

第2回オープンソースCAEワークショップ

OpenFOAMを用いた 乱流型クリーンルーム内気流のLES解析

鹿島建設技術研究所

挾.間 貴雅

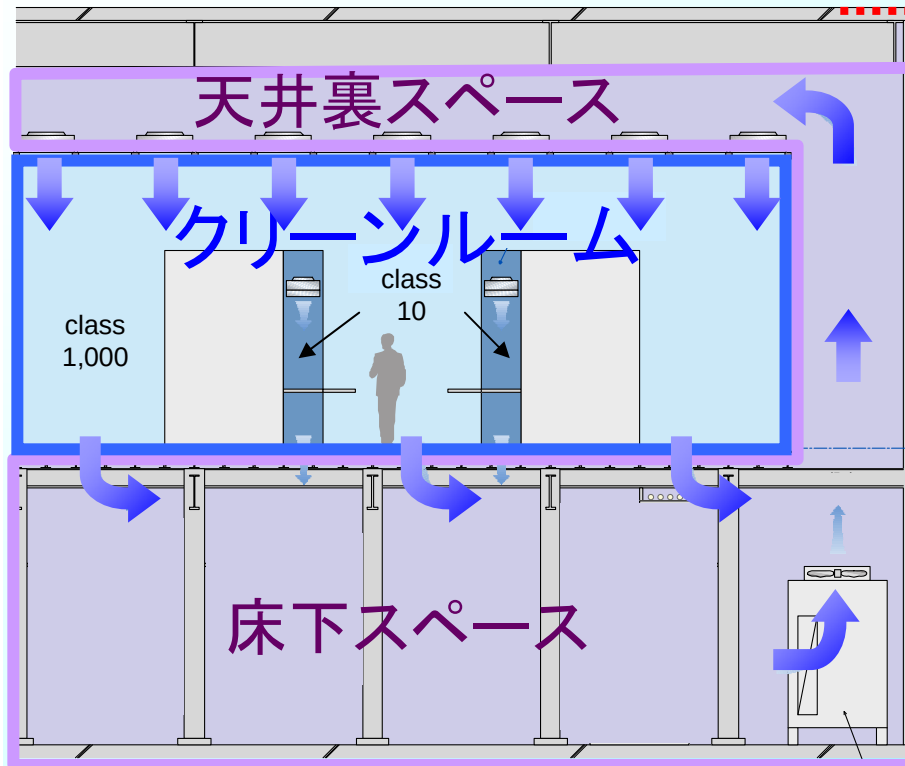
2009/11/07

本発表の概要

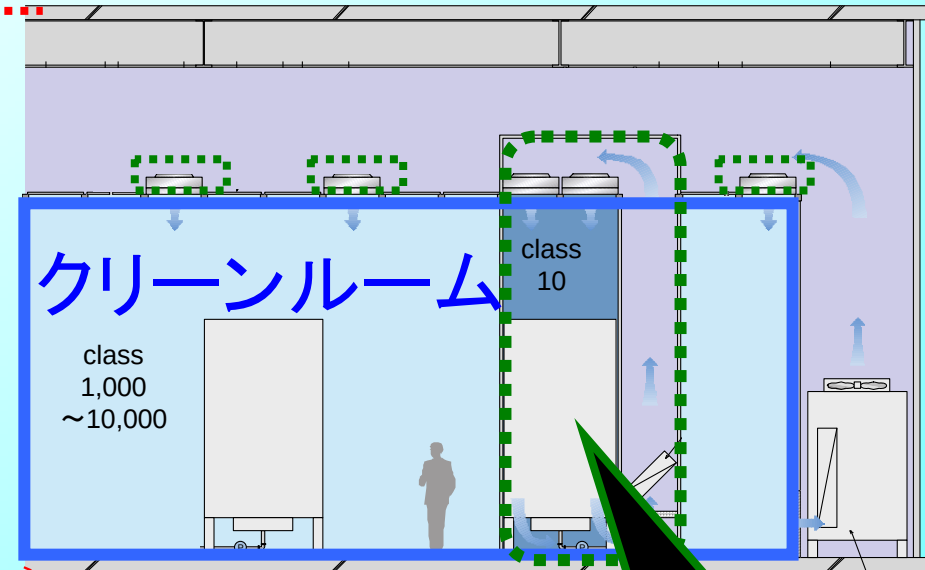
- 乱流型クリーンルームの特徴
 - 従来型クリーンルームとの比較で
- 乱流型クリーンルームの設計手順イメージ
 - 乱流型クリーンルーム「流れ場設計」に対するOpenFOAMの活用
- 弊社技研クリーンルームを対象したLES
 - 等温場におけるRANSとLES
 - 非等温場と等温場のLES

