平成25年度技術講演会　新潟大学

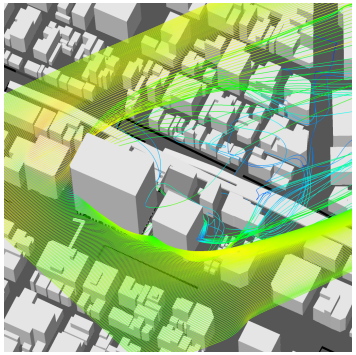
流体数値シミュレーションの最先端技術

２０１３年6月１２日

（株）数値フローデザイン
日比一喜

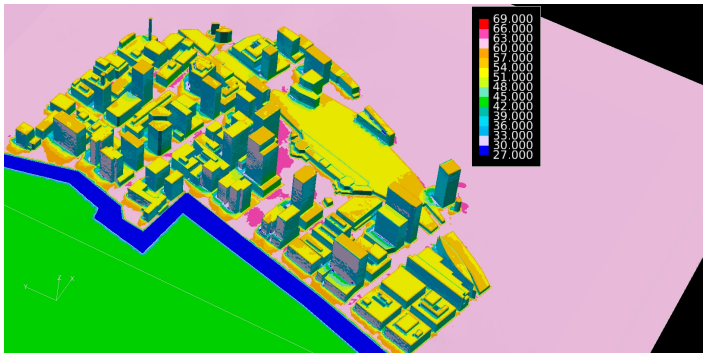
本日のトピックス

1. 建物周辺気流-特にビル風を中心として



4. 時間があれば
その他の話題

2. ヒートアイランド問題



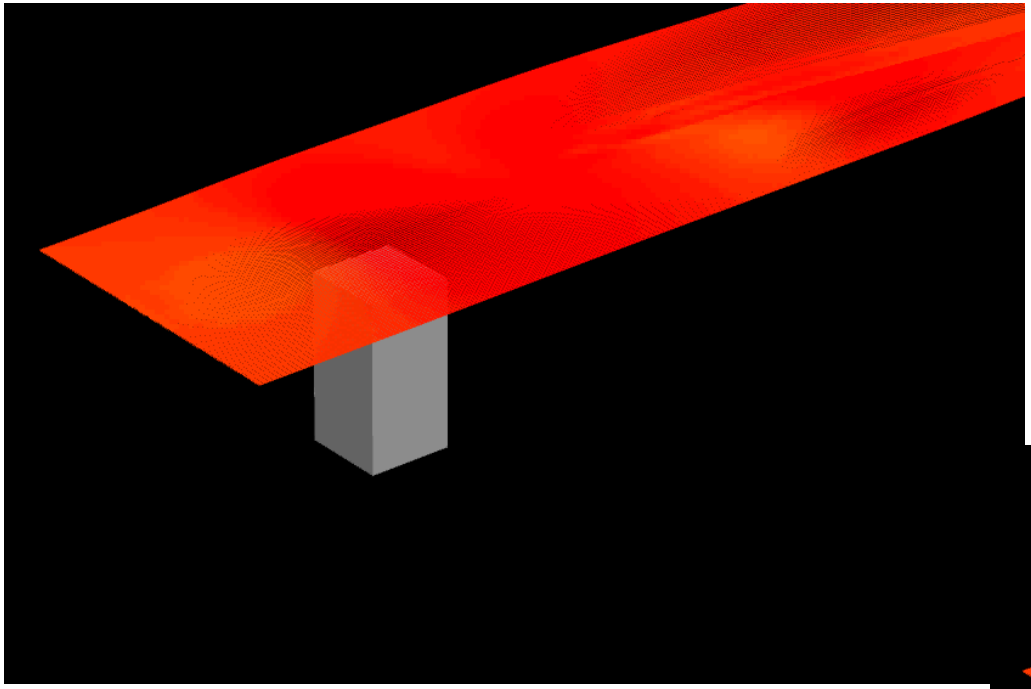
3. 大規模計算

清水建設（株）フック博士

1. 建物周辺気流

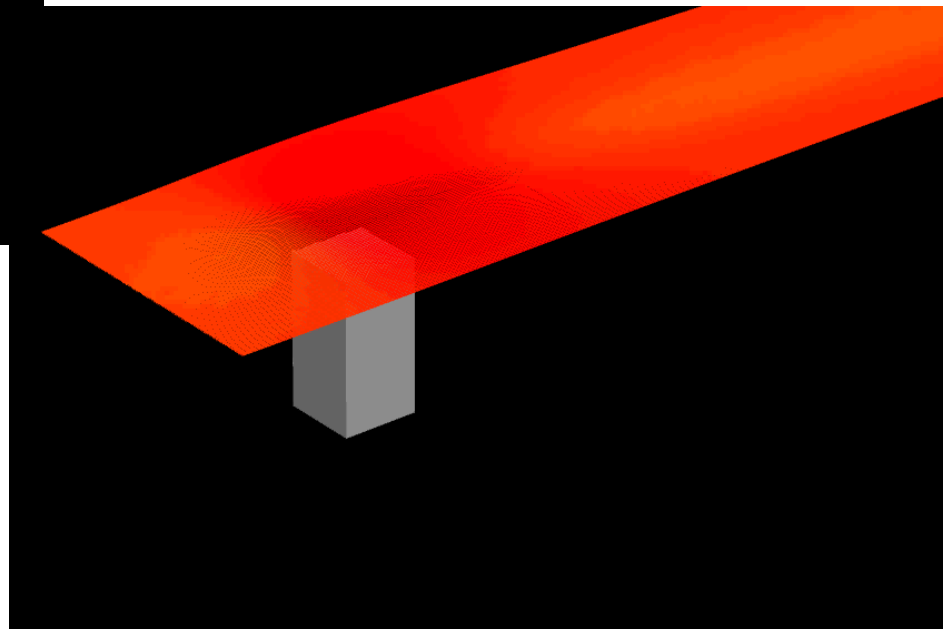
