

M-3 S の SMRC 装置

高 野 雅 弘

(1986 年 4 月 18 日受理)

I. 概 要

SMRC(Solid Motor for Roll Control)は、正反対を向く 2 基の噴射ノズルを持つ特殊な形態の小型固体ロケット・モータで、ノズル直上流に内蔵された弁機構によって、一方を閉塞し他方のノズルからのみ燃焼ガスを噴射させて偏向した推力を発生し、両方のノズルから均等に噴射させて両者の発生推力を相殺することができる。液体推進剤を用いるサイド・ジェット装置と比較して、機構・構造が単純なため維持・管理がたやすく安価で、小型・軽量のため飛翔体への搭載艤装の自由度が高く、低比推力ながら比較的大きな制御力が容易に得られる等の特徴を持つ独創的な姿勢制御装置である。M-3 S 型ロケットでは、4 枚の尾翼先端の収納カウリング内に、それぞれの持つ 2 基のノズル推力軸を機体まわり接線方向に向けて搭載し、4 基を齊動させて第 1 段飛翔中のロール制御を担う。

固体推進薬ガス・ジェネレータと噴射方向切換え用弁機構に集約される SMRC の主要要素技術の研究開発は昭和 46 年から開始され、昭和 50 年以降 SMRC としての形態を整えた試作機材を用いて綿密な作動試験、燃焼試験および環境試験が行われ改良が重ねられた。この間、M-3 S への搭載・実用化に先立って、K-10 C-5(S. 50. 8), L-4 SC-4(S. 51. 8) および L-4 SC-5(S. 54. 9) の合計 3 機の試験機によって飛翔環境における機能・ロール制御特性の実験調査が行われ、一層の改良・洗練が図られた。

M-3 S 型ロケット飛翔実験のいずれの号機においても、SMRC 装置はほぼ正常に作動し第 1 段飛翔中のロール制御を完遂したが、完成域に達したと考えられていた同装置の実用過程において、なお、

(i) 一時的異常昇圧 (M-3 S-2 号機)

飛翔 SMRC 4 基中 3 基の内圧が、燃焼中期、一時的な異常昇圧挙動を示す、

(ii) 推力中立点変動 (M-3 S-3, 4 号機)

領収試験用 SMRC の中立時推力偏向量が、燃焼の進行に連

れて次第に拡大して行く、
という2点の不具合が発生した。

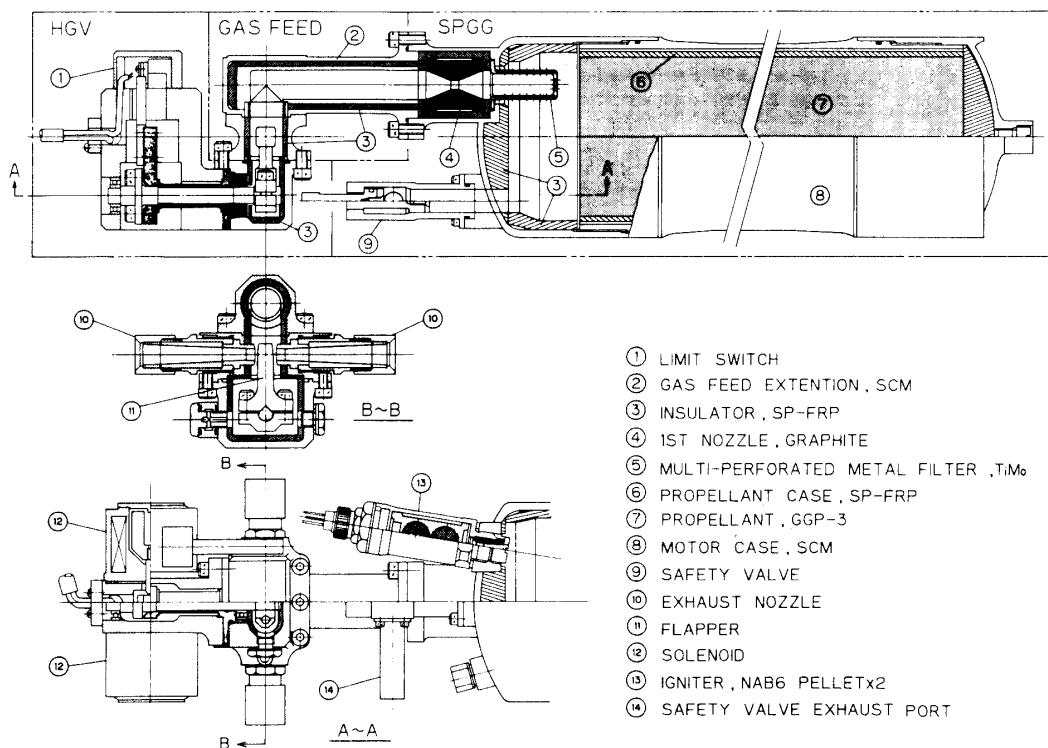
本項では、先ず、M-3S型SMRC装置の基本構成と動作原理を説明し、各号機の飛翔試験結果を軸に、上記の不具合に対する原因究明と問題解決の過程の概要を報告する。

II SMRCの構成と動作原理

1基のSMRCは、高温高圧の作動流体を生成する固体推薬ガス発生器SPGG(Solid Propellant Gas Generator)、その噴射方向を制御するための弁機構を内蔵したホットガス・バルブHGV(Hot Gas Valve)と呼称する2方向噴射ノズル部および両者を連結する燃焼ガス輸送管の主要3要素から構成される。概要図を第1図に示す。

2-1. SPGG

管理された直径と長さを持つ円柱状端面燃焼型推薬グレインが、規定の圧力・流量率の燃焼ガスを、第1段コア・モータM-13の全燃焼時間に匹敵する長期間にわたり、安定して生成供給する。専用に開発されたCTPB系コンポジット推薬GGP-3は、第1表に示す様な組成、燃焼特性および力学物性を持つ。主推進用の推薬と異なり金属燃料が充填されおらず、グレイン直径を過大にしないためと諸機能部品への熱負荷を軽減するために、高燃速・低燃焼温度特性がその特徴である。



第1図 SMRC単体概要図

第1表 GGP-3 推薦の組成と諸特性

| | | | | |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|
| 組 成 | 質量% | 酸化剤 燃焼温度抑制剤 燃料粘結材 正触媒 | AP 修酸塩 CTPB Fe_2O_3 | 59 19 22 0.5(外割) |
| 密 度 | g/cm^3 | | | 1.62 |
| 燃速特性 ¹⁾ | | | | |
| 標準線燃速 | mm/s | | | 7.5 ± 0.6 |
| 圧力指数 | — | | | 0.50 |
| 圧力感度 Π_p | $\%/\text{°C}$ | | | 0.48 |
| 燃焼ガス熱力特性 ²⁾ | | | | |
| 断熱火炎温度 | K | | | 1446 |
| 平均分子量 | g/mole | | | 22.6 |
| 平均比熱比 | — | | | 1.30 |
| 力学物性 ³⁾ | | | | |
| 最大応力 | MPa | | | $\sim 1.1 (\geq 0.6)$ |
| 最大応力点歪 | % | | | $\sim 49 (\geq 25)$ |
| 弾性係数 | MPa | | | $\sim 5.2 (\geq 2.5)$ |

