

能代実験場における燃焼試験装置について

長友 信人・寺田 守男・熊取谷 博偉*

まえがき

昭和 37 年にロケットエンジンの地上燃焼試験場として開設された東京大学能代ロケット実験場は、開設いらい施設、設備の充実を行なうとともに、ロケット推進薬の開発試験、信頼性の確認試験、TVC 試験および真空中におけるスピン燃焼試験、またその他多くの試験が行なわれ成果を上げてきた。同時にこれら多目的の試験に使用する試験装置等もロケットの大型化によって試験内容が高度化し、また複雑化してきたため、そのエンジンの試験目的に応じた装置が要求され設置されてきた。ここでは現在能代実験場に設置されているおもな装置について紹介することにする。

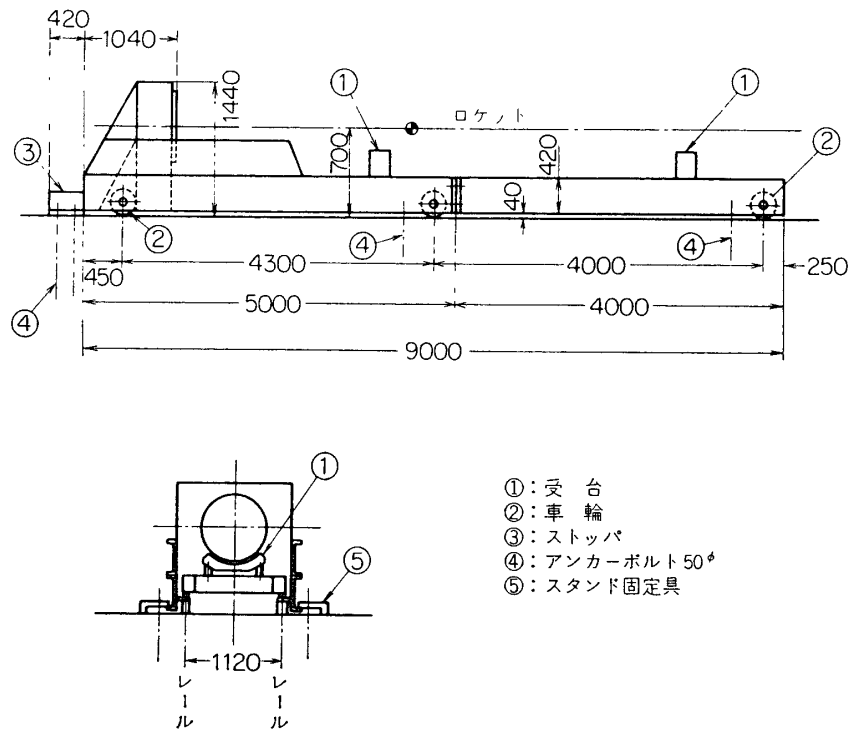
- (1) 一般燃焼試験装置
- (2) SO 試験装置
- (3) 横型スピン燃焼試験装置
- (4) 多分力試験装置 (大型, 中型)

