

火薬学の基礎知識（講義用）

1. 火薬類の定義

- (1) 学術的定義：火薬類とは、利用価値のある爆発物であって、通常**個体**または**液体**である。
- (2) 法的定義：爆発物のうち火薬類取締法で規定されている**火薬、爆薬、火工品**を火薬類という。

1.1 爆発と爆発物

(1) 爆発

- ・爆発とは、急激な圧力の発生又は解放によって、爆発音(爆音)を伴ってガスが膨張する現象をいう。
- ・爆発には、物理的爆発と、化学的爆発がある。
物理的爆発（ゴム風船の破裂、ボイラーの爆発等）
化学的爆発（プロパンガスの爆発など、化学反応に基づく爆発）
- ・火薬類の爆発は、化学的爆発で、そのほとんどは酸化反応に基づく爆発である。
- ・火薬類はその成分の中に、酸素を供給する成分と酸素によって酸化される成分を併せ持っている。従って火薬類は、空気中の酸素を取り入れなくても急速に爆発反応を起こすことができる。

(2) 爆発物(爆発性物質)

- ・爆発物とは、外的刺激によって爆発反応を起こし得る単一物質、又はその混合物のことをいう。

1.2 爆燃と爆轟

爆燃や爆轟は爆発反応を伴う燃焼のことで、反応の伝わる機構、速度の違いによって爆燃と爆轟に分けている。

(1) 爆燃

爆発的な燃焼のことで、一部分の燃焼により発生した熱が、直ちにその隣接部を加熱して反応を開始させ、さらに次々と急速に反応が伝播していく、爆燃の伝播する速度を燃速といい、その伝播速度は、音速（340m/s）以下である。その作用は、主としてガスの膨張による推進力（静的効果、推進作用）で、衝撃波を伴わない。火薬がこれに該当する。

(2) 爆轟

爆発性物質中を爆発反応が音速より早く伝わる燃焼を爆轟と言い、その先端に衝撃波を形成する。衝撃波を受けた爆発物の未反応部分は、急激な圧力、密度及び温度の上昇を起して反応を開始し、これが次々に伝播していく。爆轟の伝播速度を爆速という。その作用は大きな破壊力（動的効果、破壊作用）を生ずる。

爆薬は、これに該当し爆速 2,000～8,000m/s に達する。

爆燃と爆轟の特徴を比較する

	爆発反応の伝播速度	衝撃波	発生する力（作用、効果）	備考
爆燃	音速以下	伴わない	ガスの膨張による推進力（推進作用）（静的効果）	主として火薬
爆轟	超音速	伴う	爆轟衝撃による破壊力（破壊作用）（動的効果）	主として爆薬

1.3 火薬類の分類

火薬類の分類法は、目的によりいろいろあるが、一般的なものとして“組成による分類”と、“火薬類取締法令による分類”がある。

(1) 組成による分類

化合火薬類	爆薬	硝酸エステル、ニトロ化合物、起爆薬
混合火薬類	火薬	硝酸塩系、硝酸エステル系、過塩素酸塩系、その他
	爆薬	硝酸塩系、硝酸エステル系、過塩素酸塩系、ニトロ化合物系

(2) 火薬類取締法による分類

- ・火薬類取締法第2条で「火薬類」を火薬、爆薬、火工品の3つに大きく分類しそれぞれ次のように定義づけている。

火薬とは：推進的爆発の用途に供せられるものであって、火薬類取締法及び同施行規則で定めるもの。

爆薬とは：破壊的爆発の用途に供せられるものであって、火薬類取締法及び同施行規則で定めるもの。

火工品とは：火薬、爆薬を使用して、ある目的に適するように加工したもの。

火薬	硝酸塩系、硝酸エステル系、過塩素酸塩系、その他
爆薬	起爆薬、硝酸塩系、硝酸エステル系、過塩素酸塩系、その他
火工品	雷管類、実包、空包、その他火薬、爆薬を使用した火工品

2. 砲弾、爆弾等に用いられる火薬類

2.1 発射薬類(推進薬)

(1) 黒色火薬

- ・成分：硝石(硝酸カリウム)+硫黄+木炭
- ・特性：化学的に安定、火炎、打撃、摩擦に鋭敏、吸湿性なし、煙が多い

(2) 無煙火薬

- ・成分：ニトロセルロース、ニトログリセリン、ニトログアニジン
- ・特性：自然分解に注意（安定度試験の義務付け）、安定剤を添加
- ・無煙火薬の種類

シングルベース無煙火薬

用途：散弾銃用、小火器用、火砲弾用などの発射薬
ダブルベース無煙火薬

用途：散弾銃用、迫撃砲弾、拳銃弾用発射薬、ロケット用推進薬
トリプルベース無煙火薬

用途：火砲弾用発射薬

2.2 炸薬類(爆破薬)

