

L-4T-1, L-4S-4, 5 号機における テレメータ受信結果

野村民也・林 友直・横山幸嗣・井上浩三郎

1. は し が き

L-4T-1, L-4S-4, L-4S-5, 3 機はいずれもテストロケットとしての性格から工学上のデータ集収を目的として多くの計測装置が搭載されている。計測器の出力は FM-PM 方式の 300 MHz 帯テレメータ波を介して地上で受信記録される。機体計測, 姿勢計測結果に関しては, それぞれ別項で扱われるので, ここでは各段搭載計器, 主要機器の性能, およびテレメータチャンネル配分について述べ, さらにテレメータ波受信入力レベルの変化について触れる。また, L-4S-5 号機の第 4 段目搭載機器については, 衛星軌道上での動作状況も記述する。

2. L-4T-1, L-4S-4, 5 号機の搭載計器と主要性能

2.1 各段搭載計器

表 1 各段搭載計器

	L-4T-1	L-4S-4	L-4S-5
第 4 段 計器部	X (縦方向加速度計) Y (横方向加速度計) Z (同 上) X ₃ (振 動 計) TM ₃ (テレメータ送信機) RT (レーダ・トランスポンダ) Beacon (ビーコン送信機) Pilot (パイロット送信機)	RBP (荷電粒子観測器) T (温 度 計) X (縦方向加速度計) TM ₃ (テレメータ送信機) Beacon (ビーコン送信機) Pilot (パイロット送信機)	T (温 度 計) X (縦方向加速度計) MX (精密加速度計) TM ₃ (テレメータ送信機) Beacon (ビーコン送信機) Pilot (パイロット送信機)
第 3 段 計器部	X (縦方向加速度計) Y (横方向加速度計) Z (同 上) SP (ス ピ ン 計) T (温 度 計) GAS (サン・センサ付, 地磁気姿勢計) CM ₂ (コマンド受信機) RT (レーダ, トランスポンダ) TM _{1, 2} (テレメータ送信機)		L-4T-1, L-4S-4 の第 3 段の計器にさらに次の機器が追加されている。

姿勢制御部	MT _{3,4} (タイマ) DS (デスピンモータ1対) RS (リスピンモータ1対) CN (姿勢制御装置) PC (プッシャ, コネクタ)	SD (分離距離計) SV (分離速度計) FD (閃光検出器)
第2段接手部		RM (逆推進モータ) RI (γ 線源)
第2段計器部	CM ₁ (コマンド受信機) MT ₂ (タイマおよびその電源) SM (スピンモータ1対) PC (プッシャ, コネクタ)	L-4T-1, L-4S-4 と同じ

2.2 主要性能, 目的

(i) テレメータ送信機

テレメータ送信機は、ロケット等の飛しょう中に観測された各種データをトランスデューサから受け、周波数分割多重方式で無線伝送するものである。第2段に2台、第4段に1台搭載されている。各段の送信機は、テレメータの副搬送波周波数の使用帯域 (IRIG) を異にするだけではかき全く同じである。アンテナはそれぞれ一対のフック型アンテナを用いている。

(ii) パイロット信号送信機

第4段に搭載し、受信アンテナの自動追尾用である。得られた角度情報は、軌道要素算出のためのデータとして使用される。送信アンテナは一対のフック型アンテナを使用しテレメータ送信と共用になっている。

(iii) ビーコン信号送信機

第4段に搭載し、ロケット飛しょう中のドップラ周波数を測定し、速度、飛しょう径路の計算に供される。送信アンテナは4本のホイップ型アンテナを使用し、円偏波 (後方に対し右旋) になっている。

(iv) コマンド受信機

L-4T-1, L-4S-4, 5号機の第2段、第3段にそれぞれ各1台を搭載している。

飛しょう中のロケットの安全を確認するためのもので、ロケットに異常が認められると、地上からのコマンド指令により次段以降の点火回路を切断する。第3段コマンド受信機は、タイマの切換により、第4段ロケット点火時刻の修正にも使用できる。表2にこれらの主要性能を示す。

3. テレメータチャネル配分と伝送内容

各テレメータにおけるチャネルがどのような計測に割当てられているかを表3に示す。

表 5 送信機の諸元
(L-4T-1, L-4S-4.5)

