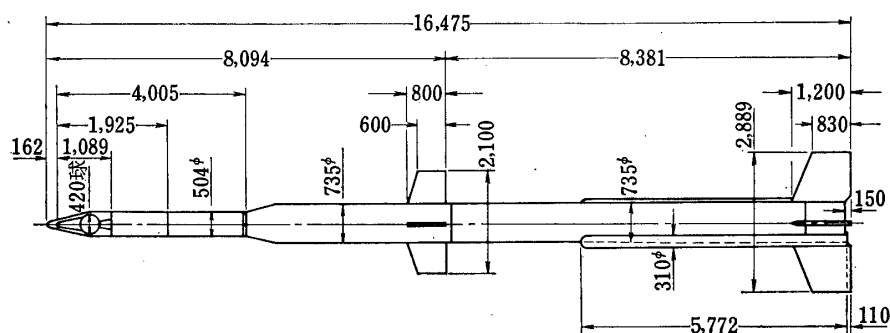


L-4-T-1, L-4-S-4, L-4-S-5 の諸元と飛しょう計画

秋葉 鏖二郎・松尾 弘毅・上杉 邦憲

1. 機体諸元

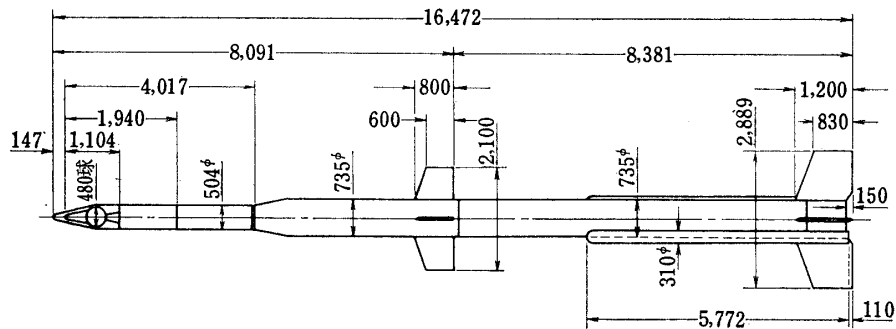
第 1-1 図および第 1-1 表に L-4-T-1, 第 1-2 図および第 1-2 表に L-4-S-4, 第 1-1 表 L-4-S-5 の重量および諸元を示す. 各段の長さおよび重量はそれより上段を含めたものであり, また直径としてはそれぞれの最大外径をとっている.



第 1-1 図 L-4-T-1 号機全体図

第 1-1 表 L-4-T-1 重量および諸元

	第 1 段	補助 ブースタ	第 2 段	第 3 段	第 4 段
全長	17.475	5.772	8.094	4.005	1.089
重量 (燃烧前)	9408.5	1008.0	3390.7	934.1	106.1
重量 (燃烧後)	4513.5	332.0	1535.6	385.9	53.1
推薬重量	3887.0	624.0	1845.0	547.5	53.0
質量比	1.981	3.036	2.208	2.421	1.998
比推力	215.0	220.0	242.9	249.3	254.0
重心位置 (燃烧前)	59.0	52.9	63.0	61.8	62.4
重心位置 (燃烧後)	42.4	54.3	49.5	45.2	58.7
慣性モーメント (燃烧前) (ロール)	81.182		25.20	3.42	0.177
慣性モーメント (燃烧前) (ピッチ, ヨー)	16062		1230.2	97.44	0.495
搭載計器重量			6.6	36.3	11.55
ペイロード総重量			6.7	96.1	11.55
最大径	767.0	767.0	767.0	548.0	483.2



第 1-2 図 L-4-S-4 号機全体図

第 1-2 表 L-4-S-4 重量および諸元

	第 1 段	補 助 プースタ	第 2 段	第 3 段	第 4 段
全 長	16.472	5.772	8.091	4.017	1.104
重 量 (燃烧前)	9408.6	1008.0	3390.8	934.1	112.5
重 量 (燃烧後)	4513.6	332.0	1535.7	385.9	24.55
推 薬 重 量	3887.0	624.0	1845.0	547.5	87.95
質 量 比	1.909	3.036	2.208	2.421	4.583
比 推 力	215.0	220.0	242.9	249.3	254.0
重 心 位 置 (燃烧前)	59.0	52.9	62.9	61.7	64.2
重 心 位 置 (燃烧後)	42.4	54.3	48.2	44.7	55.2
慣性モーメント(燃烧前) (ロール)	81.904		25.283	3.476	0.2588
慣性モーメント(燃烧前) (ピッチ, ヨー)	16055		132.7	98.68	0.441
搭 載 計 器 重 量			6.6	36.3	8.55
ペイロード総重量			7.6	96.1	10.35
最 大 径	767.0	310.0	767.0	548.0	483.2

L-4-T-1 と L-4-S-4 は、第 4 段を除き同一の諸元、性能を持っている。L-4-T-1 の第 4 段ロケットは、ダミー重量をかねた鋼製モーターケースに推薬をつめたもので、これを直径 480 mm の球殻でつつんだものとなっている。したがって外観上、あるいは燃烧前の重量はほぼ同じであるが、L-4-T-1 の推薬量は、L-4-S-4 のそれにくらべ約 60% しかなく、第 4 段に軌道速度を与える能力は持たない。

表中比推力の値は、2, 3 段に関しては、それぞれのノズルが最適膨脹となる高度での値、4 段目については真空中における値を記入してある。第 4 段ロケットの推薬は、L-4-S-3 号機までの BP-12 系から、強度的特性を改良するために、BP-17 系に改められており、このため比推力は L-4-S-5 にくらべ、わずかに低下している。

第 1-3 表 L-4-S-5 重量および諸元

	第 1 段	補 助 ブースタ	第 2 段	第 3 段	第 4 段
全 長 m	16.522	5.772	8.141	3.963	1.000
重 量 (燃焼前) kg	9399.0	1005.0	3417.6	943.1	111.0
重 量 (燃焼後) kg	4507.0	381.0	1562.5	394.9	23.05
推 薬 重 量 kg	3887.0	624.0	1845.0	547.5	87.95
質 量 比	1.982		2.187	2.388	4.816
比 推 力 sec	515.0	220.0	242.9	249.3	254.0
重 心 位 置 (燃焼前) %	59.0	52.9	63.0	61.8	64.5
重 心 位 置 (燃焼後) %	43.2	54.3	49.6	44.8	55.7
慣性モーメント(燃焼前) (ロール) kg-m ²	79.89		25.48	3.52	0.259
慣性モーメント(燃焼前) (ピッチ, ヨー) kg-m ²	16192.		1259.4	99.71	0.436
搭 載 計 器 重 量 kg			6.6	36.3	7.62
ペイロード総重量 kg			7.6	96.1	9.42
最 大 径 mm	767.0	310.0	483.0	548.0	483.0

2. 動作プログラム

第1-4表に L-4-T-1, 第1-5表に L-4-S-4, 第1-6表に L-4-S-5 のタイムシーケンスを記した。表中タイマー2, タイマー3の下にある項目は, それぞれ, 2段目, 3段目タイマーにて行なわれる事がらを示すものである。L-4-T-1, L-4-S-4 の主要項目については L-4-S-3 と大差はないが, 第2段ブースタ落下点の関係から, 第2段の切断を10秒早めたこと, 姿勢制御エンジンの作動時間を長くしたことである。L-4-T-1 と L-4-S-4 のタイムシーケンスは当初同一たることを予定していたが, L-4-T-1 の第3段切断後, 第3段ロケットの残留推力により, それが上段に追突したことが判明したため, L-4-S-4 では, 第3段切断より姿勢制御終了にいたる項目を, それぞれ15秒おくらせることとしたがやはり第3段の上段への追突がおこり, そのため L-4-S-5 では第3段にレトロモータを搭載し第3段ロケットの残留推力を打ち消すこととした。

3. 性能計算

L-4-T-1, L-4-S-4, L-4-S-5 の軌道計算は, 三次元六自由度の計算式により行なわれた。各機とも標準発射角は, 上下角 64°, 左右角 -5° (東より左まわりの角度, 方位角 95°) である。

第2-2図は, L-4-T-1, L-4-S-4, 第2-2図は L-4-S-5 の発射後180秒までの進行方向加速度, 速度, 動圧, 高度の時間曲線, 第2-3図は L-4-T-1 の, 第2-4図は L-4-S-4 の第2-5図は L-4-S-5 の第4段燃焼時における加速度, 速度, 動圧, 高度の時間曲線を示したもので, いずれも動いている地球から見たものである。第2-4図によれば, L-4-S-4 の標

