

茨城県石油コンビナート等
防災アセスメント調査報告書

平成 27 年 3 月

茨 城 県

茨城県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書

目 次

1. 調査内容	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査対象	1
1.3 調査データの収集・整理及び解析	2
1.4 調査内容	2
1.5 調査の実施手順	3
2. 防災アセスメントの基本概念	5
2.1 防災アセスメントの考え方	5
2.2 確率的なリスク評価の考え方	5
2.3 評価のレベル（評価の細かさ）	9
2.4 安全水準	9
3. 特別防災区域と評価対象施設	11
3.1 特別防災区域	11
3.2 評価対象施設	13
4. 平常時の事故を対象とした評価	18
4.1 災害の拡大シナリオの展開	18
4.2 災害の発生危険度（頻度）の推定	52
4.3 災害の影響度の推定	89
4.4 総合的な災害危険性の評価	126
5. 地震時（短周期地震動）による被害を対象とした評価	152
5.1 前提となる地震の想定	152
5.2 災害の拡大シナリオの展開	153
5.3 災害の発生危険度（確率）の推定	153
5.4 災害の影響度の推定	179
5.5 総合的な災害危険性の評価	179
6. 地震時（長周期地震動）による被害を対象とした評価	202
6.1 危険物タンクのスロッシング	202
6.2 消防法におけるスロッシング対策	203
6.3 東日本大震災のスロッシング被害状況	205
6.4 危険物タンクの余裕空間高さ	206
6.5 前提とする長周期地震動の想定	208
6.6 スロッシング最大波高及び溢流量の推定	213
6.7 スロッシングによる災害の危険性	224

6.8 災害の影響度の推定	225
7. 津波による被害を対象とした評価	227
7.1 東日本大震災における津波による被害の発生状況	227
7.2 前提となる地震の想定	230
7.3 津波による被害予測	233
8. 大規模災害による被害を対象とした評価	242
8.1 前提となる大規模災害の想定	242
8.2 高圧ガスタンクの爆発による災害	244
8.3 想定されるその他の大規模災害	251
9. 防災対策の基本的事項	256
9.1 検討にあたっての前提	256
9.2 評価結果のまとめ	263
9.3 事業所及び各地区における対策の実施	273
9.4 防災対策の要点	273

参考資料

資料1 コンビナート施設の事故・被害発生状況	291
資料2 災害影響の算定方法	295
資料3 コンビナート地区の気象条件	310
資料4 短周期地震動の想定について	315
資料5 津波被害の算定方法	318
資料6 石油タンクのスロッシングに伴う溢流量の算定方法	320
資料7 相模トラフ地震による水戸市と特別防災区域の 速度応答スペクトル比較	322
資料8 検討委員会構成員	323

1. 調査内容

1.1. 調査の目的

十勝沖地震や東日本大震災、近年全国において発生した災害等を踏まえて改訂された「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年3月改訂，消防庁特殊災害室）（以下「消防庁指針」という。）に示された手法に基づき、鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域の災害想定に係る防災アセスメント調査を実施し、防災対策の基本的事項について検討を行うものである。

1.2. 調査対象

(1) 対象とする災害

平常時及び地震時に特別防災区域内で発生する可能性のある漏洩、火災、爆発などの災害を対象とした。

なお、平常時は原則として運転中（可燃性物質や毒性物質の貯蔵・処理中）の事故を対象とし、地震時は短周期地震動（強震動及び液状化）、長周期地震動、津波による災害を対象とした。大規模災害については、平常時でも地震時でも起こりうるものと考え

- ① 平常時の事故
- ② 短周期地震動による被害
- ③ 長周期地震動による被害
- ④ 津波による被害
- ⑤ 大規模災害による被害

(2) 対象地区

- ① 高松地区
- ② 東部地区
- ③ 西部地区

(3) 対象施設

調査対象地区内に所在する以下の施設とした。

- ① 危険物タンク（屋外タンク貯蔵所）
- ② 高圧ガスタンク（可燃性または毒性ガスタンク）
- ③ 毒性液体タンク
- ④ プラント（危険物製造所、高圧ガス製造設備、高危混在施設、発電設備）
- ⑤ 海上入出荷施設（タンカー棧橋）
- ⑥ パイプライン（導配管）

1.3. 調査データの収集・整理及び解析

- ① 評価対象となる事業所・施設データ
(事業所や施設の配置、施設の属性等)
- ② 短周期地震動データ (地震動予測結果 (震度分布))
- ③ 長周期地震動データ (地震動予測波形)
- ④ 津波データ (津波予測結果 (津波浸水深))
- ⑤ 気象データ (測定局における過去10年間分の風向・風速等)
- ⑥ 全国の施設数及び全国で過去に発生した危険物・高圧ガスの事故データ
- ⑦ 危険物・高圧ガス等の物性データ

1.4. 調査内容

(1) 平常時の災害想定

平常時における調査対象施設に係る危険物の漏洩・火災、可燃性ガスの漏洩・火災・爆発、毒性ガスの漏洩・拡散等の事故を対象とした以下の評価を行った。

- ① 災害の拡大シナリオの展開
- ② 災害の発生危険度 (頻度) の推定
- ③ 災害の影響度の推定
- ④ 災害の発生危険度 (頻度) と影響度に基づいた総合的な評価による災害想定

(2) 地震時の災害想定

ア. 短周期地震動による被害を対象とした評価

既存の地震動予測結果を前提に、短周期地震動による被害 (可燃性液体の漏洩・火災、可燃性ガスの漏洩・火災・爆発、毒性ガスの漏洩・拡散等) を対象に上記(1)-①～④の評価を行った。

イ. 長周期地震動による被害を対象とした評価

長周期地震動の予測波形を基に、危険物タンク (屋外タンク貯蔵所) のスロッシング被害を対象として以下の評価を行った。

- ① スロッシング最大波高及び溢流量の推定
- ② 長周期地震動の特性とタンクの固有周期に基づいた災害危険性評価
- ③ 想定災害の影響評価

ウ. 津波による被害を対象とした評価

既存の津波被害想定調査結果を前提に、以下の評価を行った。

- ① 浸水による危険物タンクの被害 (浮き上がり及び滑動) の評価
- ② コンビナートが浸水した場合のその他の被害や影響の評価

(3) 大規模災害による被害を対象とした評価

発生危険性が極めて低いと考えられるものの発生した時の影響が甚大となると考えられる大規模災害について以下の評価を行った。

- ① 高圧ガスタンクの爆発（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破片の飛散）による災害の影響評価
- ② 防油堤等から海上への流出及び防油堤火災の延焼拡大の影響評価

(4) 防災対策の基本的事項の検討

(1)から(3)の防災アセスメントの調査・検討結果を基に、平常時、地震時、津波時及び大規模災害時において発生するおそれのある災害について整理し、災害の発生や拡大の防止、周辺地域への影響の低減、周辺住民の安全確保などの防災対策の基本的事項について検討した。

1.5. 調査の実施手順

調査の実施手順は、調査対象施設を抽出して貯蔵・取扱物質、形式・規模、取扱条件、防災設備等に関する基礎データを収集し、消防庁指針に従い平常時の事故、地震時（短周期地震動、長周期地震動及び津波）による被害、大規模災害による被害を対象とした評価を行った。

さらに、これらの評価結果を基に防災対策の要点について整理した。

このような調査の実施手順を図1.5.1 に示す。

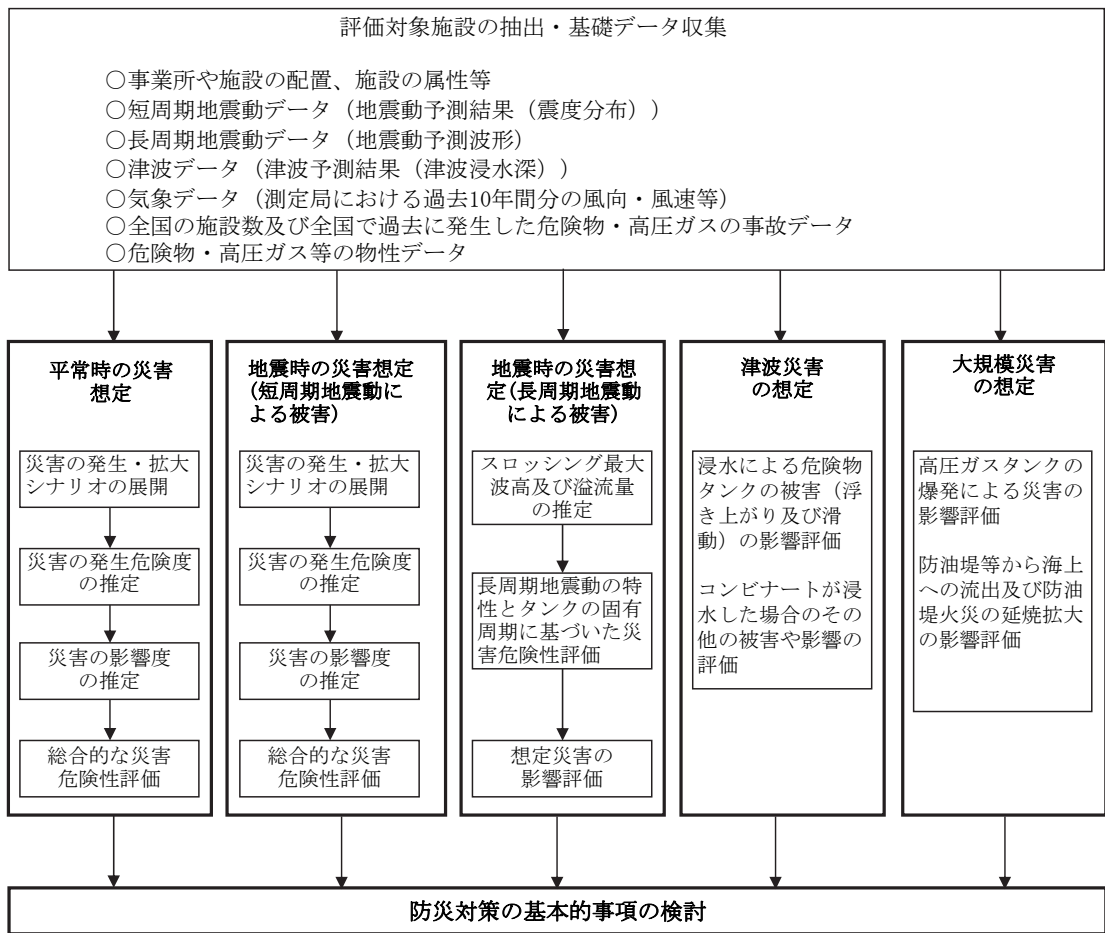


図1.5.1 調査の実施手順

2. 防災アセスメントの基本概念

消防庁指針に基づいた基本概念を以下に示す。

2.1. 防災アセスメントの考え方

防災アセスメントでは、まず対象とする石油コンビナート施設において平常時や地震時に起こり得る災害（大規模災害を含む）の発生と拡大のシナリオを描くことから始まる。シナリオは、災害の引き金となる事象（初期事象）を先頭に記し、これに続く災害の拡大様相を防災設備の成否等により分岐させたイベントツリー（Event Tree：ET）と呼ばれる図で表現する。このET図を基に、それぞれの災害の特性に応じて次のような定量評価を行い、防災計画策定において想定すべき災害の種類や規模を特定する。

○確率的なリスク評価：平常時の事故、短周期地震動による被害

○確定的な定量評価：長周期地震動による被害、津波による被害、大規模災害による被害

なお、本アセスメントの定量的評価は、簡易な手法の適用を前提とするもので、災害（シナリオ）によってはこれが困難なものもある。このような災害については、災害拡大シナリオを基に防災対策の要点を提示するにとどめた。

2.2. 確率的なリスク評価の考え方

平常時の事故、短周期地震動による被害において適用する確率的なリスク評価手法の概要は以下のとおりである。

2.2.1. リスクの概念

われわれはよく「危険」とその反対の「安全」という言葉を耳にする。危険か安全かは主観的なもので、ある人には安全と思われることでも別の人には危険と思われることもよくある。社会はしばしば絶対的な安全を要求するが、危険が全くないということは現実的にはあり得ない。

絶対安全が実現不可能であるとすれば、危険がどの程度であれば安全といえるか。このような評価を定量的に行うために、海外では「リスク」という概念がよく用いられる。リスクは、危険な事象（例えば事故）の発生危険度と発生したときの影響度の積として表わされ、一般的に次のように定義される。

$$R = \sum_i F_i \cdot C_i$$

ここで、

R ：評価対象とする系のリスク

F_i ：事象 i の発生危険度

C_i ：事象 i が発生したときの影響度

事象の発生危険度 (F_i) は確率又は頻度によって定量化される。確率は、N回の試行に対するある事象の出現回数をn回としたとき n/N として表され、0と1の間の無次元数(単位をもたない数)となる。頻度は、一定期間にある事象が出現する回数で、リスク評価では1年あたりの出現回数として「/年」という単位をつけて表されることが多い。事象によっては1年に1回以上出現するようなものも考えられ、確率のように0と1の間になるとは限らない。

リスク評価では、故障の発生確率や事故の発生頻度といった非常に小さな数値を扱うため、次のような指数表示がよく用いられる。

- 10^{-2} : 確率 → 100回に1回発生
頻度 → 100年に1回発生
- 5×10^{-3} : 確率 → 200回に1回発生
頻度 → 200年に1回発生
- 2×10^{-3} : 確率 → 500回に1回発生
頻度 → 500年に1回発生

一方、事象が発生したときの影響度 (C_i) に関しては、評価の目的に応じて放射熱や爆風圧等の物理的作用が被害を及ぼす範囲の大きさ、死者数や負傷者数等の人的被害、損害額等の経済的損失が用いられる。

2.2.2. 防災アセスメントにおけるリスク評価

茨城県の石油コンビナートの防災アセスメントにおいても、上記のようなリスクの概念を導入して評価を行い、災害の発生危険度と影響度の両面から災害危険性を総合的に評価することにより、想定災害の抽出や防災対策の優先度の検討を行った。このような手法はリスクマトリックスと呼ばれ、リスク評価においては多方面で用いられている。防災アセスメントにおけるリスク評価の概念を図2.2.1に示す。

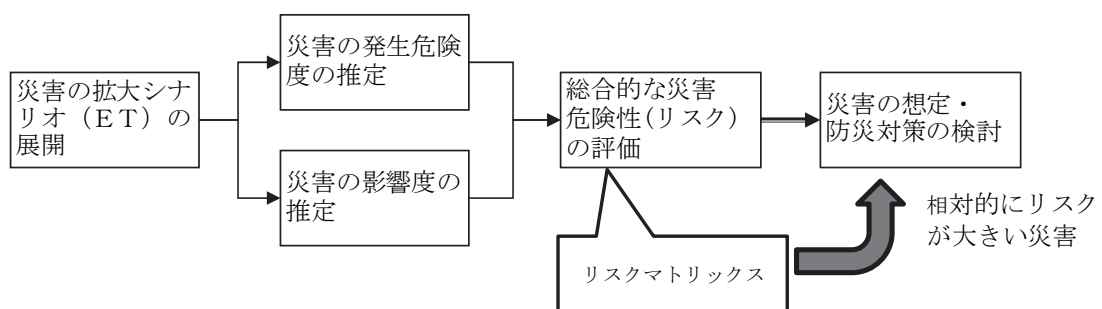


図2.2.1 防災アセスメントの実施手順

2.2.3. 確率的な評価手法

(1) イベントツリー解析

災害の発生危険度に関しては、確率的な安全評価手法の一つであるイベントツリー解析(Event Tree Analysis : ETA)を適用する。この手法は、事故の発端となる事象（初期事象）を見出し、これを出発点として事故が拡大していく過程を防災設備や防災活動の成否、火災や爆発などの現象の発生有無によって枝分かれ式に展開したイベントツリー (ET : 前述の災害拡大シナリオ) を作成して解析するものである。このETに初期事象の発生頻度（あるいは確率）と事象の分岐確率を与える事により、中間や末端に現れる災害事象がどの程度の頻度（あるいは確率）で起こりうるかを算出することができる。イベントツリーの概念を図2.2.2 に示す。

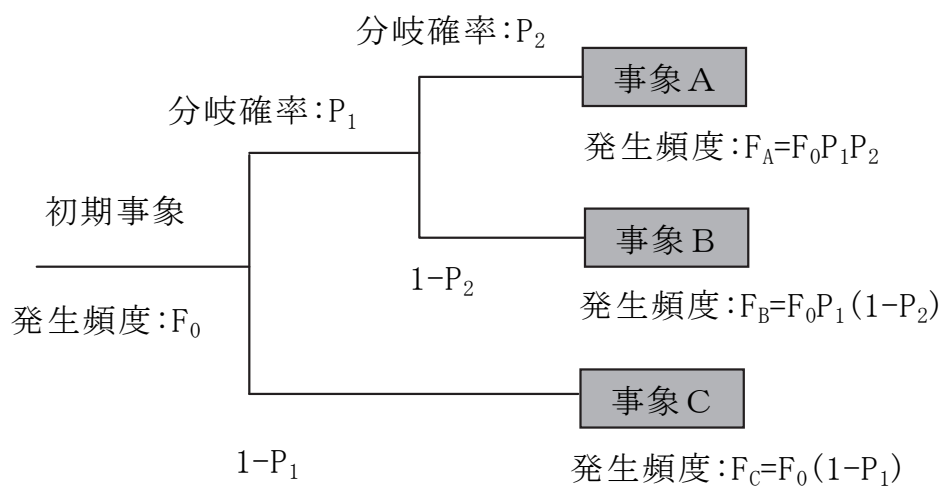


図2.2.2 イベントツリー (ET) の概念

(2) フォールトツリー解析

ETAにおける事象分岐確率（防災設備の作動失敗）の推定には、可能な範囲でフォールトツリー解析 (Fault Tree Analysis : FTA) と呼ばれる手法を用いる。この手法は、例えば「故障の発生」といった事象を頂上事象として設定し、その発生原因を機器・部品レベルまで次々と掘り下げ、原因とその結果を論理記号 (AND・OR) で結びつけてツリー状に表現するものである。フォールトツリーの概念を図2.2.3 に示す。

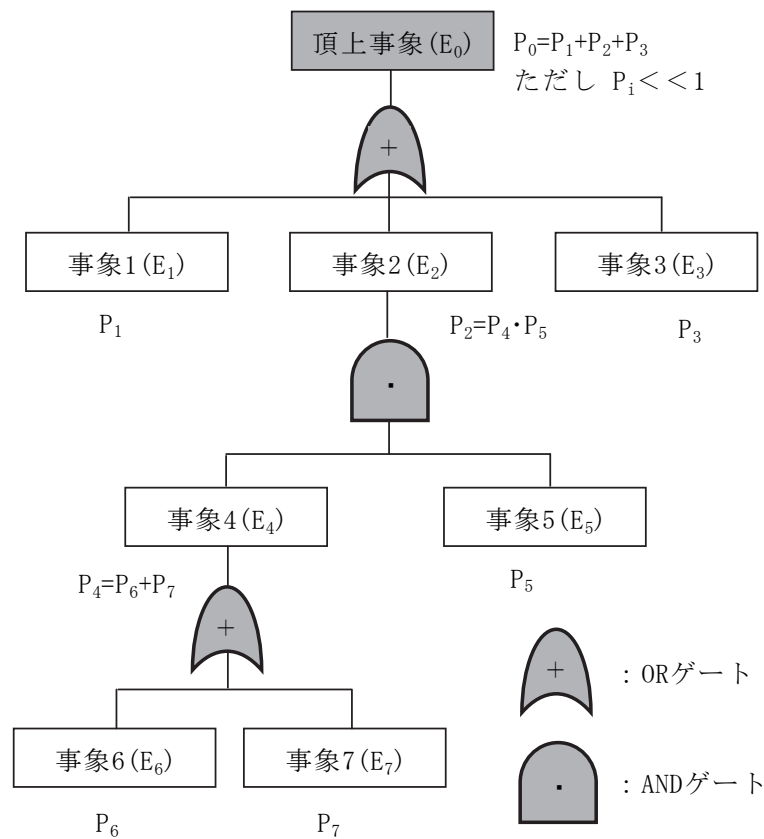


図2.2.3 フォールトツリー (FT) の概念

(3) リスクマトリックス

図2.2.4 に示すような、片方の軸に発生危険度、もう一方の軸に影響度をとったリスクマトリックスにより災害の危険度を総合的に評価し、想定すべき災害と防災対策の優先度を検討する。発生危険度と影響度のカテゴリ化（区分化）は評価の対象や目的によって任意に設定することになる。

被害の大きさ	大	リスク中	リスク大	リスク極大
	中	リスク小	リスク中	リスク大
	小	リスク極小	リスク小	リスク中
		小	中	大
		発生頻度 (確率)		

図2.2.4 リスクマトリックスの概念図

2.3. 評価のレベル（評価の細かさ）

消防庁指針に基づいた防災アセスメントは、茨城県の鹿島臨海地区石油コンビナートの特別防災区域を対象とするため、主要な施設に限ったとしても相当数の施設を評価する必要がある。これらの施設は細かく見ればすべて異なり、従って災害拡大シナリオ、あるいは初期事象の発生頻度や事象の分岐確率は個々の施設によってすべて異なる。例えば、製造プラントの潜在危険性の決定要因となりうる規模や構造、取り扱い物質の種類やプロセス条件等は1つ1つ異なり、ほとんど同じように見える石油タンクでも貯蔵物質の腐食性、配管の材質や太さなどによって漏洩事故の発生頻度は異なってくるであろう。

しかし現実問題として、数多くある施設の1つ1つに対してこのような細かい要因を取り入れてETAによる確率的評価を行う事は困難なため、災害の発生や拡大の様相がある程度共通とみなせるような施設群をひとまとめにしたマクロな評価を行った。ただし、災害の影響度は、個々の施設の位置やプロセス条件（取り扱い物質の性状、貯蔵量や滞留量、取り扱いの温度、圧力、相など）によって決まるため、可能な範囲でこれらを反映して評価する必要がある。

このようなことから、防災アセスメントを行った結果として石油コンビナート周辺地域が無視できない頻度で災害による重大な影響を受ける恐れがあり、かつ、発災時の応急対策が困難な場合には、必要に応じて影響元となる特定の施設を対象としたさらに詳細な防災アセスメントを実施し、この結果を基に施設の安全強化対策を検討する事が望ましい。この意味で、今回、茨城県が実施する防災アセスメントは主として行政が行うべき防災対策の重点事項を洗い出すための基礎的な評価であり、これにより直ちに事業所に多額のコストを要するハード面の対策を要求するものではない。

2.4. 安全水準

2.4.1. 平常時の事故

平常時については、全国的に採用されている安全水準として、 10^{-6} /年^aとした。これは、同種の施設100万基に対して、対象とする災害が1年間に1回発生する確率である。

2.4.2. 短周期地震動による被害

地震時（短周期地震動）については、地震の発生確率を考慮し、地震時の安全水準を 10^{-4} /地震とした。これは、想定地震が発生した場合に、同種の施設1万基に対して、対象とする災害が1回発生する確率である。

2.4.3. 長周期地震動による被害

地震時（長周期地震動）については、確率的な評価を実施せずに、スロッシングによる溢流の可能性のみを検討する。具体的には、危険物タンクの満液時のスロッシング固有周期を算出し、地震動予測波形を用いてコンビナートにおける長周期地震動の影響の大きさ

^a 井上威恭：社会的に許容される安全水準，高圧ガス，Vol. 17，No. 5，1980

(速度応答スペクトル)を推定する。また、速度応答スペクトルと危険物タンクのスロッシング固有周期からスロッシング最大波高を推定することで、溢流の可能性及び溢流量を評価する。また、タンク全面火災及び防油堤内全面火災の影響を定量的に評価する。そのため、安全水準は設定しない。

2.4.4. 津波による被害

津波時については、他自治体の石油コンビナート防災計画では確率的な評価例はない。本評価でも、確率的な評価は実施せず、想定される津波高さについての影響を定性的に評価する。ただし、危険物タンクについては、津波による流出量について定量的に評価する。そのため、安全水準は設定しない。

2.4.5. 大規模災害による被害

大規模災害の発災時については、他自治体の石油コンビナート防災計画では確率的な評価例はない。本評価でも、確率的な評価は実施せず、BLEVEによる災害の影響を定量的に評価する。そのため、安全水準は設定しない。

3. 特別防災区域と評価対象施設

3.1. 特別防災区域

茨城県鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域は、図3.1.1 に示すとおりである。

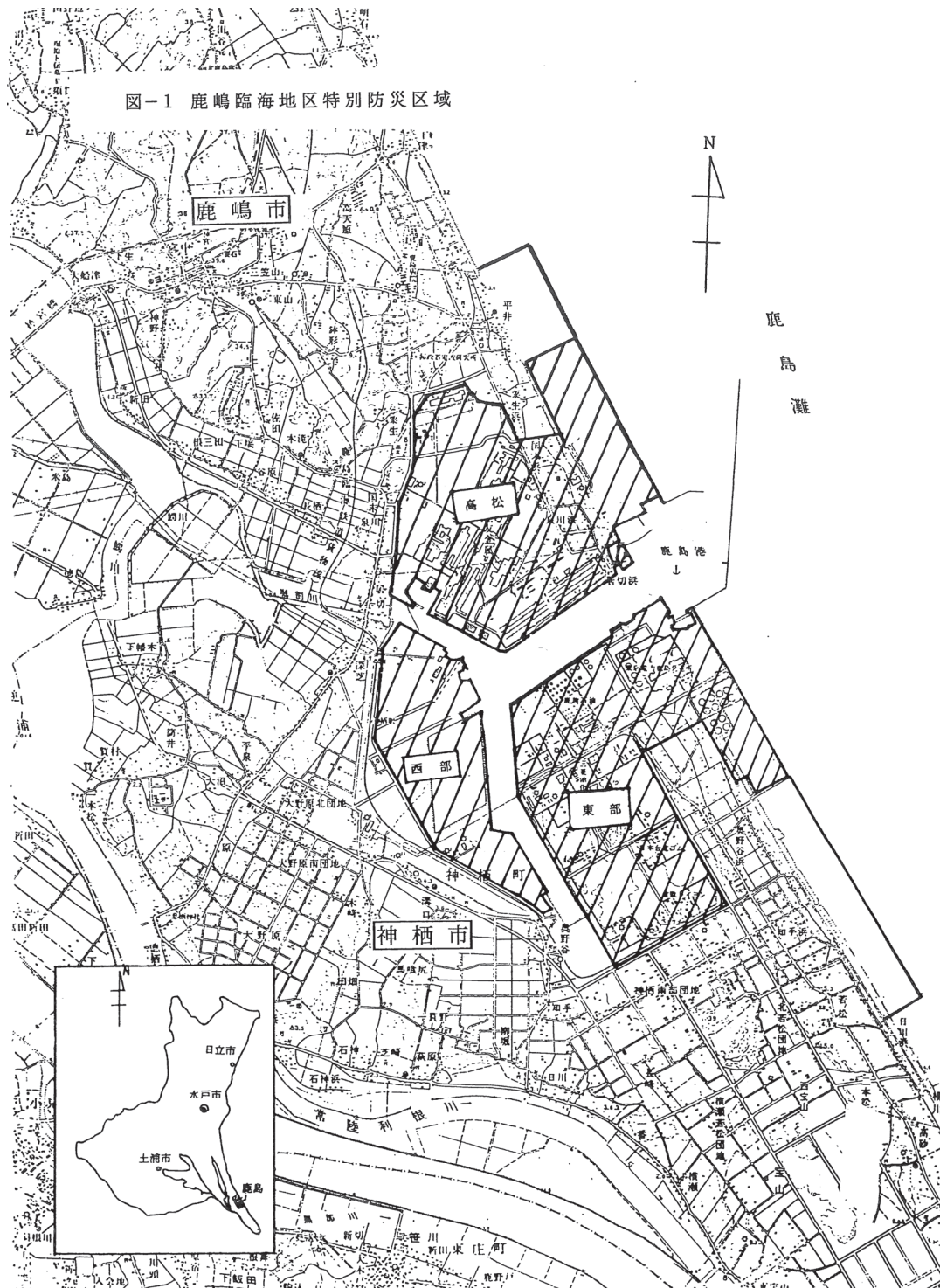


図 3.1.1 特別防災区域の位置

1km

特別防災区域における特定事業所の立地概況図を図3.1.2 に示す。

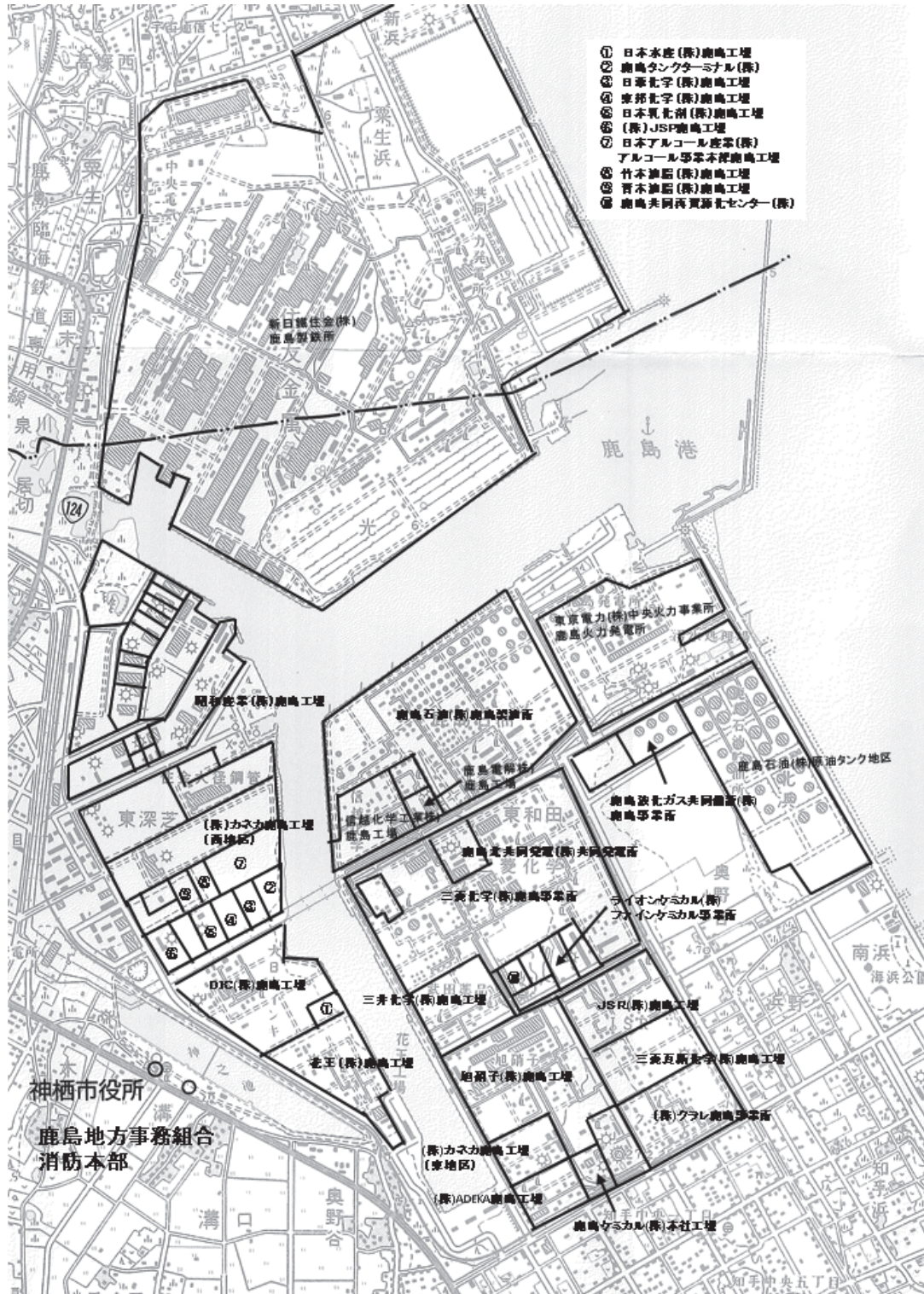


図3.1.2 特定事業所の立地概況図

1km

3.2. 評価対象施設

特定事業所が保有する以下の施設を対象として施設調査を行い、施設構造、危険物や高圧ガス等の貯蔵・取扱状況、防災設備の設置状況等に関するデータを収集した。

(1) 危険物タンク

- ① 第4類危険物を貯蔵した容量500k1以上の屋外タンク
- ② 表3.2.1 に該当する毒性危険物を貯蔵したすべての屋外貯蔵タンク
- ③ 容量 500k1未満の第4類危険物（毒性危険物除く）の屋外タンク（総施設数のみ把握）

(2) 高圧ガスタンク

- ① 可燃性ガスを貯蔵したすべてのタンク
（高圧ガス保安法に係る貯槽、電気事業法及びガス事業法に係る貯槽またはガスホルダー）
- ② 表3.2.1 に該当する毒性ガスを貯蔵したすべてのタンク

(3) 毒性液体タンク

表3.2.1 に該当する毒性物質で、危険物、高圧ガスのいずれにも該当しない毒性液体を貯蔵したすべてのタンク（プラント内の貯槽、小容量の容器等は除く）

(4) プラント

①～④に示す施設で、第4類危険物・可燃性ガス・表3.2.1 に該当する毒性物質のいずれかの取扱があるもの

- ① 危険物製造所
- ② 高圧ガス製造設備
- ③ 高圧混在施設
- ④ 発電設備（自家発電設備を除く）

(5) 海上入出荷施設（タンカー棧橋） ※総施設数のみ把握

- ① 石油タンカー棧橋（第1～4石油類）
- ② LPG タンカー棧橋
- ③ LNG タンカー棧橋

(6) パイプライン（導配管）

事業所間を結ぶ地上配管あるいは事業所内でも、離れた棧橋とタンクを結ぶ配管など、敷地外に出る地上配管（一部地下に埋設されているものを含む）で、以下に示すもの

- ① 石油配管（第1～4石油類）
- ② 高圧ガス導管（可燃性）

表3.2.1 毒性物質

石油コンビナート等災害防止法で指定された毒物・劇物	毒物	四アルキル鉛、シアン化水素、フッ化水素
	劇物	アクリロニトリル、アクロレイン、アセトンシアンヒドリン、液体アンモニア、エチレンクロルヒドリン、塩素、クロルスルホン酸、硅フッ化水素酸、臭素、発煙硝酸、発煙硫酸
その他の毒性物質		硫化水素、硫黄

施設調査により、評価対象施設として抽出された施設は、表3.2.2～表3.2.8 のとおりである。なお、休止中・建設中の施設も含む。

表3.2.2 評価対象施設の総数

(単位：施設)

施設 地区	危険物 タンク	高圧ガス タンク	毒性液体 タンク	プラント	タンカー 栈橋	パイプ ライン	計
高松	84	15	2	11	2	12	126
東部	628	151	15	111	30	57	992
西部	286	28	2	32	2	4	353
計	998	194	19	154	34	73	1,472

注) 危険物タンクは容量 1,000k1 未満の準特定タンク及び特定外タンクを含む。

表 3.2.3(1) 危険物タンクの数（可燃性）

(単位：基)

分類 地区	屋根形式	特定タンク (容量1,000k1 以上)	準特定タンク (容量500k1以上 1,000k1未満)	特定外タンク (容量500k1未満)	計
高松	固定屋根	7	4	69	81
	内部浮き蓋	1	0		
	浮き屋根	3	0	0	3
	その他	0	0	0	0
	小計	11	4	69	84
東部	固定屋根	97	48	369	530
	内部浮き蓋	15	1		
	浮き屋根	78	0	0	78
	その他	0	0	20	20
	小計	190	49	389	628
西部	固定屋根	8	11	257	276
	内部浮き蓋	0	0		
	浮き屋根	0	0	0	0
	その他	0	0	9	9
	小計	8	11	266	285
計		209	64	724	997

表3.2.3(2) 危険物タンクの数（毒性）

(単位：基)

物質名 地区	アクリロトリル	計
高松	0	0
東部	0	0
西部	1	1
計	1	1

表 3.2.4 高圧ガスタンクの数

(単位：基)

地区・物質名		貯蔵量				計
		100t未満	100t 以上 1,000t未満	1,000t 以上 10,000t未満	10,000t 以上	
高松	アンモニア	3	0	0	0	3
	その他可燃性	9	1	2	0	12
	小計	12	1	2	0	15
東部	アンモニア	5	0	0	0	5
	塩素	4	6	0	0	10
	その他可燃性	22	41	56	17	136
	小計	31	47	56	17	151
西部	アンモニア	1	0	0	0	1
	その他可燃性	27	0	0	0	27
	小計	28	0	0	0	28
計		71	48	58	17	194

表 3.2.5 毒性液体タンクの数

(単位：基)

地区・物質名		貯蔵量		計
		100 t 未満	100 t 以上	
高松	フッ化水素	2	0	2
	小計	2	0	2
東部	液体アンモニア	1	0	1
	フッ化水素	1	2	3
	硫化水素	7	0	7
	臭素	4	0	4
	小計	13	2	15
西部	硫酸	1	0	1
	臭素	1	0	1
	小計	2	0	2
計		17	2	19

注) フッ化水素はフッ化水素酸を含む。

表3.2.6 プラントの数

(単位：施設)

施設区分 地区	製造施設	発電施設	計
高松	8	3	11
東部	99	12	111
西部	32	0	32
計	139	15	154

注1) 製造施設：危険物製造所、高圧ガス製造設備、高圧混在施設

注2) 発電施設：自家発電施設を除く。

表3.2.7 海上入出荷施設（タンカー棧橋）の数

(単位：施設)

取扱種別		高松	東部	西部	計
石油	施設数	1	25	2	28
	年間使用回数	457	4,399	40	4,896
	年間使用頻度	457	176	20	175
LPG	施設数	1	5	0	6
	年間使用回数	1	449	0	450
	年間使用頻度	1	90	-	75
LNG	施設数	0	0	0	0
	年間使用回数	0	0	0	0
	年間使用頻度	-	-	-	-
計	施設数	2	30	2	34
	年間使用回数	458	4,848	40	5,346
	年間使用頻度	229	162	20	157

注) 年間使用頻度の単位は、[回/（施設・年）]である。

表3.2.8 パイプライン（導配管）の数

(単位：施設)

施設区分 地区	石油配管 (第1～4石油類)	高圧ガス導管 (可燃性)	計
高松	10	2	12
東部	17	40	57
西部	4	0	4
計	31	42	73

注) 地中配管及び構内配管は除く。

4. 平常時の事故を対象とした評価

消防庁指針に記載されている手法を用いて、平常時の被害を対象とした評価を実施した。

各対象施設について、平常時における災害の発生危険度（発生確率）及び影響度（影響距離）を計算した。さらに、発生危険度及び影響度の結果を基に、総合的な災害危険性評価（リスクマトリックスによる評価）を行った。

4.1. 災害の拡大シナリオの展開

ここでは、イベントツリー解析（ETA）の手法を用い、災害の発生・拡大シナリオの想定を行った。評価に当たっては対象施設を図 4.1.1 のように分類し、施設区分ごとに、評価対象施設で考えられる初期事象と事象分岐を設定し、イベントツリー（ET）を展開して出現し得る災害事象を抽出した。なお、ET では災害の拡大様相に大きく影響を与えるものだけを取り入れているため、実際の災害の拡大とその対応は必ずしも ET とは一致しない。

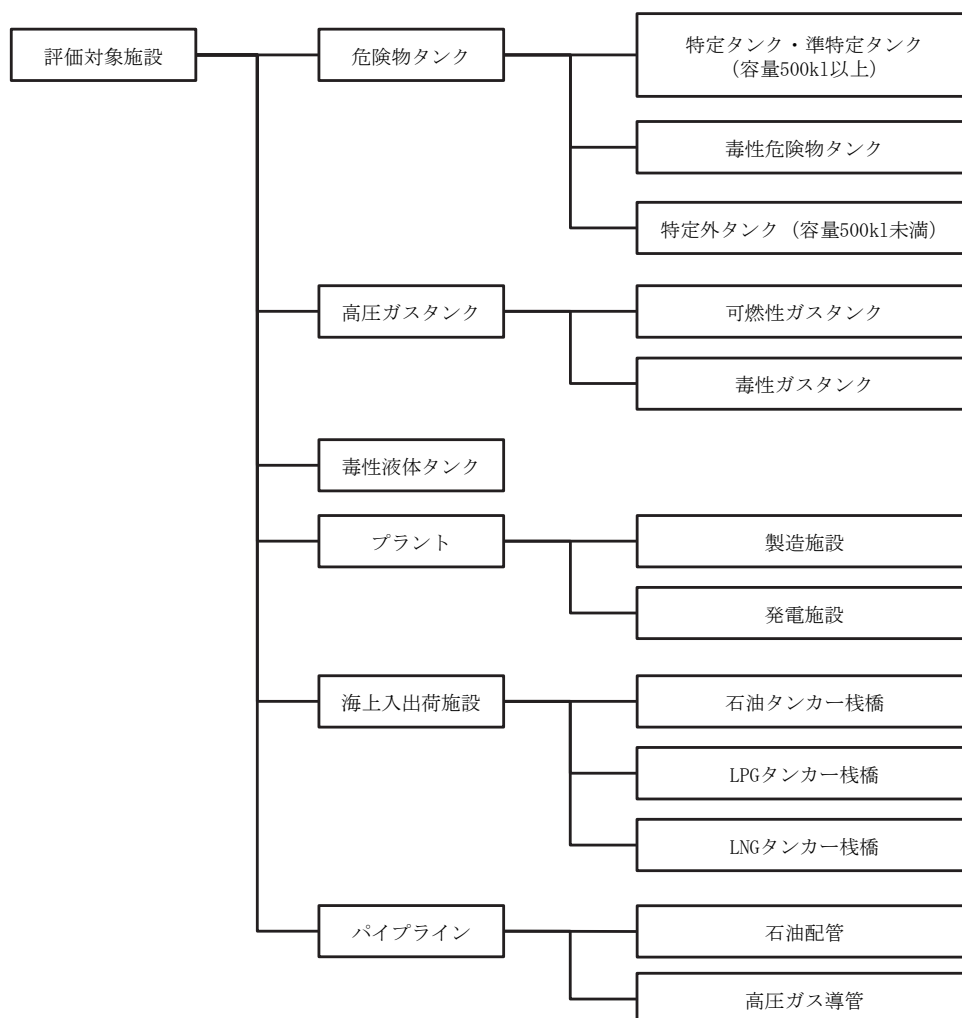


図 4.1.1 評価対象施設の区分

4.1.1. 危険物タンク

(1) 初期事象・事象分岐

初期事象は危険物の漏洩とタンク屋根の出火とした。危険物の漏洩に関する事象分岐の設定を表 4.1.1、タンク屋根の出火に関する事象分岐の設定を表 4.1.2 に示す。危険物の漏洩の様相については、発生箇所や規模によって4通り(IE1～IE4)に分け、タンク屋根の出火については屋根型式別に2通り(IE5、IE6)に分けて設定した。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、危険物の漏洩に関して8通り(B1～B8)を選定し、タンク屋根の出火に関して3通り(B9～B11)を設定した。

表 4.1.1 危険物タンクにおける事象分岐の設定（危険物の漏洩）

事象分岐	IE1：配管の小破による漏洩	IE2：配管の大破による漏洩	IE3：タンク本体の小破による漏洩	IE4：タンク本体の大破による漏洩
B1：緊急遮断	○	○		
B2：バルブ手動閉止	○			
B3：一時的な流出拡大防止	○		○	
B4：緊急移送	○		○	
B5：仕切堤	○	○	○	
B6：防油堤	○	○	○	○
B7：着火	○	○	○	○
B8：蒸発・拡散防止（毒性）	○	○	○	○

注1) タンク本体の破損は底部の破損を考え、配管に付けられた緊急遮断弁あるいは受払元弁よりタンク側の破損はタンク本体に含めて考える。

注2) 緊急遮断（B1）は、遠隔操作による緊急遮断弁又は元弁の閉止を意味する。

注3) 一時的な流出拡大防止（B3）は、土嚢で囲って回収するなどの一時的な措置で、「小破」の場合には機能すると考えられる。

注4) タンクによっては該当設備がないものもある（緊急遮断弁や仕切堤など）。

表 4.1.2 危険物タンクにおける事象分岐の設定（タンク屋根の出火）

事象分岐	IE5：浮き屋根シール部での出火（浮き屋根式タンク）	IE6：タンク屋根での出火（固定屋根式タンク）
B9：消火設備・消火活動	○	○
B10：浮き屋根沈降	○	
B11：ボイルオーバー	○	○

(2) 災害事象の設定と ET の展開

災害事象として、流出火災とタンク火災を設定し、毒性液体の場合は毒性ガス拡散も設定した。各災害事象の設定は表 4.1.3 に示すとおりである。また、流出火災の ET を図 4.1.2～図 4.1.4 に、タンク火災の ET を図 4.1.5、図 4.1.6 に、毒性ガス拡散の ET を図 4.1.7～図 4.1.9 にそれぞれ示す。

なお、実際には、「漏洩検知」から「緊急遮断 (B1)」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.3 危険物タンクの災害事象の設定

種別	災害事象	様相
流出火災	DE1：小量流出・火災	可燃性液体が漏洩し、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で着火して火災となる。
	DE2：中量流出・火災	漏洩停止が遅れ、流出がしばらく継続して停止する。タンク周辺で着火して火災となる。
	DE3：仕切堤内流出・火災	漏洩停止が遅れ、または漏洩を停止することができず、流出油が仕切堤内に拡大し、仕切堤内で火災となる。
	DE4：防油堤内流出・火災	流出油が仕切堤を超えて拡大し、防油堤内で火災となる（仕切堤がない場合も含む）。
	DE5：防油堤外流出・火災	流出油が防油堤外に拡大し、火災となる。
タンク火災	DE6：タンク小火災	タンク屋根で火災が発生し、消火設備により短時間で消火される。
	DE7：リング火災（浮き屋根式タンク）	火災の消火に失敗し、浮き屋根シール部でリング状に拡大する。
	DE8：タンク全面火災	火災がタンク全面に拡大する。
	DE9：タンク全面・防油堤火災	火災がタンク全面に拡大し、ボイルオーバーにより防油堤内に拡大する。
毒性ガス拡散	DE10：小量流出・拡散	毒性液体が漏洩し、タンク周辺で形成したプールから毒性ガスが拡散する。緊急遮断により短時間で停止する。
	DE11：中量流出・拡散	漏洩停止が遅れ、流出がしばらく継続して停止する。タンク周辺で形成したプールから毒性ガスが拡散する。
	DE12：仕切堤内流出・拡散	漏洩停止が遅れ、または漏洩を停止することができず、毒性液体が仕切堤内に拡大し、仕切堤内から毒性ガスが拡散する。
	DE13：防油堤内流出・拡散	毒性液体が仕切堤を超えて拡大し、防油堤内から毒性ガスが拡散する（仕切堤がない場合も含む）。
	DE14：防油堤外流出・拡散	毒性液体が防油堤外に拡大し、毒性ガスが拡散する。

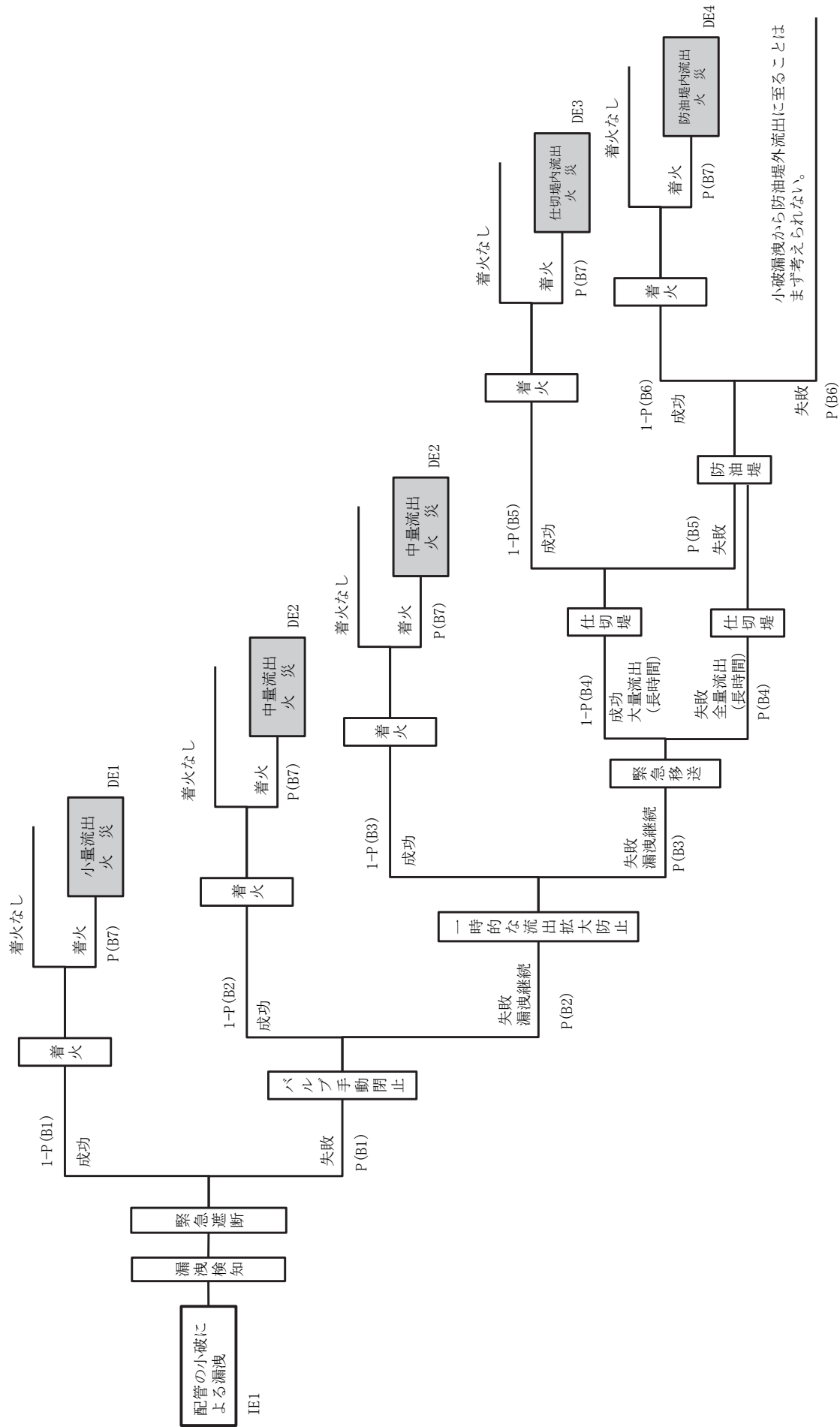


図 4.1.2 危険物タンク（可燃性）の災害拡大イベントツリー（配管の小破による漏洩）

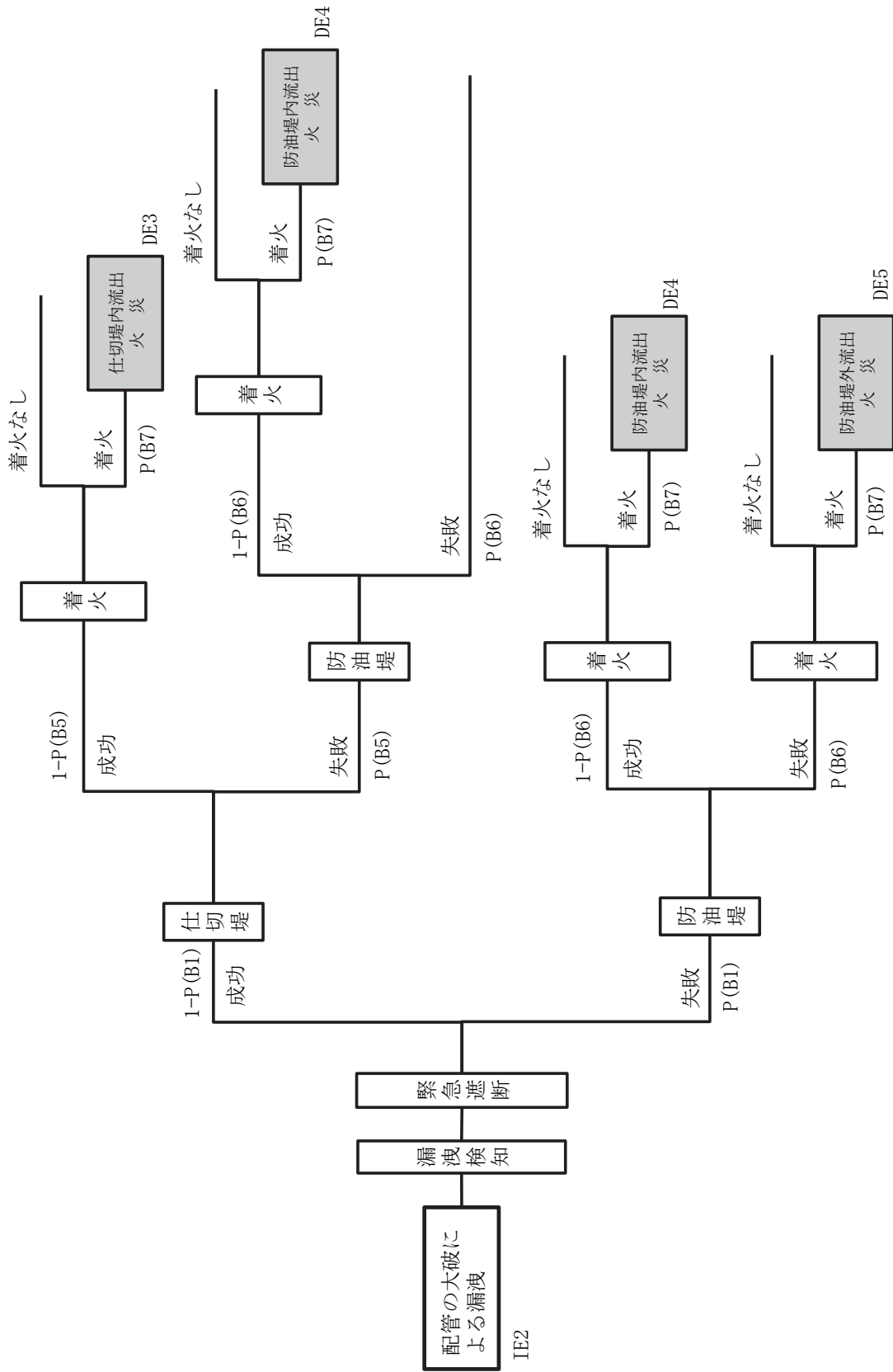


図 4.1.3 危険物タンク（可燃性）の災害拡大イベントツリー（配管の大破による漏洩）

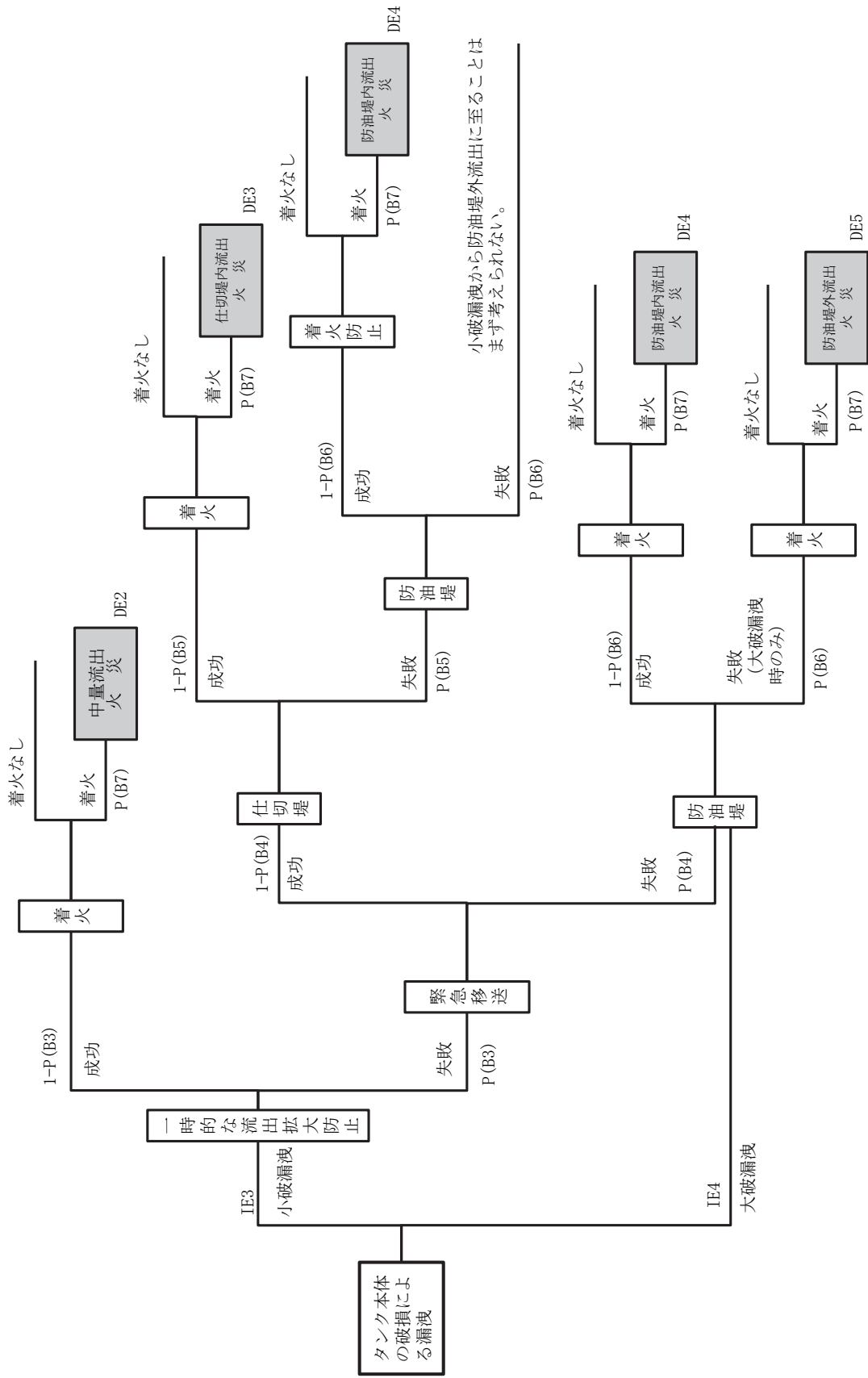


図 4.1.4 危険物タンク（可燃性）の災害拡大イベントツリー（タンク本体の破損による漏洩）

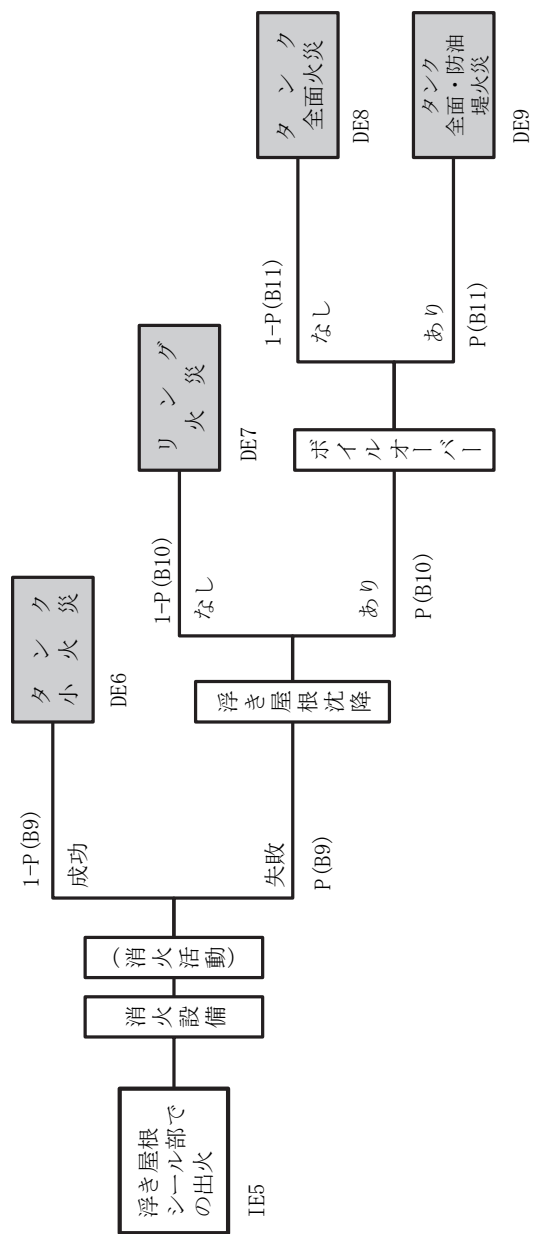


図 4.1.5 危険物タンク (可燃性) の災害拡大イベントツリー (タンク屋根の火災・浮き屋根式)

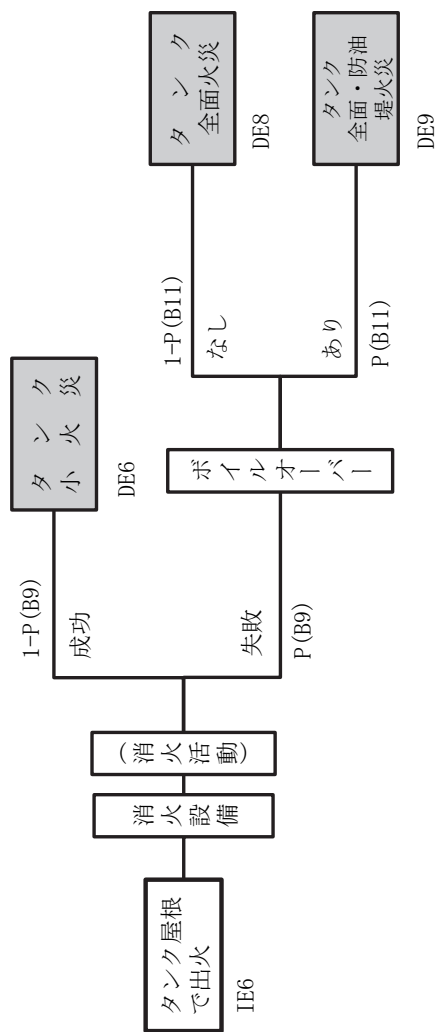


図 4.1.6 危険物タンク (可燃性) の災害拡大イベントツリー (タンク屋根の火災・固定屋根式)

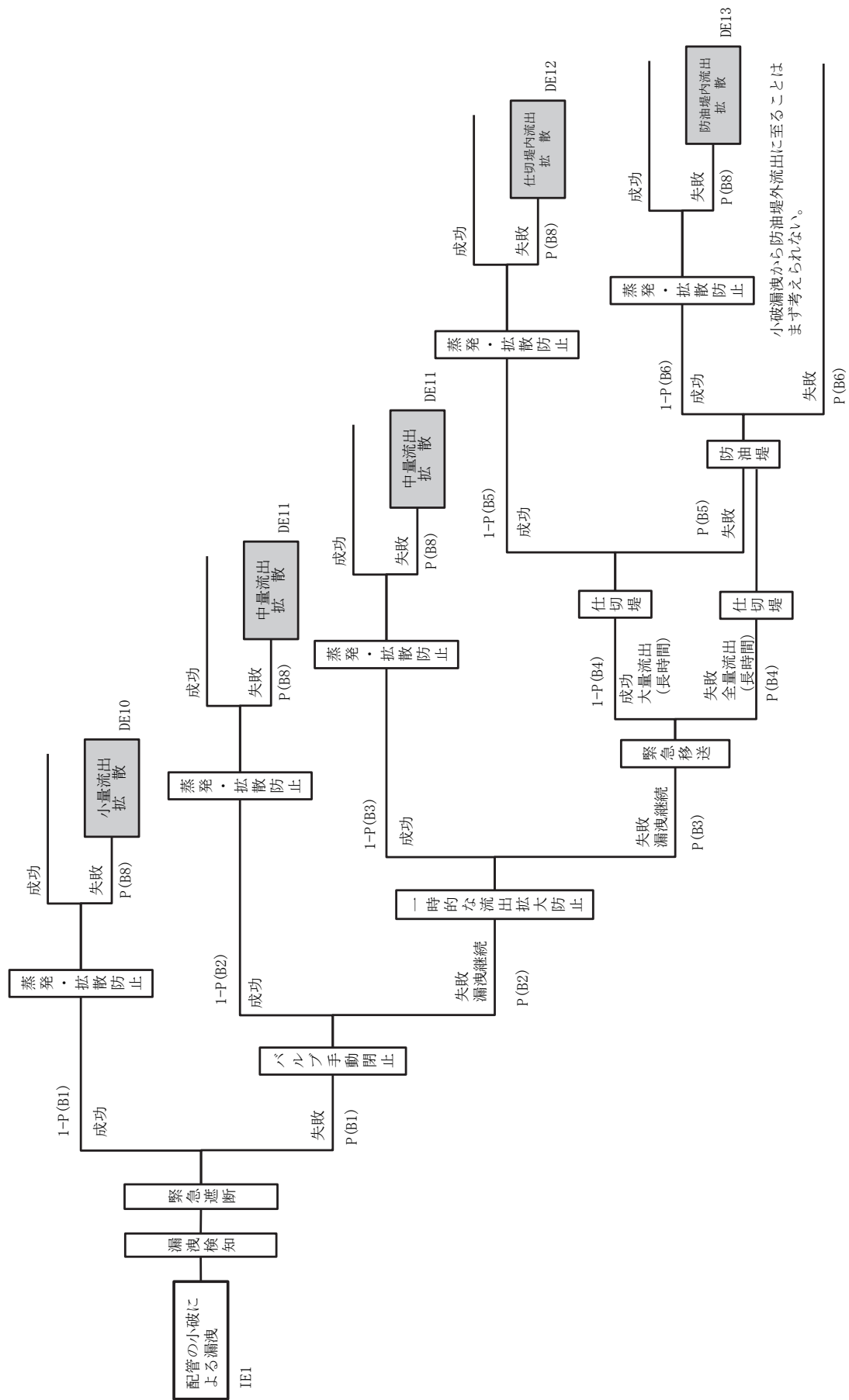


図 4.1.7 危険物タンク（毒性）の災害拡大イベントツリー（配管の小破による漏洩）

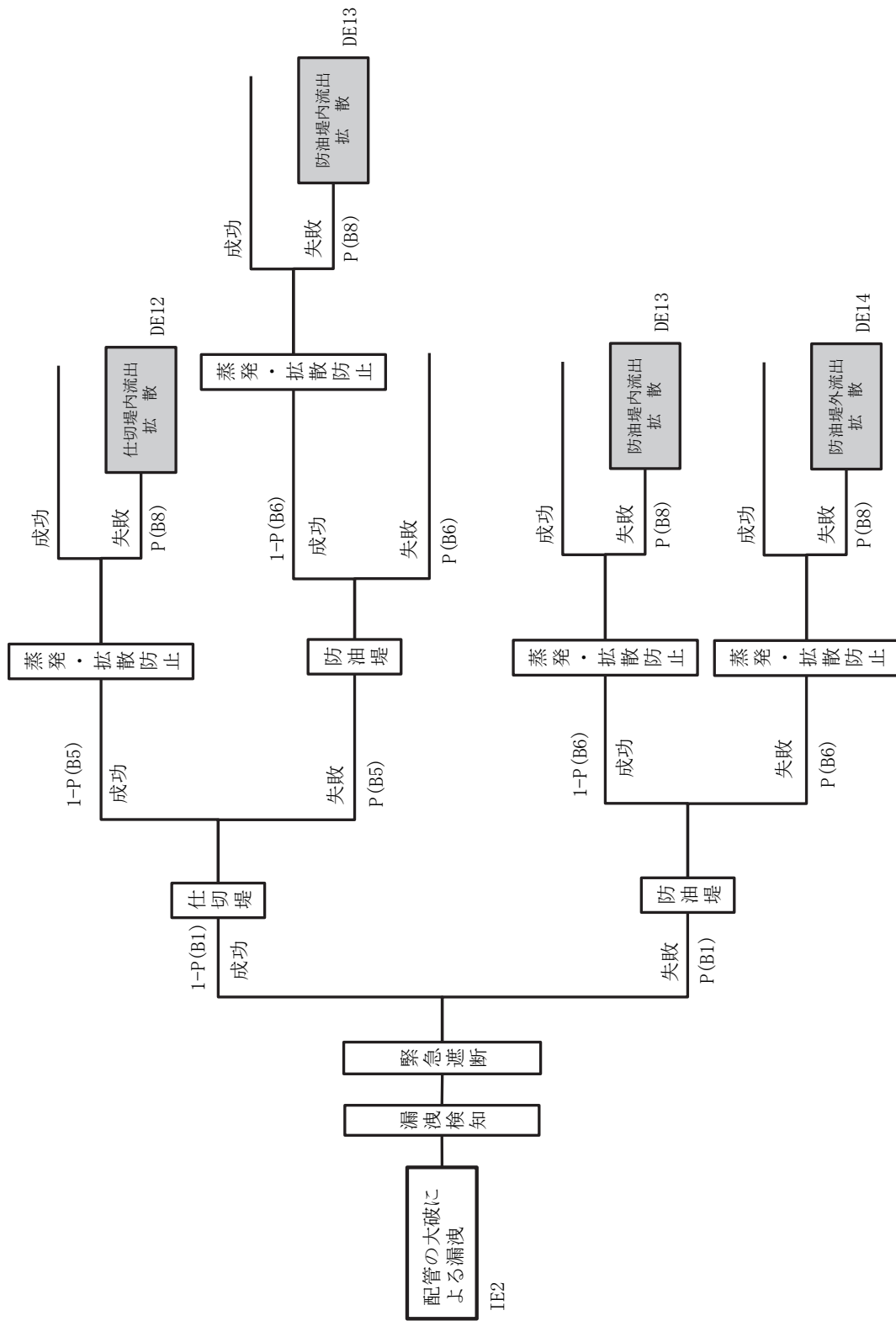


図 4.1.8 危険物タンク（毒性）の災害拡大イベントツリー（配管の大破による漏洩）

4.1.2. 高圧ガスタンク

(1) 初期事象・事象分岐

初期事象はガスの漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.4 に示す。ガスの漏洩の様相については、発生箇所や規模によって4通り(IE1～IE4)に分けて設定した。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、6通り(B1～B6)を設定した。

