

オープンCAEシンポジウム2014

「京」コンピュータによる複雑形状建築物  
を対象とした壁面風圧評価のための  
Large-Eddy Simulation

2014年11月14日

- |        |              |
|--------|--------------|
| ○ 挾間貴雅 | 鹿島建設(株)技術研究所 |
| 伊藤嘉晃   | 同            |
| 近藤宏二   | 同            |
| 山本学    | 同            |

# 発表内容

I. はじめに

II. これまでの実績

III. 「京」コンピュータでの実施状況

IV. まとめ・今後の展開

# I . はじめに

# 背景・目的

- 計算機の発達により, 高精度CFDであるLarge-Eddy Simulation (LES) の建築設計への利用が現実になりつつある
  - 風荷重, 外装材設計, 風応答, 自然換気, など
  - 日本建築学会でもCFDによる風荷重評価のためのガイドラインを刊行予定
- 街区に建つ高層建築物を対象にLESを実施し, 風圧係数を風洞実験と比較し, 知見を蓄積
  - 計算負荷が大きいため実施例が少ない, 街区を再現しての実際的な状況下でのLESケース
  - 建築学会ガイドラインへの反映

**要は, 実務で使える「数値風洞」の構築**

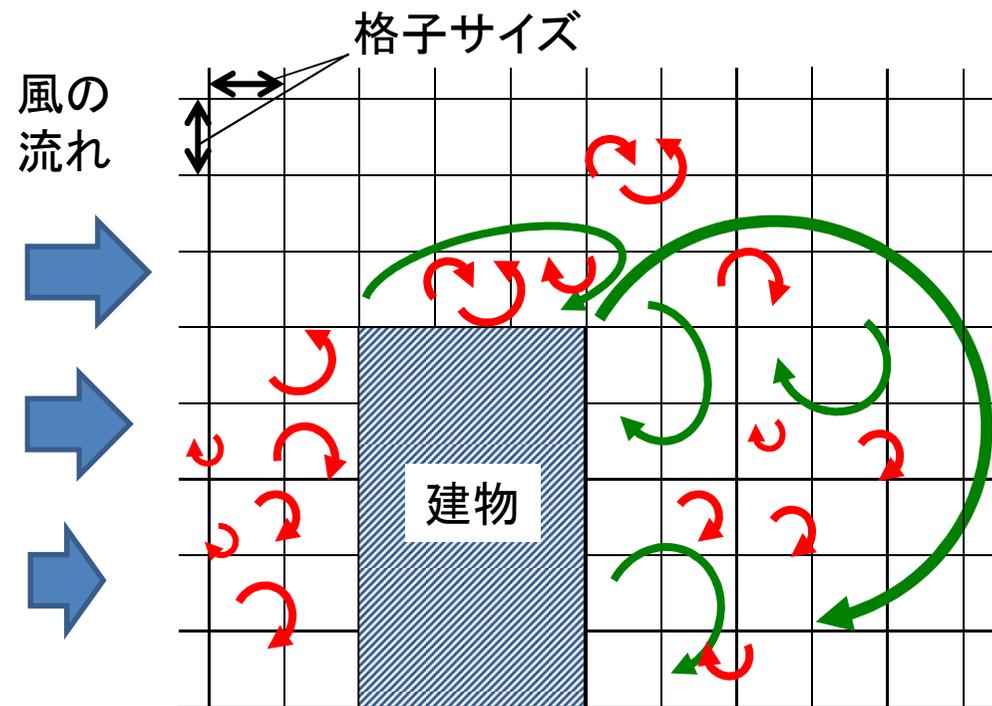
# 建物周りの流れに対するLESの適用

## ■建物周りは「衝突流れ」と「大規模剥流れ」

- 壁面近傍の格子解像度が重要な「遷移流れ」に比べて、現象を特徴づける渦スケールが比較的大きい
- 今日の計算規模で解像可能であり、LESの実適用に期待が高まる

## ■必要なのは建物表面の圧力データ

- 圧力統計量
  - 平均, 変動, 最大, 最小
  - 層間風力, 等
- 圧力時刻歴
  - 転倒モーメント, 等

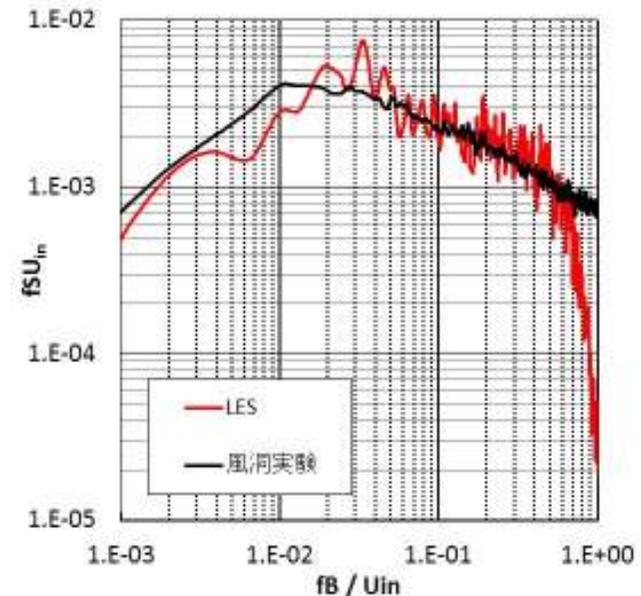


建物周りの渦のイメージ

# LESで風圧評価を行う際のポイント

## ■ 流入風性状

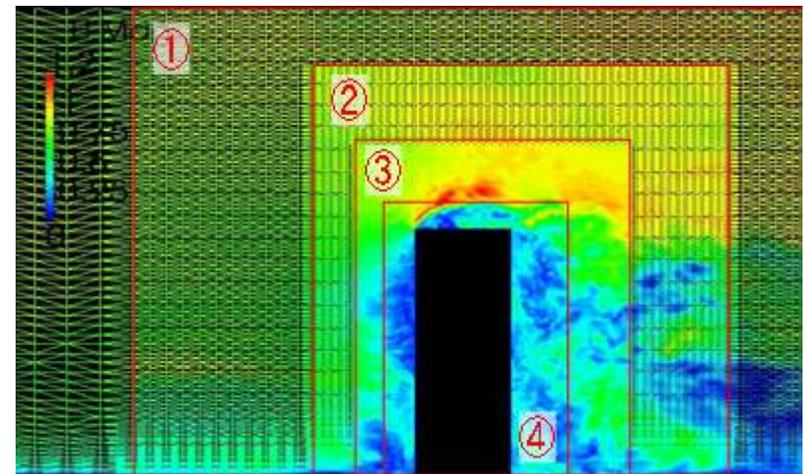
- 実際の大気乱流性状を模擬した流入風を再現
  - 速度プロファイル
  - パワースペクトル分布
- 模擬変動風＋周期境界ドライバで作成(伊藤ら, 2014)



流入風主流方向のパワースペクトル

## ■ 計算メッシュ解像度

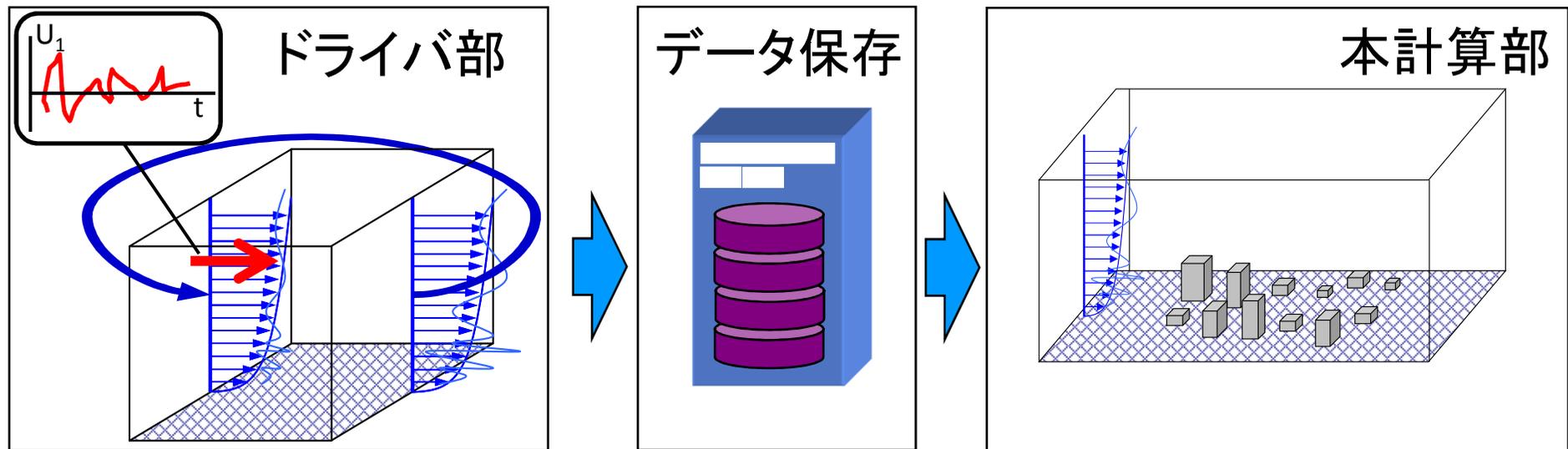
- 最小格子幅は, 建物見附幅の1/100程度(AIJ PD, 2013)
- 直交格子ベースのネスティングメッシュを使用



ネスティングによる格子解像度

# 流入風

- 「流入境界条件」が予測性能に重要な役割
- 現在はドライバ部にて流入風を作製→データ保存
  - 周期境界+模擬変動による乱れ発達(伊藤ら2014)
- 本計算部の流入境界条件に「timeVaryingFixedValue」

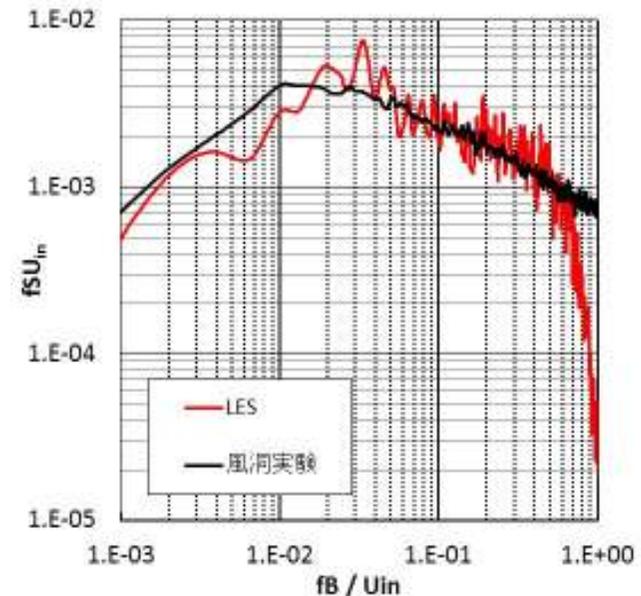


LES計算時の実行手順

# LESで風圧評価を行う際のポイント

## ■ 流入風性状

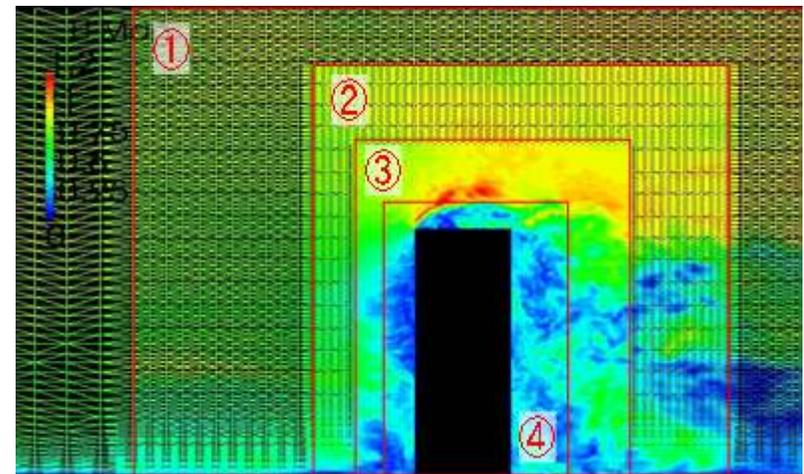
- 実際の大気乱流性状を模擬した流入風を再現
  - 速度プロファイル
  - パワースペクトル分布
- 模擬変動風＋周期境界ドライバで作成(伊藤ら, 2014)



