

第6章 大規模災害における災害評価

6.1 想定する災害シナリオ

大規模災害とは、単独災害(平常時、地震時における想定災害)のリスクマトリックスにおいて、発生危険度が非常に小さいが、影響度が大きいとされる災害(低頻度大規模災害)がさらに拡大したものであり、従前の防災アセスメントではほとんど想定されていなかった極低頻度の発生事象である。例えば、石油類が防油堤外さらには事業所外に流出拡大したり、石油類や可燃性ガスの火災・爆発が隣接施設を損傷して、さらに拡大していくような災害である。東日本大震災では、LPG タンクの倒壊に端を発し、4 基のタンクが爆発・炎上してヤード内の多くのタンクを破損し、さらに隣接施設や隣接事業所にも被害を与えた。

大規模災害は、発生危険度は極めて低いが、事故に至る一定の条件が整った場合、発生すると考えられる。

本評価では、発生危険度には言及せず、施設の構造、防災設備（本評価では排水処理設備の状況を踏まえ）、周辺施設の状況などから起こり得ると考えられる災害を想定し、万一事故が発生した場合、どの程度の影響が生じるかを算定した。

6.1.1 危険物タンク

指針では、危険物タンクにおける大規模災害の初期事象として、2つの事象が示されている。

- 防油堤から海上への流出
- 防油堤火災からの延焼拡大

A. 防油堤から海上への流出

宮城県沖地震（1978 年）では、仙台地区にある 2 基の重油タンク（31,500kL）及び 1 基の減圧軽油タンク（23,700kL）の側板と底板の接合部付近が破断し、約 70,000kL 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過してガードベースン（容量 6,000kL）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、土のうやダンプトラックによる土砂の搬入等により封鎖を完了するまでに数千 kL 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られた(図 6.1.1)。

防油堤外へ大量流出した場合、流出油等防止堤や排水処理設備が機能しなければ事業所外へ流出する恐れがあり、事業所外流出後、海上へ流出拡大した場合は、オイルフェンスの展張ができなければ、大規模な流出拡散事故へ進展する恐れがある。

防油堤からの海上流出による災害シナリオを図 6.1.2 に示す。ここで、図中の各災害シナリオにおける災害事象のうち、網掛けになっている災害事象は本評価から想定される災害事象であることを示す。

