

M-V型ロケットの計測概要

富澤利夫, 長谷川克也, 石井信明,
高橋一仁*, 杉谷 健*

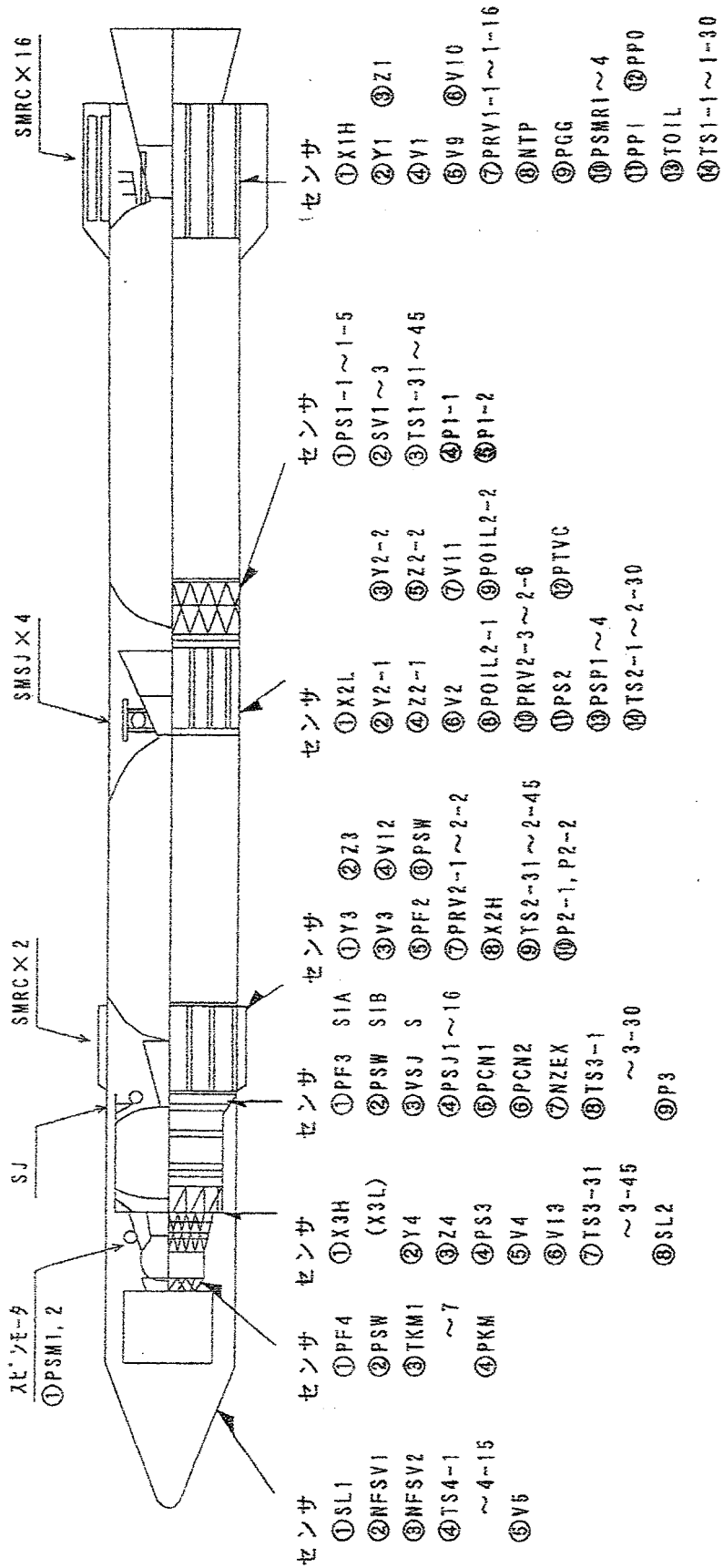
1. 概 要

M-V機体計測は計測項目, 計測機器ともに基本的にはM-3SII型と同一思想にもとづき設計されているが, 構造, 推進および制御系からの計測要求は多岐に渡り, 計測点数も第1段から衛星までを合計すると300近い点数になっている。

