

ETS-V 搭載中継器の特性

丸山 誠二*1 川又 文男*1 橋本 幸雄*2
 坂齊 誠*2 長谷 良裕*1 浜本 直和*3
 (平成元年11月20日受理)

CHARACTERISTICS OF AERONUTICAL MARITIME EXPERIMENTAL TRANSPONDER ON ETS-V

By

Seiji MARUYAMA, Fumio KAWAMATA, Yukio HASHIMOTO,
 Makoto SAKASAI, Yoshihiro HASE,
 and Naokazu HAMAMOTO

The Engineering Test Satellite Five (ETS-V) was launched by a H-I rocket on August 27, 1987 and it was successfully put into the geostationary orbit of 150 degrees East. L-band and C-band transponders onboard the ETS-V, which has been used for mobile satellite communication experiments, are called Aeronautical Maritime Experimental Transponder (AMEX). The initial check-out was conducted just after launching the satellite, and regular check-outs have been carried out periodically.

This paper describes precise characteristics of the AMEX, which are obtained from the data of the initial and regular check-outs. Good performance of the AMEX has been confirmed by check-out data.

1. はじめに

1987年8月27日に宇宙開発事業団(NASDA)種子島宇宙センターからH-Iロケットによって打ち上げられた技術試験衛星5型(ETS-V)は、同年9月17日に赤道上空東経150度の静止軌道へ投入された。その後、ETS-Vは試験運用段階に入りバス系機器及び移動体通信実験機器(AMEX)の機能確認がNASDA、運輸省電子航法

研究所(ENRI)及び郵政省通信総合研究所(CRL)によって実施された。その結果、ETS-Vは静止軌道上において正常な機能を有していることが確認され^{(1)~(3)}、同年11月26日から定常運用段階へ入った。静止化後のETS-Vの運用を第1表に示す。ETS-Vの管制運用業務はNASDA及びCRL(衛星状態監視及びAMEX制御)が担当し、AMEXを用いた移動体衛星通信実験(EMSS)はENRI、CRLを中心とした機関が実施した^{(4)~(5)}。ETS-V搭載機器の公称寿命は1年半とされていることから1989年3月末で定常運用段階は終了した。しかしETS-V各部機器には異常がなく、しかも静止

*1 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室
 *2 宇宙通信部 移動体通信研究室
 *3 宇宙通信部 衛星通信研究室

第1表 ETS-V 運用状況

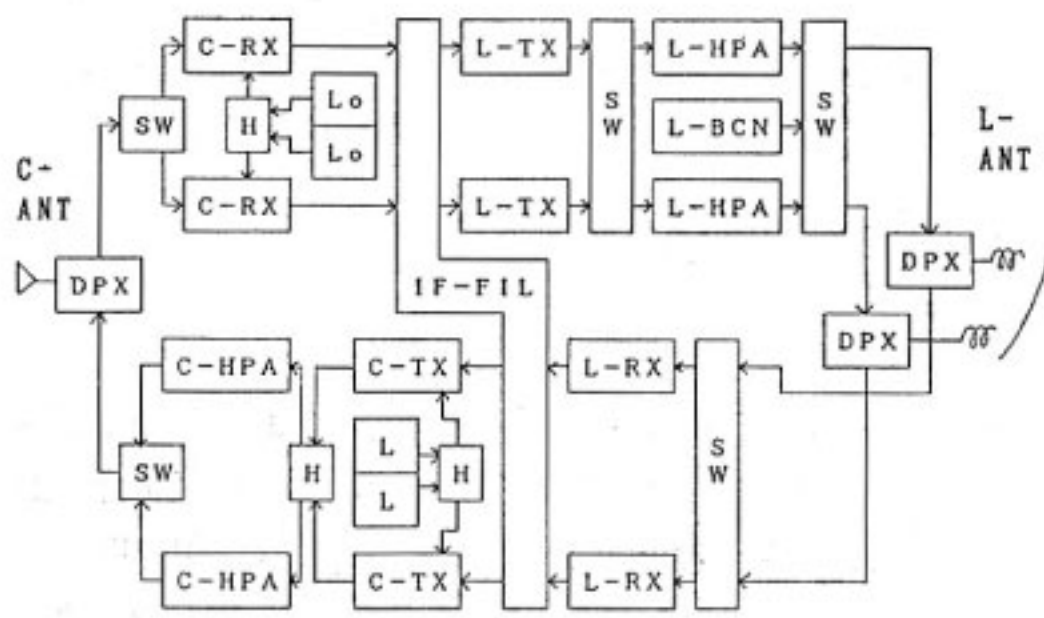
年	1987	1988	1989
ETS-V 運用段階	△打上 △静止化 試験 運用	定常運用	後期利用
EMSS 実験段階		基本実験	後期利用実験
C/O	▲初期C/O	▲定期C/O	▲定期C/O

化するための姿勢制御用燃料が充分に残っていることから引き続き ETS-V 後期利用段階として運用を継続することとなった。なお、残存燃料から算出された ETS-V 静止化可能期間は、現在の姿勢精度を維持する場合約 2 年と見込まれている。また、ETS-V の運用段階に伴って EMSS 実験も基本実験から ETS-V 利用実験へと引き継がれ様々な機関の参加による実験が予定されている。

ETS-V 静止化後から後期利用段階にわたって、ETS-V 搭載機器であり移動体衛星通信実験で重要な役割を担う AMEX の性能確認が定期的に行われており、本論文では AMEX チェックアウト (C/O) の結果を中心に AMEX の特性について述べるものである。

