

4.2.2 高度移動体衛星通信実験 搭載アンテナ系

峯野 仁志*¹ 大内 智晴*¹

島田 政明*² 大橋 一*²

(1996年11月14日受理)

4.2.2 THE ON-BOARD ANTENNA SYSTEM FOR THE ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

By

Hitoshi MINENO, Chiharu OHUCHI,
Masaaki SHIMADA and Hajime OHASHI

In the development of the antenna system of the advanced mobile satellite communications equipment (MCE) for COMETS, we investigated ways to reduce the weight of the on-board equipment and ways to share the use of the antenna system with other mission equipment. The results were that the antenna system for the MCE could share the feeder link communication (FLC) antenna of the inter-orbit communications equipment (ICE) developed by the National Space Development Agency of Japan (NASDA).

The FLC antenna is an offset Gregorian type with an equivalent diameter of 2 meters. By placing multiple primary radiators in the feeder portion, a total of three beams were made available for the advanced mobile satellite communications experiments: two Ka-band beams each for the Kanto and Tokai regions, and one millimeter-wave beam for the Kanto region. Control of the antenna orientation will be accomplished by controlling the subreflector with a mono-pulse signal from the Tsukuba station (NASDA). Along with driving the other antennas mounted on COMETS, COMETS has a function for estimating fluctuations in the satellite's attitude and compensating for them by its attitude control system.

[キーワード] 衛星通信, 通信放送技術衛星, マルチビームアンテナ, パーソナル通信.

Satellite communications, COMETS, Multi-beam antenna, Personal communication.

1. はじめに⁽¹⁻²⁾

通信放送技術衛星 (COMETS) の高度移動体衛星通信実験衛星搭載機器 (MCE) のアンテナを開発するにあたり, 衛星の搭載機器重量を軽減するために他のミッションのアンテナとの共用を検討した. その結果,

MCE のアンテナ系は宇宙開発事業団 (NASDA) が開発した衛星間通信機器 (Inter-orbit Communications Equipment ; ICE) のフィーダリンク (Feeder Link Communication ; FLC) アンテナと共用して用いることにした.

本論文では, FLC アンテナの概要と, MCE に関連する部分の機能, 性能について述べる.

2. FLC アンテナの概要⁽³⁾

COMETS の高度移動体衛星通信実験衛星搭載機器の

*¹ 宇宙通信部 衛星通信研究室

*² 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

アンテナは、衛星重量軽減のために、ICE用のアンテナと共用して用いられることになった。衛星間通信のフィードリンクというのは地球局とCOMETSを結ぶ回線である。またさらに、このアンテナはテレメトリコマンド系 (Telemetry Tracking and Command ; TTC) にも共用で用いられる。

FLCアンテナは直径2m相当のオフセットグレゴリアン形式のアンテナであり、給電部に複数の1次放射器を置くことにより、高度移動体衛星通信実験用としてKa帯では関東ビーム及び東海ビームの2ビーム、ミリ波帯では関東ビームの1ビームの合計3ビームを形成している。アンテナ指向方向の制御は、筑波局 (NASDA) からのモノパルス信号により副反射鏡を制御することにより行われる。また、COMETSに搭載した他のアンテナの駆動に伴う衛星の姿勢変動については、これを予測して姿勢制御により吸収する機能を有している。

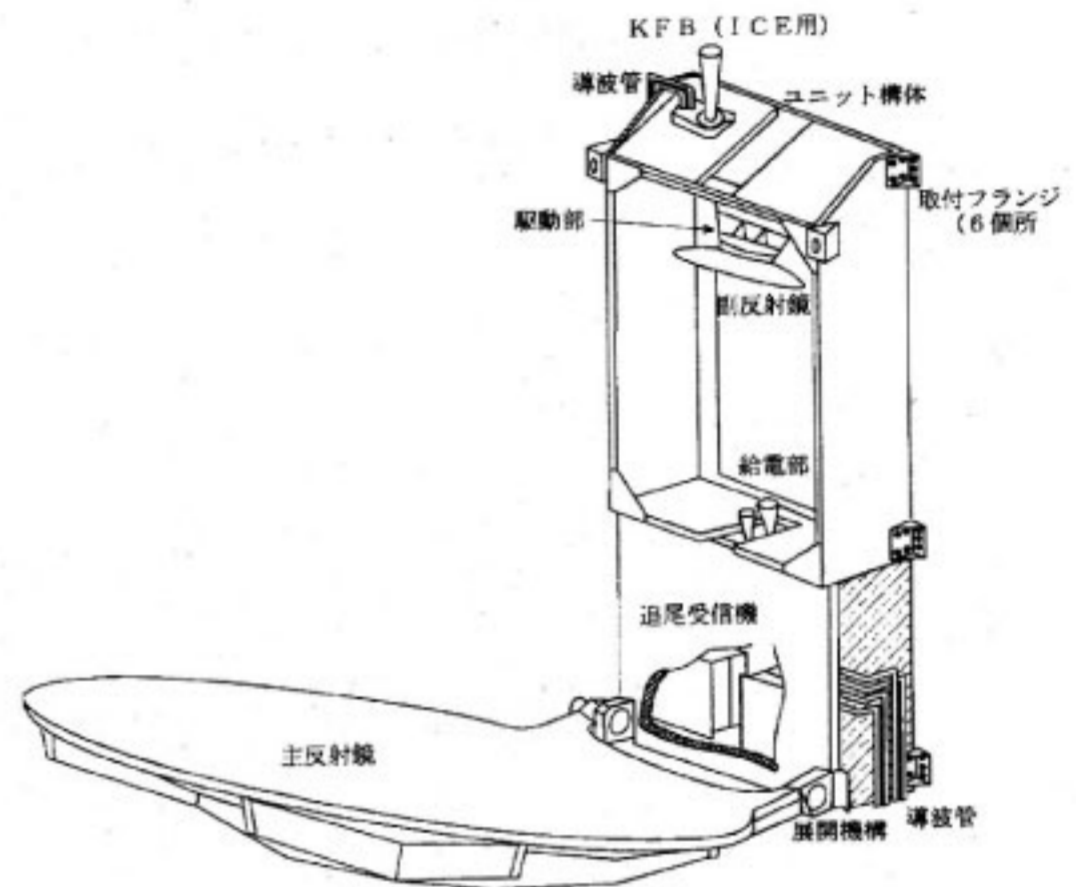
MCE用のアンテナのビームの中心方向は、関東ビームが筑波、東海ビームが名古屋付近である。