表 4.1.4 高圧ガスタンクにおける事象分岐の設定

事象分岐	IE1：配管の小破による漏洩	IE2：配管の大破による漏洩	IE3：タンク本体の小破による漏洩	IE4：タンク本体の大破による漏洩
B1：緊急遮断	○	○		
B2：バルブ手動閉止	○			
B3：緊急移送	○		○	
B4：防液堤（可燃性ガス）		○		○
B5：蒸発・拡散防止	○		○	
B6：着火（可燃性ガス）	○	○	○	○

注1) タンク本体の破損は底部の破損を考え、配管に付けられた緊急遮断弁あるいは受払元弁よりタンク側の破損はタンク本体に含めて考える。

注2) 緊急遮断（B1）は、遠隔操作による緊急遮断弁又は元弁の閉止を意味する。

注3) 大破漏洩の場合、蒸発・拡散防止（B5）は殆ど機能しないと考えられる。

注4) タンクによっては該当設備がないものもある（緊急遮断弁や防液堤など）。

(2) 災害事象の設定とETの展開

災害事象として、可燃性ガスの場合は爆発火災を、毒性ガスの場合は毒性ガス拡散をそれぞれ想定した。各災害事象の設定は表 4.1.5 に示すとおりである。また、爆発火災のETを図 4.1.10～図 4.1.12 に、毒性ガス拡散のETを図 4.1.13、図 4.1.14 にそれぞれ示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急遮断（B1）」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.5 高圧ガスタンクの災害事象の設定

種別	災害事象	様相
爆発火災	DE1：小量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、緊急遮断により短時間で停止する。漏洩したガスに着火して火災または爆発が発生する。
	DE2：中量流出・爆発火災	漏洩停止が遅れ、漏洩はしばらく継続して停止する。漏洩したガスに着火して火災または爆発が発生する。
	DE3：大量流出・爆発火災	長時間にわたって大量に漏洩する。漏洩したガスに着火して火災または爆発が発生する。
	DE4：全量流出（長時間）・爆発火災	長時間にわたって全量が漏洩する。漏洩したガスに着火して火災または爆発が発生する。
	DE5：全量流出（短時間）・爆発火災	大破漏洩により短時間に全量が漏洩する。漏洩したガスに着火して火災または爆発が発生する。
毒性ガス拡散	DE6：小量流出・拡散	毒性ガスが漏洩して大気中に拡散する。漏洩は緊急遮断により短時間で停止する。
	DE7：中量流出・拡散	毒性ガスが漏洩して大気中に拡散する。漏洩停止が遅れ、漏洩はしばらく継続する。
	DE8：大量流出・拡散	長時間にわたって大量に漏洩して拡散する。
	DE9：全量流出（長時間）・拡散	長時間にわたって全量が漏洩して拡散する。
	DE10：全量流出（短時間）・拡散	大破漏洩により短時間に全量が漏洩して拡散する。

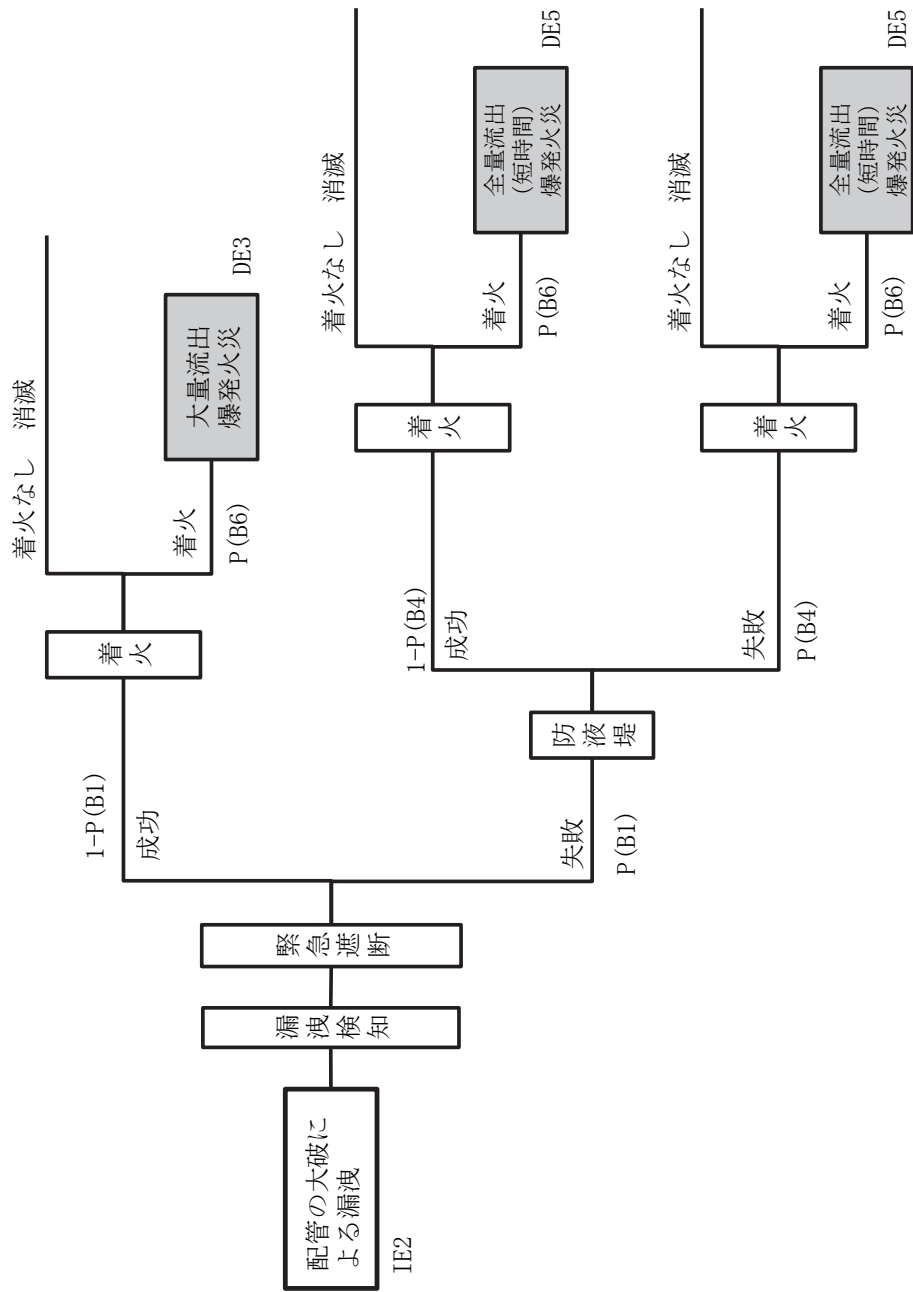


図 4.1.11 高圧ガスタンク（可燃性）の災害拡大イベントツリー（配管の大破による漏洩）

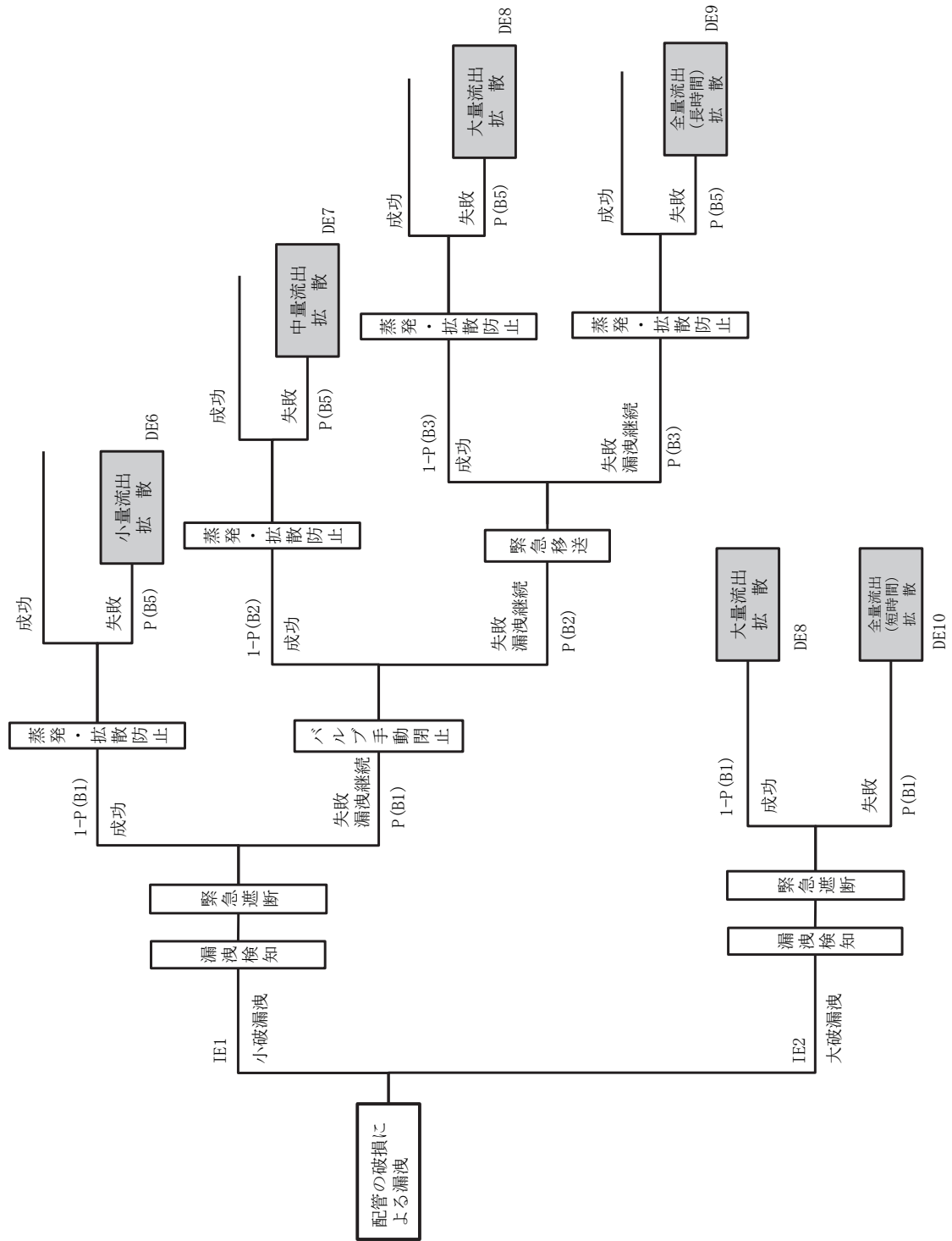


図 4.1.13 高圧ガスタンク（毒性）の災害拡大イベントツリー（配管の破損による漏洩）

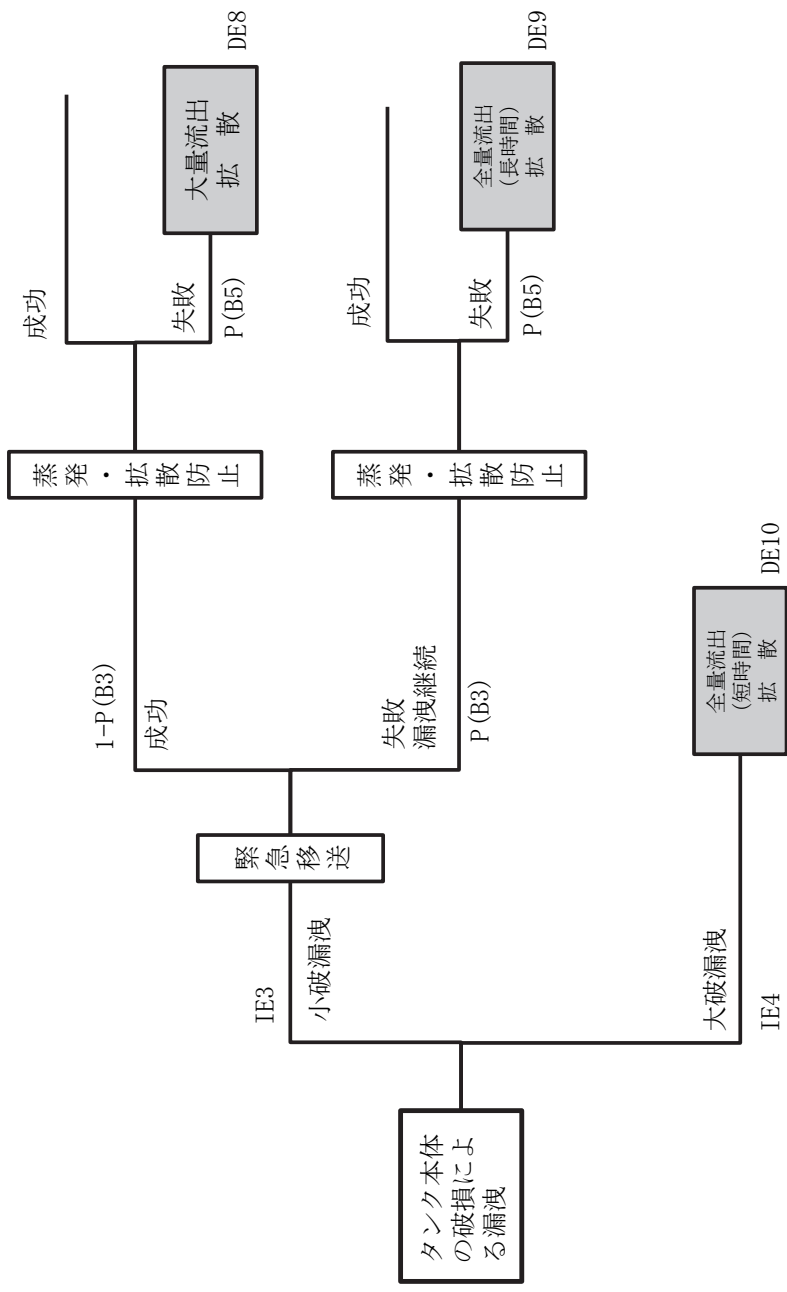


図 4.1.14 高圧ガスタンク (毒性) の災害拡大イベントツリーの災害拡大イベントツリーの破損による漏洩

4.1.3. 毒性液体タンク

(1) 初期事象・事象分岐

初期事象は毒性液体の漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.6 に示す。毒性液体の漏洩の様相については、発生箇所や規模によって4通り (IE1～IE4)に分けて設定した。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、4通り (B1～B4)を設定した。

表 4.1.6 毒性液体タンクにおける事象分岐の設定

事象分岐	IE1:配管の小破による漏洩	IE2:配管の大破による漏洩	IE3:タンク本体の小破による漏洩	IE4:タンク本体の大破による漏洩
B1:緊急遮断	○	○		
B2:バルブ手動閉止	○			
B3:緊急移送	○		○	
B4:蒸発・拡散防止	○		○	

注1) タンク本体の破損は底部の破損を考え、配管に付けられた緊急遮断弁あるいは受払元弁よりタンク側の破損はタンク本体に含めて考える。

注2) 緊急遮断 (B1) は、遠隔操作による緊急遮断弁又は元弁の閉止を意味する。

注3) 大破漏洩の場合、蒸発・拡散防止 (B4) は殆ど機能しないと考えられる。

注4) タンクによっては該当設備がないものもある (緊急遮断弁など)。

(2) 災害事象の設定と ET の展開

災害事象として、毒性ガスの拡散を想定した。各災害事象の設定は表 4.1.7 に示すとおりである。

また、ET を図 4.1.15、図 4.1.16 にそれぞれ示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急遮断 (B1)」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.7 毒性液体タンクの災害事象の設定

災害事象	様相
DE1:小量流出・拡散	毒性液体が漏洩・蒸発して大気中に拡散する。漏洩は緊急遮断により短時間で停止する。
DE2:中量流出・拡散	毒性液体が漏洩・蒸発して大気中に拡散する。漏洩停止が遅れ漏洩はしばらく継続する。
DE3:大量流出・拡散	長時間にわたって大量に漏洩・蒸発して拡散する。
DE4:全量流出 (長時間)・拡散	長時間にわたって全量が漏洩・蒸発して拡散する。
DE5:全量流出 (短時間)・拡散	大破漏洩により短時間に全量が漏洩・蒸発して拡散する。

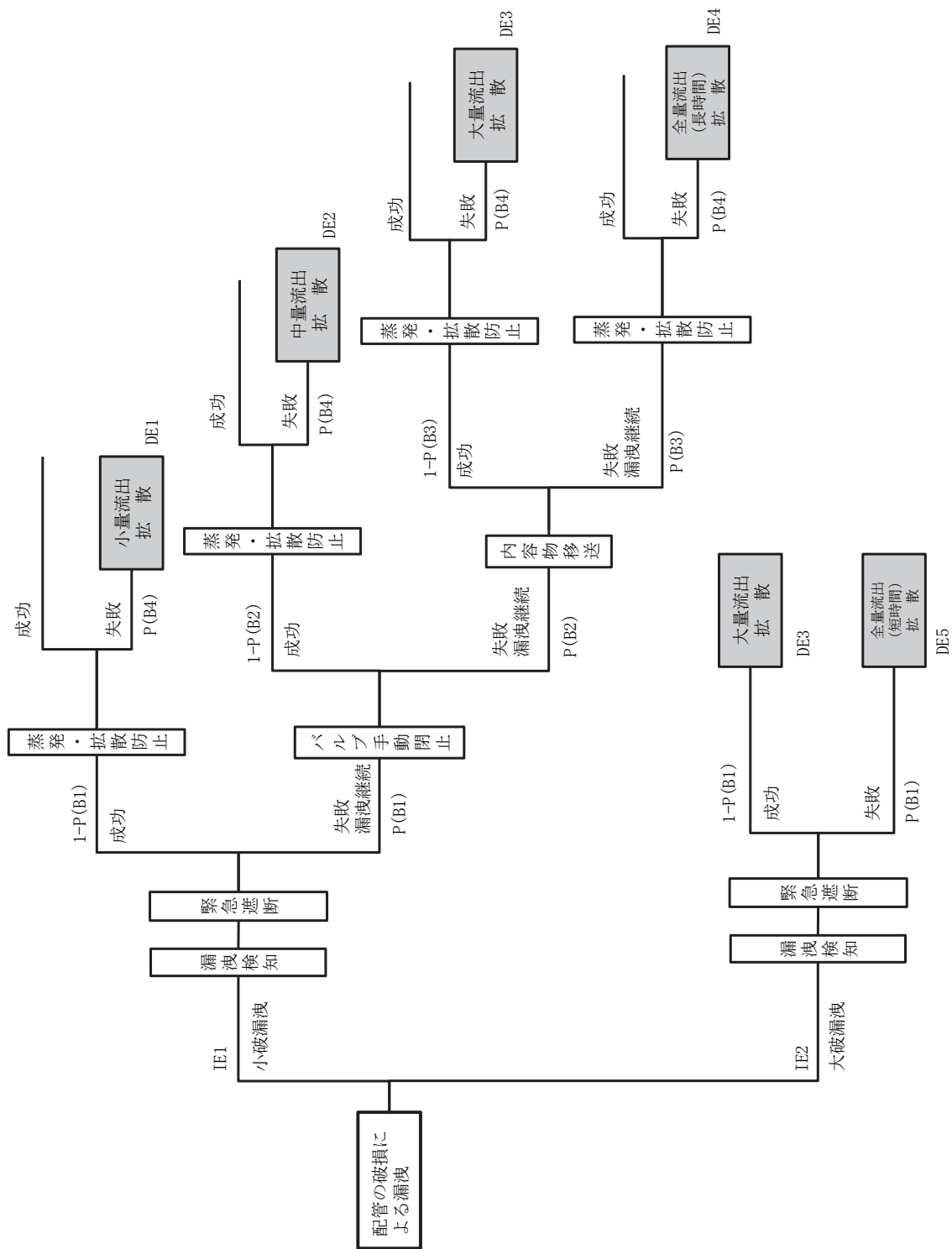


図 4.1.15 毒性液体タンクの災害拡大イベントツリー (配管の破損による漏洩)

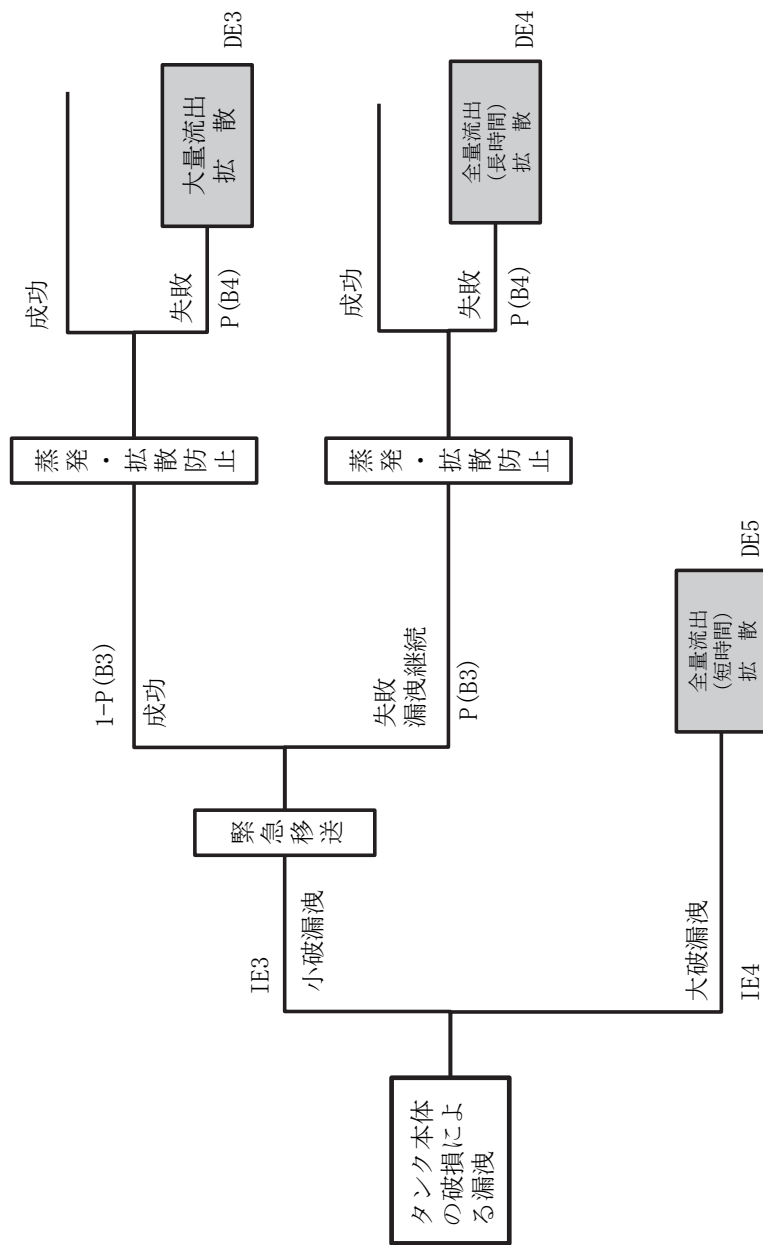


図 4.1.16 毒性液体タンクの災害拡大イベントツリー (タンク本体の破損による漏洩)

4.1.4. プラント

(1) 製造施設

1) 初期事象・事象分岐

初期事象は装置の破損による内容物の漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.8 に示す。装置の破損による内容物の漏洩の様相については、規模によって2通り(IE1、IE2)に分けて設定した。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、4通り(B1～B4)を設定した。

表 4.1.8 製造施設における事象分岐の設定

事象分岐	IE1：装置の小破による漏洩	IE2：装置の大破による漏洩
B1：緊急停止・遮断	○	○
B2：緊急移送（内容物処理）	○	
B3：着火（可燃性）	○	○
B4：蒸発・拡散防止（毒性）	○	

注1) 緊急停止・遮断（B1）は、遠隔操作による設備の緊急停止または緊急遮断弁の閉止を意味する。

注2) 大破漏洩の場合、蒸発・拡散防止（B4）は殆ど機能しないと考えられる。

2) 災害事象の設定と ET の展開

可燃性液体の流出火災、可燃性ガスの爆発火災、毒性ガスの拡散をそれぞれ設定した。ここで、一つの製造施設で、危険物及び可燃性ガスなど、複数の物質の取扱がある場合、それぞれの災害事象を考慮することとした。各災害事象の設定は表 4.1.9 に示すとおりである。また、流出火災及び爆発火災の ET を図 4.1.17、図 4.1.18 に、毒性ガス拡散の ET を図 4.1.19、図 4.1.20 に示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急停止・遮断（B1）」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.9 製造施設の災害事象の設定

種別	災害事象	様相
流出火災	DE1：少量流出・火災	少量の内容物（ユニット内の一部）の可燃性液体が漏洩し、プラントの周辺で火災が発生する。
	DE2：ユニット内全量流出・火災	ユニット内容物の可燃性液体の全量が漏洩し、プラントの周辺で火災が発生する。
	DE3：大量流出・火災	大量の可燃性液体（複数のユニット）が漏洩する。プラントの周辺で火災が発生し、長時間継続する。
爆発火災	DE4：少量流出・爆発火災	少量の内容物（ユニット内の一部）の可燃性ガスが漏洩し、プラントの周辺で火災または爆発が発生する。
	DE5：ユニット内全量流出・爆発火災	ユニット内容物の可燃性ガスの全量が漏洩し、プラントの周辺で火災または爆発が発生する。
	DE6：大量流出・爆発火災	大量の可燃性ガス（複数のユニット）が漏洩する。プラントの周辺で火災または爆発が発生し、長時間継続する。
毒性ガス拡散	DE7：少量流出・拡散	少量の毒性ガス（ユニット内の一部）が漏洩し、大気中に拡散する。
	DE8：ユニット内全量流出・拡散	ユニット内容物の全量の毒性ガスが漏洩し、大気中に拡散する。
	DE9：大量流出・拡散	大量の毒性ガス（複数のユニット）が漏洩し、大気中に拡散する。

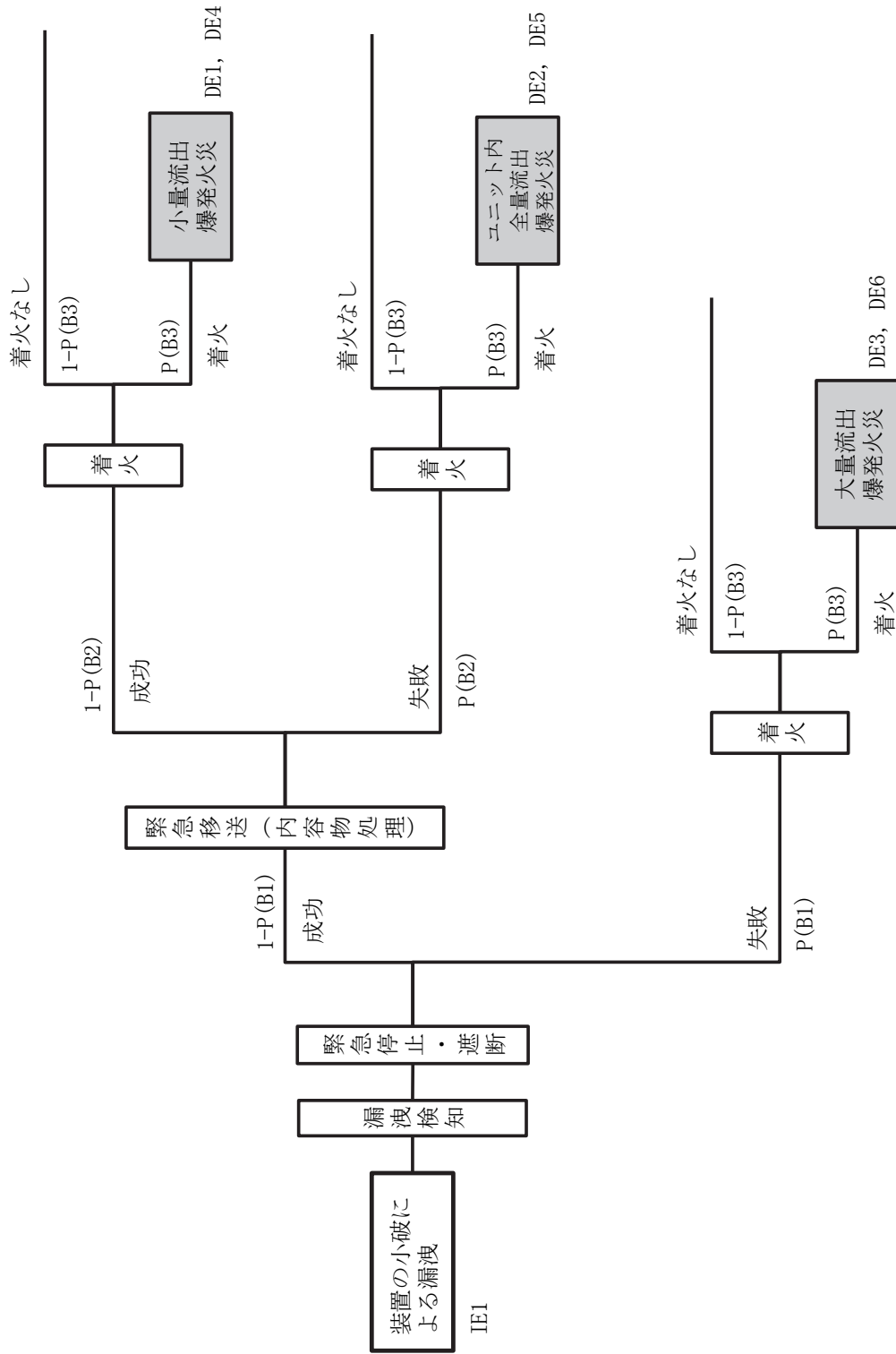


図 4.1.17 製造施設 (可燃性) の災害拡大イベントツリー (装置の小破による漏洩)

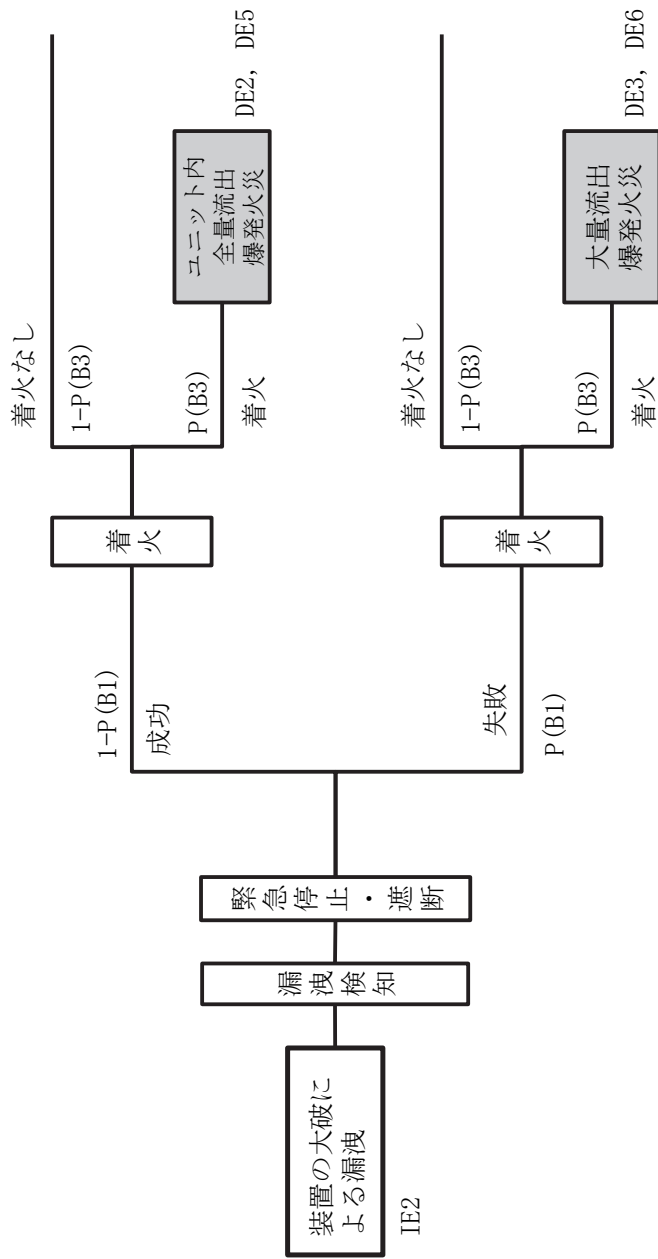


図 4.1.18 製造施設（可燃性）の災害拡大イベントツリー（装置の大破による漏洩）

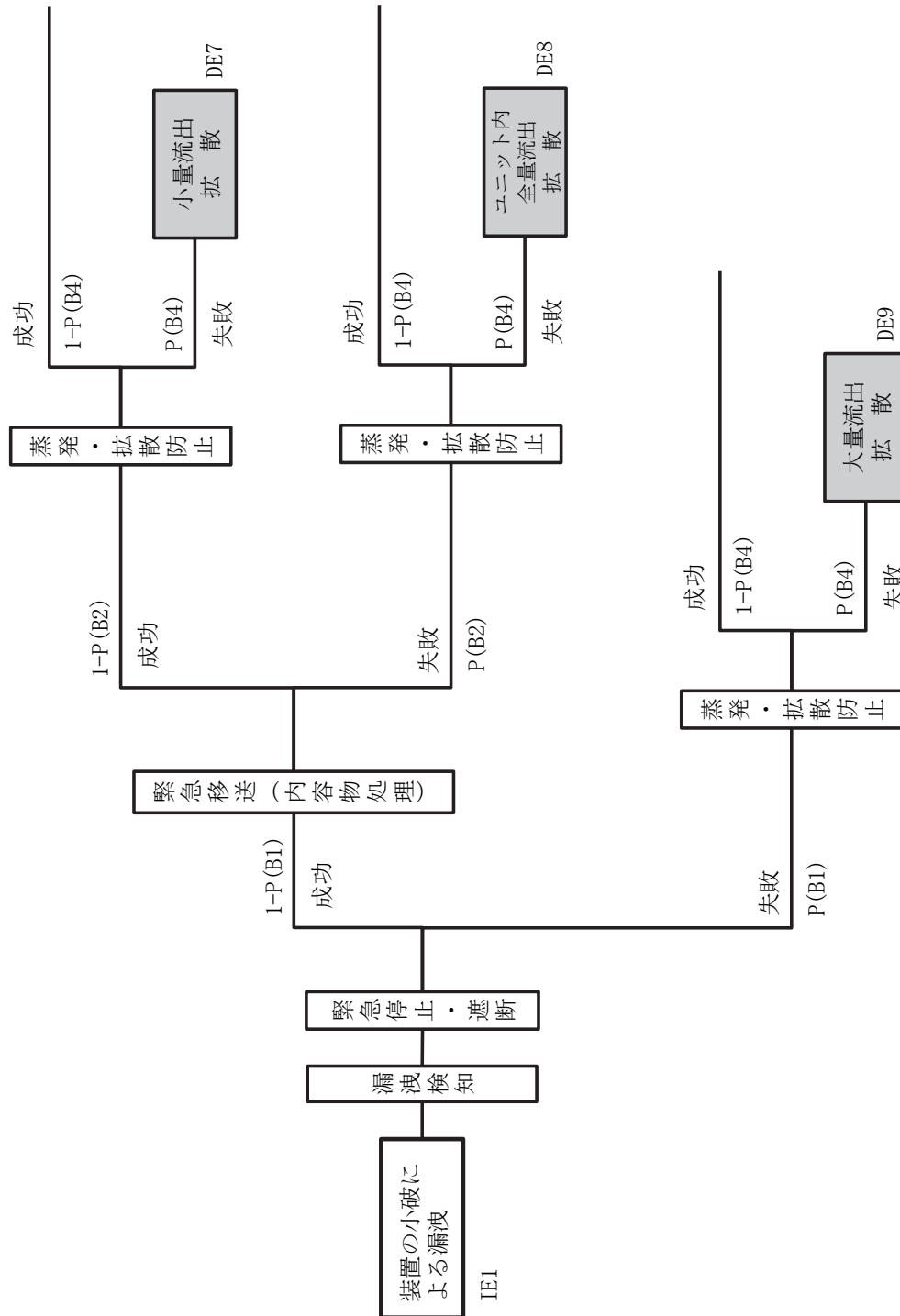


図 4.1.19 製造施設(毒性)の災害拡大イベントツリーの災害拡大小破による漏洩

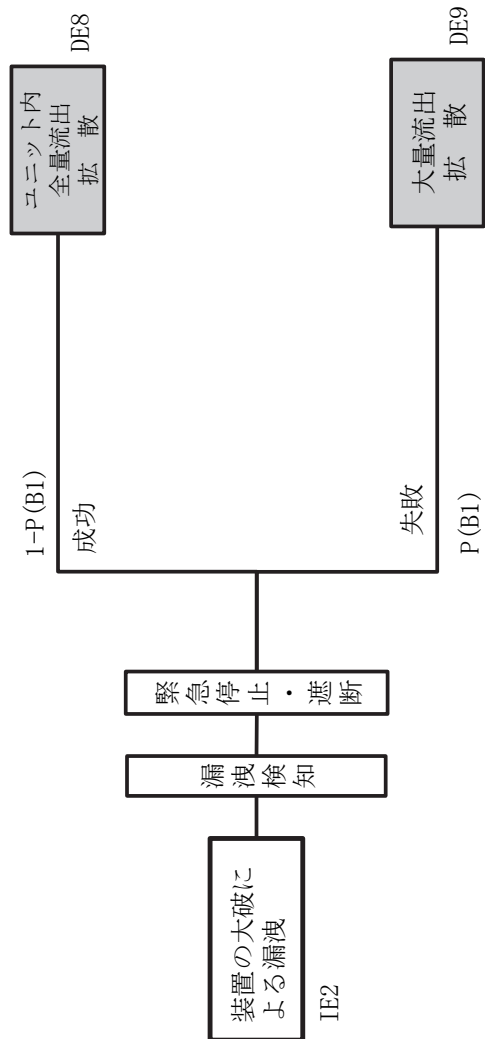


図 4.1.20 製造施設（毒性）の災害拡大イベントツリー（装置の大破による漏洩）

(2) 発電施設

1) 初期事象・事象分岐

初期事象は装置の破損による内容物の漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.10 に示す。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、3通り(B1~B3)を設定した。

表 4.1.10 発電施設における事象分岐の設定

事象分岐	IE1：装置の破損による漏洩
B1：緊急停止・遮断	○
B2：バルブ手動閉止	○
B3：着火	○

注) 緊急停止・遮断 (B1) は、遠隔操作による設備の緊急停止または緊急遮断弁の閉止を意味する。

2) 災害事象の設定と ET の展開

可燃性液体の流出火災、可燃性ガスの爆発火災をそれぞれ設定した。ここで、一つの発電施設で、危険物と可燃性ガスなど、複数の物質の取扱がある場合、それぞれの災害事象を考慮することとした。また、各災害事象の設定は表 4.1.11 に示すとおりである。ET を図 4.1.21 に示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急停止・遮断 (B1)」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.11 発電施設の災害事象の設定

種別	災害事象	様相
流出火災	DE1：小量流出・火災	内容物の可燃性液体が漏洩し、プラントの周辺で火災が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE2：中量流出・火災	内容物の可燃性液体が漏洩し、プラントの周辺で火災が発生する。漏洩停止が遅れ、火災はしばらく継続する。
	DE3：大量流出・火災	内容物が漏洩し、プラントの周辺で火災が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。
爆発火災	DE4：小量流出・爆発火災	内容物の可燃性ガスが漏洩し、プラントの周辺で火災または爆発が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE5：中量流出・爆発火災	内容物の可燃性ガスが漏洩し、プラントの周辺で火災または爆発が発生する。漏洩停止が遅れ、火災はしばらく継続する。
	DE6：大量流出・爆発火災	内容物が漏洩し、プラントの周辺で火災または爆発が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。

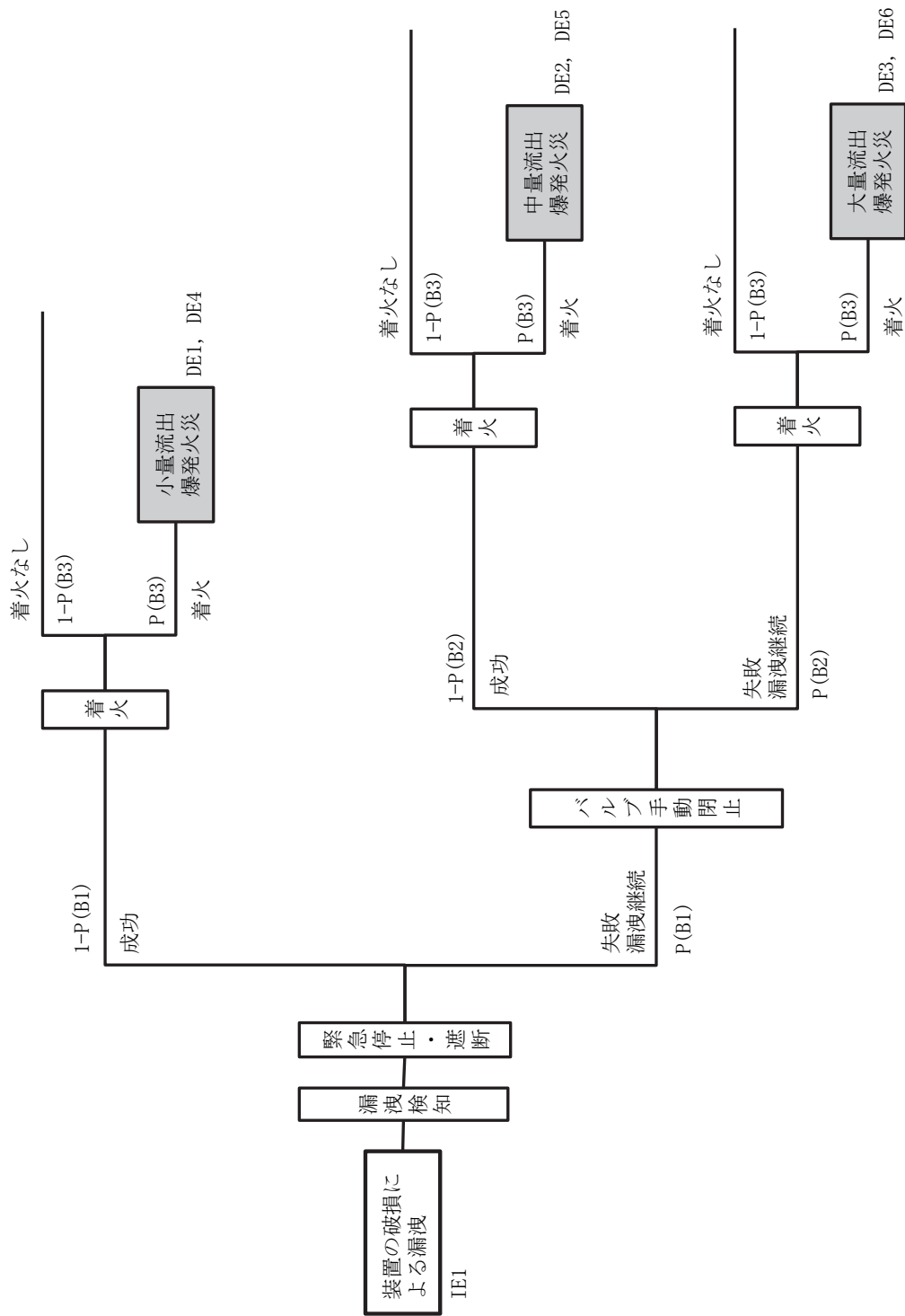


図 4.1.21 発電施設の災害拡大イベントツリー（装置の破損による漏洩）

4.1.5. 海上入出荷施設

(1) 初期事象・事象分岐

初期事象は内容物の漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.12 に示す。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、2通り (B1~B2) を設定した。

表 4.1.12 海上入出荷施設における事象分岐の設定

事象分岐	IE1：配管等の破損による漏洩
B1：緊急停止・遮断	○
B2：着火	○

注) 緊急停止・遮断 (B1) は、遠隔操作による設備の緊急停止または緊急遮断弁の閉止を意味する。

(2) 災害事象の設定と ET の展開

可燃性液体の場合は流出火災を、LPG の場合は爆発火災をそれぞれ設定した。各災害事象の設定は表 4.1.13 に示すとおりである。また、流出火災の ET を図 4.1.22 に、爆発火災の ET を図 4.1.23 にそれぞれ示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急遮断・停止 (B1)」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.13 海上入出荷施設の災害事象の設定

種別	災害事象	様相
流出火災	DE1：小量流出・火災	可燃性液が漏洩し、周辺で火災が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE2：大量流出・火災	可燃性液体が漏洩し、周辺で火災が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。
爆発火災	DE3：小量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、周辺で火災または爆発が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE4：大量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、周辺で火災または爆発が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。

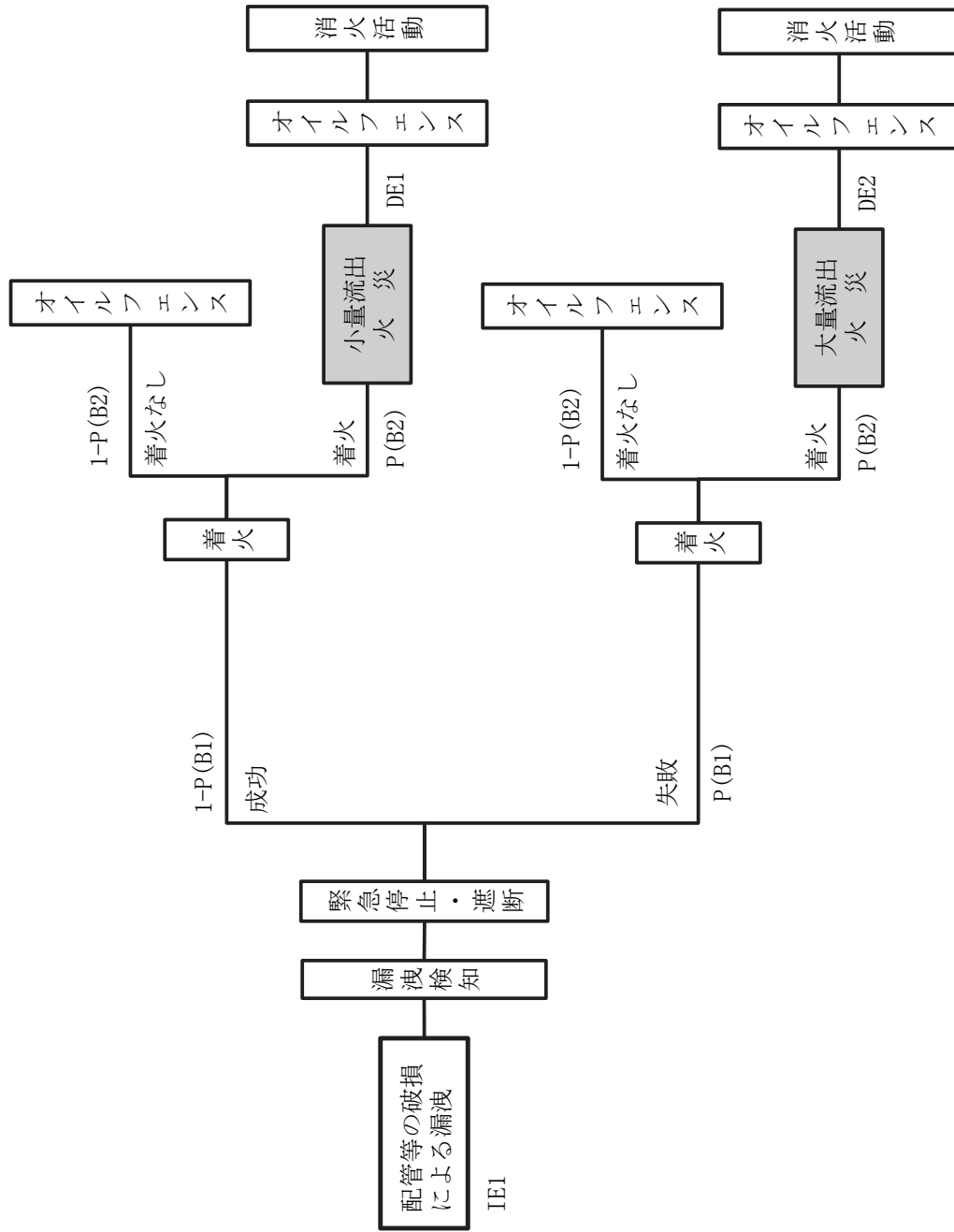


図 4.1.22 海上入出荷施設（石油）の災害拡大イベントツリー

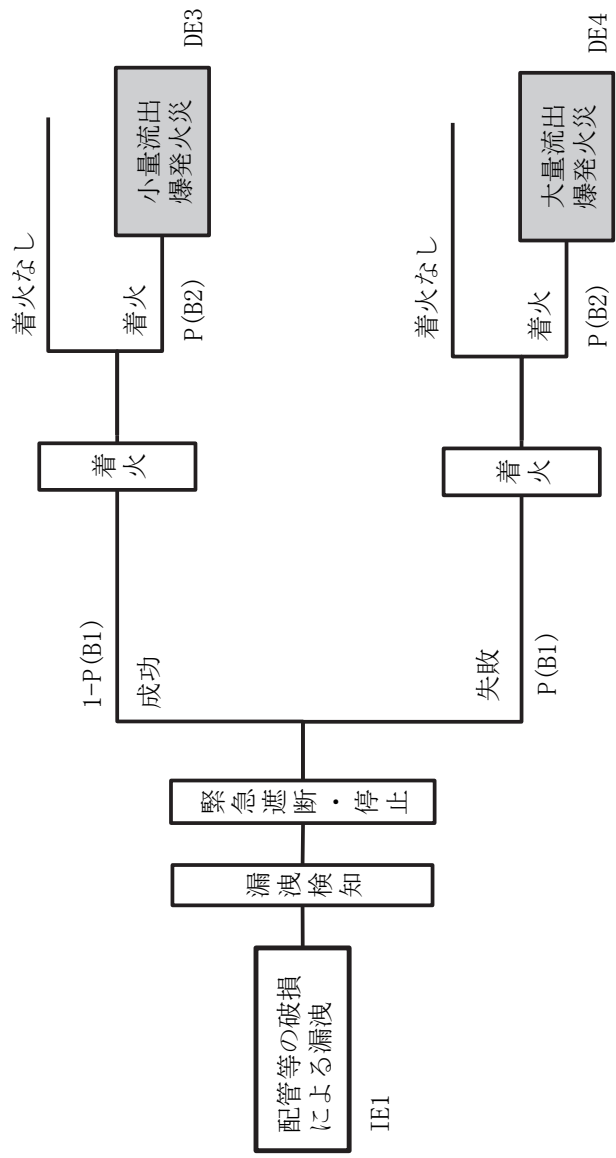


図 4.1.23 海上入出荷施設 (LPG) の災害拡大イベントツリー

4.1.6. パイプライン

(1) 初期事象・事象分岐

初期事象は内容物の漏洩とした。事象分岐の設定を表 4.1.14 に示す。定量的な分岐確率が設定可能であり、災害の拡大様相にも大きく影響を与えるような事象分岐として、3通り (B1~B3) を設定した。

表 4.1.14 パイプラインにおける事象分岐の設定

事象分岐	IE1:配管の破損による漏洩
B1:緊急遮断	○
B2:バルブ手動閉止	○
B3:着火	○

注) 緊急遮断 (B1) は、遠隔操作による緊急遮断弁の閉止を意味する。

(2) 災害事象の設定と ET の展開

石油類の場合は流出火災を、可燃性ガスの場合は爆発火災をそれぞれ設定した。各災害事象の設定は表 4.1.15 に示すとおりである。また、ET を図 4.1.24 に示す。

なお、危険物タンク同様、実際には、「漏洩検知」から「緊急遮断 (B1)」に至るプロセスの他、巡回パトロールによる覚知後、「バルブ手動閉止」による対応も行われるが、ここでは、定量的な分岐確率が設定可能なシナリオとして設定した。

表 4.1.15 パイプラインの災害事象の設定

種別	災害事象	様相
流出火災	DE1:小量流出・火災	可燃性液体が漏洩し、周辺で火災が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE2:中量流出・火災	可燃性液体が漏洩し、周辺で火災が発生する。漏洩停止が遅れ、火災はしばらく継続する。
	DE3:大量流出・火災	可燃性液体が漏洩し、周辺で火災が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。
爆発火災	DE4:小量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、周辺で火災または爆発が発生する。漏洩は短時間で停止する。
	DE5:中量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、周辺で火災または爆発が発生する。漏洩停止が遅れ、火災はしばらく継続する。
	DE6:大量流出・爆発火災	可燃性ガスが漏洩し、周辺で火災または爆発が発生する。漏洩停止ができず、火災は長時間継続する。

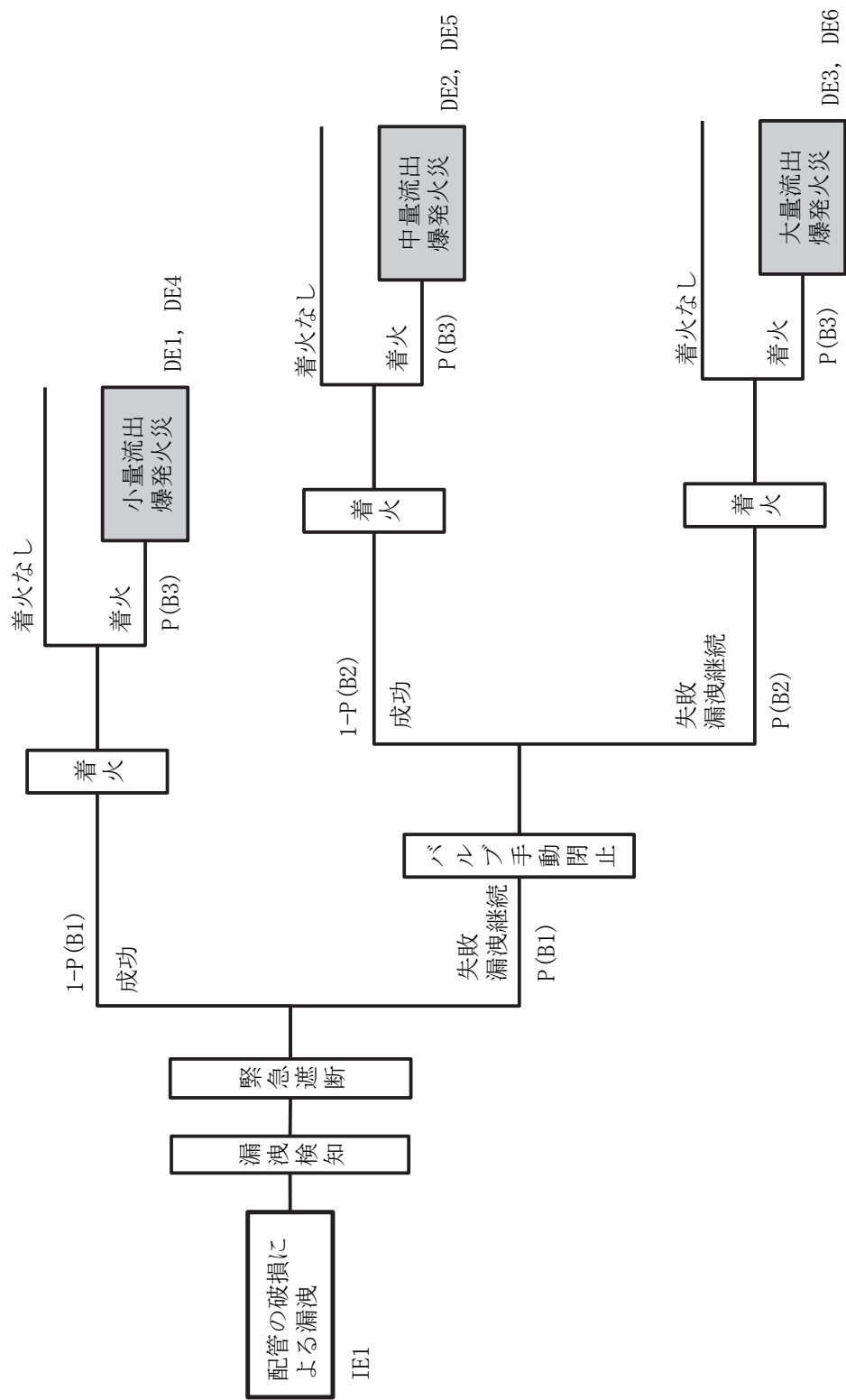


図 4.1.24 パイプラインの災害拡大イベントツリー

4.2. 災害の発生危険度（頻度）の推定

前節で作成したイベントツリー（ET）に、初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を与えることにより、末端に現れる各種災害事象の発生頻度の算出を行った。平常時の場合、初期事象の発生頻度は過去の事故発生状況に基づき推定し、事象の分岐確率は、機器の信頼性データに基づき推定した。

ただし、頻度推定にはデータ不足等による不確定要素が伴うことから、災害事象の発生頻度は絶対的な数値としてではなく、災害の起こりやすさを表す相対的な指標として捉えることとした。本調査ではこれらの災害発生頻度を表 4.2.1 のようにランク付けし、これを基に評価を行った。

表 4.2.1 平常時の災害発生危険度区分

区分	災害発生危険度 [／年]
AAn	10 ⁻³ 程度（5×10 ⁻⁴ 以上） ※プラントのみ
An	10 ⁻⁴ 程度（5×10 ⁻⁵ 以上 5×10 ⁻⁴ 未満）
Bn	10 ⁻⁵ 程度（5×10 ⁻⁶ 以上 5×10 ⁻⁵ 未満）
Cn	10 ⁻⁶ 程度（5×10 ⁻⁷ 以上 5×10 ⁻⁶ 未満）
Dn	10 ⁻⁷ 程度（5×10 ⁻⁸ 以上 5×10 ⁻⁷ 未満）
En	10 ⁻⁸ 程度（5×10 ⁻⁸ 未満）

注1) 添字の n は平常時を表す。

注2) An は 1 施設あたりでみると 10,000 年に 1 件程度、10,000 施設あれば 1 年に 1 件程度発生するような災害であることを意味する。

4.2.1. 危険物タンク

(1) 初期事象の発生頻度

危険物タンクの初期事象は配管及びタンク本体からの漏洩と、タンク屋根での出火である。

表 4.2.2 危険物タンクの初期事象

漏洩	IE1：配管の小破による漏洩
	IE2：配管の大破による漏洩
	IE3：タンク本体の小破による漏洩
	IE4：タンク本体の大破による漏洩
火災	IE5：浮き屋根シール部での出火 (浮き屋根式タンク)
	IE6：タンク屋根での出火 (固定屋根式タンク)

危険物タンク（屋外タンク貯蔵所）における、最近10年間（2004～2013年）の漏洩及び火災事故の発生状況は、表 4.2.3のとおりである。

表 4.2.3 危険物タンクの事故発生状況（2004～2013年）^{a, b, c}

	施設数	漏洩事故		火災事故		計	
		件数	発生率 [件/年・基]	件数	発生率 [件/年・基]	件数	発生率 [件/年・基]
特定事業所	19,380	280	(1.4×10^{-3})	20	(1.0×10^{-4})	300	(1.5×10^{-3})
全国	65,035	620	8.9×10^{-4}	31	4.4×10^{-5}	651	(1.0×10^{-3})

- 注1) 施設数は2013年3月31日（全国）及び2013年4月1日（特定事業所）現在の完成検査済証交付施設数である。
 注2) 特定事業所及び全国の事故件数は、過去10年間の漏洩事故及び火災事故（爆発を含む）件数の合計を表す。なお、漏洩から火災に至る場合は火災に含まれる。
 注3) 全国の漏洩事故及び火災事故の発生頻度は、各年の発生頻度の平均値である。その他の発生頻度（括弧内の数値）は、10年間の事故件数の合計と施設数から算出した推定値である。

漏洩事故については、1989～2002年の14年間における危険物タンクの漏洩事故に関して、危険物保安技術協会が漏洩の発生箇所を整理している（参考資料1 図1.1参照）^d。これによると、全漏洩事故件数は448件であり、その内配管からの漏洩が258件（非埋設管144件、埋設管114件）、タンク本体からが144件（屋根部61件、屋根以外83件）となっている。これらから、漏洩発生場所別の事故発生件数を整理すると表 4.2.4のようになる。

表 4.2.4より、埋設管からの漏洩については火災危険性が少ないことを考慮し、非埋設管の発生頻度を基に、配管の小破による漏洩の発生頻度を 4.5×10^{-4} [件/年・基] とした。

タンク本体の漏洩事故については、屋根からの漏洩の殆どは地震時のスロッシングによるものである。従って、タンク本体の小破による漏洩の発生頻度は、タンク本体の事故の内、屋根以外の漏洩事故の発生頻度 2.6×10^{-4} [件/年・基] を適用した。

表 4.2.4 危険物タンクの発生場所別漏洩事故発生状況（1989～2002年）^{e, f}

配管				タンク本体			
区分	件数	比率	発生頻度 [件/年・基]	区分	件数	比率	発生頻度 [件/年・基]
非埋設管	144	32.1%	4.5×10^{-4}	屋根以外	83	18.5%	2.6×10^{-4}
埋設管	114	25.4%	3.6×10^{-4}	屋根	61	13.6%	1.9×10^{-4}
計	258	57.6%	8.1×10^{-4}	計	144	32.1%	4.5×10^{-4}

- 注1) 事故件数は14年間の事故の合計件数で、地震によるものを含む。
 注2) 比率は、14年間の全漏洩事故（448件）を母数とした場合の発生箇所の比率である。
 注3) 発生頻度は、特定事業所における最近10年間の漏洩事故発生頻度（ 1.4×10^{-3} ）に、発生箇所の比率を掛け合わせた推定値である。

^a 危険物に係る事故事例，消防庁
^b 石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要，消防庁特殊災害室
^c 平成25年度 石油コンビナート等防災体制の現況，消防庁特殊災害室
^d Safety & Tomorrow，危険物保安技術協会，No.97，2004.9
^e Safety & Tomorrow，危険物保安技術協会，No.97，2004.9
^f 危険物に係る事故事例，消防庁

配管及びタンク本体の大破漏洩について、「大破」漏洩を定義して整理した統計資料は存在しないが、表 4.2.3に示した全国の漏洩事故の内、比較的被害が大きかったもの（死者1名以上、負傷者2名以上もしくは損害見積額1,000万円以上）を大破と見なし発生件数を整理すると、配管で13件、タンク本体で6件となっている^b。ここで、配管とタンク本体の区分は参考資料1 図1.1によった。なお、これらの事故では必ずしも大破漏洩が生じたわけではないため、この情報を用いて推定した発生頻度は安全側の値を与えると考えられる。

以上より、配管の大破による漏洩の発生頻度を 2.0×10^{-5} [件/年・基]、タンク本体の大破による漏洩の発生頻度を 9.2×10^{-6} [件/年・基]とした。

火災事故については、危険物保安技術協会^aによると1979～2002年の24年間で68件の火災事故が発生しており、この内工事修理またはこれに伴う作業のなかったものは27件である。この27件中タンク本体におけるものは16件（約24%）で、全て貯蔵中または残油のある状態であった。

従って、危険物貯蔵中の屋根部またはタンク本体における出火の発生頻度は、火災事故全体の3割程度（24%に安全率を考慮）と考えられ、表 4.2.3の特定事業所における最近10年間の火災事故発生頻度（ 1.0×10^{-4} ）から、 3.3×10^{-5} [件/年・基]とした（第1石油類・アルコール類・特殊引火物）。

貯蔵油種による発生頻度の差に関して、最近10年間（2003～2012年）の出火原因物質別の火災発生状況を表 4.2.5に示す。これによると、第1石油類・アルコール類・特殊引火物とその他の第4類で同程度の発生件数となっている。第4類危険物を貯蔵する危険物タンクの内、約1割が第1石油類・アルコール類、約9割がその他の第4類（この内、特殊引火物を貯蔵したタンク数は少ないと考えられる）を貯蔵していると考えられる^bことを踏まえ、第1石油類・アルコール類・特殊引火物の火災の発生頻度は、その他の第4類の10倍程度と推定した。従って、特殊引火物・第1石油類・アルコール類以外の第4類石油類を貯蔵するタンクについて、タンク屋根での出火の発生頻度は 3.3×10^{-6} [件/年・基]とした（第4類第2、3、4石油類）。

^a Safety & Tomorrow, 危険物保安技術協会, No. 98, 2004.9

^b 平成23年度 危険物規制事務統計表, 消防庁

表 4.2.5 危険物タンクの出火原因物質別火災事故発生件数（2004～2013年）^a

油種		危険物タンク [件]										
		2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	計
第4類	特殊引火物	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3
	第1石油類	1	1	0	0	0	2	1	1	0	1	7
	アルコール類	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	第2石油類	0	0	0	0	1	1	3	1	0	0	6
	第3石油類	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
	第4石油類	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	動植物油脂	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

以上を基に、危険物タンクの初期事象の発生頻度は、表 4.2.6のように設定した。

ここで、タンク本体に係る事故については、タンク技術基準を新法タンク及び旧法・新基準タンクと、旧法・旧基準タンク及び準特定タンク、特定外タンクに分けて考えている。新法タンクは旧法タンク及び準特定タンク、特定外タンクよりも強度が高いと考えられるため、事故発生頻度を旧法タンク及び準特定タンク、特定外タンクの1/10とした。

注) タンク技術基準は以下に示すように、危険物の規制に関する政令に基づく。

新 法 : 昭和52年改正令施行後に設置の許可を受け、又は許可申請された特定屋外タンク貯蔵所（貯蔵容量1,000k1以上）

旧法新基準 : 昭和52年改正令施行前に設置の許可を受け、又は許可申請された特定屋外タンク貯蔵所であり、平成6年改正令に基づく新基準（基礎、地盤やタンク本体に関する一定の基準）を満たすもの

旧法旧基準 : 昭和52年改正令施行前に設置の許可を受け、又は許可申請された特定屋外タンク貯蔵所であり、平成6年改正令に基づく新基準を満たさないもの

準特定新 法 : 平成11年の技術基準（現行基準）に適合する準特定タンク（貯蔵容量500k1以上）

準特定新基準 : 平成11年の新基準に適合する準特定タンク

準特定旧基準 : 平成11年の新基準に適合しないか適合調査中の準特定タンク

特 定 外 : 貯蔵容量500k1未満のタンク

^a 危険物に係る事故事例，消防庁

表 4.2.6 危険物タンクの初期事象の発生頻度（平常時）

初期事象	発生頻度	
	旧法/準特定 /特定外	新法
IE1：配管の小破による漏洩	4.5×10^{-4}	
IE2：配管の大破による漏洩	2.0×10^{-5}	
IE3：タンク本体の小破による漏洩	2.6×10^{-4}	2.6×10^{-5}
IE4：タンク本体の大破による漏洩	9.2×10^{-6}	9.2×10^{-7}
IE5：浮き屋根シール部での出火 （浮き屋根式タンク）	第1石油類・アルコ ール類・特殊引火物	3.3×10^{-6}
IE6：タンク屋根での出火 （固定屋根式タンク）	第2・3・4石油類	3.3×10^{-7}

注) 新法：新法及び旧法・新基準タンク
旧法：旧法・旧基準タンク

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 4.2.7 のように設定した。分岐確率の推定に当たっては、可能な限りフォールトツリー解析（FTA）を適用した。なお、フォールトツリーで現れる末端事象の故障確率は、米国で刊行されている文献^{a, b)}によった。

表 4.2.7 危険物タンクの事象の分岐確率（平常時）

事象分岐		分岐確率
B1：緊急遮断（自動）	電気駆動	5.8×10^{-3}
	エア駆動	5.2×10^{-3}
B2：バルブ手動閉止		2.9×10^{-4}
B3：一時的な流出拡大防止		10^{-1}
B4：緊急移送		1.9×10^{-2}
B5：仕切堤		10^{-2}
B6：防油堤		10^{-3}
B7：着火	第1石油類・アルコ ール類・特殊引火物	10^{-1}
	第2・3・4石油類	10^{-2}
B8：蒸発・拡散防止		10^{-1}
B9：消火設備・消火活動		10^{-1}
B10：浮き屋根沈降		10^{-1}
B11：ボイルオーバー		10^{-1}

^a CCPS: Guidelines for Process Equipment Reliability Data Table, Center for Chemical Process Safety of the American Institute Chemical Engineers, 1989

^b WASH: Reactor Safety Study, An Assessment of Accident in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1975

B1：緊急遮断

当該地区の緊急遮断設備には電気駆動とエア駆動があり、これらの設備の作動失敗を想定した。FTA は図 4.2.1 及び図 4.2.2 に示すとおりである。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B2：バルブ手動閉止

CCPS による手動バルブの閉止失敗確率 (VALVES-MANUAL: 2.9×10^{-4}) を適用した。

B3：一時的な流出拡大防止

タンク本体から漏洩した場合でも、少量であれば破口を塞いだり、土のうで囲んで漏油を回収するなどの一時的な措置により、拡大を防止することが可能である。このような措置に失敗して、漏油が仕切堤（あるいは防油堤）全面に拡大する確率を 10^{-1} と推定した。

B4：緊急移送

緊急移送は、バルブの開閉により損傷タンクと移送先タンクを連結して移送ポンプを起動することにより行われる。バルブ開閉の失敗確率（電動及び手動の開閉がともに失敗する確率）は無視できるため、CCPS による移送ポンプ（電動ポンプ）の起動失敗確率 (PUMPS-MOTOR-DRIVEN: 1.9×10^{-2}) を適用した。なお、移送設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

