

M - 3 C の構造と機能

橋元 保雄・八坂 哲雄*・小野田淳次郎

1. M - 3 C の構造の特色

M - 3 C型ロケットはM - 4 Sと比較して構造と外形の上からは

- a. 第2段に TVC 付きの改良型モータの採用
- b. 第3段に新型球形モータの採用
- c. 全段が同一直径の3段式

の3点が主要な構想の相違点であるが、これに伴って構造上に関しては以下のように改造が施された [1] [2].

- i) 1・2段切離し接手
- ii) 2・3段切離し接手
- iii) ノーズフェヤリングと計器部
- iv) 第2段 (M - 22) モータケース
- v) 第3段 (M - 3 A) モータケース

本稿ではこれらの各項について研究開発の経過を述べる。

2. 接 手

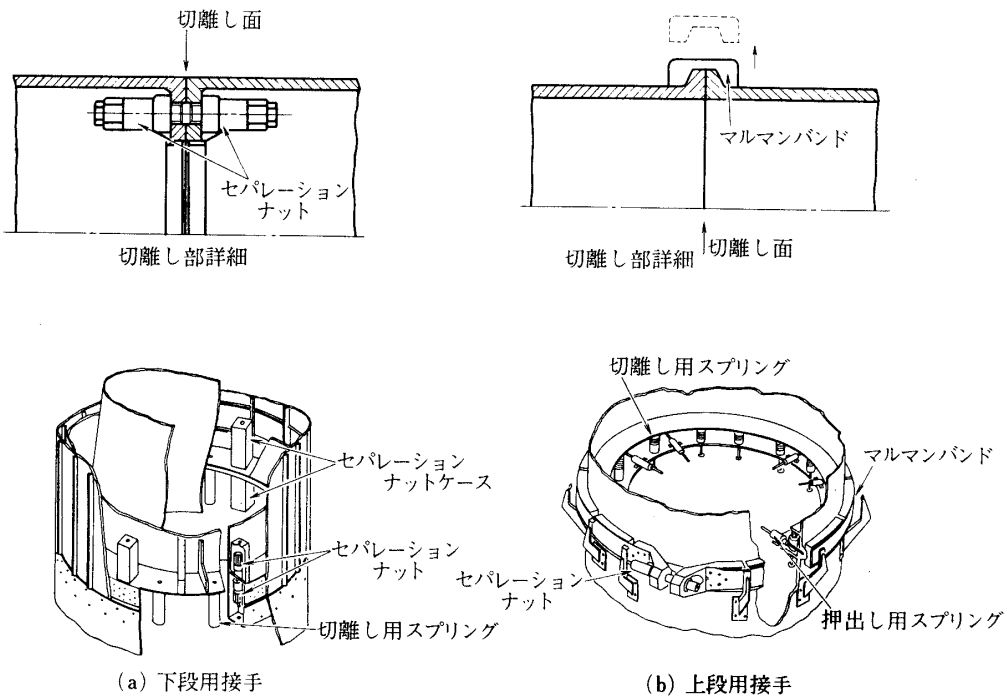
2.1 開傘型切離し接手の構想

多段ロケットの切離し接手にはこれまで各種の形式が使われているが、M - 4 Sでは第1図に示すように下段用としてはセパレーションナットを直接に結合要素として用いた形式を、また上段用としてはセパレーションナット付きマルマンバンドを採用して来た [3] [4] [5]. しかしM - 3 Cにおいては基本計画の当初からM - 4 Sとは異った形式の接手の必要性が予見された。

その主な理由が下記の2点である。

- i) 性能向上(衛星投入能力の増大)の観点から上段側重量をできるだけ軽くする：3段式のM - 3 Cで4段式のM - 4 Sと同等以上の衛星を打上げるには、上段重量を一層軽減することが要請された。このため接手の切離し面をなるべく上段側に位置させる必要がある。
- ii) 切離しにおいて上下の段が相互に接触してはならない：第2段モータのノズル周りには TVC (2次流体噴射推力制御) とサイドジェットエンジンとが配置されている。また第3段モータのノズルは開口比が大きくかつ強度的には弱い構造である。

* 日本電信電話公社



第1図 M-4 S型切離し接手 a. 下段用接手
b. 上段用接手

切離し直後に下段部がこれらの装置やノズルに接触することは、切離しの完遂、上段へ与える擾乱および制御機器の作動等の見地から絶対に避けなくてはならない。

以上の条件にそって各種の接手形式を考慮したが、1・2段接手用として選出された候補には次の4形式がある。

a. 2段階切離し方式：第2図に示すように先ず下段部を切り落とし、ついで上下段重複部の外筒を切離す方式（サタン型ロケットにこの例がある）。

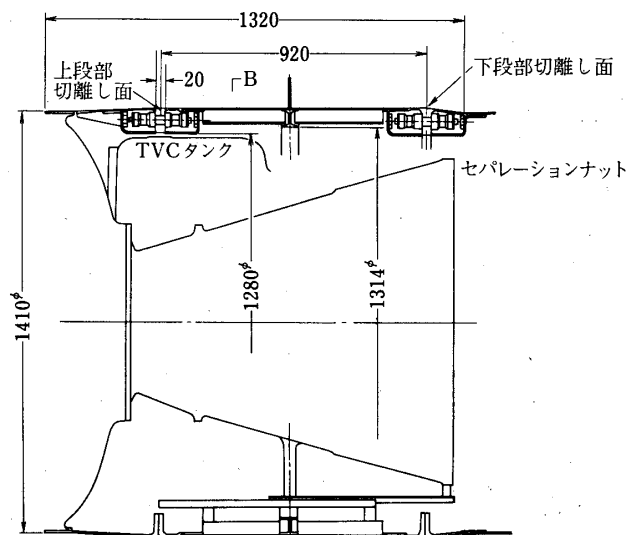
b. 開傘型切離し方式：第3図に示すように結合は三角トラス組にて行い、切離しの直後にこのトラス組を外方に開いて相互の接触をさける。接手をトラスでなしに殻で作る場合もある。

c. 成形火薬で縦横に切離す方式：成形火薬により接手殻を縦横に切離し、なお下段にヒンジを設けて切断片を開傘させる。（サタン型ロケットにこの例がある）。

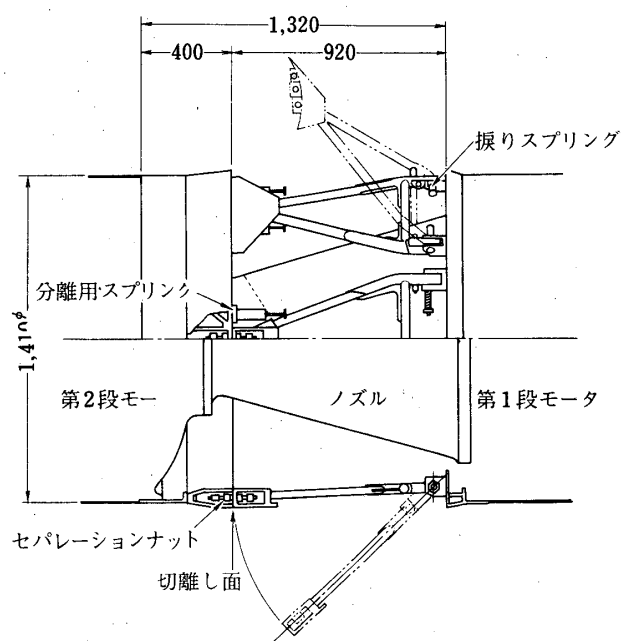
d. M-4 S型切離し方式：セパレーション・ナット6組を用い第2段モータのノズル後端で切離す。

これらの諸方式についてM-3 Cの1・2段に用いるとした場合の得失を比較したのが第1表である。結局 (b) を採用したが、これを決定した時期に先行してすでに昭和45年には (b) の方式を直径480 mm φの小型接手モデルにて試作研究している。第4図に示すのがそれでラムダロケットの2・3段接手への適用を想定したものである。

(b) の方式をM-3 Cに適用するに際しての基本構想は次の如くである。



第2図 2段階切離し接手



第3図 開傘型切離し接手 (M-3C型)