これらの装置はいずれも数回の試験に使用され、一応の目的には使用できた。なお (4) の多分力試験装置については別に報告する。

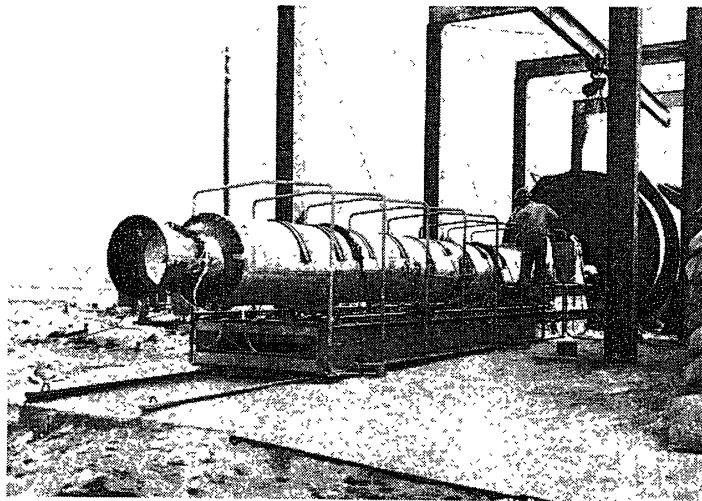
1. 一般燃焼試験装置

この装置はおもにラムダーロケットの大気圧下における燃焼試験に使用するもので、台車式試験装置の試作品として設計、製作されたものである。この装置は過去に 2 度の燃焼試験に使用され試験装置として十分その目的に応ずることが証明されている。また台車試験装置の開発のために必要ないくつかの資料を得ることができた。構造は第 1 図に示すように全長 9 m, 幅 1.5 m, 高さ 1.44 m (推力受けの位置) の軟鋼溶接構造からなり、重量約 4.5 ton である。さらに装置の固定は前部 4 本, 後部 4 本の $50\phi \times 1,000 L$ のボルトで行ない、推力方向のストッパとして前部 4 本のボルトとバックアップとして装置を真空燃焼試験装置で支えるようになっている。またはねあがり止めは後部ボルトで行なっている。これらのボルトは 1 本約 20 ton の強度を持ち、全体で約 160 ton の力に耐えることができる。エンジンのセットは装置上に移動台車があり、前後方向の移動ができる。また上下左右の動きはエンジンとロードセルとの結合の際に使用するものであり、これは微調整ネジによって行なうことができる。

