

## M-V ロケットのタイマ点火系

中部博雄\*, 相原賢二\*  
菊地毅\*\*, 根本健司\*\*, 下山篤\*\*, 赤池護\*\*

### 1. はじめに

M-V-5号機から、1段目ロケットのSMRC本数削減でスクイブ数は32個から8個になり、また、2段目ロケットが更新されたが、タイマ点火系機器としては大きな変更は無い。本報告では機器開発に当たっての特記事項、M-V ロケット打上げまでの試験と飛翔結果及び次期固体ロケットに向けての反映事項を報告する。

### 2. 研究開発の概要

#### 2.1. タイマ点火系

M-V ロケットのタイマ点火系機器はM-3S II ロケットの基本的な構成及び信頼性は継承しつつ、プロジェクトの要請から精度及び機能向上を図っている。M-V ロケットタイマ点火系の変更点を表1に、タイマ点火系々統図を第1図に示す。またタイマ点火系機器は2段目計器部と3段目計器部（図2、図3、図5）に搭載されている。機器構成はいずれもタイマ、点火リレーボックス、タイマ点火系電源ボックス、点火電源スイッチから成っている。本来、タイマ点火系搭載機器はすべて3段目計器部に搭載すべきであるが、衛星搭載重量に大きく影響するため、搭載機器を分散して3段目計器部を軽量化した結果である。

##### 2.1.1. 第2段目搭載機器

本タイマ系の設計思想は、地上保安を確保し、信頼性向上のため、タイマ部から火工品まで冗長化を図ると共に、地上操作系ラインの削減に努めている。

##### 2.1.1.1 タイマ（M2-EPT）

M2-EPTは、CPUを介在した書き換え可能なメモリ素子（E<sup>2</sup>PROM）の採用により、計器部に組み込まれた状態でも外部から容易にシーケンス書き換えが可能となった。また、シーケンス設定秒時分解能を0.1秒に精度向上を図り、パルス幅、出力時間幅に自由度を持たせた。シーケンス出力においても、これまで回路的に配線しなければ実施できなかった同時出力や複数出力の重複、同一チャンネルにおける複数回出力をデータの変更のみで可能としている。

---

\* The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) / JAXA  
\*\* Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd.

タイマ系の信頼性を向上する冗長構成として、水晶発信回路を使用したクロック部とCPUを採用したタイマ回路を3系統もち、2 OUT OF 3の多数決判定を行っている。CPU以降のデコーダ部から信号出力まで全てデュアル方式としている。但し、操作系と一部の制御系を除く。GSEとのインターフェースは、電氣的に分離可能なリレーとフォトカプラを採用している。

タイマに供給する電源は、集中電源とバックアップ電源の2重系としており、電源系の瞬断に影響を受けないようにしている。

タイマの動作は原振100kHzを10Hzに分周して、基本クロックを作り出し、このトリガー信号をCPUに与える。CPUはトリガーをカウントして内部基準時刻タイマを更新し、シーケンスメモリに書き込まれている各シーケンスの作動時刻情報と比較して、一致した場合にデータの出力制御処理を実行する。

5号機以降は、リレーの干渉構造を改善し、それまでのハードマウントからゲル緩衝構造を採用し、リレーへの振動、衝撃の印加を軽減した。

ロケットに何らかの異常が発生した場合にタイマを停止させるコマンド（CM-A1）は、いつでも送信可能とすべきであるが、 $X = 0$ 秒付近で送信された場合に、ロケットに点火されて破壊系コマンドが有効になる前にタイマが停止すると、破壊系コマンドが有効にならない危険なモードになることから、発射から $X + 5$ 秒のコマンドが有効になるまでの間だけ、タイマ停止コマンドを不可能にするアーミング機能を追加した。

また、5号機までは、モータ別の破壊コマンドが用意されていたが、6号機以降では、破壊コマンドを統合してその時に燃焼しているモータのみを確実に破壊できるアーミング機能を施し、コマンドオペレータの負荷を軽減している。

コマンド系統合に伴い、それまでシングルであったコマンド回路に一部冗長構成をとっている。

#### 2.1.1.2 点火リレーボックス（M2 IG-BOX）

M2-EPT系火工品（1段目モータ点火～2段目分離迄）の点火項目を制御する装置で、点火回路は完全デュアル構成をとっている。

5号機以降は、リレーの干渉構造を改善し、それまでのハードマウントから、ゲル緩衝構造を採用し、リレーへの振動、衝撃の印加を軽減した。

点火リレー、安全リレー、イグナイタセクター（IG-SL）回路、点火電流センサー、安定化電源からなり、タイマからの信号で、点火電源を対応する火工品に供給する。その際、供給した電流は、点火電流センサーで検出され、テレメータに送られる。

点火系導通抵抗測定は、火工品の抵抗を測定管理することにより、健全性を確認するための行為であるが、実際に火工品を測定するために、火工品の対応や安全の確保に留意する必要がある。

M-Vタイマ系では、衛星まで含めた全段の点火系測定をM2 IG-BOXのイグナイタセクターで統合管理して実施することとした。

地上装置から測定しようとする点火項目に相当するチャンネル番号をパラレルのバイナリコードとしてIG-SLに送り、搭載側は受け取ったチャンネル番号をシリーズ変換して、地上装置に戻す。地上装置では、送ったチャンネルと、戻ってきたチャンネルが一致した時にのみ、駆動許可信号を与え、選択した点火リレーを駆動する。

測定時は、点火電源スイッチ（M-SW）により点火電源回路を遮断した上で、安全スイッチもトランスファー接点の安全側でのみ測定が実施できるようにしている。また、これらの条件や搭載機器電源がOFFされていない限り、測定が実施できないように地上系で制御している。

