

4.3.3 高度衛星放送実験 搭載中継器系

井口 政昭*¹ 大川 貢*¹ 都竹 愛一郎*¹

大内 智晴*² 西田 勇人*³

(1996年11月14日受理)

4.3.3 THE TRANSPONDERS FOR THE ADVANCED SATELLITE BROADCASTING EXPERIMENTS

By

Masa-aki IGUCHI, Mitsugu OHKAWA, Aiithiro TSUZUKU,

Tomoharu OHUCHI, and Hayato NISHIDA

This paper describes the configuration and special features of the transponder system of the on-board equipment for advanced satellite broadcasting experiment (SBE). The transponder system of the SBE comprises a receiver system and a transmitter system. The transponder is the frequency conversion type that has an automatic gain control (AGC) for compensating the reduced signal level due to rain attenuation in the up-link. The receiver system has two low-noise amplifiers and two frequency converters. The two frequency converters respectively convert frequency from 6.6GHz and 7.1GHz to 20.7GHz. The transmitter consists of two driving amplifiers and three traveling-wave-tube amplifiers (TWTAs). The TWTAs each have two output level modes of 200W and 63W, and those operation points are the saturation points.

[キーワード] 高度衛星放送, 地域別放送, 通信放送技術衛星, 21GHz帯, 中継器.

COMETS, Satellite broadcasting, On-board equipment, Transponder, Traveling-wave-tube amplifiers, Region-specific broadcasting, 21GHz frequency-band

1. はじめに

高度衛星放送用搭載機器 (Satellite Broadcasting Equipment: SBE)⁽¹⁾⁽²⁾ は, HDTV (High Definition Television), ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), 地域別放送などの次世代高度衛星放送サービスのための研究を目的とした, 宇宙開発事業団と当所の共同開発の実験用の COMETS 衛星搭載機器である. SBE は, アンテナ系⁽³⁾及びスルーリピーターの中継器系から構成される. 本論文は, その SBE の中

継器系の構成, 特性について述べる.

2. 搭載中継器の全体構成

高度衛星放送サービスを行う次世代の高度衛星放送システムでは, 大きい回線容量が求められること, 降雨減衰が大きい 21GHz帯の使用を想定していることから, 高利得アンテナとともに, 高出力且つ広帯域の送信装置を有する衛星搭載機器が必要となる.

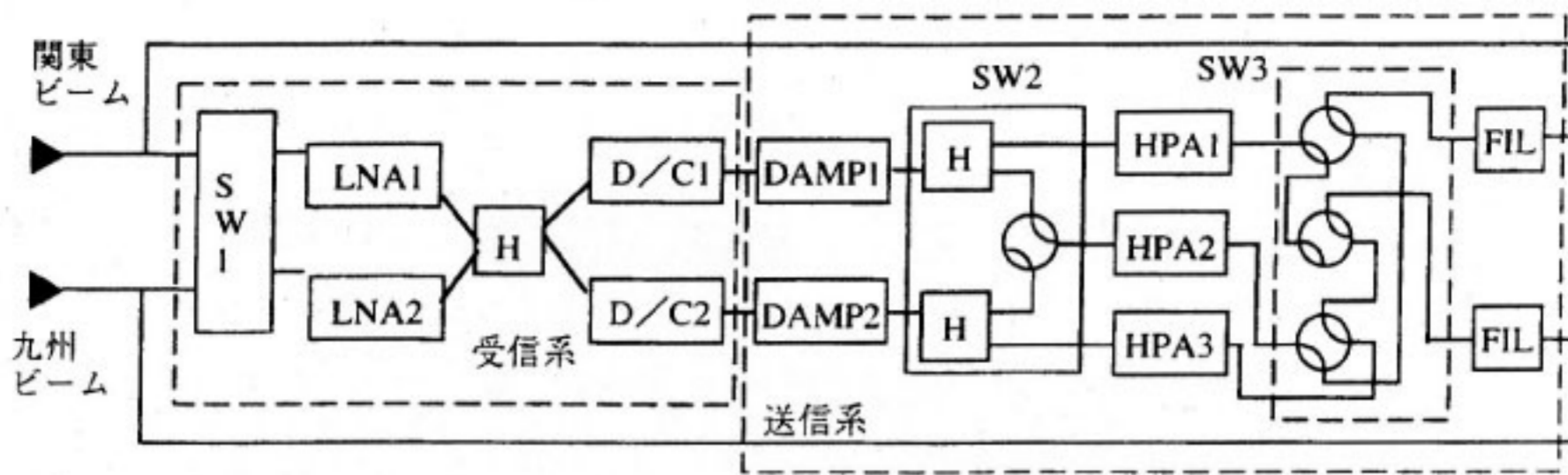
中継器系の全体構成を第1図に示す. 中継器系は, 受信系 (低雑音増幅器, 周波数変換部), 送信系 (励振増幅部, 高出力増幅器 (High Power Amplifier: HPA), 及びスイッチ (Switch: SW) から構成され, スルーリピーターの中継器である.

第1図において, HPA は現用2系統に対して1系統

*¹ 総合通信部 放送技術研究室

*² 宇宙通信部 衛星通信研究室

*³ 宇宙開発事業団



SW : スイッチ D/C : 周波数変換器 HPA : 高出力増幅器
 LNA : 低雑音増幅器 DAMP : 励振増幅器 FIL : 帯域通過フィルタ
 H : ハイブリッド AP : アンテナ制御機構

第1図 SBE中継器系の全体構成

の予備システムを有している。また、低雑音増幅器 (Low Noise Amplifier: LNA) については、片方が機能を停止した場合、上り回線は片方のビームのみの運用という制限を伴うが1台のLNAですべての実験が可能であり、実効的に予備系を有すると言える。各SWはその選択のための導波管スイッチであり、地上からのコマンドで切替が可能である。