第1表 両方式の比較

	a 2段切離方式	b 開傘方式													
1. 切離機構	<ul style="list-style-type: none"> セパレーション・ナットは6組2段で本型式はM-4Sで経験あり. 切離しが2回必要である. 円筒状分離部を円滑に離脱させる考慮がある 	<ul style="list-style-type: none"> セパレーション・ナット6組で、トラス組の開傘方式として実用の経験はない. ラムダ用480型寸度での地上試験は46年10月実施済み. 切離しは1回でよい. 													
2. 強度	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状分離部は比較的強度剛性を確保し易い. 接手部での応力集中と有効剛性低下は注意を要す. それが2個ある. 	<ul style="list-style-type: none"> 有効剛性はモータケース部と比べて40%となる. 上段側の応力集中を緩和させる諸方案が必要である. ピン部のガタは最大0.04mmである 													
3. 艤装	<ul style="list-style-type: none"> 点検には開孔部が必要. 各段組付後のTVC・サイドジェット装置の取外しは困難 	<ul style="list-style-type: none"> 機器の点検調整が便利 垂直組付後でもロール制御各部の取外し可能 空気流・火焰の廻り込みは注意を要す. 													
4. 空力	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状分離部が離脱する際のM-22モータ火焰との関係. 2段点火時のバックフレーム 	<ul style="list-style-type: none"> 空気流の廻り込み 1段点火時の火焰の廻り込み 2段点火時のバックフレーム 													
5. 切離	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>1次</td> <td>2次</td> </tr> <tr> <td>相対加速度</td> <td>1.5g</td> <td>1.7g</td> </tr> <tr> <td>相対速度</td> <td>0.8m/s</td> <td>0.8m/s</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> 円筒部の二重衝突のおそれあり レトロモータの算定と取付 		1次	2次	相対加速度	1.5g	1.7g	相対速度	0.8m/s	0.8m/s	<table border="0"> <tr> <td>相対加速度</td> <td>1.5g</td> </tr> <tr> <td>相対速度</td> <td>0.8m/s</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> レトロモータの算定と取付 	相対加速度	1.5g	相対速度	0.8m/s
	1次	2次													
相対加速度	1.5g	1.7g													
相対速度	0.8m/s	0.8m/s													
相対加速度	1.5g														
相対速度	0.8m/s														
6. 重量試算	<table border="0"> <tr> <td>2段側</td> <td>91kg</td> </tr> <tr> <td>1段側</td> <td>332kg</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>423kg</td> </tr> </table>	2段側	91kg	1段側	332kg	計	423kg	<table border="0"> <tr> <td>2段側</td> <td>99.5kg</td> </tr> <tr> <td>1段側</td> <td>249kg</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>348kg</td> </tr> </table>	2段側	99.5kg	1段側	249kg	計	348kg	
2段側	91kg														
1段側	332kg														
計	423kg														
2段側	99.5kg														
1段側	249kg														
計	348kg														
7. 開発	<ul style="list-style-type: none"> 切離しに予備試験をあまり必要とせず、比較的開発日数は短い 円筒部離脱の検討が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 地上開発試験が必要 小型機による飛しょうテストが必要. 													

i) 切離し面は上下段重複部の上端に置き、切離し後の相互接触を防止するために下段は開傘させる。

ii) 1・2段接手では6組の鋼管製三角状トラスを用い、その各々をセパレーション・ナットとピンで上下に結合する。

iii) 2・3段接手は4割の截頭円錐殻を用い、これをセパレーション・ナット付きのマルマンバンドで結合する。

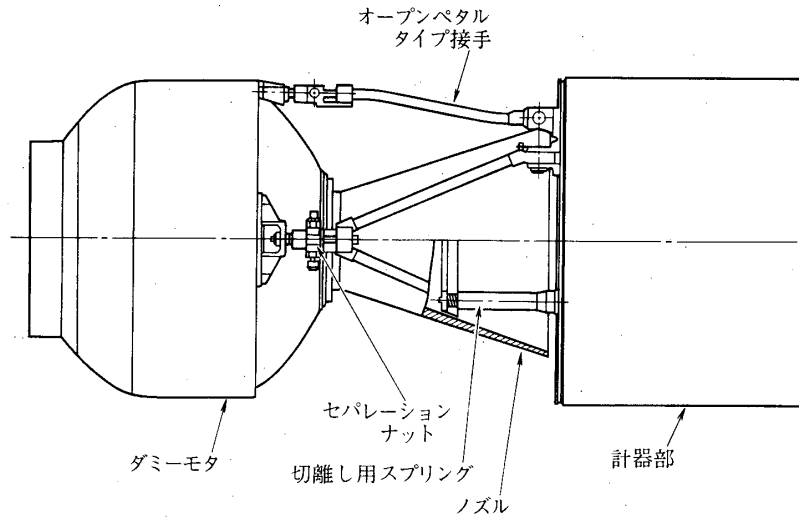
開発では1・2段接手に重点をおき、これを先行させ、その成果を見とどけてから2・3段接手を仕上げることにした。

2.2 小型モデルによる開発試験

実機型の試作設計に進む前に3種類の小型モデルによる予備試験を行った。

2.2.1 480型接手 (昭和45年)

前に述べたようにラムダロケットの3・4段接手の改良型として試作した。ラムダの第4



第4図 480型切離し接手

段モータにフィラメント・ワインディング球形ケースを採用すると、その赤道部を接手取付部にすることが望ましく、また開口比の大きいノズルの採用が望まれたからである。

外観は第4図に示すが、アルミニウム合金パイプ8本によるトラス状構造で、上段側ジョイントにセパレーション・ナットを取り付けてある。強度および機能試験において、大綱として所期の強度と機能を持っていることが判り、この種の接手が見込のあることが確められたが、強度試験においてアルミパイプの屈曲部に応力が集中し変形を起し易いこと、および開傘の際にストップでの衝撃によりやはり支柱に変形が生ずることが改善すべき不具合事項として指摘された。

2.2.2 420型接手（昭和46年）

前の480型で構造的になお吟味を要することが判ったので、M-3Cの予備試験機K-10C-4機で将来飛しょう実験を行うことを推定して、前もって直径420mmφの接手構造の試作を行った。

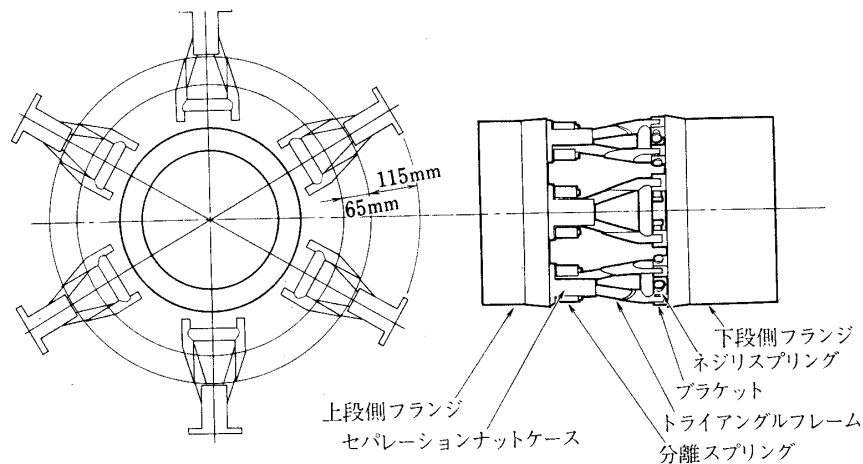
圧縮および曲げ試験を行った結果下段側支持部（ヒンジ）に大きな応力集中が発生し、これが機体の軸心および真直度を維持するために重要な問題であることが判り、また各三角トラスを精度よく仕上げるのが荷重分担の上からも必要であることが認識された。

2.2.3 K-10C-4用接手（昭和48年）

本方式の接手では、420型接手で支柱部に応力集中が発生したこと、また機体の精度、剛性の観点から支柱部に低辺メンバーを追加した。これらの接手は外板がないので、内部機器の点検には便利であるが反面、空気流のまわり込みによる風圧と熱の影響が懸念される。

このように接手の強度と機能に加えて空気流等の状況を予備的に試験することを主目的としてK-10C-4号機が計画された。

第5図に示すように本機はM-3Cの相似試験機として、特に接手まわりはほぼ完全な1/4



第5図 K-10C-4号機 (M-3C 1/4 相似)

縮尺の相似模型となっている。地上試験としては小型モデルによる超音速風洞試験と、実機と同一品による強度、機能試験とを行ったが、飛しょう試験において切離しが円滑に計画通り行われることが確認された。風のまわり込みは最高動圧比 1/10 であること、温度上昇 50℃以下、切離しの衝撃は計器部で最高 3.4 G であること等が計測された。

2.3 M-3C 用 1・2 段切離し接手

2.3.1 構造強度

M-3C 用 1・2 段接手を第 3 図に示す。小型モデルで得た知識を吟味しながら三角枠組構造単体の強度試験で枠組の応力分布を確かめた上で実機と同一の地上試験器材を製作して強度、剛性試験を行った。

