

高燃速圧伸ダブルベース推進薬の燃焼速度

詫問 浩和*

圧伸ダブルベース推進薬の高燃速化のため、鉛と銅の燃焼触媒を使用して燃焼性能を評価した。推進薬の製造方法は溶剤式と無溶剤式の2方法で行ない、それらの製造条件も検討した。その結果、無溶剤式推進薬の方が溶剤式よりも高い燃焼速度が得られることがわかり、触媒の種類と量の検討により理論比推力246秒の推進薬で30mm/sを越えるプラトー燃焼速度が得られた。

1. はじめに

推進薬の高燃焼速度化は、高い充填率を持つロケットモータの設計を容易にするため、またロケットモータの高性能化を図る上で有用な技術である。過塩素酸アンモニウム (AP)系コンポジット推進薬では、カトセンや微粒酸化鉄などの燃焼触媒あるいはUFAP等の比表面積の大きなAPを使用したり、バインダとしてGAP等のエネルギーバインダを使用することで10 MPaの圧力において30mm/s以上の高い燃焼速度が報告されている。^{1) 2)}

一方ダブルベース (DB)推進薬は、無煙性である他、燃焼触媒を添加することにより温度・圧力不感型推進薬が得られるなど、防衛用推進薬として興味ある特徴を示すが、比推力が低いこと及び上記の高燃速タイプのコンポジット推進薬に比べると燃焼速度が劣るという問題がある。また、高比推力タイプのダブルベース推進薬に対しては燃焼触媒の効果が小さいことが報告されている。³⁾

そこで本研究では、比較的エネルギーの高い推進薬について高燃速・低圧力指数化の検討を行なった。推進薬の製造方法としては、溶剤法と無溶剤法の2方法について検討し、推進薬の燃焼速度はクロフォード型ストランド装置を使用して評価した。

2. 実験

2.1 推進薬組成

本実験に使用した推進薬はTable 1に示すA~Eの5種類である。高エネルギー化を図るために可塑剤の比率を減らし、ニトロセルロース、ニトログリセリンの

Table 1 Propellant compositions

Sample	NC	NG	PL	2NDPA	BM-I	BM-II
A	47	45	2	2	4	-
B	47	45	2	2	-	4
C	50	40	4	2	4	-
D	50	40	4	2	-	2
E	50	40	4	2	-	4

NC : Nitrocellulose, NG : Nitroglycerin,
PL : Plasticizer, 2NDPA : 2-nitrodiphenylamine
BM : Ballistic Modifier

比率を高めた組成としている。10MPaの圧力における推進薬の理論比推力は、AとBが約246秒、C~Eが約239秒である。

可塑剤にはアジピン酸のエステルを使用し、安定剤には2-ニトロジフェニルアミンを使用した。燃焼触媒としては触媒Iと触媒IIを使用した。触媒I、触媒IIともに芳香族系有機鉛化合物と芳香族系有機銅化合物の混合触媒である。

2.2 製造方法

推進薬の製造方法は溶剤圧伸法と無溶剤圧延法の2方法で行なった。

溶剤圧伸ダブルベース推進薬は溶剤としてアセトンとアルコールを使用し、容量1リットルのウェルナー型捏和機で推進薬の捏和を行なった。この捏和薬を圧伸機で圧伸し、温風で乾燥後、4mm×3mm×130mmのストランド試験試料に加工した。

無溶剤圧延ダブルベース推進薬は、湿餅混和で触媒を含まない湿餅薬を作製後、添加剤混和と工程で燃焼触媒の添加を行なった。これをφ305mmの捏延ローラで捏延後、圧延ローラで2.5mm厚の圧延薬板に加工した。この圧延薬板から5mm×2.5mm×130mmのストランド試験試料を作製した。

