

硝酸アンモニウムの爆発事故

公益財団法人総合安全工学研究所 事業部長

中村 順 Jun Nakamura

1. はじめに

硝酸アンモニウム（ NH_4NO_3 、以下、硝安と略す）は化成肥料として使用される物質であると同時に、火薬・爆薬原料として、産業爆薬である含水爆薬の主成分としてや、ロケットの推進薬や自動車のエアバッグについても一部用いられるなどの高エネルギー物質でもある。酸化性物質であり、可燃物と混合すると爆発性を示すために、輸送や保存に関しては、国連勧告や船舶安全法、消防法などによる酸化性物質としての規制がある。

硝安単独では爆発性を示すことはほとんどないが、多量にあると大きな爆発事故を起こすことが知られている。なかでも、1921年9月にドイツのオッパウにある化学工場で硝安と硫酸アンモニウム（硫酸）の混合物の吸湿固化したものを粉碎するために、ダイナマイトにより爆破したところ、4,500 tが爆発し、死者・行方不明者約700名の大事故が有名である。この事故では、同様な爆破作業を過去に繰り返し行っており、爆ごうするとは

考えられていなかった。

しかしながら、その後も硝安の大きな爆発事故が頻度は少ないが、表1に示すように起きている。最近でも2015年8月に中国の天津において大爆発事故が起こり、多大な人的・物的被害を生じている。

最近起こった硝安の爆発事故については、詳細な事故調査報告書が公表されているので、中国の天津での爆発事故の概要およびその他の硝安の爆発事故との比較について紹介する。

2. 中国天津の港湾倉庫大爆発事故

2015年8月に中国の天津港の危険物倉庫で夜中に火災が発生し、その後に2回の爆発が起こった。死者165名、負傷者798名となり、建物、コンテナ、自動車などを含め大きな損害となった。

2016年2月に国家安全生产监督管理局から公式の事故調査報告書¹⁾が公表された。政府機関である警察、交通、環境、天津市などの組織からなる「天津港8.12瑞海公司危険物倉庫特別重大火災爆発事故調査団」をつくり、消防、警察、化学工業、環境保護、安全工学などの専門家も事故調査に協力して調査した。以下、この報告書に従って紹介する。

なお、中国政府による情報開示が少ない中で、インターネット上には、爆発事故について多くの記事があったが、根拠が不明で憶測も多く、参考にとどめた。わが国内ですら、明らかに誤りと思われる解説も雑誌に載るな

表1 過去の硝安の爆発事故

発生年	発生場所	概要
1921年9月	ドイツ オッパウ	化学工場で硝安と硫酸の混成肥料の固化したものを4,500 tをダイナマイトで爆破したところ爆発 死者・行方不明者約700名
1947年4月	アメリカ テキサス州	貨物船倉で火災が発生し積荷の肥料用硝安2,300 tが爆発 死者・行方不明者576名
2001年9月	フランス トゥールーズ	肥料工場で300 tの硝安が倉庫で爆発 死者31名
2013年4月	アメリカ テキサス州	肥料倉庫で爆発 死者15名
2015年8月	中国 天津	港湾コンテナ倉庫群で爆発 死者165名、負傷者798名

どの問題がある。

(1) 事故の経過

爆発事故が発生したのは、天津の中心部から東に50 km 離れた、渤海に面した天津市新海新区の工業・物流地区の、広さ54万 m²の敷地の瑞海公司（会社）内の危険物を保管していた貨物受入区であった。

2015年8月12日に火災が発生し、経過は以下のものであった。

- 22：51 貨物受入区で火災発生
- 22：52 天津市公安局に電話通報
- 22：56 天津港公安局消防の4大隊が到着
- 23：34：06 1回目の爆発
(火災発生から43分後)
- 23：34：37 より激しい2回目の爆発
(1回目の31秒後)

2回の爆発により現場周辺では数十カ所で火災が発生し、2日後の16：40（発生から41時間後）に鎮火した。

(2) 人・建物などの被害

死亡者は165名で、その内訳は消防隊員99名、警察官11名、企業従業員および周辺住民が55名であった。行方不明者は消防隊員5名、従業員3名の8名であった。負傷者は798名であった。

建築構造物の被害は、2回目の爆発の中心から約150 m の範囲内のものは大破し、鉄筋コンクリートの骨組みを残しただけであった。建物の損害は、工場、会社、倉庫関係が73棟、住宅231棟の計304棟であった。建物は、爆心からそれぞれ、東方向に3.4 km、西方向に5.4 km、南方向に5 km、北方向に5.4 km の範囲内が損害を受けていた。ただ、爆心からの距離と建物の損害の程度には、ばらつきがみられた。窓ガラスの破損については、最大距離で、東方向は8.5 km、西方向

