

2024年 11月29日

火災の避難訓練のための 煙シミュレーションと VRによる煙の可視化

チームA

王 華勁
大槻 怜央
山中 聡大

目次

- 背景と課題
- 線香の煙の実験
- 流体シミュレーション
- Particle trackingとVR
- 考察と結論

背景と課題

- 背景
 - 2021年に東大本郷キャンパスで火災
 - 火災時の避難訓練は重要
- 火災避難訓練における課題
 - 煙が流れる時間や経路がわからない
 - 臨場感がない

東大研究棟で火災、1人軽症 実験用の薬品を保温中か

2021年8月15日 13時10分



黒煙が上がる東京大学本郷キャンパスの建物
=2021年8月15日午前10時42分、東京都文京区、長島一浩撮影

15日午前9時5分ごろ、東京都 文京区 の東京大学 本郷キャンパスの薬学系総合研究棟から出火し、10階建ての建物のうち2、3階の約70平方メートルが焼けた。30代の男性警備員が煙を吸い病院に搬送されたが、症状は軽いという。

警視庁 本富士署によると、出火した場所とみられる2階の一室では、実験用に加熱した化学薬品 が器具で保温され続けている状態だ

<https://www.asahi.com/articles/ASP8H4CV6P8HUTILOOK.html>

今回取り組む内容

1. 線香で煙の動きを実験



2. 煙のシミュレーションとVR

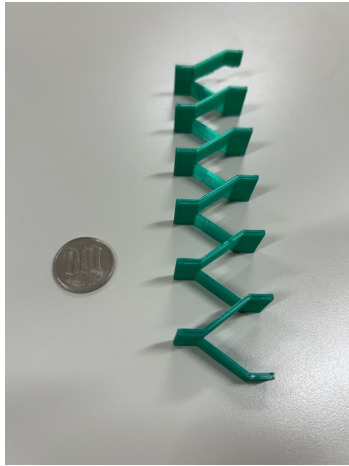
OpenFOAMによる
空気のシミュレーション



空気の速度場

Unityによる
煙のParticle trackingと可視化

線香の煙の実験（手法）



3Dプリンタで作成した
階段のモデル



塩化ビニル板



線香



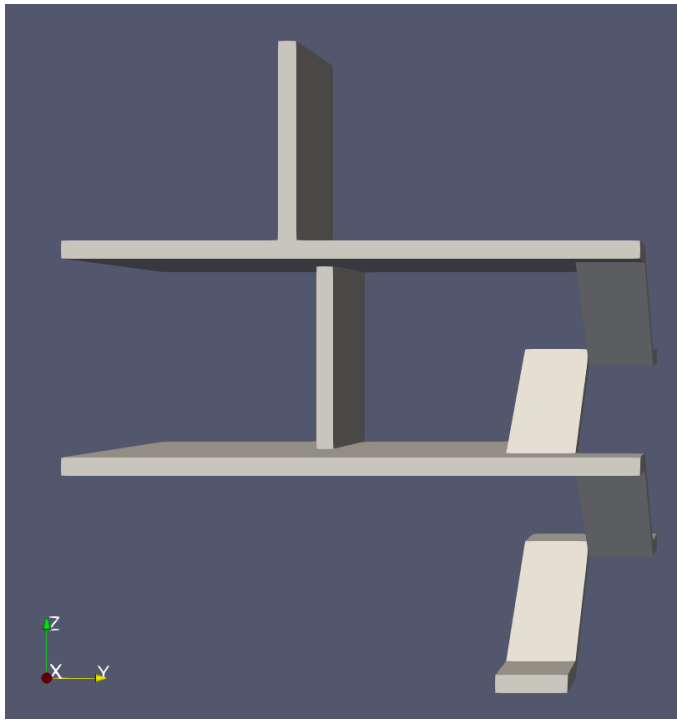
線香の煙の実験（結果）

- 階段に沿って煙の流れが見られた



ケース---ParaViewによる格子の可視化

領域内での自然対流を0秒から3600秒まで計算します。
流体は圧縮性として解かれ、密度分布の差による浮力が考慮されます。

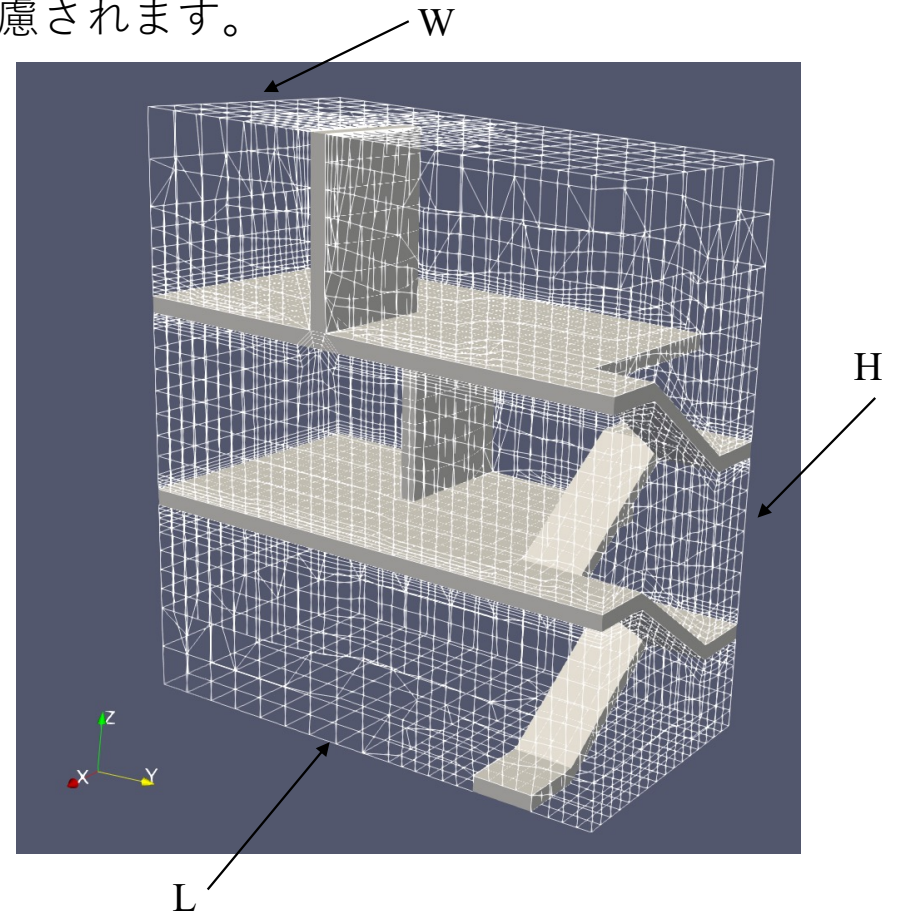


CAD model of stairs

$$L = 16\text{m}$$

$$W = 8\text{m}$$

$$H = 18\text{m}$$



OpenFOAMの buoyantPimpleFoam ソルバ

質量保存式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

運動量保存式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = & -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \nabla \cdot (2\mu_{eff} D(\mathbf{u})) \\ & -\nabla \left(\frac{2}{3} \mu_{eff} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \right) \end{aligned}$$

エネルギーの保存式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{e}) + \frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} K) + \nabla \cdot (p \mathbf{u}) \\ = \nabla \cdot (\alpha_{eff} \nabla e) + \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{g} \end{aligned}$$

ケース計算条件

- 格子数：26,241
- 圧力速度解法：PIMPLE法
- 重力加速度:

```
dimensions    [0 1 -2 0 0 0 0];  
value         (0 0 -9.81);
```

- 乱流モデルの設定:

```
RAS  
{  
  model        kEpsilon;
```

```
turbulence    on;
```

```
printCoeffs   on;  
}
```

