

機 体 計 測

今沢 茂夫・小野田淳次郎・中田 篤

1. はしがき

M-3C-1～3号機には機体性能の測定と機能の確認のために各種計測器を搭載した。各計測器は基本的にはM-4SあるいはL-4SCのシリーズに搭載したものと同一で、信頼性に十分実績をもつものである。

計測項目は加速度計，燃焼内圧計，温度計，振動計等主要なものは各号機に搭載しているが，測定点数，測定位置は号機を追って簡略にしている。

本稿では1号機を中心に計測結果の概要を述べる。

2. 機体計測器

搭載された計測器は下記のものであるが，搭載位置および伝送系により分割され，1号機の場合，第1表に示すように8ブロックから構成されている。

計測器の性能は3機ともほとんど同一で，第2表に1号機の主要性能を示す。

- 縦方向加速度計(X) ◦制御系計測器(PT)
- 横方向加速度計(Y,Z) ◦振動計(V)

第1表 計測器の構成

計測装置	搭載位置	計測項目	伝送系	備考
NC計測装置	ノズフェヤリング	TS ₃	TM _s	
第3段計測装置	第3段計器部	X ₂ , Y ₂ , Z ₂ , P ₃ , TS ₄	"	
精密加速度計	"	MX	"	
第2段計測装置	第2段計器部	X ₁ , Y ₁ , Z ₁ , P _{1,2} , P _F , TS ₂	TM-1	
"	"	V _{1~5} , N	TM-3	プリアンプ 4
CN計測装置	"	PT ₃	TM-1	B-BOX 1 機体温度を含む
TVC計測装置	第2段ノズル部	PT _{1,2} , TS ₁	TM-2	B-BOX 1 バッファアンプ
第1段分離速度計	"	SV	TM-1	

第2表 計測器の主要性能

計測器	検出素子	測定範囲	感度	テレメータ	測定位置
X_2	ストレンゲージ	-5 ~ +20G	0.25 V/G	TM _s 14 CH	M-3A-PL
X_1	"	-5 ~ +10G	"	TM ₁ 14	B ₂ -PL
$Y_{1,2}$ $Z_{1,2}$	"	± 2.5 G	1 V/G	TM ₁ 12,13 TM _s 12,13	M-3A-PL B ₂ 尾翼筒
MX	Q-FLEX	-0.004 ~ + 0.995 G	0~5 LOG	TM _s 9	M-3A-PL
P_{1-3}	ストレンゲージ	0~75 kg/cm ²	0.0714 V/kg/cm ²	TM ₁ 15 TM _s 15	各段イグボス
PF	"	760~0 Torr	0~5V, 2段	TM ₁ 11	B ₂ イグボス
TS ₄	T _{8-1~9-2}	Ni-Nicr	0 ~ 250 °C	TM _s 11	ノーズフェヤリング
	T _{M1~M4}	"	"		M-3A
TS ₃	T ₁₋₁	"	0 ~ 400 °C	TM _s 10	ノーズフェヤリング
	T _{2-1~T7-1}	"	0 ~ 250 °C		"
TS ₂	T _{SP1, TSP2}	"	0 ~ 400 °C	TM ₁ 10	スピンモータ
	T _{HI-4}	サーミスタ	-10~+100 °C		B ₂ 計器
	E 4点	抵抗分圧	+28, +10, ±20V		PS ₁
	SQ-1	コネクタ ピンジャック, マイクロSW	6項目		0.5V /STEP
PT ₃	T _{10-1~11-1}	Ni-Nicr	0 ~ 250 °C	TM ₁ 9	B ₂ 計器部外板
	T _{F1, TF2}	白金温度計	0 ~ 100 °C		B ₂ 鏡板
	T _{F3, TF4}	Ni-Nicr	0 ~ 250 °C		B ₁ ~B ₂ 接手
	T _{F5}	白金温度計	0 ~ 100 °C		予備
	S _{1, S2}	ストレンゲージ	0 ~ 2000 μ		CN
	T _{CN1,2}	Ni-Nicr	0 ~ 250 °C		"
TS ₁	T _{N5~TN12}	白金温度計	0 ~ 100 °C	TM ₂ ×1	TVC
	T _{N13~TN18}	Ni-Nicr	0 ~ 300 °C		"
PT ₁ (σ)	ストレンゲージ	0 ~ 80 kg/cm ²	"	TM ₂ ×1	"
PT ₂	σ ₁₋₈	"	"	TM ₂ ×1	"
	T _{N1~TN4}	白金温度計	0 ~ 100 °C		0.05 V/°C
$V_1 \sim 5$	チタン酸バリウム	$V_{1,2} \pm 10 G$ $V_{3-5} \pm 5 G$	0 dBmFs	TM ₃ 1~5	各段
N	エレクトレット コンデンサー	0 ~ 120 フオン	"	TM ₃ 6	B ₂ -PL
SEP	マイクロ SW	接手 4 枚	—	TM ₁ 15	B ₂ ~B ₃ 接手
SV	"	ストローク 125 mm	1V/STEP	TM ₁ 11	B ₂ ノズル
SQ-2	0.1Ω巻線抵抗	全項目(タイマ)	4 V短形波	TM ₁ 7	タイマ
SQ-3	パルストランス	全項目(点火電流)	4 Vパルス	TM ₁ 8	"