第 1-4 表 L-4-T-1 タイムシーケンス

項 目	時 刻 (秒)	タイマー 2 (秒)	タイマー 3 (秒)
第 1 段, 補助ブースタ点火	0		
補助ブースタ燃焼終了	7.4		
補助ブースタ切断	8.0		
第 1 段 燃焼終了	27.0		
第 1 段 切 断	32.0		
スピンモータ点火		34.0	
第 2 段 点 火		37.0	
第 2 段 燃焼終了	71.0		
ノーズコーン開頭			98.0
第 2 段 切 断		100.0	
第 3 段 点 火			103.0
第 3 段 燃焼終了	130.0		
第 3 段 切 断			135.0
デスピンモータ点火			137.0
姿勢制御開始			138.0
デスピン停止電源オン			138.0
姿勢制御バックアップ			143.0
姿勢制御モード変更			209.0
リスピンモータ点火			239.0
姿勢制御停止			240.0
コマンド変更			300.0
※早期点火コマンド送信チャンス	355.0		
早期姿勢制御部切断	454.0		
早期第 4 段点火	455.0		
引抜ピンはずし			497.0 *
標準姿勢制御部切断	498.0 **		
標準第 4 段点火	499.0 ***		
※※終期点火コマンド送信チャンス	437.0		
終期姿勢制御部切断	536.0		
終期第 4 段点火	537.0		
* 実機 MT は 494 sec にセット			
** 495 sec			
*** 496 sec			
※ 早期とは標準軌道よりも -2° (発射上下角相当) 低かった場合			
※※ 終期とは標準軌道よりも $+2^{\circ}$ (発射上下角相当) 高かった場合			

第 1-5 表 L-4 S-4 タイムシーケンス

項 目	時 刻 (秒)	タイマー 2 (秒)	タイマー 3 (秒)
第 1 段, 補助ブースタ点火	0		
補助ブースタ燃焼終了	7.4		
補助ブースタ切断	8.0		
第 1 段 燃焼終了	27.0		
第 1 段 切 断	32.0		
スピンモータ点火		34.0	
第 2 段 点 火		37.0	
第 2 段 燃焼終了	71.0		
ノーズコーン開頭			98.0
第 2 段 切 断		100.0	
第 3 段 点 火			103.0
第 3 段 燃焼終了	130.0		
第 3 段 切 断			150.0
デスピンモータ点火			152.0
姿勢制御開始			153.0
デスピン停止電源オン			153.0
姿勢制御バックアップ			158.0
ロール制御モード変換			224.0
リスピンモータ点火			254.0
姿勢制御終了			255.0
コマンド変換			300.0
※早期点火コマンド送信チャンス	352.0		
早期姿勢制御部切断	451.0		
早期第 4 段点火	452.0		
引抜ピンはずし			494.0
標準姿勢制御部切断	495.0		
標準第 4 段点火	496.0		
※※終期点火コマンド送信チャンス	435.0		
終期姿勢制御部切断	534.0		
終期第 4 段点火	535.0		

※ 早期とは標準軌道よりも -2° (発射上下角相当) 低かった場合

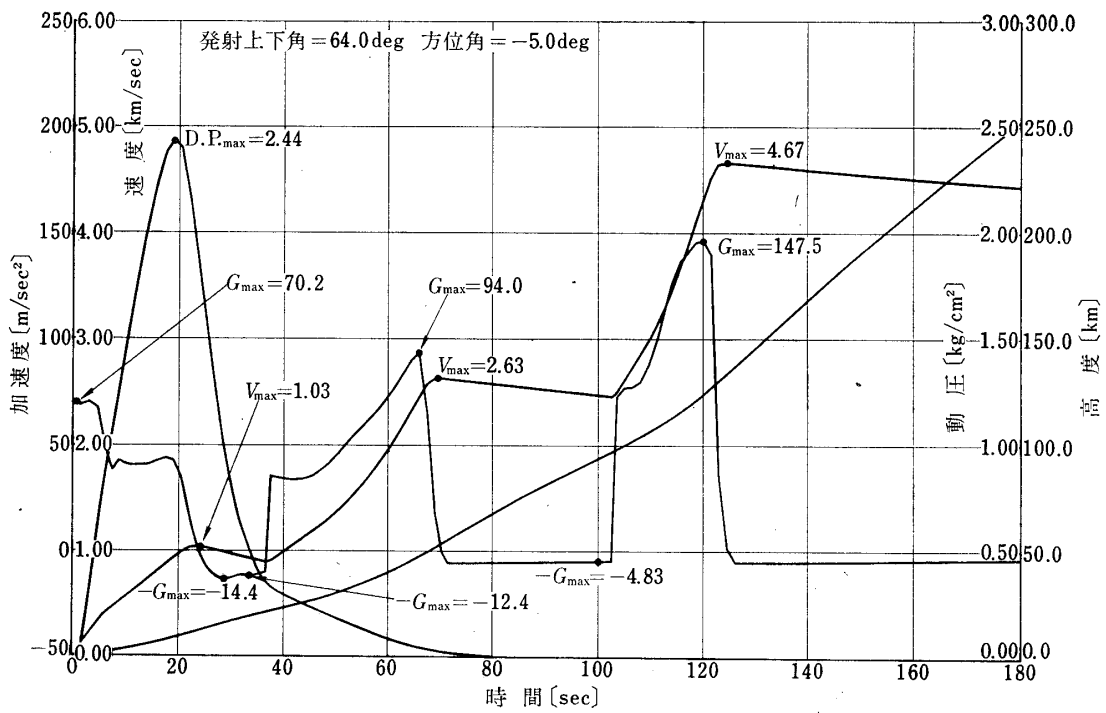
※※ 終期とは標準軌道よりも $+2^{\circ}$ (発射上下角相当) 高かった場合

第 1-6 表 L-4-S-5 タイムシーケンス

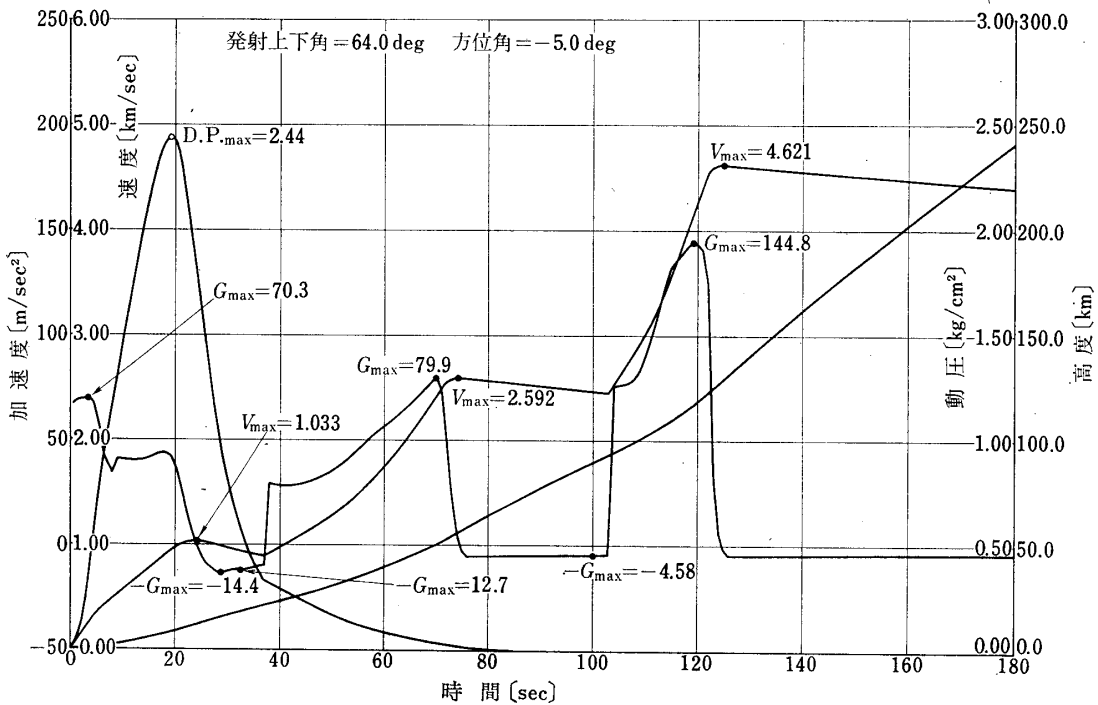
項 目	時 刻 (秒)	タイマー 2 (秒)	タイマー 3 (秒)
第 1 段, 補助ブースタ点火	0.		
補助ブースタ燃焼終了	7.4		
補助ブースタ切断	8.0		
第 1 段 燃焼終了	29.0		
第 1 段 切 断	32.0		
スピンモータ点火		34.0	
第 2 段 点 火		37.0	
第 2 段 燃焼終了	75.4		
ノーズコーン開頭			98.0
第 2 段 切 断		100.0	
第 3 段 点 火			103.0
第 3 段 燃焼終了	130.0		
レトロモータ点火			148.0
第 3 段 切 断			150.0
デスピンモータ点火			160.0
姿勢制御開始			161.0
デスピン停止電源オン			161.0
姿勢制御バックアップ			166.0
姿勢制御モード変更			232.0
リスピンモータ点火			262.0
姿勢制御停止			263.0
コマンド変更			300.0
引抜ピンはずし			475.0
標準姿勢制御部切断	476.0		
標準第 4 段点火	477.0		
標準第 4 段燃焼終了	508.5		

準軌道の第 4 段燃焼終了時の高度は約 570 km で, 速度は 7.55 km/sec で, 慣性系に対する速度は 7.98 km/sec である. なお最終的には第 4 段ペイロード総重量が, 1.4 kg 減少したことから, この速度は 7.67 km/sec (慣性系に対して 8.10 km/sec) となり, 円速度に対して 0.53 km/sec の余剰速度をもつことになった. この高度で打出された最終段が, 近地点高度 200 km 以上の軌道に入るため許容される最終段燃焼終了時速度ベクトルの角度誤差は約 7.2° であり, 余剰速度, 許容角度誤差のいずれもが L-4-S-3 にくらべ大きくなっている. なお L-4-S-5 の第 4 段燃焼終了時の状態は 4. で述べる.

