

M-V型ロケット打上げ作業記録

富田 悦*, 小野 縁, 吉山京子

はじめに

M-V型ロケットは1号機が1997年2月12日, 3号機が1998年7月4日, 4号機が2000年2月10日に打上げられました。1号機から4号機までのそれぞれのロケット打上げ実験における以下の項目について記載します。

1. 実験期間 (オペレーション所要日数)
2. 実験参加者
3. フライトオペレーションの作業時間
4. M-V作業の特徴点
5. 発生した要処置及び不具合事項

なお, Mロケットは宇宙科学研究所としての開発を終了するという状況なので, 一つの区切りとして本特集号では, M-3H型からM-V型までの上記項目の歴史的推移もたどって見ました。

1. 実験期間 (オペレーション所要日数)

M-V型ロケットの発射日を第1表に示します。

第1表 M-V型ロケットの発射日

号機	実施発射日時	TS入り時刻	延期日数及び理由	発射角	発射日の天候	備考
	予定発射日時	TS所要時間				
1号機	H9(1997).2.12 X=13:50	2:00	延期日数: 5日間 理由: 4日間不具合 (衛星太陽電池パドルのテ ンションケーブル不具合) 5日目天候不良	上下角82.6° 方位角92.9°	晴 地上風: 南東7m/s 気温: 8℃	・はるか(830kg) ・国際標識 1997-005A
	H9(1997).2.7 X=13:50	11時間50分				
3号機	H10(1998).7.4 X=3:12	15:00	なし	上下角83.3° 方位角90.3°	快晴 地上風: 南南西1.5m/s 気温: 22.5℃	・のぞみ(540kg) ・国際標識 1998-041A
	H10(1998).7.4 X=3:12	12時間12分				
4号機	H12(2000).2.10 X=10:30	22:00	延期日数: 2日間 理由: 1日目天候不良 2日目不具合 (宮崎ダウンレンジ不具合)	上下角79.7° 方位角93.7°	快晴 地上風: 北西1m/s 気温: 8℃	・衛星重量1668kg -
	H12(2000).2.8 X=10:30	12時間30分				

*元宇宙科学研究所文部技官

ロケットの打上げ実験期間の増減はロケットの新規開発や大型化に伴い一旦増加傾向を示しますが、その後作業の習熟や作業手順の簡素化などにより減少傾向に転じます。そこでM-3H型からM-V型までのフライトオペレーション期間と作業簡素化の関連を大まかに振り返ってみました。(第2表)

M-3H-1号機は組立オペレーション後に全段を分解して推進庫及びM組立室に保管し、フライトオペレーションで新たに組立直す作業日程であり、24日を要するものでした。しかしフライトオペレーションのY-2で不具合が発生したために、組み立てたロケットを分解して当該品を取り外し、一旦オペレーションを打ち切って全員が帰京しました。機器修復後にオペレーションを再開したため、所要日数が37日間に及びました。

M-3H-2号機では取り外すことを想定して搭載機器取付位置の見直しがなされ、更に組立オペレーション終了後のモータ保管についても、第1段モータを整備塔内でSBモータを結合したまま保管し、Y-22からフライトオペレーションに臨むスケジュールになりました。

更にM-3H-3号機では第2段モータまでを結合したまま整備塔内で保管し、フライトオペレーションをY-12から開始したために予定所要日数は14日に減少しました。

M-3S型は、組立オペレーションからフライトオペレーションまでのモータ保管は第2段モータまでを整備塔内に保管することが定着し、さらに4号機のフライトオペレーションはY-11から作業開始で-1日となりましたが、Y後の作業が+2になったため、合計日数は14日に変わりありません。(Y-11~Y+2)

M-3SII型では作業量の増加に伴い予定所要日数が一旦増加したものの、6号機からはY-11~Y+2の14日に収束しています。

M-V型は全てが新規開発で、更に一段と大型化したために作業量の大幅な増加を伴いました。従ってオペレーション期間は組立オペレーションもフライトオペレーションも大幅に長くなりました。1号機の組立オペレーションはY-30~Y+1で予定所要日数は32日になり、フライトオペレーションはY-17~Y+2で予定所要日数は20日になりました。

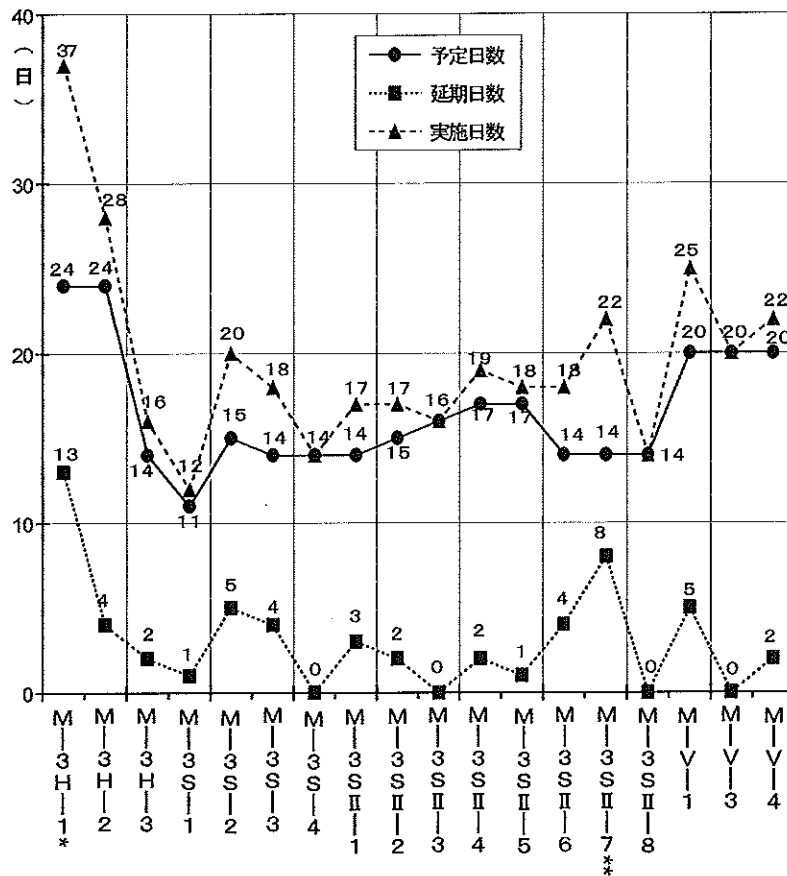
しかし後述の3. フライトオペレーションの作業時間に記載されているように、予定所要日数を増やしたにも拘わらず、実際には毎日残業が続く有様でした。1号機の組立オペレーションでは毎日残業しても尚かつ残作業が多くなったために、日程が1日延期になりました。M-3H型からM-V型までのフライトオペレーション予定所要日数と実施所要日数の推移を第1図に示します。