1) 4.9 MPa, 20°C

2) 4.9 MPa 平衡凍結計算値

3) 物懸型引張試験片, 50 mm/min, 20°C. () 内規格

外周をエポキシ系レストレスで燃焼抑制処理された長大な推薦グレインは、剛性・耐熱性の高いSP-FRP製円筒ケースに収納されており、両者の長手方向の相対変位は、境界面を埋める非接着・非硬化充填材(シリコン・グリス)によって拘束されない。FRPケースと一体化された推薦グレインは、モータ・ケースの中で、その後端部がエポキシ系充填材によって接着固定されているだけで、全体としてフリー・スタンディングの状態にある。グレインの点火は、小型ペレット点火器によって実行される。

輸送延長管へと接続する燃焼ガス排出口には、後述のHGVの噴射ノズルの等価スロート径(8.0 mm ϕ)より遙かに小さなスロート径4.9 mm ϕ を持つグラファイト製一次ノズルが設けられており、これによってHGVの作動状態に影響されることなくSPGG内は規定の燃焼圧~7.8 MPaに保たれる。その直上流には、固体推薦・レストレスの燃焼によって発生する多量のデポジットによって一次ノズルが詰りするのを防ぐため、耐熱金属製多孔板フィルタが設けられている。

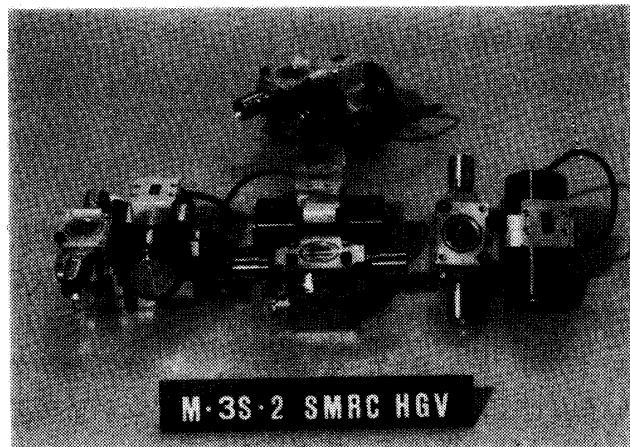
長秒時端面燃焼モータで起り易い燃焼面の偏り等による異常昇圧の誘起し得る暴発を予防するため、安全弁機構が装着されている。その作動圧は、正常時燃焼圧の2倍~15.7 MPaである。

SPGG の性能諸元を第2表に示す。

第2表 SMRC ガス・ジェネレータ性能諸元

| | |
|---------------------|---------------------------------------|
| 推薦グレイン | |
| 薬種・薬量 | GGP-3・9.0 kg |
| 直径・燃焼面積 | 100 mm ϕ • 78.54 cm ² |
| 全長 | 700 mm |
| 一次ノズル | |
| 多孔板フィルタ | 2 mm ϕ × 76 |
| スロート径 | 4.9 mm ϕ |
| 燃焼特性 | |
| 定常燃焼圧 ¹⁾ | 7.84 MPa |
| 質量流量率 | 121 g/s |
| 全燃焼時間 | >70 s |
| 安全弁 | |
| 方式・作動圧 | シアピン方式・15.7 MPa |

1) 定常燃焼時推薦線燃速 9.5 ± 0.75 mm/s

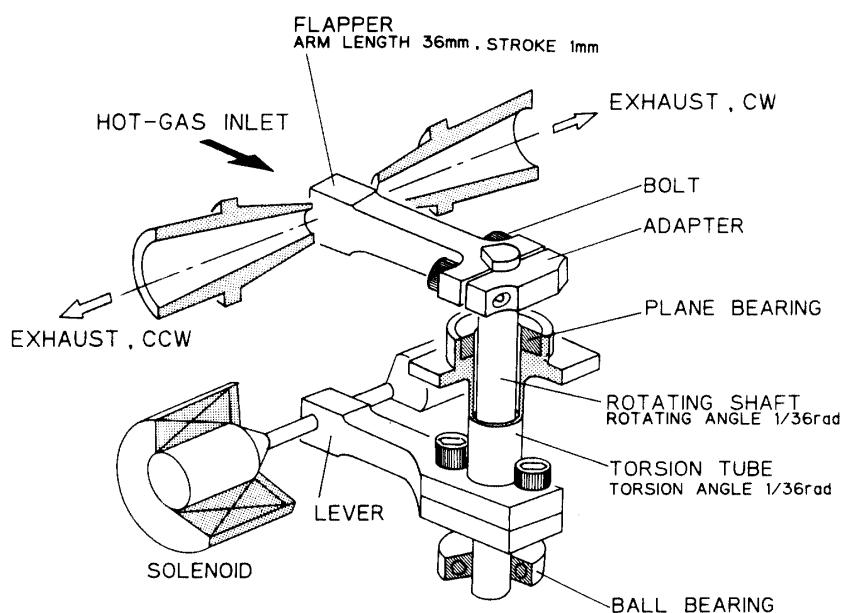


第2図 SMRC ホットガス・バルブの外観

2-2 HGV

HGV のユニット外観を第2図に、前掲の概要図では判読し難いその機構・構造を模式化して第3図に示す。

噴射ノズルの一方を直接閉塞して制御力を発生させる偏向ストローク 1 mm のフラッパ弁は、腕長 36 mm のアームを介して駆動軸に結合されており、円管状捩りばね(トーション・チューブ)の空洞を貫通する同駆動軸は、2基のソレノイドで駆動される2連の電磁コアの直線運動を両者を結合するレバーで伝達することにより、回転駆動される。その



第3図 SMRC ホットガス・バルブの構造模式図

第3表 SMRC ホットガス・バルブ性能諸元

| | |
|-----------------|--------------------------|
| 駆動電源電圧 | 28 VDC |
| 作動圧力 | 2.0~5.4 MPa |
| 応答特性 ON | 50~60 ms |
| OFF | 50 ms |
| 幾何学的等価ノズル・スロート径 | 8 mm ϕ (ON, OFF時とも) |
| ノズル出口口径, 開口比 | 14 mm ϕ • 3.06 |
| 制御推力 | 200 N |
| 比推力 | 165 s |
| 中立時残留偏向推力 | <50 N |

