

研 究

5.3 高度移動体衛星通信実験 車載局

小原 徳昭^{*1} 齋藤 春夫^{*1} 山本 伸一^{*2} 飯草 恭一^{*2}
吉村 直子^{*2} 田中 正人^{*3} 長谷 良裕^{*4}

(1996年11月14日受理)

5.3 LAND MOBILE STATION FOR THE COMETS ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

By

Noriaki OBARA, Haruo SAITO, Shin-ichi YAMAMOTO, Kyouichi IIGUSA,
Naoko YOSHIMURA, Masato TANAKA, and Yoshihiro HASE

This paper describes some antenna systems of the land mobile station for the COMETS advanced mobile satellite communication experiments. COMETS is a Japanese engineering test satellite for Ka/Q-band mobile satellite communications. A feature of the COMETS system is the provision for one-hop communications from mobile to mobile without a hub station. It is important to develop a mobile terminal for such a system, and the antenna system is a key component. The Communications Research Laboratory (CRL) has developed three types of antennas for the land mobile terminals.

[キーワード] 通信放送技術衛星, Kaバンド, ミリ波, 車載局, アンテナシステム, 追尾.

COMETS, Ka-band, Millimeter-wave, Mobile terminal, Antenna system, Tracking.

1. はじめに

通信総合研究所では、1997年夏に打ち上げ予定のCOMETS（通信放送技術衛星）を用いて、将来の移動体衛星通信ならびにパーソナル衛星通信の普及、高度化に向け、より高い周波数を用いた高度移動体衛星通信実験を実施する⁽¹⁾⁽²⁾。COMETS高度移動体衛星通信システムでは、衛星で高いEIRPを実現するとともに、通信方式に柔軟なスルーリピーター方式と、移動局のEIRPおよびG/Tに負担が少ない再生中継方式の2つ

の中継方式が選択できる⁽³⁾。これにより、現在の固定地球局を介する通信とは異なり、比較的小規模な移動局間同士で直接通信を行うことが可能になる。また、通信チャネル（周波数）の選択やスイッチの切り替えにより、ビーム間での相互接続も可能である。

移動体衛星通信のシステムには、アンテナ、RF装置、変復調器などのハードから通信プロトコルのようなソフトまで幅広い技術が必要となるが、中でもアンテナシステムは移動体での衛星通信を実現するための重要な要素となる。本項では、通信総研で整備された車載局アンテナシステムの概要を中心に述べる。

2. 車載局用アンテナシステム

COMETSの移動体通信実験では、周波数が31/21

*1 宇宙通信部 衛星通信研究室

*2 関東支所 宇宙通信技術研究室

*3 電磁波技術部 通信デバイス研究室

*4 総合通信部 高速移動通信研究室

GHz の Ka 帯および 47/44GHz のミリ波帯が対象となるが、これらの実験のために 3 種類の車載用アンテナシステムを整備した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。これらのアンテナシステムでは数十 kbps 程度の伝送速度を想定しており、車載局の G/T は -6dB/K 程度で、アンテナ利得は 20~25dBi を設定している。また、必然的に指向性のアンテナとなるため、ビームが車両走行中でも常に衛星方向を向くような追尾機能が必要となる。以下、各々のアンテナシステムについて述べる。

(1) Ka 帯導波管スロットアレイアンテナシステム⁽⁶⁾

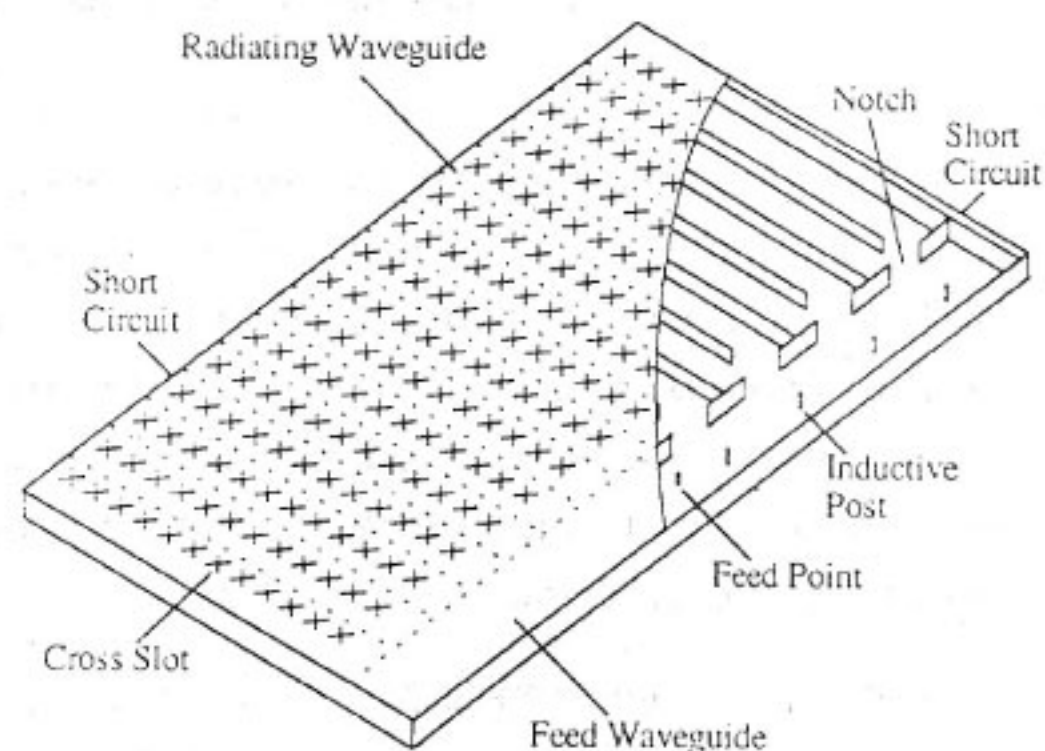
このシステムに採用した導波管スロットアレイアンテナは、Ka 帯において最も実用に近い形を想定したアンテナで、外観は小型で低プロファイルとなっている。また、このタイプのアンテナは、アルミダイキャストとプレス型抜きアルミ板で製作できるので、低コストで量産にも適している。第 1 図にアンテナの外観を、第 2 図に構造図を示す。このアンテナは、主ビームが COMETS の仰角程度（45 度程度）のチルト角を持つように設計されており、追尾駆動装置に傾けることなく設置できるため、アンテナ駆動部全体の高さを低く押さえることができる。また、車載局では仰角の変化は方位角に比べて小さいために、アンテナの仰角方向のビーム幅を広めに設定することにより、仰角方向の追尾を省略し、システムの小型軽量化を図っている。第 3 図に送信アンテナの指向特性を示す。

