

環境リスク評価講習会【実践編】 ～大気拡散数理モデルの理論的背景について～

平成30年8月

みずほ情報総研株式会社
環境エネルギー第一部
関 理 貴

資料目次(ご説明の内容)

0. はじめに

METI-LISによるシミュレーションの説明に入る前に…

1. 大気拡散モデルのイメージ

大気拡散モデル／シミュレーションにおける濃度分布のイメージ等についてご説明

2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順、計算条件を変えたときの濃度の変化等についてご説明

3. まとめ

本資料のまとめ

0. はじめに

METI-LISによるシミュレーションの説明に入る前に…

- METI-LIS（経済産業省-低煙源工場拡散モデル）とは？
 - ◆ 固定点源から排出される物質の大気中濃度を推算するモデル
 - ◆ 短期評価の場合は半径2km程度、長期評価の場合は半径10km程度以内の評価結果の精度の信頼性が高い（※平坦地を仮定した場合）
 - ◆ 任意の期間の平均値（年間、期別、月別、日別等）の計算が可能

0. はじめに

METI-LISによるシミュレーションの説明に入る前に…

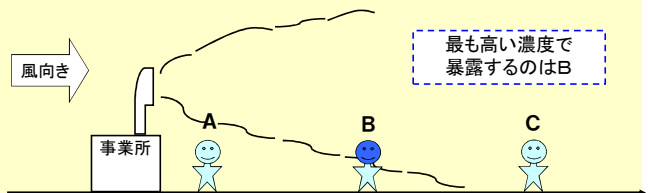
- METI-LISをはじめ、大気拡散モデルでは
 - ◆ どのように大気環境濃度が算定されるのか？
 - ◆ 大気環境濃度は何に影響されるのか？（決定因子）
 について、直感的に理解するために概要をご説明
- それらを踏まえ、一定の計算条件における簡易な大気環境シミュレーションの方法（簡易ツール）についてご説明
 - 簡易にリスク（暴露）評価を行う場合におすすめ
 - ケーススタディの実施

1. 大気拡散モデルのイメージ

化学物質は、大気で「風」に吹かれて拡散

■ 風と化学物質の挙動の関係

- ◆鉛直方向・水平方向に拡散されながら、風下に移動する
 - 風向きと風速の影響
 - 季節変動や気象変動の影響
- ◆地表の濃度は、発生源から近いほど濃度が高い
 - 例外的に、風下で初めて地表に落ちる距離までは、その傾向とならない

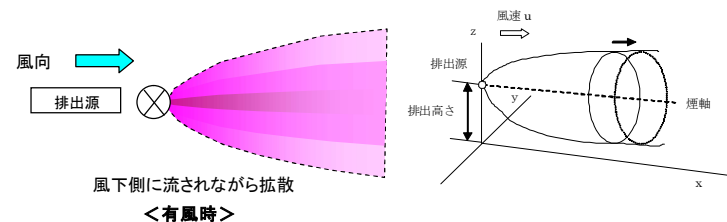


1. 大気拡散モデルのイメージ

プルームモデルのイメージ(1) ～有風時のモデル～

煙の拡散(プルーム)を定量的に予測するための計算式(モデル)

【プルーム式による表現】(水平方向の図(左)と立体的に見た図(右))