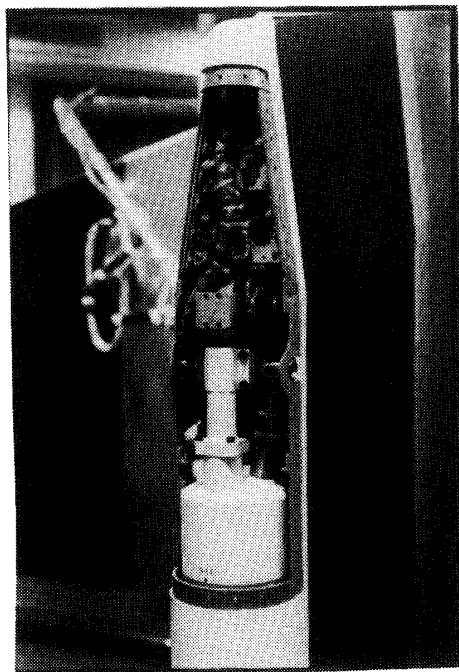
偏向回転角は $1/36 \text{ rad}$ である。駆動軸とトーション・チューブは、低温・低圧の駆動レバー側では、その付根部で機械的に一体化されており、共通の端部をボール・ベアリングで回転自由支持されている。高温・高圧のフラッパ側では、前者がプレーン・ベアリングによって回転自由支持されているのに対し、後者は HGV 外部構造に固定されている。これにより、フラッパ作動時トーション・チューブには $1/36 \text{ rad}$ の捩れ角が負荷され、これによる弾性力が中立位置への復原力を駆動軸に与える。HGV の作動状態は、駆動レバーの動きをリミット・スイッチで検出してモニタする。

HGV の性能諸元を第3表に示す。同表に示す様に、設計上噴射ノズルの幾何学的等価ス

第4表 SMRC ホットガス・バルブ主要
耐熱部品とその材質

| | | |
|------------------|----------|---------------------|
| 噴射ノズル | スロート部 | TiMo 合金 |
| | 開口部ライナ | SP-FRP |
| | 開口部ホルダ | SUS630 |
| フランジ | 同固定用アダプタ | TiMo 合金 |
| 回転駆動軸 | | TiMo 合金 |
| フランジ・アダプタ結合ボルト | | Nb 合金 ¹⁾ |
| 駆動軸高温側プレーン・ベアリング | | TiMo 合金 |
| トーション・チューブ | | SUS 630 |

1) M-3S-4 号機より TiMo 合金に変更



第4図 尾翼先端カウリング内に搭載された
SMRC 装置

ロート径は ON, OFF 時とも $8 \text{ mm}\phi$ であるが, 実際には空力的な特性により ON 時の等価スロート径の方が小さく, このため, 作動時 HGV の高圧室静圧は 25~30% 程度上昇する. ただし, この圧力変動は SPGG 燃焼圧には影響しない.

HGV 高圧室内壁面は, SP-FRP 製断熱材で保護されている. 第4表に示す様に, 高温・高圧の SPGG 燃焼ガスに曝される耐熱機能部品のうち, 热負荷の大きい部品は TiMo 製, 比較的熱負荷の軽い部品は SUS 630 製である. フランジと駆動軸を結合するボルトには, 初期 Nb 合金が使用されていたが, 後述する様に, これが中立時推力不平衡量拡大の誘因となることが判明し後日 TiMo 合金製に改められた.

2-3. 延長管

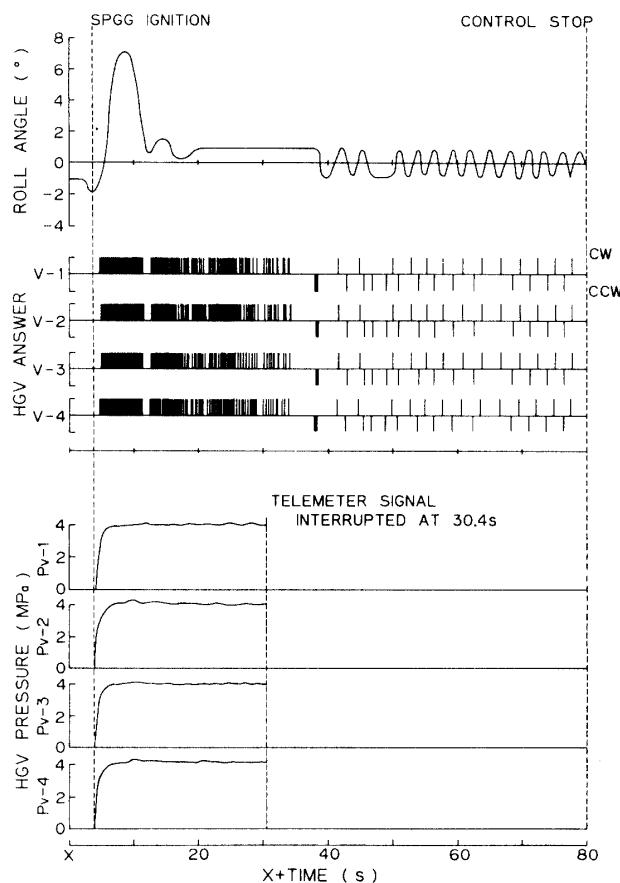
SPGG で発生した燃焼ガスを HGV に導く輸送延長管は, 内径 18 mm_U , 長さ 100 mm で, その内面は HGV 高圧室内壁面と同様 SP-FRP で熱保護されている.

1 次ノズル直後の超音速流は, 延長管内で速度を失ない HGV 高圧室内では亜音速流となる. このため, HGV 高圧室内静圧 P_v は, SPGG 燃焼圧 P_{GG} の約 $1/2$ の値を示す. 前述の様に, HGV の作動は P_v に影響を与えるものの, 1 次スロートのチョーク条件を損わないと P_{GG} はその影響を受けない.

M-3S 型ロケットの尾翼先端カウリング内に搭載されて飛翔前最終整備を完了した SMRC 装置の外観を第4図に示す. 4 基の SMRC によって構成される M-3S 第1段ローラ制御装置の標準性能を第5表に示す.