- P/A(ピクリン酸) 先の大戦までは炸薬の主力だった(下瀬火薬)
被弾感度が高いので現在では使用されなくなった。
- TNT(トリニトロトルエン)【炸薬用】
世界的に多量に使用されてきたが、最近は被弾感度をさらに下げるため、新しい爆薬への切り替えが進められている。
アマトール (TNT+硝安) 60:40 50:50 20:80
トリトナール (TNT+アルミニウム粉) 80:20
テトリトール (TNT+テトリル) 20:80 25:75 30:70 35:65
ペンライト (TNT+ペンスリット) 50:50
サイクロトール (TNT+RDX) 25:75 30:70 35:65 40:60
RDX: ヘキソゲン (シクロトリメチレントリニトロアミン)
オクトール (TNT+HMX) 25:75 30:70
HMX: オクトーゲン (シクロテトラメチレントトラニトロアミン)
テトリル (テトラニトロメチルアニリン)【伝爆用】
伝爆薬、雷管の点装薬、TNT と混合してテトリトール
- RDX(ヘキソゲン)(正式名:シクロトリメチレントリニトロアミン)【多用途】
コンポジション A-3 (RDX 91% + ワックス 9%) 【炸薬】
コンポジション A-3 (RDX 97% + ワックス 3%) 【炸薬】
コンポジション B (RDX 60% + TNT 39% + ワックス 1%) 【炸薬】
第2次大戦中に大量に使われた炸薬の一つである。
コンポジション B-3 (RDX 60% + TNT 40%) 【炸薬】
コンポジション C-4 (RDX 91% + 可塑剤 9%) 【炸薬】
- HBX (ハイブラスティング・エクスプローシブス)
TNT + 薄片状又は粉状アルミニウム【ミサイル、魚雷、機雷などの炸薬】
RDX + 薄片状又は粉状アルミニウム【ミサイル、魚雷、機雷などの炸薬】
- PBX (プラスチックボンデット・エクスプローシブス)
RDX + 合成樹脂(結合剤) 【ミサイル、水中武器等の炸薬や伝爆薬】
HMX + 合成樹脂(結合剤) 【ミサイル、水中武器等の炸薬や伝爆薬】
- 可塑性爆薬
HMX、ペンスリット、RDX 等 + 可塑剤 【可塑性爆薬】
代表的なものにコンポジション C-4 がある。

2.3 火工品類

- ・信管：砲弾、爆弾、地雷などの弾薬類に装着し、それらを所定の位置、時点で爆発させるもの。
着発信管、時限信管、近接信管（捕鯨砲銚先用信管）
- ・火管：砲用の発射薬に点火するために用いる。
撃発式、電気発火点式（捕鯨砲用火管）
- ・導火線：燃焼を伝えるために用いる。
黒色火薬を芯薬とし、これを被覆したもの。
- ・導爆線：芯薬にペンスリット(爆薬)を用い、これに被覆を施したひも状の火工品で、その一端を起爆することにより発生した爆轟を末端まで完全に伝達するもの。

3. (参考) 産業用の火薬類

3.1 火薬

- ・黒色火薬（硝石+硫黄+木炭）
石材採取、鉱物破碎、土木工事、煙火(花火)の原料及び打ち上げ用火薬

3.2 爆薬

- ・ダイナマイト (N/G + n/g + N/C + 硝酸アンモニウム)
産業爆薬としては最も強力な爆薬だが、国内では現在殆ど使用されていない。
自然分解(爆発)を予防するため、定期的に安定度試験が必要。
- ・含水爆薬 (硝酸アンモニウム + 油剤 + 中空粒子)
1970 年ごろ成分中に水分を含む含水爆薬がアメリカで開発された。その特徴は、成分に火薬・爆薬を含まず、6号電気雷管1本で起爆可能な、安全性の高い爆薬である。ダイナマイトに代わり、現在は産業爆薬の主流となっている。
水にも強く、各種の発破作業に使用されている。
- ・硝安油剤爆薬 (硝酸アンモニウム + 軽油) 別名 AN-FO 爆薬
1955 年ごろからアメリカやカナダで使用が始まり、国内では 1964 年から使い始めた。(沖縄での使用は、国内で使われる 2 年前(1962 年)から使われていた)
威力は含水爆薬に劣るが、日本の爆薬消費量の 76%を占めている。
起爆するためブースター(含水爆薬又はダイナマイトを使用)が必要。