1992年9月17日受理

*日本油脂(株)愛知事業所武豊工場

研究開発部SRグループ

〒470-23 愛知県知多郡武豊町字北小松谷61番地の1

TEL 0569-72-1954

FAX 0569-73-7376

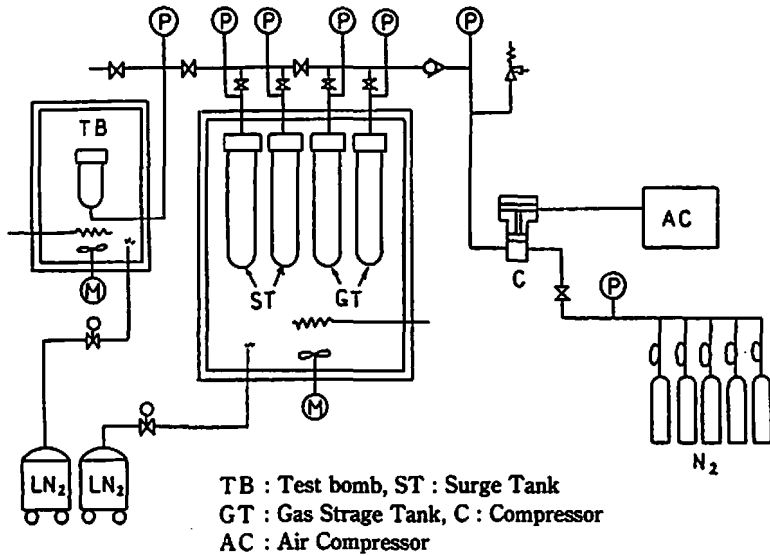


Fig.1 Strand burner test apparatus

2.3 ストランド燃焼試験装置

ストランド燃焼試験装置は(株)AKICO製のクロフワード型試験装置で、最大試験圧力は35MPaである。燃焼ポンプはSUS316製で内容積0.97リットル、サージタンクはSUS316製で内容積14リットルであり、ストランド試料燃焼時の圧力上昇は0.2MPa以下に抑えられている。Fig. 1に示すように燃焼ポンプ等の圧力容器は恒温槽内に納められており、電気ヒータによる加熱又は液体窒素の噴霧により-65℃～+99℃の温度範囲で試験可能である。

試料の燃焼速度は、試料に25mm間隔にあげた穴に0.5Aのヒューズワイヤを通し、燃焼によってヒューズワイヤが溶断する時間間隔を測定して求めた。

2.4 試験内容

2.4.1 製造条件

触媒添加DB推進薬の燃焼性能は推進薬の製造条件によって変化し、その燃焼性能は溶剤法では捏和工程で、無溶剤法では捏延工程ではば決定されると考えられる。本試験ではそれらの工程条件のうち、捏和時間と捏延時間に注目し、捏和時間は30分～2時間、捏延時間は5分～10分で燃焼速度の変化を検討した。推進薬組成としては組成Aを使用した。

2.4.2 触媒の種類と量

DB推進薬の燃焼性能は、添加する燃焼触媒の種類や量によって大きく変化する。本試験では、溶剤法と無溶剤法について組成CとEの燃焼速度を比較することにより、触媒Iと触媒IIの触媒効果の差を比較した。

● : rolling time = 10min.
 ○ : rolling time = 5min.

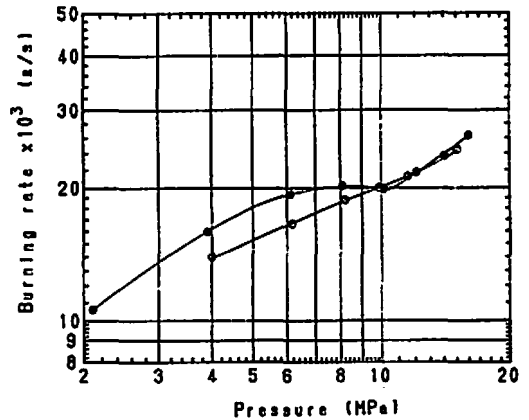


Fig.2 Effects of rolling time on burning rate (solventless process, Sample A).