乱流型クリーンルーム（タスク&アンビエント）

全面層流型（従来）



低清浄・高清浄混在 乱流型

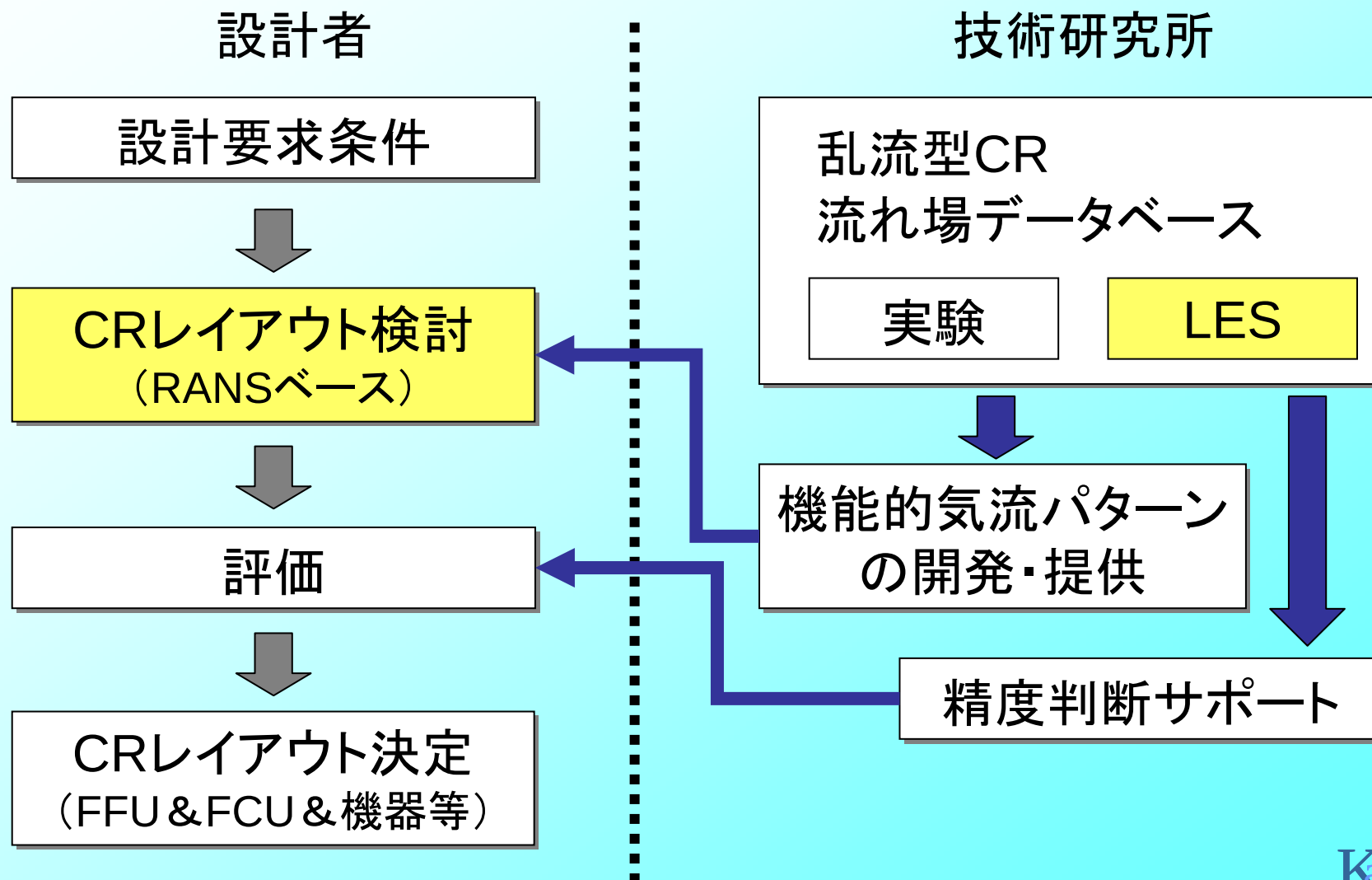


建屋全体は縮小
（床下レス）

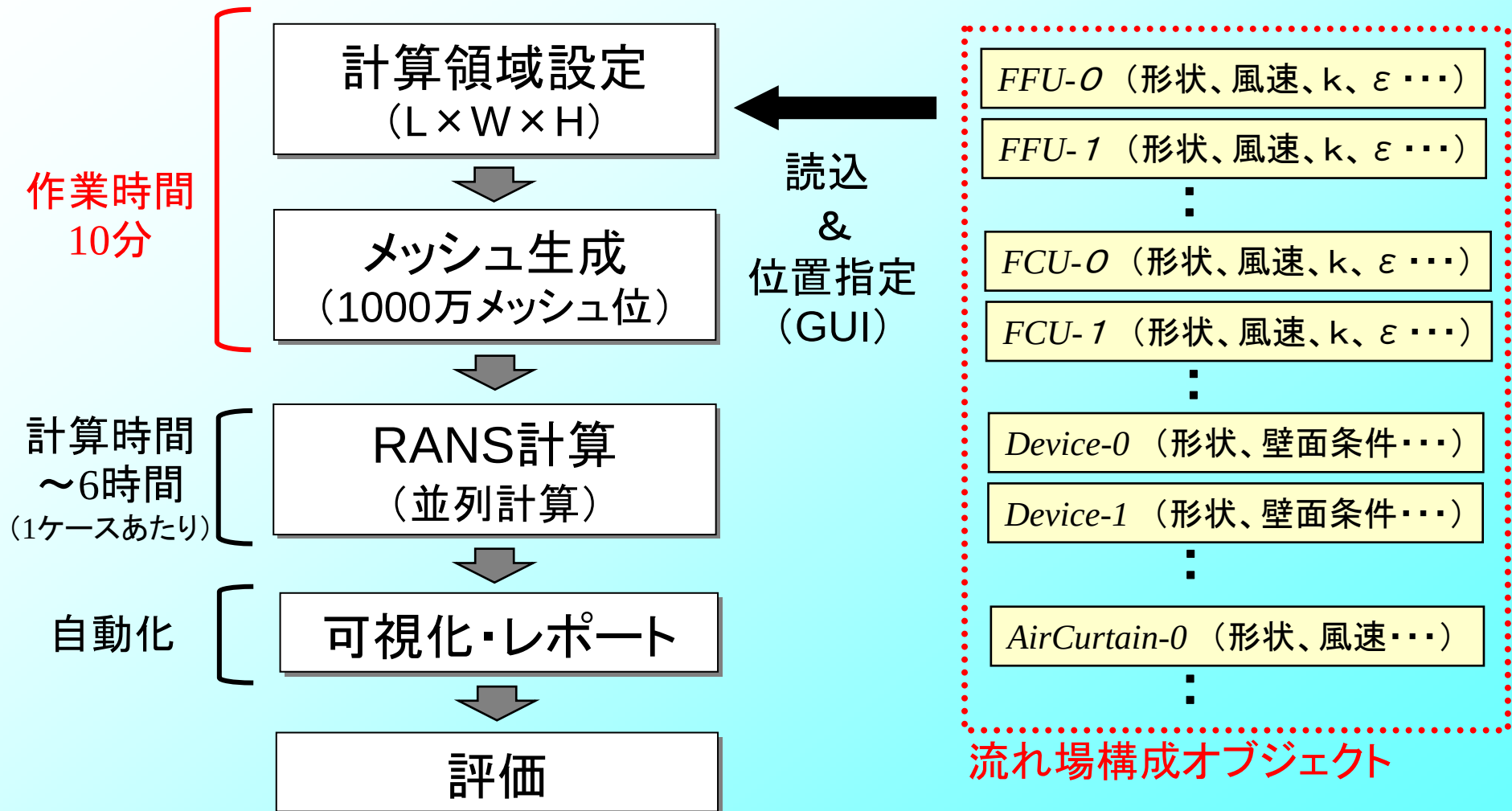
高
清
浄
エ
リ
ア
局
所
化

- 施工コスト&運用コストの大幅削減が可能
- が、清浄空気の循環経路が確保されず、
複雑な気流場となり、事前の環境予測が難しい

「流れ場」設計の流れ

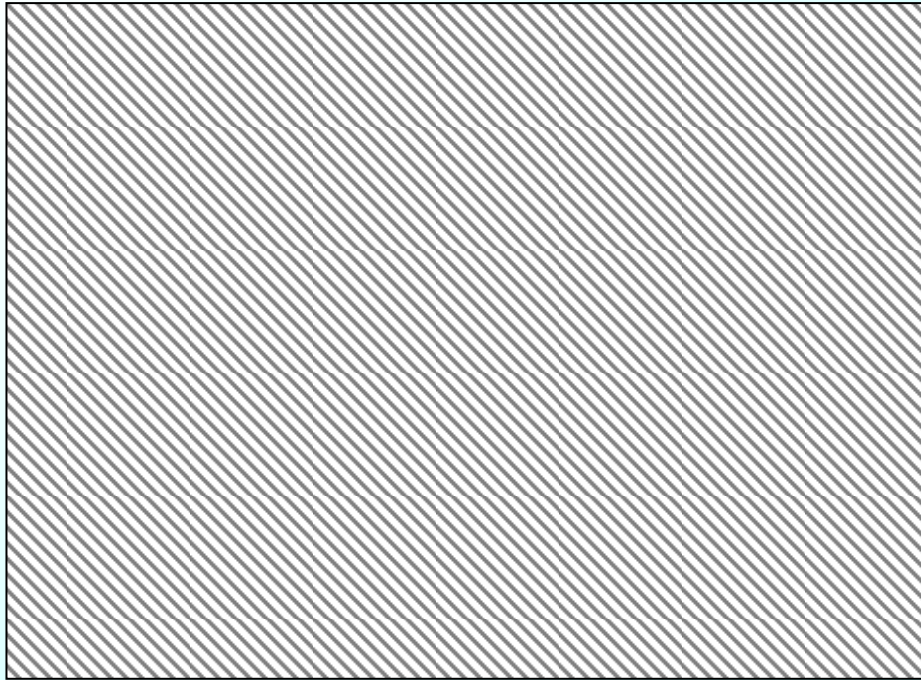


CRレイアウト検討ツール（構想中）

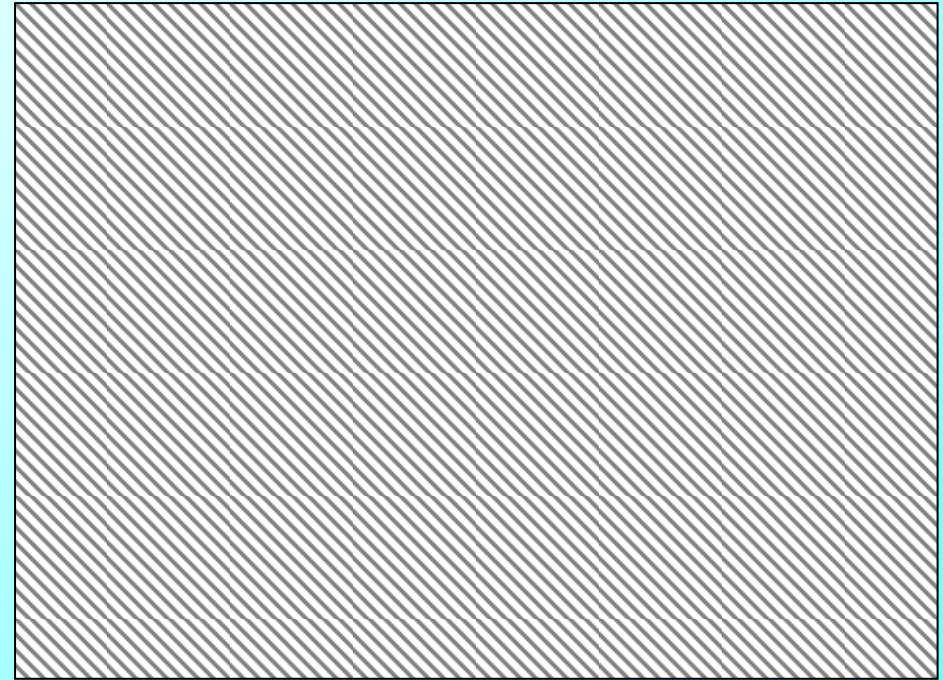


Excel VBA + python + OpenFOAMで作成

CRレイアウト検討ツール使用例



モデル生成例



計算結果例(空気齢)