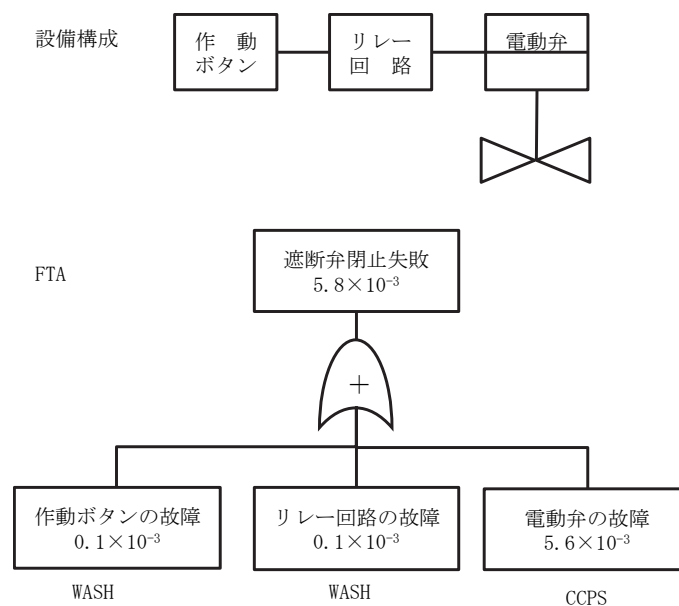


図 4.2.1 遮断設備（電気駆動）の作動失敗に関する FTA（平常時）

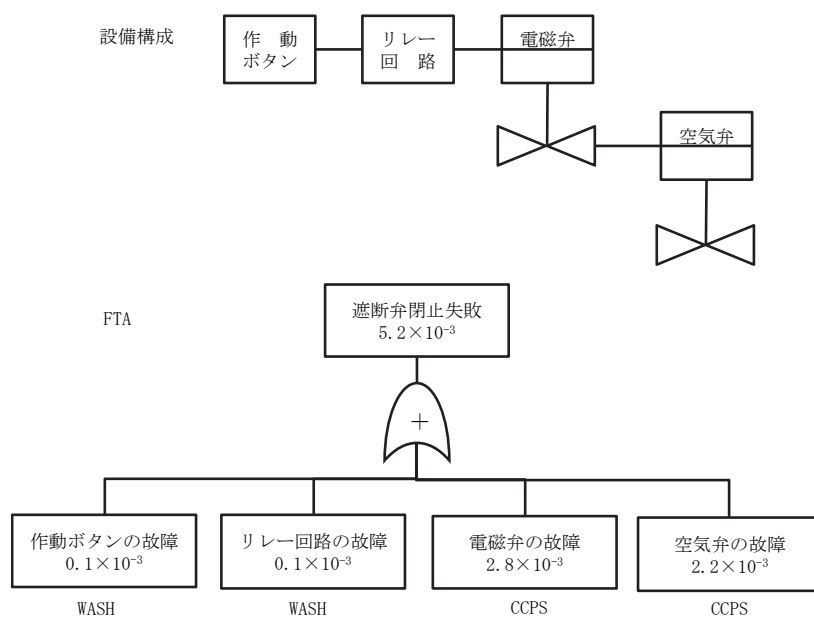


図 4.2.2 遮断設備（エア駆動）の作動失敗に関する FTA（平常時）

B5、B6：仕切堤、防油堤

タンクヤードには漏油拡大防止のため防油堤（高さ 0.5m 以上）及び仕切堤（10,000kl 以上のタンクで 0.3m 以上）が設置されている。平常時には漏油がこれらを超える確率は低く、特に防油堤は最大タンク容量の 110%以上の容量を持つため、漏油の勢いで超えたり破壊したりしない限り、外部に流出することは考えにくい。従って、仕切堤の失敗確率を 10^{-2} （仕切堤がない場合は 1）、防油堤はその 1/10 の 10^{-3} と推定した。

B7：着火

1992～1996 年に発生した危険物タンクの事故事例によると、タンクから漏洩した油に着火して火災となったものは、第 1 石油類で 10 数%、第 2・3・4 石油類ではその 1/10 程度となっている（表 4.2.8）。従って、漏油の着火確率は第 1 石油類及び特殊引火物、アルコール類で 10^{-1} 、その他は 10^{-2} とした。

表 4.2.8 危険物タンクの油種別事故発生状況（1992～1996 年）^a

油種	漏洩 [件]	火災 (内数)	
		火災 (内数)	全事故中の火災の割合
第 1 石油類	11	2	0.18
第 2・3・4 石油類	91	1	0.011

^a 神奈川県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書，神奈川県，平成 18 年 3 月

B8：蒸発・拡散防止

毒性危険物が漏洩して周辺または防油堤内に溜まった場合、泡シール等の応急措置がとられる。このような措置に失敗して毒性危険物の蒸発・拡散に至る確率は 10^{-1} とした。

B9：消火設備・消火活動

標準的な消火設備は、消火薬剤タンク、薬剤送出ポンプ、送水ポンプ、泡放出口（及びこれらを結ぶ配管にある数個のバルブ、遠隔操作のためのボタンやリレー回路）等から構成される。ここで、ポンプ（電動）の故障率が他の要素に比べて1桁以上大きいため、ポンプ以外の要素の故障率をひとまとめに 10^{-2} 程度と考えFTAを展開すると、図4.2.3により、消火設備の作動失敗確率は 4.7×10^{-2} となる（エンジンポンプの場合はポンプ故障率が 2.6×10^{-2} であり、消火設備の作動失敗は 6.1×10^{-2} となる）。ただし、消火設備が作動しても消火できないことも考えられ、ここでは消防活動による初期消火も含めて考え、消火に失敗する確率をこの2倍程度の 10^{-1} とした。

B10：浮き屋根沈降

浮き屋根式タンクのリング火災の消火に失敗して浮き屋根沈降に至る確率であり、 10^{-1} とした。

B11：ボイルオーバー

浮き屋根式タンクのリング火災から浮き屋根沈降後、さらにボイルオーバーに至る確率であり、 10^{-1} とした。

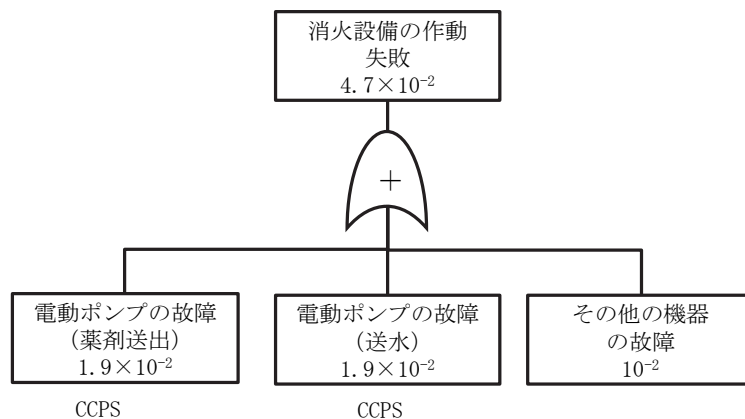


図 4.2.3 消火設備の作動失敗に関する FTA（平常時）

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2)で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を危険物タンクのETに当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

個々の施設の発生頻度は、貯蔵物質の種類やタンクの技術基準、各種防災設備の有無等によって異なってくる。施設によっては該当しない災害事象もあり、例えば遮断設備が付いていないタンクでは、小量流出・火災 (DE1) は該当しない (必ず中量流出以上となる)。同様に、仕切堤がないタンク、あるいは遮断設備と移送設備がないタンクでは仕切堤内流出・火災 (DE3) が該当せず、固定屋根式 (内部浮き蓋式を含む) タンクではリング火災 (DE7) が該当しない。

なお、想定すべき災害を検討する場合には、それぞれの災害事象の発生頻度ではなく、ある事象まで災害が拡大する頻度として捉えるべきである。このような頻度は、次のように各事象の発生頻度を累積することにより得られる。

$$CF(DE1) = F(DE1) + F(DE2) + F(DE3) + F(DE4) + F(DE5)$$

$$CF(DE2) = F(DE2) + F(DE3) + F(DE4) + F(DE5)$$

$$CF(DE3) = F(DE3) + F(DE4) + F(DE5)$$

$$CF(DE4) = F(DE4) + F(DE5)$$

$$CF(DE5) = F(DE5)$$

ここで、 $F(X)$ は災害事象 X の発生頻度、 $CF(X)$ は累積頻度で、災害事象 X まで拡大する頻度である。以降では、全ての施設についてこの $CF(X)$ の値を災害発生頻度と呼ぶ。このようにして求めた災害発生頻度を表 4.2.1 の区分でランク付けし、危険度分布を求めると表 4.2.9～表 4.2.11 のようになる。

表 4.2.9 危険物タンク・流出火災の発生危険度分布（平常時）

(単位：基)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：仕切堤内流出	DE4：防油堤内流出	DE5：防油堤外流出
高松地区					
An	0	1	0	0	0
Bn	1	3	0	1	0
Cn	3	8	0	4	0
Dn	0	3	3	7	0
En	0	0	0	3	15
対象外	11	0	12	0	0
東部地区					
An	9	10	0	0	0
Bn	114	30	4	15	0
Cn	78	121	74	70	0
Dn	0	78	58	97	0
En	0	0	0	57	239
対象外	38	0	103	0	0
西部地区					
An	1	0	0	0	0
Bn	7	13	0	1	0
Cn	0	7	0	19	0
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	20
対象外	12	0	20	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.2.10 危険物タンク・タンク火災の発生危険度分布（平常時）

(単位：基)

区分	DE6：タンク小火災	DE7：リング火災	DE8：タンク全面火災	DE9：タンク全面・防油堤火災
高松地区				
An	1	0	0	0
Bn	4	0	0	0
Cn	10	0	1	0
Dn	0	3	4	1
En	0	0	10	14
対象外	0	12	0	0
東部地区				
An	19	0	0	0
Bn	135	0	0	0
Cn	85	68	19	0
Dn	0	10	135	19
En	0	0	85	220
対象外	0	161	0	0
西部地区				
An	1	0	0	0
Bn	19	0	0	0
Cn	0	0	1	0
Dn	0	0	19	1
En	0	0	0	19
対象外	0	20	0	0

DE7 対象外：浮き屋根式以外のタンク

表 4.2.11 危険物タンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（平常時）

(単位：基)

区分	DE10：小量流出	DE11：中量流出	DE12：仕切堤内流出	DE13：防油堤内流出	DE14：防油堤外流出
高松地区（対象施設なし）					
東部地区（対象施設なし）					
西部地区					
An	1	0	0	0	0
Bn	0	1	0	1	0
Cn	0	0	0	0	0
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	1
対象外	0	0	1	0	0

DE12 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

(4) 特定外タンク

本調査では、毒性危険物以外の危険物を貯蔵した容量 500k1 未満の特定外タンクについて、事業所ごとの設置施設数等の調査を行った。表 4.2.12 に調査結果を示す。

表 4.2.12 特定外タンクの設置状況

(単位：基)

屋根形式	貯蔵物	高松地区	東部地区	西部地区	計
固定屋根・ 内部浮き蓋	第1石油類・ アルコール類	2	81	33	116
	その他	67	288	224	579
浮き屋根	第1石油類・ アルコール類	0	0	0	0
	その他	0	0	0	0
計		69	389	266	724

表 4.2.12 の施設について代表的な施設諸元を仮定し、災害の発生頻度を算出した。初期事象の発生頻度及び事象の分岐確率の設定方法はそれぞれ(1)、(2)に示すとおりである。災害の発生頻度はタンク屋根形式、技術基準、貯蔵物の種類によって変化するが、これらは表 4.2.12 のとおりとした。ここで、屋根形式がその他のタンク（角型、円筒横置型等）については、タンク屋根での出火による火災は評価対象外とした。また、遮断設備や移送設備の有無、仕切堤の有無については施設によって異なるため、全てないものとして算定した。従って、小量流出火災及び仕切堤内流出火災は全ての施設で該当なし、リング火災は浮き屋根式以外のタンクで該当なしとなる。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.13、表 4.2.14 のようになる。

表 4.2.13 特定外タンク・流出火災の発生危険度分布（平常時）

（単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：仕切堤内 流出	DE4：防油堤内 流出	DE5：防油堤外 流出
高松地区					
An	0	2	0	0	0
Bn	0	67	0	2	0
Cn	0	0	0	67	0
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	69
対象外	69	0	69	0	0
東部地区					
An	0	85	0	0	0
Bn	0	304	0	85	0
Cn	0	0	0	304	0
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	389
対象外	389	0	389	0	0
西部地区					
An	0	33	0	0	0
Bn	0	233	0	33	0
Cn	0	0	0	233	0
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	266
対象外	266	0	266	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.2.14 特定外タンク・タンク火災の発生危険度分布（平常時）

（単位：基）

区分	DE6：タンク小火災	DE7：リング火災	DE8：タンク全面火災	DE9：タンク全面・防油堤火災
高松地区				
An	2	0	0	0
Bn	67	0	0	0
Cn	0	0	2	0
Dn	0	0	67	2
En	0	0	0	67
対象外	0	69	0	0
東部地区				
An	81	0	0	0
Bn	288	0	0	0
Cn	0	0	81	0
Dn	0	0	288	81
En	0	0	0	288
対象外	0	369	0	0
西部地区				
An	33	0	0	0
Bn	224	0	0	0
Cn	0	0	33	0
Dn	0	0	224	33
En	0	0	0	224
対象外	0	257	0	0

注) 固定屋根式・内部浮き蓋式、浮き屋根式以外のタンクを除く

DE7 対象外：浮き屋根式以外のタンク

4.2.2. 高圧ガスタンク

(1) 初期事象の発生頻度

可燃性ガスタンク及び毒性ガスタンクの初期事象は、配管及びタンク本体からの漏洩である。

表 4.2.15 高圧ガスタンクの初期事象

IE1：配管の小破による漏洩
IE2：配管の大破による漏洩
IE3：タンク本体の小破による漏洩
IE4：タンク本体の大破による漏洩

最近10年間（2004～2013年）において、コンビナート製造事業所の高圧ガス貯槽及びその付属配管では表4.2.16のように漏洩事故が5件発生している。なお、火災事故も1件発生しているが、地震の影響を受けたものであるため表中ではカウントしていない。6件の事故の概要は次のとおりである。

【漏洩事故】

- 2004.3（岡山県）：低温エチレン貯槽の配管フランジ部においてクリープ損傷によりエチレンが漏洩したもの
- 2005.7（神奈川県）：液化石油ガス貯槽配管の外表面腐食により液化石油ガスが漏洩したもの。
- 2006.4（岡山県）：水封式ガスホルダからプロピレン貯槽へ圧送する際、劣化した逆止弁からプロピレンが逆流し、ガスホルダの水封が途切れて漏洩したもの。
- 2008.8（大分県）：プロピレンタンクの液面計ノズルに外表面腐食によるピンホールが生じ、漏洩が発生したもの。
- 2012.4（福岡県）：液化天然ガス貯槽に設置されている、タンク内槽安全弁のパイロットライン（安全弁作動用ガス配管）溶接部から微少のガスが漏洩したもの。

【火災事故】

- 2011.3（千葉県）：東日本大震災の揺れで、LPガス球形貯槽の支柱ブレースの多くが破断し、球形貯槽が倒壊した。これにより周辺の配管が破断し、LPガスが漏洩、出火した。周辺貯槽の冷却散水を行ったが爆発に至ったもの。

表 4.2.16 高圧ガスタンクの事故発生状況 (2003～2012 年) ^{a, b}

施設数 [基]	漏洩事故		火災事故		計	
	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]
2,421	5	(2.1×10^{-4})	0	0	5	(2.1×10^{-4})

注1) 事故件数は、高圧ガス事故事例検索システム (高圧ガス保安協会) により検索した結果であり、コンビナート製造事業所における高圧ガス貯槽及びその付属配管の事故を表す。

注2) 施設数は2013年4月1日現在の特定事業所における高圧ガスタンク数 (石炭法に係るもの) であり、製造事業所に限ったものではない。従って、発生頻度は参考値である。

表 4.2.16 より、高圧ガスタンクにおける配管の小破による漏洩の発生頻度は、 2.1×10^{-4} [件/年・基] とする。配管の大破による漏洩について、表 4.2.16 に示した事故の漏洩量が不明であることから、大破漏洩であるかどうかの判断ができない。ここでは、大破漏洩の発生頻度は小破漏洩の 1/10 とした。

タンク本体の小破・大破による漏洩については、危険物タンクと比較して腐食の可能性が小さいと考えられるため、それぞれ危険物タンク (新法) の 1/2 程度と推定した。

以上をまとめると、表 4.2.17 のようになる。

表 4.2.17 高圧ガスタンクの初期事象の発生頻度 (平常時)

初期事象	発生頻度
IE1: 配管の小破による漏洩	2.1×10^{-4}
IE2: 配管の大破による漏洩	2.1×10^{-5}
IE3: タンク本体の小破による漏洩	1.3×10^{-5}
IE4: タンク本体の大破による漏洩	4.6×10^{-7}

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 4.2.18 のように設定した。

表 4.2.18 高圧ガスタンクの事象の分岐確率 (平常時)

事象分岐		分岐確率
B1: 緊急遮断		5.2×10^{-3}
B2: バルブ手動閉止		2.9×10^{-4}
B3: 緊急移送		1.9×10^{-2}
B4: 防液堤		10^{-2}
B5: 蒸発・拡散防止	屋外タンク	10^{-1}
	屋内タンク	1.9×10^{-2}
B6: 着火		10^{-1}

^a 事故事例検索システム, 高圧ガス保安協会

^b 平成 25 年度 石油コンビナート等防災体制の現況, 消防庁特殊災害室

B1：緊急遮断

当該地区で設置されている緊急遮断設備はエア駆動であり、エア駆動の緊急遮断設備の失敗確率を適用した（図 4.2.2 の FTA を参照）。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B2：バルブ手動閉止

CCPS による手動バルブの閉止失敗確率（VALVES-MANUAL： 2.9×10^{-4} ）を適用した。

B3：緊急移送

CCPS による移送ポンプ（電動ポンプ）の起動失敗確率（PUMPS-MOTOR-DRIVEN： 1.9×10^{-2} ）を適用した。なお、移送設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B4：防液堤

防液堤による拡大防止の失敗確率は危険物タンクの仕切堤と同程度と考え、 10^{-2} とした。なお、防液堤がない場合は失敗確率を 1 とした。

B5：蒸発・拡散防止

高圧ガスタンクには散水設備や吸引設備など、漏洩ガスの蒸発や拡散を防止するための設備が設置されている場合がある。これらの設備の不作動確率は移送設備（ 1.9×10^{-2} ）と同程度と考えられるが、屋外に設置されたタンクについては、正常に作動しても必ずしも蒸発・拡散を防止できるとは限らないため、蒸発・拡散防止の失敗確率はこれより大きめの 10^{-1} とした。屋内に設置されたタンクについては、拡散防止効果が大きいと考えられることから 1.9×10^{-2} とした。なお、このような設備が設置されていないタンクについては失敗確率 1 とした。

B6：着火

漏洩ガスに着火して爆発やフラッシュ火災が発生する確率は、危険物タンクの漏油の着火確率（第 1 石油類）と同程度と考えて 10^{-1} とした。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2) で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を高圧ガスタンクの ET に当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

ET からわかるように、遮断設備のないタンクでは小量流出・爆発火災（DE1）、小量流出・拡散（DE6）が、遮断設備及び移送設備のないタンクでは大量流出・爆発火災（DE3）、大量流出・拡散（DE8）が該当しない。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を

求めると、表 4.2.19、表 4.2.20 のようになる。

表 4.2.19 可燃性ガスタンク・爆発火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 （長時間）	DE5：全量流出 （短時間）
高松地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	9	0	0	0	0
Cn	6	15	15	9	0
Dn	0	0	0	6	15
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	74	2	0	0	0
Cn	64	139	140	59	3
Dn	0	0	0	82	138
En	0	0	0	0	0
対象外	3	0	1	0	0
西部地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	16	0	0	0	0
Cn	12	28	28	11	0
Dn	0	0	0	17	28
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.2.20 毒性ガスタンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（平常時）

（単位：基）

区分	DE6：小量流出	DE7：中量流出	DE8：大量流出	DE9：全量流出 （長時間）	DE10：全量流 出（短時間）
高松地区					
An	3	0	0	0	0
Bn	0	3	3	3	0
Cn	0	0	0	0	3
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	15	15	15	0	0
Cn	0	0	0	15	15
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
西部地区					
An	1	0	0	0	0
Bn	0	1	1	1	0
Cn	0	0	0	0	1
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE6 対象外：遮断設備のないタンク

DE8 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

4.2.3. 毒性液体タンク

(1) 初期事象の発生頻度

毒性液体タンクの初期事象は、配管及びタンク本体からの漏洩である。

表 4.2.21 毒性液体タンクの初期事象

IE1：配管の小破による漏洩
IE2：配管の大破による漏洩
IE3：タンク本体の小破による漏洩
IE4：タンク本体の大破による漏洩

毒性液体タンクについては事故の発生状況に関するデータが得られていないので、初期事象の発生頻度は毒性ガスタンクと同様と考え、表 4.2.22 のように設定した。

表 4.2.22 毒性液体タンクの初期事象の発生頻度（平常時）

初期事象	発生頻度
IE1：配管の小破による漏洩	2.1×10^{-4}
IE2：配管の大破による漏洩	2.1×10^{-5}
IE3：タンク本体の小破による漏洩	1.3×10^{-5}
IE4：タンク本体の大破による漏洩	4.6×10^{-7}

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 4.2.23 のように設定した。

表 4.2.23 毒性液体タンクの事象の分岐確率（平常時）

事象分岐		分岐確率
B1：緊急遮断	電気駆動	5.8×10^{-3}
	エア駆動	5.2×10^{-3}
B2：バルブ手動閉止		2.9×10^{-4}
B3：緊急移送		1.9×10^{-2}
B4：蒸発・拡散防止	屋外タンク	10^{-1}
	屋内タンク	1.9×10^{-2}

B1：緊急遮断

当該地区の緊急遮断設備には電気駆動とエア駆動があり、これらの設備の作動失敗を想定した FTA は図 4.2.1 及び図 4.2.2 に示すとおりである。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B2：バルブ手動閉止

CCPS による手動バルブの閉止失敗確率 (VALVES-MANUAL: 2.9×10^{-4}) を適用した。

B3：緊急移送

CCPS による移送ポンプ(電動ポンプ)の起動失敗確率(PUMPS-MOTOR-DRIVEN: 1.9×10^{-2})を適用した。なお、移送設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B4：蒸発・拡散防止

毒性液体タンクには、散水設備や吸引設備など、毒性ガスの蒸発や拡散を防止するための設備が設置されている場合がある。失敗確率は、高圧ガスタンクと同様に、屋外に設置されたタンクについては 10^{-1} とし、屋内に設置されたタンクについては 1.9×10^{-2} とした。なお、このような設備が設置されていないタンクについては失敗確率 1 とした。

(3) 災害事象の発生危険度

ET からわかるように、遮断設備のないタンクでは小量流出・拡散 (DE1) が、遮断設備及び移送設備のないタンクでは大量流出・拡散 (DE3) が該当しない。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.24 のようになる。

なお、毒性液体の内、硫酸は不揮発性であるため、漏洩→蒸発→毒性ガスの拡散という災害の形態に当てはまらないことから、ETA による評価の対象から除外した。

表 4.2.24 毒性液体タンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（平常時）
 （単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 （長時間）	DE5：全量流出 （短時間）
高松地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	2	2	2	0	0
Cn	0	0	0	2	2
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
An	0	0	0	0	0
Bn	12	15	15	3	3
Cn	0	0	0	12	12
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	3	0	0	0	0
西部地区					
An	1	0	0	0	0
Bn	0	1	1	1	0
Cn	0	0	0	0	1
Dn	0	0	0	0	0
En	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

注) 硫酸を除く

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

4.2.4. プラント

(1) 製造施設

1) 初期事象の発生頻度

製造施設（危険物製造所、高圧ガス製造設備、高危混在施設）の初期事象は、装置の破損による漏洩である。

表 4.2.25 製造施設の初期事象

IE1：装置の小破による漏洩
IE2：装置の大破による漏洩

危険物製造所における、最近 10 年間（2004～2013 年）の漏洩及び火災事故の発生状況は、表 4.2.26 のとおりである。

表 4.2.26 危険物製造所の事故発生状況（2004～2013 年）^{a, b, c}

	施設数	漏洩事故		火災事故		計	
		件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]
特定事業所	1,472	191	(1.3×10^{-2})	150	(1.0×10^{-2})	341	(2.3×10^{-2})
全国	5,103	188	3.7×10^{-3}	304	6.0×10^{-3}	492	(9.6×10^{-3})

注 1) 施設数は 2013 年 3 月 31 日（全国）及び 2011 年 4 月 1 日（特定事業所）現在の完成検査済証交付施設数である。

注 2) 特定事業所及び全国の事故件数は、過去 10 年間の漏洩事故及び火災事故（爆発を含む）件数の合計を表す。なお、漏洩から火災に至る場合は火災に含まれる。

注 3) 全国の漏洩事故及び火災事故の発生頻度は、各年の発生頻度の平均値である。その他の発生頻度（括弧内の数値）は、10 年間の事故件数の合計と施設数から算出した推定値である。

特定事業所の危険物製造所では、事故発生頻度は全国の場合よりも高くなっている。

一方、高圧ガス製造設備における事故の発生頻度は、危険物製造所における事故の発生頻度よりも小さくなるものと考えられる。

これらを勘案し、装置の小破による漏洩の発生頻度は、表 4.2.26 の特定事業所の危険物製造所における全事故の発生頻度を基に、 2.3×10^{-2} [件/年・施設] と設定した。ここで、製造施設における火災事故は、漏洩から火災に至る場合が多いものと考えられることから、全事故の発生頻度を用いている。

装置の大破漏洩に関して、近年以下のような重大事故が多く発生している。発生頻度としては、全国で 1 年に 1 件程度と考え、表 4.2.26 の全国の施設数を用いて 2.0×10^{-4} [件/年・施設] とした。

^a 岡山県石油コンビナート防災アセスメント報告書，消防科学総合センター，平成 25 年 3 月

^b 危険物に係る事故事例，消防庁

^c 石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要，消防庁特殊災害室

【製造施設における近年の重大事故】

○2011. 11（山口県）：塩化ビニルモノマー製造施設の爆発死亡事故

第二塩ビモノマー製造施設の緊急放出弁の故障を発端として、プラントを緊急停止した。その後の移液作業中に塩化水素、塩ビモノマーが漏洩し、塩酸塔還流槽が破裂、爆発してプラントが大規模火災となった。隣接事業所が損壊し、約 24 時間後に鎮火した。

○2012. 4（山口県）：レゾルシン製造施設の爆発死亡事故

他装置の緊急停止に伴い、レゾルシン製造施設の緊急停止操作を実施し、インターロック作動中のところ、運転員が上司承認なしでインターロックを解除した。このため、酸化反応器上部の温度が徐々に上昇、反応暴走により、温度、圧力が急激上昇、酸化反応器が破裂、爆発、火災が発生した。その後 2 回目の爆発により、隣接事業所の一部設備、隣接施設、建物の損壊、周辺民家の窓ガラス、ドアなどの損傷を引き起こし、約 36 時間後に鎮火した。

○2012. 9（兵庫県）：アクリル酸製造施設の爆発死亡事故

中間タンク内の液温を十分に除熱できなかったことから重合反応が進行し、内圧上昇によりタンクに亀裂が発生して、蒸気爆発、火災、周辺機器損傷を引き起こし、約 25 時間後に鎮火した。

○2014. 1（三重県）：高純度多結晶シリコン製造施設の爆発死亡事故

高純度多結晶シリコン製造施設の工程内にある第 6 水素精製設備から取り外した水冷熱交換器の開放洗浄作業中に爆発火災事故が発生し、死者 5 名、負傷者 13 名の人的被害が発生した。

以上をまとめると、表 4. 2. 27 のようになる。

表 4. 2. 27 製造施設の初期事象の発生頻度（平常時）

初期事象	発生頻度
IE1：装置の小破による漏洩	2.3×10^{-2}
IE2：装置の大破による漏洩	2.0×10^{-4}

2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は、表 4.2.28 のように設定した。

表 4.2.28 製造施設の事象の分岐確率（平常時）

事象分岐		分岐確率
B1：緊急停止・遮断		5.2×10^{-3}
B2：緊急移送（内容物処理）		10^{-1}
B3：着火		6×10^{-1}
B4：蒸発・拡散防止	屋外設備	10^{-1}
	屋内設備	1.9×10^{-2}

B1：緊急停止・遮断

緊急遮断設備（エア駆動）の失敗確率を適用した（図 4.2.2 の FTA を参照）。

B2：緊急移送（内容物処理）

設備自体は高い確率で動作すると考えられるが、高圧で処理されている場合が多く（短時間で内容物が漏洩するため）、設備が作動するまでの間の漏洩量を考慮して 10^{-1} と推定した。

B3：着火

製造施設では可燃性のガスや液体を高温高圧で扱っているものが多く、災害事例の多くが火災や爆発に至っている。従って、表 4.2.26 の全国における事故発生状況から、漏洩直後に着火する確率を 6×10^{-1} （304/492）と推定した。

B4：蒸発・拡散防止

毒性物質を取り扱う製造施設には、散水設備や吸引設備など、毒性ガスの蒸発や拡散を防止するための設備が設置されている場合がある。さらに漏洩時には、放水や中和処理などの除外措置が実施される。失敗確率は、高圧ガスタンクと同様に、屋外に設置されたプラント設備については 10^{-1} とし、屋内に設置されたプラント設備については 1.9×10^{-2} とした。

3) 災害事象の発生危険度

1)、2) で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を製造施設の ET に当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.29～表 4.2.31 のようになる。

表 4.2.29 製造施設・流出火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2:ユニット内全量流出	DE3：大量流出
高松地区			
AAn	8	8	0
An	0	0	8
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0
東部地区			
AAn	81	81	0
An	0	0	81
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0
西部地区			
AAn	30	30	0
An	0	0	30
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0

注) 危険物を取り扱う施設のみ

表 4.2.30 製造施設・爆発火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE4：小量流出	DE5:ユニット内全量流出	DE6：大量流出
高松地区			
AAn	4	4	0
An	0	0	4
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0
東部地区			
AAn	60	60	0
An	0	0	60
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0
西部地区			
AAn	11	11	0
An	0	0	11
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	0

注) 可燃性ガスを取り扱う施設のみ

表 4.2.31 製造施設・毒性ガス拡散の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE7：小量流出	DE8:ユニット内全量流出	DE9：大量流出
高松地区（対象施設なし）			
東部地区			
AAn	13	0	0
An	0	13	0
Bn	0	0	8
Cn	0	0	5
Dn	0	0	0
En	0	0	0
西部地区			
AAn	2	0	0
An	0	2	0
Bn	0	0	0
Cn	0	0	2
Dn	0	0	0
En	0	0	0

注) 毒性ガスを取り扱う施設のみ

(2) 発電施設

1) 初期事象の発生頻度

発電施設の初期事象は、装置（燃料配管）の破損による漏洩である。

火力発電所における、最近 10 年間（2002～2011 年）の漏洩及び火災事故の発生状況は表 4.2.32 のとおりである。また、発電施設は危険物一般取扱所に該当するが、一般取扱所全体における、最近 10 年間（2004～2013 年）の漏洩及び火災事故の発生状況は表 4.2.33 のとおりである。

表 4.2.32 火力発電所の事故発生状況（2002～2011 年）^a

施設数	漏洩事故		火災事故		計	
	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・基]
347	109	(3.1×10^{-2})	38 (13)	(1.1×10^{-2})	147	(4.2×10^{-2})

注 1) 施設数は 2011 年 3 月 31 日現在の火力発電所数を表す。

注 2) 事故件数は、過去 10 年間の漏洩事故及び火災事故件数の合計を表す。なお、火災事故の内、括弧内は漏洩から火災に至った場合であり、内数である。

注 3) 漏洩事故及び火災事故の発生頻度（括弧内の数値）は 10 年間の事故件数の合計と施設数から算出した推定値である。

表 4.2.33 危険物一般取扱所の事故発生状況（2004～2013 年）^{a, b, c}

	施設数	漏洩事故		火災事故		計	
		件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]
特定事業所	5,872	245	(4.2×10^{-3})	234	(4.0×10^{-3})	479	(8.2×10^{-3})
全国	64,475	890	1.3×10^{-3}	1,155	1.7×10^{-3}	2,045	(3.2×10^{-3})

注 1) 施設数は 2013 年 3 月 31 日（全国）及び 2011 年 4 月 1 日（特定事業所）現在の完成検査済証交付施設数である。

注 2) 特定事業所及び全国の事故件数は、過去 10 年間の漏洩事故及び火災事故（爆発を含む）件数の合計を表す。なお、漏洩から火災に至る場合は火災に含まれる。

注 3) 全国の漏洩事故及び火災事故の発生頻度は、各年の発生頻度の平均値である。その他の発生頻度（括弧内の数値）は、10 年間の事故件数の合計と施設数から算出した推定値である。

火力発電所における事故の発生頻度は、一般取扱所全体と比較して約 10 倍大きくなっている。従って、発電施設の装置破損による漏洩の発生頻度は、表 4.2.32 の漏洩事故発生頻度を基に 3.1×10^{-2} [件/年・基] とした。

表 4.2.34 発電施設の初期事象の発生頻度（平常時）

初期事象	発生頻度
IE1：装置の破損による漏洩	3.1×10^{-2}

^a 岡山県石油コンビナート防災アセスメント報告書，消防科学総合センター，平成 25 年 3 月

^b 危険物に係る事故事例，消防庁

^c 石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要，消防庁特殊災害室

2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は、表 4.2.35 のように設定した。

表 4.2.35 発電施設の事象の分岐確率（平常時）

事象分岐	分岐確率
B1：緊急停止・遮断	5.2×10^{-3}
B2：バルブ手動閉止	2.9×10^{-4}
B3：着火	6×10^{-1}

B1：緊急停止・遮断

製造施設と同様に緊急遮断設備（エア駆動）の失敗確率を適用した。

B2：バルブ手動閉止

CCPSによる手動バルブの閉止失敗確率（VALVES-MANUAL： 2.9×10^{-4} ）を適用した。

B3：着火

製造施設の場合と同程度と推定し、 6×10^{-1} とした。

3) 災害事象の発生危険度

1)、2)で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を発電施設のETに当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.36、表 4.2.37 のようになる。

表 4.2.36 発電施設・流出火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出
高松地区			
AAn	3	0	0
An	0	3	0
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	3
東部地区			
AAn	12	0	0
An	0	12	0
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	12
西部地区（対象施設なし）			

注) 危険物を取り扱う施設のみ

表 4.2.37 発電施設・爆発火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出
高松地区			
AAn	1	0	0
An	0	1	0
Bn	0	0	0
Cn	0	0	0
Dn	0	0	0
En	0	0	1
東部地区（対象施設なし）			
西部地区（対象施設なし）			

注) 可燃性ガスを取り扱う施設のみ

4.2.5. 海上入出荷施設

(1) 初期事象の発生頻度

海上入出荷施設の初期事象は、配管等の破損による漏洩（IE1）である。

石油タンカー棧橋は、危険物施設の移送取扱所に該当する（移送取扱所には配管等、棧橋以外の施設も含まれる）。移送取扱所における、最近 10 年間の漏洩及び火災事故の発生状況は、表 4.2.38 のとおりであり、移送取扱所の漏洩事故発生率は、製造所や屋外タンク貯蔵所など他の施設と比べて高くなっている（参考資料 1 表 1.1 参照）。

表 4.2.38 危険物移送取扱所の事故発生状況（2004～2013 年）^{a, b, c}

	施設数	漏洩事故		火災事故		計	
		件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]	件数 [件/10 年]	発生率 [件/年・施設]
特定事業所	962	66	(6.9×10^{-3})	1	(1.0×10^{-4})	67	7.0×10^{-3}
全国	1,147	92	7.7×10^{-3}	2	1.7×10^{-4}	94	(8.2×10^{-3})

注 1) 施設数は 2013 年 3 月 31 日（全国）及び 2011 年 4 月 1 日（特定事業所）現在の完成検査済証交付施設数である。

注 2) 特定事業所及び全国の事故件数は、過去 10 年間の漏洩事故及び火災事故（爆発を含む）件数の合計を表す。なお、漏洩から火災に至る場合は火災に含まれる。

注 3) 全国の漏洩事故及び火災事故の発生頻度は、各年の発生頻度の平均値である。その他の発生頻度（括弧内の数値）は、10 年間の事故件数の合計と最新の施設数から算出した推定値である。

ただし、移送取扱所には地上配管、地下配管などの棧橋以外の施設も含まれることから、ここで評価対象としている棧橋での事故については、移送取扱所全体の事故件数よりも少なくなると考えられる。

危険物等事故防止技術センターによる、昭和 49 年から平成 14 年（1974～2002 年）までの 29 年間における移送取扱所の漏洩事故発生状況の分析結果によると、移送取扱所における漏洩事故 161 件の内、事故発生場所が「棧橋」であるものは 62 件（約 39%）であった。

棧橋における漏洩事故の発生場所と発生原因の分類（参考資料 1 図 1.2）によると、62 件中 29 件が配管から、13 件がローディングアームから、それぞれ漏洩している。配管からの漏洩の原因は、大半が腐食によるものであり、ローディングアームからの漏洩の原因は、地震等災害によるものを除くと、監視不十分や確認不十分といった人的要因によるものが多い。また、油種別の事故発生状況からは、重油が事故件数、事故発生率ともに高いことが指摘されている。

これらより、石油タンカー棧橋における初期事象（配管等の破損による漏洩）の発生頻度は、次のように推定する。

○施設数

移送取扱所の内、棧橋を有する施設数については、「移送取扱所の点検・補修状況調査」

^a 岡山県石油コンビナート防災アセスメント報告書，消防科学総合センター，平成 25 年 3 月

^b 危険物に係る事故事例，消防庁

^c 石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要，消防庁特殊災害室

(2004年に消防庁が実施したアンケート調査)によると、調査への回答があった移送取扱所1,179施設中、栈橋を有するものは744施設であった^aことから、移送取扱所の内、栈橋を有する施設の割合を744/1,179(63.1%)とし、2013年3月31日現在の全国の移送取扱所の施設数から、724(1,147×63.1%)施設と推定した。

○漏洩事故の件数

移送取扱所の漏洩事故の内、栈橋における漏洩事故の件数については、前述の事故発生状況から、移送取扱所における漏洩事故の内、事故発生場所が「栈橋」である割合を62/161(38.5%)とし、2004～2013年の全国の移送取扱所における漏洩事故件数から、35(92×38.5%)件と推定した。

○発生頻度

以上のことより、栈橋における漏洩事故の発生頻度は、 $35/724/10=4.8\times 10^{-3}$ [件/年・施設]と推定した。なお、当該地区に設置されている栈橋の平均稼働率については全国平均と同程度とみなした。

LPG栈橋については近年漏洩事故が数件発生しており、原因は配管の腐食や誤操作であった^b。LPG栈橋での漏洩頻度(1施設あたり)については、石油栈橋と比べると、ローディングアームからの漏洩は同程度、配管からの漏洩は、危険物配管よりも腐食しにくい材質であるため低いと考えられる。発生件数としては、配管からの漏洩の方が多いため、LPG栈橋における初期事象発生頻度は、石油栈橋の1/2の 2.4×10^{-3} [件/年・施設]とした。

表 4.2.39 海上入出荷施設の初期事象の発生頻度(平常時)

初期事象	発生頻度	
	石油タンカー栈橋	LPGタンカー栈橋
IE1:配管等の破損による漏洩	4.8×10^{-3}	2.4×10^{-3}

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 4.2.40 のように設定した。

表 4.2.40 海上入出荷施設の事象の分岐確率(平常時)

事象分岐	分岐確率
B1:緊急停止・遮断	10^{-2}
B2:着火	2.1×10^{-2}

^a 千葉県石油コンビナート等防災アセスメント調査結果報告書, 千葉県石油コンビナート等防災本部, 平成22年10月

^b 事故事例検索システム, 高圧ガス保安協会

B1：緊急停止・遮断

入出荷中は、常に計器や人による監視が行われており、異常があった場合には直ちに送出側のポンプ停止や緊急遮断が行われる。この緊急停止操作自体の失敗確率は、緊急遮断の失敗確率 (5.8×10^{-3} : 電気駆動) と同様と考えられるが、監視不十分による停止失敗も考えられることから、やや大きい 10^{-2} とする。

B2：着火

表 4.2.38 に示したように、危険物の移送取扱所では漏洩は多く発生しているが、火災は殆ど発生していない。油種別に見ると、第1石油類は第2、3石油類に比べて火災になりやすいのは明らかであり、危険物タンクのように第1石油類は 10^{-1} 、第2、3石油類は 10^{-2} 程度と考えるのが自然であろう。しかし、ここでは個々の施設ごとではなく地区全体の施設をまとめて評価しているため、平均的な着火確率として、表 4.2.38 の全国全事故件数中に占める火災事故の割合を基に 2.1×10^{-2} (2 / 94) と推定し、LPG についても同様とした。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2) で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を海上入出荷施設の ET に当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.41、表 4.2.42 のようになった。

表 4.2.41 海上入出荷施設・流出火災の災害発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2：大量流出
高松地区		
An	1	0
Bn	0	0
Cn	0	1
Dn	0	0
En	0	0
東部地区		
An	25	0
Bn	0	0
Cn	0	25
Dn	0	0
En	0	0
西部地区		
An	2	0
Bn	0	0
Cn	0	2
Dn	0	0
En	0	0

注) 石油タンカー棧橋のみ

表 4.2.42 海上入出荷施設・爆発火災の災害発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE3：小量流出	DE4：大量流出
高松地区		
An	1	0
Bn	0	0
Cn	0	1
Dn	0	0
En	0	0
東部地区		
An	5	0
Bn	0	0
Cn	0	5
Dn	0	0
En	0	0
西部地区（対象施設なし）		

注) LPG 棧橋のみ

4.2.6. パイプライン

(1) 初期事象の発生頻度

パイプラインの初期事象は、石油配管（第1～4石油類）または高圧ガス導管における配管の破損による漏洩（IE1）である。

パイプラインは配管の長さや形状が様々であるという特徴を有しており、その災害の発生頻度は施設の延長距離に比例する。しかし、延長距離に対応する発生頻度の推定を行うことが困難であるため、他の施設と同様に1施設に対する発生頻度を用いることとした。従って、ここで示す災害の発生頻度は、1つのパイプラインのどこかで災害が発生する頻度を表す。

パイプラインの内、石油配管は、危険物施設の移送取扱所に該当する。最近10年間における危険物移送取扱所の事故発生状況を表4.2.38に示す。

石油配管での事故発生状況は下記（参考）に示すとおりであるが、施設数が不明であるため、これを基に初期事象の発生頻度を割り出すことはできない。パイプラインでは、栈橋に比べて人的作業が少なく発生頻度は低いと考えられる一方で、1施設あたりの総延長が相当に長い場合が多く、パイプラインのどこかで漏洩が発生する頻度として捉えると発生頻度は高くなるとも考えられる。このようなことから、初期事象（配管等の破損による漏洩）の発生頻度は、全国の移送取扱所における漏洩事故の発生頻度（ 7.7×10^{-3} ）を適用することとした。また、高圧ガス導管における事故は、近年腐食劣化によるものなどが数件発生しているが^a、やはり事故発生頻度を求めるための統計データが十分ではないことから、栈橋と同様に石油配管の1/2とした。

○石油配管での事故発生状況（参考）

4.2.5で示した海上入出荷施設の評価における、危険物等事故防止技術センターが実施した移送取扱所の漏洩事故の分析結果によると、昭和49年から平成14年（1974～2002年）までの29年間の漏洩事故161件中、地上配管における事故は33件（約20%）、地下配管における事故は42件（約26%）であった（参考資料1 図1.2）。

漏洩事故の発生原因は、地上、地下いずれの場合も腐食等の劣化によるものが70%近くを占めている（地下配管については、地下で漏洩が発生しても、地上に火災の影響が及ぶ危険性が低いと考えられることから、本調査では評価対象外とした）。

油種別では、重油配管が事故発生件数及び発生率がともに高くなっており、その理由として、重油配管は一般に断熱材により保温施工されていることから、雨水等による腐食危険性が高いことが指摘されている。

^a 事故事例検索システム，高圧ガス保安協会

表 4.2.43 パイプラインの初期事象の発生頻度（平常時）

初期事象	発生頻度	
	石油配管	高圧ガス導管
IE1：配管の破損による漏洩	7.7×10^{-3}	3.9×10^{-3}

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 4.2.44 のように設定した。

表 4.2.44 パイプラインの事象の分岐確率（平常時）

事象分岐	分岐確率
B1：緊急停止・遮断	10^{-2}
B2：バルブ手動閉止	2.9×10^{-4}
B3：着火	2.1×10^{-2}

B1：緊急停止・遮断

漏洩が発生、検知されると、制御室や現場において直ちに移送ポンプの停止、緊急遮断の操作が行われる。この緊急停止操作自体の失敗確率は、緊急遮断の失敗確率（ 5.2×10^{-3} ：エア駆動）と同様と考えられるが、監視不十分による停止失敗も考えられることから、やや大きい 10^{-2} とした。

B2：バルブ手動閉止の失敗

CCPS による手動バルブの閉止失敗確率（VALVES-MANUAL： 2.9×10^{-4} ）を適用した。

B3：着火

海上入出荷施設と同様に、地区全体の施設に対する平均的な着火確率として 2.1×10^{-2} を設定した。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2) で設定した初期事象の発生頻度と事象の分岐確率をパイプラインの ET に当てはめ、各災害事象の発生頻度を算出した。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 4.2.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 4.2.45、表 4.2.46 のようになった。

表 4.2.45 パイプライン・流出火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出
高松地区			
An	10	0	0
Bn	0	0	0
Cn	0	10	0
Dn	0	0	0
En	0	0	10
東部地区			
An	17	0	0
Bn	0	0	0
Cn	0	17	0
Dn	0	0	0
En	0	0	17
西部地区			
An	4	0	0
Bn	0	0	0
Cn	0	4	0
Dn	0	0	0
En	0	0	4

注) 石油配管のみ

表 4.2.46 パイプライン・爆発火災の発生危険度分布（平常時）
（単位：施設）

区分	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出
高松地区			
An	2	0	0
Bn	0	0	0
Cn	0	2	0
Dn	0	0	0
En	0	0	2
東部地区			
An	40	0	0
Bn	0	0	0
Cn	0	40	0
Dn	0	0	0
En	0	0	40
西部地区（対象施設なし）			

注) 高圧ガス導管のみ

4.3. 災害の影響度の推定

イベントツリー解析（ETA）により抽出された各災害事象について、災害が発生したときの影響距離を算定し、次のようにランク付けすることにより災害の影響度とした。

表 4.3.1 災害影響度の区分

区分	影響距離
I	200m 以上
II	100m 以上 200m 未満
III	50m 以上 100m 未満
IV	20m 以上 50m 未満
V	20m 未満

災害の影響度は、消防庁指針で示されている手法を用いて算定を行った（手法の詳細については参考資料2を参照）。ここで示す影響距離は、以下に述べる影響距離の算定条件により算定するものであり、実際に事故が発生した場合の影響距離を示すものではないことに注意を要する。また、ETのなかに現れる災害の規模には、影響距離の大小だけでなく災害の継続時間といった要素もある。ここでは、災害の継続時間は考慮していないため、災害の規模が大きくなっても影響度が変わらない場合もある。さらに、実際には影響度の大きさは施設の立地状況や周囲の環境によっても異なる。

4.3.1. 算定条件

(1) 影響度の許容値（しきい値）

影響の許容値は消防庁指針に従って表 4.3.2のように設定し、災害の影響距離は影響の大きさが許容値以上となる距離とした。

表 4.3.2 影響度の許容値（しきい値）

現象		許容値（しきい値）	設定理由
液面火災の放射熱		2.3 kW/m ²	人体が数十秒間受けることにより痛みを感じる程度の熱量
ガス爆発の爆風圧		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）及び「推進限界」（物が飛ばされる限界）とされる爆風圧。家の天井の一部が破損し、窓ガラスの10%が破壊されるとされる圧力 *なお、高圧ガス保安法及びコンビナート等保安規則においては、既存製造施設に対する限界値を11.8kPaとしており、2.1kPaはこの値より安全側である。
フラッシュ火災（可燃性ガス拡散）		爆発下限界濃度の1/2	人間に対して火傷などの危険が生じると考えられる許容限界
毒性ガス 拡散	臭素	3 ppm	米国の国立労働安全衛生研究所（NIOSH）が提唱する許容限界値（IDLH：Immediate Dangerous to Life and Health）で、「30分以内に救出されないと元の健康状態に回復しない濃度」
	塩素	10 ppm	
	フッ化水素	30 ppm	
	アクリロニトリル	85 ppm	
	硫化水素	100 ppm	
	アンモニア	300 ppm	

(2) 漏洩量の想定

ETAでは、対象施設の種類や防災活動の成否によって小量流出、中量流出、大量流出のように災害規模を分けて考えている。影響度の推定を行う場合、災害の規模は漏洩口の大きさ等によって次のように設定した（ETAで想定する災害規模と必ずしも直接対応するものではない）。

1) 危険物・可燃性ガスの漏洩

- ・小量流出：フランジボルト破損

配管フランジ部のボルト1本が損傷して幅0.1cmの隙間が開くことを想定した。この時の漏洩口の面積はフランジボルト間隔×亀裂幅（0.1cm）となる。なお、溶接配管の場合、長さ1cm、幅0.1cm（面積0.1 cm²）の亀裂を想定した。

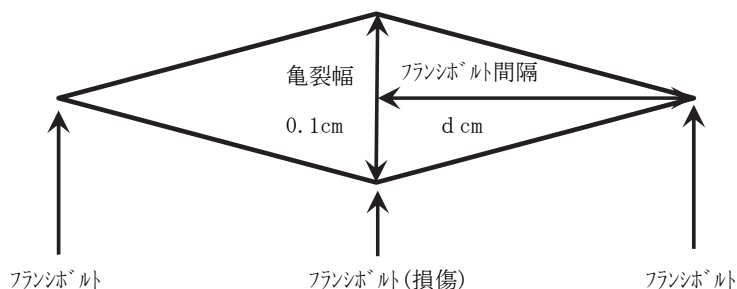


図 4.3.1 フランジボルト破損による漏洩口の概念図

- ・中量流出、ユニット全量流出：配管断面積の1/100

配管とタンク本体との接続部に、配管断面積の1/100の大きさの漏洩口が開くことを想定した。ただし、漏洩口面積の下限を 0.75cm^2 、上限を 12.6cm^2 （直径40cm配管の1/100の面積に相当）とした。

- ・大量流出、全量流出（長時間）：中量流出と同様

2) 毒性ガスの漏洩

- ・小量流出： 0.1cm^2

毒性ガス配管は溶接配管や二重配管が用いられていることが多いことから、長さ1cm、幅0.1cmの亀裂（面積 0.1cm^2 ）を想定した。

- ・中量流出、ユニット全量流出：小量流出と同様
- ・大量流出、全量流出（長時間）：小量流出と同様

3) 毒性液体の漏洩（毒性危険物を除く）

毒性液体が漏洩した場合、多くのタンクでは防液堤の溝を流れて処理されるようになっているため、防液堤の溝に溜まった毒性液体から毒性ガスが蒸発し、大気中に拡散する場合を想定した。

- ・小量流出：防液堤1辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。
- ・中量流出：防液堤2辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。
- ・大量流出、全量流出（長時間）：防液堤4辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。

(3) ガス拡散の気象条件

可燃性ガスや毒性ガスの拡散を考えると、その濃度分布は風向や風速、大気安定度等の気象条件に影響される。拡散ガスの影響算定にあたり、気象条件は出現頻度までは考慮せず、確定的に扱った。

本調査で用いる気象条件を以下に示す（詳細については参考資料3を参照）。

1) 風向

ガスは大気中を風下方向に拡散していくが、本調査では風向を特定せず、全ての方向にガスが拡散し得るものと考えた。

2) 風速

コンビナート地区近隣の測定局における、過去10年間（2004年4月～2013年3月）の平均風速である 3.1m/s （10m換算値）を用いた。

3) 大気安定度

コンビナート地区近隣の測定局における、過去10年間（2004年4月～2013年3月）の風速と日射量データより大気安定度を求め、最多出現の安定度である中立を用いた。

4.3.2. 危険物タンク

(1) 災害事象の詳細条件

危険物タンクで起こり得る流出火災、タンク火災、毒性ガス拡散の各災害事象の影響距離算定手順は次のとおりである。

① 流出火災

(DE1) 小量流出・火災

様相	流出直後に着火してタンク周辺で液面火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
火炎形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災をタンク真横に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、火災の発生場所を特定できないため、火炎中心からの影響距離に火炎半径及びタンク半径を加えた距離を半径とする円内が影響範囲となる（図 4.3.2）。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 14, 15）

(DE2) 中量流出・火災

様相	流出直後に着火してタンク周辺で液面火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
火炎形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災をタンク真横に想定する。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、火災の発生場所を特定できないため、火炎中心からの影響距離に火炎半径及びタンク半径を加えた距離を半径とする円内が影響範囲となる（図 4.3.2）。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 14, 15）

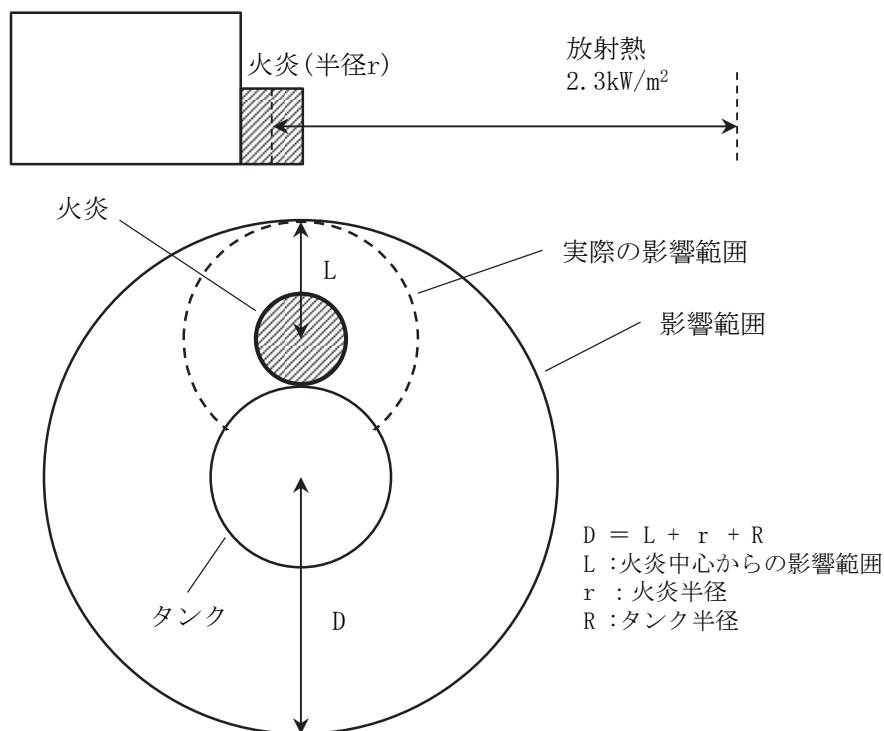


図 4.3.2 小量・中量流出・火災の影響範囲

(DE3) 仕切堤内流出・火災

様相	仕切堤全面に流出後、着火して液面火災となる。	
火炎形状	仕切堤と同面積の底面（タンク部分を含む）を持つ円筒形火炎とし、火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 15）

(DE4) 防油堤内流出・火災

様相	防油堤全面に流出後、着火して液面火災となる。	
火炎形状	防油堤と同面積の底面（タンク部分を含む）を持つ円筒形火炎とし、火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。ただし、底面積については、タンク全量が深さ0.1mで広がった時の面積を上限とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 15）

(DE5) 防油堤外流出・火災

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

② タンク火災

(DE6) タンク小火災

様相	タンク屋根で出火し小火災を形成する。	
火炎形状	タンク半径の1/10の火炎半径を持つ円筒形火炎をタンク屋根の上端に想定し、火炎高さは底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、火災の発生場所を特定できないため、火炎中心からの影響距離より火炎半径を減じ、タンク半径を加えた距離を半径とする円内が影響範囲となる（図 4.3.3）。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 15）

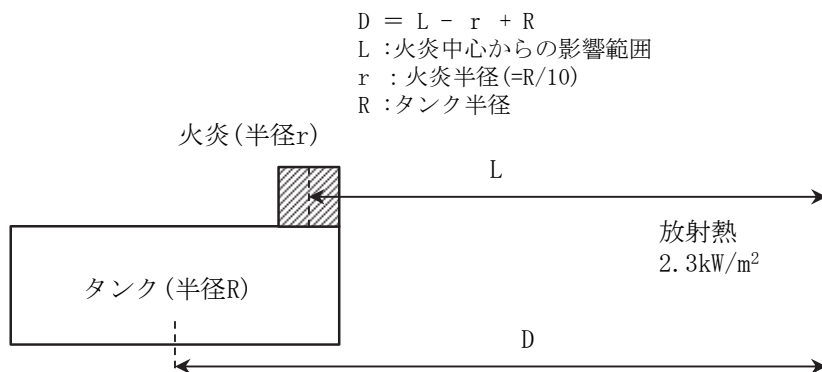


図 4.3.3 タンク小火災の影響範囲

(DE7) リング火災

様相	浮き屋根で出火しリング火災となる。	
火炎形状	タンク直径の1/10の火炎幅を持つリング状の火炎をタンク屋根の上端に想定し、火炎高さは火炎幅の1.5倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱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た。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。（図 4.3.4）。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 13, 15）

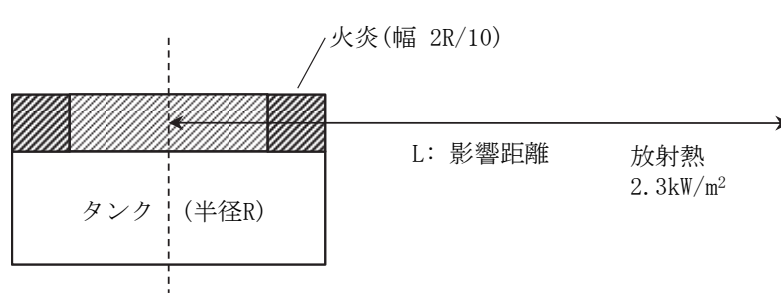


図 4.3.4 リング火災の影響範囲

(DE8) タンク全面火災

様相	タンク屋根で出火し全面火災となる。	
火炎形状	タンク底面に等しい火炎底面を持つ円筒形火炎をタンク屋根上に想定し、火炎高さは底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱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た。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 15)

(DE9) タンク全面・防油堤火災

様相	タンク屋根で出火し全面火災となり、さらにボイルオーバーにより防油堤内火災となる。	
火炎形状	防油堤内流出・火災と同じ。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 15)

③ 毒性ガス拡散

(DE10) 小量流出・拡散

様相	流出してタンク周辺で液面を形成し、毒性ガスが蒸発拡散する。	
漏洩口	フランジボルト破損	
液面面積	小量流出・火災の火炎底面積と同じ (液面は円を仮定)。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる (図 4.3.5)。	
使用した式	液面面積の算出	液体流出モデル (参考資料2 式1) 面積算出式 (参考資料2 式14)
	拡散ガス量の算出	蒸発モデル (参考資料2 式5)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

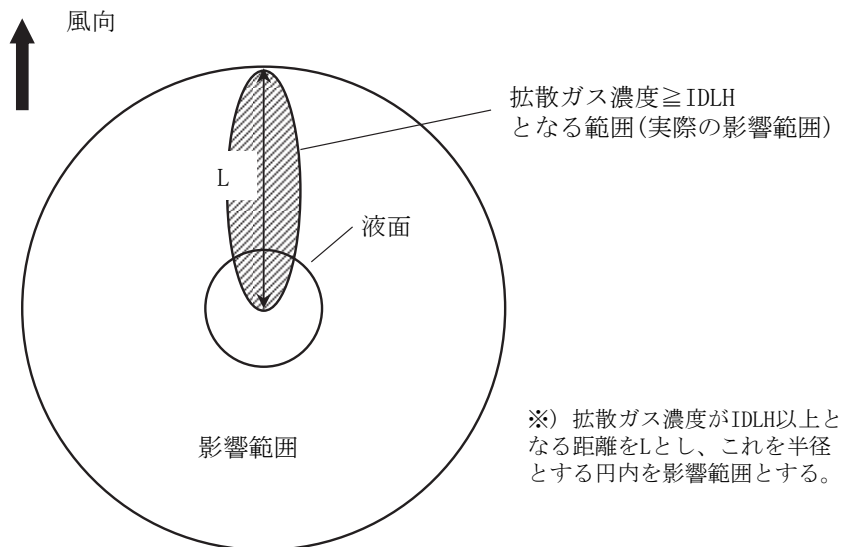


図 4.3.5 毒性ガス拡散の影響範囲

(DE11) 中量流出・拡散

様相	流出してタンク周辺で液面を形成し、毒性ガスが蒸発拡散する。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
液面面積	中量流出・火災の火炎底面積と同じ（液面は円を仮定）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	液面面積の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1） 面積算出式（参考資料2 式14）
	拡散ガス量の算出	蒸発モデル（参考資料2 式5）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE12) 仕切堤内流出・拡散

様相	仕切堤全面に流出し、毒性ガスが蒸発拡散する。	
液面面積	仕切堤の面積と同じ（液面は円を仮定）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	拡散ガス量の算出	蒸発モデル（参考資料2 式5）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE13) 防油堤内流出・拡散

様相	防油堤全面に流出し、毒性ガスが蒸発拡散する。	
液面面積	防油堤の面積と同じ（液面は円を仮定）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	拡散ガス量の算出	蒸発モデル（参考資料2 式5）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE14) 防油堤外流出・拡散

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

(2) 災害事象の影響度

(1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.3～表 4.3.5のようになる。

表 4.3.3 危険物タンク・流出火災の影響度分布

(単位：基)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：仕切堤内流出	DE4：防油堤内流出	DE5：防油堤外流出
高松地区					
I	0	0	0	1	15
II	0	0	1	4	0
III	0	0	2	9	0
IV	0	7	0	1	0
V	4	8	0	0	0
対象外	11	0	12	0	0
東部地区					
I	0	0	0	152	239
II	0	0	19	38	0
III	0	0	9	37	0
IV	0	184	86	12	0
V	201	55	22	0	0
対象外	38	0	103	0	0
西部地区					
I	0	0	0	0	20
II	0	0	0	6	0
III	0	0	0	10	0
IV	0	0	0	4	0
V	8	20	0	0	0
対象外	12	0	20	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.3.4 危険物タンク・タンク火災の影響度分布

(単位：基)

区分	DE6:タンク小火災	DE7:リング火災	DE8:タンク全面火災	DE9:タンク全面・防油堤火災
高松地区				
I	0	0	0	1
II	0	0	0	4
III	0	0	1	9
IV	0	3	11	1
V	15	0	3	0
対象外	0	12	0	0
東部地区				
I	0	0	0	152
II	0	0	32	38
III	0	43	59	37
IV	0	35	125	12
V	239	0	23	0
対象外	0	161	0	0
西部地区				
I	0	0	0	0
II	0	0	0	6
III	0	0	0	10
IV	0	0	6	4
V	20	0	14	0
対象外	0	20	0	0

DE7 対象外：浮き屋根式以外のタンク

表 4.3.5 危険物タンク・毒性ガス拡散の影響度分布

(単位：基)

区分	DE10:小量流出	DE11:中量流出	DE12:仕切堤内流出	DE13:防油堤内流出	DE14:防油堤外流出
高松地区 (対象施設なし)					
東部地区 (対象施設なし)					
西部地区					
I	0	0	0	1	1
II	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	1	1	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	1	0	0

DE10 対象外：遮断設備のないタンク

DE12 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

4.3.3. 高圧ガスタンク

(1) 災害事象の詳細条件

加圧液化ガスは沸点以上の温度で圧力をかけて液化しているため、漏洩した液体は瞬間的に気化し、空気と混合して可燃性混合気を形成する。これに着火すると、着火のタイミングにより爆発やフラッシュ火災を起こす。

これらの可燃性ガスタンクについては、ガス爆発やフラッシュ火災等の影響が問題となり、災害事象は、漏洩規模により小量、中量、大量、全量（長時間）、全量（短時間）に分けて考える。ただし、全量（短時間）流出（DE5）については、影響度の算定を行わず、全て最大の「I」とした。

また、毒性ガスタンクの場合は毒性ガスの拡散が問題となり、災害事象は、漏洩規模により小量、中量、大量、全量（長時間）、全量（短時間）に分けて考える。ただし、全量流出（短時間）・拡散（DE10）については、影響度の算定を行わず、全て最大の「I」とした。

① ガス爆発

(DE1) 小量流出・爆発

様相	5分間に流出したガスがタンク周辺で全量気化し、着火・爆発する。ただし、漏洩量の上限は貯蔵量とする。	
漏洩口	フランジボルト破損	
影響距離	爆風圧が許容値となるタンク中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) ・気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE2) 中量流出・爆発

様相	5分間に流出したガスがタンク周辺で全量気化し、着火・爆発する。ただし、漏洩量の上限は貯蔵量とする。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	爆風圧が許容値となるタンク中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	

使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE3) 大量流出・爆発

様相	10分間に流出したガスがタンク周辺で全量気化し、着火・爆発する。ただし、漏洩量の上限は貯蔵量とする。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
影響距離	爆風圧が許容値となるタンク中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE4) 全量流出 (長時間) ・爆発

様相	10分間に流出したガスがタンク周辺で全量気化し、着火・爆発する。ただし、漏洩量の上限は貯蔵量とする。なお、漏洩が長時間継続するため、爆発が繰り返し起こる危険性がある。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
影響距離	爆風圧が許容値となるタンク中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE5) 全量流出 (短時間) ・爆発

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

② フラッシュ火災

(DE1) 小量流出・フラッシュ火災

様相	一定速度で流出したガスが全量気化して大気中に拡散し、着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル （参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル （参考資料2 式3, 4）
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；拡散ガス量の算出式 （参考資料2 式7） ・気体の場合；拡散ガス量の算出式 （参考資料2 式8）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE2) 中量流出・フラッシュ火災

様相	一定速度で流出したガスが全量気化して大気中に拡散し、着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル （参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル （参考資料2 式3, 4）
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；拡散ガス量の算出式 （参考資料2 式7） ・気体の場合；拡散ガス量の算出式 （参考資料2 式8）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE3、DE4) 大量流出及び全量（長時間）流出・フラッシュ火災

様相	一定速度で流出したガスが全量気化して大気中に拡散し、着火してフラッシュ火災となる。なお、漏洩が長時間継続するため、フラッシュ火災の危険性が継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル（参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル（参考資料2 式3, 4）
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7） ・気体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式8）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

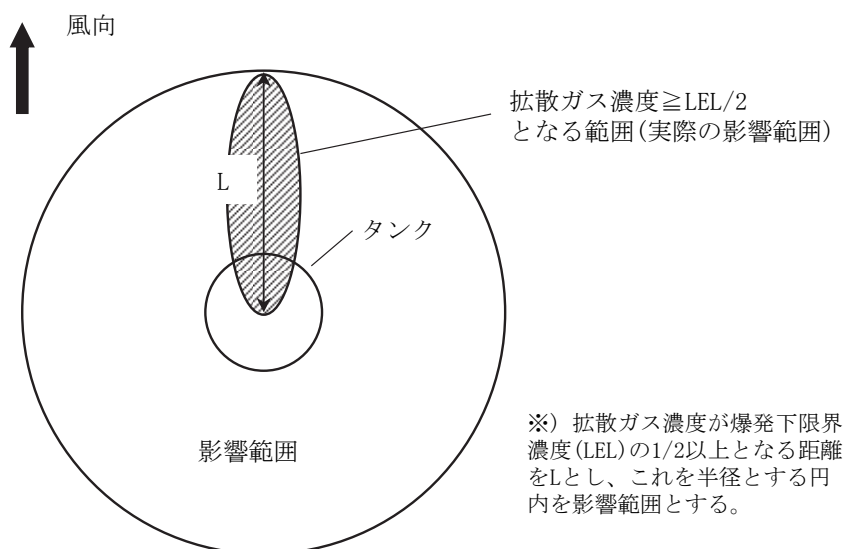


図 4.3.6 フラッシュ火災（ガス拡散）の影響範囲

(DE5) 全量流出（短時間）・フラッシュ火災

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

③ 毒性ガス拡散

(DE6) 小量流出・拡散

様相	一定速度で流出した毒性液化ガスが全量気化し、大気中に拡散する。	
漏洩口	0.1cm ²	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	拡散ガス量の算出	拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE7、DE8、DE9) 中量、大量、全量（長時間）流出・拡散

様相	一定速度で流出した毒性液化ガスが全量気化し、大気中に拡散する。災害規模に応じて危険性が継続する。	
漏洩口	0.1cm ²	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	拡散ガス量の算出	拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE10) 全量（短時間）流出・拡散

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

(2) 災害の影響度

(1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.6～表 4.3.8のようになる。

なお、フラッシュ火災及び毒性ガス拡散については、拡散ガス量によってガス濃度が許容値に達しない場合もあるが、その場合は最小の「V」とした。

表 4.3.6 可燃性ガスタンク・爆発火災の影響度分布

(単位：基)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 (長時間)	DE5：全量流出 (短時間)
高松地区					
I	0	0	2	2	15
II	0	2	5	5	0
III	7	5	5	5	0
IV	3	8	3	3	0
V	5	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
I	0	17	41	41	141
II	23	77	65	65	0
III	73	30	33	33	0
IV	41	17	1	2	0
V	1	0	0	0	0
対象外	3	0	1	0	0
西部地区					
I	0	0	0	0	28
II	0	0	3	3	0
III	7	16	24	24	0
IV	21	12	1	1	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.3.7 可燃性ガスタンク・フラッシュ火災の影響度分布

(単位：基)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 (長時間)	DE5：全量流出 (短時間)
高松地区					
I	0	0	0	0	15
II	0	2	2	2	0
III	0	5	5	5	0
IV	7	3	3	3	0
V	8	5	5	5	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
I	0	1	1	1	141
II	0	80	80	80	0
III	26	35	35	35	0
IV	103	21	20	21	0
V	9	4	4	4	0
対象外	3	0	1	0	0
西部地区					
I	0	0	0	0	28
II	0	0	0	0	0
III	0	3	3	3	0
IV	22	25	25	25	0
V	6	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

表 4.3.8 毒性ガスタンク・毒性ガス拡散の影響度分布

(単位：基)

区分	DE6：小量流出	DE7：中量流出	DE8：大量流出	DE9：全量流出 (長時間)	DE10：全量流出 (短時間)
高松地区					
I	3	3	3	3	3
II	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
I	13	13	13	13	15
II	2	2	2	2	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
西部地区					
I	1	1	1	1	1
II	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE6 対象外：遮断設備のないタンク

