

「第一回オープンソースCAEワークショップ」

OpenFOAMを用いた汚染物質の 拡散シミュレーション

鹿島建設技術研究所

挾.間 貴雅

2008年11月13日



発表構成

- OpenFOAM使用の背景
- 本発表の目的
- LESを多用する理由
- OpenFOAMを使用する利点
- 屋外空間流れ場に於けるLESの運用
- 計算例1: 角柱周りの拡散性状予測
- ドライバの必要ない流入風生成法の構築
- 今後の展開

OpenFOAM使用の背景

- 「研究開発業務」の性格上、大規模計算やモデル改良は日常的
 - Large-eddy simulation (LES) を多用
 - 社内開発のソルバ (Fortran ベース) は、保守・改良の煩雑さ、分散メモリ型計算機上での並列化の困難さがネック
 - 商用コードは拡張性の無さ、ライセンス料の高さ (主に並列計算時) がネック
 - 目的に応じて計算コードを使い分けるのは面倒

「コード保守」・「モデル拡張」・「並列計算」
何れの容易さを備える OpenFOAM を、
のメインコードとして移行出来るか検討中

本発表の目的

「物質拡散予測」業務

- 工場・プラントからの排煙拡散
- 地中埋設管からのガス漏洩事故
- 粉塵拡散
- 自動車道からの排気ガス拡散
- 冷却ミストの拡散
- (クリーンルーム内汚染物質拡散)
- (居住空間空気質評価) 等々

「角柱周りの汚染質拡散LESベンチマーク」
を通して、一連の計算の勝手を報告

LESを使用する理由

- 複雑流れ場に対する良好な予測性能
 - 衝突流や非等温流れに威力を発揮
 - 周期変動の再現で予測精度が向上
- 良好な非定常現象再現性
 - 分散や時系列ピーク値を良好に再現
- 許容出来るレベルに近づきつつある計算時間
 - 建築環境分野では壁面ストリーク構造の再現必要性は低い
 - 時間短縮は並列計算で対処
 - 将来的に、多ケース検討を大規模PCクラスターにて並列ジョブの複数投入にて対処

「汎用的な乱流モデル」として使用

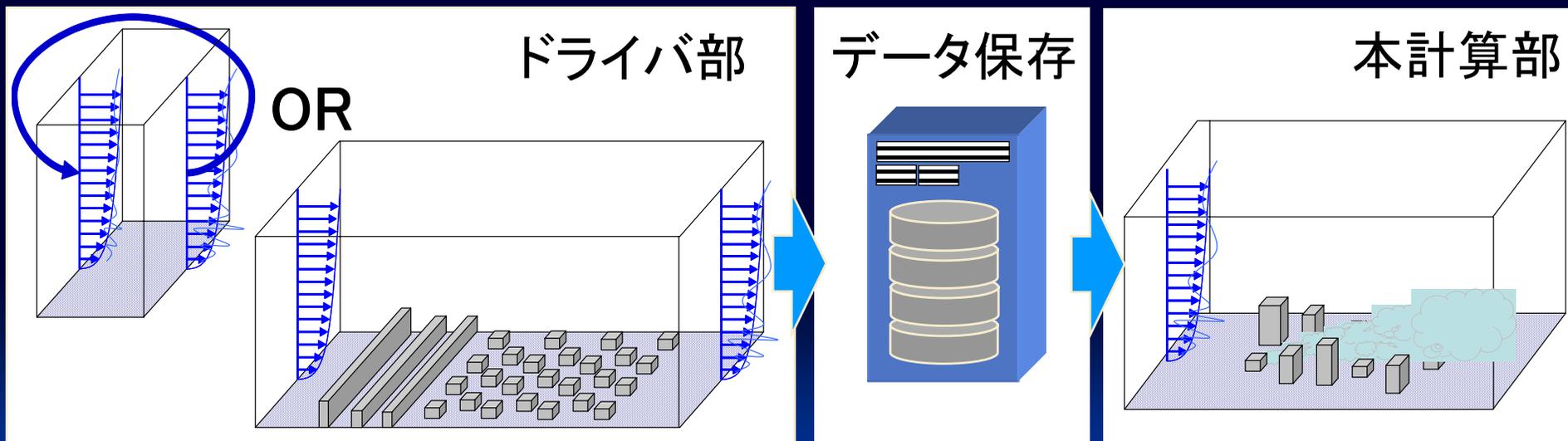
OpenFOAMを使用する利点

- 大規模並列計算に対応
 - ライセンス料無しで並列計算が可能
- 多数の計算・乱流・SGSモデル
 - DESやDynamic SGSモデル等も利用可能
- 多数のユーティリティツール群
 - 痒い所に手が届く
- 拡張性
 - ソルバー部や乱流モデル等の改良・追加が容易

