

2012年9月19日  
(財)消防科学総合センター

第2回「石油コンビナート等における災害時の影響評価等に係る調査研究会」報告事項  
(石油コンビナートの防災アセスメント指針の改訂に関する調査検討)

■報告事項

1. 防災アセスメント指針の見直しについて
2. 地震時における災害拡大シナリオの検討
3. 今後の予定について

■提出資料

- 資料 1-1 防災アセスメント指針の見直しについて  
資料 1-2 指針の見直しにあたっての課題の整理  
資料 2-1 地震時における災害拡大シナリオの検討  
資料 2-2 災害の発生・拡大シナリオの見直し (案)  
資料 3 今後の予定

- 参考資料 1 過去の地震による石油コンビナートの被害事例  
参考資料 2 東日本大震災による石油コンビナートの被害  
参考資料 3 東日本大震災による防災設備の被害状況等に関する調査 (案)  
参考資料 4 石油タンクの地震被害モデル

## 資料 1-1 防災アセスメント指針の見直しについて

### 1. 現指針の手法

- 1.1 目的と対象
- 1.2 アセスメントの考え方
- 1.3 平常時の防災アセスメント
- 1.4 地震時の防災アセスメント

### 2. 指針見直しの基本的方針

### 3. 地震時の防災アセスメントに関する見直し

- 3.1 災害拡大シナリオ
- 3.2 短周期地震動による被害に関する評価
  - 3.2.1 単独災害
  - 3.2.2 大規模災害
- 3.3 長周期地震動による被害に関する評価
  - 3.3.1 石油タンクの被害
  - 3.3.2 高圧ガスタンクの被害
- 3.4 津波による被害に関する評価
  - 3.4.1 石油タンクの被害
  - 3.4.2 その他の施設の被害

# 1. 現指針の手法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針（平成 13 年、消防庁特殊災害室）」に示されている評価手法と考え方の概要を以下に示す。

## 1.1 目的と対象

### ① 目的

「石油コンビナート等防災計画」の策定において、客観的かつ現実的な「災害想定」を行うためのガイドライン。

### ② 対象とする地域・施設

石油コンビナート全域を対象とし、その中であって可燃性物質や毒性物質を大量に貯蔵・処理するなど潜在危険性が大きい製造施設、貯蔵施設、入出荷施設、移送施設などを抽出して評価を行う。

### ③ 対象とする災害

平常時、地震時にコンビナート施設で起こり得る漏洩、火災、爆発などの災害。平時幼児においては、原則として運転中（可燃性物質や毒性物質の貯蔵・処理中）の事故を対象とする。

## 1.2 アセスメントの考え方

### ① 基本概念

リスクの概念に基づいた図 1.1 に示すような方法による。

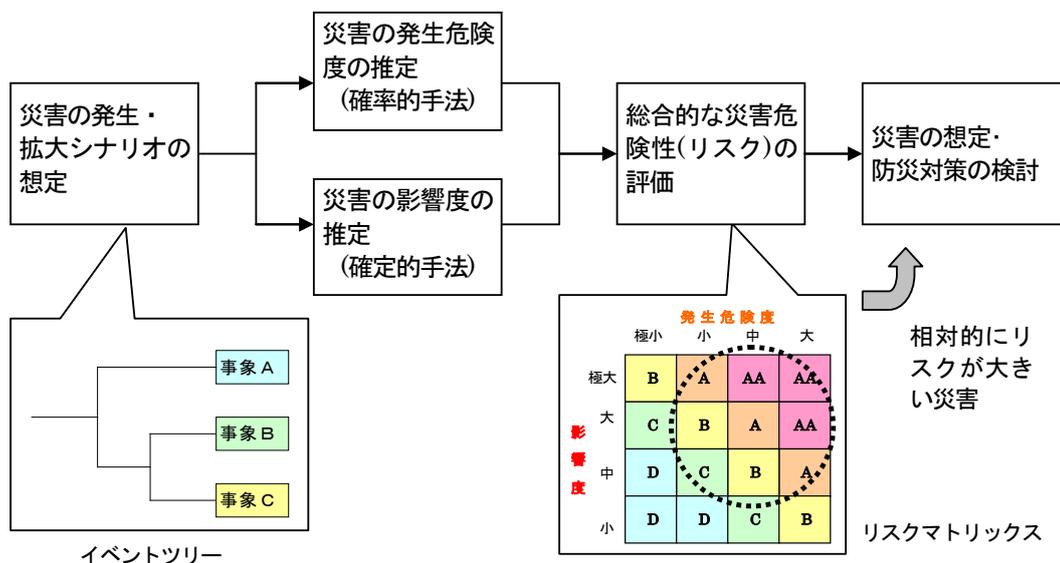


図 1.1 防災アセスメントの基本概念

### ② 評価レベル

多数の施設を対象とするもので、個々の施設の詳細な構造やプロセス条件には立

ち入らないマクロな評価。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アセスメントであり、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。

### 1.3 平常時の防災アセスメント

#### (1) 災害の拡大シナリオ

次の点に留意し、災害の拡大シナリオ（イベントツリー）を展開し、起こり得る災害事象の抽出を行う。

- 原則として、災害のはじまりとなるプロセス内容物の漏洩あるいは火災といったいわゆる「事故」を初期事象とするが、必要に応じて適切な初期事象を設定する。
- 事象の分岐は、必要以上に増やさず、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る。

#### (2) 災害の発生危険度

平常時の災害発生危険度は、1施設・1年あたりの発生頻度として表す（/年・施設）。イベントツリーに、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算出する。

- 初期事象の発生頻度は、原則として過去の事故データに基づいて推定する。データが得られない事象については専門的判断による。
- 事象の分岐確率は、現状においては専門的判断に頼るところが多くなる。フォールトツリー解析（FTA）により、防災設備に関する分岐確率を推定することもできるが、個々の施設に設けられたシステム構成を調べて反映することは困難で、標準的な構成を想定して解析することになる。ただし、基礎となる機器の信頼性データは海外のものを適用するしかない。
- 頻度や確率の推定値は不確定要素が大きく、絶対的な頻度や確率としてではなく、災害の起こりやすさを表した相対的な指標として捉える。

#### (3) 災害の影響度

災害が及ぼす放射熱、爆風圧などの強度を算定し、その値がしきい値を超える範囲の大きさを影響度とする。ただし、その中の人口や一般施設、また算定で考慮できない構造物や自然地形による抑止効果もできるだけ考慮する。

- 影響算定のための解析モデルは、国内外で多く提案されており、その中から適切なものを選定して適用する。防災アセスメントは、コンビナート全域を対象としたマクロな評価であり、各災害事象に適合するものであれば簡易なモデルを使用しても問題ないと考えられる。

○ しきい値は、影響を受ける主体がコンビナート区域外の一般住民であることを前提とし、以下の値を目安とする。

- ・ 液面火災の放射熱：2,324 J/m<sup>2</sup>s (2,000 kcal/m<sup>2</sup>h)
- ・ ファイヤーボールの放射熱：11,620 J/m<sup>2</sup>s (10,000 kcal/m<sup>2</sup>h)
- ・ 可燃性ガス拡散（フラッシュ火災）：爆発下限界の 1/2 となる濃度
- ・ 爆風圧：11,760 Pa (0.12 kgf/cm<sup>2</sup>)
- ・ 毒性ガス拡散：IDLH

○ 流出量を算定するときの孔の大きさは、各災害事象に応じて専門的判断により仮定する（例えば下記）。

- ・ 配管断面積の 1/100 の面積の流出孔
- ・ 配管のフランジボルトの 1 つが破損しある幅の隙間が開く

#### (4) 総合的な災害危険性評価

リスクマトリックスにより災害の発生頻度と影響度をあわせて評価し、防災計画において想定すべき災害、及び講ずるべき防災対策の優先度を検討する（図 1.2）。

		発生頻度				
		極小	小	中	大	
影響度	極大	B	A	AA	AA	AA：最優先 A：優先度大 B：優先度中 C：優先度小 -：小
	大	C	B	A	AA	
	中	-	C	B	A	
	小	-	-	C	B	

発生頻度	
・ 極小	：10 <sup>-7</sup> (/年)以下
・ 小	：10 <sup>-6</sup> (/年)
・ 中	：10 <sup>-5</sup> (/年)
・ 大	：10 <sup>-4</sup> (/年)以上

影響度	
・ 小	：防災施設周辺
・ 中	：コンビナート内
・ 大	：コンビナート外に多少の影響
・ 大	：コンビナート外に重大な影響

図 1.2 リスクマトリックスによる評価例

### 1.4 地震時の防災アセスメント

#### (1) 前提となる地震動の想定

想定される地震が発生したとき、対象とするコンビナート地区が受ける地震動及び液状化の程度を把握する。

- 都道府県が実施した地震被害想定調査の結果を活用する。
- 防災アセスメントの一環として地震動及び液状化の予測を行う。

注) その後のアセスメントの実施においては、都道府県のほか、内閣府中央防災会議や文部科学省地震調査研究推進本部による予測結果を活用している。

## (2) 災害の拡大シナリオ

- 地震時は、平常時と比べると初期事象の発生原因は異なるが、事象の種類や発生後の拡大シナリオはほぼ同様のものとして表現できる。
- 地区によっては、津波とコンビナート災害が複合することが懸念される。この場合、仕切堤や防油堤はほとんど機能せず、一気に防油堤外流出に至り、大規模火災となる可能性がある。
- 津波によりコンビナート施設が破壊され、内容物が大量に流出して大規模災害に至るようなことも考えられる。しかし、想定される高さの津波に対してコンビナート施設がどのような被害を受けるか予測できないため、災害拡大のシナリオを描くことは困難である。

## (3) 災害の発生危険度

地震時の災害発生危険度は、原則として想定される地震の発生頻度は考慮せずに、地震が発生したときの被害確率として表す。ただし、地域の実情によっては地震発生頻度を考慮してもよいと考えられる（確率的評価は短周期地震動による被害を前提）。

- 地震による初期事象の発生確率は、地震動の強さや液状化の程度、対象施設の種類や構造など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。しかし、現状においては被害事例は少なく、また地震動と被害率に関する研究もほとんど報告されておらず、専門的判断に頼るところが大きくなる。
- 事象の分岐確率は、防災設備に関しては、駆動源の停止、地震による設備の損傷、設備の偶発的な故障の可能性を考慮したF T Aによる推定が考えられるが、末端事象の発生確率の設定は多くのところ専門的判断に頼らざるを得ない。

## (4) 災害の影響度

平常時と同じ解析モデルを適用して推定する。

## (5) 総合的な災害危険性評価

- 短周期地震動に関しては、平常時と同様のリスクマトリックスによる評価を行う（発生危険度は平常時とは次元が異なることに注意）。
- スロッシングに関しては、E T Aによる確率的評価はなじまないことから、別途に確定的評価を行う（評価方法については示していない）。

- 津波に関しては、予想される津波波高とコンビナート内の地盤や構造物の高さを比較することにより浸水危険区域を把握し、タンクヤード内やプラント敷地内に浸水する危険がある場合には、広範囲の流出拡大や大規模火災に至る可能性があると考えられる。

## 2. 指針見直しの基本方針

今回の指針見直しにあたっての基本方針は以下のとおりとする。

- 現指針の目的、対象及びリスクベースの基本概念は踏襲する。
- 東日本大震災の被害状況を踏まえて、地震時のアセスメントに関わる内容の再検討を行う。主な検討内容は、災害拡大シナリオの見直し、短周期地震動、長周期地震動及び津波の被害に関する評価の具体化、市原市のLPGタンク火災に見られたような大規模災害の想定の見直しや影響評価の方法となる。
- 平常時におけるアセスメント手法については、現指針策定後に行われた10件を超えるアセスメント実施例において特に不具合は認められていないことから、基本的に現指針の記述を踏襲する。ただし、地震時のアセスメント見直しの結果を踏まえて、これと整合性を図るための書き直し（災害拡大シナリオ等）は行うものとする。
- 現在、製造設備の緊急停止時の事故が問題視されていることから、近年の製造設備の事故発生状況を調査し、安全な緊急停止のあり方について検討するとともに、可能な範囲でアセスメントに反映する。

## 3. 地震時の防災アセスメントに関する見直し

基本方針を踏まえた、地震時の防災アセスメントに関する見直しの考え方を以下に示す。

### 3.1 災害拡大シナリオ

地震時に石油コンビナートの主要施設で起こり得る災害拡大シナリオについて、現指針に例示されているETをベースに、東日本大震災での被害事例を踏まえて再検討を行う（資料 2-1、2-2）。初期事象としては、短周期地震動（液状化も含む）、長周期地震動、津波による施設被害を取り上げ、発生する可能性の大小にかかわらず、考えられるシナリオを可能な限り展開する。

### 3.2 短周期地震動による被害に関する評価

コンビナート災害の拡大シナリオは、資料 2-1、2-2 に示したように、同種の施設ではすべて共通と考えられる単独災害のシナリオと、隣接施設に延焼拡大したり流

出油が事業所外に拡大していくような立地条件に依存した大規模災害のシナリオが考えられる。実際には、この両者のシナリオは連続的につながるものであるが、ひとまとめにして評価することは困難であることから、両者を分けて別々に評価することにする。

### 3.2.1 単独災害

現指針では、単独災害のシナリオのみ扱っており、1.4 で述べたように、平常時と同様の確率的評価を行うとしている。今回の指針見直しにあたっては、この考え方を踏襲したうえで、東日本大震災の被害状況を踏まえて記載の具体化を図る。

短周期地震動による被害に関する評価の流れは図 3.1 に示すとおりである。以下、各評価項目について見直しの考え方を述べる。

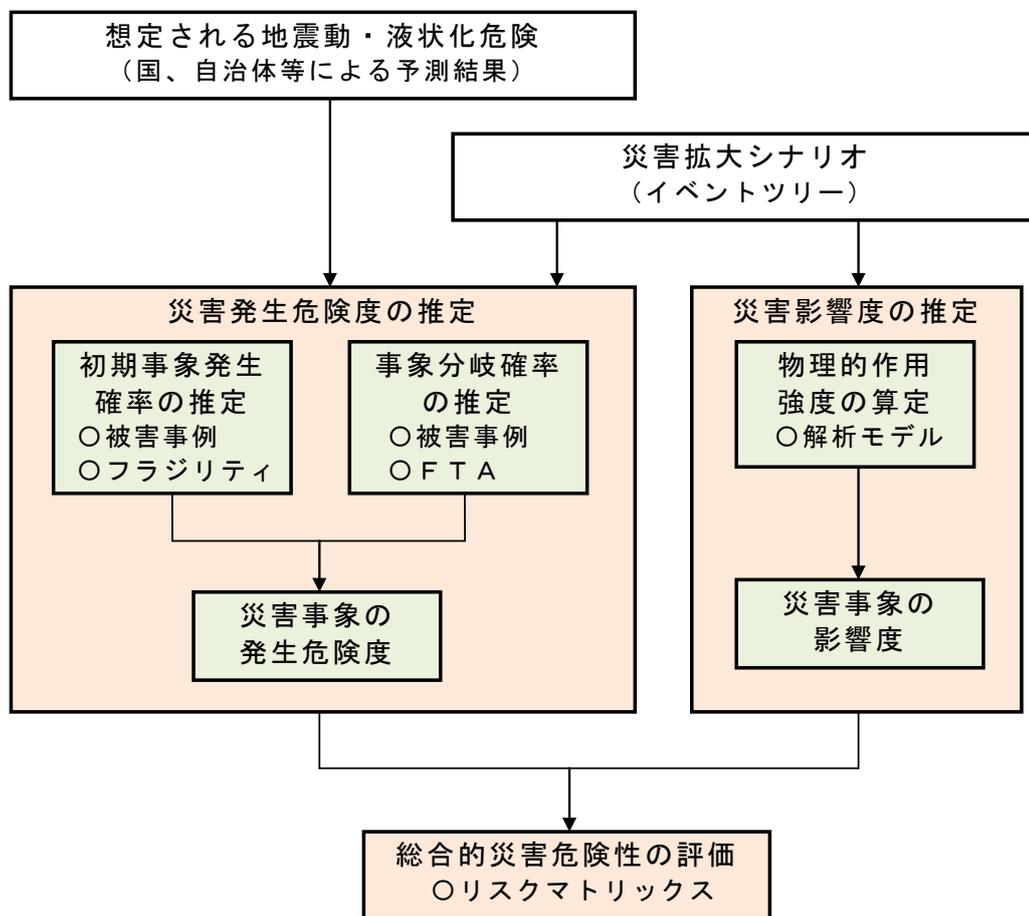


図 3.1 短周期地震動による被害に関する評価の流れ

#### (1) 災害発生危険度の推定

##### ① 初期事象の発生確率

現指針では、初期事象の発生確率について、「地震動の強さや液状化の程度、対象施設の種類や構造などの要因をできるだけ考慮して推定するが、被害事例は少なく

専門的判断に頼るところが大きくなる」としている。今回の検討では、東日本大震災における危険物施設や高圧ガス施設の破損や漏洩などの被害確率を調べ（参考資料 2、3 参照）、アセスメントの実施にあたって初期事象の発生確率を推定する際の目安を示す。

また、現指針策定後に実施された防災アセスメントでは、石油タンクについて図 3.2 に示すような座屈に対するフラジリティ関数をベースとした被害モデルを用いて発生確率の推定を行っている例が多い。このフラジリティ関数は、現指針策定時の基礎調査において検討されたものであるが、不確定要素が多く指針には掲載されていない（被害モデルに関しては参考資料 4 を参照）。今回の検討では、東日本大震災における被害確率を調べることによって、この被害モデルの妥当性についても可能な範囲で評価を行う（東日本大震災では石油タンクの座屈による漏洩は発生していないため直接的な比較はできない）。

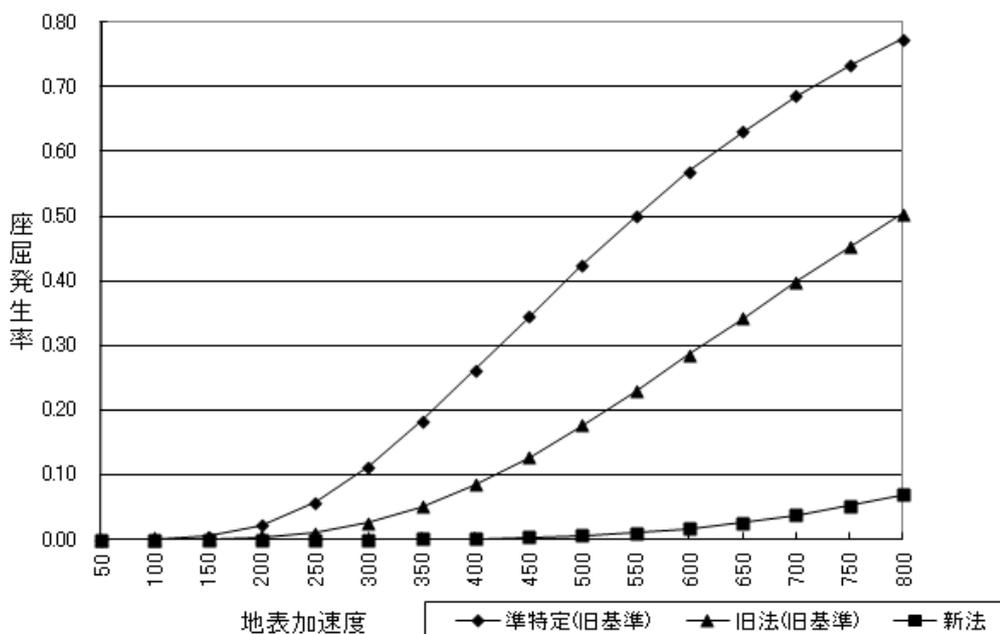


図 3.2 石油タンクの座屈に関するフラジリティ関数（満液時）

## ② 事象の分岐確率

現指針では、緊急遮断弁等の防災設備の成否に関して、可能な範囲でフォールトツリー解析（F T A）を行うものとし、図 3.3 のような F T 図を例示している。今回の検討では、東日本大震災での被害状況をもとに、この F T 図を見直すとともに、専門的判断によるとされている末端事象（「地震による設備の損傷」など）の確率についても可能な範囲で目安を示す（参考資料 3 参照）。