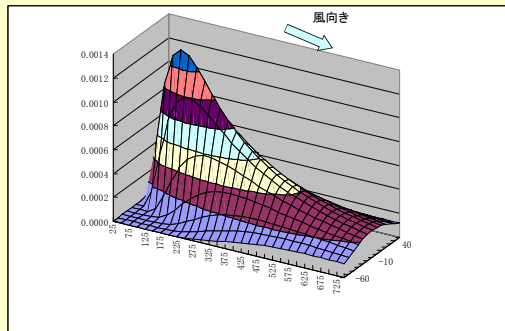


1. 大気拡散モデルのイメージ

プルームモデルのイメージ(2) ～有風時のモデル～

■ プルームモデルの濃度分布イメージ

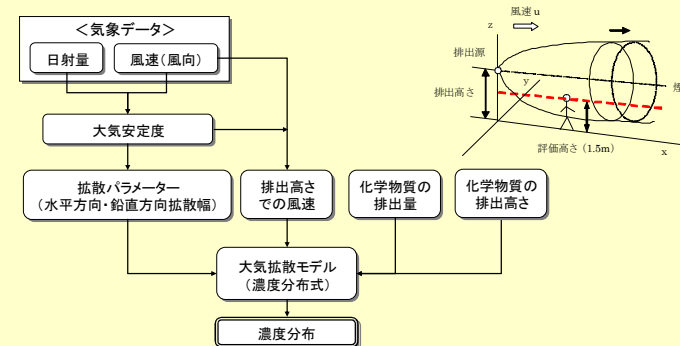
- 地上から一定の高さにおける(水平面)濃度分布



1. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(1)

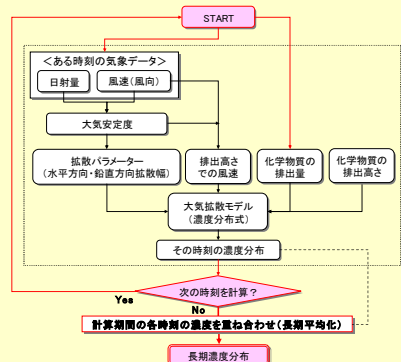
■ 基本的な計算手順 ～短期(1時間など)の濃度算定方法～



1. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(2)

■ 長期(年間平均値など)の濃度算定方法

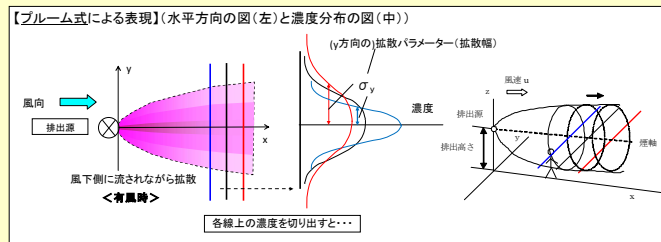


2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(3)

■ 拡散パラメーター(拡散幅)

- ◆ 排出源から遠ざかると、拡散幅が大きくなる(下図。鉛直方向も同じイメージ。)
- ◆ 大気安定度により拡散パラメーター(拡散幅)が変化(後述)



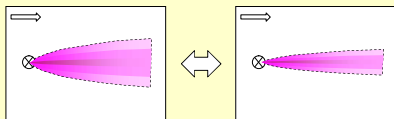
2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(4)

■ 拡散パラメーター(水平・鉛直拡散幅)

- ◆ 排出源から遠ざかると、拡散幅が大きくなる
- ◆ 大気安定度がF(安定)→A(不安定)に変わると拡散幅が大きくなる

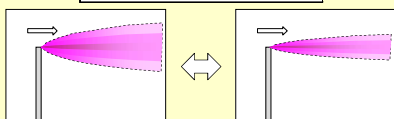
水平方向
(※煙突の上から見た場合)



A～F:パスキル(Pasquill)の安定度階級

A	B	C	D	E	F
一不安定			中立	安定一	

鉛直方向
(※煙突の横から見た場合)



2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(5)

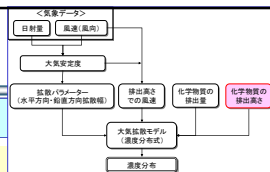
■ 化学物質の排出高さ

- ◆ 簡易には煙突・放散塔等の高さを設定
- ◆ 化学物質の排出速度が風速に比べ小さい場合は、煙突等の背後に生じる渦に巻き込まれ、物質が地上へ降下することがある(Stack-tipダウンウォッシュ)
- ◆ 排出されるガスが周囲の外気と比べ高温の場合は、浮力等が生じるため逆に物質が排出口付近で上昇する

⇒METI-LISでは、このような効果を考慮し、化学物質の排出高さを「補正」する機能が備わっている(また煙突等の影響のほか、近傍の建物等の影響によるダウンウォッシュを考慮したシミュレーションも可能)