境界条件

ceiling

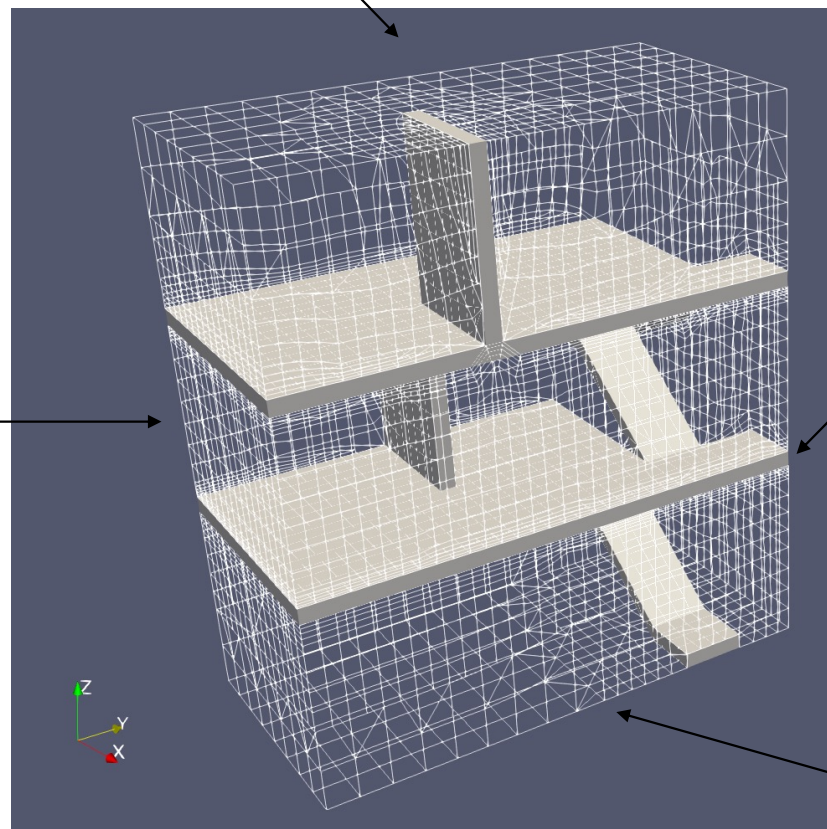
速度の境界条件: noSlip

圧力の境界条件:
type calculated;
value \$internalField;

fixedWalls

速度の境界条件: noSlip

圧力の境界条件:
type calculated;
value \$internalField;



stairs

速度の境界条件: noSlip

圧力の境界条件:
type calculated;
value \$internalField;

floor

速度の境界条件: noSlip

圧力の境界条件:
type calculated;
value \$internalField;