2.3.1.1 荷重条件

飛行力学の解析により接手への負荷として下記が仕様になっている。

軸力 (圧縮) : $11.1 \text{ ton} \times 4.5 \text{ G} \approx 50 \text{ ton}$

曲げ (切断面) : $51.4 \text{ ton} \cdot \text{m}$

剪断 : $11.1 \text{ ton} \times 2 \text{ G} \approx 22.2 \text{ ton}$

軸方向振動加速度 : $11.1 \text{ ton} \times 2 \text{ G} \approx 22.2 \text{ ton}$

上段側重量 : 11.1 ton, 同重心位置は切断面より 3.32 m

上記の荷重により三角枠単体への最大負荷は下記である。

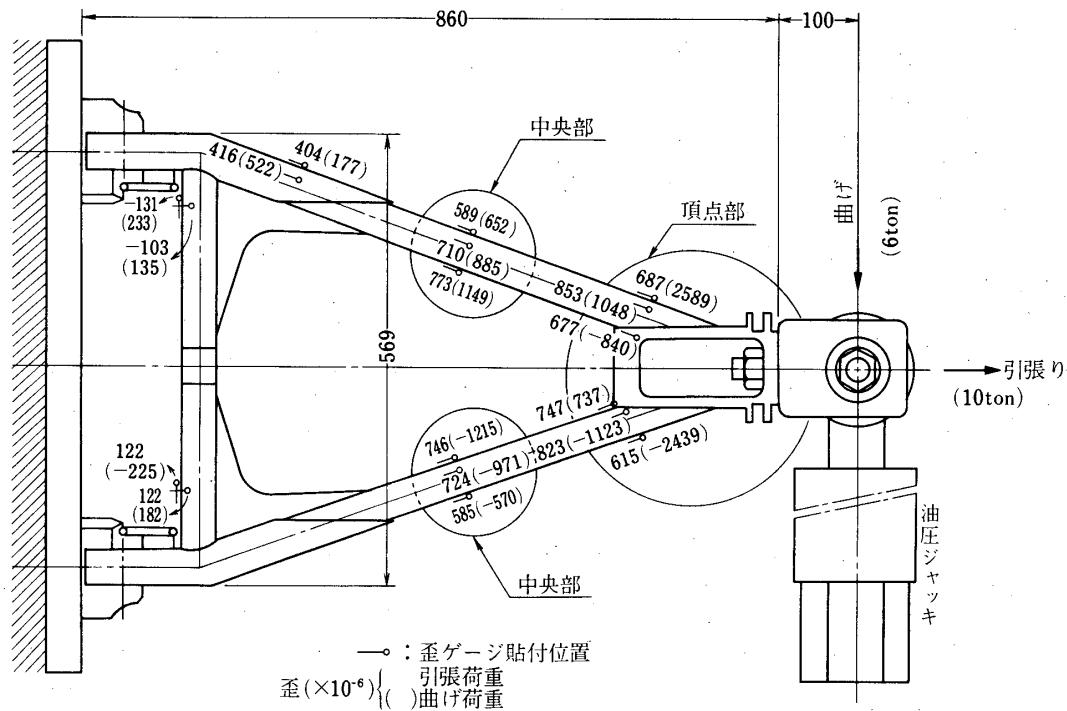
軸力 : 25.4 ton

剪断 : 11.1 ton

ここに曲げによる軸力 (圧縮または引張り) は上下各々 2 組の枠組で分担することとし、また剪断は真横に位置した左右一対の枠組が分担する場合を最大値としている。

2.3.1.2 三角枠強度試験

三角枠単体強度試験は第 6 図のように供試体を鉄塔に片持で支持し、上段側端部に引張りおよび曲げ荷重を加えた。



第6図 三角棒単体強度試験 (歪計測結果)

i) 引張試験

0~10 ton まで2ton 刻みで負荷した. 部材 (支柱) 中央部の歪は600~800 μ で計算値 (762 μ) と良く一致している. その他特に応力集中の大きな点は認められない.

ii) 曲げ試験

0~6 ton まで1ton 刻みで負荷した. 取付部での曲げモーメントは5.8 ton-m, 部材 (支柱) 中央部の歪は600~1200 μ で計算値 (967 μ) との対応は良い, ただし頂点部で2000 μ 以上の歪を示しているのは取付部の影響により局部曲げモーメントが発生しているためである.

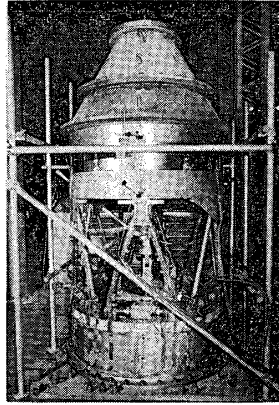
底辺パイプの歪は支柱の約1/3であった. 第6図に引張り, 曲げ試験の最大負荷時の歪測定値を示した.

2.3.1.3 実機型接手 (地上試験用) 強度試験

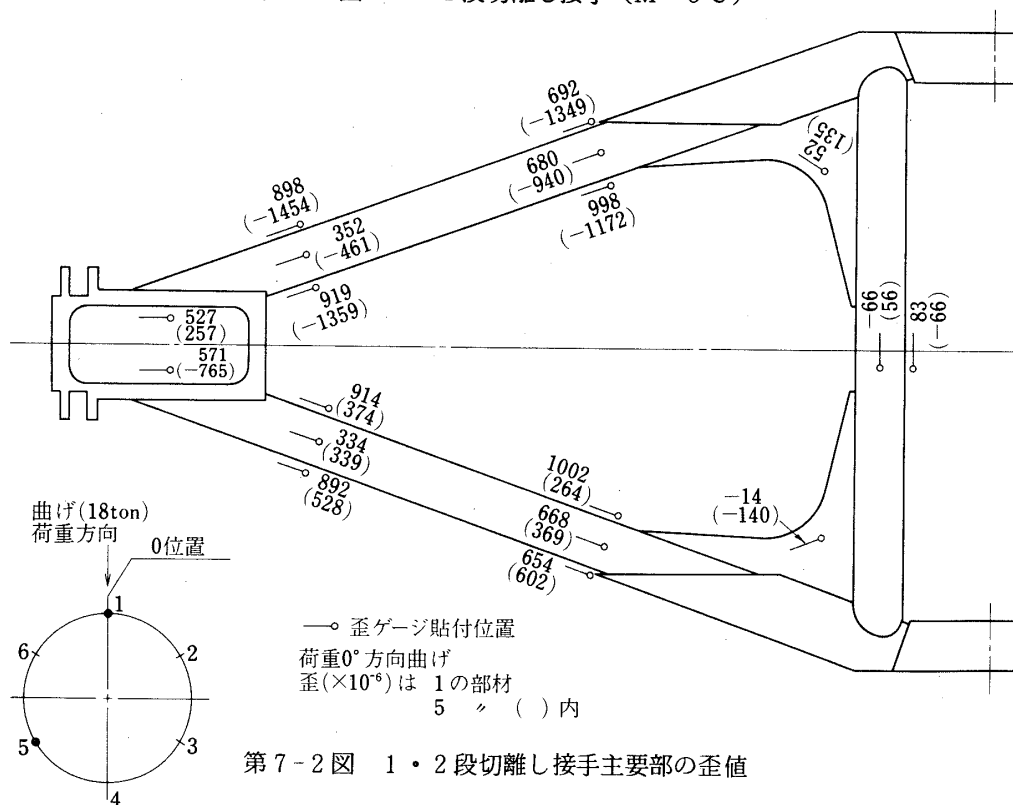
i) 曲げ試験

第7-1 図に示すように供試体を鉛直に支持し, 0° と 90° 方向の2 ケースについて横荷重を0~18 ton まで2ton 刻みで負荷した. 荷重点はM-3 Cの2 段重心位置とし, 接手上, 下端までの距離は1945 mm, 3260 mm, 最大曲げモーメントは35.0 ton-m, 58.7 ton-m である. これは約1.5 G 相当の横荷重である. 測定は歪284 点, ダイヤルゲージによる変位12 点である. 主要部 (支柱) の歪を第7-2 図に示す.

ii) 圧縮試験



第7-1図 1・2段切離し接手 (M-3C)



第7-1図に示した供試体を鉛直に立てて0~25 ton まで5 ton 刻みで負荷した。設計荷重は50 ton である。

最大負荷時の歪測定値は300 μ 以下で、曲げに比べ格段に低く、局部座屈も起らない。最大撓み量は0.6 mm 以下であった。

これらの試験結果から、強度、剛性とも十分であることが確認された。歪量から求めた応力は30 kg/mm² 以下であり、設計荷重(横2G)での安全率は2以上である。

2号機からは、上記の構造試験結果を勘案して1号機で本接手の成果を確認した上で、三角枠組の低辺部材の肉厚(3~5 mm テーパー)を小さく(2 mm)し、またリブの太さも約1/2にして軽量化を図った。

2.3.2 切離機能

2.3.2.1 機能上の諸元

i) 分離

分離用スプリング：530 kg， ストローク：48 mm， 12本

分離加速度：上段0.57 G， 下段1.08 G

分離速度：上段0.30 m/s， 下段0.58 m/s

相対速度：0.88 m/s

セパレーション・ナット：26φ， 2重

ii) 開傘：上下段が100 mm 分離した後にトラスの開傘が開始する。

振りスプリング：7.35 kg-mm， 12本

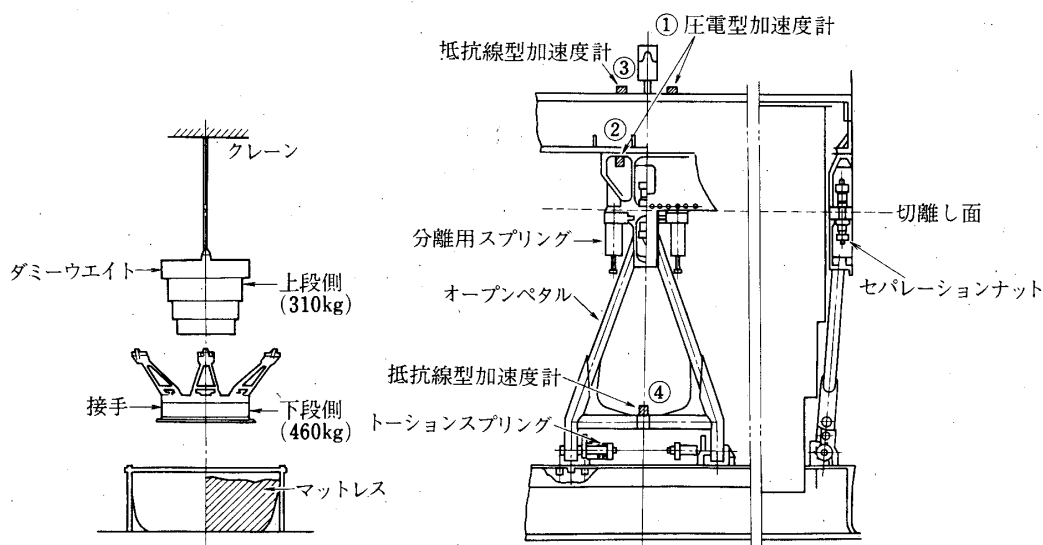
開傘秒時：0.38 sec (45°)

