

M-3S のタイマ・点火・SO 系

秋葉 鎌二郎・中部 博雄・相原 賢二
関 俊雄*・古橋 五郎*・山本 新一*

(1986 年 3 月 19 日受理)

タイマ点火系は制御部と共にロケットの中枢神経系とも言える。このためその信頼性確保は絶対的要件である。そこでこれまで新技術の採用には慎重に対応し、M-3H 型までは電動モータでロータリスイッチを駆動する型のメカニカルタイマを用いてきた。

しかし一方、小型軽量化、高精度化、シーケンス変更への柔軟性など性能一般に対する要求が高度化するのも趨勢であり、旧形式を固守することが必ずしも最善の策とは言い難い。また旧式を維持することが部品の入手性から不可能となる事態もまま見受けられる。

この様な背景から M-3H の時期においてすでに衛星タイマ系については段階的に電子式タイマの使用に踏み切った訳であるが、M-3Sにおいては当初より第二段搭載の主タイマ系に対し電子式タイマが採用された。この電子式タイマは 1 号機の飛翔に先立って L-4 SC-5 に搭載し飛翔テストにより機能が確認された。

点火系の安全は点火回路にいくつかの安全リレーを挿入することで配慮されているが最も信頼のおけるスイッチとして M-3H まで長い間火薬で作動するプッシュアコネクタ(PC)が用いられてきた。しかし、繰り返し使用が出来ないため準備作業に手間どることが欠点であった。そこで M-3S 型では接点間距離が十分にとれるモータスイッチを開発しこれを PC に代えることとした。このモータスイッチはスペースシャトル搭載の科学機器 SEPAC の高圧系にも用いられた。更に点火安全を目的として機械的に各段モータの点火を遮断する機構 SAD (セイフ・アーム) 装置を段階的に採用し究極的にすべて遠隔で作動出来る様計画が立てられた。M-3S 型では 4 号機において 1, 2 段に電動式 SAD 装置を施したが、補助ブースタについては手動 SAD の段階に止めた。

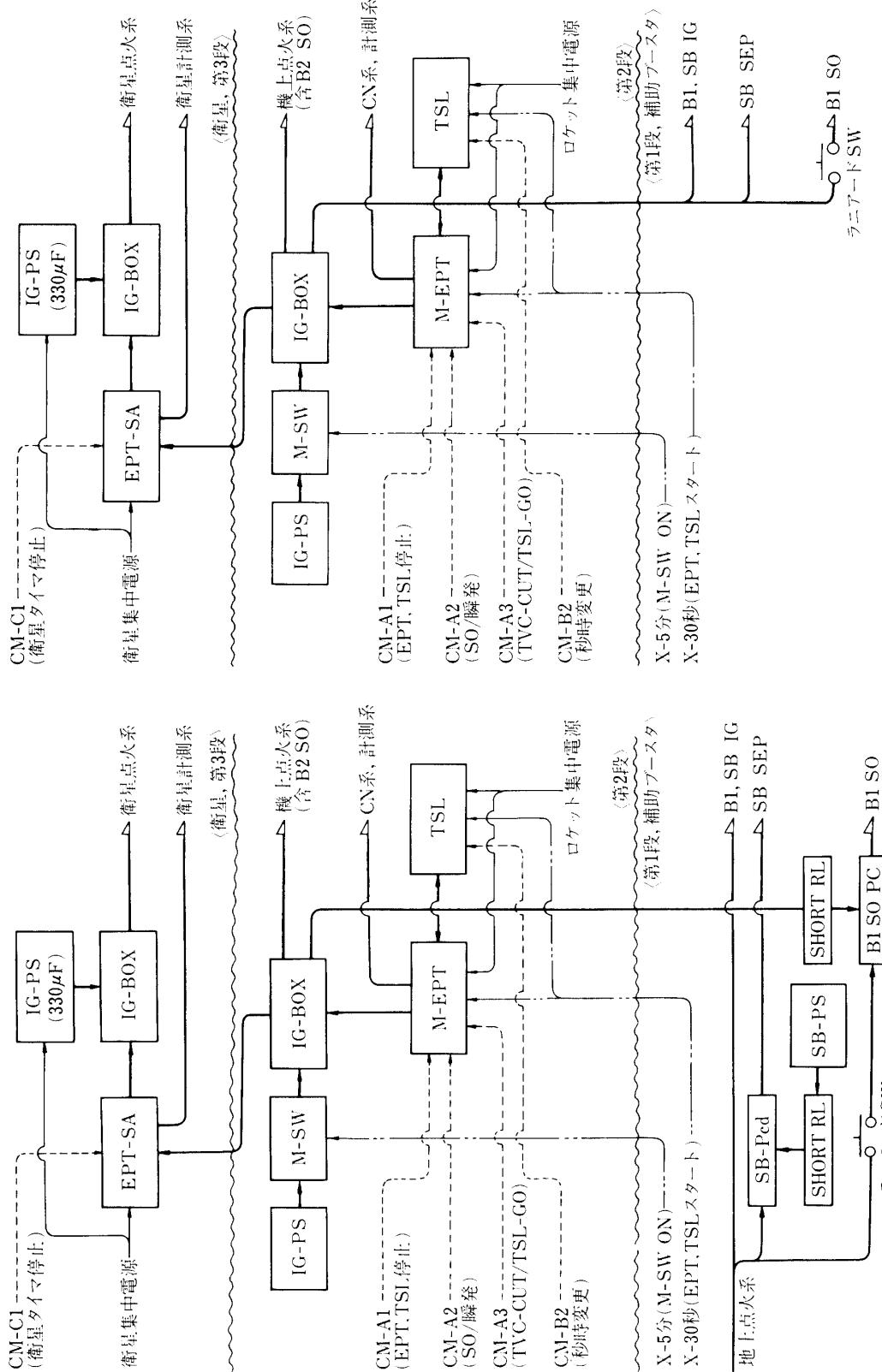
また、M-3S 計画の中途より M-3S II 計画がスタートしたためこれへ向けての地上系改修に呼応し、地上点火系の廃止に伴う大幅な簡素化が 3 号機以降施された。

