

CCS導管からのCO2の漏えいに対する 高濃度化防止措置（案）について

令和8年2月

鉱山・火薬類監理官付

基本的な考え方

CO2の導管輸送ではプロジェクト毎に輸送時における圧力、経路・周辺環境、遮断弁の間隔などが異なり、それらに伴って導管からCO2が漏えいした場合の人の健康への影響度も異なってくる。そのため、以下の考え方に基づくリスク評価の結果を勘案し、必要な保安措置を求めるとしてはどうか。

- (1) 保安措置にかかる国の審査にあたっては、漏えい時の健康影響についてプロジェクトごとにリスク評価を事業者が行い、その結果を地方監督部が確認する。
- (2) 人の健康への影響度は、人が立ち入る蓋然性が高い場所における低濃度による長時間ばく露と、高濃度による短時間ばく露の双方をシミュレーションにより評価する。
- (3) シミュレーションは、高低差（くぼ地含む）や保安物件の所在等を勘案して必要な範囲で実施する。

健康影響の程度を評価するためのCO₂濃度及び時間の考え方

- ①人への健康影響は、一定濃度のCO₂に一定時間曝され続けることによって引き起こされるという特性があるため、その特性に留意して健康影響の程度及び回避可能性の評価を行う必要がある。
- ②短期間ばく露する場合の濃度基準値（濃度値と許容時間）、長期間ばく露する場合の濃度基準値の双方を回避できたかにより評価してはどうか。



濃度基準値として、**死亡リスクではなく、人の健康保護を目的として設定された濃度及びばく露時間を設定する。**

英国のHSE UKのWEL（労働者の健康保護を目的として設定された職場ばく露限界）、**日本の労働安全衛生規則、事務所衛生基準規則を参考**に以下を設定してはどうか。

- 短期間ばく露する場合の濃度基準値（労働者が短時間継続してばく露されても、健康影響を生じないレベル）

短期許容濃度値は、**15,000ppm (1.5%)**

短期許容時間は、**15分間**

- 長期間ばく露する場合の濃度基準値（労働者が日常的に繰り返しへばく露されても、健康影響を生じないレベル）

長期許容濃度値は、**5,000ppm (0.5%)**

長期許容時間は、**8時間**

参考：CO₂濃度の影響

CO ₂ 濃度	人体に対する影響
400ppm (0.04%)	正常空気
5,000ppm (0.5%)	許容濃度（日本産業衛生学会） TLV-TWA：通常8時間労働又は週40時間労働において、時間加重平均値として算出される許容ばく露濃度（米国労働衛生専門家会議（ACGIH））
15,000ppm (1.5%)	作業性及び基礎的生理機能に影響を及ぼさずに長時間に亘て耐えることができるが、カルシウム・リン代謝に影響の出る場合がある (労働安全衛生規則 第585条：化学物質に係る立入禁止基準（炭酸ガス）)
20,000ppm (2.0%)	呼吸が深くなり、1回の呼吸量が30%増加
30,000ppm (3.0%)	作業性低下、生理機能の変化が血圧、心拍数の変化として現れる TLV-STEL：労働者が短時間の間（一般的には15分間）に連続的にばく露した時、刺激や慢性又は不可逆的な臓器障害を受けずにすむ濃度（ACGIH）
40,000ppm (4.0%)	呼吸が更に深くなり呼吸数が増加、軽度の喘ぎ状態になる。相当な不快感 IDLH：脱出限界許容濃度（主として人のデータを元に、30分以内に脱出不能な状態、あるいは、不可逆的な健康障害をきたすことなく脱出できる限界濃度として、NIOSH（米国国立労働安全衛生研究所）等が提案している値。この濃度を越す場合は呼吸用保護具を使用する必要がある）
50,000ppm (5.0%)	呼吸が極度に困難になる、重度の喘ぎ、多くの人が殆ど耐えられない状態になり、吐き気が生じる場合がある 30分の暴露で中毒症状
70,000～90,000ppm (7.0～9.0%)	激しい喘ぎ、約15分で意識不明
100,000～110,000ppm (10.0～11.0%)	調整機能不能、約10分で意識不明
150,000～200,000ppm (15.0～20.0%)	更に重い症状を示す
250,000～300,000ppm (25.0～30.0%)	呼吸低下、血圧降下、昏睡、反射能力喪失、麻痺、数時間後死に至る