第2表 フライトオペレーション期間と作業簡素化の歴史

ロケット名	マスタースケジュールの期間	実施所要日数	予定所要日数	組立オペ終了後のロケットの状態
M-3H-1	①1977. 1. 10~1977. 2. 3 (Y-22~Y-2) ②1977. 2. 9~1977. 2. 20 (Y-10~Y+1)	37日	24日	* 不具合品を取り外して持ち帰り、修復後実験を再開した。 * 組オペ後は全段を分解して、フライトオペは第1段モータから組み立てた。
M-3H-2	1978. 1. 9~1978. 2. 5 (Y-22~Y+1)	28日	24日	* 組オペ後は第1段モータ(M13モータ+SB310モータ)を結合状態で、フライトオペまで整備塔内に保管した。 * 1号機で不具合を起こし、取り外しに日数を要したCNEの取付位置を変更した。
M-3H-3	1978. 9. 2~1978. 9. 17 (Y-12~Y+1)	16日	14日	* 組オペ後は第1段モータ及び第2段モータ(M22モータ)を結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-12から開始した。

ロケット名	マスタースケジュールの期間	実施 所要日数	予定 所要日数	組立オペ終了後のロケットの状態
M-3S-1	1980. 2. 7~1980. 2. 18 (Y-9~Y+1)	12日	11日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータ(M22モータ)を結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-9から開始した。
M-3S-2	1981. 2. 4~1981. 2. 23 (Y-12~Y+2)	20日	15日	* 組立オペの電波テスト時に、SJ注液系カプラ引抜装置不具合が発生し、その影響(水が溜まった)調査のために組立オペ後、M22モータを降ろした。そのため、整備塔内には第1段モータのみ結合状態で保管し、フライトオペはY-12から開始した。
M-3S-3	1983. 2. 4~1983. 2. 21 (Y-12~Y+1)	18日	14日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-12から開始した。
M-3S-4	1984. 2. 3~1984. 2. 16 (Y-11~Y+2)	14日	14日	* 全段組立後の全機アライメント計測は、仮組立計測値の再現性の実績から省略することとし、組立オペの日程を短縮した。 * 組立オペ後は全段組立てたままの状態では整備塔内に保管し、日程の短縮を図った。
M-3SII-1	1985. 12. 24~1986. 1. 9 (Y-12~Y+1)	17日	14日	* 組立オペ後は第1段モータ(M13モータ+SB735モータ)及び第2段モータ(M23モータ)を結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-12から開始した。
M-3SII-2	1985. 8. 4~1985. 8. 20 (Y-13~Y+1)	17日	15日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-13から開始した。
M-3SII-3	1987. 1. 23~1987. 2. 7 (Y-13~Y+2)	16日	16日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-13から開始した。
M-3SII-4	1989. 2. 6~1989. 2. 24 (Y-14~Y+2)	19日	17日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-14から開始した。
M-3SII-5	1990. 1. 9~1990. 1. 26 (Y-14~Y+2)	18日	17日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-14から開始した。
M-3SII-6	1991. 8. 15~1991. 9. 1 (Y-11~Y+2)	18日	14日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-11から開始した。
M-3SII-7	1993. 2. 1~1993. 2. 22 (Y-11~Y+2)	22日	14日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-11から開始した。
M-3SII-8	1995. 1. 4~1995. 1. 17 (Y-11~Y+2)	14日	14日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-11から開始した。

ロケット名	マスタースケジュールの期間	実施所要日数	予定所要日数	組立オペ終了後のロケットの状態
M-V-1	1997. 1. 21~1997. 2. 14 (Y-17~Y+2)	25日	20日	* 組立オペ後の全機振動試験を、整備塔内で全段組立状態でを行い、そのままフライトオペまで保管する予定であったが、CNEを取り外すことになり、頭胴部を降ろした。従って第1段モータ(M14モータ、SBモータなし)及び第2段モータ(M24モータ)を結合状態で整備塔内に保管し、フライトオペはY-17から開始した。
M-V-3	1998. 6. 17~1998. 7. 6 (Y-17~Y+2)	20日	20日	* オペレーションの全面的な見直しが行われた結果、CN系総合・地上系オペが無くなり、電気的な機能試験を行わない第1組立オペになった。 * 従来の組立オペは第2組立オペとなり、第2組立オペではダミーSA組付、NF組付、ランチャ出しも行わないことになった。 * 従って第2組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータを整備塔内に保管し、フライトオペはY-17から開始した。
M-V-4	2000. 1. 22~2000. 2. 12 (Y-17~Y+2)	22日	20日	* 組立オペ後は第1段モータ及び第2段モータが結合状態で整備塔内に保管され、フライトオペはY-17から開始した。



