

M-3Hのタイマ・点火・SO系

秋葉 鏝二郎・加勇田 清 勇・中 部 博 雄
荒木 哲 夫・神 谷 保 羅・星 野 一 樹*
関 俊 雄*・岡 田 英 雄**

M-3H計画においては、M-3Cまでの実績を重視し2・3段に関する変更を極力少なくする方針が立てられ、タイマ・点火・SO系についてもこの主旨に従い基本設計がなされた。

主要な改良点は以下の2点である。

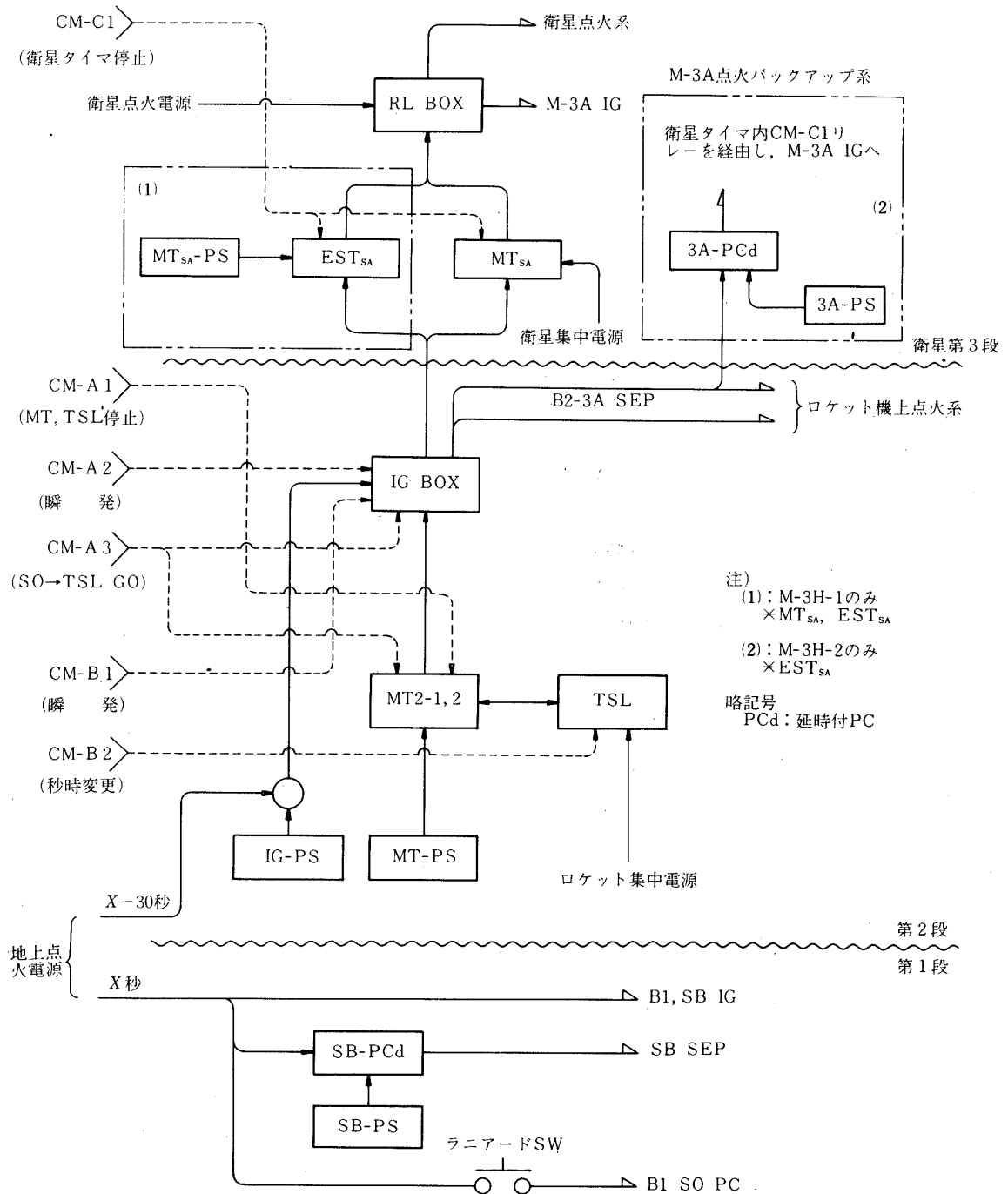
- (1)第3段打出し時刻変更に使われてきたメカニカルタイマ MT_3 を廃し、これに代り設定時刻変更可能な電子式タイマとしてタイムセレクタを採用した。
- (2)衛星シーケンスを司るタイマについても従来のメカニカルタイマ MT_{SA} を電子式タイマ EST_{SA} として長秒時化と軽量化を図った。ただし1号機では両者が併用された。

(1)についてはすでにM-3C-1～3号機およびL-4SC-3号機においても試験搭載されM-3H型よりの搭載を予定してきたものである。また(2)については、EXOS-Aがパーキング軌道上で地球を約半周した後キックモータKM-Aを点火することで最終軌道に投入されるという事情から、地球半周に相当し約4000秒間の作動秒時が衛星タイマに要求されるようになりタイマの電子化が促進されたという背景をもつ。

