

M-V ロケットの発射管制

餅原義孝*, 下村和隆**, 山田明宏***, 伊東透***, 村口一春***

1. はじめに

発射管制の役割とは、ロケット打上げすなわちミッション開始に向けて、ロケット機体・搭載機器、科学衛星や探査機、受信局等の地上設備、関係諸機関等との連絡体制、等々の必要な準備作業を、一つとして抜けの無いように確実に進捗管理を遂行することである。以下に、M-V ロケット運用終了までに確立した、内之浦宇宙空間観測所（以下、USCと言う）における科学衛星打上げにおける発射管制システムについて報告する。

2. 研究開発の概要

発射管制に用いる主要な設備としては、科学衛星を含めたロケット搭載各サブシステムの、飛翔前の動作チェックや打上げ準備作業の全体の進捗を司る「M/LS発射管制司令装置」と、ロケット・衛星－地上設備の電氣的インターフェースである「発射回線/試験回線設備」で構成される。

発射管制の進捗管理の手法として、M-Vを含めたUSCにおけるロケット運用においては、打上げ当日における各サブシステムの所要作業を効率良く確実に進捗管理するため、発射管制の手順として、フローチャート形式にまとめた「タイムスケジュール」にて運用している。また、タイムスケジュール進行中に何らかの事情により打上げ中断が決定された場合には、発射点近傍ならびに要員の安全や、再度の打上げに向けたロケット・衛星の健全性を確保した状態に戻すため、スケジュール中断時点までの進行状況に合わせた作業を進捗管理する手順として「逆行手順書」にて運用している。

3. 成果の概要

3.1. 発射回線/試験回線設備

本設備は、Mチェックアウト室及びM管制室に設置されたロケット及び衛星用各種地上支援設備と、ロケット/衛星間の動作チェックに必要な信号伝送のインターフェースを確立するものであり、M-3S IIからM-Vへの移行においては、必要回線数の見直し、RB回線の光ケーブル化、ランチャ中継函及び組立室中継函の更新、等の改修を実施した。またB1搭載集中電源については、作業負荷軽減や交換作業に伴うリスク回避等を目的として、搭載状態での充電作業を可能とする充電回線を平成12年度にMチェックアウト室－整備塔間に整備し、5号機より運用を開始した。

*	Office of Space Flight and Operation / JAXA	M-V Project Team
**	Office of Space Flight and Operation / JAXA	Uchinoura Space Center (USC)
***	NEC/TOSHIBA Space-system CO.,LTD	

本回線を機体とインターフェースする着脱コネクタのうち、B2・B3の電源系回線については、4号機まではコントローラスタート以前に離脱・巻上を必要とする電磁離脱式の54芯離脱接栓（日本航空電子(株)製DB54M122-1AD-1：各段1個）を使用していたが、「集中電源内部切替後の不測の事態によるタイムスケジュール中断時に、各搭載機器のより健全な状態を保持する」という観点から、B1電源系、タイマ/点火系、R-SAD系、TVC系で従前より採用していたフライアウェイ式のシェアタイプ24芯接栓（日本航空電子(株)製RS-D24P-AD2-1：各段2個）に変更した。5～8号機の全ての打上げにおいて、コネクタの離脱・引抜は正常であった。

3.2. M/LS発射管制司令装置

本装置は、衛星・搭載機器管制・ランチャ・姿勢制御・SJ/TVC・タイマ/点火管制の各管制設備ならびにコントロールセンター・標準時刻設備との間に、必要な各種信号のインターフェースを有している。図1にM-Vロケット発射管制設備インターフェース系統図を示す。本装置の主要機能の一つである、打上げ時刻（以下、X時刻という）設定制御機能については、8号機までは昭和40年代に整備された旧時刻設備を用いて行ってきたが、老朽化に伴い平成17年度に旧時刻設備を撤去し、現用標準時刻設備と新たにインターフェースを構築した。7号機の打上げにより更新後も従来の機能を保全していることを証明した。

各サブシステムの所要作業を一つとして抜けが無いよう進捗管理し、確実に打上げるために、タイムスケジュールのフローに沿って、各サブシステム管制設備に対する、

- ・ 点火系単独作業[IG-SINGLE]－各サブシステム並行作業[PARALLEL]の作業司令切替
- ・ 各サブシステムへの作業開始許可司令発令及び作業開始確認
- ・ 各サブシステムからの打上げ準備完了確認（2段階）
- ・ 全系準備完了[ALL SYSTEM READY]の発令