* M-3H-1号機はY-2の電波テストで発生した不具合品(CNE)を取り外し、一旦オペレーションを中止して全員帰京した。その後、製造元で当該品を修復した後、Y-10からオペレーションを再開した。

** M-3S-II-7号機はY-1の電波テスト後に発生した不具合(M23LITVC電磁弁)を原因究明後製造元に返送し、新品と交換した後、Y-5から作業を再開した。

第1図 Mロケットフライトオペレーションの所要日数

2. 実験参加者

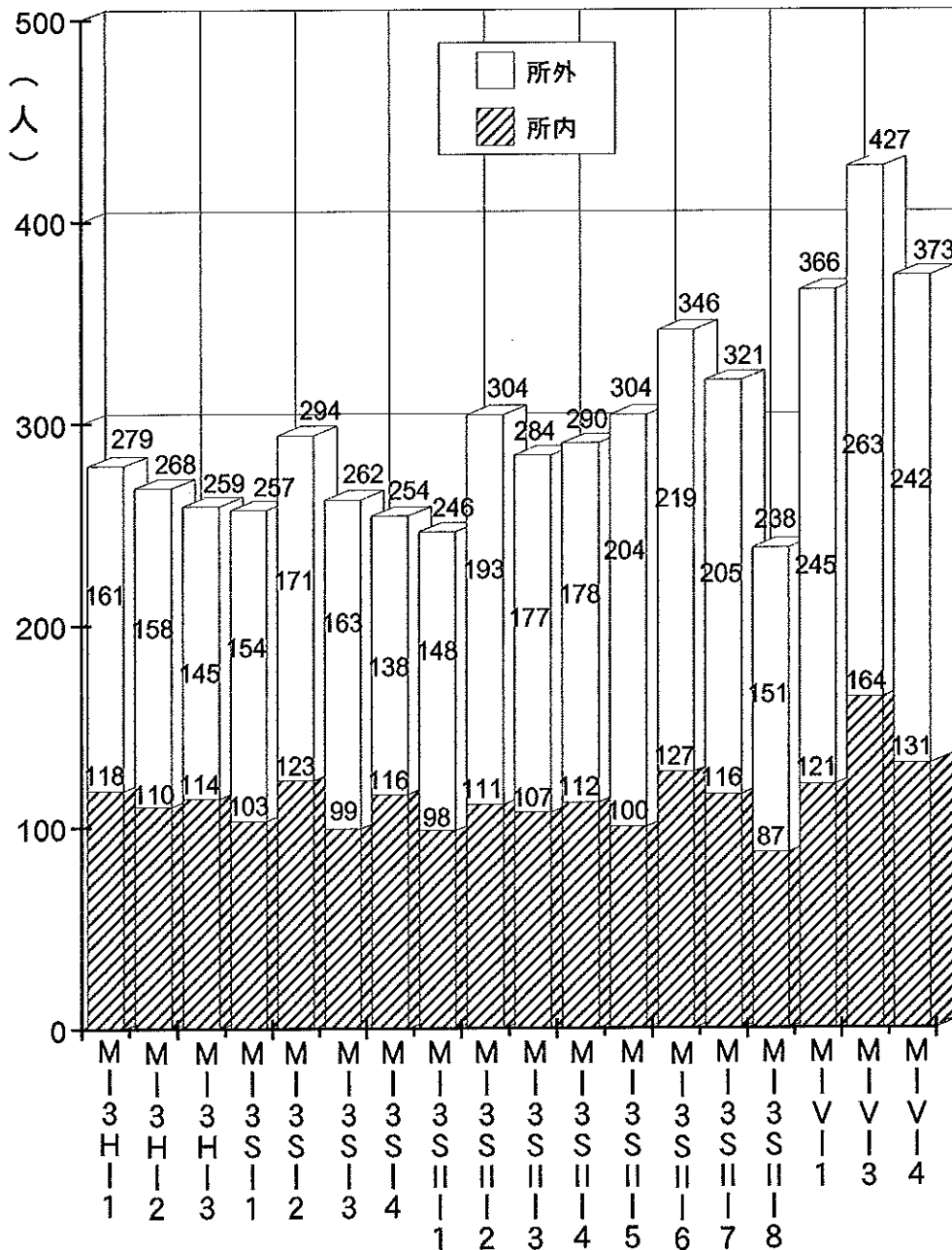
第3表にM-V型ロケットフライトオペレーションにおける実験参加者を班毎に示しました。第2図にはM-3H型からM-V型までの、フライトオペレーションにおける実験参加者の増減を示しました。

第3表 M-V1, 3, 4号機 実験参加者数(フライトオペレーション)

