

M-3C TVC 装置について

秋葉鏢二郎・長友信人・東口 実・高野雅弘
橋本保成・中村 巖*・二宮一芳*・土井恒美*
渡辺良一*・島野邦雄*

(目次)

1. 序	119
2. 第2段 TVC 装置	119
2.1 概要	119
2.1.1 経過の概要	120
2.1.2 TVC 装置の概要	121
2.2 TVC 装置の諸元と性能	121
2.2.1 タンクシステム	121
2.2.2 噴射弁 (電磁弁)	123
2.2.3 補機配管系	124
2.2.4 熱シールドパネル	124
2.2.5 噴射弁駆動電気系	124
2.2.6 TVC 計測	126
2.3 飛翔データ	126
2.3.1 フレオン消費量	126
2.3.2 電磁弁作動状況	126
2.4 今後の展望	126
3. 打上げまでの作業手順と試験	127
3.1 発送前試験	127
3.1.1 電磁弁単体試験	127
3.1.2 気密試験・圧力較正	130
3.1.3 噴射機能試験	131
3.1.4 動釣合試験	132
3.1.5 振動試験	132
3.1.6 総合試験	132
3.2 KSC でのチェック	134

* 日産自動車株式会社

3.2.1	気密チェック・圧力較正	134
3.2.2	シグネチャー・トレース	135
3.2.3	CN系ポラリティ・チェック	136
3.2.4	TM・CN系総合動作チェック	136
3.2.5	CN系配線チェック	136
3.3	今後の展望	136
4.	KSC 地上設備	138
4.1	フレオン供給装置	139
4.1.1	概要	139
4.1.2	主な構成	139
4.1.3	系統図	139
4.2	高圧 N ₂ ガス注気装置	140
4.2.1	概要	140
4.2.2	構成	140
4.2.3	系統図	140
4.3	M整備塔 TVC 配管	140
4.3.1	フレオン注入用配管	140
4.3.2	N ₂ 注気用配管	141
4.4	TVC 機上監視装置	142
4.4.1	概要	142
4.4.2	ブロック図	142
4.5	TVC チェックアウト装置	142
4.5.1	TVC 計測チェッカー	142
4.5.2	電磁弁チェックアウト装置	143
4.5.3	電磁弁駆動装置	145
4.5.4	TVC 記録装置	146
4.6	今後の展望	148
4.6.1	M-3H 用設備	148
4.6.2	TVC 機上監視の充実	148
5.	研究開発の経過	148
5.1	経過の概要	148
5.2	噴射条件の選択	149
5.3	2次噴射流体の選択	149
5.4	実機フィードシステムの変遷	151
5.5	スライバー燃焼時に於ける TVC の有効性	152
5.6	システムの信頼性	152
5.6.1	装置の部品点数低減	154
5.6.2	ブラダーのサイクル寿命	154

5.6.3 N₂ ガス・フレオン（噴射液）の汚染度管理 154
 5.6.4 噴射弁のサイクル寿命 154
 5.6.5 TVC 装置のフレオン耐久性 155
 5.6.6 TVC 装置の組立・分解・再組立サイクル 155
 5.7 今後の展望 155
 5.7.1 比例 TVC 装置 155
 5.7.2 SMRC 装置 155

1. 序

M-3C 型ロケットは、3 段式固体燃料ロケットで軌道精度向上のため、姿勢制御装置を有している。

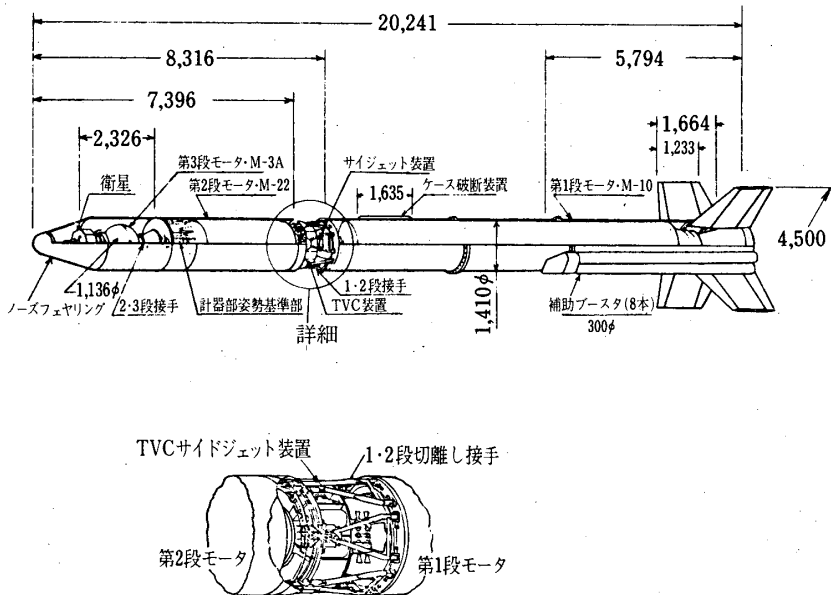
この中に、第2 段 M-22 モータのノズル周りに搭載された2 次噴射推力方向制御装置（TVC 装置と呼ぶ）がある（第1 図、第2 図）。

本稿は、試験衛星および科学衛星を打ち上げた3 機の M-3C 型に搭載された TVC 装置およびこれに関連した諸試験ならびに地上設備について述べ、さらに TVC 装置の開発経過等について説明する。

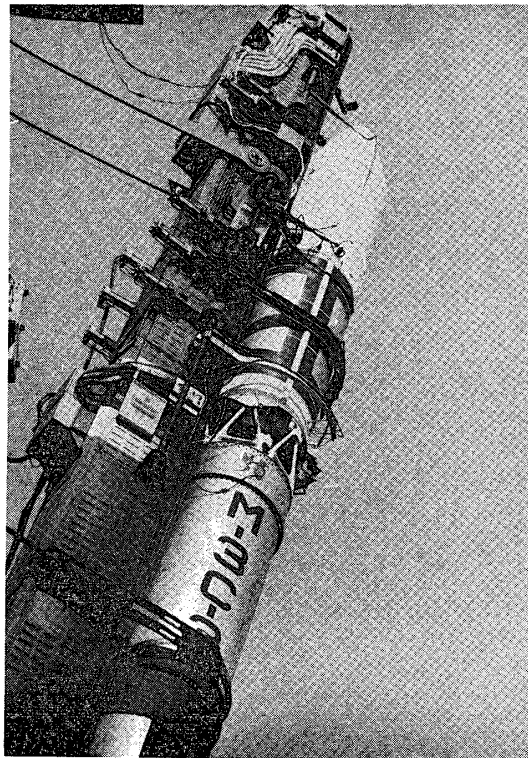
2. 第2 段 TVC 装置

2.1 概要

ミューロケットシリーズは衛星の軌道精度向上をめざして姿勢制御装置の搭載・改良が行なわれてきた。



第1 図 M-3C 概観図



第2図 ランチャー上の M-3C

2.1.1 経過の概要

M-4S型ロケットでは第3段モータの上部に姿勢制御エンジン部(CNJ)を搭載し、これによりピッチ・ヨー・ロールの3軸制御を行ない最終段打出し方向設定のための姿勢制御を行っていた。

M-3C型ロケットでは第2段 M-22 モータノズル部に SJ 装置(サイドジェット装置)および TVC 装置が搭載される。第2段 M-22 モータ燃焼中は SJ 装置によりロール軸を制御し、ON-OFF 弁制御の TVC 装置により、姿勢制御電気部(CNE)の設定基準角にあわせてピッチ・ヨー軸の制御を行なう。第2段モータ燃焼後は SJ 装置により3軸制御を行ない最終段打出し方向設定の姿勢制御を行なう。

M-3C型に続く M-3H型および M-3S型の第2段には M-3C型と同型の制御装置が予定されており、M-3S型では第1段ロケットから姿勢制御を実施することが計画されている。M-3S型の第1段ロケットの姿勢制御は、尾翼先端に取付けられた SMRC 装置(固体モータロールコントロール装置)によりロール軸の制訂を行ない、電気-油圧方式の比例弁を採用した TVC 装置により第1段ロケット燃焼中のピッチ・ヨー軸の姿勢制御を行なうものである。

M-3C型ロケットは、3号機まで打上げられ、第2段姿勢制御(CN)系は逐次改良が施されてきた。

2.1.2 TVC 装置の概要

TVC による制御力は姿勢制御システムの要求から、制御初期において第2段モータ主推力の約1.5%に当る約500kgであり、末期にあつては約0.8%に当る約280kgである。これはモータ推進薬の消費に伴う機体の慣性負荷の減少に見合うよう設定されている。

TVC による制御は機体軸を飛行面に保つよう制御とその飛翔径路が重力ターンに相当するようなピッチ制御を行なうものである。

TVC の方式は、ノズル壁からノズル内の燃焼ガス超音速流に向つて、2次流体を噴射することにより制御力を得る方式であり、他の方式に比べ装置が高温ガスに曝される部分が少なく、技術的に有利であり信頼性も応答性も高い等の利点がある。

M-3C 型ロケットに採用された TVC 装置は2次噴射流体のフロン114 B₂ と加圧源の N₂ ガスを収納するタンクシステムとノズル壁から2次噴射流体を制御信号に従い噴射する噴射弁（電磁弁）の他、装置操作上必要な補器と配管類から構成される。

M-3C-1号機の飛翔結果から以降は2次噴射流体の搭載量を80 l から40 l に半減させ、電磁弁の改良等を行ない、作業面も含めた信頼性向上の努力をし、現在に至っている。

2.2 TVC 装置の諸元と性能

M-3C 型 TVC 装置の諸元および性能をまとめて第1表に示す。

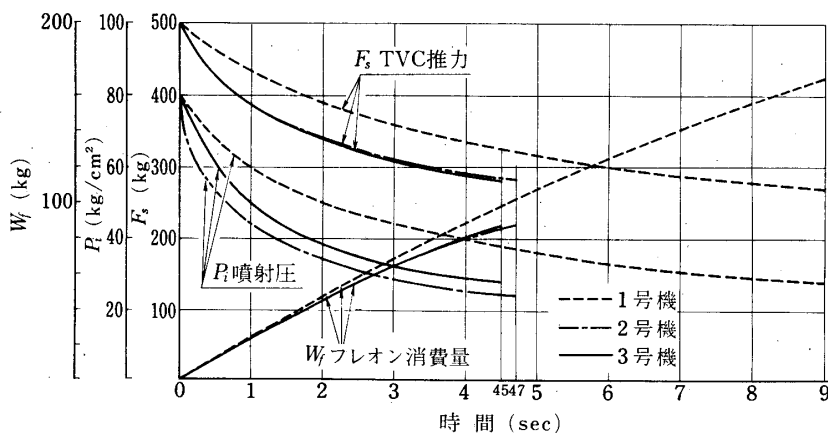
主な構成要素の概略を以下に述べる（第3図，第4図，第5図，第6図）。

2.2.1 タンクシステム

タンクは、2組のユニット内に收容され、取付板および支柱を介して M-22 モータのノズルに固定されている。

M-3C-1号機は8個，M-3C-2および3号機は4個の円筒形タンクで構成されている。

タンクは、チタン合金製内容積約15.5 l で噴射体と加圧ガスを同時に収納している。これを ONE TANK SYSTEM と称し、両者は浮動ピストンにより隔離される。各タンクは、パイプにより結合され配管系としては一体を成すが、浮動ピストンの動きを均一化するため加圧側にしぼりが設けられている。



第3図 M-3C TVC 諸量の時間変化（1象限連続噴射）

第1表 M-3C TVC 諸元

1. TVC 装置

	1号機	2号機	3号機
噴射体	フレオン114B-2, 初期80.3l (4弗化2臭化エタン)	同左 40.3l	同左 40.3l
加圧ガス	窒素 初期43.1l	同左 21.6l	同左 21.6l
タンク数	8個 チタン合金	4個 チタン合金	同左
噴射弁	ON-OFF電磁弁, 円周8ヶ等分	同左	同左

2. 重量

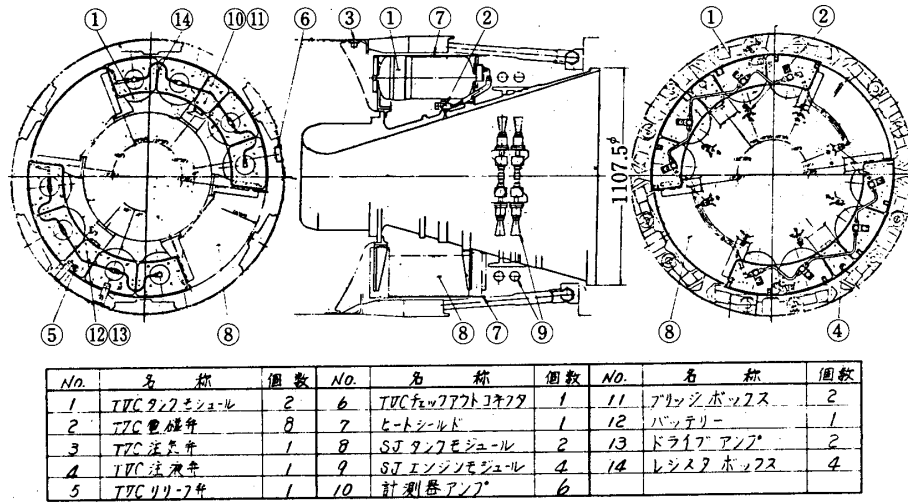
	1号機	2号機	3号機
全重量	320.6 kg (電気系重量含まず)	192.9 kg (")	196.3 kg (")
構造重量	144.4 kg	105.3 kg	108.7 kg
噴射体重量	176.2 kg	87.6 kg	87.6 kg
(熱シールドパネル)	(14.0 kg)	(14.0 kg)	(14.0 kg)
(電気系重量)	(30.1 kg)	(27.6 kg)	(20.8 kg)

