

HPCIの利活用事例紹介

—頻発する極端気象災害に対する 都市・建築のレジリエンス強化—

2019年3月27日

建築CFDコンソーシアム

スーパーコンピューティング技術産業応用協議会(産応協/ICSCP)

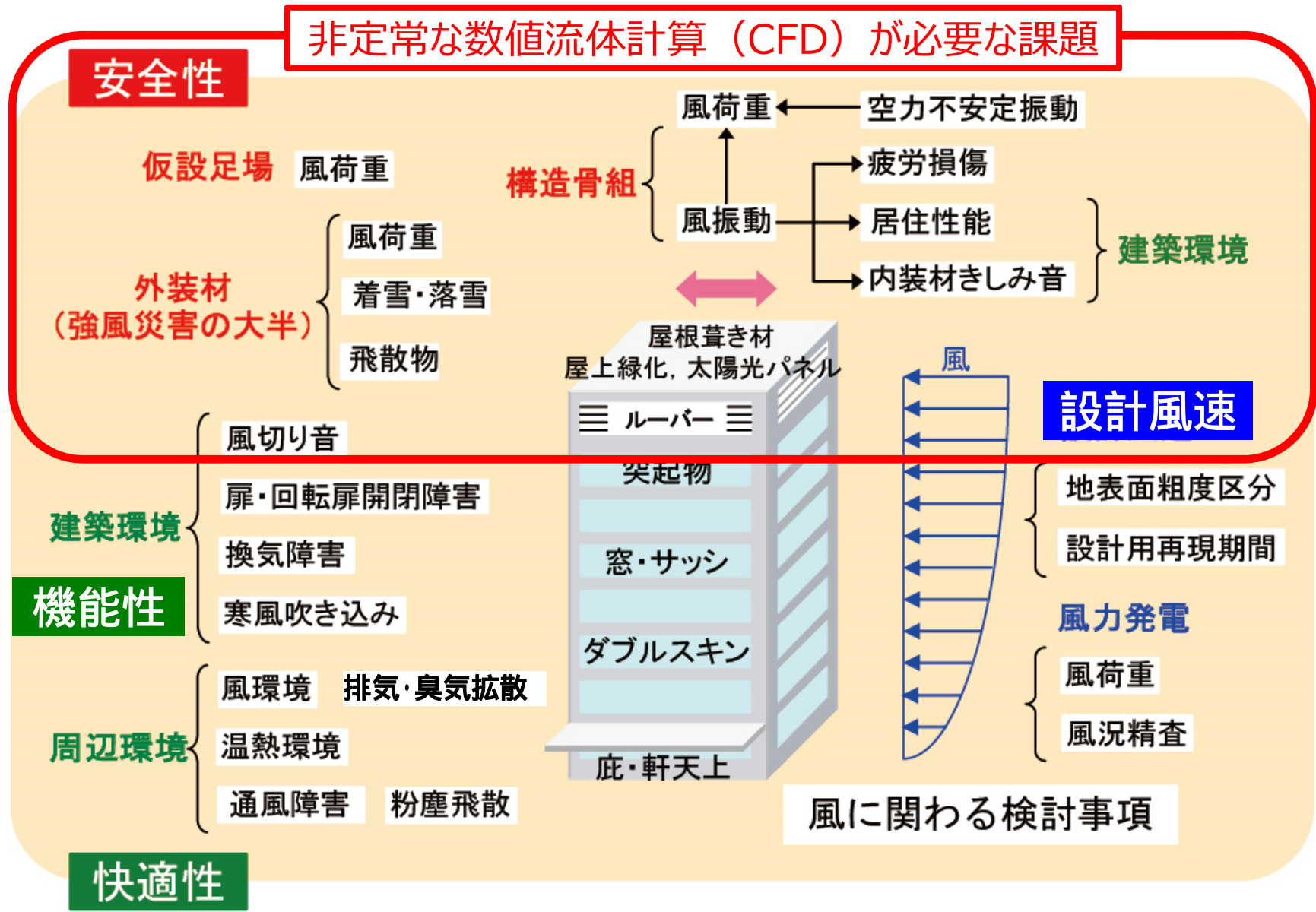
本日の発表内容

1. 都市・建築における風に関わる様々な課題
2. 事例紹介
 - －産学官連携の建築CFDコンソーシアムでの取組み－
 - (1) 建築基準整備促進事業での取組み
 - －複雑な表面形状を持つ建築物での検証事例－
 - (2) 広域市街地における設計風速の評価事例
 - (3) ポスト「京」重点課題 4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」での取組み
 - －気象データマイニングによる局地的突風解析と接地乱流場に基づく建築構造物の被災推定－
3. 今後の取組み
 - (参考資料) 建築CFDコンソーシアムの取組み

1. 都市・建築における風に関わる 様々な課題

都市・建築における風に関わる様々な課題

非定常な数値流体計算（CFD）が必要な課題

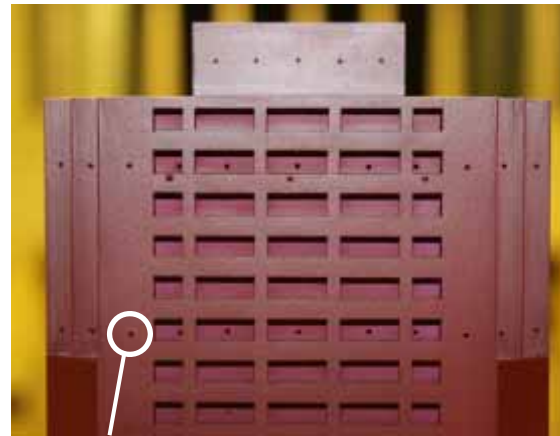


風荷重評価に対する風洞実験と数値流体計算の特徴

(青字：長所 赤字：短所)



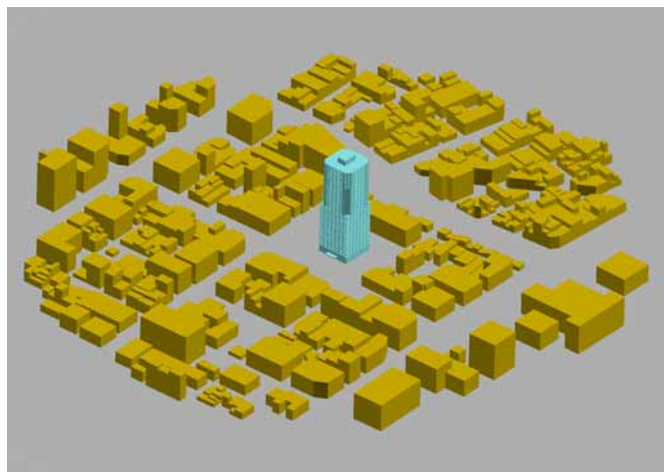
模型縮尺1/400



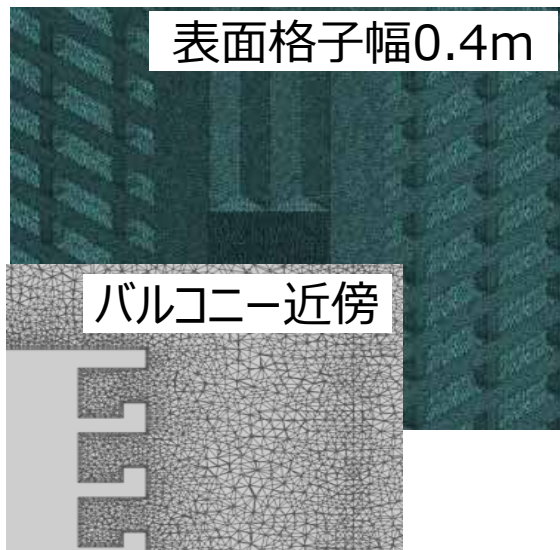
風圧測定孔(500点程度)

【風洞実験】

- ・測定精度が高い
- ・統計的信頼性が高い
- ・空間解像度に限界
- ・モデル化範囲に限界
- ・レイルス^{*}数の再現は困難
- ・モデル製作2か月、実験1~2週間



