

原子炉制御室の居住性に係る 有毒ガス影響試算結果 (簡易評価)

平成28年1月6日

原子力規制庁

目次

1. 解析の概要
2. 解析条件
3. 試算結果
4. まとめ

1. 解析の概要

原子力発電所内に保管されている有毒化学物質の漏えいにより有毒ガスが発生した場合の、原子炉制御室の居住性に係る影響の試算。

原子力発電所における有毒化学物質の保管状況

- ✓ 主に液体保管
- ✓ 主な有毒化学物質：塩酸、ヒドラジン、アンモニア、エタノールアミン、硫酸
- ✓ タンクは、耐震Cクラスで設計されている
- ✓ 堰が設置されている場合が多い
- ✓ 同一方位に複数のタンクが設置されている場合がある
- ✓ 複数のタンクで堰を共有している場合がある
- ✓ タンク容量： 1m^3 ～数十 m^3
- ✓ 制御室までの距離：数十m～数百m
- ✓ 堰の面積：数 m^2 ～数百 m^2

保管状況を踏まえ、解析条件を設定

2.1 解析条件（計算モデル）

1 地震によりタンクが破損し、タンク内に保管されている有毒化学物質の全量が瞬時に堰内に漏えいすると仮定。

3 堰から制御室外までの有毒ガスの大気拡散は、連続ガウスパフモデルにより計算*2。
放出期間中は、評価点は常に風下にあると仮定。
また、拡散中の建屋影響及び低風速補正は考慮しない。

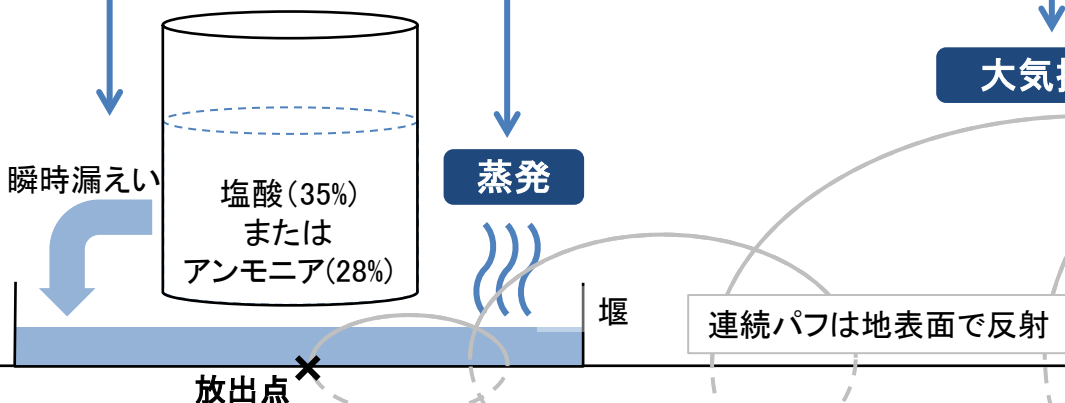
2 堰内の有毒化学物質全量がなくなるまで、一定の蒸発率で蒸発すると仮定。
蒸発率は、堰の大きさや水溶液の濃度等に応じて計算*1。

大気拡散

インリーク

制御室

4 事故直後に制御室は隔離されるが、インリークによって外気が流入すると仮定し、制御室内濃度を計算*2。



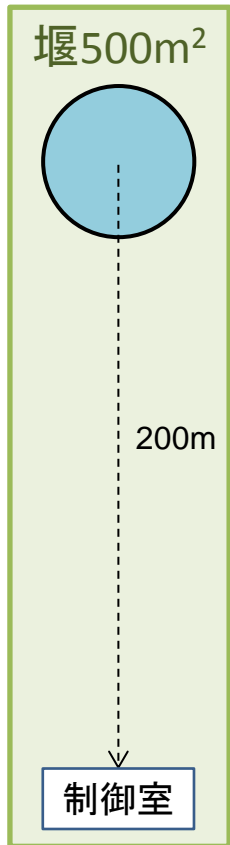
*1 Mary Evans, Modeling Hydrochloric Acid Evaporation in ALOHA, USDOC (1993)

