

Table 1 Properties of Oxidizers

Name	Triaminoguanidine Nitrate (TAGN)	Nitroguanidine (NQ)	Hexogen (RDX)	Octogen (HMX)
Formula	$\text{H}_2\text{N}-\text{N}=\text{C} \begin{array}{l} \text{NH}-\text{NH}_2, \text{HNO}_3 \\ \text{NH}-\text{NH}_2 \end{array}$	$\text{NH}=\text{C} \begin{array}{l} \text{NH}_2 \\ \text{NH}-\text{NO}_2 \end{array}$		
Molecular Weight	$\text{CH}_9\text{N}_7\text{O}_3 = 167.1$	$\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2 = 104.1$	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6 = 222.1$	$\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8 = 296.2$
ΔE_f (kcal/kg)	-33.4	-184.9	+99.6	+84.6
ΔH_f (kcal/kg)	-67.1	-213.3	+76.1	+60.4
Oxygen balance	-33.5	-30.7	-21.6	-21.6
Nitrogen content	58.68	53.83	37.84	37.84
Volume of detonation gases (L/kg)	1206	895	929	782
Heat of explosion (kcal/kg)	830	889	1439	1435
Density (g/cm ³)	1.59	1.71	1.80	1.96 (β)
Melting point (°C)	216	232 decomp.	204	282
Deflagration point (°C)	227	at melting point decomp.	260	287
Impact sensitivity (Nm)	4	49 no reaction	7.5	7.4
Lead block test (cm ³ /10g)	350	305	480	480
Particle form	colorless crystal	white fiber-like crystal	colorless crystal	colorless crystal

ここで R はガス常数、 M は燃焼ガスの平均分子量として T_0 は燃焼ガスの定容系断熱燃焼温度である。 F を増大させるためには T_0 を増大させるか又は M を小さくする必要がある。 T_0 を上昇させると砲身内面の温度が過度に上昇し、砲身の焼蝕を引き起こし、砲身の耐用命数の低下をねたらす。そのため T_0 は出来るだけ低く押える必要がある。そこで生成ガスの平均分子量(M)を小さくする事により F を増加させる事が本研究の目的である。低分子量燃焼ガスを発生させるためには、発射薬が含有する酸素を大幅に制限した高エネルギー、高水素含有化合物を使用することが好ましい。

3.1 ニトラミン

環式ニトラミンにはRDXとHMXが良く知られている。ニトラミンは正の生成熱を有する高エネルギー化合物であるため、爆発熱量が1439kcal/kgと極めて高い。また熱的に安定であり、密度も比較的高い。価格面から考えればRDXはHMXより安価であり、火砲用発射薬としてはRDXの方が有望である。Table 1に発射薬の原材料の特性値を示す²⁾。

3.2 TAGN

TAGNは組成式 $CH_9N_7O_3$ に示される様に高水素高窒素、低炭素含有化合物である。TAGNの燃焼ガス中には分子量の低い H_2 の発生が多いため単体での生成ガスボリュームは1206 l/kgとなり非常に大きいことがメリットである。生成熱についてもニトラミンほどではないが-33.4kcal/kgと比較的大きい。

3.3 組成選定

NCをバインダとし、RDXとTAGNを組み合わせることに伴って、熱力学計算を行った。この際目標値としては、トリプルベースM30の燃焼温度3040K以下に設定し、一方火薬力(F)は、M30の火薬力1109 l-kgf/cm²/kgの約10%向上の12,000 l-kgf/cm²/kg(すなわち1177J/g)以上を目標とした。Fig. 1に従来の発射薬レベルに対する目標値を示した。従来の発射薬はMIL標準組成品である³⁾。

3.3.1 NC/NGバインダ系

Fig. 2にバインダとしてNC/NG=1/1系について特徴数計算を行った結果を示した。このバインダ系では目標値に入るためにはバインダ35%以下、TAGNは65%以上含有しなければならない。バインダ量と増加させると燃焼温度は上昇するが、火薬力の増加はわずかしが得られない。一方RDXが増加すると、火薬力、燃焼温度ともに増大し、

