

M-4Sの点火タイマ系

秋葉 鏡二郎・加勇田 清勇・星野 一樹*
松沢 潤二**・伊東 弘二***

点火タイマ系の略号表及び記号表

ANT stretch	衛星に搭載されたアンテナ突き出し
B ₁ sep	第1段目切り離し
B ₂ "	第2 "
B ₃ "	第3 "
B ₂ ig	第2段目点火
B ₃ "	第3 "
CM on	指令電波照射
CN sep	姿勢制御部切り離し
CN start	姿勢制御装置の動作開始
CN back up	同上バックアップ
CN mode change	姿勢制御モードの変更
CN cut	姿勢制御装置の動作停止
DS ig	デスピンモータの点火
DS P on	デスピン機能停止装置用電源オン
EV on	火薬弁作動
FL opcn	フレヤの開傘
IG	点火
IG arming	安全状態から点火可能状態への変更
IG-PS	点火用電源
M	メインロケット
MT-PS	タイマ系駆動電源
MT 3-1	第3段目に搭載される1, (2)系統のタイマ
MT 4	コマンドにより作動させるタイマ
MT SA	衛星に搭載されたタイマ
MT SA start	衛星タイマの始動
MT SA stop	衛星タイマの動作停止
MT SC	タイマの異常防止回路
ND on	ニューティションダンパの作動開始
NC 1 open	頭胴部開頭 (第1段階)
NC 2 "	" (第2 ")
PC	火薬によって動作するコネクタ
PS	電源

* 松下通信工業
** 元松下通信工業
*** 日産自動車

PS	リスピンモータ
SA sep	衛星部と下段の切り離し
SM ig	スピンの点火
SO arming	保安機器類のIG arming
SOR	ラニアードロケットがランチャを離れると入るスイッチ
SR	ショートリレー
⊗	ピンジャク
+++++	コネクタ及びピンジャクを通じて地上より操作のできる回線
-----	点火及び安全コマンド回線
□	動作応答のとれるもの
□	シャタイプのコネクタ
▨	結線及び接続コネクタ
▩	段間コネクタ
▧	火工品

点火玉の主要特性

	ブリッジ抵抗	最少発火電流	推奨電流
通常点火玉	0.80 ± 0.05 Ω	0.5 A	2 A
鈍感点火玉	0.40 ± 0.02 Ω	1.3 A	5 A

1. 序 論

M-4 S計画は観測ロケットの技術を基盤として基本計画が立てられているので点火タイマ系も観測ロケットにおいて十分信頼性の確かめられた方式を発展させたものである。M-4 S計画に先行し、衛星打上げに対し新たに生ずるであろう諸問題を究明する目的でL-4 S計画が進められ、これは一応L-4 S-5を以て所期の目的を達した。当然点火タイマ系もこのL-4 Sシリーズにおいて新たな貴重な経験を得て改良を重ねその成果をM-4 Sシリーズに生かすことが出来た。

L-4 Sシリーズにおいて、点火タイマ系として問題となったのは、L-4 S-3とL-4 T-1であった。L-4 S-3の場合はデータをしきりに検討した結果点火器の電気回路に関しては正常に動作していたとみられ、専ら点火薬の改良に対し努力が払われた。L-4 T-1では、コマンド送信によって動作するタイマ(MT-4)の速度が標準より速くなり、第4段点火が早目となった。事後の検討によりこれはタイマに用いられているマイクロモータの速度制御回路の故障によるものと推定された。

一方、MシリーズとしてはM-4 S-1に先立ってはM-1-1とM-3 D-1の飛しょう実験が実施された。前者は、Mの第1段のみの試験であり、点火系としては単純なもので特に問題はなかったが、M-3 D-1はM-4 S-1の前段階として十分に複雑なシステムとなっていた。だ足ながらM-3 D-1の飛しょうはL-4 T-1に先立って約半月であった。

このようにM-4 Sの点火系の基本構想はかなり以前に立てられ、そのシステムとしての初めての具体化はM-3 D-1においてなされたとみられるので本稿では、これにさかのぼってその変遷のあらましを述べることにする。

2. M-4 S点火タイマ系の原型とM-3 D-1の点火タイマ系

Mの点火タイマ系を計画するに当り次の基本方針がとられた。すなわち

- (1) タイマを2系統搭載し重複系を構成する。
- (2) 飛しょう前ランチャ上でタイマと点火系のチェックが可能であること。
- (3) 第1段、第2段、第3段モータの点火器には鈍感点火玉を用いる。
- (4) 4段目点火はタイマにより標準秒時になされるか、あるいはコマンド電波によりなされるかのいずれかによる。
- (5) サブブースタ(SB)切断は別系統とし、延時薬によるスイッチ(プッシュコネクタ: PCと略称)と電源との組合せによる。
- (6) 安全装置としては、地上保安用リレーを設けるほか、飛しょう中異常に対しては、タイマ停止と同時に、各段モータの推力停止をはかる。推力停止の方法としては、第1段は成形爆薬の起動によるモータ破壊、第2、第3段は、前部鏡板の点火器取付部を中心とした部分にセパレーションナットで大口径のふたを取付け、セパレーションナットの動作でこれが外れることにより燃焼ガスが前面にも噴射しノズルによる推力を打消す方法による。

