

〈一般研究課題〉 数値流体力学を用いた
新たなにおい分布シミュレーション手法の開発
助成研究者 大同大学 坪井 涼



数値流体力学を用いた 新たなにおい分布シミュレーション手法の開発

坪井 涼
(大同大学)

Development of simulation method of smell distribution using computational fluid dynamics

Ryo Tsuboi
(Daido University)

Abstract :

At present, it is required to improve the situation regarding smell from the viewpoint of human QOL in general living environment and factory work site. At first, smell is not visible, and there is no unified method for visualizing its distribution. The author has attempted to represent the distribution of smell in the indoor environment in simulations and has succeeded in simulating changes in airflow due to airflow and heat sources, and the movement of particles (particles) in the calculated airflow. However, there is a problem that the odor distribution cannot be expressed only by mass transfer by simple air flow. This is because the odor is present only when the human perceives the odor-producing substance and the brain determines that the odor is present, and the distribution of the odor itself does not match the distribution of the odor-producing substance. Therefore, the purpose of this study is to develop a new model for simulating the odor distribution using computational fluid dynamics. A parameter study is conducted by a simulation of an odor model in an air flow, and the odor diffusion model capable of expressing the diffusion of a specific odor is constructed by comparing with the experimental results quantified using a sensor. Currently, the simulations performed are for obtaining the distribution of odor-producing substances, and this study makes it possible to obtain the distribution of the odors perceived by humans. If this method is established, the accuracy of the distribution of odors in houses and

automobiles will be improved.

1. はじめに

現在、一般の生活環境や工場の作業現場において、人間のQOLの観点からにおいに関する状況の改善が求められている。

そもそも、においは目に見えるものではなくその分布の可視化に統一された手法は存在しない。本申請者はシミュレーションにおいて室内環境におけるにおいの分布を表現しようと試みており、空気の流れや熱源による気流の変化、また、計算された気流中における物質(粒子)移動についてのシミュレーションに成功している。しかし、単純な気流による物質移動のみではにおいの分布は表現できないという課題がある。これは、においを発生する物質を人間が知覚し、さらににおいがあると脳が判断した場合にはじめてにおいが存在することになり、においそのものの分布とにおいを発生する物質の分布とは一致しないことに起因する。そこで、本研究では数値流体力学を用いてにおい分布のシミュレーションを行うための新たなモデルの構築を目的としている。

気流中においモデルの拡散シミュレーションによるパラメータスタディを行い、センサーを用いて数値化した実験結果と比較することにより特定のにおいの拡散を表現することが可能なにおいの拡散モデルの構築を行う。現在、行われているシミュレーションはにおいを発生する物質の分布を得るためのものであり、本研究により人間が知覚するにおいそのものの分布を得るシミュレーションが可能となる。この手法が確立された場合、住宅や自動車の中などのにおいの分布の予想精度が向上し、人間の生活環境の改善に大いに役立つと考えられる。

2. シミュレーション方法

2.1 シミュレーション手法

本研究では、領域内の流れ場の計算に有限要素法による非線形汎用構造解析プログラムであるADINA 9.5(ADINA R&D, Inc., US)を用いてシミュレーションを行った。また、モデルの作成にはSolidWorks 2017(DASSAULT SYSTEMS, CO., US)を用いた。

2.2 計算モデルと条件

計算対象は実験用のチャンバーを模しており、1辺1mの立方体内部の中心に、瓶形状のにおいの発生源を置きそこからの分布の変化を調査した。また、排気口に強制速度0.025 m/sを与え空気を排出させる。この流速は実験における流量から算出しており、作動流体は空気である。

図1は計算モデルの概略を示しており、原点、排気口、流入口の位置を表している。モデル形状、計算条件は実験環境に合わせている。

モデル空間の中央においを模擬したモデル物質の発生源を設置し、吸気口、排気口の位置を変更することにより、その影響を調査した。

においの拡散をシミュレーションするにはにおいの拡

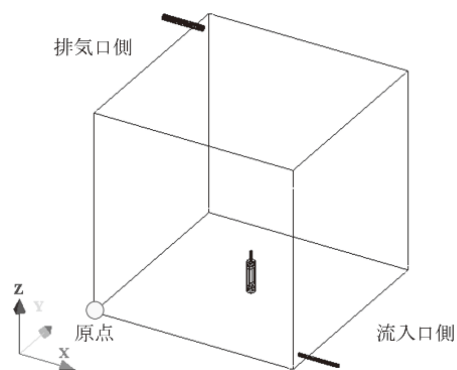


図1. 計算モデル

散の様式を表現するための拡散係数が必要となるが、現在、においそのものの拡散係数を求める手法は存在しない。そこで、本研究ではいくつかの拡散係数を用いてシミュレーションを行った。拡散するモデル物質にはリモネンの物性値を用い、拡散係数は、 $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の3種類を用いた。