	第 3 段目搭載 テレメータ送信機	第 4 段目搭載		
		テレメータ送信機	パイロット 信号送信機	ビーコン 信号送信機
発振型式	水晶制御	水晶制御	水晶制御	水晶制御
送信方式(変調法)	FM-PM	FM-PM	CW	CW
チャンネル数	12 (2台とも)	4		
入力信号	0~+5V	0~+5V		
入力インピーダンス	350 k Ω 以上	350 k Ω 以上		
主搬送波周波数	295.0 MHz 及び 296.2 MHz	295.6 MHz	296.7 MHz	136.16 MHz
搬送(波)周波数偏差	$\pm 5 \times 10^{-5}$ 以内	$\pm 5 \times 10^{-5}$ 以内	$\pm 5 \times 10^{-5}$ 以内	$\pm 1 \times 10^{-5}$ 以内
最大周波数偏移	± 120 kHz	± 70 kHz		
搬送波出力	0.5W 以上	50 mW 以上	10 mW 以上	50 mW 以上
副搬送波中心周波数	IRIG Band 4~15	L-4T-1 Band 12-15 L-4S Band 2-5		
副搬送波最大偏移	中心周波数 $\pm 7.5\%$	中心周波数の $\pm 7.5\%$		
変調直線性	$\pm 1\%$ 以内	$\pm 1\%$ 以内		
電源電圧	16V $\pm 3\%$ 以内	15V $\pm 3\%$ 以内		
消費電流 (Pilot 含む Beacon)	900 mA (12ch \times 2)	200 mA 以内		
電池	ニッケルカドニウム 500HZ	YA 型酸化銀電池		
アンテナ定在波比 (Pilot 共用)	2.0 以下	2.0 以下		2.0 以下

表 3 コマンド受信機の諸元
(L-4T-1, L-4S-4.5)

	第 2 段目	第 3 段目
受信方式	水晶制御 2重スーパーヘテロダイン	左に同じ
受信周波数	410 MHz	"
総合帯域幅	± 100 KHz	"
最低受信感度	-78 dBm 以下	-96 dBm 以下
コマンドトーン	2 波	左に同じ
電池	ニッケルカドミウム 6/500 FZ	"
スプリアス感度	イメージ -40 dB 以下 スプリアス -60 dB 以下	" "

表4 テレメータチャンネル配分

IRIG Band No.	中心周波数 (kHz)	最大レスポンス (Hz)	第3段目						第4段目		
			L-4T-1		L-4S-4		L-4S-5		L-4T-1	L-4S-4	L-4S-5
			計器部 (296.2 MHz)	CN部 (295.0 MHz)	計器部 (296.2 MHz)	CN部 (295.0 MHz)	計器部 (296.6 MHz)	CN部 (295.0 MHz)	計器部 (295.6 MHz)	計器部 (295.6 MHz)	計器部 (295.6 MHz)
2	0.56	8.4								T ₁	T ₁
3	0.73	11								T ₂	T ₂
4	0.96	14	CM	Roll RG	CM	Roll RG	CM	Roll RG		X	X
5	1.3	20	Sep	Pitch RG	Sep	Pitch RG	DS, Sep	Pitch RG		RBP	MX
6	1.7	25	Spin	Yaw RG	Spin	Yaw RG	SP	Yaw RG			
7	2.3	35	DS	Roll RIG	DS	Roll RIG	SD, MT Ans	Roll RIG			
8	3.0	45	DS	Roll CX	DS	Roll CX	T(CN 後部)	Roll CX			
9	3.9	59	GAZ	Pitch CX _c	GAZ	Pitch CX _c	GAZ	Pitch CX _c			
10	5.4	81	GAH	Yaw CX _c	GAH	Yaw CX _c	GAH	Yaw CX _c			
11	7.35	110	T ₁	Pitch Roll	T ₁	Pitch CX _F	SV	Pitch CX _F			
12	10.5	160	T ₂	Yaw CX _F	T ₂	Yaw CX _F	FD	Yaw CX _F	Z		
13	14.5	220	Z	Pitch Roll CW	X	Pitch Roll CW	Z	Pitch Roll CX	Y		
14	22.0	330	Y	Yaw Roll CCW	Z	Roll CCW	Y	Yaw Roll CCW	X		
15	30.0	450	X	Comm	Y	Comm	X	Comm	X ₃		

CM: コマンド受信機の受信アンサーバック
 Sep: 第4段球形ロケット切離し確認
 Spin: スピン計出力
 DS: デスピン用ノズルキャップはずれ確認
 GAZ GAH: 地磁気姿勢計出力
 T: 温度計出力
 X, Y, Z: 加速度計出力 (X: 機軸方向, Y, Z: 機軸に垂直方向成分)
 RG: レートジャイロ
 RIG: レートインテグレイティングジャイロ
 X₃: 振動計出力
 CX: シンクロ
 RBP: 荷電粒子観測器出力
 MX: 精密加速度計
 Commutator: 切換出力 (CN エンジン諸量)
 SD: 分離距離計
 SV: 分離速度計
 FD: 閃光検出器