*2 U.S.NRC, Computer Codes for Evaluation of Control Room Habitability (HABIT), NUREG/CR-6210 (1996)

2.2 解析条件（解析ケース）

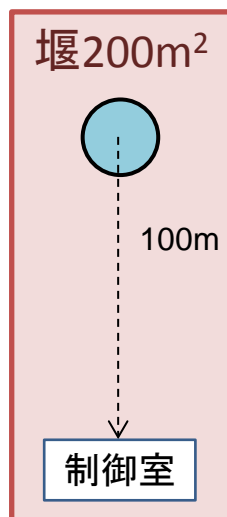
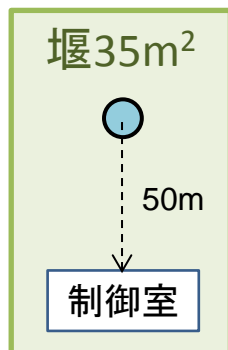
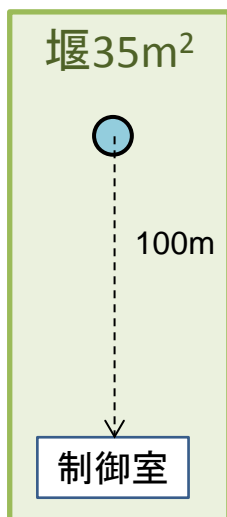
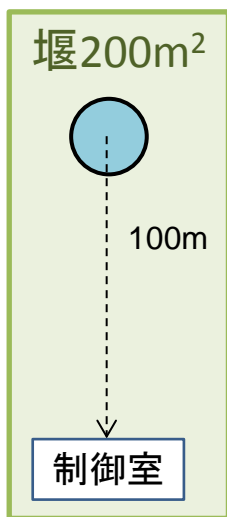
塩酸

アンモニア

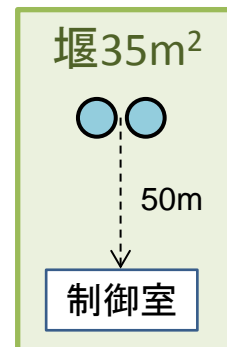
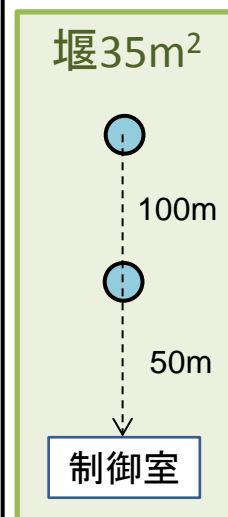


化学物質		塩酸(35%)、アンモニア(28%)			
タンク	容量	30 m ³	制御室	インリーク率	0.5 回/h
	距離	50, 100, 200 m			
	堰の大きさ	35, 200, 500 m ²		高さ	5 m*
気象条件		制御室とタンクの位置関係を考慮し、保守的な結果となるように、試算ケースごとに設定。			

