

限定なし



RF 通信系設計標準

2019年5月30日 制定

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)

R F 通信系設計標準

目次

第1章 総則.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 適用範囲.....	1
1.3 関連文書.....	1
1.3.1 適用文書.....	1
1.3.2 参考文書.....	2
1.4 用語の定義.....	2
第2章 欠番.....	9
第3章 設計手順及び使い方.....	9
第4章 RF 通信系設計基準.....	10
4.1 概要.....	10
4.2 テレコマンド系.....	11
4.2.1 共通事項.....	11
4.2.2 残留搬送波方式.....	13
4.2.3 欠番.....	27
4.2.4 抑圧搬送波方式.....	28
4.3 テレメトリ系.....	33
4.3.1 共通事項.....	33
4.3.2 残留搬送波方式.....	40
4.3.3 欠番.....	49
4.3.4 抑圧搬送波方式.....	50
4.4 レンジング系.....	59
4.4.1 直接伝送系.....	59
4.4.2 欠番.....	63
4.5 欠番.....	63

第1章 総則

1.1 目的

本設計標準は宇宙航空研究開発機構(以下「JAXA」という)が開発する宇宙機と地球局間のTT&C(Tracking, Telemetry & Command)通信システム設計を行うにあたって基本的な設計条件、規定を与えることを目的とする。

1.2 適用範囲

本設計標準は、JAXAが開発する周回衛星、静止衛星等各種宇宙機のTT&C通信システム設計に適用する。使用周波数はS～Kaバンドまでとし、カテゴリAミッション（高度 2×10^6 km未満）の軌道を飛行する宇宙機を対象とする。カテゴリBミッション（高度 2×10^6 km以上）に含まれる深宇宙探査機などの通信システム設計のためには、1.3.1適用文書(4)を適用する。なお、カテゴリAミッションの内、月以遠に到達する探査機には、本標準または1.3.1適用文書(4)のいずれかを適用すればよいものとする。

1.3 関連文書

1.3.1 適用文書

下記の文書は、この設計標準で呼び出した範囲で適用されるものであり、矛盾が生じた場合には特に規定のない限りこの設計標準が優先する。なお、各文書は特に断りのない限りその最新版を適用するものとする。

- (1) 電波法（関連の政令、省令を含む。）
- (2) Radio Regulations
- (3) 欠番
- (4) CCSDS Recommended Standards, CCSDS 401.0-B-29, “Radio Frequency and Modulation Systems - Part1: Earth Stations and Spacecraft.”
- (5) CCSDS Recommended Standards, CCSDS 131.0-B-3, “TM Synchronization and Channel Coding.”
- (6) CCSDS Recommended Standards, CCSDS 231.0-B-3, “TC Synchronization and Channel Coding.”
- (7) ITU Recommendations, ITU-R RA769-2, “Protection criteria used for radio astronomical measurements”

- (8) ITU Recommendations, ITU-R SA1157-1, "Protection criteria for deep-space research"
- (9) SFCG Recommendations, REC 21-2R4, "Efficient Spectrum Utilization for Space Research Service (Category A) on Space-to-Earth Links"
- (10) SFCG Recommendations, REC 21-3R1, "Use of Sub-Carriers for Space Science Services on Space-to-Earth Links; Category A"
- (11) JERG-2-420C RF 回線設計標準

1.3.2 参考文書

- (1) JERG-2-400A 通信設計標準
- (2) "Phase Lock Techniques" F. M. Gardner

1.4 用語の定義

以下に、本設計標準に用いられる用語の説明およびその定義を示す。

(1) TT&C (Tracking, Telemetry and Command)

宇宙機を追跡・監視し、制御するための手段としてのトラッキング、テレメトリ及びコマンド（テレコマンド）をまとめた総称。

(2) アップリンク

地上局から、データ中継衛星を経由しないで、直接、ユーザ宇宙機へ信号を送る回線

(3) ダウンリンク

ユーザ宇宙機から、データ中継衛星を経由しないで、直接、他地球局へ信号を送る回線

(4) トラッキング (Tracking)

人工衛星、ロケット等宇宙機の移動目標を電波又は光を用いて捕捉し、軌道を求めるために方位、距離、速度などを検出すること。

このためには電磁干渉計方式（ミニトラック）、レンジング方式、ドップラ追跡方式、レーダ方式、光学方式（シュミットカメラ、レーザ測距）などが用いられる。

(5) コマンド

宇宙機に対する指令のこと。

(6) テレコマンド

tele(遠隔通信)+command(コマンド)。コマンドの遠隔通信(地上から宇宙機)のこと。

(7) テレメトリ

tele(遠隔通信)+metry(計測)。メトリの遠隔通信(宇宙機から地上)のこと。メトリとは計測を意味し、HK データおよびペイロードデータのこと。

(8) HKデータ

搭載機器(ペイロード、サブシステム)の状態やステータスを示すデータのこと。

(9) ペイロードデータ

ペイロード(搭載機器で通常はミッション機器)が取得した観測データ、実験データ等のこと。

(10) レンジング(Ranging)

宇宙機の軌道決定のために追跡管制局と宇宙機間の距離(Range)又は距離の時間変化率(Range-Rate)を測定すること。RARR(Range And Range-Rate)と称する場合もある。

追跡管制局のアンテナより発射された電波は宇宙機のトランスポンダにより送り返される。この電波の往復に要した時間から距離が求められる。距離変化率は宇宙機より送り返された電波に含まれるドップラ偏移周波数を測定することにより求められる。

(11) ミッションカテゴリ (Mission Categories)

軌道の地上に対する高度が $2 \times 10^6 \text{ km}$ 未満のミッションをカテゴリ A、 $2 \times 10^6 \text{ km}$ 以上のミッションをカテゴリ B とする。(1.3.1 適用文書(4) 1.5 項参照)

(12) 円偏波 (Circular Polarization) と直線偏波 (Linear Polarization)

円偏波は右旋偏波(時計回り)と左旋偏波(反時計回り)に分類される。右旋偏波は、電界ベクトルが伝搬方向に垂直な任意の行程平面上で伝搬方向に向かってみると、時間とともに右旋、すなわち、時計回りの方向に回転する偏波のことであり、左旋偏波は、時間とともに左旋、すなわち、時計回りの逆の方向に回転する偏波のことである。

一方、円偏波に対して直線偏波があり、垂直偏波と水平偏波がある。これらは、一定の平面内において電界、磁界のベクトル方向が変化しないもので、垂直偏波は電界ベクトルが大地に垂直な偏波であり、水平偏波は大地に対して水平な偏波である。

(13) 残留搬送波方式 (Residual Carrier System)

変調信号による搬送波変調度を抑えて搬送波成分を残す変調方式

(14) 抑圧搬送波方式 (スペクトラム拡散方式)

搬送波スペクトラム成分を広範な周波数帯域に拡散させる方式の総称で、拡散の方式により、直接拡散、周波数ホッピング等がある。搬送波成分が抑圧されることから、残留搬送波方式に対する抑圧搬送波方式の一種。本標準では、変調信号は拡散用 PN コードに対して変調を施す直接拡散方式を示す。

(15) 抑圧搬送波方式 (非スペクトラム拡散方式)

変調信号によって搬送波に $2n$ 値で変調する方式の総称。本基準では $n=1$ の BPSK、 $n=2$ の QPSK、または $n=4$ の 16QAM をいう。

(16) 必要帯域幅 (Necessary Bandwidth)

所要のデータ品質や性能を満たすために必要な最小限の周波数帯域幅

(17) 占有周波数帯幅 (Occupied Bandwidth)

送信電力の 99%の電力が含まれる周波数帯域幅

(18) 周波数掃引範囲 (Frequency Sweep Range)

位相同期ループ (PLL) を有する受信機を同期状態に引き込むことを支援する為の搬送波周波数を掃引する幅

(19) 周波数掃引速度 (Frequency Sweep Rate)

搬送波周波数を掃引するときの 1 秒当りの周波数変化量

(20) 周波数安定度 (Frequency Stability)

周波数のノミナル値からの偏差。

設定誤差、温度による変動量、時間による変動量の総和をいう。時間による変動量として、短期安定度、長期安定度に規定が分かれる。

(21) 変調方式 (Modulation Scheme)