* ユシヤ製作所。



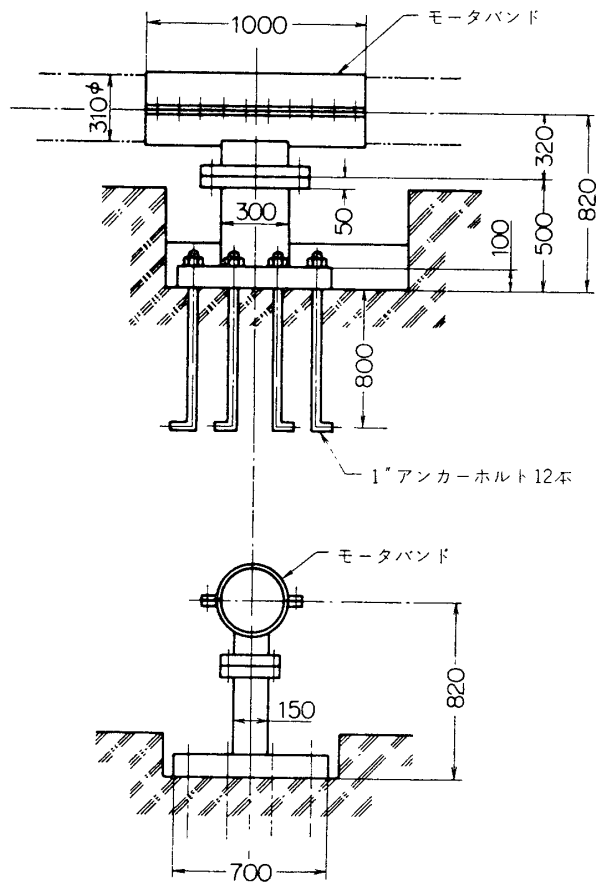
第 1 図 一般燃焼試験装置



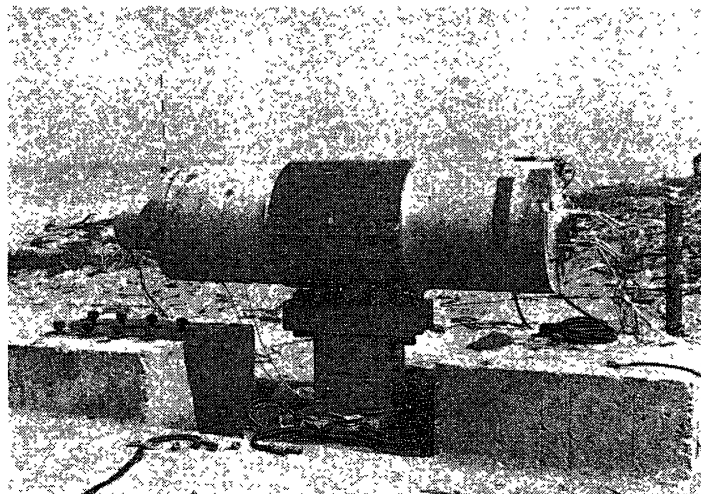
第 2 図 一般燃焼試験装置

2. SO 試験装置

もし何らかの原因によって飛しょう中のロケットが予定の軌道からはずれた場合、地上からの指令によってロケットエンジンを破壊し、推力を停止させ、安全を確保することが必要である。その一つの方法は鏡板を破壊してガスを前方に噴出し有効な推力を小さくすることであるが、この装置はこのようにロケットエンジンの前方後方からガスを噴射するタイプの



第 3 図 SO 試験装置



第 4 図 SO 試験装置

ものの推力測定を行なうためのものである。そこでこの装置は第 2 図に示すようにエンジンの平行胴部を支持するように設計されている。この装置を固定するコンクリートベースは、長さ 4.5 m、幅 3.5 m、深さ 1 m で重量約 30 ton のものである。またエンジンの固定は長さ 1 m、厚さ 20 mm の軟鋼製のバンドをボルトによって締付けるようになっている。さらに実験時の衝撃から支持台を保護するため保護壁が設けてある。計測はベースと支持台との中間にゲージをはりつけ主推力および横推力を計測できるようになっている。

3. 横型スピン燃焼試験装置

無誘導のロケットの飛しょう安定には大きくわけて二つの方法がある。その一つは尾翼によるもの、もう一つはロケットにスピンを与えて安定を保つものである。ミューロケットおよびラムダロケット 4 段目 (球形エンジン) の飛しょう中の安定はスピン方式である。この場合、ロケットがスピンを与えられたときにエンジンの燃焼性能はどのようになっているかを真空環境を加味した状態で試験をし、次のような諸特性を明らかにする。

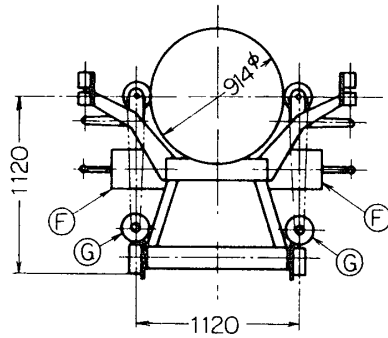
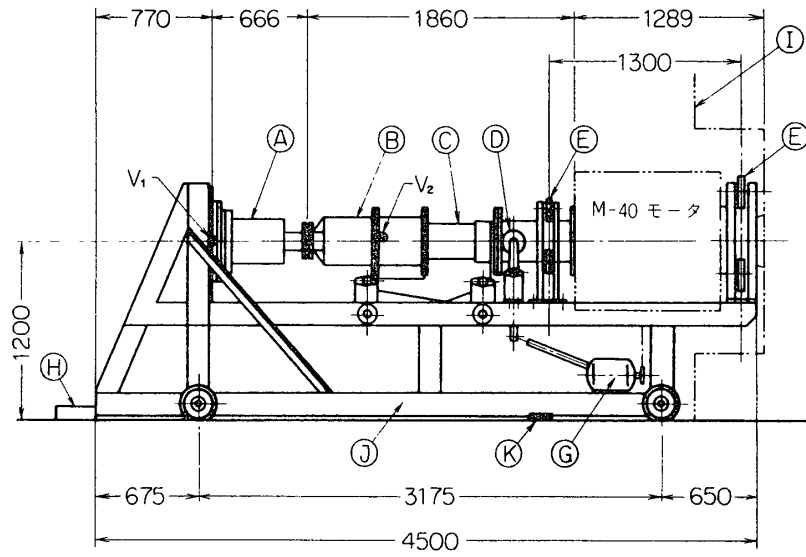
- (a) 燃焼中のスピン加速および遠心加速による燃速の変化
- (b) スピン状態での燃焼特性
- (c) 点火モータの着火性
- (d) 衛星部分に与えるふく射熱等。

