

M-3 S ロケットの点火タイマ管制系

荒木 哲夫・秋葉鏝二郎
中部 博雄・竹埜 正人*

1. 序

本系はロケットの各部の中でも危険なイグナイタやそれらに点火信号を送るシーケンスタイマ系の各機器を遠隔にて管制操作するもので、特に打ち上げタイムスケジュール内で、ロケットが発射されるまでの数分間は頻繁な操作や指令応答が集中的に行われ、その際のオペレータの負担はかなり大きいものとなる。従って、誤操作、誤判断を回避し、确实安全に作業を遂行する管制支援設備の役割は極めて大きい。本系の点火タイマ管制装置を主体とした各機器類は、初期に設置して以来、ロケットの性能向上に伴う搭載系の変更に対するための改造や、海に面した環境に起因した腐食等による不具合の補修を重ねつつ、これまでに既に 10 数機の打ち上げを経ており、老朽化や改造の限界が問題となりつつあった。

一方、機体搭載系は、ロケットの中枢部とも言えるシーケンスタイマ方式がメカニカル (MT) からエレクトロニク (EPT) に変更され、更に、3号機から、1段ブースタと補助ブースタの点火方法として、地上系の設備によらず、機上搭載のシーケンスタイマによって行われる方式 (以下、機上点火と称す) が採用されることになり大規模な改造が必要となった。将来の M-3 S II型では更新が必至である事も考慮し、3号機の打ち上げを前に、M-3 S II型の管制をも目標にしつつ更新が実行された。即ち、M-3 S-1, 2号機は従来の管理系が用いられ、3, 4号機では新しい管制系が用いられた事になり、この M-3 S シリーズは本系の大転換期となった。

従来のシステムについては、先の宇宙研究報告、M-4 S 特集号 (1975 年 3 月) の「M 型ロケットイグナイタ及びタイマ管制装置」の章に詳述されているのでここでは触れず、本稿では、新しい点火管制系を中心に旧式との比較を加えつつその設計の要点、構成および機能、性能、そして実験後の評価等を述べる。なお、本報告、別章の「点火、タイマ、SO 系」に機体搭載の点火タイマ系が述べられているので併せて参照されたい。

2. 新システム設計に当たっての留意点及び目標

従来のシステムが設置されて約 20 年になるが、その間の 10 数機の M ロケット打ち上げ経験にて得た多くの知識や従来からの知識が設計の基本となるのは当然であるが、一方、

