

4.2.3 高度移動体衛星通信実験 搭載中継器系

西田 正純*¹ 峯野 仁志*¹ 川又 文男*² 大内 智晴*¹
磯部 俊吉*³ 内藤 秀之*⁴

(1996年11月14日受理)

4.2.3 THE TRANSPONDERS FOR THE ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

By

Masazumi NISHIDA, Hitoshi MINENO, Fumio KAWAMATA, Chiharu OHUCHI,
Shunkichi ISOBE, and Hideyuki NAITO

The advanced mobile satellite communications equipment on-board the COMETS includes two types of transponder: a regenerative transponder and a filter-bank transponder.

The regenerative transponder employs a communication scheme that is suitable for direct communication via a satellite between small earth stations that have limited transmission power and reception capabilities. The scheme uses SCPC for the up-link and TDM for the down-link, and is the world's first attempt to employ this format for these links.

The filter-bank transponder uses an IF relay scheme and can cope with any communication format. The configuration is such that the three antenna beams can be mutually connected by band-pass filters combined in a matrix, and that the route can be selected according to the up-link frequency. The filters include narrow-band (500kHz) and broad-band (6MHz) types, and the frequency band is used according to the communication requirements. The Ka band (31GHz/21GHz) and the millimeter band (47GHz/44GHz) are used for the RF. The millimeter band is the world's highest frequency for civilian satellite communications.

[キーワード] 衛星通信, 通信放送技術衛星, フィルタバンク, 再生中継器, パーソナル通信.
Satellite communications, COMETS, Filter bank, Regenerative transponder, Personal communication.

1. はじめに⁽¹⁾

次世代の通信衛星として、身近で経済的な通信衛星が求められている。通信放送技術衛星 (COMETS) では、ミッションの一つとして高度移動体衛星通信実験

(MCE) 中継器を搭載しており、移動体局や携帯局同士が静止衛星を用いた直接通信を行うのに必要な技術の開発を目指し、実験を行うことにしている。

この中継器には地球局アンテナの小型化に有利となるKa帯 (2ビーム) とミリ波帯 (1ビーム) のマルチビーム構成のアンテナを搭載し、ビーム間のオンボード交換・ビーム間接続技術として、再生中継器とフィルタバンクの2方式を採用した。

本論文では、中継器の機能、概要を述べ、地上試験で

*¹ 宇宙通信部 衛星通信研究室

*² 企画部 企画課

*³ 郵政研究所 技術開発研究センター

*⁴ 標準計測部 測定技術課

測定されたデータを紹介する。

なお、本論文では、単に“関東”といえはKa帯関東を指す。また、関東ビームといった場合の“ビーム”という言葉はアンテナビームのことを、関東ルートというときには中継器内の通常のスイッチ切り替え状態で関東ビームにつながる受信機、送信機をいう。

2. 概要^(2~4)

COMETSの高度移動体衛星通信実験搭載中継器には、再生中継器とフィルタバンク中継器の2種類の中継器を搭載している。

フィルタバンク中継器はIF中継方式であり、任意の通信方式に対応できる。3つのアンテナビーム相互間の接続が可能のように、バンドパスフィルタをマトリクス状に組み、上り周波数によってルートが選択される構成となっている。フィルタ群には広帯域(6MHz)と狭帯域(500kHz)の2種類を用意し、通信に必要な帯域のみを伝送することとした。

再生中継器の通信方式としては、送信電力や受信性能に制約のある小型地球局同士が衛星を介して直接通信を行うのに適した方式として、上り回線にはSCPCを、下り回線にはTDMを採用した。上りと下りでこの組み合わせの通信方式を用いるのは世界初の試みである。

RF周波数にはKa帯(31GHz/21GHz)とミリ波帯(47GHz/44GHz)を用いている。ミリ波は民生用衛星通信では世界最高の周波数である。

3. 中継器の構成^(5~6)

中継器の全体構成は本「季報」特集号の「4.2.1 高度移動体衛星通信実験 搭載機器の概要」で述べたとおりであるが、改めて全体構成図を第1図に示す。

アンテナに入力されたKa帯関東ビーム、Ka帯東海ビーム、ミリ波帯ビームの3ビームはそれぞれの受信部を通過して140MHz帯中間周波数(IF)に落とされ、IF中継部(フィルタバンク部)に入る。フィルタバンクでは、再生中継器用の信号を分離して、再生中継部(再生中継器)に送るとともに、IF周波数によって関東、東海、ミリ波の各ルートに振り分けられる。さらにIF中継部の出力側では、再生中継器からの出力も加えられて送信部に送られる。各ルートの送信部に入った信号は、送信周波数に変換され、高出力増幅され、アンテナから送り出される。

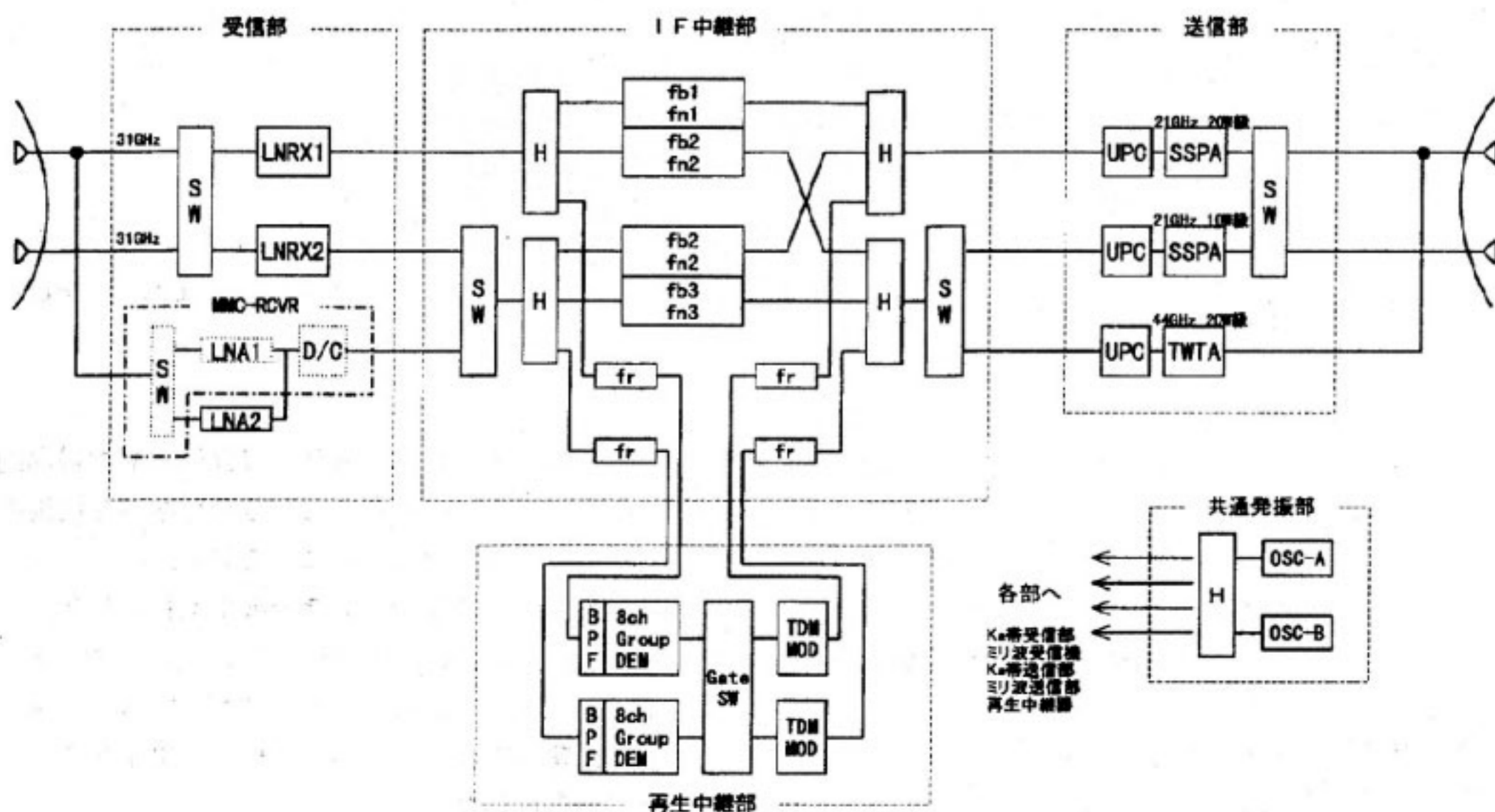
以下本論文では各部位ごとにその機能・性能の詳細についてみていくことにする。

中継器全体の構成品目を各部位ごとに分けて第1表に示す。また、第2図にはミリ波入出力部(ミリ波帯の送受信部)と再生中継器を除いた、Ka帯入出力部(Ka帯の送受信部)及びフィルタバンクの外観、第3図にはミリ波入出力部と共通発振部の外観を示す。