すなわち、従来地上電源により行ってきた第 1 段と補助ブースタ点火をすべて機上点火系で行うシステムと共にそれまで歴史的にやや特別な扱いとなっていた第 1 段の破壊安全装置の点火回路を見直し簡素化した。

その他各号機毎に少しづつ改良が加えられているが大変更は 2, 3 号機の間に見られるので、ここには 1, 2 号機と 3, 4 号機のシステム系統図をそれぞれまとめて第 1 図、第 2 図に示し、各号機別にわたる主な改良点を第 1 表にまとめておく。

また、コマンド系は使用できる回線数に変わりはないが第 1 段 TVC 及び SMRC の出現

* 松下通信工業株式会社



第1図 M-3S-1, 2点火タイマ系システム系統図

第2図 M-3S-3, 4点火タイマ系システム系統図

に伴う用途変更と瞬発に関する冗長性が過度であったとの理由から CM-B1 の廃止がなされた。

衛星タイマについてはすでに M-3Hにおいて観測ロケットで実証ずみのピンボードによるシーケンス設定方式の電子式タイマの採用に踏み切ったが、M-3Sにおいてもこの型を 3号機迄継承した。しかし 4号機の「おおぞら」では基本的に M-EPT と同様の方式を採用し一層の軽量化と精度向上が達せられた。ここでは、これ迄の電子式タイマを EPT-SA-1 型 4号機のそれを EPT-SA-2 型と命名しておく。