*松下通信工業株式会社

その間の電子工学面，特に電子計算機（以下コンピュータと称す）技術の進歩は目ざましいものがあり，ここに進んで我々のシステムに組み入れることにした。

以上の前提にて，管制の対象となる機体搭載系の要求を考慮しつつ新システムへの目標を次の4項目に定めた。

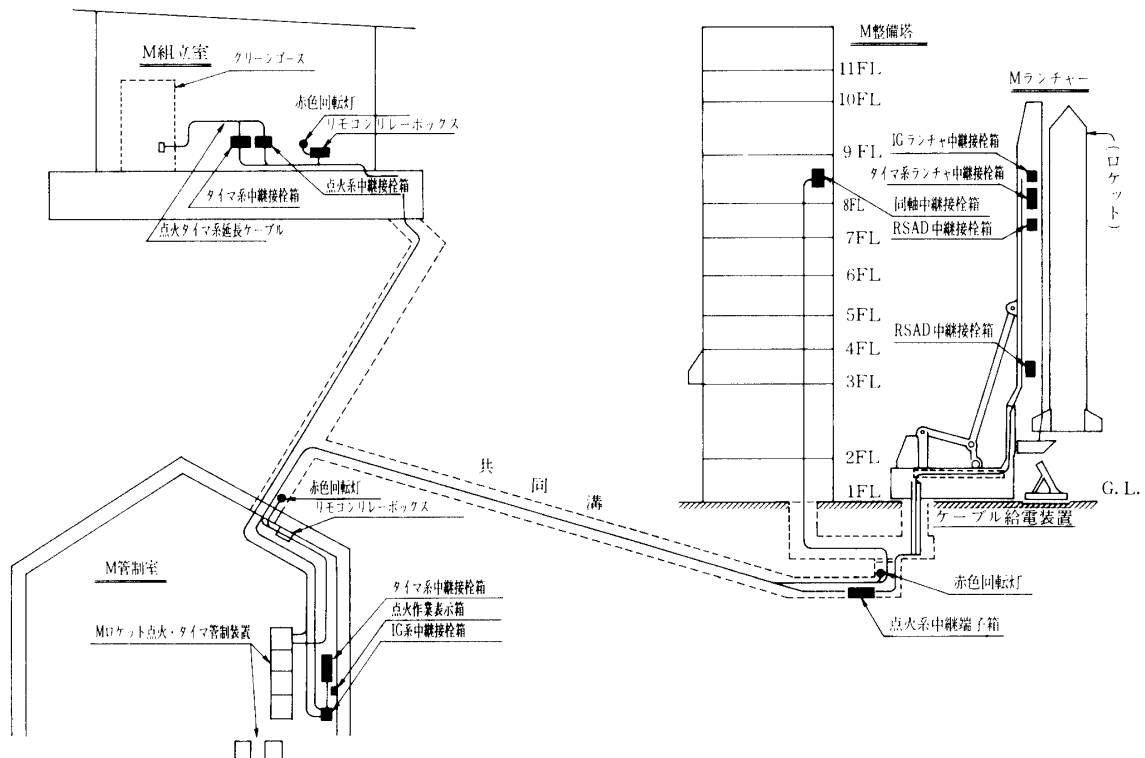
- (イ) 管制の機能，範囲の拡大
- (ロ) 操作の簡素化と操作時間の短縮
- (ハ) 誤操作，誤判断を回避する設計
- (ニ) 安全操作および監視の強化