2.3.2.2 機能試験

第8図に切離しの状況を示すように機器を吊上げて、切離し後下段側が自重で落下する方式で試験を実施した。

本方式は0 Gの試験でないので完全なシミュレーションにはならないが、各機能機器の作動、斉一性、擾乱、衝撃等の資料は得られこれから0 G状態での切離しの推定が可能である。セパレーション・ナットはダブル方式とシングル方式の両者を試験した。

結果を第2表に示すように機能が良好であることを確めた。



第8図 1・2段切離し接手の機能試験

第2表 1・2段切離し接手の計測結果

試験回数		1 回目	2 回目	3 回目
試験条件	落下高さ (m) セパレーション・ナット 分離スプリング	0.7 ダブル なし	0.7 シングル なし	1.2 ダブル 3本
作動秒時 (msec)	点火—開傘始め 開傘始め—開傘	各トライアングルの 最小と最大時間 92~ 96 267~325	各トライアングルの 最小と最大時間 117~119 266~333	各トライアングルの 最小と最大時間 53~ 54 284~339
加 速 度 (G)	圧 電 型 抵抗線型	①上段側フランジ部 : 2530 ②セパレーション・ナット, 付近 : 3540 ③上段側フランジ部 : 2.8 ④三角棒低辺メンバー : 6.9		

2.4 2・3段切離し接手

2.4.1 2・3段切離し接手の構想

M-4 Sの上段接手では第1図(b)のように円筒型接手内に上段モータノズルを収納し、マルマンバンドを用いた切離し装置をノズル付根部に設けてあったが[3], M-3 Cにおいては

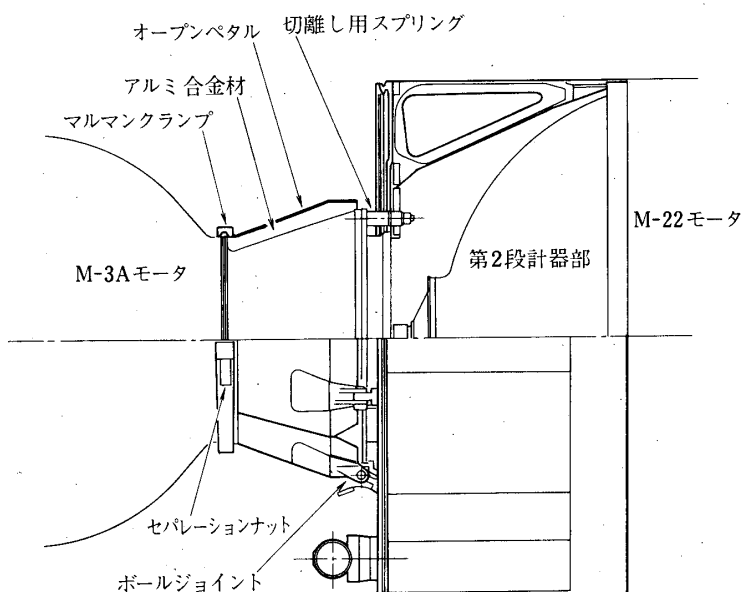
- a. 開口比が大きいため末端が比較的大きくまた、構造的には弱いノズルが用いられている。
- b. 上段モータが大型の球形モータである。

このために、M-4 S方式では接手の重量増大と切離時上段との接触の危険を招くので、これを踏襲することは不得策である。そのため1・2段接手と同様な考えに立って新接手を開発した。

新接手は第9図に示すように4つ割の截頭円錐殻構造で、上段部にあるマルマンバンドがセパレーション・ナットの作動によって解離されると、円錐殻は4個のペタルシェルに分割されて花卉状に開くようになっている。

4片のペタルは、アルミニウム合金製で、上部はマルマンクランプ用のVリングを形成し、下部は各々がボールジョイント2個でピン支持される。

開傘は2 Hzのスピンのよる遠心力を利用し、ボールジョイントのブラケットには開傘時の衝撃緩和のためのゴムダンパと、もどり止めのラチェット式ロックが設けられている。マルマンバンドは16 mmφのセパレーション・ナット2個(ダブル)、バネ鋼を用いたバンド等で同じく遠心力で自由放出される。また段間分離のためのスプリング24個がノズル後端部を押すようにセットされている。



第9図 2・3段切離し接手

2.4.2 構造強度

a. 荷重条件

軸力（圧縮）： $1.35 \text{ ton} \times 9.3 \text{ G} \approx 12.6 \text{ ton}$

曲げ（切断面）： $1.35 \text{ ton} \times 3 \text{ G} \times 1.09 \text{ m} \approx 4.4 \text{ ton-m}$

剪断： $1.35 \text{ ton} \times 3 \text{ G} \approx 4.0 \text{ ton}$

上段側重量： 1347.2 kg

b. 強度試験

i) 曲げ試験

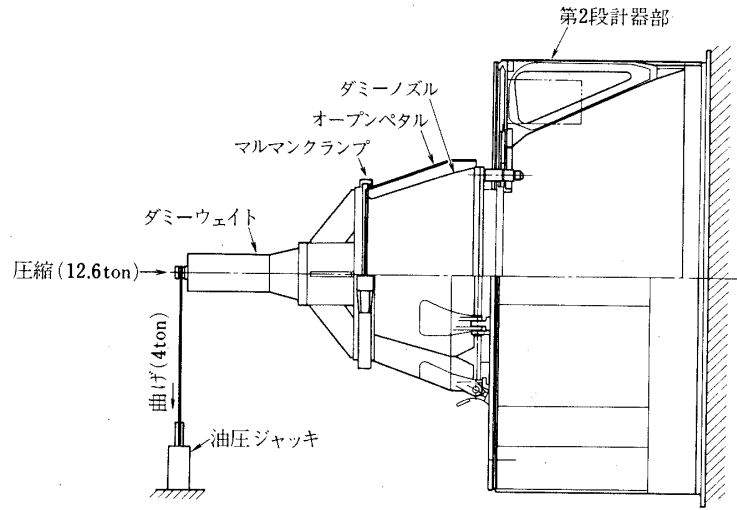
試験は第10図に示すように第2段計器部と結合した供試体を鉄塔に片持で支持し、ペタル割れ面方向と、割れ面より45°方向の2方向について、上段重心位置に0～4 tonまで500 kg刻みで負荷した。

ii) 圧縮試験

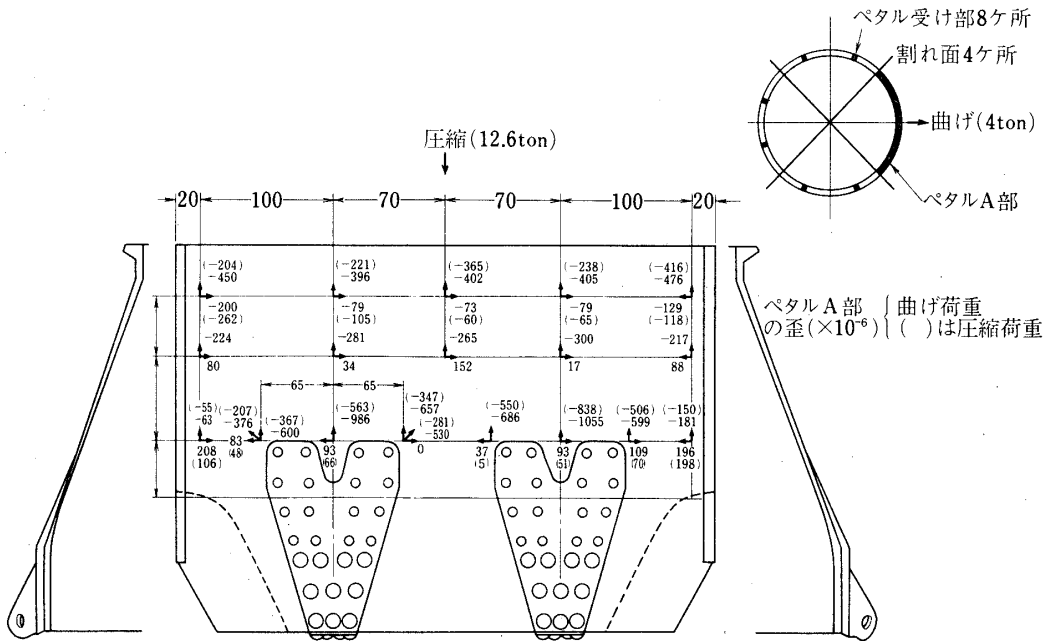
曲げ試験と同じ供試体を鉄塔に垂直にセットし、0～12.6 tonまで約200 kg刻みで負荷した。