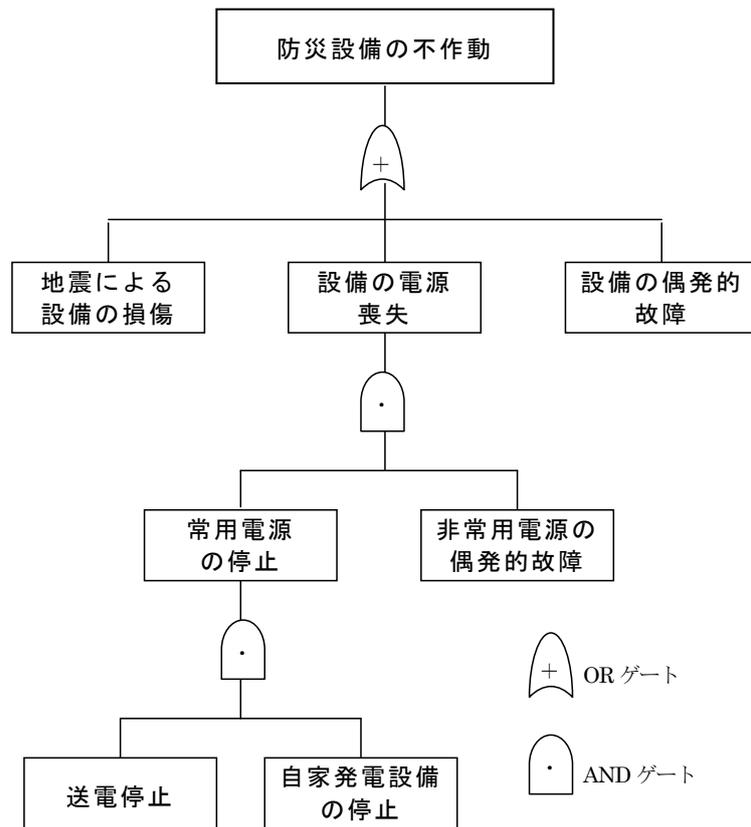


図 3.3 地震時における防災設備不作動に関する F T 図

## (2) 災害影響度の推定

### ① 災害現象解析モデル

影響算定のための解析モデルについては、平常時及び地震時で共通のものとして、次の災害現象に関する簡易なものが現指針に例示されている。

- 流出（液体、気体）
- 蒸発（揮発性液体、過熱液体、低温液化ガス）
- ガス拡散
- 火災・爆発（液面火災、ガス爆発、ファイヤーボール、フラッシュ火災）

東日本大震災における市原市の L P G タンク火災では、B L E V E に伴う爆発により約 3,900m 離れた窓ガラスが破損するなどの被害が発生した（放射熱の影響は不明）。また、平常時ではあるが、2012 年 4 月に山口県で発生した化学プラントの爆発事故においても爆風圧の影響は数 km 先まで及んでいる。このようなことから、本検討では、特にガス爆発に伴う爆風圧や放射熱について、国内外で提示されているいくつかのモデルによる試算を行い、現指針に例示されているモデルの妥当性を評価する。

### ② 影響のしきい値

災害の影響範囲は、適用した解析モデルだけでなく、しきい値（人体に対する許

容限界値)にも依存する。爆風圧に関しては、現指針では高圧ガス保安法において保安距離を定めるときの値(既存施設に対して 11,760Pa)を用いているが、この1/10程度の強度でも窓ガラスが破損するとしている文献もある。したがって、このような文献による強度と影響の関係を整理し、防災アセスメントにおいて妥当と考えられるしきい値について検討する。

また、毒性のしきい値について、現指針ではIDLH(NIOSH:米国国立労働安全衛生研究所が提唱する限界値で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)を用いることが妥当としている。しかしながら、その後全米AEGL開発諮問委員会によって、公衆に対する次の3段階の許容レベル(AEGLs)が提唱されている。

- AEGL-1: 不快レベル
- AEGL-2: 障害レベル
- AEGL-3: 致死レベル

塩素のAEGLsを表3.1に示す(IDLHは10ppm)。このように、AEGLsは公衆を対象としているということのほかにも暴露時間も考慮されており、防災アセスメントに適していると考えられることから、これを適用することを検討する。

表 3.1 塩素の AEGLs

Chlorine 7782-50-5 (Final)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
AEGL 2	2.8	2.8	2.0	1.0	0.71
AEGL 3	50	28	20	10	7.1

\* ) EPA (米国環境保護庁) の HP (<http://www.epa.gov/oppt/aegl/index.htm>)

### (3) 総合的な災害危険性の評価

現指針では、災害の発生危険度と影響度をあわせて図1.2に示したようなリスクマトリックスによる評価を行い、想定災害の抽出を行うとしている。近年実施された防災アセスメントにおいては、例えば図3.4に示すように、災害の発生危険度を目安に想定災害の抽出を行っているところが多い。このような考え方で想定された災害を東日本大震災での全体的な被害状況(短周期地震動による)と比べると、概ね安全側の評価となっており妥当なものと考えられる。したがって、今後も基本的にはこのような考え方に従って想定災害の抽出を行うことで問題ないといえよう。

ただし、特殊ケースであったとしても、市原市のLPGタンク火災のような大規模災害が発生した以上、これを無視することはできない。今回の災害で、施設の耐震強度や安全対策を考慮した確率的な評価では想定外と見なされていても、現実

はこれまで思いもよらなかった原因により発生し得ることがわかった。このような災害の扱いについては、「評価上の低頻度大規模災害」として次項で検討する。

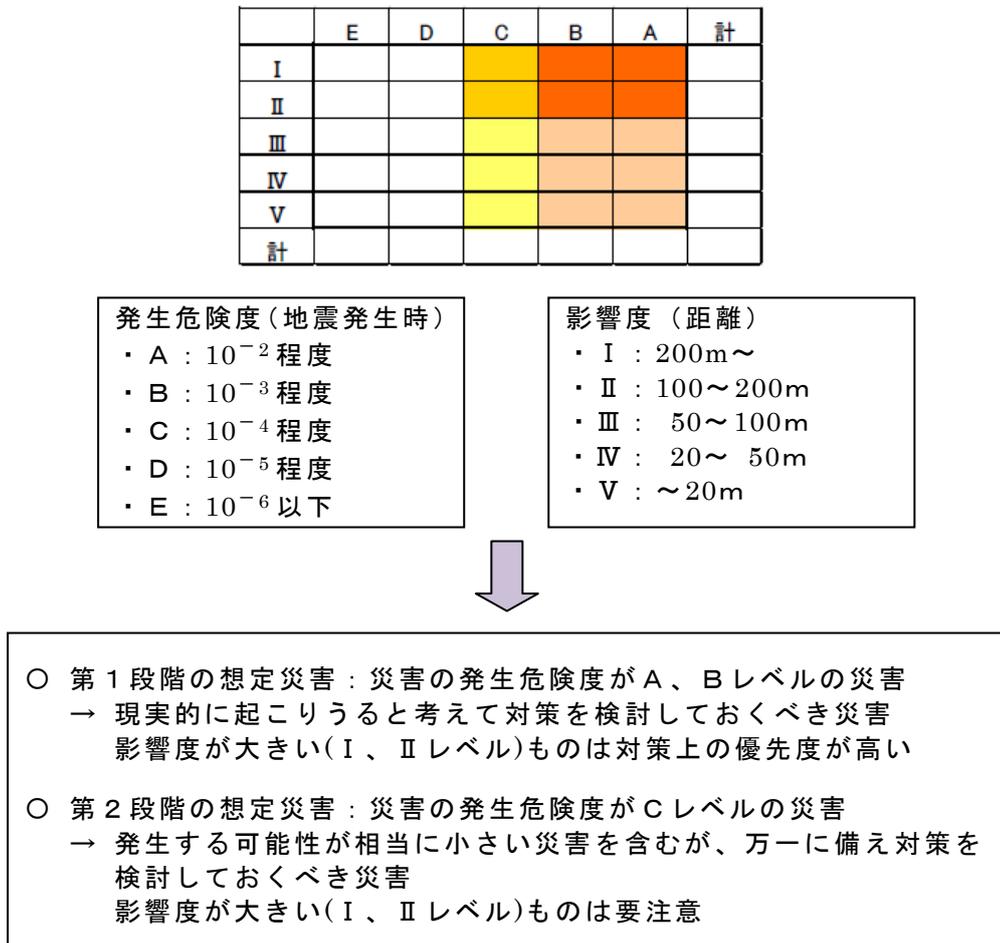


図 3.4 リスクマトリックスによる想定災害抽出の考え方（千葉県の例）

### 3.2.2 大規模災害

ここでいう大規模災害とは、災害拡大シナリオに示したように、隣接施設に延焼拡大したり流出油が事業所外に拡大していくような災害のことであるが、単独災害の確率的評価で想定外とされた災害も含めて「評価上の低頻度大規模災害」としてどのように評価するかを考える。

#### (1) 影響算定が可能な災害

影響算定が可能な災害事象については、発生確率には言及せずに影響範囲のみを示すことにより、周辺住民の避難対策などに反映する。対象とする災害事象は、災害拡大シナリオから次のようなものが考えられる。

- 石油タンク
  - ・ 防油堤内流出火災（単独災害の確率的評価で想定される場合もある）

- ・ 防油堤内の隣接タンクを巻き込んだ全面火災
- 高圧ガスタンク
  - ・ 可燃性ガスの大量流出に伴う爆発
  - ・ 隣接タンクの誘爆（BLEVE）を伴う大規模火災
  - ・ 毒性ガスの大量流出に伴う拡散

市原市のLPGタンク火災は、BLEVEにより隣接タンクが次々と爆発して大規模火災に至ったものであるが、それぞれのタンクは時間差をおいて爆発しており、影響範囲は個々のタンクでの最大の影響を算定することにより把握できる。なお、LPGタンク火災の対策を検討する場合には、隣接タンクの温度上昇、圧力上昇、BLEVEが発生するまでの時間、冷却散水の効果、爆風や飛散物による周辺施設損傷の可能性などを考慮する必要があるが、このような個別施設の詳細な評価は防災アセスメント（指針）の範疇を超えていると考え対象外とする。

また、大規模災害シナリオに対して、どこまで現実的な災害と見なして影響算定を行うかを指針に明示することは難しい。各自治体がアセスメントを実施する際に、想定される地震動、地形・地盤条件、施設の特長や立地条件、事業所内の施設配置やコンビナート周辺の状況などをもとに個別に具体的なシナリオを描き、発生危険性を定性的に判断し決定することになる。

## (2) 影響算定が困難な災害

例えば、石油タンクにおいて内容物が海上に流出拡大するような事象が考えられる。このような災害の影響範囲は、簡易手法を前提とした防災アセスメントで算定することは困難であり、現指針では評価対象外としている。今後、アセスメントに取り入れるとしても、各自治体において問題となるタンクの立地条件等を反映した具体的な流出拡大シナリオを展開し、必要な防災対策を確認するにとどまるであろう。ただし、防災アセスメントの一環として海上流出のシミュレーションを行うことを否定するものではない。

## 3.3 長周期地震動による被害に関する評価

現指針では、長周期地震動による被害に関しては、石油タンクでの溢流や火災のシナリオ（ET）を例示して「別途確定的評価を行う」としているだけで、具体的な評価方法については触れていない。本検討では、十勝沖地震（2003）の後に実施された防災アセスメント事例をもとに、スロッシング被害に関する評価手法を整理し、指針に掲載することを考える。

### 3.3.1 石油タンクの被害

長周期地震動による石油タンクのスロッシング被害の評価は、想定地震の予測波

形から得られる速度応答スペクトルがベースとなる。これをもとに、個々の石油タンクでのスロッシング波高を求め、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することになる。このようなスロッシング被害に関する評価手順は概ね以下のようなになる。

### ① 速度応答スペクトルの算定

- 想定地震の予測波形の入手（長周期成分を含む）
- 速度応答スペクトルの算出

### ② スロッシング波高の算定

個々のタンクのスロッシング最大波高は、次式により計算することができる。

$$\eta = 0.837 \left( \frac{D}{2g} \right) \left( \frac{2\pi}{T_s} \right) S_v(T_s)$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\left( \frac{D}{3.682g} \right) \coth\left( \frac{3.682H}{D} \right)}$$

$\eta$  : スロッシング最大波高(m)

D : タンク内径(m)

H' : 液面高さ(m)

g : 重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> : タンクのスロッシング基本固有周期(s)

S<sub>v</sub>(T<sub>s</sub>) : 周期 T<sub>s</sub> における速度応答スペクトル(m/s)

また、上式は微小波高を仮定したものであり、溢流が生じるような大きなスロッシングの場合は、非線形性の影響による波高増分を考慮する必要がある。

非線形性を考慮したスロッシング最大波高は、西晴樹・他（2008）により次式が提案されている。

$$\eta^+ = \eta + \Delta \eta$$

$$\Delta \eta = 0.91 R (\eta / R)^2$$

$\eta^+$  : 非線形性を考慮したスロッシング最大波高(m)

$\eta$  : スロッシング最大波高（線形解）(m)

$\Delta \eta$  : 非線形液面増分(m)

R : タンク半径(m)

### ③ 溢流量の推定・流出火災の想定（浮き屋根式）

スロッシング最大波高（ $\eta^+$ ）がタンクの余裕空間高（満液時）を上回る場合には溢流ありと判断し、西晴樹・他（2008）の手法（次式）によりスロッシングによる溢流量（ $\Delta v$ ）を計算する。さらに、 $\Delta v$ の大小、油種に応じて流出火災の想定を行う（例えば図 3.5）。

$$\Delta v = (R^2 \pi) \cdot (\alpha \cdot \delta h \cdot (R - r_0) \cdot \theta_0 / R)$$

$\Delta v$ ：溢流量(m<sup>3</sup>)

R：タンク半径(m)

$r_0$ ：タンク側板高さにおける  $\theta = 0^\circ$  の半径との交点(m)

$\theta_0$ ：側板近傍においてスロッシング波高が  $H_c$ （消防法に基づく側板の最上端までの空間高さ）と等しくなる円周方向角度(rad)

$\delta h$ ：溢流高さ(m)

$\alpha$ ：係数（浮屋根：0.4023）

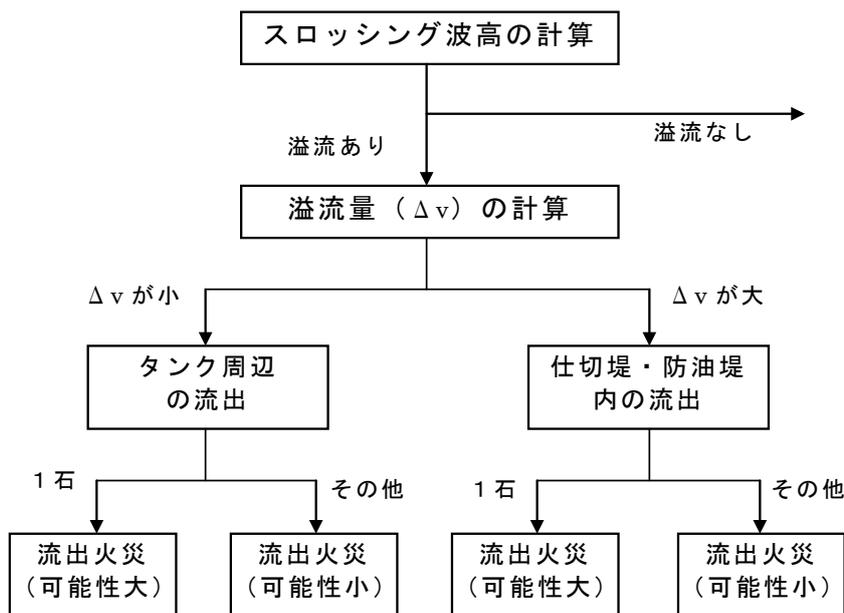


図 3.5 溢流量の推定・流出火災の想定の方

なお、上記の溢流量の評価式は、タンク直径が 7.6m、最大波高が約 30～60cm の場合の実験結果に基づくものであることから、西らは、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も 10% 未満の誤差で予測できており、十分な適用性があることが確認されている。

### ④ タンク火災の想定（浮き屋根式）

スロッシングによりタンク全面火災となった場合には、周囲に大きな影響を及ぼすだけでなく、消火活動も困難で長時間を要し、さらなる大規模災害に拡大する危険性も否定できない。全面火災に至る引き金となる事象としては、浮き屋根上への油の漏洩やポンツーンの損傷などがあるが、これらの発生に影響を与える要因には次のものが考えられる。

- スロッシング波高 ( $\eta^+$ ) の大きさ
- 浮き屋根の構造 (シングルデッキ、ダブルデッキ)
- 浮き屋根耐震基準の適合状況 (適合、未適合、非該当)

また、火災となるかどうかは油種 (引火点) にも依存する。これらをもとに、タンク屋根で火災となる危険性を判定し、危険性あり (ここでの危険性は災害発生確率とは異なることに留意) と判断されるものについては全面火災を想定した対策が必要になる。さらに、全面火災が想定される原油タンクではボイルオーバーが発生することも考えておく必要がある (タンク上と防油堤内の同時火災)。

#### ⑤ ドレン排水口からの流出想定 (浮き屋根式)

浮き屋根式タンクでは、浮き根上に流出した油がドレン排水口から流出したり、タンク内部でドレン配管が破損して排水口から流出するような事象が考えられる。前者の場合には流出量は小量にとどまるが、後者の場合には大量に流出して仕切堤や防油堤内に滞留することもあり得る。大量流出の可能性は、予想されるスロッシング波高、ドレン排水口の遮断方式などに依存する。このような流出は、③の溢流と同様の結果を引き起こすことから、両者を合わせて起こり得る流出火災の想定を行うことになる。

#### ⑥ 内部浮き蓋の損傷・沈降に伴う爆発・火災 (浮き蓋付特定屋外タンク貯蔵所)

浮き蓋付特定屋外タンク貯蔵所 (浮き蓋付タンク) においては、地震等により浮き蓋が損傷または沈没し、浮き蓋上部の気相部に可燃性蒸気が滞留すると、通気口からの空気の流入によって可燃性ガス濃度が爆発範囲内となり、爆発・火災が発生する危険性がある (危険物受入時の液面揺動によっても発生する可能性がある)。

このことを踏まえ、浮き蓋付きの特定タンクに関して、浮き蓋の浮力の確保や耐震強度、可燃性蒸気の排出等に関する技術上の基準が定められ、平成 24 年 4 月 1 日から施行されたところであるが、既存の浮き蓋付特定タンクについては、平成 36 年 3 月 31 日までの経過措置が設けられている。

浮き蓋付タンクの爆発・火災の引き金となる事象は、浮き蓋上部の気相部への可燃性ガスの滞留であるが、これらの発生に影響を与える要因としては、主に次のものが考えられる。

- スロッシング波高の大きさ

- 内部浮き蓋の形式（パン型、バルクヘッド型、ポンツーン型、ダブルデッキ型、簡易フロート型、ハニカム型）
- 可燃性ガスの滞留し易さ（排出設備による有効な排出の可否、不活性ガス充填による運用）
- 内部浮き蓋の技術基準の適合状況（適合、未適合、非該当）

なお、パン型及びバルクヘッド型の浮き蓋については、浮力性能及び耐震性能共に確保できない構造であることから、今後新たに設置できないこととなっている。

また、爆発・火災の危険性は油種（引火点）にも依存する。これらをもとに、爆発・火災の危険性を判定し、危険性ありと判断されるものについては、爆発による屋根の飛散やタンク全面火災を想定した対策が必要になる。

### ⑦ 固定屋根式タンクの上部（側板と屋根板との接合部）の破損による流出・火災

屋外タンクの固定式屋根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屋根板との接合部を破損し、内容物が溢流する可能性がある（余裕空間高に関する法令改正により浮き屋根タンクと同様に溢流の危険性は小さくなっているといえる）。

このような事例は 1964 年の新潟地震で確認されており、容量 2 万 kl、直径約 45m の固定屋根式タンク 2 基において、総量約 2 千 kl の重油が防油堤内に溢流している。この時のスロッシング最大波高は 3m（推定値）、液面上の空間高さは約 2m であった。\*

また、2003 年十勝沖地震でも、固定屋根式タンク（1 基）において、側板と屋根接合部を突き破って溢流する事例が確認されている。\*\*

このような災害事象の発生は、タンク貯蔵量と予想されるスロッシング波高の大きさによるが、③と同様な溢流量の推定式は示されていない。ただし、結果としては防油堤内への流出という事象になることから、浮き屋根式タンクの溢流、ドレン排水口からの流出と合わせて、起こり得る流出火災の想定を行う。

\*) 大田・座間：巨大地震と大規模構造物－長周期地震動による被害と対策－，pp.102, 2005

\*\*）座間：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 回講演会資料，2008.10.29

### 3.3.2 高圧ガスタンクの被害

石油タンクの他、平底円筒形の高圧ガスタンクでもスロッシングの影響が考えられるが、高圧ガス保安法に基づく耐震設計により考慮されており、過去の地震でス

ロッシングにより貯槽の破損や漏洩が発生した事例は見られない。

### 3.4 津波による被害に関する評価

#### 3.4.1 石油タンクの被害

##### (1) 津波による石油タンクの破損

津波により石油タンクの配管や本体が破損する原因としては、津波によるタンクの移動や転倒、漂流物（船舶、流木、コンテナ、車両等）の衝突などが考えられる。これらは、いずれも内容物の大量流出・拡大を引き起こす。特に、漂流物の衝突により配管や本体が破損するような場合には、流出量がかなり多くなる可能性があるが、このような場合の流出量を想定することは非常に難しい。一方、「津波によるタンクの移動」については、以下に示すような評価が可能である。

消防庁は、H21・22年度に「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討」を行い、ここで石油タンクの浮き上がり、滑動、転倒、側板座屈の可能性を判定するための簡易手法を示している。この中で、タンクの浮き上がりと滑動について、東日本大震災の被害状況をもとに妥当性の検証を行い、被害予測手法として有効との結果を得ている（この成果は「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」としてHP上で公開されている）。

以上のことから、本検討では、この被害予測ツールをベースに津波による災害想定を行うことを考える。その手順は概ね次のようになる。

##### ① 浸水深の把握・評価対象タンクの抽出

まず、国や自治体実施した津波浸水予測の結果を受けて、コンビナート地区の浸水深を把握する。被害日本大震災での被害状況によると、石油タンクの配管、本体の被害ともに浸水深が3mを超えたところから発生していることが確認されている。したがって、浸水深が3mを超えるところにあるタンクを評価対象として抽出する。

##### ② 津波による被害予測（浮き上がり・滑動の判定）

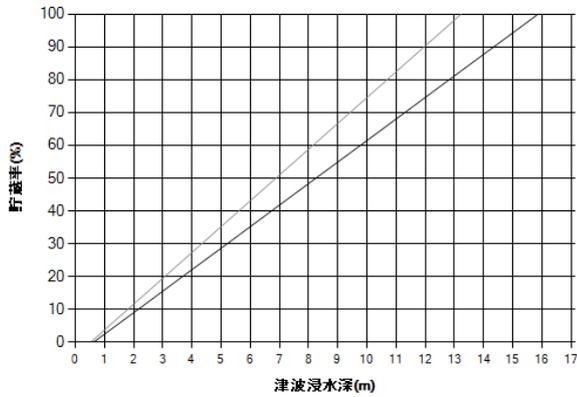
評価対象タンクについて、消防庁の被害予測ツールを用いて「浮き上がり」と「滑動」の判定を行う。その結果は、例えば図 3.6 のように、浸水深に対して「浮き上がり」と「滑動」の安全率が判定のボーダーラインである1となる貯蔵率がグラフとして表示される。

