

マルチモード統合トランスポンダの開発 -軌道上実証実験結果と認定モデルの開発-

○栗野 穰太、谷島 正信、高田 昇(宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 通信・データ処理G)



近年の衛星運用要求、および機能性能要求は多様化しており、それらに対応するための通信機開発が求められている。我々はそれらの要求を可能な限り汎用的に満足するため、4つのモードを搭載したトランスポンダ(MTP)の開発を完了した。開発はSDS-1衛星搭載による軌道上実証モデル MTP (SDS-1/PFM)、及び認定試験モデル MTP (QTM)、また、複数のインターフェイスに対応させるためのモデル MTP(Type II)の開発を実施した。MTP (SDS-1/PFM)は2009年1月に打ち上げられたGOSATの相乗り衛星であるSDS-1に搭載され様々な軌道上実証実験をおこなった。それらの実証実験結果はMTP (QTM)の開発へと反映させた。開発が完了した MTP(QTM)は今後のLEO、GEOのJAXA衛星に広く使用される予定である(ALOS-2、GCOM-C1、ASTRO-G、ASTRO-H等に搭載予定)。MTP (SDS-1/PFM)による実証試験結果、およびMTP(QTM)、MTP(Type II)の主要機能、性能を示す。

*MTP (SDS-1/PFM): SDS-1実証衛星による軌道上実証実験モデル
*MTP (QTM): 認定試験モデル *MTP (Type II): インターフェイス改修モデル

<MTP (マルチモード統合トランスポンダ)>



MTP 外観 (SDS-1/PFM)

<ユーザ要求>

- ▶ 高ビットレート
- ▶ 低質量
- ▶ 低消費電力
- ▶ 複数変復調モード
- ▶ 低コスト

<ユーザ(ターゲット衛星)>

- ▶ SDS-1 (2009打ち上げ成功)
- ▶ ASTRO-G,H
- ▶ ALOS-2
- ▶ GCOM-C1
- ▶ Small Scientific Satellite

<MTP主要機能>

- ▶ USB/SSA/QPSK/CDMA 4モード変復調機能
- ▶ CCSDS 勧告準拠 (CDMA 及び QPSK アップリンクは勧告外)
- ▶ 受信信号識別による自動モード遷移機能
- ▶ コヒーレント/インコヒーレント切り替え機能
- ▶ 大きさ(外形寸法): 約84mm × 192mm × 110mm
- ▶ 質量: 3.4 kg以下、ノミナル消費電力: 33W

<受信性能>

Item	Specification
(1) Receiver performance (USB)	
a. Receiver designed frequency	2025 MHz to 2110 MHz (Tx frequency × 221 / 240)
b. Noise figure	< 2.3 dB
c. Data format	NRZ-L
(2) Receiver performance (USB)	
a. Demodulation	PSK/PM
b. Carrier input power level range	-110 to -40 dBm
c. Command bit rate	500 bps to 4 kbps (select one)
(3) Receiver performance (SSA)	
a. Demodulation	UQPSK, SQPN
b. Input power level	-134 to -40 dBm
c. Command bit rate	125 bps to 300 kbps (select one)
(4) Receiver performance(QPSK)	
a. Demodulation	QPSK
b. Input power level	-90 to -40 dBm
(ii) Command bit rate (I + Q)	512 kbps
(5) Receiver performance(CDMA)	
a. Demodulation	UQPSK, UQPSK
b. Input power level	-110 to -40 dBm
c. Command bit rate	500 bps to 32 kbps (500 × 2 n)

<送信性能>

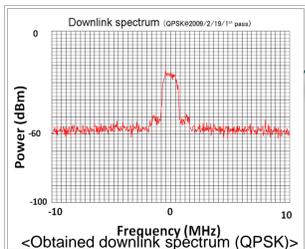
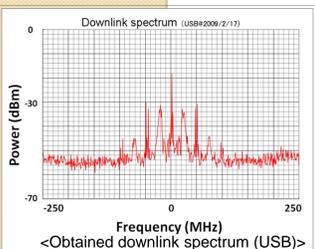
Item	Specification
(1) Transmitter performance (Common)	
a. Transmitter designed frequency	2200 MHz to 2290 MHz
b. Coherent mode	221 / 240 (receiver / transmitter frequency ratio)
c. Data format	NRZ-L
(2) Transmitter performance (USB)	
a. Modulation	PSK/PM
b. RF output power level	Select two levels under 5 W 1 k to 60 kbps (select one)
c. Bit rate	60 kHz (for symbol rates less than 15 kbps) Four times the symbol rate (for symbol rates greater than 15 kbps)
d. Subcarrier frequency	
(3) Transmitter performance (SSA)	
a. Modulation	SQPN
b. RF output power level	37.0 ± 1.0 dBm
c. Bit rate (I + Q)	125 bps to 300 kbps (select two)
(4) Transmitter performance (QPSK)	
a. Modulation	QPSK
b. RF output power level	Select one level under 5 W
c. Bit rate (I + Q)	1 Mbps, 2 Mbps (Select by command)
(5) Transmitter performance (CDMA)	
a. Modulation	UQPSK
b. RF output power level	Select one level under 5 W
c. Bit rate (I + Q)	1 kbps to 150 kbps (select two)