上記試験の結果より歪の最大値はパネル受部付近において(第11図)曲げ試験で -1055μ （応力は 7.6 kg/mm^2 ）圧縮試験で 838μ （応力は 6.0 kg/mm^2 ）であった。また曲げ試験での撓みは、最大負荷時接手部先端で約1 mm 圧縮試験においては接手部先端で0.5 mmである。

これらの結果よりペタル周辺で応力値の低い個所が見られるがこれについては、数値解析結果とも照合し、強度確認試験を行った上で2号機から第11図の破線のように一部を切り取って軽量化を図った。



第10巻 2・3段切離し接手強度試験



第11図 2・3段接手主要部の歪

2.4.3 機能

a. 機能上の諸元

○ 分離, 開傘

分離用スプリング : 40.7 kg, ストローク 100 mm, 24 本

分離加速度 : 0.745 G (上段側), 0.452 G (下段側)

分離速度 : 0.674 m/s (上段側), 0.409 G (下段側)

相対速度 : 1.083 m/s

セパレーション・ナット : 16 mm ϕ , 2重

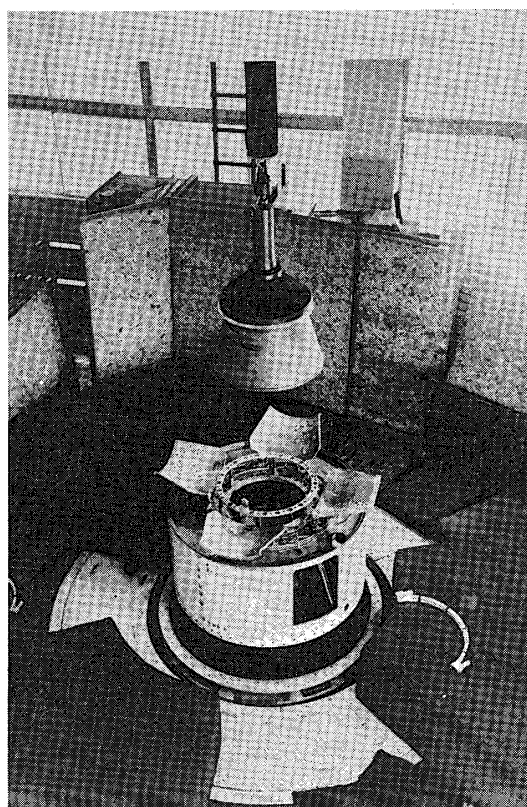
開傘速度 (実験値) : 2.43 m/sec

開傘秒時 (実験値) : 0.12 sec

b. 機能試験

切離し試験の状況を第12図に示す。上段側にダミー衛星をつけてスピントーブル上に取り付け、2 Hz のスピンド下で下記のように実施した。

試験回数	セパレーション・ナット	分離用スプリング	スピン数
1	ダブル	ストローク 52 mm×3個	2 Hz
2	シングル	ストローク 52 mm×8個	2 Hz
3	ダブル	ストローク 100 mm×4個	2 Hz
4	シングル	ストローク 100 mm×6個	2 Hz



第12図 2・3段切離し試験

これらの結果よりセパレーション・ナット作動後のマルマンバンド放出およびベタルの開きはすべてスピン (2 Hz) による遠心力で行うため、水平切離しが不可能なことおよび上段側重量が実機と大幅に違うため、実際に近いシュミレーションにはならないが、各機能機器の作動は正常であった。また2種類の分離用スプリングについて試験を実施したが、切離時の姿勢等の差異はみられなかった。その後のシステム検討により、相対分離速度は約1 m/sec 確保するために、ストローク 100 mm を採用した。

3. ノーズフェアリング

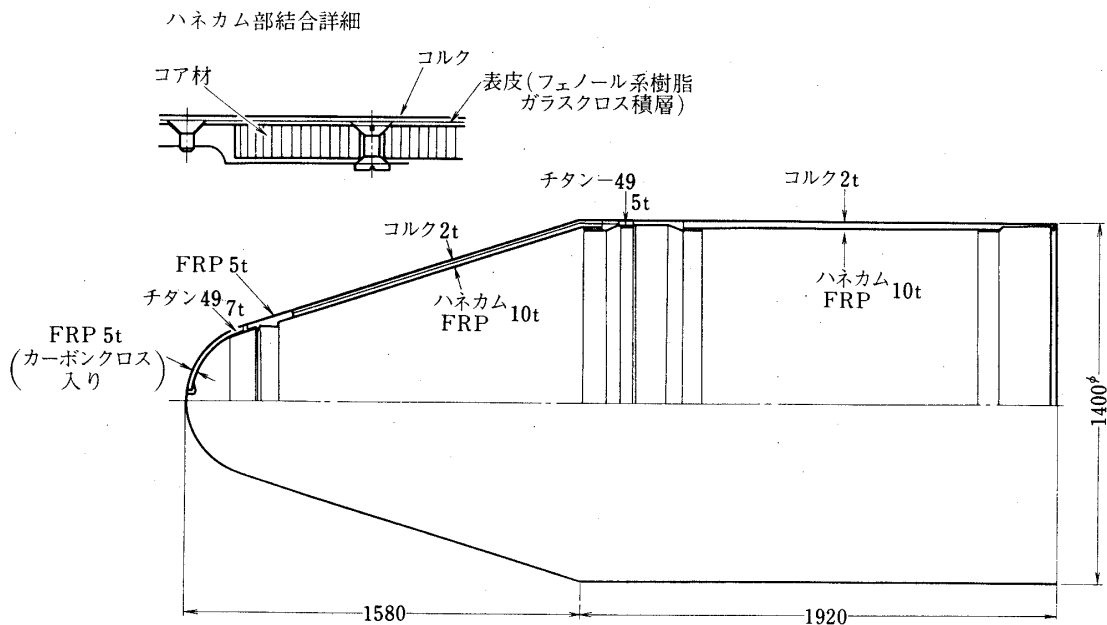
3.1 概要

M-3 C用ノーズフェアリングは直径 1130 mm ϕ の第3段モータを内部に収める必要があることと衛星重量の配慮から1・2段と同直径の 1410 mm ϕ とした。構造は従来 [4] (M-4 S) の FRP を主体とする構造形式から、軽量化の目的で FRP ハネカム・サンドイッチ材を採用することとし、耐熱用として表面にコルク材を張った。

この FRP ハネカム材の採用により第3表に示すように単位面積当り20% 余の軽量化を行うことができた。

開頭方式としては、1体開頭も検討したが、開発期間と経験等を勘案して、M-4 S 同様2段開頭方式を踏襲した。これらに先行して、K-10 型 (昭和40年) で FRP ハネカム材を用い脱頭形式のノーズフェアリングを試作し、強度試験を行っている。また K-10 C-4, 号機 (昭和43年) で耐熱用コルクを表面に張り、飛ばし試験でその耐熱性を確認した。

設計概要図を第13図に、構造、機能の主要点をM-4 Sと比較して第3表に示す。



第13図 ノーズフェアリング概要

第3表 M-4Sとの比較

開 頭 方 式	M-4S	M-3C
	2段開頭2つ割り	2段開頭2つ割り
開頭スプリング荷重およびストローク		
1段側	625.3 kg, 58 mm, 2個	624.0 kg, 120 mm, 2個
2段側 上段	332.0 kg, 56 mm, 2個	343.0 kg, 120 mm, 2個
下段	662.7 kg, 38 mm, 2個	343.0 kg, 120 mm, 2個
分離エネルギー (kg-m)		
1段側	18.13	37.44
2段側 上段	9.30	20.58
下段	12.59	20.58
セパレーション・ナット カートリッジ薬種	12 mm, 4個ダブル 黒色火薬	12 mm, 6個ダブル 8 mm, 2個ダブル チタンハイドライド
構 造 材	先端部 コーン部 接手部	5t FRP FRPハネカムサンドイッチ, チタン コルク
寸 法 (mm)		
全 長	2860 (M-4S-1)	3500
直 径	860	1410
先端部半径	200	300
半頂角	15°	17°
重 量 (kg)	160.2 (M-4S-1)	255.0
表面積 (m ²)	6.36 (M-4S-1)	13.36
重 量/表面積 (kg/m ²)	25.16 (M-4S-1)	19.1

3.2 構造設計

a. 構造概要

第13図に示すように平行部と円錐部はFRPハネカム、先端部と円錐部の接目、円錐部と円筒の接目、下端部にはチタン (Ti-49) 材 (4~5 mm/厚) リングを配し、下端部には補強円框をつけてある。また先端部は厚さ5 mmのカーボクロス入りFRP積層材である。先端鈍頭部以外には耐熱用として、コルクを厚さ2 mm張り付けてある。

