

136 MHz 角度追尾受信および 148 MHz コマンド送信アンテナ

長谷部 望*・福島 茂**・泉 哲次郎**

1. はじめに

現在、科学衛星テレメータ用として 136 MHz、400 MHz およびコマンド用として 148 MHz の電波を使用する予定であるが、この目的のため 136 MHz 角度追尾アンテナと 148 MHz コマンド送信アンテナを製作して、鹿児島宇宙空間観測所の気象観測台地に設置した。この気象観測台地はテレメータセンタのあるテレメータ台地より北東約 500 m、標高 350 m のところにあり、実験場内で、アンテナを設置するには最も条件のすぐれた台地である。なお、ここには今後 400 MHz 角度追尾アンテナも設置する予定であり、気象観測台地はこれら科学衛星との通信回線のアンテナが今後も増設されることになる。

ここでは 136 MHz サイマルテニアス・ロービングによる角度追尾アンテナと出力 1 kW (平均値) の 148 MHz コマンド送信アンテナについて報告する。

2. 136 MHz 角度追尾アンテナ

このアンテナ装置は、科学衛星テレメータ用として割当てられた 136~137 MHz の電波を受信して自動追尾を行なうことを目的としたものである。そのため衛星電波の発見以前において、プログラムされた予想軌道に沿ってアンテナを駆動したり、衛星の到来方向と予想される角度を中心にある範囲アンテナをサーチすることや、他の自動追尾アンテナからの角度信号を受けて、これにスレーブすることもできるようになっている。しかし、このアンテナの目的である迅速な衛星発見・捕捉のため広角度にわたる目標電波引込み能力により自動追尾に入ると、これよりの角度信号を受けて、コマンドアンテナを衛星に指向させ、司令電波を送信したり、より精度の高い（ビーム幅の狭い）自動追尾アンテナに対する引渡しを行なう。

2.1 アンテナの構成

アンテナの型式は図 1 の写真よりわかるように、反射板の前方に取付けたターンスタイルアンテナに対し、4本の導波器を配置し、これを4本組合せて、azimuth-elevation 駆動のサイマルテニアス・ロービング方式により角度追尾を行なうものである。

その構成は図 2 にあるごとく、おのおのの直交したダイポールより引出した給電線を偏波面切り替え回路に導き、メカニカルスイッチングにより左・右円偏波および水平垂直の直線偏波を受信できるようになっており、これより出た出力は合成器で一本ごとのアンテナ出力となってハイブリッド回路に入り、和 (Σ) および仰角 (ΔEL)・方位角 (ΔAZ) 誤差出力と

* 東京大学生産技術研究所

** 明星電気株式会社

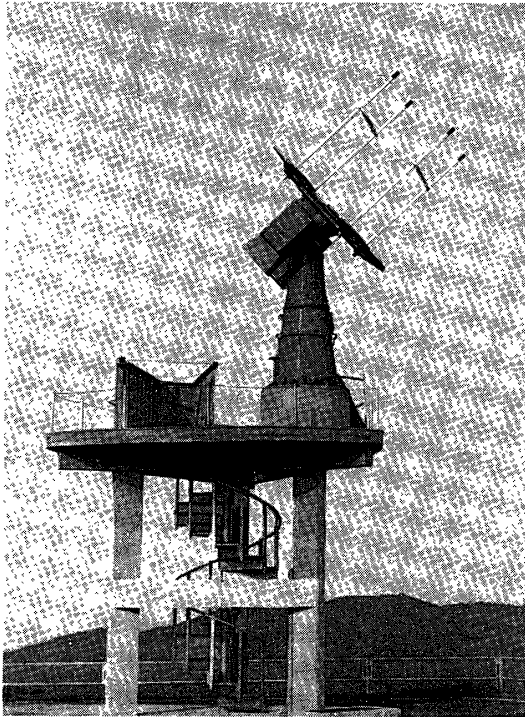


図 1 136 MHz 角度追尾アンテナ

ットレース回路 4 個により構成されている。

これらのアンテナ回路としての損失は、ダイポール端から和信号の出力まで 1.66 dB となっている。

なって受信機に導かれる。なお、このアンテナ架台部にはプリアンプを組み込んで受信機総合感度を -150 dBm 以上としている。

駆動には DC カップモータを用いて $1/3000$ (または $1/30000$) のギヤ比により角速度 $2^\circ/\text{sec}$ (EL) と $6^\circ/\text{sec}$ (AZ) を得ている。

