

搭載機器管制*

長谷部 望**・下村和隆

1. まえがき

M-4S型、M-3C型につづきM-3H型ロケットの打上げ作業の管制を行って来た搭載機器管制も、これらの経験の積み重ねで、作業手順はほぼ確立されたものとなり、M発射管制装置に対してもいくつかの改良を加えて満足できる機能を発揮できるようになった。

本文においては、M-3H型ロケットの打上げに関わる日程上およびタイムスケジュール上の動作チェックの進行をつかさどる搭載機器系の管制作業を中心にして記述する。この搭載機器管制の日程上の動作チェックの目的、内容を記すとともに、それに使用されるM発射管制装置の役割、構成と操作の概要についてオペレータの立場から述べる。装置の詳細については、すでに報告されている([1]～[4])のでそれらを参照されたい。また、M-3H-1, 2, 3号機の搭載機器管制の記録から、主にタイムスケジュール内で生じたトラブルについて記す。これらのトラブルはロケット打上げを遂行するための一つのステップとも解釈でき、その一つ一つを確実に乗り越えて無事3個の衛星を軌道へ投入できたわけである。今後、ロケットはM-3S型へと改良され、衛星も一層複雑となろう。これらを考え合せ、搭載機器管制の立場から、スケジュールの簡素化、システムの改善への私案も付記する。

2. 搭載機器管制の作業内容

搭載機器の管制はオペレーションテストと称するロケット打上げ作業の練習を行う日程と、フライトオペレーションと称している実際のロケット打上げ作業日程内の、主に搭載機器系の動作チェック作業の進行をつかさどる。

搭載機器管制の立場からは、上述のオペレーションテストとフライトオペレーションの作業内容は大きな差異がないので、本項では後者の日程に従った作業内容を記すことにする。

搭載機器系管制の主な作業は、次に示す日程上の項目に分けることができる。

1. 組立室内第2段搭載機器動作チェック
2. CN, TVC, SJ 総合動作チェック
3. 頭胴部組付後動作チェック
(ノーズフェアリングなし)
4. 頭胴部組立完了動作チェック
(ノーズフェアリングあり)
5. 整備塔内動作チェック

*宇宙研特別事業費による研究論文

**東大生産技術研究所

6. 電波テスト

7. 発射タイムスケジュール

組立室内動作チェックは東京より輸送された第2段搭載機器に対するチェックを行うとともに、それらの較正を行って各種搭載機器が正常動作することを確認するためのものである。この日の作業には搭載アンテナテスト、タイマシーケンステストが含まれる。

CN, TVC, SJ 総合動作チェックはCN (姿勢制御), TVC (推力方向制御) および SJ (サイドジェット) の電気系, 機械系を含めた動作の確認を行うとともに、圧力記録系の較正を行うことを目的としている。

頭胴部組付後動作チェックは、第2段搭載機器部の上部に第3段モータ、衛星およびキックモータ (3号機では衛星と逆) を組付けた後行う動作チェックであり、フライトスケジュールのときはノーズフェアリングのない状態での衛星、搭載機器を含めた第2段目搭載コマンド受信機に対する電波干渉テストを行う。

さきの頭胴部にノーズフェアリングを組付けて、頭胴部組立てが完了する。この状態で再度動作チェックを行って搭載機器の正常を確認し、ノーズフェアリングを装着した状態でのコマンド受信機に対する電波干渉テストを行う。

この頭胴部を、すでに整備塔内で組上げられているロケットの頭部に組付けたのち動作チェックを行う。この動作チェックで初めて整備塔とM発射管制室間の発射回線が使用され、地上系の各種管制装置の正常動作確認が行われる。第2段搭載機器電波の非常停止回線のチェックも行う。

電波テストにおいては、第1回目の動作チェックと発射時直前のタイムスケジュールに沿った動作チェックを行う。このとき、とくに発射直前の時間を追った打合せ操作が行えることを確認するため、第2段搭載機器および姿勢制御系は搭載内部電源を用いて実際の発射操作と同じシーケンスをたどる。また、レーダ・テレメータにおいては、ランチャーの角度付けにおける受信レベルや同期のかかり具合等重要なデータを取得する。