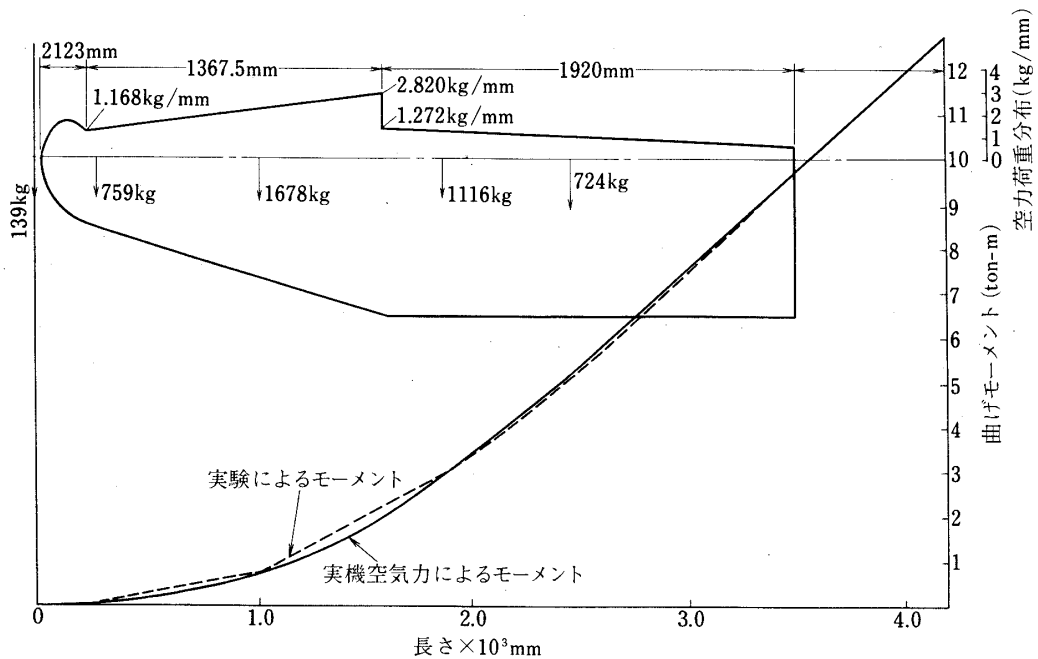
表皮：フェノール系樹脂とガラスクロス積層板、厚さ1 mm。

コア：耐熱性FRPハネカム

b. 負荷

i) 曲げ荷重

空気力の荷重条件としては、最大動圧は1.03 kg/cm²、迎角6.5°を仮定して計算した。球先端部、コーン部、円錐部の空力荷重の分布計算値およびこれによるモーメント分布を第14図に示す。



第14図 曲げモーメント分布図

ii) 圧縮荷重

先端球部で3,379 ton, コーン部で1,247 ton 全圧縮荷重は4,626 ton となる。

3.3 強度剛性試験

第15図に示すようにノーズフェヤリングの試験は計器部と結合した状態で曲げと軸圧縮を実施した。また先端球形殻の圧力試験は単体で行っている。

i) 曲げ試験

ノーズフェヤリングを第2段計器部と結合し、「開頭片割れ面方向と割れ面より(90°)方向の2方向について試験を行った。荷重は最大動圧1.03 kg/cm², 迎角6.5°を仮定して計算し、トーナメントを組んでこれを5個所に配分し、2個の油圧ジャッキで負荷した。

空気力による曲げモーメント分布および上記トーナメントを介して負荷した場合の曲げモーメント分布図を第14図に示す。

第1回試験において約85%の荷重で根元のセパレーション・ナット取り付け金具が溶接個所で破断した。これは溶接の融合不良とフェヤリング後端リングの剛性不足が原因と判断され溶接部は開先を大きくとり円筒部内側にはコ型円形フレーム, 外側にはL型縦通材をビス結合した。

これによる第2回試験結果の歪, 撓を第16図に, また各断面の歪を下表に示した。

断面	材料	荷重方向(0°)	荷重方向(90°)
①コーン後端	FRP	644 μ (0° 内側)	651 μ (90° 内側)
②コーン円筒接目	チタン	-92 μ (270° 外側)	-93 μ (90° 内側)

③接 手	チタン	-169 μ (0° 外側)	242 μ (0° 外側)
④円筒先端	チタン	-174 μ (270° 外側)	-81 μ (180° 内側)
⑤円筒後端	FRP	723 μ (0° 外側)	1540 μ (90° 外側)
⑥FRP-後端リング 接目	チタン	92 μ (0° 内側)	189 μ (90° 外側)

①~⑥第16図参照

②③④の金具付近には負荷方式による局部的変形の影響がみられる。最大歪は⑤90°方向において、軸方向1540 μ 、円周方向-58 μ 、内側軸方向1174 μ であった。

また円筒部後端(PL部接手)はVリングに作用する軸方向荷重のため、めくりあげがみられ、圧縮側で最大2mm(V溝深さ9mm)、引張り側は最大0.1mm(深さ6mm)であった。上型縦通材の補強が無いときは、ほぼ倍の値を示していた。また第16図に示すように先端での最大撓みは20.2mmただしこれには計器部の影響が含まれている。

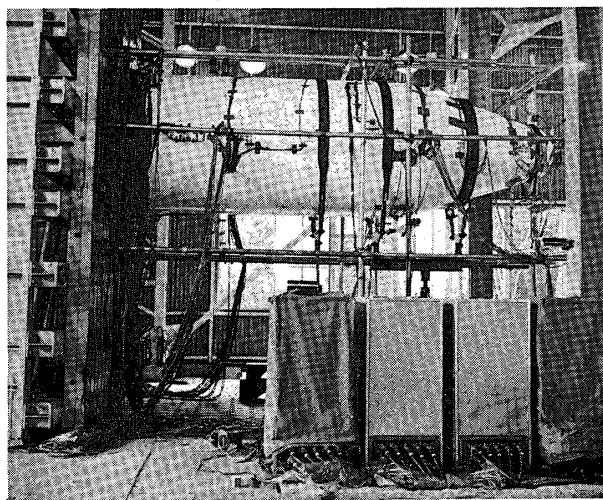
2号機からはリングフレームを一体構造に、V型部材の大型化を行い、強度、剛性の向上を図った。

ii) 圧縮試験

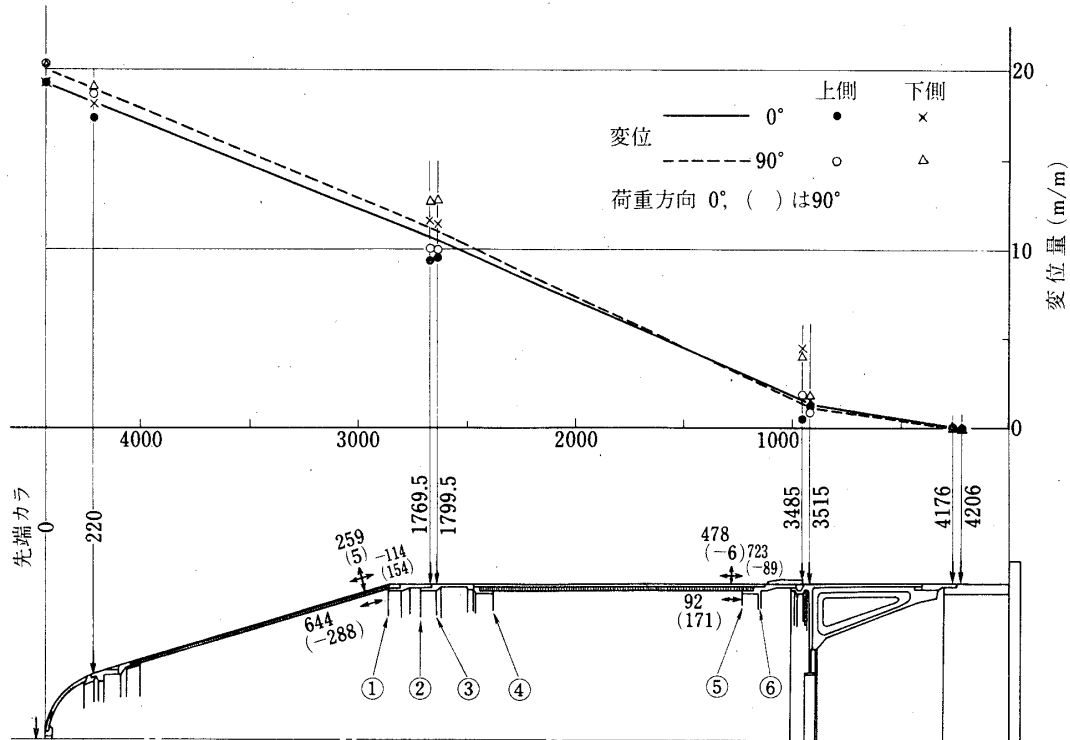
軸圧縮試験は円筒部について行った。最大荷重4.7tonの時の代表的な歪を下表に示す。

断 面	材 料	歪 (μ)
④円筒先端	チタン	-26
円筒先端	FRP	-162
円筒中央	FRP	-248
⑤円筒後端	FRP	-240
⑥円筒後端	チタン	-42

④~⑥は第16図参照



第15図 ノーズフェアリング強度試験



第16図 ノーズフェアリング横荷重試験, 歪み, ($\times 10^{-6}$) 撓み

iii) 先端球形殻圧縮試験

2個の先端球形殻を円筒形アダプターで継ぎ, 空間に水を張り試験を行った. 0.6 kg/cm^2 での最大歪は -90μ であった.

iv) 表皮コルク耐熱試験

厚さ10 mmのコルク板に250 mmの距離からプラズマガンを使用し120秒照射で 300°C コルク表面が炭化する経過を観察した. コルクの熱伝導率は $0.00029 \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot\text{deg}$.

