

表 膠 発 射 薬 の 燃 焼 特 性

久保田浩二*, 岡田 哲*, 川口周平*, 加藤一成*

表膠(表面膠化)とは発射薬表面に低エネルギー物質を付着, 含浸させることを称し, 発射薬の初期燃焼制御やガスエロージョン低下などを目的としている。本報告では表膠発射薬の燃焼特性について考察した。まず表膠剤の濃度分布を分析し, その結果より発射薬の燃焼割合における特性値を算出した。さらにその数値を用いたシミュレーションと燃焼試験データを比較検討することによりシミュレーションの妥当性を示した。

1. はじめに

表膠は表膠材の特性及び製造方法により発射薬における濃度分布が決定し, 表膠剤によりシステムに求められる配合量や濃度分布が異なる。また近年では通常行われるシングルベース発射薬における表膠に加え, ダブルベース発射薬におけるコーティングも研究されている¹⁾。表膠発射薬は燃焼初期の低エネルギー成分比率を上げることにより, 理想的なガス発生速度に制御することが基本技術であり, 特に高射機関砲用発射薬としてはガスエロージョンの抑制効果から採用されていることが多い。表膠剤はジニトロトルエン(DNT)やDBPジブチルフタレート(DBP)あるいは樟脳といった可塑剤を含浸させたものが一般的である。²⁾ それら表膠剤を配合することにより, ガスエロージョン性, 弾道性能にバランスの優れた発射薬となるが, 均一組成の発射薬に比べ, その燃焼挙動を把握することは難しい。その理由は

表膠剤の濃度分布により発射薬の燃焼特性が変化すること及びその濃度分布の測定が難しいことにある。本報告ではフーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)による表膠剤の濃度分布測定値を用いた燃焼シミュレーションと燃焼試験データを比較した結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 試験試料

供試薬は一般的なDNT表膠発射薬を用いた。発射薬組成を Table 1 に示す。表膠工程は水中添加法で行った。水中添加法とは, 発射薬を水中で攪拌している系に表膠剤を投入し, 親和力により表膠剤を発射薬表面に付着させていく方法でスプレー方式と共に表膠の代表的な手法である。本試験ではDNTの配合量を2水準とし, 各性能を確認することとした。

Table 1 Composition of test sample

Sample number	NC	DBP	DA	K ₂ SO ₄	H ₂ O	DNT
1	96.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0
2	96.5	1.5	1.0	1.0	1.0	3
3	96.5	1.5	1.0	1.0	1.0	5

NC : nitrocellulose DBP : dibutyl phthalate
DA : diphenylamine DNT : dinitrotoluene

2.2 分 析

表膠剤の濃度を定量する技術は分析機器の発展と共に進歩している。フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)はその代表的な手法で, 局所のIR分析から

2000年2月1日受理

*日本油脂株式会社 愛知事業所 武豊工場研究開発部
〒470-2387 愛知県知多郡武豊町字北小松谷 61-1
TEL 0569-72-0916
FAX 0569-73-7376

表膠剤官能基を定量することにより表膠剤の割合を算出できる³⁾。表膠剤にジニトロトルエンを用いた本試料において、定量はそのベンゼン環の吸光度を求めることで行った。

2.3 燃焼試験

2.3.1 密閉ポンプ試験

Table 2 に試験諸元を示す。試験で得られた圧力-時間カーブを発射薬の形状値より解析し、圧力における線燃焼速度を算出した。

2.3.2 50mm ショットポンプ試験

Table 3 に試験諸元を示す。薬室内圧力をピエゾ圧力センサにより、弾丸初速をドップラセンサによりそれぞれ測定を行った。

Table 2 Closed-bomb tests

Chamber volume	150cc
Propellant weight	30g
Igniter	black powder
Igniter weight	0.5g

Table 3 50mm shot -bomb tests

Length	3000mm
Chamber volume	850cc
Projectile weight	1.75kg
Igniter	black powder
Igniter weight	3.0g
Test temperature	20°C

2.4 シミュレーション

表膠剤の濃度変化による発射薬の特徴数は計算コード「NBLAKE」の定容系にて算出した。またこの特徴数及び密閉ポンプにおける線燃焼速度値が発射薬の燃焼割合により変動する砲内弾道プログラムを作成し⁵⁾、実燃焼におけるシミュレーションを試みた。