また，これらの目標を満たす事は，結果として，ロケット機器の複雑化，高性能化に対処し，オペレータの負担を軽減し，システムの信頼性を高めることにもなる。

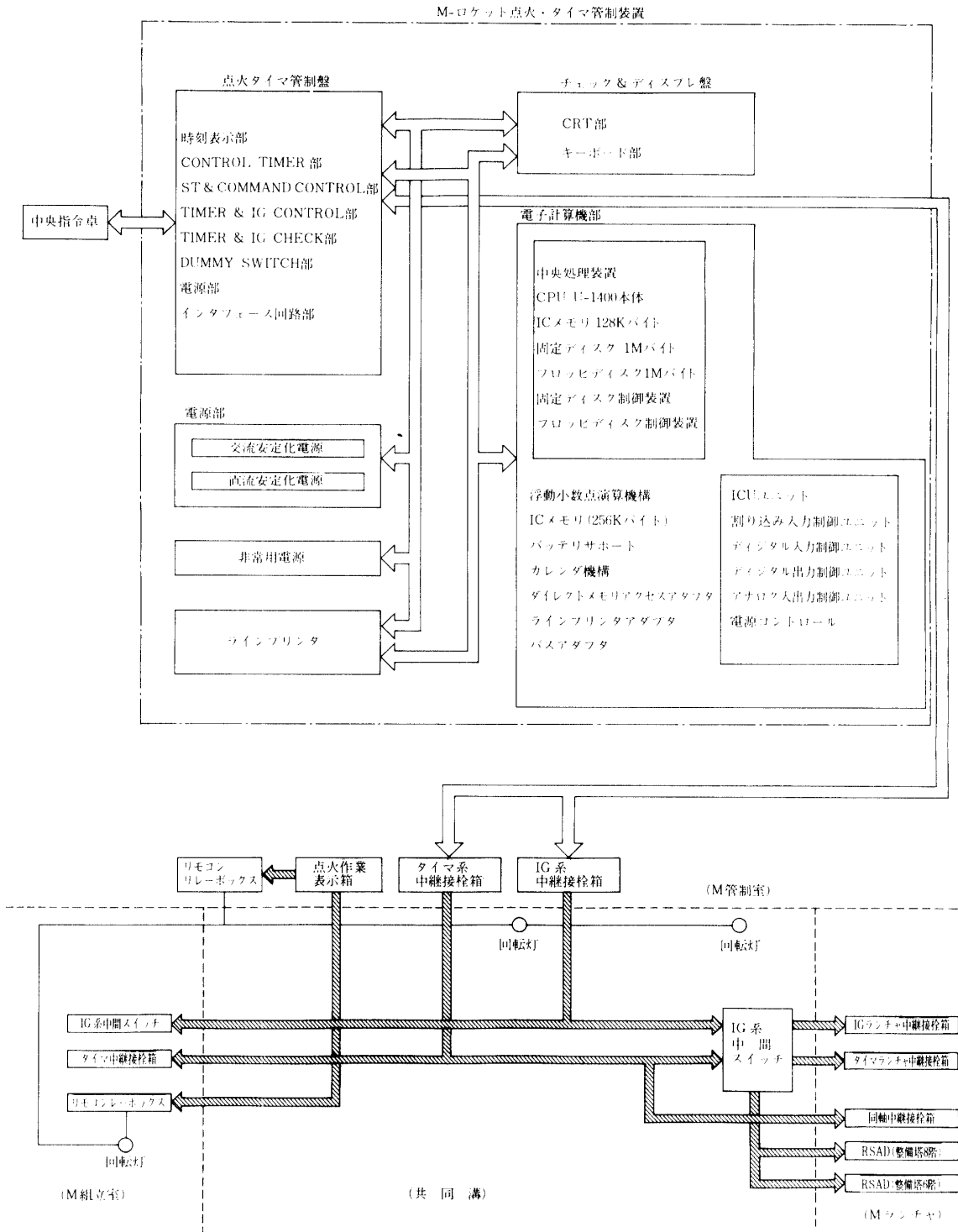
3. 新 M ロケット点火管制システム

(1) システムと役割り

本系の設備全体を総称し，M ロケット点火管制システムと呼ぶ。その系統は第1図のとおりに，操作の中心となる点火タイマ管制装置が設置されている M 管制室を起点に，壁面中継接栓箱にて2系統に分岐され，共同溝に敷設されたケーブル群を介して2段搭載計器部より上段のロケットの部分を組み立てる M 組立室と組み立てが完了したロケット機体との接続点となるランチャブームにそれぞれ設けた中継接栓箱に至るまでの広範囲に亘っている。



第1図 M-3S ロケット (3, 4号機) の点火管制系統



第2図 Mロケット点火タイマ管制装置の構成

本系の役割りは、

- (イ) M組立室にて組み立てられたロケット(2段目よりの部分)の点火系、タイマ系の点検やその為の切り換え、駆動操作。
- (ロ) 組み立てが完了しランチャに組み付けられたロケットのタイマ、点火系の動作チェック、タイマチェック、導通チェック。
- (ハ) 発射タイムスケジュールに沿った機上搭載安全スイッチ系のアーミング側切り換え、シーケンタイマの駆動、そして1段目点火に至るまでの正常動作の確認、監視。
- (ニ) 上記操作中における全ての安全管理、操作。

等を安全性を確保しつつ実行し、1段及び補助ブースタに点火させて、ロケットを発射させる事である。

(2) システムの構成

本システムの構成と各機器の関連、設置場所等を第2図に示す。

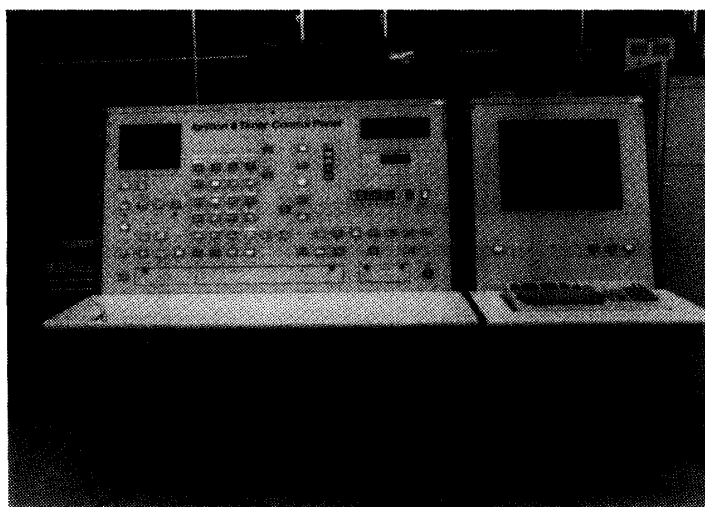
M管制室に設置され本システムの主体となるM点火タイマ管制装置は、点火タイマ管制盤、チェック&ディスプレイ盤、電子計算機部、電源部の各機器により構成されている。

