

2016.9.1

災害リスク情報 <第 71 号>

化学物質の漏洩拡散評価手法について

はじめに

総務省消防庁や経済産業省が公表している危険物や高压ガスを取り扱う施設での事故は、近年増加傾向で、事故件数も高い水準で推移している。その中でも化学物質の流出や漏洩事故はこれらの傾向に大きく影響していることがうかがえる。化学物質の漏洩に伴う危険性には、可燃性ガスによる火災・爆発や、有毒性ガスへの暴露による人的な被害などが挙げられる。これら化学物質を取り扱う事業者にとって未然に事故を防止することは重要であるが、万一事故が発生した場合にどの程度の影響が発生するかを把握し、被害の影響軽減対策を予め検討しておくことも併せて必要である。

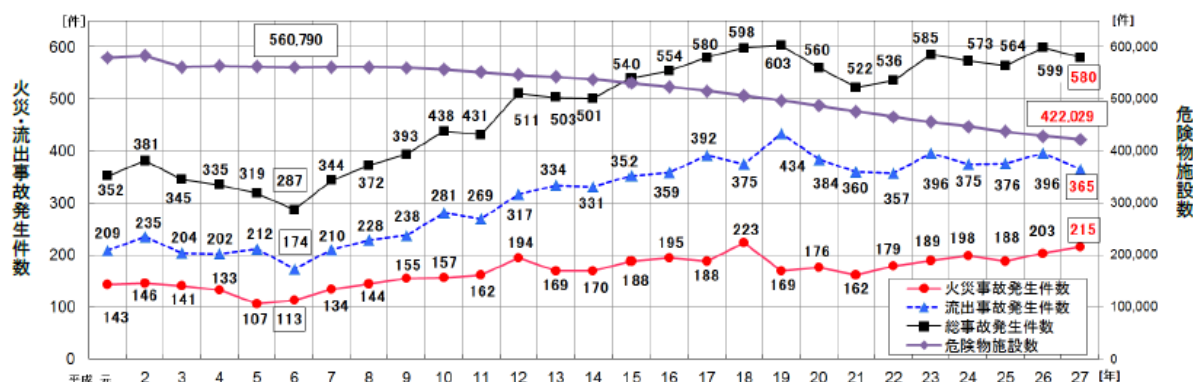
本レポートでは、化学物質の漏洩に関する事故の傾向や事故事例について紹介するとともに、化学物質の漏洩拡散評価について、弊社のコンサルティングで採用している手法の概要を説明する。

1. 化学物質の漏洩事故事例

(1) 事故件数の推移

総務省消防庁および経済産業省が危険物や高压ガスを取り扱う施設に関する事故件数のデータを公表している。それぞれ図 1 および図 2 に示す。

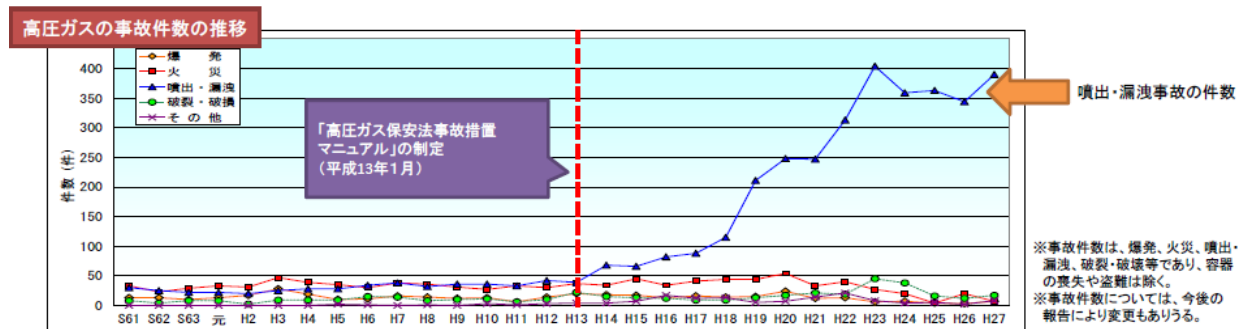
図 1 の危険物施設では平成 6 年を境に流出事故の件数が増加傾向に転じ、図 2 の高压ガス施設では平成 13 年を境に噴出・漏洩事故の件数が顕著に増加している。また、両データともに、近年の事故件数は高い水準で推移している。なお、図 1 で危険物施設数が併せて示され、その数が年々減少しているにもかかわらず、事故件数が増加・高止まりの状況にあることは注目すべき点である。