シミュレーションの実施方法（案）

- ①漏えい時に滞留するCO2の濃度の拡散範囲、その滞留時間をシミュレーションにより求めることとし、その結果から、漏えいしたCO2による人への健康影響を回避できることを確認する。
- ②シミュレーションに用いるソフトウェアは、実証実験等により国が妥当性を確認済みの計算モデルを備えたソフトウェアを使用することを原則とする。それ以外のソフトウェアを使用する場合は、モデルの詳細を提出してシミュレーションの正当性を示すことを求める。
- ③技術基準を満たしていたとしても発生する可能性のある漏えいシナリオにおいて、漏えいしたCO2による人への健康影響が生じうる範囲における保安物件の有無や、人の健康への影響度を、シミュレーションにより確認することを求めるることとし、当該シミュレーションの条件は、事業者の設計パラメータ、国が指定する気象条件及び孔径とする。

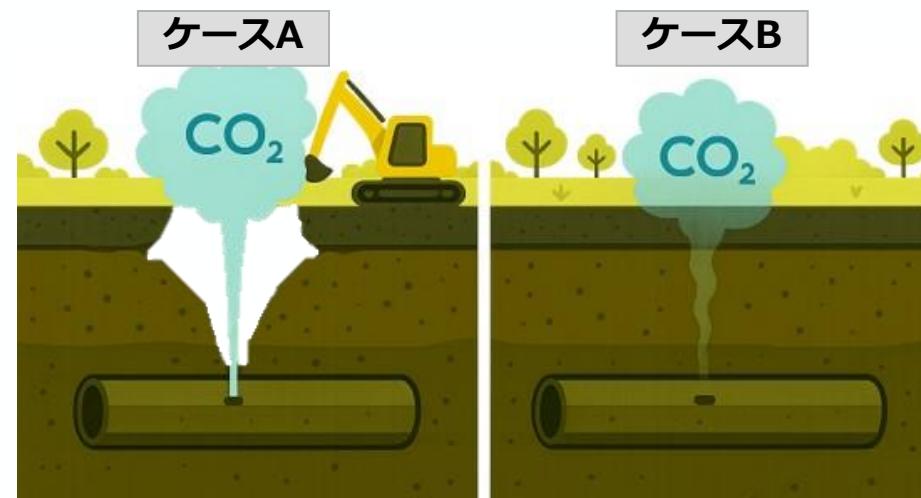
埋設CCS導管における漏えい事象

- 技術基準では、材料、構造及び腐食防止等により孔の発生防止が求められているが、事業所敷地外に埋設される導管については、**他工事等の外的要因も考慮し**、ピンホールに限らない孔径による漏えい事象についても検討が必要である。
- 埋設CCS導管の漏えい事象としては、**地層を破壊して漏えいするケースA**と、**地層を破壊せずに漏えいするケースB**が想定される。
- ケースBに比べケースAの地上における漏えい量が多いと考えられることから、埋設CCS導管の漏えい評価では、**ケースAを対象としたシミュレーションを求める**こととしてはどうか。
- なお、**ケースBの影響度把握を目的**として、ケースBのCCS導管からのCO₂の漏えいに関する検証事業をJOGMECにて今年度実施中である。