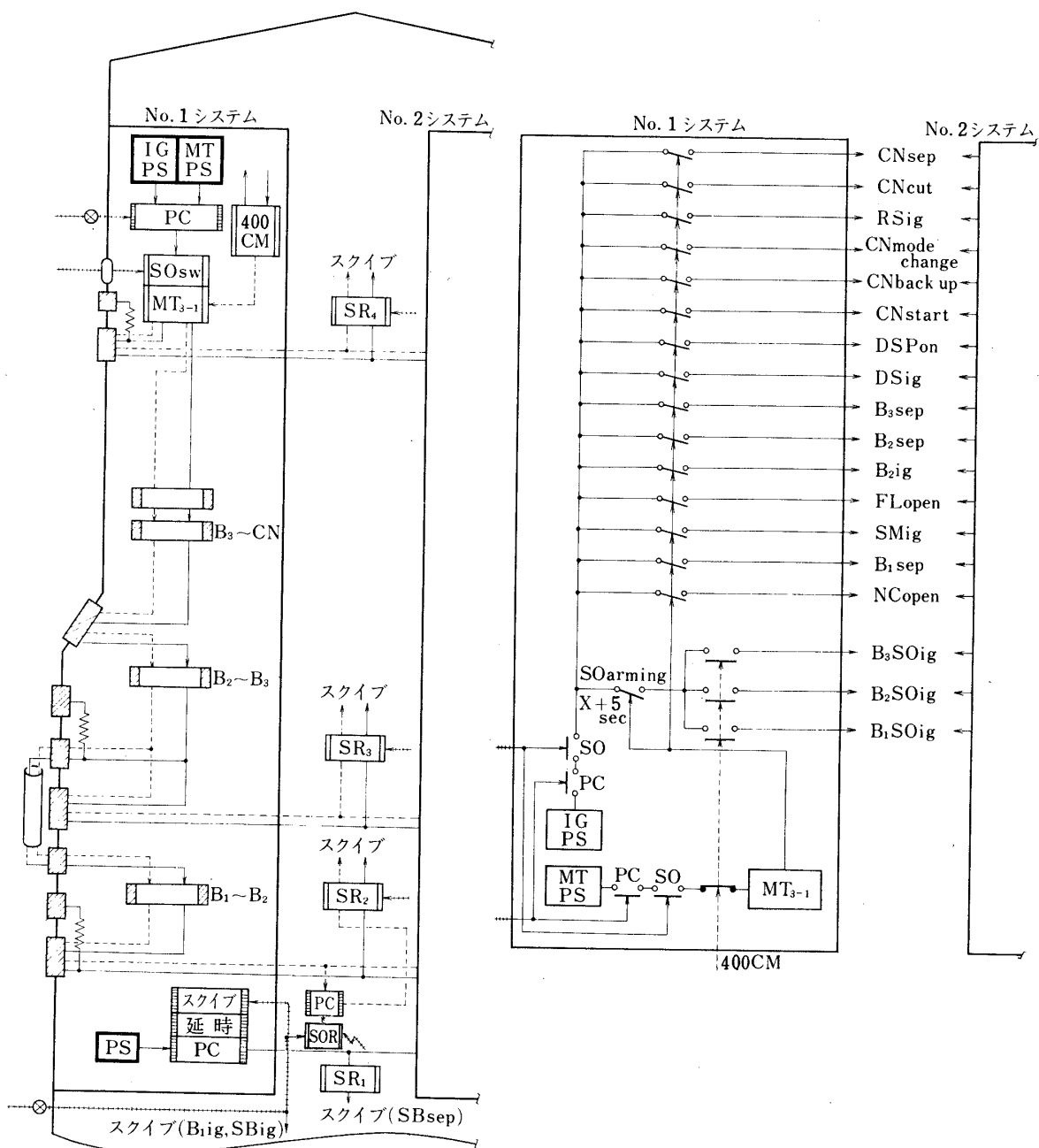
M-4 S計画以前には、機体外壁に沿うケーブルダクト内に点火用リード線を敷設する実績がなかったが、システムの信頼性を考えケーブルダクトの使用によりタイマを中央集中としこれを第3段計器部に搭載することとした。

M-3 D-1計画の初期においては、点火電流が10A程度となるため、ケーブルによる電圧降下を嫌い、点火用電源とリレー箱を1~2段間と2~3段間に設け、ケーブルダクトを通じては単にリレー駆動用信号を伝達するシステムを計画した。しかし、この様なシステムを予備的に試作した結果、

- (1) 電源が分散していることにより、これの保守と、地上保安上の配慮が複雑になる。
- (2) 点火回路チェックのためのコネクタが分散し、チェック作業が複雑になる。

ことが予想以上の欠点とみられるに至り、一方ケーブル線間の電圧降下は常識的な太さのリード線を使用することで問題がないことが確かめられたので計画を途中で変更し、第1図に示すようなM-3 D-1のタイマ点火系が採用された。

タイマはMT₃₋₁、MT₃₋₂を重複させたが、コマンドにより作動するMT₄は1系統としている。点火系は点火玉が1火工品当り原則としては2個重複させてあるが、これを別々の系統のタイマによって作動させることは、重複系の効果が期待できないので、いずれか一方のタイマで両方の点火玉が作動する結線とした。すなわち、タイマ誤差は秒のけたであり、またもし2系統の点火用リレーをいずれのタイマ接点でも働らく様にしたとしてもリレーの作動時間おくれのバラツキが1 msecのけたであって、点火玉の作動時間より1けた大きい場合、いずれか一系統の作動により他の系統が破損することとなり、点火系がいくつかの火