風洞実験スケール～ 実寸



表面境界層格子厚さ0.06m

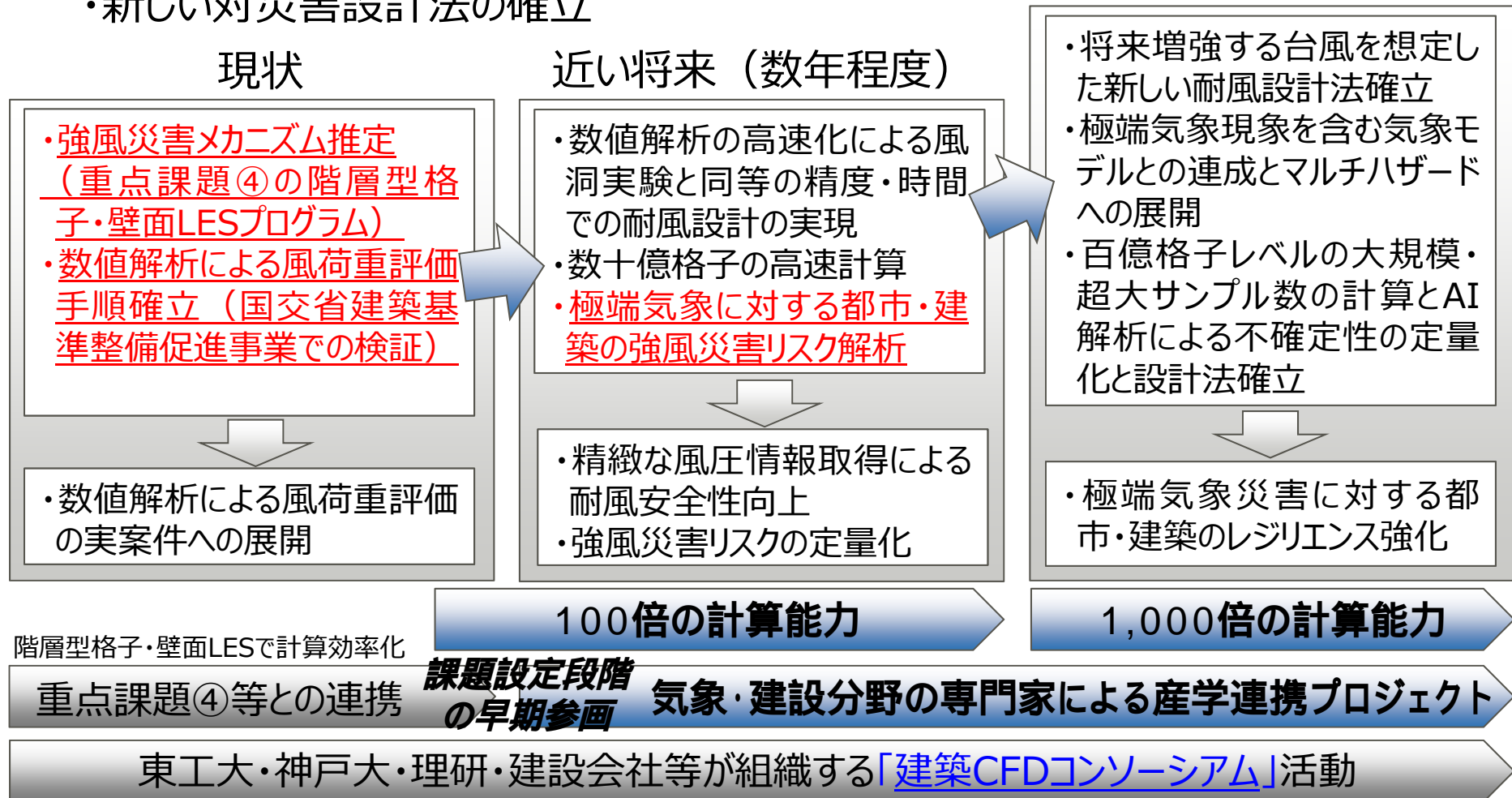
【数値流体計算(LES)】

- ・風洞実験より高解像度
- ・広域市街地を再現可能
- ・HPCの性能向上によりレイルス^{*}数の再現可能性
- ・計算精度確保には時空間の高解像度計算が必要
- ・統計的信頼性の確保には多数サンプルの計算が必要
- ・計算モデル作成・計算格子作成数週間、計算100万ノード^{*}時間程度(京コピ^{*}1^{*}タ)

先端的ソフトウェアへの期待（建設・機械分野の例）

■ 頻発する極端気象災害に対する都市・建築のレジリエンス強化

- ・極端気象現象(極大台風、竜巻、猛暑等)を想定した被害推定
 - ・新しい対災害設計法の確立
- 将来（10年程度）



2. 事例紹介

一産学官連携の建築CFDコンソーシアムでの取り組み

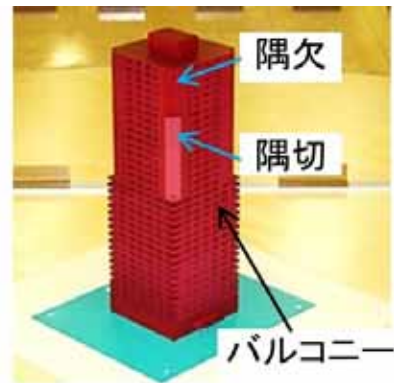
(1) 建築基準整備促進事業での取組み

—複雑な表面形状を持つ建築物での検証—

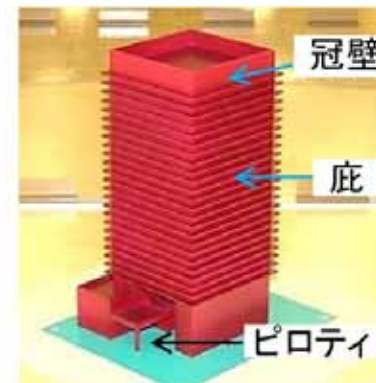
平成27～28年度「京」一般課題(競争的資金等獲得課題)

建築基準整備促進事業での取組み

設計業務での数値流体計算(CFD)の実用化を目指し、国土交通省建築基準整備促進事業「S18.風圧力、耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討」において、モデル建物を対象として、**風洞試験と同等な妥当性のある結果を得ることができる時間・空間解像度等の計算条件範囲を明確化**することを目的とした調査を実施。**受審者・審査者の双方が活用できるガイドラインを提示する。**