4. テレメータ受信状況

(1) 受信レベルの理論値と実測値の比較

L-4T-1, L-4S-4, 5号機の飛しょうの際に得られた計15個の受信入力レベルのデータを無線周波数によって分類表示すると、

[B₃部搭載]……送, 受信アンテナ利得をそれぞれ 0, 16.5 dB, 送, 受信アンテナケーブル損失をそれぞれ 0, 1.5 dB, 偏波損失を 3 dB とする.

i) 295.0 MHz

L-4T-1, L-4S-4, 5号機の送信電力を 0.6 W とするとき, 理論値は

$$V_R(\text{dB}\mu) = 64.93 - 20 \log_{10} R \text{ (km)} \quad (1)$$

ii) 296.2 MHz

4T, 4S の送信電力を 0.6W とするとき、理論値は

$$V_R(\text{dB}\mu) = 64.89 - 20 \log_{10} R \text{ (km)} \quad (2)$$

[480S 部搭載]……送, 受信アンテナ利得をそれぞれ 0, 27.5 dB, 送, 受信アンテナケーブル損失をそれぞれ 0, 1.5 dB, 偏波損失を 3 dB とする.

iii) 295.6 MHz

4T, 4S-4, 5 の送信電力を 50 mW とするとき、理論値は

$$V_R(\text{dB}\mu) = 65.13 - 20 \log_{10} R \text{ (km)} \quad (3)$$

iv) 296.7 MHz

4T, 4S の送信電力を 10 mW とするとき、理論値は

$$V_R(\text{dB}\mu) = 58.09 - 20 \log_{10} R \text{ (km)} \quad (4)$$

v) 136.16 MHz

4T, 4S の送信電力を 50 mW とするとき、理論値は,

$$V_R(\text{dB}\mu) = 44.8 - 20 \log_{10} R \text{ (km)} \quad (5)$$

ただし、送, 受信アンテナ利得をそれぞれ 1, 10 dB, 送, 受信アンテナケーブル損失をそれぞれ 4.3 dB, 1.8 dB とする.

これらの理論値と実測値を第 1, 2 図に示す.

(2) 実測値に対する考察

L-4T-1, L-4S-4, 5 号機飛しょう実験を通じ、搭載テレメータ全体として、再スピン状態でレベル変動が大きくなり、入力レベルの最小値は受信機のスレシヨルドレベルを割り、記録データ上に大きな影響を与えた.

(i) 第 3 段搭載テレメータ

L-4T-1 号機……飛しょう時間 709.2 秒まで受信し、データを記録した。受信レベルの記録は、295.0, 296.2 MHz 信号とも、理論値にそい漸減しているが、スピン開始 (34.4 秒) より約 5 dB のレベル変動を生じ、144 秒に一時的なレベル低下がある。その後姿勢制御の作動でレベル変動なく安定する。リスピン開始 (239 秒) より再びレベル変動があり、記録データ上に雑音が入り出す。特に、295.0 MHz テレメータは 170 秒付近より入力レベルは受信機のスレシヨルドレベル以下となり、その後の姿勢制御部のデータは雑音の多い記録となる。

コマンド指令電波は発射後 376.7 秒に発せられ、これが正常に受信されたことがテレメータにより確認された。

L-4S-4 号機……飛しょう時間 800.52 秒まで受信し、データを記録した。受信レベルの記録は、295.0, 296.2 MHz 信号とも、理論値によく一致している。L-4T-1 号機に較べ、レベル変動は小さく、全体に安定した受信入力レベルであるが、211.25 秒に急激な変動を生じ、その後スピンによるレベル変動のほかに周期的な変動が含まれている。この急激なレベル変動は第 3 段モータ部との接触により送信アンテナ系の一部が破損したためと思われる。

