ完全性、リプレイプロテクション、データ機密性等を確保している。SAが形成されると、「認証」、「暗号化」、「認証された暗号化」の3つの機能の内の1つが選択され、関連情報が転送フレームのフィールドに取り込まれる。

転送フレームは保護するフレームデータを「セキュリティヘッダ」と「セキュリティトレーラ」が囲む構造になっており（図2参照）、「セキュリティヘッダ」にはセキュリティパラメータインデックス（SPI）、初期化ベクトル、アンチリプレイシーケンス番号等の情報が、一方、「セキュリティトレーラ」にはMessage Authentication Code（MAC：メッセージ認証符号）が盛り込まれる。

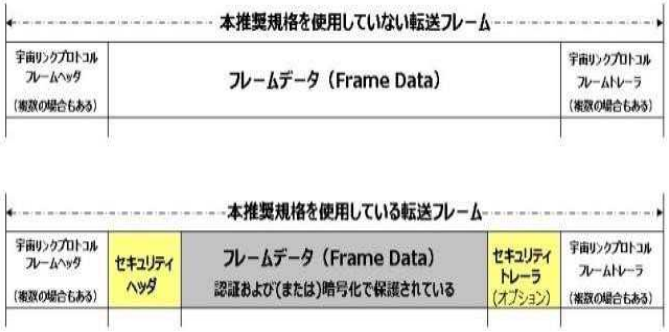


図2: セキュリティフレーム構造の比較

本文書では、第4章に「セキュリティヘッダ」、「セキュ リティトレーラ」の仕様及び認証/暗号化手順を定義し、第5章には本セキュリティプロトコルをTM、TC、AOS、USLP の各プロトコルに適用する際の注意点、フレーム形式、本プロトコル適用可能サービスを、また、第6章にはセキュリティプロトコルとして管理すべきパラメータをそれぞれ記載している。

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

NASA（米国航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）、DLR（ドイツ航空宇宙センター）、CNSA（中国国家航天局）、UKSA（イギリス宇宙局）等の主な宇宙機関が本推奨規格を採用しており、INPE（ブラジル国立宇宙研究所）が採用にむけて研究開発中である。

SPACE DATA LINK SECURITY PROTOCOL – EXTENDED PROCEDURES

「宇宙データリンクセキュリティプロトコル – 拡張手順」

Blue Book
CCSDS 355.1-B-1
発行月：2020年2月
ISO –

【概要】

本推奨規格は、スペースリンク上で宇宙データリンクセキュリティ(SDLS)プロトコルを利用するために必要な、セキュリティアソシエーション管理(SA：通信開始時の安全な伝送路確立方法)、鍵管理(OTAR：無線回線での鍵更新)、プロトコルの監視制御などのSDLS管理機能を定義している。

【内容】

SDLSプロトコルは、データに対して認証、機密性などを確保する機能を果たし、データリンク層のTM（Telemetry：テレメトリ）、TC（Telecommand：テレコマンド）、AOS（Advanced Orbiting System：将来型宇宙機システム）、USLP（Unified Space Data Link Protocol）に適用される。

TMやAOS、USLPフレームの中のオペレーショナルコントロールフィールドに格納されるものとしてフレームセキュリティレポート(FSR)があり、FSRがオンボードのセキュリティユニットの状態の簡易情報として伝送することを拡張手順として規定されている。

鍵管理サービスは、データの認証、機密性、完全性を確保して安全な通信を実現するために、推奨実践規範「Symmetric Key Management(CCSDS 354.0)」を元に設計されている。エンドポイント間(送信者と受信者間)で、暗号鍵と鍵状態が同期されていることを確保する必要がある。マスター鍵とセッション鍵(一定の期間だけ有効な使い捨ての鍵)を用いた2層構造により、頻繁にセッション鍵を更新(OTAR)することで安全性を確保している。

セキュリティアソシエーション(SA)サービスでは、通信を始める前に、送/受信側が、暗号化方式や暗号鍵などの情報を交換・共有し、安全な通信路を確立することで、認証、データ完全性、リプレイプロテクション、データ機密性等が確保される。またSAの再利用や再構成を可能とすることで、柔軟に様々なミッション対応ができることを期待されている。

監視制御サービスは、オンボードのセキュリティプロセッサを監視制御する。プロセッサに送信されたコマンド及び受信したレポートによって制御される。プロセッサは、SDLS規格で定義されたセキュリティ機能を有する完全に別個の装置もしくはソフトウェアであってもよい。

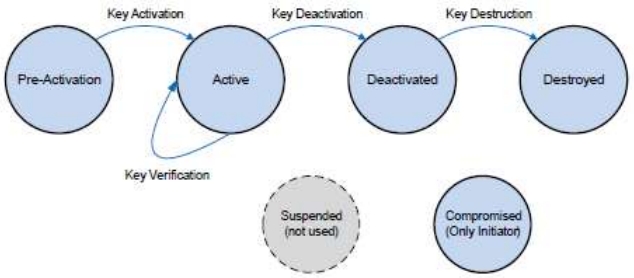


図1:SDLS拡張手順の暗号鍵のライフサイクル

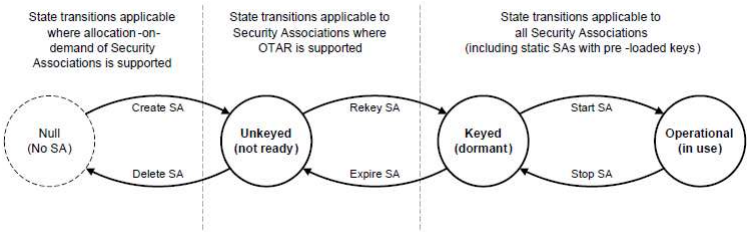


図2:セキュリティアソシエーションの可変状態モデル

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

本文書の執筆とりまとめがESA（欧州宇宙機関）、プロトタイプがCNES（フランス国立宇宙研究センター）とESA、コントリビューターがNASA（アメリカ航空宇宙局）とDLR（ドイツ航空宇宙センター）とCNESとESA、モニターがUKSA（イギリス宇宙局）とFSA（ロシア連邦宇宙局）としてアサインされている。

RADIO FREQUENCY AND MODULATION SYSTEMS – PART 1：EARTH STATIONS AND SPACECRAFT

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」

Blue Book
CCSDS 401.0-B-32
発行月：2021年10月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、宇宙機および地上局の無線周波数・変調システムの規格を推奨するものである。

【内容】
宇宙で使用する無線周波数（RF）は国際電気通信連合（ITU）の無線通信規則で規定されているが、本推奨規格は、地上局及び宇宙機の無線周波数、変調システム（通信周波数、テレコマ、テレメトリ等含む）に関する規格等を、技術及び利用の観点から推奨している。 Part1としては地球局と宇宙機の無線周波数及び変調システムの規格を推奨しており、今後、Part2ではデータ中継衛星システムの規格を推奨する予定である。

なお、本推奨規格は特定の設計を提供するのではなく、ガイドライン／技術的な推奨事項を提供するものである。

2章では技術的な推奨事項を以下の6項目に細分化して提供している。

① 地上局から宇宙機への無線周波数
② テレコマンド
③ 宇宙機から地上局への無線周波数
④ テレメトリ
⑤ 追跡データ(レンジ・ドップラ・DDOR)
⑥ 宇宙機における turnaround 周波数比

ITU : International Telecommunications Union
DDOR : Delta Differential One-Way Ranging

また3章では周波数の有効利用を促進するための各種指針を、4章ではリンク回線計算に関する各種情報等を提供している。

これらの推奨規格や応用ガイダンスは、宇宙機と地上局間の物理的データ伝送に関して、標準的な周波数システム及び変調システムの実装を可能にするものであり、その内容は多岐にわたる。

なお、本推奨規格は、周波数及び変調に関する国際標準として常時参照できるように、現行の宇宙通信業務に照らして見直しと改訂を継続的に行っている。 本推奨規格の目次内容を次ページ以降に記載する。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、全てのCCSDSメンバー機関が採用している。
JAXAでは、JAXA通信設計標準として、現在運用中の全ての宇宙機、および地上局に適用している。

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(1/6)

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(2/6)

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(3/6)

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(4/6)

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(5/6)

「無線周波数・変調システム　Part 1：地上局と宇宙機」　目次(6/6)

PSEUDO-NOISE（PN）RANGING SYSTEMS

「擬似雑音（PN）測距システム 」

Blue Book
CCSDS 414.1-B-3
発行月 ： 2022年1月
ISO 18423

【概要】

本推奨規格は、宇宙機(*1)が利用する再生型PN測距方式と、非再生型PN測距方式を規定するものである。

（注： 本規定は宇宙機がデータ中継衛星を利用する場合には適用しない）

【内容】

再生型PN測距は、深宇宙ミッションのようにS/N比が低い場合に用いられ、一方、非再生型PN測距は、S/N比が高い、あるいは高精度の測距を求められない場合に適している。それぞれの方式を図1に示す。

本推奨規格の目的は、PN符号や変調方式の選択によっては測距精度に大きく差が出るPN測距方式に関して、適切な符号取得時間で高精度な測距が得られるよう、レンジクロック周波数、PN符号の構成/生成、地上局側におけるアップリンクとダウンリンクの処理、宇宙機側の処理等の各種仕様を規定することにある。

より高精度の位置決定を必要とする将来ミッションに対しては、再生型PN測距方式が有効である。

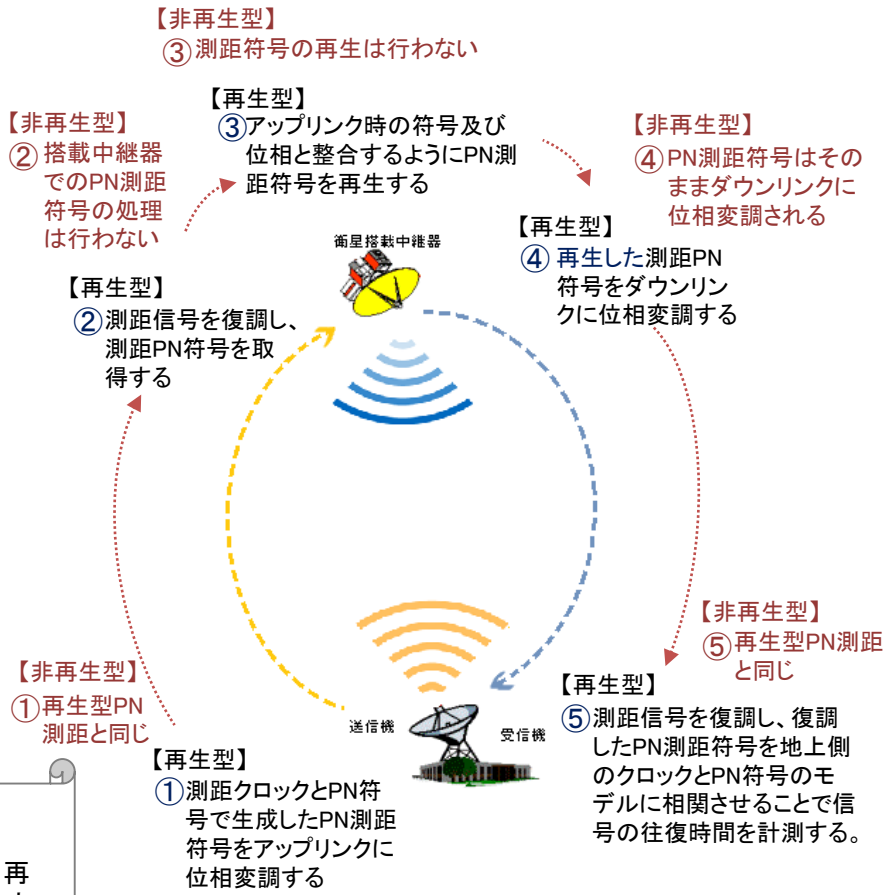


図1　再生型／非再生型PN測距方式

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAの近年の全ての深宇宙探査機で非再生型PN測距方式が採用されている。再生型PN測距方式は「あかつき」や「はやぶさ2」で採用されており、2022年打上げ予定の「OMOTENASHI」や「EQUULEUS」でも採用予定であるが、いずれもJAXA独自のPN符号列(M系列)を採用しており、本文書で規定される符号列(Weighted-voting balanced Tausworthe code)ではないため、現状ではCCSDS互換ではない。

DATA TRANSMISSION AND PN RANGING FOR 2 GHz CDMA LINK VIA DATA RELAY SATELLITE（1/2）

Blue Book
CCSDS 415.1-B-1
発行月：2011年9月
ISO 17810

「データ中継衛星による2GHz CDMAリンクのデータ伝送とPN測距」

【概要】

本推奨規格は、2GHz帯（Sバンド）のデータ中継衛星に採用されている、符号分割多元接続（CDMA）の直接スペクトラム拡散方式（DSSS）を規定すると共に、CCSDSが推奨するデータ伝送方式及び測距方式について記載するものである。

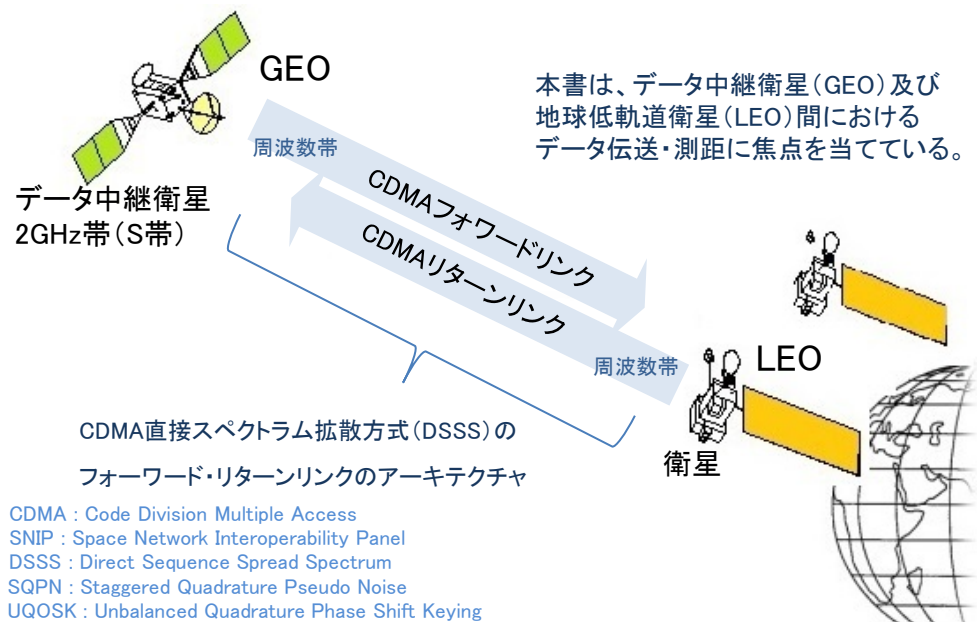
【内容】

CDMA方式は、現在NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、JAXAがそれぞれの衛星間通信に採用している。衛星間通信におけるCDMA符号の使用については、宇宙ネットワーク相互運用パネル（SNIP）で取り決めがなされているが（SNIP符号と呼ばれている）、SNIP符号系列群は数に限りがある。

CCSDSでは、既存のSNIPの擬似雑音（PN）符号と同じプロパティを有する新たな符号を「CCSDS PN符号系列群※1」として定義することで、使用可能なPN符号系列群を拡充し、さらに符号フォーマットを標準化することで、パワースペクトル密度（PSD）を制限／多元接続干渉（MAI）を最小限に抑え、CDMA通信の相互運用の促進並びにデータ伝送・測距における干渉（混信）や劣化の低減を目指すものである。

本推奨規格では、
- CDMA直接拡散（DSSS）リンクにおけるPN符号の使用概要
- CCSDSの推奨するスペクトラム拡散変調の要件
- フォワード／リターンリンクのPN拡散信号の仕様
- ネットワーク側（中継衛星側）の送受信・測距に関わる要件／PN拡散符号を利用して送受信・測距を行う際のユーザ側（LEO衛星側）の機能・性能要件

について記述している。
次頁に、CDMA直接スペクトラム拡散方式の通信アーキテクチャ（例）を示す。



本書は、データ中継衛星（GEO）及び地球低軌道衛星（LEO）間におけるデータ伝送・測距に焦点を当てている。

CDMA直接スペクトラム拡散方式（DSSS）のフォーワード・リターンリンクのアーキテクチャ

CDMA : Code Division Multiple Access
SNIP : Space Network Interoperability Panel
DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum
SQPN : Staggered Quadrature Pseudo Noise
UQOSK : Unbalanced Quadrature Phase Shift Keying

各国宇宙機関およびJAXAの動向

本推奨規格は、ESA（欧州宇宙機関）、CNSA（中国国家航天局）が採用している。JAXAはSINPを利用しており、本規格は利用していない。

DATA TRANSMISSION AND PN RANGING FOR 2 GHz CDMA LINK VIA DATA RELAY SATELLITE（2/2）

「データ中継衛星による2GHz CDMAリンクのデータ伝送とPN測距」

Blue Book
CCSDS 415.1-B-1
発行月：2011年9月
ISO 17810

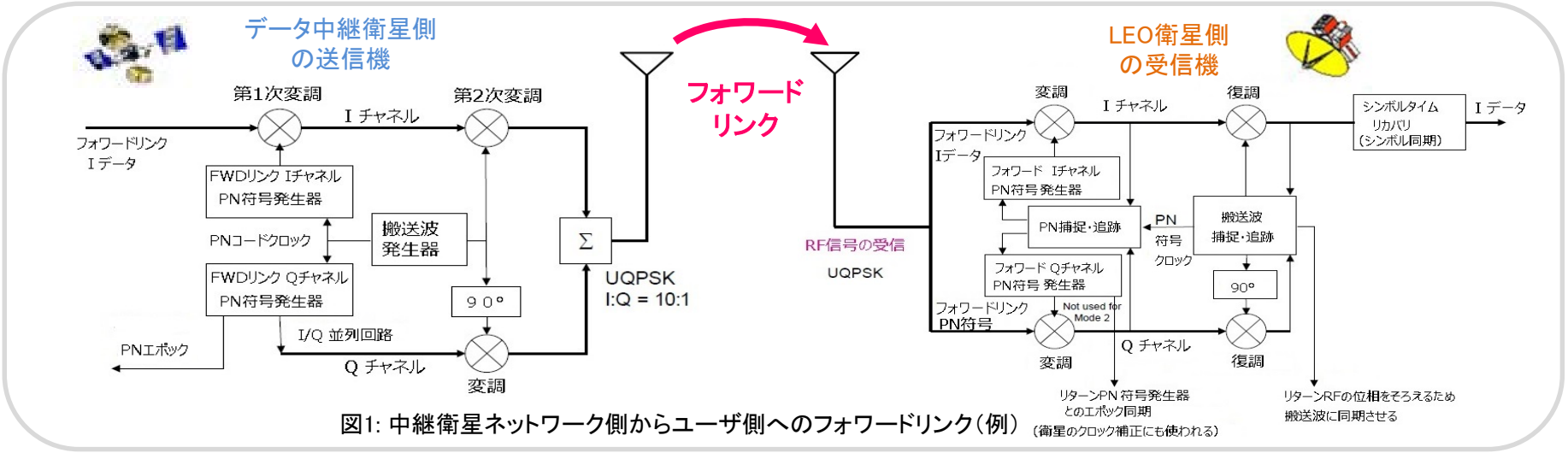


図1: 中継衛星ネットワーク側からユーザ側へのフォワードリンク（例）

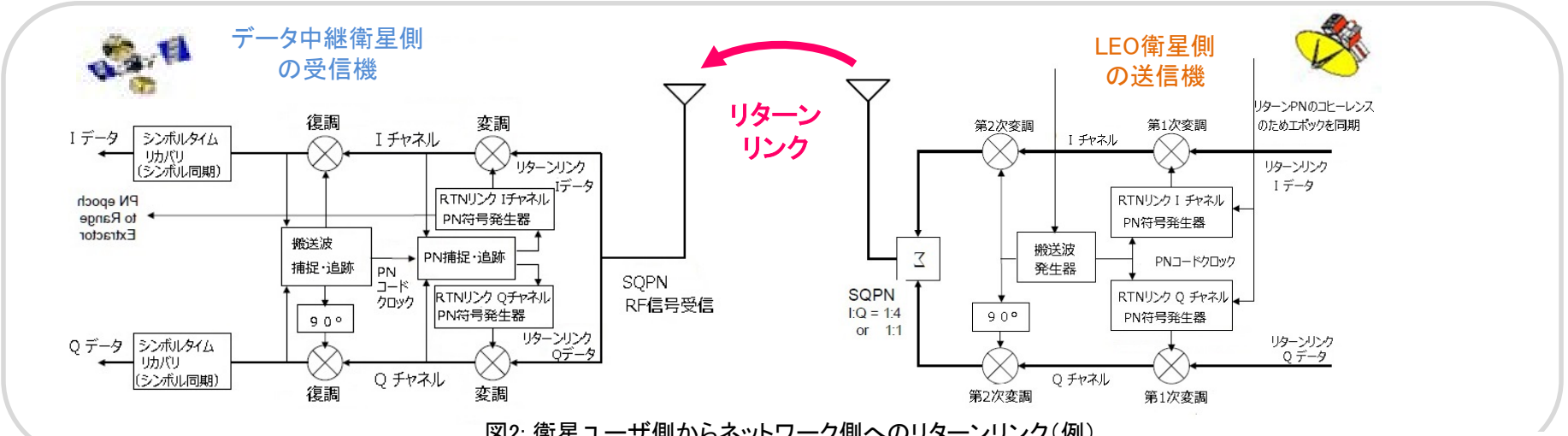


図2: 衛星ユーザ側からネットワーク側へのリターンリンク（例）

VARIABLE CODED MODULATION PROTOCOL
「可変符号化変調プロトコル」

Blue Book
CCSDS 431.1-B-1 Cor. 1
発行月：2022年4月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、データ伝送速度を通信リンクのマージン予測に応じて最適化させるよう、VCM（Variable Coded Modulation）プロトコルを用いてチャネル符号化方式と変調方式を最適に設定する際の符号化および変調の様々な組み合わせを規定するものである。設定された組み合わせは宇宙機の運用計画に反映される。

【内容】
VCMプロトコルは、CCSDSの同期・チャネル符号化副層、及び物理層の両層を対象としており、このうち物理層は変調方式を定義している（図1）。送信側と受信側の双方で符号化方式と変調方式を合わせるために、VCMのモードにはTM（CCSDS 131.0-B-3）、SCCC（CCSDS 131.2-B-1）、DVB-S2（CCSDS 131.3-B-1）の3種類が用意されており、符号化方式と変調方式の組み合わせをVCMモード番号として定義している。（表1はTM方式の例）
本推奨規格では、第2章にOSI参照モデル・CCSDSの階層及びCCSDSプロトコルにおけるVCMプロトコルの範囲、第3章にVCMプロトコルとしてのトランスファーフレームから物理層フレームに至るフレーム構造（図2）、VCMモード毎のフレームフォーマット及びVCMモード表、第4章にVCMプロトコルの管理パラメータを定義している。

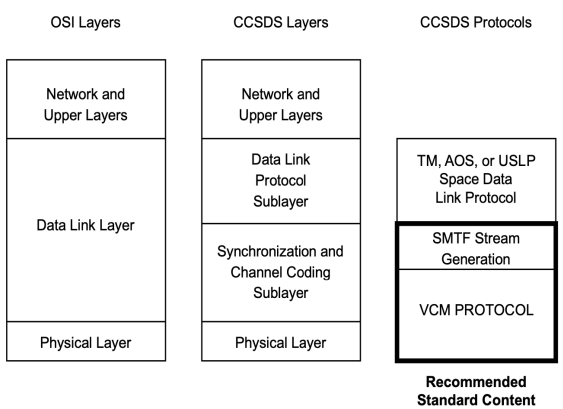


図1　OSI参照モデル/CCSDS階層/CCSDSプロトコルと、本規格の対応関係

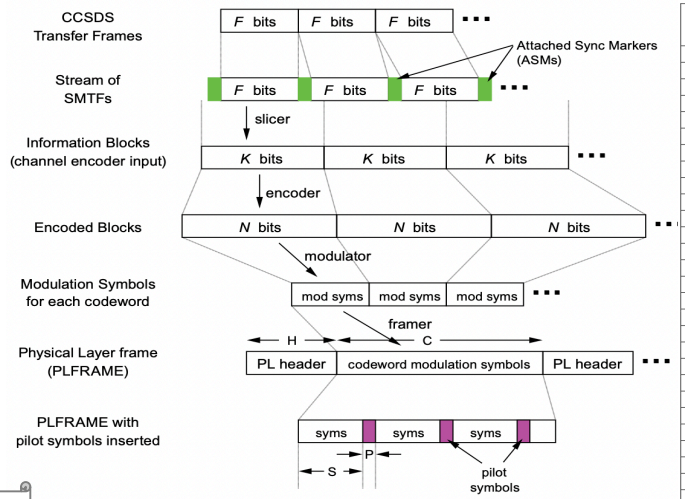


図2　VCMプロトコルの物理層フレームの構成

表1　VCMモード表の一例（TM方式）

VCM Mode	Modulation	Code	Code Rate (Note 1)	Input Length (short) *K* bits (Note 2)	Input Length (long) *K* bits (Note 2)
0	Reserved				
1	BPSK	Turbo	1/6	1784	8920
2	BPSK	Turbo	1/4	1784	8920
3	BPSK	Turbo	1/3	1784	8920
4	BPSK	LDPC	1/2	1024	16384
5	BPSK	LDPC	2/3	1024	16384
6	BPSK	LDPC	4/5	1024	16384
7	BPSK	LDPC	223/255	7136	7136
8	QPSK	LDPC	1/2	1024	16384
9	QPSK	LDPC	2/3	1024	16384
10	QPSK	LDPC	4/5	1024	16384
11	QPSK	LDPC	223/255	7136	7136
12	8-PSK	LDPC	1/2	1024	16384
13	8-PSK	LDPC	2/3	1024	16384
14	8-PSK	LDPC	4/5	1024	16384
15	8-PSK	LDPC	223/255	7136	7136
16	16-APSK	LDPC	1/2	1024	16384
17	16-APSK	LDPC	2/3	1024	16384
18	16-APSK	LDPC	4/5	1024	16384
19	16-APSK	LDPC	223/255	7136	7136
20	32-APSK	LDPC	1/2	1024	16384
21	32-APSK	LDPC	2/3	1024	16384
22	32-APSK	LDPC	4/5	1024	16384
23	32-APSK	LDPC	223/255	7136	7136
24	64-APSK	LDPC	1/2	1024	16384
25	64-APSK	LDPC	2/3	1024	16384
26	64-APSK	LDPC	4/5	1024	16384
27	64-APSK	LDPC	223/255	7136	7136
28	Reserved				
29	Reserved				
30	Reserved				
31	Reserved				

NOTES
1 The turbo codes have a slightly lower code rate than listed, because of the termination bits used at the end of the codeblock.
2 Information block length *K* is discussed in 3.3.1.2 and 3.3.2.2.
3 The ratio of outer circle to inner circle radius to be used in modes 16-27 is defined in reference [5].

