

## 第6章

### 大規模災害を対象とした評価



## 第6章 大規模災害を対象とした評価

確率的なリスク評価において、リスクマトリックスの左上に位置するようないわゆる「低頻度大規模災害」は、災害の発生危険度が極めて低いとして、従来想定災害としてとりあげられないことが多かった。しかしながら、東日本大震災において千葉県市原市で発生したLPGタンクの爆発火災のように、低頻度であっても発生する可能性はゼロではなく、万一発生した場合には災害への対応が要求される。

このことを踏まえ、消防庁指針では、評価上の災害の発生危険度は極めて小さい災害であったとしても、発生したときの影響が甚大な災害については想定災害として取り上げ、可能なものについては影響評価を行うこととしている。

ここでは、平常時の災害の評価結果や過去の事故事例に基づき、評価対象とする災害事象の検討と災害拡大シナリオの想定を行い、災害影響解析が可能な災害事象については、災害が発生した場合の影響評価を行う。

### 6.1 過去の事故事例

#### 6.1.1 危険物タンク

##### ○大規模流出火災

1964年6月16日（新潟県新潟市）<sup>i,ii,iii</sup>

新潟地震により、多くの危険物タンクにおいて設備の損傷やそれに伴う危険物の漏洩、スロッシングによる内容物の溢流等が生じた。特に、昭和石油新潟製油所では、スロッシングにより原油タンク群の全面火災が発生し、16日間にわたって燃え続けた（第1火災）。また、地震発生から約5時間後に発生した火災（第2火災）は、石油の流出と液状化による地下水の噴出や津波浸水とが重なり、周辺の民家を含む広範囲の延焼火災となった（図6.1.1）。第2火災はおよそ4日後に消火したが、消火活動中には重油タンクにおいて4回のボイルオーバーが発生している。

一方、新潟火力発電所では、容量2万klの重油タンク2基においてスロッシングが発生し、固定屋根と側板との接合部が破損して合計約2000klの重油が防油堤内に流出した。

2009年10月23日（プエルトリコ・バヤモン）<sup>iv</sup>

タンクターミナルにおいて、タンカーから内部浮き蓋式タンクへガソリンを受け入れ中にオーバーフローが生じ、屋根上の6個の通気口からガソリンが溢れて蒸気雲を形成した。作業員が発見し無線で移送中止を求めたが、その後何らかの着火源によって爆発が起こり、48基中17基のタンクが同時に火災となる大規模火災となり、59時間後に鎮火した。

この事故はいくつもの要因が重なって発生している。直接的な要因は担当者がタンク満液予定時刻の計算を誤ったことであるが、その背景として液面計の故障（独立系統の高液位警報や過充

<sup>i</sup> 消防科学総合センター：地域防災データ総覧 危険物災害・火災編，1986

<sup>ii</sup> 太田外氣晴、座間信作：巨大地震と大規模構造物—長周期地震動による被害と対策—，共立出版，2005

<sup>iii</sup> 小野寺慶治：昭和石油製油所火災戦闘記（2），予防時報別冊 防災温故知新，1965

<sup>iv</sup> 吉田聖一：プエルトリコでの石油タンク大規模火災事故，圧力技術，Vol.53 No.6，2015

填防止システムは設置されていなかった)、内部浮き蓋の破損(液面計の故障に何らかの影響を与えたと推定されている)、バルブ操作の不備(受入中のタンクバルブを全開にし、次に受け入れ予定のタンクバルブを一部開としていたため正確な流量の把握ができなかった)、防油堤のドレンバルブの状態が開であることに気付かず蒸気雲が広範囲に拡散したこと、照明不足、規制・基準の不備が挙げられている。

### ○危険物の海上流出

1974年12月18日(岡山県倉敷市) i

定時パトロール中に、ドームルーフ型の重油タンク底部から油が噴出しているのが発見された。この対応(内容物の移送)準備中に、異常音と共に事故タンクの底部から大量の油が流出し、その勢いによってタンク付属の点検用階段が倒壊、防油堤を破壊した。防油堤外へ流出した重油は、構内通路、排水溝等を経て一部が海上流出した。流出油は7,500~9,500klで瀬戸内海を広範囲に汚染した。

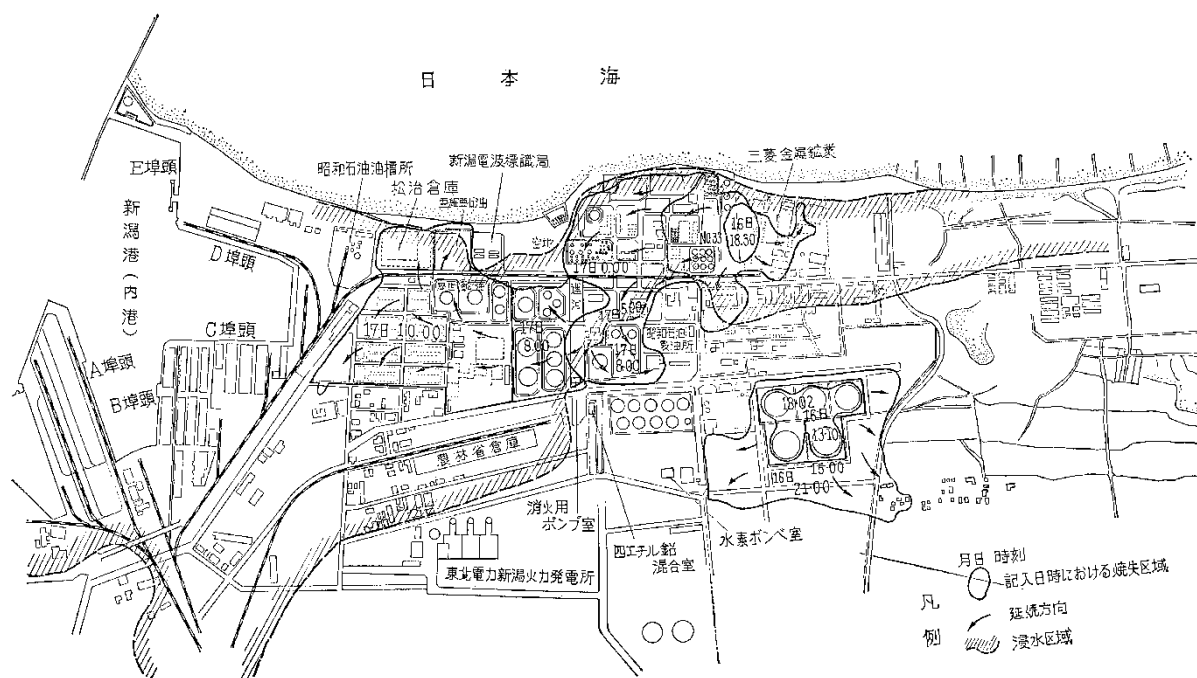


図 6.1.1 昭和石油新潟製油所の焼損範囲 ii

1978年6月12日(宮城県仙台市) i

宮城県沖地震により、3基の重油タンクの側板と底板との接合部付近が破断し、油が噴出した。地上部は流出油等防止堤で拡大防止できたが、一部が排水溝を通過してガードベースンに流入した。直ちに港湾へ通じる排水口の緊急遮断ゲートの閉鎖を行ったが、ヘドロが堆積していたため完全に閉鎖できず、数千klが海上流出したが、大半はオイルフェンスで食い止めることに成功した。

i 消防科学総合センター：地域防災データ総覧 危険物災害・火災編，1986

ii 消防庁：新潟地震火災に関する研究，1965

2012年6月28日（千葉県市原市）<sup>i</sup>

2011年3月の東日本大震災以降使用していなかったアスファルトタンクの再稼働に向け、アスファルトを移送する目的でタンクを加温していたところ、タンク上部の屋根板と側板の溶接部が開口し、アスファルトが漏洩した。漏洩したアスファルトの多くは敷地内に溜まったが、一部は排水溝を通して海上へ流出した。このアスファルトは、製品アスファルトよりも密度が小さいスロップワックスと呼ばれるものである。事故原因はタンク内に浸入した水の沸騰に伴い、アスファルトが上部へ押し上げられてタンク内圧が上昇し、タンク上部が開口したものと推定されている。また、海上流出した原因として、タンク敷地内にある油水分離槽の入口弁が開状態であったことがあげられている。

○ボイルオーバー

原油タンク等においてタンク火災が長時間継続した場合に、突然激しく燃焼油が噴出して火災が拡大することがある。このような現象はボイルオーバーと呼ばれる。

1964年6月16日（新潟県新潟市）<sup>ii</sup>

前述したように、新潟地震で発生した大規模火災では、消火活動中に重油タンクで4回のボイルオーバーが発生している。

1982年12月19日（ベネズエラ・タコア）<sup>iii</sup>

発電所にある直径54mのC重油タンクが突然爆発し、屋根が飛びタンク全面火災となった。爆発により損傷した配管から流出した油は防油堤内で火災となった。消防隊は重油を燃やきることとし、周辺タンクの延焼防止に努めた。事故発生から約6時間半後、ボイルオーバーが発生した。油は空中に450m噴出し、長さ600m以上、幅約275mのファイヤーボールを形成し、火災現場から3km離れたところにいた人々が放射熱で火傷を負い、同じ場所に駐車していた車の燃料タンクは熱により爆発した。燃焼油は、30秒間にわたって150m四方に飛散した。

## 6.1.2 ガスタンク

○BLEVE及びファイヤーボール

BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)とは、沸点以上の温度で貯蔵している加圧液化ガスの貯槽や容器が何らかの原因により破損し、大気圧まで減圧することにより急激に気化する爆発的蒸発現象である。典型的には、火災時の熱により容器等が破損してBLEVEを引き起こす。BLEVEの発生は内容物が可燃性のものに限らないが、可燃性の場合には着火してファイヤーボールと呼ばれる巨大な火球を形成することが多い。

<sup>i</sup> コスモ石油株式会社：千葉製油所屋外タンクからのアスファルト漏洩事故調査報告書，2012

<sup>ii</sup> 小野寺慶治：昭和石油製油所火災戦闘記（2），予防時報別冊 防災温故知新，1965

<sup>iii</sup> 湯本太郎：石油タンク間の延焼二例，消研輯報 No.43，1989.

1966年1月4日（フランス・フェザン）<sup>i,ii</sup>

この事故は、BLEVE 現象が明らかになった最初の事故といわれている。フランスの製油所において、LPG 球形タンクのドレンバルブが凍結して閉まらなくなり、大量のLPGが漏洩・拡散した。拡散したガスは蒸気雲を形成し、製油所から約60m離れた高速道路や県道にまで達した。高速道路については交通規制がかけられたが、県道は規制されず、通りかかった乗用車により引火し、火炎が漏洩タンクに逆流して火災となった。消火活動が行われたが、約90分後にBLEVEが発生してタンクが破裂し、破片は150～350mの範囲に飛散した。これにより火災は拡大し、引き続いて周辺の2基のLPGタンクが爆発し、石油タンク等も損壊した。

2011年3月11日（千葉県市原市）<sup>iii</sup>

14時46分に発生した東日本大震災の本震（震度5弱）により、LPGタンクヤードにおいて、満水状態であった1基のLPGタンクの支柱ブレースが破断した。その後、15時15分に発生した茨城県沖の余震（震度4）により、当該タンクの支柱が座屈してタンク本体が倒壊した。これにより周辺の配管が破断、大量のLPG（ブタン）が漏洩し、着火して火災となった。緊急遮断弁を閉止できず漏洩・火災は継続し、火災発生から約80分後に最初のBLEVEが発生した。その後、概ね5～10分間隔で隣接タンクが次々と爆発し、火災はタンクヤード全域に拡大した（図6.1.2）。

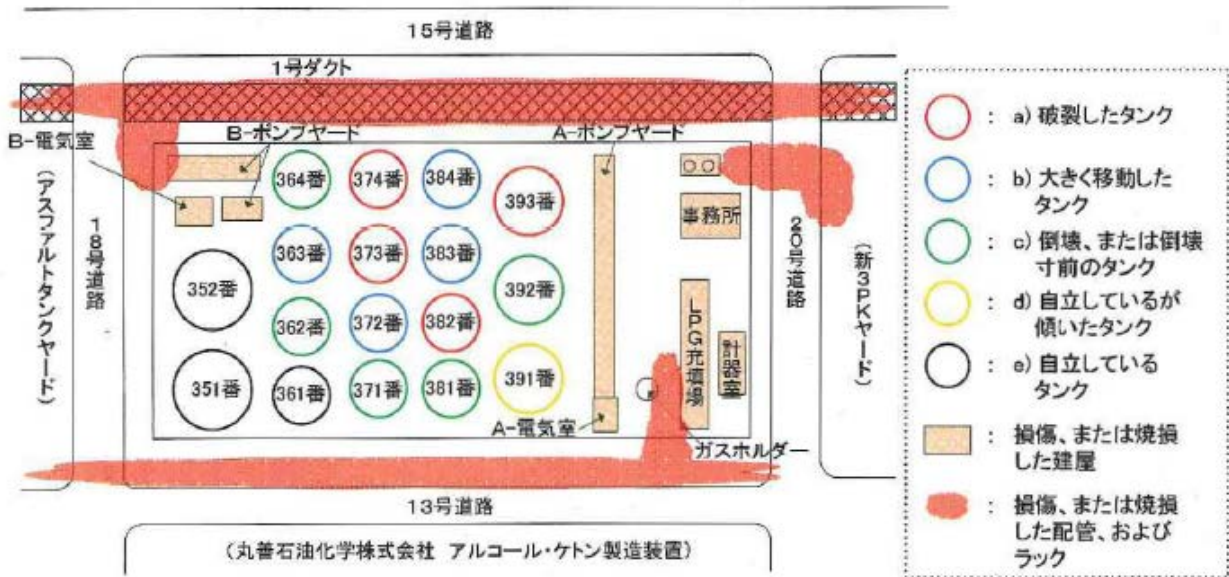


図 6.1.2 LPG タンクヤードの被災状況<sup>iv</sup>

この爆発の飛散物により、当該タンクヤードに隣接するアスファルトタンクが破損し、アスファルトが海上に流出した。さらに、隣接事業所や近隣居住地区においても飛散物や爆風の影響により被害が生じた。事故後の調査結果によると、当該タンクヤードから約250m以内の範囲でド