4. 入出力部

4.1 Ka帯入力部

Ka帯アップリンクには、中心周波数30.772GHzの

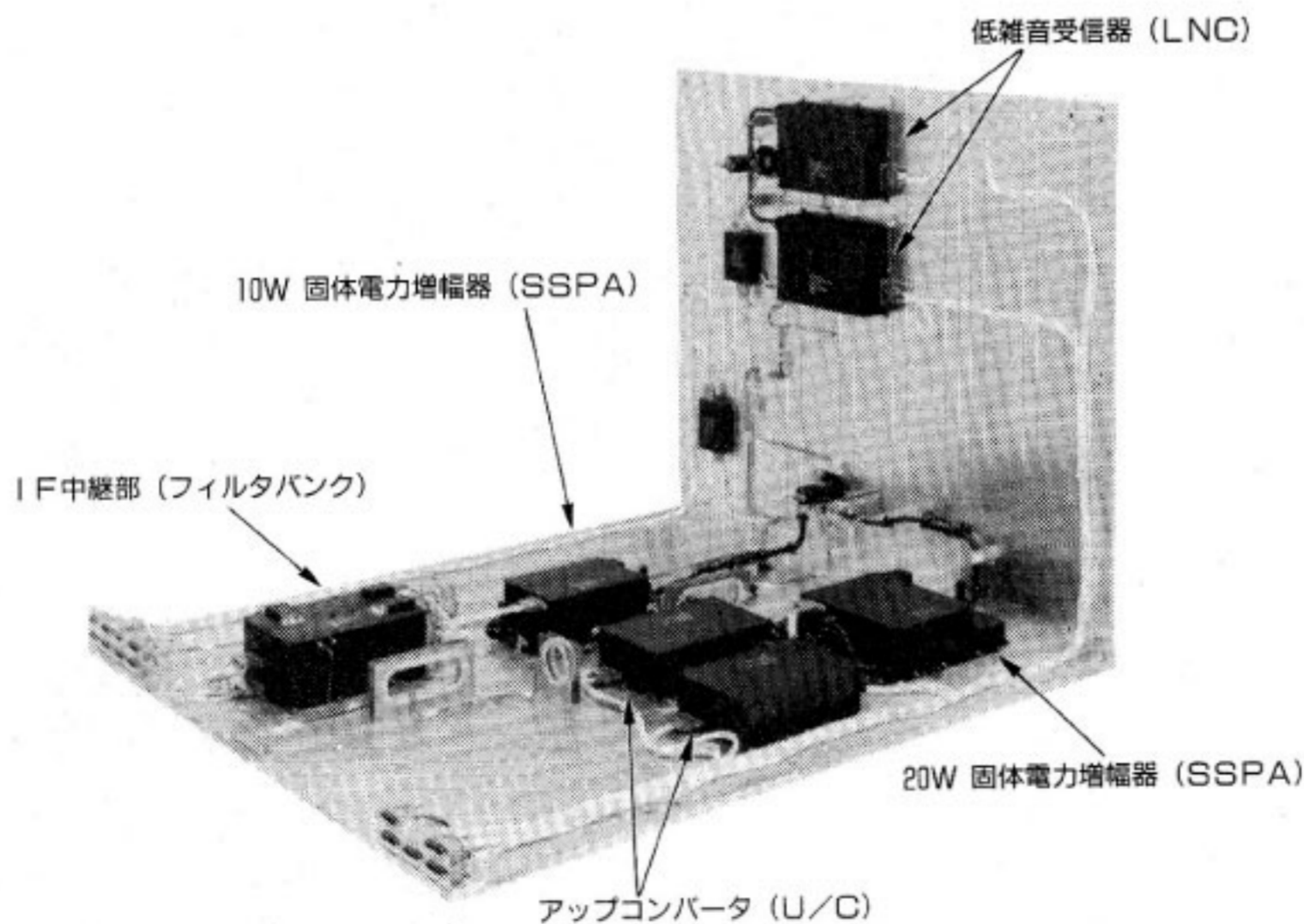


第1図 MCE全体構成図

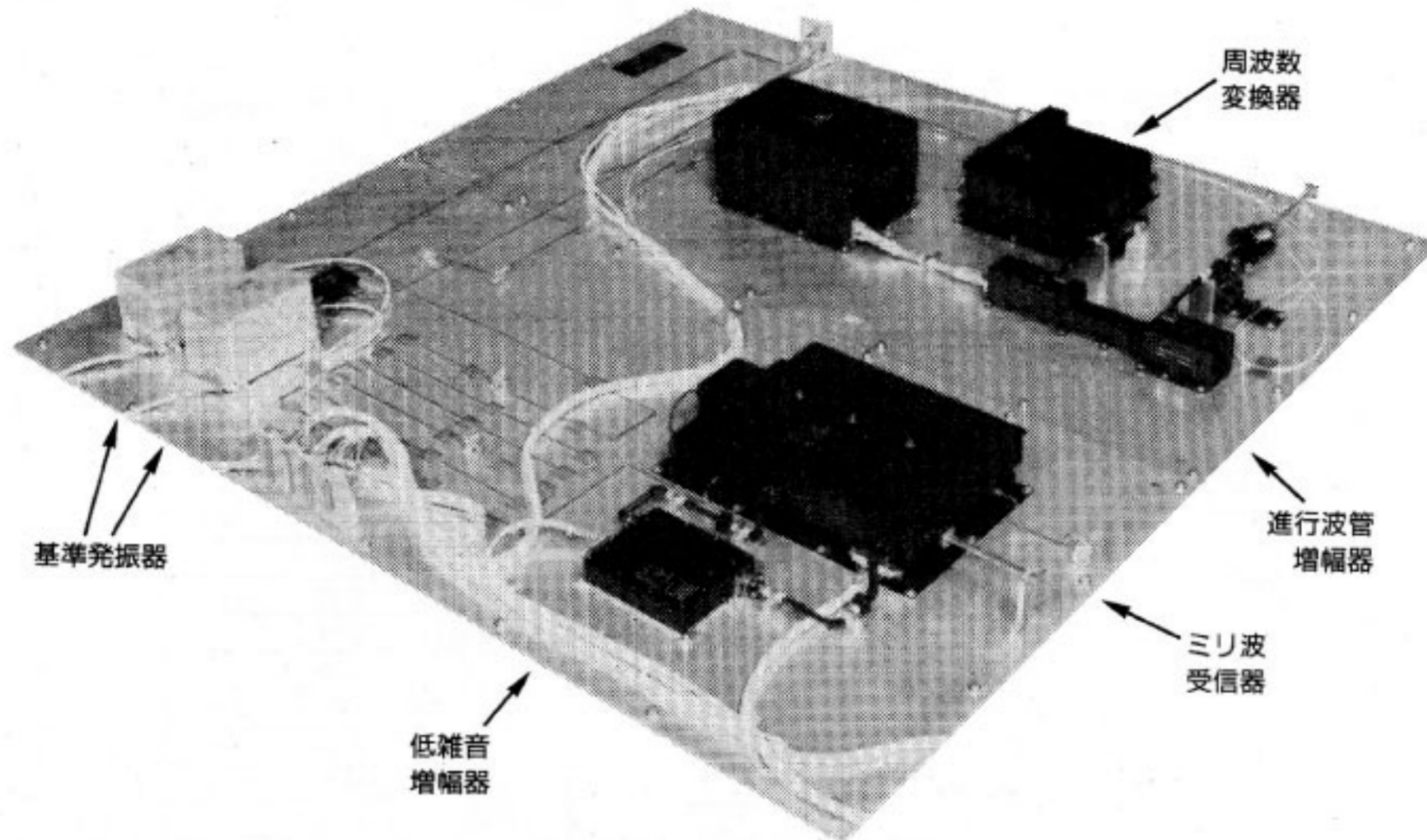
第1表 中継器構成目

部位	コンポーネント名称	略称	数量	寸法(mm)	重量(kg)	消費電力(W)
Ka帯 入力部	Ka 入力スイッチ	KMC-INSW	1	66*66*104	0.19	—
	Ka 入力スイッチドライバ	KMC-ISDV	1	80*110*35	0.25	2.5
	Ka 低雑音受信機1	KMC-LNRX1	1	260*180*70	2.44	6.8
	Ka 低雑音受信機2	KMC-LNRX2	1	260*180*70	2.44	6.9
ミリ波 入力部	ミリ波低雑音増幅器	MMC-LNA	1	380*250*96	0.80	0.6
	ミリ波受信部	MMC-RCVR	1	136*120*31	3.68	8.8
Ka帯 出力部	Ka アップコンバータ1	KMC-UPC1	1	170*272*84	2.74	5.5
	Ka アップコンバータ2	KMC-LPC2	1	170*272*84	2.73	5.4
	Ka 固体増幅器1(20W)	KMC-SSPA1	1	354*274*88	6.44	237.1
	Ka 固体増幅器2(10W)	KMC-SSPA2	1	174*274*95	4.05	137.7
	Ka 出力フィルタ1	KMC-OFIL1	1	22*22*74	0.07	—
	Ka 出力フィルタ2	KMC-OFIL2	1	22*22*74	0.07	—
	Ka ハイブリッド	KMC-HYB	1	41*32*21	0.07	—
	Ka 出力スイッチ	KMC-OSW	1	66*66*87	0.19	—
	Ka 出力スイッチドライバ	KMC-OSDV	1	80*110*35	0.25	2.5
ミリ波 出力部	ミリ波アップコンバータ	MMC-UPC	1	250*200*92	2.34	8.4
	ミリ波進行波管増幅器	MMC-TWTA	1	335*81*69	6.71	100.9
	ミリ波出力フィルタ	MMC-OFIL	1	115*44*25	0.11	—
フィルタバンク 中継器	IF 接続部	KMC-FBNK	1	275*180*137	5.89	19.6
再生中継器	再生中継器	MC-MODEM	1	330*240*131	21.2	22.0
共通発振部	マスタオシレータ	MMC-OSC-A	1	150*106*102	0.86	3.1
	マスタオシレータ	MMC-OSC-B	1	150*106*102	0.86	3.1
	ミリ波局発ハイブリッド	MMC-HYB	1	57*72*52	0.08	—
接続系	接続同軸ケーブル	KMC-CBL	1	—	0.60	—
	接続同軸ケーブル	MMC-CBL1	1	—	0.01	—
	接続同軸ケーブル	MMC-CBL2	1	—		—
	接続導波管	KMC-WG	1	—	0.49	—
	接続導波管	MMC-WG1	1	—	0.04	—
	接続導波管	MMC-WG2	1	—	0.05	—
	接続導波管	MMC-CBL3	1	—	0.14	—
	接続導波管	MMC-CBL4	1	—		—

ミリ波進行波管増幅器の寸法は本体のみの値



第2図 Ka帯入出力部及びフィルタバンクの外観



第3図 ミリ波入出力部と共通発振部の外観

関東ビーームと中心周波数 30.828GHz の東海ビーームの 2 系統がある。それぞれを個別の低雑音受信機 (KMC-LNRX) で増幅し、中心周波数 140MHz の中間周波数 (IF) 信号に変換し、フィルタバンクに出力する。30 GHz 帯において雑音指数 4.2dB を満足させるため、低雑音増幅器は HEMT チップを採用した。また、周波数が高いことから、ハーメチック構造とした。

周波数変換に用いるローカル信号は MCE 中継器全体で共通の 14MHz の原振が用いられ、関東ルート受信機と東海ルート受信機では通倍器の通倍次数を変えることで対処している。

低雑音受信機の前に入力スイッチが設けてあり、入力系統の接続を変更することにより、それぞれの受信系統を相互に切り替え可能である。ただし低雑音受信機の受信周波数はそれぞれのビーームの中心周波数に固有であるため、スイッチを切り替えた際には地球局からの送信周波数をそれに合わせてやる必要がある。

2 台の低雑音受信機は、コマンド信号により個別にそれぞれの機器の起動・停止を行え、テレメトリ信号により機器の動作状態、受信電力 (AGC 電圧から換算) をモニタできる。入力スイッチは入力スイッチドライバに対するコマンド信号により切り替えが行え、状態がテレメトリ信号でモニタできる。

また、低雑音受信機には過大入力保護機能を設け、過飽和動作を防止している。

第 2 表に Ka 帯入力部の主要性能を示す。

4.2 ミリ波入力部

ミリ波入力部は、中心周波数 46.886GHz のミリ波アップリンク信号を低雑音増幅し、中間周波数 (IF) 信号

に変換してフィルタバンクに出力する機能を持つ。

ミリ波入力部は、ミリ波受信部 (MMC-RCVR) とミリ波低雑音増幅器 (MMC-LNA) の 2 つの筐体からなるが、ミリ波受信部にも低雑音増幅器を内蔵しており、低雑音増幅器を 2 式持っていることになる。ミリ波受信部に内蔵の低雑音増幅器を LNA1、別筐体になっている低雑音増幅器を LNA2 と呼ぶことにする。LNA1 と LNA2 の切り替えはやはりミリ波受信部に内蔵しているスイッチで行う。LNA2 の出力は再びミリ波受信部に入力され、LNA1 か LNA2 かどちらかの信号が使われる。

LNA2 にはミリ波帯用に開発した新スーパー HEMT を採用した。特徴としては、ゲート長 $0.1\mu\text{m}$ 以下、ゲート幅 $100\mu\text{m}$ 、ゲート金属はタングステンシリサイド/金である。単体としての雑音指数は 2.4dB を達成した。ただし、この技術は宇宙での実績がないので、実績のある技術で作成された LNA1 とともに 2 式の LNA を搭載した。

低雑音増幅された信号は、ミリ波受信部内のダウンコンバータでダブルコンバージョン方式で中心周波数 140 MHz の中間周波数に変換される。ローカル信号は MCE 共通の 14MHz の原振が用いられる。

ミリ波受信部とミリ波低雑音増幅器 (LNA2) とはそれぞれ別個にコマンドによる ON/OFF が可能であり、LNA 選択コマンドにより切替えられる。機器の動作状態や入力電力レベルは、テレメトリ信号によりモニタできる。受信レベルテレメトリは、両方の LNA で共通であり、使用している LNA によりテレメトリ変換テーブルを読み替えて使用する。

第2表 Ka帯入力部主要性能

項目	規格値	実測値	備考
入力周波数	30.772GHz ± 18MHz 30.828GHz ± 18MHz	— —	LNRX-1 LNRX-2
出力周波数帯域	140MHz ± 18MHz	OK	
入力信号レベル	-117 dBm nominal	—	1波当たり
過大入力	-82dBm 入力に対して 損傷を受けないこと	OK	
利得	77 ± 0.5dB	77.4 / 77.5	LNRX-1 / LNRX-2
帯域内偏差	0.5 dB _{p-p} / 6MHz	0.3 / 0.3	LNRX-1 / LNRX-2
雑音指数	3.8dB 以下(単体特性)	2.9 / 3.4	LNRX-1 / LNRX-2
入力 VSWR	1.2 以下	1.11 / 1.15	LNRX-1 / LNRX-2
出力 VSWR	1.5 以下	1.44 / 1.47	LNRX-1 / LNRX-2
3次混変調歪み	30 dB 以上	37.2 / 37.8	LNRX-1 / LNRX-2
スプリアス出力	D/U 25dB 以上 D/U 40dB 以上	36.4 以上 41.6 以上	帯域外 帯域内
入力スイッチ 挿入損	0.2dB 以下	0.3dB * 0.4dB *	LNRX1 まで LNRX2 まで

*:実測値は LNRX までの導波管損失を含んだ値である

第3表 ミリ波入力部主要性能

項目	主要規格	実測値	備考
入力中心周波数	46.886 GHz	公称	
入力信号レベル	最大 -87dBm	公称	
出力中心周波数	140MHz	公称	
出力信号レベル	-10dBm	-10.1dBm -12.2dBm	LNA1 使用時 LNA2 使用時
線形利得	77dB(公称)	76.5dB 74.8dB	LNA1 使用時 LNA2 使用時
LNA2 単体線形利得	31dB ± 1 dB	31.2dB	LNA2 単体
帯域内偏差	1dB 以下	0.4dB _{p-p}	f ₀ ± 18MHz
温度利得変動	± 1 dB (設計 値)	+0.33dB -0.30dB	-10 ~ 40°C (23°Cに対する)
LNA2 温度利得変動	0.1dB 以下	0.07dB	LNA2 単体
雑音指数 (f ₀ ± 18MHz)	5.6dB 以下 4.6dB 以下 4.6dB 以下 3.0dB 以下	5.3dB 4.3dB (換算値) 2.9dB (換算値) 2.4dB (単体実測 値)	中継器入力端 LNA1 時 LNA1 入力端 換算値 LNA2 入力端 換算値 LNA2 単体
入力 VSWR	1.3 以下	1.08 以下	機器は非動作
出力 VSWR	1.3 以下	1.18 以下	機器は非動作
スプリアス(D/U 比)	40dB 以上	44dB	f ₀ ± 18MHz

ミリ波入力部の主要性能を第3表に示す。

4.3 Ka帯出力部

Ka帯出力部は、フィルタバンクからの140MHz帯IF信号を関東ルートUPC(アップコンバータ)1では30.7685GHzの関東ビーム用の周波数に、東海ルートUPC2では30.8315GHzの東海ビーム用の周波数に変換して、SSPA(固体増幅器)1およびSSPA2で電力増幅し、給電部へ出力する。UPCで使用するローカル信号はMCE共通の14MHzの原振が用いられる。

SSPA1, SSPA2の出力電力はそれぞれ20W, 10Wである。SSPAで高出力を得るために、次のような工夫をした。

- FET MMICにより構成された高出力増幅器チップを使用。
- MMICチップとしての出力電力に限界があるため、16合成(SSPA-1), 8合成(SSPA-2)を行っている。
- 出力信号の合成は、気密パッケージ内で2合成を行い、

その出力を導波管ハイブリッドで合成。

- 入力信号の分配は、MMICにより構成されたハイブリッドを採用。
 - ドライバモジュール内の利得可変増幅器により温度変動を補償。
 - 低温時の消費電力増大、高温時の出力電力低下の防止のため、電源電圧をコントロール。
 - 発熱密度を下げ、チップ温度を許容範囲に押さえるため、平板型ヒートパイプを使用。熱媒体はアンモニア。
- SSPA1及びSSPA2の出力と給電部との接続は、出力スイッチにより送信系統を相互に切り替えることができる。ただし、UPCの変換周波数はそれぞれに固定であるため、出力スイッチを切り替えた際には地球局の受信周波数を合わせてやる必要がある。

2台のアップコンバータ、SSPAは、コマンド信号によりそれぞれの機器の起動・停止が、また出力スイッチは状態変更が可能であり、テレメトリ信号により機器の動作状態とSSPA出力レベルをモニタできる。

第4表にKa帯出力部の内のアップコンバータの、第5表にSSPAの主要性能を示す。SSPA1の構成を第4図に示す。

4.4 ミリ波出力部

ミリ波出力部は、フィルタバンクからの140MHz帯IF信号をアップコンバータによってダブルコンバージョン方式で43.764GHzのミリ波ダウンリンク周波数に変換し、TWTA（進行波管）で約20Wまで増幅し、給電部へ出力する。UPCで使用するローカル信号は、MCE共通の14MHzの原振が用いられる。

