

M-V ロケットの飛翔保安システム

小川博之*, 森田泰弘**, 山田哲哉*, 入門朋子*,
中島俊*, 野中聡*, 稲谷芳文*

1. はじめに

5号機から7号機まで、飛翔保安システムの調整・改善を行ってきた。それは、(i) 投入軌道等、号機ごとの特殊事情によるもの、(ii) 計算機システム更新によるもの、(iii) 飛翔保安システムの改善に分けられる。本報告では、飛翔保安システムの号機ごとの変遷について述べる。また6号機以降は、宇宙3機関統合に伴い、旧NASDAと旧ISASの飛行安全の考え方の整理が行われている。6号機以降、新たに検討した内容についても述べる。

2. 飛翔保安システム開発の流れ

表1に飛翔保安システムの変更履歴を示す。詳細を以下に述べる。

- ・ 4号機からレーダ経由で2段保安コマンドが実行可能となった。
- ・ 5号機以降、LITVCがMNTVCに変更になったため、「LITVC停止」コマンドが廃止された。
- ・ 5号機からINGテレメータデータによるPPI/IIP表示装置（「ING表示端末」）を導入した。
- ・ 6号機以降、保安コマンドがUHF系とレーダ系で全段完全冗長構成になった。
- ・ 6号機以降、レーダトランスポンダが2台共3段に搭載された。
- ・ 6号機からRS計算機システムの更新を行なった。6号機で主系を更新、8号機で従系を更新した。
- ・ 8号機でRS計算機の表示端末の更新を行った。
- ・ 8号機で、IIP表示画面の追加を行った。
- ・ 7号機で、指令破壊時の関係機関への通報のための機体破片の落下分散データ作成ソフトを導入した。

* The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) /JAXA
** Office of Space Flight and Operation / JAXA M-V Project Team

表1 飛翔保安システム変更履歴

	1号機	3号機	4号機	5号機	6号機	8号機	7号機
SO 点火系 (UHF)	2段搭載 1,2段保安	←	←	←	3段搭載 1,2,3段保安	←	←
SO 点火系 (レーダ経由)	3段搭載 3段保安	←	3段搭載 2,3段保安	←	3段搭載 1,2,3段保安	←	←
レーダトラン スポンダ (新精測)	3段搭載	←	←	←	←	←	←
レーダトラン スポンダ (旧精測)	2段搭載	←	←	←	3段搭載	←	←
機体系備考				2段LITVC →MNTVC		B1SO配線ルー ト冗長化	
地上系備考				ING 表示端末 導入	RS 計算機主系 更新	RS 計算機従系 更新, 表示端末 更新, 画面追加	指令破壊時破 片落下分散デ ータ作成ソフ ト導入
フライト実績	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好

3. 5号機以降の飛翔保安システムの運用概要

以下では、各号機ごとに行われた飛翔保安検討とシステム運用の概要を述べる。詳細については、各号機の飛翔実験計画書、打上げ実験に係わる安全計画を参照されたい。

3.1. 5号機

5号機は1～3段が海面上に落下、4段目が軌道に投入される。1～3段の海面上落下域の設定と外国への傷害予測数評価を行なった。検討の結果、打上げ時の警戒区域、落下限界線、破壊限界線は4号機までと同じとした。

4段目のキックステージは保安機能を持たず、スピン安定のため、4段目点火前に (i) スピンモータ点火、(ii) スピン後の姿勢、が安全上問題ない範囲に入っていることを確認することとした。もし4段目点火前にどちらかが異常であれば、第3段タイマを停止し4段点火を行わない運用を行うこととした。第4段点火時刻は電波誘導により可変であったため、電波誘導によるタイマ時刻をチェックしながらの運用となった。

5号機は正常に飛翔し、飛翔保安システムも正常に運用された。ING表示端末も問題なく運用に用いられた。

3.2. 6号機

前号機と同様、1, 2段の海面上落下域、航空局通報用データ作成、外国への傷害予測数解析を行った。これらに加えて、3機関統合後、旧NASDAと旧ISASで飛行安全の考え方の調整がなされ、また「M-V総点検」において幾つか勧告を受けている。以下に検討した項目を挙げる。