<sup>i</sup> 小林光夫, 田村昌三: フランス フェザンのLPGタンク爆発火災, 失敗知識データベース, <http://www.sozogaku.com/fkd/hf/HC0300001.pdf>

<sup>ii</sup> ハサン モハammad アリフル: 加圧容器・貯槽に潜む特異爆発現象“BLEVE(ブレビー)”について, 防災システム No.33 Vol.3, 2011

<sup>iii</sup> コスモ石油株式会社 千葉製油所液化石油ガス出荷装置及び貯槽設備火災・爆発事故調査報告書, 2011

<sup>iv</sup> コスモ石油株式会社: 千葉製油所液化石油ガス出荷装置及び貯槽設備火災・爆発事故調査報告書, 2011

ア（シャッター）・窓枠の破損が多く、約 900m 以内の範囲で室内天井、スレート、窓ガラスなどの破損が見られた。また、爆発タンクから 3200m、3300m、3900m 離れた民家の窓ガラスの破損が確認された。

○コークスガスホルダーの爆発火災

2003 年 9 月 3 日（愛知県東海市）<sup>i</sup>

コークスガス（COG）ホルダー（容量 4 万 kl）において爆発が発生し、火災となった。この影響により、隣接する COG ホルダー及び高炉ガス（BFG）ホルダー（いずれも容量 10 万 kl）でも爆発が発生した。爆発したコークスガスホルダーの内部にはピストンが設けられており、ガス量に応じて上下する構造となっている（図 6.1.3）。

ピストンのバランスをとるために、ピストンの上下には円周に沿って重りが取り付けられている。事故原因は、下部の重りを支えるサポートが腐食して重りが落下したことにより、ピストンが傾いて側壁との間に隙間が生じ、COG がピストンの上部に漏洩して可燃性混合気（爆発限界濃度の範囲内のガス）を形成し、サポート破損時に発生した火花により着火・爆発に至ったと推定されている。

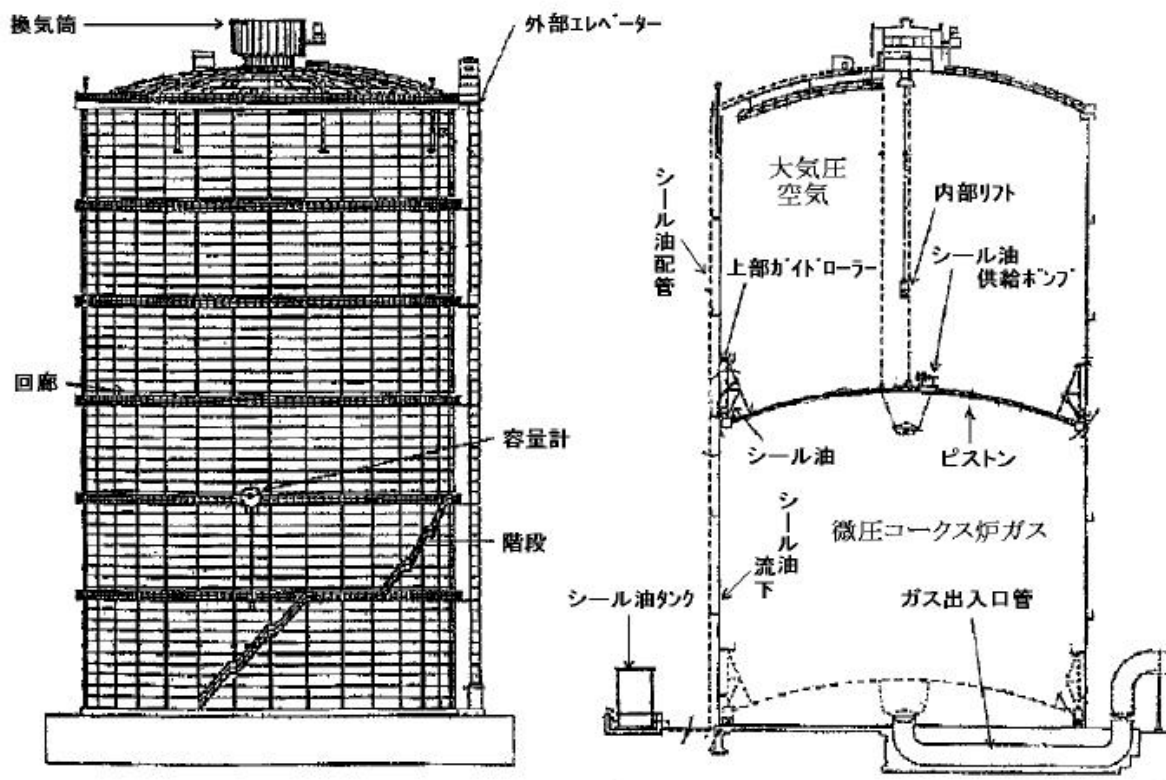


図 6.1.3 ガスホルダー構造図<sup>ii</sup>

<sup>i</sup> 厚生労働省：製鉄事業場における化学設備等の定期自主検査等の徹底について（基安発第 0716002 号），2004

<sup>ii</sup> 失敗事例データベース，<http://www.sozogaku.com/fkd/index.html>

## ○低温 LNG タンクの損傷等

1944 年 10 月 20 日（米国・クリーブランド）<sup>i</sup>

二重殻構造の LNG タンク（容量 4050m<sup>3</sup>）が完成直後に崩壊し、LNG が漏洩した。蒸発した LNG は蒸気雲爆発を起こして火災となり、周辺タンクを巻き込み 48 時間燃え続けた。この事故による死者は 128 名であった。タンク崩壊の原因は、内槽に 3.5%Ni 鋼を使用していたために低温脆性破壊を生じたことによる。現在では主に 9%Ni 鋼が使用され、材料の規定も行われていることから、このような事故は起こり得ないと考えられている。

1971 年 8 月 21 日（イタリア・ラ スペティア）<sup>ii</sup>

LNG 受入基地において、密度の異なる LNG をタンク（容積 50000m<sup>3</sup>）に受け入れたことにより、荷役開始 31 時間後にロールオーバーと呼ばれる現象が発生して大量のガスが発生し、安全弁及びベントより 3 時間 15 分にわたって計 86 トンのガスが大気放出された。タンクには損傷はなかったものの、設計圧力の 5kPa を 2kPa 超える圧力まで到達した。

注) 密度の異なる LNG を同一タンクに受け入れると、LNG が上層部（軽質）と下層部（重質）に分離して層状化する場合がある。この状態で一定時間が経過して、上下層の密度差が小さくなるとロールオーバーと呼ばれる対流が生じ、急激な気化ガスの発生によりタンク内圧が上昇し、最悪の場合にはタンク損傷に至ることが想定される。ロールオーバーの発生防止対策としては、受入前の LNG の組成や密度の確認、状況に応じた受入方法の選択（上部受入または下部受入）、ジェットミキシングによる攪拌等が行われる。

## 6.1.3 プラント

### ○製造プラントにおける爆発火災

2011 年 11 月 13 日（山口県周南市）<sup>iii</sup>

第二塩化ビニルモノマー製造施設において、トラブル（緊急放出弁の誤作動）による装置全停止に伴い各系列を孤立し、塩酸の移液作業を行っていたところ、塩化ビニルモノマー精製工程の塩酸塔還流槽において爆発が発生し、可燃性ガス（塩化水素及び塩化ビニルモノマー等）が漏洩して周辺設備を含む火災となった。

事故原因は、トラブルによる装置全停止により大幅なロードダウンとなり、その際の温度制御が適切に行われなかったために塩化ビニルモノマーが生成し、塩化ビニルモノマーと塩化水素が混在した状態で塩酸塔還流槽の切り離しが行われたことから、塩酸塔還流槽内部で触媒反応が進行して急激な圧力上昇となり、塩酸塔還流槽の破損から爆発・火災に至ったもの。

この事故により、当該事業所の従業員 1 名が死亡、塩酸塔還流槽を中心に甚大な損傷が発生するとともに、爆風及び飛散物により周辺プラントの一部が損壊した。

<sup>i</sup> 片山典彦：低温タンクの損傷，RUMPS, Vo.17, No.4, pp.1-3, 2003

<sup>ii</sup> 国土交通省海事局安全・環境政策課 天然ガス燃料船の普及促進に向けた総合対策検討委員会：第 1 回検討委員会資料 1-2-3 「ロールオーバー対策検討実施計画」，2012

<sup>iii</sup> 東ソー株式会社 南陽事業所 第二塩化ビニルモノマー製造施設 爆発火災事故調査対策委員会 報告書，2012



2012年4月22日（山口県和木町）<sup>i</sup>

他装置の緊急停止に伴い、レゾルシン（自動車タイヤのゴム用接着剤等の原料）製造装置の緊急停止操作を実施したが、運転員の誤判断によりインターロックを解除したため、酸化反応器へ供給されていた窒素が停止、液相の攪拌が停止して、冷却コイルのない液相上部の温度が上昇した。この結果、ハイドロパーオキシドの分解反応により急激な温度・圧力上昇が進行し、酸化反応器の破裂、爆発火災に至った。

この事故により、レゾルシン製造装置を中心とする半径 300m の範囲の機器・配管類に被害が生じた他、近隣の住宅 999 軒で窓ガラス、ドアシャッター等が破損した。また、事業所内で従業員 1 名が死亡、9 名が負傷（2 名が重傷）、近隣の住民 16 名が負傷（軽傷）した。

2012年9月29日（兵庫県姫路市）<sup>ii</sup>

アクリル酸製造施設内の中間タンク（高純度アクリル酸精製塔のボトム液を一時貯蔵するタンク）において爆発・火災が発生し、高温の中間タンク内容物が飛散して、隣接タンク、周辺の設備や建屋、消防車両等に延焼した。

事故原因は、中間タンクへ高温の精製塔ボトム液を受け入れ、また、タンクの貯蔵液量を増加したにもかかわらず、天板リサイクル（送液ポンプによるタンク天板部からの液循環）を実施しなかったために、タンク上部でアクリル酸が高温で長時間滞留することとなり、アクリル酸の二量体生成反応、重合反応が進行し、温度・圧力が上昇し、中間タンクの破損から爆発・火災に至ったもの。

この事故による人的被害は 37 名（消防吏員、警察、従業員）に上り、そのうち消防吏員 1 名が死亡、2 名が重症という大きな被害となった。

---

<sup>i</sup> 三井化学株式会社 岩国大竹工場 レゾルシン製造施設 事故調査委員会 報告書, 2013

<sup>ii</sup> 株式会社日本触媒 姫路製造所 アクリル酸製造施設 爆発・火災事故 調査報告書, 2013

## 6.2 大規模災害の拡大シナリオの想定

平常時の災害の評価では、個々の施設についての災害拡大シナリオを前提として、イベントツリー解析による確率的評価を行った。ここでは、さらに災害が拡大して隣接施設や事業所に影響が及ぶような、発生危険度の極めて低い災害について災害拡大シナリオを検討し、可能なものについては災害の影響を評価する。なお、災害拡大シナリオの想定が困難な事象もあり、そのような災害事象については定性的な検討による。