アンテナに対する給電系は、ダイポールと同軸ケーブルの接続に半波長迂回線路を用い $1/4$ 波長変成器により整合をとっている。偏波面切り替え回路は直交したダイポールの給電位相を 1 波長、 $1/2$ 波長および $3/4$ 波長と $1/2$ 波長ケーブルを用いて機械的スイッチングによる組み合わせで四つのモードを作っている (図 3)。合成回路は 2 本の入力を $1/4$ 波長変成器で合成する方法をとり、合成部には不平衡による反射軽減用に $100\ \Omega$ の抵抗をそう入してある。和および差の信号をとり出すハイブリッド回路は、ケーブルを用いたラ

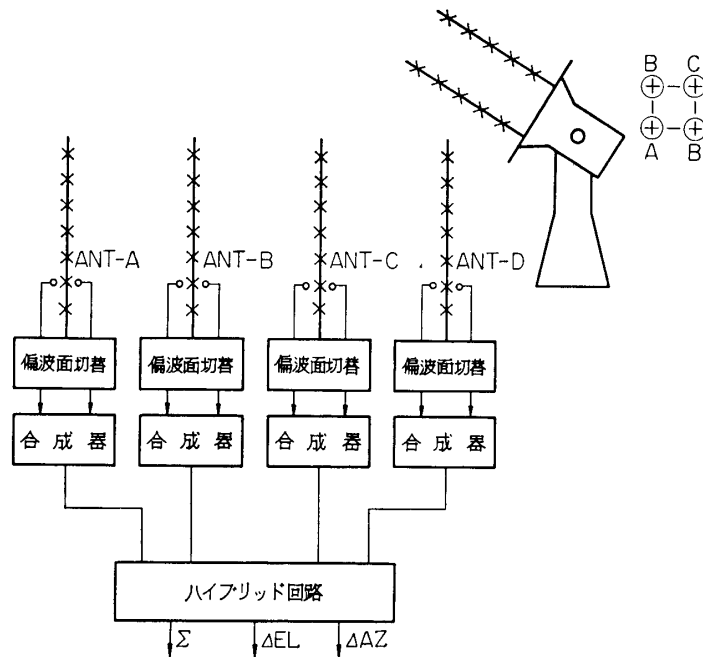
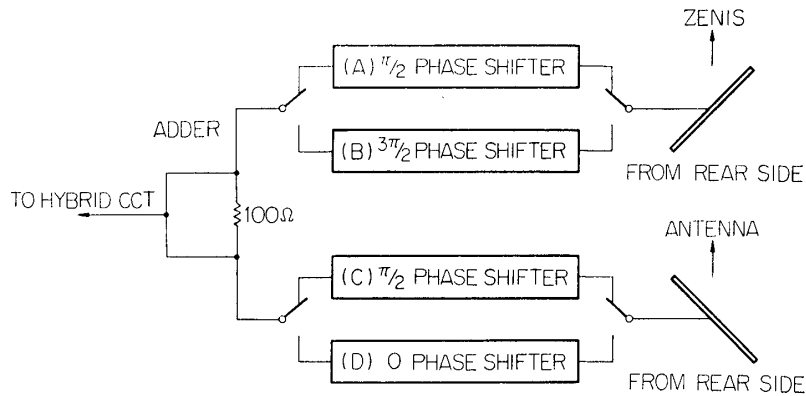


図 2 136 MHz 自動追尾アンテナ構成図



A-C VERTICAL LINEAR
 B-C RIGHT CIRCULAR
 A-D HORIZONTAL LINEAR
 B-D LEFT CIRCULAR

図 3 偏波面切替回路

2.2 アンテナの特性

このアンテナの指向性については、測定場所の立地条件がむずかしく、図1の写真にあるアンテナ塔を用いず地上に設置して測定した場合を図4に示した。この場合アンテナ高がないため、地表面での反射は無視し得ず、若干の誤差を含む、また近傍の反射物もあって正確な指向性ではないが、ビーム幅、サイドローブの判定に有用と考えられる。このアンテナは現在、図1のごとき塔の上に設置され、約6km離れた点にあるコリメーション塔との間の反射物（給水塔）の移設を計画中で、これにより、より正確な指向性の測定が可能となる見込みで、あらためて測定を行なう予定である。また利得に関しても、この台地の隣りにある18mφパラボラアンテナの136MHz利得と共に測定精度が出ず、正確な値を得ずにいる。この周波数帯のアンテナは後述の148MHzコマンド送信アンテナもあり、これらを含めて、ヘリコプタなどを用いた利得測定が必要であると考えている。