以下 M-3S のタイマ点火系を構成する主要部につき若干の説明を加える。

第 1 表 M-3S 型の各号機別にわたる主な改良点

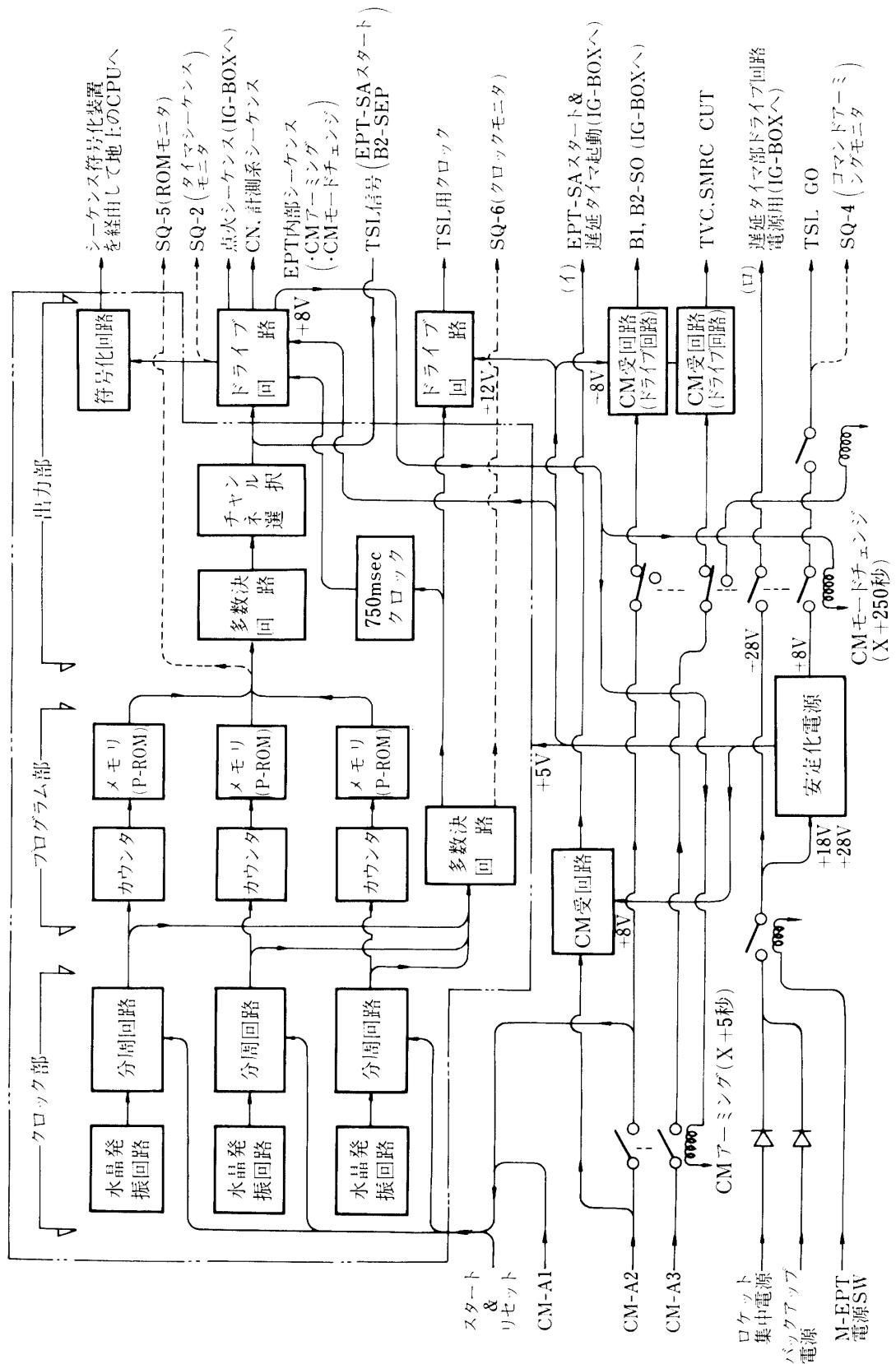
	タイマ系	点火系、他	衛星タイマ点火系
M-3H-3 ↓ M-3S-1	①機械(モータ付)式タイマ(MT)から電子式タイマ(M-EPT)に変更 ②管制盤とのインターフェースにフォトカプラ採用	①火工品コネクタ(PC)からモータスイッチ(M-SW)に変更 ②CM-B1(瞬発)の廃止 ③点火項目 SMRC IG 追加	EPT-SA-1 型 (M-3H-3 より採用)
M-3S-1 ↓ M-3S-2	TSL 内蔵クロック(CR)を廃し、M-EPT(水晶)より供給		
M-3S-2 ↓ M-3S-3		①地上点火系を廃し、全て機上点火系に統一 ②点火系導通チェック回路を電子化(LEDEX-SW→IG-SL) ③B1-SO(DESTRUCT)の簡素化 ④点火項目 B1-IG, SB-IG, SB-SEP の追加 ⑤タイマ点火管制装置更新	
M-3S-3 ↓ M-3S-4	TSL の IC を TTL から C-MOS とし、低電力化をはかる	第 1 段、第 2 段モータ点火器にリモート SAD を採用	EPT-SA-2 型の採用 (高精度、小型、軽量) (一体化)

1. 電子式タイマ (M-EPT)

システム構成は第 3 図に示したように主要要素としてクロック部、プログラム部、出力部よりなる。

信頼性確保のためクロック部とプログラム部はそれぞれ 2 out of 3 方式の冗長性をもたせ、3つのうちの 2つが一致する時に有効出力を送出する。クロック部は水晶発振回路を使用、プログラムには P-ROM を用いている。点火系は二重の冗長性を持たせている。

動作原理は水晶発振回路での原振(32.768 KHz)を 1 Hz に分周し、その 1 Hz をカウントして、メモリ(P-ROM)のアドレスに入力する。P-ROM には時間に相当するアドレス部に出力信号番号を設定し、その出力信号をデコードして出力回路(最大 31 項目)に信号を送る方式をとっている。各出力信号は 0.75 秒の時間幅をもっている。管制盤とのインターフェースにはフォトカプラを極力使用し、対雑音や電磁気的干渉を避ける様留意した。



第3図 M-EPT系統図 (M-3 S-3, 4)