<軌道上実証実験結果>

MTP (SDS-1/PFM)はGOSAT衛星(2009年1月打ち上げ)の相乗り衛星であるSDS-1に搭載され、打ち上げ後2月から6月にかけて様々な軌道上実証実験をおこなった。主な軌道上実証実験内容は以下の通りである。(1)コマンド復調、テレメトリ変調確認(2)信号捕捉機能確認(3)自動モード遷移機能確認(4)測距機能確認(USB, SSA, CDMAモード)(5)干渉波識別機能確認(CDMAモード)。衛星間通信機能確認を含み、予定していたすべての実験を完了し、MTP(SDS-1/PFM)の機能、性能の確認を行った。

(i) コマンド受信、テレメトリ送信機能確認

- ▶ コマンド復調機能(コマンドデータ折り返しにより確認): BER < 10⁻⁶
- ▶ テレメトリ変調機能(地上局受信PNデータにより確認): BER < 10⁻⁵
- <すべてのモードにおいてコマンド復調、テレメトリ変調機能を確認>



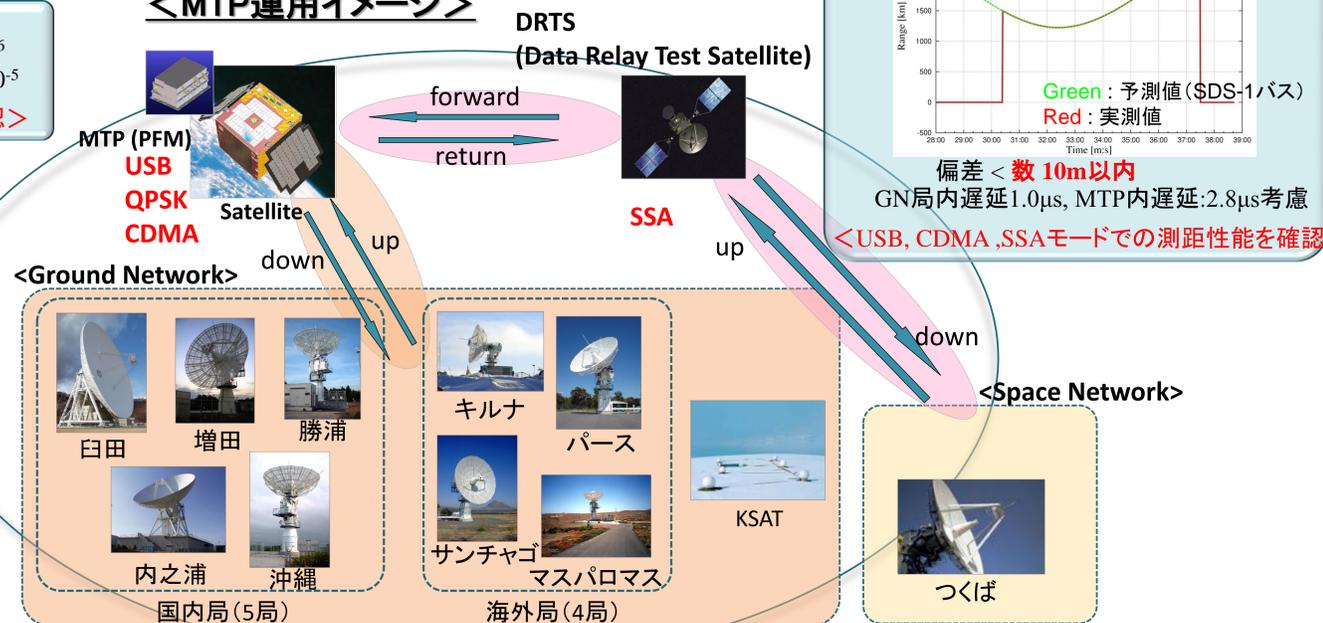
(ii) 信号捕捉機能確認

- ▶ USB: 搬送波スイープ
- ▶ QPSK: 1,0,1,0...変調信号送信
- ▶ CDMA: PN拡散(データ0,0,0...)信号送信
- ▶ SSA: PN拡散(データ0,0,0...)信号送信

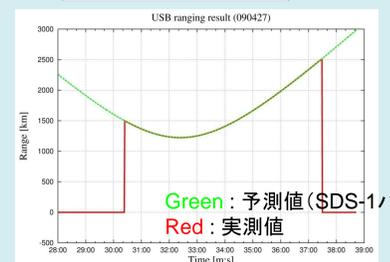
<全てのモードで数秒以内に捕捉することを確認>

Acquisition!