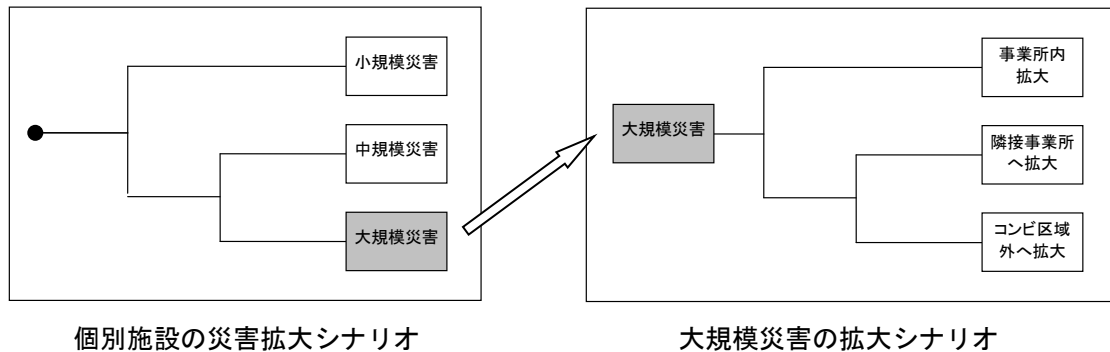


図 6.2.1 大規模災害の拡大シナリオの概念

### 6.2.1 危険物タンクにおける災害

#### (1) 大規模流出火災

防油堤内流出火災からの延焼拡大のシナリオを ET 図 8-1 に示す。

防油堤内で流出火災が発生し、同一防油堤内の隣接タンクに延焼した場合には、タンクヤード全面火災となる。防油堤からの溢流または防油堤破損により、危険物が防油堤外に流出した場合には防油堤外の火災となり、周辺の他の設備に延焼した場合には拡大火災となる。

#### ※災害の発生危険性に関する補足

##### ○大規模流出の発生危険性

事象事例に見たように、タンカーからタンクへ石油を受入中にオーバーフローが生じた場合には、防油堤内あるいは防油堤外への大量流出に至る。ただし、受入作業はタンカー側とタンク側の双方の作業員による確認の下、液面レベルの確認や満液予定時刻の推定等が行われ、管理された状態で行われることから、通常はオーバーフローの発生危険性は低いと考えられる。

また、タンク配管や本体の大破により、大量の油が防油堤内に流出する可能性がある。破損の要因は腐食劣化によるものや、地震時の損傷によって引き起こされる可能性があるが、現在ではタンク技術基準が強化されており、新基準に適合しているタンクでは危険性は低いといえる。なお、阪神淡路大震災においては、タンク径に対しタンク高さが比較的高い準特定タンクが、地震に対して脆弱であることが明らかになっている。

海溝型の巨大地震など、大きな長周期地震動が予想される地震では、スロッシングによる防油堤内への大量溢流の可能性もある。この場合のスロッシング最大波高や溢流量は、地震時のタンク貯蔵量によって異なる。

【危険物タンク技術基準（詳細評価の対象としていない特定外タンクを含む）】

技術基準	新法	旧法・新基準	旧法・旧基準	準特定・新基準	準特定・旧基準	特定外	計
北部	2	17	0	47	32	116	214
中部	80	756	0	183	52	1753	2824
南部	3	5	0	0	0	27	35
計	85	778	0	230	84	1896	3076

○着火のタイミング

流出油への着火は、原油やガソリンなど、常温以下の引火点を有する物質の危険性が高い。流出油への着火のタイミングは推定が困難であることから、ET 図 8-1 ではすでに着火しているものとしてシナリオを展開しているが、火災の規模は着火のタイミングによって大きく異なる場合がある。流出後直ちに着火した場合にはタンク周辺での火災となるが、流出後直ちに着火せず、液面から蒸発した可燃性ガスが蒸気雲を形成し、広範囲に拡散してから着火するような場合には、周辺の施設を巻き込む拡大火災となる危険性がある。

○防油堤による拡大防止失敗

危険物タンクの防油堤の容積は、最大タンクの 110%以上を確保することが定められている。したがって、オーバーフローによって大量の油が流出し続けた場合や、同一防油堤内の複数タンクの損傷によって大量流出した場合には、防油堤外へ流出拡大する可能性がある（確率的評価の結果から、複数タンクからの大破流出の発生危険性は極めて低いと考えられる）。

また、地震時には防油堤が破損するなどして防油堤外に流出拡大する場合は考えられるが、この場合の流出量は防油堤の容積を超えて溢流した場合よりも少量となる。防油堤の破損は、防油堤の漏洩防止措置（目地等の強化措置）未対応の場合に危険性が高い。

【防油堤の漏洩防止措置の適合状況（詳細評価の対象タンク）】

防油堤基準	適合	未適合	対象外	計
北部	34	64	0	98
中部	617	69	388	1074
南部	8	0	0	8
計	659	133	388	1180

○隣接タンク・周辺設備への延焼

隣接タンクへの延焼については、仕切堤のない防油堤内に多数のタンクが設置されているような場合には、仮に 1 基のタンクから流出して火災になると、周りのタンクを焼損して火災が防油堤全面に拡大する危険性がある。

周辺設備への延焼の危険性は施設の立地環境により異なるが、前記したように、引火点の低い第 1 石油類等が流出後に蒸気雲を形成して広範囲に拡散し、その後着火した場合には、拡大火災

となる危険性がある。また、周辺に高圧ガスの貯槽があるような場合には、火災拡大・長期化により BLEVE 発生の危険性が生じる。

## (2) 危険物の海上流出

防油堤から海上への流出のシナリオを ET 図 8-2 に示す。

危険物が防油堤外へ流出し、流出油等防止堤による拡大防止に失敗した場合には、事業所敷地外への流出となる。さらに、排水処理設備（オイルセパレータ、ガードベースン）による流出油の処理に失敗した場合には海上流出に至り、オイルフェンスによる拡大防止に失敗した場合には、広範囲の海上拡散の可能性がある。いずれも、着火した場合には流出火災となる。

### ※災害の発生危険性に関する補足

#### ○流出油等防止堤による拡大防止

流出油等防止堤は、容量 1 万 kl 以上の危険物タンクがある事業所への設置が義務付けられており、これがない場合には失敗確率 1 となる。また、雨水排水溝を通して流出するなど、危険物流出の状況によっては流出油等防止堤が機能しない場合も考えられる。

#### ○排水処理設備による拡大防止

排水処理設備による拡大防止の成否は、流出油等防止堤と同様に危険物流出の状況によって異なる。2012 年の千葉県市原市における事故のように、雨水排水溝を通して流出した場合には、流出油等防止堤や排水処理設備を通らずに海上流出に至る場合がある。また、1978 年の宮城沖地震のように、ガードベースンの閉鎖失敗により海上流出に至る場合もある。

#### ○オイルフェンスによる拡大防止

平常時であれば、多くの場合はオイルフェンスによる拡大防止が可能と考えられるが、津波警報・大津波警報の発表時には展張作業を行うことができないため、流出拡大の可能性がある。

## (3) ボイルオーバー

原油や重油など広い沸点範囲を持つ油のタンク火災では、表面部の軽質成分が先に燃焼して重質化し、高温層を形成して徐々に沈下する。この高温層がタンク底部に溜まった水の層に達すると水蒸気爆発を引き起こし、油を噴き上げ、燃焼を拡大する。このような現象はボイルオーバーと呼ばれる。

ボイルオーバーの災害拡大シナリオは ET 図 1-5～1-7 に示した通りであるが、ボイルオーバーの発生は油種及び火災の状況（継続時間）によって異なる。

### ※災害の発生危険性に関する補足

#### ○ボイルオーバーの発生条件<sup>i</sup>

- ・ 広い沸点範囲をもつ組成で、軽質分と粘度の高い残渣油の両方を含む油は、ボイルオーバー

<sup>i</sup> 北海道石油コンビナート等防災本部：北海道石油コンビナート等防災本部 消火戦術研究会報告書，2006

の危険性がある（特に原油、重油は要注意）。

- ・何らかの形で油中に水分が存在していること（原油の含水量は約 5%）。消火のための泡消火薬剤に含まれる水分もボイルオーバー発生の原因となる。
- ・油の粘度については、タンク底部に溜まっている水の水蒸気によって泡を生成するに十分な高粘度であること。
- ・高温層が底部の 1.5m 前後に近付くとボイルオーバーの危険性がある。

#### ○ボイルオーバーが発生するまでの時間

ボイルオーバーが発生するまでの時間は、油層の深さ及び高温層燃焼速度から、以下のよう  
に計算できる。<sup>i</sup>

油の上面からタンク底部の水面までの深さ (m) / 高温層燃焼速度 (m/h)

また、高温層燃焼速度は下表のように示されている。<sup>i</sup>

表 6.2.2 原油・重油の高温層燃焼速度等

油の種類		高温層燃焼速度 (cm/h)	燃焼速度 (cm/h)
軽質油 (25 度以上)			
原油	乾性 (水分 3%以下)	38~89	10~46
	湿性 (水分 3%以上)	43~127	10~46
軽質原油及び重油			
重油	乾性 (水分 3%以下)	8~50	8~13
	湿性 (水分 3%以上)	30~127	8~13

#### ○ボイルオーバー発生の兆候<sup>ii</sup>

- ・火炎が突然著しく高くなる。
- ・火炎が急激に輝きを増す。
- ・「ジュー、ジュー」という音が激しくなる。
- ・油の塊が油面から飛散する。
- ・一般的には、炎の輝度が増し、パチパチという水のはじける音がし始めてから、数十秒後にボイルオーバーが発生すると言われている。

## 6.2.2 ガスタンクにおける災害

### (1) BLEVE

BLEVE は、沸点以上の温度で貯蔵している加圧液化ガスの貯槽や容器が何らかの原因により破損・開口し、大気圧まで減圧することにより、液化ガスが急激に気化して容器等の破裂を引き起こす爆発的の蒸発現象である (図 6.2.2)。典型的には、火災時の熱により破損して BLEVE を生じるが、BLEVE の発生は容器等の破損原因によらず、何らかの原因で容器破損した場合に生じ

<sup>i</sup> (社)日本火災学会：タンク火災＜基礎知識と防災活動＞，1994

<sup>ii</sup> 北海道石油コンビナート等防災本部：北海道石油コンビナート等防災本部 消火戦術研究会報告書，2006

得る。また、BLEVE の発生は内容物が可燃性のものに限らないが、可燃性の場合には着火してファイヤーボールと呼ばれる巨大な火球を形成することが多い。

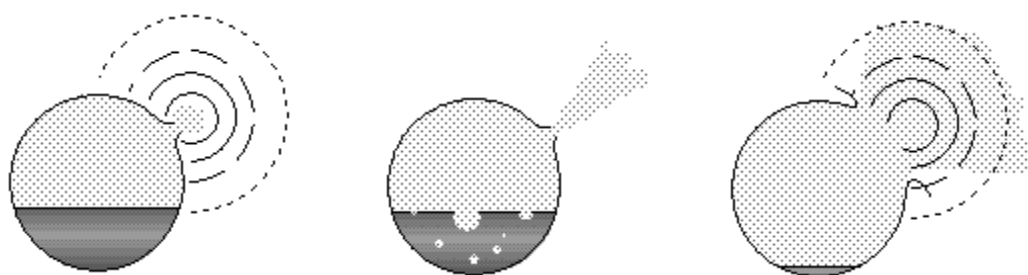


図 6.2.2 BLEVE 発生の 3 つの段階<sup>i</sup>

ET 図 8-3 に、BLEVE による延焼拡大のシナリオを示す。ここでは、火災の影響により BLEVE が発生する場合を想定している。

ガスタンクの全量流出火災などの長時間にわたる大規模火災が発生すると、周辺の高圧ガスの貯槽の破損 (BLEVE) の危険性が生じる。周辺タンクにおいて BLEVE が発生し、タンクの貯蔵物質が可燃性であった場合には、爆発・火災 (ファイヤーボールまたは蒸気雲爆発) となる。さらに、同一タンクヤード内のタンクを損傷すると複数タンクの爆発・火災となり、周辺の他の設備に延焼した場合には拡大火災となる。

#### ※災害の発生危険性に関する補足

##### ○全量流出爆発・火災の発生危険性

BLEVE 発生の引き金となる全量流出爆発・火災 (初期事象) は、ガスタンクの配管や本体の大破流出 (ET 図 2-3、2-4) により起こり得る。大破流出の発端となる事象としては、東日本大震災での事例のようなガスタンク (球形貯槽) の倒壊や、地震動や地盤変状による配管の損傷が考えられる。

#### ※球形貯槽のブレース (脚部の筋交い箇所) に関する耐震基準の見直し

東日本大震災では、満水状態であった球形貯槽の支柱のブレースが破断してタンク倒壊に至ったことから、経済産業省は、球形貯槽のブレースに関する耐震基準の見直しを行っている<sup>ii</sup>。

改正耐震基準の施行日 (平成 26 年 1 月 1 日) 以降に設置の許可を受けた設備等については、鋼管ブレースの交差部分の耐震性を確保する必要がある。

<sup>i</sup> Christophe Dang Ngoc Chan, : Three steps of a BLEVE , French Wikipedia, 2003

<sup>ii</sup> 経済産業省：平成 25 年 11 月 29 日付「高圧ガス設備等耐震設計基準の一部を改正する告示」及び「高圧ガス設備等耐震設計基準の運用及び解釈についての一部を改正する規程」, 2013