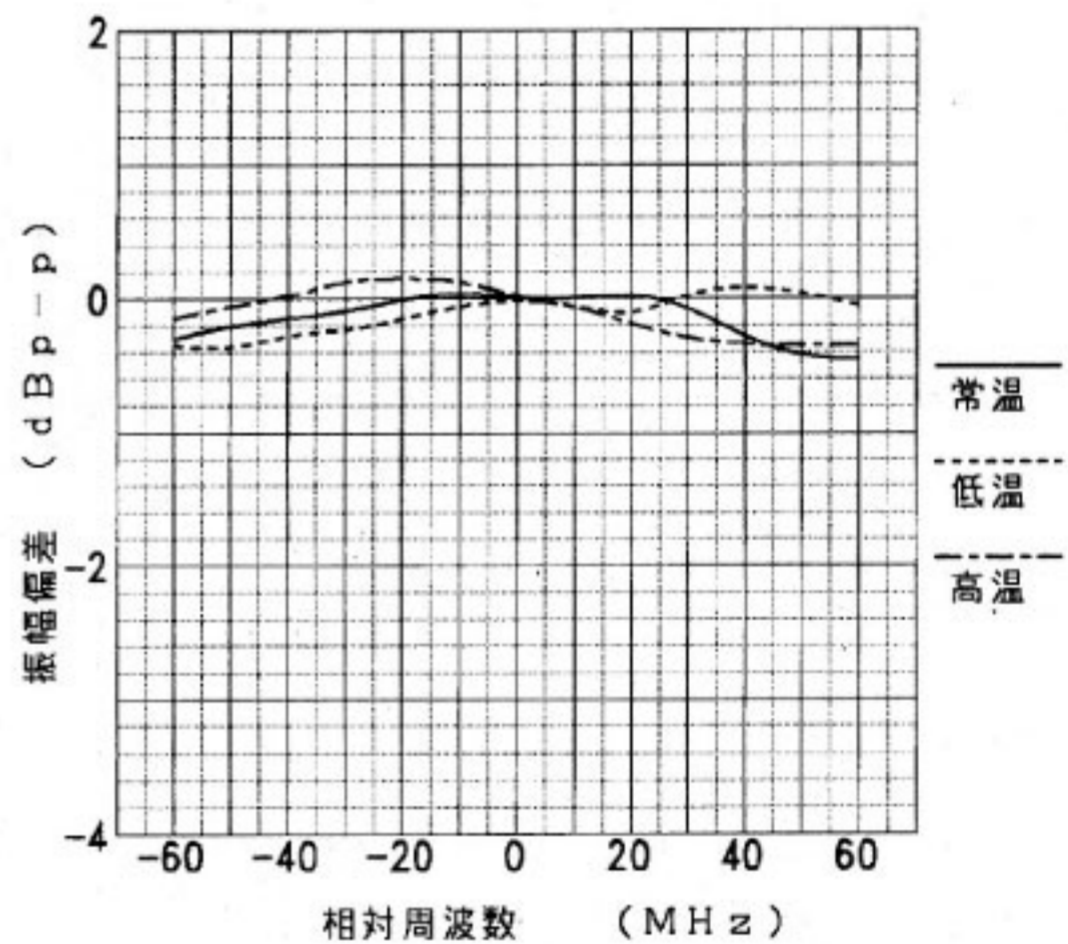
各ビームからの27GHz帯の上り回線の信号は、ビーム毎にLNAで増幅された後、ハイブリッドで電力合成される。合成された信号は、周波数変換部で下り回線の周波数の信号に変換され、送信系で高出力増幅され、送信される。2つの周波数変換部(D/C1, D/C2 (D/C: Down Converter))の入力周波数はそれぞれ27.3, 27.8GHzであるが、出力周波数はどちらも20.7GHzである。励振増幅部は、上り回線の降雨減衰による受信レベル変動を補償する自動利得制御 (Auto Gain Control: AGC) 機能を有し、HPAを一定の電力で励振する。

なお、受信信号が無い場合(無信号時)は、雑音を送信されるが、中継器は損傷しないように設計しており、地上局不具合などによって上り回線に信号断が生じてても、緊急に特別な対応をとる必要はない。

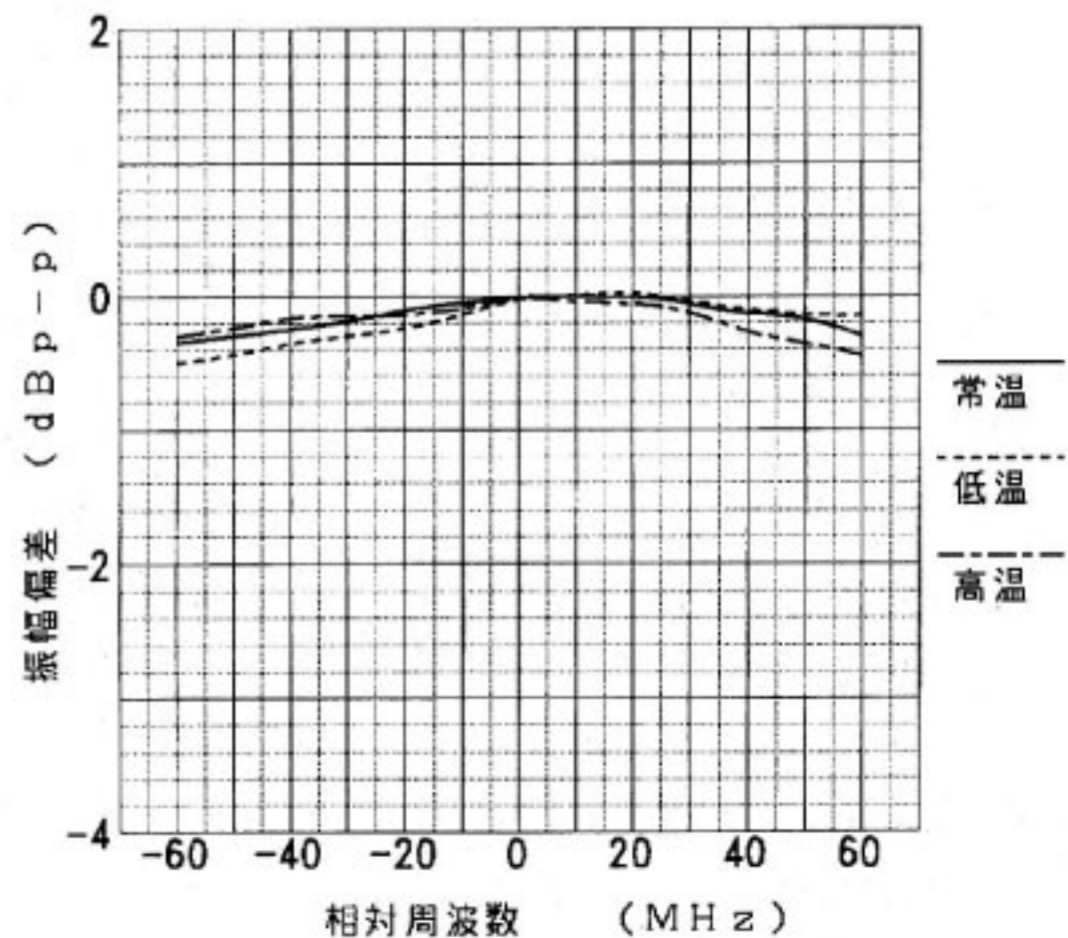
中継器系(受信系, 送信系)総合の振幅周波数特性を第2図と第3図に、群遅延特性を第4図と第5図に示す。それぞれ高出力モード及び低出力モードの特性例であり、中継器の温度が高温, 常温, 低温の時の特性である。第6図に中継器系の入出力特性(代表値)を示す。D/CのAGCによって、出力レベルが入力レベルの大きな変化にもかかわらず安定していることがわかる。

