1. 調査の進め方

1.1 調査目的

消防庁「石油コンビナートの防災アセスメント指針（平成 25 年）」[1]及び国の「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書（平成 21 年）」[2]等に示された手法に基づき、また、現在調査中の「広島県地震被害想定調査報告書」における地震動や津波の予測結果等も参考として、県内の石油コンビナート等特別防災区域において起こり得る災害を想定するため、特定事業者内の危険物タンクや高圧ガスタンク等について、平常時の事故、地震時及び津波時の被害の危険性を評価する。

また、それらの評価結果に基づき、想定される事故及び災害に備えた必要な防災対策を併せて検討する。

評価及び検討に当たっては、「広島県石油コンビナート等防災アセスメント検討委員会」を設置し、専門的見地からの指導・助言を受け、広島県石油コンビナート等防災アセスメントの報告書を取りまとめる。

1.2 調査の対象、項目

1.2.1 調査対象

（1）対象区域

石油コンビナート等特別防災区域（石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令（昭和 51 年政令第 192 号）及び石油コンビナート等特別防災区域の指定（昭和 51 年通商産業省・自治省告示第 1 号）で定める区域のうち、広島県に属する次の 4 区域（以下「特別防災区域」という。）を対象とした。

①福山・笠岡地区

②江田島地区

③能美地区

④岩国・大竹地区

---

[1] 東日本大震災での知見等を踏まえて、消防庁で「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の見直しが行われ、平成 25 年 3 月に公開された。このため、本調査では平成 13 年版を基に作業を進めつつ、最終的には平成 25 年版に準拠して各種評価を行った。
(http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/sekiyu_eikyohyoka/houkokusho/houkokusho_assessment.pdf)

[2] 我が国の沿岸部に設置されている代表的な大規模危険物施設である屋外タンク貯蔵所（石油タンク）を対象に、津波被害を簡便に予測する手法や屋外タンク貯蔵所の周囲で講じることのできる津波被害予防・軽減対策について取りまとめられた報告書である。
(http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h21/2105/210526-1houdou/02_stunami_houkokusyo.pdf)

表 1-1　各地区の特定事業所

地区名	事業所の種類	特定事業所
①福山・笠岡地区 （福山地区のみ整理）	第１種	ＪＦＥスチール㈱西日本製鉄所（福山地区） ヤスハラケミカル㈱福山工場
	第２種	日本化薬㈱福山工場 日石広島ガスＬＰＧネットワーク㈱
②江田島地区	第１種	伊藤忠エネクス㈱江田島油槽基地
③能美地区	第１種	鹿川ターミナル㈱
④岩国・大竹地区 （大竹地区のみ整理）	第１種	三菱レイヨン㈱大竹事業所 ㈱ダイセル大竹工場 三井化学㈱岩国大竹工場（大竹側）
	第２種	日本製紙㈱板紙事業本部大竹工場 大竹明新化学㈱