単数タンク漏えいケース



複数タンク同時漏えいケース



解析A

大気安定度F
風速 1 m/s

解析B

大気安定度E
風速 2 m/s

解析C

大気安定度E
風速 2 m/s

解析D

大気安定度C
風速 2 m/s

解析E

大気安定度E
風速 2 m/s

解析F

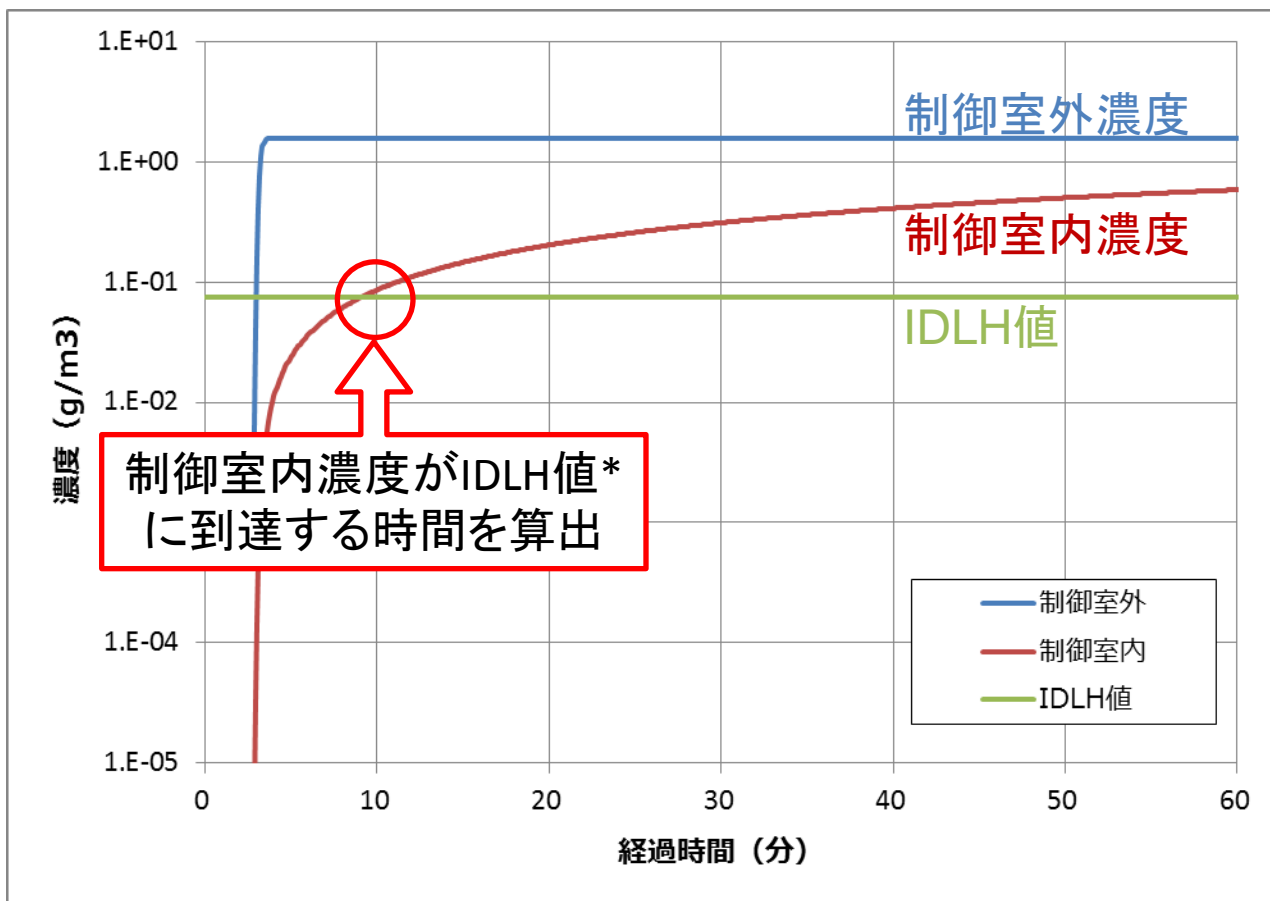
大気安定度C
風速 2 m/s

解析G

大気安定度C
風速 2 m/s

*解析Bについては、高さに係る感度解析を実施(0m、5m、10m)