3. 受信系

受信系は、第1図に示すように、2つの低雑音増幅器(LNA1, LNA2)と2つの周波数変換部(D/C1, D/



SBEサブシステム周波数特性 解析値
 関東F1-TWTA1-関東ルート(高出力時)
 第2図 振幅周波数特性(高出力モード)



SBEサブシステム周波数特性 解析値
 関東F1-TWTA1-関東ルート(低出力時)
 第3図 振幅周波数特性(低出力モード)

C2), 受信系スイッチ (SW1), ハイブリッドから構成される。第7図に受信系の概観を示す。

以下, 第1図を用いて動作の説明を行う。

関東・甲信越ビームと九州ビーム, それぞれの上り回線の27.3GHzあるいは27.8GHzの信号は, SW1の2つの入力ポートに入力される。この2つのビームと2つのLANの接続・変更は, SW1で可能である。

2つのLNAの出力信号は, ハイブリッドで合成・分岐され, 2つのD/Cに入力される。2つのビームからの受信信号は2つのD/Cに同時に入力されるが, 27.3

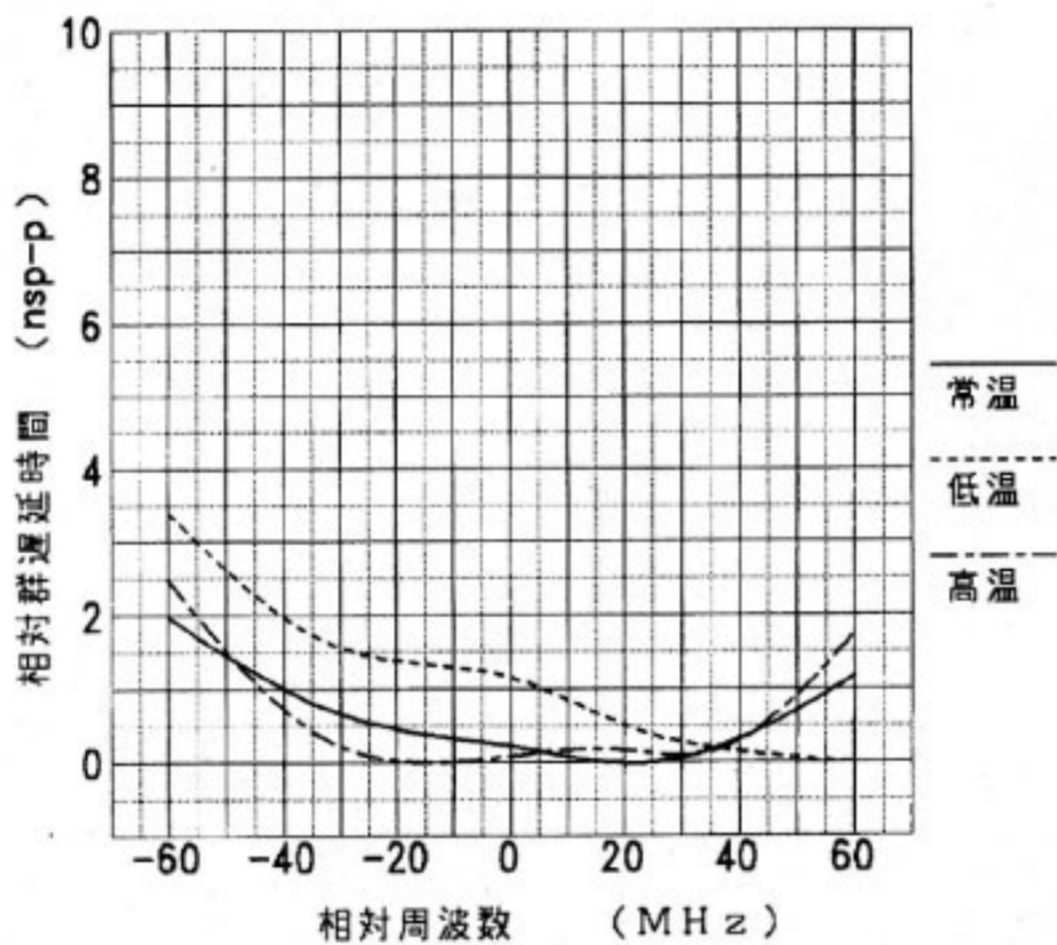
GHz帯の受信信号のみがD/C1の出力ポートに出力され, 27.8GHz帯の受信信号のみがD/C2の出力ポートに出力される。

ここで, LNAの出力信号をハイブリッドで合成する構成のため, D/Cには2つのLNAの雑音が入力される。結果として受信系の雑音指数を低下させるので, 上り回線を一方のビームのみを使用する場合には, 片側のLNAの電源を切ることが望ましい。