2. 搭載中継器の構成

ETS-V 搭載中継器 AMEX は、ENRI, NASDA 及び CRL によって開発された⁽⁶⁾⁽⁷⁾。第 1 図に AMEX の構成を示す。ETS-V 搭載アンテナは鹿島を中心とするグローバルビームアンテナ (C バンド)、北太平洋及びニューギニア付近にそれぞれ中心を持つマルチビームア



第 1 図 AMEX の構成

ンテナ (L バンド北ビーム及び南ビーム) から構成される。C バンド (6/5 GHz 帯) は CRL 鹿島宇宙通信センターに設置された海岸/航空地球局 (鹿島地球局)⁽⁶⁾ との回線 (フィードリンク)、L バンド (1.6/1.5 GHz 帯) は各移動体地球局との回線に使用される。中継器の構成は C バンド送受信系が現用・予備の完全冗長系、L バンド送受信系は北ビーム・南ビームに対応する現用 2 系統からなり、切替えスイッチによって互いに他ビームに対応する冗長系としても機能する。更に、L バンドビーコンが任意の送信系から出力可能である。中継器内 IF 系は弾性表面波素子 (SAW) フィルタを用いたフィルタ群からなり、地球局送信周波数の選択によって通過フィルタが異なり C/L, L/C, C/C, L/L 回線を構成する。また海事・航空バンドを切替えスイッチにより選択する。C バンド高電力増幅器 (HPA) には 8 W, L バンド HPA には 25 W の A 級ガリウムヒ素電界効果トランジスタ (GaAs FET) が使用されている。

なお、C/L 回線とは衛星受信周波数が C バンド、衛星送信周波数が L バンドで構成される回線を表し、海事バンド北ビームは M1, 航空バンド南ビームは A2 と示す。また、C バンド送受信機冗長系は ' を付加することで区別している。