DE8 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

4.3.4. 毒性液体タンク

(1) 災害事象の詳細条件

毒性液体が漏洩した場合、多くのタンクでは防液堤の溝を流れて処理されるようになっており、溝に溜まった毒性液体からの毒性ガスの拡散が問題となる。

その時の漏洩規模は液面の面積により小量、中量、大量、全量（長時間）、全量（短時間）に分けて考える。ただし、全量流出（短時間）（DE5）については、影響度の算定を行わず、最大の「I」とした。

(DE1) 小量流出・拡散

様相	防液堤の溝に溜まった毒性液体から毒性ガスが蒸発し、大気中に拡散する。	
液面面積	防液堤1辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	液面面積の算出	防液堤1辺×溝の幅×辺数
	拡散ガス量の算出	蒸発モデル（参考資料2 式5）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE2) 中量流出・拡散

様相	防液堤の溝に溜まった毒性液体から毒性ガスが蒸発し、大気中に拡散する。	
液面面積	防液堤2辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	
使用した式	液面面積の算出	防液堤1辺×溝の幅×辺数
	拡散ガス量の算出	蒸発モデル（参考資料2 式5）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE3、DE4) 大量流出及び全量（長時間）流出・拡散

様相	防液堤の溝に溜まった毒性液体から毒性ガスが蒸発し、大気中に拡散する。少しずつ長時間にわたって漏洩するため、防液堤全面には拡がらない。	
液面面積	防液堤4辺の溝（幅20cmとする）に溜まった場合を想定した。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる風下方向の距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.5）。	

使用した式	液面面積の算出	防液堤 1 辺×溝の幅×辺数
	拡散ガス量の算出	蒸発モデル (参考資料 2 式5)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料 2 式6)

(DE5) 全量 (短時間) 流出・拡散

算定は行わずに影響度は最大の「I」とした。

(2) 災害の影響度

(1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.9のようになる。ここで、防液堤が設置されていないタンクについては、DE1～DE4の算定は行わなかった。

なお、拡散ガス量によってはガス濃度が許容値に達しない場合もあるが、その場合は最小の「V」とした。

表 4.3.9 毒性液体タンク・毒性ガス拡散の影響度分布

(単位：基)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 (長時間)	DE5：全量流出 (短時間)
高松地区					
I	0	0	2	2	2
II	2	2	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
I	0	7	8	8	15
II	5	1	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	3	0	0	0	0
西部地区					
I	0	1	1	1	1
II	1	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

注) 硫酸を除く、DE1～DE4については防液堤のないタンクを除く

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

4.3.5. プラント

プラントでは、危険物、可燃性・毒性ガス（液化ガスを含む）がそれぞれ最大に滞留する塔槽類（ユニット）の内容物が漏洩するとして影響評価を行った。なお、これらの物質が滞留する設備がない場合は評価対象外とした。

(1) 製造施設

1) 災害事象の詳細条件

製造施設で想定される災害事象は取り扱う物質によって異なり、危険物の場合は流出火災、可燃性ガスでは爆発やフラッシュ火災、毒性ガスでは拡散による影響が問題となるが、影響度の算定方法はこれまでと同様である。漏洩規模は小量、ユニット全量、大量に分けて考えた。

① 流出火災

(DE1) 小量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 14, 15）

(DE2) ユニット内全量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 14, 15）

(DE3) 大量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。火炎は長時間継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル（参考資料2 式1）
	火炎の放射熱の算出	火災モデル（参考資料2 式11, 12, 14, 15）

② ガス爆発

(DE4) 小量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。	
漏洩量	フランジボルトが破損して可燃性ガスの流出が5分間継続する。ただし、漏洩量の上限はユニット滞留量とする。	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル（参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル（参考資料2 式3, 4）
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル（参考資料2 式17）

(DE5) ユニット内全量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。	
漏洩量	ユニット滞留量の全量	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル（参考資料2 式17）

(DE6) 大量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。漏洩が長時間継続し、ガス爆発の危険性が継続する。	
漏洩量	ユニット滞留量の全量	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル（参考資料2 式17）

③ フラッシュ火災

(DE4) 小量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル（参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル（参考資料2 式3, 4）
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7） ・気体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式8）
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE5) ユニット内全量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル（参考資料2 式1） ・気体の場合；気体流出モデル（参考資料2 式3, 4）

	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

(DE6) 大量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。漏洩が長時間継続するため、フラッシュ火災の危険性が継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値 (爆発下限界濃度の1/2) 以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる (図 4.3.6)。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

④ 毒性ガス拡散

(DE7) 小量流出・拡散

様相	漏洩した毒性ガスが大気中に拡散する。	
漏洩口	0.1cm ²	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる (図 4.3.5)。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)

	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

(DE8、DE9) ユニット内全量及び大量流出・拡散

様相	漏洩した毒性ガスが大気中に拡散する。漏洩は長時間継続し、危険性が継続する。	
漏洩口	0.1cm ²	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる (図 4.3.5)。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

2) 災害の影響度

1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.10～表 4.3.12のようになる。

なお、影響度の大きさが許容値に達しない場合もあるが、その場合は最小の「V」とした。

表 4.3.10 製造施設・流出火災の影響度分布

(単位：施設)

区分	DE1：小量流出	DE2:ユニット内全量流出	DE3：大量流出
高松地区			
I	0	0	0
II	0	0	0
III	0	5	5
IV	8	3	3
V	0	0	0
東部地区			
I	0	11	11
II	4	6	6
III	8	19	19
IV	38	18	18
V	30	26	26
西部地区			
I	0	1	1
II	0	1	1
III	1	6	6
IV	14	10	10
V	13	10	10

注 1) 危険物をユニットに滞留させて取り扱う施設のみ

注 2) ユニット貯蔵圧力が負であるか危険物を気体で取り扱っており、流出量の計算ができないものを除く

表 4.3.11 製造施設・爆発火災の影響度分布

(単位:施設)

区分	爆発			フラッシュ火災		
	DE4:小量流出	DE5:ユニット内全量流出	DE6:大量流出	DE4:小量流出	DE5:ユニット内全量流出	DE6:大量流出
高松地区						
I	0	0	0	0	0	0
II	0	0	0	0	0	0
III	0	4	4	0	0	0
IV	0	0	0	0	0	0
V	4	0	0	4	4	4
東部地区						
I	0	42	42	0	16	16
II	17	14	14	9	7	7
III	28	3	3	7	16	16
IV	14	0	0	29	13	13
V	0	0	0	14	7	7
西部地区						
I	0	7	7	0	0	0
II	0	3	3	0	0	0
III	7	1	1	0	1	1
IV	4	0	0	6	7	7
V	0	0	0	5	3	3

注) 可燃性ガスをユニットに滞留させて取り扱う施設のみ

表 4.3.12 製造施設・毒性ガス拡散の影響度分布

(単位:施設)

区分	DE7:小量流出	DE8:ユニット内全量流出	DE9:大量流出
高松地区 (対象施設なし)			
東部地区			
I	7	7	7
II	1	1	1
III	0	0	0
IV	3	3	3
V	1	1	1
西部地区			
I	2	2	2
II	0	0	0
III	0	0	0
IV	0	0	0
V	0	0	0

注) 毒性ガスをユニットに滞留させて取り扱う施設のみ

(2) 発電施設

1) 災害事象の詳細条件

発電施設で想定される災害事象は危険物の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災である。漏洩規模は小量、中量、大量に分けて考えた。

① 流出火災

(DE1) 小量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式1)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

(DE2) 中量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式1)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

(DE3) 大量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。火災は長時間継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を施設中心に想定した。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	

使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式1)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

② ガス爆発

(DE4) 少量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。	
漏洩量	フランジボルトが破損して可燃性ガスの流出が5分間継続する。	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) ・気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE5) 中量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。	
漏洩量	配管とタンク本体との接続部に配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした) の大きさの漏洩口が開き、可燃性ガスの流出が5分間継続する。	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) ・気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE6) 大量流出・爆発

様相	漏洩ガスの全量が施設周辺で着火・爆発する。漏洩が長時間継続し、ガス爆発の危険性が継続する。	
漏洩量	配管とタンク本体との接続部に配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした) の大きさの漏洩口が開き、可燃性ガスの流出が10分間継続する。	
影響距離	爆風圧が許容値となる施設中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	

使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

③ フラッシュ火災

(DE4) 小量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

(DE5) 中量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる（図 4.3.6）。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)

	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

(DE6) 大量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。漏洩が長時間継続するため、フラッシュ火災の危険性が継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値 (爆発下限界濃度の1/2) 以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる (図 4.3.6)。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式1) 気体の場合；気体流出モデル (参考資料2 式3, 4)
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) 気体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式8)
	ガス濃度の算出	連続点源の式 (参考資料2 式6)

2) 災害の影響度

1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.13、表 4.3.14のようになる。

なお、影響度の大きさが許容値に達しない場合もあるが、その場合は最小の「V」とした。

表 4.3.13 発電施設・流出火災の影響度分布

(単位：施設)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出
高松地区			
I	0	2	2
II	1	0	0
III	1	1	1
IV	1	0	0
V	0	0	0
東部地区			
I	0	0	0
II	0	2	2
III	2	0	0
IV	0	6	6
V	7	1	1
西部地区（対象施設なし）			

注1) 危険物をユニットに滞留させて取り扱う施設のみ

注2) ユニット貯蔵圧力が負であり、流出量の算定ができないものを除く

表 4.3.14 発電施設・爆発火災の影響度分布

(単位：施設)

区分	爆発			フラッシュ火災		
	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出
高松地区						
I	0	0	0	0	0	0
II	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0	0
IV	0	1	1	0	0	0
V	1	0	0	1	1	1
東部地区（対象施設なし）						
西部地区（対象施設なし）						

注) 可燃性ガスをユニットに滞留させて取り扱う施設のみ

4.3.6. 海上入出荷施設

本調査では、個々の海上入出荷施設における災害の影響度の評価は行わず、定性的な検討にとどめることとした。

石油栈橋における少量流出に伴う火災では、炎上範囲は栈橋付近の陸上あるいは海上にとどまり、放射熱の影響がコンビナート区域外に及ぶことは考えにくい。石油の大量流出について、タンカーからの入出荷中に起こり得るのは、短時間に大量の石油が流出するのではなく、少しずつ長時間にわたって流出するような事象である。したがって、このような場合にも、火災の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は小さいと考えられる。また、石油の海上流出についても、入出荷中はタンカーの周りをオイルフェンスで囲んでいることが多く、流出油が広範囲に拡がることは考えにくい。

4.3.7. パイプライン

(1) 災害事象の詳細条件

パイプラインの災害事象は、石油配管の場合は流出火災、高圧ガス導管では爆発やフラッシュ火災が問題となる。漏洩規模は少量、中量、大量に分けて考えた。

また、パイプラインについてはどの地点でも災害が起こり得るため、発生位置は特定せず、災害が発生した場合の影響距離を推定することとした。

① 流出火災

(DE1) 少量流出・火災

様相	流出直後に着火して配管周辺で液面火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
火炎形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を想定する。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式2)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

(DE2) 中量流出・火災

様相	流出直後に着火して配管周辺で液面火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
火炎形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を想定する。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	

使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式2)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

(DE3) 大量流出・火災

様相	流出直後に着火して周辺で液面火災となる。火炎は長時間継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
火災形状	流出率と燃焼速度から火炎面積を算出し、これと同面積の底面を持つ円筒形火災を想定する。火炎高さは火炎底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	液体流出モデル (参考資料2 式2)
	火炎の放射熱の算出	火災モデル (参考資料2 式11, 12, 14, 15)

② ガス爆発

(DE4) 小量流出・爆発

様相	5分間に流出したガスが配管周辺で全量気化し、着火・爆発する。	
漏洩量	フランジボルト破損	
影響距離	爆風圧が許容値となる配管からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式2) ・気体の場合；対象外
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE5) 中量流出・爆発

様相	5分間に流出したガスが配管周辺で全量気化し、着火・爆発する。	
漏洩量	配管断面積の1/100 (ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした)。	
影響距離	爆風圧が許容値となる配管からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式2) ・気体の場合；対象外
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル (参考資料2 式17)

(DE6) 大量流出・爆発

様相	10分間に流出したガスが配管周辺で全量気化し、着火・爆発する。	
漏洩量	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	爆風圧が許容値となる配管からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式2) ・気体の場合；対象外
	爆発中心からの距離の算出	爆発モデル（参考資料2 式17）

③ フラッシュ火災

(DE4) 小量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	フランジボルト破損	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式2) ・気体の場合；対象外
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；拡散ガス量の算出式 (参考資料2 式7) ・気体の場合；対象外
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE5) 中量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> ・液体の場合；液体流出モデル (参考資料2 式2) ・気体の場合；対象外

	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7） 気体の場合；対象外
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(DE6) 大量流出・フラッシュ火災

様相	大気中に拡散したガスに着火してフラッシュ火災となる。漏洩が長時間継続するため、フラッシュ火災の危険性が継続する。	
漏洩口	配管断面積の1/100（ただし漏洩口面積の下限を0.75cm ² 、上限を12.6cm ² とした）。	
影響距離	ガス発生源高さにおける軸上の拡散ガス濃度が許容値（爆発下限界濃度の1/2）以上となる距離を影響距離とした。なお、風向は特定せず、影響範囲は影響距離を半径とした円内となる	
使用した式	流出率の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；液体流出モデル（参考資料2 式2） 気体の場合；対象外
	拡散ガス量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 液体の場合；拡散ガス量の算出式（参考資料2 式7） 気体の場合；対象外
	ガス濃度の算出	連続点源の式（参考資料2 式6）

(2) 災害の影響度

(1)の想定に基づき求めた各災害事象の影響の大きさを、表 4.2.1の区分でランク付けして分布を求めると、表 4.3.15、表 4.3.16のようになる。

なお、影響度の大きさが許容値に達しない場合もあるが、その場合は最小の「V」とした。

表 4.3.15 パイプライン・流出火災の影響度分布
(単位：施設)

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出
高松地区			
I	0	2	2
II	0	5	5
III	3	2	2
IV	7	1	1
V	0	0	0
東部地区			
I	0	10	10
II	0	0	0
III	11	6	6
IV	5	1	1
V	1	0	0
西部地区			
I	0	0	0
II	0	0	0
III	0	0	0
IV	4	4	4
V	0	0	0

注) 石油配管のみ

表 4.3.16 パイプライン・爆発火災の影響度分布
(単位：施設)

区分	爆発火災			フラッシュ火災		
	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出
高松地区						
I	0	1	1	0	1	1
II	1	0	0	0	0	0
III	0	0	0	1	0	0
IV	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0
東部地区						
I	0	0	1	0	0	0
II	2	10	14	0	5	5
III	10	12	7	4	11	11
IV	10	0	0	9	6	6
V	0	0	0	9	0	0
西部地区 (対象施設なし)						

注) 可燃性ガスを液体として取り扱う高圧ガス導管のみ

4.4. 総合的な災害危険性の評価

災害の想定については、消防庁指針の中で発生頻度が 10^{-6} /年以上という目安(安全水準)が示されている。

本調査では、平常時の災害を次の3段階で捉えることとした。

- 第1段階の災害：災害の発生危険度がBレベル (10^{-5} /年程度) 以上の災害
→現実的に起こり得ると考えて対策を検討しておくべき災害
- 第2段階の災害：災害の発生危険度がCレベル (10^{-6} /年程度) の災害
→発生する可能性は相当に小さいと考えられるが、万一に備えて対策を検討しておくべき災害
- 低頻度大規模災害：災害の発生危険度がDレベル (10^{-7} /年程度) 以下で、影響度がIレベル (200m以上) の災害
→平常時に発生することは考えにくい、影響が大きくなると考えられる災害
第8章において別途検討した。

個々の施設の評価は、図 4.4.1 のようなリスクマトリックスを用いて行った。第1段階の災害が想定されるのはマトリックスの赤色の箇所、第2段階の災害が想定されるのは橙色の箇所に該当する施設、低頻度大規模災害が想定されるのは黄色の箇所に該当する施設である。ここで、平常時における災害の発生危険度と影響度のランク付けは表 4.4.1 のとおりである。

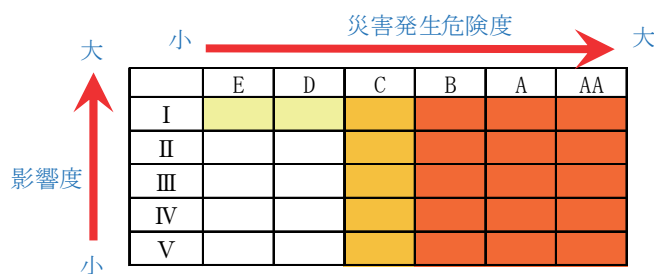


図 4.4.1 リスクマトリックス

表 4.4.1 平常時の災害発生危険度区分及び影響度区分

○平常時の災害発生危険度区分

区分	災害発生危険度 [／年]
AAn	10^{-3} 程度 (5×10^{-4} 以上) 注
An	10^{-4} 程度 (5×10^{-5} 以上 5×10^{-4} 未満)
Bn	10^{-5} 程度 (5×10^{-6} 以上 5×10^{-5} 未満)
Cn	10^{-6} 程度 (5×10^{-7} 以上 5×10^{-6} 未満)
Dn	10^{-7} 程度 (5×10^{-8} 以上 5×10^{-7} 未満)
En	10^{-8} 程度 (5×10^{-8} 未満)

○災害の影響度区分

区分	影響距離
I	200m 以上
II	100m 以上 200m 未満
III	50m 以上 100m 未満
IV	20m 以上 50m 未満
V	20m 未満

注) プラントのみ

4.4.1. 高松地区

(1) 危険物タンク

高松地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.2 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災、中量流出・火災、防油堤内流出・火災が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としても、第1段階と同様の災害が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤内流出・火災及び防油堤外流出・火災が想定される。

タンク火災について、第1段階の災害としては、タンク小火災が想定され、影響度はⅤレベルとなる。第2段階の災害としては、タンク小火災とタンク全面火災が想定され、影響度はⅣレベル以下となる。低頻度大規模災害としては、タンク全面・防油堤火災が想定される。

表 4.4.2 高松地区における危険物タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<流出火災>

DE1: 小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V			3	1		4
計			3	1		4

DE2: 中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV		3	4			7
V			4	3	1	8
計		3	8	3	1	15

DE3: 仕切堤内流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II		1				1
III		2				2
IV						
V						
計		3				3

DE4: 防油堤内流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II	2		1	1		4
III		7	2			9
IV			1			1
V						
計	3	7	4	1		15

DE5: 防油堤外流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	15					15
II						
III						
IV						
V						
計	15					15

<タンク火災>

DE6: タンク小火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V			10	4	1	15
計			10	4	1	15

DE7: リング火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV		3				3
V						
計		3				3

DE8: タンク全面火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III	1					1
IV	9	1	1			11
V		3				3
計	10	4	1			15

DE9: タンク全面・防油堤火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II	3	1				4
III	9					9
IV	1					1
V						
計	14	1				15

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.3 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 4.4.3 高松地区における特定外タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A~B レベル)	DE2: 中量流出・火災	69
	DE4: 防油堤内流出・火災	2
第2段階 (C レベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	67

<タンク火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A~B レベル)	DE6: タンク小火災	69
第2段階 (C レベル)	DE8: タンク全面火災	2

(3) 高圧ガスタンク

高松地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.4 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、小量流出・爆発から全量流出（長時間）・爆発が想定され、大量流出・爆発では影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅣレベル以下となる。第2段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災から全量流出（長時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（長時間）・拡散が想定され、影響度は全てⅠレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 4.4.4 高松地区における高圧ガスタンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			6	1		7
IV				3		3
V				5		5
計			6	9		15

DE2: 中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			2			2
III			5			5
IV			8			8
V						
計			15			15

DE3: 大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			2			2
II			5			5
III			5			5
IV			3			3
V						
計			15			15

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		2				2
II		4	1			5
III			5			5
IV			3			3
V						
計		6	9			15

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		15				15
II						
III						
IV						
V						
計		15				15

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV			6	1		7
V				8		8
計			6	9		15

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			2			2
III			5			5
IV			3			3
V			5			5
計			15			15

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			2			2
III			5			5
IV			3			3
V			5			5
計			15			15

DE4: 全量流出（長時間）・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II		2				2
III		4	1			5
IV			3			3
V			5			5
計		6	9			15

DE5: 全量流出（短時間）・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		15				15
II						
III						
IV						
V						
計		15				15

<毒性ガス拡散>

DE6: 小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I					3	3
II						
III						
IV						
V						
計					3	3

DE7: 中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				3		3
II						
III						
IV						
V						
計				3		3

DE8: 大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				3		3
II						
III						
IV						
V						
計				3		3

DE9: 全量流出（長時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				3		3
II						
III						
IV						
V						
計				3		3

DE10: 全量流出（短時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			3			3
II						
III						
IV						
V						
計			3			3

(4) 毒性液体タンク

高松地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.5 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散、中量流出・拡散、大量流出・拡散が想定され、影響度は大量流出・拡散でⅠレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・拡散及び全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 4.4.5 高松地区における毒性液体タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<毒性ガス拡散>

DE1：小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
Ⅰ						
Ⅱ				2		2
Ⅲ						
Ⅳ						
Ⅴ						
計				2		2

DE2：中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
Ⅰ						
Ⅱ				2		2
Ⅲ						
Ⅳ						
Ⅴ						
計				2		2

DE3：大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
Ⅰ				2		2
Ⅱ						
Ⅲ						
Ⅳ						
Ⅴ						
計				2		2

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
Ⅰ			2			2
Ⅱ						
Ⅲ						
Ⅳ						
Ⅴ						
計			2			2

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
Ⅰ			2			2
Ⅱ						
Ⅲ						
Ⅳ						
Ⅴ						
計			2			2

(5) プラント（製造施設）

高松地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.6 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、小量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。

爆発について、第1段階の災害として、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅤレベルとなる。

表 4.4.6 高松地区における製造施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV						8	8
V							
計						8	8

DE2：ユニット内全量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III						5	5
IV						3	3
V							
計						8	8

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III					5		5
IV					3		3
V							
計					8		8

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V						4	4
計						4	4

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III						4	4
IV							
V							
計						4	4

DE6：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III					4		4
IV							
V							
計					4		4

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V						4	4
計						4	4

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V						4	4
計						4	4

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V					4		4
計					4		4

(6) プラント（発電施設）

高松地区における発電施設の各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.7 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災及び中量流出・火災が想定され、影響度は中量流出・火災でIレベルとなる。低頻度大規模災害としては、大量流出・火災が想定される。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発及び中量流出・爆発が想定され、影響度はIVレベル以下となる。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災及び中量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はVレベルとなる。

表 4.4.7 高松地区における発電施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II						1	1
III						1	1
IV						1	1
V							
計						3	3

DE2：中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I					2		2
II							
III					1		1
IV							
V							
計					3		3

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I	2						2
II							
III	1						1
IV							
V							
計	3						3

<爆発>

DE1：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V						1	1
計						1	1

DE3：中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV					1		1
V							
計					1		1

DE5：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV	1						1
V							
計	1						1

<フラッシュ火災>

DE2：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V						1	1
計						1	1

DE4：中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V					1		1
計					1		1

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III							
IV							
V	1						1
計	1						1

(7) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.8 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 4.4.8 高松地区における海上入出荷施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE1：小量流出・火災	1
	DE3：小量流出・爆発火災	1
第2段階 (Cレベル)	DE2：大量流出・火災	1
	DE5：大量流出・爆発火災	1

(8) パイプライン

高松地区におけるパイプラインの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.9 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災が想定され、影響度はIIIレベル以下となる。第2段階の災害としては、中量流出・火災が想定され、影響度がIレベルとなる施設がある。低頻度大規模災害としては、大量流出・火災が想定される。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発が想定され、影響度はIIレベルとなる。第2段階の災害としては、中量流出・爆発が想定され、影響度はIレベルとなる。低頻度大規模災害としては、大量流出・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災が想定

され、影響度はⅢレベルとなる。第2段階の災害としては、中量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅠレベルとなる。低頻度大規模災害としては、大量流出・フラッシュ火災が想定される。

表 4.4.9 高松地区におけるパイプラインの想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III					3	3
IV					7	7
V						
計					10	10

DE2：中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			2			2
II			5			5
III			2			2
IV			1			1
V						
計			10			10

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	2					2
II	5					5
III	2					2
IV	1					1
V						
計	10					10

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II					1	1
III						
IV						
V						
計					1	1

DE6：中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II						
III						
IV						
V						
計			1			1

DE8：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II						
III						
IV						
V						
計	1					1

<フラッシュ火災>

DE5：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III					1	1
IV						
V						
計					1	1

DE7：中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II						
III						
IV						
V						
計			1			1

DE9：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II						
III						
IV						
V						
計	1					1

4.4.2. 東部地区

(1) 危険物タンク

東部地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると表 4.4.10 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災から防油堤内流出・火災が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がIレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としても、第1段階と同様の災害が想定され、全体に影響度が大きくなる。低頻度大規模災害としては、防油堤内流出・火災及び防油堤外流出・火災が想定される。

タンク火災について、第1段階の災害としては、タンク小火災が想定され、影響度はVレベルとなる。第2段階の災害としては、タンク小火災、リング火災、タンク全面火災が想定され、影響度はIIIレベル以下となる。低頻度大規模災害としては、タンク全面・防油堤火災が想定される。

表 4.4.10 東部地区における危険物タンクの想定災害(平常時) (単位:基)

<流出火災>

DE1: 小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V			78	114	9	201
計			78	114	9	201

DE2: 中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV		76	102	6		184
V		2	19	24	10	55
計		78	121	30	10	239

DE3: 仕切堤内流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II		9	10			19
III		2	5	2		9
IV		29	56	1		86
V		18	3	1		22
計		58	74	4		136

DE4: 防油堤内流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	51	66	34	1		152
II	6	15	12	5		38
III		14	18	5		37
IV		2	6	4		12
V						
計	57	97	70	15		239

DE5: 防油堤外流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	239					239
II						
III						
IV						
V						
計	239					239

<タンク火災>

DE6: タンク小火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V			85	135	19	239
計			85	135	19	239

DE7: リング火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III		2	41			43
IV		8	27			35
V						
計		10	68			78

DE8: タンク全面火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II	2	30				32
III	31	28				59
IV	52	59	14			125
V		18	5			23
計	85	135	19			239

DE9: タンク全面・防油堤火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	151	1				152
II	30	8				38
III	32	5				37
IV	7	5				12
V						
計	220	19				239

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.11 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 4.4.11 東部地区における特定外タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE2: 中量流出・火災	389
	DE4: 防油堤内流出・火災	85
第2段階 (Cレベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	304

<タンク火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE6: タンク小火災	369
第2段階 (Cレベル)	DE8: タンク全面火災	81

(3) 高圧ガスタンク

東部地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.12 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発及び中量流出・爆発が想定され、影響度はIIレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、小量流出・爆発から全量流出（短時間）・爆発が想定され、小量流出・爆発を除き、影響度がIレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災及び中

量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災から全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（長時間）・フラッシュ火災及び全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から大量流出・拡散が想定され、影響度はⅠレベル又はⅡレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・拡散及び全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 4.4.12 東部地区における高圧ガスタンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			16	7		23
III			30	43		73
IV			18	23		41
V				1		1
計			64	74		138

DE2: 中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			17			17
II			76	1		77
III			29	1		30
IV			16			16
V						
計			138	2		140

DE3: 大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			41			41
II			65			65
III			33			33
IV			1			1
V						
計			140			140

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		24	17			41
II		39	26			65
III		19	14			33
IV			2			2
V						
計		82	59			141

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		138	3			141
II						
III						
IV						
V						
計		138	3			141

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			16	10		26
IV			44	59		103
V			4	5		9
計			64	74		138

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II			80			80
III			34	1		35
IV			20			20
V			3	1		4
計			138	2		140

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II			80			80
III			35			35
IV			20			20
V			4			4
計			140			140

DE4: 全量流出(長時間)・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II		50	30			80
III		16	19			35
IV		14	7			21
V		1	3			4
計		82	59			141

DE5: 全量流出(短時間)・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		138	3			141
II						
III						
IV						
V						
計		138	3			141

<毒性ガス拡散>

DE6: 小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				13		13
II				2		2
III						
IV						
V						
計				15		15

DE7: 中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				13		13
II				2		2
III						
IV						
V						
計				15		15

DE8: 大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				13		13
II				2		2
III						
IV						
V						
計				15		15

DE9: 全量流出(長時間)・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			13			13
II			2			2
III						
IV						
V						
計			15			15

DE10: 全量流出(短時間)・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			15			15
II						
III						
IV						
V						
計			15			15

(4) 毒性液体タンク

東部地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.13 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出(短時間)流出・拡散が想定され、影響度は流出・拡散でIレベル又はIIレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出(長時間)・拡散及び全量流出(短時間)・拡散が想定される。

表 4.4.13 東部地区における毒性液体タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<毒性ガス拡散>

DE1：小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II				5		5
III						
IV						
V						
計				5		5

DE2：中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				7		7
II				1		1
III						
IV						
V						
計				8		8

DE3：大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				8		8
II						
III						
IV						
V						
計				8		8

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			5	3		8
II						
III						
IV						
V						
計			5	3		8

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			12	3		15
II						
III						
IV						
V						
計			12	3		15

(5) プラント（製造施設）

東部地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.14 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、小量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

爆発について、第1段階の災害として、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。第2段階の災害としては、大量流出・拡散が想定される。

表 4.4.14 東部地区における製造施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II						4	4
III						8	8
IV						38	38
V						30	30
計						80	80

DE2：ユニット内全量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						11	11
II						6	6
III						19	19
IV						18	18
V						26	26
計						80	80

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I					11		11
II					6		6
III					19		19
IV					18		18
V					26		26
計					80		80

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II						17	17
III						28	28
IV						14	14
V							
計						59	59

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						42	42
II						14	14
III						3	3
IV							
V							
計						59	59

DE6：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I					42		42
II					14		14
III					3		3
IV							
V							
計					59		59

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II						9	9
III						7	7
IV						29	29
V						14	14
計						59	59

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						16	16
II						7	7
III						16	16
IV						13	13
V						7	7
計						59	59

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I					16		16
II					7		7
III					16		16
IV					13		13
V					7		7
計					59		59

<毒性ガス拡散>

DE7：小量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						7	7
II						1	1
III							
IV						3	3
V						1	1
計						12	12

DE8：ユニット内全量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						7	7
II						1	1
III							
IV						3	3
V						1	1
計						12	12

DE9：大量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I			4	3			7
II				1			1
III							
IV				3			3
V				1			1
計			4	8			12

(6) プラント（発電施設）

東部地区における発電施設の各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.15 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災及び中量流出・火災が想定され、影響度は中量流出・火災でIIレベルとなる施設が存在する。

表 4.4.15 東部地区における発電施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III						2	2
IV							
V						7	7
計						9	9

DE2：中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II					2		2
III							
IV					6		6
V					1		1
計					9		9

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II	2						2
III							
IV	6						6
V	1						1
計	9						9

(7) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.16 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 4.4.16 東部地区における海上入出荷施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE1：小量流出・火災	25
	DE3：小量流出・爆発火災	5
第2段階 (Cレベル)	DE2：大量流出・火災	25
	DE5：大量流出・爆発火災	5

(8) パイプライン

東部地区におけるパイプラインの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.17 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、中量流出・火災が想定され、影響度がⅠレベルとなる施設がある。低頻度大規模災害としては、大量流出・火災が想定される。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発が想定され、影響度はⅡレベルとなる施設がある。第2段階の災害としては、中量流出・爆発が想定され、影響度はⅡレベルとなる施設がある。低頻度大規模災害としては、大量流出・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、中量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅡレベルとなる施設が存在する。

表 4.4.17 東部地区におけるパイプラインの想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III					11	11
IV					5	5
V					1	1
計					17	17

DE2：中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			10			10
II						
III			6			6
IV			1			1
V						
計			17			17

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	10					10
II						
III	6					6
IV	1					1
V						
計	17					17

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II					2	2
III					10	10
IV					10	10
V						
計					22	22

DE6：中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			10			10
III			12			12
IV						
V						
計			22			22

DE8：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II	14					14
III	7					7
IV						
V						
計	22					22

<フラッシュ火災>

DE5：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III					4	4
IV					9	9
V					9	9
計					22	22

DE7：中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			5			5
III			11			11
IV			6			6
V						
計			22			22

DE9：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II	5					5
III	11					11
IV	6					6
V						
計	22					22

4.4.3. 西部地区

(1) 危険物タンク

西部地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.18 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災、中量流出・火災、防油堤内流出・火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害として、中量流出・火災及び防油堤内流出・火災が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤外流出・火災が想定される。

タンク火災について、第1段階の災害としては、タンク小火災が想定され、影響度はⅤレベルとなる。第2段階の災害としては、タンク全面火災が想定され、影響度はⅤレベルとなる。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散、中量流出・拡散、防油堤内流出・拡散が想定され、防油堤内流出・拡散では影響度がIレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤外流出・拡散が想定される。

表 4.4.18 西部地区における危険物タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<流出火災>

DE1: 小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V				7	1	8
計				7	1	8

DE2: 中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V			7	13		20
計			7	13		20

DE4: 防油堤内流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			6			6
III			9	1		10
IV			4			4
V						
計			19	1		20

DE5: 防油堤外流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	20					20
II						
III						
IV						
V						
計	20					20

<タンク火災>

DE6: タンク小火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV						
V				19	1	20
計				19	1	20

DE8: タンク全面火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV		6				6
V		13	1			14
計		19	1			20

DE9: タンク全面・防油堤火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II	6					6
III	9	1				10
IV	4					4
V						
計	19	1				20

<毒性ガス拡散>

DE10: 小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV					1	1
V						
計					1	1

DE11: 中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV				1		1
V						
計				1		1

DE13: 防油堤内流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE14: 防油堤外流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I	1					1
II						
III						
IV						
V						
計	1					1

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.19 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 4.4.19 西部地区における特定外タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE2: 中量流出・火災	266
	DE4: 防油堤内流出・火災	33
第2段階 (Cレベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	233

<タンク火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE6: タンク小火災	257
第2段階 (Cレベル)	DE8: タンク全面火災	33

(3) 高圧ガスタンク

西部地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.20 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、小量流出・爆発から全量流出（長時間）・爆発が想定され、大量流出・爆発では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅣレベル以下となる。第2段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火

災から全量流出（長時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（長時間）・拡散が想定され、影響度は全てⅠレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 4.4.20 西部地区における高圧ガスタンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			4	3		7
IV			8	13		21
V						
計			12	16		28

DE2: 中量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			16			16
IV			12			12
V						
計			28			28

DE3: 大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II			3			3
III			24			24
IV			1			1
V						
計			28			28

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II		3				3
III		13	11			24
IV		1				1
V						
計		17	11			28

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		28				28
II						
III						
IV						
V						
計		28				28

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV			8	14		22
V			4	2		6
計			12	16		28

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			3			3
IV			25			25
V						
計			28			28

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III			3			3
IV			25			25
V						
計			28			28

DE4: 全量流出（長時間）・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III		2	1			3
IV		15	10			25
V						
計		17	11			28

DE5：全量流出（短時間）・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I		28				28
II						
III						
IV						
V						
計		28				28

<毒性ガス拡散>

DE6：小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I					1	1
II						
III						
IV						
V						
計					1	1

DE7：中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE8：大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE9：全量流出（長時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE10：全量流出（短時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II						
III						
IV						
V						
計			1			1

(4) 毒性液体タンク

西部地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.21 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（長時間）流出・拡散が想定され、影響度はIレベル又はIIレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 4.4.21 西部地区における毒性液体タンクの想定災害（平常時）（単位：基）

<毒性ガス拡散>

DE1：小量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II					1	1
III						
IV						
V						
計					1	1

DE2：中量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE3：大量流出・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I			1			1
II						
III						
IV						
V						
計			1			1

(5) プラント（製造施設）

西部地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.22 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、小量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

爆発について、第1段階の災害として、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はIIIレベル以下となる。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散及びユニット内全量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる。第2段階の災害としては、大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる。

表 4.4.22 西部地区における製造施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I							
II							
III					1		1
IV					14		14
V					13		13
計					28		28

DE2：ユニット内全量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I						1	1
II						1	1
III						6	6
IV						10	10
V						10	10
計						28	28

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAAn	計
I					1		1
II					1		1
III					6		6
IV					10		10
V					10		10
計					28		28

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I							
II							
III						7	7
IV						4	4
V							
計						11	11

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I						7	7
II						3	3
III						1	1
IV							
V							
計						11	11

DE6：大量流出・爆発

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I					7		7
II					3		3
III					1		1
IV							
V							
計					11		11

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I							
II							
III							
IV						6	6
V						5	5
計						11	11

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I							
II							
III						1	1
IV						7	7
V						3	3
計						11	11

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I							
II							
III					1		1
IV					7		7
V					3		3
計					11		11

<毒性ガス拡散>

DE7：小量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I						2	2
II							
III							
IV							
V							
計						2	2

DE8：ユニット内全量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I					2		2
II							
III							
IV							
V							
計					2		2

DE9：大量流出・ガス拡散

	En	Dn	Cn	Bn	An	AAn	計
I			2				2
II							
III							
IV							
V							
計			2				2

(6) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 4.4.23 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 4.4.23 西部地区における海上入出荷施設の想定災害（平常時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A~B レベル)	DE1：小量流出・火災	2
第2段階 (C レベル)	DE2：大量流出・火災	2

(7) パイプライン

西部地区におけるパイプラインの各段階の想定災害をまとめると、表 4.4.24 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災が想定され、影響度はIVレベルとなる。第2段階の災害としては、中量流出・火災が想定され、影響度はIVレベルとなる。

表 4.4.24 西部地区におけるパイプラインの想定災害（平常時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV					4	4
V						
計					4	4

DE2：中量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV			4			4
V						
計			4			4

DE3：大量流出・火災

	En	Dn	Cn	Bn	An	計
I						
II						
III						
IV	4					4
V						
計	4					4

5. 地震時（短周期地震動）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、地震時（短周期地震動）による被害を対象とした評価を実施した。

各対象施設について、短周期地震動による被害の発生危険度（発生確率）及び影響度（影響距離）を計算した。さらに、発生危険度及び影響度の結果を基に、総合的な災害危険性評価（リスクマトリックスによる評価）を行った。

5.1. 前提となる地震の想定

消防庁指針では、地震の想定について、「地域防災計画において想定される地震・津波の中で、石油コンビナートに最大の影響を及ぼす地震・津波を想定することを原則とする」とある。茨城県では地域防災計画の中で、地震災害対策計画の基本方針として、「平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災や平成23年3月に発生した東日本大震災の教訓を踏まえ、震度7の地震や広域的な被害を発生させる地震を想定した防災対策の確立を図る」としているものの、地震被害想定調査としては、茨城県南西部東側で起こる地震（M7.0、鹿島コンビナート地区において卓越する震度は5強）等を想定しており、東日本大震災の経験^aを踏まえると、これを想定地震とすることは適当ではない。

首都直下地震に関する内閣府の報告書^bにおいて想定されている地震動の中で、鹿島コンビナート地区に最も大きな影響を及ぼすのは「フィリピン海プレート内（M7.3）及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度（M6.8）を重ね合わせた震度分布」であることから（参考資料4参照）、本調査では、こちらを想定地震動として用いることとした。ここで、南関東地域でM7クラスの地震が発生する確率は30年間で70%と言われている^b。なお、5.3.1で述べるように、短周期地震動による被害を対象とした評価については、初期事象発生確率の推定時（配管の破損の場合）に液状化係数を考慮するが、上記地震動については液状化危険度分布が推計されていないため、全ての地点において液状化危険性がかなり高い（ $PL>15$ ）ものと仮定して評価を行った。

「フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布」を図5.1.1に示す。震度は鹿島コンビナート地区のほぼ全域で6強となる。なお、想定した地震動は震源が特定できない地震の震度を重ね合わせたものであるため、地震が発生した場合でも、必ずしも図5.1.1に示すように鹿島コンビナート地区に大きな影響を及ぼすとは限らない。

^a 鹿島コンビナート地区では震度6弱の揺れを観測した。

^b 首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書（平成25年12月）

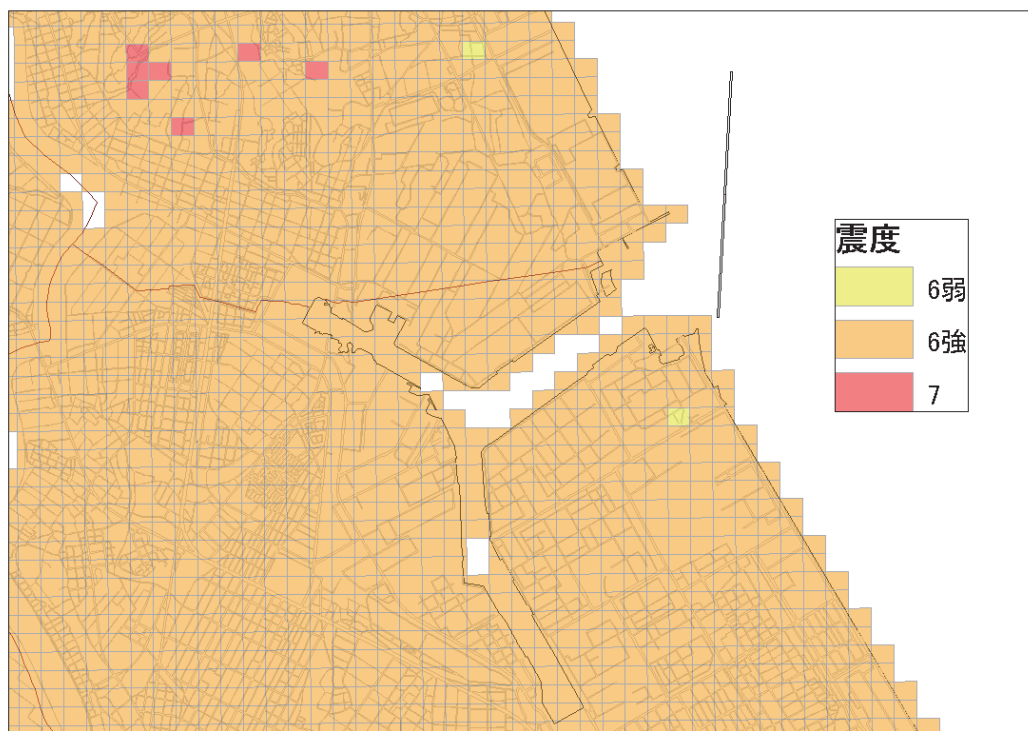


図 5.1.1 フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布^a

5.2. 災害の拡大シナリオの展開

第4章 4.1 で示した平常時の災害拡大シナリオを適用した。ただし、地震時の危険物タンクの屋根での火災については殆どがスロッシングに起因すると考えられることから、ここでは除外し、第6章で評価することとした。

※地震時の危険物タンクの屋根での火災は、1964年の新潟地震、2003年の十勝沖地震などで生じており、これらは共に長周期地震動によって励起されたスロッシングによるものであると考えられている。

5.3. 災害の発生危険度（確率）の推定

平常時と同様に、イベントツリー（ET）に初期事象の発生確率と事象の分岐確率を与え、末端に現れる各種災害事象の発生危険度を算出した。なお、平常時の災害発生危険度は1年・1施設あたりの発生件数として [件/（年・施設）] という単位で表したが、地震時の災害発生危険度は想定地震が発生した時の1施設あたりの被害確率であり、両者を単純に比較することはできない。

地震による初期事象の発生確率は、想定される地震動の強さや液状化の程度、対象施設

^a 内閣府 首都直下地震モデル検討会提供データより作成

^b 座間信作：石油タンクのスロッシングと対策，名城大学 高度制震実験・解析研究センター 第2回公演資料，2008

の構造や強度によって大きく異なり、これらの要因をできるだけ考慮して推定することが望ましいことから、地震動の強さに応じた施設被害率（フラジリティ関数）を仮定し、これを基に初期事象の発生確率を推定した。

事象の分岐に関しては、地震時に遮断設備、移送設備、消火設備などの防災設備が作動しなくなる原因として主に次のものが考えられる。

- 駆動源（主として電力）の停止
- 地震による設備の損傷
- 設備の偶発的な故障

この内、「設備の偶発的な故障」は平常時にたまたま起こり得る故障と地震発生が重なった場合で、その確率は平常時の不作動確率と等しくなる。「駆動源の停止」と「地震による設備の損傷」は、地震動の強さや停電時における防災設備の作動性などを考慮して推定することになる。

このようにして得られた災害事象の発生確率は、次に示す区分でランク付けし、これを基に評価を行った。ここで示す危険度は、想定地震が起こったときの災害の発生確率を表す。

表 5.3.1 地震時の災害発生危険度区分

区分	災害発生危険度
AAe	10 ⁻¹ 程度（5×10 ⁻² 以上） ※高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント
Ae	10 ⁻² 程度（5×10 ⁻³ 以上 5×10 ⁻² 未満）
Be	10 ⁻³ 程度（5×10 ⁻⁴ 以上 5×10 ⁻³ 未満）
Ce	10 ⁻⁴ 程度（5×10 ⁻⁵ 以上 5×10 ⁻⁴ 未満）
De	10 ⁻⁵ 程度（5×10 ⁻⁶ 以上 5×10 ⁻⁵ 未満）
Ee	10 ⁻⁶ 程度（5×10 ⁻⁶ 未満）

注 1) 添字の e は地震時を表す。

注 2) Ae は地震が発生した時、100 施設の内 1 施設で被害が生じる程度の危険性を表す。

5.3.1. 危険物タンク

(1) 初期事象の発生確率

東日本大震災の地震動による危険物タンクの被害状況が震度別に整理されている^aが、これらの被害状況では、漏洩あるいは漏洩につながる破損の件数は少なく、また震度との関連も不明瞭であるため、これらを参考に初期事象の発生確率を設定することは困難である。

一方、図 5.3.1は、阪神・淡路大震災の際に、消防研究所が神戸市内236基の石油タンクを対象に行った座屈強度の解析結果^bを基に作成したフラジリティ関数であり、横軸はタンクの座屈に作用する加速度、縦軸は満液時を想定した場合の座屈の発生率である。

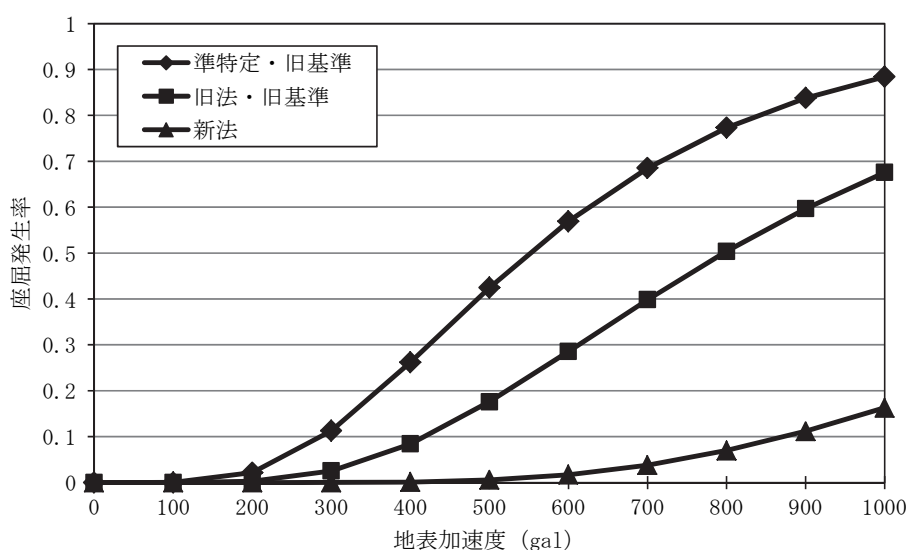


図 5.3.1 危険物タンクの座屈発生率と地表加速度との関係

※この座屈発生率は平均的な施設の座屈発生率を表すものであり、実際に座屈が生じるかどうかは各々の施設の状態によって異なる。

図 5.3.1のフラジリティ関数は、累積対数正規分布と呼ばれ、平均 (μ) と分散 (σ) の2つのパラメータにより決まる関数である。これらのパラメータは、次の値を取る。

- 準特定・旧基準 : $\mu = 6.31$ 、 $\sigma = 0.5$
- 旧法・旧基準 : $\mu = 6.68$ 、 $\sigma = 0.5$
- 新法 : $\mu = 7.35$ 、 $\sigma = 0.45$

ここで得られる被害確率は漏洩ではなく座屈の発生であるため、次式のように座屈から漏洩に至る比率 (C_r) を掛け、タンク本体からの漏洩の発生確率とした。 C_r は、阪神・淡路

^a 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，消防庁特殊災害室

^b 阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書，消防研究所，平成 8 年 3 月

大震災の被害状況調査^aを基に算出すると0.1程度となるが、事例が少ないことから安全率を見込んで2倍の0.2（小破漏洩）とし、大破漏洩は小破漏洩の1/10と仮定した。

【タンク本体からの漏洩発生率】

$$R = C_r \cdot f_i(x)$$

C_r : 座屈から漏洩に至る比率

・タンク本体の小破による漏洩： $C_r=0.2$

・タンク本体の大破による漏洩： $C_r=0.02$

$f_i(x)$: 図 5.3.1のフラジリティ関数

($i=1$: 新法、 $i=2$: 旧法・旧基準、 $i=3$: 準特定・旧基準)

x : 地表加速度 [gal]

地表加速度については、気象庁の計測震度の算出式（次式）により、各メッシュの計測震度から逆算して用いた。

$$I = 2 \cdot \log A + 0.94$$

I : 計測震度

A : 地表加速度 [gal]

一方、配管については同様のフラジリティ関数が示されていないことから、図 5.3.1のフラジリティ関数を適用した。なお、配管についてはタンク本体と破損のメカニズムが異なるが、 C_r をタンク本体と同じと仮定した。また、配管の場合は液状化の影響を考慮して、地下埋設管の被害想定で多く用いられている液状化係数 (C_1) を乗じた。なお、本調査では全地点において $C_1=3.0$ (PL>15) を適用した。

【配管の破損による漏洩発生率】

$$R = C_r \cdot C_1 \cdot f_i(x)$$

C_r : 座屈から漏洩に至る比率

C_1 : 液状化係数

・PL=0 : $C_1=1.0$

・ $0 < PL \leq 5$: $C_1=1.2$

・ $5 < PL \leq 15$: $C_1=1.5$

・PL>15 : $C_1=3.0$

$f_i(x)$: 図 5.3.1のフラジリティ関数

($i=2$: 新法、 $i=2$: 旧法・旧基準、 $i=3$: 準特定・旧基準)

x : 加速度 [gal]

以上より、地震時における危険物タンクの初期事象の発生確率をまとめると、表 5.3.2

^a 阪神・淡路大震災に係る屋外タンク貯蔵所の被害状況現地調査結果報告書，消防庁危険物規制課，平成7年4月

のようになる。

タンク本体の破損に関して、旧法・新基準については新法、準特定・新法及び準特定・新基準については旧法・旧基準、特定外タンクについては準特定・旧基準のフラジリティ関数をそれぞれ適用した。

配管の破損に関しては、配管強度は新法と旧法で変わらないと考えられることから、新法タンクについても旧法・旧基準のフラジリティ関数を適用した。

なお、地震時の危険物タンクの屋根での火災は殆どがスロッシングに起因すると考えられることから、ETAによる確率的評価は行わない。

表 5.3.2 危険物タンクの初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	技術基準	発生確率
IE1：配管の小破による漏洩	新法 旧法・新基準 旧法・旧基準	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
	準特定・新法 準特定・新基準 準特定・旧基準 特定外	$0.2 \cdot f_3(x) \cdot C_1(PL)$
IE2：配管の大破による漏洩	新法 旧法・新基準 旧法・旧基準	$0.02 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
	準特定・新法 準特定・新基準 準特定・旧基準 特定外	$0.02 \cdot f_3(x) \cdot C_1(PL)$
IE3：タンク本体の小破による漏洩	新法 旧法・新基準	$0.2 \cdot f_1(x)$
	旧法・旧基準 準特定・新法 準特定・新基準	$0.2 \cdot f_2(x)$
	準特定・旧基準 特定外	$0.2 \cdot f_3(x)$
IE4：タンク本体の大破による漏洩	新法 旧法・新基準	$0.02 \cdot f_1(x)$
	旧法・旧基準 準特定・新法 準特定・新基準	$0.02 \cdot f_2(x)$
	準特定・旧基準 特定外	$0.02 \cdot f_3(x)$

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は、地震動の強さや停電時における防災設備の作動性を考慮し、表 5.3.3 のように設定した。

表 5.3.3 危険物タンクの事象の分岐確率（地震時）

事象分岐		分岐確率			
		震度 5 強以下	震度 6 弱	震度 6 強以上	
B1：緊急遮断	電気駆動	停電時可動	1.1×10^{-2}	2.7×10^{-2}	5.4×10^{-2}
		停電時不働	9.6×10^{-2}	4.2×10^{-1}	1
	エア駆動	停電時可動	2.1×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.3×10^{-2}
		停電時不働	1.1×10^{-1}	4.3×10^{-1}	1
B2：バルブ手動閉止		10^{-3}	10^{-2}		
B3：一時的な流出拡大防止		10^{-1}			
B4：緊急移送	停電時可動		2.1×10^{-2}	3.4×10^{-2}	4.1×10^{-2}
	停電時不働		1.1×10^{-1}	4.4×10^{-1}	1
B5：仕切堤	特定タンク		10^{-2}		
	準特定タンク 特定外タンク		10^{-1}		
	特定タンク	防油堤基準適合	10^{-3}		
B6：防油堤	特定タンク	防油堤基準不適合	10^{-3}	10^{-2}	
	準特定タンク 特定外タンク	防油堤基準適合	10^{-2}		
	準特定タンク 特定外タンク	防油堤基準不適合	10^{-2}	10^{-1}	
	第 1 石油類・アルコール類・特殊引火物		10^{-1}		
B7：着火	第 2・3・4 石油類		10^{-2}		
	B8：蒸発・拡散防止		10^{-1}		

B1：緊急遮断

地震時に防災設備が作動しなくなる原因は、主に駆動源の喪失、設備の損傷、設備の偶発的故障である。電気駆動とエア駆動の遮断設備の作動失敗を想定した FTA を図 5.3.2 及び図 5.3.3 に示す。FTA の末端事象の内、設備損傷、送電停止、自家発電停止、非常用電源の損傷の確率については、東日本大震災における被害状況の調査結果^aを参考に次のように設定した。当該地区の緊急遮断設備には電気駆動とエア駆動があり、それぞれの失敗確率を適用した。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

○設備損傷

地震により弁が直接損傷する確率は小さく、空気弁・電動弁ともに震度に依らず 10^{-3} と設定した。

^a 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，消防庁特殊災害室

○送電停止

震度5強以下で0.3、6弱で0.7、6強以上で1.0と設定した。

○自家発電停止

震度5強以下で0.3、6弱で0.6、6強以上で1.0と設定した。

○非常用電源の損傷

ディーゼル発電機については、震度に依らず 3×10^{-2} と設定した。バッテリーについては、地震による損傷は殆どないと考えられるため、損傷確率は0とした。

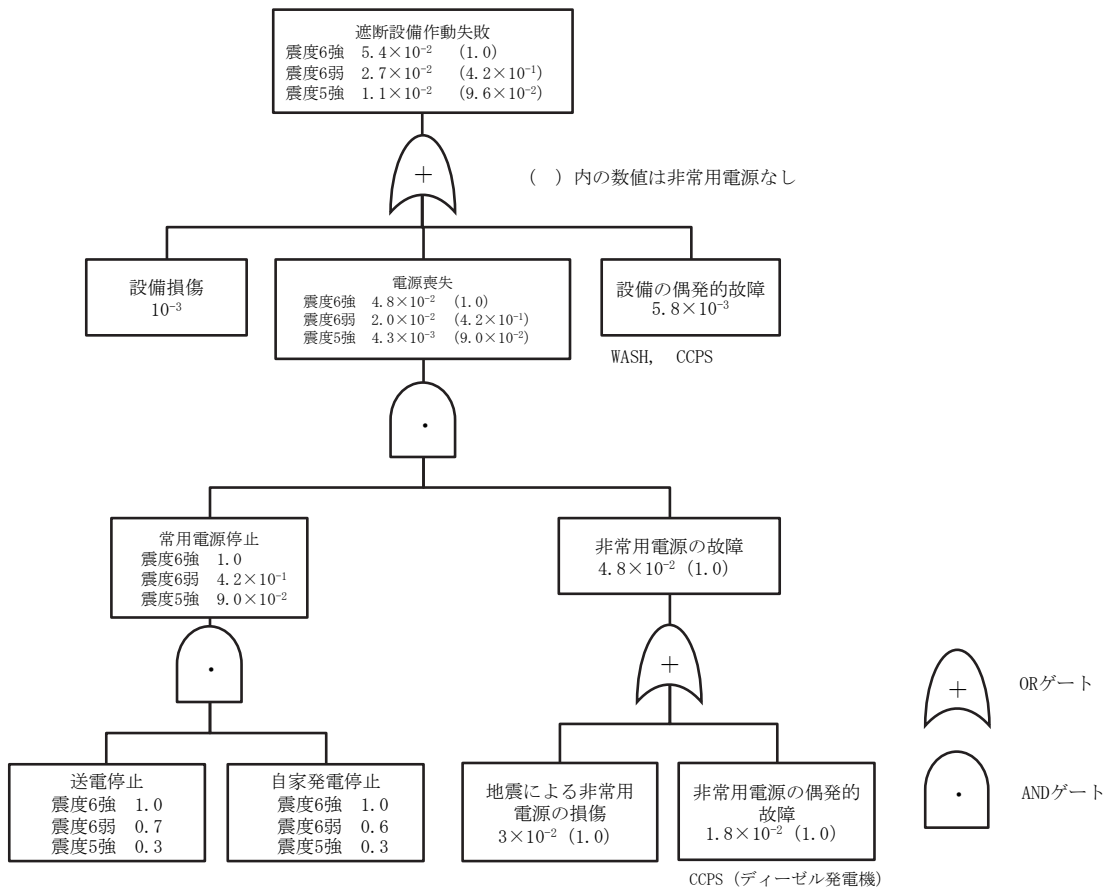


図 5.3.2 遮断設備（電気駆動）の作動失敗に関する FTA（地震時）

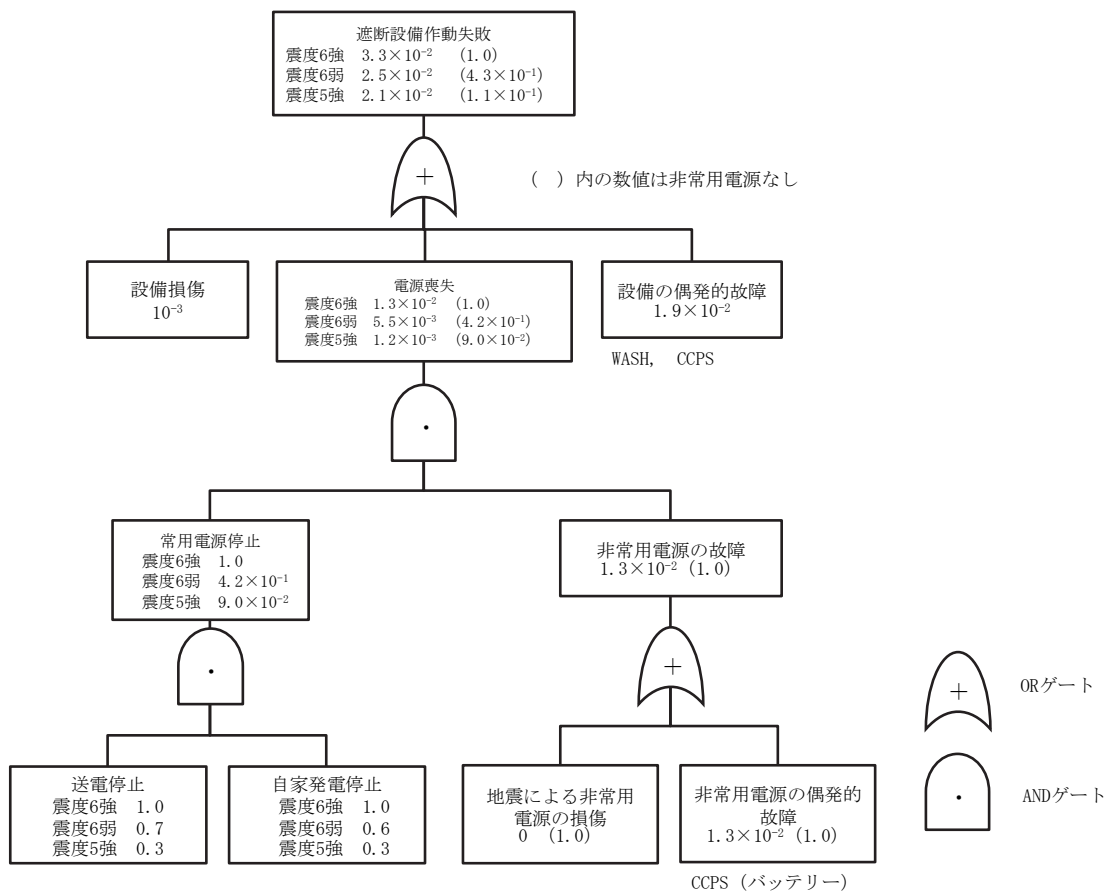


図 5.3.3 遮断設備（エア駆動）の作動失敗に関する FTA（地震時）

B2：バルブ手動閉止

地震による活動障害等を考慮して震度 5 強以下で 10^{-3} 、震度 6 弱以上で 10^{-2} と推定した。

B3：一時的な流出拡大防止

平常時と同じ値 (10^{-1}) とした。

B4：緊急移送

緊急移送の失敗は移送ポンプ（電動ポンプ）の起動失敗として捉え、緊急遮断設備の考え方と同様に図 5.3.4 の FTA により失敗確率を推定した。FTA の末端事象の内、設備損傷、送電停止、自家発電停止、非常用電源の損傷の確率については、東日本大震災における被害状況の調査結果^aを参考に次のように設定した。なお、移送設備がない場合は失敗確率 1 とした。

○設備損傷

震度 5 強以下で 10^{-3} 、6 弱以上で 10^{-2} と設定した。

^a 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，消防庁特殊災害室

○送電停止、自家発電停止、非常用電源の損傷
遮断設備（エア駆動）と同様とした。

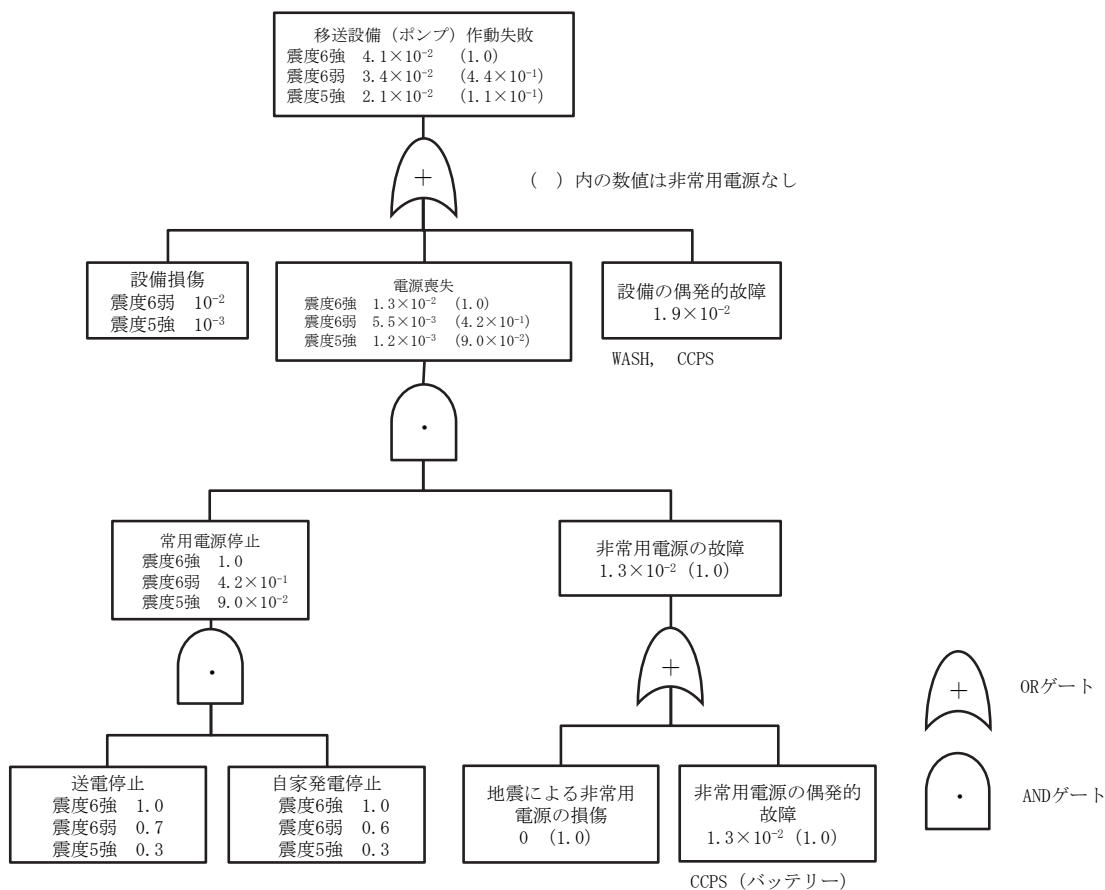


図 5.3.4 移送設備の作動失敗に関する FTA（地震時）

B5、B6：仕切堤、防油堤

仕切堤・防油堤による拡大防止の失敗確率は、東日本大震災における被害状況の調査結果^aを参考に表 5.3.4 の通り設定した（仕切堤については、ない場合は1とした）。防油堤については平成 10 年の耐震基準（平成 10 年 3 月 20 日付け消防危 32 号「防油堤の漏洩防止措置等について」）に適合する場合（基準の適用を受けない場合を含む）には、震度 6 弱以上でも 5 強以下の発生確率と等しいとした。

^a 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，消防庁特殊災害室

表 5.3.4 仕切堤・防油堤による拡大防止の失敗確率

技術基準	防油堤/ 仕切堤	防油堤 耐震基準	震度	
			5 強以下	6 弱以上
準特定・特定外タンク	防油堤	適合	10^{-2}	10^{-2}
		不適合	10^{-2}	10^{-1}
	仕切堤	-	10^{-1}	
特定タンク	防油堤	適合	10^{-3}	10^{-3}
		不適合	10^{-3}	10^{-2}
	仕切堤	-	10^{-2}	

B7：着火

平常時と同様に、着火確率は第 1 石油類・アルコール類・特殊引火物で 10^{-1} 、その他は 10^{-2} とした。

B8：蒸発・拡散防止

平常時と同じ値 (10^{-1}) とした。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2) で設定した初期事象の発生確率と事象の分岐確率を危険物タンクの ET に当てはめ、各災害事象の発生確率を算出した。

個々の施設の発生確率は、施設が設置されているメッシュの地震動、タンクの技術基準や各種防災設備の有無等によって異なってくる。なお、遮断設備が付いていないタンクでは小量流出・火災 (DE1) が、仕切堤がないタンク、あるいは遮断設備と移送設備がないタンクでは仕切堤内流出・火災 (DE3) が該当しない。

得られた発生確率は平常時と同様に、ある事象まで災害が拡大する確率として累積し (以降では全ての施設について、累積した発生確率を災害発生確率と呼ぶ)、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.5、表 5.3.6 のようになる。

表 5.3.5 危険物タンク・流出火災の発生危険度分布（地震時）

（単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：仕切堤内流出	DE4：防油堤内流出	DE5：防油堤外流出
高松地区					
Ae	0	2	0	0	0
Be	4	10	0	2	0
Ce	0	3	3	10	0
De	0	0	0	3	1
Ee	0	0	0	0	14
対象外	11	0	12	0	0
東部地区					
Ae	103	57	0	0	0
Be	98	126	70	72	0
Ce	0	56	66	119	0
De	0	0	0	48	20
Ee	0	0	0	0	219
対象外	38	0	103	0	0
西部地区					
Ae	6	4	0	0	0
Be	2	16	0	9	0
Ce	0	0	0	11	0
De	0	0	0	0	1
Ee	0	0	0	0	19
対象外	12	0	20	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

表 5.3.6 危険物タンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（地震時）

（単位：基）

区分	DE10：小量流出	DE11：中量流出	DE12：仕切堤内流出	DE13：防油堤内流出	DE14：防油堤外流出
高松地区（対象施設なし）					
東部地区（対象施設なし）					
西部地区					
Ae	1	1	0	0	0
Be	0	0	0	1	0
Ce	0	0	0	0	0
De	0	0	0	0	1
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	1	0	0

DE12 対象外：仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

(4) 特定外タンク

毒性危険物以外の危険物を貯蔵した容量 500k1 未満の特定外タンクについて、平常時と同様に事業所ごとのタンク数を基に一括した評価を行った。ただし、地震時の場合、初期事象の発生確率は施設が設置されている場所の地震動の大きさによって変化する。ここでは、前提となる震度は一律 6.25 とした。

初期事象の発生頻度及び事象の分岐確率の設定方法はそれぞれ(1)、(2)に示す通りであり、施設条件については平常時と同様とした。

得られた災害事象の発生確率を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.7 のようになる。なお、遮断設備、移送設備、仕切堤はないものと仮定しているため、全てのタンクについて、小量流出・火災 (DE1) 及び仕切堤内流出・火災 (DE3) が該当しない。

表 5.3.7 特定外タンク・流出火災の発生危険度分布 (地震時)

(単位:基)

区分	DE1:小量流出	DE2:中量流出	DE3:仕切堤内流出	DE4:防油堤内流出	DE5:防油堤外流出
高松地区					
Ae	0	2	0	0	0
Be	0	67	0	2	0
Ce	0	0	0	67	0
De	0	0	0	0	2
Ee	0	0	0	0	67
対象外	69	0	69	0	0
東部地区					
Ae	0	85	0	0	0
Be	0	304	0	85	0
Ce	0	0	0	304	0
De	0	0	0	0	85
Ee	0	0	0	0	304
対象外	389	0	389	0	0
西部地区					
Ae	0	33	0	0	0
Be	0	233	0	33	0
Ce	0	0	0	233	0
De	0	0	0	0	33
Ee	0	0	0	0	233
対象外	266	0	266	0	0