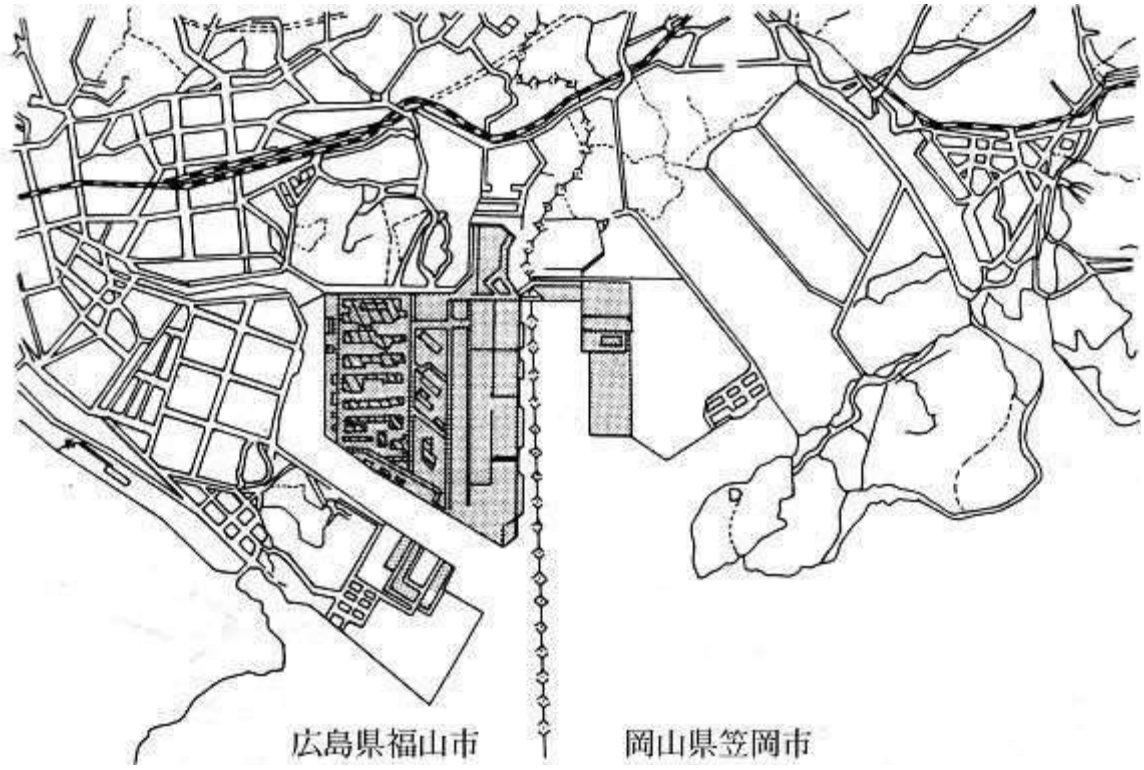
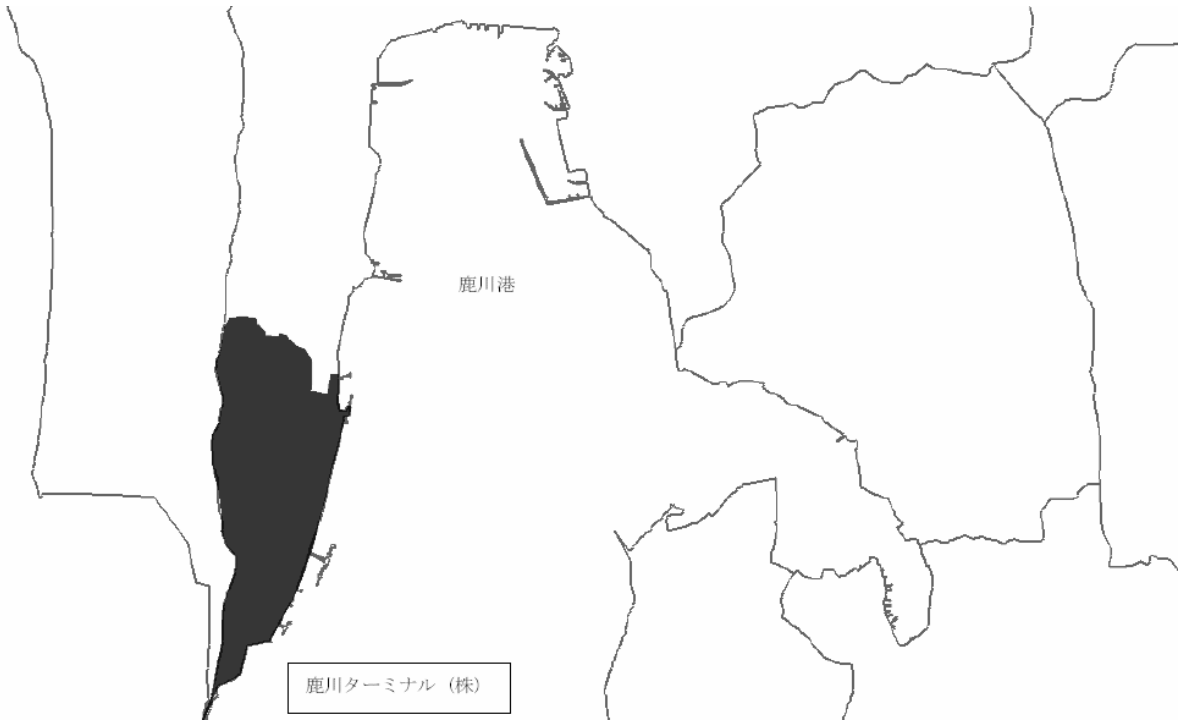