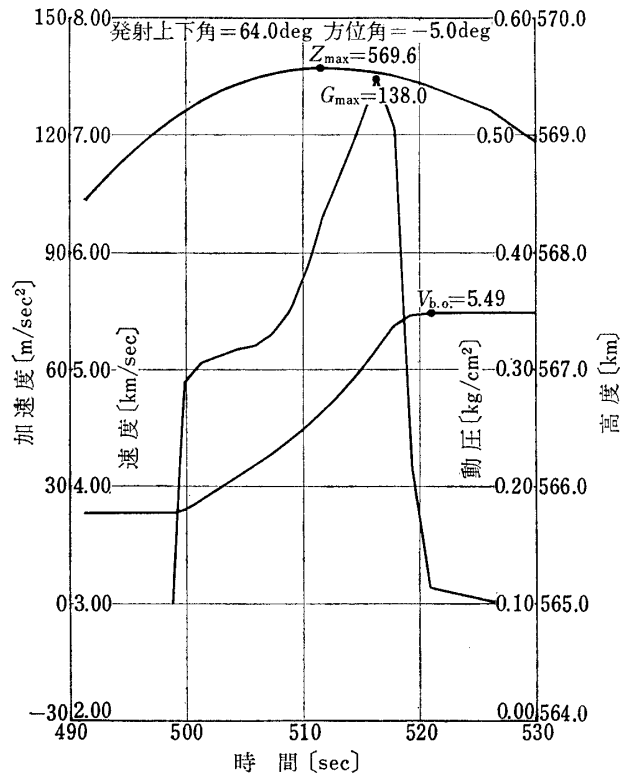
第 2-6 図は L-4-T-1 の標準発射角 64° およびその $\pm 2^\circ$ に対する第 4 段の垂直面内の飛行径路, 第 2-7 図は, 同じく L-4-T-1 の標準左右角 -5° , およびその $\pm 5^\circ$ に対



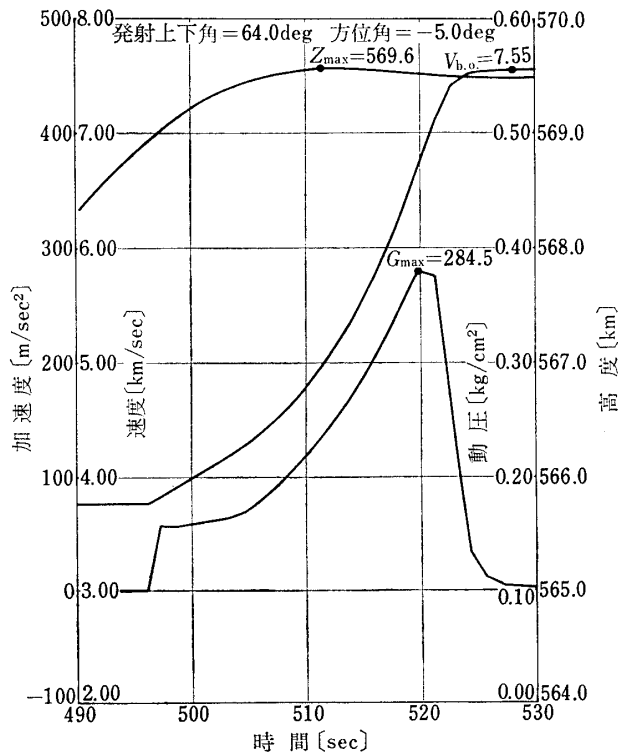
第2-1 図 L-4 T-1, L-4 S-4 動圧, 加速度, 速度, 高度対時間



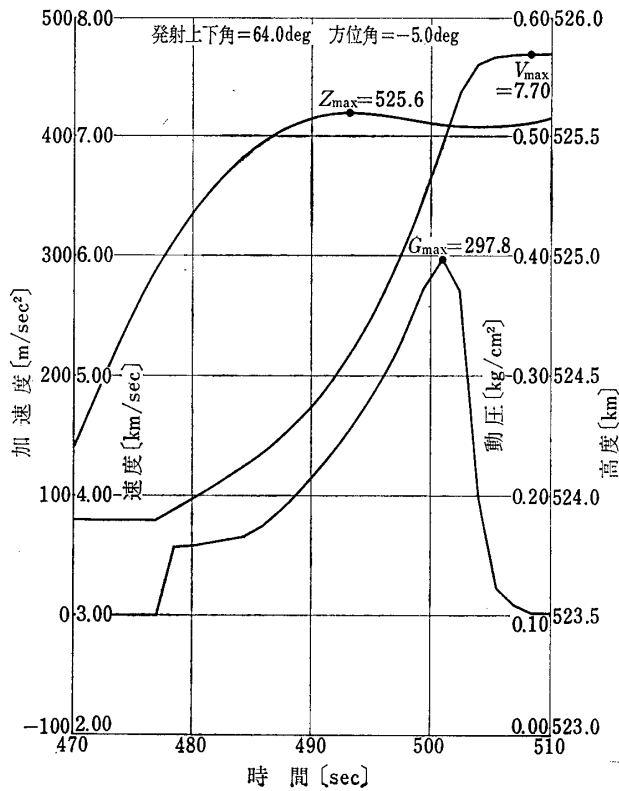
第2-2 図 L-4S-5, 動圧, 加速度, 速度, 高度対時間



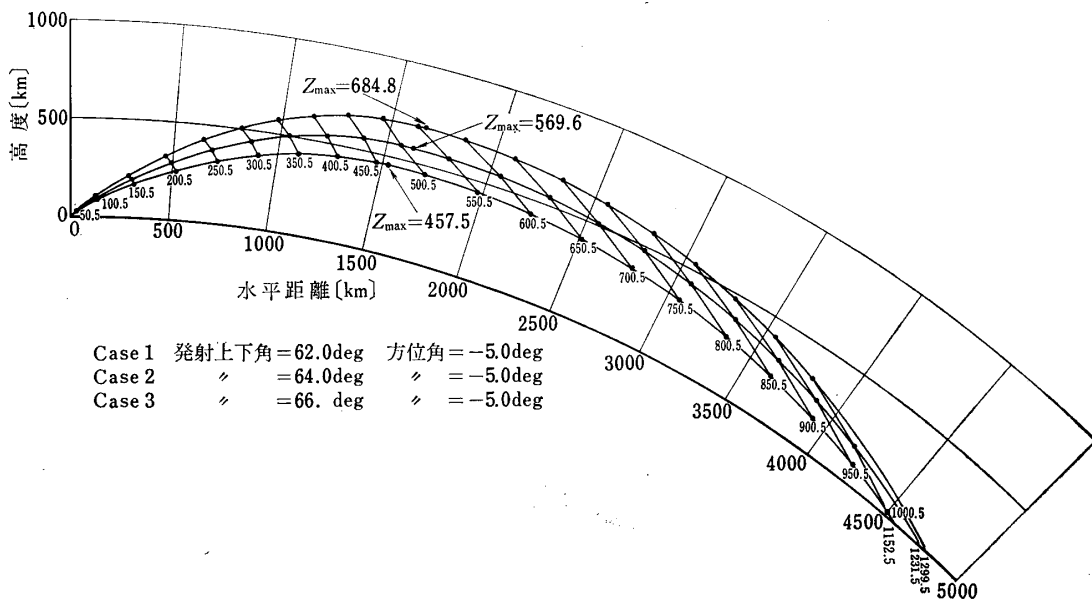
第 2-3 図 L-4T-1 動圧, 加速度, 速度, 高度対時間



第 2-4 図 L-4S-4 動圧, 加速度, 速度, 高度対時間

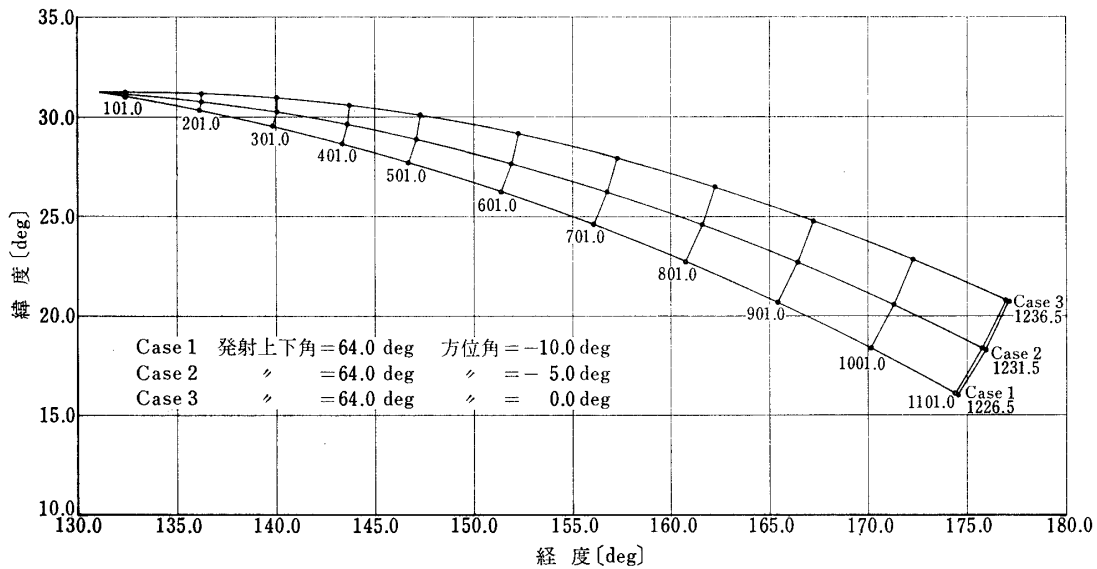


第 2-5 図 L-4S-5, 動圧, 加速度, 速度, 高度対時間 (第 4 段)

