

7. 大規模災害による被害を対象とした評価

消防庁指針に記載されている手法を用いて、大規模災害による被害を対象とした評価を実施した。ここで取り上げる大規模災害として、周辺環境に最も大きな影響を与えると考えられる高圧ガスタンク及び製造施設等の爆発に係る災害だけでなく、石油類の海上流出や防油堤火災等事業所内での火災をきっかけとしてコンビナート外へ延焼拡大するような災害を取り上げる。こういった低頻度で起こり得る災害について、災害の発生を妥当に（現実的なものとして）評価することは極めて難しい。したがって発生確率には言及せず、起こった場合の評価を中心に行う。

ただしフロー図（図 7.2.1、図 7.2.2、図 7.4.1 及び図 7.4.2）で示すように、大規模災害が起こるまでに様々な対応が段階的に取られるため、大規模災害が発生する確率は非常に小さいと考えられる。

なお、対象施設のデータは施設のアンケート調査時点（平成 25 年 10 月）のものとしている。

7.1. 前提となる大規模災害の想定

ここでいう「大規模災害」は、石油類の流出が防油堤外さらには事業所外に拡大していくような場合、石油類や可燃性ガスの火災・爆発が隣接施設を損傷してさらなる爆発・火災を誘発して拡大していくような場合である。このような災害は発生が低頻度であることから従来取り上げられないことが多かった。しかし東日本大震災では、千葉県市原市で発生した LPG タンクの爆発火災のように、これまで想定していなかったような大規模な災害が発生している。このことを踏まえ、評価上の発生確率は極めて小さい災害であったとしても、発生した時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、影響評価を行うこととする。なお、4.4.における平常時のリスクマトリックスでは低頻度大規模災害として確率的な評価が与えられているが、本章では発生確率の算定が特に困難と考えられるような、連鎖的に影響が拡大する事象に対して影響評価を行い、確率には言及しない。ただし低頻度で起こる事象であることから、リスクマトリックスで表現した場合、図 7.1.1 内において太枠で囲んだ部分に該当するイメージとなる。

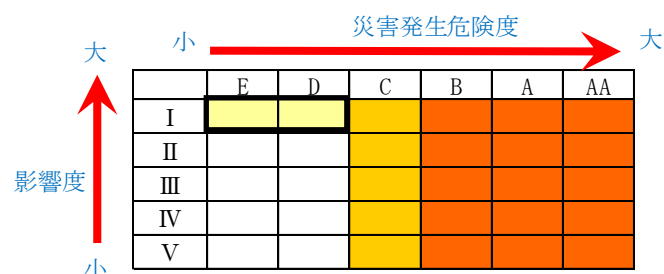


図 7.1.1 リスクマトリックスにおける大規模災害の扱い

影響評価の対象とする災害事象は、発生した場合の影響が大きいと考えられる、可燃性高圧ガスタンクの BLEVE による災害（ファイヤーボールによる放射熱、蒸気雲爆発による爆風圧、容器（高圧ガスタンク）の破裂による破片の飛散）及び製造施設等の爆発による災害（蒸気雲爆発による爆風圧）とする。

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。

なお、各地区コンビナートの事業所はそれぞれでこういった災害発生の可能性を想定し、様々な対応策を検討しており、代表的な対策についても各項目で触れる。

7.1.1. 算定条件

(1) 影響度の許容値（しきい値）

高圧ガスタンクの爆発による災害（ファイヤーボールによる放射熱及び蒸気雲爆発による爆風圧）及び製造施設等の爆発の影響の許容値は、消防庁指針に従って表 7.1.1 のように設定し、災害の影響範囲は影響の大きさが許容値以上となる範囲とした。

表 7.1.1 影響度の許容値（しきい値）

現象	許容値 (しきい値)	設定理由
高圧ガスタンクの爆発による災害 (ファイヤーボールによる放射熱)	4.6 kW/m ²	10～20秒で苦痛を感じる強度
	9.5 kW/m ²	8秒で痛みの限界に達し、20秒で第2度の火傷（赤く斑点ができ水疱が生じる）を負う
	11.6 kW/m ²	消防庁指針に示されているファイヤーボールの基準値
高圧ガスタンクの爆発による災害 (蒸気雲爆発による爆風圧)	2.1kPa	安全限界（この値以下では95%の確率で大きな被害はない）
	5.0 kPa	家屋が多少の被害を被る
	16.0 kPa	建物の大きな被害の限界
製造施設等の爆発 (蒸気雲爆発による爆風圧)	2.1 kPa	安全限界（この値以下では95%の確率で大きな被害はない）
	5.0 kPa	家屋が多少の被害を被る
	16.0 kPa	建物の大きな被害の限界

