

大気拡散計算ツールを活用した ガス検知器設置位置の最適化

住友化学株式会社

生産技術センター

宮田 栄三郎*

森 繁樹

Optimization of Gas Detector Locations by Application of Atmospheric Dispersion Modeling Tools

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Process & Production Technology Center

Eisaburo MIYATA

Shigeki MORI

In chemical plants, adequate emergency response procedures must be prearranged to prevent incidents (e.g. gas leakage) from leading to major accidents. Installing gas detectors at appropriate locations is one of the indispensable conditions for the implementation of emergency response plans. This paper introduces the procedure for optimization of gas detector locations by application of atmospheric dispersion modeling tools which take into account differing plant conditions.

はじめに

化学プラントでは多種多様な可燃性物質や有害性物質が取り扱われており、これらの安全性を確保することは取り扱い者の責務である。そのためには、消防法や高圧ガス保安法等の各種法規を遵守することは当然であるが、近年ではリスク評価を自ら実施し、保有するリスクを許容範囲内に保つための安全システムの構築も求められるようになってきている。それに伴い、リスク評価用ツールが充実してきており、我が国においても、例えば日本化学工業協会により開発されたリスク評価システム^{1),2)}など、様々なツールが公開されている。

リスクを定量的に評価するためには、発生頻度および影響の大きさ（被害の大きさ）を、それぞれ定量的に算定する必要がある。発生頻度は、事故、故障等の各種統計データや、ETA（Event Tree Analysis）等の解析手法を用いて算出する方法が一般的である。一方、影響の大きさは、大気拡散モデルや爆風圧推算モデル、あるいはそれらのモデルをプログラム化したシミュレーションソフトウェア等により算出される。

化学物質の漏洩事故によって引き起こされる危険性には、毒性ガスの大気拡散による急性暴露や、漏洩した可燃性物質に引火して火災や爆発が起こることが挙げられる。この内、毒性ガスの漏洩については、特に漏洩が大規模になるとプラント内のみならず周辺地域社会に対しても大きな被害を及ぼす恐れがある。このような災害のリスクを低減するためには、「漏らさない」ための対策は勿論のこと、万一漏洩が発生した場合でも、その影響を最小限に食い止めることが必要である。そのためには、国内法規に定められた敷地外の住宅等までの安全距離の確保の他、漏洩を早期に検知し、機器の緊急停止や迅速な通報等の緊急措置を確実に実行する必要がある。

この緊急措置計画の策定において重要となる要素の一つに、ガス検知器が適切に配置されていることが挙げられる。例えば、一般高圧ガス保安規則では、ガス検知器の機能、構造および設置場所が例示基準に記されており、設備に応じた必要数を「漏洩したガスが滞留する恐れのある場所」に設置する旨が示されている。当社では、保安をより確実なものにするために、ガス検知器の設置強化・適切配置に取り組んでいる。

本稿では、対象プラントの実状に適したガス検知器設置位置の最適化を目指して、大気拡散計算ツールを活用した検討方法についてまとめ、適用事例を紹介する。

* 現職：レスポンスブルケア室

災害想定手法

1. 国内外のガイドライン

(1) 各国における災害想定の実施状況^{3), 4)}

先に述べた様に、化学プラントで想定される災害としては、可燃性物質あるいは有害性物質の漏洩に伴う火災、爆発、急性暴露等が挙げられる。この内、特に有害性物質の漏洩を対象とした災害想定とは、取り扱い物質の物性、取り扱い条件、漏洩孔の大きさ等から漏洩量を推算し、風速等の気象条件を織り込んで、大気拡散による影響が及ぶ範囲を求めるものである。災害想定の結果、工場の敷地外に影響が及ぶ可能性があるプロセスについては、安全対策の強化が必要となる (Fig. 1 参照)。

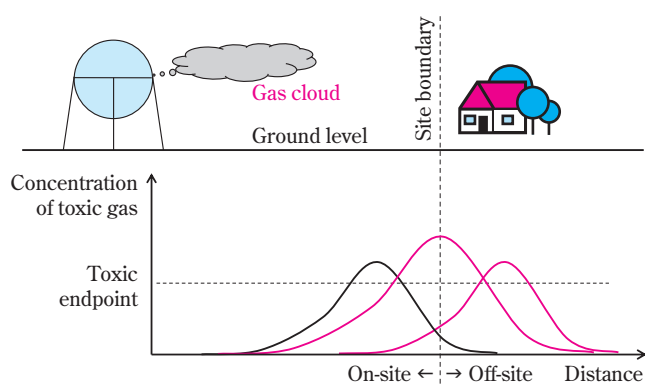


Fig. 1 Schematic of an off site consequence analysis

なお、欧州では、1996年にEC委員会によりセブソII指令が発令されて以降、有害性物質を取り扱う事業者は、事故防止方針と安全マネジメントシステムの確立、リスクアナリシスおよび事故防止対策ならびに緊急事態対応計画を含む安全報告書の提出を義務付けられており、安全報告書には“Major Accident Scenario”

