

## (II. 3. 5)

# 点火器の形状・材質と不安定燃焼との関連について

岩 間 彬・青 柳 鐘一郎  
祖父江 照 雄・山 崎 毅 六

## A Correlation of the Geometrical Configuration and Material of the Igniter Case with the Combustion Instability

By

Akira IWAMA, Syoichiro AOYAGI, Teruo SOFUE and Kiroku YAMAZAKI

**Abstract:** The igniter for use in a solid rocket motor is an important member of combustion chamber structure. The amplification of a pressure disturbance in the motor may occur due to the malfunction of the igniter itself under appropriate conditions. The static firing tests of SSR 1/4 size motors (the grain of  $100\text{mm}\phi\times 560\text{mm}L$ ) equipping two different types of igniter were conducted, and their results were discussed on the aspect of the combustion pressure; one is the mild steel or acetyl cellulose case of tubular form charging MAK-54 and black powder pellets, the second is of cage type, located at the head end of motors. It has been proved that the tubular igniter case makes a spike on the combustion pressure-time history which may be on occasion to the oscillatory combustion, when the undecomposed material of the igniter case passes through the nozzle throat. On the other hand, the cage type igniter is free from such a trouble.

### 概 要

固体ロケットモータにおいては、点火器が燃焼室構造の重要な要素となっている。その幾何学的形状とケース材が燃焼室内のガスに与えるじょう乱の大きさによっては、点火器自身が音響振動を増幅するきっかけをつくり、不安定燃焼に成長する原因となり得る。

この研究は、SSR 1/4 モータ（グレイン  $100\text{mm}\phi\times 560\text{mm}L$ ）に、管状点火器とかご型点火器の2種を装備して、地上燃焼実験を行ない、モータの燃焼安定性に主眼をおいて、両者を比較したものである。管状点火器は、軟鋼またはアセチルセルローズ製ケースに黒色火薬と MAK-54 を充填したもので、フォアヘッド側自由流路にとび出している。一方かご型点火器は、フォアヘッド鏡板の外側に取付けられ、着火後、未燃固型物がノズルを通過するおそれは全くないという特長をもっている。

前者は、ノズルスロートを未分解のケース材の一部が通過するとき、燃焼ガスにかなり大きいショックを付与し、燃焼圧力-時間曲線に小スパイクを生じ振動燃焼を起こす場合もある。これに対し、後者はこのようなトラブルがなく、モータの燃焼安定性を高めている。

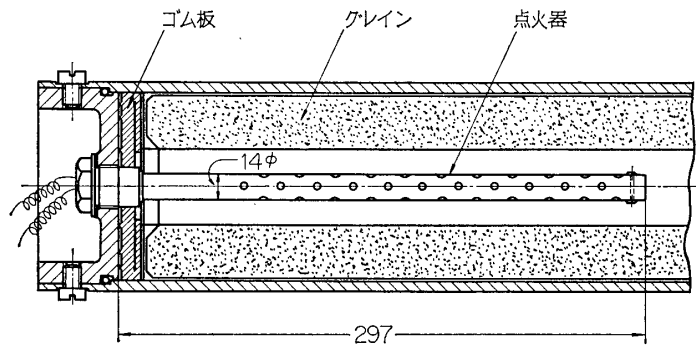
## 1. 緒 言

固体ロケットモータでは、一度点火に失敗すると、すぐに再着火するのが、かなりむずかしい。そのうえ、点火器もモータの幾何学的形状を決める一要素となって燃焼安定性と関連するから、点火薬の成分、量などはもとより、ケースの形状や性質についても十分吟味を経てから用いなければならない。この報告は、点火薬のケースの材質と形状が音響的振動燃焼と密接な関係をもつことを強調し、外径 100mm、長さ 560mm (SSR 1/4 モータに相当) の内面燃焼型グレインの地上燃焼試験に試作点火器を用い、燃焼圧力-時間曲線を観察して、異常燃焼のきっかけをつくるおそれがない点火器の設計を提案する。

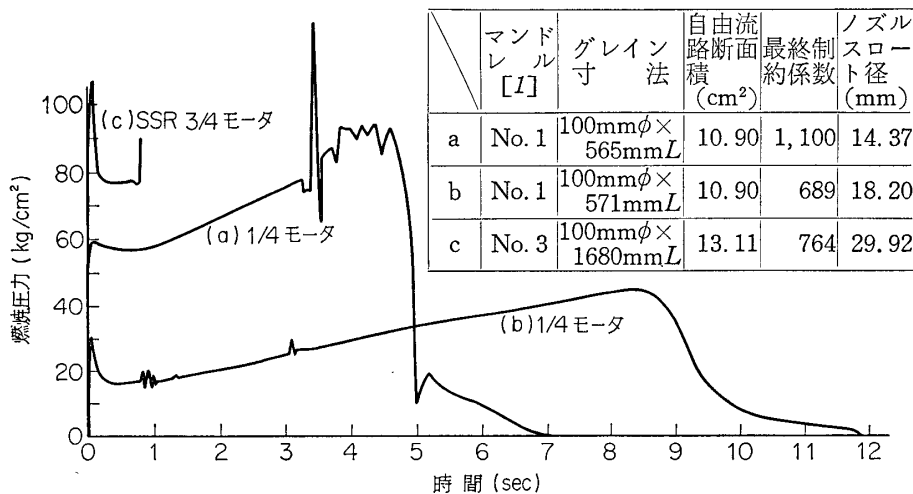
## 2. 実験結果と検討

### 点火薬ケースの材質の選定

第1図は管状点火器の略図である。点火薬ケースは、外径 14mm、肉厚 1mm、長さ 300mm の軟鋼製で側面に径 4mm の小孔が多数あけてあり、そこから火炎が吹き出す。点火薬の成分は 12gr の黒色火薬と、15gr の MAK-54 の2種からなり、スキップのみは粒状黒