DE1 対象外: 遮断設備のないタンク

DE3 対象外: 仕切堤のないタンク、遮断設備と移送設備のないタンク

5.3.2. 高圧ガスタンク

(1) 初期事象の発生確率

危険物タンク以外の施設では、工学的解析に基づくフラジリティ関数は報告されていないため、危険物・新法タンクと同レベル以上の強度を有すると考えて、初期事象の発生確率を以下のように設定した。

なお、千葉県市原市で発生した LPG タンクの爆発火災のような大規模な災害については第8章の大規模災害の評価において別途取り扱った。

表 5.3.8 高圧ガスタンクの初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	発生確率
IE1：配管の小破による漏洩	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
IE2：配管の大破による漏洩	$0.02 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
IE3：タンク本体の小破による漏洩	$0.2 \cdot f_1(x)$
IE4：タンク本体の大破による漏洩	$0.02 \cdot f_1(x)$

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 5.3.9 のように設定した。

表 5.3.9 高圧ガスタンクの事象の分岐確率（地震時）

事象分岐		分岐確率		
		震度5強以下	震度6弱	震度6強以上
B1：緊急遮断	停電時可動	2.1×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.3×10^{-2}
	停電時不働	1.1×10^{-1}	4.3×10^{-1}	1
B2：バルブ手動閉止		10^{-3}	10^{-2}	
B3：緊急移送	停電時可動	2.1×10^{-2}	3.4×10^{-2}	4.1×10^{-2}
	停電時不働	1.1×10^{-1}	4.4×10^{-1}	1
B4：防液堤		10^{-2}		
B5：蒸発・拡散防止		10^{-1}		
B6：着火		10^{-1}		

B1：緊急遮断

当該地区で設置されている緊急遮断設備はエア駆動であり、エア駆動の緊急遮断設備の失敗確率を適用した（図 5.3.3 の FTA を参照）。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を1とした。

B2：バルブ手動閉止

危険物タンクと同様に、地震による活動障害等を考慮して震度5強以下で 10^{-3} 、震度6

弱以上で 10^{-2} と推定した。

B3：緊急移送

移送ポンプ作動の失敗確率（図 5.3.4）を適用した。なお、移送設備がない場合は失敗確率を 1 とした。

B4：防液堤

危険物特定タンクの仕切堤と同程度と考え、 10^{-2} とした。なお、防液堤がない場合は失敗確率を 1 とした。

B5：蒸発・拡散防止

東日本大震災における被害状況の調査結果^aを参考に、 10^{-1} とした。なお、蒸発・拡散防止設備が設置されていないタンクについては失敗確率 1 とした。

B6：着火

平常時と同様 (10^{-1}) とした。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2)で設定した初期事象の発生確率と事象の分岐確率を高圧ガスタンクの ET に当てはめ、各災害事象の発生確率を算出した。

ET からわかるように、遮断設備のないタンクでは小量流出・爆発火災 (DE1)、小量流出・拡散 (DE6) が、遮断設備及び移送設備のないタンクでは大量流出・爆発火災 (DE3)、大量流出・拡散 (DE8) が該当しない。

得られた災害事象の発生確率を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.10、表 5.3.11 のようになる。

^a 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，消防庁特殊災害室

表 5.3.10 可燃性ガスタンク・爆発火災の発生危険度分布（地震時）

（単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 （長時間）	DE5：全量流出 （短時間）
高松地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	9	0	0	0	0
Be	6	15	15	0	0
Ce	0	0	0	11	3
De	0	0	0	4	12
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	74	3	0	0	0
Be	64	138	140	14	14
Ce	0	0	0	73	34
De	0	0	0	54	93
Ee	0	0	0	0	0
対象外	3	0	1	0	0
西部地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	16	0	0	0	0
Be	12	28	28	0	0
Ce	0	0	0	24	24
De	0	0	0	4	4
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

DE3 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

表 5.3.11 毒性ガスタンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（地震時）

（単位：基）

区分	DE6：小量流出	DE7：中量流出	DE8：大量流出	DE9：全量流出 （長時間）	DE10：全量流 出（短時間）
高松地区					
AAe	3	0	0	0	0
Ae	0	3	3	0	0
Be	0	0	0	3	1
Ce	0	0	0	0	2
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	15	15	15	0	0
Be	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	15	15
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
西部地区					
AAe	1	0	0	0	0
Ae	0	1	1	0	0
Be	0	0	0	1	1
Ce	0	0	0	0	0
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

DE6 対象外：遮断設備のないタンク

DE8 対象外：遮断設備と移送設備のないタンク

5.3.3. 毒性液体タンク

(1) 初期事象の発生確率

毒性液体タンクの初期事象の発生確率は高圧ガスタンク（危険物・新法タンク）と同様と考え、以下のように設定した。

表 5.3.12 毒性液体タンクの初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	発生確率
IE1：配管の小破による漏洩	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
IE2：配管の大破による漏洩	$0.02 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
IE3：タンク本体の小破による漏洩	$0.2 \cdot f_1(x)$
IE4：タンク本体の大破による漏洩	$0.02 \cdot f_1(x)$

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 5.3.13 のように設定した。

表 5.3.13 毒性液体タンクの事象の分岐確率（地震時）

事象分岐			分岐確率		
			震度5強以下	震度6弱	震度6強以上
B1：緊急遮断	電気駆動	停電時可動	1.1×10^{-2}	2.7×10^{-2}	5.4×10^{-2}
		停電時不動	9.6×10^{-2}	4.2×10^{-1}	1
	エア駆動	停電時可動	2.1×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.3×10^{-2}
		停電時不動	1.1×10^{-1}	4.3×10^{-1}	1
B2：バルブ手動閉止			10^{-3}	10^{-2}	
B3：緊急移送	停電時可動		2.1×10^{-2}	3.4×10^{-2}	4.1×10^{-2}
	停電時不動		1.1×10^{-1}	4.4×10^{-1}	1
B4：蒸発・拡散防止			10^{-1}		

B1：緊急遮断

当該地区の緊急遮断設備には電気駆動とエア駆動があり、これらの設備の作動失敗を想定したFTAは図 5.3.2 及び図 5.3.3 に示すとおりである。なお、遮断設備がない場合は失敗確率を1とした。

B2：バルブ手動閉止

危険物タンクと同様に、地震による活動障害等を考慮して震度5強以下で 10^{-3} 、震度6弱以上で 10^{-2} と推定した。

B3：緊急移送

移送ポンプ作動の失敗確率（図 5.3.4）を適用した。なお、移送設備がない場合は失

敗確率を1とした。

B4：蒸発・拡散防止

高压ガスタンクと同様に、 10^{-1} と推定した。なお、蒸発・拡散防止が設置されていないタンクについては、失敗確率1とした。

(3) 災害事象の発生危険度

ET からわかるように、遮断設備のないタンクでは小量流出・拡散（DE1）が、遮断設備及び移送設備のないタンクでは大量流出・拡散（DE3）が該当しない。

得られた災害事象の発生頻度を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.14 のようになる。

なお、毒性液体の内、硫酸は不揮発性であるため、漏洩→蒸発→毒性ガスの拡散という災害の形態に当てはまらないことから、ETA による評価の対象から除外した。

表 5.3.14 毒性液体タンク・毒性ガス拡散の発生危険度分布（地震時）
（単位：基）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出	DE4：全量流出 （長時間）	DE5：全量流出 （短時間）
高松地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	2	2	2	0	0
Be	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	2	2
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0
東部地区					
AAe	0	0	0	0	0
Ae	12	15	15	4	4
Be	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	11	11
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	3	0	0	0	0
西部地区					
AAe	1	0	0	0	0
Ae	0	1	1	0	0
Be	0	0	0	1	1
Ce	0	0	0	0	0
De	0	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0	0
対象外	0	0	0	0	0

注) 硫酸を除く

DE1 対象外：遮断設備のないタンク

5.3.4. プラント

(1) 製造施設

1) 初期事象の発生確率

製造施設の初期事象は装置の小破・大破による漏洩であり、塔槽類及びこれらの接続配管が破損する場合を考えた。プラントの配管強度は危険物タンクや高圧ガスタンクと同程度と考えられることから、初期事象の発生確率は危険物・旧法タンクの配管の小破・大破と同様とした。

表 5.3.15 製造施設の初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	発生確率
IE1：装置の小破による漏洩	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$
IE2：装置の大破による漏洩	$0.02 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$

2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は、表 5.3.16 のように設定した。

表 5.3.16 製造施設の事象の分岐確率（地震時）

事象分岐	分岐確率		
	震度5強以下	震度6弱	震度6強以上
B1：緊急停止・遮断	2.1×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.3×10^{-2}
B2：緊急移送（内容物処理）	10^{-1}		
B3：着火	6×10^{-1}		
B4：蒸発・拡散防止	10^{-2}	10^{-1}	

B1：緊急停止・遮断

緊急遮断設備（エア駆動）の失敗確率を適用した（図 5.3.3、停電時可動とした）。

B2：緊急移送（内容物処理）

平常時と同様（ 10^{-1} ）とした。

B3：着火

平常時と同様（ 6×10^{-1} ）とした。

B4：蒸発・拡散防止

危険物タンクと同様に、震度5強以下では 10^{-2} 、震度6弱以上では 10^{-1} とした。

3) 災害事象の発生危険度

1)、2)で設定した初期事象の発生確率と事象の分岐確率を製造施設のETに当てはめ、各災害事象の発生確率を算出した。

得られた災害事象の発生確率を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.17～表 5.3.19 のようになった。

表 5.3.17 製造施設・流出火災の発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2:ユニット内全量流出	DE3：大量流出
高松地区			
AAe	8	0	0
Ae	0	8	0
Be	0	0	8
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0
東部地区			
AAe	81	0	0
Ae	0	81	0
Be	0	0	81
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0
西部地区			
AAe	26	0	0
Ae	4	30	0
Be	0	0	30
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0

注) 危険物を取り扱う施設のみ

表 5.3.18 製造施設・爆発火災の発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE4：小量流出	DE5:ユニット内全量流出	DE6：大量流出
高松地区			
AAe	4	0	0
Ae	0	4	0
Be	0	0	4
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0
東部地区			
AAe	60	0	0
Ae	0	60	0
Be	0	0	60
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0
西部地区			
AAe	9	0	0
Ae	2	11	0
Be	0	0	11
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0

注) 可燃性ガスを取り扱う施設のみ

表 5.3.19 製造施設・毒性ガス拡散の発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE7：小量流出	DE8:ユニット内全量流出	DE9：大量流出
高松地区（対象施設なし）			
東部地区			
AAe	0	0	0
Ae	13	13	0
Be	0	0	13
Ce	0	0	0
De	0	0	0
Ee	0	0	0
西部地区			
AAe	0	0	0
Ae	2	1	0
Be	0	1	1
Ce	0	0	1
De	0	0	0
Ee	0	0	0

注) 毒性ガスを取り扱う施設のみ

(2) 発電施設

1) 初期事象の発生確率

発電施設の初期事象は、装置（燃料配管）の破損による漏洩であり、初期事象の発生確率は製造施設の装置の小破による漏洩と同様とした。

表 5.3.20 発電施設の初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	発生確率
IE1：装置の破損による漏洩	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$

2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は、表 5.3.21 のように設定した。

表 5.3.21 発電施設の事象の分岐確率（地震時）

事象分岐	分岐確率		
	震度5強以下	震度6弱	震度6強以上
B1：緊急停止・遮断	2.1×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.3×10^{-2}
B2：バルブ手動閉止	10^{-3}	10^{-2}	
B3：着火	6×10^{-1}		

B1：緊急停止・遮断

緊急遮断設備（エア駆動）の失敗確率を適用した（図 5.3.3、停電時可動とした）。

B2：バルブ手動閉止

危険物タンクと同様に、震度5強以下で 10^{-3} 、震度6弱以上で 10^{-2} と推定した。

B3：着火

平常時と同様（ 6×10^{-1} ）とした。

3) 災害事象の発生危険度

1)、2)で設定した初期事象の発生確率と事象の分岐確率を発電施設等の ET に当てはめ、各災害事象の発生確率を算出した。

得られた災害事象の発生確率を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.22、表 5.3.23 のようになった。

表 5.3.22 発電施設・流出火災の発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2：中量流出	DE3：大量流出
高松地区			
AAe	3	0	0
Ae	0	0	0
Be	0	3	0
Ce	0	0	0
De	0	0	3
Ee	0	0	0
東部地区			
AAe	0	0	0
Ae	12	0	0
Be	0	10	0
Ce	0	2	0
De	0	0	10
Ee	0	0	2
西部地区（対象施設なし）			

注) 危険物を取り扱う施設のみ

表 5.3.23 発電施設・爆発火災の発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE4：小量流出	DE5：中量流出	DE6：大量流出
高松地区			
AAe	1	0	0
Ae	0	0	0
Be	0	1	0
Ce	0	0	0
De	0	0	1
Ee	0	0	0
東部地区（対象施設なし）			
西部地区（対象施設なし）			

注) 可燃性ガスを取り扱う施設のみ

5.3.5. 海上入出荷施設

海上入出荷施設については、平常時と同様に、地区レベルの災害危険性に関する評価を行った。前提となる震度は特定外タンクと同様に 6.25 とした。

(1) 初期事象の発生確率

海上入出荷施設の初期事象は、配管等の破損による漏洩であり、初期事象の発生確率は製造施設の装置の小破による漏洩と同様とした。

表 5.3.24 海上入出荷施設の初期事象の発生確率（地震時）

初期事象	発生確率
IE1：配管等の破損による漏洩	$0.2 \cdot f_2(x) \cdot C_1(PL)$

(2) 事象の分岐確率

事象の分岐確率は表 5.3.25 のように設定した。

表 5.3.25 海上入出荷施設の事象の分岐確率（地震時）

事象分岐	分岐確率		
	震度 5 強以下	震度 6 弱	震度 6 強以上
B1：緊急停止・遮断	1.1×10^{-2}	2.7×10^{-2}	5.4×10^{-2}
B2：着火	2.1×10^{-2}		

B1：緊急停止・遮断

緊急遮断設備（電気駆動）の失敗確率を適用した（図 5.3.2、停電時可動とした）。

B2：着火

平常時と同様（ 2.1×10^{-2} ）とした。

(3) 災害事象の発生危険度

(1)、(2)で設定した初期事象の発生確率と事象の分岐確率を海上入出荷施設の ET に当てはめ、各災害事象の発生確率を算出した。

得られた災害事象の発生確率を累積し、表 5.3.1 の区分でランク付けして危険度分布を求めると、表 5.3.26、表 5.3.27 のようになる。

表 5.3.26 海上入出荷施設・流出火災の災害発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE1：小量流出	DE2：大量流出
高松地区		
Ae	0	0
Be	1	0
Ce	0	1
De	0	0
Ee	0	0
東部地区		
Ae	0	0
Be	25	0
Ce	0	25
De	0	0
Ee	0	0
西部地区		
Ae	0	0
Be	2	0
Ce	0	2
De	0	0
Ee	0	0

注) 石油タンカー棧橋のみ

表 5.3.27 海上入出荷施設・爆発火災の災害発生危険度分布（地震時）
（単位：施設）

区分	DE3：小量流出	DE4：大量流出
高松地区		
Ae	0	0
Be	1	0
Ce	0	1
De	0	0
Ee	0	0
東部地区		
Ae	0	0
Be	5	0
Ce	0	5
De	0	0
Ee	0	0
西部地区（対象施設なし）		

注) LPG 棧橋のみ

5.3.6. パイプライン

パイプライン（石油配管または高圧ガス導管）については、他の施設のように、ある地点における地震動を想定してフラジリティ関数による評価を行うことは適当ではない。ここでは、一般的なパイプラインの災害危険性に関して定性的な検討を行った。

東日本大震災の地震動による、移送取扱所の被害状況を表 5.3.28 に示す。移送配管では1件の漏洩被害と14件の破損被害が発生している。

ここで、漏洩の被害は、神奈川県・根岸臨海地区において栈橋上の配管が移動し、バルブフランジ部からごく少量の危険物が漏洩したものである^a。また、移送配管の破損の被害については、いずれも鹿島地区にある事業所におけるローディングアームの破損や配管シユアのずれである^a。さらに、表中でカウントされていない震度不明の事業所での被害は、2件とも鹿島地区において地震によりフランジ部からごく少量の危険物が漏洩したものである^a。

従って、地震時には、地震動や液状化により配管フランジ部等から内容物が漏洩する危険性がある。

表 5.3.28 東日本大震災における移送取扱所の被害状況^b

震度		5弱	5強	6弱	6強以上
施設数		291	84	43	10
被害施設	移送配管	漏洩	-	1 (1.2×10^{-2})	-
		破損	-	-	14 (3.3×10^{-1})
	栈橋等設備	漏洩	-	-	-
		破損	-	-	2 (4.7×10^{-2})

注1) 施設数は平成22年4月1日現在の値であり、「平成22年度石油コンビナート等実態調査（消防庁）」に基づく。ただし、震災時に第2種特定事業所として新たに指定されていた2事業所の施設を、平成23年度調査に基づき追加した。

注2) 移送配管は配管支持物を含む。

注3) この他に震度が不明な事業所での漏洩が2件発生している。

^a 岡山県石油コンビナート防災アセスメント報告書，消防科学総合センター，平成25年3月

^b 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，消防庁特殊災害室

5.4. 災害の影響度の推定

災害の影響度については、算定手法、算定条件は全て平常時と同じであるため、算定結果（各災害事象の影響距離）も平常時と同じである。

5.5. 総合的な災害危険性の評価

地震時においても、平常時と同様に想定災害を3段階で捉えることとした。安全水準については、消防庁指針では、地震の発生確率と地震時の被災確率を掛け合わせることで、平常時と同じ 10^{-6} /年となるようなレベルを想定することが例示されている。ここで、南関東地域(のどこか)でM7クラスの地震が発生する確率は30年間で70%であることから、地震の発生確率は 10^{-2} /年程度となる。鹿島コンビナート地区に大きな影響を与える地震の発生確率はこれよりも小さくなると考えられるが、ここでは地震時の被災確率が 10^{-4} 以上となる災害を想定することとした。

- 第1段階の災害：災害の発生危険度がBレベル（ 10^{-3} 程度）以上の災害
→現実的に起こり得ると考えて対策を検討しておくべき災害
- 第2段階の災害：災害の発生危険度がCレベル（ 10^{-4} 程度）の災害
→発生する可能性は相当に小さいと考えられるが、万一に備えて対策を検討しておくべき災害
- 低頻度大規模災害：災害の発生危険度がDレベル（ 10^{-5} 程度）以下で、影響度がIレベル（200m以上）の災害
→発生する可能性が非常に小さいが、影響が大きくなると考えられる災害
第8章において別途検討した。

個々の施設の評価は、平常時と同様にリスクマトリックスを用いて行った。地震時における災害の発生危険度と影響度のランク付けは表 5.5.1 のとおりである。

なお、パイプラインについては発生危険度の評価を行わなかったため、想定災害の抽出は行わない。

表 5.5.1 地震時の災害発生危険度区分及び影響度区分

○地震時の災害発生危険度区分

区分	災害発生危険度
AAe	10^{-1} 程度（ 5×10^{-2} 以上） ^注
Ae	10^{-2} 程度（ 5×10^{-3} 以上 5×10^{-2} 未満）
Be	10^{-3} 程度（ 5×10^{-4} 以上 5×10^{-3} 未満）
Ce	10^{-4} 程度（ 5×10^{-5} 以上 5×10^{-4} 未満）
De	10^{-5} 程度（ 5×10^{-6} 以上 5×10^{-5} 未満）
Ee	10^{-6} 程度（ 5×10^{-6} 未満）

○災害の影響度区分

区分	影響距離
I	200m 以上
II	100m 以上 200m 未満
III	50m 以上 100m 未満
IV	20m 以上 50m 未満
V	20m 未満

注) 高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント

5.5.1. 高松地区

(1) 危険物タンク

高松地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.2 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災、中量流出・火災、防油堤内流出・火災が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、中量流出・火災から防油堤内流出・火災が想定され、仕切堤内流出・火災では影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤内流出・火災及び防油堤外流出・火災が想定される。

表 5.5.2 高松地区における危険物タンクの想定災害（地震時） （単位：基）

<流出火災>

DE1: 小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV						
V				4		4
計				4		4

DE2: 中量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV			3	4		7
V				6	2	8
計			3	10	2	15

DE3: 仕切堤内流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II			1			1
III			2			2
IV						
V						
計			3			3

DE4: 防油堤内流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I		1				1
II		2		2		4
III			9			9
IV			1			1
V						
計		3	10	2		15

DE5: 防油堤外流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I	14	1				15
II						
III						
IV						
V						
計	14	1				15

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.3 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 5.5.3 高松地区における特定外タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE2: 中量流出・火災	69
	DE4: 防油堤内流出・火災	2
第2段階 (Cレベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	67

(3) 高圧ガスタンク

高松地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.4 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定される。影響度は大量流出・爆発でⅠレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定され、影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度がⅡレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・フラッシュ火災及び全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（短時間）・拡散が想定され、影響度は全てⅠレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 5.5.4 高松地区における高圧ガスタンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				6	1		7
IV					3		3
V					5		5
計				6	9		15

DE2: 中量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				2			2
III				5			5
IV				8			8
V							
計				15			15

DE3: 大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				2			2
II				5			5
III				5			5
IV				3			3
V							
計				15			15

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			2				2
II		4	1				5
III			5				5
IV			3				3
V							
計		4	11				15

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		12	3				15
II							
III							
IV							
V							
計		12	3				15

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV				6	1		7
V					8		8
計				6	9		15

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				2			2
III				5			5
IV				3			3
V					5		5
計				15			15

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				2			2
III				5			5
IV				3			3
V					5		5
計				15			15

DE4: 全量流出（長時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II			2				2
III		4	1				5
IV			3				3
V					5		5
計		4	11				15

DE5: 全量流出（短時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		12	3				15
II							
III							
IV							
V							
計		12	3				15

< 毒性ガス拡散 >

DE6：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I						3	3
II							
III							
IV							
V							
計							3

DE7：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					3		3
II							
III							
IV							
V							
計					3		3

DE8：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					3		3
II							
III							
IV							
V							
計					3		3

DE9：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				3			3
II							
III							
IV							
V							
計				3			3

DE10：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			2	1			3
II							
III							
IV							
V							
計			2	1			3

(4) 毒性液体タンク

高松地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.5 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散、中量流出・拡散、大量流出・拡散が想定され、影響度は大量流出・拡散でIレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・拡散及び全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 5.5.5 高松地区における毒性液体タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

< 毒性ガス拡散 >

DE1：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II					2		2
III							
IV							
V							
計					2		2

DE2：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II					2		2
III							
IV							
V							
計					2		2

DE3：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					2		2
II							
III							
IV							
V							
計					2		2

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			2				2
II							
III							
IV							
V							
計			2				2

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			2				2
II							
III							
IV							
V							
計			2				2

(5) プラント（製造施設）

高松地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.6 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、少量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。

爆発について、第1段階の災害として、少量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、少量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅤレベルとなる。

表 5.5.6 高松地区における製造施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：少量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV						8	8
V							
計						8	8

DE2：ユニット内全量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III					5		5
IV					3		3
V							
計					8		8

DE3：大量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				5			5
IV				3			3
V							
計				8			8

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V						4	4
計						4	4

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III					4		4
IV							
V							
計					4		4

DE6：大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				4			4
IV							
V							
計				4			4

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V						4	4
計						4	4

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V					4		4
計					4		4

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V				4			4
計				4			4

(6) プラント（発電施設）

高松地区における発電施設の各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.7 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災及び中量流出・火災が想定され、影響度は中量流出・火災でIレベルとなる。低頻度大規模災害としては、大量流出・火災が想定される。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発及び中量流出・爆発が想定され、影響度はIVレベル以下となる。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災及び中量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はVレベルとなる。

表 5.5.7 高松地区における発電施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II						1	1
III						1	1
IV						1	1
V							
計						3	3

DE2：中量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				2			2
II							
III				1			1
IV							
V							
計				3			3

DE3：大量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		2					2
II							
III		1					1
IV							
V							
計		3					3

<爆発>

DE1：小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V						1	1
計						1	1

DE3：中量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV				1			1
V							
計				1			1

DE5：大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV		1					1
V							
計		1					1

<フラッシュ火災>

DE2：小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V						1	1
計						1	1

DE4：中量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V				1			1
計				1			1

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV							
V		1					1
計		1					1

(7) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.8 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 5.5.8 高松地区における海上入出荷施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE1：小量流出・火災	1
	DE3：小量流出・爆発火災	1
第2段階 (Cレベル)	DE2：大量流出・火災	1
	DE5：大量流出・爆発火災	1

5.5.2. 東部地区

(1) 危険物タンク

東部地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.9 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、少量流出・火災から防油堤内流出・火災が想定され、防油堤内流出・火災では影響度がIレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、中量流出・火災から防油堤内流出・火災が想定され、第1段階の災害より全体に影響度が大きくなる。低頻度大規模災害としては、防油堤内流出・火災及び防油堤外流出・火災が想定される。

表 5.5.9 東部地区における危険物タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<流出火災>

DE1: 少量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV						
V				98	103	201
計				98	103	201

DE2: 中量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV			54	97	33	184
V			2	29	24	55
計			56	126	57	239

DE3: 仕切堤内流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II			10	9		19
III			4	5		9
IV			32	54		86
V			20	2		22
計			66	70		136

DE4: 防油堤内流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I		42	69	41		152
II		6	14	18		38
III			32	5		37
IV			4	8		12
V						
計		48	119	72		239

DE5: 防油堤外流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I	219	20				239
II						
III						
IV						
V						
計	219	20				239

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.10 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 5.5.10 東部地区における特定外タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A~B レベル)	DE2: 中量流出・火災	389
	DE4: 防油堤内流出・火災	85
第2段階 (C レベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	304

(3) 高圧ガスタンク

東部地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.11 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発から全量流出（短時間）・爆発が想定され、小量流出・爆発を除き、影響度はIレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定され、影響度がIレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災から全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度はIレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・フラッシュ火災及び全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度がIレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（長時間）・フラッシュ火災及び全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベル又はIIレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・拡散及び全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 5.5.11 東部地区における高圧ガスタンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				16	7		23
III				30	43		73
IV				18	23		41
V					1		1
計				64	74		138

DE2: 中量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				17			17
II				76	1		77
III				29	1		30
IV				16	1		17
V							
計				138	3		141

DE3: 大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				41			41
II				65			65
III				33			33
IV				1			1
V							
計				140			140

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		21	18	2			41
II		14	41	10			65
III		19	14				33
IV				2			2
V							
計		54	73	14			141

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		93	34	14			141
II							
III							
IV							
V							
計		93	34	14			141

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				16	10		26
III				44	59		103
IV				4	5		9
V							
計				64	74		138

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II				80			80
III				34	1		35
IV				21			21
V				2	2		4
計				138	3		141

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II				80			80
III				35			35
IV				20			20
V				4			4
計				140			140

DE4: 全量流出（長時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		1					1
II		29	46	5			80
III		10	19	6			35
IV		14	6	1			21
V			2	2			4
計		54	73	14			141

DE5: 全量流出（短時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		93	34	14			141
II							
III							
IV							
V							
計		93	34	14			141

< 毒性ガス拡散 >

DE6：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					13		13
II					2		2
III							
IV							
V							
計					15		15

DE7：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					13		13
II					2		2
III							
IV							
V							
計					15		15

DE8：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					13		13
II					2		2
III							
IV							
V							
計					15		15

DE9：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			13				13
II			2				2
III							
IV							
V							
計			15				15

DE10：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			15				15
II							
III							
IV							
V							
計			15				15

(4) 毒性液体タンク

東部地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.12 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（短時間）・拡散が想定され、影響度は流出・拡散でIレベル又はIIレベルとなる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・拡散及び全量流出（短時間）・拡散が想定される。

表 5.5.12 東部地区における毒性液体タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

< 毒性ガス拡散 >

DE1：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II					5		5
III							
IV							
V							
計					5		5

DE2：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					7		7
II					1		1
III							
IV							
V							
計					8		8

DE3：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					8		8
II							
III							
IV							
V							
計					8		8

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			4		4		8
II							
III							
IV							
V							
計			4		4		8

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			11		4		15
II							
III							
IV							
V							
計			11		4		15

(5) プラント（製造施設）

東部地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.13 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、小量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

爆発について、第1段階の災害として、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

表 5.5.13 東部地区における製造施設の想定災害（地震時）（単位：施設）
＜流出火災＞

DE1：小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II					4		4
III					8		8
IV					38		38
V					30		30
計					80		80

DE2：ユニット内全量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					11		11
II					6		6
III					19		19
IV					18		18
V					26		26
計					80		80

DE3：大量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				11			11
II				6			6
III				19			19
IV				18			18
V				26			26
計				80			80

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II						17	17
III						28	28
IV						14	14
V							
計						59	59

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					42		42
II					14		14
III					3		3
IV							
V							
計					59		59

DE6：大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				42			42
II				14			14
III				3			3
IV							
V							
計				59			59

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II						9	9
III						7	7
IV						29	29
V						14	14
計						59	59

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					16		16
II					7		7
III					16		16
IV					13		13
V					7		7
計					59		59

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				16			16
II				7			7
III				16			16
IV				13			13
V				7			7
計				59			59

<毒性ガス拡散>

DE7：小量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					7		7
II					1		1
III							
IV					3		3
V					1		1
計					12		12

DE8：ユニット内全量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					7		7
II					1		1
III							
IV					3		3
V					1		1
計					12		12

DE9：大量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				7			7
II				1			1
III							
IV				3			3
V				1			1
計				12			12

(6) プラント（発電施設）

東部地区における発電施設の各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.14 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災及び中量流出・火災が想定され、影響度は中量流出・火災でⅡレベルとなる施設が存在する。

表 5.5.14 東部地区における発電施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III					2		2
IV							
V					7		7
計					9		9

DE2：中量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				2			2
III							
IV				6			6
V				1			1
計				9			9

DE3：大量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II		2					2
III							
IV		6					6
V		1					1
計		9					9

(7) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.15 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 5.5.15 東部地区における海上入出荷施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE1：小量流出・火災	25
	DE3：小量流出・爆発火災	5
第2段階 (Cレベル)	DE2：大量流出・火災	25
	DE5：大量流出・爆発火災	5

5.5.3. 西部地区

(1) 危険物タンク

西部地区における危険物タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.16 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害としては、小量流出・火災、中量流出・火災、防油堤内流出・火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害として、防油堤内流出・火災が想定され、影響度がⅡレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤外流出・火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散、中量流出・拡散、防油堤内流出・拡散が想定され、防油堤内流出・拡散では影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、防油堤外流出・拡散が想定される。

表 5.5.16 西部地区における危険物タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<流出火災>

DE1: 小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV						
V				2	6	8
計				2	6	8

DE2: 中量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV						
V				16	4	20
計				16	4	20

DE4: 防油堤内流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II			6			6
III			3	7		10
IV			2	2		4
V						
計			11	9		20

DE5: 防油堤外流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I	19	1				20
II						
III						
IV						
V						
計	19	1				20

<毒性ガス拡散>

DE10: 小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV					1	1
V						
計					1	1

DE11: 中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I						
II						
III						
IV					1	1
V						
計					1	1

DE13: 防油堤内流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I				1		1
II						
III						
IV						
V						
計				1		1

DE14: 防油堤外流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	計
I		1				1
II						
III						
IV						
V						
計		1				1

(2) 危険物タンク（特定外）

危険物特定外タンクについては影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.17 に示す。

タンクは小規模であるため火災の影響は小さいと考えられるが、防油堤が広大な場合、この中で火災が拡大した場合には周囲への影響に注意する必要がある。

表 5.5.17 西部地区における特定外タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<流出火災>

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～Bレベル)	DE2: 中量流出・火災	266
	DE4: 防油堤内流出・火災	33
第2段階 (Cレベル)	DE4: 防油堤内流出・火災	233

(3) 高圧ガスタンク

西部地区における高圧ガスタンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.18 のようになる。

爆発について、第1段階の災害としては、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度は大量流出・爆発でⅡレベルとなるタンクがある。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・爆発及び全量流出（短時間）・爆発が想定され、影響度がⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・爆発が想定される。

フラッシュ火災について、第1段階の災害としては、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅢレベル以下となる。第2段階の災害としては、全量流出（長時間）・フラッシュ火災及び全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定され、影響度はⅠレベルとなるタンクがある。低頻度大規模災害としては、全量流出（短時間）・フラッシュ火災が想定される。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害として、小量流出・拡散から全量流出（短時間）・拡散が想定され、影響度は全てⅠレベルとなる。

表 5.5.18 西部地区における高圧ガスタンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<爆発>

DE1: 小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				4	3		7
IV				8	13		21
V							
計				12	16		28

DE2: 中量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				16			16
IV				12			12
V							
計				28			28

DE3: 大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II				3			3
III				24			24
IV				1			1
V							
計				28			28

DE4: 全量流出（長時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II		2	1				3
III		2	22				24
IV			1				1
V							
計		4	24				28

DE5: 全量流出（短時間）・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		4	24				28
II							
III							
IV							
V							
計		4	24				28

<フラッシュ火災>

DE1: 小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV				8	14		22
V				4	2		6
計				12	16		28

DE2: 中量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				3			3
IV				25			25
V							
計				28			28

DE3: 大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				3			3
IV				25			25
V							
計				28			28

DE4: 全量流出（長時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III			3				3
IV		4	21				25
V							
計		4	24				28

DE5: 全量流出（短時間）・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I		4	24				28
II							
III							
IV							
V							
計		4	24				28

<毒性ガス拡散>

DE6：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I						1	1
II							
III							
IV							
V							
計							1

DE7：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					1		1
II							
III							
IV							
V							
計					1		1

DE8：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					1		1
II							
III							
IV							
V							
計					1		1

DE9：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II							
III							
IV							
V							
計				1			1

DE10：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II							
III							
IV							
V							
計				1			1

(4) 毒性液体タンク

西部地区における毒性液体タンクの各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.19 のようになる。

第1段階の災害としては、小量流出・拡散から全量流出（短時間）流出・拡散が想定され、影響度はIレベル又はIIレベルとなる。

表 5.5.19 西部地区における毒性液体タンクの想定災害（地震時）（単位：基）

<毒性ガス拡散>

DE1：小量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I						1	1
II							
III							
IV							
V							
計						1	1

DE2：中量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					1		1
II							
III							
IV							
V							
計					1		1

DE3：大量流出・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					1		1
II							
III							
IV							
V							
計					1		1

DE4：全量流出（長時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II							
III							
IV							
V							
計				1			1

DE5：全量流出（短時間）・拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II							
III							
IV							
V							
計				1			1

(5) プラント（製造施設）

西部地区における製造施設の各段階の想定災害をまとめると、表 5.5.20 のようになる。

流出火災について、第1段階の災害として、小量流出・火災から大量流出・火災が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

爆発について、第1段階の災害として、小量流出・爆発から大量流出・爆発が想定され、影響度はIレベルとなる施設が存在する。

フラッシュ火災について、第1段階の災害として、小量流出・フラッシュ火災から大量流出・フラッシュ火災が想定され、影響度はIIIレベル以下となる。

毒性ガス拡散について、第1段階の災害としては、小量流出・拡散から大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる。第2段階の災害としては、大量流出・拡散が想定され、影響度はIレベルとなる。

表 5.5.20 西部地区における製造施設の想定災害（地震時）（単位：施設）
<流出火災>

DE1：小量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III						1	1
IV						14	14
V					4	9	13
計					4	24	28

DE2：ユニット内全量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					1		1
II					1		1
III					6		6
IV					10		10
V					10		10
計					28		28

DE3：大量流出・火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1			1
II				1			1
III				6			6
IV				10			10
V				10			10
計				28			28

<爆発>

DE4：小量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III						7	7
IV					2	2	4
V							
計					2	9	11

DE5：ユニット内全量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					7		7
II					3		3
III					1		1
IV							
V							
計					11		11

DE6：大量流出・爆発

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				7			7
II				3			3
III				1			1
IV							
V							
計				11			11

<フラッシュ火災>

DE4：小量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III							
IV						6	6
V					2	3	5
計					2	9	11

DE5：ユニット内全量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III					1		1
IV					7		7
V					3		3
計					11		11

DE6：大量流出・フラッシュ火災

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I							
II							
III				1			1
IV				7			7
V				3			3
計				11			11

<毒性ガス拡散>

DE7：小量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I					2		2
II							
III							
IV							
V							
計					2		2

DE8：ユニット内全量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I				1	1		2
II							
III							
IV							
V							
計				1	1		2

DE9：大量流出・ガス拡散

	Ee	De	Ce	Be	Ae	AAe	計
I			1	1			2
II							
III							
IV							
V							
計			1	1			2

(6) 海上入出荷施設

海上入出荷施設については影響度を具体的に推定できないため、各想定レベルの施設数をまとめて表 5.5.21 に示す。

災害の影響度については、仮に石油類の流出火災、可燃性ガスの爆発やフラッシュ火災が生じた場合でも流出は直ちに停止され、沿岸部の栈橋における災害の影響がコンビナート区域外に及ぶ可能性は低いものと考えられる。

表 5.5.21 西部地区における海上入出荷施設の想定災害（地震時）（単位：施設）

想定レベル	想定災害	該当施設数
第1段階 (A～B レベル)	DE1：小量流出・火災	2
第2段階 (C レベル)	DE2：大量流出・火災	2

6. 地震時（長周期地震動）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、地震時（長周期地震動）の被害を対象とした評価を実施した。

個々の危険物タンクでのスロッシング最大波高及び溢流量を求め、その大小から災害拡大シナリオに現れる各災害事象の可能性を判定し、災害規模に応じた影響を算定した。

6.1. 危険物タンクのスロッシング

スロッシング（液面揺動）とは、地震波と容器内の液体が共振して液面が大きく揺れる現象である。これにより、特に浮き屋根式の危険物タンクでは、浮き屋根の損傷、内容物の溢流、火災の発生といった重大な被害が生じる危険性があり、このような被害の発生は、スロッシングによる揺れの大きさ（スロッシング最大波高）にある程度依存することが示されている^a。

個々の危険物タンクのスロッシング波高の算定において、速度応答スペクトル法がよく用いられ、観測値と整合性がよいことが確認されている。ここでは、溢流が生じるようなスロッシングに対応するために、非線形性の影響による波高増分を考慮した次式に従い、スロッシング最大波高を推定する。なお、この式は2003年十勝沖地震での事例から適用性が確認されている^b。

$$\eta^+ = \eta + \Delta\eta \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = 0.837 \left(\frac{D}{2g} \right) \left(\frac{2\pi}{T_s} \right) S_v(T_s) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta\eta = 0.91 \cdot R \cdot \left(\frac{\eta}{R} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\left(\frac{D}{3.682g} \right) \coth \left(\frac{3.682H}{D} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- η^+ : 非線形性を考慮したスロッシング最大波高 (m)
- η : スロッシング最大波高 (線形解: m)
- $\Delta\eta$: 非線形液面増分 (直径7.6mの模型タンクによる振動実験に基づく) (m)
- D : タンク内径 (m)
- R : タンク半径 (=D/2) (m)
- H : 液面高さ (m)
- g : 重力加速度 (9.8m/s²)

^a 座間信作：2003年十勝沖地震にみる石油タンク被害の特徴と対策，物理探査，第59巻第4号(2006)，353-362

^b 西晴樹，山田實，座間信作，御子柴正，箕輪親宏：石油タンクのスロッシングによる溢流量の算定，圧力技術，第46巻第5号(2008)，276-284

T_s : 危険物タンクのスロッシング基本固有周期 (s)
 $S_v(T_s)$: 周期 T_s における (疑似) 速度応答スペクトル (m/s)

$$\coth(X) = \frac{e^X + e^{-X}}{e^X - e^{-X}}$$

上記の式より、タンクのスロッシング基本固有周期 T_s はタンク内径と液面高さから求められ、茨城県石油コンビナートにおける危険物タンクでは約 2～13 秒である。非線形性を考慮したスロッシング最大波高は、想定地震による長周期地震動特性 (速度応答スペクトル) が得られれば容易に計算することができる。地震動の想定及び速度応答スペクトルの算定については 6.5 に示す。

6.2. 消防法におけるスロッシング対策

6.2.1. スロッシングを考慮した液面管理

消防法告示 (危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示) においては、容量 1,000k1 以上の特定屋外タンクについて、スロッシングが発生しても内容物の溢流が生じないように、スロッシングによる最大波高を想定した液面管理 (危険物タンク上部に余裕空間を確保する) が定められている (式(5)～(8)を参照)。

最大波高の推定にあたって前提とする地震動 (速度応答スペクトル) は、従来の消防法では周期によらず一律に定められていた (茨城県石油コンビナートの場合は約 113cm/s)。しかしながら、2003年に発生した十勝沖地震では、多くのタンクにおいて想定を上回るスロッシングが生じ、特に浮き屋根式の危険物タンクにおいて、浮き屋根の損傷・沈降や内容物の溢流、タンク火災等の被害が生じた。

これを受けて、2005年1月に消防法告示の改正 (総務省告示第30号) が行われ、危険物タンク側板の最上端までの空間高さ (H_c) を求める算式に長周期地震動の地域特性に応じた補正係数 (ν_5) が導入され、危険物タンクのスロッシング基本固有周期に応じて従来の 1～2 倍の範囲で液面の低下措置が行われることとなった。

$$H_c = 0.45 D K h_2 \dots\dots\dots (5)$$

$$K h_2 = 0.15 \nu_1 \nu_4 \nu_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$\nu_4 = 4.5 / T_s \dots\dots\dots (7)$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{(D / 3.68 g) \cdot \coth(3.68 H / D)} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

- H_c : 側板の最上端までの空間高さ (m)
- $K h_2$: 液面揺動の設計水平震度
- ν_1 : 地域別補正係数 (=1.0)
- ν_4 : 液面揺動の一次固有周期を考慮した応答倍率
- ν_5 : 長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数 (=1.0)

ただし、茨城県石油コンビナートの場合は、地域別補正係数は $\nu_1=1.0$ であり、また長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数に関しても $\nu_5=1.0$ とされている。

6.2.2. 浮き屋根の技術基準の策定

2005年1月の改正告示では、長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数（ ν_5 ）の導入と共に、新たに浮き屋根の技術基準が定められ、浮き屋根の耐震機能を確保することが求められている。対象となるタンクは、シングルデッキタイプの浮き屋根を有する特定屋外タンクの内、容量2万k1以上のタンクと、容量2万k1未満で $H_c \geq 2$ mの危険物タンクである。これらのタンクでは、浮き屋根の損傷や沈降の発生、浮き屋根上への滞油に伴う雨水排水配管からの漏洩が生じる可能性があることが指摘されている。

(1) 浮き屋根の技術基準

従来、浮き屋根の耐震強度は事業者独自の基準により設計されていたが、長周期地震動の影響を考慮した浮き屋根の耐震強度に関して、新たに技術基準が策定された（適用にあたっては、平成29年3月31日までの経過措置が設けられている）。

(2) 浮き屋根の構造

浮き屋根の浮力を確保する上での想定破損室数、浮き屋根の強度確保の前提となる溶接方法、浮力を失わないためのマンホールの構造、浮き屋根上の排水設備からの危険物流出防止のための遮断弁の設置について定められた。

6.2.3. 内部浮き蓋の技術基準の策定

2011年12月の省令改正（平成23年総務省令第165号）により、内部浮き蓋式の特定屋外貯蔵タンクの技術基準が制定された。浮き蓋の浮力、耐震強度等については、浮き屋根式タンクの浮き屋根と同等の基準が定められた。パン型及びバルクヘッド型の浮き蓋については、平成36年3月31日までに他の構造の浮き蓋に改修することとされた。また、不活性ガスにより常時シールするタンク以外のタンクには、可燃性蒸気を屋外に有効に排出するための設備を設けることが定められた。

6.2.4. 屋根の形式別の危険物タンクの基数

屋根の形式別における危険物タンク及び毒性タンクの基数（ただし特定外タンクを除く）を表 6.2.1に示した。

表 6.2.1 屋根の形式別の危険物タンクの基数

(単位：基)

屋根の形式	特定タンク 10,000 k1 以上	特定タンク 1,000k1 以上 10,000k1 未満	準特定タンク 500k1 以上 1,000k1 未満	毒性タンク	計
固定屋根式	27	85	63	1	176
浮き屋根式 [シングルデッキ]	33	6	0	0	39
浮き屋根式 [ダブルデッキ]	29	13	0	0	42
内部浮き蓋式	0	16	1	0	17
計	89	120	64	1	274

6.3. 東日本大震災のスロッシング被害状況

平成23年東日本大震災のスロッシングに関する地域別の被害状況を表 6.3.1に示す。被害は地域ごとに異なっており、例えば日本海側ではスロッシングによる浮き屋根のポンツーン破損、デッキ上への溢流被害が多い。太平洋側では長周期地震動によるスロッシングは小さく、浮き屋根の顕著な被害は見られない。東京湾岸方面では、浮き屋根の沈没、デッキの割れ等の被害が見られる。

表 6.3.1 東日本大震災のスロッシング被害^a

調査対象地域	自治体	被害状況
日本海側	山形県酒田市	アルミ製の内部浮き蓋がスロッシングにより破断。
	新潟県新発田市	浮き屋根への油の流出、ウェザーシールドやエアフォームダムとラダーとの衝突・変形、ガイドポールの変形。
	新潟県新潟市	浮き屋根上への油の流出、ポンツーンの変形・損傷による油の滞留、ウェザーシールドやエアフォームダムとラダーとの衝突・変形、ゲージポール・ガイドポールの変形、スライドプレートの損傷、内部浮き蓋の変形・接続部の損傷。
太平洋側	茨城県鹿嶋市 茨城県神栖市	ウェザーシールドと側板との間から噴き上げられた原油が、側板内側全周に渡り付着。下部デッキ板の重ね溶接部とリング板の接合部に変形、割れが発生。センターポンツーンの下部トラス材が変形。浮き屋根上に重油が漏洩し、ルーフドレンを通じて防油堤内に流出。
	福島県いわき市	ローリングラダー中央部の変形、ゲージポールウェル破損、浮き屋根上への原油流出とその原油がルーフドレン配管を通じて外部へ流出。
東京湾側	神奈川県川崎市	浮き屋根アウターリム下部付近の溶接線近傍での破断により、油が大量に浮き屋根上に流出し、地震の3日後に浮き屋根が沈没。浮き屋根式タンクのポンツーン4室が破損。鋼製内部浮き蓋で、ポンツーンとデッキとの溶接線が20cmにわたり破断。

6.4. 危険物タンクの余裕空間高さ

表 6.4.1は、当該地区のコンビナートにおける500k1以上の危険物タンク（毒性タンクを含む）について、地区別、屋根形式別、容量による区別に基数を整理したものである。

高松地区は固定屋根式タンクが多いが、容量1万k1未満である。容量1万k1以上の大規模タンクはダブルデッキで3基ある。東部地区は固定屋根式タンクが特に多く145基あり、容量1万k1以上の大規模タンクは固定屋根式か浮き屋根式である。これらは合計86基ある。西部地区は固定屋根式タンクが20基あるが、容量1万k1以上の大規模タンクは存在しない。ただし毒性タンクが1基存在する。

これらの危険物タンクについて、スロッシング基本固有周期（ T_s ）に対する側板最上端までの空間高さ（ H_c ）の分布及び実液面高さで評価した余裕空間高さの分布を図 6.4.1に示す。 H_c について見ると、固有周期が大きいタンクは側板最上端までの空間高さを大きく取らなければならないことが分かる。多くのタンクでは H_c が1～2mの範囲にあるが、容量1万k1を超える大規模タンクの一部は H_c が2.0mを超える。

^a 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書（第1報），消防研究技術資料第82号，平成23年12月，消防庁 消防研究センター

表 6.4.1 各地区の危険物タンクの基数

(単位：基)

地区	危険物タンク (容量による区分)・ 毒性タンクの区分	固定 屋根	浮き屋根		内部 浮き蓋	計
			シングルデッキ	ダブルデッキ		
高松	500kl 以上 1,000kl 未満	4	0	0	0	4
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	7	0	0	1	8
	10,000kl 以上	0	0	3	0	3
	毒性タンク	0	0	0	0	0
	計	11	0	3	1	15
東部	500kl 以上 1,000kl 未満	48	0	0	1	49
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	70	6	13	15	104
	10,000kl 以上	27	33	26	0	86
	毒性タンク	0	0	0	0	0
	計	145	39	39	16	239
西部	500kl 以上 1,000kl 未満	11	0	0	0	11
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	8	0	0	0	8
	10,000kl 以上	0	0	0	0	0
	毒性タンク	1	0	0	0	1
	計	20	0	0	0	20
計	500kl 以上 1,000kl 未満	63	0	0	1	64
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	85	6	13	16	120
	10,000kl 以上	27	33	29	0	89
	毒性タンク	1	0	0	0	1
	計	176	39	42	17	274

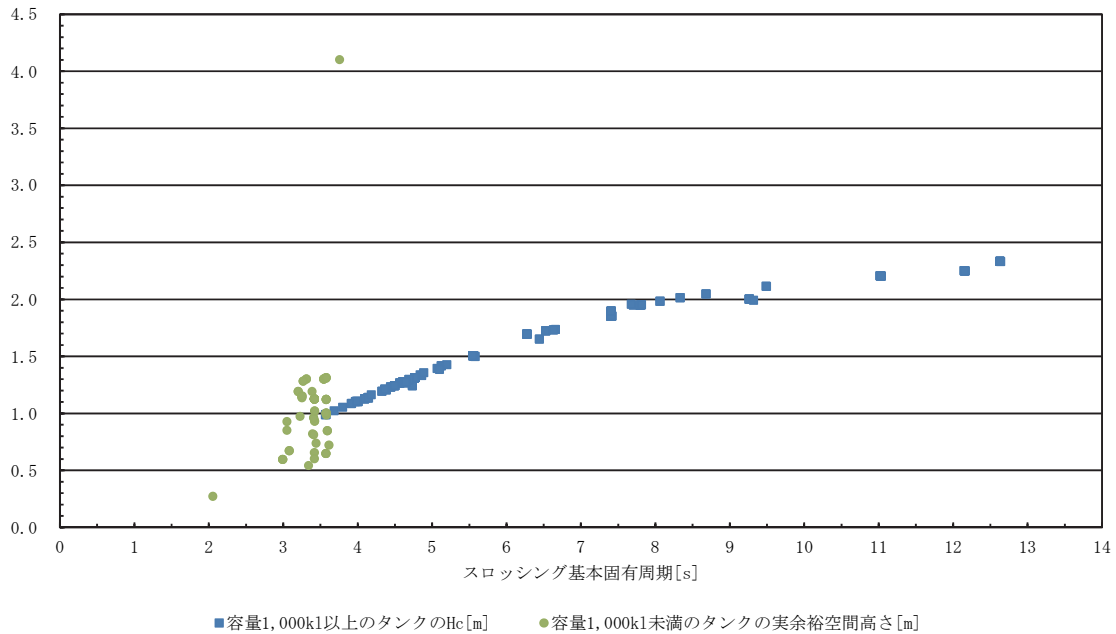


図 6.4.1 危険物タンクのスロッシング基本固有周期と側板最上端までの空間高さ

6.5. 前提とする長周期地震動の想定

6.1に示したように、スロッシング最大波高の推定には、将来発生する可能性のある地震による速度応答スペクトルを予測する必要がある。

文部科学省地震調査研究推進本部ホームページ^aにおいて、相模トラフで発生する海溝型地震の速度応答スペクトルが公表されている。東日本大震災の発生を踏まえて相模トラフで歴史上発生したことが明らかではない領域を含めた巨大地震の震源域が最大級ケースとして提示され、設定された震源モデルを基に長周期地震動の予測計算が行われている。

前提とする長周期地震動としては、上記の相模トラフの地震の内、大正型ケース、元禄型ケース、最大級ケースの3地震を想定した。大正型ケース及び元禄型ケースは過去に発生したマグニチュード8クラスの地震である。相模トラフの地震の震源域は、大正型ケースについては図 6.5.1に示すS1、元禄型ケースはS1及びS2、最大級ケースはS1、S2、S3、T1、T2、D1を合わせた領域が対応する。

独立行政法人防災科学技術研究所より、それぞれのケースの水戸市における速度波形データを提供頂いた。特別防災区域は鹿嶋市及び神栖市にある。参考資料7を用いて、目視により水戸市と特別防災区域周辺の速度応答スペクトルのおおよその比較を行った結果を表 6.5.1に示す。

大正型ケースについては、周期5秒の場合、水戸市と特別防災区域周辺で速度応答ス

^a 長周期地震動予測地図作成支援事業 平成24年度成果報告書
http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/choshuki_shien/h24/index.htm

ペクトルの範囲はほぼ一致しており、図面を目視で見ると大きな違いは確認できない。また、周期7秒あるいは10秒の場合は水戸市の方が速度応答スペクトルの値が高くなっているため、特別防災区域で水戸市の速度波形データを用いることは過小評価になることはないと考えられる。

元禄型ケース及び最大級ケースについては、一部の周期で両地域の速度応答スペクトルの範囲が重なっているところが見られるものの、概ね特別防災区域周辺の速度応答スペクトルが上回る傾向にあり、実際に図面を見ても明らかな色の違いを確認することができる。したがって、元禄型ケース及び最大級ケースについては、水戸市の速度波形を代用すると過小評価に繋がる可能性が高いと言える。

また、中央防災会議^aにおいて、大正関東地震タイプについては当面発生する可能性は低いものの、今後百年先頃に発生する可能性が高くなっていると考えられていることから、長期的な防災・減災対策の対象として考慮することが妥当とされている。地震調査委員会によると、今後30年間の地震発生確率は、ほぼ0～2%と推定されている。元禄関東地震タイプの地震については、2,000年～3,000年間隔で発生しており、元禄関東地震が1703年に発生したことを踏まえると、暫くのところ発生する可能性は殆ど無いと考えられている。地震調査委員会によると、今後30年間の地震発生確率は、ほぼ0%と推定されている。最大クラスの地震の発生間隔についても、2,000年～3,000年或いはそれ以上のものと考えられている。

以上のことから、予測にあたっては、大正型ケースを採用することとし、元禄型及び最大級ケースについては、参考扱いとした。

表 6.5.1 水戸市と特別防災区域周辺の速度応答スペクトルのおおよその比較

(単位：cm/s)

地震動 ケース	大正型ケース			元禄型ケース			最大級ケース		
	5秒	7秒	10秒	5秒	7秒	10秒	5秒	7秒	10秒
水戸市	10～30	10～30	10～30	10～75	10～75	50～75	50～150	50～100	100～150
特別防災 区域周辺	4～30	4～10	4～10	50～150	50～100	75～150	150～250	150～250	150～250

注：本表の値は、参考資料7の図面から目視により速度応答スペクトルの取り得る値の範囲を推定したものである。

速度波形データはNS成分及びEW成分の2種類があり、各周期に対して速度応答スペクトルが大きくなる値を採用した。また2通りの破壊開始点（破壊開始点W及び破壊開始

^a 中央防災会議「防災対策実行会議」（第3回），平成25年12月24日
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/jikkoukaigi/03/>

点C)のデータがあり、破壊開始点Wは1923年関東地震の震央に対応しており、破壊開始点Cは房総半島南沖に設定されている。破壊開始点の位置を図6.5.2に示す。比較を行った結果、速度応答スペクトルは概ね破壊開始点Cの方が高くなっていたため、破壊開始点Cを採用した。このデータから求めた、相模トラフの地震(大正型ケース)に関する速度応答スペクトルを図6.5.3に示す。

なお、予測に用いる速度応答スペクトルの減衰定数(h)については、消防研究所報告^aに従い屋根形式別に設定する。固定屋根式で0.1%、浮き屋根式(シングルデッキ)及び内部浮き蓋式で0.5%、浮き屋根式(ダブルデッキ)で1%とする。

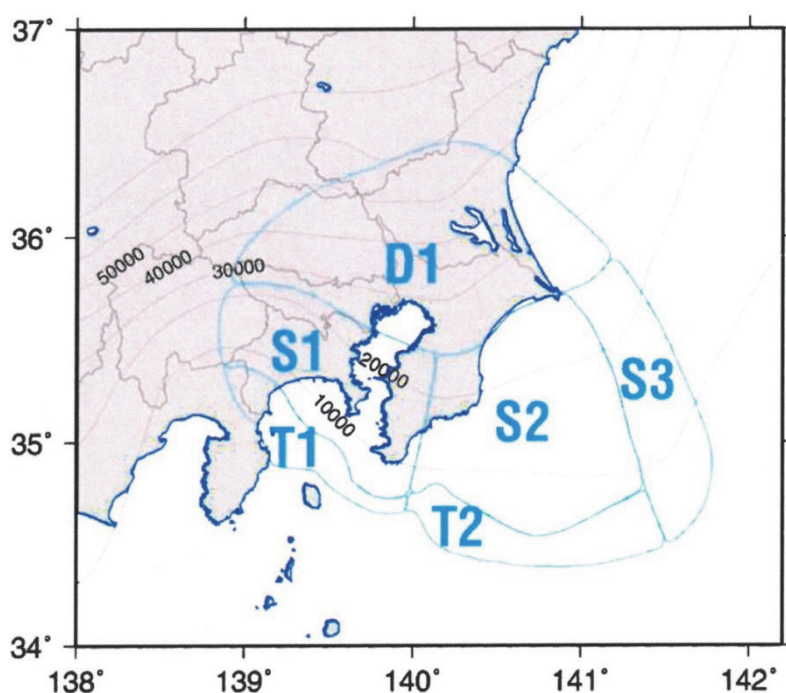


図 6.5.1 相模トラフの地震の震源域^b

^a 座間信作、西晴樹、廣川幹浩、山田實、畑山健：「スロッシングの減衰定数」(消防研究所報告第98号、2004年9月)

^b 長周期地震動予測地図作成支援事業 平成24年度成果報告書

http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/choshuki_shien/h24/3_4.pdf 図3.4-1

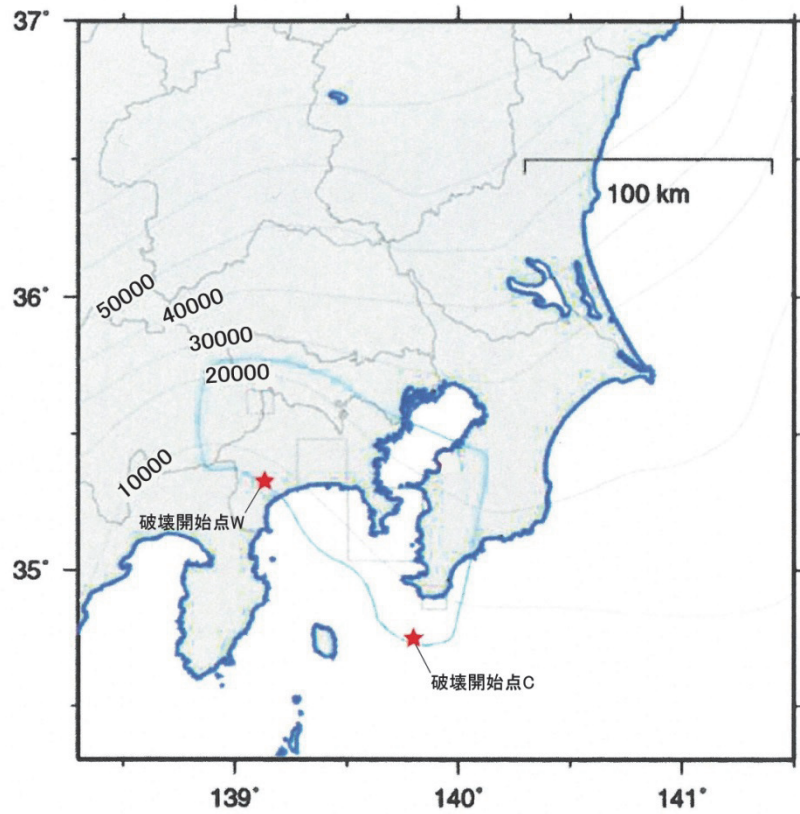


図 6.5.2 破壊開始点の位置^a

^a 長周期地震動予測地図作成支援事業 平成 24 年度成果報告書
http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/choshuki_shien/h24/3_4.pdf 図 3.4-2 より作成

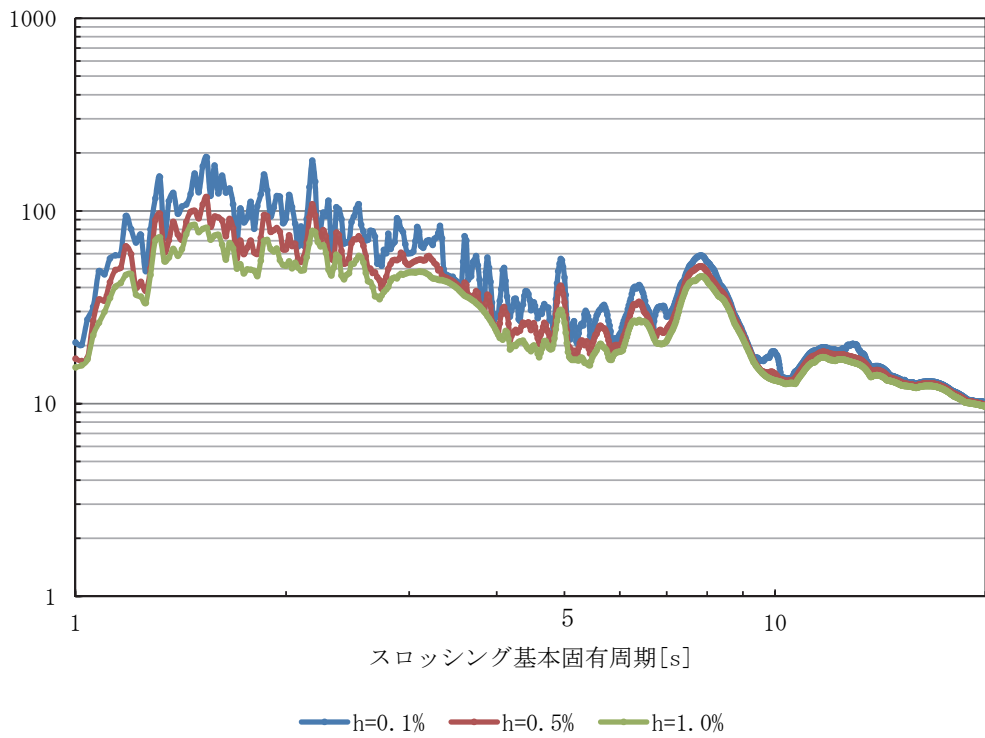


図 6.5.3 大正型ケースの速度応答スペクトル (単位 : cm/s)

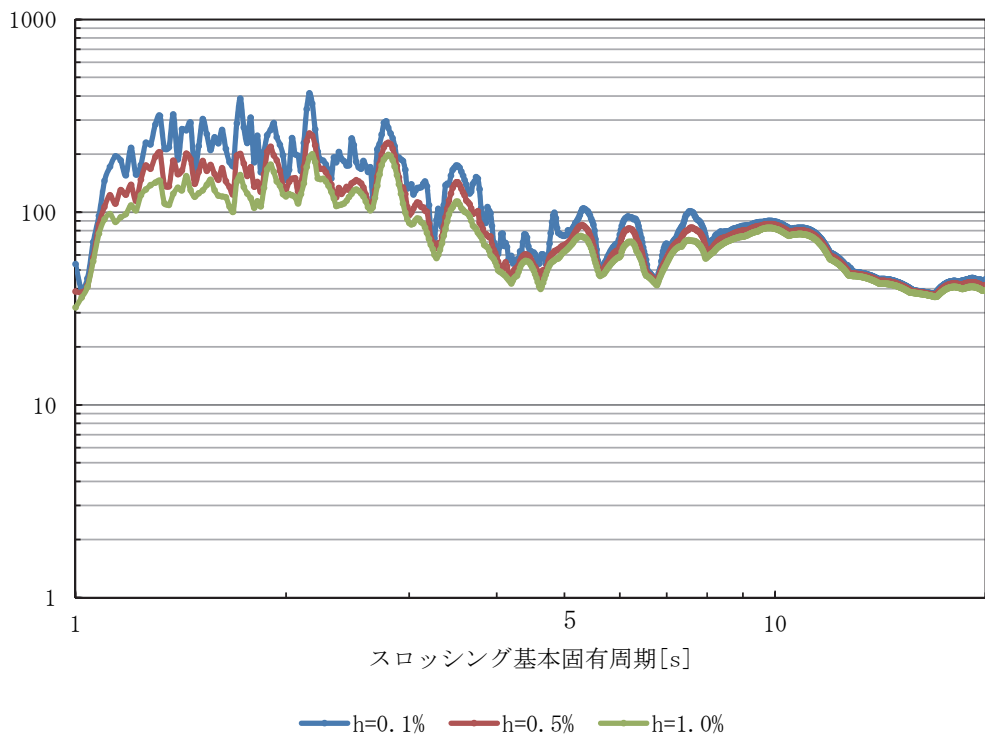


図 6.5.4(1) 元禄型ケース (参考) の速度応答スペクトル (単位 : cm/s)

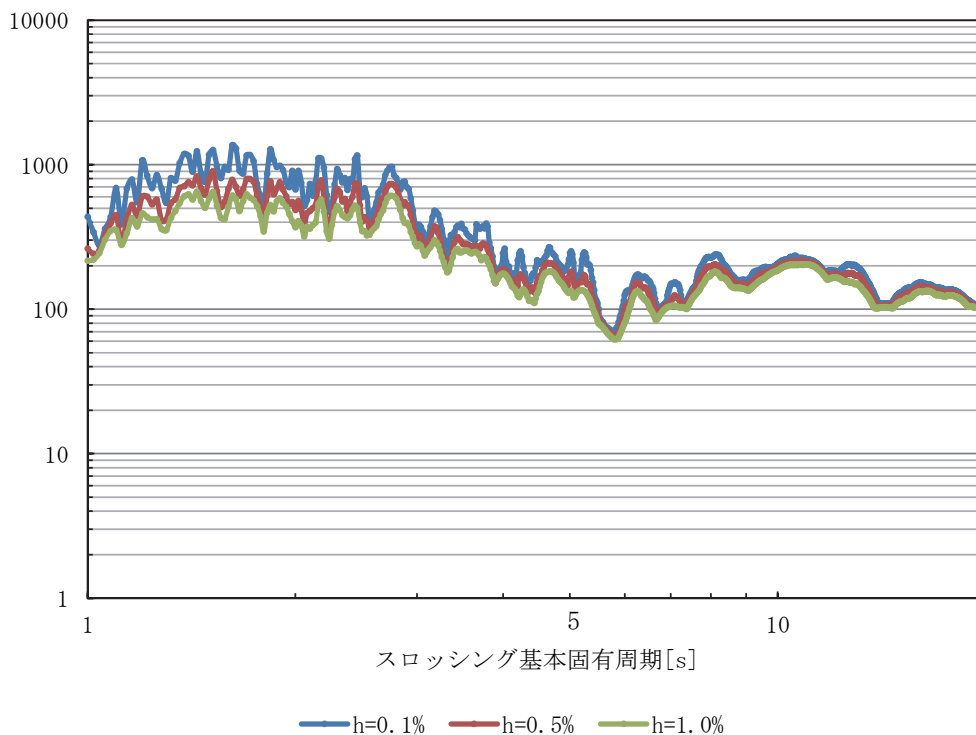


図 6.5.4(2) 最大級ケース（参考）の速度応答スペクトル（単位：cm/s）

6.6. スロッシング最大波高及び溢流量の推定

6.6.1. スロッシング最大波高の推定

各タンクのスロッシング最大波高を式(1)により推定し、起こり得る災害の検討を行う。なお、液面高さは、安全側の設定として H_c から求めた液面高さを想定した（実際は、各事業所の努力により運用液面をさらに下げて（余裕空間高さをさらにとって）管理している場合がある）。ただしタンク容量が1,000kl未満の場合は管理液面高さをを用いた。また固定屋根式、浮き屋根式、内部浮き蓋式の全タンクを予測対象とした。

6.5で示した3ケースの地震の内、大正型ケースに対するスロッシング最大波高の屋根形式別の推定結果を図 6.6.1に、浮き屋根式タンクに関するスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較を表 6.6.3に示す。

図 6.6.1に示すとおり、大正型ケースではスロッシング最大波高は1～2mの間かそれを下回る水準である。表 6.6.3に示すとおり、大正型ケースでは、浮き屋根式タンクについて溢流は生じない。

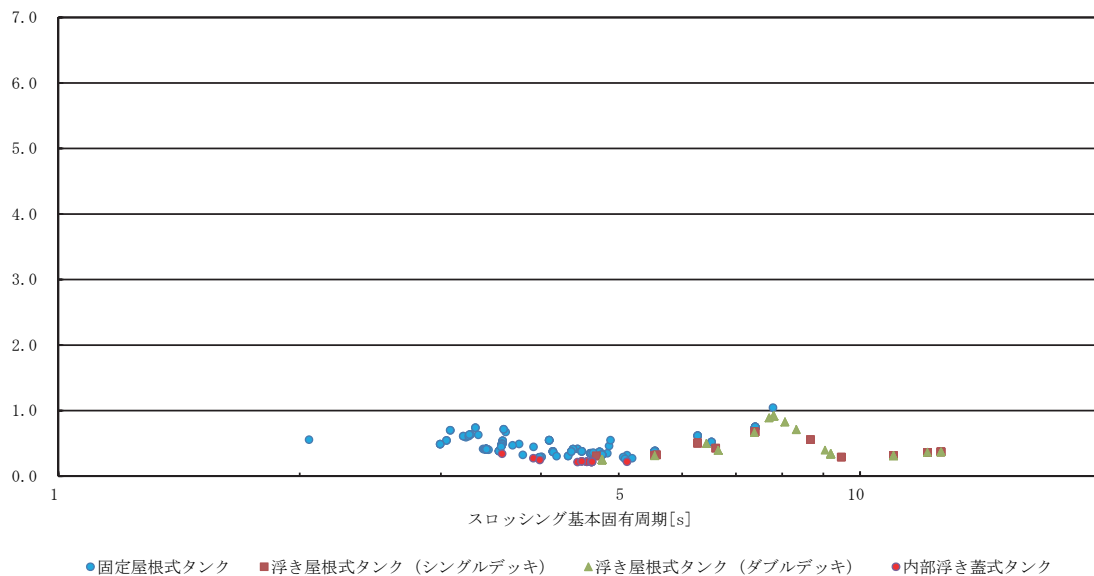


図 6.6.1 大正型ケースのスロッシング最大波高の推定 (単位: m)