流入風主流方向のパワースペクトル

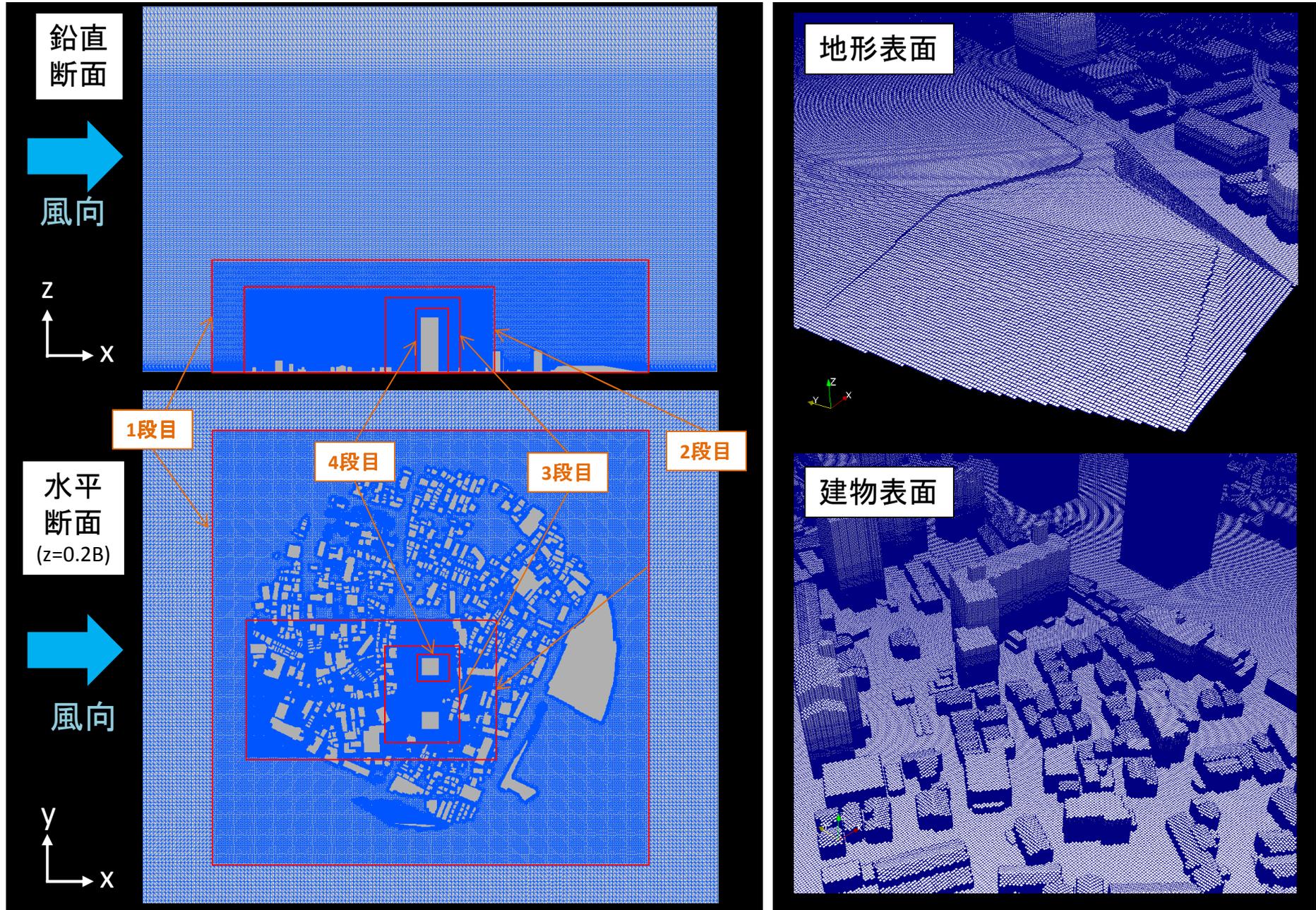
## ■ 計算メッシュ解像度

- 最小格子幅は, 建物見附幅の1/100程度(AIJ PD, 2013)
- 直交格子ベースの  
ネスティングメッシュを使用



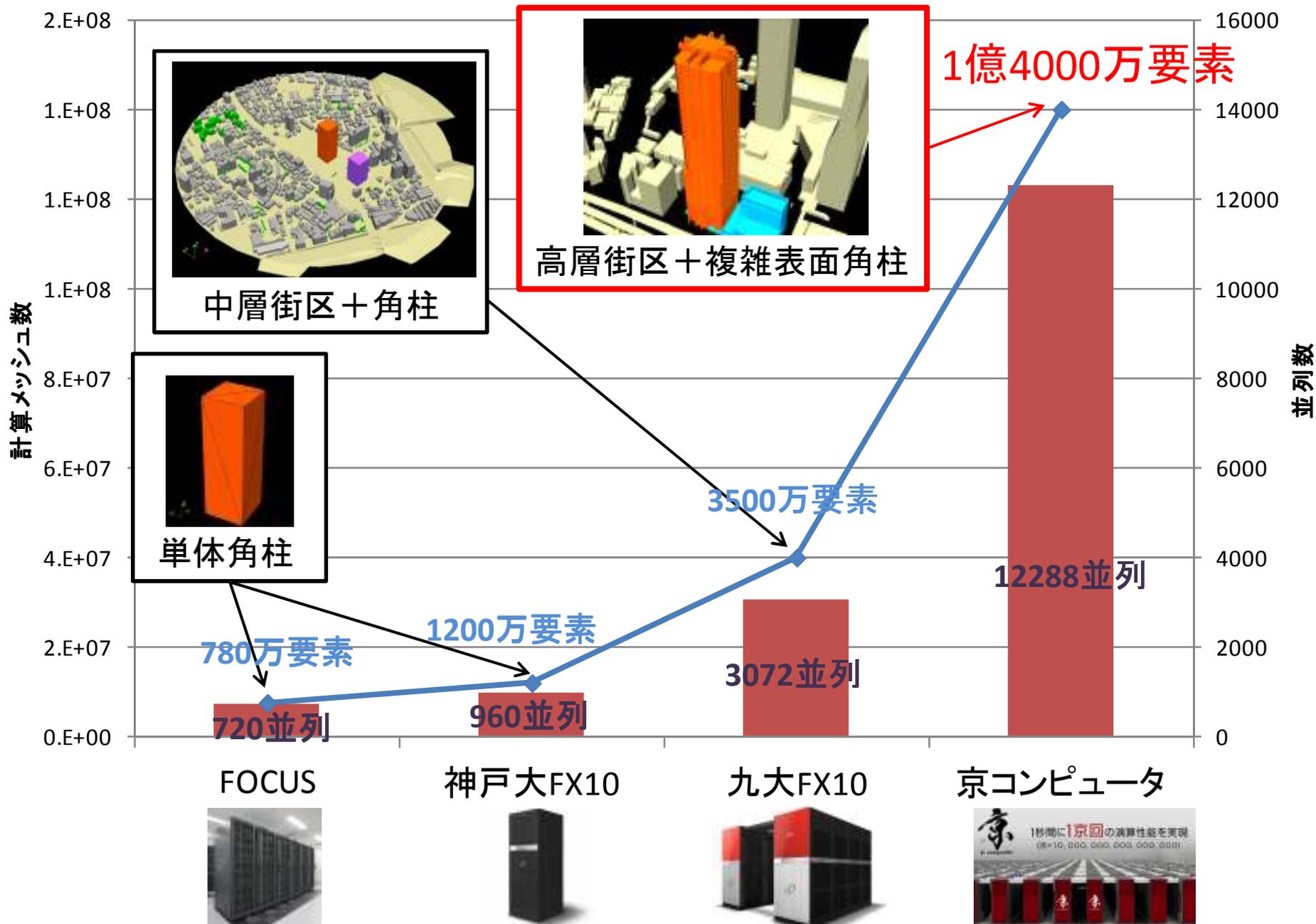
ネスティングによる格子解像度

# 計算メッシュ例(中層街区)



## Ⅱ. これまでの実績

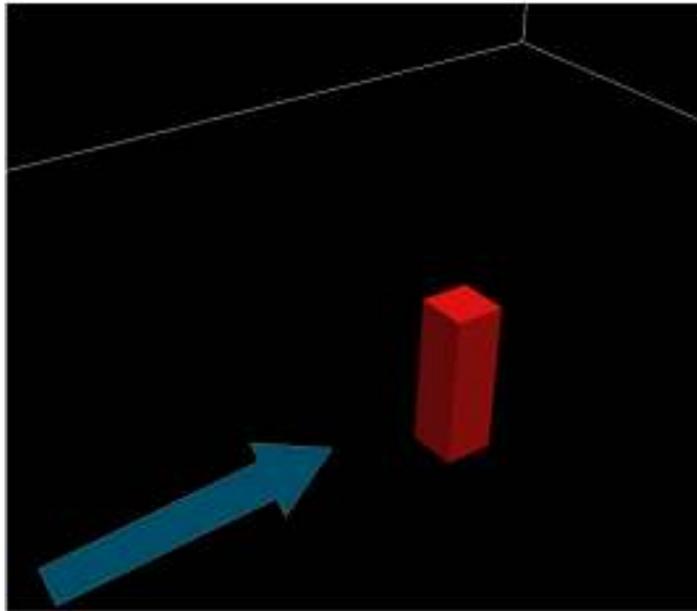
# LES実施規模と計算リソース



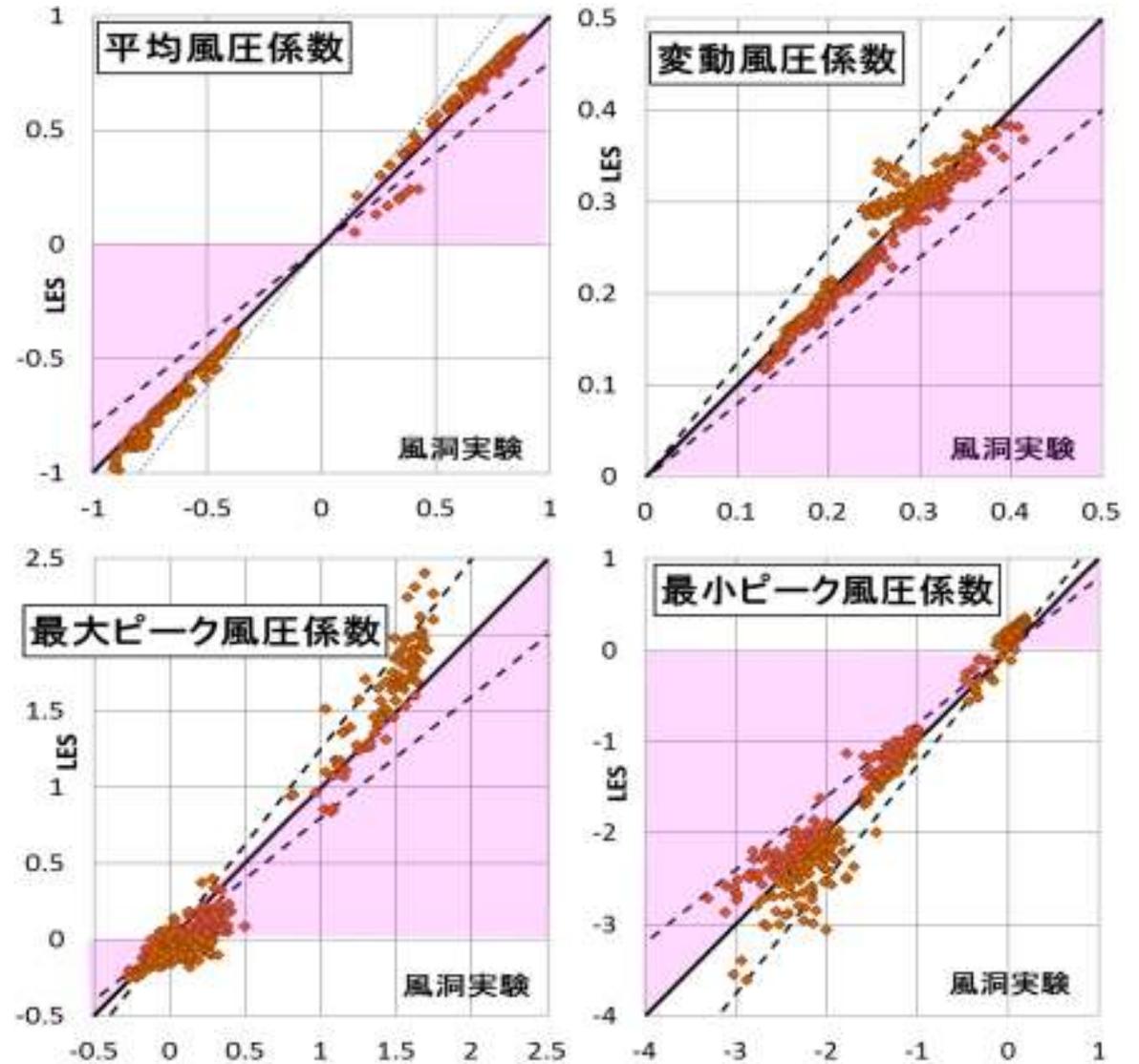
# 計算条件の概要

- 使用コード : pisoFoam on OpenFOAM-2.2.2
- SGSモデル : 標準Smagorinsky ( $C_s=0.12$ )
- 基準風速  $U_{in}$  : 流入面での3B高さの平均主流風速
- 計算時間 :  $\tau \cdot U_{in} / B = 840$  (実スケール10分相当)
- レイノルズ数 :  $U_{in} \cdot B / \nu = 65000$
- 計算メッシュ数 : 約1200~3500万要素
- 移流項差分 : 2次精度中心 + 最大20%風上化
- 時間差分 : 2次精度陰解
- 流入境界条件 : 準周期境界発達に模擬変動を付加した  
ドライバ部にて生成した変動風(伊藤ら,2014)
- 実験との比較 : 実スケール10分  $\times$  4のアンサンブル平均  
した風洞実験結果と比較