浮き上がり安全率=1になる津波浸水深(m)

タンク番号 T-001

タンク許可容量 6000(kl)

タンク内径 23.200(m)



滑動安全率=1になる津波浸水深(m)

タンク番号 T-001

タンク許可容量 6000(kl)

タンク内径 23.200(m)

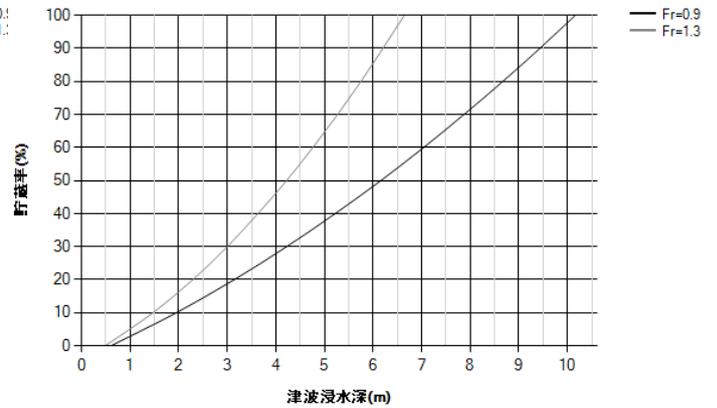


図 3.6 石油タンクの津波被害予測の結果

### ③ 流出量の想定

消防庁の津波被害予測は、タンクの移動（浮き上がり、滑動）に関するものであり、「移動あり」と判定されたタンクが破損し流出するかどうかは判らない。また、流出しても、その箇所が配管であれば遮断弁を閉止する（津波来襲前に）ことによって阻止できるが、どこで流出するかも判らない。したがって、ここでは、安全側の評価として、「移動あり」と判定されたタンクについては内容物のすべてが流出すると考える（東日本大震災での津波被害に関する消防庁調査によると、津波浸水深が把握できた 244 基のタンクのうち、配管あるいは本体が被害を受けたものは 128 基であったが、浸水深が 3 m 以上に限ればほとんどのタンクが被害を受けている）。

図 3.6 から判るように、移動に対するタンクの安全率は、ある浸水深に対して貯蔵率が少なくなるほど低くなり、貯蔵率がある値を超えると 1 を超え「移動なし」と判定される。したがって、流出量を推定するためには被災時の貯蔵率を与える必要がある。一般の製油所や輸送所などの事業所では、貯蔵率は絶えず変化しており、ある時点の貯蔵率を与えて流出量を推定することは難しい。そこで一つの方法として、貯蔵率は 0～100% の間で一様分布すると仮定して流出の期待値を求めることが考えられる。例えば、図 3.6 の「浮き上がり」のグラフを見ると、浸水深が 5 m とすると貯蔵率 30% で安全率が 1 となっており、10% 刻みで計算すると、 $600 \times 0.1 + 1200 \times 0.1 + 1800 \times 0.1 = 360 \text{KL}$  となる（タンク容量は 6,000KL）。このようにして算出した流出量を、評価対象タンクすべてについて足し合わせたものが被災時の想定流出量となる（備蓄タンクは常時 100%）。

#### ④ 流出油の拡大

津波により大量の油の流出が想定される場合には、海水とともに防油堤、流出油防止堤を超えて広範囲に拡がり、大規模な火災となることも懸念されるが、このような状況になったときの影響範囲を推定することは困難である。

#### (2) 地震による流出後の津波

津波が想定される地震により、石油タンクで流出や火災が発生した場合には、その後の津波により陸上あるいは海上で拡大する可能性がある。この場合、前述の短周期地震動及び長周期地震動による被害の評価の結果、大量の流出や火災が想定されるタンクに対して、津波による防油堤内への浸水が懸念されるものについてはさらなる災害拡大が想定されることになるが、具体的な影響評価を行うことは難しい。

#### 3.4.2 その他の施設の被害

現時点では石油タンクの移動以外の事象について、定量的評価を行うことは難しい（高圧ガス施設が津波の波力、浮力及び漂流物により受ける影響の評価方法については、経済産業省において検討を予定している）。従って、石油タンク以外の施設については、東日本大震災の被害事例を踏まえ、考えられるシナリオを整理、検討することになるであろう。

コンビナートにおける危険物施設の被害では、津波による被害が顕著であったものとして、護岸部の危険物配管や入出荷設備の破損、油流出があげられる。

また、高圧ガス施設については、大量の高圧ガス漏洩の可能性もある貯槽の倒壊・転倒が生じている（実際には内容物流出は生じていない）。

一方、プラント（危険物の製造所）に関しては、東日本大震災で津波による被害があったものは、仙台地区の製油所のみと考えられる（H23 消防庁調査結果では、被害が地震によるものか津波によるものなのか判別不明となっている）。

これらの施設について、考えられるシナリオを検討する。

No.	項目	現指針の内容	課題	課題対応と考え方	今回の検討対象*)
1	アセスメントの実施目的と結果の活用方法	自治体が石油コンビナート等防災計画の策定・修正にあたって、客観的かつ現実的な災害想定を行う。ただし、主に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調査であり、この結果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。	アセスメント結果の具体的な活用方法(計画への反映、その他の対策への活用)が明確でない。	アセスメントの結果は、防災計画における災害想定と、それに基づく計画の修正に反映できる。計画修正にあたっては、アセスメント結果の適用範囲や評価精度を考慮の上、対策の実施主体毎に検討する必要がある。(石油コンビナート等防災体制検討会における検討結果に基づく)	○
2	アセスメントの対象施設	コンビナート全域を対象とすることから、潜在危険性の大きい施設を抽出して評価を行う。具体的な評価対象施設は、各自治体でコンビナートの状況に応じて設定することになる。	潜在危険性の大きい施設を適切に抽出できているか。現指針の例示については見直しする必要性はあるか。	評価対象施設抽出の考え方については、現指針を踏襲する。現指針の例示については必要に応じて見直しを行う。	△
3	評価の基本概念	リスクの概念に基づく評価手法。災害の発生危険性については、イベントツリー解析(ETA)による確率的評価手法を適用する。	現指針の評価手法は妥当であるか。	評価手法はアセスメントの実施目的や前提条件に沿った妥当なものと考えられることから、この基本概念を踏襲する。	×
4	平常時のアセスメント	評価の基本概念に基づき、災害拡大シナリオを展開し、これに基づいて確率的なリスク評価を行う。		今回は地震時のアセスメント手法の見直しが主な検討事項となるが、平常時についても、地震時の見直し結果と整合性を図るための修正を行う。	×
5	地震・津波の想定	地震時の評価にあたって前提となる地震・津波は、対象地域の地震危険性に応じて設定する。自治体の地震被害想定調査結果が示されていればこれを活用する。	東日本大震災を踏まえ、想定すべき地震・津波について検討が行われており、基本概念として、低頻度の地震・津波と、高頻度の地震・津波の2段階での想定が示されている。これらの考え方について整理が必要である。	国や自治体の地震被害想定調査に基づくことを前提とするが、災害想定にあたって前提とする地震・津波については、コンビナートの対策のあり方も踏まえて、考え方を整理する必要がある。	○
6	災害拡大シナリオ、対象災害	発生原因は異なるが発生後の拡大様相は平常時と同様として、コンビナートで想定すべき代表的な災害事象を例示している。	代表的な災害事象や拡大の様相を適切に表しているか。現指針の例示については見直しする必要性はあるか。	事象例に基づき、必要なもの(特に地震時)について見直しを行う。	○
7	地震時の初期事象発生確率の推定(短周期地震動)	地震動の強さや液状化の程度、対象施設の種類や構造などの要因をできるだけ考慮して推定するという基本的な考え方は示されているものの、具体的な方法や数値は示されていない。	自治体のアセスメント実施例では、地震時の災害発生確率の推定は、過去の被害事例に基づき推定する方法や、フラジリティ関数を用いる方法が用いられているが、地震による被害事例は少なく不確定要素が多い。	東日本大震災における被害事例から、可能な範囲で被害確率の推定を行う。(確率設定の目安として東日本大震災での被害率を例示することを考えている。)	○

No.	項目	現指針の内容	課題	課題対応と考え方	今回の検討対象*)
8	地震時における事象の分岐確率の推定(短周期地震動)	緊急遮断弁等の防災設備の成否に関して、可能な範囲でフォールトツリー解析(FTA)を行うものとしている。	FTAを実施するための設備の損傷確率等のデータは揃っていないので、多くのところ専門的判断により仮定している。	東日本大震災における被害事例から地震による設備の被害率を推定し、可能な範囲でFTAの見直しを行う。	○
9	災害影響の解析モデル	流出、蒸発、ガス拡散、火災・爆発といった現象について、比較的簡易な解析モデルが示されている(ファイヤーボールによる放射熱の算定式は示されている)。	東日本大震災における被害事例や近年の事故事例から、LPGタンクやプラントにおけるBLEVE、ファイヤーボールといった現象が注目されている。	特にガス爆発に伴う爆風圧や放射熱について、国内外で示されている解析モデルによる試算、現指針に例示されているモデルの妥当性を評価する。	○
10	災害影響のしきい値(人体に対する許容限界値)	放射熱、フラッシュ火災(可燃性ガス拡散)、爆風圧、毒性ガス拡散について、妥当と考えられるしきい値が示されている。	近年の事故事例を踏まえ、爆風圧と被害との関係について改めて文献等を整理する必要がある。また、現指針の策定後、毒性ガスのしきい値に関する基準で新たに提唱されているものもあることから、指針への適用について検討する必要がある。	爆風圧及び毒性ガスのしきい値について検討し、必要に応じて見直しを行う。	○
11	総合的な災害危険性の評価(想定災害の抽出)	リスクマトリックスにより想定災害の抽出を行う。抽出基準は自治体の判断により決定する。	発生確率を目安に想定災害を抽出しており、低頻度となる大規模災害については考慮されない場合が多い。	従来の方針に基づいて想定災害を抽出することで問題ないと考えられる。ただし、評価上の低頻度大規模災害については、別途検討する必要がある。⇒次項	○
12	大規模災害の評価	高圧ガスタンクのファイヤーボールのような単独の大規模災害については、リスクマトリックスにより想定災害とする余地は残している(現実には想定されていない)。火災が隣接施設に延焼拡大するような災害については示されていない。	これまで低頻度として想定されていなかったLPGタンク火災が現実には発生したことから、評価上は低頻度とされる大規模災害の扱いについて検討する必要がある。	発生に関する確率的評価は困難であることから、災害拡大シナリオをもとに定性的な判断を行い、可能性があると考えられるものについては、影響算定のみを行い周辺住民の避難計画等に反映する。影響算定困難なものについては、現時点で考えられる評価方法を整理した上で、自治体の判断にゆだねることになる。	○
13	長周期地震動による被害の評価	ETAによる確率的評価とは別途に、確定的評価を行うとしている。	現指針には具体的な評価方法は示されていない。	2003年十勝沖地震以降の法令改正を踏まえ、長周期地震動の被害に関する評価方法を検討、提示する。	○
14	液状化・側方流動による被害の評価	液状化・側方流動の影響については、現指針では特に触れていない。	自治体のアセスメント実施例では、地震時の災害発生確率の推定に液状化危険度を考慮しているが、側方流動については考慮していない。	側方流動(護岸被害)の影響については、解析方法を調査、整理し、評価の可能性について検討する(指針に評価手法を示すことは困難)。	○

No.	項目	現指針の内容	課題	課題対応と考え方	今回の検討対象*)
15	津波による被害の評価	津波による被害の評価方法は、現指針では触れていない。	東日本大震災では、津波によってコンビナートに甚大な被害が生じたことから、その危険性について評価することが求められている。	津波による石油タンクの簡易被害予測手法を踏まえ、津波被害に関する評価方法を検討、提示する。ただし、高圧ガスタンク、他の施設については、別途検討が予定されているものもあるが、現時点では評価困難である。	△
16	緊急停止・遮断のあり方	現指針では示されていない。	近年、施設の緊急停止時の事故が何件か発生発生していることから、緊急停止時の回避の考え方を整理する必要がある。	近年の事故事例を調査し、事故回避のあり方を検討する。なお、設備の緊急停止操作はプラントの種類によって様々であり、個別に検討する必要があることから、指針へは一般的な注意事項として記載する。	○
17	周辺住民の避難のあり方	アセスメント結果の活用方法として、災害想定への反映の他、予防対策、応急対策における活用が推進されているが、具体的には示されていない。	石油コンビナート災害の特殊性を踏まえた周辺住民等の避難について整理する必要がある。	本研究会では、原子力防災分野等で使用されている避難シミュレーションツールについて調査し、石油コンビナート災害に適用可能なものがあれば紹介する(指針にはアセスメント結果を避難計画に活用するための考え方を記載)。	○
*) 今回の検討対象は以下の通り。ただし、「○」であっても、定量的な評価手法の提示が困難なものもある(「評価方法」参照)。					
○: 検討を行う △: 必要に応じて(または一部)検討を行う ×: 検討対象外					

評価項目	評価方法	評価内容	備考
平常時の事故	確率的評価	ETAによる確率的評価の実施	現指針の評価を踏襲
短周期地震動による被害	確率的評価	ETAによる確率的評価の実施	液状化を加味した被害モデルを用いているが、その適用については要検討
長周期地震動による被害	確定的評価	石油タンクのスロッシング最大波高に基づいた ○ 溢流判定及び溢流量の推定 ○ 流出火災の影響評価 ○ タンク火災(全面火災)の可能性判定、影響評価	火災については、発生に関する定量的な評価はできないので、定性的な評価により危険性の高いタンクで火災が発生した場合の影響評価を行う。
津波による被害	確定的評価	津波による石油タンクの滑動、浮き上がり	流出や火災の発生危険性については評価できない。また、流出後の石油等の拡散についても、評価困難と考えられる。
低頻度大規模災害	確定的評価	防油堤内全面火災、可燃性ガスタンクの爆発火災、毒性ガスの大量拡散等、確率的評価により低頻度とされ想定外となった大規模災害について、定性的判断により可能性ありとされるものについて影響評価を行う。	
指針の簡易的な解析手法では評価困難であるが、シミュレーション等を行うことによって定量的評価が可能なもの(例:油の海上流出、側方流動による護岸被害の評価)。	—	現時点で提案されている代表的手法があれば整理する(指針への反映方法は検討)。	指針は簡易手法をベースとする(自治体において実施可能なものとするため)。
現時点では定量的な評価手法が提案されておらず、評価できないもの(例:津波漂流物によるタンクの破損)。	—	災害発生の原因事象や拡大様相(シナリオ)を整理し、対策の要点を示す。	

## 資料 2-1 地震時における災害拡大シナリオの検討

### 1. 主な被害事例

- 1.1 新潟地震（1964）
- 1.2 宮城県沖地震（1978）
- 1.3 日本海中部地震（1983）
- 1.4 兵庫県南部地震（1995）
- 1.5 十勝沖地震（2003）
- 1.6 東北地方太平洋沖地震（2011）

### 2. 災害の拡大シナリオ（イベントツリー）

- 2.1 短周期地震動による被害
- 2.2 長周期地震動による被害
- 2.3 津波による被害

## 1. 主な被害事例

過去に国内で発生した地震により、石油コンビナート地区では以下のような流出や火災等の被害が発生している（参考資料 1 参照）。十勝沖地震（2003）以前の地震で被害を受けた後、耐震強度や防災対策の強化が図られており、同様の被害が発生する危険性は低減しているといえる。

### 1.1 新潟地震（1964）

- スロッシング → 原油タンク 5 基で出火・溢流 → 火災・流出油拡大  
→ 隣接する石油精製設備・民家に延焼（第 1 出火点）
- 配管ら流出（ガソリン等） → 津波・液状化による浸水 → 流出油拡大  
→ 火災 → 民家に延焼（第 2 出火点）

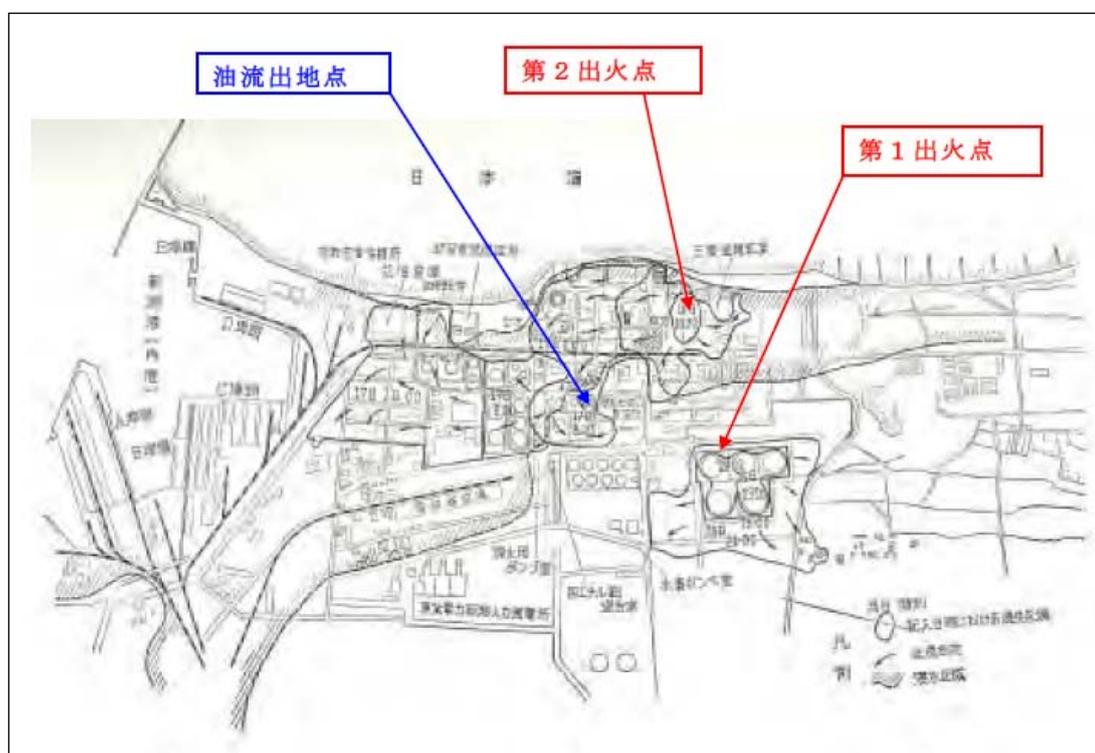


図 1.1 新潟地震における出火・延焼状況

\* ) 消防庁：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 3 月

### 1.2 宮城県沖地震（1978）

- 重油等タンク 3 基の底部破損 → 大量流出 → ガードベースンから海上流出  
→ オイルフェンスで拡大防止・回収

### 1.3 日本海中部地震（1983）

- スロッシング → 原油タンクの屋根で出火 → リング火災に拡大 → 消火

### 1.4 兵庫県南部地震（1995）

- L P G タンク（円筒平底）のノズルフランジ部から漏洩  
→ 低温液化ガスの蒸発・拡散 → 漏洩継続（着火なし）
- 石油タンク 6 基から漏洩（本体 1 基、配管 5 基、いずれも少量で着火なし）

### 1.5 十勝沖地震（2003）

- スロッシング → 原油タンクの屋根で出火 → リング火災に拡大  
→ 配管破損による流出油に延焼 → 消火
- スロッシング → ナフサタンクの浮き屋根沈降 → 2 日後に着火・全面火災

### 1.6 東北地方太平洋沖地震（2011）

#### (1) 市原市の L P G タンク火災

- L P G タンクの支柱ブレース破断（本震）  
→ タンクの支柱座屈、倒壊（茨城県沖の余震） : 満水状態  
→ 近接する複数の配管破断、L P G 漏洩 → 着火・火災  
→ 火災の影響により隣接 L P G タンクが爆発・延焼 : 緊急遮断弁開状態  
→ 付近の複数の L P G タンクが爆発・火災拡大  
→ 隣接する製造施設に延焼、アスファルトタンクの破損等周辺に被害拡大

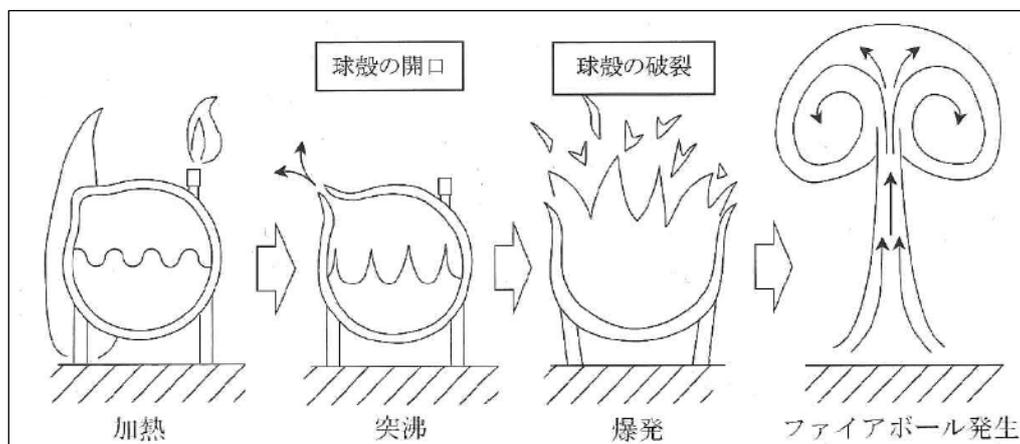


図 1.2 B L E V E (Boiling Liquid Expanded Vapor Explosion)