バルコニーを有する住宅棟



環境配慮型ファサードを有するオフィス棟

複雑な表面形状
を持つ建築物



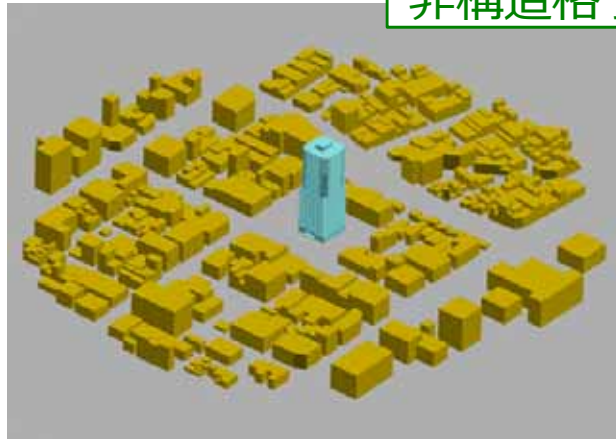
周辺街区有り



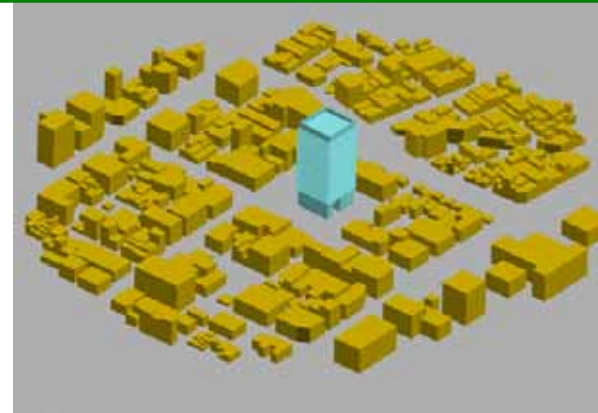
周辺街区無し

建築基準整備促進事業での取組み

非構造格子・有限体積法ソルバー-FrontFlow/red-HPC

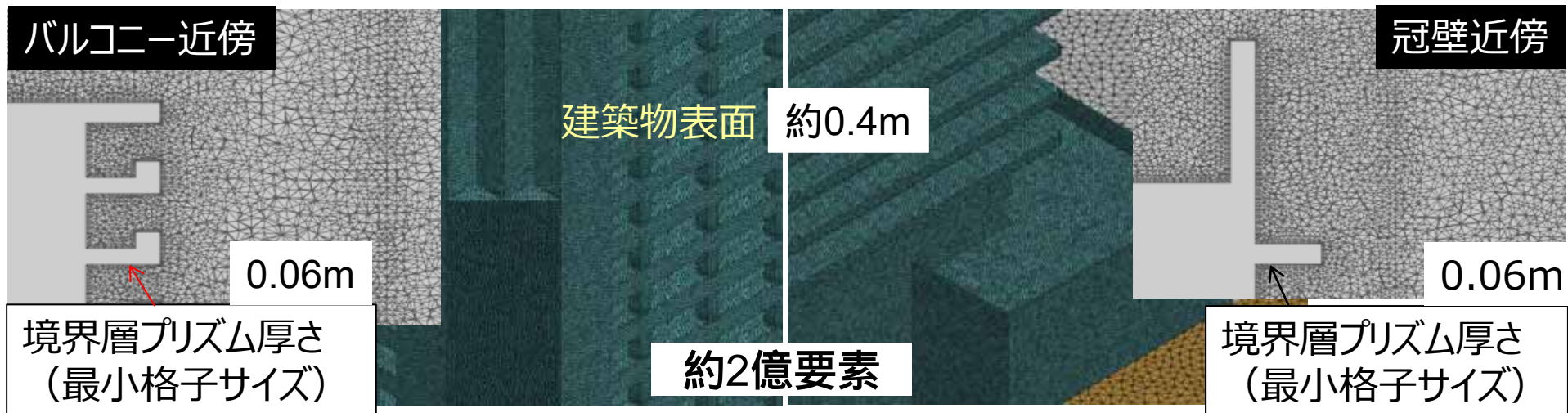


住宅棟



オフィス棟

解析モデル



バルコニー近傍

冠壁近傍

建築物表面 約0.4m

0.06m

0.06m

境界層プリズム厚さ
(最小格子サイズ)

約2億要素

境界層プリズム厚さ
(最小格子サイズ)

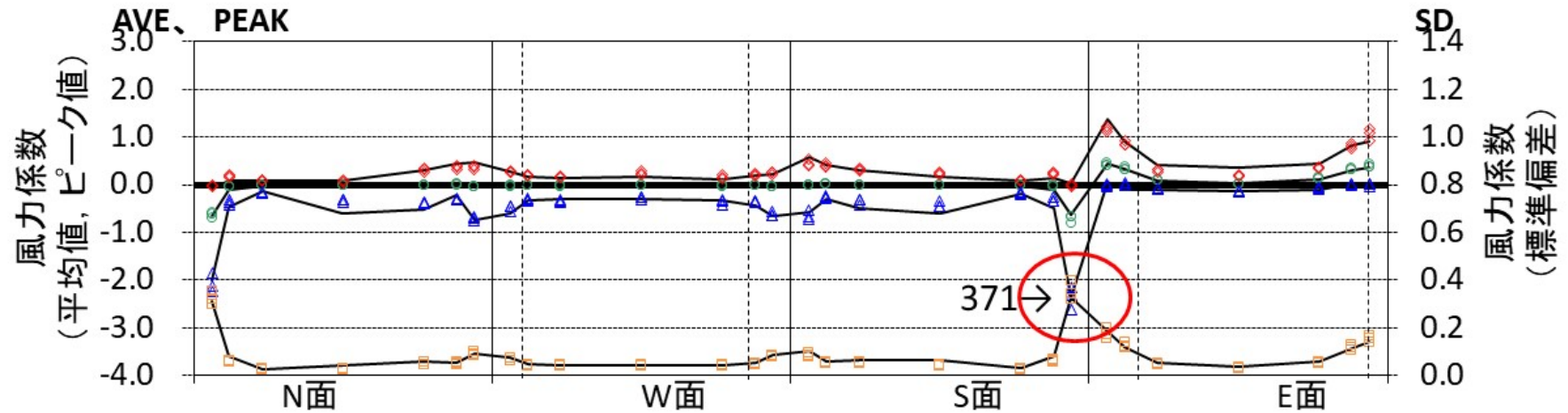
住宅棟

計算格子

オフィス棟

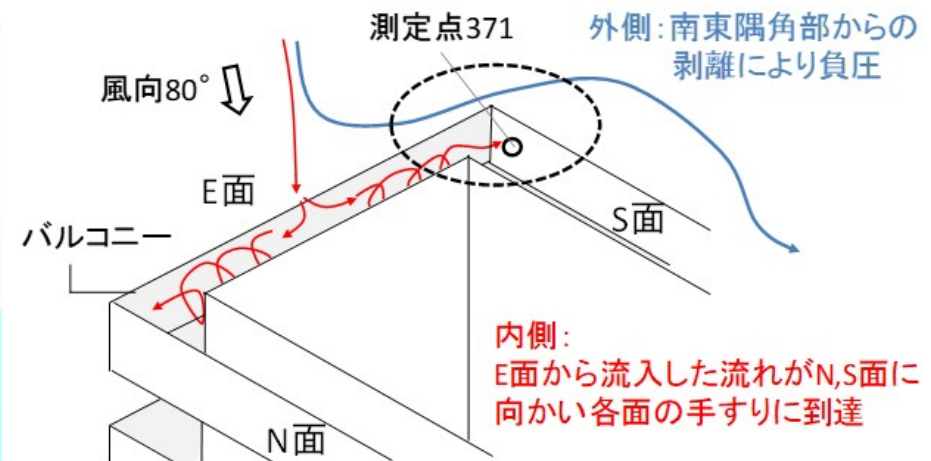
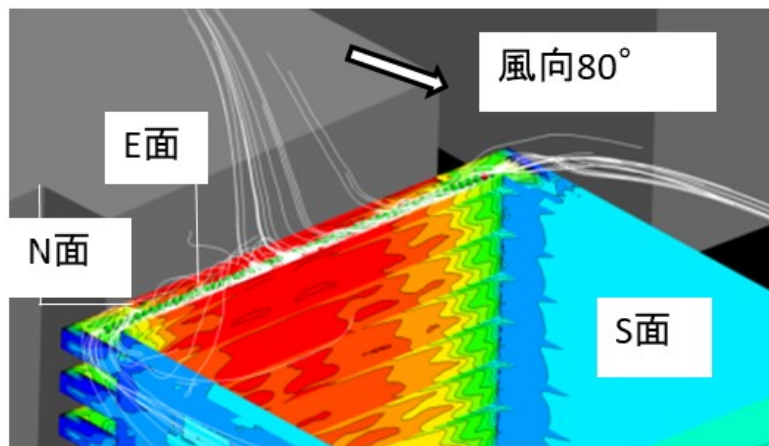
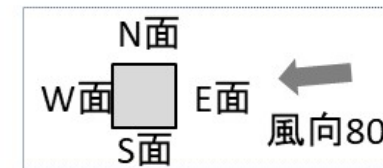
約2億要素(高精度) ⇒ 20億要素(超高精度:検証用) ⇒ 0.5億要素(実用計算)

高層住宅棟バルコニーの風力係数(風向角80°)