等々のインターロック機能を構築している。図2にM-Vロケット発射管制司令装置作業司令－インターロック系統図を示す。打上げウィンドウの制約を満足するX時刻が設定され、X－60秒以前に[ALL SYSTEM READY]が成立すれば、標準時刻設備からのX－60秒信号により、点火シーケンス開始可信号をタイマ/点火管制設備に出力し、オートシーケンスで上げるシステムとなっている。また、本装置にはX－60～0秒の間に不具合等により打上げを中止するための点火シーケンス緊急停止機能[EMG-STOP]を有しているが、M-Vの打上げにおいては、幸いにして本機能を使用することは無かった。

3.1項に述べた着脱コネクタの仕様変更に伴い、

- ・ ランチャ班のウィンチ巻上はノーズフェアリング空調ダクト離脱終了後直ちに、ランチャ管制装置での手元操作により行うこととした（従来はコネクタ離脱信号によるオートスタート）。
- ・ M/LS発射管制司令装置から発令する「ALL SYSTEM READY」の発令条件を、CONNECTOR/COUPLER REMOVE表示の「SA」「RB」を「CONNECT」状態時に実行可能とした（従来は「REMOVE」が発令条件）。

とする改修を平成14年度に行った。平成15年5月7日の5号機の電波テストにおいて、ノーズフェアリング空調ダクトが接続状態であるにもかかわらず、巻上ウィンチを誤作動させてしまうミスオペレーションを犯してしまったが、この不具合は、

- ・ ランチャ班との指令応答の確認手違い
- ・ オペレータの指令応答インターフェースの理解不足

が原因であった。機体の健全性については、ロケット班・ランチャ班他関係各位のご尽力により確認の上打上げに臨み、特に問題はなかったようであった。6号機以降は打上げ時と電波テスト時とで異なる運用手順を装置に明示し、同種のトラブルの再発を防止した。5～8号機の打上げにおいては、これ以外の本装置運用に係る不具合は発生していない。