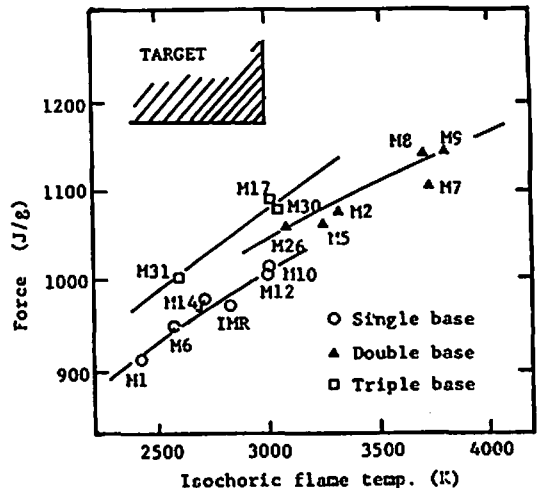


Fig. 1 Theoretical Thermochemical Values of Conventional Gun Propellants

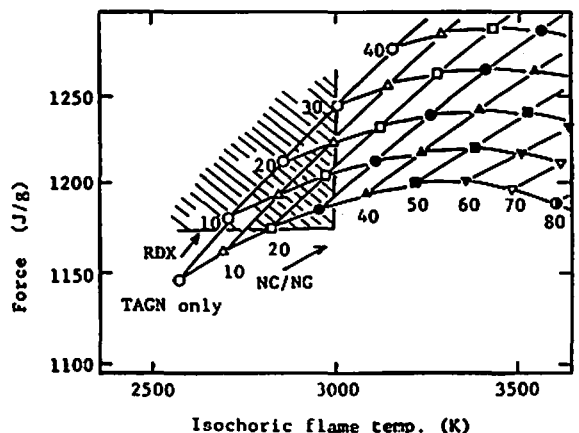
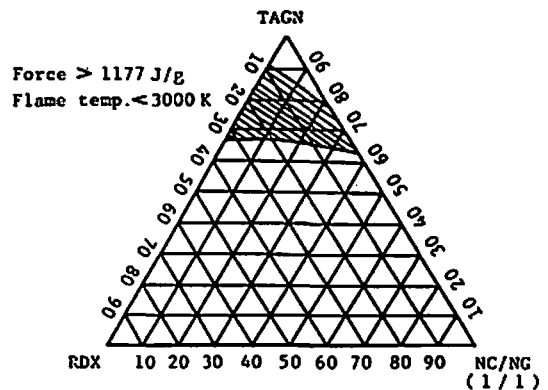


Fig. 2 Theoretical Force vs. Isochoric Flame Temperature (NC/NG[1:1]-TAGN-RDX System)

TAGNが増加すると、ともに低下することがわかる。

3.3.2 NC/NG/DEPバインダ系

ジエチルフタレート(DEP)を含有するバインダ系

についての計算結果をFig. 3に示す。目標範囲に入るためにはここでもバインダは35%以下となる。一方、RDXは30%程度必要となる。バインダ量を減少させれば燃焼温度は変化せず火薬力だけ上昇するとから、バインダ量を極力制限する必要がある。

Fig. 2, 3から明らかなことは、RDXとTAGNの配合の組合せによって、非常に広い範囲の火薬力のレベルが可能となる点である。

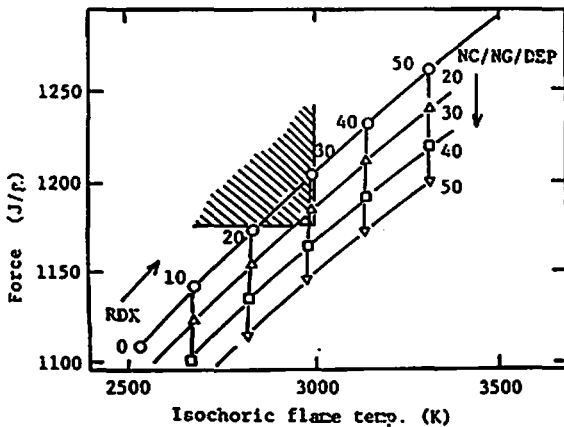
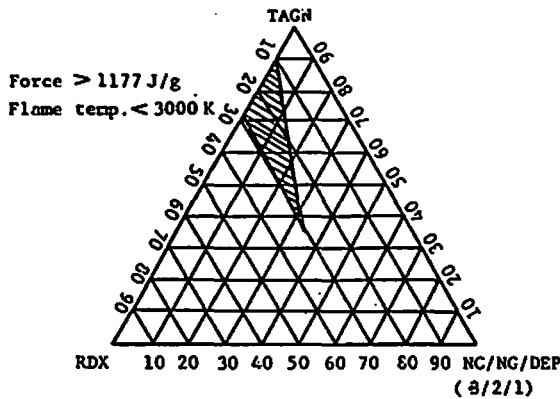


Fig. 3 Theoretical Force vs. Isochoric Flame Temperature (NC/NG/DEP[3:2:1]-TAGN-RDX System)