OpenFOAMのみで
インハウスコードをほぼ代替可能

屋外空間流れ場に於けるLESの運用

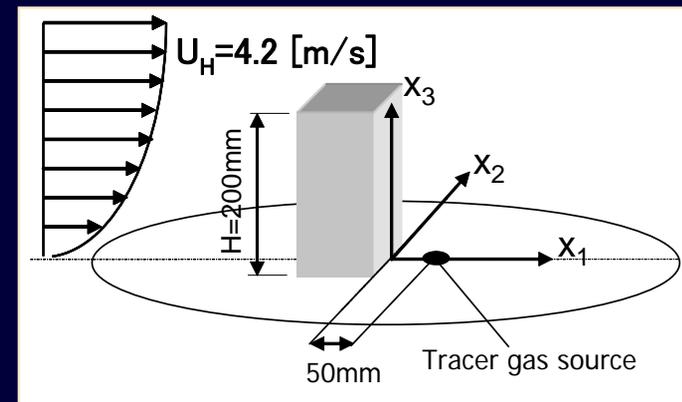
- 「流入境界条件」が予測性能に重要な役割
- 現在はドライバ部にて流入風を作製→データ保存
 - 粗度ブロックによる乱れ発達
 - 周期境界による乱れ発達(片岡ら(1999)の手法など)
- 本計算部の流入境界条件に「timeVaryingFixedValue」



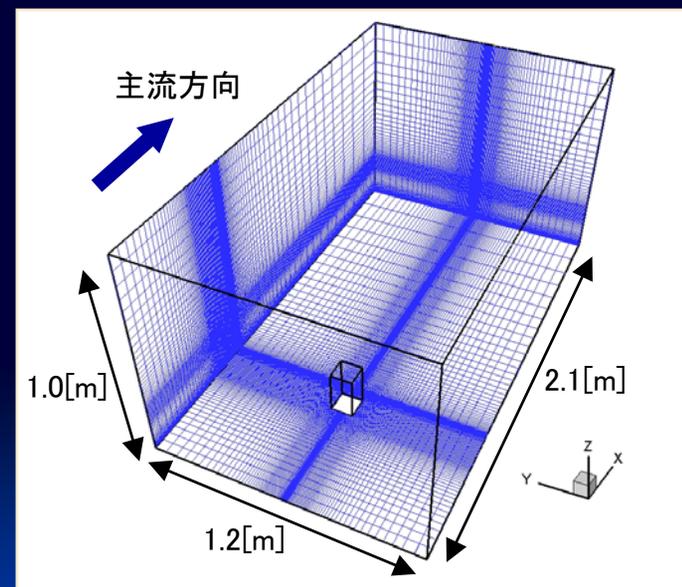
LES計算時の実行手順

計算例1: 角柱周りの拡散性状予測

- 建築学会(市街地の通風拡散WG)依頼のベンチマーク計算
- 都市境界層内に於ける建物背後からの汚染質発生を想定
- 変動流入風の生成は片岡らの手法を使用
- 要素数: 107(x) × 99(y) × 73(z)
- 「oodles」+「濃度輸送方程式」
- 標準Smagorinskyモデル使用 (Cs=0.12)



