

# 爆発の事故調査

総合安全工学研究所 事業部長

中村 順 Jun Nakamura

## 1. はじめに

工場、プラントでの化学薬品、高圧ガス、危険物などの製造、運搬、貯蔵での不適切な取扱いや、危険な条件での使用などにより、爆発事故が発生しており、最近でも減る傾向が見えない。東日本大震災でも、福島第一原子力発電所や千葉の液化石油ガスタンクにおいて爆発事故が発生し、社会に大きな不安を与えた。

爆発事故の原因究明や、人、器物の被害を明らかにしたり、事故の再発防止のためには、事故の正しい調査が不可欠である。しかしながら、多くの爆発事故現場が爆発や火災で大きく破壊、焼失し、調査に必要なものが失われる場合が多く、原因究明を難しくしている。

さらに、事故調査のためには、物質に関する火災爆発危険性など化学的知識や、燃焼、爆発の現象に関する知識などを幅広く持ち、

経験を積み重ねておくことも必要である。

事故の調査は、最終的には事故の再発防止、類似事故の未然防止のための対策に生かすのが目的である。そのために科学的で正確な事故の調査が行われてきている。事故原因究明のために、どのように爆発事故の現場を調査するかを解説する。

## 2. 爆発の種類

爆発とは、圧力の急激な発生または解放の結果、熱・光・音などと共に破壊作用を伴う現象をいう。その種類は多いが、大きく分けて、物理的爆発と化学反応を伴う化学的爆発の2種類がある。表1に爆発の種類を示す。

実際には、物理的爆発と化学的爆発が一緒になったものもある。たとえばカセットコンロの上で鉄板焼きなどをすると、カセットボンベが爆発して火傷を負う事故が時々みられ

表1 爆発の種類

	爆発形態	爆発現象	物質	空気(酸素)
物理的爆発	圧力上昇による爆発	急激な圧力変化 ボイラーの過熱 気体や液体の膨張破裂 相変化 蒸気爆発 水蒸気爆発	高圧ガスボンベ 真空容器 液化ガス 溶融金属と水の接触	不要
化学的爆発	ガス爆発	可燃性ガスや可燃性液体蒸気と 空気の混合	水素、メタン、 プロパン エタノール、ガソリン	必要
	粉じん爆発	可燃性微粉末と空気の混合	金属粉、木粉、 樹脂粉、穀物粉	必要
	凝縮相爆発	固体・液体の爆発 暴走反応	ニトログリセリン、TNT などの火薬類 不安定物質 酸化性物質	不要

る。これは、ブタンガスのような液化石油ガスの入った容器が加熱されると、容器内の液体は、気化し容器内の圧力も高くなり、容器が破裂する物理的爆発が起こる。内部のボタンは、一気に気体になり、周辺に拡散して空気と混合し、引火して大きな炎となる化学的爆発が起こることで説明される。実際に、高速度カメラで現象を解析すると、最初に破裂が起こり、白い霧状のものが広がり、その周りから着火燃焼が起こって大きなファイヤーボールができるのが観測される。

工場などの大規模な液化石油ガスタンクでも、その付近で火災が起こると同様にタンクが破裂・破壊して、その後に気化した可燃性ガスが空気と混合して爆発し、大きな被害を出すことがある。これをBLEVE<sup>※1</sup>という。気体の急激な相変化による物理爆発と、その後に大規模な化学的爆発を起こすことは、カセットボンベと同様である。

爆発の大きさや強さは、爆発圧力、爆発速度<sup>※2</sup>、発生エネルギー量などにより決まるが、事故現場では、さらに現場の建物、容器などの構造、密閉強度などにより変化するので複雑となる。爆発事故では、被害の状況、破壊状況から逆に、どのような爆発現象であったか推定していくことになる。