3. アンテナの構成

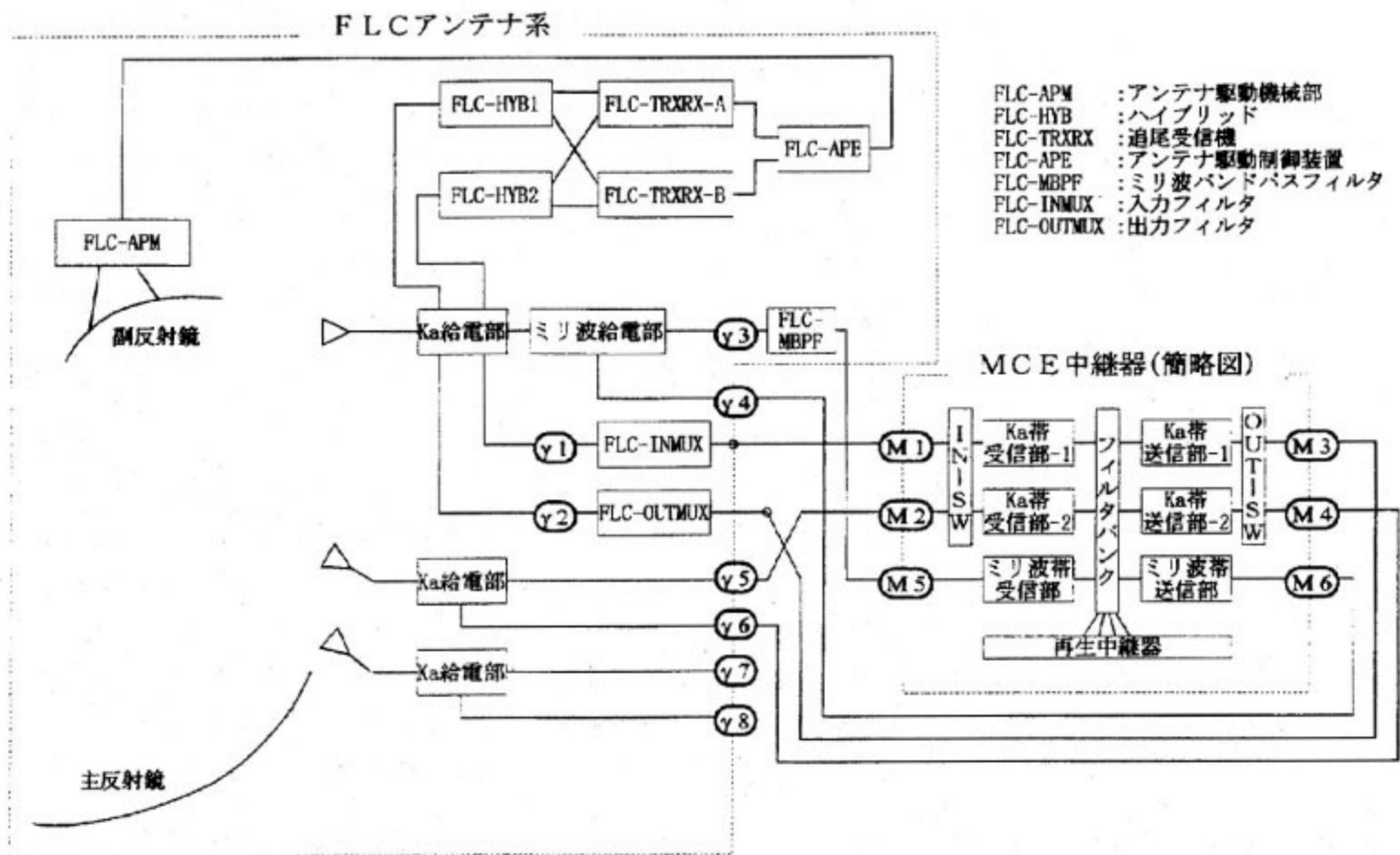
FLCアンテナの機能ブロック図を第1図に示す。図の右下の部分のγ1~γ8までがアンテナと給電系とのインタフェース点であり、このうちγ1~γ6がMCE系と接続される。FLC-MBPF (FLCバンドパスフ

ィルタ) は、アンテナにおけるミリ波の交差偏波識別度が予定通りに取れなかったため、ダウンリンク信号がアップリンクに回り込むのを防ぐために取り付けられたもので、ミッションボード上に搭載されているが、分類上FLCアンテナに含まれる。

アンテナ系の外観を第2図に示す。主反射鏡は格納式になっており、トランスファー軌道投入後に展開される。給電部の構成を第3図に示す。関東ビーム用給電部はKa帯とミリ波帯で共用され、さらに追尾誤差信号を取り出すようになっているため、複雑な構成となっている。



第2図 FLCアンテナの外観



第1図 FLCアンテナの主要機能ブロック図とインタフェース点

4. アンテナの主要機能・諸元

FLC アンテナの主要諸元を第1表に、各ビームの諸元を第2表に示す。

FLC アンテナは NASDA の筑波局から出されるモノパルス信号を自動追尾する機能を持つほか、駆動方向を任意に指定できるマニュアル追尾や、自動追尾に一定のオフセットを付けて駆動するオフセット追尾の機能を持つ。追尾機能について第3表に示す。

第1表 FLC アンテナの主要諸元

項目	諸元	試験結果
形式	オフセット グレゴリアン アンテナ	-
開口径	2.0m φ (公称)	-
主反射鏡鏡面精度	0.3mm RMS 以下	0.051 mm RMS
副反射鏡鏡面精度	0.2 mm RMS 以下	0.035 mm RMS
ビーム駆動方式	リニアアクチュエータ+ピボットメカニズムによる副反射鏡の2軸駆動 制御帯域 2~6 Hz	2~3 Hz
駆動角度範囲	X,Y 軸とも ±1.5°以上	±1.7°以上(円錐)
ビーム駆動最小分解能	±0.004°以下	±0.00228°
駆動ステップ角	X,Y 軸とも 0.0024°/step	-
最大角速度	自動追尾時 75 ステップ/sec ミナル (指向角換算で約 0.18°/sec) マニュアル時 37.5 ステップ/sec ミナル (指向角換算で約 0.09°/sec)	-
指向誤差	オープン捕捉時 0.200°以内 自動追尾時 0.010°以内	0.186°以内 0.0065°以内