3. シミュレーション結果

3.1 流れ場

図2は計算領域内の流れ場の結果を、流線を用いて表している。流入した空気は流入口付近で渦を巻きやすいことが確認できる。流線を計算する積分時間の都合上、流出口付近の流れが可視化出来ていないが、大きな渦などは出来ずにそのまま流出をしている。

3.2 においモデル物質の拡散状態

図3～図5は、図2で示した流れ場の結果をもとにした、においのモデル物質の拡散の様子を示している。拡散係数は $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ を仮定し、1秒、5,000秒、10,000秒の分布を表している。結果は体積分率をppmで示しており、値そのものは非常に小さいことがわかる。気流の影響を受け、モデル物質の溜まりやすいところや排出口から抜けていく様子などが確認できる。

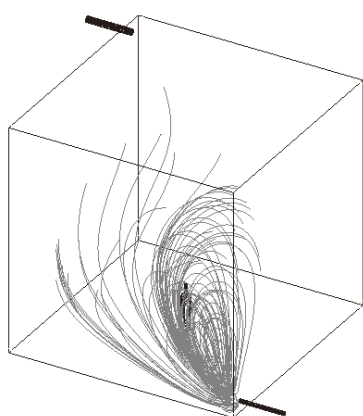


図2. 流れ場のシミュレーション結果

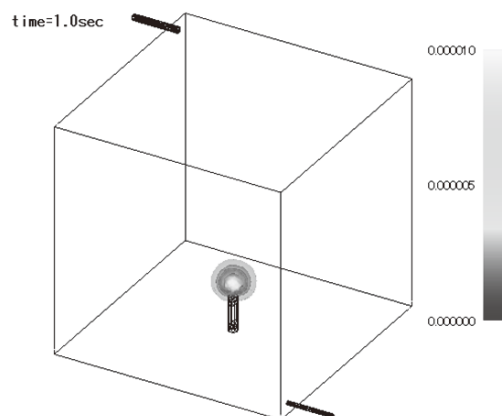


図3. モデル物質の拡散状態
(拡散係数 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $t = 1.0 \text{ s}$)

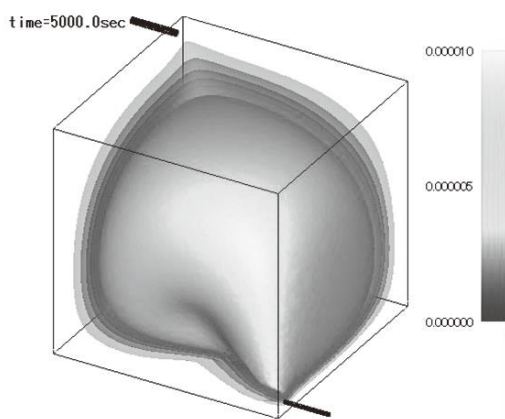


図4. モデル物質の拡散状態
(拡散係数 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $t = 5000 \text{ s}$)

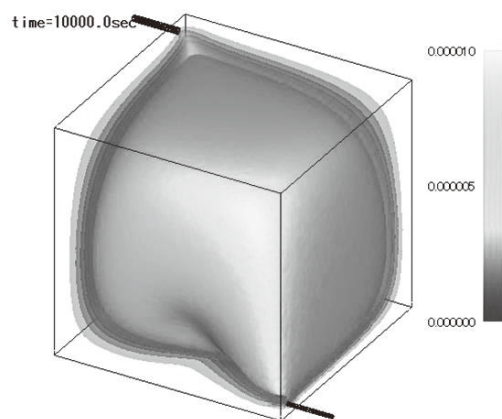


図5. モデル物質の拡散状態
(拡散係数 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $t = 10000 \text{ s}$)