また出力回路にはトランジスタを使用し、振動衝撃に弱いリレー数を極力減らすことを心がけた。電子式タイマはまた外部の電磁環境について一層の配慮を必要とするため入出力にはフィルタ付きコネクタを使用した。また、電力消費の低減を目的とし、C-MOS ICを使用している。またタイマチェック時に出力を判別するためシーケンス符号化マトリックス回路が組込まれている。

M-EPTの電源は平常時はロケットの集中電源から供給されるが、事故による瞬断時にはバックアップ用の専用電源がこれに代わる。タイマの発射時起動は第1段点火時刻Xの30秒前に点火マイマ管制装置からのスタート信号で行われる。

M-EPTの基本仕様を第2表に示す。

第2表 M-EPT 基本仕様

① 方式	: クロック部 2 OUT OF 3 プログラム部 2 OUT OF 3 点火系出力部 デュアル 制御系出力部 シングル
② 発振方式	: 水晶発振方式 (原振: 32.768 kHz)
③ プログラム方式	: P-ROM
④ 最大設定項目数	: 点火系 9項目 制御系21項目
⑤ 最大設定可能時間	: X +993 秒
⑥ 最小時間間隔	: 1秒
⑦ 出力信号時間幅	: 750 msec ±10%
⑧ 出力信号	: 点火系 6.2V ±0.5V 制御系24.4V (+ 6 V, - 2 V)
⑨ 駆動電圧、消費電流	: +18V (+ 4 V, - 2 V) 300 mA +26V (+ 6 V, - 2 V) 100 mA
⑩ 外形寸法	: 200×207×200 mm
⑪ 重量	: 8 kg

2. タイムセレクタ (TSL)

M-3Hより使用してきたものと基本的に変わらない。ロケットの飛翔中に飛翔軌道のずれに応じ第3段点火時刻をコマンドにより最適な秒時に修正することを目的に本体のM-EPTに対し補助的に使用される。

2号機以降はTSLに必要なクロックはM-EPTより供給することとした。また4号機では低電力化を目的とし TTLに代わり C-MOS が使われた。

3. IG-BOX

タイマ本体 (M-EPT ならびに TSL) からの信号、及びコマンド信号により点火リレー類を作動させ、点火電源で各段の点火、切り離しと衛星タイマの起動を司る。また飛翔前に点火系の導通抵抗を遠隔操作で測定するための回路が組込まれている。IG-BOXの構成要素は以下の通り

- ・点火リレー部
- ・イグナイタセレクタ部
- ・遅延タイマ部
- ・安全リレー部
- ・安定化電源部

点火リレーは各点火項目に二個ずつ設けられタイマ本体よりの信号に応じ点火電源より対応する点火回路に電流を供給する。この電流はパルストラnsで検出されてテレメータで監視される。イグナイタセレクタ (IG-SL) は M-3 S-2 号機迄用いられてきた LEDEX-SW と同等の機能を有し、これを電子化したものである。

動作原理は地上装置から、ある点火信号に相当するチャンネル信号をパラレルのバイナリコードとして、IG-BOX に内蔵されている IG-SL 部に送り、それをシリーズ変換して地上装置（一致回路）に戻す。

そこで、送ったバイナリ信号と戻って来たシリーズ信号がそれぞれ選択しようとするチャンネル番号と一致した時のみ、バイナリコードをデコードして、そのチャンネルに相当する点火リレーを駆動させる。

このようにして点火リレーを選択切り替え、打ち上げ準備作業中における点火系導通抵抗の遠隔操作を可能とする。

遅延タイマはいわゆる瞬発コマンド (CM-A 2) を受け、衛星タイマの起動後約 60 ms の遅れを経て 2~3 段切り離し信号が出力される様組込まれたものである。

安全リレーはモータスイッチに加え点火系を点火電源から切り離し点火作業の安全を 2 重に確保することを目的としており、このトランスマニア接点を介してイグナイタセレクタを操作することで各点火回路のチェックを行う。