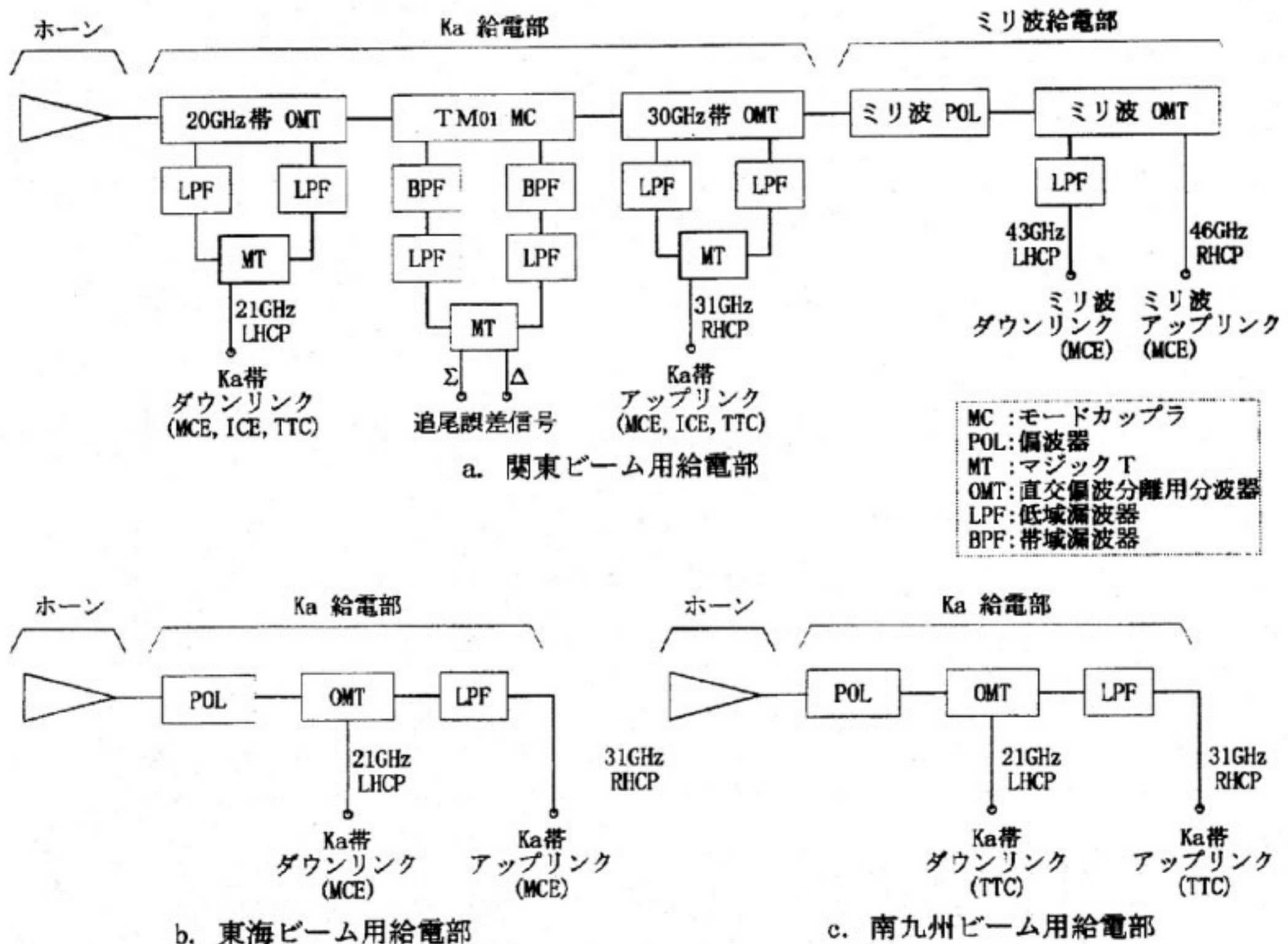
ただしオフセット追尾機能については、このアンテナが ICE 実験と共用で使用され、ICE 実験のスケジュールが厳しく詰まっていることから、MCE 実験のために任意にオフセット機能を使用することはできない。さらに筑波局からのモノパルス信号による自動追尾は追尾受信機の RF センサピックアップ感度の制約から 0.09° までしかオフセットできない。

また、COMETS には他のミッションのアンテナも搭載しており、特に ICE 用の IOL (Inter Orbit Link) アンテナは口径が 3.6m と大きく、最大駆動速度も 0.2°/sec 以上と速いため、アンテナ駆動の際に姿勢擾

第2表 FLC アンテナのビーム諸元

信号名	周波数帯	偏波	入出力端子	ビーム中心	使用ミッション
関東 Ka 帯アップリンク	30GHz 帯	RHCP	γ1	筑波	MCE, ICE, TTC
関東 Ka 帯ダウンリンク	20GHz 帯	LHCP	γ2	筑波	MCE, ICE, TTC
ミリ波帯アップリンク	47GHz 帯	RHCP	γ3	筑波	MCE
ミリ波帯ダウンリンク	44GHz 帯	LHCP	γ4	筑波	MCE
東海 Ka 帯アップリンク	30GHz 帯	RHCP	γ5	名古屋付近	MCE
東海 Ka 帯ダウンリンク	20GHz 帯	LHCP	γ6	名古屋付近	MCE
南九州アップリンク	30GHz 帯	RHCP	γ7	種子島	TTC
南九州ダウンリンク	20GHz 帯	LHCP	γ8	種子島	TTC

ビーム中心方向 関東 Ka 帯 (36.1°N, 140.1°E)
ミリ波帯 (36.1°N, 140.1°E)
東海 Ka 帯 (35.3°N, 136.5°E)



第3図 FLC アンテナの給電部構成

乱が発生すると予想される。そこで、IOL アンテナ駆動による姿勢擾乱を予測し、姿勢制御系により衛星姿勢を補正し、FLC アンテナの指向誤差を低減する機能を有している。EM 試験時に模擬的に外乱を加えて試験を行った結果によると、一軸に大きい擾乱 (0.06° 程度) が、もう一軸には小さな擾乱 (0.01° 程度) が加わった場合の指向誤差は 0.087° 以下に抑えられており、その他の誤差を含めても自動追尾時に 0.01° 以内の指向誤差を達成できることが確認できた。その結果の一例を第4図に示す。

第3表 FLC アンテナの追尾機能

自動追尾制御機能	筑波局から送信される周波数 29.96GHz の Ka 帯地上パイロットビームを受信する追尾受信機からの信号に基づき、誤差信号がゼロになる方向に副反射鏡を制御する。 TM01 モードによるモノパルスセンシング。
マニュアル制御機能	地上局からのコマンド信号に基づき、副反射鏡を所定の角度に制御する。 形式:シリアルマグニチュードコマンド 制御入力値: X, Y 軸とも ± 127 ステップ/回 (指向角換算で X 軸, Y 軸とも 約 $\pm 0.30^\circ$ /回に相当)
オフセット補正機能	地上局からのオフセット値設定信号に基づき、アンテナ副反射鏡の制御角(自動追尾モードあるいはマニュアル制御モード)にオフセット値を加算(または減算)し、制御する。 形式:シリアルマグニチュードコマンド 制御入力値: X, Y 軸とも ± 127 ステップ (指向角換算で X 軸 $\pm 0.19^\circ$ Y 軸 $\pm 0.30^\circ$) ただしモノパルス信号を追尾するためには RF センサのピックアップ感度の制約で $\pm 0.09^\circ$ に限定
タイムアウト検出機能	Ka 帯コマンド通信リンクが途絶えたとき、自動的に S 帯コマンド通信リンクを立ち上げるために、所定時間以上オフ状態が持続した場合にタイムアウト信号を出力する。タイムアウト時間は 0.5h, 1h, 72h のいずれか1つをコマンドにより選択。
駆動位置カウント	アンテナ駆動部のアクチュエータに内蔵されたフォトエンコーダの出力パルスを計数し、TTC 部へ出力する。カウント値は相対値。