3. 性能

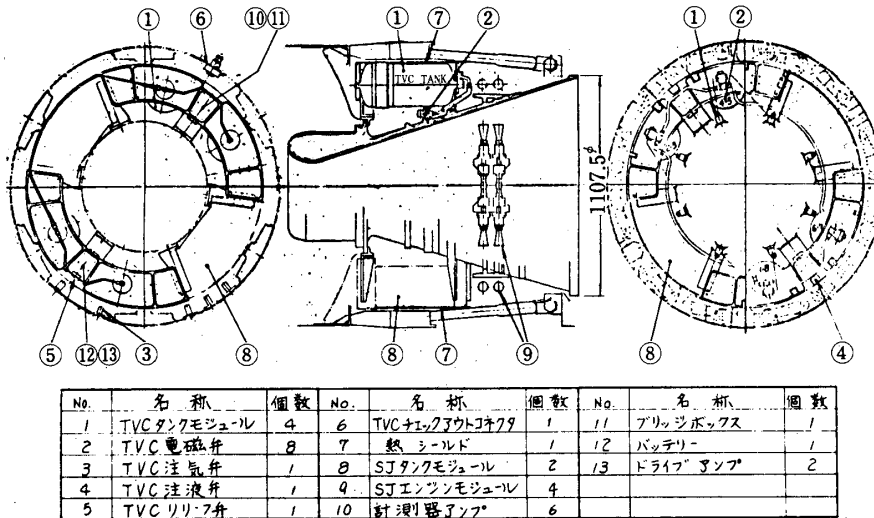
項目	1号機		2号機		3号機	
	初期	末期	初期	末期	初期	末期
噴射体押圧	80 kg/cm ²	27 kg/cm ²	72 kg/cm ²	24 kg/cm ²	80 kg/cm ²	27 kg/cm ²
噴射流量	2.5 kg/s	1.3 kg/s	2.5 kg/s	1.4 kg/s	2.5 kg/s	1.4 kg/s
横推力	500 kg (主推力の約1.5%)	260 kg (" 約0.7%)	500 kg (" 約1.5%)	280 kg (" 約0.75%)	500 kg (" 約1.5%)	280 kg (" 約0.75%)
横比推力	200 s	200 s	200 s	200 s	200 s	200 s
噴射時間	約92 sec (1象限連続換算)		約47 sec (")		約45 sec (")	
噴射位置	$\epsilon_i/\epsilon_e = 6.53/21.8 = 0.3$ ϵ_i ; 噴射位置開口比		$\epsilon_i/\epsilon_e = 6.88/21.98 = 0.313$ ϵ_e ; ノズル出口部開口比		同左	

4. 機能部品

	1号機	2号機	3号機
電磁弁	MOOG 55-102 B型	MOOG 55-102 C型	MOOG 55-102 D型
抵抗箱	4コ搭載	同左	搭載せず
圧力ピックアップ	歪ゲージ貼付型	歪ゲージ型圧力ピックアップ	同左
圧力計測点	8 (連続1, スキャン7)	2 (連続1, スキャン1)	同左



第4図 TVC・SJ 部主要機材配置
M-3C-1号機

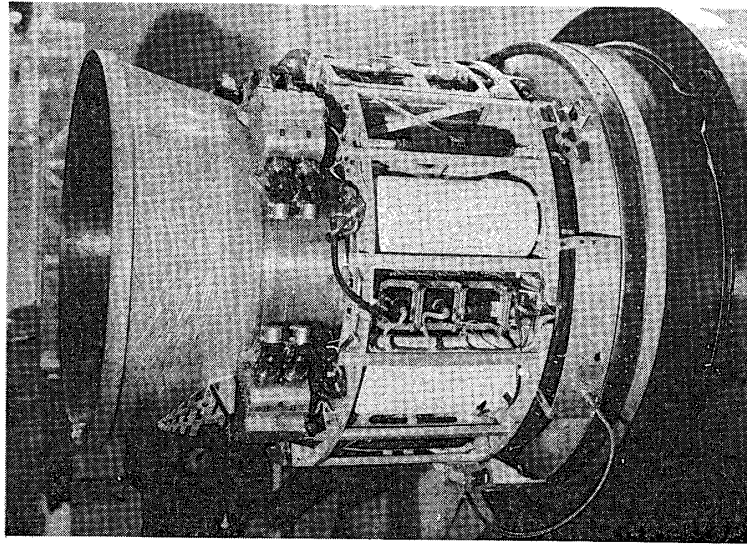


第5図 TVC・SJ 部主要機材配置
M-3C-2, 3号機

2.2.2 噴射弁（電磁弁）

噴射弁は、M-22 モータのノズル周りに8個等分に取り付けられ、ON-OFF 式の弁でパイロットに電磁石を用いピントル作動に噴射体自身の圧力を利用している。

L, M ロケット上段 TVC 用として標準的に用いるため、流量調節などの機構を設計仕様に盛り込み、米国 MOOG 社に製作させたもので作動の信頼性が高く、応答性、噴射性能も



第6図 ノズル部 CN 系機器

優れている。

M-3C-1号機では、MOOG 55-102 B型を使用し、M-3C-2号機では“C”型、M-3C-3号機では“D”型を使用した。

電磁弁断面図と改良経過を第7図に示す。

2.2.3 補器配管系

補器類は、 N_2 ガス注気弁、フロン注入弁、リリーフ弁およびフィルターより成る。

配管系は、タンクユニット内の固定部は SUS 製としタンクユニット間およびタンクユニットと噴射弁の間は、フレキシブルホースで連結される(第8図、第9図)。

N_2 ガスの注気・排気系は管制室より遠隔操作で行なわれる。従って N_2 ガス注気弁は N_2 注気後の離脱のため、遠隔操作による離脱機構を有する。

リリーフ弁は、異常時 N_2 ガスを放出するものでプッシュ火薬を使用したピストン移動型の弁である。

2.2.4 熱シールドパネル

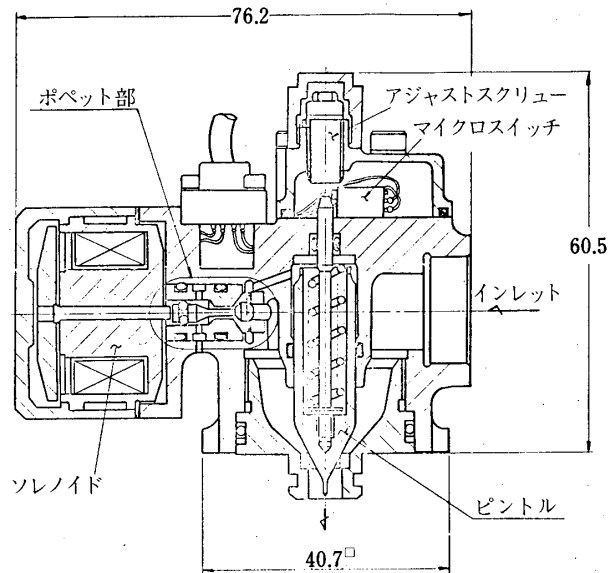
1, 2段接手構造は、ステー開傘方式のため外板がないので空力的じょう乱や熱から装置を保護する目的で、TVC装置と計器部の外面は厚さ約3mmのFRPパネルで覆われている。

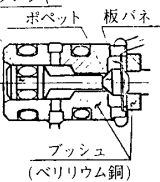
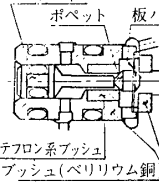
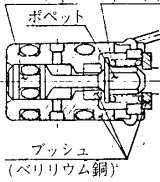
2.2.5 噴射弁駆動電気系

M-22モータのノズル周りには電磁弁を駆動する電磁弁ドライバ、電池箱および抵抗箱(M-3C-3号機からは搭載せず)が搭載されている。

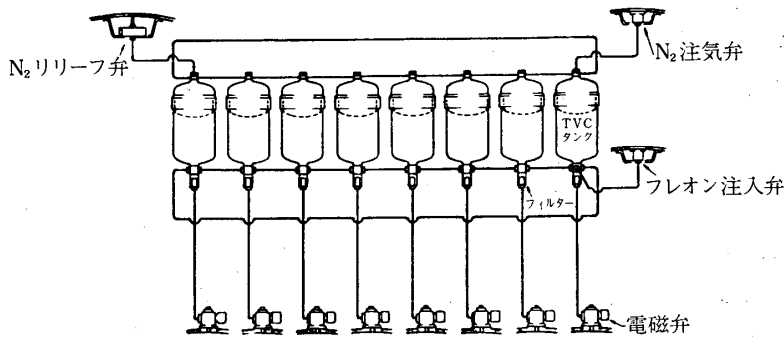
電磁弁を駆動する制御信号は第2段計器部(B_2 PL)部に搭載されているCNEからモータ外側のダクト内ケーブルを通じ電磁弁ドライバに与えられる。

M-3C-1・2号機あるいはこれ以前のものは、電磁弁ソレノイド抵抗が低いため、機上電源28Vによる直接駆動ができなかった。このため電磁弁ソレノイド直前に直列に抵抗を

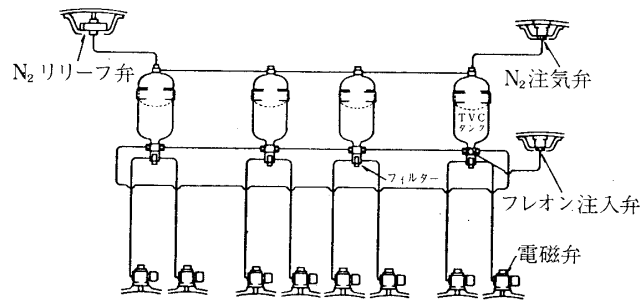


項目	号機	M-3C-1	M-3C-2	M-3C-3
改良経過	型式	MOOG55-102B	MOOG55-102C	MOOG55-102D
	ポペット部形状	ブランジャー ポペット 板バネ  フッシユ (ベリリウム銅)	ブランジャー ポペット 板バネ  テフロン系フッシユ フッシユ(ベリリウム銅)	ブランジャー コイルスプリング ポペット  フッシユ (ベリリウム銅)
	単体流量	1.35kg/sec (フレオン114B ₂ 圧力80kg/cm ²)		
コイル抵抗	8.81Ω ± 5%		21.2Ω ± 5%	
入力電流	1.25Amp ± 0.25			

第7図 電磁弁断面図および改良経過



第8図 TVC 配管系統 (M-3C-1号機)



第9図 TVC 配管系統 (M-3C-2, 3号機)

内蔵させた抵抗箱を入れ定格電流を得ていた。

M-3C-3号機からは電磁弁ソレノイド抵抗を変更し、抵抗箱を取り除いた。これにより機上電源 28 V で直接駆動が可能となり、配線系の簡素化がはかられた。

第7図に電磁弁の概略仕様の変遷を示す。

2.2.6 TVC 計測

TVC の飛行中の諸特性の確認と環境条件の確認を目的とし、タンク圧力や構造歪と電磁弁・ノズル外壁・熱シールドパネルの温度が計測された。

圧力計測は TVC 装置作動中のタンク圧力を計測することにより噴射体の消費量を把握している。

M-3C-1号機ではこのタンク圧力測定のためタンク外壁に歪ゲージを貼付けし、圧力換算したが、取扱いに注意を要するなどの難点があった。このため2号機からは歪ゲージ型圧力ピックアップをタンク上部に取付け、直接圧力を計測する方法に改められた。

2.3 飛行データ

M-3C-1・2・3号機共 TVC 装置は、CNE の指令に従い計画通り X+79秒から X+144 秒まで正常に作動した。

2.3.1 フレオン消費量

飛行中のフレオン消費量は、テレメータからのフィードタンク圧をもとに TVC 作動中は断熱変化と仮定し、 N_2 ガスを理想気体として計算より求めた (第2表)。

2.3.2 電磁弁作動状況

テレメータによってモニタされた電磁弁の作動状況は CNE の指令に従い正常に作動した (第10図)。

搭載された電磁弁の応答時間は、ON・OFFともほぼ 10 msec 以内であった。

2.4 今後の展望

第2段用 TVC 装置のシステムは、後述の如く幾多の改良・変遷を経て完成され、M-3C-1, 2, 3号機でその機能が確認されると共に、高い信頼性が実証された。

M-3C型に続く人工衛星打上用ロケットの M-3H型および M-3S型における第2段用 TVC 装置のシステムにおいても M-3C型の TVC 装置を搭載する予定である。

第2表 M-3C フレオン消費量

号 機	1 号 機			2 号 機			3 号 機		
X + 秒時(sec)	78.8	80.0	144.0	78.8	79.8	143.6	79.3	80.3	144.3
項 目	TVC スタート	B ₂ IG	TVC ストップ	TVC スタート	B ₂ IG	TVC ストップ	TVC スタート	B ₂ IG	TVC ストップ
タンク圧力(kg/cm ² ・G)	81.0	77.4	65.1	73.2	77.2	54.7	80.1	73.5	52.8
N ₂ タンク容量(l)	45.6	47.1	53.3	22.9	24.2	28.2	22.8	24.8	31.8
フレオン容量(l)	78.3	76.8	70.6	39.0	37.7	33.7	39.1	37.1	30.1
フレオン消費量(l) [%]	0	1.5 [1.9]	7.7 [9.8]	0	1.3 [3.3]	5.3 [13.6]	0	2.0 [5.1]	9.0 [23.0]

3. 打上げまでの作業手順と試験

TVC 装置完成後, TVC 装置の機能・性能および信頼性を確認する目的で発送前試験および KSC でのチェックを実施し, 飛翔試験に臨んでいる.