各国宇宙機関およびJAXAの動向
NASA/JPLでは本プロトコルの実証実験を実施。欧州でもDLRが地球観測衛星への適用を検討中。JAXAでは現在利用に向けた検討を行っている。

CCSDS宇宙リンク同期・符号化に係るCCSDS文書（発行済み文書）

解説資料（Green Book）	推奨規格（Blue Book）	予備検討規格（Orange Book）
CCSDS 130.1-G TM Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TM同期およびチャネルコーディング（通信路符号化）- コンセプトと論理的根拠」	CCSDS 131.0-B TM Synchronization and Channel Coding 「TM同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	
	CCSDS 131.2-B Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications 「高速テレメトリのための広範適用型高度符号化及び変調方式」	
CCSDS 130.12-G CCSDS Protocols over DVB-S2 – Summary of Definition, Implementation, and Performance 「DVB-S2を用いたCCSDSスペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.3-B CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard 「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」	CCSDS 131.31-O CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2X Standard 「ETSI DVB-S2X規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群」
		CCSDS 131.5-O Erasure Correcting Codes for Use in Near-Earth and Deep-Space Communications 「近地球通信及び深宇宙通信用の消失訂正符号」
CCSDS 130.11-G SCCC-Summary of Definition and Performance 「SCCC (Serially Concatenated Convolutional Code)-定義と性能に関する要約」		CCSDS 131.21-O Serially Concatenated Convolutional Codes – extension (SCCC-X) 「SCCC拡張 (SCCC-X)」
CCSDS 230.1-G TC Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）－コンセプトおよび論理的根拠の概要」	CCSDS 231.0-B TC Synchronization and Channel Coding 「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）」	
	CCSDS 431.1-B Variable Coded Modulation Protocol 「可変符号化変調プロトコル」	← 本文書

AOS SPACE DATA LINK PROTOCOL

「AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル」

Blue Book
CCSDS 732.0-B-4
発行月：2021年10月
ISO 22666

【概要】

本推奨規格は、宇宙ミッションで使用される、宇宙-地上間、もしくは、宇宙-宇宙間の通信において、データリンク層に位置付けられるAOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコルを規定するものである。

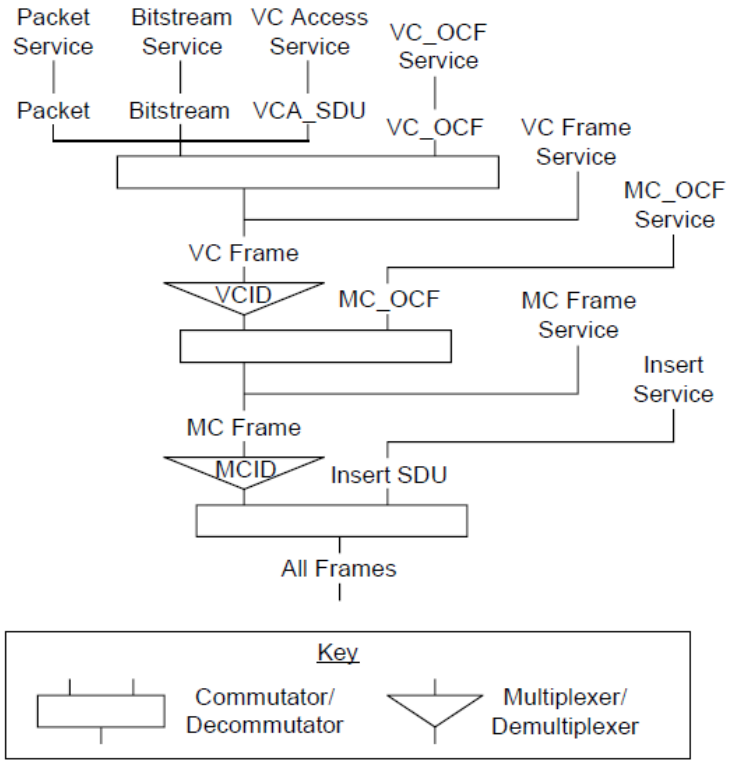
【内容】

本プロトコルは、AOSトランスファーフレーム（AOS Transfer Frame）と呼ぶ固定長のプロトコルデータユニット（PDU）を使用する。また、1つの物理チャネルにバーチャルチャネル（VC）と呼ばれる論理的なデータチャネルを複数割り当てて使用することができる。

AOS宇宙データリンクプロトコルが提供するサービスは下記の通りである。

a）Packet
b）Bitstream
c）Virtual Channel Access（VCA）
d）Virtual Channel Operational Control Field（VC-OCF）
e）Virtual Chanel Frame（VCF）
f）Master Channel Frame（MCF）
g）Insert

多重化/非多重化、結合/分解を伴うチャネル構造を右図に示す。



各国宇宙機関およびJAXAの動向

本プロトコルは、一部宇宙機関を除く全てのメンバー機関が採用している。
JAXAは、本プロトコルをJAXA通信設計標準として、宇宙機の通信・データ処理系、および地上局に適用している。

UNIFIED SPACE DATA LINK PROTOCOL

「統合的宇宙データリンクプロトコル（USLP）」

Blue Book
CCSDS 732.1-B-2
発行月：2021年10月
ISO －

【概要】
本推奨規格は、宇宙ミッションのより高速なデータ通信要求のために、既存のCCSDSデータリンク層プロトコル群に加えた新たなプロトコルとして、「統合的宇宙データリンクプロトコル（Unified Space Data Link Protocol：USLP）」を規定するものである。

【内容】
USLPは、「USLP Transfer Frame」と呼ばれるプロトコルデータユニット（PDU）を使用してデータ伝送を行う。Transfer Frameを可変長とし、高速データ通信に対応するために最大データ長を増やしている他、より多くの宇宙機の識別を可能としている。また、容量の大きいサービスデータユニット（ヘッダーを付ける前の状態のデータ）をセグメントに分割したり、小容量のサービスデータユニットをグループ化するなどの機能も提供する。

また、USLPの主な特徴の一つとして、バーチャルチャネル（VC）のコンセプトを採用しており、1つの物理チャネルにVCと呼ばれるデータチャネルを複数割り当てることができる。

各種アプリケーションデータを地上-宇宙間、宇宙-地上間、宇宙-宇宙間で伝送する際の提供サービス（図4を参照）の仕様についても定義している。

Service	Service Attribute	Service Data Unit	SAP Address	SDLS Security Features
MAPP	Sequence-Controlled and Expedited, Asynchronous	Packet	GMAP ID + PVN	All
MAPA	Sequence-Controlled and Expedited, Asynchronous	MAPA_SDU	GMAP ID	All
MAP Octet Stream	Asynchronous	Octet Stream Data	GMAP ID	All
USLP_MC_OCF	Synchronous or Asynchronous	OCF_SDU	GVCID	None
VCF	Asynchronous or Synchronous	Transfer Frame	GVCID	None
MCF	Asynchronous or Synchronous	Transfer Frame	MCID	None
Insert	Periodic	IN_SDU	Physical Channel Name	None
COPs Management	N/A	N/A	GVCID	N/A

図4 USLPの提供サービス

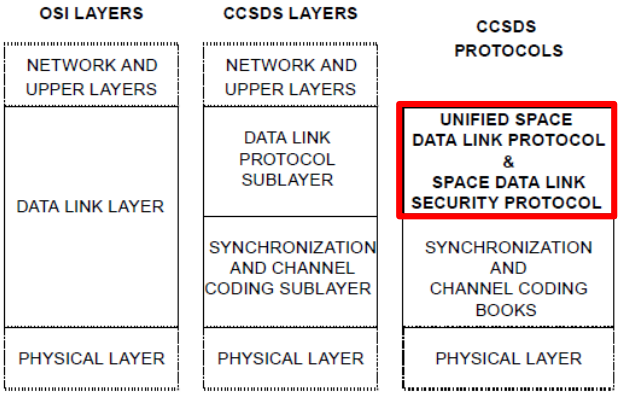


図1 OSI参照モデルにおける本プロトコルの位置づけ

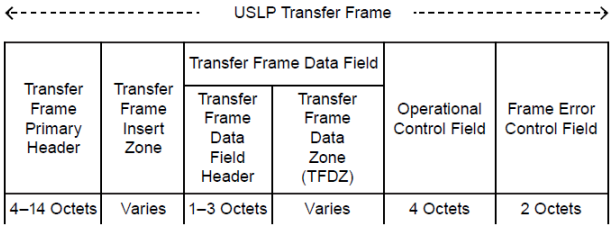


図2 USLP Transfer Frameの構成

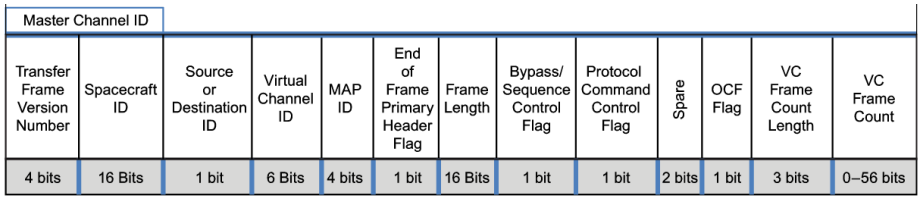


図3 USLP Transfer Frameのヘッダーのフォーマット

各国宇宙機関およびJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

ATMOSPHERIC CHARACTERIZATION AND FORECASTING FOR OPTICAL LINK OPERATIONS

「大気の特性評価と光リンク運用の予測」

Magenta Book
CCSDS 141.1-M-1
発行月：2022年1月
ISO －

【概要】

本推奨実践規範は、宇宙から地上への光通信リンクに影響を与える大気データの収集と、大気パラメータ（雲量、エアロゾル、光学乱流、地表の風、湿度など）の特性評価を効率的に行うための推奨事項を規定するものである。

【内容】

本書には以下の内容が記述されている。

2章：　光通信リンクに影響を与える大気作用の概要と、大気データ収集機器の実装

3章：　大気パラメータの測定要件

4章：　3章から導き出される大気パラメータの算出要件

5章：　大気パラメータの統計

6章：　リアルタイムでの特性評価と予測

7章：　機器設置

8章：　静止衛星からの雲画像を用いた光地上局の適合性

9章：　今後追記予定のデータフォーマット

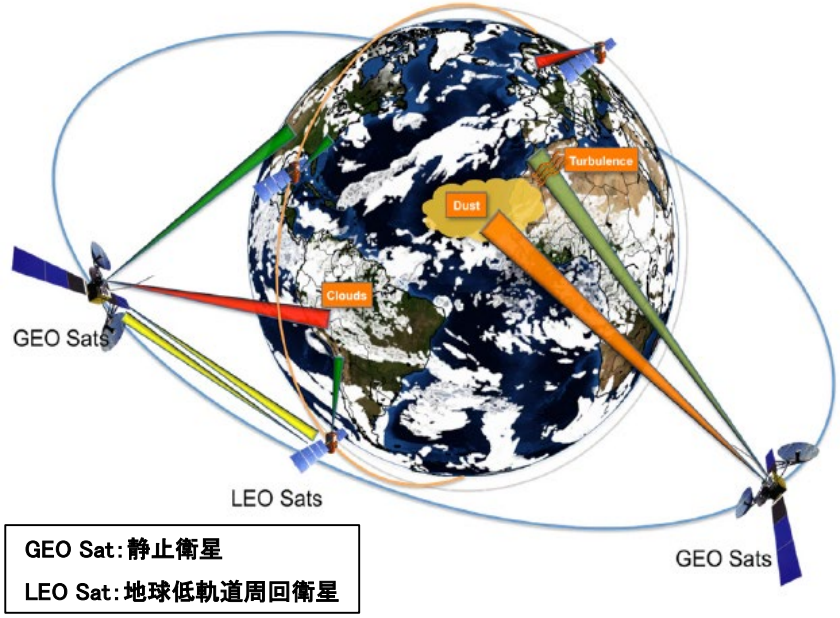


図1：宇宙-地上間の光通信に対する大気影響の概念図

図1に光通信リンクに対する大気影響の概念図を示す。

円錐は光リンクを表しており、濃い緑色は視界に雲の影響が無い状態、黄緑色は乱気流による劣化、橙色はエアロゾルによる減衰、赤色は雲に遮られている状態をそれぞれ示している。また、黄色はLEO衛星とGEO衛星間のクロスリンク（軌道上間リンク）を示している。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

新規文書につき、現在情報を収集中。

LOSSLESS DATA COMPRESSION（1/2）

「データの可逆圧縮」

Green Book
CCSDS 120.0-G-4
発行月：2021年11月

本解説資料は、CCSDS 推奨規格「画像データ圧縮（CCSDS 121.0-B-2）」の諸要件を裏付ける主要な運用概念や、論理的根拠を解説するものである。

デジタルデータを可逆圧縮する際のソースコーディング（情報源符号化）、および圧縮デジタルデータの復元方式について、性能データの図表等を含めて記載しており、CCSDS準拠の可逆データ圧縮アルゴリズムに関する入門的な解説として、同推奨規格に初めて触れる人の理解を促すことを目的としている。

以下が主な記載内容である。

2章：概要
3章：可逆データ圧縮のアルゴリズムの解説（特にオンボードにおける前処理と圧縮アルゴリズム）
4章：宇宙機における可逆データ圧縮の諸問題、およびその対処方法（パケット伝送、エラー伝搬回避）
5章：実装に際してCCSDS AOSスペースデータリンクプロトコルを使用した伝送システム（宇宙セグメントおよび地上セグメント）の説明
6章：実際のセンサー例を用いたデータ圧縮の圧縮率（CR）を示し、一般的な圧縮アルゴリズム（LZW）とCCSDS標準を比較することで、CCSDS標準がより優れてることを示している。

可逆圧縮アルゴリズムは、データソースに適用することも、オンボードデータシステムの機能として実行することもできる。圧縮されたデータを格納したパケットは、図1に示すパケットデータシステムを使用して、宇宙機上のソースから地上のデータシンクまで、スペースリンクを介して伝送される。

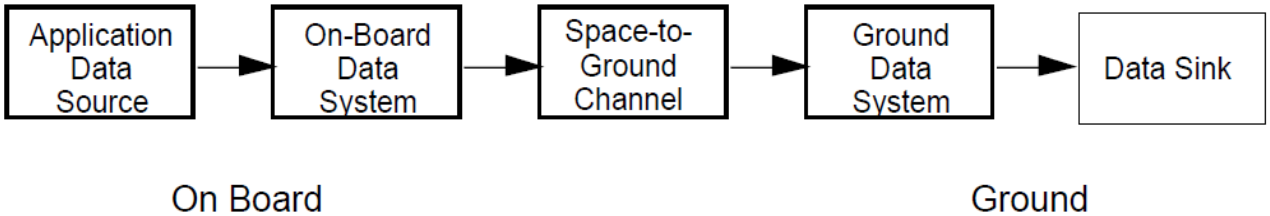


図1: パケットテレメトリデータシステム

LOSSLESS DATA COMPRESSION（2/2）

「データの可逆圧縮」

Green Book
CCSDS 120.0-G-4
発行月：2021年11月

＜圧縮アルゴリズム＞

圧縮技術には、Huffman符号化、算術符号化、Ziv-Lempel符号化などがあるが、CCSDSの推奨規格ではRiceアルゴリズムが使われている。

Riceアルゴリズムでは、圧縮に一連の可変長コードを使用し、各コードは、特定の幾何分散ソースに対してほぼ最適化されている。いくつかの異なるコードを使用してコード識別子を送信することにより、より圧縮され低エントロピーであるデータソースから、それほど圧縮されていない高エントロピーなデータソースまで、多くのデータソースに適用可能である。

Riceアルゴリズムの処理の流れを図2に示す。

データサンプルの相関をなくすPreprocessor（前処理）に続き、エントロピー符号化のためにそれらを最適な符号にマッピングする。

Inputデータを、　x=x1,x2,・・・xj.　とすると、

Preprocessorでは、xを　δ＝δ1,δ2,・・・δj　に変換する。

Adaptive Entropy Coder（エントロピー符号への適合処理）では、前処理のサンプルδを符号化されたビットシーケンスyに変換する。

どのブロックも最良の圧縮が選択される。

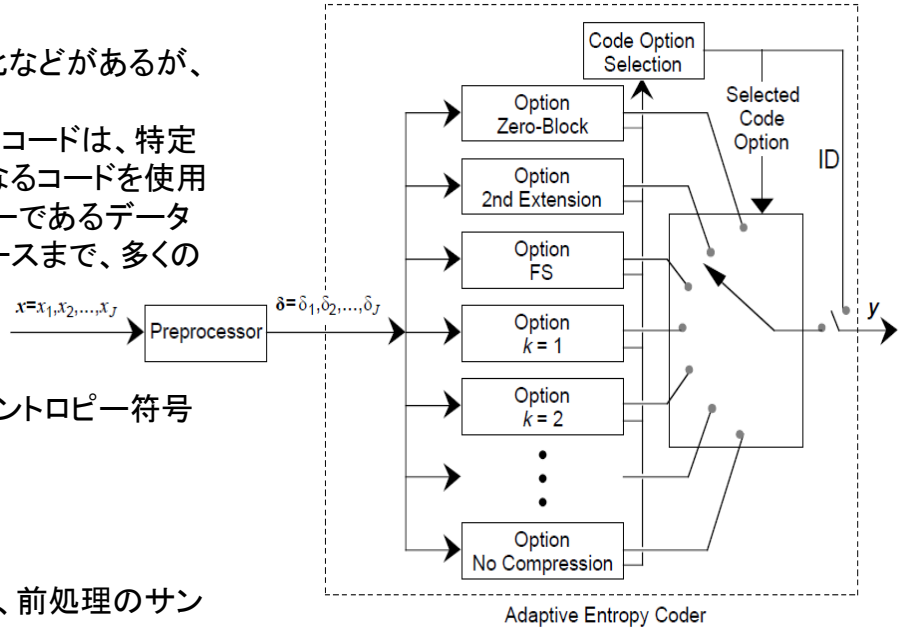


図2: 変換技術

また、各オプションについて、3.2節で詳しく説明している。

関連CCSDS規格

- Lossless Data Compression. CCSDS 121.0-B-3 (Blue Book), August 2020.
- Organization and Processes for the Consultative Committee for Space Data Systems. CCSDS A02.1-Y-4 (Yellow Book), April 2014.
- Space Packet Protocol. CCSDS 133.0-B-2 (Blue Book), June 2020.
- AOS Space Data Link Protocol. CCSDS 732.0-B-4 (Blue Book), October 2021.
- Robert F. Rice, Pen-Shu Yeh, and Warner H. Miller. “Algorithms for High Speed Universal Noiseless Coding.” In Proceedings of AIAA Computing in Aerospace, IX（October 19-21, 1993, San Diego, CA）. Reston, Virginia: AIAA, 1993.
- TM Synchronization and Channel Coding. CCSDS 131.0-B-3 (Blue Book), September 2017.

IMAGE DATA COMPRESSION（1/3）

「画像データ圧縮」

Green Book
CCSDS 120.1-G-3
発行月：2021年11月

本解説資料は、CCSDS 推奨規格「画像データ圧縮（CCSDS 122.0-B-2）」の諸要件を裏付ける、主要な運用概念や論理的根拠を示すもので、CCSDS準拠の画像データ圧縮アルゴリズムについての入門的な解説として、同推奨規格に初めて触れる人の理解を促すことを目的としている。

宇宙機搭載機器で得られる2次元空間データに適用するテータ圧縮アルゴリズムと、圧縮データをどのような形式でエンコードするかを規定している。2章に概要、3章に圧縮のオプションとパラメータ、4章に実装に際しての説明、5章にCCSDS勧告を適用した圧縮の実行結果と、その他一般的な圧縮結果の比較、6章にアルゴリズム選択の理由について記述している。

図1に示すように、データ圧縮アルゴリズムは、離散ウェーブレット変換（DWT：Discrete Wavelet Transform）と、ビットプレーン・エンコーダ（BPE：Bit-Plane Encoder）の2つの機能で構成される。入力する2次元空間データには図2のようなダイナミックレンジを推奨しており、画素値は符号付きもしくは符号なし整数量で表現されることを想定している。

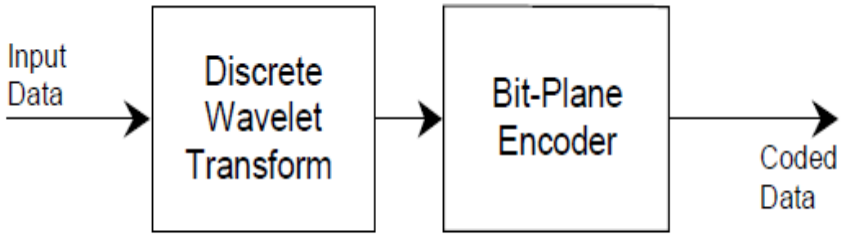


図1: コーダーの概略図

	Pixel Type	
	Unsigned	Signed
Integer DWT	25	25
Float DWT	27	28

図2: 最大ピクセルビット深度

IMAGE DATA COMPRESSION（2/3）

「画像データ圧縮」

Green Book
CCSDS 120.1-G-3
発行月：2021年11月

＜離散ウェーブレット変換（DWT：Discrete Wavelet Transform）＞

DWTの圧縮方式について、図3にプログラムとデータフローを示す。

画像データを入力し、プログラムでセグメント単位に段階的にDWT係数を計算、DWT係数バッファに保存する。2次元データの変換は、図4に示す3段階の変換が実施され、10個のサブ画像を生成する。

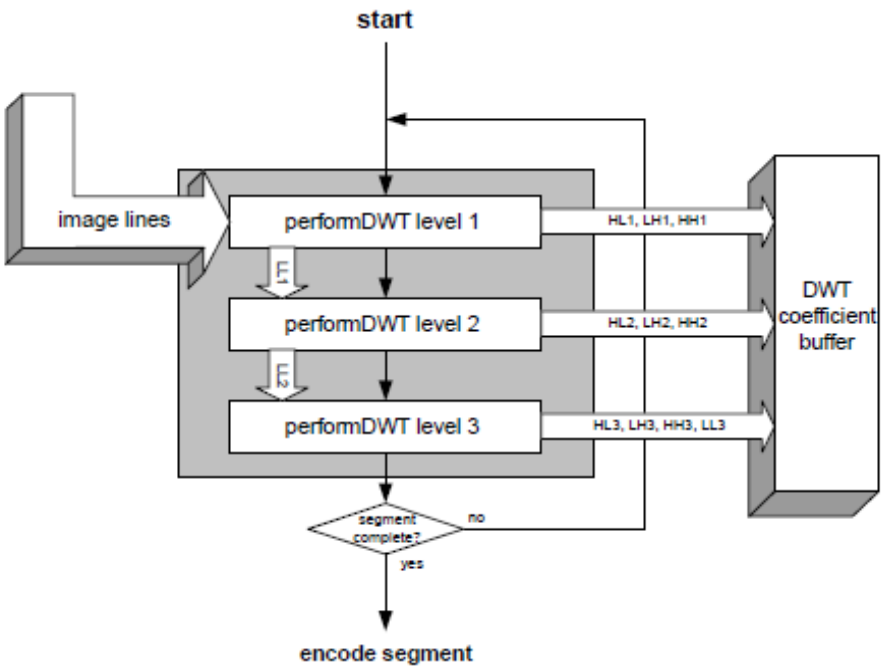


図3: DWTモジュールのプログラムとデータフロー

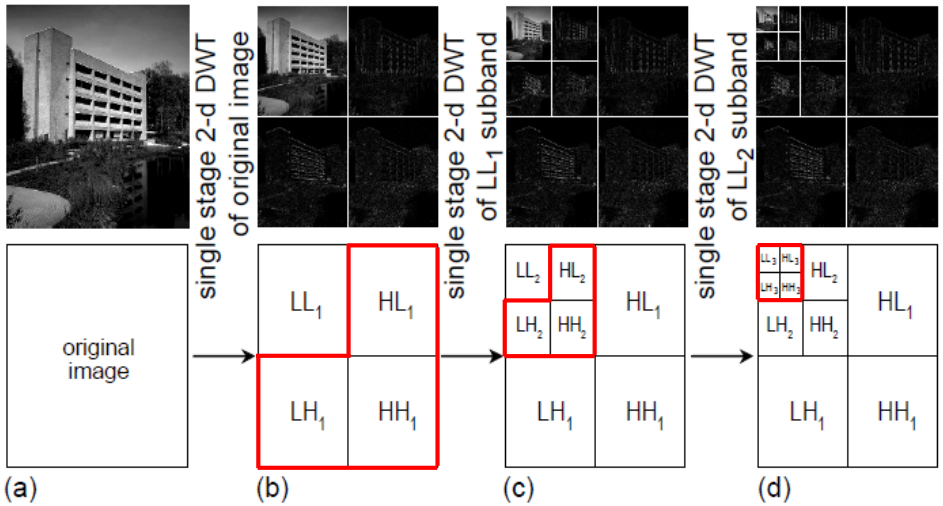


図4: DWTによる2次元データの3段階画像分解

IMAGE DATA COMPRESSION（3/3）

「画像データ圧縮」

Green Book
CCSDS 120.1-G-3
発行月：2021年11月

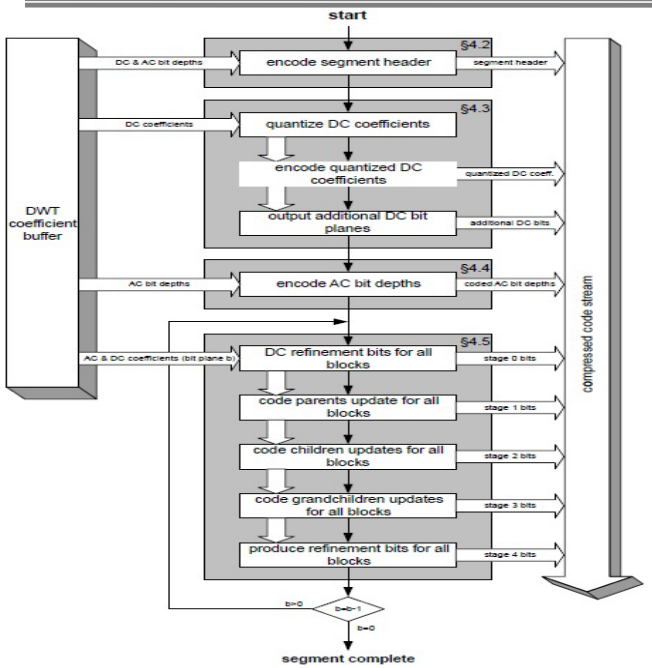


図5: BPEのプログラムおよびデータフロー

＜ビットプレーン・エンコーダ（BPE：Bit-Plane Encoder）＞

図5に、BPEのプログラムとデータフロー図を示す。BPEは、圧縮されたデータストリームのDWT係数バッファからDWT係数を取得し、係数をコード化して出力する。BPEは4ステップでセグメントをコード化する。 各ステップは、

①セグメントヘッダのエンコード（§4.2）
②DC係数の量子化（§4.3）
③AC係数ビット深度のエンコード（§4.4）
④AC係数ブロックのビットプレーン（§4.5）

であり、①②③④の順にコード化する。

注：カッコ内の§は CCSDS 122.0-B-2の参照先

BPEは「ブロック」と呼ばれる64の係数グループでウェーブレット係数を生成する。ブロックは原画像の局所領域に対応している。図6に示すように、図の1つのセルが1つの変換後データに対応する。ここでLL3にある1つの変換後データをDCとすると、これに関連付けられるデータ（parent, children, grandchildren）は色付きセルで表され、DC係数を含め64個のセットを成す。このセットを「ブロック」と定義する。また、複数のブロックを「セグメント」と定義する。

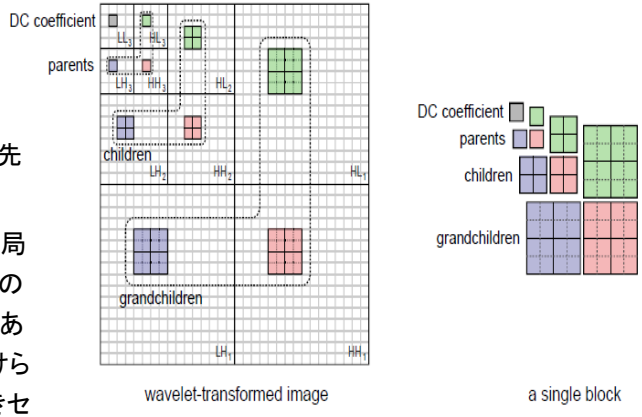


図6: ウェーブレット変換画像の概略図
（1つのブロックは64階調の陰影ピクセルで構成される）

BPEでは、DC値を2の補数でエンコードする。この値を2進数で表現した桁数のセグメント内最大値を「BitDepthDC」と定義する。ブロック*m*内のDC以外の値（63個）を2進数で表現した桁数のブロック内最大値を「BitDepthAC_Blockm」と定義し、セグメント内最大値を「BitDepthAC」と定義する。BPEは、上記の桁数を確保して数値をエンコードしていく。

関連CCSDS規格

- Image Data Compression. CCSDS 122.0-B-2 (Blue Book), September 2017.
- Space Packet Protocol. CCSDS133.0-B-2 (Blue Book), June 2020.
- Lossless Data Compression. CCSDS 121.0-B-3 (Blue Book), August 2020.
- Information Technology—JPEG 2000 Image Coding System: Core Coding System. International Standard, ISO/IEC 15444-1:2004. 2nd ed. Geneva: ISO, 2004.

LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION (1/2)

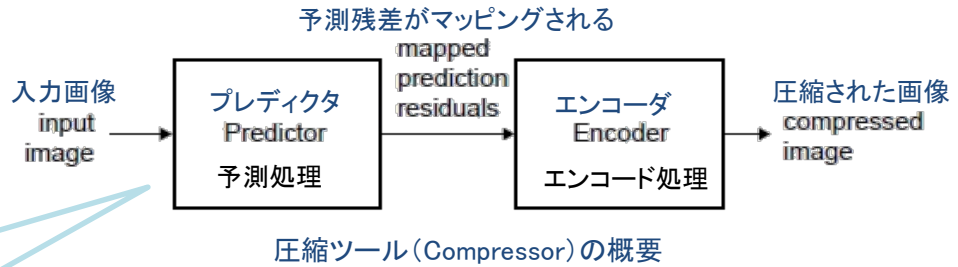
「マルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像の可逆圧縮」

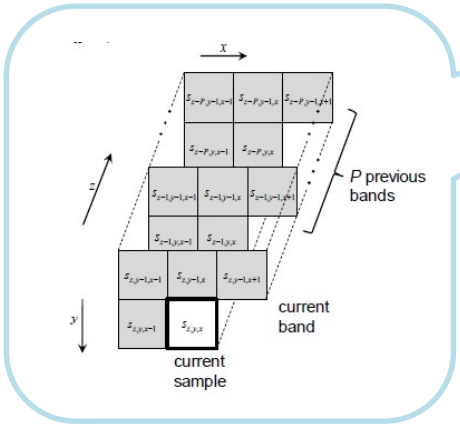
Green Book
CCSDS 120.2-G-1
発行月：2015年12月

本解説資料は、既発行の推奨規格「マルチスペクトル／ハイパースペクトル画像の可逆圧縮（LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION） CCSDS123.0-B-1」を使用する際に参考となるアルゴリズムや用語について補足解説するものである。上記推奨規格は、宇宙機のペイロードで取得した3D画像データのマルチスペクトル（複数の波長帯に分光）と、ハイパースペクトル（数十以上の波長帯に分光）、およびサウンダに適用可能な標準的可逆圧縮ツールについて定義したものであり、ここで定義する可逆圧縮はサンプル値の予測に線形予測を用いている。

本解説資料では、2章に圧縮前・圧縮後画像の概要、3章に本推奨規格の圧縮アルゴリズム、4章にその圧縮方法と圧縮機能、5章に実装にあたっての留意点、6章に他の圧縮方式との比較、7章に各種圧縮技術との違いについて解説している。

圧縮処理は「プレディクタ」と「エンコーダ」の2つの処理からなる。
「プレディクタ」では、3次元のデータのサンプル値に基づき、線形予測法でそれぞれの画像の予測値を算出し、予測残差をマッピングして、予測結果を補完する。（下図に処理イメージを示す）





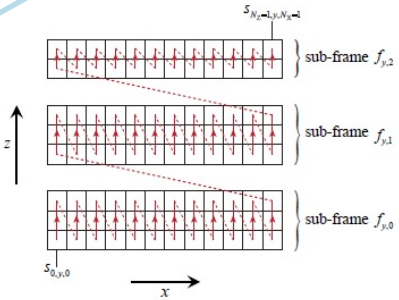


図1:サブフレームインターリーブの深さが3の場合のエンコード例

マッピングされた予測残差を画像に符号化するには、サンプル適応エントロピー符号化アプローチ*1)、またはブロック適応エントロピー符号化アプローチ*2)のいずれかを使用することができる。

*1) 可変長バイナリコードワードを使用して符号化

*2) マッピングされた予測残差のシーケンスはショートブロックに分割され、使用される符号化方法はブロック毎に独立して選択される

LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION (2/2)

「マルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像の可逆圧縮」

Green Book
CCSDS 120.2-G-1
発行月：2015年12月

	Instrument	CCSDS-123.0-B	JPEG-LS		ESA + sample-adaptive coding	LUT + sample-adaptive coding	CCSDS-122.0-B			JPEG2000		
			direct	differential			direct	+ IWT	+ POT	direct	+ IWT	+ POT
Hyperspectral Images	IASI	4.75	6.60	5.02	4.91	5.57	7.55	5.63	6.11	7.02	5.21	5.55
	AIRS	4.30	6.35	4.82	4.68	5.66	6.86	5.04	5.03	6.62	4.78	4.67
	CRISM-FRT	5.06	5.53	5.48	8.92	9.54	6.92	6.95	7.00	5.97	5.86	6.08
	CRISM-HRL	4.56	5.55	4.94	8.38	9.06	6.80	6.41	6.52	5.95	5.32	5.58
	CRISM-MSP	2.55	3.42	2.99	6.80	7.02	4.91	4.72	5.25	3.85	3.54	4.02
	M3-Global	2.14	4.83	2.56	6.45	7.20	5.72	4.29	4.50	5.10	3.13	3.56
	M3-Target	3.09	3.66	3.33	6.60	7.44	5.02	4.60	4.70	4.00	3.50	3.64
	Hyperion	4.30	5.02	4.59	5.52	6.08	5.58	5.05	5.07	5.14	4.52	4.58
	Hyperion flatfield	3.97	4.80	4.33	4.11	4.54	4.99	4.39	4.32	4.89	4.19	4.05
	SFSI	4.67	4.75	5.02	4.91	5.43	5.30	4.97	4.90	4.65	4.61	4.56
	SFSI_rmnoise	2.96	4.35	3.08	4.07	4.70	4.88	3.92	3.75	4.42	3.34	3.23
	AVIRIS(16-bit raw)	5.96	8.61	6.67	6.16	6.87	8.78	6.82	6.46	8.88	6.79	6.38
	AVIRIS(12-bit raw)	2.68	4.54	3.32	3.01	3.44	4.72	3.57	3.33	4.59	3.34	3.04
	AVIRIS(16-bit cal)	3.74	6.39	4.46	4.32	4.54	6.57	4.58	4.41	6.56	4.42	4.21
	CASI	5.02	6.77	5.33	5.10	5.65	7.02	5.46	5.56	6.97	5.28	5.37
Multispectral Images	MODIS-night	4.70	5.38	5.84	7.76	7.22	6.20	6.44	5.15	5.51	5.78	4.98
	MODIS-day	5.72	4.69	5.03	5.75	6.44	5.59	6.65	6.52	5.37	6.50	6.28
	MODIS-500m	7.20	7.62	6.64	8.36	8.88	8.22	8.16	7.56	7.77	7.18	6.95
	MODIS-250m	6.48	6.96	6.62	7.15	7.73	7.14	7.07	6.50	7.08	6.99	6.41
	MSG	3.39	3.50	3.83	4.11	5.06	3.70	4.06	3.90	3.50	3.87	3.70
	LANDSAT	3.37	3.70	3.62	3.91	4.32	4.03	3.87	3.81	3.87	3.67	3.60
	PLEIADES	7.32	7.84	7.31	7.95	8.65	8.05	7.58	7.83	8.15	7.66	7.92
	VEGETATION_level1b	5.26	5.30	5.05	5.86	6.96	5.59	5.54	5.53	5.48	5.39	5.36
	VEGETATION_level1c	5.04	5.26	5.02	5.55	6.77	5.46	5.35	5.30	5.42	5.31	5.25
	SPOT5	4.53	4.71	4.71	5.17	5.66	4.96	5.07	4.70	4.92	5.03	4.61

NOTE – Better performance is indicated in green.

表1: フル画像圧縮の場合の本CCSDS規格と圧縮性能（平均値）を他の圧縮方式との比較

表1は、マルチスペクトル、またはハイパースペクトルを使用する各宇宙機ミッションについて、本CCSDS規格と、各圧縮方式（JPEG-LS、CCSDS画像データ圧縮（122.0-B）、JPEG2000）との圧縮性能を比較したものである。

圧縮性能（イメージ当たりのビット数）は、本CCSDS規格（123.0-B）が総じて良いことが示されている。

LOW-COMPLEXITY LOSSLESS AND NEAR-LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION (1/2)

「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像圧縮」

Green Book
CCSDS 120.2-G-2
発行月：2022年12月

本解説資料は、推奨規格「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像圧縮(CCSDS123.0-B-2)」*1)の主要な運用コンセプトと論理的根拠をまとめたものである。

2章に圧縮前・圧縮後画像の概要、3章に本推奨規格の圧縮アルゴリズム、4章に圧縮アルゴリズムのパラメータ設定に応じて圧縮性能がどう変わるか、5章に実装にあたっての留意点、6章に他の圧縮方式との比較について、それぞれ記述している。

*1) マルチスペクトルカメラやハイパースペクトルカメラ、あるいはサウンダから得られた三次元画像に対して適用可能な、特定の可逆圧縮及び準可逆圧縮アルゴリズムの推奨規格を記した文書。なお、準可逆圧縮とは、複号された画像と元の画像との差が指定した範囲に収まるような圧縮方式のことである。

圧縮処理は図1に示すように、「プレディクタ」と「エンコーダ」の2つの処理からなる。
「プレディクタ」では、ある箇所の画像データの値をその近傍の画像データの値から線形予測法を用いて予測し、得られた予測値と実際の値との誤差を量子化し、さらに符号なしの指標値へと変換する。
図2に処理イメージを示す。

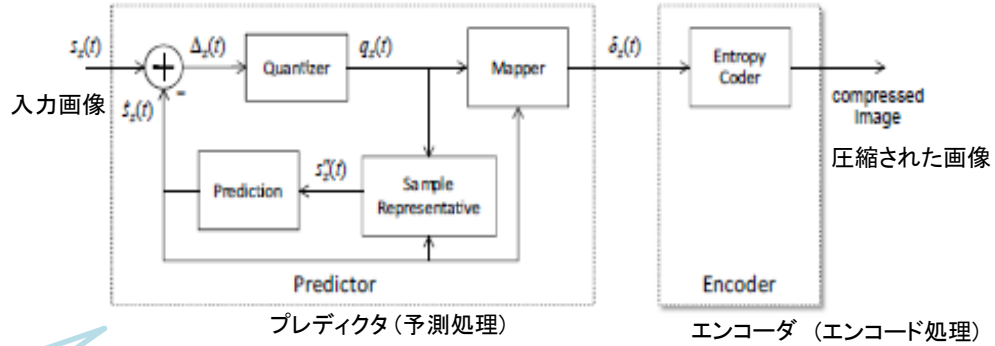


図1: データ圧縮の概要

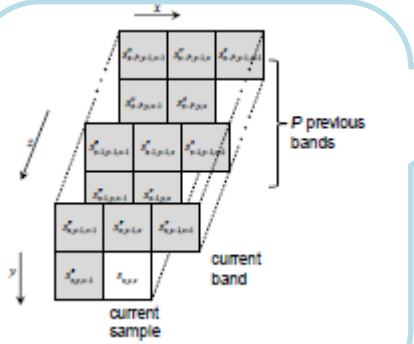


図2: 予測処理のイメージ

「エンコーダ」では 、プレディクタによって得られた指標値をエントロピー符号化により圧縮する。エントロピー符号化としてはサンプル適応型エントロピー符号化アプローチ*2)、またはブロック適応型エントロピー符号化アプローチ*3)のいずれかを選択することができる。

*2) 可変長バイナリ符号語を使用して符号化する

*3) 指標値の系列を短く分割し、分割されたそれぞれの系列ごとに使用する符号化方式を独立かつ適応的に選択し符号化する。

LOW-COMPLEXITY LOSSLESS AND NEAR-LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION (2/2)

「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル＆ハイパースペクトル画像圧縮」

Green Book
CCSDS 120.2-G-2
発行月：2022年12月

6章ではマルチスペクトル、またはハイパースペクトル画像に対し、CCSDS規格（123.0-B）で規定されている圧縮方式と、他の圧縮方式（JPEG-LS、JPEG2000）を適用した際の圧縮性能を比較している。

画像をそのまま圧縮した場合、及び画像を分割して圧縮した場合のどちらも本規格で規定された方式の方が総じて圧縮性能が良いと示されている。

表1に画像をそのまま圧縮した場合の各圧縮方式との比較を示す。

	Instrument	CCSDS-123.0-B	JPEG-LS		ESA+ sample-adaptive coding	LUT+ sample-adaptive coding	JPEG2000		
			direct	differential			direct	+ IWT	+ POT
Hyperspectral images	IASI	4.75	6.60	5.02	4.91	5.57	7.02	5.21	5.55
	AIRS	4.30	6.35	4.82	4.68	5.66	6.62	4.78	4.67
	CRISM-FRT	5.06	5.53	5.48	8.92	9.54	5.97	5.86	6.08
	CRISM-HRL	4.56	5.55	4.94	8.38	9.06	5.95	5.32	5.58
	CRISM-MSP	2.55	3.42	2.99	6.80	7.02	3.85	3.54	4.02
	M3-Global	2.14	4.83	2.56	6.45	7.20	5.10	3.13	3.56
	M3-Target	3.09	3.66	3.33	6.60	7.44	4.00	3.50	3.64
	Hyperion	4.30	5.02	4.59	5.52	6.08	5.14	4.52	4.58
	Hyperion flatfield	3.97	4.80	4.33	4.11	4.54	4.89	4.19	4.05
	SFSI	4.67	4.75	5.02	4.91	5.43	4.65	4.61	4.56
	SFSI_rmnoise	2.96	4.35	3.08	4.07	4.70	4.42	3.34	3.23
	AVIRIS(16-bit raw)	5.98	8.61	6.67	6.16	6.87	8.88	6.79	6.38
	AVIRIS(12-bit raw)	2.68	4.54	3.32	3.01	3.44	4.59	3.34	3.04
	AVIRIS(16-bit cal)	3.74	6.39	4.46	4.32	4.54	6.56	4.42	4.21
	CASI	5.02	6.77	5.33	5.10	5.65	6.97	5.28	5.37
Multispectral images	MODIS-night	4.70	5.38	5.84	7.76	7.22	5.51	5.78	4.98
	MODIS-day	5.72	4.69	5.03	5.75	6.44	5.37	6.50	6.28
	MODIS-500m	7.20	7.62	6.64	8.36	8.88	7.77	7.18	6.95
	MODIS-250m	6.48	6.96	6.62	7.15	7.73	7.08	6.99	6.41
	MSG	3.39	3.50	3.83	4.11	5.06	3.50	3.87	3.70
	LANDSAT	3.37	3.70	3.62	3.91	4.32	3.87	3.67	3.60
	PLEIADES	7.32	7.84	7.31	7.95	8.65	8.15	7.66	7.92
	VEGETATION_level1	5.26	5.30	5.05	5.86	6.96	5.48	5.39	5.36
	VEGETATION_level1	5.04	5.26	5.02	5.55	6.77	5.42	5.31	5.25
	SPOT5	4.53	4.71	4.71	5.17	5.66	4.92	5.03	4.61

NOTE – Better performance is indicated in green.

表1: フル画像圧縮の場合の本圧縮方式と他の圧縮方式との圧縮性能
（平均値の比較、値はサンプルあたりのビット数）

SPECTRAL PRE-PROCESSING TRANSFORM FOR MULTISPECTRAL & HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION

「マルチスペクトル&ハイパースペクトル画像（3次元）圧縮のスペクトル前処理変換」

Green Book
CCSDS 120.3-G-1
発行月：2019年3月

本解説資料は、発行済みの推奨規格「マルチスペクトル&ハイパースペクトル画像（3次元）圧縮のスペクトル前処理変換（Spectral Pre-Processing Transform for Multispectral & Hyperspectral Image Compression）CCSDS 122.1-B-1」を使用・実装する際に選択するパラメータ及びオプションについて解説している。

本解説資料では、第2章に圧縮アルゴリズムの概要、第3章に圧縮設定（圧縮オプションとパラメータ）、第4章に圧縮時のデータレート割当方法、第5章に実装における課題、第6章に他の圧縮アルゴリズムとの性能結果比較、第7章に推奨規格（122.1-B）を定義した際の検討経緯を解説している。

3次元画像データの圧縮方法の概念図としては、スペクトル変換と2Dエンコーダから構成されることが記載されている（図1）。

また、各宇宙機ミッションのマルチスペクトル及びハイパースペクトル画像（左列）を対象に、CCSDS推奨規格（122.1-B）を使用した圧縮方式と、JPEG-LS、JPEG2000を使用した際の圧縮性能を比較しており（表1）、ほとんどのデータの圧縮性能においてCCSDS推奨規格（122.1-B）の方が良い結果を示している。

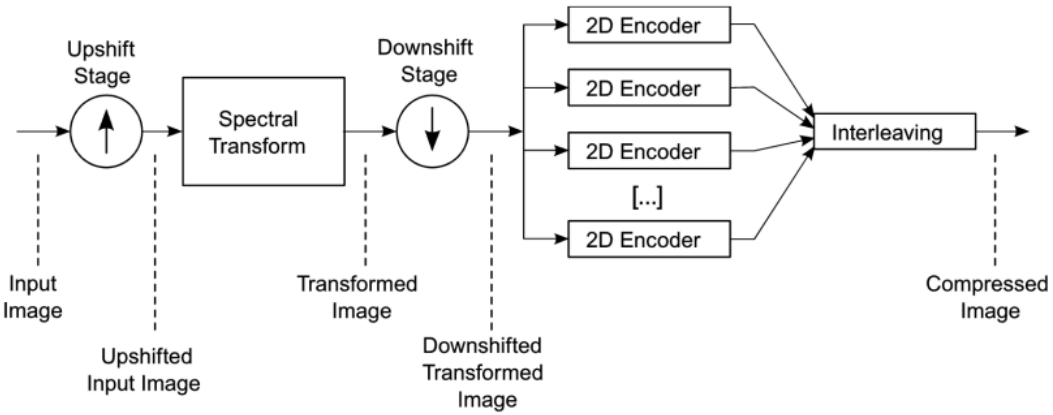


図1：データ圧縮方式の概要図

表1：CCSDS 122.1-Bと他の圧縮方式の圧縮性能（平均値）比較

	CCSDS 122.0 (No Transform)	CCSDS 122.1 + IWT	CCSDS 122.1 + POT	JPEG-LS	JPEG2000
AIRS	6.923	5.025	**4.711**	6.365	4.754
AVIRIS	7.079	5.183	**4.875**	6.888	5.039
CASI	8.465	6.658	6.688	8.168	**6.523**
CRISM	6.167	5.408	5.335	5.450	**4.640**
Hyperion	5.281	4.661	4.558	4.910	**4.301**
IASI	7.119	5.532	5.677	7.122	**5.128**
Landsat	4.042	3.881	3.906	3.695	**3.668**
M3	5.074	4.039	4.031	4.385	**3.192**
MODIS	6.668	6.827	6.480	**6.027**	6.258
MSG	3.899	4.178	4.068	**3.789**	3.959
PLEIADES	7.664	7.476	7.612	**7.431**	7.516
SFSI	5.020	4.591	4.462	4.558	**4.148**
SPOT5	5.656	5.716	**5.331**	5.443	5.678
Vegetation	5.516	5.436	5.453	5.335	**5.319**

OVERVIEW OF SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOLS

「宇宙通信プロトコル概要」

Green Book
CCSDS 130.0-G-3
発行月：2014年7月

本解説資料は、CCSDSが推奨するスペースリンク用のプロトコル群の関係性や概要を示し、これらのプロトコル群が宇宙データシステムにおいてどのように活用されているかを解説するものである（各プロトコルの詳細仕様や論理的根拠までは触れていない）。

宇宙通信プロトコルは、スペースリンク（宇宙機と地上システム間、または宇宙機と宇宙機間）や、スペースリンクを含むネットワーク用に設計された通信プロトコルで、OSIモデルでは7つの階層にカテゴライズしているのに対し、CCSDSでは図2に示すように5つの階層から成る。

本資料は、下記内容から構成されている。

第1章：　目的と範囲

第2章：　宇宙通信プロトコルとは

第3章：　宇宙通信プロトコルの主な特徴

第4章：　宇宙データシステムにおける宇宙通信プロトコルの利用例

エンドツーエンドの転送において、スペースパケットプロトコルまたはカプセル化サービスを使用する場合のモデルを示している。

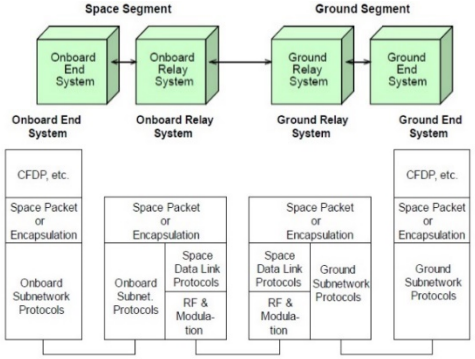


図1: 宇宙通信プロトコルの利用例

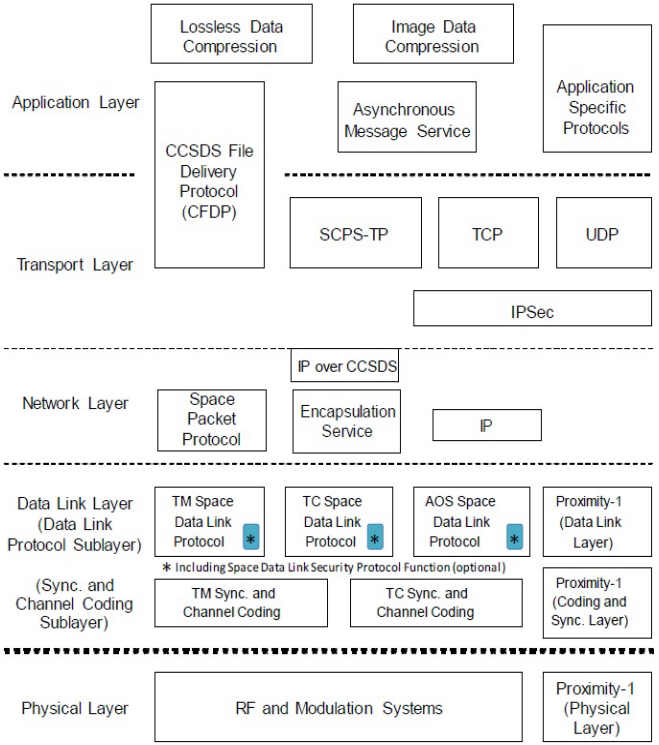


図2: 宇宙通信プロトコルの参照モデル

OVERVIEW OF SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOLS

「宇宙通信プロトコル概要」

Green Book
CCSDS 130.0-G-4
発行月：2023年4月

本解説資料は、CCSDSが推奨するスペースリンク用のプロトコル群の関係性や概要を示し、これらのプロトコル群が宇宙データシステムにおいてどのように活用されているかを解説するものである（各プロトコルの詳細仕様や論理的根拠までは触れていない）。

宇宙通信プロトコルは、スペースリンク（宇宙機と地上システム間、または宇宙機と宇宙機間）や、スペースリンクを含むネットワーク用に設計された通信プロトコルである。本資料ではこの通信プロトコルをOSIモデルに従って5つの層（ネットワーク層、トランスポート層、アプリケーション層、物理層およびデータリンク層)に分類し定義している。(図1参照)

本資料は、下記内容から構成されている。

第1章：　目的と範囲

第2章：　宇宙通信プロトコルの概要

第3章：　宇宙通信プロトコルの主な特徴

第4章：　宇宙データシステムにおける宇宙通信プロトコルの利用例

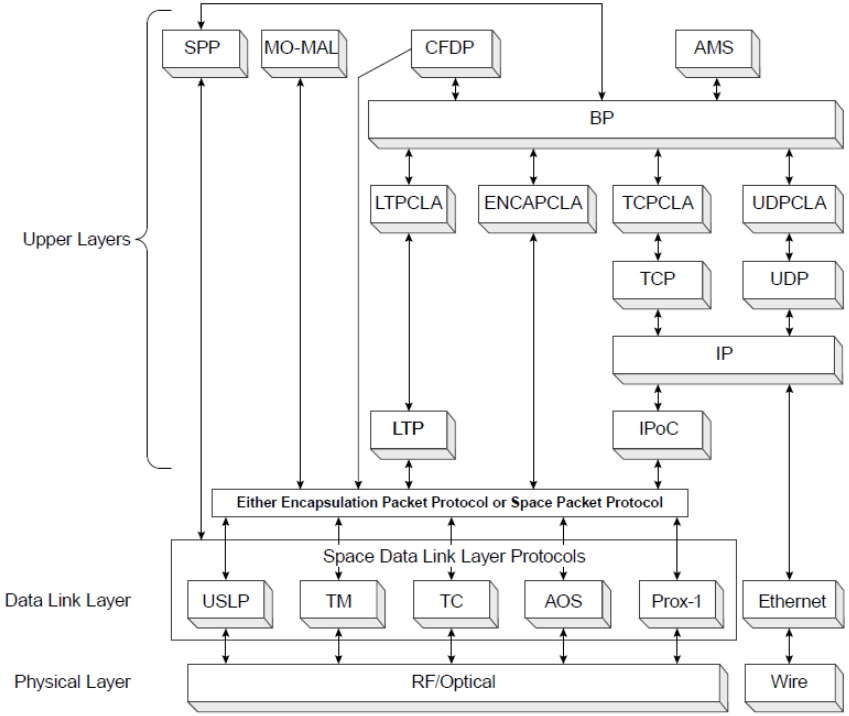


図1: 宇宙通信プロトコルの分類
（上位層はネットワーク層、トランスポート層、アプリケーション層を指す）

利用例(図2)
エンドツーエンドの転送において、スペースパケットプロトコルまたはカプセル化サービスを使用する場合のモデルを示している。

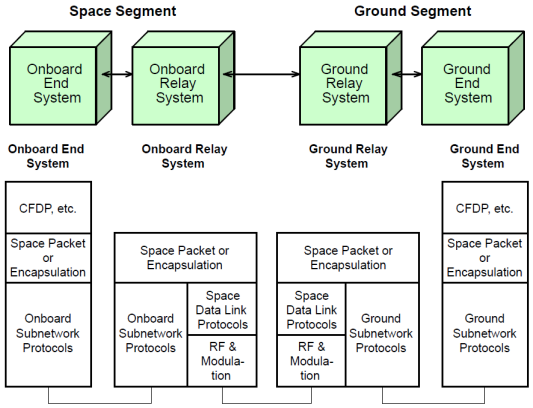


図2: 宇宙通信プロトコルの利用例

TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING – SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE

「TM同期およびチャネルコーディング（通信路符号化）－コンセプトと論理的根拠」

Green Book
CCSDS 130.1-G-3
発行月：2020年6月

本解説資料は、TM（テレメトリ）同期およびチャネルコーディングに関するCCSDS推奨規格、「TM Synchronization and Channel Coding（CCSDS 131.0-B）」の導入について解説するものである。

本資料の構成は以下のとおりである。

2章： CCSDSテレメトリシステム概要
3章： テレメトリ同期およびチャネルコーディング
4章： 畳み込み符号
5章： リードソロモン符号
6章： 連接符号（リードソロモン符号と畳み込み符号）
7章： ターボ符号
8章： LDPC符号
9章： 符号化システムの重要補助要件

図1はCCSDSテレメトリシステムを、階層化したサービスモデルにより表現したものである。CCSDSテレメトリシステムは、「TM宇宙データリンクプロトコル」および「TM同期およびチャネルコーディング」を併せて使用するが、これらはこのモデルの7つの階層の内、下位の5つの階層に対応している。

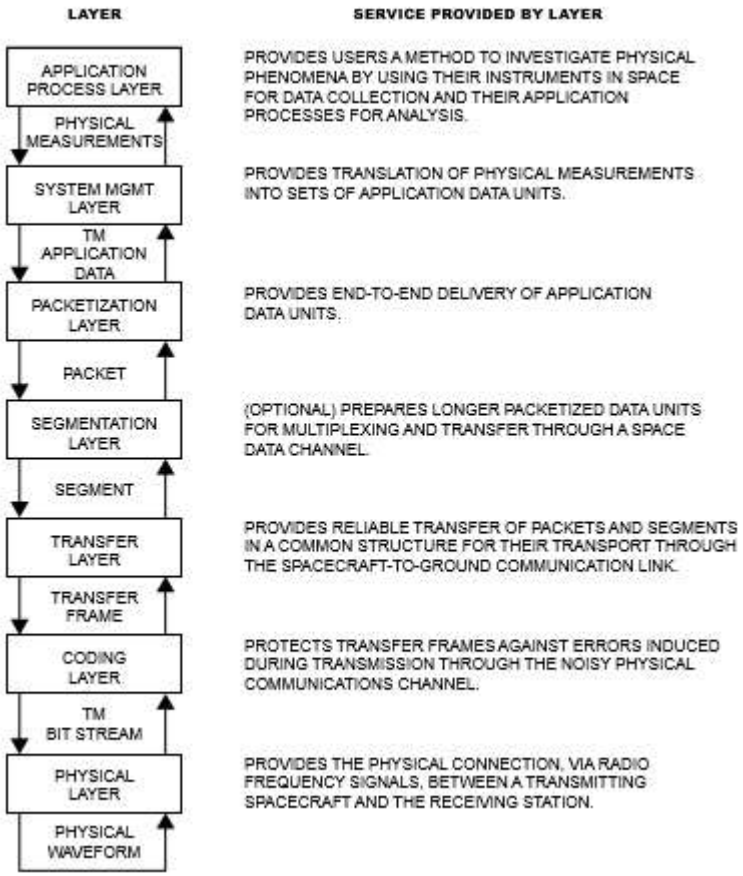


図1： テレメトリサービスの階層モデル

SPACE DATA LINK PROTOCOLS
– SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE

「宇宙データリンクプロトコル　ー　コンセプトと論理的根拠の概要」

Green Book
CCSDS 130.2-G-3
発行月：2015年9月

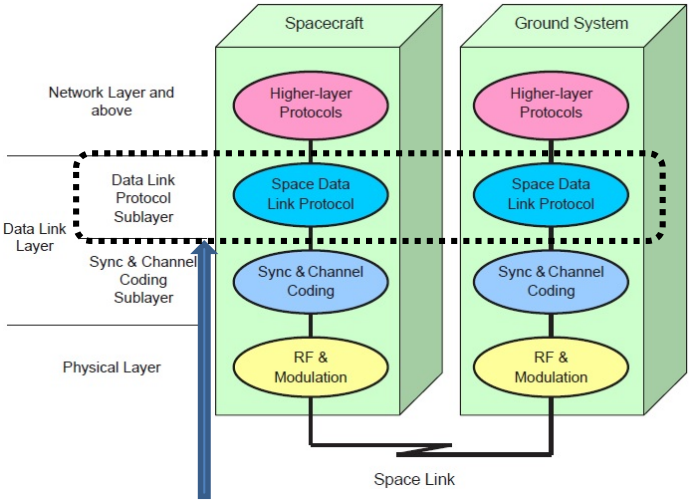
本解説資料は、3つの宇宙データリンク・プロトコル（TC/TM/AOS）と、TC宇宙データリンクプロトコルの通信運用手順である「Communications Operation Procedure-1 （COP-1）」に関する下記CCSDS 推奨規格群について解説するものである。

① TC宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 232.0-B-3）
② TM宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 132.0-B-2）
③ AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 732.0-B-3）
④ COP-1通信運用手順（ CCSDS 232.1-B-2）

なお、CCSDSが開発した宇宙データリンクプロトコルには、「近傍領域通信-1 スペースリンクプロトコル – データリンク層」（CCSDS 211.0-B-5）もあるが、別途、解説資料（CCSDS210.0-G-2）を発行しているため、本書では割愛している。

本解説資料は、宇宙データリンクプロトコル群のアーキテクチャ、宇宙データリンクを用いてデータ伝送する際のプロトコル群の使用方法、宇宙データシステムにおけるプロトコル群の配置に関する情報を提供しており、下記内容から構成されている。

第1章：　本書の目的・範囲、用語の定義、リファレンス
第2章：　宇宙データリンクプロトコル群とは、アーキテクチャ概要
第3章：　宇宙データリンクプロトコル群の提供サービスと特徴
第4章：　実装方法（宇宙機／地上システム）
第5章：　FAQ



※本資料の解説は、Data Link Protocol 副層を対象としている

図1: 階層アーキテクチャ

SPACE PACKET PROTOCOLS

「スペースパケットプロトコル」

Green Book
CCSDS 130.3-G-1
発行月：2023年4月

本解説資料は、スペースパケットプロトコル（SPP）（CCSDS 133.0-B-2）および、カプセル化パケットプロトコル（EPP）（CCSDS 133.1-B-3）のコンセプトと基本法則を解説するものである。

スペースパケットプロトコル（SPP）は、アプリケーション層または上位層のプロトコルデータユニット（PDU）のデータ転送を可能にする“シム”プロトコルの機能を提供可能である。

カプセル化パケットプロトコル（EPP）は、カプセル化された上位層のプロトコルデータユニット（PDU）の転送に使用する宇宙データリンクプロトコル（SDLP）（※関連文書①～⑤参照）を確立する。

図1にCCSDSパケットプロトコルスタックにおけるSPPおよびEPPの位置づけを示す。

本資料は、下記内容から構成されている。

第1章：　目的と範囲
第2章：　ユーザ観点からのスペースパケットプロトコル
第3章：　ユーザ観点からのカプセル化パケットプロトコル
第4章：　FAQ

※関連文書

①TM宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 132.0-B-3）
②TC宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 232.0-B-4）
③AOS宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 732.0-B-4）
④近傍領域通信-1　スペースリンクプロトコル-データリンク層（CCSDS 211.0-B-6）
⑤統合的宇宙データリンクプロトコル（CCSDS 732.1-B-2）

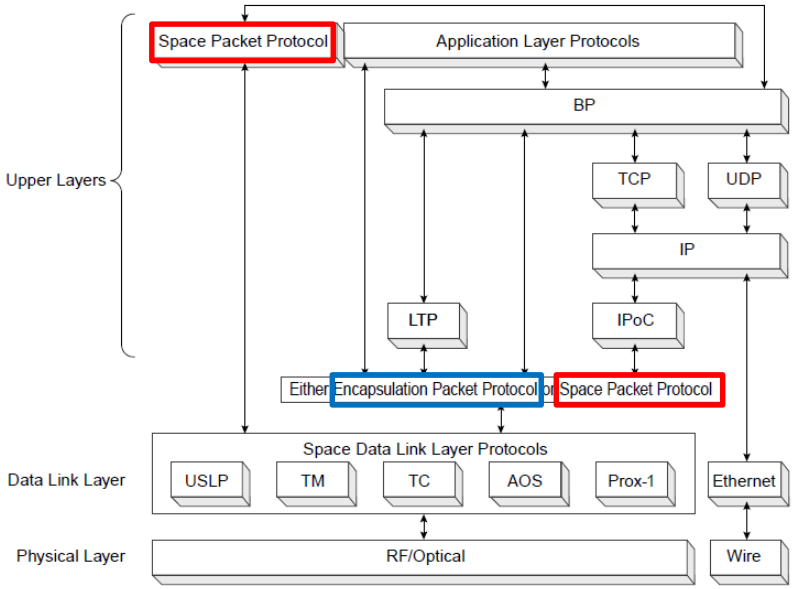


図1: CCSDSパケットプロトコルスタックにおけるSPPおよびEPPの位置づけ

：スペースパケットプロトコル（SPP）

：カプセル化パケットプロトコル（EPP）

SCCC－SUMMARY OF DEFINITION AND PERFORMANCE

「SCCC（Serially Concatenated Convolutional Code）－定義と性能に関する要約」

Green Book
CCSDS 130.11-G-1
発行月：2019年4月

本解説資料は、推奨規格「Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications」（CCSDS 131.2-B）に記載されている、より効率の良いデータ伝送を実現するためのデータ誤り訂正符号の一種であるSCCC について解説するものである。

本資料では、第2章に推奨規格「Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications （CCSDS 131.2-B）」の概要、第3章と第4章に線形及び非線形チャネルモデルを用いて、符号化及び変調した場合の性能（信号雑音比、対雑音比率、ビット誤り率、符号語誤り率等）、第5章に符号化及び変調の同期方法、第6章と第7章にエンドツーエンドのシミュレーションの評価結果をそれぞれ解説している。図1は、SCCCエンコーディングも含めたデータ送信時の処理フローを示しており、図2は、CADU（Channel Access Data Unit）が分割されてSCCCエンコーディングされる流れと、各データ処理段階でのデータフォーマットを示している。それぞれの図の赤枠部分が本資料で解説している範囲である。

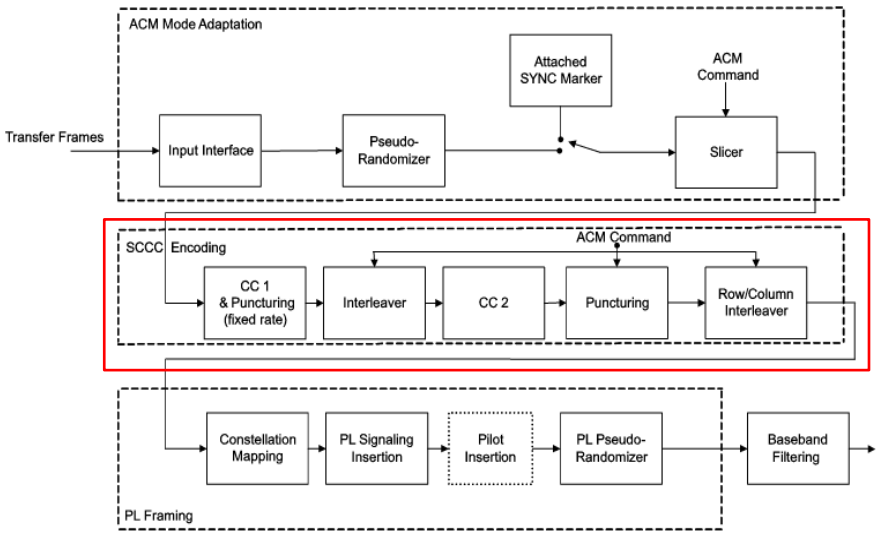


図1：データ送信時の処理フロー

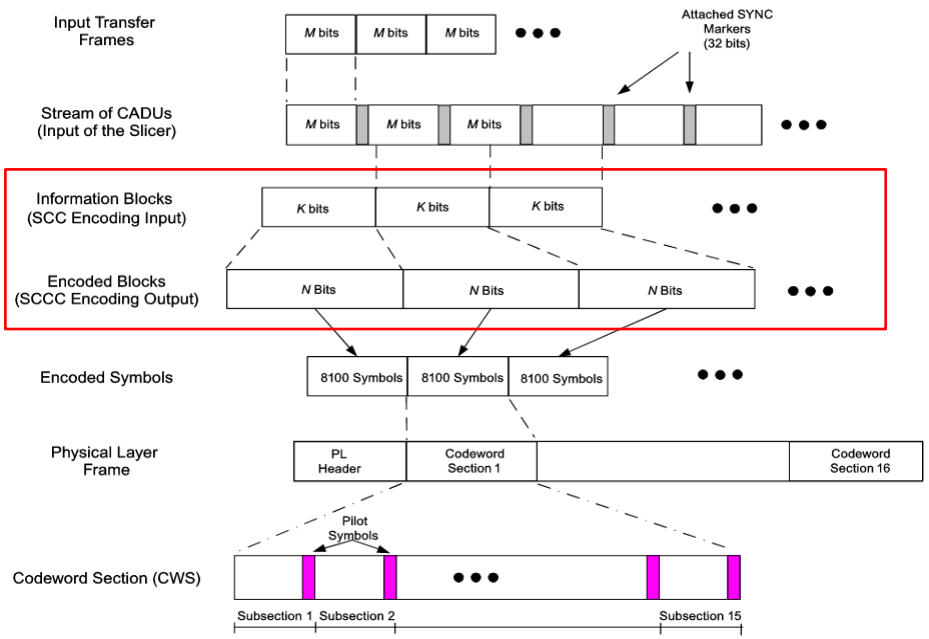


図2：各データ処理段階におけるデータフォーマット

SCCC –SUMMARY OF DEFINITION AND PERFORMANCE

「SCCC（Serially Concatenated Convolutional Code）–定義と性能に関する要約」

Green Book
CCSDS 130.11-G-2
発行月：2023年5月

本解説資料は、推奨規格「Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications（CCSDS 131.2-B-2）」に記載されている、より効率の良いデータ伝送を実現するためのデータ誤り訂正符号の一種であるSCCC について解説するものである。

本資料では、第2章に推奨規格「Flexible Advanced Coding and Modulation Scheme for High Rate Telemetry Applications（CCSDS 131.2-B-2）」で規定される符号化並びに変調方式の概要、第3章と第4章に雑音等の影響を受けている線形及び非線形チャネルモデル下の信号に対して本符号化変調方式を適用した場合の性能（ビット誤り率、チャネル容量に対する効率、符号語誤り率、占有帯域幅等）、第5章に受信信号への同期方法とその性能、第6章と第7章にエンドツーエンドのシミュレーション及び実機試験による性能評価結果をそれぞれ記載している。図1に送信端における各機能の構成を、図2に入力されたTransfer FrameがSCCCエンコーディングされる流れと、各データ処理段階でのデータフォーマットを示す。

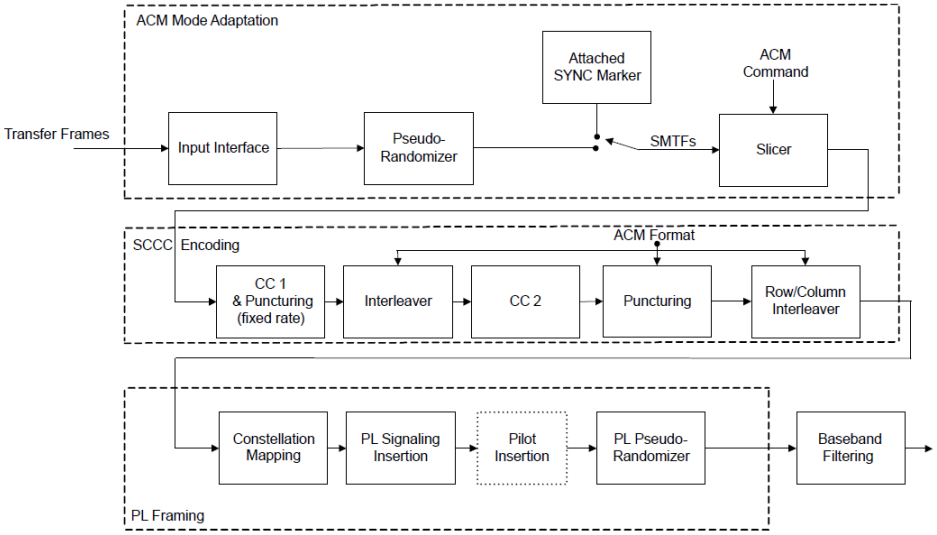


図1：送信側の機能ブロック図

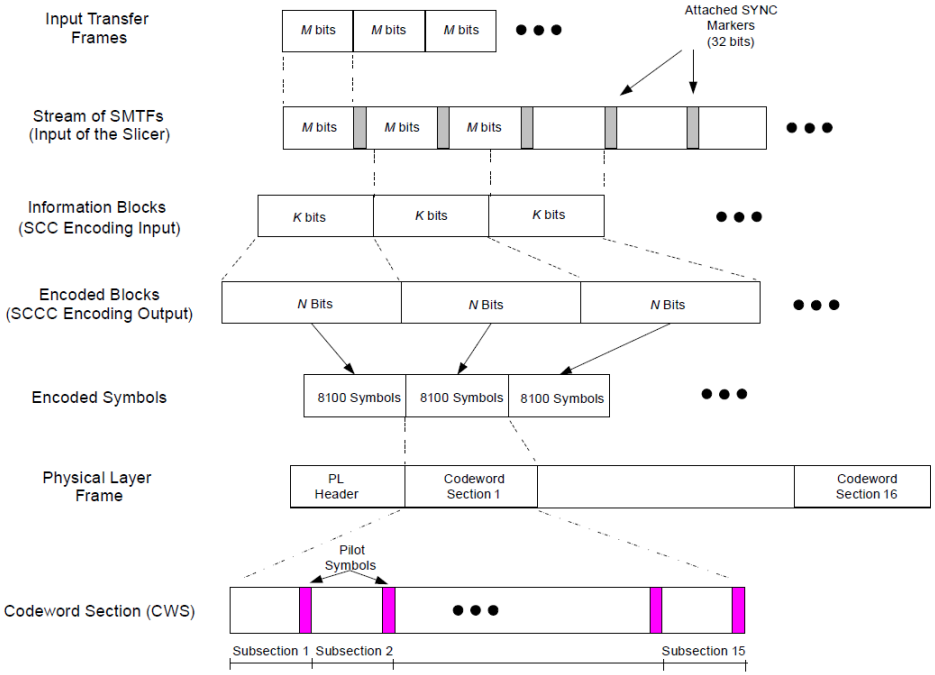


図2：各データ処理段階におけるデータフォーマット

CCSDS PROTOCOLS OVER DVB-S2 - SUMMARY OF DEFINITION, IMPLEMENTATION, AND PERFORMANCE

「DVB-S2を用いたCCSDS スペースリンクプロトコル群」

Green Book
CCSDS 130.12-G-1
発行月：2016年11月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群（CCSDS 131.3-B-1）」を解説する資料で、当該規格に関する補足的な説明として下記内容を記載している。

2章： CCSDS推奨規格とETSI DVB-S2規格との関係と役割
3章： DVB-S2用語と、CCSDS推奨規格を利用する際のプロトコルマネジメントに関する留意事項
4章： CCSDS推奨規格を使用する際のCCSDSプロトコルとDVB-S2間インタフェースの実装
5章： DVB-S2の性能

DVB-S2規格（Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation）は、欧州電気通信標準化機構（European Telecommunications Standards Institute： ETSI）が規定している衛星デジタル放送の欧州規格であり、上記CCSDS推奨規格はDVB-S2が規定する、「擬似ランダム化」、「誤り訂正符号化および変調」、「トランスファーフレーム同期」、「トランスファーフレーム検証」についての推奨規格である。

DVB-S2規格は、特に地球観測衛星の高速データレート・テレメトリ伝送において、効率的なデータ伝送と、費用対効果の高い方式として利用されている他、多くのテレメトリアプリケーションにも利用されている。
上記CCSDS推奨規格は、主にCCSDSとDVB－S2間のインタフェース形式を定義している。

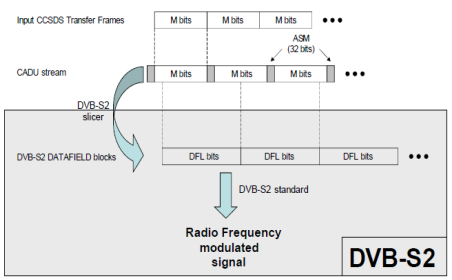


図1： DVB-S2を使用してCCSDS
トランスファーフレームを
送信する際のストリームフォーマット

図2はDVB-S2受信機の機能ダイアグラムの一例であり、伝送信号に挿入されるパイロットシンボルは、リンクの安全性を補強するために使われている。

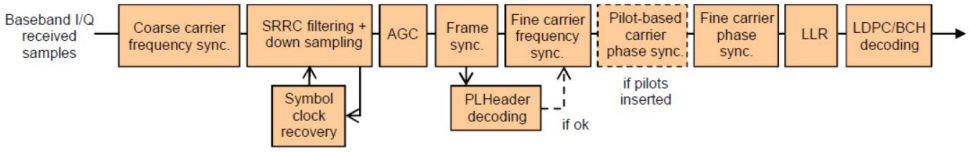


図2： DVB-S2受信機の機能ダイアグラムの例

CCSDS PROTOCOLS OVER DVB-S2 -SUMMARY OF DEFINITION, IMPLEMENTATION, AND PERFORMANCE

「DVB-S2に準拠したCCSDSプロトコル -定義、実装、性能に関する要約」

Green Book
CCSDS 130.12-G-2
発行月：2023年6月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「ETSI DVB-S2規格に準拠したCCSDS スペースリンクプロトコル群（CCSDS 131.3-B-2）」を解説する資料で、当該規格に関する補足的な説明として下記内容を記載している。

2章： CCSDS推奨規格とETSI DVB-S2規格との関係と役割
3章： DVB-S2用語と、CCSDS推奨規格を利用する際のプロトコルマネジメントに関する留意事項
4章： CCSDS推奨規格を使用する際のCCSDSプロトコルとDVB-S2間インタフェースの実装
5章： DVB-S2の性能

DVB-S2規格（Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation）は、欧州電気通信標準化機構（ETSI: European Telecommunications Standards Institute）が規定する衛星デジタル放送の欧州規格であり、上記CCSDS推奨規格はCCSDSスペースリンクプロトコル（SMTF）とDVB-S2規格のインタフェースとして、スクランブル化（DVB-S2規格準拠）、誤り訂正符号および変調方式（DVB-S2規格準拠）、トランスファーフレームの同期方法（ASMを利用）、ならびにその検証方法を規定する推奨規格である。

DVB-S2規格は衛星デジタル放送だけでなく、近年では地球観測衛星の高速データレート・テレメトリ伝送においても、効率的かつ費用対効果の高い伝送方式として利用されている。図1に DVB-S2を使用してCCSDSトランスファーフレームを送信する際のストリームフォーマットを示す。

図2はDVB-S2受信機の機能ダイアグラムの一例である。伝送信号にパイロットシンボルを挿入する仕組みにより、キャリア同期特性をロバストにすることで、ドップラー効果の大きな低軌道衛星における利用も可能となる。

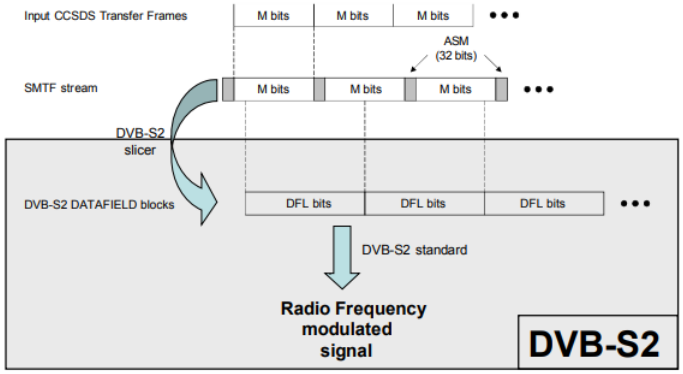


図1：DVB-S2を使用してCCSDSトランスファーフレームを送信する際のストリームフォーマット

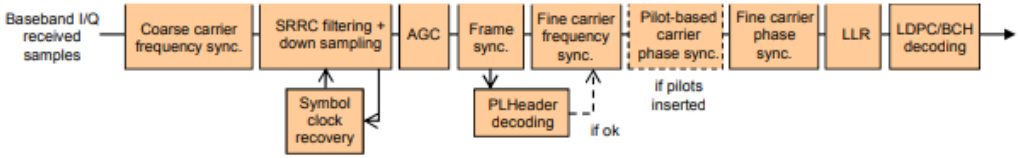


図2：DVB-S2受信機の機能ダイアグラムの例

REAL-TIME WEATHER AND ATMOSPHERIC CHARACTERIZATION DATA

「リアルタイムな天候と大気の特性データ」

Green Book
CCSDS 140.1-G-2
発行月：2024年3月

本解説書の目的は、1550nmおよび1064nm付近の波長における光通信リンクの伝送損失の最も大きな原因となる大気の構成要素を特定し、説明することである。宇宙と地上間の光通信は、雲量など大気特性による影響を受けるため、

- 光地上局の選定
- 地上局ハンドオーバーの決定に必要な大気パラメータをリアルタイムで把握することなど、運用コンセプトの策定
- 光地上局の長期大気特性の評価
- 回線計算の策定

等を実施するにあたり、大気パラメータの特定、正確な測定、分析、明確化が必要であり、また実運用においては天候予測が非常に重要となる。図1に、地上-衛星間光通信における気象条件の概念図を示す。

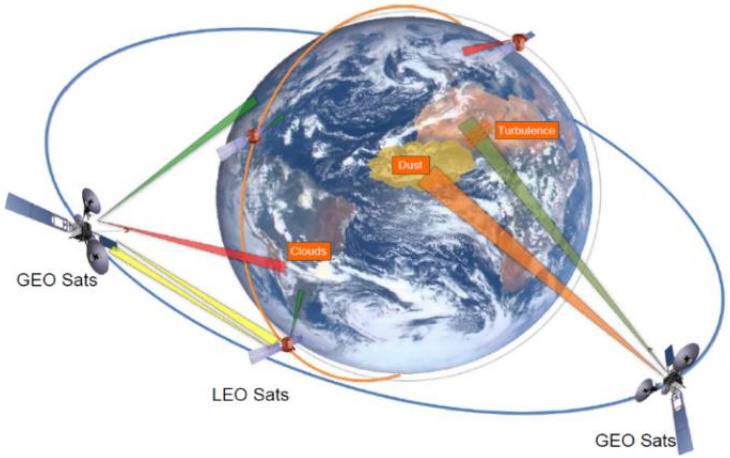


図1：地上-衛星間光通信における気象条件概念図

本解説書の3章では波長1550/1064 nm付近での光通信リンクにおいて、最もリンク損失の原因となり得る、雲、大気ゆらぎ、エアロゾル、標準的な気象量等の大気特性について述べる（図2）。4章では、各大気特性の測定に使用する推奨器具をそれぞれ幾つか紹介する。5章では、各大気特性データ測定の推奨時間間隔について、長期収集とリアルタイム収集の目的ごとに考察し、6章では、長期/リアルタイムのそれぞれにおいて、収集したデータを地上局や補償光学システムの設計や実力評価、実運用判断などにどのように使用できるかについても述べる。

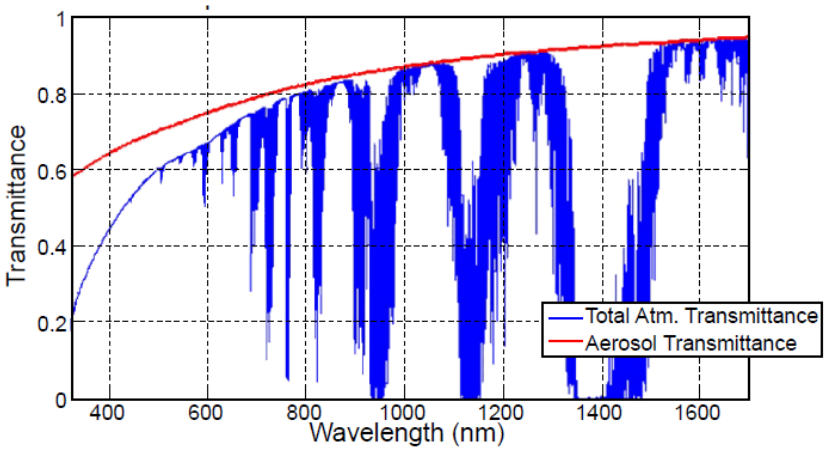


図2：大気全体の透過率とエアロゾルの透過率

TELECOMMAND
SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE

「テレコマンドのコンセプトおよび論理的根拠の概要」

Green Book
CCSDS 200.0-G-6
発行月：1987年1月

本解説資料は、宇宙ミッションのテレコマンドシステムに関するアーキテクチャ概念を概説したもので、右記CCSDS推奨規格の概念を紹介している。

本解説資料は有効文書扱いであるものの、右記推奨規格文書は既に廃棄文書（シルバーブック）の扱いになっている。したがって本文書を概説する意味合いは弱く、概説を省略する。

- "Telecommand, Part 3: Data Management Service, Architectural Definition", Recommendation CCSDS 203.0-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, January.
- "Telecommand, Part 2: Data Routing Service, Architectural Specification", Recommendation CCSDS 202.0-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, January.
- "Telecommand, Part 1: Channel Service, Architectural Specification", Recommendation CCSDS 201.0-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, January 1987.
- "Telecommand, Part 2.1: Command Operation Procedures, Detailed Specifications and State Matrices", Document CCSDS 202.1-R-3, Issue 3, Red Book, Consultative Committee for Space Data Systems, March 1987.

PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL – RATIONALE, ARCHITECTURE, AND SCENARIOS

「近傍領域通信－1 スペースリンクプロトコル－論理的根拠、アーキテクチャおよび各種シナリオ」

Green Book
CCSDS 210.0-G-2
発行月：2013年12月

本解説資料は、近傍領域通信に関わる下記3つのCCSDS推奨規格について概説するものである。

- CCSDS 211.2-B-2: Proximity-1 Space Link Protocol – Coding and Synchronization Sublayer. Issue 2.
- CCSDS 211.1-B-4: Proximity-1 Space Link Protocol – Physical Layer. Issue 4.
- CCSDS 211.0-B-5: Proximity-1 Space Link Protocol – Data Link Layer. Issue 5

これらのプロトコルは探査機、着陸機、惑星ローバー、軌道上の衛星コンステレーション、データ中継機、等で使用されることを想定している（一例を図1に示す）。

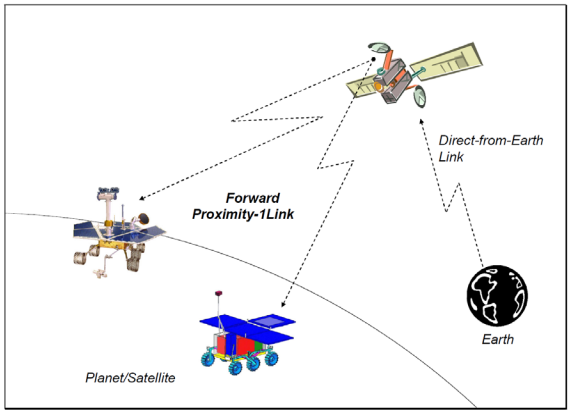


図1：近傍領域通信-1の例（リレーコマンドリンク）

本資料は下記項目から構成されている。

2章： アプリケーションコンテキストの概要、近傍領域通信-1プロトコルのコンセプトと論理的根拠

3章： プロトコルの構成および各プロトコルエンティティが提供する機能とサービス

4章： データユニットの構成と、プロトコル運用の様々な側面

5章： 近傍領域通信-1プロトコル使用のシナリオ例

近傍領域通信-1プロトコルは、図2に示すように物理層とデータリンク層で構成されている。データリンク層は、コーディング・同期、フレーム、データサービス、インプット／アウトプット、メディアアクセスコントロールの5つの副層からなる。

近傍領域通信-1プロトコルでは転送ユニットとしてProximity Link Transmission Unit（PLTU）を使用する。

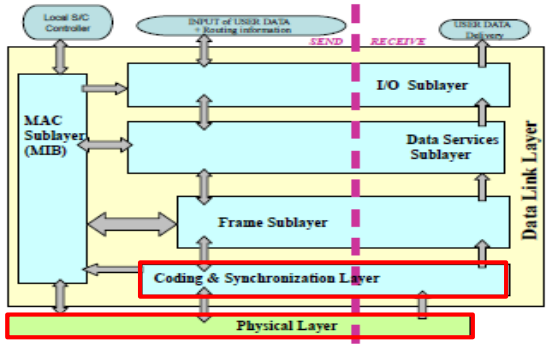


図2： 近傍領域通信-1のプロトコル概要

TC SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING – SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE

「TC同期・チャネルコーディング（通信路符号化）–コンセプトおよび論理的根拠の概要」

Green Book
CCSDS 230.1-G-3
発行月：2021年10月

本解説資料は、推奨規格「TC Synchronization and Channel Coding（CCSDS 231.0-B-4）」が規定するTC同期・チャネルコーディングのコンセプトや論理的根拠、および性能データや符号選択方法等について解説するものである。

TC同期・チャネルコーディングでの符号化には、BCH符号とLDPC符号の2種類が用いられ、それら符号は共に通信路上で発生するビットエラーを正しいビットに訂正することができる。LDPC符号はBCH符号化に比べて送信側と受信側の信号処理が複雑になる代わりに、ビットエラーを訂正する性能が高い。

送信側におけるBCH符号化およびLDPC符号化の手順をそれぞれ図1と図2に示す。 ビット同期を維持するためにランダマイズ処理が含まれており、Codeword長(伝送の単位)が長いLDPC符号ではランダム化が必須となっている。また、BCH符号化においても可能な限りランダム化を行うことが推奨されている。

受信側におけるBCH復号化およびLDPC復号化の手順をそれぞれ図3と図4に示す。

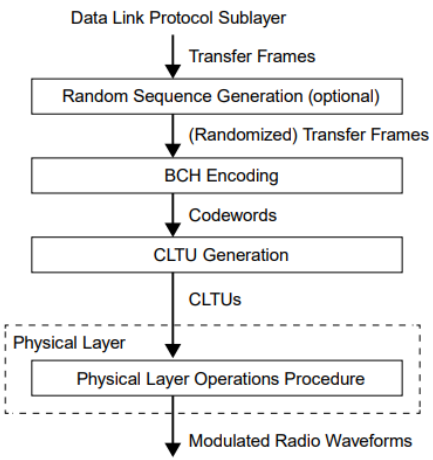


図1: 送信側の手順
（BCH符号化）

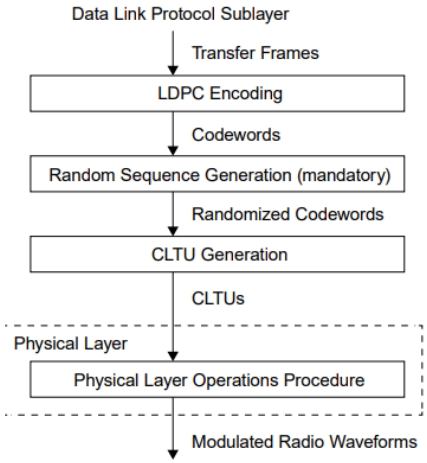


図2: 送信側の手順
（LDPC符号化）

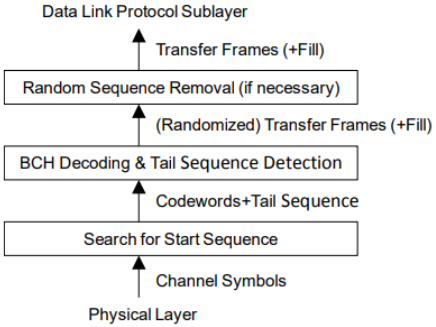


図3: 受信側の手順
（BCH復号化）

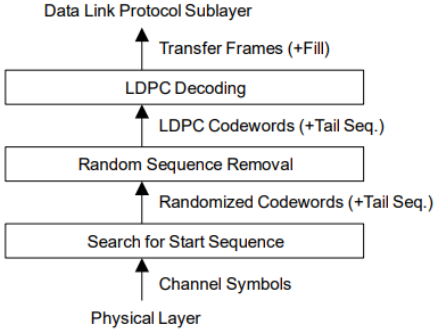


図4: 受信側の手順
（LDPC復号化）

BCH：Bose-Chaudhuri-Hocquenghem
LDPC：Low-Density Parity-Check
CLTU：Communications Link Transmission Unit

NEXT GENERATION UPLINK

「次世代アップリンク」

Green Book
CCSDS 230.2-G-1
発行月：2014年7月

本解説資料は、宇宙機関間運用諮問グループ（IOAG）の決議を受けて作成されたもので、将来の宇宙ミッションに向けたテレコマンド（アップリンク信号）はどうあるべきかについて解説するものである。

アップリンク信号に関する既存のCCSDSの推奨規格は、将来の宇宙ミッションの要求に対しては未だ充分に対応できておらず、将来の宇宙ミッションのための次世代テレコマンドとしては下記開発要求に応じる必要がある。

① データ伝送の高速化

② 高性能化（既存アンテナ・送信機利用を前提として）

③ 再生測距技術による測距性能と時間相関の改良

本解説資料では、現行のテレコマンド（TC）推奨プロトコルを次世代アップリンクプロトコルに見直し改訂する以前に、データ転送効率のトレードオフとして検討しなければならない事項（データリンク層プロトコルの選定、前方誤り訂正（FEC）コード、同期ワードの選定、CLTUターミネーションの選定）や、将来のアップリンクに必要となるサービスプロファイル、応用などについて詳細に分析しており、下記内容から構成されている。

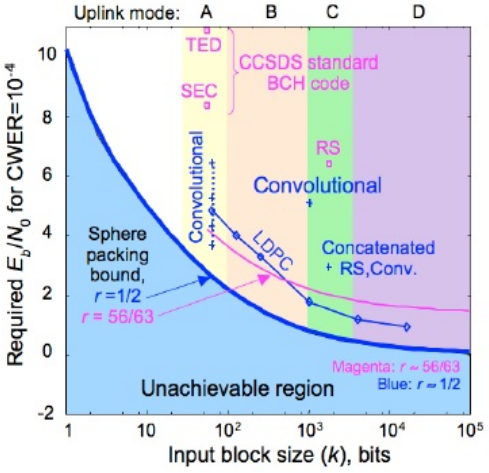


図1: 4つのアップリンクモードで必要となる S/N比

第1章： 目的・範囲

第2章： 現在のテレコマンドの状況と、次世代アップリンクの必要性について

第3章： 将来のチャネルコーディング技術がアップリンクに及ぼす影響

第4章： 次世代アップリンクプロトコルの利点

第5章： アップリンクチャネルコーディングのトレードスタディ結果

第6章： ランダム化について

SPACE DATA LINK SECURITY PROTOCOL – SUMMARY OF CONCEPT AND RATIONALE

「宇宙データリンクセキュリティプロトコル – コンセプトと論理的根拠の概要」

Green Book
CCSDS 350.5-G-2
発行月：2024年1月

本解説資料は、宇宙データリンクセキュリティ(SDLS)プロトコルの核となる部分や、SDLSプロトコルの拡張手順(鍵管理、SA管理、監視制御)に関するコンセプト及び論理的根拠について説明しており、推奨規格「Space Data Link Security Protocol」(CCSDS 355.0-B-2)の内容を解説している。

データリンク層に、TC（Telecommand：テレコマンド）、TM（Telemetry：テレメトリ）、AOS（Advanced Orbiting System：将来型宇宙機システム）、USLP（Unified Space Data Link Protocol：統合的宇宙データリンクプロトコル）の各サービスを適用する際には、SDLSプロトコルを使用することでデータユニットの保護が可能となる。 例えば図1に示すようなミッション制御センター－地上局－衛星間の通信においては、ミッション制御センター－衛星間でSDLSプロトコルを利用することで安全な通信を確立することが可能となる。

本文書の第3章では、セキュリティサービス(認証、データ機密性、データ完全性及びそれらの組み合わせ)の選択に対する理論的根拠を説明している。また、SDLSプロトコルで保護できる範囲(バーチャルチャネル)や、保護できない範囲(マスターチャネル)についても説明している。図2は、OSI参照モデル及びCCSDSのプロトコル階層における、SDLSプロトコルの位置づけを示しており、SDLSプロトコルがデータリンク層のTM、TC、AOS、USLPそれぞれに対してどのような機能を果たすかを説明している。

第4章では、セキュリティアソシエーション(SA)の切り替えによる暗号鍵更新を実現することで、より安全な暗号通信を確立することを説明している。そして、効率的なSDLSプロトコル運用のために、送受信者間の暗号化鍵や初期化ベクトル、シーケンスカウンタ等の同期及び管理についても説明している。また、地上局やオンボードの実装シナリオについて説明している。

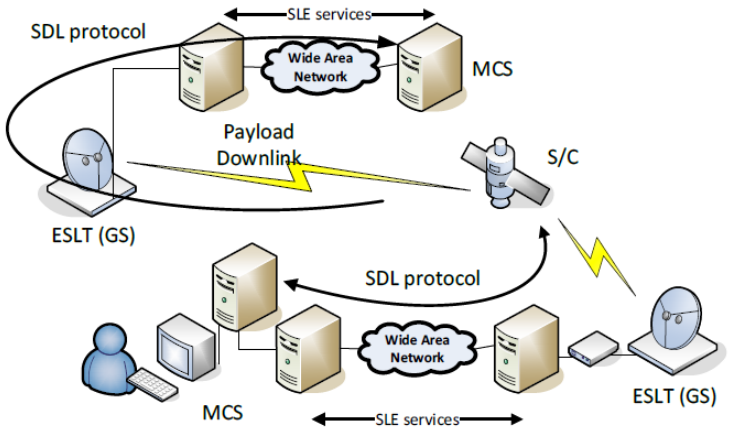


図1:ネットワークトポロジ例

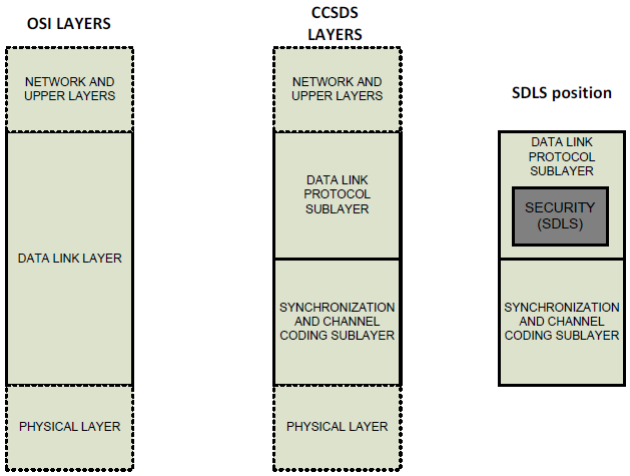


図2: OSI参照モデル及びCCSDSのプロトコル階層における SDLSプロトコルの位置づけ

BANDWIDTH-EFFICIENT MODULATIONS

SUMMARY OF DEFINITION, IMPLEMENTATION, AND PERFORMANCE

「帯域効率の良い変調方式： 定義、実装、性能の概要」

Green Book
CCSDS 413.0-G-3
発行月：2018年2月

本解説書は、高速度符号伝送の変調方式に関する CCSDS推奨規格「無線周波数・変調システム（CCSDS 401.0-B-26）」について解説するものである。

ここで説明する変調システム／技術は、宇宙研究業務（Space Research Service：SRS）と地球探査衛星業務（Earth Exploration Satellite Service：EESS）のミッションのテレメトリ伝送（下記周波数帯のみ）に用いる高いシンボルレート、帯域効率の高いテレメトリ変調方式、推奨アプリケーションの動作特性について勧告とともに解説している。

- 勧告401（2.4.17A）：SRS　カテゴリーAミッション，周波数帯域：2200～2290MHz、8450～8500MHz

  現在、遠隔測定伝送のために宇宙研究および宇宙運用任務によって頻繁に使用されている。
  本帯域には多くのユーザが存在し、しかも多くのミッションが1Ms/s 以上のテレメトリシンボルレートを使う傾向にあるため、このままでは避けようのない干渉の発生によって早々に混雑状態となる。CCSDS では帯域効率の良い変調方式をいくつか選択し、高シンボルレートでの送信を行う際にはこれらを使用するよう、この勧告を出した。

- 勧告401（2.4.17B）：SRS　カテゴリーBミッション，周波数帯域：2290～2300MHz、8400～8450MHz

  この勧告は、低損失と狭帯域化のために推奨している。

- 勧告401（2.4.18）：EESS　周波数帯域：8025～8400MHz

  この勧告は、低損失と狭帯域化のために推奨している。

- 勧告401（2.4.20B）：SRS　カテゴリーBミッション，周波数帯域：31800～32300MHz

  この勧告は、8 GHz帯で使用するための非常にコンパクトな変調方式の使用を促進し、非常に高いレートのユーザに26 GHz帯への移行を促している。

上記推奨規格が作成された背景としては、EESSおよびSRSの帯域での宇宙ミッションの増加にともない、近年スペクトルリソース問題が生じている課題がある。

この状況を改善し、隣接チャネル干渉を軽減するために、周波数調整グループ（SFCG）や国際電気通信連合（ITU）が、帯域外放射制限（out-of-band emission mask）に関する勧告を行っているが、Emission maskのみでは宇宙機関が限られた周波数帯を有効利用するには十分ではないため、CCSDSでは、SRSおよびEESS帯域の高速通信ミッションに適用可能な帯域効率の良い変調方式の標準を推奨している。

SIMULTANEOUS TRANSMISSION OF GMSK TELEMETRY AND PN RANGING

「GMSKテレメトリとPN測距の同時送信」

Green Book
CCSDS 413.1-G-2
発行月：2021年11月

本解説資料は、CCSDS 401.0-B「Radio Frequency and Modulation Systems -Part 1: Earth Stations and Spacecraft」の2.4.22A項および 2.4.22B項の背景情報を提供するものである。

8400-8500 MHz帯域の宇宙研究業務（Space Research Service: SRS）において、2Msymbol/s以上のテレメトリシンボルレートを利用する際には、テレメトリのGMSK変調とPN測距（レンジング）を同時に送信できるシステムでの運用が推奨されている。そのため2.4.22A項はCategory A宇宙機ミッション、また2.4.22B項はCategory B宇宙機ミッションに、それぞれ適した帯域幅効率に優れた同時送信方式を推奨している。本資料は、それらの内容を解説し、また、変調技術の技術仕様レビューと、適用するアプリケーションの主な性能特性を提供するものである。

以下が主な記載内容である。

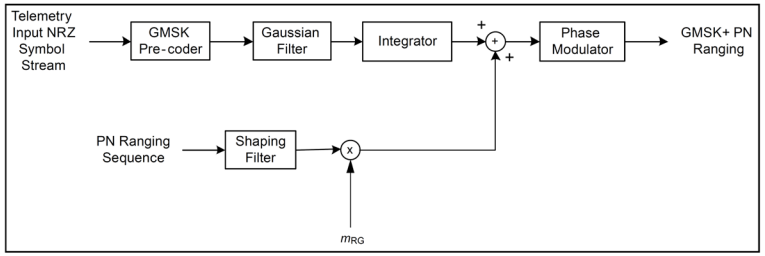


図1：GMSK+PN レンジング変調回路図（一例）

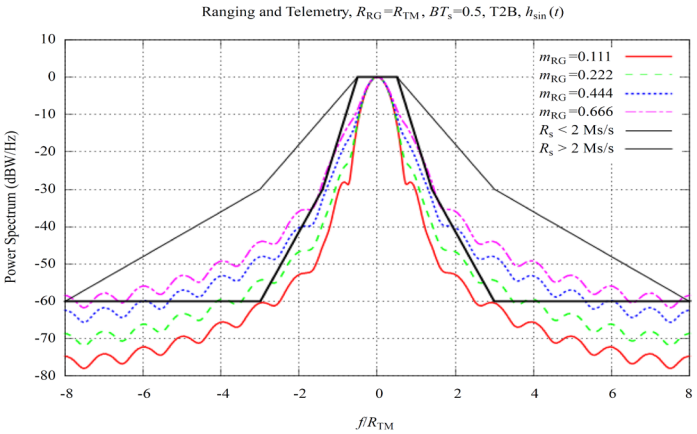


図2：GMSK/PNスペクトルプロット（一例）

GMSK：Gaussian minimum shift keying
PN pseudo-random noise
SFCG：Space Frequency Coordination Group

PSEUDO-NOISE (PN) RANGING SYSTEMS

「擬似雑音(PN)測距システム」

Green Book
CCSDS 414.0-G-2
発行月:2014年2月

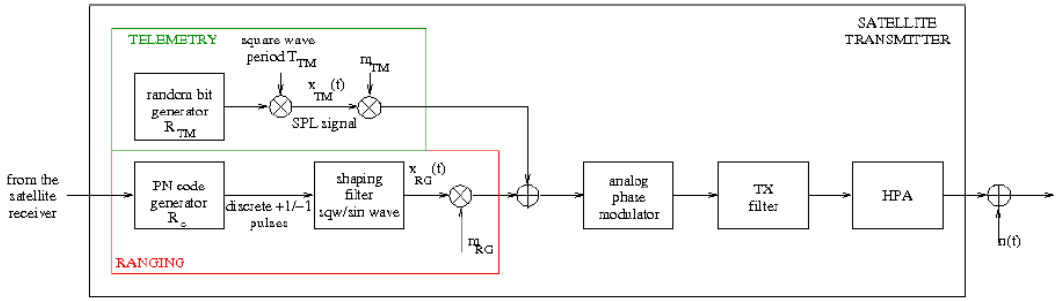
本解説書は、再生型PN測距と非再生型PN測距の両方式を定義する、CCSDS推奨規格「擬似雑音(PN)測距システム(CCSDS 414.1-B-1)」の解説資料である。

CCSDSでは、再生型と非再生型の2つのPN測距方式を推奨することによって、測距精度を優先させるか、または短時間での測距を優先させるかといった使い分けを可能にしており、その選択においては、通信リンクのマージン量や、テレコマンド/テレメトリに対する干渉、等の条件も考慮している。再生型PN測距は深宇宙ミッションのようにS/N比が低い場合に用いられ、非再生型PN測距は、S/N比が高い、あるいは高精度は求めないが計測時間を短くする場合に適している。

上記推奨規格は、PN符号の適切な処理時間で高精度な測距が得られるよう、レンジクロック周波数、PN符号の構成/生成、地上局側/宇宙機側におけるアップリンクとダウンリンクの処理等の各種仕様を規定しており、本解説資料は、同推奨規格で定義されているPN測距システムの技術的詳細の解説として、下記内容から構成されている。

2章: 再生型PN測距
3章: 非再生型PN測距
4章: ノンコヒーレント中継器を介したPN測距
5章: 占有帯域幅の考察

宇宙機側送信部の一例として、下図に非再生型PN測距方式の構成を示す。宇宙機側受信部からの信号を基に測距用のPN符号を生成し、それにテレメトリ信号を重畳している。



DATA TRANSMISSION AND PN RANGING FOR 2 GHz CDMA LINK VIA DATA RELAY SATELLITE

「データ中継衛星を介した2GHz CDMA リンクにおけるデータ転送およびPN測距」

Green Book
CCSDS 415.0-G-1
発行月：2013年4月

本解説書は、2GHz帯（Sバンド）データ中継衛星に採用されている符号分割多重接続（CDMA）方式に関するCCSDS推奨規格(CCSDS 415.1-B-1)について解説するもので、以下の観点等について記載している。

・基本的なシステム記述、機能リスト、および既存システムの一般的な理論的背景
・パフォーマンスと実装の問題の要約を提供するためのCDMA推奨規格をサポート
・近地球ミッションのための互換性のあるスペクトラム拡散システムのプログラム/プロジェクトに適用
・PNパターンを使用してスペクトルを拡散すると、パワースペクトル密度が低下し、信号が近地球のスペクトル規制を満たすことが可能
・CDMAによる信号伝送では、チャネル識別に符号を用いることによるセキュリティ効果の他に、スペクトラム拡散による耐妨害波性能向上等のセキュリティ効果もある
・スペクトラム拡散変調を行うと、ユーザ宇宙機で信号をコヒーレントに折り返すだけで測距等、他の機能も実行可能になる
（直接シーケンス拡散スペクトラム（DSSS）のみを考慮
GPSや、携帯電話で使われているCDMAシステム，深宇宙ミッションの測距に使用されるPN符号は範囲外）

本書では、RFリンクによる衛星間通信システムで使用されているスペクトラム拡散変調のコンセプトや利用方法を説明するために、宇宙機関の衛星間通信システム（NASA/TDRSS, ESA/ARTEMIS, JAXA/DRTS）が低速のデータ伝送およびPN測距サービスに採用している方式を紹介しており下記内容から構成されている。

2章： 受信回線における、PN符号捕捉、搬送波捕捉、ドップラー補償
3章： PN符号の基本（自己相関、相互相関、PNコード生成、PN生成多項式、ゴールド符号）
4章： PN符号を生成する原始多項式の選定アルゴリズム
5章： PN符号ライブラリのパラメータからPN符号を生成する方法

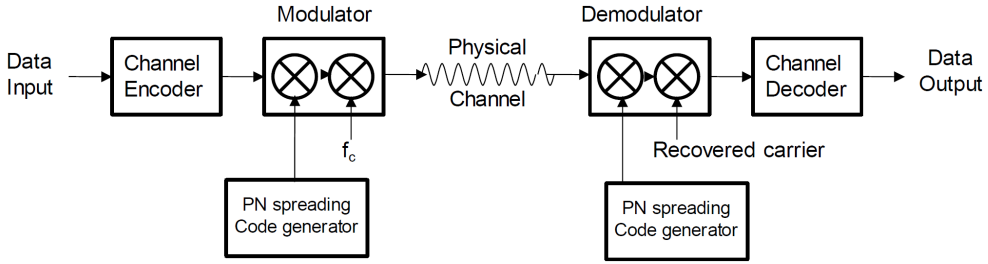


図1: スペクトラム拡散デジタルコミュニケーションモデル
（スペクトラム拡散通信システムの一般的なブロック図）

NAVIGATION DATA MESSAGES OVERVIEW

「航法データメッセージ概要」

Green Book
CCSDS 500.2-G-3
発行月：2023年3月

本解説資料は、宇宙ミッションの相互運用において、航法データを交換する際の航法データメッセージについて解説するものである。

航法データメッセージとしてはこれまでに、軌道情報、姿勢情報、マヌーバ情報、追跡データ、接近解析情報、再突入物体データの6つが推奨規格化されている。

本資料は宇宙機航法および軌道力学の用語、航法データ交換のフレームワーク概念、相互運用におけるメッセージ交換規定等について解説しており、以下の内容から構成される。

第1章　本解説資料の目的、範囲、適用性、構成
第2章　宇宙機航法処理の概要と主な用語解説
第3章　航法データメッセージ交換のアーキテクチャ基本情報
第4章　CCSDSが規定する「航法データメッセージ（NDMs）」及び、メッセージ交換方式の概要

右図は、運用例として、追跡データメッセージ（TDM）をもとに作成した軌道データメッセージ（ODM）と、姿勢データメッセージ（ADM）を基に宇宙機の状態を解析処理する流れを示したものである。

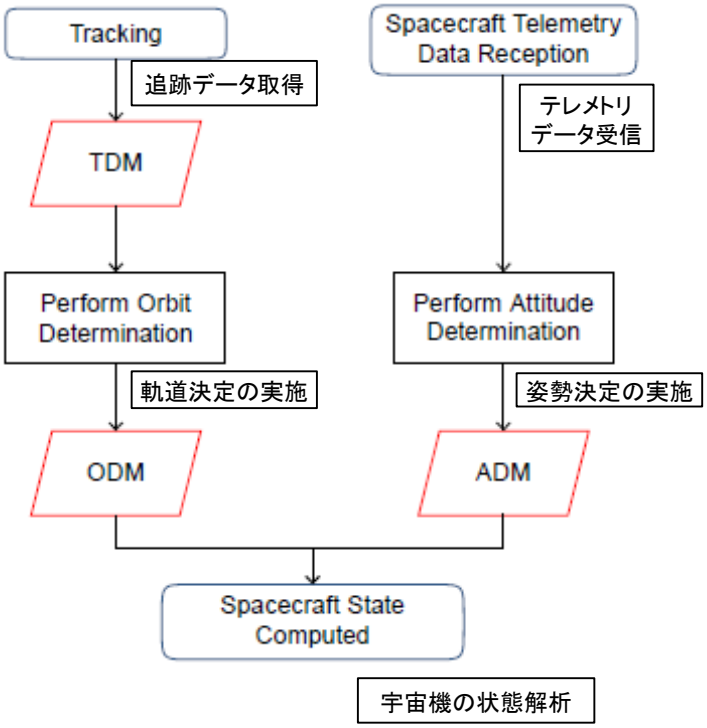


図1：航法データメッセージの解析処理例

ADVANCED ORBITING SYSTEMS, NETWORKS AND DATA LINKS: SUMMARY OF CONCEPT, RATIONALE AND PERFORMANCE

「AOS（将来型宇宙機システム）、ネットワークとデータリンク：コンセプト、論理的根拠、性能の概要」

Green Book
CCSDS 700.0-G-3
発行月：1992年11月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「Advanced Orbiting Systems, Network and Data Links: Architectural Specification（701.0-B-2）」を解説する資料である。（注：当該規格は、現在の「将来型宇宙機システム（AOS）宇宙データリンクプロトコル（AOS Space Data Link Protocol: CCSDS 732.0-B-2）に再構成されている）

上記AOS推奨規格は、地球近傍、静止軌道、深宇宙における単独またはコンステレーション型の宇宙機が、下記観測や運用等において、実験データ、ビデオ・音声、宇宙機システム等の幾つかのアプリケーションを同時に運用可能とするよう、8種類の通信サービスを利用可能としている。

- 科学観測（Observational Science）： 天文観測、宇宙物理、地球観測、等
- 科学実験（Experimental Science）： 材料実験、人体生理学実験、等
- システム運用（Core Operations）： 宇宙船システムの運用、等

<u>AOSが利用可能とする8つの通信サービス</u>

1. Internet service
2. Path service
3. Virtual Channel Data Unit service
4. Virtual Channel Access service
5. Bitstream service
6. Insert service
7. Encapsulation service
8. Multiplexing service

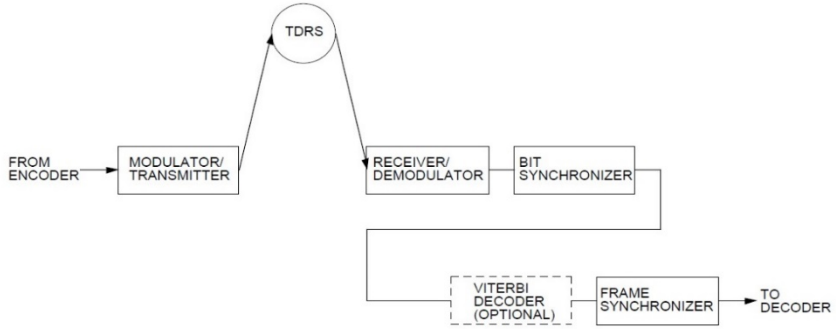


図1: 米国のデータ中継衛星システム（TDRSS）によるリターンサービスのチャネルモデル

本解説資料は以下の内容から構成されている。

第2章： AOSの概要

第3章： AOSのサービス・プロトコル、および利用について

第4章： データ保護、データ処理、CCSDSクロスサポート、複合ミッション、スペースリンクARQ手順のコンセプト等

OVERVIEW OF THE UNIFIED SPACE DATA LINK PROTOCOL

「統合的宇宙データリンクプロトコル(USLP)概要」

Green Book
CCSDS 700.1-G-1
発行月：2020年6月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「Unified Space Data Link Protocol (CCSDS 732.1-B)」の統合的宇宙データリンクプロトコル (USLP: Unified Space Data Link Protocol)を理解するのに役立つ資料であり、ミッションのニーズに対するプロトコルの適用性を評価したり、プロトコルの実装、オプションの選択、構成を決定したりする際にも利用できる。

USLPは、地上-宇宙間および宇宙-宇宙間のスペースリンクにおいて、既に推奨文書化している4つのCCSDSデー タリンク層プロトコル群(TM、TC、AOSおよびProximity-1)に加えて、「USLPトランスファーフレーム」と呼ばれるプロトコルデータユニット(PDU)を使用したデータ伝送のためのデータリンクプロトコルである。

