



# 数値流体シミュレーションを用いた嗅覚人工現実感

橋本佳樹<sup>1)</sup>, 中本高道<sup>1)</sup>

1) 東京工業大学 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259, hashimoto.y.am@m.titech.ac.jp)

**概要:** バーチャルリアリティ (VR) における嗅覚提示は, 嗅覚ディスプレイに香料の種類と匂い濃度を指定することによって行われる. 匂い濃度の取得方法については様々な方法があるが, 本研究では複雑な構造物があっても濃度分布を計算可能な数値流体シミュレーション (CFD) を用いて VR 空間内の匂い濃度分布を計算した. また, 計算した濃度分布に基づいて, ヘッドマウントディスプレイ (HMD) と嗅覚ディスプレイを装着して VR 空間内の匂い源を探索する VR コンテンツを作成した.

**キーワード:** 嗅覚 VR, 匂い濃度分布, 数値流体シミュレーション

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) において, 視覚や聴覚の提示に加えて嗅覚の提示を行うことで, より没入感や臨場感, エンターテインメント性が向上すると期待され, 多くの嗅覚ディスプレイと呼ばれるインターフェースが開発されている. VR における嗅覚提示は, コンピュータを用いて嗅覚ディスプレイに搭載されている香料の種類と匂い濃度を制御することで実現される. バーチャル空間内の匂い濃度分布は, 製作者が経験に基づいて作成することもできるが, 実際の環境と同様の匂い濃度分布を整えることも必要である. 匂い濃度分布の計算方法として, Gaussian Plume Model[1]があるが, 複雑なオブジェクトが置かれた空間には適用できない. そこで, 本研究では現実的なバーチャル空間でも匂い濃度分布が計算可能な数値流体シミュレーション (CFD) を用いることにした. CFD シミュレーションは, 計算に多大な時間を要するが, 空間の形状や温度, 風などの複雑な条件下においても計算可能である. さらに, 濃度が時間的に変動する様子も得ることができる.

本研究では, 嗅覚人工現実感の向上を目的として, バーチャル空間内の匂い濃度分布を CFD によってシミュレーションした[2][3]. また, 得られた匂い濃度分布を用いて, バーチャル空間内の匂い源を探索する VR コンテンツを作成した.

## 2. CFD を用いた匂い濃度分布シミュレーション

本研究では, 8 部屋から構成された 2 階建ての建物を想定して, うち 1 部屋のみ匂い源が存在する場合における匂い濃度分布を CFD シミュレーションにより得た.

### 2.1 モデルデータ

本研究で作成した 2 階建ての建物のモデルデータを図 1 に示す. 各階は 4 部屋が廊下で繋がっていて, 階段によ

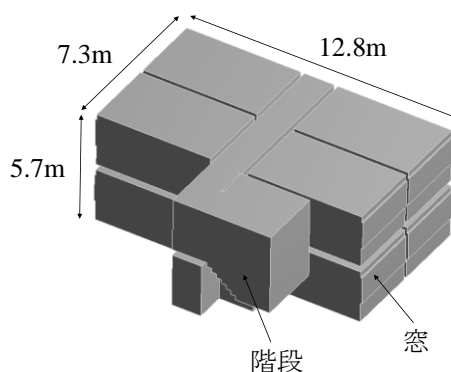


図 1: モデルデータ

て 1 階と 2 階が接続されている. 匂い源は 2 階にある 1 部屋の床部分に  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  の平面として設置されている.

### 2.2 メッシュ作成

計算に必要なメッシュは, 気流の生成に大きく寄与すると考えられる壁や床の近くで細くなるように設定して自動作成した. メッシュ数は合計 1036530 個である.

### 2.3 シミュレーション条件

シミュレーション条件を以下に示す.

匂い源: エタノール蒸気

流量:  $8.325 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$

乱流モデル: k- $\epsilon$  モデル

温度: 窓  $5^\circ\text{C}$ , その他  $15^\circ\text{C}$

時間: 匂い放出なし (600 s)  $\rightarrow$  匂い放出あり (600 s)

### 2.4 シミュレーション結果

2.2 の条件の下で, CFD ソフトウェア ANSYS18.1 を用いてシミュレーションを行った. 計算にはスーパーコンピュータ TSUBAME3.0 を使い, 時間は 7 時間 35 分を要した. 図 2 に 1 階部分のシミュレーション結果, 図 3 に 2 階と階段部分のシミュレーション結果を示す.

窓で空気が冷やされて気流が発生し, 放出された匂いは気流に乗って他の部屋に移動している様子が見られる.

Yoshiki HASHIMOTO, Takamichi NAKAMOTO

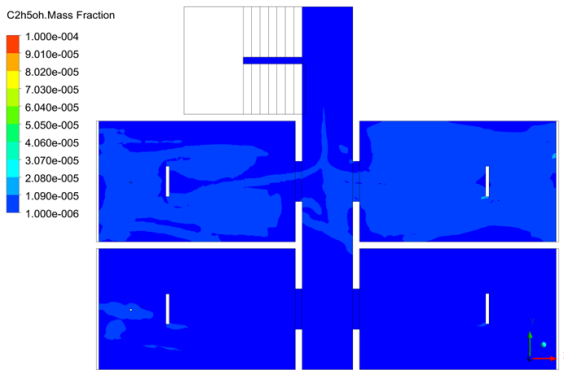


図 2:1階のシミュレーション結果(匂い放出 600 秒後)

