

限定なし



AOS データリンクプロトコル 設計標準

2019年5月30日 初版

宇宙航空研究開発機構

免責条項

ここに含まれる情報は、一般的な情報提供のみを目的としています。JAXA は、かかる情報の正確性、有用性又は適時性を含め、明示又は黙示に何ら保証するものではありません。また、JAXA は、かかる情報の利用に関連する損害について、何ら責任を負いません。

Disclaimer

The information contained herein is for general informational purposes only. JAXA makes no warranty, express or implied, including as to the accuracy, usefulness or timeliness of any information herein. JAXA will not be liable for any losses relating to the use of the information.

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

1	はじめに	1
1.1	目的	1
1.2	構成	1
1.3	関連文書	1
1.4	略語	1
1.5	用語の定義	2
2	プロトコルに適用する CCSDS 標準文書と標準の概要	3
2.1	アーキテクチャ	3
2.2	適用標準規格	5
2.3	パケット伝送の原理	5
2.4	データリンクプロトコル副層	7
2.5	同期・チャンネルコーディング副層	9
3	サービス・オプション規格の概要とのその適用標準	11
3.1	AOS スペースリンクプロトコル	11
3.1.1	サービス	11
3.1.1.1	概要	11
3.1.1.2	標準	16
3.1.1.3	理由	16
3.1.2	AOS トランスファフレーム	17
3.1.2.1	宇宙機識別子 (Spacecraft ID)	17
3.1.2.2	仮想チャンネル識別子 (VCID)	17
3.1.2.3	Virtual Channel Frame Count	18
3.1.2.4	Replay Flag	18
3.1.2.5	Header と Frame の Error Control	18
3.2	同期・チャンネルコーディング	19
3.2.1	概要	19
3.2.2	符号の種類	19
3.2.3	標準	20
3.2.3.1	適用符号	20
3.2.3.2	副層内の構造	21
3.2.3.3	リード・ソロモン符号	21
3.2.3.4	擬似ランダムイズ	23
3.2.3.5	同期マーカ	24
3.2.3.6	畳み込み符号	24
3.2.3.7	注意事項	25
3.3	宇宙機時刻の伝送	26
3.3.1	パケット方式	26
3.3.2	フレーム方式	26
付録 1	E=16, 32 ビット整数倍短縮コードの場合の各部データ長	27
付録 2	宇宙機 (接続符号使用) で使用する管理パラメータ (推奨)	28
付録 3	図 3.2.2-2 の見方	28

1 はじめに

1.1 目的

本文書は、CCSDS のブルーブックを適用し、グリーンブックを含み JERG-2-400: 通信設計標準のもつ選択肢やオプションに対する利用上の標準である(通信の標準は JERG-2-400: 通信設計標準の規定による)。なお、スペースリンクサブネットワークにおける AOS データリンクプロトコルに適用する標準は JERG-2-400: 通信設計標準に規定してある。

1.2 構成

本文書の構成を以下に示す。

- 2 章 : AOS データリンクプロトコルに適用する CCSDS 標準文書と標準の概要を示す。
- 3 章 : サービスなどの標準の選択方法、オプションの選定、注意事項などを示す。

1.3 関連文書

以下に、参考文書を示す。版(バージョン)の指定の無い文書は最新版を適用すること。

- [1] JERG-2-400 : 通信設計標準
- [2] CCSDS 732.0-B-2-S : AOS Space Data Link Protocol
- [3] CCSDS 131.0-B-2-S : TM Synchronization and Channel Coding
- [4] “Registries.” Space Assigned Number Authority (SANA).
<http://sanaregistry.org/r/>
- [5] CCSDS 133.0-B-1 : Space Packet Protocol
- [6] CCSDS 130.0-G-3 : Overview of Space Communications Protocols
- [7] CCSDS 130.2-G-3 : Space Data Link Protocols – Summary of Concept and Rationale
- [8] CCSDS 130.1-G-2 : TM Synchronization and Channel Coding – Summary of Concept and Rationale
- [9] CCSDS 413.0-G-2-S : Bandwidth Efficient Modulations: Summary of Definition, Implementation and Performance
- [10] CCSDS 232.0-B-3 : TC Space Data Link Protocol
- [11] CCSDS 700.0-G-3 : Advanced Orbiting Systems, Networks and Data Links: Summary of Concept, Rationale and Performance
- [12] CCSDS 301.0-B-4 : Time Code Formats
- [13] CCSDS 232.1-B-2 : Communications Operation Procedure-1
- [14] ECSS-E-HB-50A : Communications Guidelines
- [15] ECSS-E-ST-50-05C Rev.2 : Radio Frequency and Modulation
- [16] ECSS-E-ST-50-03C : Space Data Links - Telemetry Transfer Frame Protocol
- [17] ECSS-E-ST-50-01C : Space Data Links - Telemetry Synchronization and Channel Coding

1.4 略語

以下に、この文書で使用する略語を示す。

AOS	Advanced Orbiting Systems
ASM	Attached Sync Marker
B_PDU	Bitstream Protocol Data Unit

CADU	Channel Access Data Unit	
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems	; 宇宙データシステム諮問委員会
CLCW	Communications Link Control Word	; 通信回線制御語
COP-1	Communications Operation Procedure-1	
ECSS	European Cooperation for Space Standardization	
GVCID	Global Virtual Channel Identifier	
ID	Identifier	; 識別子
LDPC	Low Density Parity Check	; 低密度パリティ検査
MC	Master Channel	; マスタチャンネル
MCF	Master Channel Frame	; マスタチャンネルフレーム
MCID	Master Channel Identifier	; マスタチャンネル識別子
M_PDU	Multiplexing Protocol Data Unit	
OCF	Operational Control Field	; 運用制御領域
OSI	Open Systems Interconnection	; 開放型システム間相互接続
PDU	Protocol Data Unit	; プロトコルデータユニット
R-S	Reed-Solomon	; リード・ソロモン
SANA	Space Assigned Number Authority	
SAP	Service Access Point	; サービスアクセスポイント
SCID	Spacecraft Identifier	; 宇宙機識別子
SDU	Service Data Unit	; サービスデータユニット
TC	Telecommand	; テレコマンド
TFVN	Transfer Frame Version Number	; トランスファフレームバージョン番号
TM	Telemetry	; テレメトリ
VC	Virtual Channel	; 仮想チャンネル
VCA	Virtual Channel Access	; 仮想チャンネルアクセス
VCDU	Virtual Channel Data Unit	; 仮想チャンネルデータユニット
VCF	Virtual Channel Frame	; 仮想チャンネルフレーム
VCID	Virtual Channel Identifier	; 仮想チャンネル識別子

1.5 用語の定義

この文書で使用する用語は、関連文書[1]で定義した用語と同じである。

2 プロトコルに適用する CCSDS 標準文書と標準の概要

2.1 アーキテクチャ

AOS データリンクプロトコルは、宇宙機と地上局または宇宙機と宇宙機間のスペースリンクサブネットワーク¹⁾において、テレメトリを伝送する伝送路²⁾に適用するプロトコルである。

AOS データリンクプロトコルは、OSI 参照モデルの第 2 層(データリンク層)に相当するプロトコルである。

AOS データリンクプロトコルは OSI 参照モデルの第 2 層をデータリンクプロトコル副層と同期・チャンネルコーディング副層の 2 つの副層で構成する(図 2. 1-1)。

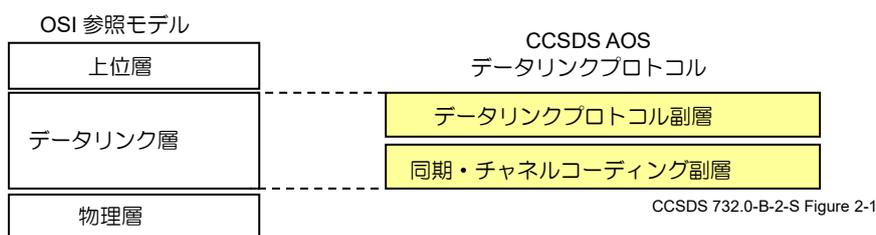


図 2. 1-1 OSI 参照モデルと AOS データリンクプロトコル

図 2. 1-2 にスペースデータシステムにおける AOS のプロトコル構成を示す。エンドツーエンドプロトコル(ネットワーク層)は、スペースパケットプロトコル(関連文書[5])を適用する。