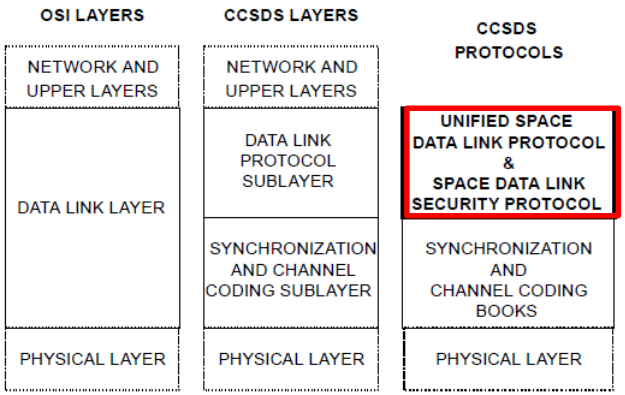


図1：USLP とOSI参照モデルの関係

USLPの主な目的は、オンボードの計算能力や最新のセキュリティモデルの進歩を利用し、データレートの増加を可能にし、LDPCなどの高性能なコーディングオプションを使用することで、コスト削減とシステムエンジニアリングの簡素化を図ることである。

本解説資料は、下記内容から構成される。

- 第1章　目的、範囲
- 第2章　設計要件の背景を含めた概要
- 第3章　USLPトランスファーフレーム構造
- 第4章　管理パラメータ

OSI参照モデルにおけるUSLPの位置づけを図1に、また、USLPトランスファーフレームの構造を図2に示す。

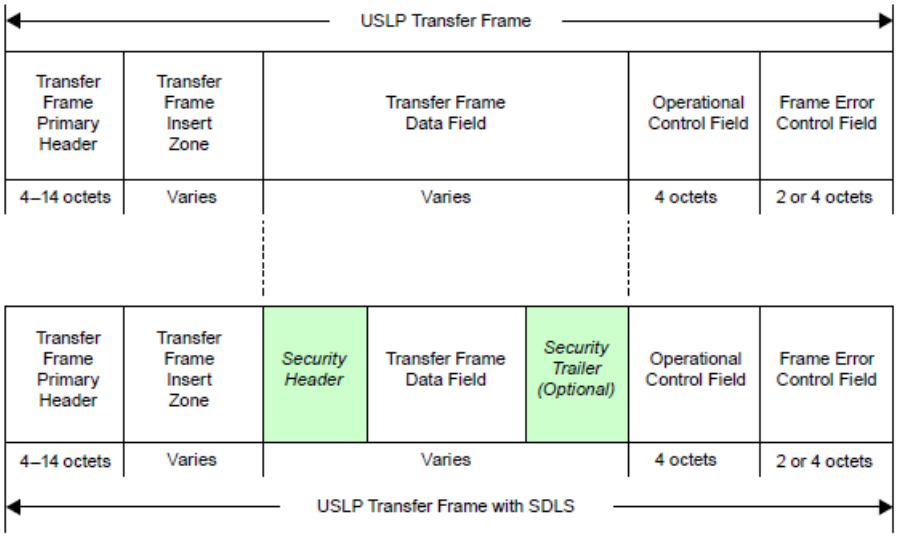


図2：USLPトランスファーフレームの構造

IP OVER CCSDS SPACE LINKS

「CCSDSスペースリンクを用いたインターネット（IP）」

Blue Book
CCSDS 702.1-B-1 Cor.1
発行月：2014年4月
ISO 20206

【概要】

本推奨規格は、CCSDSスペースリンクを介してインターネットプロトコルデータユニット（PDUs）を伝送するための方式を定義するものである。

【内容】

本書では、宇宙機と地上システム間の宇宙データリンクプロトコル（SDLP）のための、IPプロトコルデータユニット（PDUs）を伝送する方式を推奨しており、以下について説明している。

- IP PDUs（Internet Protocol Protocol Data Unit）の伝送概要
- サービスユーザとサービスプロバイダ間のインタフェース
- PDUフォーマット紹介として、Internet Protocol（IP）のデータ構造やデータリンク層フレームの説明
- サービスユーザとサービスプロバイダ間の情報制御とデータ交換のロジックモデル
- IPoCのサービスパラメータの紹介として、データユニットパラメータやIPEヘッダーパラメータ、SDLPチャンネルパラメータ

◇プロトコル概要

スペースリンクプロトコルとして、テレコマンド（TC）、テレメトリ（TM）、将来型宇宙機システム（AOS）、もしくは近傍領域通信-1（Proximity-1）を使用し、IP PDUを伝送するにあたり、CCSDS IPプロトコル拡張（IPE）を用いる。

◇サービス概要

スペースリンクを介してPDUを伝送するサービスプロバイダとサービスユーザとの間のインタフェースについても説明している。サービスユーザはIP PDUを格納したService Data Unit（SDU）を用いてサービスとインタフェースする。

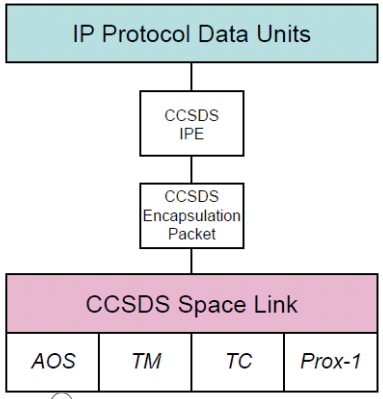


図1: プロトコル概要

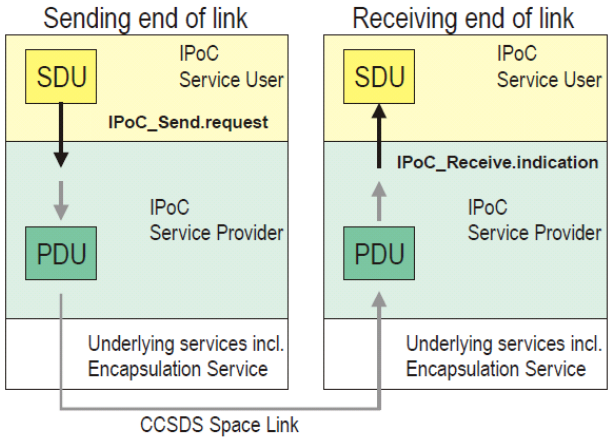


図2: サービス概要

各国宇宙機関およびJAXAの動向

各国での利用実績は不明である。JAXAではまだ利用されていない。

SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOL SPECIFICATION （SCPS）—TRANSPORT PROTOCOL（1/2）

Blue Book
CCSDS 714.0-B-2
発行月：2006年10月
ISO15893

「宇宙通信プロトコル仕様（SCPS）—トランスポート層プロトコル」

【概要】

宇宙通信プロトコル仕様（SCPS）は、地上のインターネットで標準的に利用されているトランスポート層プロトコル「TCP」を、宇宙通信環境で利用するために最適化させたものある。

【内容】

本推奨規格は、TCPプロトコル及びUDPプロトコルをベースとして、いくつかの拡張機能の採用と、マイナーな改造を行うことにより、宇宙通信が抱える通信環境と通信リソース制約に係る各種課題に対処し、現行及び将来のミッションの各種通信環境における様々な要求事項に対応している。SCPSで採用している主な拡張機能は以下のとおりである。

拡張機能	目的／概要
トランザクションTCP	非常に長い伝送遅延環境に対応： 長時間遅延環境において、ハンドシェイク（データ転送前にシステム間のコネクションを確立するための自動同期過程）を減少させることで、コネクション時間を短縮しつつ、「確実なデータグラム送受信」によるコマンド応答のトラフィック処理を行う機能。
ウィンドウ・スケーリング	広帯域幅ネットワークの使用効率の向上： 65kオクテット以上のデータを一度に送信する通信環境に対応する機能。
往復時間計算	高いデータ消失、遅延変動、一度に大容量データを送信する環境に対応： 適切なスループット処理を行うために、各セグメント（送信データ）と共に送信可能なTCPタイムスタンプを設定することで、正確な往復時間（Round Trip Time: RTT）を算出する機能。
PAWS番号	長時間遅延環境、また極めて高帯域のミッションに対応： TCPでは、通信路内を流れるバイト・データに「シーケンス番号」を割り当てて、データの順序付け・ウィンドウ制御しているが、使用可能なシーケンス番号に制限があるため、大容量ネットワークや大量データの転送の場合、シーケンス番号が一巡して重複シーケンスが発生する可能性がある。こうした混乱を避けるため、TCPタイムスタンプを利用して「重複シーケンス番号に対する保護（Protect Against Wrapped Sequence Numbers: PAWS）」を行う機能。
選択的確認応答／ 選択的否定確認応答	高いデータ消失環境において効率的にデータ伝送を行う： 送信ウィンドウ内に複数のパケットロスが起きた場合、通常は1回のRTTに1つのパケットロスしか検知できないため、複数のパケットロスを通知できる選択的な確認応答や、選択的な否定確認応答を可能とする機能。

次頁に続く

SPACE COMMUNICATIONS PROTOCOL SPECIFICATION （SCPS）ーTRANSPORT PROTOCOL（2/2）

「宇宙通信プロトコル仕様（SCPS）—トランスポート層プロトコル」

Blue Book
CCSDS 714.0-B-2
発行月：2006年10月
ISO15893

拡張機能	目的／概要
前頁の続き	
レコード境界表示	パケット指向アプリケーションに対応： パケット指向アプリケーションのためにレコード境界（終了表示）を記録して、示す機能。
ベストエフォート通信	アプリケーションが適切かつ正しい順序のデータ伝送を選択するための機能： 順序制御、エラー訂正は実施するが、再送制御は実施しないという機能を追加。それらをどれも実施しない場合がUDPである。
ヘッダー圧縮	低帯域環境に対応： 低い伝送レートのリンクでの効率的な伝送に対応するため、TCP圧縮ヘッダーを利用可能とする機能。
低データ消失環境の輻輳制御／非輻輳制御オプション	低いデータ消失環境の輻輳制御を使用するか、または輻輳制御を使用しないという任意オプションを追加。
輻輳情報通知	高データ消失環境における効率的なデータ伝送に対応： スペースリンクのように高いデータ消失環境でも、ネットワークの輻輳状態を明示的に通知可能な機能。これにより、高いデータ消失環境（信頼性の低い回線）で生じるビット誤りによるパケット破棄と、ネットワークの輻輳から生じるパケット廃棄を区別することが可能となり、通信性能を向上させることができる。
再送戦略	宇宙環境でのデータエラー発生、伝送リンクロス等に対応： データ破損や、リンク停止、輻輳等によってロスが生じた場合に対応するための、再伝送戦略。

各国宇宙機関およびJAXAの動向

海外では、UKSA（イギリス宇宙局）が本規格を利用している。JAXAでは、まだ利用していない。

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL（CFDP）

「CCSDSファイル転送プロトコル（CFDP）」

Blue Book
CCSDS 727.0-B-5
発行月：2020年7月
ISO 17355:2007

【概要】

本推奨規格は、宇宙機からのデータをファイル形式で転送するプロトコルである「CCSDSファイル転送プロトコル（CFDP：CCSDS File Delivery Protocol）」を定義している。

【内容】

本ファイル転送プロトコルは、地球低軌道衛星(LEO) 1機と地上局1局間で行われるシンプルなものから、惑星周回衛星やローバを複数地上局でサポートする複雑なスペースリンクシナリオまで想定して開発されている。ファイル転送は、宇宙機-地上システム間、宇宙機-宇宙機間で行われ、図1に示すように送信側エンティテイから受信側エンティテイへファイルをコピーすることにより行われる。CFDPは多様な通信サービス上で動作可能であるが、本規格では下記のCCSDS文書①～⑦で定義されるCCSDSサービスの利用を想定している。

① AOS Space Data Link Protocol (CCSDS 732.0-B-3)
「AOS（将来型宇宙機システム）宇宙データリンクプロトコル」

② TM Space Data Link Protocol (CCSDS 132.0-B-2)
「TM宇宙データリンクプロトコル」

③ Space Packet Protocol (CCSDS 133.0-B-2)」
「スペースパケットプロトコル」

④ TC Space Data Link Protocol (CCSDS 232.0-B-3)
「TC宇宙データリンクプロトコル」

⑤ Operation of CFDP over Encapsulation Service (CCSDS 722.1-M-1)
「カプセル化サービスを用いたCFDP運用」

⑥ Encapsulation Packet Protocol (CCSDS 133.1-B-3)
「カプセル化パケットプロトコル」

⑦ CCSDS Bundle Protocol Specification (CCSDS 734.2-B-1)
「 CCSDSバンドルプロトコル仕様」

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

本推奨規格は、NASA（アメリカ航空宇宙局）が採用している。

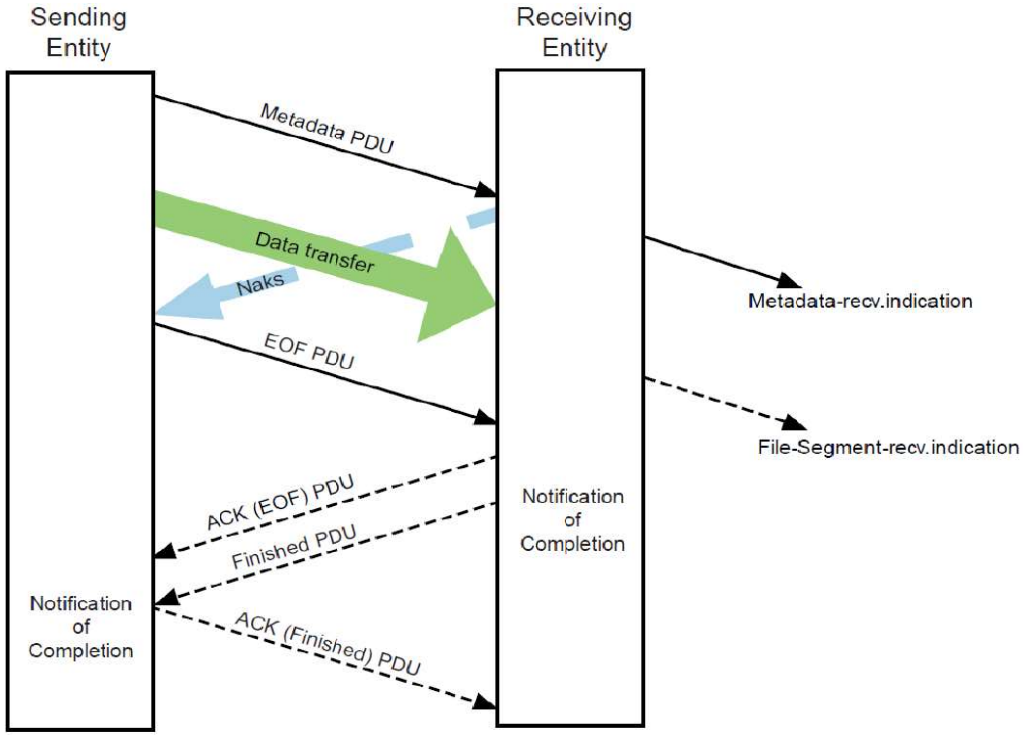


図1：ファイル転送のイベントシーケンス

LICKLIDER TRANSMISSION PROTOCOL （LTP） FOR CCSDS

「CCSDSリックライダー転送プロトコル（LTP）」

Blue Book
CCSDS 734.1-B-1
発行月： 2015年5月
ISO 21080:2016

【概要】

「CCSDS Licklider Transmission Protocol（LTP）」の標準勧告及び宇宙環境におけるその適用サービスについて定義する。

【内容】

LTPは、パケット通信方式を用いたテレコマンド／テレメトリ転送用の通信プロトコルであり、データリンク層とネットワーク層の中間におけるプロトコルとして、シングルホップのデータリンクに信頼性の高い通信オプションを提供するものである。

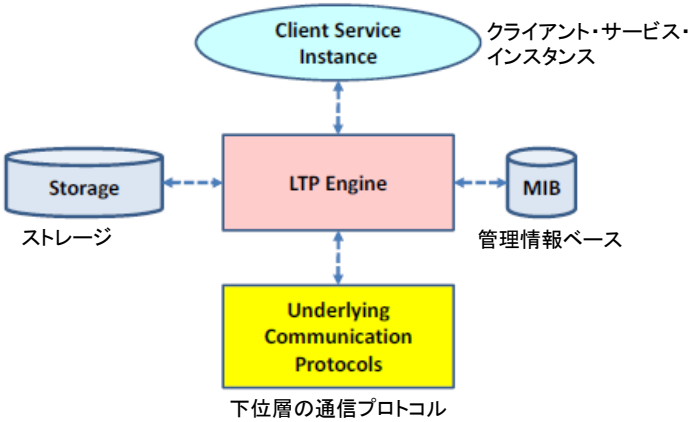


図1: LTPアーキテクチャ

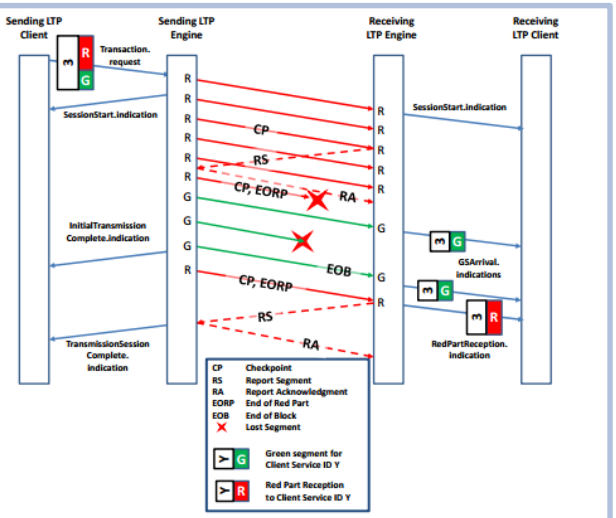


図2: LTP実施の相互作用（概要）

LTPは、CCSDSファイル転送プロトコル（CFDP）の肯定応答モード（Acknowledged-mode）手順から派生している。IETFの「Request for Comments （RFC） 5326, Licklider Protocol Specification」に基づく仕様である。

<u>各国宇宙機関およびJAXAの動向</u>

特になし。

CCSDS BUNDLE PROTOCOL SPECIFICATION (1/2)

「CCSDSバンドルプロトコル仕様(1/2)」

Blue Book
CCSDS 734.2-B-1
発行月: 2015年9月
ISO 21323

【概要】

DTN(Delay/Disruption Tolerant Networking)の基幹技術の一つである、メッセージ形式、および伝送方式を規定するバンドルプロトコル(BP)の仕様

【内容】

(1)バンドルプロトコル

バンドルプロトコルは、さまざまなプロトコルに対応可能なインターフェースを具備しており、それぞれの通信環境に合わせて開発された既存の下位層プロトコルの上位層に位置することで個々のネットワークをつなぐオーバレイネットワークを実現する。また、バンドルプロトコルのデータ伝送単位である“バンドル”の伝送前にデータ受信先と通信可能であるかの確認を行わないコネクションレス型のプロトコルであり、最終的なデータ受信先を“エンドポイントID”によって定義することでEnd to Endのデータ伝送を行う。

図1(下)にBPによるデータ伝送のイメージを示す。まずアプリケーション層からバンドル層へアプリケーションデータが渡されることで通信が開始し、バンドル層にてアプリケーションデータがバンドルへ変換される。その後、バンドル層と、トランスポート層やネットワーク層といった下位層プロトコルとのインターフェースの違いを吸収する吸収層を経て、データが伝送されていく。なお、バンドルにはデータの生存時間(有効期限)やサービス品質情報、送信オプション、長さなど各種情報も含まれる。

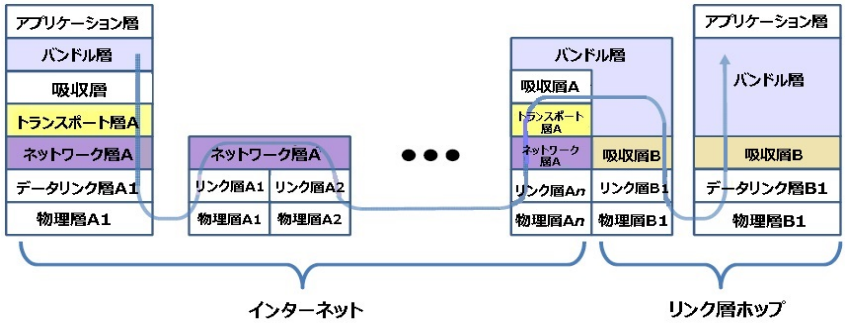


図1: バンドルプロトコルによるデータ伝送サービス(イメージ)

本推奨規格では、ルータ等のノード間を往来するデータメッセージ(バンドル)の形式を規定するほか、ヘッダ圧縮のためのエンドポイント名や、BPを実装する際のシステム要件、拡張機能についても推奨している。

0x0a	Block Flags*	Block Length*
Custody ID*		CTEB Creator Custodian EID†

* Field is an SDNV　　† Field is variable length

図2: 蓄積型伝送効率化ブロック
(Custody Transfer Enhancement Block: CTEB)

※データの保管シグナル(ACS)処理を実行させるためには、メッセージ(バンドル)に必ず上記のCTEBが付与されていなければならない。

なお、**バンドルプロトコル(BP)**は、データメッセージ(バンドル)のEnd to End 伝送を制御するためのプロトコルとして、「インターネット研究タスクフォース(IRTF)」が定義・標準化(公開:RFC5050)したものであり、本推奨規格はこれを採用している。本推奨規格ではRFC5050に多少の修正を加えているが、その違いについては第3章で紹介している。

DTN技術については、CCSDS解説書(グリーンブック、CCSDS730.1-G-1 及び CCSDS734.0-G-1)にその概要や導入背景が記載されている。

CCSDS BUNDLE PROTOCOL SPECIFICATION (2/2)

「CCSDSバンドルプロトコル仕様(2/2)」

Blue Book
CCSDS 734.2-B-1
発行月：2015年9月
ISO 21323

(2)DTNとバンドルプロトコル

DTNは、長時間の遅延や回線途絶が発生する厳しい通信環境においてもEnd to End の高信頼性データ通信網を実現するネットワーク技術である。DTNでは、データが送信元ノードを出発した時点ではまだどのノードを中継してデータ伝送を行うか決まっておらず、先の状態を予測しながらデータ中継の判断を行う。

バンドルプロトコル(BP)はこのDTN技術を支える基幹要素の一つとして、「蓄積型転送」「確立型接続及びオポチュニスティック接続」「レイトバインディング」「ホップバイホップセキュリティ」「エンドツーエンドセキュリティ」といったサービス機能を提供する。「蓄積型転送(Custody-based retransmission)」は、転送されてきたバンドルをルータ等のノードが具備するストレージに一旦保管して、次のデータ中継ノードと接触し、伝送のための通信リンクが利用可能になるのを待つ。接続の再開を待つ間、またはデータ転送タイミングを待つ間、送信側では一時的にバンドルを貯蓄するが、受信ノードに問題なく伝送、および保管できた時点で、一括蓄積信号(ACS: Aggregate Custody Signal)が受信ノードから送信ノードへと返され、送信ノードのデータ伝送、および保管の責任を解除する仕組みとなっている(図3参照)。これをノード間のデータ伝送ごとに繰り返し行い、データを伝送していく伝送方式である。

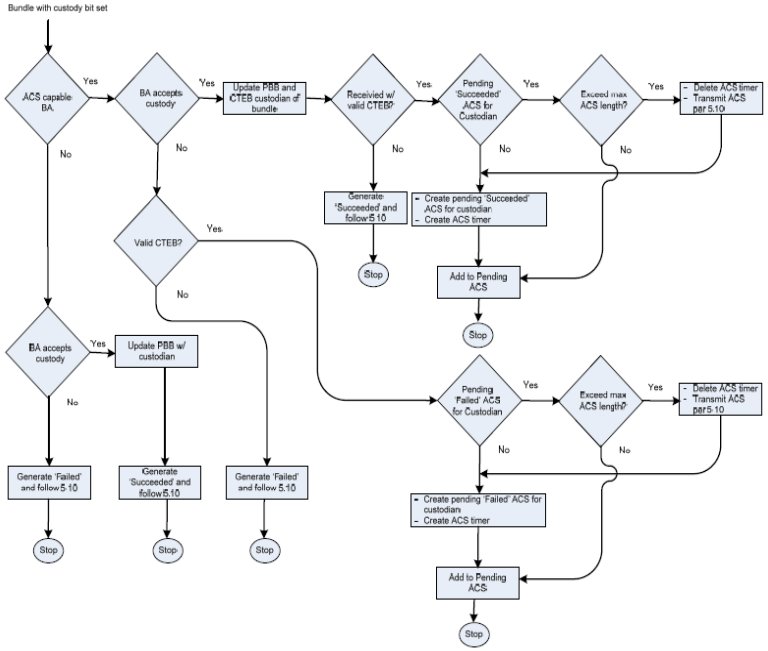


図3: 一括蓄積信号(ACS)処理フロー

各国宇宙機関およびJAXAの動向

バンドルプロトコルを用いたDTN技術の開発に係る主な宇宙機関はNASA、JAXA、ESA、DLR、CNSA、KARI。NASAはほぼ全てのフィールドセンターで研究開発を行っており、ISS上にDTN技術を搭載したノートパソコンを設置して実験を行うなど最も技術的に進んでいる宇宙機関である。JAXA以外の宇宙機関はNASAが開発したDTN通信ノード用ソフトウェアを用いて開発を進めているが、JAXAはFY27にDTN技術の国産化に成功している。

SCHEDULE-AWARE BUNDLE ROUTING

「計画認知バンドルルーティング」

Blue Book
CCSDS 734.3-B-1
発行月: 2019年7月
ISO -

【概要】

本推奨規格は、バンドル(Bundle)プロトコルのアドレッシング体系を利用した動的ルーティングシステムを定義するものである。

同システムでは、コンタクトプランと呼ばれる、経路の探索・比較評価に必要な情報(宇宙機間の通信可能時間、距離、データレート等)を参照し、Contact Graph Routing (CGR)の概念を基本とした経路処理手順を構築している。同手順により、予めコンタクトプランが受領可能なノードの集合体(ネットワークトポロジー)に対してデータ受信先までの最短経路を与えることにより、効率的なマルチホップ伝送を可能としている。

【内容】

Schedule Aware Bundle Routing(SABR)の経路処理においては、先ず、コンタクトプランの有無を確認後、コンタクトプランを基にしたグラフ(図2参照)を生成する。次に、グラフに基づき始点頂点から終点頂点までの最良(最短)ルートを計算し、ルート選定の各処理を行った後、最終的に、次に転送すべき最適な近隣ノードを選択することが基本である。

(ベースとなるCGRのオリジナルアイデアについては、<https://tools.ietf.org/html/draft-burleigh-dtnrg-cgr-01>を参照)

第2章では、前提として考慮すべきDTNベースのネットワーク、汎用インターネットにおけるIPベースのネットワークとの違い、SABRを理解する上で必要となるBundle Protocol、及び計画認知の源泉情報となるコンタクトプラン、等を記載している。

第3章では、上述のSABRの経路決定手順を定義する他、付録には参考情報としてSABRによる経路処理が不調な場合に考慮すべき、他のルーティングシステムの概要を記載している。

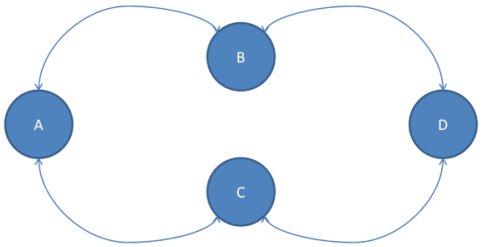


図1:ネットワークトポロジー例

表1:コンタクトプラン例

Contact	Sender	Recvr	From	Until	Rate
1	A	B	1000	1100	1000
2	B	A	1000	1100	1000
3	B	D	1100	1200	1000
4	D	B	1100	1200	1000
5	A	C	1100	1200	1000
6	C	A	1100	1200	1000
7	A	B	1300	1400	1000
8	B	A	1300	1400	1000
9	B	D	1400	1500	1000
10	D	B	1400	1500	1000
11	C	D	1500	1600	1000
12	D	D	1500	1600	1000

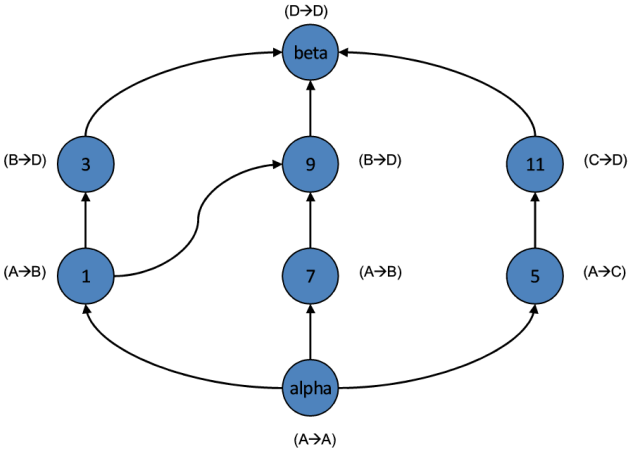


図2:ノードDに向けたノードAのコンタクトグラフ

各国宇宙機関及びJAXAの動向

JAXAは仕様策定、プロトタイピング、相互運用性試験に参画し、当該推奨規格の制定に貢献。
新規文書につき各宇宙機関の採用動向は情報収集中。

ASYNCHRONOUS MESSAGE SERVICE

「非同期メッセージ通信サービス」

Blue Book
CCSDS 735.1-B-1
発行月：2011年9月
ISO 17807

【概要】

ミッションデータシステムの複雑化を緩和するためにモジュール化（各機能の独立化）した際に、モジュール間の通信が複雑化する可能性がある。非同期メッセージ通信サービス（AMS）は、モジュール間の通信をそれぞれ独立化させることにより、ミッションデータシステムをより単純なアーキテクチャとすることで、ミッションコストおよびリスクを軽減させるためのサービスである。