## (2) 仙台地区の流出・火災

- 火災 → ローリー出荷設備、ガソリタンク、アスファルトタンク、硫黄タンク等、およびガソリン約 23,200KL が焼失（火 1）
- 海水で酸化反応が促進された金属裁断物の内部発熱による火災（火 2）
- 津波により石油タンクの付属配管 2 箇所へのベントノズルが破断  
→ ガソリン約 1,200KL、重油約 1,400KL が防油堤内に流出（着火なし：流 1）
- 津波により重油タンクの出荷配管が破損 → 約 4,400KL が流出（着火なし：流 2）
- 津波により重油タンクの付属配管が破損 → 約 3,900KL が流出（着火なし：流 3）
- スロッシング → 浮き屋根上に原油が滞油（着火なし：流 4）  
：雨水管の元弁閉止



図 1.3 東北地方太平洋沖地震・仙台地区における流出・火災状況

\* ) 仙台市消防局警防部危険物保安課：東日本大震災におけるコンビナート地区の被害とその対応，Safety & Tomorrow 第 142 号，2012

## (3) 鹿島地区の被害

- 津波による漂流船舶の衝突 → 配管損傷
- 津波によるバースの損壊 → 配管の損傷 → 重油、ガソリン、灯油、軽油の流出
- 製鉄所のコークスガスホルダーの火災
- L P G 球形タンク 2 基（ブタン、水満水）のブレース損傷（漏洩なし）

#### (4) 被害の全体像

東北地方太平洋沖地震における地域別の被害の傾向を図 1.4 に、また各地域の被害の概況（危険物施設）を表 1.1 に示す。

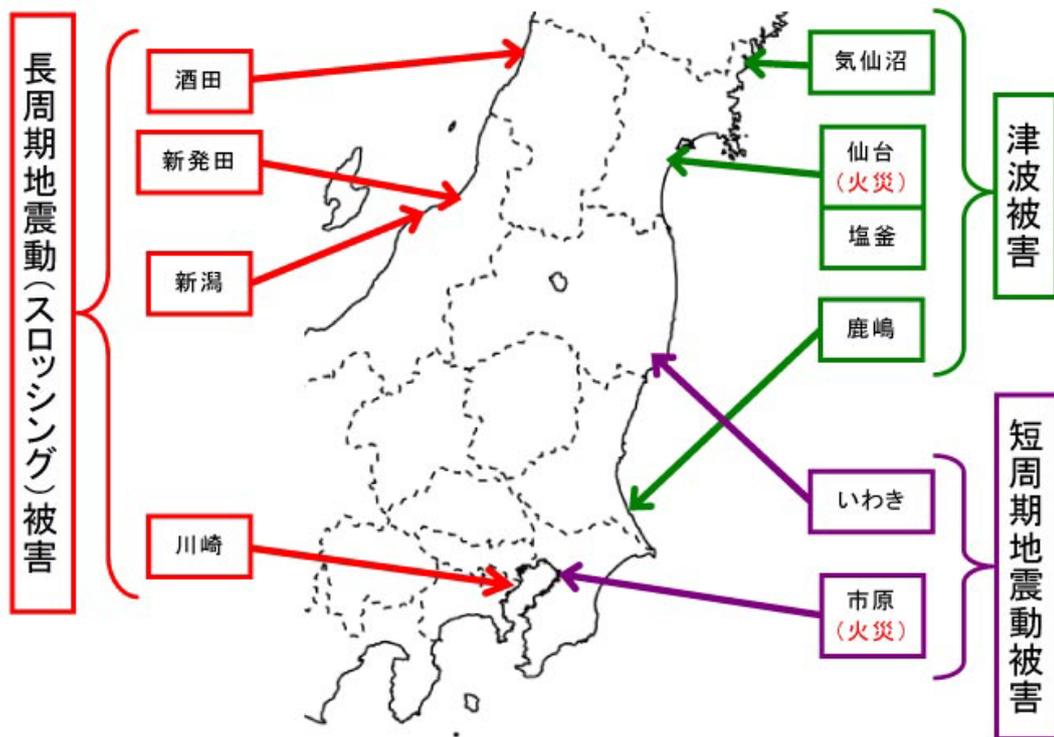


図 1.4 東北地方太平洋沖地震・地域別の被害の傾向

\* ) 消防研究センター：平成 23 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), 平成 23 年 12 月

表 1.1 東北地方太平洋沖地震・地域別の被害の概況（危険物施設）

地域	要因	被害の特徴	被害の代表例	
東北 太平洋側	津波	津波による被害が 顕著	タンク・配管の移動・転倒	
			タンク・防油堤の基礎・地盤の洗掘・流出	
			タンク火災	
			配管ノズルの破断・変形・移動	
			パースの破損	
	長周期	長周期地震動による 被害は小さい	スロッシング高さは低い傾向	
			ローリングラダーの脱輪	
短周期	痕跡がほとんどみ られない	浮き屋根デッキ上への滞油はあるものの、浮き屋根の構造的な 損傷・被害はみられない		
		短周期地震動によるタンクの損傷を確認できたのは、水タンク の1基のみ（象の足座屈）		
地域	要因	被害の特徴	被害の代表例	
福島～茨城 太平洋側	津波	津波による被害は護岸 部周辺にとどまる	パースの破損	
			長周期	長周期地震動による被 害は小さい
	ダブルデッキ浮き屋根でボンツーン内・デッキ板上滞油 がみられた			
	短周期	短周期地震動による被 害（特に液状化現象） が顕著である	液状化によるタンクの沈下、防油堤の倒れ・破損	
			タンクの沈下に伴い、側板の変形とトップアングル部の 開口	
		液状化によるタンク周辺地盤の噴砂		
地域	要因	被害の特徴	屋根	被害の代表例
日本海側	長周期	長周期地震動による 被害のみ発生	浮き屋根	ボンツーン内滞油（浮き屋根新基準適合済みタン クが1基含まれる）
				浮き屋根付属品の破損・変形
				ボンツーン・デッキ板の変形
			内部浮き蓋	側板最上端からタンク外へ危険物が溢流
				内部浮き蓋の全破損
		フロートチューブの変形		
地域	要因	被害の特徴	屋根	被害の代表例
東京湾岸	長周期	長周期地震動による 被害のみ発生	浮き屋根	浮き屋根の沈没
				浮き屋根ボンツーンの破損
				側板最上端からタンク外へ危険物が溢流
			内部浮き蓋	銅製ボンツーン破損・ボンツーン内滞油
				アルミ製簡易浮き蓋（ハニカムデッキ型）上への 滞油

\* ) 危険物保安技術協会：東日本大震災における危険物施設の被害概要， Safety & Tomorrow 第138号，2011

## 2. 災害の拡大シナリオ（イベントツリー）

地震時に石油コンビナートの主要施設（潜在危険性が大きい石油タンク、高圧ガスタンク、製造設備）で起こり得る災害拡大シナリオについて、現指針に例示されているETをベースに、上記の被害事例を踏まえて検討を行う。ここでのシナリオは、考え得るものをできる限り挙げており、可能性が極めて小さいと思われる初期事象や事象分岐も含まれている。これらのシナリオについて、どこまで現実的に起こり得るものと見なすか、またどのような評価を行うかは検討が必要である。また、これらのシナリオに現れる災害事象は、すべてが確率的評価や影響評価が可能なものではない。

### 2.1 短周期地震動による被害

#### (1) 石油タンク（屋外タンク貯蔵所）

強震動による直接的被害や、タンク基礎・地盤の液状化被害により、配管やタンク本体の破損に伴う漏洩が考えられる。

##### ア. 初期事象

短周期地震動（液状化も含む）によって発生すると考えられる初期事象は次のとおりである。

- 配管の小破による漏洩
- タンク本体の小破による漏洩
- 配管の大破による漏洩
- タンク本体の大破による漏洩

ここで、「小破」、「大破」は明確に区分できるものではなく、災害想定を行ううえで便宜的に設定するものである。また、タンク本体の破損は、大量流出につながる恐れのある底部の破損を考え、配管の弁（緊急遮断弁あるいは受払弁）よりタンク側の破損はタンク本体に含める。

##### イ. イベントツリー

上記の初期事象それぞれについて、防災設備や防災活動の成否、着火の有無といった事象の分岐を設定して、災害が拡大していく様相をイベントツリーとして展開する。

ここでは、すべての石油タンクで共通と考えられる初期事象から防油堤火災に至る単独災害のシナリオと、個々のタンクの立地条件に依存するその後の防油堤外流出・延焼拡大といった大規模災害（周辺施設へ被害が及ぶような災害）のシナリオを分けて考える。現指針では、前者の単独災害のシナリオのみを例示し、これに初期事象の発生確率及び事象の分岐確率を与えて定量的評価を行うものとしている。

それぞれの初期事象からスタートしたイベントツリーは以下のようなになる。

① 単独災害のシナリオ

- 配管の小破による漏洩 → ET\_2.1.1
- タンク本体の小破による漏洩 → ET\_2.1.2
- 配管の大破による漏洩 → ET\_2.1.3
- タンク本体の大破による漏洩 → ET\_2.1.4

表 2.1 事象の分岐（石油タンク・単独災害のシナリオ）

事象分岐	配管の小破	本体の小破	配管の大破	本体の大破
緊急遮断	○		○	
バルブ手動閉止	○			
一時的な流出拡大防止	○	○		
緊急移送	○	○		
仕切堤	○	○	○	
防油堤	○	○	○	○
着火（有／無）	○	○	○	○

- \* 1) 「緊急遮断」は、遠隔操作による緊急遮断弁または元弁の閉止を意味する。
- \* 2) 「一時的な流出拡大防止」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。
- \* 3) タンクによっては該当設備がないものもある（緊急遮断や仕切堤など）。その場合はE Tで失敗の経路をたどる。

② 大規模災害のシナリオ

- 防油堤から海上流出に至るシナリオ → ET\_2.1.5
- 防油堤火災からの延焼拡大シナリオ → ET\_2.1.6

防油堤内への大量流出と防油堤の破損が同時に起こると、流出が防油堤外へ拡大する。流出油の拡大防止措置としては、流出油防止堤（第4類危険物を貯蔵する容量1万KL以上の屋外貯蔵タンクがある事業所に設置が義務づけられている）、排水処理設備、オイルフェンスが考えられる。

また、防油堤内流出火災からの延焼拡大シナリオは、防油堤内の隣接タンクを含むタンクヤードの全面火災、防油堤外への火災拡大、周辺設備への延焼が考えられる。この時、近隣にLPGタンク等があれば、BLEVE等の大規模な爆発火災発生の可能性もある。

なお、E Tでは「着火」の分岐を最後に付けているが、これは便宜的なものであり、流出油が火災となって拡大していくこともあり得る。いずれにしても最終的な災害事象は同じである。

## ウ. 火災以外の災害

石油類には、例えばアクリロニトリル（第1石油類）のように毒性が強いものがある。これらの物質を貯蔵したタンクは、基数は少なくほとんどが小規模（1,000KL未満）なものであるが、流出した場合、火災に至らなくても蒸発・拡散することにより周囲に影響を及ぼす恐れがある。現指針では、これらの毒性危険物の流出については特に触れていないが、アセスメント実施時には前記のE Tによる流出規模に基づいた毒性拡散の評価を行っている（防油堤内流出まで）。

また、アクリロニトリルもそうであるように、燃焼によって有毒のガスを生成するものもある。例えば、硫黄はそれ自体が拡散して周囲に影響を及ぼす可能性はほとんどないが、燃焼によって有毒の二酸化硫黄を生成する。東北地方太平洋沖地震の仙台地区の火災では、放射熱によるL P Gタンクの損傷に加え、硫黄の燃焼による影響も懸念され避難が行われた。ただ、このような燃焼生成物の拡散については、影響評価が困難なことから、現指針では触れておらず、アセスメント実施時にも評価されていない（シナリオとしては前記E Tの「火災」のあとに「有毒燃焼生成物の発生・拡散」が加わることになる）。

## (2) 高圧ガスタンク

強震動による直接的被害や、タンク基礎・地盤の液状化被害により、配管やタンク本体の破損に伴う漏洩が考えられる。

### ア. 初期事象

短周期地震動によって発生すると考えられる初期事象は、石油タンクと同様に次のようになる。

- 配管の小破による漏洩
- タンク本体の小破による漏洩
- 配管の大破による漏洩
- タンク本体の大破による漏洩

東北地方太平洋沖地震における市原市のL P G火災は、「配管の大破による漏洩」から大規模な災害に至ったといえる。もし座屈・倒壊したタンクの内容物がL P Gであれば「タンク本体の大破による漏洩」となる（鹿島地区ではブタンを貯蔵した球形タンクのブレースが損傷している）。また、兵庫県南部地震の低温L P G漏洩は、遮断弁よりタンク側のノズルフランジ部からの漏えいで、「タンク本体の小破による漏洩」に含めて考えることができる。

### イ. イベントツリー

L P Gを貯蔵した高圧ガスタンクを前提に、上記の初期事象それぞれについて災害が拡大していくシナリオをイベントツリーとして展開する。ここでも、すべての

タンクで共通の単独災害のシナリオと、立地条件に依存する大規模災害のシナリオを分けて考える（現指針では単独災害のシナリオのみを例示）。

それぞれの初期事象からスタートしたイベントツリーは以下のようになる。

① 単独災害のシナリオ

- 配管の小破による漏洩 → ET\_2.2.1
- タンク本体の小破による漏洩 → ET\_2.2.2
- 配管の大破による漏洩 → ET\_2.2.3
- タンク本体の大破による漏洩 → ET\_2.2.4

表 2.2 事象の分岐（高圧ガスタンク・単独災害のシナリオ）

事象分岐	配管の小破	本体の小破	配管の大破	本体の大破
緊急遮断	○		○	
バルブ手動閉止	○			
緊急移送	○	○		
防液堤			○	○
着火（有／無）	○	○	○	○

なお、上記のETでは、災害事象を「爆発・火災」といったひとくくりで表しているが、可燃性ガスが漏洩した場合、着火のタイミングによって図 2.1 のETで示すような様々な燃焼形態をとる（貯蔵物質や貯蔵状態によっても異なる）。さらに漏洩が止まらない場合や液化ガスが大量に漏洩した場合には、爆発したあと噴出火災や液面火災となって長時間継続することになる。それぞれの燃焼形態によって周囲への影響のしかたは異なり、評価を行うときにはこのような着火のタイミングも含めたシナリオを考慮する必要がある。ただし、噴出火災については、影響があまり大きくなならないこと、簡易で適切な影響算定手法がないことから、現指針には示されていない。

② 大規模災害のシナリオ

- 全量流出爆発火災からの延焼拡大シナリオ → ET\_2.2.5

個々のタンクに防液堤が設置され、隣接タンクの散水冷却が十分に機能すれば単独施設の爆発・火災にとどまるが、地震で防液堤が損傷したり、市橋の事例のように複数のタンクが1つの防液堤の中に近接して設置されているような場合には、散水冷却が機能せずBREVEによる大規模な爆発・火災に至る可能性がある。さらに放射熱、爆風圧、飛散物により周辺設備に延焼拡大することも考えられる。

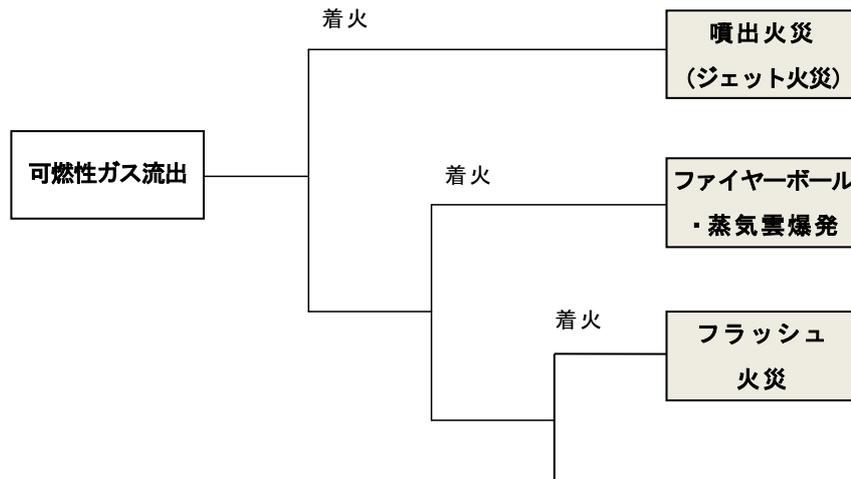


図 2.1 可燃性ガスの燃焼形態

### (3) 製造設備

強震動による直接的被害や基礎・地盤の液状化被害により、設備の破損に伴う漏洩が考えられる。

また、製造設備には、石油精製プラント、石油化学プラント、高圧ガス製造プラントなどがあり、石油類や高圧ガスの取扱量、プラント内の反応プロセスは多種多様である。これらの中には、著しい発熱反応を伴うもの、副次的な反応による爆発危険性を伴うものもある。このようなプラントでは、近年緊急停止に伴う事故が問題になっており、地震時の災害拡大シナリオにも関連してくる。

#### ア. 初期事象

製造施設は、反応器や貯槽といった塔槽類、加熱炉や熱交換器といった関連機器、及びこれらをつなぐ配管系などから構成される。これらのなかで、可燃性物質（あるいは毒性物質）が大量に滞留する塔槽類を代表的装置として取り上げ、地震時に起こり得る次の事象を初期事象とする。

- 装置の小破による漏洩
- 装置の大破による漏洩

また、設備の緊急停止に関しては、地震計で一定の地震動が観測された場合に設備の緊急停止を行うよう規定している場合や、停電により緊急停止を行う場合が考えられる。

- プラント緊急停止

なお、過去の地震において、製造設備で流出や火災・爆発が発生した例はほとんど見られない。東日本大震災でも 68 の施設が地震により被災したが、流出や火災は全く発生していない（津波による被災は 4、判別不明は 8 であるが、これらを合

せても流出や火災は発生していない)。

## イ. イベントツリー

石油類や可燃性ガスを扱う製造設備において、上記の初期事象それぞれについて災害が拡大していくシナリオをイベントツリーとして展開する。基本的に、製造設備で漏洩が発生した場合、緊急遮断により発災箇所のブロック化を図り、内容物をブローダウン設備やフレアスタック、ベントスタックに送って安全に処理を行うことになる。

なお、上記は緊急停止・遮断を防災設備として捉えた正常なシナリオである。一方で、プラントによっては緊急停止・遮断がプロセス異常を引き起こし、事故の引き金になることも否定できない。プラントの緊急停止方法には、地震検知あるいは地震による異常検知による自動停止と、運転員の手動による停止とが考えられるが、自動化の可否や停止方法は設備によって様々である。大規模地震の発生時には、停電や設備損傷等により定められた手順通りに停止操作ができない場合も考えられ、プロセスによっては反応暴走により温度、圧力が急上昇して容器等の破裂に至る可能性もある。

これらのことを考慮したイベントツリーは以下のようなになる。

### ① 単独災害のシナリオ

- 装置の小破による漏洩 → ET\_2.3.1
- 装置の大破による漏洩 → ET\_2.3.2
- プラント緊急停止 → ET\_2.3.3

表 2.3 事象の分岐（製造設備・単独災害のシナリオ）

事象分岐	装置の小破	装置の大破	緊急停止
緊急遮断（遮断弁閉止）	○	○	
緊急移送（内容物処理）	○		○
着火（有／無）	○	○	
運転制御			○

ここでも、災害事象は「爆発・火災」といったひとくくりに表すが、可燃性ガスの場合には図 2.1 のような燃焼形態をとる。また、製造設備には、硫化水素などの毒性物質を取り扱っているものもある。この場合、着火して爆発・火災に至らなくても、拡散により周囲に影響を及ぼす恐れがある。

### ② 大規模災害のシナリオ

- 容器破裂による爆発火災 → ET\_2.3.4

急激な圧力上昇により反応容器等が破裂した場合には、周辺に大きなエネルギーを持った破片が飛び散り、近くに石油タンクや高圧ガスタンクがあれば、これらを破損して大規模な爆発・火災に至る可能性がある。

## 2.2 長周期地震動による被害

長周期地震動によるスロッシング被害が考えられるのは主に石油タンクであることから、ここでは石油タンクについてのシナリオを整理する。

### ア. 初期事象

十勝沖地震（2003）では、浮き屋根の損傷や沈降によるタンク火災のほか、固定屋根式タンクの側板と屋根接合部を突き破って溢流した事例、浮き屋根上に流出した油がドレン配管を通して外に流出した事例も見られた。また、東日本大震災では、表1.1に示したような浮き屋根の損傷（沈降も含む）や内部浮き蓋の損傷が発生している（浮き屋根に被害のあったタンクのなかで、新基準に適合したものは4基だけであるが、ポンツーン内への流出は発生していない）。これらを念頭において、長周期地震動によって発生すると考えられる初期事象は次のように設定する。

#### ① 浮き屋根式タンク

- 浮き屋根上への流出
- 浮き屋根の損傷・沈降
- タンク中のドレン配管の破損  
(浮き屋根上に流出した油がドレン配管を通して流出する事象も含む)

#### ② 固定屋根式タンク

- タンク上部（側板と屋根の接合部）の破損
- 浮き蓋の損傷・沈降（内部浮き蓋付きタンク）

### イ. イベントツリー

それぞれの初期事象からスタートしたイベントツリーは以下のようなになる。なお、大規模災害のシナリオは、短周期地震動による被害（ET\_2.1.6）と同様と考えられ、ここでは単独災害のシナリオのみを示す。