3. 初期チェックアウトの概要

初期チェックアウトは、ETS-V が静止軌道に位置し、AMEX が中継器としての性能を有しているか確認するためのものであり大きく二つに分けられる。

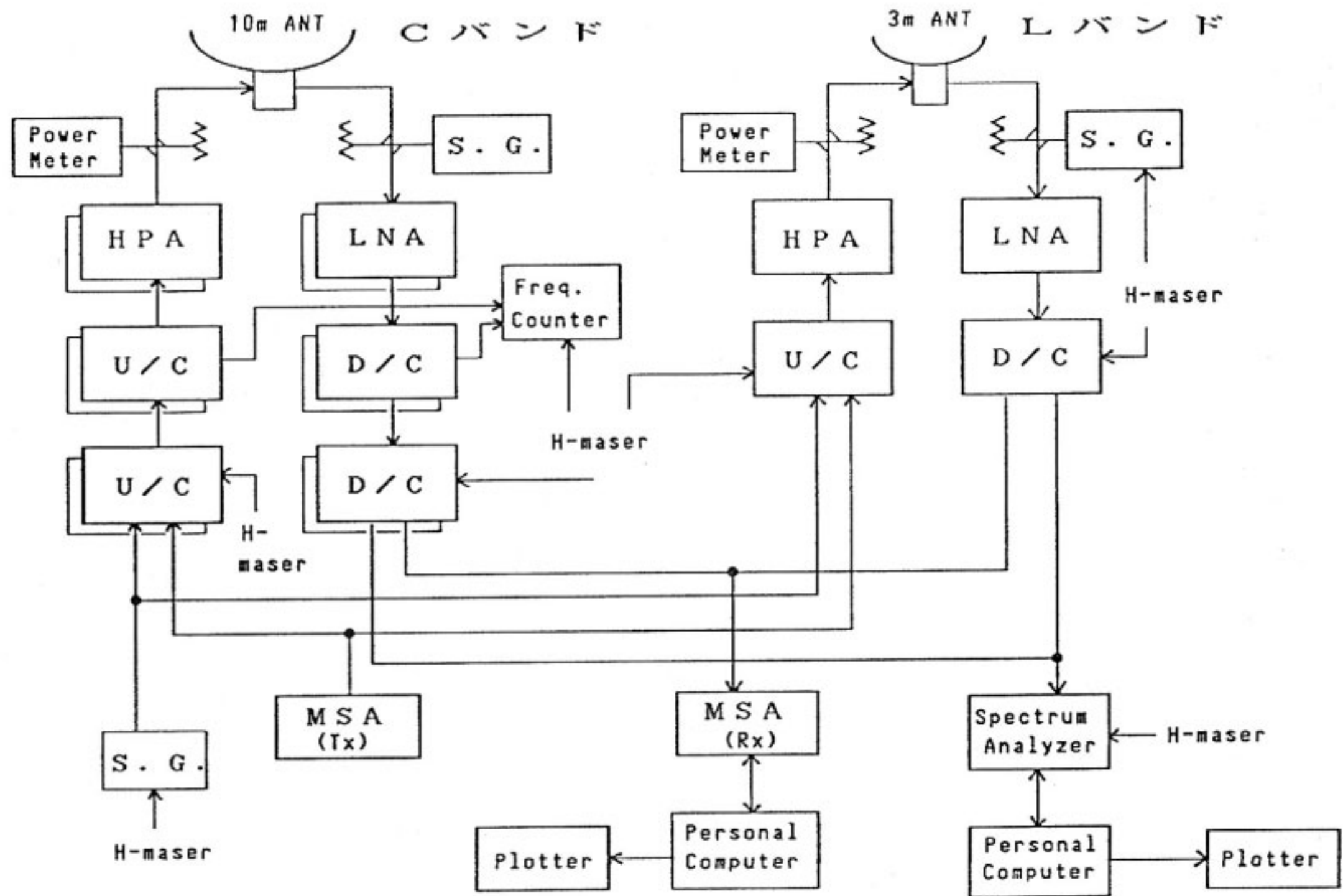
- ① バス系機能確認
- ② AMEX 系機能確認

本チェックアウトは、ETS-V 静止化後に NASDA によって 1987 年 10 月に実施された。測定は ETS-V 運用協

第 2 表 AMEX 初期チェックアウト測定項目及び測定回線

測定項目	測定回線															
	C/L M1	C/L M2	L/C M1	L/C M2	C/C M	L/L M1	C'/L M1	C/L A1	C/L A2	L/C A1	L/C A2	C/C A	L/L A2	L/C' A1	BCN	
入出力特性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	
振幅遅延周波数特性	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
スプリアス特性		○					○		○					○		
周波数変換特性	○	○				○	○			○	○	○		○	○	
利得切替特性		○					○				○			○		
総合伝送特性	○		○													

M: 海事バンド 1: 北ビーム
 A: 航空バンド 2: 南ビーム
 C': C バンド冗長系 ◎: ビーコン出力レベル



第2図 AMEX C/O 地球局測定システム

定に基づき、鹿島地球局を用いて CRL 及び ENRI の協力のもとに行われた。

3.1 バス系機能確認

本機能確認は、静止化後の ETS-V が衛星としての機能を有しているかを確認するためのものであり、NASDA が S バンド (2GHz 帯) TT & C (Telemetry, Tracking and Command) で測定を実施した。その結果、RIU-1A (Remote Interface Unit 1A: コマンド内容を解読し各制御部へ出力する部分) 箇所に不具合が発見されたが、予備機器に切替えることによって同機能が正常に動作することが確認された。その他問題となる不具合はなく、本機能確認によって ETS-V は静止衛星として十分な機能を有していることが確認された。

また、ETS-V 管制業務は CRL も担っており NASDA と異なる周波数の C バンド TT & C (C-TT & C) によって常時 ETS-V の監視を行い、必要に応じてコマンドを送信することができる。このため、鹿島地球局で実施された AMEX 系初期チェックアウトに先立って、C-TT & C 機能を確認するため、実際に ETS-V から送信されているテレメトリを受信し、また ETS-V へコマンドを送信することによって鹿島地球局において ETS-V 管制業務が正常に行えることが確認された。

3.2 AMEX 系機能確認

本機能確認では静止軌道上にある ETS-V に搭載されている中継器 AMEX の諸特性を測定し、打ち上げ前に AMEX 単体で求めた特性と比較して打ち上げによる動作異常の無いこと、更に移動体衛星通信実験に支障の無い特性を有していることの確認を目的として実施した。第2表に各特性の測定項目及び測定回線を示す。

3.2.1 測定システム

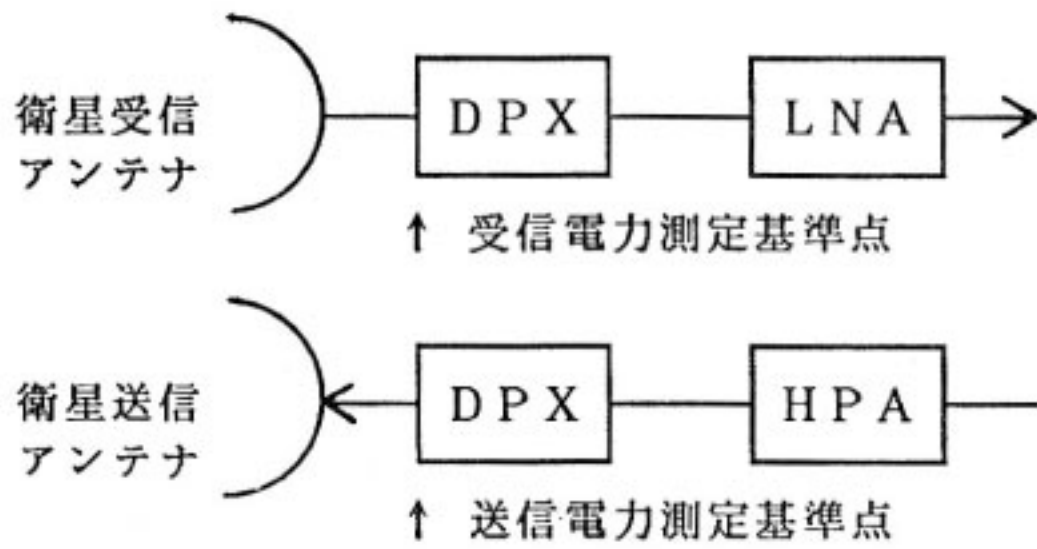
本機能確認は、移動体衛星通信実験に用いられる鹿島地球局を用いて測定を実施した。測定システムの構成を第2図に示す。

3.2.2 測定結果

(1) 入出力特性

本測定では、鹿島地球局から送信した無変調 (CW) 波の送信電力と衛星で折り返ってきた信号の地球局受信電力及び中継器出力テレメトリ値から、回線パラメータを用いて中継器利得 (衛星受信アンテナ側ダイプレクサ入力端から衛星送信アンテナ側ダイプレクサ出力端の間の利得: 第3図参照) や中継器出力電力を求めた。第3表に鹿島地球局及び AMEX の回線パラメータを示す。

各測定値及び回線パラメータから得られた中継器直線領域利得の結果を第4表に打ち上げ前に測定された地上最終電気性能試験結果との差を併せて示す。得られた結果より、C/L 北ビーム回線 (M1, A1, M'1) を除き、