5. アンテナ主要電気性能

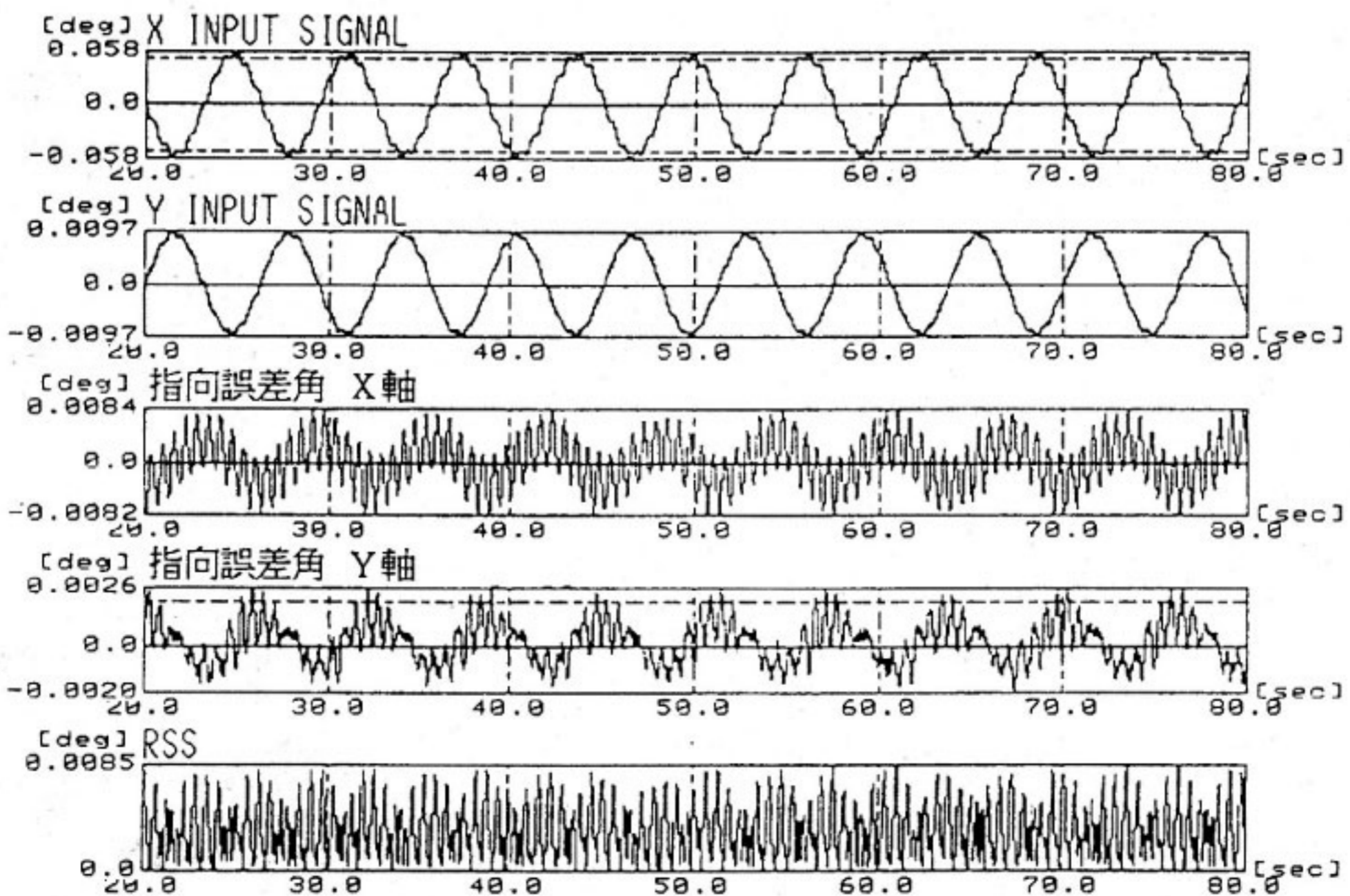
FLC アンテナの主要電気性能のうち、MCE で用いられる範囲のものを第4表に示す。この表中の性能は、アンテナ部のインタフェース点 (γ 点) で測定したものである。アンテナ部から中継器部までのフィード損と、中継器部のインタフェース点での利得を第5表(1)~(6)に示す。この表中で、M点の中継部とのインタフェース点である。インタフェース点については本論文の第1図と前論文「4.2.1 高度移動体衛星通信実験 搭載機器の概要」の第4図を参照のこと。

東海ビームの給電部は、関東ビームとのクロスオーバー点の絶対利得が大きくなるよう配置したため、ビーム中心でのアンテナ利得が低下し、関東ビームに比べアンテナ

第4表 FLC アンテナの主要電気性能

信号名	周波数 (GHz)	測定点	VSWR	軸比 (dB)	利得 (dB)
関東 Ka 帯アップリンク	30.772	$\gamma 1$	1.39 < 1.5	2.40 < 4.0	51.41 > 50.7
関東 Ka 帯ダウンリンク	21.000	$\gamma 2$	1.35 < 1.5	2.88 < 4.0	48.83 > 47.8
ミリ波帯アップリンク	46.886	$\gamma 3$	1.21 < 1.5	2.56 < 3.0	52.78 > 51.2
ミリ波帯ダウンリンク	43.764	$\gamma 4$	1.19 < 1.5	2.94 < 3.0	52.85 > 50.6
東海 Ka 帯アップリンク	30.828	$\gamma 5$	1.18 < 1.5	1.26 < 1.5	47.07 > 46.5
東海 Ka 帯ダウンリンク	21.056	$\gamma 6$	1.07 < 1.5	1.24 < 1.5	42.55 > 41.4

表中の下段の数値は規格値



第4図 FLC アンテナの姿勢擾乱に対する自動追尾例

第5表 FLC アンテナの中継器部インタフェース点での利得

(1) 関東 Ka 帯アップリンク系

インタフェース点	$\gamma 1$	$\beta 9$	$\beta 18$	M1	
構成要素	アンテナ	WG	FL-INMUX	WG	中継器端利得
規格値	50.7 dBi	-	-	-	48.0 dBi
実測値(30.772GHz)	51.41dBi	-0.89	-1.14	-0.23	49.15 dBi
実測値(30.828GHz)	51.48dBi	-0.89	-1.14	-0.23	49.22 dBi