安定化電源はイグナイタセレクタ回路に地上管制装置から送られてくる電源を安定化して供給すると共に、集中電源より送られてくる電源を安定化し、遅延タイマ部に供給する。

IG-BOX の系統図と基本仕様を第 4 図・第 3 表に示す。

3. モータスイッチ

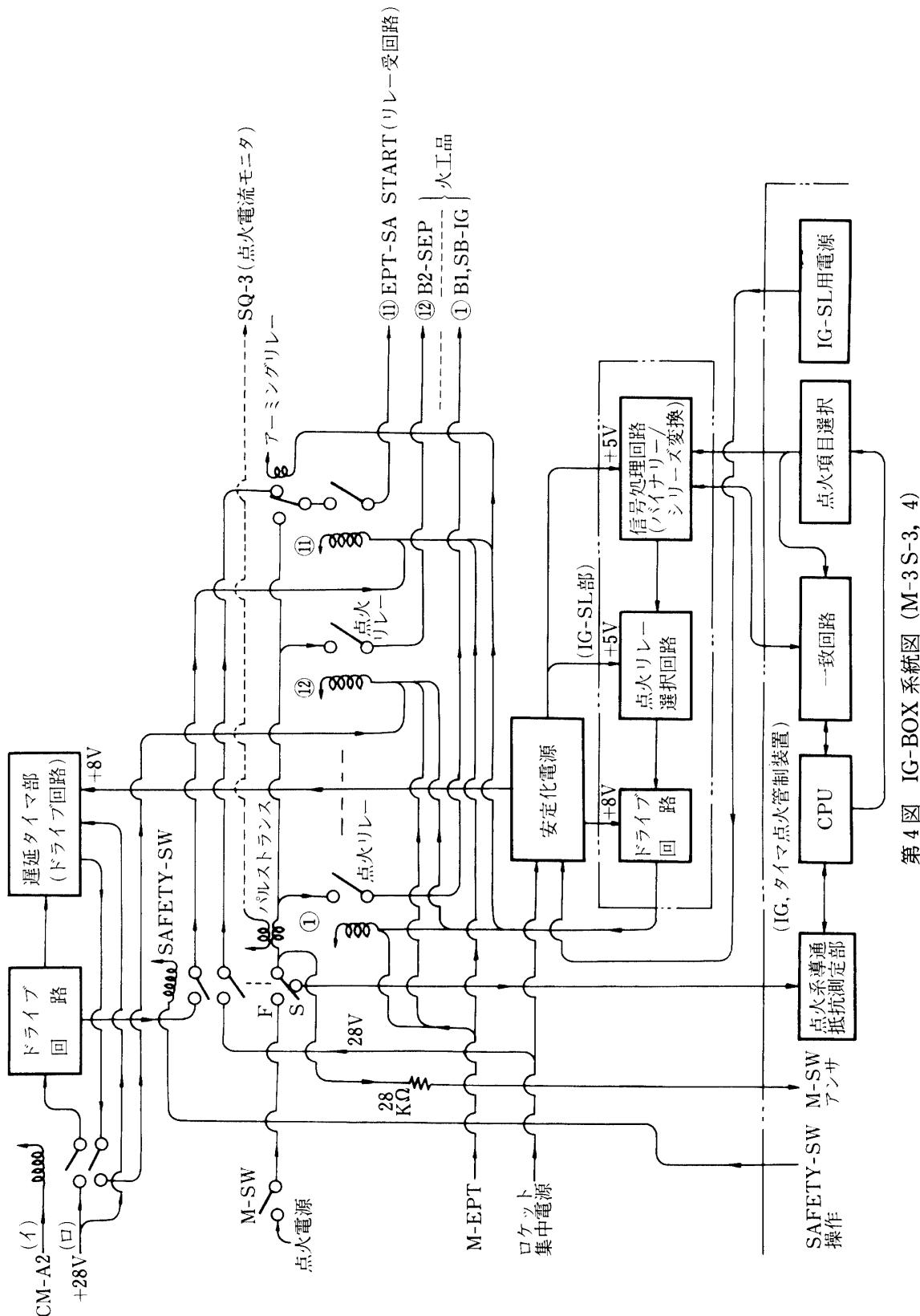
遠隔で繰り返し ON-OFF 可能な接点間距離の大きい安全スイッチとして開発された。構造的にはナイフスイッチを電動モータで駆動する形式である。基本仕様を第 4 表に示す。

4. 衛星タイマ・点火系

M-3 H-3 号機以後基本的変更はない。

M-3 S-4 号機では一層の軽量化への要請に応え M-EPT の方式を適用し、またリレー部、バックアップ電源部を一体化した。これにより従来合計 3.3 kg のシステムを 1.75 kg とすることことができた。

点火用電源は集中電源より適当な時定数を経て $330 \mu\text{f}$ のコンデンサに充電しておき、所要のエネルギーを点火玉に供給する方式で M-4 S-1 以降用いられている。



第4図 IG-BOX系統図 (M-3 S-3, 4)

第3表 IG-BOX 基本仕様 (M-3 S-3, 4)