- 精密加速度計 (MX)
- 点火器内圧計 (P)
- 精密燃焼内圧計 (P_F)
- 温度計 (T_S)
- 騒音計 (N)
- 分離速度計 (SV)
- 分離確認計 (SEP)
- シーケンス確認計 (SQ)

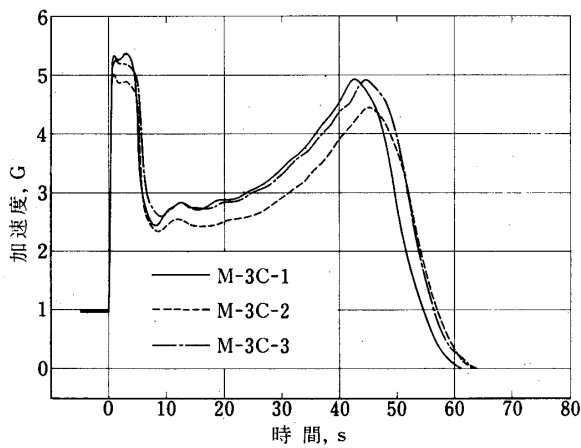
* 制御系計測器は第2段ノズル部のTVC, SJのタンク圧, 温度, 歪等を計測する.

** 第2表に示す温度 (T_S) に付した記号, 数字は測定位置を表わす.

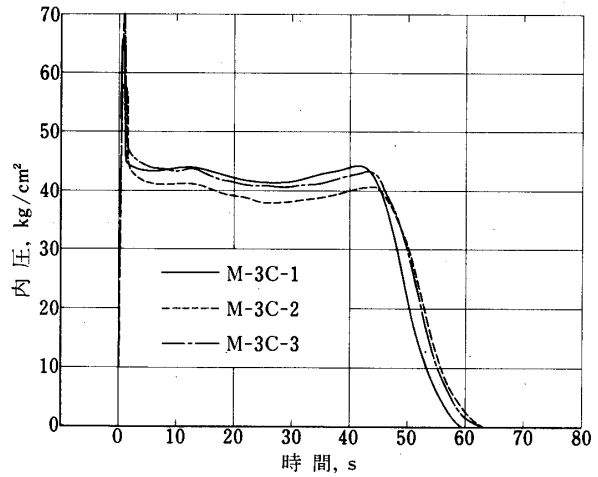
3. 計測結果の概要

(1) 加速度・内圧

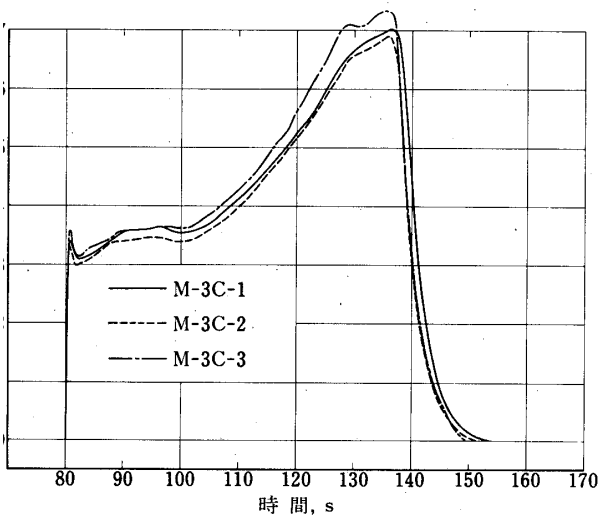
第1～3図は縦方向加速度の測定結果である. 第1, 2段の加速度は3機の結果を対比し