図 1-1　福山・笠岡地区の位置図

出典：福山・笠岡地区石油コンビナート等防災計画（平成２５年３月）

（１）江田島地区



（２）能美地区

図 1-2　江田島地区（上）、能美地区（下）の位置図

出典：広島県石油コンビナート等防災計画（江田島・能美地区）（平成２３年１０月）

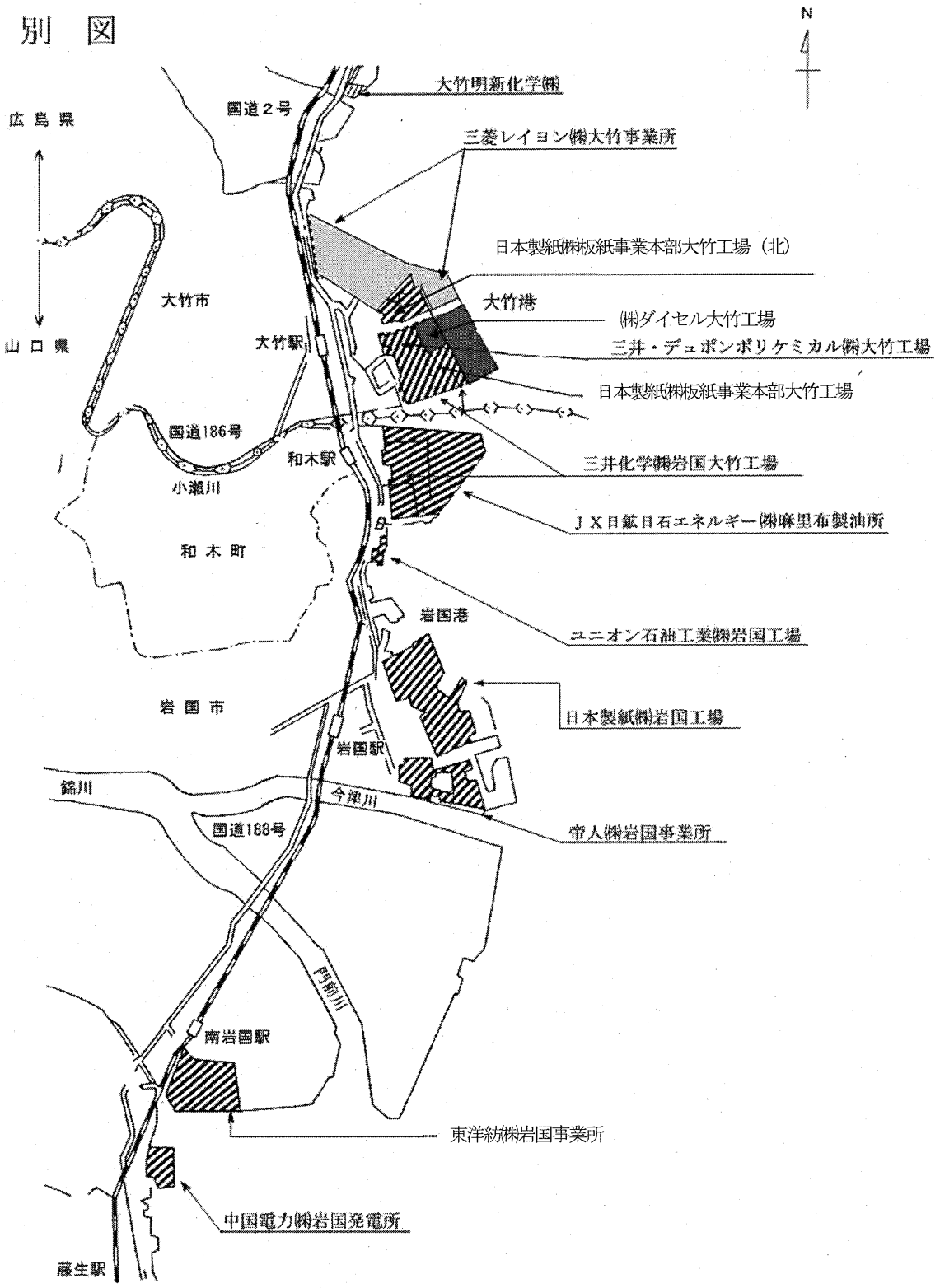


図 1-3　岩国・大竹地区の位置図

出典：岩国・大竹地区石油コンビナート等防災計画（平成２５年３月）

（２）評価対象施設

①危険物タンク

第４類危険物を貯蔵した、貯蔵量 500kl 以上の屋外タンク貯蔵設備を調査対象とした。調査にあたっては､「危険物の規制に関する政令」に定める技術上の基準に関する適合状況も調査し、以下のいずれのタンクに分類されるかを区別した。

○新法：昭和 52 年の技術基準（現行基準）に適合した新法タンク。

○旧法新基準・適合：平成 6 年の新基準に適合した旧法タンク。

○旧法新基準・不適：平成 6 年の新基準に適合しない旧法タンク。

○旧法新基準・不明：平成 6 年の新基準の適合が不明な旧法タンク。

②高圧ガスタンク

（ｉ）可燃性ガス貯蔵設備

可燃性ガス貯蔵設備については、以下の貯蔵設備を調査対象とした。

○高圧ガス保安法に基づく省令（コンビナート等保安規則・第５条）に示された KW 値が 10^6(1,000,000)以上の可燃性ガスの貯蔵設備

○電気事業法、ガス事業法に基づく可燃性ガスの貯蔵設備

（ⅱ）毒性ガス（可燃性・毒性ガスを含む。）貯蔵設備