参考：ケースBの影響度把握のための検証事業

- ケースBのCCS導管から漏えいしたCO₂が、地盤中をどのように拡散・移動し、地表面においてどの程度の濃度として発生するのかを把握することを目的とする。
- この目的のため、地盤中をCO₂が拡散・移動する状況を模擬した実験を行った結果と、シミュレーションにより求めた結果を比較することにより、ケースBのCCS導管から漏えいしたCO₂の地盤中における拡散挙動を評価するシミュレーションの妥当性を検証する。
- 検証後のシミュレーションを用いて、事業者が想定する設計パラメータに基づいたケースBの漏えいしたCO₂の地盤中の拡散挙動を把握する。



シミュレーションソフトを用いた評価について

- 人への健康影響の評価にかかるシミュレーションにあたっては、リスクの有無を把握するために**影響評価解析ソフトを使用**することを必須としてはどうか。
- 地形や障害物等の影響を**個別かつ詳細に評価する必要がある場合**には、**数値流体解析ソフトを使用**することとしてはどうか。

項目	影響評価解析ソフト	数値流体解析ソフト
モデル	実験・理論に基づく簡略化モデルが搭載済み。	直接数値解析を行うものであり、都度モデルを構築する必要がある。
設定の容易さ	容易	専門的知識が必要
実験結果との整合	モデル構築時に検証済	個別に検証が必要
モデルの自由度	固定	任意設定可能
地形・障害物の考慮	不可	可能
地盤中の拡散の評価	不可※	可能
解析時間	短い（数分～数十分）	長い（数時間～数日）

※地層を破壊して漏えいするケースの評価は可能

影響評価解析ソフト

○国が妥当性を確認するための要件

【シミュレーションの確かさ】

- ①シミュレーションモデルが実際の漏えい事象を的確に評価することができる（実験等によりシミュレーションの確からしさが検証されていること）

【リスクの有無の評価】

- ②特定濃度（15,000ppm及び5,000ppm）における拡散範囲（高さ×水平距離）を評価できること
- ③特定地点における特定濃度の滞留時間を評価できること

【CCS導管特有の条件対応】

- ④超臨界状態及び高圧ガス状態を対象としたシミュレーションができること
- ⑤埋設導管（地層を破壊して漏えいするケース）を対象としたシミュレーションができること

