

M-V型ロケットの計装/RB（搭載機器）管制

大島 勉, 太刀川純孝, 河端正彦, 橋本正之

1. 概 要

電気計装は各段に配置された搭載機器への電源供給, 計測装置からテレメータ装置への信号伝送, 姿勢制御装置からアクチュエータへの命令伝達等を担う電気系配線である。ここではM-V-1, 3, 4号機における搭載機器系統と電気計装について報告する。

また, 各段に搭載された機器を管制するRB(搭載機器)管制システムはM-V型ロケットから光ケーブルを用いた制御方式を採用した。従来は各制御項目に対応した制御回線を離脱コネクタ経由で機体に接続していたが, 新方式により機体外の回線数を大幅に減少することができた。RB管制に関しては, 管制装置の概要を述べ, M-V-4号機までの運用について報告する。

2. 計 装

M-V型ロケットの計装システムは第1段, 第2段, 第3段の計装で構成される。1号機, 3号機では, これに第4段計器部が加えられている。各段の計器は電源・管制系, 通信系, 計測系, 制御系, タイマ・点火系に係わる搭載機器で構成され, これらを電気計装配線と段間の分離, 中継コネクタなどで接続している。

表1に各段計器部の搭載装置一覧を示す。

第1段計器部は, 第1段モータ飛行中の機体諸特性を測定するための計測装置, 第1段モータ燃焼中にピッチおよびヨー制御を行うMN-TVC装置のサーボ機構, ロール制御を保つためのSMRC装置の駆動機構, 第1段飛行制御を行うための制御機能部, データを地上に伝送する300MHz帯テレメータ送信機, これらに電力を供給する集中電源装置などの機器で構成されている。

第1段計器部は, 第1段モータのノズル部周りに位置し, MN-TVC関連機器類と干渉しないように計器搭載板が設けられ, 電子機器が取り付けられている。

第2段計器部は第2段モータ飛行中の機体および開頭部の諸特性を測定するための計測装置, モータ点火, 切り離し, 開頭等の第2段目までのシーケンス制御を行うタイマ装置, 第2段モータ燃焼中のピッチおよびヨー制御を行うTVC装置のサーボ機構, ロール制御を行うSMRC装置の駆動機構, 第2段飛行制御を行うための制御機能部, データを地上へ伝送する2台のテレメータ送信機, 分離, 点火等の動作を監視する画像伝送装置, 2段目の飛行経路を測定するレーダトランスポンダ, これらの装置に電力を供給する集中電源装置等で構成されている。

なお2段目のレーダトランスポンダは、1号機ではLバンド（1.6GHz帯）、3号機および4号機ではCバンド（5.6GHz帯）のものが搭載された。

また、第2段目には、地上からの電波指令によって1,2段目の飛行安全装置へコマンド信号を伝達するための450MHz帯コマンド受信機が搭載されている。

計器部は2/3段接手円筒部に位置し、その内面に設けられた防震マウント付き搭載板上に第2段電子機器の多くが搭載されている。この内、集中電源電池部は第2段計器部の外壁から付け外しが可能となっている。

表1 M-V-1, 3, 4号機 搭載機器一覧

第3段計器部(B3PL)	第2段計器部(B2PL)	第1段計器部(B1PL)
通信系 B3-5.6レーダトランスポンダ 5.6レーダアンテナ切替装置 トランスポンダ・デコーダ Sバンドテレメータ送信機 Sバンドアンテナ切替受信機	通信系 1.6レーダトランスポンダ(1) B2-5.6レーダトランスポンダ(3,4) 300MHzPCMテレメータ送信機-2 Sバンド・テレメータ送信機 高速PCMテレメータパッケージ Sバンドアンテナ切替受信機 300MHzテレメータアンテナ切替器 15GHzテレビ送信機 テレビカメラ 450MHzコマンド受信機 コマンドアンテナ切替器	通信系 300MHzPCMテレメータ送信機
計測系 M-34計測装置1A M-34計測装置1B M-34計測装置2 M-34計測装置3 残留内圧計測装置 ノズルフェアリング計測装置 3軸地磁気姿勢計 デジタル太陽光検出器(1,3)	計測系 M24計測器1 M24計測器2 M24計測器3 M24計測器4 M24計測器5 残留内圧計測装置 3軸地磁気姿勢計 デジタル太陽光検出器(1)	計測系 M14計測器1 M14計測器2 M14計測器3 M14計測器4 M14計測器5(3,4)
制御系 航法誘導装置 M34サーボアンプ SJDドライバ	制御系 B2制御装置（航法誘導装置） M24サーボアンプ SMRC, SM-SJDドライバ	制御系 B1制御装置（航法誘導装置） M14サーボアンプ SMRCドライバ
タイマ・点火系 第3段タイマ装置 第3段点火装置 点火電源 第3段モータスイッチ	タイマ・点火系 第2段タイマ装置 第2段点火ボックス 点火電源 第2段モータスイッチ	電源・管制系 B1集中電源 B1-RBコントロールパッケージ
電源・管制系 集中電源 EMV電源 TVC電源 B3-RBコントロールパッケージ	電源・管制系 B2集中電源 SMSJ電源 B2-RBコントロールパッケージ	計装配線 システム系、計測系、ING系、 タイマ系、点火系
計装配線 システム系、ING系、計測系、 タイマ系、点火系、TVC系、 衛星系	計装配線 システム系、計測系、ING系、 タイマ系、点火系	計装配線 システム系、計測系、ING系、 タイマ系、点火系
		SA接手部 計測系 残留内圧計測装置(1,3)
		計装配線 計測系、点火系、衛星系

注：（）内の数字は搭載号機。（数字）記述なしは1,3,4号機に搭載。

第3段計器部は、第3段モータおよび機体環境の諸特性を測定するための計測装置、ロケットの姿勢角および姿勢角速度を測定し第3段までの3軸制御を行う慣性誘導装置（ING）、MN-TVC装置およびSMSJ装置による飛行制御を与える制御機構部、第3段以降のシーケンス制御を行うタイマ装置（M3-EPT）と点火装置、データを地上に伝送するSバンドテレメータ送信機、飛行経路の評定と電波誘導および保安コマンドの受信復調を行うためのCバンド・レーダトランスポンダとコマンドデコーダ装置、これらの装置に電力を供給する集中電源装置等で構成されている。

