

エネルギー物質における打撃感度の温度依存に関する研究

環境システム学専攻 環境安全工学分野

56746 舌野勇亮

1 はじめに

1.1 背景

エネルギー物質とは単位体積内に大きなエネルギーを含有し、爆発的なエネルギーの解放を示す物質である。そのエネルギーは火薬あるいは爆薬として有効に利用することができる。かつては、民生用火薬類の主要な用途は、発破、推進および煙火であったが、近年は自動車用エアバッグをはじめとする安全装置への利用や、医療、物質合成、金属加工、超高磁場の発生など広い範囲にわたる利用技術の開発が進められている。

このようにエネルギー物質は非常に有用であるが、扱い方を誤ると大事故につながり、周囲に甚大な被害をもたらす。エネルギー物質を安全に扱う技術や環境を整えることは、製造現場における労働環境や周辺住民の生活環境の向上にもつながる。

一般に事故のリスクは、事故の被害の大きさと事故の起こる確率との積で表され、リスク低減のためには、これら抑えることが必要である。エネルギー物質の爆発によるリスクを考える際には、爆発による被害の大きさは威力、爆発が起こる確率は感度と言われる。威力は物質の化学構造等から推算が可能であり、実際の被害の大きさもまた予測が可能である。一方、感度については対象が同一であっても、条件によって、また、与える刺激の種類によっても異なり、その予測は困難である。したがって、経験的なデータに頼っているのが現状である。そしてこのことが、エネルギー物質の安全な取扱いを難しくしている。^[1]

1.2 目的

本研究では、エネルギー物質の安全な取扱いを促進することを目的とし、代表的な感度である打撃感度を取り上げ、その温度依存性を測定・検討することで、低温環境と打撃感度との関係を把握することを試みた。エネルギー物質の感度は、冷却により鈍感化し、加熱により鋭感化すると言われてきたが、実際にその温度依存性を系統的に検討した研究例は少ない。また、冷却により鋭感化するエネルギー物質の存在も確認されている。

エネルギー物質における打撃感度の温度依存性が明らかになることにより、不発弾やテロに用いられる爆発物、遺棄兵器等の処理の際の安全性が飛躍的に向上することが期待される。

1.3 研究方針

打撃感度試験として一般的に用いられている落槌感度試験を、常温および低温において行った。落槌感度試験とは、試料に対して上方からおもりを落下させ、爆発するか否かによって、対象物質の打撃による発火・爆発危険性を調べる試験である。また、低温での感度の変化の原因を探るために、結晶構造の変化の有無を粉末 X 線回折測定によって調べた。

2 落槌感度試験

2.1 実験方法

本研究では、中国化薬製の 1,3,5-Trinitroperhydro-1,3,5-triazine (RDX, Figure 1) クラス C を 24 時間以上真空乾燥したものを試料として用いた。打撃感度の測定には、BAM 落槌感度試験用試験機を改良したものを用いた。BAM 落槌感度試験は、危険物輸送に関する国連勧告における推奨試験にもなっている^[2]。本研究で用いた装置の概要を Figure 2 に示す。

低温での実験ではまず、真空乾燥させた試料をガイドリングに詰めストッカー上に静置する。ロータリーポンプによりチャンバー内を真空引きした後、液体窒素を導入する。目標の温度に達したら、チャンバー内を乾燥空気で大気圧に戻し、試験を行う。試料をストッカーから順次アンビルに移動し試験を繰り返し行う。チャンバーはグローブボックスになっており、これらの作業はチャンバーを密閉した状態で行う。また、温度は 3 点 A, B, C で測定した。実験中に試料の温度を直接測定することは困難であるため、B 点における温度を試料温度とした。

常温での実験では低温実験との比較のため、チャンバー内の雰囲気乾燥空気で置換して行った。

試験方法は、常温では Bruceton 法^[3]を、低温では Probit 法^[4]を用いた。それぞれの方法により 50%爆点 (50%の確率で爆が観測されると考えられる落高) を算出し、これを評価指標とした。

2.2 結果と考察

常温および低温において行った実験結果を Table 1 に示す。低温領域は 30 K 毎に分類してある。Bruceton 法 (常温) および Probit 法 (低温) により 50%爆点を求めた (Figure 3)。誤差棒は、対数値で得られた 95%信頼区間を cm 単位に変換したものを表している。

常温における 50%爆点の値は、これまでに報告されている値と大きく変わらないことから、試料および落槌感度試験機に起因する見かけの感度の変化は小さいと考えた。

Table 1 Result of fallhammer tests (frequency of explosion / number of tests).