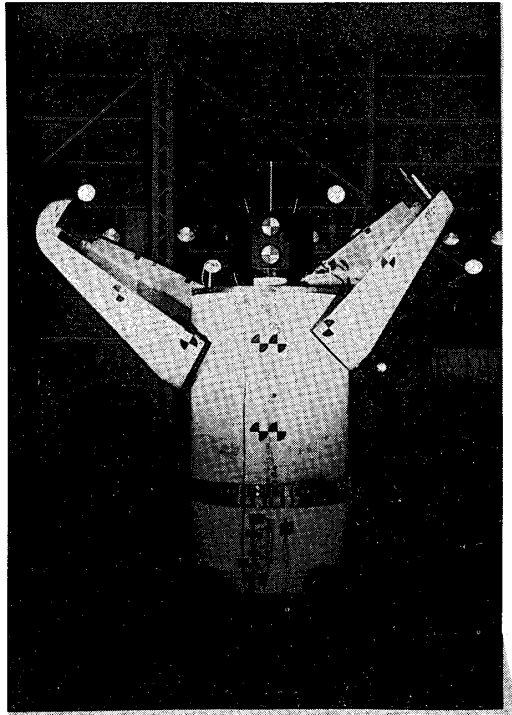
3.4 機能試験

開頭試験は第17図のようにノーズフェアリングに実機と同一形状の3 Aモータ, 衛星接手, ダミー衛星(ドイツコネクター付き)等を取め, 第2段計器部と結合し, 試験を行った. 開頭は2段方式で最初に円錐部が二つ割れになり, ついで1秒後に円筒部が二つに平行開頭する仕組みになっている.

開頭状況は, 高速度カメラ, ビデオテープに収録した. これらの解析結果より左右の開頭片の重量差(円錐部1.3 kg, 円筒部2.8 kg)による多少のバラツキはみられたが, 3 Aモータ, 衛星等との当りの心配もなく, またドイツコネクターの引抜きも良好であった.

3.5 飛しょう試験

M-3C-1の飛しょうにおいて発射後155.8秒, 動圧 $1.3 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$ で, 開頭が行われテレメータ記録によると開頭時の衝撃は微小(横方向0.26以下)でスムーズに開頭が行われた. なお飛しょう中の最大動圧は発射後29秒で 0.92 kg/cm^2 , 温度は円錐部の外側表



第17図 開頭試験

面（コルク）で約250℃，ハニカム外側表面で80～100℃，内側表面で20℃以下であった。

4. 計器部

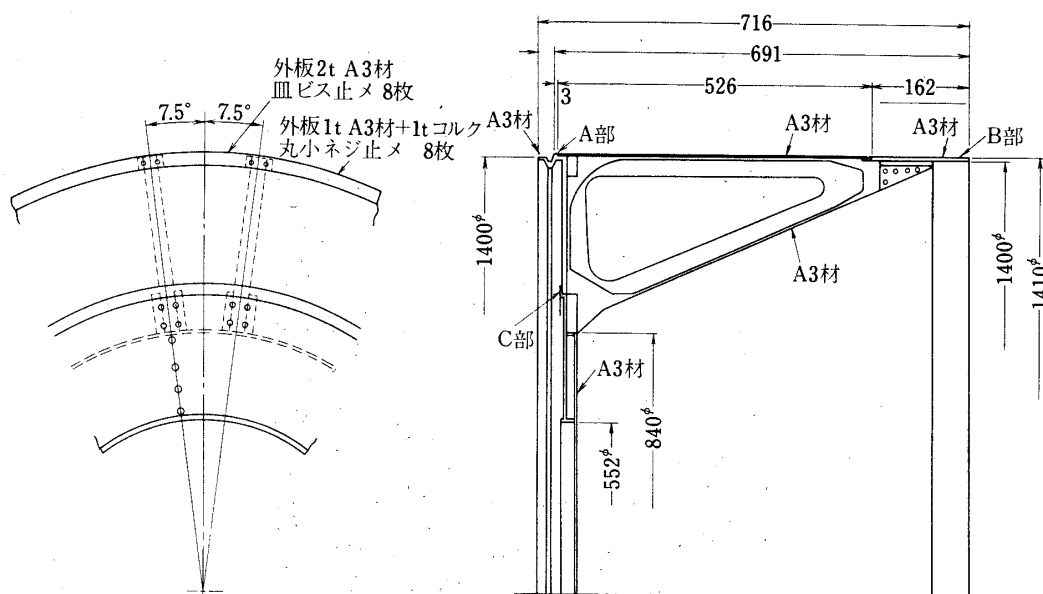
4.1 構造概要

M-3Cの計器部は第2段（M-22）モータと第3段接手部との中間に位置し，各種搭載機器を収納し，またノーズフェアリングを支持している。寸法は直径1410mmφ，長さ691mmで，三角状骨組を円周に16個配置した骨組で，外周はパネルで覆う。搭載機器は上部のアルミニウム合金ハニカム・サンドウイッチ板に取付ける。構造概要図を第18図に示す。

開発経過としては，昭和47年11月振動試験用モデルで共振点とそのモードを確認し，地上試験器材で昭和48年7，9月に強度，剛性試験を実施した。

4.2 荷重条件〔第18図参照〕

- i) 空気力によってノーズフェアリングからはいる荷重
曲げ荷重：A部12.37 ton-m， B部15.41 ton-m
軸荷重：A部16.1 ton
- ii) M-3Aからはいる荷重
曲げ荷重：C部4.4 ton-m
- iii) 2段目燃焼によって生じる荷重



第18図 計器部構造概要

軸荷重：C部 12.53 ton

4.3 強度，剛性試験

上記の荷重条件に従って，4種類の強度，剛性試験を実施した。

a. 曲げ試験

i) 計器部をノーズフェヤリングと結合した状態

ノーズフェヤリングの項（第15図）で述べた試験方法で実施した。

歪測定結果から最大歪は 538μ （応力で 3.9 kg/mm^2 ）であり，強度は充分である。

ii) 計器部に第2段接手と3Aモータを結合した状態

3Aモータ（ダミー）側の先端を油圧ジャッキで最大負荷4.0 tonまで500 kg刻みで負荷した。

歪測定結果から最大歪は 659μ （応力は 4.7 kg/mm^2 ）であり強度は充分である。3Aモータ側からの荷重は，三角形ストリンガー全体に流れず，一辺のリブへほとんど流れていると思われる。そこで歪測定結果より，ストリンガーの一辺に加わる荷重は

$$P = \sigma A = 4.7 \times 328 = 1542 \text{ kg}$$

ストリンガーの一辺の座屈荷重は

$$P_K = n \pi^2 EI / l^2 = 3664 \text{ kg}$$

故に安全率 = 2.38

$$(I = 33000 \text{ mm}^4, \quad l = 400 \text{ mm})$$

撓み測定結果からみた計器部フランジのたおれは最大で0.35 mm，このたおれで衛星の先端が変位する値は，1.67 mmであり剛性は充分と思われる。

b. 圧縮試験

i) ノーズフェヤリング円筒部と第2段接手，計器部を結合した状態

油圧ジャッキで最大負荷7 ton まで1 ton 刻みで負荷した。測定結果より歪の最大値は120 μ であり、撓はほとんど出ていない。

ii) 計器部に第2段接手と3 A モータを結合した状態

油圧ジャッキで最大負荷12.6 ton まで2 ton 刻みで負荷した。歪測定結果から、ストリンガの最大歪は -550μ (応力は 3.96 kg/mm^2)、安全率=2.8 で強度は充分と思われる。

撓は計器部フランジで最大0.15 mm、これを衛星先端でみると0.7 mm であり、剛性も充分あると思う。

上記試験で強度、剛性とも問題ないことを確認できた。また2号機からは、1号機で応力が小さかったストリンガの板厚を8 mm から6 mm に変更し、軽量化を図った。

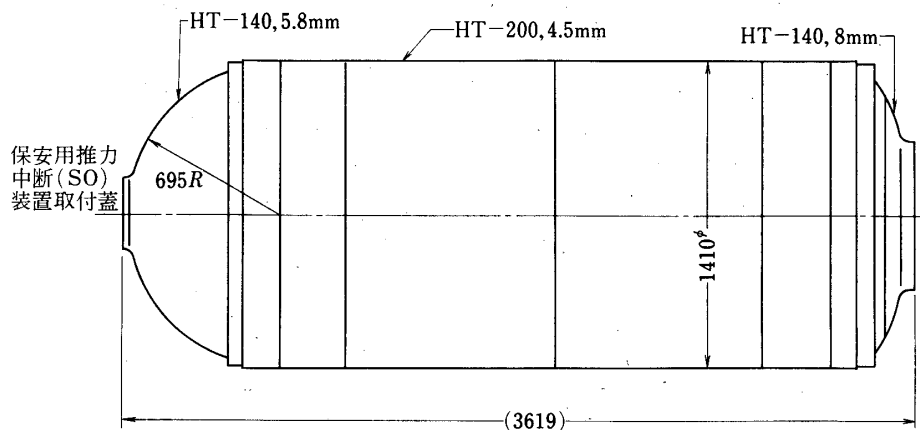
5. 第2段モータ (M-22) ケース

第2段モータケースは第19図に示すように全長3619 mm、外形1410 mm ϕ の一体構造チャンバである。円筒部には 200 kg/mm^2 マレージング鋼 (HT-200)、鏡板部等は 140 kg/mm^2 高抗張力 (HT-140) を使用している。