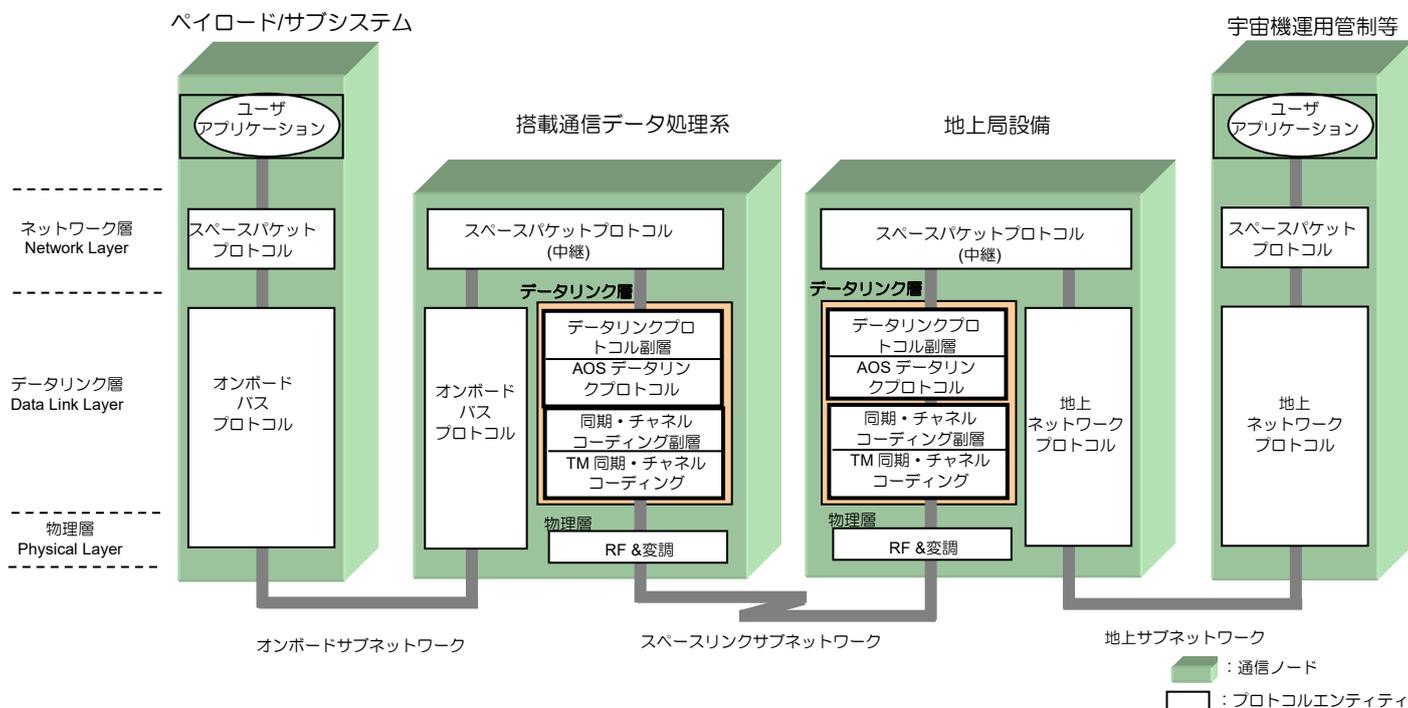


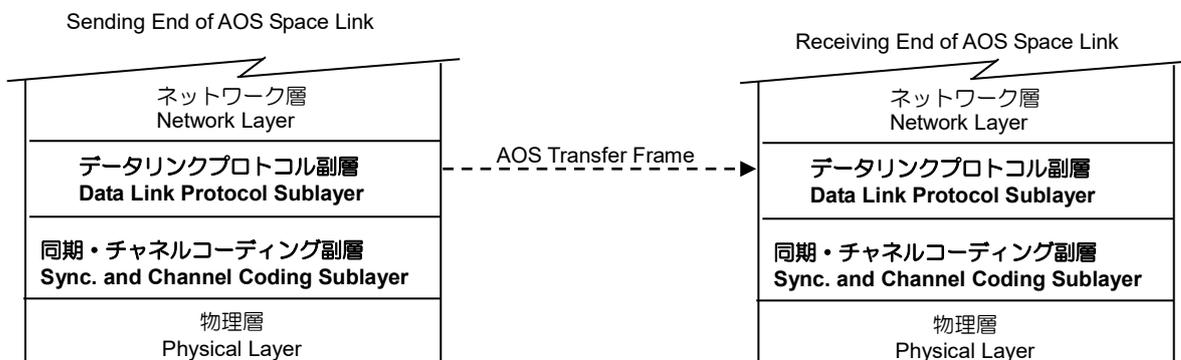
図 2. 1-2 スペースデータシステムにおける AOS のプロトコル構成

図 2. 1-3 に AOS Data Link Layer (AOS Data Link Protocol Sublayer と AOS Sync. and

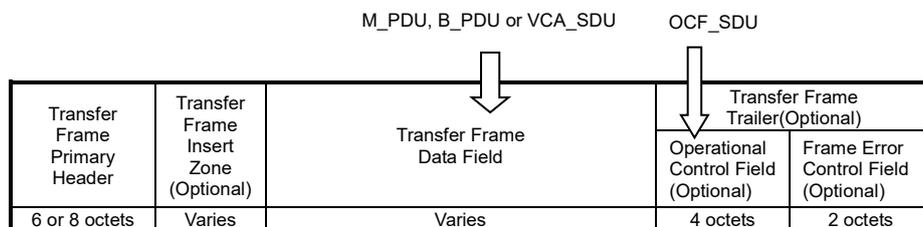
¹⁾ 中継機能を提供する一つまたは複数の中間の開放型システムの集合。

²⁾ 伝送路はシンプレックスである。

Channel Coding Sublayer)のPDU(Protocol Data Unit)を示す。



(a) 層と PDU



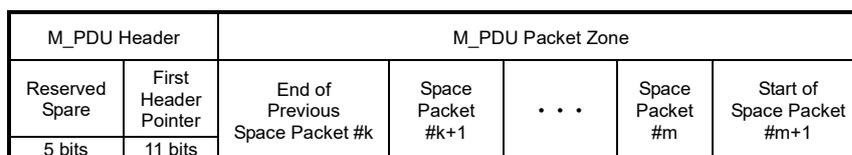
CCSDS 732.0-B-2-S Figure 4-1

Transfer Frame Primary Header

Master Channel ID		Virtual Channel ID	Virtual Channel Frame Count	Signaling Field			VC Frame Count Cycle	Frame Header Error Control (Optional)
Transfer Frame Version Number	Spacecraft ID			Replay Flag	VC Frame Count Usage Flag	Reserved Spare		
2 bits	8 bits	6 bits	24 bits	1 bit	1 bit	2 bits	4 bits	16 bits

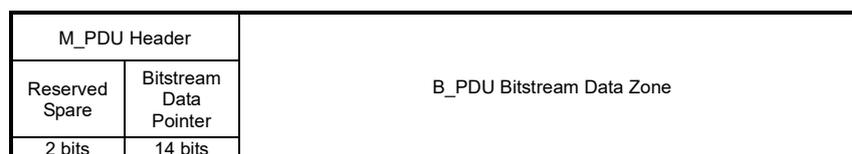
CCSDS 732.0-B-2-S Figure 4-2

(b) AOS Transfer Frame



CCSDS 732.0-B-2-S Figure 4-3

(c) M_PDU



CCSDS 732.0-B-2-S Figure 4-4

(d) B_PDU

図 2.1-3 Protocol Data Unit (PDU)

2.2 適用標準規格

表 2.2-1 に AOS スペースデータリンクに適用する標準規格を示す。

表 2.2-1 AOS データリンク層に適用する標準規格

	標準適用規格	レポート(解説書 (グリーンブック))
	CCSDS スタンダード(ブルーブック)	
データリンク副層の規格	CCSDS 732.0-B (関連文書 [2]) AOS Space Data Link Protocol	CCSDS 700.0-G (関連文書 [11]) AOS Summary of Concept and Rationale and Performance
同期・チャンネルコーディング 副層の規格	CCSDS 131.0-B (関連文書 [3]) TM Synchronization and Channel Coding	CCSDS 130.1-G (関連文書 [8]) TM Synchronization and Channel Coding - Summary of Concept and Rationale
使用する ID のサマリ	SANA (関連文書 [4]) Space Link Identifiers	---
Space Link Protocol の解説	---	CCSDS 130.0-G (関連文書 [6]) Overview of Space Communication Protocols
Space Data Link の解説	---	CCSDS 130.2-G (関連文書 [7]) Space Data Link Protocols- Summary of Concept and Rationale

関連文書[4]は通信で使用する各種の ID(Identifier)(関連文書[2]-[3]で使用する ID を含む)をまとめて規定した URL である。

関連文書[6]は、通信において CCSDS の各種プロトコルがどのような組合せで使用するかを示した文書である。

関連文書[7]は、スペースデータリンクに使用する TC、TM、AOS(関連文書 [2])の各スペースデータリンクプロトコルおよび COP-1(関連文書 [13])の概要を示した文書である。

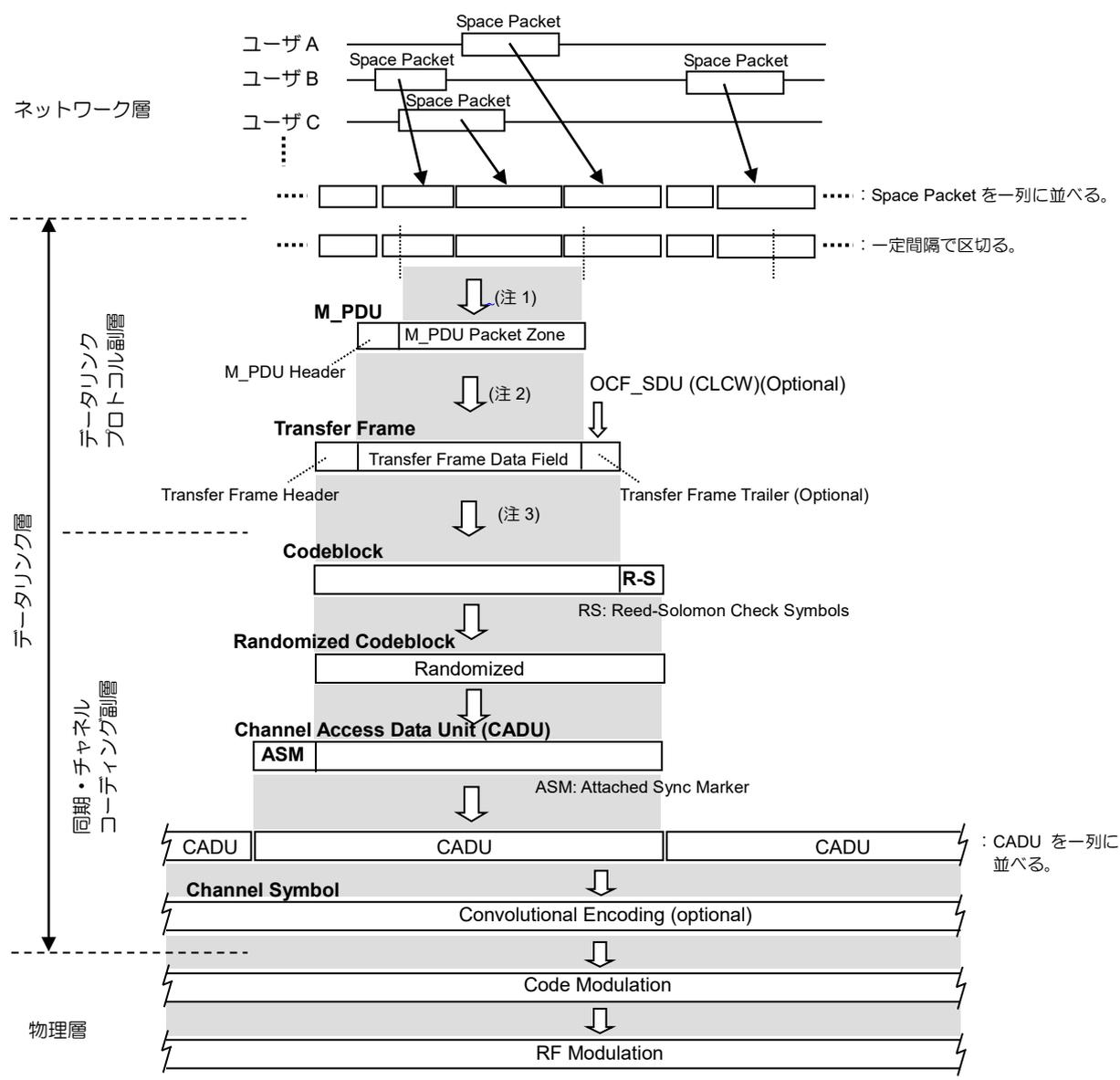
2.3 パケット伝送の原理

伝送の最小単位は Space Packet(以下、パケットと言うこともある)であり、パケットの伝送が基本である。図 2.3-1 にパケット伝送の原理を示した図³を示す。チャンネルコーディングは接続符号を使用する宇宙機で記載してある。

- (1) 可変長のパケットを多重化する(一列に並べる)。
- (2) 多重化したパケット列を一定間隔で区切り M_PDU(固定長)を生成する。
- (3) 固定長のトランスファフレームで一つの M_PDU を伝送する。
- (4) トランスファフレームに誤り訂正用のリード・ソロモン符号を付加する。リード・ソロモン符号を付加したトランスファフレームを Codeblock と呼ぶ。
- (5) Codeblock を受信機のビット同期確保用にランダム化する。ランダム化した Codeblock を Randomized Codeblock と呼ぶ。
- (6) Randomized Codeblock にトランスファフレームの先頭を意味する ASM(Attached Sync. Marker)を付加する。ASM を付加した Randomized Codeblock を CADU(Channel Access Data Unit)と呼ぶ。
- (7) CADU を一列につなげる。
- (8) 一列になった CADU を畳み込み符号化する(誤り訂正用)。これを Channel Symbol と呼ぶ。
- (9) Channel Symbol に RF 変調方式に応じて符号化変調を行い RF 変調する。

³ 送信側(Sending End)で記載してある。受信側(Receiving End)はこの図と矢印の方向が逆になる。

(1)はネットワーク層、(2)から(3)はデータリンク副層、(4)から(8)は同期・チャンネルコーディング副層、(9)は物理層の機能である。



注 1 : M_PDU の生成中に伝送する Space Packet が無くなった場合、Idle Packet を挿入して M_PDU を完成させる。
 注 2 : 伝送する M_PDU は無いが、OCF_SDU(CLCW)は伝送する場合、Idle M_PDU を挿入する。
 注 3 : 伝送する M_PDU および OCF_SDU(CLCW)は無いが、受信側のフレーム同期の捕捉・維持を行うために Idle Transfer Frame を挿入する。

図 2. 3-1 AOS スペースパケット伝送の原理図

2.4 データリンクプロトコル副層

データリンクプロトコル副層の特徴的な事項を以下に示す。

(1) Service

- 伝送の基本はパケット(SDU: Service Data Unit)であるが、他のSDUも伝送する。これらはServiceとして定義される。
- パケットを伝送するPacket Serviceの他に、Bitstream、Virtual Channel Access (VCA) Service、Virtual Channel Operational Control Field (VC_OCF) Service、Virtual Channel Frame (VCF) Service、Master Channel Frame (MCF) Service)およびInsert Serviceがある。