Temperature [°C]	Height [cm]					
	10.0	14.1	20.0	28.3	40.0	56.6
10 ~ 20	0/7	7/19	12/18	5/6	1/1	-
-70 ~ -40	-	-	16/47	3/7	12/16	8/8
-100 ~ -70	-	-	1/5	6/15	15/24	7/7
-131 ~ -100	-	-	5/25	4/8	7/10	5/7

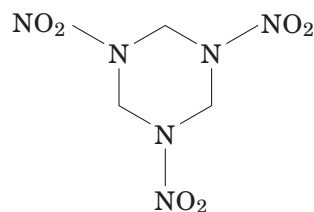


Figure 1 Chemical structure of RDX.

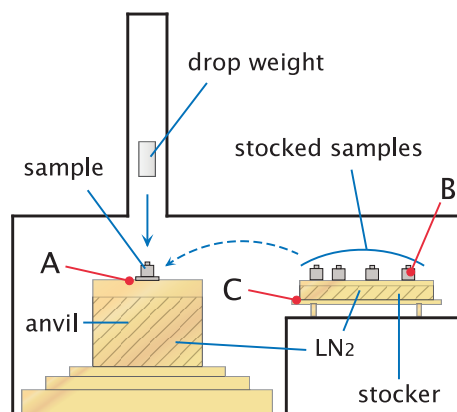


Figure 2 Apparatus for fallhammer test.

50%爆点の値を常温と低温で比較すると、低温にすることにより明らかに鈍感化していることが分かる。しかし、低温にするほど鈍感化するかどうかについては今回の結果のみからは判断し難い。感度変化に対して構造変化の寄与を調べるために粉末X線回折測定を行った。

3 粉末X線回折測定

3.1 測定方法

試料は落槌感度試験で用いたものと同ロットのRDXを使用した。これを乳鉢ですりつぶしたものをXRD測定用とした。

装置は、低温でのXRD測定が可能なRINT-Ultima III (リガク製)を用いた。試料ホルダーは熱伝導の良い銅製のものを用い、試料温度はホルダーの温度とした。測定時の主なパラメータをTable 2にまとめた。また、測定中の試料温度変化はFigure 4に示した。常温(A: 20°C)で測定を行った後、液体窒素により冷却を開始し、各設定温度(B: -190°C, C: -100°C, D: -30°C, E: 20°C)で20分間維持した後に測定を行った。

Table 2 Details of XRD measurements.

Radiation type	Cu K α
Tube current (mA)	40
Tube voltage (kV)	40
Scanning mode	2 θ - θ
Scanning type	FT
θ range (deg)	10 - 30
Sampling width (deg/step)	0.02
Sampling time (sec/step)	0.5

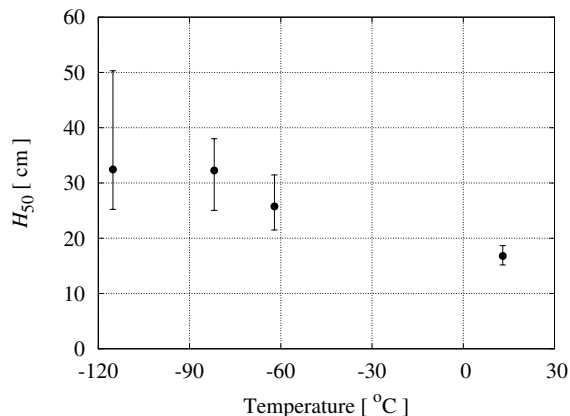


Figure 3 Temperature dependence of H_{50} .

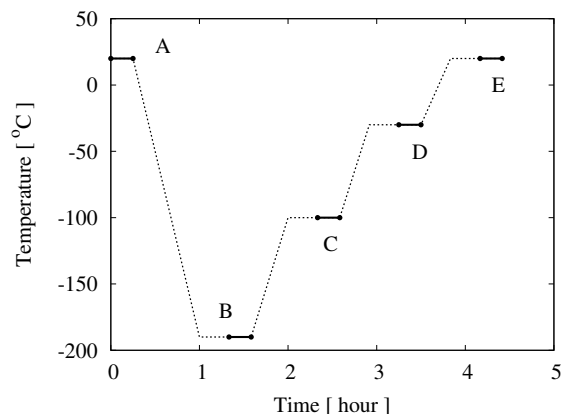


Figure 4 Changes in temperature of the sample. Measurements were indicated by solid lines.