アップコンバータ、TWTAはコマンド信号によりそれぞれの機器の起動・停止が可能であり、テレメトリ信号により機器の動作状態と出力レベルをモニタできる。

ミリ波出力部の主要性能を第6表に示す。

5. フィルタバンク中継器

フィルタバンクは、関東ルート、東海ルート、およびミリ波ルートのIF信号について、それぞれのビーム間接続および再生中継器との接続を行う。

フィルタバンクに2系統のKa帯受信機とミリ波受信機から入力された信号は、フィルタ群により周波数分割が行われ、Ka帯送信機とミリ波送信機、再生中継器に送られる。また、Ka帯とミリ波の送信機に送られる信号にはそれぞれに再生中継器からの信号も合成される。

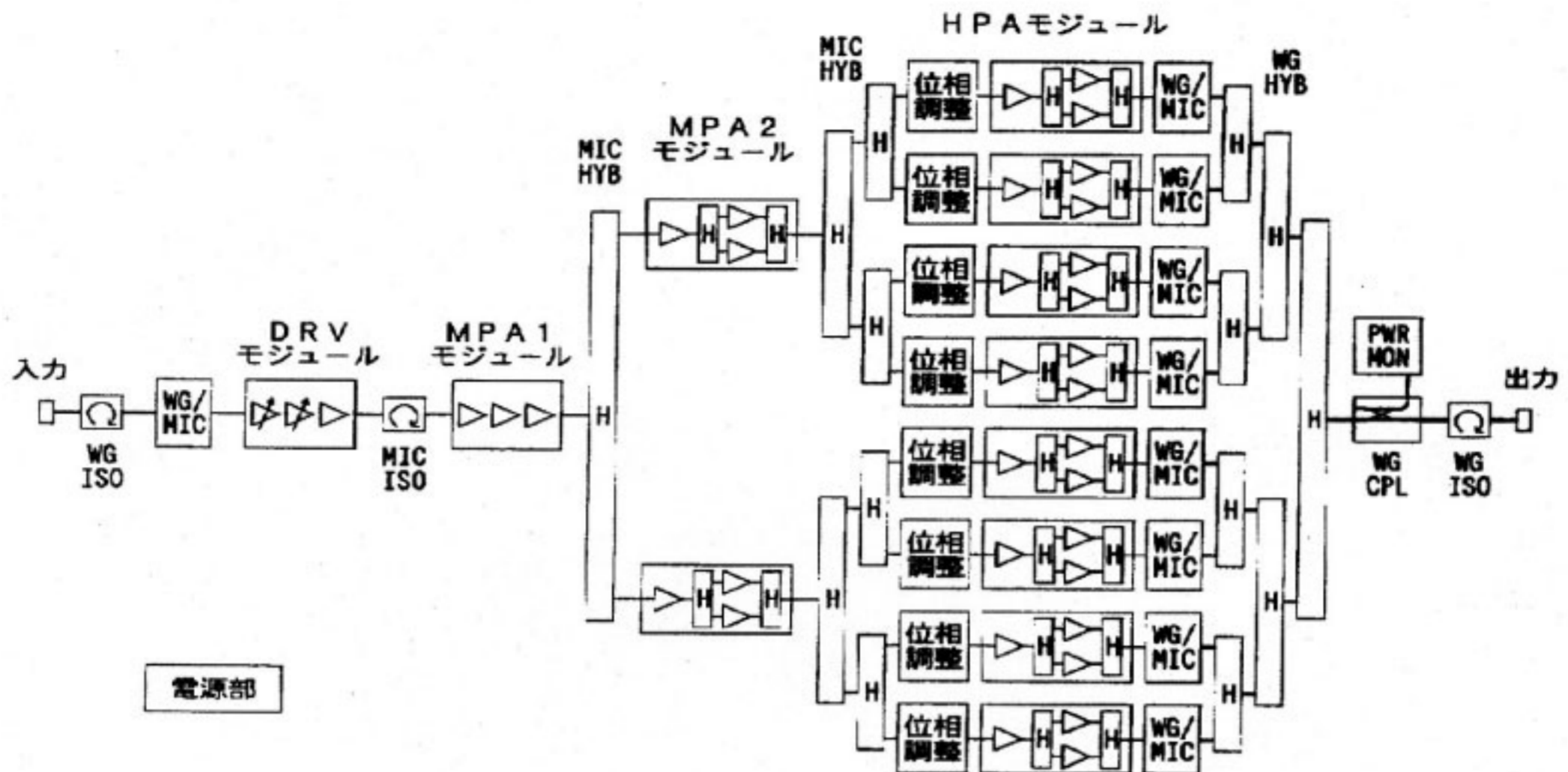
第4表 Ka帯出力部アップコンバータ主要性能

項目	規格値	実測値	備考
入力周波数帯域	140±18MHz	—	
出力周波数帯域	21.000GHz±18MHz 21.056GHz±18MHz	OK	UPC 1 UPC 2
利得	9±0.5dB	8.5 / 8.9	UPC 1 / UPC 2
帯域内偏差	0.4 dBpp / 6MHz	0.4 / 0.4	UPC 1 / UPC 2
入力VSWR	1.5 以下	1.32 / 1.36	UPC 1 / UPC 2
出力VSWR	1.2 以下	1.09 / 1.06	UPC 1 / UPC 2
3次混変調歪み	30 dB 以上	36.3 / 39.1	UPC 1 / UPC 2
スプリアス (D/U比)	50dB 以上 40dB 以上	52.4 以上 61.0 以上	帯域外 帯域内

第5表 Ka帯出力部固体増幅器主要性能

項目	主要規格	実測値	備考
増幅器出力端最大出力 (SSPA-3.5dBm 入力時)	43dBm 以上 40dBm 以上	43.7dBm 42.0dBm	SSPA1 SSPA2
帯域内偏差	0.2dB 以下 0.2dB 以下	0.13dB 以内 0.05dB 以内	SSPA1 SSPA2
3次混変調歪み*	13dB 以上 13dB 以上	17.2dB 14.2dB	SSPA1 SSPA2
AM/PM 変換係数	5deg/dB 以下 5deg/dB 以下	3.3deg/dB 以下 2.9deg/dB 以下	SSPA1 SSPA2
中継器出力端最大出力 (中継器-87dBm 入力時)	42dBm 以上 39dBm 以上	43.1dBm 41.4dBm	SSPA1 SSPA2

*:飽和 -3dB 出力を得る入力レベルから -3dB の2波を入力したときの値



第4図 SSPA1の構成

第6表 ミリ波出力部主要性能

項目	規格値	実測値	備考
入力中心周波数	140MHz	—	
出力中心周波数	43.764GHz	OK	
飽和出力レベル	43dBm 以上 42dBm 以上	43.7dBm 43.0dBm	TWTA 出力端 中継器出力端
線形利得	60dB(公称)	66.0dB	
帯域内偏差 $f_0 \pm 18\text{MHz}$	1dB 以下	0.3dB p-p	入力レベル -10dBm
温度利得変動 (設計値)	$\pm 1 \text{ dB}$	+0.33dB -0.30dB	-10 ~ 40°C (23°Cに対する)
LPC 入力 VSWR	1.3 以下	1.13	機器は非動作
TWTA 出力 VSWR	1.3 以下	1.15	機器は非動作
3次混変調歪み*	7dB 以上	20.1	飽和レベル-3dB以下の範囲にて
AM/PM 変換係数	7deg/dB 以下	4 以下	$f_0 \pm 18\text{MHz}$

*:飽和 -3dB 出力を得る入力レベルから -3dB の2波を入力したときの値

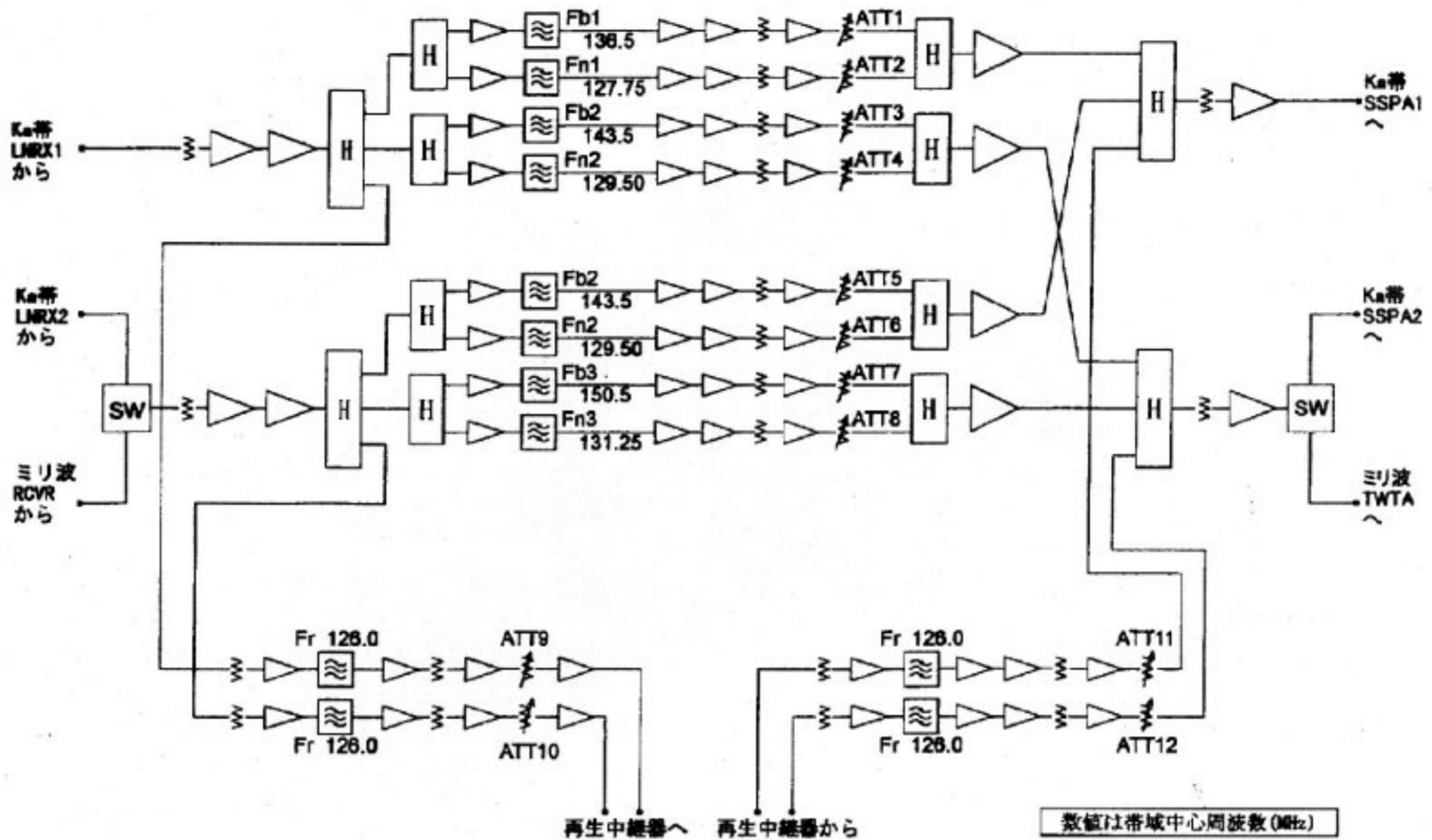
東海ルートとミリ波ルートからの信号をフィルタバンクの入出力部の同軸スイッチにて切り換えることで、フィルタ部分の信号路を共用とした。この共用により、フィルタとそれに付随するアンプ、アテネータは9系統から4系統に削減され、大幅な重量および電力の削減が図れた。Ka帯入出力スイッチと合わせて操作することにより、この共用化で、東海ビーム-ミリ波ビーム間の双方向通信のみが不可能となった。

フィルタバンク中継器の動作概念および概略の構成については本「季報」特集号の「4.2.1 高度移動体衛星

通信実験 搭載機器の概要」に示した通りであるが、ここでは詳細の構成を第5図に示す。

Ka帯、ミリ波帯の受信機と送信機を接続するフィルタには、それぞれに広帯域 (fb1, fb2, fb3; 6MHz) と狭帯域 (fn1, fn2, fn3; 500kHz) の2系統が用意されている。また、再生中継器の入力2系統、出力2系統にも再生中継器用フィルタ (fr; 800kHz) が入っている。各フィルタには急峻な選択特性を有するSAWフィルタを採用した。

全フィルタにはステップアテネータ (ATT) が入っ



第5図 フィルタバンク中継器の構成

ており、コマンドにより利得を 2dB ステップで 0dB ~20dB 以上の範囲で調整することができる（実際にはアッテネーションは -2dB~28dB の範囲で調整できるが、性能補償範囲は 0dB~20dB に限られる）。パワーオンリセット時には各フィルタは 10dB に設定される。コマンドによりまずアテネータ量を設定する ATT を選択し、ATT up または ATT down のコマンドを与えることにより、アテネータ量の設定を行う。選択されている ATT のアテネータ量がテレメトリとしてモニタできる。

それ以外のコマンドには、フィルタバンクの起動/停止、入出力スイッチの切り替えがあり、テレメトリでのモニタが可能である。

フィルタバンクの主要特性を第7表に、各ルート毎の広帯域フィルタのフィルタ特性を第8表に、同様の狭帯域フィルタ特性（再生中継器用フィルタを含む）を第9表に示す。また、フィルタ特性の代表例として、IF 中継部の入出力端で測定した関東ビーム-関東ビームの広帯域フィルタ特性図 (fb1, ATT1 = 10dB)、狭帯域フィルタ特性図 (fn1, ATT2 = 10dB) を第6~7図にそれぞれ示す。

6. 再生中継器

6.1 概要^(7~9)