に関する災害想定の実施結果を記載する必要がある。また、米国では、環境保護庁 (EPA) がリスクマネジメントプログラム (RMP) 規則を設けている。この中で、有害性物質の漏洩を対象とした敷地外影響評価においては、全量漏洩を想定し、被害が最も大きくなる気象条件、放出条件を選択する最悪シナリオ (Worst Case Scenario) と、より現実発生する可能性が高い代替シナリオ (Alternative Release Scenarios) の2種類のシナリオを適用するよう義務付けている。カナダの産業事故対策機関 (CRAIM) の指針では、最悪シナリオの定義を「被害範囲が最大となる、最大保有量のタンクからの全量漏洩」としている。

(2) 急性暴露の評価基準について

日本化学工業協会が開発したリスク評価システム Risk Manager では、「定常時」、「作業時」、「事故時」に分けた評価を取り入れている。この内、「定常時」あるいは「作業時」の排出シナリオの場合には、労働者に対する許容濃度を評価基準とするケースが多い。許容濃度としては、日本産業衛生学会の勧告値や ACGIH (米国産業衛生専門家会議) の TLV-TWA (8時間/日の時間加重平均濃度) が広く用いられている。また、悪臭防止法の指定物質など、法規制による排出基準が適用される場合には、これらの基準をクリアするように評価基準を設定する。

一方、意図せぬ漏洩等の「事故時」を想定したシナリオの場合には、急性暴露に対する評価基準が用いられる。Table 1 に急性暴露に対する代表的な評価基準を示す。なお、これらの急性暴露の評価基準は、基礎データの充足等の理由により数値が改訂されることもあるため、常に最新の情報を入手できるよう努めることが望ましい。例えば、ERPG や AEGL は米国環境保護庁や米国エネルギー省の公的機関のホームページから最新情報を入手することが出来る^{5), 6)}。

Table 1 Acute exposure guidelines

Guidelines	Institute	Outline	Exposure Duration
ERPG	AIHA	· Exposure limits for all individuals · Three levels are defined	1hr
AEGL	EPA	· Exposure limits for general public, including susceptible subpopulations · Three levels are defined for each of five exposure periods	10min, 30min, 1hr, 4hr, 8hr
TLV-STEL	ACGIH	· Exposure limits for workers that should not be exceeded at any time during a workday.	15 min
IDLH	NIOSH	· Exposure limits for workers to ensure escape from a given contaminated environment	30 min

ABBREVIATIONS

ERPG	Emergency Response Planning Guideline	AIHA	American Industrial Hygiene Association
AEGL	Acute Exposure Guideline Level	EPA	U.S. Environmental Protection Agency
TLV-STEL	Threshold Limit Value-Short-Term Exposure Limit	ACGIH	The American Conference of Governmental Industrial Hygienists
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health limit	NIOSH	U.S. National Institute for Occupational Safety and Health

本稿の災害想定に適用する ERPG とは米国工業衛生協会 (AIHA) が定めた緊急時の避難計画策定のための指針値である。適用対象は作業者、一般住民を含む全ての人であり、以降記載する ERPG-2 は下記内容で定義されている⁷⁾。

ERPG-2: 最大60分間の暴露で殆ど全ての人が不可逆的な健康障害、あるいは保護具着用等の行動能力の低下を生じない最大濃度

(3) 大気拡散ツール

作成した漏洩シナリオに従い、拡散影響を予測するための手段として、各種機関より大気拡散ツールが公表されている (Table 2 参照)。これらのツールが内蔵する大気拡散モデルは大きく3種類に分類される。

- ① 化学物質の漏洩流量から簡易的に影響距離や影響面積を求めるもの
- ② 正規分布型プルームモデル等の拡散式に従って大気中の濃度分布を計算するもの
- ③ 3次元流体コードにより運動方程式や拡散方程式を数値的に解いて気流や大気中の濃度分布を求めるもの

なお、Table 2 に示した評価ツールは、大気拡散計算のみでなく、火災影響や爆発影響も含めた総合的な評価ツールであるものが多い。

Table 2 Modeling tools for atmospheric dispersion

Models	Modeling tools	
Simplified Prediction	Risk Management Program	(EPA)
	Risk Based Inspection	(API)
	Chemical Exposure Index	(Dow)
Gaussian Type	Risk Manager	(JCIA)
	METI-LIS	(METI)
	TRACE™, Real-Time®	(SAFER Systems)
	PHAST	(DNV)
	ALOHA™	(EPA)
	EFFECTS, DAMAGE	(TNO)
CFD	AutoReaGas™	(Century Dynamics)
	fluidyn-PANEPR	(TRANSOFT)
	FLACS	(Gexcon)

ABBREVIATIONS

API	American Petroleum Institute
JCIA	Japan Chemical Industry Association
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan
TNO	Netherlands Organization for Applied Scientific Research

2. 当社における毒性物質取り扱いプロセスの影響評価⁸⁾

当社では、毒性物質取り扱いプロセスを対象とし、科学的知見に基づいた事故時の災害想定フローを策定し、その結果に基づいて優先順位を付け、合理的な安全対策の強化を図っている。影響評価の大まかな流れを Fig. 2 に示す。