# 実施例①: 単体角柱

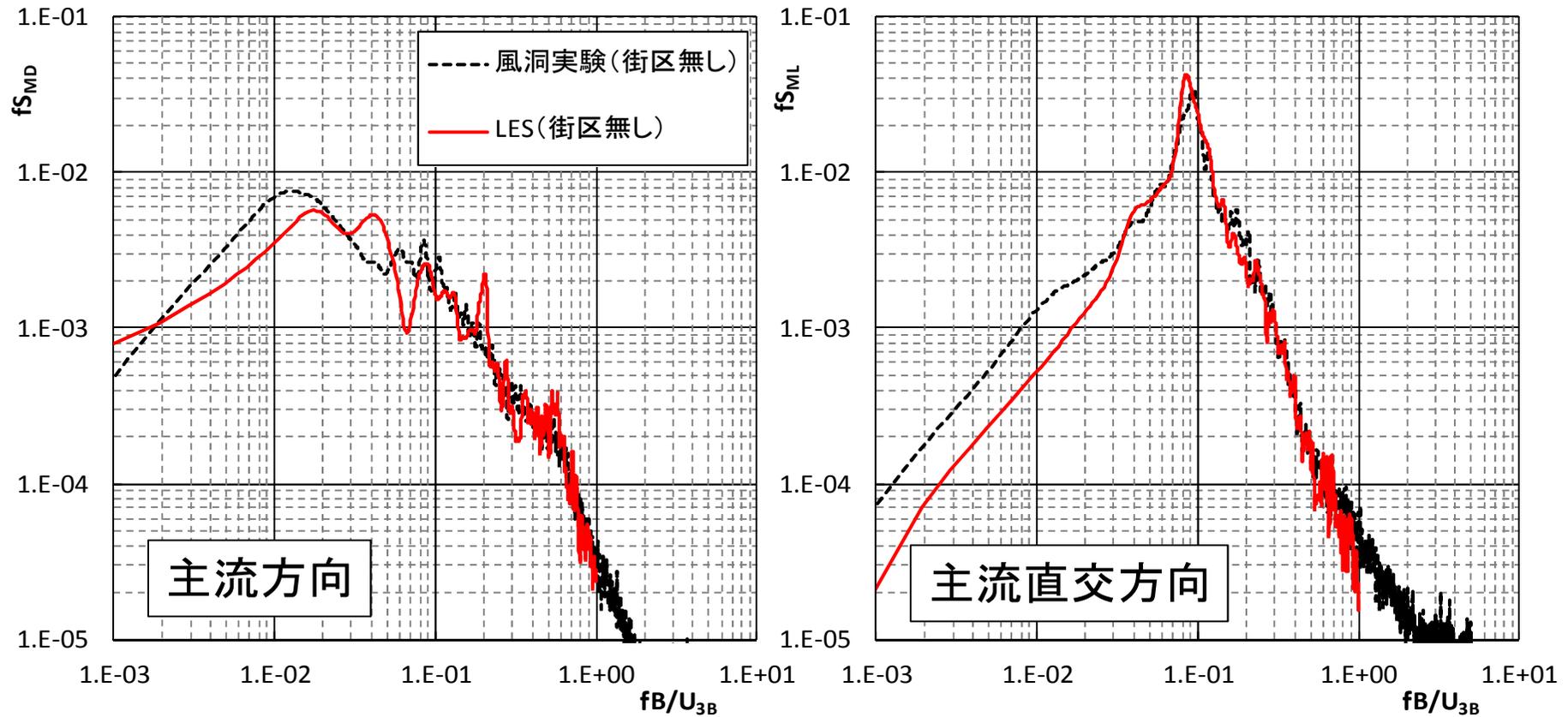


計算対象



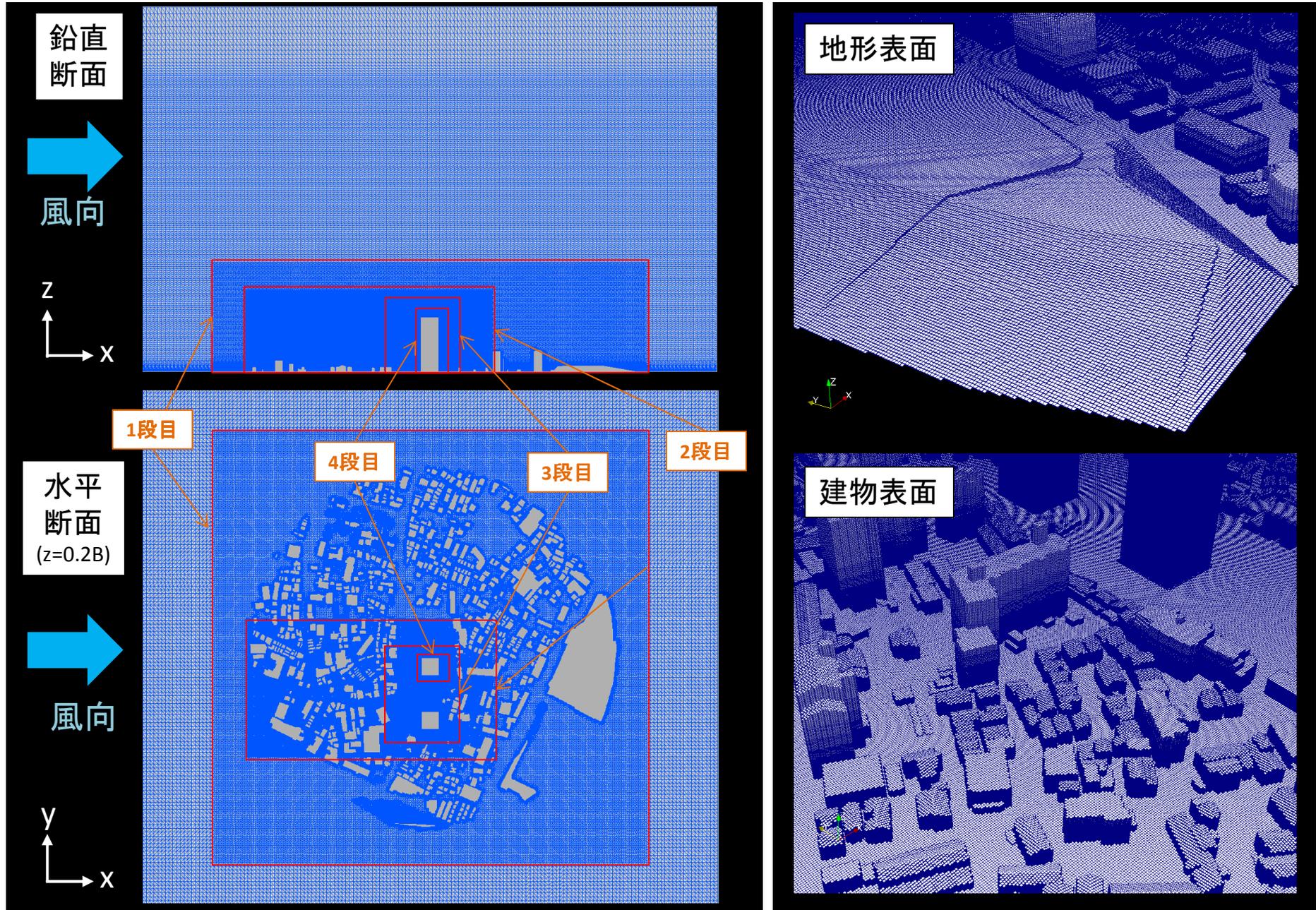
風圧係数の比較

# 実施例①: 単体角柱

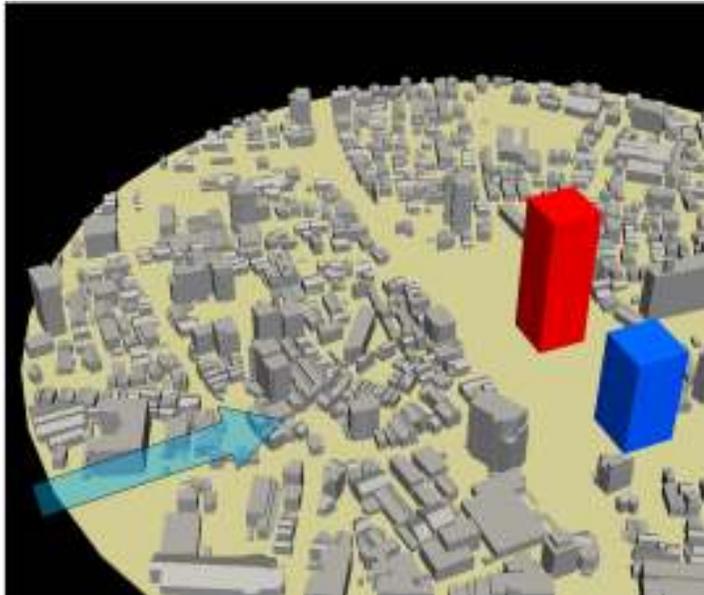


転倒モーメント係数スペクトル

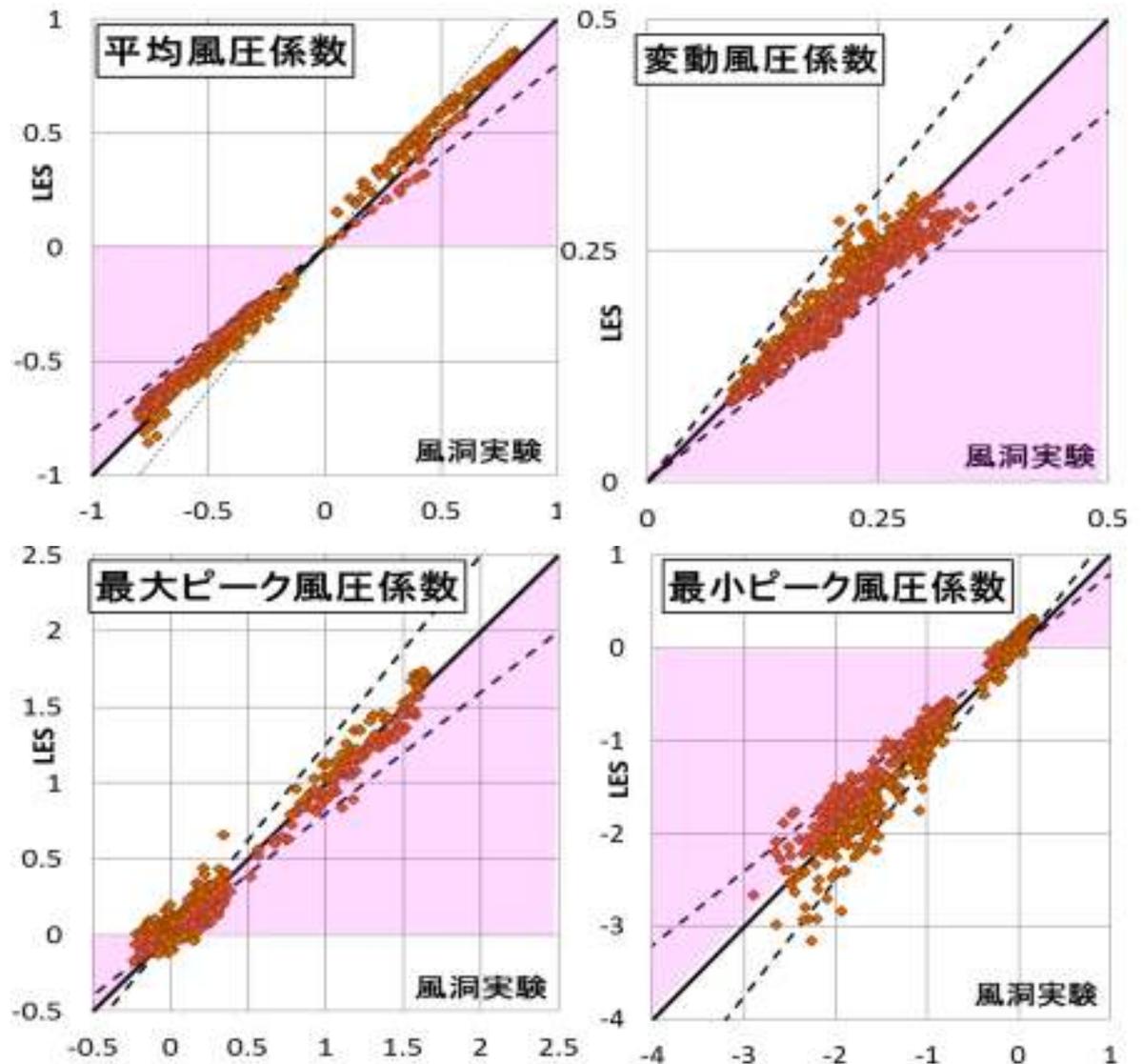