(2) 関東 Ka 帯ダウンリンク系

インタフェース点	$\gamma 2$	$\beta 14$	$\beta 19$	M3	
構成要素	アンテナ	WG	FL-OUTMUX	WG	中継器端利得
規格値	47.8 dBi	-	-	-	46.4 dBi
実測値(21.000GHz)	48.83 dBi	-0.55	-0.45	-0.27	47.56 dBi
実測値(21.056GHz)	48.94 dBi	-0.55	-0.45	-0.27	47.67 dBi

(3) ミリ波 帯アップリンク系

インタフェース点	$\gamma 3$	$\gamma 9$	$\gamma 10$	M5	
構成要素	アンテナ	WG	FLC-MBPF	WG	中継器端利得
規格値	51.2 dBi	-	-	-	48.5 dBi
実測値(46.886GHz)	52.78 dBi	-0.65	-0.67	-0.35	51.11 dBi

(4) ミリ波帯ダウンリンク系

インタフェース点	$\gamma 4$	M6	
構成要素	アンテナ	WG	中継器端利得
規格値	50.6 dBi	-	49.4 dBi
実測値(43.764GHz)	52.85 dBi	-0.99	51.86 dBi

(5) 東海 Ka 帯アップリンク系

インタフェース点	$\gamma 5$	M2	
構成要素	アンテナ	WG	中継器端利得
規格値	46.5 dBi	-	44.9 dBi
実測値(30.828GHz)	47.23 dBi	-1.27	45.96 dBi
実測値(30.772GHz)	47.07 dBi	-1.27	45.80 dBi

(6) 東海 Ka 帯ダウンリンク系

インタフェース点	$\gamma 6$	M4	
構成要素	アンテナ	WG	中継器端利得
規格値	41.4 dBi	-	40.5 dBi
実測値(21.056GHz)	42.78 dBi	-0.67	42.11 dBi
実測値(21.000GHz)	42.55 dBi	-0.67	41.88 dBi

ナ端インタフェース点の実測でアップリンク 4.34dB, ダウンリンク 6.28dB, 中継器端インタフェース点でアップリンク 3.19dB, ダウンリンク 5.45dB だけ利得が少なくなっている。

6. アンテナパターン

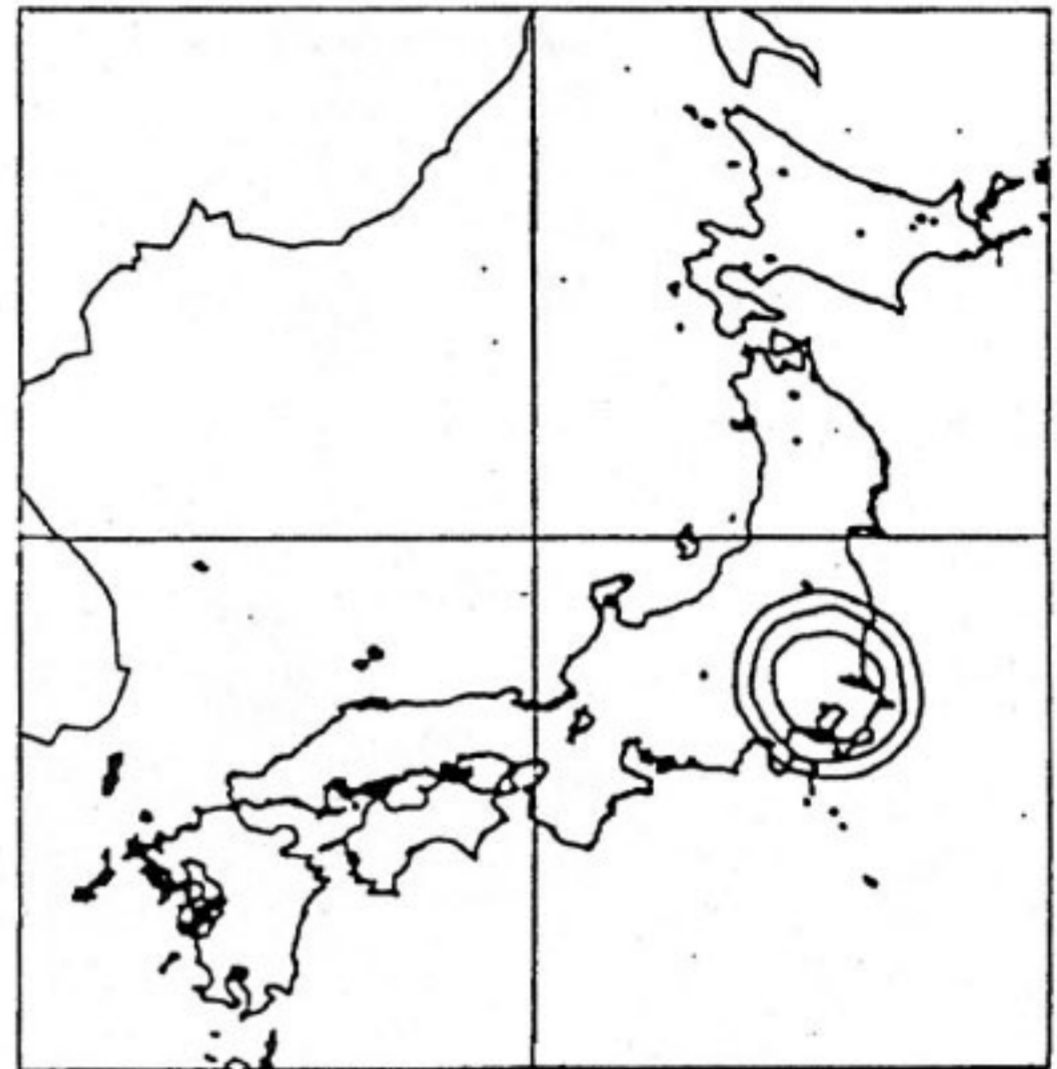
FLC アンテナパターンのうち, MCE で用いられる範囲のものを第5図(1)~(6)に示す。

Ka 帯については, 関東ビームに比べて東海ビームの利得が低いため, 実効的な照射範囲は関東ビームと東海ビームでは異なり, 東海ビームの方が狭くなる。特にダウンリンクでは使用する SSPA の出力の違いがあることから照射範囲の違いは大きくなる。