また組成Dと組成Eの燃焼速度を比較することにより、触媒IIの触媒量の効果を検討した。

2.4.3 推進薬のエネルギーレベル

DB推進薬はエネルギーレベルが高くなるにつれて触媒効果が悪くなり、圧力指数や温度感度が大きくなる傾向がある。本試験では、エネルギーレベルの差による触媒性能の差を評価するため、組成B(爆発熱約4600J/g)と組成E(爆発熱約4200J/g)の燃焼速度を比較し、触媒IIの触媒効果の変化を調査した。

3. 実験結果と考察

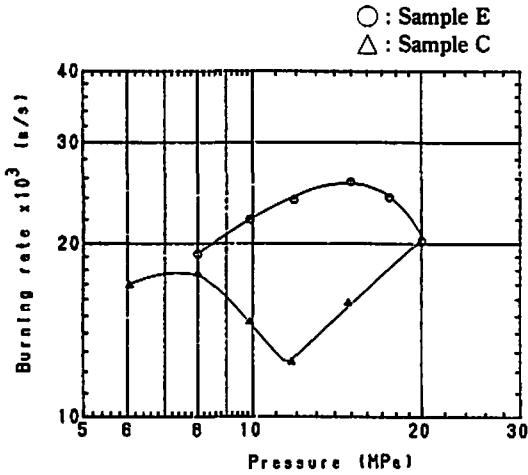


Fig. 3-1 Effects of ballistic modifiers on burning rate(solvent process).

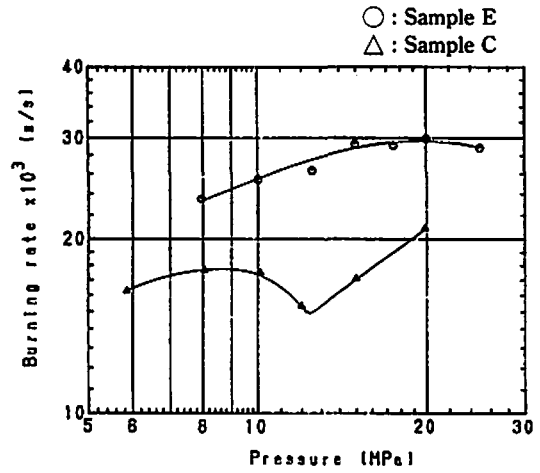


Fig. 3-2 Effects of ballistic modifiers on burning rate(solventless process).

3.1 製造条件

無溶剤圧延DB推進薬において捏延条件を変えると、燃焼速度にかなりの変化が生じた。Fig. 2に捏延時間5分と10分の場合のストランドカーブの比較を示す。捏延時間5分では10MPaでの圧力指数は0.45と大きく、プラトー性は見られなかったが、捏延時間10分ではスーパーレイトが大きくなり、約8MPaの圧力域でプラトー性が認められた。

一方の溶剤圧伸DB推進薬では、捏和時間30分～2時間における燃焼性能の差は小さく、特に1時間と2時間の燃焼性能は同等であった。プラトー効果は30分の捏延時間で認められ、触媒の効果は良好であった。

以上の結果から溶剤法では30分～1時間の捏和時間で充分な燃焼触媒の効果が発揮され、一方の無溶剤法では10分程度の捏延時間が必要であることがわかった。無溶剤法では、さらに長時間の捏延を行なうことにより、より大きな触媒効果が期待されるが、長時間の捏延は発火の危険性を増大することから、以下の試験では捏延時間を10分とした。