(2) 災害事象の詳細条件

なお、高圧ガスタンクの爆発による災害（ファイヤーボールによる放射熱、蒸気雲爆発による爆風圧及び BLEVE による破片の飛散）及び製造施設等の爆発は、以下の表に従って予測を行った。

① 高圧ガスタンクの爆発による災害（ファイヤーボールによる放射熱）

様相	周辺火災等の影響によってBLEVEが発生しそれに伴い、ファイヤーボールが形成される（貯蔵量全体がファイヤーボールの形成に寄与すると仮定）。	
影響範囲	放射熱が許容値以上となるファイヤーボール中心直下からの距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	ファイヤーボールによる放射熱の算定	参考資料3 式(21)

② 高圧ガスタンクの爆発による災害（蒸気雲爆発による爆風圧）

様相	周辺火災等の影響によってBLEVEが発生しそれに伴い、気化した液化ガスが拡散、火災に引火して蒸気雲爆発が起こる。	
影響範囲	爆風圧が許容値以上となるタンク中心からの距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	爆発中心からの距離の算出	参考資料3 式(17)

③ 高圧ガスタンクの爆発による災害（容器（高圧ガスタンク）の破裂による破片の飛散）

様相	周辺火災等の影響によってBLEVEが発生し、容器（高圧ガスタンク）の破裂によって破片が飛散する。	
影響範囲	タンク中心からの破片の飛散距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	破片の飛散距離の算出	参考資料3 式(22)

④ 製造施設等の爆発

様相	製造施設等の可燃性ガス滞留箇所において反応暴走が生じ、ガス全量が火災に引火して蒸気雲爆発が起こる。	
影響範囲	爆風圧が許容値以上となる最大滞留箇所からの距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	爆発中心からの距離の算出	参考資料3 式(17)

7.2. 高圧ガスタンクの爆発による災害

7.2.1. 想定災害

高圧ガスタンクにおいて、爆発火災が発生した場合の影響を評価する。ここでは、周辺火災等の影響により BLEVE 及びファイヤーボールが生じる場合を想定し、ファイヤーボールによる放射熱、BLEVE 後の蒸気雲爆発による爆風圧及び破片の飛散について算定を行う。なお、評価対象とするタンクは、可燃性の液化ガスタンク（低温液化ガスタンクを含み、毒性ガスタンク及び気体状態のガスタンクは除く）である。BLEVE により隣接タンクが次々と爆発するような事態に至ったとしても、それぞれのタンクはある時間差をおいて爆発すると考えられる。従って、影響範囲を把握する上では個々のタンクの最大の影響を考慮することとし、複合的な影響については考えない。また、タンク貯蔵量全体が気化してファイヤーボールの形成に寄与するとは考えにくいものの、過小評価となる可能性を極力排除するため、貯蔵量全量からファイヤーボールが形成されるものとする。

東日本大震災での市原市の例の場合、球形 LPG 貯槽（地震当時は満水状態）が倒壊して周辺の配管を破損し、直ちに漏洩停止することができず、長時間にわたって LPG が漏洩し、火災に至ったものである。当時の対応では周辺タンクへの散水冷却を実施していたが、火災発生からおよそ 1 時間強で最初の BLEVE が発生し、その後 5～10 分間隔で計 5 回の大規模爆発が発生している。

したがって、高圧ガスタンクの周辺で火災が発生し、漏洩停止できず火災が継続するような場合には BLEVE 発生の危険性がある。可燃性ガスタンクとその周辺設備等には冷却散水設備や水膜設備が設置されており、タンクにも断熱構造が施されているものもあるが、特にタンクが近接して設置されているような場合は、十分な散水冷却が行えないことも予想され、注意が必要である。