3.3 分布の経時変化の比較

図6はモデル物質の分布を定量的に比較するための測定点を示している。これは、実験装置とほぼ同じ位置であり、実験結果との比較によりシミュレーション結果の妥当性の判断が可能となる。図7から図9は測定点7(流入口付近)、測定点14(中心)、測定点21(排出口付近)の体積分率の変化の時間推移を表している。全ての測定点に置いて拡散係数が高いときには、早期に一定濃度になり拡散係数が低い場合は時間経過とともに増加していくことがわかる。これらの結果を実験結果と比較することで、物質拡散をにのびのびと捉えることが可能となり、にのびのびシミュレーションに妥当性をもたせることが可能となる。

各測定点に置いて、モデル物質の拡散の様子が得られているが、その絶対値は0.0001ppmを下回っており、実験により測定された0.01ppmオーダーよりも著しく低い。これは、モデル物質の発生面における境界条件の設定によって改善されるものと考えられる。

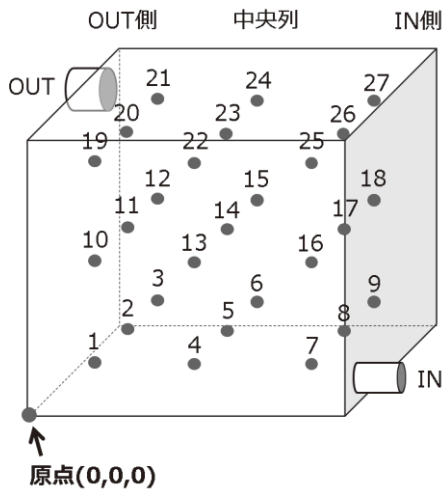


図6. モデル物質の拡散状態の時間推移の計測位置

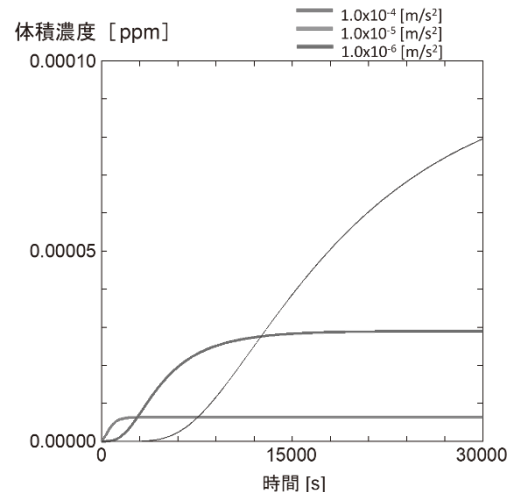


図7. モデル物質の拡散状態の時間推移 (point 7)

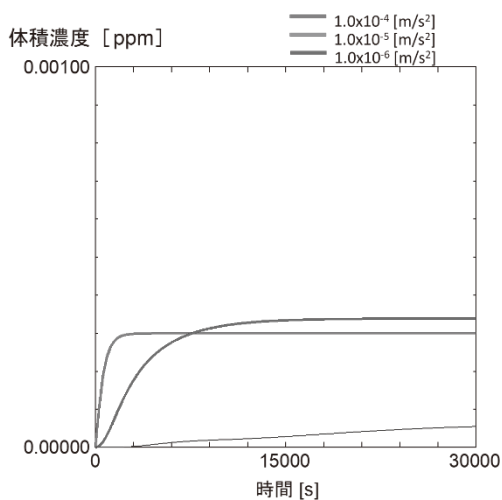


図8. モデル物質の拡散状態の時間推移 (point 14)

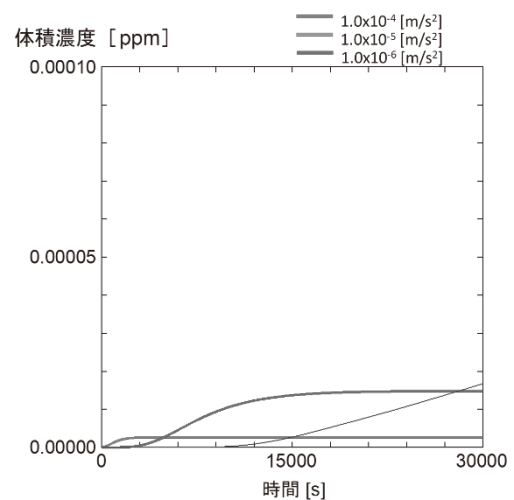


図9. モデル物質の拡散状態の時間推移 (point 21)