特にビル風を中心として

建物周辺の流れ場

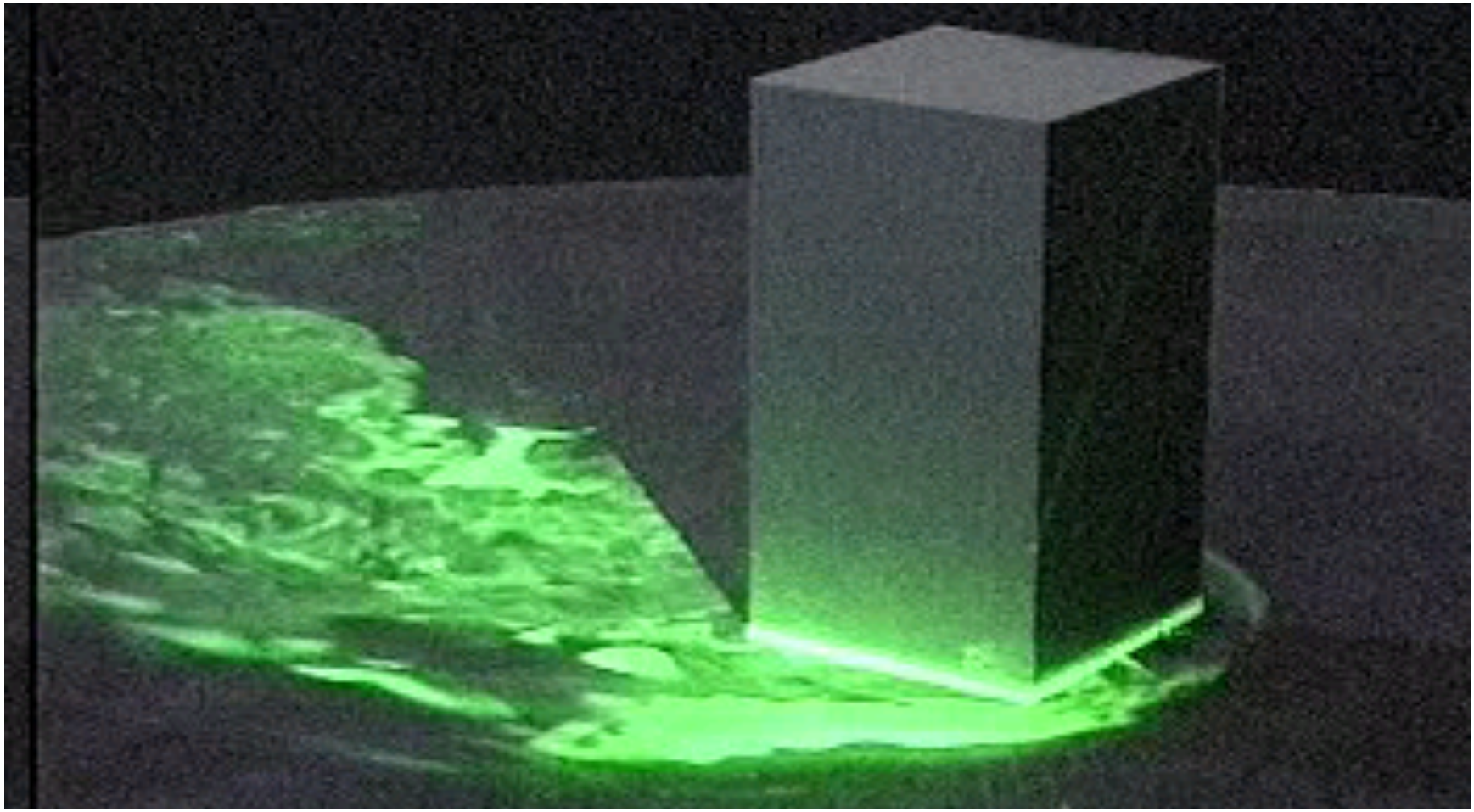


LES瞬時値

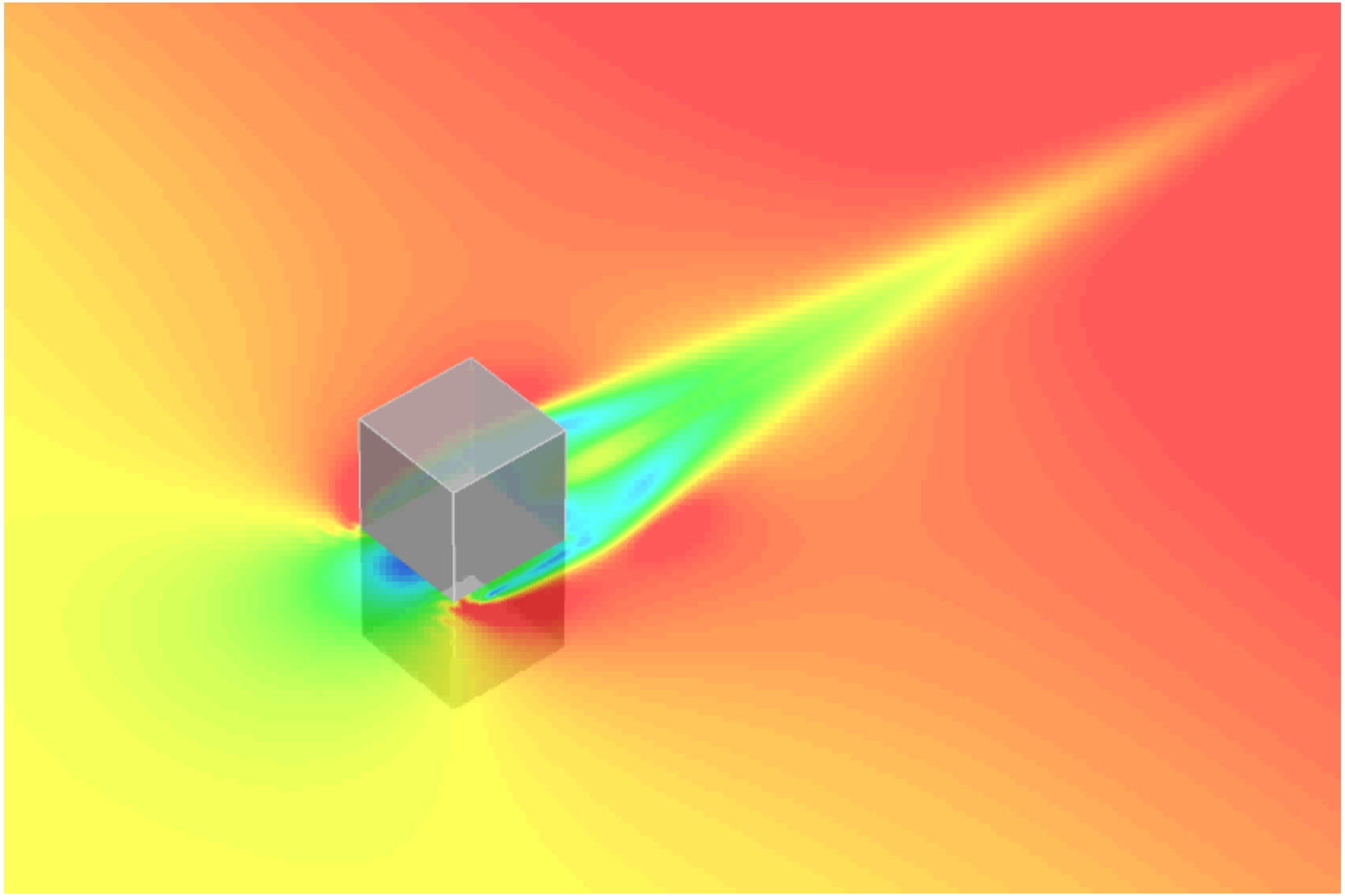
RANS平均値



地表面付近の剥離渦



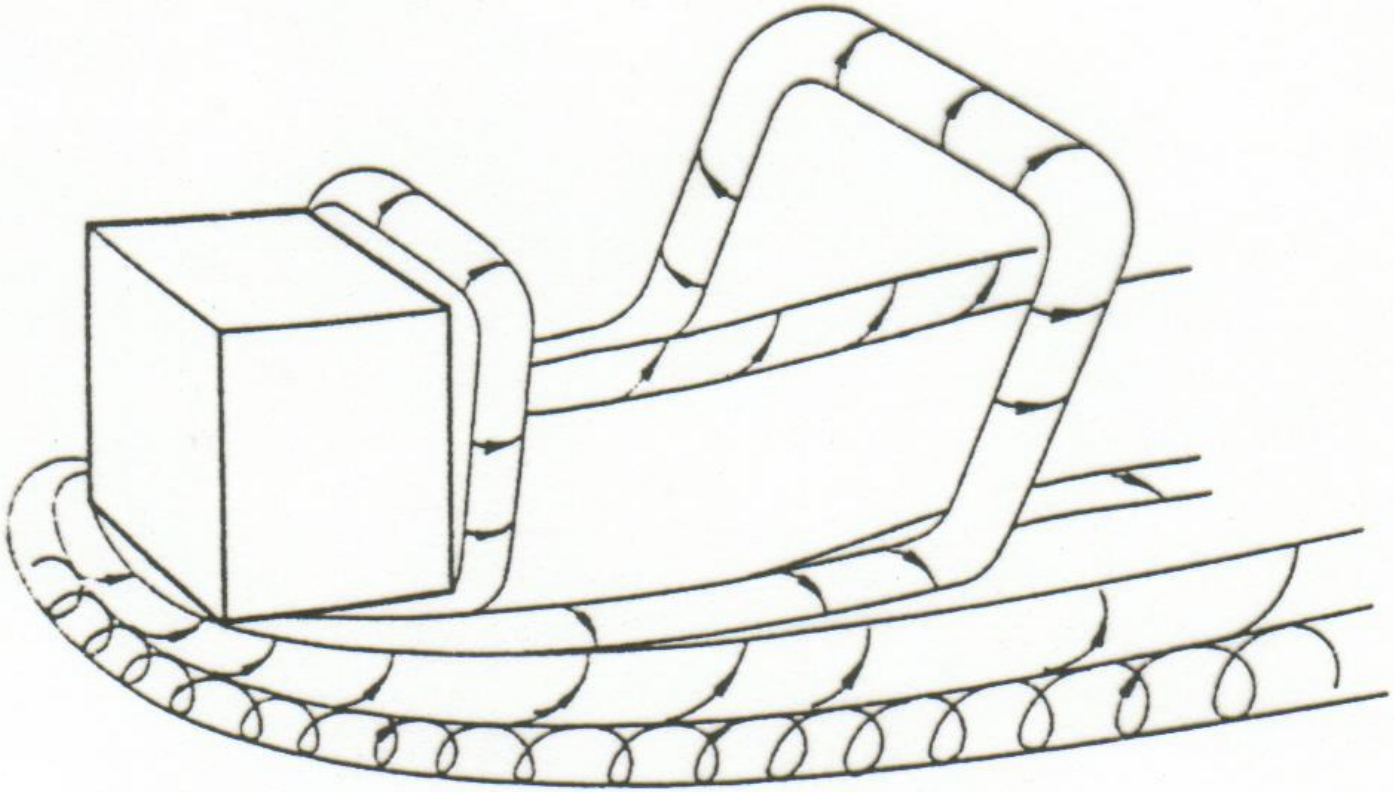
LESによる建物後流の渦



積雪パターンに見るビル風

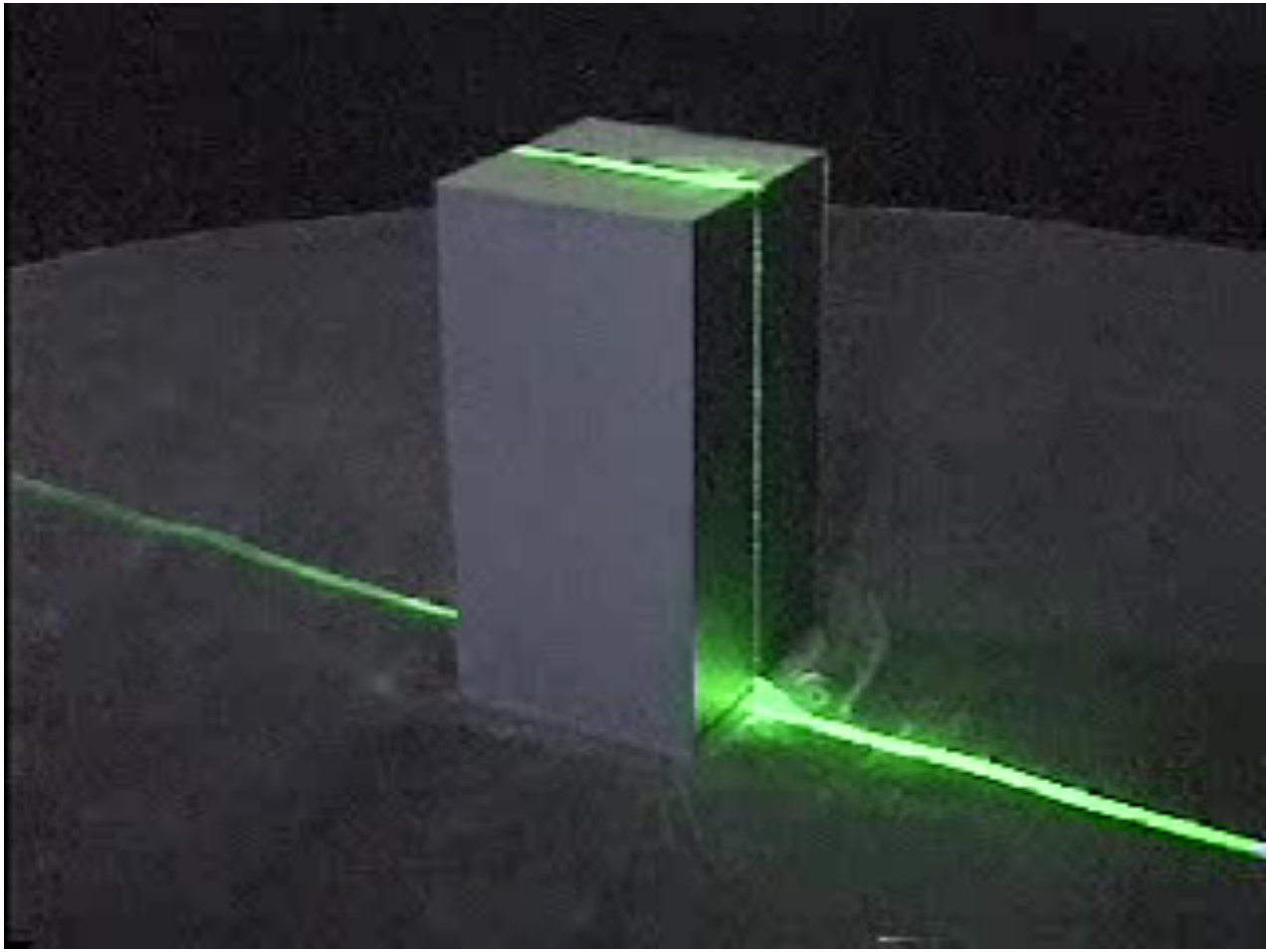
- 老川、苫米地：建物近傍の雪によるウインドスクープの野外観測、日本雪工学会誌、1999-10