(注) 事故発生件数の年別の傾向を把握するために、東日本大震災その他震度 6 弱以上（平成 8 年 9 月以前は震度 6 以上）の地震により発生した件数を除いています。

図 1 危険物施設における流出事故発生件数の推移

(出典：総務省消防庁¹⁾)



(注) 平成13年に事故措置マニュアルを制定し、高圧ガスの事故定義を明確化したことなどにより、噴出・漏洩等の事故に係る報告件数が増加したことが事故件数増加の背景の一つとして考えられている。

図2 高圧ガスの漏洩事故件数の推移

(出典：経済産業省²⁾)

(2) 過去発生した事故事例

過去、国内外において、死傷者の発生や住民の一時避難など、重大な人的被害に繋がった、または人的被害が懸念された化学物質の主な漏洩事故事例を調査し、その結果を表1および表2にまとめた。

これらの表に挙げた事例だけでも、石油・石油化学プラント、製鉄所、食品などの各種製造工場、スクラップ工場、輸送中のタンクローリーや鉄道用タンク車、研究施設など、様々な業種や施設で事故が発生し、また、発生状況も、製造時のトラブル、タンクへの移充填作業、配管接続部からの漏洩、配管の詰り、設備の経年劣化、工事作業中、輸送中など様々である。

表1 国内の主な事故事例

(インターネット情報を基に当社にて作成)

漏洩事故事例	発生前	被害者数	漏洩物質名
大学研究室の保管容器からのガス漏洩	1983年	軽傷20名	塩素
弗硫酸タンクの配管からの噴出・漏洩	1994年	死者1名 重傷1名 軽傷4名	フッ化水素
路面凍結によるタンクローリースリップ横転事故に伴う漏洩	2001年	住民一時避難	トリクロロシラン
スクラップ加工工場における塩素ガス漏洩	2003年	軽傷20名	塩素
アンモニア冷凍機からの冷媒の漏洩	2009年	死者1名 重傷1名 軽傷7名	アンモニア
タンク間配管の詰りによるタンク内容物の漏洩	2013年	住民一時避難	亜硫酸ガス

表2 海外の主な事故事例

(インターネット情報を基に当社にて作成)

漏洩事故事例	発生国	発生年	被害者数	漏洩物質名
ダイオキシン大規模漏洩事故	イタリア セベソ	1976 年	22 万人	ダイオキシン
イソシアン酸メチル漏洩	インド ボパール	1984 年	即死者 2,000 人以上 死者 14,410 人 負傷者 20~30 万人	イソシアン 酸メチル
鉄道用タンク車からの硫酸ガスの漏洩	アメリカ	1993 年	負傷者 2,000 名	硫酸
製鉄所爆発事故に伴う有毒ガス漏洩	スロバキア	1995 年	死者 13 名 重傷 109 名 2,500 名住民避難	一酸化炭素
製油所におけるフッ化水素漏洩	オーストラリア	2005 年	負傷者 45 名 数百名避難	フッ化水素
食品工場におけるアンモニア漏洩	アメリカ	2005 年	負傷者 7 名 従業員避難 250 名	アンモニア
石油化学工場建設中の漏洩事故	タイ	2008 年	負傷者 58 名	フェノール
タンクローリーから無水フッ酸を荷卸し中の漏洩事故	韓国	2012 年	死亡 5 名 負傷者 18 名 8,000 名以上診療受診	無水フッ酸

2. 代表的な化学物質を取り扱う主な業種

漏洩・拡散により周辺に影響を与える可能性のある代表的な化学物質を取り上げ、その物質が取り扱われている主な業種を表3に示す。なお、事業活動の状況によっては取り扱い物質が異なる可能性があるが、ここではあくまで一般的な情報として捉えていただきたい。