これらの諸特性を調べる目的で作られた装置が横型スピン燃焼試験装置である。この装置は真空燃焼試験装置内に設置され、高空を模擬した低圧環境下においてエンジンにスピンを与え、燃焼試験を行なう。本来この種の装置は回転部の摩擦を減らしてエンジン燃焼によるスピン速度の変化などを計測できることが望ましいが、この場合、製作上の問題から与えられた一定の回転状態での燃焼を実験するための装置ということになった。

4. 装置概要

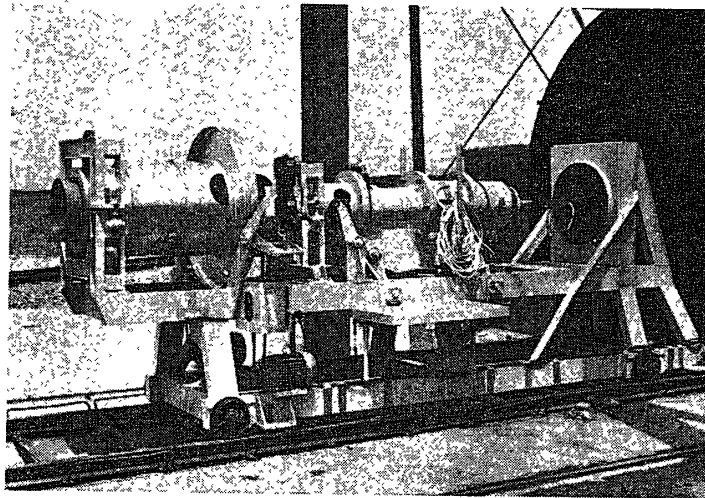
装置の構造については第 5 図に示す。ここでは装置の機能について簡単に述べ、後に主要構成部をわけて説明する。まず機能について述べると、エンジンは前部と後部のエンジン受台の間にセットされ前、後はおのおの 3 個のウレタン製のキャストによって支持される。この支持されたエンジンはアダプタによって計器部に結合される。駆動は誘導モータによって行ない、プーリー伝達でエンジン受台の平行胴部をローラー接触によって行なっている。このローラーは計測室側からの信号により着脱することによりクラッチの作用をさせている。なお回転した場合にノズル側への動きを防ぐためバックスラストキャストが取り付けられている。回転が与えられたエンジンから推力計への推力の伝達はスラスト軸受、ラジアル軸受およびカップリングを通して推力計に伝達されるしくみになっている。また計測系 (温度、ひずみ、振動、内圧、など) の伝達はスリップリングを通して計測されるようになっている。装置の構成はおもに次のようにわけることができる。

- 1) エンジン支持部
- 2) 推力および計測の伝達装置
 - a. スラスト軸受およびラジアル軸受



- A: ロードセル
- B: スリップリンク部
- C: スラスト受用ベアリング
- D: バックスラスト用ローラ
- E: 3点支持台
- F: 駆動装置
- G: 駆動装置用モータ
- H: ストップ
- I: 真空槽
- J: 台車
- K: はね上がり防止ストップ