毒性ガス（可燃性・毒性ガスを含む。）貯蔵設備については、石油コンビナート等災害防止法（昭和五十年十二月十七日法律第八十四号）「第二条第一号」に規定される高圧ガスであって、以下の 15 種類の毒性物質を貯蔵する設備を調査対象とした。貯蔵設備の取り扱い容量による、記入除外要件は設定しなかった。

○「石油コンビナート等災害防止法施行令」別表第一に掲げる毒物（3 種類）及び別表第二に掲げる劇物（11 種類）

○石油コンビナートでの取り扱いが多い硫化水素

表 1-2　毒性物質

毒物 *1	四アルキル鉛、シアン化水素、フッ化水素
劇物 *1	アクリルニトリル、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 *2	硫化水素

*1：「石油コンビナート等災害防止法施行令」別表第一に掲げる毒物（3 種類）及び別表第二に掲げる劇物（11 種類）

*2：石油コンビナートでの取り扱いが多い硫化水素

③毒物・劇物液体タンク

表１－２に該当する毒性物質で、上記①危険物タンク及び②高圧ガスタンクのいずれにも該

当しない毒物・劇物液体を貯蔵したタンクを調査対象とした。ただし、移動可能な容器で貯蔵されるものを除外した。

④プラント（危険物製造所、高圧ガス製造設備、発電設備）

次の施設を調査対象とした。

（ｉ）指定数量の 100 倍以上を取り扱う危険物製造所

（ⅱ）高圧ガス保安法に基づく省令（コンビナート等保安規則・第５条）に示された KW 値が 10^6(1,000,000)以上の石油精製プラント、石油化学プラント等の高圧ガス処理設備