班名	M-V-1		M-V-3		M-V-4	
	所内	所外	所内	所外	所内	所外
実験主任	1	—	1	—	1	—
SA主任	1	—	1	—	1	—
保安主任	1	—	1	—	1	—
ロケット	5	23+2*	6	22	6	22+1*
ランチャ	5	11+ 2**	5	9	5	9
テレメータ	5 +3**	12+10*	7	9+5*	5	9+2*
テレメータ計装	—	—	2**	2	3**	2
ダクト/ガ(宮崎)	2	3	1**	3+1*	2	3
ク (小笠原)	1	—	1	1	—	—
ク (列次島)	—	—	1	—	1	—
レーダ	7	9+6*	7	7+3*	7	8+1*
管制RB	2 +3**	1+2*	3+ 2**	1	3 +2**	3
OP	1 +1**	1	3	1	3	1
RS	4 +1**	4	5+ 1**	4	6	3
RG	5	2+3*	2+ 2**	3+1*	2 +2**	3
PS	1	2	1	2	1	2
タイマ	2	2	2	2	2	3
TVC	4	15	1+ 1**	14	1 +1**	11
CNE	5	6+2*	3+ 1**	9+1*	4	7+1*
SJ	2	5+4*	2	5	1	10
計測	4	5	3	6	3 +1**	5
GAS	1	1	2	2	1	2
点火管制	1	2	1	2	1	2**
音響計測	1**	—	2	—	—	—
環境計測	5 +1**	—	2	—	4 +3**	—
通信・KE	4	4+1*	3	4	4 +1**	4
標準時刻	2**	1	3**	1	3**	1
光学	2	—	2	—	2	—
映像記録	2	5+6*	2	7+2*	2	11
文書記録	1	—	2	—	2	—
気象	1 +1**	—	2	—	2	—
SA共通系	10 +7**	20+1*+2**	13+ 12**	26+3*	9 +11**	28+1*
SA姿勢軌道制御系	2 +4**	18+ 3**	4+ 4**	17+5*	3 +4**	20+3*
SA観測系	10 +4**	17+1*+1**	17+36*+3**	9+2*	17+10*+1**	12
SA地上	1 +12**	11+2*+2**	4+ 10**	21+4*+1**	2 +15**	26+6*
臼田	3	11+1*	1+ 4**	13+2*+1**	—	—
相模原	6 +18**	11 +3**	3+ 8**	24+2*+13** +4***	5 +2**	9+10*+3**
広報	2 +1**	—	2	—	1	—
総務	2	—	2	—	2	—
KSC (総務)	5	—	4	—	4	—
ク (電気)	2	2	2	2	2	3
ク (受付)	1+2#	—	1+2#	—	1+2#	—
実人員 (含別経費参加等)	121	245	164	263	131	242
兼務数	59	13	54	15	49	5
実人員合計	366		427		373	

M-3S-1号機とM-3SII-1号機が2号機に比べて参加者が少ないのは試験衛星（MS-T4, MS-T5）であったためと思われます。

M-3H-1号機から少しずつ減少し、M-3SII-2号機からは増加しており、M-V-1号機以降は更に増加傾向が強まっています。M-V型ロケットの作業量が大幅に増えたためであり、それにも拘わらず4号機では減少しているのは、予算的な制約から参加人員の削減を図ったためと思われます。参加人員の削減は、残業という形で毎日の作業時間に影響するので、今後は十分な予算を確保し、予算的な制約から参加人員を削減しないことが望まれます。



第2図 フライトオペレーション実験参加者の推移

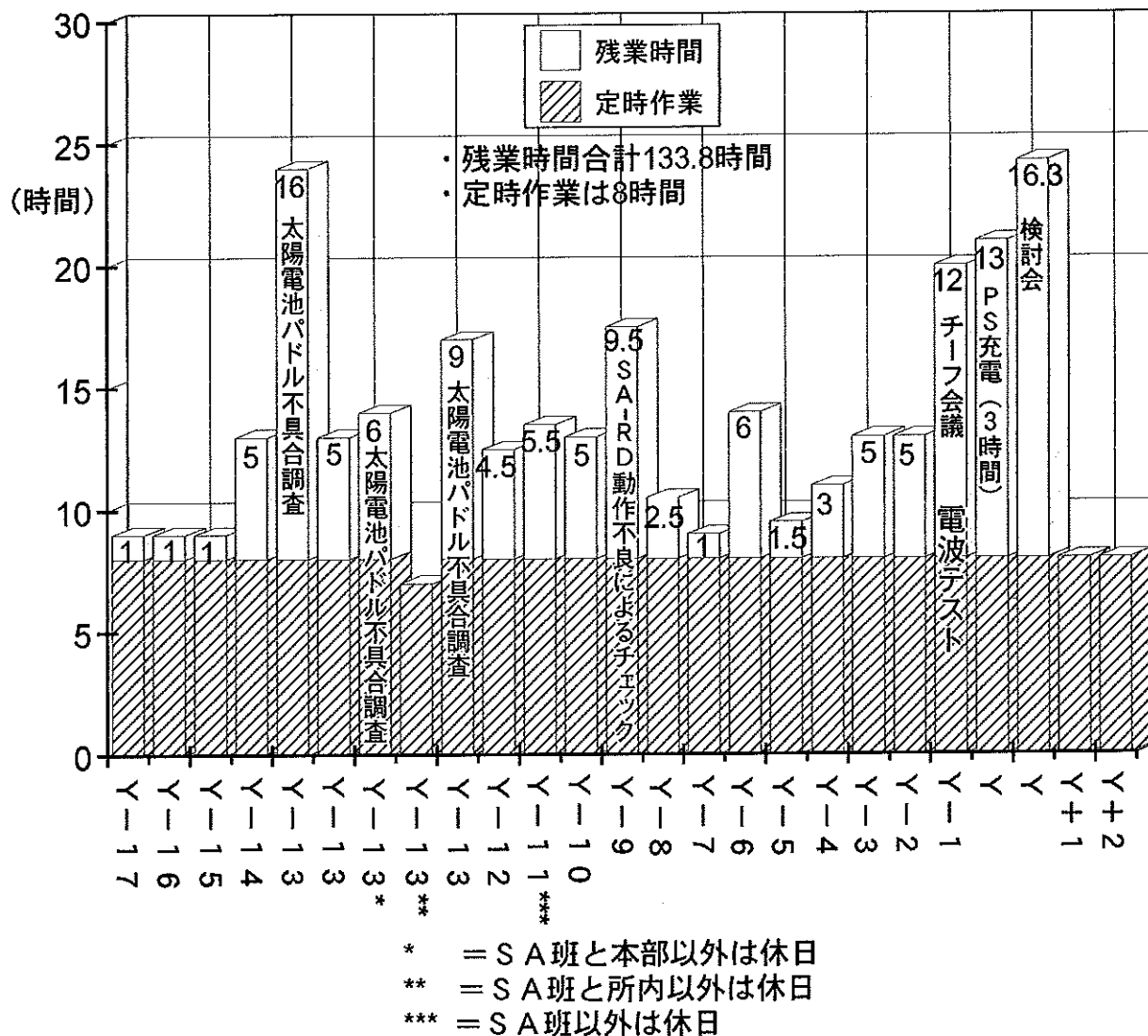
3. フライトオペレーションの作業時間

M-V型オペレーションの作業量は従来のそれとは比較にならないほど多く、作業時間が大幅に長くなりました。組立オペレーションは勿論、フライトオペレーションでも、毎日大幅な残業を伴うスケジュールとなり、ローカルな作業を除いた1号機の残業時間の合計（一番最後になった作業の）はフライトオペレーションだけでも133.8時間に及びました。（第3図）