この方法により、遠隔で多くの点火系を順次切り換え、点火系導通抵抗測定を可能としている。

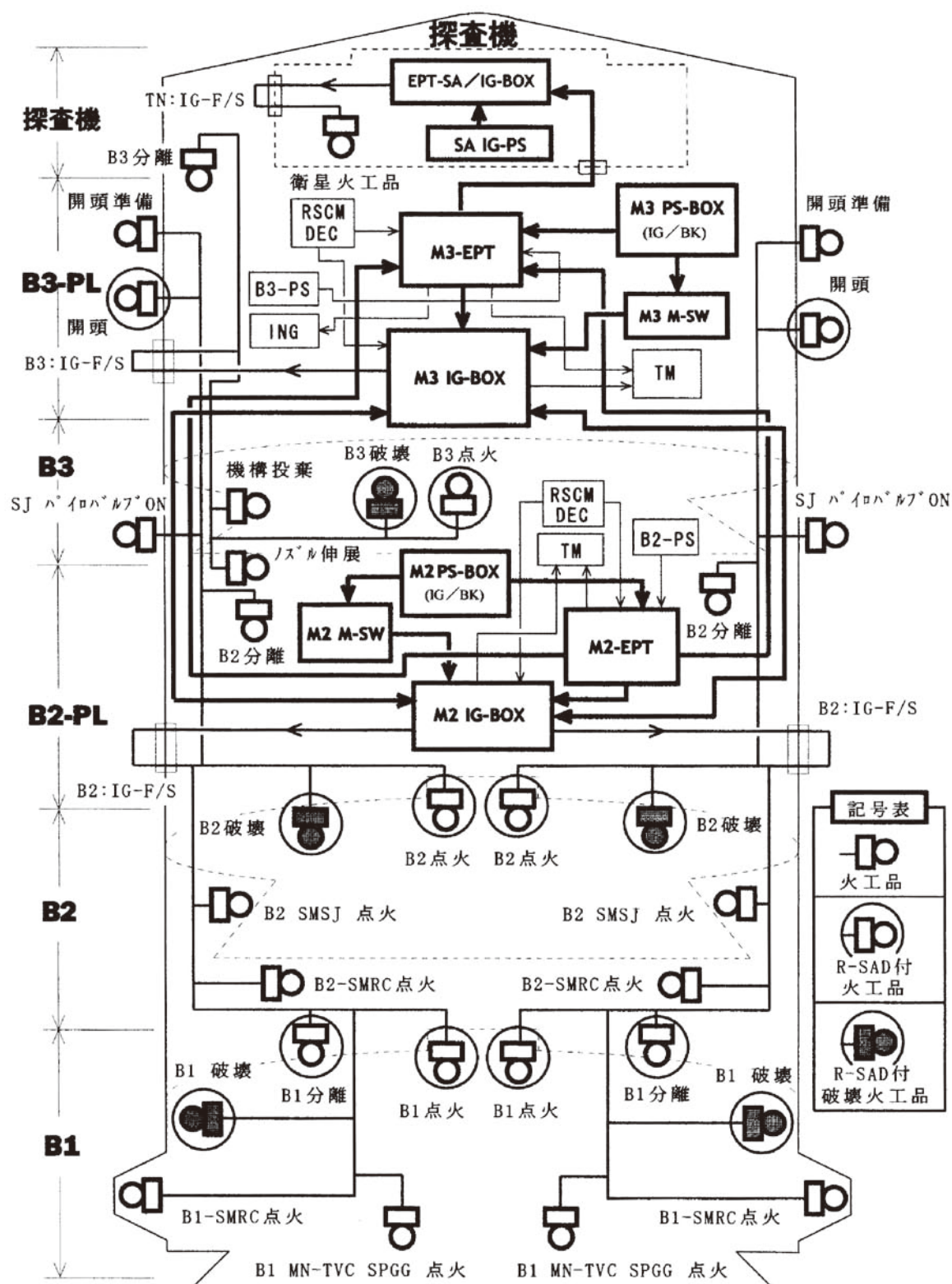


図1 M-Vロケットのタイマ点火系々統図 (M-V-5)

### 2.1.1.3 タイマ点火系電源ボックス (M2 PS-BOX)

M2-EPT系火工品 (1段目モータ点火～2段目分離迄) に点火電流を供給するもので、点火電源はデュアル方式をとっている。

M2-EPT用のバックアップ電源を内蔵し、集中電源の瞬断時にもタイマ系に影響が出ないようにしている。電源には充電可能な2次電池を使用しており、スケジュールに影響されない取り外し充電と、機体に装着された状態での充電のいずれにも対応できる。

### 2.1.1.4 点火系電源スイッチ (M2 M-SW)

M-SW (Motor Actuated Switch) は、点火回路の電源スイッチとして、地上装置より遠隔で操作する。一般のリレーよりも接点距離の大きいスイッチであり、その駆動にも大きなエネルギーが必要で、誤作動に対する耐性が大きい。

打上げ準備中には「安全側」として、常時監視し、点火系最終準備終了後に「発射側」に切り換え、点火系の準備が完了したことを示す最終スイッチである。何らかの理由で打上げを中断する場合は、速やかに「安全側」に戻し、点火系の安全を確保し、逆行作業に入ることができる。

## 2.1.2. 第3段目搭載機器

本タイマ系は、重量の制限から全系で冗長化は無理であるが、出来る限りにおいて信頼性向上策を施す事を設計思想とする。

### 2.1.2.1 タイマ (M3-EPT)

本タイマは、TSL機能を継承して、可変シーケンスを可能としている。可変シーケンス項目を増やし、シーケンス変更を半田付けによる設定から、電氣的に書き換え可能な (E<sup>2</sup>PROM) を採用して変更を容易にした。

