

M-Vロケット1号機による第16号科学
衛星(MUSES-B)の打上げ結果の評
価について(報告)

(案)

平成9年7月23日

宇宙開発委員会技術評価部会

M-Vロケット1号機による第16号科学衛星(MUSES-B)の打上げ結果
の評価について

平成9年7月23日
技術評価部会

宇宙開発委員会技術評価部会は、平成9年2月12日に文部省宇宙科学研究所
が行ったM-Vロケット1号機による第16号科学衛星(MUSES-B)の打
上げ結果を評価するため、平成9年6月20日以来調査審議を行ってきたが、こ
のたびその結果をとりまとめたので報告する。

— 目 次 —

1	打上げの概要	1
(1)	目的	1
(2)	M-Vロケット1号機の概要	1
(3)	MUSE S-Bの概要	2
(4)	打上げの経過及び結果	2
2	打上げ結果の分析と今後の対策	6
(1)	打上げ結果の分析	6
(2)	固体モータロール制御装置 (SMRC) 及び固体モータサイド ジェット (SMSJ) の燃焼内圧異常	7
3	総合意見	9
	【別添】 打上げ整備作業中に生じた太陽電池パドルクランプケーブル の張力異常	19
	(参考1) M-Vロケット1号機による第16号科学衛星 (MUSE S-B) の打上げ結果の評価について	23
	(参考2) 宇宙開発委員会技術評価部会構成員	24

1 打上げの概要

(1) 目的

ア M-Vロケット1号機

第16号科学衛星(MUSES-B)を近地点高度約200km、遠地点高度約20,000kmの長楕円軌道に打ち上げる。

イ MUSES-B

超長基線干渉計(VLBI)衛星として、大型精密展開構造機構等の研究及び電波天文観測を行う。

(2) M-Vロケット1号機の概要

M-Vロケットは、全長30.7m、代表直径2.5m、全備重量約135トンの3段式固体ロケットで、約1.8トンの衛星を低高度地球周回軌道に打ち上げる能力を有している。

第1段は、M-14モータ(固体)、可動ノズル推力方向制御装置(MNTVC)、固体モータロール制御装置(SMRC)等で構成されている。

第2段は、M-24モータ(固体)、液体噴射推力方向制御装置(LITVC)、SMRC、固体モータサイドジェット(SMSJ)等で構成されている。

第3段は、M-34モータ(固体)、MNTVC、サイドジェット(SJ)等で構成されている。

また、今回打ち上げられた1号機は、MUSES-Bを所定の地球周回軌道に投入するために第4段を有しており、第4段は、キックモータ等で構成されている。

ロケットの形状及び主要諸元は、それぞれ図-1及び表-1に示すとおりである。

なお、M-Vロケットには、新しい技術として、

- ① 高張力マレージング鋼HT-230M製の第1段及び第2段のモータケース

- ② 第1段の切り離しと第2段の点火を同時に行うファイア・イン・ザ・ホール（FIH）分離方式
- ③ 炭素繊維強化複合材料（CFRP）製の第3段及び第4段のモータケース
- ④ 使用する直前に伸びる第3段及び第4段のモータノズル
- ⑤ 扁平導爆管を使用したノーズフェアリング開頭機構
- ⑥ ファイバ・オプティカル・ジャイロを使用したロケットの姿勢計測等が採用されている。

(3) MUSES-Bの概要

MUSES-Bは、スペースVLBIに必要な諸技術の工学実験、並びに米国、ヨーロッパ、オーストラリア等の大型電波望遠鏡等との共同によるVLBI電波天文観測を行う衛星である。

MUSES-Bは、三軸姿勢制御方式の衛星であり、約1.5m×1.5m×1mの箱形の本体には、上部に有効開口径8mの展開型アンテナ、側面に太陽電池パドル、下面にリアクションコントロールシステム（RCS）、Ku帯アンテナ等が取り付けられており、重量は約830kgである。

MUSES-Bの形状及び主要諸元は、それぞれ図-2及び表-2に示すとおりである。

MUSES-Bのミッションとしては、大型展開アンテナを始め、多周波低雑音受信、大容量データ伝送、精密姿勢制御、高精度軌道決定、位相基準信号伝送等の技術の工学実験がある。

また、MUSES-Bでは、地上の電波望遠鏡とで同時観測することにより、超長基線干渉法の原理を用いて口径3万kmの電波望遠鏡が形成され、最高70マイクロ秒角の角度分解能で天体を観測することができる。

(4) 打上げの経過及び結果

ア M-Vロケット1号機

今回の打上げは、当初、平成9年2月7日13時50分に予定されていたが、太陽電池パドルを打上げ時に固定するクランプケーブルの張力に変動が見られ、その原因究明と処置に時間を要したため、2月11日に延期

され（注）、更に、天候不良のため、2月12日に再度延期された。

（注）打上げ整備作業中に生じた太陽電池パドルクランプケーブルの張力異常については、「【別添】打上げ整備作業中に生じた太陽電池パドルクランプケーブルの張力異常」を参照。

2月12日の打上げ状況は、以下のとおりである。

打上げ時刻：平成9年2月12日 13時50分

打上げ場所：文部省宇宙科学研究所 鹿児島宇宙空間観測所

発射方位角：92.9度

発射時の天候：晴れ、南東の風7m/s、気温8.0℃

第1段については、燃焼及び飛行が正常に行われ、打上げ後75秒に第1段の切離しと第2段モータの点火が同時に行われた。

第2段については、燃焼及び飛行が正常に行われ、打上げ後197秒にノーズフェアリングの開頭が正常に行われた。

第3段については、打上げ後215秒にノズルの伸展が正常に行われ、同218秒にモータの点火が行われた。燃焼及び飛行は正常に行われ、燃焼終了後、毎秒0.8回のスピンにより上段の姿勢が安定した。

