

屋内での化学剤テロを想定したガス拡散数値シミュレーション

Numerical Simulation of Gas Diffusion against Terrorism using Chemical Agent in Enclosed Space

近藤 紗登美*・二瓶 正俊*・浜野明千宏*・吉岡 逸夫*・加藤 信介**

Satomi KONDO, Masatoshi NIHEI, Achihiro HAMANO, Itsuo YOSHIOKAI, Shinsuke KATO

1. はじめに

文部科学省「安全安心プロジェクト・有害危険物質の拡散被害予測と減災対策研究」において、屋内外を対象としたCFDによる化学剤・生物剤の移流拡散数値シミュレーション及び避難シミュレーションを連携し、化学剤・生物剤テロへの対策に応用するためのシミュレータ研究開発が実施された。このシミュレータの一部である屋内拡散予測システムは、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発プログラム「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発・都市安全・環境シミュレーションシステム」EVE SAYFA¹⁾をベースとし開発された。自治体職員や有事の際のファーストレスポンスを想定ユーザーとしており、3次元CFDモデルに関しては気流データベース(DB)化、気流計算と化学物質移流拡散計算の分離による高速化、化学剤・生物剤発生モデルの実装が行われた。

本稿では「安全安心プロジェクト」で実施された屋内拡散予測システムの予測精度検証のための実測試験のシミュレーション結果について報告する。

2. シミュレーション条件

本節ではシミュレーションの基礎方程式、モデルの概要、計算格子、計算条件などについて説明する。定常状態の気流計算は非圧縮性流体の質量保存方程式と運動方程式に基づき、乱流モデルには標準k-εモデルを用いている。また化学種の質量保存方程式を用いる。解析対象は幅が最大約27m、奥行き約29m、高さ約7.5mの某オフィスビル1,2階の空間である。格子点数は129,841、要素数は118,781であり、格子は全て6面体要素で構成されている。

解析対象空間外への通路と天井の吸込み口を自由流出境界とし、2か所の空調吹出口を流入境界とした。壁面には壁境界条件を課し、速度とk, εは対数則とし、化学種の質量分率はNeumann条件とした。実測は屋外に繋がる開口部の開閉のある条件下で行われたため、開口部を壁境界とするケース1と、開口部を自由流出境界とするケース2の2通りの解析を行った。

化学剤テロにおいて発災位置にあたるガス発生源は1階の空間の開口部前の床面付近とした。シミュレーションにおける蒸発速度は、実測試験におけるトレーサーガス発生量と合わせ 0.398×10^{-6} m/sと設定した。ガス発生面積は実測におけるトレーサーガス発生機器の開口の断面積(130mm×130mm)とし、床面に設定した。ガス発生時間は実測試験と同じ30分間とした。

本解析では定常の気流計算を先に用い、化学種の移流拡散の計算時にはDBに保存されている気流データを読み込み化学種の質量保存式のみを解くという手順で計算を行った。化学種の移流拡散計算の時間刻み幅は10秒とした。計算条件を表1にまとめる。

Table. 1 シミュレーション条件

流入境界	吹出口A: 0.766 m/s 吹出口B: 1.349 m/s
自由流出境界	通路、天井の吸込み口
壁境界	速度、k、ε:対数則 化学種の質量分率: Neumann条件
ガス発生条件	ガス発生総量: 173 mg ガス発生面積: 130 × 130 mmの断面 ガス蒸発速度: 0.398×10^{-6} m/s ガス発生時間: 30分間
その他	ケース1: 開口部を壁境界とする。 ケース2: 開口部を自由流出境界とする。

3. シミュレーション結果

本節ではシミュレーション結果について述べる。Fig. 1はケース1とケース2の気流に基づく吹き抜けにより通じる2階空間における濃度評価点でのガス濃度の120分間の経時変化である。実測値については安全安心プロジェクトにおいて東京大学が実測中のデータを参照している。Fig. 1によると、ガス濃度のピーク位置はケース1、ケース2、それぞれにおいて41.5、48.2分であり、実測値の45~60分にはほぼ一致している。一方ピーク濃度はケース1、ケース2それぞれ178、 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、実測値の $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ をケース1は過剰、ケース2は過小評価している。