（ⅲ）出力 10 万 kw 以上の発電用設備

⑤パイプライン

コンビナート区域外に存在するパイプライン（高圧ガス導管、事業所間危険物移送取扱所）を調査対象とした。

注）対象施設の現況については、2.2 節において事業者への調査結果を整理した。

（３）対象災害

可燃性液体（第４類危険物）の流出・火災、可燃性ガスの流出・火災・爆発、毒性ガスの流出・拡散を対象とした。

①平常時（通常操業時）の事故

②地震動による被害

・短周期地震動（強震動）による被害

・長周期地震動による危険物タンクのスロッシング[3]

③津波による被害

④大規模災害による被害

1.2.2 調査項目

（１）基礎データの収集・整理

防災アセスメントを実施するために必要な基礎データの収集・整理を行った。

①評価対象となる事業所・施設のデータ

（事業者や施設の配置、施設の属性、設置されている防災設備等）

②地盤データ（地震動予測結果、液状化危険度データ等）

③津波データ（津波予測結果）

④気象データ（風向、風速等）

[3] スロッシングとは、地震波とタンク内の液体が共振して液面が大きく揺れる現象であり、タンクのスロッシング固有周期とほぼ同じ周期の地震動が入力されることにより発生する。スロッシングによる被害としては、浮屋根の損傷、液体の溢流、浮屋根での火災の危険性がある。

（２）平常時の事故を対象とした評価

平常時（通常操業時）の事故における可燃性液体の流出・火災、可燃性ガスの流出・火災・爆発、毒性ガスの流出・拡散等の事故を対象とした以下の評価を行った。

①災害拡大シナリオの想定

②災害発生危険度（頻度）の想定

③災害の影響度の推定

④災害の発生危険度と影響度に基づいた総合的な評価

（３）地震動による被害を対象とした評価

ア　短周期地震動による被害

広島県地震被害想定調査報告書を基に、各石油コンビナート等特別防災区域への影響が最大となる短周期地震動（地表加速度及び震度）による被害を対象とした以下の評価を行った。

①災害拡大シナリオの想定

②災害発生危険度（頻度）の想定

③災害の影響度の推定

④災害の発生危険度と影響度に基づいた総合的な評価

イ　長周期地震動による被害

南海トラフ沿いで発生した紀伊半島南東沖地震（2004.9.5、23：57 分発生、M7.4）を基に座間（2000）の経験的手法で算出した長周期地震動の特性（速度応答スペクトル）により、危険物タンクのスロッシング被害を対象とした以下の評価を行った。

①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

②被害の想定・評価

（４）津波による被害を対象とした評価

津波を対象とした以下の評価を行った。

①東日本大震災等の過去の被害事例に基づく石油コンビナート等の津波被害に関する定性的評価

②危険物施設の津波･浸水対策に関する調査検討報告書（平成 21 年 5 月消防庁危険物保安室）等に基づく津波による危険物屋外タンク貯蔵所の被害に関するシミュレーション及び評価

（５）大規模災害の評価

（１）～（４）の調査・検討結果を基に、平常時には絶対に起こらないとは言えないが、既往災害を基に大規模地震時に発生するおそれのある大規模災害のシナリオ（事例等）を整理した。

（６）必要な防災対策の検討

（１）～（５）の防災アセスメントの調査・評価結果を基に、平常時の事故及び地震・津波時において発生するおそれのある災害に対する、必要な防災対策を検討した。

1.3 調査体制

防災アセスメントの実施に当たっては、防災アセスメントを行う際の調査範囲の検討や実施方法に関する指導・助言，及び防災アセスメント実施結果に対する考察を専門的見地から行うため、「広島県石油コンビナート等防災アセスメント検討委員会」を設置（平成 24 年 8 月 6 日）し、防災アセスメントの評価及び検討を行った。