第4段については、打上げ後343秒にノズルの伸展が正常に行われ、同344秒にモータの点火が行われた。燃焼及び飛行は正常に行われ、同478秒にMUSES-Bは所定の長楕円軌道に投入された。

標準制御シーケンス及びMUSES-Bの投入軌道は、それぞれ表-3及び表-4に示すとおりである。

この間、誘導制御系をはじめとする機体各系はほぼ良好に動作し、ロケットは予定どおりの経路を飛行するとともに、追尾、計測もほぼ良好に行われ、予定したデータを取得することができた。

イ MUSES-B

(ア) 打上げ段階

所定の長楕円軌道に投入されたMUSES-Bは、「はるか」と命名された。

(イ) 初期機能確認

2月12日20時29分に宇宙開発事業団沖縄局において、また、同31分に鹿児島宇宙空間観測所において、MUSES-Bからの電波を受信した。衛星のテレメトリデータから、太陽電池パドル及びKu帯アンテナの展開等が正常に行われたことが確認された。また、電源系、通信データ処理系、計測系、熱制御系等についても、正常に動作することが確認された。

(ウ) 軌道制御

2月14日、16日及び21日の3回にわたり、RCSを作動させる軌道制御が行われ、近地点高度が実験上必要なところまで高められた。制御後の軌道要素は、近地点高度560km、遠地点高度21,400km、軌道傾斜角31度である(表-5)。

(エ) 大型展開アンテナの展開実験

2月24日23時28分~同31分にかけて副反射鏡支持柱の伸展が正常に行われ、更に、2月27日3時5分~5時53分及び2月28日6時2分~同19分にかけて主反射鏡の展開が正常に行われた。

(オ) 姿勢制御系及びKu帯アンテナ指向制御系の機能確認

3月始めから中旬にかけて、スタートラッカをはじめとする姿勢制御系の試験が行われ、正常に動作することが確認された。また、Ku帯アンテナ指向制御系の試験が行われ、正常に動作することが確認された。

(カ) 位相基準信号伝送系及びKu帯リンク系の機能確認

3月11日よりMUSES-Bと臼田地上局との間でKu帯リンク系の試験が行われ、双方向コヒーレントな通信回線の設定に成功した。

回線設定後、位相基準信号伝送系及びKu帯リンク系の試験が行われ、正常に動作することが確認された。

(キ) 電波天体からの電波の受信

3月24日に大型展開アンテナを電波天体に向け、天体からの電波の

初受信に成功するとともに、1.6GHz帯におけるアンテナの効率を推定し、設計値にほぼ一致することが確認された。

(ク) 地上電波望遠鏡との干渉実験

観測系の試験を行うため、5月7日よりMUSES-Bと地上電波望遠鏡(臼田及び鹿島)との間で干渉実験が行われ、干渉縞の検出に成功した。

2 打上げ結果の分析と今後の対策

(1) 打上げ結果の分析

ア M-Vロケット1号機

M-Vロケット1号機は、ファイア・イン・ザ・ホール分離方式、伸展ノズル等の新技术を採用した全段新規開発のロケットであるが、MUSE S-Bを所定の軌道に投入することに成功した。

また、推進系、誘導制御系をはじめとする機体各系については、以下のとおり、動作及び性能がほぼ正常であることが確認された。

(ア) 推進系

各段のモータについては、燃焼は正常であり、計画どおりの性能が得られた。

各段の推力方向制御装置については、コマンドに対して正常に動作することが確認された。

なお、ピッチ、ロール、ヨー制御に使用されたSMRC、SMSJについては、22基中19基に予想外の内圧上昇が見られたものの、姿勢制御は正常に行われた。

(イ) 誘導制御系

各段の制御系及びファイバ・オプティカル・ジャイロを使用した慣性姿勢誘導装置は、正常に動作し、姿勢制御は、第1段から第3段燃焼終了まで、正常に行われた。

この間、航法演算も正常に行われ、飛行経路は標準軌道ときわめて良く一致していた。

(ウ) その他

点火系、火工品系、計測通信系、電源系等は、すべて正常に動作し、予定したデータの取得等も正常に行われた。

以上のことにより、全段固体ロケット技術の適切な維持発展に資すること及び今後の科学観測ミッションの要請にこたえ科学衛星の打上げに利用し得ることが実証された。

イ MUSE S-B

姿勢軌道制御系、電源系、管制系等のバス機器並びに大型展開アンテナをはじめとするミッション機器について、所定の機能確認により正常に機能することが確認された。

また、位相基準信号伝送系及びKu帯リンク系の試験並びに地上電波望遠鏡との間の干渉実験を通じて地上と宇宙とが連携した天文観測に成功した。

以上のことにより、スペースVLBI衛星として基本的な機能を満たしていること及び電波天文観測に資することが実証された。

(2) 固体モータロール制御装置 (SMRC) 及び固体モータサイドジェット (SMSJ) の燃焼内圧異常

ア SMRC及びSMSJの概要

SMRC及びSMSJは、同一仕様の固体モータであり、燃焼による高温ガスの噴射方向を切り換えることで、制御力を得る姿勢制御装置である。

SMRCは、第1段の後部筒外壁に16基、第2・3段接手部に2基搭載されており、第1段及び第2段モータ燃焼中のロール角制御を行う。

SMSJは、第1・2段接手内に4基搭載されており、第2段モータ燃焼終了後の三軸姿勢制御を行う。

イ 異常の状況

搭載された22基のSMRC及びSMSJのうち19基において、燃焼時に、正常な場合の1.2～1.8倍に及ぶ一時的な内圧上昇が見られた(図-3)。さらに、内圧上昇が見られたもののうち1基については、圧力ピーク時に安全弁が作動し、内圧が低下するとともに、制御力が失われた。

なお、第1段及び第2段モータ燃焼中のロール角制御及び第2段モータ燃焼終了後の三軸姿勢制御は、正常に行われた。

ウ 異常原因の推定

製造履歴等を調査した結果、内圧上昇が見られたものは、すべて新型の推進薬成型治具で製造されており、内圧上昇が見られなかったものは、開発時から使用している旧型治具で製造されていたことが判明した(表-6)。