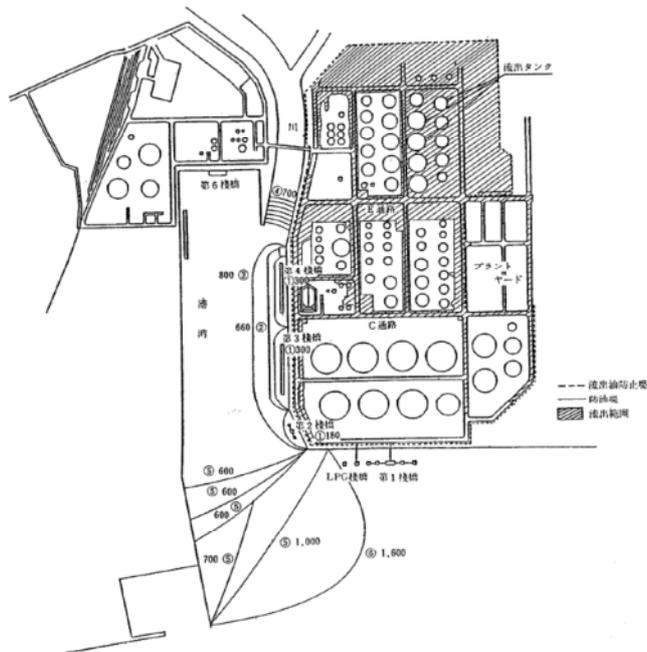


図 6.1.1 宮城県沖地震（1978）での重油流出範囲とオイルフェンスの展張状況¹

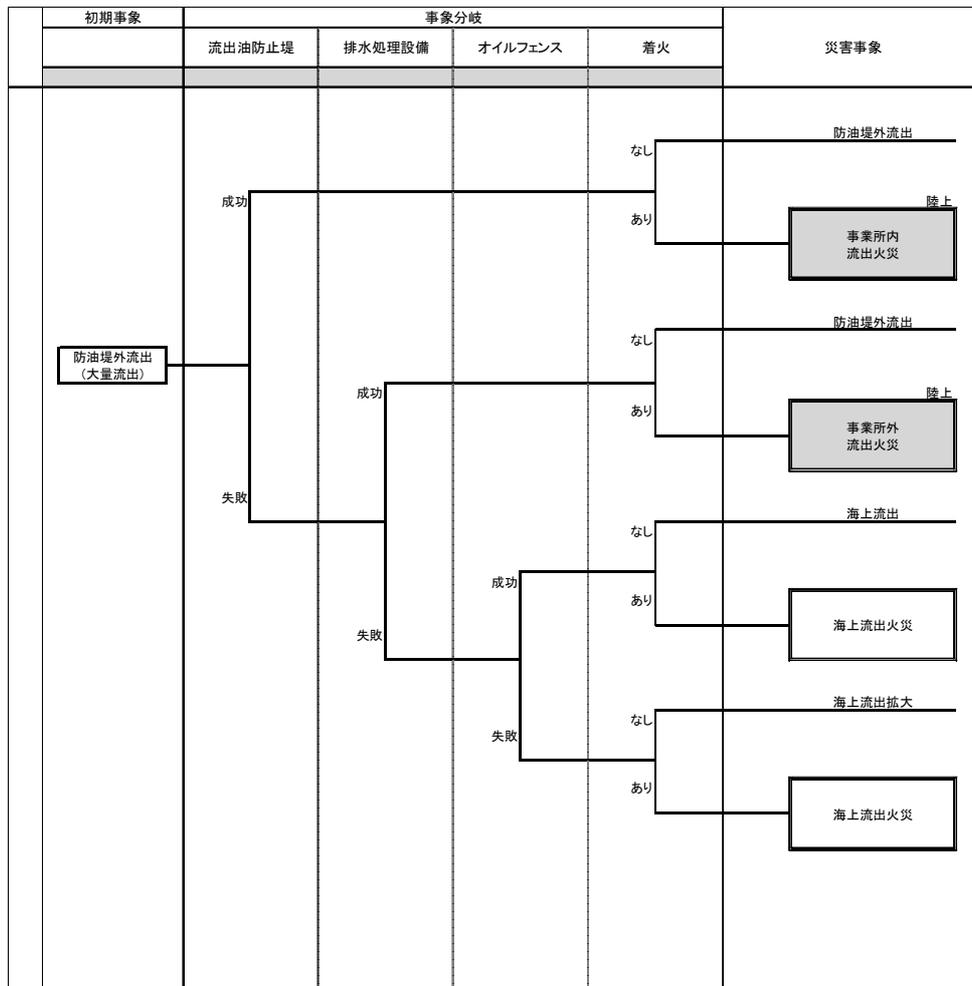


図 6.1.2 防油堤から海上への流出による災害シナリオ

¹ 消防庁特殊災害室、石油コンビナートの防災アセスメント指針、平成 25 年 3 月

B. 防油堤火災からの延焼拡大²

新潟地震（1964）では、第1火災として、原油タンク5基、製品タンク10基の浮き屋根が揺動し、容量30,000kLの浮き屋根式原油タンクで、タンク側板を越えて原油が溢流して着火した。その後、隣接タンクを類焼し、防油堤の破損箇所から流出した原油の火により、加熱炉、ボイラー、反応塔でも火災が発生した。

この第1火災では、この原油タンク5基が焼損し、原油12万kL以上が焼失、一般民家18棟が全焼した。

また、第2火災として、タンク本体及び配管から石油が流出し、防油堤（煉瓦作り）の破損により、流出した油が、液状化による噴出した水や津波による海水の上を浮遊して拡散し、地震発生約5時間後、隣接工場との境界付近で爆発音とともに出火し、タンク全面火災が発生した。第2火災では、タンク138基が焼損し、焼損面積は235,000m²（隣接する工場を含む）、焼失建物面積75,282m²（隣接する工場を含む）、全焼建物は440棟（うち民家229棟）であった。

指針では、防油堤火災からの延焼拡大を考える場合、現状では耐震基準が強化された大規模タンクよりも、比較的脆弱とされる準特定タンク（新基準未適合）や小規模タンク（500kL未満）での火災に注意すべき、としている。

このような、比較的規模の小さいタンクは、貯蔵量は比較的少ないものの、多くのタンクが仕切られることなく、同一の防油堤の中に設置されていることが多く、仮に1基のタンクから油が流出して火災になると、周辺のタンクを焼損して、火災が防油堤全体に拡大する危険性がある。また、地震により防油堤が損傷した場合には、火災はさらに拡大し、周辺の施設に影響を及ぼすことも考えられる。