【評価精度の調整】

- ⑥気象条件を考慮したシミュレーションができること
- ⑦遮断弁の閉止を考慮したシミュレーションができること

なお、上記の全ての要件を満たすソフトの例としては、「DNV※」が販売する影響評価解析ソフトである「Phast」が考えられる。

※DNV：ノルウェー・オスロに本部を置く国際的な認証機関・船級協会

参考：Phastの機能

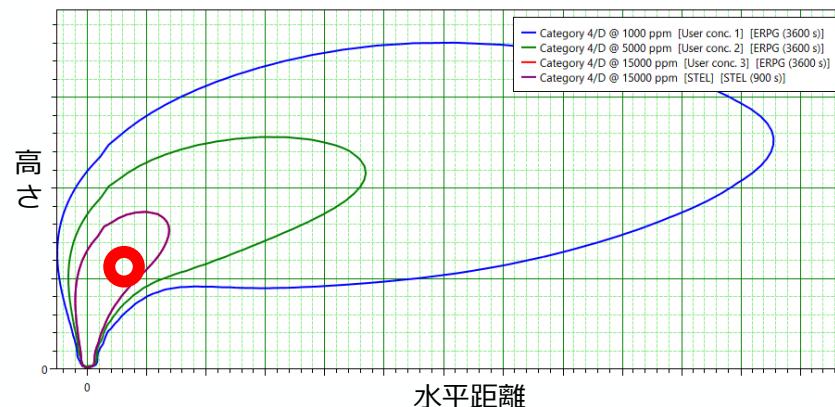
○[高さ×水平距離]シミュレーション

フットプリント（特定の濃度が拡散した最大の範囲）を表示

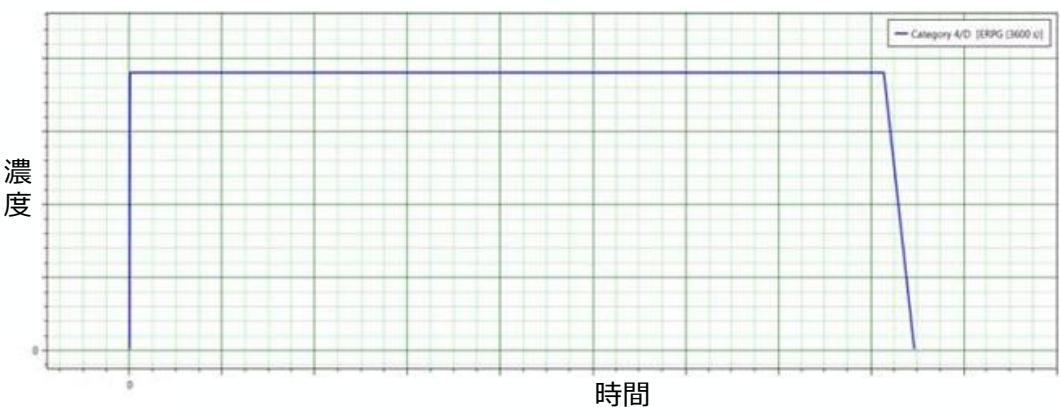
※特定の濃度が特定の時間滞留する範囲を[高さ×水平距離]で表示することはできない

○[濃度×時間]シミュレーション

特定の地点の特定の高さにおける濃度の時間変化を表示



[高さ×水平距離]シミュレーション結果例※



[濃度×時間]シミュレーション結果例※

具体的な手順（案）

1. 水平拡散距離の設定

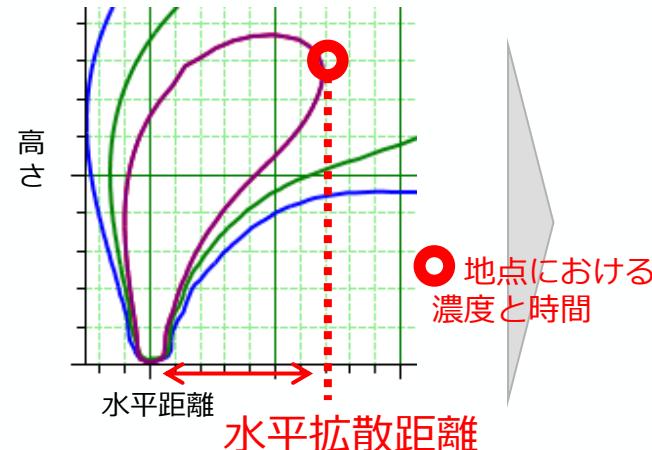
①シミュレーションを用いて、短期許容濃度値のCO₂が到達せず、かつ長期許容濃度値のCO₂が長期許容時間滞留しない水平拡散距離を求める。

①-1 15,000ppm拡散範囲（15,000ppmの拡散範囲）を[高さ×水平距離]シミュレーションで表示。

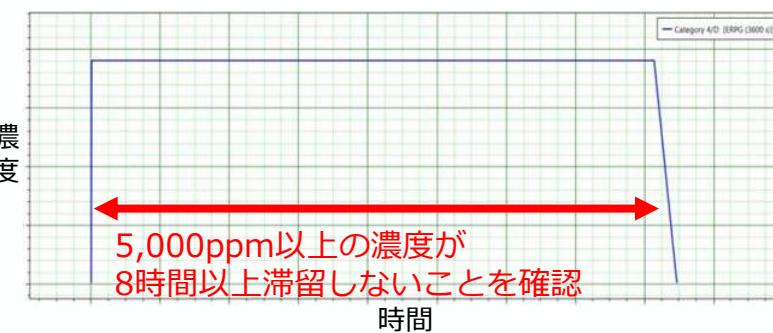
①-2 15,000ppm拡散範囲のうち、最も水平距離が遠い地点の水平距離を水平拡散距離とする。