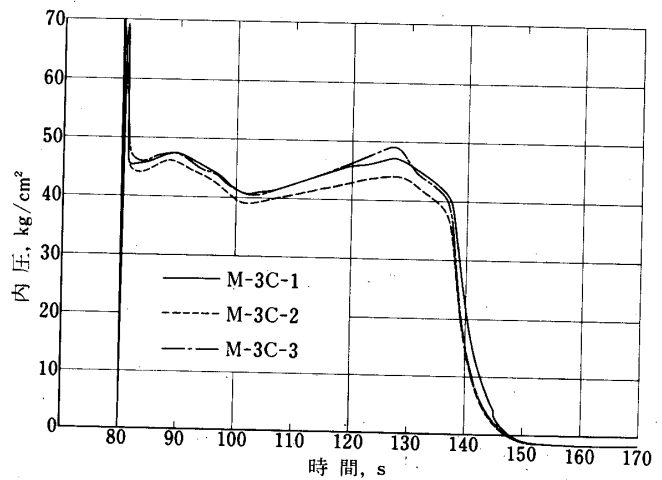
第1図 第1段加速度



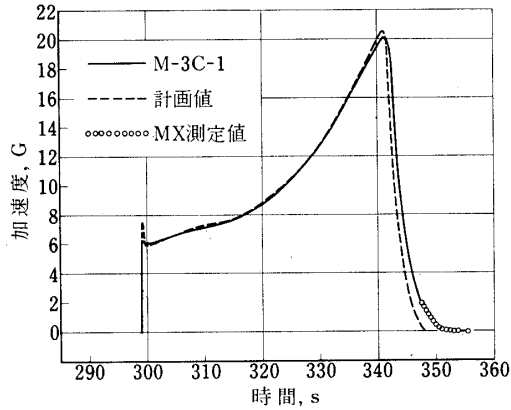
第4図 第1段点火器内圧



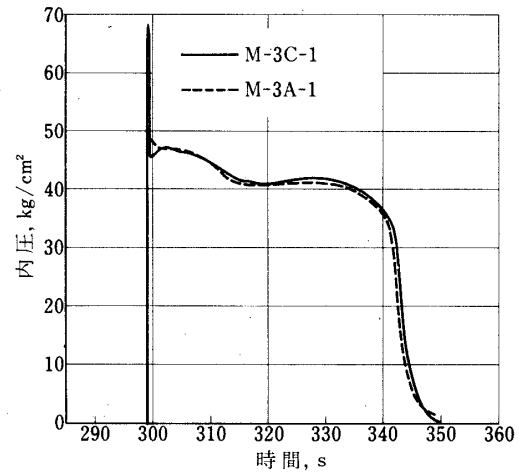
第2図 第2段加速度



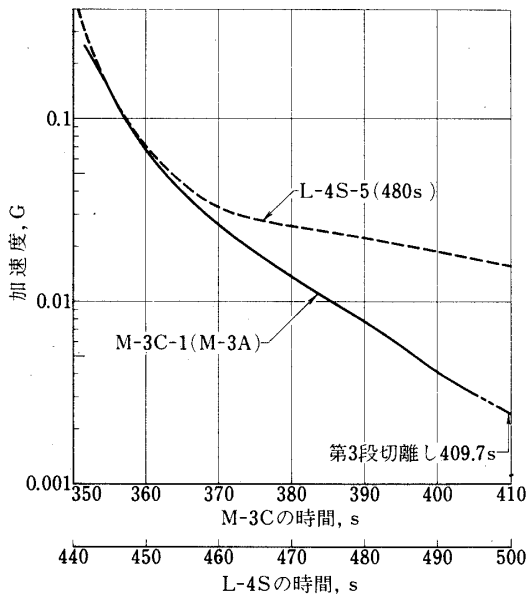
第5図 第2段点火器内圧



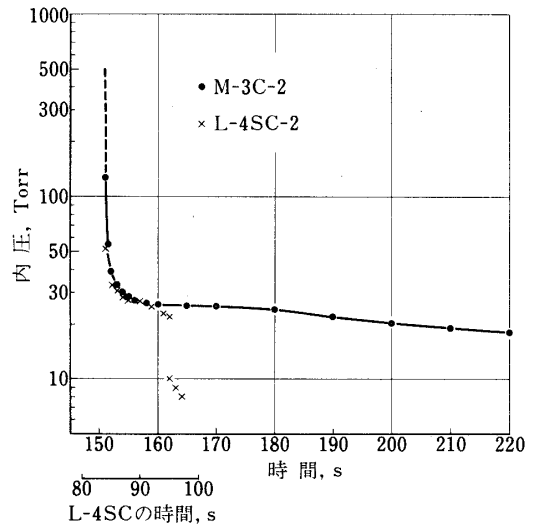
第3図 第3段加速度



第6図 第3段点火器内圧



第7図 残留推力による微小加速度



第8図 第2段残留内圧 (M-3C-2)

て示した。加速度の大きさ、燃焼秒時にわずかの差異がみられるが、各段とも大略一致し安定した性能を持っていることがわかる。第3図は1号機の第3段モータ (M-3A) の加速度である。1号機では特に衛星下部に第3段計器部が置かれたので、最終段加速度の得られた唯一の計測結果である。

第4～6図は同様に点火器内圧の計測結果である。各モータの内圧は第1～3段とも加速度に良く対応している。

第7図は第3段計器部に搭載した精密加速度計で測定した第3段モータの残留推力による

加速度である。球形モータの真空中での燃焼特性はL-4S-5号機の例があるが、M-3C (M-3A)でも同様の傾向がみられる。第3段切離し時0.0025Gで480Sより減衰が早い。