変調波で搬送波の特性 (振幅、周波数、位相) を変化させること。

変化させる搬送波の特性により、振幅変調 : AM、周波数変調 : FM、位相変調 : PM などと分類される。

(22) 変調指数 (Modulation Index)

変調の程度を表す指数。例えば位相変調では、最大位相偏移 $\Delta\theta(\text{rad})$ を変調指数という。

(23) 搬送波周波数、副搬送波周波数 (Carrier Frequency、Subcarrier Frequency)

情報を RF 信号に載せて伝達する場合、その RF 信号を搬送波といい、その周波数を搬送波周波数という。

また、多段階変調の中間段階で使用する搬送波を副搬送波といい、その周波数を副搬送波周波数という。

(24) ベースバンド信号

RF 変調入力信号及び RF 復調出力信号のこと。

(25) 符号形式 (Code Type)

データを符号化する変換形式の名称。例として、NRZ-L、Bi-phase-L 等がある。

(26) ビット同期時間 (Bit Synchronization Time)

搬送波捕捉後、変調信号のビット同期が確立するまでの時間。

(27) 捕捉シーケンス (Acquisition Sequence)

シンボル同期を行う際に使用する「1」と「0」が交互に繰り返すデータパターン

(28) ビット及びシンボルレート (Bit Rate, Symbol Rate)

ビットレートはデータ源の伝送速度であり、速度の単位は bps (ビット/sec) が用いられる。符号器 (ここでは NRZ-L, NRZ-M, 4 相差動符号、Bi-phase-L、畳み込み符号とする) の手前までをビットレート、符号器の後をシンボルレートと定義する。

なお、本書では「シンボルレート」を次の(i)の意味で使用しているが、実際の使用にあたっては(ii)の意味で使用することもある。

- (i) 符号化によりデータ量が見かけ上増える。これをシンボル化されたと考えてその後の回線上での情報伝送速度をいう。
- (ii) 変調方式としてQPSK 変調等を採用する場合、I と Q の 2 つのチャンネルがあるため、この 2 つのチャンネルの状態を 1 個のシンボルと考えて回線上の物理的な転送速度をいう。この場合、シンボルレートはソースデータレートの半分の値になる。

(29) ビット及びシンボル遷移率 (Bit and Symbol Transition Rate)

シリアルデータにおいて、ある範囲内のデータ長における「1」と「0」のデータ遷移の比率をいう。1.3.1 適用文書(4)の 2.4.9 項ではカテゴリ A ミッションのテレメトリデータにおいて任意の 1,000 シンボル中で「1」→「0」と「0」→「1」の変化の回数が 125 以上であることが規定されており、遷移率としては 12.5%に当たる。

(30) ベストロック周波数(Best Lock Frequency)

受信機の同期引き込みに最適の受信周波数。一般的に、同期引き込み時間が最小となる周波数として評価される。

(31) ベストロック周波数予測,

受信機搭載宇宙機の軌道・環境等を推定し、受信機のベストロック周波数を予測すること。

(32) ドップラ補償 (Doppler Compensation)

宇宙機の軌道情報からドップラ偏移量を推定し、受信機の入力周波数を常にベストロック周波数に近づけ、又は維持するための手法の一つ。

(33) コヒーレント (Coherent)

複数の信号の位相が常に一定の関係を維持している状態。

例えば、同一の基準クロックから必要な各種クロック周波数を生成する様な手法で実現される。このようにすると各信号の位相はそれらの周波数の最小公倍数の周期で同じ関係となるため、信号間の相関を取ることが容易になる。

(34) フォワードリンク(Forward Link)

地球局からデータ中継衛星を経由して、ユーザ宇宙機へ信号を送る回線。

(35) リターンリンク(Return Link)

ユーザ宇宙機からデータ中継衛星を経由して、地球局へ信号を送る回線。

(36) フォールスロック(False Lock)

宇宙機を地球局で捕捉する場合には、空間領域の捕捉と周波数領域の捕捉のプロセスを経る。空間領域の捕捉とは、アンテナによる角度捕捉を指し、周波数領域の捕捉とは、受信信号の位相同期捕捉を指す。これらの捕捉過程において誤った受信ポイントに同期捕捉をすることをフォールスロックという。

空間領域の捕捉において、RF 追尾アンテナを用いて受信する場合は顕著であり、アンテナの待受け指向角度がメインローブからずれていた場合、誤ってサイドローブで捕捉することがある。また、周波数領域の捕捉においては受信信号の周波数捕捉範囲内に所要の搬送波スペクトラム以外の変調信号スペクトラム（サイドローブ）が存在する場合に、誤って変調信号スペクトラムに同期捕捉することがある。さらには、PN コードによってスペクトラム拡散されている受信信号の場合は搬送波捕捉前のPN 捕捉過程においてPN コード自身が有するサイドローブや電波伝搬路が異なることによるマルチパス信号に同期捕捉することがある。これは全てフォールスロックという。

(37) ロックアップ排除機構

フォールスロックに陥っても、更に相関性の高い同期タイミングを探し続け、それを見つけた所で受信機の同期を本来の信号に切り替えるような機構をいう。

(38) PN コード特性 (PN Code Characteristics)

情報信号を拡散する際に用いられる擬似ランダムコード列 (PN コード) 諸元。符号の種類、コード長、チップレート等が規定される。

(39) ゴールドコード (Gold Code)

PN コードの内、同じ符号長のM系列を2系統用いて互いに mod-2 加算を行うことによって作り出される符号

(40) mod-2 加算 (modulo-2 addition)

2の剰余系でのビット加算をいう。排他的論理和ともいい、演算結果は $\text{mod}2(0,0)=0$, $\text{mod}2(0,1)=1$, $\text{mod}2(1,0)=1$, $\text{mod}2(1,1)=0$ となる。

(41) 畳み込み符号 (Convolutional Code)

ランダム雑音によるビット誤りの訂正に有効な誤り訂正符号の一種。

(42) マーク・スペース比 (mark-to-space ratio)

マーク、スペース各々のシンボル長の比率。

データの非対称性を表し、伝送損失や不要な輻射波を押さえる観点から、ベースバンドにおいて1に近づけることが望ましい。

(43) 差動符号化 (Differential Encoding)

QPSKのような複数のデータチャネルを持つ伝送系に、1ビット幅のデータを割り付ける際に有効な符号化の1種。

例えば、ビットストリーム中のビット値が1の時だけ出力状態を変化させるような符号化をいう。この場合、時間 n 、 $n+1$ の出力状態をそれぞれ $S(n)$ 、 $S(n+1)$ とすると、時間 n でのビット値が「0」の時 $S(n)=S(n+1)$ となる。また、時間 n でのビット値が「1」の時 $S(n) \neq S(n+1)$ となる。

(44) アンビギュイティ (Ambiguity)

2つ以上の情報が何らかの原因で不確定性を持ち、どちらが所要のものか区別できないこと。

測距においては、レンジング波が繰り返しパターンを持っているため、送出したあるパターンが帰ってきても、その前後に同じパターンがあり、どれが送出時のものに対応するか見極めがつかない。そのため、軌道予測等から推定できる距離以上に相当する長さのレンジングパターンを生成することによってアンビギュイティ除去を行う。

(45) 位相雑音 (Phase Noise)