(1) 評価対象の選定

取り扱い物質の性質や取り扱い量等に応じて、評価対象を選定する。当社においては、原則として保有量 (kg) を、対象物質の ERPG-2 (ppm) で除した値が一定以上となる設備について災害想定を実施すること、としている。ただし、塩素やホスゲン等、有害性ポテンシャルが高い物質を取り扱う場合には、保有量に関わらず、必要に応じて評価を実施している。

(2) シナリオの作成

実際の設備で起こり得る漏洩条件を定量的に特定することが出来る場合には、その条件に従って影響評価を実施する。一方、条件の特定が困難である場合には、以下の標準シナリオを用いて評価を実施する。

- ① 漏洩口径: 25.4mmφ (1インチ※)…配管からの漏洩や機器本体からの漏洩の場合
全断面開孔…内径1インチ未満の配管およびホース類の場合
- ② 漏洩時間: 15分…15分以内に内容物が全て漏洩する場合は、それまでの時間
- ③ 気象条件: 気温=25°C、風速=3m/s、
地表面粗さ=10cm (郊外を想定した数値)
大気安定度=A、D、Fの3種類

※米国石油協会 (API) による化学プラントの漏洩事故の統計解析 (一般破損確率推奨値) によれば⁹⁾、口径毎の漏洩頻度が最も高いケースは1インチであったことから、標準シナリオとして漏洩口径=1インチと仮定した。

(3) 敷地外に対する影響評価

大気拡散による影響評価を実施する場合、状況に応じて適した計算モデルを選択する必要がある。例えば数 km オーダーの広範囲での大気拡散影響を対象とする場合には、個々の障害物のサイズに対して計算領域が十分に大きいため、評価範囲内の障害物の影響は地表面粗さのパラメータで代表することが出来る。この場合は、正規分布型モデルを適用する。一方、比較的狭い範囲での大気拡散影響を対象とする場合には、個々の障害物 (大型の建屋、機器、貯槽等) による局所的な風力場の乱れを考慮する必要があり、3次元 CFD モデルを用いて個々の障害物の影響を考慮した評価を実施する。

(4) ERPG-2による判定

対象物質の敷地外での最大到達濃度が ERPG-2 未満となる場合は、続いて事業場内に対する評価を実施する。一方、ERPG-2 以上となる場合は、影響の低減対策を検討する。これは、米国環境保護庁 (EPA) の RMP 規制 (リスクマネジメントプログラム) の指針に準拠するものである¹⁰⁾。

(5) 対策検討

追加の影響低減対策が実施可能な場合は、対策後の敷地外への影響を再評価する。追加対策が困難な場合は、続いてリスク評価を実施する。なお、エンクロージャー（プラントの囲い込み）や配管の2重管化といった、外部への漏洩、拡散そのものを封じ込める対策を講じる場合には、更なる影響評価は必要としない。この場合、手順(6)の事業所内に対する評価も不要となるため、評価終了とする。

(6) 事業所内に対する評価

作業者が常勤している箇所や室内（計器室、詰所等）に、ERPG-2が出現しないことが判定基準となる。

(7) リスク評価

必要に応じ、ETA等の定量評価手法を用いてリスク評価を実施し、リスクが許容範囲内であることを確認する。

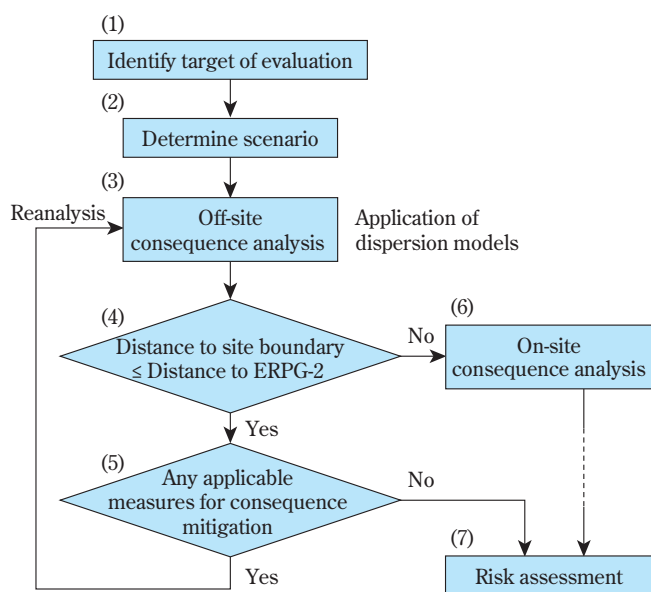


Fig. 2 Sumitomo Chemical's consequence analysis flowchart

ガス検知器設置位置の最適化

緊急措置計画の策定時、とりわけ敷地外の住民へ絶対に被害を与えないようにするためには、ガス検知器による適切な漏洩ガスの検知が必要不可欠である。ここで、ガス検知器とは、可燃性ガスや毒性ガス等の漏洩を検知し、その濃度を指示すると共に警報を発するものであり、固定式と携帯式に大別される。一般高圧ガス保安規則では、毒性ガスを対象としたガス検知器については、例えば下記の性能を要求されている。