実際の爆発事故では、単一の原因で片づけられるような事故はまれであり、特に爆発の規模が大きくなると、すぐには原因の特定が難しいか不明な場合な場合も多く、慎重に検討することになる。また、爆発したものが特定できたように見えても、爆発現象としては、必ずしもそれだけでないこともあり、予断を持たず被害の状況をきちんと見極めてから推理することになる。

### 3. 爆発現場の調査手順

事故調査においては、事故発生からなるべ

く早い時期に、現場観察することが必要である。現場が片付いてからというのでは遅すぎる。現場調査というのは、事故の原因究明を行う上で、最も重要な事項である。現場を見ることなく、聞き取り、写真、記録などの報告書から事故調査を行うというのは、科学的な調査とは言えない。

#### (1) 初期対応

爆発事故が報告された際には、最初に事故現場および現場資料の保存を行い、立ち入って、さわったり、動かしたり、片づけなどしないようにして、できる限り事故直後の状況を保存して調査に当たれるようにする。

現場調査は、消火作業中や、夜間を避け、二次災害の予防のための安全確認などの後に実施することになる。被害者の救助、行方不明者の捜索などは最優先で行うことになる。

これと同時に、事故現場の被害状況、器物の移動や破壊の状況などの写真を最初にとって記録しておく。さらに安全化などのために弁や装置を動かす場合には、その前に写真を取って、直後の状態を記録しておくことも必要である。

関係者からは、目撃情報、事故の直前、直後の状況などを調査する。

その他にも、なるべく多くの事故の背景に関する情報を集め、全般的な理解をしてから現場に入ることになる。たとえば、扱っている薬品、工程、複雑なプラントでは該当する装置の配置状況などについてである。概略で良いから工程図、塔槽類の配置地図もあると現場で役に立つ。

#### (2) 爆発の中心箇所の特定

調査の順番は、その現場に応じて決めることになるが、基本的には、爆発の中心を確かめてから、爆発したもの、着火・起爆、爆発の規模という順にみていくことになる。

※1  
沸騰液体蒸気拡散爆発  
(BLEVE: Boiling Liquid  
Expanding Vapour  
Explosion)

加圧されて液化した状態で貯蔵する可燃性物質は、その時の気液平衡状態にあるが、外部火災により容器が加熱されると、容器内の圧力が高くなる。この状態で容器の一部が破裂すると、容器内の平衡状態が破られ、液体は突沸し、急激に気体になることでさらに大きな爆発現象を起こす。そして、さらに拡散して空気と混ざったガスが自由空間で蒸気雲爆発を起こす現象をいう。