発射タイムスケジュール内では、電波テストと内じ第1回目の動作チェックおよび発射直前の動作チェックを時間を追って進め、搭載機器の動作確認、最終較正を行ってロケットのイグナイタ点火を行う。

表1には、M-3H-3号機の発射直前の搭載機器動作チェック手順を示した。表中の略称については、M-3H-3号機実験計画書を参照いただきたい。現行のタイムスケジュールでは、発射1時間5分前から搭載機器系が動作チェックに入ることになっている。X-7~5分で搭載電源を内部とするため、60分以内ですべての動作確認をとる必要があり、とくに、確認項目の多い衛星搭載系においては操作のなれを必要とする。

発射直前の作業で重要なイベントは、X-20分のCNエンジンチェックである。これは、姿勢制御系のN₂注気作業が予定時間内に終了している必要がある。次のイベントは、衛星搭載系の電源内部 (X-7分) と第2段搭載機器および姿勢制御系電源内部 (X-5分) であり、これまでに海上・航空の安全確認 (X-8分) がとれている必要がある。もし、警戒区域内に漁船が入っていたりしてOKがとれない場合はX時刻が順延されるので、この安全確認は発射スケジュールの大きなイベントとなる。

第1表 M-3H-3 発射前動作チェック手順

| X 一分 | 本部主要項目 | C N | R B | S A |
|----------------------|--|--|---|---|
| 1 h 0 5 m | N ₂ O ₂ 注液 IG最終チェック 点火回路準備 | 電気部始動 | 集中電源 ON TM 1.2.3 ON TM cal | SAフローティングモード 148 CM ON AIR |
| 4 0 | 発射角修正 | | 1.6 RT ON 5.6 RT ON TM meas | CI チェック TM. V TM. U |
| 3 0 | 発振周波数報告 TVC OUT ON N ₂ 注気 | ランチャ角設定終了 初期状態確認 ランチャ角データ入力 発射角測定 初期値計算 動作確認 データ作成 | TVC 計測 ON GA 計測 ON 計測 cal TSL-DAM ON 450 CM ON 900 アンテナ 切換 CM-A 送信 レーダCM-B 送信 | RARR HK MGF SAS SCM YSA |
| 2 0 | CN エンジンチェック | SJ エンジン噴射 エンジンチェック | 計測 cal 集中電源 内部 CM-A 送信 CM-B 送信 集中電源 外部 1.6 RT OFF 5.6 RT OFF TM cal TM meas | PI チェック CBE ESP NAF NPW IEF DPL SPW WCM |
| 1 5 7 | 発振周波数報告 | | 1.6 RT ON 5.6 RT ON | 打上げモード設定 7 |
| 5 | 捲上げ準備 発振周波数確認 | | | SA 内部 |
| | RB, CN 内部 受信確認 TVC OUT OFF | DC 電源 内部 信号回路 断 | 集中電源 内部 TVC 計測 OFF 外部 OFF モニタ回路 OFF | モニタ回路 OFF |
| 4 m 3 0 s | カプラ離脱 着コネ離脱 捲上げ | | | |
| 4. 0 0 | CN データセット 第3中間SW ON | 計算機動作確認 信号回路 断 外部電源 OFF | | |
| 1. 0 0 2 8 0 7 | コントローラスタート CN-OK タイマ作動確認 | | (略称についてはM-3H-3号機) 実験計画書を参照 | |

X

また、後の管制操作の項でふれる着脱コネクタの離脱から点火タイマ始動、姿勢制御系、タイマ系の作動確認は秒を追っての操作となるため、それらの確認作業はロケット打上げのための最終的なイベントとなる。

3. 管制装置と操作の概要

3.1 M発射管制装置

この装置は、ロケットの発射前から発射時刻に至るまでのイグナイタ点火系のチェック、ランチャの設定ならびに搭載機器系のチェックを行い、かつ発射場々内、発射場周辺の海上、陸上、航空の保安系の状況を確認するなど所定のタイムスケジュールに従った管制司令連絡を行い、最終的に発射条件を確認したうえでロケットの点火を指令するランチングオペレーションを総合的に行うためのものである。