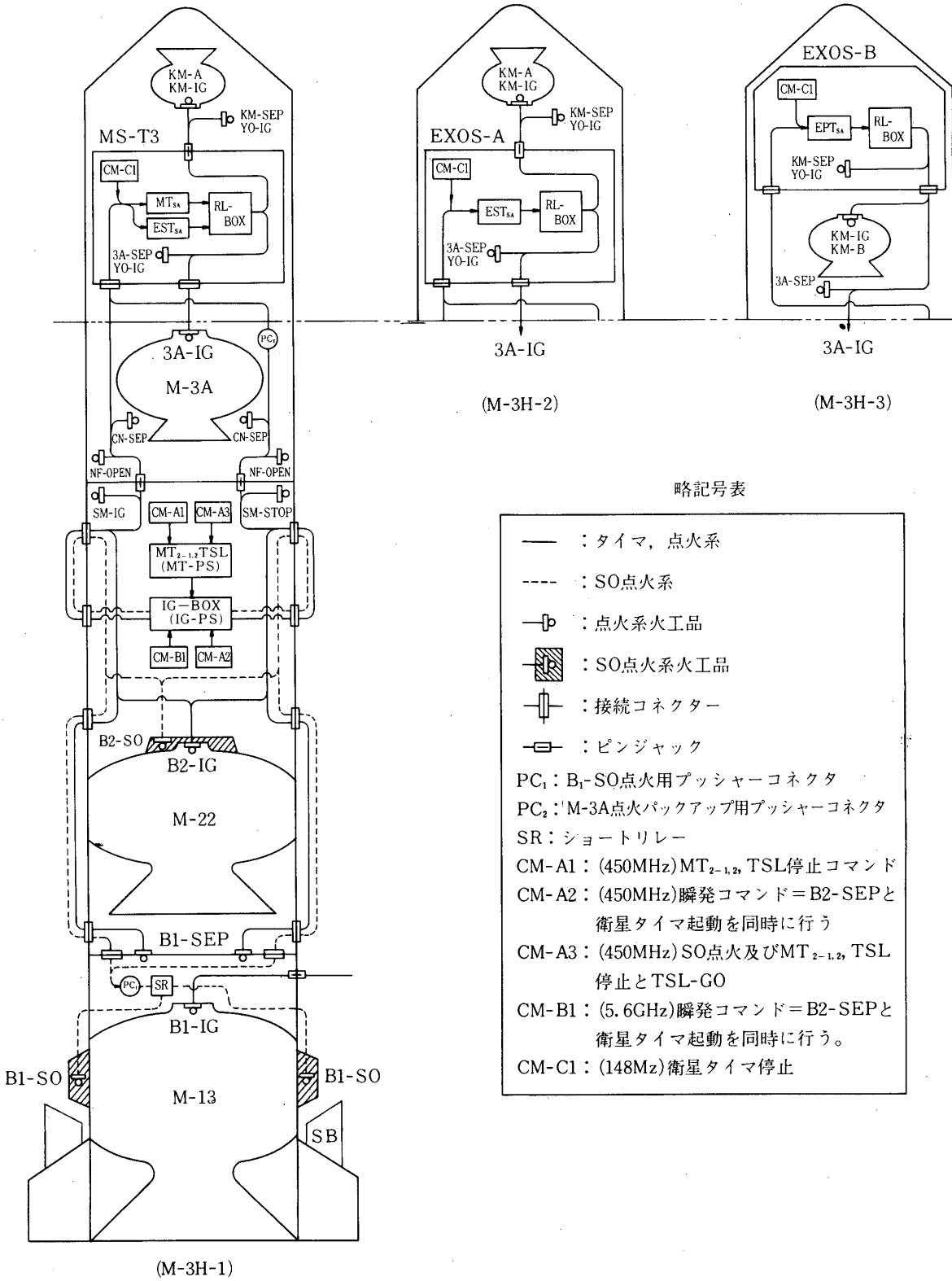
M-3H型のタイマ・点火・SO系の基本構成を第1図に、模式的表示による全体系統図を第2図に示す。

* 松下通信工業

** 三菱重工神戸造船所



第 1 図



第 2 図

1. 第1段点火・SO系

M-4S以来変更はない。地上発射管制盤からX-30sに第2段点火電源と点火リレー箱 (IG Box) の間にあるプッシュコネクタ (PC) と称する火工品スイッチをONにする。×時には第1段点火のほか補助ブースタ分離のための延時付きPCと第2段SO系に結ばれている第1段緊急破壊回路に安全のために入れられたPCを作動させる。後者は厳密にはロケットがわずかにランチャを滑走し、ラニアード (引き綱) スwitchが投入された時点が作動時刻となる。

2. 第2段点火・タイマ・SO系

機上点火系の主要部をなしており、タイマ本体、タイムセレクト、IG Box、電源、安全装置などよりなる。

タイマ本体はメカニカルタイマ2基で冗長系を構成している。このメカニカルタイマはマイクロモータにより60個のロータリ接点を1rpmの速さで掃引させ、この接点とリレーの組合せで信号を作り出す原理構成となっている。このマイクロモータには回転数制御回路が付加されており、しかも回転数異常がいずれか一方において検出された場合この出力をカットする回路も設けられている。また、タイマ部はX+250sのコマンドモード切替など一部のコマンド信号処理機能も備えている。

タイマから出力される信号はDC+9Vを電源とする。地上操作系とのインタフェースもまたこのタイマ部に含まれている。この種の機器としては、シーケンスチェック時に必要なシーケンス項目判別器や安全リレー類操作応答リレーなどが挙げられる。

IC-Boxは、この信号を受けシーケンスに応じ点火系に通電すると共に瞬発ならびにモータ破壊による推力中断のコマンド信号を受け、これらに関連する火工品を作動させる機能をもつ。点火電源電圧は、DC28Vで2系統が出力され冗長系をなしている。

点火系としてM-3Cのそれと大きく異なった部分は開頭が一段階となったことと、第3段点火方式の変更である。後者については「3」において触れる。

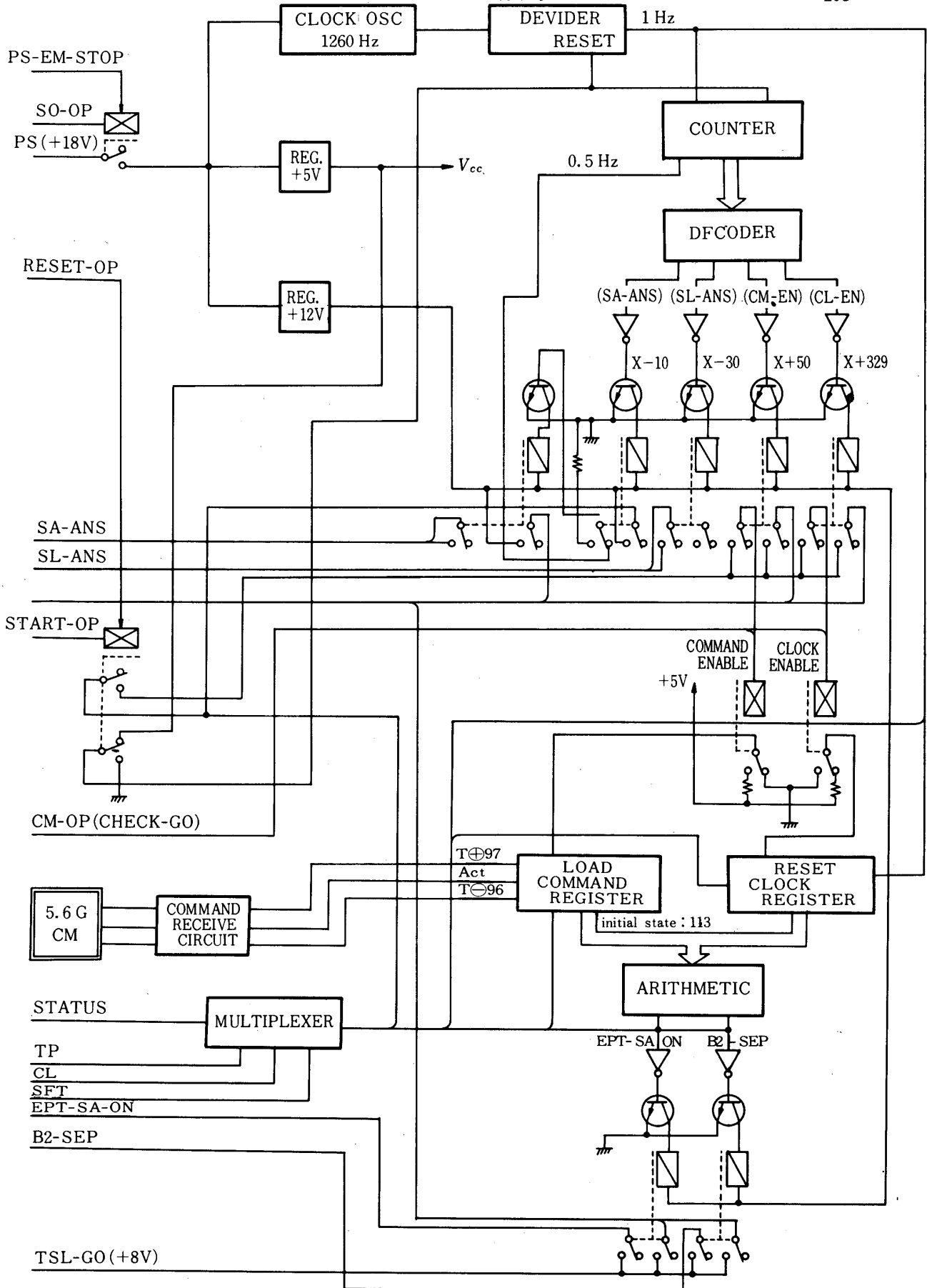
IG-Boxは、多点遠隔切替スイッチ (LEDEX) を収納し機上点火系導通チェック系の中核機能をつかさどっている。