実際の災害現場における応急対応例として、周辺火災から高圧ガスタンクの爆発に到るまでのフロー図を図 7.2.1 に示す。

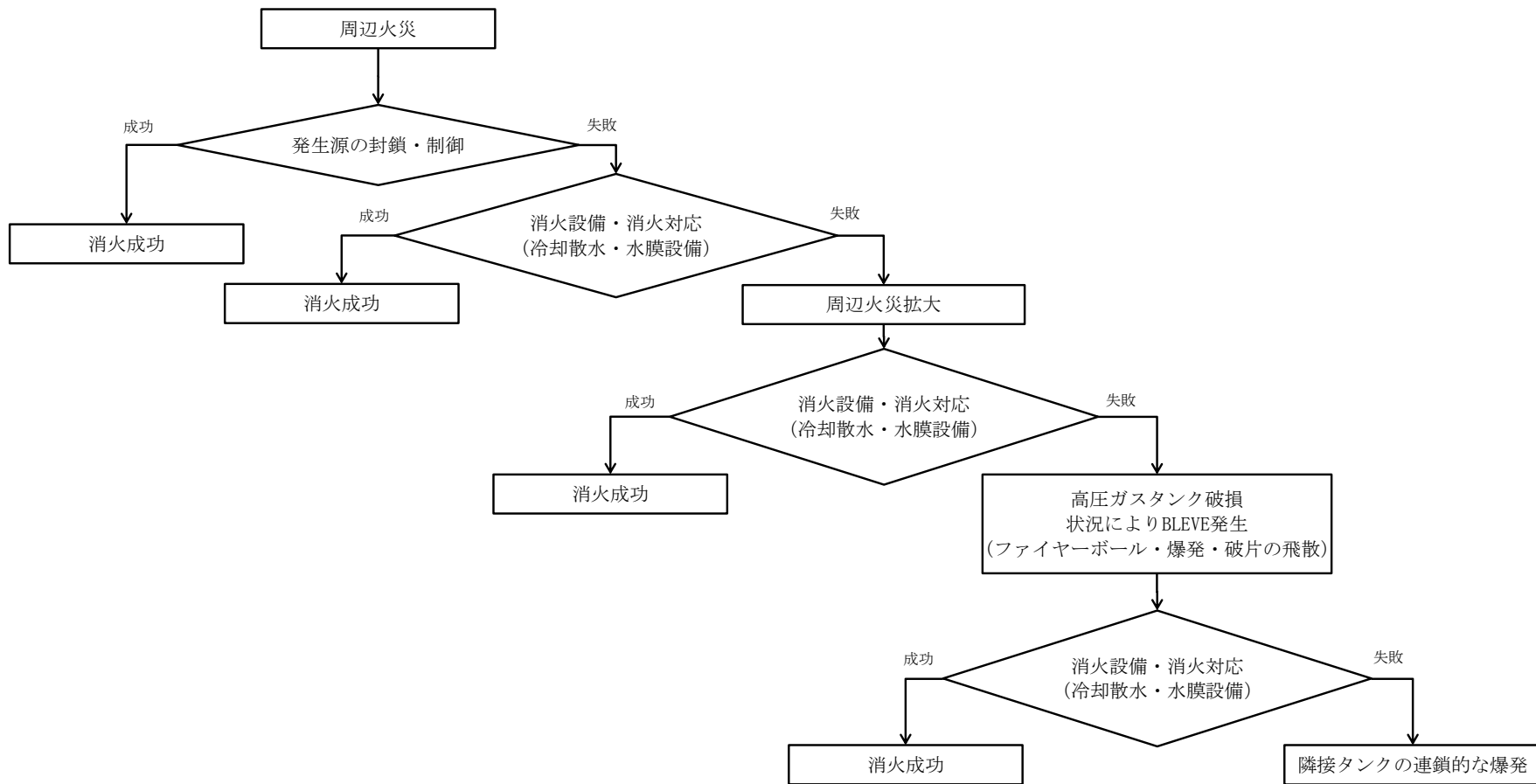


図 7.2.1 タンク火災から BLEVE に到る災害拡大フロー図

7.2.2. 影響評価

(1) ファイヤーボールによる放射熱

7.1.1.(2)の想定に基づき求めたファイヤーボールの放射熱の影響の大きさを、表 7.2.1 に示す。消防庁指針に示されているファイヤーボールの指針値 (11.6 kW/m²) をしきい値とした場合、影響距離が 2,000m を超えるタンクは京浜臨海地区で 32 基、根岸臨海地区で 10 基ある。高圧ガスタンクとコンビナート区域外の住宅等保安物件は比較的距離が近いので、タンク貯蔵量の全量がファイヤーボールの形成に寄与すると仮定した場合には、周辺環境に与える影響は非常に大きい。

表 7.2.1 ファイヤーボールによる放射熱の影響度分布

区分	ファイヤーボールによる放射熱		
	4.6 kW/m ²	9.5 kW/m ²	11.6 kW/m ²
京浜臨海地区 (該当施設数：単位 基)			
2,000m以上	114	64	32
1,000m～2,000m	69	82	108
500m～1,000m	28	61	58
200m～500m	3	7	16
200m未満	0	0	0
根岸臨海地区 (該当施設数：単位 基)			
2,000m以上	23	17	10
1,000m～2,000m	0	6	13
500m～1,000m	0	0	0
200m～500m	0	0	0
200m未満	0	0	0
久里浜地区 (対象タンクなし)			

(2) 蒸気雲爆発による爆風圧

7.1.1.(2)の想定に基づき求めた蒸気雲爆発による爆風圧の影響の大きさを、表7.2.2に示す。安全限界（この値以下では95%の確率で大きな被害はない）である2.1kPaをしきい値とした場合、影響距離が2,000mを超えるタンクは京浜臨海地区で21基、根岸臨海地区で10基ある。高圧ガスタンクとコンビナート区域外の住宅等保安物件は比較的距離が近い
ため、周辺環境に与える影響は非常に大きい。