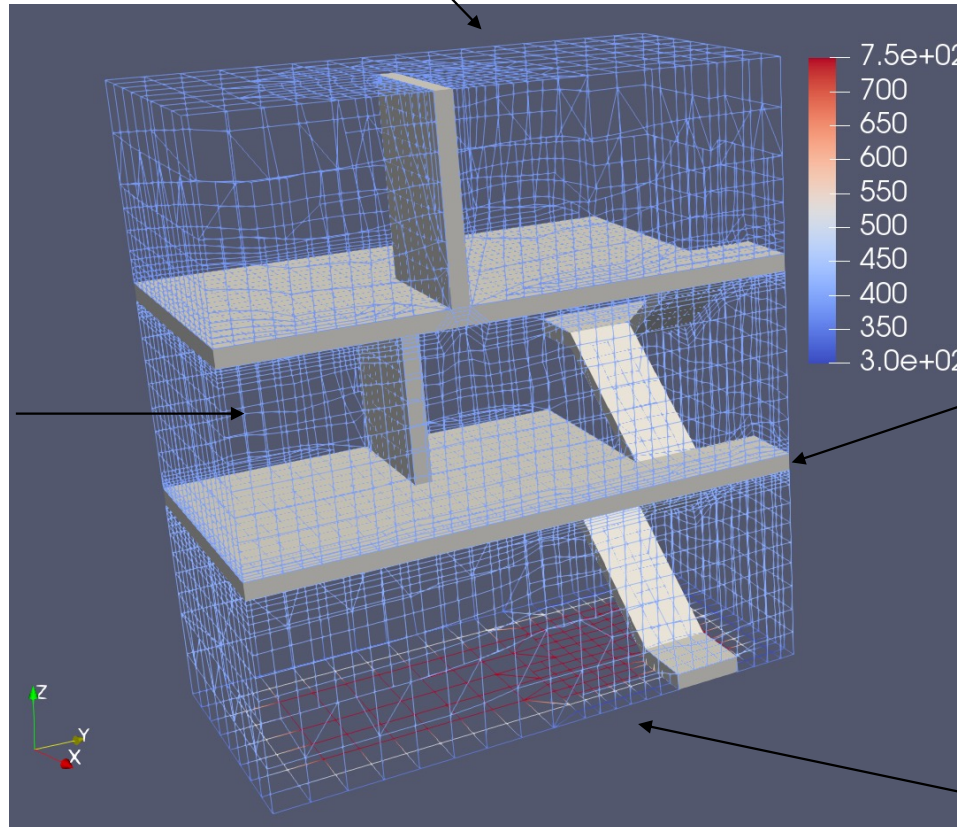
温度の境界条件

ceiling

温度の境界条件:
zeroGradient

fixedWalls

温度の境界条件:
zeroGradient



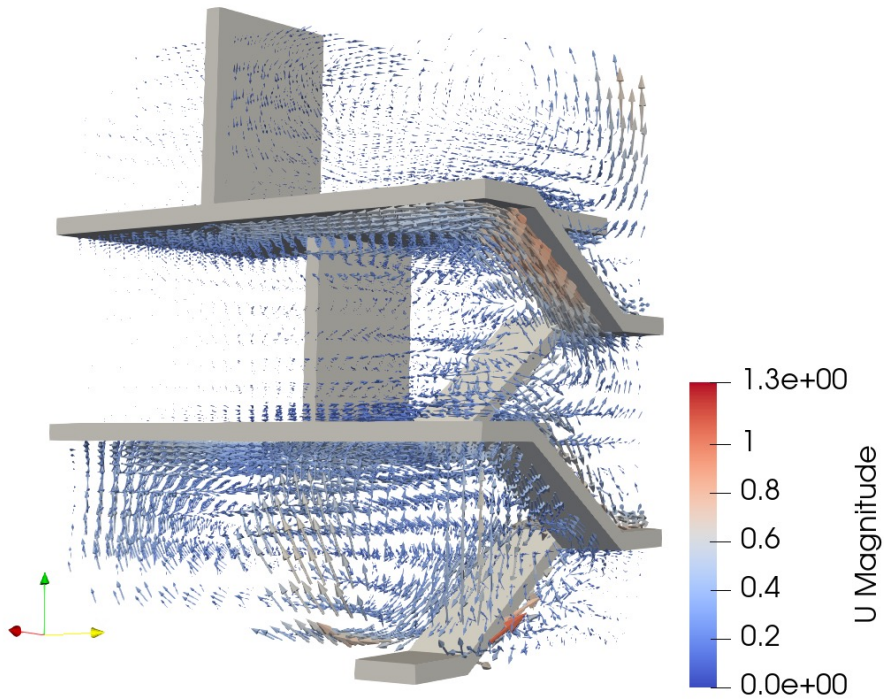
stairs

温度の境界条件:
zeroGradient

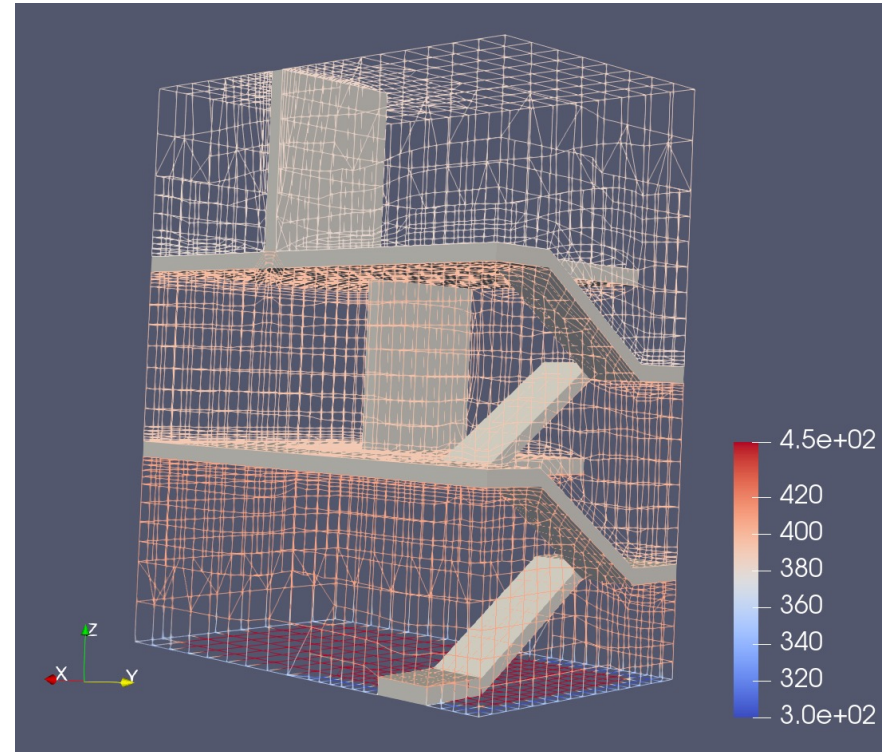
floor

温度の境界条件:
type fixedValue;
value uniform 300;