L-4S-5 号機……飛しょう時間 572 秒にわたって受信データを記録した。受信レベルの記

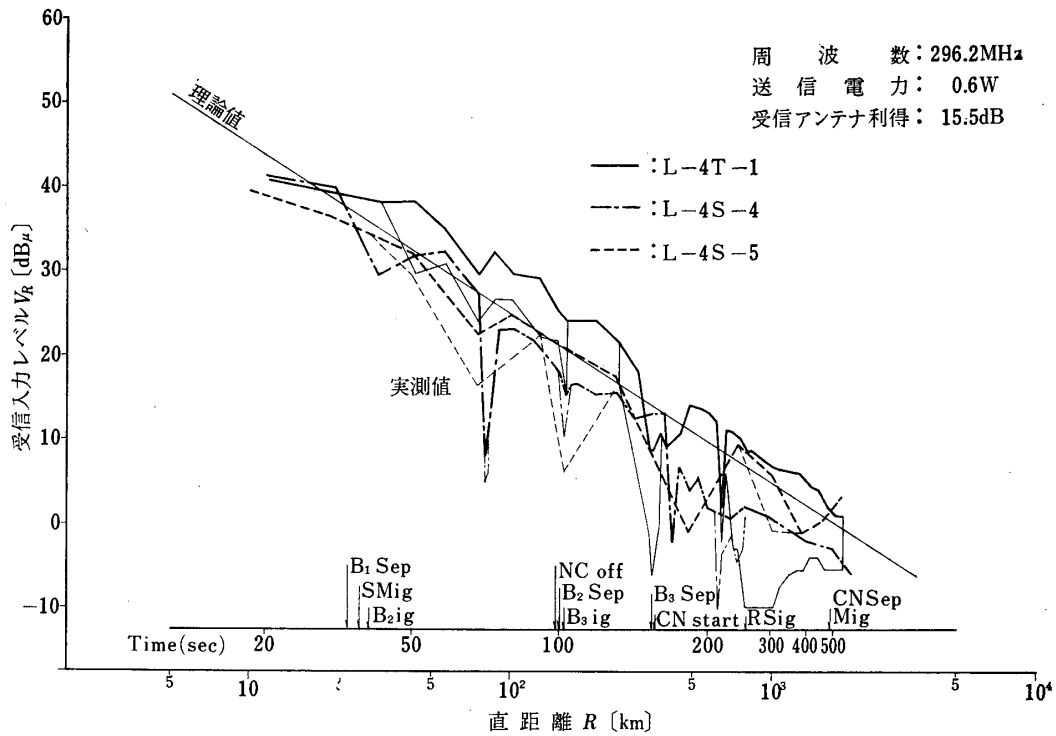


図1 第3段目テレメータ受信入力レベル

録は、発射5秒後に規定の受信レベルとなり、その後理論値にそい順当に漸減している。第2段目点火37.2秒より受信レベルが7dB下り、また第2段目最大加速時の70秒付近において細かい変動とレベルの低下が見られる。第3段目点火103.1秒で一時的に12dBのレベル低下があるが0.5秒後に回復している。240秒以後295.0MHzテレメータの受信レベルは8~-3dBμVにあり、データ上に周期的雑音が入る。

コマンド指令電波は発射後305秒に発せられ、これが正常に受信されタイマMT-4が起動したことがテレメータにより確認された。

姿勢制御部切離しは406.5秒に行なわれ、その後受信レベルは3dB下がり、295.0, 296.2MHzテレメータとも雑音が多くなり、572秒で電波は切れた。

スピンはデスピン前160秒にて2.17c/s、姿勢制御部切断406.5秒にて3.82c/sであった。

(ii) 第4段搭載テレメータ

第2図は第4段搭載の136MHzビーコン送信機からの電波におけるドプラ周波数変移から求めた直距離変化率を示したものである。

第3図は3機の第4段目搭載テレメータの受信入力レベルの実測値を示す。

L-4T-1号機……飛しょう時間670秒まで受信し、データを記録した。受信レベルの記録は、295.6MHzテレメータおよび296.7MHzパイロット信号ともスピン開始(34.4秒)より約13dBのレベル変動があるが、開頭でレベル変動が減少し、その後理論値にそい漸減する状態である。第3段目テレメータと同様144秒に一時的なレベル低下がみられ、また