※2  
爆発速度  
化学的爆発において、爆ごう波面または燃焼波面の伝播する速度をいう。爆発速度(爆速)を求めることにより爆発の激しさを評価することができる。



図1 ガス爆発  
コンクリート建物の天井の膨らむような変形

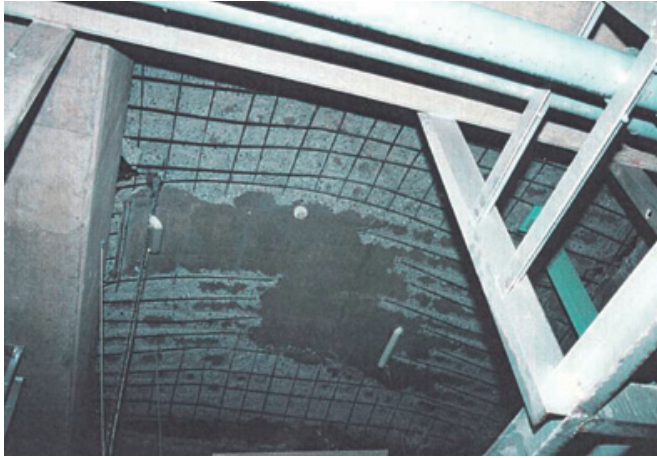


図2 粉じん爆発  
軽量の壁面、天板は破損・飛散するが鉄骨は残存している



図3 凝縮相の爆ごう  
爆心の地面に開いた漏斗孔



図4 凝縮相の爆ごう  
爆心近傍の金属容器に開いた貫通孔



爆発の種類の違いによってどのような被害の状況になるかを表2に示す。

現場で被害の状況などから爆発の中心箇所を特定していく。固体、液体などの凝縮相の爆発では、局所的な破壊を示すことから特定しやすい。その爆発した位置を爆心という。特に爆発の速度が音速を越えるものは爆ごうといい、爆風を伴い、高温・高圧の反応で直接接触しているものを破壊する。たとえば、爆心では、地上に漏斗孔ができ、台上や上の階層などで爆発しても、台、容器、床面が粉碎されるなど局所的な破壊があり、容器破片の貫通孔、衝突痕、爆風の方向性などから爆心を推定可能である。

ガス爆発や粉じん爆発などの気相爆発では、局所的な爆発被害は見られず、爆発の中

心が明確でない場合もあるので、爆発による建造物の壁、柱、窓、その他の器物などの移動、変形、破壊、倒壊状況などから判定する。被害が一番大きい部分が、爆発の中心となることが多い。しかしながら、たとえば可燃性ガスが広範囲に漏洩・拡散して爆発すると、必ずしもそうとは限らないので、現場を片付けて、残った柱や壁の変形から調べることになる。

爆発後に火災になったり、爆発が複数回起こることもあり、この場合には、最初の被害と二次的な被害を区別する必要がある。爆発による破壊と火災による被熱、焼損などの違いと、倒壊や破壊された器物の上下の重なり具合などから区別する。

なお、実際の爆発事故現場ではさらに複雑

表2 爆発による被害

	気相爆発	凝縮相爆発
爆発の種類と爆発するもの	ガス爆発、粉じん爆発 可燃性ガス、可燃性液体の蒸気 粉じん	固体・液体の爆発、蒸気爆発、暴走反応 火薬類、エネルギー物質、危険物
爆発圧力	ガス爆発で数気圧、最大8気圧程度	爆発による生成ガスの静的な圧力上昇と共に、爆ごうでは数10万気圧になり、直接接触している物を粉砕するなど破壊作用を伴う。
爆発速度	音速以下	火薬で音速以下 爆薬などの爆ごうでは2,000～8,000m/秒
被害の状況	壁、天井、ドアなどの脆弱な部分の変形、飛散、倒壊など全体的な被害(図1、2)	全体的な被害とともに、爆ごうでは爆心に漏斗孔、周囲に破片による貫通孔などの局所的破壊が見られる(図3、4)
容器の破壊	膨らむか、破裂する。 細かい破片はない。	破裂もしくは破片化する。 爆ごうでは多数の高速で飛散する威力のある破片となる。
爆発後の火災	爆発の周囲の器物表面に火炎を受けた痕跡を生じる。 二次火災が起こることが多い。粉じん爆発では大きな火災になることが多い。	起きないこともある。
爆風	弱い爆風か、または閉空間の爆発で、気体の急激な膨張による被害がある。多量の漏えい後の爆発では観測されることもある。	爆ごうの場合、爆風を伴い、遠方の窓ガラスが割れるなどする。

なこともあり、表2に示した被害状況は典型的な例であり、いろいろな段階での被害状況があることに注意しなければならない。

### (3)爆発したものの特定

爆発の中心付近にあったと思われる可燃性ガス、粉じん、化学薬品や圧力容器などを調査する。その爆発性、存在量と分布が爆発の被害を及ぼすに必要な量や状態であったなどを調査する。産業廃棄物などの場合、すぐには爆発したものの特定が難しいが、爆発の状態と、搬入された可能性のあるものについて、それ自体の爆発性や混合危険などについて検討する。水蒸気爆発では、高温溶融物に水の入る可能性などについて調べることになる。