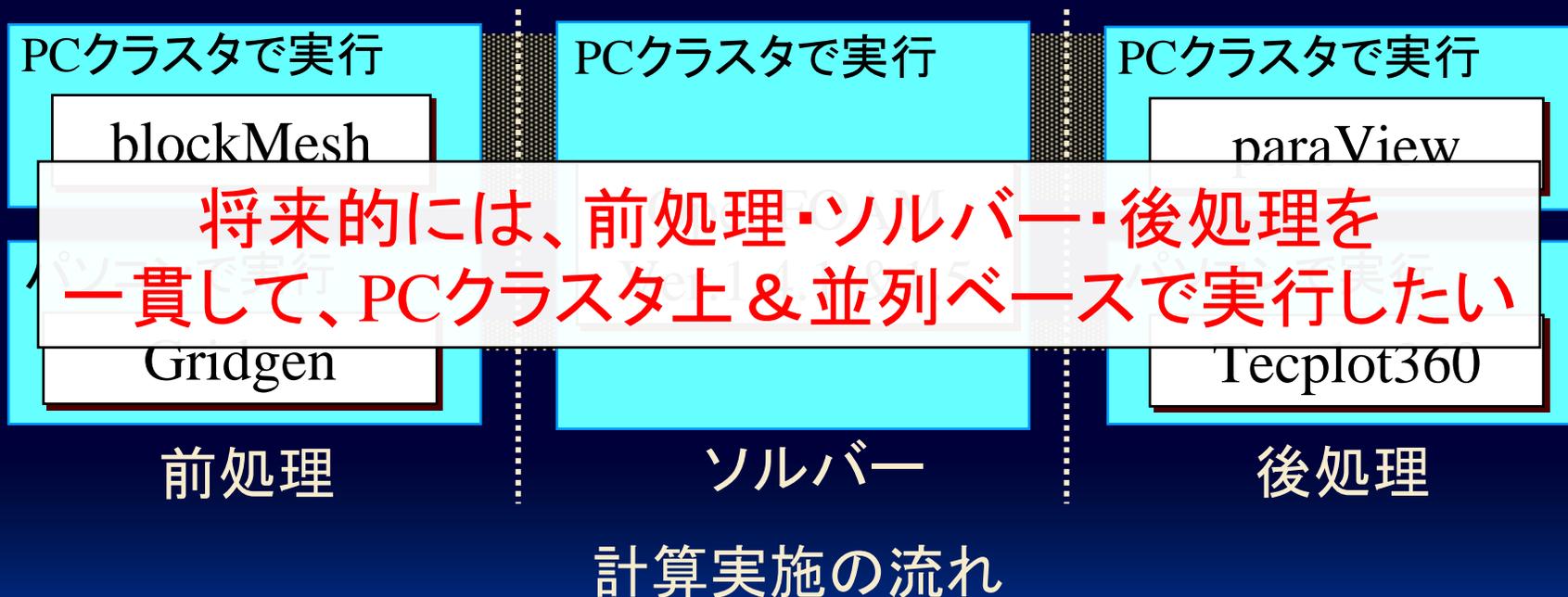
計算対象



計算格子

計算環境(1)

- OpenFOAMバージョン : 1.5 & 1.4.1
- コンパイラ : Gcc 4.3.1
- FoamXは使用せず、全てコマンドライン

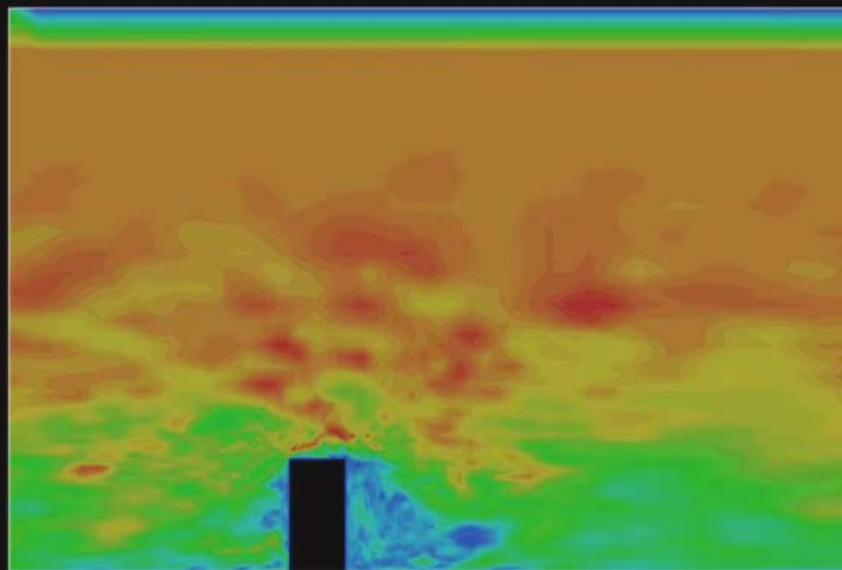


計算環境(2)

- 計算機 : (株)爆発研究所製PCクラスタ「Hyperion」
 - 8ノード構成
 - Core2Duo(3GHz, FSB1333MHz, 4GBメモリ) / ノード
 - ネットワークはGigabit Ethernet(TCP/IP)
 - 計算時間は約一週間(4ノード8コア使用)