表に挙げた化学物質だけでも多種多様な業種で取り扱われていることが分かる。さらに、これら物質の使用方法は様々であり、物質によって可燃性や有毒性を有している。万一漏洩した場合、可燃性ガスによる火災・爆発や、有毒性ガスへの暴露による人的な被害などが発生する可能性がある。そのため、化学物質を取り扱う事業者はその事業活動を行う上で、漏洩事故は常に潜在しているリスクとして捉え、備えておく必要がある。

表3 代表的な化学物質を取り扱う主な業種

化学物質 業種	化学物質の代表例							
	炭化水素 ガス	アンモニア	一酸化 炭素	窒素 化合物	硫黄 化合物	ハロゲン 化合物	揮発性 石油類	アルコール類
	LNG	アンモニア	一酸化炭素	亜酸化窒素	硫化水素	塩素	ガソリン	メタノール
	LPG	液安		一酸化窒素	二酸化硫黄	塩化水素	ベンゼン	エタノール
	プロピレン			二酸化窒素		ホスゲン	トルエン	
	ブテン			シアン化水素		臭化水素	アセトン	
	ブタジエン					フッ素		
						フッ化水素		
製鉄・ 金属精錬	○	○	○	○	○	○		
金属機械器具	○	○	○	○		○	○	○
石油精製	○	○			○		○	○
石油化学	○	○	○	○		○	○	○
発電所	○	○				○		
化学	○	○	○	○	○	○	○	○
医薬品	○	○			○	○	○	○
食品	○	○				○	○	○
冷凍倉庫		○						
輸送業者	○	○				○	○	○
サービスステーション	○						○	
廃棄物リサイクル業	○	○		○	○	○	○	○

3. 化学物質の漏洩拡散評価の概要

本章では、化学物質の漏洩、蒸発、大気中の拡散を検討する際、弊社で採用している評価手法について、その概要を説明する。

(1) 被害想定例

化学物質の漏洩拡散評価を行うにあたり、化学物質の取扱量や保管量、その取扱状況、過去の事故事例、周辺の状況などを考慮し、被害想定シナリオを検討しなければならない。以下に、その代表例を示す。

(例1) 製造プロセスの事故

配管継手などの接続部、ポンプやバルブなどの摺動部からの漏洩を想定し、事業所内外への影響を評価

(例2) 非常時作業時の事故

漏洩事故の発生しやすい荷卸し時など、非常時作業時における操作ミスによる漏洩などを想定し、事業所内外への影響を評価

(例3) 輸送中の事故

人口が密集している市街地において、輸送中のタンクローリーなどの横転事故を想定し、漏洩物質の周辺住民への影響を評価

(例4) 設備不調による漏洩

本来機能すべき除害設備などが機能しないために、そのまま有毒ガスが拡散する場合を想定し、事業所内外への影響を評価

(2) 評価手順

図3に化学物質の漏洩拡散評価手順を示す。なお、評価にあたって、対象物質が大量に貯蔵されている容器（タンク、中間貯槽など）からの漏洩を被害想定シナリオとすることが多いため、以降、対象物質が容器に貯蔵状態であることを前提として説明をする。

まず、対象物質の漏洩量を計算する。対象物質の貯蔵状態が液体か、または気体かによって計算手順が異なる。液体で貯蔵されている場合は、漏洩液体の地面での広がりや蒸発を検討した上で、大気中での拡散を検討することになる。なお、加圧下で貯蔵されている液体の場合、一部液体のフラッシュ（容器内圧力と大気圧の差により一部の液体が急激に蒸発する現象）についても考慮する必要がある。