(1) LNA

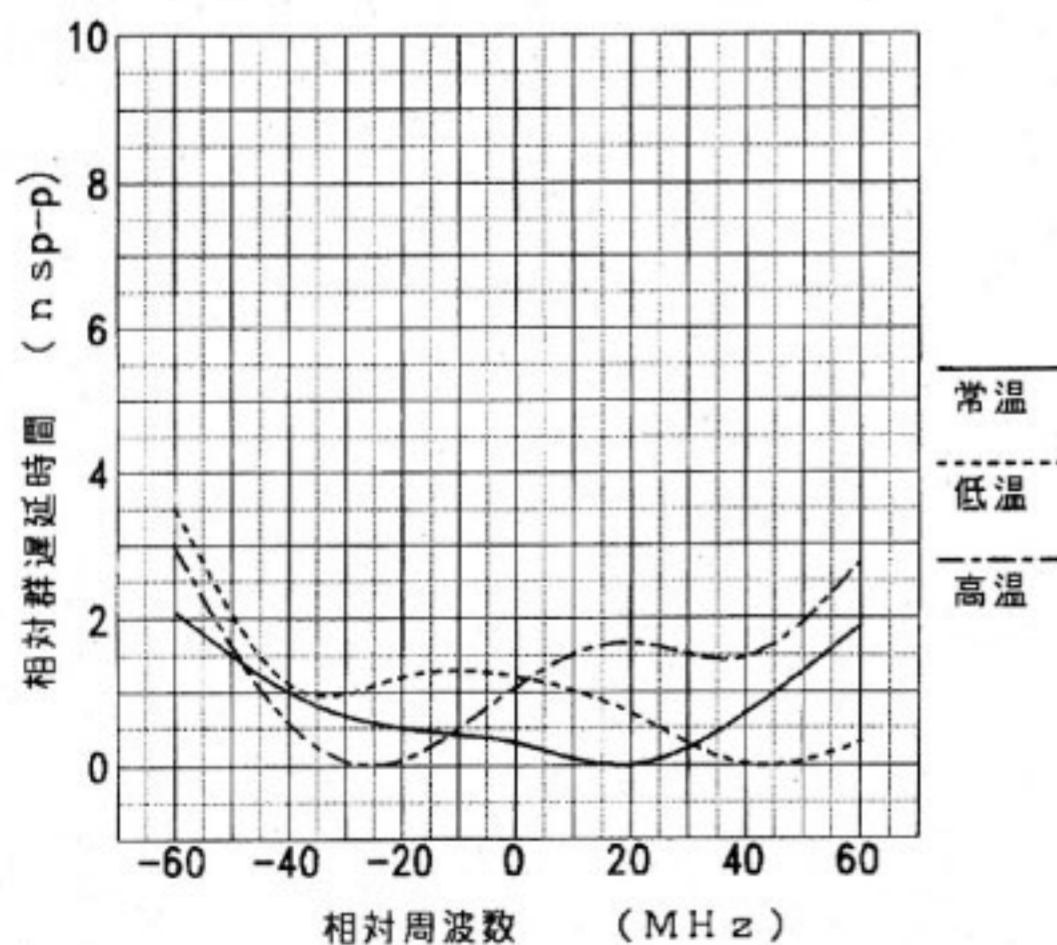
LNAは, 2つのハイブリッドIC (HIC) 増幅器, バンドパスフィルター, DC-DCコンバーターで構成され, 受信信号を低雑音増幅する。それぞれのLNAは, 27.3GHz帯と27.8GHz帯を共にカバーする。

GaAs-FETを使用したHIC増幅器は縦続接続され, 1段目と2段目の間にバンドパスフィルターが挿入され,



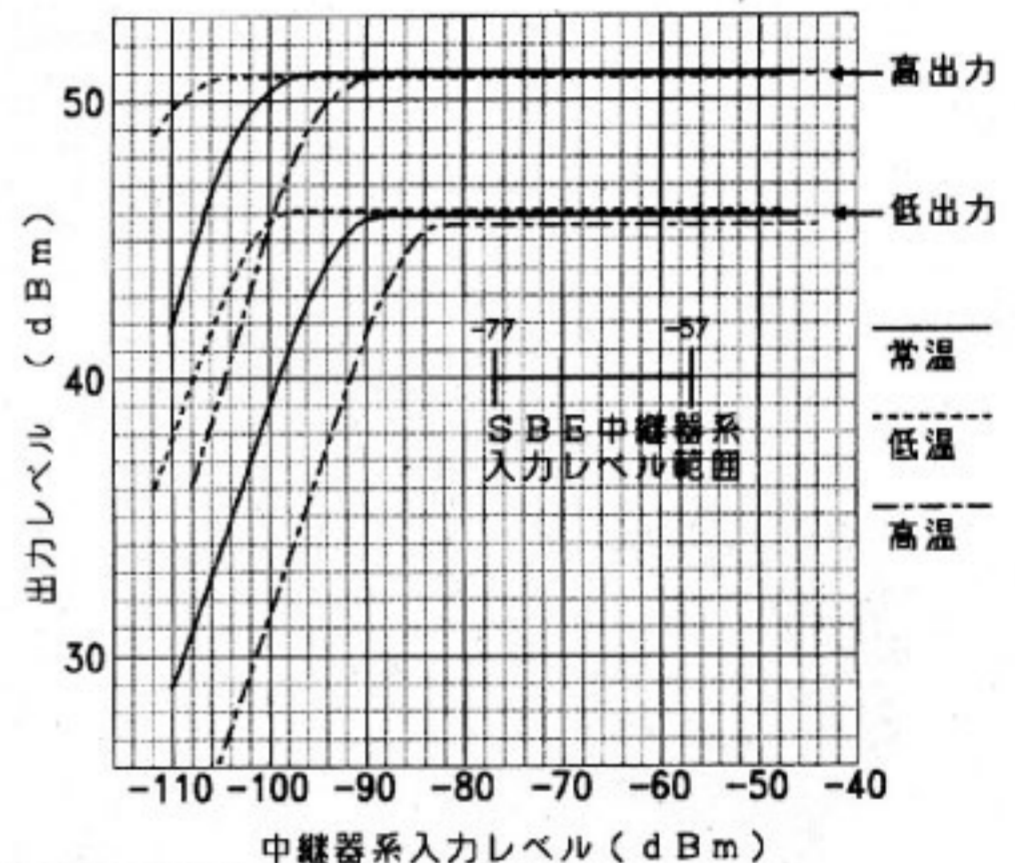
SBEサブシステム群遅延時間解析値
関東F1-TWTA1-関東ルート(高出力時)