第1図 M-3D-1点火タイマ系統図

工品を直列につないだものである場合に最初に作動した系統に不発があっても、これにおくられて作動する系統の回路が断線してバックアップの役を果さないのである。

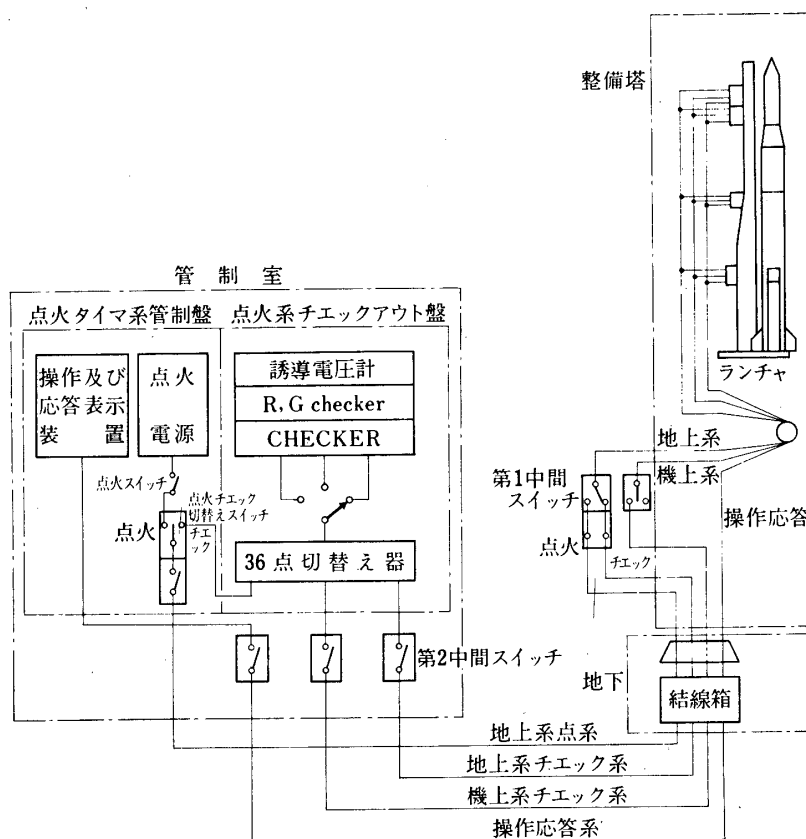
3段目に搭載したタイマより段間コネクタとケーブルダクトを通じ下段への配線がなされる。第1図中MT-PSとIG-PSはそれぞれタイマ電源および点火用電源で、これらとタイマと

の間にはPC, CM, SOの安全スイッチがある。PCはプッシュコネクタの略で火薬ピストンで結合されるコネクタでこの場合発射前30秒で作動し、これによりタイマを起動する。CMリレーは400 MHz コマンドを受信すると、推力中断と同時に各段切断を行ない同時にタイマを停止させる。SOは地上作業のための保安リレースイッチである。CMとSOは地上系より操作が可能である。

作業保安の目的の安全リレーとして、この外にショートリレー (SR) が入っており、安全側で点火回路が短絡される様になっている。

MT₄ を用いたコマンドによる最終段点火はM-3 D制御部下にある結線コネクタで、これを外しておけば機上点火系と各点火玉は切り離される。実際には飛しよう用と安全用の2種のプラグを用意しこれを場合に依り差しかえる。また、C1 は着脱コネクタでこれらを通じ発射直前まで機内配線が地上よりチェックできる。しかし、これらは安全のため高抵抗を介し引き出されるので点火玉の抵抗値を読みとることは不可能である。なお第1図にはサブブースタ切断の系統も記入してある。

地上系については第2図のブロック図で示される。ロケットと地下管制室間の配線は以下の三つのグループに分けられる。



第2図 M-3 D地上系

(1) 地上点火系 (2) 機上チェック系 (3) 操作応答系

地上点火系は第1中間スイッチで二つに分岐される。そのうち一つを地上チェック系と称し、各地上点火の点火玉の抵抗を測定できる様に配線されている。他の一つの分岐は地上点火系で地上電源で点火するのに適した配線がなされる。以上2種の配線は塔下地下の配線箱がなされる。

地上チェック系ではC-2を通じ各機上点火系の点火玉の抵抗が測定され、また発射直前にあつては着脱コネクタC1を通じて導通確認がなされる。

迷走電流に対する危険を避ける目的ですべての測定、操作系には迷走電流検知管を直列につないである。

なお地上系特に管制盤については本報告該当項目も参照されたい。

M-3D-1のタイムシーケンスとその実行秒時を第3図に示す。

項	目	設定秒時(sec)	作動秒時(sec)
N.C.	off	81.0	81.25
B1	sep	82.0	82.1
SM	ig	83.0	83.4
Flare	open	84.0	84.4
B2	ig	85.0	85.5
B2	sep	161.0	161.6
B3	sep	165.0	165.8
DS	ig	167.0	167.6
CN	start	168.0	168.8
CN	mode change	233.0	234.0
RS	ig	241.0	241.8
CN	cut	242.0	242.8
M	sep	252.5	254.3
M	ig	253.5	255.3

3. M-4S-1のタイマ点火系

M-3D-1の飛しょうよりM-4S-1の飛しょうまでは約1年の間があり、この間L-4S計画としてはL-4T-1, L-4S-4, L-4S-5の飛しょうがあり、L-4S-5では初の人工衛星「おおすみ」の打上げが成功した。タイマとしてはL-4Tにおいて動作不良があり、これがマ