第5図 横型スピンの燃焼試験装置構造



第6図 横型スピンの燃焼試験装置

- b. バックスラストキャスト
- c. スリップリング
- 3) 駆動装置
- 4) スタンド (台車)
- 5) ストップ

4.1 エンジン支持部

第5図㉔に示すもので、前部エンジン受台、後部エンジン受台からなり、エンジンはおのおの3点支持のウレタン製キャストによって支えられている。この支持部は開閉が容易にできるようになっており、エンジンセットが無理なくできる。またエンジンセット後はキャストとエンジン部との接触面の強さがネジによって調整できるように工夫されている。

4.2 推力および計測の伝達装置

この装置の構造は第5図㉕に示す。

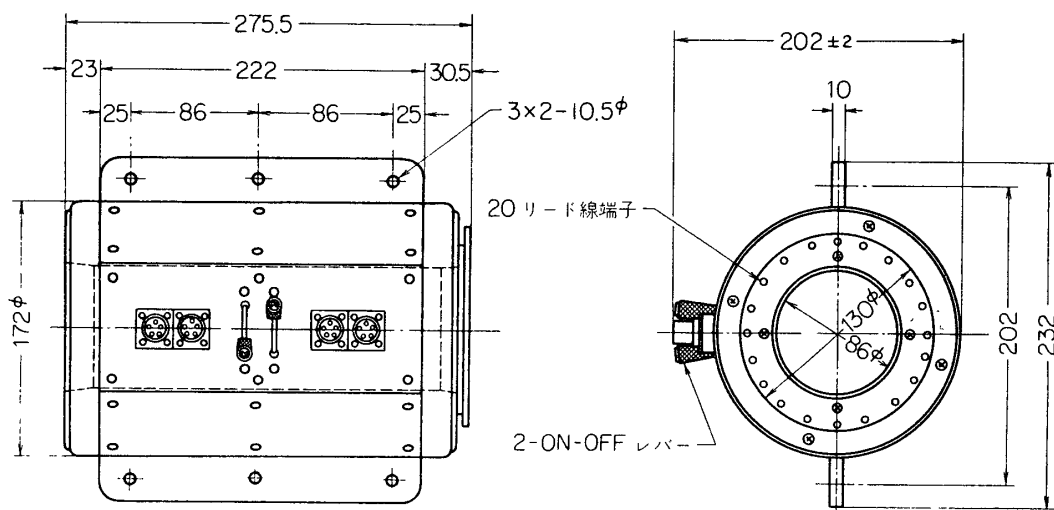
a) スラスト軸受およびラジアル軸受

この装置で使用されているスラスト軸受およびラジアル軸受は第5図㉔に位置しているもので、ラジアル軸受については、玉軸受が単列で使用されている。またスラスト軸受はラジアル荷重も受けることのできるアンギュラコンタクト軸受の円錐ころ軸受が単列で使用されている。なおこのスラスト軸受の荷重特性は接触角が大きいので、大きいスラスト荷重に耐えることができる。またこれは低速用にも使用できるものである。

b) バックスラストキャスト

構造については第5図㉔に示す。

この装置は燃焼中の振動および回転などによる影響で回転部がノズル側に動くことを防止するために取付けられている。これはスタンドからバックスラストキャスト部にスプリングが取付けられてあり、このスプリングの強さを調整しながらゴム製キャストを伝達装置部に接触させ、ある一定の力で推力計方向におさえられるようになっている。



第7図 スリップリング構造および寸法

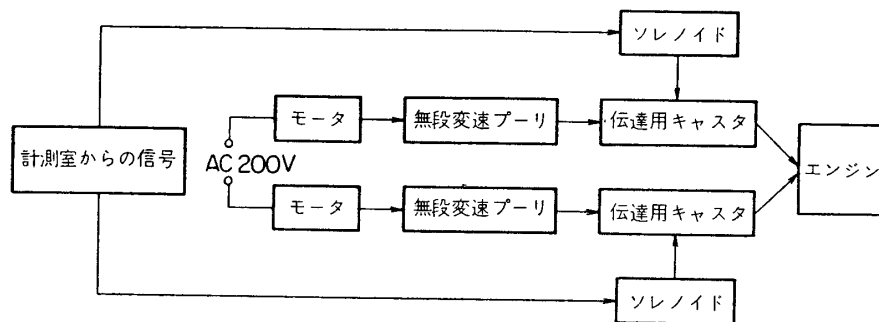
c) スリップリング

このスリップリングは第5図⑩に位置しているもので、その構造は第7図に示すように、回転部（リング側）と固定部（ブラシ側）からなっており、リング側はブラシ側に対して玉軸受で支持されている。