本計器部は、第3段モータケース頭頂部を包絡する位置に輪環状に設けられており、CFRP表皮ハニカムサンドイッチ製の機器搭載板の両面に電子機器が搭載されている。

また、第3段計器部はフェアリングに設けられた電波透過窓を取り外すことにより、各機器へのアクセスが可能となっている。なお、4号機では第3段のKSC第1パスを追跡受信するために一次電池の追加搭載をおこなった。

また、1号機および3号機では衛星接手部に第4段計器として計測装置が搭載された。

これら搭載機器を接続する計装配線の設計、製作を実施するにあたっては、いくつかの基本方針に基づいて行われた。

電源系については、機器の消費電流による束線部の発熱を分散するよう、配線経路を決定した。さらに大電流、パルス状電流による電磁干渉を抑止するために各部に適した線種（シールド線、ツイストペア線等）を用いるように考慮した。

耐熱対策としては、第1段ノズル部、1/2段接手部、第2段アンテナケーブル、第3段ノズル部、第3段計器部、等の必要と思われる部分に耐熱テープ処理（シリコン系樹脂およびガラスクロステープ）を行った。さらに、コネクタは一部の特殊部品を除き、「かしめ」タイプのものを使用した。

図1,2,3に、それぞれ第1段、第2段、第3段の搭載機器系統図の一例を示す。

3. RB（搭載機器）管制

3.1 RB（搭載機器）管制装置

M-V-1号機から、搭載機器と制御項目の増加に対応するため、光ケーブルを用いたRB管制システムを採用した。RB管制システムは、地上設備であるRB管制装置とロケット搭載装置であるRBコントロールパッケージで構成され、両者は信号伝送用光ケーブルと外部電源供給回線で接続される。

RB管制装置は発射管制室に設備されている発射管制中央指令卓を中心としたM-Vロケット発射管制装置の一部で、搭載機器の総合管制を地下管制室からの遠隔操作により行う設備である。

RB管制装置は集中電源管制装置、中央指令卓と接続し、ロケット飛翔前試験および発射設定時に搭載機器電源のON/OFF操作ならびに各種モード切り替えを行うことを目的としている。

図4に集中電源管制装置、中央指令卓、ロケット搭載システムを含めたRB管制システムの全体系統図を示す。

図5にはRB管制地上装置の系統図を示す。

搭載機器の管制を行うコマンド信号は、1コマンドにつき48bitの2進符号で形成され、4800bpsのデータレートである。この電気信号を光変換部で波長1.3 μ mの光信号に変換し、光ケーブルを介してロケット各段に搭載されたRBコントロールパッケージ（復調、処理装置）へ送る。コマンド送出は一回の実行命令につき同一コマンド符号列を2回送出するダブルコマンド方式としている。