表 7.2.2 蒸気雲爆発による爆風圧の影響度分布

区分	蒸気雲爆発による爆風圧		
	2.1 kPa	5.0 kPa	16.0 kPa
京浜臨海地区（該当施設数：単位 基）			
2,000m以上	21	6	0
1,000m～2,000m	106	18	4
500m～1,000m	56	112	14
200m～500m	31	66	119
200m未満	0	12	77
根岸臨海地区（該当施設数：単位 基）			
2,000m以上	10	5	0
1,000m～2,000m	13	5	0
500m～1,000m	0	13	6
200m～500m	0	0	17
200m未満	0	0	0
久里浜地区（対象タンクなし）			

(3) 容器（高圧ガスタンク）の破裂による破片の飛散

7.1.1.(2)の想定に基づき求めた容器（高圧ガスタンク）の破裂による破片の飛散の影響の大きさを、表7.2.2に示す。影響距離が2,000mを超えるタンクは京浜臨海地区で21基、根岸臨海地区で10基ある。高圧ガスタンクとコンビナート区域外の住宅等保安物件は比較的距離が近いので、周辺環境に与える影響は非常に大きい。

表7.2.3 容器（高圧ガスタンク）の破裂による破片の飛散の影響度分布

区分	容器（高圧ガスタンク）の破裂による 破片の飛散
京浜臨海地区（該当施設数：単位 基）	
2,000m以上	21
1,000m～2,000m	193
500m～1,000m	0
200m～500m	0
200m未満	0
根岸臨海地区（該当施設数：単位 基）	
2,000m以上	10
1,000m～2,000m	13
500m～1,000m	0
200m～500m	0
200m未満	0
久里浜地区（対象タンクなし）	

7.3. 製造施設等の爆発による災害

7.3.1. 想定災害

製造施設等の短時間大量流出ガス爆発を想定する。このような災害は、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における反応暴走により起こり得る。幸い東日本大震災では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。

ただし、このような災害事象の発生危険度は個々の製造施設等のプロセス毎に異なり、本調査で評価対象としている製造施設等において、このような爆発が起こり得るというものではない。しかしながら、コンビナート全域を対象としたアセスメントでは、個々の製造施設等のプロセスを考慮した詳細な評価は困難であることから、ここでは各製造施設等において取扱われる可燃性ガスの最大滞留量に基づき評価を行う。

反応暴走のおそれのある施設では、反応温度及び圧力が常時監視されており、異常値検知の際は警報を発する仕組みがある。また、圧力上昇による反応容器の破損・破裂を防止するために破裂板及び安全弁が設置されている。反応異常が継続し正常復帰が困難な場合には、反応容器ごとに設置している緊急停止設備により緊急停止剤を添加することで反応が止められるようになっているものもある。さらに、異常時には後工程の回収タンクに内容物の移送を行うことを可能としているものもあるが、電力喪失や誤操作・誤判断などによりこれらが正常に行えなかった場合には、異常反応による爆発が発生することも考えられる。