は8.3 km、南方向は8 km、北方向は13.3 kmであった。

さらに、敷地内にあった商品自動車12,428台、コンテナヤード内に置かれていたコンテナは、飛散、転倒、破壊して7,533個が被害を受けた。経済損失は約69億人民元（約1,250億円）とされた。

1回目の爆発では、直径15 m、深さ1.1 mの三日月形状のクレーターができた。2回目の大爆発では、直径97 m、深さ2.7 mの円錐形のクレーターができた（図1）。駆けつけた30台の消防車はすべて壊れた。

(3) 環境汚染

環境汚染としては、保管されていた化学物質や二次汚染物質により、当該区域の大気環境、水環境、土壌環境に汚染をもたらした。

なお、こうした環境汚染の人への健康被害については、詳細が不明なものもあるが、17名が粉じんと汚染物による吸入性肺炎症状がみられたが、予後は良好である。爆心から3 km の範囲の人は短時間に大気環境汚染に曝露されたが、健康影響リスクは低い。長期環境リスクについては、汚染の種類によっても様々で、引き続き調査を行っている。

(4) 事故の原因

最初の発火場所は従業員に対する調査、監

図1 中国天津爆発事故現場²⁾



中央が直径 97 m のクレーター

視ビデオの分析などから、危険物倉庫受入区の南側コンテナ区を中心付近とされた。ここにコンテナなどに入れて貯蔵されていたものは、129種類の化学薬品で、主な化学物質は、硝安800 t、硝酸カリウム1,340 t、硝酸カルシウム200 t、塩素酸ナトリウム150 t、ニトロセルロース26.3 t、シアン化ナトリウム360 t、水酸化ナトリウム、金属マグネシウムなどであった。

発火原因としては、コンテナ区外の外部要因による発火源を排除し、現場にいたすべての人に対し時間や位置を確認し、現場調査と監視カメラの映像の分析から、テロや犯罪などの要因も排除した。また、付近に電気機器はなく、ケーブルなどの状態、作業中の車両などの確認から、電気火災や落雷、車両発火などの要因を排除した。

以上の結果、最初に発火した物質はニトロセルロースであると判断した。受入区には、ニトロセルロースが、溶液で15.2 t、硝化綿として11.1 t保管されていた。ニトロセルロースの供給会社は、湿潤剤であるエタノールを30%含有したものを製造し、これをビニール袋に入れて封をして、紙容器包装で納入していた。

ニトロセルロースは湿潤剤として水やエタノールを使用して、保管することが必要とされていた。従業員への聴取によれば、ニトロ

セルロースの荷卸し作業中に無造作に取り扱うことがあり、コンテナ詰め作業中などの際に包装の破損によってニトロセルロースがこぼれたりすることがあった。

事故当日の気温は36℃であったが、実験によればコンテナ内の温度は65℃以上に達し、包装が破損していた場合には湿潤剤であるエタノールは2時間以内に揮発・散失することが判明した。これによりニトロセルロースが乾燥して急速に自然分解し、コンテナ内で自然発火温度に達し、火災に至ったものと考えられている。また、監視カメラの映像から最初の火災の火炎はニトロセルロースの燃焼特徴と一致しているとしている（図2）。報告書では、乾燥したニトロセルロースは、40℃を超えると分解反応を開始して180℃で自然発火するとしている。

ニトロセルロースの燃焼によりコンテナが破損し、大量のニトロセルロースが飛散、燃焼して大きな火災が発生し、多数の化学薬品火災となり、隣に保管されていた硝安に延焼し、1回目の爆発が発生した。

1回目の爆発から20 m離れた場所で硝安、硝酸カリウム、金属マグネシウムなどの酸化剤、可燃性固体を保管していたコンテナが、火災及び1回目の爆発の影響を受けて、さらに激しい2回目の爆発を引き起こした。

爆発と地震の専門家による分析から、火災

図2 ニトロセルロースの発火¹⁾



現場の監視カメラの映像



再現実験
固体ニトロセルロース 40 kg 入り容器

が継続しており、2回の強い爆発以外にも危険物化学薬品の小爆発が何度もあったと考えられるが、爆発の被害を決定的にしたのは主に2回の大きな爆発と認められた。中国地震台発表によると、1回目の地震動がマグニチュード2.3、2回目の地震動がマグニチュード2.9としている。

爆発のエネルギーに関しては爆発の規模などから、最初の爆発したエネルギーは15 t の TNT 相当量であり、二回目は430 t の TNT 相当量と推定している。その他に小さい規模の爆発もあり、今回の事故中の爆発の総エネルギーは450 t の TNT 相当量と推定している。