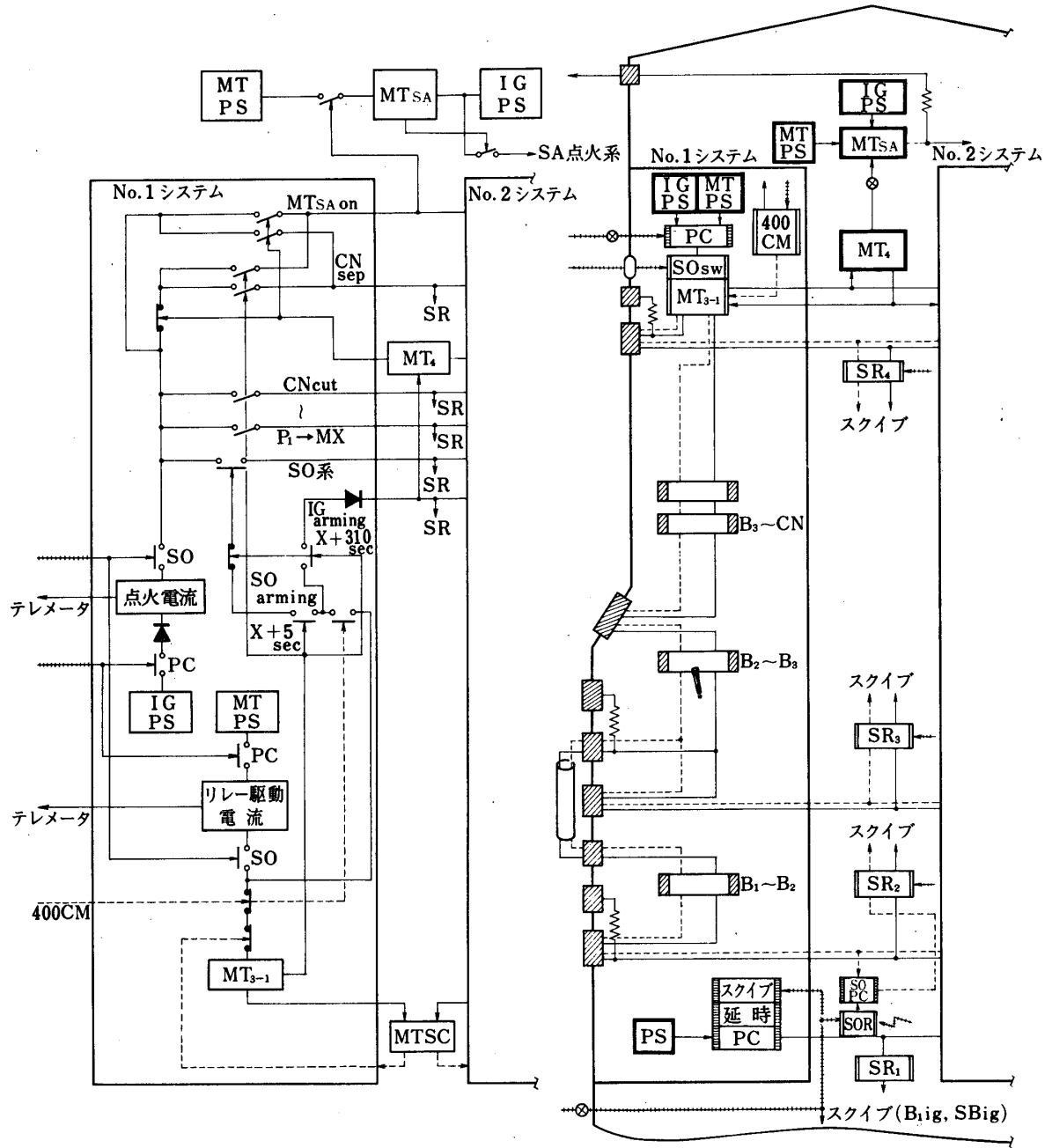
第3図 M-3D-1タイムシーケンス

イクロモータの速度制御回路の事故とみられた。M-4Sはタイマを重複させているがこの種事故に対しては逆に信頼性を下げていることとなっているので、M-4S-1以降では、いずれか一方のタイマ用モータが一定限度以上に速く回転した場合にはそのタイマを停止させる異常防止回路を設けた。

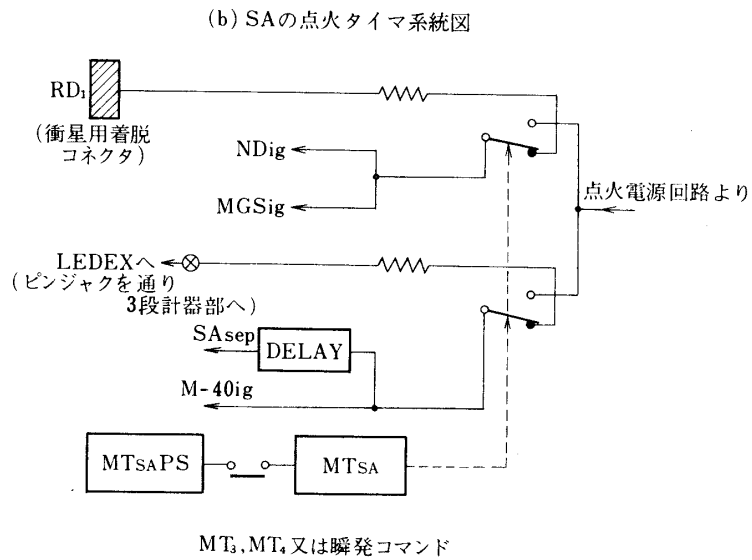
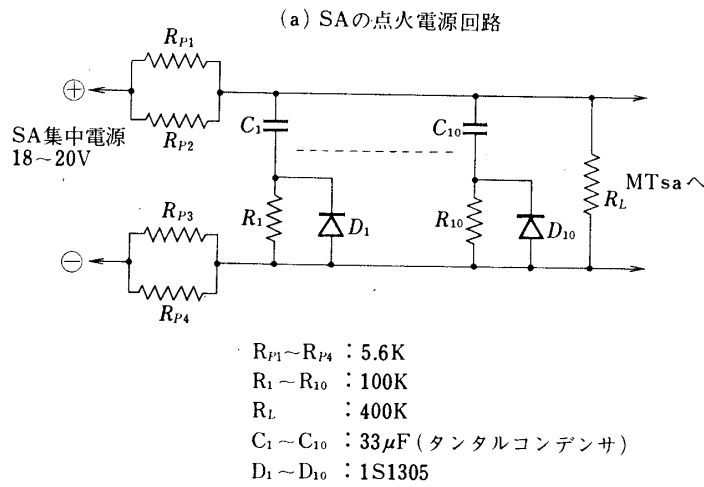
またM-4S-1は衛星打上げ用であるので最終段点火コマンド用のMT4を搭載した。MT4は1基である。