シーケンス変更は固定の項目ではなく、シーケンス1、シーケンス2の2系統のシーケンス設定ブロックを持ち、シーケンス1はM2-EPTより起動する。

シーケンス2は可変用のシーケンスブロックで、通常はシーケンス1内に設定する「CLK-ENABLE」から一定の時間後に起動する。地上のRGコマンド送信により、この一定の時間を範囲時間内で修正することが可能で、シーケンス2内に設定したシーケンスを全体的に前後させる。

RGコマンドの1パルスあたりのシーケンス修正量は、衛星のミッションにより内部設定で「1秒」、「4秒」、「8秒」のいずれかにすることができる。

このタイマは、クロック部、カウンター部、メモリ部をトリプル回路とし、それぞれの出力に「2 OUT OF 3」方式を採用し、出力回路系はデュアル構成とする。但し、時間修正回路部はシングルである。

5号機以降は、リレーの干渉構造を改善し、それまでのハードマウントから、ゲル緩衝構造を採用し、リレーへの振動、衝撃の印加を軽減した。

また、5号機までは、モータ別の破壊コマンドが用意されていたが、6号機以降では、破壊コマンドを統合してその時に燃焼しているモータのみを確実に破壊できるアーミング機能を施し、コマンドオペレータの負荷を軽減している。

コマンド系統合に伴い、それまでシングルであったコマンド回路に一部冗長構成をとっている。

### 2.1.2.2 点火リレーボックス (M3 IG-BOX)

M3-EPT系火工品 (3段目モータ点火～3段目分離迄) の点火項目を制御する装置で、点火回路は軽量化要求のためシングル構成をとっている。

点火リレー，安全リレー，点火電流センサー，安定化電源からなり，M3-EPTの信号により，点火リレーを動作させ，ロケット各段の火工品を作動させると共に，衛星部（EPT-SA搭載時は，その起動）に信号を送出する．

また，M3-EPT，あるいは保安コマンドにより点火リレーを動作させ，点火電源を火工品に供給し，その時の電流を点火電流センサーで検出して，テレメータに送る．

5号機以降は，リレーの干渉構造を改善し，それまでのハードマウントから，ゲル緩衝構造を採用し，リレーへの振動，衝撃の印加を軽減した．

#### 2.1.2.3 タイマ点火系電源ボックス（M3 PS-BOX）

M3-EPT系火工品（3段目モータ点火～3段目分離迄）に点火電流を供給するもので，点火電源は軽量化要求のためシングル方式をとっている．

M3-EPT用のバックアップ電源を内蔵し，集中電源の瞬断時にもタイマ系に影響が出ないようにしている．電源には充電可能な2次電池を使用しており，スケジュールに影響されない取り外し充電と，機体に装着された状態での充電のいずれにも対応できる．

#### 2.1.2.4 点火系電源スイッチ（M3 M-SW）

M-SW（Motor Actuated Switch）は，点火回路の電源スイッチとして，地上装置より遠隔で操作する．一般のリレーよりも接点距離の大きいスイッチであり，その駆動にも大きなエネルギーが必要で，誤作動に対する耐性が大きい．

打上げ準備中には「安全側」として，常時監視し，点火系最終準備終了後に「発射側」に切り換え，点火系の準備が完了したことを示す最終スイッチである．何らかの理由で打上げを中断する場合は，速やかに「安全側」に戻し，点火系の安全を確保し，逆行作業に入ることができる．





図2 第2段目計器部搭載のタイマ点火系機器 (M-V-6)



図3 第3段目計器部搭載のタイマ点火系機器 (M-V-6)

表1 M-V-1, 5～8号機 タイマ点火系機器の変更点

項 目	M-V-1	M-V-5	M-V-6	M-V-7	M-V-8
M2-EPT 電源リレー数	1 個	2 個 (取付角 90°異なる)	←	←	←
M2-EPT 電源冗長方式	集中電源 2 系統(A/B)	集中電源 B 系と BK 電源	←	←	←
M2-EPT リレー取付け構造	ハードマウント	ゲル構造	←	←	←
M2-EPT CM-A1 アーミング	無し	有り (X-0.5s~X+5.5s)	←	←	←
M2-EPT コマンド系	機能独立 (CM-A/B)	←	SO 系統合	←	←
M2-EPT コマンド入力インターフェース	シングル 計装で冗長	←	←	デュアル	←
M2 IG-BOX IG セレクタドライバ数	47 項目	63 項目	←	←	←
M2-PS BOX 電池電圧(V)/セル数(個)	IG : 28.8/24 BK : 集中電源	IG : 24/20 BK : 15.6/13	IG : 24/20 BK : 14.4/12	←	←
M2-PS BOX 重量(kg)/寸法(mm)	5.2 165×170×100	2.3 120×190×108	←	←	←
M2-M SW ショックマウント	有り	無し	←	←	←
M3-EPT 内部シーケンスモニタ	無し	有り : CM-EN, CM-DI, CM-EN	無し	←	←
M3-EPT シーケンス修正範囲	X-2s~X+10s	X-30s~X+40s	修正無し	←	←
M3-EPT タイマ停止時の動作	シーケンスと モニタ出力続行	シーケンスと モニタは停止	←	←	←
M3-EPT 対衛星出力ライン	シングル	←	デュアル	無し	デュアル
M3-IG BOX リレー取付け構造	ハードマウント	ゲル構造	←	←	←
M3-PS BOX 電池電圧(V)/セル数(個)	IG : 28.8/24 BK : 12.0/10	IG : 24.0/20 BK : 12.0/10	←	←	←
M3-PS BOX 重量(kg)/寸法(mm)	1.5 92×150×60	1.6 120×190×72	←	←	←
ロケット壁 操作コネクタ数(個)	B2PL 部 : 5 NF 部 : 無し	B2PL 部 : 6 NF 部 : 2	B2PL 部 : 5 NF 部 : 1	←	←