# 实施例②：中層街区十角柱



# 実施例②: 中層街区+角柱

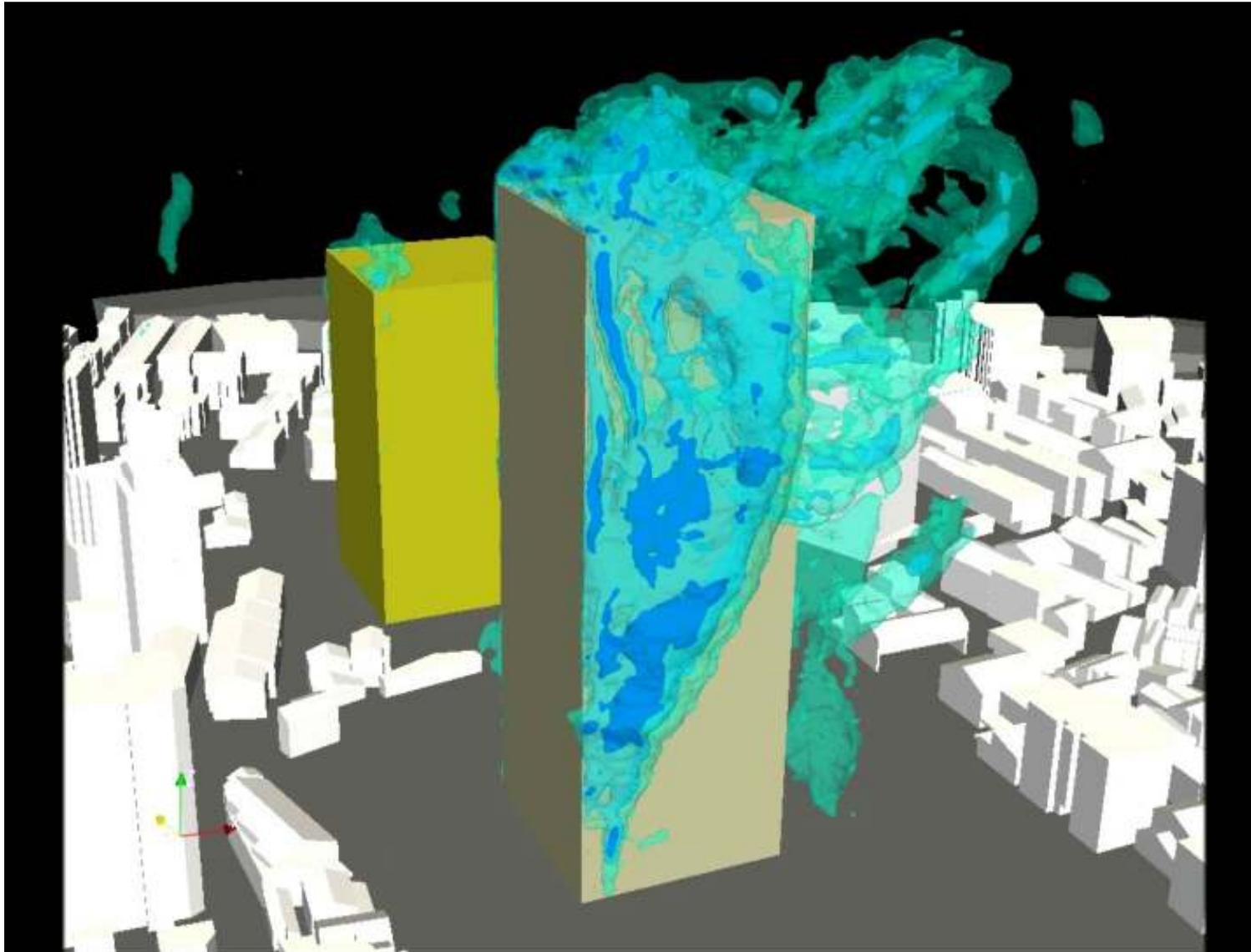


計算対象



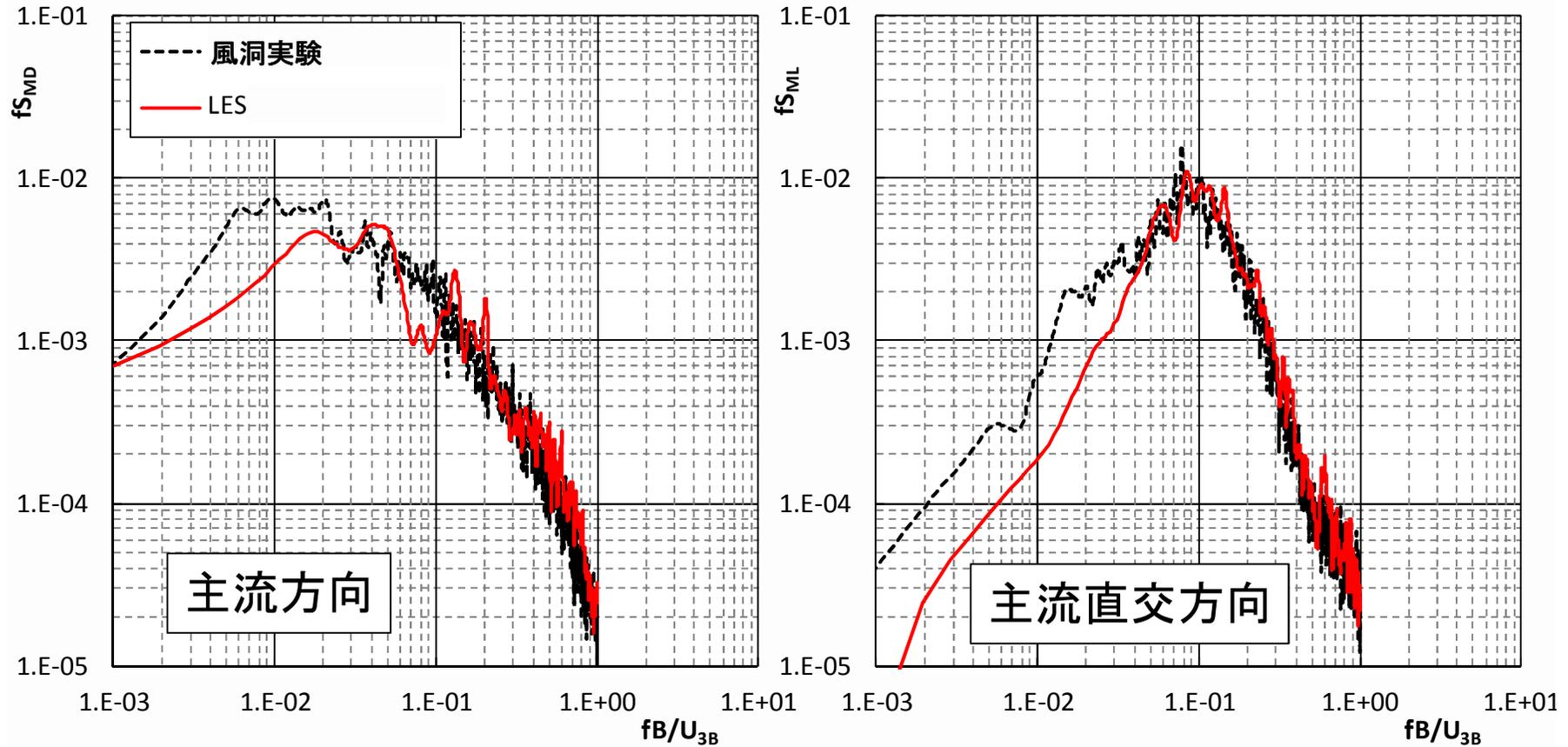
風圧係数の比較

## 実施例②：中層街区＋角柱



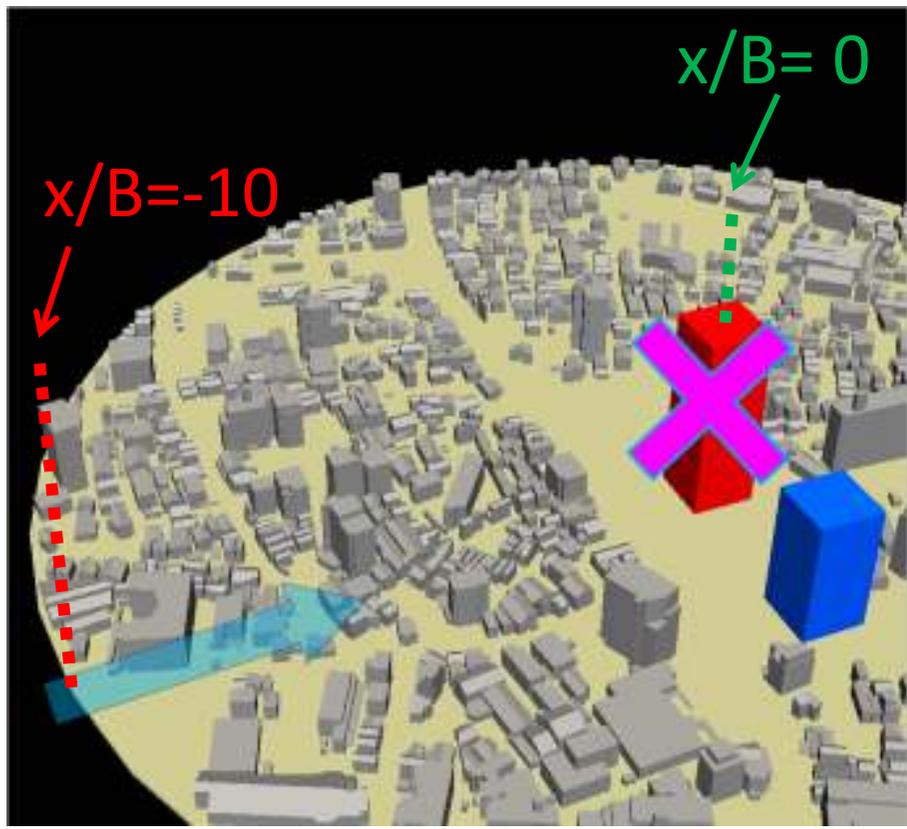
瞬時圧力の等値面アニメーション ( $p = -0.2, -0.3, -0.5$ )