3. 結果および考察

3.1 分析結果

Fig.1 に FTIR による分析結果を示す。表膠剤の DNT は一定量 Fig.1 は発射薬外表面からの距離と DNT 量のグラフを示している。表面近傍に存在して

おり、表面からの距離が大きくなるに従い減少し、ある一定深さよりその存在は無くなる。また今回の試験試料において配合割合による含浸傾向に違いは見られなかった。この分析結果と発射薬形状値より発射薬の燃焼割合による DNT の含有量を算出した。Fig.2 に計算結果を示す。この結果より、発射薬の燃焼割合 20% 程度まで DNT は局在していることがわかり、その後表膠剤の燃焼挙動を示すことが予想される。

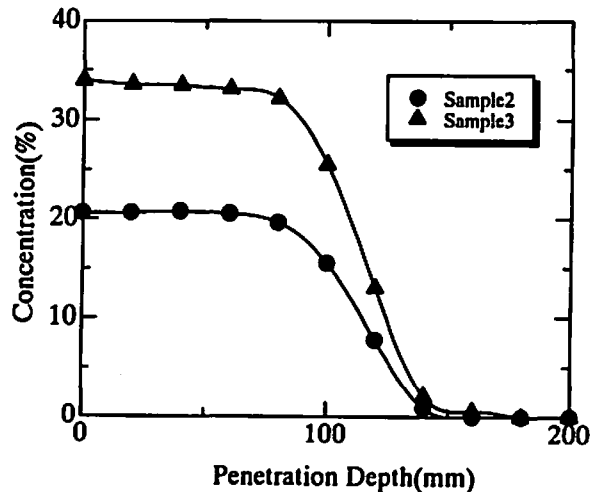


Fig. 1 DNT diffusion in single base propellant(1)

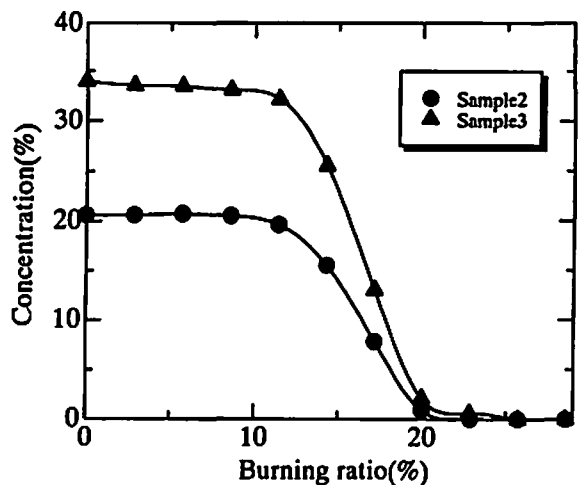


Fig. 2 DNT diffusion in single base propellant(2)

3.2 表膠発射薬の線燃焼速度

密閉ポンプの試験結果より、表膠発射薬の形状値から線燃焼速度解析すると Fig.3 のようになる。一般的に発射薬の線燃焼速度 (r) は燃焼圧力 (P) の関数として以下の式で示される。

$$r = \beta P^{\alpha}$$

指数(α)及び係数(β)は組成固有の数値であり、表膠発射薬の場合、燃焼の進行に伴い表膠剤の濃度が変化するため二段階の燃焼速度をもっているようにも見える。圧力が高い領域の線燃焼速度は発射薬に表膠剤が含浸していない部分であり、表膠前の発射薬の線燃焼速度を示しているが、低圧域は表膠剤が含浸しているので実際には Fig. 4 に示す様に表膠剤の割合が徐々に少なくなるような線燃焼速度を示している。つまり表膠発射薬は、表面から内部方向に

組成の異なる発射薬が連続していると考えることができ、線燃焼速度は圧力と燃焼割合の関数となる。

3.3 特徴数の算出

3.1, 3.2 項の結果より、表膠発射薬は燃焼初期より連続的にその特性が変化する発射薬と認識できる。この内容をふまえて表膠発射薬の燃焼シミュレーションを試みた。計算方法として FTIR 分析結果から燃焼割合 20% までを 5 段階に分割し、それぞれの

