

# M-3S 型ロケットの電波誘導

松尾 弘毅・的川 泰宣・前田 行雄  
渋谷 彰\*

(1986年3月28日受理)

M-3S 型ロケットの電波誘導は M-3H 型までに開発されたソフトウェアを使用して実験された。誘導方式については報告書[1]～[5]に詳細な報告があるので、ここでは 3H 型から 3S 型で変更された点と誘導結果について報告する。

## 1. 地上系システム

地上系システム構成機器概念図を図 1 に示す。中央計算機である ACOS 700 システムは宮原レーダセンターにて 1969 年以来使用されてきた計算機 (NEAC-2200) にかわって 1978 年 12 月に新しく導入され、1979 年 2 月の M-3C-4 号機の実験において試験運転され、その後 M-3S 型ロケットの実験に使用されてきた。この計算機システムは KSC における主要機能である「ロケット追跡」、「電波誘導」、「飛行安全」、「飛しょう状況表示」等の機能要求を満たすため大型計算機の時分割機能と複数のミニコンピュータによる分散処理機能との複合形態をとっている。各機能は「サブシステム」として独立した機能単位として扱われ、サブシステム間はリアルタイムデータファイルにより結合されている。

## 2. 搭載システム

M-3S 型ロケットには 2 段計器部に 1.6 GHz と 5.6 GHz の 2 台の飛しょう追跡用トランスポンダが搭載されているが、電波誘導に使用するトランスポンダは 5.6 GHz の方である。このトランスポンダは内之浦のロケット発射点より約 2 km 西方の宮原レーダセンターに設置されている精測レーダにより自動追尾され、高精度の位置測定に供される。使用周波数はアップリンクに 5586 MHz、ダウンリンクに 5636 MHz を利用し、パルス間隔 3  $\mu$ s のダブルパルスで送信される。デコーダはトランスポンダと共に搭載され、電波誘導を行うための地上からのコマンド信号を解釈し、信号に対応した確認用アンサーバックパルスを発生させトランスポンダを介して精測レーダに送り返す。コマンド信号の伝送方式は誤動作による危険を小さくする様に 3 OUT OF 6 の PCM コードが用いられている。デコーダより制御信号は、姿勢制御装置 (CNE) と可変タイマ (TSL) に送られ、それぞれ Pitch, Yaw 0.1 度, Time 1 秒を単位としてプリセット値が変更される。なお 4 号機に使用されたデコーダは、回路素子をデジタル IC 化し出力回路をリレーよりフォトカプラに代えた新型が搭載された。

