

# L-4S型ロケット・ビーコンアンテナ

高木 昇・斎藤 成文\*・野村 民也・浜崎 襄二\*\*  
長谷部 望\*\*\*・市川 満

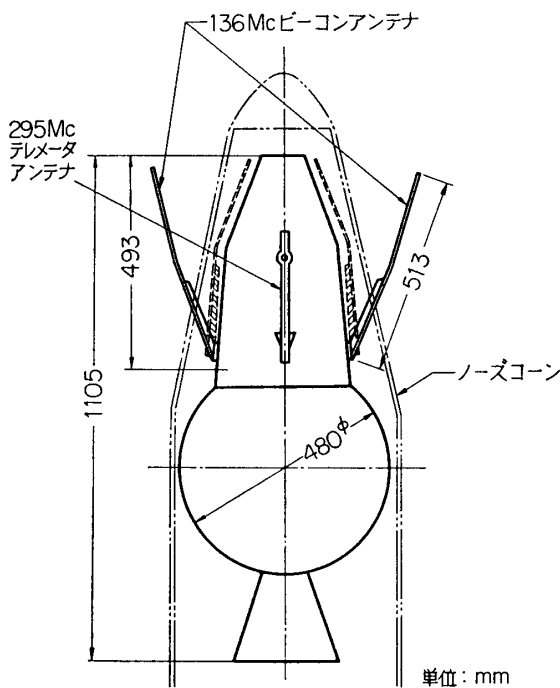
## 1. ま え が き

ミューロケットによる衛星打ち上げの予備実験として、ラムダロケットの最終段に球形ロケットを搭載し、これを姿勢制御して水平方向に打ち出す実験がラムダ4S型ロケットで試みられてきた。

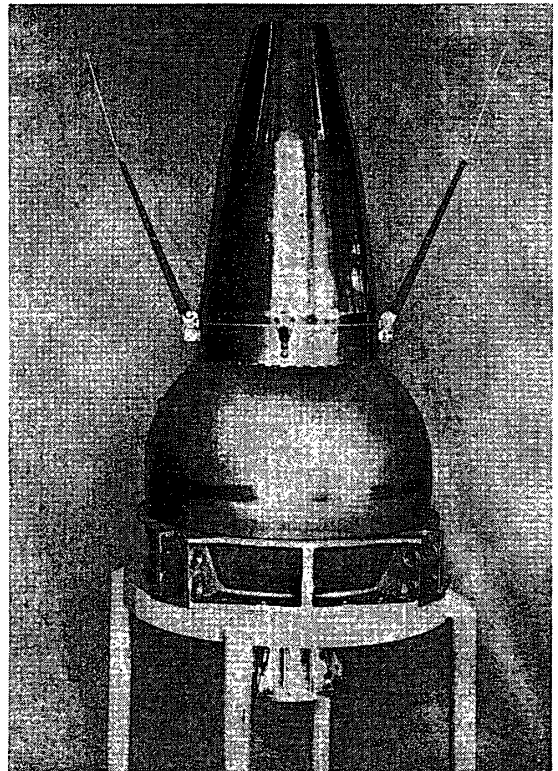
この最終段には観測機器、テレメータ送信機および 136 Mc の CW 送信機（ビーコン送信機と呼んでいる）が搭載され、地上では 136 Mc ドップラ周波数検出受信機と角度追尾受信機が設置され、最終段の直距離および角度信号を得るようになっている。

## 2. L-4S-1号機アンテナ

この 136 Mc ビーコンアンテナとして1号機に搭載されたものは第1図に示すごとく、球形エンジンの頭部に取り付けられた搭載機器カバーの下部より、斜めに突き出した4分の1