- ・一般的に、指示レンジは、毒性ガスの場合には0～許容濃度の3倍の値とする。
- ・一般的に、警報設定値は、毒性ガスの場合には許容濃度とする。

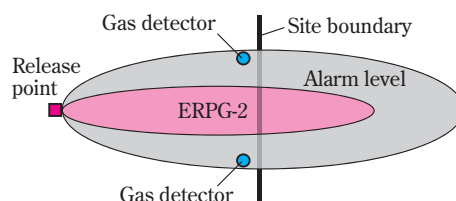
また、ガス検知器の設置位置は、「対象物質の保有設備近傍」、「プラント周辺」および「工場敷地境界」に大別される。以下には、特に敷地外への緊急措置を要する漏洩規模を対象とし、大気拡散ツールを用いてガス検知器位置を最適化する手法について述べる。

1. 解決すべき課題

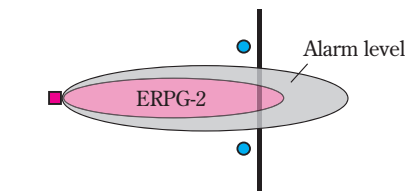
前述の影響評価手法に基づき、ある特定口径（配管に対する最悪シナリオであれば全破断）からの漏洩を考える（ケース1）。拡散雲の計算結果のイメージをFig. 3 (1)に示す。このような計算結果となった場合には、ERPG-2が敷地境界以遠に到達することが予測されるため、警報発信濃度（Alarm level）の範囲をカバーできるようにガス検知器を設置することになる。

一方、漏洩規模はケース1より小さくても、ERPG-2が敷地境界以遠に達する場合も考えられる（ケース2）。拡散雲の計算結果のイメージをFig. 3 (2)に示すが、この規模の漏洩が発生した場合には、風向き次第では、ケース1を想定して設置したガス検知器では警報発信濃度を検知できない恐れがあることが分かる。

このように、通常の影響評価手法では、最悪シナリオを想定する事が一般的であるが、漏洩ガス検知の観点からは、最悪シナリオの想定では状況を適正に評価できない可能性がある。



(1) Case 1 : release from large diameter (e.g. worst-case)



(2) Case 2 : release from mitigated diameter

Fig. 3 Effect on alarm actuation by release scale

2. 「限界放出流量」を用いたガス検知器設置位置の最適化手法

一般的な影響評価手法の適用による不具合を改善す

るため、「限界放出流量」という新たな指標を導入したガス検知器設置位置の最適化手法を開発した。本手法の流れを Fig. 4 に示す。

(1) 漏洩箇所の特定制およびガス検知器位置の初期設定
 着目ガスを取り扱う圧縮器、ポンプ、反応設備、貯槽、移送配管の接合部等、漏洩しやすい箇所（以下、漏洩想定箇所）を特定する。また、ガス検知器位置の初期設定としては、既設プラントは既設のガス検知器位置を採用し、新設プラントにおいてはプラント内設備配置を考慮した上でガス検知器の位置・数を初期設定する。

(2) 拡散シミュレーションに基づく限界放出流量の決定
 各漏洩想定箇所から敷地境界までの水平距離の内、最も短いものを敷地境界最短距離とする。次に、漏洩流量を変えた拡散シミュレーションを実施し、ERPG-2の拡散到達距離が敷地境界最短距離と一致する漏洩流量を「限界放出流量」とする。すなわち、対象プラントエリア内のいずれの箇所から着目ガスが漏洩しても、敷地境界外にERPG-2が到達することのない限界（最小）流量である。

(3) 限界放出流量の妥当性確認
 手順(2)で述べた限界放出流量はプロセス条件や漏洩口径とは無関係に求めた流量である。したがって、当該プロセスにおける温度、圧力等の着目ガス取り扱い条件と想定可能な最大口径（例えば配管全破断）にて漏洩流量を推定した結果、限界放出流量での漏洩が