第4図 群遅延特性(高出力モード)



SBEサブシステム群遅延時間解析値
関東F1-TWTA1-関東ルート(低出力時)

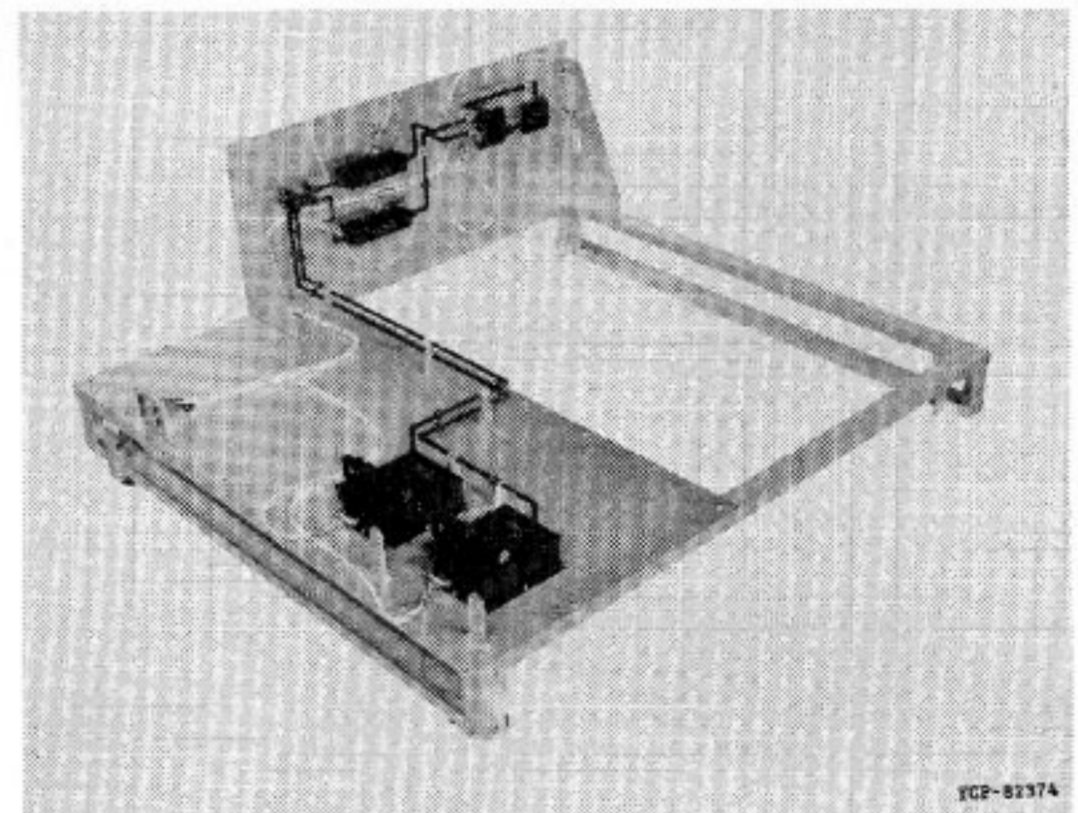
第5図 群遅延特性(低出力モード)



注) SBE送信機-SBEアンテナ系間の雑音増ロスを含む。

SBE中継器系入出力特性解析値
関東F1-TWTA1-関東ルート

第6図 中継器系の入出力特性(代表値)



第7図 受信系の概観

帯域外の信号を除去する。

LNA の概観を第 8 図に、諸元を以下に示す。

周波数範囲	27.2GHz ~ 27.9GHz
利得 (直線領域)	36dB
雑音指数	2.9dB

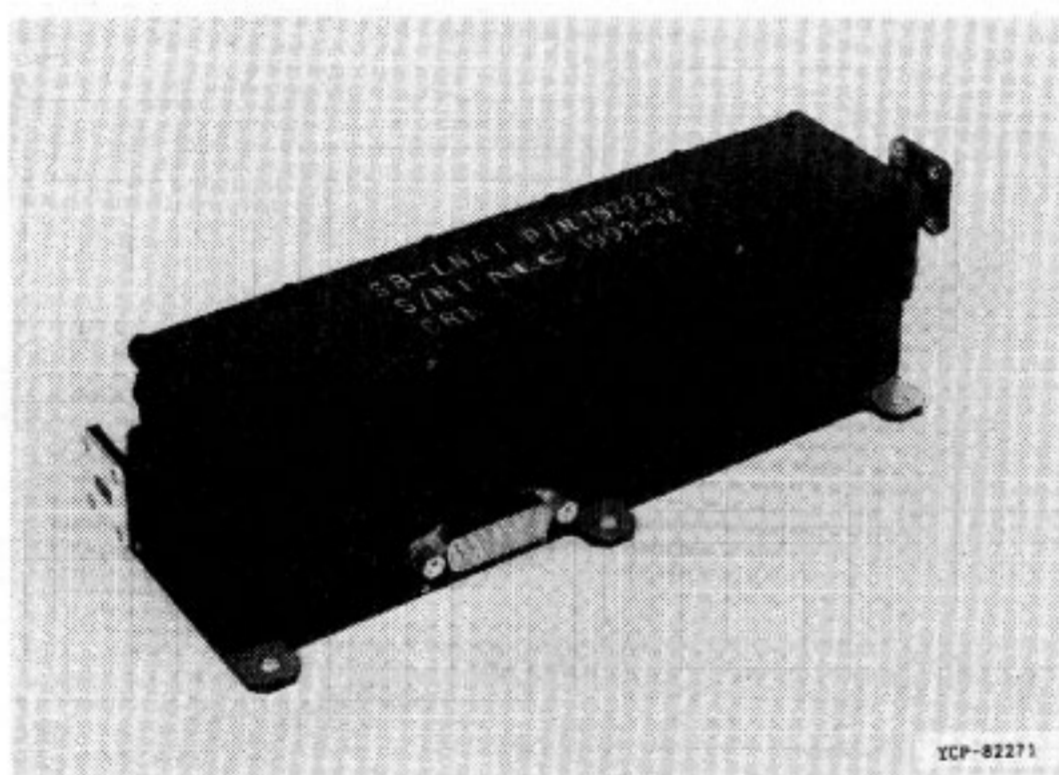
(2) D/C

D/C は、ミキサー、増幅ユニット、局部発振ユニット、及び DC-DC コンバーターで構成され、D/C1 は 27.3GHz 帯の信号を、D/C2 は 27.8GHz 帯の信号をそれぞれ下り回線の 20.7GHz 帯の信号に直接変換する。