モータの燃焼終了後の残留内圧の測定はL-4SC-2号機で初めて搭載し良好な結果を得たが、M-3Cでは第2段の測定にこれを搭載した。1号機では計測器の作動時、残留内圧が計画値より高く、検出器が破損した。

2号機で再び試み得られた結果を第8図に示す。

(2) 温度

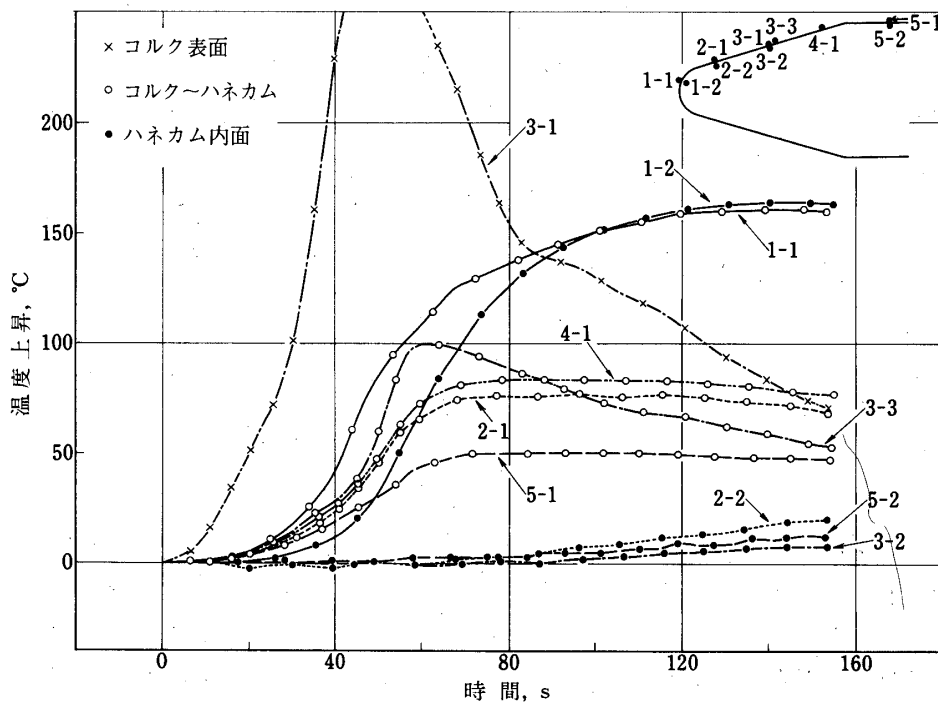
温度計測は機体がM-4S型を性能向上したこと、第2段ノズル部がトラス構造接手により露出していること、などを考慮して1号機ではノーズフェアリング、第2段ノズル部の制御系を中心に56点の計測を行った。2号機以降では前号機の結果で変更あるいは減少させた。

第9、10図は1号機の機体温度である。ノーズフェアリングは1、2号機について行ったが、結果はほとんど同一の温度上昇を示した。円錐部の外表面は250°C以上であるが、ハネカム外面では80~100°Cでコルクが有効であることがわかる。内部の温度上昇は20°Cにとどまる。第2段計器部では外板、約100°Cに対し内部計器は10°C前後の温度上昇であった。

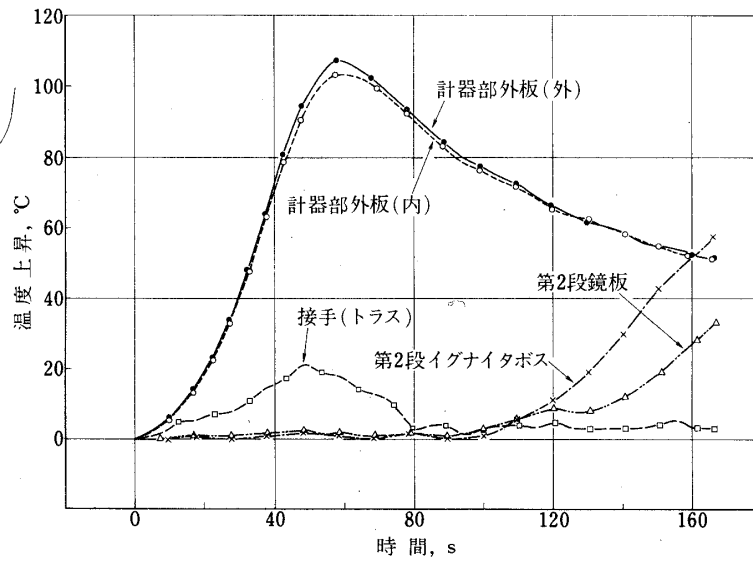
第11図は第2段ノズル近傍の制御系機器の温度である。ノズル外面、ヒートシールドおよび計器支柱等外殻構造は60°Cの温度上昇を示したのに対し内部機器は20~25°Cで問題ない。