一方、気体で貯蔵されている場合は、気体状態での漏洩、大気中の拡散を検討する。

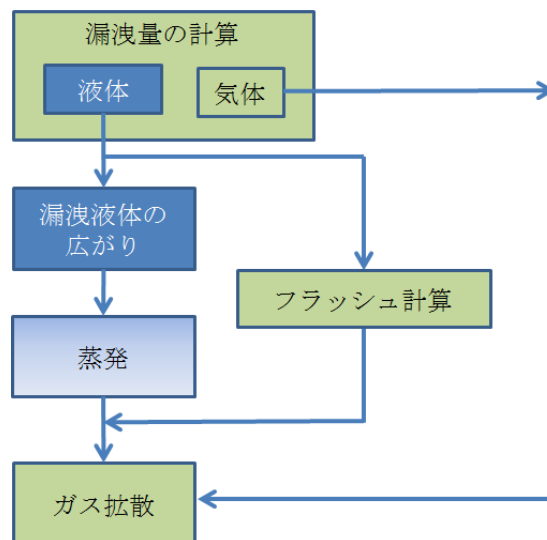


図3 化学物質の漏洩拡散評価手順

(3) 漏洩量計算

漏洩量計算にあたって、表4に挙げる化学物質の貯蔵状態ごとに想定される漏洩状況を考慮の上、漏洩量計算を行う必要がある。

表4 漏洩のタイプ

貯蔵状態	想定される漏洩状況	漏洩例
気体のみ	➤ 気体みの漏洩 ➤ 安全弁からの放出	水素ガスの漏洩など
大気圧下で空気と接している貯蔵液体	➤ フラッシュ蒸発なし ➤ 容器からの直接漏洩 ➤ 配管を経由しての漏洩	常圧タンクからの漏洩
大気圧下にある冷凍貯蔵液体	➤ フラッシュ蒸発なし ➤ 容器からの直接漏洩 ➤ 配管を経由しての漏洩	LNG タンクからの漏洩など
加圧下で気液平衡状態にある液体	➤ フラッシュ蒸発 ➤ 容器からの直接漏洩 ➤ 配管を経由しての漏洩（二相流）	LPG 球形タンクからの漏洩など
他の気体で加圧されている液体	➤ フラッシュ蒸発 ➤ 容器からの直接漏洩 ➤ 配管を経由しての漏洩（二相流）	窒素ガスで加圧されているフッ化水素などの漏洩

(4) 漏洩液体の広がり

容器から漏洩して地面に落下した液体は地面に沿って蒸発しながら防油堤、防液堤などに遮られるまで時間の経過とともに広がり続ける。表5に、漏洩液体の広がりを計算する主な方法を挙げる。対象物質や容器の設置状況などを考慮し、計算方法を選択する必要がある。

表5 漏洩液体の広がりの主な計算方法

計算方法	特徴
高圧ガス保安協会 コンビナート保安・防災技術指針(化学工場における地震対策),KHK E007-1974 (1974)	➤ LNG など低温液体に使用
アメリカ EPA (環境保護庁)	➤ 液体厚さを一律 1cm として計算
アメリカ FMEA (連邦緊急事態管理庁)	➤ 液体の広がり面積は漏洩液体量の約 1/2 乗に比例
アメリカ NIST (商務省海洋大気局) ALOHA プログラム	➤ 高圧ガス保安協会で採用されている手法に似た手法であり、広がり速度が速い。

(5) 漏洩液体の蒸発

地面に広がり溜まった液体は風や外部の熱流入により蒸発する。表6に、蒸発速度を計算する主な方法を挙げる。対象物質や液溜まりの状況などを考慮し、計算方法を選択する必要がある。

表6 漏洩液体の蒸発の主な計算方法

計算方法	特徴
高圧ガス保安協会 コンビナート保安・防災技術指針(化学工場における地震対策),KHK E007-1974 (1974)	➤ LNG など低温液体に使用されるもので、地面からの熱吸収のみを考慮
アメリカ EPA (環境保護庁)	➤ 液表面近くの風速により、蒸気圧に応じたガスが運ばれていくという計算方法
アメリカ FMEA (連邦緊急事態管理庁)	➤ 液体の燃焼速度から推算する方法
アメリカ Air Force (空軍)	➤ ヒドラジンの実験データとの比較計算方法
アメリカ NIST (商務省海洋大気局) ALOHA プログラム	➤ 太陽光からの入熱、大気との熱交換、地面からの熱吸収など全ての熱バランスから蒸発速度を求める方法

(6) ガス拡散

上記(5)までで計算された、対象物質の大気中への蒸発量を基に、蒸発した物質が大気中をどのように拡散していくかを検討することになる。ガスの拡散状況については専用の計算プログラムを用いて分析することができる。計算プログラムは、公的な機関から公開されていたり、開発企業により販売されているものもある。ここでは弊社所有のガス拡散計算プログラムについて紹介する。主な特徴は表7に示す通りであり、排気条件や風の条件の経時変化設定、濃度に加え臭気強度による拡散範囲計算、拡散範囲の三次元表示などが特徴的な点として挙げられる。