①-3 当該始点において5,000ppm以上の濃度が8時間以上滞留しないことを[濃度×時間]シミュレーションで確認する。

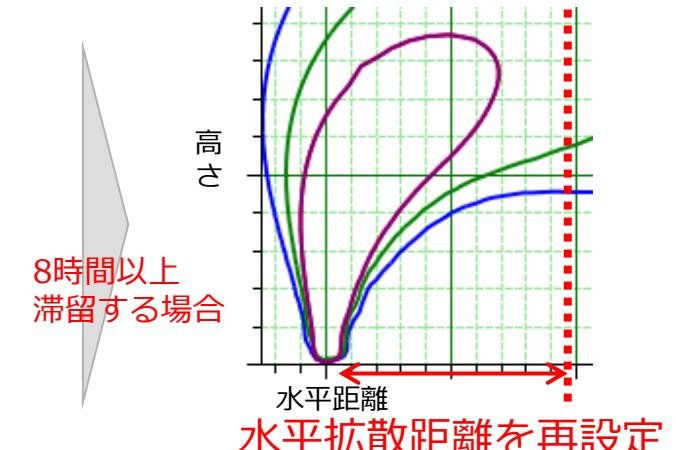
①-4 ①-3で5,000ppm以上の濃度が8時間以上滞留しない場合には、②に進む。滞留する場合には、5,000ppm拡散範囲（5,000ppmの拡散範囲）において8時間以上滞留しない水平距離を求め、それを水平拡散距離とし②に進む。