### 3. 結 果

#### 3.1. 相模原に於ける噛み合わせ試験

相模原におけるM-Vロケット搭載機器の噛み合わせ試験に於いて以下の作業（表1）を実施，正常動作を確認して射場の組立オペレーションに臨んだ。

表2 相模原噛み合わせ試験時のタイマ点火系作業

No.	作業項目	確 認
1	タイマ点火系計装チェック	回線の対応，ライン抵抗及び絶縁抵抗測定値
2	衛星（探査機）単体チェック	各種環境試験における点火系機器及び点火回路の健全性
3	ロケット対衛星試験	衛星（探査機）との機械的，電氣的インターフェース
4	機器の組み付け	機器の組付けと計装の配線を実施しての機械的干渉
5	試験用スクイブ抵抗測定	実機と同数のスクイブを接続して抵抗値と回路の健全性
6	負荷抵抗及び消費電流測定	タイマ信号を受ける機器の抵抗測定と動作及び消費電流測定
7	タイマ点火系電源の充電	点火電源，タイマ非常電源の充電と電圧値
8	コマンド試験	タイマ点火系コマンドの受信とアンサ
9	タイマ動作試験（図4）	タイマ機器の動作とテレメータモニタ，試験スクイブの発火

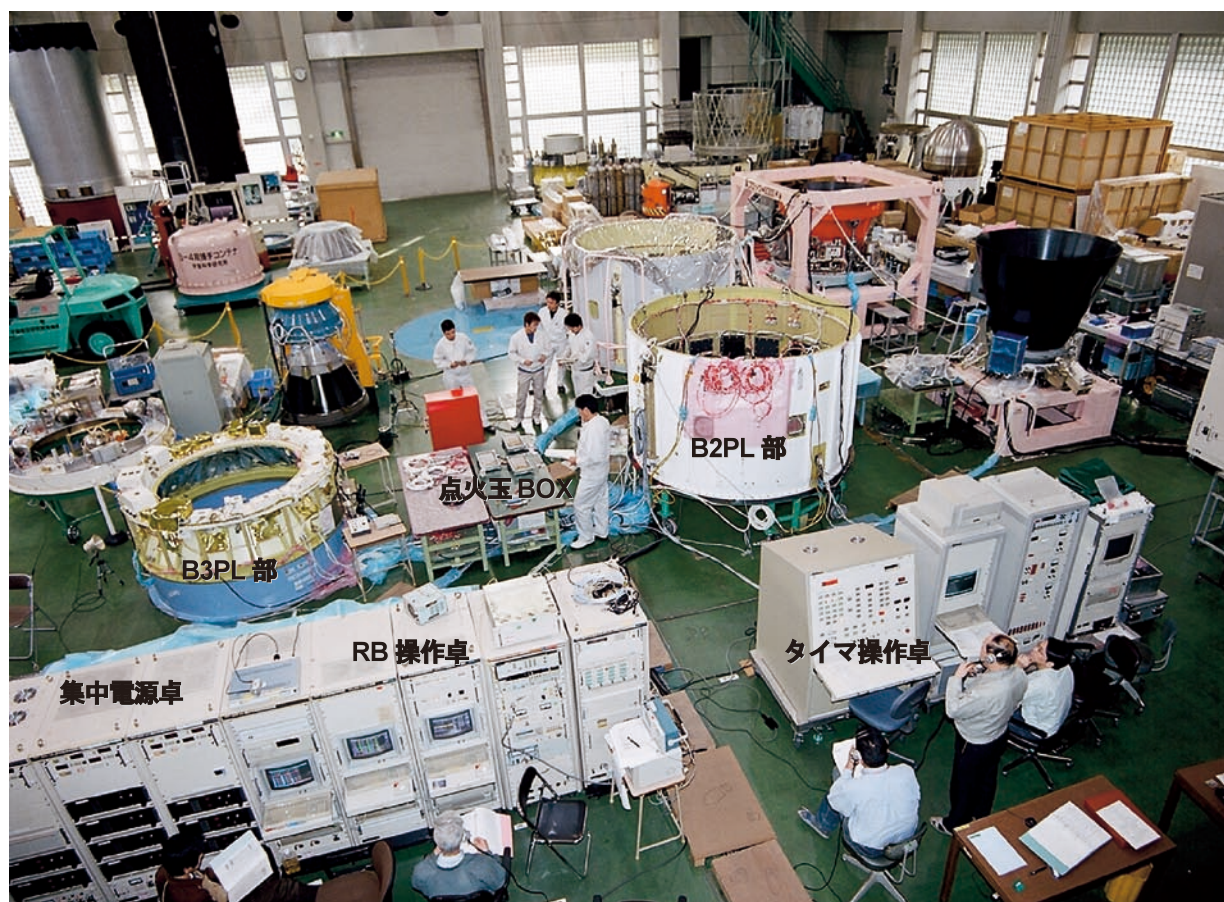


図4 噛み合わせ試験 / タイマ動作試験（M-V-7）



### 3.2. 射場に於ける動作確認試験

射場におけるM-Vロケット打上げまでのタイマ点火系確認作業を予定通り実施した。主な確認作業を表3に示す。タイマ動作試験では火工品が実装されていることから、点火系は安全モードで点火リレーの動作のみ確認している。M-Vロケットにセットしたタイマ点火系操作コネクタを図5に示す。