以下, 発送前試験および KSC でのチェック項目の内主要項目についての内容を述べる.

3.1 発送前試験 (第3表, 発送前作業フローチャート)

3.1.1 電磁弁単体試験

TVC 装置に装着する電磁弁が要求機能を満足するかを確認することを目的とする (第11図).

(i) 噴射流量調整

最大噴射流量を規格値に調整する.

基 準 1.35±0.05 kg/sec

条 件 噴射体 フレオン 114 B₂

圧 力 80 kg/cm²

液 温 20℃

(ii) 最低作動圧力確認

電磁弁の作動開始および停止するときの臨界噴射圧力を求める.

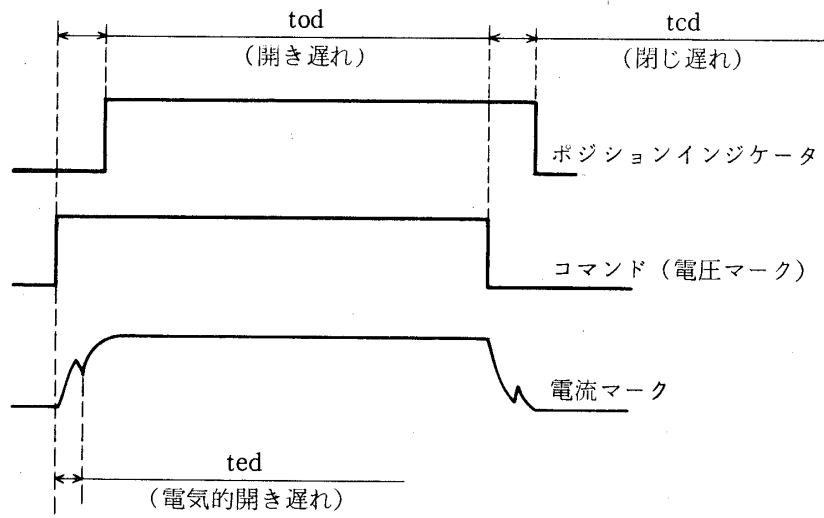
基 準 臨界噴射圧力 20 kg/cm² 以下

(iii) 応答特性試験

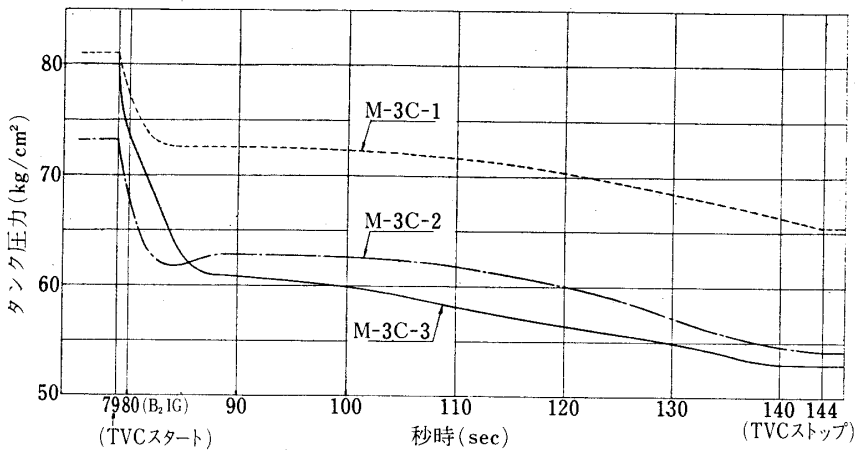
パルスコマンド信号に対する, 立上り, 立下り時間を確認する.

基 準

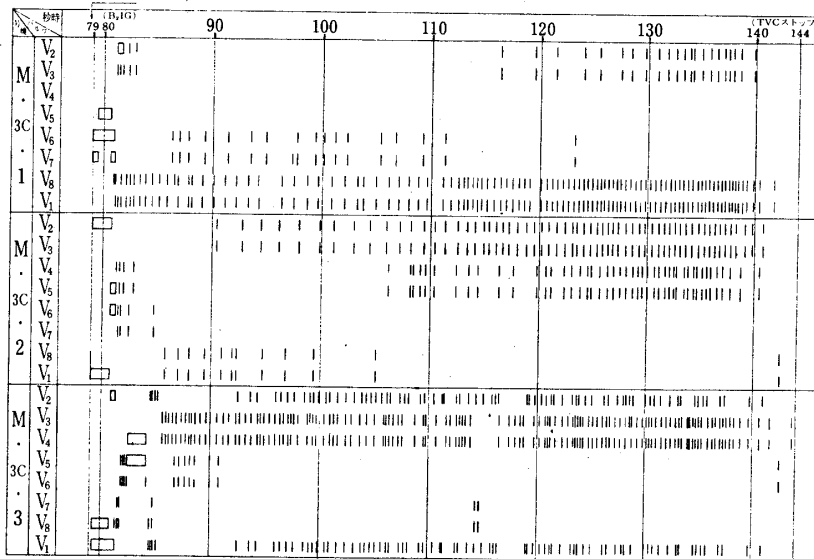
	25 kg/cm ²	60 kg/cm ²
ted	10 msec 以下	10 msec 以下
tod	50 " "	50 " "
tcd	50 " "	50 " "



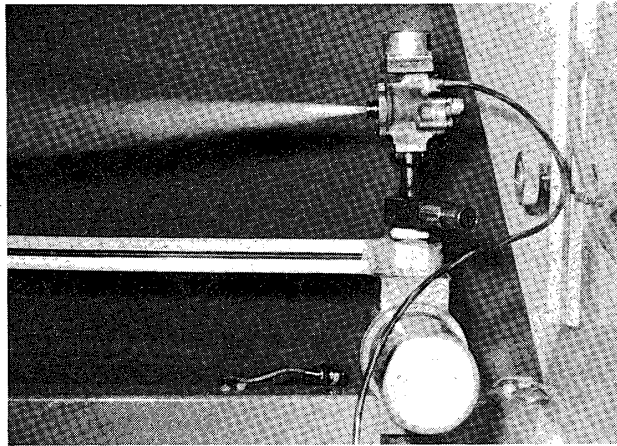
タンク圧力~時間特性



電磁弁作動状況 (TVCスタート)

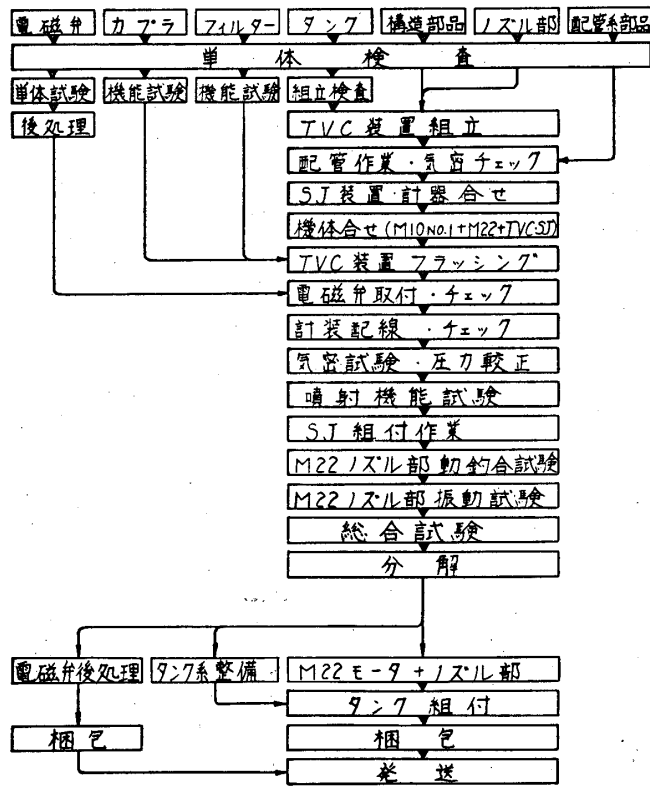


第10図 飛行データ解析結果



第11図 電磁弁単体試験

第3表 発送前作業フローチャート



条件 噴射体 フレオン114 B₂
 圧力 25 kg/cm² 60 kg/cm²
 コマンド ON タイム 50 msec
 OFF タイム 100 msec
 10 パルス

(iv) 噴射特性試験

電磁弁単体に於ける各噴射圧力に対する噴射流量を把握する。

基準

圧力	流量
25 kg/cm ²	0.76±0.03 kg/sec
40 "	0.95±0.04 "
60 "	1.17±0.04 "
80 "	1.35±0.05 "

条件 噴射体 フレオン114 B₂
 圧力 25・40・60・80 kg/cm²
 液温 25℃

(v) 耐久試験

予備電磁弁の1個について、パルス連続駆動試験を行ない、電磁弁の耐久性を確認する。

基準 試験後機能および性能が正常であること。

条件 噴射体 フレオン114 B₂
 圧力 60~70 kg/cm² 一定
 コマンド ON タイム 50 msec
 OFF タイム 100 msec
 3000 パルス

3.1.2 気密試験・圧力較正

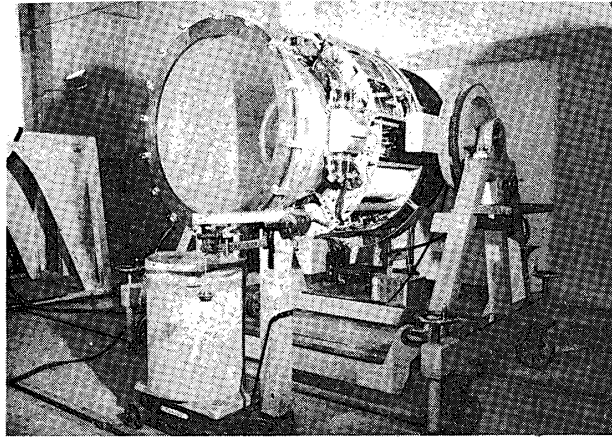
TVC 装置組立完了後の供給配管系の気密チェックおよび圧力測定システムの特性を把握する。

基準 気密試験

圧力(kg/cm ²)	基準
10・20・30・45	リークチェック液を塗布し目視にてリークが認められないこと。
80 kg/cm ² 1時間放置	圧力降下量 4 kg/cm ² 以下

圧力較正 0~80 kg/cm² 加減圧 10 kg/cm² 毎に較正を行ない正常であること。

条件 噴射体 100%充填
 加圧 N₂ ガス



第12図 噴射機能試験

3.1.3 噴射機能試験

TVC 装置の実機装備完了後の総合機能確認および特性把握とオペレーション技術の修得を行なう(第12図).

(i) シグネチャー・トレース

電磁弁作動特性の経時変化を把握するため、電流時間特性を記録しておき、KSCにおけるシグネチャー・トレース結果との比較資料とする。

基準	ted (電氣的開き遅れ)	10 msec 以下
	tod (開き遅れ)	50 msec 以下
	tcd (閉じ遅れ)	50 msec 以下

条件	噴射体	フレオン114 B ₂
	圧力	25 kg/cm ²
	駆動回路	EMV ドライバー
	通電	0.5~1.5 sec
	データ取得	9回ウォーミングアップ 10回目データ取得

(ii) 静特性試験

実機装備完了後の噴射流量特性を把握し、電磁弁単体試験における単体流量特性と比較する。

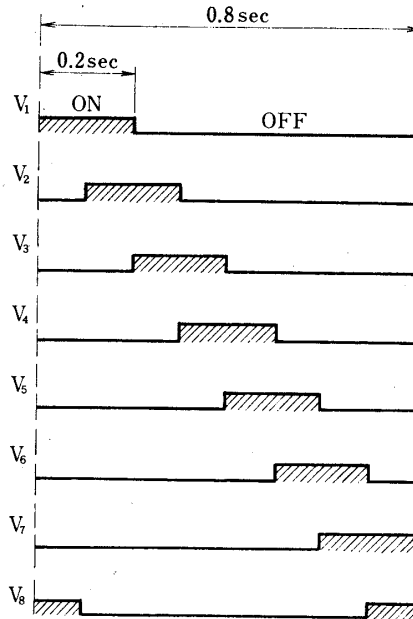
条件	噴射体	フレオン114 B ₂
	圧力	25・45・80 kg/cm ²
	噴射パターン	2個同時4 sec 定常噴射
	駆動回路	実機搭載 EMV ドライバー

(iii) 動特性試験

ブローダウン噴射により噴射圧力と有効噴射時間を把握し、飛翔試験データの解析資料と

する。

条件 噴射体 フレオン114 B₂
 充填量 100%
 初期圧力 80 kg/cm²
 噴射パターン 2個同時ブローダウン噴射
 噴射モード



3.1.4 動釣合試験

M-22ノズル部に TVC 装置等 CN 系機器を実機装備し、アンバランス量を計測する。計測アンバランス量は、B₂PL 部アンバランス量と合成し、第2段全体として補正されるようにバランスウエイトを取付ける (第13図)。

条件 回転数 120 r・p・m
 器材 実機装備状態

3.1.5 振動試験

M-22ノズル部に TVC 装置等 CN 系機器を実機装備し、装置の共振点および共振倍率を把握するとともに振動試験後装置に異常のないことを確認する (第14図)。