実際の災害現場における応急対応例として、プラント反応異常から製造施設等の爆発に到るまでのフロー図を図 7.2.2 に示す。

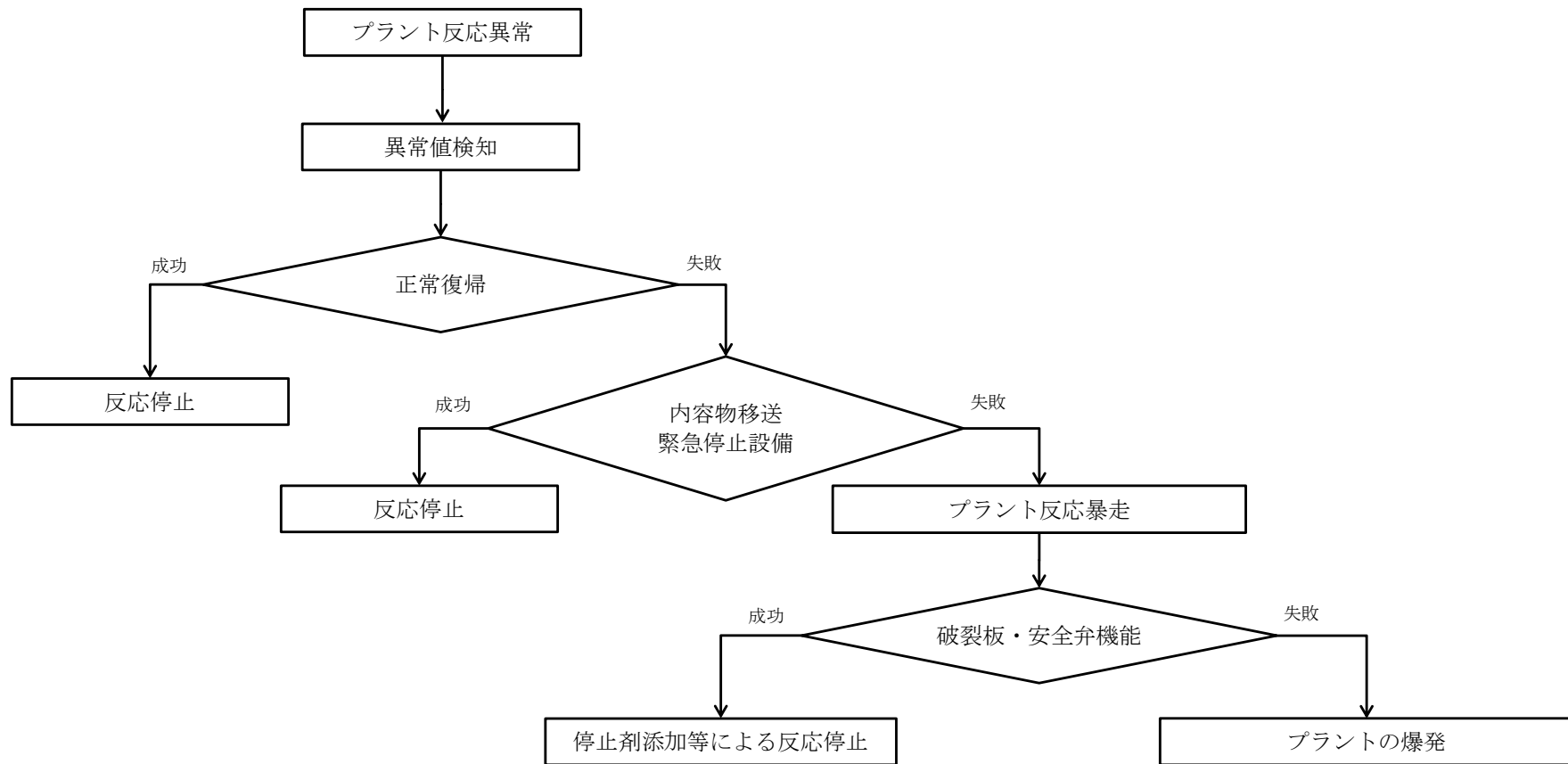


図 7.2.2 プラント反応異常から製造施設等の爆発に到る災害拡大フロー図

7.3.2. 影響評価

確率的なリスク評価では、製造施設等において取扱う可燃性ガスが、最大滞留する箇所においてその全量が蒸気雲爆発する場合の爆風圧を TNT 等価法により評価した。ここでは、可燃性ガスを取扱い、反応暴走のおそれのある設備を有する製造施設等を対象として、蒸気雲爆発による爆風圧の影響を評価する。

7.1.1.(2)の想定に基づき求めた製造施設等の爆発による爆風圧の影響の大きさを、表 7.3.1 に示す。安全限界（この値以下では 95%の確率で大きな被害はない）である 2.1kPa をしきい値とした場合、影響距離が 500m～1,000mに区分されるタンクは 5 施設ある。製造施設等とコンビナート区域外の住宅等保安物件は比較的距離が近いとため、周辺環境に与える影響は非常に大きい。

表 7.3.1 製造施設等の爆発による爆風圧の影響度分布

区分	製造施設等の爆発による爆風圧		
	2.1 kPa	5.0 kPa	16.0 kPa
京浜臨海地区（該当施設数：単位 施設）			
2,000m以上	0	0	0
1,000m～2,000m	0	0	0
500m～1,000m	5	0	0
200m～500m	11	8	0
200m未満	8	16	24
根岸臨海地区（対象施設なし）			
久里浜地区（対象施設なし）			

注) 反応容器等の圧力上昇に伴う爆発に関しては、容器の破裂圧力を推定して評価を行うことが必要となる。しかし、容器の破裂圧力の推定にはより詳細な調査が必要となることから、これに代わり蒸気雲爆発を前提とした評価を行う。塔槽類の最大滞留量の全量を想定した蒸気雲爆発の評価により、容器内に大量の可燃性ガスが滞留するような大規模な製造施設等においては、破裂による影響を包含できるものと考えられる。しかしながら、容器内の可燃性ガス滞留量が少なく、破裂圧力が大きくなるような製造施設等では過小評価となることがあり得る。