馬蹄形の渦



(a)　アスペクト比の小さい場合（アーチ型）

建物の風上の地表面（馬蹄形渦）



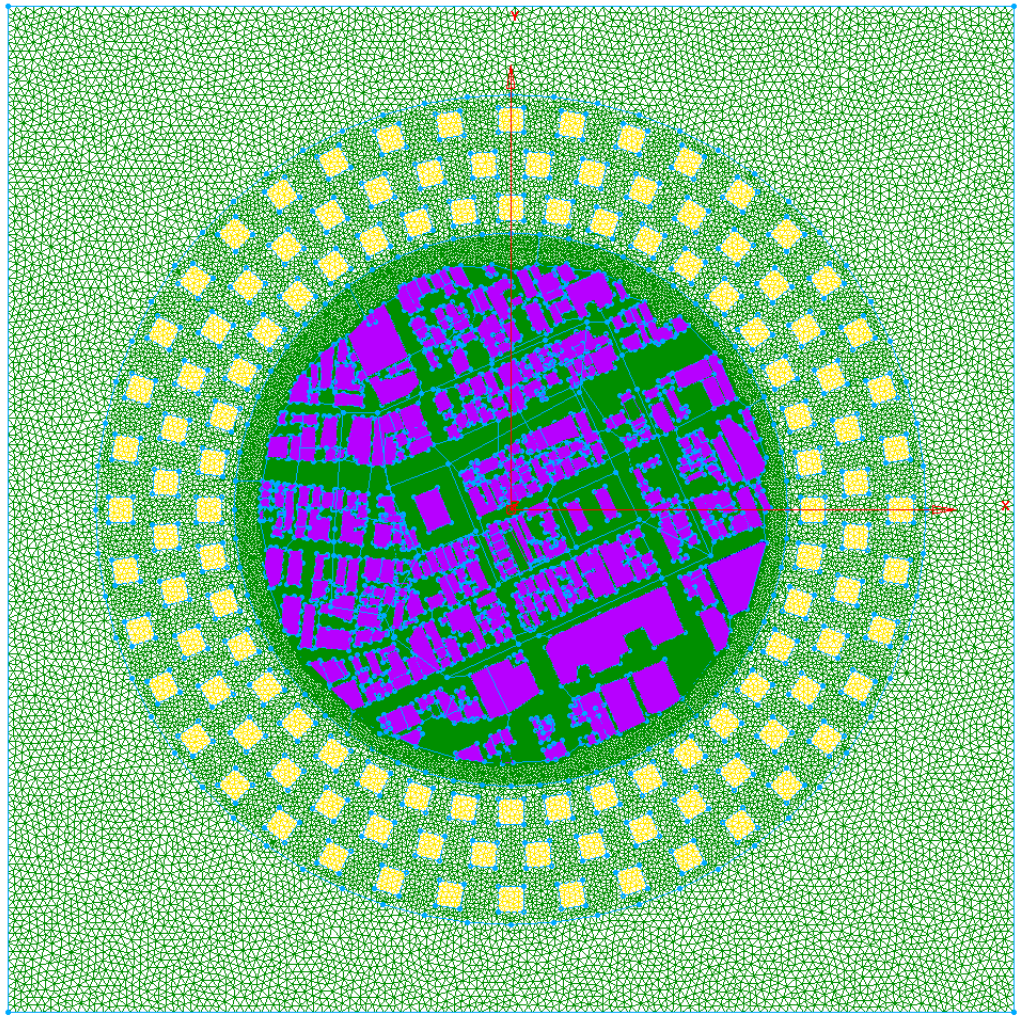
建築学会のガイドライン

	総節点数	総要素数	格子形状
	418万	2222万	4面体

紫：建物等構造物
黄：ブロック
緑：地表面

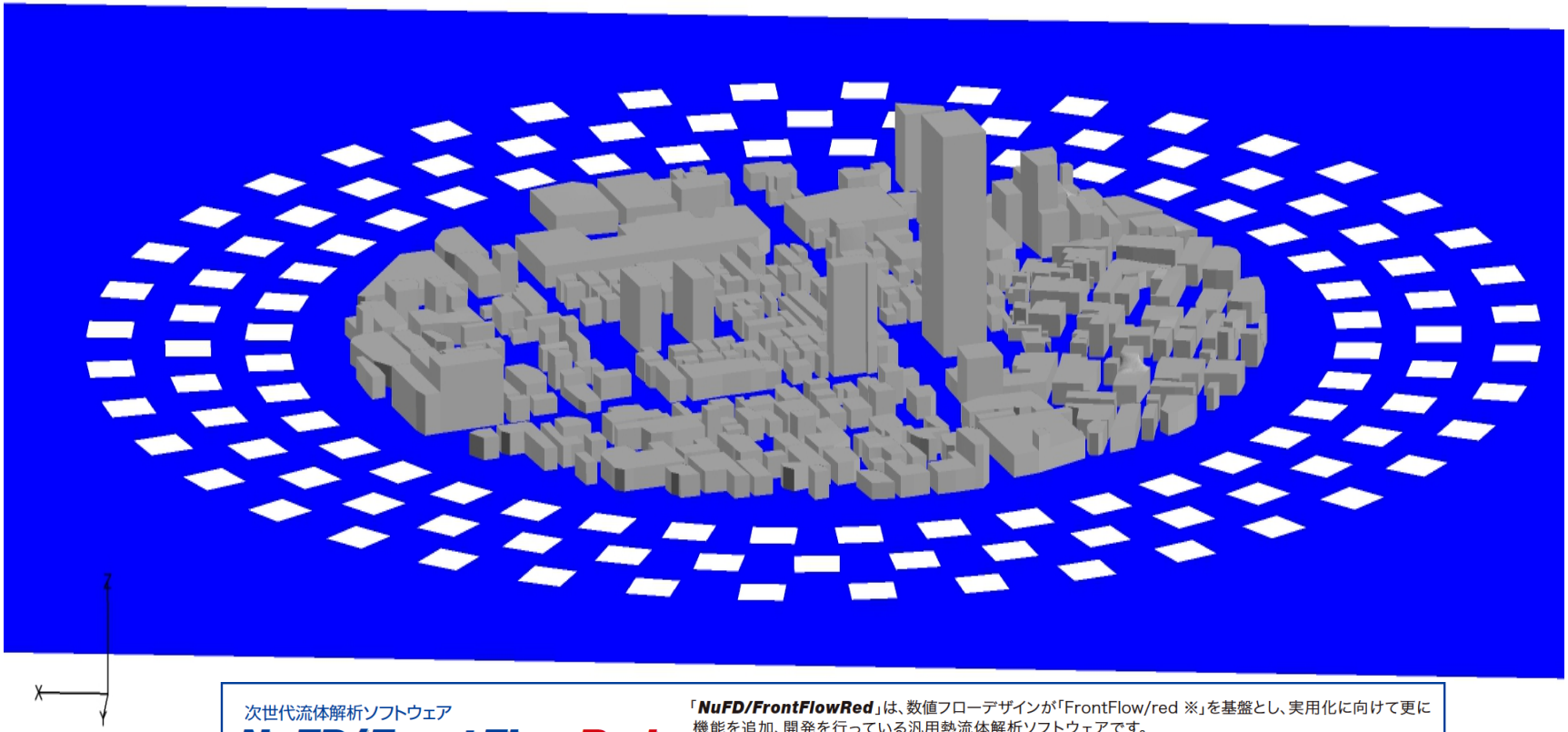
- 解析領域は直方体
  800m　四方
  450m　高さ

全体図



- 計算格子概要

建築学会のガイドライン
新潟のベンチマーク問題



次世代流体解析ソフトウェア

NuFD/FrontFlowRed

「***NuFD/FrontFlowRed***」は、数値フローデザインが「FrontFlow/red ※」を基盤とし、実用化に向けて更に機能を追加、開発を行っている汎用熱流体解析ソフトウェアです。

※「FrontFlow/red」は、文部科学省ITプログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクトにより、東京大学生産技術研究所を中心に、将来の産業を支えるソフトウェアを開発するとともに、先端的なシミュレーション・ソフトウェアに関するわが国の開発・保守体制を確立することを目的として開発された次世代流体解析ソフトウェアです。

「NuFD/FrontFlowRed」の主な機能

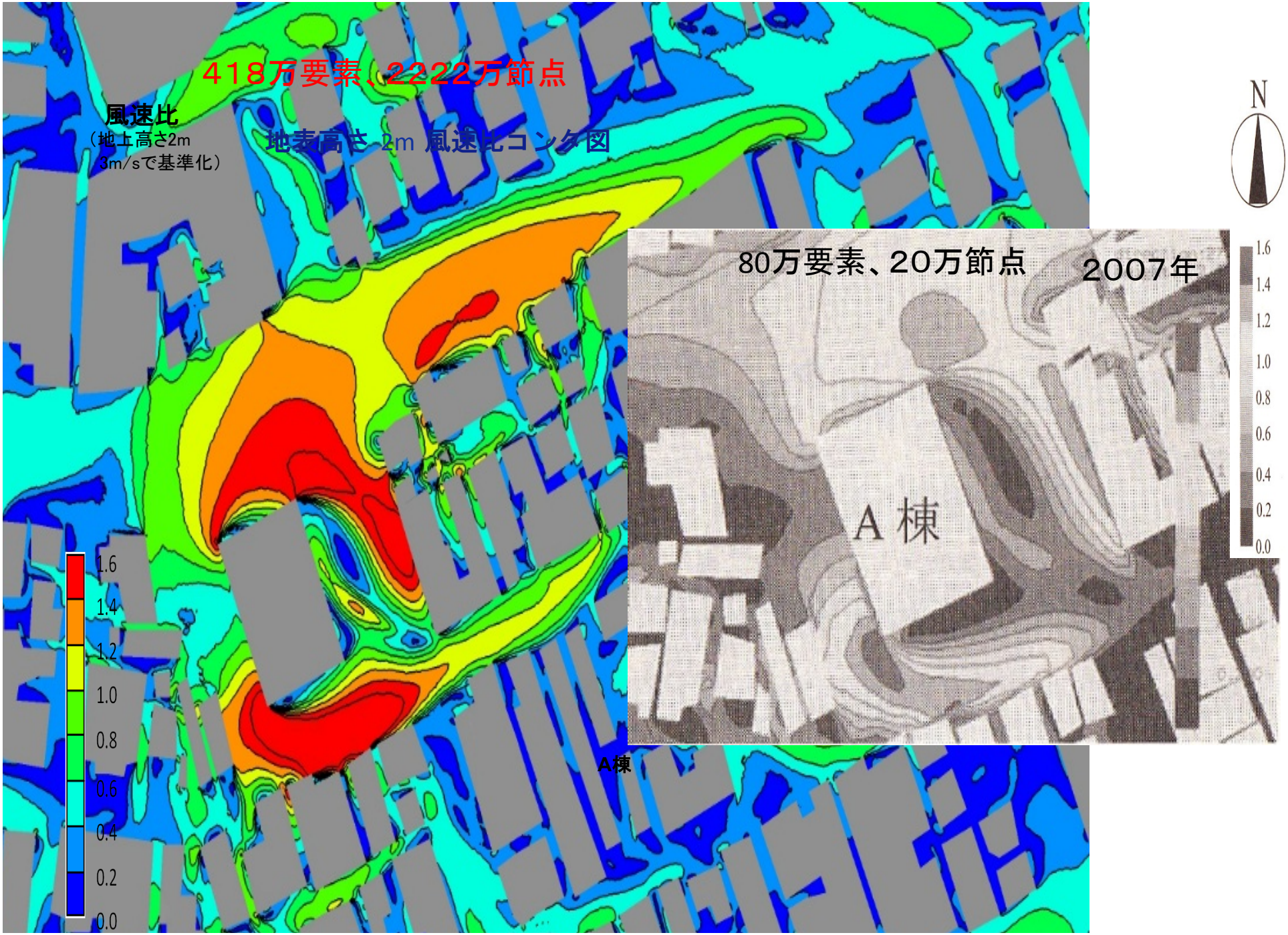
- 大規模解析に対応する高度な並列化、ベクトル化
- 優れたLES系とRANS系乱流モデル
- 柔軟な非圧縮性と圧縮性を併用したアルゴリズム
- 粒子追跡法による微粉炭燃焼、噴霧燃焼
- LES-FLAMELET拡散燃焼、予混合燃焼、部分予混合燃焼モデル
- 乱流騒音モデルによる乱流音圧レベルの予測
- 実在ガスモデルによる輻射伝熱と対流伝熱の連成
- 複雑物理現象を含む気液二相流モデル
- 気象モデルWRFのインポートと複雑市街地の大気拡散
- FVM/DOMによる輻射輸送方程式による大規模非定常解析
- 多面体格子形式の対応
- 多数の市販メッシャーおよび可視化ツールと接続

20130510

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」/開発元：東京大学生産技術研究所

解析条件

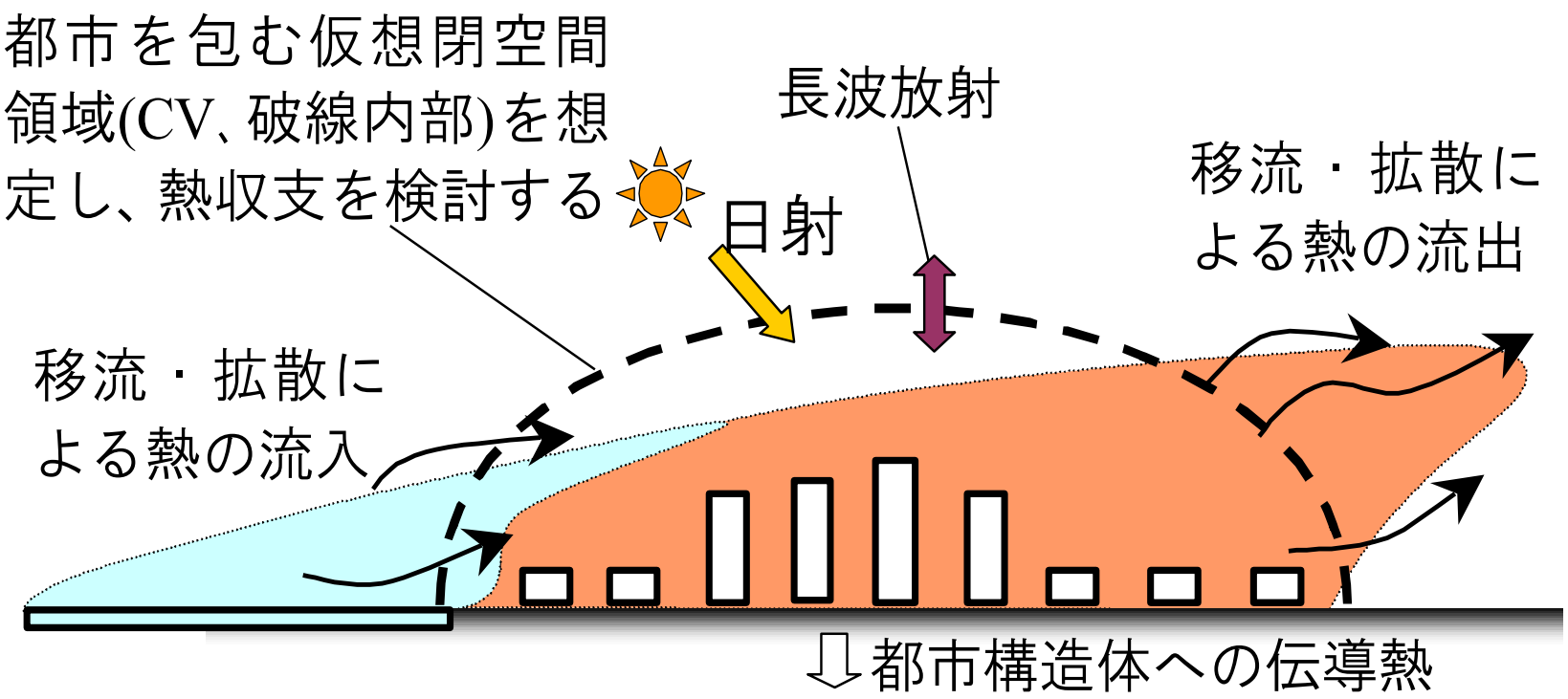
項目	条件
移流拡散項離散化	1次精度風上補間
時間積分法	Euler陰解法
乱流モデル	RNG　k－ε　モデル
時間刻み（Δt）	1.0 [sec]　固定
流入条件(風向SE)	境界層厚さによるべき乗則(粗度区分III)　$\lvert u \rvert = 10.0 \left(\frac{z}{250} \right)^{0.25}$ [m/sec]
壁面境界条件	対数則
物性値	標準空気（密度：1.205 [kg/m^3]、粘性係数：1.82×10^{-5} [Pa・s]）
解析時間	400[sec]　（400 step）
計算時間	1ケースあたり1時間(並列度：128)
使用ソフトウェア	NuFD FrontFlow/RED ver.093.6