表3 射場におけるM-Vロケット打上げまでのタイマ点火系作業

No.	作業項目	確 認
1	衛星（探査機）単体チェック	点火系機器及び実機火工品の健全性
2	SAD 駆動試験	ダミーSAD 及び実機SAD の駆動と動作時間
3	実機スクイブ導通チェック	衛星（探査機）を含む全段スクイブ抵抗値と回路の健全性
4	タイマ点火系電源の最終充電	点火電源、タイマ非常電源の充電と電圧値
5	コマンド試験	タイマ点火系コマンドの受信とアンサ
6	タイマ動作試験	衛星を含む搭載機器の動作とテレメータモニタ

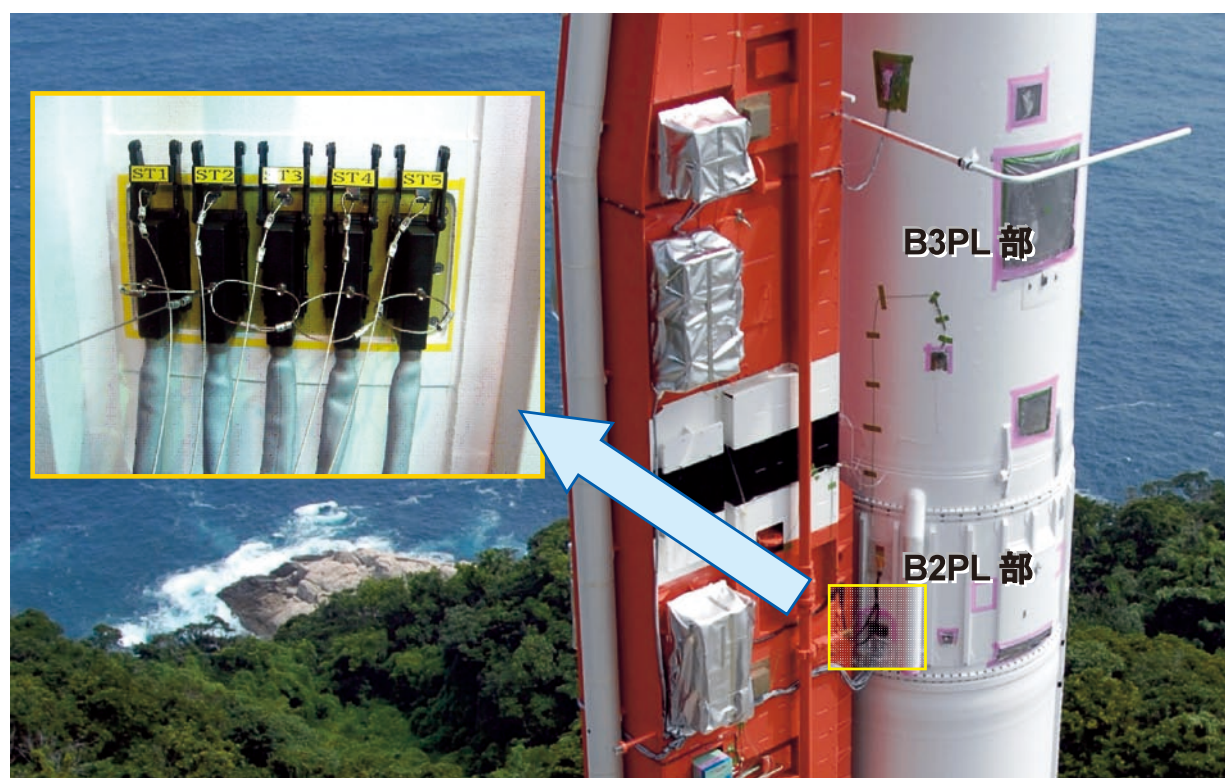


図5 B2PL部タイマ点火系操作コネクタ部（M-V-7）

### 3.3. 飛翔結果

M-V-5～8号機までの飛翔は正常で、タイマは設定されたシーケンスに従い点火系と制御系等の載機器に信号を送出した。

表4～表8に飛翔結果を示す。その中で5号機のみコマンド送信によりM3-EPTの設定シーケンスである探査機タイマ（EPT-SA）起動を、当初設定した時間より20秒出力秒時を早めている。

表4 M-V-5 タイマ飛翔結果

No.	項 目	設定秒時 (sec)	実行秒時 (sec)
<b>M2-EPT</b>			
1	B1 CONT スタート	X-48.0	X-47.9
2	B1 SPGG 点火	15.0	14.9
3	CM-A1 アーミング	0.5	0.4
4	B1 モータ 点火	X+0.0	X+0.1
5	B1 SMRC 点火	3.0	3.1
6	CM A2~A4 アーミング	5.0	5.1
7	B2 CM-B1,B2 アーミング	70.0	70.1
8	計測 B1-V OFF	71.0	71.1
9	B1 TM-ANT 切替	73.0	73.1
10	B2 CONT スタート	74.0	74.1
11	B1 モータ 分離 B2モータ 点火	75.0	75.1
12	B2 SMRC 点火	75.5	ロックオフ(実動作で確認)
13	TVカメラ窓 リセット	110.0	110.1
14	B2 SMSJ 点火 B3 SJパイロバルブ 開	139.0	139.1
15	B2 CM-B1,B2 ディスアーミング	170.0	170.1
16	TVカメラ 切替	180.0	180.1
17	開頭準備	181.0	181.1
18	計測 NF-V OFF	182.0	182.1
19	開頭	186.0	186.1
20	B3 CM-B1,B2 アーミング	188.0	188.1
21	B3 CONT スタート	195.0	195.1
22	計測 B3-V OFF	196.0	196.1
23	M3-EPT スタート	197.0	197.1
24	B2 モータ 分離	200.0	200.1
25	M2-EPT 停止	215.0	ロックオフ
<b>M3-EPT</b>			
1	B3 ノズル伸展	202.0	202.1
2	B3 ノズル伸展機構 投棄	204.0	204.1
3	B3 モータ 点火	205.0	205.1
4	CLK ENABLE	243.0	243.1
5	CM ENABLE	325.0	325.1
6	CM DISABLE	335.0	335.1
7	B4 CONT スタート	356.0	336.1 *1
8	スピンモータ 点火	359.0	339.1 *1
9	EPT-SA スタート	367.0	347.1 *1
10	B3 モータ 分離	370.0	350.1 *1
11	M3-EPT 停止	376.0	356.1 *1