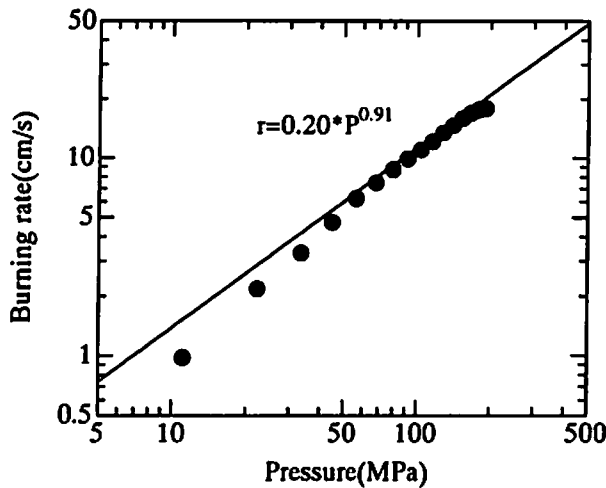


Fig. 3 Burning rate at closed bomb test

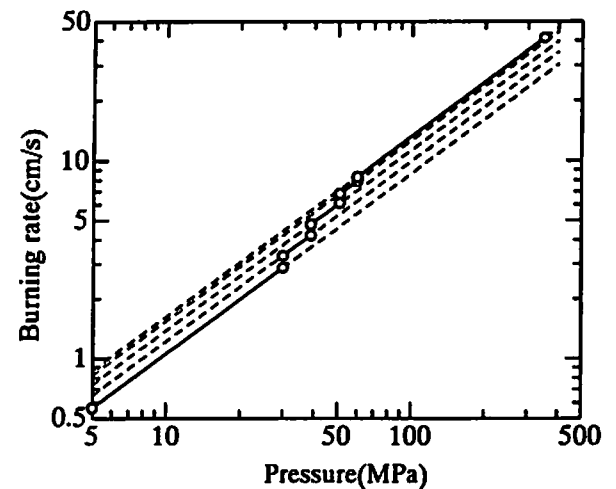


Fig. 4 Burning rate of different depth of propellant

Table 4 Characteristic factors at different burning ratios ($r = \beta P^\alpha$)

Burning ratio (%)	DNT (wt%)	Impetus (J/g)	Molecular weight (g/mol)	Covolume (cc/g)	Frozen gamma(-)	α (-)	β (cm/s/MPa)
0 ~ 10	20.5	964	22.999	1.078	1.259	0.91	0.11
10 ~ 13	18.0	972	23.180	1.069	1.256	0.91	0.13
13 ~ 17	11.5	996	23.706	1.046	1.248	0.91	0.16
17 ~ 20	3.5	1025	24.495	1.014	1.238	0.91	0.18
10 ~ 13	0	1037	24.897	0.999	1.233	0.91	0.20

Table 5 Results of 50mm shot bomb test and simulation

sample number	Weight (g)	Vo (m/s)		Pm (Mpa)	
		test	Simulation	test	Simulation
1	522	783	774	180	192
	660	940	932	272	290
2	570	799	792	161	167
	715	973	966	295	305
3	618	820	821	170	175
	750	992	990	318	320