第4図はM-4S-1のタイマ点火系統図である。M-4S-1よりSQ2と称し、タイマおよびリレー駆動電流値をテレメータでモニタし、それらの飛しょう中の動作状況を推定することとした。M-4S-1では衛星の切断、M-40レトロ点火、アンテナ伸展のため、衛星部にもタイマ(MT_{SA})を搭載した。

衛星は特に軽量化の要請が強くまた電池からのガス放出を嫌うため、点火用の電源は衛星の集中電源を用いることとした。この場合点火系側の短絡等が衛星電源側に悪影響を及ぼさない様に、第5図(a)に示すような高抵抗を通じコンデンサに充電する型の電源とした。



第4図 M-4S-1 タイマ点火系



第5図 SA点火タイマ系

コンデンサの容量 C は一つには次のエネルギー的条件を満さねばならない。

$$\frac{1}{2} C (V^2 - V_0^2) = \int_0^{t_e} I^2 R dt = NE + E_c$$

E は点火玉1個当りの励起エネルギー (点火玉が発火するに必要な最少エネルギー), N はその回路の点火玉総数で V はコンデンサの端子電圧, R は回路合成抵抗, R_0 は回路合成抵抗, R は回路抵抗, 添字0は初期状態, e は励起に達した状態を示す。又 E_c は点火玉以外で消費されるエネルギーである。

ところで E は励起に至る時間 t_e が長い程大となる。この関係は点火玉一個にかかる電圧一定の場合について、 A 、 B を定数として

$$E = A + Bt_e \quad (A \sim 1.1 \text{ mJ}, B \sim 0.18 \text{ J/sec})$$

の形に書かれる。コンデンサ点火の場合各点火玉にかかる電圧は一定ではないが上の関係が成り立つとみてエネルギーの関係へ代入し、有限の t_e がこの関係を満たせば一応エネルギー関係は満たされることとなる。しかし、一方点火玉を直列に多数つなぐ場合それらがすべて発火するためには定電圧点火の場合、1個当りにかかる電圧値に下限がある。したがって安全側のみで、コンデンサ点火の場合 $t = t_e$ の時の各点火玉に加わる電圧値をこの値以上に確保しておく必要がある。以上の様な基本的考察から選ばれた定数が第5図に示したものである。この結果をたしかめるために点火時の電圧、電流特性を示したのが第6図で、 $t_e = 0.15 \text{ msec}$ までの E の値で平均励起エネルギーが供給され 3σ までのバラツキを考慮しても ($\sigma \sim 0.15 t_e$) 0.22 msec で着火が保証される。断線時間はこれより1けた多いので十分斉発が保証されていると考えられる。しかし、電圧が余り高くないので接触抵抗等が異常に大きくなると不発が出る可能性もあり、抵抗値管理には十分に気を配った。

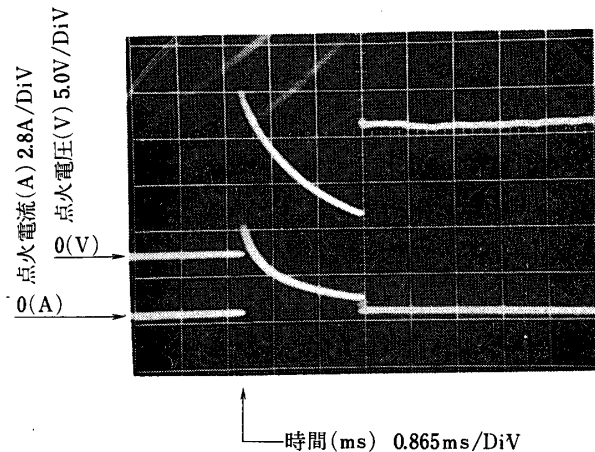
第7図にはM-4 S-1のタイムシーケンスとその実行秒時を示す。

M-4 S-1の飛しょうは姿勢制御中にロールエンジン1基が動作し続けたため異常に高いスピン数 (6.5 rps) となってこれに続くメインと姿勢制御部の切断以降のシーケンスが実行されなかった。

タイマ点火系としてはこの様な高速スピンが機能不全の原因となるか否かの試験を飛しょう後に実施したが、結果は否定的であった。

4. M-4 S-2の点火タイマ系

M-4 S-1の姿勢制御末期以降のタイマ点火系の不具合は、追試により十分解明されるに至らなかったが、もともと断線しそうな箇所があり、しかもこの部分は重複系を形成しないとすれば、少し苛酷なスピンによる加速度がかかった時に完全に断線し機能しなくなる場合もあると考え、改めてこの様な箇所をチェックした。この結果をM-4 S-2に盛り込み、このシステムを完全に重複した配線にした。また、タイマ系の信頼性向上という観点から、タイマケースおよび電源ケースを完全気密構造とし、原則として、工場内クリーンルームでの組