---

\* 日本電気株式会社

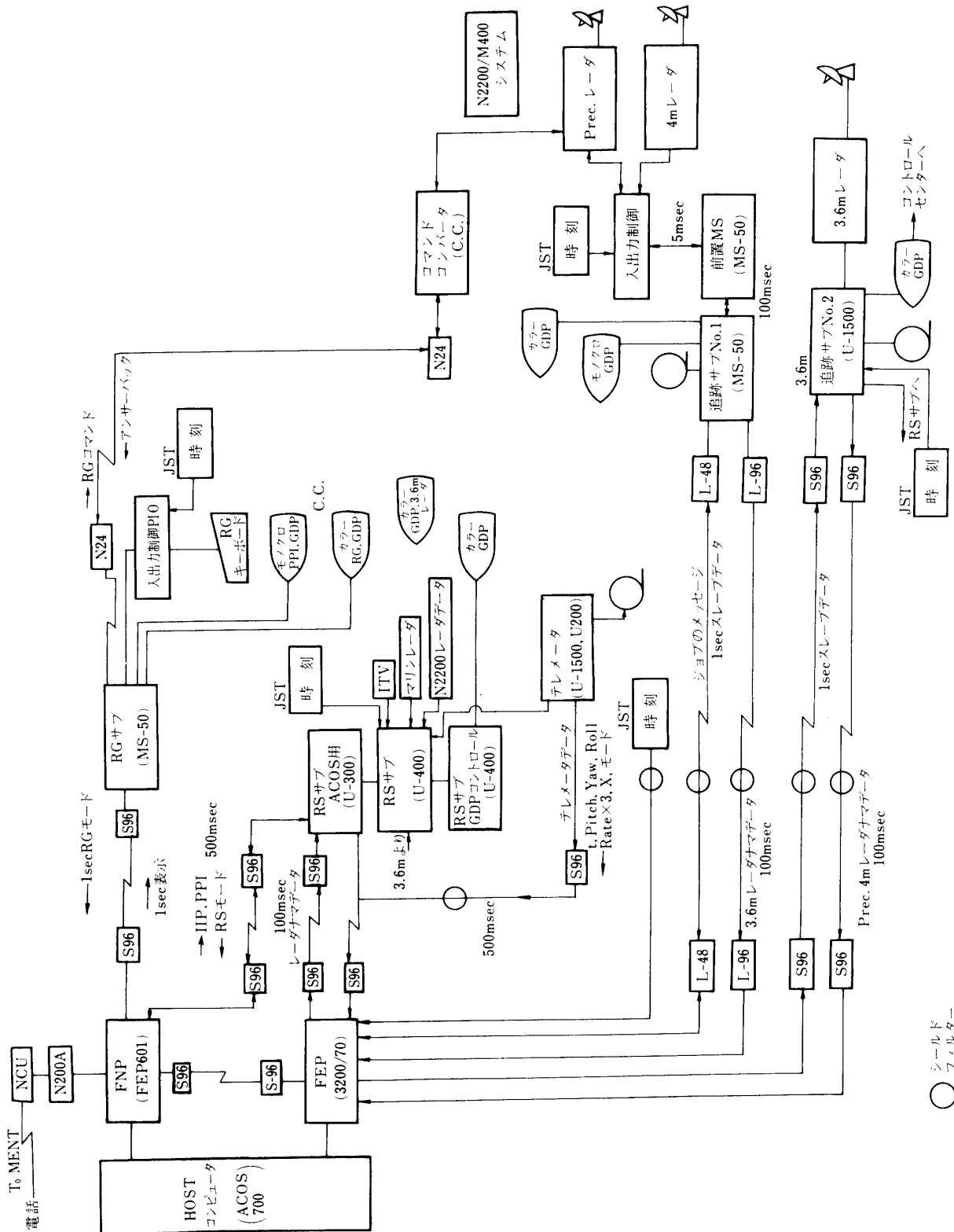


図1 地上システム構成機器

### 3. 誘導結果

**1号機** 1号機実験においては新計算機システム(ACOS)を利用して、計算、コマンドを行ない、旧計算機システム(NEAC-2200)をバックアップとして使用した。実際に送信されたRGコマンドを表1に示す。1号機には衛星に5.6 GHz トランスポンダが搭載されており、打上げ後250秒より精測レーダシステムは衛星を追尾した。衛星軌道推定はACOS系トラブルのため宮原での旧システムで行なわれ、X+610秒のリアルタイム推定で遠地点高度602.9 kmと推定され、その後のNASA, NASDA等の推定値と良く合っている。(表5参照)。

表1 M-3S型ロケットに送信されたRGコマンド

ロケット名	発射日	打上げ時刻(JST)	コマンド名	送信時刻(秒)	Pitch[度]	Yaw[度]	Time[秒]
M-3S-1	1980年 2月17日	9:40	RC-2-1	80	-0.3	0.0	---
			RC-2-2	90	0.1	0.0	---
			RC-3	191	0.0	-0.4	12.0
M-3S-2	1981年 2月21日	9:30	RC-2	80	-1.1	0.8	---
			RC-3	191	0.0	0.0	14.0
M-3S-3	1983年 2月20日	14:10	RC-2	84	-0.1	0.0	---
			RC-3	192	0.0	-0.4	8.0
M-3S-4	1984年 2月14日	17:00	RC-2	83	-0.3	-0.1	---
			RC-3	194	-0.5	2.2	19.0

**2号機** 2号機実験においては科学観測上より遠地点高度をあまり高くしないでほしいと言う希望を考え、スペック上の遠地点を720 kmとし、もしこの高度以上になる場合には軌道面傾斜角をずらせても、遠地点高度が高くない様に注意して表2の様なパラメータを設定した。実際に達成された衛星軌道を表に示すが、ほぼ観測目的上要求された略円軌道となった。

**3号機** 3号機では2号機と同様な理由によりスペック上の遠地点高度を800 kmとし、できるだけ円に近い軌道を計画した。発射前のノミナル軌道としては近遠地点高度495-634 kmを予定しており、X+190秒に表のコマンドを送信する時点で496-547 kmと計算されていた。表に示す様に実際に達成された衛星軌道は497-504 kmであり、ほぼ500 kmの円軌道になった。