第3図 中継器利得測定基準点

第3表 回線パラメータ

(a) 鹿島海岸/航空地球局パラメータ

項目		Cバンド系	Lバンド系
上り回線	フィーダ損失 (dB)	3.5	0.2
	送信アンテナ利得(dB)	54.7	30.8
	伝搬損失 (dB)	199.4	188.2
	大気損失 (dB)	0.2	0.1
下り回線	伝搬損失 (dB)	198.2	187.6
	大気損失 (dB)	0.2	0.1
	受信アンテナ利得(dB)	53.5	30.3
	フィーダ損失 (dB)	0.3	0.8

(b) AMEX パラメータ

項目	Cバンド系	Lバンド系		
		北ビーム	南ビーム	
受信側	アンテナ利得(dB)	21.5	24.5	15.5
	フィーダ損失(dB)	0.6	1.2	1.1
送信側	フィーダ損失(dB)	0.6	1.2	1.1
	アンテナ利得(dB)	19.9	24.0	15.9

(アンテナ利得：鹿島方向の値)

本測定と最終性能試験の差が ±0.6 dB 以内で一致しており良好な結果が得られた。なお、C/L 北ビーム回線の差は -1.0~-1.4 dB 程度あるが、以下のように利得低下の原因を検討した。

(ア) もし AMEX の Cバンド受信系に起因する利得低下であるならば、C/C回線の利得低下も発生するはずである。しかし、C/C回線での利得低下は -0.3~-0.4 dB 程度であることから C バンド受信系に起因する利得低下とは考えられない。

(イ) もし AMEX の Lバンド送信系に起因する利得低下であるならば、L/L回線の利得低下も発生するはずである。しかし、L/L回線での利得低下は -0.2~-0.3 dB 程度であることから L バンド送信系に起因する利得低下とは考えられない。

以上のことから主に AMEX に起因して発生した利得低下ではなく、本測定と打ち上げ前の測定方法の違いや回線パラメータの誤差（アンテナビーム指向性誤差等）に

第4表 中継器直線領域利得

回線	直線領域利得 [dB]		①-② [dB]	
	①初期C/O	②最終性能試験		
C/L M1		121.0	122.4	-1.4
	M2	122.2	122.6	-0.4
	A1	122.0	123.1	-1.1
	A2	122.6	122.2	+0.4
C'/L M1		120.9	121.9	-1.0
L/C M1		122.8	123.4	-0.6
	M2	122.9	122.9	0.0
	A1	124.1	123.5	+0.6
	A2	122.9	123.0	-0.1
L/C' A1		124.3	123.7	+0.6
C/C M		105.9	106.3	-0.4
	A	106.8	107.1	-0.3
L/L M1		139.2	139.4	-0.2
	A2	138.6	138.9	-0.3
BCN 1		32.6	32.6	0.0
	2	33.3	32.7	+0.6

BCN：ピーコン出力レベル [dBm]

第5表 中継器飽和電力 (2 dB 抑圧点)