# 実施例②：中層街区＋角柱

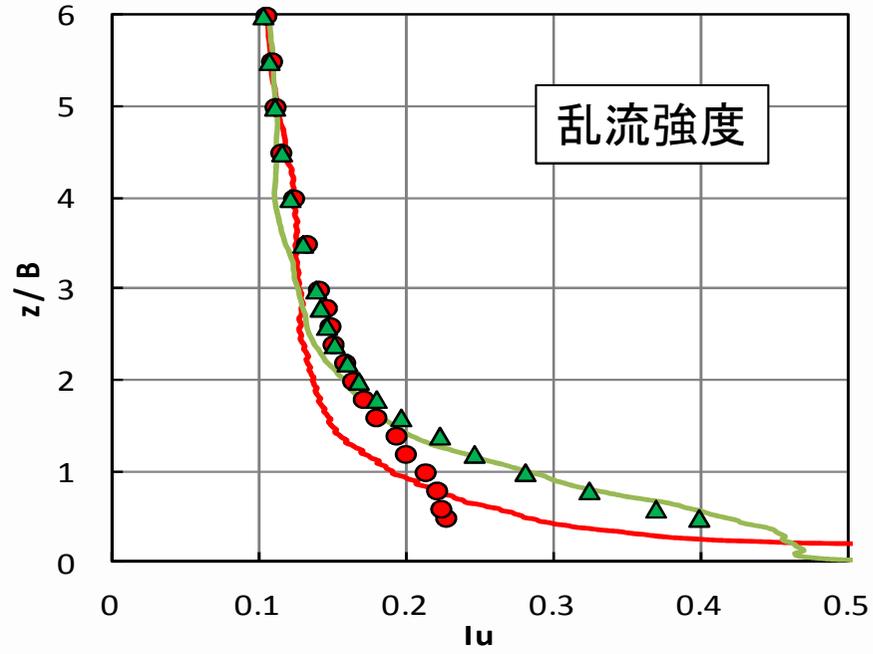
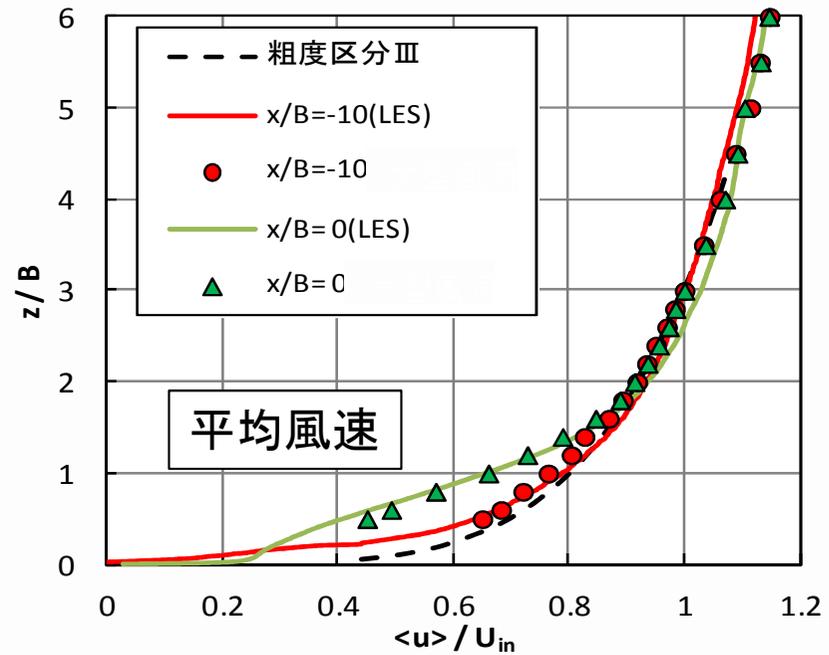


転倒モーメント係数スペクトル

# 実施例③： 中層街区の通過



計算対象



街区通過に伴う風鉛分布の変化

## Ⅲ. 「京」コンピュータでの 実施状況

# 「京」コンピュータを使用する理由

## ■複雑表面を有する建物形状をメッシュで解像する必要

- 解像しないと風圧が合わない
- インナーバルコニーの場合,  $0(10^{-1})$ mで最小メッシュを切る必要がある



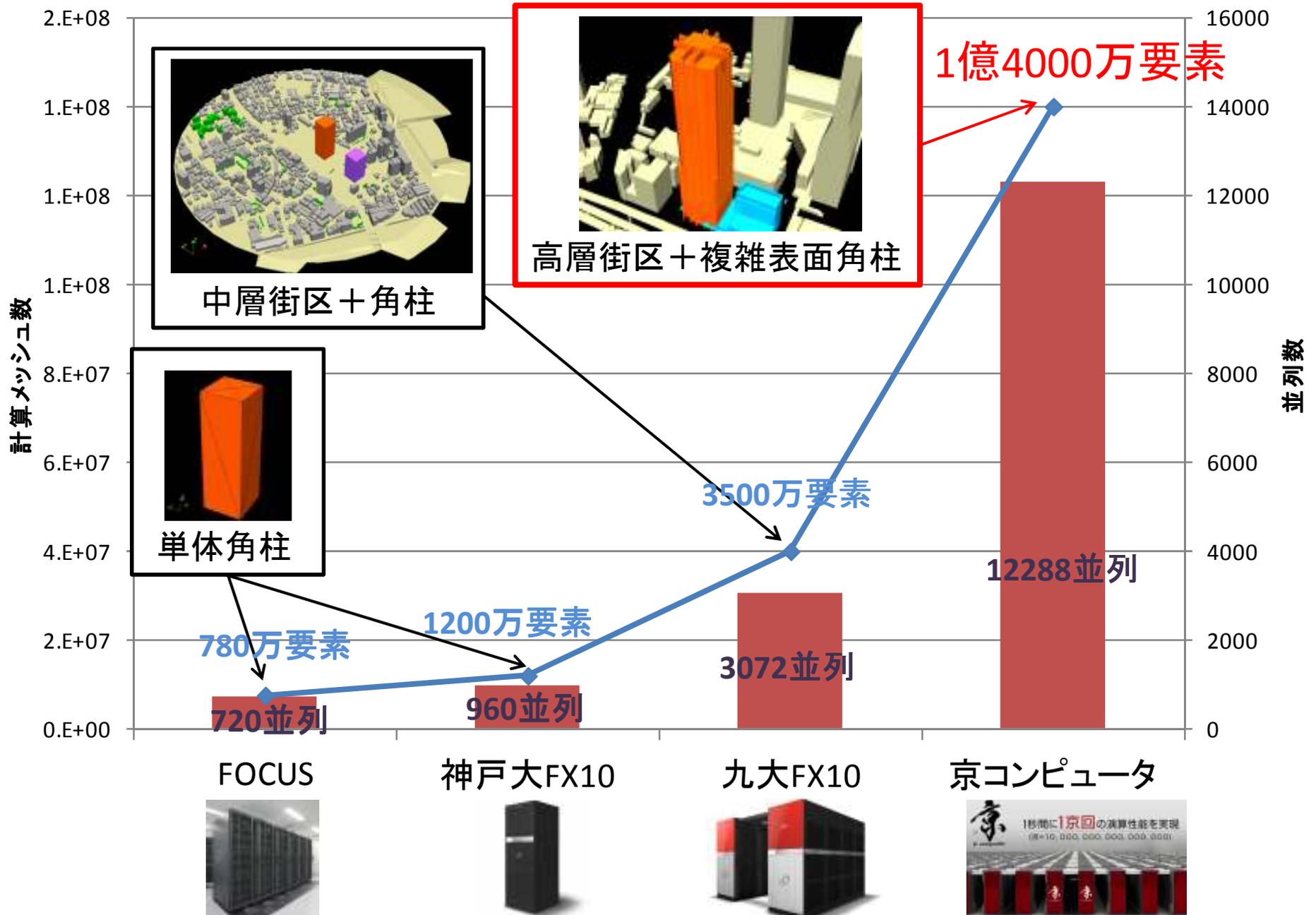
## ■滑面形状に比べて計算メッシュ数が飛躍的に増加

- 街区有りの場合, 3500万要素(滑面)から1億4000万に飛躍的に増加

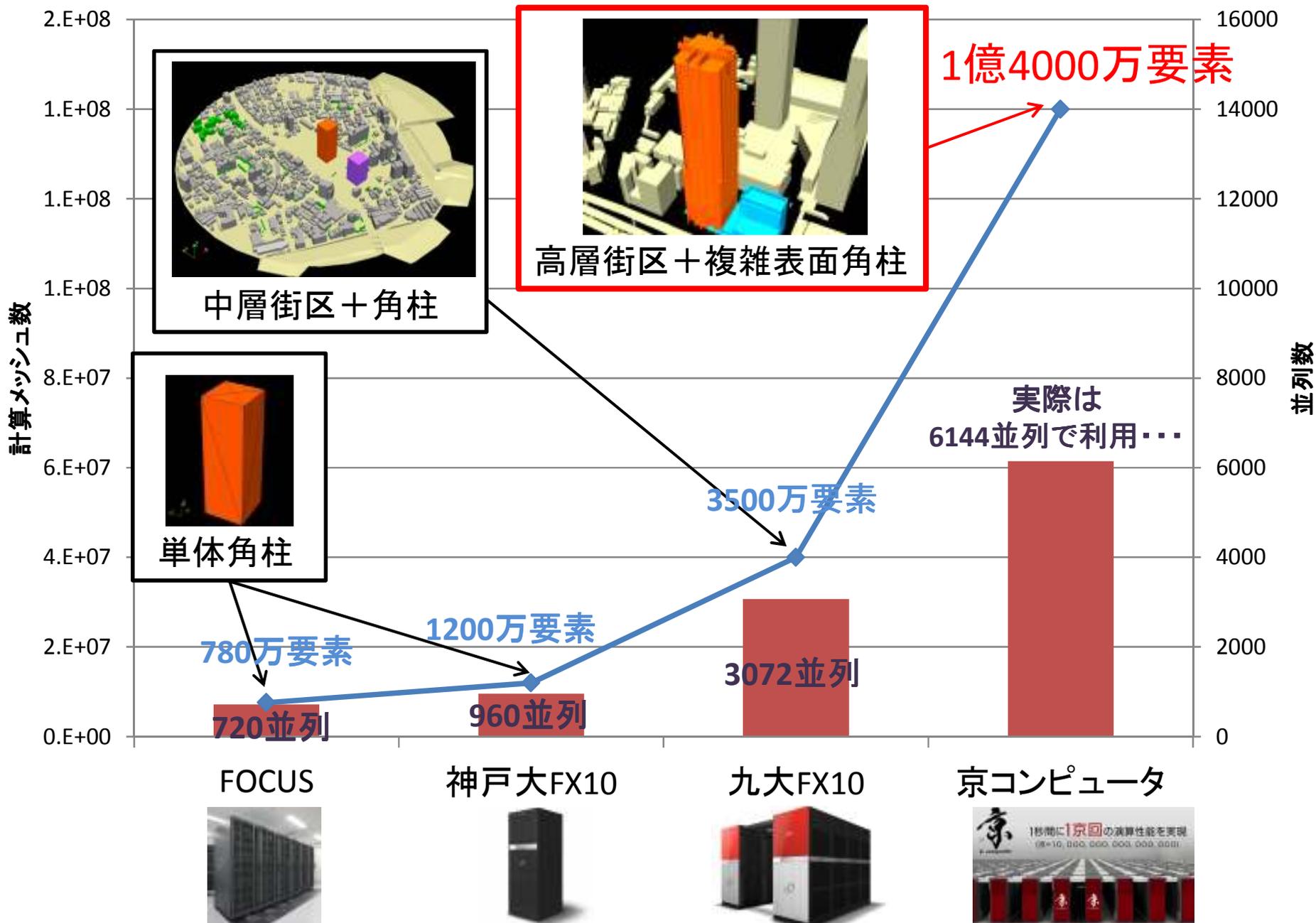


「京」コンピュータへ公募  
(資源配分: 60万ノード・時間)