なお, 第5図の利得は中継器端インタフェース点の値である。

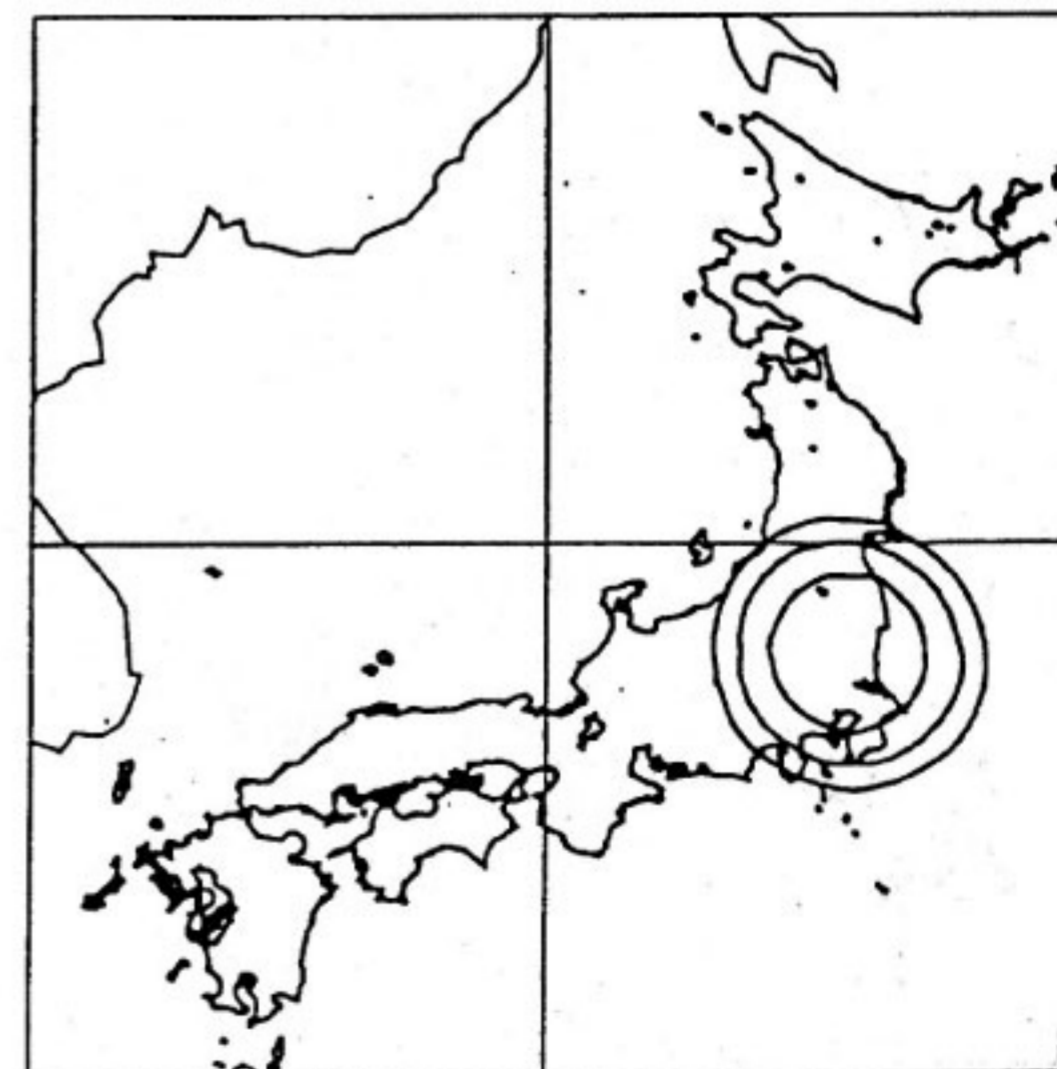
7. おわりに

COMETS の MCE 実験に用いるアンテナは ICE 用の FLC アンテナと共用される。本アンテナでは多くの周波数を扱うことから, 多周波共用技術の開発という課題もあったが, それぞれの実験で要求する性能が確保された。



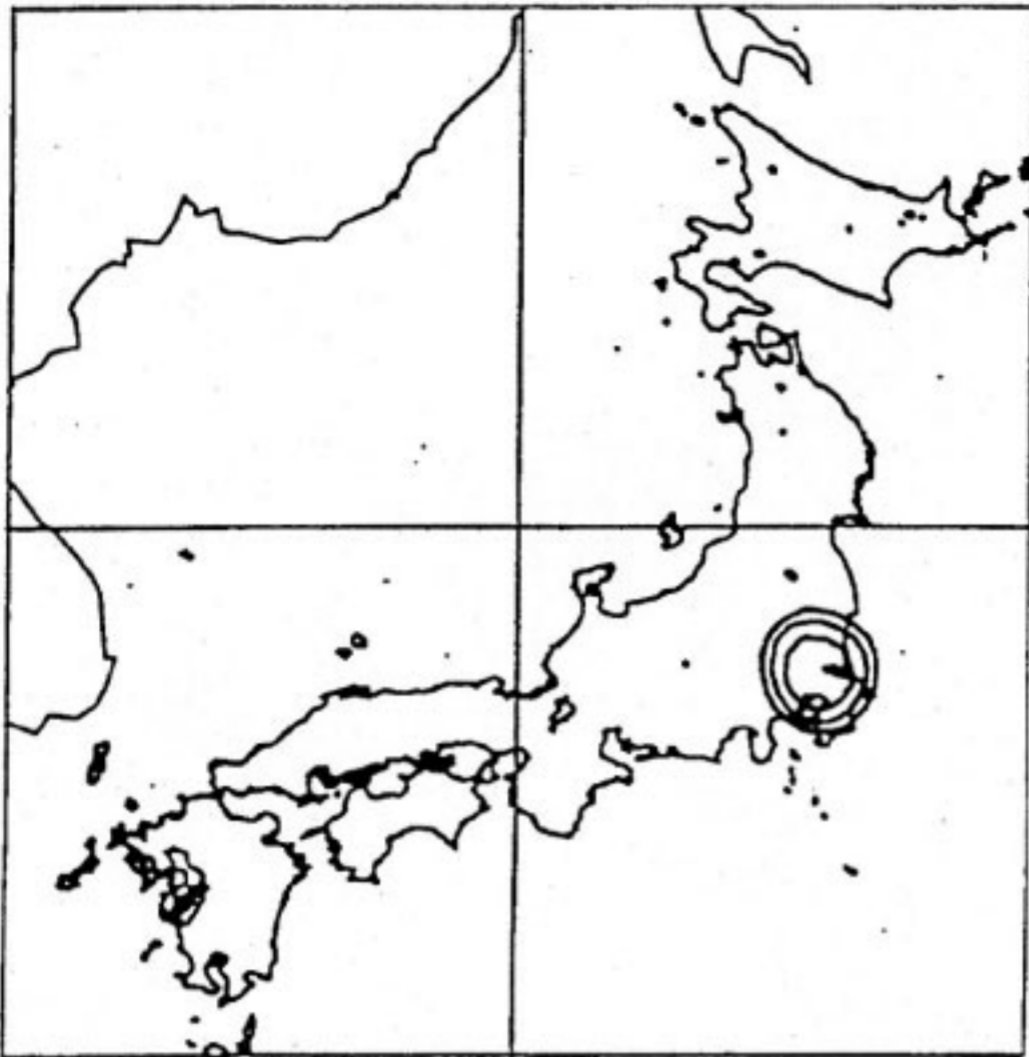
第5図 FLC アンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB の等高線)