回線	初期C/O [dB]	最終性能試験 [dB]	
C/L M1		40.5	40.7
	M2	42.1	41.9
C'/L M1		40.6	40.8

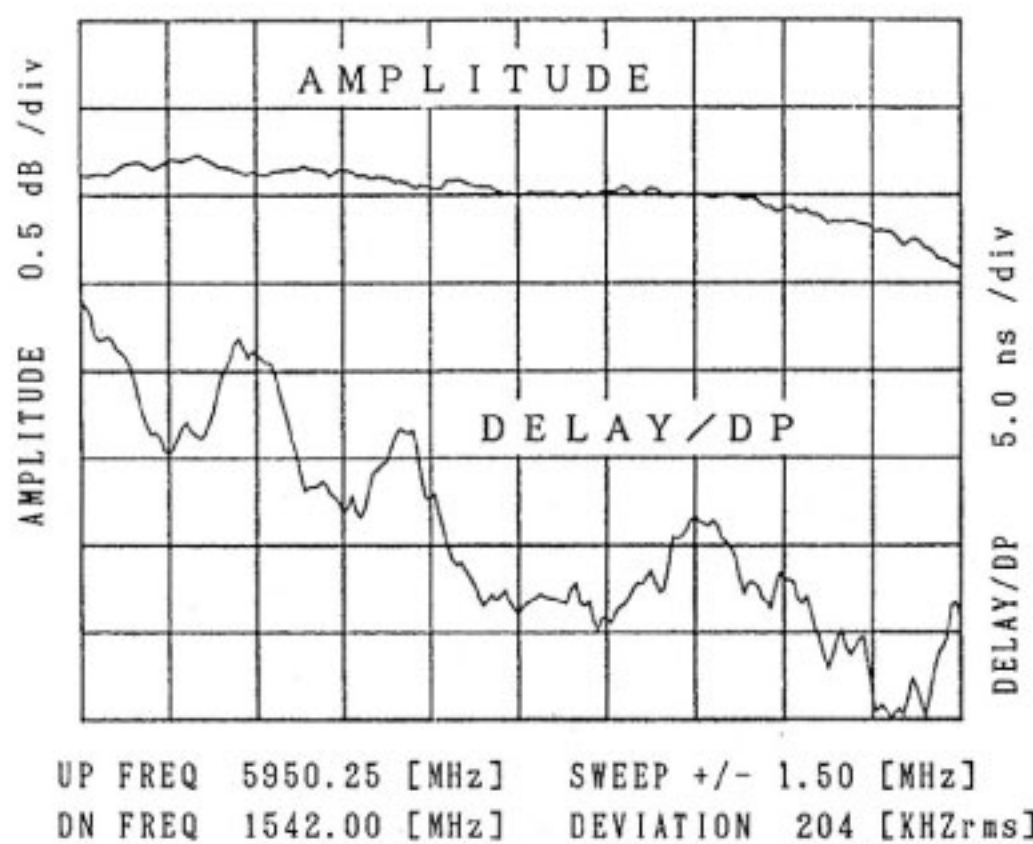
よるものと考えられる。

本測定の結果、入出力特性に関しては地上最終電気性能試験の値と比較して差があるものの、ETS-V/EMSS 実験を実施する上で全く支障が無いことが確かめられた。

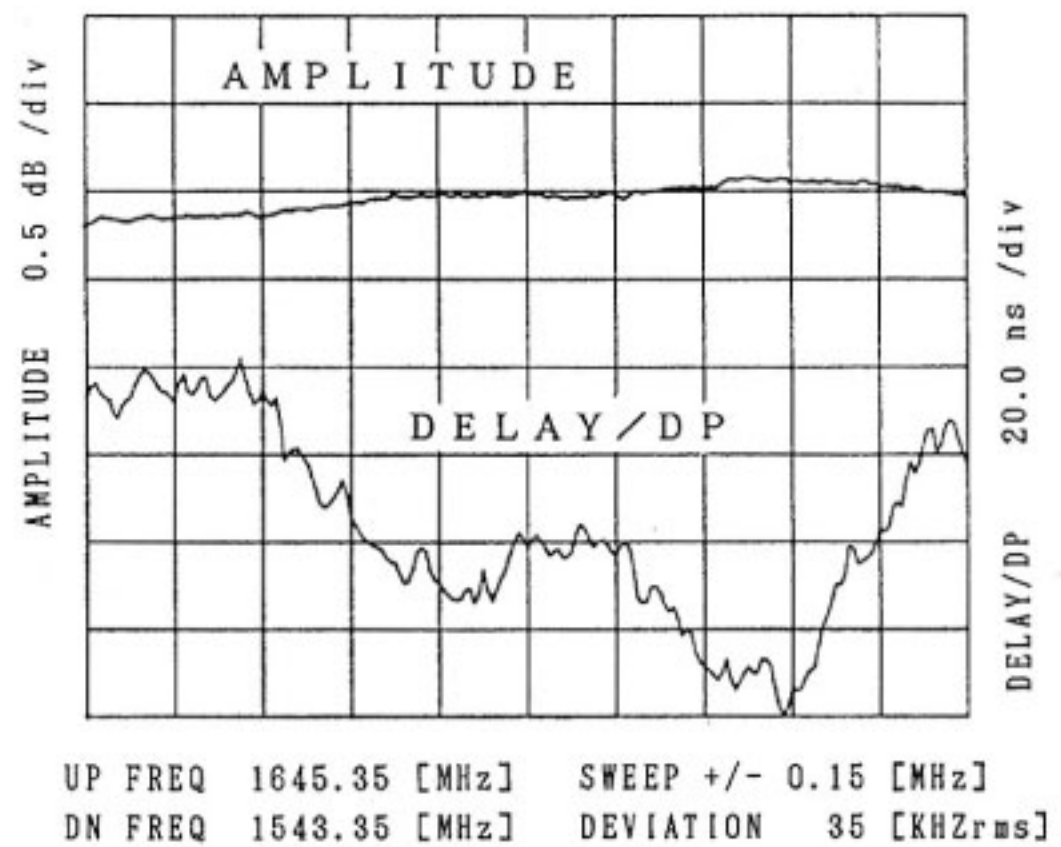
なお、第5表に衛星Lバンド送信系の飽和出力電力の測定結果を最終電気性能試験の結果と併せて示す。差が ±0.2 dB 以内で一致している。また、衛星 C バンド送信系の飽和出力電力は地球局送信電力の限界により測定不可能であった。

(2) 振幅遅延周波数特性

マイクロウェーブシステムアナライザ (MSA) を用いて、地球局 IF パッチの送信端子から受信端子間の各回線における振幅遅延周波数特性を求めた。振幅特性は MSA から出力された掃引信号の周波数応答から測定し、遅延特性は掃引信号に FM 変調 (BB freq. = 56.7 kHz, Freq. dev = ± 200 kHz rms) を掛け復調後のベースバンド信号の位相特性から測定した。なお、AMEX 単体の特性を求めるため、事前に測定された地球局受信系の特性を差し引く処理を行っている。第4図に代表



(a) C/L M1 回線



(b) L/L M1 回線

第4図 振幅遅延周波数特性 (測定例)

的な測定結果 (C/L M1 及び L/L M1 回線) を示す。

C/L M1 回線は 3 MHz の帯域内において、振幅特性が 0.62 dB_{p-p}、遅延特性が 25 nsec_{p-p} 程度であり十分に小さい値である。また、L/L M1 回線は 0.3 MHz の帯域で C/L 回線と比較して狭帯域であるが、振幅特性は 0.26 dB_{p-p}、遅延特性ではリップルが多少見られるものの 83 nsec_{p-p} であり十分満足のできる値である。その他の全ての回線についても問題はなかった。本測定の結果、AMEX の振幅遅延周波数特性は良好であることが確認された。

(3) スプリアス特性

本測定は、衛星折り返しによる CW 波の受信スペクトルをスペクトルアナライザでモニタすることにより不要信号が AMEX 内で発生していないか測定した。その結果、全ての回線において雑音レベル以上のスプリアスはなく異常は認められなかった。

(4) 周波数変換特性

AMEX で受信された信号は各回線毎に周波数変換された後、送信される。この周波数変換特性を地球局 IF 帯送受信周波数と送信周波数変換装置 (UC)、受信周波数変換装置 (D/C) のローカル発振周波数から得られる地球局送受信 RF 帯周波数により求めた。なお、地球局内の各装置に起因する測定誤差を少なくするため、すべて周波数の高安定な水素メーザ (H-maser) を共通の原振とした。