(3) 制御系計測

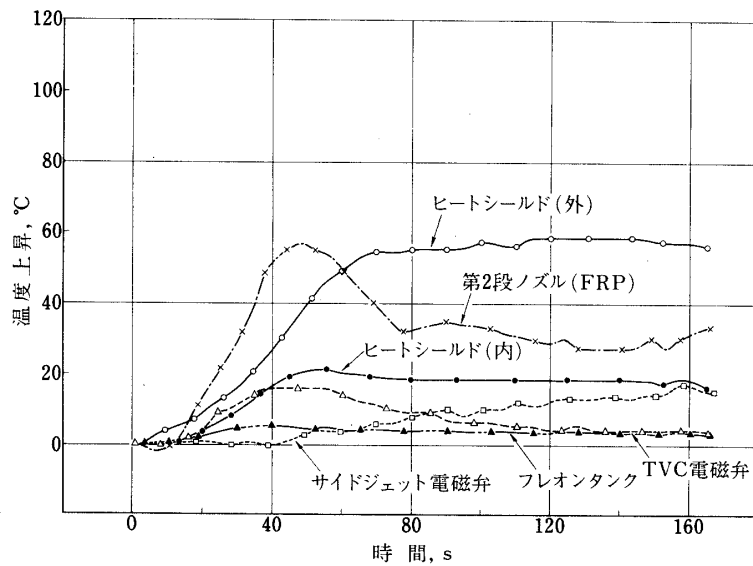
第2段ノズル部の制御系(TVC, SJ)のタンク圧, その近傍の温度, 歪等の計測を行った。



第9図 ノーズフェアリングの温度上昇 (M-3C-1)



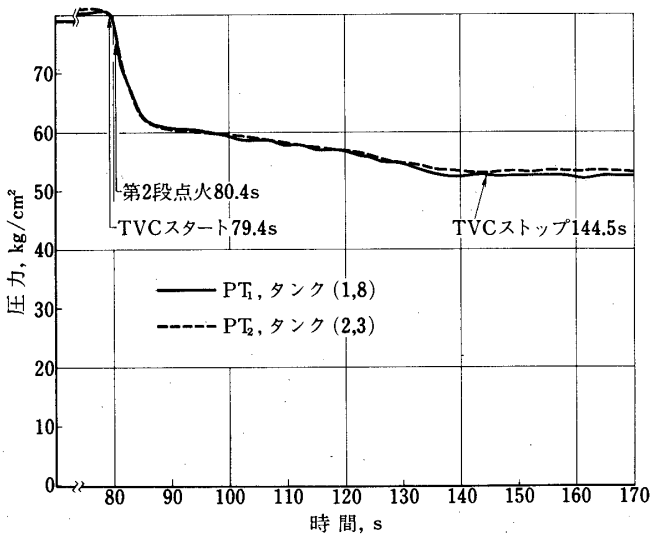
第10図 機体各部の温度上昇 (M-3C-1)



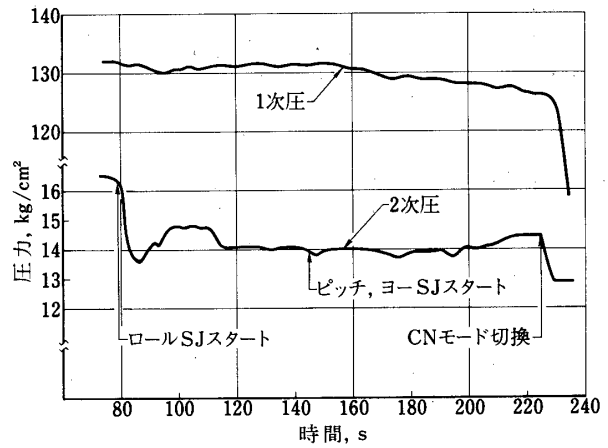
第11図 第2段ノズル近傍の温度上昇 (M-3C-1)

TVC のフレオントank 圧は 1 号機では歪ゲージを使用したが取扱法, 較正が繁雑で貼付後の経年変化など信頼性に欠けるので 2 号機より歪ゲージ型の圧力検出器に換えた. またサイドジェット系 1, 2 次圧は 1 号機は半導体型の圧力検出器を使用した, 地上試験で破損する事故があり 2 号機から, これも歪ゲージ型の圧力検出器に切替えた.

第 12, 13 図は 3 号機のそれぞれのタンク圧の変化を示す. なお各部の温度は前項の第 11 図に掲げた.