第5表 M-3 S の SMRC 装置標準性能

| | |
|-----------|--------------|
| 総重量 | 22.5 kg / 1基 |
| SPGG 薬量 | 9.0 kg / 1基 |
| 制御推力 | 200 N × 4 |
| モーメント・アーム | 1.923 m |
| 制御トルク | 1450 N·m |
| 制御時間 | >70 s |



第5図 M-3 S-1号機 SMRC 飛翔データ

III. 飛翔試験結果

M-3 S-1～4号機いずれの飛翔試験においても、SMRC装置は、タイム・シーケンスおよびCN-E指令コマンドに従って所定の期間正常に動作し、第1段飛翔中のロール制御の使命を果した。

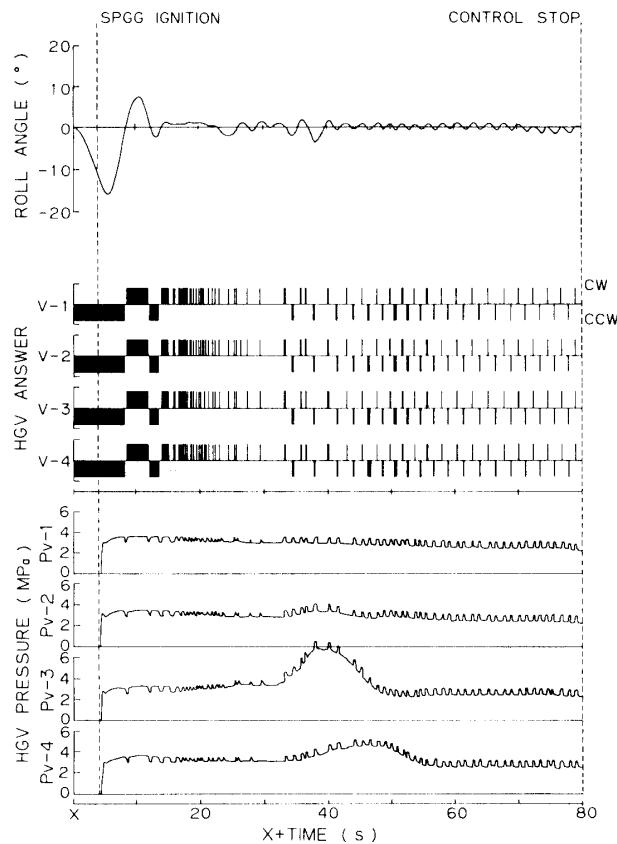
3-1. 1号機のSMRC

1号機搭載SMRCの飛翔データを第5図に示す。同図によれば、機体のロール誤差角はX+5 sよりCW方向に増大し始めX+7 sで最大値7°に達している。これに対応してSMRCは、X+4 sにSPGGが点火されて制御を開始し、X+5 s以後連続してCW方向にONとなっている。これによりX+12 sには、上記ロール誤差角はデッド・バンドの±1°内に整定している。

X+13~38 sの期間、CW側の外乱のみが発生しており、SMRCはこれに対応して断続的にCW方向にのみ作動している。この外乱は主に尾翼ミス・アラインメントによるものと推察された。

空力的外乱の無視できるX+50 s以降は、SMRCはリミット・サイクル挙動を示している。同期間のロール角速度データから求めた制御推力平均値は、CW, CCW方向とも220 N程度で、地燃データより幾分大き目であった。同様にして求めたHGV中立時の推力アンバランス量の平均値は、CW 49 N, CCW 29 Nで、地燃データを越えるものではなかった。

なお、X+30.4 s以降、計測データ送信テレメータ系の不具合によりHGV内圧P_vの測



第6図 M-3 S-2号機 SMRC 飛翔データ——一時的異常昇圧現象—

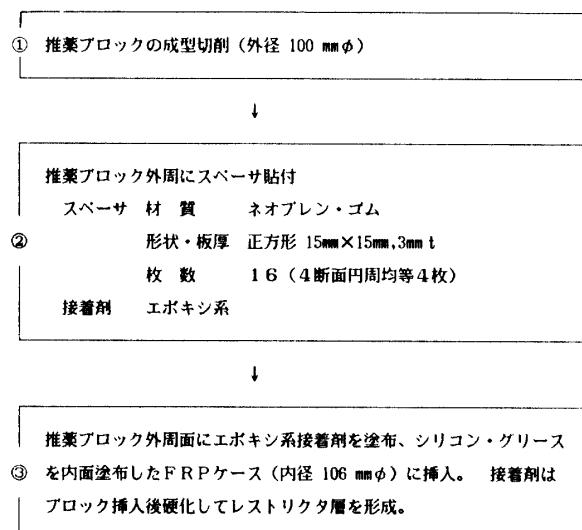
定値が欠落しているため、SPGGの燃焼安定性については直接評価できないが、上述のロール角、HGVアンサの挙動から特に異常はなかったものと判断された。

3-2. 2号機のSMRC—一時的異常昇圧現象

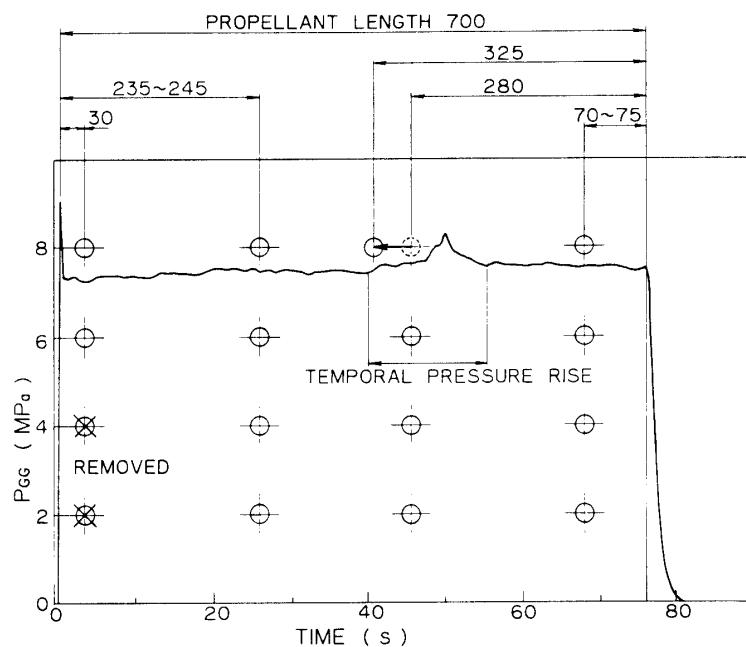
2号機では、第6図に示す飛翔データに見る様に、4基中3基のSMRCについて、HGV内圧がX+24~55sの時間帯に一時的に昇圧するという異常現象が観測された。P_vの昇圧に対応してロール角・角速度も増大していることから、計測系の異常ではなく、SPGG燃焼圧P_{GG}そのものの昇圧によるものと判断された。特に、P_{v-3}はX+~40sで最大7.4MPaに達しており、この数値をSPGG内圧に換算するとP_{GG-3}=14.7MPaとなり、幸い安全弁は作動しなかったものの、その作動圧15.7MPaに近い。なお、この時間帯経過後は、いずれのSMRCも、正常なP_vしたがってP_{GG}に復帰している。