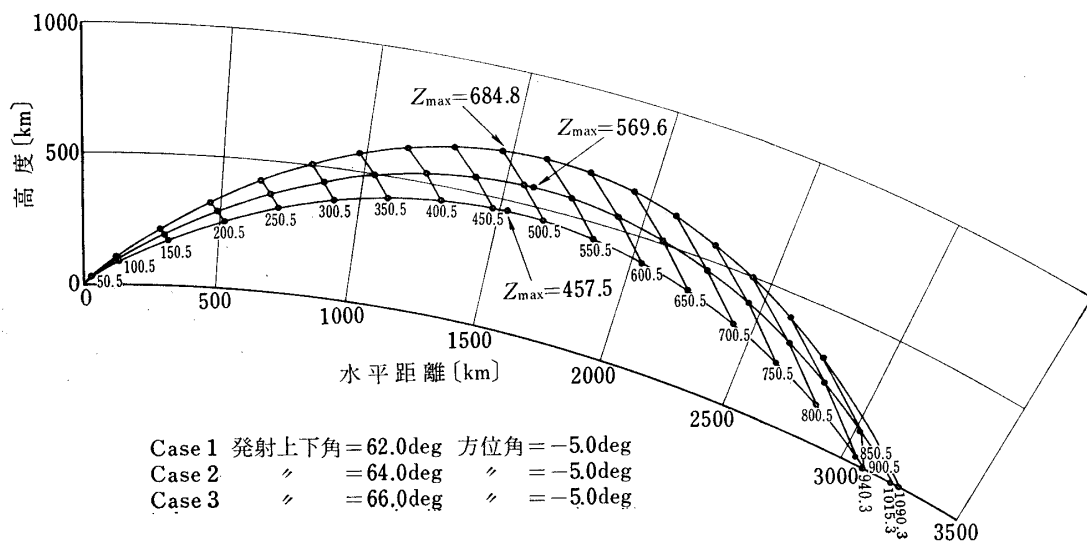


第 2-6 図 L-4T-1 軌道

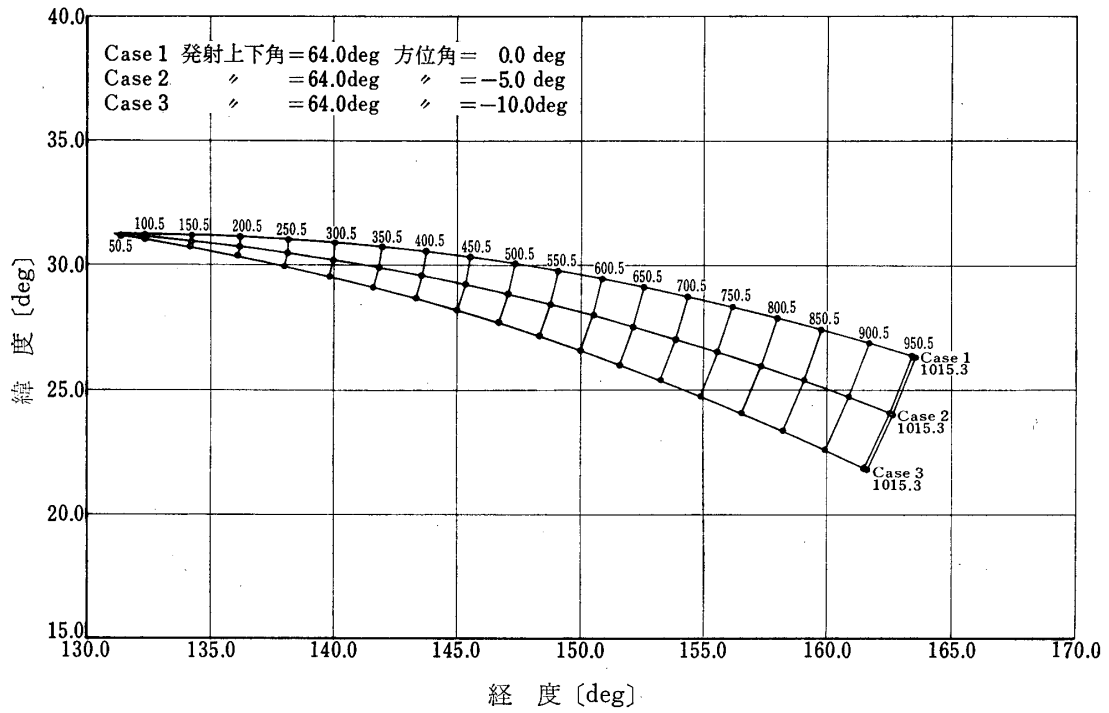
する飛しょう径路の地球上への投影を、緯度経度で示したものである。また、第 2-8, 2-9, 2-10, 2-11 図は、L-4-T-1, L-4-S-4, L-4-S-5 の第 3 段についての垂直面内の飛しょう径路と緯度経度をそれぞれあらわし、第 2-12, 2-13, 2-14 図に L-4-T-1, L-4-S-4 の、第 2-15, 2-16, 2-17 図に L-4-S-5 の第 2 段, 第 1 段, および補助ブースタの飛しょう径路を示した。さらに第 2-18, 2-19, 2-20 図には、それぞれの発射点よりみた直距離の時間曲線、第 2-21, 2-22, 2-23 図には、それぞれの直距離変化率、第 2-24, 2-25, 2-26 図に上下角、第 2-27, 2-28, 2-29 図には方位角の時間曲線を示した。