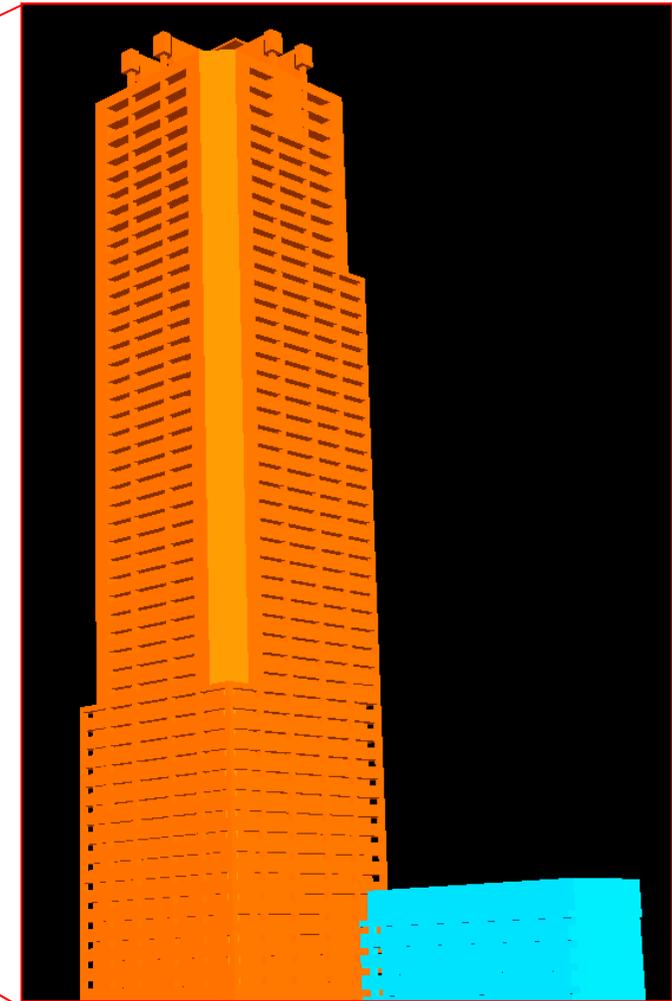
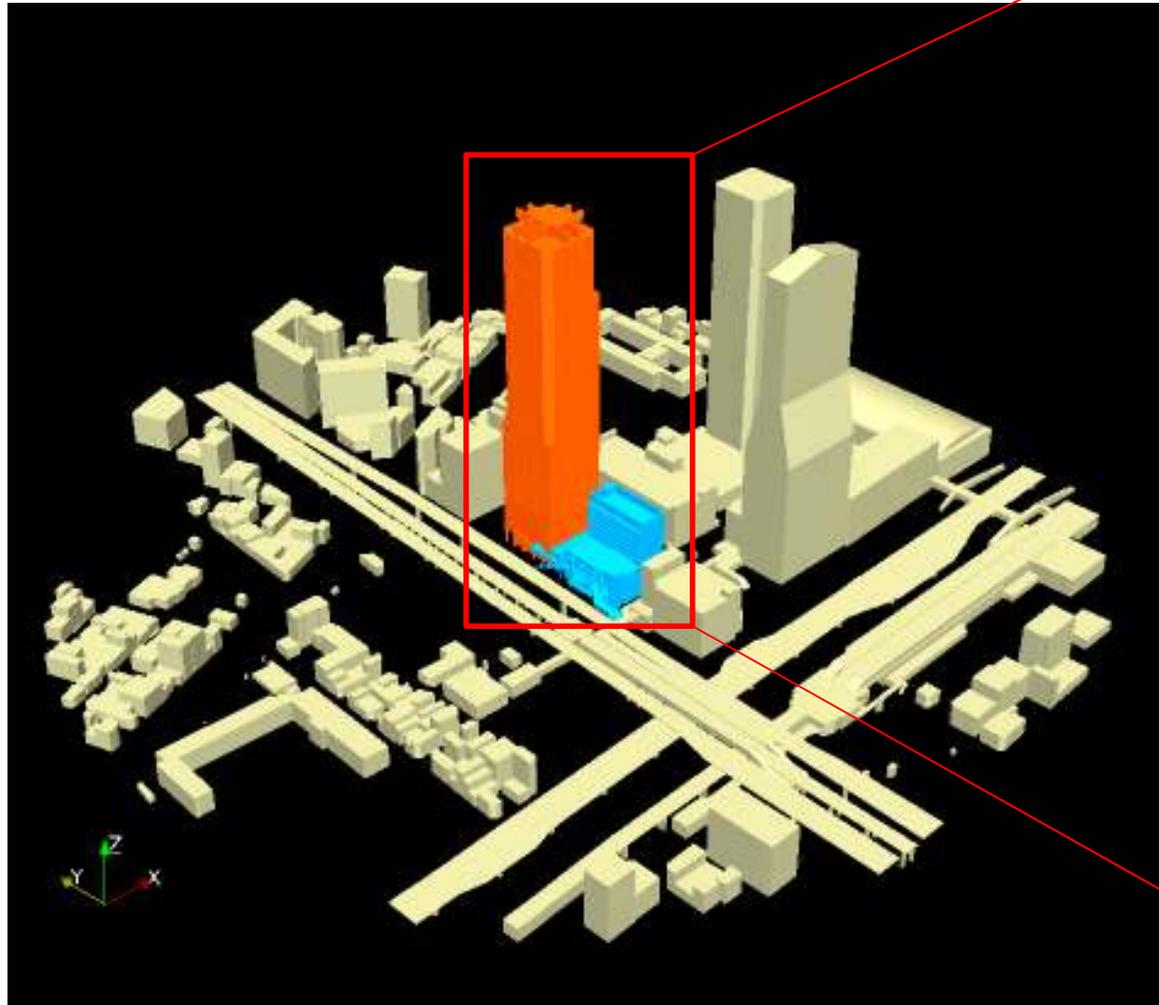
# LES実施規模と計算リソース(再掲)