第 4 図はアンテナを装着した追尾駆動装置の外観である。アンテナは送信用と受信用を別筐体の追尾駆動装置で駆動するようになっている。追尾方式は、衛星からのパイロット信号を利用するステップトラックを簡易ジャイロで補完する方式である。通常の衛星見通し状態では、

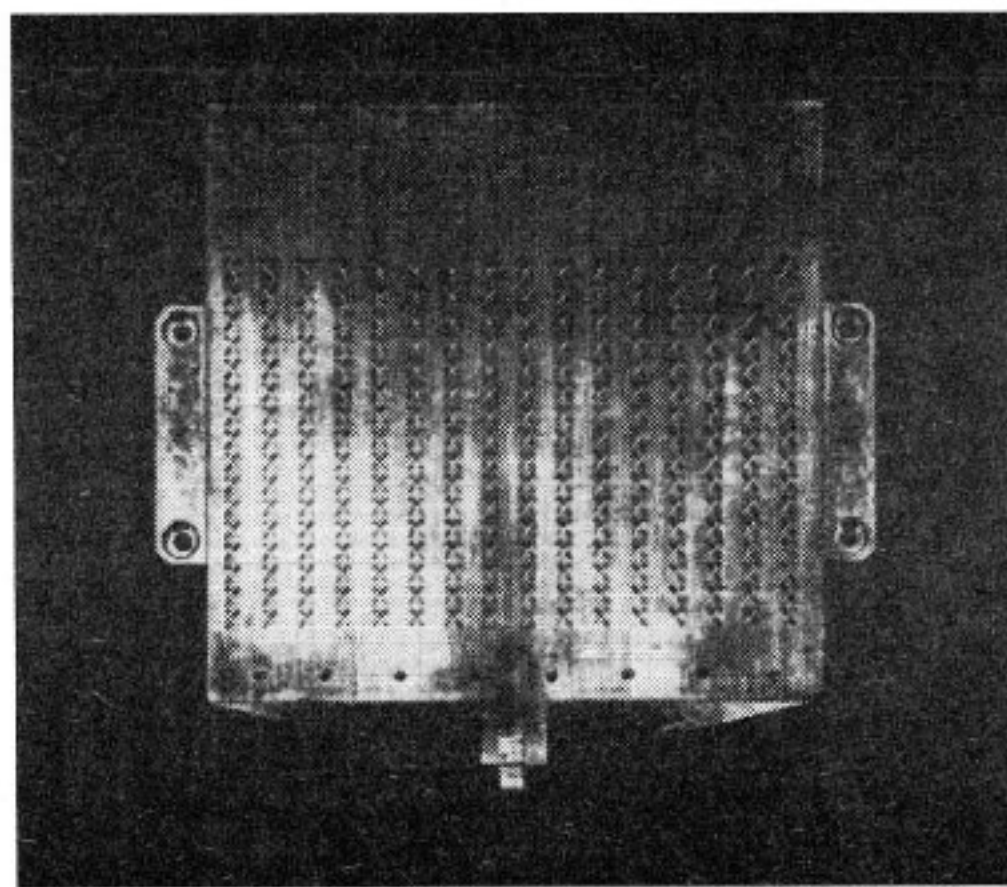
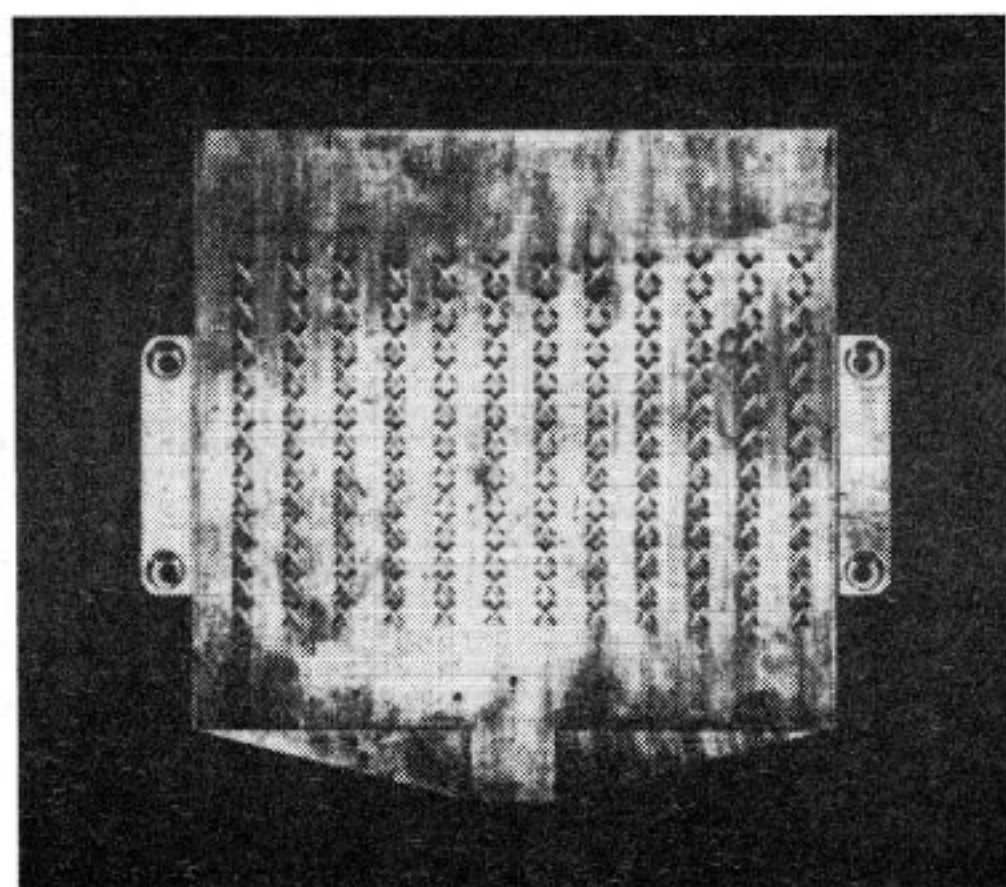
受信システムより得られたパイロット信号の電力変動と、簡易ジャイロによる回転方向情報により衛星追尾を行っている。送信システムもこの受信システムからの制御信号を用いて駆動している。ステップトラック方式であるため、パイロット信号の受信電力はこの追尾に伴い最大 3dB 程度の低下がある。これより送受通信波についても同様の低下が予想される。第 5 図に追尾制御の大まかな流れを示す。建造物等によりブロッキング状態になった場合には、自動的に衛星サーチモードになりアンテナを左右に振る動作を行う。このときに車両が向きを変えた場合にも、アンテナビームを衛星方向にある程度保持するために、簡易ジャイロの情報を用いてアンテナの首振りの中心をおおよそ衛星方向に指向するようになっている。第 1 表にシステム諸元を示す。

