

MH4 ソース・レセプター関係を用いた反応性のある物質の室内濃度の最適制御

Optimal control of concentration of reactive substances at indoor space using source-receptor relationships

指導教員 近藤明教授・共生環境評価領域

28H21034 鈴木絢子 (Ayako SUZUKI)

Abstract: In case of dispersing a rarefied gas such as an aromatic agent in indoor air, it is necessary to control the concentration within a range where it works and is not harmful to humans. However, it is challenging to optimize the concentration distribution by controlling the amount and location of generation of rarefied gas. This study performed the concentration control for reactive substances by using an inverse estimation method called the Source-Receptor (SR) method with CFD simulations. The differences in optimal control results were compared among three cases: without reactivity (base), with decomposition, and with decomposition and adsorption. Regarding the source location, sources on the upwind side of the calculation domain were typically selected. The source arrangement was different only for the decomposition-adsorption case. Errors in concentration increased in the order of base case < decomposition case < decomposition-adsorption case, indicating that the reactivity makes the concentration control more challenging.

Keywords: Inverse estimation, Indoor air quality, CFD simulation, Source-receptor method, Decomposition

1. 背景と目的

良好な室内環境を保つために室内濃度指針が定められており、室内化学物質の濃度を制御することが求められている。本研究では目標の濃度分布を達成するために、SR法 (Source-Receptor法) を用いて必要な発生源の配置や発生量 (以下発生源条件という) を求める。松尾ら¹⁾は室内温熱環境の推定手法としてSR法とVCA (Variational Continuous Assimilation)法を組み合わせることで、熱源の発熱量分布の推定を行った。本研究では松尾ら¹⁾の手法の適用対象を物質に置き換え、室内に散布する希薄ガスの濃度制御を行うことを目的とする。

2. 計算条件

本研究のCFDシミュレーションにはOpenFOAMを使用した。計算領域を図1、計算条件を表1に示す。また、発生源候補と目標点の位置を図2、3に示す。

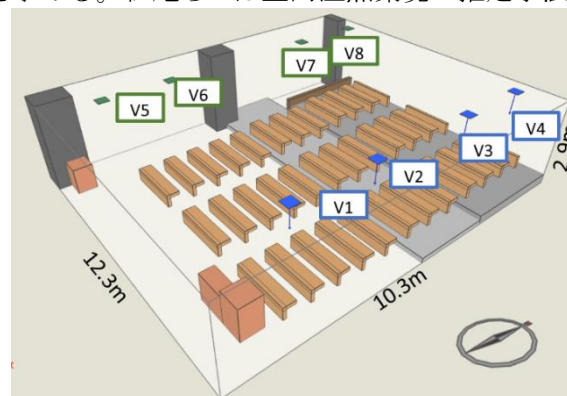


図1 計算領域

本研究で用いるソース・レセプター関係を式1に示す。 A はソース・レセプター関係を表す行列、 ΔS は発生源からの放出量を示すベクトル、 ΔC は発生源からの発生量の変化に対応した濃度上昇量を示すベクトルである。目標濃度は、66点の目標点すべてで0.015 ppmとした。

数値実験では、物質の分解・吸着によるSR法最適制御への影響を比較するために、分解や吸着をしないベースケース、空気中での分解を考慮する分解ケース、分解に加えて壁面、床、天井での吸着を考慮する分解・吸着ケースを用意した。分解・吸着量は濃度に比例すると仮定し、分解速度は 3.56×10^{-5} /s、吸着速度は 6.85×10^{-4} m/sとした。分解は空間全体、吸着は壁面、床、天井に隣接するセルで発生すると仮定した。

$$A\Delta S = \Delta C \quad (1)$$

3. 結果と考察

まず、SR 法によって推定された最適発生源配置は、ベースケースで発生源番号 7,8,9,10,11,12 番。分解ケースはベースケースに同じ。分解・吸着ケースはベースケースの配置に対し 7 番の代わりに 2 番が選ばれる結果となった。今回分解・吸着ケースのみ配置が異なる結果となったが、分解や吸着があることで、濃度場に対する寄与率が、7 番よりも 2 番が高くなったからだと考えられる。次に、SR 法によって推定された最適発生源の総発生源量と濃度分布の MAE を表 2 に示す。