タイムセレクト (TSL) は、第3段点火秒時修正に用いられる設定秒時変更可能な電子式タイマで第3図のような構成となっている。

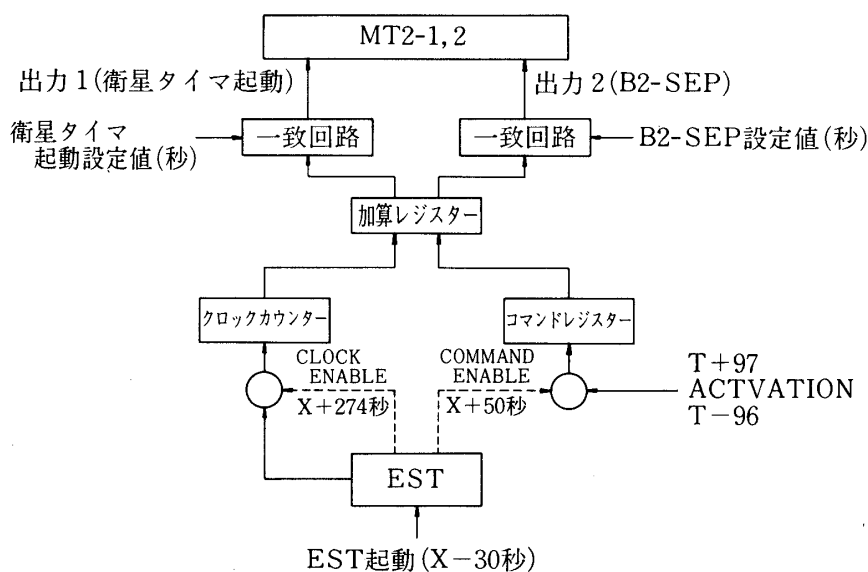
秒時変更はプリセット秒時に対し-96s+97sの範囲で1秒の刻みで可能であり、コマンド (CM-B2) がこの目的で用いられる。

タイムセレクトから出力される信号は、衛星タイマONおよびその2秒後のB₂~M-3A分離の2項目である。第3図に示すように、クロックカウンタは電子式タイマ (EST) の出力をclock enable秒時よりカウントし始め、また設定秒時変更用コマンドはcommand enable秒時以降受け入れられコマンドレジスタに修正量が記憶される。これらenable秒時はESTより出力される。

コマンドレジスタとクロックカウンタの値は加算レジスタにより刻々加算され、衛星タイマONとB₂分離の二者に対応する二つの設定値と加算レジスタの値が一致した時点において



第 3 図



第 4 図

上記出力が送り出される。したがって、加算レジスタの内容と出力の可変範囲との関係は第 4 図に示すようになる。タイムセレクタの使用には慎重を期し、その動作状況を飛しょう中に監視し、これが正常であることを確認した上で TSL go のコマンド CM-A₃ をモード変更秒時後に送信し、これによりはじめて TSL 出力がタイマにあらかじめ設定されていたバックアップ秒時に代るようになっている。