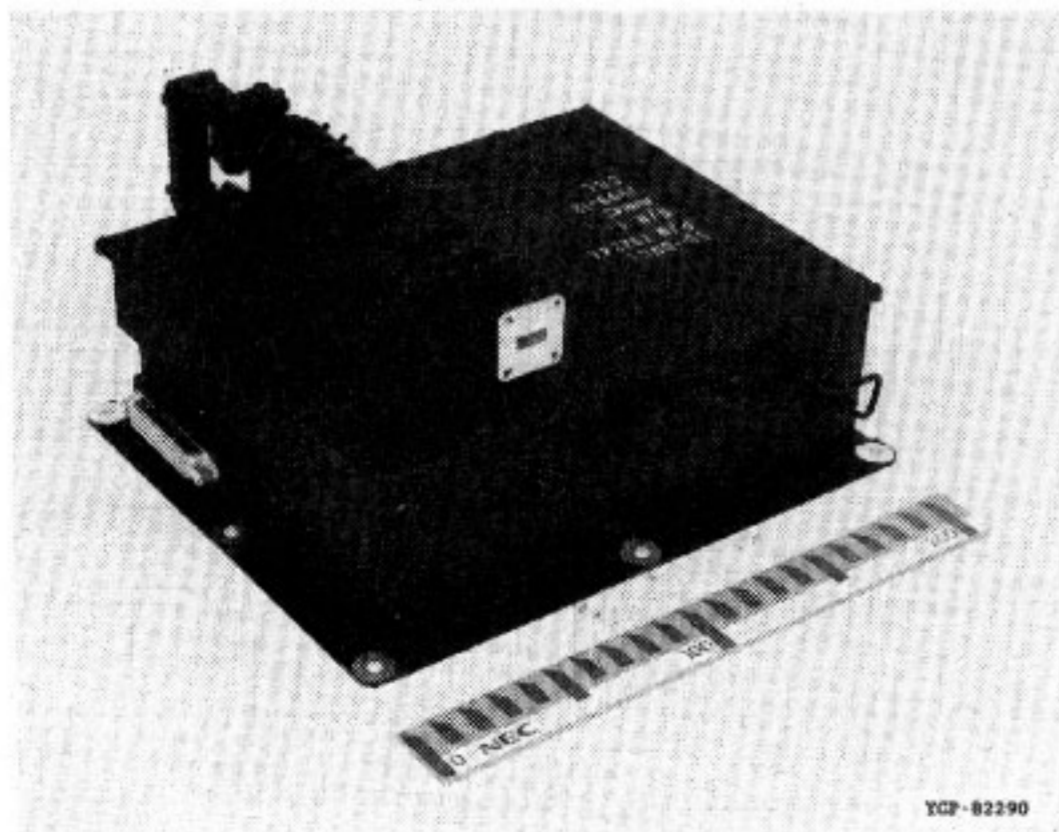
増幅ユニットは、20.7GHz 帯の信号を 38dB 増幅し、帯域幅 200MHz に帯域制限を行う。2つの局部発振ユニットは、温度補償型の水晶発振器 (TCXO) の出力信号を基準信号とする 7GHz-PLO (PLO: Phase-Locked Oscillator) である。

D/C の概観を第 9 図に、諸元を以下に示す。

入力周波数	27.3GHz ± 60MHz (D/C1)
	27.8GHz ± 60MHz (D/C2)



第 8 図 LNA の概観



第 9 図 D/C の概観

出力周波数	20.7GHz ± 60MHz
利得 (直線領域)	34.5dB ノミナル
局部発振	
周波数	6.6GHz (D/C2)
	7.1GHz (D/C2)
温度安定度	±6×10 ⁻⁶ 以下 (-15°C ~ +55°C)
長期安定度	±5×10 ⁻⁶ 以下/年

4. 送信系

送信系は、第 1 図に示すように、2つの励振増幅部 (Driver Amplifier: DAMP)、3つの HPA、送信系スイッチ (SW2, SW3) から構成される。第 10 図に送信系の概観を示す。