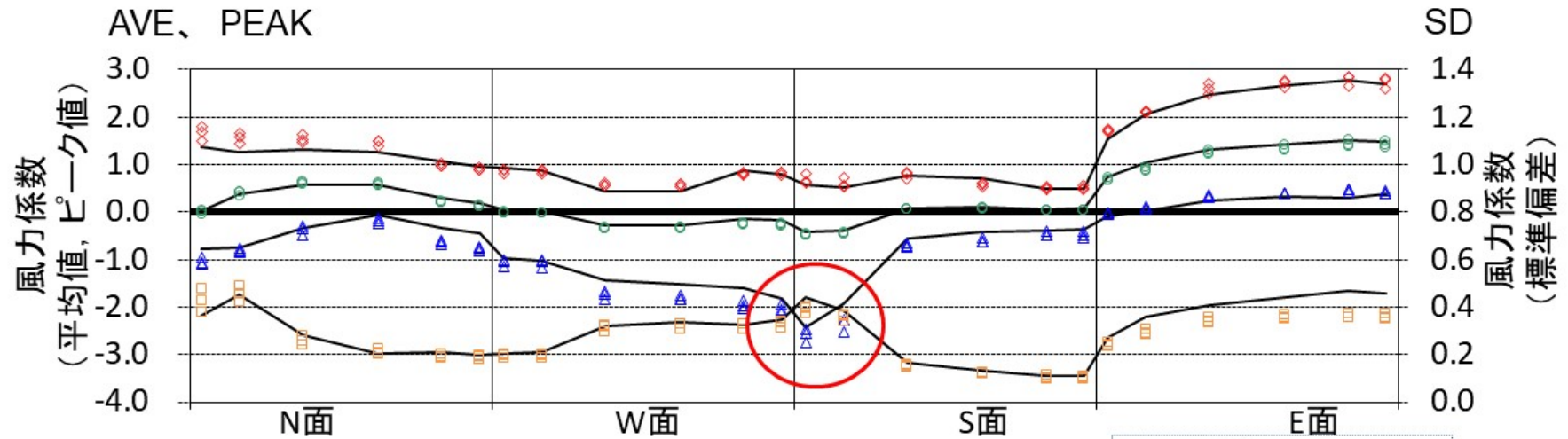


実験結果: ○平均 □変動 ◇最大 △最小 計算結果: ライン

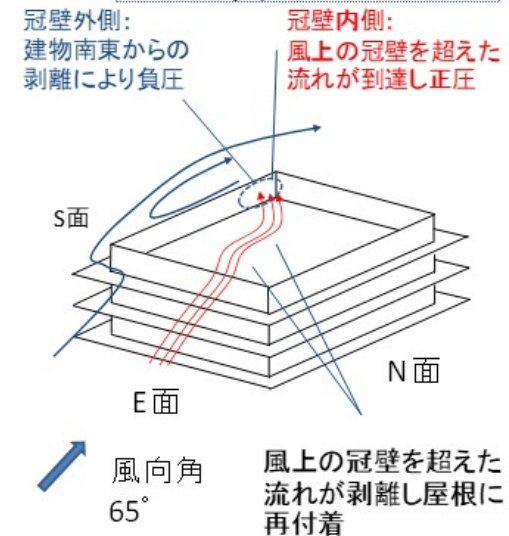
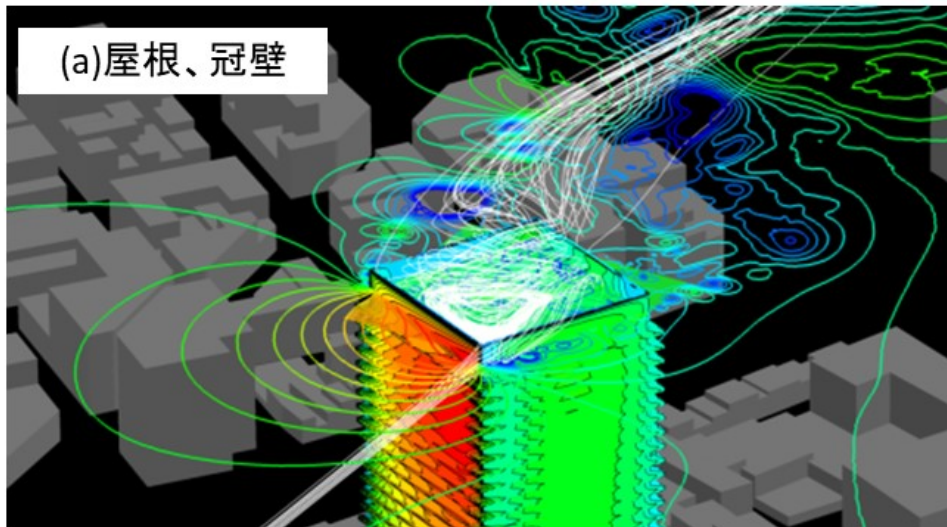
11階 バルコニー (z=40.7m)



高層オフィス棟冠壁の風力係数(風向角65°)



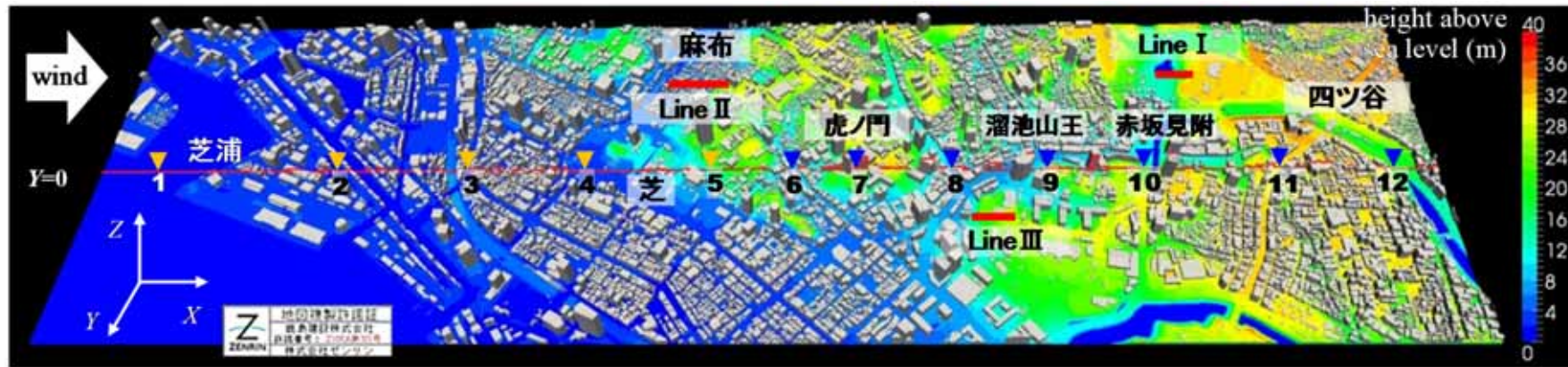
実験結果: ○平均 □変動 ◇最大 △最小 計算結果: ライン



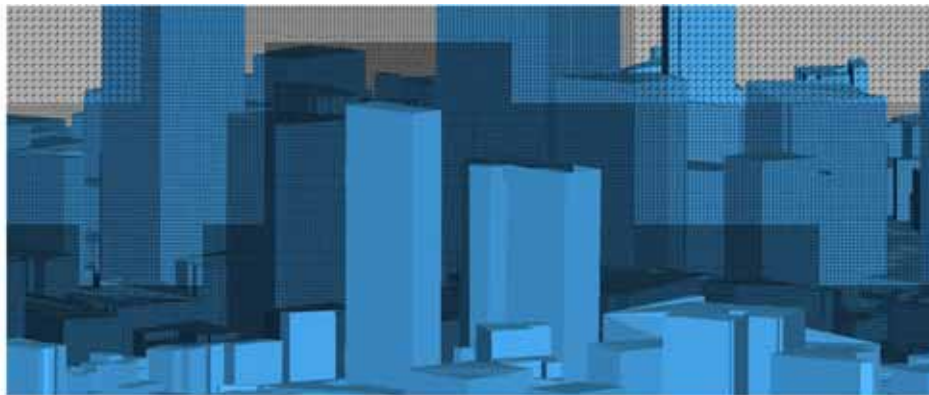
(2) 広域市街地における設計風速の評価事例

平成28～30年度「京」一般課題(コンソーシアム型産業利用)

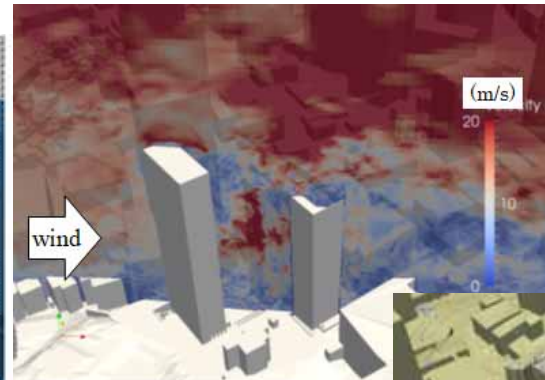
広域市街地における設計風速の評価事例



計算モデル(7km×2km)