ストレンゲージを使用してあるこのスリップリングは接点の接触抵抗が少なく、特にその変化が小さいことが条件とされている。そこで接点材料には銅リングと磷青銅ブラシが使用されており、一組の接点には一個のリングに対して2個のブラシが使用され、回転時の接触抵抗変化減らしている。また絶縁部は高絶縁ベークライトを使用している。スリップリングを通して30極の測定ができる。

4.3 駆動装置

装置の機構は第5図⑨に示す。ここではエンジンに回転を与えるまでの系統図を示し、作動方法を説明する。第8図に系統図を示す。



第8図 駆動系の構成

まず駆動用モータに外部からの信号で回転を与えておき、無段変速プーリを通して伝達用キャストを指定された回転数に調整し、回転状態にしておく。それから外部から電磁スイッチに信号を与え伝達用キャストを作動させエンジン部に接触させて、その摩擦力で回転が行なわれるしくみになっている。なおこの装置は同じものを2つ取付け回転数の安定を保っている。

4.4 スタンド（台車）

このスタンドは軟鋼溶接構造で、おもにチャンネル材を使用している。構造は第5図①に示すごとく、上部にはエンジン支持部、推力および計測伝達装置、駆動装置等が固定されている。また前部垂直面は定盤になっており、推力計が取付けられる。なおスタンド（台車）には車輪が取付けてあり、レール上を自由に移動できる、また微少の移動はベビーウインチで行なうことができる。

4.5 ストッパ

このストッパは第5図⑭、⑮に位置し、エンジンの燃焼試験中の推力またはその他の原因による移動を防止する。これらのストッパの⑮に位置しているものは、おもにはね上がりを防ぐもので、スタンド前部⑭のストッパは軸方向の力に対して移動しないような働きを持ったものである。ここで、これらのストッパについて強度的にみると次のようになる。まずは

ね上がり止めについては、軟鋼 20φ ボルトが4本（スタンドの両側の前後）が取付けてあり、最大約 3.2 ton までは安全である。また、スタンド前部のストッパは 6.5 t×75×50 のチャンネル材料が、レール上に軟鋼 20φ ボルト 8 本によって固定されており、最大約 31 ton までは安全である。

5. 装置の特性

ここで述べる特性については、昭和 45 年 3 月能代実験場において行なわれた M-40-4 エンジンの地上燃焼試験で測定した、回転特性および振動特性について、データを紹介し、簡単な考察を加える。