### ○火災の影響による BLEVE の発生<sup>i,ii,iii</sup>

BLEVE の発生危険性は、貯蔵物質の種類と状態（温度・圧力）、貯蔵率（液レベル）、タンク強度、火災の暴露状況などによって異なり、予測は難しい。

液化ガスの貯槽が外部火災の熱で加熱されると、タンク内の温度・圧力が上昇する。タンク容器材料は高温になると強度が低下するが、タンク内で液相部に接する容器壁は、伝熱と対流による熱移動によりあまり温度上昇しない。しかし、気相部では熱移動が遅く、容器壁はかなりの高温となる。また、外部からの直接火炎に曝されているような部分では、液相部であっても容器壁の強度に影響を及ぼし、容器壁の局所的に強度が低下した部分が軟化して膨らみが生じ、亀裂・開口に至る。図 6.2.3 は、1966 年にフランスのフェザンで発生した LPG タンクの BLEVE 現象発生過程を表したものである。

なお、内圧が安全弁の設定圧を超えると、安全弁からの噴出により内圧が低下して液体が蒸発、冷却されるが、火災が継続している場合には再び圧力が上昇するため、圧力上昇と安全弁放出（圧力低下）を何度か繰り返すことになり、徐々に液面が低下する。

また、BLEVE は、タンクが火炎に曝されておらず、散水設備によるタンクの冷却が行われている場合には発生を防止できるが、タンクが直接火炎に曝されているような場合には、所定量の散水が行われていたとしても、火炎の暴露状況によっては発生する可能性があると考えられ、注意が必要である。

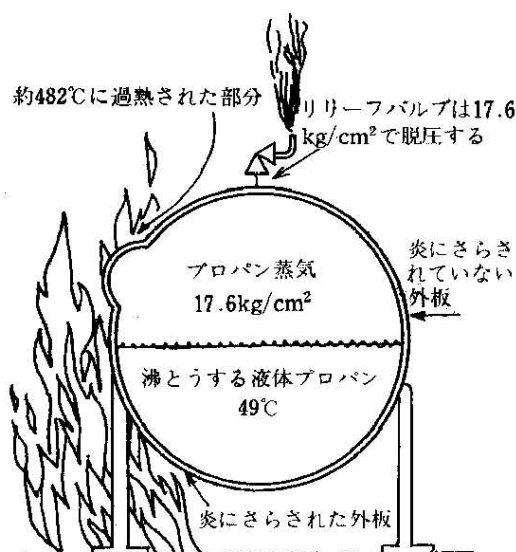


図 6.2.3 BLEVE 現象発生過程（1966，フランス・フェザンにおける事故）<sup>iv</sup>

### ○BLEVE に至るまでの時間

前述のように、BLEVE の発生は様々な要因に影響されることから、BLEVE が発生するような条件下におかれたタンクが爆発に至るまでの時間についても、推定は難しい。実際に BLEVE が

<sup>i</sup> 山本正巳：コンビナート災害と対応，平成 25 年度防災啓発研修講演会，2013

<sup>ii</sup> 中村康之：東日本大震災におけるガスタンク火災への対応について，第 17 回消防防災研究講演会資料，2014

<sup>iii</sup> CCPS AIChE：Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards Second Edition, 2010

<sup>iv</sup> LPG タンクのドレン弁が低温のため閉止できずに LPG が漏洩して爆発した大事故，失敗知識データベース (<http://www.sozogaku.com/fkd/index.html>)

発生した事事例<sup>i</sup>等を参考に推測すると、周辺からの火災に曝されている場合において、散水設備が損傷するなどして十分な冷却ができない場合は5～10分程度、散水設備や放水によりタンクの冷却が行われた場合でも30分～1時間程度で発生する危険性があるものと考えられる。

なお、東日本大震災により千葉県市原市で発生したLPGタンクの爆発事例では、計5回の爆発(BLEVE)が発生したと推測されているが、最初の爆発の発生は火災発生から77分後、2～5回目は、前の爆発から8、6、7、25分後である。<sup>ii</sup>

#### ○BLEVEによる影響

可燃性の高圧ガスの貯槽においてBLEVEが発生した場合の主な影響は、タンク破裂による爆風圧、ファイヤーボールによる放射熱、タンク破片等の飛散物による影響である。また、BLEVEの発生後直ちに着火しない場合にはファイヤーボールを形成せず、フラッシュ火災または蒸気雲爆発を生じる可能性があるが、火災の影響によりBLEVEに至る場合にはファイヤーボールを形成する場合が多い。

#### (2) ガスホルダーの爆発火災

ピストン式のガスホルダーにおける爆発火災のシナリオをET図8-4に示す。

ガスホルダー内のピストンに不具合が生じ、ガスがピストン上部に漏洩した場合には、可燃性混合気を形成して着火・爆発する危険性がある。さらに、周辺の他の設備に延焼した場合には拡大火災となる。

#### ※災害の発生危険性に関する補足

##### ○ピストン上部空間へのガス流出

気体の可燃性ガスを貯蔵するガスホルダーでは、内部の可燃性ガスは爆発上限界濃度以上の濃度で貯蔵されているため、通常内部で爆発を生じることはない。また、何らかの原因でガスが外部漏洩した場合でも開放空間では蒸気雲を形成しにくく、蒸気雲爆発を生じる危険性は低いと考えられる。

しかし、2003年の愛知県における事事例のように、内部にピストンを有する構造を持つガスホルダーでは、ピストンに不具合が生じた場合に上部の空気が流入し、タンク内で可燃性混合気を形成する可能性がある。ピストンに不具合が生じる要因としては、設備の腐食劣化や地震による影響が考えられる。

なお、ガスホルダーにはピストン式(無水式)の他に水封式(有水式)のものもあるが、構造上ピストン式のものに比べて可燃性混合気を形成する危険性は低いと考えられる。

#### (3) LNGタンク火災

LNGタンク(平底円筒形)のタンク火災のシナリオをET図8-5に示す。

<sup>i</sup> Tasneem Abbasi,S.A. Abbasi.:The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): mechanism, consequence assessment, management, Journal of Hazardous Materials,141,pp.489-519,2007

<sup>ii</sup> コスモ石油(株)事故調査委員会：千葉製油所液化石油ガス出荷装置及び貯槽設備 火災・爆発事故調査報告書, 2011



平底円筒形の LNG タンクにおいてタンク内圧が上昇し、脱圧に失敗した場合には屋根部が損傷する。屋根が完全に損壊して着火した場合にはタンク全面火災となる。

#### ※災害の発生危険性に関する補足

##### ○内圧上昇の要因

LNG タンクにおける内圧上昇の要因としては、ロールオーバーや外部火災による入熱等により急激に LNG が気化する場合が考えられる。ただし、現在では設計や運用においてロールオーバーの発生防止対策が考慮されており、受入前の LNG の組成や密度の確認、状況に応じた受入方法の選択（上部受入または下部受入）、ジェットミキシングによる攪拌等が行われている。また、外部からの入熱対策としては、タンクへの散水設備の設置や、各種消火設備の設置があげられる。

##### ○脱圧失敗の危険性

タンク内圧が上昇した場合にはフレアスタックによる脱圧が行われ、さらに圧力上昇した場合には、安全弁からの大気放出が行われる。これらの設備の起動に失敗して内圧がタンク設計圧力を超える場合には、タンク屋根部の破損の可能性がある。

### 6.2.3 プラントにおける爆発火災

近年の事故事例では、製造プラントにおいて反応制御の失敗と、その後の不適切な対応により反応暴走から爆発火災に至るケースが多く発生している。反応暴走は反応容器の温度・圧力管理の不具合や、重合反応などのプロセス管理の失敗により起こり得る。また、東日本大震災では幸い大きな事故は発生していないが、大規模地震時には電力会社からの送電停止や周波数変動、非常用発電設備の停止などが長時間にわたり発生する可能性もあり、全電源喪失によるユーティリティの停止も一因となるものと考えられる。

このような反応暴走に起因して発生する爆発火災の危険性は、個々のプラントのプロセス条件により異なるが、本調査において個別プラントの詳細評価を行うことは困難である。

一方、平常時の評価においては、反応暴走以外の要因による爆発火災について、ユニット内で取り扱う可燃性ガスの全量が蒸気雲爆発する場合の爆風圧を評価した。この場合の爆発の影響は非常に大きく、やや過剰評価ではあるが、概ね反応暴走に起因する爆発の影響よりも大きくなり、安全側の評価となるものと考えられる。

### 6.2.4 毒性ガス拡散

毒性物質は可燃性物質と比較して影響度の基準値が小さく、物質そのものの危険性が高い。対象地域では、表 6.2.3 に示すようにアクリロニトリル、アンモニア、塩素、フッ化水素を取扱う施設がある。平常時の評価においては、これらの施設からの漏洩事象を想定し（ET 図 1-1～1-4、2-1～2-4、3-1～3-2）、毒性ガス拡散について評価を行った。

表 6.2.3 対象地域における毒性物質の取扱い（施設数）

物質名	危険物タンク	ガスタンク	毒性液体タンク	プラント	計
アクリロニトリル	8(中部)				8
アンモニア		30(中部)、9(南部)		14(中部)	53
塩素		11(中部)		5(中部)	16
フッ化水素			8(中部)	1(中部)	9
エチレンクロトリン				1(中部)	1
計	8	50	8	21	87

\*平常時の評価では、毒性液体タンクはガスタンクに含めて評価している。

\*\*この他、発煙硫酸、砒弗化水素酸、クロロスルホン酸（塩化スルホン酸）の取扱いがあるが、漏洩した場合に空気中の水分と反応するなど、通常の蒸発・拡散モデルによる影響度の評価ができないため、別途定性的に検討を行う。

### 6.2.5 複合災害

複合災害とは「同種あるいは異種の災害が同時又は時間差をもって発生する災害」と定義される場合が多いようであり、例えば同種災害としては、長周期地震動によるスロッシングの影響で複数のタンク火災が同時に発生するような場合が該当し、異種災害としては地震災害と津波災害とが複合する場合や、地震災害と原子力災害が複合する場合などが該当する。このような複合災害の特徴は、同時または連続災害の発生による被害の拡大や、対応の困難性である。

ここでは、石油コンビナートにおける複合災害として、同時多発的に発生する災害、災害の連鎖（ドミノ災害）、地震災害と津波災害との複合、地震・津波災害と風水害との複合を考える。

#### ○大規模流出に伴う同時多発火災

危険物や高圧ガスが大量流出して直ちに着火せず、蒸発ガスが広範囲に拡散した後に着火した場合には、周辺の複数施設の延焼に至るような拡大火災となる可能性がある。このような拡大火災の発生は、危険物や高圧ガスの中でも低引火点かつ蒸発ガスの比重が空気よりも重い物質（ガソリンやLPG等）の危険性が高い。

大量流出に至る要因としては、危険物タンクへの石油受入中のオーバーフロー、地震による危険物・高圧ガスの配管やタンク本体の被害が考えられる。

#### ○災害の連鎖

連鎖的に発生する災害としては、爆発による周辺施設への被害拡大が考えられる。危険物施設と高圧ガス施設や、それぞれの施設との間には一定の離隔距離を設けることが義務付けられているが、これを超える規模の爆発が発生した場合に、破片等が周辺施設に飛散するなどして、連鎖的に災害が生じる可能性がある。

また、1999年にトルコのイズミット付近で発生したコジャエリ地震（M7.4）では、震源域付近の製油所において、4基の浮き屋根式タンク（ナフサを貯蔵）でスロッシングに起因する火災が発生した他、これらのタンクのドレイン配管が損傷し、ナフサが防油堤内に流出して火災とな

り、更にその火災は、開放側溝（埋設や蓋等がされていない排水溝）を通して別の離れたタンクヤード内の 2 基のナフサタンクに延焼拡大した<sup>i</sup>。製油所近傍で観測された長周期地震動は、周期 2 秒から十数秒までの周期帯で速度応答スペクトルが 100cm/s 以上であったことから<sup>ii</sup>、全てのタンクで大きなスロッシングが引き起こされ、至る所で油の流出や溢流があったものと考えられる。

このように、想定を超える規模の地震によって、スロッシングによる溢流やドレイン配管の破損、あるいは強震動による配管破損により複数個所で油が流出し、そのうち 1 ヶ所でも火災が発生すると、側溝などを経て周辺施設に火災が拡大する可能性がある。

流出した油が側溝を経て流出範囲が拡大する可能性としては、大量の流出油が防油堤を乗り越える場合や、防油堤から雨水排水のための水抜口や油水分離槽の入口弁を通して側溝へ流出する場合などがある。

なお、第 1 石油類等の常温以下で引火点を有する物質は、比較的容易に引火して火災となることから、延焼拡大の危険性が高く、特に注意が必要である。

#### ○地震・津波災害の複合

地震・津波災害の複合事例としては、1964 年新潟地震のように、地震による設備損傷や石油タンクのスロッシングによって石油の流出や火災が生じ、液状化による地下水の噴出及び津波の浸水とが重なって、被害が拡大した事例がある。