\*1 修正コマンドにより 20 秒出力秒時を早めている

表5 M-V-6 タイマ飛翔結果

No.	項 目	設定秒時 (sec)	実行秒時 (sec)
<b>M2-EPT</b>			
1	B1 CONT スタート	X-48.0	X-47.9
2	B1 SPGG 点火	15.0	14.9
3	B1 モータ 点火	X+0.0	X+0.1
4	B1 SMRC 点火	3.0	3.1
5	CM A3~A4 アーミング B1 SO-CM アーミング	5.0	5.1
6	計測 B1-V OFF	71.0	71.1
7	B1 TM-ANT 切替	73.0	73.1
	B1 SO-CM ディスアーミング B2 SO-CM アーミング		
8	B2-CONT スタート B1~B3 計測メモリ スタート	74.0	74.1
9	B1 モータ 分離 B2 モータ 点火	75.0	75.1
10	B2 SMRC 点火	75.5	ロックオフ(実動作で確認)
11	TVカメラ窓 リセット	110.0	110.1
12	B2 SMSJ 点火 B3 SJパイロバルブ 開	139.0	139.1
13	TVカメラ 切替	180.0	180.1
14	開頭準備	181.0	181.1
15	計測 NF-V OFF	182.0	182.1
16	開頭	186.0	186.1
17	CM-ANT 切替	186.5	186.6
18	B3 SO コマンド アーミング	190.0	190.1
19	B3 CONT スタート	195.0	195.1
20	計測 B3-V OFF	196.0	196.1
21	M3-EPT 起動	197.0	197.1
22	B2 モータ 分離	200.0	200.1
23	M2-EPT 停止	215.0	ロックオフ
<b>M3-EPT</b>			
1	B3 ノズル伸展	202.0	202.1
2	B3 ノズル伸展機構 投棄	204.0	204.1
3	B3 モータ 点火	205.0	205.1
4	XRS-V6 開	235.0	235.1
5	SA-CM アーミング	1305.0	ロックオフ(実動作で確認)
6	INS-SA モード 切替	1306.0	ロックオフ(実動作で確認)
7	B3 モータ 分離	1307.0	ロックオフ(実動作で確認)
8	サブペイロード 分離許可	1421.0	ロックオフ(実動作で確認)
9	M3-EPT 停止	1425.0	ロックオフ

表6 M-V-7 タイマ飛翔結果

No.	項 目	設定秒時 (sec)	実行秒時 (sec)
<b>M2-EPT</b>			
1	B1 CONT スタート	X-48.0	X-47.9
2	B1 SPGG 点火	15.0	14.9
3	B1 モータ 点火	X+0.0	X+0.1
4	B1 SMRC 点火	3.0	3.1
5	CM A3~A4 アーミング B1 SO-CM アーミング	5.0	5.1
6	計測 B1-V OFF	71.0	71.1
7	B1 TM-ANT 切替 B1 SO-CM ディスアーミング B2 SO-CM アーミング	73.0	73.1
8	B2-CONT スタート B1~B3 計測メモリ スタート	74.0	74.1
9	B1 モータ 分離 B2 モータ 点火	75.0	75.1
10	B2 SMRC 点火	75.5	ロックオフ(実動作で確認)
11	TVカメラ窓 リセット	110.0	110.1
12	B2 SMSJ 点火 B3 SJパイロバルブ 開	139.0	ロックオフ(実動作で確認)
13	B3 SO コマンド アーミング	165.0	165.1
14	開頭準備	181.0	181.1
15	計測 NF-V OFF	182.0	182.1
16	開頭	186.0	186.1
17	CM-ANT 切替	186.5	186.6
18	B3 CONT スタート	195.0	195.1
19	計測 B3-V OFF	196.0	196.1
20	M3-EPT 起動	197.0	197.1
21	B2 モータ 分離	200.0	200.1
22	M2-EPT 停止	215.0	215.1
<b>M3-EPT</b>			
1	B3 ノズル伸展	202.0	202.1
2	B3 ノズル伸展機構 投棄	204.0	204.1
3	B3 モータ 点火	205.0	205.1
4	INS-SA モード 切替	508.0	ロックオフ(実動作で確認)
5	B3 モータ 分離	510.0	ロックオフ(実動作で確認)
6	PSB/GPU ON	650.0	ロックオフ(実動作で確認)
7	HIT-SAT 分離	830.0	ロックオフ(実動作で確認)
8	SSSAT 分離	990.0	ロックオフ(実動作で確認)
9	M3-EPT 停止	1110.0	ロックオフ