(2) Transfer Frame

- SDUはTransfer Frameで伝送する。Transfer Frameは、Master ChannelとVirtual Channelで伝送する。

(3) Channel

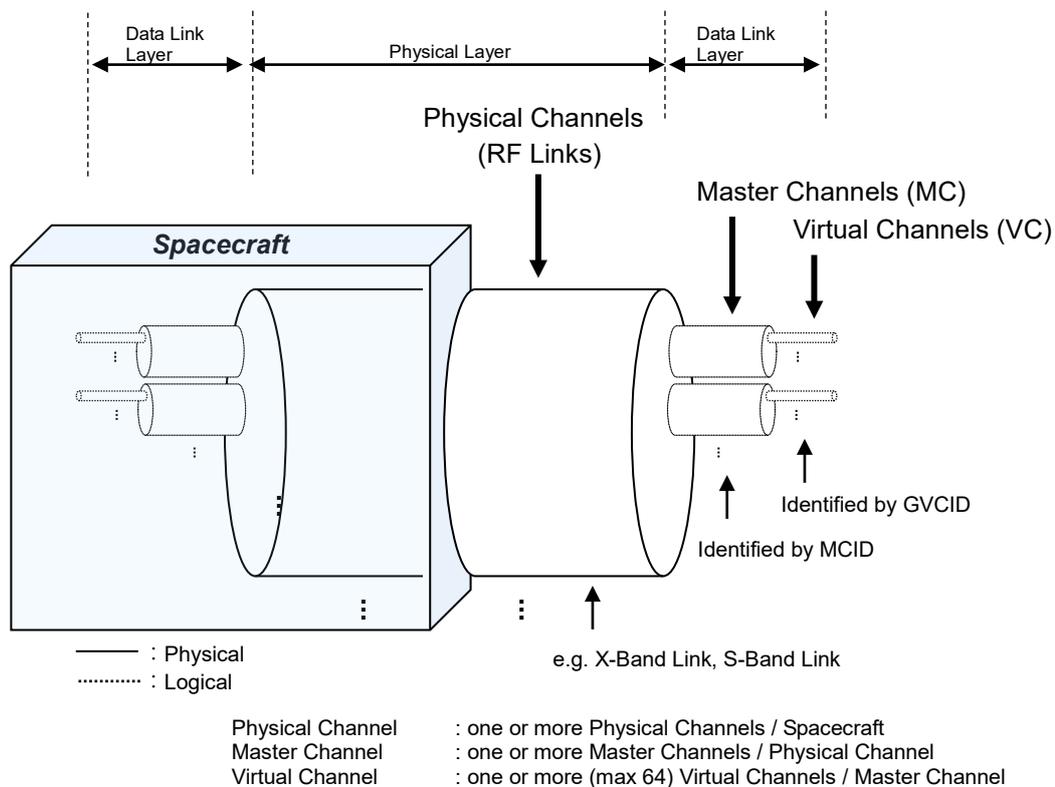
- Channelの構成を図2.4-1に示す。
- 一つの宇宙機には、一つまたは複数のRF Linkが存在する。RF Linkとは物理チャネル(Physical Channel)である。この物理チャネルは物理チャネル名(Physical Channel Name)で識別する。
- 物理チャネルはTransfer Frameを伝送する。
- 物理チャネルは、論理的に、一つまたは複数のMaster Channelで構成することができる。Master Channelとは、Transfer Frame Version Number (TFVN)⁴とSpacecraft Identifier (SCID)⁵で識別された論理チャネルである。TFVN+SCIDをMaster Channel Identifier (MCID)と言う。Master ChannelはSCIDごとのChannelを作ることが目的である。
- 一つのMaster Channelは、論理的に、一つまたは複数のVirtual Channelで構成することができる。Virtual Channelとは、MCIDとVirtual Channel Identifier (VCID)で識別された論理チャネルである。MCID+VCIDをGlobal Virtual Channel Identifier (GVCID)と言う。Virtual Channelは伝送の優先度・伝送速度や伝送品質の異なるChannelを作ることが目的である。
- TFVN、SCID、VCIDはTransfer Frame Primary Headerの情報である。

(4) 論理チャネルの多重化

- 多重化の構成を図2.4-2に示す。
- Transfer Frameは2つの多重化を行う。Virtual ChannelのTransfer FrameはVCIDで多重化されてMaster ChannelのTransfer Frameになる。Master ChannelのTransfer FrameはMCIDで多重化されてPhysical ChannelのTransfer Frameになる。
- なお、多くの宇宙機は一つのSCIDを持つ。この場合、Master Channelは一つであり、多重化はVCIDによる多重化のみとなる。

⁴ Transfer FrameはTFVN(Transfer Frame Version Number)で識別される複数種類がある(AOSのTFVNは2である)(関連文書[4])。

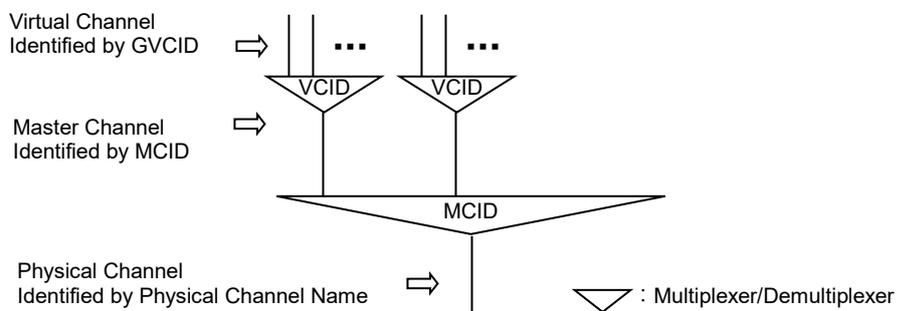
⁵ 一つの宇宙機が持つSCID(Spacecraft Identifier)は一つとは限らない。



MCID = TFVN + SCID
GVCID = MCID + VCID = TFVN + SCID + VCID

- MCID : Master Channel Identifier
- SCID : Spacecraft Identifier
- TFVN : Transfer Frame Version Number
- GVCID : Global Virtual Channel Identifier
- VCID : Virtual Channel Identifier

図 2.4-1 Channel の構成



CCSDS 732.0-B-2-S, Figure 2-2

図 2.4-2 論理チャネルの多重化

2.5 同期・チャンネルコーディング副層

同期・チャンネルコーディング副層の特徴的な事項を以下に示す。

- (1) RF 回線（チャンネルコーディング無し）のままであると、User Application の一般要求である Error Free を満足できない。そのために、チャンネルコーディングを行い、その符号の符号化利得で User Application の BER を Error Free に近づける。

なお、一般的に言う符号化は Channel Coding (チャンネルコーディングまたは伝送路符号化) と Code Modulation (符号変調) がある。

前者は伝送に必要な符号化であり、一般に符号化利得 (Coding Gain) がある。RF 変調方式には依存しない。

一方、後者は RF 変調方式に必要な符号化であり、変調方式に依存する符号化である (例えば、PM 変調時の $\text{Bi}\phi\text{-L}$ や PSK 変調時の Differential Encoding である)⁶。この Code Modulation は Physical Layer で規定される。

一般に、符号化を行う前を Bit、符号化後を Symbol と言う。この場合、符号化とは Channel Coding のことか Code Modulation のことかの定義が異なるので注意を要する。

CCSDS は Code Modulation 後が Symbol (図 2.5-1)⁷ であり、ECSS は Channel Coding 後が Symbol (図 2.5-2)⁸ である。

Bit と Symbol の表記は、機関、組織、技術分野等において、異なった意味で使われることがある。プロジェクトは Bit と Symbol の定義を明確にして使用すること。

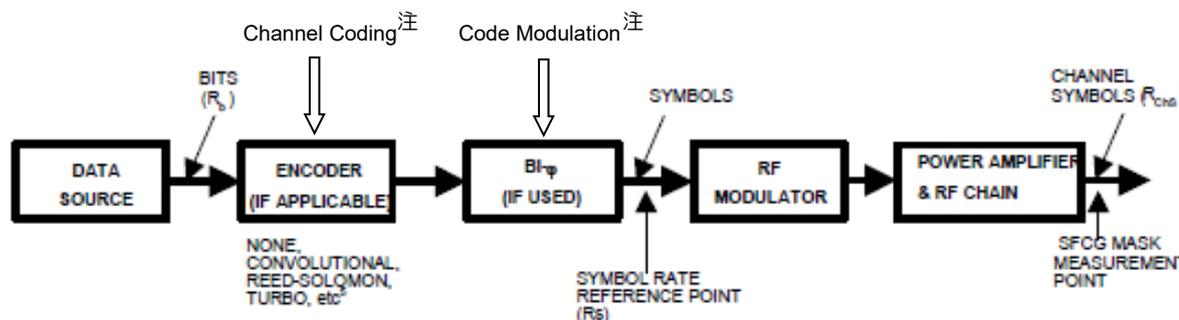
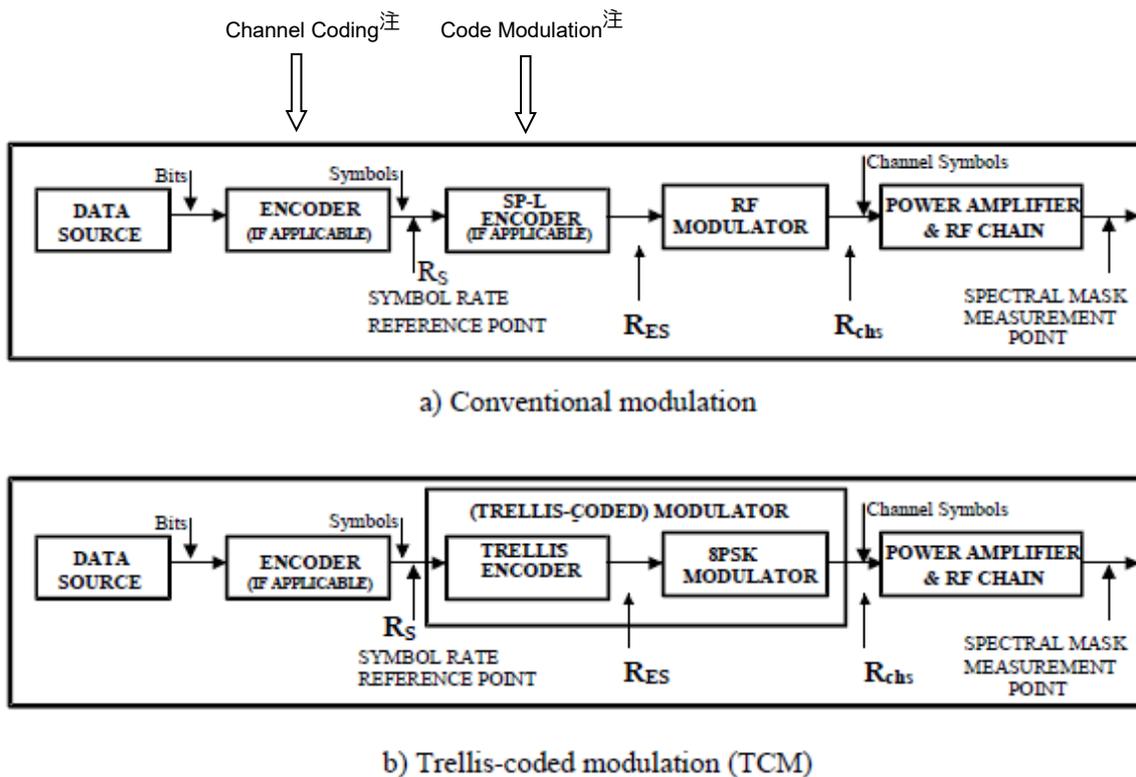