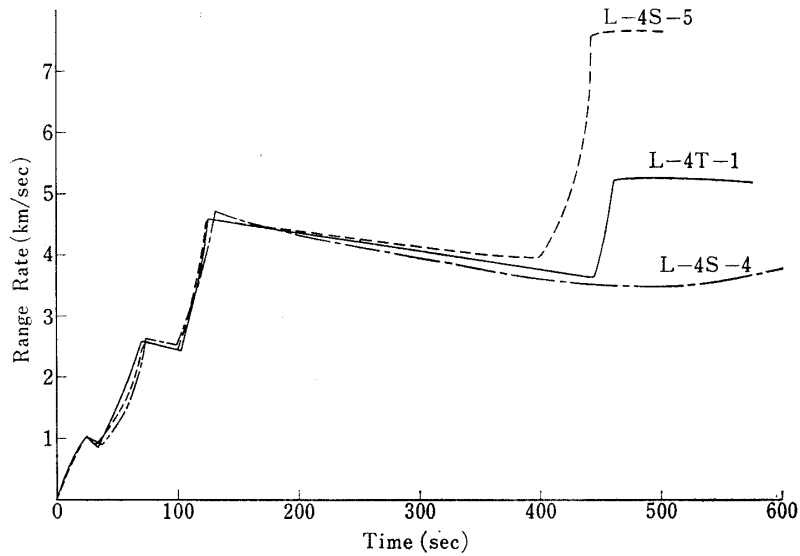


図 2 ドプラ変移より求めた直距離変化率

リスピ開始より変動が激しくなり、雑音の多い記録となる。438.1 秒に姿勢制御部と切断された。

L-4S-4 号機……飛しょう時間 1130 秒まで受信し、データを記録した。受信レベルの記録は 295.6 MHz テレメータおよび 296.7 MHz パイロット信号とも第 3 段目テレメータと同様、理論値によく一致し、4T に較べレベル変動も少なく、全体に安定した受信状況であった。211.25 秒にレベルの変動があり、リピン開始よりレベル変動が大きく、記録データは雑音が多くなる。497.9 秒に姿勢制御部と切離され、1130 秒で電波がとどえた。

L-4S-5 号機……飛しょう時間 522.2 秒まで受信し、データを記録した。発射 12 秒後に規定レベルに入り、第 1 段目の最大加速時より X (軸方向加速度) の項目の観測不良となる。スピン開始後、受信レベルは 18 dB の変動があり、第 2 段目燃焼の最大加速時において第 3 段目搭載テレメータと同様レベル変動に伴いレベル低下が見られる。開頭にて 5 dB のレベル増加があり、また第 3 段目点火にて一時的に 20 dB のレベル低下がある。姿勢制御後レベル低下が見られ、再スピン後受信レベルは 5~13 dB μ V となり、雑音の多いデータ記録となるが、350 秒付近よりわずかに回復し、データ上も雑音が少なくなる。姿勢制御部切断により受信レベルが 3 dB 増加しており同部が送信アンテナへ及ぼす影響が明らかである。

5. L-4S-5 号機第 4 段搭載機器の動作状況

0 周目……第 1 段モータの燃焼終了後、第 4 段計器部搭載の軸方向加速度計 (X) が故障した。精密軸方向加速度計 (MX) は 522 秒のテレメータ受信断まで正常に動作した。ただし、残留推力はなお 1/100G 程度認められた。