このような複合災害は、海溝型の巨大地震により生じる危険性が高い。表 6.2.4 は、コンビナートに影響を及ぼすと考えられる海溝型の巨大地震について、概要をまとめたものである。これらから、現時点では予測結果が公表されていない部分があるが、相模トラフにおける最大クラスの地震と考えられている元禄型関東地震が発生した場合には、施設被害による漏洩・火災の発生と津波の浸水被害とが重なり、災害が拡大する可能性があると考えられる。

また、一般地域を含め広範囲に影響を及ぼすと考えられることから、情報の受伝達の問題や、人員の参集の問題、津波警報の発令による活動制限等により、被害があった場合の自衛防災組織の対応の遅れや、公設消防隊の到着の遅れが懸念される。

#### ○地震・津波災害と風水害との複合

地震・津波災害と風水害との複合災害としては、台風による高潮の発生と地震に伴う津波とが重なるような場合が考えられる（第 5 章参照）。一般に、津波と比べて高潮は波の持つエネルギーが小さいとされるが、複合した場合には津波高がより大きくなり、想定外の浸水が生じる可能性がある。

また、地震による被害を受けている状況下で台風が発生した場合には、被害の復旧が完了する前に台風による被害を受けることで、被害程度がより大きくなるような場合も考えられる。

---

<sup>i</sup> Laura J. Steinberg, M.ASCE, and Ana Maria Cruz : When Natural and Technological Disasters Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999, Nat. Hazards Rev. 2004.5:121-130

<sup>ii</sup> 座間信作：トルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震による石油タンク被害，RUMPES, Vol.17 No.4, 2003

表 6.2.4 海溝型の巨大地震によるコンビナートへの影響

地震	短周期地震動	長周期地震動	津波
南海トラフにおける地震	東海・東南海・南海の3連動地震では震度4以下 <sup>i</sup> 最大クラスの巨大地震では震度5弱～5強 <sup>ii</sup>	長周期地震動の予測結果にはばらつきがあり、推定は困難であるが、消防法の基準と同程度あるいは下回る大きさの地震動が予想されている <sup>ii,iii</sup>	東海・東南海・南海の3連動地震では、海岸における津波高は1.2～1.7m <sup>i</sup> (浸水予測は行われていないが、コンビナートはほぼ浸水しないと考えられる) 最大クラスの巨大地震では、海岸における津波高は1.3～2.6m、京葉臨海北部地区で1m未満の浸水 <sup>ii</sup>
相模トラフにおける地震	大正型関東地震では震度5強～6強 <sup>iv,v</sup> 元禄型関東地震では震度6弱～6強 <sup>v</sup>	消防法の基準を上回る可能性がある <sup>注)</sup>	大正型関東地震では、海岸における津波高は1.2～2.3m、コンビナートでは殆ど浸水しない <sup>v</sup> 元禄型関東地震では、海岸における津波高は1.7～4.5m、コンビナートでは京葉臨海北部及び南部地区で1m未満の浸水、京葉臨海中部地区で最大2～3m浸水 <sup>v</sup>

注) 相模トラフにおける長周期地震動については現在内閣府による検討が行われており、今後公表が予定されていることから、最新の成果を確認の上改めて検討する必要がある。

<sup>i</sup> 内閣府：東南海、南海地震等に関する専門調査会，2003

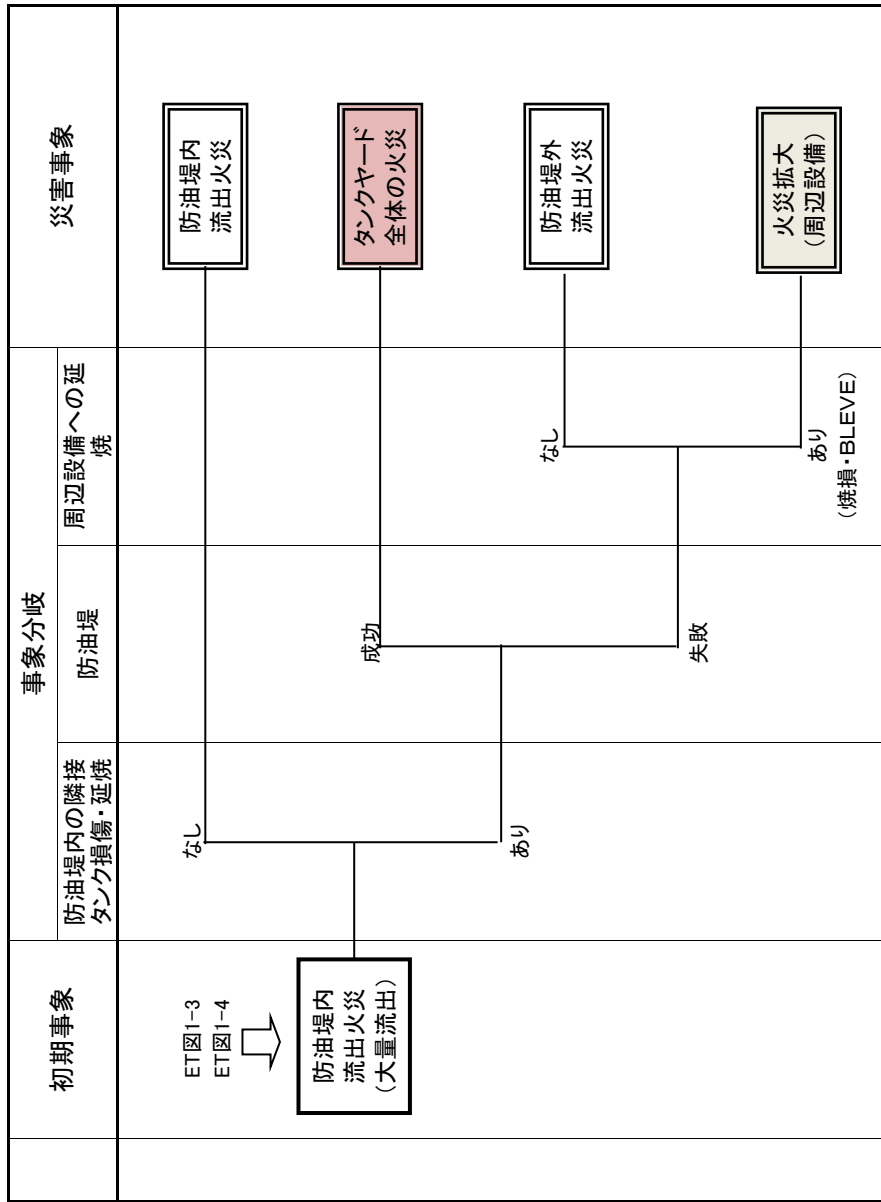
<sup>ii</sup> 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012

<sup>iii</sup> 地震本部：「長周期地震動予測地図」2009年試作版，2009

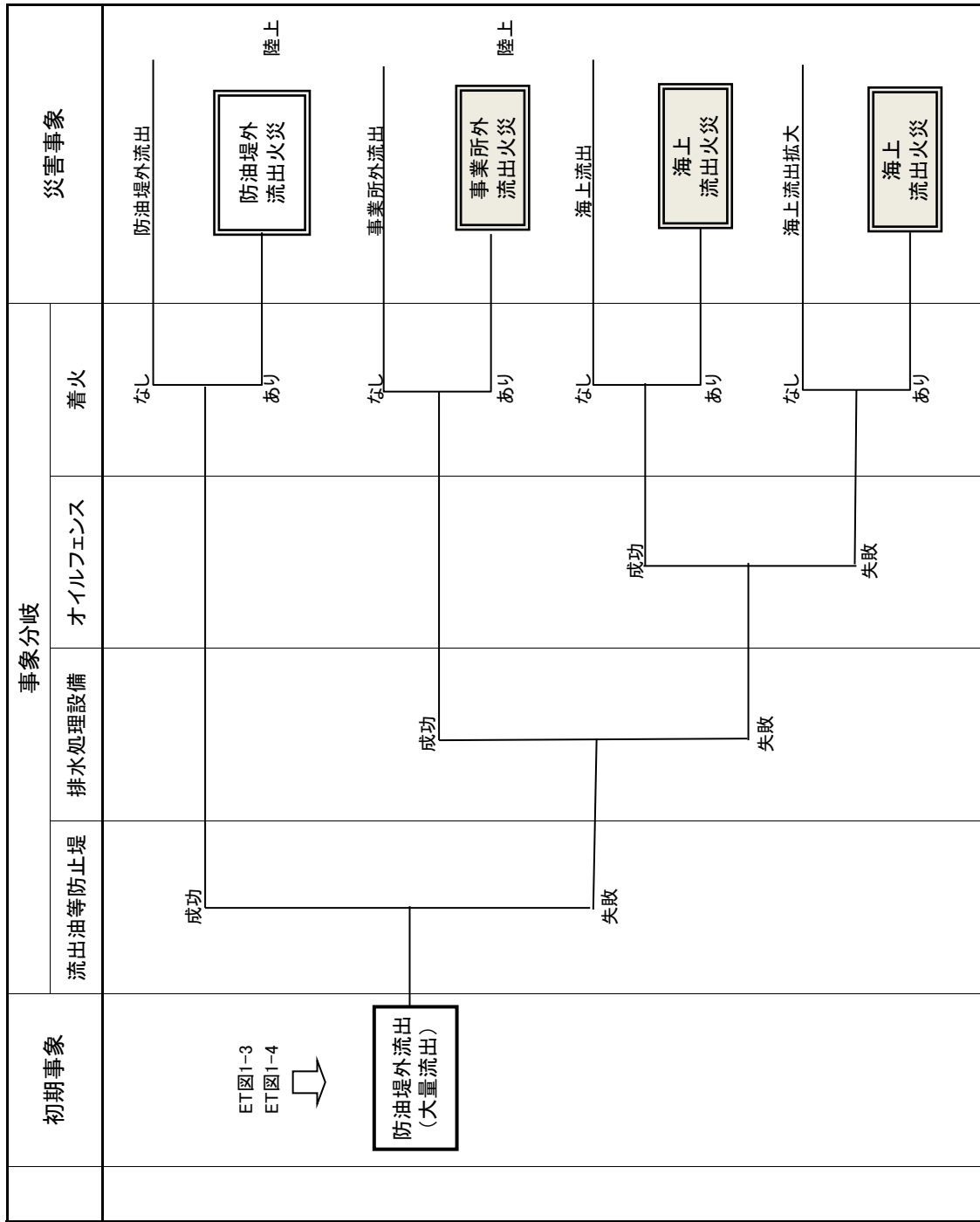
<sup>iv</sup> 千葉県：千葉県地震被害想定調査（平成26～27年度），2015

<sup>v</sup> 内閣府：首都直下地震モデル検討会，2015


ET図8-1 防油堤火災からの延焼拡大(危険物タンク)



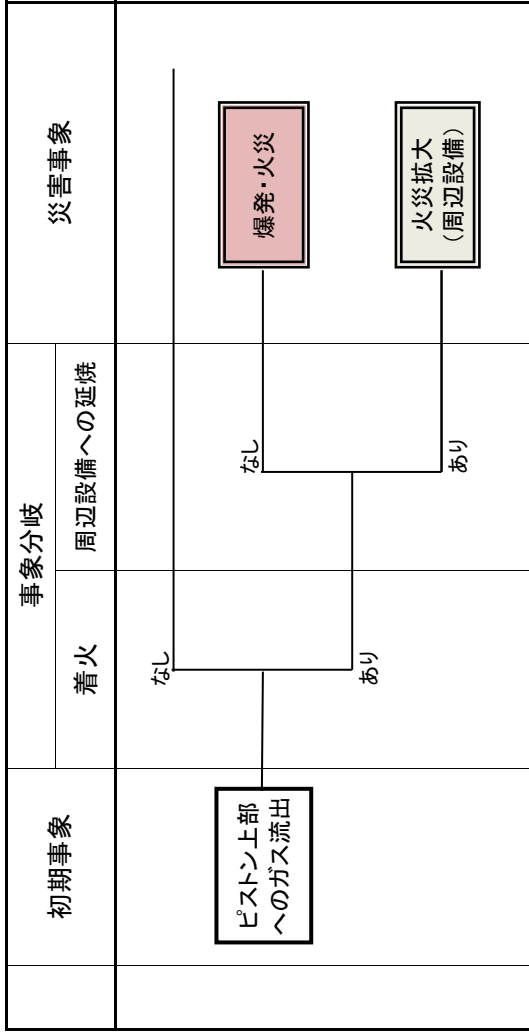
ET図8-2 防油堤から海上への流出(危険物タンク)



ET図8-3 BLEVEによる延焼拡大(高压ガスタンク)