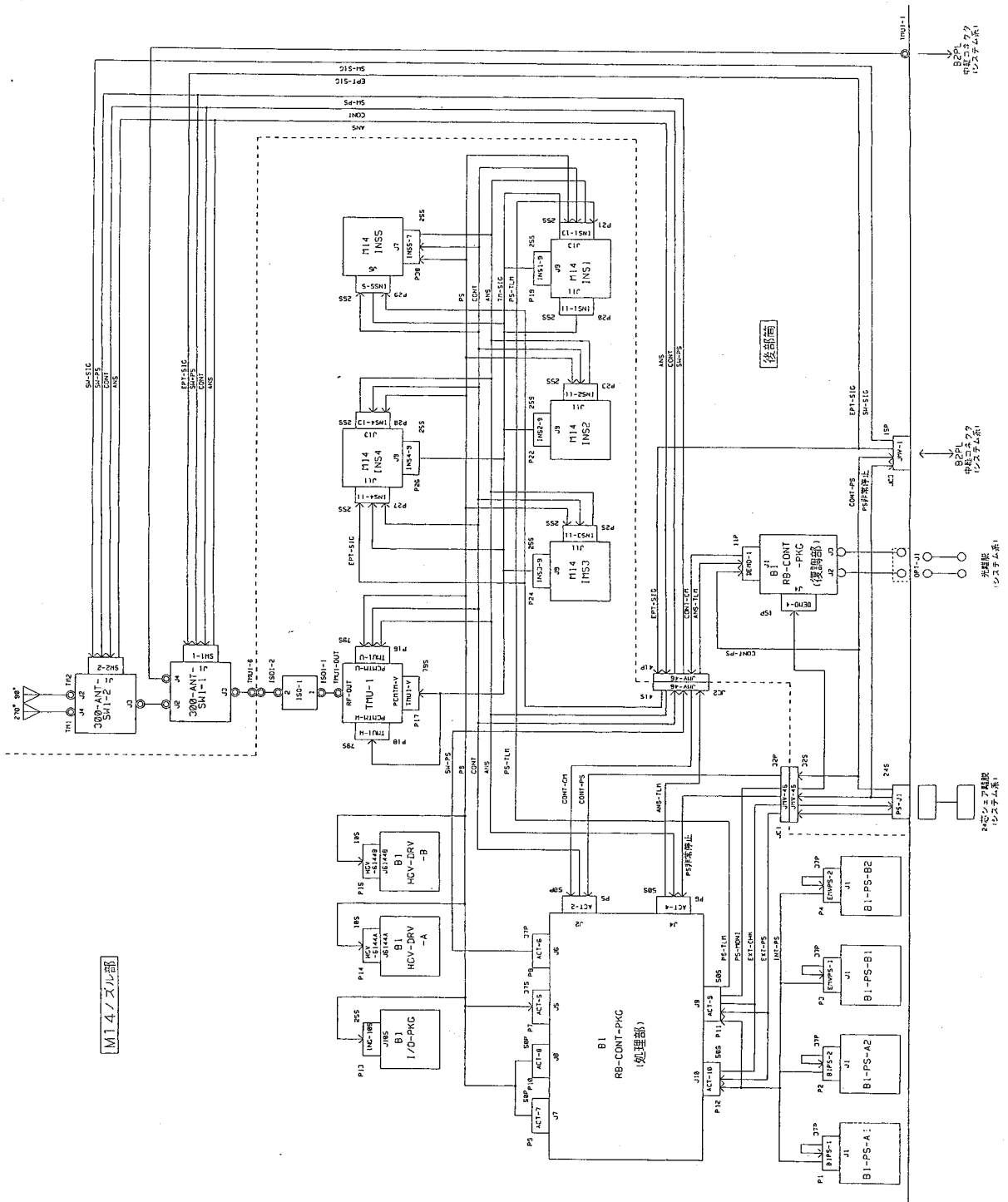


図1 第1段階搭載機器系統図

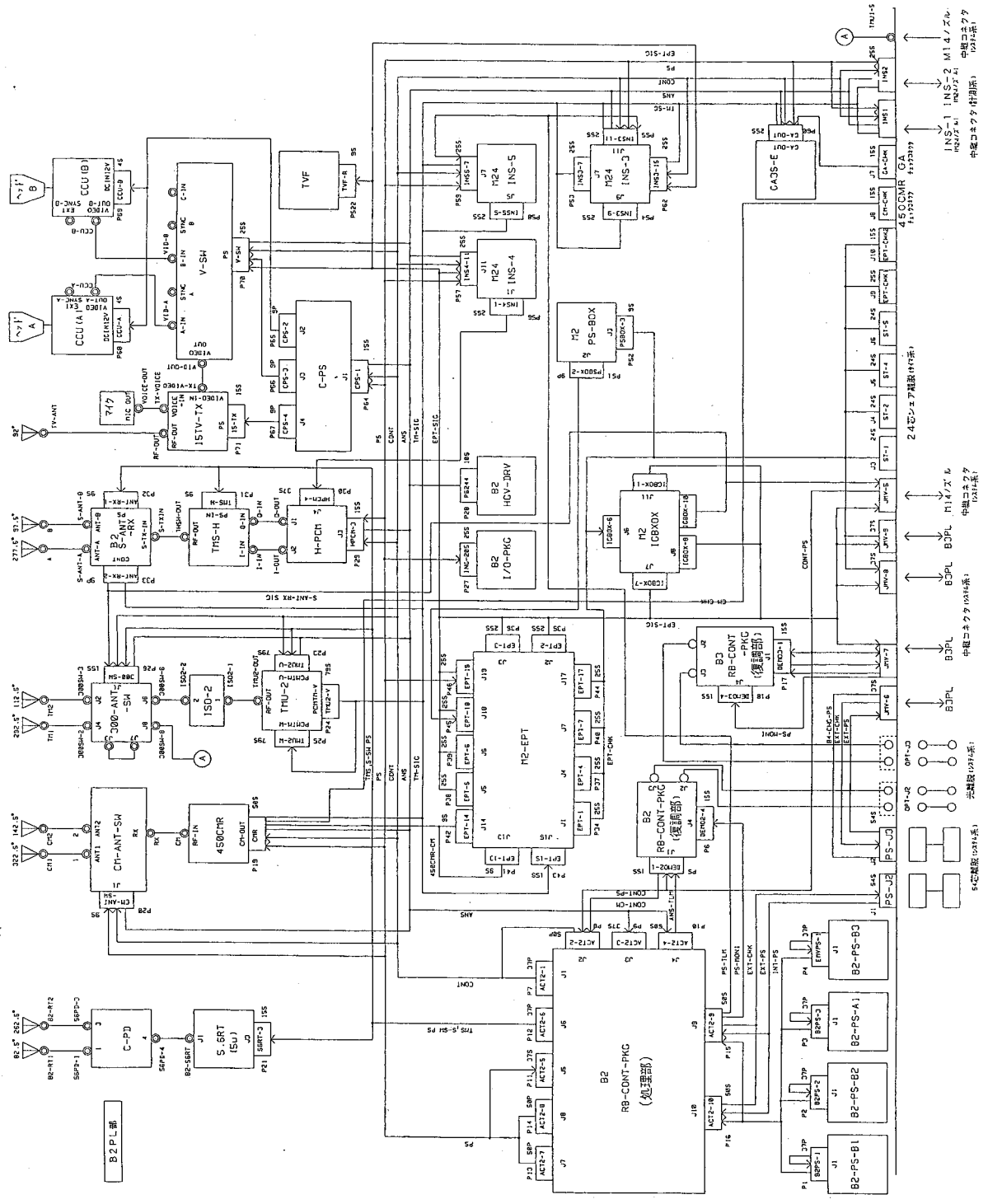


図2 第2段階搭載機器系統図

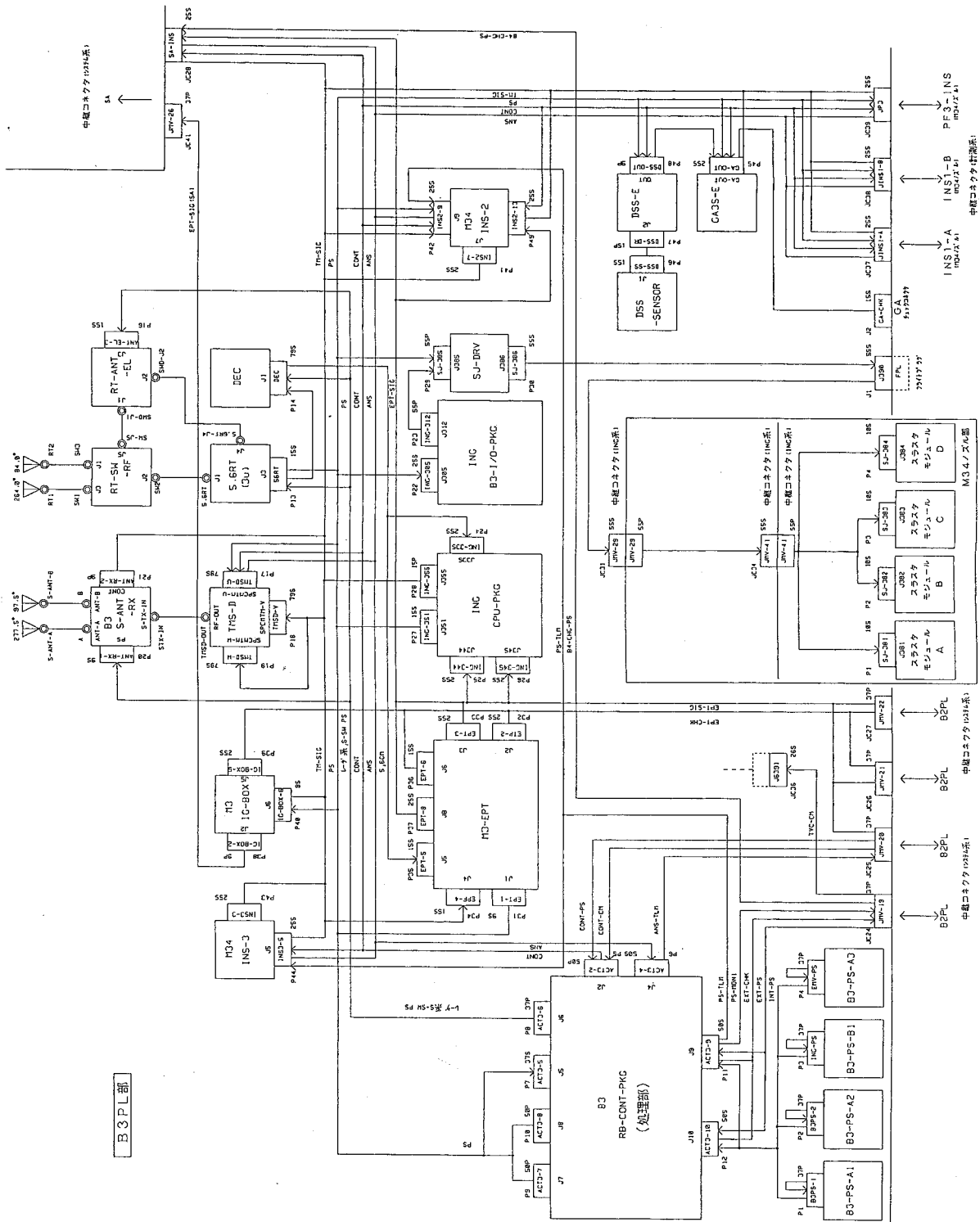


図3 第3段階搭載機器系統図

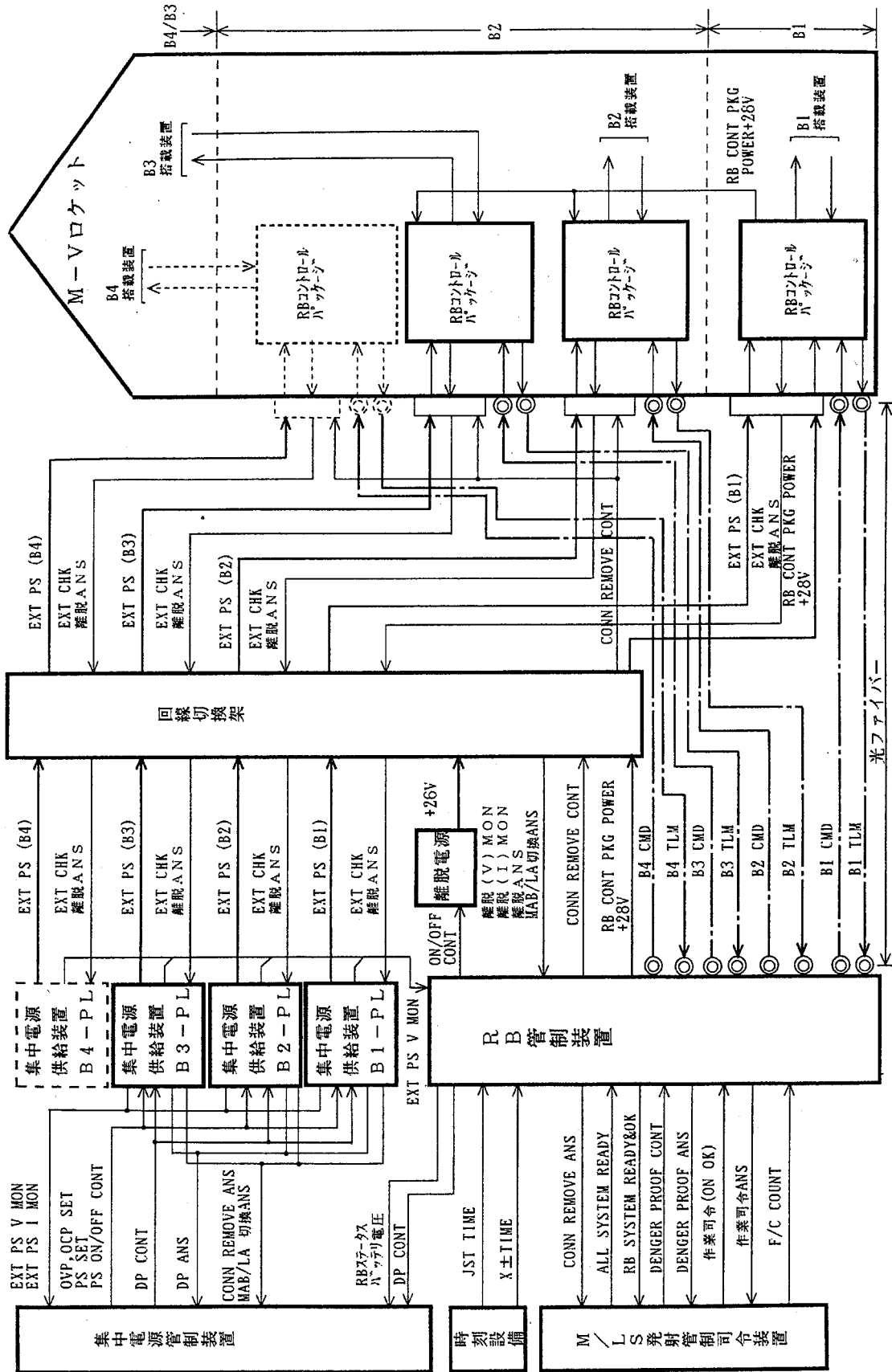


図4 RB管制システム系統図

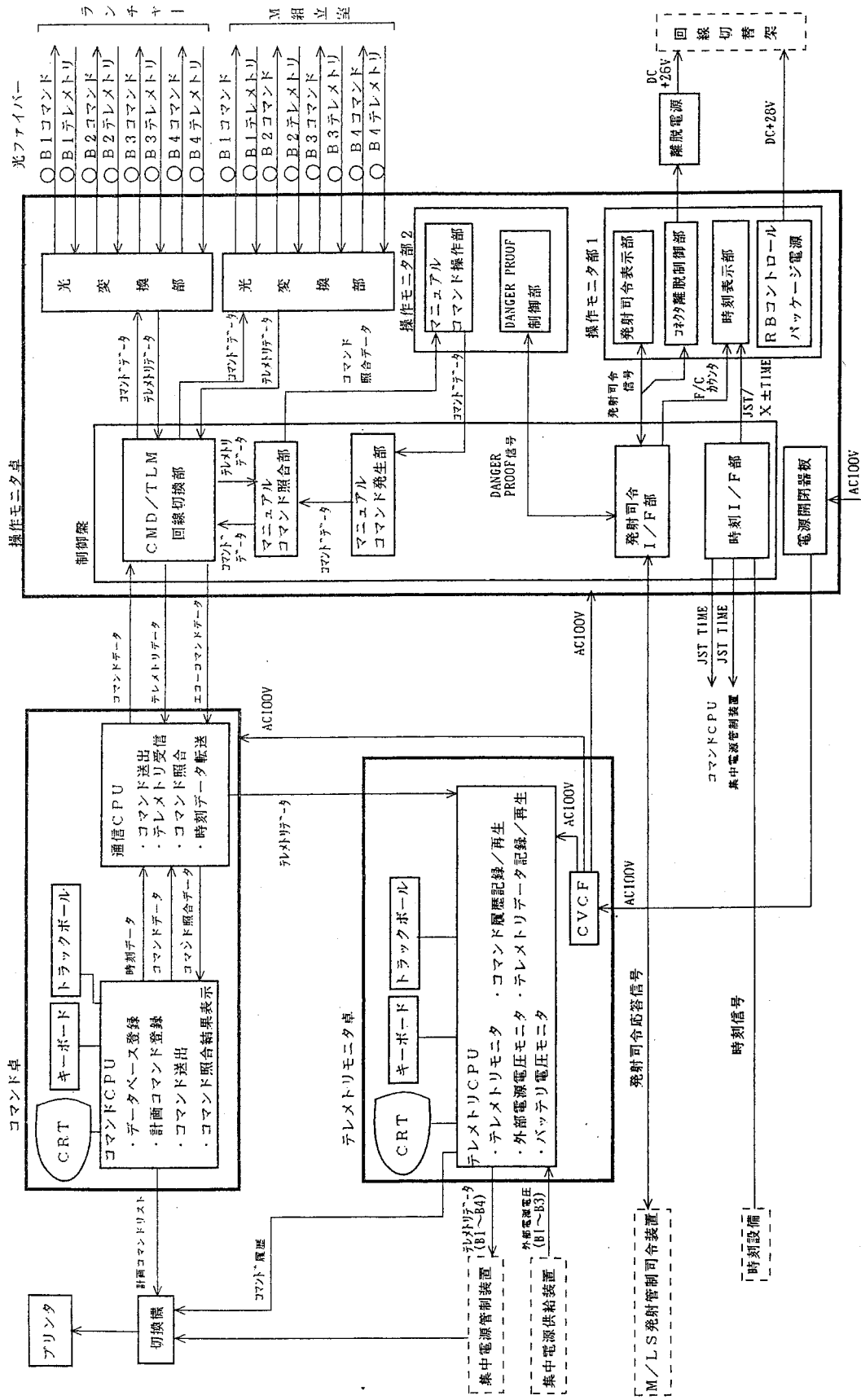


図5 RB管制装置系統図