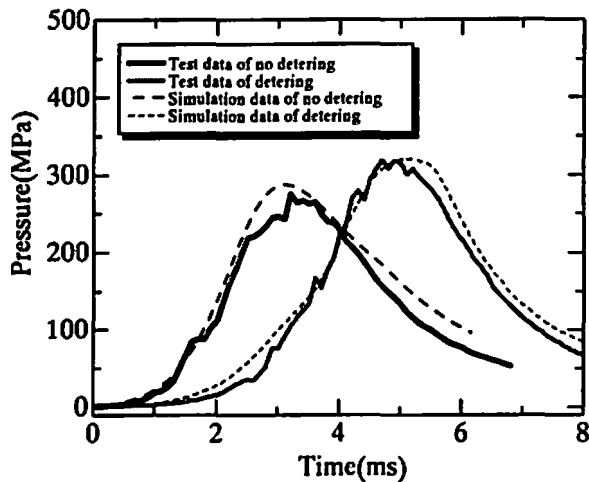


Fig. 5 P-t curve at 50mm shot bomb test

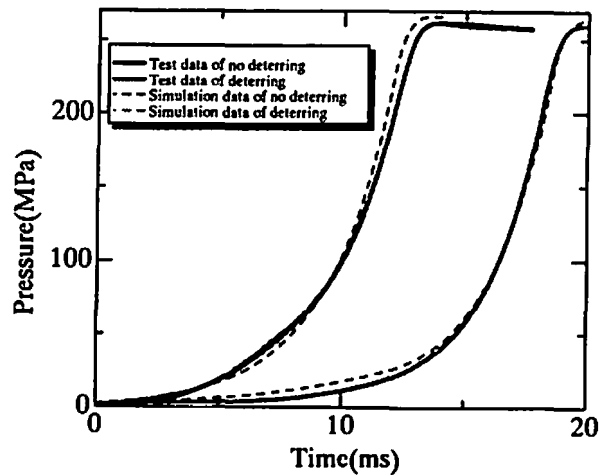


Fig. 6 P-t curve at closed bomb test

DNT含有量に対して特徴数を求めた。試料 No. 2 の計算結果を Table 4 に示す。DNT含有量の多い燃焼初期において、組成平均と比べ火薬力、断熱燃焼温度共に低いことよりガスエロージョン低減の効果が確認できる。試料 No. 3 においても同様に特徴数を求め、シミュレーションの諸元とした。

3.4 燃焼試験結果およびシミュレーション結果

射撃試験結果及びシミュレーションにおけるP-tカーブを Fig. 5 に、各結果を Table 5 に示す。また密閉ボンブ試験結果及びシミュレーションデータを Fig. 6 に示す。Fig. 6 はシミュレーションの再現性確認といえるが、低圧域の圧力上昇は表膠していない発射薬と比較し、非常に緩やかであり、シミュレーションデータは試験データを再現していることがわかる。

Fig. 5 は実射におけるP-tカーブとの比較になるが、多少低圧域にずれは見られるものの、表膠発射薬の燃焼挙動を追従している。燃焼初期において若干の違いが確認された理由として、実射は弾丸の移動により燃焼容積が増すのに対し、シミュレーションは定容系の諸元を用いていることが考えられる。

4. まとめ

成分分析、燃焼試験、シミュレーションの一連の試みにより表膠発射薬の燃焼特性について以下の項目について確認した。

- 1) FTIR 分析により発射薬における表膠剤の濃度分布を測定できる。
- 2) 分析結果と発射薬形状値より発射薬燃焼割合による特性値を算出できる。
- 3) 密閉ボンブデータより燃焼割合による線燃焼速度特性を推定できる。
- 4) 1~3 項のデータを用い、表膠発射薬の射撃特性をシミュレーションできる。

新規材料を用いたり、あるいは製造方法が変わっても今回行った分析からのシミュレーションは適用できる。逆に目標の燃焼性能をもつ表膠発射薬の材料及び製造方法の選定としても極めて有効な方法であると考えられる。

文 献

- 1) Wang Qionglin, Liu Shaowu, Hao Ning, et al., "A new type of polymer deterrent-coated gun propellant", *Theory Pract. Energ. Mater.* (1996)
- 2) 工業火薬協会編, 「火薬ハンドブック」, 77-79, 1987
- 3) 化学同人「機器分析のてびき」, 18-20, 1980
- 4) E. Varriano-Marston "An infrared microspectroscopy method for determining deterrent penetration in nitrocellulose-based propellant grains", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.33

Burning characteristics of deterrent-coated propellant

Kouji Kubota*, Satoshi Okada*, Syuhei Kawaguchi* and Kazushige Kato*

Deterrent-coated propellant of which surface is coated or adsorbed by low energy material and control initial burning rate and gas erosion. Burning properties of deterrent-coated propellant. Deterrent thickness were analyzed by FT-IR, and pressure-time curve (P-t curve) were measured by bomb test. Assuming that deterrent-coated propellant is composed of different deterrent concentration propellant, P-t curve can be calculated. This simulation is in agreement with experimental data.

(*NOF Corporation, 61-1 Kitakomatudani, Taketoyo, Chita, Aichi, 470-2398, JAPAN)