なお, 地磁気姿勢計およびテレメータに電圧信号を直接送出するTVC電圧モニタ, 姿勢制御関連の計測は対応する章に記載されているため本稿では割愛した。

2. 計測項目

各段計測センサ搭載位置を図1に, 計測項目一覧を表1に示す。(a)には機体系計測, (b)には制御系計測, (c)には衛星系計測を記載した。基本的に, 1, 3, 4号機ともほとんど同様な計測項目である。これは開発時期が接近しており, 2, 3号機の設計に1号機の飛翔結果が間に合わないため, 1, 2, 3号機の計測は同一とし, 1号機の飛翔結果を反映して4号機以降に計測項目を見直したが, 2号機の打上げが後ろにずれたために, 結果的に1, 3, 4号機が同一計測となり, 5号機以降(2号機含む)に見直し結果が反映された。



第1図 M-V-1号機 計測系搭載配置図

表1(a) M-V 型ロケット計測項目一覧 (機体系計測)

名称	略号	計測位置	要目
縦加速度	X1H	B1ノズル部	-5 ~ +10G サーボ型(QA1400)
縦加速度	X2H	B2計器部	-5 ~ +10G サーボ型(QA1400)
縦加速度	X2L	B2ノズル部	-1 ~ +2G サーボ型(QA1400)
縦加速度	X3H	B3計器部	-5 ~ +11G サーボ型(QA1400)
縦加速度	X3L	B3計器部	-1 ~ +2G サーボ型 (センサはX3Hを使用)
横加速度	Y1, Z1	B1ノズル部	-5 ~ +5G サーボ型(QA700)
横加速度	Y2-1, Z2-1	B2ノズル部	-5 ~ +5G サーボ型(QA700)
横加速度	Y2-2, Z2-2	B2ノズル部	-2.5 ~ +2.5G 歪型(4-202-0015)
横加速度	Y3, Z3	B2計器部	-5 ~ +5G サーボ型(QA700)
横加速度	Y4, Z4	B3計器部	-5 ~ +5G サーボ型(QA700)
モータ内圧	P1-1, P1-2	B1モータ頭部	0 ~ 120 kg/cm ² 歪型(PHS100KA)
モータ内圧	P2-1, P2-2	B2モータ頭部	0 ~ 120 kg/cm ² 歪型(PHS100KA)
モータ内圧	P3	B3モータノズル部	0 ~ 100 kg/cm ² 歪型(PHS100KA)、PFSW兼用
残留モータ内圧	PF2	B2モータ頭部	0 ~ 2 kg/cm ² 半導体型(XCS-190-15A)、バルブ切換アンサ付
残留モータ内圧	PF3	B3モータノズル部	0 ~ 2 kg/cm ² 半導体型(XCS-190-15A)、バルブ切換アンサ付
スピンモータ内圧	PSM1, 2	スピンモータ	0 ~ 100 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)
接手部圧力	PS1-1~4	1/2段接手ペタル部	0 ~ 5 kg/cm ² 半導体型(XTM-190-50A) メモリ送出
接手部圧力	PS1-5	1/2段接手ペタル部	0 ~ 15 kg/cm ² 半導体型(8530B-500) メモリ送出
静圧	PS2	B2ノズル部	0 ~ 2 kg/cm ² 半導体型(XTM-190-50A)
静圧	PS3	B3計器部	0 ~ 2 kg/cm ² 半導体型(XTM-190-50A)
ペタル回転角	SV1 ~ 3	1/2段接手ペタル部	±90° (10° ~ 190°) ポテンシオメータ (回転型) メモリ送出
NF回転角	NFSV1, 2	ノーズフェアリング部	±90° (10° ~ 190°) ポテンシオメータ (回転型)
ノズル伸展アンサ	NZEX-ANS	M34ノズル	ON/OFF 信号 ピンジャック 2点の和
温度	TS1-1, 1-2	B1ノズル部	0 ~ 500 °C 後部筒、B1ノズル周辺 30点
温度	TS1-3	1/2段接手部	0 ~ 500 °C 1/2段接手、B2ノズル周辺 15点
温度	TS2-1, 2-2	B2ノズル部	0 ~ 500 °C M24TVC、B2ノズル周辺 30点
温度	TS2-3	B2計器部	0 ~ 500 °C B2計器部周辺 15点
温度	TS3-1, 3-2	B3ノズル部	200°C, 500°C B3SJ、M34TVC、B3ノズル周辺 30点
温度	TS3-3	B3計器部	0 ~ 200 °C B3モータ前部、B3計器部周辺 15点
温度	TS4-1	ノーズフェアリング部	0 ~ 500 °C ノーズフェアリング各部 15点
振動	V1, V9	B1ノズル部	±50G 10 ~ 2000Hz 圧電型 M14TVC_S/A、B1RG
振動	V2	B2ノズル部	±50G 10 ~ 2000Hz 圧電型 M24TVC_S/A
振動	V3	2/3段接手部	±500G 10 ~ 2000Hz 圧電型 2/3段接手Vリング内面
振動	V12	B2計器部	±50G 10 ~ 2000Hz 圧電型 5.6RT
振動	V4, V13	B3計器部	±30G 10 ~ 2000Hz 圧電型 B3IMU, M34TVC_S/A
振動	VSJ	B3SJ	±50G 10 ~ 2000Hz 圧電型 SJスラスタ裏
振動	V5	ノーズフェアリング部	±300G 10 ~ 2000Hz 圧電型 NF_INS取付部
音圧	SL1	ノーズフェアリング部	160dB SPL 10 ~ 2000Hz コンデンサマイクロフォン
電源電圧	PS1	B1集中電源	+18V, -18V, +28V 各1系統
電源電圧	PS2	B2集中電源	+18V 2系統, -18V, +28V 各1系統
電源電圧	PS3	B3集中電源	+18V, -18V 各1系統, +28V 2系統