RBコントロールパッケージ（復調，処理装置）は光信号を電気信号へ変換し，コマンド信号のコードを識別して所定の搭載機器を制御する．このときダブルコマンドの一方にエラーが発生した場合には制御が実施されないようにして，誤動作に対する安全率を高めている．現時点での制御項目最大数は各段毎に42項目となっている．

RBコントロールパッケージは各搭載機器の制御ステータスおよび電源電圧を監視するために，これらのデータをテレメトリデータとして地上管制装置に送り出している．

テレメトリデータも4800bpsのデータレートで，ステータス項目数は各段毎42項目である．テレメトリフォーマットは48bit/Frame，8Frame/1Major Frameとなっている．

これらのコマンド信号処理およびテレメトリデータの編集処理は，各号機毎にRBコントロールパッケージ内のFPGAに論理を予め書き込んでおくことにより実現される．

3.2 RB（搭載機器）管制

搭載機器の管制はロケット飛翔前試験および発射設定時に搭載機器の動作機能を確認するために実施するものである．

各搭載機器への外部電源供給は第1段の24芯シェアコネクタおよび第2段計器部に設けられた54芯着脱コネクタ（B2用1本，B3用1本）からRBコントロールパッケージを介して行われる．

また，各機器の制御信号は第1段（1対），第2段（2対）に設けられた引き抜き式離脱光コネクタ経由でRBコントロールパッケージへ送られる．また，姿勢制御系とタイマ点火系のON/OFF操作は姿勢制御管制盤およびタイマ管制盤から第2段に設けられた24芯シェアコネクタを介して行われる．