第1図 L-4S-1号機ビーコンアンテナ外観図

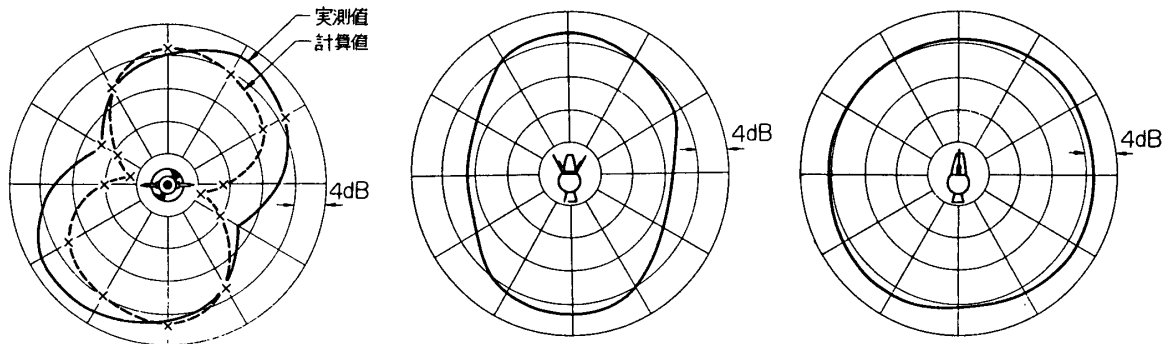


第2図 L-4S-1号機最終段ロケット

\* 宇宙研併任教授（東大生産研）・\*\* 宇宙研研究担当（東大生産研）  
\*\*\* 東大生産研講師

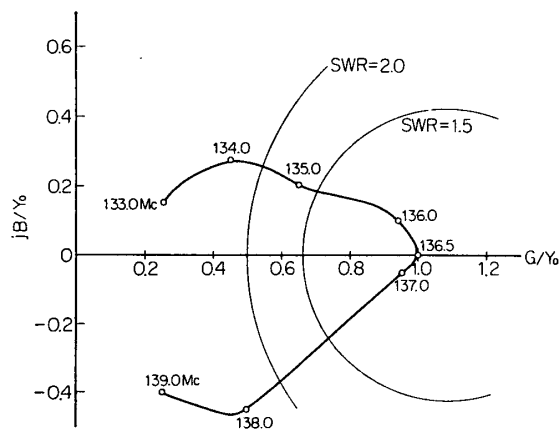
波長ホイップ2本により構成されており、互に逆相給電を行なっている。このアンテナはロケット飛しょうの初期段階ではその基部で折りたたまれ、図の点線にあるようにノーズコーン内部に格納されている。これが約 150 km 上空までロケットが達すると、タイマー指令でノーズコーンが取り除かれ、アンテナは正規の状態に開かれ正常なアンテナとして動作をするようになる(第2図参照)。

1号機についてはこの2本のアンテナを逆相給電し、地上局では円偏波受信をして受信レベルの安定化をはかった。ここであらためて言うまでもないことであるが、このように衛星としての可能性を有したロケットに対しては、地上局ではあらゆる角度よりロケットを見込むこととなり、最終段に搭載されるアンテナは全方向性のふく射特性を有するアンテナが要望される。しかし第1図に示したアンテナの型式ではほぼ直線偏波に近く、地上局を直線偏波アンテナとした場合は当然ロケットのスピンの、その他による運動で受信不能となる角度を生ずることになる。したがってこのアンテナに対しては円偏波アンテナを用いて指向特性を測定してある(第3図(a),(b),(c))。またこのアンテナの入力アドミタンス特性を  $20\text{ m}\Omega$  で規準化して第4図に示した。



(a) 衛星機軸まわり電界指向性 (円偏波受信)    (b) 衛星アンテナに平行な面内の電界指向性 (円偏波受信)    (c) 衛星アンテナ垂直な面内の電界指向性 (円偏波受信)