図1 M-Vロケット発射管制設備インターフェース系統図

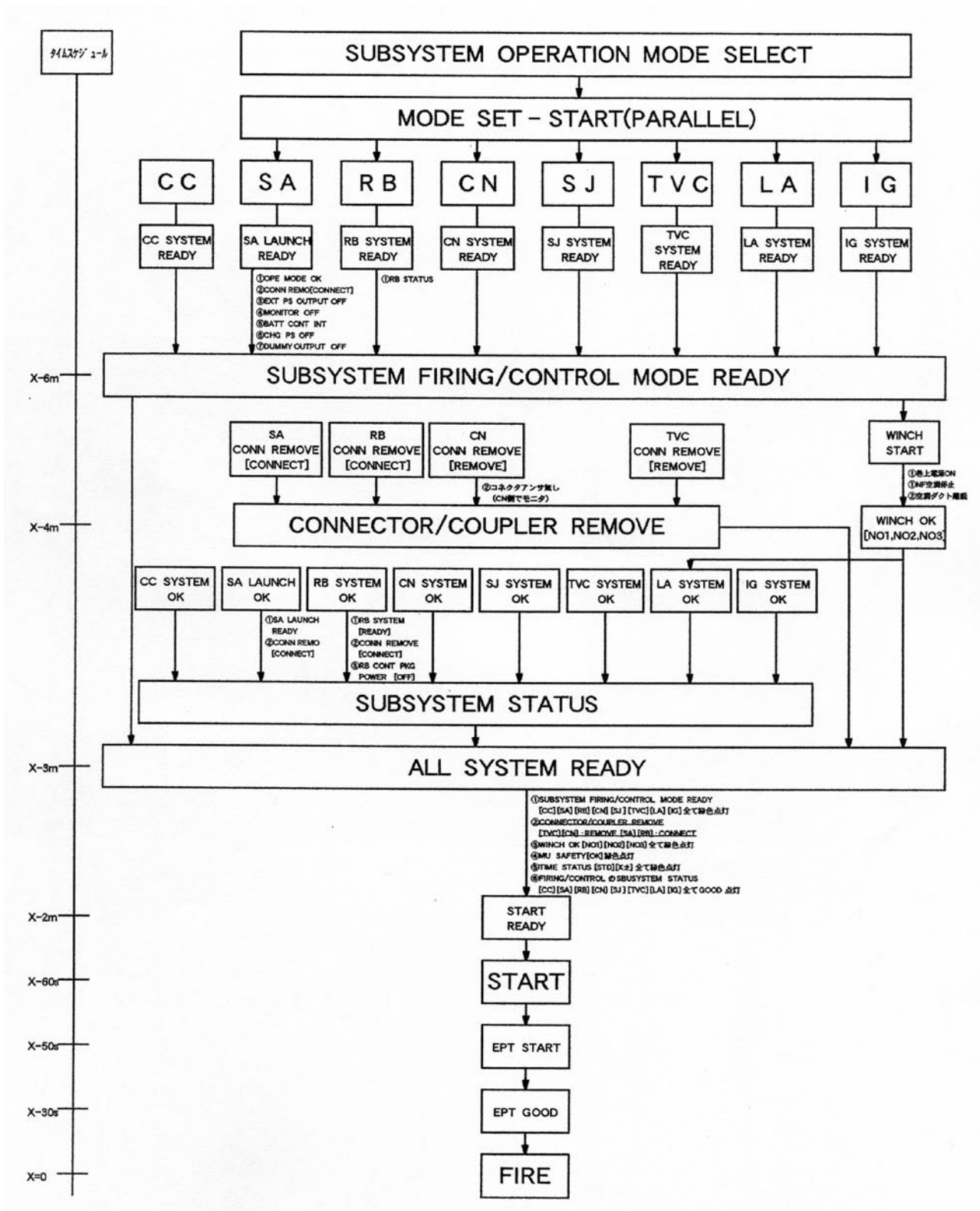


図2 M-Vロケット発射管制司令装置作業司令インターロック系統図

3.3. タイムスケジュール

M-Vで運用してきたタイムスケジュールの作業のフローは、大まかには表1のようにになっている。

表1 M-V用タイムスケジュールの概略フロー

飛翔プラグ接続・点火系導通チェック	
↓	
機体最終アクセス作業・アクセス窓閉め・着脱コネクタ接続	
↓	
衛星動作チェック及び打上げモード設定	ING ウォームアップ
↓	↓
ランチャセット及び角度読み合わせ	
↓	
整備塔及びM 台地総員退避	
↓	↓
衛星最終確認・OP スタート・NF 空調停止/離脱	RB 動作チェック・CN 発射 JOB
↓	↓
電源内部切替	
↓	
発射準備完了	
↓	
コントローラ（タイムシーケンス）スタート	
↓	
打上げ	

5～8号機の打上げ時に用いたタイムスケジュールを、それぞれ図3～6に示す（各号機の打上げ日時は本図を参照のこと）。M-Vのタイムスケジュールはおおむね半日強の運用となっており、全ての号機において適度な時間余裕を持って打上げを実行できた。

3.4. 逆行手順書

逆行手順書は、タイムスケジュール中断の場合に、二次災害を起こすことなく機体を運用するための手順書として適用しているもので、その手法はM-V各段モータ開発の地上燃焼試験用に開発されたものに倣っており、対外的にも設定された打上げウィンドウ内でのX時刻変更にも対応可能なフローとなっている。

使い方としては、フロー図の一番上に、

- ・ その作業の完了によりその後の逆行作業が異なってくる作業項目

を、特に点火系回路の安全側/発射側切替項目は漏らさぬよう、右向きに正規スケジュールの時系列で表記し、スケジュール中断時に場合分けして下向きのフローで逆行作業を進行・管理する手法となっている。また、下向きのフローには各号機の衛星の設計仕様により異なる要求を必ず反映している。5～8号機で用いた逆行手順書を、それぞれ図7～10に示す。実際には6、8号機で本手順を運用することになったが、おおむね役立ったものと考えている。