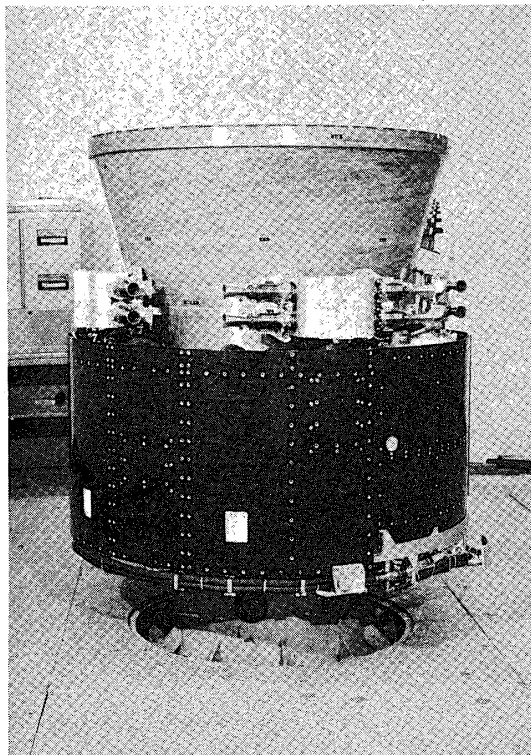
条件 器材・M-22ノズル部 CN 系機器実機装備状態
 ・TVC 噴射体 100%充填
 加振条件 (第15図)

3.1.6 総合試験

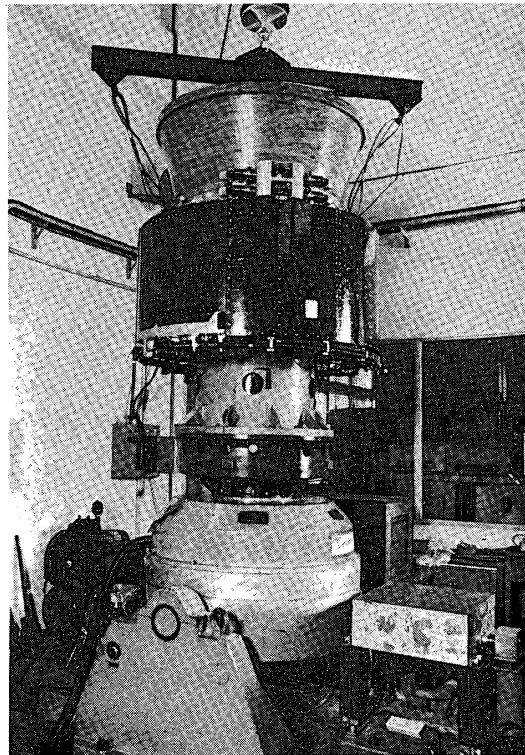
本試験は、発送前の最終的な総合試験である。

CN 系としては、B₂ PL 部にある CN 電気部から、M-22ノズル部の TVC 装置等 CN 系機器までを電气的に実機装備の状態にして、CN 電気部の予定プログラムに対して、電磁弁の作動がそれに合致しているかをチェックする (第16図)。

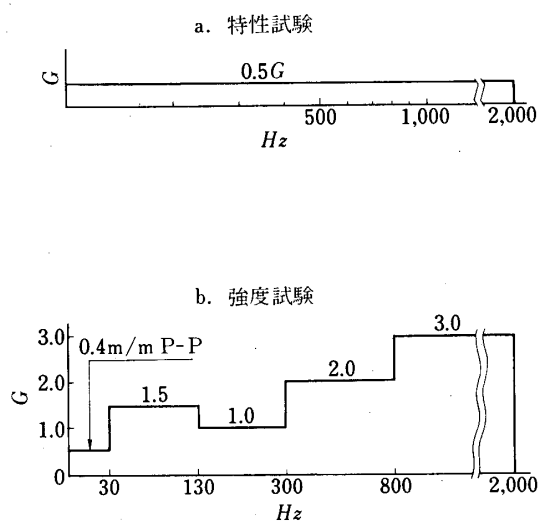
(i) ダミーチェック



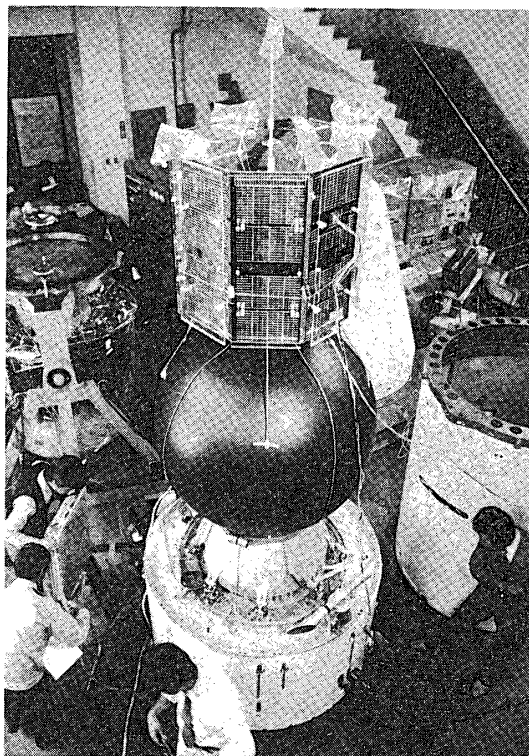
第13図 動均合試験



第14図 振動試験



第15図 振動試験の加振条件



第16図 結合試験

CN 電気部からのダミー信号を電磁弁直前に取付けたランプテストおよび電磁弁通電確認用の電磁弁テストと電磁弁作動音により、所定の電磁弁の作動を確認する。

(ii) 機体 (B₂ PL 部) 変位によるチェック

B₂ PL 部をピッチ・ロール方向に変位させ、ダミーチェックと同一確認方法により、所定の電磁弁の作動を確認する。

3.2 KSC でのチェック (第4表 KSC 作業フローチャート)

KSC でのチェック内容の詳細は、『SES-TN-75-066-SY M型ロケットフライトオペレーション作業マニュアル2段 CN 系』で手順書化されているが、以下その概要をのべる。

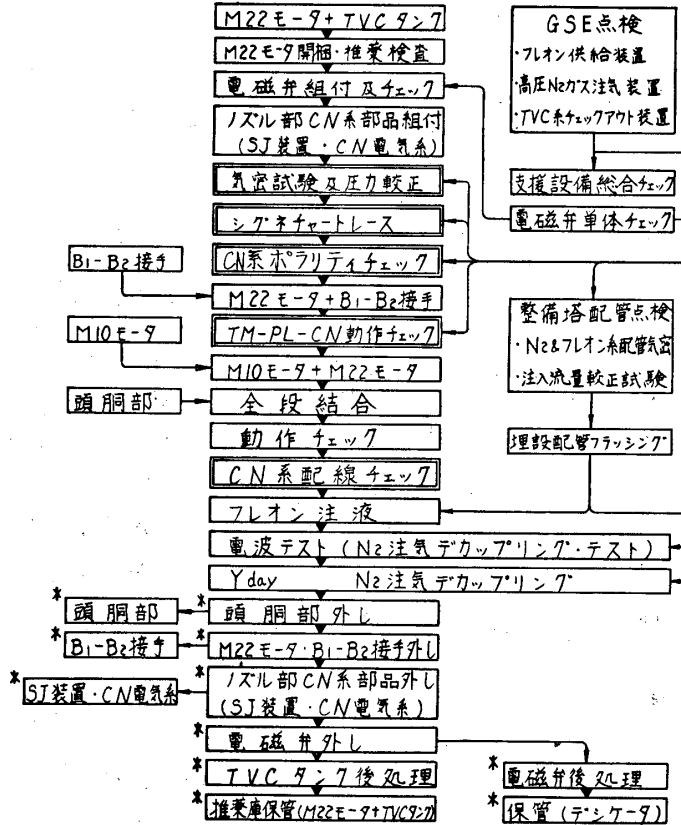
3.2.1 気密チェック・圧力較正

M-22 ノズル部 CN 系機器の実機装備完了後、供給配管系の気密チェックおよび圧力測定システムの特性を把握する。

基 準 気密チェック

圧力(kg/cm ²)	基 準
10・20・30・45	リークチェック液を塗布し目視にてリークが認められないこと。
80 kg/cm ² 1時間放置	圧力降下量 4 kg/cm ² 以下

第4表 KSC フローチャート (オペレーションテスト& フライトテスト)



*印オペレーションテストにて実施

- ・圧力校正

0~80 kg/cm² 加減圧 10 kg/cm² 毎に校正を行ない正常であること。

条件・噴射体 100%充填

- ・加圧 N₂ ガス

3.2.2 シグネチャー・トレース

電磁弁作動特性の経時変化を把握するため、電流時間特性を記録し、発送前および組立オペレーションにおけるシグネチャー・トレース結果と比較する。

- 基準 ted (電氣的開き遅れ) 10 msec 以下
 tod (開き遅れ) 50 msec 以下
 tcd (閉じ遅れ) 50 msec 以下

- 条件 噴射体 フレオン 114 B₂
 圧力 25 kg/cm²
 駆動回路 EMV ドライバー

通 電 0.5~1.5 sec
データ取得 9回ウォーミングアップ
10回目データ取得

3.2.3 CN系ポラリティチェック

M-22ノズル部CN系機器実機装備完了状態で、CN電気部からのダミー信号により、電磁弁の作動を確認する。

基 準 CN電気部からの信号に従い、所定の電磁弁が正常に作動すること。

条 件 噴射体 フレオン114 B₂

圧 力 25 kg/cm²

3.2.4 TM・CN系総合動作チェック

B₂ PL部にあるCN電気部からのダミー信号とCN電気部を揺動させ所定の電磁弁の作動を確認するとともに、作動アンサー・圧力モニタは、テレメータを通して行ない、モニタ系の確認をする(第17図)。

基 準 CN電気部からの信号に従い、所定の電磁弁が正常に作動し、作動アンサー・圧力モニタは、テレメータを通して正常にモニタ可能なこと。

条 件 噴射体 フレオン114 B₂

圧 力 25 kg/cm²

3.2.5 CN系配線チェック

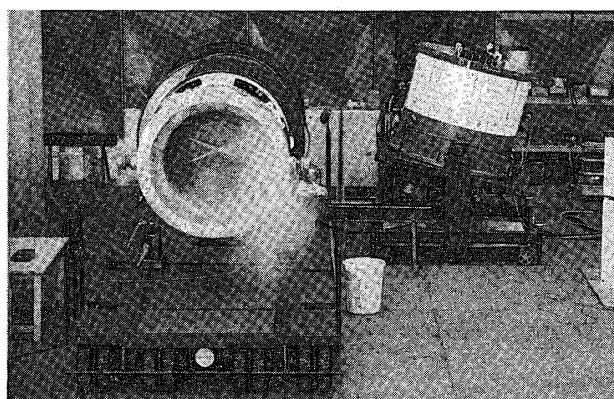
ロケット全段組立完了後整備塔内において、CN電気部からのダミー信号を、電磁弁直前に取付けたランプテストおよび電磁弁通電確認用の電磁弁テストと電磁弁作動音により、所定の電磁弁の作動を確認する。

基 準 CN電気部からの信号に従い、所定の電磁弁が正常に作動すること。

条 件 噴射体 ナシ

圧 力 大気圧

3.3 今後の展望



第17図 TM・CN系総合動作チェック

第2段用 TVC 装置に関する打上げまでの作業手順と試験は、M-3C 型 TVC 装置により確立された。

発送前作業および KSC でのチェックは手順化され、作業の効率化と作業の信頼性向上が計られている。

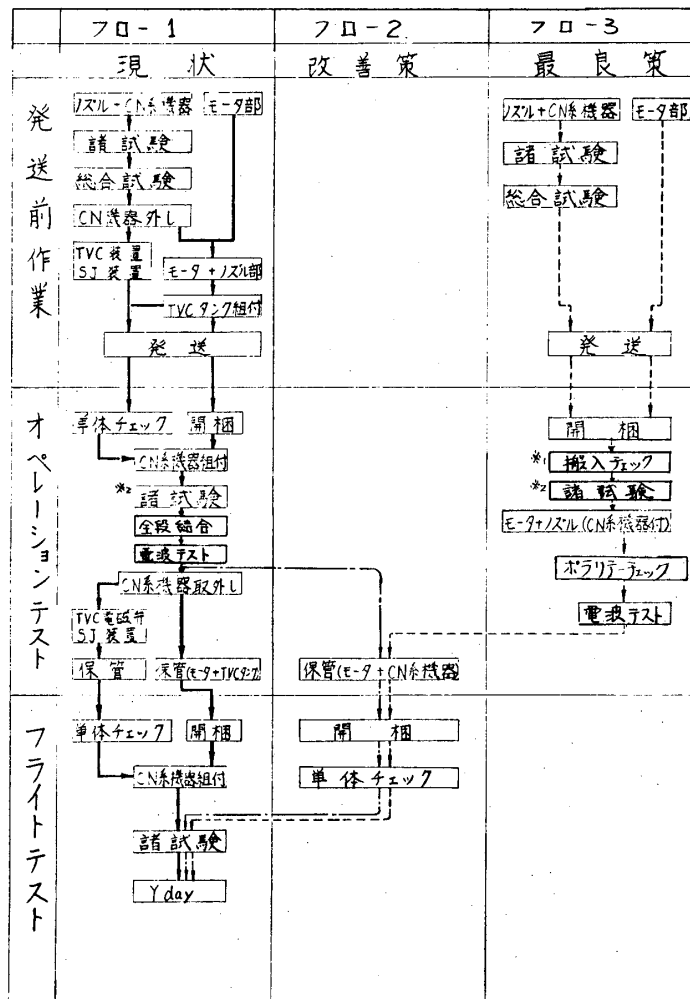
KSC でのチェック内容の詳細は、『SES-TN-75-066-SY M型ロケットフライトオペレーション作業マニュアル2段 CN 系』を参照されたい。