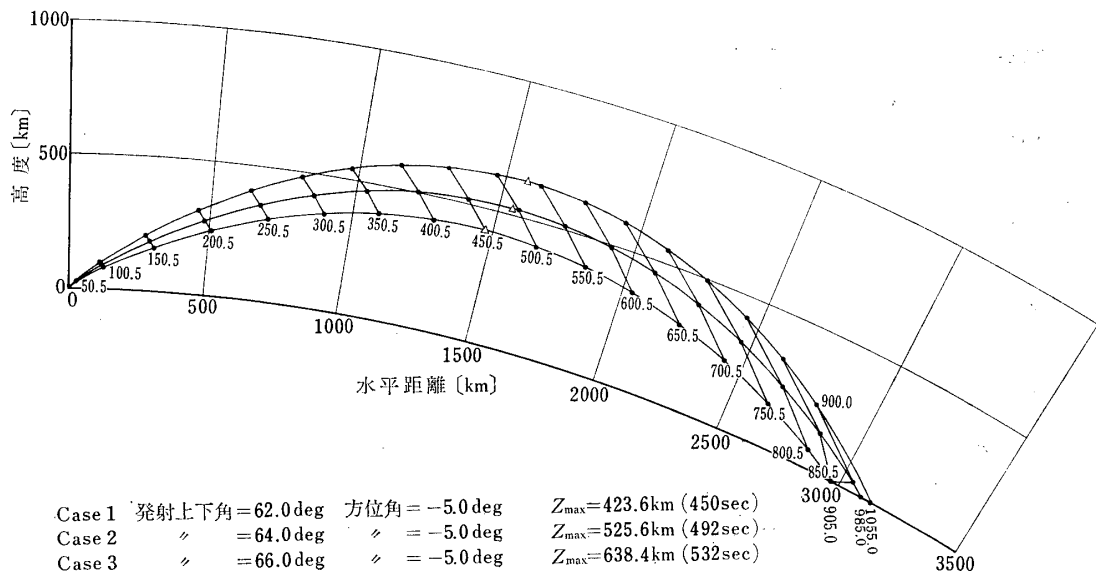
第 2-7 図 L-4-T-1 緯度対経度



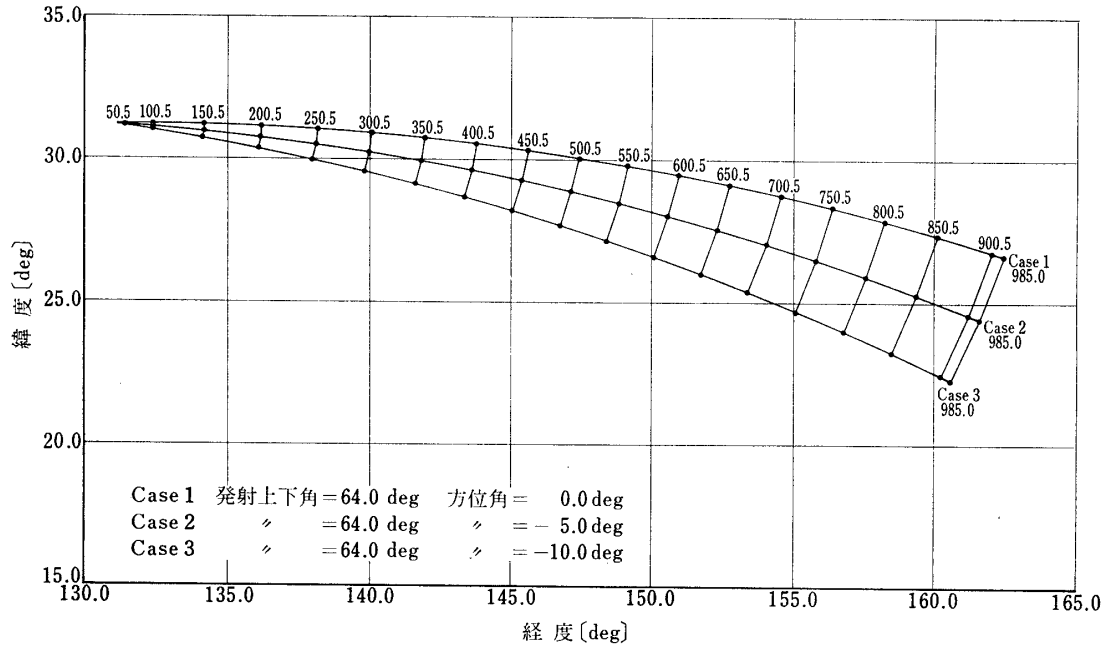
第 2-8 図 L-4-T-1, L-4-S-4 第 3 段軌道



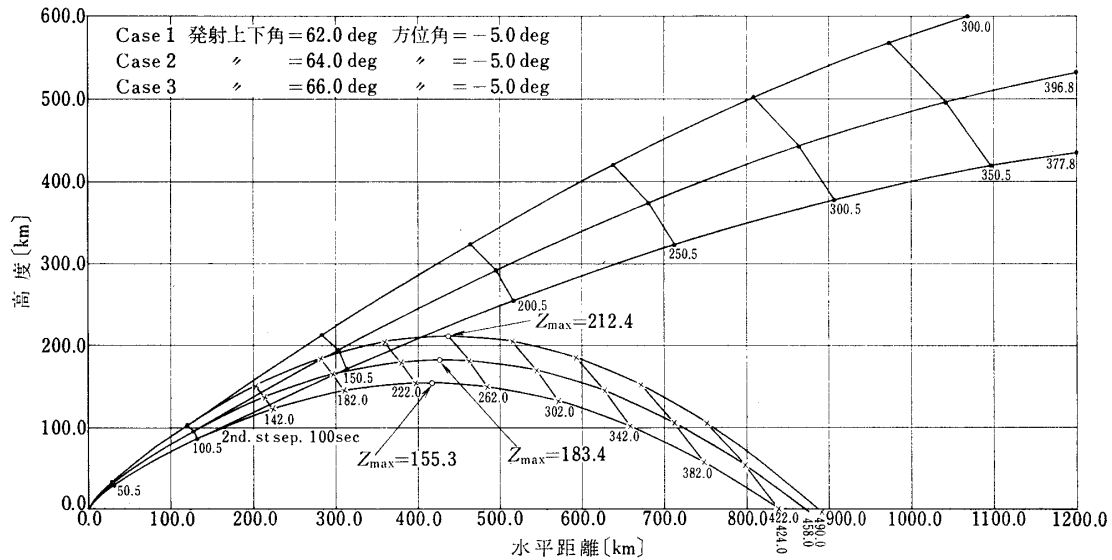
第 2-9 図 L-4-T-1, L-4-S-4 第 3 段緯度対経度



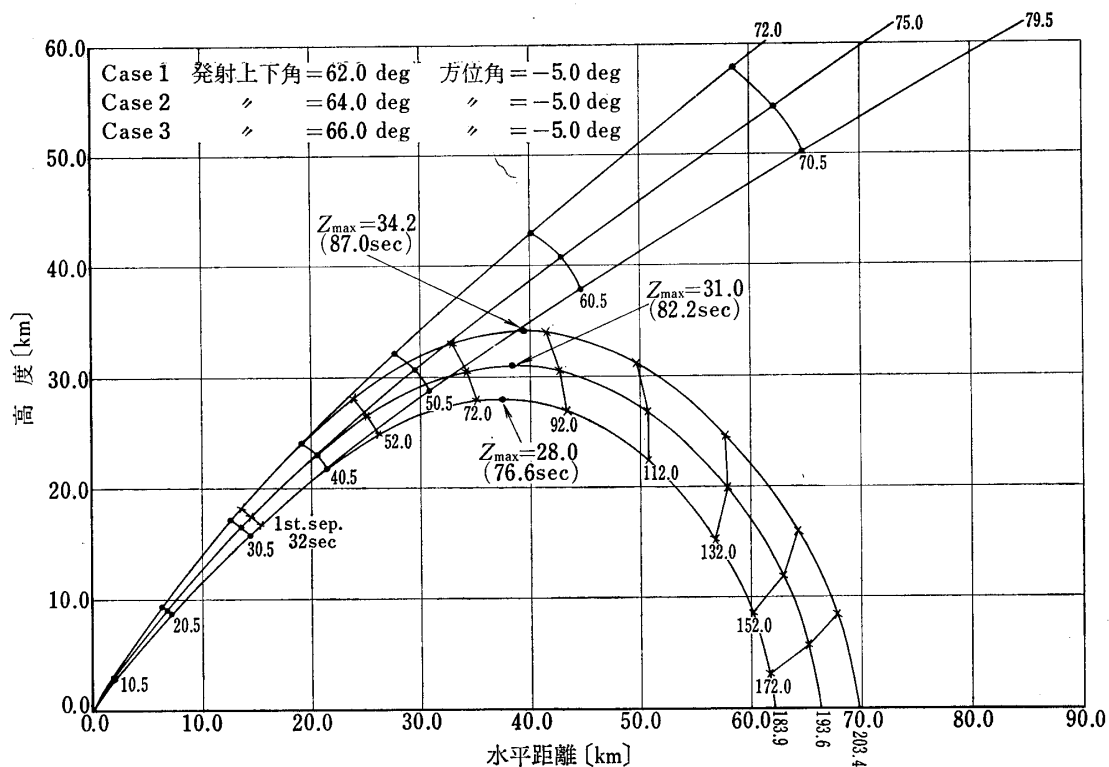
第 2-10 図 L-4-S-5 第 3 段軌道



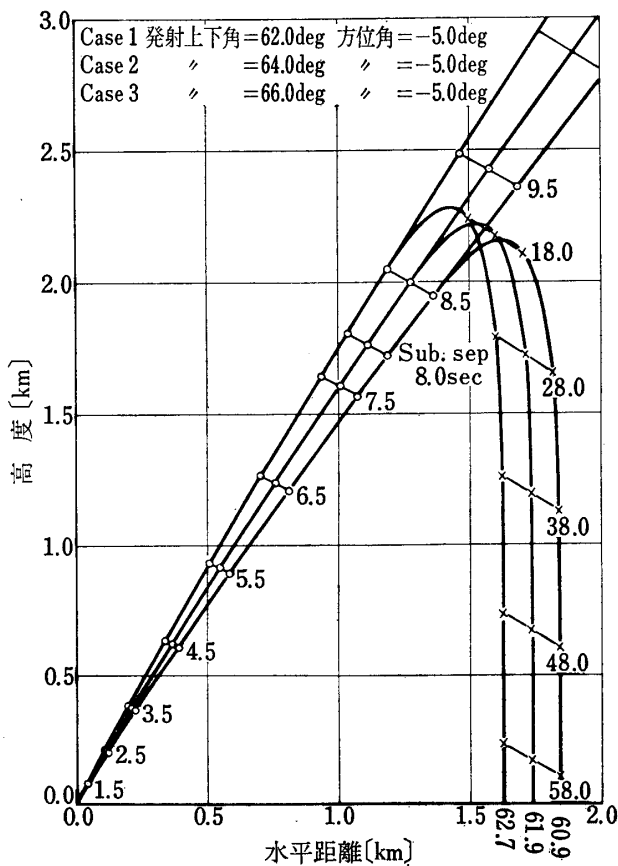
第 2-11 図 L-4-S-5 第 3 段緯度対経度



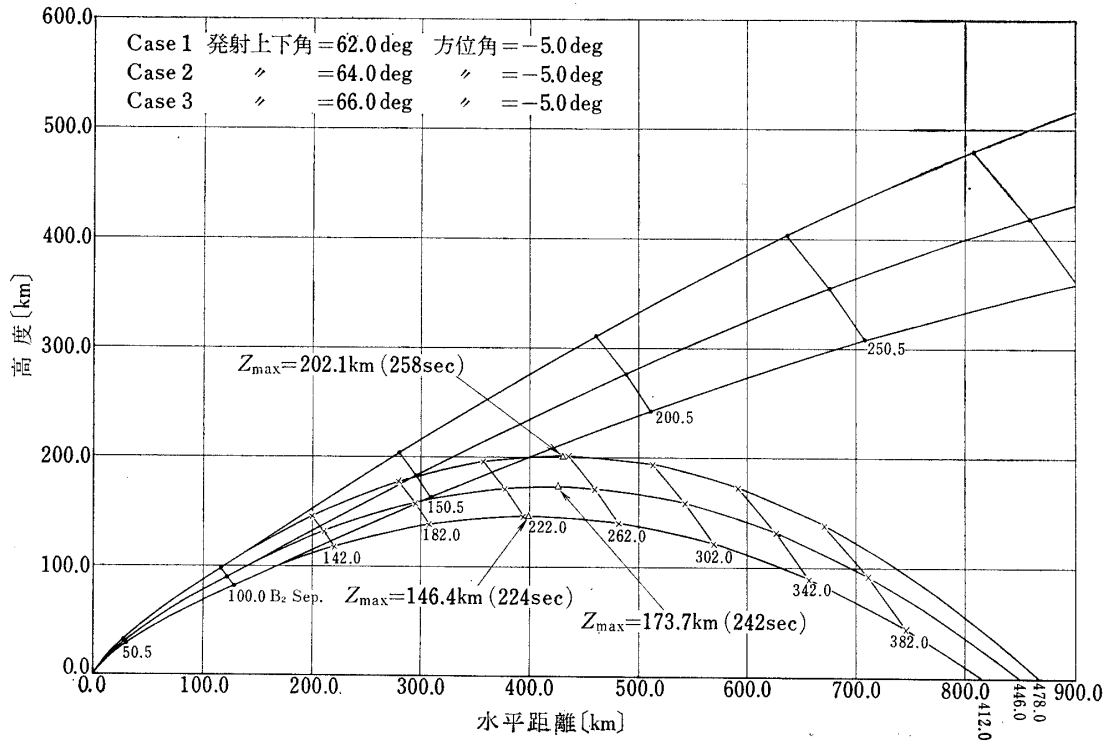
第 2-12 図 L-4-T-1, L-4-S-4 第 2 段軌道



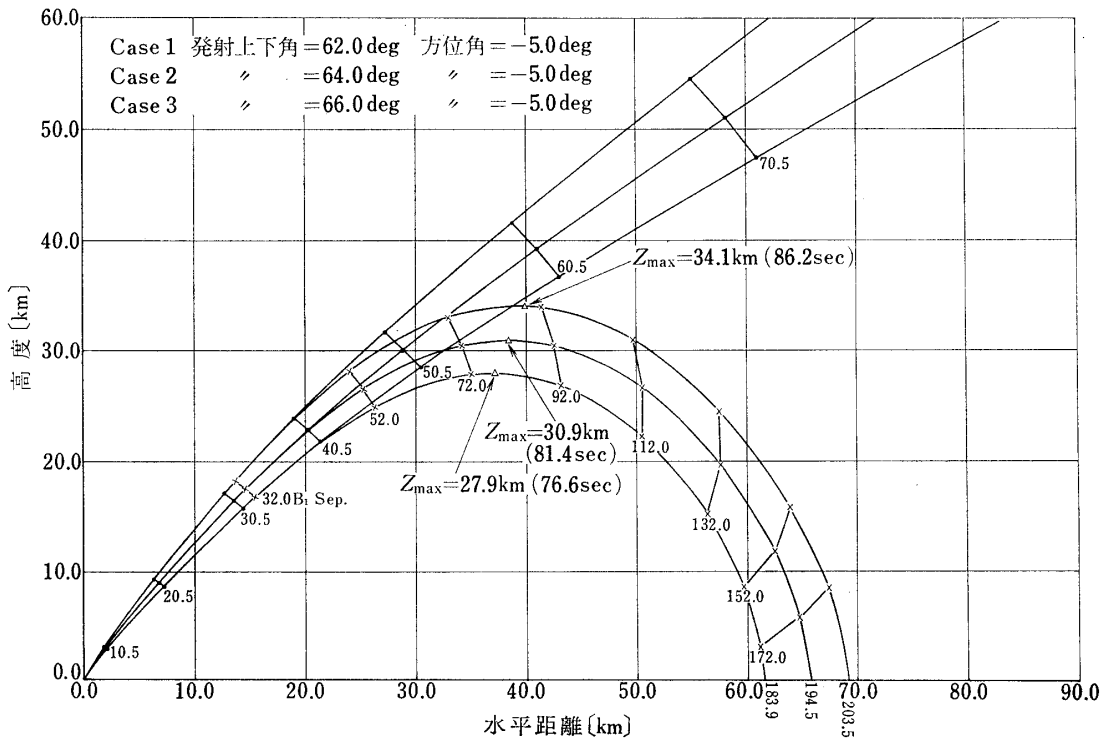
第 2-13 図 L-4-T-1, L-4-S-4 第 1 段軌道



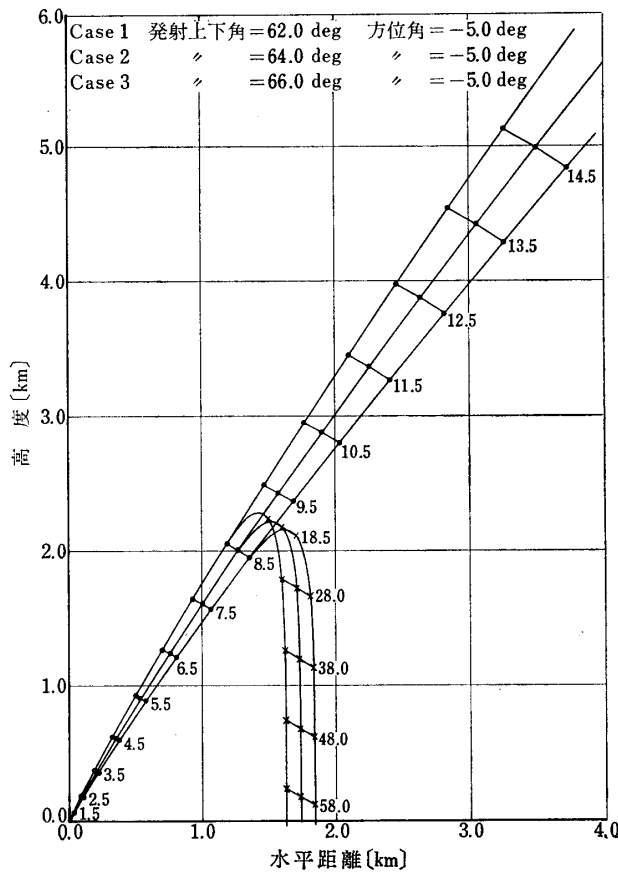
第 2-14 図 L-4-T-1, L-4-S-4 補助ブースタ軌道



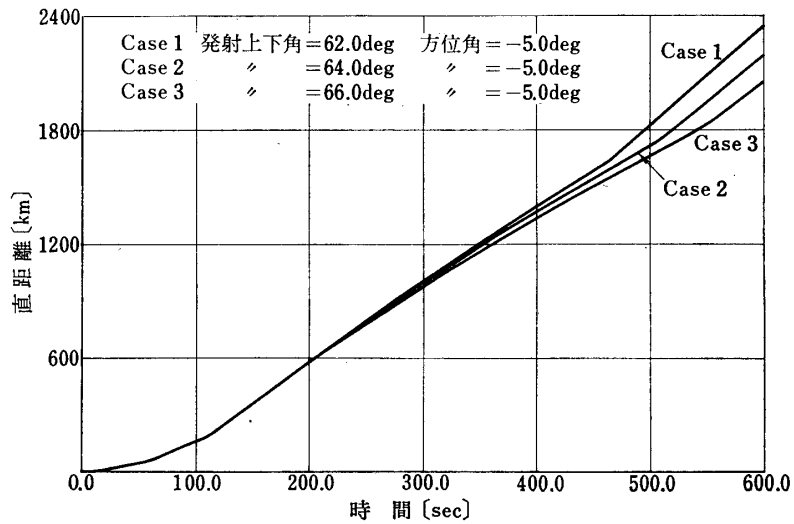