418万要素、2222万節点
風速比
（地上高さ2m
3m/sで基準化）
地表高さ 2m 風速比コンタ図
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
A棟
80万要素、20万節点
2007年
A 棟
N

2. ヒートアイランド問題

市街地の輻射、対流解析

都市はどうして暑くなるの？



大岡龍三、吉田伸治、村上周三、佐々木澄、持田灯、吉野 博:
都市の熱代謝モデルの提案と緑化に係わる熱収支分析
-都市気候モデルに基づく東京の都市熱環境の分析ー、
日本建築学会環境系論文集、第579号、pp.73-80,2004年5月

図2.1　ヒートアイランド対策の模式図　資料）環境省

その他、風の道、ミスト、再帰性反射材料などなど

現行のCFDモデルで考慮できる項目

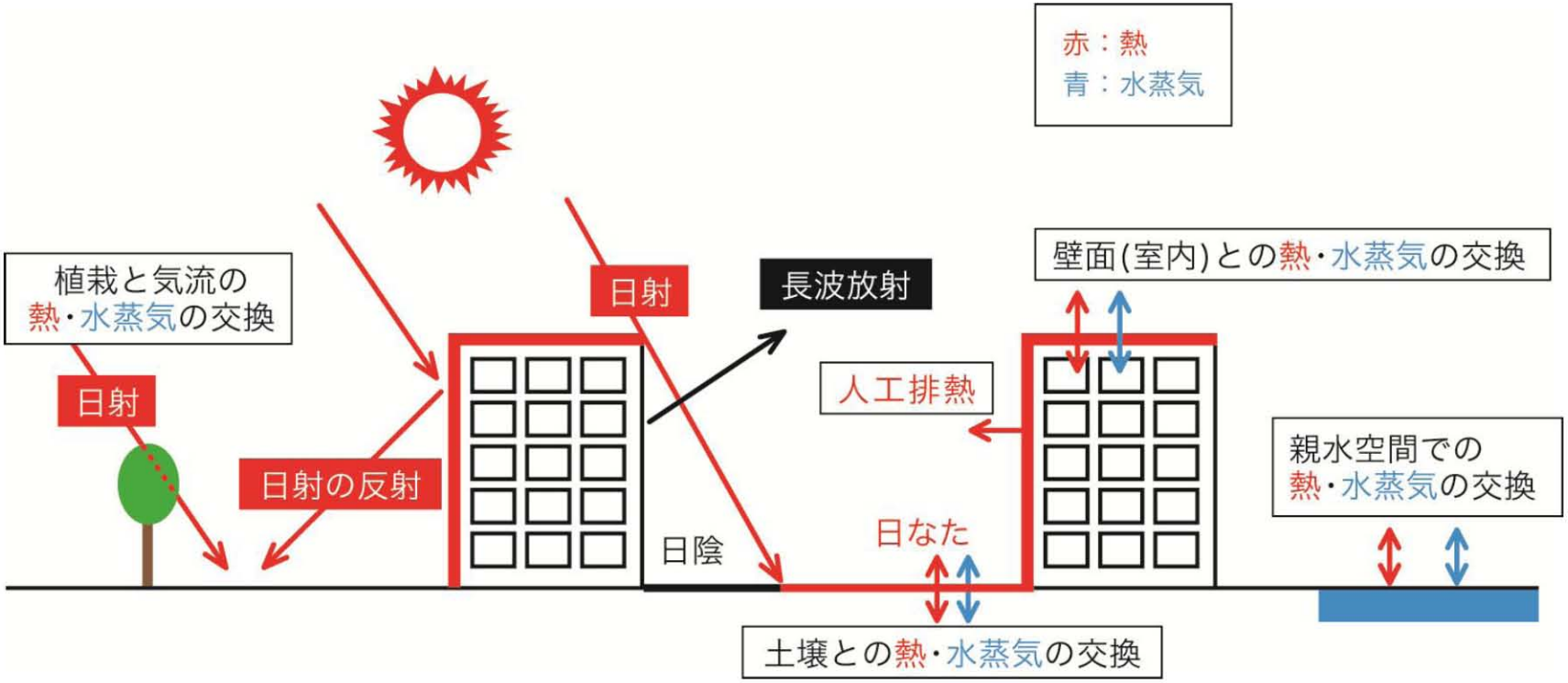
① 日射・長波放出による壁面・土壌の加熱・冷却

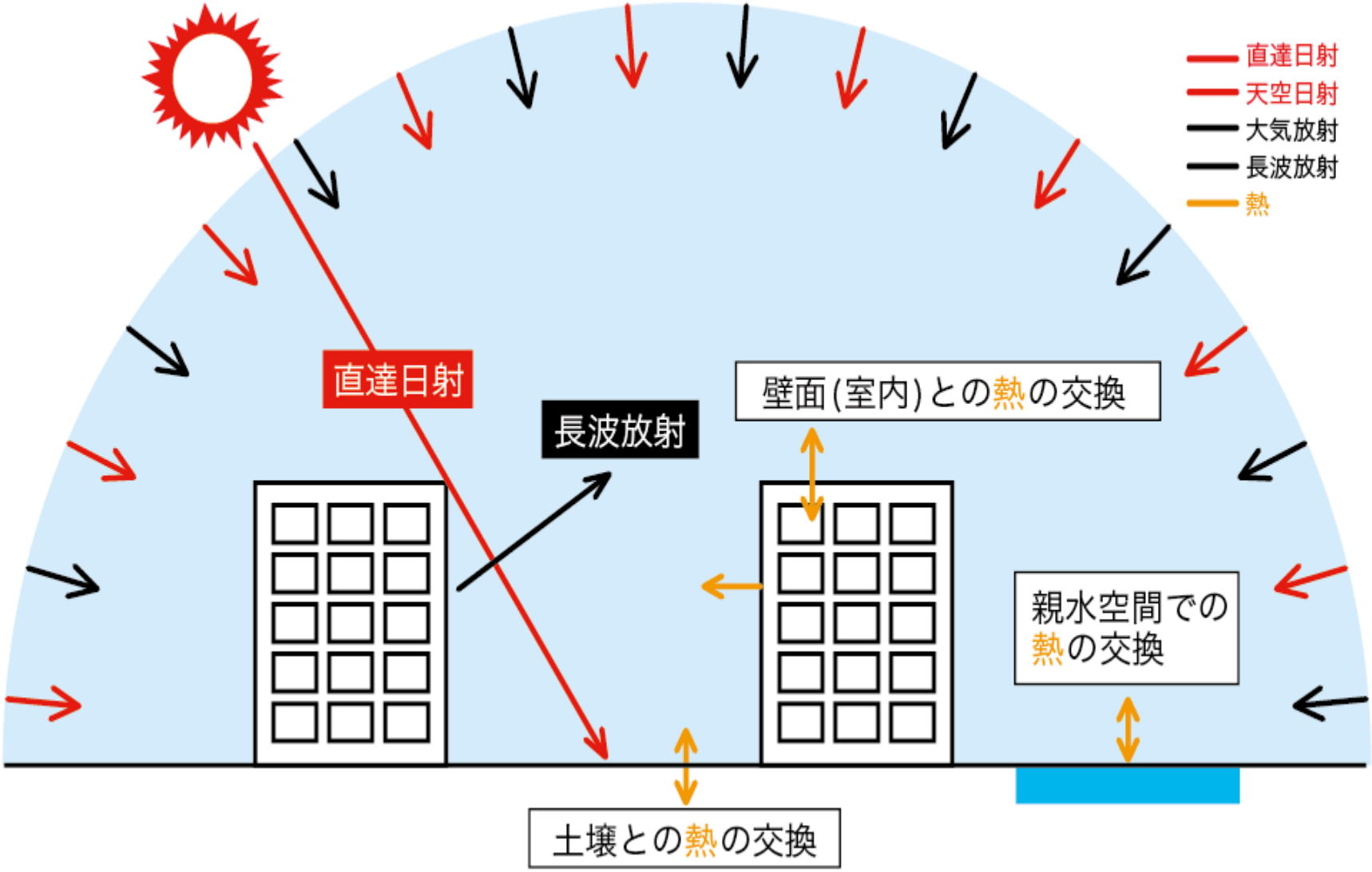
② 土壌・建物壁面と気流の熱・水蒸気交換

③ 親水空間での熱・水蒸気交換

④ 建物・自動車からの人工排熱