治具は、推進薬部製造工程のうち、成型・硬化・離型の工程で使用するものである(図-4)。旧型では内壁に離型シートを使用するのに対し、新型ではテフロンコーティングした内壁に離型剤(シリコングリス)を塗布している。このため、新型治具で製造したものは、推進薬外周部に離型剤が一部残存しており、レストリクタ(火炎進入防止部材)との接着が不完全であったものと考えられる。

また、新型治具で製造されたものを用いて再現性試験を行った結果、内圧上昇の発生及びその際の推進薬外周部(レストリクタとの接着面)への火炎の進入、一時的な燃焼面積の増大が確認された(図-5)。

以上のことから、SMRC及びSMSJの燃焼内圧異常の原因は、推進薬部製造工程で新たに使用した離型剤が推進薬外周部に残っていたために、推進薬外周部とレストリクタとの接着が不完全な部分が生じ、この不完全な接着部分に燃焼中に火炎が進入し、一時的に燃焼面積が増大したためであると推定される。

エ 今後の対策

今回のSMRC及びSMSJの燃焼内圧異常については、早期燃焼終了又は安全弁の作動による制御力の喪失という潜在的な危険性があった。

今後は、治具、作業手順、作業者等を含め製造工程に変更があった場合には、新しい工程で製造された製品について、工程変更による影響を十分に考慮しつつ適切に品質確認試験を行い、製品の品質保持に努める必要がある。

3 総合意見

M-Vロケット1号機については、第16号科学衛星(MUSES-B)を所定の軌道に投入することができた。

また、MUSES-Bについては、搭載機器が順調に動作しており、スペースVLBI衛星として基本的な機能を満たしていること及び電波天文観測に資することが実証された。

以上のことから、M-Vロケット1号機によるMUSES-Bの打上げの所期の目的は達成されたと評価する。

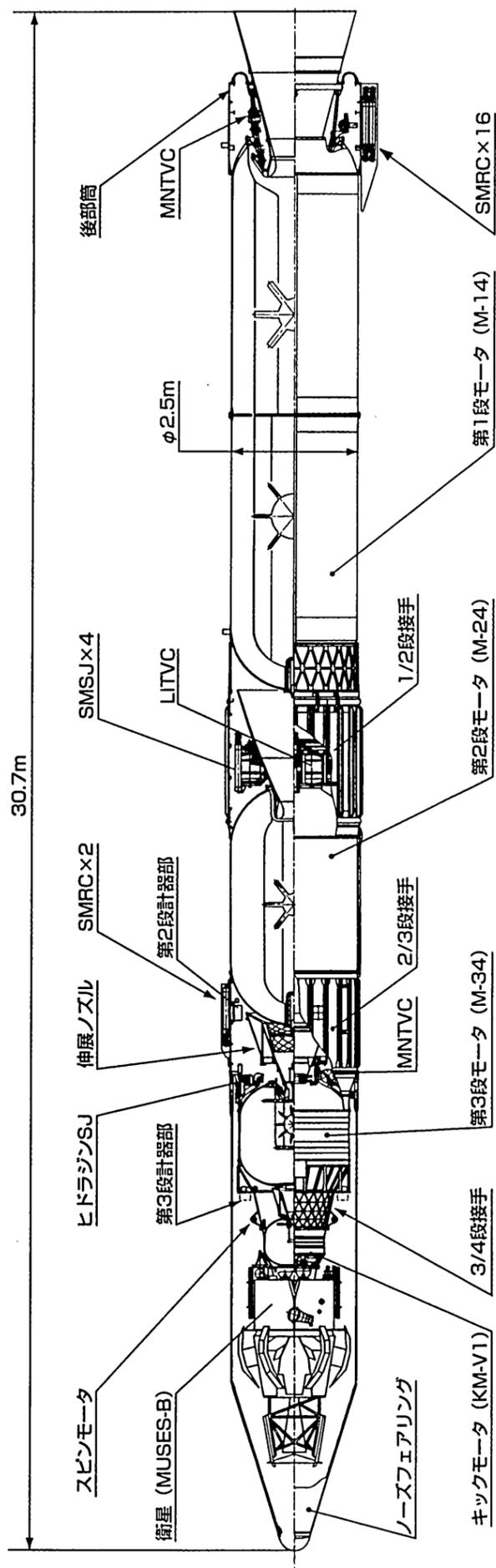


図-1 M-Vロケット1号機の形状

MNTVC: 可動ノズル式推力方向制御装置 LITVC: 液体噴射式推力方向制御装置 SMRC: 固体モータローラ制御装置 SJ: サイドジェット
SMSJ: 固体モータサイドジェット

表-1 M-Vロケット1号機の主要諸元

	第1段	第2段	第3段	第4段
全長 (m) (収納時/伸展時)	13.73	6.83	3.49/4.17	1.57/1.97
直径 (m)	2.5	2.5	2.2	1.2
各段重量 (t)	83	34	11	1.5
推進薬重量 (t)	72	31	10	1.4
真空比推力 (sec)	274	287	302	298
平均真空推力 (t)	393	127	30	6
有効燃焼時間 (sec)	50	70	101	68