3. 試算結果

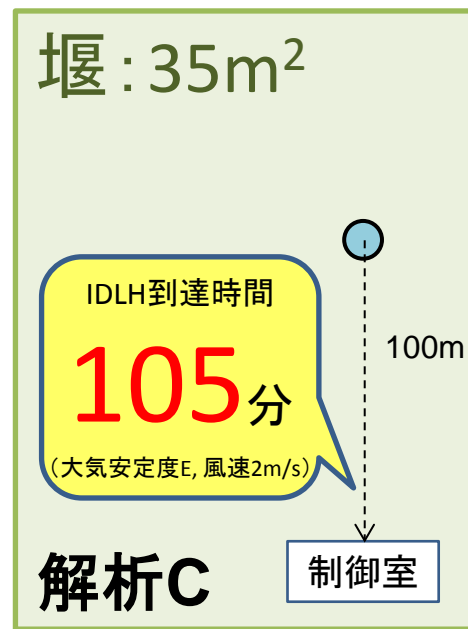
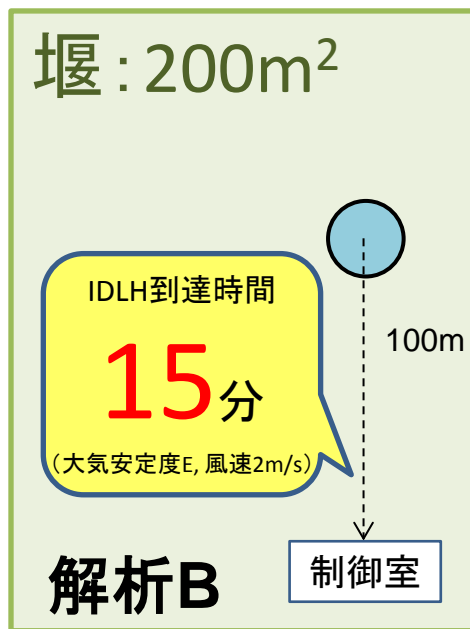
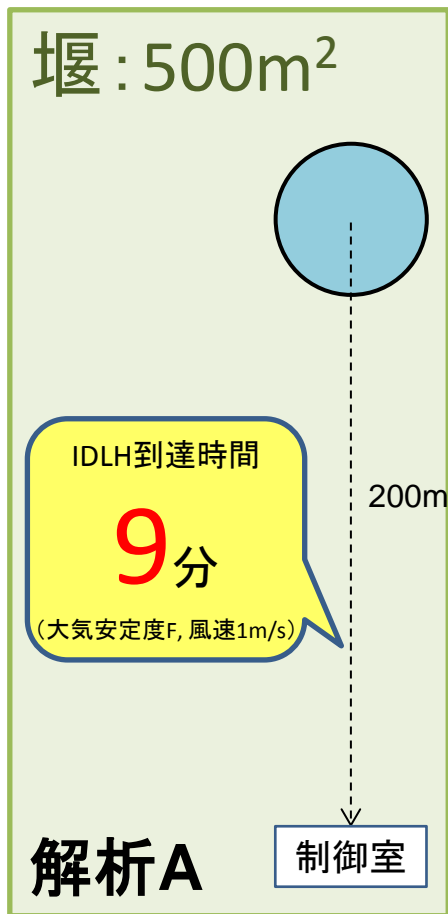


*IDLH値 = Immediately Dangerous to Life or Health value : 急性の毒性限界濃度(人間がある有毒化学物質に30分間暴露された場合、その物質が生命及び健康に対して危険な影響を即時に与える、又は避難能力を妨げる濃度限界値)。