**4号機** 4号機では3号機まで使用していたリアルタイム軌道推定プログラム(RGカルマンフィルタ)を一部変更し、より信頼性の高いプログラムを使用した。フィルターは正常で計算時間がきびしいMS-T5/PLANET-A実験での使用に問題が無い事が確認された。科学観測上より軌道傾斜角を75度にするため、2段以降に機軸を南に変えるプログラマーが搭載されていたが、飛しょう計画プログラムとロケット内の姿勢角座標系に食い違いがあり、実機の姿勢角に誤りがあった。実際に達成できた軌道を表8に示す。軌道傾斜角が予定より約0.4度小さかった原因は、座標系による分約0.14度、3段打出し方向誤差

分約0.26度であり、近地点高度が予定より約35km高くなった原因は2段軌道が上がったためであり、遠地点高度が予定より約360km低くなった原因は、2段軌道が上がった分約170kmと、最終段速度不足による分の約190kmが合わさっていると推定できる。衛星ミッション上からの要求軌道寿命1.5年以上に対して、達成軌道では約5年と推定されており十分な寿命の軌道に投入できた。

表2 RGパラメータ

変数名	単位	設定項目	M-3S-1	M-3S-2	M-3S-3	M-3S-4
H4AN	km	衛星目標遠地点高度	720	720	800	500
H4PN	〃	〃 近地点高度	580	650	580	450
AIN4N	Deg	〃 軌道面傾斜角	39	31	31.5	74.95
AINUP	〃	軌道傾斜角上限値	60	60	40.0	75.00
AINDN	〃	〃 下限値	29	29	30.0	74.90
PTIG	sec	プリセット3段点火時刻	449	465	445	361
PCHG	Deg	3段打出し設定角(ピッチ)	-33.33	-33.40	-33.32	-30.91
YAWG	〃	〃 (ヨー)	-2.44	-0.70	-0.64	16.00
U0	km/sec	3段トータルインパルス	3.974	4.052	3.878	4.100
ELEV	Deg	ランチャーセット上下角(ノミナル)	69	69	69	70
AZIM	〃	方位角(ノミナル)	118	96	96	147
GELV	〃	ジャイロ基準系 EL	20	20	20	20
GAZM	〃	〃 AZ	117	96	96	147
ISP S	sec	サブブースタ Isp	219	219	219	219
ISP 1	〃	B <sub>1</sub> ロケット Isp	266	266	266	266
ISP 2	〃	B <sub>2</sub> 〃	277	277	276	276
ISP 3	〃	B <sub>3</sub> 〃	284	284	289.2	289
PITCH0 <sub>1</sub>	Deg	1段 Pitch 初期値 (t=3sec)	42.90	42.90	42.90	43.5
DPITCH0 <sub>1</sub>	Deg/sec	〃 レート (3~27sec)	-0.682	-0.682	-0.682	-0.667
PITCH0 <sub>2</sub>	Deg	〃 初期値 (t=27sec)	26.532	26.532	26.532	27.50
DPITCH0 <sub>2</sub>	Deg/sec	〃 レート (27~65sec)	-0.316	-0.316	-0.316	-0.364
PITCH0 <sub>3</sub>	Deg	2段 Pitch 初期値 (t=86sec)	14.5	18.2	18.2	17.3
DPITCH0 <sub>3</sub>	Deg/sec	〃 レート (86~150sec)	+0.165	+0.165	+0.165	-0.100
WB1 IG	kg	1段ロケット重量 (点火時)	44941.1	45073.12	45096.817	45192.064
WB1 BO	〃	〃 (燃焼終了)	17877.1	17929.12	17943.817	18048.064
WB2 IG	〃	2段ロケット重量 (点火時)	11043.0	11076.76	11096.118	11173.419
WB2 BO	〃	〃 (燃焼終了)	3842.0	3842.0	3939.436	3939.436
WB3 IG	〃	3段ロケット重量 (点火時)	1425.6	1425.6	1440.075	1520.436
WB3 BO	〃	〃 (燃焼終了)	341.9	341.9	356.436	357.436
WSB IG	〃	サブ・ブースタ重量(点火時)	4119.2	4119.2	4121.363	4117.426
WSB BO	〃	〃 (燃焼終了)	1378.0	1378.0	1381.849	1375.429