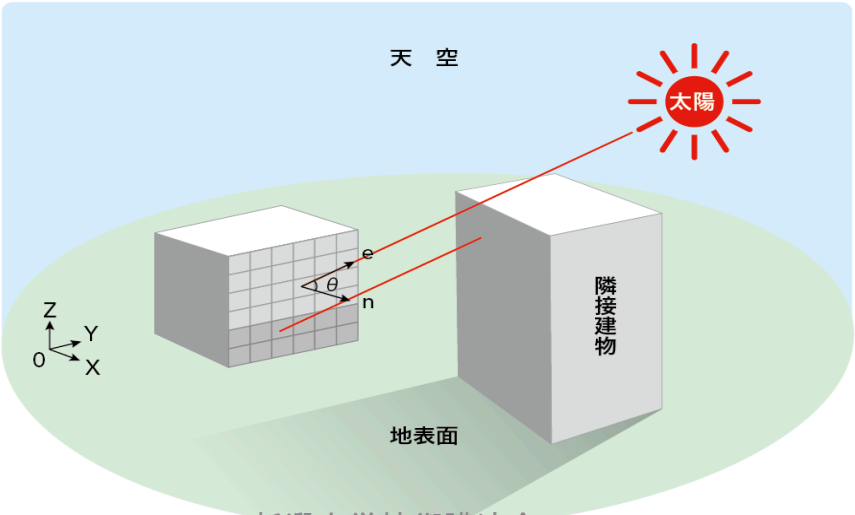
⑤ 植栽と気流の熱・水蒸気交換



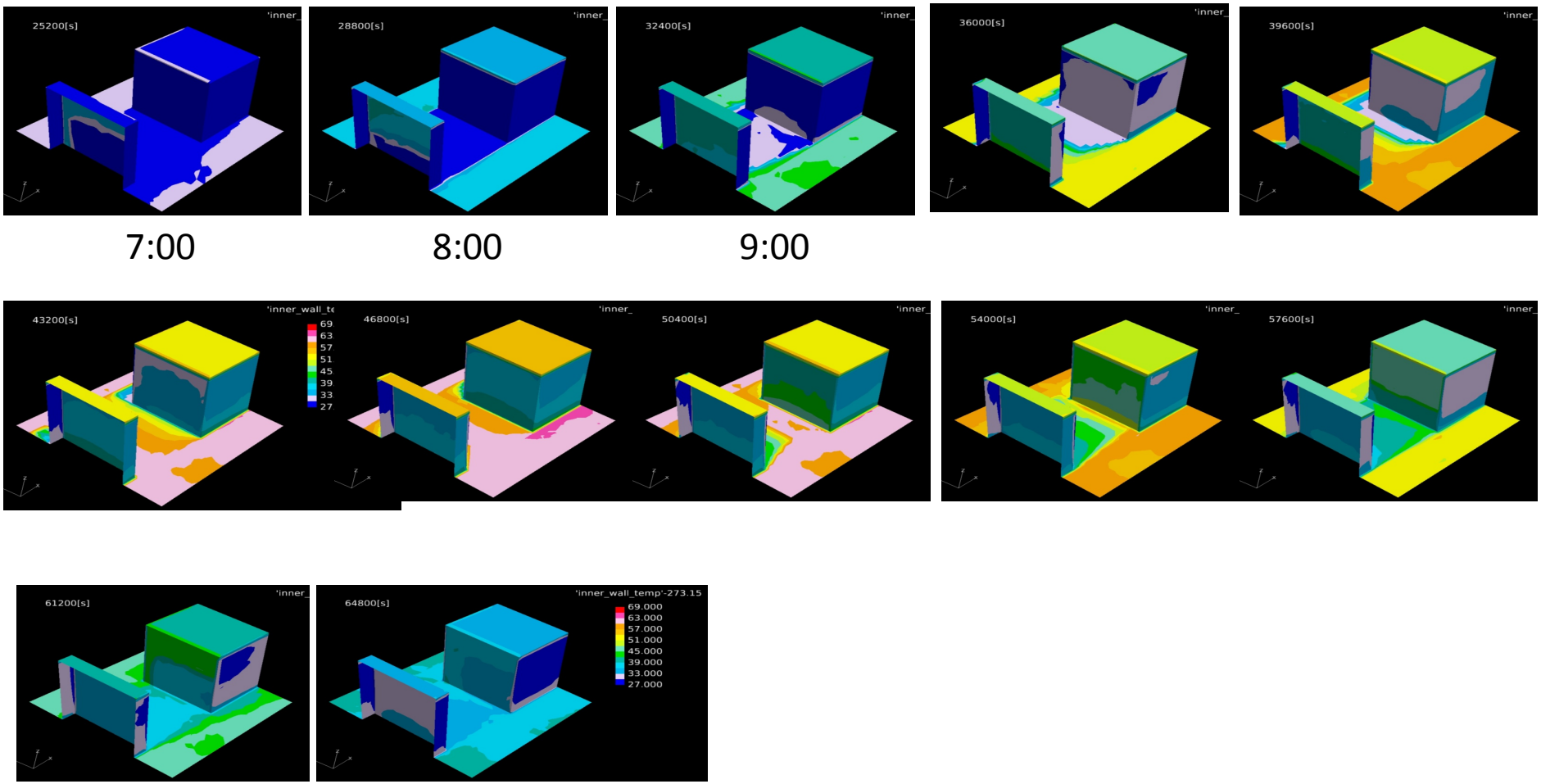

直達日射
天空日射
大気放射
長波放射
熱
直達日射
長波放射
壁面(室内)との熱の交換
親水空間での
熱の交換
土壌との熱の交換

地理情報からの太陽位置計算

- 年月日，解析地点の緯度経度，日時より太陽位置を計算
- 解析の時間経過に伴って太陽位置を時々刻々変化させることが可能

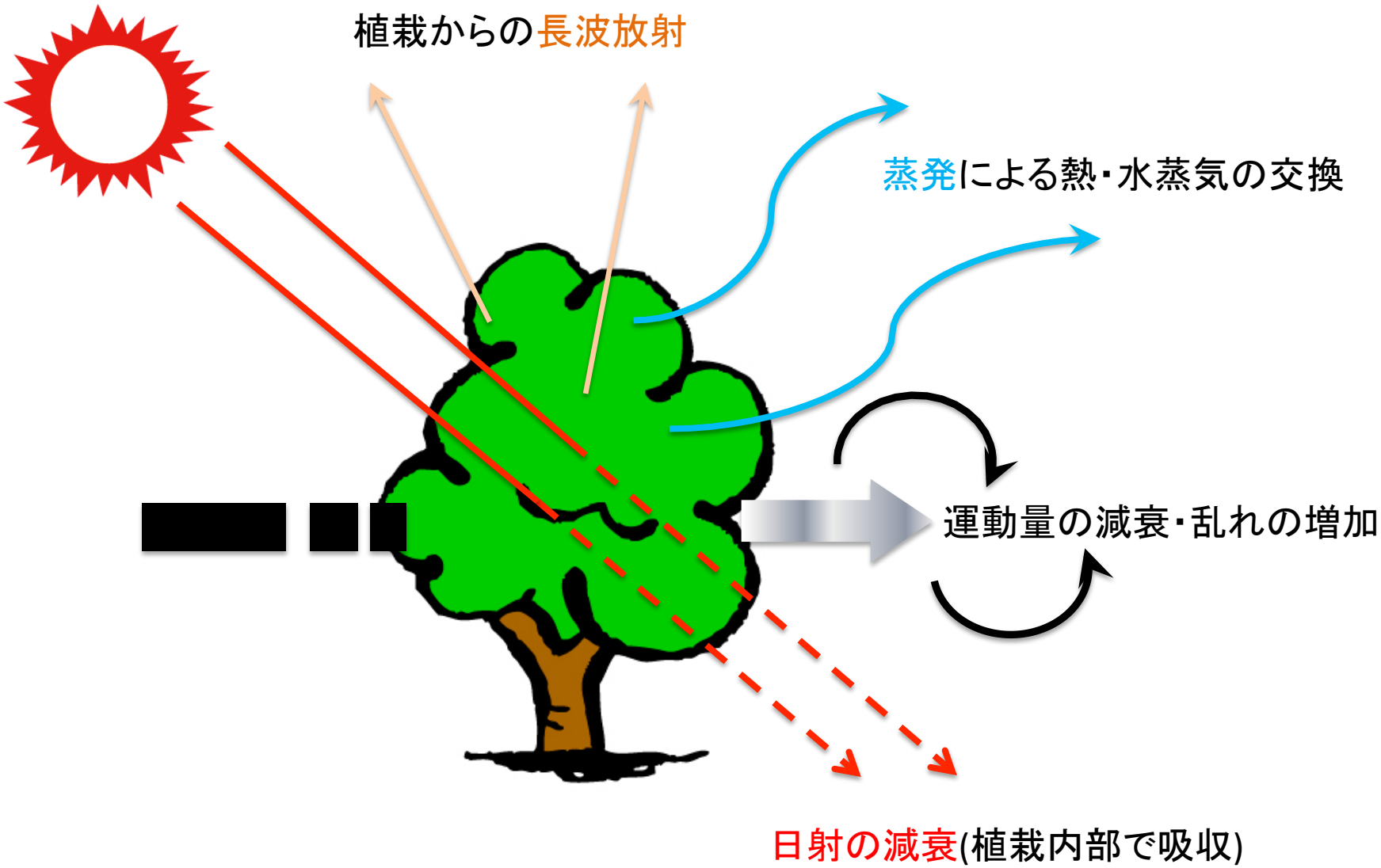


事例:仮想建物の表面温度の変化
午前7時～午後6時まで

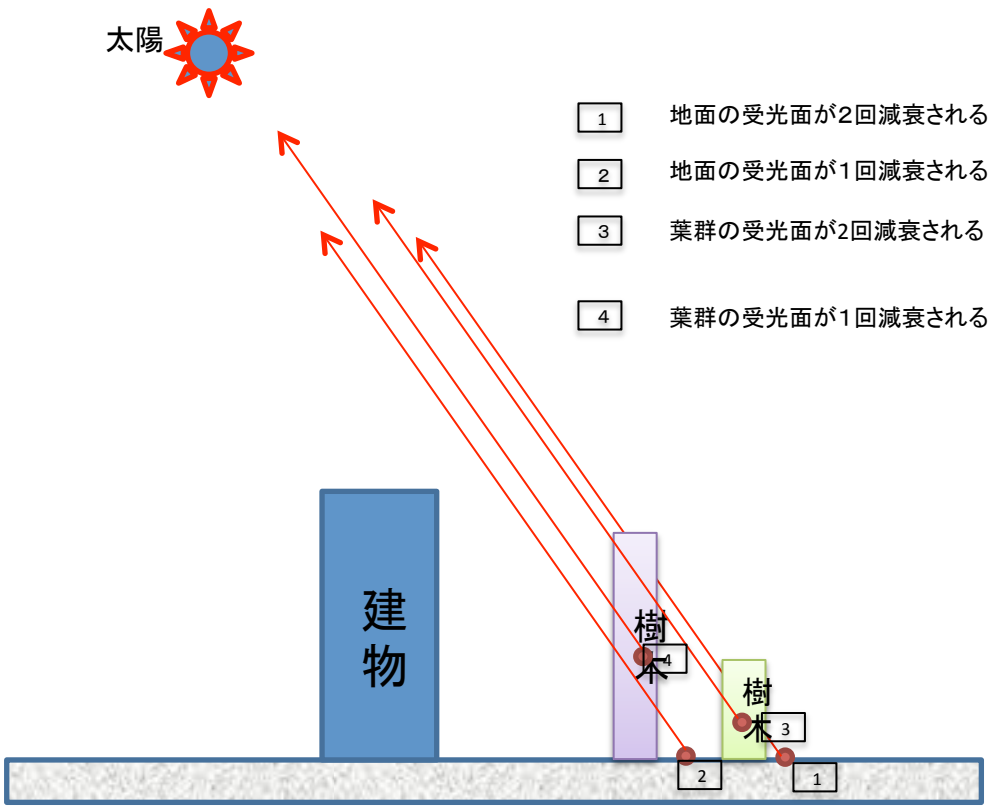


7:00　　8:00　　9:00

植栽の輻射モデル



樹木の日射減衰効果



樹木の減衰係数は、通過回数と樹木を通過距離によって積算する

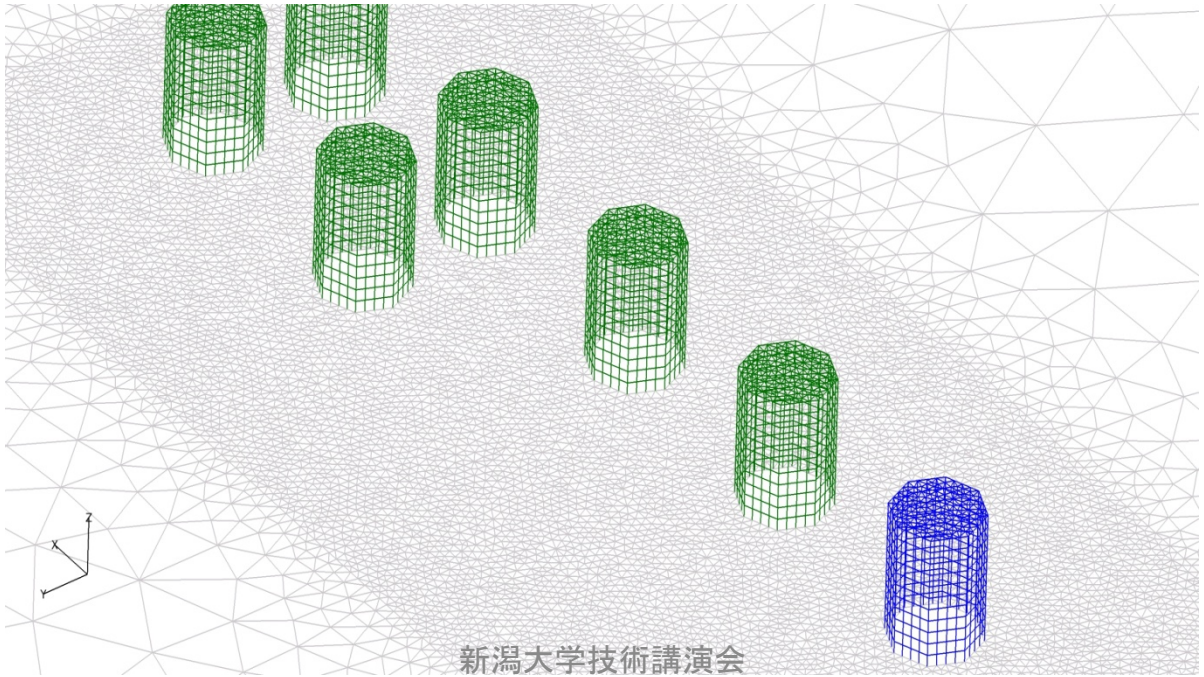
$$f_{dump} = 1 - \exp(-k'al)$$

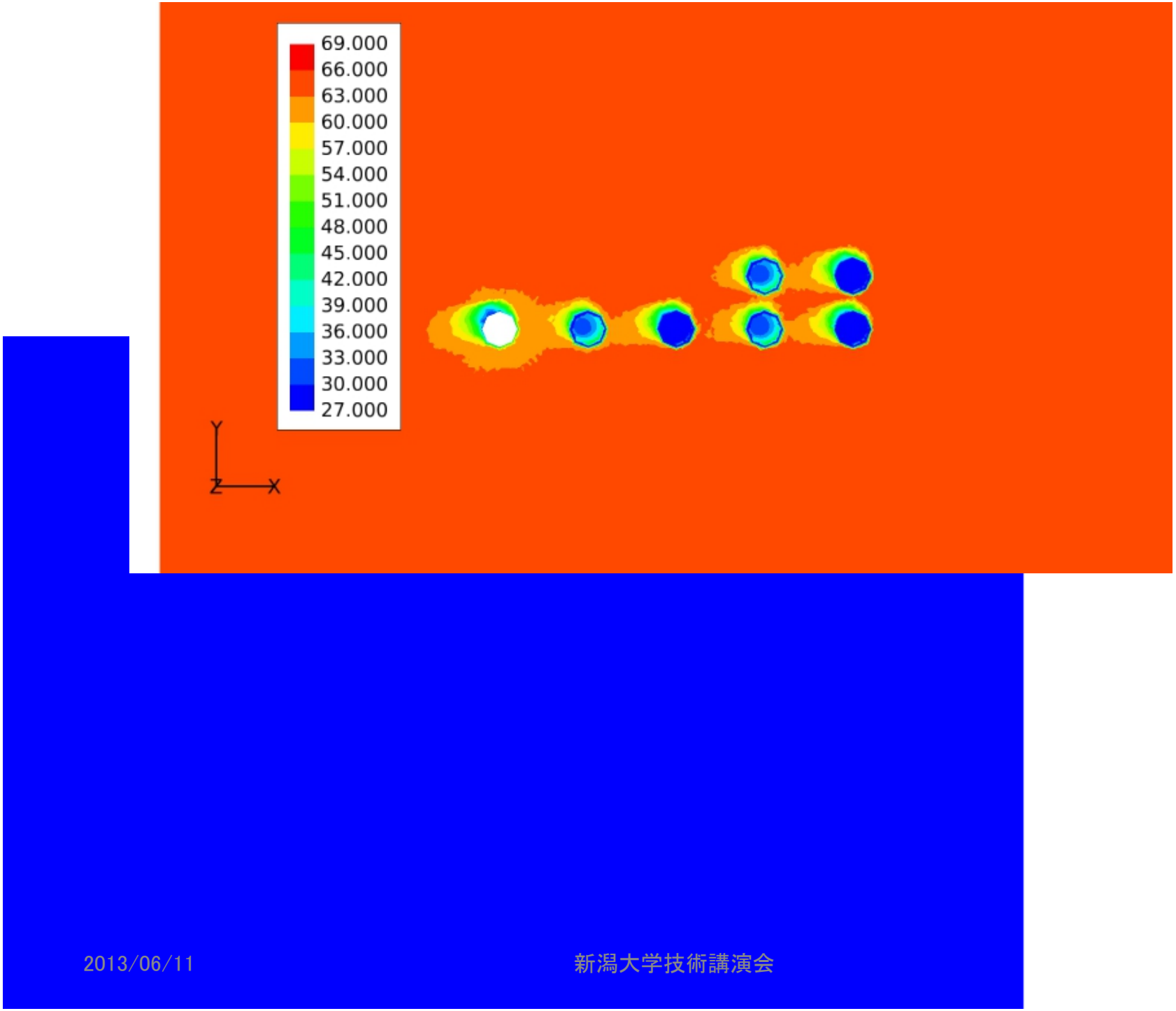