表7 M-V-8 タイマ飛翔結果

No.	項 目	設定秒時 (sec)	実行秒時 (sec)
<b>M2-EPT</b>			
1	B1 CONT スタート	X-48.0	X-47.9
2	B1 SPGG 点火	15.0	14.9
3	B1 モータ 点火	X+0.0	X+0.1
4	B1 SMRC 点火	3.0	3.1
5	CM A3~A4 アーミング B1 SO-CM アーミング	5.0	5.1
6	計測 B1-V OFF	71.0	71.1
7	B1 TM-ANT 切替	73.0	73.1
	B1 SO-CM ディスアーミング B2 SO-CM アーミング		
8	B2-CONT スタート	74.0	74.1
	B1~B3 計測メモリ スタート		
9	B1 モータ 分離	75.0	75.1
	B2 モータ 点火		
10	B2 SMRC 点火	75.5	ロックオフ(実動作で確認)
11	TVカメラ窓 リセット	85.0	85.1
12	B2 SMSJ 点火	139.0	ロックオフ(実動作で確認)
	B3 SJパイロバルブ 開		
13	TVカメラ 切替	180.0	180.1
14	開頭準備	181.0	181.1
15	計測 NF-V OFF	182.0	182.1
16	開頭	186.0	186.1
17	CM-ANT 切替	186.5	186.1
18	B3 SO コマンド アーミング	190.0	190.1
19	B3 CONT スタート	195.0	195.1
20	計測 B3-V OFF	196.0	196.1
21	M3-EPT 起動	197.0	197.1
22	B2 モータ 分離	200.0	200.1
23	M2-EPT 停止	215.0	ロックオフ
<b>M3-EPT</b>			
1	B3 ノズル伸展	202.0	202.1
2	B3 ノズル伸展機構 投棄	204.0	204.1
3	B3 モータ 点火	205.0	205.1
4	He VENT OPEN	230.0	230.1
5	He FILL OPEN	400.0	400.1
6	INS-SA モード 切替	517.0	ロックオフ(実動作で確認)
7	B3 モータ 分離	519.0	ロックオフ(実動作で確認)
8	デスピンモータ点火	520.0	ロックオフ(実動作で確認)
9	ソーラーセイル SMT/GPU ON	750.0	ロックオフ(実動作で確認)
10	サブペイロード 分離許可	1040.0	ロックオフ(実動作で確認)
11	ソーラーセイル 展開開始	1100.0	ロックオフ(実動作で確認)
12	M3-EPT 停止	1110.0	ロックオフ

表8 M-V-5～8号機 スクイブ通電々流結果

点火項目	系 統	スクイブ結線数	スクイブ通電々流 (A/個)			
			M・V-5	M・V-6	M・V-7	M・V-8
M2-EPT						
B1 SPGG 点火	1	1個	4.7	2.3	4.7	2.9
	2	1個				
B1 モータ 点火	1	1個	2.6	2.1	4.2	4.0
	2	1個				
B1 SMRC 点火	1	4個シリーズ	2.7	2.6	3.1	3.1
	2	4個シリーズ				
B1 モータ 分離	1	1個バラ	2 項目同時点火のためデータ振り分け不可			
	2	1個バラ				
B2 モータ 点火	1	1個				
	2	1個				
B2 SMRC 点火	1	2個シリーズ	注2)	注2)	2.2	注2)
	2	2個シリーズ				
B2 SMSJ 点火	1	6個シリーズ	2.3	2.5	2.7	2.5
B3 SJパイロバルブ開	2	6個シリーズ				
開頭準備	1	4個シリーズバラ	3.0	3.0	2.9	3.2
	2	4個シリーズバラ				
開頭	1	2個シリーズバラ	2.4	3.1	3.5	3.4
	2	2個シリーズバラ				
B2 モータ 分離	1	2個シリーズ	3.6	2.1	2.2	4.3
	2	2個シリーズ				
B1 SO	1	1個バラ	実行せず	実行せず	実行せず	実行せず
	2	1個バラ				
B2 SO	1	1個バラ	実行せず	実行せず	実行せず	実行せず
	2	1個バラ				
M3-EPT						
B3 ノズル伸展		2個シリーズバラ	4.8	4.0	4.8	4.7
B3 ノズル伸展機構 投棄		1個バラ	4.1	4.0	4.3	4.2
B3 モータ 点火		1個バラ	3.4	4.3	4.3	4.0
B3 モータ 分離		2個シリーズバラ	3.5	注2)	注2)	注2)
B3 SO		2個シリーズバラ	実行せず	実行せず	実行せず	実行せず

注1) スクイブ通電々流は、SQ-3 (テレメータデータ) より算出

注2) テレメータロックオフのため算出不可

### 3.4. 不具合

M-V ロケットのタイマ点火系について、2号機を除く1号機から8号機までの相模原噛み合わせから射場のオペレーションまでの主なタイマ点火系不具合を表9に示す。

不具合は相模原噛み合わせ試験時のみ発生している。射場に於ける第1・第2組立及びフライトオペレーションでは不具合は無く順調に作業は進んだ。

表9 M-Vロケットのタイマ点火系不具合（相模原囃み合わせ）

No.	不具合発生箇所	現 象	原 因	処 置
<b>M-V-3</b>				
1	点火電源	電圧が低い	24セル中1セル短絡	電池交換，充放電セル数を削減する方向で検討
<b>M-V-6</b>				
2	タイマ計装	コネクタピン1本が座屈状態	不明	同種の全コネクタ交換
<b>M-V-8</b>				
3	タイマ機器	リレー等内部回路不良	事前チェックのミス	交換

#### 4. 次期固体ロケットへの反映事項

##### 4.1. 点火系の基本的な考え方

点火系を考える場合，①シンプルで，確実さを求めること，②点火系（火工品）であることを忘れてはならない，③多くの失敗例を参考にすることが重要と考える．M-Vロケット点火系は過去50年の実績に裏付けされた，高い信頼性を確保している．その基本的な設計条件を以下に示す．

次期固体ロケットに向けては，小型衛星打上げ用であることを念頭に，信頼性，軽量化，コスト等についてM-Vロケットの技術を有効利用していただきたい．

##### 4.1.1. 点火系の設計条件

###### ① タイマ（シーケンサ）で全点火系を実行すること．

過去においては，第1段ロケットの点火は，地上電源を供給して行われていたがM-3SⅡ以降，搭載点火系と同様に機上（タイマにより1段モータを含む全点火系を実行する）点火方式とし，M-Vロケットもこの方式を継承している．