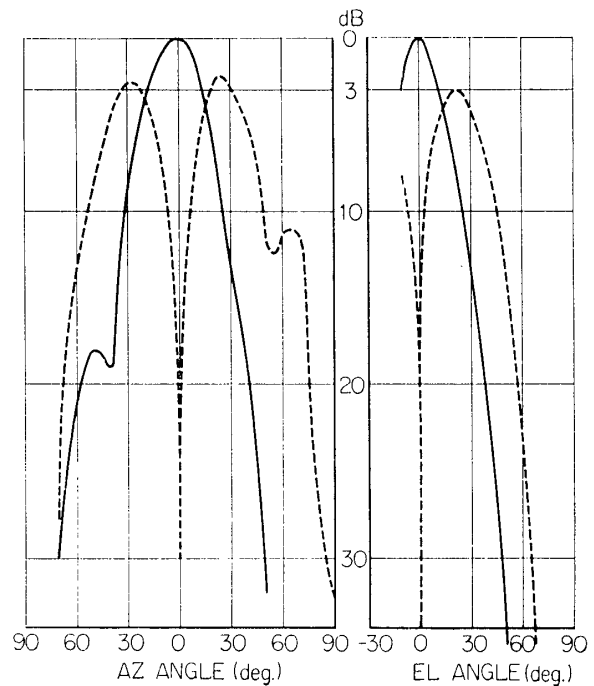


図 4 136 MHz 角度追尾アンテナ指向性 (垂直偏波)

入力インピーダンスについては4本のアンテナのうち3本を終端し、1本のアンテナにつき整合を取って個々にこれを行なったのち、アンテナ回路を通して測定して得た結果を周波

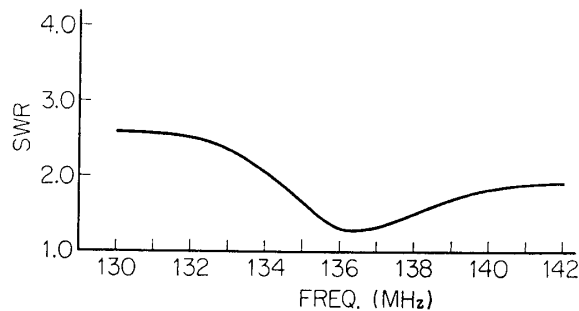


図 5 136 MHz 角度追尾アンテナ周波数対 SWR 特性

数対 SWR について図 5 に示してある。

円偏波特性については通常送信側の直線偏波アンテナを回転して測定されるが、前述のごとく multi path による影響が大きく、直線偏波アンテナを回転した場合と円偏波アンテナを回転した場合の差が大きく、正確なデータを得ていないが、さきのコリメーション塔より直線偏波アンテナで送信して得た結果は右旋 3.0 dB, 左旋 4.0 dB であった。

2.3 測角精度

角度追尾アンテナの角度誤差になる要因はいろいろのものが考えられるが、ここで問題にするビーム幅 30 度程度の比較的利得アンテナに対しては機械系・駆動系による誤差に比べて指向性に起因する誤差が大きく影響する。その一つは multi path によるものであり、差のチャンネルのサイドローブまたはメインローブの傾斜により、地上（または海面）反射による位相の異なった信号が中心軸を偏位させてしまう。

サイマルテニアス・ロービングによる multi path error は

$$\sigma_m = \frac{\theta_e \cdot \rho}{K_m \sqrt{(G_{se})_{rms}}} = \frac{\theta_e \cdot \rho}{\sqrt{8(G_{se})_{peak}}}$$

で与えられ*、ここで θ_e は差チャンネルのビームスプリット角、 ρ は反射係数、 K_m は差チャンネル傾斜係数、 G_{se} はメインローブとサイドローブの比である。この値を $\theta_e=44$ 度、 $\rho=0.3$ (地表面)、 $K_m=1.4$ (垂直面指向性より算出) を用いて計算すると $EL=30$ 度において $\sigma_m=0.3$ 度 (rms) の値を得る。なお、このアンテナを用いて実際に 136 MHz のビーコン電波を送信している衛星を追尾した際の multi path による EL の振れは $EL=30$ 度付近で ± 1 度 (peak) 以内であった。

上の評価は信号入力が大 ($S/N > 30$ dB) である場合についてであるが、信号入力が増減してくると、このアンテナの不感帯が増大し、測角精度を低下させる。たとえば $S/N=20$ dB のときは和のパターンより 20 dB 下ったレベルが noise level となるため、角度誤差信号は約 ± 1.5 度の間 noise にうずもれて検出できなくなり、これが測角精度を決定するようになる。