a ：樹冠の平均葉面積密度[—]
l ：樹冠通過距離（樹冠に到達した放射粒子が樹冠部分を通過する距離）[m]
k’：葉群における放射の消散係数[—]

植栽モデルの新機能

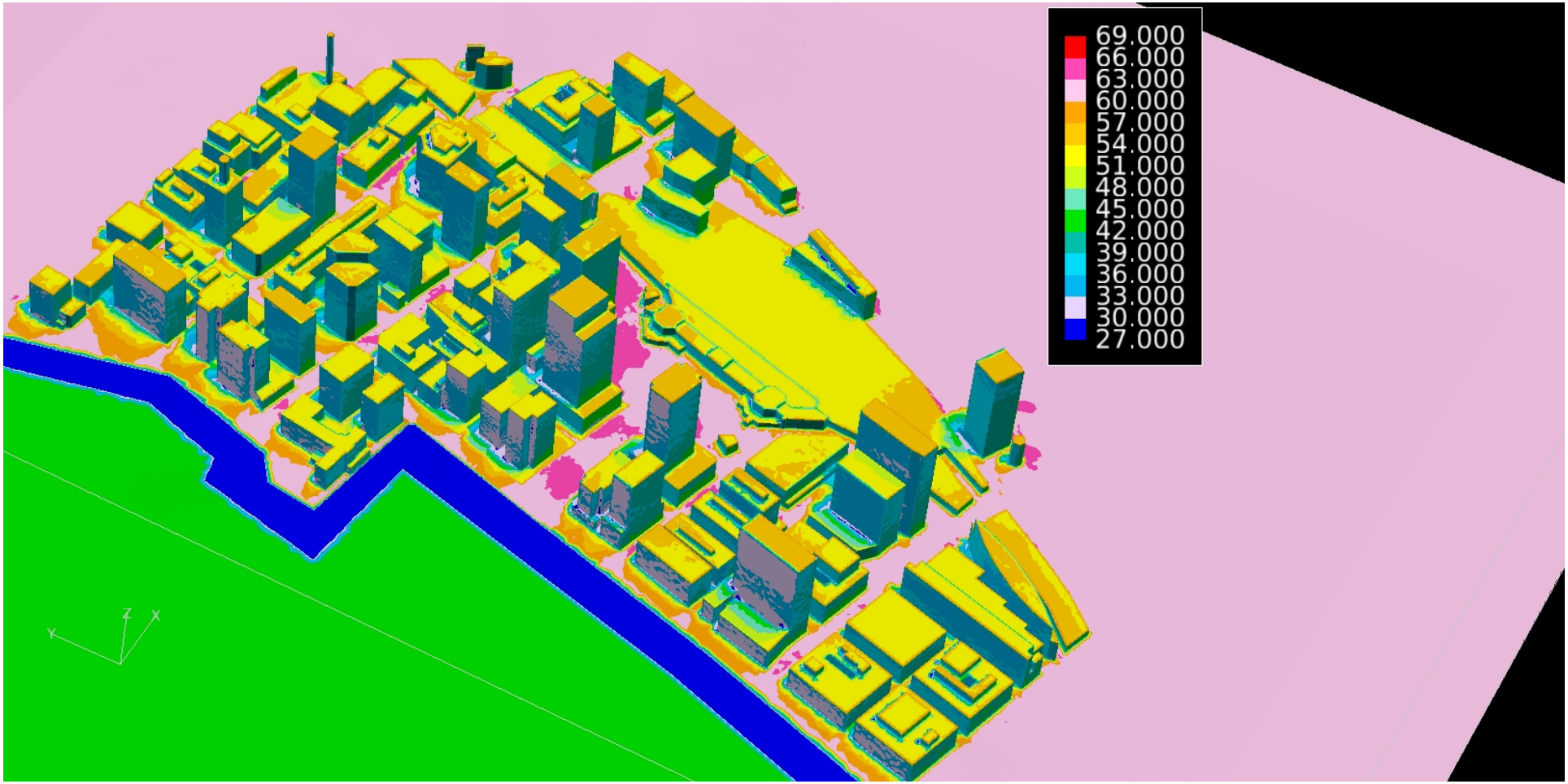
① 樹冠からの内部の輻射解析

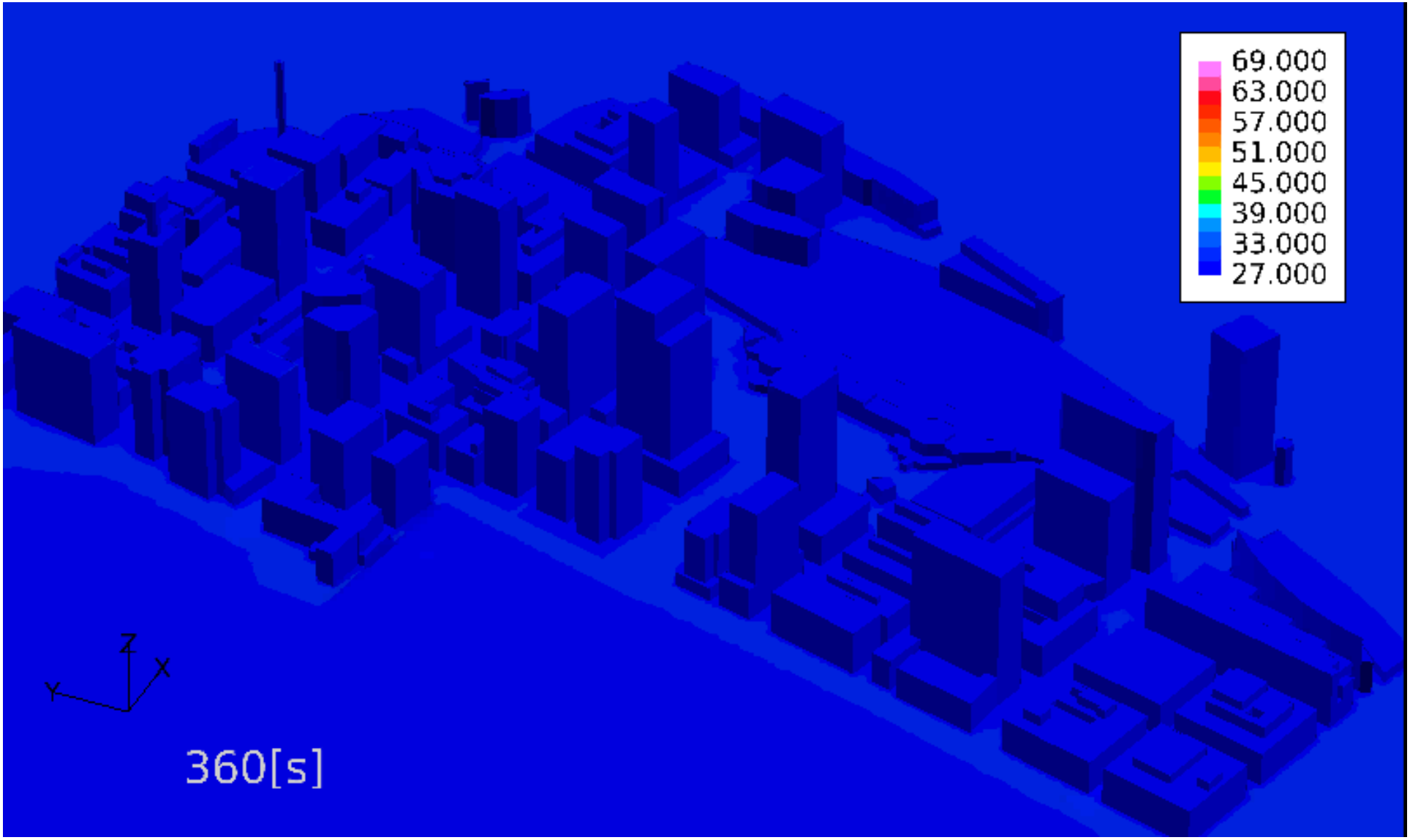
② CO_2、H_2Oの収支




69.000
66.000
63.000
60.000
57.000
54.000
51.000
48.000
45.000
42.000
39.000
36.000
33.000
30.000
27.000
Y
Z
X

東京駅周辺市街地の輻射解析




69.000
63.000
57.000
51.000
45.000
39.000
33.000
27.000
Z
X
Y
360[s]

次世代流体解析ソフトウェア

NuFD/FrontFlowRed

「**NuFD/FrontFlowRed**」は、数値フローデザインが「FrontFlow/red ※」を基盤とし、実用化に向けて更に機能を追加、開発を行っている汎用熱流体解析ソフトウェアです。