IIで述べた様に、SPGGは長秒時端面燃焼型固体モータで、その円柱状推薬グレインの外周面レストリクタとSP-FRP製断熱ケースの間をシリコン・グリスで摺動可能にするフリースタンディングの構造を持つ。飛翔試験に先立つ領収試験用機材の燃試では、この様な不具合は発生していない。搭載機材に関するX線検査記録を中心とする製造工程管理記録の再調査でも、推薬グレインおよびグレイン外周レストリクタ層に有害と考えられる規模の空孔・空隙の存在した形跡は認められなかった。

2号機までのSPGG用フリースタンディング・グレインの製造手順を、第7図の簡略化した流れ図に示す。この製造手順の見直しから、推薬ブロックをFRPケースに挿入する際、スペーサによって掃拭されその前端部に凝集するシリコン・グリスがレストリクタ層形成用エポキシ系接着剤と局部的に混和してその硬化を阻害する、全面に渡って同接着剤の硬化皮膜すなわちレストリクタ層の板厚に不均一が生じ易い、との難点が指摘された。局所的な接着剤未硬化部分の偏在は、一時的な燃焼面積の増大を誘起し異常昇圧の原因と



第7図 M-3S-2号機までのSMRC SPGG用フリースタンディング・グレインの製造手順



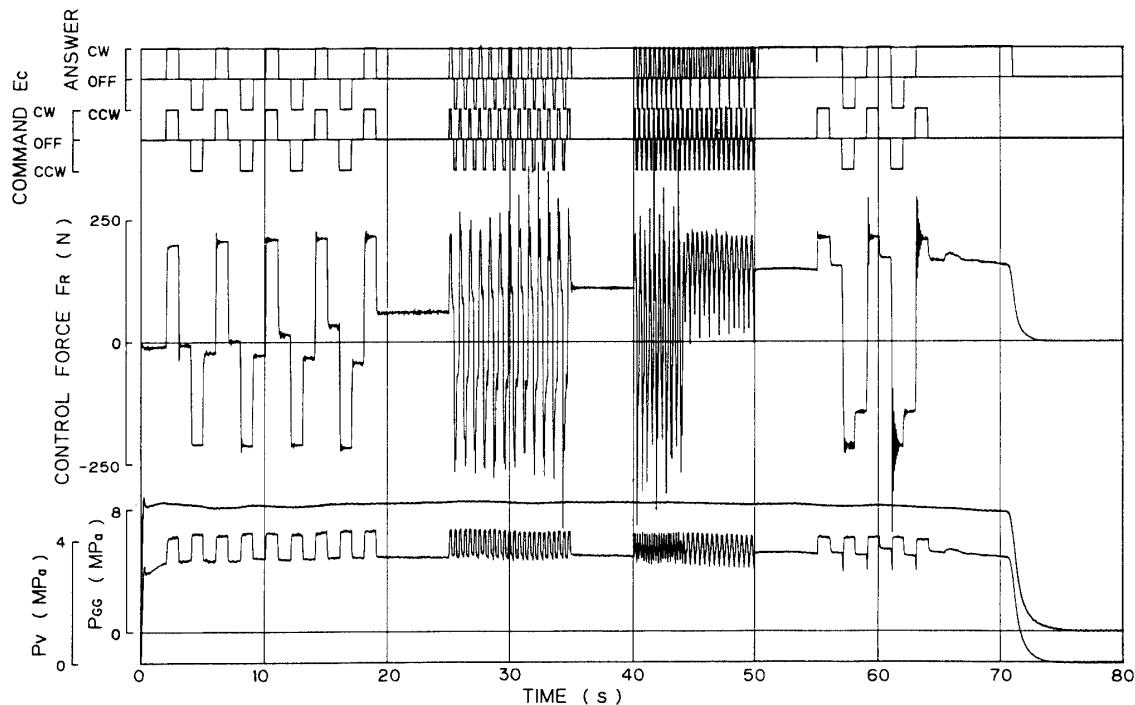
第8図 SPGG レストリクタ強化対策効果確認試験結果

なり得る。

接着剤にシリコン・グリスを混入して意図的にレストリクタ層未硬化部分を設けた人工欠陥機材による不具合再現試験では、昇圧現象の発生は認められなかったが、レストリクタ層を強化し、スペーサによるシリコン・グリス掃拭効果を低減するために、第7図の製造手順の①→②の間に[推薬ブロック外周面に接着剤塗布・硬化]という工程を追加し、スペーサの形状・板厚を長・短軸 20 mm × 13 mm の小判型・2.5 mmt に改めた試作機材で効果確認試験を試みた。この追加工程によって得られる予備レストリクタ層の板厚は、約 0.2 mmt と薄い。皮肉にも、その効果確認試験において、微弱ながら一時的昇圧現象が再発した。燃焼内圧曲線を第8図に示す。同曲線と重ねて示したX線検査によるスペーサ残留位置調査結果によれば、総数 16 枚のうち第1列の 2 枚が脱落し、第3列の 1 枚が初期接着位置から大きくずれている。一時的昇圧の発生は、第3列の移動スペーサの位置近傍を炎面が通過する時間帯に対応している。

効果確認試験における一時的昇圧現象は、推薬ブロックをFRPケースに挿入する過程で、摩擦によりスペーサが剥離・移動し、同部位のレストリクタが損傷したためと推察された。2号機搭載機材での同種不具合の原因是この時点でも不分明であったが、更にレストリクタの強化が必要と考えられ、前述の追加工程で得るべき予備レストリクタの板厚を倍増すると共に、スペーサの板厚を一層薄肉化(1 mmt)し、その端部を整形して摩擦による剥離を予防することとした。