図 2.5-1 CCSDS の Bit and Symbol Terminology

⁶ 8 相 QPSK 時の Trellis 符号は符号化利得があるが、変調方式に依存するので Code Modulation に部類することが一般的である。

⁷ 関連文書[9]の Figure 2-1: Bit and Symbol Terminology

⁸ 関連文書[15]の Figure 6-2 Symbol Rate Reference Point



注：本編者記入。

図 2.5-2 EGSS Symbol Rate Reference Point

3 サービス・オプション規格の概要とその適用標準

3.1 AOS スペースリンクプロトコル

3.1.1 サービス

3.1.1.1 概要

関連文書[2]に定義されたサービスの種類を表 3.1.1.1-1 に、副層内プロトコル構成を図 3.1.1.1-1 に示す。

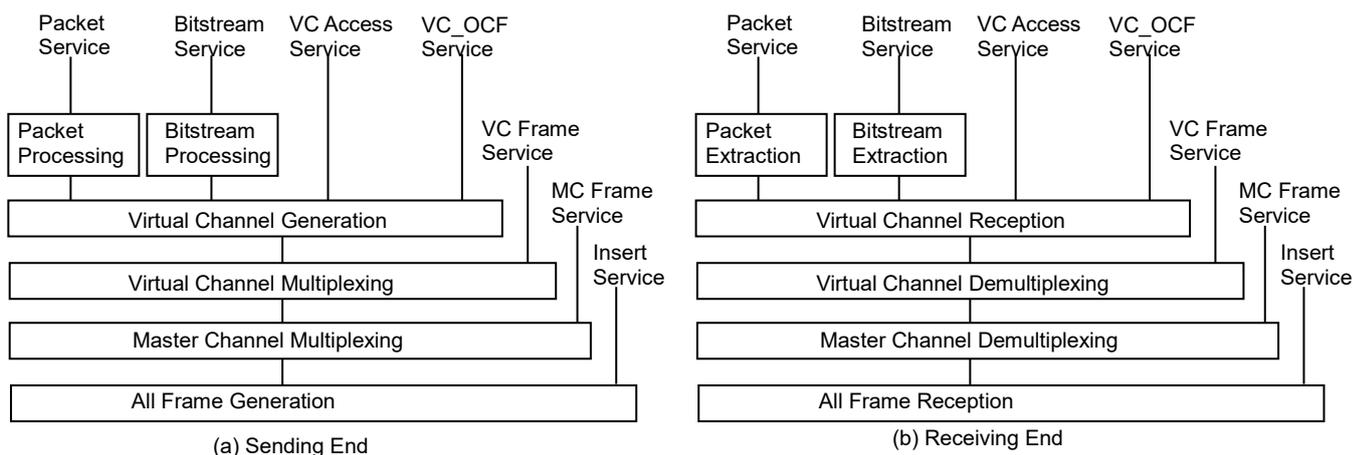
表 3.1.1.1-1 AOS スペースリンクのサービス

Service	Service Type	Service Data Unit	SAP Address
Packet	非同期	Space Packet	GVCID + Packet Version Number
Bitstream	非同期または周期的	Bitstream Data	GVCID
Virtual Channel Access (VCA)	非同期または周期的	VCA_SDU	GVCID
Virtual Channel Operational Control Field (VC_OCF)	非同期または周期的	OCF_SUD	GVCID
Virtual Channel Frame (VCF)	非同期または周期的	Transfer Frame	GVCID
Master Channel Frame (MCF)	非同期または周期的	Transfer Frame	MCID
Insert	周期的	IN_SDU	Physical Channel Name

CCSDS 732.0-B-2-S Table 2-1

GVCID=TFVN + SCID + VCID MCID=TFVN + SCID

GVCID: Global Virtual Channel Identifier, TFVN: Transfer Frame Version Number, VCID: Virtual Channel Identifier, MCID: Master Channel Identifier, SCID: Spacecraft Identifier



CCSDS 732.0-B-2-S Figure 2-5 and Figure 2-6

図 3.1.1.1-1 Internal Organization of Protocol Entity

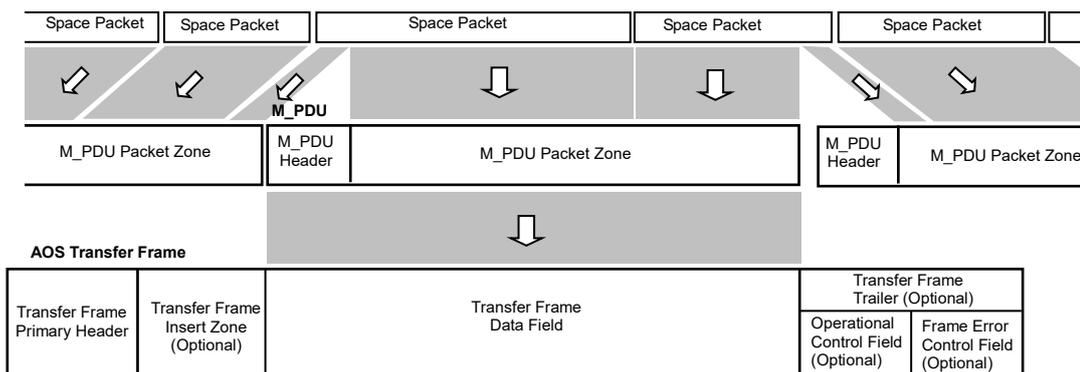


図 3.1.1.1.1-1 スペースパケットの伝送 (Packet Service)

3.1.1.1.2 Bitstream Service

- (1) 利用者が独自に生成したビット列(Bitstream)を伝送する。一つの Virtual Channel で一利用者のみが利用できる。
- (2) Bitstream Service(ビットストリームサービス)は、ビット列を一定間隔に区切り(B_PDU Bitstream Data Zone)、ビット列終了位置を示すヘッダ(B_PDU Header)を付加してB_PDUを生成する(図 3.1.1.1.2-1)。
- (3) B_PDU は AOS Transfer Frame の Transfer Frame Data Field で伝送する。
- (4) この AOS Transfer Frame は、他の AOS Transfer Frame と多重化して伝送する。

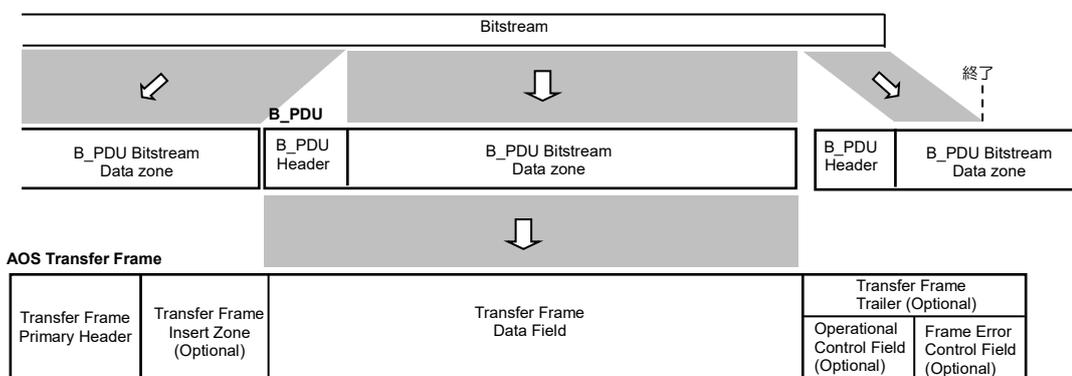


図 3.1.1.1.2-1 ビット列(Bitstream)の伝送 (Bitstream Service)

注意事項

- ビットストリームサービスは、単にビット列を伝送するのみである。従って、データの区切り(例：フレーム同期パターンの付加)やデータ区切りの検出(例：フレーム同期)は、ビットストリームサービスを利用する側で行うこと。
- ビットストリームサービスは、アナログ信号(例：映像信号や音声等)を量子化しただけのデータを伝送するような場合に使用する。但し、パケットを生成できるならば、パケットサービスを使用したほうがサービス利用者の処理が容易になる。このサービスは、パケット生成を行っていない既開発品を使用するような場合に使用する。

3.1.1.1.3 Virtual Access (VCA) Service

- (1) 利用者が独自に生成した固定長データを伝送する。一つの Virtual Channel で一利用者のみが利用できる。
- (2) CCSDS には無い独自のプロトコルで生成した 8 ビット整数倍データ (固定長) (VCA_SDU) を伝送する場合は、この仮想チャネルアクセスサービス (Virtual Channel Access (VCA) Service) を使用する (図 3.1.1.1.3-1)。
- (3) VCA Service (仮想チャネルアクセスサービス) は、利用者が生成した VCA_SDU を AOS Transfer Frame の Transfer Frame Data Field で伝送する。
- (4) この AOS Transfer Frame は、他の AOS Transfer Frame と多重化して伝送する。

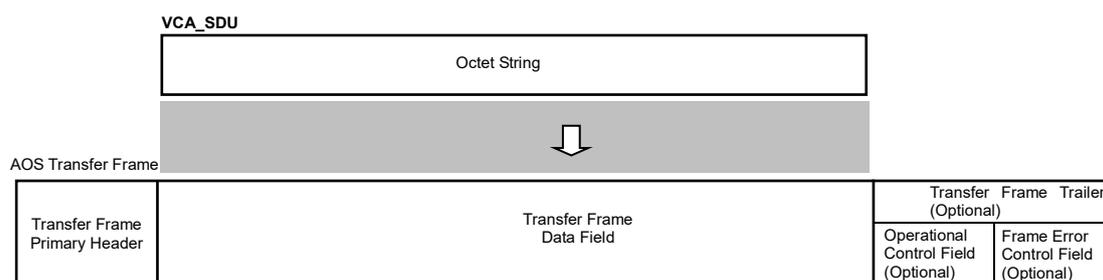


図 3.1.1.1.3-1 8 ビット整数倍データの伝送 (Virtual Channel Access (VCA) Service)

注意事項

- ・利用者が生成する VCA_SDU (固定長) のデータ内部構造は、任意である。VCA_SDU の構造、伝送の完全性等は、このサービスの利用者の責任において設計すること。

3.1.1.1.4 Virtual Channel Operational Control Field (VC_OCF) Service

- (1) COP-1 の CLCW (関連文書 [10, 13]) を伝送する。
- (2) VC_OCF Service (VC_OCF サービス) は、CLCW を AOS Transfer Frame の Transfer Frame Trailer Operational Control Field で伝送する (図 3.1.1.1.4-1)。
- (3) この AOS Transfer Frame は、他の AOS Transfer Frame と多重化して伝送する。

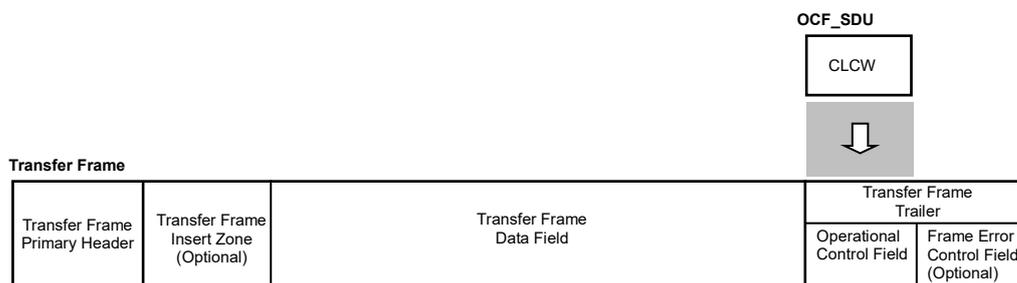


図 3.1.1.1.4-1 CLCW の伝送 (Virtual Channel Operational Control Field (Service (VC_OCF))

注意事項

- ・仮想チャネルフレームサービス (Virtual Channel Frame (VCF) Service) と マスタチャネルフレームサービス (Master Channel Frame (MCF) Service) の AOS Transfer Frame には適用されない (伝送できない)。
- ・仮想チャネルフレームサービスとマスタチャネルフレームサービスが存在すると、CLCW の伝送頻度は低下する。