#### ① 浮き屋根式タンク

- 浮き屋根上への流出 → ET\_2.4.1
- 浮き屋根の損傷・沈降 → ET\_2.4.2
- タンク中のドレン配管の破損 → ET\_2.4.3

#### ② 固定屋根式タンク

- タンク上部（側板と屋根の接合部）の破損 ET\_2.4.4

## 2.3 津波による被害

東日本大震災では、これまで経験したことがないような巨大な津波に襲われ、特に岩手県、宮城県のパ洋洋側では、多くの人的被害とあわせて危険物施設や高圧ガス施設に大きな被害が出た。また、福島県から茨城県の太平洋側でも津波の来襲はあったが、コンビナート地区に関しては、被害はバースの損壊など護岸部周辺にとどまっている。ここでは、潜在危険性が大きく大規模災害につながる可能性がある石油タンクと高圧ガスタンク、プラント製造設備、及び護岸部に設置され被害を受ける可能性が高い危険物配管を取り上げ、津波に伴う災害拡大シナリオの検討を行う。

### (1) 石油タンク（屋外タンク貯蔵所）

東日本大震災での危険物流出は 106 件発生しており、この中の 87%にあたる 92 件が石油タンクの底板や配管などの破損によるものである。消防庁が、津波浸水深が把握できた 244 基のタンクについて調べた結果、被害形態は図 2.2 に示すとおりであった。津波浸水深と被害形態との関係は、図 2.3 に示すように、配管、タンク本体の被害ともに 3 m を超えたところから発生し、本体の被害は 7 m を超えると顕著になっている。また、被害形態は、タンク容量、被災時の貯蔵量にも依存する。

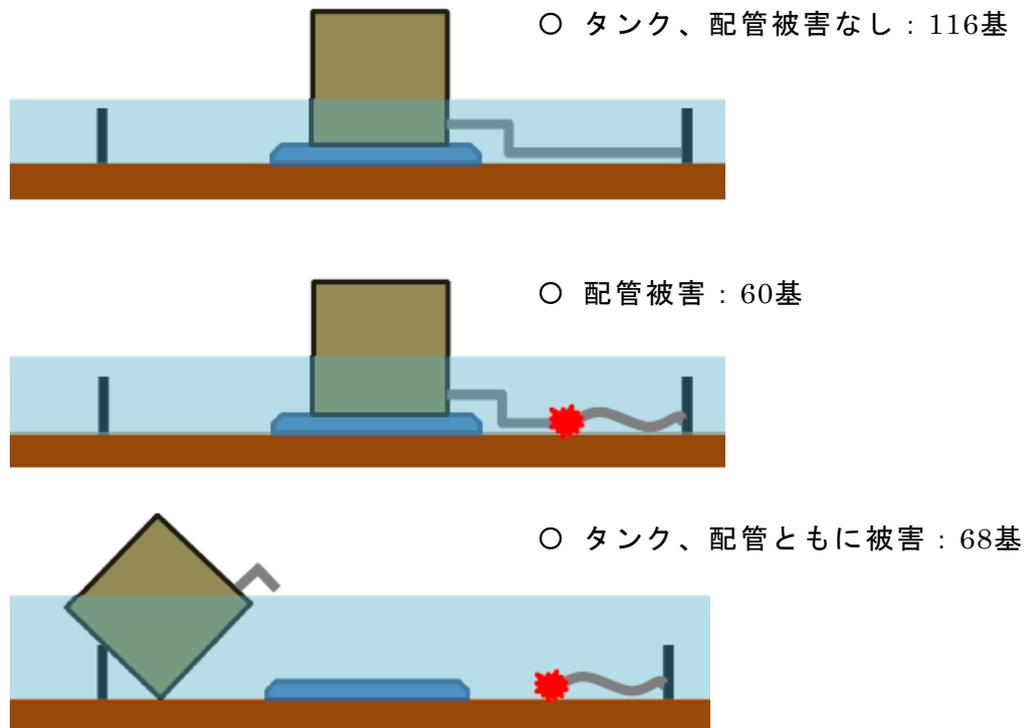


図 2.2 津波による石油タンクの被害形態

\* ) 消防庁危険物保安室・特殊災害室：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・

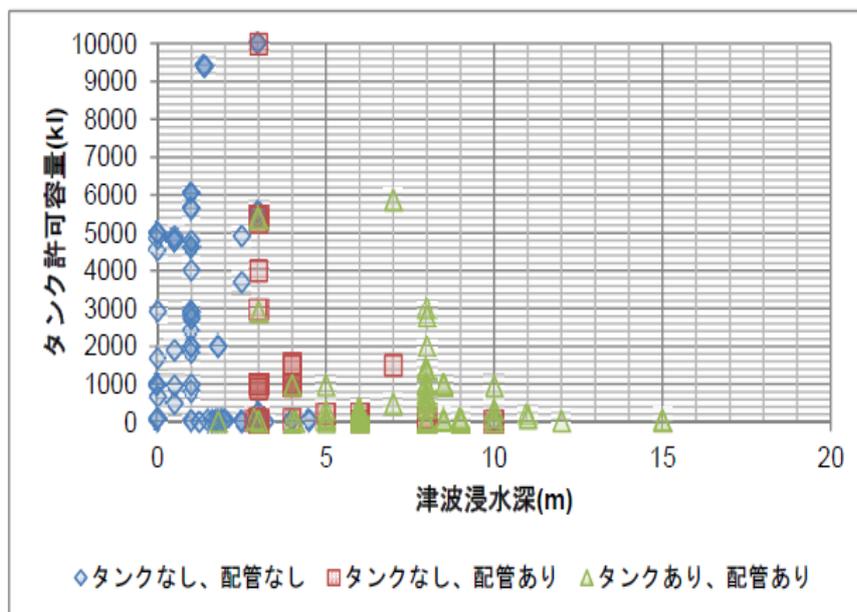


図 2.3 石油タンクの被害形態と津波浸水深との関係

## ア. 初期事象

津波によって、石油タンクで発生する初期事象としては、まず配管やタンク本体の破損による漏洩が考えられる。破損の原因としては、津波の波力によるタンクの移動や転倒、漂流物（船舶、流木、コンテナ、車両等）の衝突が考えられるが、現段階で評価が可能なのはタンクの浮き上がり及び滑動の可能性のみであることから、漏洩の発生を初期事象として、流出後の災害拡大シナリオを検討する。また、このほかの事象として、短周期地震動やスロッシングにより油が流出したところに津波が押し寄せることも考えておく必要がある。以上から、次のような事象を初期事象として設定する。

- 配管の直接的被害による漏洩
- タンク本体の移動・転倒等
- 地震による流出後の津波

破損の程度は、短周期地震動と同様に「小破」と「大破」が考えられるが、ここでは大規模災害に至る「大破」を前提とする。また、「地震による流出後の津波」は、防油堤内に大量に流出したあとに浸水するような事態を考える。

## イ. イベントツリー

上記の初期事象それぞれについて災害が拡大していくシナリオをイベントツリーとして展開すると次のようになる。

- 配管の直接的被害による漏洩 → ET\_2.5.1
- タンク本体の移動・転倒等 → ET\_2.5.2
- 地震による流出後の津波 → ET\_2.5.3

ET\_2.5.1、ET\_2.5.2 のシナリオは、津波浸水深が概ね 3 m 以上となるような場合が前提となる。ET\_2.5.2 で、配管から漏洩した場合でも、遮断できないとタンク全量が流出することになり本体破損と同じ結果になる。ここで、「緊急遮断」あるいは「バルブ手動閉止」は、地震発生から津波が到達するまでに行うことを前提としており、津波が短時間で到達する場合には、地震の影響で「緊急遮断」に失敗すると、「バルブ手動閉止」を行う時間的余裕はないであろう。数 m を超える津波浸水が懸念される場所では、複数のタンクが被災し、陸上あるいは海上の広範囲に流出や火災が広がる可能性がある。

ET\_2.5.3 のシナリオは、浸水深が 3 m 以下であっても起こり得ると考えられる。この場合、津波が防油堤を超えるか、防油堤が損傷して堤内に浸水し、さらに油が海水とともに堤外に流出した場合には、流出や火災が拡大する危険性がある。ただし、複数のタンクで発生する可能性は小さく、流出や火災の拡大範囲は、ET\_2.5.1 や ET\_2.5.2 に比べると小さくなるであろう。

## (2) 高圧ガスタンク

東日本大震災では、高圧ガス施設も津波によって多くの被害を受け、タンク（貯槽）の流出も発生している。流出したのは 30 t の L P G タンクなど小規模な 5 基のタンクで、浸水深は 4 基が 5 m 以上、1 基が 3 ～ 5 m となっている。なお、ここでいう流出はタンク本体の流出で、ガス漏洩があったかどうかはわからないが、火災や爆発に至ったものはない（コンビナート地区とは限らない）。

\* ) 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：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

### ア. 初期事象

東日本大震災では、比較的大規模なタンクの被害は報告されていないが、可能性としては以下の初期事象が考えられる（高圧ガス設備が波力、浮力及び漂流物により受ける影響評価については経済産業省で検討が予定されている）。

- 配管の直接的被害による漏洩
- タンク本体の移動・転倒等

### イ. イベントツリー

上記の初期事象それぞれについて災害が拡大していくシナリオをイベントツリーとして展開すると次のようになる。

- 配管の直接的被害による漏洩 → ET\_2.5.4
- タンク本体の移動・転倒等 → ET\_2.5.5

高圧ガス（可燃性ガス）が津波により大量に流出したとしても、着火しなければ

海水からの吸熱により短時間で蒸発・拡散すると考えられる。流出直後に着火すると爆発あるいはファイヤーボールが発生し、周囲に影響を及ぼすことが懸念される。爆発したあとについては事例がないため、どのような事態になるか不明であるが、津波漂流物に延焼した場合には、火災となって広範囲に拡大することが考えられる。

### (3) プラント（製造設備）

プラントに関しては、東日本大震災で津波による被害があったものは、仙台地区の製油所のみと考えられる（H23 消防庁調査結果では、被害が地震によるものか津波によるものなのか判別不明となっている）。万一津波による設備の破損が生じた場合には、破損した設備やプラント内の可燃性物質が流出し、状況によっては周辺の施設へ2次的な被害を及ぼす可能性もあるが、石油タンクに比べると流出量は少なく、したがって周辺への影響も小さいと考えられる。

#### ア．初期事象

東日本大震災では、津波によるプラントの設備損傷はあったものの、内容物の漏洩は発生していないことから、以下を初期事象として設定する。

- 設備の浸水

#### イ．イベントツリー

上記の初期事象について災害が拡大していくシナリオをイベントツリーとして展開すると次のようになる。

- 設備の浸水 → ET\_2.5.6

なお、火災の危険性はプラントで取扱う物質により、危険物の火災、可燃性ガスの爆発・火災、毒性ガス拡散が考えられる。

### (4) 護岸部の危険物配管

護岸部に設置された危険物の入出荷用の配管などは津波による被害を受けやすく、東日本大震災における鹿島地区の事例に見られるように、それほど浸水しなくても船舶などの漂流物の衝突により護岸とともに損壊する可能性がある。入出荷中に地震が発生したとしても、津波が到達する前に入出荷の緊急停止・遮断が行われ、これが正常に行われれば流出量は小量にとどまる。地震による影響で緊急遮断・停止が正常にできない場合には、大量流出に至る可能性があるが、このときの災害拡大シナリオは石油タンクの配管の直接的被害による漏洩（ET\_2.5.1）と同様である。なお、入出荷の緊急停止とあわせて、タンカーの沖合退避が行われることになるが、これが間に合わなければ護岸に衝突するなどして損壊の原因になり得る。

資料2-2 災害の発生・拡大シナリオの見直し(案)

初期事象の発生要因	施設種別 *1)	初期事象 *2)	単独/大規模 *3)	災害事象の拡大様相 *4)	ET
短周期地震動(強震動・液状化)	危険物タンク	配管の小破による漏洩	単独災害	少量～防油堤内流出火災	ET_2.1.1
		タンク本体の小破による漏洩	単独災害	中量～防油堤内流出火災	ET_2.1.2
		配管の大破による漏洩	単独災害	仕切堤内～防油堤外流出火災	ET_2.1.3
		タンク本体の大破による漏洩	単独災害	防油堤内～防油堤外流出火災	ET_2.1.4
		防油堤外大量流出	大規模災害	事業所内～海上流出火災	ET_2.1.5
		防油堤内流出火災	大規模災害	防油堤内流出火災～周辺設備への火災拡大	ET_2.1.6
	高圧ガスタンク	配管からの小破漏洩	単独災害	少量～長時間流出爆発・火災	ET_2.2.1
		タンク本体の小破漏洩	単独災害	長時間流出爆発・火災	ET_2.2.2
		配管からの大破漏洩	単独災害	大量～全量流出爆発・火災	ET_2.2.3
		タンク本体の大破漏洩(BLEVE)	単独災害	全量流出爆発・火災(ファイヤーボール)	ET_2.2.4
		全量流出爆発・火災	大規模災害	防液堤内単独火災～隣接設備への火災拡大	ET_2.2.5
	プラント(製造設備)	装置の小破による漏洩	単独災害	少量～長時間流出爆発・火災	ET_2.3.1
		装置の大破による漏洩	単独災害	ユニット内全量～大量流出爆発・火災	ET_2.3.2
		プラント緊急停止	単独災害	容器破裂爆発・火災	ET_2.3.3
		容器破裂爆発・火災	大規模災害	単独設備～事業所外爆発・火災	ET_2.3.4
	地盤変状	-	護岸の側方流動 ※初期事象発生後の災害拡大様相は短周期地震動の場合と同様と考えられる(ただし単独災害)。	-	-
-		地震による土砂災害 ※初期事象発生後の災害拡大様相は短周期地震動の場合と同様と考えられる(ただし単独災害)。	-	-	
長周期地震動	危険物タンク	浮き屋根上への流出(浮き屋根式)	単独災害	タンク周辺～タンク全面・防油堤火災	ET_2.4.1
		浮き屋根の損傷・沈降(浮き屋根式)	単独災害	タンク全面～タンク全面・防油堤火災	ET_2.4.2
		タンク中のドレン配管の破損(浮き屋根式)	単独災害	タンク周辺～防油堤外流出火災	ET_2.4.3
		タンク上部の破損(固定屋根式)	単独災害	タンク周辺流出火災～タンク全面・防油堤火災	ET_2.4.4
		浮き蓋の損傷・沈降(内部浮き蓋付き)	単独災害	タンク小火災～タンク全面・防油堤火災	ET_2.4.5
	高圧ガスタンク	LNG地下式貯槽の内部構造被害 ※スロッシングにより内部の吊り天井が破損したとしても外槽破損は考えにくい。	-	-	
	プラント(製造設備)	塔類の破損 ※初期事象発生後の災害拡大様相は短周期地震動の場合と同様と考えられる。	-	-	
津波	危険物タンク	配管の破損による漏洩	大規模災害(海上)	防油堤内～事業所外(陸上・海上)流出火災	ET_2.5.1
		タンクの移動・転倒等	大規模災害(海上)	防油堤内～事業所外(陸上・海上)流出火災	ET_2.5.2
		地震による流出後の津波	大規模災害(海上)	防油堤内～事業所外(陸上・海上)流出火災	ET_2.5.3
	高圧ガスタンク	配管の直接的被害による漏洩	大規模災害(海上)	爆発・火災	ET_2.5.4
		タンク本体の移動・転倒等	大規模災害(海上)	爆発・火災	ET_2.5.5
	プラント(製造設備)	設備の浸水	大規模災害(海上)	少量～大量流出火災	ET_2.5.6

\*1) 対象施設はコンビナートの状況に応じて選定する必要があるが、ここでは代表的な施設として、危険物タンク、高圧ガスタンク、プラント(製造設備)をとりあげた。

\*2) 青字は今回新たに追加したシナリオ、太字は大規模災害のシナリオである。

\*3) 「単独災害」は対象施設のみでの災害、「大規模災害」とは対象施設周辺の他施設へ拡大するような災害である。

\*4) 毒性物質の漏洩による毒性ガス拡散は省略している。

注1) 単独災害と大規模災害のシナリオは、本来連続的につながるものであるが、前者はすべて(全国)の施設に共通、後者は立地条件等に依存するため分けて考えた。

注2) 基本的にETAによる確率的評価が可能なのは単独災害である。ただし、長周期地震動による被害のように確率的評価がなされないものもある。

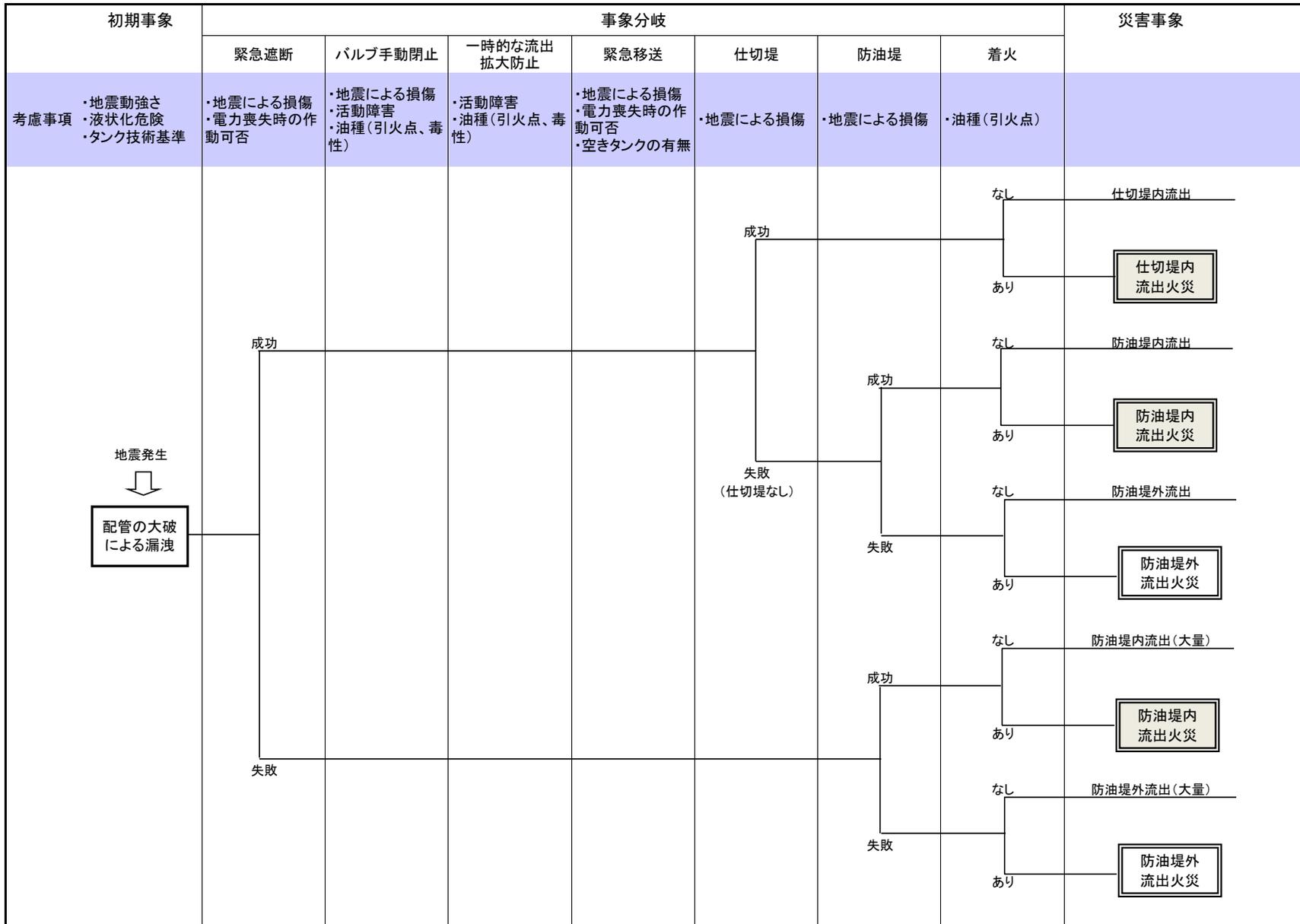
注3) 大規模災害、あるいは複数施設の同時被災といった災害についてETAによる確率的評価を行うことは困難である。



ET\_2.1.2 タンク本体の小破による漏洩(短周期地震動・石油タンク)

初期事象	事象分岐							災害事象
	緊急遮断	バルブ手動閉止	一時的な流出 拡大防止	緊急移送	仕切堤	防油堤	着火	
考慮事項 ・地震動強さ ・液状化危険 ・タンク技術基準	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否	・地震による損傷 ・活動障害 ・油種(引火点、毒 性)	・活動障害 ・油種(引火点、毒 性)	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・空きタンクの有無	・地震による損傷	・地震による損傷	・油種(引火点)	
地震発生 ↓ 本体の小破 による漏洩			成功 ↓ 成功		成功 ↓ 成功		なし ↓ 中量流出 ↓ 中量 流出火災	
			失敗 ↓ 失敗				なし ↓ 仕切堤内流出 ↓ 仕切堤内 流出火災	
				成功 ↓ 成功			なし ↓ 防油堤内流出 ↓ 防油堤内 流出火災	
				失敗 ↓ 失敗 (仕切堤なし)		成功 ↓ 成功	なし ↓ 防油堤外流出 ↓ 防油堤外 流出火災	
						失敗 ↓ 失敗	なし ↓ 防油堤外流出 ↓ 防油堤外 流出火災	
						あり ↓ あり	あり ↓ あり	