3.2 結果と考察

Figure 5に各温度での θ -2 θ スキャンの結果を示す。それぞれの測定は、Figure 4のA~Eに対応している。

温度変化によるピーク数の増減は認められないが、熱収縮によるものと思われる広角側へのピークのシフトが観測された。Rietveld法により求めた各温度における格子定数をFigure 6に示す。これより熱収縮率に関して異方性があることが分かった。また、直線性が高いことから、ピークのシフトの原因は熱収縮が主要なものであり、結晶構造の変化はないと考えられる。

4 まとめ

本研究では、エネルギー物質の低温処理の安全性に関する知見を得ることを目的として、RDXの打撃感度の温度依存性および低温における構造変化について検討した。その結果、RDXの低温における落槌感度は、常温に比べて鈍感になることが示された。

また、20°Cから-190°Cの範囲において、RDXの結晶構造に変化がないことが明らかになった。したがって、低温における落槌感度の鈍感化は、結晶構造の変化に起因するものではない

と考えられる。装置の改良や、他の分析機器の使用によって、感度変化の原因を調べる必要がある。

本研究では、代表的な爆薬として知られているRDXを対象に研究を行ったが、ここで用いた手法によって他の物質についても検討を行うことで、打撃感度に影響を与える因子を明らかにできる可能性があると考えられる。

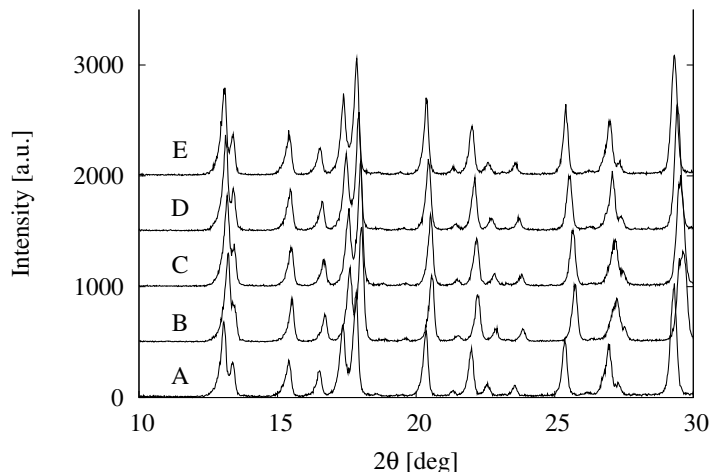


Figure 5 XRD scans of RDX. A~E correspond to those in Figure 4.

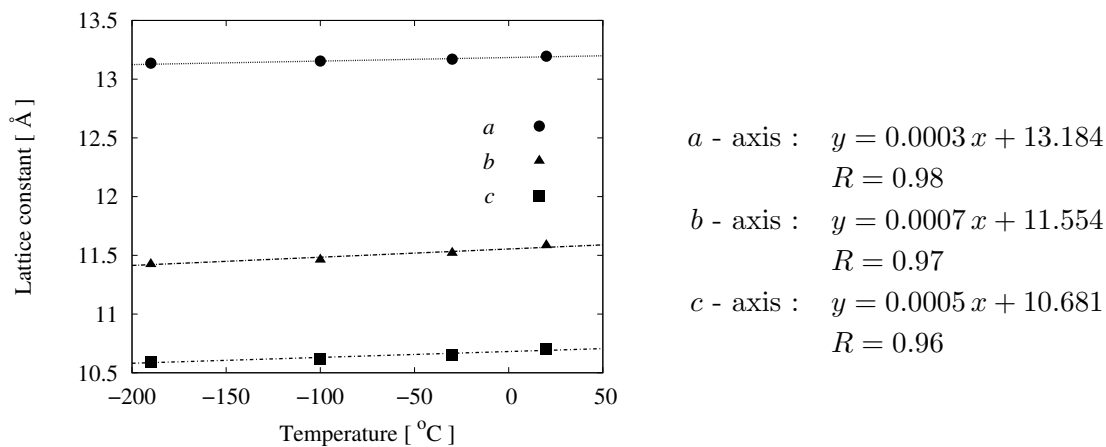


Figure 6 Temperature dependence of lattice constants.

参考文献

- [1] 社団法人 火薬学会編, エネルギー物質ハンドブック, 共立出版株式会社, 1999
- [2] United Nations, Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria, 1999
- [3] W. J. Dixon et al., Journal of the American Statistical Association, 43(241), 109-126, 1948
- [4] D. J. Finney, Probit Analysis, Cambridge University Press, 1977