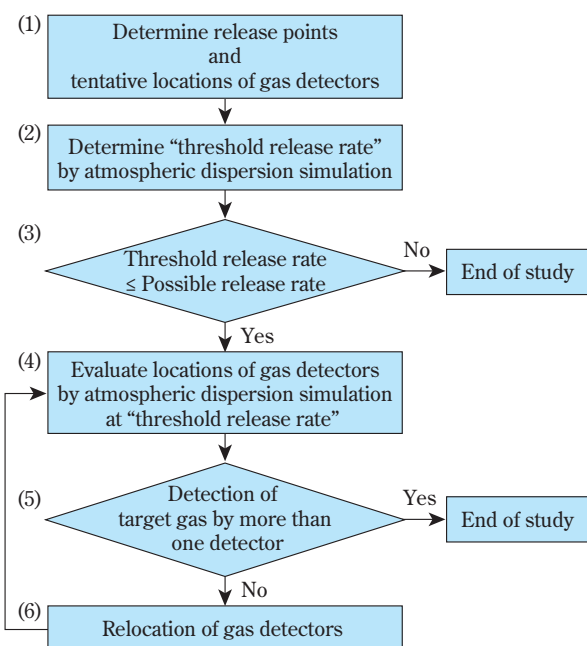


Fig. 4 Flowchart for optimization of gas detector

現実に発生し得ないと判断される場合については評価終了とする。

(4) ガス検知器設置位置の適正評価

限界放出流量を基に、各漏洩想定箇所から気象条件を変えた拡散シミュレーションを実施し、既存のガス検知器設置位置での検知濃度と検知可能台数を推定する。気象条件は、当該プラント設置地域の気象統計データを参考に、複数のケースを考慮する。

(5) 複数のガス検知器での漏洩検知可否の確認

信頼性向上のため、大規模漏洩の発生を判断する上では複数のガス検知器にて、検知器へのノイズレベルを超える濃度を検知できることが望ましい。該当検知台数が気象条件によらず複数台確保できる場合は、既存のガス検知器位置にて必要条件を満たしているものと判断し、評価終了とする。

(6) ガス検知器設置位置の再検討

手順(5)にて該当検知台数が2台以上となるまで手順(4)からの操作を繰り返してガス検知器設置位置を最適化する。

3. 実プラントへの適用事例

上記の手法に基づき、塩酸ガスを対象に Fig. 5 に示すプラントのガス検知器位置最適化を実施した例を以下に示す。

(1) 漏洩箇所の特定制およびガス検知器位置の初期設定

Fig. 5において、A~Cは着目ガスの漏洩想定箇所を示し、①~⑦は既設のガス検知器位置である。

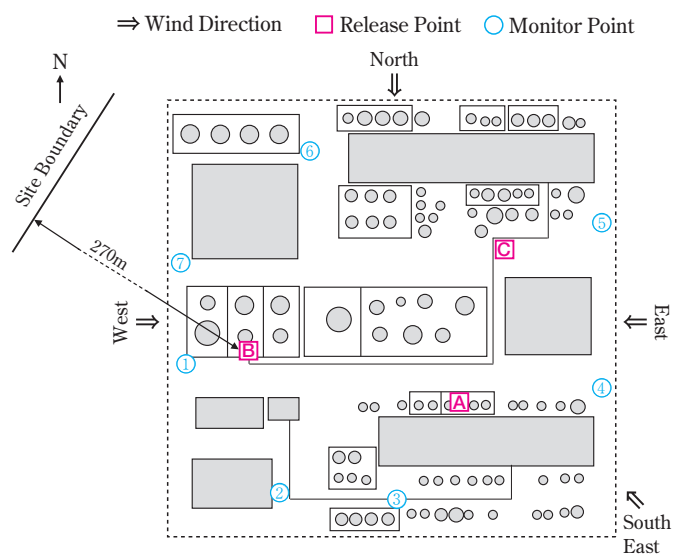


Fig. 5 Location of obstacles for atmospheric dispersion modeling

(2) 拡散シミュレーションに基づく限界放出流量の決定
 当該プラントの場合、漏洩想定点Aから敷地境界までの水平距離270mを敷地境界最短距離として限界放出流量を推定した。拡散計算には、米国SAFER Systems社製の正規分布型拡散モデル内臓ツールである“TRACE™”

Table 3 Modelling tool “TRACE™” input for determination of “threshold release rate”

Category	Parameter	Value
Release source	Gas type	100% HCl
	Gas temperature	10 degree C *
	Release height	Ground level
Meteorology et al.	Ambient temperature	10 degree C *
	Atmospheric stability	D (Neutral)
	Surface roughness	0.1 m (Suburb equivalent)
Site boundary	Distance for evaluation	270 m
	Toxic endpoint	20 ppm (ERPG-2 for HCl)

* Yearly average value at the district

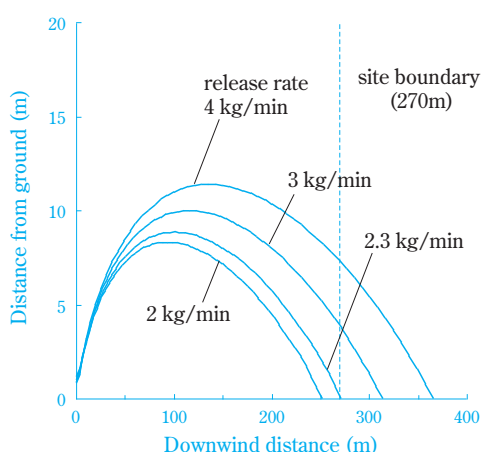


Fig. 6 ERPG-2 contour for each release rate (Wind speed: 2.0 m/s)