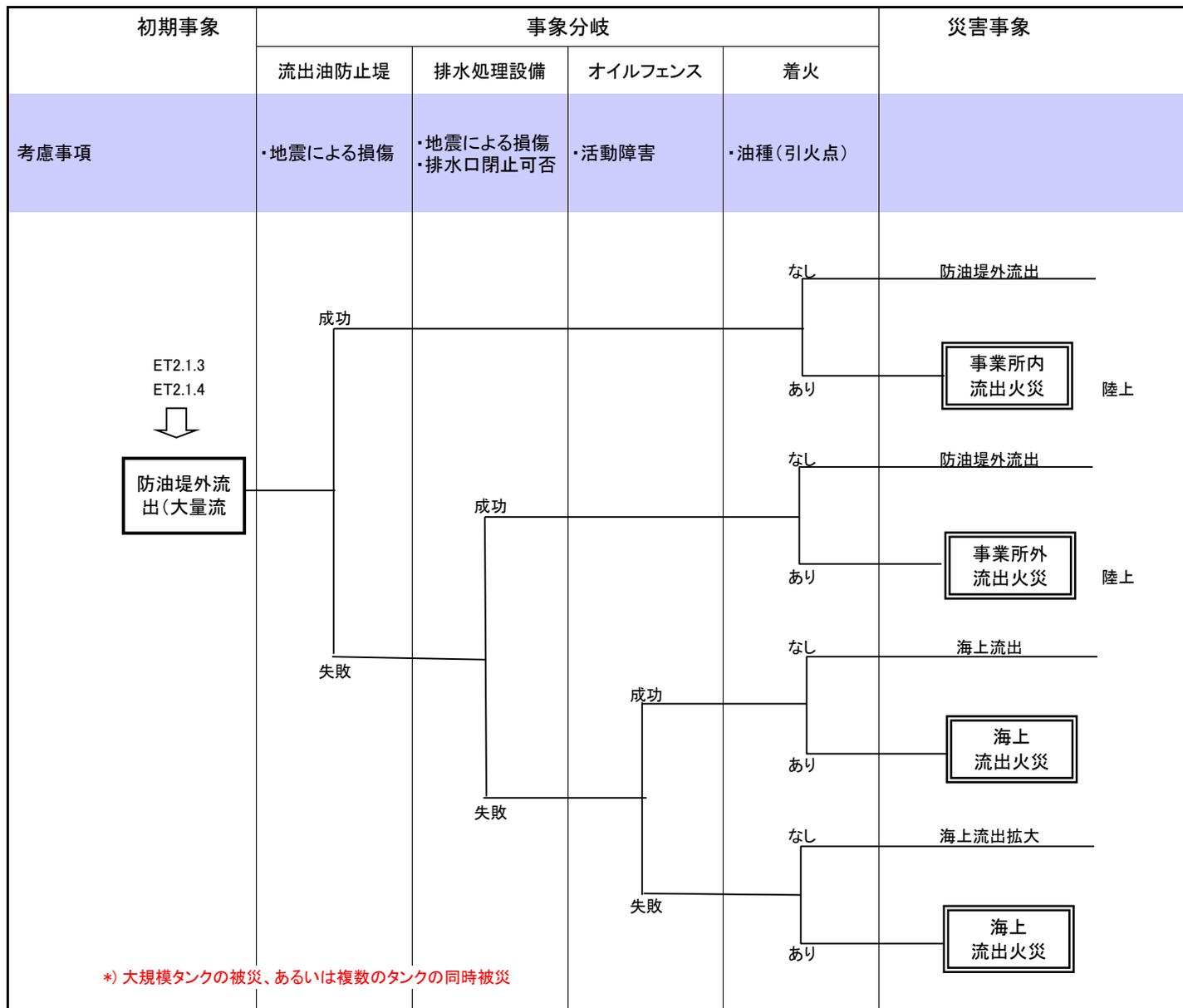
ET\_2.1.3 配管の大破による漏洩(短周期地震動・石油タンク)



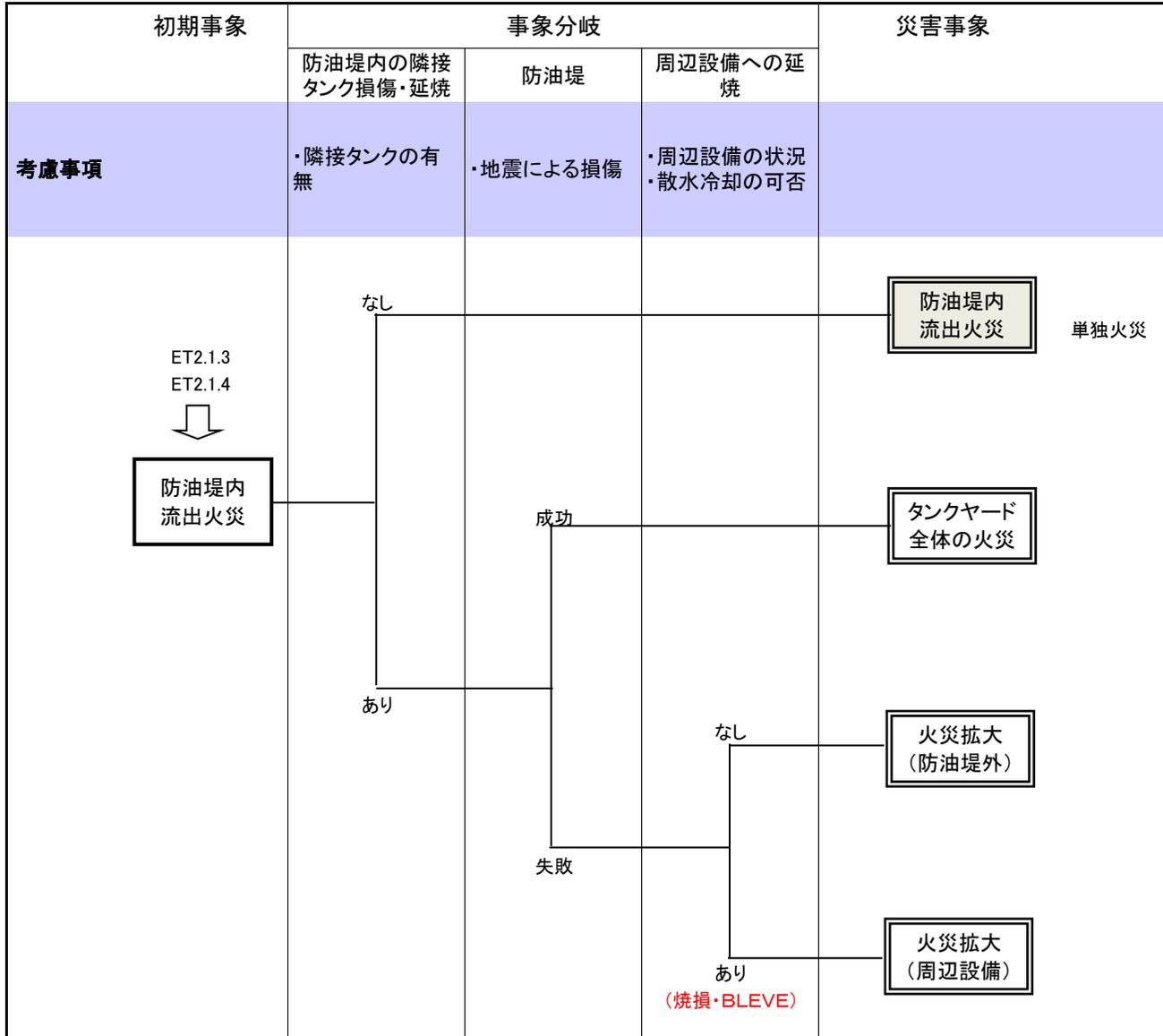
ET\_2.1.4 タンク本体の大破による漏洩(短周期地震動・石油タンク)

初期事象	事象分岐							災害事象
	緊急遮断	バルブ手動閉止	一時的な流出 拡大防止	緊急移送	仕切堤	防油堤	着火	
考慮事項 ・地震動強さ ・液状化危険 ・タンク技術基準	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否	・地震による損傷 ・活動障害 ・油種(引火点、毒 性)	・活動障害 ・油種(引火点、毒 性)	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・空きタンクの有無	・地震による損傷	・地震による損傷	・油種(引火点)	
地震発生 ↓ 本体の大破 による漏洩						成功 失敗	なし あり なし あり	防油堤内流出(大量) 防油堤内 流出火災 防油堤外流出(大量) 防油堤外 流出火災

ET\_2.1.5 防油堤から海上流出に至るシナリオ(短周期地震動・石油タンク)



ET\_2.1.6 防油堤火災からの延焼拡大シナリオ(短周期地震動・石油タンク)



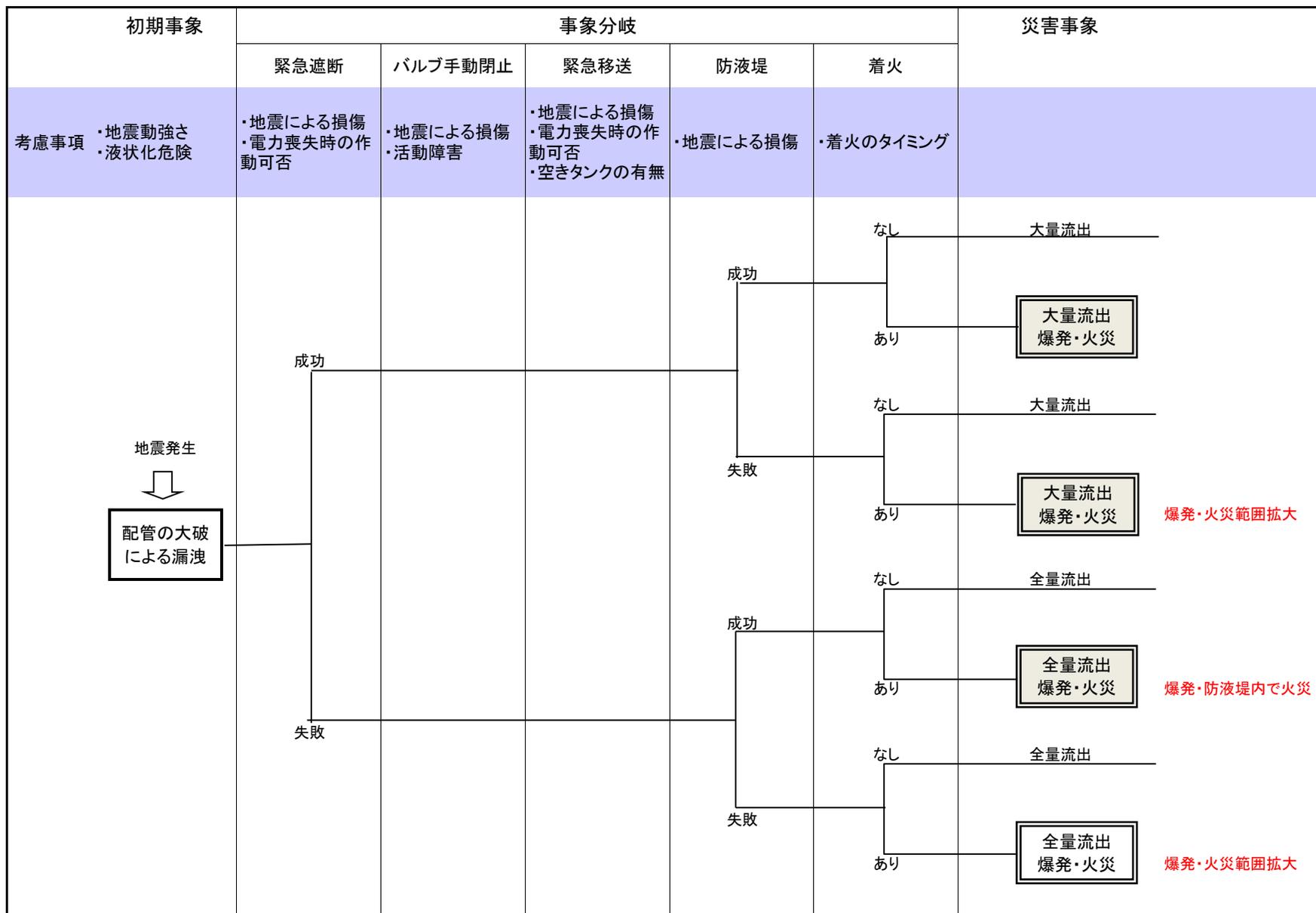
ET\_2.2.1 配管の小破による漏洩(短周期地震動・可燃性ガスタンク)

初期事象	事象分岐					災害事象
	緊急遮断	バルブ手動閉止	緊急移送	防液堤	着火	
考慮事項 ・地震動強さ ・液状化危険	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否	・地震による損傷 ・活動障害	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・空きタンクの有無	・地震による損傷	・着火のタイミング	
地震発生 ↓ 配管の小破 による漏洩	成功 ↓ 失敗	成功 ↓ 失敗	成功 ↓ 失敗		なし ↓ あり	少量流出 ↓ 少量流出 爆発・火災
					なし ↓ あり	中量流出 ↓ 中量流出 爆発・火災
					なし ↓ あり	長時間流出 ↓ 長時間流出 爆発・火災
					なし ↓ あり	長時間流出(全量) ↓ 長時間流出 爆発・火災

ET\_2.2.2 タンク本体の小破による漏洩(短周期地震動・可燃性ガスタンク)

初期事象	事象分岐					災害事象
	緊急遮断	バルブ手動閉止	緊急移送	防液堤	着火	
考慮事項 ・地震動強さ ・液状化危険	・地震による損傷 ・電力喪失時の作動可否	・地震による損傷 ・活動障害	・地震による損傷 ・電力喪失時の作動可否 ・空きタンクの有無	・地震による損傷	・着火のタイミング	
地震発生 ↓ 本体の小破による漏洩			成功		なし あり	長時間流出 長時間流出 爆発・火災
			失敗		なし あり	長時間流出(全量) 長時間流出 爆発・火災

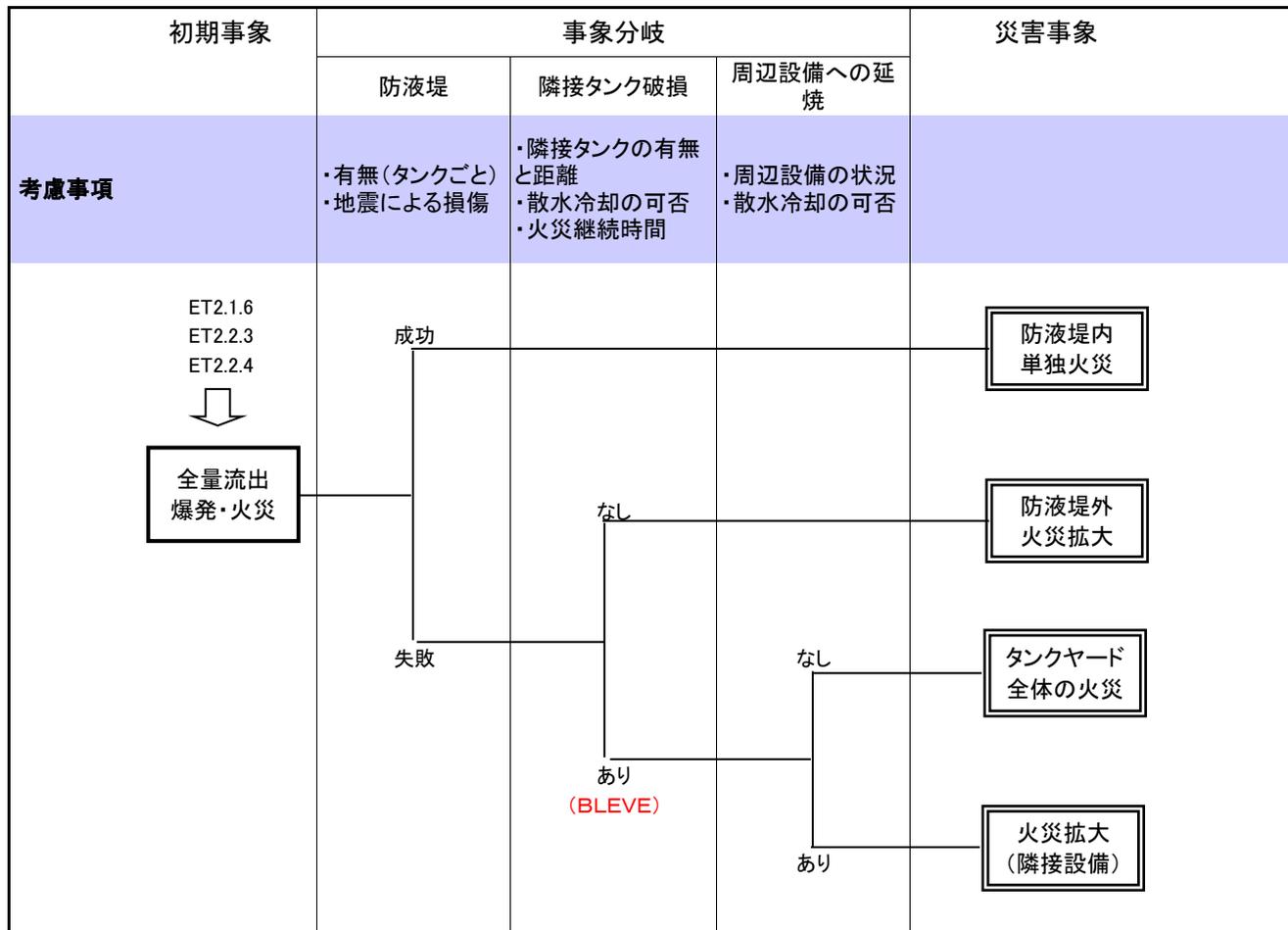
### ET\_2.2.3 配管の大破による漏洩(短周期地震動・可燃性ガスタンク)



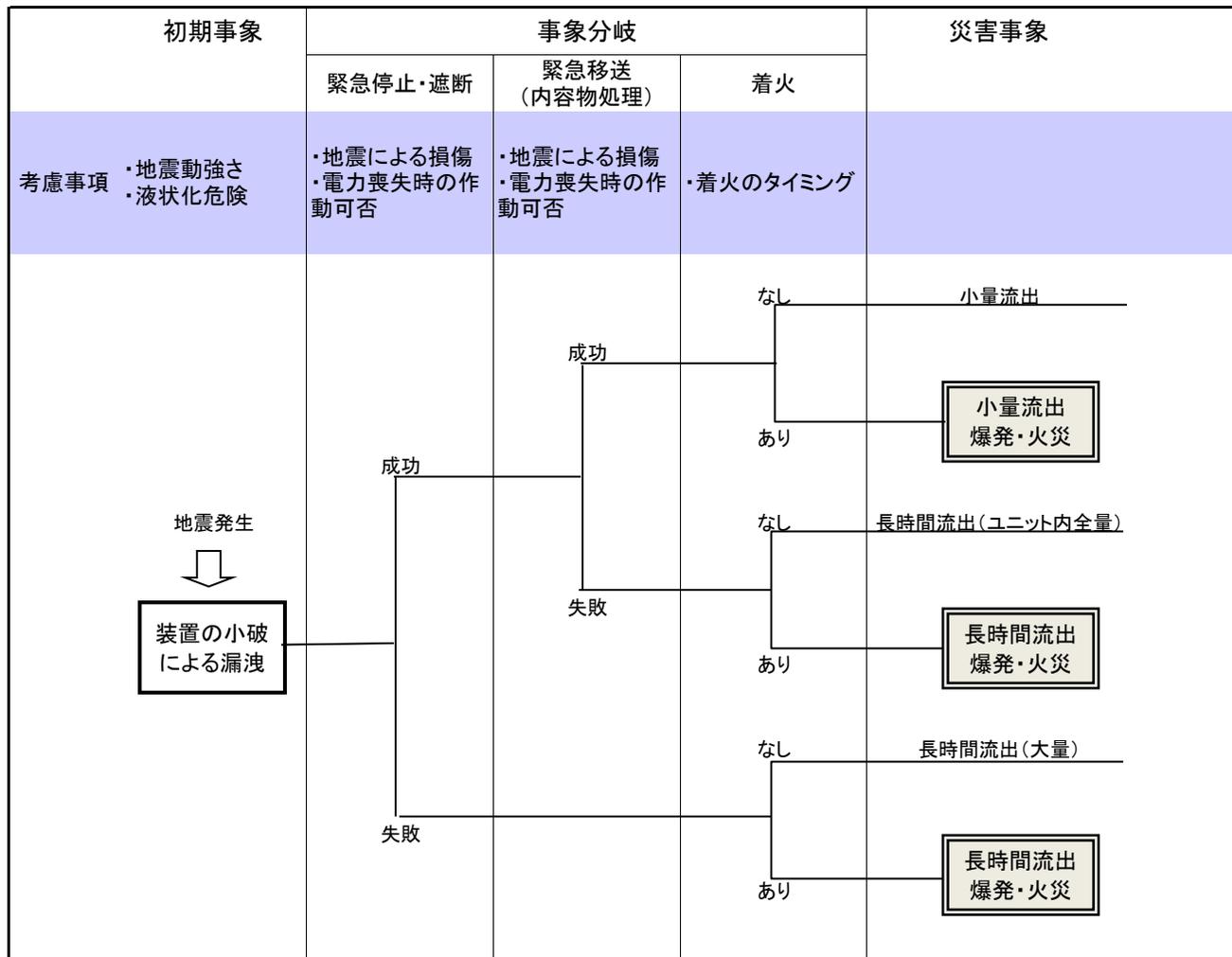
ET\_2.2.4 タンク本体の大破による漏洩(短周期地震動・可燃性ガスタンク)