3. 衛星タイマ・点火・SO系

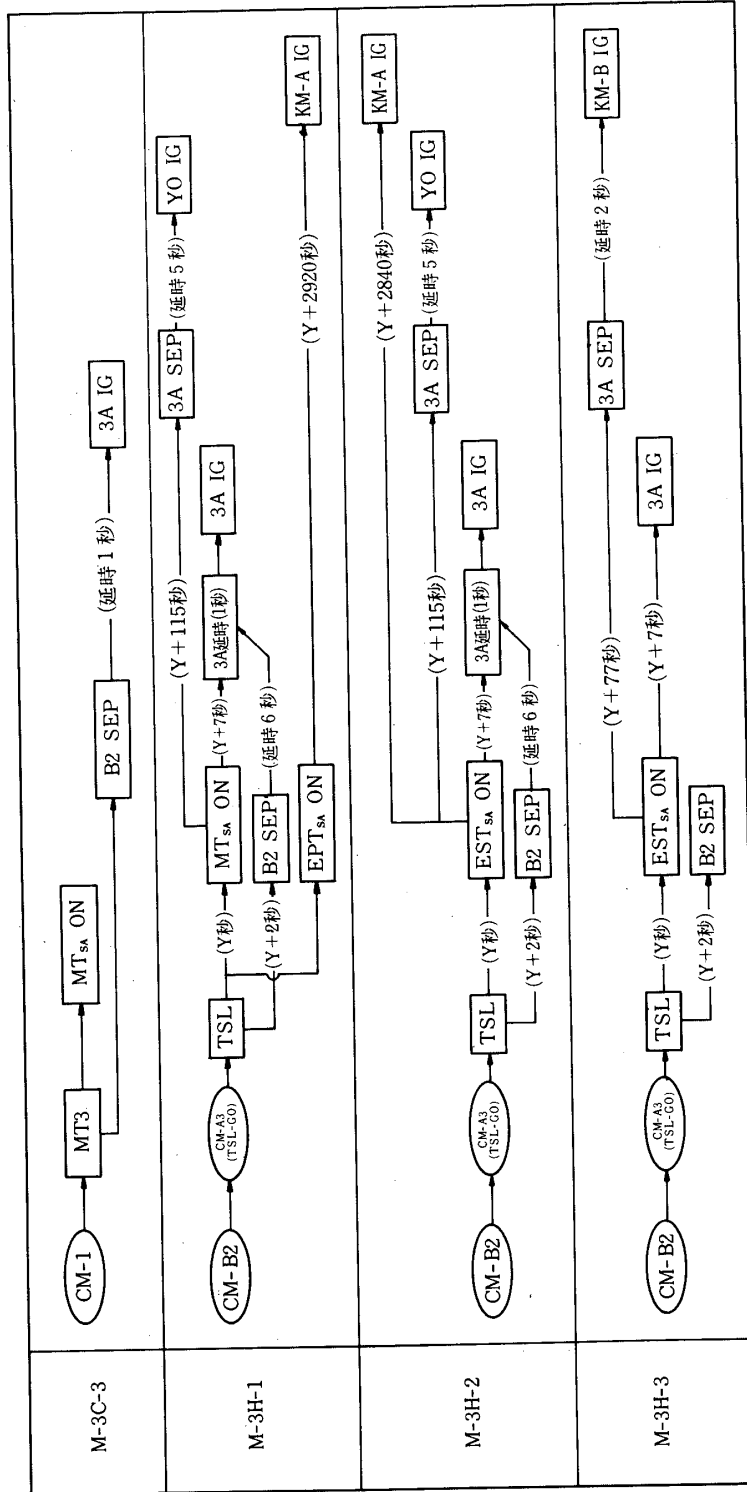
衛星タイマ、点火、SO系は衛星タイマ、リレーボックス、M-3A 点火バックアップ系およびこれらに必要な電源より構成されているが、M-3A 点火バックアップ系は 3 号機において廃止された。

衛星タイマは電子式タイマに改める方針で開発が進められたが、1 号機においては慎重を期しパーキング軌道投入までのシーケンスは従来通りのメカニカルタイマ MT_{SA} を用いて行われた。

第 3 段 M-3A は従来第 2 段搭載のタイマにより延時点火されたが、M-3H になり保安上の観点から切り離し後の第 3 段の姿勢を監視し必要とあらばこの点火をコマンドで停止できる様要望があり、第 1 図に示すように衛星タイマがこれをつかさどる様改められた。

しかし、第 2 段点火系が二重冗長系であることから、冗長度をもたない衛星点火系のみならず第 3 段点火を行わせることに多少の不安があったことから、1・2 号機では第 1 図に示した様な第 2 段タイマと延時管を用いたバックアップ系を採用した。このシステムは実装上複雑であったことと、それまでの飛しょう実績を加味し 3 号機では廃止し簡素化を図った。

以上の経過により、第 3 段点火前後のシーケンス実行の流れは M-3C 以降第 5 図に示す



第 5 図

ように各機体毎に若干異なったものになった。

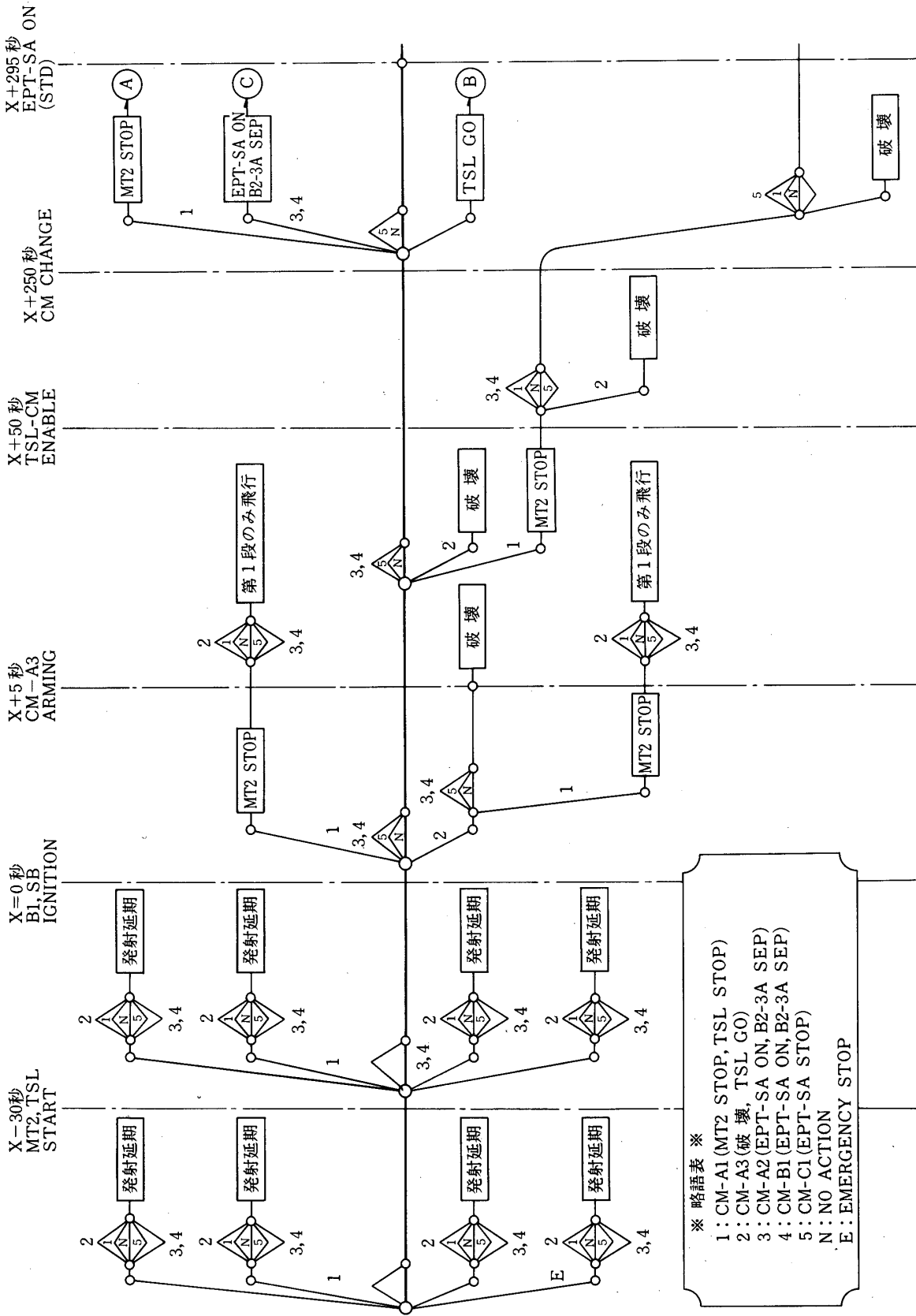
4. SO コマンド系

SOはSafety Operationの略でありすべての保安機能を意味するが、コマンドにより実行されるSO機能はタイマ（TSLを含む）の緊急停止および緊急モータ破壊の2種類である。一方、コマンドは誘導制御の目的にも用いられ第1表の様な役割を担っている。表中CM-A1などは450MHz帯コマンドでM-3CまではCM-11などの名で呼ばれたもので、TSLの採用を機として従来2系統のみ用いられてきたものを3系統すべて使用することとなった。また、CM-B₁なども従来のCM-21などの改称である。