5.1 回転特性

回転特性の測定は次の二つの目的を持って行なわれた。

- a. 点火時において所要の回転数に合わせる。
- b. 燃焼中の回転数の変化を連続して測定する。

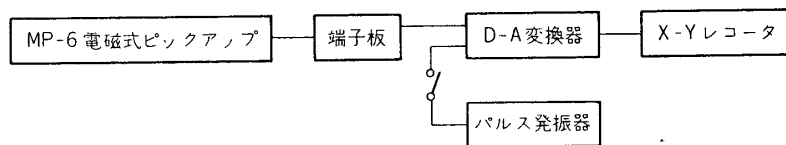
しかし、b については摩擦が大きいため不十分な結果に終わっている。

1) 測定方法

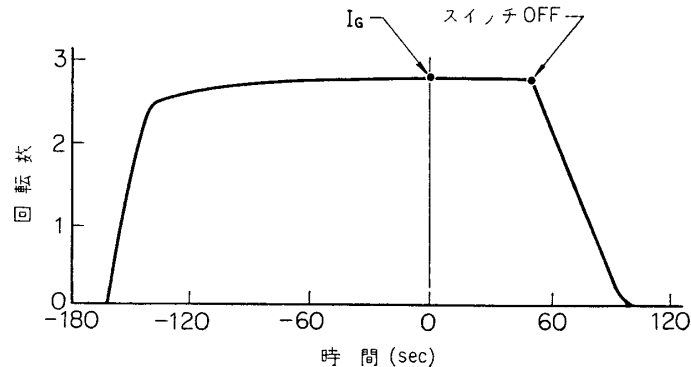
測定系統図を第 9 図に示す。回転数の検出部は電磁式ピックアップからパルス信号を得て、D-A 変換器をとおして X-Y レコーダに記録する。また回転数の校正には実際の回転数に相当するパルス信号を D-A 変換器をとおして X-Y レコーダに校正目盛を任意記録して行なわれた。

2) 測定結果

この測定は所要回転数 2.7 c/s に対して、第 10 図の結果から X 時の回転数 2.73 c/s、燃



第 9 図 回転数測定系の構成



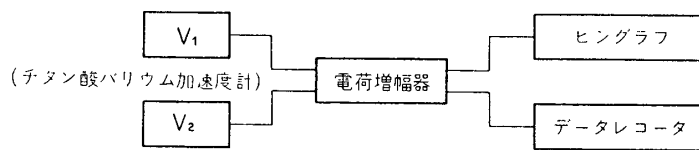
第 10 図 回転数測定結果

焼中の回転数はX時の 2.73 c/s を一定に保っていることがわかる。なお X-160 秒から回転が始まり、所要の回転数まで上昇するのに約 70 秒かかっている。これは伝達用キャストのスリップまたはVベルトのスリップによるものと考えられる。

5.2 振動特性

この振動の測定は低圧環境下においてスピンの燃焼中のチャンバ振動およびスタンド振動について行なわれたものである。ここではスタンド振動の結果を紹介する。測定系統図を第 11 図に示す。

- 1) 測定位置 第 5 図の黒丸印 2 個所である。(軸方向に取付)
- 2) 測定結果



第 11 図 振動測定系の構成

第 1 表 振動測定結果

No	V ₁	V ₂
sec		
点火時	1.8 G ^{P-P}	2.1 G ^{P-P}
10	0.5	0.2
20	0.6	0.25
30	0.6	0.3

第 1 表に示すように点火時および燃焼中の振動は他の計測 (推力, 内圧等) に影響を与えることはなく, 比較的静かなものである。

6. あとがき

これらの装置はいずれもすでに数回の燃焼試験に使用され, 一応の目的は達せられた。しかし横型スピン燃焼試験装置については初期の目的であった自由回転状態での燃焼中のスピン加速, および遠心加速による燃速等を調べることができなかった。自由回転状態を作り得なかった原因として考えられることは,

- 1) エンジン支持部と推力伝達系との中心軸の誤差による変芯からの摩擦抵抗の増加によるもの。
 - 2) エンジン支持部のキャストとエンジン部との接触面の摩擦力が大きい場合。
 - 3) スリップリングが予想以上に摩擦抵抗が大きい場合などがおもなものと考えられる。
- これらの原因については十分検討をするとともに, 将来自由回転状態を作り得る装置の開発に当たって解決しなければならない問題点である。最後にこの報告を書くにあたり, 御助言下さった推進班の諸先生方に厚く謝意を表する次第である。

1972 年 6 月 10 日 新設部(工学)

参 考 文 献

- [1] M-40-4 地上実験計画書：東大宇宙研 SES-TN-70-008 (1970)
- [2] M-40-4 地上実験報告書： " SES-TN-70-010 (1970)
- [3] 倉谷, 秋葉, 宇宙研報告第 4 卷, 第 4 号 (1968)