LESの位置づけ

- 実験の補助

- 流れの可視化
- 3次元情報の取得
- 実験回数の削減、等



- 機能的気流パターンの開発

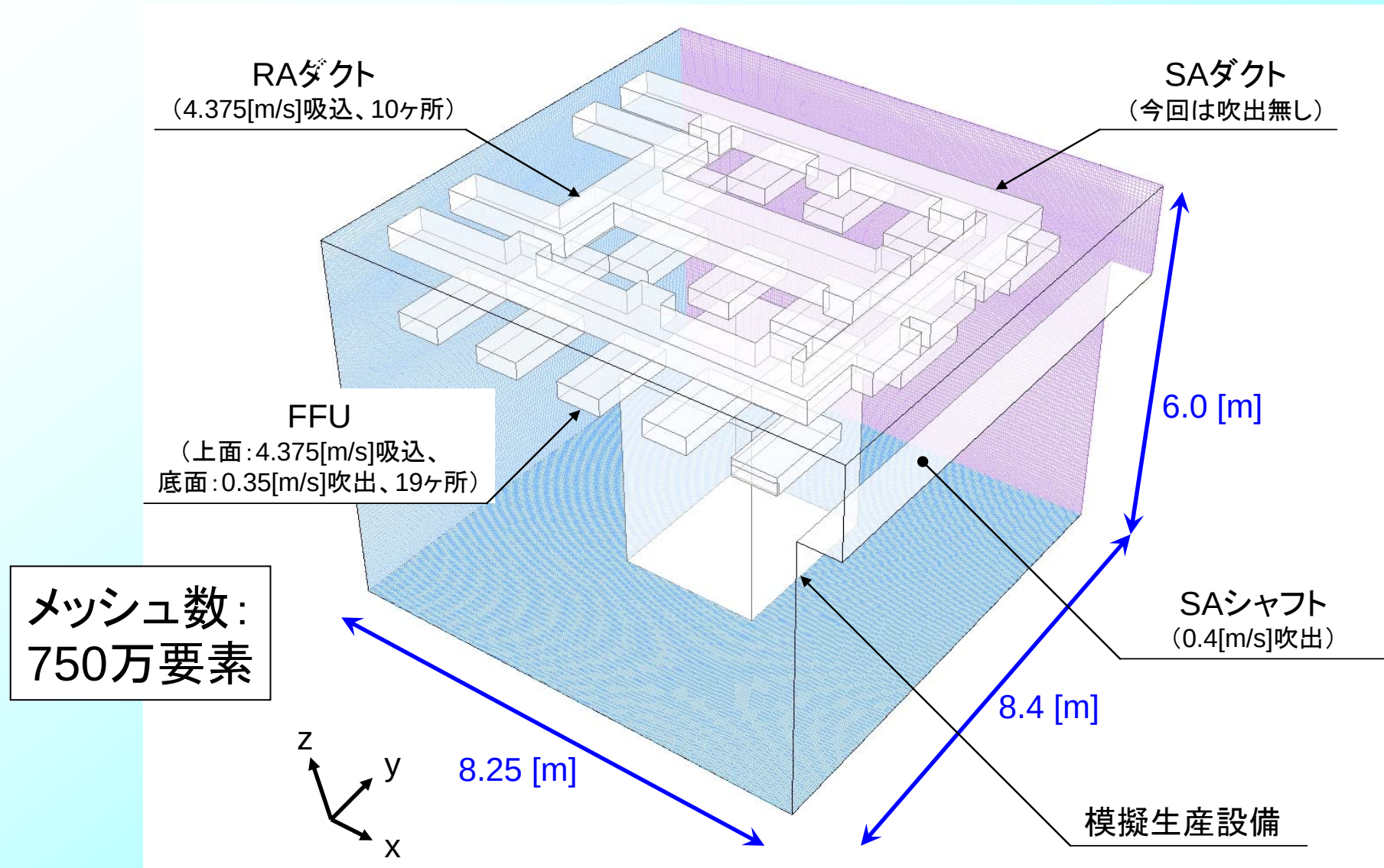
- 局所的に清浄度を確保する気流パターン
- 任意の清浄度ヒエラルキーの設定、等

- RANS(標準 $k-\varepsilon$)の計算精度把握

- 設計時に使用するRANSの妥当性判断支援
- 「安全率」の把握



計算対象



主な計算条件

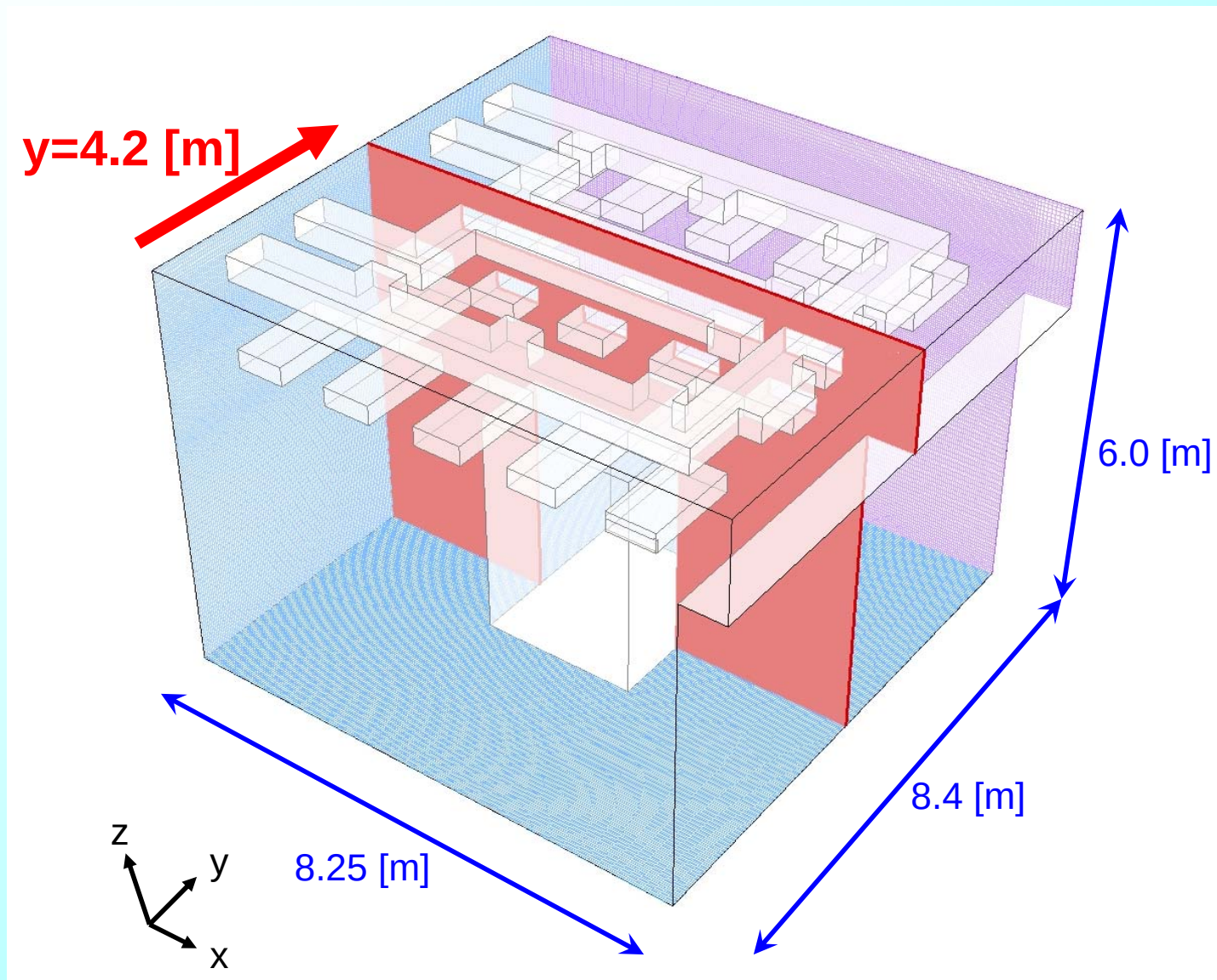
- OpenFOAM Ver.1.5.x-200808
- ソルバー: oodles + 浮力項 + 濃度輸送 + 熱輸送
- 標準Smagorinskyモデル($C_s=0.12$)使用
 - 現時点では浮力効果を組み込んでいない
 - Dynamicモデル使用を検討中
- 計算時間は1ケース当たり1ヶ月
 - PCクラスタ8ノード使用(Core2Duo3GHz / ノード)
- 助走時間120秒、平均時間240秒