1) 点火リレー部	
①点火系供給電源	: DC 28V ± 4 V
②点火リレー駆動電圧, 電流	: DC 6.2 V, 1 A 以下
③点火回路	: デュアル
④点火リレー出力項目	: B1, SB IG SMRC IG SB SEP B1 SEP NF OPEN SP IG SP STOP (CN からの信号による) B2 SEP B1 SO B2 SO
2) イグナイタセレクタ部 (IG-SL)	
①チャンネル選択	: 1 チャンネル 0 Ω 校正用 1 チャンネル 5 Ω 校正用 29 チャンネル 抵抗測定用
②チャンネル選択信号	: バイナリコード (5 ビットパラレル)
③照合用信号	: 8 ビットシリアル
④選択信号レベル	: 負論理
3) 遅延タイマ部	
①瞬発コマンドリレー駆動電圧	: DC 6 V
駆動電流	: 0.35 A 以下
②B2 SEP信号遅延時間	: 60 ± 20 msec (EPT-SA スタートから)
4) 機械的性能	
①外形寸法	: 240 × 175 × 212 mm
②重量	: 7 kg

5. SO コマンド系

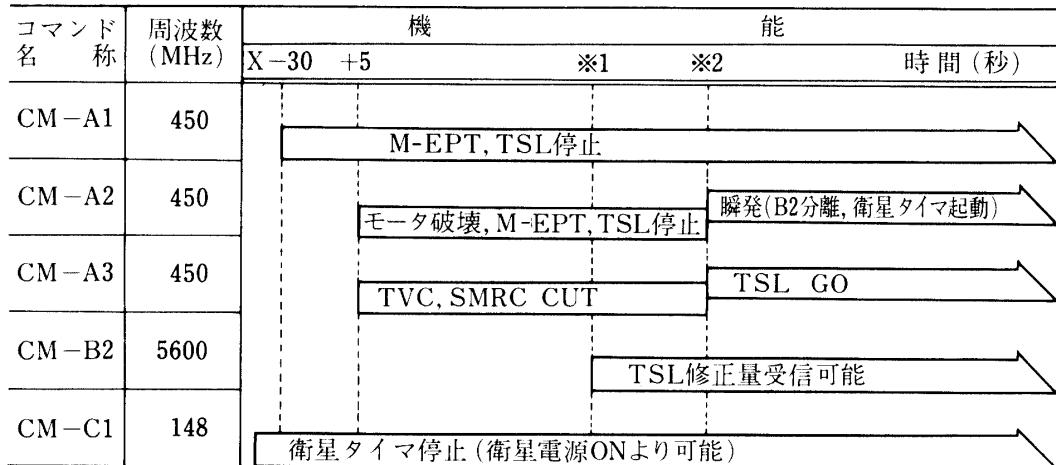
第5図にコマンドの機能を図解して示す。M-3 Sにおいてもコマンドの組み合わせと送り出時刻の関係で複雑な事象が生起する。そこで M-3 H 特集号で示した様なモード図を各号機毎に作成し、実際の保安作業の遂行に遺漏なきを期した。それらについては紙面の都合上今回は掲げない。

6. 飛翔実験

各号機について、計画秒時と実行秒時を比較し第5表(1)～(4)にまとめた。これらに見られる様に M-3 S タイマ・点火・SO 系の動作は飛翔においては全く正常であった。しかし、それ迄の整備過程においてはいくつかの小さな不具合が発生しており、対策として設計上対応できるものについては第1表以外にも細かい変更が加えられており信頼性向上への努力が積み重ねられた。

第4表 M-SW 基本仕様

1) 接点部	
①接点構成	: メイン 4PDT (BREAK-BEFORE-MAKE) モータ 1PDT (BREAK-BEFORE-MAKE)
②接点定格	: メイン (ノンスイッチング) 40 A, 1秒ON/5秒OFF 5分間 60 A, 1秒ON/30秒OFF 10分間 モータ (スイッチング) 0.1A, 30V-DC
③接点電圧降下	: メイン 100 mV 以下 (60A, 28V-DC にて) モータ 100 mV 以下 (0.1A, 5V-DC にて)
④絶縁抵抗	: 500 MΩ 以上 (500V-DC にて)
⑤耐電圧	: 550 Vrms, 1分間 (50 Hz にて)
⑥動作時間	: 0.8 秒以下
⑦寿命	: 100 回以上 (往復)
2) 操作部	
①操作電圧	: 28V-DC (22~31V-DC)
②操作電流	: 駆動初期 2 A 以下, 定常時 350 mA 以下
③絶縁抵抗	: 50 MΩ 以上 (500V-DC にて)
④耐電圧	: 500 Vrms, 1分間 (50 Hz にて)
3) 機械的性能	
①気密度	: 1×10^{-5} cc/sec 以下
②ケース	: 銅ケースに錫メッキ
③外形寸法	: $\phi 100 \times 100$ mm
④重量	: 1.2 kg



※1 : CM-ENABLE (1号機 = 50秒, 2号機 = 152秒, 3,4号機 = 159秒)

※2 : CM-A2,A3 MODE CHANGE (1,2号機 = 200秒, 3,4号機 = 250秒)