この装置はケーブル群(一部分に光ファイバケーブルを採用)を介してロケット機体と接続されるが、中間スイッチの役割りを兼ね、管制室壁面及びM組み立て室又はランチャブームの各点に設置された中継接栓箱で信頼性の高いコネクタにより遮断、接続が可能である。又、点火系点検の際の測定ライン及び搭載安全スイッチ(モータスイッチ)の操作ラインには、共同溝の途中の端子箱内に遠隔操作が可能なモータ駆動の中間スイッチが設けられている。その他、点火系作業中を警告する赤色回転灯がM組み立て室、共同溝にそれぞれ設置されている。

(3) 装置の性能、機能

本装置の性能諸元を表1に、機能を表2にそれぞれ示す。

操作の中枢となる点火タイマ管制盤(第3図写真左側)は、点火、タイマ系に関する操



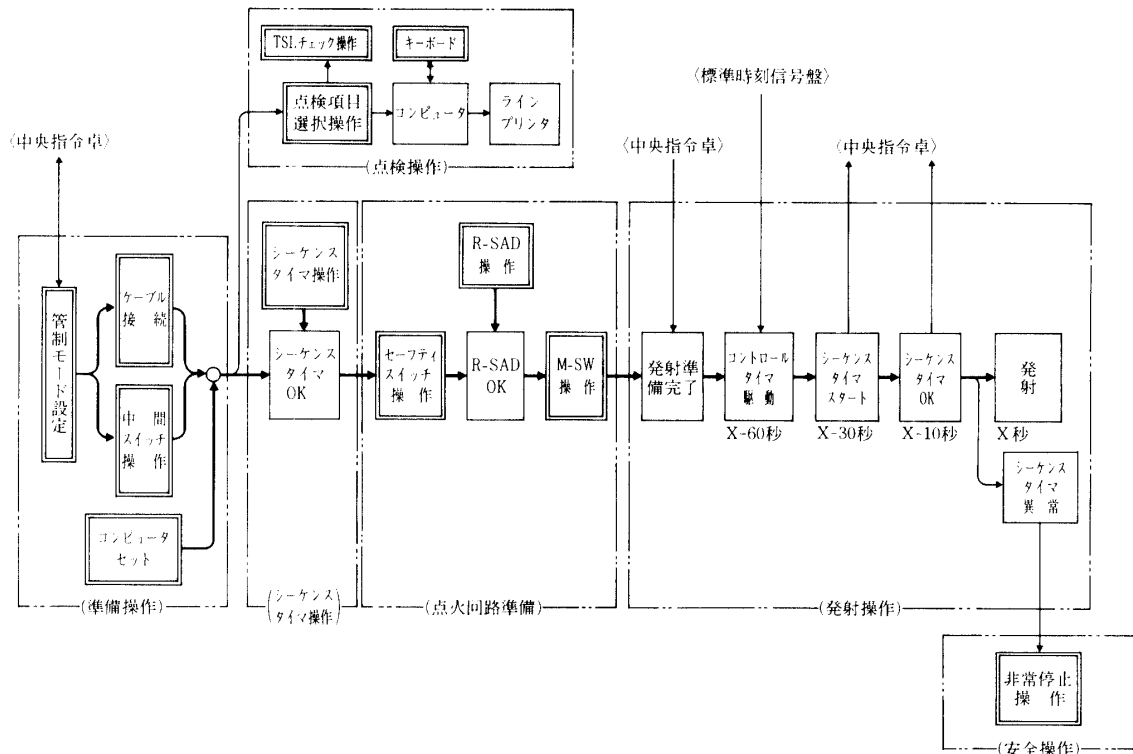
第3図 点火タイマ管制盤及びチェック&ディスプレイ盤の外観

表1 Mロケット点火タイマ管制装置性能諸元

	項 目	性能・諸元
点 火 タ イ マ 管 制 盤	[タイマ点火コントロール部] 操作電源 表示灯電源 ロジック用電源 操作電流 リレー系 モータスイッチ 中間スイッチ アンサー電流	+28 V, 11 A +12 V, 12 A +12 V, 12 A 60 mA/1項目 1 A/1回路 1 A/1回路 10 mA/1項目
	[タイマ点火系チェック] 測定可能ケーブル 測定可能抵抗範囲 測定可能点火系項目数 点火系測定可能抵抗範囲 点火系項目選択用電源 点火系導通抵抗測定電流 シーケンスチェック項目数 充電回路数 充電設定電流 充電方式 TSL チェック信号内容	10本 10 mΩ ~ 20 MΩ 30項目 10 mΩ ~ 20 MΩ +24 V, 2 A 2 mA以下 63項目 6回路 22.5 mA, 50 mA, 120 mA 定電流方式 ±×1, ±×10
	[インタフェイス回路]	フォトカブラ
C & D 盤	[CRT] CRT サイズ 表示色 表示容量 文字パターン 消費電力	16 インチ カラー3色 (赤, 緑, 白) 1920 字 (80字×24行) 7×9 ドットマトリックス AC 100V, 0.25 KVA
	[KEY ボード]	テンキー, ファンクションキー付き
電 子 計 算 機	[計算機本体] 主記憶装置メモリ容量 補助記憶装置メモリ容量 メモリサイクルタイム 消費電力	[PFU-1400] 384 K バイト (最大 512 K バイト) 53 M バイト (磁気ディスク) 1.2 M バイト (フロッピィディスク) 450 nsec/2 バイト AC 100 V, 3KVA 以下
	[ラインプリンタ] 印字速度 文字数 消費電力	670行/分 (英数字) 136 文字/行 1 KVA

表2 装置各機器の機能一覧