(例) 塩酸: 74.5 mg/m³, アンモニア: 210 mg/m³

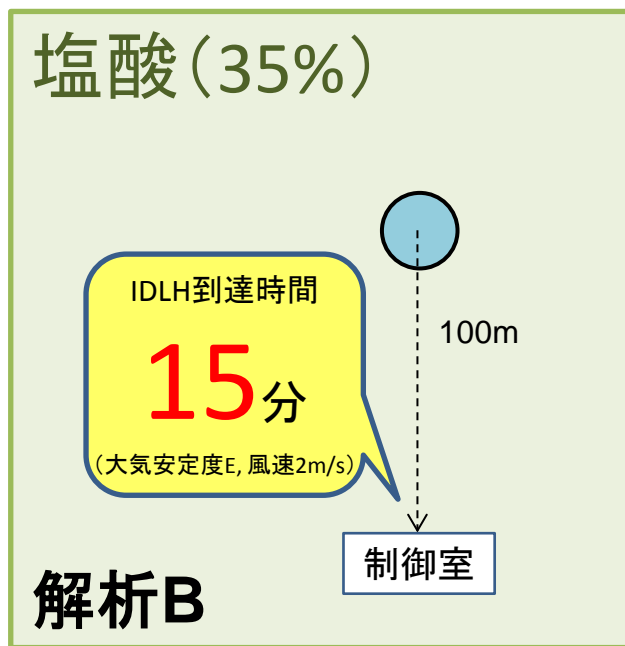
3.1 堰の面積と制御室までの距離の影響

- ✓ 距離や気象等の条件が同じ場合、堰面積が大きい場合は、制御室内の濃度がIDLH値に達するまでの時間が短い。(解析B、Cより)
- ✓ 距離が遠くても、堰面積が大きい場合には、気象条件等の違いによっては、制御室内の濃度がIDLH値に達するまでの時間が短い場合がある。(解析A、Bより)

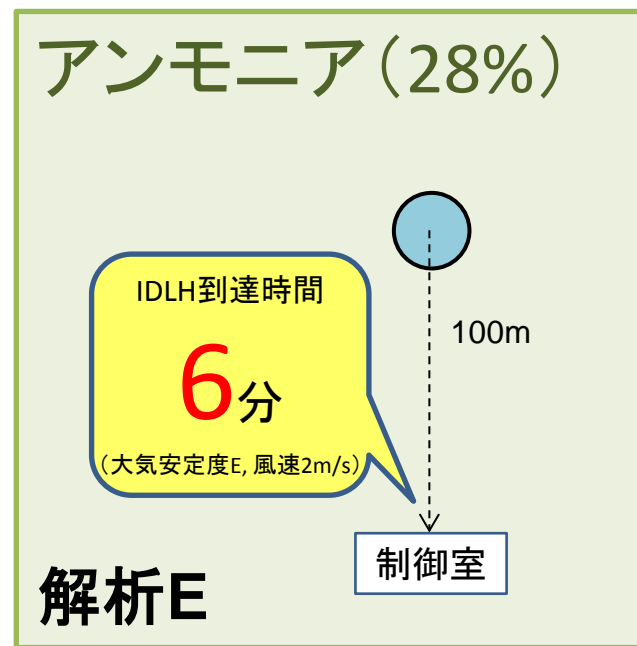


3.2 有毒化学物質の揮発性の影響

- ✓ 塩酸よりもアンモニアの方がIDLH値が高いが、アンモニア(28%)は塩酸(35%)と比較して揮発性が高いために、制御室内の濃度がIDLH値に到達するまでの時間が短い。(解析B、Eより)