# LES実施規模と計算リソース(再掲)



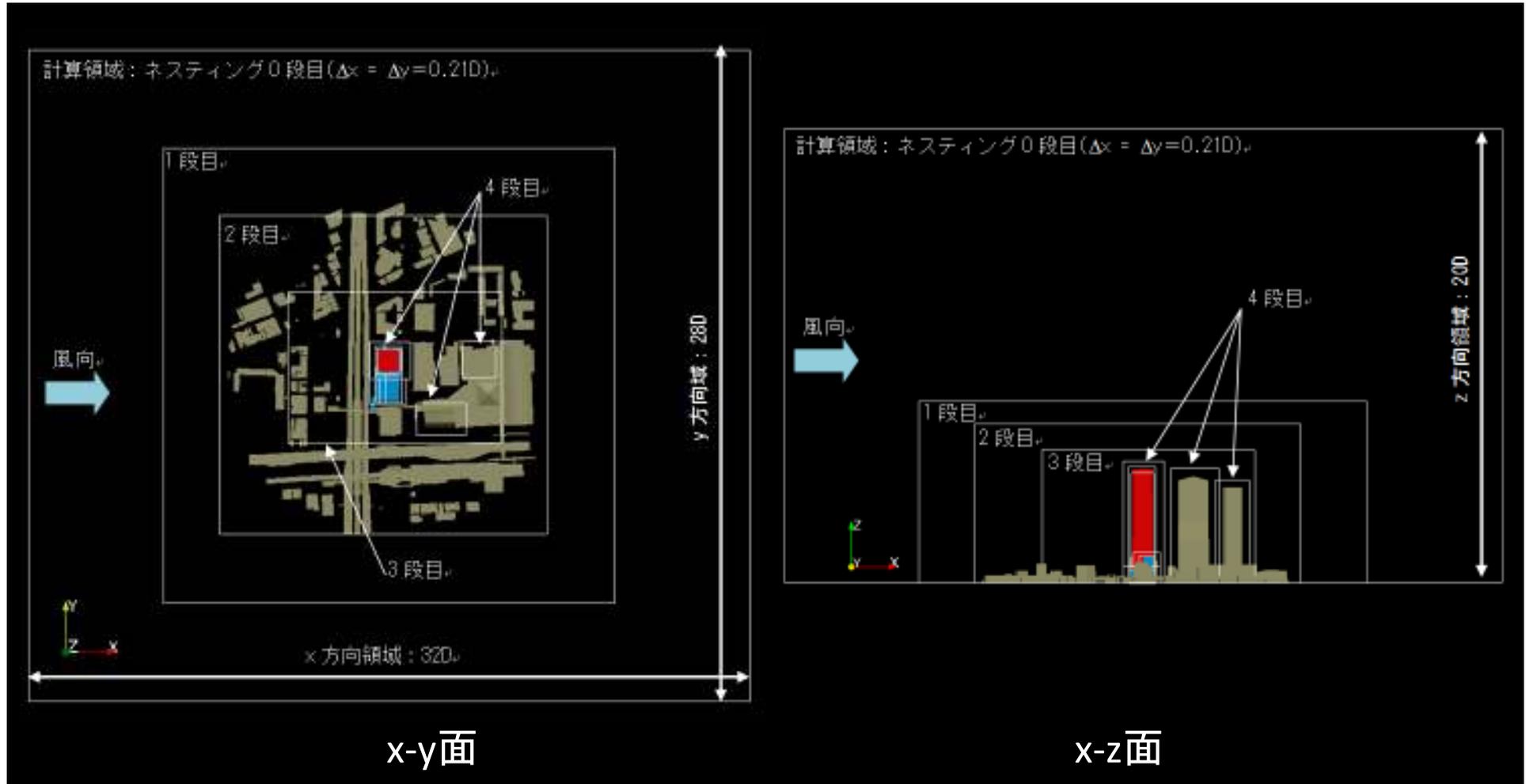
# 計算対象



対象建物拡大

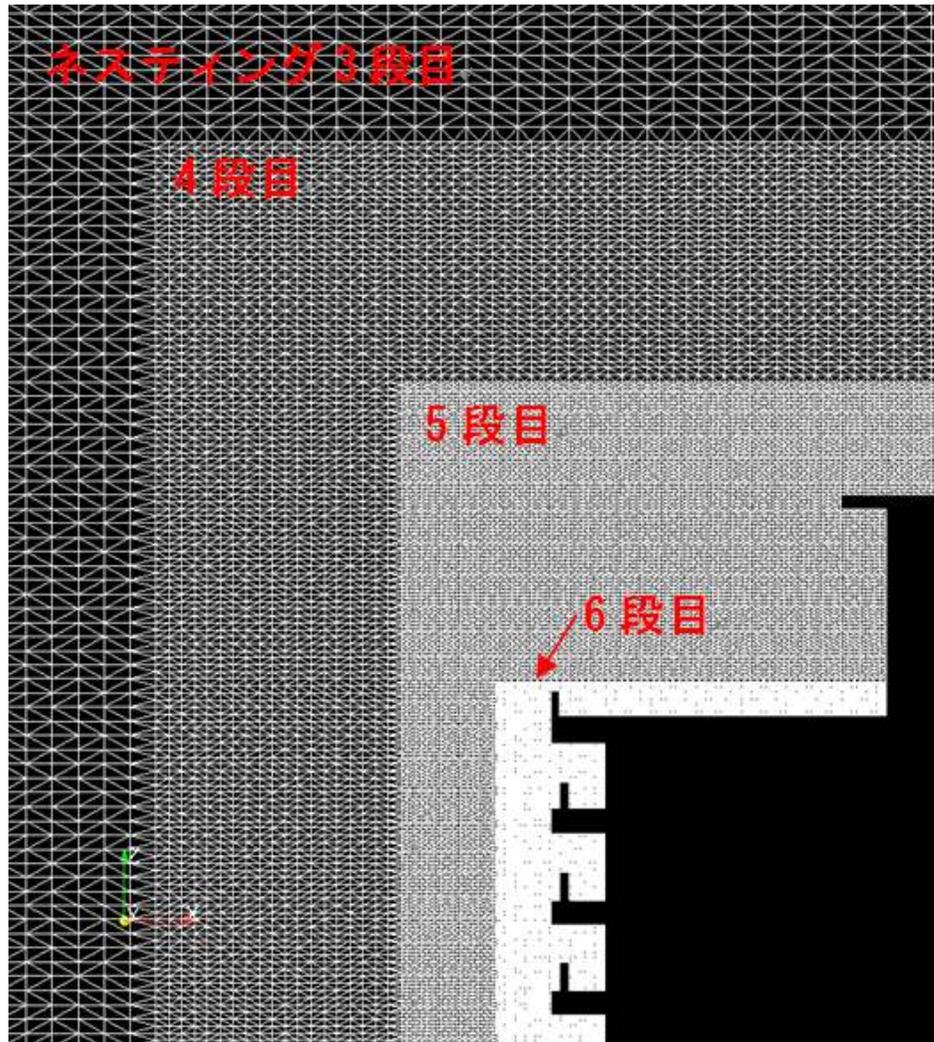
対象建物および周辺街区（街区再現範囲：半径280m）

# 計算領域

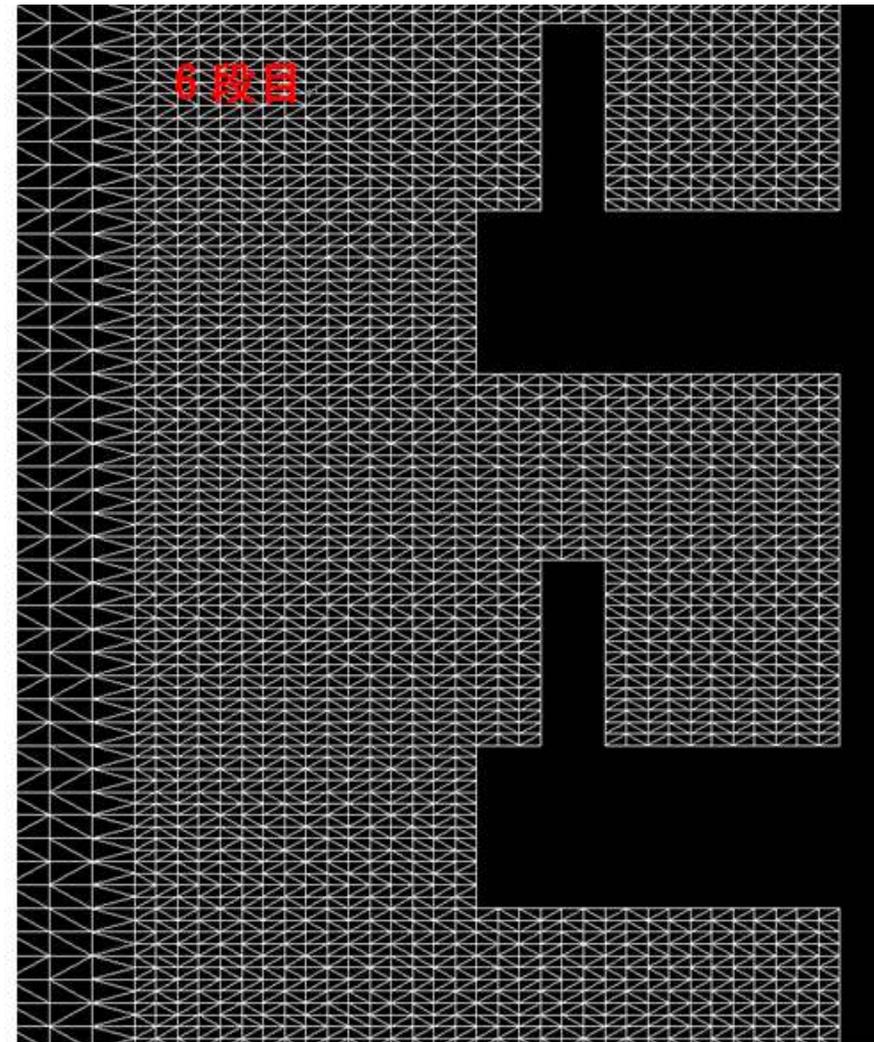


計算領域およびネスティング範囲

# 計算メッシュ

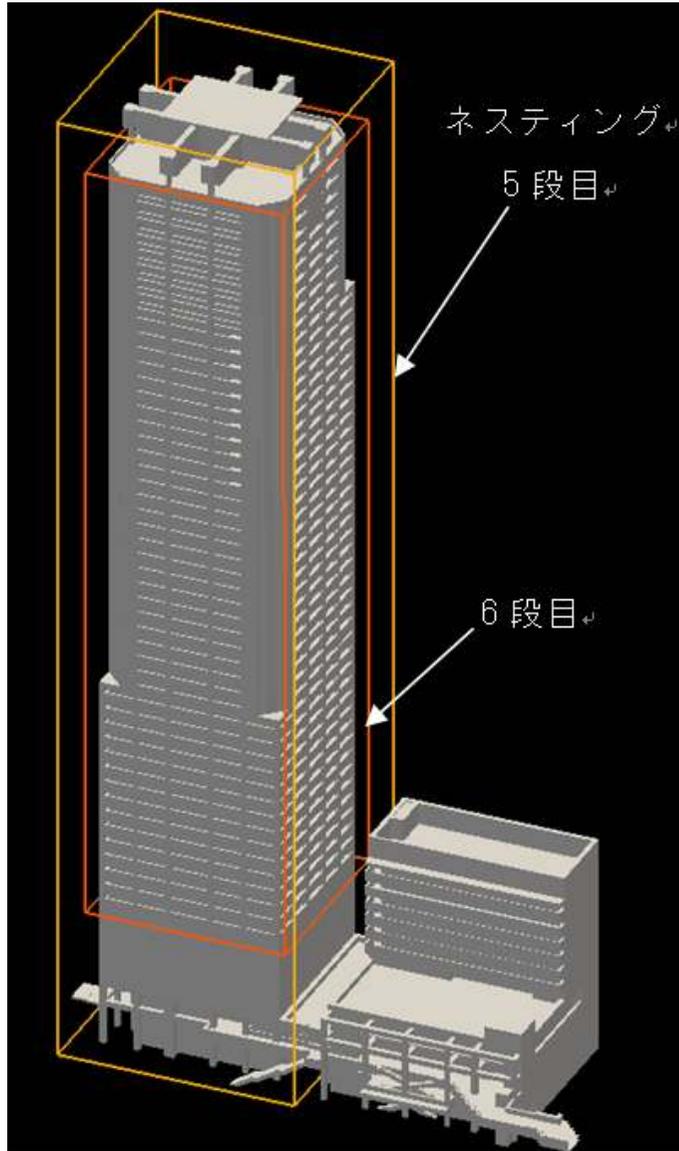


建物表面近傍

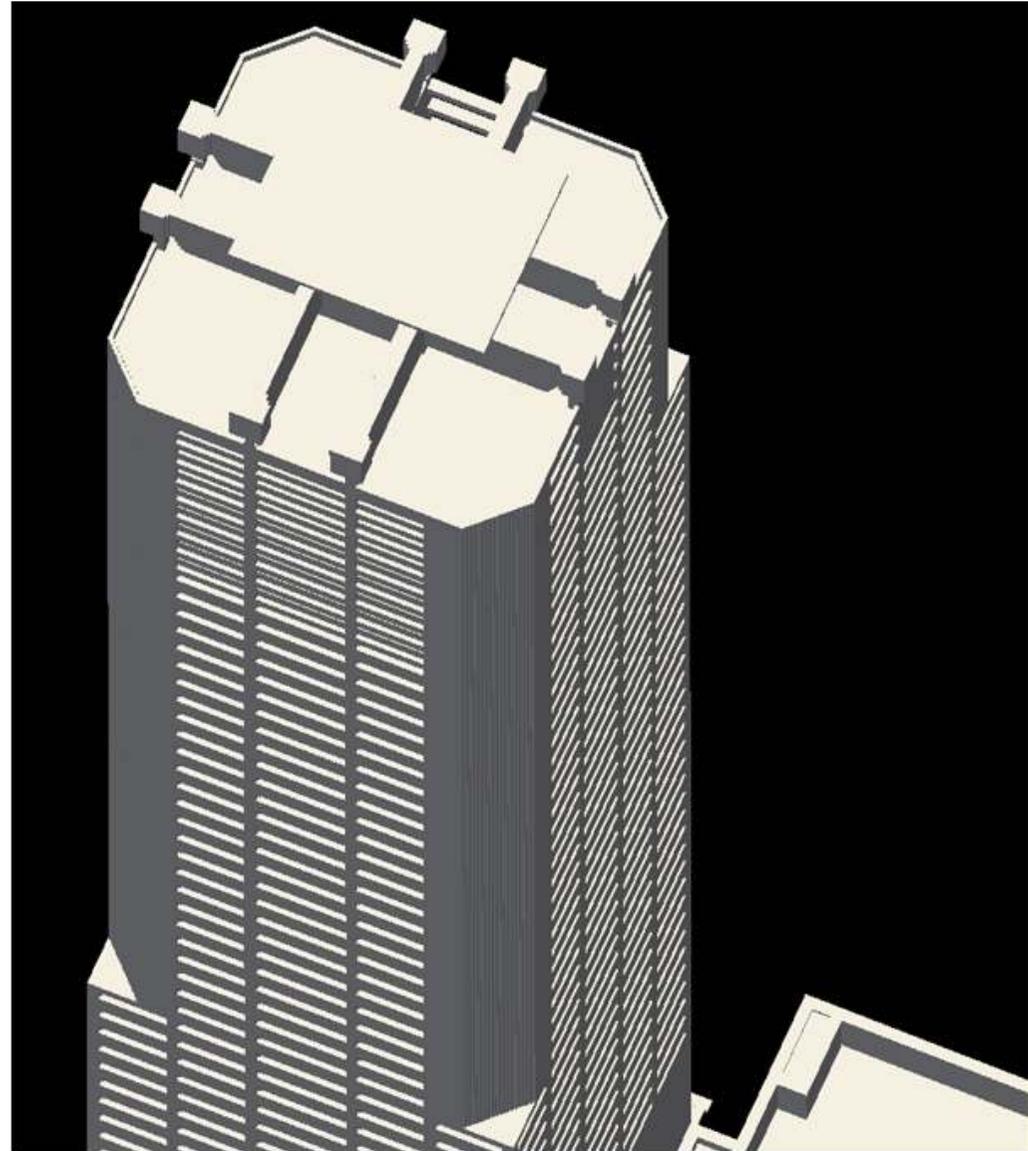


バルコニー近傍

# 計算メッシュ(対象建物)

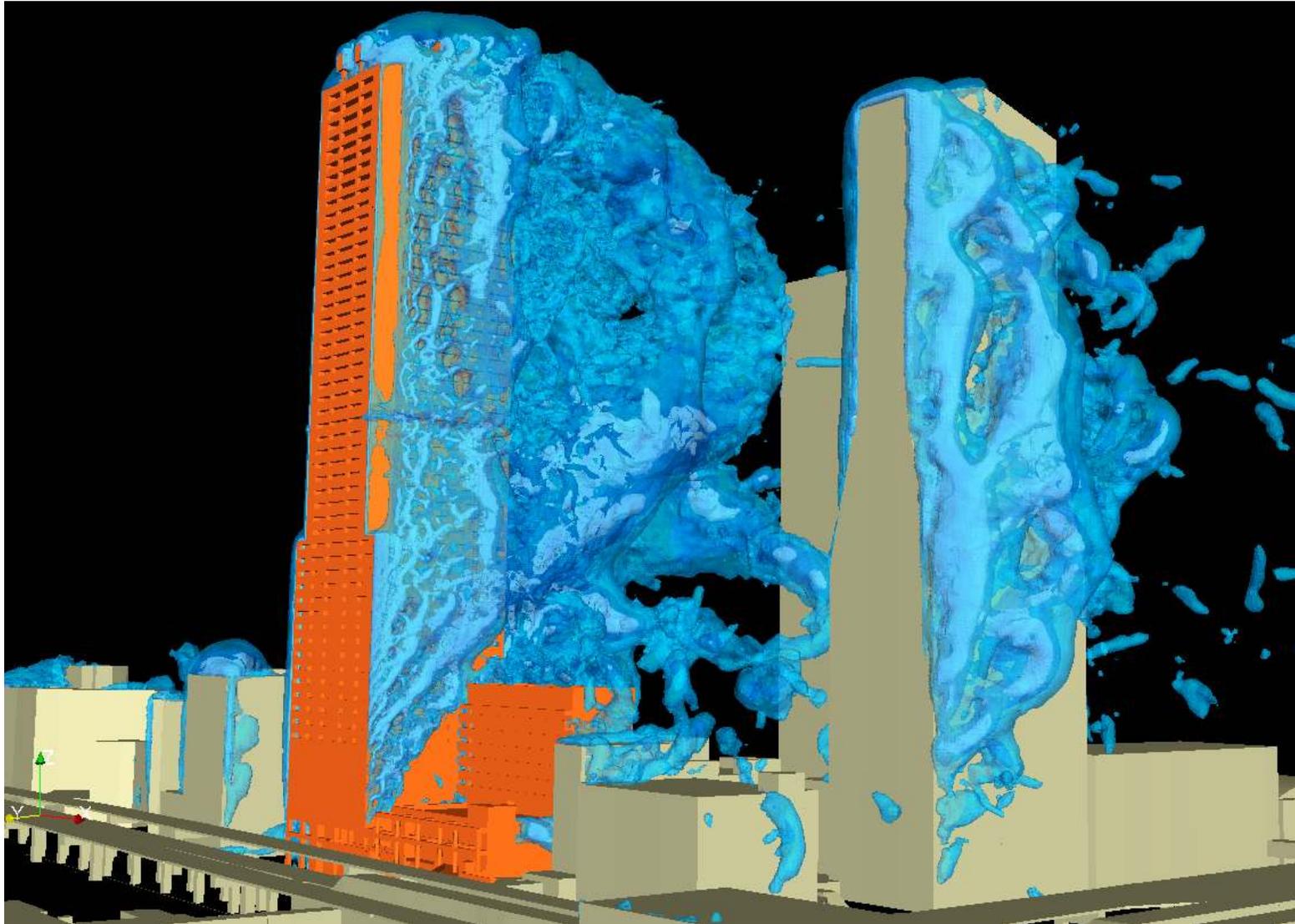


対象建物表面



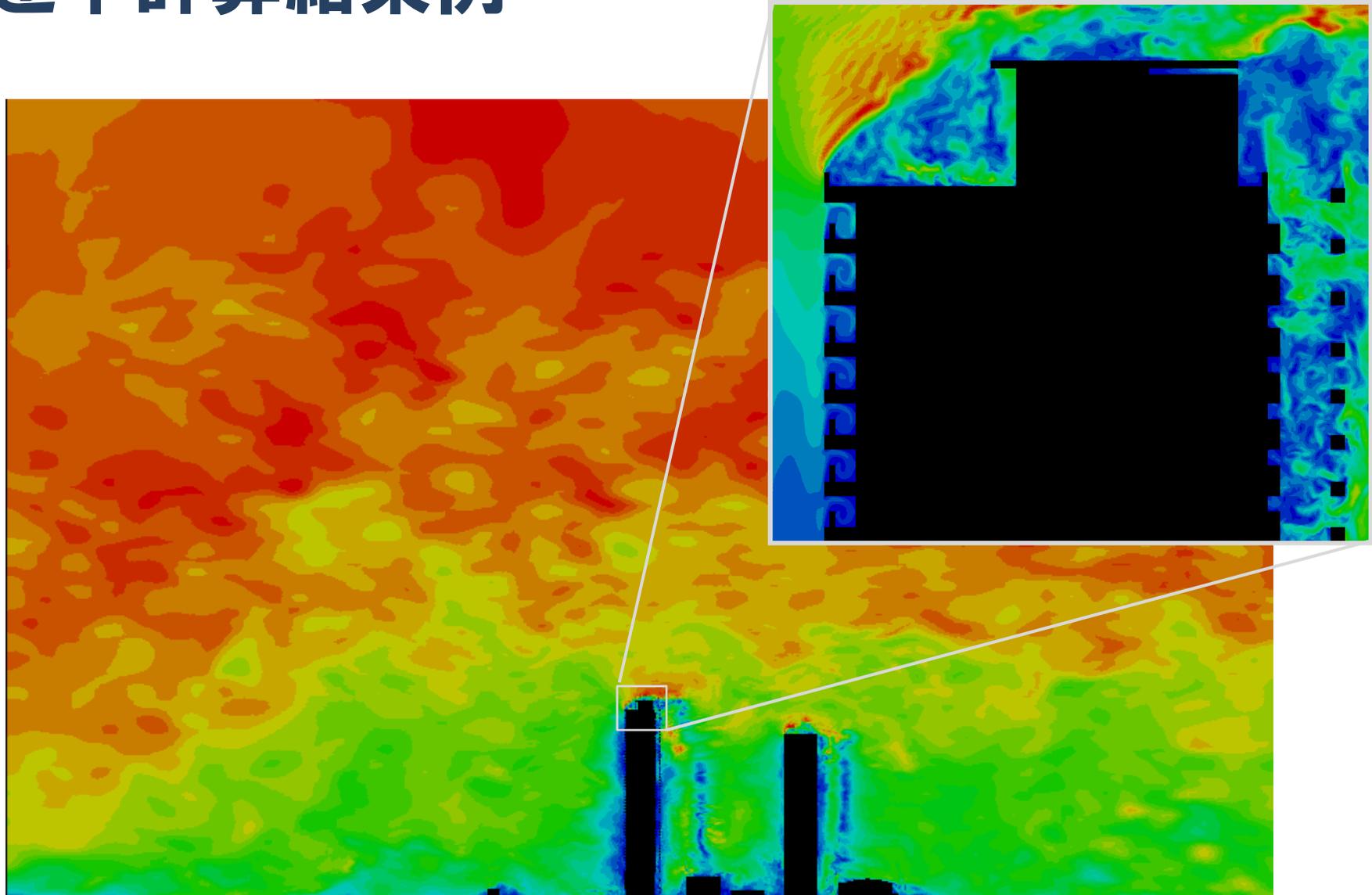
対象建物の隅切り表現

# 流れ場構造の可視化



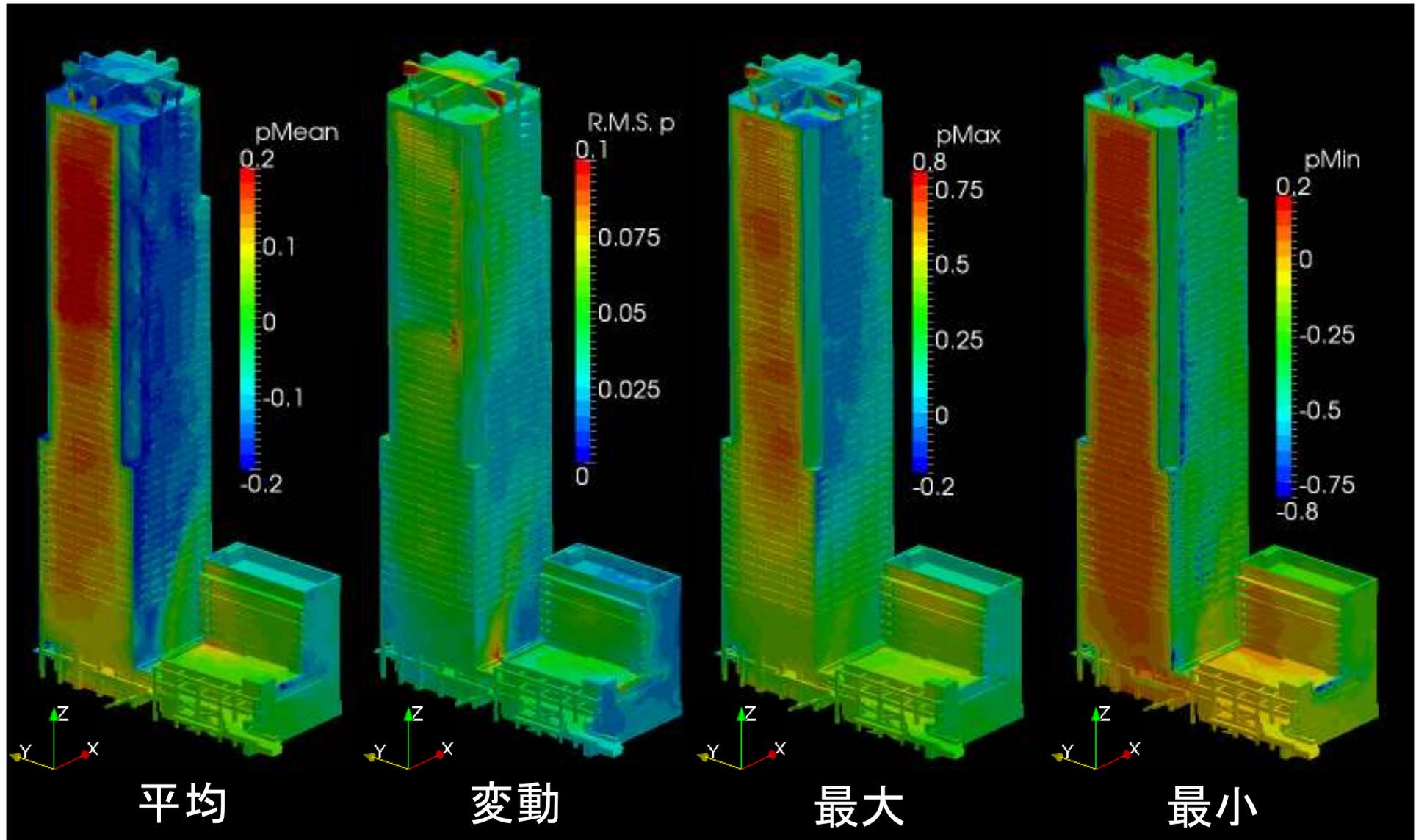
瞬時圧力場の等値面コンター ( $p/U_{in}^2 = -0.2$ )

# 途中計算結果例



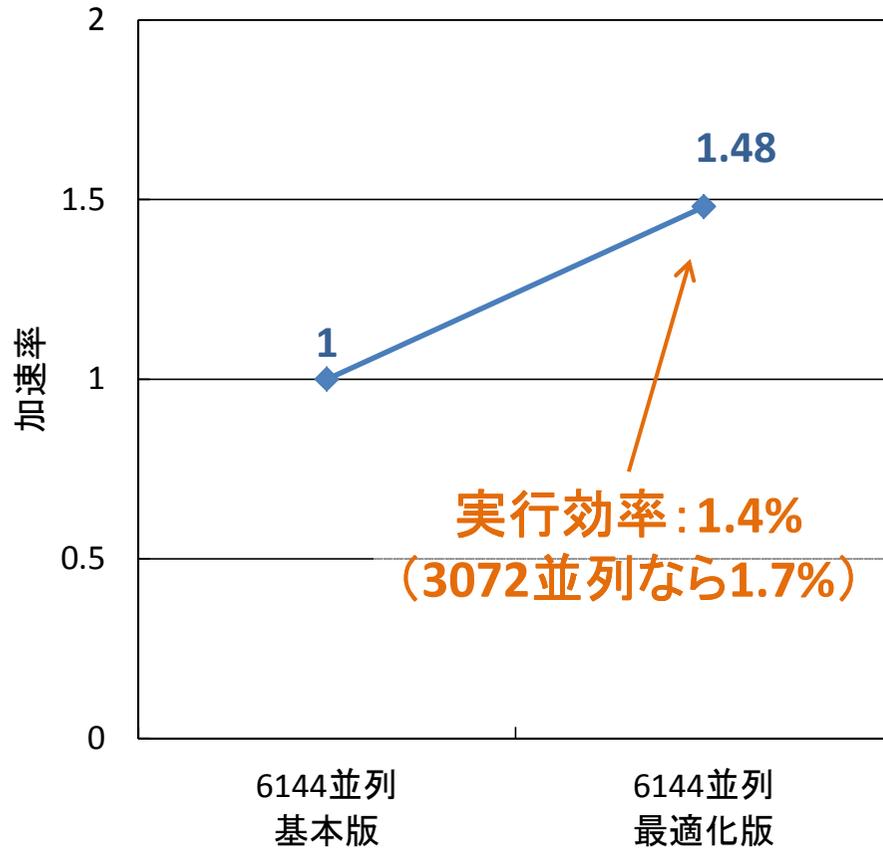
対象建物中心断面の瞬時速度場コンター

# 途中計算結果例

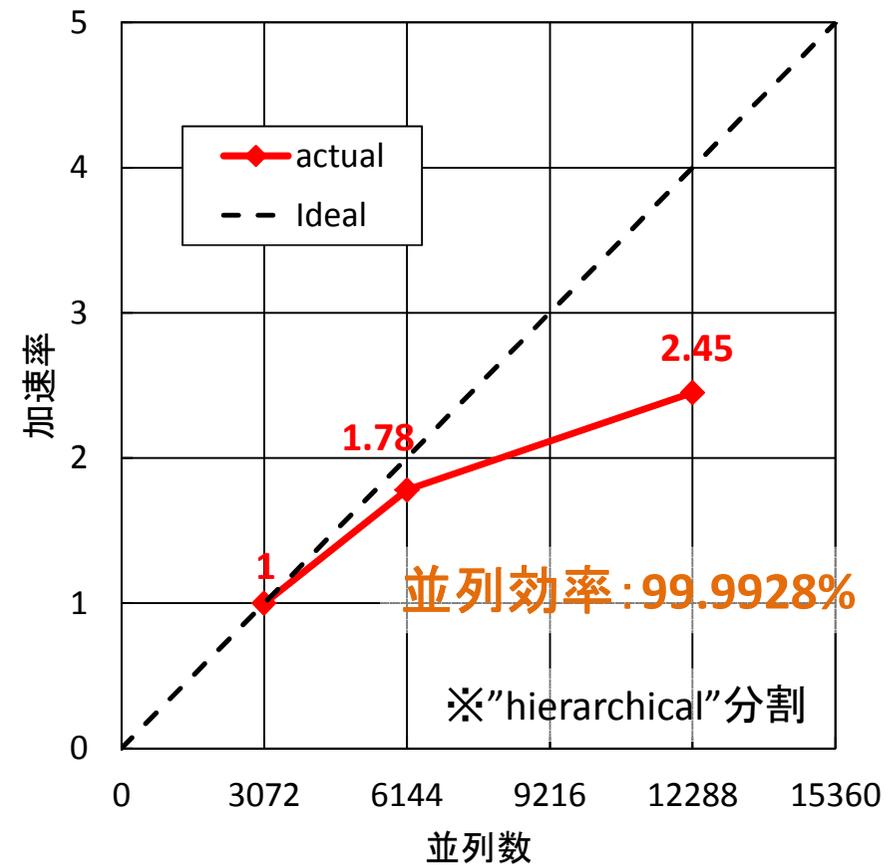


風圧の分布(積分時間は実スケール1分強)

# 「京」コンピュータの並列性能 (RIST殿の支援により達成)



チューニングの有無