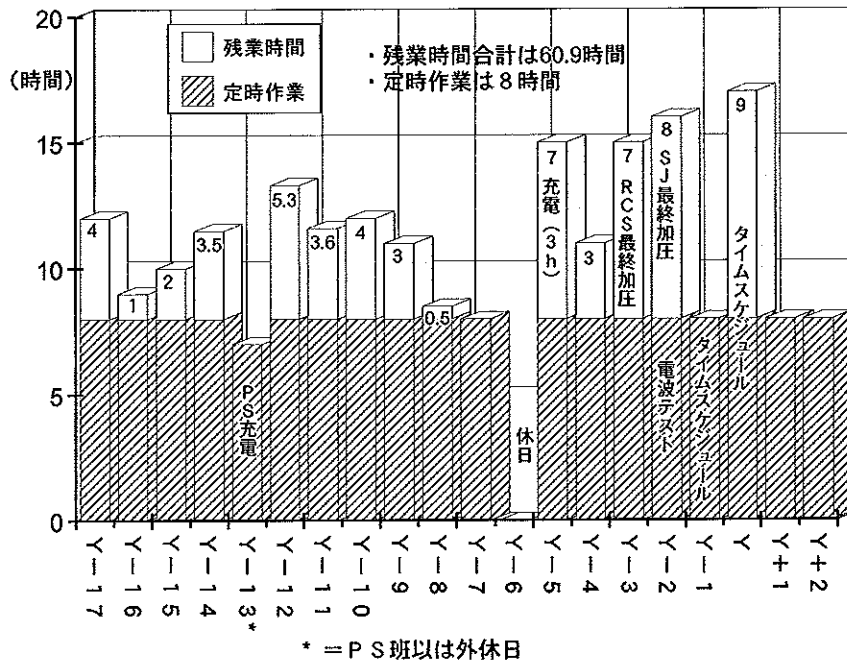
煌々とライトで照らされたM台地で深夜まで続く連日の作業に、近隣集落の迷惑になるからと放送を自粛したことさえあったほどです。

3号機は何事もなく、すんなり打上げまで進んだように感じられましたが、それでも残業時間の合計（一番最後になった作業の）は60.9時間になっています。（第4図）

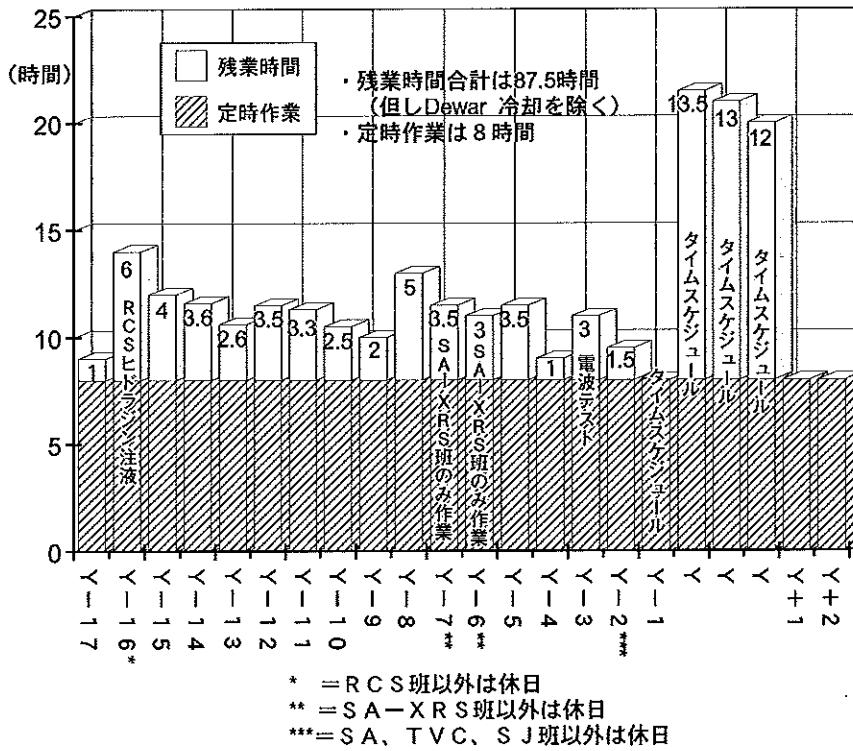
4号機はYdayが2日続けて延期になったため、連続3日間の徹夜作業となり、心身共に厳しいスケジュールとなりました。残業時間の合計（一番最後になった作業の）は87.5時間に増えました。（第5図）予算的な制約を解禁し、今後は作業実態を反映したゆとりのある作業スケジュールに向けての見直しが必要です。