7.4. 想定されるその他の大規模災害

ここでは想定される大規模災害の内、危険物タンク本体あるいは配管の大破に起因する災害（防油堤等から海上への石油類流出及び防油堤火災の延焼拡大）を取り上げる。

7.4.1. 防油堤等から海上への流出

危険物タンクから石油類が大量に流出し、防油堤や流出油等防止堤が地震や液状化の影響で大きく損傷した場合には、流出油は事業所外の陸上あるいは海上に拡大していく可能性がある。このような災害は、現在の技術基準からすると考えにくいですが、施設の老朽化、施工不良、あるいは管理体制の問題など評価が困難な要因により、発生する可能性は否定できない。石油類の大量流出は、地面の微妙な傾斜や起伏だけでなく広大な堤の損傷箇所にも依存するため事前に拡大様相を把握することは難しい。また流出油等防止堤が健全であったとしても、油が排水溝を通して海上に流出する可能性がある。

1978年の宮城沖地震では重油タンクの側板と底板の接合部付近が破断し、約70,000k1の重油が流出した。陸上での拡大は流出油等防止堤で防止できたが、一方では排水溝を通してガードベースン（容量6,000k1）に流出した。直ちに港湾に通ず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、土嚢やダンプによる土砂の搬入等により封鎖を完了するまでに数千k1が海上に流出した。しかしながら、海上に流出した重油の大半は第1次オイルフェンスでくい止めることに成功した。

このような事故は、当時よりは起こりにくくなっているもののやはり起こり得ることを想定し、発災時の被害を低減するための対策を検討する必要がある。特に大規模なタンクが海側に面している事業所については、海上流出を防止する設備の整備の他、流出時の緊急対応や海面火災に対する対応等が行われる。海上流出を防止する設備については、最大で100,000k1以上の流出油を受け入れることが可能な防油堤や流出油防止堤、4km以上の展張可能なオイルフェンス、2,000k1以上の流出油を受け入れることが可能なガードベースン等がある。また、防油堤を3重にして、複数のタンクが同時に破裂し通常の防油堤容量以上の油が流出した場合でも海上流出を防ぐことができるように自主的に設置している事業所もある。

実際の災害現場における応急対応例として、防油堤等から海上への大量流出に到るまでのフロー図を図7.4.1に示す。なお海上流出及び海面上火災が起こった場合には表7.4.1に示すような緊急対応が取られる。