水晶発振器部温度 T_2 は、発射より 522 秒までほぼ 10°C を保ち、チャンバ外壁温度 T_1 は

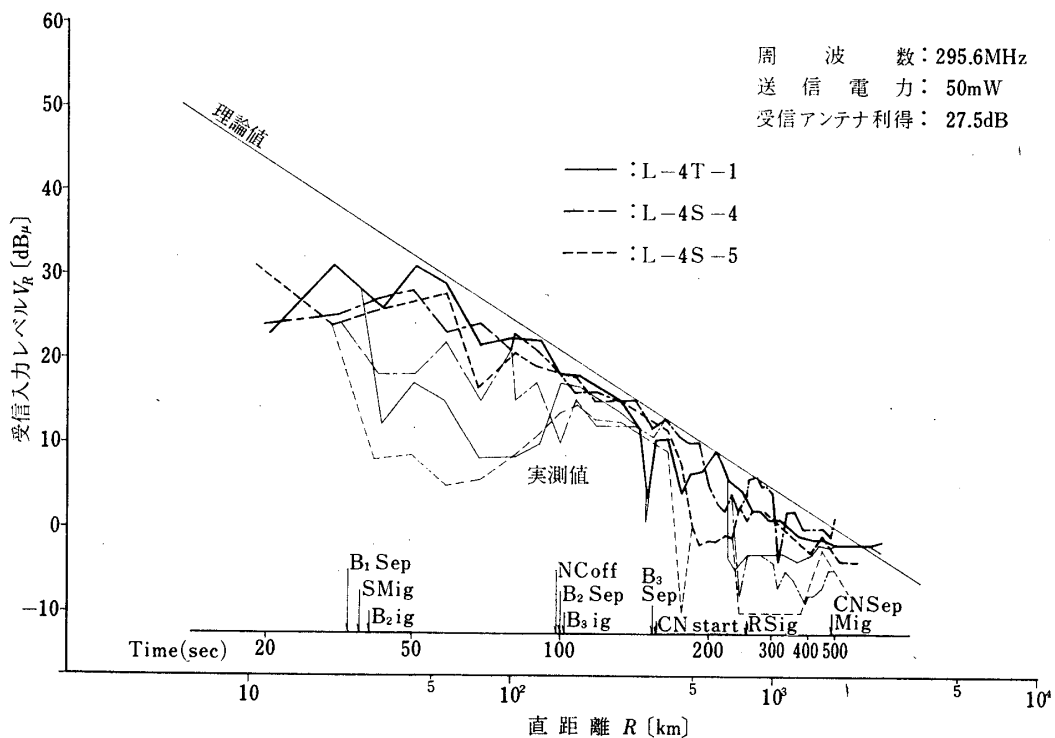


図3 第4段階目テレメータ受信入力レベル

発射後ほぼ 10°C であったが、440 秒の第4段階目燃焼終了付近より急に上昇し、480 秒には 75°C に達し、以後 522 秒まで計測系を飽和させた。

1 周目……MX はその電源 (Ag-Zn 5AH) の放電のため計器は作動停止 (予定寿命 56 分) していた。温度計測器は動作しており、入感より消感までの約 10 分間、 T_1 が約 50°C 、 T_2 が 68°C を示していた。136 MHz ビーコン信号のレベルはほぼ正常であったが、296.7 MHz パイロット信号および 295.6 MHz テレメータ信号のレベルは低めであった。

2 周目……136 MHz ビーコン信号はややレベルが低く、296.7 MHz パイロット信号はかなりレベルが低く数回 Lock-Off を起した。また 295.6 MHz テレメータ信号はレベルが低すぎて信号を検出できず、その際、録音した Video 信号を Correlator によりスペクトル分析して Subcarrier Frequency を求め、これから温度を検出しようと試みたが、信号の検出は不可能であった。

6. L-4S-4 号機 136 MHz ドップラ観測経過

136 MHz ドップラ受信機による受信入力レベルは、L-4T-1、L-4S-4、5号機ともテレメータ信号と同様の傾向が見られるが、特に開頭にて受信レベルの上昇がはっきり確認できる。

0 周目……ドップラ周波数変化より算出した Range Rate は図2に示した通りである。実効上下角が低かったので、第4段階目を点火コマンド送信時間が早くなり、その分だけ点火が早くなったが、1、2、3 段のロケットともほぼ予定通り飛しようしていることがわかる。

受信入力レベルに関しては開頭にもなつて約 14 dB レベルが上がり、以降は計算値とよ

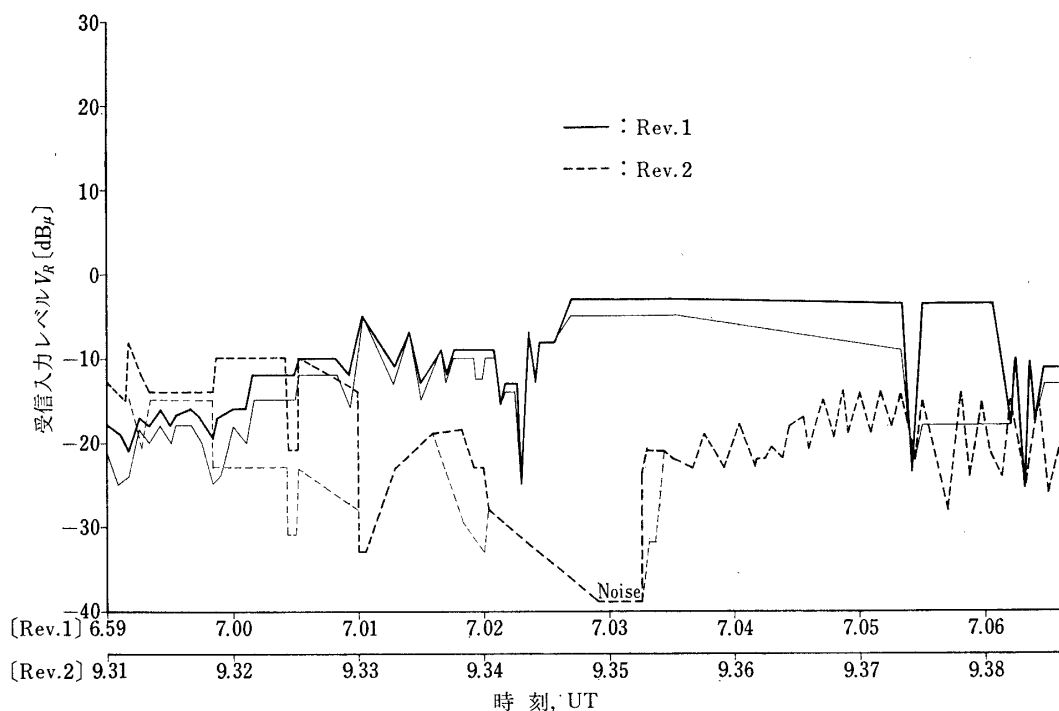


図 4 “OHSUMI” 136.16 MHz 受信入力レベル (ドップラー受信機)