※「FrontFlow/red」は、文部科学省ITプログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクトにより、東京大学生産技術研究所を中心に、将来の産業を支えるソフトウェアを開発するとともに、先端的なシミュレーション・ソフトウェアに関するわが国の開発・保守体制を確立することを目的として開発された次世代流体解析ソフトウェアです。

「NuFD/FrontFlowRed」の主な機能

- 大規模解析に対応する高度な並列化、ベクトル化
- 優れたLES系とRANS系乱流モデル
- 柔軟な非圧縮性と圧縮性を併用したアルゴリズム
- 粒子追跡法による微粉炭燃焼、噴霧燃焼
- LES-FLAMELET拡散燃焼、予混合燃焼、部分予混合燃焼モデル
- 乱流騒音モデルによる乱流音圧レベルの予測
- 実在ガスモデルによる輻射伝熱と対流伝熱の連成
- 複雑物理現象を含む気液二相流モデル
- 気象モデルWRFのインポートと複雑市街地の大気拡散
- FVM/DOMによる輻射輸送方程式による大規模非定常解析
- 多面体格子形式の対応
- 多数の市販メッシャーおよび可視化ツールと接続

20130510

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」/開発元：東京大学生産技術研究所

3. 大規模計算

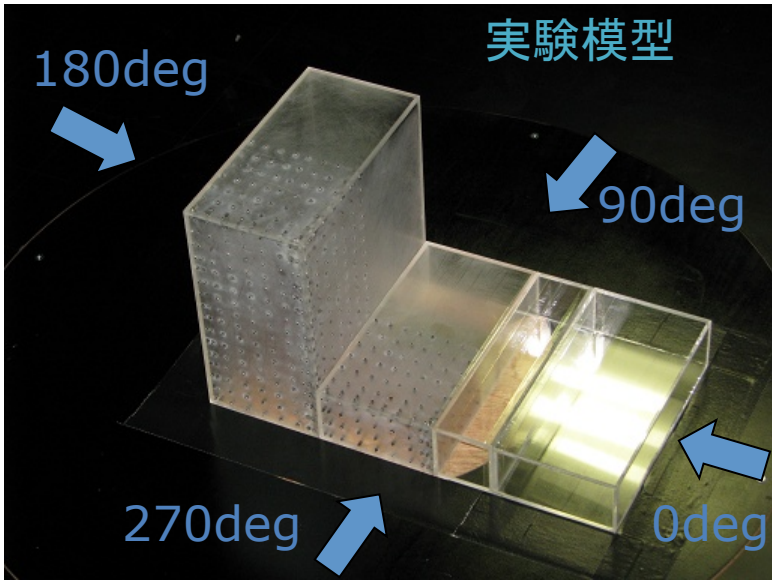
京コンピュータの適用事例

清水建設(株)技術研究所　ファムバンフック博士

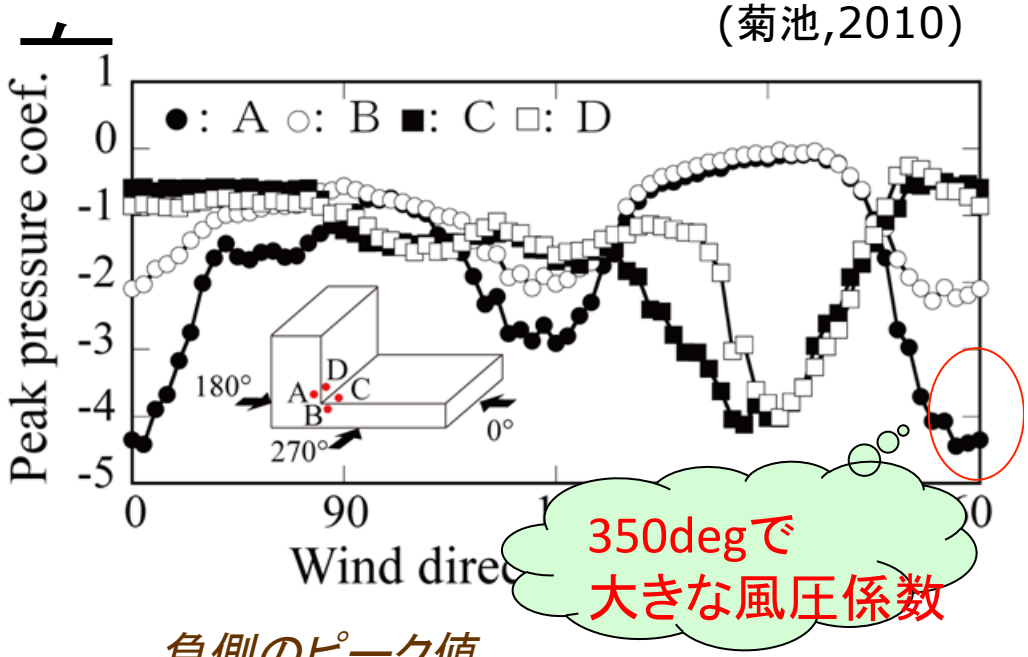
京コンピュータの概要

・理化学研究所に設置されたスーパーコンピュータ
・文部科学省の次世代スーパーコンピュータ計画の一環として、
理化学研究所と富士通が共同開発した。
・9月28日，学術・産業分野向けに本格共用稼働
・計算ノード82,944

背景：セットバックした建物の風圧分

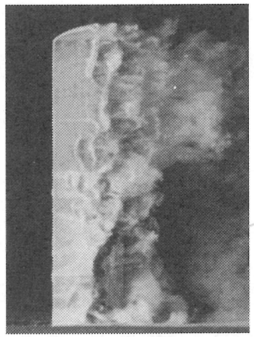


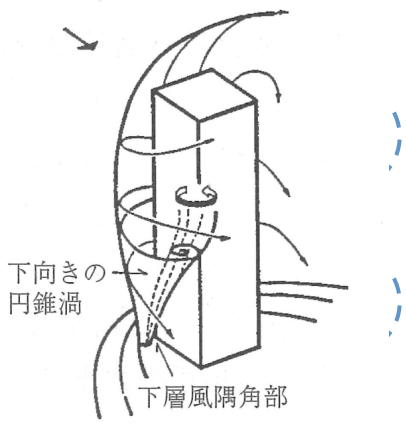
(菊池,2010)

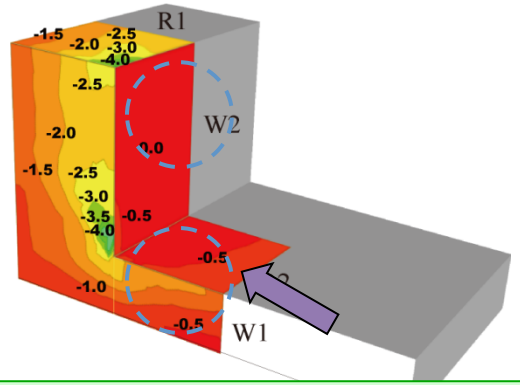


負側のピーク値

(奥田,1993)