(1) Ka 帯関東ビーム・アップリンク ($\gamma 1$ 点, 30GHz 帯)

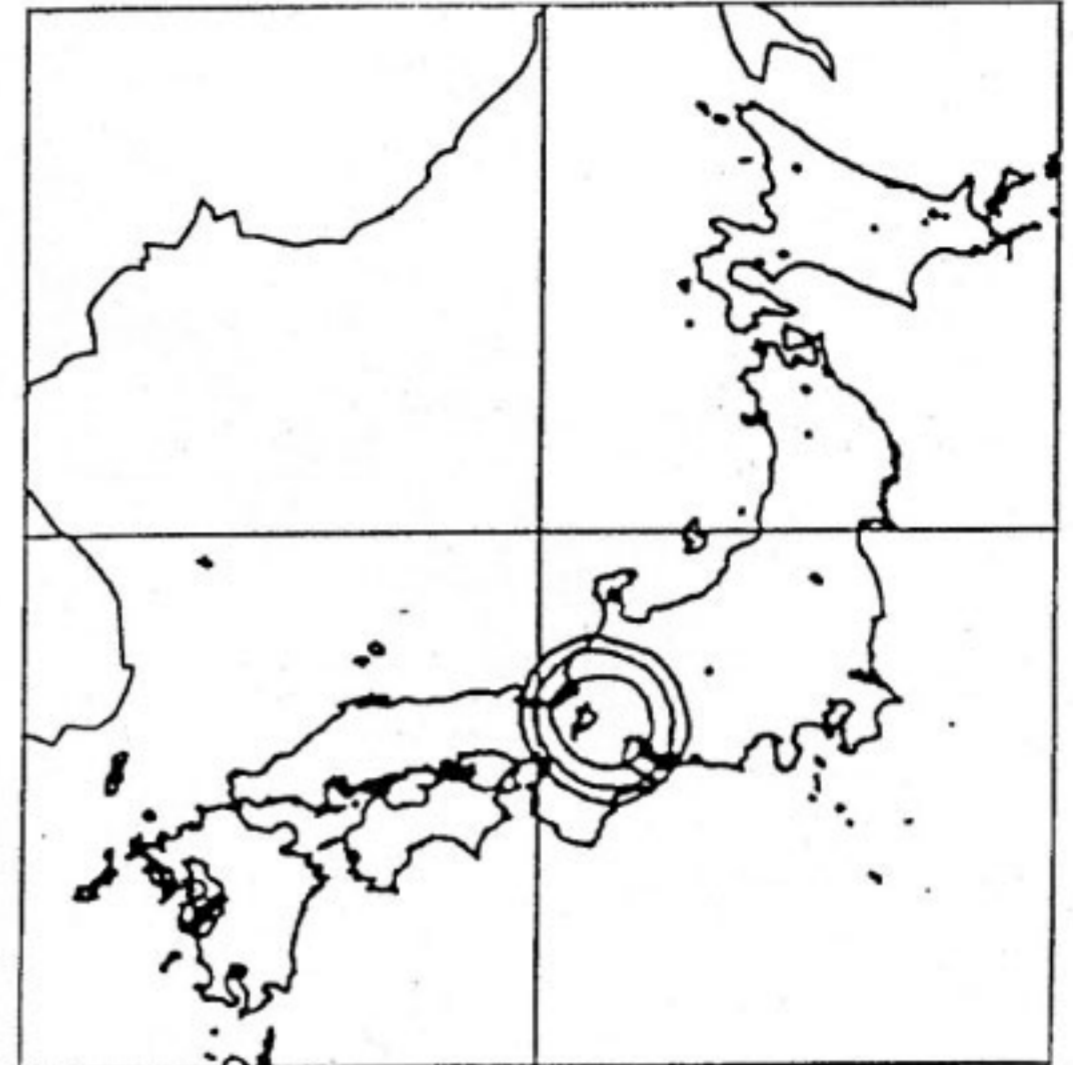


第5図 FLC アンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB の等高線)

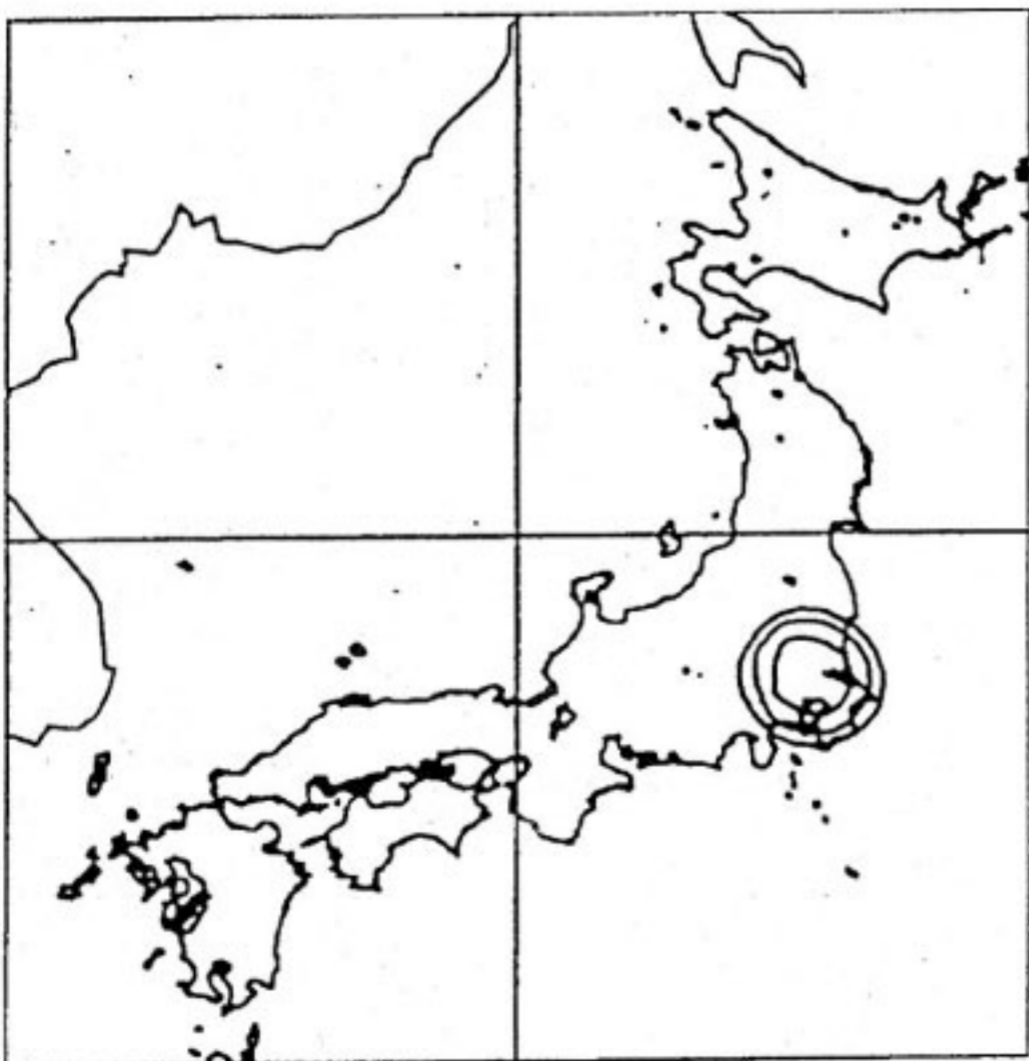
(2) Ka 帯東海ビーム・ダウンリンク ($\gamma 2$ 点, 20GHz 帯)