	操作モード	主な操作・機能
点火タイマ 管制盤	準備操作 および 状態表示	<ul style="list-style-type: none"> ① X 時刻, X±日本標準時刻, 日本標準時刻の表示, ② 中央指令卓との指令応答による管制モードの選択, ③ モータ駆動中間スイッチの遠隔操作, ④ シーケンスタイマ各項目の状態表示, ⑤ コマンド系の状態表示, ⑥ 搭載安全スイッチ系 (SAFETY-SW, モータSW, R-SAD) の状態表示, ⑦ タイマ電源充電モードの選択,
	点検操作	<ul style="list-style-type: none"> ① TSL チェック時の疑似コマンド信号の送信, ② タイマチェック時のタイマリセット操作, ③ 各点検項目の選択設定,
	点火回路準備 および ロケット発射操作	<ul style="list-style-type: none"> ① SAFETY スイッチの切り換え, ② モータスイッチの切り換え, ③ R-SAD 装置の切り換え, ④ 中央指令卓からの発射準備完了信号受信, ⑤ シーケンスタイマの駆動, ⑥ シーケンスタイマ動作状態判定表示,
	安全操作	<ul style="list-style-type: none"> ① 非常時又は停電時の発射停止操作と点火回路の安全側切り換え操作表示,
チェック & ディスプレイ盤	CRT 表示	<ul style="list-style-type: none"> ① 点検項目一覧表示, ② 各点検時の経過と内容表示, ③ タイマ電源充電時の経過と結果の内容表示, ④ 中間スイッチ, コネクタ接続状況一覧, ⑤ 非常時の発射停止警告赤色拡大表示,
	点検 および 充電	<ul style="list-style-type: none"> ① 系の全ケーブル点検, ② 機体内点火回路の導通, 絶縁点検, ③ 機体内, 衛星のイグナイタ導通抵抗測定, ④ シーケンスタイマの動作点検, ⑤ 機上点火用タイマ電源の充電, 点検,
電子計算機部	点検 および 充電	<ul style="list-style-type: none"> ① 各点検における判定並びにデータ収録, ② 充電時の制御並びに履歴データ収録, ③ 各点検又は充電時のデータプリントアウト,
	準備操作 および 発射操作	<ul style="list-style-type: none"> ① 各操作, シーケンスの判定, 制御, ② 操作履歴の収録並びにデータプリントアウト ③ 異常の判定並びに警告 (CRT に表示),
電源部	全操作	<ul style="list-style-type: none"> ① 装置の全電源の供給, ② 交流及び直流電源電圧の安定化制御, ③ 停電時の安全操作用電力の供給,