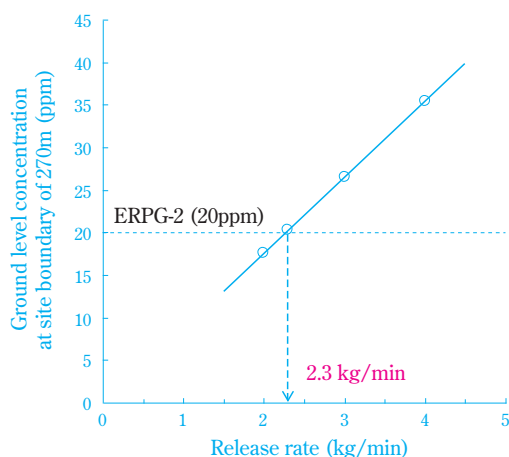


Fig. 7 Determination of threshold release rate (Wind speed: 2.0 m/s)

を適用し、Table 3に示す想定条件にて実施した。なお、漏洩流量および風速については、入力値を変えた各ケースでの検討を行った。計算出力として、Fig. 6に風下距離とERPG-2拡散高度の関係を、Fig. 7に漏洩流量と風下距離270m位置での着地濃度の関係を示す。Fig. 7より、着目物質のERPG-2濃度20ppmが風下距離270mに到達する最小の漏洩流量は2.3kg/minであり、同流量を本事例における限界放出流量とした。

(3) 限界放出流量の妥当性確認

最悪漏洩シナリオを仮定し、当該プラントの移送配管が仮に全破断した場合の着目ガスの漏洩流量を予測した場合の最大漏洩流量が、手順(2)で求めた「限界放出流量」を上回ることから、限界放出流量は当該プラントにおいて想定し得る数値であると判断した。

(4) ガス検知器設置位置の適正評価

(i) 拡散計算条件

限界放出流量2.3kg/minにてA～Cの各漏洩想定箇所から着目ガスが漏洩した場合の拡散予測を実施した。拡散計算には仏Fluidyn社製3D-CFDツール“PANEP”を用いた。想定条件をTable 4に、計算領域内での各障害物の入力状況をFig. 8に示す。Fig. 8に示された①～⑦は既設ガス検知器と同位置に設置した計算上の出力点である。本事例では、Table 5に示すように、漏洩想定点A～Cそれぞれに対して東、南東、西、北の4種の風向を考慮し、計12ケースの計算を実施した。東風および南東風が当該プラントから最短に位置する敷地境界に向う方向であり、特に重要度が高い条件である。

Table 4 Modelling tool “PANEP” input for evaluation of gas detectors locations

Category	Parameter	Value	
Release source	Gas type	100% HCl	
	Gas temperature	10 degree C	
	Release height	Ground level	
	Release rate	2.3 kg/min	
Meteorology	Wind speed	2.0 m/sec	
	Wind direction	Case study	
	Ambient temperature	10 degree C	
Other conditions	Discretization technique	Finite difference method	
	Governing equations	Continuity eq. Navier-Stokes eq. Internal energy eq.	
	Turbulence model	k-ε	
	Gravitational force	Buoyancy model	
	Obstacles in domain	Vertical cylinders (tanks)	
		Cuboids (buildings)	
		Oil dikes	
	Monitor point	7 points (①-⑦ in Fig. 8)	

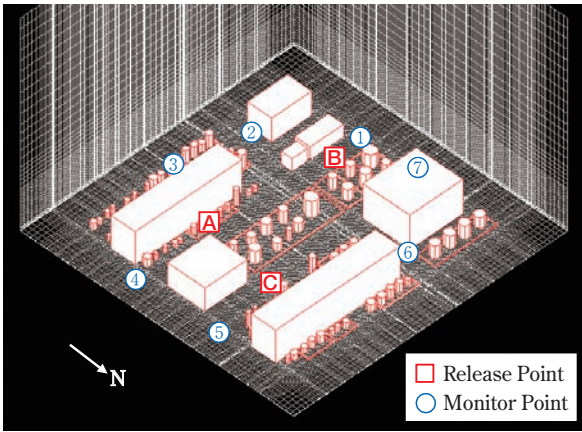


Fig. 8 Location of obstacles in “PANEPR” simulation domain

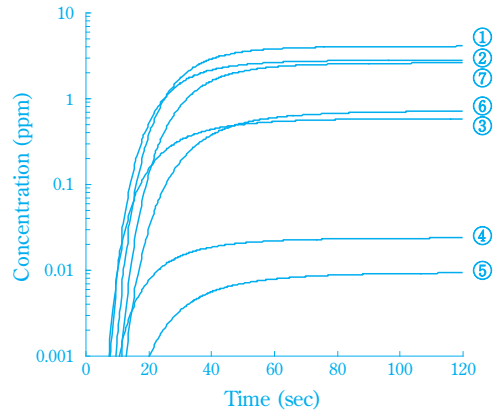


Fig. 9 Case A-1: Time vs concentration at each monitor point

Table 5 Case study in “PANEPR” simulation

Case	Release Point	Wind Direction
A-1	A	East
A-2	A	Southeast
A-3	A	West
A-4	A	North
B-1	B	East
B-2	B	Southeast
B-3	B	West
B-4	B	North
C-1	C	East
C-2	C	Southeast
C-3	C	West
C-4	C	North