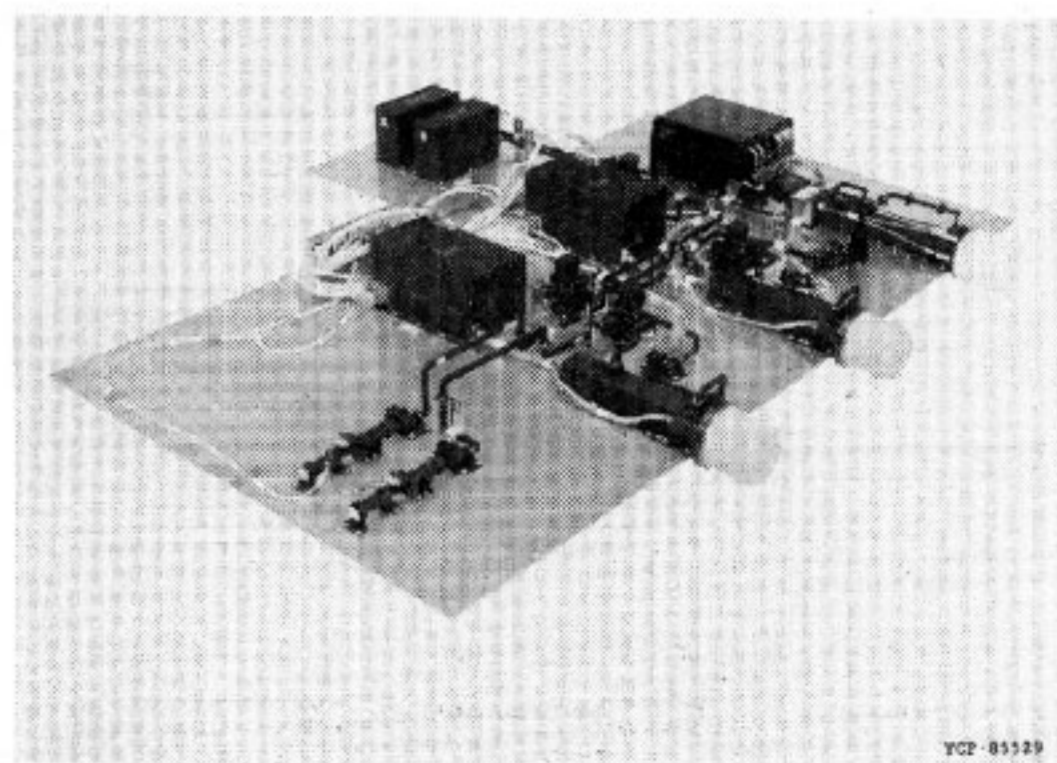
以下、第 1 図を用いて動作の説明を行う。

受信系の 2つの D/C 出力の 20.7GHz 帯の信号は 2つの DAMP にそれぞれ入力し、増幅され、SW2 に出力される。

DAMP は、それぞれ AGC 機能を有し、上り回線における降雨減衰などの信号レベルの変動を補償し、出力レベルが一定に保持される 20.7GHz 帯の信号を SW2 を介して HPA に供給する。

SW2 は、使用する HPA を選択するものである。3つの HPA の内、任意の 2つを現用を選択することが可能であり、残り 1つは冗長装置となる。ただし、DAMP1 (上り回線の 27.3GHz 帯を受信) の出力は HPA1 と HPA2 のいずれかの選択、DAMP2 (上り回線の 27.8GHz 帯を受信) の出力は HPA2 と HPA3 のいずれかの選択に限定される。したがって、HPA1 は上り回線の 27.3GHz 帯の信号を送信し、HPA3 は上り回線の 27.8GHz 帯の信号を送信する。

SW3 は、現用とした HPA がどのビームを使用する



第 10 図 送信系の概観

かの選択を行うために使用される。SW3 の出力ポート（2ポート）には通過帯域幅 300MHz の BPF を備え、HPA からの帯域外の不要輻射を抑圧する。

以上の SW2 及び SW3 は、地上からのコマンドで制御可能である。

HPA は、200W と 63W の 2 つの出力レベルで動作し、共にその動作は飽和増幅である。この選択は、地上からのコマンドで選択・制御が可能である。この出力レベルの変更の方法を次に述べる。

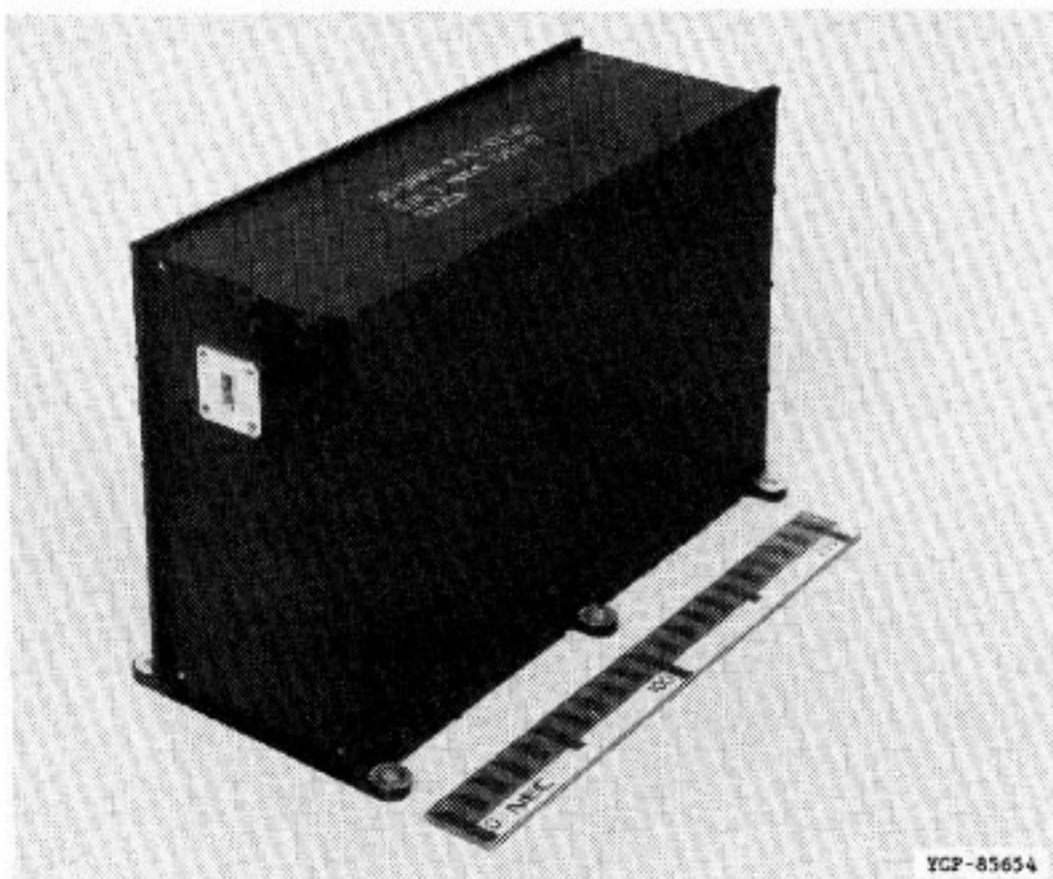
HPA に引加するアノード電圧は、出力レベル及び利得の 2 つに影響を与える。アノード電圧を高くすると高い飽和出力と高利得が得られる。反対に HPA のアノード電圧を下げると飽和出力レベルが下がり、且つ低利得となる。そこで、アノード電圧を 2 段に切換え、同時に利得差を考慮して HPA が飽和点で動作するように DAMP の出力レベルを制御すれば何れのモードにおいても HPA は飽和点で動作し、且つ異なった出力レベルとすることができる。ここで、HPA の励振レベルは DAMP の出力レベルであり、このレベルは AGC により受信レベルに依存せず、一定である。