(2) Ka 帯アクティブフェーズドアレイアンテナシステム

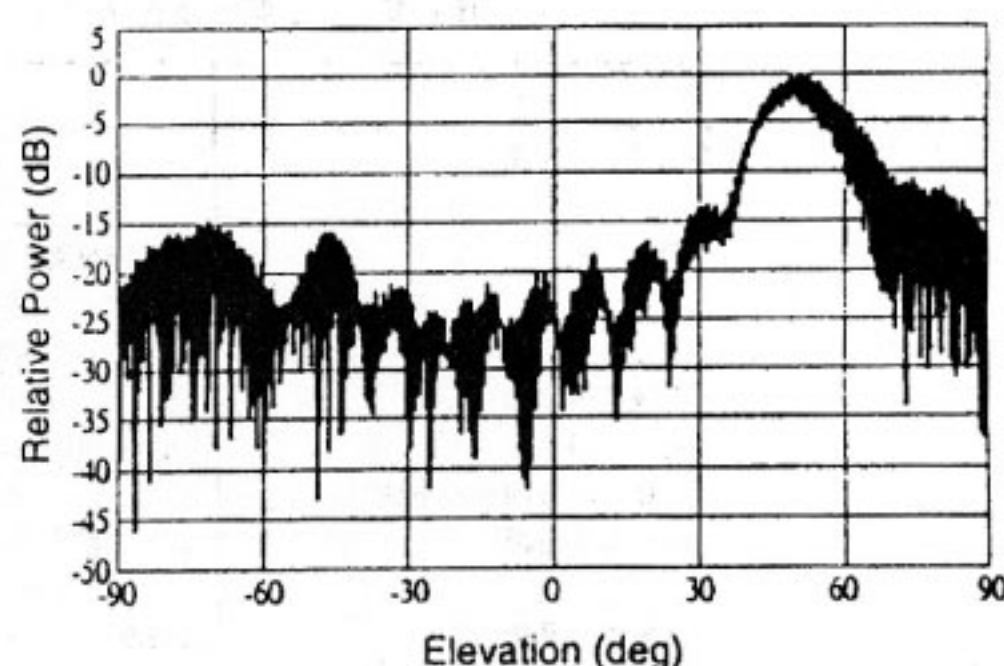
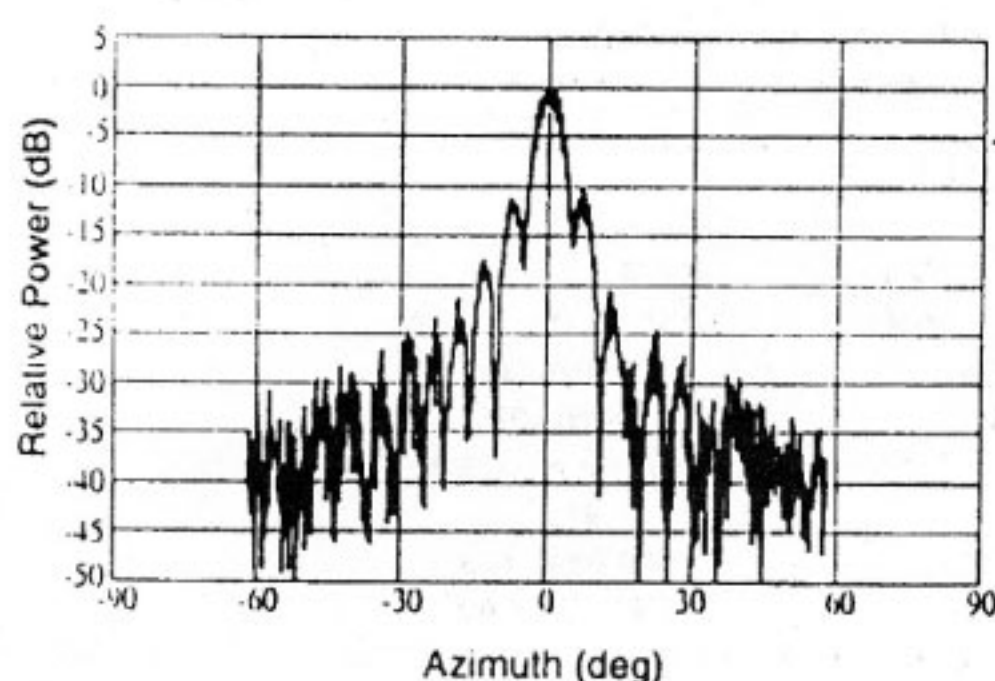
アクティブフェーズドアレイアンテナは次世代のアンテナシステムとして注目を浴びているが、Ka 帯のアク