RBコントロールパッケージへの電源供給は第1段の24芯シェア型離脱コネクタを用いている．したがって発射直前の緊急停止等の事態が起きても，すみやかに搭載機器のリセット作業を行うことができる．（2段，3段の離脱コネクタが抜かれていた場合でも集中電源非常停止に相当する操作を行うことができる．）

M-V-1号機でRB管制が行われた飛翔前試験は，相模原における噛み合わせ試験，KSCでの総合オペレーション，組み立てオペレーション，そして打ち上げオペレーションへと順次実施された．3号機，4号機ではKSCでの作業計画見直しを行い，第1組み立てオペレーション，第2組み立てオペレーション，打ち上げオペレーションと呼称を変更した．このうち第1組み立てオペレーションでは電気系の動作確認を行わない計画にして作業効率の改善が図られた．

各動作確認試験における手順としては基本的な流れを決めておき，試験項目に応じて部分的変更を加えた．例として表2にM-V-4号機の搭載機器制御項目，図6に動作試験手順概要を示す．

表2 M-V-4号機の搭載機器制御項目

B1		B2		B3	
B1-PS	ON/OFF	B2-PS	ON/OFF	B3-PS	ON/OFF
B1-PS	INT/EXT	B2-PS	INT/EXT	B3-PS	INT/EXT
B1-EMV-PS	ON/OFF	B2-EMV-PS	ON/OFF	B3-EMV-PS	ON/OFF
TMU-1		TMU-2	ON/OFF	TMS-D	ON/OFF
ON/OFF		TMS-H	ON/OFF	B3-S-ANT-RX	ON/OFF
300-ANT-SW1-1	ON/OFF	H-PCM	ON/OFF	B3 GA3S *	ON/OFF
300-ANT-SW1-2	ON/OFF	SANT-RX/		M34 INS-1A	ON/OFF
300-ANT-SW1-1	J2(B1)---	300ANT-SW2	ON/OFF	M34 INS-1B	ON/OFF
300-ANT-SW1-1	J4(B2)---	B2 GA3S *	ON/OFF	M34 INS-2	ON/OFF
300-ANT-SW1-2	J2(90)---	M24 INS-1	ON/OFF	M34 INS-3	ON/OFF
300-ANT-SW1-2	J4(270)---	M24 INS-2	ON/OFF	PF3-INS	ON/OFF
M14 INS-1	ON/OFF	M24 INS-3	ON/OFF	PF3-INS *	MEA/TST
M14 INS-2	ON/OFF	M24 INS-4	ON/OFF	M34 INS-2 MEM*	RST---
M14 INS-3	ON/OFF	M24 INS-5	ON/OFF	PF3-INS ARM	RST---
M14 INS-4	ON/OFF	M24 INS-4	MEA/TST	5.6RT(3 μ s)	ON/OFF
M14 INS-5	ON/OFF	M24 INS-3 MEM*	RST---	RT-SW, TLM-BOX	ON/OFF
M14 INS-4 MEM*	RST---	V-RESET *	RST---	DEC	ON/OFF
M14 INS-5 MEM*	RST---	450CMR	ON/OFF	5.6CM-ARM	RST---
		CM-ANT-SW	ON/OFF		
		5.6RT(5 μ s)	ON/OFF		
		15GHZ-TV	ON/OFF		
		B/W CAMERA	ON/OFF		
		LED	ON/OFF		