第6表に本測定結果である各回線の周波数変換偏差と、打ち上げ前に得た熱真空試験結果を示す。L/L M1 回線を除き周波数偏差はすべて熱真空試験の高温と低温の測定結果の間にあり正常に周波数変換が行われていることが確認された。L/L M1 回線の周波数変換偏差は

第6表 中継器周波数変換偏差

回線	初期 C/O ($\times 10^{-6}$)	熱真空試験	
		高温	($\times 10^{-6}$) 低温
C/L M1	0.21	0.17	0.37
M2	0.16	0.09	0.28
C'/L M1	0.02	-0.06	0.10
L/C A1	-0.02	-0.27	-0.05
A2	-0.06	-0.12	0.02
L/C' A1	-0.31	-0.43	-0.24
C/C A	1.1	1.07	1.27
L/L M1	9.8	8.19	8.21
BCN 1	-0.14	-0.30	0.14

地上熱真空試験結果の値と比較して 1.6×10^{-6} 程度ずれているが、C/L, L/C 回線 (Lバンド送受信系を用いて変換される回線) はすべて地上試験範囲内にあることから測定誤差に起因しているものと思われる。またこの程度の周波数変換偏差であれば実験に影響はない。

なお、EMSS 実験では鹿島地球局にある AFC システム⁽⁹⁾により衛星中継器の周波数変換偏差の補正を行っている。

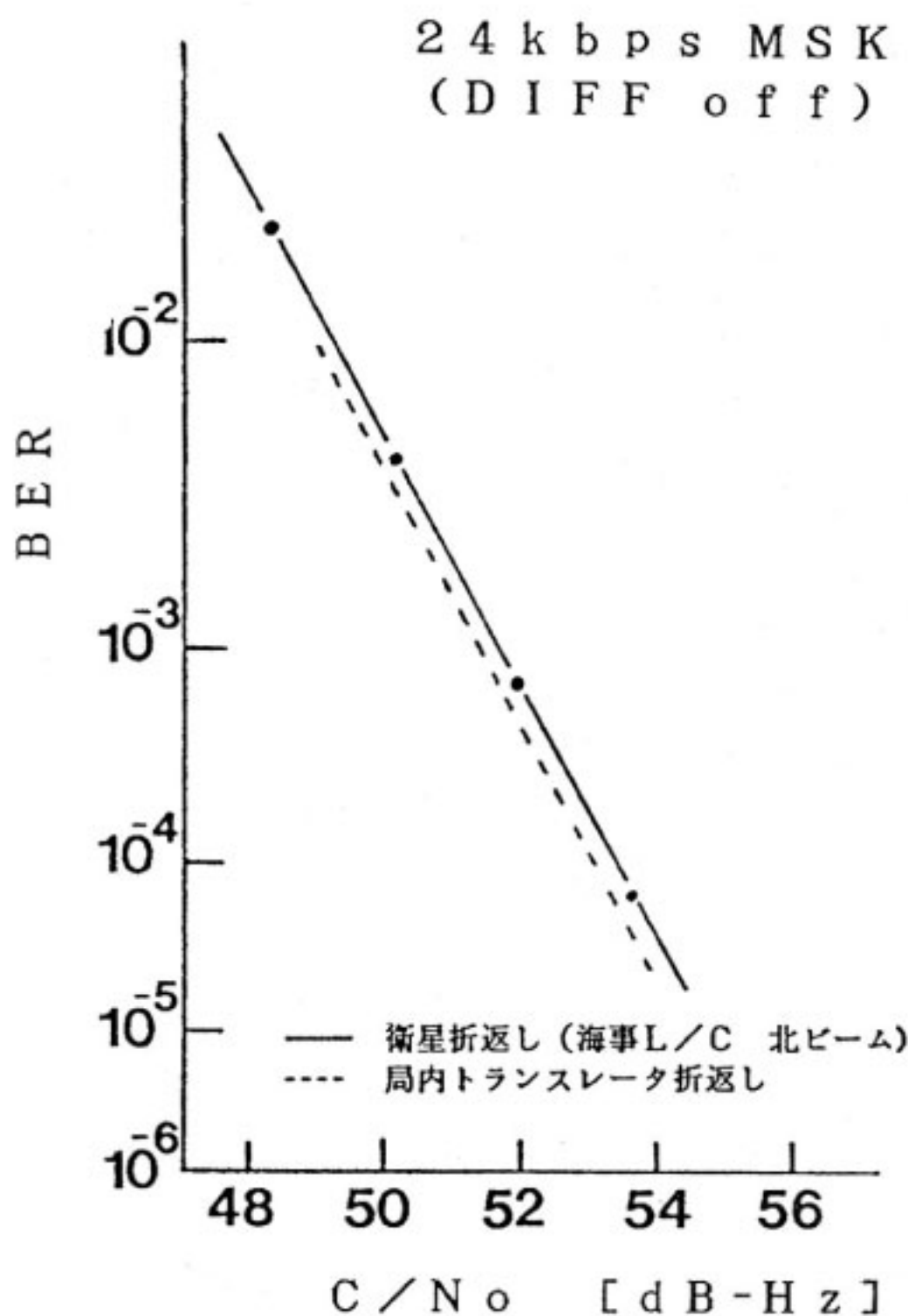
(5) 利得切替特性

中継器の利得は 5 dB ステップで切替えが可能であり、地球局から CW 波を送信した際にコマンド送信によって中継器利得を切替え、地球局受信電力の変動幅を測定した。