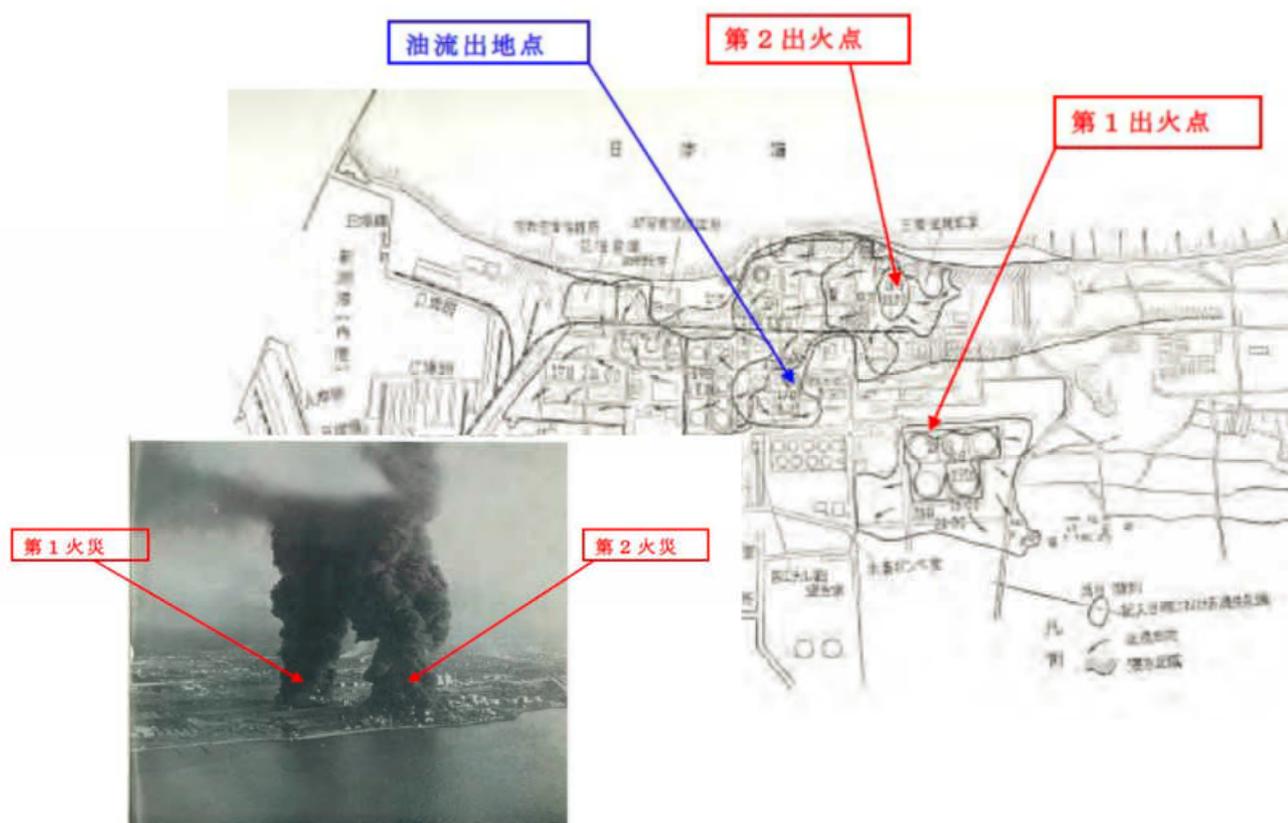


図 6.1.3 新潟地震(1964)での製油所での出火・延焼状況²

² 石油コンビナート等における災害時の影響評価に係る調査研究会資料

防油堤内流出火災が発生し、同一防油堤内の隣接タンクの損傷・延焼に至る場合、タンクヤード全体の火災に至る恐れがある。さらに、防油堤が堅牢でなく、損傷し機能しない場合、防油堤外や周辺設備へも火災が拡大する可能性がある。

防油堤内火災からの延焼拡大による災害シナリオを図 6.1.4 に示す。ここで、図中の各災害シナリオにおける災害事象のうち、網掛けになっている災害事象は本評価から想定される災害事象であることを示す。