3.3 火工品

- ・工業雷管 (起爆薬 + 添装薬)
起爆薬には DDNP、添装薬にはテトリル等が使用されている。
導火線を使って点火する。
- ・電気雷管 (点火薬 + 延時薬 + 起爆薬 + 添装薬)
段発電気雷管 (DS、MS) を使用することにより、発破作業を効率的に行うことができる。

- ・導爆線

ペンスリットを芯薬とし、これを綿糸、麻糸、紙テープ、合成樹脂等で被覆した紐状の火工品で爆轟を伝えるために用いる。特殊な場合に使われる。

- ・導火線

黒色粉火薬を芯薬とし、これに被覆を施して紐状にした火工品で燃焼を伝えるために用いる。工業雷管に挿入して導火線発破に使われる。

4. 軍用火薬類の性能

火薬類の性能で最も重要なものは“感度”と“爆発効果(威力)”である。

火薬類を取り扱う際の安全を確保するためにぜひ知っておかなければならない。

4.1 感度

火薬類は外部から何らかの刺激が加えられると、発火、燃焼、又は爆発を起こします。

一方火薬類は、その成分、形状、又は外気の温度等によって加えられた刺激に対する感じ方に大きな差があり、反応状況も一様ではありません。この、外的刺激による発火、起爆等の起こりやすさを感度といいます。

感度には、衝撃感度、打撃感度、摩擦感度、熱感度、耐火感度(着火感度)、などのほか自然分解に対する安定度も感度の一種としています。

(1) 衝撃感度

別の砲弾の爆発によって、隣接する砲爆弾がこれに感応して爆発する感度が衝撃感度です。どのくらい離れたら感応しなくなるかをテストするのに、殉爆試験という方法があります。

(2) 熱感度、耐火感度

温度の上昇により、または火炎の接近により感応して発火、爆発する最低の温度を計測することによって、熱または火に対する感度を把握する方法があります。

(3) 安定度

火薬類の中には、時間の経過とともにその成分が分解して別の物質に変質しやすいものがあります。硝酸エステル又はこれを主とする火薬類は、自然分解によって発火、爆発を起こすことがあるので、特に注意が必要です。そのため一定の期間経過ごとに安定度試験を行うことが、法律によって義務付けられています。

安定度試験には、遊離酸試験、耐熱試験、加熱試験があり、それぞれ試験のやり方、及び試験器具、材料が具体的に定められています。

4.2 爆発効果(威力)

爆発効果は、ふつう仕事効果(静的効果)と破壊効果(動的効果)とに分けて考えられているが、端的にいえば威力のことである。

火薬類が爆発反応を起こすと多量の熱とガスを発生し、外界に対して、大きな仕事をする。このような作用を仕事効果又は静的効果という。

爆発効果の中には、上記で述べた静的効果のほかに、衝撃波による動的な破壊効果(動的効果)の存在が認められる。この効果は爆薬のエネルギー量のほかに、そのエネルギーを開放する速さに大きく影響される。

砲弾及び爆弾の爆発によって生ずる破壊力は、砲爆弾の内部に装填された火薬類の種類とその量によって異なるのは当然ですが、同じ種類の火薬類であっても、砲爆弾への装填方法や、弾殻の材質、構造等によって大きく異なるので、砲爆弾の外観からの予測は困難です。

従って、不発の砲弾や爆弾の取扱いに当たっては、当然ながら、常に最悪の状態を想定しながら、慎重に対応しなければなりません。

5. 不発弾によくみられる火薬類

- ・ TNT (トリニトロトルエン、茶褐薬)

先の大戦までは軍用爆薬の主流、各国で多用されていた。

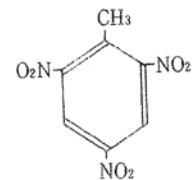
トルエンを原料とし、これを硝酸で処理して製造される。

淡黄色の結晶で吸湿性はなく、水に不溶、安定した化合物。

融点約 80℃。爆速は比重約 1.5 で 6,900m/s 砲弾等の炸

薬として重用されてきたが、現在は被弾感度を下げると

他の爆薬に切り替わりつつある。

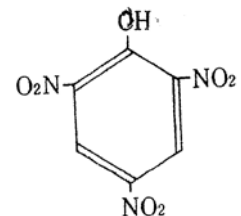


- ・ ピクリン酸 (P/A : Picric acid)

下瀬火薬として有名で、軍用爆薬としての歴史も古い

が、被爆感度が高いので先の大戦後は使用されなくなった。

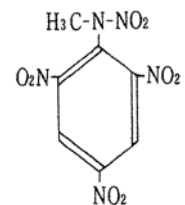
鉄と接触すると化学変化を起こす。



- ・ テトリル (テトラニトロメチルアニリン、茗亞薬)