M発射管制装置の発射管制司令卓は搭載機器管制部、ランチャ・イグナイタ管制部、保安管制部、姿勢制御管制部と発射管制部より成り、前4者のうち、打上げ作業の主要をなすものが発射管制部の表示ランプまたは打合せ回路ボタンとして組込まれている。

ロケット打上げを最終的に実行するためには、各管制部における打合せ回路が作業進行を確認後に形成され、これらがすべて完了して点火回路を閉じることができるようにインターロック機能を有している。

以下に、搭載機器管制盤（上述の発射司令卓上の搭載機器管制部とは別に搭載機器電源のON、OFF操作を行う管制盤である）と発射司令卓の発射管制部との関連操作を主体にして説明を加える。他のランチャ・イグナイタ、姿勢制御、衛星管制などの管制盤との関連は同じ内容の操作となるので本文では省略するが、これら管制盤との打合せ回路が形成されて始めて次段階の作業に進めるようになっている。とくに、打上げ直前の秒単位の作業に関しては、確認信号が関連装置から自動的に送られるものでなく、各操作者の手動操作である場合、そのタイミングは非常な重要性を有し、操作の不実行はロケット打上げ時刻の大幅な変更につながるためとくに注意を要することを強調しておきたい。

3.2 発射管制部と搭載機器管制盤の操作概要

ここでは、搭載機器管制盤の操作上よりみたM発射司令卓の発射管制部との関連に主眼を置いて、その手順を記述する。前述のごとく、これらの関連操作はランチャ・イグナイタ、姿勢制御、衛星の各管制盤における発射管制部との関連操作と同等のものであり、一部の特別な項目を除いては、ここで述べる搭載機器管制盤との打合せ操作を知れば、他の管制盤における関連操作を同様に考えればよいからである。

図1の上部には発射管制部、下部には搭載機器管制盤の主要部を示した。搭載機器管制盤は図1の主要部の左側にある25項目の各搭載機器ON、OFFを行う管制盤（図では5項目のみ示した）と一体となって使用される。発射管制部における搭載機器管制操作に関わる主要な流れを太線で記入した。このときの搭載機器管制盤における操作の流れを、同様に太線で記入してある。それぞれの卓で操作する（または操作することが原則になっている）押ボタンについては◎印を記し、相手卓での操作を表示するものについては○印を記して番号をつけた。また、可能なかぎり図中に説明を加え、本文を参照しなくても理解できるよう努め

た。

① ON SCHEDULE (タイムスケジュール内)

タイムスケジュール入りと同時に発射管制部において設定する。この表示が搭載機器その他の管制盤にも表示される。

② RB ON OK (動作チェック開始打合せ)

動作チェック開始にあたり、搭載機器管制盤において他班との平行作業 (PARALLEL) か単独作業 (SINGLE) かを定めて発射司令卓に要求を出す。このとき、通常 PARALLEL OPE が設定される。ただし、スケジュール内の点火作業を行うときは、他班の作業をすべて停止して行う SINGLE OPE が選ばれる。司令卓において動作チェック開始の許可 (RB ON OK) を出すと、搭載機器管制盤で開始 (RB ON) を通告する。

③ DANGER PROOF (危険保護)

このスイッチが ON のときは、その系統の管制盤からの電源がロケットの着脱コネクタに印加されないようになっている。したがって、搭載機器系の動作を行わないときは、常に DANGER PROOF を ON にしておく。

④ GO (動作チェック開始)

実質的に動作チェック開始を意味し、搭載機器管制盤で操作する。

④' RB READY (準備了)

各搭載機器の準備完了に従ってこのボタンを操作する。ただし、図の操作盤はこの盤の左隣りにある 25 項目の搭載機器操作盤を 5 項目ずつグループ化したものであり、1 項目ずつ確認をとるときは隣りの操作盤を用いればよい。