初期事象	事象分岐					災害事象	
	緊急遮断	バルブ手動閉止	緊急移送	防液堤	着火		
考慮事項 ・地震動強さ ・液状化危険	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否	・地震による損傷 ・活動障害	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・空きタンクの有無	・有無(タンクごと) ・地震による損傷	・着火のタイミング		
地震発生 ↓ 本体の大破 による漏洩				成功 ↓ 失敗	なし ↓ あり ↓ なし ↓ あり	全量流出 ↓ 全量流出 爆発・火災 ↓ 全量流出 ↓ 全量流出 爆発・火災	↓ 爆発・防液堤内で火災 ↓ 爆発・火災範囲拡大

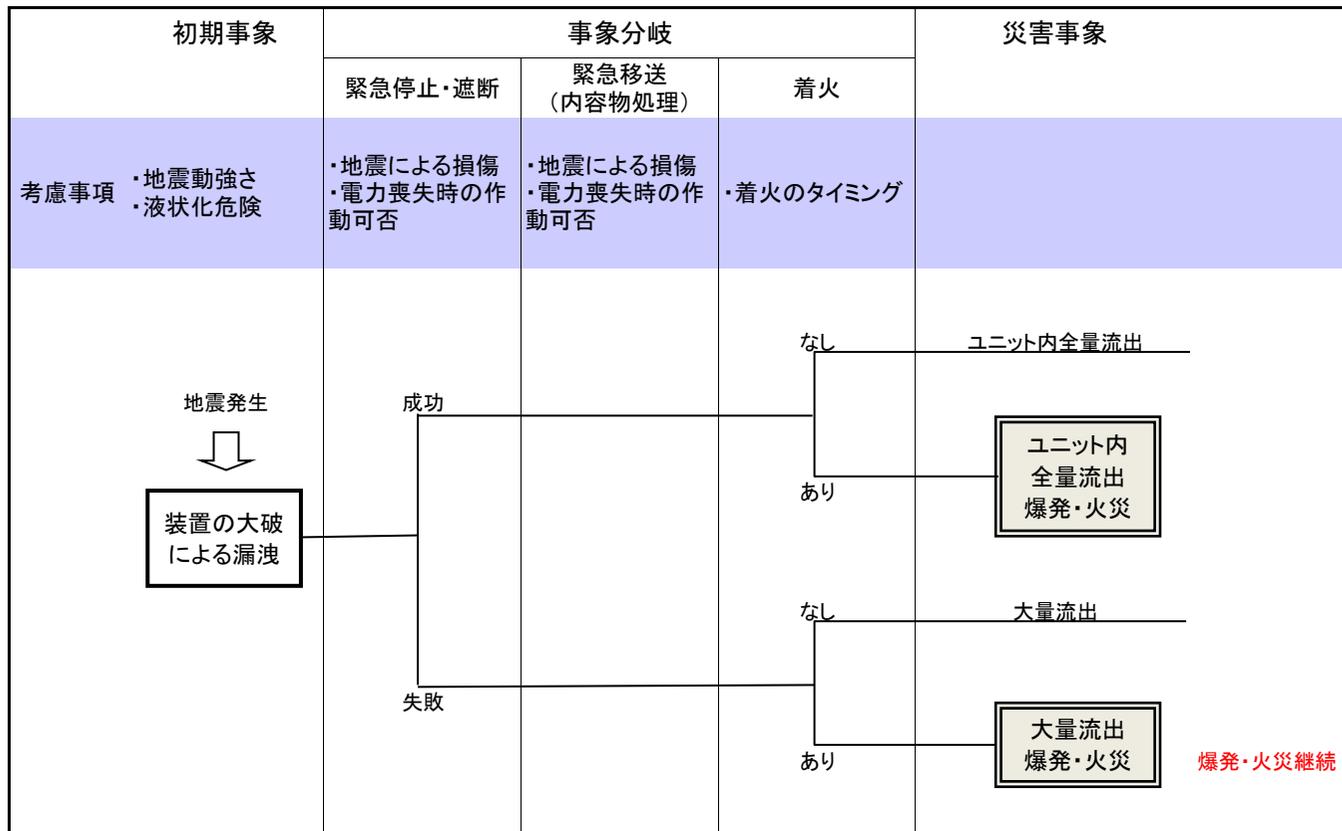
ET\_2.2.5 延焼拡大のシナリオ(短周期地震動・可燃性ガスタンク)



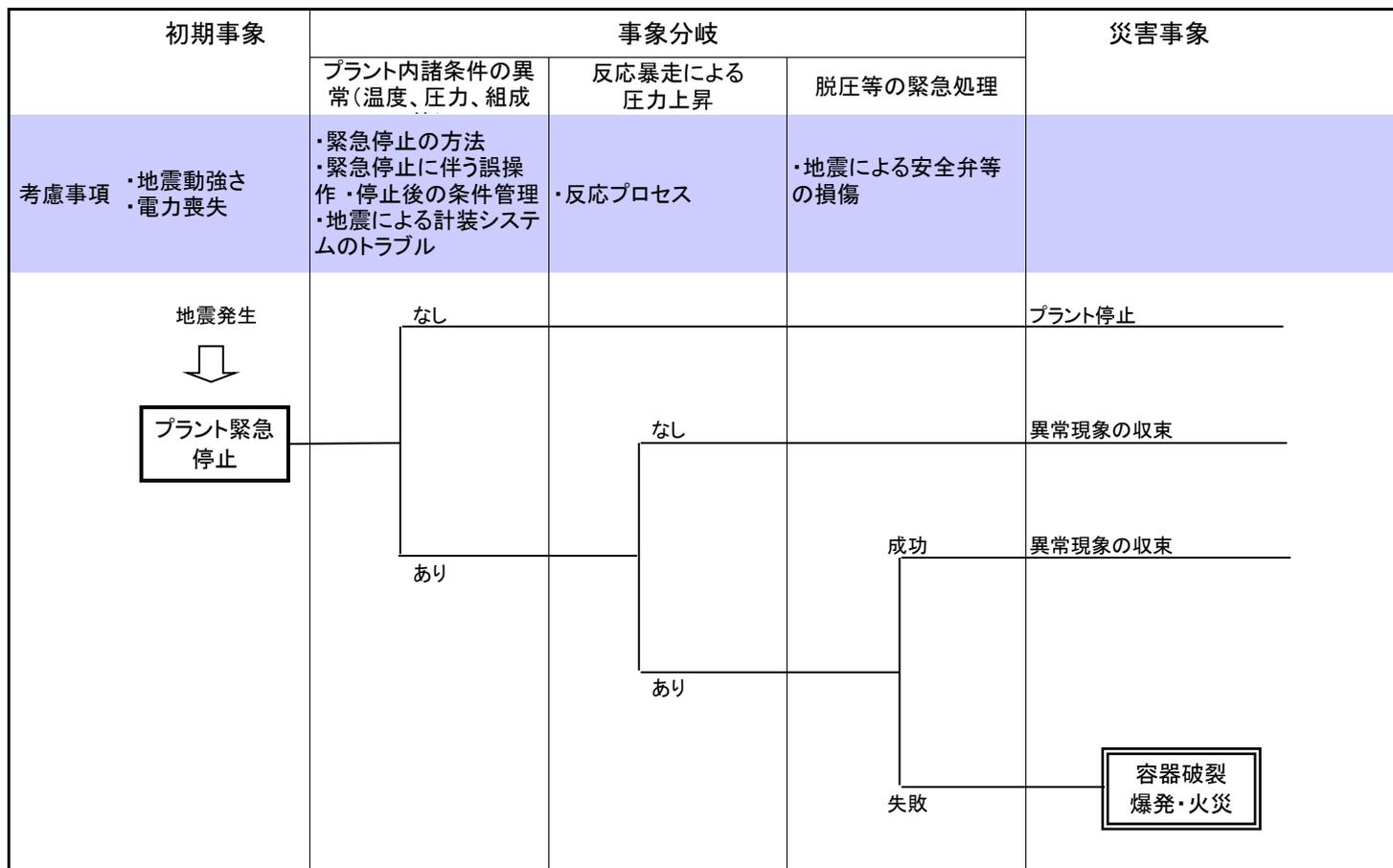
ET\_2.3.1 装置の小破による漏洩(短周期地震動・製造設備)



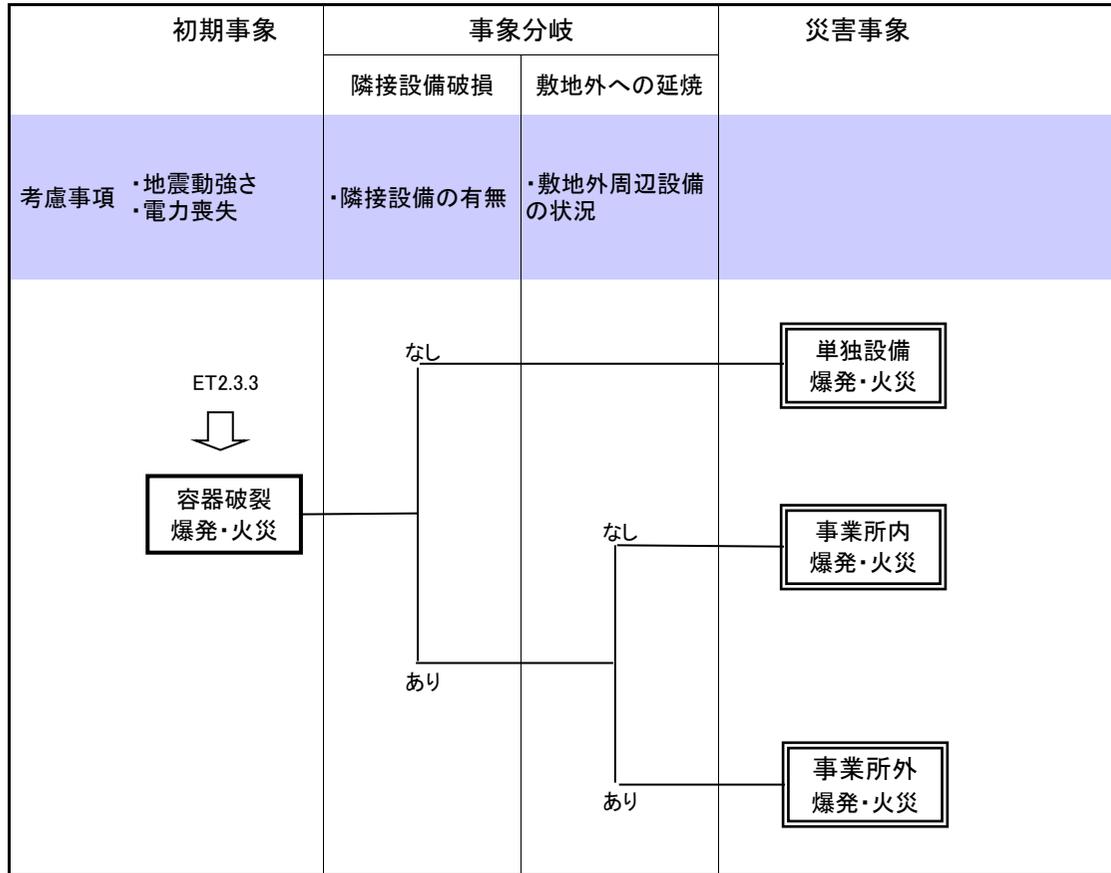
ET\_2.3.2 装置の大破による漏洩(短周期地震動・製造設備)



### ET\_2.3.3 プラント緊急停止失敗による容器破裂(短周期地震動・製造設備)



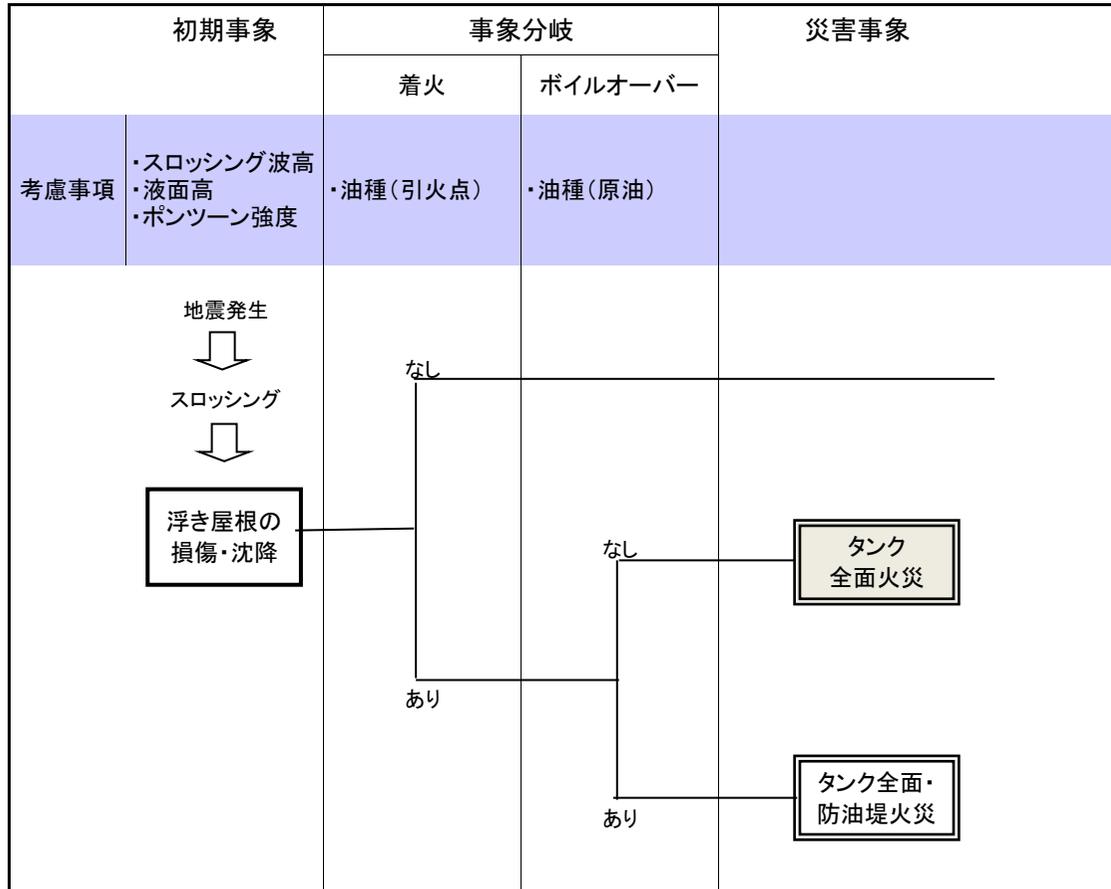
ET\_2.3.4 容器破裂・爆発火災からの延焼拡大(短周期地震動・製造設備)



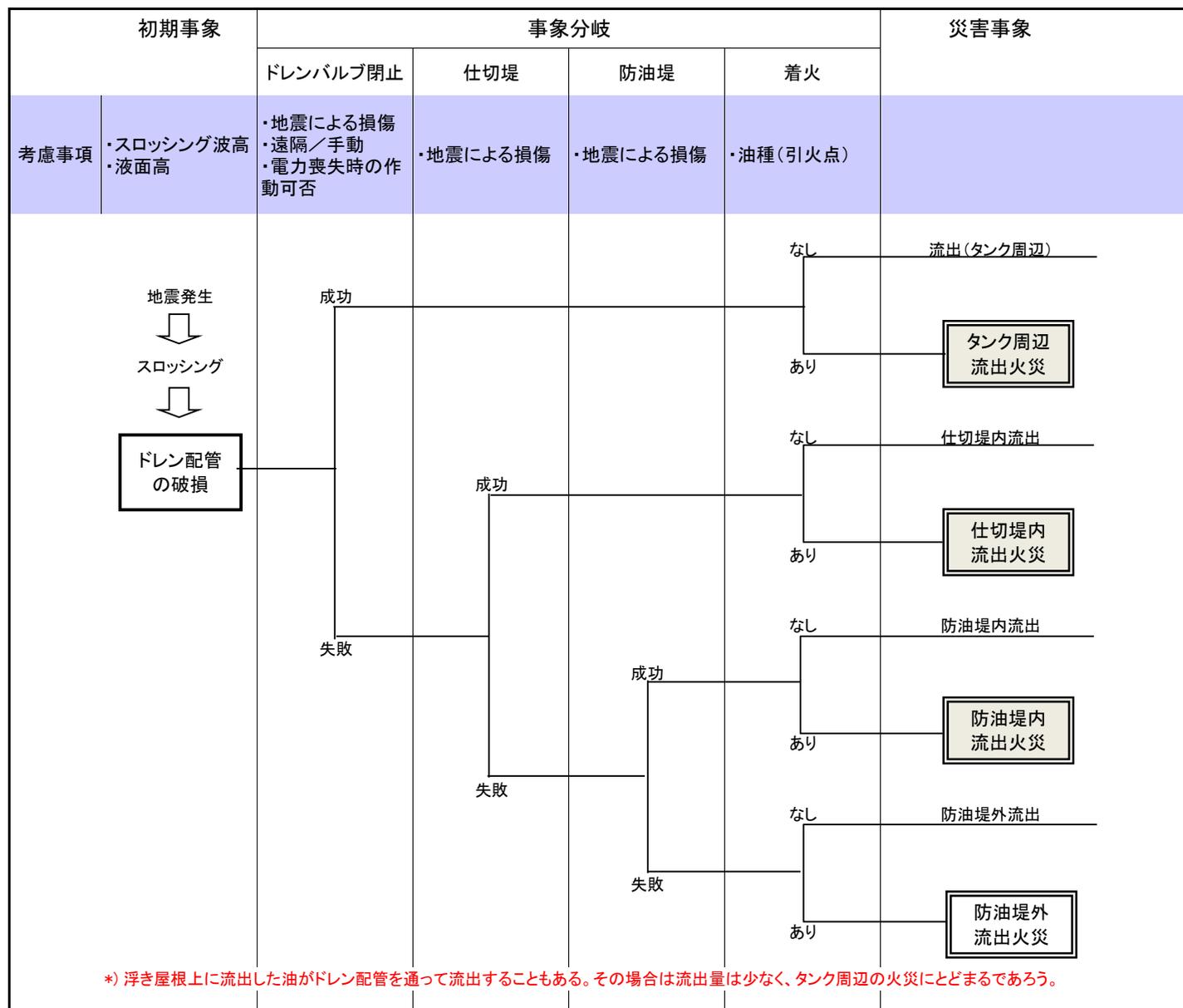
ET\_2.4.1 浮き屋根上への流出(長周期地震動・浮き屋根式石油タンク)

初期事象		事象岐					災害事象	
		溢流	着火	消火設備・ 消火活動	浮き屋根沈降	ボイロオーバー		
考慮事項	・スロッシング波高 ・液面高	・スロッシング波高 ・液面高	・油種(引火点)	・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・消火活動障害	・ポンツーンの損 傷状態 ・消火活動障害	・油種(原油)		
地震発生 ↓ スロッシング ↓ 浮き屋根上 への流出		あり	なし				地上流出(タンク周辺)	
			あり				タンク周辺 流出火災	
		なし	なし					浮き屋根上の滞油
			成功					リム火災
		あり				なし		リング火災
		失敗				なし		タンク 全面火災
				あり		あり	タンク全面・ 防油堤火災	
*) 溢流したあと、地上とタンク上部で同時に火災になることもある。								

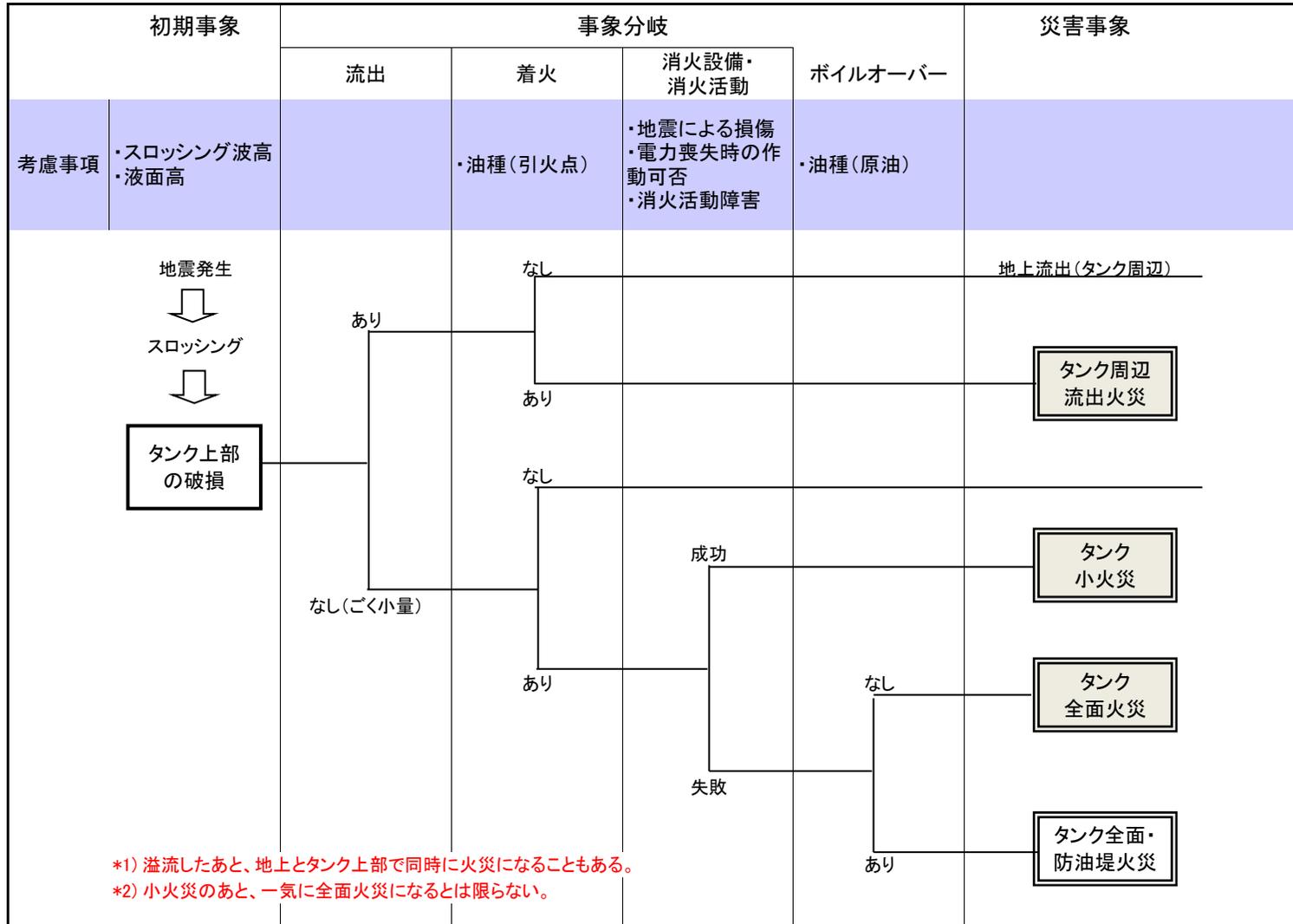
ET\_2.4.2 浮き屋根の損傷・沈降(長周期地震動・浮き屋根式石油タンク)