第3図



第4図 L-4S-1号機ビーコンアンテナアドミタンス特性  $Y_0=20\text{ m}\Omega$

このアンテナの構成は、計器カバー基部より突き出した2本の4分の1波長ホイップと、逆相給電した電流が計器カバー部に沿って2給電点間を流れ、この二つの電流成分が加え合わさったものと考えられる。したがって衛星を横方向（第1図または第2図で紙面に直角方向）より見ると、水平と垂直の電界成分を有するようになる。しかしこの方向ではホイップによる垂直電界成分（ $\dot{E} \cos \theta_0$ ： $\dot{E}$ はホイップによる電界成分、 $\theta_0$ はロケット機軸とホイップのなす角）はその位相が逆であるため互に打ち消し合って水平成分（ $\dot{E} \sin \theta_0$  および計器カバー部に流れる電流による電界）のみとなる。一方これと直角方向ではホイップによる垂直成分のみが存在することになる。したがってこの和の指向性は計器カバー部に流れる水平成分の電流による電界と位相中心より見た位相差を含めた2本の逆相給電ホイップによる電界のベクトル和と考えられる。

今、この型のアンテナ指向性を評価するため、もっとも荒っぽい近似をして見ると次のごとく考えうる。すなわちこのアンテナに流入する電流はホイップ基部より見た片側の入力インピーダンスによりほぼ決定されており、傾斜ホイップによる直角方向の水平電界成分は比較的小さいと考え、水平成分を半波長水平ダイポール電界で近似し、2本の傾斜ホイップを垂直ダイポール電界（垂直面内で無指向性）に近似し、これを加え合わせると機軸まわりの指向性（第3図(a)）は次式で近似的に表わされる。

$$|D_{\Sigma}| = \left\{ \left[ |K_1| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} + |K_2| \sin\left(\frac{\pi}{\lambda} d \cos \theta\right) \cos\left(\frac{\pi^2}{\lambda} d\right) \right]^2 + \left[ |K_2| \sin\left(\frac{\pi}{\lambda} d \cos \theta\right) \sin\left(\frac{\pi^2}{\lambda} d\right) \right]^2 \right\}^{1/2}$$

ここに  $|D_{\Sigma}|$ ：合成指向性の絶対値

$|K_1|$ ,  $|K_2|$ ：計器カバー部とホイップ部の電流配分率による電界の絶対値

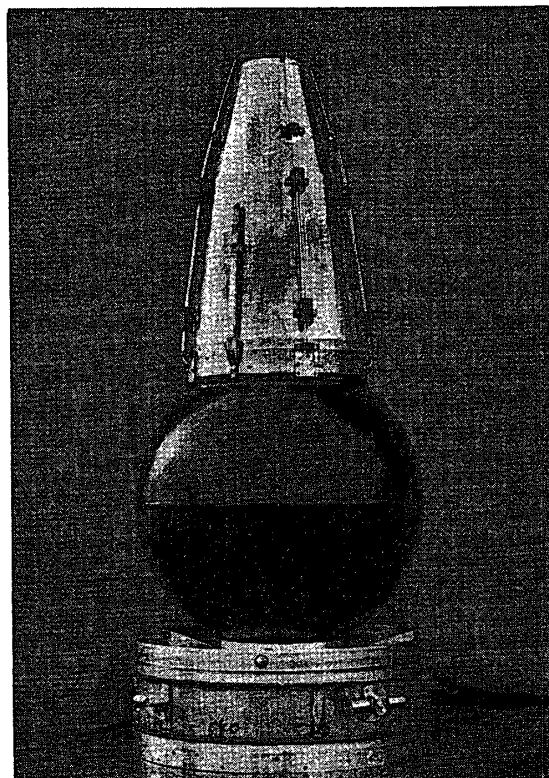
$d$ ：ホイップ基部間隔

この式を用いて  $|K_1|/|K_2|=3$  dB として計算した結果を同図に点線で示した。実測より切り込みが多いのは斜めの成分を無視したためと考えられる。これによると  $|K_1|/|K_2|=1$  で、 $\pi^2 d/\lambda = \pi/2$  なるときもっとも全方向性の指向性が得られることがわかる。