なお、一般の人にとって爆発現象そのものを見る機会も少ないので、爆発事故では、たいていガス爆発事故と第一報が報告されることも多いが、なかにはテロなどによる爆発物

もあり得るので、あらゆる可能性を考えておく必要がある。

### (4)爆発の着火・起爆の特定

爆発の中心付近について着火源や起爆の原因となるものについて電気的なものや化学的なものについて調査する。電気火花、静電気火花、裸火、高温物表面、自然発火、熱輻射、衝撃、摩擦、断熱圧縮などについて調べる。これらは火災の出火原因と同様であるが、爆発事故に固有なものとしては、圧力容器の破壊や、爆発性物質の打撃、衝撃、摩擦感度などの機械的エネルギーも考える必要がある。

### (5)爆発の規模

爆発するものとその着火や起爆による爆発の形態、伝播状況、被害などをあわせて総合的に検討する。

凝縮相の爆発で爆ごうが起こったと推定さ



れる場合には、漏斗孔の容積や、爆風による被害の程度とその爆心からの距離などからTNT当量<sup>※3</sup>を求める。その物質の爆発した量や、爆ごうについて考察することができる。

気相爆発では、その被害を及ぼすメカニズムが異なり、誤差も大きいのでTNT当量は適用しない。気相爆発では、可燃性ガスなどの漏えい量、漏えい経路、拡散範囲、損失量などについて調べる。

## (6)その他

事故に至る原因となる可能性についても調べる。装置の故障、破損、危険物の漏えい、排気や換気系統、粉じんの集じん装置などである。水蒸気爆発が疑われる際には、冷却水の漏えい、濡れたり水の入ったものの投入などについても検討する。人的エラーについて、現場の状況から確かめることも必要である。

## 4. その他の調査

工場などの爆発事故では、多くの直接的、間接的原因があり、原因の確定は容易なことではない。そのために爆発現場以外に、関係者、関連資料の調査も重要であり、これらをつきあわせて原因究明に当たることになる。

### (1)目撃者、関係者の調査

目撃者の調査では、事故時の状況をきくことになる。爆発音の回数、最初に火を見た位置、事故直前の人の動き、事故後の応急処置などである。実際には、急激に起こった一連の出来事の記憶で混乱したり、お互いに矛盾することもあり得る。証言だけにたよるのではなく、現場の調査結果の事実と合わせて検討する。

### (2)資料の調査

操業の記録として、事故時と過去の運転の

記録類について確認し、さらに、作業記録などについても検査する。

過去における関連の事故事例も調査する。たとえば同じ工程における過去の不具合の記録なども調査する。単純に破裂した事故と思われていた小規模な事故が、実は爆ごうを起こしていた例も有り、どのような不具合、トラブルが大きな事故の可能性を持つか専門的に見る目も必要である。

## 5. おわりに

爆発事故現場では、現場における証拠の十分な収集や、その証拠の一貫性も得難く、事故原因を正確に究明することは難しい場合が多い。

現場調査を進めながら、具体的な事故の現場の事実に基づくシナリオを考えていく。多くの集めた情報を基に、現場の調査結果が矛盾なく説明できるか検討していくことになる。

たとえ原因不明であっても記録をきちんと残して、将来の原因究明、再発時の参考になるようにすることも重要である。報告書としては、可能性のある要因をすべて列挙して、検証していく記述が後の役に立つ。

また、当事者の事故時の行動や事故後の対応なども報告書で明らかにしておく必要があるが、これも科学的な現場調査がなされていることが前提となる。

爆発事故を繰り返さないことや予防のために少しでも参考になれば幸いである。

### なかむら●しゅん

1975年東京都立大学大学院理学研究科修了、同年 警察庁科学警察研究所法科学第二部爆発研究室 1995年同爆発研究室長、2008年同法科学第二部長。2011年から現職 専門は爆発事故、爆発物の威力と探知。

※3

TNT 当量

爆発性物質が爆発したとき、同じ量のエネルギーを放出する爆薬 TNT の量。