3.2.1. M管制室破片落下耐性解析

指令破壊時に発生するイナータ破片（破片着地時に2次爆発を起こさない破片）および推進薬破片（破片着地時に2次爆発を起こす破片）に対して、M管制室およびMチェックアウト室の耐性解析を行った。解析例を図1に示す。イナータ破片については各コンポーネントの質量・形状データから、推進薬破片についてはM-Vの推進薬に対して計算された破片質量・形状データを用いた。各破片の落下速度は質量・形状から求まる平衡速度を用いた。M管制室のコンクリート材料強度は、実際にサンプルを採り強度試験から得られたデータを用いている。いくつかの形状・質量の破片についてM管制室への衝突解析を行い、耐性を求めた。求められた耐性は次節の射場内残留人員傷害予測数解析に用いられた。

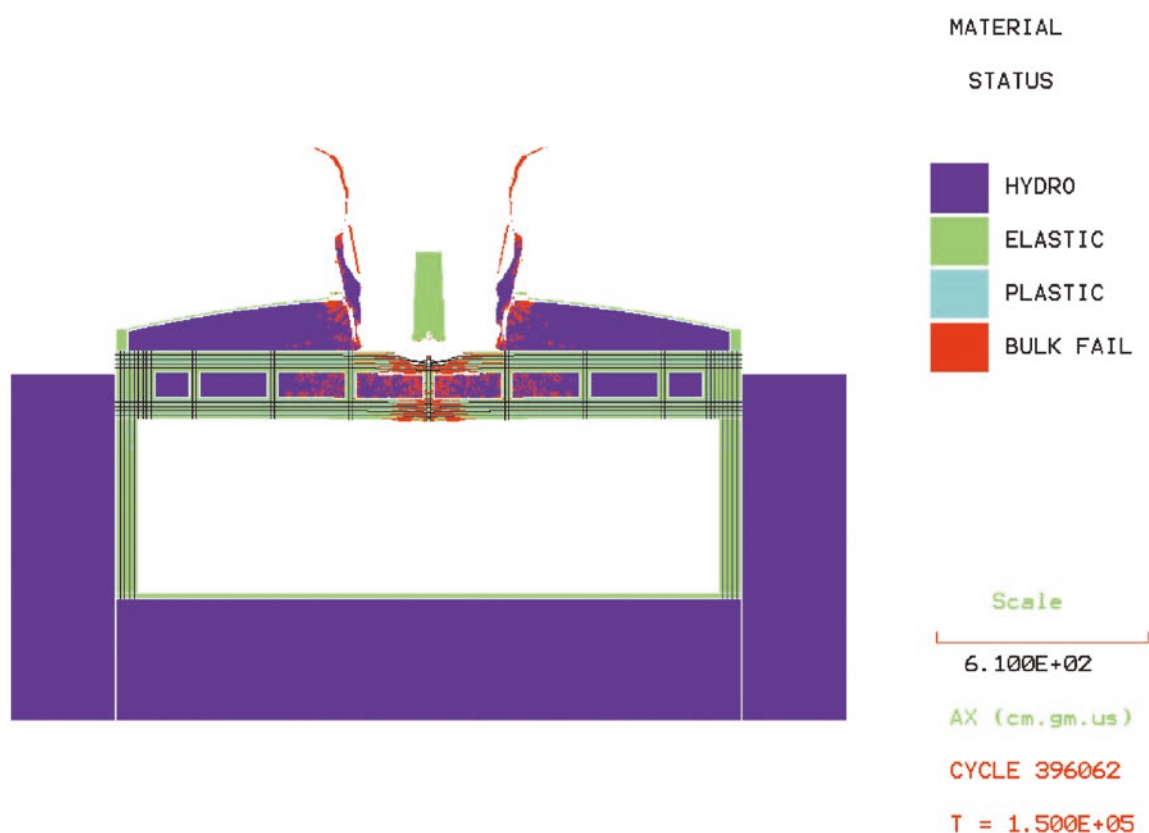


図1 M管制室の耐性解析例

3.2.2. 打上げ時射場残留人員の傷害予測数

打上げ時に警戒区域内に残留する打上げ人員に対する傷害予測数の解析を行った。JAXA「射場・飛行運用安全技術基準」には傷害予測数に関する数値基準が定められており、その基準を満たすように射場運用を行う必要がある。傷害予測数解析にあたっては、(i) M管制室の傷害予測数は爆風圧の影響を受けない（破片直撃の影響のみ考慮。破片に対する耐性は前節の解析結果を用いる）、(ii) M管制室以外の傷害予測数は指令破壊時の爆風、推進薬破片の落下衝撃による2次爆発の爆風、破片直撃の影響を受ける、ことを仮定した。M管制室以外の建物の爆風および破片直撃に対する耐性は人間の耐性と同一と仮定して解析を行った。解析を実施した建物の位置を表2に示す。この解析結果に基づき、JAXA「射場・飛行運用安全技術基準」に定められた傷害予測数の数値基準を満たすように、打上げ時には射場内人員配置の調整を行った。

表2 傷害予測数計算に用いた建物等の位置

	緯度	経度	射点からの距離 (m)	建物等面積(m2)
射点	131.082320750	31.250960736	0	-----
M管制室	131.081058920	31.250507837	130	517
コントロール	131.079707208	31.254505565	461	270
34m	131.078379658	31.254313083	527	1295
10m	131.084596798	31.255705746	555	184
20m	131.080679868	31.256849315	662	225
ロケットテレメータ	131.078944853	31.254482920	503	369
SAテレメータ	131.078721404	31.254765982	541	275
電波観測センター	131.078865988	31.254596145	518	253
テレメータ台地	131.078603107	31.254131924	498	1
新精測レーダ	131.062394357	31.230421787	2955	818