M-V-6(ASTRO-E II) タイムスケジュール

SESノート K-No.1037

γ:H17.7.10 X=12:30

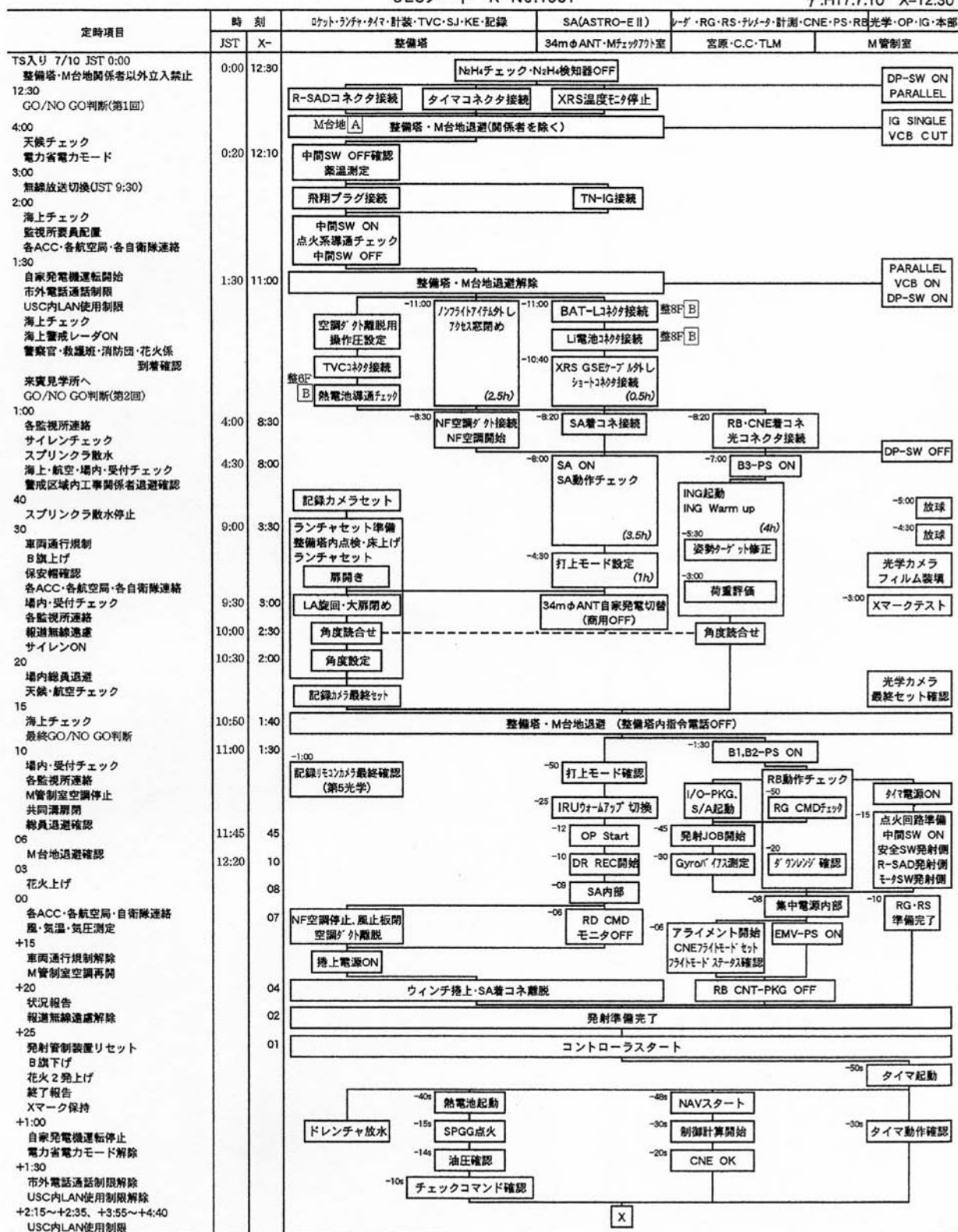


図4 M-V-6号機 タイムスケジュール

M-V-8(ASTRO-F) タイムスケジュール

SESノート K-No.1048

γ :H18.2.22 X=6:28

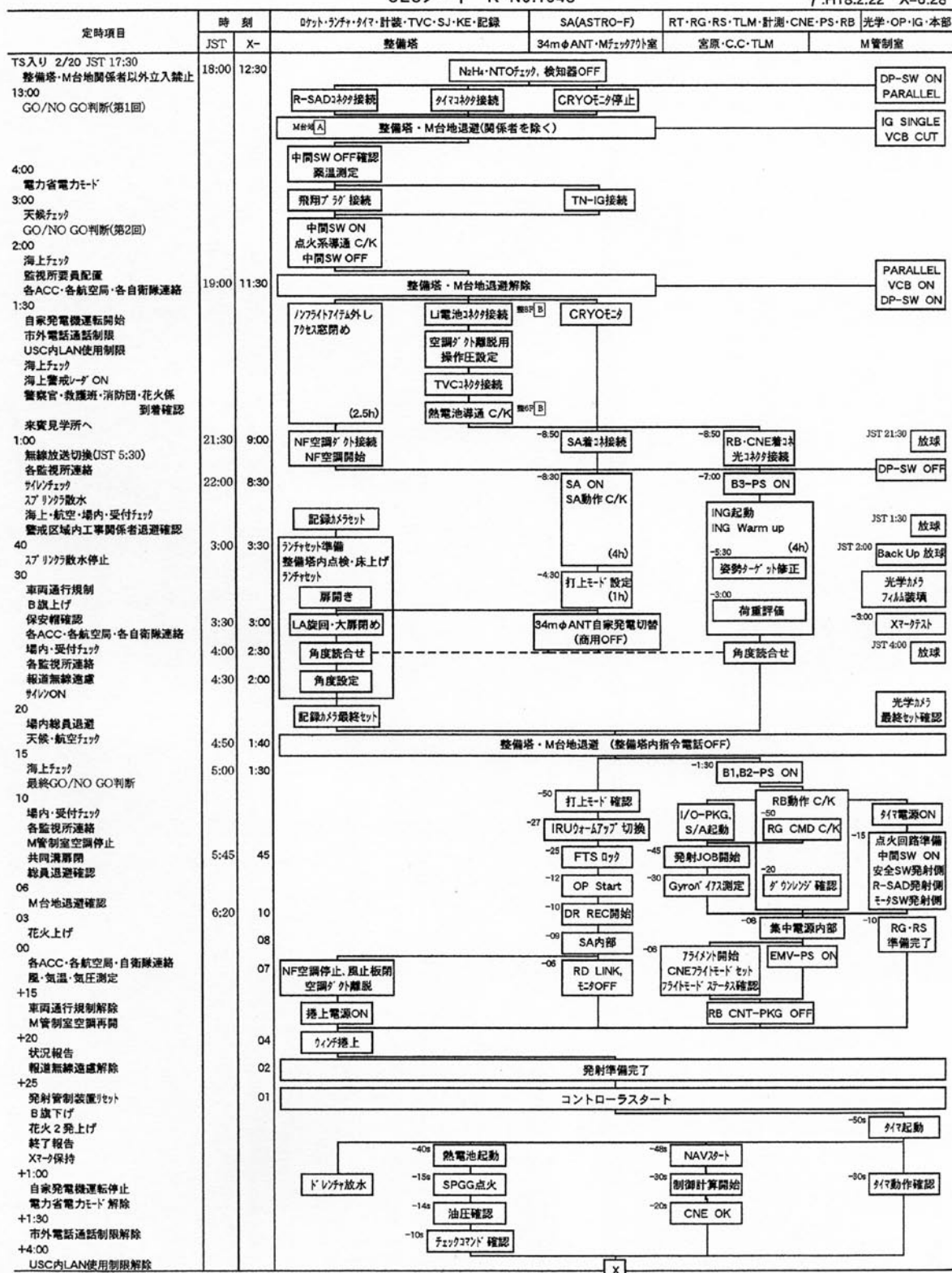


図5 M-V-8号機 タイムスケジュール

M-V-7/SOLAR-B タイムスケジュール

SESノート K-No.1056

γ:H18.9.23 X=6:36

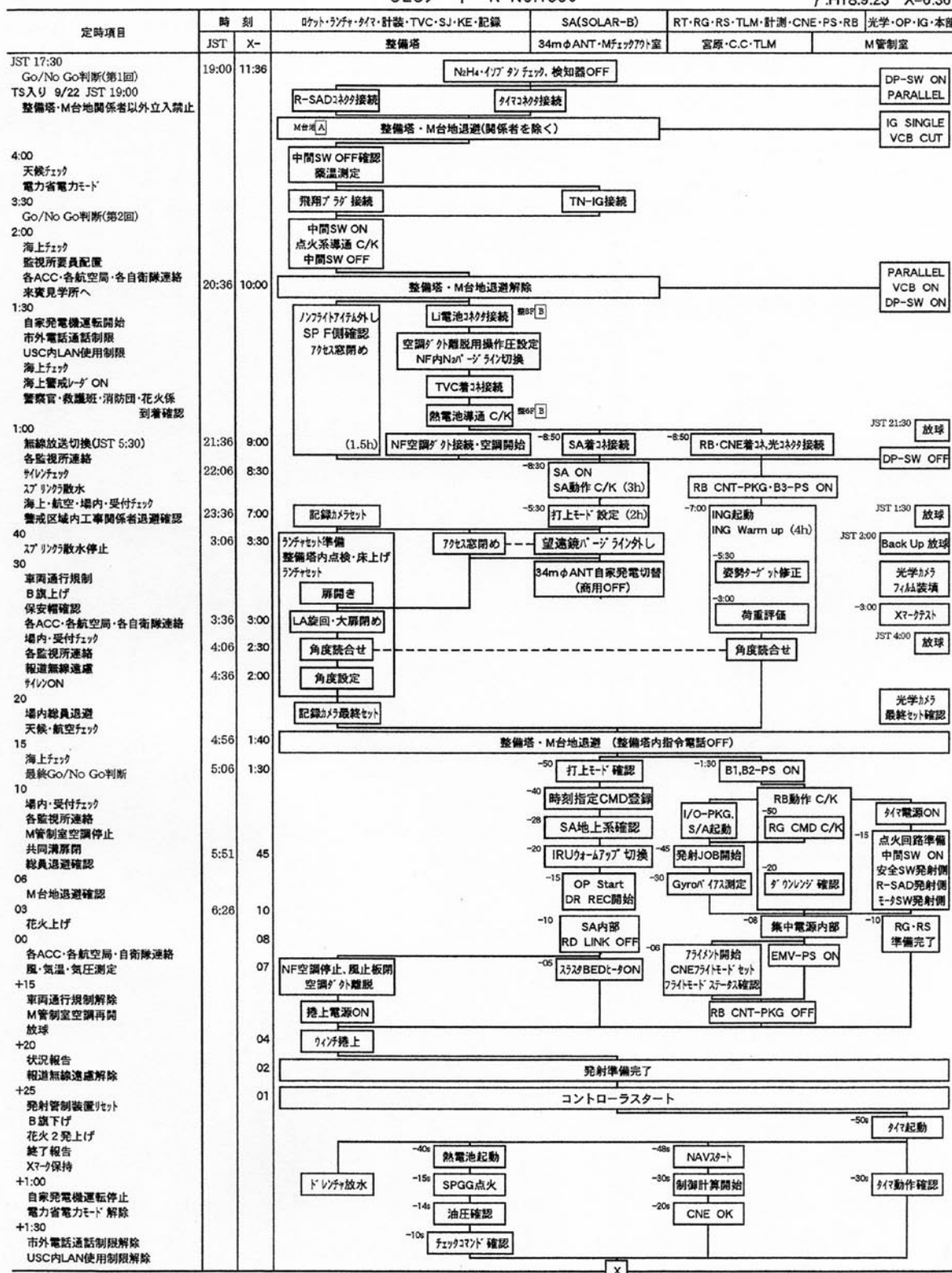


図6 M-V-7号機 タイムスケジュール