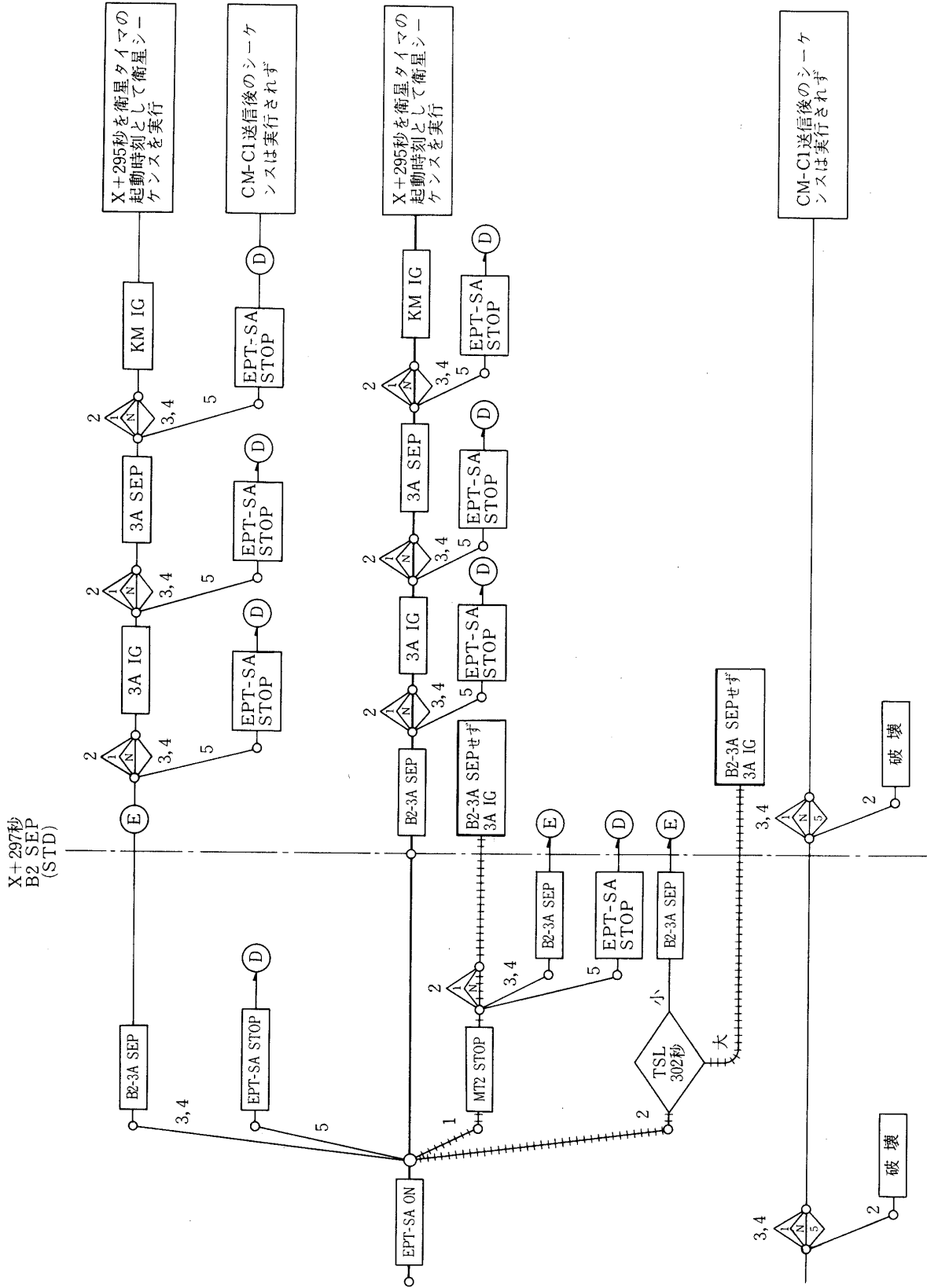
点火、安全を目的としたこれらコマンドは時間的推移と組合せによって複雑な飛しょう状態をもたらすので、オペレーション上注意を要する。第6図はこれを明らかにする目的で作成されたコマンドモード図（M-3H-3）である。