旧精測レーダ	131.069597301	31.236026406	2045	248
飛跡監視所	131.076931686	31.252183562	530	11
第1光学	131.077628321	31.252693073	486	13
第3光学	131.069820750	31.236717077	1971	40
第5光学	131.083426977	31.255094333	458	1
PI退避壕	131.079917513	31.254075311	411	1
計器センター	131.076484788	31.250326678	559	491
管理棟	131.076143042	31.251289087	589	553
受付	131.075314967	31.250394613	669	50
廣瀬橋	131.077012676	31.271432648	2309	1
レーダ入口	131.065167753	31.236954848	2248	1
一般見学席	131.058372275	31.231938997	3098	1
報道班取材席	131.065167753	31.232278671	2630	1
旧宮原小学校	131.065982685	31.236332113	2241	1
望楼	131.077194567	31.252568526	519	13
M橋入口	131.075052085	31.250077584	698	1
旧宮原分校入口	131.065575219	31.235822602	2308	1
上床道路入口	131.082349164	31.255434007	485	1
報道班取材席入口	131.065575219	31.232720247	2567	1
総合グラウンド十字路	131.086226661	31.258151398	865	1
川原瀬入口	131.089000058	31.260166797	1186	1
長坪保安道路入口	131.066758184	31.239332566	1959	1
長坪退避所	131.073290782	31.243861551	1163	40
川原瀬退避所	131.094599427	31.260495148	1560	20
乙南集落センター	131.070953265	31.266779116	2051	200

3.2.3. 海上船舶に対する落下確率

打上げ時の海上船舶に対する落下確率がJAXA「射場・飛行運用安全技術基準」で定められている数値を上回る海域には、警戒船を配置し、船舶がその海域に侵入しないように監視することになっている。内之浦周辺海域の船舶密度調査結果に基づき落下確率解析を行い、JAXA「射場・飛行運用安全技術基準」で定められている数値を上回る海域が4号機までの海上警戒区域の中に含まれることを再確認した。

3.2.4. 第1段落下予想区域見直し

M-Vから第1段の尾翼がなくなったため、1/2段分離後の第1段の姿勢が空力不安定となった。このことを考慮し、第1段の姿勢運動を考慮して解析を行って第1段の落下予想区域の算出を行った。