表7 弊社所有のガス拡散計算プログラムの主な特徴

項目	特徴点
計算モデル	パフモデル ➤ 各パフからの濃度加算を考慮し計算精度向上 密なパフ間隔 ➤ 経時変化に細かく対応可能
排出物質	対応物質 ➤ ガス：ppm で出力 ➤ 臭気物質：臭気強度で出力 排気条件 ➤ 濃度・流量の経時変化に対応
大気	風 ➤ 風向・風速の経時変化に対応 大気安定度 ➤ 緯度・経度、日時、風速、雲量の指定により自動的に決定
出力	マップ上に表示可能 ➤ 濃度等の等値面を三次元で表示 ➤ 任意の高さの濃度等の分布を二次元で表示 AutoCAD 上で動作 ➤ AutoCAD の全ての機能を活用して多様な資料を作成可能

図4に二次元のガス拡散計算結果図、図5に三次元のガス拡散計算結果図のサンプルを示す。

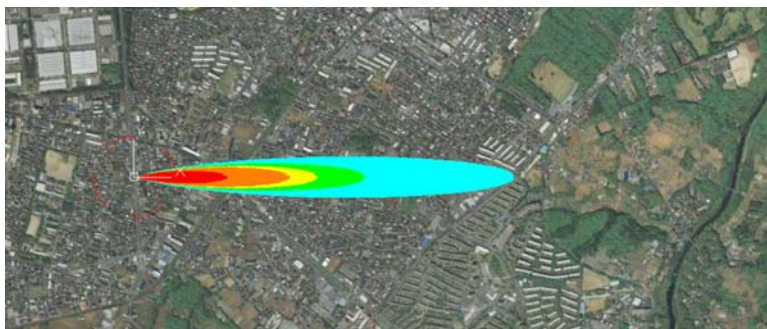


図4 ガス拡散計算結果図（二次元）

（地理院地図（国土地理院）を基に弊社で作成）

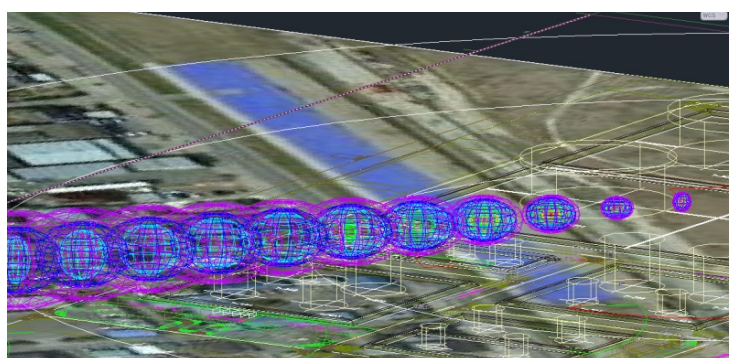


図5 ガス拡散計算結果図（三次元）

（地理院地図（国土地理院）を基に弊社で作成）

また、あらかじめ観測点を設定することにより、観測地点での濃度・臭気強度の時間変化をグラフに表示することができる。図6にモニタリングポイントにおける濃度変化グラフのサンプルを示す。