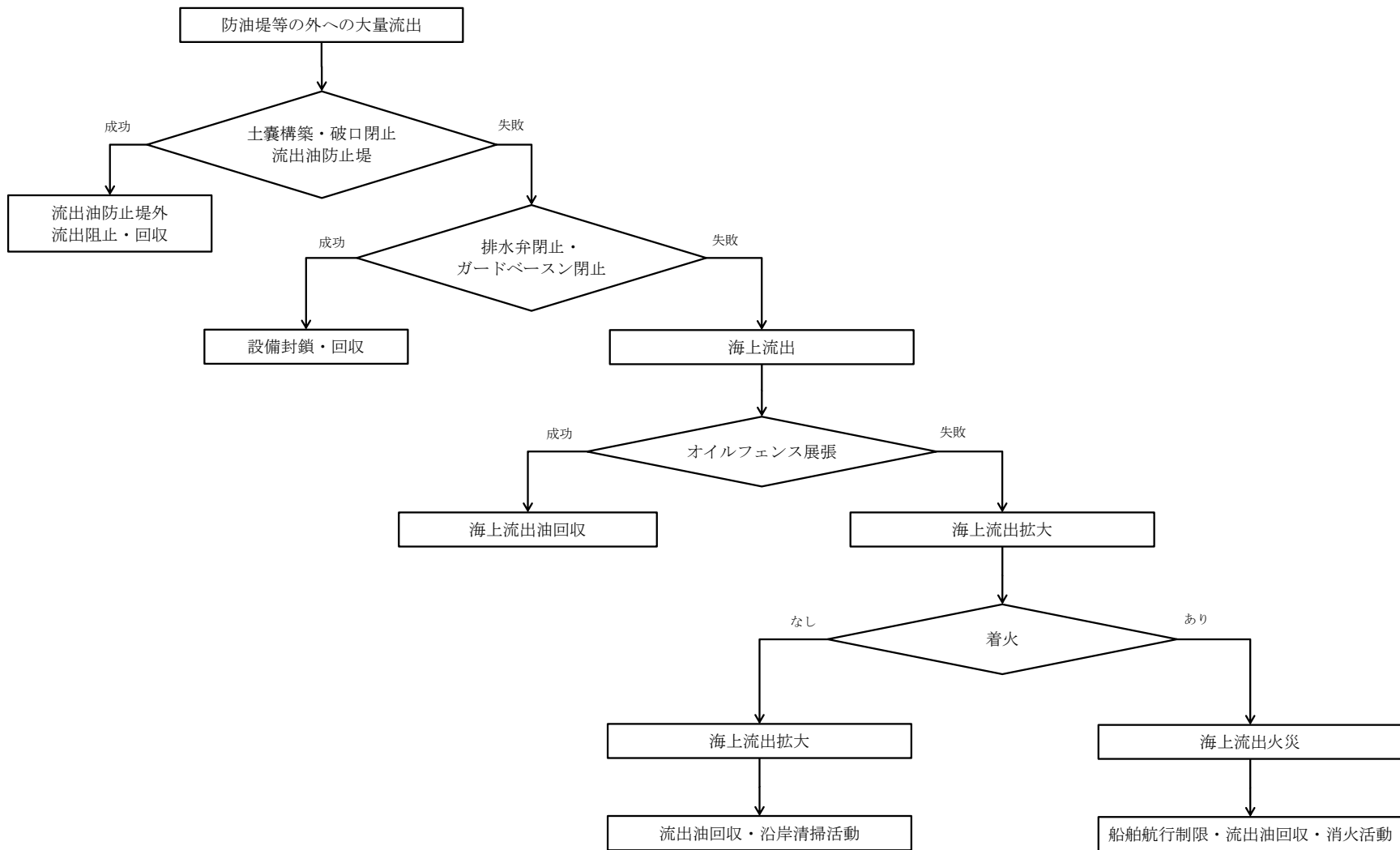


図 7. 4. 1 防油堤等から海上へ大量流出に到る災害拡大フロー図

表 7.4.1 海上流出・海面上火災が起こった場合の緊急対応（例）

災害事象	緊急対応（例）
海上流出	破口部の閉鎖が可能なら閉止板取付等を行い閉鎖、不可能な場合他タンクや船への油移送等を実施 破口部・路面廃水系統へ土嚢構築、排水弁の閉止 ガードベースン閉止（油膜検知によるチェックピット自動閉止、または要員による手動閉止） 火気監視、ガス検知等で危険物の漏洩の常時監視、検知時に警報発信 流出油の回収（油回収船による回収、油吸着マットで回収、オイルフェンスの包囲展張による回収） 清掃活動（護岸等への付着油の除去・清掃）
海面上火災発生	船舶の航行制限 流出油の回収（オイルフェンスで包囲、水噴霧による油蒸気の拡散、ゲル化剤等による固化・油蒸気抑制後、包囲・回収） 消火活動（防災船による泡放射、消防車両・消火装置による放水）

7.4.2. 防油堤火災からの延焼拡大

タンクから石油類が大量に流出した場合、それが引火点の低い第1石油類であった場合には、着火して広範囲に広がる火災につながる可能性がある。1964年の新潟地震ではスロッシングにより5基の原油タンク（30,000～45,000k1）の上部から溢流し、タンク群が全面炎上した。さらに、地震により防油堤が破壊されたため流出火災は防油堤外に拡大し、付近の民家にも延焼した。

耐震基準が強化された大規模タンクだけでなく、比較的脆弱な準特定タンクや小容量危険物タンクについても注意すべきである。これらは、貯蔵量が少ないものの、多くのタンクが仕切られることなく1つの防油堤の中に設置されており、火災が防油堤全面に拡大する危険性をはらんでいる。

石油類の流出火災は、拡大範囲（火災面積）を推定して放射熱の影響を算定することになるが、周辺のタンクや製造施設等などの施設がどの程度の放射熱を受けると損傷するかの判断も難しく、防油堤外に延焼する場合となれば、予測が不可能である。

しかしながら、京浜臨海地区、根岸臨海地区、久里浜地区はそれぞれコンビナート区域外の近傍地域に公園や学校、公共施設といった保安対象物件が立地していることから、コンビナート区域外に火災が延焼拡大した場合の対策を無視するわけにはいかない。特に陸上側コンビナート区域外に面した事業所については、陸上方向への延焼拡大を阻止する設備の整備の他、コンビナート区域外へ延焼拡大した際の緊急対応が行われる。延焼を阻止するための設備としては、放水設備、大型消火器、消防ポンプ、補助泡消火栓、土嚢構築、水膜設備等があり、分散して保有されている。

実際の災害現場における応急対応例として、防油堤内流出火災から防油堤外への火災拡

大に到るまでのフロー図を図 7.4.2 に示す。なお防油堤が破壊され、コンビナート区域外まで延焼拡大する可能性がある場合には表 7.4.2 に示すような緊急対応が取られる。