④" RB CONT. SW (スイッチ操作を可能)

この操作ボタンを ON にすると、各搭載機器のスイッチ ON, OFF, 内部電源の切換えが可能となる。実際の操作は左隣りの各項目ごとの操作盤で行う。

④" OPE OK (動作チェック了)

各搭載機器の動作が正常でかつ内部電源で働いているとき (発射時 X-5 分) このボタンを操作できる。すべての搭載機器の動作確認が終了と ALL RB のランプが点灯する。このとき、使用しない項目に対しては NO OPERATION スイッチがあって、あらかじめこのスイッチを設定することにより回路が構成される。また、次項の RB READY 設定後は、搭載機器管制盤上のこれらの表示は着脱コネクタ離脱後も保持されることは注意を要する。

⑤ RB READY (搭載機器動作の確認)

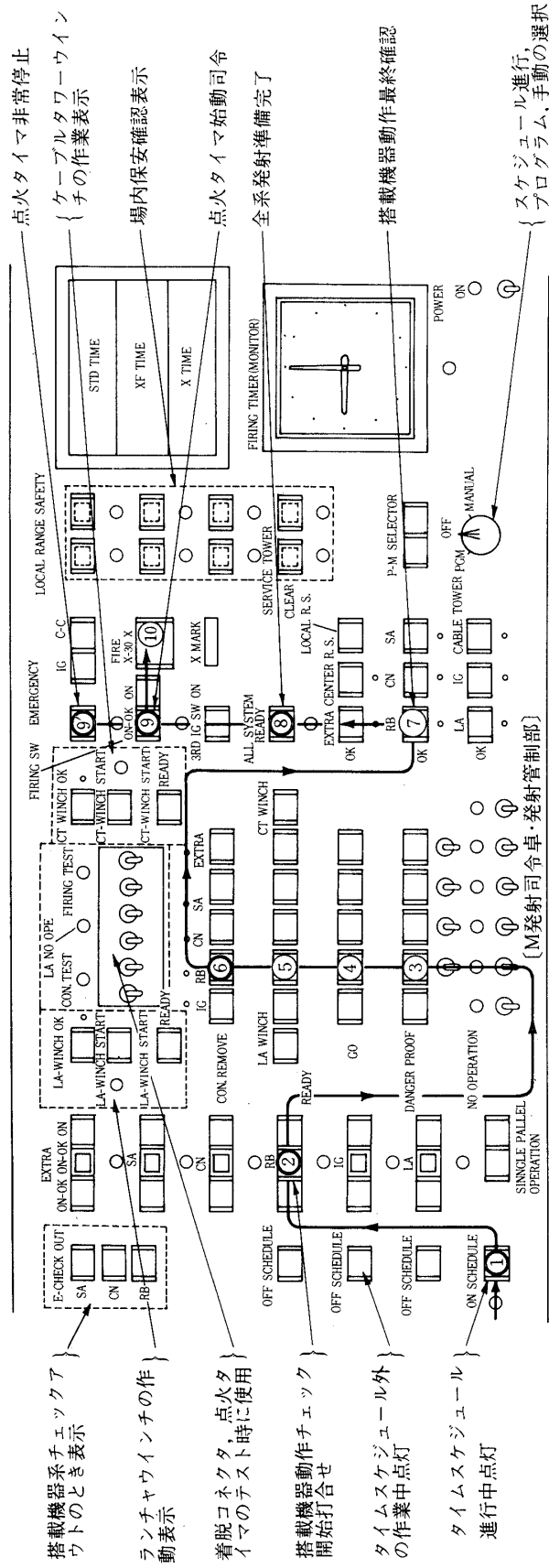
全搭載機器の動作の確認を行って、着脱コネクタ離脱へと移行する確認ボタンである。

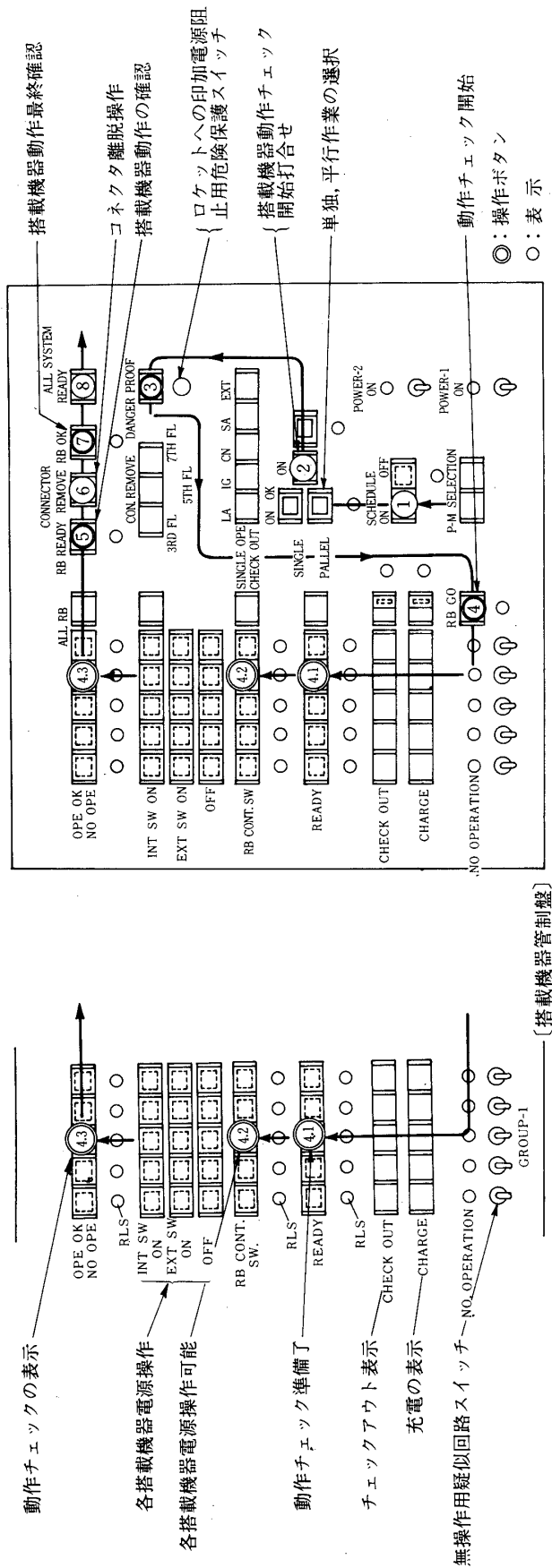
⑥ CONNECTOR REMOVE (コネクタ離脱)