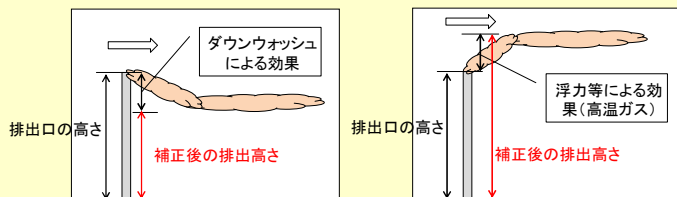
2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(6)



■ 化学物質の排出高さの補正のイメージ

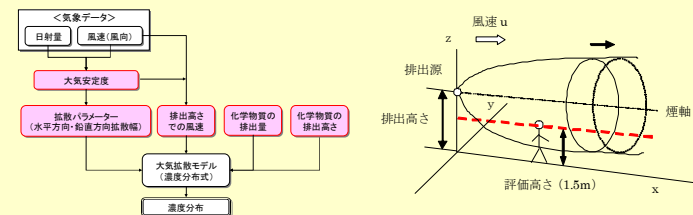
- ◆ Stack-tipダウンウォッシュを考慮する場合(ガスの排出速度と排出口の口径で補正高さ(下がる方向)が決まる。左図参照。)
- ◆ 浮力等によるガスの上昇を考慮する場合(排出ガス温度と排出量で補正高さ(上がる方向)が決まる。右図参照。)



2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(1)

- 大気拡散モデルへの入力値となる計算条件を変えたときの、最も濃度が高くなる風下方向(下図赤線)の濃度分布の変化をみる
⇒モデルに関する直観的理解
- 変化させる計算条件は下図の4つ(大気安定度は間接的に関連)

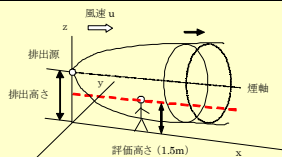


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(2)

- 以下では、No.1～4について濃度分布の変化を示す
- 変化させるときの計算条件は下表のとおり

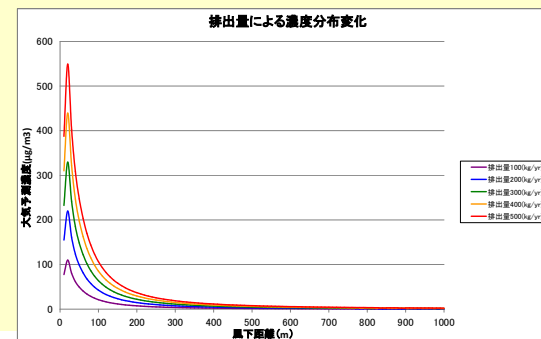
No.	入力項目	基本計算条件	変化させるときの条件
1	排出量(kg/year)	100.0	100kg/yr～500kg/yr(100kg/yr刻み)
2	風速u(m/s)	1.0	1.0m/s～5.0m/s(1m/s刻み)
3	大気安定度	D	A～F
4	排出高さHs[m]	3.0	1m～5m(1m刻み)
—	評価地点(Xref)	—	風下10m～1000m(固定)
—	評価高さ(地上)m(Zref)	1.5	固定



2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(3)

- 排出量による濃度分布の変化
◆ 濃度は排出量に比例し、分布は変わらない(排出量倍→濃度倍)

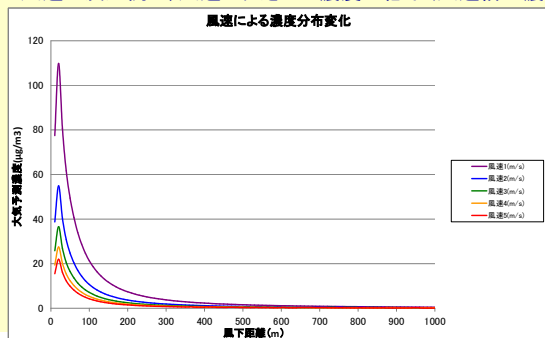


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(4)