第5図 タイマ, 点火系コマンドモード

第5表(1) M-3S-1飛しょう結果

◆M-EPT

項目	設定秒時	動作秒時
M-EPT START	X-30秒	X-29.8秒
SMRC STANDBY	20	19.8
B1 PITCH PRG START	+ 3	+ 3.2
SMRC IG	4	4.2
CM-A2,A3 ARMING	5	5.2
B1 TVC START	6	6.2
B1 TVC STOP-1	20	20.2
RC-1 START	35	35.2
B1 TVC RESTART	40	40.2
B1 TVC STOP-2	65	65.2
RC-2 START	75	75.2
B1 CNE STOP	80	80.2
SMRC STOP	80	80.2
P1-P2	80	80.2
B1 SEP	84	84.2
B2 TVC ROLL SJ START	85	85.2
B2 IG	86	86.2
ROLL SJ THRUST CHANGE	116	116.2
B2 TVC STOP	150	150.2
PITCH YAW SJ START	151	151.2
REFERENCE CHANGE	159	159.2
TM-3 ANT CHANGE	159	159.2
NF OPEN	162	162.2
CM-A2, A3 MODE CHANGE	200	200.2
RC-2 STOP	221	221.2
SA 5.6 RT ON	221	221.2
CN MODE CHANGE	231	231.2
SPIN MOTOR IG	241	241.2
SPIN RATE CONTROL ON	242	242.2
RB 5.6 RT OFF	242	242.2
SPIN STOP	CN より	245.8
EPT-SA START	442	—
B2 SEP	444	—

◆ TSL

項目	設定秒時	動作秒時
TSL START	X- 30秒	X- 29.8秒
CM ENABLE	+ 50	+ 50.0
CLOCK ENABLE	329	329.5
EPT-SA START	442	455.4
B2 SEP	444	457.4

◆ コマンド

コマンド	受信秒時(秒)	修正量(秒)
CM-B2	194.0～194.6	T + 12
CM-A3	351.9	—
CM-A2	462.8	—

T = 442 秒

◆ EPT-SA

項目	設定秒時	動作秒時
EPT-SA START	Y秒	455.4秒
M-3A IG	+ 7	462.3
M-3A SEP	117	572.3
Y-SA CHANGE	119	574.3
SA-RT OFF	160	615.3
IG ARMING	240	* (695.3)
EPT-SA STOP	250	705.3

* : X+693～697 SEC. までのSA-SQデータが受信状態不調の為 IG ARMING の出力を確認する事が出来ないがタイマーケンスの前後関係から695.3 SEC. であろうと思われる。

第5表(2) M-3S-2飛しょう結果

◆M-EPT		◆TSL			
項目	設定秒時	動作秒時	項目	設定秒時	動作秒時
M-EPT START	X-30秒	X-29.7秒	TSL START	X-30秒	X-29.7秒
SMRC STANDBY	20	19.7	CM ENABLE	+152	+152.3
B1 PITCH PRG START	+ 3	+ 3.3	CLOCK ENABLE	345	345.3
SMRC IG	4	4.3	EPT-SA START	458	472.0
CM-A2, A3 ARMING	5	5.3	B2 SEP	460	474.0
B1 TVC START	6	6.3			
B1 TVC STOP-1	20	20.3			
RC-1 START	35	35.3			
B1 TVC RESTART	40	40.3			
B1 TVC STOP-2	65	65.3	◆コマンド		
RC-2 START	75	75.3	コマンド	受信秒時(秒)	修正量(秒)
B1 CNE STOP	80	80.3	CM-B2	194~195	T+14
SMRC STOP	80	80.3	CM-A3	397.7	—
P1-P2	80	80.3	CM-A2	483.5	—
B1 SEP	84	84.3			
B2 TVC ROLL SJ START	85	85.3			T=458秒
B2 IG	86	86.3			
ROLL SJ THRUST CHANGE	116	116.3	◆EPT-SA		
B2 TVC STOP	150	150.3	項目	設定秒時	動作秒時
PITCH YAW SJ START	151	151.3	EPT-SA START	Y秒	472.3秒
REFERENCE CHANGE	159	159.3	M-3A IG	+7	479.4
TM-3 ANT CHANGE	159	159.3	M-3A SEP	117	589.4
NF OPEN	162	162.3	Y-SA CHANGE	119	*
CM-A2, A3 MODE CHANGE	200	200.3	IG ARMING	240	*
RC-2 STOP	221	221.3	EPT-SA STOP	250	*
CN MODE CHANGE	231	231.3			
SPIN MOTOR IG	241	241.3			
SPIN RATE CONTROL ON	242	242.3			
SPIN STOP	CNより	246.3			
EPT-SA START	458	—			
B2 SEP	460	—			