3.2.5. 故障確率見直し

飛翔安全解析に用いる「故障確率」を、H-II A・SRB-Aの固体ロケットモータエロージョンタスクフォースで得られた知見を反映し、見直しを行った。

3.2.6. 1/2段接手空力破壊に対する飛翔安全対策

第1段飛翔時の姿勢異常により、1/2段間部が空気力により破壊する可能性が否定できない。1/2段間部が第1段燃焼時に破壊した場合、第1段に対する保安措置が効かないため、飛翔保安上問題となる。そこで、第1段飛翔時には横加速度のテレメータデータを監視し、横加速度が予め定められた値を超えたら飛翔保安措置を講じることとした。これにより、1/2段間部が空気力により破壊する前に飛翔保安措置をとることができる。

3.2.7. 内之浦推薬庫推薬保管時の打上げ安全性検討

M-V-2号機の推進薬が内之浦推薬庫に保管された状態で、M-V打上げが安全上可能かどうかの検討を行い、問題ないことを確認した。

3.2.8. 有人軌道上物体との干渉解析（COLA解析）

国際宇宙ステーションやスペースシャトルと干渉しないように、打上げ前に解析を行い、打上げ時間帯の調整を行った。解析には、統合追跡ネットワーク技術部軌道力学チームの支援を受けた。

3.2.9. 遠方の破壊限界線・落下限界線の明確化

南鳥島以遠、軌道投入直前の南アメリカ大陸までの領域の破壊限界線・落下限界線・ゲートを明確にした。

3.2.10. 指令破壊時の通報

破片落下時間帯および落下範囲を、ノミナル軌道において破壊時刻の関数として予め求めておき、指令破壊時の通報データとして準備した。

3.2.11. 打上げ時の運用

6号機の飛翔は正常で、飛翔保安システムも正常に運用された。従系の計算機が更新されたが運用上問題はなかった。

3.3. 8号機

8号機はMロケットで初めての太陽同期軌道投入であり、飛翔安全解析はすべて新規に行った。1, 2段の海面上落下域、航空局通報用データ作成、外国への傷害予測数解析、射場傷害予測数解析、海上船舶落下確率解析、COLA解析を行った。射場周辺及び海上の警戒区域は検討の結果、前号機までと同じとしたが、落下限界線・破壊限界線は全く新規となった。南海上には、フィリピン・インドネシア・オーストラリアの大陸・島嶼が多数あるため、飛翔安全管制の観点で、飛翔安全計算機システムの表示画面を1画面増やすこととした：具体的には、Fine/Coarseに加えてMiddle表示をIIP表示画面に追加した。

8号機の飛行は正常で、飛行安全システムも正常に運用された。主系計算機および表示端末の更新が行われたが、運用上問題はなかった。

3.4. 7号機

1, 2段の海面上落下域, 航空局通報用データ作成, 外国への傷害予測数解析, 射場傷害予測数解析, 海上船舶落下確率解析, COLA 解析を行った。射場周辺及び海上の警戒区域は検討の結果, 前号機までと同じとした。8号機が冬期打上げで西風が強かったのに対し, 7号機は夏期打上げで西風が弱いいため, 打上げ軌道は東よりとなるため, 落下限界線・破壊限界線を新たに設定した。

7号機から, 指令破壊時の通報内容をより正確にするため, 指令破壊後の破片の落下予想時刻・落下分散範囲を指令破壊時のロケットの位置・速度から計算するソフトウェアを整備した。また, IIP 計算に用いるレーダデータのフィルタとして, 「 $\alpha - \beta - \gamma$ フィルタ」の検討を行ったが, 従来の最小2乗法を用いたフィルタと比べて改善は見られなかったため, 「 $\alpha - \beta - \gamma$ フィルタ」の導入は見送った。

7号機の飛行は正常で、飛行安全システムも正常に運用された。

4. 次期固体ロケットへの反映事項

飛行安全についての考え方を整理してはどうか。

5. まとめ

5号機以降の飛行保安システムの改善と、飛行安全検討についてまとめた。詳細な内容は開示できないため、概略的な記述にとどめた。