第4図 点火タイム管制盤操作フロー

作、表示部がオペレータの操作し易い様にフローチャート式に配列してあり、中央指令卓との指令応答、各点検作業項目の選択、安全操作、発射オペレーション、時刻信号表示等を行う。その操作フローを第4図のブロック図にて示す。

それに隣接したチェック&ディスプレイ盤(第3図の写真右側)は、タイマ又は点火系の各点検を、キーボードを用い、各々のメニュー(表3参照)に従って、コンピュータと対話形式の操作で自動的に実行し、その過程や点検結果はブラウン管にカラー表示される。

電子計算機部は各操作の手順や履歴を監視し、又各点検操作を実行して各々のデータを記憶し、必要に応じてプリントアウトが可能である。

(4) 装置の特徴

本装置の主な特徴として先ず挙げられるのは、操作部(点火タイム管制盤及びチェック&ディスプレイ盤)が他の機器と分割され、その操作性を損なわない程度に小型化されている。盤の内部はプリント基盤にて整然としており、修理や機能追加が行い易い構造である。

操作は、安全性を損なわない程度に自動化され、手順どおりに配列された操作スイッチをフローチャートに沿って押すだけで実行され、同時にコンピュータにより総てチェックされる。即ち、典型的な Failsafe and Foolproof システムが採用されている。従って、オペレータは操作手順や状況監視に心理的圧迫を受ける事なくごく僅かなスイッチ操作で膨大な又は緊迫した作業を安全且つ正確に遂行する事ができる。主な特徴について項目別に、旧装置との比較を加えつつ表4にまとめておく。

表3 チェック & ディスプレイ盤の主な作業メニュー

項目(略号)	作業内容
CABLE CHECK	本系に敷設された全てのケーブルの対応及び線間、アース間の絶縁を総点検する
CHARGE	タイマ系の搭載電源の充電操作及び経過表示
IG-CHECK	イグナイタ及び機内点火系配線の導通抵抗とアース間の絶縁抵抗測定
TSL-CHECK	タイムセクタ (TSL) の機能点検のため、コマンドの模擬信号を発生、有線にて送信する (但し送信操作のみ手動)
SQ-CHECK	タイマの動作チェックの際、シーケンスタイム信号の出力をプリセット値と比較判定
R-MES-SQ-CHECK	タイマを動作させ、実際のタイムシーケンス信号にて点火リレーを作動、点火回路に臨時に接続した模擬イグナイタに微弱な測定電流を通じて信号の出力秒時を検出測定し、プリセット値と比較判定する
SPEED CHECK	タイマチェックまたは発射オペレーションのタイマスタート後、シーケンスタイマの動作スピードをプリセット値と比較判定

4. システムの安全性について

本系は、その役割り上当然ではあるが、安全性への様々な配慮がなされている。

ロケット側の作業と遠隔での管制操作との兼ねあいは安全を配慮した手順を盛り込んだタイムスケジュールに従って進められる。また、遠隔操作を担う点火タイマ管制盤の操作スイッチは前述のように安全を考慮したフローチャート式に配列しており、更に、コンピュータが常時操作を監視している。その他、予期しない事態に備えて安全対策が施されているが以下その主な点を挙げて簡単な説明を加える。