### 3. L-4S-2号機アンテナ

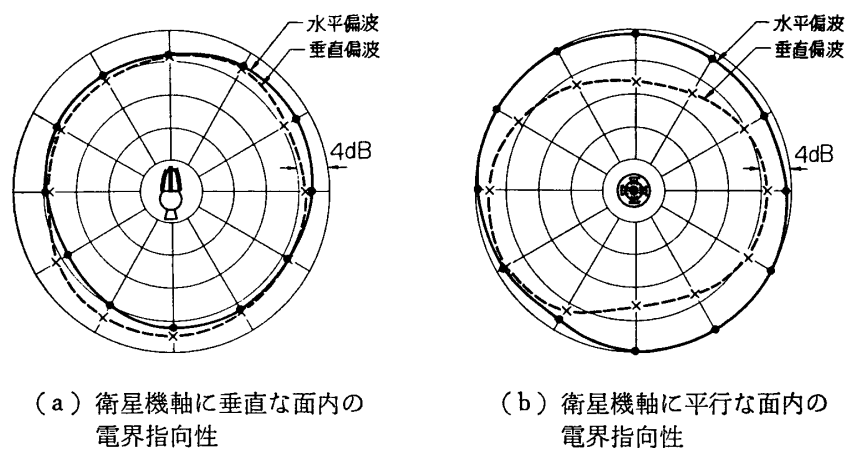
上述のごとく地上局が直線偏波受信の場合には1号機の型のアンテナでは当然切り込みが起ってくるので、2号機のビーコンアンテナはロケット機軸方向より見て円偏波となるようアンテナを形成し、地上局では円または直線偏波受信を試みた。この構成は第5図に見られるように4本のワイヤーアンテナを計器カバーに沿わせて取り付け、それに沿って同径の地導線を2本適当な長さまで延長し、途中FRPを用いたインシュレータにより固定し、この地導線の長さおよびインシュレータの位置を適当にすることにより同軸ラインと整合をとっている。

このアンテナの給電は同軸ケーブルを用いたハイブリッド回路3個により作られた分配器で、ロケットの機軸方向で円偏波となるよう、それぞれ4個のアンテナに90度の位相差をもたせてある。

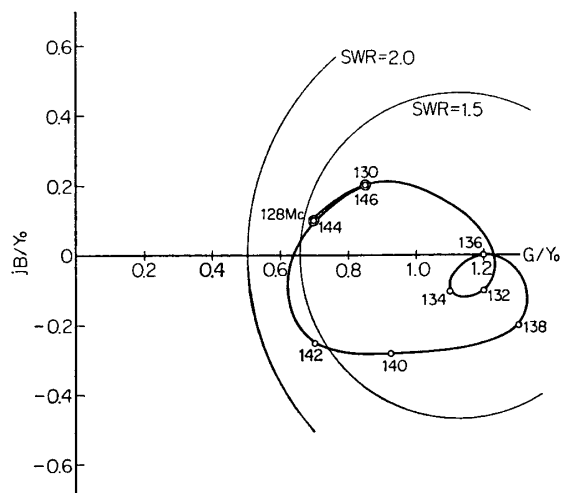


第5図 L-4S-2号機最終段ロケット

このアンテナの直線偏波に対する指向特性を第6図 (a), (b) に示した. またこのアンテナと分配器を組み合わせた総合入力アドミッタンス特性を第7図に示した.