信号の位相ゆらぎ。

搬送波近傍に変調信号が位置する場合は、高純度なスペクトラムを有する搬送波の生成が必須となる。

表 1.4-1 に本書で使用している略語を示す。

表 1.4-1 略語一覧

No.	記号略号	定義及び説明
1	AOS	Acquisition of Signal
2	Bi-phase-L, M, S	Bi-phase-Level, Mark, Space
3	bps	bit per second (ビットレート)
4	BPSK	Binary Phase Shift Keying (2 相位相偏移変調)
5	CCSDS	Consultative Committee for Space Data System (宇宙データシステム諮問委員会)
6	E_b / N_0	Energy per data bit to Noise ratio in a 1Hz bandwidth (1 ビット当りの信号エネルギー対単位周波数当たりの雑音電力密度の比 [dB])
7	欠番	
8	ITU	International Telecommunication Union (国際電気通信連合)
9	欠番	
10	NRZ	Non Return to Zero (PCM 符号で非ゼロ復帰方式)
11	NRZ-L, M, S	Non Return to Zero - Level, Mark, Space
12	OQPSK	Offset Quadra-Phase Shift Keying (オフセット 4 相位相偏移変調)
13	PCM	Pulse Code Modulation (パルス符号変調)
144	PLL	Phase Lock Loop (位相同期ループ)
15	PN	Pseudo Noise (擬似雑音)
16	PSK	Phase Shift Keying (位相シフトキーイング)
17	QAM	Quadrature Amplitude Modulation (直角位相振幅変調)
18	16QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation (直角位相振幅変調)
19	QPSK	Quadra-Phase Shift Keying (4 相位相偏移変調)
20	欠番	
21	RSS	Root Sum Square (2 乗平方和)
22	SFCG	Space Frequency Coordination Group (国際宇宙無線周波数調整会議)
23	欠番	
24	sps	symbol per second (シンボルレート)
25	欠番	
26	欠番	
27	TT&C	Tracking Telemetry and Command (追尾、遠隔測定および指令)
28	欠番	
29	欠番	
30	欠番	

第2章 欠番

第3章 設計手順及び使い方

通信系を設計するに当たっては、通信系への要求を明確にすることが第一である。

一般的に設計に当たって前提となる要求条件・宇宙機運用情報として、次のような事項がある。

- 運用
 - 軌道（周期）
 - 運用モードとその時の通信モード（データ伝送モード）
 - コンテンジェンシ時の通信モード
 - 使用可能な通信リンク
- テレメトリ通信系
 - 所要データレートと通信モードとの対応
 - 所要回線品質
 - 同時伝送要求
 - 所要リンク形成時間
- コマンド通信系
 - 所要データレートと通信モードとの対応
 - 所要回線品質
 - 同時伝送要求
 - 所要リンク形成時間と確率
- RARR 通信系
 - ミッション要求計測精度
 - RARR 計測方式（地球局による）
 - 遅延時間変動要求
 - 同時データ伝送要求

以上のような事項を明確にした後、本設計標準をベースに仕様要求及び通信パラメータを検討、設定する。設定は、本設計標準に記述されている仕様設定の根拠を参考にして行う。ここで重要なことは、設定した仕様やパラメータの設定根拠を明確に記録に残すことである。

設定する仕様やパラメータの内、変調度や符号化方式、送信スペクトラム、電力束密度は、RF 回線設計標準(1.3.1 適用文書(11))に基づく回線検討を行って所要の回線品質が得られる方式、値を決定する。

決定された方式、値は、各運用フェーズにおける通信モード・データ伝送モード毎にその妥当性を回線計算、データ品質、リンク形成時間・シーケンス、信号スペクトラム、干渉（妨害）解析等の結果をベースに検証し、必要に応じて見直す。

第4章 RF 通信系設計基準

4.1 概要

本章は、TT&C 通信システム設計の為の基準を記述している。記述は、(1)基準内容 (2)根拠・背景 (3)特記事項・制約条件から成っている。

- (1) 基準内容 : 特性項目の具体的な設計基準を示す。
- (2) 根拠・背景 : 基準内容を設定した根拠及びその背景について示す。
- (3) 特記事項・制約条件 : 設計時の注意事項や適用にあたっての制約条件を示す。

4.2 テレコマンド系

4.2.1 共通事項

(1) 周波数

基準内容

テレコマンドデータ伝送の周波数は、以下の周波数帯から選択すること。

- ・ S (2 GHz) バンド 2025~2110MHz
- ・ C (5 GHz) バンド 5000~5010MHz
- ・ X (7 GHz) バンド 7190~7250MHz

また、占有帯域幅は、極力小さくする様に設計すること。

根拠・背景

a. 搬送波周波数は、次の規定・用途に基づいている。

- | | | |
|-------|---|--|
| S バンド | : | 1.3.1 適用文書(4) 3.1.1 項 |
| C バンド | : | 無線通信規則に示される帯域 |
| X バンド | : | 1.3.1 適用文書(4) 2.6.4A 項
1.3.1 適用文書(2) 5.460A 項 |

特記事項・制約条件

a. S バンドについては、無線局申請の観点から従来使用実績のある周波数から選択した方が良い。ただし、他衛星等との周波数干渉を十分に考慮して選定する必要がある。

(2)偏波

基準内容

円偏波（右旋または左旋）を使用すること。

根拠・背景

- a. 宇宙機の姿勢変化やルックアングルの変化による偏波損失が直線偏波に比べて小さい。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

- a. 右旋、左旋の選択は、他ミッションあるいは他宇宙機等の干渉を考慮して選択すること。
- b. Sバンド衛星間通信の場合は、データ中継衛星側の制約から送受信の円偏波は同旋とする。
- c. ミッション上の制約から直線偏波を選択する場合はこの限りではない。

4.2.2 残留搬送波方式

4.2.2.1 運用上の前提

- a. 宇宙機搭載受信機の受信方式として、一般的に位相同期検波方式が採用される。
- b. この方式の宿命的な現象である誤同期（フォールスロック）を防ぐために、初期捕捉時の信号送信シーケンスは次の通りとする。

地球局から無変調搬送波を送信する。

↓

送信搬送波信号を周波数掃引する。（掃引範囲、掃引速度は宇宙機・地上システム間のインタフェース管理文書にて規定される。）

↓

コマンドベースバンド信号及び測距信号によって変調を施す。

4.2.2.2 搬送波捕捉基準

(1) 周波数掃引範囲

基準内容

次の周波数掃引幅において搬送波捕捉すると共に、捕捉後同期を維持すること。

- ・ S (2 GHz) バンド : ±150kHz 最大
- ・ C (5GHz) バンド : ±100kHz 最大
- ・ X (7 GHz) バンド : ±500kHz 最大

根拠・背景

- a. 周波数掃引幅は、地球局送信周波数安定度、宇宙機搭載受信機局部発振周波数安定度（含む設定偏差）、ドップラ偏移の総和で決定される。
- b. 周波数安定度、宇宙機視線速度は、地球周回の一例として次の特性を考慮する。実際の数値は個別のミッション毎による。

- ・ 地球局送信周波数安定度 : ± 1×10^{-11} / day
- ・ 宇宙機搭載受信機局部発振周波数安定度 : ± 1×10^{-5}
- ・ ドップラ偏移 : ± 10 km/s 相当

- c. S, X バンドは 1.3.1 適用文書(4)の 2.1.3A 項に適合している。

特記事項・制約条件

- a. 搬送波周波数掃引幅に対し、搭載側受信機のトラッキングレンジは掃引幅以上でなければ同期を維持できない。

(2) 周波数掃引速度

基準内容

周波数掃引速度は、次の速度から選択する。

- ・ 10kHz/s
- ・ 30kHz/s

根拠・背景

- a. 搬送波周波数掃引速度は搭載受信機の位相同期ループ（PLL）の等価雑音帯域幅（ループ帯域幅）との関係で決定される。（1.3.2 参考文書(2)参照）
- b. PLL ループ帯域幅は、受信信号スペクトラムにおいて搬送波の一番近傍に位置する変調信号が復調できる帯域幅に設定されるのが一般的である。
- c. 周波数掃引速度は、捕捉確率 99%の理論値に適当なマージンを見込んで設定される。
- d. 従来、宇宙機搭載Sバンド受信機の周波数掃引速度は次の値で運用実績を有している。

・ Sバンド受信機	（周回衛星）	：	30kHz/s
・ Sバンド受信機	（静止衛星）	：	10kHz/s

特記事項・制約条件

なし

(3) 搬送波周波数安定度

基準内容

地球局送信周波数安定度は、宇宙機ミッション遂行に特別な要求がない限り次の安定度とすること。

- ・短期安定度 : $1 \times 10^{-11}/\text{sec rms}$ 以下
- ・長期安定度 : $\pm 1 \times 10^{-11}/\text{日}$ 以下

根拠・背景

- a. 設定誤差、温度による変動は、維持管理できることから長期安定度に含まれる。

特記事項・制約条件

宇宙機より特別なミッション要求がある場合は、要求を満たしうる性能を有すること。

(4) 搬送波位相雑音

基準内容

地球局送信搬送波の位相雑音は宇宙機ミッションに特別な要求がない限り、表 4.2-1 に示す特性値以下であること。

表 4.2-1 搬送波位相雑音
(SSB 位相雑音)