1) 発射 (点火) 操作における安全制御

本系の主目的である発射操作は点火タイマ管制盤のメインフロー (第4図の太い線の流れ) に沿って実行されるが、その操作の過程で異常が発生した場合、X-30秒のシーケンスタイマスタート前までは自動的にその異常項目まで逆行するので特にオペレータはアクションの必要がないが、シーケンスタイマスタート以降は逆行モードは禁止しており、その代わりにX-10秒とX-7秒のトリガにて、“異常項目”と“EMERGENCY”の赤色の大型文字をCRTに表示する。但し、シーケンスタイマ操作部のコマンド (CM 1~CM 3) に関しては、変化した時点で表示する。

2) 非常停止操作

表4 管制装置の新旧比較

項目	旧装置	新装置
打ち上げたロケット	M-3S-1, 2号機及びこれ以前の全てのMロケット	M-3S-3, 4号機
コンピュータ導入	一部のロケットのタイムスピードチェックのみ, 他の装置のものを流用していた	PANAFACOM U-1400を導入
制御用タイマ	メカニカル	エレクトロニク
導通抵抗計	アナログ読み取り式	デジタルマルチメータ
データ処理	なし	コンピュータ処理
データ印字	なし	ラインプリンタによる
地上点火設備	1段ブースタ及び補助ブースタ用点火機能	なし
制御回路	リレー接点回路	コンピュータによるロジック回路
信号受け回路	普通の配線	フォトカプラ
操作の判定	アンサー表示によりオペレータが判断	コンピュータが判断表示
回路構成	複雑	簡単
操作盤筐体	大	小
操作項目処理	限りあり	必要なだけ処理可能
操作時間	長	短
故障率	多	少
消費電力	大	小
オペレータへの負担	大	小

発射オペレーション中, 1) 項その他の理由で発射を停止したい場合, 盤面の非常停止スイッチを押すことにより, シーケンスタイマを停止させ, SAFETY スイッチ, モータスイッチを安全側に切り替える操作が実行される。

3) 点火系導通チェックの条件

本操作は, イグナイタに電流を通じて導通抵抗を測定するという危険な作業のため安全には特に留意している。先ず, 搭載タイマ系の以下の条件が満たされなければ操作が実行できない。

①タイマ系電源

S側

② SAFETY スイッチ S 側

③ モータスイッチ S 側

4) 点火系中間スイッチ及び KEY スイッチ

これは搭載点火用電源の回路に安全のため挿入されたモータスイッチの操作ラインと点火系導通抗測定ラインに遠隔操作の可能なモータ駆動中間スイッチを設けてあり、操作が必要な時以外は S 側(遮断)にしておく。また、この操作は管制盤にて KEY スイッチを用いなければ不可能である。ロケット側で点火系の作業を行う場合、作業者はこの KEY を携帯し、作業終了後、待避完了、安全を確認して、管制盤側に KEY を手渡すように取り決めている。

5) イグナイタ導通低抗測定電流の制限

導通低抗計(デジタルマルチメータ)の測定電流出力はイグナイタ発火限界電流の 0.3% 程度に限定してあり、故障等で万一限定値を越えた場合はコンピュータからの指令によって作業が不可能となる。参考までに、イグナイタの測定電流値は 10 mA 以下と決められているが、本装置では 2 mA 以下に設定している。

6) 迷走電流検知管

イグナイタの全ての点検回路にシリーズに入れてあり、一種の過電流防止ヒューズの役割をするもので、万一迷走、落雷等で過電流が流れた場合ここで遮断されイグナイタの誤発火を防止する。

7) 非常用電源盤

管制操作中不慮の停電等で本装置の電力供給が断たれた場合、自動的に、蓄電式の本電源盤に切り替わるとともに安全操作や状態表示を実行する。特に発射直前のシーケンスタイマ作動時に停電が発生した場合は自動的にシーケンスタイマを停止し、機内の SAFETY スイッチ、モータスイッチを安全側に切り換え、操作盤面に状態表示させる。

8) 中継接栓箱

管制装置とロケットを結ぶ全てのケーブルは中継接栓箱でコネクタにより接続、遮断が可能で、ロケット側の危険な作業における安全確保や落雷による被害防止に役立っている。設置場所は第 1 図のとおり M 管制室、M 組立室、ランチャブームの 3 ヶ所である。