4. 実験

4.1 試料

発射薬グレインは溶剤捏和後、7孔管状薬に圧伸した。その後裁断し、乾燥により溶剤を除去した。乾燥後のグレイン形状は外径6.4~6.8mm、孔径約0.7mm薬長約11mmである。一連の製造方法は従来の発射薬と同様である。

4.2 密閉ポンプ試験

内容積150ccの密閉ポンプを用い、発射薬は装填密度0.25cc/gの条件で行った。計測システムは、ピエゾ式圧力センサー(キスラー社6201タイプ)、チャージアンブ(キスラー社5007タイプ)及びデジタルオシロスコープ(ニコレ社2090-3C)を使用し、GP-IBを通してマイコン(PC-9801)ヘデータを取りこみ、線燃焼速度を計算した。

5. 結果

5.1 バインダ含有量の効果

RDXとTAGNの比率を30/40に一定とし、バインダ量を20, 30および40%とした場合の燃

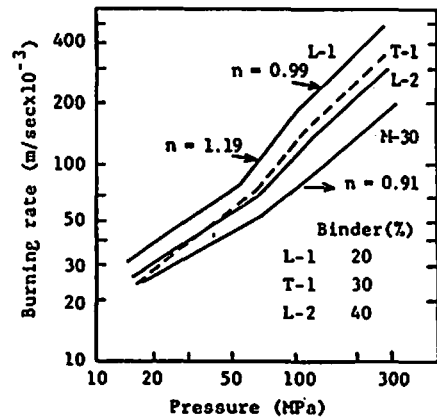


Fig. 4 Burning Rate vs. Pressure (Effect of RDX/TAGN Ratio)

Table 2 Formulations & Theoretical Thermochemical Data

Ingredient	Formulation Type				
	L-1	T-1	L-2	M-30	M-9
NC (12.6 N%)	10.0	15.0	20.0	—	—
Nitroglycerin	6.7	10.0	13.3	—	—
DEP	3.3	5.0	6.7	—	—
TAGN (2 μ)	47.7	40.0	34.3	—	—
RDX (4 μ)	34.3	30.0	25.7	—	—
Force, (J/g)	1204	1171	1138	1088	1142
Flame Temperature, K	2990	2920	2840	3040	3799

焼速度と物性を評価した。Table 2にこれらの組成および特徴数を示すとともに、比較としてトリプルベースM30およびダブルベースの中で最も高火薬力のM9組成を示した。M9組成と比較すれば、同等火薬力を得るためには燃焼温度は1000K近く低くても達成される。このことは、RDX-TAGN発射薬が砲身の焼蝕を低減させるために、非常に有効であることを示している。

Fig. 4に燃焼速度を示した。バインダ量を低下させると高燃速となる。このことは、バインダ系をRDX/TAGN=30/40系と比較すると、バインダ系の方の燃焼速度が遅いことを示している。またバインダ20%系においても安定な燃焼が得られたことは、RDXやTAGNのバインダとしてNCが適していることを示している。

発射薬のグレインの圧縮試験のデータをFig. 5に示した。バインダ含有量が低下すると圧縮率が低下することが示された。従って物性面から考えればバインダ量は多い方が好ましい。トリプルベースM30と比較

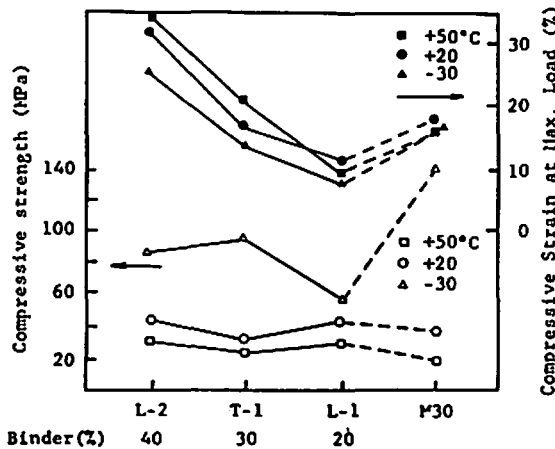


Fig. 5 Compressive Strength vs. Compressive Strain at Max. Load. (The Effect of Solid Content)