表-2 MUSES-Bの主要諸元

形 状	本 体：1.5m×1.5m×1mの箱形 太陽電池パドル：1m×1.18m 6枚
衛 星 重 量	約830kg
軌 道	種 類：長楕円軌道 近地点高度：560km 遠地点高度：21,400km 軌道傾斜角：31度 周 期：6時間20分
姿勢軌道制御系	方 式：ゼロモーメント三軸姿勢制御方式 セ ン サ：慣性基準装置、太陽センサ、 スタートラッカ、地磁気センサ、 加速度計、サンプレゼンスセンサ アクチュエータ：リアクションホイール、磁気トルカ、 リアクションコントロールシステム 大型展開アンテナ 指向精度：±0.01度
電 源 系	太陽電池 セ ル：シリコン(2cm×4cm) 枚 数：7,332枚 発生電力：約730W(打上げ直後) バッテリ セ ル：ニッケルカドミウム 個 数：32個(1個28AH)
通信データ処理系	管制 送信周波数：2.3GHz 受信周波数：2.1GHz ビットレート：32kbps(再生時) 8kbps(リアルタイム時) 観測 送信周波数：14.2GHz 受信周波数：15.3GHz ビットレート：128Mbps
大型展開アンテナ	有効開口径：8m 最大構造径：10m 鏡面精度：0.6mm rms(地上での実測値) 角度分解能：1000マイクロ秒角(1.6GHz帯) 300マイクロ秒角(5GHz帯) 70マイクロ秒角(22GHz帯)
観 測 周 波 数	1.60~1.73GHz 4.7~5.0GHz 21.9~22.3GHz
寿 命	1年

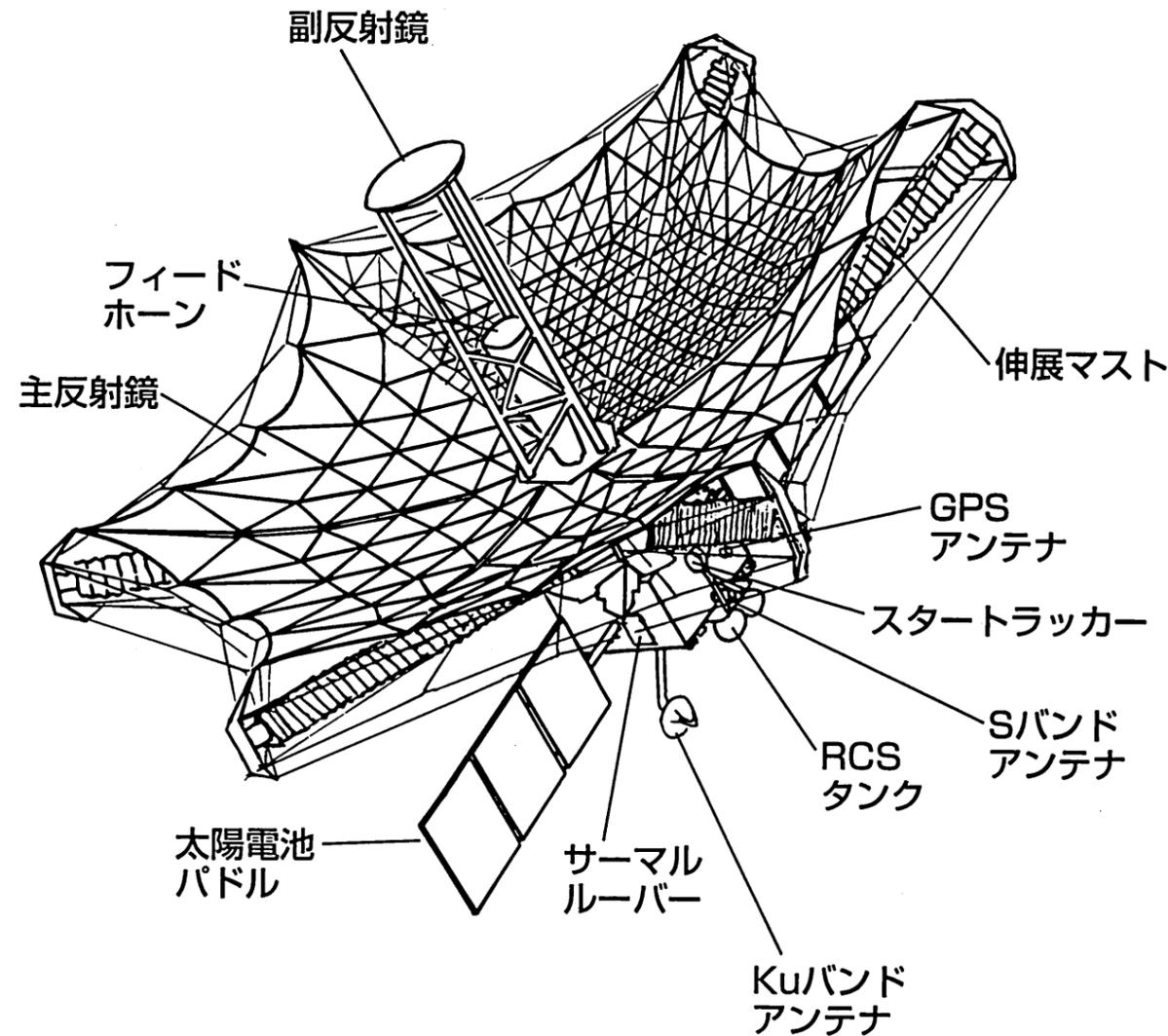


図-2 MUSES-Bの形状

表-3 標準制御シーケンス（計画値）と飛行結果

イ ベ ント	計画値 [秒]	飛行結果 [秒]
第 1 段 点 火	0	0.08
第2段点火/第1段分離	75	75.08
ノーズフェアリング開頭	197	197.08
第 2 段 分 離	213	213.08
第 3 段 ノズル 伸 展	215	215.09
第 3 段 モーター 点 火	218	218.09
第 3 段 分 離	339 (注)	340.09
第 4 段 ノズル 伸 展	343	343.1
第 4 段 点 火	344	344.1
第 4 段 分 離	478	478.1

(注) 修正コマンドを受信したため、実際には計画値より1秒遅らせて制御した。

表-4 MUSES-Bの投入軌道（第4段分離後）

軌道パラメータ	計画値	飛行結果
遠地点高度 (km)	約20,000	21,000
近地点高度 (km)	約200	220
軌道傾斜角 (度)	約31	31
周 期 (分)	—	371