表 3 RG プログラム リアルタイム出力

	変数名	単位	M-3S-1		M-3S-2		M-3S-3 $t=72\text{ sec}$		M-3S-4 $t=80\text{ sec}$	
			GUIDE	PRESET	GUIDE	PRESET	GUIDE ( $t=76\text{sec}$ )	PRESET	GUIDE	PRESET
2 段 頂点 (C <sub>2</sub> )	$\Delta\text{Hop}_2$	km	2.637	5.863	5.538	17.386	-0.355	-1.873	-0.261	2.826
	$\Delta\text{Vap}_2$	km/sec	0.0014	-0.0090	0.0029	-0.0382	(-1.518)	0.0046	-0.0001	-0.0098
	$\Delta\phi$	Deg	0.0008	0.0071	-0.0009	-0.4722	-0.0002 (-0.0008) (-0.0002)	-0.0396	-0.0003	0.0960
* コマ ンド	Pitch	Deg	-0.277		-1.066		0.129 (0.100)		-0.344	
	Yaw	Deg	-0.016		0.612		0.056 (0.060)		-0.099	
3 段 軌道 (C <sub>1</sub> )	Hap3	km	669.388	683.180	694.531	719.205	546.762	564.958	1065.156	1114.632
	Hap3	km	517.268	502.541	567.758	542.251	495.883	477.171	355.679	340.184
	$i_3$	Deg	38.8358	38.8358	31.5338	31.5342	31.4467	31.5209	75.0064	73.9300
* コマ ンド	Pitch	Deg	0.036		-0.026		0.007		-0.465	
	Yaw	Deg	-0.289		0.112		-0.348		2.186	
	Time	Sec	12.048		14.075		8.435		19.436	

\* コマンドはスケートリング前の値

表 4 オンライン軌道推定

ロケット名		M-3S-1		M-3S-2		M-3S-3		M-3S-4	
変数名	単位	B 1	B 2	B 1	B 2	B 1	B 2	B 1	B 2
HAPG	km	101.437	523.178	106.977	573.932	99.645	502.332	99.493	361.327
VAPG	km/sec	1.7934	3.6709	1.7994	3.5568	1.8369	3.7494	1.6301	3.7999
TAPG	sec	181.871	489.172	184.789	507.201	179.760	481.557	178.990	408.388
AZAP	deg	117.472	118.209	94.776	97.120	96.018	96.752	155.024	163.597
AA	km	3323.754	3902.701	3327.271	3903.484	3327.189	3911.595	3307.312	3834.573
EE		0.94776	0.76689	0.94737	0.77953	0.94521	0.75754	0.95686	0.75607
II	deg	37.2426	38.7286	31.2824	31.5556	31.3872	31.4572	58.6031	71.4146
LOMG	//	3.6761	0.1294	33.9688	30.6900	32.2409	31.4219	332.8257	323.3586
SOMG	//	303.8213	317.3681	278.6384	292.3030	280.0813	291.5669	324.8826	337.6049
PRD	min	31.7834	40.4395	31.8339	40.4516	31.8327	40.5778	31.5479	39.3852
LAT	deg	30.9751	29.6989	31.1962	30.8644	31.1785	30.8328	30.7231	28.0475
LON	//	131.6836	134.3850	131.7667	134.7340	131.7804	134.8922	131.3733	132.3145
HT	km	54.555	233.965	57.470	247.610	54.788	229.610	54.778	201.774
RD	//	64.606	360.373	65.225	350.874	66.743	366.358	64.337	374.117
TIME	sec	80	191	80	191	80	191	80	191

表 5 M-3S-1/たんせい4号初期軌道

パラメータ	単位	宇宙研(発表文)	宇宙研(宮原)	NASA	NASDA No.2	NASDA No.6	NASDA No.12	NASDA No.
$a$	km		6937.8361	6941.7866	6941.942	6941.588	6937.709	6935.251
$e$			0.0062336	0.006037	0.006361	0.006116	0.005972	0.005774
$i$	deg	38.68	38.7400	38.6910	38.677	38.689	38.683	38.683
$\Omega$	"		229.0493*	156.3937	156.369	133.395	226.374	81.019
$\omega$	"		147.8348	158.5986	156.387	188.797	177.895	6.439
$M$	"		78h15m4.8 <sup>s</sup>	342.0357	342.932	185.721	247.486	219.692
$H_{ap}$	km	672.4	602.9	605.55	607.961	605.900	601.001	597.150
$H_{pe}$	"	517.2	516.4	521.74	519.639	520.991	518.134	517.068
$P$	min	96.5	95.85	95.93266	95.936	95.929	95.848	95.797
$\dot{\Omega}$	deg/day			-5.7828	-5.786975	-5.786980	-5.798747	-5.805930
$\dot{\omega}$	"			7.5796	7.580530	7.577965	7.594584	7.603994
$\dot{a}$	km/day				0.0	-0.058	-0.121	-0.089
$M_{motion}$	Rev/day				15.010030	15.011179	15.023768	15.031757
EPOCH	Y. M. D. h. m. s			1980.2/17 0h48m39s UT	1980.2/17 0h48m39s	2/21 Rev60 0h0m0s UT	4/7 Rev752 0h0m0s	5/2 Rev1128 0h0m0s