M-4 Sの第2段モータ (M-20) では、推薬装填上端を開いた形式にする必要があり、このため中間部に第1段モータ (M-10) と同じセグメント接手を設けていた [4]。M-3 Cにおいては、推進薬をポリウレタン系よりポリブタジェン系に変更し推薬装填を直填方式にしたことにより、従来中央部に設けていた接手を省き一体構造とすると共に平行部の板厚を5.0 mm から4.5 mm とし、また前部鏡板を半ダ円から半球とする等軽量化を図り、推薬の充填効率の向上も図った。

これらに先行して、直径420 mm ϕ で鏡板部の形状を半球、半ダ円の2種類のモデルチャンバを製作し昭和47年5月、水圧試験を行い応力測定し比較検討を行っている。

地上燃焼試験は昭和47年10月、昭和48年7月に能代実験場において行われいずれも成功を収めている。



第19図 第2段(M-22) モータケース

なお鏡板中央部にはセパレーション・ナットを利用した保安用推力中断装置が装備されている。

6. 第3段モータ (M-3A) ケース[6][7]

6.1 概要

M-3Cの第3段モータ (M-3A) は、M-4Sの第4段モータ (M-40) からさらに大型化が図られた球形固体モータである。推薬量はM-40の約2倍の1 tonが要求され、従ってモータケース内径は1130 mmφとなった。その他主な差異は材料をTi-2Al-2MnからTi-6Al-4Vとしたこと、加工法を爆発成形法から切削加工法としたこと、および精密加工が可能になったことに対応して解析結果の設計へのフィードバックを行って軽量化を図ったことである。モータケースの主要寸度を第20図に示す。

6.2 材料

Ti-6Al-4V材の組成を第4表に示す。母材の機械的特性をTi-2Al-2Mn材と比較して第5表に示すが、強度の向上は明らかで、比強度(強度/比重量)は 20.9×10^6 mmである。なお、板厚5 mmの溶接材の引張り試験においても同等の強度が得られている。

6.3 設計諸元

設計使用内圧は 60 kg/cm^2 である。一様部の板厚は応力および安全な切削の見地から3 mmと決めた。フランジおよび溶接線近傍では残留応力と局部応力の発生を抑えるためテーパをつけ応力ピークが小さくなるように設計した。

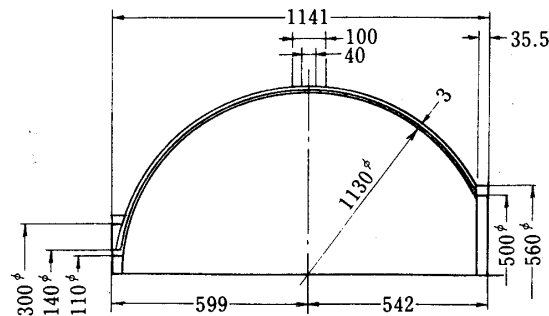
6.4 地上試験

水圧破壊試験の結果最大内圧は 104.7 kg/cm^2 であった。また、内圧 50 kg/cm^2 における各点の歪測定結果を解析結果と共に第21図に示す。

地上燃焼試験は、昭和48年7月、昭和49年10月能代実験場において行っている。

7. あとがき

M-3C型ロケットの構造、機能の開発経過の概略について述べた。M-3CはM-4Sと比較して構造上主として以下の改造が施されている。



第20図 第3段(M-3A)モータケースの主要寸度

第4表 チタニウム合金の化学成分

材 質	化 学 成 分 (%)							引張り強さ (kg/mm ²) (代表値)
	Al	Mn	V	Sn	Cr	Mo	Ti	
a. Ti-2Al-2 Mn (M-40)	1.5~2.5	1.5~2.5	—	—	—	—	残	73 (焼鈍材) 85 (熱処理材)
b. Ti-2Al-4 V (M-3A)	5.5~6.7	—	3.5~4.5	—	—	—	残	95 (焼鈍材) 119 (熱処理材)

第5表 チタニウム合金の代表的機械的性質

材 質	熱処理	引張強さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	比 重 量 (kg/mm ³)	比強度※ (mm)
Ti-2Al-2 Mn (M-40)	焼 鈍 材	73	60	22	4.5 × 10 ⁻⁶	16.2 × 10 ⁶
	熱処理材	85	75	12	4.5 × 10 ⁻⁶	18.9 × 10 ⁶
Ti-6Al-4 V	焼 鈍 材	94	84	11	4.5 × 10 ⁻⁶	20.9 × 10 ⁶
	熱処理材	119	105	7		26.4 × 10 ⁶

※ 比強度=引張強さ/比重量

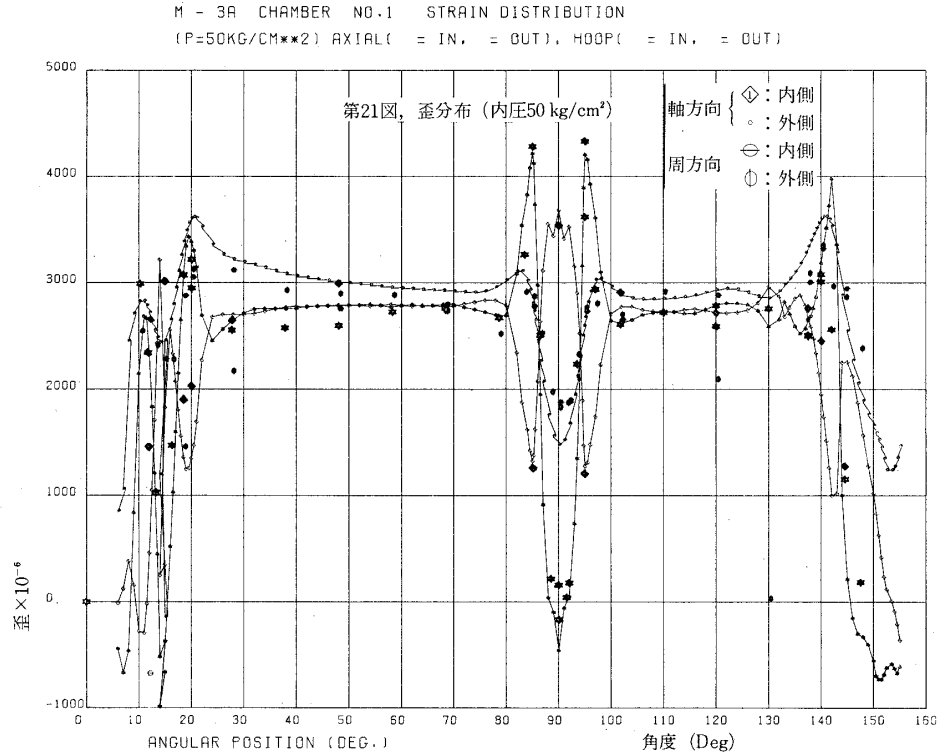
- i) 1・2段切離し接手：開傘式トラス型接手
- ii) 2・3段切離し接手：開傘式ペタル型接手
- iii) ノーズフェアリングと計器部：FRP ハネカムのフェアリング
- iv) 第2段(M-22)モータケース：薄肉化と球形鏡板
- v) 第3段(M-3A)モータケース：チタン合金の削り出し球形ケース

これらの項目については全て地上試験によりその強度と機能の確認を行ってある。M-3C型ロケットは昭和49年2月に1号機が飛しょうして以来計3機飛しょうした。構造、機能面からは幸いに特に大きな支障は発生せず、新規設計の妥当性が確認できた。上述のようにならりの規模の改造と新設計が織り込まれたのであるが、この構造開発にあたっては森大吉郎、中野旭、雛田元紀の各先生の御指導をいただいた。詳細設計、試作、製作のとりまとめは日産自動車宇宙航空部の川島隆、落合利昶、出羽茂、細村建夫の各技師が担当され、1・2段チャンバは三菱重工神戸造船所が担当されたことを付記して感謝の意を表します。

1977年5月2日 新設部(工学)

参 考 文 献

- [1] 森 大吉郎：M-3C型ロケットの開発，日本航空宇宙学会誌第23巻第257号 1975/6
- [2] 森 大吉郎，橋元保雄：M-3C型ロケットの構造について，第16回構造強度に関する講演集，pp. 31~34，1974/7
- [3] 中野 旭，橋元保雄：ロケットにおける接合と分離，日本機械学会誌第76巻第651号，pp. 359~365，1973/3



第21図 歪分布

- [4] 中野 旭, 橋元保雄: M-4 S型の構造と機能, 宇宙航空研究所報告第11巻第1号, pp. 131~137, 1975/3
- [5] 橋元保雄, 川島 隆: M-4 S型ロケットの機能装置とその地上試験, 第15回宇宙科学技術講演集, pp. 49~52, 1972/2
- [6] 森 大吉郎, 中野 旭: チタニウム合金製球形ロケットモータケースの試作, 宇宙航空研究所報告第7巻第4号, pp. 761~772, 1971/10
- [7] T. Yasaka, A. Nogaki, M. Nakanose, T. Hosomura, Development of a Large Spherical Rocket Motor Case from Ti-6Al-4V Alloy, Proc. 10th Int. Symp, Space Tech Sci., p297, 1973