通常司令卓で操作する。コネクタ離脱信号を受けてケーブル捲上げウインチが作動し、捲上げ終了後自動的に WINCH OK が司令卓に表示される。

⑦ RB OK (搭載機器動作の最終確認)

ケーブルコネクタ離脱後、各搭載機器の動作に異常のないことを確かめて、搭載機器管制盤でこのボタンを操作する。この時点では通常 X-2 ~ 3 分であるため、点火タイ





第1図 M発射指令卓・発射管制部と搭載機器管制盤

マ-始動まで1~2分間に全搭載機器の再確認を司令電話を通じてとる必要がある。

⑧ ALL SYSTEM READY (全系発射準備完了)

司令卓ではランチャ、イグナイタ、搭載機器、姿勢制御、衛星、保安系の全システムのOKを確認してこのボタンを操作する。これを確認して、イグナイタ管制盤では第3点火スイッチをONにして発射準備完了となる。

⑨ FIRING SW ON OK (タイマー始動)

司令卓においては、ここではじめてイグナイタ点火タイマ始動許可を出す。これに従ってイグナイタ管制盤においてイグナイタ点火ボタンが押され、点火タイマにより1分後にロケットに点火される。点火タイマ始動後X-28秒で姿勢制御系動作確認、X-7秒でタイマ作動確認がとられる。

⑨' EMERGENCY (非常停止)