表1 (b) M-V型ロケット計測項目一覧 (制御系計測)

名称	略号	計測位置	要目
SMRCモータ内圧	PSMRC1~4	B1SMRC	0~160 kg/cm ² 歪型(PRC-200K)、SMRC No. 1,5,9,13
SMRCバルブ圧力	PRV1-1~16	B1SMRCバルブ	0~80 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)、SMRC16本
SMRCバルブ圧力	PRV2-1,2	B2SMRCバルブ	0~80 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)、SMRC 2本
SMSJバルブ圧力	PRV2-3~6	B2SMSJバルブ	0~80 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)、SMSJ 4本
SPGG内圧	PGG	M14TVC_SPGG	0~120 kg/cm ² 歪型(PHS100KA)
ポンプ吸込圧	PPI	M14TVC_ターボポンプ	0~30 kg/cm ² 半導体型(HEM-375-1000A)
ポンプ吐出圧	PPO	M14TVC_ターボポンプ	0~300 kg/cm ² 半導体型(HEM-375-10000A)
タービン回転数	NTP	M14TVC_ターボポンプ	30,000~102,000 rpm タービフローメータ
TVC温度	TOIL	M14TVC	0~250℃ オイルリザーバタンク油温
TVC温度	TACT1,2	M14TVC	0~250℃ アクチュエータ(0°,90°)
TVC温度	TGG	M14TVC	0~1,200℃ GTT配管
オイル圧力	POIL2-1,2	M24TVC_オイルタンク	0~200 kg/cm ² 歪型(PRC-200K)
噴射体タンク圧力	PTVC	M24TVC_噴射体タンク	0~100 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)
噴射体圧力	PSP1~4	M24TVC_バルブ	0~100 kg/cm ² 歪型(PRC-100K)
SJ噴射圧	PSJ1~16	B3SJ_バルブ	0~20 kg/cm ² 歪型(PRC-20K)
SJタンク圧	PCN1	B3SJ_タンク	0~200 kg/cm ² 歪型(PRB-200K) タンク1次圧
SJタンク圧	PCN2	B3SJ_タンク	0~50 kg/cm ² 歪型(PRB-50K) タンク2次圧
SJ温度	TSJ1	B3SJ_スラスタ	0~1,000℃ SJスラスタ スポット溶接
SJ温度	TSJ2,3	B3SJ_スラスタ	0~500℃ SJスラスタ スポット溶接