3.1.1.1.5 Insert Service

- (1) 利用者が独自に生成した固定長データを伝送する。一つの Physical Channel で一利用者のみが利用できる。
- (2) Insert Service(インサートサービス)は、全ての AOS トランスファフレームの特定領域(インサート領域: Transfer Frame Insert Zone) (固定長)を使用し利用者が生成した SDU を伝送する。AOS Transfer Frame は、他の AOS Transfer Frame と多重化して伝送する(図 3.1.1.1.5-1)。
- (3) インサート領域は一定間隔で発生するので、Insert SDU は一定周期(Transfer Frame の伝送周期)で伝送される。
- (4) インサート領域は、一つの物理チャネルの全 AOS トランスファフレームに存在する。

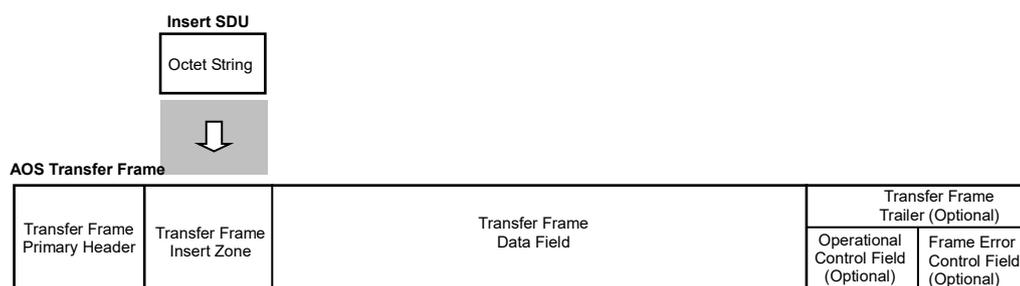


図 3.1.1.1.5-1 音声等のリアルタイム伝送 (Insert Service)

注意事項

- ・インサートサービスは周期的伝送のみのサービスである(表 3.1.1.1-1)。従って、音声伝送等に使用できるが、次の注意が必要である。
- ・インサートサービスは、一つの物理チャネル上の全 AOS トランスファフレームにインサート領域をもつ。そのため、仮想チャネルフレームサービス(Virtual Channel Frame (VCF) Service) およびマスタチャネルフレームサービス(Master Channel Frame (MCF) Service)との併用は出来ない。インサートサービスを使用する場合、仮想チャネルフレームサービスとマスタチャネルフレームサービスは使用できない。仮想チャネルフレームサービスまたはマスタチャネルフレームサービスを使用した場合、インサートサービスは使用できない。

3.1.1.1.6 Virtual Channel Frame (VCF) Service

- (1) 利用者が独自に生成した固定長データを伝送する。一つの Virtual Channel で一利用者のみが利用できる。
- (2) VCF Service(仮想チャネルフレームサービス)は、サービスの利用者が生成した AOS トランスファフレームをそのまま他の AOS トランスファフレームと多重化して伝送する。

注意事項

- ・仮想チャネルフレームサービスの利用者は、AOS トランスファフレームを生成できる信用のおける利用者限定される。
- ・一つの物理チャネルにおいて、仮想チャネルフレームサービスを使用した場合インサートサービスは使用できない。また、インサートサービスが使用されている場合、仮想チャネルフレームサービスおよびマスタチャネルフレームサービスは使用できない。

3.1.1.1.7 Master Channel Frame (MCF) Service

- (1) 利用者が独自に生成した固定長データを伝送する。一つの Master Channel で一利用者のみが利用できる。
- (2) MCF Service(マスタチャンネルフレームサービス)は、サービスの利用者が生成した AOS トランスファフレームをそのまま他の AOS トランスファフレームと多重化して伝送する。

注意事項

- マスタチャンネルフレームサービスの利用者は、AOS トランスファフレームを生成できる信用の置ける利用者限定される。
- 一つの物理チャンネルにおいて、マスタチャンネルフレームサービスを使用した場合インサートサービスは使用できない。また、インサートサービスが使用されている場合、仮想チャンネルフレームサービスおよびマスタチャンネルフレームサービスは使用できない。

3.1.1.2 標準

多くの宇宙機が適用するサービスは、

- Packet Service
- VC_OCF Service ; Telecommand COP-1 CLCW 伝送のみに適用。
- Virtual Channel Access (VCA) Service ; 適用する場合は宇宙機時刻伝送のみ。

を標準とする。

3.1.1.3 理由

- (1) 通信設計標準は、Space Packet Protocol を End to End Protocol として使用する。したがって、Packet Service が標準である。
- (2) VC_OCF Service は Telecommand に適用する COP-1 の CLCW(Communication Link Control Word)の伝送に適用する。
- (3) Virtual Channel Access (VCA) Service は、CCSDS 以外のプロトコルを使用するので(新規開発を要することがある)、JAXA では宇宙機時刻の伝送以外には使用しないことが好ましい。
- (4) Bitstream Service は、Packet を生成できない既存搭載機器用であり、極力使用しないこと。
- (5) Virtual Channel (VC)Frame Service は、CCSDS 以外のプロトコルを使用すること、および生成する Frame に障害が生じると Telemetry System の障害を誘発するので、原則、使用禁止である。
- (6) Master Channel (MCF) Service は、一つの宇宙機に複数の SCID が存在する場合に適用する。
- (7) Insert Service は、周期的にデータをサンプリングして伝送できるが、無人宇宙機での用途は無い。

注意事項

- (1) VC_OCF Service は CLCW の伝送以外には使用しないこと。

- (2) Virtual Channel Access (VCA) Service(宇宙機時刻伝送を除く)、Bitstream Service、Virtual Channel (VC)Frame Service は、標準設備以外の機能が必要となる。そのため、もし、適用する場合は注意すること。

3.1.2 AOS トランスファフレーム

3.1.2.1 宇宙機識別子 (Spacecraft ID)

3.1.2.1.1 宇宙機識別子と宇宙機

SCID (Spacecraft Identifier ; 宇宙機識別子) は宇宙機を識別する識別子である。ビット長は 8 ビットであり、256 通りの宇宙機を識別できる (TC Space Data Link Protocol の SCID は 10 ビットである)。

宇宙機の数 が 256 以内であれば、SCID は重複しないように CCSDS 事務局で管理される。しかし、宇宙機の数 が 256 以上になると同じ SCID を持った宇宙機も存在する。

SCID は重複しても物理チャネル名が異なれば問題は無い。

一般に、一つの宇宙機は一つの SCID を持つが、一つの宇宙機に複数の SCID を割り付ける場合もある。例えば、一つの宇宙機に複数の独立したモジュールがあるような場合である (例 : 宇宙ステーション、周回機+ランダー+ローバが結合した宇宙機)。

3.1.2.1.2 宇宙機識別子と物理チャネル名

物理チャネル名 (Physical Channel Name) は、Physical Channel を識別するものである。SCID とは 1 対 1 には対応しない (2.4 節)。物理チャネルは RF Link に対応したものである。

3.1.2.2 仮想チャネル識別子 (VCID)

3.1.2.2.1 概要

一つの Master Channel は、一つまたは複数の Virtual Channel の Frames が多重化される。VCID (Virtual Channel Identifier) は Virtual Channel を識別する識別子である。

複数の Virtual Channel を設ける理由は、前述 (2.4 節) したように、伝送の優先度・伝送速度や伝送品質の異なる Channel を作るためである。

Virtual Channel のフレーム多重化の方法 (Implementation) は規定しない。

3.1.2.2.2 標準

Source User Application が発生する Space Packet は、伝送に優先度があるもの、多量のもの、伝送品質要求が異なるもの等様々である。これらの目的に合わせて、複数の Virtual Channel を設ける。

伝送に優先度があるもの/多量のものなどに対してはフレーム多重の方式を適切に設計することで行う。例えば、各 VCID に優先度を付けて優先度制御を行う方法、ラウンドロビン (Round Robin) 等である。

伝送品質の異なる複数のチャネルをつくるには、チャネルごとに、Reed-Solomon の適用/

非適用、Transfer Frame Header の Frame Header Error Control の適用/非適用、Transfer Frame Trailer の Frame Error Control Field の適用/非適用で行う。但し、この標準では伝送品質の異なる複数のチャンネルを使用しない。

3.1.2.3 Virtual Channel Frame Count

Virtual Channel Frame Count は、Virtual Channel 毎に Transfer Frame の伝送順番を示す Binary Count である。

この Virtual Channel Frame Count は 24bits であるが、Count 値を長くしたい場合(例えば 1 可視でカウンタが一巡以上する等)は Signaling Field の VC Frame Count Cycle を使用する。Virtual Channel Frame Count(24bits)に上位 4bits を拡張し、計 28bits にできる。

VC Frame Count Cycle 使用の有無は Signaling Field の VC Frame Count Usage Flag で設定する。

3.1.2.4 Replay Flag

宇宙機内で非可視中にトランスファ フレームを記録(Store)して可視で再生(Replay)して伝送する場合、伝送するトランスファ フレームが Real-time トランスファ フレームか Replay トランスファ フレームを識別する Flag である。

関連文書[2]に記載のあるように、この Flag の目的は、記録と再生で VCID が同じ場合に Real-time Transfer Frame か Replay Transfer Frame かの識別を行うことである。

Real-time Transfer Frame と Replay Transfer Frame で VCID を変える場合は、Replay Flag を使用しなくても良い。

3.1.2.5 Header と Frame の Error Control

Transfer Frame Primary Header の Frame Header Error Control(Optional) と Transfer Frame Trailer の Frame Error Control Field(Optional) の 2 つの Error Control は使用しない (Channel Coding で Reed-Solomon 符号を使用するので不要である)。したがって、この 2 つの Error Control Field を存在させず、Data Field として使用すること。

3.2 同期・チャンネルコーディング

3.2.1 概要

テレメトリの同期・チャンネルコーディング(Channel Coding)副層内の構造を図 3.2.1-1 に示す。

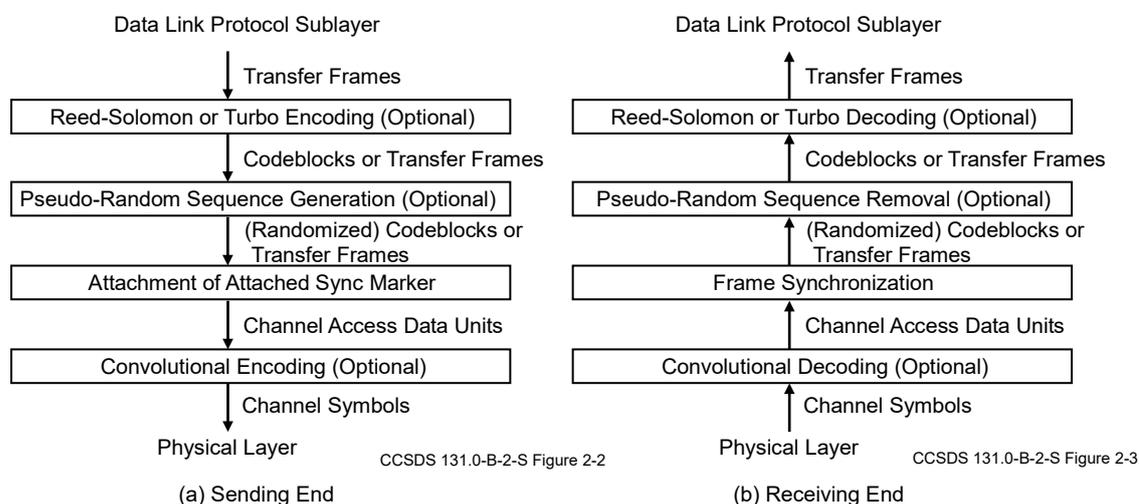


図 3.2.1-1 TM 同期・チャンネルコーディング副層の構造

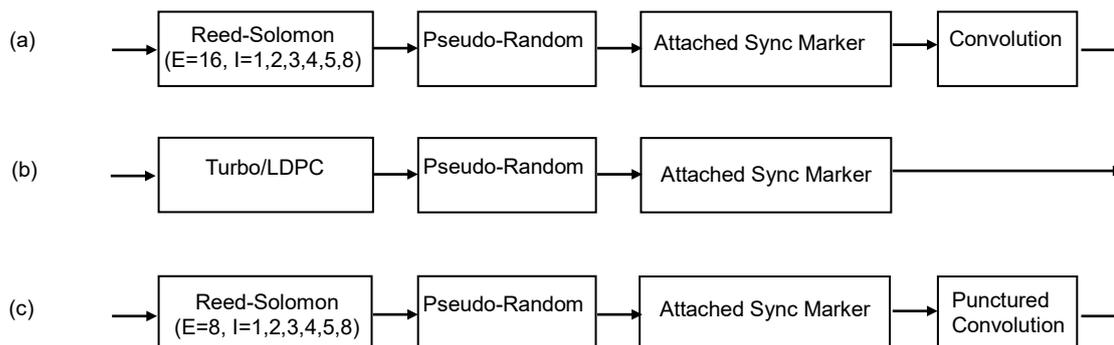
3.2.2 符号の種類

チャンネルコーディングに使用する符号は、リード・ソロモン(Reed-Solomon)符号、ターボ(Turbo)符号、低密度パリティ検査(Low Density Parity Check)符号、擬似PNコードによるランダム化(Pseudo-Random Sequence)と畳み込み(Convolutional)符号であり、いずれもオプションである。