(ii) 拡散シミュレーション結果

①～⑦の出力点から得られた到達濃度予測値の時間変化の例として Fig. 9 に Case A-1 の出力結果を示す。また、Table 6 には東風および南東風を対象とした6ケースについて、①～⑦の出力点から得られた最高予測濃度をまとめて示す（西風および北風での結果は本稿では省略する）。Table 6 右欄には警報設定濃度として1～3ppmの3レベルを仮定した場合における各レベルに対するガス検知器による予想検知台数を示す。

Table 6 Prediction of released gas detection for original layout of detectors

Case	Maximum concentration for each monitor point (ppm)							Number of detection		
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	1ppm <	2ppm <	3ppm <
A-1	4.1	2.8	0.6	ND	ND	0.7	2.6	3	3	1
A-2	1.6	0.2	0.1	ND	ND	3.9	3.0	3	2	2
B-1	44.9	0.2	ND	ND	ND	ND	5.0	2	2	2
B-2	26.1	ND	ND	ND	ND	0.6	13.5	2	2	2
C-1	2.2	0.6	0.2	ND	ND	4.2	3.4	3	3	2
C-2	0.3	ND	ND	ND	0.3	5.5	0.9	1	1	1

ND : < 0.1ppm

(5) 複数のガス検知器での漏洩検知可否の確認

Table 6 において、警報設定濃度 3ppm に着目した場合、Case A-1 および Case C-2 の2ケースについては検知台数が1台となることが予想されるため、ガス検知器位置最適化の必要性が高いケースと判断した。

(6) ガス検知器設置位置の再検討

まず、Case A-1 におけるガス検知器設置高さ地上 0.5mH における等濃度線図を Fig. 10 に示す。Case A-1 においては、確実に漏洩ガスの検知が可能と考えられるのは漏洩想定点 A に対して風下方向に位置するガス検知器①のみである。したがって、プラント内の設備配置も考慮した上でガス検知器②を等濃度線図においてより高濃度を示す北方向に移設すると効果的であると判断した。

同様に Fig. 11 に示した Case C-2 における等濃度線図においては、ガス検知器⑥に加えて最低もう1台のガス検知器を高濃度領域に移設あるいは増設する必要があると判断した。ここで、Case C-2 においては既設の⑤あるいは⑦のガス検知器を移設した場合に他ケース（他の放出点あるいは風向）における着目ガスの検知台数が減少してしまう弊害が生じるため、新たに⑧の位置にガス検知器を増設することとした。

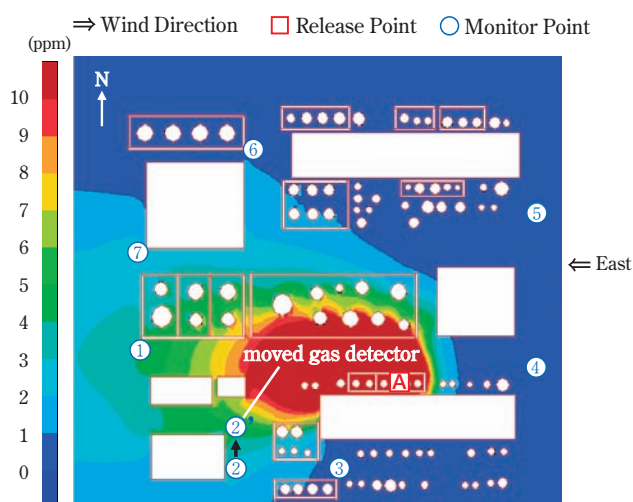


Fig. 10 Case A-1: Concentration contour at 0.5m height above ground

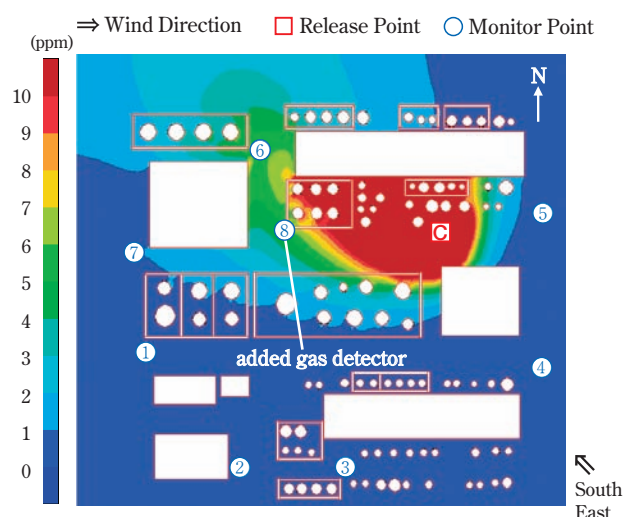


Fig. 11 Case C-2: Concentration contour at 0.5m height above ground

Table 7 Prediction of released gas detection for modified layout of detectors

Case	Maximum concentration for each monitor point (ppm)								Number of detection		
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	1ppm <	2ppm <	3ppm <
A-1	4.1	4.6	0.6	ND	ND	0.7	2.6	1.5	4	3	2
A-2	1.6	0.1	0.1	ND	ND	3.9	3.0	5.8	4	3	3
B-1	44.9	ND	ND	ND	ND	ND	5.0	ND	2	2	2
B-2	26.1	ND	ND	ND	ND	0.6	13.5	ND	2	2	2
C-1	2.2	0.2	0.2	ND	ND	4.2	3.4	8.1	4	4	3
C-2	0.3	ND	ND	ND	0.3	5.5	0.9	4.6	2	2	2