表-5 MUSES-Bの投入軌道（軌道制御後）

軌道パラメータ	計画値	飛行結果
遠地点高度 (km)	約20,000	21,400
近地点高度 (km)	約1,000	560
軌道傾斜角 (度)	約31	31
周 期 (分)	—	380

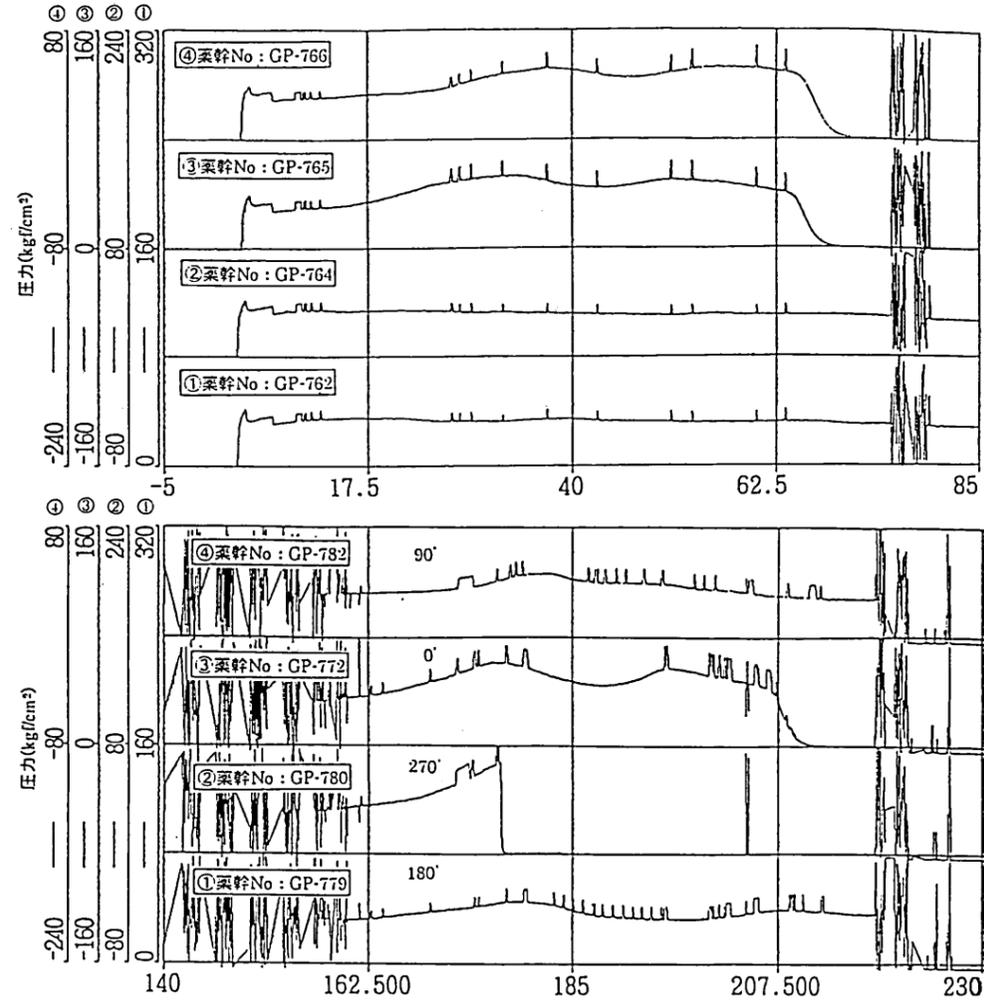
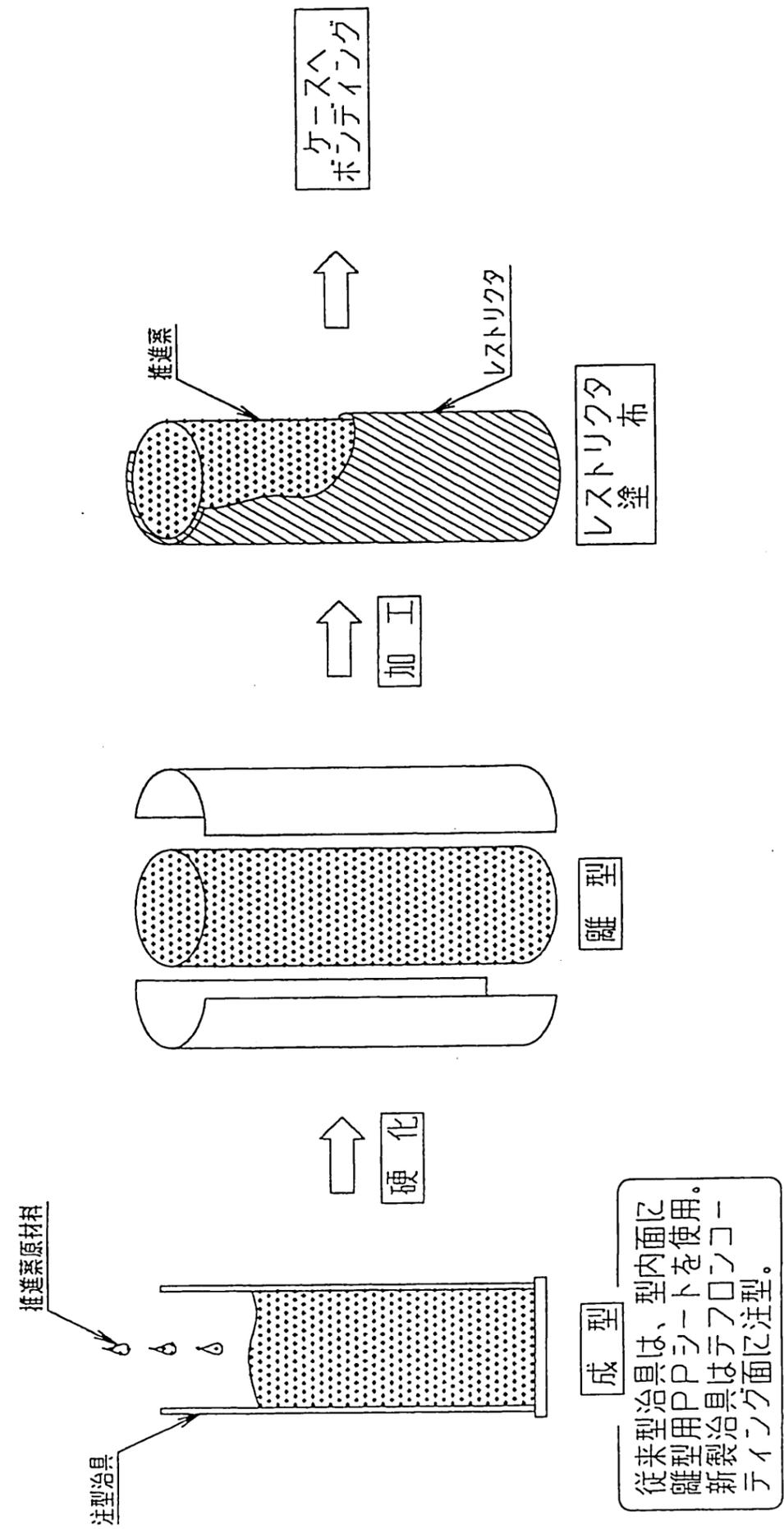