3.2 触媒の種類と触媒量

組成Cと組成Eについて、溶剤法と無溶剤法の燃焼性能をFig. 3-1とFig. 3-2に示す。溶剤法では、触媒Iを使用した場合に7MPa付近の圧力域で約17mm/sのプラトー燃焼速度が得られたが、触媒IIを使用するとより高圧・高燃焼速度域の15MPa付近に約25mm/sのプラトーが得られた。プラトー領域の高圧側では大きなメサ現象が生じ、触媒効果の減少が認められた。触媒Iでは約12MPa、触媒IIで約20MPaで触媒効果が失われ、触媒無添加推進薬の燃焼速度にもどっている。

無溶剤法でも触媒の種類によって同様の効果が生じ、触媒Iでは8MPa付近に約18mm/sのプラトーが生じるが、触媒IIでは20MPa付近の高圧域に約30mm/sのプラトーが得られた。しかし無溶剤法のストランドカーブは溶剤法のカーブに比べてプラトー域の幅が広く、またメサの現象が小さいという差が認められた。

この結果から、触媒Iより触媒IIの方がより高圧域で高燃焼速度が得られる触媒であること、その触媒効果は溶剤法と無溶剤法ともにほぼ同様であるが、無溶剤法の方がメサの発生圧力が高いためにより高い燃焼速度が得られることがわかる。

触媒量の効果を見るため、組成Dと組成Eについて、溶剤法と無溶剤法のストランドカーブの比較をFig. 4-1とFig. 4-2に示す。

溶剤法では、触媒IIを2%から4%に増やすことによってプラトー燃焼速度が19mm/sから25mm/sに増大し、また大きなメサ現象が現われている。プラトー圧力は12MPaから15MPaに上昇しているが、触媒の種類によるプラトー圧力の変化に比べるとその動きは小さかった。

無溶剤法でも触媒IIの量を2%から4%に増やすことにより、プラトー燃焼速度は25mm/sから30mm/sに増大した。しかしプラトー圧力は21～22MPa付近にあり、ほとんど変化は見られなかった。

これらの結果から、プラトーの位置は触媒Iから触媒IIに変更することによって高圧・高燃焼速度の領域に移動したが、触媒量の増減による変化は燃焼速度の変化が主でプラトー圧力の変化は小さいといえる。

3.3 推進薬エネルギーレベル

触媒Iを使用した組成Aと組成C及び触媒IIを使用

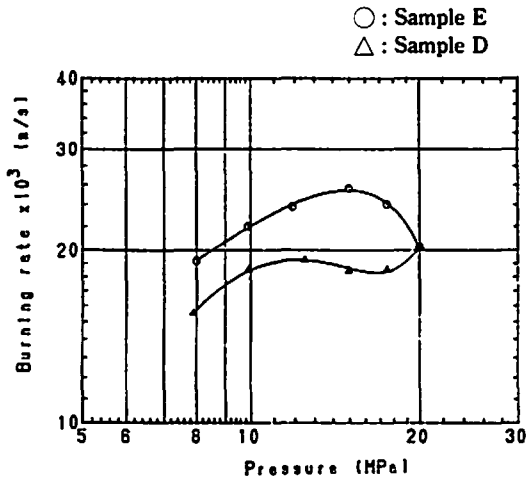


Fig. 4-1 Effects of ballistic modifiers on burning rate (solvent process).

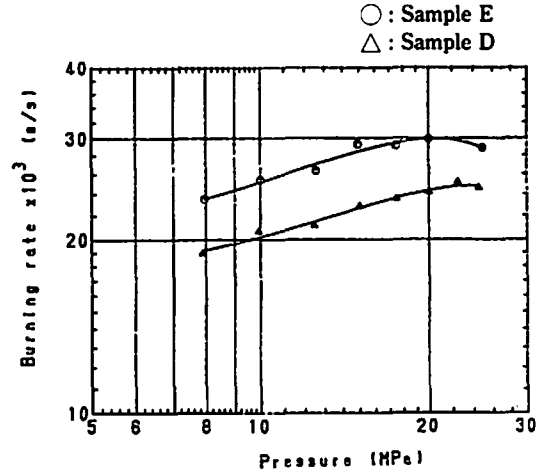


Fig. 4-2 Effects of ballistic modifiers on burning rate (solventless process).