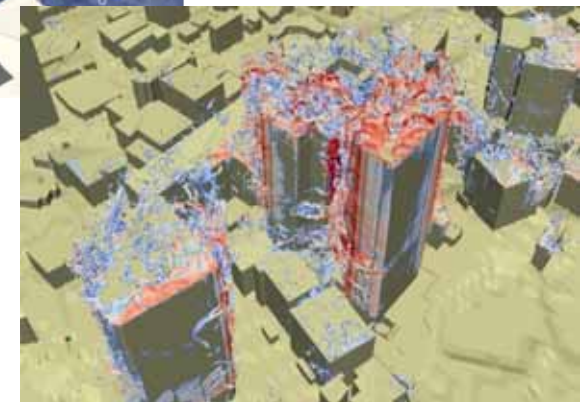


計算格子(17億)



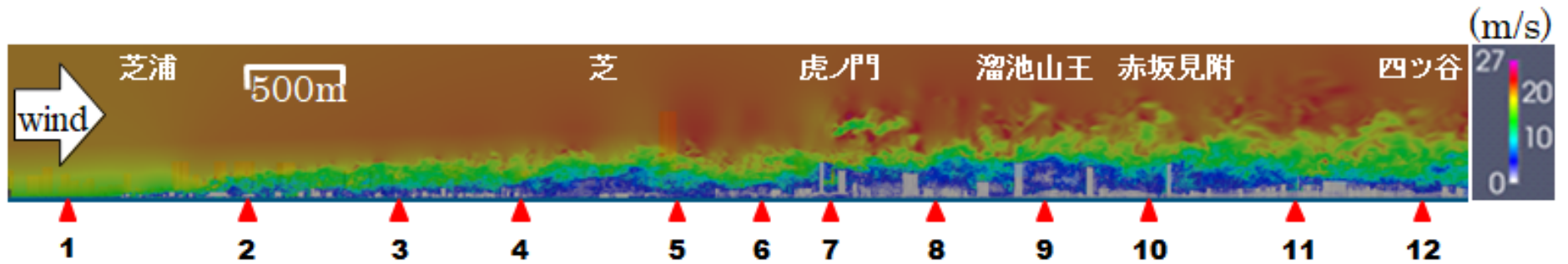
瞬間速度場

瞬間渦度分布

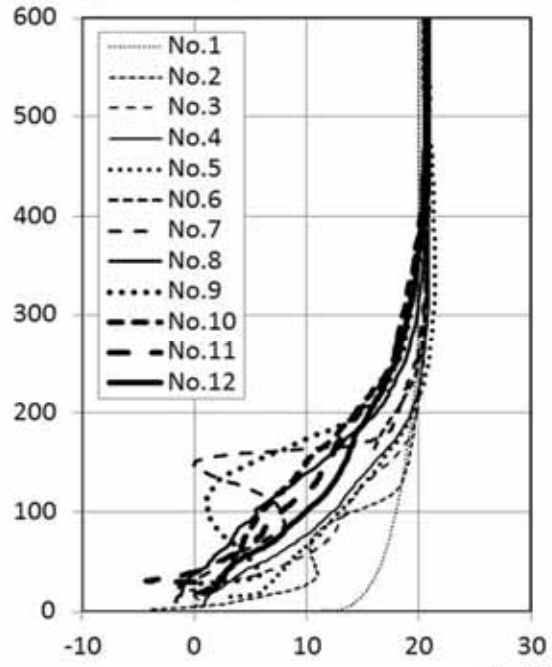


階層型直交格子ソルバー-CUBE

風速 u 成分の鉛直分布の流れ方向変化

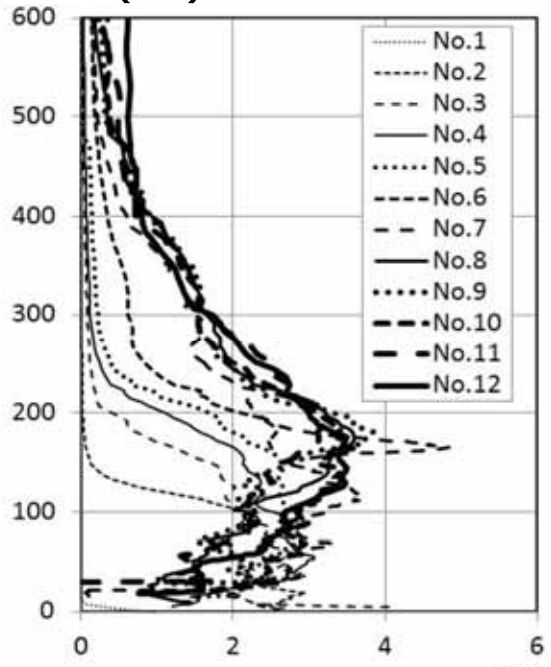


標高(m)



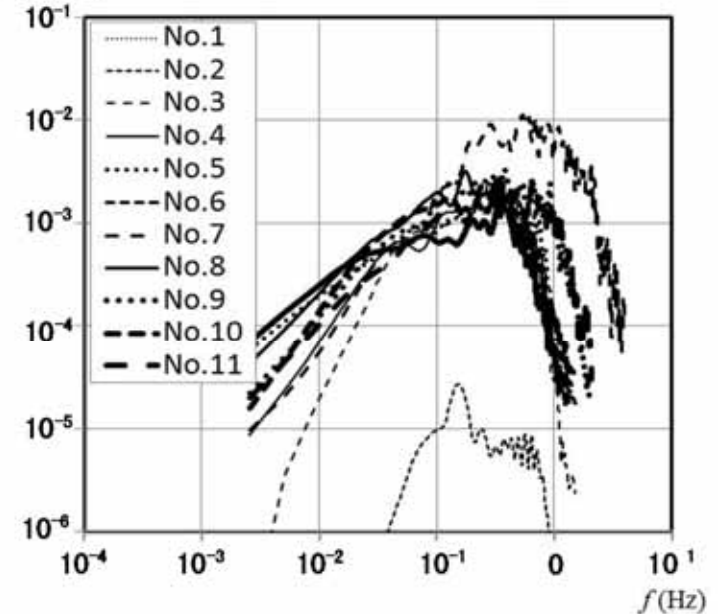
(a) 平均風速 (m/s)

標高(m)



(b) 標準偏差 (m/s)

$f S_u (m^2/s^3)$



(c) パワースペクトル密度 (高さ150m)