第2次対策の効果確認試験は、時期的に3号機搭載機材の製造期間にずれ込む事情にあ



第9図 M-3 S-3号機 SMRC 領収試験結果

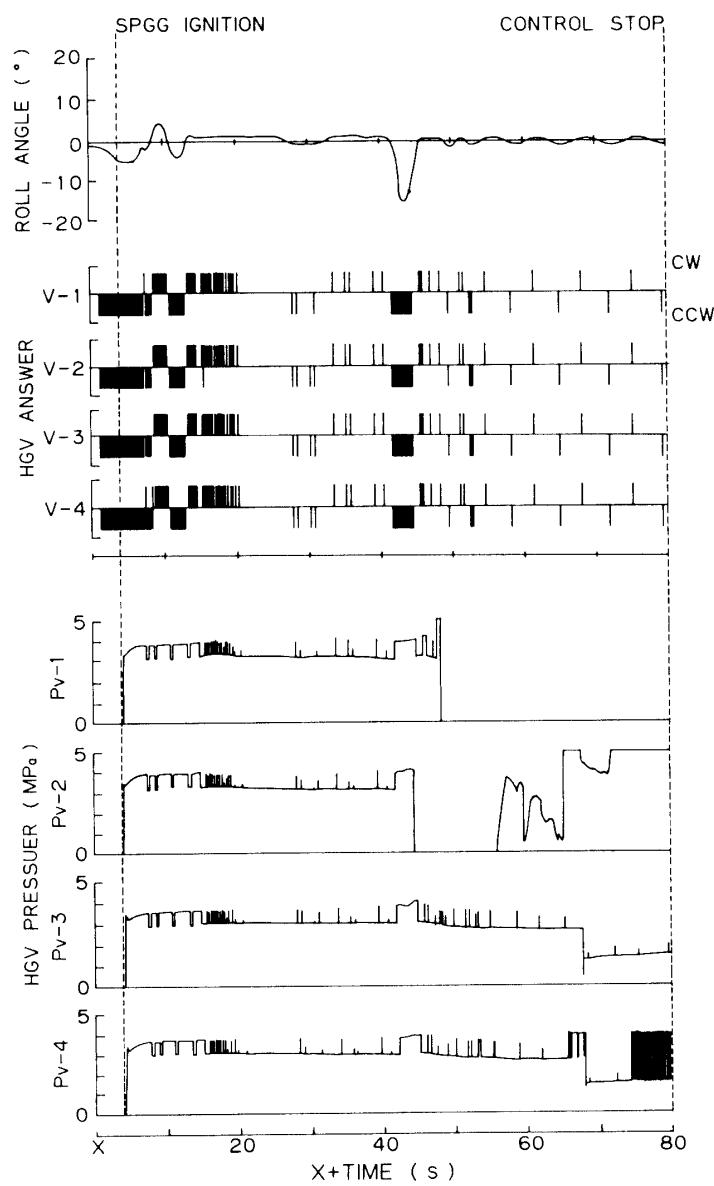
ったため、その領収試験を以てこれに替えることとされた。

3-3. 3号機のSMRC—中立時推力不balance

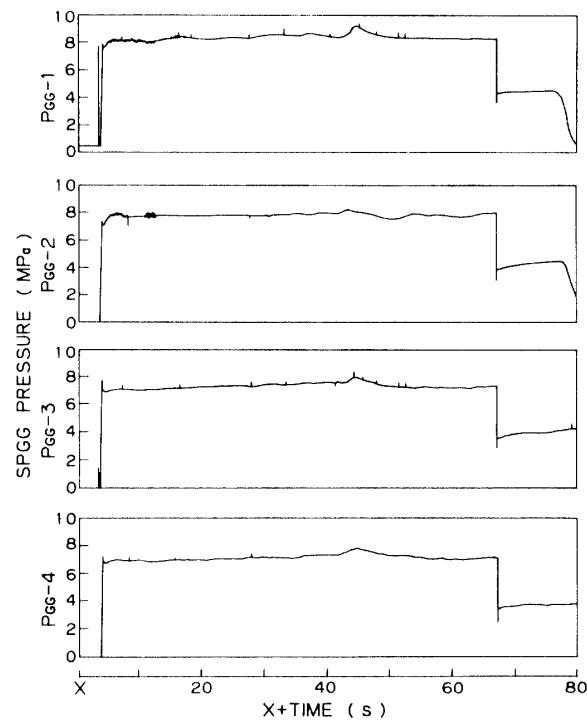
3号機搭載SMRCのSPGGは、3-2に述べた最終対策案に従って製造された。その領収試験の結果を第9図に示す。同図に見る様に、圧力曲線は極めて平坦で一時的昇圧異常に對する対策の効果は十分と判定されたが、推力曲線の示す中立時残留偏向推力が時間の経過と共に異常に増大して行くという新たな不具合が発生した。試験後の分解調査の結果、フラッパ・アームと駆動軸との機械的結合が弛緩しているのが判明した。同機械結合は、前掲第2、3図を見て分る様に、楔形に整形した駆動軸端縁部をフラッパ・アームと固定用アダプタで挟み、両者を2本のボルトで締上げ固定する機構によっており、結合部はHGVの高温・高圧室内に設けられている。上記不具合は、SPGG燃焼の進行に伴なう熱負荷の増大によって同部の結合力が低下し、その弛緩の度合が経時に増大した結果と推定された。

期間的余裕の不足から、3号機搭載機材に対しては、この駆動軸を挟むフラッパ・アームとアダプタの結合ボルトの締付トルク規定値を540 N·cmから590 N·cmに増強するという暫定的な対策を施しただけで飛翔実験に臨んだ。3号機SMRCの飛翔データを第10図に示す。図中、X+45s以降におけるHGV内圧Pvの異常挙動は、計測系の不具合によるものでSMRC本体の不具合に起因するものではない。

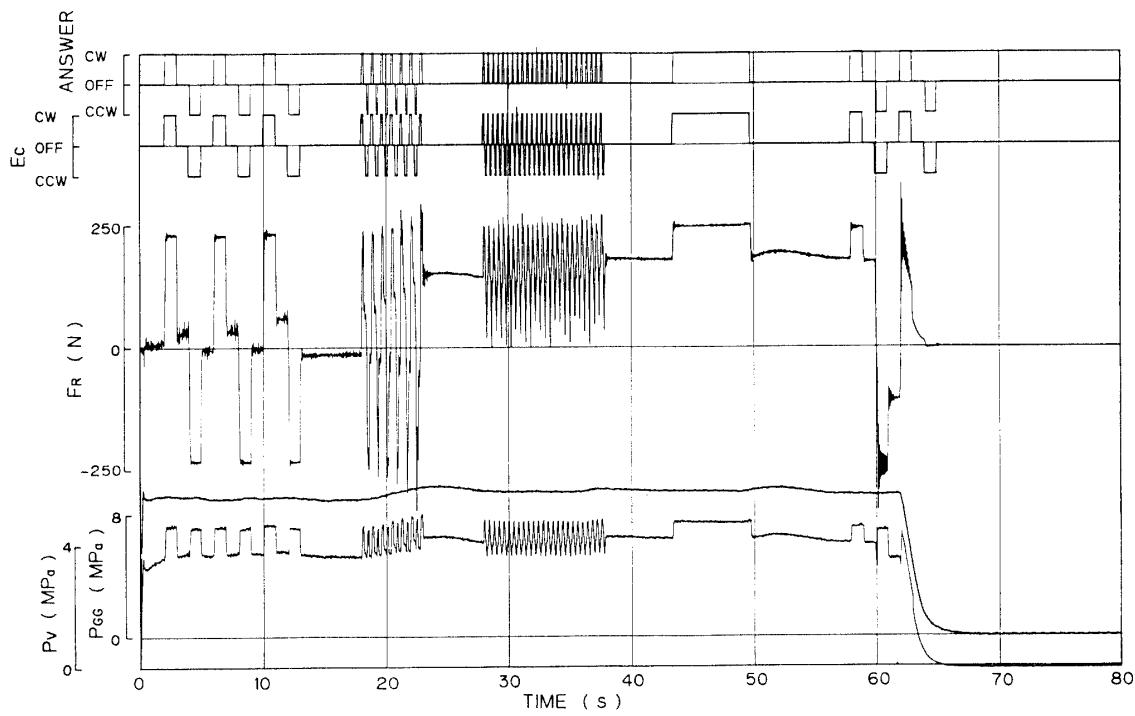
今号機から、搭載SPGGの燃焼特性を調査するため、機体計測の項目にSPGG内圧PGGが追加された。第11図に示す測定結果によれば、X+45s付近で4基中3基のSPGGに