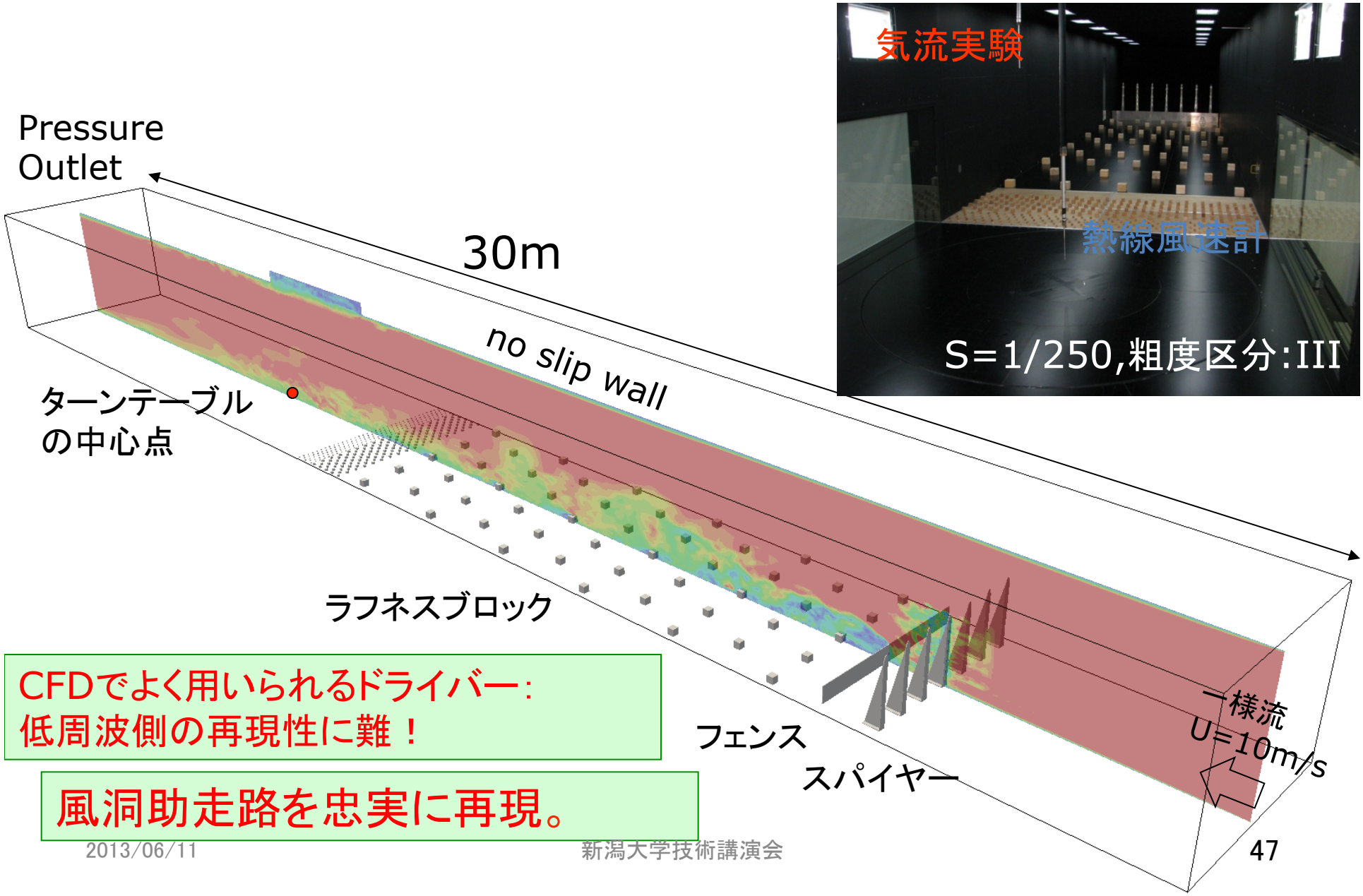






低層部があると-4.5、低層部がないと-3.0……なぜか？

境界層気流の検証用の解析モデル



CFDでよく用いられるドライバー:
低周波側の再現性に難！

風洞助走路を忠実に再現。

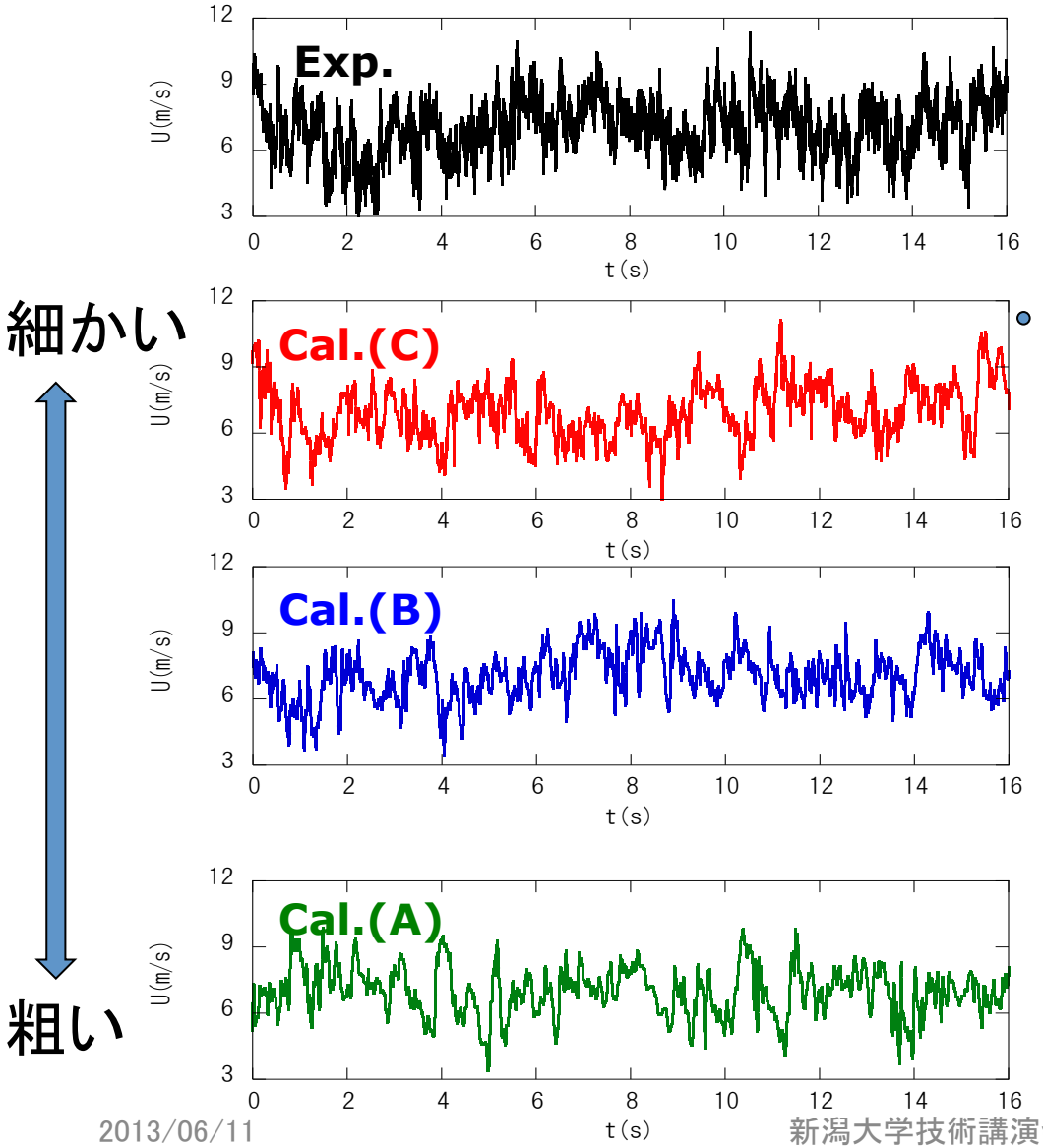
解析手法

- 離散化手法　:有限体積法
- 非定常項　　:2次精度陰的解法
- 移流･拡散項 :2次精度中心差分
- 乱流モデル　:LES乱流モデル
  - 標準Smargorinsky モデル,Cs=0.1

- 計算ツール　:オープンソースOpenFOAM
  - メッシュ作成:SnappyHexMeshツール

- 計算時間刻み:1.e-3(s)
- 助走計算　　:16(s)
- サンプリング時間:16(s)

格子解像度による風速の変化(H=20cm)



風洞実験

より高い周波数成分
が含まれる

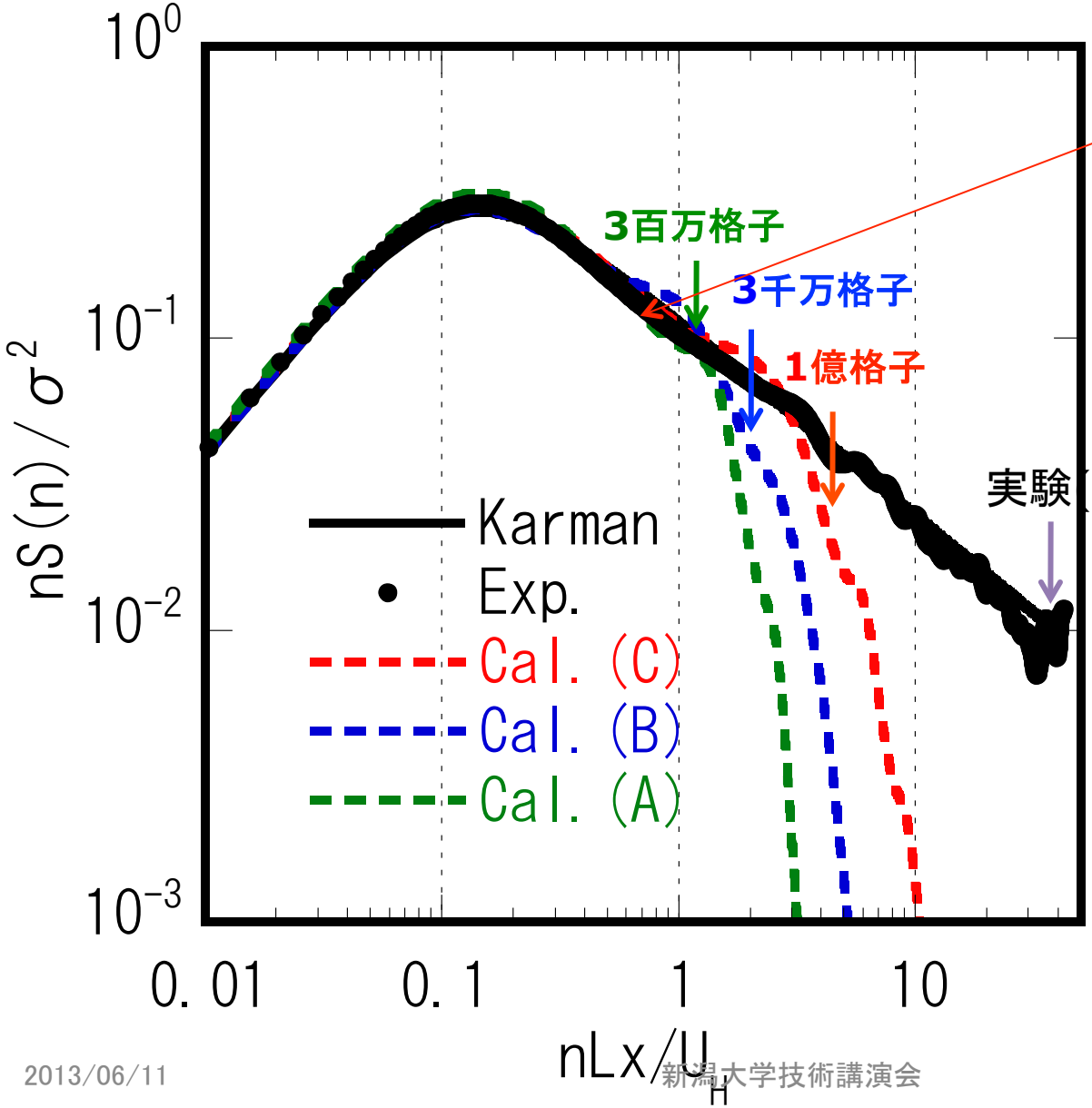
最大値・最小値をほぼ再現

1億メッシュ

3000万メッシュ

300万メッシュ

風速のパワースペクトル密度



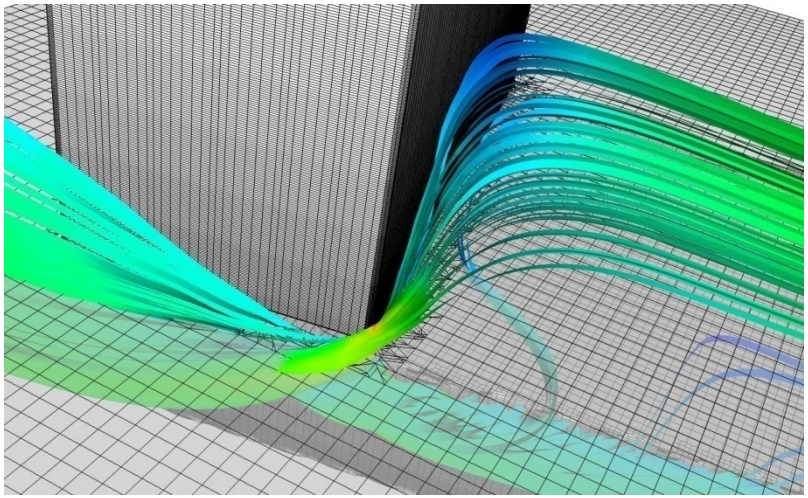
1986年の解析
Cutoff = 0.8
10万メッシュ
26年前
東大計算センター

実験(フィルター:500Hz)

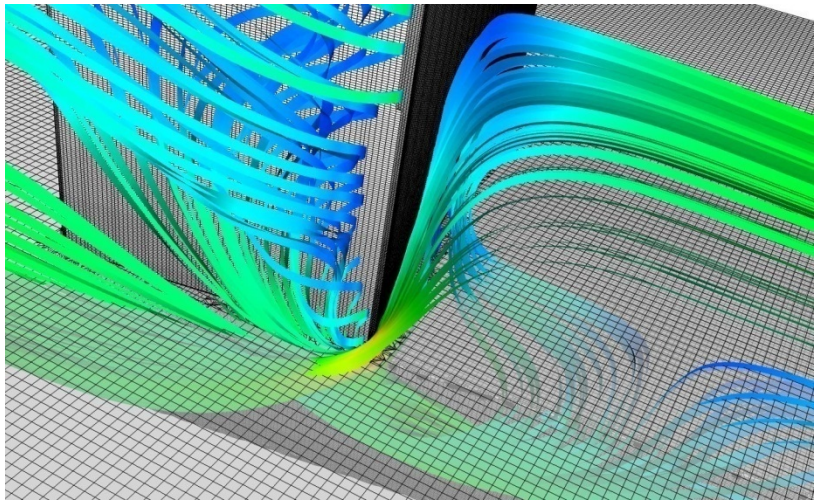
次のスパコンリプレース時には
風洞はいらなくなる、
という人もいますが？？？

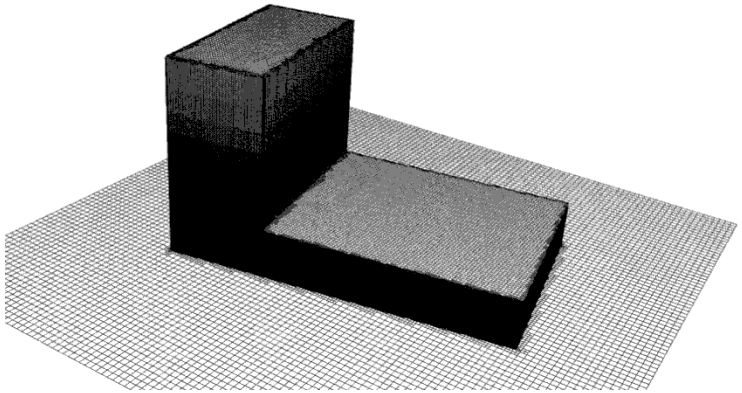
高周波数領域をよく再現、
高い格子解像度は実験
の結果に漸近する

メッシュと平均流線との関係



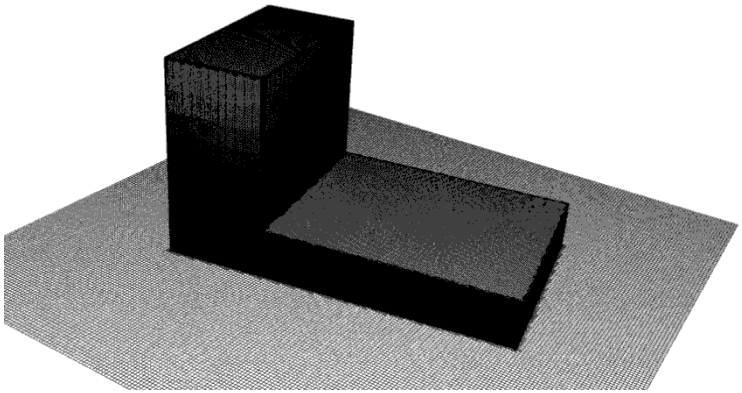
メッシュを細かくすると側面の
はく離渦の中の円錐渦が再現





Δ:6mm

Cal.(3.3千万格子,B)*



Δ:3mm

Cal.(1.32億格子,C)*

建物幅(短辺):100mm