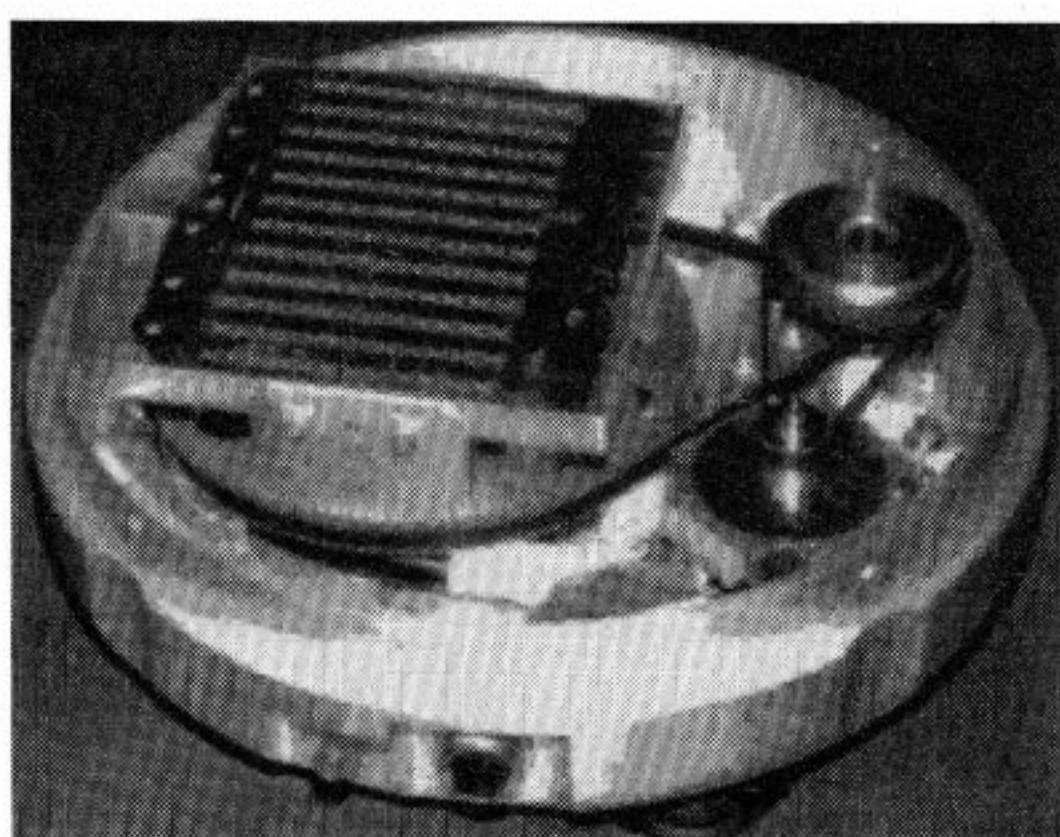
第2図 導波管スロットアレイアンテナの構造図



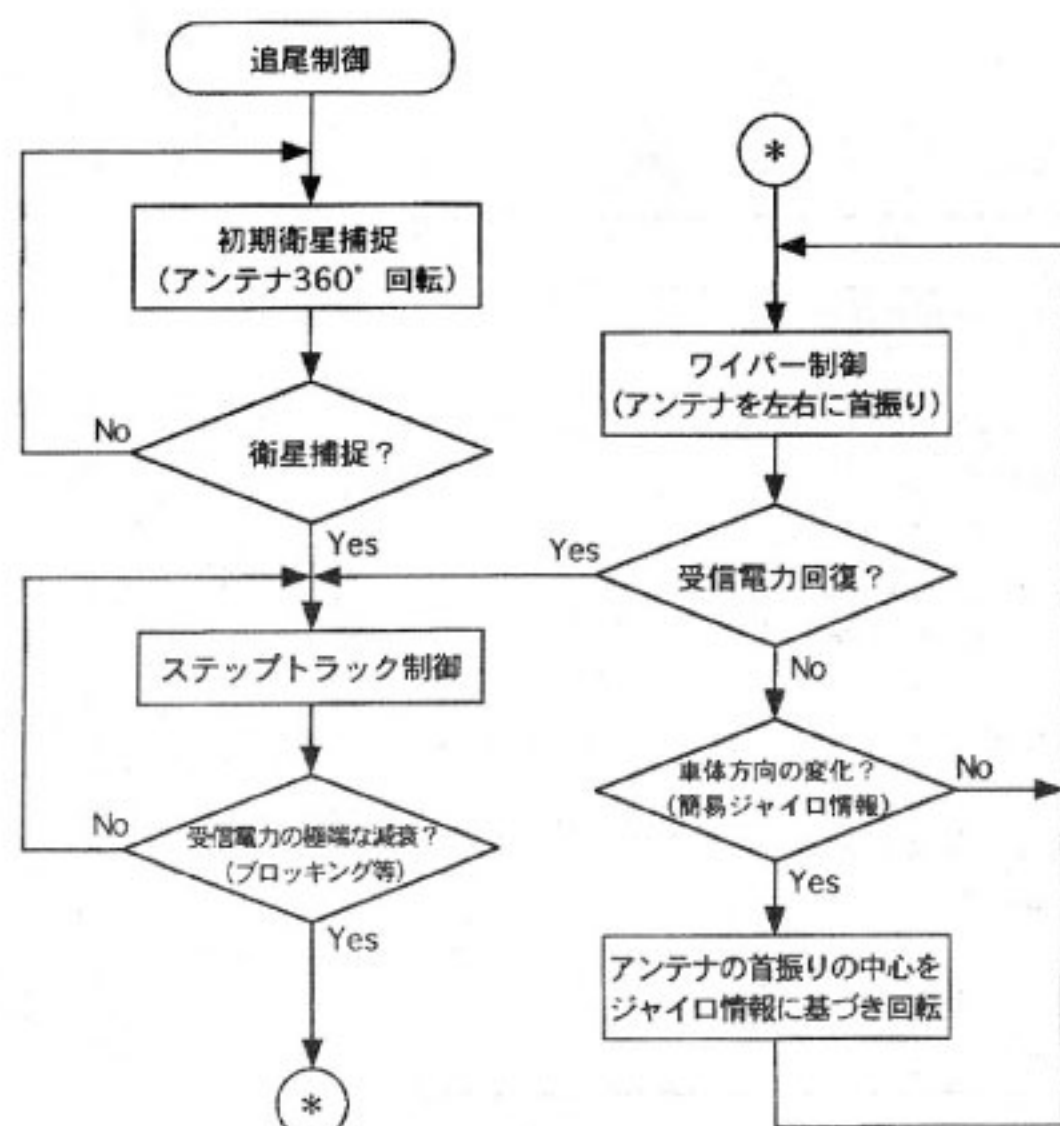
第1図 Ka 帯導波管スロットアレイアンテナ外観（左：受信用、右：送信用）



第3図 導波管スロットアレイアンテナの放射パターン (左: 方位角方向, 右: 仰角方向)



第4図 導波管スロットアレイアンテナを設置したアンテナ駆動部



第5図 導波管スロットアレイアンテナシステムの追尾制御の概略

ティブフェーズドアレイアンテナの開発では、アレイアンテナを始め、新たに MMIC 化された移相器、LNA、HPA 等のデバイスの開発が必要となってくる。COMETS 計画でも全電子追尾方式の車載用アクティブフェーズドアレイアンテナを計画の重要項目として掲げており、Ka 帯での受信アンテナの開発を行ってきた。

アンテナは素子数 169 個程度で -6.8dB/K 以上の G/T を見込んでいる。素子数が多いため、移相器を IF で使うのは困難であり、RF で LNA の後に置いている。ビームは、方位角 $0\sim 360^\circ$ 、仰角 $44^\circ \pm 7^\circ$ 以上の範囲で走査できる。ただし、仰角は外部計算機による設定で $0\sim 90^\circ$ の走査ができる。アンテナと RF 部を含んだ大きさは、高さ $21\text{cm} \times$ 縦 $12\text{cm} \times$ 横 14cm 程度、移相器ドライバ回路が、高さ $3\text{cm} \times$ 縦 $30\text{cm} \times$ 横 30cm 程度になる。また、移相器や LNA の MMIC 化に伴い熱制御が必要になる。第 2 表にシステム諸元を示す。