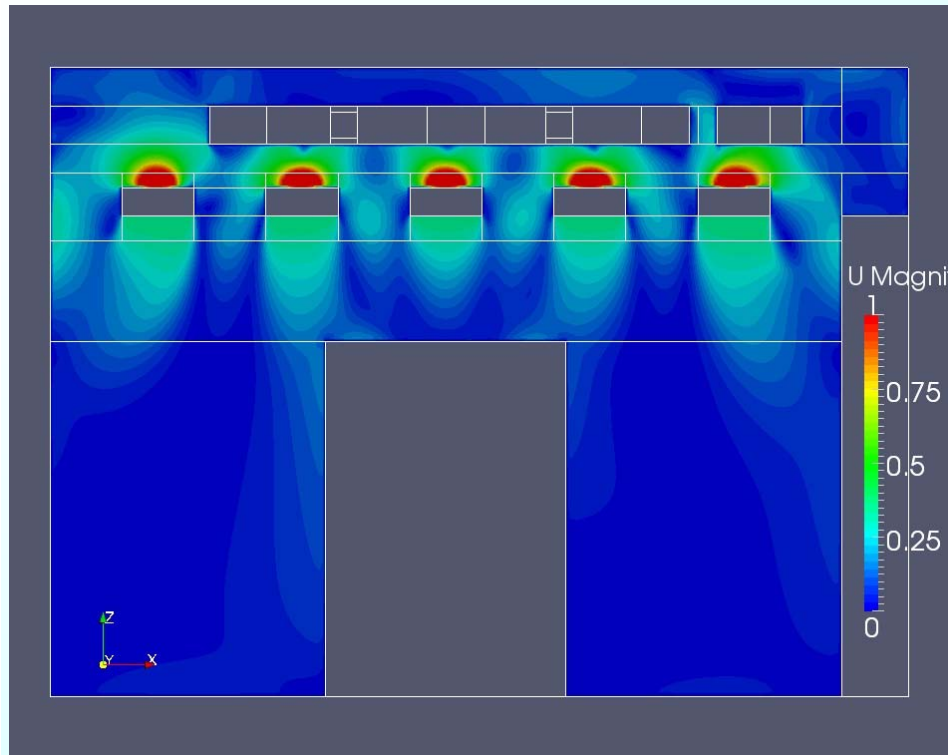
計算結果

等温場を対象とした
RANS（標準k-e）とLESの比較

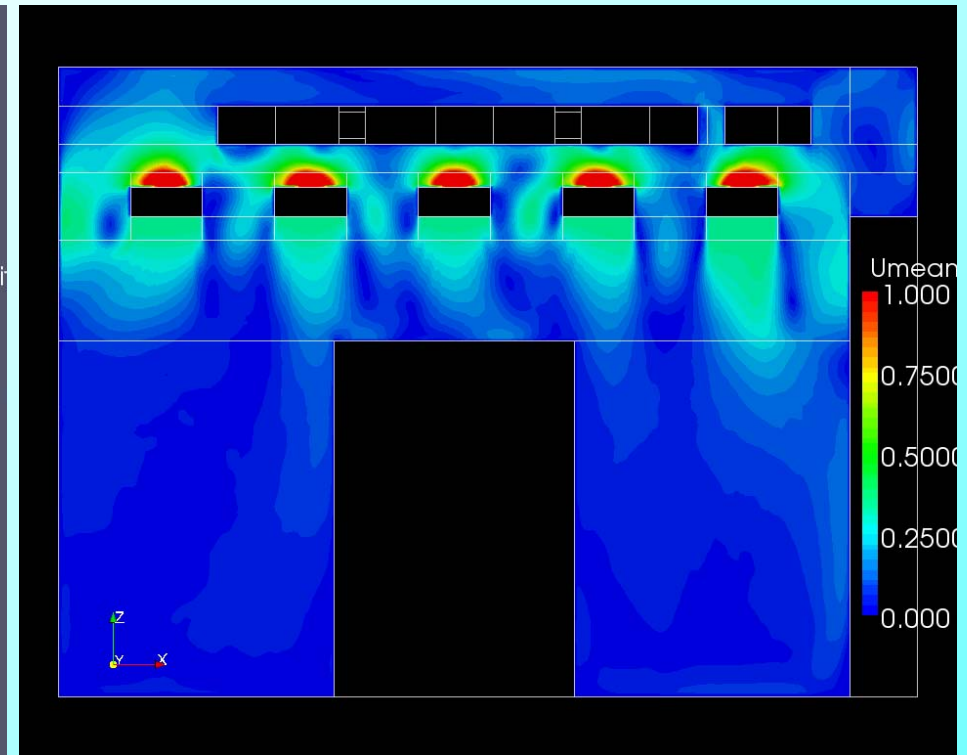
表示断面 $y = 4.2 \text{ [m]}$



平均風速

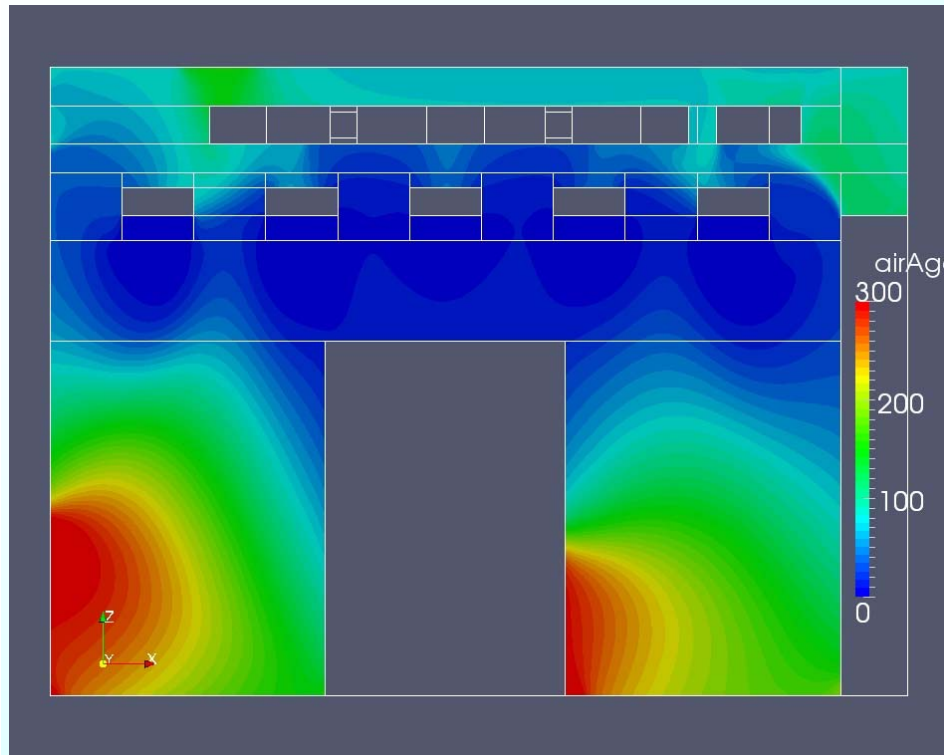


標準k- ε モデル
(単位:m/s)

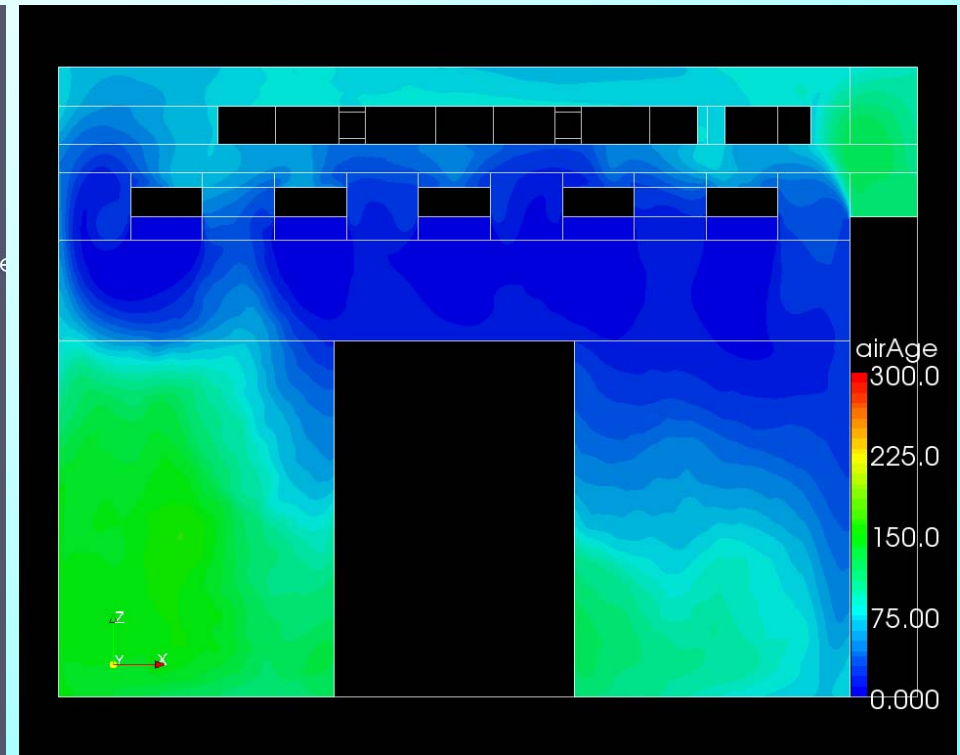


LES
(単位:m/s, 240秒時間平均)