【内容】

宇宙通信用の非同期メッセージ通信サービス（AMS）プロトコルとして定義された規格である。

AMSを採用したミッションデータシステムは、極めて堅牢で、固有の不具合が全くなく、予期せぬモジュールの停止にも耐性がある。メッセージのやり取りをモジュール間で直接行い、最適なトランスポートサービスを用いてモジュールに自動的にメッセージを運ぶため、AMS採用システム間の通信は速度が速く効率的である。本推奨規格は、CCSDSが推奨するミッションデータシステム通信のための非同期メッセージ通信（AMS）について、プリミティブ、パラメータ、プロトコル手続き、データユニット、実装方法を定義しており、次の形態におけるデータ交換の標準基盤（かつ再利用可能な基盤）を提供するものである。

- 同一の地上データシステムのモジュール間
- 同一のフライトデータシステムのモジュール間
- 異なる地上データシステムのモジュール間
- 異なるフライトデータシステムのモジュール間
- 地上及びフライトデータシステムのモジュール間

AMSサービス及びプロトコルは、各ミッションのデータシステムが他の実行中モジュールを認識することなくそれぞれのミッションデータの生成・取り込みを行うことができる、単独運用の設計概念を実装するものである。

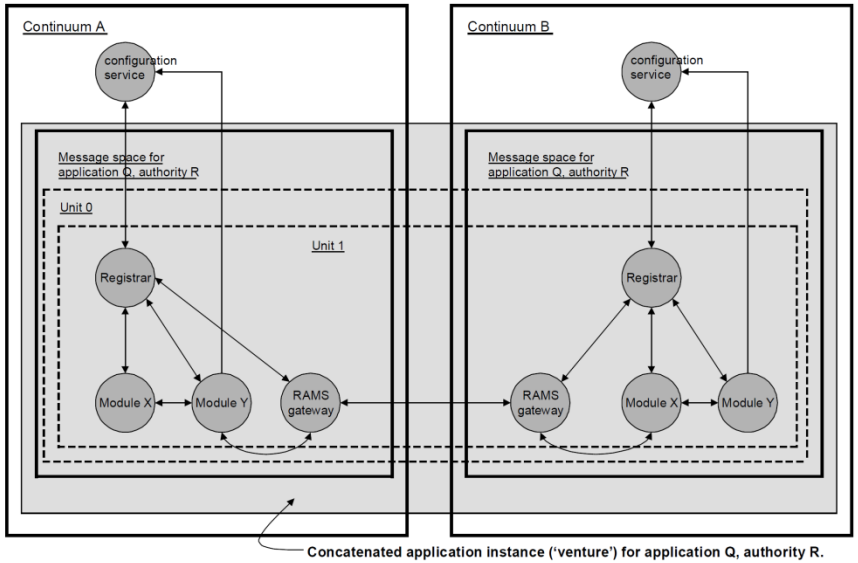


図1: リモートAMSアーキテクチャ

各国宇宙機関およびJAXAの動向

各国での利用実績は不明である。JAXAではまだ利用されていない。

DIGITAL MOTION IMAGERY

「デジタル動画」

Blue Book
CCSDS 766.1-B-3
発行月：2021年4月
ISO 21077:2016

【概要】

本推奨規格は、デジタル画像の転送インターフェース、フォーマット、プロトコルに関する標準、及び相互運用性について定義している。

【内容】

国際協力有人宇宙ミッションでは、宇宙機と月・惑星上を中継したデジタル動画映像を複数機関で共有する。動画映像伝送システムの相互運用性は、ミッションの成功とクルーの安全確保のために不可欠である。

本推奨規格では、宇宙機－宇宙機間、または宇宙機－地上間（有人宇宙活動やロボット操作を行う際等）のリアルタイムストリーミング映像や、録画映像のストリーミング等を含む、デジタル動画及び画像伝送の仕様を推奨するものである。

本推奨規格では、特に以下について定義している。

- インターフェース標準
  - 非圧縮標準画質テレビ信号、非圧縮高品位テレビ信号、圧縮デジタルテレビ信号、テレビタイムコードとメタデータ
- 動画のフォーマット及び特徴
  - 動画解像度、フレームレート、アスペクトレシオ、圧縮（H.264、H.265、JPEG2000 ）、カラーサンプル、ダイナミックレンジ、等
- オーディオ
- リアルタイムネットワーク動画配信
  - カプセル化及び転送プロトコル
- 録画、録音
- 動画の配信

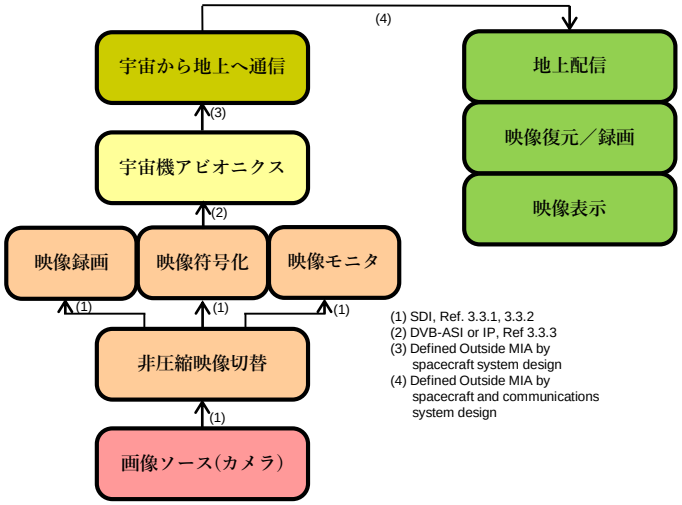


図1: 非圧縮方式の動画映像伝送

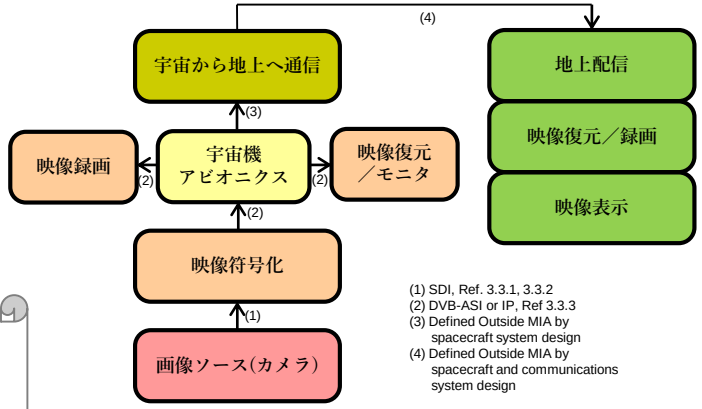


図2: 圧縮方式の動画映像伝送

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAは本推奨規格は未採用。
また各国宇宙機関の採用状況は不明。

VOICE AND AUDIO COMMUNICATIONS

音声・オーディオ通信（1/2）

Blue Book
CCSDS 766.2-B-1
発行月：2017年11月
ISO －

【概要】

有人ミッションをサポートするための、運用管制室（MCC）間や宇宙飛行士－運用管制官の交信、緊急時、ランデブ運用・近傍運用・ドッキング運用時など、様々な場面で音声通信（音声データ交換）を行うための技術、サービス及びそのインタフェースに関する仕様を定義・推奨するものである。

【内容】

リアルタイム、準リアルタイムの音声通信は、月や惑星等の比較的近い距離で適用可能であり、長距離の場合は音声データのファイル交換で実現するのが推奨される。
リアルタイム音声データの交換には、パケット転送（VoIP）やフレーム転送（E1/T1 *1)が用いられる。一方、遠距離の音声通信（リアルタイム音声通信が不可能または不要な場合）には、FTP、CFDPを用いた音声データのファイル交換が望ましい。また準リアルタイムのベストエフォート型音声通信にDTNを用いることも将来の拡張性として言及されている。

地上間の音声通信では、パケット転送（VoIP）またはフレーム転送（E1/T1）を時分割多重化（TDM）と組み合わせて用いる可能性について検討が行われている。

右（表１）に、音声伝送に用いられるプロトコルを示す。
MCCの音声通信システムの種類や機能により、使用するプロトコルは異なる。

注*1： E1/T1は、デジタル専用回線の一種であるPDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)において用いられる規格であり、T1は米国国家規格協会(ANSI)が策定した標準規格で、64kbpsのデジタル回線を24本束ねて多重化したもの、一方、E1は64kbpsの回線を30本束ねて2.048Mbpsとした欧州規格。

表1: 音声伝送に利用するプロトコル一覧

Protocol		Notes	Where Defined
UDP (User Datagram Protocol)		None.	STD 6
RTP (Real-time Transport Protocol)		RTP is used for MCC and space communications.	RFC 3550 (STD 64)
RTCP (Real-time Control Protocol)		RTCP's primary function is to provide feedback on the QoS.	RFC 3550 (STD 64)
SRTP (Secure Real-time Transport Protocol)		SRTP has a sister protocol called Secure RTCP (SRTCP)	ECP 3711
TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)		TCP/IP is appropriate for exchange of audio files. TCP/IP is NOT recommended for real-time voice communications.	STD 5, STD 7
E1/T1		E1/T1 protocols support 30 (E1) or 24 (T1) digital channels simultaneously using TDM.	ANSI T1 ITU-T G.704/G.732
VoIP Signaling Protocols			
Session Control Protocols	Session Initiation Protocol (SIP)	SIP is designed to serve VoIP services over Internet Protocol (IP). SIP is an Application Layer protocol that can operate over UDP or TCP. SIP is currently (2016) at version 2.	RFC 3261
	H.323	H.323 is an ITU-T recommendation for call signaling and control, multimedia transport and control, and data-rate control for point-to-point and multi-point conferences for any packet network.	ITU-T H.323
Media Control Protocols	Media Gateway Control Protocol (MGCP)	MGCP is one implementation for controlling media gateways on IP networks and the Public Switched Telephone Network (PSTN).	RFC 3435
	Megaco (H.248)	H.248 follows the guidelines of the Application Programming Interface (API) MGCP architecture and requirements described in RFC 2805.	RFC 2805

VOICE AND AUDIO COMMUNICATIONS

音声・オーディオ通信（2/2）

Blue Book
CCSDS 766.2-B-1
発行月：2017年11月
ISO －

本推奨規格草案では、主に下記について定義している。

- 宇宙飛行士等をサポートするための音声交換方法（例：CFDP、DTNを用いた技術）や音声伝送技術（TDMによる回線交換、VoIP）
- 音声伝送に求められる要件
- 音声通信サービスとして検討されている技術内容（例：音声録音、再生技術）
- 地上通信システムの回線に関する推奨案
- 地上－宇宙間の音声データ通信システムのデータフォーマットの推奨案
- 国際宇宙ステーションミッションにおけるドッキング時等で利用する音声通信方法に関する推奨案

<u>各国宇宙機関及びJAXAの動向</u>

本推奨規格は、JAXAではまだ採用予定はないが、将来的には国際宇宙ステーションのミッション等で宇宙飛行士と地上管制管間での音声システム等で利用することが想定されている。

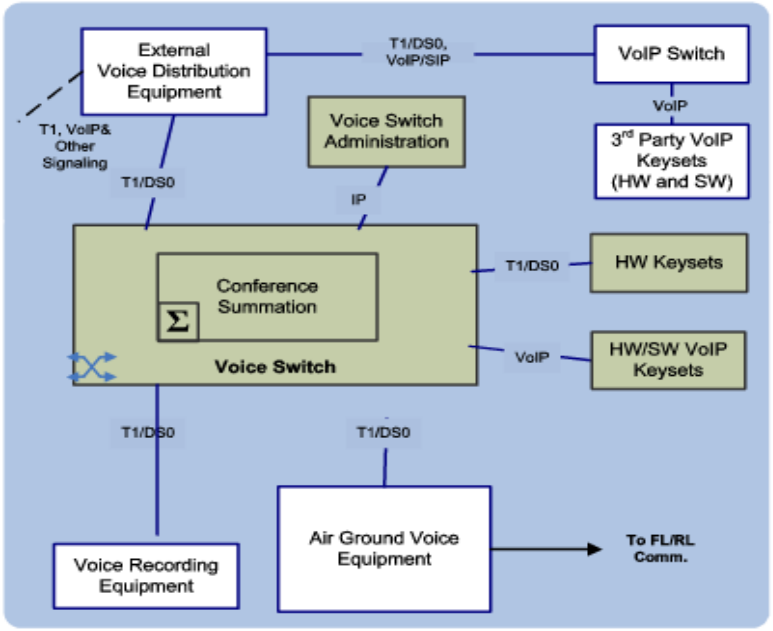


図1: MCC内の接続例

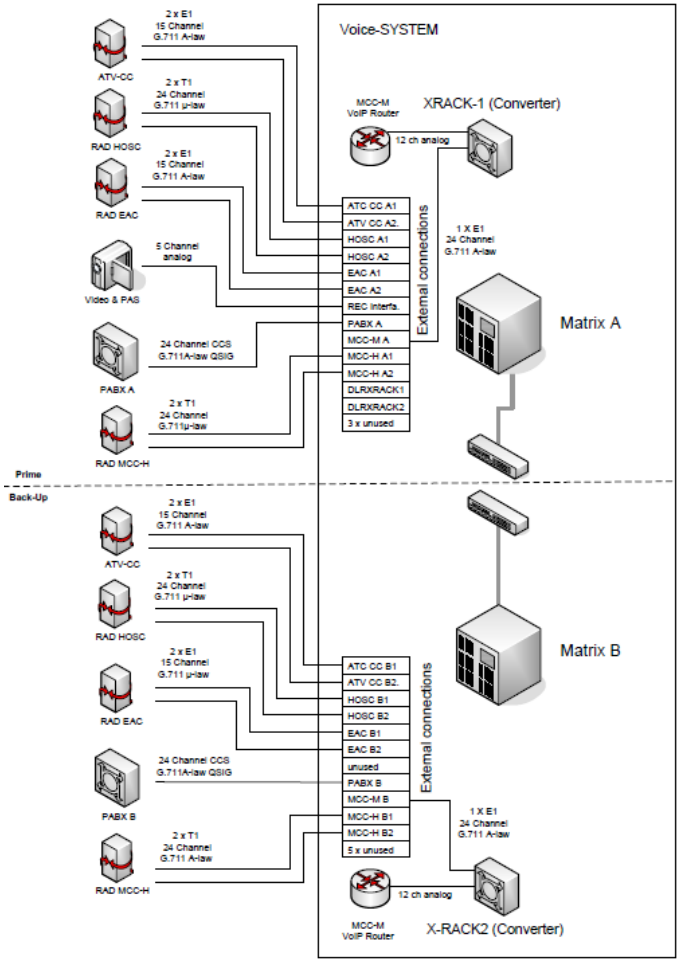


図2: MCC（Matrix A）-MCC（Matrix B）間の接続例

OPERATION OF CFDP OVER ENCAPSULATION SERVICE (1/2)

「カプセル化サービスを用いたCFDP運用」

Magenta Book
CCSDS 722.1-M-1
発行月：2014年3月
ISO 20105:2015

【概要】

本推奨実践規範は、地上-宇宙間／宇宙-宇宙間の宇宙データ通信において、CCSDSカプセル化サービス（CCSDS Encapsulation Service）を用いたCCSDSファイル伝送プロトコル（File Delivery Protocol：CFDP）運用のための通信アーキテクチャを規定するものである。

【内容】

CFDPは、相互運用可能なファイル伝送プロトコルとして定義されているが、典型的なクロスサポートシナリオ（地上—宇宙機、宇宙機—宇宙機）でこれを利用するためには、CFDPサービスを提供する下層のプロトコル群一式の内容についてもコンセンサスが必要である。下層プロトコル群は選択が多様化しており、選択肢を絞らないと相互運用性が実現されない恐れがある。

本文書は、ミッションごとに調整する煩雑さを避けるため、CFDPおよび下層プロトコルのひとつであるカプセル化サービスの利用に関するプロファイルを策定するものである。

なお、本文書の作成にあたっては相互運用性試験は実施されていない。図1（右）に、カプセル化サービスを使用した場合の、CCSDSスペースリンク上におけるCFDP通信で利用する各プロトコル構成のイメージを示す。

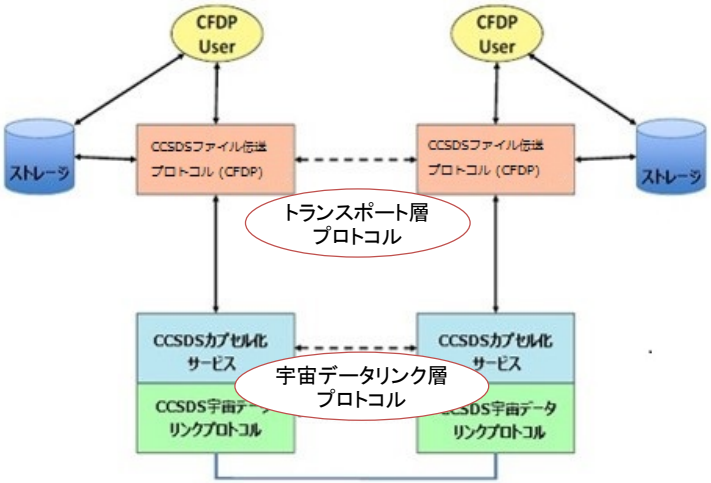


図1: カプセル化サービスを用いたCFDP通信

各国宇宙機関およびJAXAの動向

JAXAは、プロトタイプシステム開発とプロトタイプ試験への参加実績あり。

CFDPサービスについては、CCSDS解説書（グリーンブック、CCSDS720.1-G-3）にその概要が記載されている。

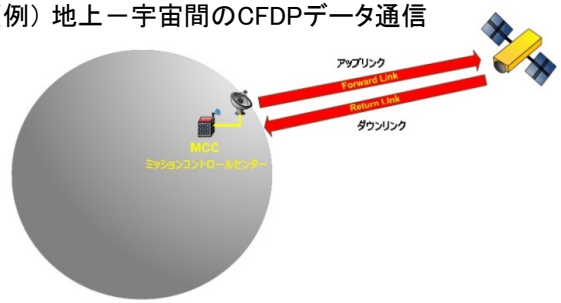
OPERATION OF CFDP OVER ENCAPSULATION SERVICE (2/2)

「カプセル化サービスを用いたCFDP運用」

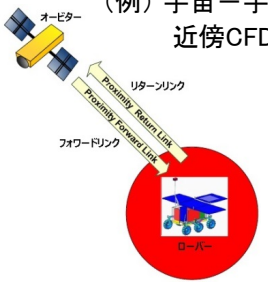
Magenta Book
CCSDS 722.1-M-1
発行月：2014年3月
ISO 20105:2015

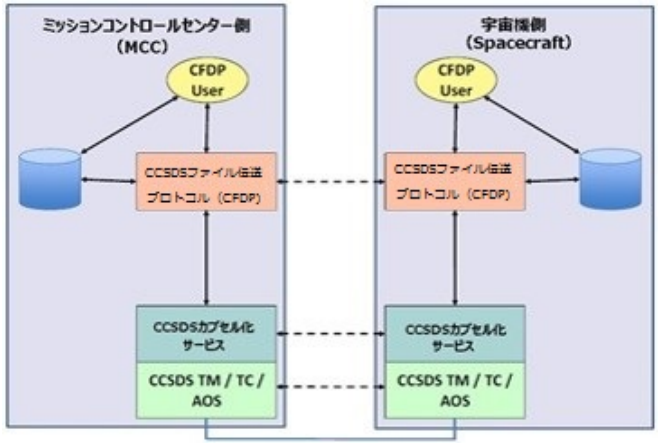
以下に、カプセル化サービスとCFDP通信を組み合わせた、地上-宇宙間及び宇宙-宇宙間通信シナリオのプロトコル構成（イメージ）を示す。

（例）地上－宇宙間のCFDPデータ通信

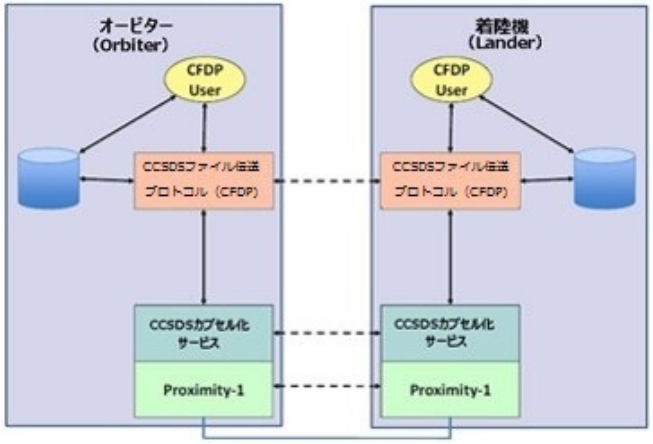


（例）宇宙－宇宙間の
近傍CFDPデータ通信





（例） 地上-宇宙間直接通信シナリオにおける
CFDPデータ伝送のプロトコル構成



（例） 宇宙-宇宙間近傍通信シナリオにおける
CFDPデータ伝送のプロトコル構成

MOTION IMAGERY AND APPLICATIONS

「動画およびアプリケーション」

Green Book
CCSDS 706.1-G-2
発行月：2015年05月

本解説書は、宇宙ミッションで利用するデジタルビデオ、および動画の規格を策定するための共通参照・共通枠組みについて解説したものである。宇宙機内の構成要素と地上システムとの間でビデオや動画を共有・配布するための将来的な国際規格策定に資する情報についても提供している。

本資料は、主に国際宇宙ステーション（ISS）上で使用されている動画システムについて、利用背景や今後の計画利用を紹介しており、2章と3章では現在、宇宙ステーション（ISS）上に搭載されている、ESA、NASA、JAXAの各システムを紹介・分析し、4章では将来のシステムについて考察している。（ただし、高速のサイエンス動画やマルチスペクトル動画のような特化された動画アプリケーションまでは言及していない。また、主に有人ミッションに焦点を当てているが、動画伝送を要求する宇宙ミッションも視野に入れている。）

初期の有人飛行では、光の状態に応じてフレームレートを設定し、映画用カメラで動画撮影を行った。当時のビデオシステムは帯域幅や、搭載機器、伝送システムの制限から、さまざまな妥協が強いられていた。現代においてさえ、宇宙探査機のビデオシステムはアナログとデジタルのハイブリッドで、搭載機器やテレメトリ、コマンドコントロールシステムでの利用にとどまっている。

デジタルカメラや符号化アルゴリズム、高度の変調技術が利用可能になった現在、ビデオをデータとして扱い、すでに市場に出回っている技術を利用して、ライブまたは録画した動画をHDあるいはそれ以上の画質でキャプチャー/送信できることが望ましい。将来の有人宇宙探査計画は多くの宇宙機関による共同作業になることが予想され、宇宙探査機、月・火星表面上のシステム、その中間に位置するロケーション（船外活動、宇宙飛行士、居住区など）との複雑なやりとりが発生するため、他の宇宙機関のシステムから送られる動画再生は必須となる。そのため、各機関のビデオ・動画システムの共通化を図ることが共同作業を容易にし、またミッションの成功や飛行士の安全の観点からも不可欠である。

ISS上の搭載システム紹介例の１つとして、JEMに搭載されているデジタルビデオ配信システムを示す。

- イメージプロセッシングユニット（IPU）：
  最大で6つのNTSCビデオチャンネルを高速データリンクに多重化。
  IPUでは、NTSCビデオをMPEG-2に符号化し、エンコーディングレートは2MB/sから15MB/sに、IPUはGOPシークエンスに変更できる。

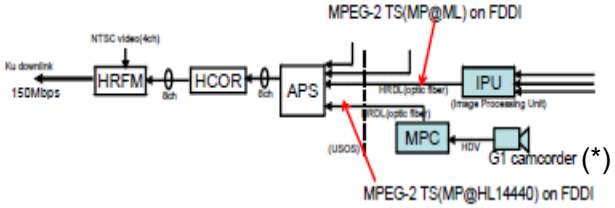


図1: JEMにおけるデジタルビデオ配信システム

(*) 2018年現在は、別のポータブルカメラ・伝送系に換装されており不使用

VOICE COMMUNICATIONS

「音声通信」

Green Book
CCSDS 706.2-G-2
発行月：2018年12月

本解説書は、有人宇宙ミッションに使用する音声通信システムについて概説したもので、国際宇宙ステーション（ISS）や各国のフライトセンターの音声システム、有人宇宙ミッションにおける音声通信の現状や、将来に向けた技術課題を紹介している。また、音声通信システムを、地上、月・火星面上、近距離（地球、月、火星近傍）、長距離（月−地球間、火星−地球間）の4つの利用領域に分けて、それぞれの特徴や技術要素を記載している。

初期の宇宙飛行は軍事パイロットによる短時間の飛行であったが、いまではエンジニア、科学者、医者などさまざまなバックグラウンドを持った乗組員が、ISSに6名、さらに米国のスペースシャトルがISSにドッキングしていた際には13名が長期間滞在するなど、音声通信の需要が著しく増加した。音声通信システムは、従前の単一ユーザとの短期間の利用から、複数ユーザ・複数宇宙機との長時間の利用に大きく変わってきている。 また、宇宙ミッションの複雑化と経費増に伴い、複数の宇宙機関が共同で国際ミッションを実施するようになり、複数のフライトセンター間を音声通信システムで接続する必要が生まれている。

今後の有人ミッションの音声通信システムに対しては、以下の基本的な課題を提言している。

a) 現在、運用管制要員は、低遅延で大容量の音声通信が可能なフライトコントロールルームに集まって運用を行っているが、チームメンバー個々のオフィスや地理的に特殊な場所、あるいは自宅といったように、より幅広い場所から利用できることが望まれる。

b) アナログ機器や、G.711等のデジタル・コーデックを利用すればマルチの音声会議は可能であるが、G.729やG.722等の不可逆な音声コーデックでは複数の処理が必要となり、音声の品質が下がるため、マルチ音声会議としての利用が困難である。新しい音声システム技術では、デジタル機器や、ソフトウェアベースのサービスなども使われるようになっている。

c) 従来の音声通信システムは全二重または双方向通信であったが、乗組員の安全に関する音声通信には独立した経路を確保する必要がある。また、宇宙機内では双方向通信を使用しない。

d) 片道約5秒の遅延が生じる音声通信は、対話というより各ユーザのメッセージを伝え合うような会話となる。

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL （CFDP） – PART 1: INTRODUCTION AND OVERVIEW （1/2）

「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 1: イントロダクションおよび概要」

Green Book
CCSDS 720.1-G-4
発行月：2021年5月

本解説資料は、CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP）（CCSDS 727.0-B-5）の付属文書であり、主要文書の理解に役立つ資料を含んでいる。

CFDPは宇宙機とのファイル伝送機能を提供するプロトコルである。
CFDPによるファイル伝送は、送信側エンティティから受信側エンティティへのファイルコピーにより行われ、リンクの確立状態が多様である複数の宇宙リンクを含むネットワーク上で、任意のノードにデータを一旦蓄積した後に再送する機能（ストアアンドフォワード機能）を備える。
CFDPは多様な通信サービス上で動作可能であり、ファイルを確実に目的の相手まで伝送することができ、すべてのデータがどこでもエラーや障害無く伝送されることが保障される。

CFDPは他のファイル伝送プロトコルに比較して以下の特徴がある。

- 単一方向リンク、半二重リンク、全二重リンクで効率的なファイルの伝送ができる。
- 不連続な接続でも複数の地上局をまたいでファイルの伝送ができる。
- 極度にアンバランスな通信帯域回線間でもファイルの伝送ができる。
- 通信量が最小限化されている。
- ユーザは受信したファイルをそのままの形態で利用できる。
- バッファシェアリングによるオンボードメモリ要求が最小化されている。
- データのストアアンドフォワードオペレーションを自動で実行できる。低高度地球周回軌道と深宇宙軌道の双方において、ファイルの伝送が効率的に行える。

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL （CFDP）
– PART 1: INTRODUCTION AND OVERVIEW （2/2）

「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 1: イントロダクションおよび概要」

Green Book
CCSDS 720.1-G-4
発行月：2021年5月

CFDPには、「Unreliable」と「Reliable」の2つのサービスがある。

- Unreliableサービスは、欠損再送のできない1Wayモードで用いられる。
- Reliableサービスでは、Deferred（遅延）、Immediate（即時）、Prompted（催促）、Asynchronous（非同期）の4つのNAK（再送）モードが選択可能である。