総発生源量について、ベースケースが最も小さく、分解・吸着ケースが最も大きくなった。分解や吸着により、領域中で希薄ガスが消滅するため、発生強度を強くする必要があったと考えられる。MAE については分解・吸着ケースが最も悪い結果となった。分解や吸着を考慮すると MAE が悪化するの、領域中に低濃度の部分ができ、濃度の不均一性が高まるのが原因だと考えられる。次に濃度分布を比較する。図 4 に目標点の列ごとの平均濃度分布を示す。エラーバーは標準誤差である。全体の傾向として、目標点の西側部分（目標点番号 1~44 番）では、比較的濃度分布が 0.015 ppm で安定して濃度制御ができているのに対し、目標点の東側部分（目標点番号 45 番以降）では目標値より高濃度や、低濃度になっている目標点が多いことがわかる。計算領域の東側は流れ場の風上側であり、最適化された発生源の配置が集中していることから、濃度分布の制御にむらが出てしまったと考える。

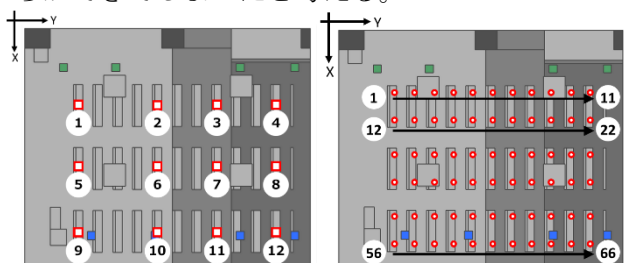


図 2 発生源候補座標

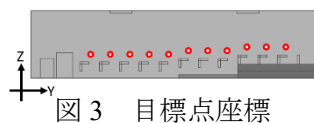


図 3 目標点座標

表 1 計算条件

換気吹出口 (V1-V4)	吹出風量	325 m ³ /h
	吹出角度	水平方向を 0° として 45° 角向き 4 方向
換気排気口 (V5-V8)	風速	勾配 0
	圧力	ゲージ圧 0
壁面	風速	滑りなし

表 2 各ケースの MAE、総発生源量

	ベース	分解	分解・吸着
MAE [10E-3 ppm]	2.98	3.06	3.84
総発生源量[10E-11m ³ /s]	4.91	5.07	5.67

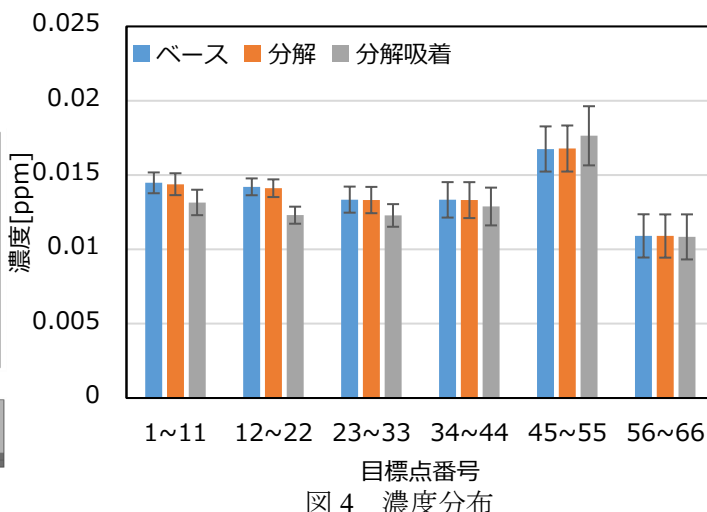


図 4 濃度分布

4. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。SR 法により、分解と吸着といった反応性を示す物質についても最適な発生源配置と発生量を推定することができた。分解や吸着が起こる場合、必要な発生量が増加すること、濃度分布の制御性が低下することが示唆された。また反応性によらず、室内で均質な濃度を目指す場合、発生源の配置は風上側に集中する傾向が見られる一方、目標濃度との差は風下側の方が小さくなり、風上側は濃度にむらができやすかった。

参考文献

- 1) 松尾智仁, 嶋寺光, 近藤明. 連続的データ同化法 (VCA 法) を用いた室内環境推定手法の開発 (第 7 報) ソース・レセプター関係を用いた初期推定場の作成. 平成 30 年度空気調和・衛生工学会大会, 名古屋, 2018