空気齢

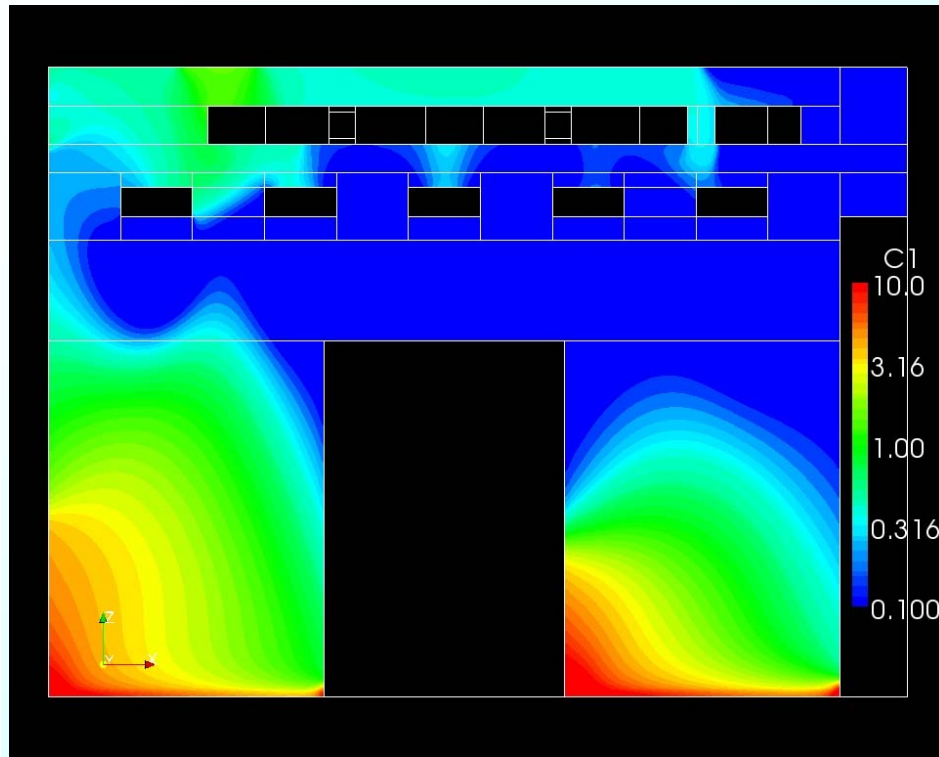


標準 $k-\epsilon$ モデル
(単位:sec)

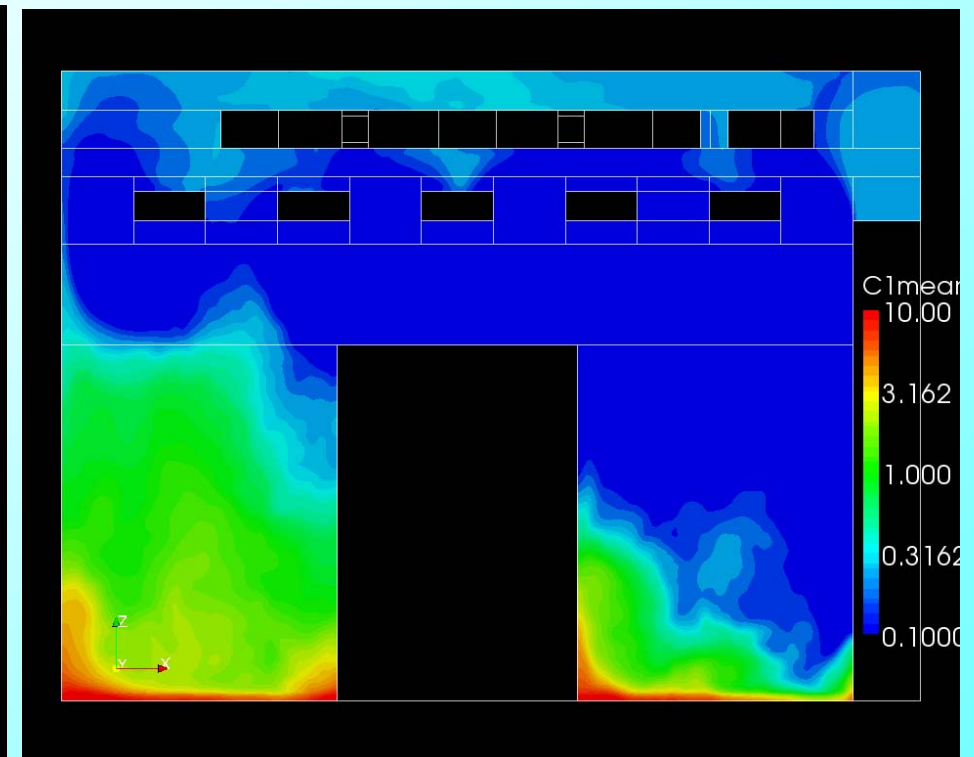


LES
(単位:sec, 240秒時間平均)

床面発生汚染質

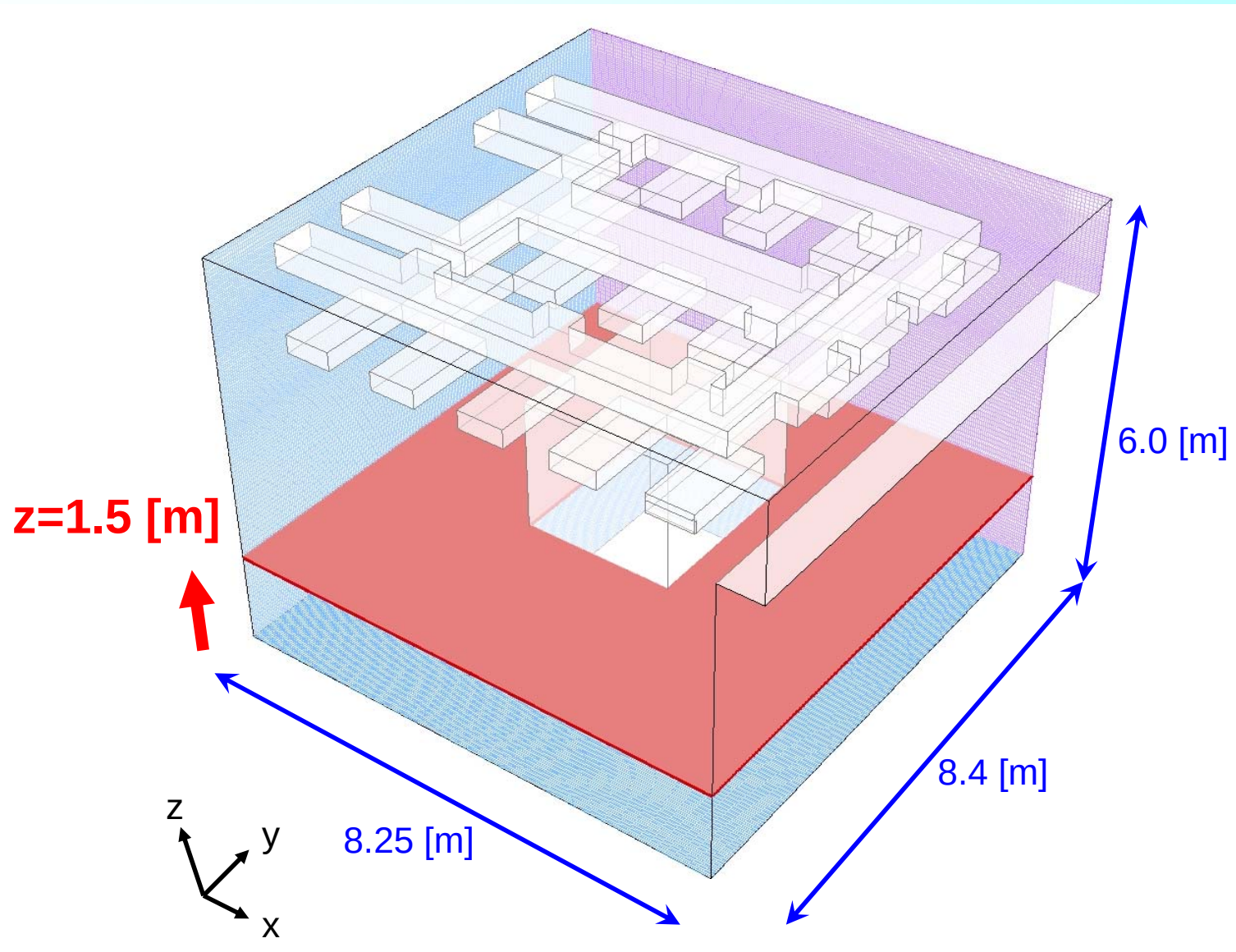


標準 $k-\varepsilon$ モデル
(単位: g/m^3)