スケーリング性能

# 「京」コンピュータの利用で苦労した点

## ■計算メッシュ生成に時間が掛かった

- 基本は並列処理で対処

## ■プリポスト処理ノードが混み過ぎる！

- 他の計算機(神戸大FX10等)に転送して実施

## ■ステー징処理に時間が掛かり過ぎた

- 「ランク番号ディレクトリ方式」から「共有-ランク番号ハイブリッド方式」に変更

## ■計算がなかなか実行されない！

- ひたすら待つのみ・・・

## IV. まとめ・今後の展開

# まとめ

## ■ LESによる風圧予測 について背景を紹介した

- 日本建築学会でもCFDによる風荷重評価のためのガイドラインを刊行予定
- 今後は、実務においてLESの利用が活発化

## ■ 建物の風圧予測LESについて実績を紹介した

- 「単体角柱」「街区+単体角柱」「街区のみ」を実施
- 風洞実験とLESは良好な対応を示す

## ■ 「京」コンピュータでの実施状況を紹介した

- 1億4000万要素の計算を実施中
- RIST殿の支援により計算の効率化を達成

# 今後の展開

## ■境界層メッシュの適用

- 建物構造軸とメッシュ軸角度がずれる「グランシング・アングル」を有する場合に対処

## ■プリから実行までの完全並列処理の模索

- “decomposePar”を利用を回避

## ■高速化ライブラリ「Xabclib with OpenFOAM」試行

- 片桐ら2010, <http://www.abc-lib.org/Xabclib/>

## ■来年度の京コンピュータ利用公募提出

- 流体-構造連成解析による「空力不安定振動」評価