本方式は，地上系を含む操作及び点検の簡素化と信頼性を向上したことになる．さらに，搭載タイマを停止した状態で打上げる危険性は無くなる．

###### ② タイマの暴走防止対策を実施すること．

- ・ 2段目計器部搭載のタイマ点火系は，タイマ部から出力部まで3系統とし，「2 OUT OF 3」方式を採用してタイマの暴走を防止する．さらに点火電源からスクイブまでは完全冗長とすること．
- ・ 3段目計器部搭載のタイマ点火系は重量軽減策として，タイマのクロック部とプログラム部は3系統で，それを「2 OUT OF 3」方式として暴走防止回路を組み込み，タイマ出力部，計装及びスクイブは冗長回路とするが，電子部品の信頼性が近年向上していることから，点火電源と点火リレーはシングルになるのもやむを得ない．

暴走防止対策をとることにより，

- ・ 点火と同時にタイマが暴走して，瞬時に他の点火シーケンスを実行してしまう
- ・ 点火シーケンスを予定時間外に出力する

ことを防止し，射場の安全と飛翔安全を確保する．

###### ③ 点火回路はフローティングとすること．

点火電源は点火系専用とし，フローティング回路とすること．それにより，点火計装やコネクタ部等で，点火回路のホット側またはリターン側どちらかのラインが何らかの不具合でロケットケースに対して絶縁不良を起こしても，ミッションには影響しない．

④ 点火回路のスクイブ側は短絡すること。

スクイブ側は常時10Ω程度で短絡しておくこと。IG-F/Sコネクタ側から見ると、その抵抗が確認できる。それが低い値であった場合は、計装のどこかで接触していることが判る。

⑤ 点火回路に静電抵抗を挿入すること。

点火回路の両極に帯電防止として静電抵抗（各5MΩ程度）を挿入すること。

⑥ 点火回路に機械的衝撃、外部からの電氣的干渉対策を施すこと。

点火電源スイッチとして地上で操作する耐振動衝撃を強化したモータ駆動スイッチ（M-SW/操作電流3A以上）を点火回路に採用し、点火計装はツイストペアシールドとすること。それにより、想像も出来ない異常な衝撃、不具合による他回路からの回り込み及び違法電波による点火回路の誤動作を防止することが出来る。

⑦ 点火回路の簡素化すること。

点火回路は出来る限り簡素化すること。特に制御回路を最小限に抑え、誤動作の確率を下げる。地上系で対処できる電子回路は搭載しない。

⑧ スクイブの過大通電を考慮すること。

スクイブに供給する電流は、スクイブの種類により規定されるが、スクイブ発火後短絡することがある。M-3Sロケット～M-Vロケットで、計3回短絡現象が発生している。従って、点火電源と点火リレーは、それを考慮して設計すること。また、テレメータによる点火電流モニタは必要である。

⑨ 鋭感型スクイブを採用すること。

斉発性に優れた鋭感型スクイブは、同時発火が必要な「分離」「開頭」などに有効で、点火回路の簡素化と点火電源の小型化、及び低価格化に貢献することから、鋭感型スクイブを採用すること。

ちなみに、鋭感型スクイブの使用実績としては、観測ロケット及びMロケットの計約470機に用いられ、使用スクイブ数は約5,000個以上、打上げ前の実負荷による発火試験を入れると約20,000個以上が使われたが、誤発火は起きていない。

⑩ End to End試験が実施できること。

M-Vロケットのタイマ点火系では、宇宙科学研究本部（相模原キャンパス）での噛み合わせ試験において、全搭載機器と計装を接続した「End to End」の動作試験を実施しており、発生するほとんどの不具合は、ここで発見されている。

過去においては、DASHの大気圏再突入実験では図面上の確認であったため、DASH側の機体とのインターフェース回路の不具合を発見することができず、実験が失敗した痛い経験がある。

その事からも全系を通しての「End to End」の重要性を実証している。これを徹底すること。

⑪ F/Sコネクタは設けること。

保管時の安全確保と検知管によるモニタ及び点火系不具合時の点検コネクタとして必要。

⑫ 点火系動作試験は点火玉を用いること

実負荷による動作試験は、鋭感点火玉の斉発性（ロットの違い）及び点火電流モニタの確認に必要である。

⑬ 非常停止ラインは有線と無線を設けること

非常停止ラインは、地上系2系統以上と無線（コマンド）によるラインを設け、地上保安を確保する。

#### 4.1.2 点火系の検討及び反映事項

M-Vロケットで得た経験から、次期固体ロケットを設計する上での考慮すべき検討事項を以下に示す。

① 点火リレーの半導体化

半導体リレー（FET）は対衝撃振動に強く安価であることから、約5年間の開発を終えて、S-310-37号機からIG-BOXとして採用している。次期固体ロケットの点火リレーの候補として検討の余地あり。



## ② タイマ点火系機器の搭載位置と操作ライン

点火系機器の軽量化を行い3段計器部のみ搭載することで、操作ラインを半減し観測ロケット並にする。

## 5. まとめ

観測ロケット，M-4S，M-3C，M-3H，M-3S，M-3S II ロケットの経験を生かして設計したM-Vロケットのタイマ点火系は，7機の打上げでも良好な結果が得られた．それにより過去の実績も含めてタイマ点火系システムとしての完成度の高さを示した．

M-Vロケットのタイマ点火系は，鋭感型スクイブの斉発性を生かした点火回路を採用することにより，点火回路の簡素化と軽量化及び点検（End to End）を容易に可能にしたシステムを実現させてきた．

信頼性が実証されている日本独自の方式は，今後の宇宙開発にも大いに貢献すると確信している．