これら符号の一般的な使い方を図 3.2.2-1 に示す⁹。

リード・ソロモン符号の E はインタリーブあたりの誤り訂正能力(単位: octets)を示す。

図 3.2.2-1 における深宇宙用および近傍通信は、JPL/NASA の火星ミッションでの使用例がある。

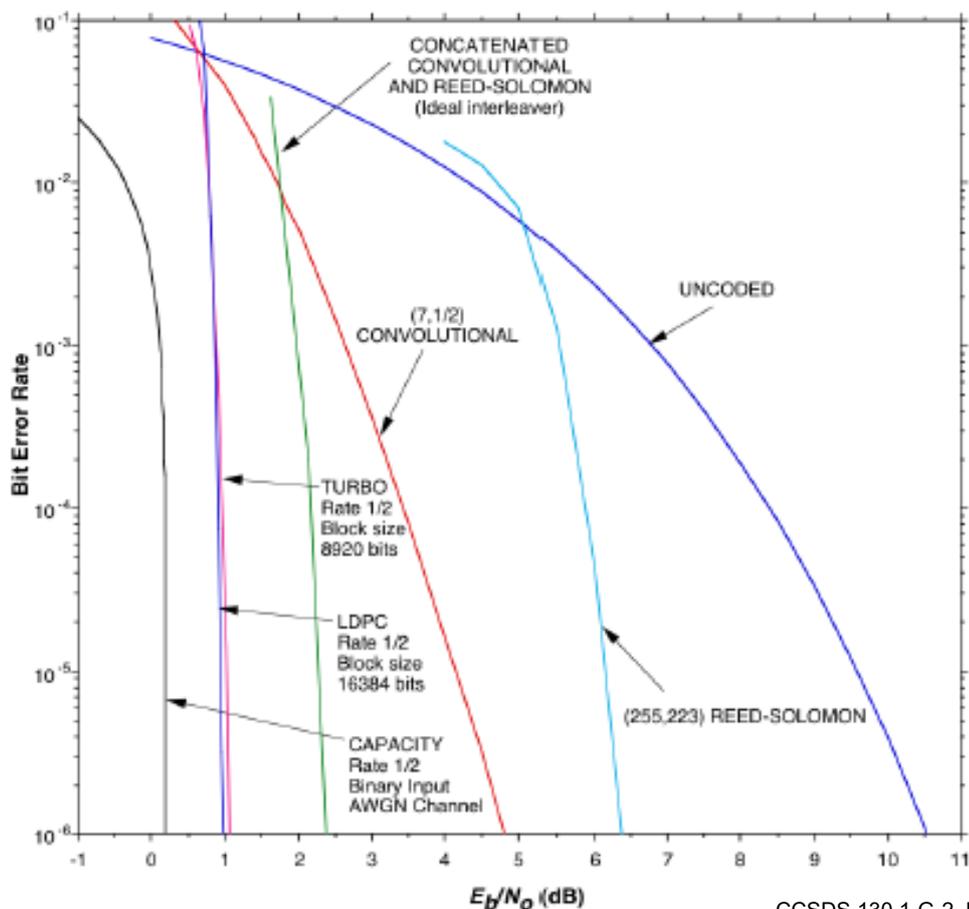


- (a) 多くの宇宙機で使用する。(b) 高符号化利得を必要とする宇宙機で使用する。
- (c) 誤り訂正能力は(a)より劣るが、Transfer Frame 長を短くする目的で使用する。

図 3.2.2-1 同期・チャンネルコーディング

⁹ ECSS は、RF 変調方式が 4D-8PSK-TCM の場合、リード・ソロモン E=8, I=8 を適用する(関連文書[14])。

図 3.2.2-2¹⁰に、リード・ソロモン符号 (E=16)、畳み込み符号、リード・ソロモン符号(E=16)と畳み込み符号の接続およびターボ符号の特性を示す。また、BER=10⁻⁵における符号化利得を表 3.2.2-1 に示す。



CCSDS 130.1-G-2, Figure 3-5

図 3.2.2-2 リード・ソロモン符号 (E=16)、畳み込み符号、リード・ソロモン符号 (E=16)と畳み込み符号の接続およびターボ符号の特性

表 3.2.2-1 各符号の符号化利得 (BER=10⁻⁵)

符号		符号化利得
リード・ソロモン(E=16)		3.5 dB
畳み込み		5.5 dB
リード・ソロモン(E=16) + 畳み込み接続符号		7.5 dB
ターボ符号	Code Rate 1/2	8.6 dB
	Code Rate 1/3	9.3 dB
	Code Rate 1/4	9.5 dB
	Code Rate 1/6	9.8 dB

3.2.3 標準

3.2.3.1 適用符号

接続符号を使用する宇宙機は、リード・ソロモン符号(E=16)と畳み込み符号の接続を適用する。

¹⁰ 図の見方は付録 3 に示す。

3.2.3.2 副層内の構造

宇宙機（接続符号使用）に適用する同期・チャンネルコーディング(Channel Coding)副層内の構造を図 3.2.3.2-1 に示す。

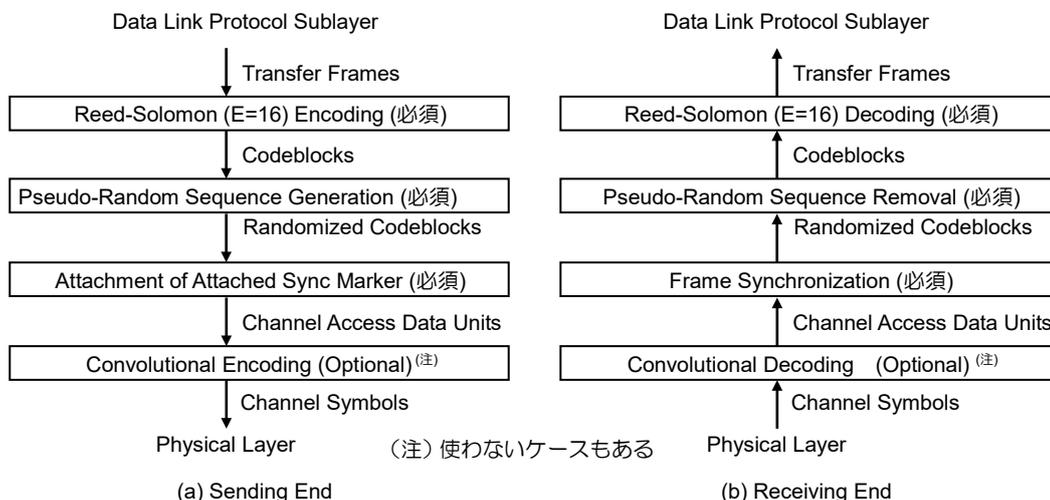


図 3.2.3.2-1 宇宙機（接続符号を使用する）が適用する TM 同期・チャンネルコーディング副層の構造

3.2.3.3 リード・ソロモン符号

3.2.3.3.1 インタリーブ深度(I)の選定

(1) 概要¹¹

インタリーブ(Interleave)は、バースト雑音を分散させるための伝送技術である。

インタリーブ深度(Interleaving Depth) (I)は、I=1、2、3、4、5 および 8 から選択できる。

I=1、すなわちインタリーブなし、の場合の機能を図 3.2.3.3.1-1 に示す。

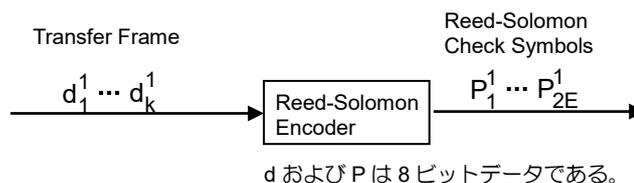
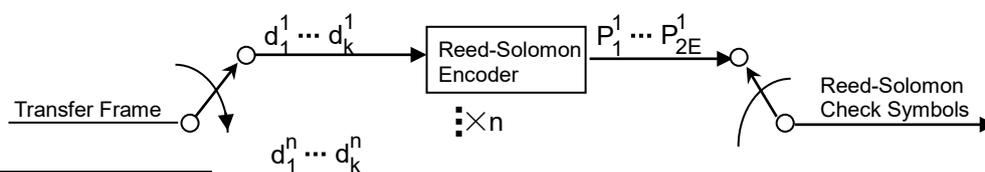
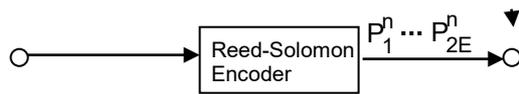


図 3.2.3.3.1-1 インタリーブ無しの場合の機能

I=2、3、4、5 または 8 の場合の機能を図 3.2.3.3.1-2 に示す。



¹¹ 関連文書[3] 4.2 g) Symbol Interleaving



n=2, 3, 4, 5 or 8
d および P は 8 ビットデータである。

図 3. 2. 3. 3. 1-2 インタリーブ有りの場合の機能

I=5 の場合、トランスファフレームデータは

$$d_1^1 \dots d_1^5 \quad d_2^1 \dots d_2^5 \quad d_k^1 \dots d_k^5$$

リード・ソロモン チェックシンボルは

$$P_1^1 \dots P_1^5 \quad P_2^1 \dots P_2^5 \quad \dots \quad P_{2E}^1 \dots P_{2E}^5$$

である。ここで、d および P は 8 ビットデータである (Reed-Solomon Symbol, J=8)。

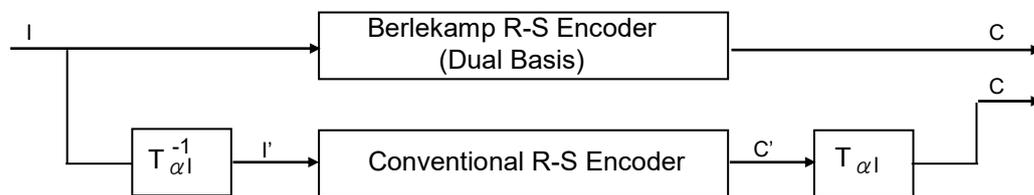
(2) I の選定

- a インタリーブ深度は深いほどバースト誤りに対して強くなる。従って、インタリーブ深度は深いほど良い。
- b トランスファフレーム長は、I の値が大きいくほど長くなる (長さは 3. 2. 3. 3. 3 節に示す)。RF 回線のビットレートが遅く、受信側でのデータ更新周期 (= フレーム周期) が長すぎて支障をきたす場合は、データ更新周期からインタリーブ深度を選定する。
- c 参考: 低速テレメトリ (フレーム周期が長い; S-Band 伝送等) は I=1、高速テレメトリ (フレーム周期が短い; X や K-Band 伝送等) は I=5 を使用することが多い。