タイマ始動後、何らかの原因でロケットの打上げが不可能となったとき、このボタンを押すことにより点火タイマを停止することができる。このボタンは司令卓、イグナイタ管制盤およびコントロールセンタ中央司令卓にあってそれぞれで操作できる。搭載機器系に関する非常停止は、姿勢制御系、第2段搭載機器系、衛星系の3つの管制盤操作者の判断を発射司令卓へ通告し、ここで操作する。着脱コネクタ離脱後打上げを延期した場合は搭載機器内部電池保護のため、搭載機器管制盤において電源断とすることができる押ボタンが左隣り操作盤の第1グループ内に組込んである。

⑩ X, X マーク

以上の作業が滞りなく行われたとき、イグナイタへ電流が通じてロケットは発射される。この時刻は標準時刻装置より送られる正秒時と一致し、その時刻信号はロケット飛しょう中の取得データの時刻照合のため、関係する地上機器に伝送される。

第2表

| 日 程 | M-3H-1, 2 | M-3H-3 | |
|------|---------------|-----------|----------------|
| Y-18 | 全員打合会 | | |
| 17 | アンテナテスト ㊟ | | ㊟ : 動作チェック |
| 16 | | | NF : ノーズフェアリング |
| 15 | CN, TVC, SJ ㊟ | | CM : コマンド |
| 14 | | | CN : 姿勢制御 |
| 13 | | | TVC : 推力方向制御 |
| 12 | | | SJ : サイドジェット |
| 11 | NFなし ㊟ CM | | |
| 10 | | NFなし ㊟ CM | |
| 9 | | | |
| 8 | NFあり ㊟ CM | | |
| 7 | 整備塔内 ㊟ | NFあり ㊟ CM | |
| 6 | | 整備塔内 ㊟ | |
| 5 | | | |
| 4 | 電波テスト | 休日 | |
| 3 | | 電波テスト | |
| 2 | 休日 | | |
| 1 | | | |
| 0 | 発射日 | 発射日 | |

4. M-3H 搭載機器管制

表2には、M-3H-1, 2, 3号機に対するフライトオペレーションの日程上の動作チェック作業予定を示した。ただし、実際には1号機における姿勢制御系のトラブルによる発射日の大幅な変更, 2号機における姿勢制御系のトラブルによる2日間の遅延, 3号機の精測レーダ系のトラブルによる1日遅延等スケジュール変更を生じた。しかし、その作業順序は原則として変化させていない。M-3H-1, 2号機は休日も含めてまったく同じ予定スケジュールとなり、電波テスト、発射日を除いて5回の動作チェック、発射日まで通算9回の動作チェックを行う。一方、M-3H-3号機ではオペレーションテストのスケジュールがフライトスケジュールと一体化したため、CN, TVC, SJ 総合動作チェックがなくなり、組立室内動作チェックが2回に減った。このため第2段搭載機器系からみたフライトスケジュールはY-18日からY-9日と9日間短縮された。

M-3H ロケットの搭載機器管制遂行中、とくにタイムスケジュール内で生じたトラブルについて表3にまとめてみた。

管制作業上からは、2号機, 3号機のオペレーション電波テストにおいて操作上のミスによる発射打合せアンサーの帰らなかったもの1件、リレー不動作によるもの2件が発生した。また、2号機オペレーション電波テストにおけるランチャ走行中にKEケーブル断線事故が発生した。1号機発射日の精測レーダへの妨害電波、3号機オペレーション電波テストにおける終日の妨害電波発生は精測レーダのみならず、関連するCN, TSL へのコマンド動作の確認を行うことができなかった。

2号機の発射日タイムスケジュール内で生じたCN-SJ 系のトラブルは40分のスケジュール遅延を生じたにもかかわらず、担当者のご努力で点火系作業終了までに回復した。また、2号機オペレーション電波テスト、3号機フライトスケジュール電波テストでロケットが雨にぬれるトラブルが発生したが、大事には至らなかった。

発射直前作業においては、1号機では海上チェックのOKがとれずXを15分延期した。3号機においては衛星の第1回目の動作チェック後、電池の充電が必要と判断され、衛星動