3. 148. 25 MHz コマンド送信アンテナ

このアンテナは科学衛星に対し、地上より出力 1 kW (平均電力) のコマンド信号を送信するもので、大電力送信用としてケーブルおよびアンテナ給電部に電力分配に対する考慮がなされている。偏波面切り替えは操作盤上の押ボタンにより選択され、送信時はインターロック回線により、切り替え不能になっている。このアンテナは 136 MHz 角度追尾アンテナの

* D. K. Barton., Radar System Analysis PRENTICE-HALL, 1964, p. 327

角度信号またはマニュアルで駆動でき、136 MHz 角度追尾アンテナが衛星を発見して自動追尾に入ると、その角度信号を得て衛星に指向し、コマンド信号を送信する。なお、これら二つのアンテナは同じ台地に設置する関係上 148 MHz コマンド電波が 136 MHz の受信機へもれ込むのを軽減するため、台地の端の一段下がったところへはり出しを設け、ここに設置してある (図6)。

3.1 アンテナの構成

このアンテナの構成で前者と異なる点は 1 kW の出力に対する考慮であり、他の点は差の信号出力回路を必要としないため、ハイブリッド回路が3個で構成されている点にある。

上のことからケーブル損失の軽減、電力配分によるケーブルの規格の選定を行なっている。このため、アンテナ架台部にはロータリージョイントを組込んでケーブル長の増大を防ぎ、ダイポール給電部での耐圧にも考慮を