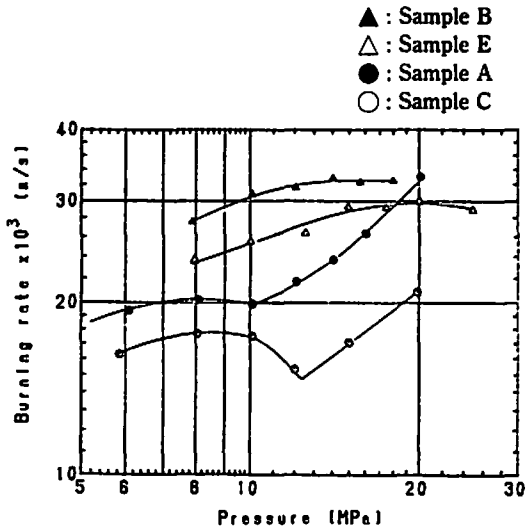


Fig. 5 Effects of propellant energy on burning rate (solventless process).

した組成Bと組成Eの無溶剤法によるストランドカーブの比較をFig. 5に示す。

触媒I系では、組成Cのプラト-燃焼速度が8MPaで約18mm/sであるのに対し、よりエネルギーの高い組成Aでは8~10MPaで約20mm/sの燃焼速度が得られた。触媒II系でも、エネルギーの低い組成Eでは圧力20MPa付近で30mm/sのプラト-燃焼速度であったのに対し、よりエネルギーの高い組成Bでは15MPaから20MPaにかけて約32mm/sのプラト-燃焼速度が得られた。

この結果から推進薬のエネルギーを高めることによって燃焼速度を高めることができ、また比推力246秒という比較的エネルギーレベルの高い推進薬においてもプラト-効果が現われることが確認された。

4. まとめ

- (1) 無溶剤式ダブルベース推進薬の燃焼性能は推進薬組成だけでなく、捏延条件などの製造条件によって大きく影響を受けることを確認した。
- (2) 触媒の種類や触媒量によってプラト-圧力や燃焼速度は変化するが、触媒量によるプラト-圧力の変化は小さく、プラト-燃焼速度の変化が主であった。
- (3) 溶剤法と無溶剤法のストランドカーブを比較すると、無溶剤法の方がメサ発生圧力が高いためにプラト-燃焼速度が高くなる結果が得られた。
- (4) 理論比推力245秒を越える圧伸ダブルベース推進薬において、触媒の種類と量の検討により30mm/s以上のプラト-燃焼速度が得られた。

文 献

- 1) 萩原豊, 工業火薬, Vol. 52, No. 2, 1991
- 2) Jewis T. J., AIAA/SAE 14th Joint Propulsion Conference, Las Vegas, July 1978
- 3) G. Lenge, A. Bizot, J. Duterque, J. F. Trubert "Steady-State Burning of Homogeneous Propellant", Fundamental of Solid Propellant Combustion, Chap. 7, edited by K. K. Kuo and M. Summerfield, Vol. 90, Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, New York, 1984

Experimental study of burning rate characteristics of extruded double base propellant.

by Hirokazu TAKUMA *

The difference of burning characteristics between solventless and solvent extruded double base propellants with ballistic modifiers were studied. We manufactured two types propellants, one is manufactured by solventless process and the other is manufactured by solvent process, while these propellants consisted of the same materials. The burning rates of these propellants by strand burner test were measured. The results indicate that solventless process gives higher burning rate than solvent process. Plateau burning rate above 30mm/s was obtained in the solventless propellants of which theoretical specific impulse is 246s at 10MPa.

(*Propellants Development, Research and Development Department, NOF CORPORATION, Aichi Works Taketoyo-plant
61-1, Kitakomatudani, Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi 470-23 Japan)