(3) ミリ波トーラス反射鏡アンテナシステム⁽⁷⁾

ミリ波の車載局アンテナを考える場合、通常のパラボラアンテナでは、追尾駆動機構まで含めると全体として大きなものになり、また、ロータリージョイントなど比較的高価な部品が必要になる。そこで、静止衛星では仰角追尾が簡略化できるという条件を活かして、比較的簡単な構造で安価な、ミリ波用トーラス反射鏡アンテナの開発を行った。

このアンテナは、主反射鏡をその垂直断面が放物線となるトーラス（円環）面にし、副反射鏡を回転楕円体とするもので、一次放射器は中心軸上に真上向きに固定されている（第 6 図参照）。また、一次放射器にホーンアンテナを使うことで帯域幅を広くとることができ、送信と受信を共用することができる。小型軽量の副反射鏡だけを回転させることにより、方位角方向のみの追尾を行うため駆動装置の小型化が容易である。さらに、高価なロータリージョイントを必要としないのが特長である。第 7 図にミリ波トーラス反射鏡アンテナの外観を示す。

第1表 Ka帯導波管スロットアレイアンテナシステム諸元

項 目	性 能	
◎ アンテナ系	送信	受信
形 式	導波管スロットアレイ (クロススロット192個)	導波管スロットアレイ (クロススロット144個)
中心周波数	30.800 GHz	21.028 GHz
周波数帯域幅	>100 MHz	>100 MHz
利 得	25.2 dBi (レドームを含む)	22.5 dBi (レドームを含む)
主ビーム方向チルト角	47.8°	47.0°
ビーム半値幅	仰角方向: 17.0° 方位角方向: 5.7°	仰角方向: 19.5° 方位角方向: 6.5°
大きさ, 重量	147.9 cm ² × 1.0 cm, 0.28 kg	141.4 cm ² × 1.0 cm, 0.29 kg
◎ 送 信 系		
周波数帯域	30.772 GHz±18 MHz (関東ビーム) 30.828 GHz±18 MHz (東海ビーム)	
EIRP	25 dBW	
IF中心周波数	1080 MHz	
IF標準入力レベル	-30 dBm	
◎ 受 信 系		
周波数帯域	21.000 GHz±18 MHz (関東ビーム) 21.056 GHz±18 MHz (東海ビーム)	
G/T	-3 dB/K (追尾誤差3 dBを含む)	
IF中心周波数	1080 MHz	
IF標準出力レベル	-30 dBm	
◎ 追 尾 系		
方 式	衛星からのパイロット信号を用いるステップトラック方式 (ただし, 回転方向は内蔵の簡易ジャイロの情報を用いる)	
駆動範囲	仰角方向: ±2° の範囲で可変 (半固定) 方位角方向: 全方位	
パイロット信号周波数	20.994 GHz (関東ビーム) 21.062 GHz (東海ビーム)	
パイロット信号レベル	-120 dBm (アンテナ出力端)	
最大駆動速度	90° /s	
指向角度精度	0.5° 以下	

第2表 Ka帯アクティブフェーズドアレイアンテナシステム諸元

項 目	性 能
形 式	パッチアンテナアレイ (素子数169個程度)
受信RF周波数	21.028 GHz±46 MHz 21.000 GHz±18 MHz (関東ビーム) 21.056 GHz±18 MHz (東海ビーム)
偏 波	左旋円偏波
G/T	-6.8 dB/K 以上 (仰角44° ±2°, 方位角0~360°)
軸 比	6 dB 以下 (仰角44° ±2°, 方位角0~360°)
出力IF周波数	1080 MHz±46 MHz 1052 MHz±18 MHz (関東ビーム) 1108 MHz±18 MHz (東海ビーム)
IF出力レベル	各LNA入力レベルが ^a -145 dBm (同時入力時) のとき, 周波数変換部出力が ^c -30 dBm以上
帯域内振幅誤差	1.0 dB以下 (通過帯域内)
ビーム走査設定範囲	仰角44° ±7° 以上, 方位角0~360°
ビーム指向角度精度	仰角, 方位角共に1° rms以内

このアンテナの構造は、回転楕円体の片方の焦点から出た電波がもう一方の焦点に集まることを利用して、主反射鏡である放物線の焦点と副反射鏡である回転楕円体の片方の焦点を同一にし、もう一方の焦点を一次放射器の給電点とする構成となっている。アンテナの垂直断面を考えると、オフセットグレゴリアンアンテナと同様である。