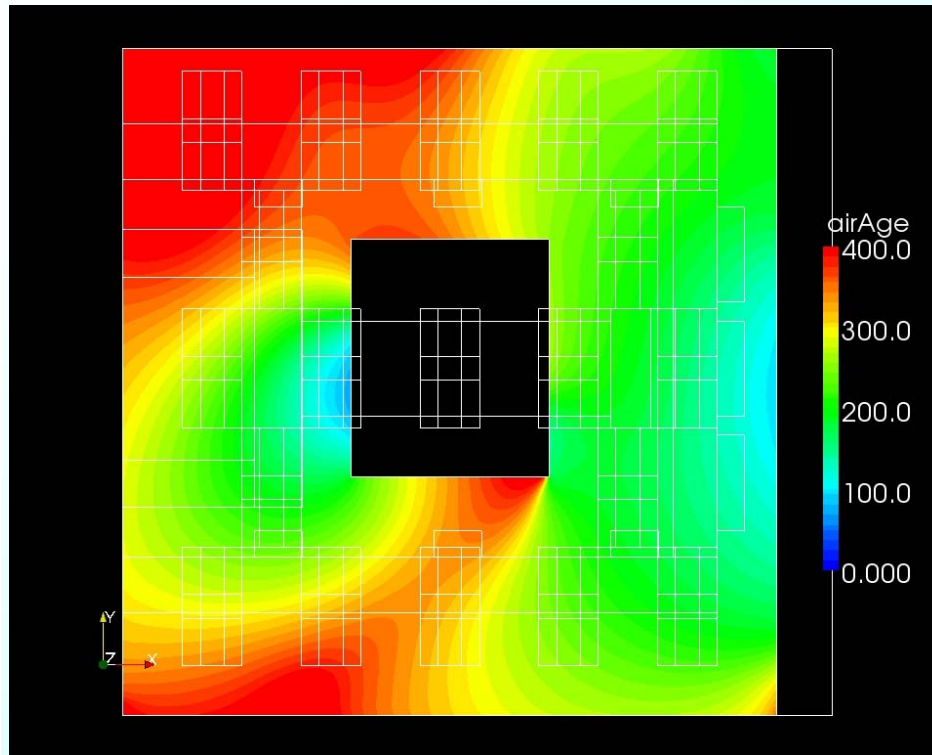


LES
(単位: g/m^3 , 240秒時間平均)

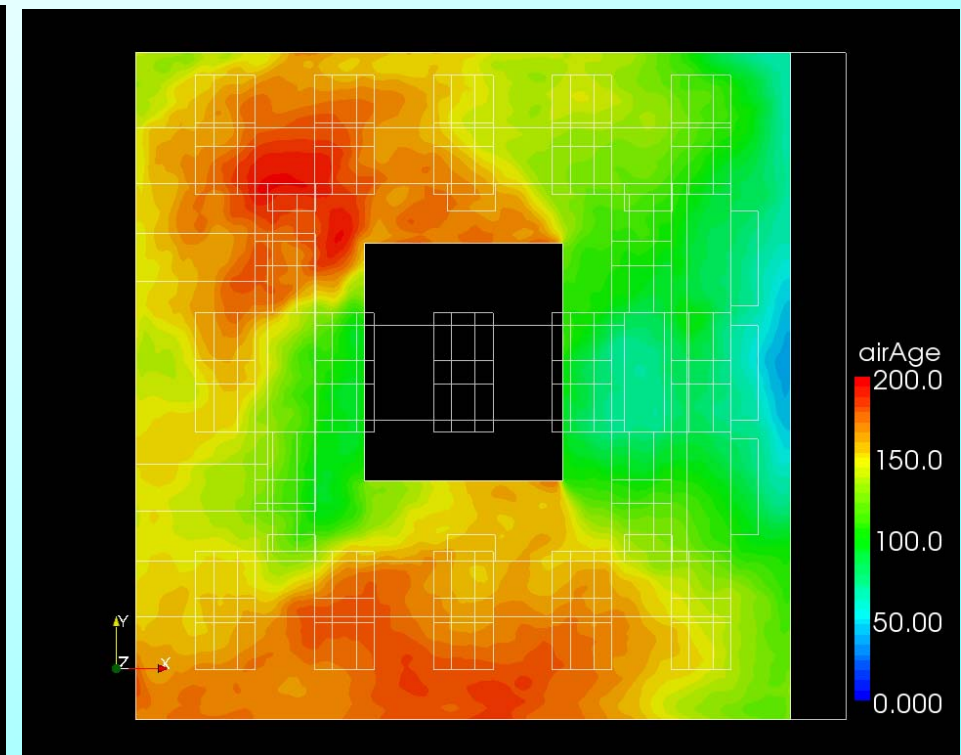
表示断面 $z=1.5$ [m]



空気齢 (濃度レンジの違いに注意)

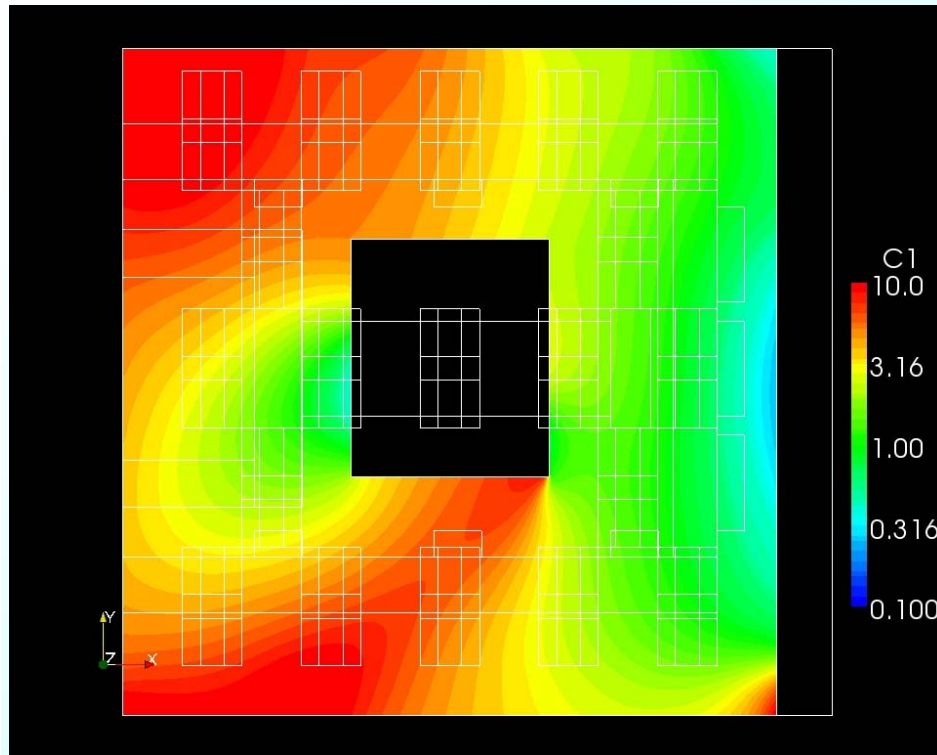


標準k- ε モデル
(単位:sec)

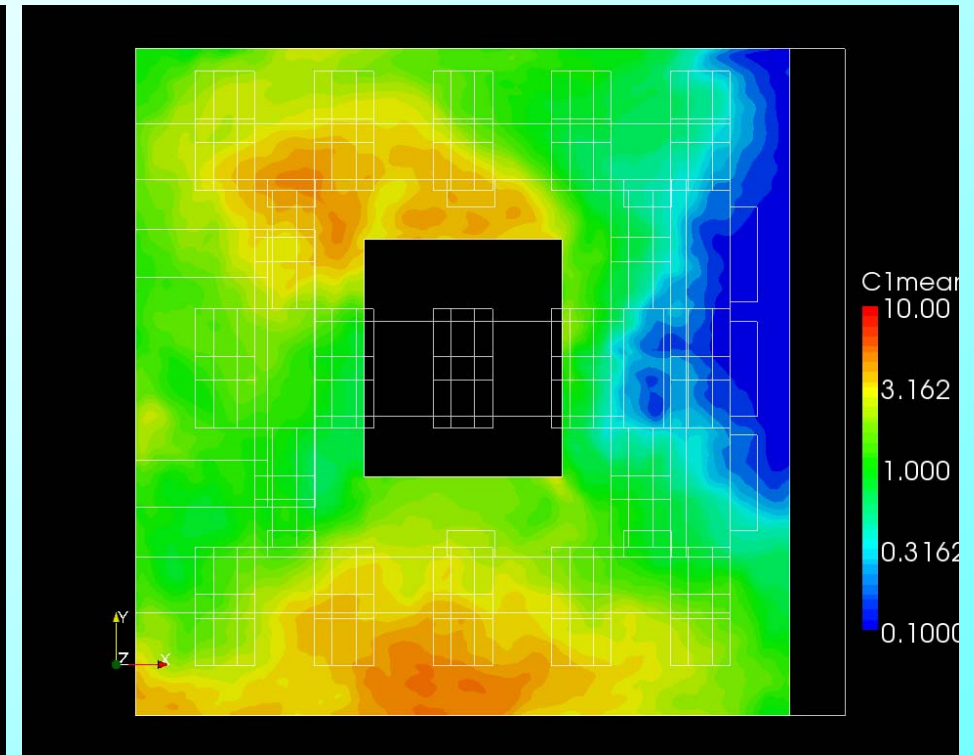


LES
(単位:sec, 240秒時間平均)

床面発生汚染質



標準k- ε モデル
(単位: g/m^3)