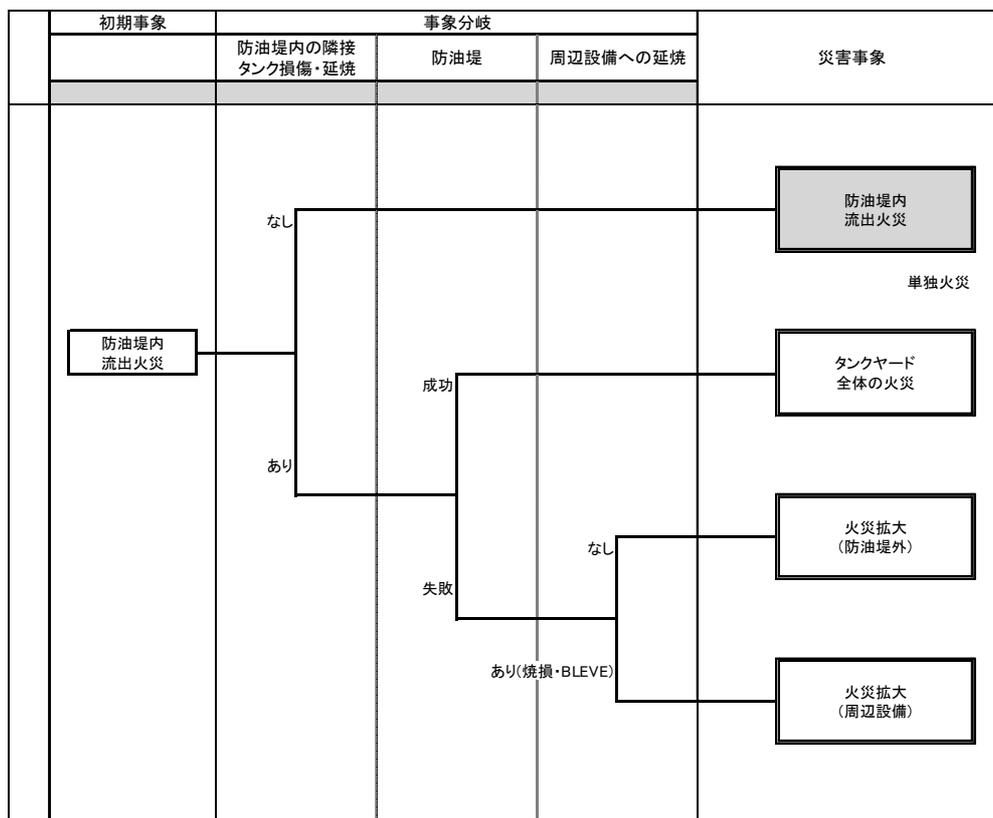


図 6.1.4 防油堤火災からの延焼拡大による災害シナリオ

6.1.2 可燃性ガスタンク

指針では、可燃性ガスタンクにおける大規模災害の初期事象として、1つの事象が示されている。

○ BLEVE による延焼拡大

A. BLEVE による延焼拡大

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)³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。

東日本大震災における LPG タンク爆発火災は、満水のタンクの倒壊に端を発し、これにより LPG 配管が破損して火災となり、BLEVE により次々と隣接タンクが爆発して大規模火災に至った。