第1表 タイマ、点火系コマンドモード

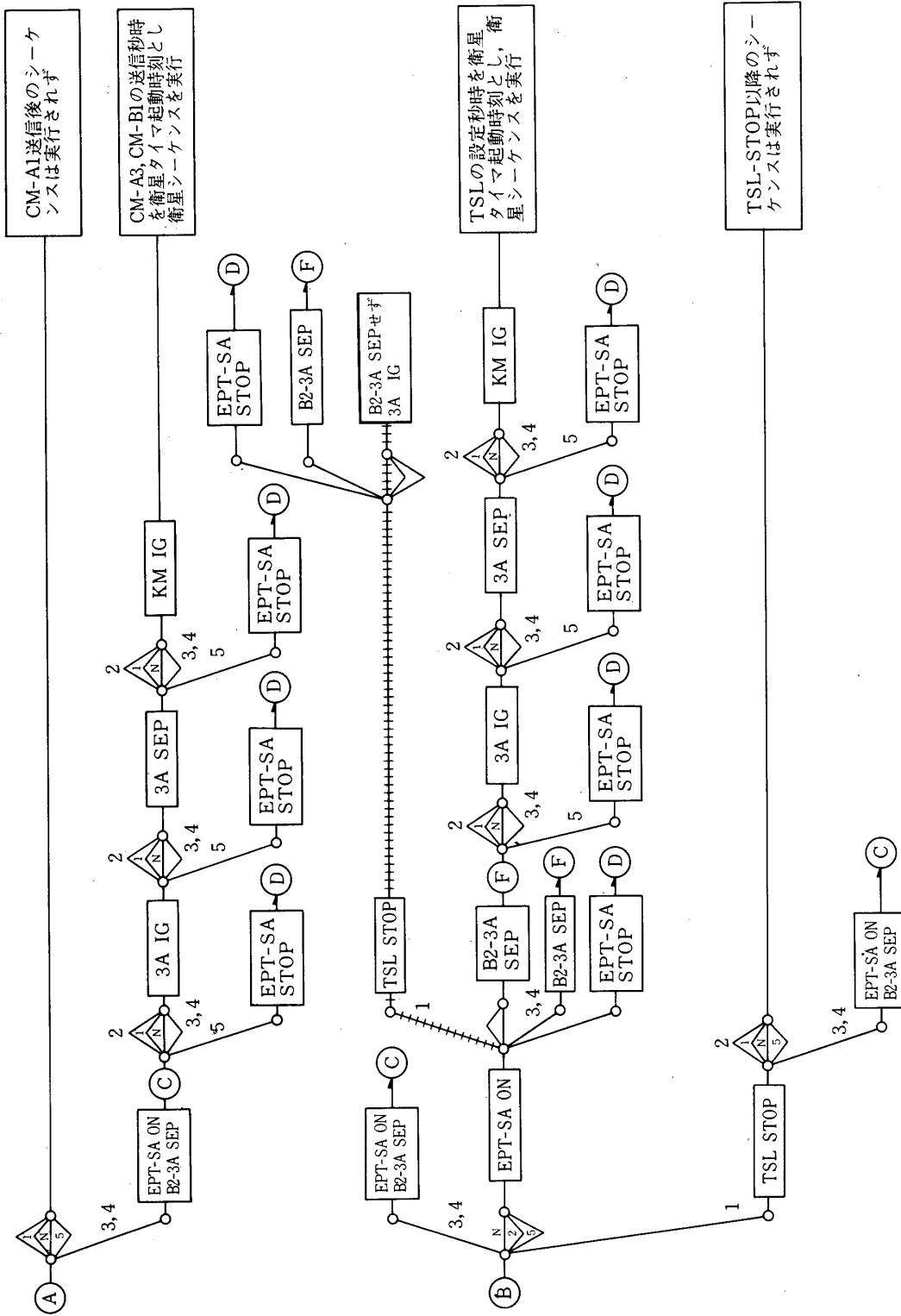
コマンド名称	周波数(MHz)	機 能			
		×-30秒	×+5秒	×+50秒	×+250秒
CM-A1	450		MT2 _{-1,2} , TSL 停止		
CM-A2	450				瞬発(B2切断,衛星タイマ起動)
CM-A3	450		B ₁ , B ₂ 破壊		TSL GO
CM-B1	5600				瞬発(B2切断,衛星タイマ起動)
CM-B2	5600			TSL 修正量受信可能	
CM-C1	148	衛星タイマ停止 (衛星タイマ起動後より可能)			



第6図(a)



第 6 図 (b)

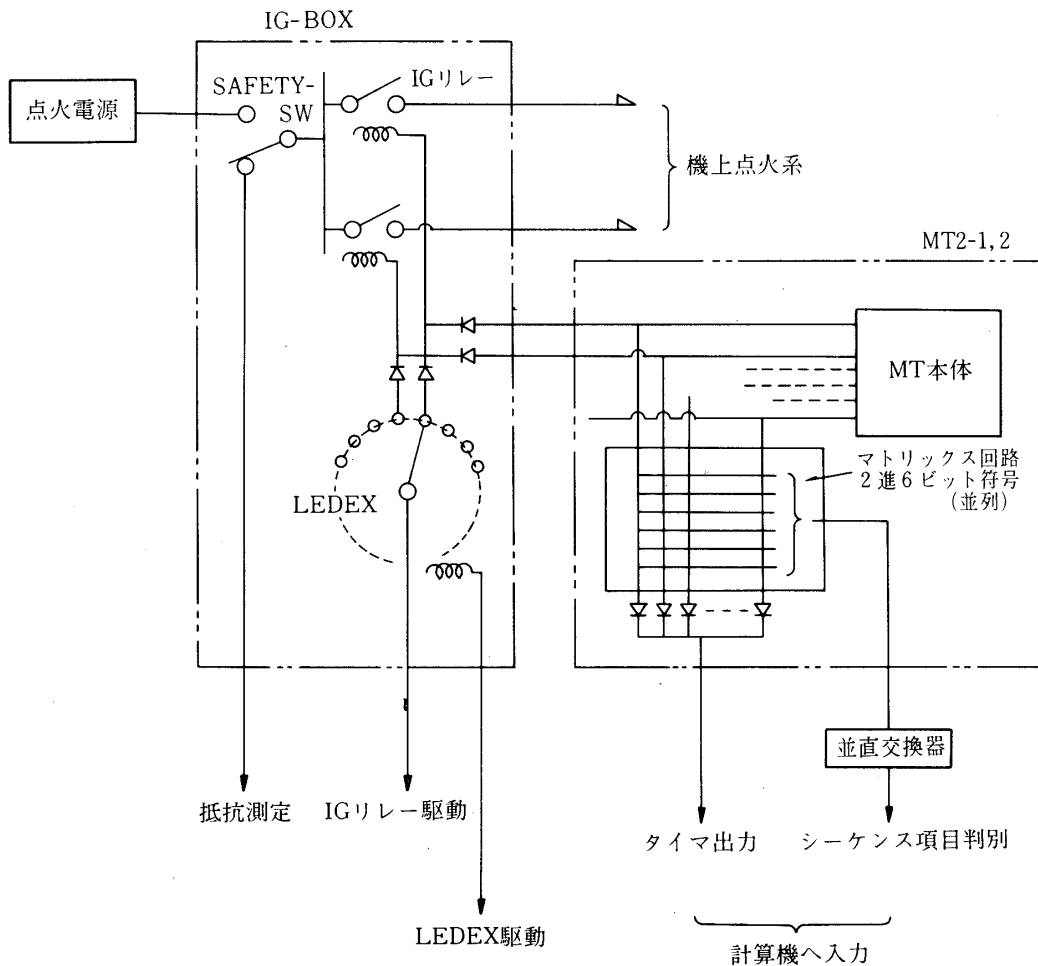


第 6 図 (c)

5. 点火系導通チェックとタイマチェック

第7図は、機上点火系導通チェックおよびMTシーケンスチェック回路を簡略化して示したものである。機上点火系の導通チェックは、Safety リレーにより点火系が電源より切り離された状態で同リレーのトランスファ接点を利用して行われる。各IG項目のリレーを作動させるには外部電源を用い、これを多接点遠隔切換スイッチ（LEDEX SW）により適宜測定回路に対応するリレーに切替える。