従って、受信の場合は、入射した平面波が主反射鏡面で反射され、放物線・楕円の焦点を通り副反射鏡で反射された後、一次放射器の給電点である楕円のもう一方の

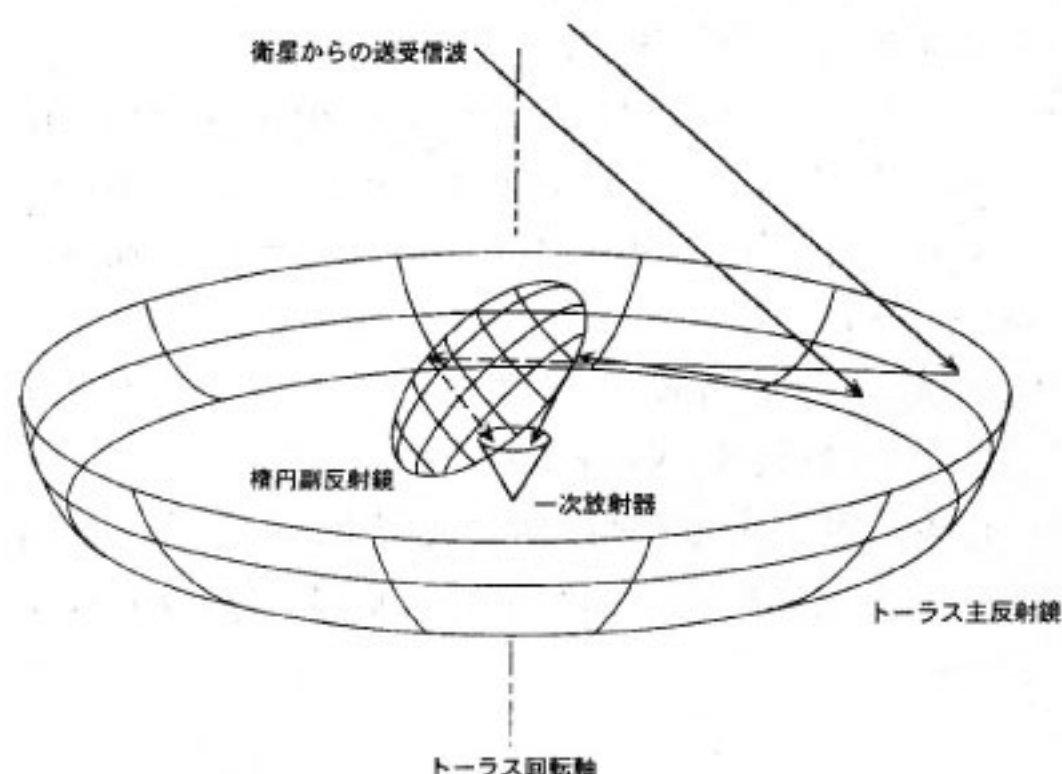
焦点に集められ受信される。送信の場合は、この逆に給電点から出た電波は副反射鏡で反射され放物線・楕円の焦点を通り主反射鏡から平面波として送信される。

第8図にアンテナの指向特性を、第3表に諸元を示す。

アンテナ駆動装置は GPIB を介してパーソナルコンピュータで制御可能であり、ETS-V (技術試験衛星V型) の車載局用に開発された追尾システム⁽⁸⁾を利用できる。

3. お わ り に

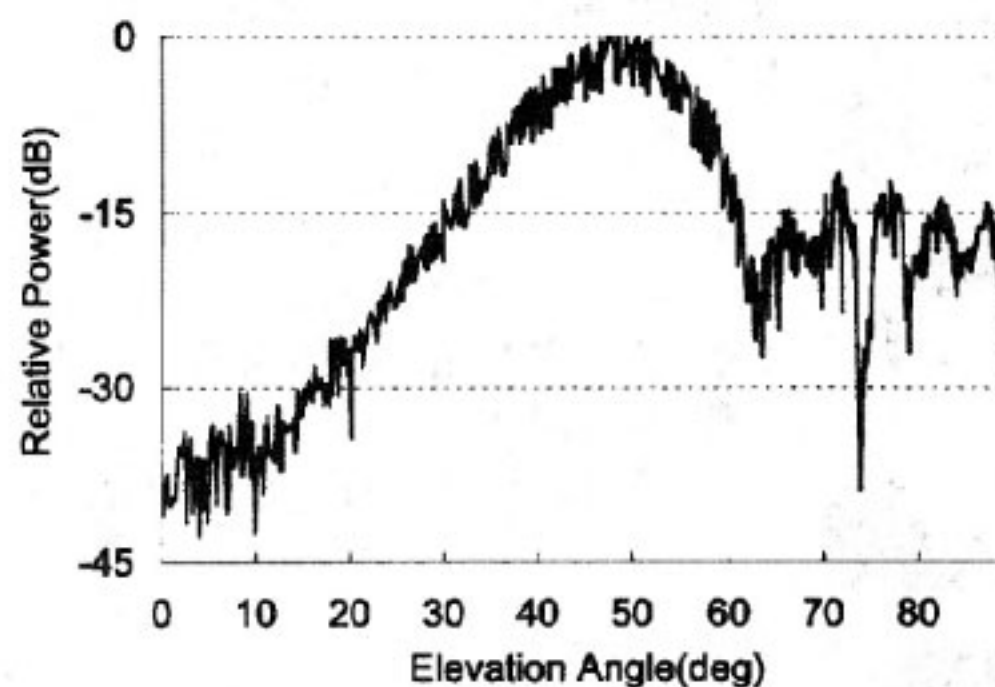
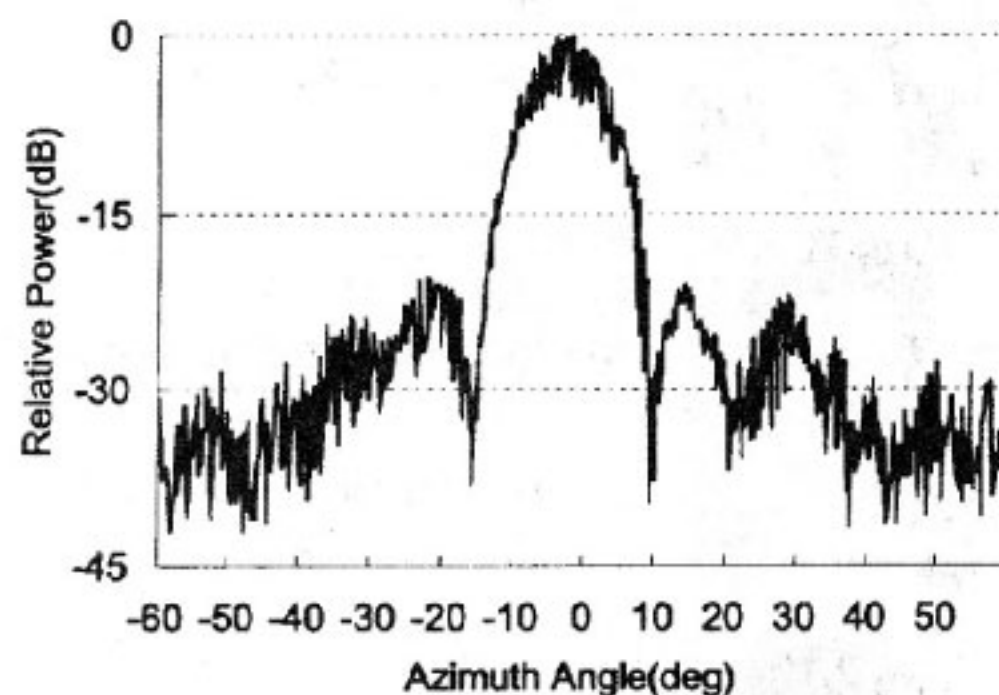
COMETS 計画の移動体通信実験に用いられる車載局