(5) 事故の問題点

爆発事故は、ニトロセルロースの自然発火火災から硝安の爆ごうに至る直接原因と、そこに至る間接原因として、報告書では以下の問題点を指摘している。

- 各種許可無しで市が定める規則にも違反して危険物貨物倉庫事業を行っていた。
- 800 t の硝安、1,340 t の硝酸カリウムなど規制の数倍から数十倍の量の化学物質を保管していた。
- 多くの化学物質が混在し、コンテナを4層から5層の高さに集積して保管していた。
- 開梱、運搬、荷卸し作業を他の業者に外部委託して、ニトロセルロースの入った容器をフォークリフトで運んだり、床を転がして運ぶなど乱雑な扱いをさせていた。また、各種危険物の隔離貯蔵や、静電気防止をせず、事故時の応急処置などの安全に関する教育・訓練が不徹底であり、緊急時対応計画の策定と、その訓練もなされていなかった。
- 規定を上回る量の危険化学品を倉庫に保管するなど、法律違反の常態化および安

全の潜在的な危険が長期間にわたって存在したことを指摘し、同時に、当局による不適切な管理の実態にも言及している。

なお、刑事事件の裁判は、爆発事故の発生から1年3カ月後の2016年11月に一審裁判の判決が出た。

3. 最近の硝酸アンモニウムの爆発事故

(1) フランスにおける肥料工場爆発事故

フランス南部トゥールーズ市近郊の肥料工場で、2001年9月に大きな爆発があり、31名の死者、4,400名の重軽傷者を出した。爆発の中心は工場内の硝安300 t を貯蔵した倉庫とみられている。倉庫で火災が発生し、その後爆ごうに転移し、工場内の倉庫のあった場所に大きなクレーターができ、爆風が周辺の建物などを破壊した。

フランスでは国会により事故調査委員会が設置され、持続可能開発省が4年9カ月をかけて事故報告書³⁾を作成した。直接原因は、バルク貯蔵の硝安に不純物が混ざった可能性を指摘した。この報告書は2015年9月にも改訂されており、報告書を提出後もフォローしていることがわかる。この報告書においては規制だけでなく、産・官・学が協力して安全について研究、実践などを行うことを提言し、産業安全文化研究所 (ICSI) を設立などしている。

発生年月日：2001年9月21日10時15分

発生場所：トゥールーズの AZF 肥料工場で爆発

死傷者：死者31名（従業員22名、その他9名）、負傷者 4,400名

被害：半径3 km で大きな被害

着火：金属粉末、炭素、塩化物などの混触の可能性

爆発の規模：TNT 換算で20～40 t
 備考：グレードの低い硝安300tを
 建物内床に直接置くバルク貯
 蔵であった。

従業員は爆発の5分前に建物を出たが何も
 気が付かなかった。

(2) アメリカにおける肥料倉庫爆発事故

2014年4月に肥料倉庫で火災が発生し、
 その後に大爆発があった。死者15名、負傷
 者260名以上で、破壊家屋が160棟以上とな
 り、倉庫の荷捌場付近にクレーターができた。
 倉庫では30 tの硝安を他の薬品と共に保管
 していた。

当時のオバマ大統領による大統領令により
 6省庁の連携による事故、テロの両面からの
 調査が行われた。爆発したのは貯蔵倉庫であ
 り、事業は肥料の小売業と分類されていた。
 そのためプロセス安全管理規定や、緊急対処
 計画の策定などの法律の対象外であった。さ
 らにテキサス州では、人口が一定以下の郡に
 消防規則がないため、消防が施設の安全対策
 をチェックできないということも指摘された。

化学事故調査委員会（CSB）から2016年1
 月にこの事故調査の最終報告書⁴⁾が出た。
 原因究明に関連して調べたことが広範囲に記
 載されている。

発生年月日：2014年4月17日18時頃火災
 発生、19時51分爆発

発 生 場 所：テキサス州 肥料倉庫

死 傷 者：死者15名（10人が消防隊員
 や救急隊員）、負傷者260名
 以上

被 害：跡形ない破壊家屋が60～80
 棟、全壊家屋50～75棟
 損壊集合家屋50棟

着 火：不明

(3) 事故調査報告書について

フランス、アメリカ、中国の硝安爆発事故
 の調査報告書の概要について表2にまとめ
 た。共通するのは、最終報告書までにかなり
 の時間を要していることと、それでも爆発の
 詳細の原因が不明もしくは推定の域を出ない
 ことである。

純粋な硝安については、規定の爆発危険性
 評価試験方法では、爆発性を明らかにするこ
 とが困難であり、多量での事故について再現
 実験することも難しい。また、想定外の大き
 な爆発が突然起こり、関係者の被害や、作業
 現場の破壊により、事故に至る経過を明らか
 にすることが困難であることも認められた。
 そのため、爆発事故原因の究明には多大な努
 力が払われた特異な事例でもある。しかしな
 がら、その他の爆発事故でも、例えば反応暴