搬送波オフセット 周波数(Hz)	Sバンド搬送 波(dBc/Hz)	Cバンド搬送波 (dBc/Hz)	Xバンド搬送波 (dBc/Hz)
1	-30	-30	-30
10	-45	-50	-45
100	-65	-60	-60
1 k	-75	-75	-75
10 k	-80	-85	-80
100k	-100	-95	-85

根拠・背景

a. 搭載受信機のPLLの定常位相誤差が、次の値を満たす。

Sバンド : 2.5deg rms 以下 (2BL=600Hz)

C/Xバンド : 2.5deg rms 以下 (2BL=1500Hz)

b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

a. 搭載受信機のコマンド復調 S/N として、20dB以上確保するように考慮すること。

4.2.2.3 変調基準と副搬送波信号

(1) 変調方式

基準内容

コマンド変調方式（信号形式）は、PCM/PSK/PM とする。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.2 項に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

なし

(2) 変調指数

基準内容

搬送波位相変調指数は、コマンド信号と測距信号の同時変調時に、 $1.5\text{rad}_{\text{0-p}}$ を越えないこと。

根拠・背景

- a. 搭載側受信機の復調特性は、通常正弦波検波特性を有していること。

特記事項・制約条件

- a. 測距のアンビギュイティ除去が 20kHz、4kHz のサイドトーンにより行われる方式では、コマンド信号と測距信号は、衛星トランスポンダでテレメトリ信号と合波されて地上に送信されるため、ダウンリンクの変調指数低下による品質劣化を十分に考慮してコマンド信号の変調度を設定すること。
- b. 復調歪率に制約がある場合は、総合変調指数を抑えること。復調歪率 10%以下の場合、 1.3rad 以下とすること。

(3) 副搬送波周波数**基準内容**

副搬送波周波数は、8kHz、または 16kHz とする。なお、副搬送波波形は正弦波とする。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.2 項では 8kHz 又は 16 kHz (正弦波) が推奨されている。

特記事項・制約条件

なし

(4) 副搬送波周波数安定度と許容偏差**基準内容**

副搬送波周波数の許容偏差は、初期設定偏差、温度変動を含み、短期安定度、長期安定度とも $\pm 1 \times 10^{-5}$ 以下とする。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。
- b. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.5 項に適合している。

特記事項・制約条件

なし

(5) 副搬送波周波数とデータの関係

基準内容

副搬送波とコマンドデータ（ビットストリーム）が同期していること。（図 4.2-4 参照）

根拠・背景

a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

なし。

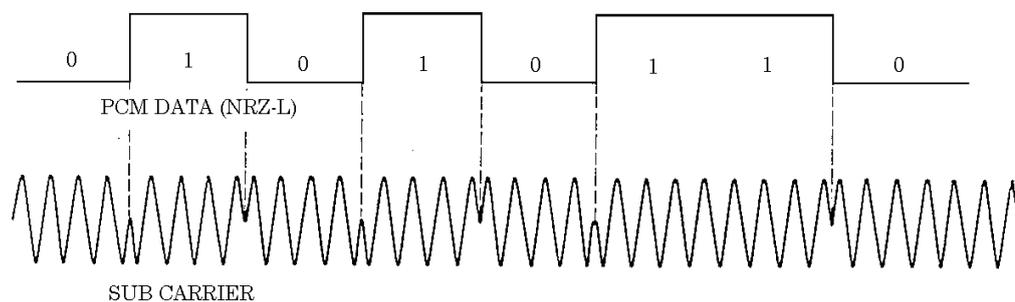


図 4.2-4 副搬送波周波数とデータの関係

(6) 極性**基準内容**

副搬送波の位相変調極性は、正極性（変調信号の正符号に対して位相進み）とすること。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.1.5 項に適合している。

特記事項・制約条件

- a. PN 方式の場合は PN 符号と副搬送波の位相関係まで規定する必要がある。

4.2.2.4 ベースバンド基準

(1) 符号形式

基準内容

コマンド符号形式は、NRZ-L とする。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.3 項では NRZ-L, M の 2 種を推奨している。
- b. NRZ-L に比べて NRZ-M は「1」 / 「0」の不確実性が除去できる長所がある一方、要求 E_b/N_0 が 0.3dB (ビットエラーレート 10^{-6} の場合) 劣化する。
- c. 搭載受信機は、NRZ-L (PCM/PSK/PM) で生じる「1」 / 「0」の不確実性をコマンドデコーダの処理により除去している。

特記事項・制約条件

なし

(2) ビット同期時間

基準内容

捕捉確率 99%以上、ビットエラーレート 10^{-6} 以下を満たす最小受信レベルにおいて、256 ビットまたは 0.5 秒のいずれか長い方の時間内でビット同期が可能なこと。

根拠・背景

ビット同期時間としては、従来 128 ビット以下が多く適用されてきたが、捕捉確率の向上及び宇宙機プロジェクトにおいて 256 ビット相当の捕捉時間が要求された経緯がある。

また、ビットレートの高速化に伴い、ビット長のみでなく時間で規定する必要性が出てきた。そこで、搬送波捕捉状態において、通常のテレメトリの更新周期である 1 秒以内でビット同期が確立し、かつテレコマンドの受信が完了することを時間規定の目安として設定する。具体的には、最近の衛星では 1 kbps 以上のビットレートが使用されているケースが多いことから、1 kbps の回線を例として考える。この場合、16 ビットのコマンドワードを伝送するためには、CLTU 長は 272 ビット (0.272 秒) となることから、ビット同期時間を 0.5 秒以下とすれば、余裕をもって 1 秒以内にテレコマンドの受信が完了する。そのため、ビット同期時間の時間規定としては 0.5 秒以下とする。

特記事項・制約条件

- a. コマンドビット列の最初に、衛星側受信機ビット同期確立用の捕捉シーケンス（「1」、「0」の繰り返し）を付加すること。
- b. 運用面からは、ビット同期時間は短いほうが望ましいため、極力ビット同期時間を短くするよう設計すること。

(3) ビットレート

基準内容

コマンドビットレートは $4000/2^n$ bps、 $n=0,1,2,\dots$ (下限は副搬送波周波数/256) とする。

根拠・背景

- a. カテゴリAミッションにおいて、1.3.1 適用文書(4)の 2.2.4 項に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

なし。

(4) ビットレート安定度

基準内容

ビットレートの許容偏差は、初期設定偏差、温度変動を含み、短期安定度、長期安定度とも、 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 以下とする。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

なし。

(5) ビット遷移率

基準内容

- a. 「1」または「0」の連続は 64 ビット以下であること。
- b. 任意の 1000 ビット中、125 ビット以上のビット遷移があること。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

ビット遷移が少ない場合は、1.3.1 適用文書(6) 5.2 項のランダムマイザを挿入し基準を満たすようにすること。

4.2.2.5 留意事項

(1) マークスペース比

コマンドデータのマーク、スペースのシンボル長の対称性については、復調 BER 劣化の要因になることから、0.98～1.02 の範囲内をガイドラインとする。

これは、0.1dB の劣化量に相当する。この値以上の非対称性が予想される場合は、BER 劣化量について検討すること。

【定義：】 $(\text{Long symbol} - \text{Short symbol}) / (\text{Long symbol} + \text{Short symbol})$

【測定点：】 振幅の peak-to-peak の 50% のポイント

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.6 項に適合している。

4.2.3 欠番

4.2.4 抑圧搬送波方式

伝送データで直接搬送波を多値のPSK 変調して通信する方式である。

4.2.4.1 運用上の前提

- a. デジタルデータで搬送波に対して直接 PSK 変調を施す方式では、変調を施した状態で搬送波を送信するのが一般的である。
- b. リンクが確立するまでは、伝送データの欠損を防ぐためにダミーデータ若しくは PN コードで変調を施すこと。
- c. ドップラ偏移が生ずる RF 回線においては、ドップラ偏移量と搭載受信機局部発振周波数偏差の総和が搬送波スペクトラムの主ローブの 1/2 より大きい場合、搭載受信機が第 2 ローブ以降に誤同期する可能性があるため、所要のドップラ補償制御を施す必要がある。