3. 2. 3. 3. 2 Berlekamp Type と Conventional Type

CCSDS 勧告のリード・ソロモン符号は Berlekamp Type である。Conventional Type とは図 3. 2. 3. 3. 2-1 に示す関係にある。Conventional Type を使用する場合は、前後に $T_{\alpha 1}^{-1}$ と $T_{\alpha 1}$ を挿入すること。

詳細は、関連文書[3]の ANNEX F による。



CCSDS 131.0-B-2-S Figure F-1

図 3. 2. 3. 3. 2-1 Berlekamp Type (CCSDS 勧告) と Conventional Type の関係

3. 2. 3. 3. 3 トランスファフレーム長

適用するリード・ソロモン符号 (E=16) は (255, 223) である。255 はコードブロック長、223 は情報長 (= トランスファフレーム長) である。255 および 223 の単位は Reed-Solomon Symbol である (1 Symbol=8bits)。

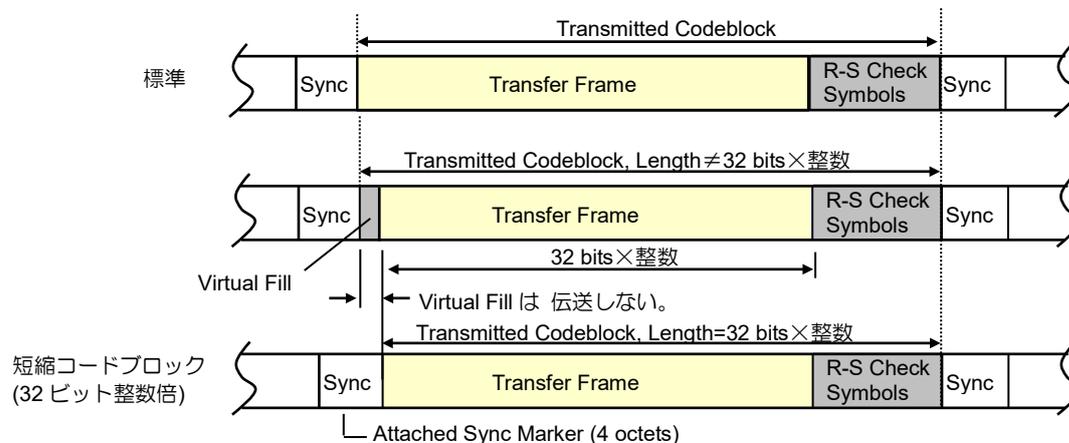
トランスファフレーム長はリード・ソロモン符号のインタリーブ深度(I)により定まる。

表 3.2.3.3.3-1 にインタリーブ深度(I)の値に対する Codeblock 長、Transfer Frame 長、Reed-Solomon(R-S) Check Symbol 数を示す。

なお、Codeblock は短縮コードがある(図 3.2.3.3.3-1 参照)。これは、Transfer Frame 長を例えば 32 ビットの整数倍にしたい場合、Transfer Frame の先頭に Virtual Fill を入れて 32 ビットの整数倍にし、Virtual Fill は伝送しないという方式である。受信側は、受信した Transfer Frame の先頭に Virtual Fill (all '0') を付加してリード・ソロモン符号のデコードを行う。一般に、32 ビットの整数倍にする(計算機で処理しやすいため)方式がよく利用される。表 3.2.3.3.3-1 には、短縮コード(32 ビット整数倍)も併記する。

表 3.2.3.3.3-1 リード・ソロモン符号のコードブロック長 単位 : octets

インタリーブ深度 I	標準			短縮コードブロック 例 : 32 ビット整数倍			
	Transmitted Codeblock	Transfer Frame	R-S Check Symbols	Transmitted Codeblock	Transfer Frame	R-S Check Symbols	Fill
1	255	223	32	252	220	32	3
2	510	446	64	508	444	64	2
3	765	669	96	756	660	96	9
4	1,020	892	128	1,020	892	128	0
5	1,275	1,115	160	1,260	1100	160	15
8	2,040	1,784	256	2,040	1784	256	0



CCSDS 131.0-B-2-S. Figure

Virtual Fill 長 : 8 の整数倍でかつ I の整数倍の bit 長であること。

図 3.2.3.3.3-1 標準コードブロックと短縮コードブロック (32 ビット整数倍の例)

3.2.3.4 擬似ランダムイズ

(1) 目的

- ・受信側のビット同期捕捉・維持のためのビット遷移を確保するために使用する。
- ・受信側の畳み込み復号(一般にビタービ復号器が使われる)のノード同期確保に使用する。

(2) 適用

- ・畳み込み符号を使用しない場合は、適用すること。

- ・畳み込み符号を使用する場合でも、適用すること。

(理由)

畳み込み符号を使用すれば、一般に、受信側のビット同期捕捉・維持のためビット遷移は確保できる。

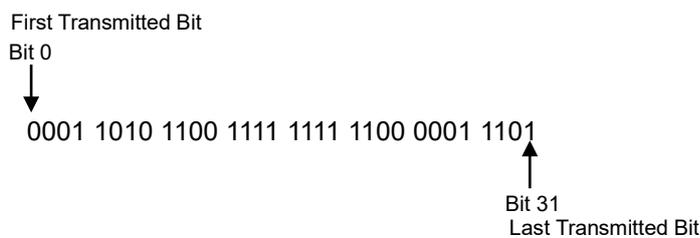
しかし、畳み込み符号器の入力が'0'の連続の場合、畳み込み符号化の出力は、'...01010101...'となる。

畳み込み復号のノード同期は、'...01010101...'が入力されると、'...01' '01'...で同期する場合と'...10' '10'...で同期する場合の確率が等しい。片方は擬似同期なので、ノード同期確率は50%になってしまう。

そのため、擬似ランダム化を行い、畳み込み符号器の入力が'0'の連続になることを避ける。

3.2.3.5 同期マーカ

同期マーカ(ASM; Attached Sync. Marker)は、non-turbo coded data 用の'1ACFFC1D'を適用する(図3.2.3.5-1)。



CCSDS 131.0-B-2-S Figure

図 3.2.3.5-1 同期マーカ(ASM; Attached Sync. Marker)のビットパターン

3.2.3.6 畳み込み符号

(1) 目的

- ・リード・ソロモン符号はバースト誤りに強い符号であり、畳み込みはランダム誤りに強い符号である。
- ・この2つの符号の接続符号を形成することにより、バースト誤りおよびランダム誤りに対して強い符号になる。

(2) 適用

- ・適用することを基本とする。
- ・ただし、畳み込み符号は符号化率が1/2のため、適用すると伝送帯域が2倍になる。2倍になることに支障がある場合は、適用しないこともある。

(3) 注意事項

- ・畳み込み復号(一般にビタービ復号器が使われる)で、誤り訂正後も誤りが含まれている場合、その誤りはバースト的に現れる。
- ・表3.2.3.6-1に、 $E_b/N_0=4.4\text{dB}$ 時におけるビタービ復号器出力に含まれたバースト誤りの割合を示す(関連文書[11] Table A-2より転載)。

表 3.2.3.6-1 ビタービ復号器出力に含まれたバースト誤りの長さとその発生回数 (出力 BER=1×10⁻⁵, E_b/N₀=4.4dB 時)

バースト誤りの長さ (bits)	発生回数 (回)	バースト誤りの長さ (bits)	発生回数 (回)	バースト誤りの長さ (bits)	発生回数 (回)
1	5	11	2	21	0
2	6	12	2	22	0
3	10	13	3	23	0
4	14	14	2	24	0
5	14	15	1	25	1
6	7	16	0	26	0
7	17	17	1	27	0
8	15	18	1	28	0
9	3	19	1	29	1
10	12	20	1		

3.2.3.7 注意事項

- 符号化利得が存在すると、符号化利得分だけ送信電力を低下させても同じ効果である。
- 例えば、BER=10⁻⁵ を必要とするとき、符号化利得が存在しない場合は E_b/N₀=9.6dB が必要である。リード・ソロモンと畳み込みの接続符号を使用すれば、7.5dB の符号化利得があるので、E_b/N₀=2.1dB で良い。図 3.2.2-2 および表 3.2.2-1 参照。
- しかし、符号化利得はビタービ復号器以降で得られるものであり、復調器入力に対して符号化利得は無い(図 3.2.3.7-1)。E_b/N₀ は復調器が復調できるための値である必要がある。

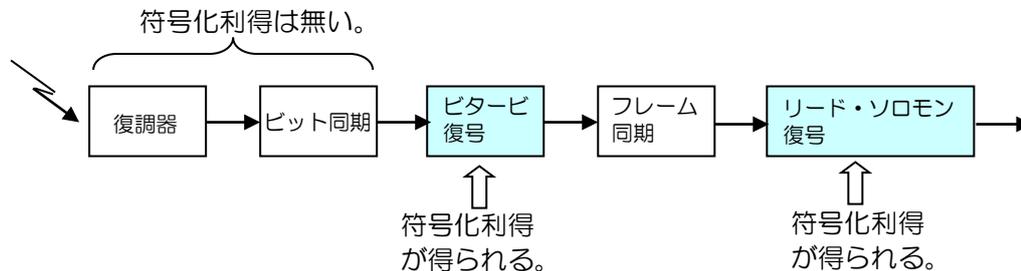


図 3.2.3.7-1 符号化利得の効果

3.3 宇宙機時刻の伝送

時刻の伝送は、時刻データと Time Marker(時刻データの時点)が必要である。

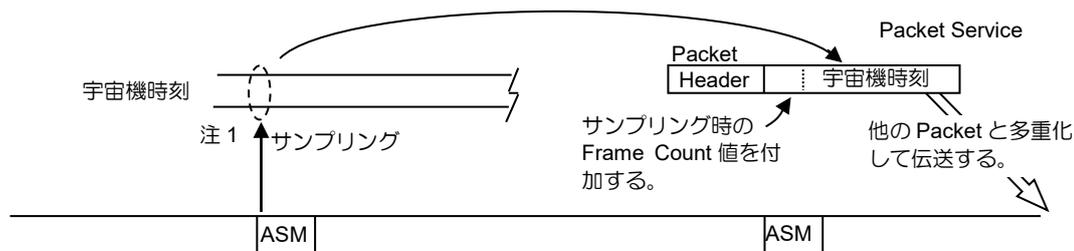
Time Marker は特定の Virtual Channel の ASM を使用する。

宇宙機時刻データの伝送は、Packet Service を適用して時刻データを Packet User Data Field で伝送する方式と、VC Access Service を適用して VCA_SDU で伝送する方式がある。

宇宙機時刻データのフォーマットは、CUC(CCSDS Unsegmented Time Code) (関連文書[12]) または GPS のフォーマットを適用する。CUC は T-Field のみでも良い。なお、Extension は適用しない。

3.3.1 パケット方式

- (1) 宇宙機側は、特定の Virtual Channel の ASM 送信時に、宇宙機時刻をサンプリングして宇宙機時刻 Packet を生成する。同 Packet にはサンプルした Frame の Frame Count 値を付加する。(図 3.3.1-1)。
- (2) Telemetry 受信側(地上)は、宇宙機時刻 Packet に付加された Frame Count 値受信により、同フレームの ASM 検出地上時刻を検索することで、宇宙機時刻サンプル時の地上時刻を知る。
- (3) ASM 検出地上時刻と伝送された宇宙機時刻の差が地上時刻と宇宙機時刻の差である(伝播遅延、処理遅延を考慮すること)。