第12図 TVCタンク圧 (M-3C-3)

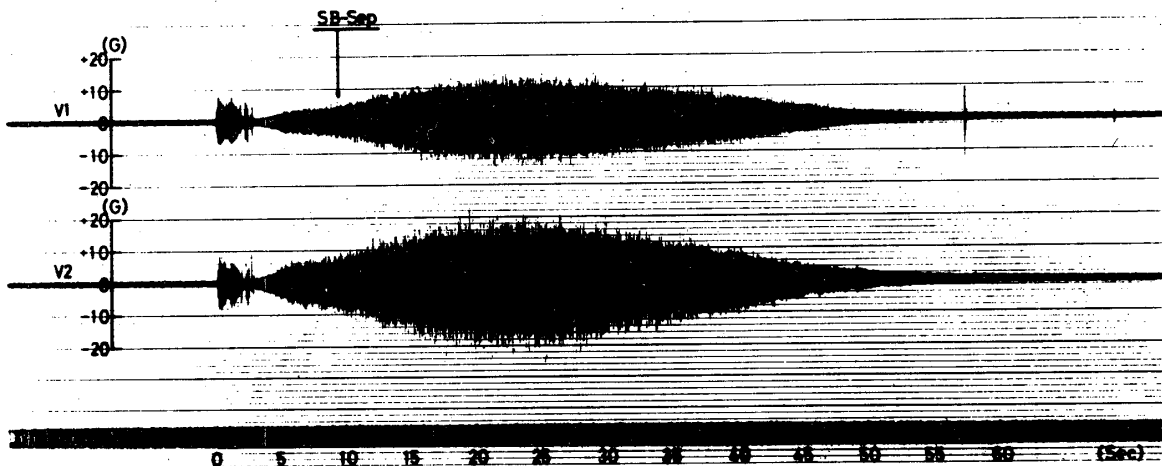


第13図 SJ系1,2次圧 (M-3C-3)

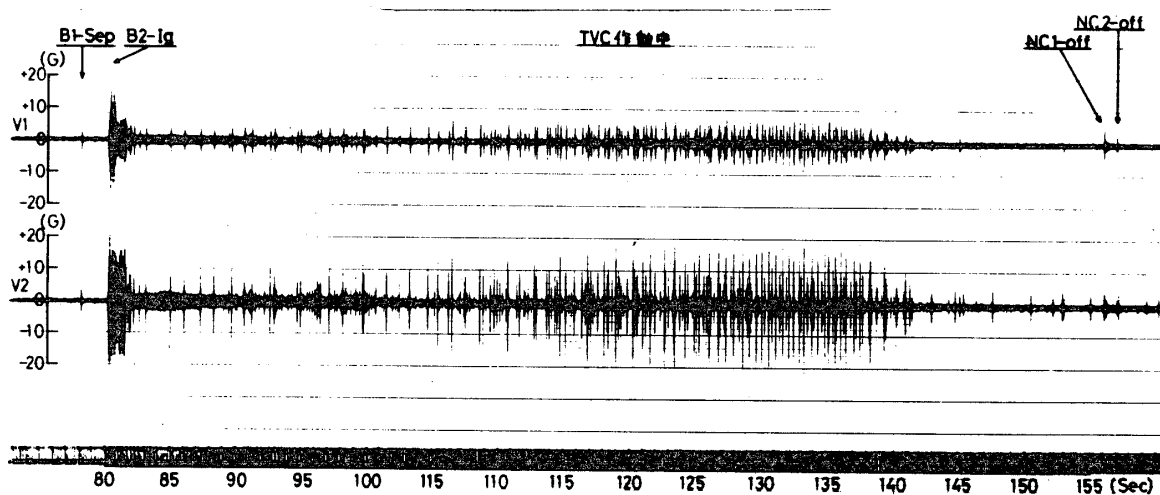
(4) 振動・衝撃

圧電型振動計による10~3000Hzの広帯域にわたる振動計測は先のM-4Sに引続きM-3Cでも行った。測定位置は第2段ノズル部, 第2段計器部について1~3号機同位置で, 1号機のみ衛星構体基部を加えた。M-4SとM-3Cで異なるのは第2段以降のモータ構成であるが, 飛しょう中最大なのは第1段燃焼中で, 履歴が動圧に一致することなど, 振動形態の概略は全く同一であるといえる。