図-3 SMRC及びSMS Jの燃焼内圧（横軸は発射後秒）
備考：GP-762及びGP-764のデータは圧力変動の無いものである。
左右のデータの変動はテレメータノイズによるものである。

表-6 圧力変動の有無と成型治具

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
薬幹製造番号	GP-762	GP-763	GP-764	GP-765	GP-766	GP-767	GP-768	GP-769	GP-770	GP-771	GP-772	GP-773	GP-774	GP-775	GP-776	GP-777	GP-778	GP-779	GP-780	GP-781	GP-782	GP-783	GP-784	GP-785
圧力変動の有無	無	無	無	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
成型治具新旧	旧	旧	旧	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新	新

備考：20番及び23番の薬幹は非フライト品である。



従来型治具は、型内面に
離型用PPシートを使用。
新製治具はテフロコー
ティング面に注型。

図-4 SMRC及びSMS J推進薬部製造工程

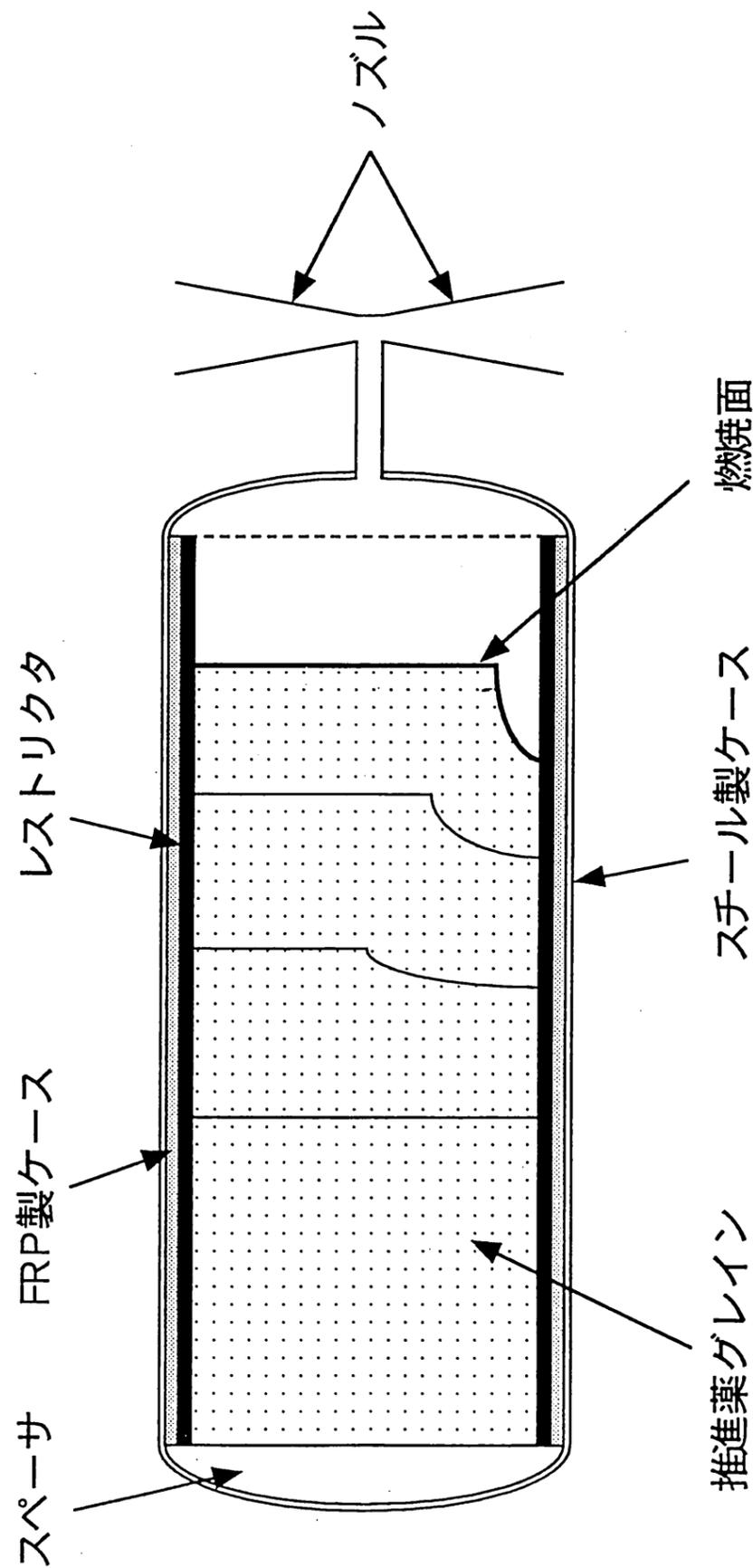


図-5 燃焼内圧変動時燃焼面

【別添】 打上げ整備作業中に生じた太陽電池パドルクランプケーブルの張力異常

1 太陽電池パドルの保持機構の概要

搭載された2翼の太陽電池パドルは、打上げ時には、クランプケーブルにより保持されているが、軌道投入後は、リリースケーブルを切断し、クランプケーブルによる保持を解くことにより、バネの力で展開するようになっている(別添図-1及び別添図-2)。