東京タワーや高層建物での実測値と比較して妥当性を検証

(3) 重点課題4「観測ビッグデータを活用した 気象と地球環境の予測の高度化」での取組み

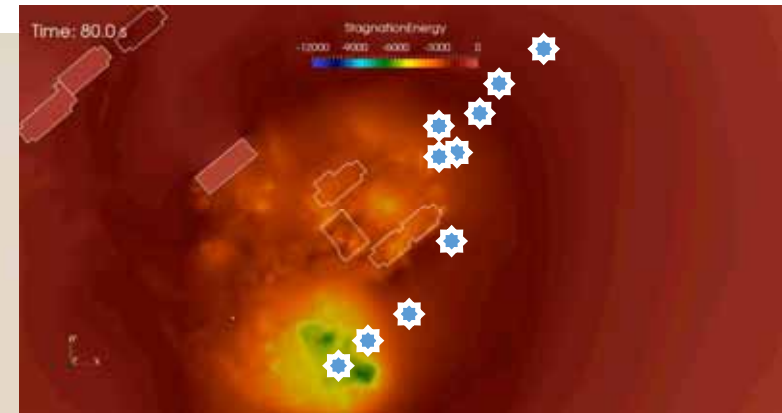
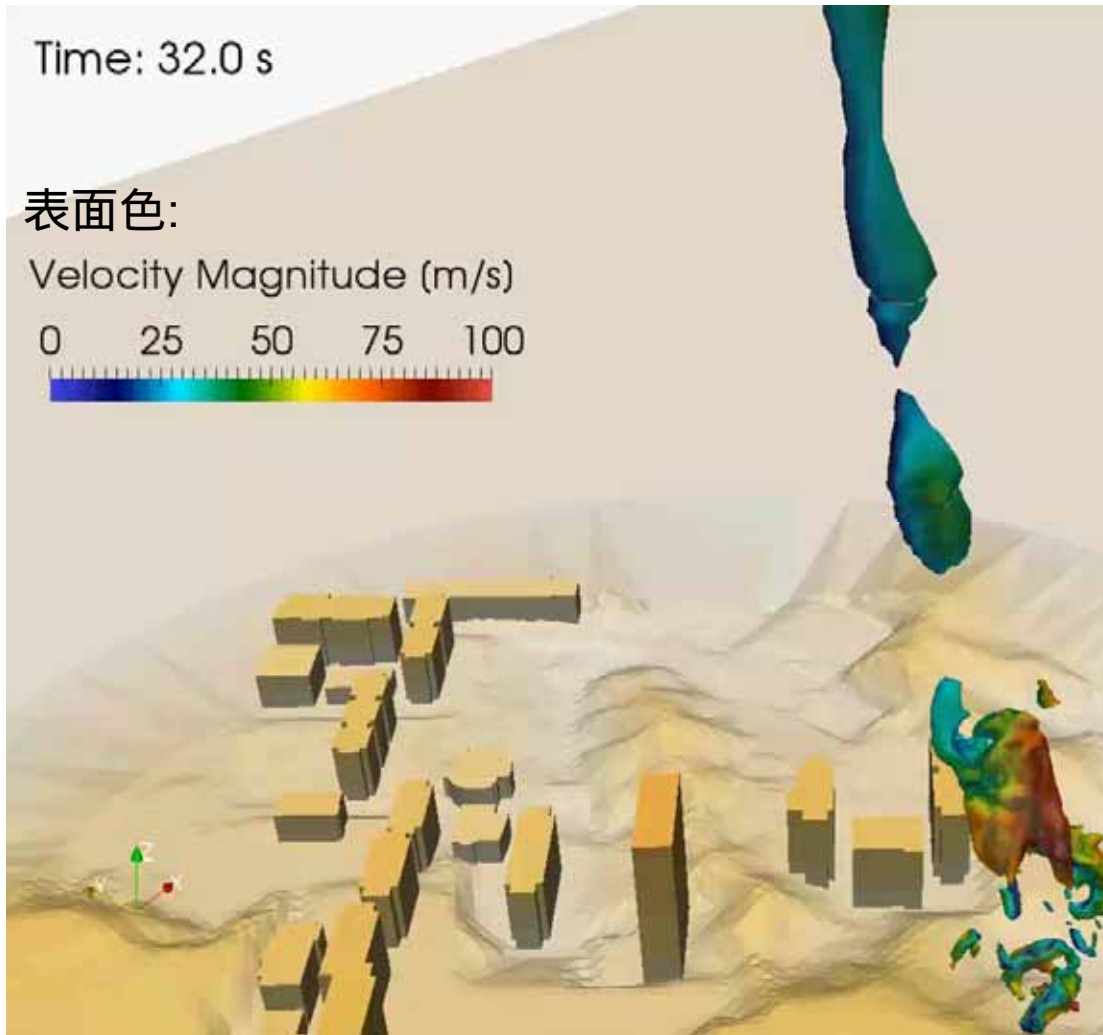
—気象データマイニングによる局地的突風解析と
接地乱流場に基づく建築構造物の被災推定—

平成26～31年度 ポスト「京」で重点的に取り組むべき
社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発

地表による竜巻渦下層の運動の変化（中層街区モデル）

階層型直交格子ソルバー-CUBE

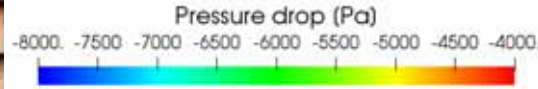
渦の可視化: 圧力等値面(-55hPa)



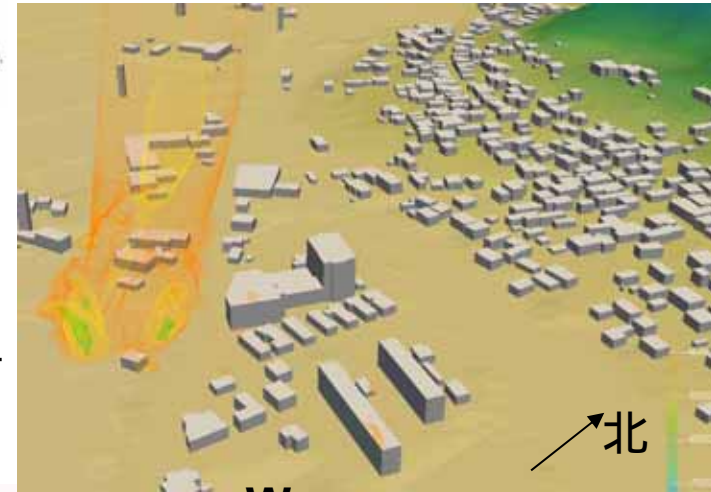
- ・渦が大きく揺動しながら移動
- ・経路と移動速度も大きく変化
- ・竜巻内部では平坦面の場合より低い圧力のピーク値が断続的に出現

- ・低圧部は地表や建物にきわめて局所的に作用する

つくば竜巻の実経路での計算による被害推定(集合住宅)

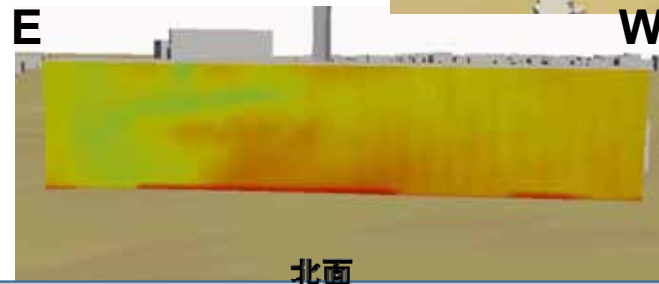
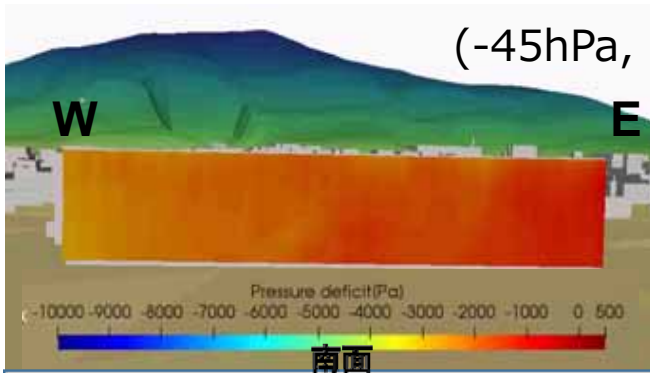


大きな被害を生じた
建物に作用する圧力
の推定



3次元負圧分布

(-45hPa, -50hPa以下は10hPa毎)



東(E)側ほど気圧が周辺より高く相対的に正圧が働く。裏側の窓が壊れることで更に強まったか。中央では、建物との相互作用による瞬発的・局所的な負圧が発生。

極めて強い負圧領域が東(E)から弧を書くように広がる。



3階室内の壁に突き刺さった木片と床に散乱したガラス
(引用:防災システム研究所HP)

壁面圧力分布と窓サッシ被害[1]との比較

[1]国土技術政策総合研究所資料 建築研究資料 No.703 2013年1月, No.141

つくば竜巻の実経路での計算による被害推定(木造住宅)