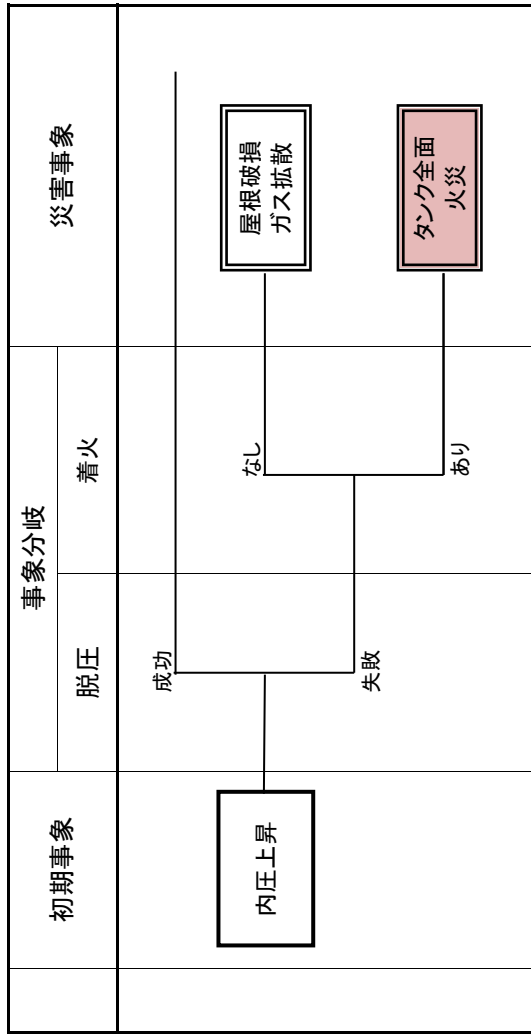
初期事象	隣接タンク損傷 (BLEVE)	周辺設備への延焼		災害事象
ET図2-3 ET図2-4  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">             全量流出              爆発・火災           </div>	なし	なし	なし	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">             全量流出              爆発・火災           </div>
	あり	なし	あり	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">             爆発・火災              (タンクヤード)           </div>
			あり	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">             火災拡大              (周辺設備)           </div>

ET図8-4 ガスホルダーの爆発火災(可燃性ガスホルダー)





ET図8-5 LNGタンク火災(平底円筒形タンク)



### 6.3 大規模災害の影響評価

影響評価の対象とする災害事象を表 6.3.1 に示す。

以降では、対象とする災害事象の影響を評価する。影響度の基準値は、原則として平常時等の評価と同様とするが、一部の災害事象については大規模災害の特徴を踏まえ見直しを行っている。

表 6.3.1 影響評価の対象とする災害事象

施設種別	災害事象	影響評価	概要
危険物タンク	大規模流出火災	○	危険物が防油堤内全面に広がった場合を想定し、放射熱の影響を評価する。危険物が防油堤外に流出した場合の影響は流出範囲を特定することが必要となるためここでは評価しないが、流出範囲が防油堤内流出よりも大きくなるとは限らない。
	危険物の海上流出		海上流出による油の拡散範囲は、流出の発生場所、流出量、海潮流、風などの条件により大きく異なるため、本調査においては評価せず、「排出油等防除計画(海上保安庁)」「流出油拡散・漂流予測シミュレーションソフト(石油連盟)」等を活用することが適当と考えられる。
	ボイルオーバー		ボイルオーバーが発生した場合には、燃烧油の飛散による火災の拡大、火炎からの放射熱の影響が問題となるが、油の飛散範囲の評価式や、ボイルオーバーの放射熱の評価式は示されておらず、影響度の評価は困難である。過去の事事例から、ボイルオーバーが複数回発生することや、ボイルオーバーに伴ってファイヤーボールを形成することも珍しくないことから、影響範囲の大きさと共に、影響時間にも注意が必要である。
ガスタンク	BLEVE(爆発及びファイヤーボール)	○	BLEVEの影響は、爆発(タンク破裂)による爆風圧、ファイヤーボールによる放射熱または蒸気雲爆発による爆風圧、飛散物の影響が考えられ、ここでは爆発(タンク破裂)による爆風圧と、ファイヤーボールによる放射熱を評価する。飛散物の影響は、タンクの種類(球形、円筒形等)と爆発の際のタンク開口の位置や方向、破片の大きさや形状等により大きく変わるため推測は難しい。 ※BLEVE発生後に即時着火した場合にはファイヤーボールを形成し、遅延着火した場合には蒸気雲爆発を生じるとされるが、火災の影響によりBLEVEが発生するような場合には、ほとんどの場合ファイヤーボールを形成すると考えられる。
	ガスホルダーの爆発火災	○	ガスホルダー内部で可燃性混合気を形成し、着火・爆発する場合の爆風圧を評価する。
	LNGタンク火災	○	平底円筒形のLNGタンクにおいて、内圧上昇により屋根が破損した場合、着火してタンク全面火災となる危険性があり、火災による放射熱の影響を評価する。
プラント	プラントにおける爆発火災	△	平常時の評価では、プラントにおける爆発火災を想定し、災害の影響度を評価している。
全施設	毒性ガス拡散	○	平常時の評価では、毒性物質を取扱う施設からの漏洩事象を想定し、災害の影響度を評価している。ここでは、より大きな漏洩量を想定して毒性ガス拡散の影響を評価する。
	複合災害		同時多発災害については、影響範囲を把握する上では個々の施設における最大の影響を考慮しておけば良い。複合災害については、定量的な評価は困難である。

### 6.3.1 危険物タンクの防油堤内全面火災

防油堤内全面に流出油が広がった場合（タンクヤード内全面火災）を想定し、火災による放射熱の影響を評価する。

#### (1) 算定条件

##### ○対象施設

全ての危険物タンク（詳細評価の対象とした施設）

##### ○火炎の想定

火炎形状は、防油堤面積（タンク部分を含む）と同面積の底面を持つ円筒形火炎とし、火炎の高さは底面直径の1.5倍とする。

なお、平常時の評価においては、仕切堤で区切られた広大な防油堤の場合には、流出油が全面に広がることは現実的に考えにくいとして、防油堤内流出火災の火炎底面積を仕切堤の2倍の面積として想定したが、ここでは仕切堤の有無にかかわらず、防油堤全面における火災を想定する。

##### ○影響度の基準値

平常時等の評価において、石油類の液面火災の影響度の基準値として設定した  $2.3\text{kW/m}^2$  を基準値とする。この値は、人体（露出皮膚）が概ね1分間以内で痛みを感じ、90秒で火傷を生じる程度の熱量である。

#### (2) 影響評価

防油堤内全面火災による放射熱の影響距離（防油堤の中心からの距離）の分布を図 6.3.1 に示す。

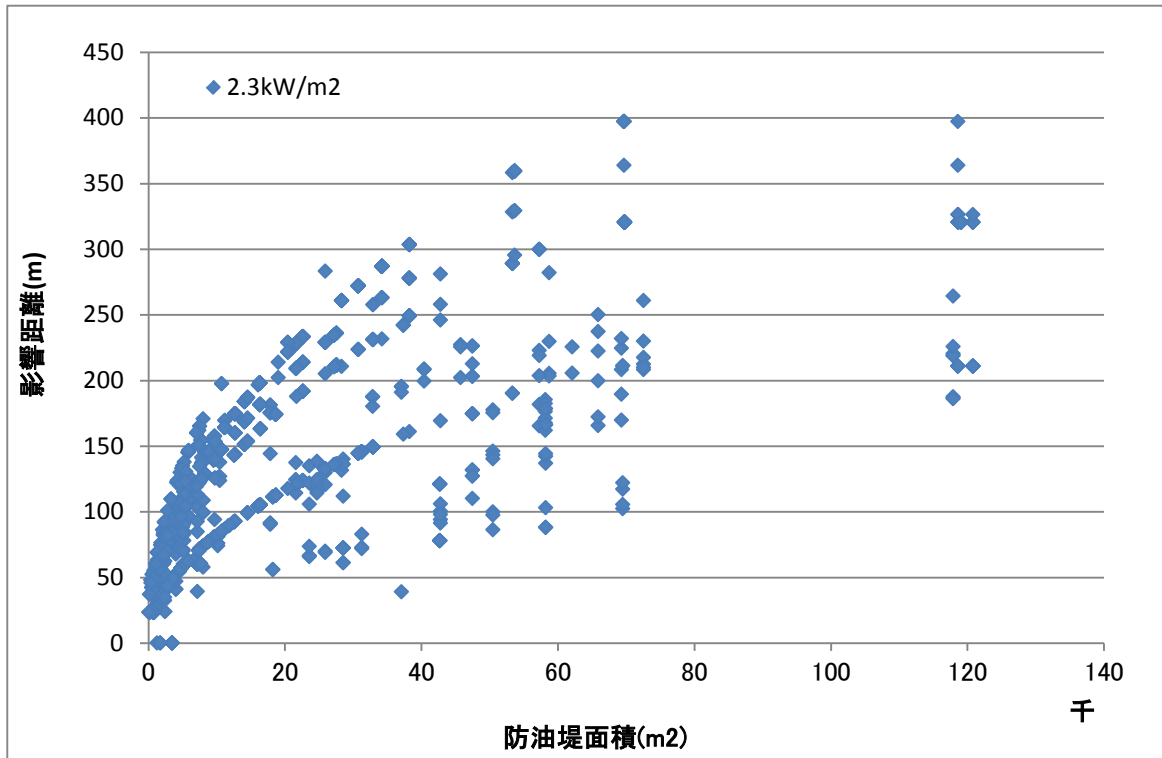


図 6.3.1 防油堤内全面火災による放射熱の影響距離

### 6.3.2 高圧ガスの貯槽のBLEVE

#### ①爆発（タンク破裂）による爆風圧

高圧ガスの貯槽において BLEVE が発生した場合の、爆発（タンク破裂）による爆風圧を評価する。

#### (1) 算定条件

##### ○対象施設

屋外に設置された可燃性の液化ガスを貯蔵するタンクを評価対象とし、気体状態のガスを貯蔵するタンクは除く。

注) 調査対象には保温材により断熱した低温の円筒形貯槽も含まれるが、このようなタンクでは外部火災により BLEVE が生じる危険性は低いと考えられる（以下同様）。

##### ○気相部の容積の想定

タンク破裂によるエネルギーは、気相部の容積が大きい（貯蔵量が少ない）ほど大きくなる。ここでは、気相部の容積をタンク内容積の 20%（最大貯蔵量）及び 80%（最小貯蔵量）として、評価を行う。

##### ○破裂圧力の想定

破裂圧力の最大値としては、使用最大圧力、安全弁の設定圧、極限圧力（容器の引張強度が

限界に達する圧力)などが提案されているが<sup>i</sup>、国内では高圧ガス例示基準により、安全弁の吹き出し量決定圧力(\*)が許容圧力の 1.2 倍以下とされていることを踏まえ、安全弁設定圧の 1.2 倍とする。

\*) 安全弁の設定圧は吹き始めの圧力であり、安全弁吹き出し量決定圧力 (最大吹き出し量における最高圧力) はそれよりも高くなる。

#### ○影響度の基準値

平常時等の評価において、爆風圧の基準値として設定した 2.1kPa を基準値とする。この値は、「安全限界」(この値以下では 0.95 の確率で大きな被害はない)、「推進限界」(物が飛ばされる限界)、家の天井の一部が破損、窓ガラスの 10%が破壊されるといった被害が想定される圧力である。ただし、爆風圧による影響は文献によってかなり開きがあり、注意が必要である。

#### (2) 影響評価

爆発 (タンク破裂) による爆風圧の影響距離 (タンク中心からの距離) の分布を図 6.3.2 に示す。

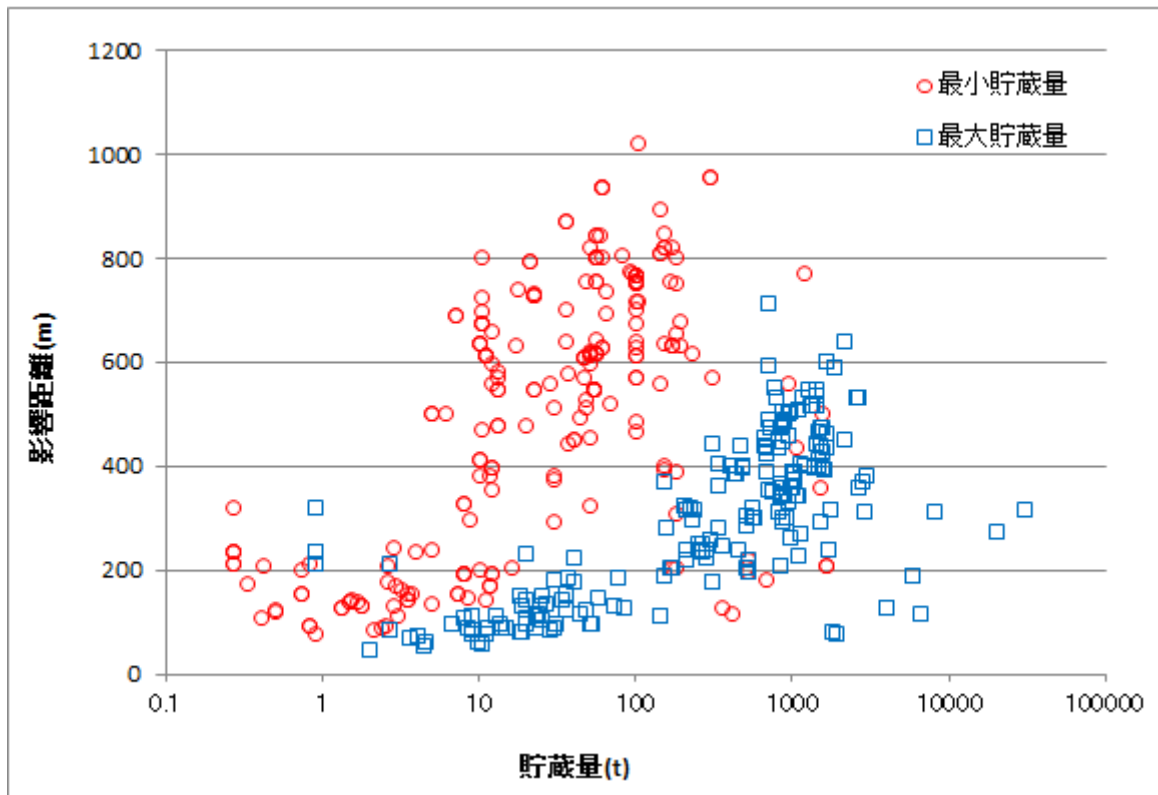


図 6.3.2 爆発 (タンク破裂) による爆風圧の影響距離

<sup>i</sup> CCPS AIChE : Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards Second Edition, 2010