第 2-15 図 L-4-S-5 第 2 段軌道



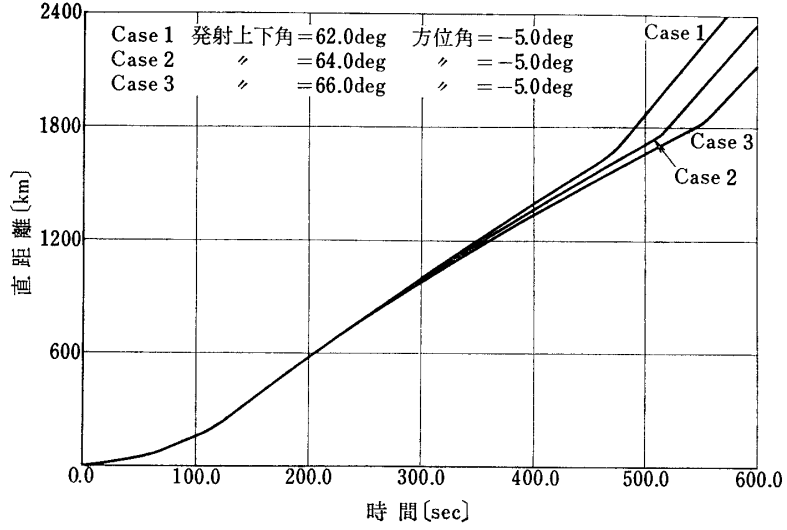
第 2-16 図 L-4-S-5 第 1 段軌道



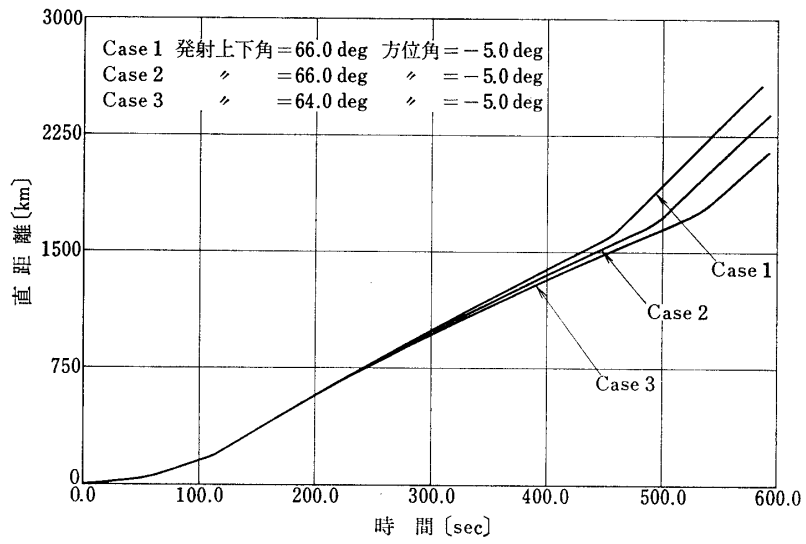
第 2-17 図 L-4-S-5 補助ブースタ軌道



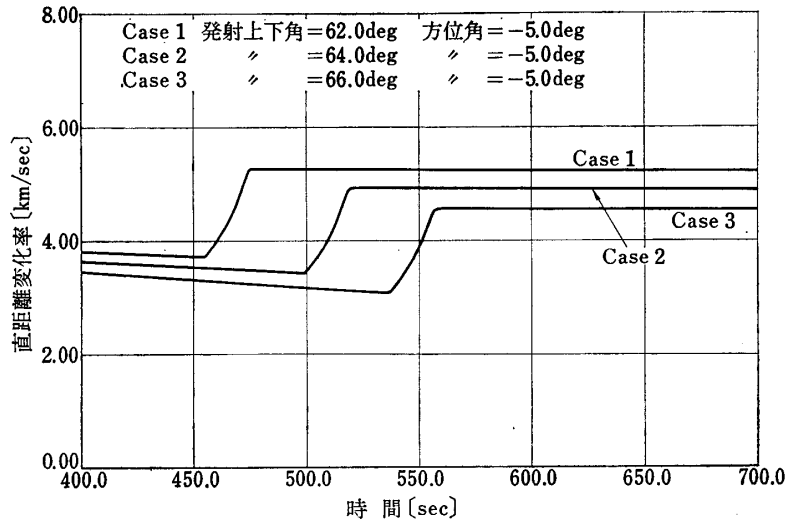
第 2-18 図 L-4-T-1 直距離対時間



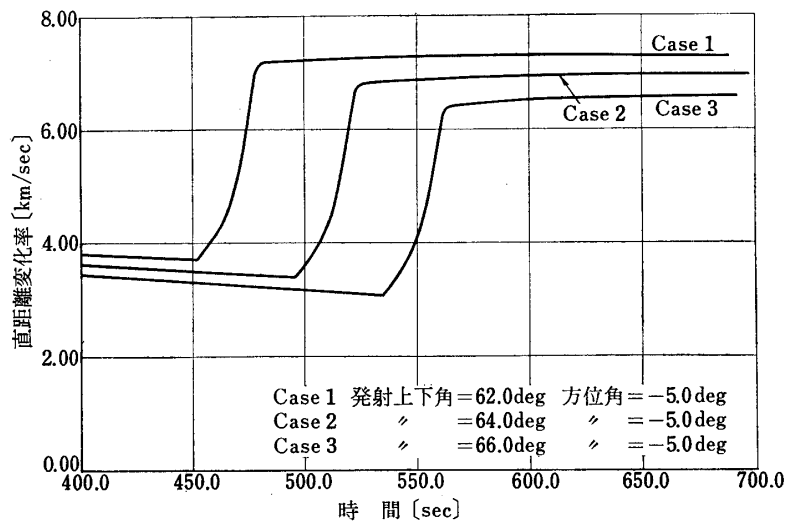
第 2-19 図 L-4-S-4 直距離対時間



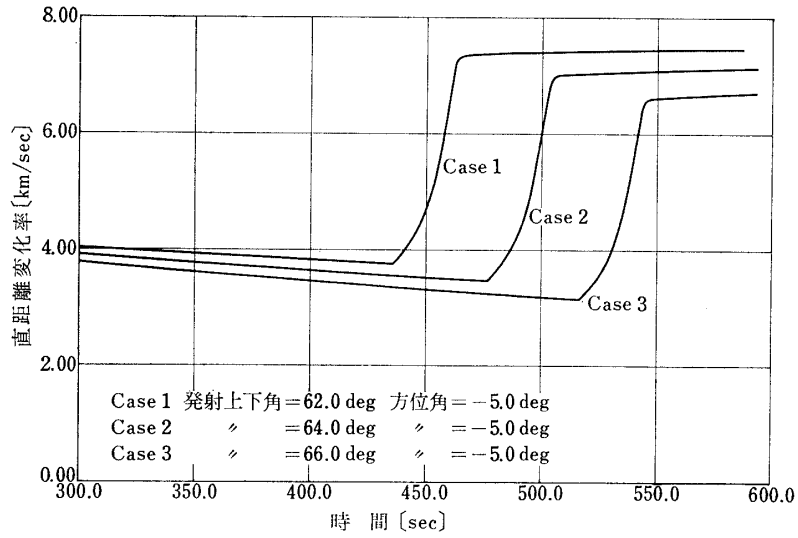
第 2-20 図 L-4-S-5 直距離対時間



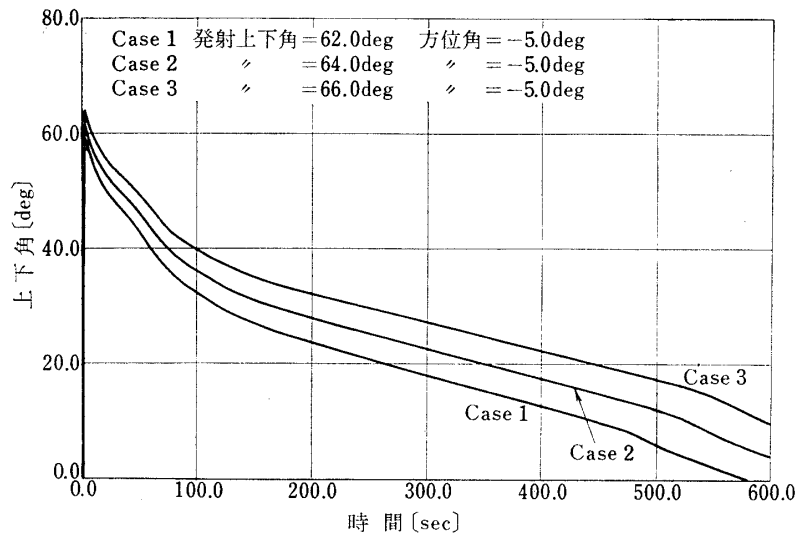
第 2-21 図 L-4-T-1 直距離変化率対時間



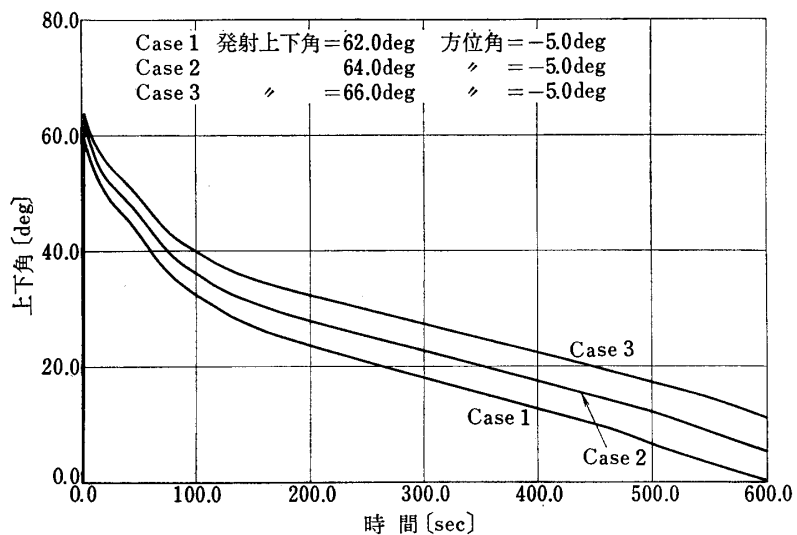
第 2-22 図 L-4-S-4 直距離変化率対時間



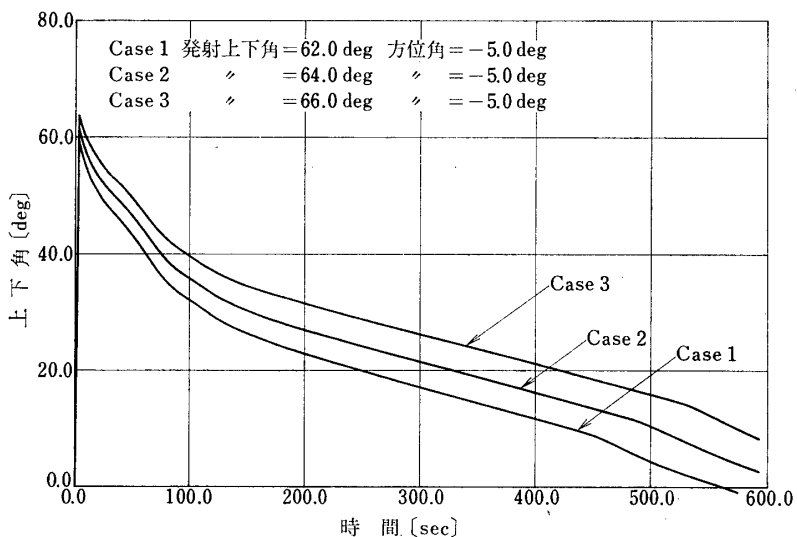
第 2-23 図 L-4-S-5 直距離変化率対時間



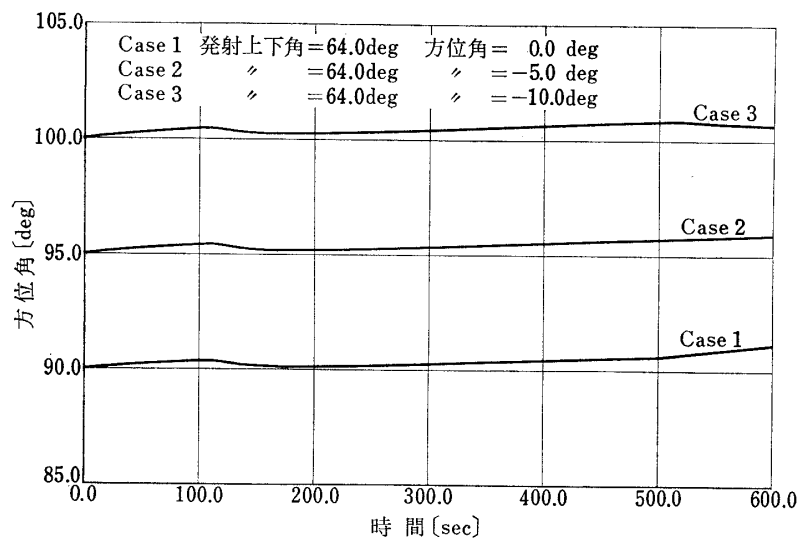
第 2-24 図 L-4-T-1 上下角対時間