タイマチェックは、測定の秒時に該当するシーケンス項目が出力されることを地上系コンピュータで確認することを目的としているため、出力されたチャンネルを判別する必要がある。各出力を2進6ビットに符号化するマトリックス回路がタイマ内に組込まれている。この2進並列符号は、ランチャ上の並直変換器を通じ同軸ケーブルで管制室内に導かれる。このタイマチェックも当然 Safety リレーが安全側で行われるので、各項目出力持続秒時(約0.5



第 7 図

秒)の間に、その項目について導通チェックがデジタル抵抗計で行われ、項目に対応して管制盤に打出すことができる。

このコンピュータはまた、発射直前 $X-30_s$ より $X-10_s$ までの間にタイマから1秒おきに出力される信号でタイマのスピードチェックを行い、GO、NO GOの結果を表示するのにもつかわれている。

地上点火系の導通チェックは、単体チェックと最終点火時結線状態でのチェックが行われる。これらの結線状態の切替は整備塔地下の結線箱と背面地上に設置されたスイッチで行なわれるが、前者については回線数が多くなるので塔下に LEDEX 装置を設けこれを管制盤で操作する方式がとられている。

6. M-3H-1~3号機での実験結果

各号機についての飛しょうシーケンスについて、計画秒時と実行秒時の比較を第2表に示す。これに見る様に飛しょう時のタイマ、点火、SO系は全く正常で所期の任務を全うすることができた。

しかし、飛しょう前試験においてはわずかながら問題点が認められ、所要の対策が施された。第3表はこれらの総括である。

第2表(a-1) M-3H-1 MT2-_{1,2}動作結果

項 目	設定秒時 (sec)	動 作 秒 時 (sec)						備 考
		SO-1	SO-2	SO-3	X-1	P-2	TSL	
SO Arming	5		5.35					
CM Enable	50						50.00	
RC-1 Start	75		75.50					
P1-P2	80		80.50					
B1 Sep.	84	84.50	84.50	84.50	84.50			
TVC Start	85		85.60					
Roll SJ Start	85		85.60					
B2 Ig.	86	86.60	86.60	86.60	86.60	86.60		
ROLL SJ Thrust Change	116		116.60					
TVC Stop	150		150.65					
Pitch Yaw SJ Start	151		151.65					
TM-3 Ant. Change	159		159.65					
RC-2 Start	159		159.65					
NC Open	162	162.60	162.65	162.65				
RC-2 Stop	221		221.70					
CN Mode Change	231		231.70					Y1, Z1
SP Ig.	241		241.75					241.7
SP Rate on	242		242.75					
5.6G Ant. Change	242		242.75					
SP Stop Power on		246.55	246.60	246.60				
CM-A3 Mode Change	250		250.80					
IG Arming(CM-B1)	250		250.80					
IG Arming(CM-A2)	250		250.80					
TSL Clock Enable	274						273.10	
CM-A3 on			300.50					
MT-SA, EST-SA Start	360		358.75				358.75	
B2 Sep.	362	360.75	360.75	360.75			360.75	

SQ₁ : ピンジャック及びマイクロSWの作動モニタ

SQ₂ : MT₂内にあるプログラムリレー駆動電流値モニタ

SQ₃ : 点火系火工品起動電流値モニタ

X₁, Y₁, Z₁ : B₂PL部に搭載されたX, Y, Z方向の加速度モニタ

P₂ : B₂の燃焼内圧モニタ

TSL : タイムセレクタの作動秒時モニタ

第2表(a-2) M-3H-1 衛星タイマ動作結果

項 目	設定秒時 (sec)	動 作 秒 時		備 考
		SQ	SAX	
* EST-SA Start Ans.	362	361.00		- 4秒以内の誤差あり
* SA SO Arming	363			モニターなし
* M-3A Ig.	367		366.50	
* M-3A Ig.(BK)	368			
* SA Sep.	477	476.00		- 4秒以内の誤差あり
Yo Ig.	477	476.00		
* IG. Arming-1	530			モニターなし
* MT-SA Stop	532			"
P-3 Y. SA/P. KM	3180	3177.00		- 4秒以内の誤差あり
KM Ig.	3280	3278.50		"
KM Sep.	3380	3377.00		"
Yo Ig.	3380	3377.00		"
ND on	3870	3869.00		"
IG. Arming-2	3880	3877.00		"
EST-SA Stop	3890	3889.00		"

* : MT-SA のタイムシーケンスでモニターは無い

SQ : EST-SA のモニター

S X : X方向の加速度モニター

第2表 (b-1) M-3H-2 MT 2_{-1,2} 動作結果

項 目	設定秒時 (sec)	動 作 秒 時 (sec)						
		SQ-1	SQ-2	SQ-3	SA-TM (HK)	X	P1-P2	TSL -SQ
DAM Reset	×- 5		-5.0					
LD-SL 2	- 5		-5.0					
TSL Enable	×+ 50							+50.0
RC 1 Start	75		+75.2					
PF on	75		75.2	+75.2				
P 1 - P 2	80		80.2				+80.2	
LD-SL 2	80		80.2					
B 1 Sep.	84		84.2	84.2		+84.2		
TVC SJ Start	85		85.2					
B 2 Ig.	86		86.1	86.1		86.1		
Roll SJ Thrust Change	116		116.2					
TVC Stop	150		150.1					
TM3 Ant Change	159		159.1					
Pitch, Yaw Reference Change	159		159.1					
NF Open	162		162.1	162.1		162.1		
SL 2 - SQ 4	170		170.1	170.1				
RC 2 Stop	221		221.1					
CN Mode Change	231		231.1					
Spin Motor Ig.	241		241.1	241.1		241.1		
Spin Rate Con System on	242		242.1					
5.6G Ant Change	242		242.1					
Spin Stop			246.3	246.3		246.3		
CM-A 3, CM-B 1 CM-A 2 Arming	250		250.1					
TSL Clock Enable	274							274
EST - SA Start	△ 387		362.4					◎362.1
CN Sep.	△ 389		364.4	364.4		364.4		◎364.1

◎ : ×+197~199.4秒に5.6G Hz RTよりT-24送信し, TSLにてEST-SA Start, CN Sep秒時を修正する.

△ : EST-SA Startを修正コマンド0秒で行なった場合の値を示す.