heat source:
volScalarFieldValue T 750

ParaViewによる計算結果の可視化



3600sでの速度場



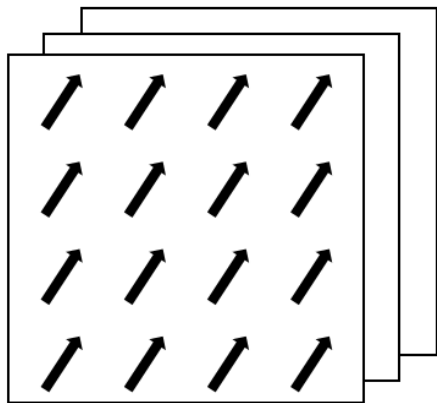
3600sでの温度場

Unityによる粒子トラッキング

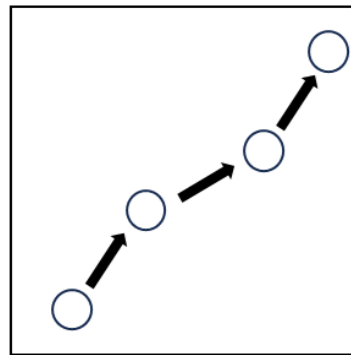
- 煙粒子のトラッキング

- 流体シミュレーションの結果の速度場のデータを読み込み
- 熱源近くで粒子を生成し速度場のデータに沿って粒子をトラッキング
- 最近傍のメッシュでの速度を煙粒子の速度とする