MCE のもう 1 つの中継器である再生中継器は、文字通り衛星上で受信信号の復調・復号を行い（再生）、再

第7表 フィルタバンク主要性能

項目	主要規格	実測値
広帯域フィルタ特性		
中心周波数	136.5MHz (fb1) 143.5MHz (fb2) 150.5MHz (fb3)	-
減衰可変範囲	0~20 dB 2 dB ステップ	* -2~28dB
フラット帯域	6MHz	OK
小信号利得	第8表, 参照	第8表, 参照
帯域内振幅偏差	2.5dB 以下	第8表, 参照
群遅延偏差	500 nsec p-p 以下	第8表, 参照
狭帯域フィルタ特性		
中心周波数	127.75MHz (fn1) 129.50MHz (fn2) 134.25MHz (fn3)	-
減衰可変範囲	0~20 dB 2 dB ステップ	* -2~28dB
フラット帯域	0.5MHz	OK
小信号利得	第9表, 参照	第9表, 参照
帯域内振幅偏差	1.3dB 以下	第9表, 参照
群遅延偏差	500 nsec p-p 以下	第9表, 参照
再生中継用フィルタ特性		
中心周波数	126MHz(fr)	-
減衰可変範囲	0~20 dB 2 dB ステップ	* -2~28dB
フラット帯域	0.8MHz	OK
小信号利得	第9表, 参照	第9表, 参照
帯域内振幅偏差	1.0dB 以下	第9表, 参照
群遅延偏差	500 nsec p-p 以下	第9表, 参照

* 利得可変範囲については 0~20dB について規定されており、それ以外の範囲については性能保証されていない。

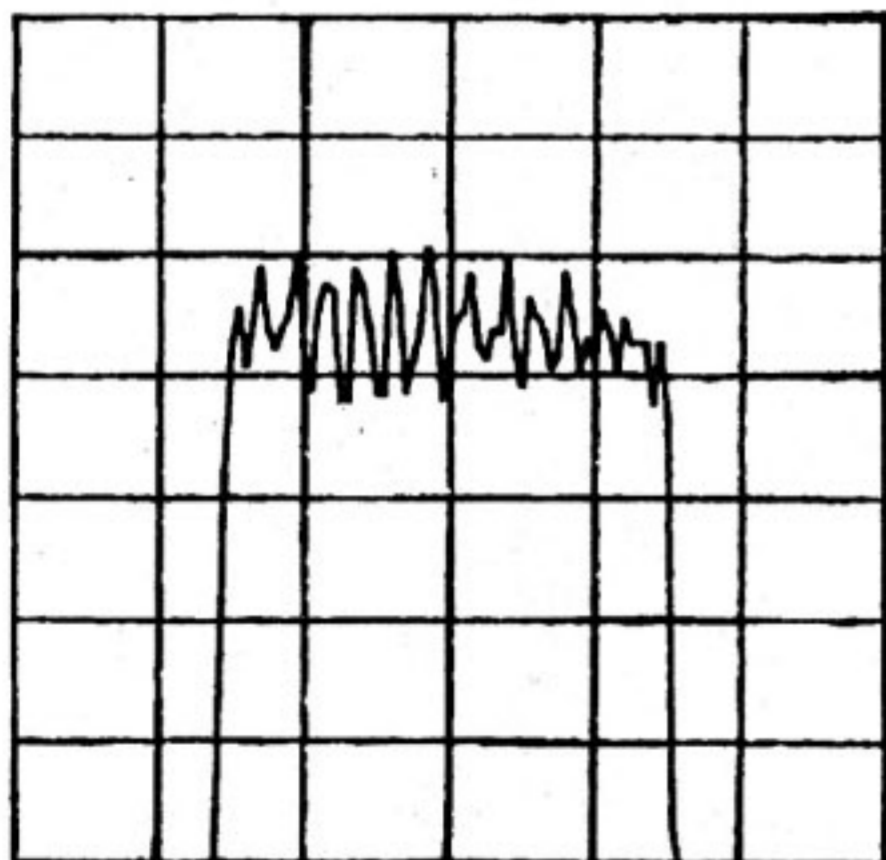
第8表 広帯域フィルタバンク特性

出力 入力	関東ビーム	東海/ミリ波ビーム
関東ビーム	fb1 : 136.5MHz ATT-1 -5.67dB (-5±1.5dB) 0.63dB (2.5dB 以下) 56.4nsec(400nsec 以下)	fb2 : 143.5MHz ATT-3 -2.28dB (-2±1.5dB) 0.55dB (2.5dB 以下) 62.4nsec(400nsec 以下)
東海/ミリ波ビーム	fb2 : 143.5MHz ATT-5 -4.94dB (-5±1.5dB) 0.85dB (2.5dB 以下) 37.9nsec(400nsec 以下)	fb3 : 150.5MHz ATT-7 -2.26dB (-2±1.5dB) 0.61dB (2.5dB 以下) 80.1nsec(400nsec 以下)

各欄の内容は上から
使用フィルタ：中心周波数
使用 ATT
小信号利得(ATT=10dB 時)
帯域内振幅偏差
群遅延偏差
(かっこ内は設計値であり、
規格値とは一部異なる)

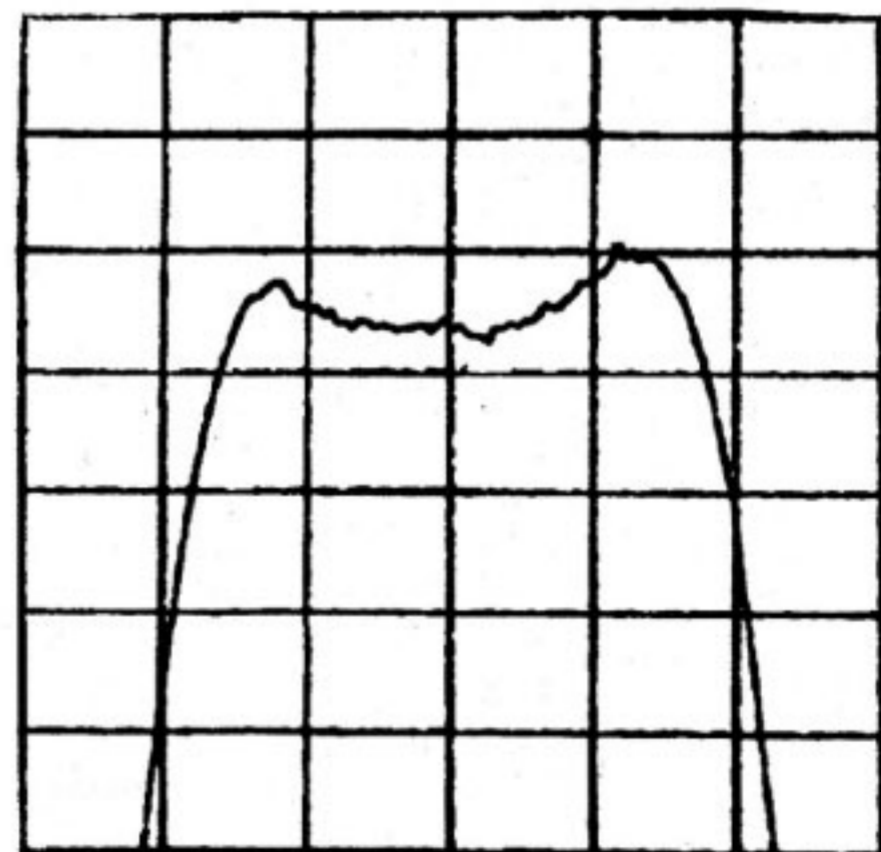
第9表 狭帯域フィルタバンク特性

出力 入力	関東ビーム	東海/ミリ波ビーム	再生中継器
関東ビーム	fn1 : 127.75MHz ATT-2 4.63dB (5±1.5dB) 0.35dB (1.3dB 以下) 44.4nsec(400nsec 以下)	fn2 : 129.50MHz ATT-4 7.67dB (8±1.5dB) 0.26dB (1.3dB 以下) 80.7nsec(400nsec 以下)	fr : 126.00MHz ATT-9 9.74dB(10±1.5dB) 0.60dB(1.0dB 以下) 77.8nsec(300nsec 以下)
東海/ミリ波ビーム	fn2 : 129.50MHz ATT-6 4.52dB(5±1.5dB) 0.32dB(1.3dB 以下) 38.8nsec(400nsec 以下)	fn3 : 131.25MHz ATT-8 7.94dB(8±1.5dB) 0.39dB(1.3dB 以下) 87.4nsec(400nsec 以下)	fr : 126.00MHz ATT-10 10.22dB(10±1.5dB) 0.45dB(1.0dB 以下) 45.6nsec(300nsec 以下)
再生中継器	fr : 126.00MHz ATT-11 -9.33dB(-9±1.5dB) 0.34dB(1.0dB 以下) 48.4nsec(300nsec 以下)	fr : 126.00MHz ATT-12 -9.07dB(-9±1.5dB) 0.59dB(1.0dB 以下) 119.1nsec(300nsec 以下)	(各欄の内容は上記 広帯域フィルタバ ンク特性の表と同 様)



第6図 広帯域フィルタ特性図

(横軸：周波数 (1目盛 = 2 MHz, 中心周波数 = 136.5 MHz),
縦軸：利得 (1目盛 = 0.5 dB))



第7図 狭帯域フィルタ特性図

(横軸：周波数 (1目盛 = 0.2 MHz, 中心周波数 = 127.75 MHz),
縦軸：利得 (1目盛 = 0.5 dB))

び符号化・多重化・変調を行って送信する機能を持つ。多元接続には SCPC/TDM 方式が採用されており、この方式の再生中継としては COMETS が世界初となる。また、搭載 MPU によってベースバンドでの信号切替を行い、ビーム間の接続をする機能もある。こうした方式や機能は、近年、発展の著しい携帯電話や PHS で実現され始めた“通信のパーソナル化”、“移動体化”にも適したものである。

すなわち、再生中継により、上り回線と下り回線が、回線設計上完全に独立したものとなり、スルーリピータに比べて最大で 3dB の C/N_0 改善が図れるため、携帯地球局などの送信出力低減に役立つ。第 10 表に再生中継とスルーリピータを比較した回線設計例を示す。また、移動体通信を行う場合の送信レベル変動の影響も受け難く、再生中継の利点となる。さらに、衛星上で回線交換ができるため、大型のハブ局を介さずに小型地球局間同士で 1 ホップ通信を行うことも比較的容易になる。SCPC/TDM 方式は、上りが SCPC で携帯地球局などの送信出力を TDMA 方式に比べて低く抑えられ、機器の小型化に役立つ。下りの TDM は 1 波送信の場合、衛星の増幅器を飽和領域で動作でき、衛星送信電力を有効に使える。このことも回線設計を楽にし、地球局機器の小型化につながる。

このほか、搭載 MPU を働かせるプログラム（回線制御プロトコル）には、移動体通信を考慮した回線制御の特徴を持たせてあるが、このプログラム自体も、衛星

打上げ後に地上から新たなプログラムを送って、置き換えることも可能である（ダウンロード機能）。

6.2 機能

再生中継器の主な機能は、次の通りである。

- (1) AGC による入力レベル変動の抑圧
- (2) 連続及びパケットの SCPC-FDMA 信号の復調・復号（8 ch/系統, 2 系統）
- (3) ベースバンドでの回線制御
- (4) TDM 多重化
- (5) TDM 信号の変調
- (6) コマンドによる電源 ON/OFF, 動作モードの切替, 及びリセット
- (7) テレメトリによる機器の動作状態のモニタ
- (8) 回線制御プロトコルのダウンロード機能

このうち、(3)と(8)は搭載 MPU を動作させるプログラムによって実現されるもので、ソフトウェアの機能と言える。

6.3 構成および動作概要^(10~11)

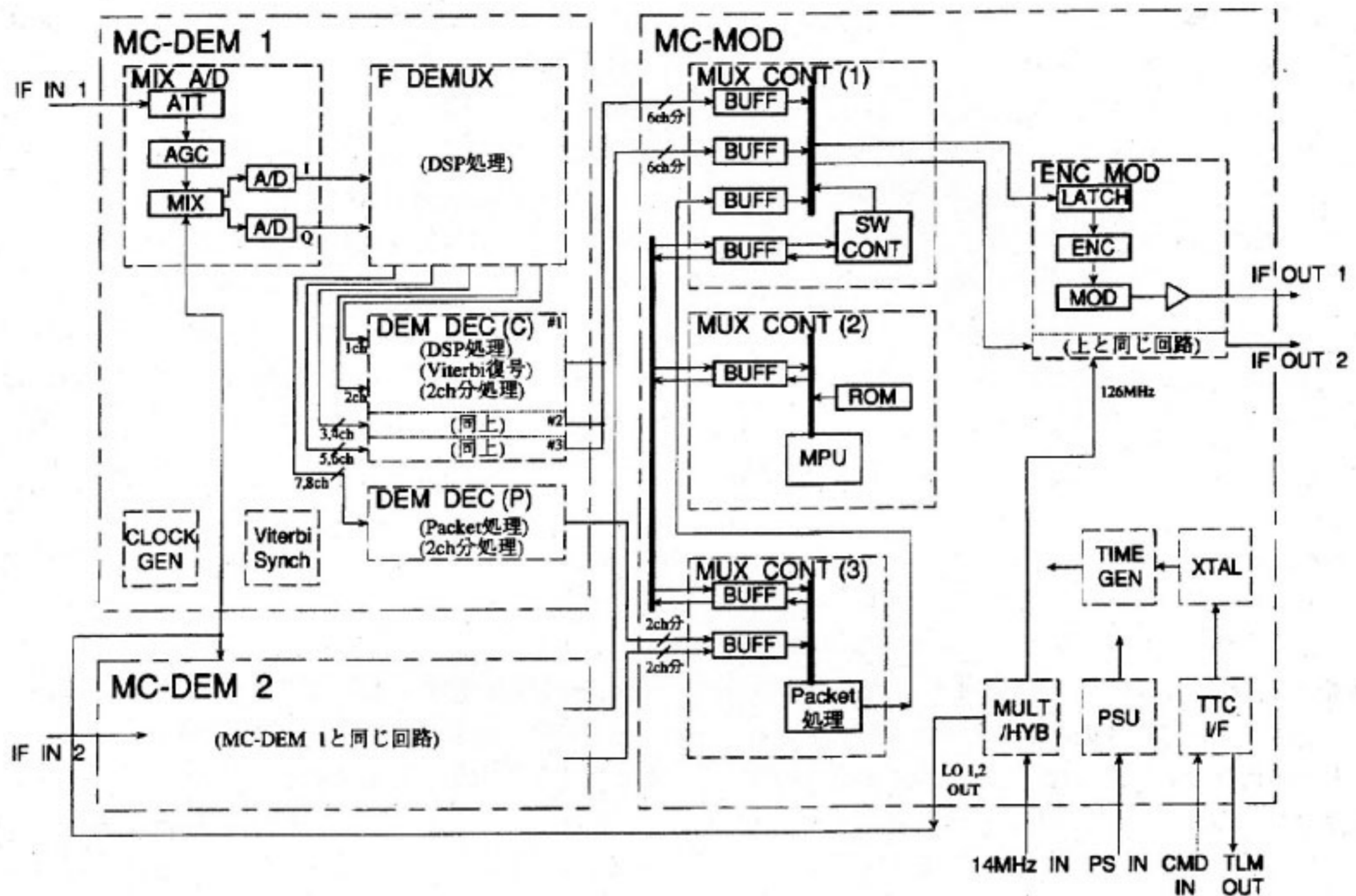
第 8 図は、再生中継器の機能ブロック図である。図に示すように復調部 1 (MC-DEM1), 復調部 2 (MC-DEM2), そして変調部 (MC-MOD) の 3 つの部分から成り、その外観も第 9 図のように大きく 3 つのブロックに分かれている。