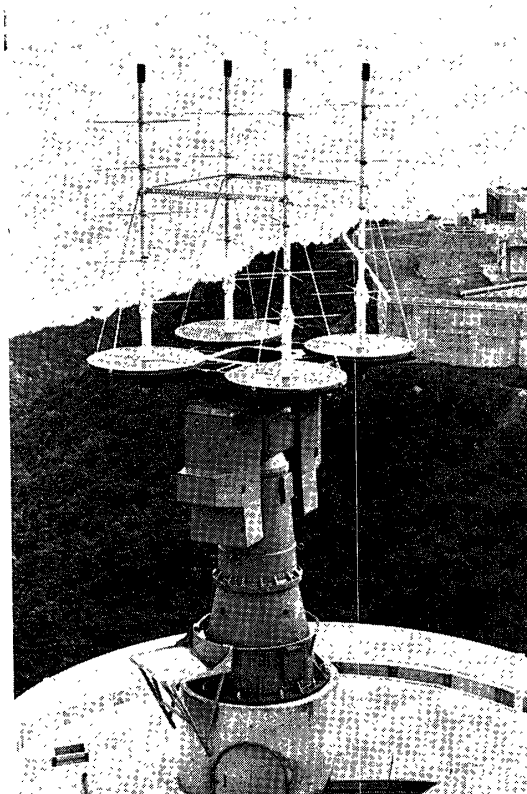


図6 148.25 MHz コマンド送信アンテナ

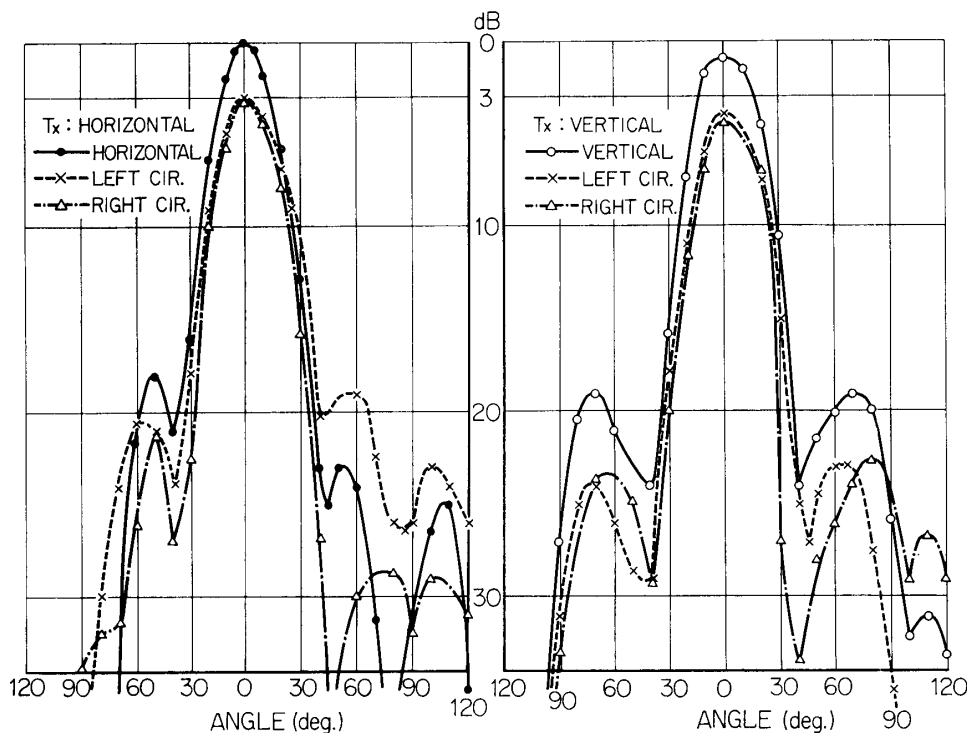


図7 148.25 MHz コマンド送信アンテナ指向性

はらった。この結果、ロータリージョイントを含むアンテナ入力よりダイポール端までの損失は 0.7 dB とすることができた。

3.2 アンテナの特性

このアンテナの特性については、前述の 136 MHz 受信アンテナが測定のための立地条件が悪かったことなど考慮して、工場における素子の調整はそれほど詳細には行なわず、現地へアンテナを設置後あらためて細部の調整を行なった。

前にも述べたように、このアンテナは同じ台地にある 136 MHz 受信アンテナに 148 MHz の送信波がもれ込むことを少なくするため、この台地より一段下がった場所にはり出しを設け、これに設置してあり、向かい側のテレメータ台地と谷をはさんで向かい合っており、前の場合より multi path・近傍反射による影響は少なくなっている。このため指向性の測定も前者に比べてかなり正確に測定することができ、ビーム幅・サイドローブレベルも確かめられた。この結果を図 7 に示してある。図中送信側を水平にした場合と垂直にした場合、multi path によると思われるレベル差を生じている。この影響もあって、円偏波特性は送信の直線偏波アンテナを回転して左・右旋とも約 3.5 dB の結果となっている。

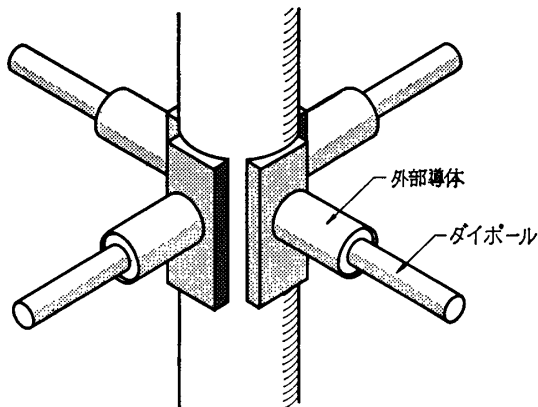


図 8 148, 25 MHz コマンド送信アンテナ給電部構造

各素子の整合は電力のことも考え合せてダイポール基部に図 8 のごとく外部導体を延長して取付け、ダイポール長および外部導体長を適当にすることにより、 $SWR=1.05$ 以下におさえ、4 本を合成している。その結果を周波数対 SWR として図 9 に示した。

4. おわりに

以上 136 MHz 角度追尾アンテナおよび 148 MHz コマンド送信アンテナについてのべたが、ここで問題としてのこされているのは利得および円偏波特性の正確な測定であり、

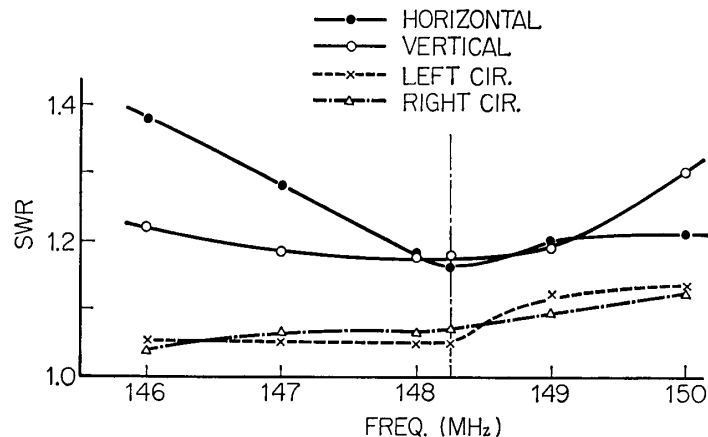


図 9 148, 25 MHz コマンド送信アンテナ周波数対 SWR 特性

今後の測定を必要とするがビーム幅，サイドローブレベル，能率などを考え合せ，isotropic pattern に対する利得より計算して 15 dB 以上はとれているものと考えられる．また前者は実際に衛星を追尾してみても，その測角誤差に対する評価も行なわれ，十分なる特性を発揮していることがわかった．

おわりに常々ご指導を賜わる高木教授・斎藤教授・野村教授・浜崎教授に感謝いたします．

1969 年 1 月 24 日