今後は、各作業の見直しと改善を計り、さらに作業の能率化と作業の信頼性向上を行なう予定である。

現在、CN 班として信頼性向上の観点から作業を簡素化する方向で、第5表に示すように作業フローの再検討を行なっている。

フロー1は、現状の作業フローを示すものであり、オペレーションテスト後ノズル部 CN

第5表 作業フローの再検討



*1 搬入チェック = 外観チェック、導通絶縁チェック、作動チェック。
*2 諸 試 験 = 見密圧力校正、シグネチャテスト、ポラリテチェック、総合動作チェック。

系機器を取外し、モータとは別に保管しフライトテストで単体チェック後再組付を実施している。

フロー2の、改善策では、ノズル部や機体の設計変更はないが、オペレーションテスト後のCN系機器はモータに組付けた状態で推薬庫に保管することを検討している。この方法を採用した場合以下の利点がある。

- (1) CN系機器を取外し、再組付による不具合発生の防止が可能である。
- (2) オペレーションおよびフライトテストにおけるCN班の日程短縮が可能である。

ただし、この方法を採用するに際しては事前に長期保管によるCN系機器の機能劣化がないことを充分確認する必要があり現在長期保管による環境試験を実施している。

フロー3の、最良案は第1段および第2段に関するものであり、1、2段各モータの推薬部とTVC装置の装着されたノズル部を容易に着脱できるように大幅な設計変更を必要とするものである。

この方法を採用すれば、東京で諸試験を行なった後、TVC装置付きのノズル部をそのまま専用コンテナでKSCに輸送し、KSCではモータ(推薬部)なしで、TVC装置の諸試験が行なえることから下記の利点が考えられる。

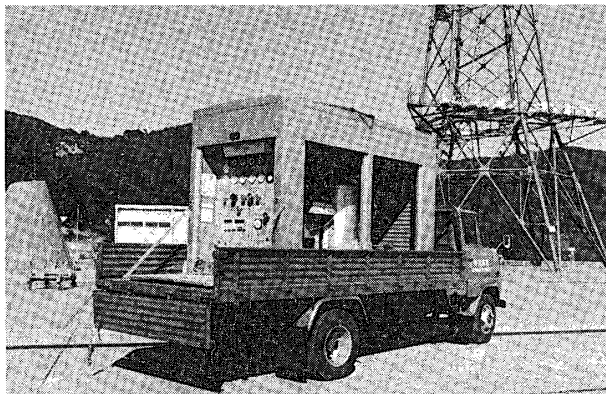
- (1) 作業の安全性が向上する。
- (2) モータなしでTVC諸試験が可能のため試験場所が限定されない。
- (3) 東京でのTVC系総合試験後ただちにKSCに発送できるので大幅な日程短縮ができる。

以上の検討は、当然、環境試験、部品の経年変化等、充分な調査なしでは実現できないが信頼性の高い方法なので是非検討していきたい。

4. KSC 地上設備

TVC装置の整備作業および発射管作業に使用する地上設備について、その概要を以下に述べる。

詳細は、『M-3C用設備概要 1973年11月 SES データセンター』を参照されたい。



第18図 フレオン供給装置

4.1 フレオン供給装置

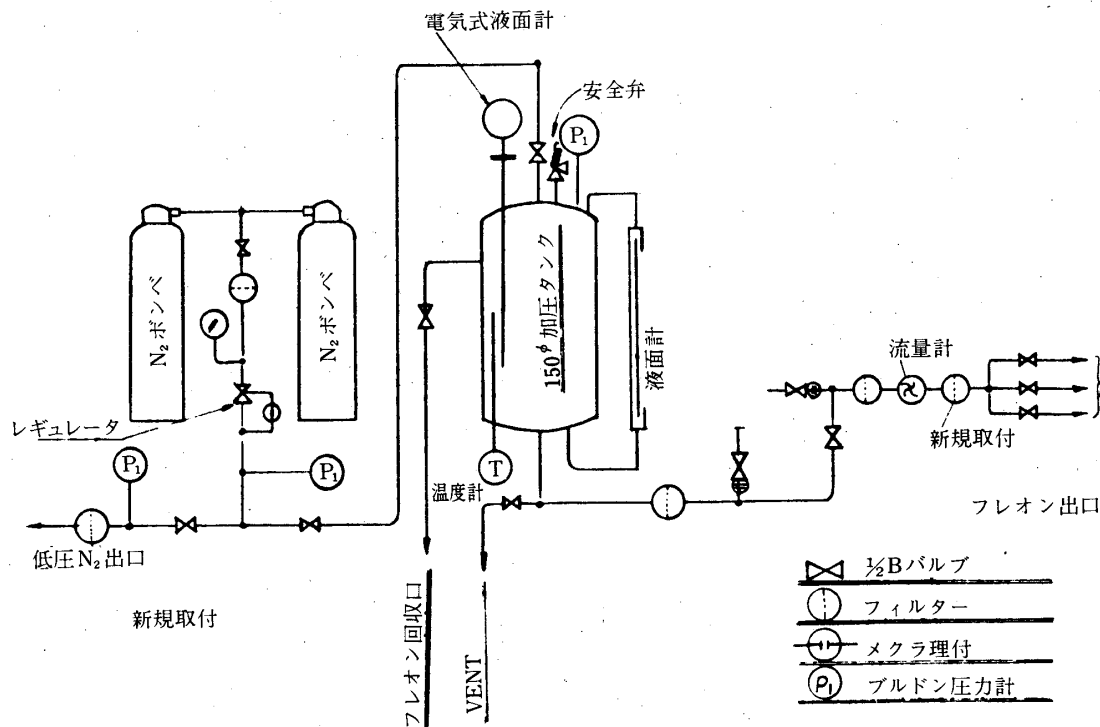
4.1.1 概要

TVC 装置へ噴射体であるフレオン 114 B₂ を供給する装置である。供給は、N₂ ガス加圧による圧送方式で、その容量は、150 l である。供給装置はドーム内に収容され、運搬車に搭載し移動する（第 18 図）。

4.1.2 主な構成

名 称	数 量	備 考
150 l タンク	1	容量 150 l 最高使用圧 30 kg/cm ²
レギュレータ	1	調圧範囲 0~30 kg/cm ²
タービンメータ	1	能力 0.5~5.0 GPM
デジタルフローメータ	1	流量変換演算, 直読表示
フィルター	1 式	ろ過度 公称 3 μ, 45 μ
回収ポンプ	1	能力 30 l/min
真空ポンプ	1	
液面計	1 式	電気式・直読式
圧力計	1 式	電気式・ブルドン管式
液温計	1	-10°C~+50°C
指令電話用電源	1	12 V 250 mA
配管類	1 式	手動弁・接手・配管
N ₂ ポンベ	2	150 kg/cm ² ポンベ

4.1.3 系統図（第 19 図）



第 19 図 フレオン供給装置系統図

4.2 高圧 N₂ ガス注気装置

4.2.1 概要

TVC 装置の加圧源である高圧 N₂ ガスを注気する装置で TVC 装置の整備作業に使用される。装置は可搬式で、ラック内に収納された N₂ ガスボンベからレギュレーターにより調圧して供給する (第20図)。

4.2.2 構成

名 称	数量	備 考
N ₂ ボンベ	4	150 kg/cm ² ボンベ
レギュレータ	2	高圧用・低圧用
フィルター	1	ろ過度 3 μ
圧力計	1式	ブルドン管式
電磁弁	1	デカップリングテスト用
N ₂ ヒーター	1式	電磁弁後処理用

4.2.3 系統図 (第21図)

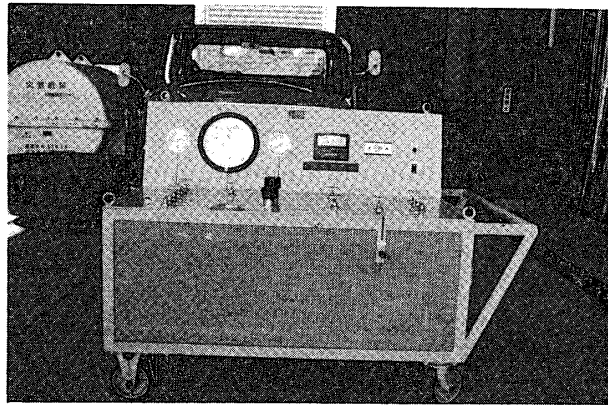
4.3 M 整備塔 TVC 配管

ロケットの第2段に搭載された TVC 装置に、発射場の整備塔およびランチャ上でフレオンを注液し、また N₂ ガスを注気するためのもので、次のものより構成される (第22図)。

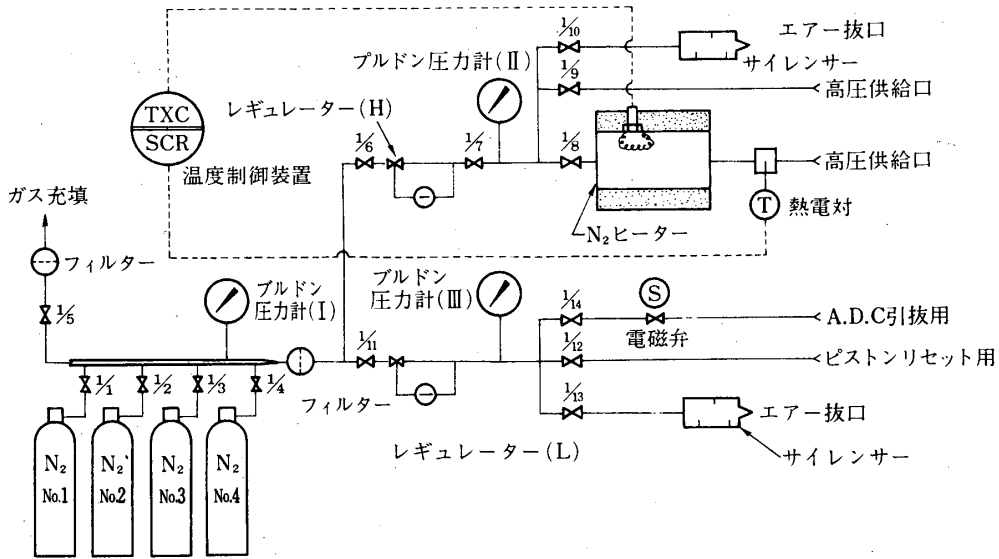
- 1) フレオン注液用配管
- 2) N₂ 注気用配管

4.3.1 フレオン注液用配管

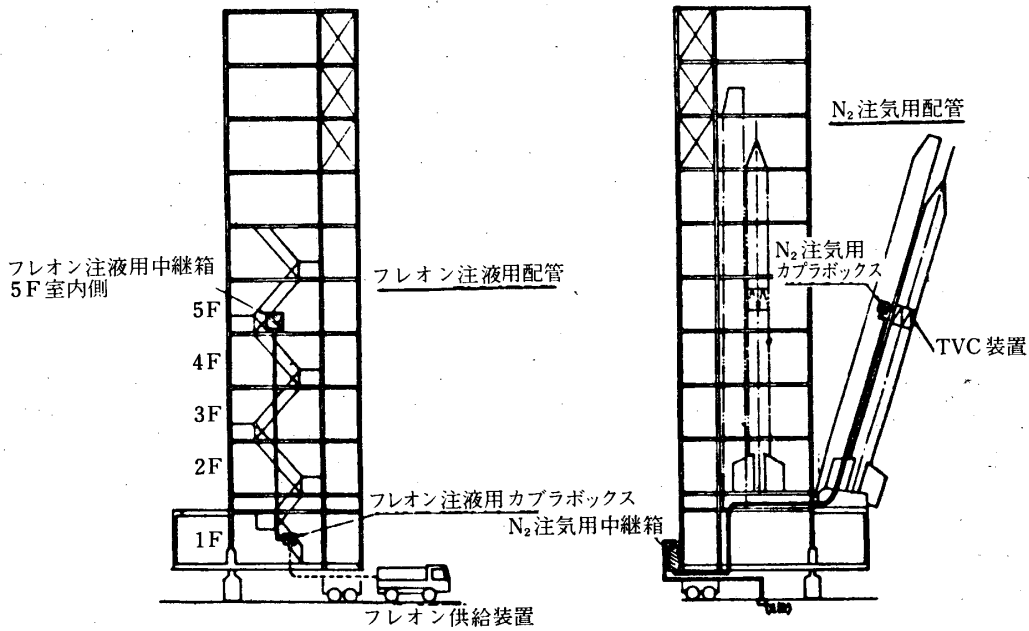
本設備は、地上のフレオン供給装置から整備塔5階と6階の間に位置する TVC 装置にフレオンを注液するために整備塔内に設置された配管・配線設備である。尚、本設備には、地上および整備塔5階に於ける注液作業の円滑を計るために指令電話を備えている (第23図, フレオン注液用配管系統図)。