ND : < 0.1ppm

上記ガス検知器の移設および増設によるガス検知器位置の最適化後の漏洩ガス検出予測を **Table 7** に示す。最適化前の **Table 6** に対し、6 ケース全てにおいて検知台数の改善が見られ、いずれも複数台での検知が可能な結果となった。漏洩位置および風向によらない、大規模漏洩の発生をより確実に検知可能なガス検知システムを構築できたと考える。

大気拡散計算ツールの選択

前段の適用事例において、2種類の拡散モデルを使い分けて検討した。“TRACE™”については、比較的遠方への拡散問題を評価対象としており、拡散濃度が正規分布を示す実験データに基づく経験モデルである。短時間で多ケースの評価が可能である一方、評価エリア内に存在する障害物を地表面粗度の1つのパラメータで代表して評価するため、漏洩点周辺に建屋やプラント機器等の比較的大きな障害物が存在する場合においては、拡散結果が実際とは大きく異なってしまう可能性がある。

“PANEP”は有限体積法をベースとした3次元CFDツールであり、流体の3基礎式および各種乱流モデルを

内蔵していることで、障害物周辺の機械的な乱流構造を再現可能なため、正規分布型拡散モデルでは予測できない障害物の影響を考慮した拡散予測が可能である。一方で、計算時間が長いため、多ケースの検討に対して早期に評価を実施することが難しく、拡散距離が遠方におよぶ場合、遠方での到達濃度の予測値が計算誤差の累積に伴い経験モデルである正規分布式での予測値よりも精度を欠く可能性がある。

以上より、限界放出流量の決定においては上記2種類の拡散モデルでの検討の結果、より低流量を予測した“TRACE™”の計算結果を適用することとした。一方、ガス検知器による漏洩ガスの検知台数の予測においてはモデルプラント内の限定された領域内に多数の障害物が配置されていることを考慮して、3次元CFDツールを選択して検討を行った。

なお、当社では上記“TRACE™”および“PANEP”に加え、フィジカルハザードの影響評価ツールとして、米国SAFER Systems社製“Real-Time®”システムも導入している。このシステムでは、有害物質の漏洩時にガス検知器データや気象データをリアルタイムで収集・解析することにより、拡散雲の動向を地図上（GIS

データ)で監視することができる。この情報に基づき、影響を受ける可能性がある構内外の特定対象(プラント計器室や学校、病院等)に対して警報や緊急連絡を迅速かつ効率良く行うことを目的としている^{11), 12)}。

おわりに

化学物質の漏洩に伴う災害リスクを低減する上で最優先すべきは、漏洩リスクの高い機器に対する最適な耐腐食性材料選定や配管の2重化、緊急事態を想定した除害設備の能力確保等のハード対策や、オペレータ教育による操作ミス防止に代表されるソフト対策による「漏らさない」対策を講ずることである。本稿にて紹介したガス検知器設置位置の最適化手法は、万一漏洩が発生した場合でも、その被害を最小限に抑える二次的対策として位置付けられる。大規模漏洩の発生を確実に早期に検出することで緊急措置計画のより円滑な遂行に貢献できれば幸いである。

引用文献

- 1) 花井 莊輔, 安全工学, **41**(6), 387 (2002).
- 2) 若倉 正英, 安全工学, **43**(4), 240 (2004).
- 3) 上原 陽一, 小川 輝繁 監修, “新版 防火・防爆対策 技術ハンドブック”, テクノシステム (2004), p.705.
- 4) J. Fidler and R. Wennersten, *Proceedings of Loss Prevention 2007*, Poster 27, CD-ROM.
- 5) U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/>
- 6) U.S. Department of Energy, <http://www.energy.gov/>
- 7) AIHA, <http://www.aiha.org/>
- 8) 宮田 栄三郎, 安全工学, **44**(3), 183 (2005).
- 9) API Publication 581, “Risk-Based Inspection, Base Resource Document”, First Edition (2002).
- 10) U.S. Environmental Protection Agency, “Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis”, EPA550-B-99-009 (March 2009).
- 11) 半井 豊明, 住友化学, **2003-II**, 55 (2003).
- 12) 半井 豊明, 化学経済, **2004**(4), 77 (2004).

PROFILE



宮田 栄三郎
Eisaburo MIYATA
住友化学株式会社
生産技術センター
主席研究員 工学博士
(現職：レスポンスブルケア室)



森 繁樹
Shigeki MORI
住友化学株式会社
生産技術センター
研究員