表 6 M-3S-2/ひのとり初期軌道

パラメータ	単位	予定 (1981年1月)	宇宙研(発表文)	NASDA No.1	NASDA No.3	NASDA No.4	NASDA No.9	NASDA No.
$a$	km	7026.02		6989.338	6988.167	6988.082	6985.732	6966.183
$e$		0.012223		0.004807	0.004823	0.004810	0.004647	0.003515
$i$	deg	31.5142	31.5	31.375	31.342	31.342	31.340	31.326
$\Omega$	"	30.8431*		190.041	190.134	177.900	320.490	289.805
$\omega$	"	109.3894		104.751	98.544	117.519	93.327	310.945
$M$	"	4.3357		8.116	14.095	138.563	31.059	165.473
$H_{ap}$	km	733.74	695	644.796	643.725	643.551	640.053	592.456
$H_{pe}$	km	561.98	568	577.596	576.324	576.329	575.128	543.626
$P$	min	97.6837	97.3	96.920	96.896	96.894	96.845	95.946
$\dot{\Omega}$	deg/day			-6.179633	-6.185417	-6.185731	-6.193134	-6.318242
$\dot{\omega}$	"			9.561453	9.576267	9.576898	9.588729	9.784955
$\dot{a}$	km/day			0.0	-0.052	-0.029	-0.092	-0.002
$M_{motion}$	Rev/day			14.857611	14.861345	14.861615	14.869114	15.008487
EPOCH	Y. M. D. h. m. s	'81/02/16 0h38m51s (UT)	'81/02/21	'81/02/21 0h38m50s (UT)	'81/02/21 0h38m50s (UT)	'81/02/23 Rev 29 0h0m0s (UT)	'81/03/30 Rev 551 0h0m0s (UT)	'85/12/12 0h0m0s (UT)

表 7 M-3S-3/てんま初期軌道

パラメータ		単位	2月16日 予定値 予10 <sup>m</sup>	発表文	NASDA <sup>2月20日</sup> <sub>5<sup>h</sup>18<sup>m</sup>28<sup>s</sup></sub>	NASDA 2月20日	NASDA 2月20日	NASDA 3月1日	NASDA 3月17日
EPOCH					ASTRO-B No1	ASTRO-B No2	TENMA No1	TENMA No3	TENMA No5
MEAN Elements	$a$	km	6944.1919		6872.336	6878.663	6878.648	6878.202	6877.175
	$\dot{a}$	km/day	—		-0.050	-0.050	-0.050	-0.096	-0.038
	$e$		0.00884876		0.001509	0.000501	0.000500	0.001368	0.000815
	$i$	deg	31.53695	31.8	31.505	31.502	31.509	31.323	31.472
	$\Omega$	deg	253.91044		258.396	258.466	258.428	200.994	96.073
	$\dot{\Omega}$	deg/day	-6.3105		-6.546449	-6.525540	-6.525129	-6.539605	-6.532570
	$\omega$	deg	110.30299		305.003	305.003	305.003	62.918	139.701
	$\dot{\omega}$	deg/day	9.7442		10.104462	10.072642	10.070760	10.128382	10.089145
	$M$	deg	333.33138		167.863	168.315	168.336	34.406	26.340
	$\dot{M}$	Rev/day	—		15.251228	15.230169	15.230215	15.231789	15.235133
	$H_{pe}$	km	504.578	490	483.823	497.077	497.066	490.650	493.425
	$H_{ap}$	km	627.473	570	504.565	503.964	503.945	509.470	504.640
	$P$	Min	95.9821	95.2	94.419	94.549	94.549	94.539	94.518
	$\dot{P}$	Min/Day	—		-0.001031	-0.001032	-0.001032	-0.001982	-0.000783
OSCULATING Elements	$a$	km	6942.60		6870.501	6876.862	6876.848	6875.699	6879.505
	$e$		0.010002		0.000545	0.000289	0.000289	0.002351	0.001841
	$i$	deg	31.5253		31.492	31.490	31.497	31.305	31.488
	$\Omega$	deg	30.7488		258.372	258.442	258.404	200.985	96.057
	$\omega$	deg	108.7716		334.754	192.232	199.473	79.103	153.548
	$M$	deg	4.9640		138.121	281.094	273.874	18.225	12.499
	$H_{pe}$	km	495.000		488.59	496.71	496.69	481.37	488.67
	$H_{ap}$	km	633.87		496.08	500.68	500.67	513.70	514.00