計算結果：非定常アニメーション



U Magnitude
0 1.62 3.25 4.88 6.5

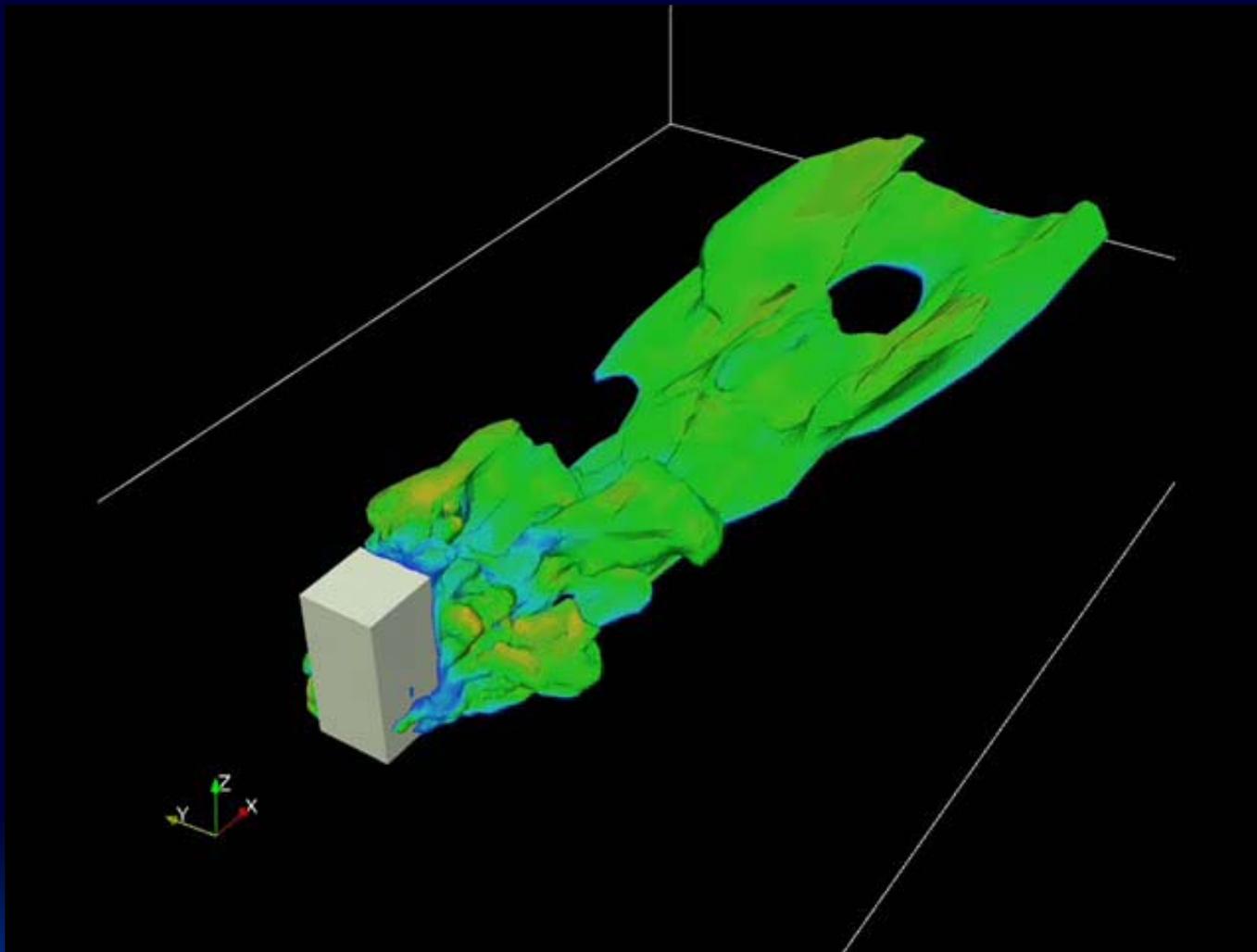
風速スカラー [m/s]



C
1.0e-06 1.0e-05 1.0e-04 1.0e-03 1.0e-02

希釈率濃度 [-]