<MTP運用イメージ>



(iv) 測距性能確認



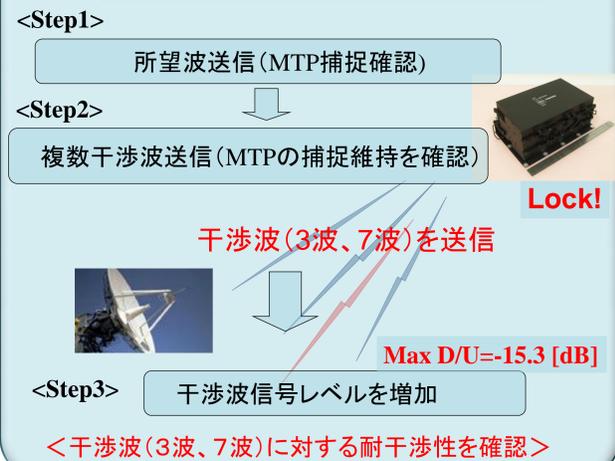
偏差 < 数10m以内
GN局内遅延1.0μs, MTP内遅延:2.8μs考慮
<USB, CDMA, SSAモードでの測距性能を確認>

(iii) 自動モード遷移機能確認

- ▶ USBモード→(SSA信号検出)→SSAモードへ自動遷移
- ▶ QPSKモード→(SSA信号検出)→SSAモードへ自動遷移
- ▶ QPSKモード→(USB信号検出)→USBモードへ自動遷移

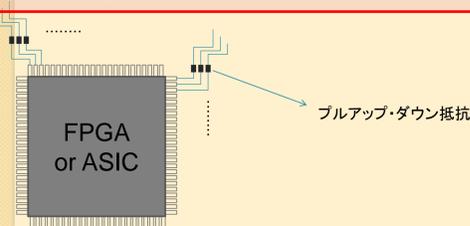


(v) 干渉波識別機能確認 (CDMAモード)



<MTP(Type II)の開発(汎用性向上)>

衛星搭載の汎用性を向上させるため、複数のインターフェイスに対応させるための開発を行った。ASICおよびFPGAのプルアップ、プルダウン抵抗を実装することでユーザが要求するインターフェイスに対応させる事を可能とした。ASIC,FPGAそれぞれで選択可能な範囲を以下に示す。



<ASICピンによる機能選択>

機能	選択範囲
SSA 変復調機能	ENA DIS
USB 変復調機能	ENA DIS
CDMA 変復調機能	ENA DIS
CDMA 受信レート(低)	500 bps - 32 kbps
CDMA 受信レート(高)	500 bps - 32 kbps
SSA受信レート(低)	125 bps - 250 kbps
SSA受信レート(高)	125 bps - 256kbps
USB 受信レート	500bps or 1kbps or 2kbps or 4kbps

<FPGAピンによる機能選択>

機能	選択範囲
CDMA ユーザコード	user0 - user 31
SSA ユーザコード	NASDA 1 - 85
QPSK 差動符号化	ON OFF
QPSK 畳み込み符号化	ON OFF
BPSK 受信機能	ENA DIS
USB 畳み込み符号化	ON OFF
USB 副搬送波	4 times 60kHz (fixed)
SM/SD インターフェイス	type A type B

<まとめ>

- ▶ MTP(SDS-1/PFM)、MTP (QTM)、およびMTP(Type II)の開発を完了した
- ▶ MTP (SDS-1/PFM) は軌道上実証実験用としてSDS-1に搭載
- ▶ SDS-1は2009年1月にGOSATの相乗り衛星として打ち上げ
- ▶ 軌道上でMTPの機能・性能確認のために実証実験を実施(2009年2月-6月)
- ▶ MTP(SDS-1/PFM)のすべての機能・性能を軌道上で確認
- ▶ 軌道上実証実験結果をMTP (QTM)の開発にフィードバック
- ▶ MTP は多くのJAXA衛星(LEO、GEO軌道)に搭載される予定 (ALOS-2、GCOM-C1、ASTRO-G、ASTRO-H等)