測定の結果、利得変化幅のノミナル値 5 dB に対して ± 0.1 dB 以内で一致しており正常な利得切替えができることを確認した。

(6) 総合伝送特性

総合伝送特性では、C/L M1, L/C M1 回線を用い



第5図 24 kbps MSK 受信 C/N₀ 対 BER 特性

て 24 kbps MSK の符号誤り率 (BER) 特性及び NB-FM の S/N 特性を地球局受信系に雑音を付加することで受信 C/N₀ に対する特性として求めた。

BER 及び S/N 特性は、地球局内トランスレータ折返しやモデム折返しとほぼ一致しており、衛星回線による大きな劣化は認められない。測定結果の一例として、L/C M1 回線で求めた 24 kbps MSK の地球局受信 C/N₀ 対 BER 特性を第5図に示す。

4. 食期間中の搭載中継器の特性

初期チェックアウト終了後、定常運用段階に入った ETS-V は実験に関係なく年二回の食運用が実施されている。食は、通常太陽光によって電力を得ている静止衛星が地球の陰に入る (日陰) ことにより電力を発生させることができず、しかも温度変化を受ける状態をいう。春季・秋季の二回ある食運用は一期間約1ヶ月半である。

ETS-V の食運用は、通常二系統で運用されている L バンド送受信機の一系統を OFF (L バンド送受信機をそれぞれ一台 OFF) とし消費電力を低下させる。したがって食期間中 AMEX の運用は一系統のみが可能である。また、日陰時には温度変化 (推定 -15~-20度) の

影響を受けるためヒータにより温度低下を避けている。

食期間中の AMEX の特性に関して特に測定を実施していないが、食時に実施された航空機実験の測定データは定常運用時に測定されたデータと比較して異常は認められておらず、食時での AMEX は正常な性能を有していると思われる。

なお、ETS-V では衛星及び搭載機器を許容範囲温度内に維持するため様々な熱制御が行われている。この熱制御性能評価のために熱制御実証機器 (CVT) を用いた運用を NASDA が実施しており、取得されたデータは今後の衛星開発の資料となる。

5. 定期チェックアウトの概要

定常運用に移行した ETS-V 搭載中継器 AMEX の特性を定期的に把握するためこれまでに定期チェックアウトを1988年4月及び1989年5月の二回実施している。測定によって得られた中継器利得を ETS-V 打ち上げ前最終電気性能試験の値と比較することで、静止軌道上にある中継器利得の経年変化を評価している。これは今後の衛星搭載中継器開発にも資するものとなる。

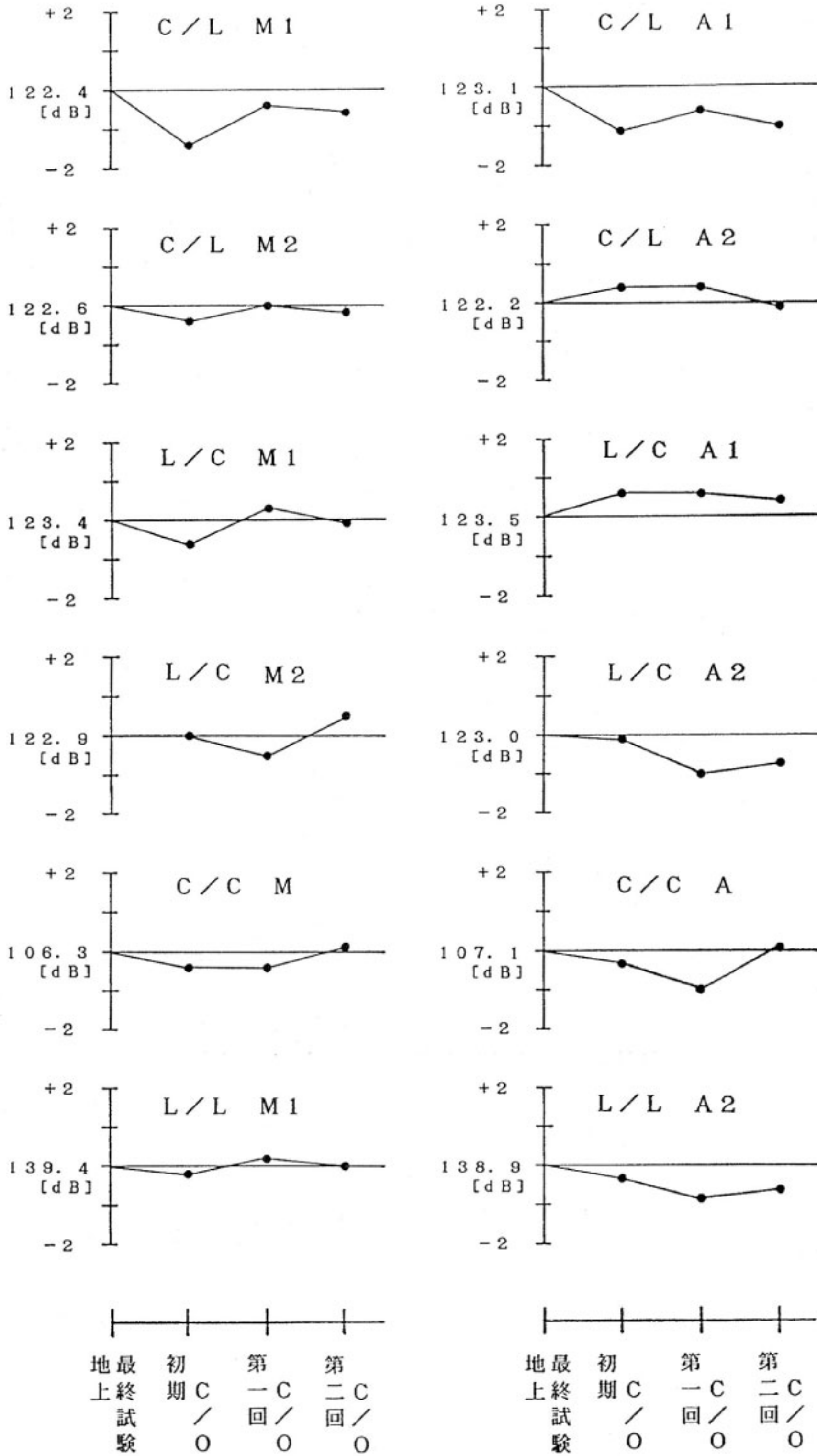
定期チェックアウトは ETS-V/EMSS の各種移動体衛星通信実験スケジュールの合い間に測定を実施するため、入出力特性に関してのみ測定を行い中継器直線領域利得を求めた。測定方法は初期チェックアウトのシステムに準じており、測定の対象は EMSS 実験で使用される全回線である。