第3図 M-V-1号機フライトオペレーションの作業時間



第4図 M-V-3号機フライトオペレーションの作業時間



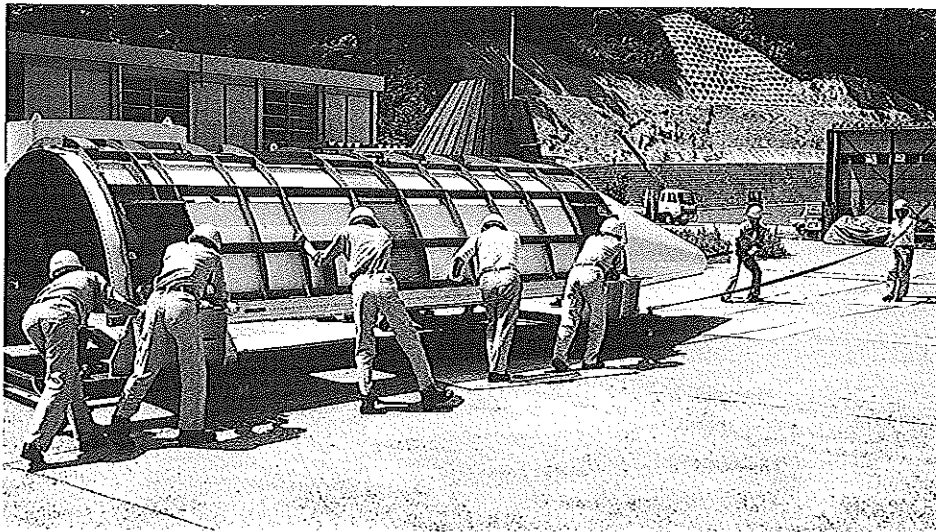
第5図 M-V-4号機フライトオペレーションの作業時間

4. M-V作業の特徴点

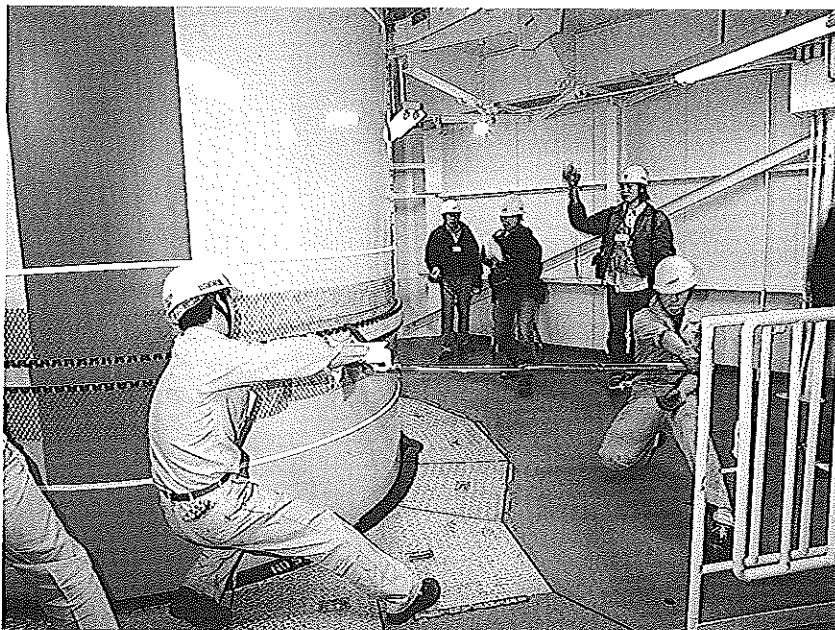
前項3の長時間作業の主な理由としては以下の4点が考えられます。

- 1) モータ類の大型化に伴う作業量の増大
- 2) 重量治具の移動, 取付・取り外し
- 3) 高所作業の増加
- 4) 作業スペース確保のやりくり

第6図から第12図に従来の作業には見られなかった特徴的なM-V作業の様子を写真で示します。



第6図 NFの移動



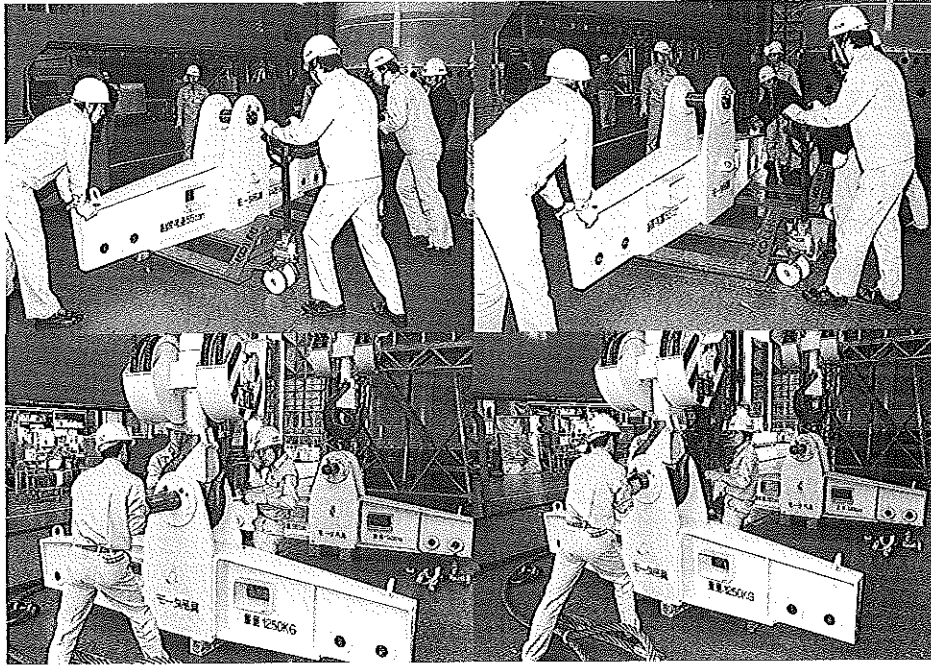
第7図 SEG1+SEG2結合作業

【M-V型】

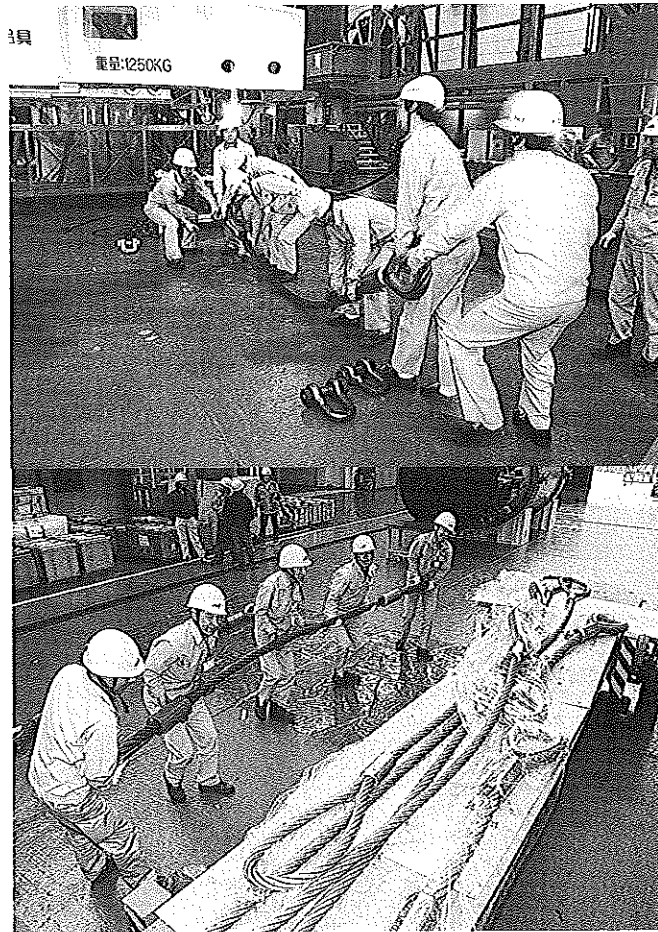
ボルト数	180本