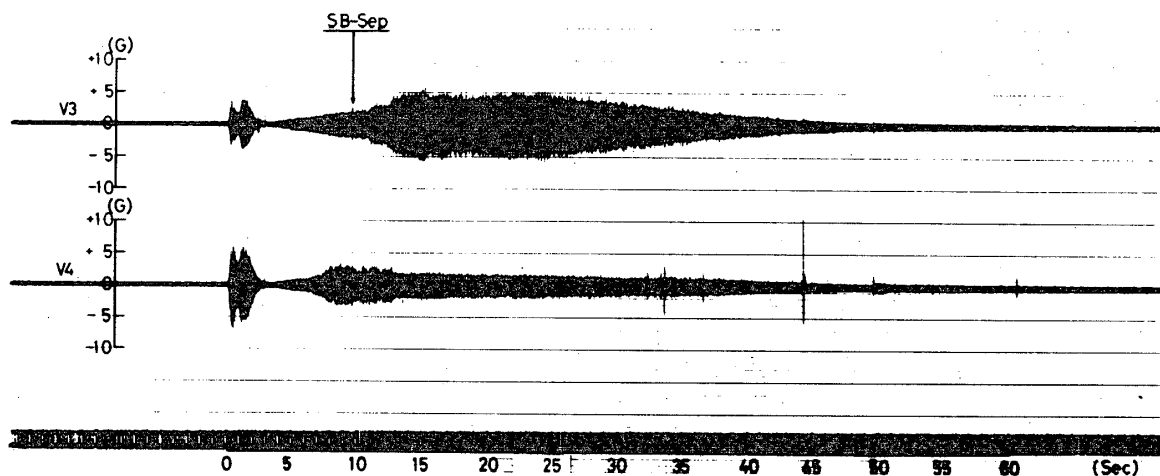
第14~17図は3号機の振動記録の例である。V-1, 2は第2段ノズル部, V-3, 4は第2段計器部の基部と上部計器取付板である。第2段燃焼中の衝撃的振動はTVC作動によるものである。第18, 19図は第1段燃焼中の最大付近である20秒における振動分析結果を