* アドバンスソフト株式会社 ** 東京大学生産技術研究所

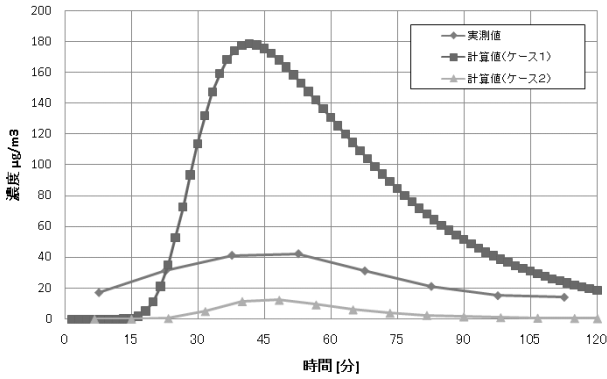


Fig. 1 ガス濃度評価点で濃度の経時変化

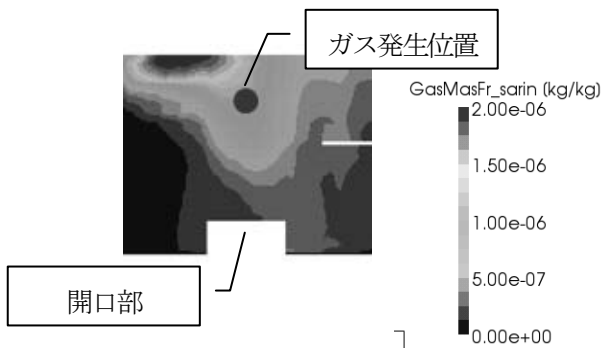


Fig. 2 ケース1 時刻45分のガス質量分率分布

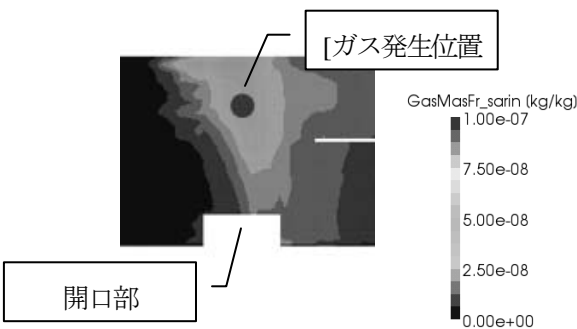


Fig. 3 ケース2 時刻45分のガス質量分率分布

Fig. 2, 3 はそれぞれケース1、ケース2の時刻45分でのガス発生位置周辺部 $Z=1.1\text{m}$ の高さでのガス質量分率分布である。Fig. 2 と Fig. 3 では質量分率の作図レンジが異なる点に注意する。ガスの発生点は図中の赤点であり、その直下のくぼみが屋外に繋がる開口部である。Fig. 2 のケース1では開口部を閉じて壁境界としているため流出が無く、質量分率の高い部分は開口部とは反対の壁側に集中している。これに対し、開口部を自由流出境界としているケースBでは開口部より約 0.1 m/s 程度の流出がある。Fig. 3 ではこの流

れによりガス発生点付近のガス質量分率の大きい部分が開口部に向かって分布しており、これは開口部を通した自然換気による汚染質の希釈が行われていることを示している。これらの結果より、開口部の自然換気量が評価点濃度を決定する際に重要であることが分かったため、今後この点に着目し更なる検討を行う予定である。

本屋内拡散予測システムは自治体におけるテロ対策訓練時のシナリオ作成、あるいは発災時のファーストレスポンスによる被害状況予測をといった利用方法を想定しているため、短時間で数ケースの解析を実行できる必要がある。今回の120分の移流拡散の計算に要する時間は時間刻み幅30秒とした最短の場合で、1ケース約20分程度、つまり計算時間が実時間の約1/6である。この計算速度が実用時に十分な速度か否かについても、今後検討が必要である。一方、気流計算については予め複数パターンを事前にDB化しておく必要があり、また定常の流れ場を得るまでに計算時間を要するため、DB作成の効率化も課題の一つである。

4. まとめ

化学剤テロを想定した屋内でのガス移流拡散シミュレーション結果を紹介した。本報告は実測試験によるシミュレータの精度検証という目的で行われたため実測値との比較のみであるが、安全安心プロジェクトでは屋外拡散予測システムとの連携や、化学剤濃度データを避難シミュレータの入力とすることにより避難する人間の動作を反映した化学剤暴露量の評価も行われており、今後はこのような複合的なシミュレーション手法に基づくアウトプットを自治体等のテロ対策活動の支援に適用してゆく予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東京大学生産技術研究所の樋山恭助先生には、多大なるご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省 次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」ホームページ (URL: <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/rss21/index.html>)