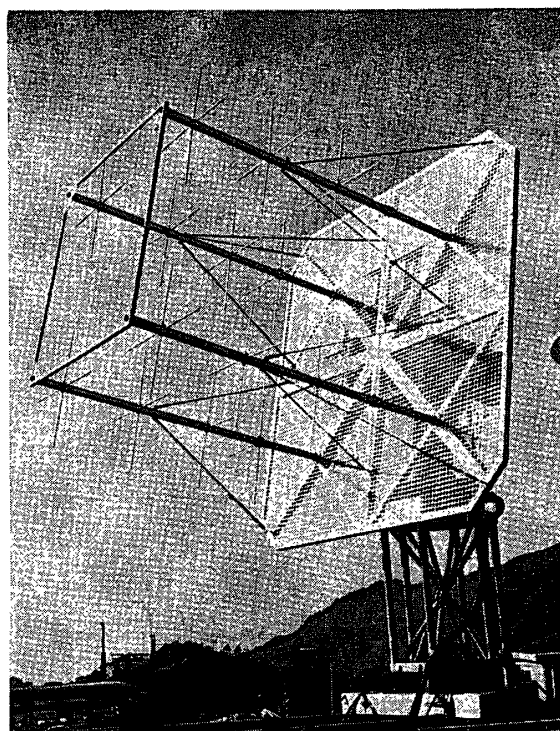
第6図



第7図 L-4S-2号機ビーコンアンテナアドミッタンス特性電力分配器を含む総合特性  $Y_0 = 20 \text{ m}\Omega$

#### 4. 地上設備

136 Mc ビーコン受信機は前述のごとく、ドップラ周波数検出受信機と角度追尾受信機の2台を有し、前者は反射器つきターンスタイルアンテナにより受信し、ダブルスーパーヘテロダインの位相同期検波方式を用い、第1局部発振器は正確は水晶発振器より1 Mcの供給



第8図 4素子ターンスタイル八木アンテナ

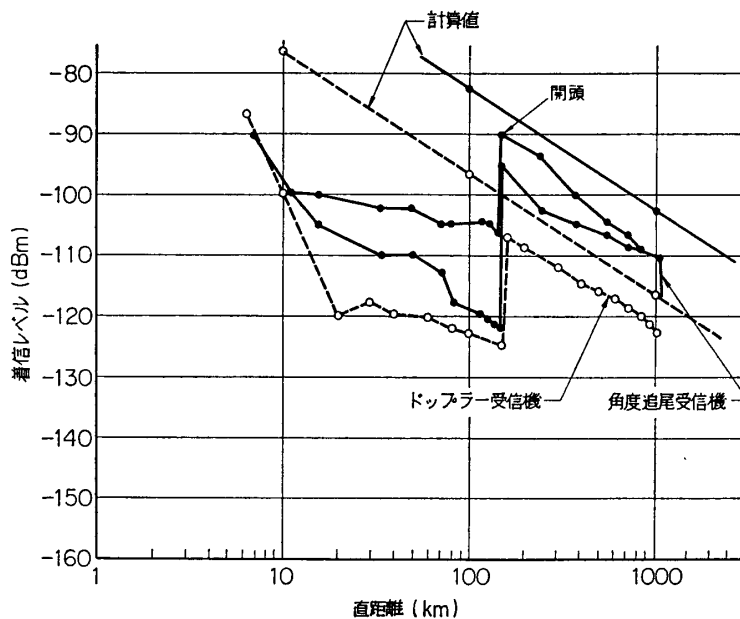
により周波数シンセサイザを用いて 136~137 Mc を 500 サイクルステップで受信できる。得られたドップラー周波数はデジタルプリンタでプリントアウトされる。この受信機の雑音指数は 3 dB, 受信感度  $-160$  dBm である。

一方角度追尾受信機は第 8 図に示すとき 4 素子ターンスタイル八木アンテナ（現在このアンテナはもっと機構のしっかりしたものに改造中である）と、同軸ハイブリッド回路 4 個と 2 分配器の組み合わせにより円偏波、直線偏波の受信、また受信機に対する和・差信号を作りだし、角度追尾を行なっている。受信機の構成は前者同様ダブルスーパーヘテロダイン、位相同期検波方式の採用で雑音指数 5 dB, 総合感度  $-144$  dBm を有する。