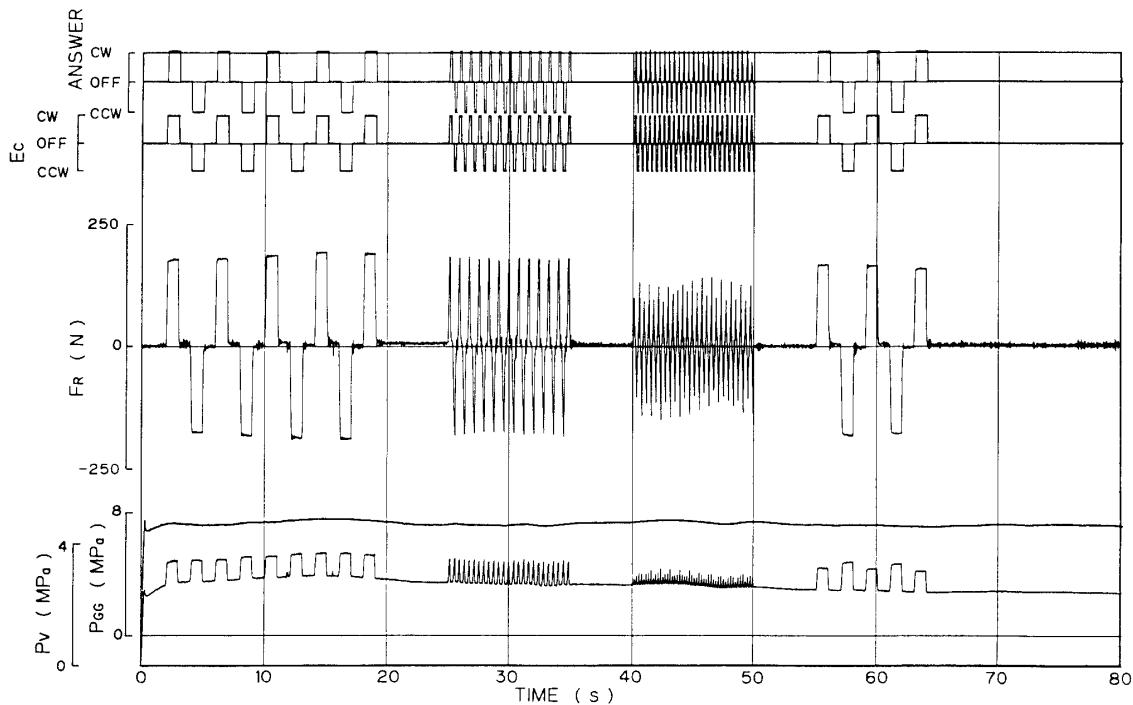
第10図 M-3 S-3号機 SMRC 飛翔データ



第11図 M-3 S-3号機 SMRC SPGG 内圧測定結果



第12図 M-3 S-4号機 SMRC 領収試験結果



第13図 ST-735 SMRC 領収試験結果

微弱ながら一時的昇圧挙動の発生が認められる。

3-4. 4号機のSMRC—再び中立時推力不平衡

3号機SMRCにおいて、軽微な一時的昇圧現象の再発は認められたものの、そのロール制御機能は満足すべきもので過大な中立時残留偏向推力に起因する様な異常挙動も観測されなかつたことから、4号機搭載機材も、基本的に3号機のそれと同一仕様に基づいて製造されることになった。

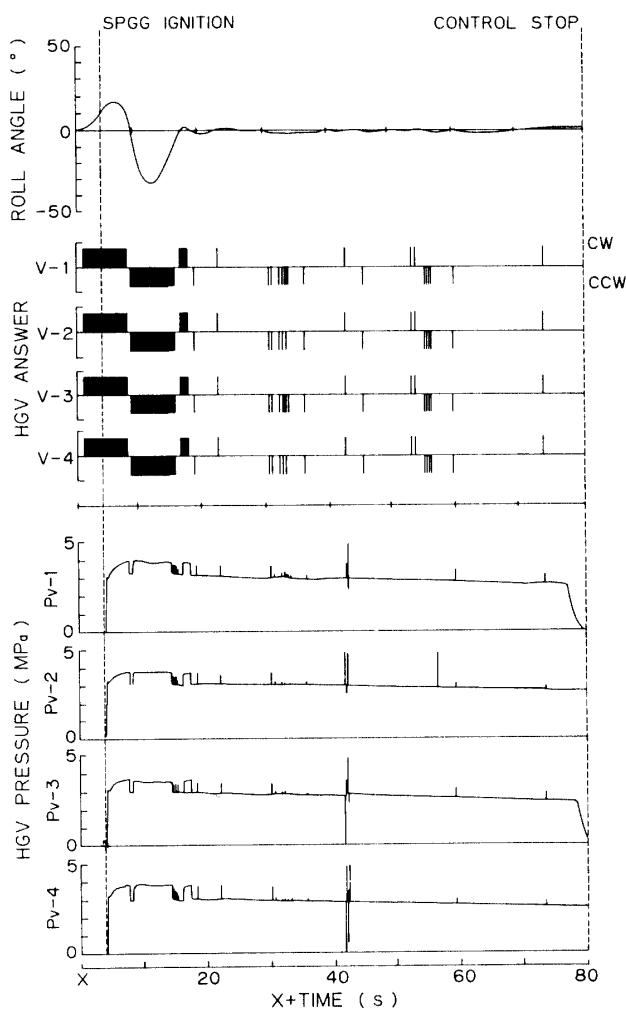
安易な予想に反して、4号機SMRCの領収試験機材は、第12図に示す様に、3号機の同機材より更に劣悪な中立時残留偏向推力の経時的増加挙動を示した。試験後の分解調査によって、3号機SMRC領収試験時と同様、フラッパ・アームを駆動軸に固定するためのアダプタ結合ボルトの弛緩が認められ、原因が共通であり3号機搭載機材に対する対策が抜本的でなかったことが判明した。