表 1-3　広島県石油コンビナート防災アセスメント検討委員会の構成（敬称略）

委員長	小川　輝繁	横浜国立大学名誉教授、(公益財団法人) 総合安全工学研究所 専務理事
委　員	座間　信作	横浜国立大学　安心・安全の科学研究教育センター　客員教授
委　員	鈴木　和彦	岡山大学大学院自然科学研究科　産業創成工学専攻教授
委　員	垣内　智毅	中国四国産業保安監督部　保安課長
委　員	佐藤　哲郎	福山市企画総務局総務部　危機管理防災課長
委　員	高津　浩二	大竹市総務部総務課　危機管理監
委　員	加川　英也	江田島市総務部　危機管理課長
委　員	國本　美之	大竹市消防本部　消防課長
委　員	桂　俊二	江田島市消防本部　予防課長
委　員	直地　俊二	福山地区消防組合消防局警防部　予防課長
委　員	米山　泰之	JFE スチール株式会社西日本製鉄所（福山地区）　環境・防災室長
委　員	宮本　俊昭	伊藤忠エネクス株式会社江田島油槽基地　総務課長
委　員	奥村 忠義	鹿川ターミナル株式会社　安全環境部長
委　員	徳岡　敦	株式会社ダイセル大竹工場　安全環境部部長
委　員	宮本　隆之	広島県危機管理監　危機管理課長
委　員	藤井　修二	広島県危機管理監　消防保安課長（委員会事務局長）

1.4 評価の実施手順

広島県内の４つの石油コンビナート等特別防災区域を対象として、まず危険物タンク等の対象施設の「基礎データの収集・整理」を行った。

そして、その基礎データ及び消防庁指針を基に、平常時の事故の確率や地震による外力（揺れ、津波）を考慮して、「平常時の事故を対象とした評価（３章)」及び「地震動（短周期）による被害を対象とした評価（４章)」、「地震動（長周期）による被害を対象とした評価（５章)」、「津波による被害を対象とした評価（６章)」「大規模災害の評価（７章)」を行った、

また、これらの平常時の事故、地震（短周期、長周期）・津波による被害を対象とした評価、大規模災害の評価の結果を踏まえて、事故及び災害時に備えた「必要な防災対策の検討（８章)」を行った。

1章　調査の進め方
1.1 調査の目的
1.2 調査の対象、項目
1.3 調査体制
1.4 評価の実施手順
1.5 評価の手法
1.6 安全水準（平常時、地震時）
2章　基礎データの収集・整理
2.1 調査方法
2.2 調査結果
3章　平常時の事故を対象とした評価
3.1 災害の拡大シナリオの想定
3.2 災害の発生危険度の推定
3.3 災害の影響度の推定
3.4 総合的な危険度評価
4章　地震動（短周期）による被害を対象とした評価
4.1 想定地震の設定
4.2 災害の拡大シナリオの想定
4.3 災害の発生危険度の推定
4.4 災害の影響度の推定
4.5 総合的な危険度評価
5章　地震動（長周期）による被害を対象とした評価
5.1 長周期地震動による被害の評価方法
5.2 速度応答スペクトルの検討
5.3 評価結果
6章　津波による被害を対象とした評価
6.1 津波による被害の評価方法
6.2 被害予測ツールによる検討
6.3 評価結果
7章　大規模災害の評価
7.1 危険物タンクの災害
7.2 高圧ガス（可燃性）タンクの災害
8章　必要な防災対策の検討
8.1 基本となる防災対策の検討
8.2 地区別のアセスメント結果のまとめと防災対策

図 1-4　調査フロー

1.5 評価の手法[4]

1.5.1 基本的な考え方

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など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 図をもとに、それぞれの災害の特性に応じて次のような定量的評価を行い、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、地震時の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（一部）

なお、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もとに防災対策の要点を提示するにとどめた。

1.5.2 評価の手法

（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安全を要求するが、危険がまった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。

$$R = \sum_i F_i \times C_i$$

ただし、

R：評価対象とする系のリスク

Fi：事象 i の発生危険度

Ci：事象 i が発生したときの影響度

事象の発生危険度（Fi）は確率また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 として表わされ、0 と 1 の間の無次元数（単位を持たない数）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