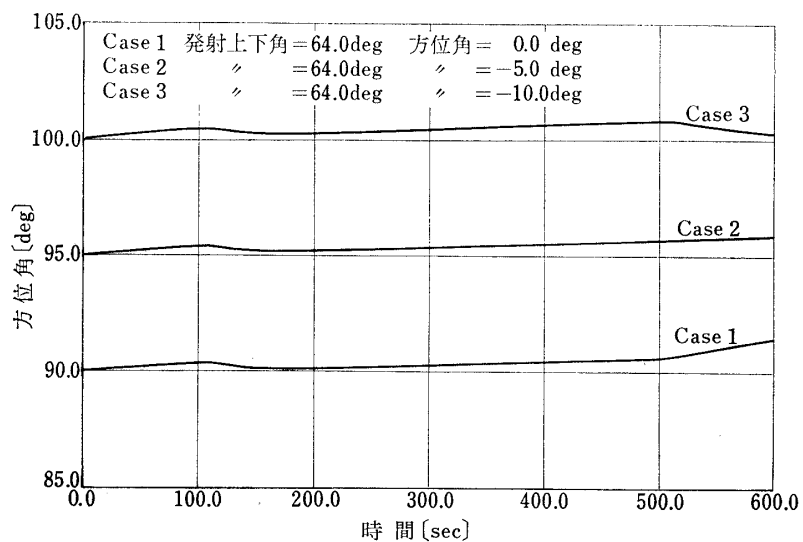
第 2-25 図 L-4-S-4 上下角対時間



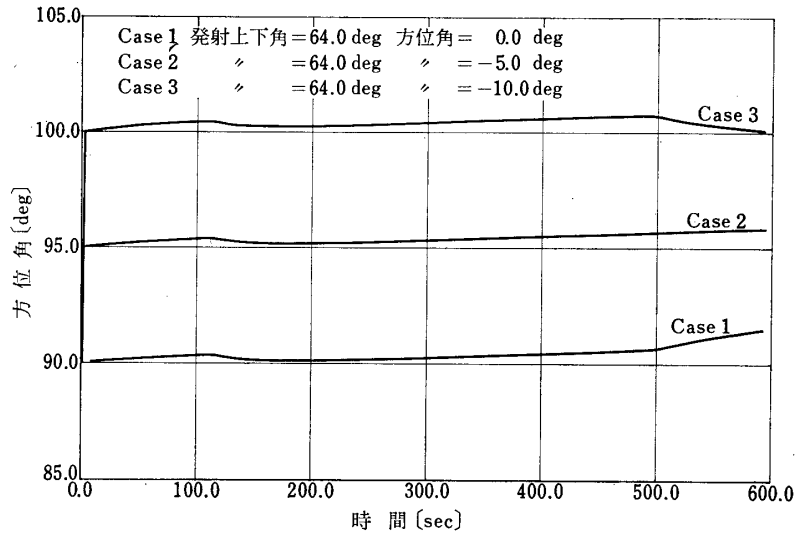
第 2-26 図 L-4-S-5 上下角対時間



第 2-27 図 L-4-T-1 方位角対時間



第 2-28 図 L-4-S-4 方位角対時間



第 2-29 図 L-4-S-5 方位角対時間

第 3-1 表 予想軌道要素

$(\Delta\theta_0, \Delta\phi_0)$ deg. deg.	(0, 0)	(-2, 0)	(+2, 0)	(0, -5)	(0, +5)
軌道長半径 (km)	8060.6	8385.9	7715.5	8054.5	8046.0
離心率	0.1445	0.1890	0.0906	0.1429	0.1421
軌道傾斜角 (deg.)	31.489	31.470	31.487	31.839	31.329
昇交点赤経 (deg.)	31.198	30.708	31.115	36.115	26.193
近地点引数 (deg.)	113.21	113.09	113.45	109.00	117.44
周 期 (min.)	120.24	127.37	112.41	119.90	119.71
近地点高度 (km)	525.6	422.8	638.7	525.9	524.7
遠地点高度 (km)	2857.7	3592.8	2036.5	2827.5	2811.3

第 3-2 表 第 4 段燃焼終了時状態

$(\Delta\theta_0, \Delta\phi_0)$ deg, deg	(0, 0)	(-2, 0)	(+2, 0)	(0, -5)	(0, +5)
高 度 (km)	525.6	422.8	638.7	525.9	524.7
緯 度 (deg.)	28.69	28.70	28.63	29.92	27.48
経 度 (deg.)	147.89	147.27	148.08	148.18	147.49
上 下 角 (deg.)	0.0528	-0.2605	0.1930	0.0380	0.0025
方 位 角 (deg.)	103.57	103.50	103.70	101.43	105.67
速 度 (km/s)	8.129	8.348	7.871	3.123	8.121
時 刻 (sec)	508.5	467.5	548.5	508.5	508.5

4. 予 想 軌 道 要 素

第 3-1 表は L-4-S-5 の飛しょう径路の分散に対する第 4 段軌道要素の計算結果を示したものである。また第 3-2 表は、第 4 段燃焼終了時における第 4 段の位置および速度の計算値である。いずれも (0, 0) が上下角 64° 方位角 95° の標準軌道飛しょうの場合でかっこ内最初の数が上下角における分散、あとの数が方位角における分散である。

1972 年 5 月 8 日 新設部 (工学)