■ 風速による濃度分布の変化

- ◆ 濃度は風速に反比例し、風速が大きいと濃度は低下(風速倍→濃度半分)



～化学物質対策・川崎市×横浜市 連携～平成30年度環境リスク評価講習会【実践編】

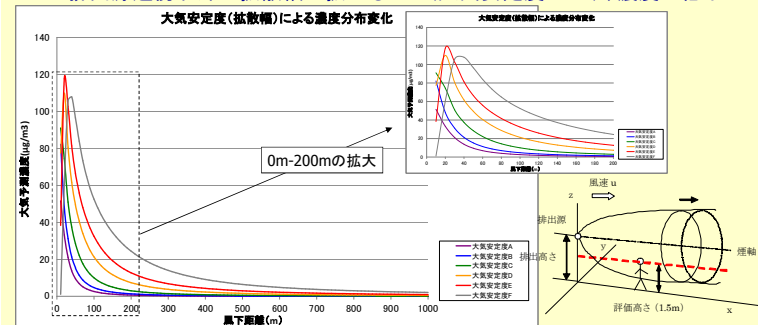
16

2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(5)

■ 拡散パラメーター(水平方向・鉛直方向拡散幅)の変化

- ◆ 排出源近傍以外は拡散幅が広がるほど(大気安定度F→A)、濃度は低下



～化学物質対策・川崎市×横浜市 連携～平成30年度環境リスク評価講習会【実践編】

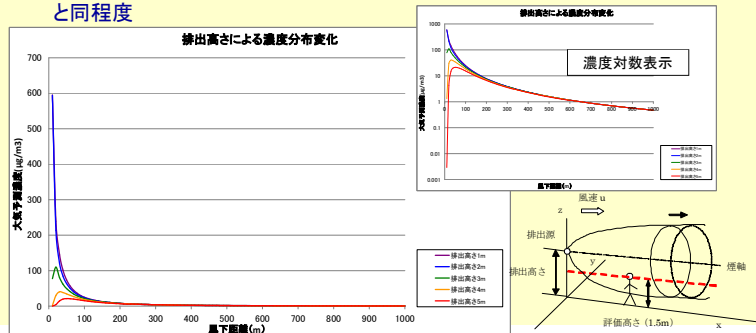
17

2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(6)

■ 排出高さによる濃度分布の変化

- ◆ 排出源付近で排出高さが評価高さ(1.5m)の近くで濃度が高いが、100m過ぎると同程度



～化学物質対策・川崎市×横浜市 連携～平成30年度環境リスク評価講習会【実践編】

18

3. まとめ

本資料のまとめ

- 大気拡散モデル(プルーム)の濃度分布のイメージ
- 一般的な大気拡散モデルの計算手順
 - ◆ 大気安定度の設定、拡散パラメーターの設定、排出高さ風速補正、排出高さ
- 大気拡散モデルの計算条件と条件を変えた場合の濃度分布の変化
 - ◆ どの計算条件を変化させると、濃度分布がどのように変化するか

以上

～化学物質対策・川崎市×横浜市 連携～平成30年度環境リスク評価講習会【実践編】

19

【簡易なリスク評価を行うには】 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール) を用いた演習

平成30年8月

みずほ情報総研株式会社
環境エネルギー第1部
関 理貴

1. 簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)とは(1)

- 大気拡散数理モデルにはMETI-LISをはじめ、様々なモデルが存在しているが、本質的な違いはない。
- しかし、一部のモデルには使いこなすためには、ある程度訓練と時間が必要となる。
- 例えば複数のPRTR物質を排出している中で、「どの物質の対策を優先すべきなのか(対策物質の優先度設定)」、「どの程度まで排出量を減らすべきなのか(削減目標の設定)」を判断する上で、有害性評価とあわせ、簡易に暴露評価及びリスク評価を行うことが重要
- そこで、簡便かつ上記のような判断材料として利用できる、簡易ツールを提案

1. 簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)とは(2)