第6図 コンデンサ点火、電圧、電流

M - 4 S - 1 TIME SEQUENCE				M - 4 S - 2 TIME SEQUENCE			
項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)	項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
SO	arming	5.0	5.4	SO	arming	5.0	5.4
TM	change(P1-MX)	70.0	70.0	TM	change(P1-MX)	70.0	70.3
NC1	open	81.0	81.4	NC1	open	81.0	81.3
NC2	open	82.0	82.3	NC2	open	82.0	82.3
B1	sep	83.0	83.4	B1	sep	83.0	83.5
SM	ig	84.0	84.4	SM	ig	84.0	84.3
FL	open	85.0	85.4	FL	open	85.0	85.3
B2	ig	86.0	86.5	B2	ig	86.0	86.1
TM	chang P2-SV)	161.0	161.5	TM	change(P2-SV)	161.0	161.4
B2	sdp	162.0	162.5	B2	sep	162.0	162.3
B3	ig	163.0	163.5	B3	ig	163.0	163.3
TM	change(Y2-SD)	210.0	210.5	TM	change(Y1-SD)	210.0	210.4
B3	sep	225.0	225.5	B3	sep	225.0	225.5
DS	ig	227.0	227.7	DS	ig	227.0	227.4
DSP	on	228.0	228.7	DSP	on	228.0	228.5
CN	start	228.0	228.7	CN	start	228.0	228.5
CN	back up	233.0	233.6	CN	back up	233.0	233.6
CN	mode change	293.0	293.6	CN	mode change	289.0	289.6
RS	ig	301.0	301.4	RS	ig	301.0	301.5
CN	cut	302.0	302.6	EV	on	302.0	302.6
IG	arming	310.0	310.6	CN	cut	303.0	303.5
				IG	arming	310.0	310.4

CM 送信後の TIME SEQUENCE

項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
CM	on	530.0	530.0
MT SA	start	625.0	
CN	sep	630.0	
SA	sep	842.0	
X3 POWER	off	854.0	

第7図 M-4S-1

タイムシーケンス実行秒時

CM 送信後の TIME SEQUENCE

項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
CM	on	590.0	590.4
MT SA	start	684.0	683.7
CN	sep	689.0	688.6
SA	sep	907.0	
VS X3	power off	913.0	

第8図 M-4S-2

シーケンスと実行秒時

立後は筐体を開けないことにした。

M-4 S-2のシーケンスと実行秒時を第8図に示す。

5. M-4 S-3のタイマ系

M-4 S-2の成果が満足すべきものであったので、基本的にはタイマ点火系も変更を極力少く抑えたが、従来のSQ₂に加え、点火用電源よりの電流値をパルストランスとRC回路を介しテレータでモニタするSQ₃を追加するなど小規模の変更が加えられた。また衛星用点火電源回路にはコンデンサの破壊に対し電源保護用のダイオードをそう入した。(第5図(a))

M-4 S-3の結果も正常でシーケンス秒時の設定値と実行値を第9図に示す。

6. M-4 S-4のタイマ点火系

M-4 S-4用のタイマ点火系では、これまでの実績を基礎にしつつ、信頼向上を目的とし可成り大巾にシステムの変更を試みた。

すなわち、点火系チェックを効率よく行なうため、新たに点火リレー箱を分離し、これに回路の遠隔切替器(商品名LEDEXスイッチ)を付加した。またタイマのチェックも計算機を用い短時間で出来る様に改められ、これらに対し地上系が大幅に改造された。(本報告該当項目参照)

M-4 S-4のタイマ点火系の系統図を第10図に示す。またコマンドについても従来400 MHzのもの1種の機能を切替え保安用と最終段点火時刻修正用に用いていたのを、新たに5.6 GHzのコマンドを用いて、最終段の姿勢制御部よりの切断を延時点火ならびに衛星タイマのスタートをその電波を受信すると同時に実行する通称瞬発コマンドを附加した。