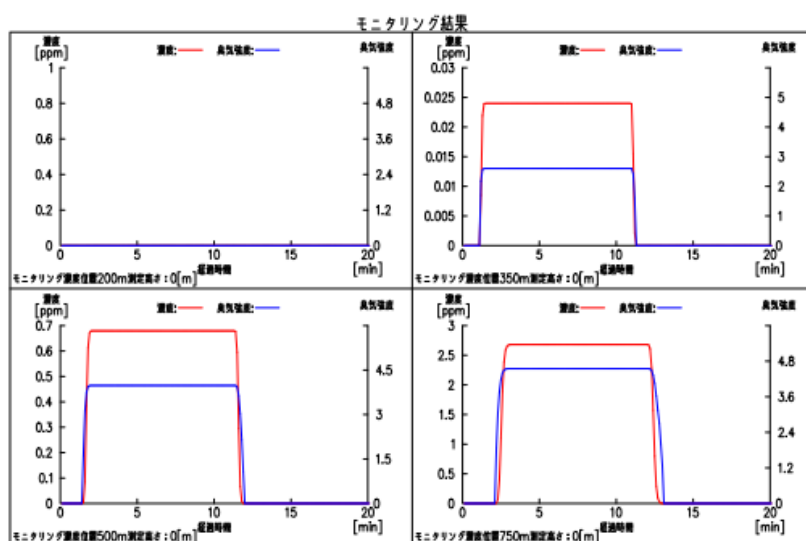


図6 モニタリングポイントにおける濃度変化グラフ表示

(7) 濃度・臭気強度の設定指標

ガス拡散計算を行う際、拡散範囲を表すために濃度または臭気強度を設定する必要がある。表8に、ガスの種類ごとの濃度や臭気強度の設定指標例を示す。ガス拡散範囲の結果を基に検討する事項（爆発範囲の算定、有毒性ガスの人への暴露量など）によって、設定する指標を適切に選択する必要がある。

表8 濃度・臭気強度の設定指標例

ガスの種類	設定指標																		
可燃性ガス	➤ 爆発上限界 ➤ 爆発下限界 ➤ ガス検知器設定基準 爆発下限界の1/4、1/5 など																		
有毒性ガス	➤ TLV (Threshold Limit Value) : ACGIH（米国産業衛生専門家会合）による設定値 作業環境空気中の汚染物質の許容しうる最大の濃度 ➤ TLV-TWA (Time Weighted Average) : 時間加重平均値 1日8時間、週40時間の繰り返し労働において作業者に対し有害な影響を及ぼさない時間加重平均濃度 ➤ TLV-STEL (Short Time Exposure Limit) : 短時間暴露限界値 1労働日中どの15分間をとっても、その時間加重平均を超えてはならない暴露限界 ➤ TLV-C (Ceiling) : 暴露天井値 瞬間でも超えてはならない濃度 ➤ 許容濃度 : 日本産業衛生学会による設定値 労働者が1日8時間、週40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に暴露される場合に、当該有害物質の平均暴露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上のあるい影響が見られないと判断される濃度 ➤ AEGL (Acute Exposure Guideline Level) : 急性暴露ガイドラインレベル 米国環境保護庁、米国研究協議会、米国顧問委員会による設定値 一般人にとっての閾値暴露レベル限界で、中毒作用の深刻度の違いによる3段階のレベルと5つの暴露時間のそれぞれで設定 ➤ ERPG (Emergency Response and Planning Guideline) : 緊急時対応計画ガイドラインレベル 米国産業衛生協会による設定値で、緊急時対応についてのガイドライン AEGLと同様に3段階レベルがあるが、暴露時間は60分平均のみ																		
臭気物質	➤ 悪臭防止法における22物質の基準値を設定する際の評価尺度として採用されている「6段階臭気強度表示法[※]」 <table border="1"> <thead> <tr> <th>臭気強度</th><th>内容</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>無臭</td></tr> <tr> <td>1</td><td>やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）</td></tr> <tr> <td>2</td><td>何のにおいかわかる弱いにおい（認知閾値濃度）</td></tr> <tr> <td>(2.5)</td><td>(2と3の間)</td></tr> <tr> <td>3</td><td>楽に感知できるにおい</td></tr> <tr> <td>(3.5)</td><td>(3と4の間)</td></tr> <tr> <td>4</td><td>強いにおい</td></tr> <tr> <td>5</td><td>強烈なにおい</td></tr> </tbody> </table> ※6段階臭気強度表示法は、悪臭防止法の「敷地境界線における規制基準」の設定において、悪臭の強さと悪臭原因物質の濃度（または臭気指数）の関係を示す尺度として用いられている。悪臭防止法では臭気強度2.5～3.5に対応する物質濃度または臭気指数を規制基準として定めることができる範囲としている。	臭気強度	内容	0	無臭	1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）	2	何のにおいかわかる弱いにおい（認知閾値濃度）	(2.5)	(2と3の間)	3	楽に感知できるにおい	(3.5)	(3と4の間)	4	強いにおい	5	強烈なにおい
臭気強度	内容																		
0	無臭																		
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）																		
2	何のにおいかわかる弱いにおい（認知閾値濃度）																		
(2.5)	(2と3の間)																		
3	楽に感知できるにおい																		
(3.5)	(3と4の間)																		
4	強いにおい																		
5	強烈なにおい																		