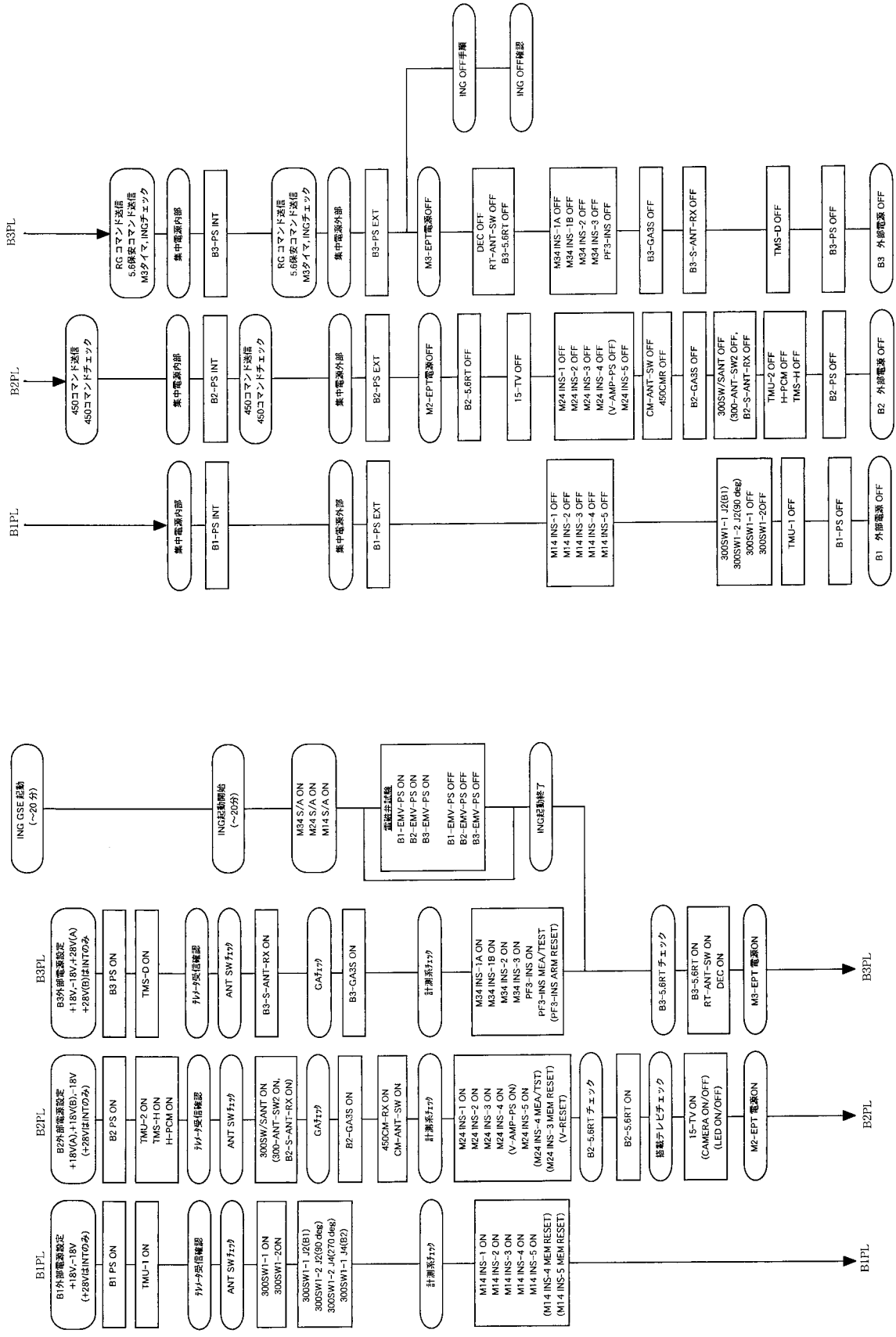


図 6 動作試験手順概要

動作試験の全体的流れとしては、各段毎に外部電源投入、テレメータ系機器を ON にしてデータ確認ができるようにした後、その他搭載機器を順次 ON して動作確認を行う手順とした。試験手順概要図では各段毎の制御操作を見やすくするため並列に書かれているが、実際には操作を直列的に行うので、各操作コマンドを入れ子状態に組み立てて一つの計画ファイルに保存しておき、作業開始時にこのファイルを RB 管制卓に設定する。

RB 管制卓では設定されたコマンド列を順次実行することにより管制手順を進めることができる。また設定順にないコマンドを割り込ませる場合には、管制卓にあらかじめ設定されたコマンド項目一覧の中から所望の項目を選択、実行することができ、実行された制御コマンドの履歴はデータベースファイルとして管制卓のハードディスクに保存される。例としてコマンド履歴ファイルの一部を表 3 に示す。

表 3 コマンド履歴の一例

DATE00/02/10 02:29:28			M4 FLIGHT			PAGE01.		
-NO-	----ID--	IO--CM--	ITEM	-----TIME-----	E-C-S-			
0001.	.	B3	FF	DUMMY COMMAND	02:29:28.39	G	N	-
0002.	.	B3	FF	DUMMY COMMAND	02:29:28.73	G	G	-
0003.	.	B3	FF	DUMMY COMMAND	02:29:29.07	G	G	-
0004.	.	B1	FF	DUMMY COMMAND	02:29:29.41	G	G	-
0005.	.	B1	FF	DUMMY COMMAND	02:29:29.77	G	G	-
0006.	.	B2	FF	DUMMY COMMAND	02:29:30.11	G	G	-
0007.	.	B2	FF	DUMMY COMMAND	02:29:30.47	G	G	-
0008.	.	B3	42	PS ON/OFF	ON 02:30:08.78	G	G	G
0009.	.	B3	51	PF3-INS	OFF 02:30:38.94	G	G	G
0010.	.	B1	42	PS ON/OFF	ON 09:10:14.48	G	G	G
0011.	.	B2	42	PS ON/OFF	ON 09:10:17.72	G	G	G
0012.	.	B1	46	TMU-1	ON 09:10:28.87	G	G	G
0013.	.	B1	26	300SW1-1	ON 09:10:32.51	G	G	G
0014.	.	B1	28	300SW1-2	ON 09:10:36.35	G	G	G
0015.	.	B1	52	300SW1-1	B1 09:10:42.39	G	G	G
0016.	.	B1	56	300SW1-2	90 09:10:47.43	G	G	G
0017.	.	B1	58	300SW1-2	270 09:10:16.27	G	G	G
0018.	.	B1	54	300SW1-1	B2 09:10:56.61	G	G	G
0019.	.	B1	48	M14 INS-1	ON 09:11:07.01	G	G	G
0020.	.	B1	4A	M14 INS-2	ON 09:11:10.83	G	G	G
0021.	.	B1	4C	M14 INS-3	ON 09:11:15.33	G	G	G
0022.	.	B1	4E	M14 INS-4	ON 09:11:19.49	G	G	G
0023.	.	B1	5A	M14 INS-5	ON 09:11:23.83	G	G	G
0024.	.	B2	02	TMU-2	ON 09:11:31.05	G	G	G
0025.	.	B2	26	TMS-H	ON 09:11:36.23	G	G	G
0026.	.	B2	30	H-PCM	ON 09:11:40.91	G	G	G
0027.	.	B2	28	SANT/300SW	ON 09:11:46.81	G	G	G
0028.	.	B3	46	TMS-D	ON 09:11:52.79	G	G	G
0029.	.	B3	26	S-ANT-RX	ON 09:11:57.63	G	G	G
0030.	.	B2	46	B2 GA3S **	ON 09:12:21.47	G	G	N
0031.	.	B3	56	B3 GA3S **	ON 09:12:28.65	G	G	N
0032.	.	B2	4A	450CMR	ON 09:12:39.33	G	G	G
0033.	.	B2	4C	CM-ANT-SW	ON 09:-3:44.87	G	G	G

フライトオペレーションでの電波テスト（打ち上げリハーサル）および発射時の搭載機器設定作業においては中央指令卓との指令応答操作が重要となってくる。

これは発射前の作業において他部門と緊密な連絡を行い、誤操作が生じないようにするものである。

例えば、RB 管制がある作業の完了を確認した後、作業続行 OK の信号を中央管制卓へ送信しなければ中央管制卓では続行の操作を行っても、それが実行できない様にインターロックをかけておくというたぐいのものである。