締め付けトルク	8000kgf・cm

【M-3SII型】

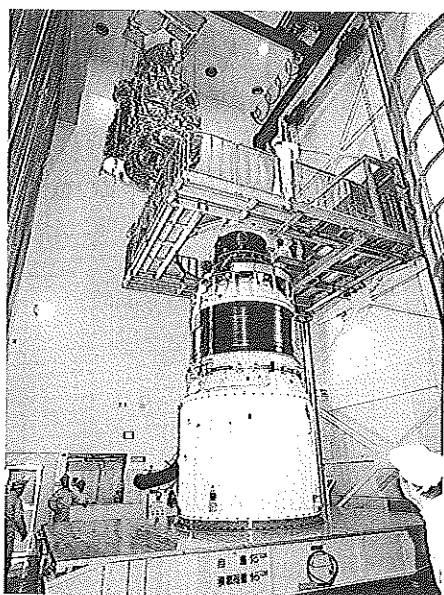
ボルト数	68本×3
締め付けトルク	4400kgf・cm



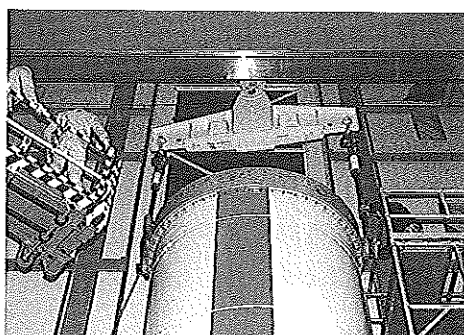
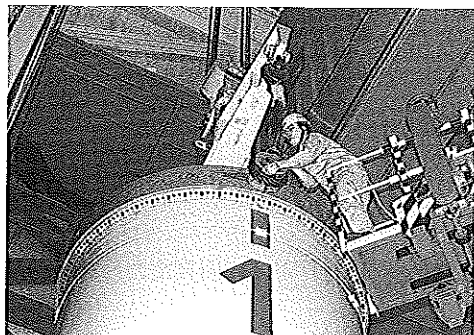
第8図 重量治具の移動・取付



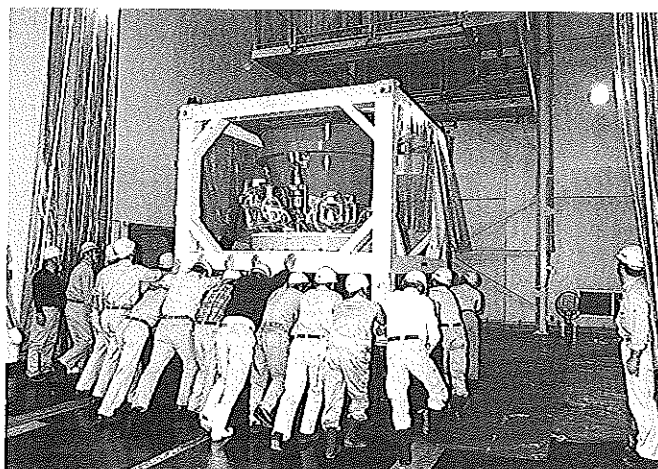
第9図 吊りさげワイヤの移動



第10図 衛星組付の高所作業



第11図 モータ組立の高所作業

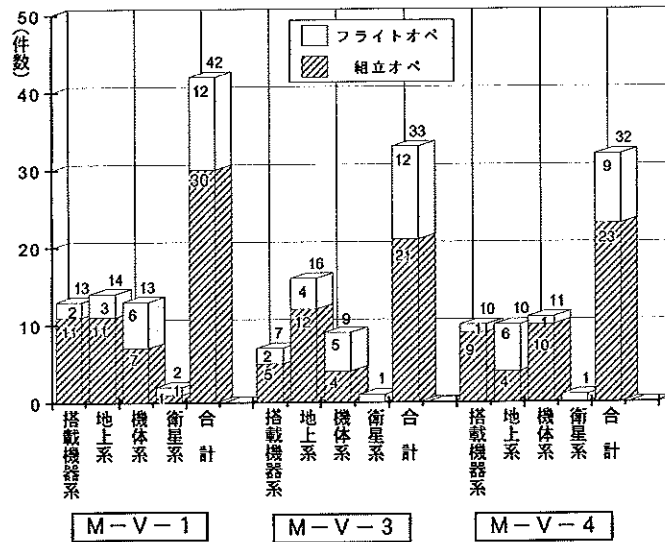


第12図 M14TVCの移動（作業スペース確保のため）

5. 発生した要処置及び不具合事項

第13図に M-V-1号機から M-V-4号機までの組立オペレーションとフライトオペレーションで発生した要処置及び不具合事項を、それぞれの発生箇所でも4つの系に分類して示しました。