M-4 S-3 TIME SEQUENCE

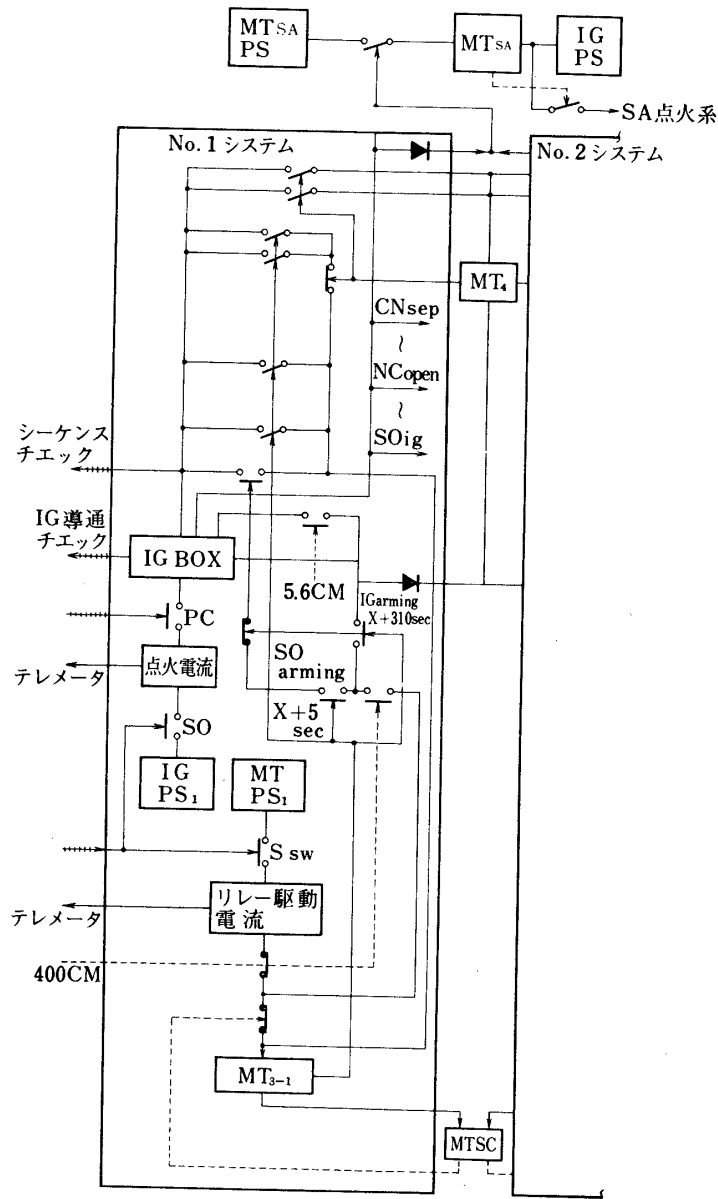
項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
SO	arming	5.0	5.0
TM	change	70.0	69.8
NC1	open	81.0	80.0
NC2	open	82.0	82.0
B1	sep	83.0	83.1
SM	ig	84.0	84.1
FL	open	85.0	85.1
B2	ig	86.0	86.0
TM	change(Y1-P3)	155.0	155.0
TM	change(P2-SV)	161.0	161.0
B2	sep	162.0	162.0
B3	ig	163.0	163.0
B3	sep	225.0	224.9
DS	ig	227.0	226.9
DSP	on	228.0	227.9
CN	start	228.0	227.9
CN	back up	233.0	232.9
CN	mode change	289.0	288.8
RS	ig	301.0	300.8
EV	on	302.0	301.8
CN	cut	303.0	302.8
IG	arming	310.0	309.8

CM送信後のTIME SEQUENCE

項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
CM	on	589.0	589.2
MT SA	start	683.0	
CN	sep	688.0	687.7
SA	sep	900.0	
ANT	stretch	912.0	
ND	on	914.0	
MT SA	stop	915.0	

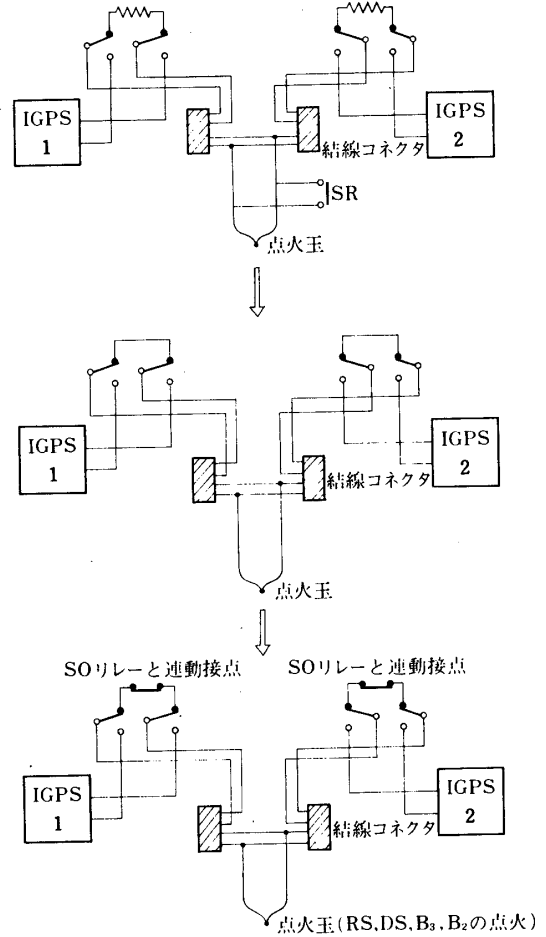
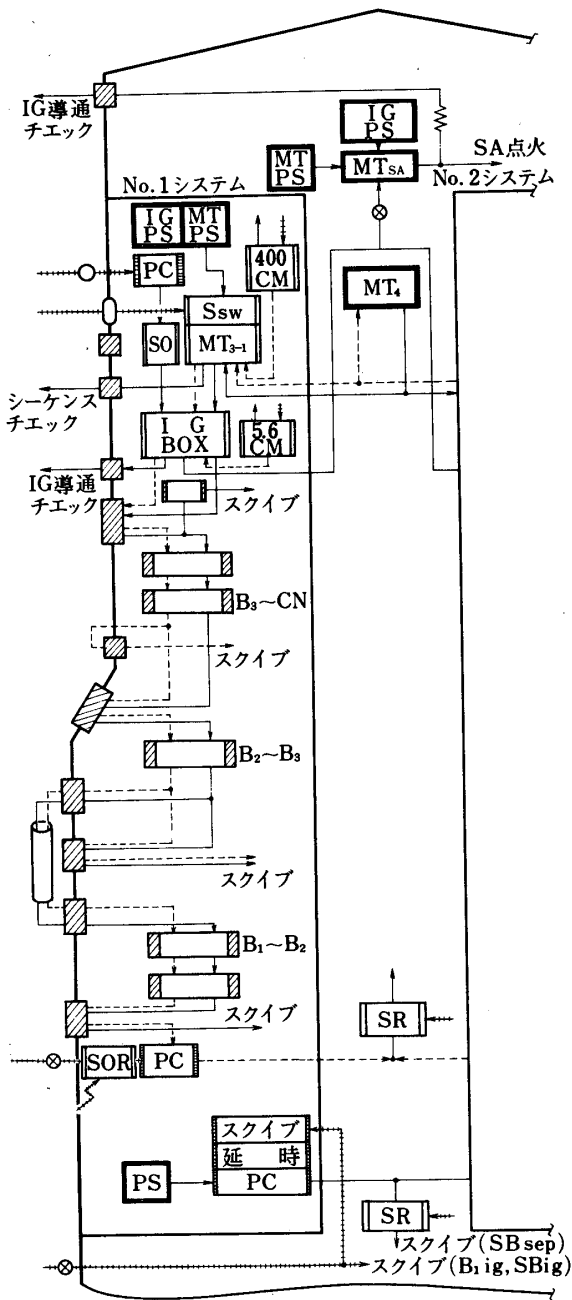
第9図 M-4 S-3