[4] この項目は、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（消防庁特殊災害室、平成 25 年 3 月）の記載を参考にした。

年あたりの出現回数として「/年」という単位をつけて表わされることが多い。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（Ci）に関しては、評価の目的に応じて放射熱や爆風圧などの物理的作用が被害を及ぼす範囲の大きさ、死者数や負傷者数などの人的被害、損害額などの経済的損失が用いられる。

（2）防災アセスメントにおけるリスク評価

広島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 1-5** に示す。

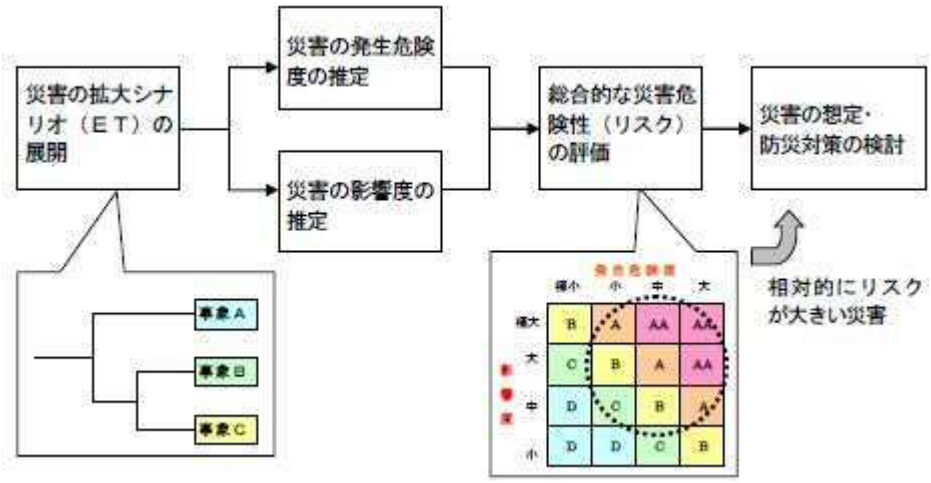


図 1-5　防災アセスメントにおけるリスク評価の基本概念

（3）確率的な評価手法

ア．イベントツリー解析

災害の発生危険度に関しては、確率的な安全性評価手法の 1 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）を見い出し、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。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ことにより、中間や末端に現わ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。イベントツリーの概念を**図 1-6** に示す。

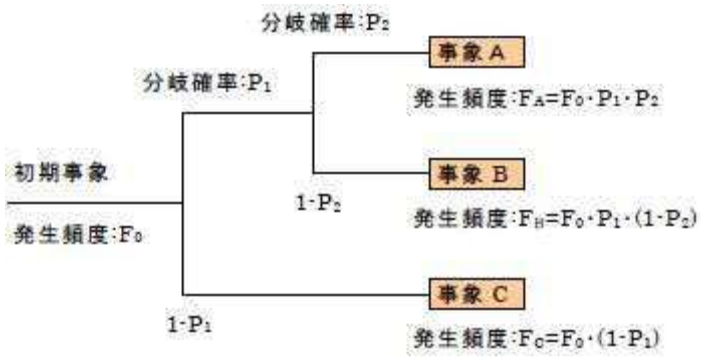


図 1-6　イベントツリーの概念図

イ．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）は、「三重県石油コンビナート防災推進事業　業務報告書」（平成 17 年 3 月）等の石油コンビナート等防災アセスメント報告書を参考として設定した。