塩酸のIDLH値: 74.5 mg/m^3

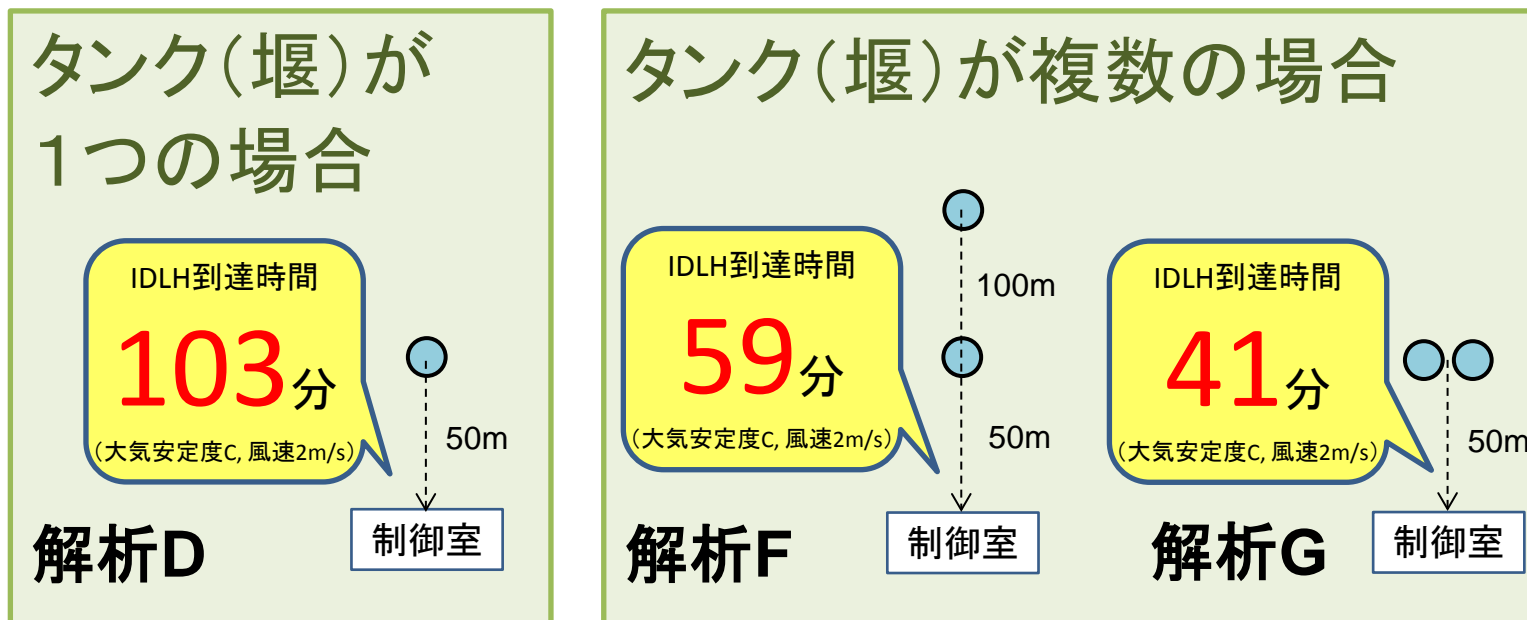


アンモニアのIDLH値: 210 mg/m^3

堰の大きさが 200 m^2 の場合

3.3 複数タンク同時漏えいの影響

- ✓ 堰面積が35 m²で、複数のタンク(堰)で同時漏えいした場合には、単独の場合より、制御室内の濃度がIDLH値に到達するまでの時間が短くなる。(解析D、F、Gより)