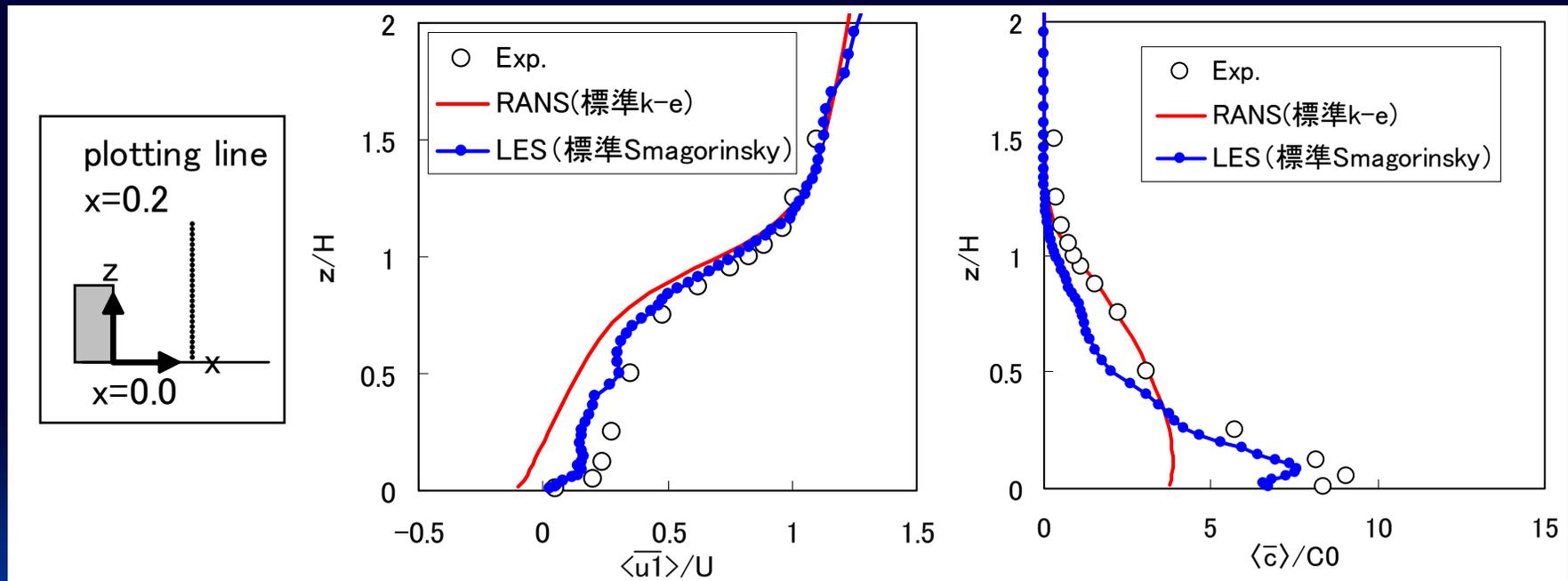
計算結果：非定常アニメーション



濃度等値面 ($\bar{c}=2.0E-5$ [-]、風速スカラーで色づけ)

計算結果：RANSとの比較

- 実験結果（白澤ら、2007；2008）・RANS計算と比較
- RANS（標準k- ε モデル）もOpenFOAMで実行
- LES計算はより実験値に近づく
- 因みに、RANS計算は「STAR-CD」と同じ結果



各変数の鉛直プロファイル(スパン方向中心断面)

ドライバの必要ない流入風変動生成手法

- ドライバを使用した流入変動風作製は・・・
 - 粗度ブロック使用では計算負荷が非常に大きい
 - 片岡らの手法では乱流長さスケールの調整が難しい
 - トライ&エラー的に流入風性状を調整する手間…… 等々

非常に手間が掛かる

- 流入風の乱流性状を任意に設定出来る手法
 - 近藤ら(1997;1998 ;1999)の手法
 - 周波数空間に於けるパワースペクトル密度、クロススペクトル密度を規定
 - 各種乱流統計量を任意に設定可能

何れはOpenFOAMに組み込みたい

今後の展開

- 新たな拡散シミュレーションの構築
 - 「Euler的手法」と「Lagrange的手法」の融合
 - 現状は、街区レベルは「Euler的手法」、広域は「Lagrange的手法」と使い分け
- RANS/LESハイブリッドモデルの追加・適用
 - Delayed DES、SST-DESやTR-RANS等の追加
 - K-H不安定に起因する流体周期変動の再現を期待
- ポリヘドラルメッシュの活用
 - 複雑形状に対応したLES

・・・等々

参考文献

- 片岡ら: 変動流入風を用いた三次元角柱周りの気流解析, 日本建築学会計画系論文集, 1999
- 近藤ら: LESのための変動流入風の生成に関する研究-流入変動風を用いた等方性乱流場のLES解析, 日本建築学会構造系論文集, 1997
- 近藤ら: 乱流境界層を対象とするLESのための流入変動風の作製 –風洞実験に基づくクロススペクトルマトリクスのモデル化-, 日本建築学会構造系論文集, 1998
- 近藤ら: 生成された流入変動風を用いた乱流境界層のLES –流入変動風生成時のクロススペクトルマトリクスの再現精度が計算結果に及ぼす影響について-, 日本建築学会構造系論文集, 1999
- 白澤ら: LESと $k-\varepsilon$ モデルに建物後流弱風域でのガス輸送構造の比較, 流体力学会年会, 2007
- 白澤ら: 高層建物後流弱風域におけるガス拡散性状に関するLESとDurbin型 $k-\varepsilon$ モデルの比較, 日本建築学会環境系論文集, 2008