4.2.4.2 搬送波捕捉基準

(1) 搬送波周波数安定度

基準内容

地球局送信周波数安定度は、宇宙機ミッション遂行に特別な要求がない限り次の安定度とする。

- ・ 短期安定度 : $1 \times 10^{-11}/\text{sec rms}$ 以下
- ・ 長期安定度 : $\pm 1 \times 10^{-11}/\text{day}$ 以下

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。
- b. 設定偏差、温度による変動は、維持管理できることから、長期安定度に含まれる。

特記事項・制約条件

宇宙機より特別なミッション要求がある場合は、要求を満たしうる性能を有すること。

(2)搬送波位相雑音**基準内容**

地球局送信搬送波の位相雑音は宇宙機ミッションに特別な要求がない限り、表 4.2-1 に示す特性値以下であること。

表 4.2-1 搬送波位相雑音
(SSB 位相雑音)

搬送波オフセット 周波数(Hz)	S バンド搬送波 (dBc/Hz)	C バンド搬送波 (dBc/Hz)	X バンド搬送波 (dBc/Hz)
1	-30	-30	-30
10	-45	-50	-45
100	-65	-60	-60
1 k	-75	-75	-75
10 k	-80	-85	-80
100k	-100	-95	-85

根拠・背景

- a. 搭載受信機の PLL の定常位相誤差が、次の値を満たす。

S バンド : 2.5deg rms 以下 (2BL=600Hz)

C/X バンド : 2.5deg rms 以下 (2BL=1500Hz)

- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

- a. 搭載受信機のコマンド復調 S/N として、20dB 以上確保するように考慮すること。

4.2.4.3 変調基準

(1) 変調方式 (信号形式)

基準内容

BPSK変調方式とする。

根拠・背景

a. BPSK は 1.3.1 適用文書(4)2.2.8 項に適合している。

特記事項・制約条件

なし

4.2.4.4 ベースバンド基準

(1) データフォーマット

基準内容

NRZ-L 又は NRZ-M のいずれかとする。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.2.3 項では NRZ-L, M の 2 種を推奨している。
- b. NRZ-L に比べて NRZ-M は、「1」 / 「0」の不確定性が除去できる長所がある一方、要求 E_b/N_0 が 0.3dB 劣化する。

特記事項・制約条件

- a. NRZ-L を使用する場合、搭載受信機において位相の不確定性を除去すること。

(2)欠番

(3)ビットレート安定度

基準内容

ビットレートの許容偏差は、初期設定偏差、温度変動を含み、短期安定度、長期安定度とも、 $\pm 5 \times 10^{-6}$ 以下とすること。

根拠・背景

これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

なし

(4)ビット遷移率

基準内容

- a. 任意の 1000 ビット中、125 ビット以上のビット遷移があること。
- b. 「1」又は「0」の連続は 64 ビット以下であること。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

ビット遷移が少ない場合は、1.3.1 適用文書(6) 5.2 項のランダムマイザを挿入すること。

4.3 テレメトリ系

4.3.1 共通事項

(1) 周波数

基準内容

テレメトリ伝送の周波数は、以下の周波数帯から選択すること。但し、ミッション回線でテレメトリを伝送する場合にはこの限りでない。

- ・ S (2.2GHz) バンド : 2200MHz ~ 2290MHz
- ・ C (5GHz) バンド : 5010MHz ~ 5030MHz
- ・ X (8GHz) バンド : 8025MHz ~ 8400MHz
8450MHz ~ 8500MHz
- ・ Ka (26GHz) バンド : 25.5GHz ~ 27.0GHz

根拠・背景

a. 搬送波周波数は、次の規定に基づいている。

- ・ S バンド : 1.3.1 適用文書(4) 3.1.1 項
- ・ C バンド : 無線通信規則に示される帯域
- ・ X バンド : ペイロードデータ伝送 (8025MHz~ 8400MHz)
1.3.1 適用文書(4) 3.1.2A 項 (8450MHz~8500MHz)
- ・ Ka (26GHz) バンド : ペイロードデータ伝送 (25.5GHz ~ 27.0GHz)

特記事項・制約事項

- a. S バンドでは無線局申請の観点から従来使用実績のある周波数から選択した方が
良い。
- b. 他宇宙機との周波数干渉を十分考慮すること。

(2) 偏波

基準内容

円偏波（右旋または左旋）を使用すること。但し、ミッション上の制約から直線偏波を選択する場合にはこの限りではない。

根拠・背景

- a. 偏波ダイバシチ受信方式を採用していない地球局において、宇宙機の姿勢変化やロックアングルの変化による偏波損失が直線偏波に比べて小さい。
- b. これまでの運用実績がある。

特記事項・制約事項

- a. 右旋／左旋の選択は、他ミッションあるいは他宇宙機との干渉等考慮して選択すること。

(3) 占有周波数帯幅

基準内容

- a. 占有周波数帯幅は極力小さくするように設計すること。

根拠・背景

- a. 使用周波数帯の獲得（周波数調整）は容易ではなく、占有周波数帯幅は極力小さくなるように設計することが必要である。但し、その値は宇宙機毎に異なるため、具体的な数値は規定しない。

特記事項・制約事項

なし

(4) スプリアス輻射

基準内容

- a. 他バンドへの許容干渉レベル

表 4.3-1 から表 4.3-3 に示す周波数帯域の電力束密度を満たすこと。

- b. スプリアス制限値

宇宙業務に使用される無線局に適用される規定値（スプリアス領域、及び帯域外領域における不要発射）は、平成十七年十月二十一日総務省告示第千二百二十八号の規定に従うこと。

根拠・背景

次の規定による。

- a. 1.3.1 適用文書(7) (電波天文観測)、1.3.1 適用文書(8) (深宇宙通信)
b. 1.3.1 適用文書(6)

特記事項・制約事項

なし。

表 4.3-1 天文バンド(線スペクトラム観測)のための観測電力束密度

中心周波数 (MHz)	観測帯域幅 (kHz)	電力束密度 (dBW/m ² /Hz)
327	10	-244
1,420	20	-239
1,612	20	-238
1,665	20	-237
4,830	50	-230
14,488	150	-221
22,200	250	-216
23,700	250	-215
43,000	500	-210
48,000	500	-209
88,600	1,000	-208
150,000	1,000	-204
220,000	1,000	-199
265,000	1,000	-197

(1.3.1 適用文書(7) Table 2 による)

表 4.3-2 天文バンド(連続スペクトラム観測)のための観測電力束密度

中心周波数 (MHz)	観測帯域幅 (MHz)	電力束密度 (dBW/m ² /Hz)
13.385	0.05	-248
25.610	0.12	-249
73.800	1.60	-258
151.525	2.95	-259
325.300	6.60	-258
408.050	3.90	-255
611.000	6.00	-253
1,413.500	27	-255
1,665	10	-251
2,695	10	-247
4,995	10	-241
10,650	100	-240
15,375	50	-233
23,355	290	-231
23,800	400	-233
31,550	500	-228
43,000	1,000	-227
89,000	8,000	-228
150,000	8,000	-223
224,000	8,000	-218
270,000	8,000	-216

(1.3.1 適用文書(7) Table 1 による)

表 4.3-3 深宇宙通信(線スペクトラム観測)のための観測電力束密度

中心周波数 (MHz)	電力束密度 (dBW/m ² /Hz)
2290~2300	-257.0
8400~8450	-255.1
12,750~13,250	-254.3
31,800~32,300	-249.3

(1.3.1 適用文書(8) Table 5 による)