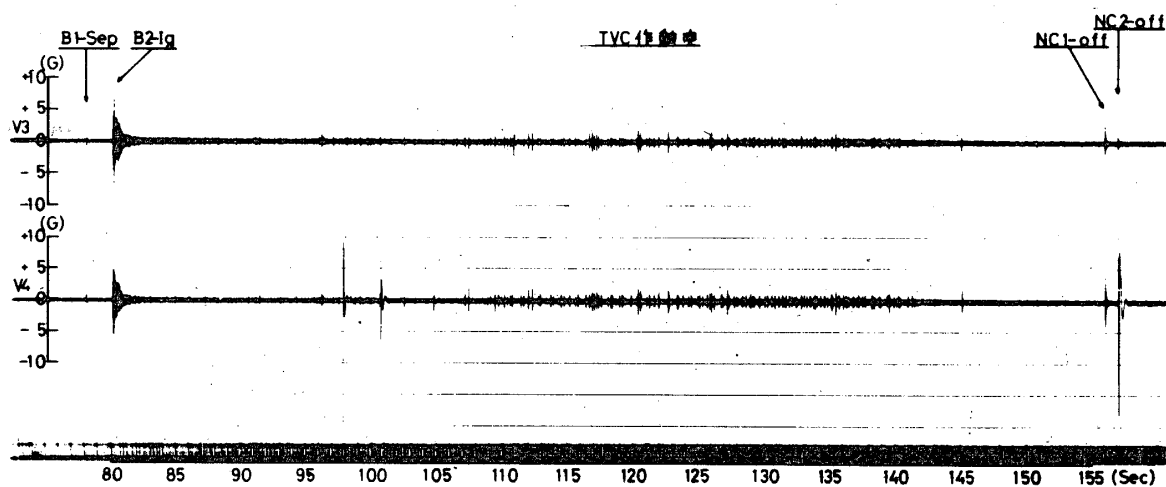
第14図 飛しょう中の振動記録-1



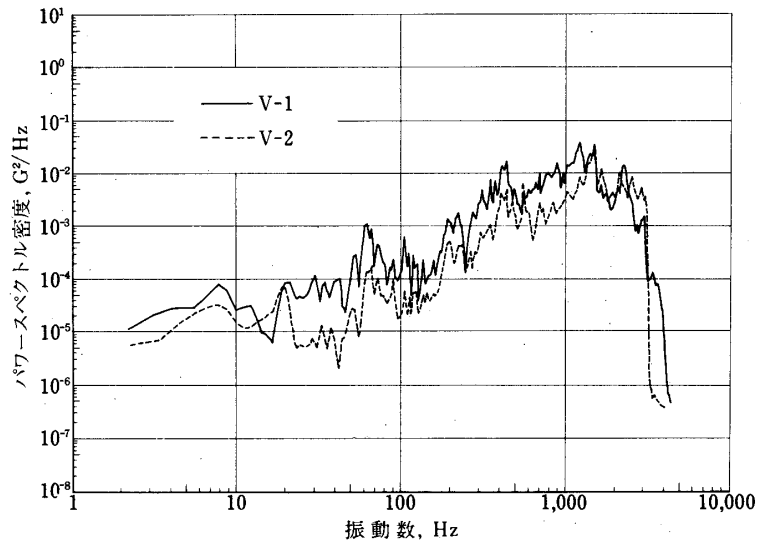
第15図 飛しよう中の振動記録-2



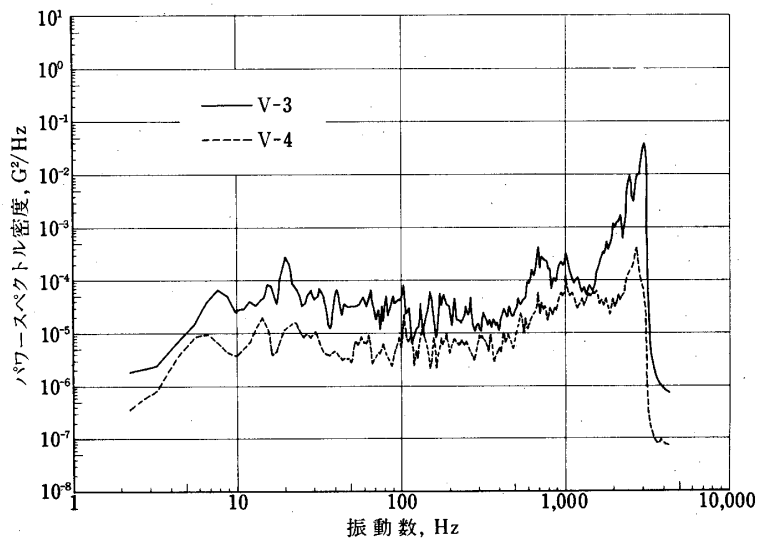
第16図 飛しよう中の振動記録-3



第17図 飛しよう中の振動記録-4



第18図 振動分析結果—1 (M-3C-3)



第19図 振動分析結果—2 (M-3C-3)

示した。振動周波数は広範囲に分布しているが、1～3 kHzの高域成分が多い。1号機の衛星基部では1.6～2 kHzの高域のほか20～30 Hzの低域成分も含むことが特徴的である。その他加速度計(X, Y, Z)で得られた値を第3表に示した。

4. むすび

以上M-3C機体計測の主要項目についての概要をのべた。各号機で不具合を生じた項目もあるが、その都度不具合に対処し、次号機に改良を盛り込むことの繰返しにより計測器の性能、信頼性の向上に努めてきた。

第3表 飛しよう中における振動・衝撃 (M-3C-1)

項目	計画 秒時	作動 秒時	X ₂		Y ₂		Z ₂		X ₁		Y ₁		Z ₁	
発射	sec 0	sec 0	3.5G	35 Hz	2.78G	13 Hz	4.1G	13 Hz	2.42G	34.5 Hz	0.62G	14 Hz 26 Hz	1.32G	14 Hz 25.5 Hz
B ₁ +SB 燃焼中	—	6~9	0.4	31	0.66	20	0.58	20	なし		0.3	21	0.42	21
B ₁ 燃焼中	9.5	9.3	1.5	30	0.36	25	0.46	25	0.53	30	0.21	36	0.2	35
		9.6	0.5	32	2.36	7 29	0.44	7 28.5	0.18	33	1.15	7 40	0.22	40
B ₁ 燃焼中	—	24~26	0.8	35	0.34	15	0.14	15.5	なし		微少		微少	
		41~44	微少		0.12	16	0.12	16						
B ₁ sep	78	78	0.8	—	微少		微少		0.53	—				
B ₂ ig	80	80	ノイズ		ノイズ		ノイズ		ノイズ		ノイズ		ノイズ	
B ₂ 燃焼中	—	86~90	なし		0.56	17.5	0.44	17	なし		0.18	—	0.18	—
		120~ 123			0.36	18.5 56	0.51	18 55			0.32	55	0.71	55
		135~ 138			0.36	39	0.46	39			0.36	56	0.62	56
NC off ①	156	155.8	0.2	—	0.34	19	0.14	20			0.21	55	0.12	55
NC off ②	157	156.8	微少		微少		微少				なし		なし	
SP ig	235	234.7	ノイズ		ノイズ		ノイズ				微少		微少	
SP stop	—	238.7							0.17	—	0.36	—	0.37	—
B ₂ sep	—	297.9							測定終了		測定終了		測定終了	
B ₃ ig	—	299.2												
B ₃ sep	—	409.7												
総合レスポ ンス	—	—	140 Hz		60 Hz		160 Hz		170 Hz		120 Hz		120 Hz	

(注記) 1) 検出器 X₂, Y₂, Z₂ は B₃-PL 部に, X₁, Y₁, Z₁ は B₂-PL 部に搭載.

2) 微少とは 0.1G 以下, G の読取値は P-P 値である.

3) B₂ 燃焼中の Y, Z の値は TVC 噴射によるものである.

今後もM-3Hでこれらの経験を活し、関係各班に確度の高いデータを提供できるよう努力を重ねて行く所存である。

終りに関係実験班各位、計測器の製作を担当された松下通信工業の多くの方々に厚く謝意を表す。

1977年11月11日 新設部(工学)