一例として、Reliable サービスのImmediateモードを利用した宇宙機からのファイルダウンロードのフロー概要を解説する。（図1参照）

- CDFSでは伝送するファイルを「PDU」と呼ばれる単位に分割する。
- PDU (N+1)の伝送が失敗した場合、NCC（ネットワーク制御センター）側CFDPプロセスがPDU (N+2)を受信するとすぐにPDU (N+1)が欠損していることを認知し、即座に宇宙機側CFDPにPDU (N+1)の再送要求を送る。
- 宇宙機側 CFDPは再送要求をもとにPDU (N+1)の再送を行う。
- 伝送完了時に万が一欠損したデータがある場合は、容量とファイル内の正確な位置を示すオプションの「File Completion MAP」がNCC側ユーザーにエラーメッセージと共に通知される。

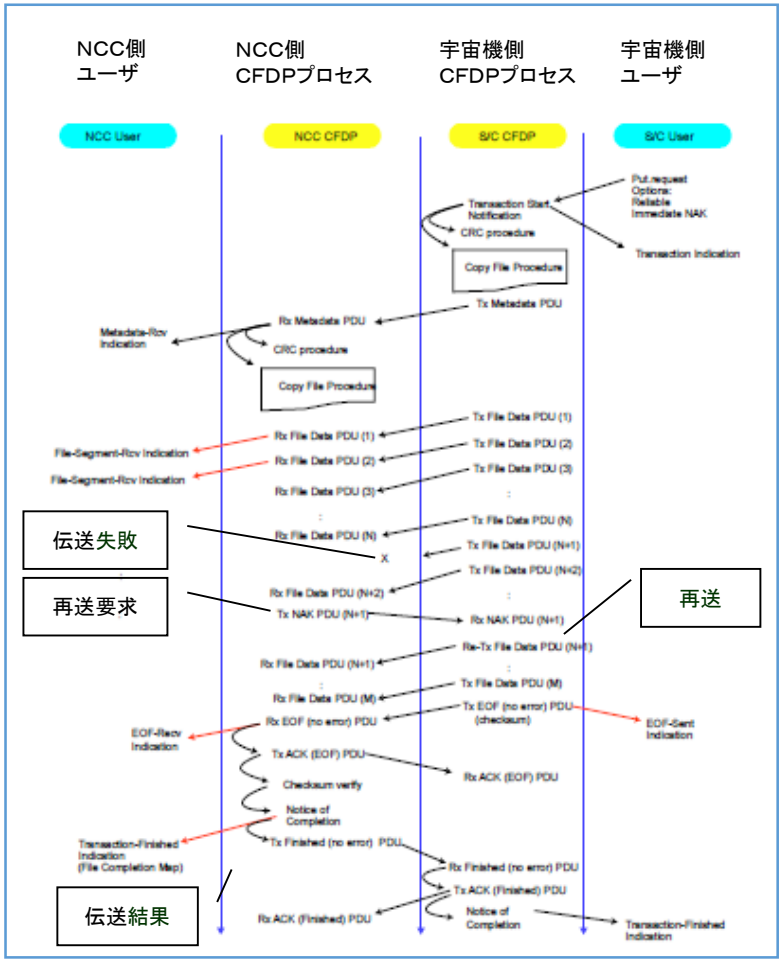


図1: Reliableサービスのダウンロード

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL （CFDP） – PART 2: IMPLEMENTERS GUIDE （1/2）

「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 2: 実装指針」

Green Book
CCSDS 720.2-G-4
発行月： 2021年5月

本解説資料は、CCSDSファイル伝送プロトコル（CFDP）（CCSDS 727.0-B-5）の付属文書であり、主要文書の理解に役立つ資料を含んでいる。

CFDPエンティティ間で伝送されるデータのことを、PDU（CFDP Protocol Data Units）と言う。
図1はCFDPサービスプリミティブとPDUの関係を、運用プロセスに沿って示したものである。

PDUには、伝送されたファイルの内容である「File Data」と、プロトコルの動作向上のためのメタデータや非ファイル情報である「File Directive」の2種類が定義されている。

図2に示すPDUヘッダーの「PDU Type」により、PDUの種類が識別される。

3	1	1	1	1	1	16	1	3	1	3	var.	var.	var.	
Version	PDU Type	Direction	Mode Transmission	CRC Flag	Large File Flag	PDU Data Field Length	Segmentation Control	Length of Entity IDs	Segment Data Flag	Transaction Sequence Number Length	Source Entity ID	Transaction Sequence Number	Destination Entity ID	PDU Data Field

図2: PDUヘッダー

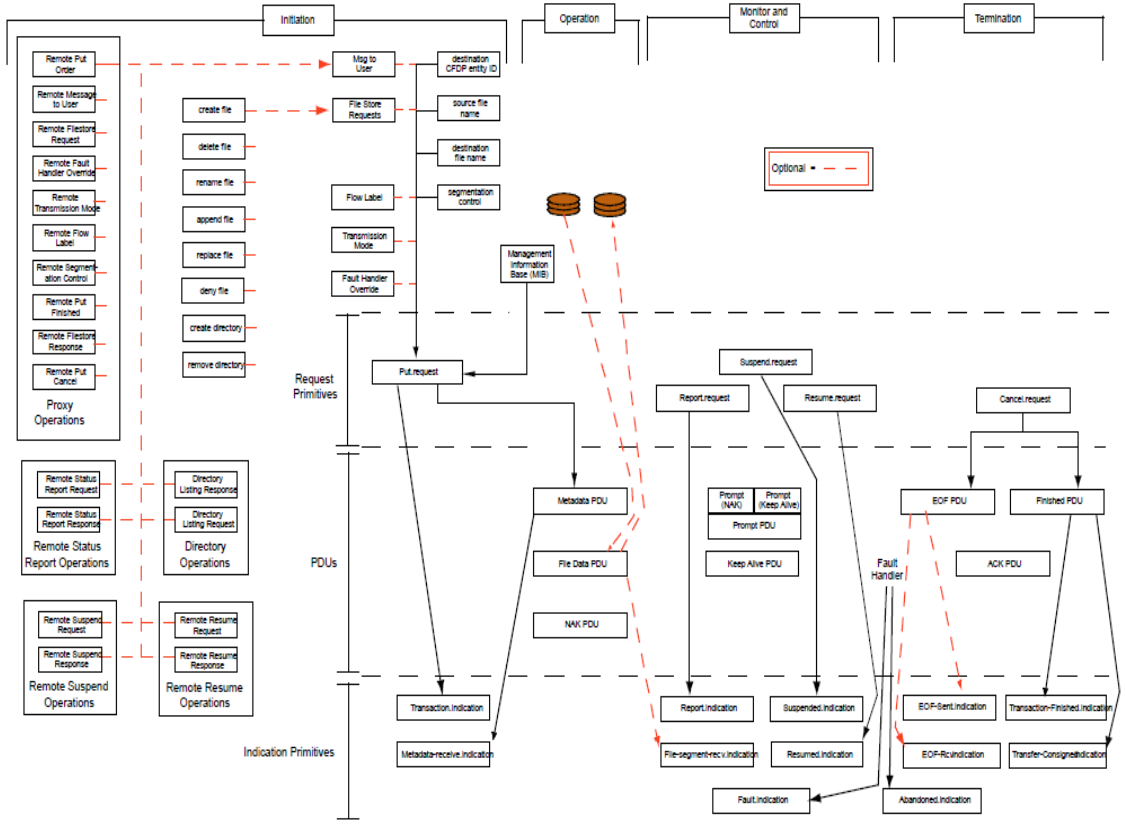


図1: CFDPサービスプリミティブとPDUの関係図

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL （CFDP） – PART 2: IMPLEMENTERS GUIDE （2/2）

「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP） ―パート 2: 実装指針」

Green Book
CCSDS 720.2-G-4
発行月： 2021年5月

6.6節にはJAXAの実装例(*1)として、下記のユーザアプリケーションプロセスとCFDPプロセスの2つのWindow プロセスが紹介されている。

ユーザアプリケーションプロセスはWindowsのGUIで実装されており、自動的にCFDPプロセスの初期化や、オペレータの操作、ディスプレイ表示の処理を行う。また、プロキシ操作のために、ユーザに予約されたメッセージをインターセプトし、プロキシの応答または発信エンティティとして機能する。

CFDPプロセスは「CFDPコアAPI」、「CFDPコア」、「サブネットワークAPI」から構成されている。

- CFDPコアAPIは、ユーザアプリケーションの移植性と拡張性を維持するために、CFDPサービスインターフェイスの標準化を行う。
- CFDPコアは、推奨規格に記載されたCFDPコア手順の処理を行う。
- サブネットワークAPIは、サブネットワークインタフェースであるUNIDATAの標準化を行う。

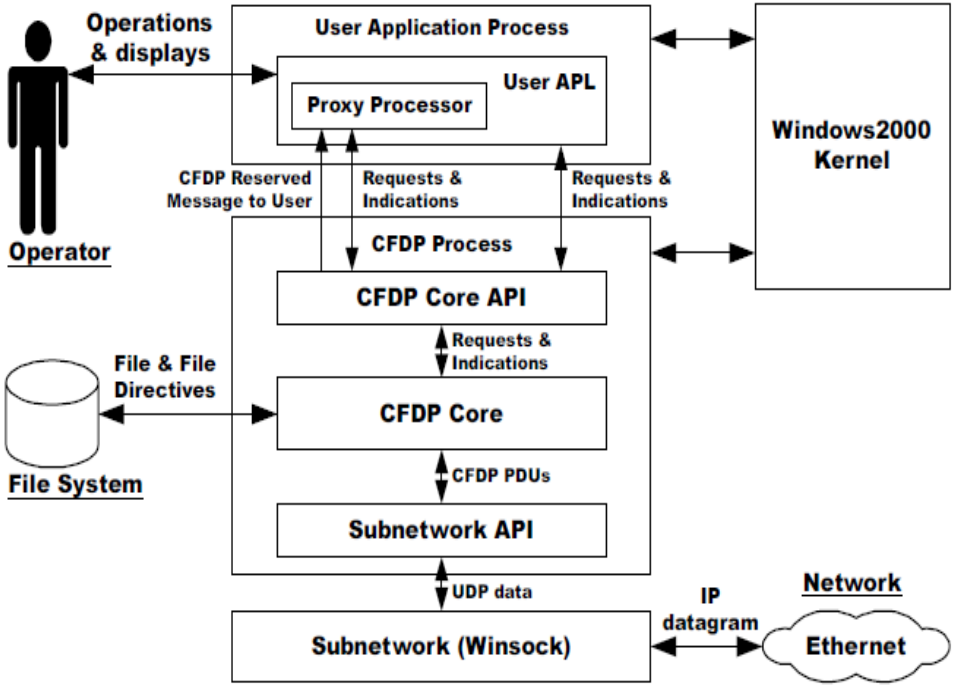


図3: JAXAにおけるCFDP実装アーキテクチャ

*1: 解説資料ではJAXA設立前のNASDA(National Space Development Agency)として記載されている

CCSDS FILE DELIVERY PROTOCOL（CFDP）
PART 3: INTEROPERABILITY TESTING FINAL REPORT

「CCSDS ファイル伝送プロトコル（CFDP）－パート 3: 相互運用性試験（最終報告）」

Green Book
CCSDS 720.3-G-1
発行月：2007年9月

【概要】

CCSDS加盟機関間において実施された、CCSDSファイル伝送プロトコル（CCSDS File Delivery Protocol：CFDP）の相互運用性試験の結果を示している。CFDPは、遅延耐性ファイル伝送のプロトコルとして策定されたもので、ファイル伝送およびファイルシステムの遠隔管理により、宇宙機運用における信頼性の高い自動ファイル伝送（宇宙機－地上間）を可能にするもの。

【内容】

CFDP の相互運用性試験を図1の要領で実施した。
試験の結果、規格における記述の技術的正確さの確認（改善を含む）と、単独の試験では検出できなかった問題の検出が行われ、CFDPの規格文書に問題のないことが確認できた。

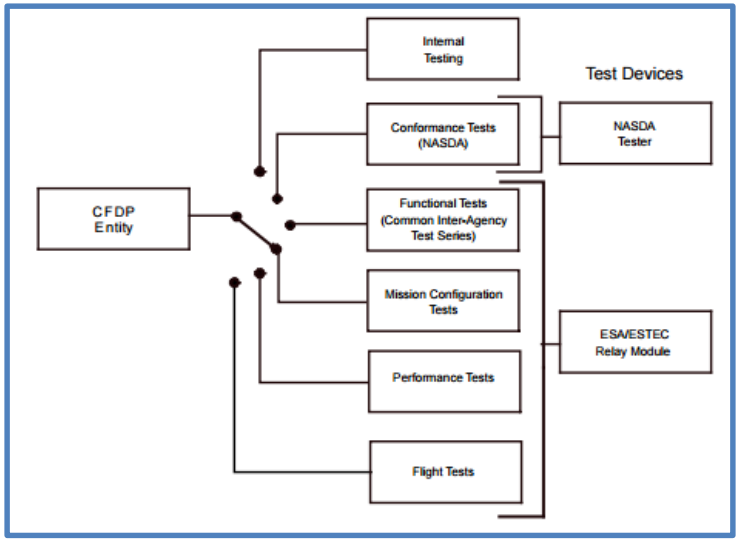


図1: PDU フォーマット

SOLAR SYSTEM INTERNETWORK（SSI）ARCHITECTURE

「太陽系内惑星間ネットワーク（SSI）のアーキテクチャ」

Green Book
CCSDS 730.1-G-1
発行月：2014年7月

【概要】

遅延耐性ネットワーク（DTN）のプロトコルスイートに関する一連のCCSDS推奨ブックを裏付ける経緯と背景をまとめたもの。惑星間インターネット環境を想定して提案されているDTNサービスの論理的根拠、シナリオ／利用例、および諸要件について解説している。

【内容】

SSIは宇宙探査ミッションにおける情報のやり取りを行うためのコミュニケーションシステムである。

複数の宇宙機関にまたがった運用を行うため、「ミッション遂行機能」「ネットワーク関係機能」「先進的機能」についてそれぞれ整理している。

•ミッション遂行機能：MOC（Mission Operation Center：ミッション運用センター）、地上局、宇宙機の関わりとなる。（図1）

•ネットワーク関係機能：ネットワークレベルの相互支援、複数のミッションにまたがった運用、複数の宇宙機関にまたがった運用について示す。（図2）

•先進的機能：自動化等今後の取り組みとなる先進的機能を示す。

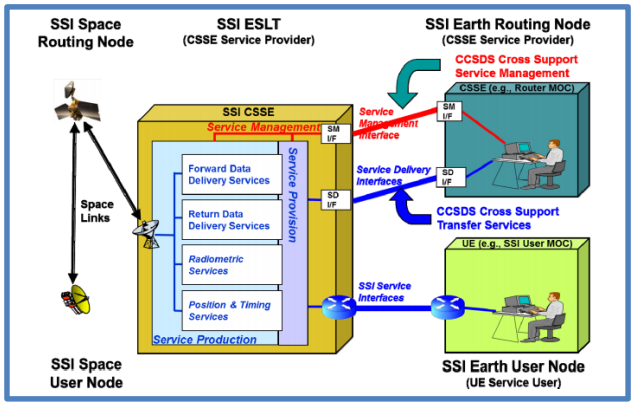


図1: 相互支援サービスプロバイダインタフェース

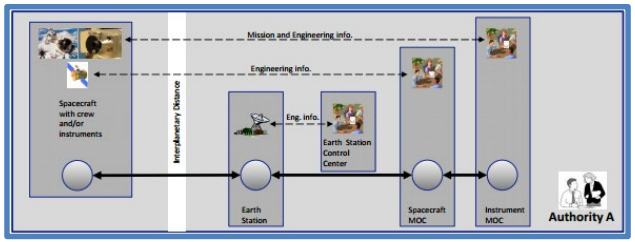


図2: 地上局にノードを追加する

CONCEPTS AND RATIONALE FOR STREAMING SERVICES OVER BUNDLE PROTOCOL

「バンドルプロトコルを使用したストリーミングサービスの概要」

Green Book
CCSDS 730.2-G-1
発行月：2018年8月

本解説資料は、バンドルプロトコルを使用したリアルタイム動画ストリーミング伝送サービスについて利用ケース、使用時の考慮事項、バンドルプロトコル使用による動画データ伝送の方法、将来検討のための試験シナリオを解説している。

本文書の第3章では、バンドルプロトコルを使用したリアルタイム動画ストリーミング伝送サービスについて利用ケースについて基本的なユースケース、緊急時のユースケース、地球周回低軌道ミッションでのユースケース、月面ミッションでのユースケース及び火星ミッションでのユースケースについてそれぞれ説明している。

第4章では、バンドルプロトコルを使用したリアルタイム動画ストリーミング伝送サービスの使用時の考慮事項として、衛星通信システムへの考慮事項、DTN実装時の考慮事項、CFDPの使用について説明している。

第5章では、バンドルプロトコルを使用した動画データストリーミング伝送サービスの実装時のデータベースライブラリとプロトコル、符号化、カプセル化、マルチキャストの方法について説明している。図1及び図2に本章で説明されている概念図を示す。

第6章では、将来検討のための試験シナリオについて説明している。

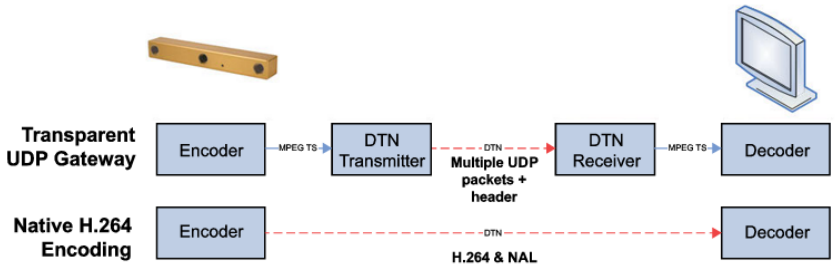


図1：実装時の符号化、復号化の概念図

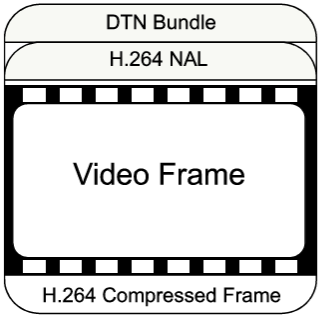


図2：動画1フレームの符号化概念図

関連CCSDS文書規格

- Digital Motion Imagery, CCSDS 766.1-B-2, Blue Book , Issue 2, August 2016.
- CCSDS Bundle Protocol Specification, CCSDS 734.2-B-1, Issue 1, September 2015.
- Wireless Network Communications Overview for Space Mission Operations, CCSDS 880.0-G-3 , Green Book , Issue 3, May 2017.
- CCSDS File Delivery Protocol (CFDP), CCSDS 727.0-B-4 , Blue Book , Issue 4, January 2007.
- Licklider Transmission Protocol (LTP) for CCSDS, CCSDS 734.1-B-1, Blue Book , Issue 1, May 2015.
- Space Communications Cross Support—Architecture Requirements Document, CCSDS 901.1-M-1 , Magenta Book , Issue 1, May 2015.

RATIONALE, SCENARIOS, AND REQUIREMENTS FOR DTN IN SPACE

Green Book
CCSDS 734.0-G-1
発行月：2010年8月

「惑星間遅延耐性ネットワーク（DTN）の論理的根拠、各種シナリオ、並びに要件」

【概要】

太陽系内惑星間ネットワーク（Solar System Internetwork：SSI）の最上位アーキテクチャを示しており、SSIモデルおよびSSIへの段階的移行について概説したもので、SSIの特徴、利点、サービス提供に必要となる要件等、さらにさまざまな宇宙ミッションにおける段階的移行時のネットワーク運用について、シナリオを提示して解説している。

【内容】

惑星間遅延耐性ネットワーク（DTN）では、複数の地上設備や中継衛星、探査先でのネットワークを用いるシナリオを想定している。（図1は探査惑星での地上設備と地球の通信の例）
また、DTNを実現するためのプロトコルスタックの整理を行っている。（図2はCFDPの例）

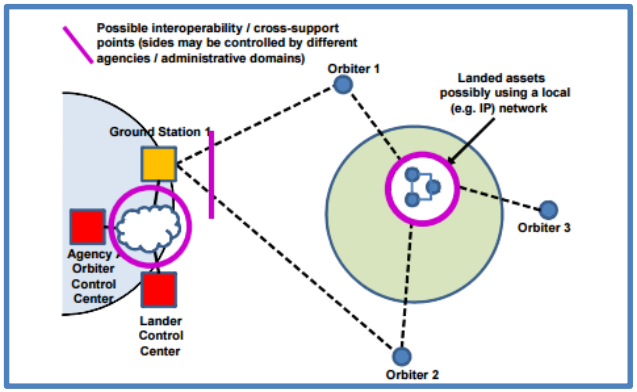


図1: A Scenario Involving a Remote In-Situ Network That May or May Not Use the End-to-End Space Internetworking Protocols

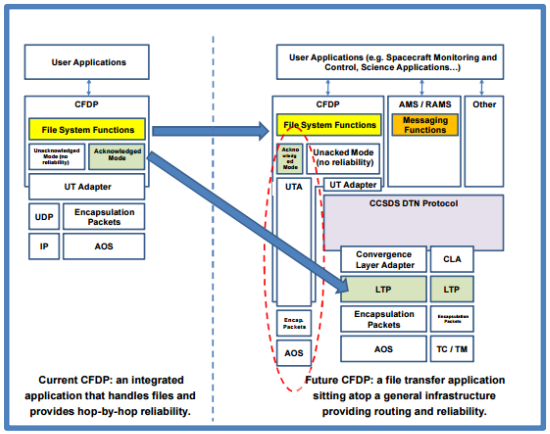


図2: A CFDP Evolution Path to Use DTN as the CFDP Unitdata Transfer Service

ASYNCHRONOUS MESSAGE SERVICE

「非同期メッセージサービス」

Green Book
CCSDS 735.0-G-1
発行月：2012年12月

本解説資料は、CCSDS推奨規格「非同期メッセージサービス（AMS）（CCSDS 735.1-B-1）」の実装にかかわる補足的な情報を記載している。Asynchronous Message Service（AMS）は、宇宙機同士、および宇宙機の内部システムにおけるユーザアプリケーションモジュール間の非同期通信サービスを提供することを目的として開発された。本資料はAMSを宇宙ミッションシステムに適用する開発者に対するガイドとして、実装にかかわる各種指針や視点を提供している。AMSの概要や採用の論理的な根拠、データ構造、AMSの潜在的な利用、また、実装の設計や試験に対する要求等を記載しており、下記項目から構成されている。

2章：AMSの起源の概要と要求
3章：AMSのシステム構築の概要
4章：AMSにおけるメッセージ交信モデル
5章：メタ非同期メッセージサービスプロトコルの要約
6章：アプリケーションAMSプロトコルの要約
7章：リモートAMSプロトコルの仕様との違い
8章：AMSの輸送サービス、特に主要なサービスとしてメッセージキュー使用
9章：AMSコンフィギュレーションサーバーフェイラとモジュール登録アクティビティ復元に際してのワーストケース経過時間見積りアルゴリズム

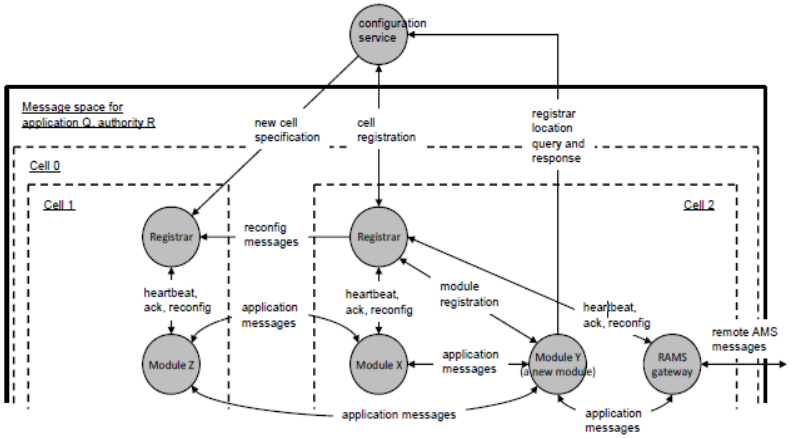


図1: Architectural Elements of AMS (a Single Continuum)

図1は、AMSの概念図である。AMSでは、複数のユーザアプリケーションモジュールが所属するグループ（a Single Continuum）を形成し、グループ内のユーザアプリケーションモジュール間におけるメッセージのやり取りを管理する。ユーザアプリケーションモジュールの上位には“Registrar”を設置し、この “Registrar”が各ユーザアプリケーションモジュールの健全性確認を行い、メッセージのやり取りにかかわる処理実行を指示する。また、“Registrar” の上位に設置される“Configuration server”により、“Registrar”の配置管理および健全性確認が行われる。

このように、グループ（a Single Continuum）に所属するユーザアプリケーションモジュールを上位で管理することにより、1つ1つのユーザアプリケーションの内部処理に依存しない、ユーザアプリケーションモジュール間の非同期通信サービスを提供することができる。

CROSS SUPPORT TRANSFER SERVICE SPECIFICATION FRAMEWORK CONCEPT

「相互支援伝送サービス 規定フレームワーク概念」

Green Book
CCSDS 920.0-G-1
発行月：2023年5月

本解説資料は、「相互支援伝送サービス－規定フレームワーク」（CCSDS 921.1-B-2）および、「相互支援伝送サービス仕様のガイドライン」（CCSDS 921.2-M-1）の理解を深めることを目的としており、宇宙機の運用管制センターと地上局間などのデータ交換に使用される「相互支援伝送サービス(CSTS)」の規定フレームワークに関する補足説明とチュートリアルを提供するものである。

これらの資料が定義している規定フレームワークの目的は、CCSDS CSTS間の共通性の最大化、新しいCCSDS CSTS仕様の簡素化、およびCSTSの実装を簡素化する可能性のある、再利用可能なソフトウェアコンポーネントの設計と実装を実現することである。

図1に、CSTSを含む、相互支援サービスに係る文書の構成と関係性を示す。

本解説資料は、下記内容から構成されている。

1章： 本書の目的と範囲
2章： CSTS規定フレームワーク開発の背景と目的および、SLEサービスとの関係性
3章： CSTS規定フレームワークの概要
4章： CSTS規定フレームワークの参照モデル
5章： CSTS規定フレームワークの拡張性へのアプローチ
6章： CSTS規定フレームワークの共通運用
7章： CSTS規定フレームワークの共通手順
8章： サービスインスタンスの役割とプロシージャインスタンスとの関係性
9章： CSTS規定フレームワークのデータ通信サービス
10章： CSTS規定フレームワークの仕様に基づくガイドライン

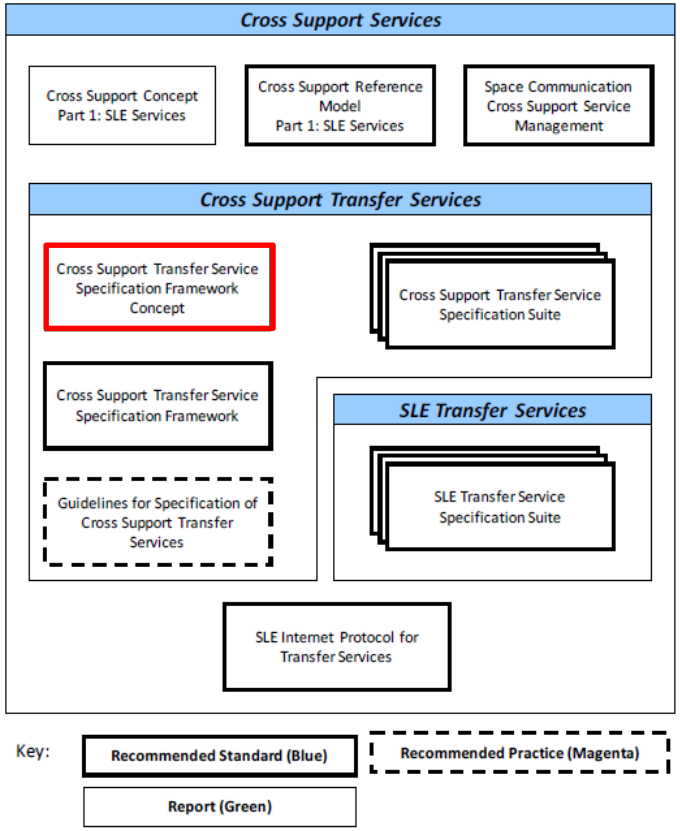


図1：相互支援サービスに係る文書の構成と関係性