(1) 復調・復号

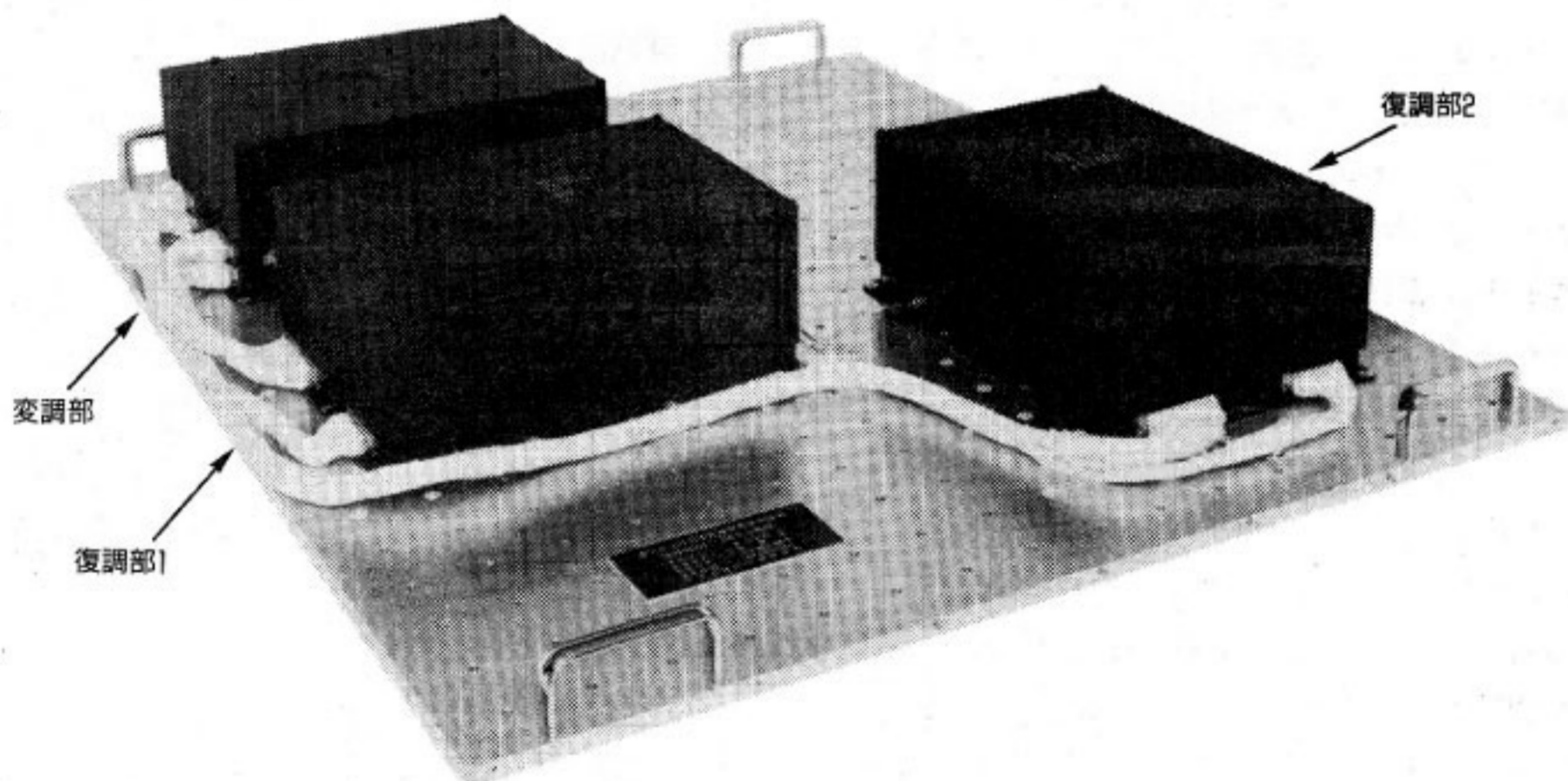
復調部 1 と復調部 2 は構成は全く同じで、2 つの系統の IF 入力信号を、それぞれ 1 系統ずつ受け持つ。1 つ

第 10 表 回線設計例

中継器タイプ	再生中継器	スルーリピータ
情報速度 (kbps)	12 / 96	12.0
伝送速度 (kbps)	24 / 192	24.0
所要 C/N_0 (dB·Hz)	47.4 / 56.4	47.4
アップリンク		
周波数 (GHz)	30.8	30.8
地球局 EIRP (dBW)	20.0	20.0
伝搬損失 (dB)	214.1	214.1
衛星 G/T (dB/K)	16.9	16.9
アップリンク C/N_0 (dB·Hz)	51.3	51.3
ダウンリンク		
周波数 (GHz)	21.0	21.0
衛星送信電力 (dBW)	7.0	-1.9
衛星 EIRP (dBW)	51.0	42.1
伝搬損失 (dB)	210.8	210.8
地球局 G/T (dB/K)	-3.0	-3.0
ダウンリンク C/N_0 (dB·Hz)	67.8	56.9
総合 C/N_0 (dB·Hz)	—	50.2
マージン (dB)	3.9	2.8



第8図 再生中継器 機能ブロック図



第9図 再生中継器 外観図

の系統は関東ルートの126MHzのIF信号で、もう1つの系統はフィルタバンクで選択された東海ルートかミドリ波ルートの126MHzのIF信号である。

それぞれの入力IF信号は、8チャンネルのSCPC-FDMA信号となっており、その内の6チャンネルは音声等の連続信号用、残り2チャンネルはパケット信号用である。

入力信号は先ずAGC回路を通った後、ベースバンド

に周波数変換される。この信号をA/D変換し、この後はDSP (digital signal processor) によるすべてデジタル化した信号処理が行われる。デジタル化により、中継器の小型軽量化が図られ、また温度変化による特性劣化を低減している。

次に一括分波が行われるが(F DEMUX)、これにはポリフェイズ・FFTフィルタバンク方式が採られている。8チャンネルに分波された信号は、連続信号用とパ

ケット信号用の2つの回路に送られ、さらに各チャンネルが個別に復調される (DEM)。復調も DSP によって、AGC、キャリア再生、PLL 同期検波による BPSK 復調、クロック再生が行われる。

復調された信号は、FEC を行うモードの時には専用の IC によって 3bit の軟判定 Viterbi 復号が行われ、その後、差動復号されて (DEC)、変調部に送られる。パケット信号の場合には、復号処理の前にユニークワード (以下「UW」という。) の照合も行われる。

(2) 回線制御・多重化

変調部に入った信号は、連続信号とパケット信号で処理が異なる。ベースバンドの連続信号は、一旦バッファに蓄えられ、MPU からの回線制御情報に従ってスイッチングが行われ、目的のビーム向けの指定スロットに送られ、多重化され、フレームごとに UW が付加される。回線制御は、搭載の ROM に書き込まれた回線制御プロトコル、あるいは打上げ後地上からダウンロードされたプロトコルに基づいて行われ、地球局からの具体的な発呼要求など、制御パケット信号の内容に従ってチャンネル割当や回線切断がなされる。TDM 多重化信号は、入力の時と同じ2つのビームに向けて2系統が作られる。

パケット信号の方は、まず CRC チェックが行われ、誤りのないパケットは MPU に送られて、そのパケットの属性が調べられる。回線制御用パケットの場合は、回線制御情報として MPU の回線制御機能に反映され、通信用ユーザ・パケットの場合には連続信号と同じように送信待ちのバッファに送って蓄えられ、指定のスロットに多重化される。また、回線制御用プログラムのダウンロード用パケットやメンテナンス用パケットの場合には、MPU が信号内容に従った処理を行う。

(3) 変調

2系統の TDM 信号は、それぞれ差動符号化、FEC を行うモードの時には畳み込み符号化が行われる (ENC)。ここまでがデジタル処理で行われる。その後、さらに変調回路 (MOD) で BPSK 変調が行われ、最終的にフィルタを通して IF 信号として2系統が出力される。

6.4 性能

第11表に再生中継器の主要諸元を示す。入出力の IF 周波数は、第12表の通りである。参考までに各チャンネルの RF 周波数も併記してある。また、第10図には BER 特性を示す。これは、COMETS のプロト・フライト・モデル (PFM) の電気性能試験時にアップリンク、ダウンリンクとも Ka 帯を使用し、ダウンリンクをエラー・フリーとみなせる条件に設定して行った時の測定値である。

COMETS 再生中継器の入出力信号について、復調後及び変調前のベースバンド状態での信号について以下に説明する。

(1) 入力信号形式

再生中継器に入力する信号は、送信地球局で第13表に示すような処理を行った信号である。

第11図に入力パケットのフォーマットを示す。パケットには2種類あり、一般のデータ・パケット信号と連続信号チャンネルの回線制御用や衛星パラメータの設定用、ダウンロード用などの制御パケット信号がある。通信用のデータ・パケットは、パケット長が2kbitまでで、データそのものの長さは3~255byteとなる。一方、制御パケットは、次の6.6で説明するように、データの構造が決められており、データ長も固定である。

(2) 出力信号形式

再生中継器が出力する信号を第14表に示す。

出力信号の内容は、連続信号チャンネルについては受信した信号そのものである。また、パケット信号チャンネルについては、データ・パケットは受信信号に基づいて作られるが、制御パケットは衛星上で作られ、共に CRC が生成・付加されてから多重化が行われる。パケット信

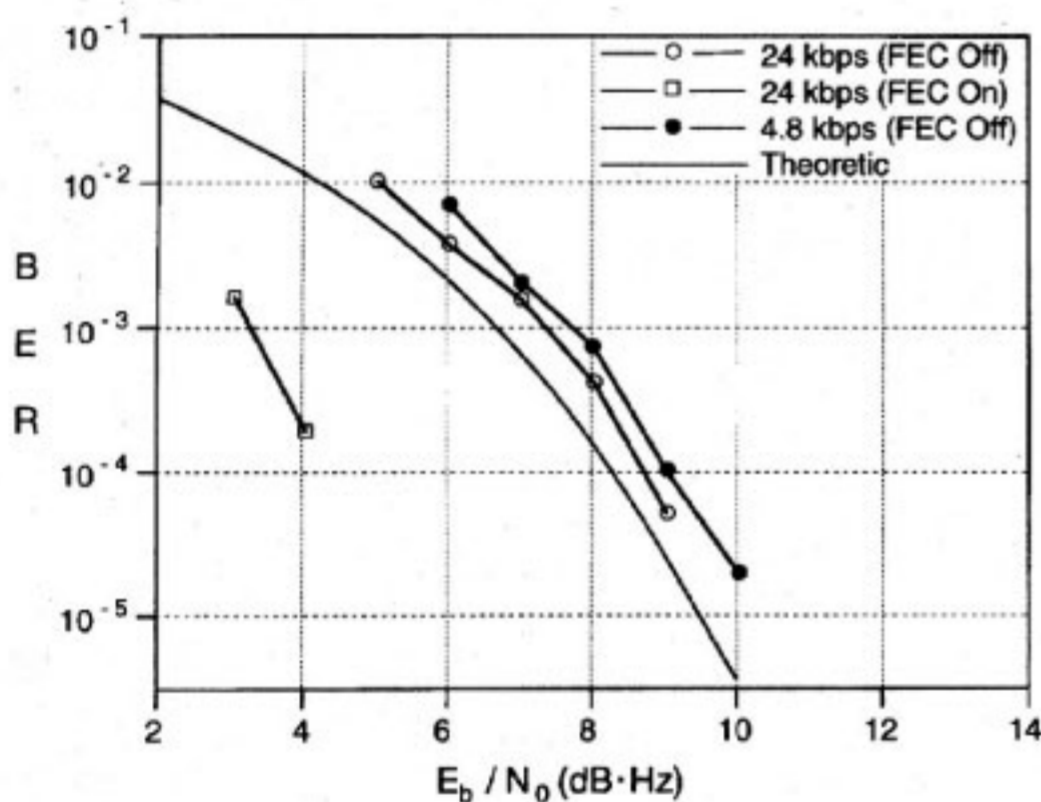
第11表 再生中継器主要諸元

復調部	
入力中心周波数	126 MHz
入力帯域幅	800 kHz
標準入力レベル	-30 dBm/SCPC 1波
入力系統数	2系統
入力チャンネル数(1系統当たり)	
連続信号	6 ch
パケット信号	2 ch
チャンネル間隔	96 kHz
変調方式	BPSK
伝送速度	24 / 4.8 kbps (コマンド切替)
情報速度	24 / 12 / 4.8 / 2.4 kbps (コマンド切替、 FECがONの時は情報速度が半減)
誤り訂正復号方式	Viterbi復号 (R = 1/2, K = 7) (FECのON/OFF、コマンド切替)
消費電力	15 W
重量	6.7 kg
変調部	
入力チャンネル数	
連続信号	12 ch
パケット信号	4 ch
出力チャンネル数	TDM 2 ch
出力中心周波数	126 MHz
出力レベル	最大 -10 dBm
変調方式	BPSK
出力不要波含有率	D/U \geq 30 dB
伝送速度	192 / 38.4 kbps (コマンド切替)
情報速度	192 / 96 / 38.4 / 19.2 kbps (コマンド切替、 FECがONの時は情報速度が半減)
誤り訂正符号化方式	畳み込み符号 (R = 1/2, K = 7) (FECのON/OFF、コマンド切替)
消費電力	27 W
重量	6.8 kg
インタフェース	
基準信号入力	14 MHz, 0 dBm
テレメトリ信号(TLM)	
コマンド信号(CMD)	
電源(PS)	+49 V