M-V-5 逆行手順書

2003.5.6 管制班

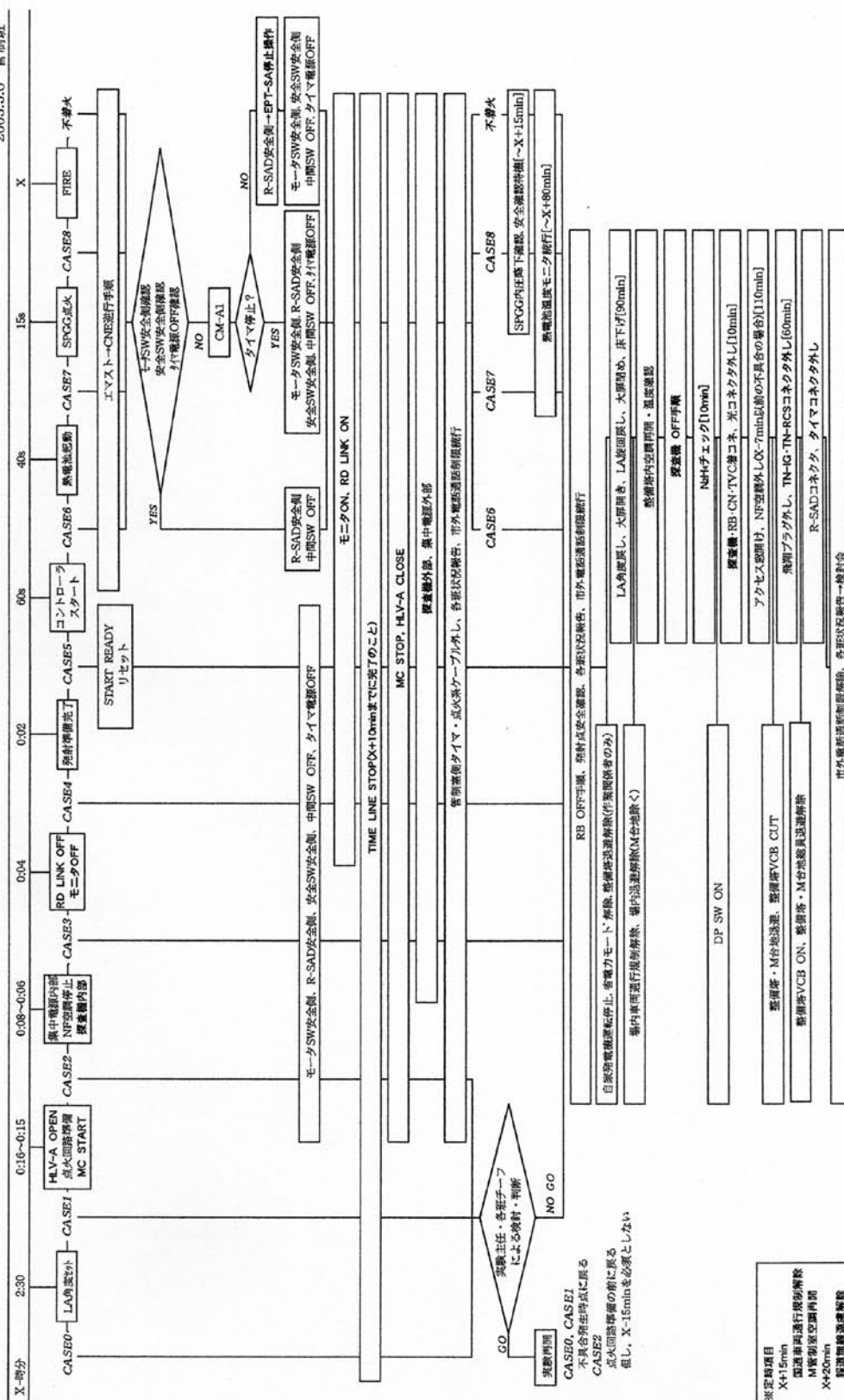


図7 M-V-5号機 逆行手順書

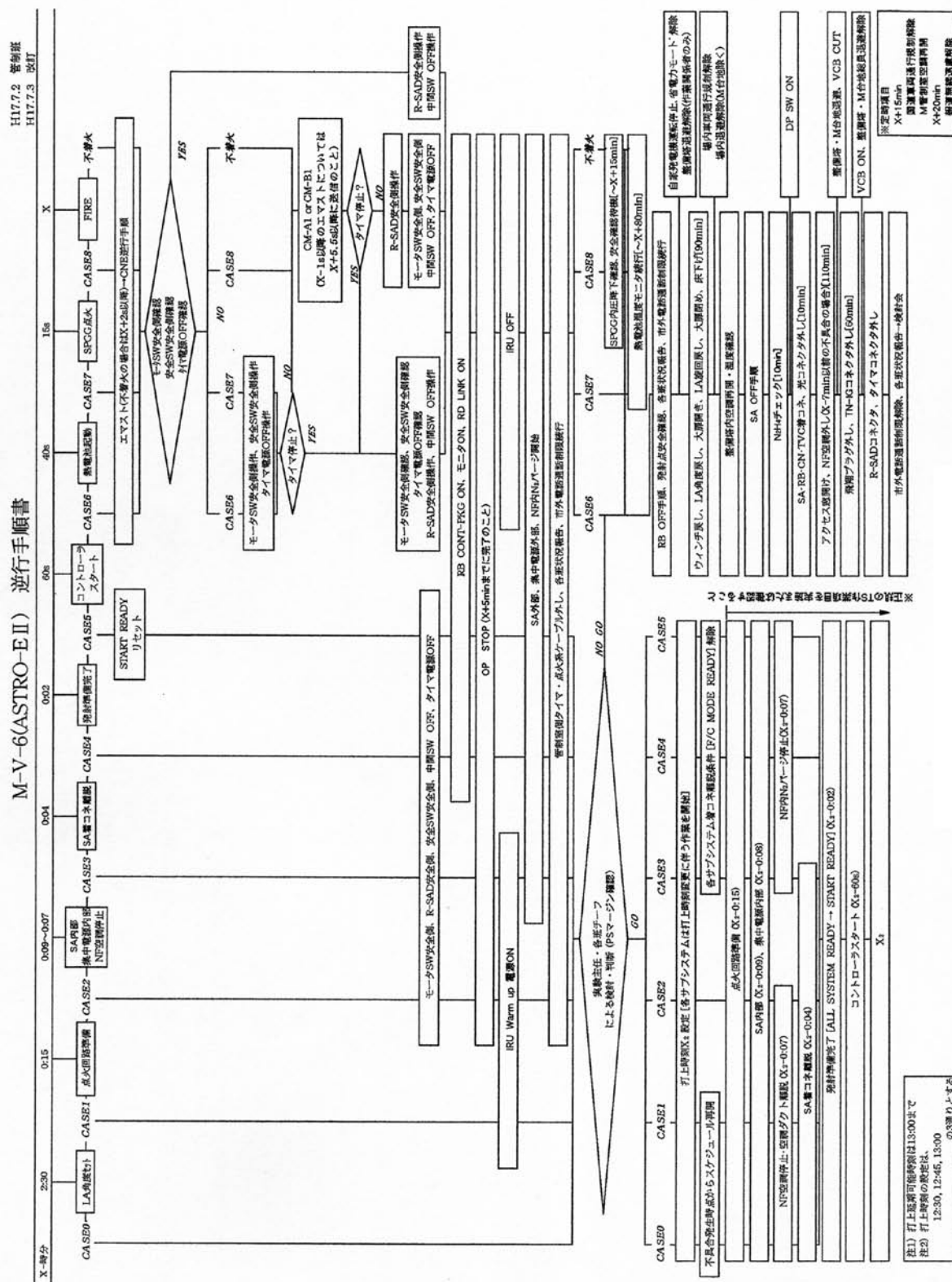


図8 M-V-6号機 逆行手順書



4. 次期固体ロケットへの反映事項

4.1. 発射管制設備

前述のように、5号機からB2・B3の電源系回線もシェアタイプ24芯接栓に変更されたことにより、電気系回線については「電力を必要としないフライアウェイ式離脱系」を構築しており、次期固体ロケットにおいても、この「電力を必要としない」点については是非、継承されたい。地上設備開発コストの低減のために、本設備についても最大限活用されることが望まれるが、M-Vへの移行時に換装がなされたRB系光回線は、古いGI規格であるため、現在主流となっているSM規格への換装が必要となるであろう。