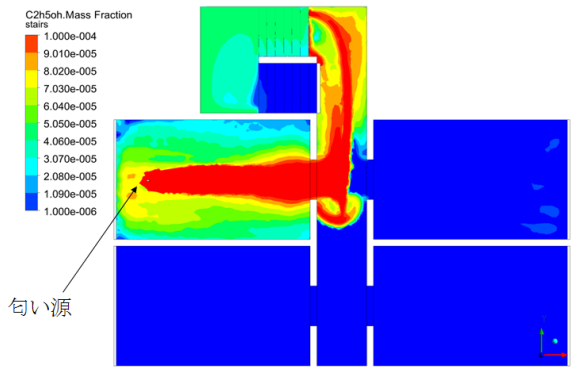


図 3:2階と階段のシミュレーション結果  
(匂い放出 600 秒後)

### 3. VR コンテンツ作成

2 節で得られた匂い濃度分布を用いて、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)と嗅覚ディスプレイを装着してバーチャル空間上で自由に動き回り、匂い源の位置を探索する VR コンテンツを作成した。

#### 3.1 実装

ゲームエンジン Unity を用いて実装したシステムの概要図を図 4 に示す。ヘッドマウントディスプレイには Oculus Rift、コントローラーには Oculus Touch を用いた。また、嗅覚ディスプレイは電磁弁高速開閉方式の装置[4]を用いた。ユーザーはヘッドマウントディスプレイと嗅覚ディスプレイを装着しながら、コントローラーを操作して自由にバーチャル空間を自由に動き回ることが出来る。作成したバーチャル空間は 2 節でシミュレーションした空間と同一であり、ユーザーの座標に対応して、煙の匂いがシミュレーション結果に基づいた濃度で提示される。コンテンツ実行時の様子を図 5 に示す。

#### 3.2 評価実験

実装した VR コンテンツを用いて、匂い濃度を手掛かりとしてバーチャル空間上で匂い源を探索することが可能であるかを実験した。

##### 3.2.1 実験手法

バーチャル空間の 2 階の各部屋に色のついた箱を合計 4

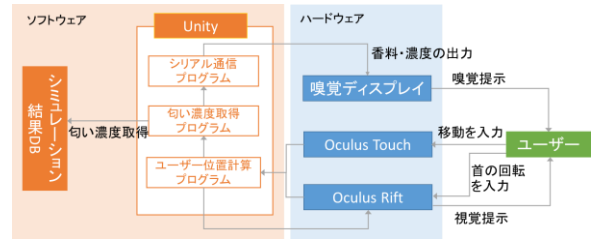


図 4:実装システム概要図



図 5:コンテンツ実行時の様子

表 1:実験結果

被験者の解答	人数	割合
正解	63 人	50.0%
不正解	63 人	50.0%

個設置した。被験者には予め 2 階に設置した 4 個の箱のいずれかが匂い源であることを伝え、コンテンツ実行と同時に自由にバーチャル空間を探索させ、最後に匂い源と推測した箱を選択させた。匂い源探索の時間制限は設けなかった。また、予め匂い源が 2 階のそれぞれの部屋にある場合の匂い濃度分布シミュレーションを計 4 回行い、どの部屋に匂い源があるかは被験者毎にランダムとした。被験者は、10 代から 50 代の男女合わせて 126 名である。

##### 3.2.2 実験結果

実験結果を表 1 に示す。被験者 126 人のうち、4 つの箱から正しく匂い源の出ている箱を当てられた被験者は 63 人で、割合は 50.0%であった。

#### 3.3 考察

3.2 節で行った実験では、50%の被験者が匂い源の出ている箱を匂い源と誤答したが、その中の多くの被験者は、匂い源の出ている箱の向かい側の部屋の箱を匂い源と回答していた。これは図 3 から示されるように被験者が廊下で濃い匂いを嗅いでから部屋に入ることにより、匂い源の出ている箱を誤認してしまうことが原因として考えられる。また、半日中嗅覚ディスプレイを駆動していたことによる匂い残りや、嗅覚ディスプレイに命令を送ってから実際にユーザーの鼻に匂いが届けられるまでの遅延も誤認の原因として考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、嗅覚人工現実感の向上を目的として、バーチャル空間の匂い濃度分布を数値流体シミュレーションを用いて計算した。また、得られた匂い濃度分布シミュレーション結果を用いて、バーチャル空間内をヘッドマウントディスプレイと嗅覚ディスプレイを装着して匂い源を探索する VR コンテンツを作成した。評価実験として被験者に VR コンテンツ内で4つの箱から1つだけ匂いが出ている箱を探索させ、50.0%の被験者が正しく匂いの出ている箱を認識した。

今後の課題として、被験者がバーチャル空間内でより正しく匂い源を認識できることを目的に、ウェアラブル嗅覚ディスプレイ[5]の採用や CFD シミュレーションの条件の変更を検討していく。

**謝辞** 本研究の一部は、JST未来社会創造事業JPMJM117DDの支援を受けた。

#### 参考文献

- [1] 長坂 亮, 中本 高道 : 弾性表面波霧化器を用いた嗅覚ディスプレイによる仮想匂い源の探知, 電気学会全国大会, No.3-187, 2018
- [2] Hiroshi Ishida, Hiroshi Yoshida, Takamichi Nakamoto : Introducing Computational Fluid Dynamics Simulation into Olfactory Display, Electrical Engineering in Japan, Vol. 177, No. 1, pp. 65-72, 2011.
- [3] Muis Muhtadi, Takamichi Nakamoto : Optimal Estimation Method of Temporal Odor Concentration Profile for Plume Tracking in Dynamic Turbulent Environment, IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, Vol. 138, No. 1, pp. 15-22, 2018
- [4] Takamichi Nakamoto, Hai Pham Dinh Minh : Improvement of olfactory display using solenoid valves, IEEE Virtual Reality, 2007
- [5] Shingo Kato, Takamichi Nakamoto : Olfactory Display Based on Sniffing Action, IEEE Virtual Reality, 1227, 2018