可燃性ガスタンクの流出爆発・火災により、周辺施設への延焼や周辺の可燃性ガスタンクの破損に至ることも考えられる。

図 6.1.5 に BLEVE による延焼拡大による災害シナリオを示す。

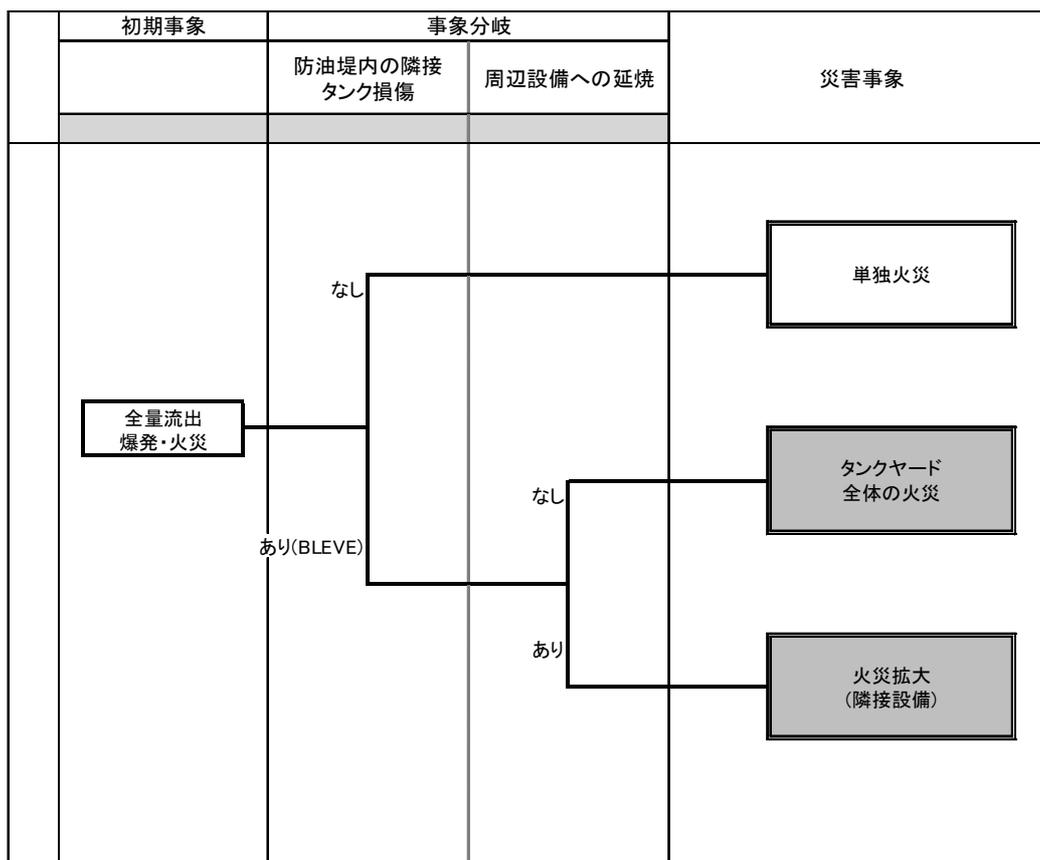


図 6.1.5 BLEVE による延焼拡大による災害シナリオ

³ 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。

6.2 危険物タンクの災害想定

6.2.1 防油堤から海上への流出による災害

平常時(通常操業時)の場合、流出油等防止堤により、石油類が事業所外へ流出する可能性は低い。また、地震時については、流出油等防止堤が堅牢でなければ、事業所外へ流出する可能性はある。しかしながら、液状化により防油堤が不等沈下し、防油堤の機能が損なわれた場合でも、排水処理設備が機能すれば、事業所外へ流出する可能性は低い。

本調査のため実施した事業所アンケート調査回答によれば、仙台、塩釜両地区の特定事業所において排水処理設備は設置されている。従って、前述の排水処理設備により石油類が海上へ流出する可能性は低いものと考えられる。

6.2.2 防油堤火災からの延焼拡大による災害

本評価では、同一防油堤の中に、準特定タンク（新基準未適合）があり、複数の危険物タンクが所在するものを対象に、タンクヤード全体の火災（防油堤内の全てのタンクの全面火災及び防油堤内の火災）が発生した場合の放射熱影響の算定を行った。

影響距離を定める基準については、周辺設備への延焼の可能性をはかるものとして、プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度（ 37.5kW/m^2 ）を用いた。

放射熱による影響範囲は、プロセス機器に被害を与える放射熱の基準値には達しないものの、防油堤に至近の場所では最大 20kW/m^2 程度の放射熱強度となる。これは火災時に発生する黒煙による放射発散度の低減が考慮されている値であるため、防油堤至近の施設への損傷・延焼の可能性は否定できない。

表 6.2.1 タンクヤード全体が火災に至るタンクヤード数、ヤード内タンク基数及び放射熱影響距離※

	タンクヤード数	ヤード内 タンク基数	防油堤至近の放射熱 強度 (kW/m^2)
仙台地区	0	0	-
塩釜地区	4	2	17.4
		8	15.0
		5	15.0
		5	6.9

※同一防油堤の中に、準特定タンク（新基準未適合）があり、複数の危険物タンクが所在するものを対象に、タンクヤード全体の火災（防油堤内の全てのタンクの全面火災及び防油堤内の火災）が発生することを想定したもの

6.3 可燃性ガスタンクの災害想定

6.1 においても記したが、大規模災害の発生危険度は極めて低いが、災害が拡大するため極めてその影響範囲が大きい。本評価では、発生危険度には言及せず、万一事故が発生した場合、どの程度の影響が生じるかを算定した。