第2表 (b-2) M-3H-2 衛星タイマ動作結果

項 目	設定秒時 (秒)	動作秒時 (秒)			
		S Q - 2	S Q - 3	SA - SQ	X
EST-SA Start	387	362.4	—	—	—
B2 Sep.	389	364.4	364.4	—	364.4
M-3A Ig.	394	—	—	354~474	369.7
M-3A Ig.(BK)	395	—	—	—	—
SA Sep.	504	—	—	480	—
Ig Arming - 1	3087	—	—	3063	—
KM Ig.	3227	—	—	3203	—
KM Sep.	3327	—	—	3303	—
Ig Arming - 2	3907	—	—	3883	—
ND on	3907	—	—	3883	—
Y-SA off	3907	—	—	3883	—
EST-SA Sep.	3917	—	—	3893	—

注) SA SEP (+504 秒) 以降のシーケンスは地球一周目のデータレコーダのデータより動作を確認した。

第2表 (c-1) M-3H-3 MT2-1,2 動作結果

項 目	設定秒時 (秒)	確 認 項 目						
		SQ-2	SQ-3	SQ-4	X	TSL-SQ	P1	P2
LD-SL2	×- 5	-5.0						
DAM RESET	5	5.0						
SO ARMING (CM-A1)	+ 5	+5.2						
RCI START	75	75.35						
P1-P2, SL2-LD	80	80.2					80.2	80.2
RJ-PS OFF	80	80.2						
B1 SEP	84	84.3	84.3		84.3			
TVC START	85	85.3						
ROLL SJ START	85	85.3						
B2 IG	86	86.3	86.3		86.3			
ROLL SJ CHANCE	116	116.3						
TVC STOP	150	150.3						
PITCH YAW SJ START	151	151.3						
TM3 ANT CHANCE	159	159.3						
PITCH YAW REF CH	159	159.3						
NF OPEN	162	162.3	162.3		162.3			
T-35 (CM-B2)送信	—					197.4-199.6		
RC2 STOP	221	221.3						
CN MODE CHANGE	231	231.3						
SPIN IG	241	241.3	241.3		241.3			
SPIN RATE ON	242	242.3						
5.6G ANT MODE CH	242	242.3						
SPIN STOP	—	246.3	246.3		246.4			
CM-A3 MODE CHANGE	250	250.3		250.3				
CM-A2 ARMING	250	250.3						
CM-B1 ARMING	250	250.3						
CM-A3 送信	—	259.75						
EPT-SA START	295	263.2						
B2 SEP	297	264.8						
CM-A2 送信	—	266.68						
CM-B1 送信	—	267.10						
M-3A IG	302				270.2			

第2表 (c-2) M-3H-3 衛星タイマ動作結果

項 目	設定秒時 (秒)	確 認 箇 所		
		X	SQ	HK
M-3A IG	Y+ 7	270.2	--	--
Ysa CHANCE	75	--	--	384
M-3A SEP, KM-B IG	77	--	--	400
SA SEP	162	--	440	--
ND ON	175	--	--	--
EPT-SA STOP	303	--	--	1 周後確認

注-1) Y = 262.8 秒

注-2) HK データのスキャンは 64 秒/回の為、正確な作動秒時は判明しない。

第3表 飛しょう前試験にて発生した問題点

号 機	問 題 点	原 因	処 置
M-3H-1	TSL 出力せず (51. 9. 16)	クロックカウンターのオーバフロー	クロック・エネーブル秒時と出力加算レジスタの変更
	TSL 「T-1」を受信 (51. 9. 16)	電圧急降下により 5.6 GHz のレーダ用ミニコンがダウンして「T-1」を送信	専用電源を確保
	LEDEX-SWによる導通チェック一部測定出来ず (51. 11. 27)	リレー内のアーム押し圧不足による動作不良	リレーの交換
	PC アンサーのリセット不能 (51. 12. 14)	ロケット壁タイマコネクタの接触不良	タイマコネクタを差し直す
	LEDEX-SWによる零チェック値大 (52. 1. 13)	切換スイッチの接点に酸化膜発生	電源を流し、接点をクリーニング
	タイマスピードアンサーの誤動作 (52. 1. 12)	X-30 秒にコントローラからのノイズ	入力回路にコンデンサーを追加
M-3H-2	タイマシーケンス一部出力せず (52. 11. 26)	地上チェック装置のプリント基板接触不良	差し直す
M-3H-3	タイマラインに誘導電圧 (53. 7. 4)	CN-E, CN-SJ からの誘導	コンデンサーの取付
	タイマ操作電圧の波形異常 (53. 7. 4)	コンデンサーの欠落	コンデンサーの取付

7. 地上系の改修

地上系についても極力改修項目を抑えほぼM-3Cと同じ状態で使用したが、TSLの採用や衛星タイマ系の変遷などに対応するため第4表の様な小改修がなされた。

第4表 地上管制系の改修事項

	改修項目	概要
1.	衛星タイマ(MT-SA, EST-SA)管制系の増設	タイマ管制盤面のMT-3系統の表示スイッチを流用し、MT-SA系のスタートラインアンサー、リレーアンサー、EST-SA系のスタートラインアンサー、スタートスイッチ、さらにMT、EST系共通のタイマリセット表示スイッチを増設。回線は揺動ビームまでKE班ケーブルを借用した。
2.	タイマ電源充電回路の新設	管制室内から、タイマ電源の充電を可能とするため、タイマ管制盤前面下部にコネクタを設け、回線は揺動ビームまでKE班ケーブルを借用して充電回路を新設した。
3.	非常停止機能の追加	発射スケジュール内の点火回路準備了(IG-REDY)の後、各コマンド(CM)の発射側表示のいずれか1つでも断、又は安全側となった場合、自動的に非常停止が作動する機能を追加した。
4.	点火系ランチャブーム端子箱の改修	ランチャブームの背面に取付けられた端子箱内の端子台および端子の腐食がひどいので、新品と交換するとともに、箱本体の内面塗装とパッキングの交換を行った。
5.	塔下ケーブルダクトの補修	整備塔地下室の接続箱から整備塔背面の第1中間SW箱に至るケーブル用ダクトの腐食部分を補修した。
6.	装置内リレーの一部分交換	既設のプラグイン形リレーは湿気等により接点不良が出始めたので、これと同型のハーメチックシール型リレーを準備し、不具合の現れたものから順次交換を行うこととした。

冒頭に述べた様に、M-3Hのタイマ・点火・SO系はM-3Cの実績を重んじた保守的方針に従った。このため重複をさげここに記述されなかった部分的詳細については、宇宙研報告M-3C特集号などを参照していただきたい。

タイマ・点火・SO系は誘導制御系と共にロケットの頭脳と中枢神経ともいえる部分であり、その重要性は改めていうまでもない。しかし、その信頼性を強調する余り技術的進歩に立ち遅れ陳腐化してしまうことも研究的立場からは許容し難い。この両面を調和しつつ技術の進歩に貢献することは宇宙技術全般にわたる課題でもあるが、M-4S以来のメカニカルタイマによるシステムがM-3Cにおいて一応完成の域に達した現在、まさに我々の直面している課題でもある。

1979年12月11日 新設部(工学)