既に第4表に示した様に、フラッパ・アームと固定用アダプタおよび駆動軸が同質のTiMo合金製であるのに対して、前2者を結合するための2本のボルトはNb合金製であった。両合金の熱膨張係数を比較すると、第6表に示す様に、後者の方が3割方大きい。

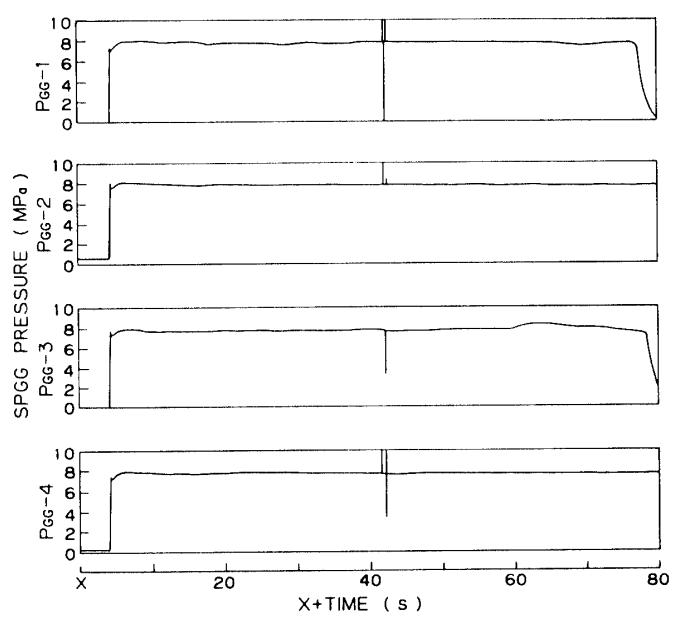
第6表 TiMo合金とNb合金の熱膨張係数比較

| 合金・組成 | 線膨張係数 1/°C @ 800°C |
|------------------|-----------------------|
| TiMo合金 Mo-0.5 Ti | 5.9×10^{-6} |
| Nb合金 Nb-1 Zn | 7.9×10^{-6} |

量的な差異はともかく、従前の機材で常に存在した中立時残留偏向推力が、主にこの素材の熱膨張率の差に起因するとの判断から、急拡、搭載機材の上記結合ボルトの材質を被結合体と同材の TiMo 合金に変更すると共に、固定用アダプタの形状をより剛性の高いものに改めることとした。



第14図 M-3 S-4号機 SMRC 飛翔データ



第15図 M-3 S-4号機 SMRC SPGG 内圧測定結果

第7表 M-3 S 飛翔 SMRC の制御推力特性

| | M-3S-1 | -2 | -3 | -4 |
|----------------|--------|-------------------|-----|-----|
| HGV 作動時制御推力, N | 220 | 196 ¹⁾ | 206 | 186 |
| 中立時残留推力不平衡量, N | 49 | 49 ¹⁾ | 5 | 0 |

1) SPGG/HGV 一時的異常昇圧時を除く

この対策の効果確認試験は、4号機に先立って飛翔実験に供されるM-3S II型ロケットの補助ブースタ分離機構特性試験用試験機ST-735の搭載SMRC領収試験を兼ねて実施された。結果は、第13図に示す様に極めて良好であった。

上記対策を施した4号機SMRCの飛翔データおよびSPGG内圧計測結果を第14, 15図に示す。これらの図から、一時的昇圧および中立時残留偏向推力の経時的大増に起因すると思しき異常挙動は、一切認められない。

飛翔データを解析して得られるM-3S-1~4号機SMRCの4基平均制御推力特性値を第7表に示す。同表からも4号機における中立時残留推力特性の改善は明白である。

参考文献

- [1] 中村・二宮・小坂・下口「大型ロケットのロール制御装置について」昭和46年度新しい推進系シンポジウム(1971/11)
- [2] 下口・是木・福間・島野「固体モータを用いたロール制御装置について」昭和50年度推進系シンポジウム(1975/10)
- [3] 東口・二宮・山根・藤原・渡辺「L-4 SC-5号機に於ける第一段姿勢制御について」昭和54年度推進系シンポジウム(1979/12)
- [4] 下口・島野「固体モータを使用したロール制御装置の開発」日産技報 第14号(1979)
- [5] L-4 SC-4号機飛翔実験報告書 SES-TN-76-024-SY(1976/11)
- [6] L-4 SC-5号機飛翔実験報告書 SES-TN-80-029-SY(1980/1)
- [7] M-3S-1/MS-T4飛翔実験報告書 SES-TN-80-038-SY(1980/7)
- [8] M-3S-2/ASTRO-A飛翔実験報告書 SES-TN-81-006(1981/6)
- [9] M-3S-3/ASTRO-B飛翔実験報告書 SES-TD-83-010(1983/9)
- [10] M-3S-4/EXOS-C飛翔実験報告書 SES-TD-84-013(1984/11)
- [11] 日産自動車技術レポート 621-Y-50-6「L型SMRC地上試験報告書」(1975/4)
- [12] 日産自動車技術レポート 623-Y-51-106「 ϕ 100L型SMRC地上燃焼試験報告書」(1976/4)
- [13] 日産自動車技術レポート 623-Y-51-116「L-4 SC-4 SMRC飛翔前試験報告書」(1976/7)
- [14] 日産自動車技術レポート 623-Y-53-007「 ϕ 100×700L M型SMRC地上燃焼試験報告書」(1978/7)
- [15] 日産自動車技術レポート 626-Y-54-014「M-3S-1 SMRC領収試験報告書」(1979/7)
- [16] 日産自動車技術レポート 626-Y-54-005「L-4 SC-5 SMRC領収試験報告書」(1979/11)
- [17] 日産自動車技術レポート 625-Z-56-017「M-3S-2 SMRCの圧力上昇に関する検討」(1981/5)
- [18] 日産自動車技術レポート 621-Y-57-003「SMRC中高燃焼検討会報告」(1982/1)
- [19] 日産自動車技術レポート 621-Y-57-014「M型SMRC地上燃焼試験報告書(中高現象対策確認)」(1982/6)
- [20] 日本油脂技術レポート 2品保-資UM-03「SMRC確認試験の内圧上昇について」(1982/5)
- [21] 日本油脂技術レポート 2品保-資USM-05「SMRC推薦調査結果」(1982/5)
- [22] 日本油脂技術レポート 5製-資UP-16「SMRCレス加工について」(1982/6)
- [23] 日産自動車技術レポート 621-Z-60-016「SMRC(Solid Motor Roll Control)」(1985/11)