すると、バインダ量30%で同等の物性値を示した。このことはRDX-TAGN系発射薬は、固形成分を70%までは充分含有させることが可能であると言える。

5.2 RDXとTAGNの混合比の効果

NC/NG/DEPバインダ30%含有する発射薬についてRDX-TAGNの比率を変化させた組成について密閉ポンプ試験を実施した。供試組成および特徴数をTable 3に示す。使用したNCの窒素量はM30と同じ12.6%のものを用いた。RDXおよびTAGNは粉碎品を用いている。RDX量を増やせば火薬力、燃焼温度ともに上昇する。Fig. 6に密閉ポンプ試験から求めた燃焼速度を示す。TAGN含有量を増加させると著しく高燃速となる。また圧力70MPaおよび130MPa付近において圧力指数の変化する点が存在する。圧力70MPa以下では圧力指数は約0.7であるが、圧力70~130MPaの範囲では約1.1となり、圧力130MPa以上では再び低下し、約0.9となる。これは従来の発射薬の圧力指数0.8前後と比較して若干大きい。火砲の実用化されている最大腔圧は、200MPa以上である。この圧力領域において、RDX-TAGN系発射薬は、約0.9

という圧力指数となっているため、実用上は間

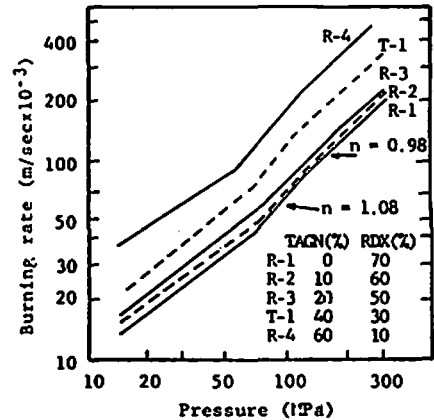


Fig. 6 Burning Rate vs. Pressure (Effect of Binder Content)

Table 3 Formulations & Theoretical Thermochemical Data

Ingredient	Formulation Type				
	R-1	R-2	R-3	T-1	R-4
NC (12.6 N%)	15	15	15	15	15
Nitroglycerin	10	10	10	10	10
DEP	5	5	5	5	5
TAGN (2μ)	0	10	20	40	60
RDX (4μ)	70	60	50	30	10
Force, (J/g)	1281	1257	1230	1171	1106
Flame Temperature, K	3570	3400	3240	2920	2610

Table 4 Formulations & Theoretical Thermochemical Data

Ingredient	Formulation Type	
	S-4	S-5
NC (12.6 N%)	15	15
Nitroglycerin	15	15
DEP	—	—
TAGN	60 (2 μ)	60 (20 μ)
RDX (4 μ)	10	10
Force, (J/g)	1202	1202
Flame Temperature, K	3031	3031

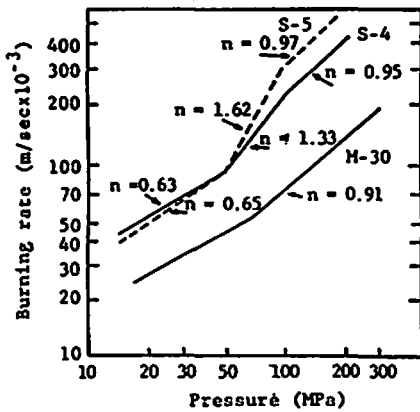


Fig. 7 Burning Rate vs. Pressure (Effect of TAGN Particle Size)

題ないと考えられる。

5.3 TAGNの粒子径の効果

平均粒子径2 μ mと20 μ mのTAGNを60%含有する組成について燃焼温度を評価した。組成および特徴数

をTable 4に示した。バインダ系はNC/NG=1/1のものを使用し、高エネルギー化し、燃焼温度は約3000Kの条件において評価した。Fig. 7に燃焼速度を示した。圧力50MPa付近において圧力指数は2 μ mのもので、1.33、20 μ mのものでは1.62であり大きい値を示した。しかし、圧力100MPa以上の圧力指数は再び低下し、1.0以下となる。TAGNの粒子径により燃焼特性が変化することは、圧力レベルによってTAGNの燃焼挙動が変化していることが示唆される。

6. 結論

- (1) RDXおよびTAGNを70%含有する発射薬はトリプルベースM30と同等燃焼温度において、約10%の火薬力の向上を可能とする。
- (2) TAGNの含有量を増加させると発射薬の燃焼速度が著しく上昇する。
- (3) RDX-TAGN系発射薬は圧力70MPaにおいて、圧力指数が上昇し、圧力150MPaまでの圧力指数は、1.0を超える。しかし、圧力150MPa以上の領域では再び低下し、0.9程度となる。これは砲内弾道性能上問題ないと考えられる。
- (4) NCバインダ30%系によってトリプルベースM30組成と同等の物性値が得られる。

文献

- 1) F. R. W. Hunt, "Internal Ballistics", HMSO Publication, New York, London 1951, p.67-70
- 2) R. Mayer "Explosives" Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1977
- 3) Engineering Design Handbook - Ballistic Series, "Interior Ballistic of Guns" AMC Pamphlet, AMCP 706-150, Feb. 1965