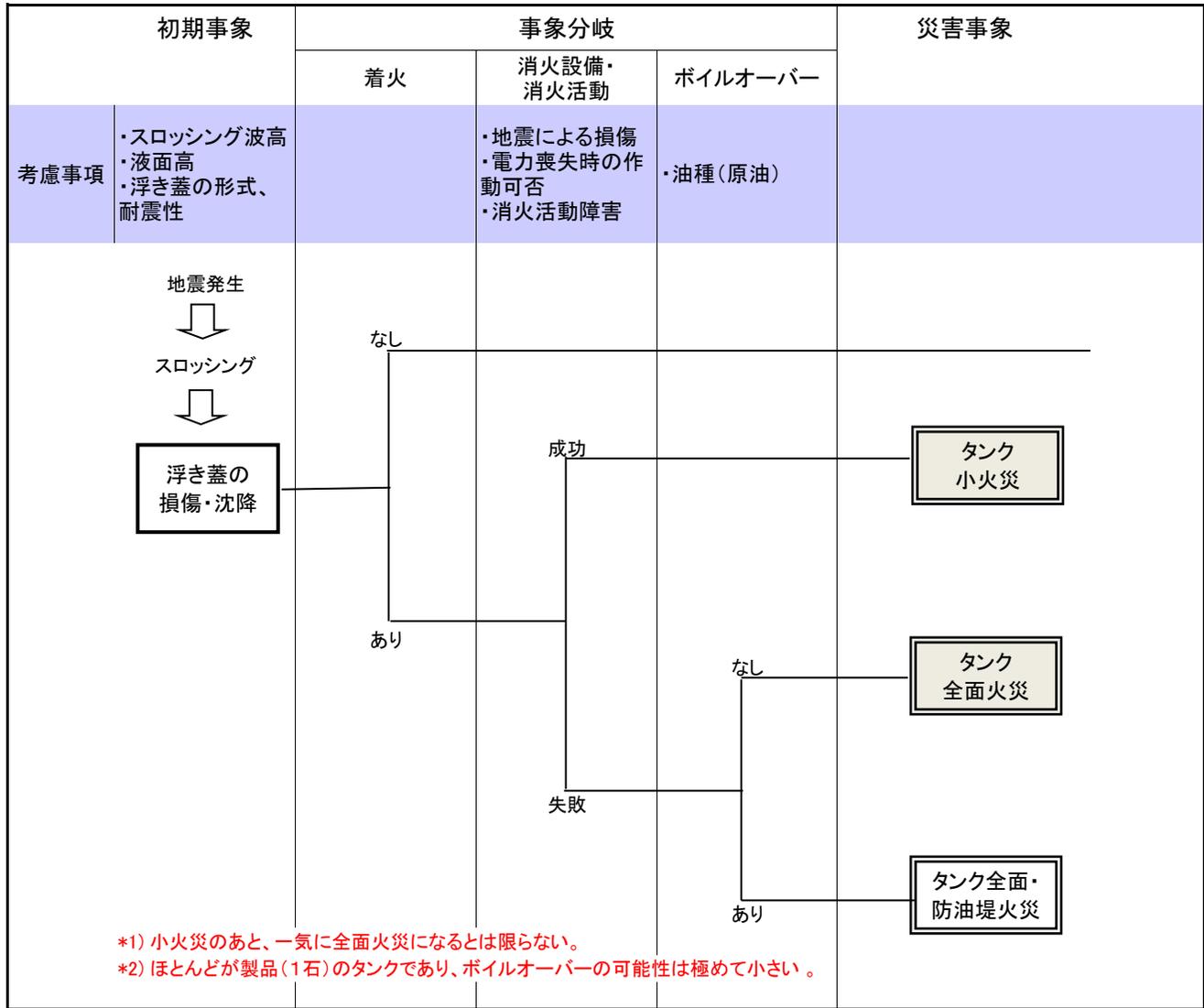
### ET\_2.4.3 タンク中のドレン配管の破損(長周期地震動・浮き屋根式石油タンク)



### ET\_2.4.4 タンク上部の破損(長周期地震動・固定屋根式石油タンク)



ET\_2.4.5 浮き蓋の損傷・沈降(長周期地震動・内部浮き蓋付き石油タンク)



### ET\_2.5.1 配管の直接的被害による漏洩(津波・石油タンク)

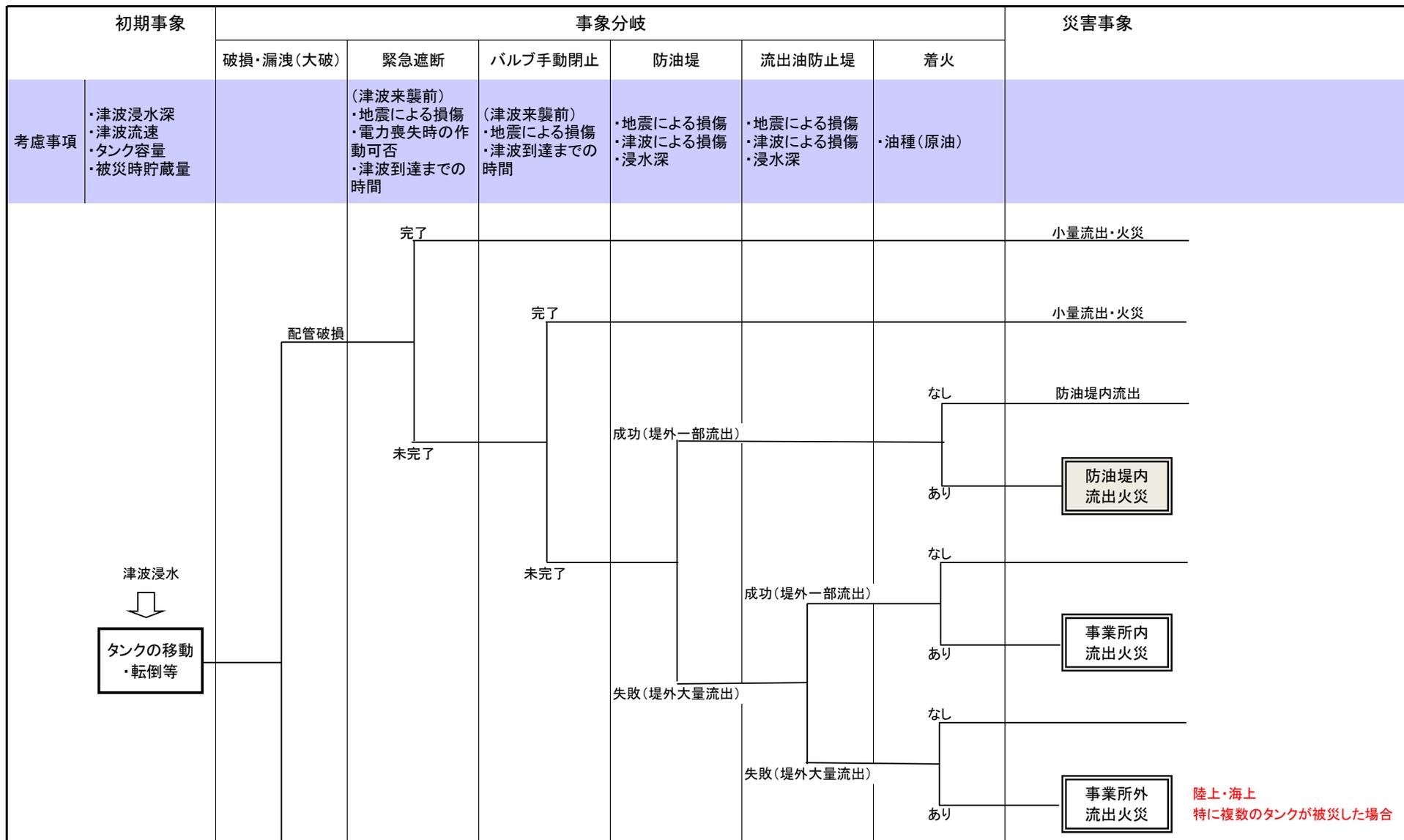
初期事象		事象分岐					災害事象
		緊急遮断	バルブ手動閉止	防油堤	流出油防止堤	着火	
考慮事項	・津波浸水深 ・津波流速	(津波来襲前) ・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・津波到達までの 時間	(津波来襲前) ・地震による損傷 ・津波到達までの 時間	・地震による損傷 ・津波による損傷 ・浸水深	・地震による損傷 ・津波による損傷 ・浸水深	・油種(原油)	
津波浸水  配管の破損 による漏洩		完了					少量流出・火災
			完了				少量流出・火災
		未完了		成功(堤外一部流出)		なし	防油堤内流出
			未完了			あり	防油堤内 流出火災
				成功(堤外一部流出)		なし	事業所内 流出火災
				失敗(堤外大量流出)		あり	事業所内 流出火災
					失敗(堤外大量流出)		事業所外 流出火災
*) 浸水深によっては、防油堤や流出油防止堤はほとんど機能しない。							陸上・海上

ET\_2.5.3 地震による流出後の津波(津波・石油タンク)

初期事象		事象分岐				災害事象
		防油堤内浸水	防油堤外流出	流出油防止堤	着火	
考慮事項		<ul style="list-style-type: none"> <li>地震による損傷</li> <li>津波による損傷</li> <li>浸水深</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震による損傷</li> <li>津波による損傷</li> <li>浸水深</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震による損傷</li> <li>津波による損傷</li> <li>浸水深</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>油種(原油)</li> </ul>	
<p>地震発生</p> <p>↓</p> <p>破損・大量漏洩</p> <p>↓</p> <p>防油堤内流出</p> <p>↑</p> <p>津波</p>		なし			なし	
					あり	防油堤内流出火災
			なし(堤外一部流出)		なし	
					あり	防油堤内流出火災
		あり		成功(堤外一部流出)	なし	
					あり	事業所内流出火災
			あり(堤外大量流出)		なし	
				失敗(堤外大量流出)	なし	
					あり	事業所外流出火災

陸上・海上

ET\_2.5.2 タンクの移動・転倒等に伴う破損・漏洩(津波・石油タンク)



初期事象		事象分岐					災害事象		
		破損・漏洩(大破)	緊急遮断	バルブ手動閉止	防油堤	流出油防止堤		着火	
考慮事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波浸水深</li> <li>・津波流速</li> <li>・タンク容量</li> <li>・被災時貯蔵量</li> </ul>		(津波来襲前) ・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・津波到達までの 時間	(津波来襲前) ・地震による損傷 ・津波到達までの 時間	・地震による損傷 ・津波による損傷 ・浸水深	・地震による損傷 ・津波による損傷 ・浸水深	・油種(原油)		
					成功(堤外一部流出)		なし		
		本体破損				成功(堤外一部流出)	あり		防油堤内 流出火災
					失敗(堤外大量流出)		なし		
					失敗(堤外大量流出)	あり		事業所内 流出火災	
						なし			
						あり		事業所外 流出火災	

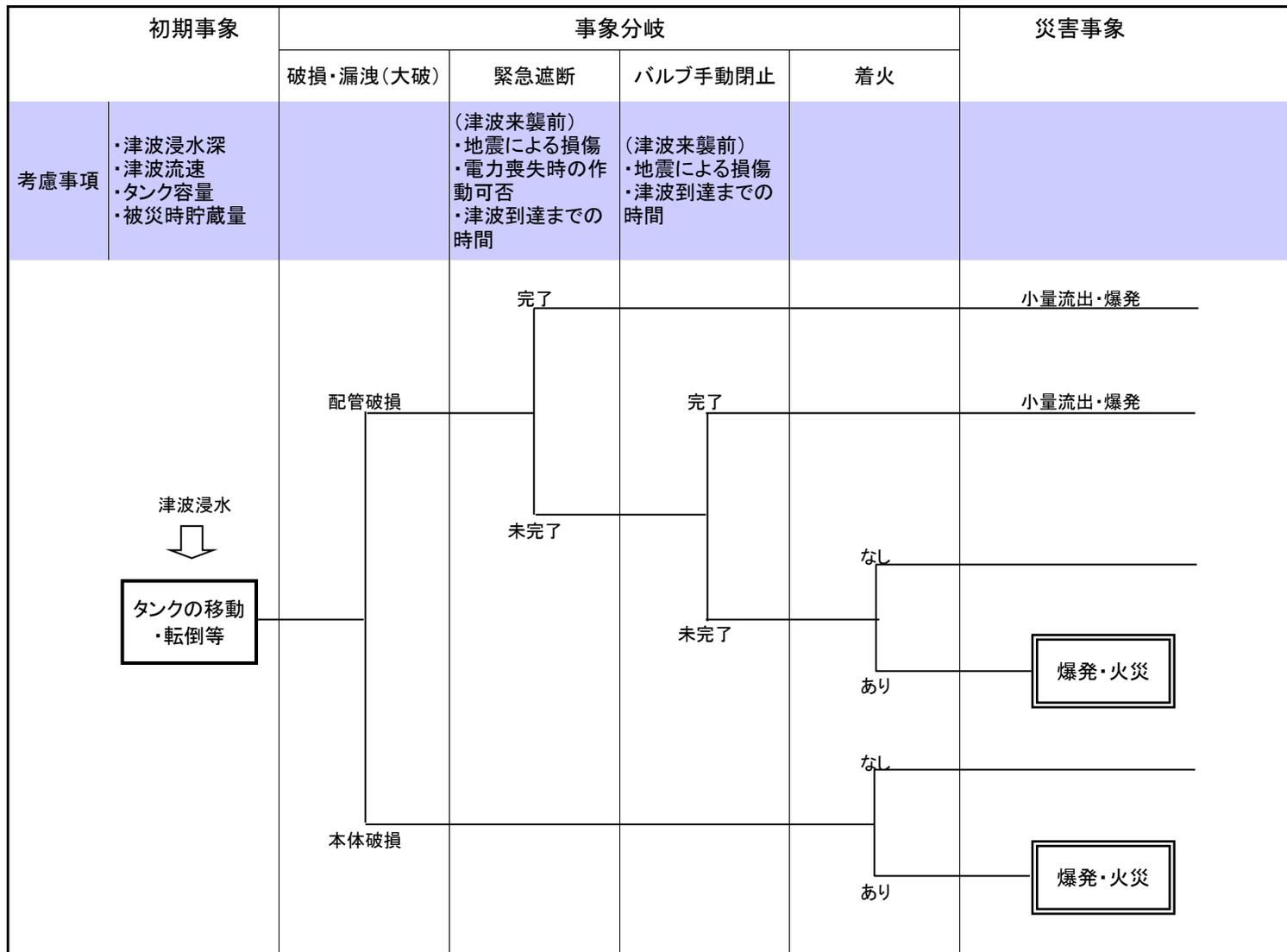
\*) 浸水深によっては、防油堤や流出油防止堤はほとんど機能しない。

陸上・海上  
特に複数のタンクが被災した場合

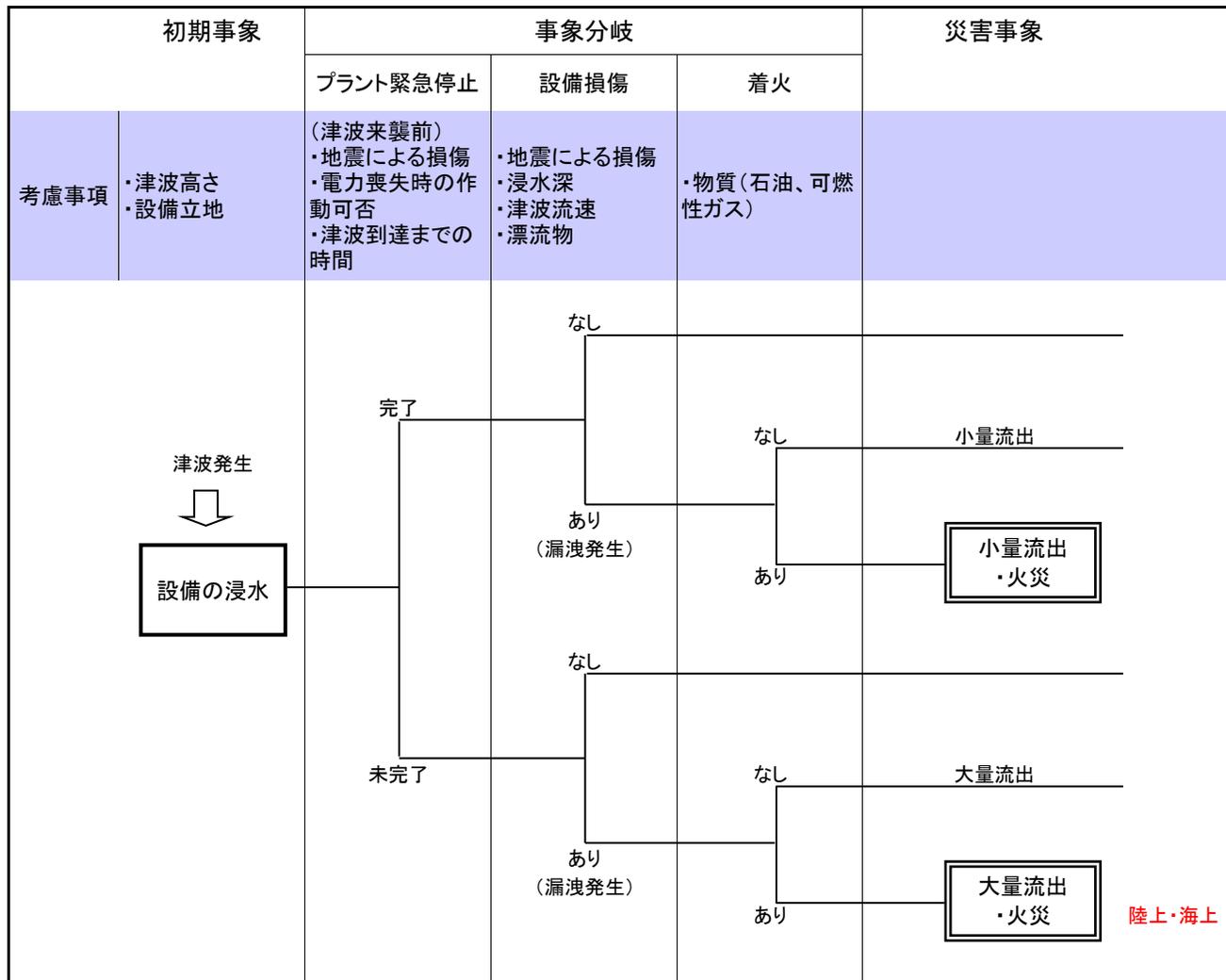
ET\_2.5.4 配管の直接的被害による漏洩(津波・高圧ガスタンク)

初期事象		事象分岐			災害事象
		緊急遮断	バルブ手動閉止	着火	
考慮事項	・津波浸水深 ・津波流速	(津波来襲前) ・地震による損傷 ・電力喪失時の作 動可否 ・津波到達までの 時間	(津波来襲前) ・地震による損傷 ・津波到達までの 時間		
	<p>津波浸水</p> <p>↓</p> <p>配管の破損 による漏洩</p>	完了	完了	なし	少量流出・爆発
		未完了	完了	なし	少量流出・爆発
			未完了	あり	爆発・火災

ET\_2.5.5 タンクの移動・転倒等に伴う破損・漏洩(津波・高圧ガスタンク)



ET\_2.5.6 プラント設備の直接的被害による漏洩(津波・プラント)



### 資料3 今後の予定

#### ■特定事業所を対象としたヒアリング

いくつかの特定事業所を対象にヒアリングを行い、以下の調査検討に反映する。

⇒ 災害拡大シナリオの見直し（資料 2-1、2-2）

災害影響度の推定方法に関する検討

設備の緊急停止・遮断に関する検討

#### ■防災設備の被害状況等に関する調査

東日本大震災の被災地域に所在する特定事業所を対象として、防災設備の被害状況に関するアンケート調査（参考資料 3）を実施し、以下の調査検討に反映する。

⇒ 地震時における災害発生確率の推定方法の検討（初期事象の発生確率、分岐事象の発生確率の設定）

設備の緊急停止・遮断に関する検討

#### ■災害影響度の推定方法に関する調査

東日本大震災による被害事例や近年の事故事例を調査し、以下の調査検討に反映する。

⇒ 影響解析手法の見直しの必要性の検討

災害影響度のしきい値の設定方法に関する検討