2 異常の状況

1月24日、クランプケーブル及びリリースケーブル各1本に予想を超える張力の変動(各々約-25%及び+30%)が発見された。保持機構を分解して調査した結果、側面パネル(ハニカムサンドイッチ板)の保持機構取付面(インサート)にわずかな傾斜が見られた。

3 異常原因の推定

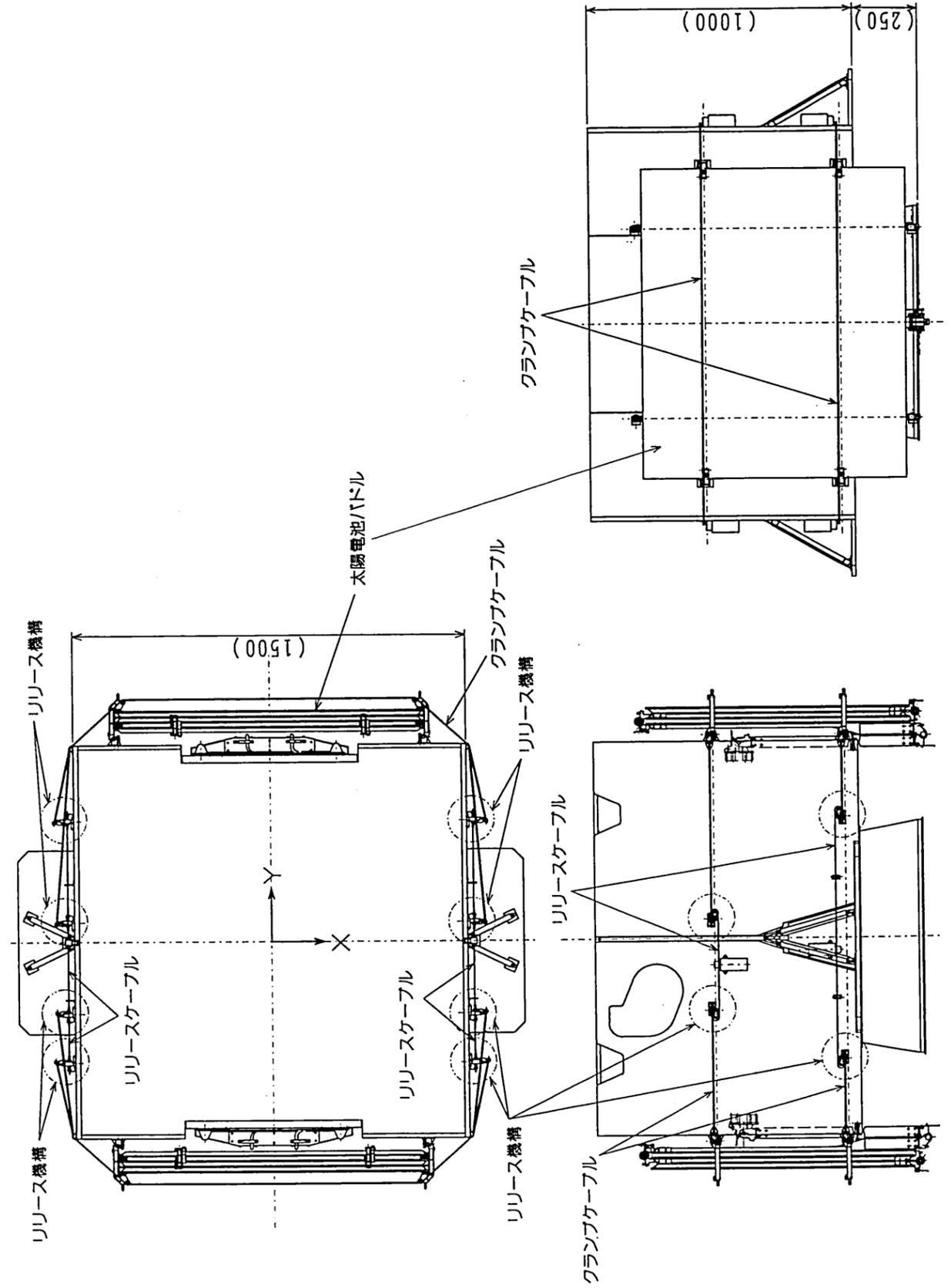
わずかな傾斜が見られた保持機構取付面に荷重を付加して、面の傾斜の変化を測定したところ、正常な面に比べて大きなヒステリシス(負荷を除去した後に一定の傾斜が残る現象)が見られたことから、インサート周辺のハニカムコアの一部が破損したものと判断された。

インサート周辺のハニカムコアについては、設計上の強度に問題のないこと、また、製造段階及び1月15日までの整備作業では正常であったことが確認されていることから、破損した原因は、インサート周辺のハニカムコアに1月15日以降の作業中に認識されないままに過大な荷重が作用したためであると推定される。