(5) 停波機能

基準内容

通信の相手方がいない場合には停波する機能を有すること。ただし、次の機能をあわせて有すること。

- a. AOS直前に送信機を「ON」とし、地球局で捕捉できる様にする。
- b. 宇宙機異常時、HKデータ伝送においては自動的に送信機が「ON」となること。

根拠・背景

- a. 電波法に停波機能の具備が要求されている。
- b. 外部システムとの不用意な周波数干渉が問題視されている。

特記事項・制約事項

- a. 送信機故障時の運用シーケンスを事前に確立しておくこと。

(6) スペクトラムマスク

基準内容

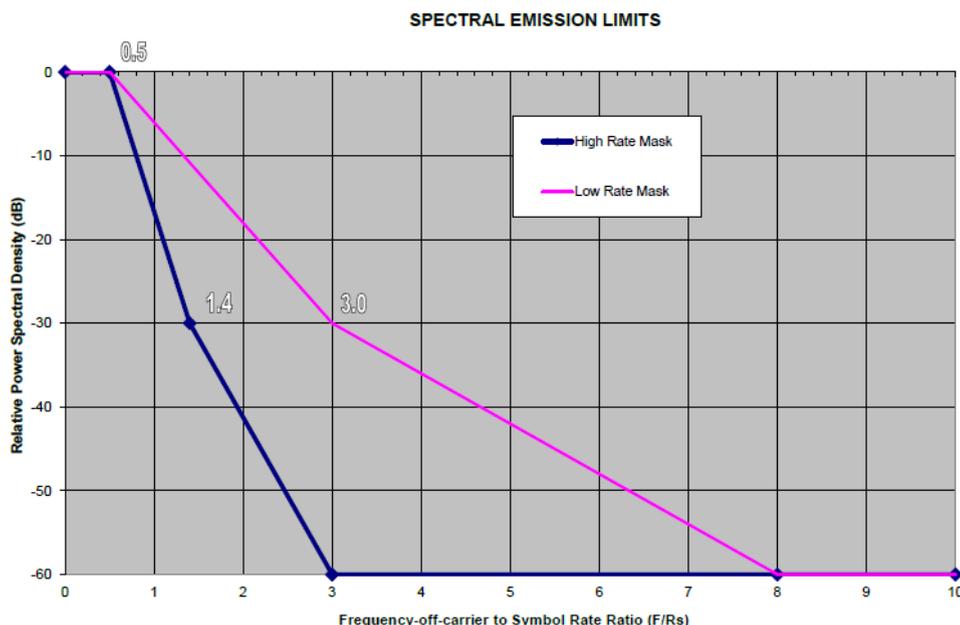
2200-2290MHz、8025-8400MHz、8450-8500MHz、及び 25.5-27.0GHz
(25.5-27.0GHzについては2020年以降に打ち上げの宇宙機が該当)のいずれかの宇宙-地球回線を使用する宇宙機の送信スペクトラムは、図 4.3-1 のスペクトラム制限値を満たすこと。

根拠・背景

- 1.3.1 適用文書(9)に適合している。

特記事項・制約事項

なし



- 注1) SFCG 21-3R1 に適合する PCM/PSK/PM 方式、およびレンジング信号を含む送信波は本スペクトラム要求から除外する。PCM/PM/Bi-phase または PCM/PM/NRZ 方式はキャリア成分が必要でかつシンボルレートは 2Msps 以下で用いること。
- 注2) Low Rate Mask は 2200–2290MHz、8025–8400MHz、8450–8500MHz のシンボルレート 2Msps 未満、High Rate Mask は当該周波数の 2Msps 以上に適用される。また、25.5–27.0GHz ではシンボルレート 10Msps 以上を用いることとし、High Rate Mask が適用される。
- 注3) シンボルレートは誤り訂正符号化の様な符号化に続くベースバンドビットレートと定義する。但し、(O)QPSK, 16QAM 方式等を用いるときには、シンボルレートは上記のベースバンドビットレートを $\log_2(M)$ で割った値とする (M の値は(O)QPSK では 4, 16QAM では 16である)。
- 注4) Bi-phase 信号はシンボルレートとしては NRZ 信号の 2 倍となる。
- 注5) 電力密度基準値は、スペクトラム密度の最大値であり、線スペクトラム成分は含まない。また、PCM/PM 方式の場合は、スプリアス、残留搬送波成分を除くテレメトリスペクトラムの最大レベルを基準とする。
- 注6) シンボルレート 300ksps 以下の PCM/PM(Bi-phase)スペクトラムは、斜線で示される領域 (横軸 0.5~8) では 5dB まで、平坦で示される領域 (横軸 8 以上) では 10dB まで (2つの領域の境界は 10dB 以上) スペクトラムマスクを逸脱しても良い

図4.3-1 宇宙機のスペクトラム要求

(7) 複数アンテナで形成されるシステムでの留意事項

複数のアンテナを同時に使用するシステムでは、複数アンテナのパターン合成によるパターンの切れ込みの発生に留意すること。

(8) 高速データリンクにおける注意事項

高速データリンクでの複数アンテナシステムでは、アンテナ間の遅延時間差を考慮すること。データシンボル周期より十分短い(シンボル周期の 1/10 以下)遅延時間差であること。

4.3.2 残留搬送波方式

残留搬送波方式は、PM 変調により残留搬送波とともに通信する方式である。ここでは宇宙機／地上局間の直接通信を対象としている。

4.3.2.1 運用上の前提

- a. テレメトリ伝送回線においては、微弱な宇宙機からの電波を地球局の高利得アンテナで受信するために、リンク形成時には地球局アンテナを宇宙機方向に待受けておく必要がある。
- b. 宇宙機－地球局間のダウンリンク形成は、次の手順を基本とする。

AOS 直前 : 宇宙機ダウンリンク信号送信

地球局アンテナ待ち受け→プログラム追尾

AOS : 地球局ダウンリンク信号（テレメトリ信号変調波）の搬送波周波数捕捉

↓

地球局アンテナ角度がスカイラインを越え且つ受信レベルが安定した時点で
RF 自動追尾モードへ移行。（空間領域捕捉）

↓

テレメトリデータ復調（ビット同期、フレーム同期）確認

これらのシーケンスは、アンテナ EL 角度が 5 度に達するまでに完了することが望ましい。

4.3.2.2 搬送波捕捉基準

(1) 周波数安定度基準内容

搬送波周波数の安定度は、初期設定偏差、温度変動を含めて、長期安定度が $\pm 2 \times 10^{-5}$ 以下であること

根拠・背景

- a. 電波法規定を満たしている。

特記事項・制約事項

- a. ドップラ計測要求がある場合は短期安定度を計測精度要求により規定すること。

(2) 位相雑音

基準内容

最小テレメトリシンボルレート (Bi-phase) の 30% の等価雑音帯域幅 (2BL : 最大 5kHz) を有する高利得位相同期ループ (ダンピングファクタ 0.707) で受信した場合の定常位相誤差が 2.5 度 rms 以下であること

根拠・背景

- a. 通常、次の要因を含む搬送波追尾ループの総合 S/N として +20dB 以上得る様に設計する。

要因 :
 ー 搬送波位相雑音
 ー 地球局局発信号位相雑音
 ー 熱雑音 (所要の回線状態における)
 ー 宇宙機ダイナミクスによる動的位相誤差

特記事項・制約事項

- a. Ka バンドの様な高い搬送波周波数で低シンボルレートのテレメトリを伝送する時、搬送波位相雑音特性によって搬送波追尾ループの等価雑音帯域幅がシンボルレート (Bi-phase) の 30% を超える場合がある。そのような場合は副搬送波の使用を考慮すること。

4.3.2.3 変調方式と副搬送波信号

(1)変調方式

基準内容

PCM/PM/Bi-phaseを基準とすること。

但し、シンボルレートが小さく、搬送波位相雑音特性による劣化が大きい場合、または測距信号との干渉がある場合は、副搬送波を使用することができる。

この場合の変調方式は、PCM/PSK/PM とすること。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(9)、(10)に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。
- c. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.7 項に適合している。

特記事項・制約事項

- a. 副搬送波の使用は必要な場合を除き、避けること。
- b. テレメトリデータは多重化をして、1チャンネル伝送とすること。
- c. 必要に応じ、ベースバンド帯域にプリモジュレーションフィルタを挿入すること。

(2)変調指数

基準内容

測距信号との同時変調時も含めて、ダウンリンク総合変調指数は 1.5rad_{0-P} を越えないこと。

根拠・背景

- a. 地球局受信機の復調特性が正弦波検波特性である。

特記事項・制約事項

- a. 総合変調指数が 1.5rad_{0-P} を越える場合は、通信相手の地球局の復調特性による劣化を考慮すること。
ただし、その場合においても 1.5rad_{RSS} を越えないこと。
- b. 搭載トランスポンダの測距中継特性により、アップリンクのコマンドベースバンド信号がダウンリンク変調器にもれ込む場合は、それによる変調指数も考慮すること。