く一致している。

1 周目……1 周目の見え始めの直距離は約 2000 km となることが予想され、これより約 135 dBm の受信入力レベルで捕足できると期待していたが、実際には世界標準時の 6 時 57 分 10 秒に、山の陰から出てくるときの電波の到来は認められていたが、山の回折反射のためレベルが一定せず、Lock-On に入ったのは、それより少し遅れた。

このときのレベルは -133 dBm であった。受信時間は 6 時 57 分 18 秒 (世界標準時) から 7 時 06 分 54 秒で、このときの受信セット周波数は 136.159 MHz である。

2 周目……第 1 周に較べて、仰角が低いので受信レベルが低かった。受信中 18 mφ パラボラアンテナの陰に入ってしまう受信不能となり約 1 分間 Lock がはずれた。

受信時間は 9 時 30 分 38 秒 (UT) から 9 時 40 分 44 秒 (UT) で、このときの受信セット周波数は 136.161 MHz である。

5 周目以降……一部弱い電波を受信したが、OHSUMI のものと明確に確定することができなかった。

第 4 図は OHSUMI の 136 MHz ドップラ受信機による受信入力レベルを示す。

7. L-4S-5 号機 18 mφ テレメータアンテナ追尾経過

18 mφ アンテナ系では 2 月 11 日 13 時 25 分の発射後 30 秒より自動追尾に入り、発射後 523 秒まで正常に追尾した。角度誤差は方位角で最大 0.12 度、上下角で最大 0.16 度程度であった。第 5 図は角度データを示す。

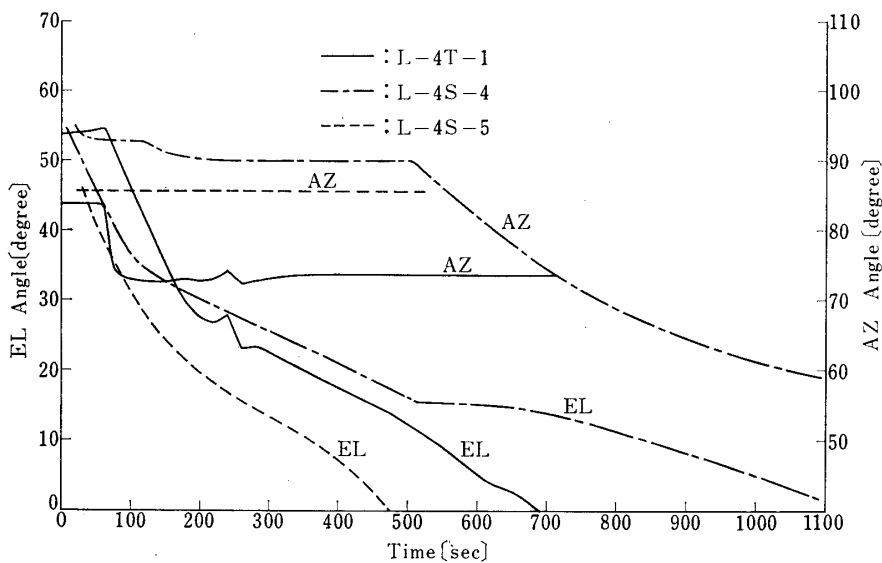


図 5 18 mφ アンテナ角度データ

1 周目は同日 6 時 57 分 18 秒 (UT) より OHSUMI の電波を受信し、少し遅れて自動追尾 (6 時 59 分 10 秒) に入り、水平線に沈む 7 時 6 分 12 秒 (UT) まで追尾した。

受信レベルは -123 dBm 程度より受信を開始し最高で -113 dBm であった。

角度データは入力レベルが高いときは比較的精度がよいが電波の切れる 30 秒前から誤差が大きくなっている。方位角における最大誤差は 0.25 度程度であった。

2 周目の電波受信は 9 時 30 分 46 秒 (UT) から 9 時 40 分までつづいたが入力レベルは最低受信レベル程度であるため途中数回にわたり Lock はずれを起した。