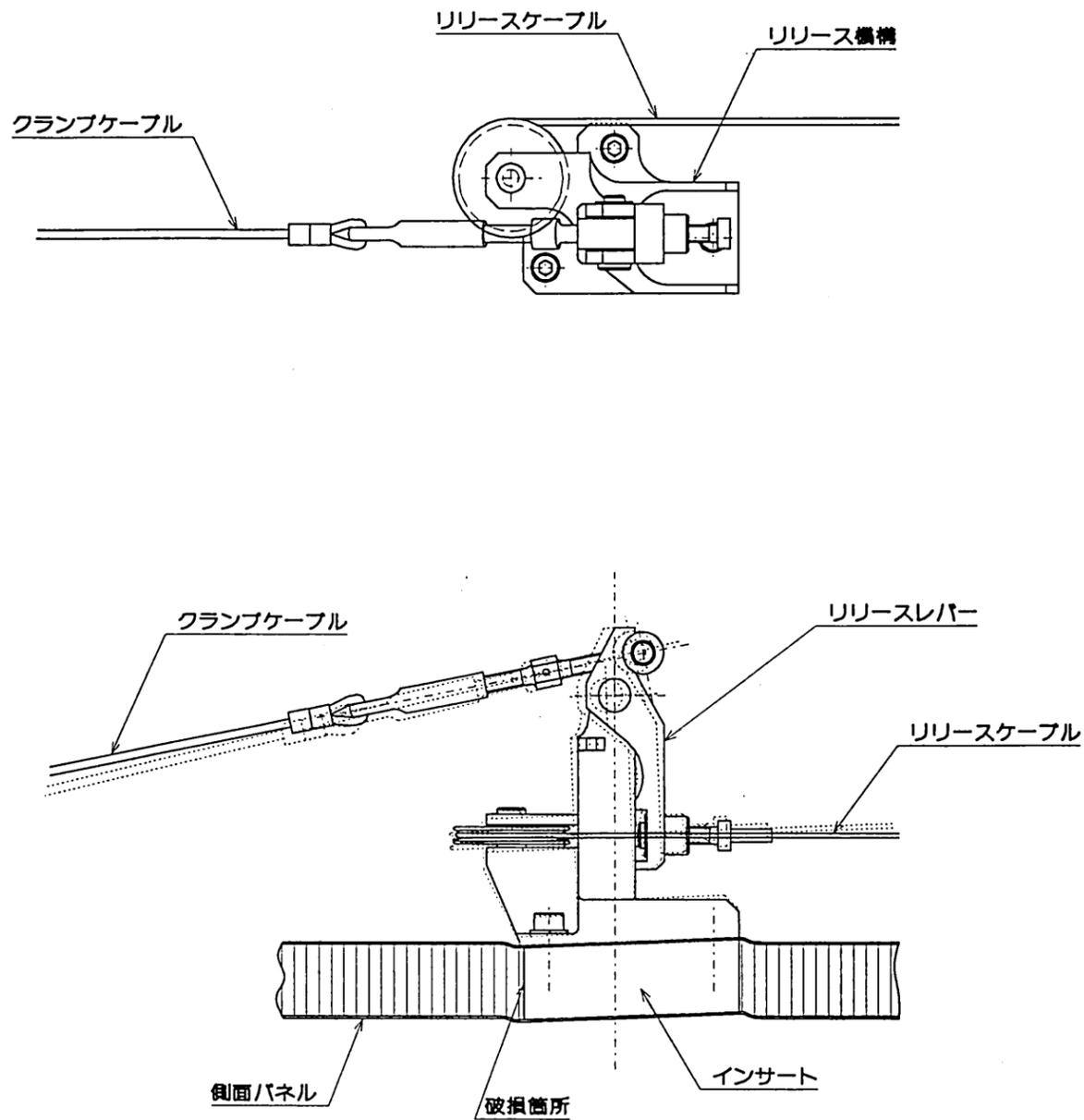
4 処置内容及び今後の対策

ハニカムサンドイッチ板の表皮板に小穴を開けてインサート周辺のハニカムコアに充填材を注入/硬化させるとともに、小穴を開けた表皮板にはあて板を接着することにより、ハニカムサンドイッチ板を補強した。

今後は、プリロードが付加されて外部に露出しているケーブル等については、
 打上げまでの作業を慎重に行うとともに、定期的なプリロード検査及びケーブ
 ル周辺の外観検査をより一層充実させる必要がある。



別添図-1 太陽電池パドル外観図 (収納状態)



別添図-2 太陽電池パドル保持機構

M-Vロケット1号機による第16号科学衛星(MUSES-B)の打上げ結果の評価について

平成9年5月28日
宇宙開発委員会決定

1. 調査審議事項

平成9年2月12日に文部省宇宙科学研究所が行ったM-Vロケット1号機による第16号科学衛星(MUSES-B)の打上げ結果を評価するために調査審議を行うものとする。

2. 調査審議の進め方

上記の評価に必要な技術的事項について、技術評価部会において調査審議を行うものとする。この調査審議は7月末までに終わることを目途とする。

宇宙開発委員会技術評価部会構成員

(部会長)

井口 雅一 (財)日本自動車研究所長、東京大学名誉教授

(部会長代理)

原島 文雄 東京大学生産技術研究所教授

上杉 邦憲 ○ 文部省宇宙科学研究所教授

大森 慎五 郵政省通信総合研究所宇宙通信部長

木村 好次 香川大学工学部創設準備室教授

久保田弘敏 東京大学大学院工学系研究科教授

小林 康德 ○ 文部省宇宙科学研究所教授

塩野 登 (財)日本電子部品信頼性センター専務理事付部長

中島 厚 科学技術庁航空宇宙技術研究所

宇宙研究グループ第12研究グループグループリーダー

西島 敏 川崎重工業(株)技術顧問

野中 保雄 東京理科大学工学部教授

松崎 雄嗣 名古屋大学大学院工学研究科教授

三浦 秀一 宇宙開発事業団理事

宮島 博 科学技術庁航空宇宙技術研究所

角田宇宙推進技術研究センター長

安永 啓一 日本放送協会技術局技術主幹

○印の専門委員は、今回の調査審議については説明者として参加。