（８）計算結果の活用

ガス拡散計算結果の活用例としては、以下のようなものが挙げられる。

- 漏洩事故が発生した際の危険区域の予測
事故などによって大気に放出された、可燃性や有毒性を有する物質の濃度分布から、危険地域などを推定することが可能である。
- ガス検知器の設置箇所検討
風向や風速などを考慮し、ガス検知器の設置箇所を検討する基礎資料とすることができる。
- 緊急時対応計画の検討資料
対象物質の拡散範囲を基に、周辺地域や環境などへの影響を考慮した具体的な緊急時対応計画を策定する際の基礎資料とすることができる。
- 漏洩事故発生時の避難場所の検討資料
風向や風速などを考慮し、対象物質の拡散範囲を基に発災時の安全な避難場所の選定に役立てられる。
- 被害想定額の算定
対象物質の拡散範囲を基に、人的被害などの被害想定額の算定につなげることができる。

４．まとめ

本稿では、国内における化学物質の漏洩事故件数の推移や国内外の事故事例を紹介し、化学物質が漏洩し大気中に拡散した際の周辺への影響を検討する手法について紹介した。

化学物質の施設外への影響については、欧州や米国では、2000 年以前より、大規模災害を想定した影響評価を行い、その結果を規制当局へ提出することが義務付けられている。また、隣国の韓国においても、2015 年 1 月から化学物質を取り扱う施設に対して、施設外への影響評価とその管理計画の提出を義務付ける法律が施行されている。

国内においては、化学物質排出把握管理促進法により、化学物質を取り扱う事業者に対して、化学物質の自主的かつ適正な管理を求めている。また、東日本大震災での原子力発電所の事故のように、事業者の有するリスクに対して世論の関心が高まってきている。

弊社では、本稿で紹介した評価を 2014 年から「化学物質の漏洩拡散リスク分析」として提供している。化学物質の施設外への影響評価に関するお問い合わせは、年々増えてきているように感じるが、これには上記のような背景もあるのではないだろうか。自社で取り扱う各種化学物質の漏洩拡散による施設内外への影響評価（リスクアセスメント）の必要性を感じている事業所では是非活用をご検討いただきたい。

以上

災害リスクマネジメント部 リスクエンジニアリンググループ
マネジャー・上席コンサルタント 吉村 伸啓

<参考文献>

- 1) 「平成 27 年中の危険物に係る事故の概要」の公表：総務省消防庁
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h28/05/280531_houdou_2.pdf
- 2) 最近の事故の状況について（産業構造審議会保安分科会（第 6 回）資料）：経済産業省商務流通保安グループ
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/pdf/006_01_00.pdf

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。
また、本誌は、読者の方々に対して企業の CSR 活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

株式会社インターリスク総研は、MS&AD インシュアランスグループに属する、リスクマネジメント専門のコンサルティング会社です。

災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しています。弊社コンサルティングに関するお問合せは下記の弊社連絡先、または、あいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

株式会社インターリスク総研 災害リスクマネジメント部
千代田区神田淡路町 2-105 TEL:03-5296-8947/FAX:03-5296-8942

<災害リスクコンサルティングメニュー>

- ① 有毒物質や可燃性物質の漏えい・拡散範囲について分析し、構内外への影響を検証したい。
⇒化学物質の漏えい拡散シミュレーション
コンピュータシミュレーションにより化学物質の漏えい範囲を想定し、防災対策検討の資料とすることができます。
- ② 事業所の火災・爆発・風水災等のリスクを実施調査し、防災対策を検討したい。
⇒リスクサーベイ（リスク調査・評価）
専門エンジニアによる実地調査を行い、リスク状況と改善提案の報告書を作成します。
- ③ 危険物施設（タンク・プラント設備）の火災・爆発を想定した防災対策を検討したい。
⇒輻射熱計算・消火戦術シミュレーション
コンピュータシミュレーションにより火災の延焼範囲や消火設備の有効性検証を行います。

不許複製/Copyright 株式会社インターリスク総研 2016