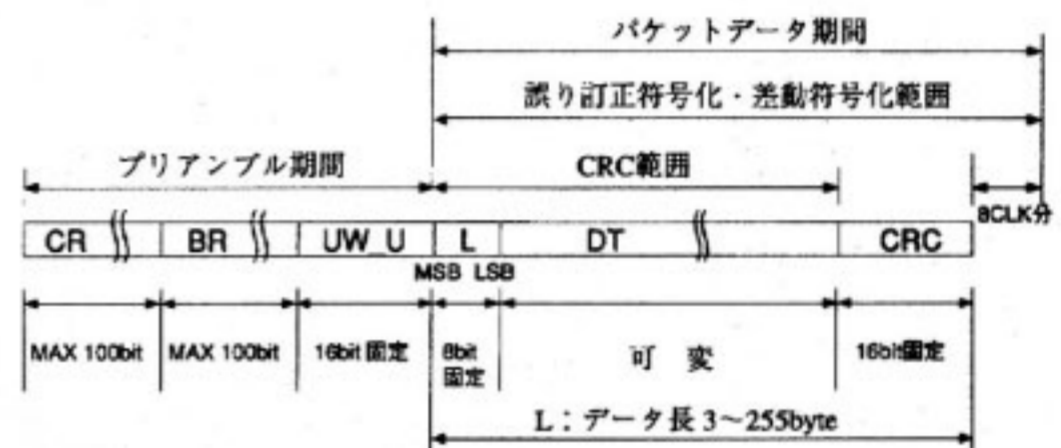
第12表 再生中継器周波数表

チャンネル番号 (ch)	I F	Ka-バンド				ミリ波	
		関東		東海		関東	
		UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN
中心周波数	126.0 MHz ± 400 kHz	30.758 GHz ± 400 kHz	20.986 GHz ± 400 kHz	30.814 GHz ± 400 kHz	21.042 GHz ± 400 kHz	46.872 GHz ± 400 kHz	43.750 GHz ± 400 kHz
1	125.664 MHz	30.757664 GHz	—	30.813664 GHz	—	46.871664 GHz	—
2	125.760	30.757760	—	30.813760	—	46.871760	—
3	125.856	30.757856	—	30.813856	—	46.871856	—
4	125.952	30.757952	—	30.813952	—	46.871952	—
5	126.048	30.758048	—	30.814048	—	46.872048	—
6	126.144	30.758144	—	30.814144	—	46.872144	—
7	126.240	30.758240	—	30.814240	—	46.872240	—
8	124.336	30.758336	—	30.814336	—	46.872336	—

※ アップリンク(UP)は8チャンネルのSCPCによるFDM方式、ダウンリンク(DOWN)は1チャンネルのみのTDM方式である。ダウンリンクでは各チャンネルが対応したスロットに割り当てられる。
 ※ MCEのKa-バンド入出力スイッチは、normalの状態。



第10図 再生中継器 BER 特性 (Ka-Ka 接続)



- ・キャリア・データ・パターン: CR = "11111..."
長さは最大100 bitまでで設定 (default 100 bit)
- ・ビット・タイミング・データ・パターン: BR = "101010..."
長さは最大100 bitまでで設定 (default 100 bit)
- ・ユニーク・ワード・データ・パターン:
UW_U = "1010 0110 0100 1111" (default)
再生中継局装置では、パターンは任意設定可能
- ・データ長: L = (D₇ × 2⁷ + D₆ × 2⁶ + D₅ × 2⁵ + ... + D₁ × 2 + D₀) オクテット
(Lの8 bitとCRCの16 bitを含む 3~255byte)
- ・CRC: 生成多項式: X¹⁶ + X¹⁵ + X² + 1
- ・8CLK分: 畳み込み符号化を行う場合に、符号化器にCRCの最終ビットを入力した後、シフトレジスタをクリアする長さ(+a)の"0"を入力し、畳み込まれた結果をシフトレジスタがクリアされるまで衛星に出力送信する。その長さが8bit。

第11図 入力パケット・フォーマット

第13表 再生中継器への入力 (ベースバンド) 信号

情報伝送速度 [FEC OFFの場合] 24 kbps / 4.8 kbps [FEC ONの場合] 12 kbps / 2.4 kbps
連続信号チャンネル [FEC OFFの場合] 差動符号化 → 24 kbps / 4.8 kbps信号 [FEC ONの場合] 差動符号化 → 畳み込み符号化 → 24 kbps / 4.8 kbps信号
パケット信号チャンネル コネクションレス、単純アロハ方式 CRC付加 → 差動符号化 → (畳み込み符号化) → CR, BR, UW, Lのプリアンブル付加 → 24 kbps / 4.8 kbps信号
畳み込み符号 K = 7, R = 1/2 生成多項式 (ジェネレータ関数: G0 = 1111001, G1 = 1011011)

第14表 再生中継器の出力 (ベースバンド) 信号

情報伝送速度 [FEC OFFの場合] 192 kbps / 38.4 kbps [FEC ONの場合] 96 kbps / 19.2 kbps
時分割多重(TDM) [FEC OFFの場合] UW付加 → 各チャンネル8bitずつTDM → 差動符号化 → 192 kbps / 38.4 kbps信号 [FEC ONの場合] UW付加 → 各チャンネル8bitずつTDM → 差動符号化 → 畳み込み符号化 → 192 kbps / 38.4 kbps信号
畳み込み符号 K = 7, R = 1/2 生成多項式 (ジェネレータ関数: G0 = 1111001, G1 = 1011011)

号については、送出パケットのない時にはすべて“1”が送信される。

差動符号化、畳み込み符号化は UW も含めたデータのすべての部分に対して実行する。第 12 図に出力信号のフレーム・フォーマットを示す。

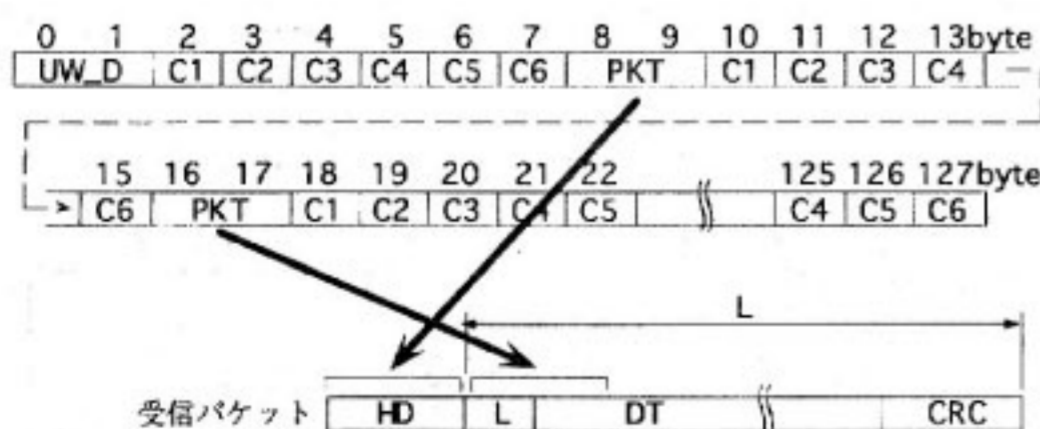
6.5 テレメトリ・コマンド

(1) テレメトリ

再生中継器に直接関係するテレメトリとしては、再生中継器を構成する 3 つのブロック (MC-DEM1, MC-DEM2, MC-MOD) の内部温度、再生中継器全体 (MC-MODEM) の電源の ON/OFF 状態、MC-DEM1 及び MC-DEM2 それぞれの連続信号チャンネル 1 ~ 6 のキャリア検出状態、新規プログラムのダウンロードの可否、構成する 3 つのブロックのラッチアップ状態、伝送速度の High/Low, FEC の ON/OFF, 2 系統の TDM 信号の出力の ON/OFF, 2 系統の TDM 信号出力の変調の ON/OFF, 回線設定モードの状態 (固定モード (PA: プリアサイン) / デマンド・アサイン・モード (DA)) が挙げられる。

(2) コマンド

再生中継器に直接関係するディスクリット・コマンドとしては、再生中継器全体 (MC-MODEM) の電源の ON コマンド、再生中継器全体 (MC-MODEM) の電源の OFF コマンド、再生中継器全体 (MC-MODEM) のリセット・コマンドがある。また、伝送速度の High/Low, FEC の ON/OFF, 2 系統の TDM 信号の出力の ON/OFF, 2 系統の TDM 信号出力の変調の ON/OFF, 回線設定モードの状態 (固定モード (PA: プリアサイン) / デマンド・アサイン・モード (DA)), MC-DEM1 及び MC-DEM2 それぞれのリセット、新規プログラムのダウンロードの可否については、マグニチュード・コマンドで設定できる。



- ・フレーム長: 26.6 msec (38.4 kbpsの場合) / 5.34 msec (192 kbpsの場合)
- ・ユニークワード・データ・パターン:
UW_D = "0A3Ah (0000 1010 0011 1010)"
- ・C1~6: 連続回線信号
- ・PKT: パケット回線信号
- ・受信パケット・ヘッダ・パターン: HD = "55AA (0101 0101 1010 1010)"

第 12 図 出力信号のフレーム・フォーマット

なお、マグニチュード・コマンドで再生中継器の伝送速度と FEC の設定を変更する場合には、ディスクリット・コマンドによる再生中継器全体のリセットを行う必要がある。

このほかに、コマンドではないが、衛星の回線制御のパラメータを切り替えるために、6.6 で述べる衛星パラメータ設定用の制御パケット信号が用意されている。

6.6 搭載回線制御プログラム⁽¹²⁾

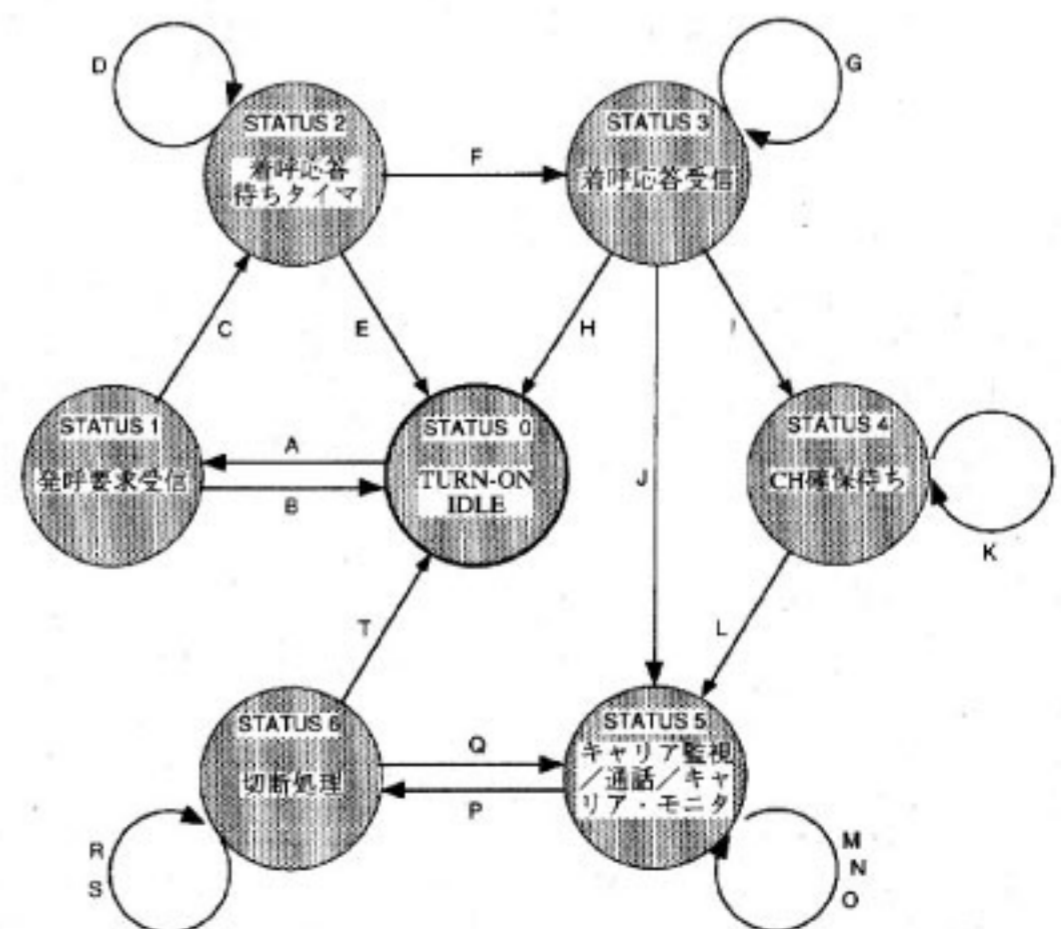
前述のように、衛星の回線設定モードが、コマンドによって固定モードではなく搭載プロトコルによって動作するように設定されていると (デマンド・アサイン・モード), 6 ch の連続信号チャンネルの信号は、このプロトコルと衛星及び地球局の間で取り交わされる回線制御用パケット信号に従った回線接続が行われる。ここでは搭載 ROM に書き込まれたプロトコルの内容を紹介する。

(1) 動作概要

第 13 図は、このプロトコルによる衛星動作の状態遷移を示している。

図に従って説明すると、まず、再生中継器の電源が入られる (TURN-ON) と何もしない「STATUS 0 (待受け状態 (IDLE))」となる。この状態で発呼地球局から「発呼要求」の制御パケット (CI パケット) を受信すると、「A」によって「STATUS 1 (発呼要求受信状態)」に移行する。

STATUS 1 では、衛星は「C」によって呼管理テーブル用メモリを確保し、着呼局 (相手局) に対し「着呼要求」の制御パケット (CONN パケット) を送出した上で「STATUS 2 (着呼応答待ちタイマ作動状態)」に移行する。何らかの理由で呼管理テーブル用メモリの確保に失敗した場合には、衛星は「B」によってビジー・