爆力大 (爆速 7,850m/s) 打撃、摩擦に敏感、伝爆薬や電気雷管の添装薬に使用。

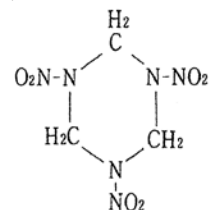
TNT と混合してテトリールにも使用される。



- ・ ヘキソーゲン (RDX, シクロトリメチレントリニトロアミン、硝字薬)

ウロトロピン (ヘキサメチレントetraミン) から製造。

爆力大 (爆速 8,350m/s)、伝爆薬や電気雷管の添装薬に使用、着火しやすい



- ペンスリット（ペンタエリスリトールテトラナイトレート、PENT、硝英薬）
硝酸エステルであるが、他の硝酸エステルと異なり自然分解しにくい。
導爆線の芯薬、雷管の添装薬に使用。TNT と混合してペンライトとしても使用される。
- 起爆薬、点火薬（信管等に使用）
雷汞：水銀を原料とし製造、世界的に広く使用されたが、現在は使用されていない。
アジ化鉛：鉛、銀、水銀等のアジ化物は高感度の爆発性があり。高温に耐える。
テトラセン：銃用雷管の無銹起爆薬に混入する。
トリシネート（トリニトロレゾルシン鉛）：銃用雷管の無銹起爆薬
ロダン鉛：チオシアン酸鉛と塩素酸カリウムとの混合物。電気雷管の点火薬等。

【参考資料】

第1.1表 火薬類の組成による分類

大分類	中分類	小分類	具体例
化合火薬類	爆薬	硝酸エステル	ニトログリセリン ニトログリコール ニトロセルロース ペンスリット
		ニトロ化合物	TNT、テトリル RDX、HMX
		起爆薬に属するもの	DDNP、アジ化鉛 テトラセン トリシネート
混合火薬類	火薬	硝酸塩を主とする火薬	黒色火薬
		硝酸エステルを主とする火薬	無煙火薬
		過塩素酸塩を主とする火薬	過塩素酸アンモニウム系 コンボジット推進薬
		酸化鉛、過酸化バリウム、臭素酸塩 またはクロム酸鉛を主とする火薬	コンクリート破碎器の破 砕薬
	爆薬	硝酸塩を主とする爆薬	アンモン爆薬、硝安爆薬、 硝安油剤爆薬、含水爆薬
		塩素酸塩または過塩素酸塩を主とす る爆薬	カーリット
		硝酸エステルを主とする爆薬	ダイナマイト
		ニトロ化合物を主とする爆薬	TNT系爆薬

【参考資料】

第1.2表 火薬類の火薬類取締法令による分類

分類	種類
1. 火薬	イ. 黒色火薬その他硝酸塩を主とする火薬 ロ. 無煙火薬その他硝酸エステルを主とする火薬 ハ. その他推進的爆発の用途に供せられる火薬 (過塩素酸塩を主とする火薬) (酸化鉛、過酸化バリウム、臭素酸塩またはクロム酸鉛を主とする火薬)
2. 爆薬	イ. 雷こう(汞)、アジ化鉛その他の起爆薬 ロ. 硝安爆薬、塩素酸カリ爆薬、カーリットその他硝酸塩、塩素酸塩または過塩素酸塩を主とする爆薬 ハ. ニトログリセリン、ニトログリコールおよび爆発の用途に供せられるその他の硝酸エステル ニ. ダイナマイトその他の硝酸エステルを主とする爆薬 ホ. 爆発の用途に供せられるトリニトロベンゼン、トリニトロトルエン、ピクリン酸、トリニトロクロルベンゼン、テトリル、トリニトロアニソール、ヘキサニトロジフェニルアミン、トリメチレントリニトロアミン、ニトロ基を3以上含むその他のニトロ化合物およびこれらを主とする爆薬 ヘ. 液体酸素爆薬その他の液体爆薬 ト. その他破壊的爆発の用途に供せられる爆薬 (爆発の用途に供せられる硝酸尿素およびこれを主とする爆薬) (ジアゾジニトロフェノールを含み、かつ、無水けい(珪)酸を75%以上含む爆薬) (亜塩素酸ナトリウムを主とする爆薬)
3. 火工品	イ. 工業雷管、電気雷管、銃用雷管および信号雷管 ロ. 実包および空包 ハ. 信管および火管 ニ. 導爆線、導火線および電気導火線 ホ. 信号えん(焰)管および信号火せん(箭) ヘ. 煙火その他火薬または爆薬を使用した火工品

(注)表中、()で示された火薬および爆薬は経済産業省令で定められたものを示す。