## ②ファイヤーボールによる放射熱

高圧ガスの貯槽の BLEVE に伴い、ファイヤーボールが発生した場合の放射熱を評価する。

### (1) 算定条件

#### ○対象施設

屋外に設置された可燃性の液化ガスを貯蔵するタンクを評価対象とし、気体状態のガスを貯蔵するタンクは除く。

#### ○可燃性ガス量の想定

ファイヤーボールを形成する可燃性ガス量は、タンク内の液化ガスが爆発して瞬間的に気化（フラッシュ\*）するガス量を想定する。ただし、BLEVE に伴うファイヤーボールを想定した場合、一般的に求められるフラッシュ率よりも大きな割合の可燃性ガスがファイヤーボールを形成すると考えられる。本調査では、長谷川・佐藤（1977）<sup>i</sup> に基づき、ファイヤーボールを形成する可燃性ガス量を、フラッシュ率が 1/3 以上ならタンク全量、1/3 未満ならフラッシュ率の 3 倍の量と想定する。また、ガスタンクの貯蔵率は最大とする。

\* 沸点以上の温度で圧力をかけて液化したガスが漏洩して瞬間的に気化する現象をフラッシュと呼び、気化する液量と流出した液量の比をフラッシュ率と呼ぶ。フラッシュ率は資料 2 の式 6 により計算される。

#### ○影響度の基準値

ファイヤーボールの放射熱による影響の基準値は、ファイヤーボールの継続時間が短いことを踏まえ、各タンクの燃焼継続時間（最大値）に応じて、人体皮膚が二度火傷に至る放射熱強度と暴露時間との関係（ストール曲線<sup>ii</sup>）に基づき設定する。ただし、基準値の最大値を 11.6kW/m<sup>2</sup>（平成 13 年指針において示されているファイヤーボールの基準値：約 10,000kcal/m<sup>2</sup>h）、最小値を 2.3kW/m<sup>2</sup>（石油類の液面火災の影響度の基準値）とする。

図 6.3.3-1 に最大貯蔵量と燃焼継続時間の分布を、図 6.3.3-2 に各タンクの影響度の基準値を示す。

<sup>i</sup> K.Hasegawa・K.Sato : Study on the Fireball following Steam Explosion of n-Pentan, Proc. of the 2nd International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in Process Industries, 1977

<sup>ii</sup> STOLL, A.M. and CHIANTA, M.A., Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection. Aerospace Medicine, 40, 1969

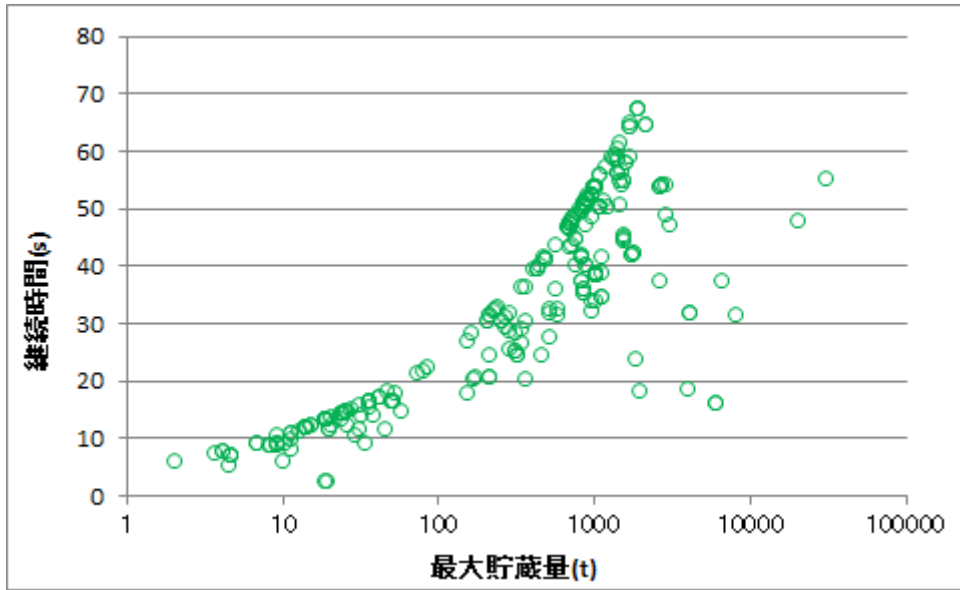


図 6.3.3-1 各タンクの最大貯蔵量と燃焼継続時間

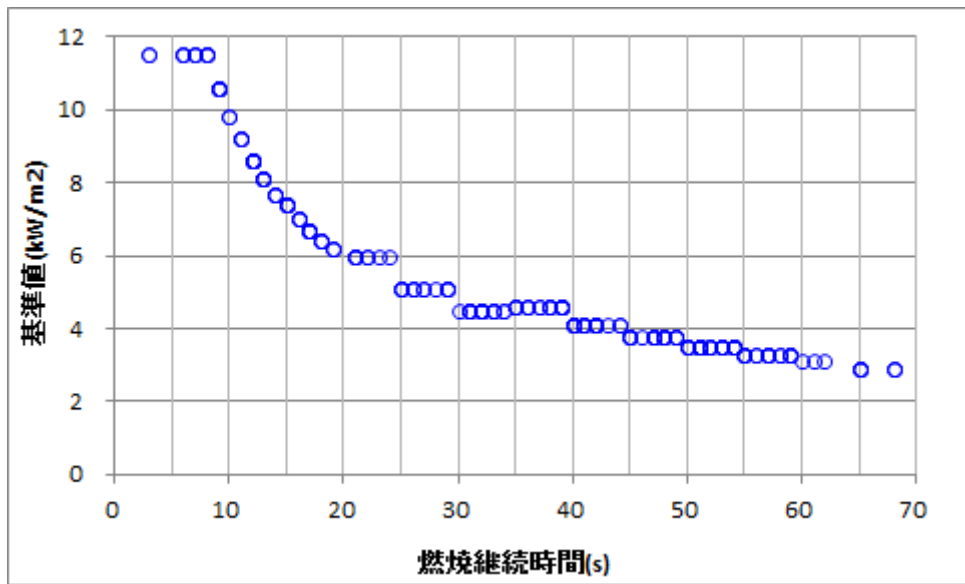


図 6.3.3-2 各タンクの燃焼継続時間と基準値

(2) 影響評価

ファイヤーボールによる放射熱の影響距離(タンク中心からの距離)の分布を図 6.3.3-3 に示す。



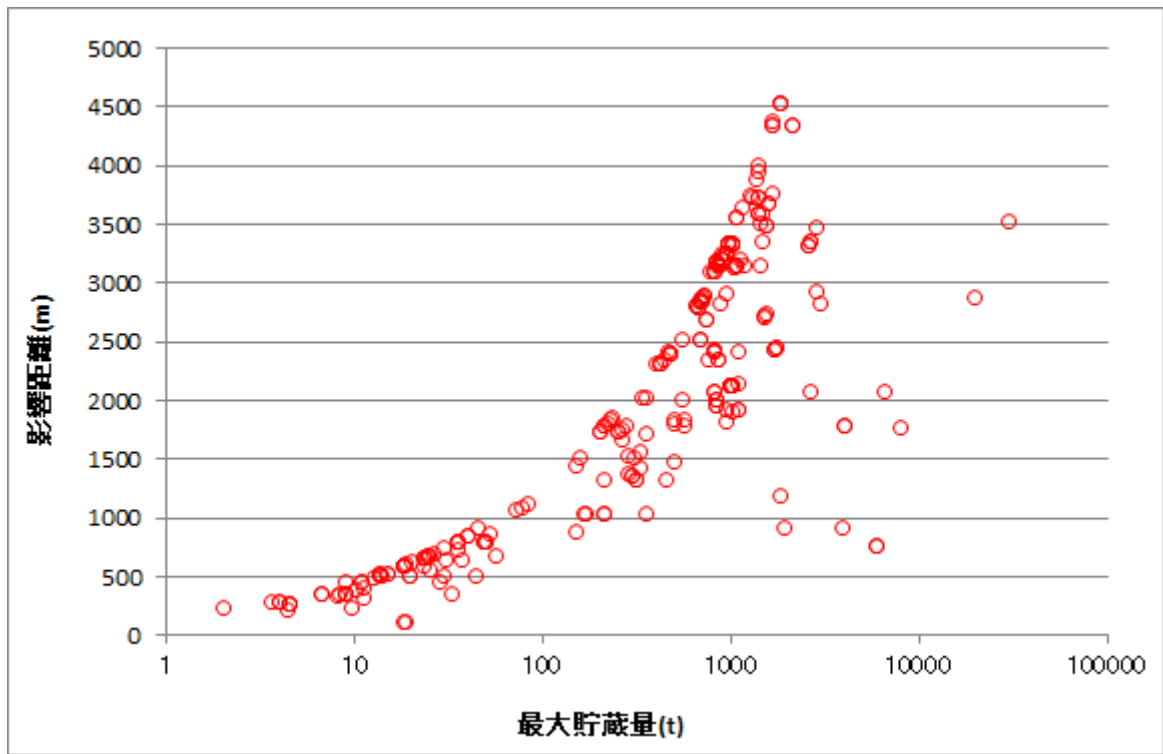


図 6.3.3-3 ファイヤーボールによる放射熱の影響距離

### 6.3.3 ガスホルダーの爆発火災

ガスホルダー内部で可燃性混合気を形成し、着火・爆発する場合の爆風圧を TNT 等価法により評価する。

#### (1) 算定条件

##### ○対象施設

高压ガスに該当しない円筒形のガスホルダー（無水式、有水式）を評価対象とする（貯蔵物質：コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガス）。

有水式のガスホルダーは無水式のものとは構造が異なり可燃性混合気を形成する危険性が低いと考えられるが、可能性はゼロではないことから対象とする。

##### ○可燃性ガス量の想定

ガスホルダー内で爆発を生じ得るガスの最大量として、可燃性ガスが当量\*で燃焼する場合を想定する。また、ガスホルダーの貯蔵率は最大とする。

\* 当量とは、可燃性ガスと空気とが完全燃焼するような混合割合の物質質量を表す。

##### ○影響度の基準値

平常時等の評価において、爆風圧の基準値として設定した 2.1kPa を基準値とする。

#### (2) 影響評価

爆風圧の影響距離（タンク中心からの距離）の分布を図 6.3.4 に示す。

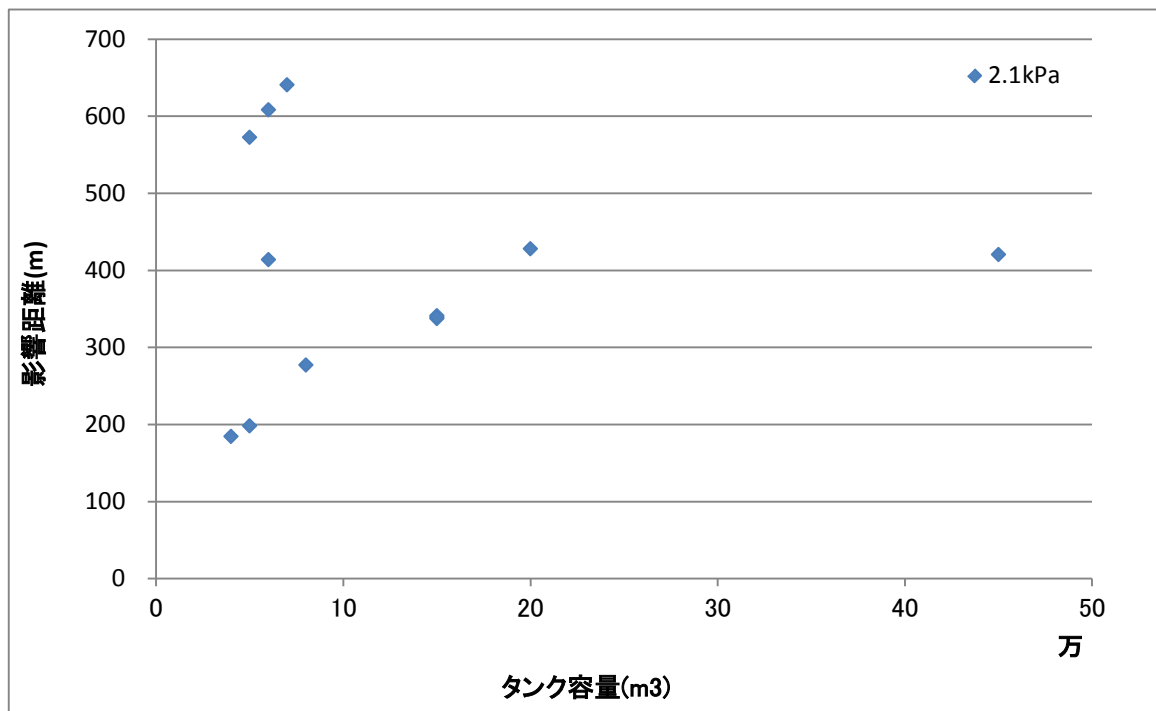


図 6.3.4 爆風圧の影響距離（基準値：2.1kPa）

### 6.3.4 LNGタンク全面火災

平底円筒形の LNG タンクにおいて、タンク全面火災が発生した場合の放射熱の影響を評価する。

#### (1) 算定条件

##### ○対象施設

地上式及び地下式の LNG タンクを評価対象とする。

##### ○火炎の想定

火炎形状等は、危険物タンク火災と同様とする。なお、危険物タンク火災では黒煙の発生による放射発散度の低減を考慮したが、LNG の場合は黒煙が生じないものとして、放射発散度の低減を考慮しない。