ウ．リスクマトリクス

図 1-7 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。

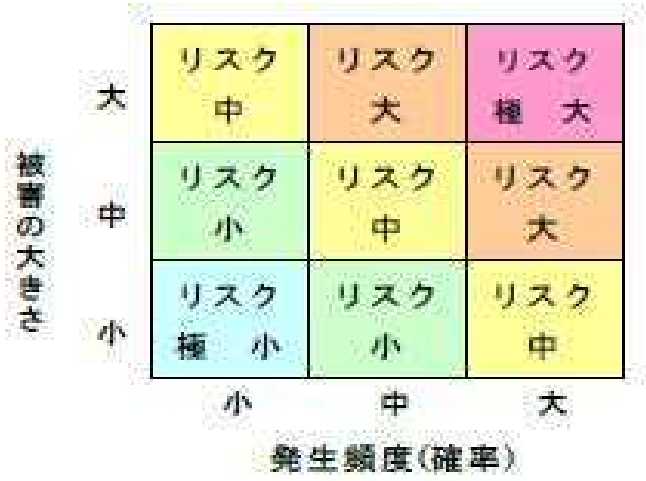


図 1-7　リスクマトリクスの概念図

1.5.3 評価のレベル（評価の細かさ）

この防災アセスメントは、広島県の石油コンビナート全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、したが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、取扱物質の種類やプロセス条件などは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入れてETA による確率的評価を行うことは困難なため、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（取扱物質の性状、貯蔵量や滞留量、取扱の温度、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応が困難な場合には、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、この結果をもとに施設の安全強化対策を検討することが望ましい。この意味で、今回、広島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対策を要求するものではない。

1.6 安全水準（平常時、地震時）

1.6.1 従来の安全水準

リスクアセスメントでは、重大なリスクを見落とさないようにイベントツリー分析等により出来るだけ幅広くリスクの抽出を行う。しかし、全てのリスクを対象としてリスク評価を行う場合には、現実的にほとんど起こりえないような発生確率が低いものも対象となり、全てのリスクの評価を行うことは現実的でない。

東日本大震災が発生する以前の石油コンビナート等防災計画においては、広島県や他の自治体の防災アセスメントでは、災害の影響度を検討する災害事象を抽出する発生確率の基準として、表 1-4 に示す安全水準を設定していた。これは，想定地震の発生頻度が 100 年当たり 1 回（1×10^{-2}/年）とみなしている。つまり，平常時は地震時の 100 倍発生しにくい災害事象まで対象としていることになる。

表 1-4　従来の防災アセスメントでの安全水準

区分	安全水準	安全水準の意味
平常時	10^{-6}/年	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
地震時（短周期）	10^{-4}/地震	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

1.6.2 本調査での安全水準

（1）平常時の事故を対象とした評価での安全水準

平常時については、表 1-4 に示す安全水準が全国的に採用されており基準となりうることから、表 1-4 と同じ安全水準を採用した。

（2）地震動による被害を対象とした評価での安全水準

①地震動（短周期）による被害を対象とした評価

東日本大震災の被害状況やこれにより得られた新たな知見を基に、消防庁が平成 25 年 3 月に改定した「石油コンビナートの防災アセスメント指針」において、地震時の安全水準を 10^{-4}/地震としているので、この安全水準を採用し 10^{-4}/地震以上の発生確率を持つ災害事象について影響度を検討することとした。

②地震動（長周期）による被害を対象とした評価

従来の評価と同様に、本評価でも確率論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大きさ（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、溢流の可能性を評価する。このため、長周期地震動による評価については、安全水準は設定しない。

（3）津波による被害を対象とした評価での安全水準

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論的な評価例はない。本評価でも、確率論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。そのため、安全水準は設定しない。

（4）大規模災害の評価での安全水準

大規模災害の評価では、確率論的な評価は実施せず、過去の災害事例等を基にしたシナリオの検討にとどめるため、安全水準は設定しない。

（5）まとめ

確率論的な評価を行う「平常時の事故」、及び「地震動（短周期）による被害」の評価における本調査での安全水準を表 1-5 に示す。

表 1-5　本調査で採用する安全水準

区分	安全水準	安全水準の意味
平常時	10^{-6}/年	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
地震時（短周期）	10^{-4}/地震	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