指針では、東日本大震災で被災したタンクの状況から、個々のタンクが仕切られることなく1つの防液堤内に密集して設置されたものを BLEVE に至る危険性があるタンクとしている。仙台地区の可燃性ガスタンクは、個々のタンクが防液堤で仕切られており、本災害の発生の可能性は非常に低いと考えられる。

しかしながらここでは、万一これらのタンクにおいても BLEVE が発生した場合に災害影響がどの程度になるか、指針の評価手法に基づき算定した。

本評価では、タンクが破損して爆発・ファイヤーボールが発生したときの影響距離（放射熱及び爆風圧）、破損タンクの破片の飛散距離を算定した。

BLEVE が発生した場合、可燃性ガスタンクの爆風圧により、周辺の危険物タンクは破損し、着火した場合、周辺設備への延焼し、火災が拡大すると考えられる。

本評価では、BLEVE として、フラッシュ率⁴を考慮して算定を行った。ファイヤーボールの放射熱に対する影響距離については、ファイヤーボールを形成するガス量をフラッシュ率を貯蔵量に乗じた値ではなく、参考資料 1 にあるように安全率を考慮して Hasegawa and Sato⁵の文献を参考にフラッシュ率が 1/3 以上であれば全量、1/3 未満であればフラッシュ率の 3 倍のガス量がファイヤーボールに寄与すると仮定している。ここでは、個々のタンクの影響を考慮しているが、隣接タンクが次々と爆発するような事態において、長時間火災に曝される場合にはフラッシュ率はより大きくなる可能性がある。したがって、貯蔵温度が大気圧沸点以下で貯蔵されているタンクについては、今回対象外としたが、状況によっては BLEVE に至る可能性がある。

人に対する影響距離を定める基準について、放射熱では、30 秒で人体の皮膚に第 2 度の火傷を引き起こす熱量として、 4.5kW/m^2 を、爆風圧では、Clancey(1972)による「安全限界」(95%の確率で大きな被害はない)とされ、家の天井が一部破損する、窓ガラスの 10%が破壊されるとされる圧力 2.1kPa を基準値とした。

周辺施設に対する影響距離を定める基準については、放射熱では、周辺設備への延焼の可能性をはかるものとして、プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度 (37.5kW/m^2)、爆風圧では、Clancey(1972)による油貯槽が破裂、無筋建物、鋼板建物が破壊されるとされる圧力 28kPa を基準値とした。

表 6.3.1 に火災・爆発に至る可能性のある可燃性ガスタンクの基数と影響範囲を示す。

仙台地区において、人に対する放射熱、爆風圧、破損タンクの破片の飛散の影響は、石油コンビナート等特別防災区域外に及ぶ恐れがある。また、周辺施設に対する爆風圧の影響は、破損を引き起こし、破損タンクの破片の飛散により破損する恐れがある。

塩釜地区においては、人に対する放射熱、爆風圧、破損タンクの破片の飛散の影響は、石油コンビナート等特別防災区域外に及ぶ恐れがある。また、周辺施設に対する爆風圧の影響は、破損を引き起こし、破損タンクの破片の飛散により破損する恐れがある。

表 6.3.1 火災・爆発に至る可能性のある可燃性ガスタンク基数及影響距離※

	基数	周辺設備への延焼の可能性		人への影響		最大飛散距離 (m)
		放射熱 影響距離 (m)	爆風圧 影響距離 (m)	放射熱 影響距離 (m)	爆風圧 影響距離 (m)	
仙台地区	17	116~1,107	11~202	363~3,453	74~1,328	1,175~1,936
塩釜地区	3	204~369	32~68	634~1,151	211~448	1,252~1,372

※発生危険度は極めて低く、平常時では 10^{-7} 程度(10,000 施設で 1,000 年に 1 回)以下であり、極低頻度の事象を想定したものである。また影響範囲は個々のタンクの最大の影響を考慮したものである。

⁴ 沸点以上の温度で圧力をかけ液化したガスが、漏洩して瞬間的に気化する現象をフラッシュと呼び、その際の気化率をフラッシュ率という。

⁵ K. Hasegawa and K. Sato, "Study on the Fireball Following Steam Explosion of n-Pentan", Proc. of 2nd International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in Process Industries, 1977.