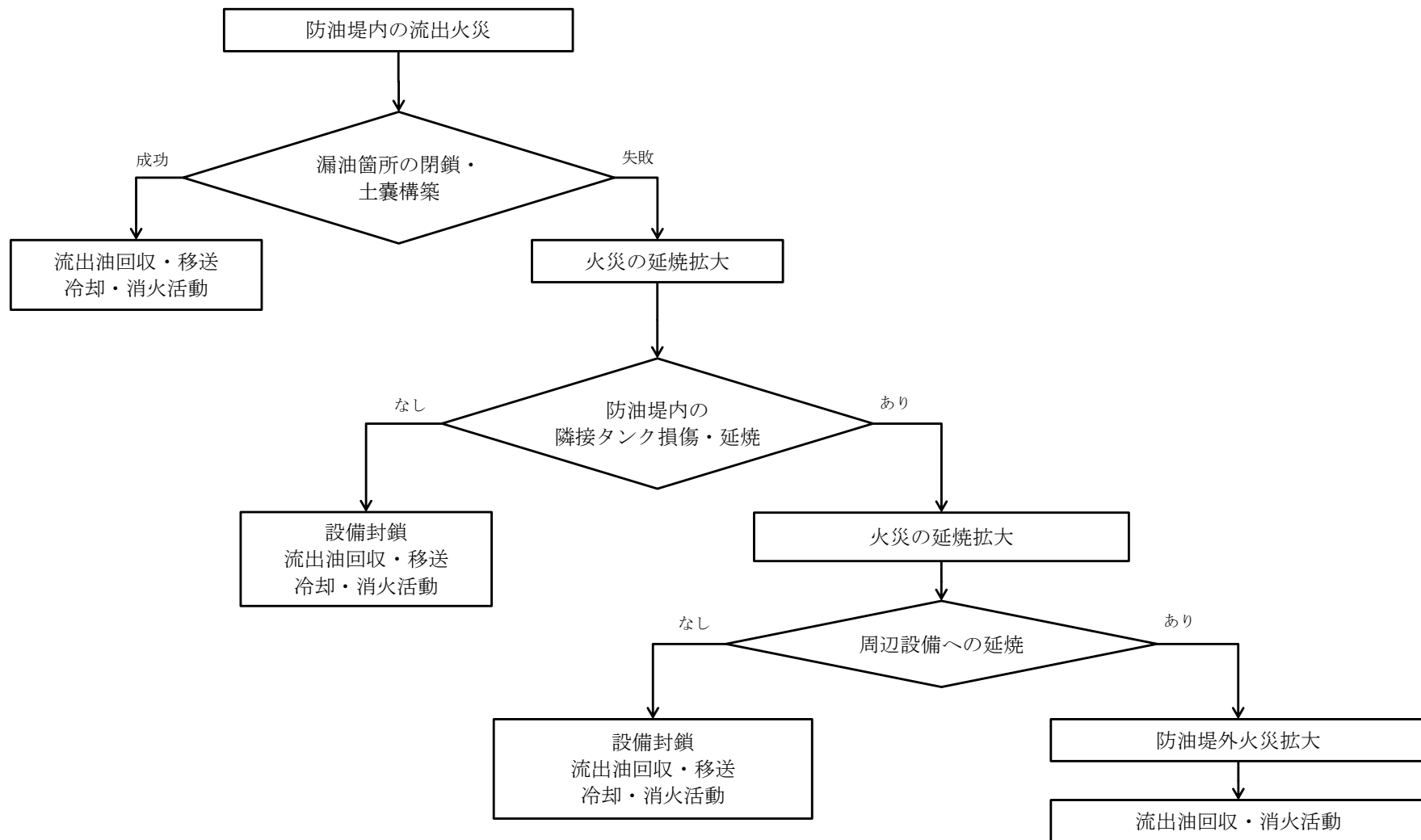


図 7.4.2 防油堤内流出火災から防油堤外への延焼拡大に到る災害拡大フロー図

表 7.4.2 コンビナート区域外への火災延焼拡大が起こった場合の緊急対応（例）

災害事象	緊急対応（例）
防油堤破壊	事業所内緊急通報 漏油箇所への閉鎖、破口部へ土嚢構築 製造施設等・タンク間の弁閉止 状況により全面操業停止 外部の関係官庁に通報、外部機関と連携対応準備 緊急事態対策組織及び現場本部の設置
流出油拡大 及び 火災発生	延焼の危険性がなければ、他タンクもしくは船へ油移送（発災タンクからの残油を移送） 可燃性ガス・有毒ガスの検知と監視室への警報発信 冷却散水設備の稼働 流出油の陸上回収（自衛防災組織による除去・回収、ゲル化剤等で固化・回収、仮設ポンプで回収、油吸着マットで回収、付着油の除去・清掃） 消火活動の実施（消防車、補助泡消火栓、可搬式消防ポンプにて泡消火剤の散布等）