表1 (c) M-V型ロケット計測項目一覧 (衛星系計測)

名称	略号	計測位置	要目
縦加速度	XSA-H	衛星ベースパネル	-5~+10G サーボ型(QA1400)
縦加速度	XSA-L	衛星ベースパネル	-1~+1G サーボ型(QA1400)
横加速度	Y5, Z5	衛星ベースパネル	-10~+10G サーボ型(QA700)
キックモータ内圧	PKM	キックモータノズル部	0~80 kg/cm ² 歪型(PHS100KA)
キックモータ残留内圧	PF4	キックモータノズル部	0~2 kg/cm ² 半導体型(XCS-190-15A)
温度	TKM	キックモータ	0~500℃ SA接手、モータケース、ノズル、遮蔽板7点
振動	V6,V7,V8	衛星下面	±15G 10~2000Hz 圧電型 3軸(X,Y,Z)

なお、紙幅の関係で、計測結果およびその解析については推進、構造、空力、制御等、各々の章に委ねる事とし、本稿では割愛する。また、搭載機器の電氣的、機械的性能諸元および詳細な計測位置に関しては各号機の飛翔実験計画書および飛翔実験報告書を参照されたい。飛翔実験報告書には計測結果一覧（生データ）が掲載してあるので、そちらも参照していただきたい。

以下に、各号機における計測項目の相違点について述べる。

3. 計測項目の相違点

計画段階では、1, 3, 4号機とも同一計測項目でスタートしたが、1号機の飛翔結果から3, 4号機計測項目が、3号機飛翔結果から4号機計測項目が噛み合せ直前に変更になった。表2に1号機飛翔後に追加となった計測項目を示す。表3および表4に各号機の計測点数を比較した。表3は各段毎の計測点数比較を、表4は計測センサの種類毎の比較を示す。1/2段分離時のFITHでは第2段固体ロケットモータの噴出ガスによってテレメータがロックオフし、ほとんどすべてのデータが取得できなかった。このため、FITHによる分離衝撃を計測するための各段加速度計測（X1H, X2H, X3H）および第1段頭部断熱効果を測定するための温度計測（6点）をメモリし、第2段飛翔中に繰り返しデータ送出する事とした。また、4号機ではノーズコーンキャップ部の圧力計測を行い、圧力差から機体迎角を測定した。これは横風も含めた大気に対する相対姿勢を計測するため、ジャイロによる絶対姿勢を維持した場合の空力荷重等を評価するためである。

表5に残留内圧計測の一覧を示す。1号機では第2段、第3段、キックモータについて残留内圧計測を実施したが、3号機と4号機では第2段の残留内圧計測は省略した。表6に衛星系計測の一覧を示す。1号機では衛星搭載計測装置によって、キックモータの内圧計測と残留内圧計測の他、キックモータ周りの温度計測を実施したが、3号機では内圧計測と残留内圧計測のみを実施した。5号機以降では内圧計測のみ予定されている。

表2 1号機以降追加された計測項目

名称	略号	計測位置	要目
< 3号機から >			
加速度メモリ	X1H, X2H, X3H		メモリ機能追加（FITH時のブラックアウト対策）
温度メモリ	TMEM1-6	1/2段接手部	0~500℃ モータ前部鏡板+M14IGカバー
< 4号機から >			
ノーズキャップ圧力	PNF1-4	ノーズフェアリング部	0~1.5 kg/cm ² 半導体型(XCS-190-15A)

表3 計測点数比較

		M-V-1	M-V-3	M-V-4
第1段	機体性能計測	58	64	59
	制御系計測	25	25	28
	機能確認、モニタ	6	6	6
第2段	機体性能計測	61	60	59
	制御系計測	13	13	13
	機能確認、モニタ	5	4	4
第3段	機体性能計測	57	58	54
	制御系計測	20	20	21
	機能確認、モニタ	6	6	6
ノーズフェアリング	機体性能計測	17	18	21
	機能確認、モニタ	2	2	2
キックモータ	機体性能計測	9	2	--
	機能確認、モニタ	1	0	--
衛星	機体性能計測	7	7	6
合計		287	285	279