##### ○影響度の基準値

平常時等の評価において、石油類の液面火災の影響度の基準値として設定した  $2.3\text{kW/m}^2$  を基準値とする。

#### (2) 影響評価

LNG タンク全面火災による放射熱の影響距離（タンク中心からの距離）を図 6.3.5 に示す。

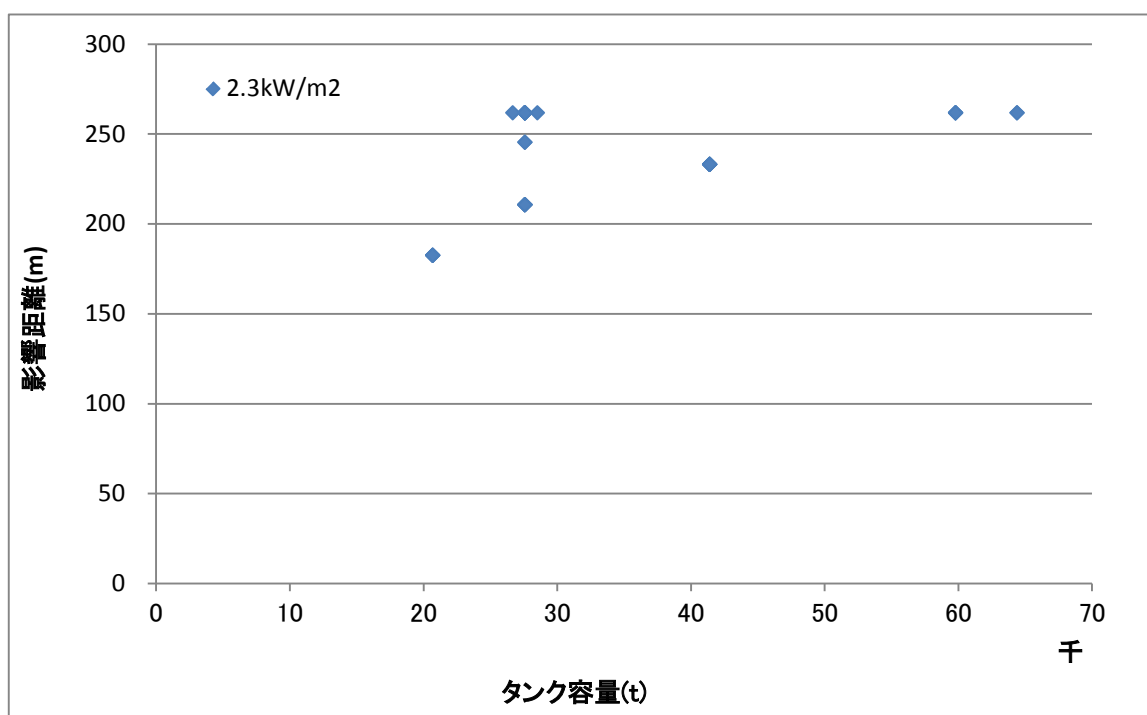


図 6.3.5 LNG タンク全面火災による放射熱の影響距離（基準値： $2.3\text{kW/m}^2$ ）

### 6.3.5 毒性物質の漏洩による毒性ガス拡散

対象地域において取扱われる毒性物質について、大量流出を想定した場合の毒性ガス拡散の影響を評価する。

#### (1) 算定条件

確率的なリスク評価では、アンモニアタンク及び製造プラントにおいて取扱われるアンモニアについて、面積  $0.1\text{cm}^2$  の漏洩口を想定し、ガス拡散の影響範囲を評価した。ここでは、大量流出を想定した場合のガス拡散の影響範囲を評価する。

##### ○対象施設

表 6.2.3 に示した毒性物質を取扱う施設を評価対象とする。

##### ○流出量の想定

###### ①危険物タンク

危険物が大量流出し、防油堤全面に広がって蒸発・拡散することを想定する。

なお、平常時の評価においては、仕切堤で区切られた広大な防油堤の場合には、流出油が全面に広がることは現実的に考えにくいとして、仕切堤の 2 倍の面積を想定したが、ここでは仕切堤の有無にかかわらず、防油堤全面における流出を想定する。

###### ②毒性液体タンク

平常時の評価では、5 分間に流出した毒性液体が厚さ  $1\text{mm}$  の液面を形成するものとして、毒性液体の蒸発・拡散を想定したが、ここでは 10 分間の漏洩量を想定する。

###### ③ガスタンク、プラント

平常時の評価では、毒性ガス配管の漏洩口面積として  $0.1\text{cm}^2$  を想定したが、ここでは配管断面積の  $1/100$  の漏洩口面積を想定する（ただし、漏洩口面積の下限値を  $0.1\text{cm}^2$ 、上限値を  $12.6\text{cm}^2$  とする）。

##### ○影響度の基準値

平常時等の評価において、毒性ガス拡散の影響度の基準値として設定した IDLH 濃度を基準値とする。この値は、30 分以内に脱出しないと元の健康状態に回復しない濃度とされ、評価対象物質については以下の値となる。

・アクリロニトリル	: 85ppm	・フッ化水素	: 30ppm
・アンモニア	: 300ppm	・塩素	: 10ppm
・エチレンクロロヒドリン	: 7ppm		

#### (2) 影響評価

毒性ガス拡散の影響距離の分布を図 6.3.6 及び 6.3.7 に示す。

なお、ここでの影響距離は、散水設備等の防災設備による影響低減効果を考慮したものではない。

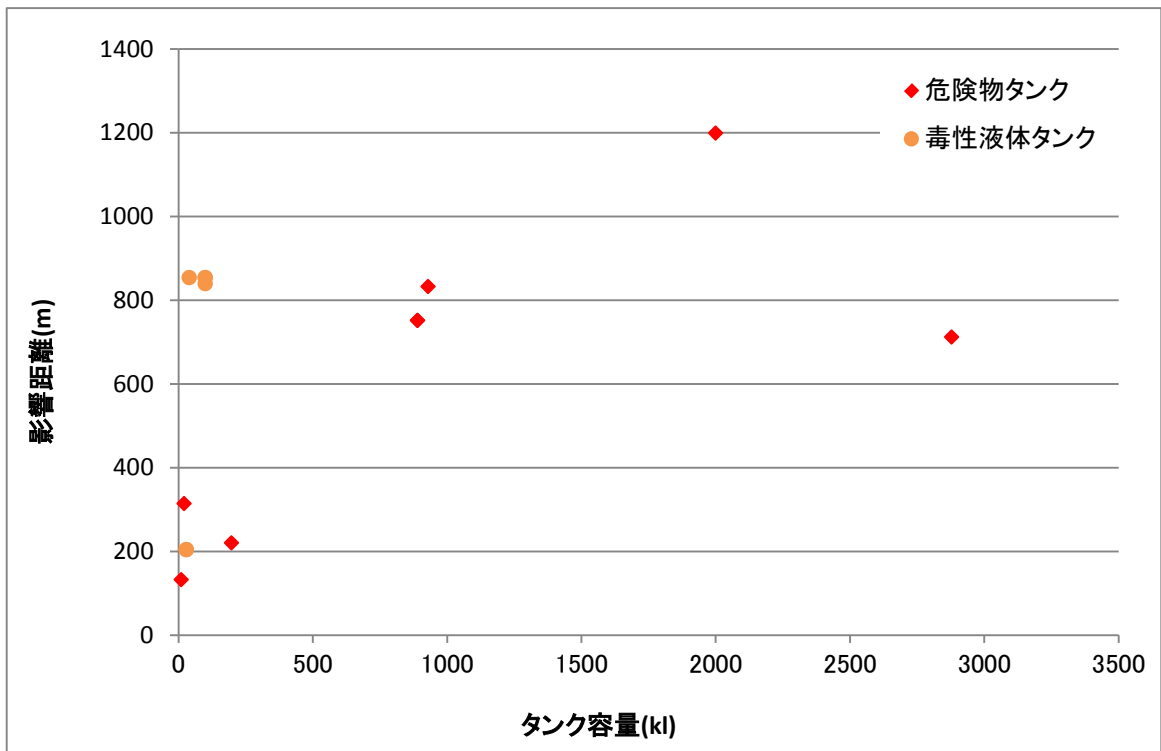


図 6.3.6 毒性ガス拡散の影響距離（危険物タンク、毒性液体タンク）

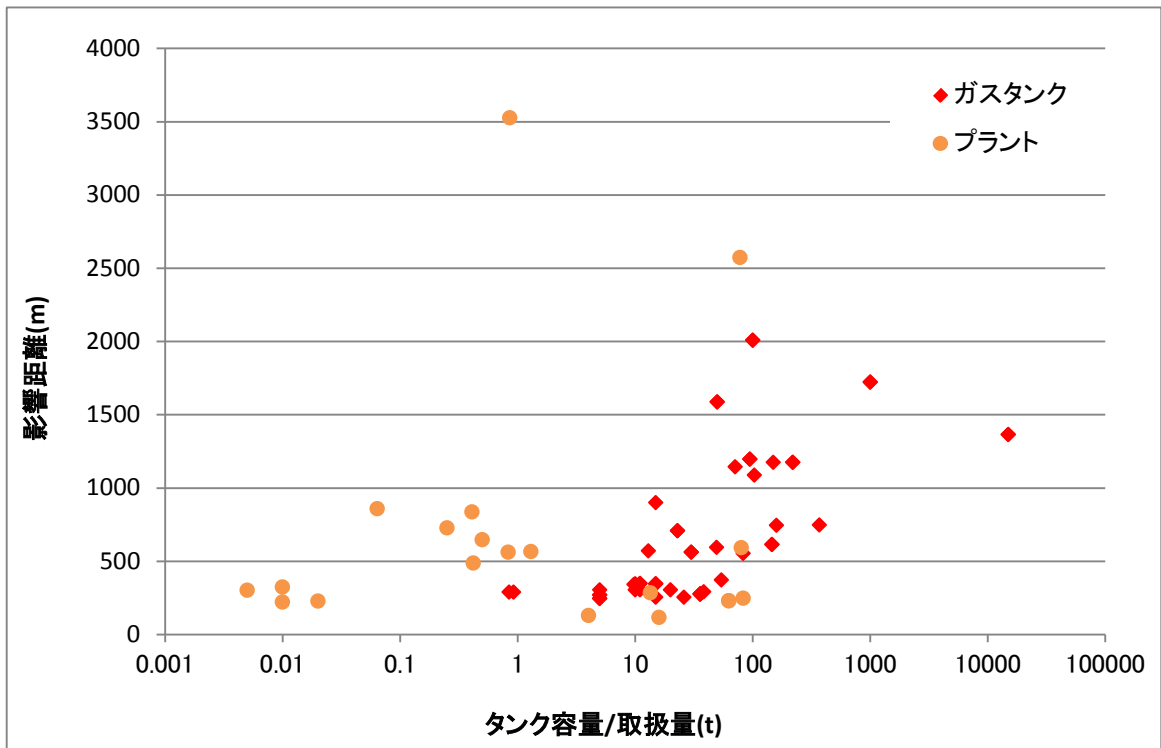


図 6.3.7 毒性ガス拡散の影響距離（ガスタンク、プラント）