(1) DAMP

DAMP は、AGC 増幅ユニットと DC-DC コンバーターで構成される。

AGC 増幅器は、20.7GHz 帯 HIC 増幅ユニット、2 つの 20.7GHz 帯 HIC の PIN 減衰ユニット、AGC 検波増幅ユニットで構成される。

AGC 増幅器の入力レベルに比例した AGC 検波増幅ユニットの DC 電圧により、PIN 減衰ユニットが駆動され、AGC 増幅器の出力レベルが一定に保持される。その出力レベルは、コマンドにより 2 つのレベルに制御が可能である。



第11図 DAMPの概観

DAMP の概観を第 11 図に、諸元を以下に示す。

周波数範囲	20.7GHz ± 60MHz
AGC 範囲	28dB 以上
出力レベル	+14.5dBm (高出力モード) +21.5dBm (低出力モード)

(2) HPA

HPA は、電源部、TWTA (Traveling-wave-tube Amplifier)、アイソレーターで構成される。

TWT は、高温性能を満足するためにカップルド・キャビティー遅波回路を持つ Ka 帯の 200W 級増幅管である。電源部は、衛星のメイン・バス電圧 (+31V ~ +50V DC) を TWT の電源電圧に変換する。出力のアイソレーターは、高い反射電力による TWT の破壊を防止するためのものである。

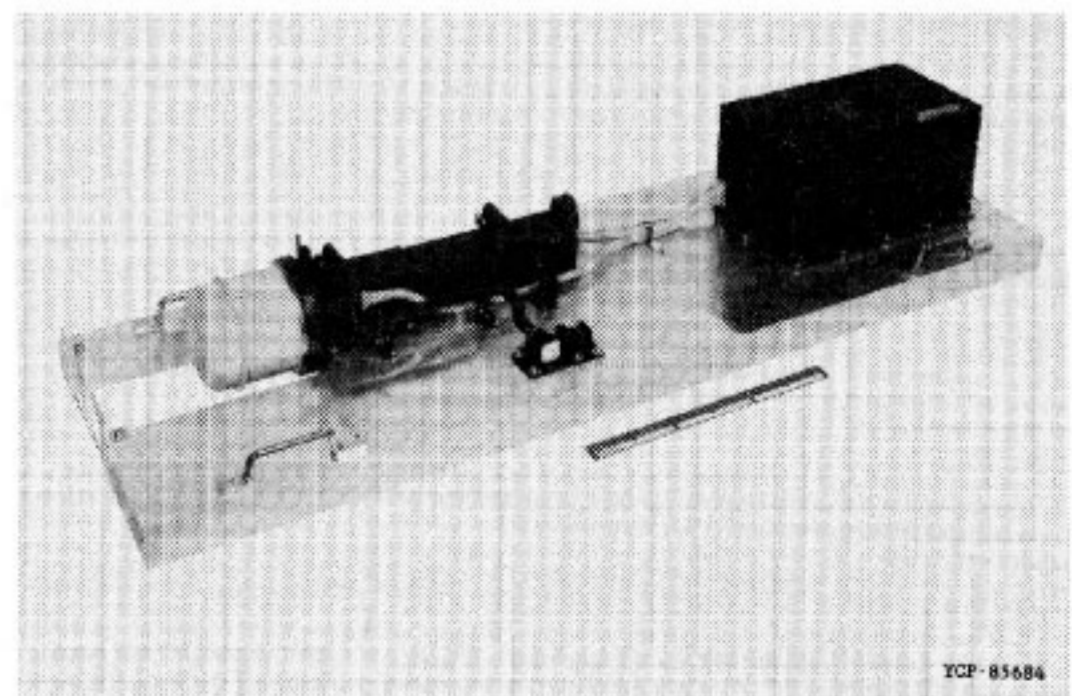
コマンドにより、2 つのステップでアノード電圧を変更することが可能である。

TWTA の概観を第 12 図に、諸元を以下に示す。

周波数範囲	20.7GHz ± 60 MHz
出力レベル	210W 以上 (高出力モード) 63W ノミナル (低出力モード)
AM/PM 変換	5.7 度/dB max (高出力モード) 4.3 度/dB max (低出力モード)
電力効率	40 % 以上 (出力回路損失を含む)

5. む す び

平成 9 年夏期に打ち上げ予定の通信放送技術衛星 (COMETS) に搭載される高度衛星放送用搭載機器の中継器系について、その構成及び特性の報告をおこなった。衛星打ち上げ後は、振幅及び群遅延の周波数特性、高出力中継器電力の測定、AGC 機能の性能評価等を行い、21GHz 帯衛星放送用搭載中継器の技術を確立する予定である。



第12図 TWTAの概観

謝 辞

放送および通信の複合型技術衛星 (BCTS) から COMETS に至るまで計画, 開発, 調整に携わって来られた科学技術庁, 通信総合研究所, 宇宙開発事業団, また開発を担当して戴いた日本電気(株), (株)東芝の関係各位に感謝します。

参 考 文 献

- (1) 井口政昭, 他 “4.3.1 高度衛星放送実験 搭載機器の概要”, 通信総研季, 43, 1, pp.71-76, Mar. 1997.
- (2) 亀田, 他 “COMETS 21GHz 帯衛星放送機器の EM 開発”, 信学技報 SANE95-11, pp.29-36, May 1995.
- (3) 井口政昭, 他 “4.3.2 高度衛星放送実験 搭載アンテナ系”, 通信総研季, 43, 1, pp.77-82, Mar. 1997.



井口 政昭
Masaaki IGUCHI
総合通信部 放送技術研究室
衛星通信, 衛星放送, ケーブルテレビ
E-Mail: igu@crl. go. jp



大川 貢
Mitsugu OHKAWA
総合通信部 放送技術研究室
衛星放送
E-Mail: okawa@crl. go. jp



都竹 愛一郎
Aiiichiro TSUZUKU
総合通信部 放送技術研究室
デジタル放送
E-Mail: tsuzuku@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



西田 勇人
Hayato NISHIDA
宇宙開発事業団 軌道上技術開発システム本部 通信放送衛星グループ
通信放送技術衛星 COMETS の開発