5.1 中継器利得の経年変化

第6図に各回線の中継器直線領域利得の経年変化を、打ち上げ前地上最終電気性能試験で得られた測定結果から初期チェックアウト、第一回及び第二回定期チェックアウトの測定結果を比較して示す。

利得変化が地上最終電気性能試験結果から 1 dB 以上見られるのは、初期チェックアウトで測定された C/L M1, C/L A1 回線と第一回定期チェックアウトで測定された L/C A2, C/C A 回線である。1 dB 以上の利得変化はかなり大きいと考えられるが、中継器利得を求める際に生じる測定誤差はアンテナビーム指向方向の変動による回線パラメータの誤差や地球局受信系の校正誤差及び測定値の読み込み誤差等で、最悪の場合 1 dB 以上の誤差を含むことが考えられる。従って、測定前に実施する地球局の送受信系校正及びアンテナ追尾など極力測定誤差を減らすように努めているが、測定結果として得られた中継器利得に 1 dB 程度の変化が見られる場合でも十分な性能であると判断できる。

第二回定期チェックアウトの結果では各回線の利得変動は ±0.7 dB にあり、全て測定誤差範囲内にあると判



第6図 中継器直線領域利得の経年変化

断できることから、各回線における中継器利得に関して AMEX は打ち上げ前地上最終電気性能試験で得られた性能を宇宙空間に一年半以上位置していても十分に維持しているといえる。

6. む す び

H-I ロケットによって打ち上げられ静止軌道に投入された ETS-V は、世界初の総合的な移動体衛星通信実験の宇宙局となる中継器 AMEX を搭載し、運用に支障となる不具合も発生せず、静止化後2年以上の運用が継続されている。また、搭載中継器 AMEX は、初期チェックアウトの実施により地上で測定された全ての特性を打ち上げによる影響もなく十分に維持していることが確認された。そして定期チェックアウトの結果、AMEX に不具合は見られず中継器利得も測定誤差範囲内で一致していることから、宇宙空間に長時間あっても十分な特性を維持していることが認められる。

今後も ETS-V の運用が終了するまで定期的にチェックアウトを実施し AMEX の特性を把握していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり適切な御指導と御助言をいただいている手代木関東支所長、近藤移動体通信研究室長、大森第二宇宙通信研究室長及び実験実施に御協力いただいた NASDA をはじめとする関係者各位に感謝いたします。

参 考 文 献

(1) 近藤喜美夫, 山田重雄, 山本 稔, 石出 明, 永島

敬一郎, 二川憲夫, “ETS-V 中継器 (AMEX) の衛星搭載及び打ち上げ後チェックアウト”, 昭 63 信学春季全大, B-182.

(2) 橋本幸雄, 坂齋 誠, 浜本直和, 近藤喜美夫, 新美賢治, “ETS-V 搭載中継器特性”, 昭 63 信学春季全大, B-183.

(3) 浜本直和, 長谷良裕, 山本 稔, 石出 明, 近藤喜美夫, “ETS-V 搭載移動体通信実験機器の基本伝送特性”, 信学研究会, A・P87-112, SAT87-55, 1988.01.

(4) 近藤喜美夫, 大森慎吾, 星野尾一明, 山田重雄, “技術試験衛星 V 型と移動体通信実験”, 信学誌, Vol. 71 No. 12 pp. 1288-1298, 1988. 12.

(5) 長谷良裕, 久保田文人, 井家上哲史, “ETS-V/EMSS 実験システムの構成 (ETS-V/EMSS 特集号)”, 電波季, 34 Special Issue 6, pp. 15-28, 1988. 03.

(6) 近藤喜美夫, 浜本直和, 石出 明, 星野尾一明, 山田重雄, 二川憲夫, 玉井保男, “ETS-V 搭載移動体通信実験用トランスポンダの設計と特性”, 信学論, B-II Vol. J72-B-II No. 7 pp. 343-350, 1989. 07.

(7) 長谷良裕, 近藤喜美夫, 久保田文人, 森河 悠, “衛星及び搭載機器 (ETS-V/EMSS 特集号)”, 電波季, 34 Special Issue 6, pp. 29-47, 1988. 03.

(8) 山本 稔, 浜本直和, 長谷良裕, 若菜弘充, 橋本幸雄, 井口政昭, “鹿島地球局 海岸/航空地球局の構成 (ETS-V/EMSS 特集号)”, 電波季, 34, Special Issue 6, pp. 49-53, 1988. 03.

(9) 井口政昭, 門脇直人, 鈴木龍太郎, “AFC システム (ETS-V/EMSS 特集号)”, 電波季, 34, Special Issue 6, pp. 133-139, 1988. 03.