速度ベクトル場のデータ

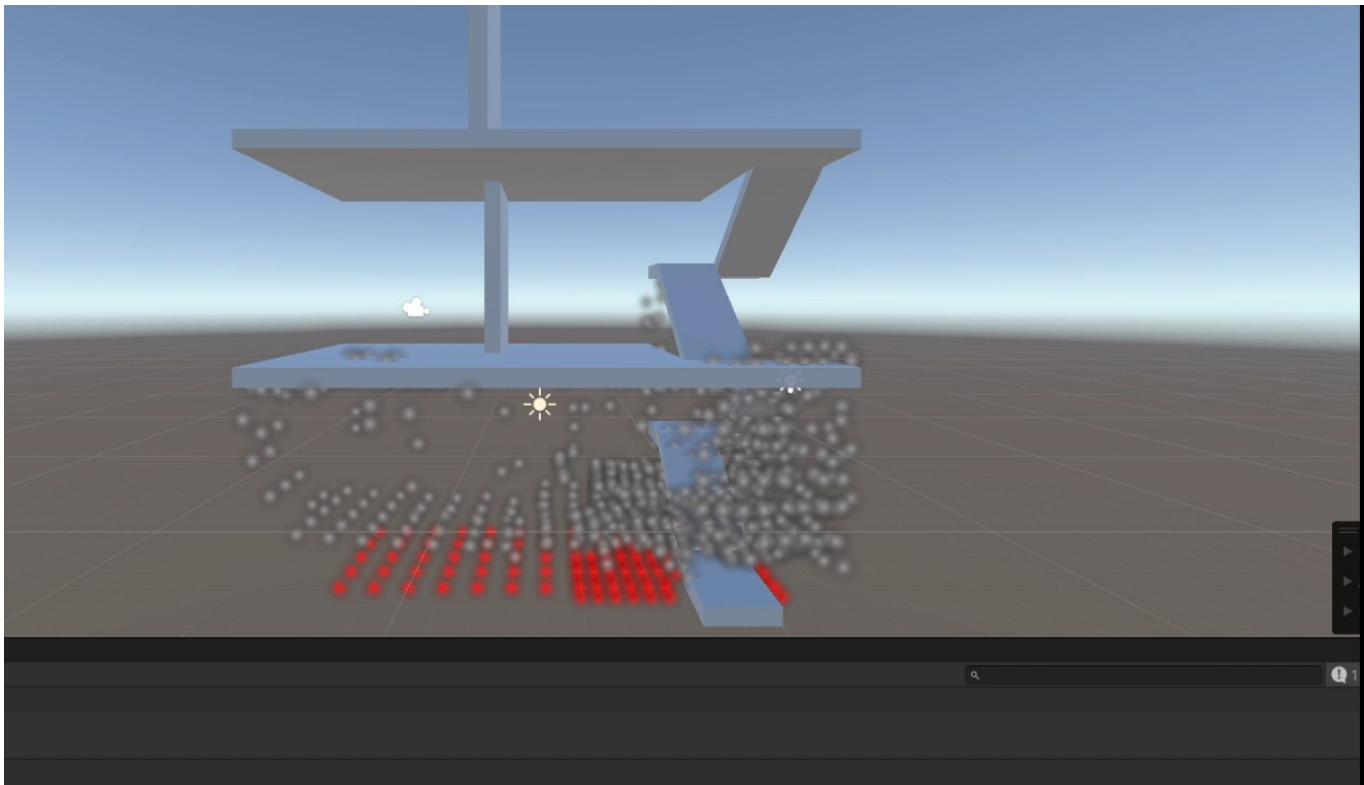


粒子トラッキング



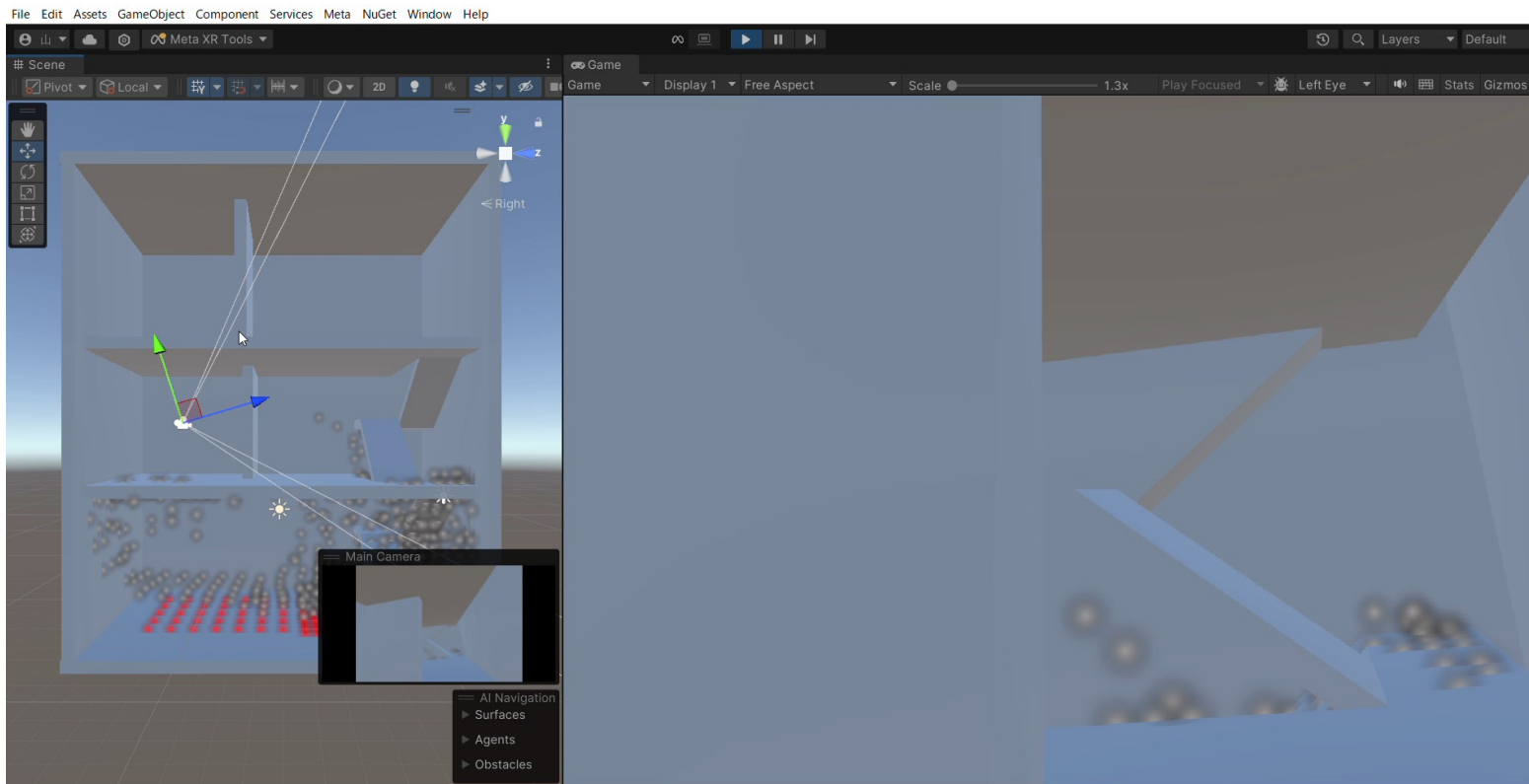
Unityによる可視化

階段に沿った流れや1階の対流など流体シミュレーション結果の大きな流れが再現されている



VRによる可視化

VR火災避難訓練を想定したシステムを作成



結論と展望

- 結論

- 煙の挙動を実験で確認した
- 煙の流れる経路を予測するシステムを構築した
- VRによって臨場感のある体験が可能となった
 - 火災時は煙による視認性の低下
 - 日頃から避難経路を認知することは重要

- 今後の展望

- 環境棟での煙のシミュレーション
 - 避難経路や時間の目安の指針作りに役立てる