第20図 高圧 N₂ ガス注気装置



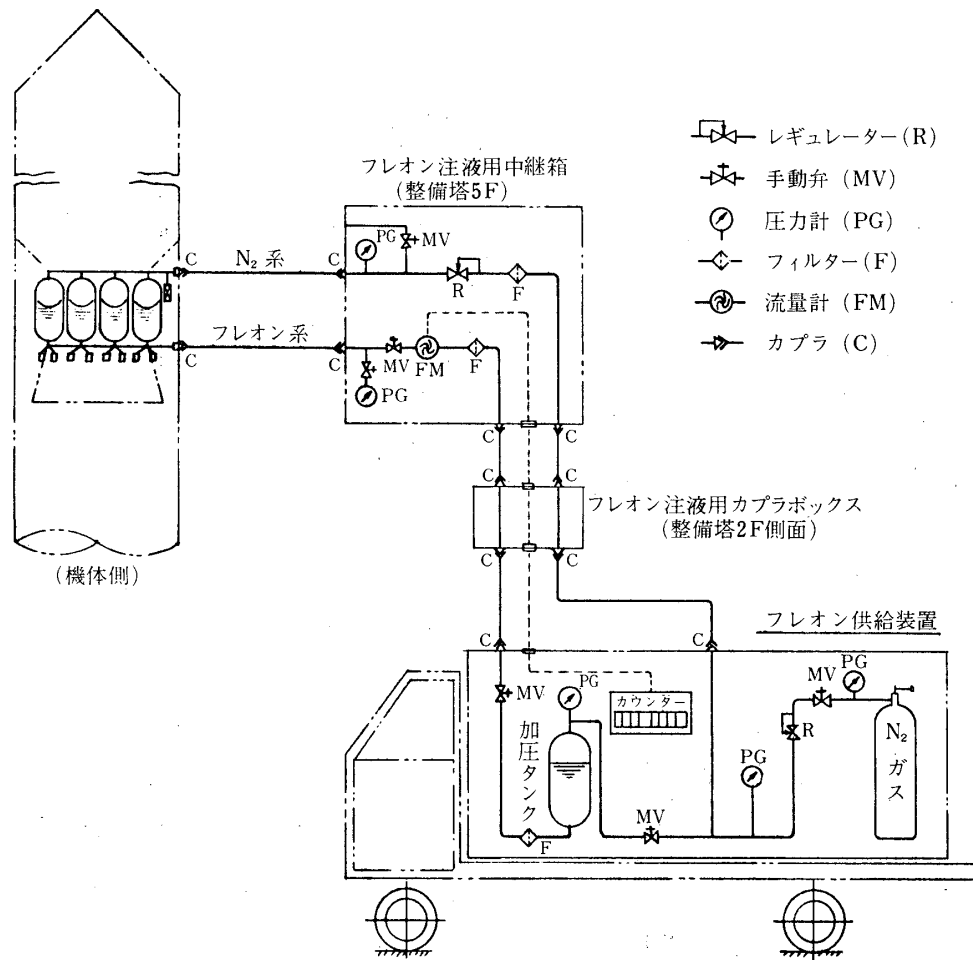
第21図 高圧 N₂ ガス注気装置系統図



第22図 M 整備塔 TVC 配管配置図

4.3.2 N₂ 注気用配管

本設備は、地上の N₂ 圧力源から整備塔の5階の間に位置する TVC 装置に N₂ ガスを注気するために整備塔およびランチャに設置する配管・配線設備である。尚、N₂ 注気作業は、管制室からの遠隔操作により行なわれる（第24図 TVC N₂ 注気管制系統図）。



第23図 フレオン注入用配管系統図

4.4 TVC 機上監視装置

4.4.1 概要

本装置は、TVC装置のタンク圧力および温度を計測するTVC計測系の監視装置であり、テレメータ計測信号3チャンネル（連続信号1，時分割信号2）を監視する機能を有する。主な機能を以下に示す。

- (1) テレメータ計測連続信号を1チャンネル表示する。
- (2) スキャン方式で伝送される計測信号20点をデコミュテートし、メータに表示する。

4.4.2 ブロック図 (第25図)

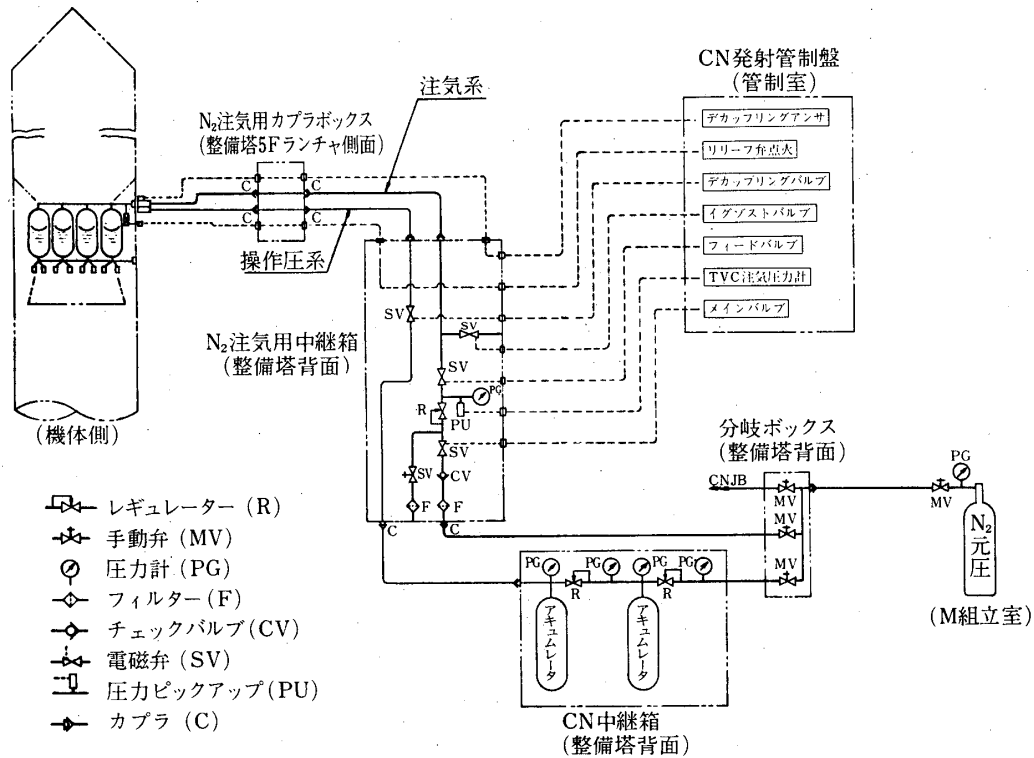
4.5 TVC チェックアウト装置

本装置は、TVC装置の整備、点検作業に使用される。

4.5.1 TVC 計測チェッカ

(i) 概要

TVC装置のタンク圧、温度を計測するため、ロケットに搭載されるTVC計測器の動作



第24図 TVC N₂ 注気管制系統図

テスト用のチェッカである。

本装置は、最大32CHまでのスキャナを自動的に選択、停止させ計測器からの出力をメータでモニターできるものであり、チャンネル選択部スキャナ制御部および電源部から構成される。

尚、本装置は、搭載される TVC 計測器の電源を内蔵する。

(ii) 構成

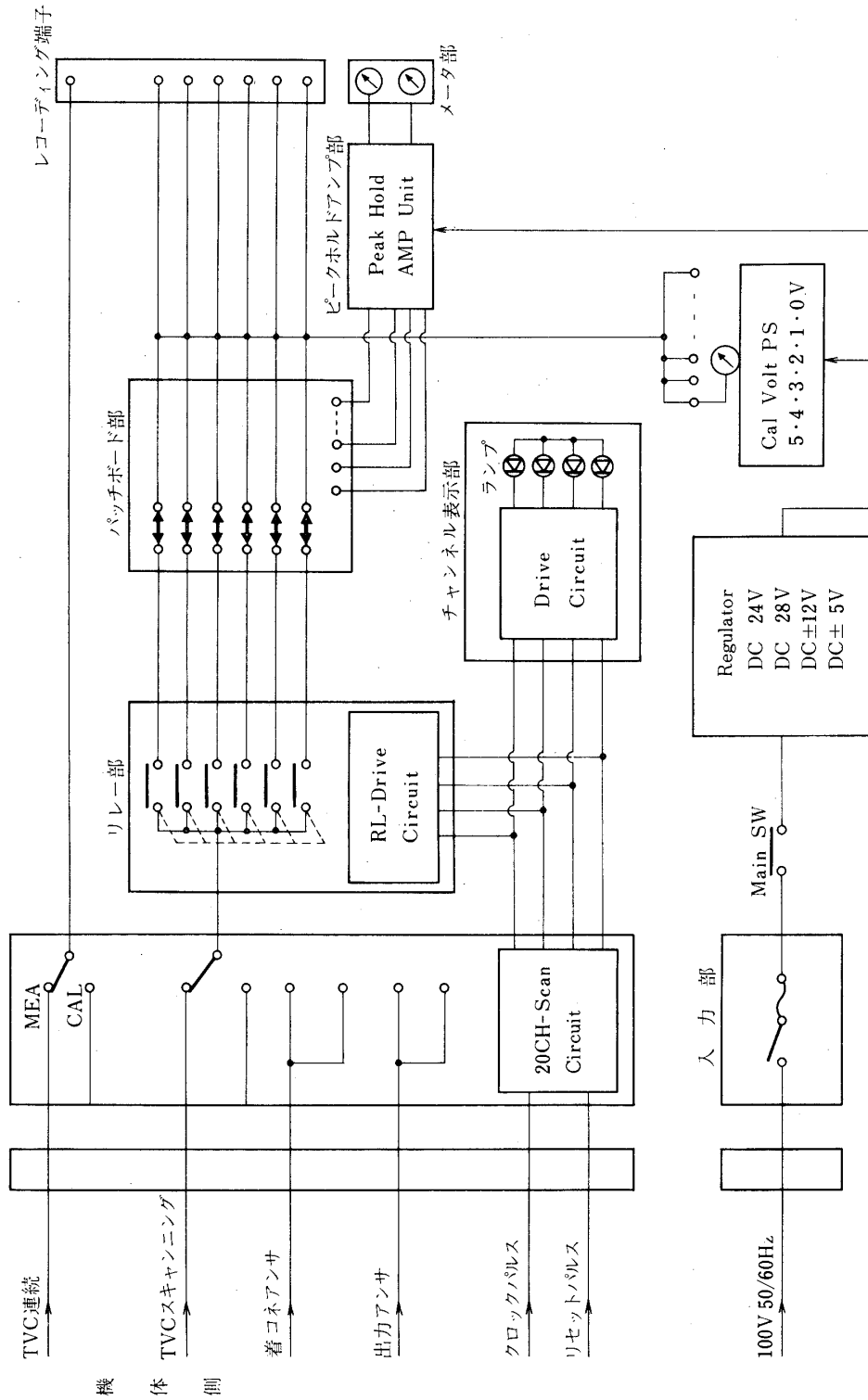
区分	名称	員数	備考
本体	計測チェッカ	1	
付属品	ケーブル	1	ロケット壁からチェッカを結ぶケーブル
付属品	デジタルマルチメータ	1	計測器からの出力をモニターする

(iii) ブロック図 (第26図)

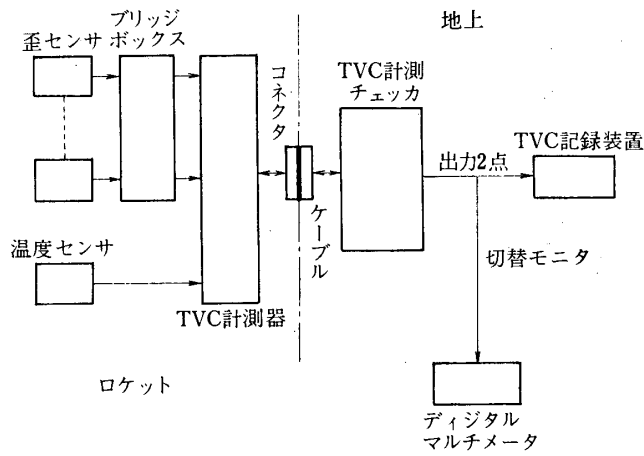
4.5.2 電磁弁チェックアウト装置

(i) 概要

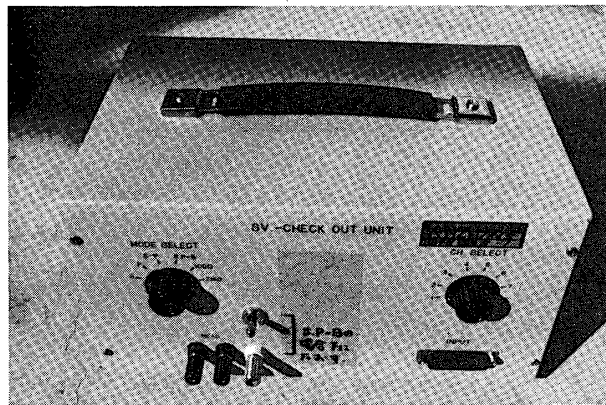
切換スイッチにより搭載される電磁弁 (コイル, マイクロスイッチ) の抵抗および絶縁を測定する (TVC 計測チェッカのデジタルマルチメータと併用)。



第 25 図 TVC 機上監視装置ブロック図



第26図 TVC計測チェッカブロック図



第27図 電磁弁チェックアウト装置

尚, 本装置は, メータ校正用の基準抵抗を内蔵する (第27図).

(ii) 構成

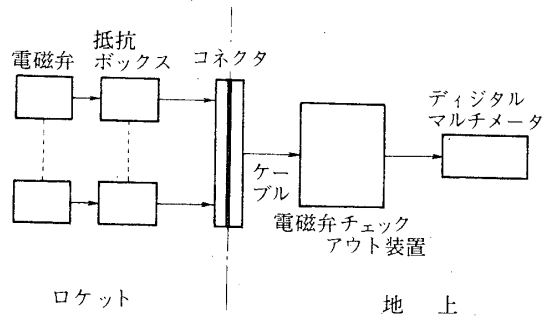
区分	名称	員数	備考
本体	電磁弁チェックアウト装置	1	
付属品	ケーブル	1	ロケット壁からチェックアウト装置を結ぶケーブル
付属品	デジタルマルチメータ	1	TVC計測チェッカのものを流用する

(iii) ブロック図 (第28図).