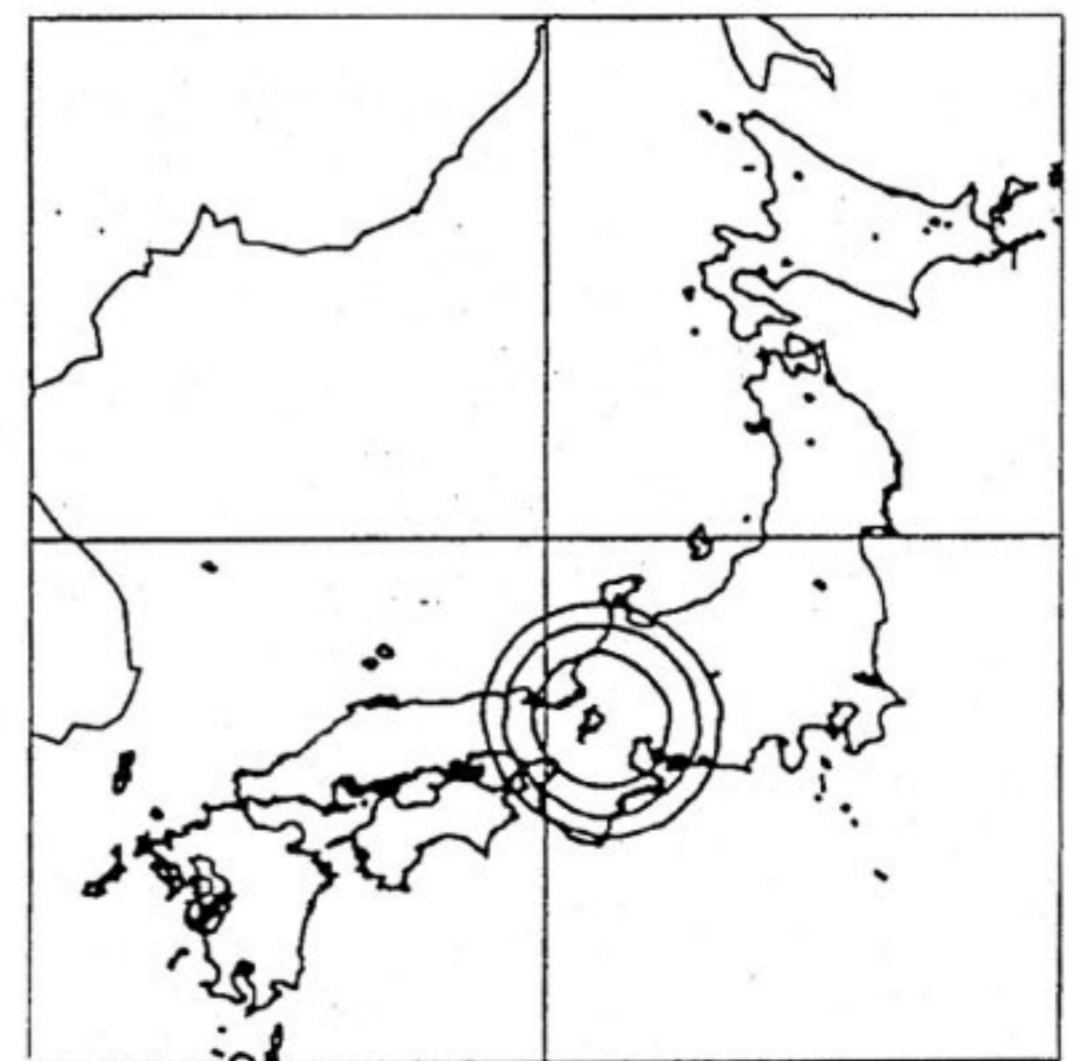
第5図 FLCアンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB
の等高線)
(3) ミリ波帯関東ビーム・アップリンク (γ3点, 47GHz帯)



第5図 FLCアンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB
の等高線)
(5) Ka帯東海ビーム・アップリンク (γ5点, 30GHz帯)



第5図 FLCアンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB
の等高線)
(4) ミリ波帯関東ビーム・ダウンリンク (γ4点, 43GHz帯)



第5図 FLCアンテナパターン (ピーク利得 -1, -2, -3dB
の等高線)
(6) Ka帯東海ビーム・ダウンリンク (γ6点, 21GHz帯)

本論文では FLC アンテナの概要・機能と、MCE 実験で用いる範囲についての電氣的性能について記した。

アンテナ使用，特にアンテナの駆動に際しては自動追尾限界と ICE 実験スケジュールとの関係で，オフセット機能は基本的に使用しないことで NASDA と合意した。どうしてもオフセット機能を使用しないと実験が成立しないような場合には NASDA との調整が必要である。

謝 辞

衛星の重量制限に伴い，ICE 実験用の FLC アンテナとの共用を許可していただき，多周波共用という難題にも関わらず MCE からの要求に応じて設計・開発・調整を担当して下さった宇宙開発事業団，日本電気(株)の関係各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) 島田政明, 大嶋猛司, 藤原勇一, 富田英一, 鈴木真二, 宮田吉秀, 平野孝文, 関根功治, 宮谷聡, "COMETS 衛星間通信機器 FLCE/KFD-XPDR/KRN-XPDR/FLAE 機器の開発," 1994 信学秋季全大, SB-3-12, 東北大学, September 1994.



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



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



島田 政明
Masaaki SHIMADA
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
通信放送分野の衛星ミッション開発



大橋 一
Hajime OHASHI
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
E-Mail: n94067 @ nasda. go. jp