(3) 符号化方式

基準内容

誤り訂正符号化を採用する場合は、次の畳み込み符号化方式とすること。

- a. 符号化率 (R) : 1 / 2
- b. 拘束長 (K) : 7
- c. 生成多項式 : G1=1111001
G2=1011011 (反転)
- d. その他 : G1 フェースト

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(5)の 3.3 項に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. 所要帯域幅が増大 (2倍) することに注意すること。
- b. 軟判定ビタビ復号器と組み合わせて使用することが望ましい。

(4) 副搬送波周波数

基準内容

副搬送波は、絶対必要な場合を除き使用しない。使用する場合は次の基準によること。

- a. 副搬送波の波形は正弦波とすること。
- b. シンボルレートが 60ksps を超える場合は使用しないこと。
- c. 60kHz を超える副搬送波周波数を使用する場合は、シンボルレートの 4 倍以下とすること。
- d. 60kHz 以下の副搬送波周波数を使用する場合はシンボルレートとの比率に制限はない。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.14A 項に適合している。
- b. 1.3.1 適用文書(9)、(10)に適合している。

特記事項・制約事項

なし

(5) 副搬送波周波数安定度

基準内容

副搬送波周波数安定度は、設定偏差、温度変動を含み、長期安定度が

- a. $\pm 1 \times 10^{-4}$ 以下、
- b. 変調するシンボルレートの 3%相当以下のいずれか小さい値とすること。

短期安定度は、 5×10^{-7} /秒 rms 以下であること。

根拠・背景

- a. PSK 復調器に用いられるコスタスループの帯域幅は通常シンボルレートの 3%以下である。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

- a. PSK 復調器の捕捉追尾範囲及びループ帯域幅に注意すること。

(6) 副搬送波とデータの関係

基準内容

副搬送波とテレメトリデータとの関係は、同期であること。

ただし、宇宙機搭載側の設計上、特別な要求がある場合は非同期でも可とする。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. 地球局は同期／非同期の双方の関係に対応すること。

(7) 搬送波変調極性

基準内容

搬送波の位相変調極性は、正極性（変調変信号の正符号に対して位相進み）とすること。

根拠・背景

a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.3.6 項に適合している。

特記事項・制約事項

なし

4.3.2.4 ベースバンド基準

(1) 符号形式

基準内容

変調形式によって次の符号形式とすること。

- a. PCM/PM : Bi-phase-L
- b. PCM/PSK/PM : NRZ-L

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(9)、(10)に適合している。
- b. これまでの運用実績がある。
- c. PCM (Bi-phase-L) /PSK/PM を除き、1.3.1 適用文書(4)の 2.4.7 項に適合している。

特記事項・制約事項

- a. Bi-phase-L、畳み込み符号化を同時に使用する場合、Bi-phase-L 符号化は畳み込み符号化の出力信号に対して行うこと。

(2) シンボルレートと安定度

基準内容

- a. シンボルレートは、60ksps 以下とすること (PCM/PSK/PMの場合)
- b. シンボルレートの安定度は、設定誤差、温度変動を含み、長期安定度が $\pm 1 \times 10^{-4}$ 以下とすること。

根拠・背景

- a. シンボルレートはこれまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

なし。

(3) シンボル遷移率**基準内容**

シンボル遷移率は次の値とすること。

- a. 「1」又は「0」の連続 : 最大64シンボル
- b. シンボル遷移 : 任意の1000シンボルにおいて125シンボル以上

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.9 項に適合している。

特記事項・制約事項

- a. シンボル遷移が少ない場合は、1.3.1 適用文書(5)の 9 項適合のランダムマイザを挿入すること。
- b. Bi-phaseの場合は符号器入力前のビット遷移を考慮すること。

4.3.2.5 留意事項

(1) マークスペース比

テレメトリデータのマーク、スペースのシンボル長の対称性については、復調 BER 劣化の要因になることから、0.98～1.02 の範囲内をガイドラインとする。これは、0.1dB の劣化量に相当する。この値以上の非対称性が予想される場合は、BER 劣化量について検討すること。

【定義：】 $(\text{Long symbol} - \text{Short symbol}) / (\text{Long symbol} + \text{Short symbol})$

【測定点：】 振幅の peak-to-peak の 50%のポイント

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.8 項に適合している。

4.3.3 欠番

4.3.4 抑圧搬送波方式

伝送データで直接搬送波を多値の PSK

若しくは QAM 変調して通信する方式である。ここでは宇宙機/地球局間の直接伝送系を対象とする。

4.3.4.1 運用上の前提

a. デジタルデータで搬送波に対して、直接 PSK 若しくは QAM 変調を施す方式で、変調を施した状態で搬送波を送信するのが一般的である。したがって、運用時は、フレーム同期が形成されるまでの間、伝送データの欠損を防ぐために、ダミーデータ若しくは PN コードを挿入すること。

b. リンク形成手順は次の通りを基本とする。

AOS 直前 : 宇宙機ダウンリンク送信
地球局アンテナ待ち受け→ プログラム追尾

AOS : 地球局ダウンリンク信号捕捉
(周波数領域捕捉：搬送波捕捉、シンボル同期)

↓

地球局受信レベルが安定し、かつスカイラインを越えた時
RF 自動追尾モードへ移行。
(空間領域捕捉)

c. 周波数捕捉において搬送波変調スペクトラムの主ローブ幅が、ドップラ周波数偏移、宇宙機送信周波数偏差、地球局ローカル周波数偏差の総和より小さい場合は、フォールスロットの可能性があるので、ドップラ補償制御等検討すること。

4.3.4.2 搬送波捕捉基準

(1) 搬送波周波数安定度

基準内容

搬送波周波数安定度は、設定偏差、長期安定度を含めて、長期安定度が $\pm 2 \times 10^{-5}$ 以下であること。

根拠・背景

- a. 電波法規定を満たしている。

特記事項

- a. 1way ドップラ計測要求がある場合は、短期安定度を計測要求により規定すること。

(2)位相雑音

基準内容

シンボルレートの 1%相当の等価雑音帯域幅を有す再生搬送波追尾ループ（ダンピングファクタ 0.707）のループ S/N が+30dB 以上得られる特性であること。

根拠・背景

- a. QPSK 変調による伝送データ品質の位相雑音特性による劣化をBER= 1×10^{-5} の回線において、0.5dB 以下とする（実測、もしくは解析）。なお、位相雑音特性には通常、雑音の様なランダム成分とは他に、電源ハム成分等の相関性を有する残留 PM 成分も含まれるため、rms ではなく 0-peak として考える。また、実際のループ S/N としては、衛星搬送波と地上局ローカル信号の位相雑音、ループの位相追尾誤差等の相乗和となることから、衛星、地上局ともに+30dB 以上と設定。

特記事項・制約事項

- a. 位相雑音特性によるデータ伝送品質の劣化がシステムの許容できる場合はこの限りではない。

4.3.4.3 変調基準

(1) 変調方式基準内容

BPSK, QPSK, OQPSK, 16QAM 変調方式のいずれかとすること。また、SFCG 勧告マスク (1.3.1 適用文書(9))、電波法における不要発射領域に対する規定 (無線設備規則別表第三号の 40、二項 3) を満足すること。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. 占有帯域幅を抑えるために、ベースバンド段、または RF 段において帯域制限等考慮すること。

(2) I/Q 位相の定義

基準内容

QPSK、OQPSK :