表4 センサの種類による計測点数比較

	M-V-1	M-V-3	M-V-4
加速度	20	22	21
圧力	71	70	70
温度	158	157	156
振動	15	15	12
音圧	2	2	1
その他	21	19	19
合計	287	285	279

表5 残留内圧 (PF) 計測項目一覧

M-V号機	衛星名	第1段 (PF1)	第2段 (PF2)	第3段 (PF3)	キックモータ (PF4)
1号機	MUSES-B (はるか)	×	○	○	○
2号機	LUNAR-A	×	○	△	×
3号機	PLANET-B (のぞみ)	×	×	○	○
4号機	ASTRO-E	×	×	○	—
5号機	MUSES-C	×	○	×	×
6号機	ASTRO-F	×	○	○	—

Note: ○: 計測あり、×: 計測なし

4号機 (ASTRO-E)、6号機 (ASTRO-F)はキックモータなし

表6 衛星系計測項目一覧

M-V号機	衛星名	X	Y	Z	V6	V7	V8	PKM	PF	TKM
1号機	MUSES-B (はるか)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2号機	LUNAR-A	×	×	×	○	○	○	○	×	×
3号機	PLANET-B (のぞみ)	○	○	○	○	○	○	○	○	×
4号機	ASTRO-E	○	○	○	○	○	○	-	-	-
5号機	MUSES-C	×	×	×	○	○	○	○	×	×
6号機	ASTRO-F	○	○	○	○	○	○	-	-	-

Note: ○:計測あり、×:計測なし

X, Y, Z: 加速度 (3軸) 計測、V6, V7, V8: 振動 (3軸) 計測

PKM: キックモータ内圧計測、PF: キックモータ残留内圧計測、TKM: キックモータ温度計測

5号機 (MUSES-C) 振動センサは衛星接手に搭載

4号機 (ASTRO-E)、6号機 (ASTRO-F)はキックモータなし

4. 飛翔結果概要

飛翔結果はおおむね正常に計測され、機体各部の性能が確認された。ただし一部不具合もあり、次号機に向けて対策を施し、再計測した項目もあった。その内容を下記に示す。

4-1. FITH 関係計測

(1) ペタル回転角 (SV-1 ~ 3)

1号機で3項目すべて計測できなかった。原因としては、振動衝撃でセンサ部分が破損した可能性があるため、次号機から、センサ部分を軟質材 (KE45) でポッティングし、回転部をこじらない構造 (計測範囲も考慮した) に変更した。また、計装の固定及び、耐熱対策を十分にした。その結果、飛翔データは良好であった。

(2) 1/2段接手ペタル部圧力 (PS1 ~ 5)

立ち上がり部分は正常に計測できたが、途中からデータがおかしくなった。原因としては、計装がFITHの爆風及び熱で破損した可能性があるため、次号機から、計装の耐熱対策と一部爆風保護を強化した。その結果、良好なデータが一部得られていないので、爆風保護の対策を継続中である。

4-2. 温度関係

NF (1号機) 及びB3SJ (4号機SJ回り) の温度計測データがフライト中にレベルがシフトしてしまった。原因としては、センサ及び回路が何らかの影響によりグランドレベルが変動していると思われるが、いまだ要因の特定には至っておらず、継続検討課題となっている。対策として、5号機以降では、機体として導電性があるCFRP部の熱電対を絶縁型のシース式熱電対に変更する試みを行っている。

4-3. 残留内圧関係

1, 3号機飛翔中及び、4号機噛合せ時において、PF計測装置の、モータ駆動時における圧力PF3がレベルシフトしてしまった。原因は、大電流が流れるモータ駆動ラインと機器の信号ラインを共通にしていたため、モータに大電流が流れた時コモンラインに存在するライン抵抗に起因する電圧降下によりレベルがシフトしたものであった。4号機の噛合せ終了後にPF計測装置に改修を実施し、信号ラインとモータ駆動ラインのコモンを分離し、電源系を別々に搭載して、お互いの干渉をなくした。その結果、飛翔データは良好であった。