第 13 図 衛星の回線制御状態遷移図

パケット (BUSY パケット) を送出して STATUS 0 に戻る。

STATUS 2 では、何もしない「D」によってタイマが働き、着呼局から「着呼応答」の制御パケット (CA パケット) が送られるのを待つ。設定した一定の時間が経っても CA パケットが受信されないと、設定回数だけ CONN パケットを再送する。こうして CA パケットを受信すると「F」によって「STATUS 3 (着呼応答受信)」に移行する。しかし、設定回数 CONN パケットを送出した後、一定時間経っても CA パケットが受信されない時には時間切れとして、「E」によって「回線断」の制御パケット (CD パケット) を送出して STATUS 0 に戻る。

STATUS 3 では、回線の割当を行うため「G」によって空きチャネルを探す。チャネルを確保できた時には「J」によって「チャネル割当」の制御パケット (CHA パケット) を送出して「STATUS 5 (キャリア監視/通話/キャリア・モニタ状態)」に移行する。空きチャネルのない時は、「I」によって「チャネル待ち」の制御パケット (CH パケット) を送出して「STATUS 4 (チャネル確保待ち状態)」に移行する。さらにチャネル待ちのバッファ (設定した数だけ登録可能) が確保できない時には、「H」によって「回線断」の制御パケット (CD パケット) を送出して STATUS 0 に戻る。

STATUS 4 では、「K」によってチャネルの空きが出るまで待つ。チャネルに空きが出来てチャネルの確保ができると、衛星は「L」によって CHA パケットを送出して STATUS 5 に移行する。

STATUS 5 では、「M」によってチャネル割当通りに地球局がキャリアを出すか (キャリア ON) を監視する。発呼局、着呼局共に一定の監視時間の間キャリアが出されれば、「N」によって「キャリア監視」のパケット (CN パケット) を送出してから STATUS 5 の中の通話/キャリア・モニタ状態に移行する。双方あるいは片方の局が設定した一定の時間が経ってもキャリアを出さない時には、「O」によって再び CHA パケットを送出し、キャリアの出るのを待つ。これを設定回数行ってもキャリアの出ない時には、「P」によって「回線切断」のパケット (DISC パケット) を送出して「STATUS 6 (切断処理状態)」に移行する。

「N」で双方の局のキャリア ON が確認されて通話状態になってからは、再び「M」によって地球局のキャリアが断 (キャリア OFF) とならないかキャリア・モニタを続ける。設定した一定時間の全てで双方あるいは片方の局のキャリアが OFF とならなければ、再びキャリア・モニタを繰り返す (現在の衛星 ROM 内のプログ

ラムでは、設定回数繰り返しても双方あるいは片方の局のキャリアが OFF と確認できない時は、さらにモニタを繰り返す)。設定した一定時間の間、双方あるいは片方の局のキャリアが OFF となると、再び「P」によって DISC パケットを送出して STATUS 6 に移行する。

STATUS 6 では、「R」によって通話中のキャリアの様子をモニタする。発呼局、着呼局共に設定時間の間キャリアが出ていると確認された時には、「Q」によって STATUS 5 に戻り、再度キャリア・モニタを開始する。双方あるいは片方の局がキャリアを出していないと判断した時には、「S」によってキャリア・モニタを続け、設定した一定時間のすべてで両方の局のキャリア断が確認できないと、DISC パケットを再送してから再びキャリア・モニタを繰り返す (現在の衛星 ROM 内のプログラムでは、設定回数繰り返しても双方の局のキャリアが OFF と確認できない時は、確認されるまで DISC パケットを再送する)。双方の局からキャリアの出ないことが確認されると、「T」によって STATUS 0 に移行する。

(2) 特徴⁽¹³⁾

この搭載プロトコルには、移動体衛星通信に適した幾つかの特徴を持たせてある。

1つ目は、空きチャネルのない時のチャネル待ちバッファで、「キュー・バッファ (queue buffer)」と呼んでいる。これはチャネル資源が完全に使われている時に、新たに生じた発呼要求を設定個数だけ登録しておき、チャネル資源が空き次第、その空きチャネルに適した第一候補の発呼要求にチャネル資源を割り当てるものである。これにより、数少ない衛星のチャネル資源を効率的に利用することが可能になる。

2つ目の特徴は、「回線保持時間」と呼んでいるものである。これは、通常の電話回線における“通話をして回線を使用している時間”とは多少意味合いが異なっている。移動体通信では伝搬路上にビルや樹木など様々な障害物が入り込み、頻りにシャドウイングあるいはブロッキングが発生する。その際、移動体がトンネルなどに入って長期間回線を維持できない時には、衛星はチャネル資源の有効利用の観点からこの回線を切断して新たな呼の要求にチャネル資源を割り当てることになる。しかし、シャドウイングが短時間の場合には、回線の回復を待つ方がチャネル資源の総合的な使用効率は向上する可能性がある。このため、搭載プロトコルには、シャドウイングの際に直ちに回線切断を行わず、一定の設定時間だけ待つ機能を持たせることができる。この設定時間は、シャドウイングの統計的性質に合った最適値があると考えられるが、この関係を明らかにすることも COMETS の

実験テーマとなる。

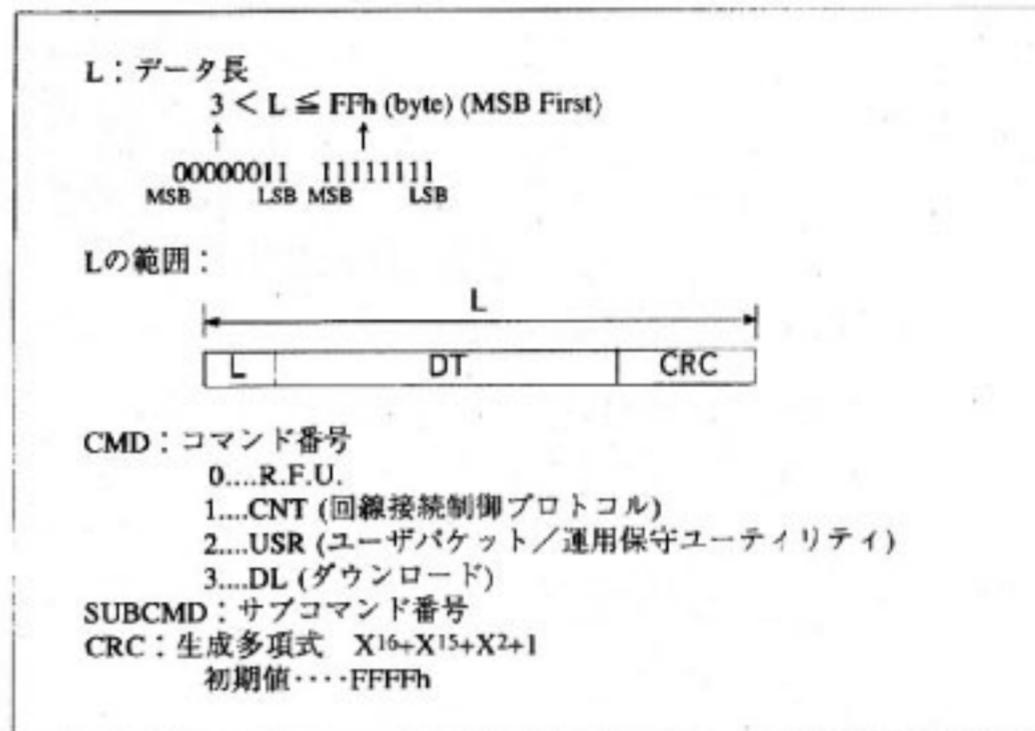
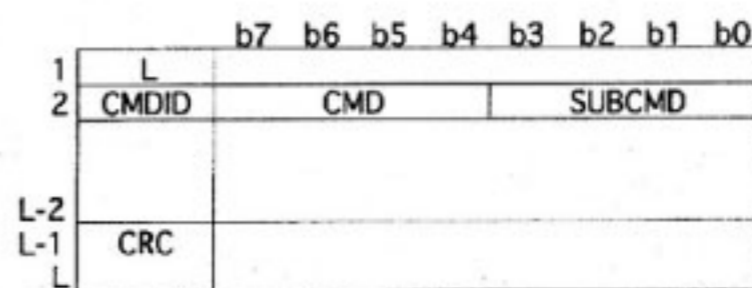
(3) 回線制御パラメータ

「動作概要」や「特徴」の項でも一部触れたが、搭載プロトコルには回線制御を行う上での様々なパラメータが用意してある。こうした回線制御上のパラメータは、衛星にパラメータ設定用のパケット信号を送信することで変更できるが、そのパラメータ項目と内容は第15表に示す通りである。

(4) パケット信号のフォーマット

回線制御用及びパラメータ設定用、それに通信用やダウンロード用、運用保守用に使うパケット信号のデータ部分の共通フォーマットは、第14図の通りである。

この内、回線制御用パケットのデータ内容は第15図、パラメータ設定用パケットのデータ内容は第16図の通りである。また、通信用及び運用保守用のパケットのデータ内容も第17図に示す。



第14図 パケット信号共通フォーマット

第15表 回線制御プロトコルの設定パラメータ

パラメータ項目	パラメータ内容
着呼応答 タイマ値	[設定内容]衛星から送信する着呼要求(CONNパケット送出)の間隔(2回目以降)を設定(1回目の送出は発呼要求(CIパケット)の受信直後で、下の α より極小). [設定値] 0~30 [タイマ値] $\alpha = 2 \text{ sec} \times \text{設定値}$
着呼応答 リトライ回数	[設定内容]衛星から送信する着呼要求(CONNパケット送出)の回数を設定(衛星が着呼応答(CAパケット)を受信すると、以後停止). [設定値] 0~15 [リトライ回数] 設定値+1回
キャリア監視 タイマ値	[設定内容]2 sec間隔で両チャンネルの監視を行い、1回の判定を行うまでの総時間を設定。全サンプリングで両局ともONの時にキャリアONと判定。それ以外の時はリトライ。 [設定値] 0~30 [監視期間の長さ] $T1 = \text{設定値} \times 2 \times 2 \text{ sec}$
キャリア監視 リトライ回数	[設定内容]キャリア監視を行う回数を設定。設定回数を完了してもキャリアONにならない時は回線切断指示(DISCパケット)を送出。ONなった時点でキャリア・モニタに移行。 [設定値] 0~15 [監視回数] 設定値+1回
キャリア モニタ タイマ値	[設定内容]2 sec間隔で両チャンネルのモニタを行い、1回の判定を行うまでの総時間を設定。全サンプリングで両局あるいは片方の局がOFFの時にキャリアOFFと判定して回線切断指示(DISCパケット)を送出し、切断作業に移行。片方の局がキャリアOFFと判定されない時はリトライ。 [設定値] 0~30 [モニタ期間の長さ] $T1 = \text{設定値} \times 2 \times 2 \text{ sec}$
キャリア モニタ リトライ回数	[設定内容]キャリア・モニタを行う回数を設定。 [設定値] 0~15
切断指示 タイマ値	[設定内容]切断指示後のキャリアをモニタし、OFFを確認。両局のOFFが確認されれば回線切断指示(DISCパケット)の送出を停止。 [設定値] 0~30 [モニタ期間の長さ] $T1 = \text{設定値} \times 2 \times 2 \text{ sec}$
切断指示 リトライ回数	[設定内容]回線切断指示(DISCパケット)の送出回数を設定。 [設定値] 0~15
チャンネル待ち バッファ個数	[設定内容]発呼要求(CIパケット)を受信した時に空きチャンネルがない場合、この発呼を登録する待ち行列の最大登録個数を設定。 [設定値] 0~30

6.7 回線制御プログラムのダウンロード

6.6で説明した搭載プログラムに加えて、COMETSの再生中継器では新たに開発したプログラムを衛星に送信し(ダウンロード)、RAMに記憶させることで、このプログラムを実行することができる。ダウンロード可能なRAM領域はアドレスの04A30h~07FFFh(13776 Byte)である。但し、別途開発済みの新ダウンローダ(ダウンロードを行うためのプログラム)を上記ダウンロード機能を使用して、一旦、衛星上にダウンロー

byte	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
1	L	0	0	0	1	0	0	0
2	CMDID	0	0	0	1	SUBCMD		
3	呼ID							
4	着呼アドレス							
5	データ							
6	着UP CH							
7	着DWN CH							
8	発呼アドレス							
9	発UP CH							
10	発DWN CH							
11	パラメータ (予備)							
12	CRC							

SUBCMD	0	R.F.U.	CI	(Call Initiate request)
1	発呼要求	CONN	(CONNection request)	
2	着呼要求	CA	(being Called Acknowledge)	
3	着呼応答	DISC	(DISConnect / process dead)	
4	回線切断	(1. 音声通話が終了した局へのキャリアOFFの指示。 2. 割り当てパケット(CHA:16h)の送信、再送の課程が終了し、回線が切断した時。)		
5	CH待ち	CH	(queue for resources)	
6	CH割当て	CHA	(CHannel Assignment)	
7	キャリア監視	CN	(Carrier monitor / channel waiting)	
8	回線断	CD	(disconnect / process dead)	
		(1. 着呼要求パケット(CONN:12h)の送信、再送に着呼局が応答せず回線を切断する時。 2. チャンネル待ちバッファが確保不可の場合の発・着呼局への回線接続中止の指示。)		
c	ビジー	BUSY	(BUSY)	(呼管理テーブル用メモリが確保不可の場合発生)

第15図 回線制御用パケットのデータ内容

byte	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
1	L	0	0	0	1	1	0	1
2	CMDID	0	0	1	0	SUBCMD		
3	着呼応答タイマ							
4	着呼応答リトライカウンタ							
5	キャリア監視タイマ							
6	キャリア監視リトライカウンタ							
7	キャリアモニタタイマ							
8	キャリアモニタリトライカウンタ							
9	切断指示タイマ							
10	切断指示リトライカウンタ							
11	CH待ちバッファ個数							
12	CRC							