シーケンス表



第10図 M-4 S-4 タイマ点火系系統図

また従来使われてきたショートリレーは廃止し、点火用リレーのトランスファ接点を用い作動前に短絡状態となる様な配線を試みた。しかし、これには以下の欠点があることが飛ばしう前に認められた。第1に、例えば第11図に示す回路のように2系統の点火系が全く独立に出来ない回路において、点火リレーが動作した時、前述の様にリレーの動作時間のバラツキがあり、点火のごく初期の瞬間は片方の動作がおこなわれているリレーによって電源が短絡の状態になると考えねばならない。これは、リレー接点を傷めるのみでなく、点火玉が斉発し



第11図 相互相関のある点火回路

ない可能性をつくることになる。第2の不具合点は実際総合試験に際して露呈されたことであつたが、リレー接点の焼付きが起きた時に、焼付いた電源側の接点をリレーが復帰する際に短絡されている側にそのまま引き込み、結果において電源を短絡してしまう結果になることである。もちろんこの様な事故は、もともと焼付を起すような使用法に問題があつたわけで、この様な不具合は2次的なことで事態をさらに悪化してしまつたわけであるが、使用法として好ましいものではないことも事実である。

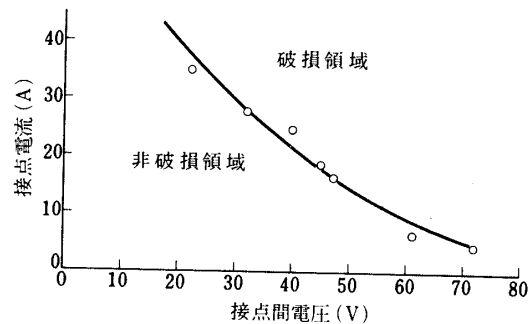
結局従来型のショートリレーは廃止したが、この様なトランスファー接点を短絡する回路にはリレーをさらに追加し、飛しょう前にSOリレーと一緒にこれを開放してやる方式とした。

総合試験におけるリレーの焼付事故はリスピนมータ点火の項目において起った。この事故は次のような原因が重なって起ったと推定された。

1. リスピン点火後回路が短絡に近い状態になった。
2. 電源の充電がやや過度の気味となっており、電源電圧が高かった。
3. この回路は従来点火玉が2個直列の回路が並列となっていたのを、2個並列の回路を二つ独立な系統につなげていた。ただしこれらは電源においてつながっていた。したがって点火後の回路抵抗は前回までと比べ短絡に近い状態となる可能性が極めて多くなる。

結局最も本質的なことは最悪の場合にもリレーが焼きつかない様な状態になっていなかった事であり、急拠これに対し実験的な資料を整理し対策をたてた。

第12図は、従来より点火回路に用いてきたリレーの電圧電流面内の焼付領域を示す図である。この特性はリレーの種類や劣化の度合にもより画然と領域を区別することは難かしいが、大略の使用可能領域を知るには十分である。



第12図 リレ、電圧、電流、焼付特性

これにより、電源電圧を45Vに下げかつ電流制限抵抗を電源側に1.2Ω入れることを応急の対策としてたて実験に臨

んだ。試験としては同種の回路を組み、これを用い各点火項目が1秒ずつ短絡した場合を相

似し、真空中で動作させ回路が正常であることを確認した。飛しょう実験にのぞんでからは順調に各種試験を経過し、特に、シーケンスチェックや導通抵抗測定など従来約1日を費した作業が3時間程で完了するなど、オペレーションの能率化の意図は十分に達せられた。

第13図はM-4S-4のシーケンスの設定値と実行秒時を示す。

1974年11月29日 新設部(工学)

M-4S-4 TIME SEQUENCE

項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
SO	arming	5.0	5.1
TM	change(P1-MX)	70.0	70.1
NC1	open	81.0	81.1
NC2	open	82.0	82.1
B1	sep	83.0	83.0
TM	change(V5-N2)	83.0	83.0
SM	ig	84.0	84.0
FL	open	85.0	85.0
B2	ig	86.0	86.0
TM	change(Y1-P3)	155.0	154.8
TM	change(P2-SQ2)	161.0	160.9
B2	sep	162.0	162.0
B3	ig	163.0	162.9
TM	change(X cal on)	223.0	222.6
B3	sep	225.0	224.8
DS	ig	227.0	226.9
DSP	on	228.0	227.9
CN	start	228.0	227.9
CN	back up	233.0	
CN	mode change	289.0	289.0
RS	ig	301.0	301.3
EV	on	302.0	302.0
CN	cut	303.0	303.3
IG	arming	310.0	310.0

CM 送信後の TIME SEQUENCE

項	目	設定秒時 (sec)	作動秒時 (sec)
CM	on	329.0	329.0
MT SA	start	423.0	422.0
CN	sep	428.0	427.3
SA	sep	640.0	639.0
ANT	stretch	653.0	652.0
ND	on	655.0	654.0
MT SA	stop		

第13図 M-4S-4
シーケンスと実行秒時