表 6.6.1 大正型ケースのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さ^aとの比較 (浮き屋根式タンク)

(単位: 基)

スロッシング 最大波高が	浮き屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	0	0	0
余裕空間高さを超えない	39	42	81
計	39	42	81

元禄型ケース (参考) 及び最大級ケース (参考) に対するスロッシング最大波高の屋根形式別の推定結果を図 6.6.2に、浮き屋根式タンクに関するスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較を表 6.6.2に示す。大正型ケースと同様に、元禄型ケース (参考) においてもスロッシング最大波高は1~2mの間かそれを下回る水準であり、浮き屋根式タンクについて溢流は生じない。最大級ケース (参考) では、スロッシング最大波高が1m前後から6mを超えるタンクも存在し、浮き屋根式タンク74基で溢流が生じる。

^a ここで言う余裕空間高さは、容量1,000k1以上のタンクに対してはHcを指しており、1,000k1未満のタンクに対してはタンクの高さから実液面高さを引いた空間高さを指す。

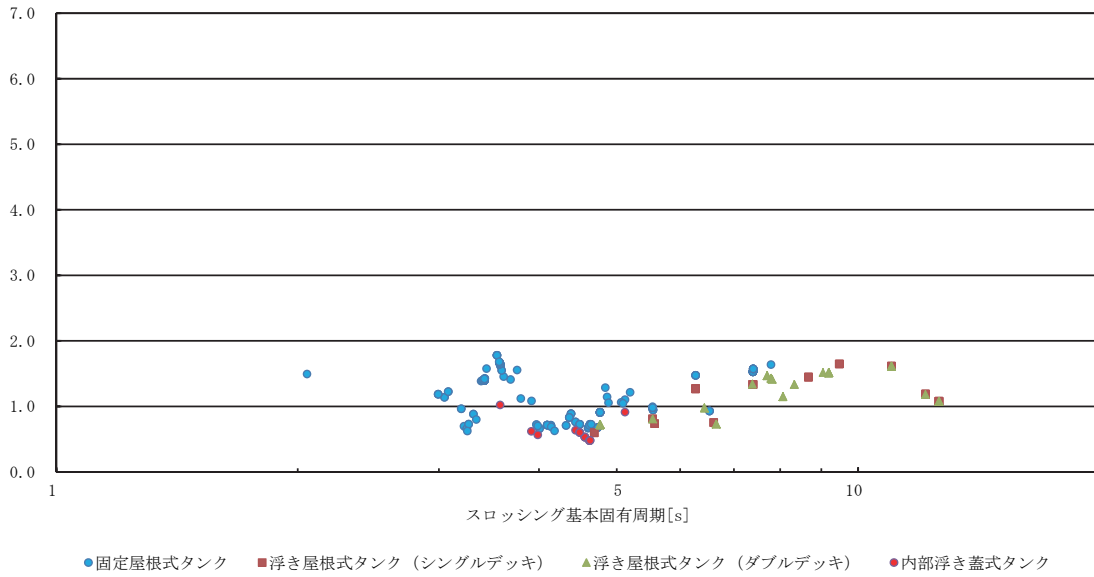


図 6.6.2(1) 元禄型ケース（参考）のスロッシング最大波高の推定（単位：m）

表 6.6.2(1) 元禄型ケース（参考）のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（浮き屋根式タンク）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮き屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	0	0	0
余裕空間高さを超えない	39	42	81
計	39	42	81

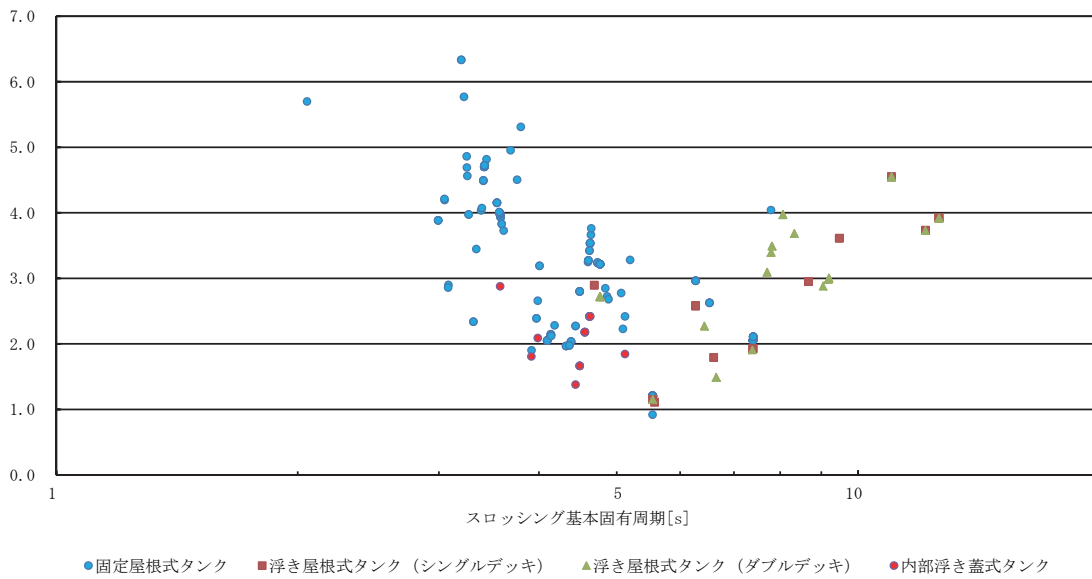


図 6.6.2(2) 最大級ケース（参考）のスロッシング最大波高の推定（単位：m）

表 6.6.2(2) 最大級ケース（参考）のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（浮き屋根式タンク）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	35	39	74
余裕空間高さを超えない	4	3	7
計	39	42	81

大正型ケースに関して、固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較を表 6.6.3に示す。大正型ケースについては、固定屋根式タンクの4基が余裕空間高さを超える結果となった。

表 6.6.3 大正型ケースのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較
(固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク)

(単位：基)

スロッシング 最大波高が	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
余裕空間高さを超える	4	0	4
余裕空間高さを超えない	172	17	189
計	176	17	193

元禄型ケース（参考）及び最大級ケース（参考）に関して、固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較を表 6.6.4に示す。元禄型ケース（参考）については、固定屋根式タンクの58基が余裕空間高さを超える判定結果であった。最大級ケース（参考）においては、固定屋根式タンク162基及び内部浮き蓋式タンク17基が余裕空間高さを超える。

消防庁指針によると、内部浮き蓋式タンクについては、スロッシングによる波高が2 m以上となると被害が顕著になることが確認されている。大正型ケース及び元禄型ケース（参考）では、内部浮き蓋式タンクについてスロッシング最大波高が2 mを超えるものは存在しない。最大級ケース（参考）においては、スロッシング最大波高が2 m以上となる内部浮き蓋式タンクが11基存在する。

固定屋根式タンクについては、放爆構造がとられていることから、スロッシングにより内容物が屋根に衝突すると、側板との接合部を破損し内容物が溢流する可能性がある。しかし、消防庁指針によると、スロッシングによる波高が屋根に達したときの破損の有無や溢流量を推定することは難しい。

表 6.6.4(1) 元禄型ケース（参考）のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
余裕空間高さを超える	58	0	58
余裕空間高さを超えない	118	17	135
計	176	17	193

表 6.6.4(2) 最大級ケース（参考）のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
余裕空間高さを超える	162	17	179
余裕空間高さを超えない	14	0	14
計	176	17	193

6.6.2. スロッシングによる溢流量の推定

危険物タンクのスロッシングが生じた場合に最大でどの程度の溢流が生じるかを推定するため、6.6.1で求めた最大波高に対応する溢流量の推定を行った。算定手法の詳細は参考資料6に示すとおりである。ただし、溢流量算定に用いた式は浮き屋根式タンクに関する実験から推定されたパラメータを用いている。固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクについても同じパラメータを用いた推定値であるため、固定屋根式^aタンク及び内部浮き蓋式タンクについては参考扱いとし、浮き屋根式タンクの結果とは別に示す。

6.5で設定した地震動の内、大正型ケースに関する溢流量の屋根形式別の推定結果を図6.6.3に、浮き屋根式タンクに関する溢流量のカテゴリー別のタンク基数を表6.6.4に示す。

大正型ケースについては、スロッシング基本固有周期4秒以下の1,000k1未満の固定屋根式タンク4基が溢流する結果となったが、溢流量は1m³を下回る。1,000k1以上のタンクについてはH_cの規制を満たしている限り溢流しない。

^a 消防庁指針によると、固定屋根式タンクの溢流量については、波高が側板上端を上回る程度から大まかに推定すると記載されている。

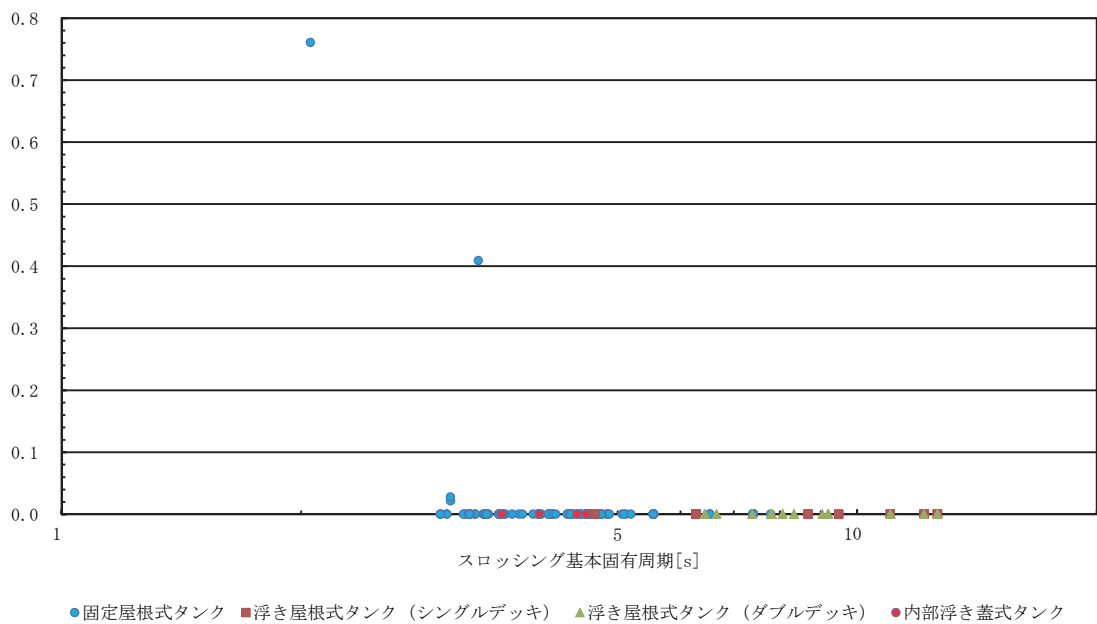


図 6.6.3 大正型ケースの溢流量の推定 (単位: m³)

表 6.6.4 大正型ケースの溢流量のカテゴリ別のタンク基数
(浮き屋根式タンク)

(単位: 基)

タンク容量	溢流量 [m ³]	浮き屋根式タンク		計
		シングルデッキ	ダブルデッキ	
1,000kl未満	0	0	0	0
1,000kl以上	0	39	42	81

元禄型ケース (参考) 及び最大級ケース (参考) に関する溢流量の屋根形式別の推定結果を図 6.6.4に、浮き屋根式タンクに関する溢流量のカテゴリ別のタンク基数を表 6.6.5に示す。元禄型ケース (参考) については、浮き屋根式タンクで溢流するタンクは存在しない。一方、最大級ケース (参考) については、1,000kl以上のタンクの74基が溢流し、溢流量は浮き屋根式タンクにおいて3,000m³を超えるものもある。

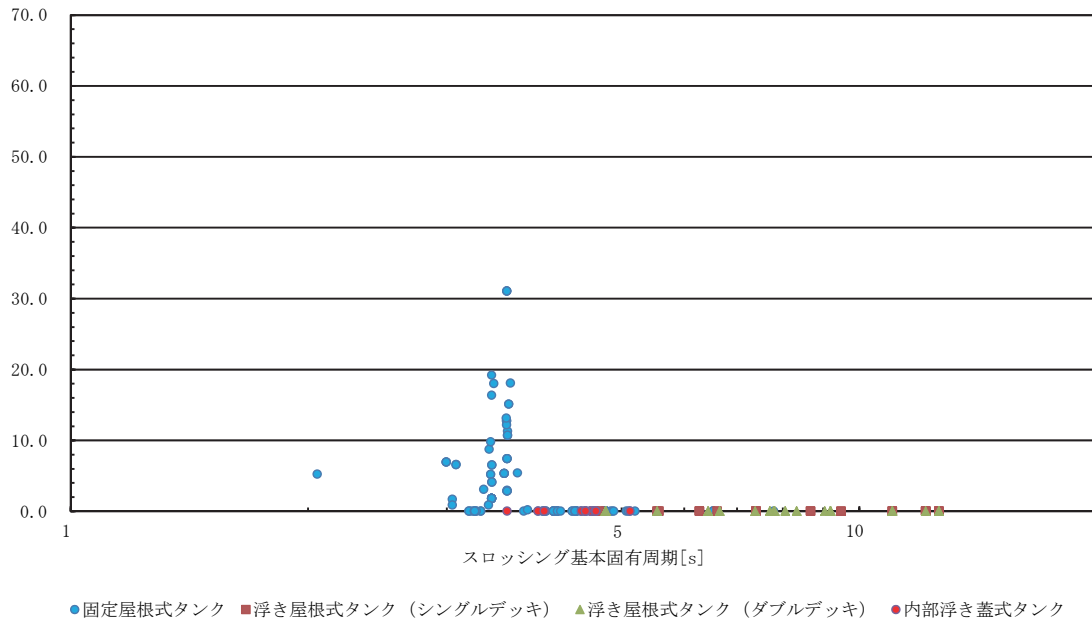


図 6.6.4(1) 元禄型ケース（参考）の溢流量の推定（単位：m³）

表 6.6.5(1) 元禄型ケース（参考）の溢流量のカテゴリー別のタンク基数
（浮き屋根式タンク）

（単位：基）

タンク容量	溢流量 [m ³]	浮き屋根式タンク		計
		シングルデッキ	ダブルデッキ	
1,000kl未満	0	0	0	0
1,000kl以上	0	39	42	81

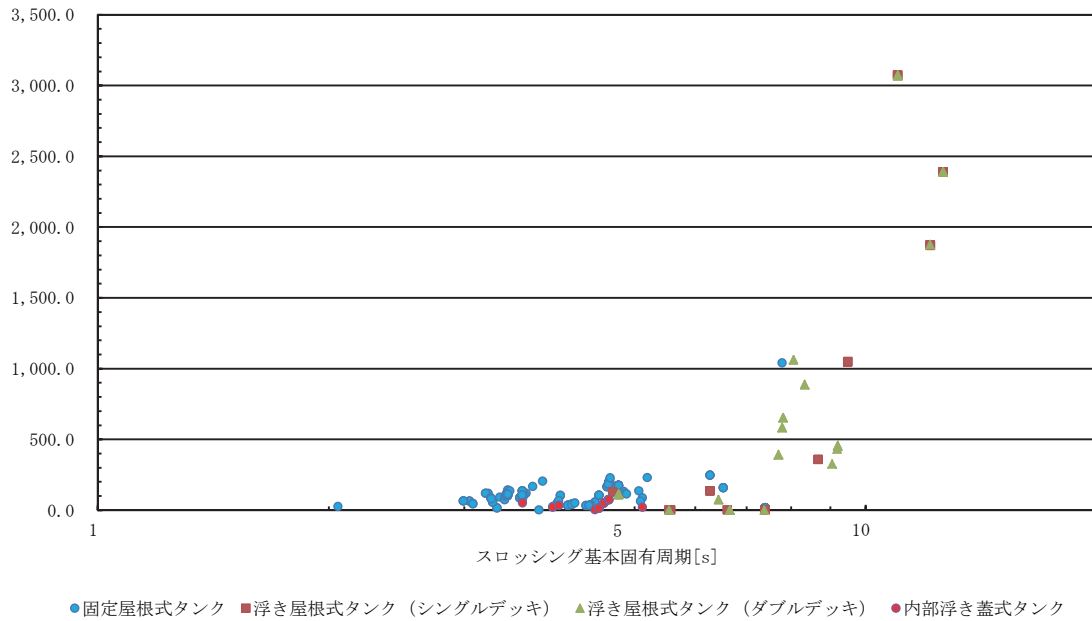


図 6.6.4(2) 最大級ケース（参考）の溢流量の推定（単位：m³）

表 6.6.5(2) 最大級ケース（参考）の溢流量のカテゴリー別のタンク基数
（浮き屋根式タンク）

（単位：基）

タンク容量	溢流量 [m ³]	浮き屋根式タンク		計
		シングルデッキ	ダブルデッキ	
1,000kl未満	0	0	0	0
1,000kl以上	0	4	3	7
	0～500	17	23	40
	500～1,000	0	6	6
	1,000～2,000	9	3	12
	2,000～3,000	5	3	8
	3,000～4,000	4	4	8

大正型ケースに関して、固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクの溢流量のカテゴリー別のタンク基数を表 6.6.6に示す。1,000kl未満の固定屋根式タンク 4基が溢流する結果となったが、その溢流量は図 6.6.3に示すように 1 m³を下回る。1,000kl以上の固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクについては溢流しない。

表 6.6.6 大正型ケースの溢流量のカテゴリー別のタンク基数
(固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク)

(単位：基)

タンク容量	溢流量 [m ³]	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
1,000kl 未満	0	60	1	61
	0～ 500	4	0	4
1,000kl 以上	0	112	16	128

元禄型ケース（参考）及び最大級ケース（参考）に関して、固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクの溢流量のカテゴリー別のタンク基数を表 6.6.7表 6.6.7に示す。

元禄型ケース（参考）については、1,000kl未満の固定屋根式タンクの内53基が溢流し、1,000kl以上の固定屋根式タンクにおいても5基が溢流する。溢流量は30 m³程度かそれを下回る。内部浮き蓋式タンクについて、溢流は起こらない。

最大級ケース（参考）については、1,000kl未満のタンクは全て溢流するが、溢流量は最大で150m³を下回っている。1,000kl以上のタンクについては固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクにおいても溢流が起こる結果となり、溢流量は固定屋根式タンクにおいて1,000m³を超えるものもある。

表 6.6.7(1) 元禄型ケース（参考）の溢流量のカテゴリー別のタンク基数
(固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク)

(単位：基)

タンク容量	溢流量 [m ³]	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
1,000kl 未満	0	11	1	12
	0～ 500	53	0	53
1,000kl 以上	0	107	16	123
	0～ 500	5	0	5

表 6.6.7(2) 最大級ケース（参考）の溢流量のカテゴリー別のタンク基数
（固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンク）

（単位：基）

タンク容量	溢流量 [m ³]	固定屋根式タンク	内部浮き蓋式タンク	計
1,000kl	0	0	0	0
未満	0～500	64	1	65
1,000kl 以上	0	14	0	14
	0～500	97	16	113
	500～1,000	0	0	0
	1,000～2,000	1	0	1

6.7. スロッシングによる災害の危険性

スロッシングによる危険物タンクの被害形態としては、屋根部からの危険物の溢流、浮き屋根やタンク付属設備等の破損、浮き屋根の沈降、溢流に伴うタンク周辺での流出火災、屋根部でのリング火災やタンク全面火災等が考えられる。

2003年十勝沖地震の被害事例では、浮き屋根等の破損に関して、シングルデッキ浮き屋根式タンクの危険性が高いこと、スロッシング波高が2mを超えると危険性が高いこと、10万kl級の大規模タンクについては2次モードの影響を考慮する必要があることなどが報告されている^a。

また、同様の規模・形状の危険物タンクは、同じ液面高さであればスロッシング基本固有周期も同じとなるため、スロッシングにより複数の危険物タンクが同時に被害を受ける可能性があり、石油備蓄基地等では注意が必要である。

6.7.1. スロッシングによる内容物の溢流

浮き屋根式の危険物タンクでは、スロッシング波高がタンクの余裕空間高さを越えた場合に内容物の溢流が生じる。固定屋根式及び内部浮き蓋式の危険物タンクでは、波高が大きく液面が屋根板に達するような場合、屋根板と側板との接合部が放爆構造のため弱く作られていることから、スロッシングの波圧により接合部が損傷して内容物が溢流する危険性がある。

6.7.2. スロッシングによる浮き屋根・浮き蓋損傷

スロッシングが生じると、浮き屋根式タンクでは浮き屋根と、タンク側板や付属設備とが衝突することにより、タンク側板や浮き屋根の変形・破損、浮き屋根上への油の滞

^a 座間信作：2003年十勝沖地震にみる石油タンク被害の特徴と対策，物理探査，第59巻第4号（2006），353-362

留、浮き屋根の沈没等が生じる恐れがあり、特にスロッシング最大波高が大きい場合にはその危険性が高い。内部浮き蓋式タンクについても同様に、内部浮き蓋とタンク側板や付属設備とが衝突することにより、タンク側板や浮き蓋の変形・破損、浮き蓋上への油の滞留、浮き蓋の沈没等が生じる恐れがある。

なお、シングルデッキの浮き屋根式特定タンクの内、容量2万k1以上の危険物タンクについては、平成29年3月31日までに浮き屋根の強度に関する技術基準に適合する必要がある。

6.7.3. スロッシングに伴う火災

スロッシングに伴う火災の形態としては、溢流火災や爆発・火災、タンク火災が考えられる。浮き屋根式のタンクでは、スロッシングにより内容物が溢流すると、タンク周辺の防油堤内で溢流火災が発生する可能性がある。また、内部浮き蓋式タンクでは、浮き蓋の損傷により浮き蓋上への油の漏洩があった場合に、浮き蓋上の空間で爆発限界濃度範囲の可燃性蒸気が滞留する危険性があり、場合によっては爆発・火災に到る可能性も否定できない。

危険物タンク火災については、浮き屋根式のタンクで大きなスロッシングが生じた場合に、浮き屋根が側板や周辺設備に衝突してリング火災や屋根上への流出油火災が生じる恐れがある。また、浮き屋根が破損・沈降した場合には、何らかの原因で着火して全面火災となる危険性があり、特に10万k1程度の大規模タンクでは、スロッシング波高が小さくても浮き屋根が損傷する可能性があるので注意が必要である。

6.8. 災害の影響度の推定

6.7で示した災害の内、発生した場合の影響が大きいと考えられるタンク全面火災及びタンク全面・防油堤火災について、災害の影響度の推定を行う。固定屋根式及び内部浮き蓋式のタンクについては、タンク全面火災に到る可能性は低いと考えられるが、参考として全ての危険物タンクの推定を行う。

6.8.1. 災害の影響度の算定条件

災害の影響度の算定条件は以下のとおりである。なお、算定条件は平常時の条件と同様である。

(タンク全面火災)

しきい値	液面火災の放射熱：2.3kW/m ² (2,000kcal/ m ² h)	
様相	タンク屋根で出火し全面火災となる。	
火炎形状	タンク底面に等しい火炎底面を持つ円筒形火炎をタンク屋根上に想定し、火炎高さは底面半径の3倍とした。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱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た。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火炎モデル (参考資料2式 11, 12, 15)

(タンク全面・防油堤火災)

しきい値	液面火災の放射熱：2.3kW/m ² (2,000kcal/ m ² h)	
様相	タンク屋根で出火し全面火災となり、さらにボイルオーバーにより防油堤内火災となる。	
火炎形状	平常時防油堤内流出・火災と同じ。	
影響距離	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火炎モデル (参考資料2式 11, 12, 15)

6.8.2. 災害の影響度分布

各地区における災害の影響については、表4.3.4のDE8及びDE9が対応する。

謝辞：「長周期地震動予測地図作成支援事業 平成24年度 成果報告書」(地震調査研究推進本部)の中で公表されている相模トラフの地震の内、大正型ケース、元禄型ケース、最大級ケースの各地震に関して、独立行政法人 防災科学技術研究所より予測波形データをご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

7. 津波による被害を対象とした評価

本章では、津波によって、特別防災区域にある施設が受ける被害について評価を行う。

最初に、東日本大震災における津波による被害の状況をまとめる。

次に、「茨城沿岸津波対策検討委員会 平成 24 年 8 月」における津波浸水予測図^aを基に、施設が被害を受ける可能性について評価を行った。

危険物タンクについては、消防庁が公表しているシミュレーションツール^bを用いて、定量的な評価を行った。高圧ガス施設については、東日本大震災の被害事例に基づき、想定される災害を定性的に把握することとした。

7.1. 東日本大震災における津波による被害の発生状況

7.1.1. 危険物施設の被害状況

消防庁の「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会」が行った危険物施設の調査の結果^cの内、都道府県別の被災施設数と主な被害原因を表 7.1.1 に、施設形態別の被害の主な原因と被害の内訳を表 7.1.2 に、それぞれ示す。

被災施設数は、15 都道府県の 3,341 施設あり、その内津波による被害を受けた施設はおおよそ 55%であり、屋外タンク貯蔵所では、火災 1 件、流出 92 件、破損及びその他の被害が多数発生している。茨城県では、津波による被害は 40 件であった。

表 7.1.1 都道府県別の被災施設数と主な被害原因

原因等	北海道	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	新潟県	計
地震	0	0	85	289	9	6	317	499	40	2	9	92	7	28	26	1409
津波	10	127	429	1048	0	0	153	40	0	0	0	14	0	0	0	1821
判別不明	0	16	7	59	0	0	21	8	0	0	0	0	0	0	0	111
都道府県別計	10	143	521	1396	9	6	491	547	40	2	9	106	7	28	26	3341
被災率(%)	0.3	4.3	15.6	41.8	0.3	0.2	14.7	16.4	1.2	0.1	0.3	3.2	0.2	0.8	0.8	100

^a 茨城県津波浸水想定図（平成 24 年 8 月 24 日公表）

（<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class06/kaigan/tsunamisinnsui/12shinsui.html>）

^b 消防庁危険物保安室が配布している「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」（総務省消防庁危険物保安室，平成 24 年 8 月）（<http://www.fdma.go.jp/concern/publication/simulatetool/>）

^c 東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書（消防庁危険物保安室・特殊災害室，平成 23 年 12 月）。

表 7.1.2 施設形態別の被害の主な原因と津波被害の内訳

施設形態	調査地域内の施設数(件)	被災施設数(件)	火災	流出	破損	その他	計
製造所	2,058	80	0	0	3	1	4
屋内貯蔵所	20,761	217	0	1	127	8	136
屋外タンク貯蔵所	26,572	841	1	92	219	86	398
屋内タンク貯蔵所	5,161	21	0	2	17	0	19
地下タンク貯蔵所	52,015	318	0	2	124	41	167
簡易タンク貯蔵所	378	4	0	0	2	2	4
移動タンク貯蔵所	36,037	366	28	0	230	100	358
屋外貯蔵所	4,704	60	0	2	52	3	57
給油取扱所	29,187	823	0	1	281	25	307
販売取扱所	860	6	0	0	3	1	4
移送取扱所	587	44	0	2	14	7	23
一般取扱所	33,557	561	7	4	275	58	344
計	211,877	3,341	36	106	1,347	332	1,821

7.1.2. 高圧ガス施設の被害状況

経済産業省では、東北3県（岩手県、宮城県、福島県）の高圧ガス保安法適用事業所の内、津波による被害があり、かつ、事業所における浸水深を把握できた73事業所（石油コンビナート以外の事業所を含む）について、津波被害に関する追加詳細調査を実施し、浸水深に応じた被害の発生状況を整理している（表 7.1.3）。これによると、浸水深1m未満の津波により計装設備、ガス漏洩検知警報設備、防消火設備の破損・不具合、動機器・静機器の損傷・不具合、配管・弁等の変形・破損・不具合、容器置き場等の倒壊・破損、容器の転倒、事務所等の倒壊・破損等が起き、浸水深が1～2mでは、緊急遮断装置の破損・不具合、貯槽等の基礎、脚部等の損傷、高圧ガス容器の流出等の被害も起き、浸水深が2～3mになると、高圧ガスローリーの流出の被害も起き、浸水深3m以上では、貯槽塔の倒壊・転倒や高圧ガス設備の流出が起きている。

表 7.1.3 事業所の浸水深と津波による被害^a

浸水深	津波の被害を受けた事業所数	津波による被害の状況（複数回答あり）										
		貯槽塔の倒壊・転倒	緊急遮断装置の破損・不具合	計装設備、ガス漏洩検知警報設備、防消火設備の破損・不具合	動機器、静機器の損傷・不具合	配管・弁等の変形・破損・不具合	貯蔵等の基礎、脚部等の損傷	容器置場等の倒壊・破損、容器の転倒	事務所等の倒壊・破損	流出の状況		
										高圧ガス設備の流出	高圧ガスローリーの流出	高圧ガス容器の流出
5m以上	20	4	5	11	8	12	12	9	13	7	1	13
		20%	25%	55%	40%	60%	60%	45%	65%	35%	5%	65%
3m以上 5m未満	20	1	12	17	12	17	5	10	13	1	2	9
		5%	60%	85%	60%	85%	25%	50%	65%	5%	10%	45%
2m以上 3m未満	13	0	4	7	6	5	3	3	7	0	5	5
		0%	31%	54%	46%	38%	23%	23%	54%	0%	38%	38%
1m以上 2m未満	16	0	2	6	5	6	1	3	3	0	0	4
		0%	13%	38%	31%	38%	6%	19%	19%	0%	0%	25%
1m未満	4	0	0	2	1	1	0	2	3	0	0	0
		0%	0%	50%	25%	25%	0%	50%	75%	0%	0%	0%
計	73	5	23	43	32	41	21	27	39	8	8	31

※パーセンテージは、津波高さごとの事業所数における被害の割合を示す。

^a 「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について」（平成 24 年 4 月 総合資源エネルギー調査会 高圧ガス及び火薬類保安分科会 高圧ガス部会）

7.2. 前提となる地震の想定

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による甚大な津波被害を受け、内閣府中央防災会議専門調査会では、新たな津波対策の考え方を平成 23 年 9 月 28 日（東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告）に示した。

この中で、今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要があるとされている。

一つは、防波堤など構造物によって津波の内陸への浸入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波（L1 津波）であり、もう一つは、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定する津波（L2 津波）である。

ここでは、L2 津波に対して総合的防災対策を構築する際の基礎となる「津波浸水想定」^aについて検討を行うこととした。L2 津波とは、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害を及ぼす津波レベルである。

茨城県土木部河川課による「津波浸水想定」における選定のフローを図 7.2.1 に示す。

「津波浸水想定」から引用した東北地方太平洋沖地震津波（今次津波）と H23 想定津波の説明を表 7.2.1 に示す。破線部分は、「津波浸水想定」からの設定である。

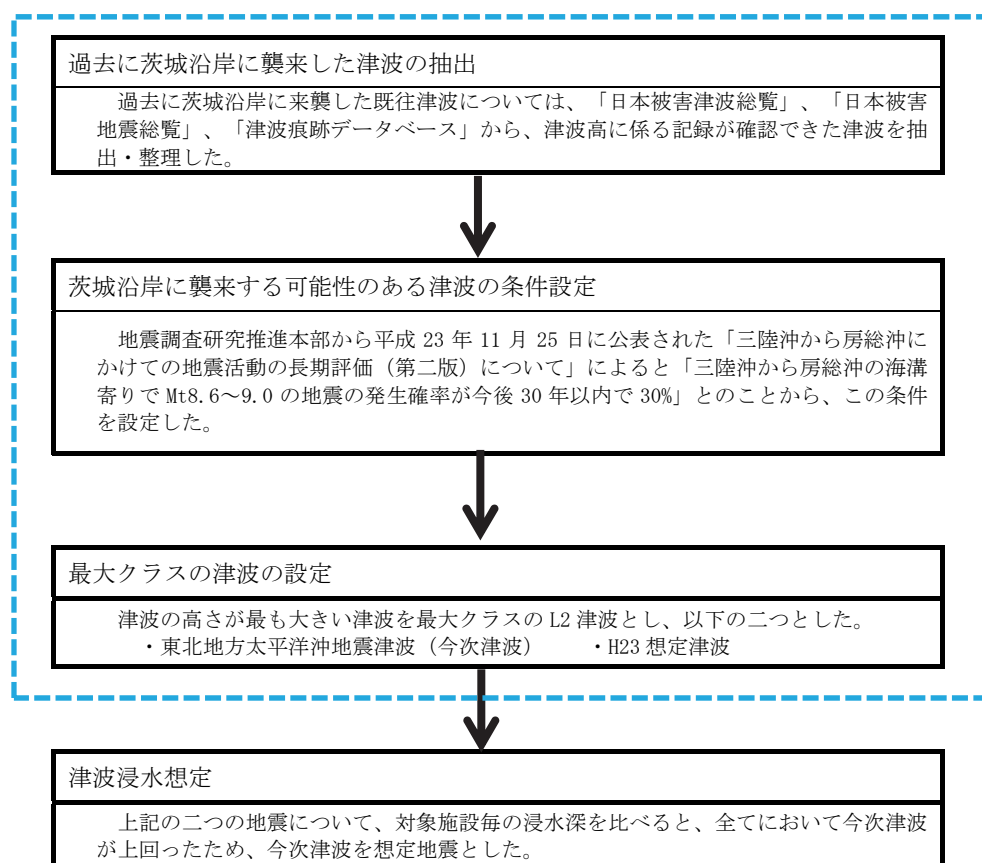
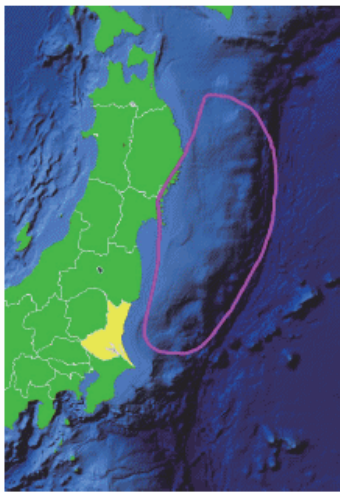
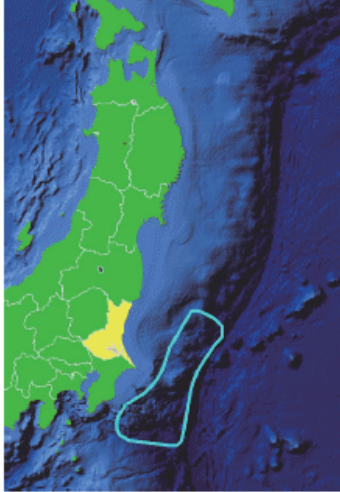


図 7.2.1 津波浸水想定のプロロー

^a 津波浸水想定

http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class06/kaigan/tsunamisinnui/file/01hajimeni/hajimeni_l2.pdf

表 7.2.1 東北地方太平洋沖地震津波（今次津波）と H23 想定津波の説明^a

対象津波		東北地方太平洋沖地震津波	H23 想定津波
マグニチュード		Mw = 9.0 Mt = 9.1~9.4	Mw = 8.4 Mt = 8.6~9.0
使用モデル		中央防災会議モデル	茨城県モデル
概要	説明	平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とした地震により発生した津波。東日本大震災を引き起こし、東北から関東を中心に甚大な被害をもたらした津波の再来を想定。	地震調査研究推進本部から平成 23 年 11 月に公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」を基に想定した地震。(平成 19 年に茨城県で想定した津波「延宝房総沖地震津波」の震源域等を参考にした地震。)
	震源域		

^a 津波浸水想定

http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class06/kaigan/tsunamisinnui/file/01hajimemi/hajimemi_12.pdf

津波浸水想定における津波浸水予測図を図 7.2.2 に示した。

鹿島港で最大津波高は 8.1m と予測され、影響開始時間は 20 分と予測されている。

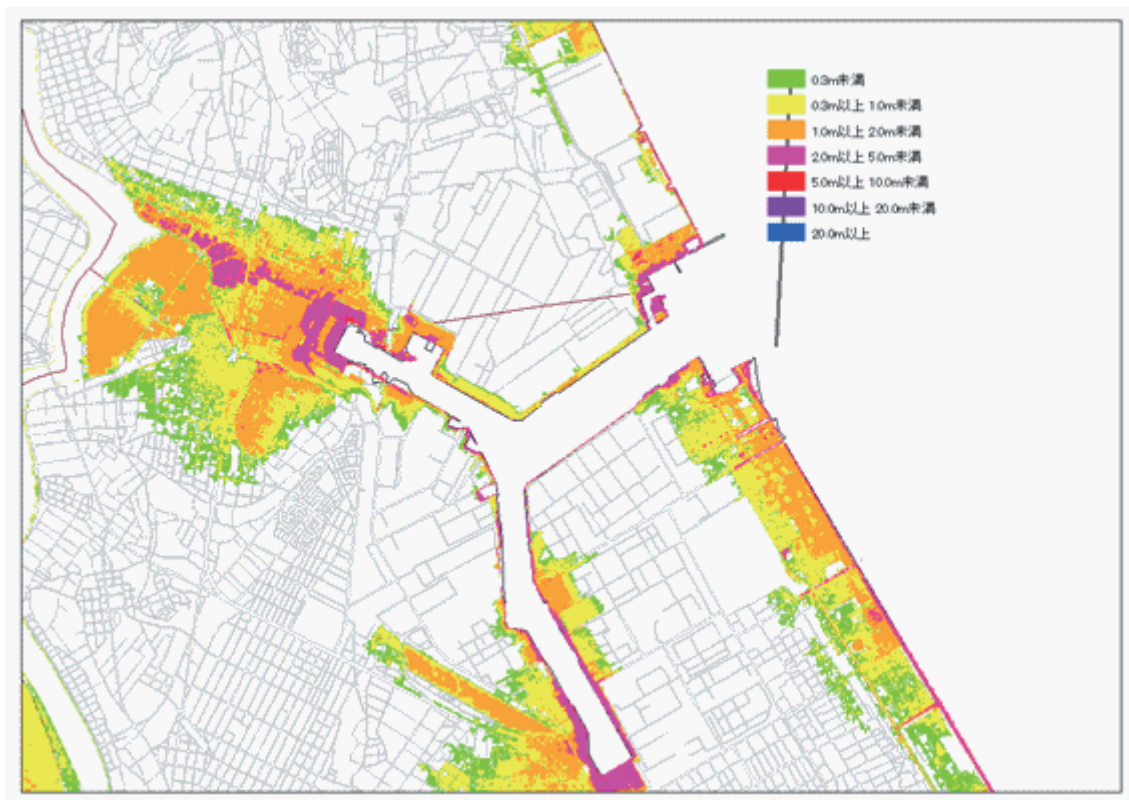


図 7.2.2 津波浸水想定における津波浸水予測図（今次津波）^a

^a 茨城県土木部河川課提供データより作成

7.3. 津波による被害予測

7.3.1. 浸水の可能性がある施設

7.2. に示した津波浸水予測に基づき、浸水の可能性がある施設を抽出した結果を表 7.3.1 に示す。

高松地区では、浸水の可能性がある施設はなかった。東部地区では、浸水深 3 m 以上の施設が 7 施設、西部地区では、浸水深 3 m 以上の施設が 3 施設あった。

表 7.3.1(1) 津波により浸水する可能性がある施設（高松地区）

(単位：施設)

浸水深	危険物タンク				高圧 ガス タンク	毒性 液体 タンク	プラ ント
	容量 10,000kl 以上	容量 10,000kl ～1,000kl	容量 1,000kl ～500kl	容量 500kl 未満			
3m以上	0	0	0	0	0	0	0
3～2m	0	0	0	0	0	0	0
2～1m	0	0	0	0	0	0	0
1～0.3m	0	0	0	0	0	0	2
0.3m未満	0	0	0	0	0	0	0
0m	3	8	4	0	15	2	9
計	3	8	4	0	15	2	11

表 7.3.1(2) 津波により浸水する可能性がある施設（東部地区）

(単位：施設)

浸水深	危険物タンク				高圧 ガス タンク	毒性 液体 タンク	プラ ント
	容量 10,000kl 以上	容量 10,000kl ～1,000kl	容量 1,000kl ～500kl	容量 500kl 未満			
3m以上	0	0	5	0	2	0	0
3～2m	0	0	2	0	3	0	0
2～1m	4	0	2	0	1	0	1
1～0.3m	26	11	16	0	7	0	7
0.3m未満	0	6	0	0	9	0	2
0m	56	87	24	0	129	15	101
計	86	104	49	0	151	15	111

表 7.3.1(3) 津波により浸水する可能性がある施設（西部地区）

（単位：施設）

浸水深	危険物タンク				高圧 ガス タンク	毒性 液体 タンク	プラ ント
	容量 10,000kl 以上	容量 10,000kl ～1,000kl	容量 1,000kl ～500kl	容量 500kl 未満			
3m以上	0	0	2	0	1	0	0
3～2m	0	0	0	0	1	0	0
2～1m	0	0	0	0	0	0	1
1～0.3m	0	0	0	1	3	0	6
0.3m未満	0	0	0	0	1	0	2
0m	0	8	9	0	22	2	23
計	0	8	11	1	28	2	32

7.3.2. 危険物タンクの被害

津波による被害におけるタンクの被害形態は、浮き上がり、滑動、転倒、内外水圧差による側板座屈、傾斜による底板抜け出し、傾斜による側板座屈などが考えられる。また、タンク本体には被害がなくてもタンク付属配管が津波により破損することも考えられる。東日本大震災の際の石油タンクの津波被害事例を基に、図 7.3.1 に示す津波浸水深とタンク付属配管の被害率の関係を示した被害率曲線が考案されており、これによると、浸水深が4mになると被害率が約80%に急増するが、2mのときは約25%にとどまっていることがわかる。「7.3.1. 浸水のおそれがある施設」のとおり、東部地区及び西部地区では、浸水深が3m以上の施設があるため、タンク付属配管の被害が発生する可能性も考えられる。

さらに、地震による流出後の津波による被害形態については、陸上や海上での流出や火災の拡大の可能性についても考えられる。

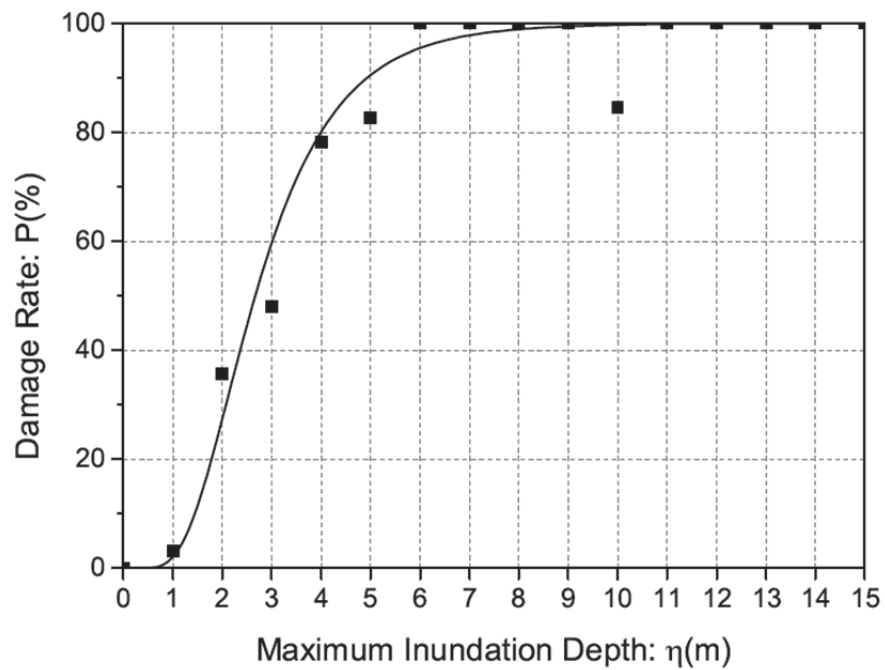


図 7.3.1 2011 年東北地方太平洋沖地震の際の石油タンク付属配管
津波被害率 (■) と被害率曲線 (実線) ^a

^a 畑山 健・西 晴樹：2011 年東北地方太平洋沖地震の際の津波による石油タンクの被害（その 2）

「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」^a では、浮き上がり及び滑動を被害対象としているため、この二つについて定量的な影響把握を行うこととした。なお、浮き上がり及び滑動の安全率の算定式は、参考資料5に示すとおりである。

シミュレーションツールを用いるにあたり、表 7.3.2 の入力条件を設定した。

表 7.3.2 シミュレーションツールに用いる入力条件

項目	条件
タンク許可容量	調査票からの値とした。
タンク内実液比重	調査票からの値とした。
タンク内径	調査票からの値とした。
タンク自重	調査票からの値とした。 但し、不明の場合には内径を基に概略値を算定した。
被災時の貯蔵率	調査票からの平均貯蔵率とした。 また、平均貯蔵率がゼロのタンクについては、いずれも予備タンク又は休止中であるため対象外とした。 ただし、平均貯蔵率が設定されていない場合には、浮き上がり又は滑動安全率=1のチャート(図7.3.2参照)を基に浮き上がり又は滑動の可能性の判定を行った(当該タンクの津波最大浸水深において浮き上がり又は滑動の安全率が1となるときの貯蔵率が0%超の場合は全て浮き上がり又は滑動の可能性ありとしてカウントした)。
津波浸水深	津波浸水想定における津波浸水予測図を基に、施設ごとに設定した
津波流速	標準的な津波の流れ ($Fr \leq 0.9$, Fr :フルード数) とした (安全率1)

^a 消防庁危険物保安室が配布している「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」
(<http://www.fdma.go.jp/concern/publication/simulatetool/>)

平均貯蔵率の内訳を表 7.3.3 に示す。

シミュレーションツールを用いた浮き上がり及び滑動の判定結果を、地区別に表 7.3.4 に示し、まとめを表 7.3.5 に示す。平均貯蔵率が設定できるケースでは、浮き上がり及び滑動の可能性が判定されたタンクはなかった。平均貯蔵率が示せないケースでは、浮き上がりの可能性が判定されたのは7基、滑動の可能性が判定されたのは8基（浮き上がり判定結果の7基含む）であった。

表 7.3.3 平均貯蔵率の内訳

平均貯蔵率 R (%)	タンク基数 (基)		
	高松地区	東部地区	西部地区
R = 100	0	1	3
75 ≤ R < 100	0	11	0
50 ≤ R < 75	0	74	2
25 ≤ R < 50	0	26	0
0 < R < 25	0	6	0
R = 0	0	1	0
計	0	119	5
平均貯蔵率が示せない	15	113	15
予備又は休止中タンク	-	7	-

表 7.3.4(1) 浮き上がり及び滑動の判定結果【高松地区】

項目	タンク基数	浮き上がりの可能性が判定された基数(基)				滑動の可能性が判定された基数(基)			
		①	②	③	④	①	②	③	④
平均貯蔵率が設定可能	0	-	-	-	-	-	-	-	-
平均貯蔵率が示せない	15	0	0	0	0	0	0	0	0
計	15	0	0	0	0	0	0	0	0

注) 丸付き数字は、タンク容量の区分を示す (① : 10,000k1 以上、② : 10,000k1 未満～1,000k1 以上、③ : 1,000k1 未満～500k1 以上、④ : 500k1 未満)。

表 7.3.4(2) 浮き上がり及び滑動の判定結果【東部地区】

項目	タンク 基数	浮き上がりの可能性 が判定された基数(基)				滑動の可能性 が判定された基数(基)			
		①	②	③	④	①	②	③	④
平均貯蔵率が設定可能	119	0	0	0	0	0	0	0	0
平均貯蔵率が示せない	113	0	0	7	0	0	0	8	0
計	239	0	0	7	0	0	0	8	0

注1) 丸付き数字は、タンク容量の区分を示す (① : 10,000k1 以上、② : 10,000k1 未満~1,000k1 以上、
③ : 1,000k1 未満~500k1 以上、④ : 500k1 未満)。

注2) 浮き上がりと滑動の可能性が判定された数は、重複するタンクが含まれる。

表 7.3.4(3) 浮き上がり及び滑動の判定結果【西部地区】

項目	タンク 基数	浮き上がりの可能性 が判定された基数(基)				滑動の可能性 が判定された基数(基)			
		①	②	③	④	①	②	③	④
平均貯蔵率が設定可能	5	0	0	0	0	0	0	0	0
平均貯蔵率が示せない	15	0	0	0	0	0	0	0	0
計	20	0	0	0	0	0	0	0	0

注) 丸付き数字は、タンク容量の区分を示す (① : 10,000k1 以上、② : 10,000k1 未満~1,000k1 以上、
③ : 1,000k1 未満~500k1 以上、④ : 500k1 未満)。

表 7.3.5 浮き上がり及び滑動の判定結果 (まとめ)

地区	浮き上がりの可能性 が判定された基数(基)	滑動の可能性 が判定された基数(基)
高松	0	0
東部	7	8
西部	0	0
合計	7	8

注) 浮き上がりと滑動の可能性が判定された数は、重複するタンクが含まれる。

7.3.3. 津波による流出量の想定

シミュレーションツールは、タンクの移動（浮き上がり及び滑動）に関するものであり、「移動の可能性あり」と判定されたタンクが破損し流出するかどうかは分からない。また、流出しても、その箇所が配管であれば（津波来襲前に）遮断弁を閉止することによって阻止できるが、どこで流出するかも分からない。したがって、ここでは、安全側の評価として、「7.3.2. 危険物タンクの被害」で「移動の可能性あり」と判定されたタンクについて、以下の考え方で流出量を算定する。

特定事業所への施設調査においてタンクの平均貯蔵率を設定しているケースと設定していないケースにおいて、流出量の算定方法に対して、二つの考え方を適用した。なお、平均貯蔵率が0%のタンクは、予備タンク又は休止中のタンクであるため浮き上がり及び滑動の可能性の判定対象外としており、流出量の算定も対象外としている。

例として、あるタンク（タンク許可容量2,000k1）の津波被害シミュレーション結果として、図7.3.2が得られたとする。

津波浸水深が4mだった場合の例について流出量の計算方法を以下に示す。

図7.3.2(1)より、貯蔵率が20%以下のときに、安全率が1（Fr=0.9）を下回り浮き上がりの可能性がありと判定される。また、図7.3.2(2)より、貯蔵率が30%以下のときに、安全率が1（Fr=0.9）を下回り滑動の可能性がありと判定される。

[平均貯蔵率を設定しているケース]

対象となるタンクの平均貯蔵率に応じて、以下のように流出量を計算する。

例) 平均貯蔵率 30%以下の場合	例) 平均貯蔵率が 30%超の場合
流出量= タンクの許可容量×平均貯蔵率	流出量ゼロ（移動の可能性なし）

[平均貯蔵率を設定していないケース]

対象となるタンクは、必ず流出するものとして、以下のように指針に示された期待値を算出する方法で流出量を計算する。

$$\text{流出量} = \sum_{i=1}^n \{ (\text{タンクの許可容量} \times (i \times 10) / 100) \} \times 0.1$$

30%以下で流出する場合の計算

$$\begin{aligned} \text{流出量の期待値} &= (2,000 \times 10 / 100 \times 0.1) + (2,000 \times 20 / 100 \times 0.1) \\ &\quad + (2,000 \times 30 / 100 \times 0.1) = 120\text{k1} \end{aligned}$$

浮き上がり安全率=1になる津波浸水深(m)

タンク番号 1001

タンク許可容量 2000(kl)

タンク内径 13.560(m)

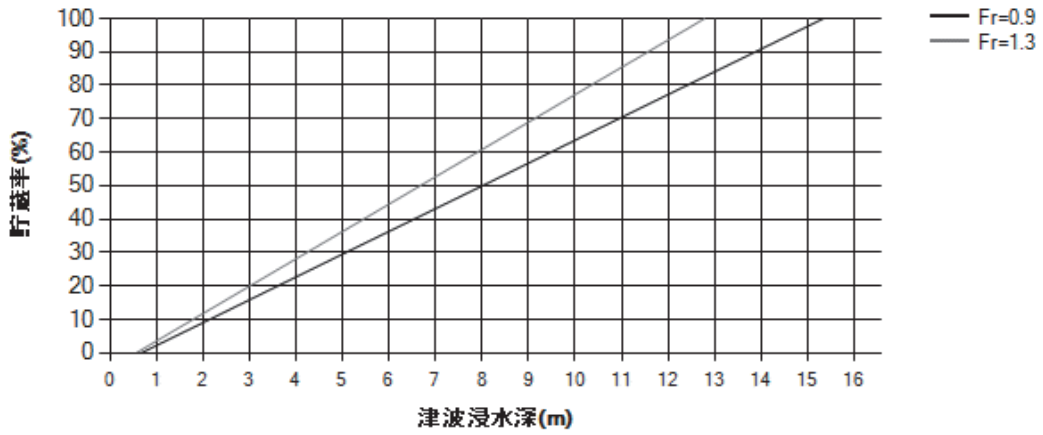


図 7.3.2(1) 津波被害シミュレーション結果の一例 (浮き上がり)

滑動安全率=1になる津波浸水深(m)

タンク番号 1001

タンク許可容量 2000(kl)

タンク内径 13.560(m)

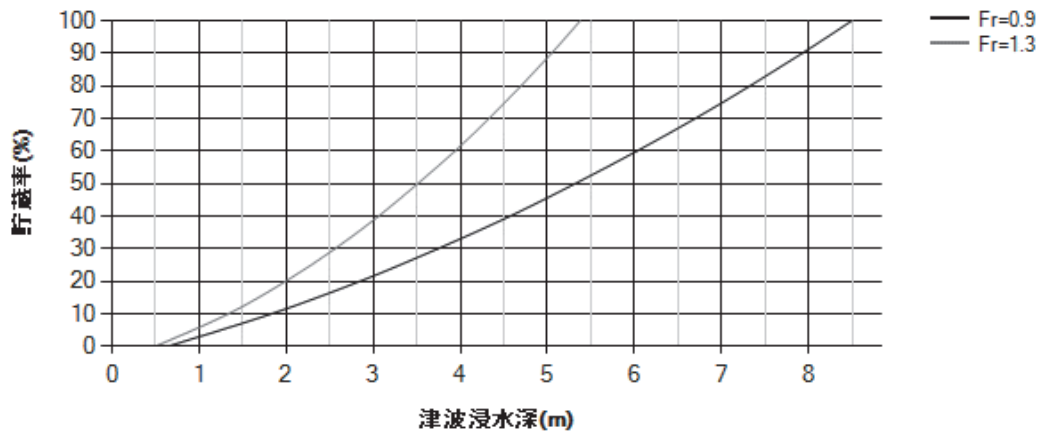


図 7.3.2(2) 津波被害シミュレーション結果の一例 (滑動)

流出量の積算値を、地区別に表 7.3.6 に示し、まとめを表 7.3.7 に示す。流出の可能性が判定されたのは東部地区のみである。

表 7.3.6 流出量の積算値【東部地区】

	浮き上がりの可能性 が判定された流出量(kl)				滑動の可能性 が判定された流出量(kl)			
	①	②	③	④	①	②	③	④
平均貯蔵率が設定	-	-	-	-	-	-	-	-
平均貯蔵率が示せない	-	-	139.7	-	-	-	327.2	-
計	-	-	139.7	-	-	-	327.2	-

注) 丸付き数字は、タンク容量の区分を示す (① : 10,000kl 以上、② : 10,000kl 未満~1,000kl 以上、③ : 1,000kl 未満~500kl 以上、④ : 500kl 未満)。

表 7.3.7 流出量の積算値 (まとめ)

地区	浮き上がりの可能性 が判定された流出量(kl)	滑動の可能性 が判定された流出量(kl)
高松	-	-
東部	139.7	327.2
西部	-	-
合計	139.7	327.2

7.3.4. 高圧ガス施設の被害

高圧ガス施設における最大浸水深は、表 7.3.1 より 3 m以上の施設が 3 施設あるが、高圧ガス設備の流出は少ないものと予想される。ただし、表 7.1.3 より、海上入出荷施設については、1 m以上では、容器の流出等における被害の影響の可能性があり、さらに、電気設備等については、1 m未満でもガス漏洩検知警報設備の破損・不具合や動機器及び静機器の損傷・不具合などの被害の影響の可能性はある。

設備の流出等の大きな被害はないと考えられるが、動機器及び静機器の損傷・不具合や計装設備、防消火設備の破損・不具合等による二次災害が発生する可能性も考えられる。また、浮遊物により、施設が破損する被害を受ける可能性はある。

なお、高圧ガス施設が波力、浮力及び漂流物により受ける影響の評価については、現在その評価方法等について検討が行われているところであり、平成 26 年度までに津波の波力、浮力等による高圧ガス設備への影響に関する評価方法の策定が予定されている^a。

^a 経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室：経済産業省産業構造審議会保安分科会高圧ガス小委員会 第 1 回資料 5 高圧ガス施設等の地震・津波対策の進捗状況について (平成 24 年 11 月 28 日)

8. 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 8.2.1、図 8.3.1 及び図 8.3.2）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。

8.1. 前提となる大規模災害の想定

ここで言う「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火災・爆発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発生危険性が極めて低いとして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非常に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もの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、図 4.4.1 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上で表現した場合、図 8.1.1 において太枠で囲んだ部分に該当するイメージとなる。

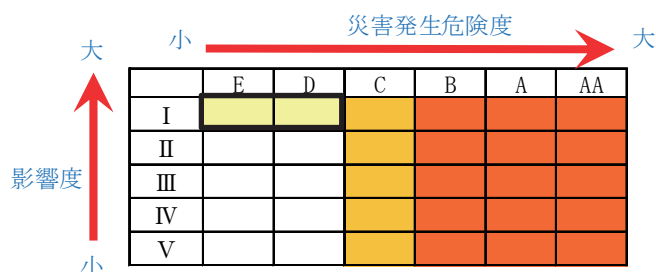


図 8.1.1 リスクマトリックスにおける大規模災害

定量的な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、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、破片の飛散) 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各項目で触れる。

8.1.1. 算定条件

(1) 災害影響度の許容値 (しきい値)

高圧ガスタンクの爆発による災害 (ファイヤーボールの放射熱及び蒸気雲爆発による爆風圧) の影響の許容値は、消防庁指針に従って表 8.1.1 のように設定し、災害の影響距離は影響の大きさが許容値以上となる範囲とした。

表 8.1.1 災害影響度の許容値 (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)
	5kPa	家屋が多少の被害を被る
	16kPa	建物の大きな被害の限界

(2) 災害事象の詳細条件

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破片の飛散) 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）。	
影響距離	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た。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
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 2 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。	
影響距離	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た。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	爆発中心からの距離の算出	参考資料 2 式17

③ 高圧ガスタンクの爆発による災害（破片の飛散）

様相	周辺火災等の影響によってBLEVEが発生し、容器の破裂によって破片が飛散する。	
影響距離	タンク中心からの破片の飛散距離を影響距離とした。なお、これを半径とする円内が影響範囲となる。	
使用した式	破片の飛散距離の算出 ⁱ	参考資料 2 式22

8.2. 高圧ガスタンクの爆発による災害

8.2.1. 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到ったとしても、それぞれのタンクはある時間差を置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高圧ガスタンクの最大の影響を考慮することとし、定量的に複合影響を考慮しない。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に、貯蔵量全量からファイヤーボールが形成されるも

ⁱ 飛散距離は破裂エネルギーのほか、破片の数、重量や形状、射出角度や初速度により異なるが、参考資料 2 式 22 に示される LPG 容器に関する式を適用した。

のと仮定する。

東日本大震災での千葉県市原市の事例では、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、火災に到ったものである。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回の大規模災害が発生した。

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発生危険性がある。可燃性高圧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、高圧ガス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、十分な散水冷却を行うことができない場合が予想されるため、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8.2.1に示す。BLEVEによる災害が発生した場合、冷却設備によるタンク及び周辺設備の冷却、近隣企業及び防災協議会への発災連絡、地域住民に対しては広報車両を手配し連絡を行うこととなる。また平常時に各事業所において、様々な訓練を実施している。事業所と工場との危機管理訓練、所轄消防本部、消防署、共同防災組織及び工場防災組織との合同訓練、海上災害防止センターとの合同訓練、緊急地震速報システム活用による総合防災訓練の実施等が行われている。

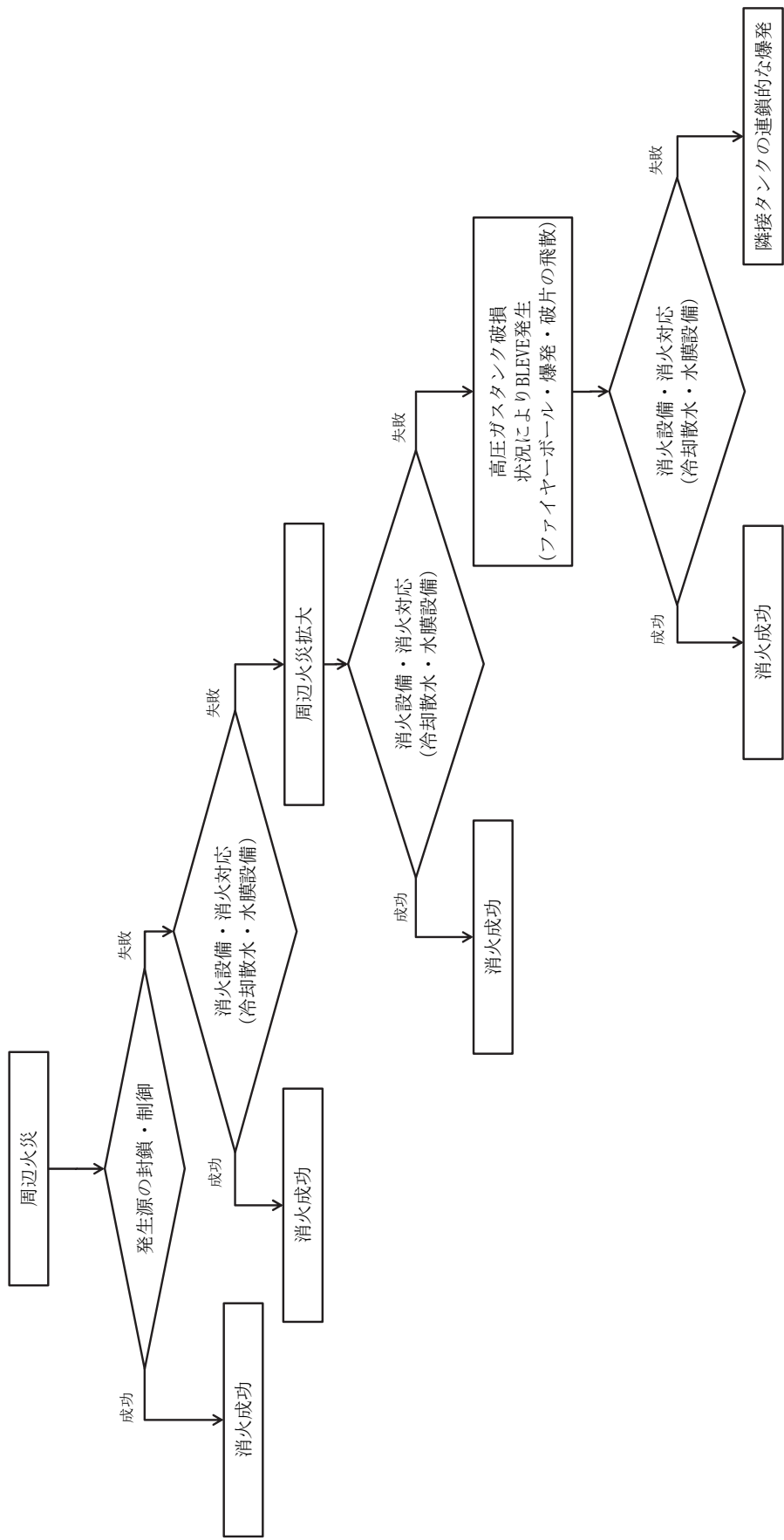


図 8.2.1 タンク火災から BLEVE に到る災害拡大フロー図

8.2.2. 想定災害の影響度分布

(1) ファイヤーボールによる放射熱

8.1.1(2)の想定に基づき求めたファイヤーボールの放射熱による放射熱の影響度分布を、表 8.2.1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を超えるタンクは高松地区で2基、東部地区で56基ある。高圧ガス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、周辺環境へ与える影響が大きいと考えられる。

表 8.2.1(1) ファイヤーボールによる放射熱の影響度分布 (高松地区)

(単位：基)

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
2,000m以上	2	2	2
1,000m～2,000m	0	0	0
500m～1,000m	8	6	5
200m～500m	0	2	3
200m未満	0	0	0
計	10		

表 8.2.1(2) ファイヤーボールによる放射熱の影響度分布 (東部地区)

(単位：基)

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
2,000m以上	99	74	56
1,000m～2,000m	24	39	57
500m～1,000m	11	18	14
200m～500m	3	5	9
200m未満	1	2	2
計	138		

表 8.2.1(3) ファイヤーボールによる放射熱の影響度分布（西部地区）

（単位：基）

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
2,000m以上	0	0	0
1,000m～2,000m	9	0	0
500m～1,000m	16	21	19
200m～500m	2	6	6
200m未満	0	0	2
計	27		

(2) 蒸気雲爆発による爆風圧

8.1.1(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度分布を、表 8.2.2 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を超えるタンクは東部地区で19基ある。

表 8.2.2(1) 蒸気雲爆発による爆風圧の影響度分布（高松地区）

（単位：基）

区分	蒸気雲爆発による爆風圧		
	2.1kPa	5kPa	16kPa
2,000m以上	0	0	0
1,000m～2,000m	2	2	0
500m～1,000m	3	0	0
200m～500m	4	4	2
200m未満	1	4	8
計	10		

表 8.2.2(2) 蒸気雲爆発による爆風圧の影響度分布（東部地区）

（単位：基）

区分	蒸気雲爆発による爆風圧		
	2.1kPa	5kPa	16kPa
2,000m以上	19	15	0
1,000m～2,000m	82	11	15
500m～1,000m	12	79	4
200m～500m	22	18	87
200m未満	3	15	32
計	138		

表 8.2.2(3) 蒸気雲爆発による爆風圧の影響度分布（西部地区）

（単位：基）

区分	蒸気雲爆発による爆風圧		
	2.1kPa	5kPa	16kPa
2,000m以上	0	0	0
1,000m～2,000m	0	0	0
500m～1,000m	9	0	0
200m～500m	16	18	0
200m未満	2	9	27
計	27		

(3) 破片の飛散

8.1.1(2)の想定に基づき求めた破片の飛散の影響度分布を、表 8.2.3に示す。影響距離が2,000mを超えるタンクは、東部地区において23基存在する。

表 8.2.3(1) 破片の飛散の影響度分布（高松地区）

（単位：基）

区分	破片の飛散
2,000m以上	0
1,000m～2,000m	10
500m～1,000m	0
200m～500m	0
200m未満	0
計	10

表 8.2.3(2) 破片の飛散の影響度分布（東部地区）

（単位：基）

区分	破片の飛散
2,000m以上	23
1,000m～2,000m	113
500m～1,000m	2
200m～500m	0
200m未満	0
計	138

表 8.2.3(3) 破片の飛散の影響度分布（西部地区）

（単位：基）

区分	破片の飛散
2,000m以上	0
1,000m～2,000m	25
500m～1,000m	2
200m～500m	0
200m未満	0
計	27

8.3. 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。

8.3.1. 防油堤等から海上への流出

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機能していても、油が排水溝を通過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過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、土嚢やダンブ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への対応等が行われる。海上流出を防止する設備については、仕切堤、防油堤、流出油防止堤、オイルフェンス、ガードベースンの他、土嚢や流出油の吸着マット、排水遮断弁、回収用のドラム、コンテナ及び地下ピット（1,200m³回収可能）等が準備されている。

実際の災害現場における応急対応例として、防油堤等から海上への大量流出に到るまでのフロー図を例として図 8.3.1に示す。なお海上流出が起こった場合には表 8.3.1に示すような緊急対応が取られる。

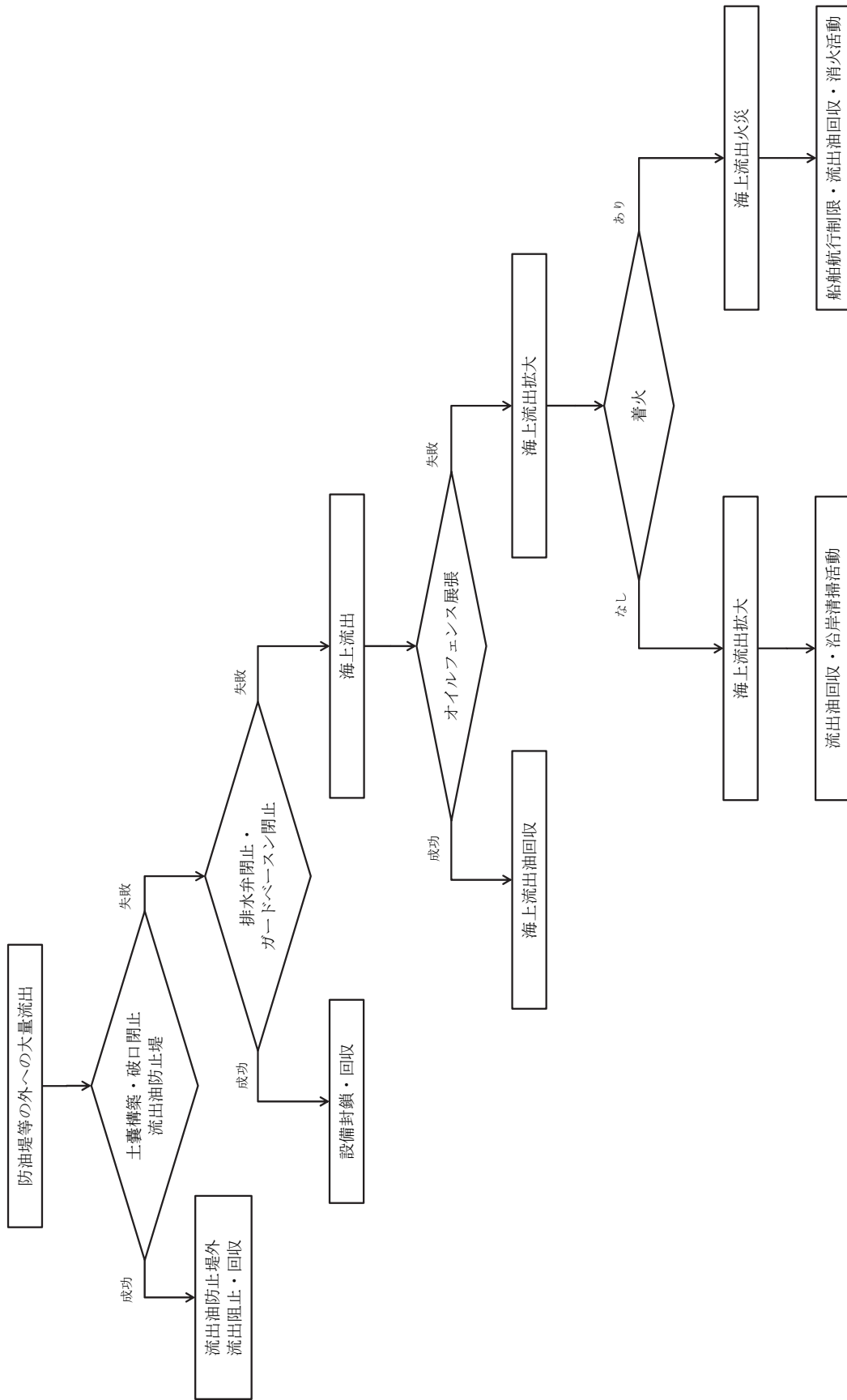


図 8.3.1 防油堤等から海上へ大量流出に到る災害拡大フロー図

表 8.3.1 海上流出が起こった場合の緊急対応

災害事象	緊急対応
海上流出	破口部の閉鎖を行う。不可能な場合、オイルフェンス展張、流出油の海上での除去作業、清掃活動等を行う。状況により、各事業所との相互応援体制の他、一般財団法人海上災害防止センター、契約民間警備会社との協力の下、連携を取り柔軟な対応を取る。