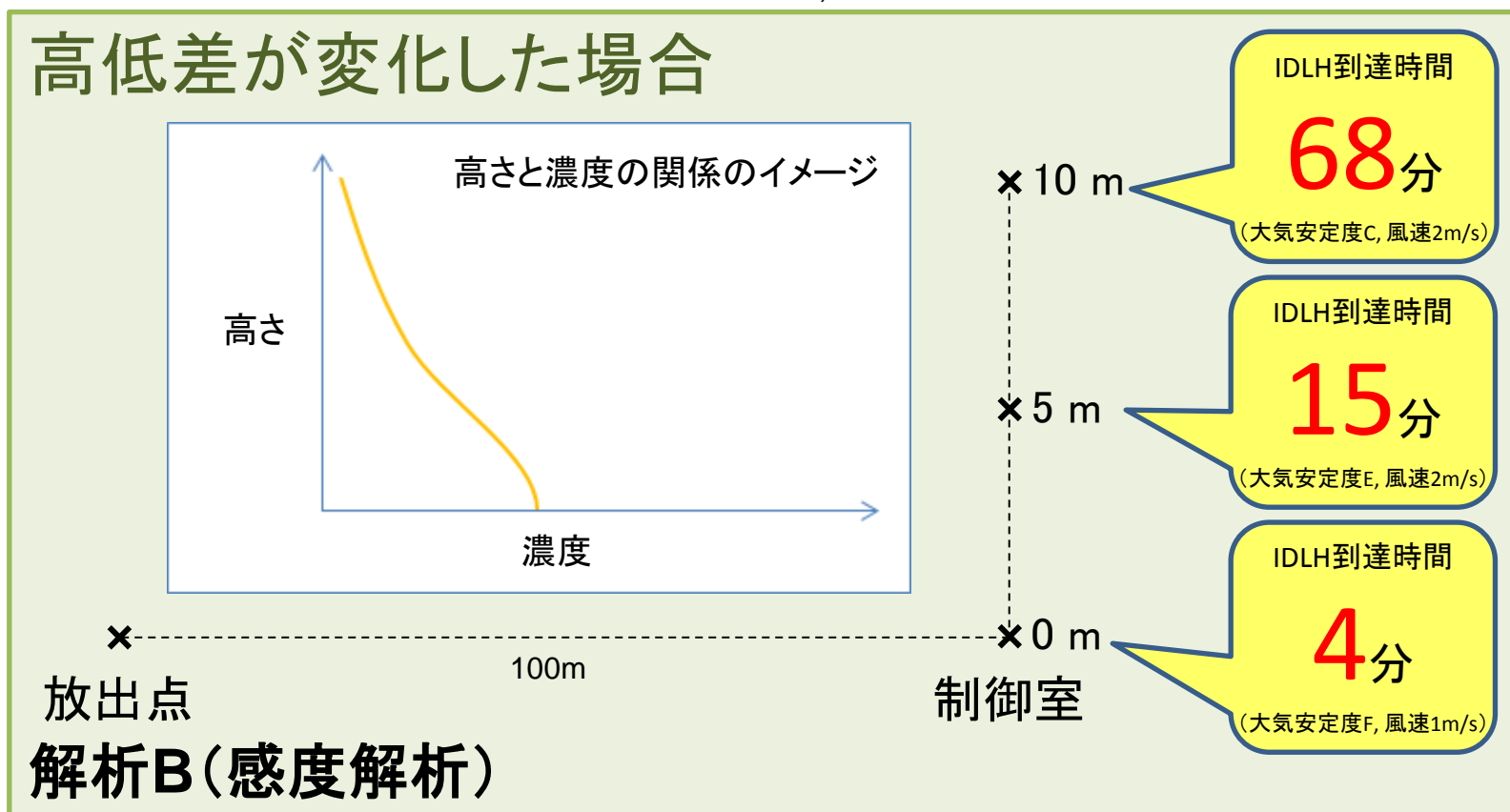


有毒化学物質: 塩酸(35%)、堰の大きさ: 35m²

3.4 高低差の影響

- ✓ 放出点と評価点の高低差が小さい方が、制御室内の濃度がIDLH値に到達するまでの時間が短い。(解析Bの感度解析より)

注) 本解析では、気体の比重に基づく拡散は考慮していない。



4. まとめ

原子力発電所の保管状況を参考に条件を設定し、試算を行ったところ、堰の大きさ、距離、配置、高低差、気象等の条件によっては、制御室内の濃度が短時間でIDLH値を超える可能性があることが分かった。

～特に影響が大きくなると考えられる条件～

- ✓ 堰がない場合、または堰の面積が大きい場合
- ✓ 有毒化学物質の揮発性が高い場合
- ✓ 地震等による複数のタンクの影響が想定される場合
- ✓ 制御室との高低差が小さい場合

付録

蒸発率の計算条件と結果

解析	物質	濃度 質量%	分子量 g/mol	風速 m/s	分圧 Pa	堰半径 m	蒸発率 kg/sec
A	塩酸	35	36.46	1.0	13063	12.6	3.73E-01
B	塩酸	35	36.46	2.0	13063	8.0	2.69E-01
C, D, F, G	塩酸	35	36.46	2.0	13063	3.3	5.19E-02
E	アンモニア	28	17	2.0	81333	8.0	1.90E+00

気温: 25 °C、大気圧: 760 mmHg

○分圧の出典

(塩酸) Mary Evans, Modeling Hydrochloric Acid Evaporation in ALOHA, USD OC (1993)

(アンモニア: 28%) 三菱ガス化学株式会社「安全データシート(超純アンモニア水)」

付録

蒸発率の計算式

HABITは水溶液の蒸発を考慮しないため、蒸発率を別途算出

$$E = A \times K_M \times \left(\frac{Mw_m \times P_v}{R \times T} \right)$$

$$K_M = \frac{D_M}{Z} Sh$$

$$D_M = D_{H_2O} \times \sqrt{\frac{Mw_{H_2O}}{Mw_m}}$$

$$E_C = - \left(\frac{P_a}{P_v} \right) \ln \left(1 - \frac{P_v}{P_a} \right) \times E$$