4.5.3 電磁弁駆動装置

(i) 概要

搭載される電磁弁をマニュアルで駆動させる装置であり, 電磁弁駆動電圧・電流およびピ



第28図 電磁弁チェックアウト装置ブロック図

ントルポジションインジケータ信号を TVC 記録装置等外部記録装置に接続できるようにする。

また、有負荷シグネチャートレース時のように外部駆動装置を使用する場合も上記信号は、本装置からモニタできるようになっている (第29図)。

(ii) 構成

区分	名称	員数	備考
本体	電磁弁駆動装置	1	
付属品	ケーブル	1	電磁弁チェックアウト装置のものを流用する

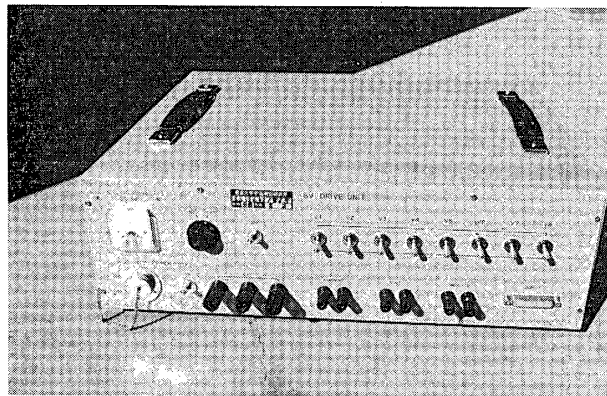
(iii) ブロック図 (第30図)

4.5.4 TVC 記録装置

(i) 概要

タンク歪、温度等 TVC 計測系の記録および電磁弁駆動電圧・電流ピントルポジションインジケータの記録を行なうアナログ記録器である。

なお、本装置はフォトコーダとペンレコーダおよび直流増幅器から構成され、モニタする

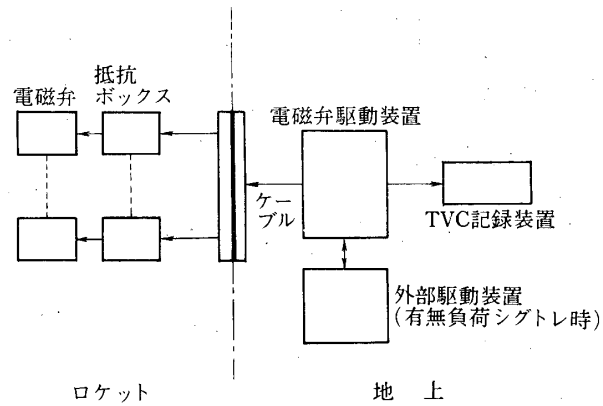


第29図 電磁弁駆動装置

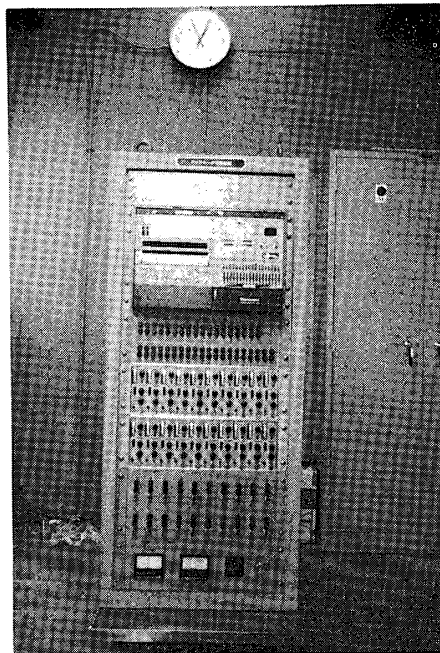
項目により記録器を使い分ける (第31図).

(ii) 構成

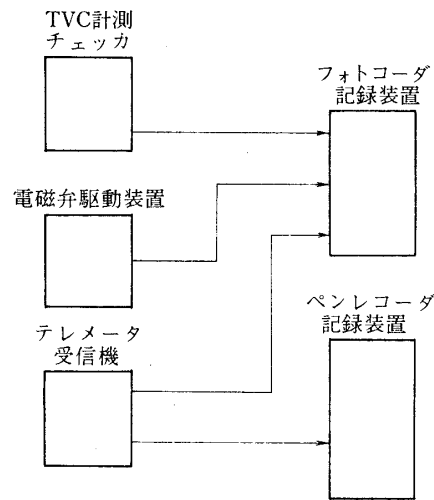
区分	名称	員数	備考
本体	フォトコーダ記録装置	1	TVC 計測器の出力, 電磁弁駆動装置出力を記録
本体	ペンレコーダ記録装置	1	44年度設備 TVC 機能チェック盤のペンレコを流用



第30図 電磁弁駆動装置ブロック図



第31図 TVC 記録装置



第32図 TVC 記録装置ブロック図

(iii) ブロック図 (第32図)

4.6 今後の展望

4.6.1 M-3H 用設備

M-3C型に続く人工衛星打上げ用ロケット M-3H型では、2段 TVC 装置の位置が、M-3C型の整備塔 5～6階から 6～7階に、位置変更される。このため、フロン注液系および N_2 注気系の延長改修が計画されている。

4.6.2 TVC 機上監視の充実

現在 TVC の機上監視は、管制室の機上監視装置により、タンク圧力を監視しているが、発射管制の都合上 X-3分までは管制室で行ない、以後は TM センターで行なっている。

今後は、TM センターの監視機能を充実させ、TM センターにおいて一貫して監視する方法を検討中である。

5. 研究開発の経過

5.1 経過の概要

TVC 装置の開発は昭和 41 年から研究室レベルの調査ならびに実験を開始した。開発当初は小型ロケットモータではあったが TVC の有効性が確認でき順次大型ロケットでの実験へと発展した。

開発の手順は概ね次の順序で行なわれた。

- (1) 2次噴射の最適噴射条件の選択。
- (2) 2次噴射液体の選択。
- (3) 実機フィードシステムの改良。
- (4) スライバー燃焼時に於ける TVC の有効性。
- (5) システム信頼性の向上。

5.2 噴射条件の選択

TVC の性能に影響を与えるパラメータは数多いが主なるものとして、噴射位置、噴射位力、噴射角度、噴射流量があり、これらのパラメータについての最適条件は大略第6表の通りである。

5.3 2次噴射流体の選択

噴射液の性能はモータ開口比、推進薬々種にかなりの影響を受けるので、第1段モータの性能をそのまま上段モータに適用できない面があった。

従って人工衛星打上げ用ロケットに搭載する噴射液に何が有効であるかについてはモータサイズを上段用の420(1/3)モータから第1段用のM-13モータまで広い範囲で噴射液の性能調査を行なった。

TVC 地上燃焼実験一覧表を第7表に示す。

噴射液に要求される条件は、性能や打上げ作業等を考慮し、おおむね、次の如く定めた。

- (1) 比推力 (I_{SPS}) が高いこと。
- (2) 密度 (ρ) が高いこと。
- (3) 常温・大気圧下で流体であること。
- (4) 貯蔵性に優れていること。
- (5) 取扱いが安全で容易なこと。

実際の噴射液選択に当っては、(1)、(2)を合せてロケットに搭載する際有効である性能係数 N を導入し判定した。

$$\text{即ち } N = I_{SPS} \cdot \rho^{1/2}$$

I_{SPS} は搭載重量に直接関係するし、 ρ は搭載体積からタンク重量が決まるので、その影響度は概ね $\rho^{1/2}$ に比例すると近似し N を設定した。

噴射液の選択結果を第8表に示す。

噴射液は第8表からフロン114 B₂ と S_r(ClO₄)₂ 63%水溶液が有効であったが、射場での安全性、取扱い性を重視し、フロン114 B₂ を採用するに至った。

I_{SPS} のノズル開口比の効果については概ね主モータの I_{SPS} が向上する割合で向上することが明らかになった。又モータサイズの影響については大型になる程ノズル内分解時間が多く取れるので有利な方向ではあるが、噴射流量比(噴射流量/主モータ燃料消費率)による I_{SPS} の変化の方が遥かに大きいので現在 I_{SPS} の推定はノズル開口比と噴射流量から行なっ

第6表 最適噴射条件

パラメータ	条 件
噴 射 位 置	ノズルスロートより出口へ1/3の位置
噴 射 圧 力	4.5 Pc~2.0 Pc (Pc:モータ燃焼圧力)
噴 射 角 度	機軸に直角
噴 射 流 量	1ポート当り最大1.5%×(主モータ燃料消費率) Total 最大10%×(主モータ燃料消費率)

第7表 TVC 地上燃焼実験一覽表

モータ名称	年月日	推薬	平均 推力 F (ton)	有効燃 焼秒時 τ (sec)	噴射液	横推力/主推力 (%)	制御	噴射角 θ ($^{\circ}$)	噴射位置 ϵ_i/ϵ_e	比推 力 I_{sp} (sec)	ノズルス ロート径 D_i (mm)	フィ ード 系	供給圧力 P_i (kg/cm 2)	実験 条件
1 420 1/3V	42. 7. 4	UP-10	3.76	13.47	フレイオン22	1.0~1.3	ON-OFF	12.5	3.5/7.9=0.44	223	93	R	47	大気
2 420×1,000 V	42. 7.21	UP-10	2.80	73.46	H $_2$ O $_2$ (90%)	0.64~84 合成時	ON-OFF	12.5	3.5/8.0=0.44	237	64	R	30	大気
3 M-20 TVC	42. 8.19	UP-18	23.8	50.7	フレイオン114 B $_2$	1.16	ON-OFF	17.0	3.5/8.0=0.44	220	220	R	50→30	大気
4 420 1/3V	42.10.28	UP-10	3.70	13.8	H $_2$ O $_2$ (90%)	1.1~2.5	ON-OFF	18.0	3.5/6.8=0.51	228	93	R	30	大気
5 500 TVC-1	43. 3.28	BP-17	4.04	27.6	フレイオン114 B $_2$	0.75~0.84	ON-OFF	17.0	5.66/12.9=0.44	256	107	R	30	真空
6 420 ルーブ	43. 4.18								3.5/7.0=0.50	—	95	R	—	大気
7 L-735 1/3TVC-1	43.12.25	BP-17	10.4	40.4	フレイオン114 B $_2$	1.76~1.90	ON-OFF	15.0	6.2/16.8=0.37	—	141	B	70→20	真空
8 500 TVC-2	44. 4.28	BP-17	4.00	26.25	フレイオン114 B $_2$		ON-OFF	12.5	3.5/8.0=0.44	—	95	R	30	大気
9 M-30-2 TVC	45. 4. 5	BP-12	12.39	33.73	フレイオン114 B $_2$	0.82~1.09	ON-OFF	17.0	6.0/17.4=0.34	267	160	R	30, 50	真空
10 300 TVC-1	45. 4.27	UP-10			フレイオン114 B $_2$	CCW 2.7 (5 sec) UP 3.0 (9 sec)	ON-OFF	12.0	1.84/3.57=0.52	—	160	R	50	大気
11 M-11-1 TVC	45. 6.26	UP-10	97.4	57.06	フレイオン114 B $_2$	CW 2.7 (13 sec)	ON-OFF	15.9	2.4/6.0=0.40	221	466	R	24.7~ 48.2	大気
12 L-735 1/3TVC-2	45. 7. 1	BP-18	10.7	37.3*	フレイオン114 B $_2$	1.2~2.0	ON-OFF	15.0	5.19/16.0=0.32	255	141	R	64→22	真空
13 300(SB) TVC-2	45.11.16	UP-10	13.3	4.5*	フレイオン114 B $_2$	0.22~1.68	比 例	12.0	1.84/3.57=0.52	220	160	R	36	大気
14 300(SB) TVC-3	46.11.28	UP-10	15.05	5.02	ストロンチウムバ ークロレート水溶液	0.13~3.57	比 例	12.0	4.2/1.4=0.30 5.6/1.4=0.40	220	160	R	51~34	真空
15 M-12	47. 3.27	BP-17BH107		40.0*	フレイオン114 B $_2$	0~2.9	比 例	14.25	2.41/5.86=0.40	227	470	R	42	大気
16 M-22 TVC-2	48. 7.27	BP-22B	33.9	55.0*	フレイオン114 B $_2$	1.2~1.4	ON-OFF	17.0	6.9/22=0.31	264	230	B	80~47	真空
17 735 3/3 TVC	50. 7.25	UP-10	37.3*	20.7*	フレイオン114 B $_2$		比 例	15.0	1.9/3.8=0.41	215	295	B	80→17	大気
18 M-13 TVC	50.10.30	BP-30B	99.6	48.06*	フレイオン114 B $_2$	3.74~0.63	比 例	14.25	2.68/6.49=0.41	241	450	B	80→25	大気

*: 75%平均

R: レギュレータ

B: プロローダウン

第8表 噴射液の選択結果

分類	噴射液	N	沸点°C (大気圧)	判定				
				A	B	C	D	全体
不活性液体	フレオン12	137	-29.8	×	△	×	△	×
	フレオン113	175	47.3	△	○	○	○	○
	フレオン13 B ₁	161	-57.8	△	△	×	×	×
	フレオン22	131	-40.8	×	△	×	△	×
	フレオン114 B ₂	206	47.3	○	○	○	○	○
活性液体	N ₂ O ₄	361	21.3	○	△	△	×	×
	H ₂ O ₂	330	141	○	×	○	×	×
	Sr(ClO ₄) ₂ 63%水溶液	211	90	○	△	○	△	○
	NaHClO ₄ 63%水溶液	202	—	△	△	○	△	×