第1図 管状点火器を装填したロケットモータ前頭部



第2図 管状点火器を使用したときの代表的な燃焼圧力-時間曲線

色火薬で包み、ほかはいずれもペレット状に成形されている。

点火器は、モータ前頭鏡板の中央に固定し、第1図のように、電源と結びリード線は、その根本をシーラントで固め、ガスタイトにする。これを使用したモータの燃焼圧力曲線の1例が第2図(a)である。推進剤グレインの燃焼温度(断熱燃焼温度  $2,980^{\circ}\text{K}$ )は軟鋼の融点より格段に高いため、燃焼の途中で溶断したケースの一部がノズルスロートをつめ異常燃焼を起こした。

第2図(b)は、このケースを同寸法のアセチルセルローズ管に置き換え、点火電源を結びリード線(径1mm)はノズル側から引出した場合の燃焼圧力-時間曲線である。この点火器は軟鋼製のようにノズルをつめるおそれはないが、SSR 3/4モータでは、この型の点火器を使用して、第2図(b)の小スパイクが発生する時期に、しばしば振動燃焼が発生し、モータが爆発する事故を経験した。

#### 管状点火器とかご型点火器の比較

異常燃焼を起こす様相を分類すると、その原因が構造欠陥によるものを除き、次の2種類に分けられる。

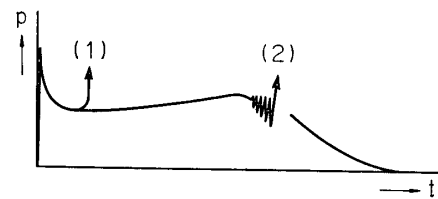
(1) 点火後 0.5~2.5sec で発生(第2図(c), 第3図(1))

(2) tail-off の期間に発生(第3図(2))

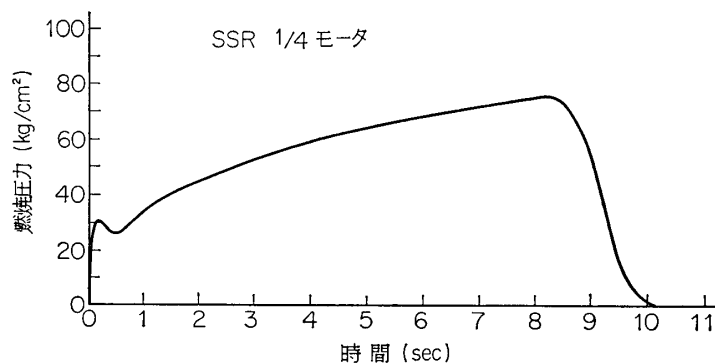
いずれも、軸モードの音響的振動燃焼とみられるが、(1)はとくに致命的で、燃焼圧力が急激に上昇し、たとえ安全弁が作動してもモータの破損は免れることはできない。これに対し(2)はスパイク状の突起をつくり定常燃焼圧力に戻る場合もあって、(1)ほど激しい燃焼圧力の上昇はみられない。

点火器が関連しているのは(1)の異常燃焼と思われる。その理由は、管状点火器を使用すると、正常燃焼が得られたモータの場合においても、(1)の振動燃焼が発生するのと同じ時期に燃焼圧力-時間曲線上に小さなスパイクが認められるからである(第2図(b))。

これは、アセチルセルローズ管の一部が固態のままノズルスロートを通るために、モータ内の燃焼ガスにじょう乱を与えることになるからであろう。その証拠に、燃焼実験終了後ノズルから飛び出した点火器の残がいが発見された例が多い。



第3図 異常燃焼の発生時期



第4図 かご型点火器を使用したときの燃焼圧力-時間曲線の一例

一方、かご型点火器を用いると、振動燃焼を励起する固形物の排出がなくなり、このスパイクは消え、モータの燃焼安定性は一段と高まる。第4図は、かご型点火器を用いた SSR 1/4 モータの燃焼圧力-時間曲線の1例を示す。これからわかるようにかご型点火器を使うと燃焼圧力はなめらかに推移し、管状点火器のように、かなりのかきがある未燃固形物がノズルスロートを狭くすることがない。

この点火器は、SSR A(ロ) 1/1 薄肉モータで14回にわたる地上燃焼実験に使用されたが、第2図(a)または(c)の異常燃焼は全く発生しなかった。SSR 打上げ機 HT-1~3号機にもこの点火器が採用され、飛しょう実験に成功した。

### 3. 結 論

振動燃焼のきっかけを点火器がつくる1例として、内面燃焼型モータの自由流路に突き出ている管状点火薬ケースがあげられる。この種の点火器は、大型ロケットモータには使用可能と思われるが、小型ロケットモータには適していない。また、この点火器を使用するにしても、過塩素酸アンモニウムをベースとする燃焼温度の高い推進剤には、点火薬ケースに軟鋼製のものは使用できないことはもちろん、熱分解しやすいアセチルセルローズさえも危険である。たとえば、高温燃焼ガスにさらされても、未分解固形物がノズルスロートを通過する結果、定常燃焼圧力にスパイクが発生し、それが振動燃焼を励起する可能性があるからである。

かご型点火器は、このような欠点が全く除かれ、ロケットモータの信頼性を向上させる役割を果たしている。

1966年6月3日 材料部

### 参 考 文 献

- [1] 山崎毅六, 岩間彬, 林 実, 岸 和男: 低燃焼速度の混成系推進剤の侵食燃焼と点火ピークの抑制について, 本特集号[II.3.2]