8.3.2. 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、周辺のタンクやプラント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が難しく、防油堤外に延焼する場合となれば、定量的な予測が不可能である。

しかし、どの地区も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ず、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、防止堤、防火シャッター、大型消火器・消防ポンプ、消防車両、泡消火設備、タンク冷却散水設備、水膜設備等があり、分散して保有されている。また、500k1以上の貯槽エリアは、地盤面が海上方向へ傾斜している場所もある。

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例として図 8.3.2に示す。なお、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 8.3.2に示すような緊急対応が取られる。

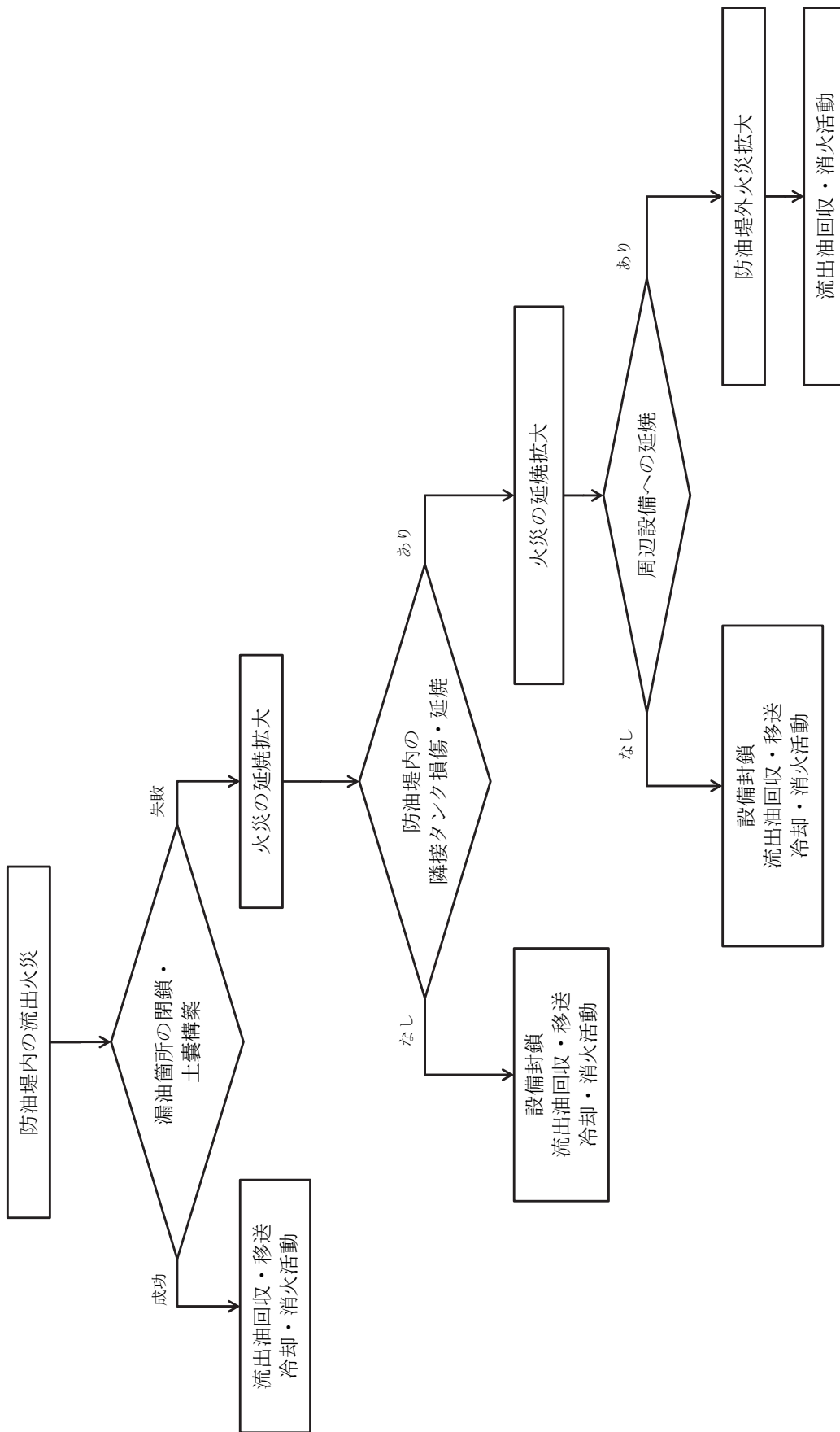


図 8.3.2 防油堤内流出火災から防油堤外への延焼拡大に到る災害拡大フロー図

表 8.3.2 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

災害事象	緊急対応
<p>流出油拡大 及び火災発生</p>	<p>平常時において貯蔵量の適正管理、配管バルブ開閉状態の把握、油膜検知器による漏油監視、定例巡視、ガス検知等が行われている。熱画像装置を活用し配管等損傷部位を早期発見に努める。</p> <p>延焼の危険性がなければ、流出油・火災発生源の封鎖・制御が行われ、流出油の陸上回収、消火剤等の散布や大容量泡放射システム、消火用水置換遠隔注入ノズルによる消火活動、設備の冷却が実施される。</p> <p>同時に、危険が及ぶ範囲を想定した上で状況に応じて、共同防災組織相互応援協定による緊急時対応の連携を取る他、共同防災組織及び市防災無線を活用し広報活動を行う。</p>

9. 防災対策の基本的事項

本章では、ここまで検討してきた想定災害を踏まえつつ、防災対策の基本的事項の整理を行った。

9.1. 検討にあたっての前提

9.1.1. 想定災害の抽出基準

(1) 平常時の事故及び短周期地震動による被害

平常時の事故による被害については、災害の発生危険度と影響度を推定し、この両者を基に次のような考え方で防災対策上想定すべき災害の検討を行った。

なお、地震時の想定災害の設定は、首都直下地震に関する内閣府の報告書^aにおいて想定されている、「フィリピン海プレート内(M7.3)及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度(M6.8)を重ね合わせた震度分布」を受けて行う。

○第1段階の災害：災害発生危険度Bレベル以上の災害

→現実的に起こり得ると考えて対策を検討しておくべき災害

平常時：災害の発生頻度 10^{-5} /年程度以上の災害

地震時：災害の発生頻度 10^{-3} 程度以上の災害

○第2段階の災害：災害発生危険度Cレベルの災害

→発生する可能性は相当に小さいと考えられるが、万一に備えて対策を検討しておくべき災害

平常時：災害の発生頻度 10^{-6} /年程度の災害

地震時：災害の発生頻度 10^{-4} 程度の災害

○低頻度大規模災害：災害の発生危険度がDレベル以下で、影響度がIレベルの災害

→発生する可能性が非常に小さい（平常時には考えにくい）が、影響が大きくなると考えられる災害

平常時：災害の発生頻度 10^{-7} /年程度以下の災害で、影響度Iの災害

地震時：災害の発生頻度 10^{-5} 程度以下の災害で、影響度Iの災害

個々の施設の評価は、図 9.1.1 のようなリスクマトリックスを用いて行った。第1段階の災害が想定されるのはマトリックスの赤色の箇所に該当する施設、第2段階の災害が想定されるのは橙色の箇所に該当する施設、低頻度大規模災害が想定されるのは黄色の箇所に該当する施設である。

^a 首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書（平成 25 年 12 月）

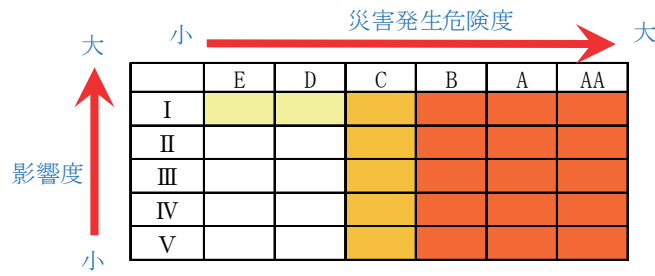


図 9.1.1 リスクマトリックス

平常時及び地震時における災害の発生頻度と影響度のランク付けは以下のとおりである。

<平常時の災害発生危険度区分>

- 危険度 AAn : 10^{-3} /年程度 (5×10^{-4} /年以上) ※プラントのみ
- 危険度 An : 10^{-4} /年程度 (5×10^{-5} /年以上 5×10^{-4} /年未満)
- 危険度 Bn : 10^{-5} /年程度 (5×10^{-6} /年以上 5×10^{-5} /年未満)
- 危険度 Cn : 10^{-6} /年程度 (5×10^{-7} /年以上 5×10^{-6} /年未満)
- 危険度 Dn : 10^{-7} /年程度 (5×10^{-8} /年以上 5×10^{-7} /年未満)
- 危険度 En : 10^{-8} /年程度 (5×10^{-8} /年未満)

*添え字の n は平常時を表す

*区分 AAn については、災害発生危険度が比較的大きいプラントのみ対象となった。

<地震時（短周期地震動）の災害発生危険度区分>

- 危険度 AAe : 10^{-1} 程度 (5×10^{-2} 以上)
- 危険度 Ae : 10^{-2} 程度 (5×10^{-3} 以上 5×10^{-2} 未満)
- 危険度 Be : 10^{-3} 程度 (5×10^{-4} 以上 5×10^{-3} 未満)
- 危険度 Ce : 10^{-4} 程度 (5×10^{-5} 以上 5×10^{-4} 未満)
- 危険度 De : 10^{-5} 程度 (5×10^{-6} 以上 5×10^{-5} 未満)
- 危険度 Ee : 10^{-6} 程度 (5×10^{-6} 未満)

*添え字の e は地震時を表す

*区分 AAe については、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラントが対象となった。

<災害影響度区分> ※平常時と地震時で共通

- 影響度 I : 200m 以上
- 影響度 II : 100m 以上 200m 未満
- 影響度 III : 50m 以上 100m 未満
- 影響度 IV : 20m 以上 50m 未満
- 影響度 V : 20m 未満

(2) 長周期地震動による被害

文部科学省地震調査研究推進本部ホームページにて公表されている地震動の中で、コンビナートに最も強い影響を及ぼすと考えられる相模トラフで発生する海溝型地震（大正型ケース、元禄型ケース、最大級ケース）を選定した。各ケースに関して速度応答スペクトルを算定し、長周期地震動に伴うスロッシングの最大波高、溢流量の推定を行った。また、想定される災害の危険性についての定性的な評価を行い、発生した場合の影響が大きいと考えられる災害については、その影響度について定量的な評価を行った。

(3) 大規模災害

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。BLEVEによる災害（可燃性高压ガスタンク）を想定した定量的な評価を行った。また、その他の災害として、石油類の海上流出及び防油堤火災からの延焼拡大による危険性の定性的な評価を行った。

(4) 津波による被害

津波による被害については、確率的なリスク評価は行わず、想定される津波により施設が被害を受ける可能性を評価した。危険物タンクについては、「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」による被害の予測を行った。高压ガス施設については、東日本大震災の被害事例に基づき、想定される被害について定性的な評価を行った。

9.1.2. アセスメント結果の位置付け

アセスメント結果は相対的評価の意味合いが強く、防災対策実施にあたっての各施設の優先度を表すものと位置付けられる。実際には、アセスメントで想定している条件以外での災害が起り得ることから、アセスメントの結果危険性が高いとされた施設については、各々の事業所における状況を反映した、より詳細な検討を行い、改めて当該施設の災害の危険性を確認することが望まれる。

ただし、以降ではアセスメント結果に基づく想定災害を前提として、防災対策の基本的事項の検討を行う。

9.1.3. アセスメント結果に基づく防災対策の検討

本調査では、平常時の災害と地震時の災害（短周期地震動による）の評価では災害の危険性を段階別に捉え、想定災害の抽出を行った。その上で、災害の発生低減と影響低減という2つの観点から、防災対策を検討する上での基本方針（表9.1.1）について整理した。

また、長周期地震動によるスロッシング対策、津波による災害の対策、大規模災害の対策についても基本方針について整理した。

表9.1.1 コンビナートにおける防災対策の基本方針

区 分	想定災害の考え方	対策の基本方針
平常時又は地震時 (短周期地震動) 第1段階の災害	事故発生の危険性が高い施設に おける火災、爆発、毒性ガス拡 散などの災害	該当する施設において、災害の発生危 険度を低減させることが最も重要に なる。災害の発生防止のために、安全 体制の充実や人的要因による事故防 止に努めることが重要である他、災害 の拡大防止のために、緊急遮断弁など の防災設備の設置促進が望まれる。
平常時又は地震時 (短周期地震動) 第2段階の災害	事故発生の危険性がそれほど高 くない施設においても想定され る災害	発生危険度は小さいものの万一の事 態に備えて、発災時の緊急対応や応援 体制、隣接事業所への連絡体制、周辺 地域に対する広報や避難対策などの 検討・整備が重要になる。
長周期地震動による 災害	地震調査研究推進本部にて想定 されている地震の中で、コンビ ナートに最も強い影響を及ぼす と考えられる地震が発生したと きに生じる可能性のある災害	現時点では地震動予測の精度は十分 とは言えない。このことを踏まえる と、防災対策は施設毎に具体的な対策 を示すことよりも、より一般的な対策 を検討することが重要である。対策の 実施方針としては、まず従来の法規制 に基づく予防対策（液面低下、浮き屋 根の耐震補強等）を進めることが最も 重要となる。その上で、想定以上の被 害の発生に備え、発災時の被害の局所 化や、限られた対応力の中での効果 的・効率的な災害対応、広域的な防災 体制の確立など、応急対策の充実を図 っていくことが重要である。
大規模災害	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 てさらなる火災・爆発を誘発し て拡大していくような災害	発生する可能性が極めて低いものの、 発生した場合の影響の大きさを考慮 し、発災時の緊急対応や応援体制、隣 接事業所への連絡体制、周辺地域に対 する広報や避難対策の検討・整備など 総合的な防災対策が重要である。
津波による災害	発生頻度は極めて低いものの、 発生すれば甚大な被害をもたら す最大クラスの津波を想定した 災害	施設の被害への対策だけでなく、二次 災害の防止のための緊急措置、避難対 策の検討・整備など総合的な防災対策 が重要である。

9.1.4. 防災対策項目の検討に当たっての前提

具体的な対策項目の検討に当たっては、下記事項を前提とする。

- ① 想定災害については、施設・災害種別の評価結果の中から最大規模の災害を抽出し、これを前提として防災対策を検討する。
- ② 対策の基本方針に基づき、災害の発生防止対策と災害の影響低減対策という2つの観点から対策項目を抽出する。
- ③ 法令に基づく防災対策、設備の技術基準等は遵守されているものとする。

本調査では、個々の施設について災害発生危険度と影響度を評価し、その双方から想定すべき災害を検討した。従って、想定災害は施設によって異なり、例えば危険物タンクの流出火災の場合では、第1段階の災害として小量流出火災が想定される施設や、防油堤内流出火災が想定される施設がある。

そこで、施設別・災害種別の防災対策においては、施設・災害種別の評価結果の中から最大規模の想定災害を抽出し、これを念頭に防災対策の要点について検討することとした。なお、災害の規模の定義は表9.1.2に示すとおりである。

表 9.1.2 想定災害の規模

小量流出	内容物が流出して緊急遮断により短時間で停止する。
中量流出	漏洩停止が遅れて流出がしばらく継続する。
ユニット内全量流出	(プラントのユニットにおいて漏洩した場合) 漏洩が停止できず、ユニット最大滞留量の全量が流出する。
大量流出	長時間にわたって漏洩が停止できず、流出が拡大する。
全量流出(長時間)	漏洩停止ができずに長時間にわたって内容物の全量が流出する。
全量流出(短時間)	大破漏洩により、短時間に全量が流出する。

また、対策項目の抽出は、上述の②のとおりであるが、災害の発生防止対策と災害の影響低減対策とは必ずしも明確に区別できるものではない(例えば災害の拡大を防止するための対策は、発生防止対策となる場合も影響低減対策となる場合もある)ことから、第1段階の災害の発生を低減するような防災対策を「災害の発生防止対策」、第1段階、第2段階の災害の影響を低減するような防災対策を「災害の影響低減対策」と定義した。

9.1.5. 防災対策の整理方法

次項に示すように、評価結果からは、危険物や可燃性ガスなどの比較的長時間の流出を伴う災害や、毒性ガスの拡散による広範囲の影響を伴う災害が想定されている。このような災害に対する防災対策としては、例えば、当該施設に緊急遮断設備が設置されていないような場合には、設置することにより災害の長期化を防ぐことが可能となる。また、流出物が毒性物質の場合には、流出範囲を局所化することにより影響の拡大防止を図るといったことが考えられる。

しかし、コンビナートにおける防災対策は、このような個別施設についての対策という観点以外にも、人的要因による事故防止などの従業員についての対策、事業所の安全管理体制や広域的な防災体制といった防災体制の確立までを含む、総合的な対策が重要となる。そこで、本調査では、このような個別施設の防災対策だけでなく、安全管理において重要と考えられるいくつかの事項を表9.1.3のように分類し、それぞれについて9.4.で防災対策の要点を示す。

表9.1.3 防災対策の分類

【平常時の防災対策】
■災害の発生危険度を低減させるための対策
○災害の発生防止（初期事象の発生に関わる事項）
ア. 安全管理体制の充実
イ. 物的要因による事故防止
ウ. 人的要因による事故防止
エ. 具体的な災害の想定
○災害の拡大防止（事象の分岐に関わる事項）
オ. 防災設備の設置促進
カ. 防災設備の保守点検
キ. 事故の早期検知
ク. 災害の局所化
ケ. 消防力の整備強化、防災教育及び防災訓練の実施
■災害の影響を低減させるための対策
コ. 災害拡大時の対応
サ. 周辺住民に対する広報活動
【地震時の防災対策（短周期地震動による被害）】
■災害の発生危険度を低減させるための対策
○災害の発生防止（初期事象の発生に関わる事項）
シ. 施設の耐震性強化
○災害の拡大防止（事象の分岐に関わる事項）
ス. 防災設備の信頼性向上
セ. 発災時の応急対応
■災害の影響を低減させるための対策
ソ. 広域的な防災体制
タ. 周辺住民の避難対策
【地震時の防災対策（長周期地震動による被害）】
■災害の発生危険度を低減させるための対策

○災害の発生防止
チ. 浮き屋根及び内部浮き蓋の技術基準の適合促進
ツ. スロッシングによる被害の想定
テ. 防災対応力の把握
ト. 今後の研究・技術開発の必要性
○災害の拡大防止
ナ. 防災設備の保守点検
■災害の影響を低減させるための対策
ニ. 同時多発災害への対応方策
ヌ. 周辺住民に対する広報活動
【大規模災害の対策】
■災害の発生危険度を低減させるための対策
ネ. 具体的な災害の想定
■災害の影響を低減させるための対策
ノ. 防災設備の信頼性向上
ハ. 広域的な防災体制
ヒ. 周辺住民に対する広報活動
【津波対策】
■災害の発生危険度を低減させるための対策
○災害の発生防止
フ. 浮遊物の対策
ヘ. 具体的な災害の想定
○災害の拡大防止
ホ. 重要な設備・機器の被害防止
マ. 防災設備の設置促進
■災害の影響を低減させるための対策
ミ. 津波からの避難を考慮した緊急措置
ム. 周辺住民に対する広報活動

注) 災害の発生危険度の低減対策事項には、災害の影響の低減対策につながる事項もあり、両者は厳密に切り分けられるものではない。

9.2. 評価結果のまとめ

9.2.1. 平常時の想定災害

平常時に想定される災害の概要を表 9.2.1 に示す。また、各地区の想定災害は(1)～(3)でより具体的に示す。

表 9.2.1 平常時の想定災害（全地区）

地区	第1段階	第2段階
高松地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。
東部地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧ガスタンクの毒性ガス拡散、製造施設の爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、毒性液体タンクの毒性ガス拡散、製造施設の流出火災、発電施設の流出火災による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散、製造施設の毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。
西部地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 危険物タンクの毒性ガス拡散、製造施設の流出火災、爆発、毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 高圧ガスタンクの爆発、毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製造施設の毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。

(1) 高松地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設及び発電施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、平常時に想定される災害を、表9.2.2 にまとめる。

表9.2.2 平常時の想定災害（高松地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・ 準特定タンク)	流出火災	小量流出(1)、中量流出(4)、 防油堤内流出(1)	小	小量流出(3)、中量流出 (8)、防油堤内流出(4)	小
	タンク火災	タンク小火災(5)	小	タンク小火災(10)、 タンク全面火災(1)	小
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(69)、 防油堤内流出(2)	※1	防油堤内流出(67)	※1
	タンク火災	タンク小火災(69)	※1	タンク全面火災(2)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(9)	小	小量流出(6)、中量流出 (15)、大量流出(15)、全 量流出(長時間)(9)	小
	フラッシュ火災		小		小
	毒性ガス拡散	小量流出(3)、中量流出(3)、 大量流出(3)、全量流出(長 時間)(3)	小	全量流出(短時間)(3)	※2
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(2)、中量流出(2)、 大量流出(2)	大	全量流出(長時間)(2)、 全量流出(短時間)(2)	大、※2
製造施設	流出火災	小量流出(8)、 ユニット内全量流出(8)、 大量流出(8)	小	該当なし	—
	爆発	小量流出(4)、 ユニット内全量流出(4)、 大量流出(4)	小	該当なし	—
	フラッシュ火災		小		—
発電施設	流出火災	小量流出(3)、中量流出(3)	小	該当なし	—
	爆発	小量流出(1)、中量流出(1)	小	該当なし	—
	フラッシュ火災		小		—
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(1)	※1	大量流出(1)	※1
	爆発火災	小量流出(1)	※1	大量流出(1)	※1
パイプライン	流出火災	小量流出(10)	※3	中量流出(10)	※3
	爆発	小量流出(1)	※3	中量流出(1)	※3
	フラッシュ火災		※3		※3

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・※3：災害の発生箇所が特定できないため影響範囲が示せない（パイプライン）。
- ・—：該当なし

(2) 東部地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設及び発電施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、平常時に想定される災害を、表9.2.3 にまとめる。

表9.2.3 平常時の想定災害（東部地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・ 準特定タンク)	流出火災	小量流出(123)、中量流出(40)、 仕切堤内流出(4)、防油堤内流出(15)	中	小量流出(78)、中量流出(121)、 仕切堤内流出(74)、防油堤内流出(70)	大
	タンク火災	タンク小火災(154)	小	タンク小火災(85)、 リング火災(68)、 タンク全面火災(19)	小
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(389)、 防油堤内流出(85)	※1	防油堤内流出(304)	※1
	タンク火災	タンク小火災(369)	※1	タンク全面火災(81)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(74)、中量流出(2)	中	小量流出(64)、中量流出(138)、 大量流出(140)、全量流出(長時間)(59)、 全量流出(短時間)(3)	大、※2
	フラッシュ火災		小		大、※2
	毒性ガス拡散	小量流出(15)、中量流出(15)、 大量流出(15)	大	全量流出(長時間)(15) 全量流出(短時間)(15)	大、※2
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(5)、中量流出(8)、 大量流出(8)、全量流出(長時間)(3)、 全量流出(短時間)(3)	中、※2	全量流出(長時間)(5) 全量流出(短時間)(12)	中、※2
製造施設	流出火災	小量流出(80)、ユニット内全量流出(80)、 大量流出(80)	中	該当なし	—
	爆発	小量流出(59)、ユニット内全量流出(59)、 大量流出(59)	大	該当なし	—
	フラッシュ火災		大		—
	毒性ガス拡散	小量流出(12)、ユニット内全量流出(12)、 大量流出(8)	大	大量流出(4)	大
発電施設	流出火災	小量流出(9)、中量流出(9)	中	該当なし	—
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(25)	※1	大量流出(25)	※1
	爆発火災	小量流出(5)	※1	大量流出(5)	※1
パイプライン	流出火災	小量流出(17)	※3	中量流出(17)	※3
	爆発	小量流出(22)	※3	中量流出(22)	※3
	フラッシュ火災		※3		※3

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・※3：災害の発生箇所が特定できないため影響範囲が示せない（パイプライン）。
- ・—：該当なし

(3) 西部地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、平常時に想定される災害を、表9.2.4 にまとめる。

表9.2.4 平常時の想定災害（西部地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・ 準特定タンク)	流出火災	小量流出(8)、中量流出(13)、 防油堤内流出(1)	小	中量流出(7)、 防油堤内流出(19)	中
	タンク火災	タンク小火災(20)	小	タンク全面火災(1)	小
	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、 防油堤内流出(1)	大	該当なし	—
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(266)、 防油堤内流出(33)	※1	防油堤内流出(233)	※1
	タンク火災	タンク小火災(257)	※1	タンク全面火災 (33)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(16)	中	小量流出(12)、中量 流出(28)、大量流出 (28)、全量流出(長 時間)(11)	中
	フラッシュ火災		小		中
	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、 大量流出(1)、全量流出(長時 間)(1)	小	全量流出(短時間) (1)	※2
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、 大量流出(1)、全量流出(長時 間)(1)	中	全量流出(短時間) (1)	※2
製造施設	流出火災	小量流出(28)、ユニット内全 量流出(28)、大量流出(28)	大	該当なし	—
	爆発	小量流出(11)、ユニット内全 量流出(11)、大量流出(11)	大	該当なし	—
	フラッシュ火災		小		—
	毒性ガス拡散	小量流出(2)、ユニット内全量 流出(2)	大	大量流出(2)	大
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(2)	※1	大量流出(2)	※1
パイプライン	流出火災	小量流出(4)	※3	中量流出(4)	※3

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・※3：災害の発生箇所が特定できないため影響範囲が示せない（パイプライン）。
- ・—：該当なし

9.2.2. 地震時の想定災害（短周期地震動による被害）

地震時に想定される災害の概要を表 9.2.5 に示す。また、各地区の想定災害は(1)～(3)でより具体的に示す。

表 9.2.5 地震時の想定災害（全地区）

地区	第1段階	第2段階
高松地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。
東部地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散、製造施設の爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散、製造施設の流出火災、発電施設の流出火災による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
西部地区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 危険物タンクの毒性ガス拡散、製造施設の流出火災、爆発、毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災、毒性液体タンクの毒性ガス拡散による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。 ・ 上記以外の災害で影響範囲を示しているものの影響は、概ね事業所内にとどまる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製造施設の毒性ガス拡散による影響は特別防災区域外に及ぶ場合がある。 ・ 危険物タンクの流出火災、高圧ガスタンクの爆発、フラッシュ火災による影響は事業所外に及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。

(1) 高松地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設及び発電施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、地震時に想定される災害を、表9.2.6 にまとめる。なお、地震時はパイプラインの評価を実施していないため、表中には記載していない。

表9.2.6 地震時の想定災害（高松地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・準特定タンク)	流出火災	小量流出(4)、中量流出(12)、防油堤内流出(2)	小	中量流出(3)、仕切堤内流出(3)、防油堤内流出(10)	小
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(69)、防油堤内流出(2)	※1	防油堤内流出(67)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(15)、中量流出(15)	小	全量流出(長時間)(11)、全量流出(短時間)(3)	小、※2
	フラッシュ火災	(15)、大量流出(15)	小		小、※2
	毒性ガス拡散	小量流出(3)、中量流出(3)、大量流出(3)、全量流出(長時間)(3)、全量流出(短時間)(1)	小、※2	全量流出(短時間)(2)	※2
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(2)、中量流出(2)、大量流出(2)	大	全量流出(長時間)(2)、全量流出(短時間)(2)	大、※2
製造施設	流出火災	小量流出(8)、ユニット内全量流出(8)、大量流出(8)	小	該当なし	—
	爆発	小量流出(4)、ユニット内全量流出(4)	小	該当なし	—
	フラッシュ火災	大量流出(4)	小		—
発電施設	流出火災	小量流出(3)、中量流出(3)	小	該当なし	—
	爆発	小量流出(1)、中量流出(1)	小	該当なし	—
	フラッシュ火災		小		—
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(1)	※1	大量流出(1)	※1
	爆発火災	小量流出(1)	※1	大量流出(1)	※1

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・—：該当なし

(2) 東部地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設及び発電施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、地震時に想定される災害を、表9.2.7 にまとめる。なお、地震時はパイプラインの評価を実施していないため、表中には記載していない。

表9.2.7 地震時の想定災害（東部地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・ 準特定タンク)	流出火災	小量流出(201)、中量流出(183)、仕切堤内流出(70)、防油堤内流出(72)	小	中量流出(56)、仕切堤内流出(66)、防油堤内流出(119)	大
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(389)、防油堤内流出(85)	※1	防油堤内流出(304)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(138)、中量流出(141)、大量流出(140)、全量流出(長時間)(14)、全量流出(短時間)(14)	大、※2	全量流出(長時間)(73)、全量流出(短時間)(34)	大、※2
	フラッシュ火災	同上	大、※2		大、※2
	毒性ガス拡散	小量流出(15)、中量流出(15)、大量流出(15)	大	全量流出(長時間)(15)、全量流出(短時間)(15)	大、※2
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(5)、中量流出(8)、大量流出(8)、全量流出(長時間)(4)、全量流出(短時間)(4)	中、※2	全量流出(長時間)(4)、全量流出(短時間)(11)	中、※2
製造施設	流出火災	小量流出(80)、ユニット内全量流出(80)、大量流出(80)	中	該当なし	—
	爆発	小量流出(59)、ユニット内全量流出(59)、大量流出(59)	大	該当なし	—
	フラッシュ火災		大		—
	毒性ガス拡散	小量流出(12)、ユニット内全量流出(12)、大量流出(12)	大	該当なし	—
発電施設	流出火災	小量流出(9)、中量流出(9)	中	該当なし	—
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(25)	※1	大量流出(25)	※1
	爆発火災	小量流出(5)	※1	大量流出(5)	※1

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・—：該当なし

(3) 西部地区

当該地区には、危険物タンク、高圧ガスタンク、毒性液体タンク、プラント（製造施設）、海上入出荷施設、パイプラインがある。これらの施設で、地震時に想定される災害を、表9.2.8 にまとめる。なお、地震時はパイプラインの評価を実施していないため、表中には記載していない。

表9.2.8 地震時の想定災害（西部地区）

対象施設	災害種別	第1段階		第2段階	
		該当する災害事象	影響範囲	該当する災害事象	影響範囲
危険物タンク (特定タンク・ 準特定タンク)	流出火災	小量流出(8)、中量流出(20)、防油堤内流出(9)	中	防油堤内流出(11)	中
	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、防油堤内流出(1)	大	該当なし	—
危険物タンク (特定外タンク)	流出火災	中量流出(266)、 防油堤内流出(33)	※1	防油堤内流出(233)	※1
高圧ガスタンク	爆発	小量流出(28)、中量流出(28)、 大量流出(28)	中	全量流出(長時間) (24)、全量流出(短 時間)(24)	中、※2
	フラッシュ火災		中		中、※2
	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、 大量流出(1)、全量流出(長時間) (1)、全量流出(短時間)(1)	小、※2	該当なし	—
毒性液体タンク	毒性ガス拡散	小量流出(1)、中量流出(1)、 大量流出(1)、全量流出(長時間) (1)、全量流出(短時間)(1)	中、※2	該当なし	—
製造施設	流出火災	小量流出(28)、ユニット内 全量流出(28)、大量流出(28)	大	該当なし	—
	爆発	小量流出(11)、ユニット内 全量流出(11)、大量流出(11)	大	該当なし	—
	フラッシュ火災		小		—
	毒性ガス拡散	小量流出(2)、ユニット内 全量流出(2)、大量流出(1)	大	大量流出(1)	大
海上入出荷施設	流出火災	小量流出(2)	※1	大量流出(2)	※1

注1) 該当する災害事象の括弧内の数値は施設数である。

注2) 影響範囲の凡例は以下のとおり。

- ・大：特別防災区域外（海面除く）に及ぶ場合がある。
- ・中：事業所外（海面除く）に影響が及ぶ場合があるが、概ね特別防災区域内にとどまる。
- ・小：影響は概ね事業所内にとどまる。
- ・※1：規模が小さいタンクまたは施設数のみの調査（海上入出荷施設）であるため、影響度の算定対象外としている。
- ・※2：全量流出（短時間）については、影響度を算定せずに、全てIレベル（200m以上）としている。
- ・—：該当なし

9.2.3. 地震時の想定災害（長周期地震動による被害）

中央防災会議^aにおいて、大正関東地震タイプについては当面発生する可能性は低いものの、今後百年先頃に発生する可能性が高くなっていると考えられていることから、長期的な防災・減災対策の対象として考慮することが妥当とされている。地震調査委員会によると、今後30年間の地震発生確率は、ほぼ0～2%と推定されている。元禄関東地震タイプの地震については、2,000年～3,000年間隔で発生しており、元禄関東地震が1703年に発生したことを踏まえると、暫くのところ発生する可能性は殆ど無いと考えられている。地震調査委員会によると、今後30年間の地震発生確率は、ほぼ0%と推定されている。最大クラスの地震の発生間隔についても、2,000年～3,000年或いはそれ以上のものであると考えられている。以上のことから、防災対策上想定する地震動として、相模トラフで発生する海溝型地震の内、大正型地震を選定し、想定される被害について評価を行った。

(1) スロッシング最大波高及び溢流量の推定

大正型ケースの予測波形から求められる速度応答スペクトルを用い、スロッシング最大波高を推定した。1,000k1未満の固定屋根式タンクの内4基が溢流する結果となったが、1,000k1以上の固定屋根式タンクで溢流は生じない結果となった。なお、固定屋根式タンク以外のタンクについても溢流が起これないと判定された。

(2) スロッシングによる災害の危険性

一般に、スロッシングによる危険物タンクの被害形態としては、屋根部からの危険物の溢流、浮き屋根やタンク付属設備等の破損、浮き屋根の沈降、溢流に伴うタンク周辺での流出火災、屋根部でのリング火災やタンク全面火災等が考えられる。

スロッシングに起因する火災の影響に関しては、発生した場合の影響が大きいと考えられるタンク全面火災、タンク全面・防油堤火災について、影響度の推定を行った結果、輻射熱の影響範囲は特別防災区域外に及ぶ場合がある。

9.2.4. 大規模災害

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。BLEVEによる災害（可燃性高圧ガスタンク）を想定した定量的な評価を行った。また、その他の災害として、石油類の海上流出及び防油堤火災からの延焼拡大による危険性の定性的な評価を行った。その結果は以下のとおりである。

^a 中央防災会議「防災対策実行会議」（第3回）資料，平成25年12月24日
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/jikkoukaigi/03/pdf/1-1.pdf>
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/jikkoukaigi/03/pdf/1-3.pdf>

(1) 高圧ガスタンクの爆発による災害

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った。ファイヤーボールの放射熱について、 11.6kW/m^2 をしきい値とした場合に2,000m以上に影響を及ぼすタンクは高松地区で2基、東部地区で56基ある。蒸気雲爆発による爆風圧について、 2.1kPa をしきい値とした場合に2,000m以上に影響を及ぼすタンクは、東部地区で19基ある。また、BLEVEによる破片の飛散について、2,000m以上に影響を及ぼすタンクは、東部地区で23基ある。これらのことから、BLEVEによる災害の影響は非常に大きいため、BLEVE発生の抑制及び災害発生時の緊急対応等が重要である。

(2) その他の大規模災害（防油堤から海上への石油類流出・防油堤火災からの延焼拡大）

ここでは想定される大規模災害の内、タンク本体あるいは配管の大破に起因する災害（防油堤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。このような災害の発生は、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。定量的な評価が困難であり、発災の抑制及び災害発生時の緊急対応等が重要である。

9.2.5. 津波による災害

本調査においては、津波による災害の危険性の定性的な評価を行った。ただし、危険物タンクについては、津波による流出量の定量的な評価を行った。東部地区で、浮き上がりの可能性が判定されたタンクからの流出量は約140k1、滑動の可能性が判定されたタンクからの流出量は約327k1であった。高松地区及び西部地区では、浮き上がり及び滑動の可能性はなかった。

タンクからの流出量については、津波が影響する施設は少ないものの、想定される流出量は少なくない。

また、流出が想定される油種によっては、引火性の高いものもあり、火災等の災害も想定される。

9.3. 事業所及び各地区における対策の実施

9.2. で示した想定災害に対して必要な防災対策は、各々の事業所や地区に所在する施設の種類や取扱物質、想定される地震の震度などの違いによって異なる。なお、各事業所ではアセスメント結果（想定災害）を基に事業所の状況を反映して災害の危険性を再確認し、防災対策について検討することが重要である。

9.4. に具体的な対策項目の要点を示す。

9.4. 防災対策の要点

前記のような想定災害を踏まえて、表9.1.3に対応した防災対策の要点を以下にまとめる。

9.4.1. 平常時の防災対策

平常時において想定される事故に対しては、事業所における総合的な安全管理体制を確立することが重要であり、そのためには以降に示すような防災対策を充実させることが望ましい。

(1) 災害の発生危険度を低減させるための対策

【災害の発生防止】

ア. 安全管理体制の充実

近年事故件数が多くなっていることの原因としては、設置から数十年が経過した施設が多くなり老朽化が進んでいること、従業員の安全に関する意識の低下、組織における知識・技術の継承が不十分であることなどが指摘されているが、事故の発生防止を図る上では、事業所における総合的な安全管理体制を確立することが重要であり、各事業所では以降に示す事項について不足する部分がないか再度確認することが求められる。

実施主体	対策
事業所	危険物の製造所や一般取扱所は事故発生率が高いため、自主的な保安の取り組みが効果的 ・安全管理体制の見直し ・各設備の危険要因を把握 ・従業員への教育訓練の実施
防災関係機関	安全管理体制の指導・監督等

イ. 物的要因による事故防止

近年では、危険物施設における危険物流出等の事故の原因調査に関する消防法の改正が行われ、必要な調査を行うための体制が整備されたところである。物的要因による事故の防止のためには、今後の事故原因調査結果を踏まえて適切な対応を進めることが重要である。

実施主体	対策
事業所	保全管理の改めた見直し <ul style="list-style-type: none"> ・ 日常及び定期的な施設の点検方法や点検箇所の見直し ・ 施設・設備の更新スケジュールの見直し
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自主基準の整備促進 ・ 自主点検体制の強化指導

ウ. 人的要因による事故防止

下記の事業所の対策を再度見直すことにより、安全意識の向上とあわせた二重の効果が期待できる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転・操作に関する知識・技術の習熟 ・ 安全運転に関わる広範な内容を要領よくまとめた安全管理マニュアルの作成 ・ 従業員へのマニュアルの徹底 ・ マニュアルの適宜見直し
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防災組織への技術的指導、助言

エ. 具体的な災害の想定

各事業所においては、本調査の結果等を参考に、施設の具体的な状況を反映した災害の発生危険度について検討し、危険性があると考えられる場合には災害が発生した場合の影響を想定しておくことが重要である。

具体的な災害想定については、「9.2 評価結果のまとめ」を参照。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 具体的な活動マニュアルの作成 ・ 発災時の応急措置を迅速・的確に行えるように訓練を実施 ・ 事業所外あるいはコンビナート区域外への影響が懸念される場合には、周囲の状況を把握した上で、事業所間の情報連絡、周辺地域に関する広報などに対する訓練への取り入れ ・ 毒性物質の漏洩は影響範囲が非常に大きくなる可能性があることから、事故発生時の対応マニュアルの整備や、毒性物質の漏洩を想定した訓練の実施などの事故対応の強化
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・ 具体的な被害想定結果の共有

【災害の拡大防止】

オ. 防災設備の設置促進

容量1万k1以上の特定タンクには、遠隔操作が可能で停電時においても作動可能な緊急遮断弁の設置が義務づけられている。このような緊急遮断弁は災害の拡大防止に有効である。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・小容量タンクへの緊急遮断弁の自主的整備 ・毒性物質を取り扱う施設では、災害が発生した場合の影響が極めて大きいため、万々に備えた散水設備等の除害設備の設置
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・遮断設備・移送設備・除害設備の整備促進

カ. 防災設備の保守点検

事故の拡大防止のためには、各種の防災設備が有効であることから、その整備促進が望まれる。なお、防災設備が設置されていても、操作ミスやメンテナンスの不備等により事故時に正常に作動しない場合が考えられる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・日頃の操作訓練やメンテナンスの実施 ・停電時に備えた防災設備の駆動源（電力等）の多重化
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・点検体制の強化促進 ・維持管理基準の強化促進

キ. 事故の早期検知

災害の拡大を防止するには、まず流出、火災、爆発等の事故（異常現象を含む）を早期に検知して、事業所内外の関係者・関係機関に通報するとともに、状況に応じた緊急対応を行う必要がある。そのためには、事業所における防災監視システムと情報伝達システムの機能性が重要になる。防災監視システムの基本的な機能要件としては、主に次のような事項が挙げられ、これらの要件が満たされているかを改めて確認する必要がある。

実施主体	対策
事業所	防災監視システムの基本的な機能要件の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・夜間・休日等の人員が少ない時においても運転監視が支障なく行えること ・異常の早期検知が可能で、かつ検知の信頼性が高いこと ・検知情報の判断・判定に対する支援機能を有すること ・誤操作の防止措置がとられていること
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・防災本部関係機関間の連絡体制の強化

ク. 災害の局所化

流出の発生箇所などによっては、遠隔操作による緊急遮断が機能せず、主に災害現場で拡大防止のための活動を行うことも想定される。例えば危険物タンクの場合には、「内容物を空タンクに移送する」、「流出箇所を土嚢などで囲んで流出拡大を防ぎ、漏油の回収をする」といった措置がとられることになり、このような活動を想定した防災体制を整えておくことが重要である。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none">・ 拡大防止を想定した防災体制の準備・ 危険物の防油堤内流出が想定される場合には、防油堤内に仕切堤を設けて流出面積を縮小化
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none">・ 仕切堤・防油堤等の地震対策の推進

ケ. 消防力の整備強化、防災教育及び防災訓練の実施

特定事業所は、自衛防災組織及び共同防災組織を合わせ、法令に基づく防災用施設、資機材等を整備している。また、直径34m以上の浮き屋根式タンクを設置する特定事業所は、広域共同防災組織を組織し、タンク全面火災に対応するため大容量泡放水砲等及び所要の防災要員等を整備している。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none">・ より一層の消防力の整備・ 協力会社も含めた全従業員を対象に、防災教育及び訓練を計画的かつ確実な実施
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none">・ 自衛防災組織、共同防災組織との連携体制の強化・ 合同防災訓練の実施

(2) 災害の影響を低減させるための対策

コ. 災害拡大時の対応

地区によっては、ある程度の時間災害が継続する事態や災害が広範囲に及ぶ事態が想定される。このような場合、発災事業所や共同防災組織の消防隊だけで対応することは困難であり、公設消防機関と協力して消火活動を行うことになる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none">・発災事業所は直ちに消防機関に通報・早期に終息できない場合には逐次状況報告・防災教育及び訓練の計画的かつ確実な実施
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none">・発災事業所等からの迅速な情報収集・共有体制の強化・災害の拡大状況に応じた防災資機材の調達や国への応援要請の体制強化など、迅速かつ総合的な応急活動体制の整備

サ. 周辺住民に対する広報活動

毒性ガスを扱うタンクやプラントで災害が発生した場合、影響範囲は火災や爆発に比べてかなり大きくなり、周辺地域の住民などに何らかの影響を与える可能性は否定できない。また、石油類の火災の場合、輻射熱による直接的な影響はほぼないにしても、走行中の車両に対して煙による視界不良により交通事故を引き起こすことも懸念される。可燃性ガスが拡散した場合には、近くを走行中の車が着火源となることも考えられる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none">・状況に応じた交通規制、周辺地域の住民等に対して避難広報体制の確認・災害の拡大状況、気象状況（風速・風向）を確認し、影響が広範囲に及ぶと予想される場合には、迅速に影響が予想される地域の住民への避難指示や交通規制が行えるような情報伝達体制を整備強化
防災関係機関	

9.4.2. 地震時の防災対策（短周期地震動による被害）

地震時において想定される短周期地震動による被害に対しては、まず施設被害の発生防止を図ることが最も重要である。さらに、発生した被害が大規模災害に発展することのないよう拡大防止対策を充実することも重要であり、そのためには以降に示すような防災対策の実施が望ましい。

(1) 災害の発生危険度を低減させるための対策

【災害の発生防止】

シ. 施設の耐震性強化

危険物タンクの内、旧基準の準特定タンク（容量 500～1,000k1 のタンクで平成 11 年の耐震基準を満たさないもの）については、特に地震時における強度不足が懸念されている。これについては、技術上の基準が制定されており、新基準適合への改修期限（平成 29 年 3 月 31 日）が設けられている。まだ未改修のものが残存しているため、優先的な改修が望まれる。

高圧ガスタンクについては、大規模地震の発生に備えた対応として、旧総合資源エネルギー調査会での議論等を踏まえて耐震告示が改正され、球形貯槽の鋼管ブレースの交差部分にかかる応力の算出方法や許容応力の評価方法が追加された。また、既存設備の内以下のものについては、国からの通知を踏まえて最新の耐震告示により耐震性評価を行うこととしており、耐震性強化が期待される。

- ・鋼管ブレースを有する球形貯槽
- ・コンビ則適用事業所における耐震設計設備及び基礎であって重要度が I a 及び I に該当するもの

また、危険物施設及び高圧ガス施設ともに、地震に伴う液状化による施設の倒壊等を防止するため、土地が液状化の発生しやすい場所かどうかの調査を行い、地盤改良等必要な対策を講ずることが望ましい。なお、平成 26 年度現在、経済産業省 資源エネルギー庁において「石油コンビナート事業再編・強じん化等推進事業」の一環として液状化等の対策の実施に要する経費の一部を補助する制度が運用されている。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震基準への早期適合 ・液状化の危険性についての調査及び対策
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・既存設備の耐震性確保に向けた取組みの促進
備考	「既存の高圧ガス設備の耐震性向上対策について」（20140519 商局第 1 号・平成26年 5 月21日）

【災害の拡大防止】

ス. 防災設備の信頼性向上

地震により施設が損傷して石油類やガス類が流出したとしても、遮断設備、移送設

備、散水設備、消火設備など付設された防災設備が正常に稼働すれば大規模災害に至る危険性はかなり小さくなる。地震時にこれらの設備が稼働しなくなる主な原因としては、地震による直接的被害も起こり得るが、可能性としては駆動源（特に電力）の喪失の方が高いと考えられる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・バックアップ用の駆動源の整備及び定期メンテナンス ・停電時に安全側に作動する設備（例えば緊急遮断設備）、非常電源等で正常に作動する設備、作動不能になる設備等の確認 ・停電時においてもできるだけ災害を局所化するための対応マニュアルを作成した訓練の実施 ・流出油等を防止する目的において、土嚢等の資器材の事前準備や応急措置の計画の事前策定 ・消火用屋外給水施設については、配管の環状化や水源の複数化等による被害の局限化を検討及び、補修バンドや当て板等の資器材の事前準備や応急措置の計画の事前策定
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・既存設備の耐震信頼性向上に向けた取組みの促進

セ. 発災時の応急対応

大規模地震が発生した場合には、コンビナート地区において流出や火災等が多発することも予想される。

発災時においては、停電も予想され、有線の通信回線が使えずに連絡が遅れる可能性も想定される。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・危険物タンクなどの施設の耐震強化 ・被害の多発を念頭に置いた次のような緊急対応を具体化し、十分な訓練の実施 <ul style="list-style-type: none"> ○地震発生直後の監視体制（職員による目視や監視カメラの設置等） ○施設ごとの災害の発生危険、拡大危険を踏まえた効率的な点検・パトロールの実施 ○職員の非常参集（特に休日・夜間の対応） ○人員・消防力の効率的な運用 <p>なお、人員・消防力の運用に関しては、共同防災組織ごとに早期に各事業所の被害状況を把握・集約し、被害の重大性に応じて効率的に配分できるような計画の事前策定の必要あり</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・非常電源設備等を通信回線等の断線対策として無線設備を設置、有線と無線の様に異なる設備を配置し、冗長化を図る等
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・関係部局との連絡

(2) 災害の影響を低減させるための対策

ソ. 広域的な防災体制

地震時には、個々の事業所、共同防災組織内だけでなく、コンビナート地区全体、あるいは市街地なども含めた被災地域全体を見渡した応急対応が必要になってくる。

また、大規模地震が発生した場合、市街地などの一般地域においても多くの被害が発生する。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・被害の少ない事業所からの応援等の事業所間の連携
共同防災組織	<ul style="list-style-type: none"> ・被害情報を共有し、被害の程度に応じた協力体制の実施 ・消防機関との直通回線、災害時有線電話や無線設備を設置等の通信回線の輻輳対策
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・一般地域とコンビナート地域を含めた被災地全体を見据えた効率的・効果的な災害対応 ・コンビナート災害の拡大に備えた県内外の応援体制の十分な検討

タ. 周辺住民の避難対策

地震時においてコンビナート災害の影響回避のために住民避難を行う場合には、市街地での火災発生状況、道路や橋梁の被害状況、津波の危険性なども考慮すべきである。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・防災関係機関との連携体制強化
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・被災地域全体の避難の一環とした計画の策定

9.4.3. 地震時の防災対策（長周期地震動による被害）

危険物タンクのスロッシング被害については、文部科学省地震調査研究推進本部において公表されている相模トラフで発生する海溝型地震を想定して被害予測を行っている。

ただし、9.2.3.で示したように、本調査で用いた長周期地震動予測の内、元禄型ケース及び最大級ケースについては、これにより直ちに設備的な対応が求められるものではない。防災対策上想定する地震動としては大正型ケースを取り上げることとした。溢流が想定されるタンク数は多くはないものの、万が一に備えた総合的かつ広域的な防災体制の確立を図ることが望まれる。

(1) 災害の発生危険度を低減させるための対策

【災害の発生防止】

チ. 浮き屋根及び内部浮き蓋の技術基準の適合促進

平成15年十勝沖地震を契機として、危険物タンクのスロッシング対策が見直され、管理液面の低下や浮き屋根の耐震基準への適合などが進められている。現時点では地震動予測の精度は十分とは言えず、また本調査で対象とした大正型関東地震よりも大きな地震が起こる可能性も否定できないため、想定以上の被害が起こる可能性がある。したがって、スロッシング被害の予防対策は重要である。次の基準への適合に関しては適合期限（平成29年3月31日）が設けられている。

○浮き屋根の耐震基準への適合

○その他の構造基準（浮き機能の強化、雨水排水配管への遮断弁の設置）への適合

また、2011年12月の省令改正（平成23年総務省令第165号）により、内部浮き蓋式の特定屋外貯蔵タンクの技術基準が制定された。浮き蓋の浮力、耐震強度等については、浮き屋根式タンクの浮き屋根と同等の基準が定められた。パン型及びバルクヘッド型の浮き蓋については、平成36年3月31日までに他の構造の浮き蓋に改修することとされた。

実施主体	対策
事業所	・耐震基準への早期適合
防災関係機関	・適合状況の把握及び早期適合に係る指導

ツ. スロッシングによる被害の想定

スロッシングによる被害の発生は、タンクのスロッシング固有周期及びその周期帯における地震波の強度にある程度依存するが、スロッシング固有周期はタンクの液面高さに応じて変わることから、施設の運転状況を考慮することが望ましい。また、地震波の強度については将来発生する地震の予測が困難であることから、現段階では具体的な対策を立てるためには十分な想定となっていない。今後、地震動評価手法の改良などにより予測結果が改善された場合には、被害想定についても最新の成果を取り込み見直して行くことが求められる。

実施主体	対策
事業所	・最新の知見を活用した影響程度の把握
防災関係機関	・地震動予測や予測技術等に関する情報提供

テ. 防災対応力の把握

巨大地震が発生した場合には、想定を超えるスロッシングや同時多発災害が発生する可能性もあり、今後はそのような場合の応急対応についても検討していくことが重要である。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現計画の防災対応力によりどこまで対応が可能の明確化 その際には個別のタンクの特性を考慮して、できる限り具体的に検討する ・ 大容量泡放射システムの運用体制強化
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自衛防災組織、共同防災組織との連携体制の強化 ・ 合同防災訓練の実施

ト. 今後の研究・技術開発の必要性

数mを超える大きなスロッシングが生じた場合には、タンク破損の危険性が高く、液面の低下措置だけで被害を予防することは困難である。このような大きなスロッシングに対しては、スロッシング制振技術の開発などの新たな研究・技術開発、実用化が望まれる。

実施主体	対策
事業所	・ 新規技術の積極的な導入
防災関係機関	・ 新規技術の研究開発の促進

【災害の拡大防止】

ナ. 防災設備の保守点検

事故の拡大防止のためには、各種の防災設備が有効であることから、その整備促進が望まれる。なお、防災設備が設置されていても、操作ミスやメンテナンスの不備等により事故時に正常に作動しない場合がある。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日頃の操作訓練やメンテナンスを十分に行う ・ 停電時に備えた防災設備の駆動源（電力等）の多重化 ・ 防災資機材の整備として、オイルフェンス等の被害拡大防止のための防災資機材の整備の検討
防災関係機関	・ 消防車両や大容量泡放射システムなど資機材の増強及び効率的な運搬、効果的な使用の方法の検討

(2) 災害の影響を低減させるための対策

ニ. 同時多発災害への対応方策

万一複数タンクで発災した場合には、危険性の高い施設について優先的に対応していくことで、災害の影響を最小化する必要がある。危険性の評価指標としては、タンクの被害程度、貯蔵物質（引火性の高い第1石油類や毒性を有する危険物及びボイルオーバー等の二次災害が予想される油種）、立地条件（他の施設や一般地域に近接す

るタンク等) といったことが考えられる。

実施主体	対策
事業所	・大規模地震被害を想定した対応方針の整理
防災関係機関	・広域共同防災組織との円滑な意思疎通を図るための連絡体制強化 ・合同防災訓練の実施

ヌ. 周辺住民に対する広報活動

平常時(サ. 参照)と同様に、石油類の火災の場合、輻射熱による直接的な影響はほばないにしても、走行中の車両に対して煙による視界不良により交通事故を引き起こすことも懸念される。可燃性ガスが拡散した場合には、近くを走行中の車が着火源となることも考えられる。

実施主体	対策
事業所	・状況に応じた交通規制、周辺地域の住民等に対して避難広報体制の確認 ・災害の拡大状況を確認し、影響が広範囲に及ぶと予想される場合には、迅速に影響が予想される地域の住民への避難指示や交通規制が行えるような情報伝達体制を整備強化
防災関係機関	

9.4.4. 大規模災害の対策

大規模災害については、発生する可能性は非常に小さいが、万一発生した場合の影響が大きくなると考えられるため、以降に示すような防災対策を検討しておくことが望まれる。なお、大規模災害に進展しないように、平常時における災害の拡大防止対策を講じることが基本的に重要である。

(1) 災害の発生危険度を低減させるための対策

ネ. 具体的な災害の想定

大規模災害については、万一発生した場合においても迅速な対応が可能となるよう、あらかじめ影響の大きさや必要な対応力を把握しておくことが重要である。

実施主体	対策
事業所	・周辺住民、近隣事業所等の避難が必要となるような場合も想定した避難計画の整備、運用体制の強化
防災関係機関	・事業所との連携体制の強化

(2) 災害の影響を低減させるための対策

ノ. 防災設備の信頼性向上

BLEVEが起こるシナリオの一つとして、漏洩した可燃性液体がタンクの下あるいは周

辺で着火し、高圧ガスタンクが炙られることが考えられる。さらに防液堤内に高圧ガスタンクが複数ある場合には、BLEVEが誘発されて大規模災害が引き起こされる可能性がある。しかしながら、流出した可燃性液体が高圧ガスタンク付近にまで及ぶことがなければ、BLEVEのような災害やBLEVEを起因とする二次的な災害は起こりにくいと考えられる。

実施主体	対策
事業所	・防液堤をタンク一つ一つに対して設けることが被害を拡大化させないために有効
防災関係機関	—

ハ. 広域的な防災体制

各事業所では災害対応と併せて近隣事業所や近隣の町内会等へ発災連絡をし、外部関係機関と連携を取りながら災害規模に応じた対応を取る仕組みを持っている。平時においても設備の運転員、警備・防災員によるパトロールを日常的に実施している。

さらに、二次災害の防止として、災害現場における適切な情報提供が重要となる。

実施主体	対策
事業所	・共同防災組織における防災要員及び保有防災資機材の質的、量的充実強化 ・共同防災組織間の相互応援体制の強化(合同防災訓練の実施等)
防災関係機関	・共同防災組織間等の相互応援体制の確立指導

ヒ. 周辺住民に対する広報活動

可燃性高圧ガスタンクにおいて、周辺火災等の影響によりBLEVEによる災害(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)が生じた場合、影響範囲はかなり大きくなり、周辺地域の住民などに何らかの影響を与える可能性は否定できない。広域に渡る交通規制や周辺住民の避難などの広報体制を整備しておくことが重要である。

実施主体	対策
事業所 防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・状況に応じた交通規制、周辺地域の住民等に対して避難広報体制の確認 ・災害の拡大状況を確認し、影響が広範囲に及ぶと予想される場合には、迅速に影響が予想される地域の住民への避難指示や交通規制が行えるような情報伝達体制を整備強化

9.4.5. 津波対策

本調査の想定では、津波により危険物タンクが流出する想定結果となっている。また、流出が想定される油種によっては、引火性の高いものもあり、火災等の災害も想定されることから、以降に示すような防災対策を検討しておくことが重要である。

(1) 災害の発生危険度を低減させるための対策

【災害の発生防止】

フ. 浮遊物の対策

津波により事業所が浸水した場合、事業所内で浮遊物が発生することが考えられる。事業所内にある車両、ドラム缶、容器などの浮遊、流出を防止する、または浮遊物となった場合の被害の拡大を防止するなどの対策が望まれる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・事業所内にある車両、ドラム缶、容器などの浮遊、流出の防止 ・容器のチェーン、角リング等を用いた固定や車庫等の室内貯蔵 ・浮遊物となった場合の被害の拡大を防止するなどの対策 ・津波浸水対策として、タンク固定アンカーボルトの増強、重要設備・機器への浸水防止、津波漂流物流入防止等の対策
防災関係機関	<ul style="list-style-type: none"> ・津波対策事例等の提示

へ. 具体的な災害の想定

津波による災害については、万一発生した場合においても迅速な対応が可能となるよう、あらかじめ影響の大きさや必要な対応力を把握しておくことが重要である。特に周辺住民等の避難が必要となるような場合には、津波による災害の影響評価結果を避難計画に反映しておくことが重要である。さらに、従業員や協力会社の作業員、来所者等の避難対策についても事前に計画しておくことが重要である。

津波の影響が最大と考えられる今次津波の影響開始時間は20分と予測されている。避難するには十分といえる時間ではないため、津波の可能性が考えられる場合に、迅速に避難できるよう、周知方法をあらかじめ決めておく必要がある。

実施主体	対策
事業所	・避難場所の確保、又は、近傍の避難場所へのアクセスの周知
防災関係機関	・避難誘導體制の確保、避難計画の策定等の指導、助言

【災害の拡大防止】

ホ. 重要な設備・機器の被害防止

通信設備は、従業員への避難などの指示を行うために必要となる。防災資機材は、津波が来襲した後の被害拡大を防止するために必要となる。

発災時においては、停電も予想され、有線の通信回線が使えずに連絡が遅れる可能性も想定される。

防災資機材等（消防車両等）が設置されている場合に、浸水により使用不可能な状況も想定される。

構内道路について、崩落、舗装のめくれ上がりや漂着物等により通行ができなくなる状況も想定される。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・通信設備、防災資機材などの重要な設備が使用不能となることの防止 ・通信回線の輻輳対策として、消防機関との直通回線、災害時有線電話や無線設備の設置 ・一定規模以上の震度（加速度）を感知した場合のプラントに自動停止システムを導入 ・電気系統の防水化や高台設置、また、可搬式の設備の導入 ・防災資機材等を浸水の可能性の少ない場所への保管、または、高い位置への保管 ・土嚢や砕石等の資器材準備、重機や人員等の調達方法、津波による堆積物の除去方法を事前の検討及び計画の策定 ・特定防災施設及び防災資機材等の被害発生の評価
防災関係機関	—

マ. 防災設備の設置促進

容量1万k1以上の特定タンクには、遠隔操作が可能で停電時においても作動可能な緊急遮断弁の設置が義務づけられている。

実施主体	対策
事業所	・小容量タンクへの緊急遮断弁の自主的整備
防災関係機関	・緊急遮断弁の設置励行
備考	危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令（平成24年総務省令第49号）により、危険物の規制に関する規則第60条の2第1項第11の2号が改正され、予防規程に定めなければならない事項に、地震が発生した場合に加え、地震に伴う津波が発生し、又は発生するおそれがある場合における施設及び設備に対する点検、応急措置等に関することが追加された。（消防危第197号・平成24年8月21日）

(2) 災害の影響を低減させるための対策

ミ. 津波警報発表時等における施設の緊急措置

津波警報発表時や津波が発生するおそれがある状況における施設の緊急停止等の緊急措置の方法、手順について確認するとともに、緊急措置の実施体制を明確にする必要がある。この場合、津波到達までの限られた時間内において迅速かつ的確な対応が求められる。

この場合において、施設の緊急停止に伴い装置内で危険物等が異常な温度・圧力上昇等の異常反応により二次災害が発生することがないように、適切な緊急措置について検証することが望まれる。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・津波発生時における避難体制が未整備の事業所について、緊急時体制の早期確立 ・地震計との連動による自動停止措置等の導入検討 ・大規模地震発生時は地震直後に施設が停電することが想定されるため、施設が停電した場合においても安全に緊急措置が実施できるような体制の整備 ・休日・夜間など人員が限定された状況における体制の検討
防災関係機関	・緊急時体制整備の促進

ム. 周辺住民に対する広報活動

平常時（サ. 参照）と同様に、石油類の火災の場合、輻射熱による直接的な影響はほばないにしても、走行中の車両に対して煙による視界不良により交通事故を引き起こすことも懸念される。

実施主体	対策
事業所	<ul style="list-style-type: none"> ・状況に応じた交通規制、周辺地域の住民等に対して避難広報体制の確認 ・災害の拡大状況を確認し、影響が広範囲に及ぶと予想される場合には、迅速に影響が予想される地域の住民への避難指示や交通規制が行えるような情報伝達体制を整備強化
防災関係機関	

参 考 资 料

参考資料1 コンビナート施設の事故・被害発生状況

表 1.1 危険物施設における事故発生状況（最近10年間）

年	事故種別等		製造所	貯蔵所						取扱所			
				屋内貯蔵所	屋外タンク貯蔵所	屋内タンク貯蔵所	地下タンク貯蔵所	簡易タンク貯蔵所	移動タンク貯蔵所	屋外貯蔵所	給油取扱所	移送取扱所	一般取扱所
2004	火災	件数	33	6	1	0	1	0	10	0	37	0	107
		発生率[/1万施設]	66	1	0	0	0	0	1	0	5	0	14
	漏洩	件数	11	2	40	10	64	0	65	0	84	6	77
		発生率[/1万施設]	22	0	5	7	5	0	8	0	10	48	10
施設数			5,000	54,133	75,624	14,284	119,298	1,498	79,365	12,258	80,279	1,239	74,294
2005	火災	件数	27	2	4	0	0	0	7	0	26	0	122
		発生率[/1万施設]	54	0	1	0	0	0	1	0	3	0	17
	漏洩	件数	10	1	61	3	76	0	73	1	81	6	80
		発生率[/1万施設]	20	0	8	2	7	0	9	1	10	49	11
施設数			4,986	53,835	74,248	13,982	116,835	1,431	78,249	11,990	78,556	1,229	73,698
2006	火災	件数	35	0	3	0	1	0	5	0	40	0	139
		発生率[/1万施設]	70	0	0	0	0	0	1	0	5	0	19
	漏洩	件数	19	0	52	5	71	1	66	0	78	8	75
		発生率[/1万施設]	38	0	7	4	6	7	9	0	10	65	10
施設数			4,979	53,334	72,984	13,709	114,085	1,372	77,386	11,827	77,107	1,236	72,906
2007	火災	件数	27	5	4	0	0	0	1	0	27	1	104
		発生率[/1万施設]	54	1	1	0	0	0	0	0	4	8	15
	漏洩	件数	20	0	94	12	78	0	56	0	75	11	88
		発生率[/1万施設]	40	0	13	9	7	0	7	0	10	90	12
施設数			5,033	53,267	71,757	13,299	110,801	1,296	76,012	11,563	75,848	1,219	71,598
2008	火災	件数	23	4	5	0	0	0	1	0	27	0	116
		発生率[/1万施設]	46	1	1	0	0	0	0	0	4	0	16
	漏洩	件数	17	1	52	6	65	0	62	0	84	7	90
		発生率[/1万施設]	34	0	7	5	6	0	8	0	11	58	13
施設数			5,054	52,996	70,470	12,905	107,932	1,234	74,297	11,373	73,956	1,211	70,565
2009	火災	件数	30	1	4	0	0	0	4	0	30	0	93
		発生率[/1万施設]	59	0	1	0	0	0	1	0	4	0	13
	漏洩	件数	19	1	49	6	54	0	68	1	67	9	86
		発生率[/1万施設]	37	0	7	5	5	0	9	1	9	75	12
施設数			5,101	52,807	69,403	12,515	104,897	1,189	72,219	11,185	71,756	1,202	69,363
2010	火災	件数	40	2	1	0	0	0	4	0	29	0	103
		発生率[/1万施設]	78	0	0	0	0	0	1	0	4	0	15
	漏洩	件数	16	2	56	3	55	0	42	3	69	9	102
		発生率[/1万施設]	31	0	8	2	5	0	6	3	10	76	15
施設数			5,109	52,300	68,293	12,220	102,095	1,155	70,074	11,123	69,727	1,189	68,242
2011	火災	件数	30	6	2	0	0	0	2	0	29	1	119
		発生率[/1万施設]	59	1	0	0	0	0	0	0	4	9	18
	漏洩	件数	26	1	62	8	55	0	52	2	79	16	95
		発生率[/1万施設]	51	0	9	7	6	0	8	2	12	136	14
施設数			5,106	51,881	67,178	11,868	99,024	1,122	68,568	11,037	67,707	1,175	67,109
2012	火災	件数	27	2	5	1	0	0	6	0	29	0	128
		発生率[/1万施設]	53	0	1	1	0	0	1	0	4	0	19
	漏洩	件数	25	1	81	6	48	0	48	0	59	11	96
		発生率[/1万施設]	49	0	12	5	5	0	7	0	9	95	15
施設数			5,101	51,196	65,952	11,622	95,764	1,099	68,082	10,874	66,189	1,152	66,125
2013	火災	件数	32	2	2	0	0	0	6	0	22	0	124
		発生率[/1万施設]	63	0	0	0	0	0	1	0	3	0	19
	漏洩	件数	25	1	73	5	46	0	60	0	56	9	101
		発生率[/1万施設]	49	0	11	4	5	0	9	0	9	78	16
施設数			5,103	50,905	65,035	11,416	90,752	1,086	67,669	10,707	64,270	1,147	64,475
計	火災	件数	304	30	31	1	2	0	46	0	296	2	1,155
		発生率[/1万施設]	60	1	0.44	0	0	0	1	0	4	2	17
	漏洩	件数	188	10	620	64	612	1	592	7	732	92	890
		発生率[/1万施設]	37	0	9	5	6	1	8	1	10	77	13