第6図 トールス反射鏡アンテナ概念図



第7図 トールス反射鏡アンテナ外観



第8図 トールス反射鏡アンテナの放射パターン (左: 方位角方向, 右: 仰角方向)

第3表 ミリ波トールス反射鏡アンテナ諸元

項 目	性 能
周波数帯域	44 GHz~47 GHz
利 得	25 dBi
主ビーム方向	約45°
ビーム半値幅	約10° (仰角方向)
大きさ	トールス主反射鏡: 200 mmφ, 副反射鏡: 40 mmφ 高さ: 100 mm
追尾機構	副反射鏡の回転により方位角方向の追尾を行う

アンテナシステムについて主に述べたが、これらの開発と並行して、衛星追尾システムの開発も行われている。通信総合研究所では、ETS-V を用いた移動体衛星通信実験で、光ファイバージャイロ等のセンサーを用いたオープンループ方式の追尾システムを開発してきた⁽⁸⁾。COMETS 実験では、クローズドループ方式も考慮に入れ、Ka 帯、ミリ波帯のビームアンテナに対応した、より高い精度での追尾システムを開発していく。また、上で述べてきたアンテナおよび追尾システムを用いて、車両の走行により生じるドップラシフトの補償技術の開発や様々な環境での伝搬路特性の測定、各種通信実験さらには通信プロトコルの開発などを実施していく予定である。

参 考 文 献

- (1) S. Isobe et al., "Experimental advanced mobile satellite communications system in mm-wave and Ka-band using Japan's COMETS," Journal of Communications Research Laboratory Vol.41, No.1, pp.9-17, March 1994.
- (2) 磯部, 他 "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 Vol.J78-B-II, No.2, pp.41-51, February 1995.
- (3) 峯野, 他 "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 信学秋全大, SB-3-14
- (4) Y. Hase et al., "COMETS mobile satcom antenna development," 19th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS'94), Yokohama, May 1994.
- (5) 長谷, 他 "COMETS 移動体衛星通信用車載アンテナの開発", 信学技報 AP94-45, SAT94-50.
- (6) Y. Hase et al., "Slot array antenna system for COMETS advanced mobile satcom experiments," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC'96), April 1996.
- (7) 斎藤, 他 "COMETS 車載用トラスアンテナの開発", 信学技報 SANE96-69.
- (8) 山本, 他 "陸上移動体衛星通信用アンテナ追尾方式", 信学論 Vol.J77-B-II, No.6, pp.307-316, June 1994.



小原 徳昭
Noriaki OBARA
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信路におけるアンテナ・伝搬
E-Mail: obara@crl. go. jp



山本 伸一
Shin-ichi YAMAMOTO
関東支所 宇宙通信技術研究室
移動体衛星通信
E-Mail: yamamoto@crl. go. jp



吉村 直子
Naoko YOSHIMURA
関東支所 宇宙通信技術研究室
移動体衛星通信
E-Mail: yosshiy@crl. go. jp



長谷 良裕
Yoshihiro HASE
総合通信部 高速移動通信研究室
移動通信及び移動体衛星通信システムの研究に従事
E-Mail: hase@crl. go. jp



斎藤 春夫
Haruo SAITO
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信
E-Mail: saito@crl. go. jp



飯草 恭一
Kyouichi IIGUSA
関東支所 宇宙通信技術研究室
アンテナ
E-Mail: iigusa@crl. go. jp



田中 正人
Masato TANAKA
電磁波技術部 通信デバイス研究室
アンテナの研究
E-Mail: masato@crl. go. jp