表 2 硝安爆発事故調査報告書

場 所	調査機関	報告年月 調査期間	直接原因	爆発過程	対 策
トゥールーズ	持続可能 開発省 ³⁾	2006年5月 4年9カ月 改訂あり※	反応性化合物混入 の可能性	従業員が建物を出 た5分後に爆発	硝安の安全規則の見直し 爆発危険性に応じた取扱 危険工場施設適用規則・規 制の見直し
テキサス	CSB ⁴⁾	2016年1月 3年9カ月	火災原因不明 爆発への転移につ いても特定できず	火災発生後、20分 後に爆発	木造建物貯蔵の中止 化学施設の安全警備の強化 緊急対処要員の対応の向上 政府機関の連携強化
天津	国家安全生 産監督管理 総局 ¹⁾	2016年2月 6カ月	ニトロセルロース の自然発火	火災が硝安に延焼	化学物質を混在保管しない 運搬、荷卸などの法令順守 教育・訓練の徹底

※2015年9月 改訂

走、蒸気爆発、自然発火などで大きな被害が生じたときには同様な困難性が伴い、事故の解明にはこのような報告書が参考になると思われる。

それぞれの爆発事故の比較としてクレーターのサイズ、爆風による建物被害範囲、推定された爆発エネルギーの TNT 換算薬量、事故時の硝安貯蔵量および爆発時に観測された地震のマグニチュードを表3に示す。多くの爆発事故で、爆発のエネルギーは、被害の状況から TNT 換算薬量として示されることが多い。3つの事故においても推定された TNT 換算薬量が報告されているが、被害の状況から総合的に判断したことが記されている。爆発のメカニズムや、建物の強度、地質の特性など複雑な因子があり特定の被害状況だけからの推定は難しい。

4. まとめ

フランス、アメリカ、中国の三つの硝安爆発事故について報告書とその比較を行い、その概要について解説した。

これらは、インターネットに公開されており、フランスでは公開後も改訂が続けられている。また、アメリカでは事故調査の暫定版が早い時期に公開されていたが、その後、最終版が公開された。暫定版と最終版の異なることは、事故に関連して調査した事項についても詳しく報告されていることである。

中国においては、新幹線の事故の際に事故車両を埋めるなどして批判されていたが、今回の天津の事故調査報告書は重大事故であるとともに、その前後でも相次いで起こっている化学工場での事故に関連して、安全工学などの多くの専門家の協力を得てまとめ上げられており、調査報告書としてきちんと取り組まれている。

これら3カ国の報告書に共通するのは、事

表3 爆発事故の比較

発生場所	クレーター (m)	建物被害 範囲	TNT 換算 薬量 (t)	硝安 貯蔵量 (t)	地震のマグ ニチュード
トゥールーズ	65×45 深さ7	半径3 km	20~40	低グレード 300	3.4
テキサス	直径23 深さ2.3	半径 1.6 km	9~18	30	2.1
天津 1回目	直径15 深さ1.1	—	15	—	2.3
天津 2回目	直径97 深さ2.7	爆心から 3.4~ 5.4 km	430	800	2.9

故の調査結果を事故の再発防止や安全対策に資源として活用していこうという姿勢である。関係者への網羅的なヒヤリング、写真、動画の収集など国を挙げて総合的な調査を行うことでより広範囲に検討されていることと、作成にかなりの時間を費やしていることも挙げられる。

国内での最近の相次ぐ化学工場の事故でも各会社や消防、労働、警察などが各組織としての事故調査を行っている。事故事例の活用をいわれるときに上記3カ国の報告書を参考にされれば良いと願っている。

参考文献

- 1) 国家安全生产监督管理总局：天津港 '8.12' 瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故调查报告，2016。
<http://www.chinasafety.gov.cn/newpage/newfiles/201600812baogao.pdf>
- 2) 鈴木拓人：天津爆発事故の状況，損保ジャパン日本興亜 RM レポート，137，2015。
http://www.csb.gov/assets/1/19/West_Fertilizer_FINAL_Report_for_website_0223161.pdf
- 3) French Ministry of Sustainable Development：Explosion in the AZF fertilizer plant September 21st, 2001 Toulouse France, 2015。
http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/FD_21329_TOULOUSE_PA_10092015.pdf
- 4) CSB：West Fertilizer Final Investigation Report, 2016。
http://www.csb.gov/assets/1/19/West_Fertilizer_FINAL_Report_for_website_0223161.pdf

なかむら しゅん

東京都立大学大学院修士課程修了。警察庁科学警察研究所爆発研究室に入所。爆発事故の原因調査、爆発物の威力、分析、探知などに従事。爆発研究室長、研究部長を経て定年退職後、2011年から現職。