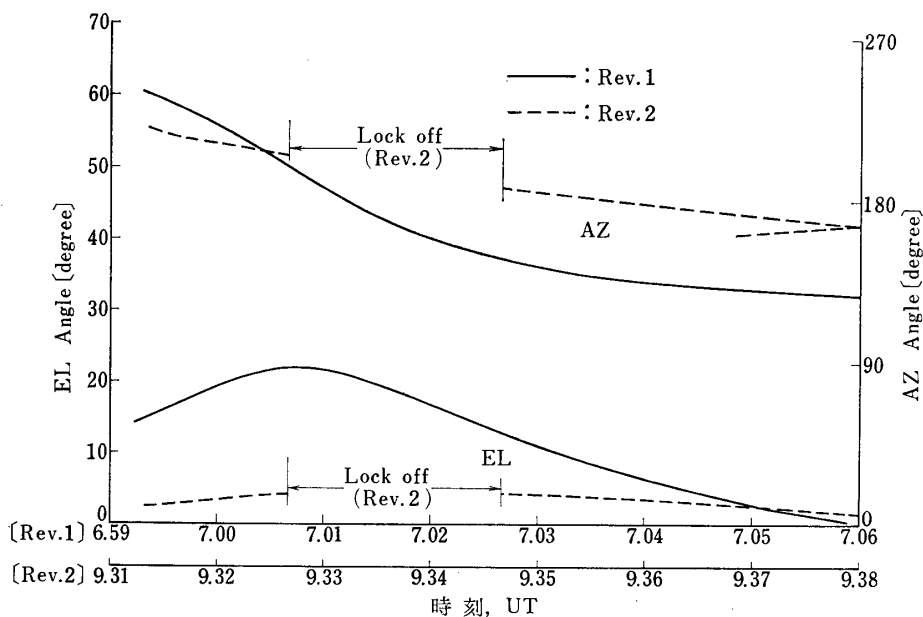


図 6 “OHSUMI” 18 mφ アンテナ角度データ

第 6 図は 1, 2 周目の時間に対する角度データを示す。

表 5 は各号機のテレメータ送信機により伝送された各種測定資料から主要な作動項目の作動秒時を計画値と対比して示した。

表 5 L-4T-1, L-4S-4, L-4S-5 シーケンス進行状況

事 項	L-4T-1		L-4S-4		L-4S-5	
	予定時刻 (発射後・秒)	実 測 値	予定時刻 (発射後・秒)	実 測 値	予定時刻 (発射後・秒)	実 測 値
第 1 段補助ブースタ点火	0	0	0	0	0	0
補助ブースタ燃焼了		7	7.4	7.4	7.4	6.4
補助ブースタ切離し	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.05
第 1 段 燃 焼 了	28.8	29	27	27	29.0	29.4
第 1 段 切 離 し	32	32.4	32	33	32.0	32.15
スピノモータ点火	34	34.4	34	34	34.0	34.38
第 2 段 点 火	37	37.2	37	37	37.0	27.3
第 2 段 燃 焼 了	75.4	75	71	71	75.4	76.5
開 頭	98	98.1	98	98	98.0	97.91
第 2 段 切 離 し	100	100.7	100	100	100.0	100.83
第 3 段 点 火	103	103.0	103	103	103.0	103.10
第 3 段 燃 焼 了	130	130	130	130	130.0	130.7
レトロモータ延時管点火					148.0	
第 3 段 切 離 し	135	134.9	150	150	150.0	150.52
レトロモータ点火					153.0	153.5
デスピノモータ点火	137	137.0	152	152	160.0	160.1
姿勢制御開始	138	137.9	153	153	161.0	161.31
デスピノ停止		139.15				162.36
姿勢制御モード変更	209	209	224	224	232.0	232.55
リスピノモータ点火	239	239.0	254	254	262.0	262.2
姿勢制御停止	240	240.0	255	255	263.0	263.48
コマンド変更		376.75			300.0	
コ マ ン ド		437.1	494	494		305.0
引抜きピン外し					405.0	405.2
姿勢制御部切離し		438.1	495	495	406.0	406.5
第 4 段 点 火		439.7	496	446	407.0	407.4
第 4 段 燃 焼 了		463			438.5	440

おわりに本実験遂行とデータの解析にあたって粘り強い努力を重ねていただいた所内外の実験班各位に深甚の謝意を表する。

1972 年 5 月 8 日新設部 (工学)