### 5. 実験結果

以上のごとき機器構成により、41 年 9 月 26 日に L-4S-1 号機、41 年 12 月 20 日に L-4S-2 号機は発射された。

これら 2 機に搭載されたビーコン送信機出力は 50 mW であり、自由空間損失を乗じた受信機入力端での着信レベルを第 9, 10 図に示した。

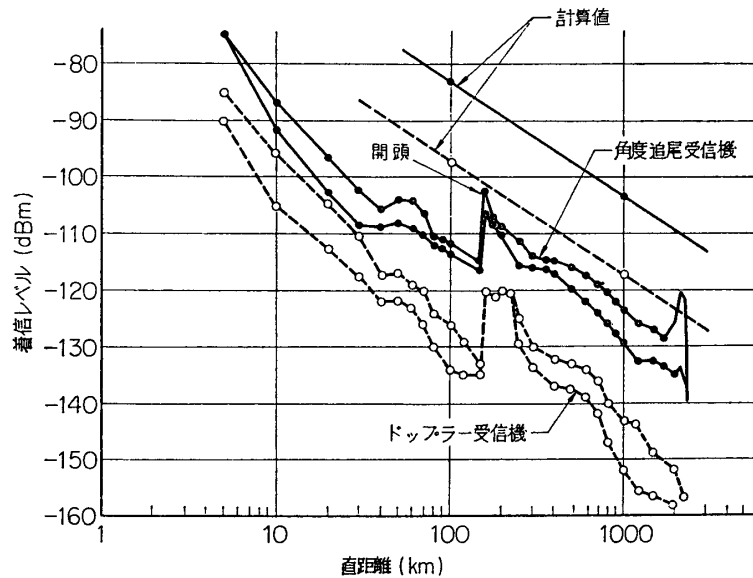


第 9 図 L-4S-1 号機着信レベル

この図に計算値とあるのは次の諸量にもとづいて計算した値である。

受信レベル計算に用いた値

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| 136 Mc 送信機出力 | $P_t = 50 \text{ mW} = 17 \text{ dB}$ |
| 送信アンテナ利得     | $G_t = 0 \text{ dB}$                  |
| 送信ケーブル損失     | $L_{tf} = 0 \text{ dB}$ (1 号機)        |
|              | $L_{tf} = 1 \text{ dB}$ (2 号機)        |
| 自由空間損失       | $L_s = (4\pi R/\lambda)^2$            |
|              | $R$ : 直距離                             |



第10図 L-4S-2号機着信レベル

|          |                            |
|----------|----------------------------|
|          | $\lambda$ : 波長             |
| 受信アンテナ利得 | $G_r = 0$ dB (ドップラ受信機)     |
|          | $G_r = 14$ dB (角度追尾受信機)    |
| 受信ケーブル損失 | $L_{rf} = 2$ dB (両者共)      |
| 受信感度     | $S_r = -160$ dBm (ドップラ受信機) |
|          | $S_r = -144$ dBm (角度追尾受信機) |

以上により

$$\text{着信レベル } P_r = P_t + G_t - L_{t_f} - L_s + G_r - L_{r_f} \text{ (dBm)}$$

として算出している。

上記で送信アンテナケーブルの損失が2号機で1dBとあるのは、搭載機器重量制限のため、ケーブル重量を極力小さくすることと機内スペースの関係で、1. 2 D-2 V の同軸ケーブルを用いてハイブリッド分配器を製作したためと、3段目に搭載している410 Mc コマンド受信機に対する、ビーコン送信機からの410 Mc スプリアス成分による妨害除去のための阻止フィルタをそう入したことによる損失である。

受信アンテナは1号機に対しては両者とも円偏波受信を行ない、2号機に対してはドップラ周波数検出受信機は円偏波受信、角度追尾受信機は水平直線偏波受信を行なったが図からは顕著な両者のレベル変動の差は認められない。

この図で約150 km のところに開頭とあり、受信レベルが際立って増大しているのがわかる。1号機については開頭まではアンテナが折りたたまれ、しかもノーズコーンが近傍にあることより不整合の状態にあり電力の相当大きな反射が起って着信レベルが低下しているであり、2号機はノーズコーンの影響による不整合でレベルが低下しているのである。

この着信レベルの変化より見て150 km 以前のノーズコーンが被った状態での受信レベル

と、開頭後の受信レベルに 10 dB 以上もの差があることは受信機側から見ても改良さるべき問題と思われ。その一つにもっと Q の低い安定なアンテナの開発が必要と考えられる。

指向性による着信レベルのフラツキは 1 号機の角度追尾受信機の記録と 2 号機のそれとを比較すると、相当改善がなされたと考えられよう。

おわりにアンテナの機構設計にご助力をいただいた日産自動車・板橋氏に感謝する。またデータの解析にご努力下さった林 研究室・長江氏とアンテナの測定に協力していただいた野村研究室・林氏に謝意を表す。

1967 年 1 月 25 日 宇宙工学