## 補足

M-3S型によって軌道投入された4衛星のうち1号機による“たんせい4号”は打ち上げ後、約3年3ヶ月後の1983年5月13日、地球に落下して消滅した。残る3衛星の最近の軌道は以下の様に推進されている。

衛星名	ひのとり	てんま	おおぞら
EPOCH	86/03/27	86/08/31	86/09/12
近地点 (Km)	540.94	446.88	343.52
遠地点 (Km)	584.81	460.52	757.54
傾斜角 (度)	31.341	31.494	74.596

表 8 M-3S-4/おおぞら初期軌道

パラメータ EPOCH		単位	M-3S-4 SESノートK No684	Vanallantines SES-7D-83-020	レーダ6要素 ×+20分に算出	改良レーダ6要素 ×+60分に算出	NASDA No2 '84 2 14 00 00 (UT)	NASDA No9 '84 2 23 00 00 (UT)	NASDA No26 '84 4 19 00 00 (UT)
HEAN	$a$	km			7086.133		6987.396	6986.384	6978.931
	$\dot{a}$	km/day			-----		-0.258	-0.127	-0.096
	$e$				0.050430		0.0365409	0.036420	0.035628
	$i$	deg			75.0044		74.595	74.598	74.597
	$\Omega$	deg			321.8329		225.565	208.896	100.886
	$\dot{\Omega}$	deg/day			-1.7912		-----	-1.930160	-1.937.285
	$\omega$	deg			158.9725		162.356	141.847	9.492
	$\dot{\omega}$	deg/day			-2.3027		-----	-2.349926	-2.358290
	$M$	deg			1.6973		1.422	246.204	197.838
	$M$	Rev/day			-----		-----	14.859085	14.882878
	$H_{pe}$	km			350.62	ESRANGE局	353.90	353.800	352.142
	$H_{ap}$	km			1065.32	NASA局の可 視時間より推 定	864.56	862.683	849.435
	$P$	Min			98.9399		96.879	96.910	96.755
$P$	Min/day			-----	↓	-----	-0.002633	-0.001990	
OSCULATING	$a$	km		7156.77	7093.49		6995.429	6992.220	6984.004
	$e$		75.0	0.063557	0.050749		0.0372687	0.037302	0.035778
	$i$	deg	75.0	75.0233	75.0121	75.0	74.606	74.605	74.602
	$\Omega$	deg		321.2836	321.8264		255.550	208.894	100.900
	$\omega$	deg		158.1187	158.6062		160.483	140.221	10.611
	$M$	deg		1.2163**	0.9969		3.226	247.863	196.755
	$H_{pe}$	km	321	323.741	355.331	355	356.55		
	$H_{ap}$	km	1054	1233.47	1075.31	876	877.97		
	$P$	Min	99	100.4230	99.0939	97.0	97.046		

## 参 考 文 献

- [1] 石谷, 前田, 玉木「電波誘導方式I」  
東大宇宙航空研究所報告 8巻3号(A)1972年7月
- [2] 石谷, 馬場, 前田「電波誘導方式II」  
東大宇宙航空研究所報告 9巻4号 1973年10月
- [3] ロケット特集号(電波誘導)  
東大宇宙航空研究所報告 12巻1号(B)1976年3月
- [4] 観測ロケット特集号(M-3Cロケット)  
東大宇宙航空研究所報告 14巻1号(B)1978年2月
- [5] 観測ロケット特集号(M-3Hロケット)  
東大宇宙航空研究所報告 16巻1号(B)1980年2月