I/Q シンボルデータの組み合わせによる搬送波の位相は、下図によること。

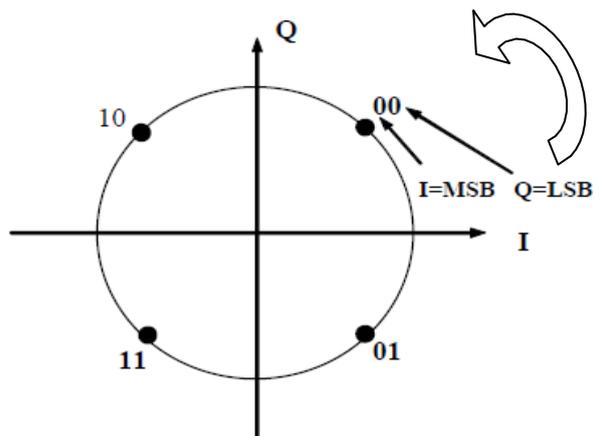


図 4.3-2 I/Q 位相の定義

I/Q のシンボル列は同期していること。1つのビット列を I/Q に割り付けるとき、差動符号化によること。この時 I/Q シンボル列は、I が先行すること。

根拠・背景

- a. 1.3.1適用文書(4)の2.4.10項に適合している。

特記事項・制約事項

なし

(3)I/Q 電力比**基準内容**

QPSK, OQPSK、16QAMで $I/Q = 1/1$ であること。

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

なし

(4) I / Qシンボルデータの同期性**基準内容**

- a. QPSK, OQPSK、16QAMの各変調形式における I / Qチャンネルのデータは同期関係にあること。

根拠・背景

- a. 非同期の場合、再生搬送波生成動作が不安定になる。

特記事項・制約条件

なし

(5)符号化方式

基準内容

誤り訂正符号を採用する場合は次の符号化を採用すること。

- a. 符号化 : 畳み込み符号化
- b. 符号化率 (R) : $1/2$
- c. 拘束長 (K) : 7
- d. 生成多項式 : $G1=1111001$
 $G2=1011011$ (反転)
- e. その他 : G1 フェースト

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(5)の 3.3 項に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. 所要帯域幅が増大 (2 倍) することに注意すること。
- b. 軟判定ビタビ復号器と組み合わせて使用することが望ましい。

4.3.4.4 ベースバンド基準

(1) 符号形式

基準内容

NRZ-L 又は NRZ-M とすること。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.2 項に適合している。
- b. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. NRZ-L 使用時、位相の不確定性の除去について考慮すること。
- b. NRZ-M (または 4 相差動符号) と畳み込み符号化を同時に使用する場合、NRZ-M (または 4 相差動符号) 符号化された信号を畳み込み符号器に入力すること。

(2) シンボルレートと安定度

基準内容

- a. シンボルレート (ペイロード伝送系) についてはここでは規定しない。
- b. 安定度については、電波法の規定よりもドップラー偏移による周波数変動の方が大きく、かつ地上局ではドップラー補償機能を有しているため、ここでは規定しない。

根拠・背景

N/A

特記事項・制約事項

シンボルレートの安定度については、1.3.1 適用文書(4)の 2.4.19 項の規定を参考にする。

(3)シンボル遷移率**基準内容**

- a. 「1」又は「0」の連続は 64 シンボル以下であること。
- b. 任意の連続する 1000 シンボル中のシンボル遷移率は 125 シンボル以上であること。

根拠・背景

- a. 1.3.1 適用文書(4)の 2.4.9 項に適合している。

特記事項・制約事項

- a. シンボル遷移が少ない場合は、1.3.1 適用文書(5)の 9 項適合のランダマイザを挿入すること。

4.3.4.5 留意事項

(1) 所要のデータ品質を得るために、次の特性について調整し、シミュレーション等による通信解析を行い、BER 劣化量を最小限にする為の改善を検討すること。

- －変調器の利得／位相不平衡
- －伝送帯域内利得平坦度／位相非直線性
- －AM／PM 変換、AM/AM 変換
- －スイッチング雑音
- －シンボル非対称性／ジッタ 等々

なお、適用する通信回線で既に実績があり、各項目の仕様が設定されている場合は、解析は必須としない。

4.4 レンジング系

4.4.1 直接伝送系

4.4.1.1 運用上の前提

- a. 近年 GPS を利用した宇宙機軌道決定が行われてきている。GPS 利用とのトレードオフを実施し、レンジングの方式選定を行うこと。
- b. レンジング運用は、搬送波の誤捕捉を回避する観点から、アップリンク及びダウンリンク双方のリンクが形成された後行うこと。
- c. アップリンクにおいて、コマンド運用と同時運用を可能とすること。
- d. ダウンリンクにおいて、テレメトリ運用との同時運用を可能とすること。

4.4.1.2 搬送波周波数基準

基準内容

レンジング運用のためのアップリンク／ダウンリンク周波数比 (F_{up}/F_{down}) は次の周波数比を基準とする。

- a. アップリンク及びダウンリンク共に S バンド使用時 : 221/240
- b. アップリンクに S バンド、ダウンリンクに X バンド使用時 : 221/900
- c. アップリンク及びダウンリンク共に X バンド使用時 : 749/880
- d. アップリンクに X バンド、ダウンリンクに S バンド使用時 : 765/240

根拠・背景

1.3.1 適用文書(4)の 2.6.1 項、2.6.3A 項、2.6.2 項、2.6.4A 項に適合している。
(カテゴリ A に対する規定)

特記事項・制約条件

- a. アップリンクとダウンリンク搬送波の関係は同期が基本であるが、次のような場合は運用性（リンク形成時間、運用時間等）を重視して決定する。
 - 距離変化率計測精度要求が 1WAY 計測モードでも満たされる場合
 - レンジングトーン捕捉時のドップラレートエードが必要でない場合
 更には、1 パスにおける運用時間確保の観点から決定する。

4.4.1.3 変調基準

(1) 変調方式・変調度・変調極性基準内容

- a. 搬送波位相変調指数は以下の範囲とすること。
 - ①アップリンク : 0.2rad~1.0rad_{0-P}
 - ②ダウンリンク : 0.2rad~1.0rad_{0-P}

根拠・背景

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. テレメトリ信号・コマンド信号との同時変調時においても、上記変調指数相対変調損失を越えないこと
- b. 複数トーンの同時変調時は、その合成変調指数（rss）が偏差を考慮した場合でも、0.25rad以上を満たすこと。
- c. ダウンリンク変調指数の設定にあたっては、テレメトリ信号との総合変調指数が 1.5rad_{0-P}を越えないこと。1.5rad_{0-P}を越える場合は、通信相手の地球局の復調特性による劣化を考慮すること。ただし、その場合においても 1.5rad_{rss}を越えないこと。
- d. アップリンクの S/N_0 との総合 S/N_0 が要求 S/N_0 を満たす様に設計する

(2)レンジングトーン周波数・波形

基準内容

レンジングトーンの周波数及び波形は以下のとおりとすること。

- a. 周回衛星用 : 500kHz (公称) 正弦波
- b. 静止衛星用 : 100kHz (公称) 正弦波

背景・根拠

これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約事項

- a. 外国機関の支援を受ける場合は、その機関の有するレンジング方式に適合する様に設計すること。

4.4.1.4 測距中継特性

(1) 中継方式・中継帯域幅

基準内容

測距信号の中継方式及び中継帯域幅は以下のとおりとすること。

- a. 中継方式 : 検波中継方式
- b. 中継帯域幅 (-3dB)
 - 高域 : レンジングトーン周波数の2倍以上
 - 低域 : 最小アンビギュイティトーン周波数の1/2以下

背景・根拠

- a. これまでの運用実績を有している。

特記事項・制約条件

- a. コマンド信号との同時変調運用がある場合、アップリンクとダウンリンクの通信設計（変調指数設定）の独立化の観点から、コマンド信号のダウンリンクへの漏れ込みを極力抑えることが望ましい。
- b. 科学衛星に関しては、テレメトリ・測距信号への干渉がない場合に限り、遅延変動の小さい低域通過フィルタの使用も認める。

(2) 欠番

(3) 遅延時間変動特性

基準内容

- a. 1周回中もしくは、軌道決定のためのレンジング運用期間中（静止宇宙機）の宇宙機全体における遅延時間変動の総和（リニアサム）は、 40nsp-p を越えないこと
- b. 宇宙機ミッション要求により、必要に応じ補正手法を考慮すること。

背景・根拠

- a. 温度変化による変動が支配的であり、レンジング中における温度変化は小さいこと。
- b. これまでの運用実績から、テレメトリを用いて計測値補正せずとも所要の軌道決定精度が得られていること。

特記事項・制約条件

- a. 温度補正等によって 40nsp-p を越えなければ良い。

4.4.2 欠番

4.5 欠番