[高さ×水平距離]シミュレーション結果例



[濃度×時間]シミュレーション結果例



水平距離の再設定例

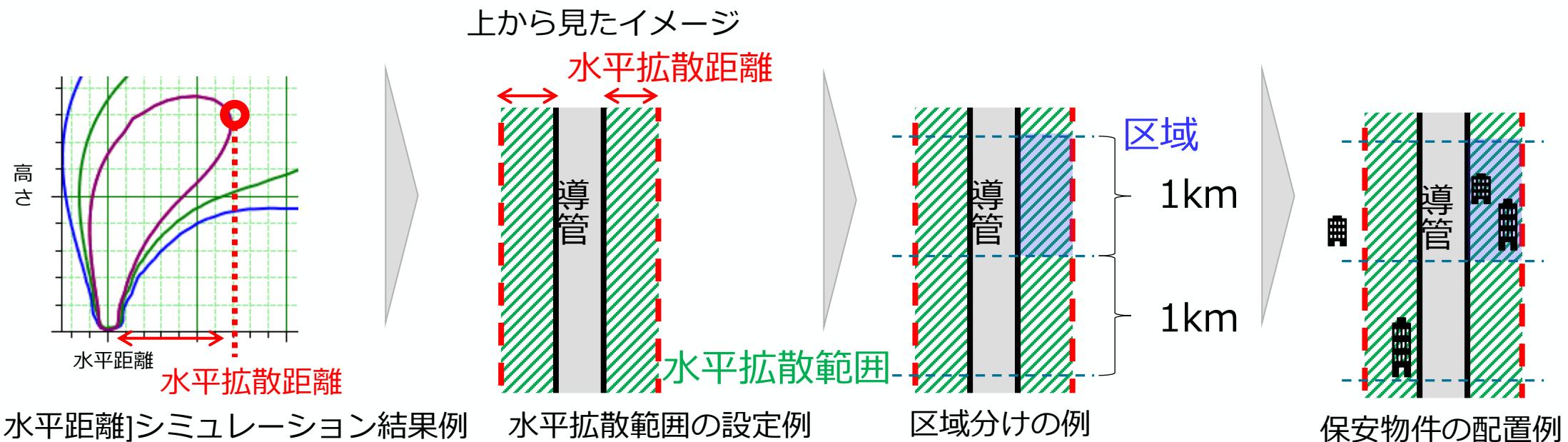
2. 水平拡散範囲の設定、保安物件の有無確認

②導管の全区間の両側面から①で求めた水平拡散距離をもとに**水平拡散範囲を設定**する（導管の全区間に沿って両側面に平行線を引く）。

③②の水平拡散範囲を一定の間隔（例えば1kmなど）毎の**区域**に分ける。

④③の区域毎で**保安物件の有無を確認**する。

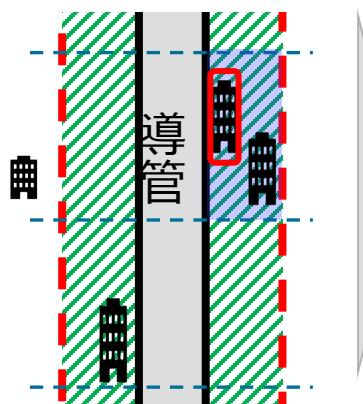
※保安物件：学校、病院、商業施設（地下街含む）、公共施設、民家等



3. 仮想高さにおける影響有無を判断

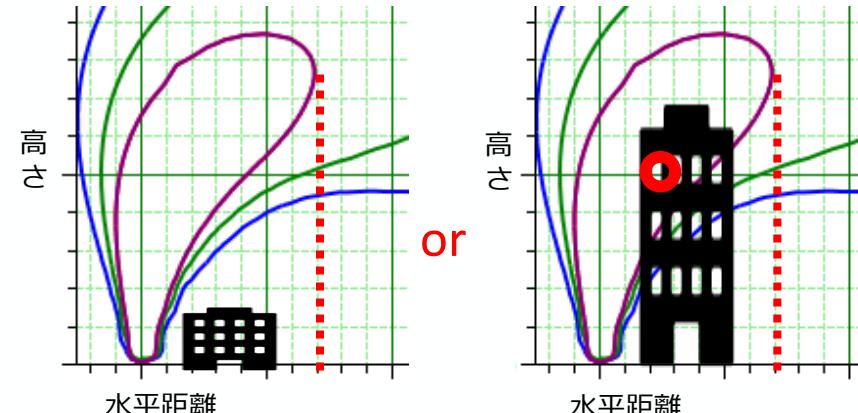
- ⑤④で保安物件がある場合には、それらの物件への影響の評価を簡易な手法で行う（簡易評価）。
- ⑥簡易評価では、ワーストケースで評価することとし、③の**区域内のすべての物件の高さを区域内で最も高い物件高さ（地盤面高さ + 物件高さ）にあわせて仮想高さとして一律に設定する。**
- ⑦**区域内で最も導管に近い保安物件が、①-4で水平拡散距離を再設定していない場合には、15,000ppm拡散範囲に重なるかを確認する。**再設定した場合には、**5,000ppm拡散範囲に重なるかを確認する。**
- ⑧⑦で重なる場合には、**重なる地点における該当濃度の滞留時間を[濃度×時間]シミュレーションで確認し、影響の有無を判断する。**