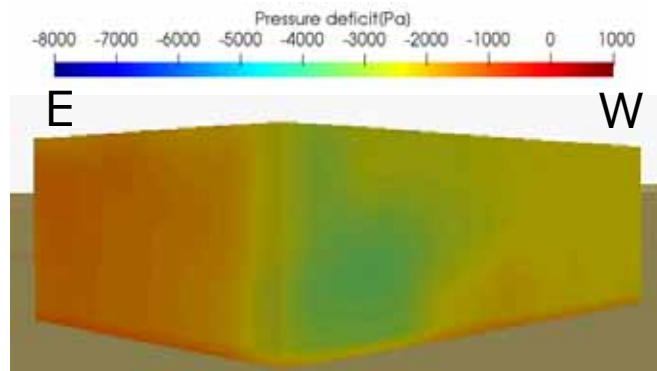


引用：国土技術政策総合研究所資料 建築研究資料 No.703 2013年1月, No.141

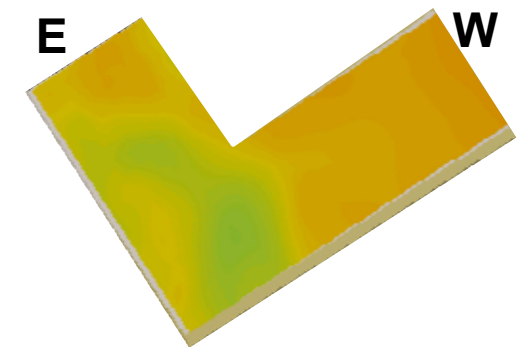
各面の圧力低下量



南面



北面



屋根面

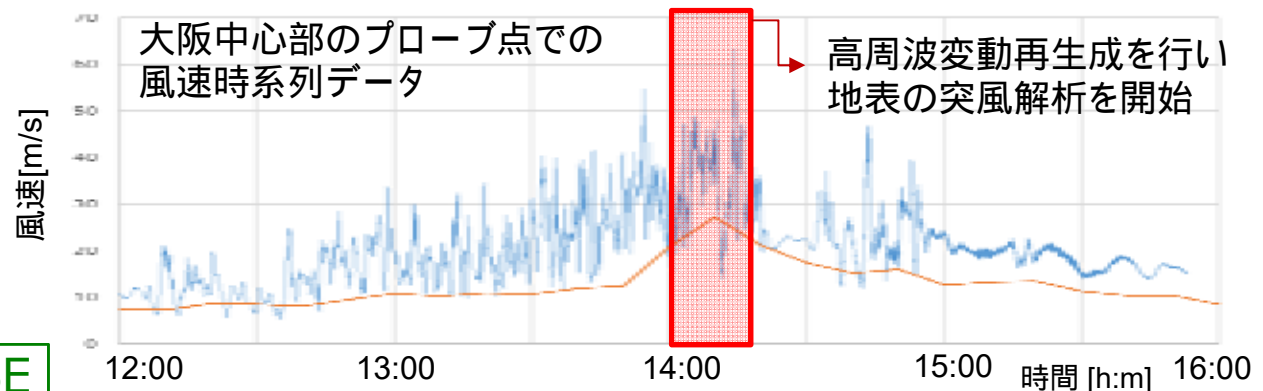
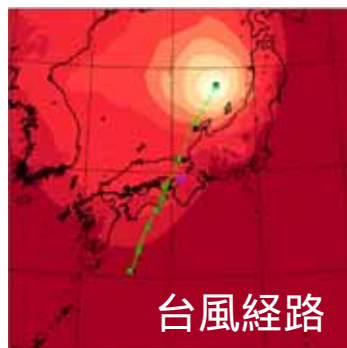
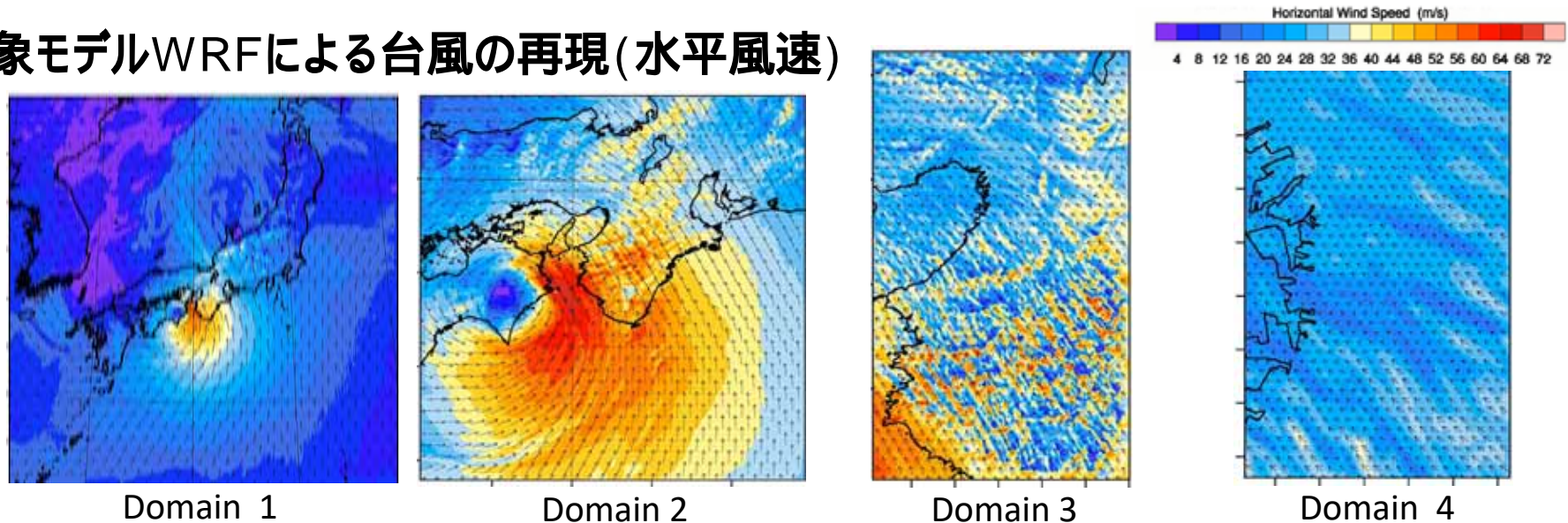
上部構造の飛散した木造住宅の圧力による被害推定
南面と北面の間に大きな差圧(50~90kN/m²)が継続的に発生
屋根面の負圧も大きい

2018年台風21号 市街地における強風の推定

気象モデルによる台風境界層の変動から市街地の細かな変動までの広範なスケールの乱れを直接に再現ができる。上空の乱れが実市街地内に発生する突風や強風に与える影響を理解し、建築物への被害発生に関する推定を行う。

進路東側の近畿地方で記録的な暴風。最大瞬間風速の観測史上最大値を全国100地点で観測（気象庁）
死者14人,負傷者965人,住家被害(全壊59,半壊637,一部壊85,715),非住家被害8公共建物1,195,その他4,529)（消防庁）

気象モデルWRFによる台風の再現(水平風速)