E : 蒸発率 (kg/sec)

A : 液だまり面積 (m²)

K_M : 化学物質の物質移動係数 (m/sec)

Mw_m : 化学物質の分子量 (kg/kmol)

P_v : 化学物質の分圧 (Pa)

R : ガス定数 (J/kmol・K)

T : 気温 (K)

Z : プール直径 (m)

Sh : シャーウッド数 (-)

D_M : 空気中の化学物質の分子拡散係数(m²/sec)

D_{H_2O} : 水の分子拡散係数 (m²/sec)

Mw_{H_2O} : 水の分子量 (kg/kmol)

P_a : 大気圧 (Pa)

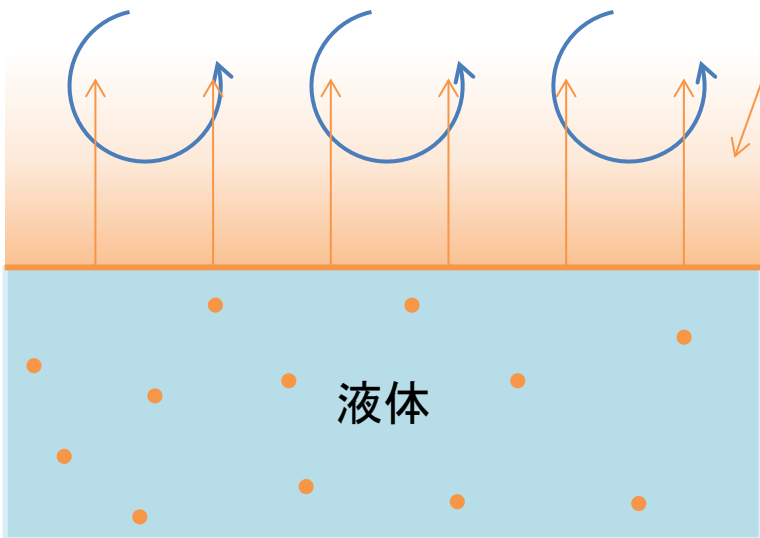
E_C : 補正蒸発率 (kg/sec)

付録

蒸発速度の考え方

$$K_M = \frac{D_M}{Z} Sh$$

K_M : 物質移動係数(m/sec)
 D_M : 拡散係数 (m²/sec)
 Z : プール直径 (m)
 Sh : シャーウッド数 (-)



3

濃度勾配は、風によって液体表面から塩化水素が取り除かれる速度に依存

2

Fickの法則

流束(蒸発速度)は濃度勾配に比例

$$J_A = -D_M \frac{dC_A}{dx}$$

より、
$$K_M = \frac{D_M}{d}$$

とすると、

$$E = A \cdot K_M \cdot C_A$$

J_A : 流束 (kg/m²·sec)
 D_M : 空気中のHClの
 拡散係数 (m²/sec)
 d : 境界層の厚さ (m)
 K_M : 物質移動係数 (m/sec)
 E : 蒸発率 (kg/sec)
 A : プール面積(m²)

1

液体表面 : 塩酸飽和蒸気中の塩化水素の分圧によって定まる塩化水素濃度

$$C_A = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

C_A : HCl濃度(kg/m³)
 P : 塩酸飽和蒸気中のHCl分圧
 M : 塩酸分子量
 R : 気体定数
 T : 温度

付録

ガウスパフモデル

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{(x - Ut)^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \times \left[\exp\left\{-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

$C(x, y, z)$: 評価点での濃度	(kg/m ³)
Q	: 放出量	(kg)
U	: 風速	(m/s)
t	: 経過時間	(s)
x	: 評価点までの距離	(m)
y	: 評価点の y 方向距離	(m)
z	: 評価点の高さ	(m)
H	: 発生源における放出高さ	(m)
σ_x	: 濃度の x 方向の拡散パラメータ	(m)
σ_y	: 濃度の y 方向の拡散パラメータ	(m)
σ_z	: 濃度の z 方向の拡散パラメータ	(m)