- 簡易ツールは、大気拡散モデルの特性を踏まえ、実際の気象データ等を使わずに、安全側の評価となるような計算条件を予め設定しておき、最低限のデータ入力(排出量と排出高さ)で、仮想的な大気環境濃度をエクセル等の計算ソフトで簡易に予測する方法
- 簡易ツールを使うと、例えば
 - ◆ “排出量(入力)→大気環境濃度(出力)”がすぐ計算できる
 - ◆ さらに、ある物質の有害性評価値(有害性評価の結果、ヒトに影響がでないとされる許容濃度)と、目標安全率(例えば環境基準値や許容濃度等からさらに10倍余裕をみておく)とから、それに対応する排出量の削減目標値を知ることができる。

1. 簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)とは(3)

- 注意事項
 - ◆ 但し、本簡易ツールは、あくまでも仮想的かつ化学物質の濃度が高めに出る状況を知るために作成したモデルであるため、METI-LIS等の1年間の詳細な気象条件を入力した場合の計算結果とは異なる。
 - ◆ 使用に際しては、少なくとも評価地点(排出源から敷地境界までの最短距離等)及び排出高さについて、事業所ごとの実際の数値を入力することが必要。

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易ツールの概要(1)

■ 簡易ツールの設定内容

項目	設定	備考
大気拡散モデル	正規型ブルーム	一般的な式
風速(排出高さ)	デフォルト1m/s	一般的なブルームの風速適用範囲の中で最も安全側の設定
大気安定度	デフォルト大気安定度D	大気安定度はDの出現頻度が圧倒的に多い
水平拡散パラメーター	大気安定度に対応する拡散パラメーター	ツール内部で計算
鉛直拡散パラメーター	大気安定度に対応する拡散パラメーター	ツール内部で計算
排出高さ	ユーザー入力	実際の高さを入力
排出量	ユーザー入力	実際の評価対象物質に関する年間排出量等を入力
同一方向に風が吹く頻度	デフォルト0.25	実際に観測される16方位のうち、ある方位だけに風向が偏る確率。
評価地点	ユーザー入力	風下の任意の距離
評価高さ	デフォルト1.5m	成人の呼吸の高さ

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易ツールの概要(2)

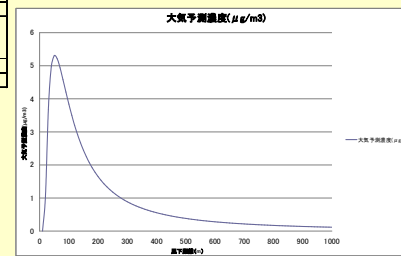
■ 簡易ツールのイメージ

<計算条件>

入力項目	入力条件	備考
排出量(kg/year)	100.0	PRTR排出データ等
排出量($\mu\text{g/s}$)	3171.0	上記から平均値を計算
風速u(m/s)	1.0	排出高さでの風速(デフォルト1.0)
大気安定度	D	デフォルトD
排出高Hs[m]	5.0	補正後の排出高さ
評価地点(Xref)	100	風下距離m(10m-1000mの範囲、10m刻みで)
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5	デフォルト1.5m
同一方向に風が吹く頻度	0.25	デフォルト0.25

<計算結果>

大気予測濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.84
------------------------------------	------



1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)の使い方(1)

■ 簡易ツールの入力値の制限等について(1)

- ◆ 基本的には網掛けの項目について入力
- ◆ 各入力条件に入力の制限がある(下表)

<計算条件>

入力項目	入力条件	備考	入力の制限
排出量(kg/year)	100.0	PRTR排出データ等	0より大きい数値
排出量($\mu\text{g/s}$)	3171.0	上記から平均値を計算	計算箇所
風速u(m/s)	1.0	排出高さでの風速(デフォルト1.0)	1以上の数値
大気安定度	D	デフォルトD	ブルダウンから選択
排出高Hs[m]	5.0	補正後の排出高さ	0より大きい数値
評価地点(Xref)	100	風下距離m(10m-1000mの範囲、10m刻みで)	ブルダウンから選択
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5	デフォルト1.5m	0より大きい数値
同一方向に風が吹く頻度	0.25	デフォルト0.25	0より大きい数値