階層型直交格子ソルバー-CUBE

大阪市内の風況解析の試行

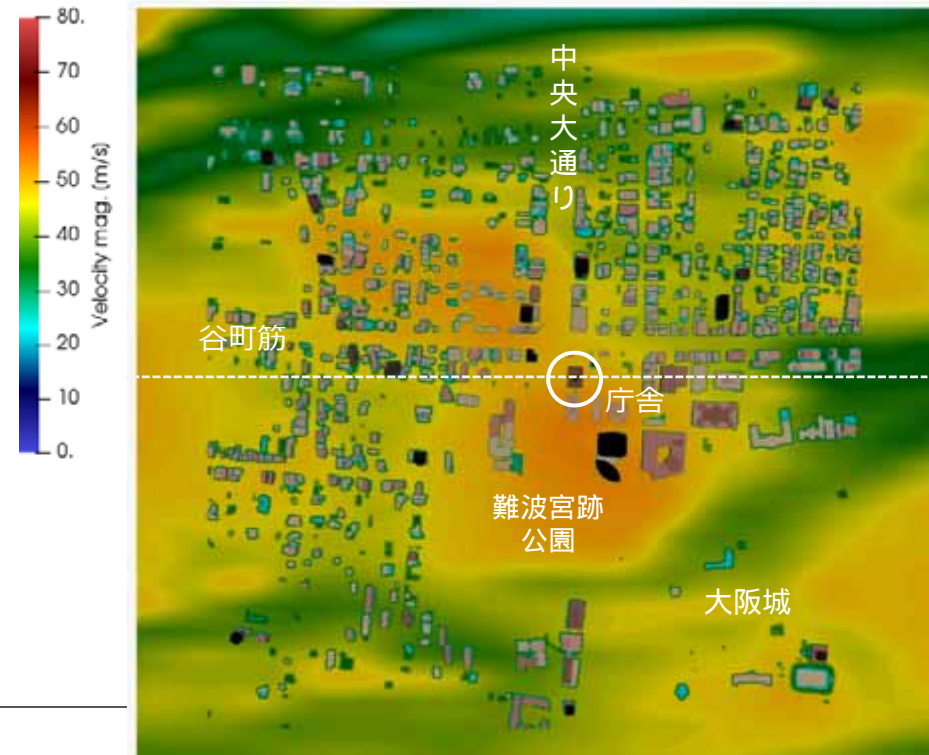
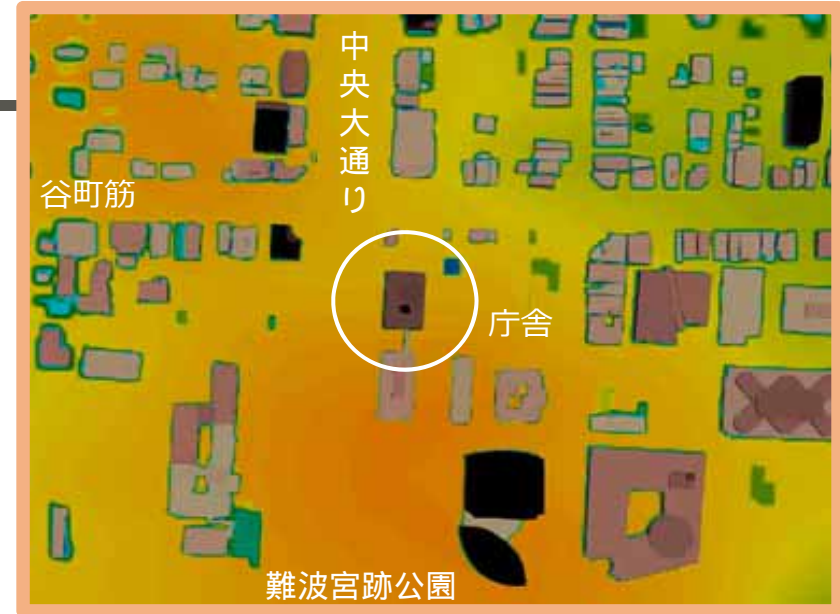


階層型直交格子
ソルバー-CUBE

2018年台風21号

国総研・建築研究所：
平成30年台風第21号に伴う強風による
建築物等被害現地調査報告(速報)

大阪管区気象台 (庁舎から2.5km東, 地上高さ24m)
最大風速27.3m/s 最大瞬間風速が47.4m/s

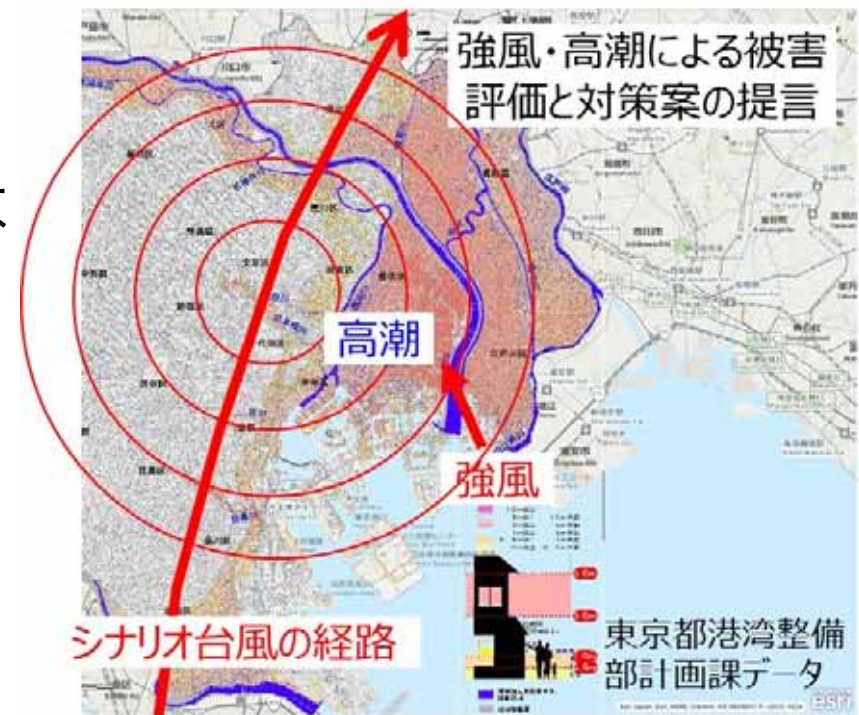


3. 今後の取組み

今後の取組み

頻発する極端気象災害に対する都市・建築のレジリエンス強化

- ポスト「京」重点課題4との協働
- 気象モデルと階層型LESプログラムの連成による都市・建築の強風災害シミュレーション技術の構築とマルチハザードへの展開
 - ・ 将来増強する台風を想定した新しい耐風設計法確立
 - ・ 大規模・超大サンプル数の計算とAI解析による不確定性の定量化
 - ・ 東京東部を対象とした極大台風による強風・高潮の災害リスク解析
 - ・ 開発成果を規基準・指針に反映し、国・社会のレジリエンス強化に貢献
 - ・ 開発成果を産業界に水平展開し、社会実装を推進
 - ・ 開発プログラムのエコシステム構築



(参考資料)
建築CFDコンソーシアムの取組み

建築CFDコンソーシアムの取組み

■ 理念

コンソーシアム形式による産官学連携した出口戦略を見据えた実証研究

■ 目的

【現状】建築物の耐風設計に対する数値流体計算の適用方法の確立

【将来】現在の極端気象の状況を踏まえた場合の様々な自然災害の様相を考え、被災状況を考慮した上での都市・建築物の強靱化

■ 活動内容

○建築物の耐風設計でのHigh Performance Computingの実現

・重要特殊建築物でのCFD性能評価資料の雛型の作成

○数値的推定値における不確定性の定量化

・CFD結果判定基準の精緻化

➡Capacity computing

○頻発する極端気象災害に対する都市・建築のレジリエンス強化

・CFDの展開範囲の拡大

➡Capability computing



建築CFDコンソーシアムの取組み

■ 社会貢献の視点

- ハイエンド計算による数値流体計算の妥当性確認とコード検証用データ提供
- 耐風設計用の数値流体計算実用モデルの標準化と提案
- 数値流体計算に基づく耐風試設計の実施と安全性評価による数値流体計算の法的根拠確立
- 日本建築学会にて出版された数値流体計算の適用ガイドの改定に向けての基礎資料の提示
- 極端気象下での都市・建築のシミュレーションを実施し、被災度を推定
実際の被災状況と比較しながら、シミュレーションによる推定可能性を検証し、現行設計指針の妥当性を確認

■ 産業界の視点

- ◇基盤技術の共有や認証制度・法改正への協働
- ◇大学・研究機関がソフトウェアを開発し、産業界がニーズ提供とシミュレーションを通じて、開発ソフトの実証評価、実用化を実施
- ◇業界企業の多数が参画することで、業界全体のレベルアップを実現
- ◇自然災害のインパクトに対する都市・建築の持続性・脆弱性の共通認識を醸成

建築CFDコンソーシアムで活用したプロジェクト

(1) 平成27～28年度「京」一般課題(競争的資金等獲得課題)

◇建築物の耐風設計に関する基準への数値流体計算の導入に関する検討

(2) 平成28～30年度「京」一般課題(コンソーシアム型産業利用)

◇(平成28年度)強風・弱風下の都市・建築物の快適性・機能性・安全性に関するCFD設計と実務への展開

◇(平成29年度)強風・弱風下の都市・建築物の快適性・機能性・安全性に関する最適居住空間の創生

◇(平成30年度)強風・弱風下の都市・建築物の快適性・機能性・安全性実現へのビッグデータ同化とエクサ指向型計算

(3) 平成26～31年度 ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発

◇重点課題④：観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化

－気象データマイニングによる局地的突風解析と接地乱流場に基づく建築構造物の被災推定－

(4) 平成27～28年度 国土交通省建築基準整備促進事業

◇S18.風圧力、耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討

➡平成27～28年度「京」一般課題(競争的資金等獲得課題)で計算

ご清聴ありがとうございました！