* : SA-SQ データ受信不良により
シーケンスは衛星が地球一周後
に動作確認を行なった。

第5表 (3) M-3S-3飛しょう結果

◆ M-EPT

項目	設定秒時	動作秒時
M-EPT START	X-30秒	X-29.95秒
SMRC READY	20	19.95
DAM RESET	5	4.95
B1, SB IG	X = 0 +	0.05
B1 PITCH PRG START	+ 3	3.05
SMRC IG	4	4.05
CM-A2, A3 ARMING	5	5.05
B1 TVC START	6	6.05
SB SEP	9	9.05
B1 TVC STOP-1	20	20.05
RC-1 START	35	35.05
B1 TVC RESTART	40	40.05
B1 TVC STOP-2	55	55.05
RC-2 START	75	75.05
B1 CNE STOP	80	80.05
SMRC STOP	80	80.05
P1-P2	80	80.05
B1 SEP	84	84.05
B2 TVC ROLL SJ START	85	85.05
B2 PITCH PRG START	85	85.05
B2 IG	86	86.05
ROLL SJ THRUST CHANGE	116	116.05
B2 TVC STOP	150	150.05
PITCH YAW SJ START	151	151.05
REFERENCE CHANGE	159	159.05
TM-3 ANT CHANGE	159	159.05
NF OPEN	162	162.05
RC-2 STOP	221	221.05
CN MODE CHANGE	231	231.05
SPIN MOTOR IG	241	241.05
SPIN STOP	CN より	245.5
CM-A2, A3 MODE CHANGE	250	250.05
EPT-SA START	447	—
B2 SEP	449	—

◆ TSL

項目	設定秒時	動作秒時
TSL START	X-30秒	X-29.95秒
CM ENABLE	+ 159	+ 159.05
CLOCK ENABLE	325	325.1
EPT-SA START	438	446.1
B2 SEP	440	448.1

◆ コマンド

コマンド	受信秒時(秒)	修正量(秒)
CM-B2	194	T + 8
CM-A3	300.2	—
CM-A2	450.5	—

T = 438 秒

◆ EPT-SA

項目	設定秒時	動作秒時
EPT-SA START	Y 秒	446.1秒
START ANS	+ 1	447.9
M-3A IG	7	453.9
M-3A SEP	117	563.9
ACC CHANGE	119	565.9
IG ARMING	240	686.9
EPT-SA STOP	250	696.9

第5表 (4) M-3S-4飛しょう結果

◆ M-EPT

項目	設定秒時	動作秒時
M-EPT START	X-30秒	X-29.95秒
SMRC READY	20	19.95
DAM RESET	5	4.95
B1, SB IG	X=0	+0.05
B1 PITCH PRG START	+3	3.05
SMRC IG	4	4.05
CM-A2, A3 ARMING	5	5.05
B1 TVC START	6	6.05
SB SEP	9	9.05
B1 TVC STOP-1	20	20.05
RC-1 START	35	35.05
B1 TVC RESTART	40-	40.05
B1 TVC STOP-2	55	55.05
RC-2 START	75	75.05
B1 CNE STOP	80	80.05
SMRC STOP	80	80.05
P1-P2	80	80.05
B1 SEP	84	84.05
B2 TVC ROLL SJ START	85	85.05
B2 PITCH PRG START	85	85.05
B2 IG	86	86.05
ROLL SJ THRUST CHANGE	116	116.05
B2 TVC STOP	150	150.05
PITCH YAW SJ START	151	151.05
REFERENCE CHANGE	159	159.05
TM-3 ANT CHANGE	159	159.05
NF OPEN	162	162.05
RC-2 STOP	221	221.05
CN MODE CHANGE	231	231.05
SPIN MOTOR IG	241	241.05
SPIN STOP	CN より	245.55
CM-A2, A3 MODE CHANGE	250	250.05
EPT-SA START	354	—
B2 SEP	376	—

◆ TSL

項目	設定秒時	動作秒時
TSL START	X-30秒	X-29.95秒
CM ENABLE	+159	+159.05
CLOCK ENABLE	241	241.05
EPT-SA START	354	373.05
B2 SEP	356	375.05

◆ コマンド

コマンド	受信秒時(秒)	修正量(秒)
CM-B2	194	T+19
CM-A3	260.4	—
CM-A2	381.5	—

T=354秒

◆ EPT-SA

項目	設定秒時	動作秒時
EPT-SA START	Y秒	373.05秒
M-3A IG	+7	380.08
M-3A SEP	117	490.08
ACC CHANGE	119	492.08
IG ARMING	240	*
EPT-SA STOP	250	*

* : SA-SQ データ受信不良により
シーケンスは衛星が地球一周後
に動作確認を行なった。