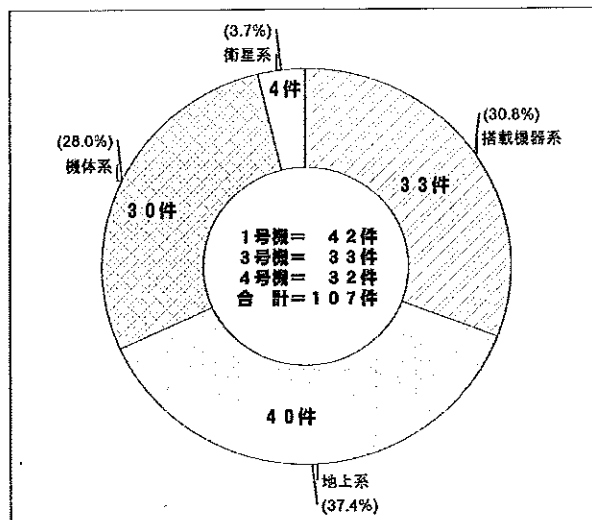
1号機は前項までに述べて来た通り、要処置及び不具合事項も従来の数値を大きく上回っていますが、号機を重ねる毎に漸減しています。



第13図 M-V ロケットの要処置事項件数

第14図は M-V ロケット 3 機分の組立オペレーションとフライトオペレーションで発生した要処置及び不具合事項の合計総数を、発生箇所でも4つの系に分類して示したものです。

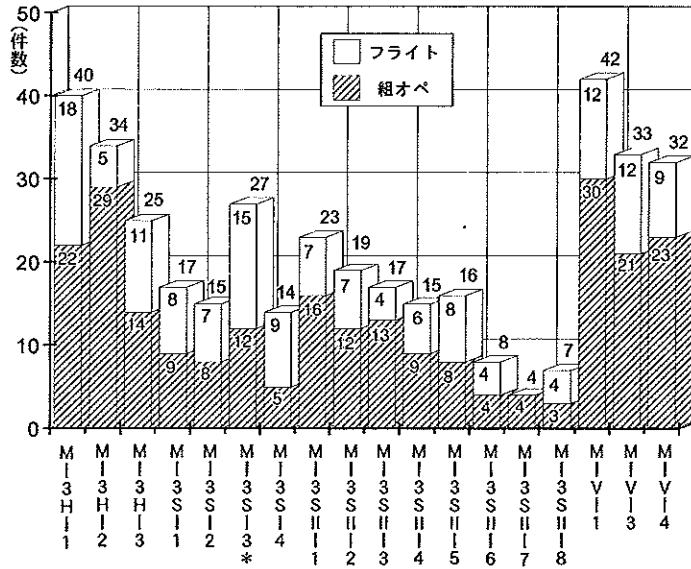
衛星系を除くと地上系が多少多いものの、機体系、搭載機器系それぞれがほぼ同程度の約30%前後の割合になっています。



第14図 M-V ロケットの発生箇所別要処置事項

第15図に M-3H-1号機から M-V-4号機までの組立オペレーションとフライトオペレーションで発生した要処置及び不具合事項件数の推移を示しました。いずれも1号機は件数が多く、次第に減少傾向を示しています

が、例外的にM-3S-3号機が著しく多いのは、整備塔の更新に伴う組立作業の変更や機上点火システムの採用などによるオペレーション上の大幅な変更があったためと推測されます。



* M-3S-3号機は、整備塔が更新されたことに伴う組立作業の変更と機上点火システム採用などによるオペレーション上の大幅な変更があった。

第15図 M-V 3H~M-Vまでの要処置事項件数

6. おわりに

M-V型ロケットの作業記録は富田が担当してきましたが、今後の作業を引き継ぐ者として3号機は吉山技官が、4号機は小野技官が研修で打上げ作業に協力・参加しました。

内之浦の冬は暖かく気候が安定していますが、夏は豪雨や雷雨が多い土地柄です。

M-V-3号機の第2組立オペレーションは作業の簡素化による衛星及びNF無し状態で行う初めてのオペレーションとして、4月から5月にかけて行われました。この間天候に恵まれず、度重なる豪雨と雷雨のために作業の中断や時間待ちを余儀なくされましたが、それにも拘わらず、積極的に作業を先行実施することや早出出勤により、本部の要請に応じて多くの班が日程を1日短縮する結果になったことは、まだ記憶に新しい事柄です。

今まで述べてきたどの項でも、M-Vは従来の数値を大幅に上回っていましたが、作業に携わった者としての充実感も数値に表すならば同様に大幅に大きなものでした。しかし残業時間の減少などは作業者の健康面からも作業の信頼性向上の面からも重要な課題として残されています。

ここにまとめた諸資料が、今後の計画の一助となることを願って止みません。

参考文献

- [1] M-V-1号機飛翔実験報告書
- [2] M-V-3号機飛翔実験報告書
- [3] M-V-4号機飛翔実験報告書
- [4] 宇宙科学研究所報告 特集第16号 (1986-10, pp491-504)
- [5] 宇宙科学研究所報告 特集第29号 (1991-6, pp283-294)
- [6] 第7回 技術発表会講演集 (2001-3, pp30-35)