A : 性能係数 N ○ : 良い
 B : 貯蔵性 △ : やや良い
 C : 沸点 × : 悪い
 D : 安全性

ている。

5.4 実機フィードシステムの変遷

ロケットに搭載される噴射液噴射システムについては種々の地上実験ならびに飛翔実験から改良がなされた。

実機フィードシステムに要求される条件は次の項目である。

- (1) 部品点数を極力減らし軽量化を計ると同時にリークのないこと。
- (2) N₂ ガスが噴射液に混入しないこと。
- (3) 飛翔体の制御サイクルに充分追随すること。
- (4) フィードシステム内のウォーターハンマー圧力が低くその周波数が高いこと。

以上の条件を満足させる努力は年々続けられ、その結果として

- (1) レギュレータを無くし、圧力ブローダウン方式とした。
- (2) N₂ ガスタンクと噴射液タンクとを一体化し、タンク数を減らした。
- (3) 噴射液を N₂ ガスから隔離するゴム製ブランダーから、金属製浮動ピストンタイプに変更した。
- (4) 噴射弁 (ON-OFF 式) を直動型からパイロット作動型にし、応答性を向上させた。
- (5) 噴射流量を決定するメータリングオリフィスをノズル噴射孔から噴射弁内部に移した。
- (6) ウォーターハンマー圧力を下げ周波数を上げるため、噴射液タンクと噴射弁の配管を極力短かくした。

実機フィード(上段用)の変遷を第9表に示す。

TVC 飛翔実験一覧表を第10表に示す。

5.5 スライバー燃焼時に於ける TVC の有効性

現在のラムダーおよびミューロケットの各段モータはスライバー燃焼時間が全体の15%~20%位を占めている。従って、飛翔中このスライバー燃焼時に於いても TVC を有効に使用することは軌道精度の向上には極めて有効といえる。

2次噴射の特性としてモータの燃焼ガスがノズルから剥離を起こしている状態で2次噴射すると制御力が逆転する恐れがある。

TVC がスライバー燃焼時どの程度迄有効であるかを小型モータの真空燃焼実験ならびに上段モータ真空燃焼実験から推定した。

この結果、ノズル出口圧力が周囲圧力の80%以下に低下した時期から制御力の逆転現象が現れることが解明された。

この結果からミューロケット第1段、第2段モータの TVC 有効高度ならびに燃焼圧力を推定した。

第11表 推定値から M 第1段ロケットは燃焼圧力が 0.27 kg/cm^2 (絶対圧力) まで第2段ロケットは燃焼末期まで、TVC は有効であることが推定される。

5.6 システムの信頼性

TVC システム全体の信頼性を論じる場合には、TVC 装置ならびに姿勢基準部(電気系)を含めての話になるが、ここでは電気系を除いた TVC 装置に関しての開発経過について述べる。

第9表 実機フィード(上段ロケット用)の変遷

項 目	初 期	中 期	現 在
シ ス テ ム	<ul style="list-style-type: none"> ・レギュレータ付一定圧噴射方式 ・ガス、液体タンク分離 ・タンク位置頭胴部 	<ul style="list-style-type: none"> ・レギュレータなし圧力ブローダウン方式 ・ガス、液体タンク分離 ・タンク位置ノズル部 	<ul style="list-style-type: none"> ・レギュレータなし圧力ブローダウン方式 ・ガス、液体タンク一体型 ・タンク位置ノズル部
ブ ラ ダ ー	ネオプレンゴム	チオコールゴム	Al 製浮動ピストン
ウォーターハンマー圧力 (P_i : 噴射圧力)	$P_{\max} = 2 P_i$	$P_{\max} = 1.3 P_i$	$P_{\max} = 1.1 P_i$
ウォーターハンマー周波数	35 Hz	150 Hz	150 Hz
噴射弁応答時間	80 msec	50 msec	20 msec
噴射時圧力損失 (ゲージ圧力)	10 kg/cm^2	1.4 kg/cm^2	1.4 kg/cm^2
対 象 機 種	*PT-420-1 K-10 C-2 K-10 C-3	L-4 SC-1	L-4 SC-2 M-3 C-1~3

*PT-420-1 はシングルロケット

第10表 TVC 飛翔実験一覧表

機種	年月日	噴射液	搭載量 (l)	噴射弁	フィード系		供給圧力 P_i (kg/cm ²)	噴射流量 * \dot{m} (kg/sec)
					加圧方式	ブラダ-		
PT-420-1	44. 2.13	フレオン114 B ₂	25.0	CALMEC 439 A	R	ネオプレン	50	0.9
K-10C-2	44. 9.26	H ₂ O ₂	39.0	VALCOR 272 H	R	ポリエチレン	30	0.2
K-10C-3	45. 9.13	フレオン114 B ₂	6.6	VALCOR V70100-2	R	チョコレートゴム	50	0.39
L-4SC-1	46. 8.18	フレオン114 B ₂	37.5	VALCOR V70100-2	B	チョコレートゴム	50→7	1.5→0.6
L-4SC-2	48. 1.28	フレオン114 B ₂	27.6	MOOG 55-102-B	B	Al製 浮動ピストン	80→25	1.8→1.0
M-3C-1	49. 2.16	フレオン114 B ₂	80.3	MOOG 55-102-B	B	Al製 浮動ピストン	80→27	2.5→1.3
M-3C-2	50. 2.24	フレオン114 B ₂	40.3	MOOG 55-102-C	B	Al製 浮動ピストン	72→24	2.5→1.4
M-3C-3	51. 2. 4	フレオン114 B ₂	40.3	MOOG 55-102 B	B	Al製 浮動ピストン	80→27	2.5→1.4

R: レギュレーター付

B: プロダウ

*: 1象限(電磁弁2コ)流量

第11表 M ロケット1, 2段の $P_a^* \cdot P_e^* \cdot P_c^*$ 推定値

項 目	1 st	2 nd
ノズル開口比	6.0	22.0
TVC 有効高度 (km)	37	130
P_a^* (kg/cm ² abs)	8.1×10^{-3}	2.8×10^{-8}
P_e^* (kg/cm ² abs)	6.8×10^{-3}	2.3×10^{-8}
P_c^* (kg/cm ² abs)	0.27	5.4×10^{-6}

P_a^* : 周囲圧力 * : TVC 有効限界圧力を示す

P_e^* : ノズル出口圧力

P_c^* : 燃焼圧力

システムの信頼性向上を計るには次の項目に関し充分なる機能を有することが重要である。

- (1) 部品点数を減らす。
- (2) ブラダーのサイクル寿命を伸ばす。
- (3) N₂ ガス, フレオン (噴射液) の汚染度を管理する。
- (4) 噴射弁のサイクル寿命を飛行時の10倍とする。
- (5) 発射延期時に備え, フィードシステムのフレオン耐久性を充分考慮する。
- (6) 配管類のフィッティング箇所は製作から飛行実験の期間, 分解・再組立のサイクルを極力少なくする。

5.6.1 装置の部品点数低減

装置の部品点数低減活動はフィードシステムの変遷と共に行なわれ, 開発当初のレギュレーター付一定圧噴射方式のフィードに比較すれば現在の M-22 TVC 装置は50%以下まで低減できた。

従って開発当初に発生した N₂ ガスならびにフレオンのリークは現在では殆んど発生していない。又, 振動試験時に於ける気密性も接手箇所が少ない程優れている。

5.6.2 ブラダーのサイクル寿命

開発中期即ち L-4 SC-1 号機までの TVC 装置はゴム製ブラダーを採用していた。このためブラダーのサイクル寿命は10回程度と極めて低かった。

L-4 SC-2 号機以後はゴム製ブラダーを廃止し, Al 製浮動ピストン型に改良したため, 排出サイクル寿命は50回以上で5倍以上寿命を伸ばすことができた。

5.6.3 N₂ ガス, フレオン (噴射液) の汚染度管理

開発初期には N₂ ガス汚染によるレギュレーターの内部リークや, フレオン汚染による噴射弁 (電磁弁) の作動不良等の発生が見られたが現在では N₂ ガス, フレオンは NAS 規格7級に入るよう管理されているので, この種のトラブルは発生しなくなった。

5.6.4 噴射弁のサイクル寿命

噴射弁のサイクルは M-3C を例にとると飛行時約250回, 飛行前試験時約250回の計500回以内に過去のデータでは入っている。

現在 M-3C, M-3H に使用されている噴射弁のサイクル寿命は 5000 回であり実回数の 10 倍の余裕を持っている。

5.6.5 TVC 装置のフレオン耐久性

フィード装置にゴム製ブラダーを採用していた時期ではフレオン耐久性は極めて低く 2～3 日間程度であったが、Al 製浮動ピストン型に変更した後では、タンク配管系で約 2 か月、噴射弁で 17 日間までの試験を実施し何ら機能の劣化がないことが確認されている。

5.6.6 TVC 装置の組立・分解・再組立サイクル

この問題は装置の防錆処置との関連で決定されるが、現在 M-3C 型ではオペレーションテスト後分解し、防錆処置をしてフライトオペレーションで再組立を行っており製作時から積算すると 3 回のサイクルがあるが、今後は KSC へ搬入後不具合が認められない限り分解・防錆処置を廃止し、装置の信頼を高める方向で検討中である。

5.7 今後の展望

5.7.1 比例 TVC 装置

M-3C および M-3H に続く人工衛星打上げ用ロケット M-3S では第 1 段から姿勢制御をすることが計画されている。

これは、ロケットの飛翔精度の向上や、打上げ条件の制約（特に風の問題）をすこしでもすくなくすることを目的としたものである。

第 1 段姿勢制御を比例制御方式にすることは噴射体の消費量が少なくなることや機体構造へ与える制御力による衝撃を少なくすることの特長がある。

比例弁については電気-油圧方式 (E/H) を採用するが電気-機械式 (E/M) との若干の比較試験の結果、E/H 式はシステムとして油圧源が加わるため複雑となるが、重量・性能・信頼性・開発経験等から有利と判断された。

噴射体の加圧方式は、M-3C 型 TVC 装置と同じく、N₂ ガスによるブローダウン方式を採用し、油圧についてもポンプ方式等を検討したが噴射体加圧方式と同じく、N₂ ガスによるブローダウン方式を採用している。

フィード装置ならびに駆動電気系（サーボアンプおよびその電源）は、第 1 段ロケットモータのノズル周りに搭載される。

本方式は M-12 および M-13 モータの地上燃焼実験により確認されているがさらに比例弁等フィード装置を含め改良を検討している。

第 12 表に M-13 TVC の諸元を示す。

飛翔試験においても L 型ロケットによる第 1 段比例 TVC のテストフライトを行なうなどしており、今後 M 型ロケットの第 1 段比例 TVC の飛翔に結び付けていきたい。

5.7.2 SMRC 装置

M-3S に搭載する 1 段目ロール制御装置は制御方式としては、オンオフ制御であるが、より取扱いが容易で搭載性に優れたものが要求された。この要求を満たすものとして開発されたのが、固体モータを使用した SMRC (Solid Motor Roll Control) 装置である。

すなわち、ガス発生器として固体モータを使用し、その燃焼ガスの噴射方向を切替えるホットガスバルブから成る装置である。

第12表 M-13 TVC 諸元

1. TVC 装置

噴射体	フロン114 B ₂	初期 120 l
オイル源	M1 L-H-5606	初期 8 l
加圧方式	ブローダウン方式	
加圧ガス	N ₂ ガス	
タンクシステム	One Tank システム	
噴射体タンク	15個 チタン合金	
オイルタンク	1個 チタン合金	
比例弁	円周8ヶ等分 (MOOG 281 A型4コ, 国産 E/H 3 P-029型4コ)	
噴射位置	$\epsilon_i / \epsilon_e = 2.417 / 6.49 = 0.327$ ϵ_i : 噴射位置開口比 ϵ_e : ノズル出口部開口比	

2. 性能

	初期	末期
押 圧	80 kg/cm ²	25 kg/cm ²
噴射流量*	31 kg/sec (80 kg/cm ² フルストローク)	6 kg/sec (25 kg/cm ² 1/4 ストローク)
最大横推力	3.1 ton ($I_{SPS} = 100$ sec)	0.7 ton ($I_{SPS} = 120$ sec)
最大比推力*	2.8%	0.7%

* : 比例弁1コ当り

3. 比例弁

	MOOG 281 A	国産 E/H 3 P-029 型
作動圧力	80~20 kg/cm ²	80~20 kg/cm ²
保証圧力	120 kg/cm ²	120 kg/cm ²
流 量	40.2 kg/sec (at 80 kg/cm ²)	33.8 kg/sec (at 80 kg/cm ²)
最大ストローク	4.3 mm	3.5 mm
インジェクタゲイン	12 mm/sec/mA	40 mm/sec/mA

M-3S ではこの SMRC 装置を尾翼の先端に取付けて、合計4装置でロール制御を行なうことになる予定である。

本装置は、K-10C-5号機のテストフライトを終了し、第1段比例 TVC と合せた L-4SC-4号機で試験を迎える段階に来ている。

5. 結 び

以上、M-3C型ロケットに搭載されたTVC装置と、これに関連する諸試験ならびに地上設備について述べさらに今後のTVC装置のあり方、M-3S計画でのTVC、SMRCについても述べたが、本稿作成に当って御指導、御協力を賜った関係諸氏に対し深く感謝の意を表します。

1977年5月2日新設部(工学)