9) 避雷器の組み込み

管制室外から入ってくる電源ケーブルと管制装置電源部の間に避雷器(耐雷トランス)を組み込んで、前述の迷走電流検知管と共に落雷に備えている。

10) 回転灯の設置

第 1 図のとおり M 組立室、共同溝に赤色の回転灯を設け、危険作業中を警告する。

5. 飛翔実験の経過と結果

1, 2 号機の打ち上げについては、従来からのシステムが用いられ、特に問題なく目的を達することが出来た事を報告するにとどめる。ここでは新システムが用いられた 3, 4 号機の実験経過とその結果を簡単に述べる。新システム使用に先立って、更新終了後、入念なる点検及びヒートランが実行され、3 号機の打ち上げスケジュールに移行した。スケ

ジュールには、「地上系」、「総合」、「組み立て」の3段階のオペレーションテストが盛り込まれており、模擬イグナイタとして点火玉を、シーケンスタイマとして模擬タイマ（総合オペからは実機も使用）をそれぞれ用い、新設機器の機能、性能を充分確認する事ができた。オペレーションテスト（総合オペ）に発生した問題点として、M組立室側の管制操作の際、中継接栓箱と機体とを接続するケーブルの一部に対応の付かないチャンネルとが発見されたが、チャンネル回線の対応リストが途中で変更されたにも拘らず、情報がケーブル製作者に行き渡らなかったと判明し、次の組み立てオペの前迄に修正された。その他特に問題はなくフライトオペレーションに臨み、全スケジュールを通じ不具合無しで目的を遂行し得た。4号機での変更点は、比較的大きなものとして、1段、2段ブースタのイグナイタスイブにセーフ&アーム遠隔切り換え装置（R-SAD）が組み付け搭載され、その操作（本装置では8個の操作が可能）が必要となった事で、その他は、点検時のデータ表示形式の1部に改良が加えられた位である。実験は、全スケジュールを通じ特に問題はなく、当初懸念された初体験であるR-SADの操作も良好で、成功裡に終了した。

6. 新システムの評価と将来の課題

更新により本系の大きな転換期となったM-3Sシリーズであるが、そこには数々の新しい試みが採り入れられている。主なものを2、3挙げると、制御回路が従来のリレー回路からコンピュータによるロジック回路に変わり、操作の大部分をコンピュータが制御して、正確さとオペレータの負担軽減を計っている。また、信号の授受にはフォトカプラを用い、項目切り換え等はメカニカル接点のスイッチからエレクトロニクのものに変わった。中間スイッチは極力取りやめ、高信頼度モータ駆動によるもの一個とし、中継端子箱及び接栓箱は全て密封型とした。これらにより、従来のシステムで最もトラブル発生率の高かった（前述の本報告M-4S特集号参照）接点類の接触、絶縁不良の問題がほぼ解決した。

もう一つのトラブル原因となるミスオペの懸念も、コンピュータの自動制御を基本としたFool proofシステムに徹したことにより解消した。その他、(4)装置の特徴の項の表4に挙げた利点を考慮にいと、この新しいシステムは先に挙げた目標をほぼ満たしており、主体となる点火タイマ管制装置はこの装置としては最も洗練されたものと評価できる。これは主に永年の打ち上げに臨んだ経験で得た知識と最新のエレクトロニクス技術の進歩に因るものと言えよう。

本システムは現状の打ち上げ体制に見合っていて一応完成されてはいるが、より充実させる為の今後の課題を挙げれば、R-SAD全項目を一操作でシーケンスシャルに実行させた事や発射直前（X-30秒から1段目歩火まで）の異常発生の際、コンピュータの判断だけで自動的に発射停止操作を実行させる（現状はコンピュータの判断表示を確認してオペレータが操作する）か否か等今後の打ち上げ経過や機器の信頼性問題と絡んだ課題が提起される。また、シーケンスタイマ系のテレメータ受信機を通してのデータ信号の全てを光ファイバケーブルにて本装置のコンピュータに導入処理し、制御回線からの直接の信号データと比較判定する機能を付加する事項も懸案となっているが、これらの課題は次のM-3S II以降に期したい。