注1) 消防庁「危険物に係る事故事例」より作成

注2) 件数は、各年1月1日から12月31日までの間に全国で発生した危険物に係る事故件数を示す。

注3) 発生率は、危険物施設1万施設あたりの発生件数を示す（施設数は各年における3月31日現在の完成検査済証交付施設数）。

また、「計」の発生率は各年の発生率の平均である。

注4) 事故件数は、2003年宮城県北部を震源とする地震及び北海道十勝沖地震、2011年東日本大震災その他最大深度6弱以上の地震によるものを除く。

表 1.2 特別防災区域の特定事業所における事故発生状況（最近 10 年間）

年次	事故種別	危険物施設(高圧混在施設も含む)						高圧ガス施設
		製造所	屋内貯蔵所	屋外タンク貯蔵所	移動タンク貯蔵所	移送取扱所	一般取扱所	
2004	火災 [件]	14	0	0	0	0	15	1
	爆発 [件]	1	0	0	0	0	0	0
	漏洩 [件]	11	0	9	0	5	18	3
	その他 [件]	0	0	3	0	0	3	2
	合計 [件]	26	0	12	0	5	36	6
2005	火災 [件]	7	1	1	0	0	23	0
	爆発 [件]	1	0	0	0	0	1	0
	漏洩 [件]	8	1	16	1	4	12	8
	その他 [件]	2	0	1	0	0	0	0
	合計 [件]	18	2	18	1	4	36	8
2006	火災 [件]	20	0	3	0	0	23	4
	爆発 [件]	4	0	0	0	0	7	0
	漏洩 [件]	22	0	23	2	6	22	2
	その他 [件]	4	0	3	0	0	0	1
	合計 [件]	50	0	29	2	6	52	7
2007	火災 [件]	12	0	2	1	0	20	0
	爆発 [件]	1	0	0	0	0	3	0
	漏洩 [件]	21	0	49	0	8	22	9
	その他 [件]	2	0	8	1	1	2	1
	合計 [件]	36	0	59	2	9	47	10
2008	火災 [件]	10	0	3	0	0	20	2
	爆発 [件]	1	0	0	0	0	5	0
	漏洩 [件]	26	0	22	1	5	25	2
	その他 [件]	2	0	5	0	1	3	2
	合計 [件]	39	0	30	1	6	53	6
2009	火災 [件]	16	0	4	0	0	18	1
	爆発 [件]	2	0	0	0	0	3	0
	漏洩 [件]	21	0	23	1	8	28	1
	その他 [件]	1	0	2	0	0	1	2
	合計 [件]	40	0	29	1	8	50	4
2010	火災 [件]	21	0	1	0	0	20	1
	爆発 [件]	0	0	0	0	0	1	1
	漏洩 ^{注1)} [件]	17	0	27	0	8	33	4
	その他 [件]	0	0	2	0	0	2	1
	合計 [件]	38	0	30	0	8	56	7
2011	火災 [件]	11	1	0	0	1	22	1
	爆発 [件]	2	0	1	0	0	1	0
	漏洩 [件]	21	0	31	0	8	23	6
	その他 [件]	1	2	0	0	1	3	1
	合計 [件]	35	3	32	0	10	49	8
2012	火災 [件]	11	0	3	0	0	28	3
	爆発 [件]	2	0	0	0	0	1	0
	漏洩 [件]	22	0	44	4	5	30	1
	その他 [件]	2	0	6	0	1	1	0
	合計 [件]	37	0	53	4	6	60	4
2013	火災 [件]	12	0	2	0	0	22	0
	爆発 [件]	2	0	0	0	0	1	0
	漏洩 [件]	22	0	36	1	9	32	3
	その他 [件]	1	0	4	0	0	3	1
	合計 [件]	37	0	42	1	9	58	4
計	火災 [件]	134	2	19	1	1	211	13
	爆発 [件]	16	0	1	0	0	23	1
	漏洩 [件]	191	1	280	10	66	245	39
	その他 [件]	15	2	34	1	4	18	11
	合計 [件]	356	5	334	12	71	497	64
施設数		1,472	2,476	19,380	307	962	5,872	2,421
事故発生率 [1万施設]	火災	91.03	0.81	0.98	3.26	1.04	35.93	5.37
	爆発	10.87	0.00	0.05	0.00	0.00	3.92	0.41
	漏洩	129.76	0.40	14.45	32.57	68.61	41.72	16.11
	その他	10.19	0.81	1.75	3.26	4.16	3.07	4.54
	合計	241.85	2.02	17.23	39.09	73.80	84.64	26.44

注 1) 2010年における漏洩事故発生件数は、内訳不明の2事故を除く。

注 2) 消防庁特殊災害室「石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要」に基づいて作成した。
また、事故発生率は年間の1万施設あたりの事故発生件数を表す。

注 3) 事故件数には、2003年北海道十勝沖地震、2011年東日本大震災及び津波・その他の地震によるものを除く。

注 4) 施設数について、屋外タンク貯蔵所と高圧ガス施設は石油コンビナート等防災体制の現況による2013年4月1日現在の数（高圧ガス施設数は同調査による高圧ガスタンク基数としている）であり、製造所、移送取扱所、一般取扱所は、岡山県石油コンビナート防災アセスメント報告書（消防科学総合センター、平成25年3月）による2011年4月1日現在の数である。

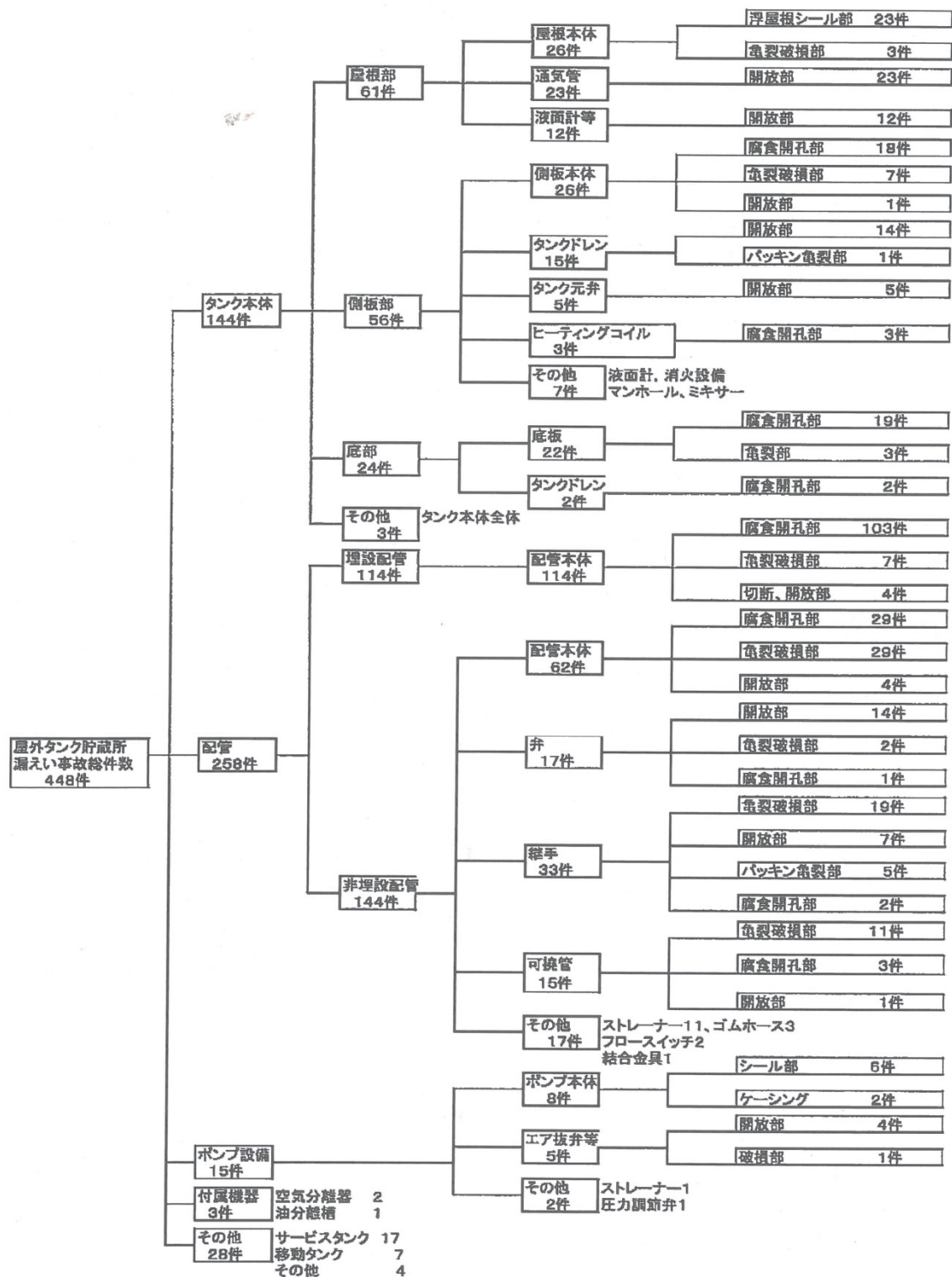


図 1.1 危険物タンク（屋外タンク貯蔵所）における漏洩事故の発生部位の分類^a

^a Safety & Tomorrow, 危険物保安技術協会, No.97, 2004.9

参考資料2 災害影響の算定方法

1. 流出モデル

(1) 液体流出

危険物質を液相で貯蔵した容器（または付属配管で容器に近いところ）が破損したときの流出率は次式で与えられる。ただし、容器の大きさに比べて流出孔が十分に小さく、流出が継続する間は液面の高さは変化しないことを前提とする。

$$q_L = ca \sqrt{2gh + \frac{2(p-p_0)}{\rho}} \dots\dots\dots (1)$$

- q_L : 液体流出率 (m³/s)
- c : 流出係数 (不明の場合は0.5 とする)
- a : 流出孔面積 (m²)
- p : 容器内圧力 (Pa)
- p_0 : 大気圧力 (0.101×10⁶Pa)
- ρ : 液密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (9.8m/s²)
- h : 液面と流出孔の高さの差 (m)

長い配管から流出するような場合には、配管内壁と流体との摩擦による圧力損失を考慮すべきであるが、これを無視して次式により安全側の評価として概算することができる。

$$q_L = ca \sqrt{v^2 + \frac{2(p-p_0)}{\rho}} \dots\dots\dots (2)$$

- v : 配管内の流速 (m/s)
- p : 送出圧力 (Pa)

(2) 気体流出

容器内に物質が気相で存在する場合の流出率は次式で与えられる。ただし、容器の大きさに比べて流出孔が十分に小さく、気体の噴出に熱的变化がないことを仮定している。

① 流速が音速未満 ($p_0/p > \gamma_c$) のとき

$$q_G = \text{cap} \sqrt{\frac{2M}{ZRT} \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]} \dots\dots\dots (3)$$

② 流速が音速以上 ($p_0/p \leq \gamma_c$) のとき

$$q_G = \text{cap} \sqrt{\frac{M}{ZRT} \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

$$\gamma_c = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

- q_G : 気体流出率 (kg/s)
- c : 流出係数 (不明の場合は0.5 とする)
- a : 流出孔面積 (m²)
- p : 容器内圧力 (Pa)
- p_0 : 大気圧力 (Pa)
- M : 気体のモル重量 (kg/mol)
- T : 容器内温度 (K)
- γ : 気体の比熱比
- R : 気体定数 (8.314J/mol・K)
- Z : ガスの圧縮係数 (=1)

2. 蒸発モデル（風による揮発性液体の蒸発）

常温の揮発性液体が流出して矩形の囲いの中に溜まった場合、液面からの蒸発量は風速に支配され次式で与えられる。

$$w = 0.033\rho_g u \left(\frac{p_v}{p_0} \right) \left(\frac{\nu}{ul} \right)^{0.2} \dots\dots\dots (5)$$

- w : 蒸発率 (kg/m²s)
- ρ_g : 周辺温度における蒸気密度 (kg/m³)
- p_v : 液面温度での飽和蒸気圧 (Pa)
- p_0 : 大気圧 (Pa)
- u : 風速 (m/s)
- l : 風に平行方向の囲いの長さ (m)
- ν : 空気の動粘性係数 (※)

(※) 空気の動粘性係数

$$\nu = 1.328 \times 10^{-5} \cdot \left(\frac{273 + T_a}{273} \right)^{1.754}$$

ただし、 T_a は大気温度 (°C) である^a。

^a 近藤純正：水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—，朝倉書店，1994

3. ガス拡散モデル

(1) 坂上モデル

ガスが流出して大気中で拡散したときの濃度分布を計算するための簡易モデルとしてガウシアンモデルがある。このモデルは、ガスの進行方向（風下方向）に対して直角方向の濃度分布を正規分布と仮定して解析するものである。ガウシアンモデルにはいくつかのものがあるが、海外ではプルームモデル（Pasquill-Gifford モデル）、国内では坂上モデルがよく用いられているようである。本調査では、坂上モデルを適用することとした。

坂上モデルには、ガスの発生源が点源と面源、ガスの発生時間が連続的と瞬間的の計4種類がある。点源の式は小さな開口部からガスが流出するような場合、面源の式は流出した液化ガスが防液堤に溜まって蒸発するような場合に適用される。以下に、ガスの発生が連続的な点源と面源の式を示す。防液堤に溜まって蒸発するような場合でも、防液堤から遠いところでは点源の式を用いてもよいとされるため、本調査では拡散式はすべて連続点源のものを適用した。

※) 坂上のガス拡散モデルでは、対象とするガスの密度が周囲の空気密度と同程度であることを仮定している。水素のように空気よりも非常に軽いガスの場合は漏洩後すぐに上方へ拡散するため、坂上モデルでは過大評価になると考えられる。本調査では、全て坂上の点源の式により拡散距離を算出しているため、この点に注意が必要である。

① 連続点源の式

連続点源を想定したときの濃度分布は次式で与えられる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{uB\sqrt{\pi A}} \exp\left(-\frac{y^2}{A}\right) \exp\left(-\frac{(h+z)}{B}\right) I_0\left(\frac{2\sqrt{hz}}{B}\right) \dots\dots\dots (6)$$

$$A = q_A \{\varphi_A x + \exp(-\varphi_A x) - 1\}$$

$$B = q_B \{\varphi_B x + \exp(-\varphi_B x) - 1\}$$

- x : 計算点の風下方向 (x) の座標 (m)
- y : 計算点の水平方向 (y) の座標 (m)
- z : 計算点の鉛直方向 (z) の座標 (m)
- C(x, y, z) : 計算点 (x, y, z) におけるガス濃度 (体積比率)
- Q : 単位時間あたりの拡散ガス量 (m³/s)
- u : 風速 (m/s)
- h : ガス発生源の高さ (m) で (0, 0, h) が発生源の座標となる
(本調査では h = 0.5 とする)
- q_A, q_B : 拡散パラメータ (表2.1)
- φ_A, φ_B : 拡散パラメータ (表2.1)
- I₀ : 0 次の虚数単位ベッセル関数 (I₀(x) = J₀(ix))
J₀ : 0 次ベッセル関数)

表 2.1 坂上モデルの拡散パラメータの値

大気安定度	ガス発生源の 高さ h (m)	ϕ_A	$\sqrt{q_A}$	ϕ_B	q_B
安定	0.5	4.78×10^{-2}	4.26	4.20×10^{-2}	3.50×10^{-1}
	10	4.78×10^{-2}	4.26	4.60×10^{-2}	2.93×10^{-1}
	20	4.78×10^{-2}	4.26	4.71×10^{-2}	2.86×10^{-1}
	30	4.78×10^{-2}	4.26	4.77×10^{-2}	2.83×10^{-1}
中立	0.5	1.48×10^{-2}	1.56×10^1	1.10×10^{-2}	5.30
	10	1.09×10^{-2}	2.18×10^1	2.46×10^{-2}	1.02
	20	1.01×10^{-2}	2.37×10^1	3.00×10^{-2}	7.00×10^{-1}
	30	0.97×10^{-2}	2.48×10^1	3.29×10^{-2}	5.65×10^{-1}
やや不安定	0.5	4.50×10^{-3}	7.59×10^1	4.25×10^{-3}	3.48×10^1
	10	2.12×10^{-3}	1.59×10^2	1.48×10^{-2}	2.87
	20	1.80×10^{-3}	1.88×10^2	1.98×10^{-2}	1.61
	30	1.61×10^{-3}	2.09×10^2	2.34×10^{-2}	1.14
不安定	0.5	1.12×10^{-3}	2.77×10^2	1.30×10^{-3}	3.73×10^2
	10	2.52×10^{-4}	1.24×10^3	7.20×10^{-3}	1.18×10^1
	20	1.78×10^{-4}	1.73×10^3	1.10×10^{-2}	5.19
	30	1.44×10^{-4}	2.14×10^3	1.40×10^{-2}	3.21

液体で流出したときには、式(1)または式(2)で求められる流出率 q_L (m³/s) をもとに、次式により拡散ガス量 Q を計算し、これを式(6)に代入して拡散ガス濃度を計算した。

$$Q = \frac{q_L f \rho R T_a}{M p_0} \dots \dots \dots (7)$$

- f : フラッシュ率
- ρ : 液密度 (kg/m³)
- R : 気体定数 (8.314J/mol・K)
- T_a : 大気温度 (K)
- p_0 : 大気圧力 (Pa)
- M : 気体のモル重量 (kg/mol)

本調査では、流出量に依らず全量気化すると仮定したため、 $f = 1$ とした。

また、気体で流出したときには、式(3)または式(4)で求められる流出率 q_G (kg/s) をもとに、次式により拡散ガス量 Q を計算した。なお、式中的変数は式(7)と同じである。

$$Q = \frac{q_G R T_a}{M p_0} \dots \dots \dots (8)$$

② 連続面源の式

連続面源を想定したときの濃度分布は次式で与えられる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q' e^{-\frac{z+h}{B} \sqrt{A}}}{4uB} \left\{ \Lambda\left(\frac{x+n}{\sqrt{A}}\right) - \Lambda\left(\frac{x-n}{\sqrt{A}}\right) \right\} \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{y+m}{\sqrt{A}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y-m}{\sqrt{A}}\right) \right\} I_0\left(\frac{2\sqrt{hz}}{B}\right) \dots\dots\dots (9)$$

$$\Lambda(\eta) = \eta \operatorname{erf}(\eta) + \eta + \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\eta^2}$$

$$\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-t^2} dt$$

Q' : 単位時間、単位面積あたりの拡散ガス量 (m³/m²s)

m : 風に直角方向の面源の幅の1/2 (m)

n : 風に平行方向の面源の幅の1/2 (m)

その他の記号は点源式(6)と同じである(防液堤から蒸発・拡散する場合でも、防液堤から離れたところでの濃度が問題になるため、本調査では点源の式を使用した)。

4. 火災・爆発モデル

(1) 液面火災

ア. 火災の放射熱

火災から任意の相対位置にある面が受ける放射熱は次式で与えられる。

$$E = \phi \epsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots (10)$$

E : 放射熱強度 (J/m²s)

T : 火炎温度 (K)

σ : ステファン・ボルツマン定数 (5.6703×10⁻⁸ J/m²sK⁴)

ε : 放射率

φ : 形態係数 (0.0~1.0の無次元数)

実用上は、燃焼液体が同じであれば火炎温度と放射率は変わらないと仮定し、

R_f = ε σ T⁴ (J/m²s) とおいて次式で計算してよい。

$$E = \phi R_f \dots\dots\dots (11)$$

ここで R_f は放射発散度と呼ばれ、主な可燃性液体については表2.2 に示すような値をとる。なお、放射熱の単位は慣習的に $\text{kcal/m}^2\text{h}$ が用いられることが多いため、以下では両方の単位を併せて示す。

表 2.2 主な可燃性液体の放射発散度

(単位： $\text{J/m}^2\text{s}$ 、括弧内は $\text{kcal/m}^2\text{h}$)

可燃性液体	放射発散度	可燃性液体	放射発散度
カフジ原油	41×10^3 (35×10^3)	メタノール	9.8×10^3 (8.4×10^3)
ガソリン・ナフサ	58×10^3 (50×10^3)	エタノール	12×10^3 (10×10^3)
灯油	50×10^3 (43×10^3)	LNG (メタン)	76×10^3 (65×10^3)
軽油	42×10^3 (36×10^3)	エチレン	134×10^3 (115×10^3)
重油	23×10^3 (20×10^3)	プロパン	74×10^3 (64×10^3)
ベンゼン	62×10^3 (53×10^3)	プロピレン	73×10^3 (53×10^3)
n-ヘキサン	85×10^3 (73×10^3)	n-ブタン	83×10^3 (71×10^3)

イ. 形態係数

①円筒形の火災

円筒形の火災を想定し、図2.1 に示すように受熱面が火炎底面と同じ高さにある受熱面を考えたとき、形態係数は次式により与えられる。また、受熱面が火炎底面と異なる高さにある場合の形態係数の計算は図2.2 による。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right]$$

..... (12)

$$A = (1 + n)^2 + m^2$$

$$B = (1 - n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

H : 火炎高さ (m)

R : 火炎底面半径 (m)

L : 火炎底面の中心から受熱面までの距離 (m)

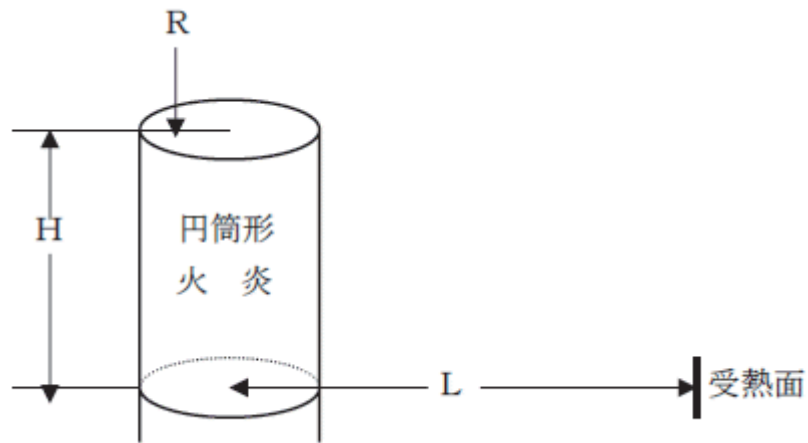


図 2.1 円筒形火災と受熱面の位置関係

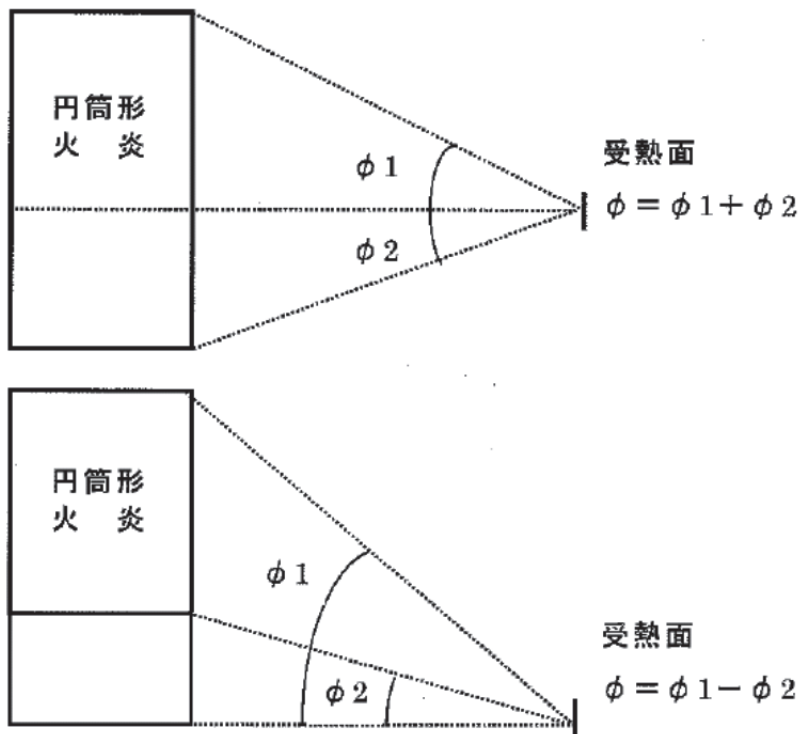


図 2.2 受熱面の高さによる形態係数の計算例

②直方体の火災

直方体の火災を想定したときの形態係数は、図2.3 に示すような受熱面の位置に対して次式により与えられる。

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{X}{\sqrt{X^2 + 1}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{X^2 + 1}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + 1}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 + 1}} \right) \right\}$$

..... (13)

$$X = \frac{H}{L}$$

$$Y = \frac{W}{L}$$

H : 火炎高さ (m)

W : 火炎前面幅 (m)

L : 火炎前面からの受熱面までの距離 (m)

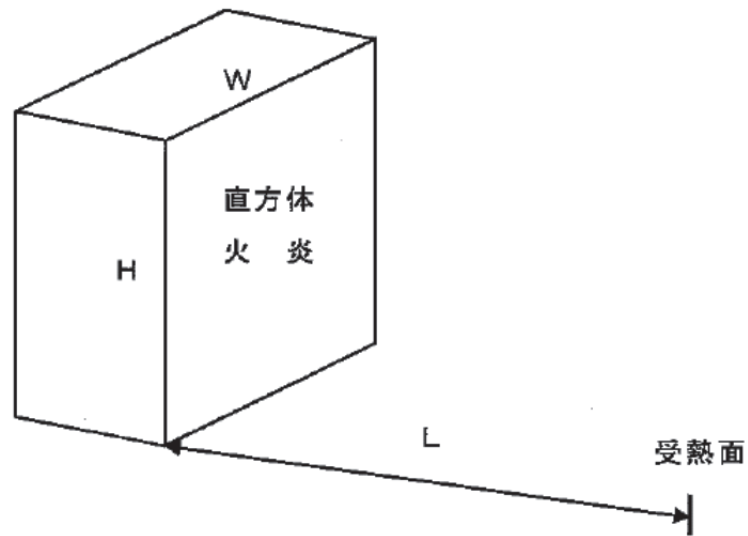


図 2.3 直方体火炎と受熱面の位置関係

ウ. 火炎の想定

液面火炎による放射熱を計算するためには火炎の形状を決める必要があり、一般に次のような想定がよく用いられる。

① 流出火炎

可燃性液体が小さな開口部から流出し、直後に着火して火炎となるような場合には、火炎面積は次式で表わされる。

$$S = \frac{q_L}{V_B} \dots\dots\dots (14)$$

S : 火炎面積 (m²)

q_L : 液体の流出率 (m³/s)

V_B : 液体の燃焼速度 (液面降下速度 m/s)

燃焼速度は、可燃性液体によって固有の値をとり、主な液体については表2.3 に示すとおりである。

流出火災については、式(14)で得られる火災面積と同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍($m=H/R=3$)の円筒形火炎を想定して放射熱の計算を行った。

表 2.3 主な可燃性液体の燃焼速度（液面降下速度）

可燃性液体	放射発散度 (m/s)	可燃性液体	放射発散度 (m/s)
カフジ原油	0.52×10^{-4}	メタノール	0.28×10^{-4}
ガソリン・ナフサ	0.80×10^{-4}	エタノール	0.33×10^{-4}
灯油	0.78×10^{-4}	LNG (メタン)	1.7×10^{-4}
軽油	0.55×10^{-4}	エチレン	2.1×10^{-4}
重油	0.28×10^{-4}	プロパン	1.4×10^{-4}
ベンゼン	1.0×10^{-4}	プロピレン	1.3×10^{-4}
n-ヘキサン	1.2×10^{-4}	n-ブタン	1.5×10^{-4}

② タンク火災

可燃性液体を貯蔵した円筒形タンクの屋根全面で火災となった場合には、タンク屋根と同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍($m=H/R=3$)の円筒形火炎を想定して放射熱の計算を行った。

③ 仕切堤・防油堤火災

可燃性液体が流出し防油堤や仕切堤などの囲いの全面で火災となった場合には、囲いと同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍($m=H/R=3$)の円筒形火炎を想定した。

エ. 火災の規模による放射発散度の低減

液面火災では、火災面積(円筒底面)の直径が10mを超えると、空気供給の不足により大量の黒煙が発生し放射発散度が低減する。したがって、このことを考慮せずに上記の手法で放射熱を計算すると、火災規模が大きいときにはかなりの過大評価となる。

実験により得られた火炎(燃焼容器)直径と放射発散度との関係を図2.4 に示す。これによると、火炎直径が10mになると放射発散度の低減率は約0.6、20mでは約0.4、30mでは約0.3となる。

一方、平成10年から11年に石油公団(現石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が消防研究所(現消防庁消防大学校消防研究センター)等と共同で行った燃焼実験の結果、燃焼容器直径(D)と放射発散度(r)の関係として次式が示されている(図2.5)。

$$r = \exp(-0.06D) \dots \dots \dots (15)$$

本調査では、式(15)を適用して低減率を算出した。放射発散度の下限值については、 $D=20\text{m}$ に対して $r=0.3$ 、 $D=30\text{m}$ に対して $r=0.17$ という低減率になるが、火炎直径の大きいところでのデータが少ないため、 $r=0.3$ を下限とした。

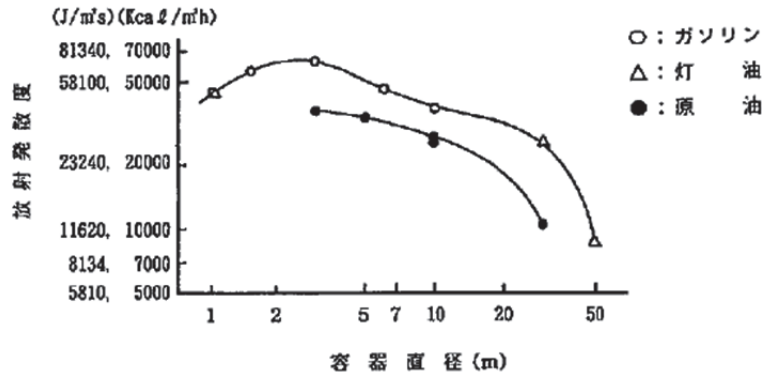


図 2.4 燃焼容器直径と放射発散度との関係^a

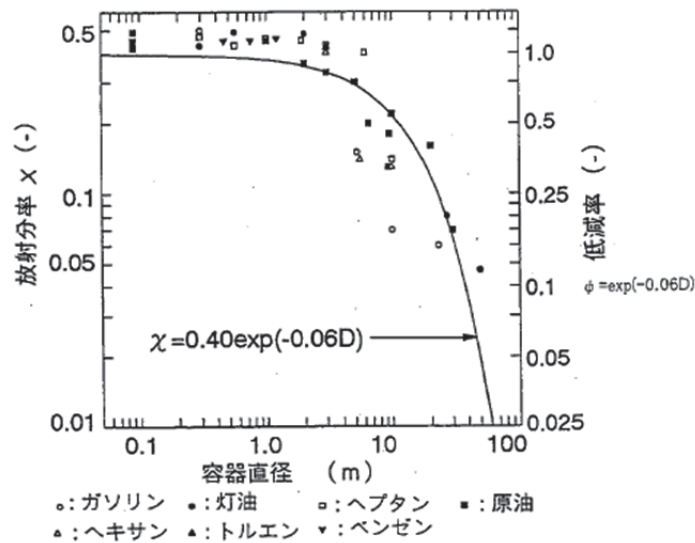


図 2.5 各種燃料の放射分率と燃焼容器直径との関係^b
(図中の式は、原油火災に対するもの)

^a 湯本太郎他：大規模石油火災からの放射熱の推定，安全工学 Vol.21 No.4，1982

^b 石油タンク等の災害想定について，石油公団・危険物保安技術協会，平成14年3月

(2) ガス爆発（蒸気雲爆発）

流出した可燃性ガス（液化ガスを含む）が拡散し、空気との混合が進んだ後に着火した場合、激しい爆風圧を発生する爆轟が起こる可能性がある。この際の爆風圧と爆発中心からの距離との関係は、TNT 等価法による次式で与えられる。

$$R = \lambda \sqrt[3]{W_{TNT}} = \lambda \sqrt[3]{\frac{W_G f \psi Q_G \gamma}{Q_T}} \dots\dots\dots (16)$$

- R : 爆心からの距離 (m)
- λ : 換算距離 (m/kg^{1/3})
- W_{TNT} : 等価のTNT 火薬量 (kg)
- W_G : 可燃性ガスの流出量 (kg)
- Q_G : 可燃性ガスの燃焼熱量 (J/kg)
- Q_T : TNT 火薬の燃焼熱量 (4.184×10⁶J/kg)
- f : ガスの気化率 (フラッシュ率)
- ψ : 爆発係数 (0.1)
- γ : TNT 収率 (0.064)

爆発係数は流出ガスのうち爆発に寄与するガスの割合であり、通常0.1（10%）が用いられる。また、TNT 収率は爆発に寄与したガスの総エネルギーと、この場合に生じた爆風圧に相当するTNT 当量のエネルギーの割合であり、通常安全側の評価を見込んで0.064（6.4%）が用いられる。

換算距離 λ は、図2.6 により爆風圧 (Pa) と対応する。この図の換算距離 (λ) と爆風圧 (P) との関係は次のような近似式で表すことができる（ただし、爆風圧の単位は kgf/cm² ^a）。

- P < 0.035 : $\lambda = 2.7944 P^{-0.71448}$
- 0.035 ≤ P < 0.2 : $\lambda = 2.4311 P^{-0.75698}$
- 0.2 ≤ P < 0.65 : $\lambda = 3.143 P^{-0.59261}$
- P ≥ 0.65 : $\lambda = 3.2781 P^{-0.48551}$

なお、高圧ガス保安法では、式(16)を次式のように表し、Kの値をガスの種類ごとに示している。

$$R = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K W_G} \dots\dots\dots (17)$$

- R : 爆心からの距離 (m)
- λ : 換算距離 (m/kg^{1/3})

^a 石油工学協会編：安全工学講座2・爆発，1983

- K : ガスの種類ごとに与える
 (高圧ガス保安法・コンビナート等保安規則 (別表二) による)
- W_G : 可燃性ガスの流出量 (kg)

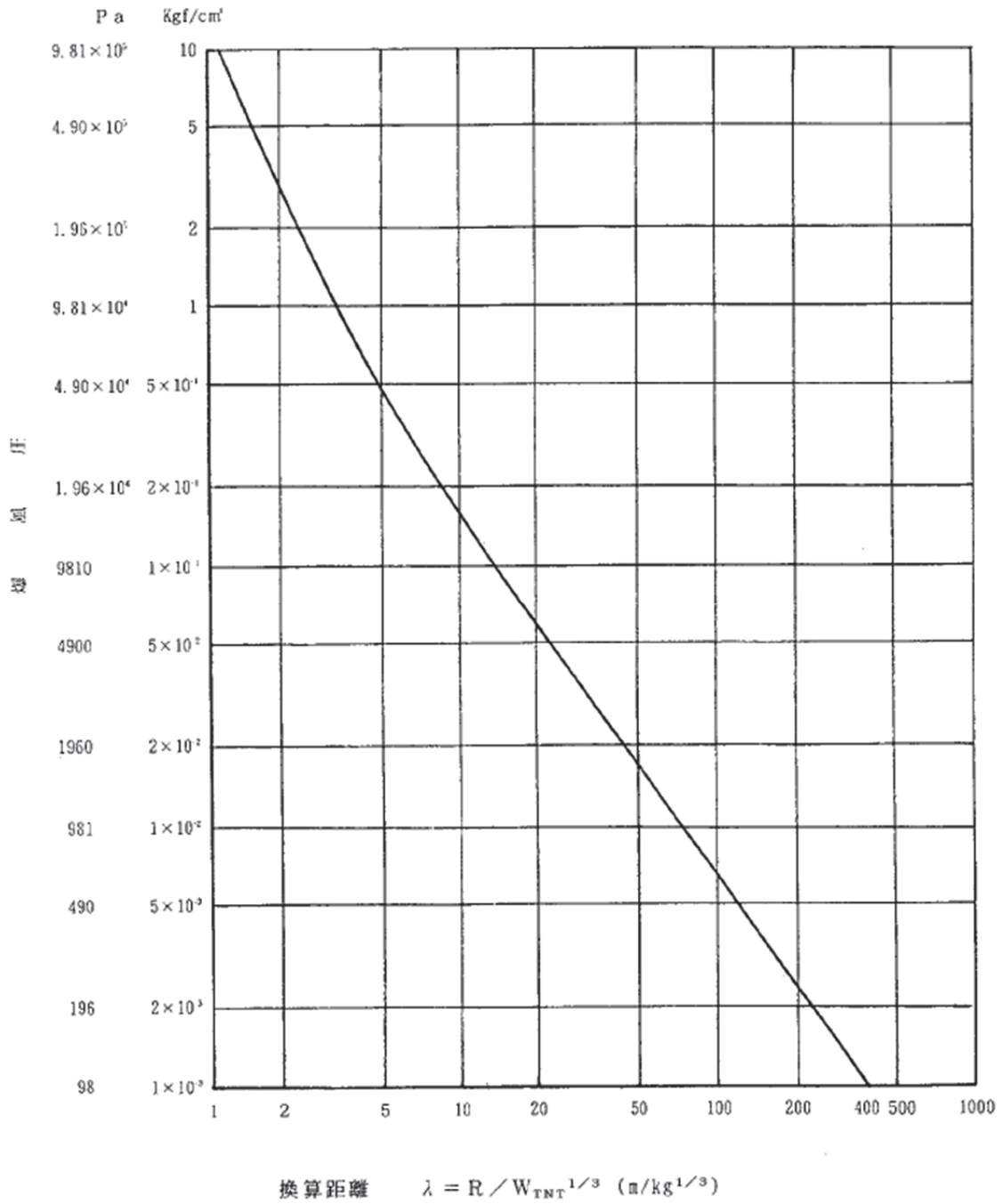


図 2.6 換算距離 λ と爆風圧との関係^a

^a 石油コンビナート災害想定の手法 (消防地第 180 号), 石油コンビナート防災診断委員会, 昭和 55 年 6 月 25 日

(3) ファイヤーボール

ガス爆発（蒸気雲爆発）にはファイヤーボールを伴うことがある。特に、東日本大震災での事例で見られたように、LPGタンクがBLEVEにより破損した場合には、巨大なファイヤーボールが形成され、主に放射熱によって周囲に大きな影響を与える恐れがある。

ア. 直径・継続時間

ファイヤーボールの直径、継続時間及びファイヤーボールの中心の高さに関する算定式は、次式（AIChE(2010)）で与えられる。

$$\begin{aligned} D &= 5.8W_g^{1/3} \\ t &= 0.45W_g^{1/3} \quad (W_g < 30,000\text{kg}) \dots\dots\dots (18) \\ t &= 2.6W_g^{1/6} \quad (W_g > 30,000\text{kg}) \\ H &= 0.75D \end{aligned}$$

- W_g : 可燃性ガス量 (kg)
- D : ファイヤーボール直径 (m)
- t : 継続時間 (s)
- H : ファイヤーボールの中心の高さ (m)

なお、ファイヤーボールの直径及び継続時間と可燃性ガス量との関係については、実験に基づきいくつかのモデルが提案されているが、上式はそれらの平均値を与えるものである。

イ. 放射熱

ファイヤーボールから受ける放射熱は、ステファン・ボルツマンの法則に基づいた次式で表される。

$$E = \phi R_f = \phi \epsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots (19)$$

- E : ファイヤーボールから受ける放射熱 (W/m²)
- R_f : ファイヤーボールが発散する放射熱 (= ε σ T⁴: W/m²)
- T : ファイヤーボールの温度 (K)
- σ : ステファン・ボルツマン定数 (=5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴)
- ε : 放射率
- φ : 形態係数

形態係数 ϕ は、ファイヤーボールを球形と仮定し、球の中心に正対した受熱面を想定すると次式で表される。

$$\phi = \left(\frac{D}{2L} \right)^2 \dots\dots\dots (20)$$

D : ファイヤーボール直径 (m)
L : ファイヤーボール中心から受熱面までの距離 (m)

式 (19) で、ファイヤーボールを1750Kの完全黒体 ($\epsilon = 1.0$) とし、形態係数として式 (20) を代入すると次のようになる。

$$E = 1.33 \times 10^5 \left(\frac{D}{L} \right)^2 \dots\dots\dots (21)$$

(4) フラッシュ火災

フラッシュ火災とは、可燃性蒸気雲の燃焼で火炎伝播速度が比較的遅く過圧が無視できるものをいう。この場合、爆風圧よりも放射熱が問題になるが、放射熱の影響を算定するためのモデルはほとんど開発されていない。そのため、燃焼プロセスが穏やかで持続時間が短いこと、ガス雲の熱膨張は浮力により鉛直上方に起こることを仮定して、ガス濃度が爆発下限界またはその1/2 以上となる範囲を危険とする評価がよく用いられる。

(5) 飛散物

容器の破裂による破片の飛散範囲は、破裂エネルギーのほか、破片の数、重量や形状、射出角度や初速度により異なる。

LPG容器のBLEVEに伴う破片の飛散範囲に関しては、次のような簡易式で表される。

$$\begin{aligned} L &= 90M^{0.333} && \text{(容積5m}^3\text{未満の容器)} \dots\dots\dots (22) \\ L &= 465M^{0.10} && \text{(容積5m}^3\text{以上の容器)} \end{aligned}$$

L : 破片の最大飛散範囲 (m)
M : 破裂時の貯蔵物質質量 (kg)

参考資料3 コンビナート地区の気象条件

1. 気象条件の設定

評価施設においてガスの漏洩が生じると、ガスは大気中を風下方向に拡散するが、その時の拡散ガスの濃度分布は、風向や風速、大気安定度に影響される。

大気安定度とは大気の状態を表す指標で、「不安定」「やや不安定」「中立」「安定」の4つの階級がある。一般に、大気が不安定な状態ではガスがよく拡散され、拡散幅は広く、拡散距離は短くなる。逆に大気が安定な状態ではガスがほとんど拡散されず、拡散幅は狭く拡散距離は最も長くなる。

本調査では、特別防災区域周辺の測定局について、ガス拡散濃度の算定に必要な気象条件の設定を行うこととした。設定内容は、表3.1 のとおりである。

風向・風速については、特別防災区域の気象を代表する神栖消防測定局の観測値を用いることとした。大気安定度を求めるための日射量については、特別防災区域近傍で測定を行っている潮来保健所測定局の観測値を用いることとした。

気象条件における対象期間は、平成16（2004年）4月～平成26年（2014年）3月の10年間とした。

表 3.1 ガス拡散濃度の算定に必要な気象条件の設定

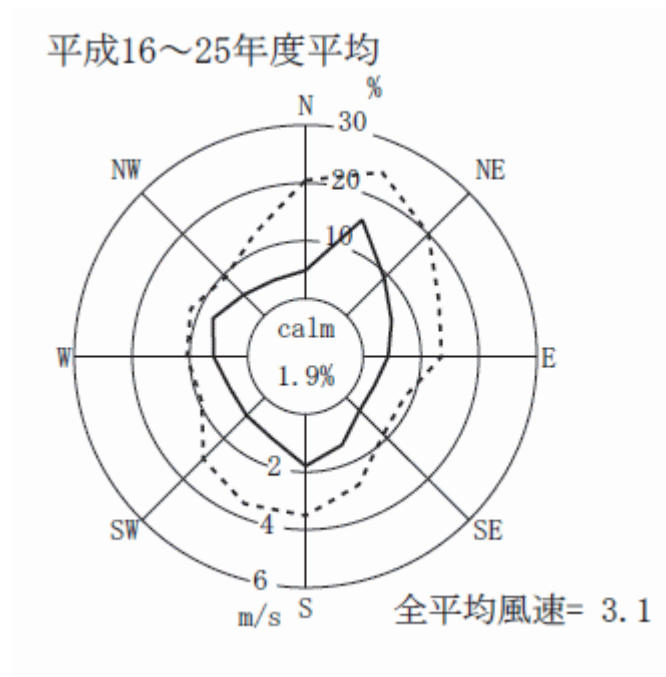
測定局名称	住所	収集データ		風速計 の 高さ (m)
		風向・風速	日射量	
神栖消防	神栖市溝口 4994-5	●		12
潮来保健所	潮来市大洲 1446-1		●	—

2. 風向及び風速

風速については、次式により10m高さにおける風速に換算した。

$$\text{換算風速} = \text{測定した風速} \times (10 / \text{風速計の高さ})^{0.25}$$

10m高さに換算した平成16年度～平成25年度の10年間の風配図を図3.1 に、風向頻度及び平均風速を表3.2 に、それぞれ示した。



注) calmとは、風速0.4m/s未満を表す。

図3.1 風配図 (神栖消防, 高さ10m補正)

表 3.2 風向頻度分布及び平均風速 (神栖消防)

(単位：%)

年度	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	calm	平均風速 (m/s)
H16	5.6	14.9	9.6	6.3	3.8	2.6	3.5	6.6	11.0	5.3	4.0	4.1	6.3	7.4	4.1	4.0	0.9	3.4
H17	5.7	15.7	9.3	6.8	4.5	3.4	3.7	6.6	6.8	4.6	4.5	4.8	6.5	7.5	4.6	4.0	1.2	3.2
H18	5.3	14.4	10.9	6.7	4.5	4.4	4.8	5.6	7.7	4.1	3.4	4.2	6.1	7.5	5.4	4.1	0.8	3.2
H19	4.1	13.4	8.8	6.5	4.4	2.6	3.1	7.3	9.4	5.5	3.8	4.5	6.9	8.2	5.9	4.7	1.0	3.2
H20	6.8	17.2	10.6	6.5	5.4	2.9	2.9	6.1	6.4	3.9	3.7	3.8	5.9	6.3	4.7	4.3	2.5	3.0
H21	4.8	20.5	10.0	7.1	5.5	2.8	2.8	5.5	7.2	5.2	4.5	3.9	5.0	5.4	3.8	3.2	2.8	3.1
H22	3.8	13.4	10.0	6.5	4.0	2.7	2.4	6.9	10.8	6.2	5.2	4.0	5.7	6.8	4.7	4.1	2.6	3.0
H23	4.2	17.7	7.6	5.0	3.8	2.2	2.8	7.0	10.6	6.0	4.8	3.9	5.3	7.3	4.9	4.7	2.2	3.1
H24	4.1	13.3	7.6	4.2	3.8	2.9	3.4	7.0	9.5	5.5	5.1	4.6	5.9	8.9	6.2	5.2	2.6	2.9
H25	4.1	15.1	7.8	5.6	3.3	2.7	2.9	6.3	9.8	6.2	5.3	4.4	5.7	7.4	6.2	5.0	2.4	3.0
平均	4.9	15.6	9.2	6.1	4.3	2.9	3.2	6.5	8.9	5.3	4.4	4.2	5.9	7.3	5.1	4.3	1.9	3.1

注1) 風向N~NNWについては、N(北)~NNW(北北西)の各方向から吹いてきた風を表す。

注2) calmとは、風速0.4m/s未満を表す。

3. 大気安定度

大気安定度は、風速と日射量との関係より、表3.3 のように求めた。

表 3.3 大気安定度階級

風速 U (m/s)	日中：日射量 Q (MJ/m ²)				夜間
	Q ≥ 2.16	2.16 > Q ≥ 1.08	1.08 > Q ≥ 0.54	0.54 > Q	Q = 0
U < 2	不安定	不安定	不安定	中立	安定
2 ≤ U < 3	不安定	不安定	やや不安定	中立	中立
3 ≤ U < 4	不安定	不安定	やや不安定	中立	中立
4 ≤ U < 6	やや不安定	やや不安定	中立	中立	中立
6 ≤ U	やや不安定	中立	中立	中立	中立

注) 「有害大気汚染物質に係る発生源周辺における環境影響予測手法マニュアル（経済産業省—低煙源工場拡散モデル：METI-LIS）、関東経済産業局、平成13(2001)年3月」に基づき設定。

不安定 : 風が弱く日照りの時に現れる状態。地表付近が高温で上空が低温という気温の鉛直分布が出現するため、対流がよく起こる。

やや不安定 : 不安定と中立の中間の状態。

中立 : 曇りや風の強い場合などに現れる状態。この場合は、周囲との温度差がないため、上下方向の動きは起きない。

安定 : 風が弱くよく晴れた夜間などに現れる、放射冷却が進んだ状態。気温分布が不安定型とは逆になって、対流がほとんど起こらない。

平成16年度～平成25年度の10年間の風速及び日射量の観測値を用いて、1時間毎の大気安定度を推定した結果を表3.4 に示した。中立が多く出現している。

表 3.4 大気安定度と平均風速の集計結果

大気安定度	神栖消防
不安定	13,830
やや不安定	9,540
中立	43,707
安定	20,215

4. ガス拡散濃度の算定に用いる気象条件

本調査におけるガス拡散の算定に用いる気象条件を、表3.5 に示した。

表 3.5 ガス拡散濃度の算定に用いる気象条件

地区	風速 (m/s)	大気安定度
高松・東部・西部	3.1	中立

参考資料4 短周期地震動の想定について

茨城県への影響が比較的大きくなると考えられる地震（動）を表4.1に示す。

表4.1 茨城県への影響が大きくなると考えられる地震（動）

情報源		茨城県において 利用可能な地震データ	規模(M)	震度 ^{注1}	備考
茨城県 ^{注2}	平成9年度茨城県地震被害想定調査報告書（平成10年3月）	茨城県南西部西側	M7.0	5弱	・茨城県南西部西側及び茨城県南西部東側は、南関東地域直下の地震対策に関する大綱（平成4年8月）の想定に基づきM7.0と設定 ・塩屋崎沖地震 ^{注3} は昭和13年に発生した地震の再来を想定
		茨城県南西部東側	M7.0	5強	
		塩屋崎沖地震	M7.8	5弱	
内閣府	日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告（平成18年1月）	宮城県沖	M7.6 (陸側)	4	・宮城県沖以外 ^{注4} は、茨城県における推計結果は提供されていない
	首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書（平成25年12月）	茨城県南部地震	M7.3	5強	・茨城県南部地震はデータ（メッシュ毎の計測震度）未公開であり、相模トラフ沿いの最大クラスの地震はデータ公開予定なし
		大正関東地震	M8.2	5弱	
		元禄関東地震	M8.5	5弱	
		相模トラフ沿いの最大クラスの地震	M8.7	5強	
フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布	M7.3 M6.8	6強			
【参考】地震調査研究推進本部	確率論的地震動予測地図 ^{注5}	30年3%、50年5%、50年2%の地震動等	-	50年2% で 6強～7	・防災アセスメントにおいて独自に地震の想定を行う方法の一つとして、指針に記載あり

注1) 鹿島石油コンビナート地区で卓越する震度

注2) 茨城県地域防災計画（平成26年3月）によると、茨城県に被害をもたらす可能性のある地震として、茨城県南部地震（中央防災会議により想定されているM7.3の地震）、茨城県沖を含む三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間地震（津波地震）、東海地震、その他が挙げられている。

注3) 地震調査研究推進本部HPによると、福島県沖に分類されている。

注4) 強震動としては、択捉島沖、色丹島沖、根室沖・釧路沖、十勝沖・釧路沖、三陸沖北部、宮城県沖が想定されている。なお、明治三陸地震（津波地震）は津波のみ対象で、福島県沖・茨城県沖、海洋プレート内地震は繰り返し発生の可能性が低いことから、強震動・津波とも対象外としている。

注5) ある地点で、ある期間（ここでは、今後30年または50年）内に想定される揺れの大きさを超える確率を「超過確率」と言うが、確率論的地震動予測地図は、揺れの大きさとその超過確率のうち、一方の値を固定して、もう一方の値を示した地図を指す。本予測地図では、主要活断層帯で発生する固有地震、海溝型地震の他、震源断層を予め特定しにくい地震等も対象としており、それらの結果の重ね合わせとして震度や超過確率が算出される。

消防庁指針では、地震の想定について、「地域防災計画において想定される地震・津波の中で、石油コンビナートに最大の影響を及ぼす地震・津波を想定することを原則とする」とある。茨城県では地域防災計画の中で、地震災害対策計画の基本方針として、「平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災や平成23年3月に発生した東日本大震災の教訓を踏まえ、震度7の地震や広域的な被害を発生させる地震を想定した防災対策の確立を図る」としているものの、地震被害想定調査としては、茨城県南西部東側で起こる地震（M7.0、鹿島コンビナート地区において卓越する震度は5強）等を想定しており、東日本大震災の経験^aを踏まえ、これを想定地震とすることは適当ではない。

表4.1の中で、内閣府の首都直下地震モデル検討会による平成25年12月の報告書で示されている震度分布を

図に示す。

図から明らかなように、鹿島コンビナート地区においては、「フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布」が最大となるため、本調査ではこちらの震度分布を用いることとした。

フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布を図4.1に示す。

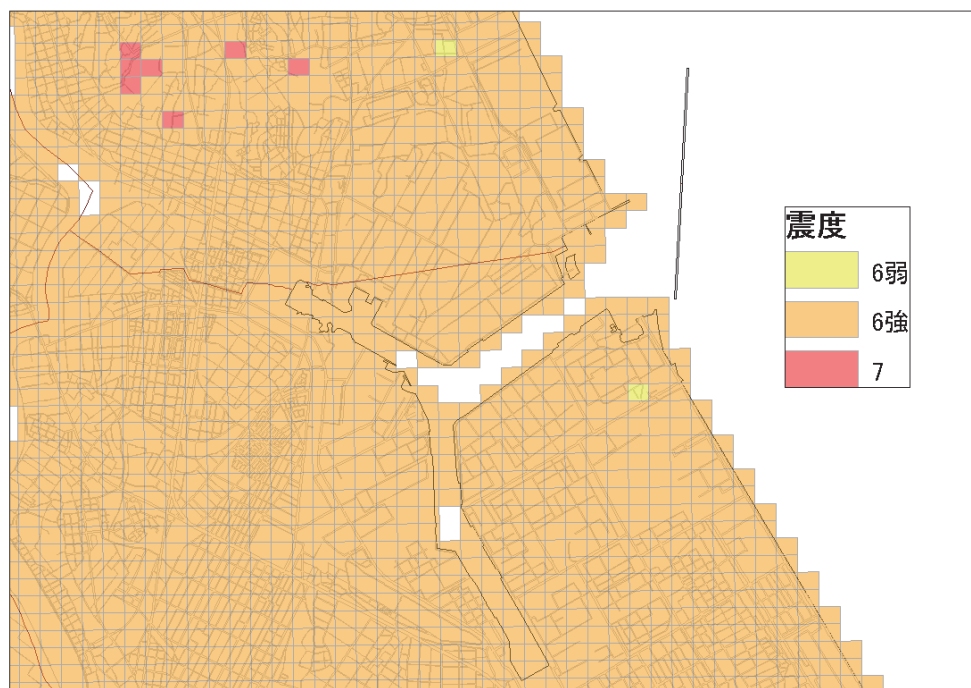
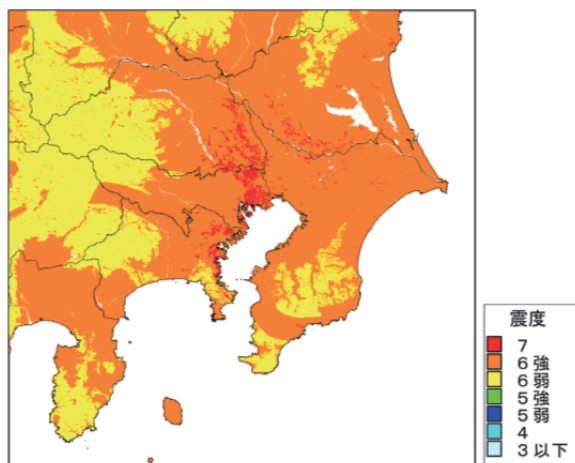
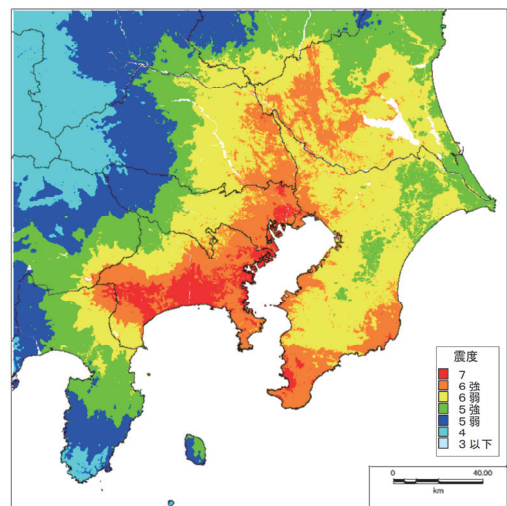
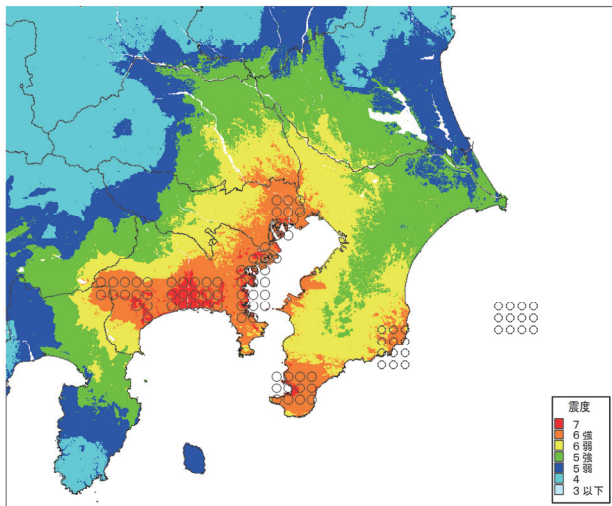
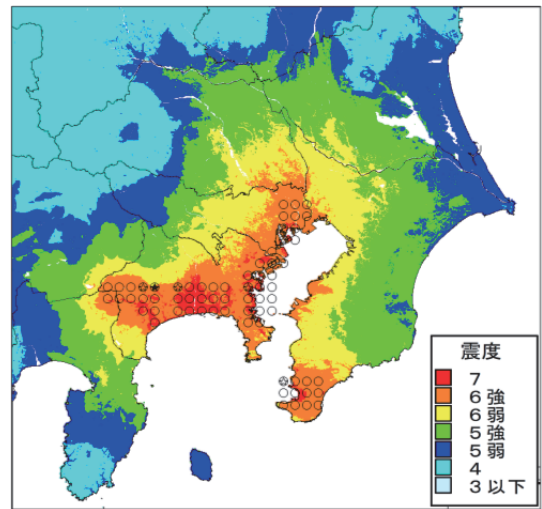
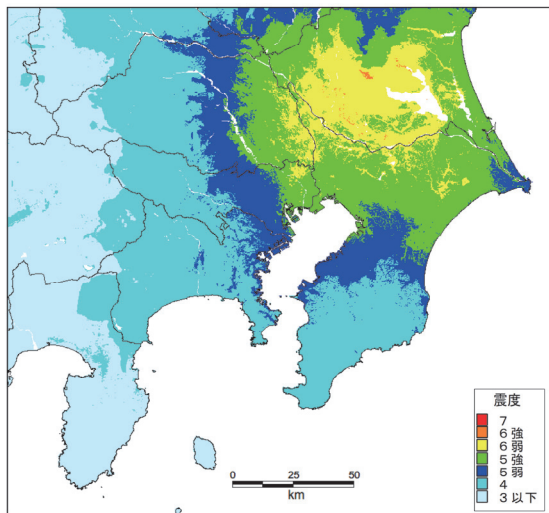


図 4.1 フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布^b

^a 鹿島コンビナート地区では震度6弱の揺れを観測した。

^b 内閣府 首都直下地震モデル検討会提供データより作成



フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震の震度を重ね合わせた震度分布 (図 75)

相模トラフ沿いの最大クラスの地震による震度分布 (図 115)

出典:「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書図表集 (首都直下モデル検討会, 平成 25 年 12 月)」

※括弧内の図表番号は上記報告書中の図表番号

図 4.2 内閣府の首都直下地震モデル検討会の報告書 (平成 25 年 12 月) で示されている震度分布

参考資料5 津波被害の算定方法

危険物タンクの浮き上がり及び滑動の判定については、消防庁から被害予測ツールが示されている。なお、このツールについては、総務省消防庁のホームページ^a からダウンロードして使うことができる。

浮き上がりについては、次式で示される滑動安全率 (F_{sa}) によって、被害のおそれを評価する。

$$F_{sa} = \frac{W_T + W_L}{F_{tv}} \dots\dots\dots (1)$$

- F_{sa} : 浮き上がり安全率
- W_T : タンクの自重 (kN)
- W_L : タンク内溶液の重量 (kN)
- F_{tv} : タンクに作用する津波による水平力 (kN)

浮き上がり安全率は、1 以下だと浮き上がりのおそれがあり、1 を超えるとおそれなしと評価される指標である。

滑動については、次式で示される滑動安全率 (F_{sb}) によって、被害のおそれを評価する。

$$F_{sb} = \frac{\mu(W_T + W_L - F_{tv})}{F_{th}} \dots\dots\dots (2)$$

- F_{sb} : 滑動安全率
- μ : タンク基礎とタンク本体の摩擦係数 (=0.5)
- F_{th} : タンクに作用する津波による鉛直力 (kN)

滑動安全率は、1 以下だと滑動のおそれがあり、1 を超えるとおそれなしと評価される指標である。

危険物タンクに作用する津波による水平力及び鉛直力を計算する式として、それぞれ次のものが提案されている。これらの式は水理模型実験に基づいて得られたものである。

^a 消防庁危険物保安室が配布している「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」
(<http://www.fdma.go.jp/concern/publication/simulatetool/>)

$$F_{IH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g \left[\alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos(m\theta) \right]^2 R \cos\theta d\theta \dots\dots\dots (3)$$

$$F_{IV} = 2 \int_0^{\pi} \rho g \left[\beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos(m\theta) \right] R^2 \cos^2\theta d\theta \dots\dots\dots (4)$$

- $p_0 = 0.680$
- $p_1 = 0.340$
- $p_2 = 0.015$
- $p_3 = -0.035$
- $q_0 = 0.720$
- $q_1 = 0.308$
- $q_2 = 0.014$
- $q_3 = -0.042$

- ρ : 海水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (=9.8m/s²)
- η_{\max} : 浸水深 (m)
- α : 浸水深と津波の流速に関するフルード数によって設定される係数
($1 \leq \alpha \leq 1.8$: 0.9以下の場合、一定値1とされる)
- β : 浸水深と津波の流速に関するフルード数によって設定される係数
($1 \leq \beta \leq 1.2$: 0.9以下の場合、一定値1とされる)
- θ : 津波到来方向となす角度 (rad)
- R : タンクの半径 (m)

参考資料6 石油タンクのスロッシングに伴う溢流量の算定方法

本調査では、スロッシングの非線形性を考慮した溢流量の算定方法^aを用いて、満液時における危険物タンクの最大溢流量を推定した。

スロッシングに伴う溢流量の算定手法の概要を以下に示す。

1. 溢流量の推定

非線形性を考慮したスロッシング最大波高 (η^+) とタンクの側板高さとの差を溢流高さ (δh)、スロッシングによる液面減少高さ (溢流により減少した液レベル) を Δ とする。溢流体積 (δv) が式(1)で表されるとすると、 Δ 、 δv 、 δh は、式(2)で表される関数がある。ここで、 r_0 は式(3)において、 $\eta^+(r_0, 0) = H_c$ を解いて求められ、 θ_0 は式(3)において $\eta^+(R, \theta_0) = H_c$ を解いて求められる。

$$\delta v = \delta h \cdot (R - r_0) \cdot R \cdot \theta_0 \cdots \cdots \cdots (1)$$

- δv : 溢流体積 (図6.1の斜線で示す部分)
- δh : 溢流高さ (m)
- r_0 : タンク側板高さにおける $\theta = 0^\circ$ の半径との交点
- θ_0 : 側板近傍においてスロッシング波高が H_c と等しくなる円周方向角度
- R : タンク半径

$$\frac{\Delta}{R} = \alpha \cdot \frac{\delta v}{R^3} = \alpha \cdot \frac{\delta h}{R} \cdot \frac{R - r_0}{R} \cdot \theta_0 \cdots \cdots \cdots (2)$$

- Δ : スロッシングによる液面減少高さ (m)
- α : 比例係数 (浮き屋根 : 0.4023)

$$\eta^+(r, \theta) = \eta_{\max}^{(1)} \cdot \frac{J_1\left(\varepsilon_1 \cdot \frac{r}{R}\right)}{J_1(\varepsilon_1)} \cdot \cos \theta + \frac{r}{R} \cdot \Delta \eta \cdot \cos 2\theta \cdots \cdots \cdots (3)$$

- J_1 : 第1種ベッセル関数 (1次)
- ε_1 : J_1 の $d J_1(x)/dx = 0$ の1番目の正根 (=1.84118)

従って、溢流量の推定値は式(4)により求められる。

^a 西春樹・他：石油タンクのスロッシングによる溢流量の算定，圧力技術第46巻第5号(2008)，p. 276-284

$$\begin{aligned}
\Delta v &= (\pi R^2) \cdot \Delta \\
&= (\pi R^2) \cdot (\alpha \delta v / R^2) \dots\dots\dots (4) \\
&= (\pi R^2) \cdot (\alpha \cdot \delta h \cdot (R - r_0) \cdot \theta_0 / R)
\end{aligned}$$

Δv : 溢流量 (kl)

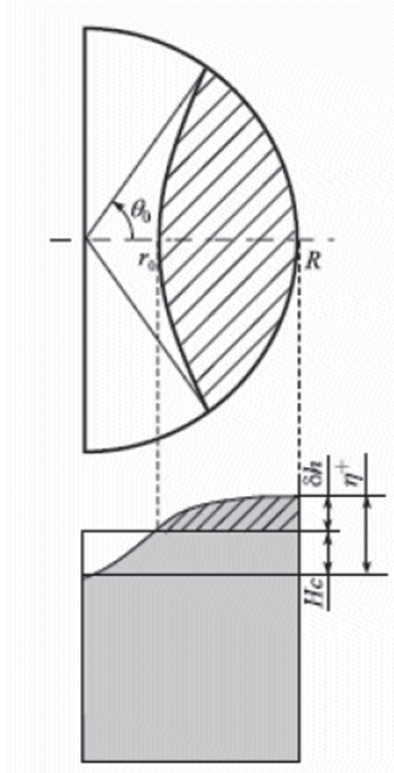
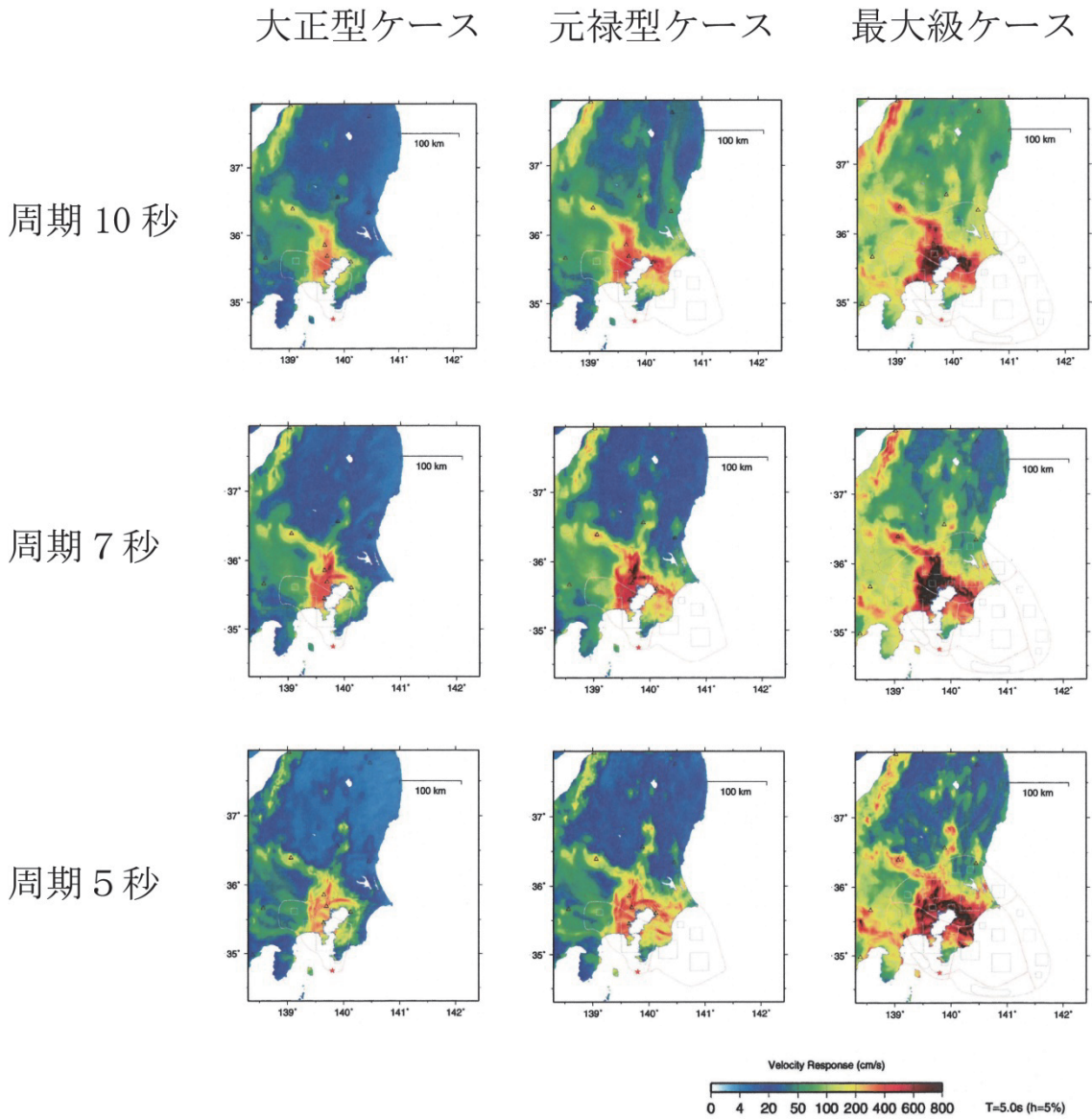


図6.1 非線形スロッシングによる溢流量の模式図^a

西らは、この結果はタンク直径が7.6mの場合で、余裕空間高さが20～50cm、最大波高が約30～60cmの場合の結果であるとし、過去の地震による実際の溢流量との比較検証を行っている。その結果、2003年十勝沖地震に対しては十分な適用性があるものの、実タンクへの適用については今後の更なる実験・検討が必要であるとしている。

^a 西春樹・他：石油タンクのスロッシングによる溢流量の算定，圧力技術第46巻第5号(2008)，p. 276-284

参考資料7 相模トラフ地震による水戸市と特別防災区域の速度応答スペクトル比較



参考資料 8 検討委員会構成員

茨城県石油コンビナート等防災アセスメント検討委員会 構成員

所 属 ・ 職 名 等	氏 名
横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授	大谷 英雄【委員長】
消防庁消防大学消防研究センター 主幹研究官	畑山 健
鹿嶋市環境経済部交通防災課長	新井 敏
神栖市生活環境部防災安全課長	野口 一三
鹿島地方事務組合消防本部警防課長	沼田 文彦
新日鐵住金株式会社鹿島製鐵所 安全環境防災部 環境防災室長	上山 隆徳
三菱化学株式会社鹿島事業所 環境安全部保安グループ グループマネージャー	平山 一道
花王株式会社鹿島工場 地区サービスセンター 環境安全課長	平野 清
茨城県生活環境部参事兼防災・危機管理局防災・危機管理課長	大高 均
茨城県生活環境部防災・危機管理局消防安全課長	関 武志

(敬称略：順不同)