CMDID	0010	
SUBCMD	3	パラメータ・パケット
	4	パラメータ・パケットACK

第16図 パラメータ設定用パケットのデータ内容

ドし、このダウンローダによって新規プログラムをダウンロードすれば、ダウンロード可能なRAM領域はアドレスの000A0h~074FFh(29792 Byte)に拡張され、更にこのプログラムの実行時にはアドレスの07500h~07FFFh(2816 Byte)をワークエリア(STACKエリア)として使用できる。これによって、今後、例えば移動体がビーム間を横断する時のハンドオフ機能を実現させたり、パケット通信で蓄積交換機能を持たせたりすることも可能になる。

ダウンロードを行う際に使用するダウンロード用パケット信号のデータ部分のフォーマットは、第18図に示す通りである。

7. 共通発振部

共通発振部(マスタオシレータ)は、ミリ波受信部、ミリ波アップコンバータ、Ka帯低雑音受信部、Ka帯アップコンバータ、再生中継器の、MCEで用いられるすべての局発振源として、14MHz高安定周波数の信号を出力する。すべての局発振源を共通とすることにより、局発周波数のずれによるダウンリンク周波数の偏移を測定することで、再生中継器入力SCPC周波数を調整したり、地上局のAFCを削除できる等の利点がある。

構成はマスタオシレータ2台(MMC-OSC-A、MMC-OSC-B)と局発ハイブリッド(MMC-HYB)からなり、マスタオシレータは冗長構成となっている。2台のマスタオシレータ(出力はどちらか一方)からの出力は、ハイブリッドで合成された後、必要な機器に分配される。ハイブリッド合成であるため、2台のマスタオシレータは同時にONできない。

局発信号を使用する機器、特にミリ波送受信部では通倍次数が大きくなってしまいうため、高い位相雑音特性が要求される。そのためにハイブリッドに狭帯域フィルタ

byte	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
1	L	0	0	1	0	SUBCMD		
2	CMDID	0	0	1	0	SUBCMD		
3	着呼アドレス(d_id)							
4	データ							
5	着UP CH							
6	着DWN CH							
7	発呼アドレス(s_id)							
8	発UP CH							
9	発DWN CH							
L	CRC							

CMDID	0010
SUBCMD	0 R.F.U.
	1 ユーザ(通信用)パケット
	2 運用保守ユーティリティ

第17図 通信/運用保守用パケットのデータ内容

を設けてある。

コマンド信号により、マスタオシレータの起動・停止が可能であり、テレメトリ信号によりモニタできる。マスタオシレータを起動した際には周波数の安定のために、2時間程度のウォーミングアップ時間をとる事が望ましい。

マスタオシレータはFREQ UP コマンド、FREQ DOWN コマンドにより、±4.9Hz（仕様値、14MHzの±3.5×10⁻⁷）の範囲で出力周波数を変えることができる。

共通発振部の主要性能を第16表に示す。

8. 全体性能

中継器全体の性能の一例として、第19図に入出力直線性の特性図を示す。これは、Ka帯関東ビーム入力からKa帯関東ビーム出力のトータルの特性で、第1図のLNRX1, fb1, ATT1 (0dB), UPC1, SSPA1を經由した時の測定である。測定周波数は、入力側が30.7685

ダウンロード共通フォーマット

	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
L									8bit
CMDID	0	0	1	1					8bit
データ									8bit
CRC									8bit

CMDID	0011	
SUBCMD	0	R.F.U
	1	プログラム・データ・ブロック
	2	CMDID登録
	3	RDY
	4	ACK

プログラム・データ・ブロック・フォーマット

	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
L									8bit
CMDID	0	0	1	1	0	0	0	1	8bit
データ	先頭格納アドレス								8bit
	最終格納アドレス								8bit
	ダウンロード・データ								8bit
CRC									8bit

ダウンロード・モジュール・ジャンプ・アドレス・フォーマット

	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
L									8bit
CMDID	0	0	1	1	0	0	1	0	8bit
データ	ダウンロード開始アドレス								8bit
	ダウンロード終了アドレス								8bit
	ジャンプ・アドレス								8bit
CRC									8bit

第18図 ダウンロード用パッケージのデータ内容

GHz, 出力側が20.9965GHzである。

9. おわりに

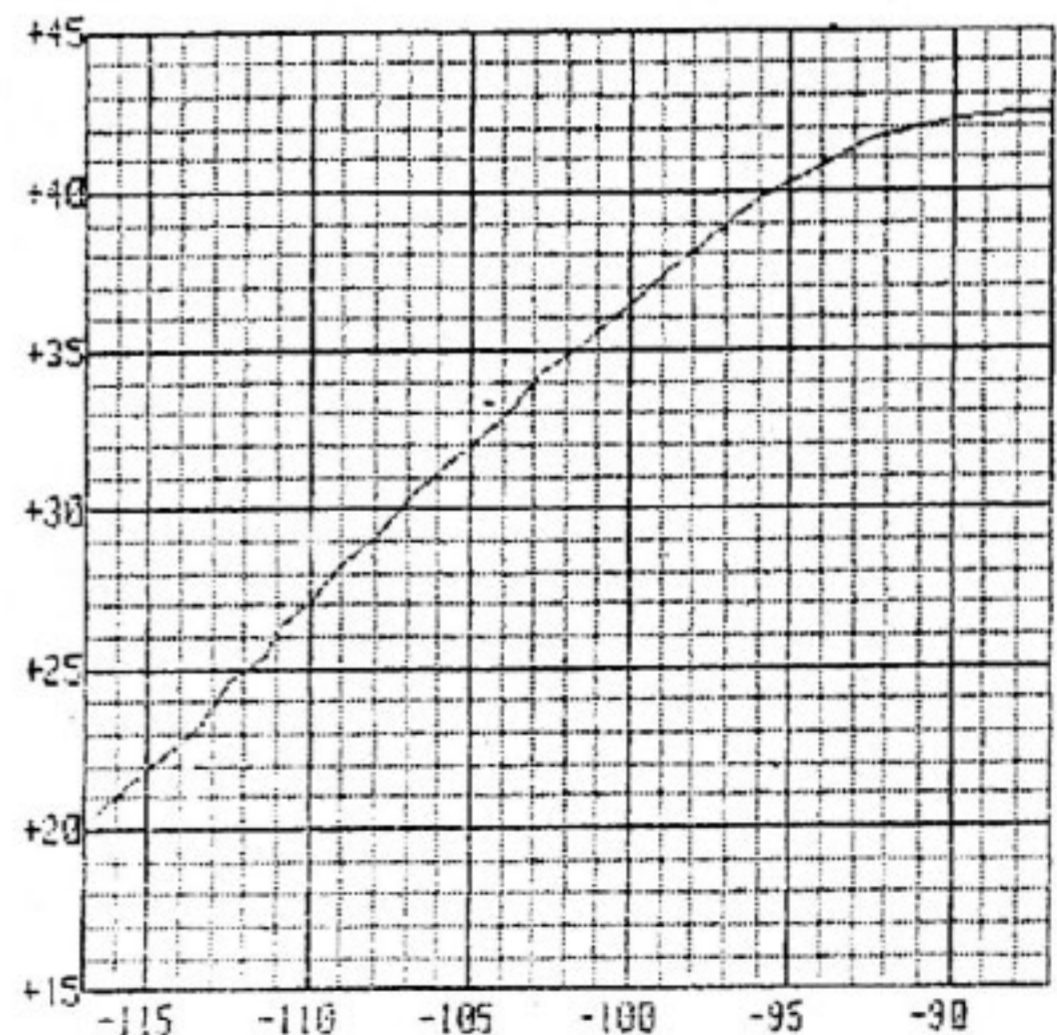
本論文では、COMETSのMCE中継器の構成要素について、詳細機能および性能を述べた。

謝 辞

BCTSからCOMETSに至るまで試作モデルの開発、フライト品の開発、調整、試験に携わって来られた日本電気(株)、三菱電機(株)、富士通(株)並びに関連メーカーの関係各位に感謝いたします。また、COMETSの他のミッション機器との調整、MCEの試験等に携わって頂

第16表 共通発振部の主要性能

項目	主要規格	実測値	備考
出力周波数	14MHz	公称値	
出力レベル	0dBm	0.86 / 0.14 dBm	OSC-A / B
初期設定誤差 (23℃ / ミナル)	±1×10 ⁻⁷ 以内	0.207 / 0.114 ×10 ⁻⁷	OSC-A / B
長期安定度	±1.5×10 ⁻⁷ / 年以内 ±2 ×10 ⁻⁷ / 3年以内	+0.65 / +0.40 ×10 ⁻⁷ -0.80 / -0.45 ×10 ⁻⁷	OSC-A / B
温度安定度	±2×10 ⁻⁷ 以内 (基準温度 23℃を0)	+0.11/+0.14×10 ⁻⁷ (OSC-A) +0.08 / -0.05×10 ⁻⁷ (OSC-B)	-20 / +50 ℃
周波数微調範囲	±3.5×10 ⁻⁷ 以上	+3.35 ~ -5.67 ×10 ⁻⁷ +3.57 ~ -5.89 ×10 ⁻⁷	OSC-A OSC-B
周波数微調 設定間隔	±5×10 ⁻⁸ 以内	1.11×10 ⁻⁸ 以内 1.01×10 ⁻⁸ 以内	OSC-A OSC-B
位相雑音 (マスタオシレータ 単体)	-120dBc/Hz 以下 -130dBc/Hz 以下	-125dBc/Hz (OSC-A) -127dBc/Hz (OSC-B) -130dBc/Hz (OSC-A) -130dBc/Hz (OSC-B)	100Hz オフセット 1kHz オフセット



第19図 中継器全体の入出力直線性 (横軸: 入力レベル (dBm), 縦軸: 出力レベル (dBm), 縦横軸とも1目盛 = 1 dBm)

いた宇宙開発事業団の関係各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 粟沢晃, 大内智晴, 亀田耕造, 横田豊八, 中里祥三, 高橋実, “通信放送技術衛星 (COMETS) ミッションの開発,” 1994 信学秋季全大, SB-3-9, 東北大学, September 1994.
- (2) 内藤秀之, 磯貝光雄, 川又文男, 磯部俊吉, 大森慎吾, “COMETS 計画における高度移動体衛星通信実験システム,” 信学技報, SANE93-28, pp.27-33, 長岡科学技術大学, August 1993.
- (3) S.Isobe, H.Naito, M.Takeuchi, M.Isogai, F.Kawamata, and S.Ohmori, “Experimental advanced mobile satellite communications system in MM-wave and Ka-band using Japan's COMETS,” Journal of CRL, Vol.41, No.1, pp.9-17, March 1994.
- (4) 磯部俊吉, 浜本直和, 内藤秀之, 竹内誠, 磯貝光雄, 川又文男, 大森慎吾, “COMETS を用いた Ka, ミリ波帯高度移動体衛星通信実験システム,” 信学論, B-II, Vol. J78-B-II, No. 2, pp.41-51, February 1995.
- (5) 峯野仁志, 磯貝光雄, 内藤秀之, 吉本繁壽, 竹内誠, 齊藤春夫, 市野裕行, “COMETS 搭載高度移動体衛星通信実験用中継器の開発 -Ka 帯中継器-,” 1994 信学秋季全大, SB-3-14, 東北大学, September 1994.
- (6) 内藤秀之, 峯野仁志, 吉本繁壽, 近藤秀敏, 泉勲夫, 平沢克己, 志垣雅文, “COMETS 搭載高度移動体衛星通信実験用中継器の開発 -ミリ波帯中継器-,” 1994 信学秋季全大, SB-3-13, 東北大学, September 1994.
- (7) S.Isobe, F.Kawamata, H.Naito, N.Hamamoto, and S.Ohmori, “Regenerative transponder of COMETS for advanced mobile communications experiments,” ICUPC '93, pp.309-313, Ottawa, October 1993.
- (8) Masazumi Nishida, Hitoshi Mineno, Makoto Takeuchi, Chiharu Ohuchi, Noriaki Obara, and Haruo Saitoh, “Advanced mobile satellite communications experiments using regenerative transponder on-board Japan's COMETS,” 20th ISTS, pp.1075-1080, 96-h-18, Gifu Japan, May 1996.
- (9) 磯部俊吉, 川又文男, 磯貝光雄, 大森慎吾, 仙波新司, “COMETS を用いた Ka, ミリ波帯再生中継実験システム,” 1993 信学秋季全大, B-165, 北海道工業大学, September 1993.
- (10) 仙波新司, 土橋康江, 米田誠良, 竹田修, 磯部俊吉, 川又文男, “COMETS 搭載用再生中継モデム その 1. 装置の概要,” 1993 信学秋季全大, B-166, 北海道工業大学, September 1993.
- (11) 磯貝光雄, 峯野仁志, 吉本繁壽, 仙波新司, 竹田修, 小宮山典男, “COMETS 搭載高度移動体衛星通信実験用再生中継器および主局再生中継端局装置の開発,” 1994 信学秋季全大, SB-3-15, 東北大学, September 1994.
- (12) 川又文男, 磯部俊吉, 内藤秀之, 大森慎吾, 土橋康江, 竹田修, “COMETS 搭載用再生中継モデム その 2. 回線制御部,” 1993 信学秋季全大, B-167, 北海道工業大学, September 1993.
- (13) 西田正純, 小山田哲也, 竹内誠, “衛星上回線制御における伝搬遅延とブロッキングの影響 (COMETS 再生中継器を想定したシミュレーション結果),” 1994 信学秋季全大, B-194, 東北大学, September 1994.



西田 正純
Masazumi NISHIDA
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信
E-Mail: nishida@crl. go. jp



峯野 仁志
Hitoshi MINENO
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信
E-Mail: mineno@crl. go. jp



川又 文男
Fumio KAWAMATA
企画部 企画課
イントラネットの構築
E-Mail: kawamata@crl. go. jp



大内 智晴
Chiharu OHUCHI
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信, 衛星放送
E-Mail: ohuchi@crl. go. jp



磯部 俊吉
Shunkichi ISOBE
郵政研究所 技術開発研究センター
衛星通信, 離散型シミュレーション
E-Mail: isobe@iptp. go. jp

内藤 秀之
Hideyuki NAITO
標準計測部 測定技術課
無線機器の測定法
E-Mail: naito@crl. go. jp