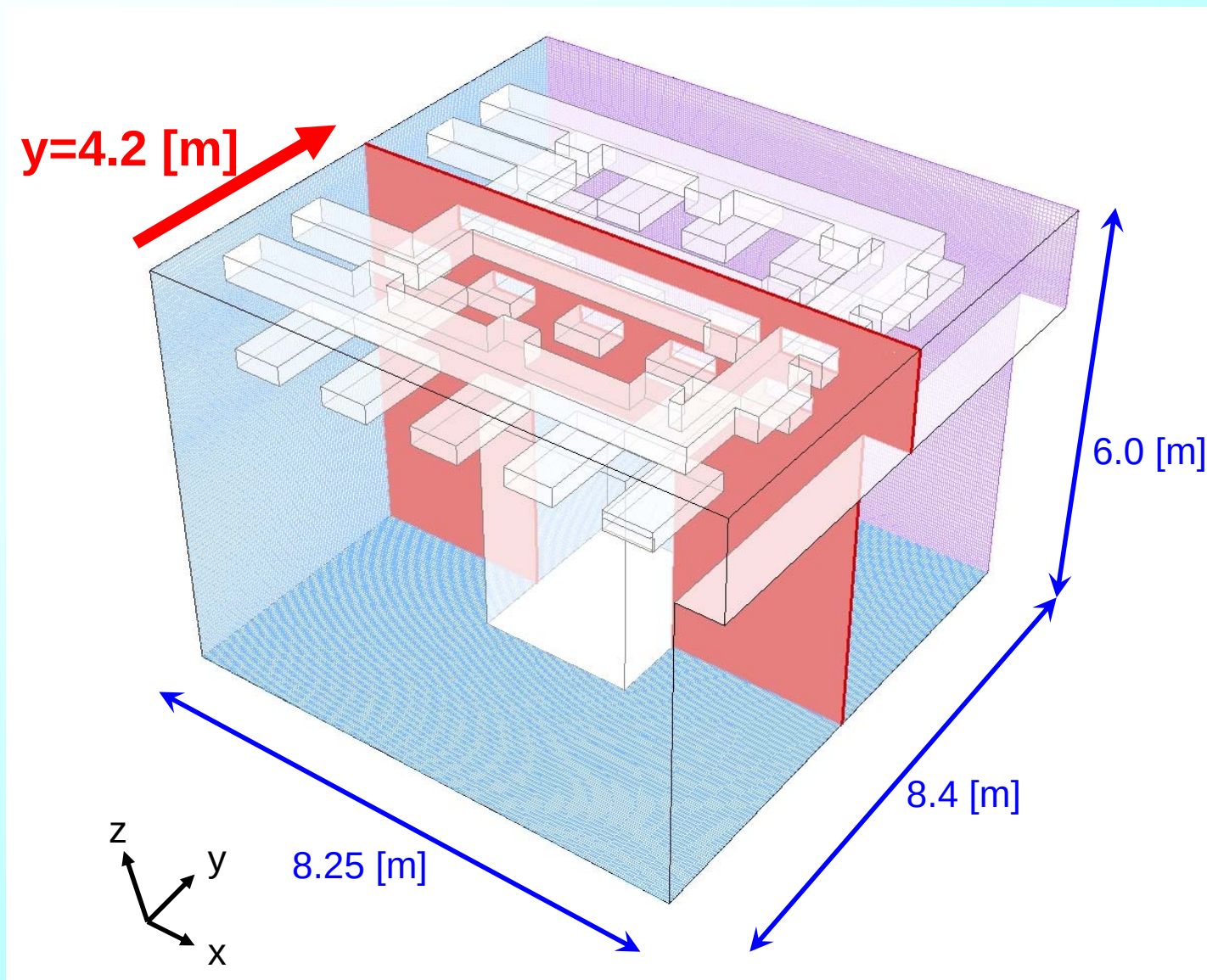


LES
(単位: g/m^3 , 240秒時間平均)

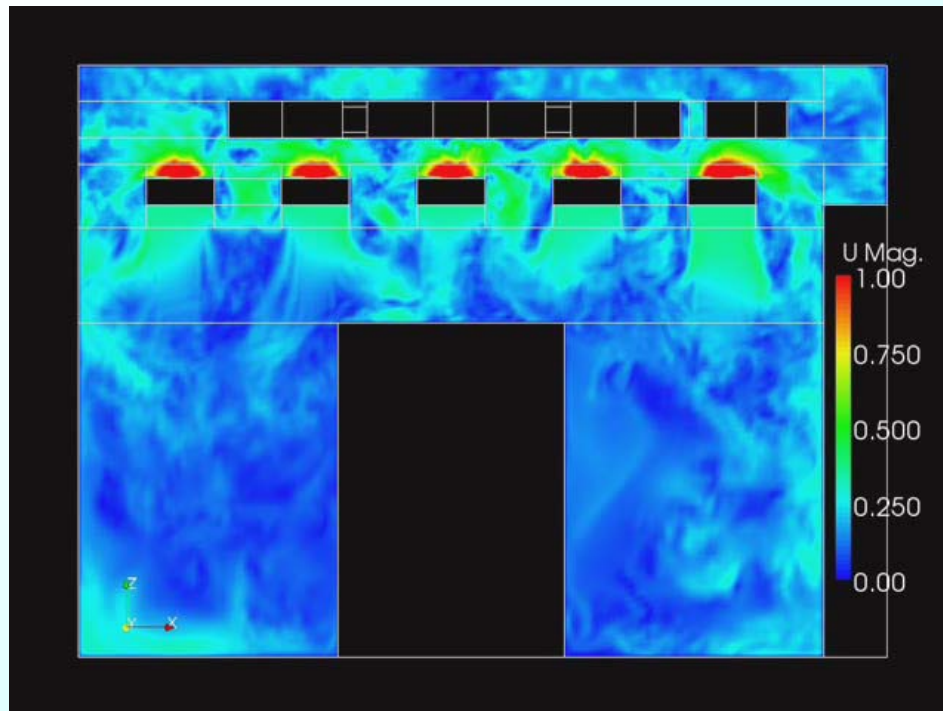
計算結果

等温時と非等温時の比較 アニメーション

表示断面 $y = 4.2 \text{ [m]}$

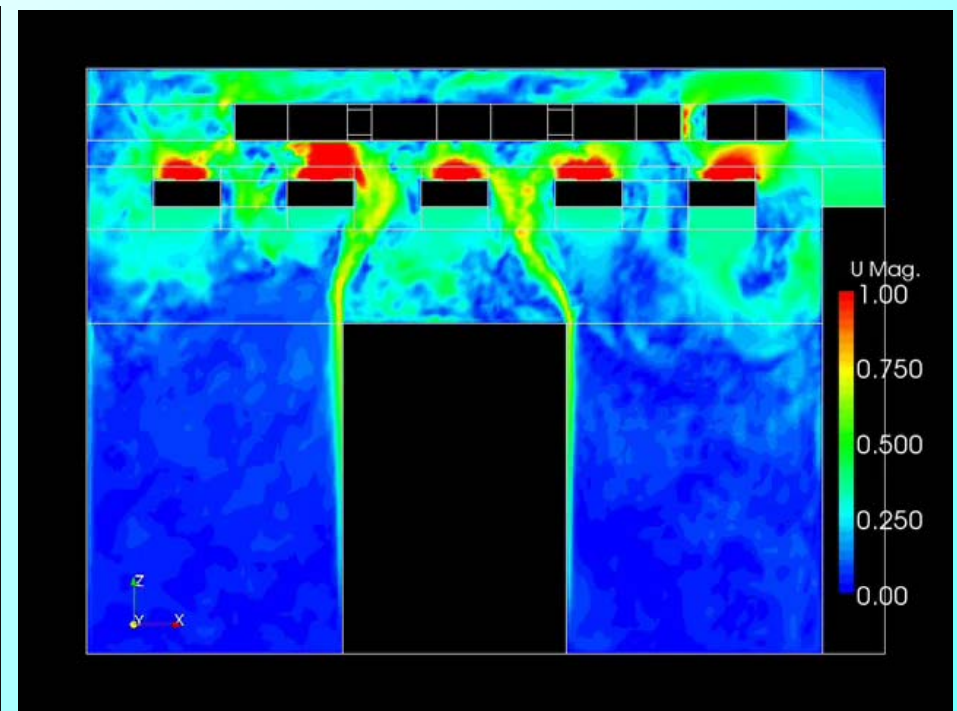


スカラー風速アニメーション



発熱無し
(単位:m/s, 55 sec)