外部電源供給用メタル回線については最大限活用できるものと考えているが、ロケットー地上設備のインターフェース設計、ランチャ発射方式、M組立室での試験形態、搭載電池充電方式、等々の仕様の如何により、中継函の位置変更や回線の増設等が検討課題となっている。運用性の向上を目指し、各サブシステム管制系回線の光ケーブル化等、機体インターフェースの簡素化は是非とも実現したい。

コスト低減を含めた運用性向上のために、発射管制用GSEについては、現在の8システム（発射管制・RB・PS・点火/タイマ・CN・SJ/TVC・ランチャ・衛星）から5システム程度への集約化を図ることは有効であろう。光通信技術等を活用した新たなソフトウェアシステムを開発することにより十分に実現可能と考えられる。各サブシステムの準備状況を確実に確認するためのインターロックの構築については新システムにおいても実現すべきと考える。

4.2. タイムスケジュール・逆行手順

M-Vのおおむね半日強のタイムスケジュールのうち衛星系作業を除いたロケット系作業だけでも、所要時間は（マージン込みではあるが）10時間を越えてしまっていた。これにより電波テストから打上げ当日の実験関係者への身体的負荷が過大であった懸念は否定できない。次期固体ロケットにおいては、ロケット系作業だけで5時間程度、衛星系作業を併せても8時間程度までの打上げ作業簡素化を目指したいものである。M-Vの設計仕様を基準に考えると、

- ・ 飛翔プラグ等のコネクタ類接続作業を含めた機体最終アクセス作業
- ・ INGウォームアップ

等の所要時間を大幅に短縮するだけでも、十分に実現可能な目標であると言える。

タイムスケジュール・逆行手順のフローチャート形式での運用は、並行作業を視覚的に効率良く進捗管理することを可能にしている。これにより実験班全体としては、A3程度の「紙一枚」のみを共有することで打上げ・逆行作業を実行可能としている。これは「固体ロケットのシンプルさ」という長所をよく表しているうちのひとつと言えるものであり、次期固体ロケットにおいても是非とも継承していきたいと考えている。

5. まとめ

M-Vロケットの発射管制システムの運用においては、多くの方々の御支援・御協力により、大きなトラブルを起こすことなくその役割を果たすことが出来た。関係各位に深甚の謝意を表する。

ペンシルロケット以来携わってきた先人たちが、言わば手作りで構築してきた発射管制システムのノウハウを、次期固体ロケットにおいても十分に活かし、より良いものに発展させていきたいと考えている。