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易な大気濃度予測ツール(簡易ツール)の使い方(2)

■ 簡易ツールの入力値の制限等について(2)

- ◆ METI-LISの内部では最終的に下表を使用
- ◆ よって、理論的には大気安定度ごとに地上風速の範囲がある

大気安定度分類表(METI-LIS内部で最終的に使われているもの)

地上風速 U(m/s)	日中				夜間 (日射量Q=0)
	日射量Q(kW/m ²)				
	多いー	多いー	少ない	少ない	
弱い	Q \geq 0.6	0.6 \leq Q \geq 0.3	0.3 \leq Q \geq 0.15	Q $<$ 0.15	
1	A	A	B	D	F
2 \leq U $<$ 3	A	B	C	D	E
3 \leq U $<$ 4	B	B	C	D	D
4 \leq U $<$ 6	C	C	D	D	D
強い	6 \leq U	C	D	D	D

簡易ツールでは

大気安定度	地上風速u(m/s)
A	$u < 3$
B	$u < 4$
C	$u \geq 2$
D	—
E	$2 \leq u < 3$
F	$u < 2$

2. ケーススタディ リスク評価の復習(基礎編参照)

手引き
P28-29

2. 環境リスク評価の具体的手順 (5)リスク判定 <無毒性量による環境リスク評価>

「暴露濃度」と「無毒性量(NOAEI)」を用いて、「MOE」を求める

■ 無毒性量 (NOAEI) を用いる場合

- ◆ MOE (Margin of Exposure) とは、人に対する無毒性量と暴露濃度の比率

$$\text{MOE} = \frac{\text{無毒性量} [\text{mg}/\text{m}^3]}{\text{暴露濃度} [\mu\text{g}/\text{m}^3]} \times 1,000$$

- ◆ MOE が小さいほど、リスクが大きい

MOEの値	レベル判定	環境リスク ↑ 大 ↓ 小
10未満	レベル1	
10以上 100未満	レベル2	
100以上	レベル3	

2. ケーススタディ① 削減目標の設定方法

■ 例題

- ◆ 事業所の煙突から、現在キシレンを年間10,000kg排出している。
- ◆ 煙突から風下100mの地点において、健康リスクがある場合、リスクを小さくしたい。(リスクのレベルが「1」であれば「2」、「2」であれば「3」にしたい。)
- ◆ キシレンの年間排出量を何kgまで削減すればよいか。

■ 条件

- ◆ 計算条件

入力項目	入力条件
風速u(m/s)	1.0
大気安定度	D
排出高Hs(m)	5.0
評価地点(Xref)	100
評価高さ(地上)Zref	1.5
同一方向に風が吹く頻度	0.25

- ◆ キシレンの有害性指標

政令番号	物質名	種類	値
1-80	キシレン	無毒性量	2.2mg/m ³

(出典「手引き」別表)

2. ケーススタディ② 対策物質の優先度設定方法

■ 例題

- ◆ 事業所の煙突から、現在トルエンを年間250kg、ヒドラジンを年間10kg排出している。
- ◆ 煙突から風下100mの地点において、健康リスクがある場合、リスクを小さくしたい。(リスクのレベルが「1」であれば「2」、「2」であれば「3」にしたい。)
- ◆ どちらを優先的に対策すべきか(優先度)を決定したい。

■ 条件

- ◆ 計算条件

入力項目	入力条件
風速u(m/s)	1.0
大気安定度	D
排出高Hs(m)	5.0
評価地点(Xref)	100
評価高さ(地上)Zref	1.5
同一方向に風が吹く頻度	0.25

- ◆ トルエン、ヒドラジンの有害性指標

政令番号	物質名	種類	値
1-300	トルエン	無毒性量	7.9mg/m ³
1-333	ヒドラジン	無毒性量	0.003mg/m ³

(出典「手引き」別表)