上から見たイメージ

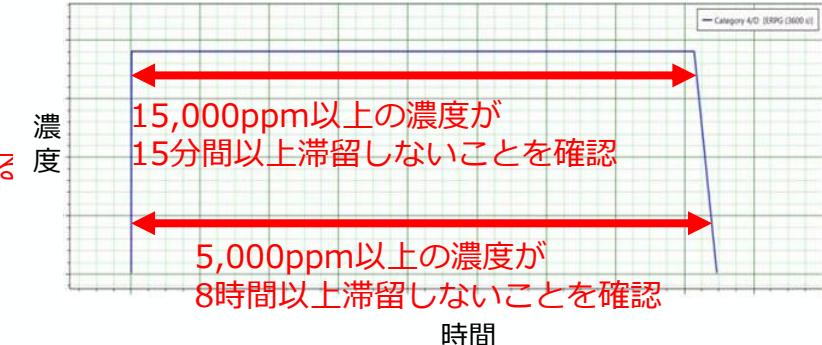


保安物件を仮想高さに一律設定

横から見たイメージ



該当濃度の拡散範囲に重ならない場合と重なる場合の例

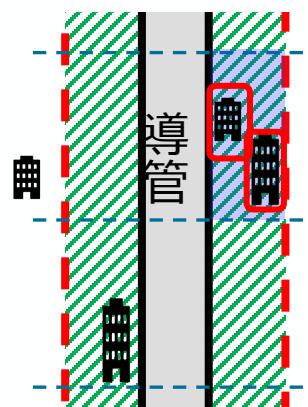


[濃度×時間]シミュレーション結果例

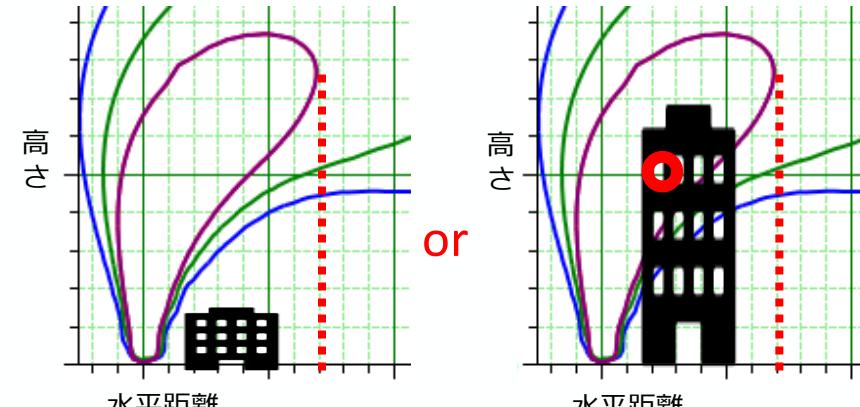
4. 実高さにおける影響有無を判断

- ⑨⑧で影響がある場合には、区域内のすべての保安物件の実高さを確認し、①-4で水平拡散距離を再設定していない場合には、15,000ppm拡散範囲に重なるかを確認する。再設定した場合には、5,000ppm拡散範囲に重なるかを確認する。
- ⑩⑨で重なる場合には、重なる地点における該当濃度の滞留時間を[濃度×時間]シミュレーションで確認し、影響の有無を判断する。
- ⑪⑩で影響がある場合には、⑩で検証した最もCO₂の影響を受ける保安物件に対し、最も近い導管から漏えいしたものとして、数値流体解析ソフトを実施し、影響の有無を判断する。※数値流体解析ソフトによる評価については今後検討する。

上から見たイメージ

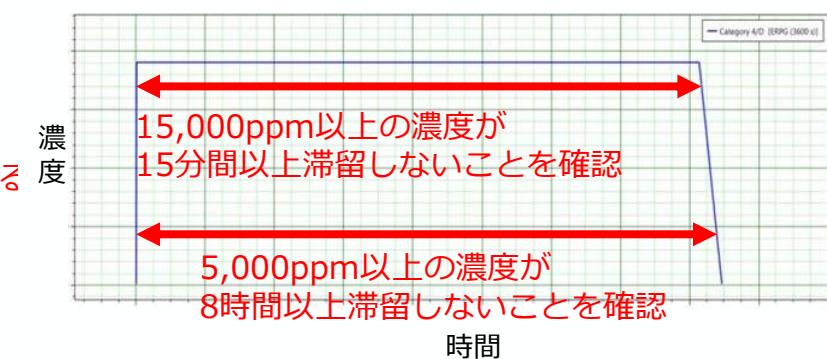


横から見たイメージ



実高さを確認

該当濃度の拡散範囲に重ならない場合
と重なる場合の例



[濃度×時間]シミュレーション結果例