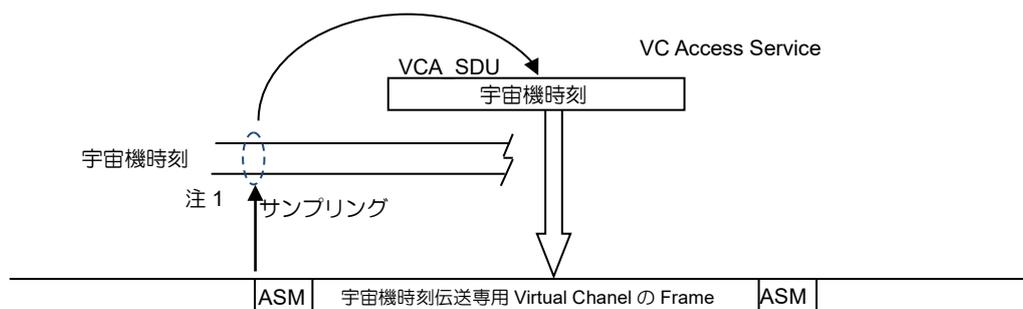


注 1：図のサンプリング位置は一例であり、サンプリング位置は各プロジェクトで定めること。

図 3.3.1-1 宇宙機時刻伝送のパケット方式

3.3.2 フレーム方式

- (1) 宇宙機は、宇宙機時刻伝送専用の Virtual Channel を設ける。この Virtual Channel の Frame を伝送する ASM 送信時に、宇宙機時刻をサンプリングする。サンプルした宇宙時刻 VCA_SDU を生成し、同 Frame で伝送する(図 3.3.2-1)。
- (2) Telemetry 受信側(地上)は、宇宙機時刻伝送専用の Virtual Channel の ASM 検出地上時刻により、宇宙機が宇宙機時刻をサンプリングした地上時刻を知る。
- (3) ASM 検出地上時刻と伝送された宇宙時刻の差が地上時刻と宇宙機時刻の差である(伝播遅延、処理遅延を考慮すること)。

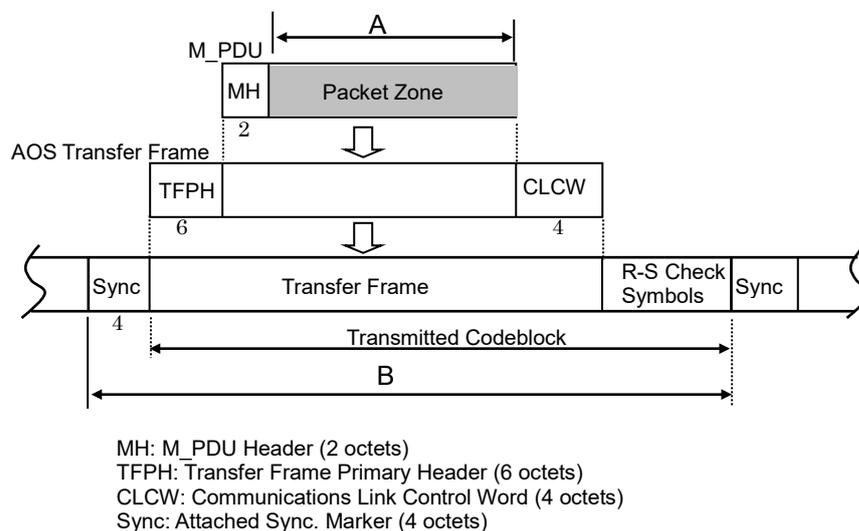


注 1：図のサンプリング位置は一例であり、サンプリング位置は各プロジェクトで定めること。

図 3.3.2-1 宇宙機時刻伝送のフレーム方式

付録 1： E=16, 32 ビット整数倍短縮コードの場合の各部データ長

付図 1-1 に、Reed-Solomon E=16, 32bits 適用短縮コードを使用したときの各部データ長を示す。



インタリーブ 深度(I)	E=16、短縮コードブロック(32ビット整数倍)					
	Transmitted Codeblock (octets)	Transfer Frame (octets)	R-S Check Symbols (octets)	B (octets)	A(注1) Packet Zone (octets)	Packet 伝送効率 (A/B)×100 (%)
1	252	220	32	256	208	81.25
2	508	444	64	512	432	84.38
3	756	669	96	760	648	85.26
4	1,020	892	128	1,024	880	85.94
5	1,260	1,100	160	1,264	1,088	86.08
8	2,040	1,784	256	2,044	1,772	86.69

注 1： CLCW を伝送しない場合、Packet Zone は 4 octets 長くなる。

付図 1-1 Reed-Solomon E=16, 32bits 適用短縮コード使用時の各データの長さ

付録 2： 宇宙機（接続符号使用）で使用する管理パラメータ（推奨）

付表 2-1 に宇宙機（接続符号使用）で使用する管理パラメータ値(Managed Parameter) (推奨)を示す。

付表 2-1 宇宙機（接続符号使用）で使用する管理パラメータと値

Layer	管理パラメータ		値	備考
Data Link Sublayer	Physical Channel 数/宇宙機		一つまたは複数	
	TFVN		Number 2 ('01')	
	SCID 数/宇宙機		一つ	注 1
	SCID		Integer	
	VCID 数/ Physical Channel		一つまたは複数	
	VCID		Number 1~64 (0 to 63)	
	Data Field Content		M_PDU, VCA_SDU, Idle Data	注 2
	Presence of VC_OCF(CLCW)		Present, Absent	注 2
	Packet Version Number		Number 1('000')	
	Maximum Packet Length		7 octets to 65542 octets	
Sync & Channel Coding Sublayer	Randomizer		Absent	
	Coding Method		Reed-Solomon と Convolutional の 接続(Concatenated)。	注 3
	Reed-Solomon	E	16 octets	
		I	5 or 1	
		Q	3 octets (I=1 の場合)、15 octets(I=5 の場合)	注 4
	Convolutional	γ	1/2 bit per symbol	
		K	7 bits	
ASM	Bit Pattern	0001 1010 1100 1111 1111 1100 0001 1101 "1ACFFC1D"		

注 1： Master Channel は一つである。

注 2： 多くの宇宙機で使用する Service は Space Packet Service、VC_OCF Service、VCA Service の 3 つである。VC_OCF Service は CLCW の伝送に使用する Service である。VCA Service は 宇宙機時刻を VCA で伝送する場合に使用する Service である。

注 3： 高速回線では Convolutional が使用できない場合がある(符号化率:1/2 による広帯域のため)。

注 4： 32bits 整数倍長の適合短縮符号(Shortened Codeblock)である。

ASM	: Attached Sync Marker	E	: Error Correction Capability
TFVN	: Transfer Frame Version Number	I	: Interleaving Depth (インタリーブ深度)
SCID	: Spacecraft Identifier	Q	: Virtual Fill Length
		γ	: Code Rate (符号化率)
		K	: Constraint-Length (拘束長)

付録 3： 図 3.2.2-2 の見方

例として、ビットエラーレート=10⁻⁵を得るために必要な Eb/No および符号化利得(規準：UNCODED 時に必要な Eb/No)をみる。

- (1) チャネルコーディングを適用しない場合
 - 図の UNCODED 曲線とビットエラーレート=10⁻⁵の交点(A)における Eb/No を読み取る。
 - Eb/No=9.6dB である。
- (2) 例 1：畳み込み符号(拘束長:7 ビット、符号化率:1/2)を適用する場合
 - 図の (7, 1/2) CONVOLUTIONAL 曲線とビットエラーレート=10⁻⁵の交点(B)における Eb/No を読み取る。
 - Eb/No=4.1dB である。
 - 符号化利得=5.5dB である。
- (3) 例 2：畳み込み符号とリード・ソロモン符号の接続符号を適用する場合。
 - 図の CONCATENATED CONVOLUTIONAL AND REED/SOLOMON 曲線とビットエラーレート=10⁻⁵の交点(C)における Eb/No を読み取る。
 - Eb/No=2.1dB である。
 - 符号化利得=5.5d+2.0dB=7.5dB である。

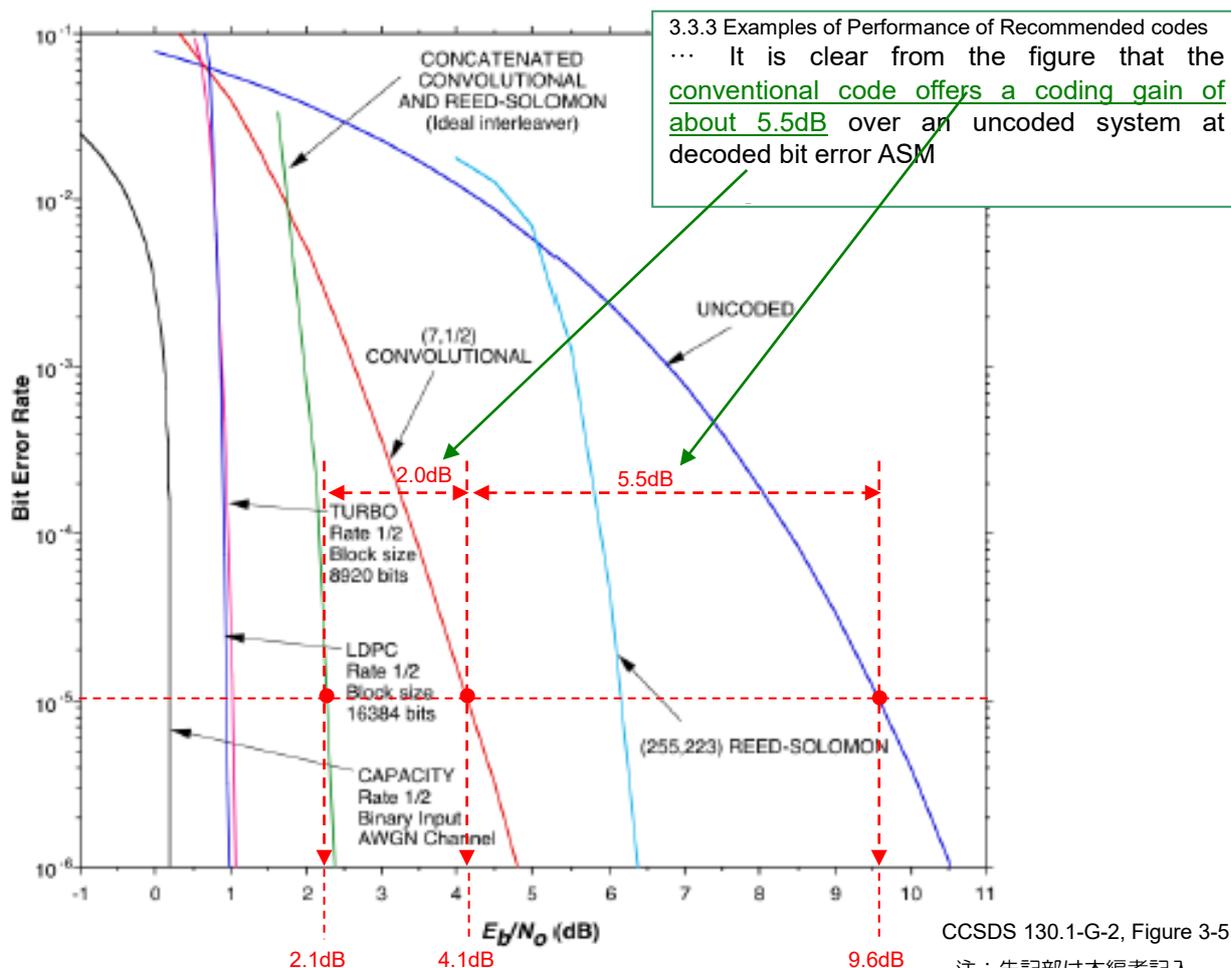


図 3.2.2-2 リード・ソロモン符号 (E=16)、畳み込み符号、リード・ソロモン符号 (E=16) と畳み込み符号の接続およびターボ符号の特性