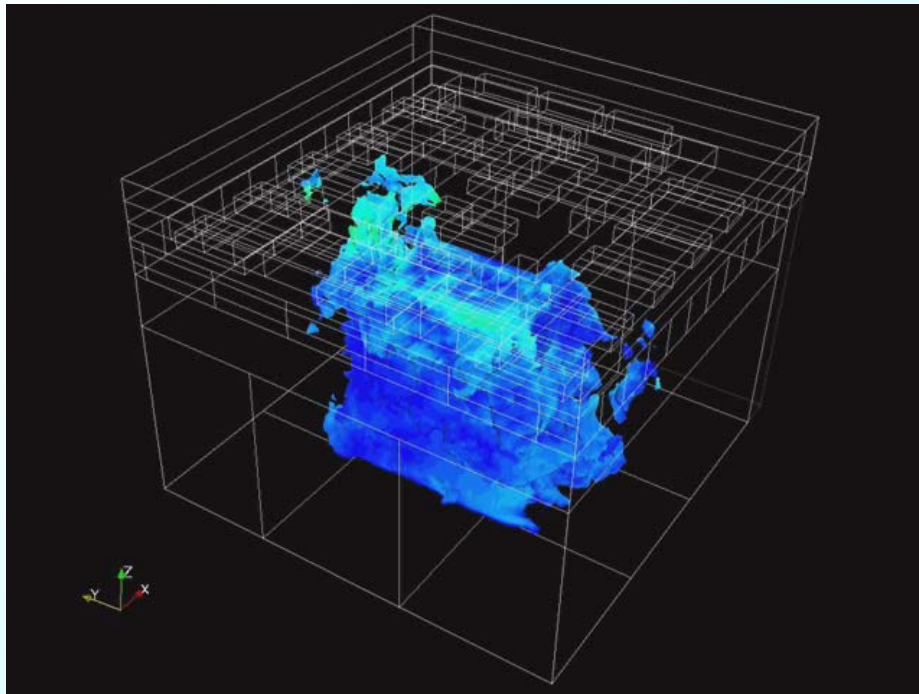
4.2倍速



発熱有り
(単位:m/s, 55 sec)

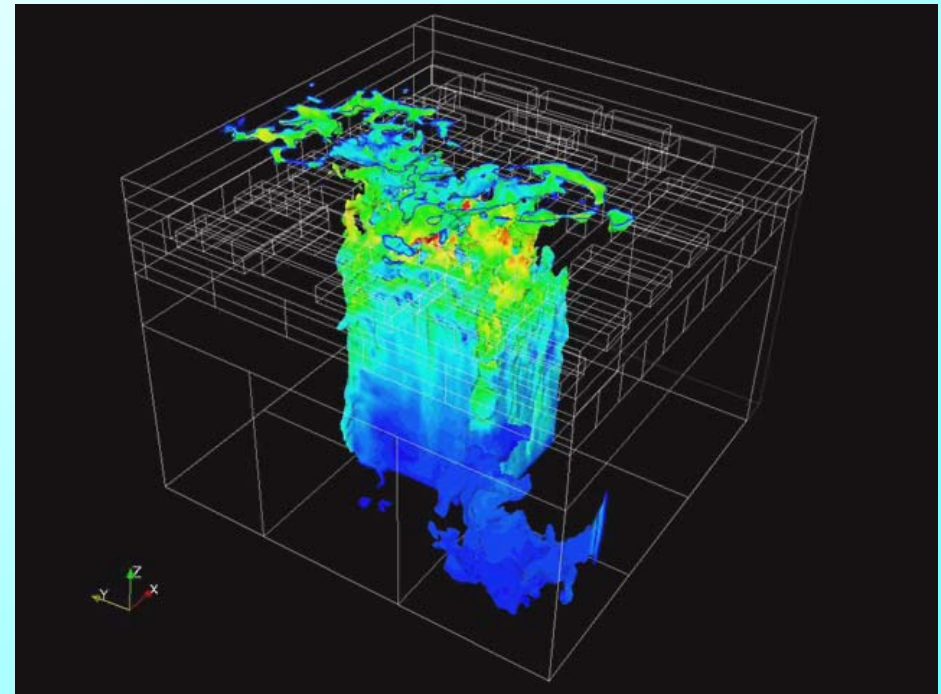
4.2倍速

等濃度面アニメーション（装置表面発生）



発熱無し
(等濃度面: 0.2g/m^3 , 55 sec)

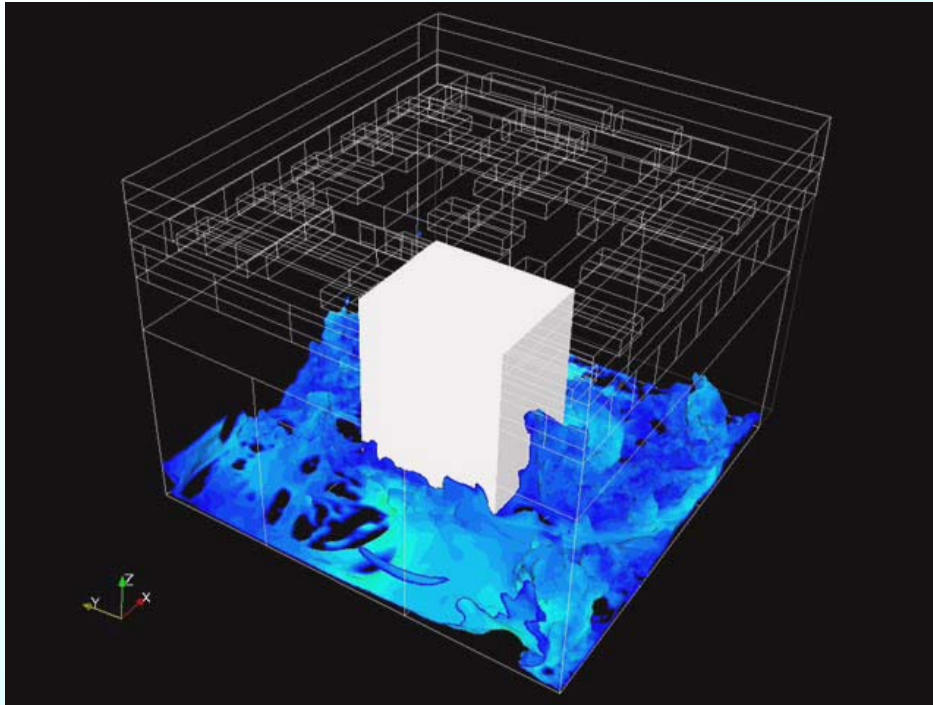
4.2倍速



発熱有り
(等濃度面: 0.2g/m^3 , 55 sec)

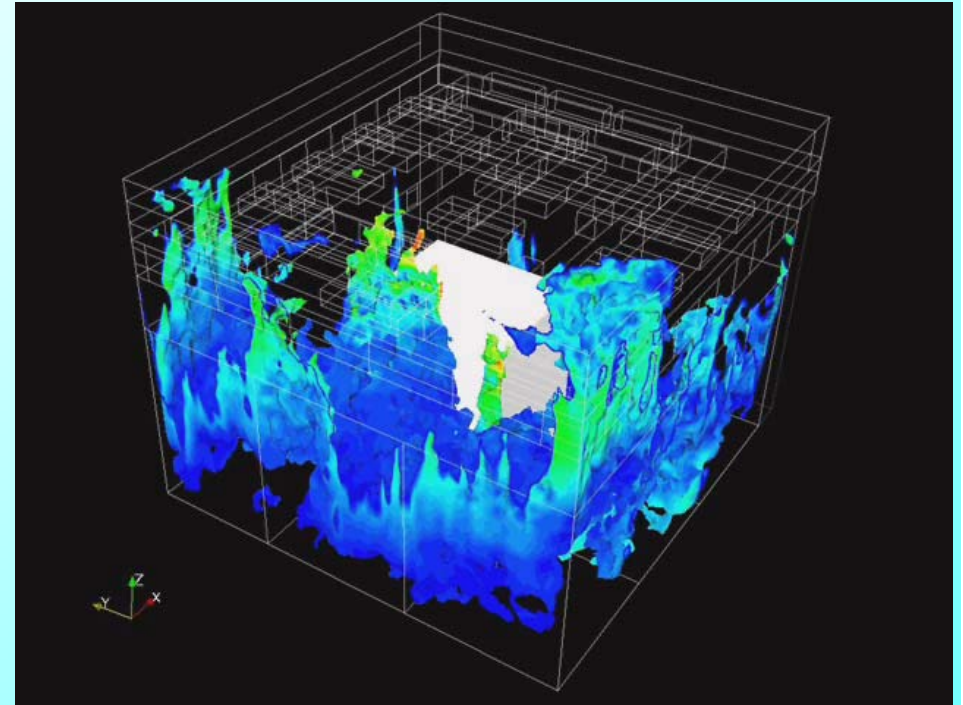
4.2倍速

等濃度面アニメーション（床面発生）



発熱無し
(等濃度面: 0.2g/m^3 , 55 sec)

4.2倍速



発熱有り
(等濃度面: 0.2g/m^3 , 55 sec)

4.2倍速

まとめ

- OpenFOAMを利用したCRレイアウト検討ツールを示した
- 乱流型クリーンルームの流れ場設計に関連した、OpenFOAM-LESの計算例を示した
- 風速分布に関しては、RANSとLESの分布傾向は同じ
- 濃度分布に関しては、RANSとLESの分布傾向は同じだが、RANSは濃度値を過大評価
 - RANSは安全側？
- 空間構成に起因して水平方向の循環流が形成される
 - 空間内に清浄度の序列が出来る
- 発熱により機器周辺の流れが容易に変化する