搭載機器設定の開始から発射にいたるまでの RB 管制作業の流れを図 7 に示す。

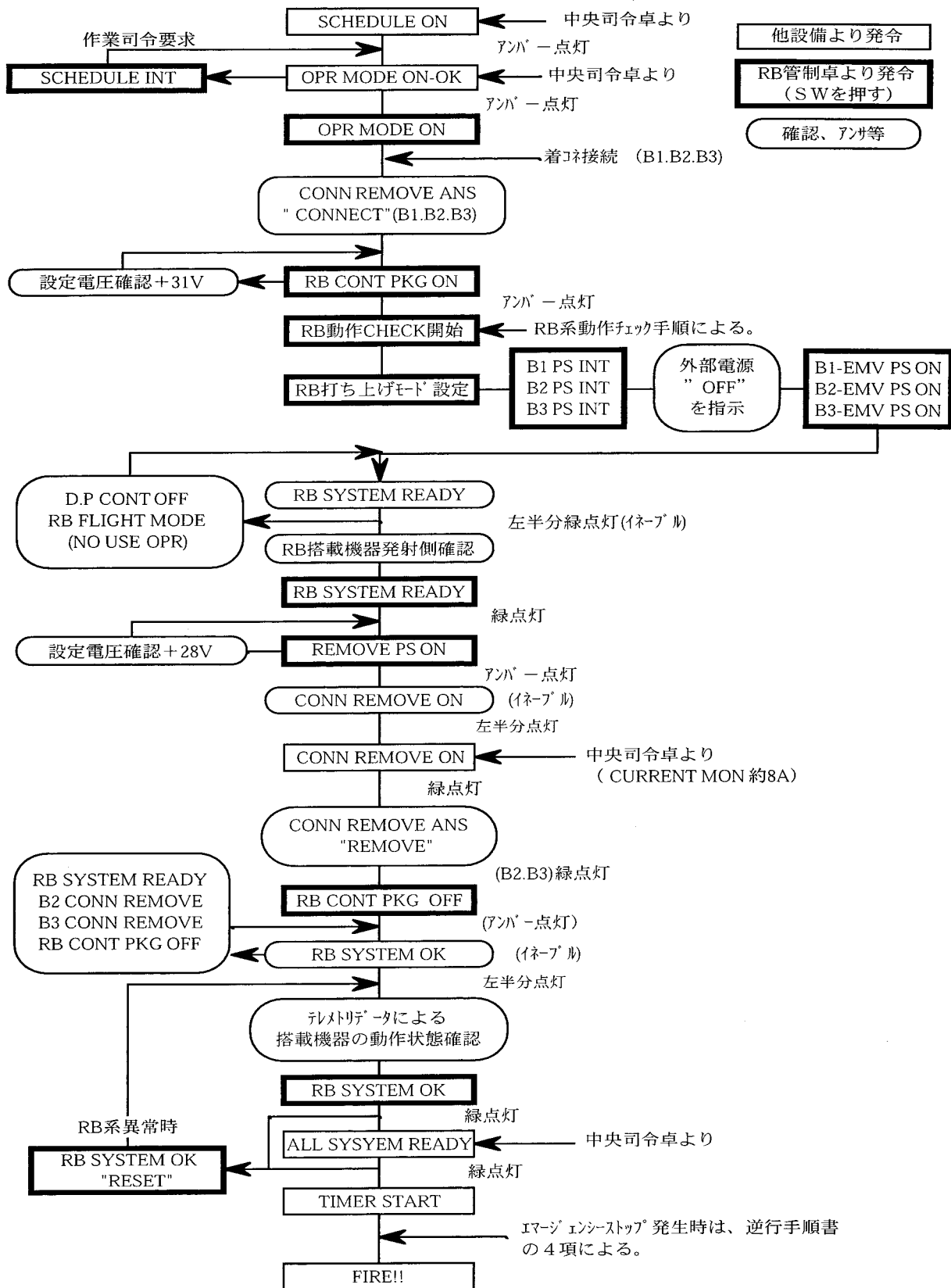


図7 M-V-4号機 RB管制発射前作業フローチャート

4. まとめ

M-V-1, 3, 4号機における電気計装およびRB管制について報告した。M-V型から構造も大型化し、搭載装置の数も増加した。ここでは計装配線自体はほとんど全ての搭載機器に共通なため、その詳細については省略し、M-V型ロケットの搭載機器系統全体について概要を述べた。

計装製造後の一部誤配線発見等に関しては相模原での配線チェック、噛み合わせ試験の中で全て修復され、各号機とも良好な状態で打ち上げに望んだ。今後も設計、製作時における誤配線発生の要因を追求すると共に各種試験時において、これらが確実に除去される手法の確立に努めたい。

RB管制についてはM-V型から光ケーブルを採用した新しい装置を用いたので、まず管制装置の概要を説明し、管制操作の実行について述べた。各号機での管制作業は全て順調に行われた。管制操作としてはロケット発射直後に全ての離脱コネクタが外れた時点で終了となるが、搭載されているRBコントロールパッケージは飛翔完了まで正常機能を維持している必要がある。コントロールパッケージ自体の電源は発射直前にOFFされ、能動的な動作は必要なくなるが、集中電源から各搭載機器へ電源供給を行うリレー部に異常が生じた場合、致命的な事故につながりかねないからである。

コントロールパッケージ内のリレー部は振動、衝撃によるチャタリング現象を最小限に押さえるために工夫をこらしてあるが、さらなる信頼性向上をはかりたい。

また、M-V-1, 3, 4号機では第2段、第3段搭載機器への外部電源供給に54芯離脱コネクタを使用していた。このコネクタは電磁ソレノイドによる離脱方式であり、ロケット発射の数分前に離脱しておく必要がある。このため、コネクタ離脱後に緊急停止等の事態が発生した場合には光ケーブルを介した制御で内部電源をOFFにして対処する事になっている。しかし、この方法ではその後に事態が復旧して発射可能と判断された場合に、遠隔操作のみで発射前の再設定を行おうとすると内部電池を消費しすぎることになり、当日の打ち上げが不可能となる。このため次号機からは54芯離脱コネクタを第1段用コネクタと同様なシェア型離脱コネクタへ変更することにより、遠隔操作のみで外部電源への切り替えを可能にして、より迅速な発射再設定が行えるよう改善する計画である。