第 3 表

| 日 程 | M-3H-1 | M-3H-2 | M-3H-3 |
|------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| オペレーション 電波テスト | | ランチャ走行中ケーブル断 ロケット雨でぬれる | 妨害電波 SA READY, LA OK 出ず |
| フライト 電波テスト | | SA OK はず | ロケット雨でぬれる |
| 発 射 日 | CN-SJ 調圧弁故障 妨害電波 海上チェック, (15分延期) | | 充電のため SA OK 15分 はやめる |

作チェック開始を15分早やめた。

以上、若干のトラブル発生はあったが、M-3H-1, 2, 3号機の搭載機器管制はその役目をはたすことができ、現行のスケジュールがロケット打上げに対し確立されたものと判断でき、地上発射管制装置が有する性能を十分発揮できたと考えている。

しかし、今後のロケットの大型化、搭載機器の複雑化を考えると、スケジュールについても発射管制装置についても一層の改善を必要とする。以下には、M-3H型ロケットの搭載機器管制を通して気付いた点を付記しておく。

前述の現行スケジュールは過去長年のロケット打上げ作業に関わる経験に基づいて作りあげられたものであり、慎重かつ確実に一步一步スケジュールを進めるように組まれている。したがって、トラブルが発生しても比較的小さなステップで後もどりできる利点がある。しかし、搭載・地上機器系の信頼性の向上した今日、また、人件費の高騰に鑑みて動作チェックの回数の削減の必要性が高まっていると考えられる。

組立室内で行うコマンド受信機の電波干渉テストは、宇宙研にその設備を完備してここで完全に行えるようにしたい。整備塔内動作チェックは、整備塔回線のチェックを目的とするならば、電波テストスケジュール内に組込むことが可能と考えられる。発射日のタイムスケジュール内動作チェックも、第1回と発射直前を一体化することにより、今後のスケジュール単縮に役立つであろう。

これらスケジュール上の作業の単縮・簡素化と合せ、発射管制装置に対しても今後簡素化をはかることが必要であろう。いわゆるM発射管制装置として組立室、整備塔、ランチャとこれを接続するケーブル数は3200回線と非常に多く、この保守には高額の予算を必要とするのが現状である。将来、システムの拡大とともに需要の増加が考えられるが、これも一部電源系を除く信号回線に対しては現在衛星が行っている無線を利用した操作・データ取得の方法に切替える必要があると思われる。

司令電話に関しては現状で150回線をはほぼフル使用しているにもかかわらず、司令内容の混乱をまねくことが多く、とくに、搭載機器管制からは各班の電話取扱者の音声を判別し、対話順序の整理まで行う必要が起っている。これらの不便さは現状の中央集中形の回線ばかりでなくグループ各の網目回線の確立、電話・インターホン併用システムとすることで改善可能と考えている。

5. む す び

以上、M-3H型ロケットの管制系について主に搭載機器管制の立場から作業の進行、管制卓操作の概要を記した。これら管制系の作業はロケット、ランチャ、イグナイタ系および姿勢制御、衛星搭載、第2段搭載機器系の合同作業によって進められるものであり、各班ごとの統制ならびに協力が不可欠のものである。また、発射管制装置およびこれに関連した装置の万全な保守によって始めて運用できることはいうまでもない。日頃の各班のご協力に対し、また、装置の運用・保守にご努力いただく担当者各位に深甚の謝意を表する次第である。

本文が搭載機器管制の作業進行の円滑化の一助に、装置操作の参考になれば幸いである。

1979年12月7日

文 献

- [1] 齊藤, 丹羽, 高中, 東大宇宙航空研報告
3-1 B, p. 126 (1967-3)
- [2] 齊藤, 丹羽, 高中, 東大宇宙航空研報告
5-2 B, p. 403 (1969-7)
- [3] 高中, 瀬尾, 藤田, 東大宇宙航空研報告
11-1 B, p. 341 (1975-3)
- [4] 藤田, 瀬尾, 下村, 宮川, 東大宇宙航空研報告
14-1 B, p. 405 (1978-3)